

平成28年度水力発電事業性評価等支援事業
(人材育成等を行う事業に係る業務)

事業報告書

(概要版)

平成29年2月

一般社団法人 電力土木技術協会

目 次

1. 事業目的	1-1
2. 事業内容	2-1
2.1 研修開催実績	2-1
2.2 研修開催案内	2-1
2.3 研修時間割	2-1
3. 研修成果	3-1
3.1 アンケート内容・様式	3-1
3.2 アンケート結果	3-6

1. 事業目的

水力エネルギーは、国産一次エネルギーの中で質・量とも最も安定的に供給が期待できるエネルギー源であり、技術的熟度も高い。しかし、再生可能エネルギーの導入が叫ばれる中において、水力発電所の開発に顕著な活発化は認められず、一部の事業者等においては建設はもとより維持・運営管理に係る技術の継承も危ぶまれるような事態となっている。

平成 23 年東日本大震災以降において、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（平成 24 年 7 月 1 日施行）」により、太陽光発電を中心に再生可能エネルギーの導入量が飛躍的に伸展したが、「長期エネルギー需給見通し（平成 27 年 7 月政府決定）」において標榜されている平成 42 年時点における水力発電の電源構成比率(8.8～9.2%)の達成に向けては、関係者がより一層努力していく必要があるとされている。

一方、水力発電の調査・計画にあたっては、地域の社会環境はもとより、自然環境（地形、地質、気象、植生、林相、貴重動物、河川流況）を十分に把握したうえで、適切な開発計画を策定することが肝要であり、そのための工夫や配慮が必須である。また、水力発電所の再開発においても、建設時とは社会環境や自然環境、あるいは電力事情が変容したうえで、水力発電に求められる機能や価値評価に即することはもちろん、所要の安全性が維持できるように配慮する必要がある。

近年、水力開発に係ってきた技術者の大量退職により、絶対的な技術者の不足と技術継承が懸念されているところであり、水力発電をより強力に促進するためには、技術者の育成を重点的に実施していく必要があるものと考えられている。

以上のような状況において、本事業は一般財団法人新エネルギー財団から委託を受け、有望と目される水力開発地点（再開発を含む）に関し、必要な調査（地形・地質、流況および水利や送電系統の状況等）を計画・実施するとともに、その成果に基づいて、概略計画の策定ならびに事業性評価が実行できる技術者の育成を図ることを目的とするものである。

2. 事業内容

研修は水力発電に係る人材育成を目的とし、内容は基礎的で平易なものをベースに、ある程度実務面も考慮して構成した。実施は座学研修を2日間、近傍の水力発電所、測水所等における現地研修を1日、計3日間とした。座学研修では講義方式と演習方式で行い、また受講者との質疑応答を積極的に行うよう取り組んだ。

2.1 研修開催実績

研修は平成28年9月から平成29年2月にわたり全国10地域で開催し、総受講者数は324名であった。各地域での開催年月日、会場、受講者数などの詳細は表-2.1のとおりである。

表-2.1 研修開催実績

回	年月日	地域	開催都市	会場	予定人員	受講者数	見学発電所
1	28.09.28~30	東北	仙台市	TKPコンファレンスセンター	40	28	大倉、三居沢
2	28.10.05~07	北海道	札幌市	かでの2.7(北海道立道民活動センター)	40	36	藻岩浄水場、藻岩、白井川GS
3	28.10.19~21	北陸	富山市	ボムフォート富山	30	34	雄山第一・第二、仁右衛門、松の木GS、横江頭首工
4	28.10.26~28	関東	高崎市	ジェント高崎	60	62	県央第一、若田
5	28.12.07~09	中部	名古屋市	WINC AICHI(愛知県産業労働センター)	60	35	阿多岐、吉田川
6	28.12.14~16	近畿	大阪市	ドームセンター(大阪府立男女共同参画・青少年センター)	60	45	船津、大河内、南小田第一・第二
7	28.12.20~22	中国	広島市	広島YMCA国際センター	40	23	玖波、河内
8	29.01.25~27	九州	福岡市	電気会館本館	40	35	嘉瀬川、川上川第五、詰瀬GS
9	29.02.08~10	四国	松山市	坂の上の雲ミュージアム	30	15	湯山、畑寺
10	29.02.15~17	沖縄	那覇市	沖縄県青年会館	10	11	福地ダム、大保ダム
計					410	324	

2.2 研修開催案内

研修開催案内は全10地域の開催予定を記載した全国版、および各地域を対象にした地域版を作成し、電力土木技術協会ホームページにより行った。地域版では座学・現地研修の構成および各講義の内容について紹介を行った。全国版案内はP2-2、地域版案内例はP2-3~P2-7のとおりである。

2.3 研修時間割

各講義の時間帯、内容、講師を記載した時間割を作成し、研修第一日目に受講生に配布した。時間割例はP2-8のとおりである。

水力発電に係る人材育成のための研修会(関西地域)の開催について

平成 28 年 11 月 11 日
一般社団法人 電力土木技術協会

今般、経済産業省の展開する「平成 28 年度水力発電事業性評価等支援事業（人材育成等を行う事業に係る業務）」の一環として、当協会が水力開発に係る人材の育成を図ることを目的とした表記の研修会を、以下に示す要領で実施することとなりました。

本研修は、新エネルギー財団を主催者として全国（主に各経済産業局、中部経済産業局電力・ガス事業北陸支局、及び内閣府沖縄総合事務局経済産業部の所在地）10 か所において開催するもので、今回は関西経済産業局管内の地域を対象としております。

内容は基礎的で平易なものをベースに、ある程度実務面も重視して構成しておりますので、知識・経験の多少にかかわらず御参加下さいますよう案内申し上げます。

研修は、水力発電に係る座学研修を 2 日間、近傍の水力発電所、又は測水所等における現地研修を 1 日、計 3 日間の研修を行います。

記

<実施要領>

- 日時 平成 28 年 12 月 14 日（水）9:40～17:00（座学研修）
15 日（木）9:30～17:00（座学研修）
16 日（金）8:30～13:00（現地研修）
- 場所 （座学研修）ドーンセンター（大阪府立男女共同参画・青少年センター）5 F
大会議室 2
〒540-0008 大阪府中央区大手前 1-3-49 電話：06-6910-8500
（現地研修）市川水系の水力発電所等
- 参加料 無料
- 対象者 ・水力発電所の開発を予定する企業、団体等に属する者、若しくは個人
・地方公共団体、公的支援・融資機関等で地域振興のツールとして興味のある者
・その他、水力発電の開発に興味を有する者
- 募集人員 60 名（応募者の総数が定員を上回った場合は、入場を制限する場合があります）
- 受付開始 平成 28 年 11 月 11 日（金）
- 応募期限 平成 28 年 12 月 12 日（月）
- 申込先 一般社団法人 電力土木技術協会 ホームページのニュース欄をご覧の上、
申し込み欄に必要事項を記入して申し込みください。
URL : <http://jepoc.or.jp>

なお、都合で 3 日間すべての研修に参加できない方は、その旨備考欄にご記入ください。(記入例 3 日目の現地研修は不参加、座学 2 日目以降不参加)

留意事項

- ① 研修初日は、午前 9 時 30 分から受付を開始いたします。
- ② 駐車場は主催者側では準備いたしません。
- ③ 筆記用具及び電卓を持参して下さい。
- ④ 昼食の用意はございません。
- ⑤ 服装は、通常の執務時に着用する服装で差支えありませんが、現地研修の際は多少足場の悪いところがある模様なので、それを考慮した服装・靴の着用等をお願いいたします。

・研修の構成とカリキュラム

(座学研修)

水力発電に関する一貫した基礎的知識をベースに、概略計画の策定ならびに事業性評価が実行できるレベルを習得することを目指した研修を行います。

座学の第 1 日目は、初心者の方でも水力発電のしくみから、計画、関係法令まで一貫して理解できる基礎的な学習レベルに設定しています。

第 2 日目は、具体的な水力発電計画を作成する上で必要となる実務的な内容の教材を用いて、専門的な知識も会得できるレベルに設定しています。

また、好事例についての紹介と、総合的な Q&A、意見交換の場も用意しております。

(教材)

全国共通のテキストのほか、当該地域の特徴を考慮した教材を配布します。

(現地研修)

- ・目的： 研修内容の理解増進を図るため、水力発電所等を対象に現地で研修を行うものです。
- ・対象： 市川水系大河内揚水発電所、南小田第一、第二水力発電所等の諸施設を予定しております。随時、質疑・応答ならびに「補講的解説」を行います。
- ・移動： 貸切バスで姫路駅から見学場所へ移動します。
姫路駅 8 時 30 分出発、姫路駅 13 時 10 分頃帰着予定

研修カリキュラム

時間割	講義テーマ	内 容
9時40分～ 9時45分	開会	挨拶・趣旨説明 …新エネルギー財団
1 9時45分～ 9時50分	オリエンテーション	研修のねらいと構成
2 9時50分 10時30分	水力発電概論	発電原理、流量測定、設備概要
3 10時30分～ 12時00分	概略計画と事業性評価 (その1)	計画策定手順、机上検討、現地踏査、最適規模の検討、概算工事費及び事業性評価
	《昼休憩》	
13時00分～ 13時30分	概略計画と事業性評価 (その2)	土木・電気設備の設計
13時30分～ 14時25分	概略計画と事業性評価 (その3)	地形・地質、保安林
4 14時30分～ 15時20分	環境保全	水力発電所の環境保全 地域環境の概要（関西地域）
5 15時20分～ 16時00分	関係法令・手続き 運転・保守	電気事業法、河川法等関係法令、公租・公課（税・水利使用料） 運転・保守の実務
6 16時05分～ 17時00分	開発事例・Q&A	当該地域の特性を踏まえた良好事例 質疑応答

時間割	講義テーマ	内 容
(第2日)		
7 9時30分～ 11時10分	土木設備の設計と工事 費積算	① ダム・水路（導水路・水槽・水圧管路・放水路） ② 変電所、仮設備、土地補償ほか
8 11時05分～ 12時00分	経済性評価	事業性評価、経済性評価
	《昼休憩》	
8 13時00分～ 13時20分	経済性評価（続き）	
9 13時20分～ 13時50分	主任技術者の実務	主任技術者（ダム水路・電気主任技術者もしくはこれに準じるもの）としての業務、設備保全（点検と補修）
10 13時50分～ 14時05分	電力系統と運用	送配電系統の概要と運用（接続・系統保護）
11 14時10分～ 16時30分	事例紹介	良好事例のうち、特に計画・設計・資金調達等において模範的な工夫がなされた事例等の紹介
12 16時30分～ 16時50分	Q&A	質疑応答
13 16時55分～ 17時00分	現地見学の要領説明	現地見学の要領説明

カリキュラムは、事情により変更する場合があります。

現地研修行程

時間割	行 程	備 考
(第3日) 8時15分	(集合) JR姫路駅	
8時30分	JR姫路駅出発 市川水系水力発電所 船津、大河内 南小田第一、第二	貸切バスで移動します
13時10分	(解散) JR姫路駅	

行程については、交通等の事情によって変わる場合があります。

(お問い合わせ先)

〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目8-2 小貝ビル4F
 一般社団法人電力土木技術協会
 電話 03-3432-8905
 FAX 03-3435-1778
 URL <http://jepoc.or.jp>

担当：人材育成研修 担当

水力開発に係る人材育成のための研修会(関西地域) 時間割

平成28年12月14日～16日

電力土木技術協会

時間帯	講義テーマ	内容	講師
(第1日目)			
9:30～ 9:35	開会あいさつ		新エネルギー財団
9:35～ 9:40	1. オリエンテーション		高島
9:40～10:30	2. 水力発電概論	発電原理、流量測定、設備概要	丸山、伴
10:30～12:00	3. 概略計画と事業性評価 (その1)	計画策定手順、机上検討、現地踏査、最適規模の検討、概算工事費及び事業性評価	伴
12:00～13:00	(昼休み)		
13:00～13:30	3. 概略計画と事業性評価 (その2)	土木・電気設備の設計	伴
13:30～14:00	3. 概略計画と事業性評価 (その3)	地形・地質	武藤
14:00～14:25		保安林	柳瀬
	(5分間休憩)		
14:30～15:05	4. 環境保全	水力発電所の環境保全	山本
15:05～15:20		地域環境の概要(関西地域)	泉田
15:20～16:00	5. 関係法令・手続き、運転・保守	関係法令、運転・保守	小松
	(5分間休憩)		
16:05～17:00	6. 開発事例		岸本
	Q&A		全員
(第2日目)			
9:30～11:10	7. 工事費積算演習		小松、伴
	(5分間休憩)		
11:05～12:00	8. 経済性評価		伴
12:00～13:00	(昼休み)		
13:00～13:20	8. 経済性評価(続き)		伴
13:20～13:35	9. 主任技術者の実務	ダム水路	野田
13:35～13:50		電気	吉村
13:50～14:05	10. 電力系統運用		高島
	(5分間休憩)		
14:10～16:30	11. 事例紹介		井上、宮永、岡田
16:30～16:50	Q&A		全員
16:50～17:00	現地見学の要領説明		丸山
(第3日目)			
8:30～12:30	現地研修(南小田第一・第二、大河内、船津浄水場水力の各発電所)		高島、丸山他 研修先関係者

< 講師 >

- 井上 素行 (京都大学防災研究所客員教授、博士(工学))
- 宮永 洋一 (電力中央研究所名誉研究アドバイザー、博士(工学))
- 柳瀬 正寿 (国土防災技術(株)取締役営業本部長、技術士)
- 武藤 光 (国土防災技術(株)付営業推進部長、岡山大学環境理工学部非常勤講師、博士(工学)、技術士)
- 高島 賢二 (電力土木技術協会専務理事、新潟工科大学特任教授、中央大学理工学部兼任講師、博士(工学))
- 丸山 博 (電力土木技術協会事務局長(兼)技術部長)
- 山本 功 (電力土木技術協会特任技術顧問)
- 小松 俊夫 (電力土木技術協会特任調査役、日本大学理工学部非常勤講師、技術士、博士(工学))
- 伴 至 (電力土木技術協会特任調査役、技術士)
- 吉村 篤雄 (関西電力(株)水力事業本部 事業計画グループ マネジャー)
- 野田 英之 (関西電力(株)水力事業本部 発電運用グループ マネジャー)
- 岸本 敏宏 (関西電力(株)水力事業本部 事業計画グループ リーダー)
- 泉田 典章 (㈱環境総合テクノス 土木部 担当部長)

3. 研修成果

研修成果は受講者アンケート結果から判断することとし、内容の理解および研修受講前後の向上度が把握できるように工夫した。

3.1 アンケート内容・様式

アンケートは前記したこと等を目的に、次の内容に関して3段階または5段階数値評価、および記述評価により行った。アンケート様式をP3-2～P3-5に示す。

(1) 受講者

- ①職種 ②水力発電に係る経験年数 ③所属 ④所属する学協会 ⑤年齢・性別
- ⑥過去に受講した水力発電に関する研修 ⑦今回の受講動機

(2) 講習内容（座学全科目）

- ①時間配分 ②理解度 ③実務向上度 ④さらに必要な内容

(3) 現地研修

- ①時間配分 ②参考度 ③今後希望する見学箇所

(4) 研修会全体について

- ①受講満足度 ②全体を通じての感想 ③水力開発促進に必要と思われるポイント・意見 ④今後の研修の必要性

水力発電人材育成研修会（〇〇地域）

アンケート票

平成〇〇年〇〇月〇〇日～〇〇日

一般社団法人電力土木技術協会

講習会の企画・運営等において、皆様のご意見を参考にさせて頂きたく存じますので、アンケートへのご協力方、お願い申し上げます。

I. 受講者について（該当箇所に〇をお付けください）

- (1) 職種（土木、農業土木、電気、機械、建築、環境、金融、その他（.....））
- (2) 水力発電に係る経験年数（5年未満、5年～10年未満、10年以上（.....年））
- (3) 所属（官公庁（国、県、市町村等（.....））、教育・学校関係（.....）、電力・関連会社、コンサルタント、建設業、製造業、金融機関、NPO、その他（.....））
- (4) 所属する学協会（土木学会、ダム工学会、電気学会、電力土木技術協会、技術士会、その他（.....））
- (5) 年齢・性別（10代、20代、30代、40代、50代、60歳以上（.....歳） 性別（男性、女性））
- (6) 過去に受講した水力発電に関する研修（NEF 実務研修会、NEF 水力発電に関する基礎研修会、その他（.....））
- (7) 今回の受講動機をご記入ください。

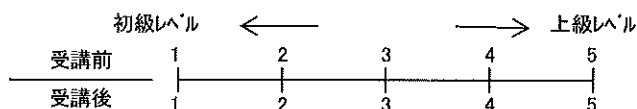
II. 講習内容について（座学）

【1. 水力をとりまく状況と施策】

- (1) 時間は適当でしたか。
1 2 3
短い 適当 長い
- (2) 理解できましたか。
1 2 3 4 5
できなかった あまりできなかった 普通 かなりできた 良くできた

理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

- (3) 受講後の実務向上について該当番号に〇を付けてください。



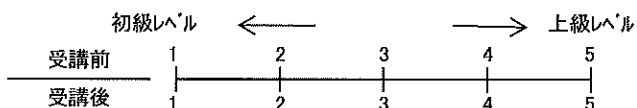
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【2. 水力発電概論】

- (1) 時間は適当でしたか。
1 2 3
短い 適当 長い
- (2) 理解できましたか。
1 2 3 4 5
できなかった あまりできなかった 普通 かなりできた 良くできた

理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

- (3) 受講後の実務向上について該当番号に〇を付けてください。



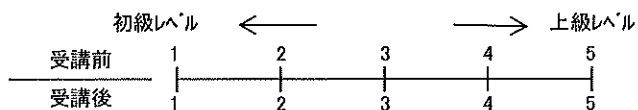
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【3. 概略計画と事業性評価（その1）】

- (1) 時間は適当でしたか。
1 2 3
短い 適当 長い
- (2) 理解できましたか。
1 2 3 4 5
できなかった あまりできなかった 普通 かなりできた 良くできた

理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

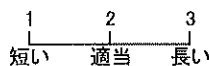
- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



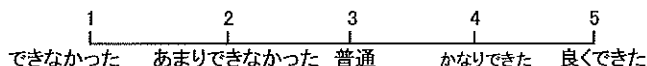
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【4. 土木設備・電気設備の設計】

- (1) 時間は適当でしたか。

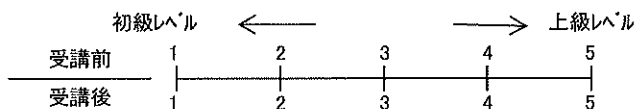


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

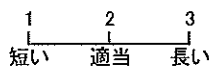
- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



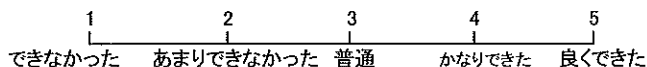
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【5. 地形・地質および保安林】

- (1) 時間は適当でしたか。

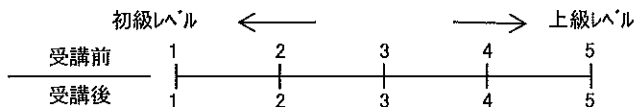


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

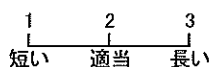
- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



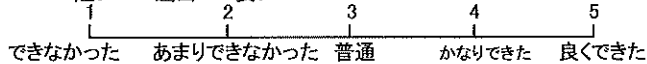
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【6. 環境保全】

- (1) 時間は適当でしたか。

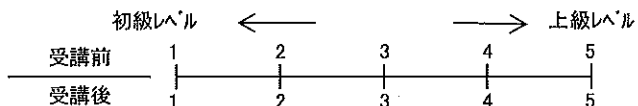


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

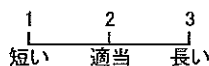
- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



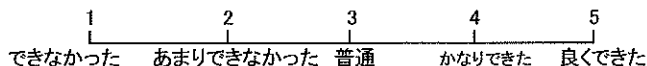
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【7. 関係法令・基準】

- (1) 時間は適当でしたか。

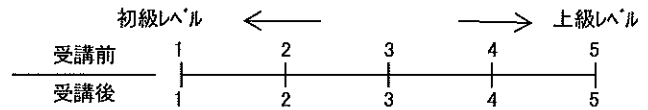


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

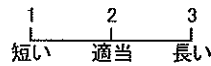
- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



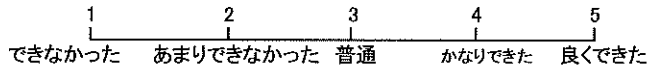
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【8. 開発事例】

- (1) 時間は適当でしたか。

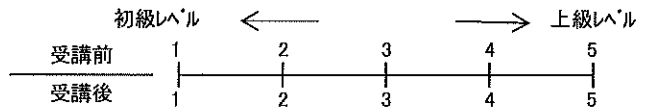


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

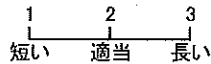
- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



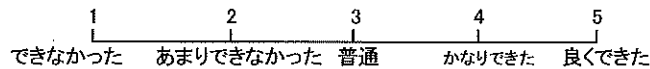
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【9. 概略計画と事業性評価（その2）：工事費積算演習】

- (1) 時間は適当でしたか。

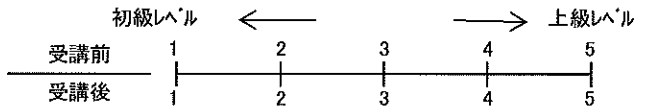


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。



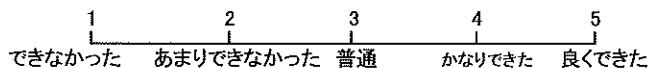
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【9. 概略計画と事業性評価（その2）：事業性評価】

- (1) 時間は適当でしたか。

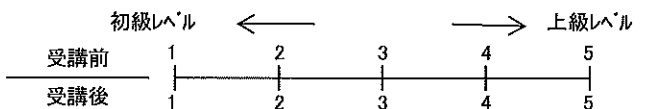


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○を付けてください。

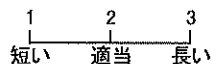


- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

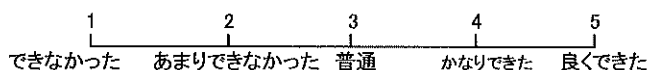
【10. 運転・保守管理、主任技術者の実務、

11. 電力系統運用】

- (1) 時間は適当でしたか。

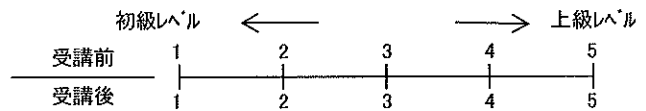


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

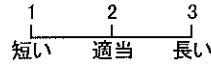
- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○をつけてください。



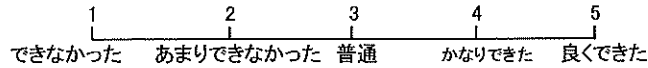
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

【12. 事例紹介】

- (1) 時間は適当でしたか。

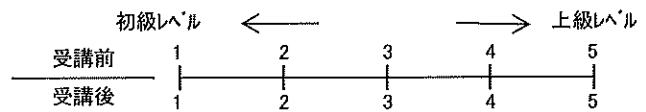


- (2) 理解できましたか。



理解できなかったこと、理解できたことをご記入ください。

- (3) 受講後の実務向上について該当番号に○をつけてください。



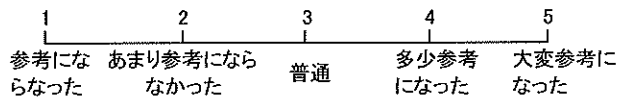
- (4) さらに必要と考えられる内容についてご記入ください。

III. 現地研修について

- (1) 時間は適当でしたか。



- (2) 見学や解説は参考になりましたか。

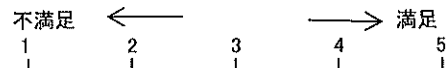


参考になったことをご記入ください。

- (3) 今後希望する見学箇所をご記入ください。

IV. 講習会全体について

- (1) 今回受講されて、総合的に受講動機は満足されましたか。



- (2) 満足できなかった点、満足できた点をご記入ください。

- (3) 講習会全体を通じての感想をお書きください。

- (4) 今後の水力開発促進に必要と思われるポイントやご意見をお聞かせください。

- (5) 今後このような研修は必要だと思いますか。

ご協力ありがとうございました。

3.2 アンケート結果

アンケートは全受講者 324 名のうち、245 名から回答を得ることができた（表-3.1 参照）。総ての研修会を集約した結果は以下のとおりである。

表-3.1 アンケート回答実績

地域	北海道	東北	関東	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	沖縄	合計
受講者数	36	28	62	35	34	45	23	15	35	11	324
回答数	26	18	45	27	19	34	22	13	30	11	245
回答率%	72	64	73	77	56	76	96	87	86	100	76

3.2.1 受講者

(1)職種

土木職が 40%であり、次に電気職 30%、環境職 6%であった（その他は除く）。（表-3.2 及び図-3.1 参照）。

表-3.2 職種

職種	土木	農業土木	電気	機械	建築	環境	金融	その他	合計
人数	93	3	69	7	4	14	3	40	233
比率	40%	1%	30%	3%	2%	6%	1%	17%	100%

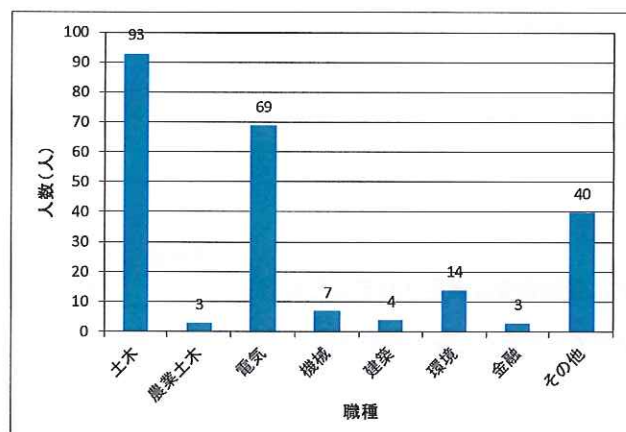


図-3.1 職種

(2)水力発電に係る経験年数

5年未満が73%であり、次に5年～10年未満が15%であった（表-3.3及び図-3.2参照）。

表-3.3 水力発電に係る経験年数

経験年数	5年未満	5年～10年未満	10年以上	合計
合計	176	37	28	241
比率	73%	15%	12%	100%

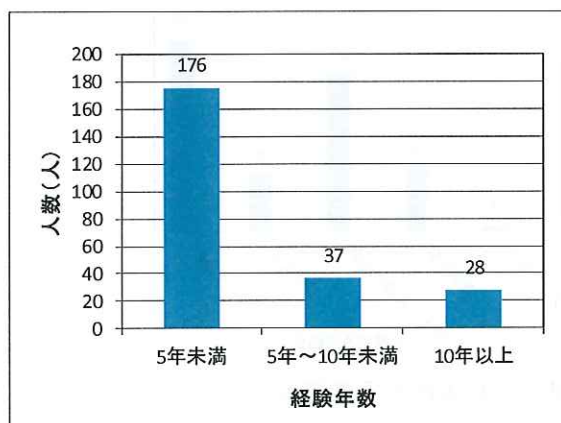


図-3.2 水力発電に係る経験年数

(3)所属

電力・関連会社が26%であり、次にコンサルタントが20%であった（表-3.4及び図-3.3参照）。

表-3.4 所属

所属	国	県	市町村	教育・学校関係	電力・関連会社	コンサルタント	建設業	製造業	金融機関	NPO	その他	合計
合計	6	29	9	1	62	49	36	24	0	4	23	243
比率	2%	12%	4%	0%	26%	20%	15%	10%	0%	2%	9%	100%

*職種と所属とは必ずしも一致しない

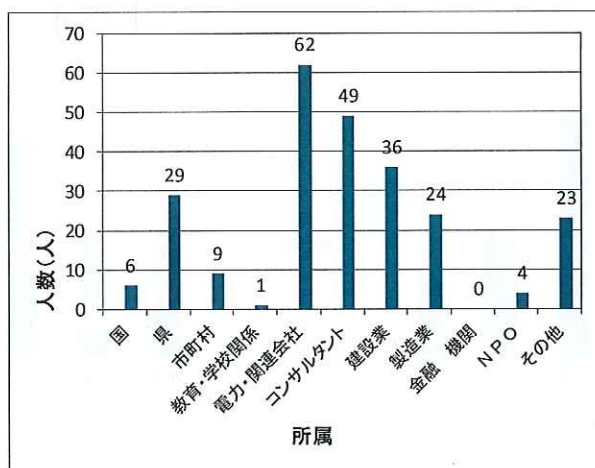


図-3.3 所属

(4)所属する学協会

土木学会が26%であり、次に電力土木技術協会が25%であった(表-3.5及び図-3.4参照)。

表-3.5 所属する学協会

学協会	土木学会	ダム工学会	電気学会	電力土木技術協会	技術士会	その他	合計
合計	27	1	10	25	9	30	102
比率	26%	1%	10%	25%	9%	29%	100%

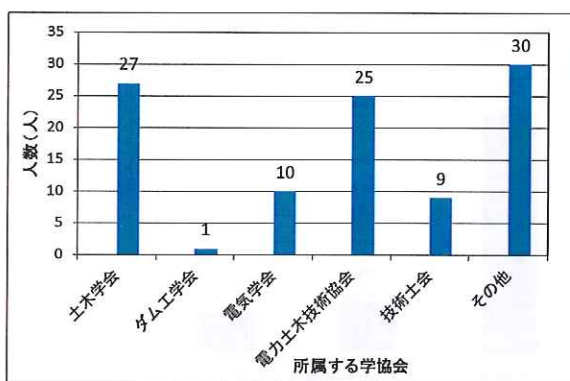


図-3.4 所属する学協会

(5)年齢・性別

年齢は40代が34%で一番多く、20代・30代・50代がほぼ等しく約20%であった(表-3.6及び図-3.5参照)。

表-3.6 年齢・性別

	10代	20代	30代	40代	50代	60代以上	合計
合計	0	47	46	82	42	27	244
比率	0%	19%	19%	34%	17%	11%	100%
男性	0	18	11	32	23	25	109
女性	0	3	3	5	1	0	12
未記入	0	26	32	45	18	2	123
							Σ 244

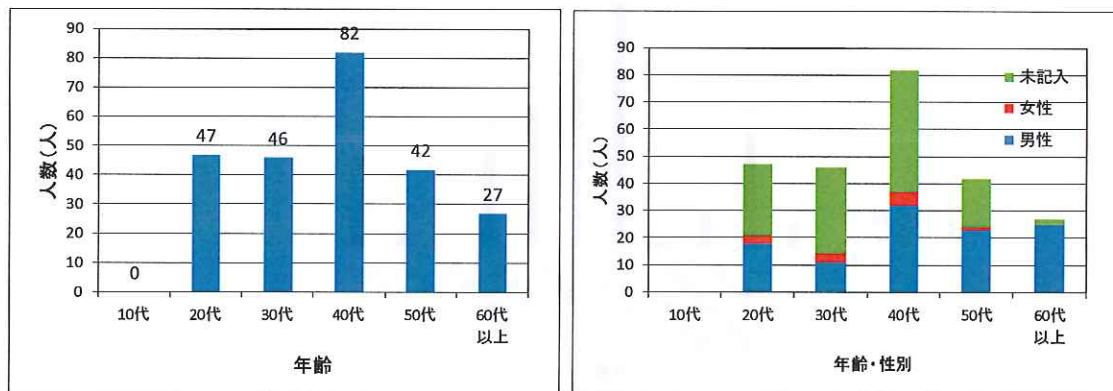


図-3.5 年齢・性別

(6)過去に受講した水力発電に関する研修

過去に受講した水力発電に関する研修は、新エネルギー財団主催の研修会が多い（表-3.7及び図-3.6参照）。

表-3.7 過去に受講した水力発電に関する研修

	NEF実務研修会	NEF基礎研修会	その他	未記入	合計
合計	23	9	21	154	207
比率	11%	4%	10%	74%	100%

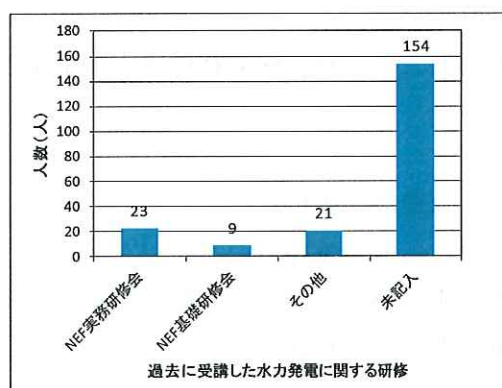


図-3.6 過去に受講した水力発電に関する研修

(7)今回の受講動機

さまざまな動機があげられている。業務上必要であること、また小水力発電の導入を検討していることが関東・関西地域で多くあげられている。この他に水力発電の基礎知識を習得することが各地域であげられている。

3.2.2 研修内容

各科目の結果概要は次のとおりである。

【1.水力をとりまく状況と施策】

・水力発電の必要性、水力の現在の状況が理解できたとされている。さらに各省庁所管の補助金手続きが複雑でわかりにくいことなどがあげられている。

【2.水力発電概論】

・水力発電のしくみや設計的思想は理解したとされているが、説明事例が大規模な水力発電所に関するものが中心なので小規模なものに係る説明、運営までの流れも必要とされている。

・VTRで呈示した流量測定方法および流量調査の重要性が多く認識されている。

【3.概略計画と事業性評価（その1）：計画策定手順、机上検討、現地踏査、最適規模の検討】

・可能性調査、踏査の重要性、計画の組み立て方が理解されている。さらに流量測定結果に基づく発電規模決定、小水力発電を計画する上での具体的なポイントなど実務的内容が必要とされている。

【4.土木設備・電気設備の設計】

・土木設備設計の留意点は理解したとされており、さらに必要な内容として設計演習があげられている。

・電気設備は比速度など理解不足があげられている。さらに水車について事例を混じえた選定の仕方や、海外製水車の導入時の注意点などの内容が必要とされている。

【5.地形・地質および保安林】

・地質の種類について理解したとされる一方、時間が短く専門的であるため理解不十分とされており、さらに中小規模での注意点、種々の地質に対する設計・工法における具体的な対応事例が必要とされている。

・保安林解除の大変さは理解したとされ、保安林内工事の手続き手順、工夫事例の紹介が必要とされている。

【6.環境保全】

・環境保全対策例および新たな環境の価値評価等について理解したとされている。一方環境保全は重要項目であるのに時間が短いという意見もあった。さらに必要な内容として環境保全関連法令の説明、小規模地点における環境保全の考え方・貢献事例の紹介、減水区間に関する環境対策などがあげられている。

【7.関係法令・基準】

・第一条（目的）など法令に関する重要ポイントが理解できたとされている。さらに個別法の詳細や申請の流れ・所要時間など具体的な手続き事例が必要とされている。

【8.開発事例】

・既存設備利用の開発概要や開発の一連の流れなどが理解できたとされている。さらに事業費や採算性、検討着手～工事開始までの期間の説明が必要とされている。

【9.概略計画と事業性評価（その2）：工事費積算演習】

・手を動かしての実習なので理解が進んだとされている。今回は概略計画レベルだったので、さらに上位レベル、例えば使用水量変化など複数パターンの演習、経済性を高めるための事例紹介が必要とされている。

【9.概略計画と事業性評価（その2）：事業性評価】

・キャッシュフロー計算や評価手法の基本は理解できたとされる一方で、IRR・NPV等の用語や実際に演習しないと理解できないという意見が多かった。今後はもう少し時間をかけた演習が必要とされている。

【10.運転・保守管理、主任技術者の実務、11.電力系統運用】

・主任技術者の役割が理解できたとされている。さらに主任技術者としての1日～1年間における具体的活動内容が必要とされている。

・電力系統運用については、さらに系統接続の電力会社との協議や留意点が必要とされている。

【12.事例紹介】

・水力発電事業の地域貢献について理解できたが、事業者の具体的な行動を知りたいとされている。さらに必要な内容として地元と一体となって推進していくための方策、地元

住民との協議など具体的な取組み例、行政～事業者～コンサルタントの支援・関与など事業成立させるための具体策などがあげられている。

3.3 現地研修

(1) 時間配分

約 81%の参加者が現地研修時間を適当と回答し、約 17%が短いと回答している（図-3.7 参照）。

	短い	適当	長い	合計
人数	29	139	3	171
比率	17%	81%	2%	100%

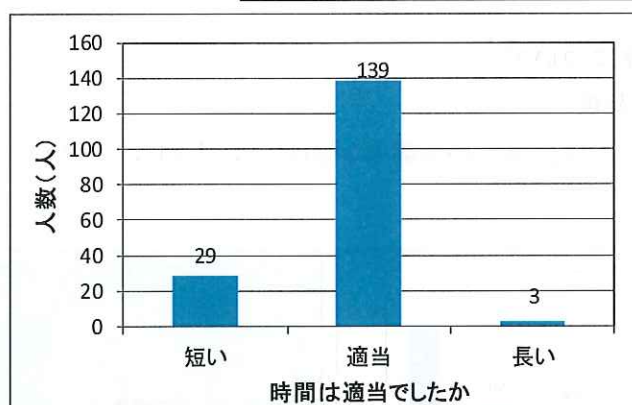


図-3.7 現地研修時間について

(2) 見学や解説の参考度

46%が大変参考となったとし、多少参考になったと合すると 74%が参考となったと回答している（図-3.8 参照）。

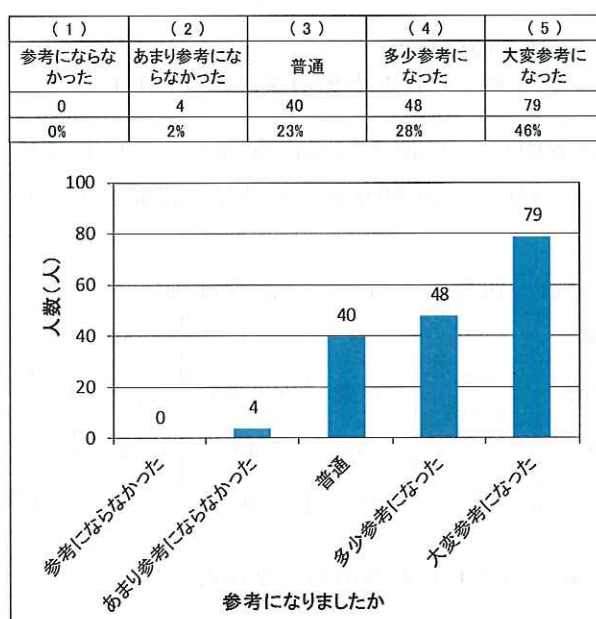


図-3.8 見学や解説の参考度

“普通”を3点としたときの加重平均点=4.2

参考になったことの各地域総括を表-3.10に示す。各地域における共通した参考点は、座学で学んだ水力設備を実際に見学することで知識と実体を理解することができ有意義であったことである。発電機についても小規模と大規模を比較でき、規模の違いがわかりやすかったとされている。また測水所を見学した地域では測水所～ダム～発電所までの一連の流れが理解できたとされ、特に測水のデモは参考になったとされている。

(3) 希望する見学箇所

各地域における見学希望箇所を表-3.10に示す。大半の地域で小水力発電施設の見学が希望されていた。その他には農業用水や砂防ダムを利用した開発、工事中地点の見学があげられていた。

3.2.4 研修会全体について

(1) 受講動機の満足度

研修会全体としては、多くの受講者が満足したと回答している（図-3.9参照）。

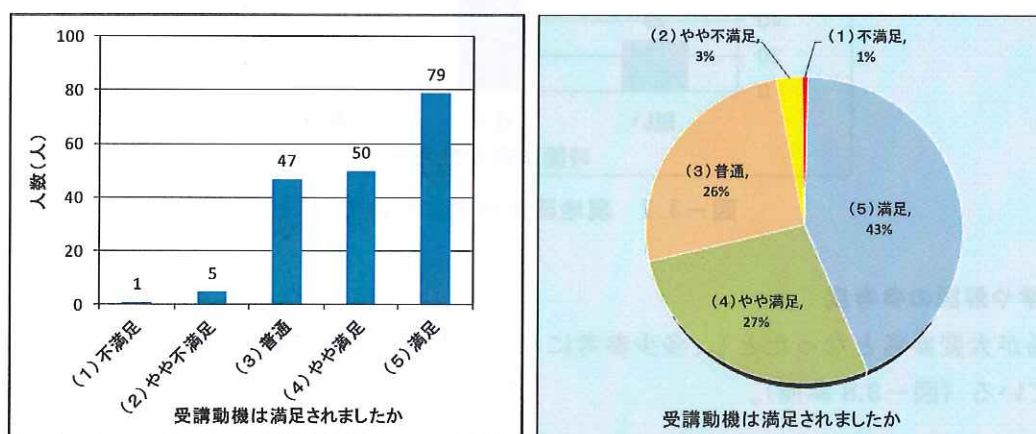


図-3.9 受講者の満足度
“普通”を3点としたときの加重平均点=4.1

また、製造業・金融機関・NPO・その他の新規に水力に参入しようとしている所属の受講者評価は表-3.11に示すとおりで、約80%がやや満足・満足としている。

表-3.11 新規参入所属の受講者評価

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	合計
	不満足	やや不満足	普通	やや満足	満足	
人数	0	2	6	15	14	37
比率	0	5%	16%	41%	38%	100%

“普通”を3点としたときの加重平均点=4.1

(2) 満足できた点、満足できなかった点

- ・満足できた点として、i)水力発電計画に関する一連の流れを初心者でも理解できたこと、ii)テキストが豊富であったこと、iii)講義だけでなく演習もあったことなどがあげられている。
- ・満足できなかった点として、講義時間についてもう少し時間が欲しかった点や時間配分の見直しがあげられている。特に事業性評価の時間が短かったとする意見が多かった。水力入門者からはまだ知識が足りないため、理解が不十分だったとされている。内容では水車・発電機の詳細、小水力（1,000 kW以下）の実務についての内容を求める意見があった。運営面では日程調整や集合時間が早かったとする意見もあった。
- ・この他に受講者相互の意見交換の場を求める提案があった。

(3) 研修会全体を通じての感想

- ・研修構成について、講義だけでなく演習や現地見学があったことが良かったとする意見が多かった。
- ・運営について、多くの質疑応答や講師編成、また無料であることが評価されていた。
- ・内容について、演習に加えより実務に即した内容また運用面の内容を求める意見もあった。
- ・時間について、全体的に駆け足気味であったことがあげられていた。
- ・(2)記載同様に、参加者同士が情報・意見交換を行う交流の場を求める意見が複数あった。

(4) 水力開発促進に必要と思われるポイントや意見

- ・水力発電は地球環境やエネルギー自給率に寄与する地域エネルギーであることを広くアピールすること。
- ・小規模でも採算性が得られるように技術開発の促進・設備標準化の検討、コストダウンや地元を開発意欲を促すような施策、技術力が不足している組織への支援、技術者人材育成。
- ・地域住民との協調、合意形成する人間力など。
- ・講師同行による現地実習、パイオニアの方々の経験やノウハウを共有する交流の機会。

(5) 研修の必要性

- 当項目回答者全員がこのような研修を必要と回答している。
- ・研修の必要性については、水力の低迷・衰退に伴う技術者等の高齢化による断絶が起これないよう毎年続けていくべきであるとする意見が多かった。
 - ・研修レベルについて、今回の初心者向けの他に中級・上級レベルを希望する意見も複数あった。
 - ・研修内容について、メンテナンス関連や小水力に重点を置いた研修の希望も複数見受けられた。

平成28年度 水力発電人材育成研修会

テキスト

一般財団法人 新エネルギー財団
一般社団法人 電力土木技術協会

目 次

1. はじめに	1-1
2. 水力発電概論	2-1
2.1 発電原理と分類	2-1
2.2 わが国の水力の歴史	2-2
2.3 日本の包蔵水力	2-7
(1) 理論包蔵水力	2-7
(2) 包蔵水力	2-7
2.4 開発目標	2-8
3. 概略計画と事業性評価	3-1
3.1 水力発電計画の策定手順	3-1
3.2 机上検討	3-2
(1) 水路ルートのご検討	3-2
(2) 流量資料	3-9
3.3 現地踏査	3-12
(1) 現地踏査の目的	3-12
(2) 計画地点の地形及び地質確認	3-14
(3) 地質踏査	3-16
(4) 工事条件	3-20
(5) 自然・社会環境条件	3-21
3.4 流量調査の実際	3-22
(1) 流量調査の目的	3-22
(2) 流量調査に関する諸法規	3-22
(3) 流量調査に関わる用語、及び定義	3-24
(4) 測水所の設置	3-26
(5) 河川流量の測定	3-26
3.5 最適規模の検討	3-48
(1) 総落差、損失落差、有効落差	3-48
(2) 使用水量の決定	3-50
(3) 発電力の算定	3-55
(4) 発電電力量の算定	3-58

(5) 最適発電規模	3-62
(6) 水車・発電機の選定	3-62
3.6 概算工事費及び経済性評価	3-65
(1) 工事費の積算	3-65
(2) 経済性の評価	3-69
3.7 工事費積算演習および事業性評価	3-79
4. 地形・地質および保安林	4-1
4.1 「土砂災害」からみた地形・地質について	4-1
4.2 地形・地質の基礎知識	4-5
(1) 土質地盤と岩盤	4-5
(2) 地質年代	4-5
(3) 地盤の構成物	4-7
(4) 岩石の種類と特徴	4-7
(5) 風化と変質	4-11
(6) 地質構造	4-12
(7) 地形判読	4-15
4.3 保安林について	4-21
(1) 森林法とは	4-21
(2) 保安林の種類	4-21
(3) 保安林の面積	4-28
(4) 保安林における制限	4-29
(5) 転用に係る保安林解除申請	4-30
(6) 林地開発許可制度	4-32
5. 環境保全	5-1
5.1 水力発電所の環境問題	5-1
5.2 環境影響評価制度	5-2
(1) 環境影響評価法	5-2
(2) 発電事業に係る環境影響評価制度（電気事業法による規定、特例）	5-3
(3) 環境影響評価の実施と手続き	5-4
(4) 環境影響評価に対する審査基準	5-5
5.3 環境対策の事例	5-10

5.4	新たな環境の創出と価値評価	5-23
(1)	新たな環境の創造	5-23
(2)	価値評価の方法	5-24
(3)	価値評価の算出方法	5-25
(4)	水力発電所の外部コストと外部便益	5-27
(5)	貨幣価値換算手法（環境経済の計量）	5-29
(6)	便益額の分析	5-31
5.5	新たな環境創出の事例	5-35
(1)	水域環境創造の事例	5-35
(2)	発電所開放利用の事例	5-47
(3)	景観創出の事例	5-52
6.	関係法令・基準	6-1
6.1	関係法令・基準	6-1
6.2	電気事業法	6-2
(1)	電気事業法の体系および目的	6-2
(2)	電気工作物	6-2
(3)	電気工作物に係る主要な条項	6-3
(4)	各開発段階における手続き	6-4
(5)	発電設備の実態に応じた要否	6-5
6.3	河川法	6-5
(1)	河川法の体系および目的	6-5
(2)	河川法に係る主要な条項	6-6
6.4	固定価格買取制度	6-7
(1)	固定価格買取制度の概要	6-7
(2)	固定価格買取制度における設備認定	6-8
7.	土木設備・電気設備の設計	7-1
7.1	土木設備	7-1
(1)	取水ダム	7-1
(2)	取水口	7-5
(3)	沈砂池	7-7
(4)	導水路	7-8

(5) 水槽（ヘッドタンク）	7-10
(6) 余水路	7-11
(7) 水圧管路	7-13
(8) 発電所	7-22
(9) 放水路・放水口	7-22
7.2 電気設備の設計	7-23
(1) 水車の種類	7-23
(2) 水車の選定方法	7-23
(3) 水車型式の選定における留意事項	7-24
(4) 水車の特性	7-26
(5) フランシス水車の機械計画	7-31
(6) 水車・発電機効率	7-34
(7) 発電機の種類と特徴	7-38
(8) スクリーン	7-40
(9) 送変電設備	7-41
8. 運転・保守管理および主任技術者の実務	8-1
8.1 運転・監視制御	8-1
(1) 運転制御方式の種類	8-1
(2) 監視制御方式の分類	8-2
8.2 保守管理	8-4
(1) 保安規程に基づく保守管理	8-4
(2) 保守業務	8-4
(3) 報告	8-4
8.3 主任技術者の実務	8-5
(1) 主任技術者の職務	8-5
(2) ダム水路主任技術者	8-5
(3) 電気主任技術者	8-6
9. 電力系統と運用	9-1
(1) 電力系統	9-1
(2) 運用	9-1
(3) 系統連系	9-1

(4) 誘導発電機	9-2
10. 事例紹介	10-1
10.1 水力発電の価値および開発の隘路	10-1
(1) 水力発電の価値	10-1
(2) 水力開発の隘路	10-1
(3) 隘路の解決に向けて	10-2
10.2 制度・政策における地域貢献の要素	10-2
(1) 制度・政策における地域社会への貢献のねらい	10-2
(2) 地域社会への貢献の要素	10-4
10.3 水力発電の地域貢献事例	10-5
(1) 農協による小水力発電	10-5
(2) 土地改良区による小水力発電	10-6
(3) 自治体による小水力発電の普及啓発	10-7
(4) 特定電気事業による集落への電力供給	10-8
(5) 電力会社によるダム湖の観光利用への協力と環境保全	10-9
(6) 電力会社による国の治水ダムと連携した洪水対策	10-10
(7) 電力会社による被災水力発電所の復旧と河川の再生	10-11
(8) 民間企業による環境と調和した小水力発電	10-12
(9) 温泉事業者による小水力発電	10-13
10.4 水力発電の地域貢献の可能性と課題	10-14
(1) 地域経済の活性化	10-14
(2) 地域インフラの整備	10-14
(3) 地域へのエネルギー供給	10-16
(4) 地域環境の保全・改善	10-16
(5) 地域社会の活性化	10-17
(6) 地域への定着	10-17
10.5 地方創生に資する水力開発の考え方	10-18
(1) 地域社会に永続的に貢献する総合的な水力開発の実現に向けて	10-18
(2) 地域が主体となった水力開発の推進体制	10-19
(3) 地域が主体となった総合的な水力開発事業モデルの構築に向けて	10-21
[参考文献]	10-23
[参考] 再生可能エネルギーとしての水力の価値	10-26

巻末資料

- 参考資料 1 「水力発電事業性評価等支援事業」(人材育成等を行う事業に係る業務)に関する「地域環境等の概観」について
- 参考資料 2 電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン
- 参考資料 3 全国の流況
- 参考資料 4 現地調査野帳例

1. はじめに

水力発電は再生可能なエネルギーであり、エネルギー源の大半を海外からの輸入に頼っているわが国にとって、貴重な純国産エネルギーである。また他の電源に比べ CO₂ の排出量が非常に少ないクリーンなエネルギーでもある。

平成 28 年度に経済産業省はこのような水力発電を促進する施策の一環として「水力発電に係る人材育成のための研修会」を実施することになった。研修会の目的は有望と目される水力開発地点（再開発を含む）に関し、必要な調査（地形・地質、流況および水利や送配電系統の状況等）を計画・実施するとともに、その成果に基づいて、概略計画の策定ならびに事業性評価が実行でき、さらに効率的・経済的な水力発電の促進を進める上で必要な技術を有する人材等の育成を図ることである。

本テキストは上記研修会のために作成したものであり、開発計画から保守運営まで、今後新たに水力開発を始める人が理解できるよう入門書的な性格としている。また今後の水力開発は中小規模になることから流れ込み式発電（1,000kW 程度）を主体とし、河川維持流量発電等他の既設構造物を利用する発電方式についても述べている。

本テキストが水力開発に携わる多くの人材に活用され、わが国の水力開発の促進、さらにはエネルギーセキュリティに寄与できれば幸いである。

2. 水力発電概論

2. 水力発電概論

2.1 発電原理と分類

水力発電は、水が高いところから低いところに流れ落ちる性質を利用し、水の流れ落ちるエネルギーを水車によって機械エネルギーに変換し、発電機によって電気エネルギーを作るものである。

すなわち、高い位置にある河川等の水を低い位置にある水車に導き、この高低差（落差）を利用して水車で発電機を回し、電気を発生させる（図2-1-1参照）。

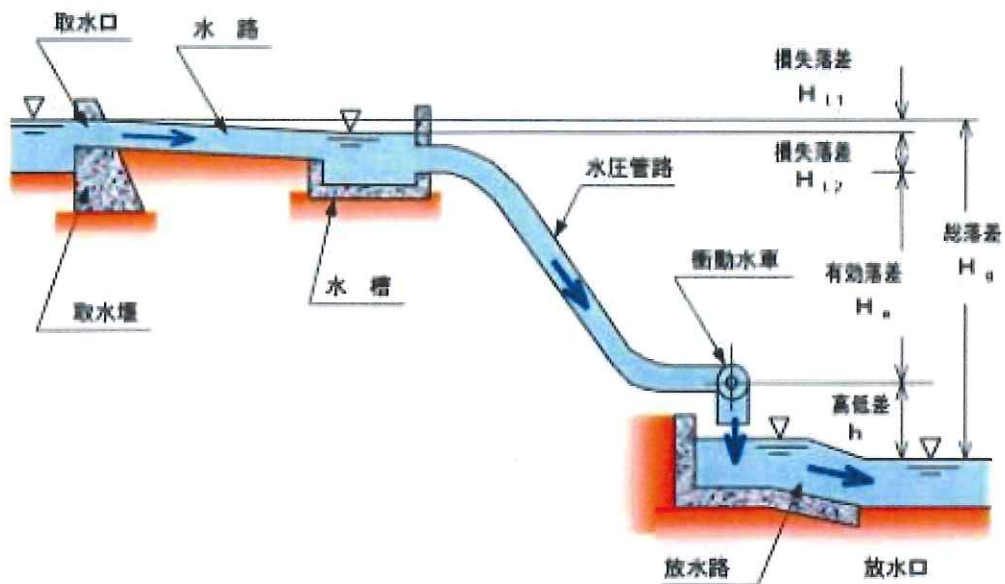


図2-1-1 水力発電の原理

出典) ハイドロバレー計画ガイドブック 平成17年3月 P3-1

水力発電は、落差を得る方法（発電形式）、並びに水の利用方法（発電方式）によって分類される。

(1) 発電形式による分類（落差を得る方法）

- ア. 水路式：主に無圧導水路及び水圧管路により落差を得る形式
- イ. ダム・水路式：ダムの貯水位、圧力導水路及び水圧管路により落差を得る形式
- ウ. ダム式：ダムの貯水位及び水圧管路により落差を得る形式

(2) 発電方式による分類（水の利用方法）

- ア. 流れ込み式：河川水を調整せずに発電する方式。
- イ. 調整池式：日あるいは週単位の調整を行う方式。
- ウ. 貯水池式：季あるいは年単位の調整を行う方式。
- エ. 揚水式：上池と下池を結ぶ発電所によって、電力の需給状況に即応して発電、又は揚水を行う方式。
上池の流域面積が非常に狭く、発電運転は下池から揚水して行う純揚水と、流域面積が大きく年間流量の多い貯水池を上池に持ち、上池の自然流量と下池から揚水した流量で発電を行う混合揚水とがある。

本テキストは、これらのうち、今後も多く開発されるであろう流れ込み式発電を主な対象としている。

2.2 わが国の水力の歴史

(1) 明治～第二次世界大戦

明治維新以降におけるわが国の産業動力は水車・人力・汽力であったが、明治中期になると、主要都市で電灯需要が急速に増加してきた。当時電灯は、すべて石炭を燃料とした汽力発電であったが、内陸部では、交通が不便で石炭輸送に費用がかかったため、水力電源地帯に近い地方都市から殖産興業用として水力発電が始まった。

わが国における水力発電は、紡績業自家発電用として1888年（明治21年）三居

沢発電所（宮城県：5 kW）が始まりとされており、1890年（明治23年）には鉱山業として足尾銅山間藤発電所（栃木県）が開発され、その後、殖産興業用として出力が数百kW程度の小規模な水力発電所が日本各地で開発された。一般電気事業用としては、1891年（明治24年）に京都市が琵琶湖疏水を利用した蹴上発電所（160 kW）が始まりとされている。

日清戦争（1894年～1895年）・日露戦争（1904年～1905年）を経て、日本の工業化が促進され、工場動力も蒸気力から電力へと転換される動力革命が進展した。また、一般家庭へ電灯が普及し、電気市場は拡大した。1899年（明治32年）広発電所（広島県：750kW）、沼上発電所（福島県300 kW）において高電圧で長距離送電が始まると、地方都市への電灯供給を目的として多数の電気事業者が誕生した。さらに、1907年（明治40年）駒橋発電所（山梨県：15,000 kW）の完成を契機として、送電圧が高められ、送電距離が延長されて、遠隔地大型水力開発が本格化した。この結果、出力規模が数万kWの発電所開発が行われるようになり、1911年（明治44年）には火主水従から水主火従に電気事業が転換した。国では技術的に信頼できる水量、落差に基づいて水力開発の促進を図るため、水路式で湧水量（年間355日流量）を標準とした第1次発電水力調査（1910年～1913年）を全国規模で実施した。これによりわが国の包蔵水力の概況が初めて明らかにされた。

第一次世界大戦（1914年～1918年）期に産業用電力の需要が増大し、長距離送電による大規模水力の開発が可能となったことから、日本各地で水力開発が活発に行われた。1914年（大正3年）に竣工した猪苗代第一発電所（福島県：37,500 kW）は、日本初の送電圧115kVで東京まで225.3kmの送電に成功した。

発電方式も従来は水路式であったが、ダム式やダム水路式が採用されるようになり、また、使用水量も湧水量程度から平水量（年間180日流量）程度まで拡大される傾向となってきた。1918年（大正7年）野花南発電所（北海道：5,100 kW）は、日本で最初のダム式の水力発電所であり、1924年（大正13年）には大井発電所（木曾川：ダム水路式42,900 kW）が、わが国初のダム高53mを有する本格的ダム式水力発電所として建設された。これらを契機として1920年代中期（大正末期）から出力規模数万kWの大容量水力開発が全国で行われた。国でもこの時期に水路式で

平水量を標準とした第2次発電水力調査（1917年～1921年）を実施した。

昭和初期から第二次世界大戦前までは使用水量を平水量程度とする開発が継続され、各地で水路式に加え、ダム式・ダム水路式による発電所が相次いで建設された。1934年（昭和9年）には日本初の揚水式発電として池尻川発電所（関川：2,340 kW）が運転開始した。また、水力技術の進展に伴い、1931年（昭和6年）に当時世界最高の落差621.1mを有する小口川第三発電所（富山県：14,000 kW）が運転開始した。

一方、1920年代初期に、大都市への人口集中や産業活動の進展に伴って、上水道や工業用水など新しい水需要が発生し、利水用の高ダムが建設されるようになってきた。また河川流域の土地の高度化利用によりダムによる洪水防御の考えが登場し、利水と治水の整合性を図る河水統制の思想が提唱され始めた。そして高ダムを利用して、河川を治水・利水両面から総合的に開発しようとする河水統制事業に基づく地点調査および計画検討が第3次発電水力調査（1937年～1941年）として実施された。第二次世界大戦中は国が電力を管理することとなり、各地で数万kW規模の発電所が多数開発された。

(2) 第二次世界大戦～オイルショック

戦後の急増する電力需要に対処するには、電源開発の量的確保が必要であり、国家的見地に基づく大規模電源開発の早期着工が要望された。電気事業体制は1951年（昭和26年）に戦時中の国家管理から9電力会社に再編成され、また1952年（昭和27年）に「すみやかに電源開発及び送電変電施設の整備を行うことにより、電気の供給を増加し、もってわが国産業の振興及び発展に寄与する」（第1条）ことを目的として、電源開発促進法が公布された。そして定められた地点の電源開発をすみやかに行うため、同年9月に電源開発株式会社が設立され、豊富で貴重な水力資源を有効に活用するため、貯水池式あるいは調整池式発電所の開発が進められた。

1950年代半ばから1960年代にかけて、神武景気や岩戸景気により、わが国資本主義の高度成長が本格的に開始され、電力需要も急増した。これに対応するため

建設期間が水力よりは短期で、規模によるコストメリットを有する高能率大容量火力発電所の開発が促進されることになった。火力発電所は設備の特性上、負荷の変動に対する即応性に乏しく、また、設備が大容量化するにしたがって万一の事故の場合、送電系統への影響が甚大になる。一方、水力開発における貯水池は、電気エネルギーを水のかたちで備蓄できる特性がある。そこで水力はピーク供給力としての新しい役割をになうことになり、大容量火力と見合った大規模貯水池式発電所の開発が促進されることになった。この時期は設計、施工技術の発達によって、高さ100m以上のコンクリート式ダムやロックフィル式ダムによる大規模貯水池・調整池式およびそれに連なる大型の流込み式発電の開発が全国各地で展開された。この時期、国では貯水池・調整池を計画し、水系一貫開発による河水の有効利用、河川総合開発事業への参画を図ること等を基本方針とした第4次発電水力調査（1956年～1959年）を実施した。

1960年代はベース供給力としての大容量火力発電の急速な進展に対し、ピーク供給大規模貯水池式発電に加えて揚水式発電の開発が要請されるようになった。

日本で最初の揚水式発電所は、1934年（昭和9年）に運転開始した池尻川発電所（出力2,300kW）であるが、当時は豊水期の余剰水力を利用して揚水し、渇水期にその貯えられた水を利用して発電するという河水の季節調整を目的としたものであり、その当時は開発地点も少なかった。1960年代に入り、上述した揚水発電の開発要請をうけ、上部貯水池（上池）の河水の流量も多く、一般水力としても発電可能な混合揚水式発電所が多く建設された。一方、高能率大容量火力発電所の開発が急ピッチで進められた結果、1962年（昭和37年）には火力設備が水力設備を上回り、1911年（明治44年）から続いていた水主火従は火主水従に転換された。

一方、1968年（昭和43年）を境にして、電力需要量の年間ピークが冬から夏に移行した。これは家庭用クーラー、ビルなどの冷房空調設備の急速な普及により冷房需要量が急増したことが要因となっている。この傾向は年をおって顕著になるとともに、夏期の電力需要量ピークは、ますます尖鋭化していった。電力需要量の急増に対応するため大型火力発電所の建設が進む中で、尖鋭化するピークに対し、新たに大規模な揚水式発電所の開発が要請された。

電力需要量のピーク対応供給力として、1960年代には混合式揚水発電所の開発が進められたが、1970年代から経済的な地点が少なくなってきた。その結果、上池への河水流入が全くないか、極めて少ない流入量でも発電可能な純揚水式発電所が建設されるようになった。すなわち、水圧鉄管、水車ポンプの技術や経済性の向上により、落差が500m以上の超高落差の純揚水式発電所の開発が進められた。

(3) オイルショック～現在

1973年(昭和48年)および1979年(昭和54年)の2度にわたる石油危機により、日本政府は石油依存度の高い電力供給構造を改革するため、1980年(昭和55年)から「石油代替エネルギーの開発および導入の促進に関する法律」を施行した。

一般水力の開発は停滞していたが、この法律の中で水力は非枯渇性の国産エネルギーとして位置づけられた。そして石油代替エネルギーとしての観点から発電電力量(kWh)の開発に重点をおき、自然・社会環境との調和に配慮した第5次発電水力調査(1980年～1986年)が実施された。この結果、大規模な開発地点が少なく、数千～数万kWの中小規模の開発が中心となり、スケールメリットが得られにくくなることから、国も交付金制度の確立、中小水力用の技術開発など各種の開発促進体制の整備を開始した。

一方、脱石油化の中で石油代替エネルギーとして原子力発電や天然ガス発電の増強が進められた。そして電力需要量が尖鋭化する夏期のピークに対応するため、1,000,000kW級の大規模な純揚水式発電所の開発が1970年代から引き続き進められることになった。

近年では、地球温暖化防止対策としてクリーンな再生可能エネルギーとして位置づけられ、2003年(平成15年)に施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法)により、出力1,000kW以下の中小水力発電が新エネルギーに含まれることになり、農業用水・水道用水などを利用した数十～数百kW程度が開発が行われるようになった。また、2012年(平成24年)から再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で買い取る「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(FIT制度)が開始され、水力も30,000kW未満が

対象となっている。

2.3 日本の包蔵水力

(1) 理論包蔵水力

地表に降った雨や雪が、蒸発、浸透などで失われることなくすべて海に注ぐものとしたとき、海面に対して持っている位置エネルギーの総和を「理論包蔵水力」といい、我が国の理論包蔵水力は、7,176億kWhと推計されている（出典：中小水力発電ガイドブック（新訂5版）新エネルギー財団 水力地熱本部 P24）。

(2) 包蔵水力

理論包蔵水力のうち技術的・経済的に開発可能なものが、一般にいわゆる「包蔵水力」である。具体的な個別地点を積み上げて求めたものであることから、その値は技術の進歩、経済尺度の変化に応じて変動するものである。

平成28年度現在の我が国の包蔵水力を、経済産業省 資源エネルギー庁のホームページから引用して、表2-3-1 に示すが、現時点での包蔵水力（1,356億kWh）は理論包蔵水力（7,176億kWh）の約19%に相当する。

表2-3-1 全国の包蔵水力

出典）資源エネルギー庁 HPを参考とし加筆

区 分		地点数	最大出力(kW)	年間可能発電電力量 (MWh)	平均出力 (kW)	設備利用率
既開発	一般水力	1,967	22,328,239	92,808,438	11,351	47%
	混合揚水	17	5,624,690	2,378,974		
工事中	一般水力	54(3)	367,415	1,146,209		
	混合揚水	-4	-144,955	-537,289		
未開発	一般水力	2,700	12,051,130	45,501,366	4,463	43%
		-254	-990,222	-6,739,917		
	混合揚水	18	6,916,000	1,651,500		
		-10	-97,550	-647,132		
一般水力計		4,718	33,611,607	132,178,807		
		-258				
混合揚水計		35	12,443,140	3,383,342		
		-10				
合計		-	-	135,562,149	-	-

1. 「既開発」は平成27年3月31日現在において運転中のものであり（一部が工事中である発電所に係る運転未開始分の出力、電力量については「工事中」の該当欄に各々計上した。）、一般電気事業、卸電気事業及び卸供給事業用の全発電所

- 並びに最大出力100kW以上の自家用発電所について集計した。
2. 「工事中」は第4回電源開発分科会（平成14年7月12日）までに決定されたもの、及び電気事業法に基づき、平成27年3月31日までに工事計画事前届出が受理されたものについて集計した。
 3. 「混合揚水」の年間可能発電電力量は自分流発電電力量のみを集計した。
 4. 「工事中」及び「未開発」の計画に伴う「既開発」への影響については、各々の数値の下段に外数として示した。なお、地点数については廃止となる発電所数を示した。
 5. 「工事中」のうち、既開発地点の増設、改造中地点数を（）内数で示した。

出典) http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/database/energy_japan002/

2.4 開発目標

(出典：長期エネルギー需給見通し 平成27年7月 経済産業省)

わが国エネルギー政策の枠組みとなる長期エネルギー需給見通しは、経済産業大臣の諮問機関である総合資源エネルギー調査会によって策定され、これまで数次にわたって改訂されてきた。平成27年（2015年）7月には、エネルギー情勢の変化、地球温暖化対策や新エネルギーの導入状況等を踏まえ、中長期的な視点から、2030年のエネルギー需給見通しが公表された。

これによれば、まず、経済成長や電化率の向上等による電力需要の増加を見込む中、徹底した省エネルギー（節電）の推進を行い、2030年度時点の電力需要を2013年度とほぼ同レベルまで抑えることを見込んでいる。

次に、重要な低炭素の国産エネルギー源である再生可能エネルギーについては、2013年から3年程度、導入を最大限加速していき、その後も積極的に推進していくこととしており、我が国の自然条件等を踏まえつつ、各電源の個性に応じた再生可能エネルギーの最大限の導入を行う観点から、自然条件によらず安定的な運用が可能な地熱・水力・バイオマスにより原子力を置き換えるものとしている（図2-4-1参照）。

これによって、東日本大震災後の原子力発電所の運転停止によって約6%にまで大きく低下した我が国のエネルギー自給率は24%程度に改善し、エネルギー起源CO₂排出量は、2013年度総排出量比約22%減を目指している。

以上を踏まえ、「再生可能エネルギー各電源の導入の動向について 平成27年3月 資源エネルギー庁」によれば、以下のとおりとしている。

3. 概略計画と事業性評価

3. 概略計画と事業性評価

3.1 水力発電計画の策定手順

水力発電計画は、取水ダム、取水設備、導水路、水槽、水圧管路、発電所及び発電機器、放水路、放水口といった主要設備の設計はもとより、それらを実際に施工するのに必要な仮設備も慎重に検討し、工事費節減に努めるとともに工事全体として最も合理的なものとする必要がある。

実際に発電計画の検討を進める場合、作業開始前にあらゆる資料、情報を収集しておくということは作業能率上得策ではないので、通常は、実現性の見通しに応じて徐々に精度を高めた計画策定作業を重ねていく方法がとられている（表 3-1-1 参照）。

ここでは、「可能性調査」と「概略設計」の一部に係る「机上検討」として、以下にそのポイントを述べる。

表 3-1-1 水力発電計画の策定手順

設計段階	地形図	検討内容
可能性調査	1/50,000～1/25,000	<ul style="list-style-type: none">多数の発電計画を策定し、有望地点を抽出する。（経済性の相対比較）。概略の発電諸元、概略の水路ルートを検討する。
概略設計	1/5,000程度	<ul style="list-style-type: none">発電諸元及び水路ルートを検討する。測量範囲を設定する。地質調査範囲を設定する。
基本設計	1/500程度 (実測図)	<ul style="list-style-type: none">主要構造物の設計概略設計の妥当性の検証関係者との合意形成関係機関との事前協議
実施設計	1/500～1/200程度 (実測図)	<ul style="list-style-type: none">構造物・機器類の設計官庁手続き工事の発注電気関係設備の発注
詳細設計 (細部設計)		<ul style="list-style-type: none">電気関係の機器が決定したことで追加して必要となる細部の設計 等

3.2 机上検討

(1) 水路ルートのご検討

1) ルート選定

- ① 水路ルートとは、取水設備、導水路、水圧管路、発電所及び放水路のルートを総称したものをいう（図3-2-1 参照）。

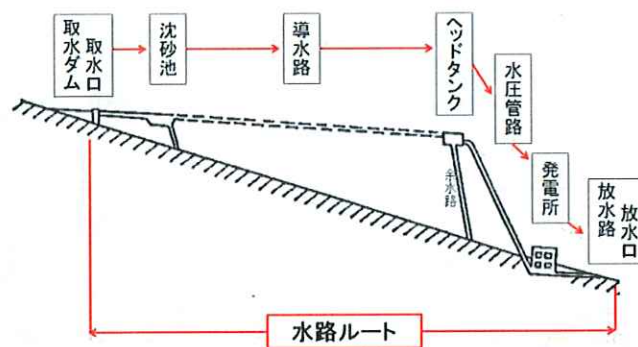


図 3-2-1 水路ルート

- ② 流れ込み式（水路式）発電計画では、取水地点における流域面積を大きく損ねない範囲で、できるだけ短い水路で高落差が得られるルートを選定する。図 3-2-2 に水路ルートの比較案を例示する。

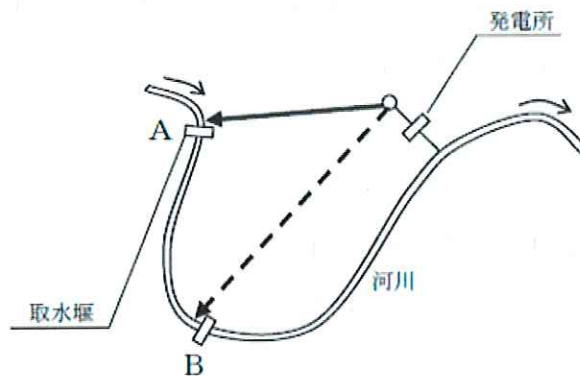


図3-2-2 水路ルートの比較検討

- ③ 農業用水を既設水路落差工部等で利用する発電計画では、いくつかの連続した落差工の区間に対して、比較的短い水路で大きな落差が得られる地点に発

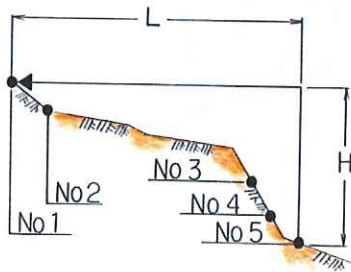
電設備を設置するのが得策である。

- ④ 具体的には、計画初期段階では水路効率（ L/H ）、及び CA/L 等を判断指標となる。

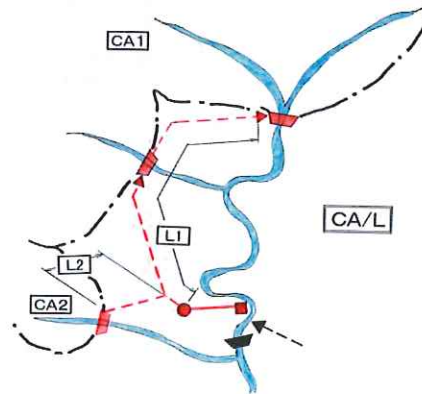
ここに、

L/H = 水路延長/落差: 極力小さな地点が有利 (水路効率の良い地点)

CA/L = 流域面積/水路延長: 極力大きな地点が有利



L/H



CA/L

- ⑤ 本川以外の溪流取水など、他流域から取水の可否は、 L/H 、 CA/L 等の指標の他、増分工事費と増分発電電力量の比(kWh当たり増分建設単価)により判断する。

【 参考：水路ルートของシンボル 】

発電計画における水路ルートは朱書きとし、通常、下記のシンボルを使用する。



2) 取水する河川の把握

① 河川の分類

日本の河川は、河川法により一級河川、二級河川、準用河川及び普通河川に分類されている。これらは治水の難度や整備の重要度等に応じて分類されたものであり、発電計画に際しては、取水する河川の分類、及びそれに応じた管理者と処分権者について確認しておく必要がある（表 3-2-2 参照）。

なお、農業用水路を利用した計画においても、当該水路に係る河川を把握しておくことが望ましい。

- 一級河川 一級水系内の河川のうち、国土交通省が管理する河川。河川法が適用される。
- 二級河川 二級水系内の河川のうち、都道府県が管理する河川。河川法が適用される。
- 準用河川 一級河川や二級河川に指定された区間以外で、市町村が管理する河川。河川法が準用されている。
- 普通河川 上記以外の区間のうち、市町村が必要と認めれば条例により管理される河川。河川法の適用を受けない。

また、分類された河川の管理統計値を表3-2-3 に示す。

表3-2-2 水利使用に関する処分権者一覧

出典) 水利権実務一問一答 大成出版社

区分		特定水利使用			その他
		処分権者	認可等	協議等	処分権者
一級河川	直轄区間	国土交通大臣 (法9①)	-	関係行政機関の長 協議 (法35①)	整備局長 (法98) (令53①)
	指定区間	整備局長 (法98) (令53①) (則37の2) (令53②)			関係都道府県知事 意見聴取 (法36①)
二級河川		都道府県知事 (法10①)	国土交通大臣 同意付協議 (法79②四) (令47)	(知事が) 市町村長意見聴取 (法36②) (令20)	都道府県知事 (法10①)
		指定都市長 (法10②)	整備局長 同意付協議 (法98) (令53③三) (則37の2)	(指定都市の長が) 関係都道府県知事 および関係市町村 長意見聴取 (令20の3)	指定都市の長 (法10②)
準用河川		市長村長 (法100)	- (令56)	- (令56)	市長村長 (法100)

表3-2-3 河川管理統計（平成27年4月30日現在）

出典）国土交通省 河川関係統計

http://www.mlit.go.jp/statistics/details/river_list.html

河川の分類	水系数	河川数	河川延長 (km)	備考
一級河川 (国交大臣指定)	109	14,060	88,073.4 指定区間 77,491.6 指定区間外 10,581.8	
二級河川 (都道府県知事指定)	2,711	7,079	35,858.9	
準用河川 (市町村長指定)		14,323	20,099.0	関係市町村数 1,113

平成27年4月30日現在

② 取水地点の流域面積

取水地点の流域面積は、設計洪水流量の算定や既存の測水所流量を計画地点の流量に流域比で換算するためなどに用いる重要な資料であり、計画初期段階から把握しておかなければならない。

流域面積は、国土地理院の1/50,000、又は1/25,000地形図を用い、流域の境界（分水嶺、分水界）を明らかにした上で、その面積をプランメーターで計測する。



1/25,000地形図とプランメーター

注) プランメータ (Planimeter) とは、地図など平面上の図形の輪郭をなぞることにより、その面積を計測する装置である。面積計ともいう。

流域面積の計測は、プランメーターを用いることが原則であるが、計画初期段階で複数の地点を比較するような場合には、参考値として国土地理院が公表しているウェブ地図の利用も考えられる（図3-2-3 参照）。

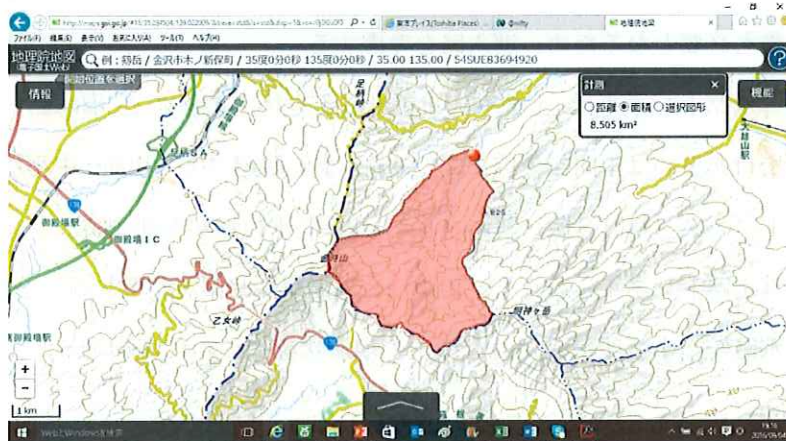


図 3-2-3 地理院地図を利用した流域面積の把握の例

地理院地図ウェブサイト；<http://maps.gsi.go.jp/help/index.html>

農業用水路など既設水路を利用した発電計画では、当該水路の頭首工など取水設備において、通常は流域面積が明確になっているので、これを把握すればよい。

③ 河川的设计洪水流量

設計で考える洪水流量の確率年は、河川の重要度に応じて、以下のとおり、設定されている（表3-2-4 参照）。

表3-2-4 河川の重要度と計画の規模

河川の重要度	計画の規模（計画降雨の降雨量の超過確率年）*
A 級	200以上
B 級	100～200
C 級	50～100
D 級	10～ 50
E 級	10以下

*）年超過確率の逆数

出典）河川砂防技術基準（案）・同解説 計画編 P12

3) 地点選定

- ① 取水ダム、発電所などを設置する場合は、河道の流下断面を確保しなければならない（改定 解説・河川管理施設等構造令 第37条 P188）。
- ② 発電所へは、水車・発電機等重量物の運搬が、施工時のみならず発電運転開始後も必要となるため、進入路を考慮する。
- ③ 導水路トンネルは、土被り30m程度以上を極力確保する。導水路トンネルは、坑口あるいは中間作業坑までのアクセスに留意する（出典：中小水力発電ガイドブック（新訂5版）新エネルギー財団 水力地熱本部 P36）。
- ④ 導水路トンネルに替えて、山腹沿いに開渠や暗渠を設置することも考慮する。
- ⑤ 水路ルート全般にわたり、地山の崩壊状況について留意する。

4) 減水区間

- ① 水力発電を設置することにより図 3-2-4 に示すように、取水地点下流において河川に減水区間が生じる場合がある。このような場合は、河川環境保全の目的で減水区間の河川流量を確保するために、取水地点より下流へ河川維持流量分を放流する必要がある。
- ② 河川環境保全のひとつとして、取水ダムには魚道の設置が必要となる場合がある。
- ③ かんがい用水等の取水が行われている場合は、これら必要水量の放流も必要となる。
- ④ これらの放流量、すなわち河川維持流量は発電に利用できないので、流量資料からあらかじめ差引いておく。

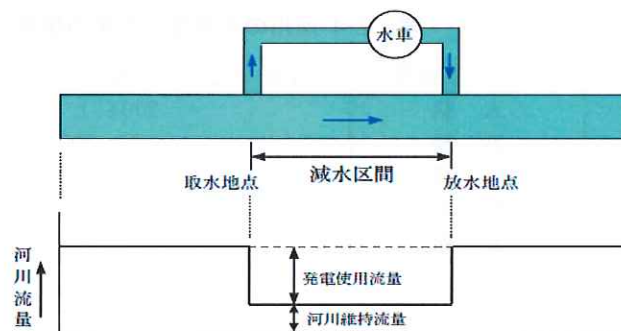


図 3-2-4 河川維持流量と発電使用流量の関係
出典) ハイドロバレー計画ガイドブック P5-5

5) 河川維持流量

前述のとおり、取水地点と発電所の放水口までの減水区間には、通常、河川維持流量を放流する。

河川維持流量は、「正常流量検討の手引き(案)平成19年9月 国土交通省河川局 河川環境課」において、必要流量の検討項目として①動植物の生息地又は生育地の状況、②漁業、③景観、④流水の清潔の保持、⑤舟運、⑥塩害の防止、⑦河口の閉塞の防止、⑧河川管理施設の保護、⑨地下水位の維持の9項目を挙げている。

また、「発電ガイドラインについて 平成15年7月18日 国土交通省河川局」では、発電取水口等における集水面積(流域面積)が200km²以上の既設発電所の水利権の許可更新時における河川維持流量として、流域面積100km²当たり概ね0.1～0.3m³/s程度とするものとしているが、近年開発された流れ込み式発電所では、計画地点の環境条件等を踏まえ、発電ガイドラインでの値よりも多い100km²当たり0.5～0.6 m³/s程度を河川維持流量とする例もある。

したがって、計画の実施に際しては、地元関係者や河川管理者との十分な協議を行って、河川維持流量を決定する必要がある。

6) 自然及び社会環境

① 自然環境保全に係る法規制等(自然公園法等)に留意する。

例えば、自然公園法で定められている特別保護地区(及び第1～3種特別地域)や鳥獣保護区など貴重な動植物の認められる地域では、水力開発が困難となる場合もあるため、計画初期段階にあってもこれらを把握しておくことが望ましい。

(2) 流量資料（中小水力発電ガイドブックP-38, P-55）

1) 流量資料の概要

出力規模の大小にかかわらず、水力発電計画にとって流量資料は、落差と同様、極めて重要である。発電計画の精度、すなわち成果の信頼性は、流量資料の精度にかかっているといても過言ではない。以下に流量資料に係る基本事項を記す。

- ① 流量資料があっても、かなり離れたほかの河川流域のものであったり、短期間のものであったり、欠測の日が入っていたりするものでは、確実な発電計画は望めない。
- ② 流量資料は、原則として「発電水力流量測定規則 最終改正：平成12年10月31日通商産業省令第310号」に基づき測定することになっており、具体的測定方法は「発電水力流量調査の手引き（2001年版）一般社団法人 電力土木技術協会」に詳述されている。
- ③ 農業用水を利用する場合には、農業用水に従属した発電が基本となる。すなわち、農業用水として取水している実際の流量が発電の対象となる。

2) 流量資料の留意点

- ① 原則として、取水口地点直近の至近10ヶ年以上の実測流量（日平均流量）であること。
- ② 取水口地点直近に測水所の無い場合は、近傍測水所から流域比により算定する。この換算については流域比が0.5～1.5の範囲を原則とするよう指導されている（出典：発電水力流量調査の手引き（2001年版） P45）。
- ③ 流域比が上記の範囲外となる場合は、あらためて取水口付近に測水所を新設すること。
- ④ 取水口付近への測水所の新設が困難な場合は、取水口地点流域面積の2/3～2倍の範囲に測水所を新設すること。
- ⑤ 新設測水所の観測期間が10ヶ年に満たない場合は、少なくとも1～2年程度の流量観測を行い、近傍測水所との相関解析により相関があると認められた場合に、回帰式により不足期間を補完する。

- ⑥ 流量資料は上記を原則とするが、図上計画の段階では、流域比を0.5～1.5の範囲内とすることができない場合がある。このような場合は、適宜近くの測水所の記録を流域面積換算するなりして発電計画を概略策定し、開発可能と判断した時点で、当該取水サイトで1年～2年測水を行い、計画に使用した既存の流量資料との照合を行うという手順を踏むことが多い(中小水力発電ガイドブック(新訂5版)新エネルギー財団 水力地熱本部 P38)。

$$[\text{取水地点流量}] = [\text{測水所流量データ}] \times [\text{流域比}C]$$

$$[\text{流域比}C] = [\text{計画地点の流域面積}] / [\text{測水所地点の流域面積}]$$

注) 流量調査の方法については、「3.4 流量調査の実際」の項に記す。

3) 流況曲線図

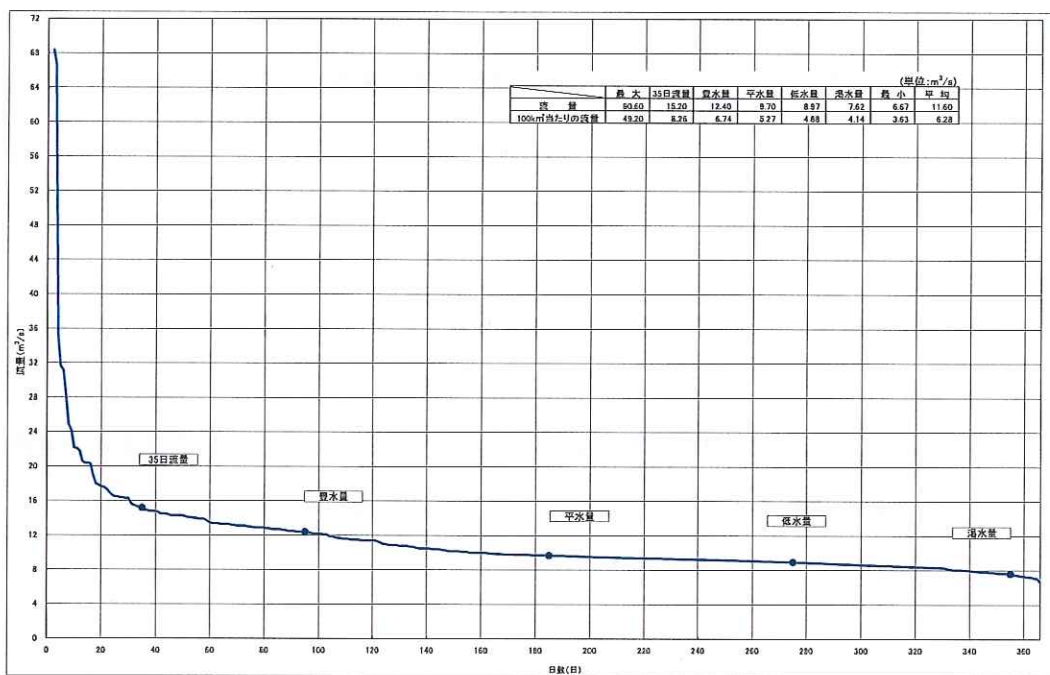
流況曲線図とは、縦軸に流量、横軸に日数を取り、1年間の日流量データを順番に並び替え図化したものである(図3-2-5 参照)。

ここに、流況曲線図に記載の用語については、後述する「3.4 流量調査の実際」の項記載の“表 3-4-1 流量測定に関わる用語の定義”を参照されたい。

図3-2-5 流況曲線図の例

指定番号	
平	年

川水系 川 測水所 流域面積 km² 測定義務者



3.3 現地踏査

(1) 現地踏査の目的

現地踏査は、計画段階、調査・設計段階、及び施工段階など各ステップでの調査対象や目的・内容・精度に応じた方法が要求される。そのねらいは次のとおりである。

1) 計画段階

計画初期の計画段階では、机上の検討を補完するためにも現地調査を実施し、計画の精度向上を図ることが必要である。現地調査を実施するに当たっては、以下に示す項目等に着目し、その調査結果を計画の精査にフィードバックさせることが必要である。

- ① 既存道路の状況や土地所有者区分を把握する。
- ② 既設電力系統の状況を把握する（既設系統の有無、電圧・容量・発電所からの距離等）。
- ③ 河川水の利用状況を把握する（既得水利権、河川を利用したマス釣り場やキャンプ場などレクリエーション施設等の有無）。
- ④ 河川の取水地点を挟む上下流の転石状況などから、出水時の河道状況を推測する。
- ⑤ 取水地点の河床及び左右岩の地質状況（例えば岩盤露頭など）を確認する。
- ⑥ 取水地点上流近傍の既設の橋梁の有無を確認する。
- ⑦ 取水地点上下流部の既設の取水設備の有無を確認する。
- ⑧ 水質によって機器の腐蝕や構造物の劣化が懸念されるため、河川水のpH（水素イオン濃度）を把握する。
- ⑨ 法規制を把握する（河川法、自然公園法、自然環境保全法、国有林野法、森林法、砂防法他）。
- ⑩ その他の開発計画を把握する（宅地開発、道路計画、観光開発等の有無）。
- ⑪ 入手した地形図や地質図などから、計画した水路ルート及びその近傍の地質状況を推定する。また、既設の切土のり面の状況（掘削勾配、変状の有無）は今後の有用な情報となる。

なお、上下水道、工場内水利用の発電方式では、既施設内での発電計画となる場合が多く、これら現地調査項目の全てが必ずしも必要にはならない。

2) 調査・設計段階

調査・設計段階では、計画地点を含む広範囲の地形・地質・土質・水理・災害現象などを巨視的に観察し、既存情報の確認や新たな現地情報を収集する。また、現地観察をもとに完成後のイメージを構築し、とりわけ土工に対する将来予測などを総合的に判断して、(a)土工上の問題点、(b)土工地点の条件の良否、(c)今後の調査や施工計画立案に対する所見などを得る（図 3-3-1 参照）。

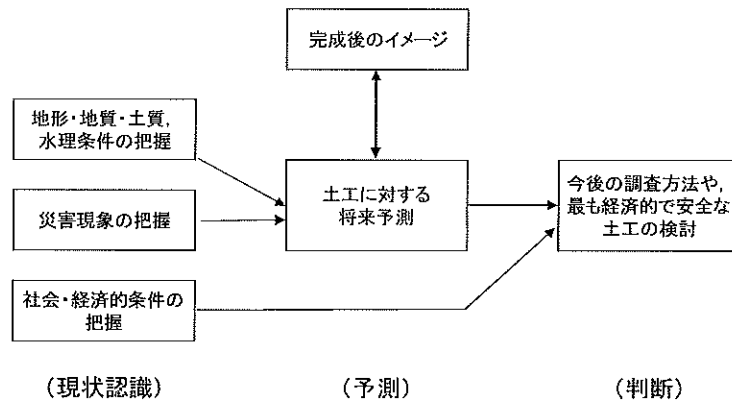


図 3-3-1 現地踏査の目的

出典) 土木技術者のための現地踏査 鹿島出版会 P2

3) 施工段階

切土や盛土など土工作业が進むにつれ、設計時の想定と現場の実態が一致しているかどうかを常に確認する。特に、地すべりや斜面崩落の予想される箇所は入念に確認・点検して事故防止を図る。また、施工中の切土のり面や擁壁などの変状、湧水の変化などに注意する。

施工中に地すべりや斜面崩落が起きたら、直ちに踏査して発生機構を推定し発生したメカニズムを推定し、変位状況の把握、ボーリング調査などによる地下構造や地下水位の確認などを行い、その結果にもとづいて恒久対策を検討する。

以上のとおり、現地踏査は計画初期段階（可能性調査）から施工段階まで連続性を保ちながら継続して行われる極めて重要な作業であるが、ここでは、計画初期段階で行われる現地踏査について、その留意事項を記載する。

(2) 計画地点の地形及び地質確認

1) 地形及び地質情報

地形情報は、国土地理院発行の1/25,000又は1/50,000地形図、地質情報は地質調査総合センター発行の1/25,000 地質図、又は各都道府県別にまとめている1/50,000 地質図の利用が挙げられる。

2) 地形や地質分布と植生の関係

地形や地質の分布と植生の間には、ある程度の相関が認められることが知られている。例えば、「崖錐堆積物の厚いところにはスギ林が発達し、やせて乾燥したところには松が多い。」、「含水比が高い未固結堆積物が厚いところに竹林が発達する。」などと言われている。また、スギやヒノキは、一般的に根の深さは地上からの木の高さの1/5～1/7に達するといわれており、これを目安に表層（表土厚）を推定することもある（表 3-3-1 参照）。

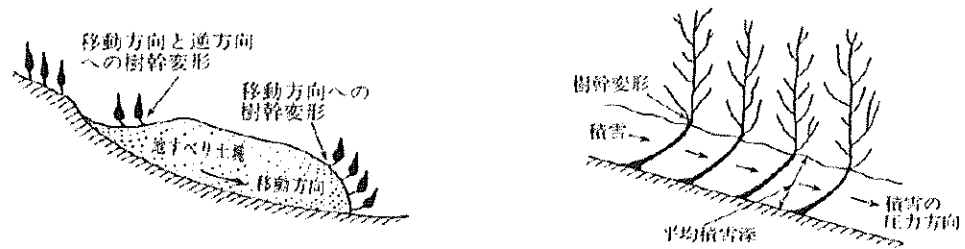
表 3-3-1 関東地方山岳地の土被りと代表的な樹木

土被り	代表的な樹木
薄い	アカマツ, シャクナゲ, ツツジ
中間	クヌギ, ナラ, クリ
厚い	スギ, ヒノキ

出典) これだけは知っておきたい斜面防災100のポイント
奥園誠之 著 鹿島出版会

その他として、根曲りや木の立ち枯れも重要である。

根曲りは積雪の圧力による場合と地層が移動した場合に見られる。両者の見分け方は難しいが注意を要する現象である。



地すべり土塊上の樹幹変形

積雪の圧力による樹幹変形

連続して見られる木の立ち枯れは、地すべり箇所を疑ってみる必要がある。地面に亀裂（テンションクラック）があると、木の根の発達が不十分となり立ち枯れを起こすことがあるからである（図 3-3-2 参照）。

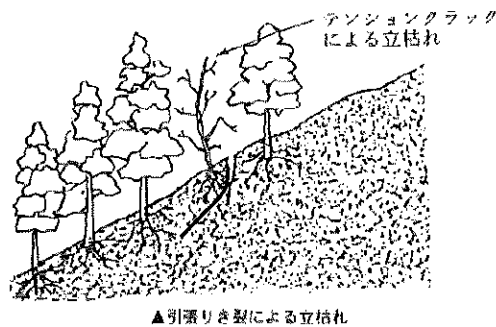


図 3-3-2 引張り亀裂（テンションクラック）による立枯れ

出典) これだけは知っておきたい斜面防災100のポイント 奥園誠之 著 鹿島出版会

以上のような関係が、地形・地質と植生の上に認められている。ただし、植生の生育には広域的な気候や地域特性、湿地などの局所的な地形要素、あるいは人工的な改変による影響があらわれていることがあり、植生がその地点の地質のみに支配されているものではないことに留意しなければならない。

(3) 地質踏査

現地踏査のひとつとして行う地質踏査について、注意すべきポイントについて以下に記す。

1) 事前準備

調査地点の地質踏査を安全かつ効率的に進めるためには、事前の準備が重要である。

- ・ 調査地点が含まれる既往の地質図や文献などをできるだけ読んでおき、大まかな地形・地質の特徴を頭に入れておく。
- ・ 衛星写真や、さらに精度が高い空中写真が入手できれば、写真判読によって地形の特徴を把握しておく。
- ・ $S=1/25,000\sim 1/50,000$ 地形図を使って、現地までのアクセスを確認しておく。
- ・ 調査地点周辺では、一般道路のほか林道や農道、あるいは沢沿いや尾根筋の踏査ルート、 $S=1/5,000$ 程度のスケールの地形図であらかじめ確認しておく。必要に応じて、入山許可を得ておくこと。
- ・ 地質調査用の道具を点検、準備する。・・・岩検ハンマー、たがね、クリノメーター、スケール、高度計、双眼鏡、ルーペ、カメラ、野帳、筆記具、地形図 ($S=1/5000$)、サンプルケース、調査袋、温度計、pH 試薬、ヘルメット、防寒服、懐中電灯など。



岩検ハンマーの例



クリノメーターの例

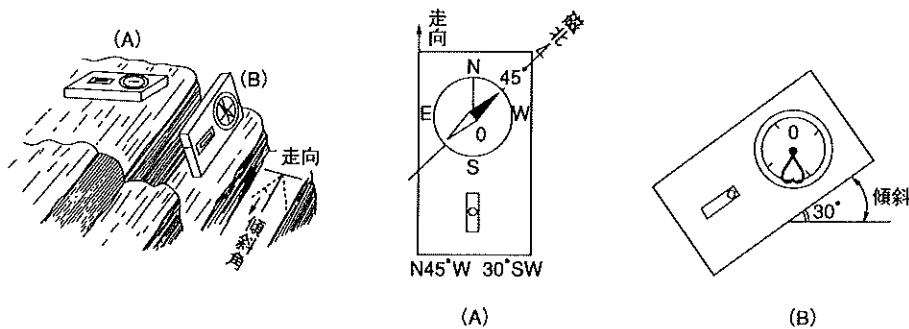


図 3-3-4 クリノメーターの測定方法

2) 地質踏査

- ・ 地質踏査の前に、対岸や尾根の高位標高部から対象地点を概観し、目印や調査順序などをあらかじめ決めておく。
- ・ 地形は、地質構造や地質現象を反映している場合が多い。地すべりの滑落崖地形はその典型である。また、不自然な鞍部地形は、断層の存在が推定されるので注意を要す。
- ・ 斜面地形を調査する場合は、地盤の傾斜や沈下・隆起・段差などの微地形に注目する必要がある。
- ・ 植生は、風化して軟質化した堆積物の層厚を反映する場合がある。岩盤の上盤に存在する軟質層の被りを推定するのに役立つ。
- ・ あらかじめ決めておいた踏査ルート沿いの露頭を探す。露頭が見つからない場合は沢沿いを歩き、河床露頭を調査する。
- ・ 地質踏査で得たデータは、スケッチやルートマップ、あるいはS=1/5,000程度のスケールの地形図に詳細に記録する。これらは、最終的に必要な地質図の重要な基礎資料となる。
- ・ とくに必要な地質情報は、地質・岩質（岩種名・色・硬軟・割れ目の頻度・風化の度合い等）・地質構造・断層及び破碎帯・特徴的な亀裂（異方性をもつ亀裂）の分布と走向傾斜・岩盤分類（表 3-3-2 参照）などで、できるだけ詳しく記録しておく。

- ・ 必要に応じて代表的な岩石のサンプルを採取し、岩相の同定や岩石鑑定に使用する。
- ・ 水力発電に関する地質踏査を行う上で、沢の流水の有無や湧水箇所などの水利地質情報を得ておくことは重要なポイントである。とくに地山の透水性、地下水の分布、透水層や不透水層の分布、水みちの有無等を把握しておく。なお、沢水の流量を目測で測って記録しておけば、役に立つケースがある。
- ・ 地形図に記載されていない構造物や崩壊地、あるいは山道などは、できるだけ詳細にルートマップ等へ書き込んでおく。

3) 安全上の留意点

- ・ 地質踏査の時期は、下草が少ない降雪前の冬季がもっとも適している。
- ・ 天候や道路工事の状況（通行止めの有無など）、あるいは林道沿いの伐採状況に注意する。
- ・ 長袖・長ズボン・帽子などを着用し、直接の皮膚の露出を少なくする。
- ・ 狩猟期間に地質踏査を実施する場合は、目立つ色の服装に心がける。
- ・ 非常事態を想定し、当日の行程・ルートは関係者に周知しておく。さらに緊急連絡先等をあらかじめ決めておく。
- ・ 落石が予想される危険個所ではヘルメットを着用する。斜面に背を向けて休憩しないこと。雪融け時期や降雨後は、とくに注意を払う必要がある。
- ・ 沢沿いを歩くときはすべりやすいので、足元にとくに注意が必要。斜面の上り下りでは、浮石など不安定な足場にはとくに注意を払う必要がある。
- ・ 坑道や竪穴・井戸は酸欠や有毒ガス発生の危険があるので、単独では絶対に入らないこと。
- ・ マムシやハブなどの毒蛇やスズメバチなどには特段の注意を払う。クマが出没する地域では、鈴やラジオを鳴らすなどして警戒する。
- ・ タバコの投げ捨ては絶対に行わない。火の後始末は確実にすること。

表 3-3-2 電力中央研究所式岩盤分類

名 称	特 徴
A	<ul style="list-style-type: none"> ・極めて新鮮なもので造岩鉱物および粒子は風化、変質を受けていない。節理はよく密着し、それらの面にそって風化の跡はみられないもの。 ・ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
B	<ul style="list-style-type: none"> ・岩質堅硬で開口した（たとえ1mmでも）きれつあるいは節理はなく、よく密着している。ただし造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化、変質がみられる。 ・ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
C _H	<ul style="list-style-type: none"> ・造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は比較的堅硬である。 ・一般に褐鉄鉱などに汚染され、節理あるいはきれつ間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目にそって岩塊が剝脱し、剝脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。 ・ハンマーによって打診すればすこし濁った音を出す。
C _M	<ul style="list-style-type: none"> ・造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。 ・節理あるいはきれつ間の粘着力は多少減少しておりハンマーの普通程度の打撃によって、割れ目にそって岩塊が剝脱し、剝脱面には粘土質物質の層が残留することがある。 ・ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。
C _L	<ul style="list-style-type: none"> ・造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており岩質も軟らかくなっている。 ・節理あるいはきれつ間の粘着力は減少しており、ハンマーの軽打によって割れ目にそって岩塊が剝脱し、剝脱面には粘土質物質が残留する。 ・ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	<ul style="list-style-type: none"> ・造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も著しく軟らかい。 ・節理あるいはきれつ間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。 ・剝脱面には粘土物質が残留する。 ・ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。

※引用 改訂新版「建設工事と地盤地質」古今書院（2013年10月）pp.42

3) 湧水

たいていの地すべり発生には地表水や地下水が関与している。既存の地すべり地でみると、高所から流下してきた水が、地すべり塊のところで伏流していたり、その両側又は片側を流下しているケースが多い。すなわち、地下水が湧出している箇所付近は、地すべりの可能性を検討してみる必要がある。

4) 林道の利用計画

山間部の計画では、既設の林道に導水管路や水圧管路を埋設しようとする計画がある。新たに地山を掘削して水路を建設するよりは容易に思えるが、この場合も、

地質的にいくつか留意すべき事項がある。

林道は岩盤でできている場合がある。また、既設の切土のり面には、ガレ場など岩塊が不安定に堆積している箇所がある。既設の林道に水路を埋設する場合には、基準で定められた土被りを確保する深さで掘削することになるが、掘削箇所が岩盤の場合、通常はブレーカー掘削（図 3-3-5 参照）や発破掘削など、強い振動を与える工法を採用することになる。このような場合、頭上の落石防止など安全対策を行ってから掘削施工となり、この安全対策の工事費も考慮しなければならない。

さらに、掘削部に強い振動を与えることで林道自体を壊してしまうこともあり得るので、計画の初期段階でも慎重に検討しておくことが必要である。



図 3-3-5 ブレーカー掘削機



ガレ場

(4) 工事条件

工事のために現地踏査で確認すべき主な事項は、以下のとおりである。

- ① アクセス道路の有無
- ② 既設道路の規格（幅員構成）
- ③ 既設道路トンネル断面（建築限界^{注1}）
- ④ 既設橋梁の規格（建築限界、許容荷重）
- ⑤ 工事用電力事情
- ⑥ 工事用水・飲料水事情
- ⑦ 法規制

- ⑧ 生コン工場の有無
- ⑨ 地下埋設物の有無（水道管等）
- ⑩ 地上障害物の有無（電柱の位置、配電線の高さ等）

注) 建築限界とは

道路において、構造物等により車両や歩行者の交通の安全性・円滑性に支障をきたすことを防ぐため、構造物を配置してはならない一定の幅、一定の高さの範囲をいう。

また、上記“⑤ 工事用電力事情”と重複するが、発電した電力を連系するためにも、既設電力系統の状況を把握しておく必要があることは前述のとおりである。

(5) 自然・社会環境条件

- 1) 自然環境保全に係る法規制等（自然公園法等）に留意する。
- 2) 例えば、自然公園法で定められている特別保護地区（及び第1～3種特別地域）や鳥獣保護区など貴重な動植物の認められる地域では、水力開発が困難となる場合もあるため、計画初期段階にあってもこれらを把握しておくことが望ましい。

3.4 流量調査の実際

(1) 流量調査の目的

水力発電は、河川や湖沼の水がダムや水路等の土木工作物を通り発電所へ流下する際のエネルギーを水車・発電機によって、電氣的エネルギーに転換して取り出すものである。したがって、水力発電計画は、使用水量と落差の相乗積をできるだけ大きく、効率的に生み出すよう調査・検討を進めていくことになる。また、この2要素のうち使用水量については、水力発電計画策定において、発電規模、特に最大使用水量、発電電力量等を定めるために不可欠なものであり、水力発電計画の基本諸元策定に欠くことのできないものである。

また、流量資料の精度は、事業収益計画の精度に直結しており、発電規模の大小にかかわらず極めて重要である。

(2) 流量調査に関する諸法規

水力発電計画においては、前述のとおり河川流量資料が最も重要な基礎資料であり、さらに長期間の継続性を必要とするところから、電気事業法によりその旨を定めている。

電気事業法第101条においては、水力発電所建設の前提となる発電水力調査を国自らがを行い、その開発を推進することを規定している。

また、電気事業法第102条においては、経済産業大臣は、発電水力の開発上必要があると認めるときは、水力発電所を設置している者に対し、その設置している河川の流量を測定し、その結果を報告するように命ずることができるものと定められている。

『測水所の指定、流量測定設備、流速計の検定、測定方法さらに測定結果の報告方法』等については、経済産業省令「発電水力流量測定規則」により規定されている。

また、「規則の解釈」は、『規則に定める技術的要件を満たすべき技術的内容について、この解釈に限定されるものではなく、規則に照らして適切な流量の測定が行われると認められる場合は、規則に適合するものと判断するものである』と新技術、新開発機器の導入等について考慮したものとなっている（平成11年4月1日の改正から導入）。

流量調査に関する諸法規の構成を図 3-4-1 に示す。

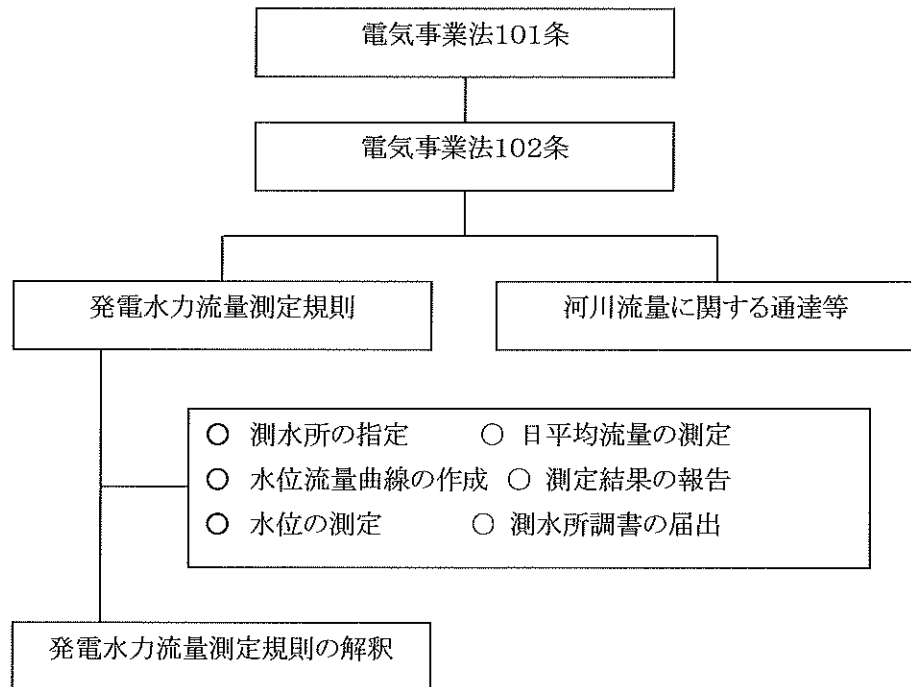


図 3-4-1 流量調査に関わる関係法令の構成

【電気事業法第101条】
 経済産業大臣は、発電水力の開発上必要な調査を行わなければならない

【電気事業法第102条】
 経済産業大臣は発電水力の開発上必要があると認めるときは、水力を原動とする発電用の電気工作物を設置している者に対し、その電気工作物を設置している河川について、経済産業省令で定めるところにより、その流量を測定し、その測定の結果を報告すべきことを命ずることができる。

経済産業省令「発電水力流量測定規則」は、『全11条』の規則と『全8条』の規則の解釈から構成されている。

規則「全11条」は、第1条～第5条及び第13条～第18条（第6条～第12条は平成11年4月1日の改正から削除）からなり、規則の解釈「全8条」は、規則を満たすための技術的要件について規定されている。

(3) 流量調査に関わる用語、及び定義

1) 水位測定

測水所地点の河川水位を測定し、流量算定の基礎とする。

2) 流量算定

測水所の河川横断面を通過する水量を算定するもので、水位流量曲線の整定を目的とする。

なお、流量は、流路において横断面を単位時間中に通過する水の量をいい、流水横断面積と平均流量との相乗積で下式により表される。

$$Q = A \times V_m$$

ただし、 Q ；流量 (m^3/s)

A ；流水横断面積 (m^2)

V_m ；平均流速 (m/s)

3) 用語の定義（「規則の解釈 第一条用語の定義」参照）

流量測定に関わる用語の定義は表 3-4-1 のとおりである。

表 3-4-1 流量測定に関わる用語の定義

用語	内容
水位測定	当該測水所の水位測定横断面における河川水位を測定し、流量算定の基礎とする。基準面は東京湾中等潮位(T.P)を用い、水位は基準面からの高さで測定し、ある時刻の瞬時値で求められる。
流量測定	測水所の河川横断面を通過する水量を測定するものであり、水位流量曲線の整定を目的とする。
流量算定	流量は1秒間に当該測水所の水位測定横断面を通過する水の量で定義される。流量は計測された時刻の値であり、連続した流量値は水位流量曲線式を用いて、水位の連続測定値から求められる。
測水所	流量の測定を行う場所をいう。
測定義務者	「規則」第1条で規定する水力を原動とする発電用の電気工作物を設置している者であって、経済産業大臣が指定する者をいう。
渇水量	1年のうち355日以上発生する流量を言う。
低水量	1年のうち275日以上発生する流量を言う。
平水量	1年のうち185日以上発生する流量を言う。
豊水量	1年のうち95日以上発生する流量を言う。
35日流量	1年のうち35日以上発生する流量を言う。
高水量	1年のうち発生した最高水位および2、3番目の出水時の流量を言う。
既往最大洪水量	現在までに発生した最大の流量を言う。
渇水位	水位流量曲線から求めた渇水量に相当する水位をいう。
低水位	水位流量曲線から求めた低水量に相当する水位をいう。
平水位	水位流量曲線から求めた平水量に相当する水位をいう。
豊水位	水位流量曲線から求めた豊水量に相当する水位をいう。
洪水位	水位流量曲線または洪水の跡から求めた洪水量に相当する水位をいう。

4) 測定記録の単位及び数字取り方

測定の記録に用いる単位及び数字の取り方は、原則として表 3-4-2 のとおりである。

表 3-4-2 記録表の単位及び数字の取り方

項目	単位	数字の取扱
水位	m	小数点以下第3位を四捨五入する。
平均流速	m/s	小数点以下第4位を四捨五入する。
断面積	m ²	小数点以下第3位を四捨五入する。
流量	m ³ /s	有効数字は3桁以上とし、小数点以下第3位に及ぶ場合は、小数点以下第3位を四捨五入する。

(4) 測水所の設置

「測水所」とは、河川の水位や流量を測定する場所、すなわち河川流量の測定を行う場所のことを言い、発電水力の開発上必要と認められる地点において、要求される測定精度の測定が行える場所に設置する。

測水所設置位置における具体的な設置場所の選定に当たっては、下記事項を考慮する。

- ① 流路が直線で流水が急流または緩慢でなく、流量が変化しても流れの状態が著しく変化しない場所。
- ② 流心の移動または河床が岩盤等で変化が少ない場所。
- ③ 流水が整流であり、逆流、溜水または潜流がない場所。
- ④ 支川の合流または派川の分流によって、水位に著しく不規則な変化を生じない場所。
- ⑤ 観測の際、危険が少なく観測しやすいこと。
- ⑥ 洪水時にも観測に支障のない場所。

(5) 河川流量の測定

1) 流量測定の手順

「発電水力流量測定規則」における流量測定は、“毎日の平均の流量”を測定することと規定されているが、直接流量を常時測定することは困難であるため、流量測定方法の概要としては、以下の要領で実施するものである。

- ① 水位計により河川水位のみを1時間毎に測定する。
- ② その地点において、原則的に毎月3回以上の流量測定を行う。
- ③ 流量測定を行った時の「水位」と「流量」を基に「水位流量曲線式(2次方程式)」を整定する。
- ④ 水位計により得られた水位記録を基に、「水位流量曲線式」により毎日の平均流量を算出する。
- ⑤ 表3-4-3 に主要な流量観測手法を示す。

表 3-4-3 主要な流量観測手法の種類
(河川砂防技術基準(調査編)第2章4.2.1項)

分類		名称	直接の測定対象	説明		
流速断面積法	トレーサーによる流速計測法	浮子測法	吃水部平均流速	直線上に一定の区間を定め、浮子はその区間の上流から流し、その下流までの距離を流下時間で除して流速を求める方法である。		
		色素投入法・希釈法等	ある代表的な流速	水深が浅く表面浮子が使用できない場合等に、フルオレソセン等の色素や化学物質を投入して代表的な流速を測定する方法である。		
	流水にセンサを接触させる流速計測法	可搬式流速計	回転式流速計測法	横断面内点流速分布	回転する測定部を流水中に水没させ、その回転数から流速を測定する方法である。水車やプロペラを回転部に持つ横軸型(広井式流速計等)と円すい型のカップを回転部に持つ縦軸型(プライス流速計)に分類される。	
			可搬式電磁流速計測法		水中に電磁式の測定部を持つ流速計で、人工的に発生させた磁界の中を水が動くときに生じる起電圧から流速を測定する。	
	水中固定	船搭載	ADCP(超音波ドップラー流向流速計)計測法	横断面内流速分布	超音波のドップラー効果を応用することによって、断面内の三次元流向・流速分布を測定する機器である。この測定器を橋上係留船等に搭載し、移動しながら測定することによって大水面、大水深領域の通過断面内流量を短時間で測定できる。また、河床等に固定した場合は、流速分布の時間変化を測定できる。	
			非接触型流速計測法	連続観測可能	超音波流速計測法(パルス伝播時間差法)	代表深さにおける平均流速
	H-ADCP法				ADCPを水平方向に設置し、横断方向の流速分布を超音波の反射波におけるドップラー効果から測定する。片岸のセンサだけで測定システムを構成することが可能。	
	水理構造物法	非接触型流速計測法	連続観測可能	開水路電磁流量計測法	断面平均流速	兩岸に設置した電極間に生じる起電力が断面平均流速に比例する原理により流量を算出するシステムである。
				ドップラー型(電波式、超音波式)	表面流速	流れの表面に橋桁等に設置したセンサから電波もしくは超音波をある俯角をもって水面に向けて発射し、その反射波の周波数変化から表面流速を測定するシステムである。現状では、高水流量観測のみに利用可能。
	水面勾配断面積法	非固定式観測法	勾配断面積法	画像処理型(PIV法等)	表面流速	洪水時に流下する流木やゴミあるいは波紋を河岸に設置したビデオカメラにより撮影し、画像解析から表面流速を測定するものである。局所的な流況分析に優れるが、天候・日照変化等の影響を受けやすい。
堰測法等				水深	三角堰や台形堰を自由越流する際の越流水深を測定し、実験等により求められた流量公式により流量換算する方法である。	
水面勾配断面積法	非固定式観測法	勾配断面積法	水面勾配等	河川断面の粗度を仮定し、洪水痕跡等から推定される水位、水面勾配から流量を算出する方法である。		

以上が流量測定方法の概要であり、この算出された“毎日の平均流量”
1年単位で所定の書式に取りまとめ、この1年毎のデータ10ヶ年分が、
水力発電計画の策定に必要な流量資料となる。

通常行われている流量測定の手順を図3-4-2に示す。

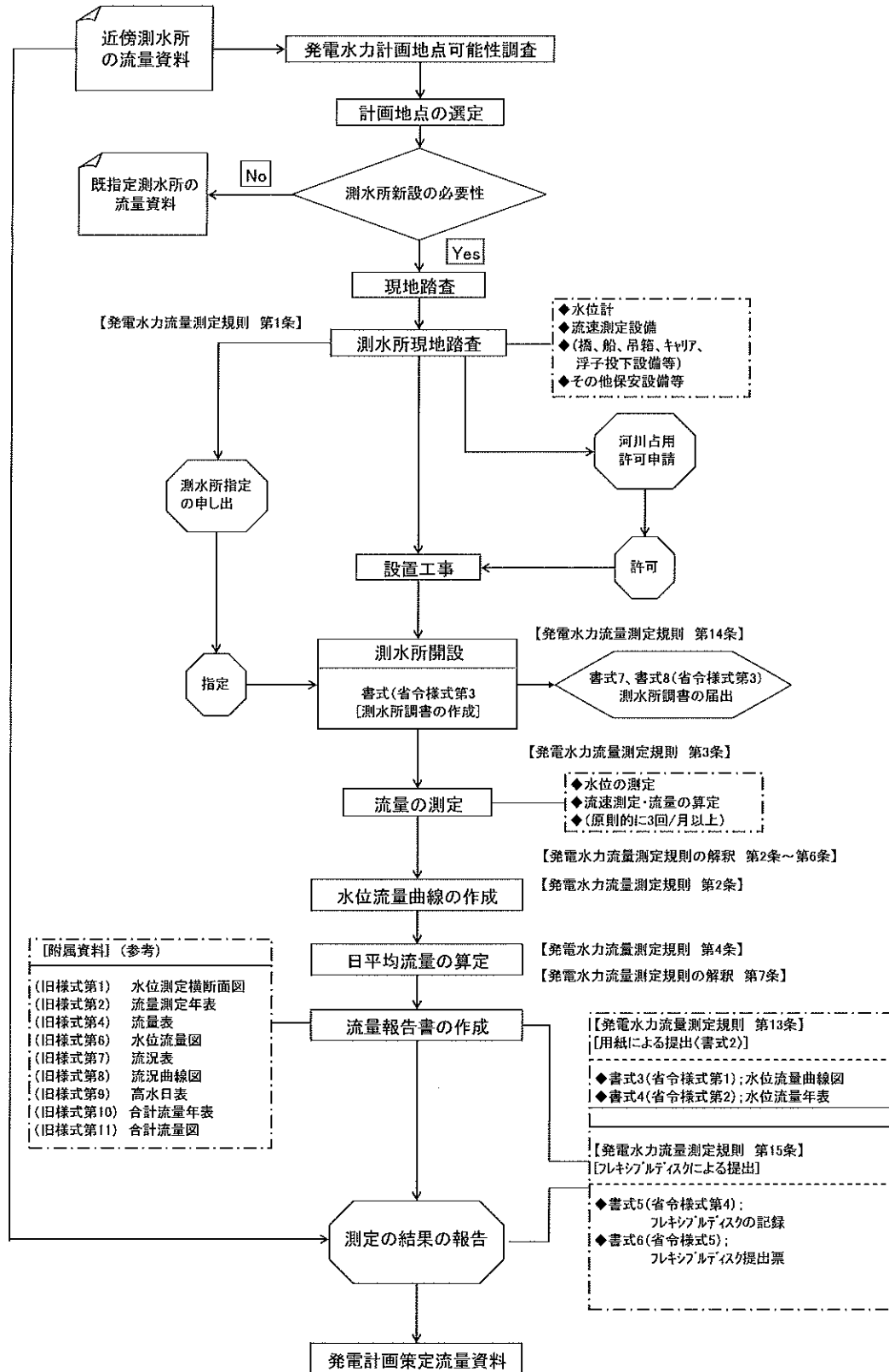


図 3-4-2 流量測定実施フロー

2) 水位流量曲線 (出典：発電水力流量測定規則)

(水位流量曲線の作成)

第 1 条 測定義務者は、日平均流量にあたり、前条の測水所の水位測定横断線拠標を含む横断面 (以下「水位測定横断面」という) における水位と流量の関係を示す曲線を (以下「水位流量曲線」という) を作成するものとする。

2 測定義務者は、洪水その他の原因により水位測定横断面に変化が生じたと認められるときには、水位流量曲線を修正するものとする。

[解説]

第 1 項；河川の流量測定は、前述のとおり水位のみ 1 時間毎に測定し、流量を測定したときの水位との関係から水位流量曲線を含めて、毎日の水位から流量を算出する方法を用いている。

第 2 項；水位と流量との関係は、水位測定横断面 (水面勾配含む) が同一の場合に成立し、この断面が変化すれば水位流量曲線は当然変化するものである。水位測定横断面 (水面勾配含む) が変化したと認められるときは、水位流量曲線を修正しなければならない (図 3-4-3 参照)。

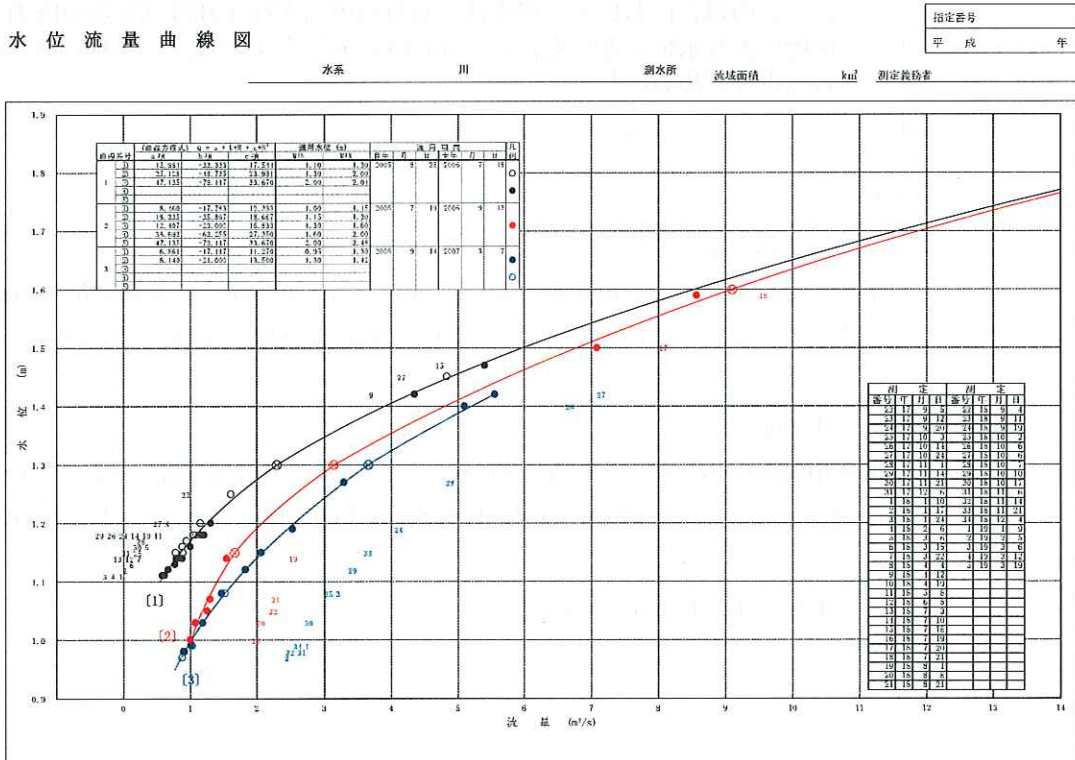


図 3-4-3 水位流量曲線図

3) 水位の測定（出典：発電水力流量測定規則）

（水位の測定）

第3条 測定義務者は、水位測定横断面における水位の測定を毎日1時間ごとに行うものとする。ただし、結氷その他やむを得ない理由がある場合には、この限りではない。

（規則の解釈 第6条 水位の測定）

第6条 規則第3条に規定する水位の測定は、次の各号に定めるところにより行うものとする。

- 一 測定は、次に適合する自記水位計により行うこと。
 - イ 1センチメートル以下の水位の変動を記録できるものであること。
 - ロ 過去の最高水位から最低水位が記録できる特性を有するものであること。
- 二 自記水位計に記録用紙を取り付けたときは、取り付けた日時および次に適合する水位標による当該日時における水位を記録用紙に記入すること。
 - イ 最小の目盛が2センチメートル以下のものであること。
 - ロ 目盛の零点が過去における最低の水位以下になるように設置されたものであること。
- 2 自記水位計の故障その他やむを得ない理由がある場合は、前項の規定にかかわらず、同第2号イおよびロに適合する水位標により水位を測定することができる。この場合において、規定は、毎日6時および18時（多量の降雨その他の原因により水位が著しく高くなっている場合は1時間をこえない時間ごと）に行うよう努めること。

〔解説〕

＜規定の解釈第6条第1項第一号＞

水位計は、1cmの水位変動の記録が可能であって、過去の最低水位から最高水位まで記録できる性能を有するものであれば型式はいずれでもよい。






＜同条第1項第二号＞

記録用紙を使用しない水位計を用いる場合には、後日報告書作成時にチェックが可能となるよう、別途その測定日時及び水位を記録しておくこととする。

表3-4-4に自記水位計の形式を示す。

表 3-4-4 自記水位計の型式とその概要

出典)平成26年度中小水力開発促進指導事業基礎調査(発電水力調査(流量資料整備に関する調査))報告書
平成27年2月一般財団法人新エネルギー財団(経済産業省資源エネルギー庁委託調査)

水位計	フロート式	フロート柱式	水圧式	電極式	超音波式
外観					
原理・構造	下図に示すように、ワイヤー周部のフロートの上下がブローリ回転となり、ギアを介して機械的伝動動作に替わり、ペンにより水位を記録する。	河川の流水断面に垂直に設置されたレーザを、磁石付フロートが上下運動することにより、1cm刻みに記録したデジタル信号を On-Off することで電気信号に変える。	水圧式水位計とは、水圧を感圧素子(水晶、半導体、シリコン)で直接検出して、電気信号に変換する方式の水位計である。	電極(センサー)が水深に接触することにより、プラーンプで表示する。水面からの反折時間を測定し水位を検出する。	水面より超音波の反射を材料し、水面からの反折時間を測定し水位を検出する。
主な仕様	測定範囲: 0~10,20,50,100m 精 度: ±1cm (1m) フロート: 約φ250mm 電 源: 電池(内蔵/外付/充電) 外形寸法: W533×H375×D332 重 量: 約18kg	測定範囲: 0~1.1,3.2,5.3,8.5m 精 度: ±1cm (1m) 出力方式: デジタル信号 電 源: DC12V 外形寸法: 約φ267×L(測定範囲)	測定範囲: 0~10,20,50m 精 度: フロートの±0.1%以内 出力信号: DC0~1V および 5V 電 源: DC12V, 約25mA 外形寸法: 感部φ36×L215 電 極 部: W115×H117×D127	測定範囲: 0~10m 精 度: ±1cm (1m) 電 極 径: 約φ40mm 設置方式: カートリッジペン 電 源: 電池(内蔵/外付/充電) 外形寸法: 感部φ36×L215 支 持 部: W540×H327×D340 重 量: 約25kg	測定範囲: 0~13.5m 精 度: ±1cm 設置高さ: 15m (1m) 出 力: デジタル・アナログ 電 源: AC100V, 20VA または DC12V, 約10W 外形寸法 (重量): 送信装置φ239×H281(8.5kg) 受信装置φ184×S80×S54(7.6kg) 変換部 約312×382×150(10kg)
特 長	①最小径1cmで読み取り可能 ②測定範囲0~10,20,50,100m ③センサは機器、A/D変換器等を組み込むことで、遠隔指示器やアラーム等に信号出力可能	①観測井を作る必要がなく、フロート管または浮筒などに替わる ②保護管内に設置したレーザの On-Off により、水圧を電気信号に変えるデジタル方式	①観測井を必要とせず、比較的安価 ②河床変動しても記録が容易 ③適用範囲の狭い面でも使用可能	①風刺針が直径φ100mm程度で設置可能 ②斜面でも設置可能	①観測機器が水面に直接接触で測定することができる ②送信装置(送信装置)はほぼ全天候で使用できる
取扱い上の注意	①記録紙、電流・ペンは決められた期間内に交換する ②水位計と流水面水位標のゼロの位置を確認(別冊)する	①河川の流水中に強磁気を設置するので、流木対策が必要 ②流速の速い場所では浮筒の上下で水位差が出るので注意 ③測線変動の多い面では支持設置状況をよく確認する	①流速が速い場所では、液水が感部に流着たことを避ける ②未検入部(イ)の設置は曲げに気を付ける ③感部の感圧素子は、排湿な状態には強いので、注意する	①底物質を多量に含む水質は電極の劣化の可能性があり下向き ②フロートに付いた電極は細く長いので、観測部の曲がり等の設置方法に十分留意する	①送信装置の設置高さは水面から1.5mが必要 ②送信装置は水面に対し、船着上り設置する ③浮遊物が多い水面には下向き

代表的な水位計の設置方法を、図3-4-4に示す。

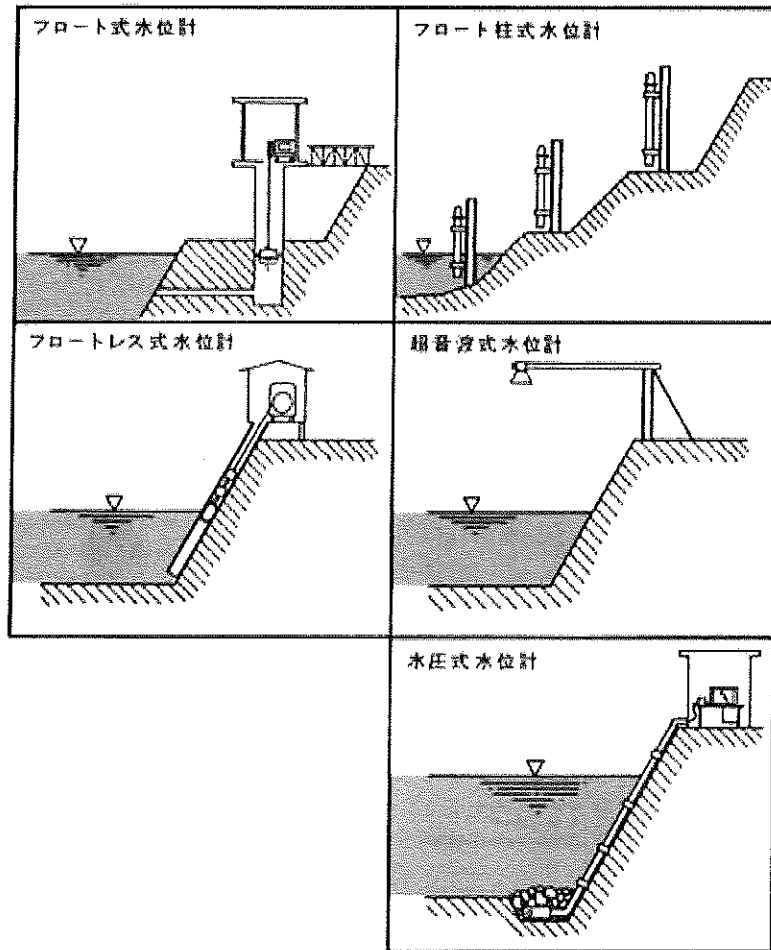


図 3-4-4 代表的な水位計の設置方法

4) 流速計測法による流量の測定

① 回転式流速計の場合

回転式流速計は最も一般的に使用されている流速計である。流速や水深によって流速計を使い分ける。



回転式流速計の種類

上段の回転計は1型といい、流速が $0.15\text{m/s} \sim 3.3\text{m/s}$ 程度で使用する。

下段は2型といい、水深が浅く流速が遅い場合に使用し、流速が $0.04\text{m/s} \sim 0.65\text{m/s}$ 程度で使用する。

流水の運動を回転体に伝え、その回転数あるいは回転力により流速を測定する。回転輪（又は回転翼）の回転数は、ブザーやカウンター又は照明具の点滅等で表示できる。また、時計機能内蔵のデータロガ等により、流速値を確認できるものもある。

7. 流速測定間隔

河川横断面の水平方向及び水深の鉛直方向の流速測定間隔については、原則として河川の流速分布を考慮するものであり、その河川の流速分布は、一般的に図 3-4-5 のような流速分布を示す。

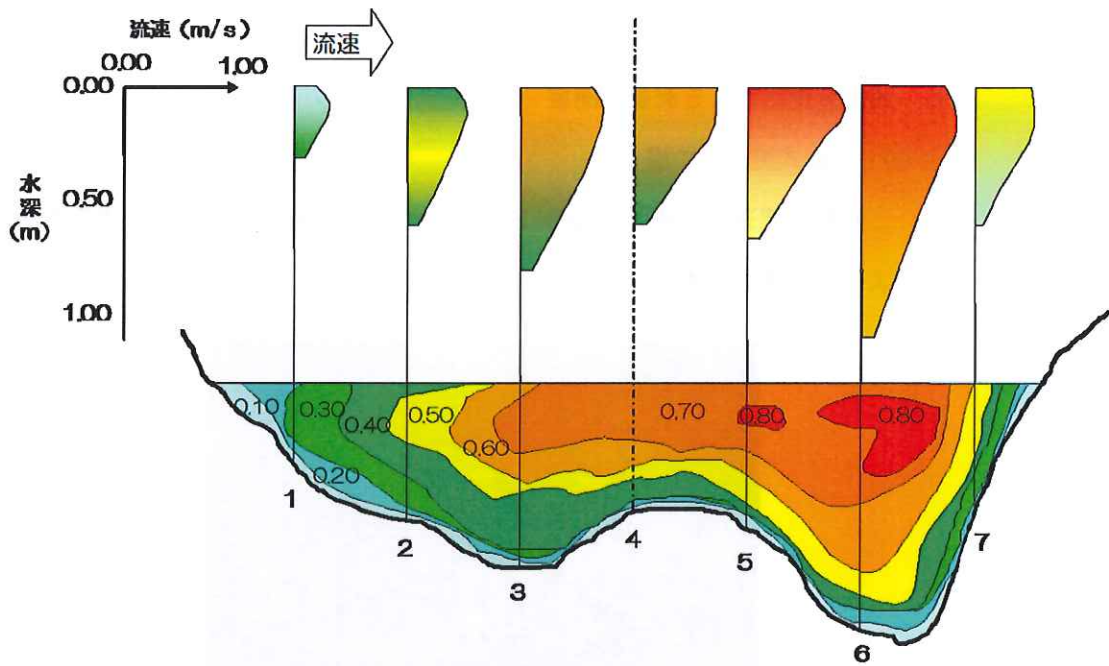


図 3-4-5 河川横断面における等流速曲線図

4. 河川横断面における流速分布

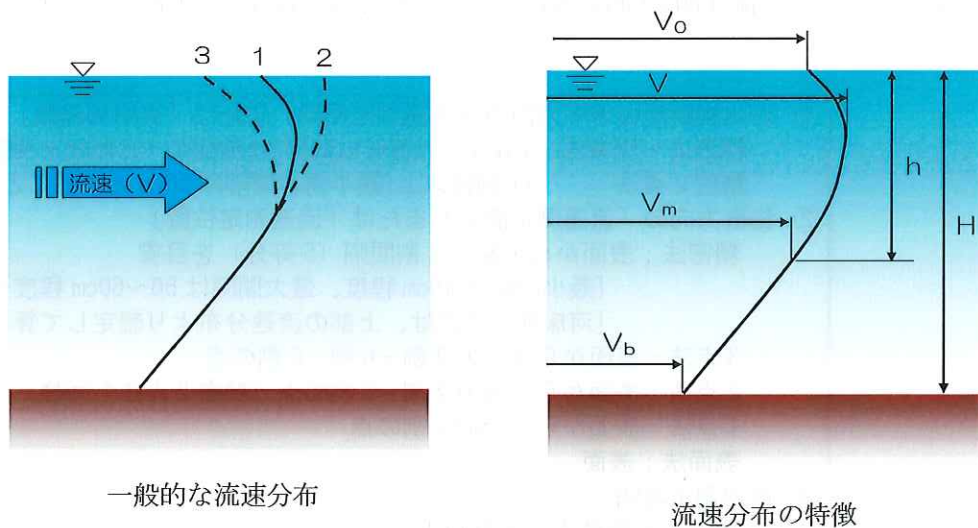
前掲図 3-4-5 のように流速が位置によって異なるのは、主として河川潤辺との摩擦と流水の粘性とによるものである。

したがって、最大流速は、この影響の最も少ない位置、即ち河川潤辺から最も遠い中央水面に生じることになるが、水面には表面張力の影響があるため、風等の影響が無ければ、中央の水面から少し下がった位置に生じる。

ウ. 河川における鉛直流速分布

鉛直流速分布は、側壁や底面の粗度、水面幅と水深との関係、その他いろいろな状況によって異なるが、一般的な流速分布は、図 3-4-6 (左図) の 1 曲線に示すような放物線であらわされる。しかし、風が上流から吹くときは 2 曲線のように、また、下流から吹くときは 3 曲線のように変化するが、平均流速の大きさと、その生じる位置は殆ど変わらない。

図 3-4-6 に示すように、 V ; 最大流速、 V_0 ; 表面流速、 V_b ; 水底流速、 V_m ; 全体の平均流速、 H ; 水深、 h ; 平均流速までの水深] とすれば、通常の場合の各流速は以下のとおりとされている。



V ; $0.1H \sim 0.4H$
V_b ; 最小流速
V_m ; $0.2H$ と $0.8H$ との 2 箇所の流速の平均 $0.8V_0$

図 3-4-6 河川における鉛直流速分布曲線図

エ. 流速測定間隔を決めるときの留意事項

- ▶ 河川状況が「転石等の影響により鉛直方向の流速が一樣ではない」場合は「精密法」が適しており、流水状況が比較的安定している場合は、作業効率の良い「精密2点法」が望ましい。
- ▶ 河川横断面の水平方向の測定間隔は、原則として等間隔とするが、河川状況が「転石等の影響により水平方向の流速分布が一樣でない」場合は、その流速分布を考慮して不等間隔にした方が精度向上する場合がある。

オ. 流速測定間隔の目安及び流速の測定方法

流速測定間隔の目安及び流速の測定方法は、以下のとおりである。

- | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>① 河川横断面の水平方向の「流速測定間隔」または「流速側線数」
精密法・簡単法；4m以下の適切な間隔[水面幅の10%程度を目安]
精密2点法 ；11側線以上[最小側線間隔は50cmとすることができる]</p> <p>② 鉛直方向の「流速測定間隔」または「流速測定位置」
精密法；表面から水深の2割間隔（5等分）を目安
[最小間隔は10cm程度、最大間隔は50～60cm程度]
[河床部の流速は、上部の流速分布より想定して算出]
3点法；表面から水深の2割・6割・8割の点
2点法；表面から水深の2割・8割の点（精密2点法も同様）
1点法；表面から水深の6割の点
表面法；表面</p> <p>③ 流速測定時間
精密法・簡単法；40秒以上
精密2点法 ；30秒以上</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

[測定間隔の具体的な設定例]

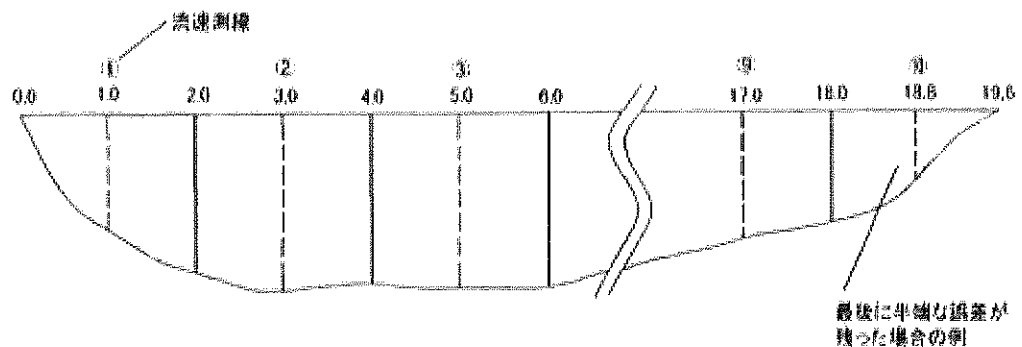
① 水面幅に対する水深・流速測定間隔（水平方向）

<精密法・簡単法（水面幅の10%）>

水面幅が10mの時；水深測定間隔0.5m、流速測定間隔1.0m
水面幅が20mの時；水深測定間隔1.0m、流速測定間隔2.0m
水面幅が30mの時；水深測定間隔1.5m、流速測定間隔3.0m
水面幅が40mの時；水深測定間隔2.0m、流速測定間隔4.0m

▶ 水面幅に対する流速測定間隔は、原則的に4mを越えてはいけないことになっており、たとえ水面幅が100mあっても、水面幅が40mの時と同様に4m間隔流速測定を行い、その半分の2m間隔の点でそれぞれ水深測定を行なう。

▶ 最後に半端な距離が残った場合、川岸の部分を長めにするか、または短めにして測線数を増やす。



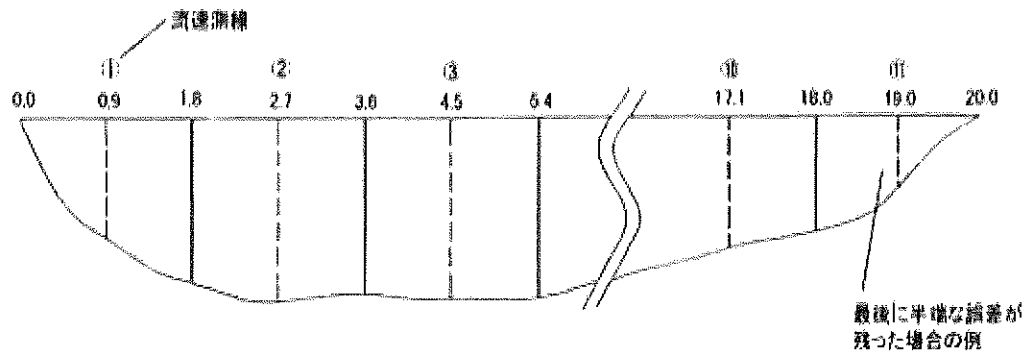
水面幅に対する水深・流速測定間隔の設定例（水面幅 19.6m）

<精密法・簡単法の場合（水面幅の10%）>

<精密2点法 (11 測線以上) >

水面幅が4mの時	水深測定間隔0.25m、流速測定間隔0.5m、測線数 8
水面幅が5.5mの時	水深測定間隔0.25m、流速測定間隔0.5m、測線数11
水面幅が10mの時	水深測定間隔0.45m、流速測定間隔0.9m、測線数11
水面幅が20mの時	水深測定間隔0.90m、流速測定間隔1.8m、測線数11~12
水面幅が50mの時	水深測定間隔2.25m、流速測定間隔4.5m、測線数11~12
水面幅が100mの時	水深測定間隔4.50m、流速測定間隔9.0m、測線数11~12

▶最後に半端な距離が残った場合、川岸の部分をも長めにするか、または短めにして測線数を増やす。



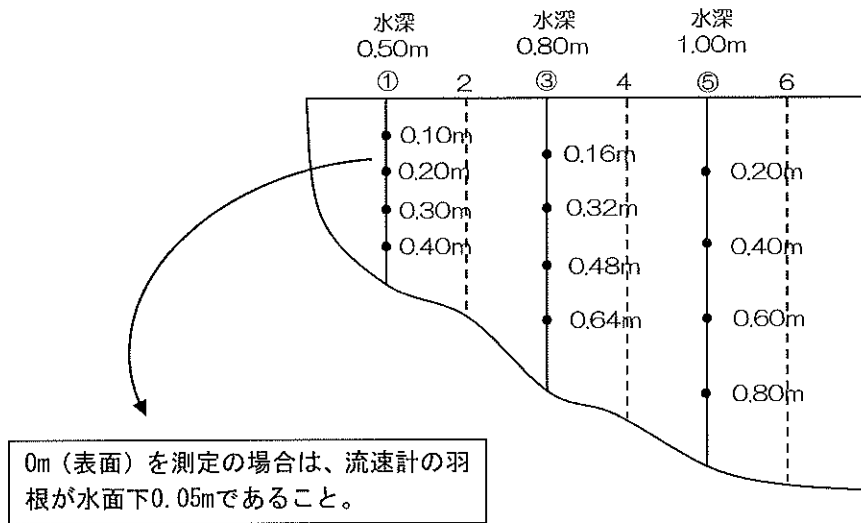
水面幅に対する水深・流速測定間隔の設定例 (水面幅 20m)

<精密法2点法の場合 (11 測線) >

② 水深に対する流速測定間隔

<精密法の場合>

水深が0.30mの時	流速測定間隔0.10m	、測点数 4
水深が0.45mの時	流速測定間隔0.09m	、測点数 6
水深が0.50mの時	流速測定間隔0.10m	、測点数 6
水深が0.80mの時	流速測定間隔0.16m	、測点数 6
水深が1.00mの時	流速測定間隔0.20m	、測点数 6
水深が2.00mの時	流速測定間隔0.40m	、測点数 6
水深が3.00mの時	流速測定間隔0.50~0.60m	、測点数 6~7
水深が5.00mの時	流速測定間隔0.50~0.60m	、測点数 9~11



精密法における水深に対する流速測定間隔の設定例

カ. 最近の流速計

これまで流量調査を自然河川で行う場合、回転式の流速計を用いた手法が精度よくデータを得るうえで最も多く用いられてきた。また、出水時等水位が高い際には、安全面を考慮して浮子式が用いられてきた。その他の測定機器を用いた手法については、実績が少ないこともあり積極的に使用されてこなかったのが現状である。しかし、近年では、回転式に加え、電磁式、電波式、超音波式の流速計も使用されるようになってきた。表 3-4-5 にこれら流速計の概要を対比した。

【参考】

河川砂防技術基準 調査編（国土交通省水管理・国土保全局 平成 24 年 6 月）では、表 3-4-5 に示す測定方法に加え、ADCP（Acoustic Doppler Current Profiler：超音波式測定器の一種）計測法、画像処理型（ビデオカメラを用いた表面流速測定）、堰測法（流量公式換算）、断面勾配面積法（河川断面の粗度を仮定し水位と水面勾配から流量を算定）が併記され、各手法の特性を踏まえたうえで様々な手法により流量を測定する旨が記載されている。

表 3-4-5 流速計の型式とその概要 (その1)

出典) 平成26 年度中小水力開発促進指導事業基礎調査 (発電水力調査 (流量資料整備に関する調査)) 報告書
平成27 年2 月一般財団法人 新エネルギー財団 (経済産業省 資源エネルギー庁 委託調査)







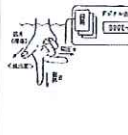
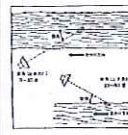
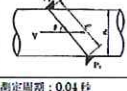
流速計	回転式 (バケット式)	回転式 (プロペラ式)	回転式 (スクリュー式)	電磁式	電波式	超音波式
外 観						
原理・構造	<p>【ブライス電気式】 流水の力でバケット式回転翼を回転させて、その回転数から流速を算出する。</p>	<p>【吹井電気式】 流水の力でプロペラ式回転翼を回転させ、その回転数から流速を算出する。傾軸に6枚の矢羽型プロペラを付け円筒の中に格納してあるので、川底などの測定に最適である。</p>	<p>【4型TF電気式】 流水の力でスクリューを回転させ、その回転数から流速を算出する。傾軸の回転数をギアで1:20に落とし、20回転1音としている。</p>	<p>【TK-105DH型】 電磁式の原理は、下図に示すように検出器内部の電磁コイルによって検出器内部の閉回路に磁界が作られ、その磁界中を電導体である水が通過することにより検出器の電極間に電圧が発生する (ファラデーの電磁誘導の法則)。</p> 	<p>下図のように、ヘッドから放射された電波は、液面表面に生じる波で反射され、一部の電波が再びヘッドに戻る。このときの反射波は、波の速さで周波数に変化が生じている (ドップラー効果)。この周波数の変化を捉え、表面流速を測定する。</p> 	<p>【管路用】 管路の外側に取り付けられた2個の検出器 P1、P2 から超音波を液中に交互に発射したとき、音波の伝播速度を C、流速を V、電極間距離を d、超音波が流水中を上流方向に伝播する時間を t1 とすると</p> $V = \frac{C^2}{2d \cdot \cos \theta} \Delta t$ 
主な仕様	<p>測定範囲: 0.20~2.00m/s 精 度: ±1%以内 通知方式: 普通ブザー 電 源: 単一電池2本 外形寸法: W375×H123×D105 重 量: 1070g(本体)</p>	<p>測定範囲: 中高速用 0.20~2.00m/s 低速用 0.03~0.70m/s 精 度: ±1%以内 通知方式: 普通ブザー 電 源: 単一電池2本 外形寸法: W142×H100×D58 重 量: 650g(本体)</p>	<p>測定範囲: 0.30~3.00m/s 精 度: ±1%以内 通知方式: 普通ブザー 電 源: 単一電池1本 外形寸法: W150×H70×D70 重 量: 900g(本体)</p>	<p>測定範囲: 0.01~4.00m/s 精 度: ±1%+0.005m/s 電 源: 単二電池8本 外形寸法: W36×H25×D65 (検出電極) 重 量: 500g(尾翼含) コード: φ8×10m(1.1kg)</p>	<p>測定範囲: 0.5~2.4,7.10m/s 計測距離: 20m以下 測定角度: (俯角) 20~60度 (仰角) 0~20度 出力: 7V+ DC0~5V デジタリ ECD3 桁 外形寸法: φ325×320(コード) 重 量: 4.6kg(コード)</p>	<p>測定範囲: 0.04秒 サンプリング: 3.10,30,100秒 精 度: ±1%FS(1m/s以上) 電 源: AC100V/200V DC10~30V(選択) 電源変動: 電圧±10%, 周波数±2Hz 消費電力: 約 45VA</p>

表 3-4-5 流速計の型式とその概要（その2）

出典）平成26年度中小水力開発促進指導事業基礎調査（発電水力調査（流量資料整備に関する調査））報告書
平成27年2月一般財団法人 新エネルギー財団（経済産業省 資源エネルギー庁 委託調査）

流速計	回転式（バケット式）	回転式（プロペラ式）	回転式（スクリュー式）	電磁式	電波式	超音波式
特 徴	<p>①回転数は6個のバケットがらなり、回転数の回転数を電気的に伝える。 ②流量範囲は中速用である。 ③流速計のほとんどが縦軸であるが、当型は縦軸である。 ④1回の回転数を毎回転1音、または5回転1音でプラーを鳴らすことが可能。 ⑤筐体は移動式である。 ⑥吊り下げタイプは7分入りで50cm毎に目盛りがある。 ⑦適用河川は中・大河川の中・下流域向け。</p>	<p>①円筒の中に6枚のプロペラ式回転翼を入れたもので、回転数を電気的に伝えて軽量小型化している。 ②適用範囲は中速用と中・高速用とに分けられる。 ③プロペラの回転数から流速を算出する。 ④通常は10回転1音の周用であるが、標準時は5回転1音の周用となっている。 ⑤適用河川は小河川・用水路向きである。</p>	<p>①回転数は3枚羽のスクリュー型で、プラスチック製。 ②適用範囲は中速用である。 ③縦軸で、外部をベアリング・軸受けで受け持つ。 ④1回転に1回鳴らし、読みは移動式である。 ⑤吊り下げタイプは7分入りで50cm毎に目盛りがある。 ⑥適用河川は中・大河川の中・下流域向け。</p>	<p>①測定範囲が広いので、流速から中・高速まで1機種で測定可能。 ②可動部分がないので、耐久性及び長期的な精度の安定性に優れている。ごみ等の流下物による障害が少ない。 ③水深3cm以上の本流から測定可能。 ④埋算の変圧器に比べ検出本体の圧圧抵抗が小さく軽基であるので、液本に対する指向性に優れている。 ⑤電磁式流速計としては、検出部および指示部ともに軽基である。 ⑥適用河川は上流から下流域まで広範囲である。</p>	<p>①測定機器が本面に非接触で、流速を測定できる。 ②機器を固定し、連続測定が可能である。 ③電圧信号やBCD信号で出力され、記録計が接続可能。 ④水深3cm以上の本流から測定可能。</p>	<p>①超音波が透過する液体であれば、導電性、非導電性に依らず、どんな液体でも測定可能。 ②液体中に障害物を挿入する必要がないため、液体に損傷が生じない。また、既設の管渠にも取り付け可能。 ③流速と川内流速は広範囲にわたる直線的な関係にあり、小流量の測定も可能。 ④管径が大きくても測定可。 ⑤液体の圧力や温度が変化しても誤差を生じにくい。 ⑥測定範囲の変更は極めて容易である。</p>
取扱い上の注意	<p>回転翼を上から見て左側はバケットが閉じて水を受けて回転を促し、右側にはバケットの音で回転を停止させるように水圧が作用する。そのため、下流のように右岸側に接近すると実際の流速より遅く表示される可能性がある。左岸側は反対に速くなるので、測定時は注意を要する。</p> 	<p>筒筒が流水方向に対して90°になるように固定する必要がある。濁水などで目視できない場合に備え、測標に方向指示器を装備し計測を行う。</p> 	<p>簡便法としては、測標の先端に本体のみを固定し使用する。通常は、行流の向き中央に突き出した本体に本体を前向きに固定する。</p>	<p>①教育・研修用スクリーン構造の磁気体付近での測定では、検出部をあまり接近させないように注意する。 ②無線機（トランスミッター）の影響を受ける場合があるので注意する。 ③電磁雨が動機で再発すると、測定に支障が出るので注意する。 ④使用後は検出部を洗浄・乾燥させ、指形型の電池は抜き取る。</p>	<p>①電波法の感度を上げる計器である。 ②ヘッドは本面に押し、一定の角度以内に設置する必要がある。 ③ヘッドは風による影響を考慮する。</p>	<p>①超音波流速計の性能を最大限に発揮させるために、次の条件を満たす設置場所を選定する。 ②河川直線区10～50m以内の直線的に流速が高くない所 ③障害物や管渠がない所 ④気泡の混入がない所 ⑤川底の浅い所 ⑥検出部の設置付近に流れを乱す要素がある場合には、できるだけ速く離し、一般的には自然流下の場合は1.5倍、下成段に5D以上の直管部をとる。 ⑦回転ケーブルは妨害を受けると壊れるので注意する。</p>

5) 表面流速法による流量の測定

表面流速法とは、河川の表面流速の測定値からその断面の平均流速を算定する方法である。洪水時のように回転式流速計による流量の測定が困難な場合に流量を測定する方法であり、その測定方法も流量測定規則で明確に定められている。

- ア. 浮子は、水面幅及び流水の状況を考慮して、流心と平行な区分ごとに投下し、上流の見通線を通して下流の見通線に至るまでの流下時間を測定すること。
- イ. 水深の測定は、浮子流下区間の両端における流水断面において行うこと。
- ウ. 流量の算定は、各区分の平均流量速度と、その部分断面積との積をすべて合計することとし、各区分の平均流下速度は以下により求めること。

$$V_m = \alpha \cdot L / T$$

ここに、 V_m : 平均流下速度 (m/s)

L : 浮子流下区間距離 (m)

T : 流下時間 (秒)

α : 係数 (=0.8) ただし、河川の状況により別の係数を用いることが適切と判断される場合はその係数

エ. 浮子流下区間の河川形状

横断面がほぼ一様である直線部

オ. 流速測線

上流域の小河川のような場合には、浮子が流心に寄ったり、岸に寄ったりする恐れがあるので測線数を少なくするが、このような傾向のない河川

については、測線数を増やした方が良い。

浮子がほぼストレートに流れ水位変動が少ない時は、流速測線数を「標準」とし、その目安は表 3-4-6 に示すとおりである。

表 3-4-6 水面幅と測線数

水面幅	20m未満	20～100m	100～200m	200m以上
測線数	5	10	15	20

カ. 流下時間の計測

浮子が上流の見通線を通過するときに時間計測をスタート、浮子が下流の見通線を通過するときに時間計測をストップし、この浮子流下時間を測定する。

キ. 流水断面積の測定

以下のいずれかの断面積を測定する。

- 上流見通線及び下流見通線における断面積の和の平均
- 上流見通線と下流見通線の間横断線の断面積
- 浮子流下区間の平均的な断面積

ク. 表面流速法の誤差

浮子を用いた表面流速法は、洪水時のように回転式流速計による流量の測定が困難な場合に流量を測定する方法であるが、簡易的に流量を計測しようとする場合にも用いられる。

しかし、河道の断面形状や水深によって流速が変化するため測定精度は低く、得られた結果は参考程度にとどめておくべきである。

6) 公式測法による流量の測定

流水の状況により前記「(4)流速計測法による流量の測定」の項で記載の方法が困難な場合、又は横断面に変化が生ずるおそれが少ない河川、若しくは水路に設置された測水所の流量を測定する場合は、マンニング公式、又はクッター公式によって流量を測定するものとする。

マンニング公式

$$V_m = 1/n(R^{2/3} \cdot I^{1/2})$$

クッター公式

$$V_m = \frac{(23 + 1/n + (0.00155/I) \cdot (RI)^{1/2})}{I + (23 + 0.00155/I)n/R^{1/2}}$$

ここに、 V_m : 平均流速 (m/s) n : 粗度係数
 I : 水面勾配 R : 径深 (m)

7) 日平均流量の算定

1時間ごとに測定した水位と水位流量曲線との関係から1時間ごとの流量を求め、これら合計の1/24としたものを日平均流量とする。

8) 流量測定における留意事項

① 年間を通じて正確な水位記録を取れるよう配慮する。

- ▶ 流量測定時の河川水位と自記水位と一致していることの確認。
- ▶ 水位計の自記紙取り替え時の日時、水位の確認とその記入を的確に行う。
- ▶ 測水所現況を常に把握して、水位の欠測を防止し、河床変動、河川改修等による曲線適用変更期を適確に捉える。

② 精度の高い水位流量曲線図の作成（前掲 図 3-4-3 参照）

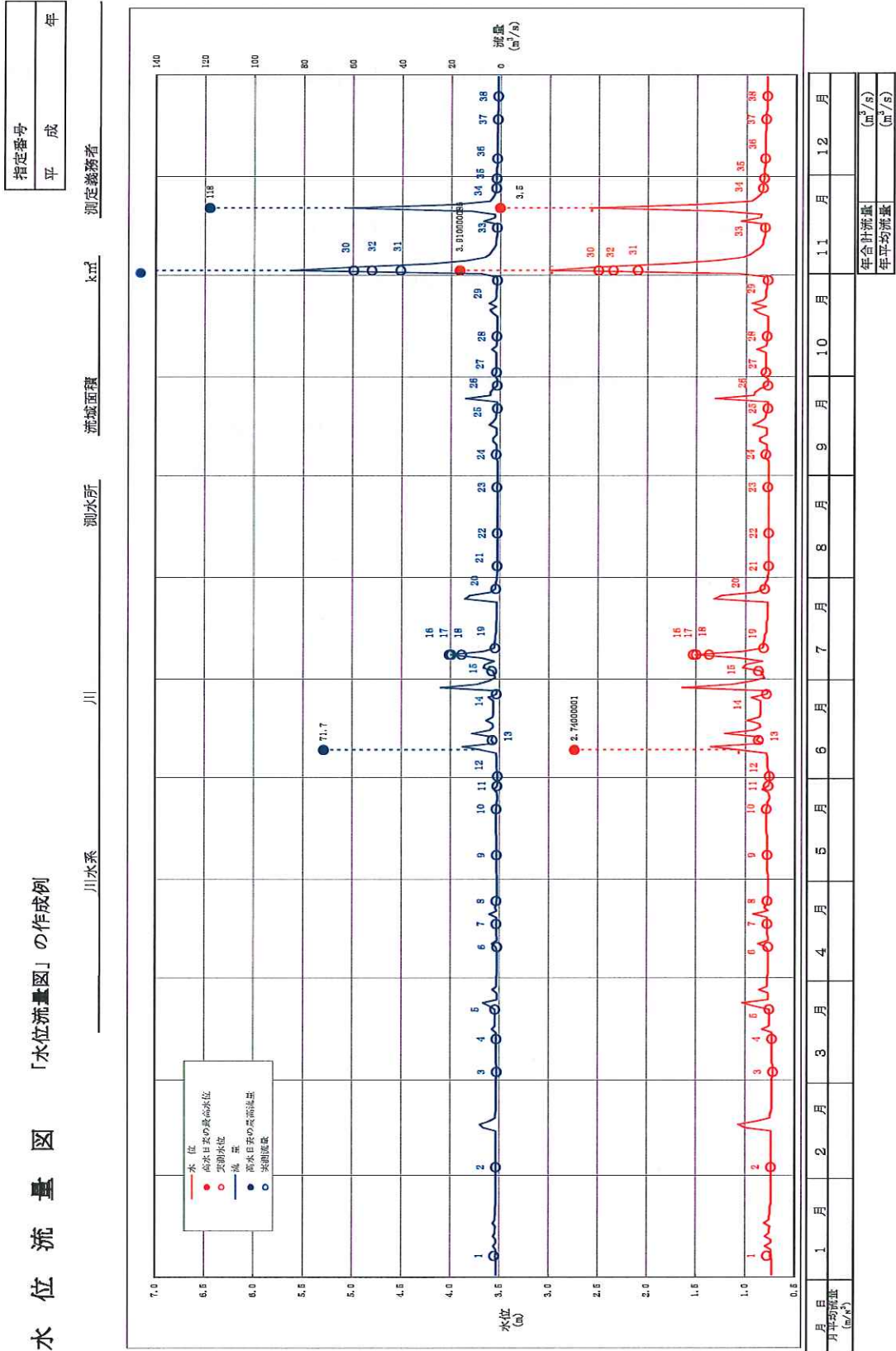
- ▶ 河川横断方向の流速測定間隔の広狭は流量測定精度に大きく影響する。したがって、鉛直（水深）方向の流速測定点を多くして作業に時間をかけるより、河川横断方向の流速側線数を多くして作業に時間をかける方が有効である。

- ▶ 測定点が低水位部に集中する傾向があるため、流量測定時期を適切に選定し、最低水位付近から最高水位付近までの異なった水位時において実施することが望ましい。
- ▶ 流速測定後直ちに流量を算出し、水位流量曲線図に記入して、過去の実測点で形成される曲線から逸脱していれば、直ちに再測定を実施してその原因を追究する。
- ▶ 再度測定を行っても、なおその結果が正しいと確認された場合は、以下の測量を実施し、水位測定横断面の変化または上下流の河床状態を確認して記録しておく。
 - 水位測定横断面の横断測量
 - 水位測定横断面を中心とした水面勾配の流量
- ▶ 上流のダム、或いは発電放流による放流量変動中の測定は避ける。

9) 水位流況図

縦(Y)軸を水位・流量、横軸(X)を日付(1月1日～12月31日)とし、水位流量年表の水位と流量について、1年間単位で経時図を作図する(図3-4-7参照)。

图 3-4-7 水位流況図



3.5 最適規模の検討

(1) 総落差、損失落差、有効落差

1) 総落差

総落差とは、発電所の取水口水面（取水位）と放水口水面（放水位）との標高差をいう（JEC-4001-1992）。

2) 流れ込み式発電における取水位・放水位

取水位 : 取水ダム越流天端標高

放水位 : 最大使用水量時の河川水位、又は最大使用水量時の放水口出口の限界水位のうち高い方の水位
(計画初期段階では、放水地点の河川における平水時の標高とする)

3) 損失落差、及び有効落差

- ① 損失落差は、水路工作物の構造に応じて水理計算により算定する。損失落差の基本式は、下記のとおり Q の二乗に比例する。

$$h_l = f \frac{V^2}{2g} \propto Q^2$$

ここに、 h_l : 損失水頭 (m)

f : 損失係数

V : 管内平均流速 (m/s)

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

Q : 流量 (m³/s)

② 水理計算によって求める損失落差は、衝動水車、反動水車にかかわらず以下の区間を対象とする。

ア. 水車の上流側：取水口～水車入口弁まで

イ. 水車の下流側：放水庭から放水口まで

③ 可能性調査段階では、略算式（中小水力発電ガイドブックP-81～82又はP-147）を用いる場合が多い。

ア. 最大使用水量時の損失落差及び有効落差

最大使用水量時の有効落差は、総落差（取水位－放水位）から損失落差を差し引く。

損失落差は、以下のとおり算定する。

$$h_l = a \cdot L_1 + b \cdot L_2 + c \cdot L_3 + \Delta h_l$$
$$= \frac{1}{1,000} \cdot L_1 + \frac{1}{200} \cdot L_2 + \frac{1}{1,000} \cdot L_3 + (0.5 + \alpha)$$

ここに、

h_l	:	損失落差 (m)
L_1	:	導水路延長 (m)
L_2	:	水圧管路延長 (m)
L_3	:	放水路延長 (m)
Δh_l	:	その他損失 (m) = 0.5 + α α は +0.1m の範囲で端数調整。 損失落差は 0.1m 単位でまとめる。
$a = c =$:	圧力水路 = 1/700 無圧水路 = 1/1,000
$b =$:	1/200 (水圧管路)

最大使用水量時の有効落差は、（取水位－放水位）から最大使用水量時の損失落差を控除して算定する。

イ. 常時又は任意の使用水量時の損失落差、及び有効落差

損失落差は、 Q の二乗に比例する。したがって、常時又は任意の使用水量時の有効落差は、(水槽水位－放水位)から次式で算定される損失落差を差し引く。

ここに、水槽水位は取水位－導水路の損失落差である。

$$h_{lf} = \left(b \cdot L_2 + \Delta h_l \right) \left(\frac{Q_i}{Q_{max}} \right)^2 + c \cdot L_3$$
$$= \left(\frac{1}{200} \cdot L_2 + 0.5 + \alpha \right) \left(\frac{Q_i}{Q_{max}} \right)^2 + \frac{1}{1,000} \cdot L_3$$

ここに、 Q_{max} : 最大使用水量 (m^3/s)
 Q_i : 常時、又は任意の使用水量 (m^3/s)
 h_{lf} : 常時、又は任意の損失落差 (m)

常時又は任意の使用水量時の有効落差は、(水槽取水位－放水位)から常時、又は任意の使用水量時の損失落差を控除して算定する。

(2) 使用水量の決定

1) 流れ込み式における基本的な考え方

- ① 発電計画の取水可能量(すなわち、発電計画の対象となる流量)は、取水地点の河川流量から河川維持流量あるいは減水区間の責任放流量を控除した流量となる。
- ② 使用水量は、最大使用水量と常時使用水量の2つがある。最大使用水量は発電所で使用する最大の水量であり、最大出力はこれによって定まる。常時使用水量は1年中を通じて常時使用する流量(流れ込み式にあつては355日流量)であり、常時出力はこれによって定まる。

- ③ 使用水量の決定は、原則として発電コスト (kWh当たり建設単価) を最低とする発電規模の最大使用水量を選定する (図 3-5-1 参照)。ただし、発電コストの差が僅かならば、その単価と代替電源単価とを比較しながら若干規模を大きくする場合もある。

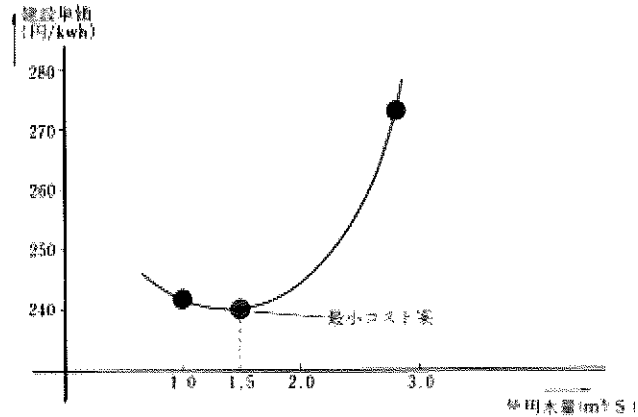


図 3-5-1 最適規模の選定

2) 使用水量検討時における留意点

- ① 最適な発電規模は、発電方式に応じて表3-5-1 に示す流量設備利用率の範囲内に最適値 (最大使用水量) が求められることが多い。すなわち、この範囲を目安として複数の発電規模 (最大使用水量) を検討する。

表3-5-1 比較検討における流量設備利用率の目安
(中小水力発電ガイドブックP-56)

発電方式	流量設備利用率
流れ込み式	45~60%
調整池式	40~50%
貯水池式	

② 水車には、その特性（型式、比速度等）に応じて発電を可能とする範囲（中小水力発電ガイドブックP-124～P-126参照）がある。図 3-5-2 に横軸フランシス水車の相対構成効率カーブを示すが、最大使用水量に対し使用水量が少なすぎると水車にキャビテーションが発生し損傷を与えることになるため、このような水量のときは発電を停止することになる

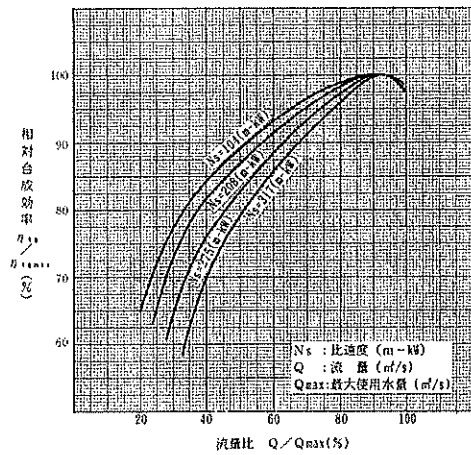


図 3-5-2 横軸フランシス水車の相対合成効率

（図 3-5-3 参照）。すなわち、この範囲を考慮して、後述する水車・発電機の合成効率を用いて発電電力量を算定する。

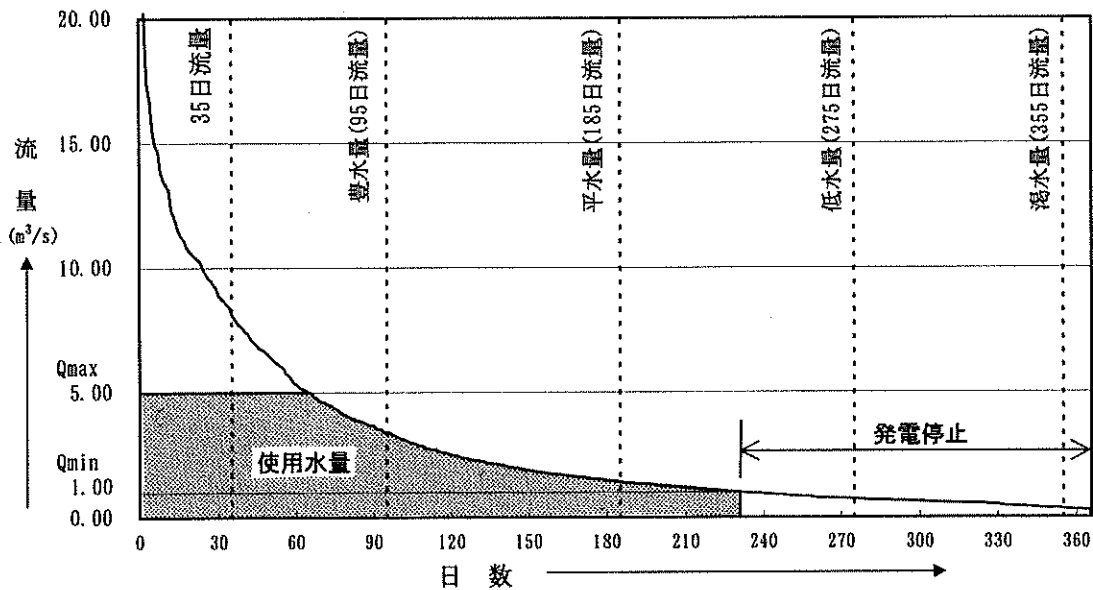


図 3-5-3 使用水量と流況

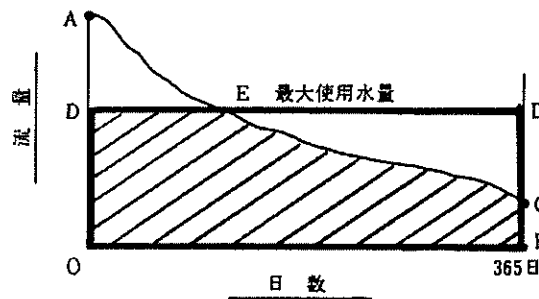
3) 流量設備利用率、設備利用率及び河水利用率

出典) 中小水力発電ガイドブックP-58～60

① 流量設備利用率

流量設備利用率とは、年間を通じて最大使用水量で使えるとした場合の水の総量に対し、河川の変動する流量の中で実際に取水できる水の総量が占める割合をいう。

$$\text{流量設備利用率} = \frac{\text{面積DOBCE}}{\text{面積DOBD'}} = \frac{\text{面積DOBCE (m}^3/\text{s-day)}}{\text{DO} \times 365 (\text{m}^3/\text{s-day})}$$



注) “m³/s-day” の説明

河川の総流入量を1億tとした場合、これを“m³/s-day”で表せば、以下のとおり3.17 m³/s-dayとなる。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 億 t} &= 100,000,000 \text{ m}^3 \\ &= 100,000,000 \text{ m}^3 / (365 \text{ 日} \times 86,400 \text{ 秒}) \end{aligned}$$

ここに、1日=24時間=86,400秒

ゆえに、

$$1 \text{ 億 t} = 3.17 \text{ m}^3/\text{s-day}$$

② 設備利用率

設備利用率とは、発電設備が年間を通じてフル(100%)に運転できたとした場合の発電量総量(最大出力(kW)×24時間×365日)に対し、実際に発電した発電量が占める割合をいう。発電量は水路の損失及び水車・発電機の合成効率が影響するため、設備利用率は、通常、流量設備利用率より5～10%程度低くなり、発電最小流量に対し最大使用水量の比を大きくするほどその差が大きくなる。

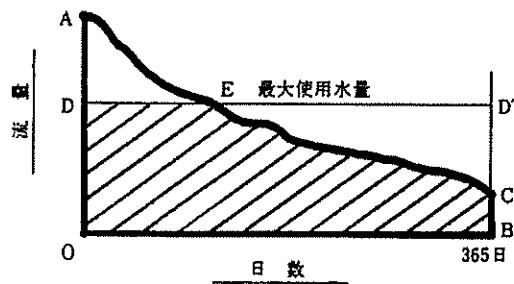
$$\text{設備利用率} = \frac{\text{可能発電量}}{\text{最大出力(kW)} \times 8,760(\text{hr})}$$

$$\text{設備利用率} = (95\% \sim 90\%) \times \text{流量設備利用率}$$

③ 河水利用率

河水利用率とは、取水地点の河水流量（総流量）に対し、実際に取水し使用できる流量の合計量が占める割合をいう。

$$\text{河川利用率} = \frac{\text{面積DOBCE} (\text{m}^3/\text{s-day})}{\text{面積AOBC} (\text{m}^3/\text{s-day})}$$



(3) 発電力の算定

① 理論水力

流量 Q (m^3/s) の水が落差 H_e (m) を落下して単位時間 (1秒間) になす仕事を理論水力 (P_o) という。1 m^3 の水の重量を1,000kgとすると、理論水力 (P_o) は以下のとおり算定される。

$$P_o = 1,000QH \text{ (kgm/s)}$$

ここに、1kgm/s=9.8 (J/s) であり1kWs=1,000 (J) であるから、上式は以下のとおり表すことができる。

$$P_o = \frac{1,000QH \times 9.8}{1,000} = 9.8QH \text{ (kW)}$$

したがって、理論最大水力及び理論常時水力は、下式のとおり表せる。

$$\text{理論最大水力} = 9.8 \times Q_{\text{max}} \times H_{\text{emax}}$$

$$\text{理論常時水力} = 9.8 \times Q_f \times H_{\text{ef}}$$

② 発電力

$$\begin{aligned} \text{最大発電力 (kW)} : P_{\text{max}} &= \text{理論最大水力} \times \text{水車} \cdot \text{発電機合成効率} \\ &= 9.8 \times Q_{\text{max}} \times H_{\text{emax}} \times \eta \text{ (最大使用水量時)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{常時発電力 (kW)} : P_f &= \text{理論常時水力} \times \text{水車} \cdot \text{発電機合成効率} \\ &= 9.8 \times Q_f \times H_{\text{ef}} \times \eta \text{ (常時使用水量時)} \end{aligned}$$

③ エルゴ L5出力

水力発電所の発生電力を評価するための出力で、発電方式により多少定義が異なるが、“流れ込み式”では最近10ヶ年の流量資料を基に計算した各月の最低5日平均日出力の平均値をいう。

【参考1】

7. 調整池式発電所のL5出力

最近10か年以上の流量資料を基に計算した各月の最低5日の尖頭出力（尖頭時間4時間以上）の平均値から停止出力を差し引いたものの年間平均値とする。

4. 貯水池式発電所のL5出力

最近10か年以上の流量資料を基に計算した各月の最低半旬の平均尖頭出力の平均値から停止出力を差し引いたものの年間平均値とする。

出典) 廃止発電所補償基準運用要領 補償問題研究会
平成11年5月31日改定

④ 有効出力

発電計算では、年間365日フル稼働した場合の計算値が得られるが、現実の発電所においては、事故や補修のため運転できない日時が生じる。そのため、その停止により損失する出力や電力量を差し引いて評価する必要があり、L5出力から停止出力を差し引いた後の出力の年間平均値を有効出力という。

【参考2：水圧管路延長が長い場合の出力】

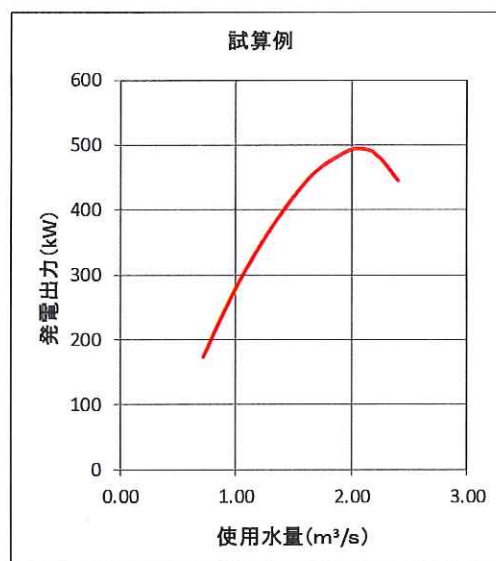
水道用水路、あるいは農業用水路を利用するような場合、水圧管路の延長が相当長い場合は、最大使用水量よりも少ない使用水量時点で最大出力を発電する場合がありますので注意を要する。

以下に、試算値を示すが、試算例では、延長3km、内径1.0mの圧力管路において、最大使用水量を2.40m³/sとした場合である。表3-5-2に示すとおり、使用水量は最大時よりも少ない2.04m³/sとした場合のほうが、損失落差が小さくなるため発電出力は大きくなる。

すなわち、水圧管路延長が相当に長い場合は、使用水量と有効落差の関係に留意する必要がある。

表3-5-2 水圧管路が長い場合の出力特性

項目	単位	諸元	
使用水量:Q	m ³ /s	2.40 (100%)	2.04 (85%)
水圧管内径:D	m	1.00	
管路延長:L	m	3,000.00	
水圧管断面積:A	m ²	0.785	
流速:V	m/s	3.057	2.599
粗度係数:n		0.012	
f		0.017928	
損失水頭:hf	m	25.70 m	18.60 m
総落差:H	m	50.00	
有効落差:He	m	24.30 m	31.40 m
合成効率:η		0.78	0.8
出力:P	kW	450	500



(4) 発電電力量の算定

- ア. 発電電力量は、 Σ 〔発電力；P (kW)〕 \times 〔発電時間；(h)〕で算定され、単位はkWhである。
- イ. 発電電力量の算定は、物価の変化に影響を受けないため、一般に工事費算定精度よりも高い精度の結果が当初より得られるように心掛ける必要がある。
- ウ. 発電電力量は、年間可能発電電力量と年間発電電力量に分けられる。

① 年間可能発電電力量

年間可能発電電力量とは、発電所が年間を通じて事故停止もせず、点検維持補修停止も生じないものと仮定した場合に、1ヶ年に発電が可能な電力量をいう。経済性の指標となるkWh当たり建設単価は、建設費を年間可能発電電力量で除して算定する。

② 年間発電電力量

年間発電電力量は、有効電力量あるいは発電端電力量ともいい、点検停止、補修停止あるいは事故停止などによって生じた損失電力量を控除した、実際に発電する電力量をいう。発電原価は、1ヶ年間に必要な発電所の総経費を実際に発電する電力量、すなわち年間発電電力量で除して算定する。年間発電電力量は、下記の利用率（出典：中小水力発電ガイドブックP-91）、又は地域別・月別利用率（出典：中小水力発電ガイドブックP-214）により算定する。

年間発電電力量＝年間可能発電電力量 \times 利用率

流れ込み式の利用率 \approx 0.95

貯水池式の利用率 \approx 0.97～0.98

出典）中小水力発電ガイドブック P-91

【参考3：年間可能発電電力量の算定方法】

年間可能発電電力量の算定方法は、中小水力発電ガイドブック（P-85～P-91）に記載のとおり各種あるが、その求める精度に応じ流量～効率法、あるいはパソコンなどによる日単位計算を行う。なお、平均電水比法は最も単純な算定方法であり、短時間で概略の値が算定できる。

以下に、平均電水比法、及び流量～効率法を示す。

1) 平均電水比法

年間可能発電電力量の算定方法は、中小水力発電ガイドブック（P-85～P-91）に記載のとおり各種あるが、その求める精度に応じ流量～効率法、あるいはパソコンなどによる日単位計算を行う。

電水比とは、発電力（kW）と使用水量（ m^3/s ）の比をいい、

$$\text{最大電水比} = \frac{\text{最大発電力}}{\text{最大使用水量}} \quad [\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}]$$

$$\text{常時電水比} = \frac{\text{常時発電力}}{\text{常時使用水量}} \quad [\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}]$$

$$\begin{aligned} \text{平均電水比} &= \frac{1}{2} \{ (\text{最大電水比}) + (\text{常時電水比}) \} \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{\text{最大発電力}}{\text{最大使用水量}} + \frac{\text{常時発電力}}{\text{常時使用水量}} \right] \end{aligned}$$

で表される。すなわち電水比は、使用水量 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 当たりの発電力（kW）を表すものであるから、使用水量にこれを乗ずると、それによる発電力が得られることとなり、ある発電計画での年間合計使用水量； ΣQ （ $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{day}$ ）がわかれば、年間可能発電電力量； E （kWh）は、

$$E = \Sigma Q \text{ (m}^3/\text{s} \cdot \text{day)} \times \text{平均電水比 (kW/m}^3/\text{s)} \times 24 \text{ (hr)}$$

として求められる。

なお、平均電水比法は最も単純な発電電力量の算定方法であり、短時間で概略の値が算定できる。表 3-5-3 に同方法の算定方法を例示する。

表 3-5-3 平均電水比法

項目	諸元	算定式
① 有効落差	45.00 m	与条件
② 最大使用水量	3.00 m ³ /s	与条件
③ 常時使用水量	0.60 m ³ /s	与条件
④ 最大出力	1,100 kW	$9.8 \times ② \times ① \times \eta$ ($\eta = 0.84$)
⑤ 常時出力	158 kW	$9.8 \times ③ \times ① \times \eta$ ($\eta = 0.60$)
⑥ 最大電水比	367 kW/m ³ /s	④/②
⑦ 常時電水比	263 kW/m ³ /s	⑤/③
⑧ 平均電水比	315 kW/m ³ /s	$[(⑥+⑦)] / 2$
⑨ 発電使用水量総量	650m ³ /s-day	与条件
⑩ 年間可能発電電力量	4,914,000 kWh	⑧×⑨×24時間
⑪ 年間発電電力量	4,668,000 kWh	⑩×利用率 (利用率=0.95)
⑫ 設備利用率	51 %	⑩ / [(④×24時間×365日)] × 100

2) 流況～効率法による年間可能発電電力量の計算

- ① 年間可能発電電力量は、1年間あたりの最大使用水量以下の使用水量で発電される電力量（図3-5-4の a d b c d）をいい、区分された使用水量（一般的には最大・豊水・平水・低水・濁水・最小流量で区分）ごとに水車発電機の合成効率を考慮して電力量（図3-5-4の I～VI）を求める。
- ② 区分された使用水量ごとの発電電力量は、近似計算して求め、図 3-5-4 においては次式となる。
- ③ III面積（ABCD）の計算例： $(P_i + P_{i-1}) / 2 \times (C - B) \times 24$

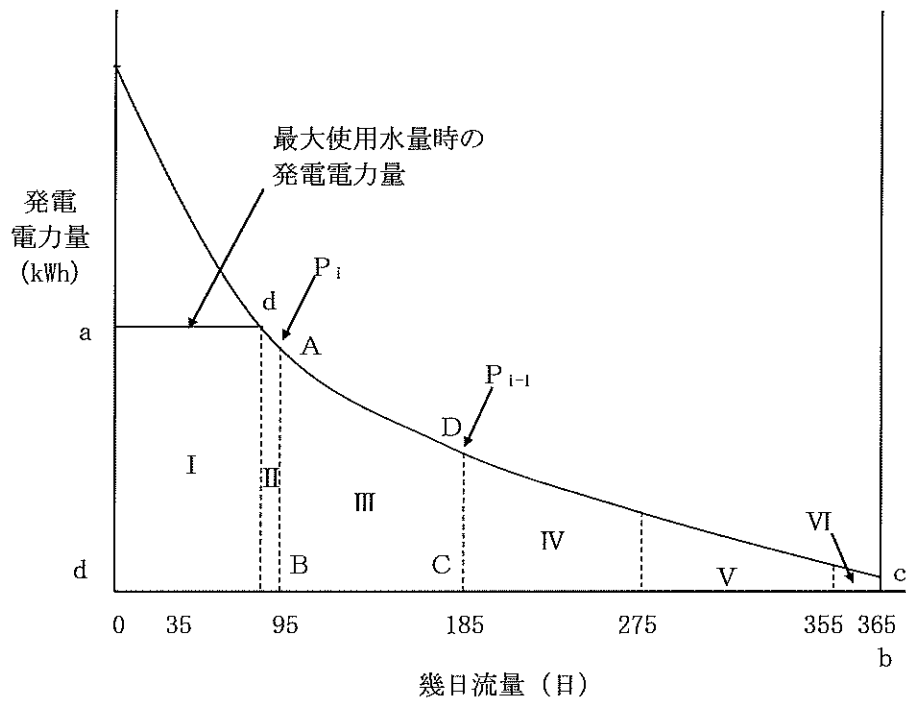


図 3-5-4 区分された使用水量ごとの発電電力量の計算方法

表 3-5-4 流況～効率による年間可能発電電力量計算要領

最大使用水量 = $0.00 \text{ m}^3/\text{s}$

最大使用水量時の有効落差 = 00.00 m

番号	① 日順	② 日数 (日)	③ 使用水量 (m^3/s)	④負荷率 (%) *1 ③ /最大使用水量 $\times 100$	⑤ 合成効率	⑥ 発電力 (kW) *1 $9.8 \times Q$ $\times H \times \eta$	⑦ 平均発電力 (kW) *1 ・ $i=1$ の時 : ⑥ _{i} ・ $i=2\sim 7$ の時 : $(\text{⑥}_i + \text{⑥}_{i-1}) / 2$	⑧ 発電電力量 (kWh) $\text{⑦} \times \text{②} \times 24$
1	最大頭切日順							
2	95	95 -						
3	185	185 - 95						
4	275	275 - 185						
5	355	355 - 275						
6	365	365 - 355						
合計		365	—	—	—	—	—	

*1: 負荷率, 発電力, 平均発電力は、小数点第一位を四捨五入する。

*2: 解答は、表中の太字である。

(5) 最適発電規模（中小水力発電ガイドブック P-150～P-152）

発電規模は、主に最大使用水量、有効落差及び水車の型式によって決定されるため、これに関するパラメータを変化させた比較検討を行う。

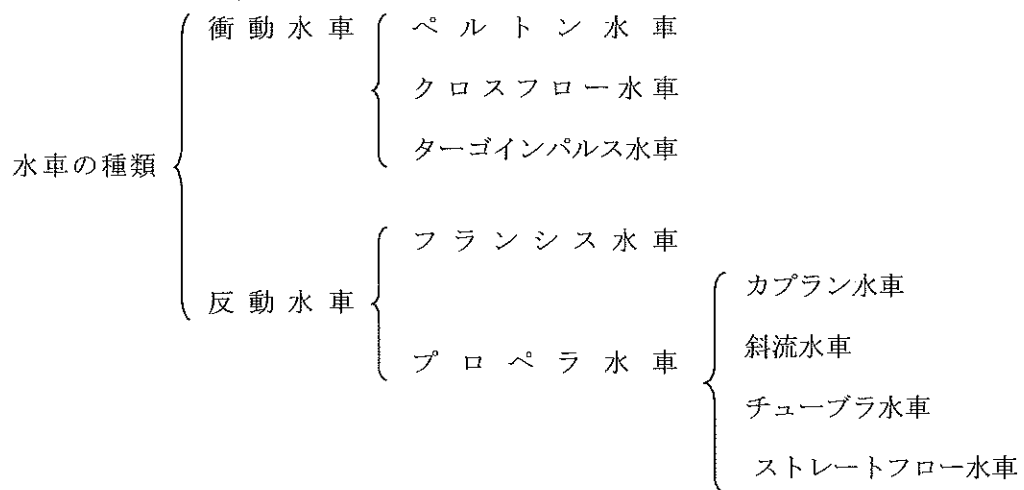
流れ込み式発電計画では、パラメータごとに概算工事費及び年間可能発電電力量を求め、kWh当たり建設単価が最小となる案を最適発電規模とする。以下に流れ込み式発電計画における比較項目を示す。

- ① 取水ダム位置及び発電所位置を変化させた代替案（水路ルートを選定）
- ② 最大使用水量を変化させた代替案（前掲(2) 使用水量の決定の項参照）
- ③ 水車型式を変化させた代替案
- ④ 水車台数を変化させた代替案

（注）④は、必要に応じて検討する。

(6) 水車・発電機の選定

1) 水車の種類



衝動水車 : 圧力水頭を持つ水をノズルから噴出させて、すべて速度水頭にかえ、噴出水の衝動によりランナを回転させる構造の水車 (図 3-5-5 参照)。

反動水車 : 圧力水頭を持つ流水の水圧をランナに作用させる構造の水車 (図 3-5-6 参照)。

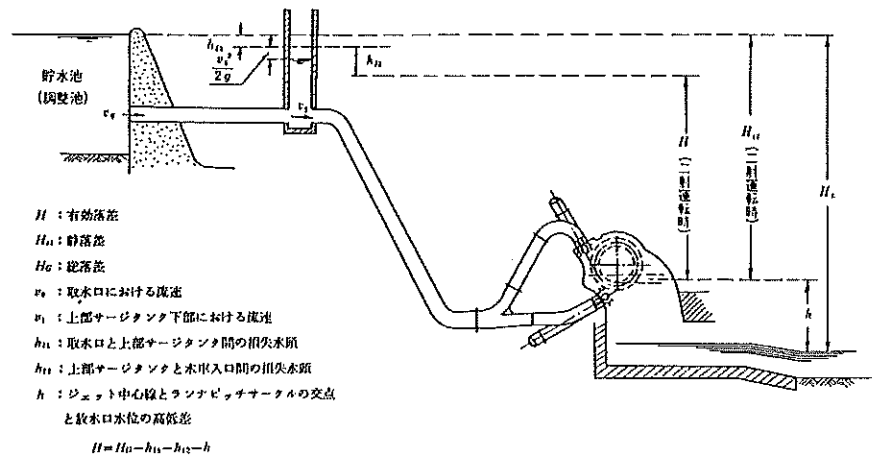


図 3-5-5 衝動水車の例 (ペルトン水車) (出典 : JEC-4001-1992)

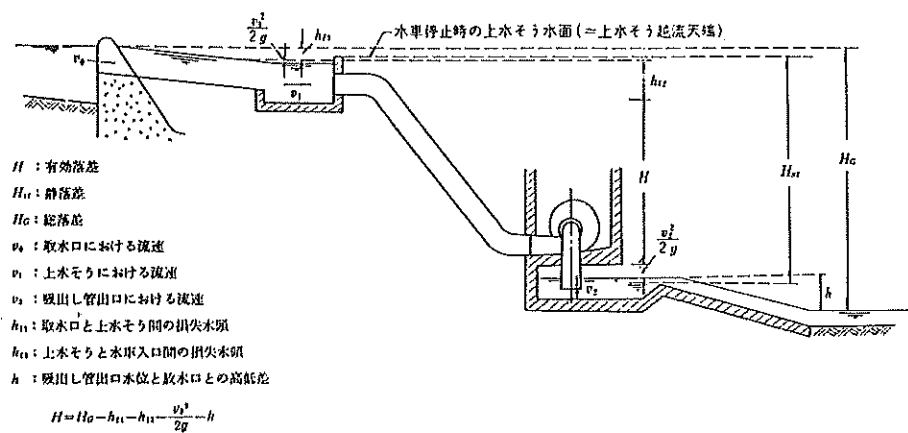


図 3-5-6 反動水車の例 (横軸フランシス水車) (出典 : JEC-4001-1992)

2) 水車の選定

水車は、使用水量の大小や落差の大小によってその適用機種が異なるため、その地点に合った最も経済的な水車を選定する。

水車の型式は、最大使用水量と有効落差の適用範囲によって定まり、一般的には、「中小水力発電ガイドブック (P-108)」、あるいは「中小発電計画導入の手引き 平成26年2月 経済産業省 資源エネルギー庁 (P4-16)」記載の水車型式選定図が参考となる。

図 3-5-7 に「中小水力発電ガイドブック」記載の水車型式選定図を示す。

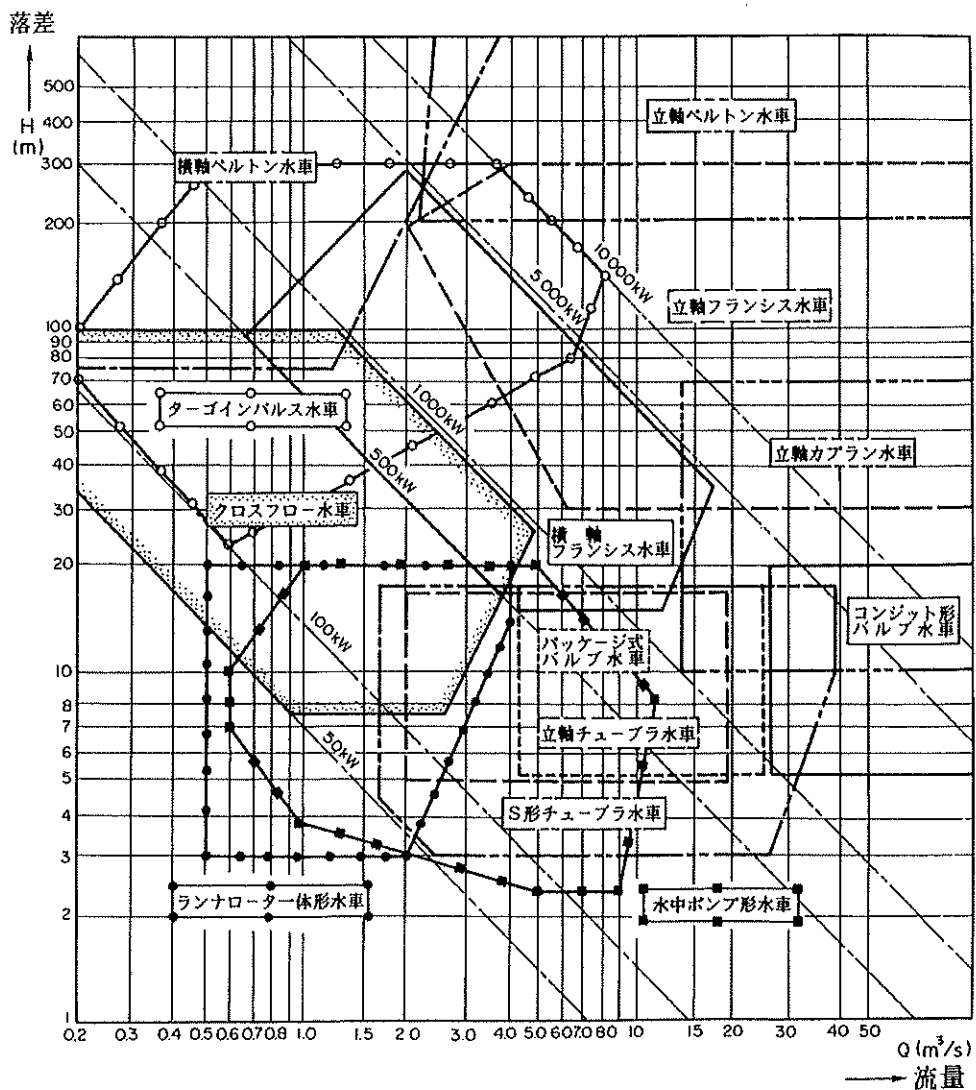


図 3-5-7 水車形式選定図

出典) 中小水力発電ガイドブック (新訂5版) P108

3.6 概算工事費及び事業性評価（経済性評価）

(1) 工事費の積算

1) 工事項目の分類

水力発電所の建設工事は、直接現場で工事するものだけでも、土木、建築、電気と分かれ、しかも土木工事一つとっても、ダム、取水設備、水路（トンネル）、水槽、水圧鉄管、発・変電所基礎、放水路、並びにそれに伴う仮設備工事といったように、正に総合土木工事の観を呈することになり、実際に着工するためには、経験豊富な技術者による合理的かつ経済的な施工法に基づく積算が要求される。施工法如何によって同じ地点でも経済性が随分異なる場合があるので、特に仮設備計画を中心に入念な検討が必要となる場合が多い。更に、用地関係、建設所運営関係、建設中の工事資金の金利や発電所の直接的な建設をバックアップする事業所の事務経費も含まれてくる。

一般的には、表 3.6.1 に示すような工事項目の下で、各々工程ごと（例えば掘削、切取り、コンクリート、型枠、鉄筋等、更に掘削では土右か岩か、コンクリートでは無筋コンクリートか鉄筋コンクリートか等）に施工法に応じた数量の選出、及び工程単価の決定を行い、積算することになる。

表-3.6.1 水力発電所建設工事に係わる工事項目

項目		備考
用地	土地 無形固定資産 補償費	立木伐採補償を含む。 水利願出願費、漁業権補償、電話加入権。 公共補償（建設に伴う自治体への各種補償）と一般補償（関係者への実害補償）。
建設	主要建築工事 別途工事	発・変電所の建屋工事（発電所内場合は通常発電機床より上部）。 建屋町付属設備（換気、給排水等）、ダム管理用見張所等、付属建物。
土木	主要建築工事 ダム 取水口 沈砂池 導水路 水槽 水圧鉄管 余水路 発・変電所敷地造成 発・変電所基礎 放水路 放水口 その他 別途工事 ダム 取水口 沈砂池 導水路	主要土木工事主要土木工事は構造物別にその構造物をつくるに当たり直接的土木工事費を計上する。請負者独自の仮設備も含む。 その他には通常、本工事で生じる残土処理のための土捨場工事とその緑化対策費が織込まれる。 通常金物類（ゲート、鉄管等）グラウト等は専門とする請負者が別におり、 主要土木工事と契約は別になっている。 基礎グラウト、組目グラウト、ゲート、パジレブ等。 スクリーン、ゲート等。 スクリーン、ゲート等。 トンネルの場合には地質によって破砕帯や湯水が何処で何時生じるかわからないので、その都度、精算できるよう、主要土木とは別に

	水槽 水圧鉄管 余水路 発・変電所基礎 放水路 放水口	扱う。 グラウト工事、横坑閉塞工事。 スクリーン、ゲート等。 サージタンクで、鉄管で内張する場合の鉄管工事。 鉄管工事。 地下埋設の場合はグラウト工事も含む 鉄管工事。 基礎グラウト。 ゲート、トンネルの場合はグラウト工事を含む。 角落し又はゲート等。
電気	主要機械 機械装置 諸装置	水車、発電機及びそのコントロールをする配電盤・開閉装置。 主要変圧器、制御装置、屋外鉄構L主機内コントロールに関係のない配電盤・開閉装置等。 通信電灯電気装置及び発電所周辺町雑施設、（地下発電所の場合には地下空洞やアクセストンネル、ケーブルトンネルもここに含まれる）。
機械装置 基礎		水車町ケーシングパレル周辺のでん充コンクリート等、機械装置の基礎周辺工事。
仮設備		発注者側の建設所として必要な仮建物（事務所、合宿、倉庫等）、通信、電灯、電力用の変電、配電、通信設備の工事、及び発注者側が設けるケーブルクレーンやプラント等仮設備や、工事に必要な道路、橋りょう工事、トランシット等各種計測器具を含む工事用備品並びに請負者に支給する工事用電力に関する一切の費用。
総係費		発注者側の建設所人員の給与、厚生費、出張費用、事務用品、耗品、当地点の開発のための調査費用等一切の運営関係費用。
建設中 利子		当工事的資金を全額又は一部借入れた場合的金利。
分担 関連費		当工事をバックアップする発注者側の本・支店内関連事務経費。
予備費		工事道行途上における出水対策費用や物価変動（特に高騰時）の工事費増額に対処するための費用。
転出		仮建物や工事用備品は当工事完了後、未償却額分相当を次の工事に転用できる場合にはその分を減額する。

電源開発に伴う工事費の項目分類の大要は、以上のとおりであるが、その詳細については、電気事業会計規則によって厳密に管理されており、工事資金の合理的並びに明朗な運営が義務づけられている。

このような詳細な積算は、開発の前段階ではどうしても必要となる業務であるが、図上計画段階（最適ルート及び最適規模の検討時）では、後述するとおり、一般にはより簡略化した方法がとられる。

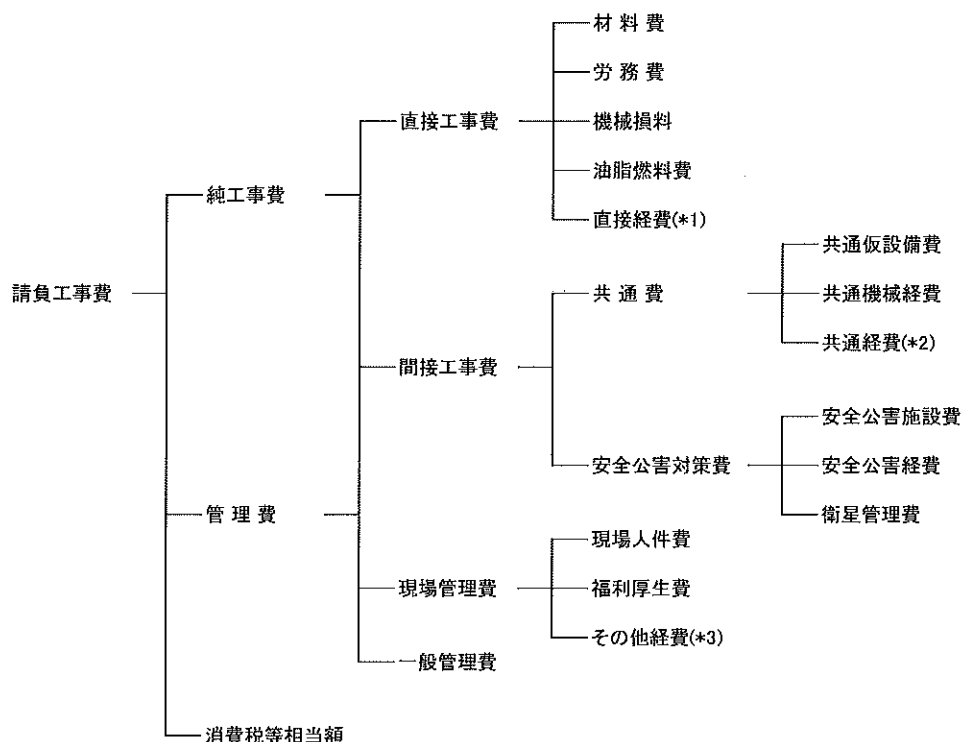
この簡略化した方法としては、「水力発電計画工事費積算の手引き 平成 25 年 3 月 経済産業省 資源エネルギー庁 一般財団法人 新エネルギー財団」が挙げられる。この手引きは、ある程度の精度を保持し、簡便かつ迅速な作業によって効率的な積算が行えるよう基本的に数量と単価を分けずに計画諸元から直接、項目別工事費が算定出来る方式である。この積算の手引きは以下の適用範囲を対象としている。

- ・ 新設及び既設設備を利用した発電所工事を対象とする。
- ・ 最大出力は 50,000kW 程度までを対象とする。
- ・ ダムはローダムを対象とする（高さが 15m を超えるハイダムは対象外）。

なお、当該手引き平成 25 年度に作成されており、工事単価設定年度は平成 23 年度時点であり、使用する時点の工事費は、補正が必要である。

2) 工事費の構成

表-3.6.2 請負工事費の構成例



(*1) 工事に伴う現場での材料の小運搬, 軽微な仮設機器損料, 用水・光熱費, 雑消耗品費等。

(*2) 請負者側の仮建物, 仮設備の供用に伴う維持修繕費, 地代家賃, 用水・光熱費等。

(*3) 請負者側の労務管理費, 租税公課, 保険料, 事務用品費等。

3) 概算工事費の積算方法

図上計画段階における工事費の積算方法は、一般的には中小水力発電ガイドブック (P160) に参考として記載されている平成 6 年 3 月に示された「未開発地点開発最適化調査規模選定工事費積算基準」が挙げられるが、これは平成 5 年度に作成されたものであることから、最近は、「水力発電計画工事費積算の手引き 平成 25 年 3 月 経済産業省 資源エネルギー庁 一般財団法人 新エネルギー財団」が利用されている。

「水力発電計画工事費積算の手引き 平成 25 年 3 月」は、“1 規模選定工事費積算の手引き”、“2 発電計画工事費積算の手引き”及び“3 電気設備選定の手引き”の 3 部で構成されている。

① 適用範囲

当該手引きの適用範囲は、以下のとおりである。

- ・ 新設及び既設設備を利用した発電所工事を対象とする。
- ・ 最大出力は 50,000kW 程度までを対象とする。
- ・ ダムはローダムを対象とする（高さが 15m を超えるハイダムは対象外）。

② 1 規模選定工事費積算の手引きについて

- ア 本手引きは、中小水力開発調査で策定する発電計画のうち、発電計画の検討（最適ルート、最適規模の検討）における工事費の積算に用いる。
- イ 発電計画の検討における最適ルート及び最適規模の検討は、複数のケースを選定し、発電電力量計算、工事費積算を行って経済性の比較検討をすることから、本積算の手引きは、ある程度の精度を保持し、簡便かつ迅速な作業によって効率的な積算が行えるよう基本的に数量と単価を分けずに計画諸元から直接、項目別工事費が算定できる方式としている。
- ウ 工事費は最大使用水量、取水ダムの高さなどの諸元から図表で工事費が算定できる。水圧管路や余水路は、1/25,000 地形図などから延長を求め、最大使用水量から求まる水圧管路の単位当たり単価を図表から求め、両者を乗じて工事費を算定する。

③ 2 発電計画工事費積算の手引きについて

- ア 本積算の手引きは、中小水力開発調査で策定する発電計画のうち、1/25,000 より詳細な地形図をベースとした発電計画の策定における工事費の積算に用いる。
- イ 本積算の手引きは、前述の“1 規模選定工事費積算の手引き”を用いて発電計画の検討（最適ルート、最適規模の検討）で選定した最適計画案に基づいて発電計画の策定を行う際に用いるものである。工事費の算定は工種ごとに数量、単価を算定して積算を行う方式であり、より精度の高い積算を行うことができる。
- ウ “2 発電計画工事費積算の手引き”では概略設計図から数量を求め、図表から算定する単価を乗じて工事費を求める「発電計画Ⅰ」と、設計図から算定する数量に図表から算定する単価を乗じて工事費を求める「発電計画Ⅱ」の方法が記載されている。

④ 3 電気設備選定の手引きについて

「電気設備選定の手引き」は、小水力発電の概略設計などに対応できる水車・発電機効率の算定図などについてとりまとめ、1,000kW 以下の小水力発電所に対応できるように作成されている。

(2) 経済性の評価

発電所建設に係わる経済性評価の方法は、種々用いられているが、大きく分けて総合経済性評価法と個別経済性評価法がある。

総合経済性評価は、既設の設備（水力、火力、原子力、地熱）を含む電力系統全体を考慮して、新規の設備の経済性を評価するものであるが、この方法は極めて複雑であり、電力会社単位或はもっと広い広域運営の場での将来の電源構成のあり方をめぐる議論に適する方法である。

一方、電源構成から見た水力の占める割合は、発電電力量で約 10%と低く、このようななかで特定の中小水力地点の開発効果を系統の中で評価することは適当でない。

したがって、水力開発を行う前提で経済性評価を行う場合、とにかく発電原価を最低とする原則を基本とする個別経済性評価法が優先し、費用便益法（いわゆる「C/V法」）、建設単価法、限界建設単価法、及び内部収益率（IRR）の 4 種類がある。以下にその概要を示す。

1) 費用便益法（C/V法）

計画している水力地点がそれと同等の電力を供給する水力以外の代替電源、主として大規模火力との比較で経済性を評価しようという手法であり、まず基準となる代替電源を想定し、計画水力地点が受け持つ負荷をこの代替電源（基準火力）で代替した場合の年経費を算出し、この値を計画水力地点の便益（V）とする。

便益（V）の算出に当たっては、水力と基準火力との代替関係を明確にするため、水力の有効出力（年間最低 5 日間の渇水時でも起しうる出力に事故、修繕等による停止率を考慮した出力）と水力の年間有効発電電力量（年間可能発電電力量に利用率を考慮した電力量）に着目し、基準火力の年経費を固定費（主として建設資金にかかる金利、減価償却費、固定資産税等の資本費と運転時間に係わりなく維持・修繕に要する費用、人件費等）と可変費（主として燃料費）に区分し、

$$\text{便益 (V)} = \text{kW 価値 (水力の有効出力} \times \text{基準火力の附当たり固定費)} \\ + \text{kWh 価値 (水力の有効電力量} \times \text{基準火力の kWh 当たり可変費)}$$

ただし、

1. 水力・火力の事故率差、停止率の差を考慮して基準火力固定費を割増す。
2. 水力・火力の比較する系統上のポイントにおいては、送変電経費、ロス率の差を修正する。
3. 各電源とも耐用年均等経費（水力で約 35～40 年、火力で 15 年程度）で算出する。

一方、計画水力地点の年経費（C）を計算し、費用（年経費：C）と便益（V）との比較を行うことになる。水力の年経費はそのほとんどが固定費である。

水力、火力とも年経費は一つ一つの項目について積み上げることになるが、大略水力は総建

設費の12%~13%位、火力の固定費で15%~17%位である。

算出した費用(C)と便益(V)との比、すなわち $C/V \leq 1$ であれば基準火力に対して計画水力地点が等価ないしは優れた経済性を有していることになり、 $C/V > 1$ ならば基準火力より経済性が劣るという判断になる。

この方法は、戦後貯水池式の水力によるピーク発電が求められたときに、kW 価値をうまく織り込んだ手法として考案され、第4次発電水力調査以後全国的に利用されてきた。昭和30年代から40年代にかけて建設された水力発電所は、C/V評価による所産である。開発の順位はC/Vの小さいものを優先し、個別地点的には設備規模としてC/V最小をねらうとともに、 $(V-C)$ 最大となるよう検討を加えていくわけである。

もともと、流れ込み式の場合、kW 価値が極めて小さいため、便益 \approx kWh 価値となってしまう、これは計画水力地点の発電電力量が、火力ならば単に燃料のたき増しで対応可能ということとなり、C/V法的前提を否定することになってしまう。貯水池式や調整池式或は揚水のようにピーク対応供給力の評価には適しているが、最近のように流れ込み式を主体とする水力開発の傾向にあっては、C/V法を活用するまでに至っていないのが現状である。

しかし、定性的には、中小水力発電といえども供給電力の一部を担っているのであり、設備投資の有利、不利あるいは投資効率を判定するC/V法は、対象とする代替電源の検討とともに、今後とも経済性評価のひとつになるであろう。

2) 建設単価法

個別の電源の経済性を厳密に求めるには、その発電所から生まれる電力の発電原価を検討するわけであるが、水力の場合、その年間経費のほとんどは資本費であり、計画地点が異なっても大きく経費率に差はでないので、主として計画段階では建設単価による評価を行うのが一般的である。

建設単価には、出力(kW)当たりの建設単価と発電電力量(kWh)当たりの建設単価の2種類がある。前者は

$$\text{出力 (kW) 当たり建設単価} = \text{建設費} / \text{最大出力 (円/kW)}$$

で求められ、ピーク発電をするような貯水池、調整池式のように設備利用率の低いもの程安くなってくる。特に、揚水式の開発規模の決定に当たっては、代替火力の即当たり建設単価との見合いで、大きな指標となっている。

一方、発電電力量(kWh)当たりの建設単価は、

$$\text{発電電力量 (kWh) 当たり建設単価} = \text{建設費} / \text{年間可能発電電力量 (円/kWh)}$$

で求められ、最も良く用いられる指標である。原価主義による電気料金と密接な関係を持つ評価である反面、水力のkW 需給バランスへの貢献が全く入っておらず、単に石油系燃料の代替エネルギーとしての観点しか評価されていないうらみがあるが、流れ込み式の場合にはこの方

法が現時点では最もふさわしいものと考えられる。

3) 限界建設単価法

C/V法の場合であれば $C/V \leq 1$ なら開発の可能性有りとの判断が下せるわけであるが、kWh 当たり建設単価を用いた場合の判断基準はどうするかの問題が残る。

限界建設単価法とは、一般水力に極力 kW 価値を併せもたそうという観念から検討されたものである。

ここでは、経済性ランクを第5次発電水力調査と同様に a、b、c と区分し、それぞれ発電型式ごとに kWh 当たり建設単価の限度を決める方法を紹介するとともに、最近の状況を踏まえ限界建設単価を試算した。

① 試算の条件

モデル火力として表 3-6-3 に示す諸元の LNG 火力を想定し、その代替電源としての水力について表 3-6-4 に示す水力関連諸元を設定した。

水力及び火力の比較ポイントは、表 3-6-5 に示すとおり、モデル火力から 500kV、275kV の流通設備をとおり、275kV/154kV 又は 275kV/66kV の変電所で水力発電所からの送電線と接続されるものとし、更に当該水力発電所用に 154kV または 66kV の送電線が 1 回線 10km 新設されるものとした。

表 3-6-3 モデル火力

電源種別	LNG 火力		
ユニット容量	1,400 MW		
建設単価	120,000 円/kW		
燃料費	条 件	年率 10 %up (15 年)	
	初年度価額	6.56 円/Mcal	
	15 年均等価額	12.14 円/Mcal	
所 内 率	(kW) 2.8 % (kWh) 3.0 %		
kW 補正率	(年間バランス) 20 %		
経 費 率 (ただし、今回試算値)	16.61 % (利子率=8%) 13.49 % (利子率=4%) 12.09 % (利子率=2%)	} 表 3-6-6 参照	
熱 効 率	52.0 %		

出典) 資源エネルギー庁：「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告 (平成 27 年 5 月)」に記載されている発電所データを参考とした。

表 3-6-4 水力関連諸元

発電経費率 (ただし、今回試算値)	12.92 % (利率=8%)		} 表 3-6-6 参照
	9.07 % (利率=4%)		
	7.20 % (利率=2%)		
送電経費率 (ただし、今回試算値)	12.72 % (利率=8%)		} 表 3-6-6 参照
	8.99 % (利率=4%)		
	7.19 % (利率=2%)		
有効出力	流れ込み式	各月 L5 出力の年平均	
	調整池式	各月最低 5 日平均流量をベースに 7 時間ピーク相当の年平均	
	貯水池式	7 時間ピーク化し月別出力の年平均	
有効電力量	ロス率、停止率を考慮して、年間可能発電電力量の 95%		

表 3-6-5 送変電諸元

送電	建設単価	(500kV) 29,800 円/kW, (275kV) 4,400 円/kW	
	経費率	12.32%	
	ロス率	(kW)	(kWh)
変電	建設単価	(500/275) 9,200 円/kW, (275/66) 11,400 円/kW	
	経費率	14.23%	
	ロス率	(kW)	(kWh)
比較ポイント	<p>火力 500KV } } 275KV } } 水力 500/275 275/154 or 66 10km (1cct)</p>		

次に、前記（表 3-6-3～表 3-6-5）の条件で水力の限界建設単価（kW 価値及び kWh 価値）を試算した。

試算では、割引率及び物価上昇率を、比較のため表 3-6-6 のとおり設定した。

表 3-6-6 経済指標

割引率	年率 8%、4%、2% up
物価上昇率	年率 8%、4%、2% up

比較のために複数条件設定。

② 試算結果

原価の算定に当たっては、前掲表 3-6-6 に示す経済指数の下に 15 年間で均等化した。

その結果、表 3-6-7 に示すように各利率と物価上昇率による kW 価値（円/kW）と kWh 価値（円/kWh）は以下のとおりとなる。

表 3-6-7 kW 及び kWh 当たり価値

利率 \ 物価上昇率	8%	4%	2%
8%	35,400 円/kW 22.2 円/kWh	29,100 円/kW 23.7 円/kWh	26,300 円/kW 24.5 円/kWh
4%	34,300 円/kW 22.2 円/kWh	27,800 円/kW 23.7 円/kWh	24,900 円/kW 24.5 円/kWh
2%	33,800 円/kW 22.2 円/kWh	27,300 円/kW 23.7 円/kWh	24,400 円/kW 24.5 円/kWh

【参考】

kW 価値、kWh 価値の算出例（ただし、利率=8%、物価上昇率=8%）

$$\begin{aligned} \text{KW価値} &= \frac{(\text{火力建設単価} \times \text{経費率} + \text{送変電建設単価} \times \text{経費率})}{(1 - \text{火力側KWロス率})} \times (\text{KW補正率}) - (\text{水力側送電線経費}) \\ &= \frac{120,000 \times 0.1661 + 29,800 \times 0.1272 + 9,200 \times 0.1485 + 4,400 \times 0.1272 + 11,400 \times 0.1485}{1 - 0.028 - 0.044 - 0.01 - 0.003 - 0.005} \\ &\quad \times 1.2 - 640 = 35,415 \text{円} \rightarrow 35,400 \text{円/KW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KWh価値: 対比電源燃料費} &= \frac{(\text{燃料価額}) \times 0.86 \text{Mcal/KWh}}{(\text{熱効率}) \times (1 - \text{火力KWh所内率})} \times (1 + \text{事業税}) \\ &= \frac{6.56 \times 0.86}{0.52 \times (1 - 0.03)} \times 1.01523 = 11.4 / \text{円kwh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &15 \text{年均等化してさらに火力側kwhロス率補正をする} \\ &21.1 \text{円/kwh} / (1 - 0.035 - 0.002 - 0.008 - 0.004) = 22.2 \text{円/kwh} \end{aligned}$$

次に、kW価値を織り込んで対比電源発電原価を

$$\frac{\text{kW 価値} \times \text{kW 有効化率}}{\text{年間発電時間}} + \text{kWh 価値} \quad \text{ただし kW 有効化率} = \text{有効出力} / \text{最大出力}$$

で求め、これを水力発電経費率で割ると、一般水力の開発限界単価を計算できる。

例えば、設備利用率 50%、kW 有効化率 30%の流れ込み式発電所の場合の開発限界単価（割引率 8%、物価上昇率 8%）は

$$\frac{\frac{35,400 \times 0.3}{8,760 \times 0.5} + 22.2}{0.1308} = 191 \text{円/kWh}$$

となり、この方式で kW 有効化率、設備利用率を種々与えて開発限界単価のマトリックスをつくると、表 3-6-8 のようになる。表中破線で囲んだ I、II、III のゾーンは、ほぼ貯水池式、調整池式、流れ込み式に相当するゾーンであり、これらより平成 27 年 5 月時点の工事費で kWh 当たりの限界単価は、

貯水池式の開発限界建設単価 = 300 円/kWh

調整池式の開発限界建設単価 = 250 円/kWh

流れ込み式の開発限界建設単価 = 200 円/kWh

と判断される。

表 3-6-8 開発限界単価マトリックス(ただし、利率=8%, 物価上昇率=8%)

		設備利用率				
		20%	30%	40%	50%	60%
kW有効化率	100%	328	276	250	234	224
	90%	313	266	242	228	219
	80%	297	255	234	222	214
	70%	281	245	227	216	208
	60%	266	234	219	209	203
	50%	250	224	211	203	198
	40%	234	214	203	197	193
	30%	219	203	195	191	187
	20%	203	193	187	184	182
	10%	187	182	180	178	177

一方、これをC/V手法的にみると、これらの価額はC/V=1に相当するので、前掲表3-6-6の経済指標のうち、利率=割引率=8%とすれば、20年後には現在C/V=2の地点も、将来C/V=1相当になりうるので、C/V=2(すなわち、開発限界単価の2倍)でも一線を画くことにし、表3-6-9のような経済性ランク分けとなった。

もっとも、この考え方の中には、水力のkW価値を十分に織り込もうという意図があるため、種々議論的になるところである。kW価値を見なければ、発電型式ごとに限界単価は変わらないし、しかも限界単価自体170円/kWhに低下する。仮にkW価値を織り込むとしても、前掲表3-6-3のようにモデル火力に新設火力ではなく、既設の火力をとればやはり限界単価は下がってくる。

このように、限界単価を求める前提条件が変われば直ちに限界単価が変動することになり、経済性の判断基準がその時点での経済動向、或は水力の位置付けに対する考え方次第で大きく変動するものである。

表 3-6-9 発電方式別基準値（経済性ランク）

（単位：円/KWh）

級 発電方式	a (C/V <1.0)	b (1.0 < C/V ≤2.0)	c (2.0 < C/V)
流れ込み式	200 以下	200 をこえて 400 以下	400 をこえるもの
調整池式	250 以下	250 をこえて 500 以下	500 をこえるもの
貯水池式	300 以下	300 をこえて 600 以下	600 をこえるもの

（平成 27 年 5 月時点）

4) 内部収益率

事業期間中に発生する費用の現在価値の累計と便益の現在価値の累計が等しくなる割引率を内部収益率という。すなわち、純現在価値（NPV）が 0 となる割引率のことで、IRR が大きければ投資する事業は経済性が優れている。さらに、事業者がどのプロジェクトに投資するのが有利かを判断するのに利用可能である。

内部収益率は、事業自体の収益性を評価するプロジェクト内部収益率（Project IRR）と、事業の出資金（資本金等）のみを対象として収益性を評価する自己資本内部収益率（Equity IRR）に分類される。それぞれの収益率の概要や事業実施の判断基準については以下に記す。

✓ プロジェクト内部収益率（PIRR：Project IRR：Project Internal Rate of Return）

事業期間を通じた事業に投じられる投資額全体に対する内部収益率で、事業を行うことでどれ位の収益性を得られるかを評価する指標。事業に必要な建設費等の投資額に対して当該事業から得られる内部収益率を求めるもの。事業に投じられる投資額には自己資金に加えて銀行等からの融資も含まれる。

✓ 自己資本内部収益率（EIRR：Equity Internal Rate of Return）

事業期間を通じた自己資本（出資金等）に対する内部収益率で、投資家が投資した資金に対してどれだけ収益が得られるかを判断するための指標。プロジェクト IRR と異なり金融機関等からの借入に相当するものは含めないものであることから、100%自己資金で事業を行った場合のプロジェクト IRR と等価となる。出資者が求める最低限の自己資本 IRR の水準は、事業のリスク等に応じて異なる。

事業の実施に関係する主な参加者として、「事業主体」、「株主」、「金融機関」を考えた場合、それぞれの立場で事業への参画の目的が異なる。株主は、出資に対する配当金等の利益を得ることを目的とし、金融機関は事業への融資債権の保全を図りつつ適切な利息収入を得ることが目的となる。また、当然に事業主体では、安定した収入・利益を得ることによる事業安定性を担保することが目的となる。この中で、「事業主体」及び「株主」について、事業の採算性を判断する材料として使用されている指標が PIRR と EIRR である。事業参加者の事業参画目的と判断指標の考え方を表 3-6-10 に示す。

表 3-6-10 事業参加者の事業参画目的と判断指標

事業参加者	目的	目的に適する指標	評価基準
事業主体	事業全体の安定性、収益性の確保	プロジェクト内部収益率 (PIRR)	PIRR > 資本コスト
株主	出資に対する収益性の向上	自己資本内部収益率 (EIRR)	EIRR > 株主の期待する利回り

内部収益率の計算式、項目については以下のとおりである。

$$\sum_{t=1}^n \frac{Bt}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{Ct}{(1+i)^t}$$

項目	要素
便益 (Bt)	各年の電力販売額
費用 (Ct)	設備投資額 + 運転資金 + 燃料費 + 修繕費 + 人件費 + 固定資産税 + 電気税 + 事業税 + 法人税等
割引率 (i)	市場の利子率以上

注) 割引率とは

割引率は、各年の経費を現在価値に換算する時に用いられるもので、投資に対する期待収益率をいう。企業が達成すべき投資利回りの基準となる数値であり、少なくとも限界的な運用金利以上の割引率でなければ、他の投資機会を選好すると仮定し、市場の利子率以上とする。

✓ 電気料金

内部収益率を計算する際に便益の要素として初期設定すべき項目が電気料金である。水力発電のような再生可能エネルギーで発電した電気の場合、一定価格で買い取る事を国が約束する制度があり、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」と呼ばれている。

水力発電の場合、買い取り価格は発電量により異なり、以下の 3 種類の買い取り価格がある。なお、買い取り期間はいずれも 20 年間となっている。

表 3-6-11 H28 年度の水力発電価格表

発電量	1,000kW 以上 30,000kW 未満	200kW 以上 1,000kW 未満	200kW 未満
買い取り価格	24 円 + 税	29 円 + 税	34 円 + 税
買い取り期間	20 年間	20 年間	20 年間

買い取り期間の 20 年が終了した後も事業を継続する場合、法に基づく固定買い取り価格の規制が終了するので、買取期間の終了後または終了が近づいた時点で発電事業者と電気事業者との合意により買取価格を決めることとなる。

3.7 工事費積算演習および事業性評価

本項では、架空の発電計画地点を設定し、規模選定段階における工事費を積算するとともに、その結果を用いて事業性評価を行うものである。

工事費積算は「水力発電計画工事費積算の手引き 平成 25 年 3 月」（経済産業省資源エネルギー庁、一般財団法人新エネルギー財団）にもとづいて算定することとし、算定に必要な計画諸元および関連資料は研修当日に配布する（表 3-7-1 参照）。

表3-7-1 積算項目

積算項目		摘要		
(1)	土地補償費	水没家屋、田畑、山林、付替道路、鉄道、漁業、公共補償、無形固定資産等		
(2)	建物関係	発電機床面以上の発電所本館建物（半地下式、地下式の場合は内装を含む）、付属建物（本館以外）。		
(3)	土木関係			
①	水路	a. 取水ダム	土砂吐き、排砂ゲート、護岸工、護床工、魚道を含む。	
		b. 取水口	ゲート、スクリーンを含む。既設堤体穴開け方式の場合は、堤体穴開け工事費を含む。サイフォン方式の場合は、真空ポンプ工事費のみとし、サイフォン管は水圧管路に計上する。	
		c. 沈砂池	排砂ゲート、スクリーンを含む（露出式を対象）。	
		d. 排砂路	沈砂池（水槽）で排砂ゲートを設置できない場合の代替設備として設置する。	
		e. 導水路		
		f. 水槽	ヘッドタンク又はサージタンクのどちらかを示す。排砂ゲート、スクリーンを含む。	
		g. 余水路		
		h. 水圧管路	既設管路との分岐管、バルブ室、バルブ、流量計室、流量計、グラウト、法面保護工等を含む。	
		i. 放水路		
		j. 放水口	ゲートを含む。	
		k. 代替設備	既設ダムの放流設備途中に発電設備を設置し、バイパス放流設備が必要な場合の放流バルブ	
		l. 雑工事	土捨場、水路に係わる緑化工事、自記量水設備等。	
		②	貯水池 又は調整池	（ダム高15m 以上の）ダム本体、洪水吐、雑工事
		③	機械装置	m. 基礎
n. 諸装置	取水道路、構内整備、機械装置に係わる緑化工事等			
(4)	電気関係	水車、発電機、主要変圧器、配電盤開閉装置等		
(5)	仮設備費	工事用道路・橋梁、仮建物、工事用電力、備品等		
(6)	総係費	人件費、調査委託費、事務関係費等		
(7)	(小計)	Σ1)~6)		
(8)	建設中利子	建設工事期間中の工事資金に係わる利子		
(9)	分担関連費	発注者の現場以外の組織全体に係わる事務経費		
(10)	送配電設備費	架空又は地中送電設備		
(11)	(計)	Σ7)~10)		

出典)「水力発電計画工事費積算の手引き 平成25年3月 P3」(経済産業省資源エネルギー庁、一般財団法人新エネルギー財団)

概算工事費集計表

単位:百万円

積算項目		工事費	備考
(1)	土地補償費		$[(2)+(3)+(4)+(5)] \times 5\%$
(2)	建物関係		
(3)	土木関係		①+②+③
	①水路		$\Sigma(a\sim j)$
	a.取水ダム	—	
	b.取水口		
	c.沈砂池	—	
	d.導水路	—	
	e.水槽		
	f.余水路	—	
	g.水圧管路		
	h.放水路		
	i.放水口	—	
	j.雑工事		$\Sigma(a\sim i) \times 10\%$
	②貯水池または調整池	—	
	③機械装置		k+l
	k.基礎		
	l.諸装置		$[(①+②)+k] \times 10\%$
(4)	電気関係		
(5)	仮設備費		$[(2)+(3)+(4)] \times 5\%$
(6)	総係費		$[(2)+(3)+(4)+(5)] \times 7\%$
(7)	(小計)		$\Sigma[(1)\sim(6)]$
(8)	建設中利子		$(7) \times 0.4 \times \text{利子率}2\% \times T/12$
(9)	分担関連費		$(7) \times 1\%$
(10)	送配電設備費		
(11)	(計)		
最大出力(kW)			
年間可能発電電力量(kWh)			
kW当たり建設費(千円/kW)			
kWh当たり建設費(円/kWh)			

4. 地形・地質および保安林

4. 地形・地質および保安林

4.1 「土砂災害」からみた地形・地質について

水力発電事業を推進する過程で地域のさまざまな自然環境条件を調査することは、電源開発の初期段階ではもっとも重要なことである。その中でも開発地点においてとりわけ重視されるのは、地形・地質条件であることはいうまでもない。安定した強固な地盤上に電源施設を建設することが、電力の安定供給には必要不可欠の条件と考えられるからである。本章では、電源開発における地形・地質条件に注目し、我が国でもっとも多い災害の一つである「土砂災害」の見地から、この分野の現状や基礎知識を紹介する。

(1) 我が国における「土砂災害」について

山間部が国土の約70%を占める我が国では、台風や大雨、地震等が引き金となって、がけ崩れや土石流、地すべりなどの土砂災害が発生しやすい自然環境にある。土砂災害は一瞬にして、尊い生命や家屋などの貴重な財産を奪うなど、甚大な被害をもたらすことはいうまでもない。

過去10年間の土砂災害発生件数をみると、平均して1年間におよそ1,000件もの土砂災害が発生している。平成26年の土砂災害の発生件数は1,184件であるが、図4-1-1は各都道府県別の発生件数を示している。この図からも分かるように、ほとんどの都道府県で土砂災害が発生している。

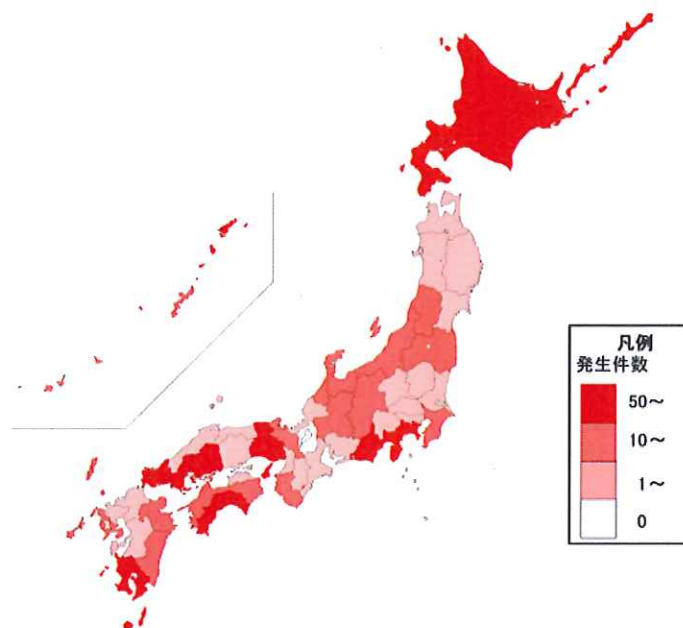


図4-1-1 平成26年の各地の土砂災害発生件数（国土交通省資料から引用）

さらに特筆されるのは、土砂災害が発生するおそれのある危険箇所は、日本全国で50万箇所以上も存在することである。

国土交通省や都道府県では、土砂災害による被害を防ぐため、砂防えん堤などの施設整備や警戒避難体制の整備などの対策を実施しているが、これらと併せて私たち一人ひとりが土砂災害に対して日頃から備えておくことも重要である。加えて、ここでは知っておくべき次の3点のポイントを紹介する。

①当該地点が「土砂災害危険箇所」かどうか確認する。

土砂災害発生のおそれのある地区は「土砂災害危険箇所」とされている。当該地点が土砂災害危険箇所にあるかどうか、国土交通省・都道府県が公開している情報で確認することができる。

※ 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部のHP

http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link_dosya_kiken.html

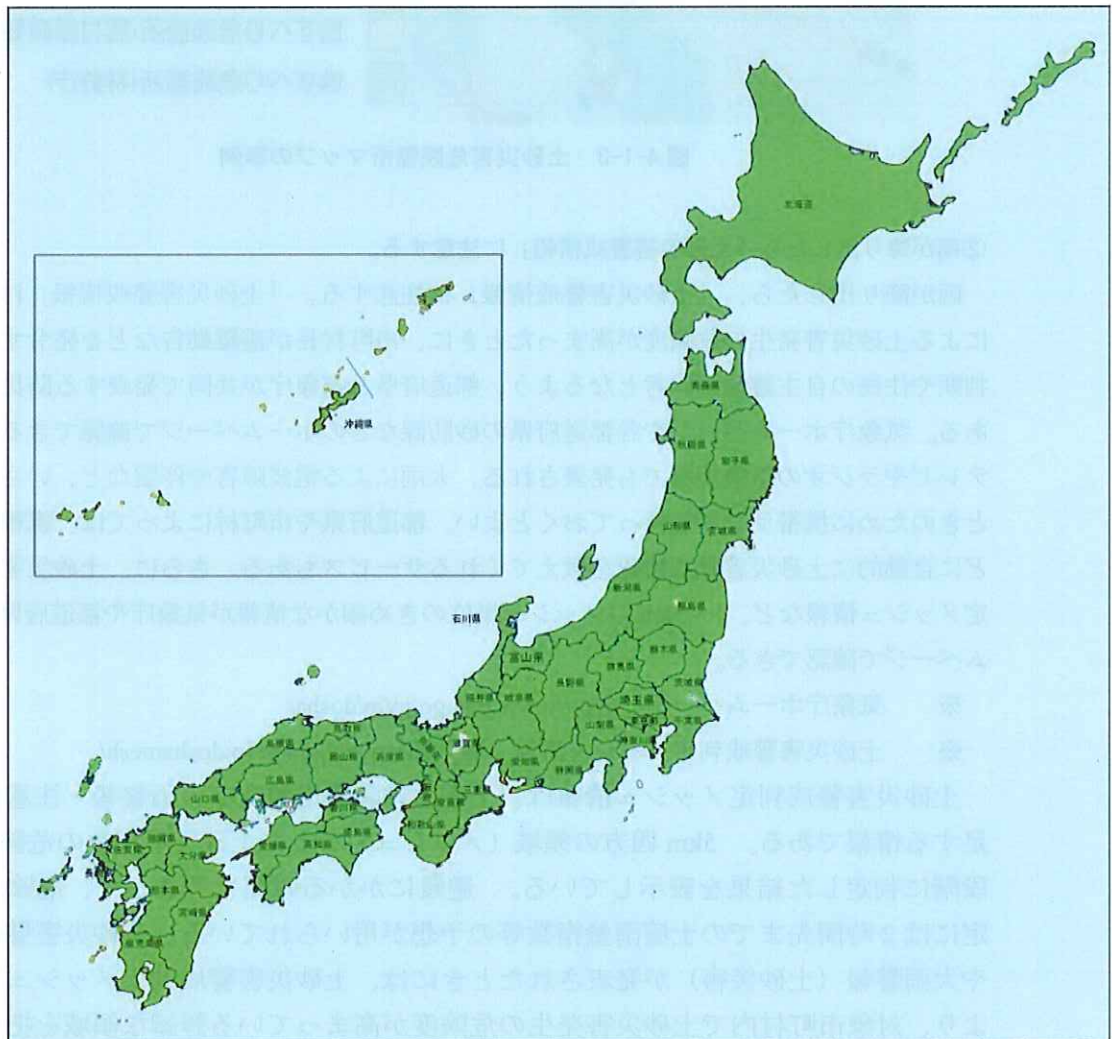


図 4-1-2 都道府県別土砂災害危険箇所（国土交通省資料から引用）

※ 図中の都道府県をクリックすると、図 4-1-3 のような土砂災害危険箇所マップが表示される。



図 4-1-3 土石流災害危険箇所マップの事例

②雨が降り出したら「土石流災害警戒情報」に注意する。

雨が降り出したら、「土石流災害警戒情報」に注意する。「土石流災害警戒情報」は、大雨による土石流災害発生の危険度が高まったときに、市町村長が避難勧告などを発令する際の判断や住民の自主避難の参考となるよう、都道府県と気象庁が共同で発表する防災情報である。気象庁ホームページや各都道府県の砂防課などのホームページで確認できるほか、テレビやラジオの気象情報でも発表される。大雨による電波障害や停電など、いざというときのために携帯ラジオを持っておくとよい。都道府県や市町村によっては、携帯電話などに自動的に土石流災害警戒情報を教えてくれるサービスもある。さらに、土石流災害警戒判定メッシュ情報など、1～5kmのメッシュ単位のきめ細かな情報が気象庁や都道府県のホームページで確認できる。

※ 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jp/dosha/>

※ 土石流災害警戒判定メッシュ情報 <http://www.jma.go.jp/jp/doshamesh/>

土石流災害警戒判定メッシュ情報は、土石流災害警戒情報及び大雨警報・注意報を補足する情報である。5km四方の領域(メッシュ)ごとに土石流災害発生の危険度を5段階に判定した結果を表示している。避難にかかる時間を考慮して、危険度の判定には2時間先までの土壌雨量指数等の予想が用いられている。土石流災害警戒情報や大雨警報(土石流災害)が発表されたときには、土石流災害警戒判定メッシュ情報により、対象市町村内で土石流災害発生の危険度が高まっている詳細な領域を把握することができる。

③「土石流災害警戒情報」が発表されたら、早めに避難する。

当該地域に土石流災害警戒情報が発表されたら、早めに近くの避難場所など、安全な場所に避難すること。また、強い雨や長雨のときなどは、市町村の防災行政無線や広報車による呼びかけにも注意が必要である。

一方、土石流災害には、がけ崩れや地すべり、土石流などの種類がある。表 4-1-1 に、これらの特徴や前兆現象を示す。当該地点でこうした前兆現象がみられたら、電源施設建設の

再検討が必要である。

表 4-1-1 土砂災害の種類とそれぞれの特徴・前兆現象

土砂災害の種類	がけ崩れ	地すべり	土石流
模式図			
特徴	<p>斜面の地表に近い部分が、雨水の浸透や地震等でゆるみ、突然、崩れ落ちる現象。崩れ落ちるまでの時間がごく短い ため、人家の近くでは逃げ遅れも発生し、人命を奪うことが多い。</p>	<p>斜面の一部あるいは全部が地下水の影響と重力によってゆっくりと斜面下方に移動する現象。土塊の移動量が大きい ため甚大な被害が発生。</p>	<p>山腹や川底の石、土砂が長雨や集中豪雨などによって一気に下流へと押し流される現象。時速 20～40km という速度で一瞬のうちに人家や畑などを壊滅させてしまう。</p>
主な前兆現象	<ul style="list-style-type: none"> • がけにひび割れができる • 小石がパラパラと落ちてくる • がけから水が湧き出る • 湧き水が止まる・濁る • 地鳴りがする 	<ul style="list-style-type: none"> • 地面がひび割れ・陥没 • がけや斜面から水が噴き出す • 井戸や沢の水が濁る • 地鳴り・山鳴りがする • 樹木が傾く • 亀裂や段差が発生 	<ul style="list-style-type: none"> • 山鳴りがする • 急に川の水が濁り、流木が混ざり始める • 腐った土の匂いがする • 降雨が続くのに川の水位が下がる • 立木が裂ける音や石がぶつかり合う音が聞こえる

(政府広報オンラインから引用)

なお、毎年、6月1日～30日は「土砂災害防止月間」である(6/1～7は、がけ崩れ防災週間)。月間中は、「みんなで防ごう土砂災害」を運動のテーマとして、土砂災害危険箇所や砂防設備などの点検や避難訓練、土砂災害防止に関する講習会、現場見学会などが実施され

る。土砂災害防止月間を機に、皆さんも自分の地域の危険な場所を確認したり、避難場所までの経路を歩いてみたりするなど、万が一の事態に備えておくことも必要である。

4.2 地形・地質の基礎知識

(1) 土質地盤と岩盤

建設工事において対象となる地盤は、土質地盤と岩盤とに分けられる。土質地盤は沖積世や洪積世に属する新しい地質年代の堆積物で、主に低地の都市部に分布し、土木との関係では都市土木が対象とする。また岩盤は地質年代にかかわらず、山岳土木の主な対象となる。両者の中間的なもので岩盤が風化して土砂状になったものがあるが、問題に応じて土質地盤にしたり、岩盤として扱われたりする。建設技術に関する地盤地質を理解するうえでのポイントは、次のような内容に関する知識を身につけることである。

土質地盤では、構成粒子の大きさとそれに伴う性質の違いや水との関係がポイントとなる。例えば砂礫層と粘土層とが互層している場合、前者は地下水を胚胎する層となるし、後者はそれを遮断する層となり、施工上まず重要視すべきことになる。

また岩盤では、次のような知識を持てば大半の問題には対処できる。

- ①堆積岩、火成岩、変成岩各々に特有な構造と性状
- ②堆積岩における地質年代や原材料から推定される性状
- ③火成岩における産状、成分から推定される性状
- ④割れ目や不連続面（断層、層理、片理、節理など）からくる異方性
- ⑤岩石の違いによる風化、変質などの特徴

建設工事では、岩盤の問題を硬岩、中硬岩、軟岩というように硬さ主体で考える傾向がもっとも一般的である。これは誰にでもわかりやすいこと、積算に反映させやすいことなどが理由であろう。しかし発生する種々の問題をみると、硬さよりも岩盤の有する地質構造（断層、層理、片理、節理などの割れ目や不連続面）に起因するものが多い。岩盤に特有な地質構造の知識を持ち、その構造を読み取って、施工する構造物との関係を理解できれば、大半の問題とその解決策を見つけることができると考えてもよい。

岩石は大きく火成岩・堆積岩・変成岩に分けられ、さらに火成岩は地下のマグマが冷却して岩石になった場所によって、深成岩・半深成岩（脈岩）・火山岩（噴出岩）に分けられる。そして深成岩の代表的な岩石として花こう岩、また噴出岩の代表として安山岩が一般的に知られている。

ここでは、各土木構造物の地盤地質に共通し、かつこれだけは知っておいてほしいと考える基礎的な内容について解説する。

(2) 地質年代

宇宙のチリが集まって地球が太陽系の中に誕生したのは、約 46 億年前といわれている。その後表面が冷え固まり、水や大気などが出現し、さらにさまざまな変遷をした結果が現在の地球の姿である。したがって、現在われわれがみている地盤地質は場所によって生成された時代が異なり、その歴史を表現するために地質年代（相対年代）が命名されている。その地質年代は、生物の歴史上大変革のあった時期を区切りとしている。人間生活の歴史は遺跡や古文書などで推定・解明されるのに対し、地質の歴史は化石や放射性炭素などによる年代測

定によって前後関係が明らかにされる。

地質年代の区分は次のような単位で示される。左側ほど大きな単位で、例えば中生代の中に白亜紀などの紀があるという関係である。

代 era 紀 period 世 epoch 期 age
 (界 erathem) (系 system) (統 series) (階 stage)

それぞれの地質年代の地層のことを呼ぶ場合には、厳密には () 内のような表現となる。例えば地質年代は古生代で、その地層は古生界というようにである。ただし建設工事の場面で地層をいう場合には、単に古生層としていることも多い。

表 4-2-1 に地質年代区分を示すが、地質調査で必要な地盤の性状に関しては、同表に示すようなおおまかな地質年代でとらえて構わない。ただしこの性状は堆積岩についていえるもので、火成岩では地質年代はあまり関係ないと考えてよい。

表 4-2-1 地質年代区分

代	紀		世	年代 (百万年)
新生代	第四紀		沖積世	0.012
			洪積世	2.59
	第三紀	新第三紀	鮮新世	5.33
			中新世	23.00
		古第三紀	漸新世	33.90
			始新世	55.80
			晩新世	65.50
中生代	白亜紀		後期	145.50
			前期	
	ジュラ紀		後期	199.60
			中期	
			前期	
	三疊紀		後期	251.00
			中期	
			前期	
	古生代	二疊紀		
石炭紀			359.20	
デボン紀			416.00	
シルル紀			443.70	
オルドビス紀			488.30	
カンブリア紀			542.00	
原生代・始生代	先カンブリア紀			4,600.00

(3) 地盤の構成物

地質技術者が岩石の名前を付けるときには、野外で見られる岩盤露頭のような大きいスケールの中で参状その他の情報から判定するものであり、小さな岩片だけでは顕微鏡鑑定でもしない限り難しいことがある。また、岩石図鑑でもわかるケースは少ない。

大ざっぱではあるが、岩石の名前を付ける時のポイントは次のようなことである。

- ・堆積岩、火成岩、変成岩の何に相当するかを見極めること

堆積岩：水の作用により粒子が円形をしていたり、堆積した時の構造が見える

火成岩：粒子が角張っている

変成岩：変性作用のための縞状構造が見える

- ・鉱物の種類、粒子の粒径の大きさ、色、縞模様などによる判定

ここではそのような岩石鑑定の話ではなく、すでに調査が行われていて岩石名がわかっている場合に建設工事の設計・施工計画に際しての注意するポイントは何かを解説する。

建設工事の場面で問題となる地盤の性状は、次のような内容で決まる。

①その岩石を構成する物質が何であるか、ということ

例えば堆積岩で、砂が固まってできた砂岩と粘土が固まってできた泥岩や粘板岩とは性状が異なる。もっとも、性状の違いは岩石名だけで決まるのではなく、例えば強度で評価すると新しい地質年代では（砂岩<泥岩）であることが多いのに対し、古い地質年代では（砂岩>粘板岩）となることが多い。また火成岩では、例えば白っぽい石英・長石などからなる花崗岩と、有色鉱物が優勢な玄武岩とでは、比重が異なることや、風化生成物が前者は砂状、後者は粘土状となる、などの違いがある。

②その岩石がいつ、どのような場所で、どのようにしてできたかというような生成条件

堆積岩の場合の、地質年代による特徴は表-2に記した。火成岩では、その生成場所および生成時の状況が、その岩石の性状に影響している。すなわち、花崗岩のように地下深所でゆっくり冷え固まった深成岩は密実であるが、安山岩のように火山からの噴出岩では節理が顕著であったり、ガスが抜けたため多孔質であることが多い、などの違いを生じる。

③破碎・風化・変質など岩石生成後に被った変化

これは、①②のような状況で生成された岩石が、その後に被った破碎・風化・変質などの変化の程度に応じて性状が変化するということである。

表 4-2-2 地質年代からの岩盤性状のイメージ（堆積岩の場合）

中生界・古生界	古い時代にできたものなので、それだけ固結度がよく硬質である。反面、何回もの地殻運動を被ったキャリアを有するので、それによるキズ（断層、割れ目など）も多い。
新生界古第三系	固結度がよく硬質なもの（例えば砂岩）と、やや軟質なもの（例えば泥岩や頁岩）とが混在（互層）することが多い。
新生界新第三系	一般に軟質であるが、断層や割れ目などのキズは、時代が新しいだけに少ない。
新生界第四系洪積統	未固結である。一般には段丘と呼ばれる砂礫層が特徴的である。

(4) 岩石の種類と特徴

①堆積岩

堆積岩の工学的性質は、それが生成された地質年代との関連が強い。一般に古生代・中生代などの時代が古い岩石ほど硬質であるが、反面それだけ破碎や変質を被る機会も多く、断層破碎帯や割れ目の発達が顕著となる。新生代の新第三紀以降の堆積岩は、固結度が低く軟岩と呼ばれるが、断層破碎帯などは少ない。

・ 碎屑岩

河川などの流下によって浸食・運搬された碎屑物が、海底や湖底に堆積し、固結したものである。この碎屑岩の分類は碎屑物の粒径によるが、土木工学的意味においては礫岩・砂岩・泥岩の区別で十分である。このうち泥岩については、その生成年代によって表 4-2-3 のように使い分けされている。ただし、純粋地質学の立場で命名する場合には、頁岩・粘板岩という名称は使わず単に泥岩とすることがある。関東地方で実務上「土丹（どたん）」と称せられる地盤があるが、これは新第三紀～第四紀洪積世の砂岩、泥岩などの碎屑岩の総称である。

表 4-2-3 年代による泥岩の使い分け

	泥岩	頁岩	粘板岩
新生代	○	○	—
中生代	—	○	○
古生代	—	—	○

・ 科学的沈殿岩・生物岩

この分類によく出てくるのは、石灰岩とチャートである。石灰岩は中・古生層中にレンズ状（数 km 規模）に分布することが多く、地下水中の酸の作用で溶解されて空洞が生じていることがしばしばある。これがいわゆる鍾乳洞である。沖縄に分布する石灰岩は琉球石灰岩と呼ばれ、新しい時代（第四紀洪積世）のもので空隙が多く、本土の一般の石灰岩とは異なる。

チャートは非常に硬質であるが、層理面が発達していて異方性が顕著であることが多い。

・ 火山碎屑岩

新第三紀は、とくに東日本を中心に火山活動が活発であったが、この時代の火山灰を起源とする凝灰岩類をグリーンタフと呼ぶ。緑泥石の含有による緑色が特徴的なための名称であるが、すべてが緑色系という訳ではない。

中生代より古い地質年代の凝灰岩類は、純粋地質学では緑色岩類と称されるが、建設工事の地盤地質の分野では慣例的に輝緑凝灰岩と呼ばれる。濃緑色、黄緑色、紫赤色などを呈することが多い。名称は似ているが、その工学的性質は第三紀の軟質な凝灰岩とは異なって、一般に硬質の岩盤である。また、やはりよく似た名称の熔結凝灰岩は、高熱の火山灰が堆積後に自らの熱で再溶融・固結したもので、火成岩の中の火山岩の性状に類似する。硬質ではあるが節理の発達が著しく、透水性が高い場合が多い。

②火成岩

火成岩の分類は、表 4-2-4 に示す通りである。基本的には産出状態（表の縦軸）と造岩鉱物の量比（表の横軸）の組合せにより岩石名が決定される。

産出状態とは、その岩石が固化したときの状況を意味している。すなわち深成岩は、マグマと呼ばれる地球内部の岩石溶融体が地下深部でゆっくり冷え固まったもので、鉱物結晶は大き

く成長しており肉眼で確認できる。花崗岩は深成岩の代表的な岩石である。火山岩はマグマが火山活動により地上（あるいは海底）に運ばれて急冷された岩石である。鉱物粒子は肉眼で確認できないほど細かく、安山岩や玄武岩などがこれに属する。これらは、急冷されたために生じる節理が一般に顕著である。半深成岩は、既存の岩盤の割れ目の中にマグマが貫入してできたものであり、深成岩と火山岩の中間的な場所での生成物である。したがって岩脈状の産出が一般的である。以上のような産出状態の差が、鉱物粒子の大きさや節理の発達形態などの違いとなる。

一方、造岩鉱物量比とは、その岩石を構成している鉱物の組合せを表している。表-5の左側にいくにつれて石英、長石類が多く含まれて酸性岩と呼ばれ、色調が白い。右側は、鉄やマグネシウムなどを多く含む雲母、角閃石、輝石（これらを有色鉱物と呼ぶ）の含有量が多くなり塩基性岩と呼ばれ、色調は黒っぽく、また比重も大きくなる。超塩基性岩とは、珪酸分の含有量非常に少なく、かんらん石や輝石を主要構成鉱物とする岩石のことを指し、かんらん岩がその代表的な岩石である。またこのかんらん岩が変質作用を受けると、膨張性岩石で有名な蛇紋岩となる。この造岩鉱物の量比の差は、比重、色調のほか、風化生成物が酸性岩の場合は砂状であったり、塩基性岩では粘性土状である、というような違いにもなる。

地質学的な火成岩の分類は表 4-2-4 であるが、これを建設工事の工学的な性状で見ると表 4-2-5 のように6タイプを考えておけば十分である。工学的性状の違いは産状（火山岩・半深成岩・深成岩）が大きく関連するのでこれを優先し、次いで組成で意味を持つ境界が引かれている。

表 4-2-4 火成岩の分類

産出状態	造岩鉱物	石英 Quartz	斜長石 Plagioclase アルカリ長石・準長石 (Alkali feldspar・ Feldspathoid)	輝石 Pyroxene
		カリ長石 Potassium	雲母 Mica	角閃石 Amphibole
深成岩的 Plutonic	花崗岩 Granite	花崗閃緑岩 Granodiorite	閃緑岩 Diorite (閃長岩 Syenite)	斑れい岩 Gabbro (アルカリ斑れい岩 Alkali gabbro)
半深成岩的 Hypabyssal	花崗斑岩 Granite-Porphry	ひん岩 Porphyrite	輝緑岩 Diabase (粗粒玄武岩 Dolerite)	超塩基性岩類 Ultrabasic rock
噴出岩的 Effusive	流紋岩 Rhyolite	石英安山岩 Dacite	安山岩 Andesite (粗面岩 Trachite) (響岩 Phonolite)	玄武岩 Basalt (霞石玄武岩 Nepheline basalt)
	SiO ₂ (%)	66%	52%	45%
	色指数 (有色鉱物の量)	10%	40%	70%

岩石名の()内はアルカリの多い岩石の場合の名前。その時は造岩鉱物の斜長石の所に、()内の鉱物が出現する。

表 4-2-5 土木工学的に意味のある火成岩の分類

	酸性岩	中性岩	塩基性岩	超塩基性岩
火成岩	流紋岩 石英粗面岩	安山岩	玄武岩	X
半深成岩	花崗斑岩	ひん岩	輝緑岩	
深成岩	花崗岩	閃緑岩	はんれい岩	蛇紋岩

③変成岩

変成岩は、原岩の堆積岩や火成岩が生成後に受けた高い圧力や温度条件によって、もともとの組織や鉱物に変化して生じた岩石であり、その変性作用のタイプによって表4-2-6に示すように大きく3つに分類される。

広域変成岩は、山地などを形成する際の地殻の運動により高い圧力を受けて生成されたものであり、片岩類や片麻岩類がこのグループに属する。片岩類は、片理面と称する規則的な板状の割れ目が発達しており、工学的に異方性を呈する岩盤の代表的なものである。一般に総称として結晶片岩と呼ばれるほか、含有鉱物を冠して石英片岩・石墨片岩・緑泥石片岩や、あるいは色調をとって黒色片岩・緑色片岩などとも称される。片麻岩は花崗岩に類似しているものが多く花崗片麻岩と称されることが多い。有色鉱物の多い部分と石英、長石の多い部分の黒白の縞状配列が見られるのが特徴的である。

接触変成岩は、地下深部のマグマが地表付近に上昇してできる火成岩体の周辺部でその熱によって変成した岩石であり、ホルンフェルスが代表的なものである。ホルンフェルスは原岩である砂岩や泥岩が熱変成を受けてできた岩石で、一般に塊状・硬質である。

このほか、動力変成作用という断層運動に関連して生成される変形作用がある。著しく破砕された岩片や鉱物の集合体であるが、固結したものもある。ミロナイト（マイロナイト、圧破岩ともいう）はこの過程を経た岩石である。この種の岩石の分布範囲は、地域が限定される。

表 4-2-6 変成岩の分類

変成作用のタイプ	原 岩	変 成 度 → 上 昇		
広域変成作用 Regional metamorphism	泥質岩	黒色片岩 Black schist	黒雲母片岩 Biotite schist	片麻岩 Gneiss
	塩基性岩	緑泥石緑色片岩 Chlorite green schist	角閃石片岩 Hornblende schist	透輝石角閃石片麻岩 Diopside-hornblende gneiss
接触変成作用 Contact metamorphism	泥質岩		黒雲母ホルンフェルス Biotite hornfels	黒雲母堇青石ホルンフェルス Biotite-cordierite hornfels
	塩基性岩		角閃石ホルンフェルス Hornblende hornfels	透輝石角閃石ホルンフェルス Diopside-hornblende hornfels
	炭酸塩岩		大理石 Marble	
堇変形作用 Dislocation metamorphism	各種岩石		ミロナイト Mylonite	ブラスト・ミロナイト Blast mylonite

化とはいわない。

風化現象を説明するうえで、最も代表的なものは花崗岩や閃緑岩の風化産物のマサである。このマサは元の岩石の組成鉱物が等粒状でかつ各鉱物の熱膨張係数が異なることから、結合が崩れ砂状になったものである。深成岩では、鉱物粒子が大きいことが深部まで風化が進む現象につながっている。

また原岩の組成鉱物の違いによって、風化したものが砂質となるか、粘性土質となるかというような違いにもなる。花崗岩のマサは砂状であるのに対し、はんれい岩や輝緑岩の風化生成物は粘性土となる。

風化が地表からの作用による現象であるのに対し、変質は地球内部からの熱、化学的物質などの作用による変化である。変質の結果、建設工事の分野で問題となる性質として、水分によって岩石が堆積膨張する膨潤がある。この現象には変質によって生成された粘土鉱物（モンモリロナイトなど）が関係しており、トンネル工事や法面掘削、構造物基礎などで問題となる。また変質で代表的なものとして温泉余土があるが、これは凝灰岩や玄武岩などが温泉ガスなどによって変質し粘性土状になったもので、地すべりや膨張性トンネルなどの問題を起す。

※熱水変質作用は、高温のガスや水蒸気が岩盤の割れ目や断層に沿って上昇することによって発生する。このような現象の過程で、まわりの岩石中に粘土鉱物が生成されることが多い。このようにしてできた粘土を温泉余土と呼んでいる。とくにスメクタイトを主成分とする粘土は膨潤性が大きく、岩石が非常に脆くなることがある。さらには、岩盤中の割れ目に沿ってみられることから、斜面の変状を引き起こすなど問題になりやすい。

(6) 地質構造

地盤の構造には、地盤ができるときに生成されたものと、できあがってから以降に種々の外力が加えられたことによるキズとがあり、その大きさには大陸規模のものから顕微鏡対象のものまである。

建設工事の分野で対象となるような地質構造を規模の順に並べると、次のようになる。地質学的用語としては並べるのに不適当なものもあるが、イメージとしてこのような規模の順であると考えてよい。

大規模：構造線、褶曲（背斜軸・向斜軸）整合・不整合

中規模：断層あるいは破碎帯、シーム、層理（堆積構造）

小規模：片理、節理、葉理、片麻状構造

このような地質構造は、岩石・岩盤に異方性を与える。異方性とは、強度・変形性・透水性などの性状が方向によって異なることで、とくに強度については力のかかる方向との関係で大きな差を示すことがあり、建設工事の調査・設計・施工では見逃せない性質である。

①大規模な地盤構造

構造線とは、地質構造区を区画するような大規模な断層のことである。図 4-2-1 に日本列島の主要な大構造線を示すが、糸魚川・静岡構造線（フォッサマグナ）や中央構造線（中部・紀伊・四国・九州）がとくに有名である。これらの構造線沿いには地すべり地帯が多く分布し、地盤が脆弱である。

褶曲とは、層状構造をもつ岩石が曲げられた状態をいう。圧縮による変形と考えられる。褶曲は図 4-2-2 に示すように、上に凸な形の背斜と、凹な形の向斜とがあり、一般に対になって出現することが多い。

褶曲軸の近傍では変形時のひずみが集中して亀裂の多い傾向があり、脆弱で高透水性となりやすい。広域な褶曲は全体を一目で見るのが難しいが、ごく小規模のものはしばしば観察される。

整合・不整合は岩盤の場合には地下水の経路や被圧などに影響するので考慮することが必要になることがある。



図 4-2-1 日本列島の主要な大構造線 (土木学会¹⁾)

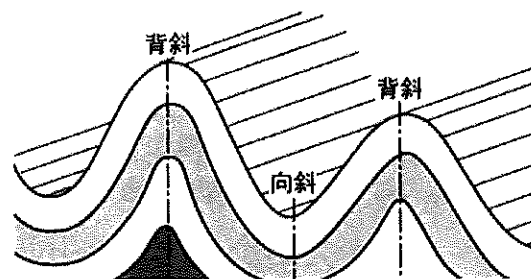


図 4-2-2 褶曲の背斜と向斜

②断層

地盤がせん断されることによって、ある面を境にして両側の岩盤が相対的に変位している場合、この不連続面を断層という。

断層に沿ってせん断時の破碎・劣化や、その後の風化などによってある幅の脆弱なゾーンが形成されるが、これを断層破碎帯と呼んでいる。また、いくつかの断層が集まってひとまとめにできるゾーンの場合にも断層破碎帯という。断層破碎帯の内部は、図4-2-3に示すように粘土化した部分、破碎されて礫状になった部分、破碎を免れた部分などで構成される。

断層破碎帯は、力学的には低強度・高変形性が問題となるため、岩盤における建設工事での設計・施工に際して大きな関心事となる。また、地下水を滞留させやすい部分と、遮断する部分とが混在するため、トンネル工事などでは大量突発出水の原因となることがある。

主に原子力関連の施設（最近はダムも）で問題視される「活断層」については、地質年代の第四紀（150～200 万年前以後）に入って活動した痕跡のある断層という定義が一般的であり、「第四紀断層」とか「地震断層」とも呼ばれる。前述の糸魚川・静岡構造線や中央構造線はこれに該当し、1995年1月の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）では野島断層が脚光を浴びた。

シームは、規模の小さい断層のことで一般に数cm幅の粘土で構成されているものを指す土木用語で、断層との区分が不明なこともある。

なお断層に関連した「鏡肌」とか「スリッケンサイド」は断層が変位したときにできた面やひっかき傷のことで、平滑で粘土が付着しておりきわめて滑りやすいため、トンネル切羽や法面で問題となることがある。

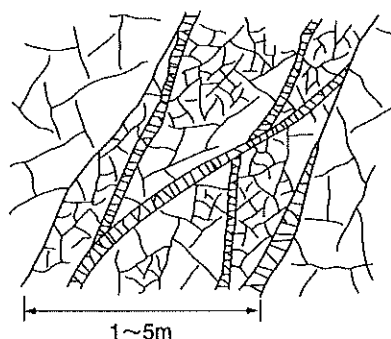


図4-2-3 断層破碎帯のイメージ

③片理・層理・節理などの割れ目・不連続面

岩盤中に見られる亀裂や分離しやすい面のことを、「割れ目」または「不連続面」と呼ぶ。これらの割れ目・不連続面は、生成原因によって片理・層理・節理などの種類がある。

片理とは、変成岩に特有の不連続面で、圧力変成の結果生じたものである。とくに結晶片岩と呼ばれる岩石の片理面は薄い板状を呈することが多く、異方性が著しい。

層理は、堆積岩の堆積面を示す不連続面である。チャート・粘板岩・頁岩などでは、層理面によって異方性を呈することが多い。

節理とは、一般に規則性のある分布をした比較的平滑な割れ目をいうが、そのような特徴を

もたない単なる亀裂を含めることもある。火成岩では、その岩石生成時の温度変化によって生じた節理があり、安山岩・玄武岩での柱状節理や板状節理や板状節理、花崗岩の方状節理などがある。堆積岩・変成岩では、断層と同じく地殻運動の結果生じた割れ目を節理と呼ぶ。

以上をまとめると、表 4-2-8 となる。

表 4-2-8 岩盤中の不連続面

種類	火成岩	堆積岩	変成岩	特 徴
断層・シーム	○	○	○	規模によって構造線・断層破砕帯・シームなど
片理			○	結晶片岩
層理		○		チャート・粘板岩・頁岩
節理	○	○	○	火成岩では安山岩・玄武岩での柱状節理や板状節理、花崗岩の方状節理

(7) 地形判読

自然地形には、地盤の構成物や地質構造などの地盤地質性状が反映されたものがあり、建設工事の問題点を予測するうえでヒントを得られることがある。地形図や空中写真を判読したり、現地視察によって地形ができた根拠を判断することが重要である。

①地形図の入手

地形図は、施工箇所範囲を限定した大縮尺（例えば千分の1）のものだけでなく、次のような小縮尺の地形図も入手したほうがよい。地すべりははじめ特徴ある地形は、この程度の縮尺のほうが読み取りやすいことが多いからである。

- ・ 5 万分または 2.5 万分の 1 地形図：国土地理院の発行で大きな書店で販売
- ・ 1 万分または 5 千分の 1 地形図：市町村で都市計画用などに作成されており、一般に購入可能

また空中写真は（一財）日本地図センターで購入でき、重複部を有する 2 枚の写真から立体視することができる。

②特徴のある地形

調査および設計業務や建設工事に関する特徴ある地形としては次のものがある。

・ 地すべり地形

図 4-2-4 のように、上部に急崖をなす滑落崖があり、下部にはこんもり盛りあがったような緩斜面がある場合、地すべり地形である可能性が高い。小段差の繰返しのような形状のこともある。山間部で見られる棚田は地すべり地である箇所が多い。地すべり地のような場所の利用は、人は避けると思いがちであるが、緩い傾斜と土砂地盤であるため人力での造成が容易で、しかも地下水が豊富という条件もあり、変動が大きくなければ実際には水田等に利用されていることも多い。

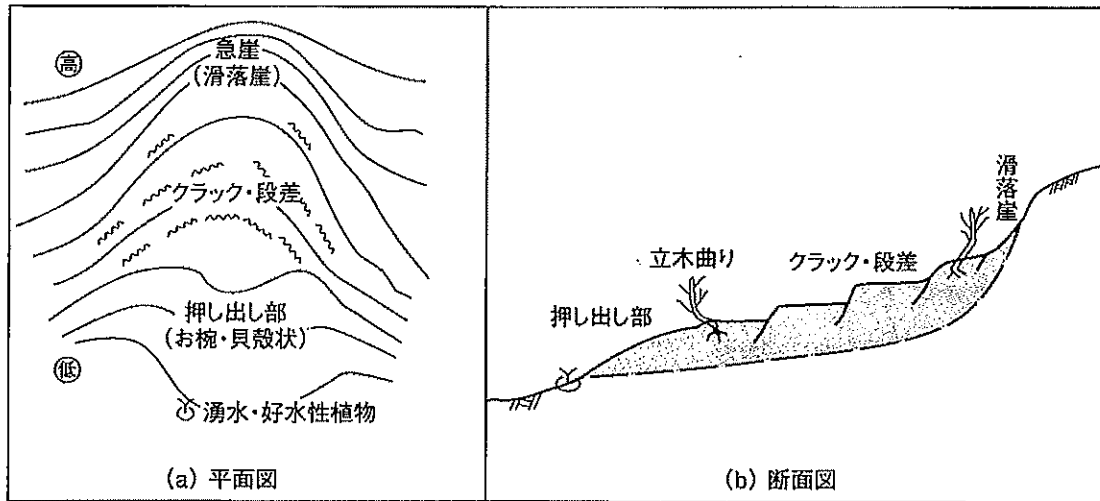


図 4-2-4 地すべり地形

・崖錐地形

図 4-2-5 のように、崖錐は斜面上部からの崩壊物が山裾や斜面上に堆積したもので、上部の山腹斜面を構成する地盤地質の破砕物から成る。

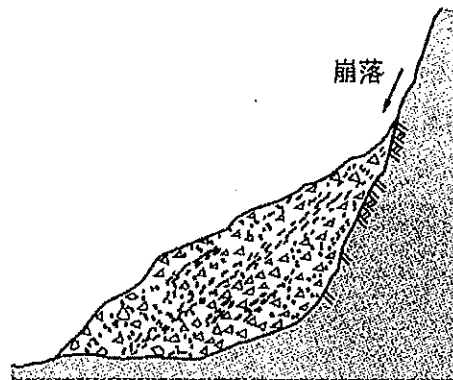


図 4-2-5 崖錐地形

・断層地形

断層の存在が推定される地形には図 4-2-6 のケルンコル・ケルンバットや、図 4-2-7 に示す断層崖などがある。地形図や空中写真によるリニアメント（連続する線構造）の抽出からも推定できる。

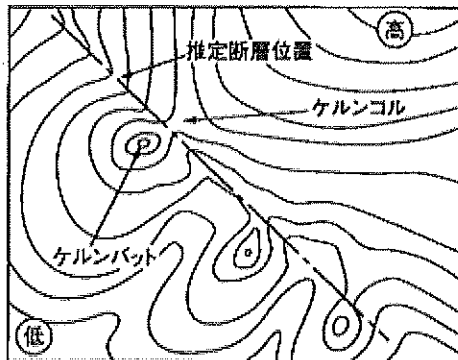


図 4-2-6 ケルンコルとケルンバット

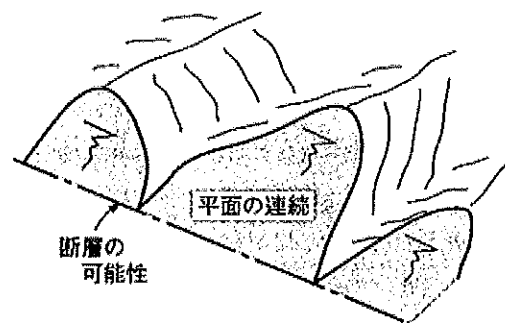


図 4-2-7 断層崖

・段丘地形

図 4-2-8 に示すように、過去の河床堆積物が隆起して、現在中位標高に平坦面を形づくっている地形である。段丘堆積物と下部の基岩との境界に地下水が集まりやすい。

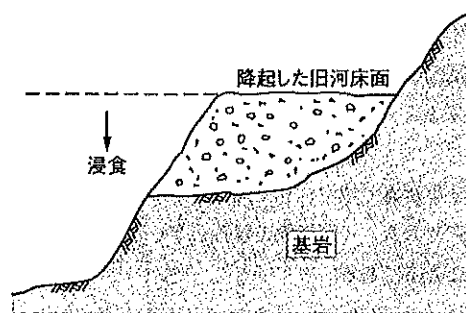


図 4-2-8 段丘地形

・異常な緩斜面地形

周辺に比べて異常に緩い傾斜の地形である場合、そこを構成する地盤地質が、緩斜面でしか安定できないような弱い地盤地質性状であることがある。地すべり地であることもある。

・遷急線付近

図 4-2-9 に示すように、地形勾配の変化部である遷急線より上では風化層が厚く、不安定であることがある。

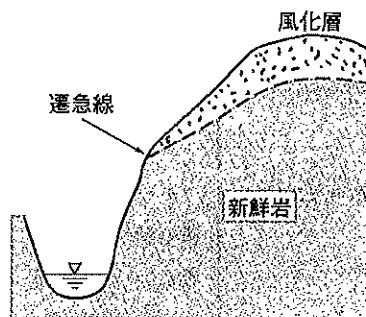


図 4-2-9 地形の遷急線

・集水地形

図 4-2-10 に示すように、明確な水系であればその処理がなされるが、あまり明確でないため見逃した場合、集中豪雨などにより問題となることがある。とくに法面上部に広範囲の山腹が存在するときには、その表面水の経路を調べておくことが必要である。

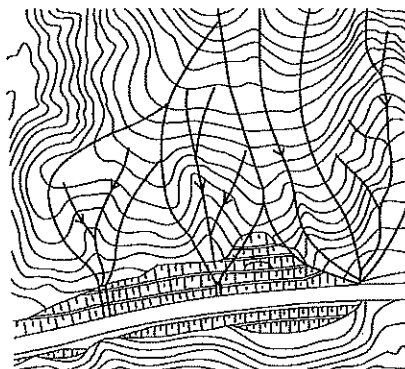
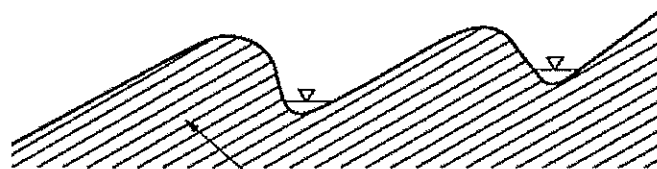


図 4-2-10 集水地形

・ケスタ地形

図 4-2-11 に示すように、左右が非対称の傾斜を持つ斜面が繰り返す場合、緩斜面側の掘削が要注意である。このような地形をケスタ地形と呼ぶ。これは、堆積岩の地層の傾きを反映したものであることが多い。



単斜構造：地層が同方向に一樣に傾斜している構造

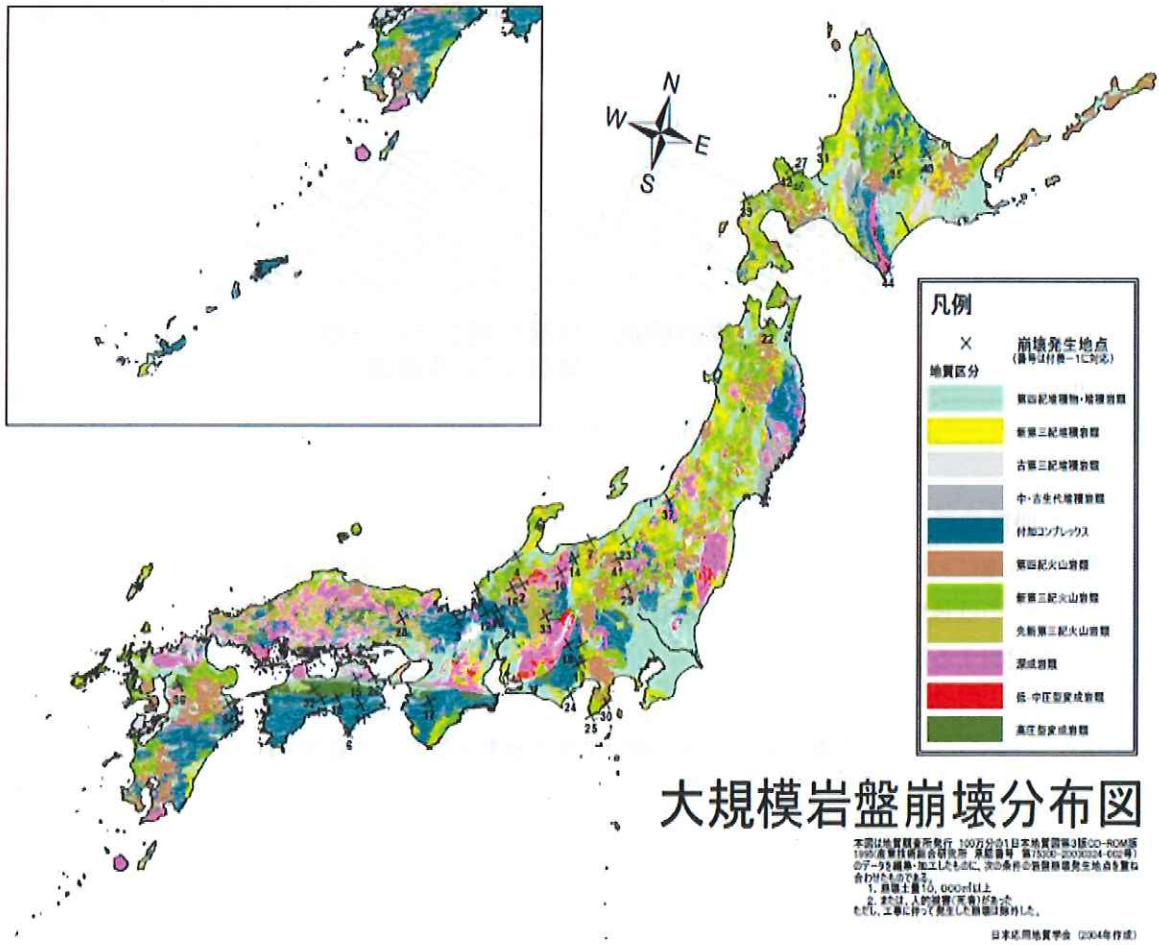
図 4-2-11 ケスタ地形

・崩壊地形

現地においては、比較的最近の崩壊は植生の剥げた部分で簡単に見分けられる。規模が大きいものは地形図にも表現がなされている。これらが建設工事箇所の上部にあるときには、防護を検討する必要がある。

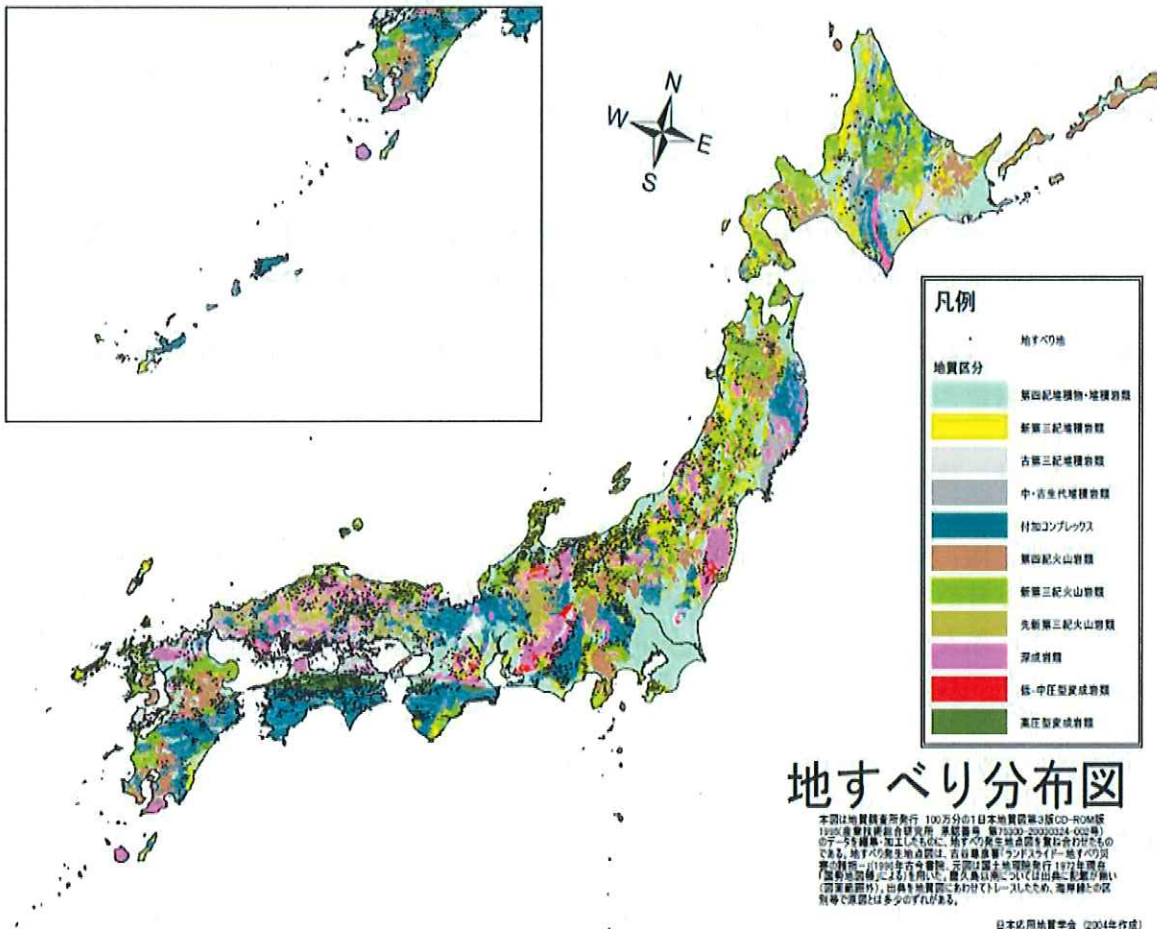
※出典 改訂新版「建設工事と地盤地質」古今書院（2013年10月）pp.1～21

参考資料



※ 出典 一般社団法人日本応用地質学会 応用地質用語集

図 4-2-12 日本の大規模岩盤崩壊分布図



※ 出典 一般社団法人日本応用地質学会 応用地質用語集

図 4-2-13 日本の地すべり分布図

4.3 保安林について

(1) 森林法とは

森林法（昭和 26 年 6 月 26 日施行）とは、第一章 総則 第 1 条で「この法律は、森林計画、保安林その他の森林に関する基本的事項を定めて、森林の保続培養と森林生産力の増進とを図り、もって国土の保全と国民経済の発展とに資することを目的とする。」と明示されている。

森林は、地域森林計画の対象となる私有林（森林法第 5 条対象森林）と国有林で構成され、保安林指定された保安林とそうでないもの（普通林）に区分される。

保安林は、所有形態から「国有保安林」と「私有保安林」がある。国有林の内、ほとんどが保安林指定されている。

(2) 保安林の種類

保安林とは、水源の涵養、土砂の崩壊その他の災害の防備、生活環境の保全・形成等、特定の公益目的を達成するため、農林水産大臣又は都道府県知事によって指定される森林のこと。保安林では、それぞれの目的に沿った森林の機能を確保するため、立木の伐採や土地の形質の変更等が規制される。

保安林の種類は、その指定の目的により 17 種類に分類される。

①水源かん養保安林

流域保全上重要な地域にある森林の河川への流量調節機能を安定化し、その他の森林の機能とともに、洪水・渇水を防止したり、各種用水を確保したりする。



写真-1 石川県加賀市



写真-2 熊本県菊池市

②土砂流出防備保安林

下流に重要な保全対象がある地域で土砂流出の著しい地域や崩壊・流出のおそれがある区域において、林木及び地表植生その他の地被物の直接間接の作用によって、林地の表面侵食及び崩壊による土砂の流出を防止する。



写真-3 徳島県三好市

③土砂崩壊防備保安林

崩落土砂による被害を受けやすい道路、鉄道その他の公共施設等の上方において、主として林木の根系の緊縛その他の物理的作用によって林地の崩壊の発生を防止する。



写真-4 北海道増毛町

④飛砂防備保安林

海岸の砂地を森林で被覆することにより飛砂の発生を防止し、飛砂が海岸から内陸に進入するのを遮断防止することにより、内陸部における土地の高度利用、住民の生活環境の保護を図る。



写真-5 秋田県由利本荘市

⑤防風保安林

林冠をもって障壁を形成して風に抵抗してそのエネルギーを減殺し、これを防止攪乱することにより風速を緩和して風害を防止する。



写真-6 長野県南牧村

⑥水害防備保安林

河川の洪水時における氾濫にあたって、主として樹幹による水制作用及びろ過作用並びに樹根による侵食防止作用によって水害の防止軽減を図る。



写真-7 京都府福知山市

⑦潮害防備保安林

津波又は高潮に際して、主として林木の樹幹によって波のエネルギーを減殺するほか、空気中の海水塩分を捕捉して被害を防止する。



写真-8 沖縄県石垣市

⑧干害防備保安林

洪水・渇水を防止し、又は各種用水を確保する森林の水源涵養機能により、局所的な用水源を保護する。



写真-9 福井県池田町

⑨防雪保安林

飛砂防備や防風保安林と同様の機能によって吹雪（気象用語では「飛雪」と呼ぶ）を防止する。



写真-10 北海道稚内市

⑩防霧保安林

森林によって空気の乱流を発生させて霧の移動を阻止したり、霧粒を捕捉したりすることで霧の害を防止する。



写真-11 北海道厚岸町

⑪なだれ防止保安林

森林によって雪庇の発生や雪が滑り出すのを防いだり、雪の滑りの勢いを弱めたり、方向を変えたりする等により雪崩を防止する。



写真-12 新潟県魚沼市

⑫落石防止保安林

林木の根系によって岩石を緊結固定して崩壊、転落を防止したり、転落する石塊を山腹で阻止したりすることで、落石による危険を防止する。



写真-13 岐阜県白川町

⑬防火保安林

耐火樹又は防火樹からなる防火樹帯により火炎に対して障壁を作り、火災の延焼を防止する。



写真-14 兵庫県赤穂市

⑭魚つき保安林

水面に対する森林の陰影の投影、魚類等に対する養分の供給、水質汚濁の防止等の作用により魚類の棲息と繁殖を助ける。

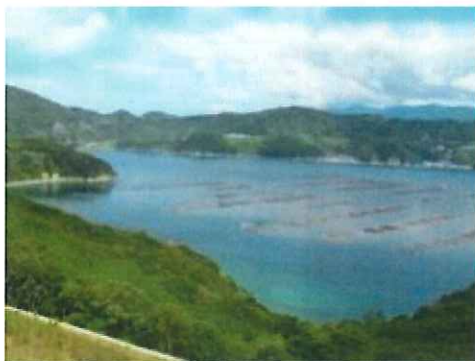


写真-15 愛媛県愛南町

⑮航行目標保安林

海岸又は湖岸の付近にある森林で地理的目標に好適なものを、主として付近を航行する漁船等の目標となって航行の安全を図る。



写真-16 長崎県対馬市

⑯保健保安林

森林の持つレクリエーション等の保健、休養の場としての機能や、局所的な気象条件の緩和機能、じん埃、ばい煙等のろ過機能を発揮することにより、公衆の保健、衛生に貢献する。



写真-17 群馬県みなかみ町

⑰風致保安林

名所や旧跡等の趣のある景色が森林によって価値づけられている場合に、これを保存する。

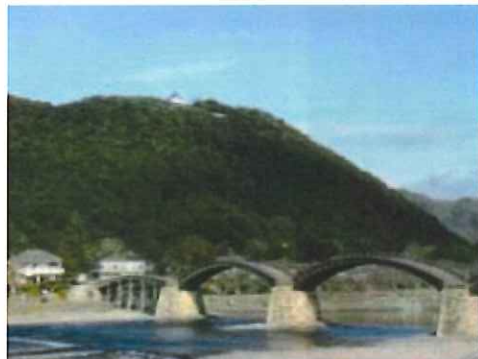
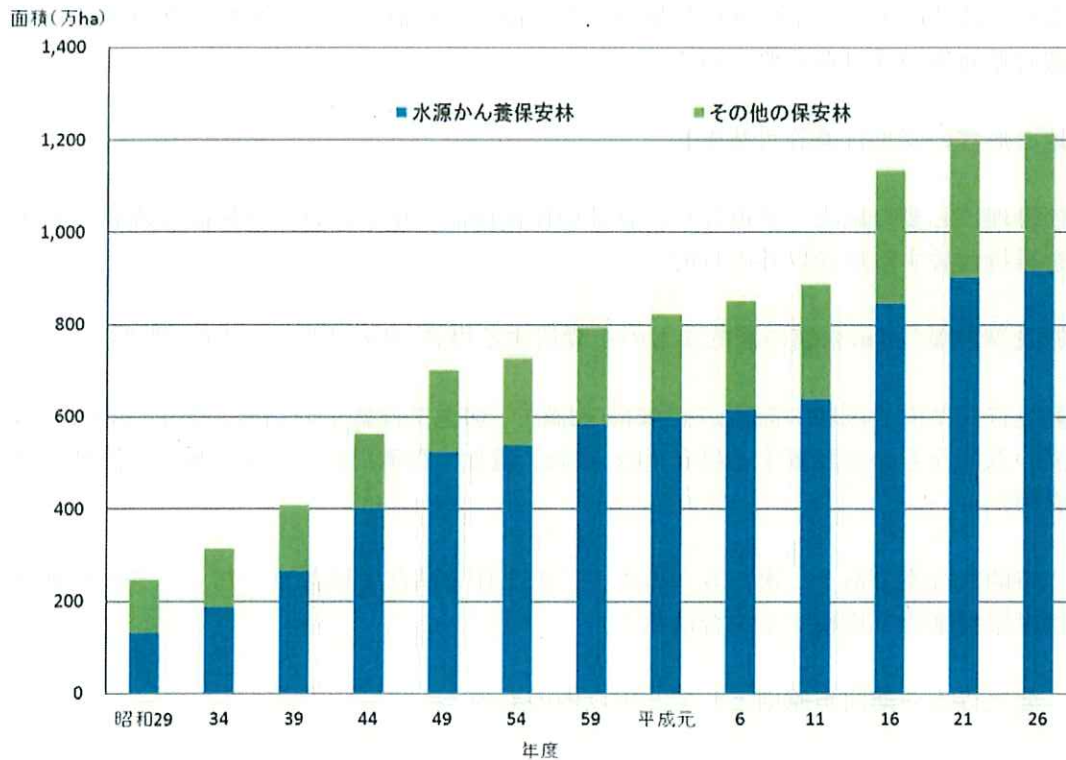


写真-18 山口県岩国市

(3) 保安林の面積

保安林の面積は、我が国の森林面積の約 5 割、国土面積の約 3 割を占めている。図 4-3-1 に保安林面積の推移を示す。さらに図 4-3-2 に保安林の種類別面積（延べ面積）を示す。



注：実面積とは、複数の保安林種が同一の森林に重複して指定されている場合に、重複関係を排除して算出したもの。

図 4-3-1 保安林面積の推移 (実面積)

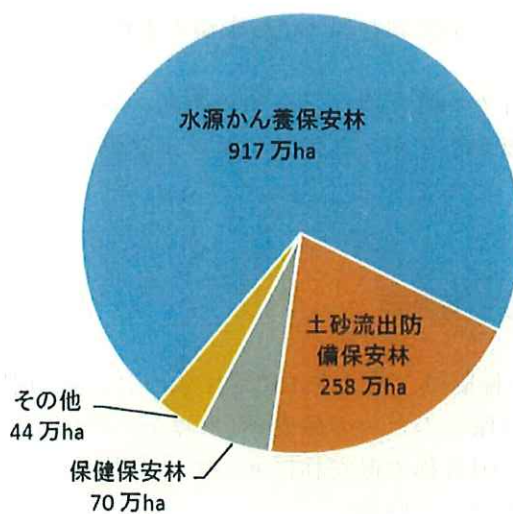


図 4-3-2 保安林の種類別面積 (延べ面積)
1,289 万 ha (平成 27 年 3 月 31 日現在)

(4)保安林における制限

1) 保安林内作業許可

森林法第34条第2項に定める保安林内における立木の伐採、流木の損傷、家畜の放牧、下草・落葉・落枝の採取、土砂又は樹根の採掘、開墾その他の土地の形質を変更する行為は、都道府県知事の許可が必要である。

【土地の形質の変更行為許可基準】

森林の管理に必要な施設（林道等）、森林の保健機能の増進に資する施設や森林の有する機能を維持代替する施設以外の目的で、

- ① 施設等の幅が1m未満の線的なものを設置する場合（Ex.水路、へい、柵等）
- ② 変更行為に係る区域の面積が0.05ha未満で、切土又は盛土の高さがおおむね1.5m未満の点的なものを設置する場合（Ex.標識、電柱、送電用鉄塔、水道施設、簡易な展望台等）
- ③ 一時的な行為であって次の5つのすべての要件を満たす場合（ただし、一般廃棄物又は産業廃棄物を堆積する場合は除く）
 - ア 変更行為の期間が原則として2年以内のもの
 - イ 変更行為の終了後には植栽され確実に森林に復旧されるものであること
 - ウ 区域面積が0.2ha未満のものであること
 - エ 土砂の流出または崩壊を防止する措置が講じられているもの
 - オ 切土又は盛土の高さがおおむね1.5m未満のものであること

*国有保安林において行為を行う場合、土地の売払いを要しないときは作業許可の手続き、土地の売払いを要するときには解除手続きが必要となる。

参考：保安林の指定・解除の権限者

保安林の指定及び解除の権限は、表4-3-1に示すように、民有林のうち国土保全の根幹となる重要流域にある流域保全のための保安林（水源かん養保安林、土砂流出防備保安林、土砂崩壊防備保安林）及び国有林の保安林にあっては農林水産大臣、その他の民有保安林にあっては都道府県知事となっている。

表 4-3-1 保安林の指定・解除の権限者

所有区分	保安林の種類	流域区分(注)	指定・解除の権限者
国有林	全ての保安林	全流域	農林水産大臣
民有林	水源かん養保安林	重要流域内	
	土砂流出防備保安林	重要流域外	都道府県知事 (法定受託事務)
	土砂崩壊防備保安林		
	その他の保安林	全流域	都道府県知事 (自治事務)

(注)重要流域：2以上の都府県の区域にわたる流域その他の国土保全上又は国民経済上特に重要な流域で農林水産大臣が指定したもの

(5) 転用に係る保安林解除申請

1) 保安林級地区分

保安林解除審査の対象地として、①第1級地と、②第2級地に区分される。

① 第1級地

ア 事業施工後10年以内の治山事業施工地及び保安林整備事業、防災林造成事業等により森林の整備を実施した区域は事業施工後20年以内のもの

イ 傾斜度が25°以上のもの(25°以上の部分が局所的に含まれるものを除く)その他地形、地質等からして崩壊しやすいもの

ウ 人家、校舎、農地、道路等国民生活上重要な施設等に近接して所在する保安林であって、当該施設等の保全又はその機能の維持に直接重大な関係があるもの

エ 海岸に近接して所在するものであって、林帯の幅が150m未満(本州の日本海側及び北海道の沿岸にあっては250m未満)であるもの

オ 保安林の解除に伴い残置し、又は造成することとされたもの

②第2級地

第1級地以外の保安林

第1級地については、「公益上の理由」による解除のうち、転用の様態、規模等からみて国土の保全等に支障がないと認められるもの除き、原則として解除は行わない。

2) 保安林解除の理由

保安林解除の理由として、森林法で定められている要件は、保安林の指定理由が消滅したとき、公益上の理由により必要が生じたときの二つの場合であり、これ以外の理由で保安林の解除が行われることはない。

「指定理由の消滅」による解除とは、

- ① 受益の対象が消滅したとき
- ② 自然現象等により保安林が破壊され、かつ、森林に復旧することが著しく困難と認められるとき
- ③ 当該保安林の代替する機能を果たすべき施設等（代替施設）が設置されたとき又はその設置が極めて確実と認められるとき
- ④ 森林施業を制限しなくても受益の対象を害するおそれがないと認められるとき

「公益上の理由」による解除とは、

- ① 土地収用法その他の法令により土地を収用し又は使用できるとされている事業のうち、国等（国、地方公共団体、地方公共団体の組合、独立行政法人、地方独立行政法人、地方住宅供給公社、地方道路公社及び土地開発公社）が実施するもの
- ② 国等以外の者が実施する事業のうち、特定の事業に該当するもの（Ex. 特定規模電気事業者による電気工作物の設置）
- ③ ①又は②に準ずるもの

3) 保安林解除の要件

- ① 指定理由の消滅による解除（森林法第26条の2第1項）
 - ア 用地事情等：他に適地が求められない（公的土地利用計画に合致）
 - イ 面積：必要最小限の解除面積であること（期別実施計画）
 - ウ 実現の可能性：事業等を行うことが確実であること（用地の確保、他法令許認可、資金等）
 - エ 利害関係者の意見
 - オ その他：保安林の有する機能の代替施設の設置（技術基準）、残置又は造成する森林の確保、代替保安林の指定
- ② 公益上の理由による解除（森林法第26条の2第2項）

ア 前記アと同じ

イ 前記イと同じ

ウ 前記ウと同じ

エ 前記オと同じ

(6) 林地開発許可制度（普通林）

1) 林地開発許可制度の趣旨

森林は、水源の涵養、災害の防止、環境の保全といった公益的機能を有しており、国民生活の安定と地域社会の健全な発展に寄与している。また、これらの森林は、一度開発してその機能が破壊されてしまった場合には、これを回復することは非常に困難なものとなる。従って、これらの森林において開発行為を行うに当たっては、森林の有する役割を阻害しないよう適正に行うことが必要であり、なおかつ、それが開発行為を行う者の権利に内在する当然の責務でもある。林地開発許可制度は、このような観点から、これらの森林の土地について、その適正な利用を確保することを目的としている。

2) 林地開発許可制度の内容

①許可制の対象となる森林

林地開発許可制度の対象となる森林は、森林法第5条の規定により都道府県知事がたてた地域森林計画の対象民有林（保安林、保安施設地区、海岸保全区域内の森林を除く。）である。

②許可制の対象となる開発行為

許可制度の対象となる開発行為は、土石又は樹根の採掘、開墾その他の土地の形質を変更する行為であって、次の規模をこえるものとする。

ア 専ら道路の新設又は改築を目的とする行為でその行為に係る土地の面積が1haを超えるものにあつては道路（路肩部分及び屈曲部又は待避所として必要な拡幅部分を除く。）の幅員3m

イ その他の行為にあつては土地の面積1ha

③許可権者

開発行為をしようとする者は、農林水産省令で定める手続に従い、都道府県知事の許可（自治事務）を受けなければならない。

④許可基準

都道府県知事は、許可の申請があった場合において、次のいずれにも該当しないと認めるときは、これを許可しなければならないとされている。

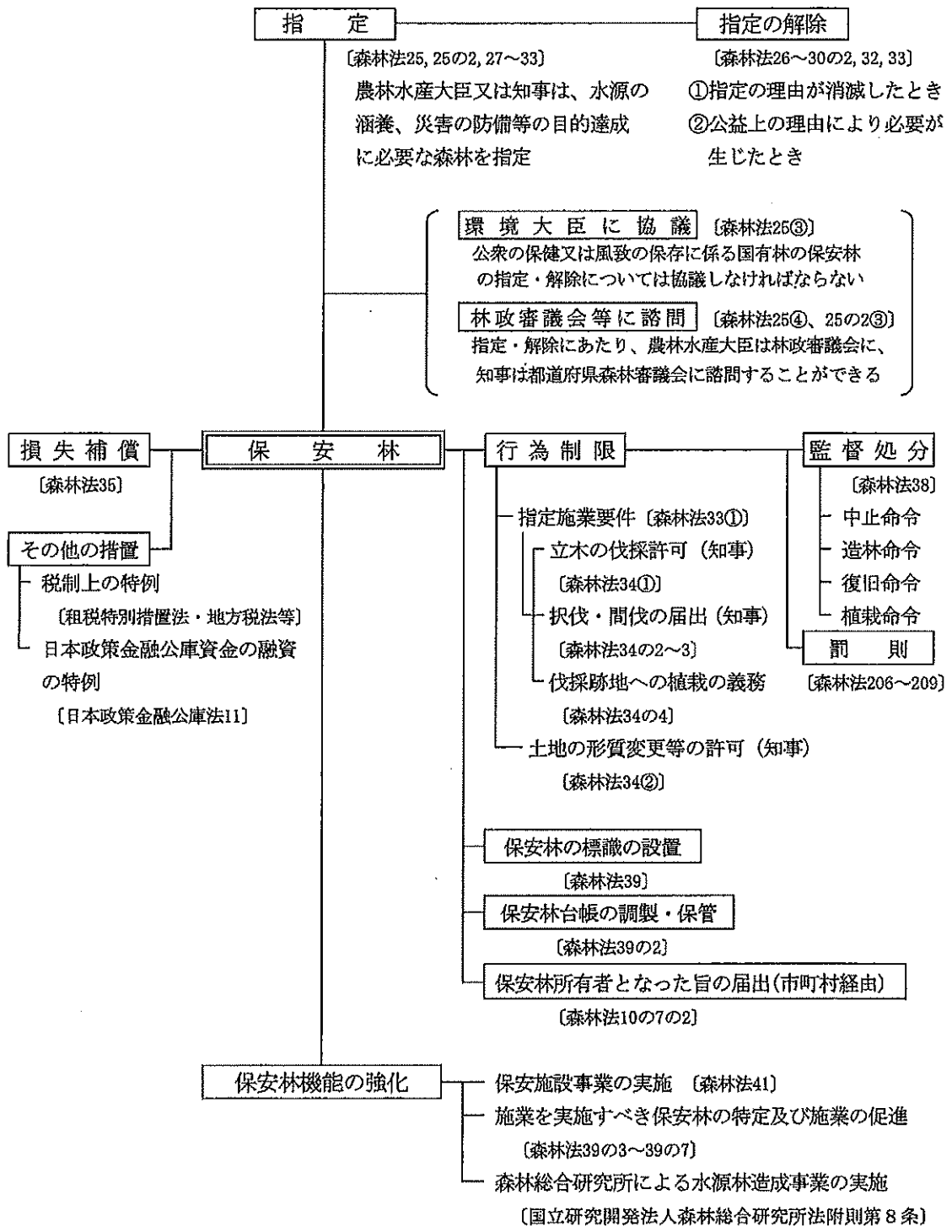
ア 当該開発行為をする森林の現に有する土地に関する災害の防止の機能からみて、当該開発行為により当該森林の周辺の地域において土砂の流出又は崩壊その他の災害を発生させるおそれがあること（災害の防止）

イ 当該開発行為をする森林の現に有する水害の防止の機能からみて、当該開発行為により当該機能に依存する地域における水害を発生させるおそれがあること（水害の防止）

ウ 当該開発行為をする森林の現に有する水源の涵養の機能からみて、当該開発行為により当該機能に依存する地域における水の確保に著しい支障を及ぼすおそれがあること（水の確保）

エ 当該開発行為をする森林の現に有する環境の保全の機能からみて、当該開発行為により当該森林の周辺の地域における環境を著しく悪化させるおそれがあること（環境の保全）

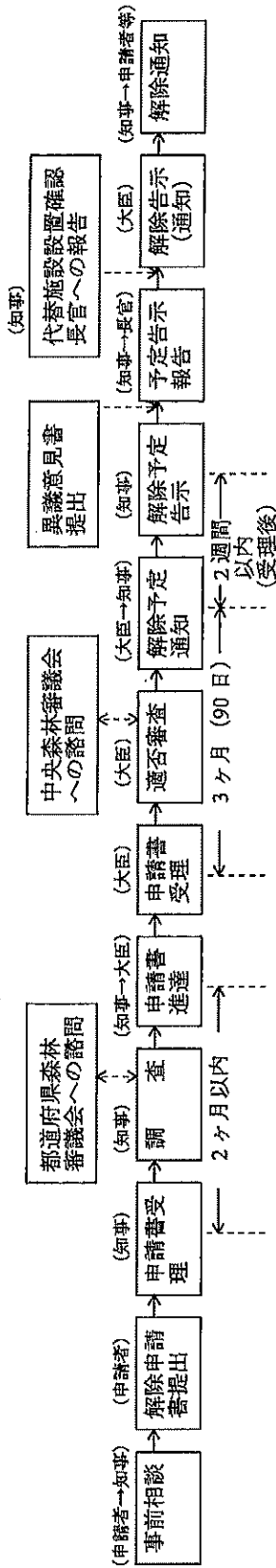
※出典 林野庁 HP http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/con_2.html



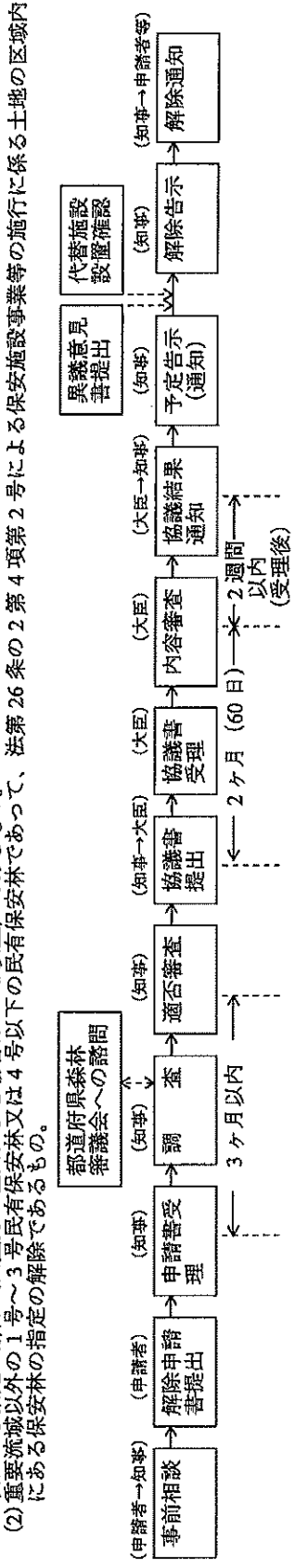
注：〔 〕は根拠法及び規定条文

図 4-3-3 保安林制度の体系

1 農林水産大臣の権限に係る保安林の指定の解除 (重要流域内に存する1号～3号民有保安林、国有保安林 (森林管理局長の上申及び都道府県知事の認定による解除を除く))



2 都道府県知事の権限に係る保安林の指定の解除が行われるもののうち、法第26条の2第4項の規定による大臣協議を必要とするもの (1)重要流域以外の1号～3号民有保安林であって、①法第26条の2第1項による指定の解除 (指定理由の消滅による場合は1ha以上)、②法第26条の2第2項による指定の解除 (公益上の理由による場合は5ha以上)であるもの。 (2)重要流域以外の1号～3号民有保安林又は4号以下の民有保安林であって、法第26条の2第4項第2号による保安施設事業等の施行に係る土地の区域内にある保安林の指定の解除であるもの。



3 都道府県知事の権限に係る保安林の指定の解除 (法第26条の2第4項の規定による大臣協議を必要とするものを除く) (1)重要流域以外の1号～3号民有保安林であって、上記2の(1)及び(2)に該当しないもの。 (2)4号以下の民有保安林であって、上記2の(2)に該当しないもの。

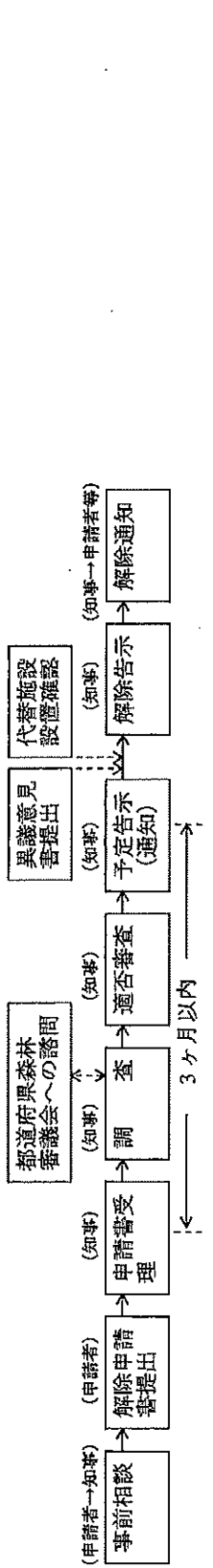


図 4-3-4 採択林の指定の解除申請手続のフローチャート (重要流域を除く)

保安林以外の普通林における林地開発許可制度とは

- 森林は、保安林以外の森林（普通林）であっても水源の涵養、災害の防止、環境の保全などの公益的機能を有しており、国民生活の安定と地域社会の健全な発展に寄与しています。
- このため、普通林の開発に当たってはこうした森林の持つ機能が損なわれないよう適正に行うための一定のルールが定められています。

■林地開発許可の対象となる森林

都道府県知事が立てた**地域森林計画の対象となる民有林**
 ※国有林と保安林以外の森林はほとんどが対象

■林地開発許可の対象となる開発行為

土石の採掘や林地以外への転用などの土地の形質の変更を行うことによって**1haを超えての開発行為**

例)住宅造成、別荘地、ホテルなどの宿泊施設、ゴルフ場やスキー場、遊園地などのレジャー施設、工場、採石場、土捨て場、道路 など

- こんな場合も林地開発許可が適用されます。
- ・**道路の幅員が3mを超え**、面積が1haを超える場合
 - ・**何人かの森林所有者が共同で**1haを超える開発を行う場合
 - ・**何回かに分けて少しずつ**合計で1haを超える開発を行う場合

■林地開発許可の基準

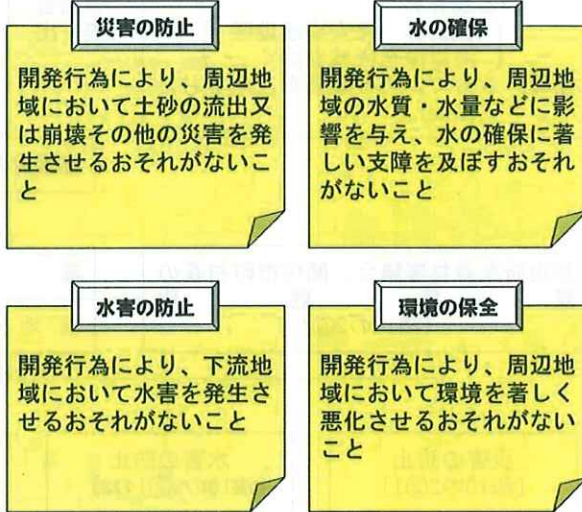


図 4-3-5 保安林以外の普通林における林地開発許可制度の概要

林地の開発を行うには

- 地域森林計画対象民有林で開発行為を行う場合は、都道府県知事の許可が必要です。
- 不正な手段で開発を行ったり、違反行為があった場合には、森林法に基づき「中止命令」や「復旧命令」の監督処分を受け、また、処分に従わない場合は罰則が適用されます。

■林地開発許可の手続き

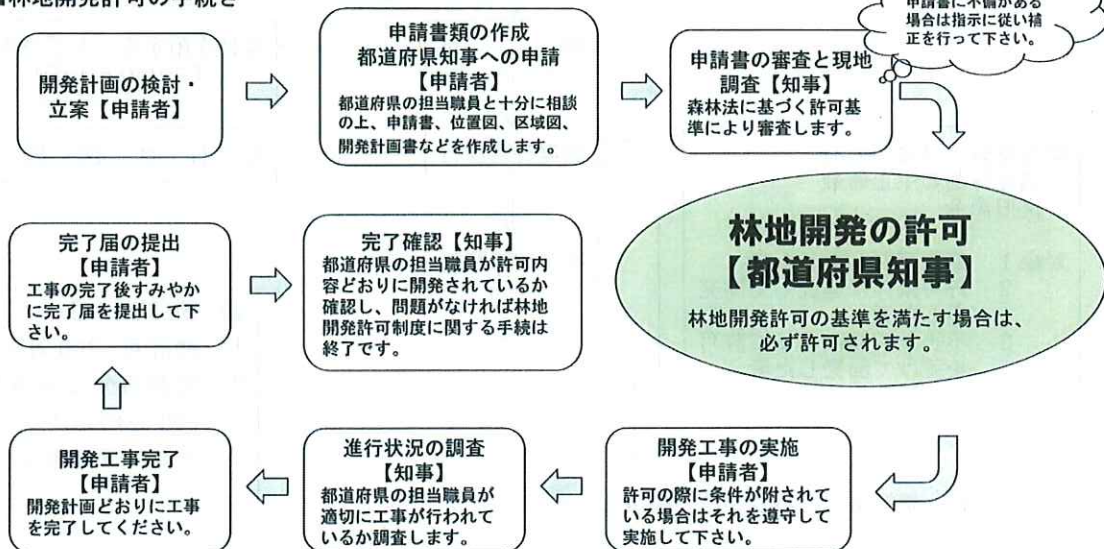
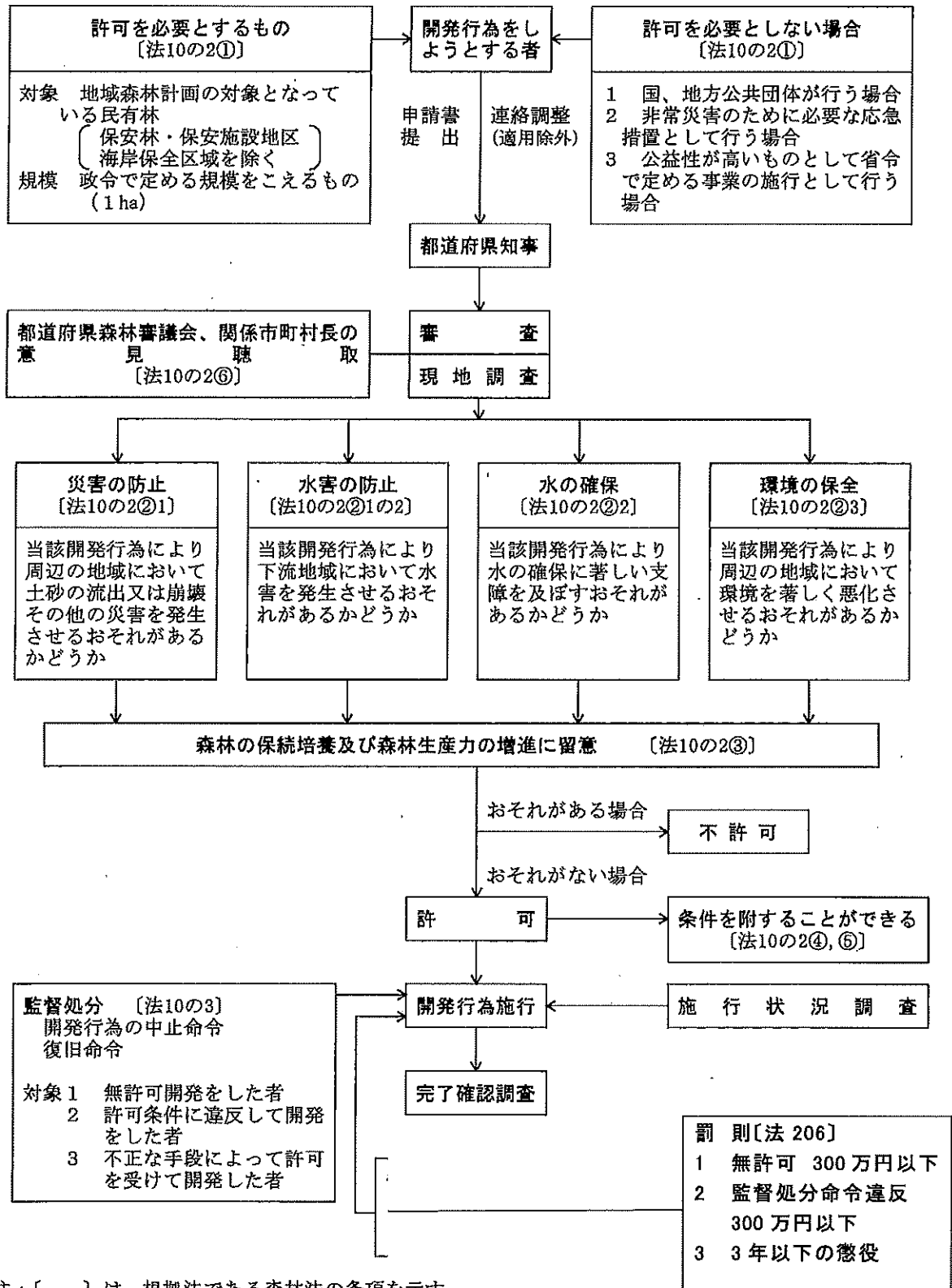


図 4-3-6 林地開発許可制度の概要

林地開発許可制度の体系図



注：〔 〕は、根拠法である森林法の条項を示す。

図 4-3-7 林地開発許可制度の体系図

表 4-3-2 林地開発許可処分の推移表

区分 年度	件 数 (件)										
	S49～ H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	計
開発行為の目的 工場・事業場用地 の 造 成	3,117	84	75	72	61	43	46	70	175	302	4,045
住宅用地の造成	2,089	19	29	15	9	8	6	10	10	9	2,204
別荘地の造成	281	0	2	2	1	0	0	0	0	0	286
ゴルフ場の設置	1,760	1	1	2	0	1	1	0	0	0	1,766
レジャー施設の 置	1,167	11	8	6	7	5	4	4	4	2	1,218
農用地の造成	11,164	41	61	68	44	48	53	38	18	23	11,548
土石の採掘	10,218	119	108	111	82	94	85	79	103	109	11,108
道路の新設又は 改 築	156	6	15	18	11	21	19	10	13	12	281
そ の 他	3,803	47	34	27	23	27	24	17	35	28	4,065
計	33,755	328	333	311	238	247	238	228	358	485	36,521

区分 年度	面 積 (ha)										
	S49～ H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	計
開発行為の目的 工場・事業場用地 の 造 成	15,687	407	518	465	297	213	128	489	869	1,934	21,007
住宅用地の造成	20,045	72	111	34	38	36	35	28	-14	-37	20,348
別荘地の造成	1,776	0	10	12	1	0	0	-1	0	0	1,798
ゴルフ場の設置	78,339	-1	9	9	0	1	3	8	0	-29	78,339
レジャー施設の 設	7,211	59	23	-33	9	22	11	53	29	13	7,397
農用地の造成	44,769	211	292	231	223	184	195	205	126	128	46,564
土石の採掘	49,926	1,054	1,009	899	788	879	784	720	1,066	1,144	58,269
道路の新設又は 改 築	1,644	47	249	87	146	170	215	133	89	66	2,846
そ の 他	14,299	253	181	186	102	84	87	146	169	90	15,597
計	233,696	2,102	2,402	1,890	1,604	1,589	1,458	1,781	2,334	3,309	252,165

- 注1 面積は、土地の形質の変更に係る面積であって、開発区域に残置する森林は含まない。
 2 件数は、新規許可処分に係るものであって、面積は、当該年度の新規許可処分面積に当該年度の変更許可処分による増減面積を加えたもの。
 3 「その他」の項には産業廃棄物処理場、残土処理場、福祉施設、墓地等が含まれる。

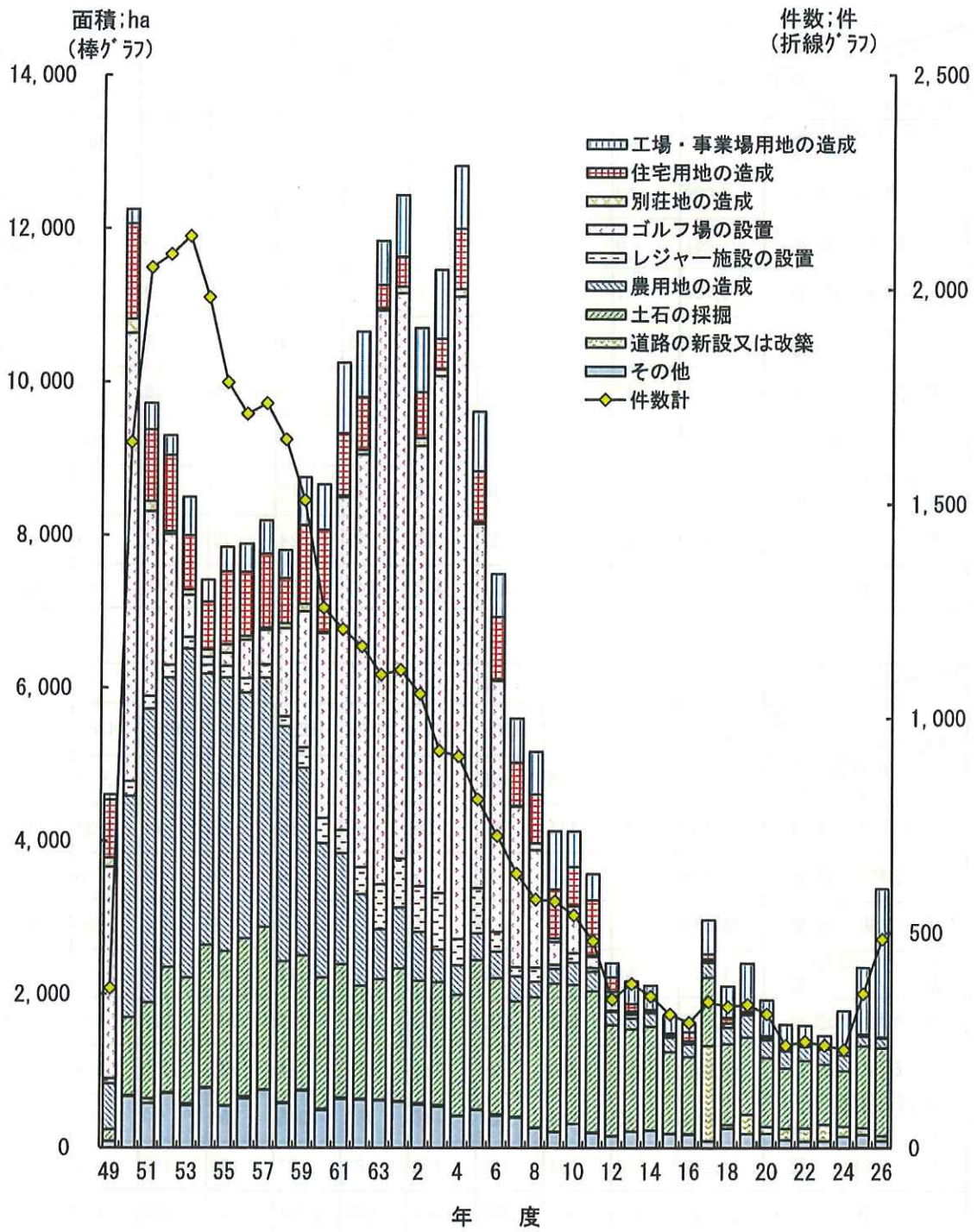


図 4-3-8 林地開発許可処分の推移

※出典 林野庁 HP http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/con_2.html

5. 環境保全

5. 環境保全

5.1 水力発電所の環境問題

水力発電は、自然の地形、自然に循環する水の位置エネルギーを利用して発電を行い、その発電過程で有害な物質を創出、排出するようなことがないため、基本的にはクリーンエネルギーであるが、立地する位置が自然豊かな環境で行われることも多く、自然との関わりあいなどで問題視されることある。

水力発電所の設置、運用に伴う環境問題として次のようなことが挙げられる。

- ア. ダム、発電所など大規模の土木構造物の設置、ダム・貯水池の設置による土地の改変、水没による植生の消滅、動物の生息域に及ぼす影響。
- イ. 貯水池、調整池等の設置に伴う停滞水域の発生による水質への影響。
 - ・ 流入水の貯留に伴う中低層水の水温が低下し、その放流による、下流域の魚類、稲作等に及ぼす影響。
 - ・ 洪水時等に大量に流入してくる濁水を貯留し、これを順次放流することによる下流域の濁水の長期化を招き魚類、かんがい、都市用水等に及ぼす影響。
 - ・ 貯水池に流入するチッソ、リン等の栄養塩類が停滞域の発生によって蓄積濃縮化されることによって淡水赤潮、藻類の発生など富栄養化し水質の悪化を招くこと。
- ウ. ダム、取水堰等の設置による、遡上する魚類への障害。
- エ. 水路式発電所の設置、運用に伴い、取水口から放水口までの間の河川区間が減水することによる河川景観、水生生物、水質等に及ぼす影響。
- オ. 発電所の設置工事に伴う濁水、騒音、振動等発生、工事用資機材、発生土の運搬による地域の生活環境、交通等に及ぼす影響。

現実には、設置地点の地形、自然環境、地域社会等の状況、特性等で影響の程度、範囲、性質が異なるものの周辺環境に対して何らかの影響を与えることは避けられない。

水力開発は環境保全上特に配慮が求められる自然環境が豊かな山間部で行われることが多く、自然環境の保全、調和には十分な配慮が必要とされる。また、最近では、開発地点も上流山間部から中下流域に広がり人の生活圏の近傍で開発されることも多くなり、地域社会、生活圏に及ぼす影響、対策も必要となってきた。

水力開発を行うに当たっては、環境保全対策、措置は不可避であり、所管庁の通商産業省（現在の経済産業省）では、「環境影響評価法」の立法、施行に先駆け、「発電所の立地に関する環境影響調査及び環境審査の強化について」を省議決定し、独自に環境影響調査の実施、公開を開発事業者に求め、環境審査の強化が図られてきた。

その後、「環境影響評価法」が立法化され、幾多の紆余曲折を経ながら、水力発電所を含む各種発電所の環境影響評価に係る手続きと実施も同法によることとなった。

5.2 環境影響評価制度

(1) 環境影響評価法

環境影響評価とは、環境影響評価法（平成9年6月13日 法律第81号）第2条第1項で「事業（特定の目的のために行われる一連の土地の形状の変更（これと併せて行うしゅんせつを含む。）並びに工作物の設置及び増改築をいう。以下同じ）の実施が環境に及ぼす影響（当該事業の実施後の土地又は工作物において行われることが予定される事業活動その他の人の活動が当該事業の目的に含まれる場合には、これらの活動に伴って生ずる影響を含む。以下単に「環境影響」という。）について環境の構成要素に係る項目ごとに調査、予測及び評価を行うとともに、これらを行う過程においてその事業に係る環境の保全のための措置を検討し、この措置が講じられた場合における環境影響を総合的に評価することをいう。」と規定されている。

我が国における環境影響評価は、昭和47年6月に行われた「各種公共事業に係る環境保全対策について」の閣議決定が契機となり、これに基づいて公共事業等で本格的な環境影響評価に関する取り組みが始められた。

発電所の立地に際しての「環境影響評価」は、公共事業等の環境影響評価制度とは別建てで個別に行われてきていたが、昭和52年7月に通商産業省において「発電所の立地に関する環境影響評価及び環境審査の強化について」が省議決定されたことにより、その後立法化された「環境影響評価法」に先立ち、環境影響評価の実施制度が確立され組織的運用が始められた。

その後、各地の地方公共団体において条例による環境影響評価の制度化が進み、港湾法、公有水面埋立法等の個別法や、事業官庁による行政指導を通じて環境影響評価の事例が積み重ねられてきた。

そのような、様々な制度が制定される中で、統一的な手続きによる環境影響評価の実施が政策上重要な課題となり、これに対処すべく「環境影響評価法案」が国会に提出され、平成9年5月に国会で法案が可決成立し、現行の「環境影響評価法」が公布、施行されることとなった。

併せて、「電気事業法」の改正も行われ、水力発電所など発電所に係る環境影響評価も取り込まれることとなった。

環境影響評価を義務づけられる事業は、環境影響評価法第2条第2項（第1種事業）、同

条第3項（第2種事業）で規模、要件が定められている。

第1種事業 規模（改変面積、工作物の大きさ等）が大きく、環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあるもの。

第2種事業 規模が第1種事業に準ずる程度であっても、環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあるかどうかの判定が必要なもの。

(2) 発電事業に係る環境影響評価制度（電気事業法による規定、特例）

現在、水力発電所の環境影響評価は、環境影響評価に関する特例として「電気事業法」（昭和39年7月11日 法律第170号）第46条の2（第1種事業）、第46条の3（第2種事業）及び第47条第3項第4号の規定により、「環境影響評価法」及び関係省令の規定に従い、一定要件以上の発電所の設置に際し義務づけられ実施されている。

また、「電気事業法」による上乘せとして、経済産業大臣の「方法書」に対する勧告（法第46条の8）、「準備書」に対する勧告（法第46条の14）、「評価書」に対する変更命令（法第46条の17）、発電所の設置又は変更の工事、維持運用における環境保全についての適正な配慮（法第46条の20）評価書の結果の工事計画認可の要件化（法第47条第3項第3号及び第4号）が規定されている

発電所に係る主務省令としては、「発電所の設置又は変更の工事に係る環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針、環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令」（平成10年6月12日 通商産業省令第54号、以下単に「省令」という。）があり、省令の第3条に「特定対象事業」について方法書に記載すべき内容が規定されている。ここでいう「特定対象事業」とは、全ての第1種事業と、第2種事業のうち環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあると認められたものである（環境影響評価法第4条第3項第1号）。発電事業における第1種事業と第2種事業の要件を表5-2-1に示す。

環境影響評価は、第1種事業はすべて、第2種事業については個別の事業や地域の違いを踏まえて必要と判定された事業が行うこととなる。

環境影響評価を実施させるかどうかは、当該事業を所管する行政機関の長が都道府県知事の意見を聴いて、事業内容、地域特性に応じて判定を行うが、省令第2条の各号に判定の基準を定めており、そのうち水力発電所においてはおおむね以下のような場合に「環境影響の程度が著しいものとなるおそれがあるもの」としている。

- ① 周囲1キロメートルの範囲内に工事時期が重なる水力又は地熱発電所があり、それらを合わせた規模が第1種事業規模に達する場合。

- ② 当該水域における水質の汚濁に係る環境上の条件が、環境基本法における規定を超える場合。
- ③ 取水地点が存在する水域が第2種事業の実施により減水区間となる場合において、取水地点におけるBODの予測値が環境基本法に定める基準を超える場合。
- ④ 水際線が人工改変を受けていない河岸、野生動植物の重要な生息生育の場が、事業が実施される区域の周囲1キロメートルの範囲内に存在し減水区間となる場合。

表 5-2-1 発電所の第1種、第2種区分

発電所区分	第1種事業	第2種事業
		(簡易なアセスメントで十分か個別に判断する事業)
水力発電所	出力 3 万 kW 以上	出力 2.25 万 kW 以上 3 万 kW 未満
火力発電所(地熱発電所を除く)	出力 15 万 kW 以上	出力 11.25 万 kW 以上 15 万 kW 未満
地熱発電所	出力 1 万 kW 以上	出力 7500kW 以上 1 万 kW 未満
原子力発電所	すべて	

環境影響評価法施行令 別表第一 による

(3) 環境影響評価の実施と手続

ア 環境影響評価方法書の作成

環境影響評価を実施することとなった事業者は、事業の名称、原動力の種類、出力、実施区域、設備の配置計画、既に決定されている事項の内容の変更により環境影響が変化するもの等の事項、及び対象事業に係る環境影響評価の項目、並びに調査・予測及び評価の手法等についての方法を記載した環境影響評価方法書（以下「方法書」という。）を作成し、関係地域を管轄する都道府県知事及び市町村長に送付されるとともに、それらの協力を得て公告・縦覧に供する。

環境の保全の見地からの意見を有する者は、環境保全上の意見を提出する。意見の概要は、関係の都道府県知事及び市町村長に送付する。

都道府県知事は、市町村長の意見を聴いた上で、事業者に対し、環境保全上の意見を提出する。

イ 環境影響評価の実施

事業者は、都道府県知事の意見や環境の保全の見地から意見を有するものの意見を踏まえ、環境影響評価の項目並びに調査、予測及び評価の手法を選定し、これに基づいて環境影響評価を実施する。またそれらの選定に当たり、必要があれば主務大臣の技術的助言を受けることができる。

環境影響評価の項目並びに調査、予測及び評価の手法を選定するための指針、環境保全

のための措置に関する指針については、環境庁長官が基本的事項を定め、これに基づき主務大臣が環境庁長官に協議して省令で定められている。

ウ 環境影響評価準備書の作成、公告・縦覧

事業者は、環境影響評価の結果について、環境影響評価準備書（以下「準備書」という。）を作成し、関係地域を管轄する都道府県知事及び市町村長に送付されるとともに、準備書を公告・縦覧し、説明会を開催する。

環境の保全の見地からの意見を有する者は、環境保全上の意見を提出し、その意見の概要及びそれに対する事業者の見解を関係都道府県知事及び市町村長に送付する。都道府県知事は、市町村長の意見を聴いた上で、事業者に対して環境保全上の意見を提出する。

エ 環境影響評価書の作成、届出、公告・縦覧

事業者は、環境影響準備書の手続きを踏まえ、環境影響評価書（以下「評価書」という。）を作成して許認可権を持つ者へ送付する。評価書について、環境庁長官は、必要に応じて許認可権を持つ者に対して環境の保全上の意見を提出し、許認可権者は、その意見を踏まえて事業者に環境保全上の意見を提出する。

事業者は、環境庁長官の意見や許認可権者の意見を受け、評価書を再検討し、必要に応じて追加調査等を行った上で評価書を補正し、この最終的な評価書を公告・縦覧する。

(4) 環境影響評価に対する審査基準

環境影響評価に対する審査は、具体的な内容、手法等は「発電所の環境影響評価に係る環境審査要領」（平成11年2月8日 資庁第1号）、「環境影響評価準備書の審査指針」（平成11年2月8日 資庁第2号）等に定められている基準に従い行われる。水力発電所に係る審査項目等については「環境影響評価準備書の審査指針」の「別表1」で以下のように定められている。

表 5-2-2 水力発電所に係る環境影響調査項目、内容

影響要因の 区分	環境要素の区分			
・工事の実施 ・土地又は工 作物の存在 及び供用	環境の自然的 構成要素の良 好な状態の保 持を旨として 調査、予測お よび評価され るべき環境要 素	大気環境	大気質	窒素酸化物 粉じん等
		騒音	騒音	
		振動	振動	
		水環境	水質	水の汚れ 富栄養化 水の濁り 溶存酸素量 水素イオン濃度 水温
		その他の環境	地形および地 質	重要な地形及び地質
		生物の多様性 の確保及び自 然環境の体系 的保全を旨と して調査、予 測および評価 されるべき環 境要素	動物	重要な種及び注目す べき生息地
植物	重要な種及び重要な 群落			
生態系	地域を特徴づける生 態系			

	人と自然との豊かな触れ合いの確保を旨	景観	主要な眺望点及び景観資源並びに主要な眺望景観
	として調査、予測および評価されるべき環境要素	人と自然との触れ合いの活動の場	主要な人と自然との触れ合いの活動の場
	環境への負荷の量の程度により予測及び評価されるべき環境要素	廃棄物等	産業廃棄物

(参考)発電所に係る環境影響評価手続①

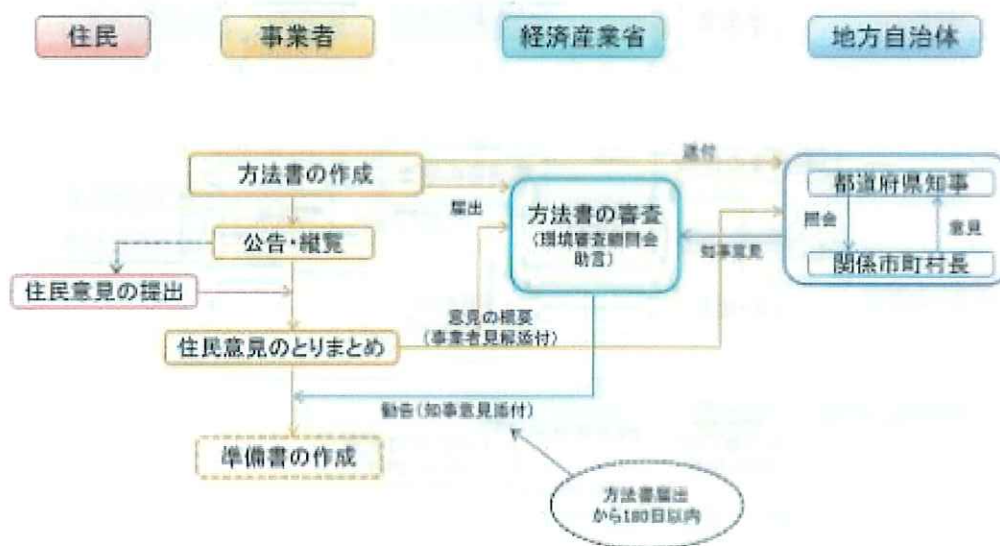


図 5-2-1(1) 発電所に係る環境影響評価手続 (その 1)

(参考)発電所に係る環境影響評価手続②

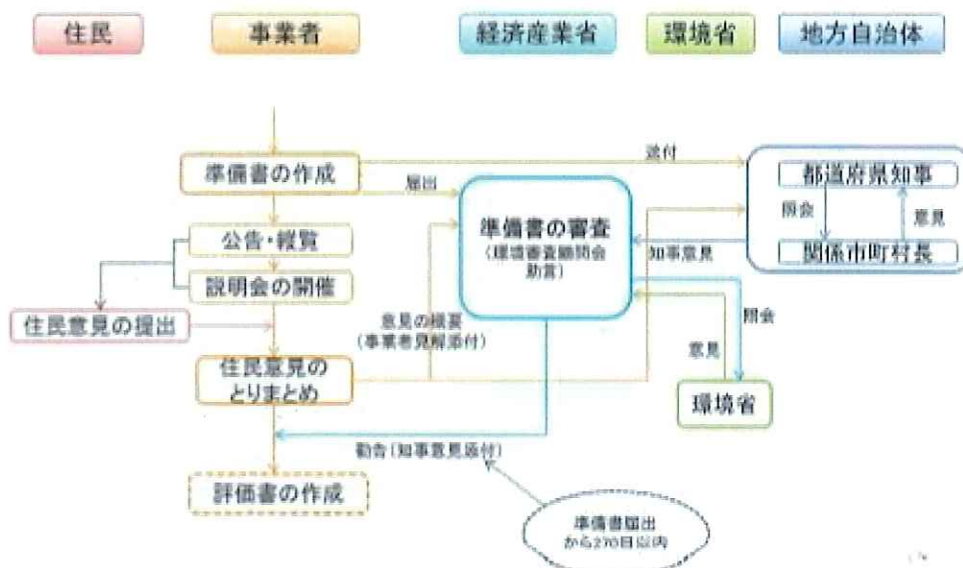


図 5-2-1(2) 発電所に係る環境影響評価手続 (その 2)

(参考)発電所に係る環境影響評価手続③

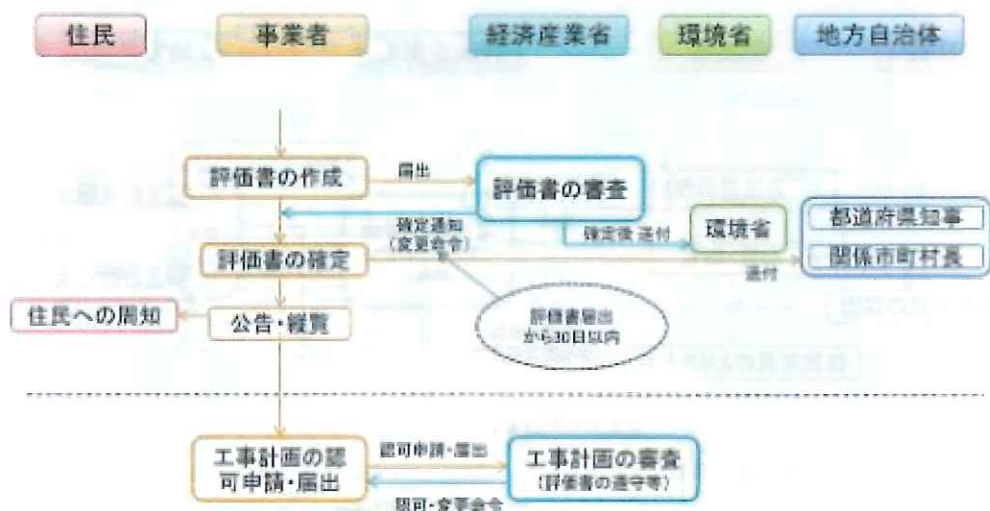


図 5-2-1 (3) 発電所に係る環境影響評価手続 (その 3)

(2010 経済産業省電力安全課「発電所の環境影響評価について」から)

5.3 環境対策の事例

水力発電所、ダム・貯水池等の設置による自然環境、社会環境等への影響緩和対策、保全対策を講じ、効果を上げている事例の幾つかを紹介する。

1) 藻岩発電所（北海道電力）〔環境問題・カワセミ営巣〕

（ダム・貯水池概要）

ダム・貯水池名 : 藻岩取水堰

流域面積 : 518km²

湖面積 : 0.07km²

水位変動幅／周期 : 約 1.5m／日

同じ地域の工事現場において自然保護団体の指摘によりニホンザリガニが確認され、捕獲のうえ適地に移す措置が取られた事例があるため、工事用道路造成箇所の環境調査の実施を行うこととなった。

調査の結果、工事用道路造成箇所近傍にカワセミの営巣が確認され、対策として雛の巣立ちを待ってから着工するよう工程を調整した。

カワセミ雛は、当初予想していた時期より若干遅れて巣立ちしたが、ほぼ予定通りの工程で工事に着手した。また、河川管理者及び自然保護団体と事前に対応し、意思疎通を図ったことにより、工事中のトラブルもなく、無事に工事を完了することができた。



2) 昆布発電所・蘭越発電所（北海道電力）〔環境問題・魚道設置〕

尻別川水系には、同社 4 箇所、他事業者 2 箇所、計 6 箇所の取水堰があり、これまではいずれの堰にも魚道が設置されていなかったため、最上流の寒別取水堰から最下流の蘭越取水堰までの延長約 47km にわたり、河川が分断された状態であった。



同水系の魚道設置については、昔から地元町村・自然保護関係者等からの設置要望が強く、既設水力発電所についても自然環境との調和を求める社会的要請が高まっていることから、1989 年から河川生態調査を開始し、1993 年度に蘭越取水堰に階段式（アイスハーバー型）魚道を設置、その後の遡上調査及び魚類生態調査により魚道設置の有効性が確認され、昆布取水堰のほか、他事業者の 2

取水堰にも魚道が設置されることとなったため、1998 年度に昆布取水堰に階段式（アイスハーバー型）魚道を設置した。

蘭越取水堰の魚道形状の選定にあたっては、当初、魚道設計指針（北海道水産部制定）に基づき国内で多数の実績がある階段式として計画した。しかしその後、階段式魚道は全面越流となりプール内の流れが乱れやすい等の理由から、水流の安定が良いとされ米コロンビア川のダム群で実績を挙げている階段式の変形型であるアイスハーバー型を採用することとした。昆布取水堰の魚道形式は、蘭越取水堰で効果を確認できた同タイプとした。

蘭越取水堰・昆布取水堰両魚道の運用は、魚の非活動期である冬期間は行っていない。運用開始は春先の融雪開始時からであり、運用前には魚道内に堆積した土砂を出るだけ排除している。魚道下部は水中に没していることから排砂作業は困難であるが、機能上問題ない。また、昆布取水堰魚道では殆ど堆砂は見られない。

その後地元住民からの反応は見られないが、蘭越取水堰設置後の 1995 年度に遡上調査を実施し、その結果魚道の効果が十分であることが確認できたことから、尻別川水系の同社残りの取水堰にも魚道を設置することとした。蘭越上流の昆布取水堰魚道についても設置後の 2000 年に遡上調査を実施し魚道効果が十分であることが確認できた。

3) 鷹の巣発電所（東北電力）〔環境問題・伐採樹木の利用による富栄養化防止〕

湛水により水没する樹木が腐食することにより一時的な富栄養化現象の発生が予想されたため、これらを極力伐採し、富栄養化現象の発生防止を図ることとした。

荒川は清流でありシーズンになると鮎釣りが多く訪れる場所であることから、河川を汚すこととなる締切の施工は、鮎シーズン及び鮭の稚魚放流時期を外して冬期に実施した。鮭の稚魚放流時期は漁協への聞き取りにより確認している。なお、実施にあたっては、新潟県の「水質汚濁防止法に基づく排水基準を定める条例」で定められている排水基準及び総理府令を参考に、自主基準を定めた。また、計画を漁協へ説明し建設への同意を得、施工についても漁協代表者に工事時期、施工方法等についてその都度説明を行い了解を得ながら工事を進めた。

対策実施後は、定期的に水質調査を実施し、基準をクリアしていることを確認した。



4) 実川発電所（東北電力）〔環境問題・構造物の形態及び色彩と発電設備景観〕

本発電所の開発に当っては、磐梯朝日国立公園第3種特別地域に位置することから、自然公園法第17条第3項の「特別地域内における工作物の新築ならびに水位（水量）に増減を及ぼさせる行為」の許可が必要であり、許可申請に際して、監督官庁の環境庁から「やむを得ず地表に露出する構造物は形態、色彩等、自然景観を損なわないよう配慮」するよう指導があった。また実川発電所周辺の町・林道は飯豊山への登山道にもなっている。

そこで、屋根は切妻とし発電所建屋を山小屋風のものとして周辺景観にマッチするようにした。構造物の色彩に当っては、周辺景観からみて違和感の少ない自然な色を採用することとし、発電所本館の屋根はこげ茶、壁はベージュで彩色し、水圧鉄管等の地表部に露出する鋼構造物については、こげ茶色で塗装した。これらの対策を行った結果、地域ならびに登山者など社内外から良い評判を得ることが出来た。

5) 第二山郷発電所（東北電力）〔環境問題・土捨場修景〕

発電所ならびに土捨場は地元村の神社境内に隣接し、只見・柳津県立自然公園に指定されている。さらに、周囲には耕地が多く住民の目に触れやすいことから、近隣住民と協議しながら景観に配慮する必要があったため、修景緑化対策を講じることとした。特に住民の目に触れやすいエリアにはワイルドフラワーによる開花リレー工法を採用して、冬期を除き、その地域特性にあった花を継続的に楽しめる緑化を行った。

対策実施の結果、冬期を除き花を継続的に楽しみ、種子のブレンドにより多彩な景観を作り出すことができた。今後の課題として、除草処理・刈り取り・追肥及び追播種など、維持管理を計画的に実施していく必要があるが、住民の反応は良好である。発電所運開（1993年3月）以来、開花リレー工法を継続してきたが、除草・追肥・種蒔きなどの維持管理予算の削減等から、現在は自然状態で管理されている。

6) 忍野発電所・西湖発電所・御岳発電所（東京電力）〔環境問題・水圧鉄管色彩〕

水圧鉄管が、国立公園内に位置することから、水圧鉄管外部塗装工事実施時に、同社が自主的に環境調和色（茶系）の塗装を実施した。忍野、西湖発電所の水圧鉄管については、近傍の道路からは見えないが、御岳発電所の水圧鉄管については、県道112号線から北方向に見ると目視可能である。

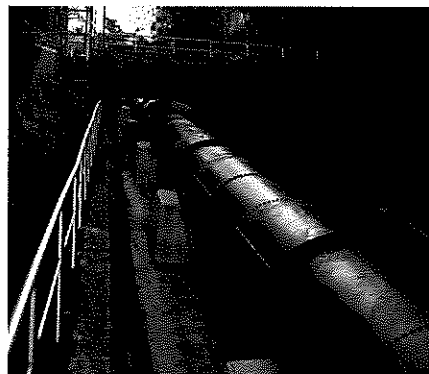


表 5-2-1 水圧鉄管概要

	忍野発電所	西湖発電所	御岳発電所
水圧管路延長	L=73.736m	L=150.385m	L=1,627.888m
諸元・規格寸法	内径 1.229m	内径 1.676~1.118m	内径 1.1~0.8m
実施年	1992年	1992年	1998年
その他	富士箱根伊豆 国立公園内	富士箱根伊豆 国立公園内	秩父多摩甲斐 国立公園内

7) 奥吉野発電所（関西電力）〔環境問題・濁水長期化解消〕

（ダム・貯水池概要）

ダム・貯水池名 : 旭ダム
 流域面積 : 39.2km²
 湖面積 : 0.48km²
 水位変動幅/周期 : 32m/日

1982年頃より、地元から貯水池及び下流河川の濁水の長期化問題について改善要望があった。このため、地元及び漁協に対し説明会を実施したうえで、対策としてバイパス放流設備を設置し、濁水を直接ダム下流に放流することにより、濁水の長期化問題について相当な効果を発揮するとともに、貯水池内の堆砂抑制についても効果があった。その効果は、運開以降十分に得られている。

貯水池・ダム下流の濁水長期化の軽減を図ったことにより、地元より高い評価を得ている。



図 5-3-1 バイパス放流設備 イメージ図

8) 奥津第二発電所（中国電力）〔環境問題・サイホン管地中埋設〕

奥津第二発電所は、国土交通省苫田ダム建設により既設久田発電所が水没するのに伴い、この上流に位置し老朽化の進んでいた羽出發電所と統合して再開発したものである。しかし、導水路経過地の谷部において、既設発電所の開水路（大正 11 年設置）により地区が分断されている問題があり、地元から地区分断の解消を要望されていたことを踏まえて、この地区への影響を極力抑えるように再開発を計画する必要があった。

そこで同発電所再開発にあたり、同社の導水路埋設化計画を踏まえて地元（町）が地区一体の圃場整備を計画し、同調して工事を進めることとなった。上述の問題の解決策として導水路の一部区間に行われた対策は以下のとおりである。

- ・導水路を逆サイホンによる地中埋設管とし、斜路部を種子吹付等により緑化して水平部は水田に戻した。
- ・埋設管水平部において水田に戻す際、導水路トンネル工事で発生するズリを用いて、地元が行う圃場整備に協力した。
- ・埋設後に管が沈下しないように管底部を流動化処理土で埋め戻した。
- ・森林法の計画対象民有林に該当していたため、当該工事の開発面積のうち、25%以上の緑化を確保する必要があり、開削部については極力緑化した。

対策の結果、地区の分断が解消され、圃場整備も無事完了したことにより耕作の効率や景観向上にも寄与した。水田の下に管路を埋設することに対して、地域住民からは水田の陥没や管路からの漏水を心配する声もあったが、定期的な地区懇談会での説明と施工現場の見学会により理解を得るとともに、通水後の管の変位を計測し、地上部に影響が及んでいないことを確認した。完成後約 1 年を経過した現在も陥没や漏水等の影響は発生しておらず、地元とも良好な関係が継続している。



導水管埋設前(掘削状況)



導水管埋設後(埋戻し後)

9) 一ツ瀬発電所（九州電力）〔環境問題・濁水長期化解消〕

（一ツ瀬ダム貯水池概要）

ダム・貯水池名	: 一ツ瀬ダム貯水池
流域面積	: 415km ²
湖面積	: 6.89km ²
水位変動幅	: 30m（有効利用水深）

濁水の長期化に対して、以下に示す対策を行った。

1967.7 選択取水設備設置

1991.3～ 継続実施

1. 選択取水設備改造（H5.3 竣工）表層取水範囲の拡大
2. 選択取水設備の運用改善
3. 支流溪流による希釈
4. 下流杉安調整池及び下流域の濁水排除
5. 貯水池法面保全整備

1999.7～ 継続実施

1. ダム上流域の濁水軽減対策（ダム上流域の森林保全整備事業への協力）
2. ダムのある中流域の濁水軽減対策（濁水制御膜の設置（3 箇所）、選択取水設備改造、選択取水設備の運用の見直し（検討中））など

対策の実施にあたっては、「一ツ瀬川水系防災・公害対策協議会」の発足(1971.9)に始まり以下のような経緯をたどっており、現在協議会では、濁水軽減対策の一層の取組みと個別要望（ダム建設前の清流，魚族への影響，河床への堆積土砂排除）などが議題となっている。

1971.9 『一ツ瀬川水系防災・公害対策協議会』発足（西都市，佐土原町，新富町議会）

1972.2 『一ツ瀬川長期濁水専門調査委員会』発足（県，同社，学識経験者など）

1989 『一ツ瀬川濁水軽減対策委員会』発足（同社と学識経験者など）

1995.6 一ツ瀬ダム下流域の市町村を中心とした『一ツ瀬川水系濁水対策推進協議会』が発足。

1995.12 『一ツ瀬川濁水対策検討委員会』発足（県、上下流市町村、同社、学識経験者）



図 5-3-2 一ツ瀬ダム選択取水設備の仕組み

濁水発生後、貯水池の中間層付近に濃い濁水の層ができるため、選択取水設備の下部取水口から最大使用水量による連続発電運転を行い、貯水池の濁水を早期排除する運用を行っている。その後、貯水池の表層に清水の層が確保されれば選択取水設備を上部取水口に切り替え、下流河川の濁水を排除するまで約半日連続発電運転を行った後、通常運用に切り替えている。

選択取水設備改良後の効果については、現在検証中であるが、濁水軽減対策運用については、下流域の早期清流化に効果がある。また濁水制御膜については、小規模の出水については有効であることを確認している。濁水軽減のための対策運用は流入濁質量の程度によりその都度実施するものとした。

しかし、流域の地質は、四万十層群の砂岩・頁岩が主体であり、出水で細粒土砂が流出し、なかなか自然沈降しないことが濁水長期化の一因である。この細粒土砂の流出を抑制するために森林の保全整備に宮崎県、流域市町村と併せて同社も協力している。協力内容は、森林整備事業の支援として植栽や保育などを行う森林所有者の負担を軽減するため、補助金として協力している（表 5-3-2）

表 5-3-2 環境保全の森林整備事業の概要

対象地域	一ツ瀬川及び小丸川上流域 (59,688ha)
事業主体	一ツ瀬川及び小丸川上流域森林保全機構 構成：宮崎県、西都市、佐土原町、高鍋町、新富町、西米良村、木城町、川南町、東郷町、南郷村、椎葉村、宮崎県企業局、九州電力（株）
事業内容	森林整備事業の支援、崩壊地等の緑化、上下流の交流事業など
事業期間	平成11年度～平成50年度
総事業費	10.32億円（このうち同社負担4.50億円）

ダム設置前の河川環境に戻して欲しい旨の要望が残っているが、同社の濁水軽減対策に対する取組みや、一時期の濁水長期化に比べかなり軽減されてきている事については一定の理解が得られている。

10) 水窪発電所（電源開発）〔環境問題・魚道設置〕

（水窪発電所貯水池概要）

ダム・貯水池名 : 水窪ダム, 水窪調整池
流域面積 : 172.3km²
湖面積 : 0.841km²
水位変動幅 : 40m/年

水利権更新時の地元要望に基づき、水窪蓋渠へ魚道を設置した。水窪蓋渠は放水路を河川横断させるための構造物であり、堰堤状になっているため魚類の遡上を阻害していた。魚道は左岸側に設置している。

地元漁協に効果を説明するために、魚道設置年の5～6月に調査を実施し、効果があることを確認している。

11) 奥只見発電所・大鳥発電所（電源開発）〔環境問題・猛禽類営巣阻害対策〕

（奥只見発電所貯水池概要）

ダム・貯水池名 : 奥只見ダム, 奥只見貯水池
流域面積 : 595.1km²
湖面積 : 11.5km²
利用水深 : 60m

（大鳥発電所調整池概要）

ダム・貯水池名 : 大鳥ダム, 大鳥調整池
流域面積 : 656.9km²
湖面積 : 0.893km²
利用水深 : 6m

発電所増設工事の実施区域近傍において希少猛禽類であるイヌワシ、クマタカの営巣が確認された。同地域は、自然公園法により越後三山只見国定公園特別地域に指定されており、関係行政機関より同社及び地元関係者にイヌワシ産卵後の対策として、カラス対策、除雪作業時の騒音軽減、宿泊施設の照明洩光対策等の協力要請があったため対策を実施した。

対策として、イヌワシ営巣期（概ね11～6月）には営巣地から半径1.2kmの範囲での地上部工事を休止するとともに、工事着工前からのイヌワシの行動圏や繁殖状況の把握、工事着工後の工事によるイヌワシへの影響が及ぶおそれがあるかどうかの監視を行った。営巣地からの距離(1.2km)については、「猛禽類保護の進め方（特にイヌワシ）」

シ、クマタカ、オオタカについて) 1996.8 環境庁自然保護局野生生物課編」において「過去の事例をもとに推定される一般的な営巣中心域」として記載されている数値を参考にしている。さらに、騒音振動軽減、仮設備等の色彩にイヌワシ等の警戒色を極力使用しない、クマタカ営巣期(7~8月)は工事車量通行間隔を十分にあげる等の環境負荷軽減策をとった。各対策の概要を以下に示す。

①営巣中心域における工事再開時期

営巣中心域(営巣活動を行ううえで最も重要な区域)及び巣立ち幼鳥が滞在し親鳥からの給餌を受けると想定される場所では、巣立ち(7月上旬)後約1ヶ月は工事を行わず、幼鳥の行動範囲が十分に広がったことを確認してから工事を再開した。

②工事によるイヌワシへの影響の監視と対応

幼鳥及び親鳥に対する連続モニタリングを行い、幼鳥の行動範囲や親鳥からの給餌状況、工事が影響を及ぼす恐れがあるかどうかを監視し、モニタリング結果から工事の影響の恐れがあると認められた場合には、直ちに当該工事を一時休止させる体制をとった。

③営巣中心域外における対策

営巣中心域外では、巣立ち直後の幼鳥の位置及び行動を確認したうえで、始めは工事規模を小さくし、また工事車両台数を制限するなど順応的管理(ならし運転)を行いながら工事を再開した。

④振動及び工事用車両の制限

- ・巣近傍に設置した震度計で震度1以下
- ・工事用車両台数:巣立ち後5日目から80台通行開始、その後13日目から200台、第4週から350台、第5週目から通行台数の制約をなくした(平成12年・年によって目標値は異なる)。



これらの対策により、イヌワシ営巣期の工事休止等の対策によりイヌワシへの影響はないものと予測した。工事実施期間においても幼鳥の巣立ちが確認されたことから、同対策実施による効果はあったものとする。巣立ち確認後も、必要に応じて学識経験者等の指導・助言を得ながら対策を実施し、関係行政機関に対して法令や許認可条

件に基づく報告を定期的に行うとともに、希少猛禽類保護をはじめとする環境保護対策について適宜協議を行った。対策以後、特に新たな反応はない。

12) 沼原発電所 (電源開発株式会社) [環境問題・自然環境保全]

(沼原上部貯水池概要)

ダム・貯水池名	: 沼原ダム, 上部調整池
堤高	: 38m
堤頂長	: 1,597m
堤体積	: 1,260,000m ³
総貯水量	: 4,336,000m ³
有効貯水量	: 4,220,000m ³
湛水面積	: 0.2km ²
利用水深	: 40m

沼原発電所は、農林水産省施工の多目的ダムである深山ダムを下池とし、沼原ダム・貯水池を上池として、その間の標高差約 500mを利用して揚水、発電を繰り返す純揚水式発電所で、最大出力は 67 万 5,000kWとなっている。

沼原ダムは、日光国立公園内にあり、一部は特別地域に入っている。ダム北側は、沼原湿原という美しい景勝地があり、ダムを建設するに当り、湿原をそのまま残すために現在の位置にて施工することとなった。また、形状についても周囲の自然景観に相応した趣のある形状としてすり鉢状のプール形状とした。

その後も、ダム周辺一帯は、沼原湿原と合わせて良好な自然環境が保たれるよう、十分な留意が払われている。



13) 足尾発電所（栃木県）〔環境問題・鉱害対策〕

本発電所計画は、足尾銅山岩脈帯近傍を建設予定地としたため、地元住民から鉱害再発を懸念する意見が提出された。

施設については、銅山岩脈帯を避けて設置することとしたが、渡良瀬取水路については、岩脈の近傍となるため、掘削による湧水及び完成後における湧水により有害物質を含んだ水が、河川に放流されることが懸念されたため、漏水軽減対策工法（トンネルについては、全区間コンクリート巻き立てとし、施工継目については止水板を設置した。さらに、沢を通過する地帯についてはグラウト）を採用。また、工事中においては、中和沈殿池を設置し、水質許容限度内の放流水とすることとした。完成後も定期的に水質調査を実施している。建設中及び管理移行後の対策計画については、「足尾発電所鉱害防止対策計画」に明記されている。

協定書、念書等により対応策の了解を得、建設中及び現在について、大きな問題は生じていない。

14) 朝日発電所（中部電力）〔地域産業問題・濁水長期化解消〕

昭和 33 年 7 月(1958)の台風 11 号による集中豪雨により、朝日ダム上流域において大規模かつ広範囲に亘る山腹崩壊が生じ、大量の土砂流が朝日ダムに流入した結果、貯水池は濁水状態となり長期間継続した。これにより、ダム下流の市町村を始め、関連漁業協同組合を主とした関係諸団体から、相次いで岐阜県ならびに中部電力に対し清水化の要望が出された。特に関連漁業協同組合からは、漁獲時期の喪失、漁族の繁殖障害についての被害補償の要求が出され、飛騨川濁水問題が社会的、政治的問題として取上げられた。

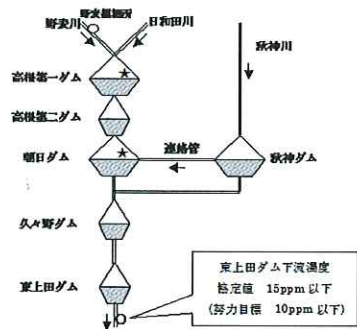


図 5-3-3 飛騨川水系模式図

対策として、朝日ダムに表層選択取水装置を設置し、朝日ダム取水塔に秋神ダムからの連絡水路を直結させた（昭和 48 年 2 月）が、その後も度々、濁水問題が発生したため、社外学識経験者 3 名と社内土木関係幹部 7 名で「飛騨川濁水問題技術対策審議会」を構成し、昭和 54 年 1 月から昭和 56 年 3 月にかけて 10 回の審議を行った。調査内容は以下のようである。

- ・貯水池内における濁水挙動の解明——従来の調査資料の解析と、新たな出水時における貯水池内濁水調査及びその解析
- ・流域における濁質の発生と流下特性の解明
- ・流域内の地質、地形、水文、開発その他に関する文献を主とした調査、崩壊地に関する航空写真に基づく解析と現地調査、流入濁水の性状解明のための出水時調査

上記の調査・解明結果から、シミュレーションを始めとした詳細検討より、有効な濁水軽減対策工の提案を行ったうえで以下の対策を講じた。

(1) S58.6(1983) 高根第一ダムに選択取水設備設置

(2) S58.6(1983) ダム貯水池群の濁水長期化軽減対策運用（発電運用調整）

選択取水設備の整備、ならびにこれらを用いたダム群の適切な運用によって濁水対策の効果が発揮され、上流ダム群の最下流地点における 15ppm 超過日数は、濁水問題発生当初に比べて 1～2 割まで減少した（岐阜県との協定は「出水時を除き 15ppm 以下」）。

上流ダム群（4ダム）の取水口前面に水深別濁度計、主要流入河川と放水口の 8 箇所に連続濁度計、中・下流部の 4 箇所に連続濁度計を設置し、水系全体を常時監視することにより、リアルタイムに濁水対策が行える体制を整えている。対策の結果濁水問題は沈静化し、濁水対策について理解されていると考えられる。

15) 十津川第一発電所・十津川第二発電所（電源開発）

〔地域産業問題・濁水長期化解消〕（十津川第一発電所貯水池概要）

ダム・貯水池名 : 風屋ダム, 風屋貯水池
 流域面積 : 660km²
 湖面積 : 4.46km²
 利用水深 : 30m

（十津川第二発電所調整池概要）

ダム・貯水池名 : 二津野ダム, 二津野調整池
 流域面積 : 1016.1km²
 湖面積 : 2.3km²
 利用水深 : 5m

昭和 40 年代半ば以降濁水長期化問題が顕在化し、地元自治体や漁協より濁水長期化の早期解消の要望があった。これにより、十津川第一発電所では昭和 51 年に表面取水設備を設置し、平成 2 年からは十津川第一・第二発電所で出水時の濁水早期排出運用を開始した。さらに、平成 14 年度に早期排出運用を再度見直しし、強化した。現在、風屋貯水池・二津野調整池で連携した運用を実施している。運用の概要は以下のとお

りである。洪水時濁水軽減対策時のダム水位運用を以下に示す。

①濁水流下日数の短縮を図るため、出水終了後、直ちに水位低下を開始し約5日間で濁水排出を終了させる。

②発電再開時の濁度軽減を図るため、風屋ダムの水位低下目標を現在の20.0mから二津野ダムと同様に洪水吐越流頂(ダム水位16.70m)とする。

③4月～11月は表面取水を原則として運用することにより二次躍層の位置を高くし、出水後に貯水池に貯留される濁水量の軽減を図るとともに、効率的な早期排出運用を行う。

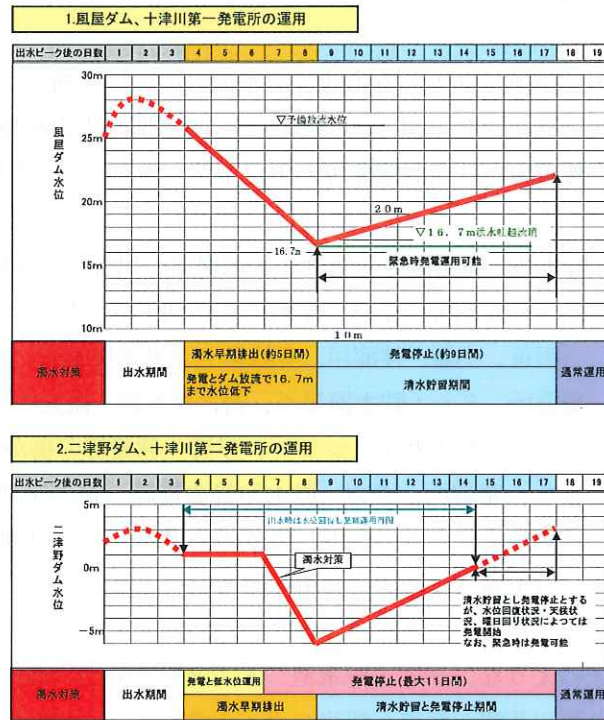


図 5-3-4 十津川第一・十津川第二発電所の運用方法

十津川第二発電所下流の宮井測水所において、運用方法見直し前後で河川濁度の比較を行っており、効果が確認されている。濁水長期化軽減対策の改善効果を図5-3-5に示す。

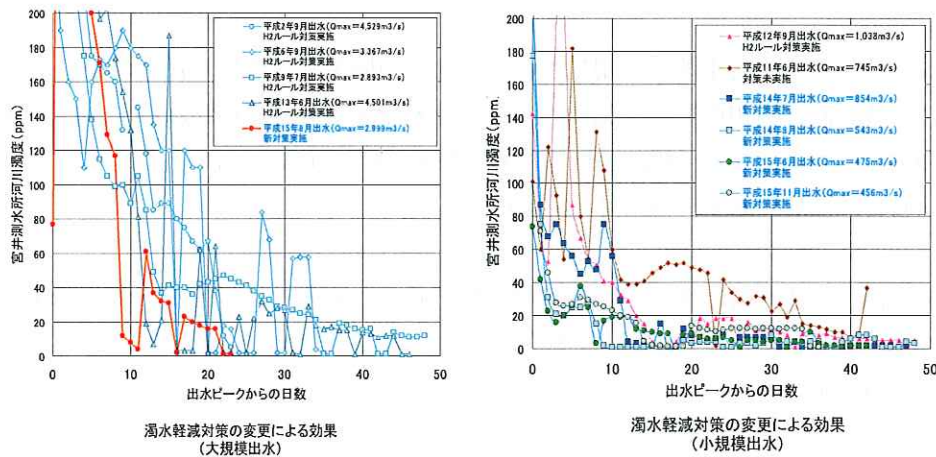


図 5-3-5 濁水軽減対策の改善効果

5.4 新たな環境の創出と価値評価

(1) 新たな環境の創造

水力発電所、ダム・貯水池、調整池等の出現で新たな環境が生まれ、周辺環境と合わせて新たな価値を生み出している例は全国各地の水力発電所周辺で多く見られる。新たに生じた自然環境、社会的機能等の主な事例と地点としては以下のようなものがある。

- ・ 貯水池、調整池等の新たな水域環境の出現で、魚類を始めとした水生動物、渡り鳥、留鳥等の鳥類等の生息、繁殖の場が創生された。
(雨竜、小諾、神流川、有峰第一、黒部川第四、大河内、新帝釈川、一ツ瀬、天山)
- ・ 発電所、ダム・貯水池等が、新たな景観、観光のポイントとなり、観光地、保養地、スポーツ、レクリエーション、学習・教養等の場が生まれた。
また、発電所、ダム・貯水池等の施設、構内を利用した地域のコミュニケーションの場が生まれ、イベント、祭りの会場等として利用されるようになった。
(玉原、奥清津、井川、黒西第一・第二・第三、黒東第三、津賀)

以上のような、ダム・貯水池、水力発電所周辺が魚類や鳥類の生息・繁殖の場となり、新たな河川景観の創造と観光スポットの誕生、地域社会に開かれたコミュニティの場として利用されている。

また、新たな環境の創造とは多少異なるが、障害に対する対策の効果が発揮されている次のような事例も見られる。

- ・ 発電所、ダム・貯水池等の用地として一部分の植生等は消失したものの、これを契機に、残された周辺の植生、動物の成育環境の保護、監視が行われるようになり、従前の機能の回復、さらに新たな自然環境の保全が行われるようになった。
(富村、藻岩、滝里、奥只見、沼原)
- ・ 発電所、ダム・貯水池等が、周辺環境に配慮したデザイン、色彩で構築された人工美を産み出し、新たな景観が生まれた。
(滝の上、奥津第二)
- ・ ダム・貯水池等の水質障害の問題も、対策施設の設置、運用で安定した水質が保持されるようになった。
(鷹の巣、朝日、奥吉野、十津川第一・第二、一ツ瀬)

(2) 価値評価の方法

自然環境等の効用を貨幣価値に換算する手段として、最近、公共事業等で行われている「政策評価」、「費用対効果」で、環境価値、政策効果等を貨幣価値に換算するための「代替法」、「ヘドニック法」等の各種の手法が用いられるようになってきた。水力発電所、ダム・貯水池等の設置前後の外部コストとしての環境価値、公益的機能等の定量的な計測、比較を行う方策について、これらの手法を参考に、開発前後の環境価値比較、開発後の効果の計量的な測定方法が各方面で検討されており、主なものを以下に紹介する。

自然環境、自然本来が持つ公益的機能の価値は市場価値が存在しない非市場財であるため、直接、その価値評価を行うことができず、代わって市場価値、貨幣価格等を評価する様々な手法が考え出されている。現在、用いられている各種の評価手法は以下のようなものがある。(アンソニー・E・ポードマンほか「費用・便益分析(公共プロジェクトの評価手法の理論と実践)」

表明選好法 (stated preferences)

CVM (仮想市場法) Contingent Valuation Method

コンジョイント分析 Conjoint Analysis

顕示選好法 (revealed preferences)

ヘドニック法 Hedonic Method

TCM (旅行費用法) Travel Cost Method

その他

代替法

原単位法

7. 表明選好アプローチによる便益の計測

表明選好アプローチとは、計測しようとする効用について、「その効用を得るため、あるいは失わないために支払う意志額」をアンケートなどによって収集し、これを分析することで直接計測する手法である。

最も代表的な表明選好法の手法は仮想市場法 (CVM) である。

CVMでは、計測対象となる「事業による効用」そのものについて、直接、アンケートによって直感的に問うため、回答者がバイアスに強い影響を受けるなど計測精度の問題はあるものの、計測された便益は、目的とする効用を金銭価値化したそのものである。

コンジョイント法も基本的な概念はほぼ同じである。

イ. 顕示選好アプローチによる便益の計測

顕示選好アプローチとは、計測しようとする効用に対し、「その効用によって波及した経済効果」を定量的に把握することによって、これを、元の効用に遡及して適用しようとする取り組みである。代表的な顕示選好アプローチとして、ヘドニック法、トラベルコスト法（TCM）がある。

ヘドニック法では、「地域の魅力による効用」を地価などの関数として把握しようとする方法であり、トラベルコスト法は「地域の魅力による効用」を地域を訪れる旅行者の支出で把握しようとする方法である。このように、顕示選好アプローチでは、計測しようとする効用を、「効用が波及した結果」としての市場財の価格や支出の変化で計測している。

ウ. その他の方法による便益の計測

代替法は、当該の事業が実施されなかった場合に、代替となる行動に必要なコストとの差で便益を計測する方法である。計算が容易なメリットがあるが、消費者の行動の選択肢を一方的に限定せざるを得ないなどモデルとしての完成度は低いため、その他の概念が確立されているモデルが適用しにくい場合を中心に適用される。

原単位法は類似の便益計測結果を当てはめるもので、本質的には上述した様々な計測手法の成果を引用する方法である。適用元の便益の精度の制約に当てはめ、精度の制約が上乘せされるなどのため厳密さには欠けるものの、便益を考える上での制約が小さく、実用上使いやすいことが最大の利点である。

今回の調査では原単位法を用いているが、これらの原単位はさかのぼれば、代替法、トラベルコスト、支払い意志額法などの方法で計測されているので、投入の考え方はそれぞれの計測手法に従って決めることとする。

(3) 価値評価の算出方法

森林、田畑等それぞれの土地が持つ公益的な機能は、数値的な価値の計測が難しく、理論的には価値を認識していても、これらの価値評価が本格的に行われることはなかった。しかし、近年では、自然環境、公益的機能等の価値を貨幣価値に換算する各種手法として前述したような手法が開発され、環境価値の貨幣価値換算が容易になってきた。

これまで社会資本の整備に伴って発生する公益的機能、社会経済等の外部不経済は、概念的には社会全体で負担してきたものを、公共事業の効果を判定する「費用・便益比」の算定において、これも費用に組み入れた総合的な費用を算定し、当該事業の効果と比較し

て採否を判定されるようになってきた。

（「政策評価に関する基本方針（平成 17. 12. 13 閣議決定、平成 19. 3. 30 一部改正）

事業者以外の経済主体（国、地方公共団体、住民、企業、諸団体・組合等）の財産、権利を侵害する場合、通常は、土地買収等の所有権の移転、地役権の設定、賃貸等の売買、補償という形で相手方の損害、不利益の解消が図られ、この補償額は当該事業の実施に要する調査設計費、工事費等とともに事業投資額の一部として、当該事業に要する「内部コスト」として算入されていたが、さらに、間接的、波及的に発生する不利益（消失、減殺される森林、原野、田畑、湖沼、河川、海岸、農村集落地等の土地本来の属性として有している「公益的機能」、動植物、生態系、地下水、自然景観等の「環境資源」等）で相手を特定することはできない社会全体に帰する不利益についても「外部コスト」として、「費用便益比」算定上では費用に加えて比較されることとなった。

以上の考え方の例として森林に当てはめた場合の概念を図 5-4-1 に示す。また、事業の政策評価に用いられる費用便益の比較と、コストの構成内容を図 5-4-2 に示す。

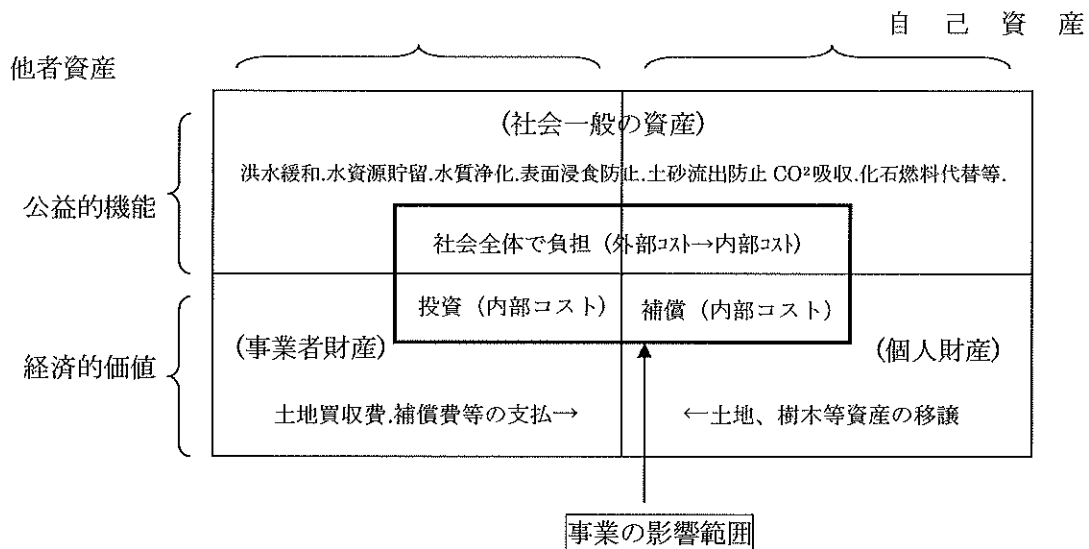


図 5-4-1 外部コスト、内部コスト負担の概念（森林の例）

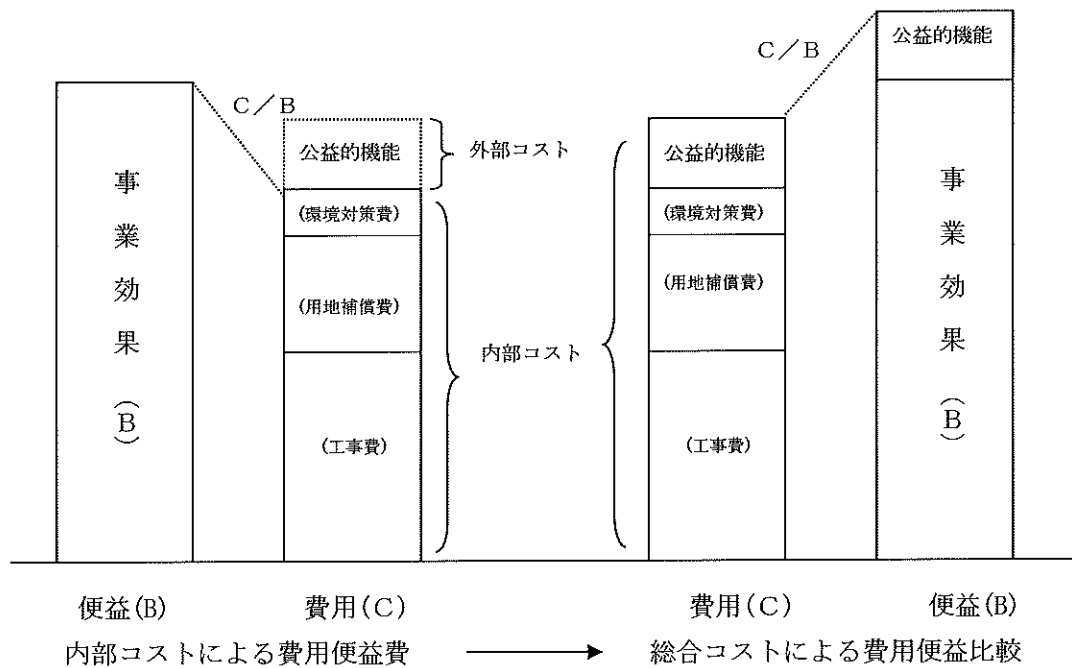


図 5-4-2 公共事業における費用便益分析

(4) 水力発電所の外部コストと外部便益

水力発電所、ダム・貯水池等の水力発電施設の設置に際しても、これまで外部不経済として算入されていなかった公益的機能、社会的機能等の外部不経済、開発後の創生された新たな環境、社会的機能等の外部経済も取り入れた総合的な費用対効果の判定を行い、経済、社会的に効果的な開発、運用を行うことも必要となってくるものと考えられる。

また、図 5-4-3、図 5-4-4 に示すように、設置前後の自然環境、社会環境の変容を定量的に推計し、両者の価値を比較することで、新たな環境の創造の価値を評価できれば、今後新規に建設を行う場合のみならず、既設水力発電所の運用においても周辺住民、国民の理解と協力を得る材料として大いに役立つものと考えられる。

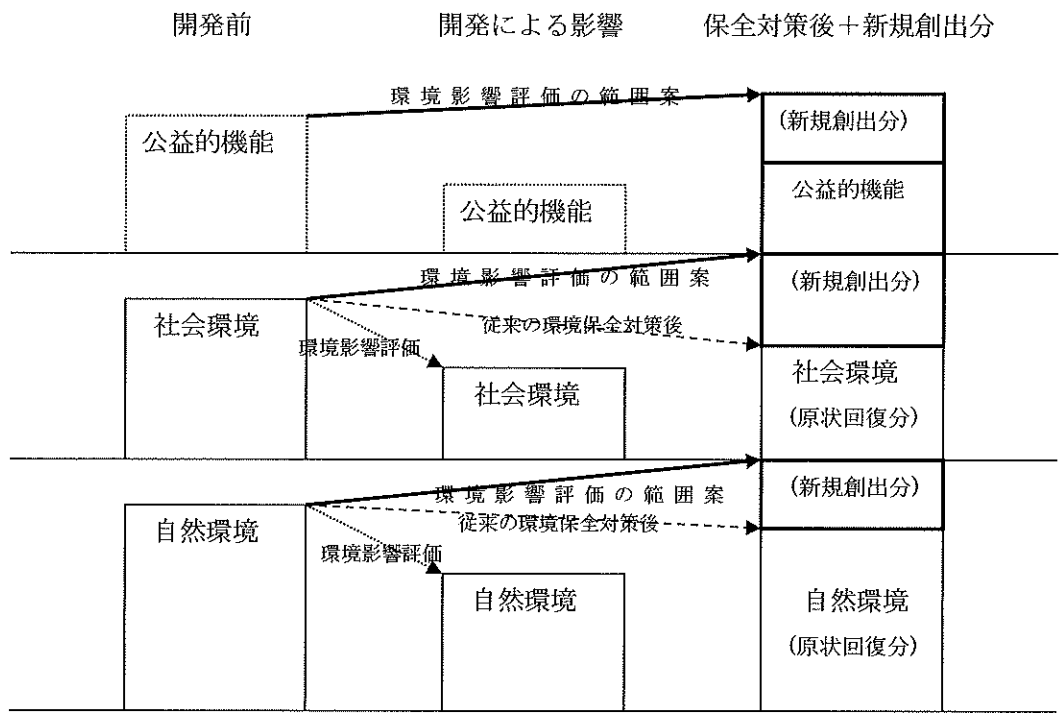


図 5-4-3 環境種別・機能別 便益評価比較方法

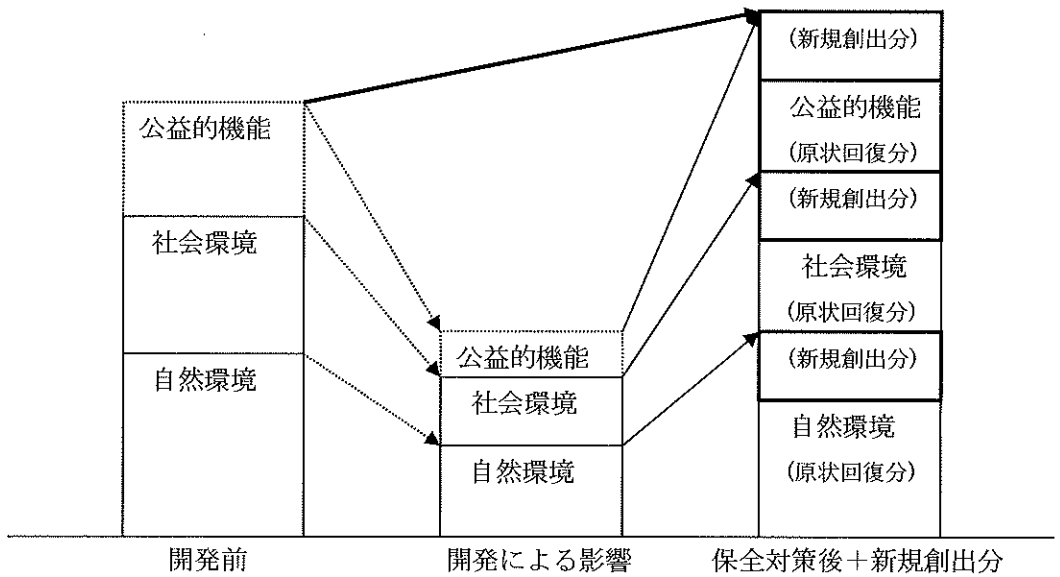


図 5-4-4 トータル便益評価比較方法

(5) 貨幣価値換算手法 (環境経済の計量)

代表的な 24 箇所の水力発電所を抽出してその開発に伴う環境経済の変化を貨幣価値に換算して比較した試算例、結果を以下に紹介する。(平成 21 年 5 月「水力発電所周辺河川環境の創造に関する調査報告書」—電力土木技術協会—)

水力発電所、ダム・貯水池等の水力発電施設を新たに設置した場合、新たに出現した環境が、従前の土地が有していた公益的機能、自然環境等より勝っている事例が全国各地で多く見られる。前項で紹介した中から典型的な事例をモデルとして、仮定条件の下に開発以前の状態 (Without) と、開発後の状態 (With) を比較し、開発による効果を求めることとした。

効果は、直接的な効果 (1 次便益)、波及的に発生する間接的な効果 (2 次便益、3 次便益等) が考えられるが、最初はこれらの効果すべてを含めた便益額を推計してみる。

なお、ここで取り上げる各発電所の推計値は、典型的なモデル発電所として取り上げたものすべてを同一の原単位を用いて算出したものであり、当該発電所地点における実態の数値を表しているものではないことに留意しておく必要がある。

対象として取り上げたモデル発電所は 24 地点で、出力規模では、1 万 kW 未満が 1 地点、1 万 kW 以上 10 万 kW 未満が 10 地点、10 万 kW 以上 50 万 kW 未満が 5 地点、50 万 kW 以上 100 万 kW 未満が 4 地点、100 万 kW 以上が 4 地点と大小様々な規模が含まれる。

形式別では「ダム式」が 4 地点、「ダム水路式」が 9 地点、「揚水式」が 8 地点、「水路式」が 3 地点で水力発電所の形式すべてを網羅している。

算出する項目は、大きく分けて、土地、水域等が本来持っている公益的機能、自然環境として有する属性、本来の公益的機能や自然環境等の属性を利用して成り立つ社会環境等の各項目とし、以下に今回試算した具体的項目を示す。

公益的機能—土地の属性— (森林、農地、原野、住宅地、集落地、市街地等)

自然環境 (魚類生息環境、鳥類生息環境、野生動物生息環境、植生、景観等)

社会環境 (観光、保健、レクリエーション、スポーツ、イベント・祭り等)

モデル発電所として、それぞれの立地場所、諸元等を当てはめた 24 の発電所を選び、それぞれに同じ原単位を用いて 1 次便益額としての直接効果額を算出した。

24 地点全体の開発前の公益的機能便益額の期間中総額は、表 5-4-1、表 5-4-2 に示す。公益的機能に係る便益額は、開発前の年額約 178 億円、耐用年数間総額では約 4,090 億円と算出された。これに対し開発後の公益的機能便益額は年額で約 197 億円、耐用年数間総額

で約 4,541 億円と見積もられ、平均で約 1.11 倍と増加している。これにさらに社会的機能としての便益額として年額約 85 億円、耐用年数間総額約 1,950 億円が加わり、便益額総額は年額で約 282 億円、耐用年数間総額で 6,491 億円となり、開発前に対し約 1.59 倍となっている。

表 5-4-1 発電形式別開発前後の便益額（年額）（単位：千円）

発電形式	件数	開発後				対比
		開発前	公益的機能	社会的機能	計	
ダム式	4	1,771,295	1,841,946	77,250	1,919,196	1.12
ダム水路式	9	15,148,812	16,739,058	8,151,438	24,890,496	1.64
揚水式	8	894,112	1,103,547	236,619	1,340,166	1.50
水路式	3	32,330	65,351	17,042	82,393	2.55
計	24	17,786,549	19,749,902	8,482,349	28,232,251	1.59

表 5-4-2 発電形式別開発前後の便益額（期間中総額）（単位：千円）

発電形式	件数	開発後				対比
		開発前	公益的機能	社会的機能	計	
ダム式	4	39,347,806	42,351,848	1,776,209	44,128,057	1.12
ダム水路式	9	348,316,635	384,881,145	187,426,013	572,307,158	1.64
揚水式	8	20,558,318	25,373,881	5,440,580	30,814,461	1.50
水路式	3	743,371	1,502,624	368,832	1,871,456	2.52
計	24	408,966,130	454,109,498	195,011,634	649,121,132	1.59

ダム式、ダム水路式、揚水式などダム・貯水池を有する発電所では、新たに生まれた水域により創造された自然環境の価値が大きく、加えて、観光、景観、保養、レクリエーション、スポーツ、学習等の社会的機能が付加され、訪れる人も多くなり、便益額の前後比較ではすべての地点でプラスとなっている。

また、ダム・貯水池を持たない水路式発電所でも、発電所構内にPRを兼ねた資料館を設け、施設を公開する、水路敷等を整備して緑地帯や小規模の公園を設けるなど、社会的公益機能を付加しているところでは、便益額の前後比較ではプラスとなっている。

個別のモデル発電所ごとの便益額で、開発前後の差が大きいもの、特色のあるものとして2、3地点を挙げると以下のようなところがある。

「小諸発電所」については、開発前が河川敷と原野で公益的機能はそれほど大きくなかったのに対し、開発後は調整池湛水域として、特に鳥類の生息環境が整備されたことによる評価額が大きくなって6.2倍となり、それに観測、休養等で訪れる人が多くなったため社会的機能が加わり、全体では8.8倍の効果が生まれている

「黒東第三発電所」は、隣接する旧発電所棟が地元町に譲渡され、美術館として活用されているため、この入場料収入が社会的便益額としてカウントされ、もともと農地としての公益的機能のみであったところに社会的機能が大きく加わり、15.3 倍の効果が生まれている。

「黒部川第四発電所」は、黒部ダムが全国的に有名な観光スポットとなっていて全国から年間約 100 万人もの観光客が訪れ、ダムまで簡単に入り込めるようになり便益額を大きく押し上げて、8.9 倍となっている。

(6) 便益額の分析

ダム・貯水池等水力発電所を設置した場合、新たに発生する公益的機能、社会的機能等の便益額試算結果をベースに、直接的効果（1次便益額）、経済波及効果としての間接的効果（2次便益額、3次便益額）の関連性、便益の波及配分過程について、設置前後を比較した、表 4-2-5 の年便益額（28,232,251 千円－17,786,549 千円＝10,445,702 千円）について分析してみる。

<価値の区分別効果>

ダム、貯水池等水力発電施設の環境整備による波及効果を考えるための第一の視点として、その価値を得るために消費者（世帯部門）が自らの財を投入する必要があるかないか、その有無で分類する方法が考えられる。この視点から整理すると、公共財としての環境改善の価値には、存在価値と利用価値の二つの価値が存在する。

（肥田登「環境と行政の経済評価 CVM(仮想市場法)マニュアル」による）

「存在価値」

景観のように、直接利用しなくても存在するだけで得られる便益。存在便益は特定化した需要関数の背景にある間接効用関数を導出することで計測する。機能別では公益的機能による効果がこれに相当する。存在価値を貨幣価値に換算した概念を存在便益と定義する。

「利用価値」

公園のように、その施設を利用することによって得られる便益で、環境改善による需要曲線のシフトによる消費者余剰の増大として計測する。機能別では社会的機能による効果がそれに相当する。利用価値を貨幣換算したものが利用便益である。

ダム、貯水池等の周辺環境改善の効果の計測方法をこれらで分類すると、自然環境の効果が「存在便益」に、観光資源の創出効果は「利用便益」に相当する。

全 24 モデル発電所の外部経済上の効果額として、価値の区分け（存在価値と利用価値）

による便益額、直接効果（1次便益額）、間接効果（2次、3次便益額）を算定した結果を価値の種類別で見ると、

「存在価値」は、ダム・貯水池を持たない水路式発電所を除き全地点に発生している。貯水池面積が大きいほど便益額も大きくなり、年額ベース（以下、すべて年額とする）で、最大は貯水池面積が2,373 haの雨竜ダムで約10億円、そのほか大型貯水池を有する有峰、一ツ瀬、御母衣、黒部、帝釈川の各ダムが続いている。

「利用価値」の方では、観光地として名を馳せている黒部ダムが飛び抜けて大きく、約71億円、続いて雨竜、有峰、帝釈川、奥清津、奥只見など全国ブランドの観光地となっている各ダムが名を連なっている。

全24地点合計値では、「存在価値」19億6,335万円、「利用価値」が84億8,235万円と比較としてはそれぞれ19%、81%と「利用価値」が「存在価値」の約4.3倍と圧倒的に大きくなっている。

<産業連関分析による1次、2次、3次別効果>

環境改善による効果が、2次的に波及していく過程について具体的に算定する方法としては、経済波及効果を算定するツールとしての「産業連関分析」の適用が考えられる。産業連関分析は、外生部門（最終需要部門と粗付加価値部門）を定めることで、内生部門の値が算出され、これが生産誘発効果として算出される。さらに、労働分配率などの係数を適用することで、生産誘発効果を部門別に算定するなど、波及効果を把握することができる。

産業連関分析の諸表は、国レベルでの取り組みによる調査を通じて使いやすい形で公開されており、前提条件としての制約を受け入れる限り、その利用と算出が極めて容易である点が大きなメリットである。

しかし、産業連関分析は、実経済における経済活動による投入と算出の波及の状態を示すモデルであって、価格と財の投入の関係を根拠とした分析を行うものである。これに対して、今回計測しようとする環境改善による便益は、経済活動の外的効果、すなわち、価格と財の投入の関係では完全には説明できない部分を取り扱っていることもあり、互いに関係しあう概念であるものの、その適用に限界がある。言い換えれば、外部経済による便益の波及過程を算出する過程で必要となる便益と需要、価格の関係については、十分に一般化、かつ客観的に合理化されたデータは存在せず、個別の研究によらざるを得ないのが現状である。

そこで、このような状況を念頭に、「産業連関分析」により便益の発生と波及の過程を相応的に把握、評価するための方法を探るべく、以下のような考え方、手順で検討を行った。

- ① 便益の算定という調査目的にかんがみ、各種の産業連関表のうち最も使いやすいものとして、総務省統計局の提供する平成 17 年度、108 部門表を活用することとする。
- ② 水力発電施設による周辺環境の変化によって生じうる経済波及効果の算定に投入するデータは便益の評価値になるため、便益の計測法の違いに合わせて適切な投入の計算法を工夫する。
- ③ 水力発電施設の整備による社会的便益の波及過程のモデルを示し、「便益帰着構成表」の形で表現する方法を検討する。
- ④ 便益帰着構成表による波及効果の計測には、本来、社会における便益の波及状況を計測した実測データが必要であるが、現時点で得られているサンプルデータから可能な範囲での試算とし、概念を提示することを目指すものとする。

2 次便益額及び 3 次便益額については、ここでは建設補修、公共事業、道路輸送、観光を含む娯楽サービスの 4 業種の産業連関表の係数から割り出した値を使用しているため、直接効果額に対する間接的な波及効果額の割合は、環境の構成比率による違いはあるものの大きな差ではなくおおむね同じであるため、直接効果額が大きいほど波及効果も大きくなっている。

全 24 モデル発電所の合計値から算出した直接効果額に対する波及効果額とその平均的な割合は、直接効果額の 1 次便益額 1.0 に対し、波及効果額の 2 次便益額の割合が最大 0.96 から最小 0.45 で平均 0.55、3 次効果額は最大 0.70 から 0.60 で平均は 0.68 となっていて、2 次、3 次合わせた波及効果全体では 1.56 から 1.15 で平均は 1.23 倍となっている。この中には雇用者所得の割合 0.64 が含まれている。

以上のことから、本調査対象の 24 モデル発電所の平均値を見る限りでは、水力発電所の設置に伴う公益的機能、自然環境、社会環境の価値を貨幣価値換算額で評価した値は、直接的な 1 次便益額に対し、1.23 倍の波及的な便益額を生み出したと評価される。

以上をまとめると

開発前後の年間便益額の比較では公益的機能では0.87倍で低下するが、新たに創出された自然環境（魚類、鳥類等の生息環境）が加わり1.11倍と向上し、さらにダム湖等の社会的機能が加わり、トータルでは1.59倍となった。

	開発前(Without)	開発後(With)	効果(影響)額	倍率
公益的機能	17,786,549千円	15,463,566千円	-2,322,983千円	0.87
新規出現自然環境		4,286,336	4,286,336	
自然環境計	17,786,549	19,749,902	1,963,353	1.11
社会環境		8,482,349	8,482,349	
計	17,786,549	28,232,251	10,445,702	1.59

効果の発生、波及効果の分析結果はについて、上記試算された便益額を分析した結果、直接効果（1次便益額）は44.8%、波及効果（2次、3次便益額）56.2%で、1次便益額に対し2次便益額段階で1.55倍、3次便益まで加えると2.23倍となった。

	便益額 (比率)	1次便益額に加えた倍率
1次便益額	4,681,874千円 (44.8%)	
2次便益額	2,595,273千円 (24.9%)	
3次便益額	3,168,555千円 (30.3%)	
計	10,445,702千円	

なお、上記便益額104億4,570万円に含まれる、雇用者所得の合計額は29億7,575万円と算定され、波及効果額全体の28.5%に当たる。

便益帰着表による部門別の効果額の分析結果は、地域資源として蓄積された分が48.8%を占め、世帯部門が46.9%、産業部門は4.3%と算出された。

5.5 新たな環境創出の事例

水力発電所、ダム・貯水池、調整池等が、周辺環境と合わせて新たな価値を生み出している例全国各地の水力発電所周辺で多く見られる。それらのうち、新たな環境の創造の事例として、機能別に全国の代表的な事例を以下に紹介する。

(1) 水域環境創造の事例

① 雨竜発電所（北海道電力株式会社）

発電所概要	水系・河川名	石狩川・大釜別川、宇津内川
	ダム名（貯水地名）	雨竜第一、第二ダム（朱鞠内湖・宇津内湖）
	発電所形式	ダム水路式
	出力	51,000 kW
	運転開始年月	1943年8月
	所在市町村	北海道 名寄市
事例	対象施設	雨竜ダム貯水池
	創出環境	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	周辺地整備、公園化
	効果	自然環境、周辺利用、地域社会への貢献
	備考	

雨竜第一ダム、第二ダム及び雨竜発電所は、雨竜電力㈱によって1928年から16年間、測量、調査、工事が行われ、1943年から運転を開始、1951年に北海道電力㈱に引き継がれたもので、現在、最大出力51,000kWの発電が行われている。

雨竜第一ダム（朱鞠内湖）と雨竜第二ダム（宇津内湖）は、連絡水路によって結ばれている。中心となる朱鞠内湖は、標高284m、水深約40m、湖面積23.7km²で人造湖としては日本最大の湛水面積を有し、周辺を原生林に囲まれ、北海道大学の演習林が展開している。

1974年には湖全体が「朱鞠内道立自然公園」に指定され、ピッシリ山とその山麓の原生林を映す雄大な景観が最大の魅力となっていて訪れる人も多く、朱鞠内湖観光、キャンパー、遊漁等を目的に年間約8万2,000人程度が訪れている。



図 5-5-1 朱鞠内湖畔キャンプ場付近図

② 小諸発電所 (東京電力株式会社)

発電所概要	水系・河川名	信濃川・千曲川、湯川、繰谷川
	ダム名(貯水地名)	第一調整池
	発電所形式	水路式
	出力	16,200 kW
	運転開始年月	1927年9月
	所在市町村	長野県 小諸市
事例	対象施設	第一調整池
	創出環境の種別	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	公園整備
	効果	多自然型環境の創造、地域社会への貢献
	備考	

小諸発電所第一調整池では、1993年から1995年にかけて、自然との共存を目指し、生き物の新たな生存環境の創出「地域に親しまれる設備」をテーマに調整池周辺の水辺や雑木林などの複合した多自然型環境の創造に取り組み、調整池の中に浮島を設け、周辺には野鳥のエサになるような樹木、ねぐらとなるような植物等の植栽を配し、野鳥、小動物の生息の地として整備され、また、周辺は地域に親しまれる様な公園、アメニティ空間として整備され、「来訪者が安全に自然に親しめる施設」、「野鳥、小動物の生育環境が向上する施設」として一般に開放されている。

(調整池水面)

約7.4ヘクタールの調整池湖面には、ヤシ繊維や電柱などの古材を利用した浮島を設け、周辺に自生するアシなどと合わせ水鳥の休息の場、ねぐらとなるように配置されている。また、浮島には、小魚や水生昆虫などの小動物など浅瀬を好む生物のために水中には浅瀬が設けられている。

(エコロジーエリア)

調整池周りのうち自然が残されている部分を「エコロジーエリア」として、雑木や、小鳥が好む木の実をつける樹木を配し、野鳥や昆虫、カエルなどの小動物が生息するエリアが設けられている。

(アメニティ空間)

飛来する野鳥等を観察するためのスペースとして、調整池の周りには、あずまや、バードウォッチングの場等の景観、野鳥観測の場を配置した「アメニティ空間」として整備され、現在では136種の野鳥の生息、飛来が確認されるようになった。

以上のような整備が図られたことにより、地元を始め遠くからも年間約13,000人の人々が訪れるようになっている。

③ 神流川発電所 (東京電力株式会社)

発 電 所 概 要	水系・河川名	信濃川・南相木川
	ダム名(貯水地名)	南相木ダム(奥三川湖)
	発電所形式	純揚水式
	出力	470,000 kW
	運転開始年月	2005年12月
	所在市町村	長野県 南相木村
事 例	対象施設	南相木ダム貯水池(上池)
	創出環境の種別	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	周辺地整備、公園化
	効果	自然環境、周辺利用、地域社会への貢献
	備考	

神流川発電所は、信濃川水系と利根川水系にまたがる純揚水式の水力発電所で、出力規模は282万kWとなっている。現在は1号機が完成して47万kWの発電が行われている。上池は信濃川水系南相木川の最上流の南相木ダム、下池は利根川水系神流川の上流に設けられた上野ダムで、両ダム間の落差653mを利用して、昼間のピーク需要時には発電、夜間のオフピーク時は揚水が行われている。

上池となる南相木ダムは長野県南相木村三川に設置され、高さは136m、堤頂長444m、堤体積は730万 m^3 の中央遮水壁型フィルダムで、標高は1,532mと大規模ダムでは日本一高いところにあるダムとなっている。

貯水池は奥三川湖と名付けられ、貯水量は約1,917万 m^3 となっている。貯水池の周りは、周辺の自然環境と調和したゾーンとして公園化して整備されている。貯水池の周りには、散策路やそれぞれのテーマを持つ広場が設けられ、ダム右岸には「天空の石広場」、ダムの真下には「うずまく広場」と、特産の石を使ったゾーンが設けられている。

神流川発電所には年間約1万4,000人(2007年実績)の人々が訪れ、南相木ダムにも年間約4,500人程度の人々が訪れるようになった。

④ 有峰第一発電所 (北陸電力株式会社)

発電所概要	水系・河川名	常願寺川・和田川、小口川
	ダム名(貯水地名)	有峰ダム(有峰湖)
	発電所形式	ダム水路式
	出力	265,000kW
	運転開始年月	1981年7月
	所在市町村	富山県 富山市
事例	対象施設	有峰ダム貯水池
	創出環境の種別	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	公園整備
	効果	自然環境、周辺利用、地域社会への貢献
	備考	

有峰発電計画及び有峰ダムは1937年に富山県営電気事業として着工され、第二次世界大戦の間工事は中断されたが、戦後、北陸電力に引き継がれ1958年に工事再開、1960年に完成したものである。有峰ダムは、堤高140m、堤頂長500m、堤体積156万8,000m³のコンクリート重力式ダムであり、ダムによって生まれた有峰湖は貯水容量2億400万m³で、全国でも有数の大きい貯水池となっている。

有峰貯水池周辺は、中部山岳の立山、薬師岳に連なる飛騨山脈の一部で、常願寺川の支流和田川、真川、湯川の流域にあり、広葉樹を中心とする森林が形成されている。森林の大部分は北陸電力の社有林であり、その外、国有林、地元大山町(現在は富山市と合併)の入会林となっている。

1973年には、「有峰県立自然公園」に指定され、「有峰国民休養地」として公園施設などが整備されてきた。

「有峰森林文化村」は、周辺森林を所有する富山県、大山町(現在は富山市)、北陸電力の三者の共同で企画、創立され、2002年8月3日に開村し、「水と緑といのちの森を永遠に」を基本理念として整備が図られた。その概要は以下のとおり。

有峰の森は、古来、自然に寄り添う人の手で守られてきた。有峰の電源開発が始まり、人が少なくなり、だんだん人が住まなくなった後は、北陸電力と富山県によって有峰の森は守られてきた。過酷な自然の中、有峰の今後に、有峰を愛する人々が主体的に参画する方法はないかという発想から“共生と循環”、“自然への畏敬”を中心に据え、有峰を愛する人—村民—が、遊びながら憩い、親しみながら学び、愛しながら守る「有峰森林文化村」が生まれ、以下のような「有峰森林文化憲章」が定められた。

(有峰森林文化村憲章)

富山県には日本の屋根、北アルプス立山連峰がある。峰々は豊かな水をもたらし、森林に適した自然を形成している。私たちの祖先は、森や大地に神を見る思いで、森林を守り再生する努力を重ねてきた。これら自然の恵みと人間の営みによって、豊かな森林が保全された。

有峰森林はまさに日本の森林を代表する風格と優しさにあふれている。その貴重な遺産を受け継ぐ私たちは、森の民のこころとともにこれを次の世代に引き継いでいかなければならない。この使命を担う私たちは、水と緑といのちの森を永遠に守るために、有峰森林文化村を設立し次のような憲章を定める。

- ・ 森の息吹に触れいのちの循環を学びます。
- ・ 生き物が気ままに住める環境を守ります。
- ・ 森の恵みと人の営みを語り継ぎます。
- ・ 森を見つめて自分を見つめなおします。
- ・ 有峰を愛する人の輪を世界に広がります。

有峰森林文化村の中心として「有峰ビジターセンター」と「有峰ハウス」があり、その周辺にはテニスコート、フィールドアスレチック、多目的広場、バーベキュー広場、展望台、猪根谷探勝路（自然探検コース）、野鳥観察コース等が設けられている。

「有峰ハウス」は、1964年に「有峰青少年ハウス」として富山県が設置したものを、2003年4月から有峰森林文化村施設の一つとして「有峰ハウス」と名を変え一般の利用にも供するようになったもので、森林文化活動の拠点としての利用に期待されている。



図 5-5-1 有峰ビジターセンター付近

⑤ 黒部川第四発電所 (関西電力株式会社)

発電所概要	水系・河川名	黒部川・黒部川
	ダム名(貯水地名)	黒部ダム(黒部湖)
	発電所形式	ダム水路式
	出力	335,000 kW
	運転開始年月	1961年1月
	所在市町村	富山県 黒部市
事例	対象施設	黒部ダム貯水池
	創出環境の種別	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	周辺地整備、公園化
	効果	自然環境、周辺利用、地域社会への貢献
	備考	

黒部川第四発電所の中核をなす黒部ダムは、1956年に着手、世紀の難工事と言われた苦闘の末、7年の歳月を掛け、1961年に完成した。中でも、長野県大町市から現場に入り込む資材ルートとして開削された大町トンネルは、大破砕帯に遭遇して大量の出水に悩まされながらの難工事であった。この工事に要した総工費は当時の金額で約513億円、延べ1,000万人の人手によって完成したものである。

黒部ダムは、高さが186mと国内最高の高さで、堤頂長は496mに及ぶアーチ式ダムである。付近は中部山岳国立公園となっているため、発電所は地下140mの山中に設けられた地下式発電所で、最大出力は335,000kW、年間の発電量は約10億kWhとなっている。

黒部ダムによって堰き止められてできた貯水池—黒部湖—は、総貯水量約2億 m^3 、湛水面積は349haとなっている。観光シーズンには黒部ダムから最大10 m^3 /秒という大量の放流が行われ、その圧巻な様子は黒部観光の目玉となっている。

黒部ダムの完成によって、それまで人を寄せ付けなかった秘境に、誰でも簡単に入れるようになり、訪れる観光客は年間約100万人に及び、観光で入れるようになった1964年以来これまでに延べ約4,000万人が訪れている。

⑥ 大河内発電所（関西電力株式会社）

発電所概要	水系・河川名	市川・太田川
	ダム名（貯水地名）	太田ダム
	発電所形式	純揚水式
	出力	1,280,000 kW
	運転開始年月	1992年10月
	所在市町村	兵庫県 大河内町
事例	対象施設	貯水池、発電所
	創出環境の種別	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	周辺地整備、公園化
	効果	自然環境、周辺利用、地域社会への貢献
	備考	

大河内発電所は、市川水系太田川に太田第一～第五ダム（上池）、犬見川に長谷ダム（下池）を設置し、両ダム間で揚水、発電を繰り返す純揚水式発電所である。

下部ダムの長谷ダムは一般に開放、公開され年間に約1万人の来訪者がある。また、発電所サイトには、約10,000m²の敷地に「大河内発電所PR館」、豊かな自然に囲まれた花と緑の小さな村「エル・ビレッジおおかわち」を設置し、各種の遊戯施設、センターハウスを始めミニハウス、子供ハウスなどが設けられ、子供から大人までが楽しめる場として公開されている。

また、同村では、周りの自然を生かし、季節に合わせた様々なイベントが、発電所の主催で開催され、年間約36,000人の人が訪れている。本年に開かれたイベントとしては、5月に「エル・ビレッジおおかわち Spring festival」、7月から8月にかけては「魚のつかみ取り」、「子供工作教室」、「流木工作教室」、11月には「Autumn Concert」、「発電所見学ツアー」などがある。

上部ダムの太田ダム周辺は、豊かに自然は残された高原となっていて、近辺の砥峰高原と合わせた観光地となっている。

⑦ 新帝釈川発電所（中国電力株式会社）

発電所概要	水系・河川名	高梁川・帝釈川
	ダム名（貯水地名）	帝釈川ダム（神龍湖）
	発電所形式	ダム水路式
	出力	11,000 kW
	運転開始年月	2006年6月
	所在市町村	広島県 神石高原町
事例	対象施設	貯水池、発電所
	創出環境の種別	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	周辺地整備、公園化
	効果	自然環境、周辺利用、地域社会への貢献
	備考	

帝釈川発電所は、中国地方の観光地「帝釈峡」の中心地にあり、帝釈川ダムによって生まれた貯水池は「神龍湖」と名付けられ、帝釈峡観光の目玉となっている。貯水池「神龍湖」では、遊覧船が運航され、年間3万数千人の人が搭乗して、湖上からの景観を鑑賞している。

また、帝釈川発電所近辺では、年間を通じて各種のイベントが開かれ、帝釈ダムでは、4月の「湖水開き」に始まり、「カタクリまつり」、「金ホルタルの夕べ」、遊覧船上での「帝釈峡ソーメン流し」など諸々のイベントが開かれている。

⑧ 一ツ瀬発電所（九州電力株式会社）

発電所概要	水系・河川名	一ツ瀬川・一ツ瀬川、尾八重川ほか
	ダム名（貯水地名）	一ツ瀬ダム（米良湖）
	発電所形式	ダム水路式
	出力	180,000 kW
	運転開始年月	1963年6月
	所在市町村	宮崎県 西都市
事例	対象施設	一ツ瀬ダム貯水池
	創出環境の種別	水域環境、周辺自然環境、親水空間等
	対策・対応	周辺地整備、公園化
	効果	自然環境、周辺利用、地域社会への貢献
	備考	

一ツ瀬発電所は1963年に運転を開始した最大出力180,000kWのダム式発電所であり、そのうち一ツ瀬ダムは高さ130m、堤頂長416mの九州で最大のアーチ式ダムである。貯水池は容量が約2億6,000万m³で「米良湖」と名付けられている。

貯水池周辺は針葉樹を中心とした山林で国有林、民有林が展開し、豊かな森林と連なる溪谷は、秘境「米良溪谷」と呼ばれ、“落人の里”、“夜神楽の里”として昔ながらの風格と伝統を備えている。

一ツ瀬発電所は、大自然の恵みである水と環境に優しいクリーンエネルギーを生み出す発電所であるとともに、その特徴にふさわしい美しい景観に溶け込んだダム、発電所として、周辺施設の景観にも気を遣い整備され、米良湖、米良溪谷と併せて観光地としての一役を担っている。発電所には資料館が設けられ、発電所見学（事前申込制）と併せて5月から11月までの平日（月曜日は休館）に一般に開放されている。

<水域環境創造事例の写真>



雨竜ダム朱鞠内湖全景（雨竜）



第一調整池全景（小諸）



第一調整池内の浮島（小諸）



空の石広場



うずまく広場

（神流川一上部南相木ダム）



有峰ダム・貯水池全景（有峰）



有峰ハウス（有峰）



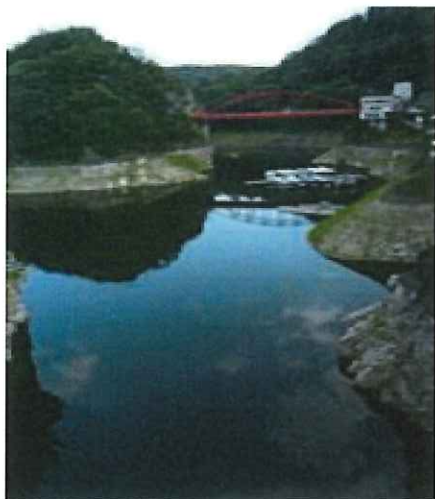
黒部ダム放流状況（黒部川第四）



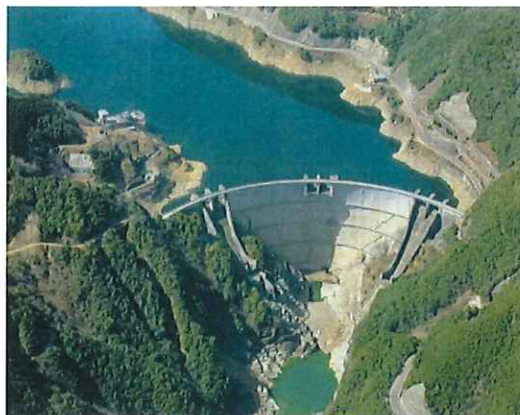
地下発電所（大河内）



見学者用シャトルバス（大河内）



一ツ瀬ダム（一ツ瀬）



神龍湖（帝釈川）



ダム資料館（一ツ瀬）



米良湖（一ツ瀬）

(2) 発電所開放利用の事例

① 奥清津発電所 (電源開発株式会社)

発電所概要	水系・河川名	信濃川・清津川
	ダム名(貯水地名)	二居ダム
	発電所形式	純揚水式
	出力	1,600,000 kW
	運転開始年月	第一 1978年7月、第二 1996年6月
	所在市町村	新潟県 湯沢町
事例	対象施設	ダム・貯水池、発電所
	創出環境の種別	観光、教養・学習
	対策・対応	発電所施設の開放、資料館公開
	効果	地域社会への貢献、学習効果
	備考	

奥清津発電所は、電源開発(株)が1972年に着工し1978年から運転を開始、続いて奥清津第二発電所が1996年から運転が開始された。奥清津発電所が最大出力1,000,000kW、奥清津第二発電所が同じく600,000kWの出力を持つ純揚水式発電所である。二居調整池はその下池で、上池のカッサ調整池との間で揚水、発電が繰り返されている。二居調整池の周辺は広葉樹を中心とした国有林が展開しており、緑豊かな自然環境となっている。

電源開発(株)では、下池の二居調整池と発電所付近を解放し「OKKY (オッキイー)」と名付けて一般に公開している。解放されている部分は、「ダムゾーン」と「のびのび広場」と命名された二つのゾーンがあり、また発電所内にも解放施設が設けられていて、4月から11月までの毎日(月曜日は休館、屋外施設はオープン)、無料で開放されている。

② 井川発電所 (中部電力株式会社)

発電所概要	水系・河川名	大井川・大井川
	ダム名(貯水地名)	井川ダム
	発電所形式	ダム式
	出力	62,000 kW
	運転開始年月	1957年9月
	所在市町村	静岡県 静岡市
事例	対象施設	ダム、貯水池、発電所
	創出環境の種別	観光、レクリエーション、教養・学習
	対策・対応	発電所施設の開放、資料館公開
	効果	地域社会への貢献、学習効果
	備考	

井川発電所は、南アルプスの山肌に囲まれた大井川の上流部にあるダム式の水力発電所で、最大出力は 62,000 kW となっている。井川ダムは我が国では珍しいコンクリート中空式重力ダムであり、観光客はアプト式鉄道を利用して訪れることができる。

井川ダムには展望サロンが設けられ、ダム湖が一望できる。また「井川展示館」には周辺の自然、ダム開発の歩み等のパネル、ビデオが用意されている。

また、井川貯水池湖畔では毎年秋に「井川もみじマラソン」、「井川ダム祭り」等が開催され、その外、アユ、ヤマメ等の釣り大会など年間を通じてイベントが開催されている。

③ 黒東第三発電所 (北陸電力株式会社)

発電所概要	水系・河川名	黒部川・黒部川
	ダム名(貯水地名)	
	発電所形式	水路式
	出力	7,200 kW
	運転開始年月	1993年5月
	所在市町村	富山県 入善町
事例	対象施設	発電所
	創出環境の種別	社会環境
	対策・対応	発電所デザイン、地域協力
	効果	地域社会への貢献、学習効果
	備考	

黒東第三発電所の新設に伴い、廃止、不要となった旧黒部川第二発電所(鉄骨平屋建・鉄筋コンクリート造り地下3階、建築面積 307.30m²、延床面積 812.52m²)の建物は地元の入善町へ譲渡され入善町の美術館として活用されることとなった。

隣接して新設する黒東第三発電所については、外観を旧発電所に合わせたレンガ造り等とすることで大正ロマン風情の存続を入善町から要請され、これを受けて入善町とも調整を行って外観デザイン設計及び旧発電所整備やアプローチ等を決定した。設計で考慮したのは以下のような諸点である。

- ・発電設備の撤去、残存の区分
- ・残存させる発電設備の補修内容(鉄管塗装、水槽上屋補修、建物内外壁補修等)
- ・一般者への安全対策(安全柵位置及び高さ、開口部閉塞他)
- ・発電所への進入路形状(アプローチ形状、道路幅、盛土高さ、排水方法他)
- ・旧放水池の埋戻し形状(高さ、排水方法他)
- ・水槽周辺の整備(駐車スペース他)
- ・その他補修の色彩など

以上の検討の結果、隣接する旧発電所美術館との外観デザインの統一、レンガ調吹付による外壁施工の採用により景観の調和と大正時代の建造物風景の継承が図られるとともに、「下山芸術の森」の中の建造物の一部としての存在感が示され、1994年10月にはグッドデザイン賞を受賞した。また旧発電所を利用した美術館についても、各種イベントの開催やレストラン等を含めて芸術の森として活用・親しまれている。

④ 津賀発電所 (四国電力株式会社)

発電所概要	水系・河川名	渡川・樽原川
	ダム名(貯水地名)	津賀ダム
	発電所形式	ダム水路式
	出力	18,650kW
	運転開始年月	1944年4月
	所在市町村	高知県 四万十町
事例	対象施設	発電所
	創出環境の種別	社会環境
	対策・対応	地域イベントへの協力
	効果	地域社会への貢献
	備考	

津賀発電所は、1944年4月に運転を開始したダム水路式発電所である。ダム上流域では、地元四万十町の下津井平家の里協会主催の「ほたるまつり」が開催され、多くの地元の人々が参加し、各種のイベントを楽しんでいる。四国電力もこの開催に協力して地元とのコミュニケーションが図られている。

2008年も6月7日(土)の午後から夕刻に掛けて開催され、竹いかだ競争、カラオケ大会、うなぎのつかみ取り等のイベントが行われ、夕刻にはホテル遊覧船でのホテル鑑賞などが行われた。

<発電所・ダム開放・利用の事例写真>



二居ダムと発電所（奥清津）



発電所資料館 OKKY（奥清津）



ダム展示館（井川）



展示館内部（井川）



発電所美術館（黒東第三）

(3) 景観創出の事例

① 滝の上芝ざくら発電所（ほくでんエコエナジー株式会社—旧北海水力発電株式会社—）

発電所概要	水系・河川名	渚滑川・渚滑川
	ダム名（貯水地名）	
	発電所形式	水路式
	出力	112 k W
	運転開始年月	1925 年 12 月
	所在市町村	北海道 滝の上町
事例	対象施設	発電所
	創出環境の種別	景観
	対策・対応	周辺環境と調和したデザイン
	効果	地域環境の保全、新たな景観の創出
	備考	地元紙で紹介されるなど好評

1988 年の発電所改修に際して、地元滝上町の要請に応じて、周辺の景観とマッチするよう発電所本館をロッジ風にした。地元滝上町は、発電所を含む渚滑川上下流に魚族保護調査区間を設け、キャッチアンドリリースを推奨してフィッシングの普及に取り組むなど、町として観光に力を入れており、「町全体を観光名所に」との同町の意向に沿って建物のデザイン統一に協力した。建物デザインに際しては、社内で複数案を作成し、滝上町内の施設を調査したうえで決定し、滝上町へ説明し了解を得た。その結果、観光のシンボリック存在として溪谷美にマッチした外観の建物となった。

② 奥津第二発電所 (中国電力株式会社)

発電所概要	水系・河川名	吉井川・吉井川、羽出川、羽出西谷川
	ダム名(貯水地名)	吉井川取水堰
	発電所形式	水路式
	出力	15,200 kW
	運転開始年月	2002年9月
	所在市町村	岡山県 鏡野町
事例	対象施設	発電所、発電施設
	創出環境の種別	景観
	対策・対応	導水路埋設化、周辺環境と調和した塗装
	効果	地域環境の保全、新たな景観の創出
	備考	

(水槽、水圧鉄管、発電所本館色彩)

発電所本館(建築面積409.38㎡、幅15m、高さ75.9m)は、国土交通省苫田ダム貯水池に隣接し、かつ貯水池の対岸に地元神社が移設されたことから重要な視点場となり、水槽(延長40m、幅2.30~4.00m、高さ3.02~8.30m)から水圧鉄管(延長239.447m、内径2.30~1.50m)、発電所本館について、周辺景観に配慮した景観対策を行う必要があった。また、発電所を設置する地区は苫田ダムによる景観整備が計画されている地区であり、加えて付替国道からの視点場に隣接し、奥津町の玄関口とも言える場所であることから、町や地元住民からも要請を受けて、景観に配慮したものとした。対策の内容は以下のとおりである。

a. 工事用道路の工法変更及び半地下式水槽の採用による改変面積の縮小

道路設置部は急斜面に位置するため、通常の切取・盛土による道路設置では広大な切取、盛土法面が生じ、景観を損ねる可能性があった。そこで、工事用道路を垂直な側壁の軽量コンクリートで設置することにより地山の改変範囲を縮小するとともに、側壁に間伐材を型枠代わりに利用することにより、景観に配慮した。

b. 水槽から水圧鉄管、発電所本館及びその周辺設備の着色

周辺は広葉樹と針葉樹が混在する山林で、隣接する苫田ダム事業等の周辺緑化計画との調整も実施しながら年間を通じた景観に配慮する必要があったため、周辺視点場からの眺望のモニタージュ写真を作成し、四季を通じて全体的な調和が図れる色彩とした。さらに、視点場からの遠景を主体とした景観対策として、水槽、余水路の壁面に色彩ネットを設置した。構造物を着色したことに加えて発電所周辺の工事用道路壁面の修景に周辺で伐採した間伐材を使用することにより、通常の緑化修景より環境に優しい印象を与えている。地域共生型の周辺景観対策を地元との協議を繰り返しながら検討・実施した結果、地域住民と共に造り上げられた発電所として、親しまれている。

<景観、修景対策の事例写真>



発電所と周辺景観（滝の上芝ざくら）



発電所修景（奥津第二）

<参考> 水力発電所開発前後の公益的機能、環境等便益比較

水力発電所開発前後 公益的機能、環境等便益額比較 (ダム・貯水池)		開発前 (Without) (b)		開発後 (With) (a)		備考					
発電所 (黒部第四) ダム名 (黒部ダム)	事項	数量	単位	原単位 (千円/単位)	年便益額 (千円)		期間中現価 (千円)	数量	単位	原単位 (千円/単位)	年便益額 (千円)
	(公益的機能)										
	森林	308.0	ha	2,843	875,644	20,133,682		ha	2,843	0	0
	農地		ha	463	0	0		ha	463	0	0
	原野	6.0	ha	0	0	0		ha	0	0	0
	住宅地、集落地、雑地		ha	0	0	0		ha	0	0	0
	河川域	35.0	ha	929	32,515	747,617		ha	929	0	0
	貯水池		ha	2,154	0	0	349.0	ha	2,154	751,746	17,284,896
	(自然環境)										
	魚類生息環境		ha	484	0	0	349.0	ha	484	168,916	3,883,886
	鳥類生息環境		log-ha	17,707	0	0	349.0	log-ha	17,707	45,026	1,035,278
	陸生動物生息環境		ha	49	0	0		ha	49	0	0
	(社会環境)										
	観光・景観・レク等		1式	0	0	0		1式		7,139,502	164,158,569
	水庫利用(釣り、ボート等)		ha	98	0	0		ha	98	0	0
	周辺利用(保養、レジャー)		ha	98	0	0		ha	98	0	0
	周辺整備(公園化等)			0	0	0				0	0
	イベント・祭り等		件	84,860	0	0		件	84,760	0	0
	その他			0	0	0				0	0
	公益的機能・自然環境 計			908,159	20,881,300	20,881,300				965,688	22,204,060
	全体 計			908,159	20,881,300	20,881,300				8,105,190	186,362,629
	(耐用年数間換算現価額)										
	差 額 (a-b)										165,481,329
	対比率 (a/b)										8.92

注 1. 開発前の水没地の地目は、河川域を湛水面積の10%と仮定し、残りをダム上流域全体の地目の比率で推定配分した。
2. 「観光・景観」の算定は別紙のとおり。

水力発電所開発前後 公益的機能、環境等便益額比較 (調整池)		開発前 (Without) (b)		開発後 (With) (a)		備考					
発電所 (小詩) ダム名 (第一調整池)	事項	数量	単位	原単位 (千円/単位)	年便益額 (千円)		期間中現価 (千円)	数量	単位	原単位 (千円/単位)	年便益額 (千円)
	(公益的機能)										
	森林		ha	2,843	0	0		ha	2,843	0	0
	農地		ha	463	0	0		ha	463	0	0
	原野	3.7	ha	0	0	0		ha	0	0	0
	住宅地、集落地、雑地		ha	0	0	0		ha	0	0	0
	河川域	3.7	ha	929	3,437	79,034		ha	929	0	0
	貯水池		ha	2,154	0	0		ha	2,154	0	0
	(自然環境)										
	魚類生息環境		ha	484	0	0	7.35	ha	484	3,557	81,795
	鳥類生息環境		log-ha	17,707	0	0	7.35	log-ha	17,707	17,707	407,137
	陸生動物生息環境		ha	49	0	0		ha	49	0	0
	(社会環境)										
	観光・景観・レク等		1式	0	0	0		1式		0	0
	水庫利用(釣り、ボート等)		ha	98	0	0		ha	98	0	0
	周辺利用(保養、レジャー)		ha	98	0	0		ha	98	0	0
	周辺整備(公園化等)			0	0	0				0	0
	イベント・祭り等		件	84,860	0	0		件	84,760	0	0
	その他			0	0	0				0	0
	公益的機能・自然環境 計			3,437	79,034	79,034				21,264	488,932
	全体 計			3,437	79,034	79,034				21,264	488,932
	(耐用年数間換算現価額)										
	差 額 (a-b)										409,899
	対比率 (a/b)										6.19

注 1. 開発前の水没地の地目は、千曲川本流と沼津川に挟まれた河川敷の原野で、河川域と原野を半分ずつと推定配分した。
2. 「鳥類生息環境」の算定はCVM法により推計。

6. 關係法令・基準

6. 関係法令・基準

6.1 関係法令・基準

水力発電開発には、自然河川を利用する場合（一般発電）と農業用水路など既設構造物の遊休落差を利用する場合（従属発電）があげられる。水力発電は水を利用することから開発にあたって関係する主要な法令は電気事業法および河川法であり、その他関係する法令は下記のとおりである。なお、地点特性および発電施設の設置位置によっては、適用のない法令もあるため、個別の検討に当たっては、どの法令の制約を受けるかについて、当該所管官公庁の指導を受けることが必要である。

【電気事業法】（昭和 39 年法律第 170 号）

【河川法】（昭和 39 年法律第 167 号）

【その他関連法令】

- ① 自然公園法（昭和 32 年法律第 161 号）
- ② 自然環境保全法（昭和 47 年法律第 85 号）
- ③ 森林法（昭和 26 年法律第 249 号）
- ④ 砂防法（明治 30 年法律第 29 号）
- ⑤ 建築基準法（昭和 25 年法律第 201 号）
- ⑥ 道路法（昭和 27 年法律第 180 号）
- ⑦ 国有林野の管理経営に関する法律（昭和 26 年法律第 246 号）
- ⑧ 文化財保護法（昭和 25 年法律第 214 号）
- ⑨ 消防法（昭和 23 年法律第 186 号）

これらのほか、鳥獣保護及び狩猟の適正化に関する法律（昭和 25 年法律第 108 号）、土地収用法（昭和 26 年法律第 219 号）、農地法（昭和 27 年法律第 229 号）、農業振興地域の整備に関する法律（昭和 44 年法律第 518 号）、水産資源保護法（昭和 26 年法律第 313 号）、国土利用計画法（昭和 49 年法律第 92 号）、国有財産法（昭和 23 年法律第 73 号）、地すべり等防止法（昭和 33 年法律第 112 号）等が挙げられる。

また、主な基準類としては、次のものがあげられる。

- | | |
|------------------------|------------|
| ① 発電用水力設備に関する技術基準及び同解説 | （経済産業省） |
| ② 電気設備技術基準 | （経済産業省） |
| ③ 土地改良事業計画設計基準 | （農林水産省） |
| ④ 鋼構造物計画設計技術指針 | （農林水産省） |
| ⑤ 電気設備計画設計技術基準 | （農林水産省） |
| ⑥ 日本工業規格（JIS） | （経済産業省） |
| ⑦ 河川管理施設等構造令・同施行規則 | （国土交通省） |
| ⑧ 労働安全衛生規則 | （厚生労働省） |
| ⑨ 水門鉄管技術基準 | （電力土木技術協会） |
| ⑩ 河川砂防技術基準 | （国土交通省） |

⑪ 電気規格調査会標準規格（JEC）

（電気学会）

⑫ 日本電機工業会規格（JEM）

（日本電気工業会）

許認可と届出

【許可】法令に基づき一般的に禁止されている行為について、一定の「要件」が具備した場合、その禁止を解く法律上の措置

【認可】行政機関が第三者の行為に同意を与え、その行為を法律上有効に完成させる行為

【届出】行政機関に対し一定の事項の通知をする行為であって、法令により直接に当該通知が義務付けられているもの

6.2 電気事業法

(1) 電気事業法の体系および目的

電気事業法は次のように体系づけられている。

第一章 総則 第二章 電気事業 第三章 電気工作物 第四章 土地等の使用 第五章 電力・ガス取引監視等委員会 第六章 登録安全管理審査機関、指定試験機関及び登録調査機関、第七章 卸電力取引所 第八章 雑則 第九章 罰則

また、電気事業法の目的は第1条で次のように定められている。

第1条（目的）

この法律は、電気事業の運営を適正かつ合理的ならしめることによって、電気の利用者の利益を保護し、及び電気事業の健全な発達を図るとともに、電気工作物の工事、維持及び運用を規制することによって、公共の安全を確保し、及び環境の保全を図ることを目的とする。

(2) 電気工作物

電気工作物は、以下のとおり、「事業用電気工作物」と「一般用電気工作物」に分類されている。また、電圧30V未満の発電は、電気工作物から除外される（電気事業法第38条）。

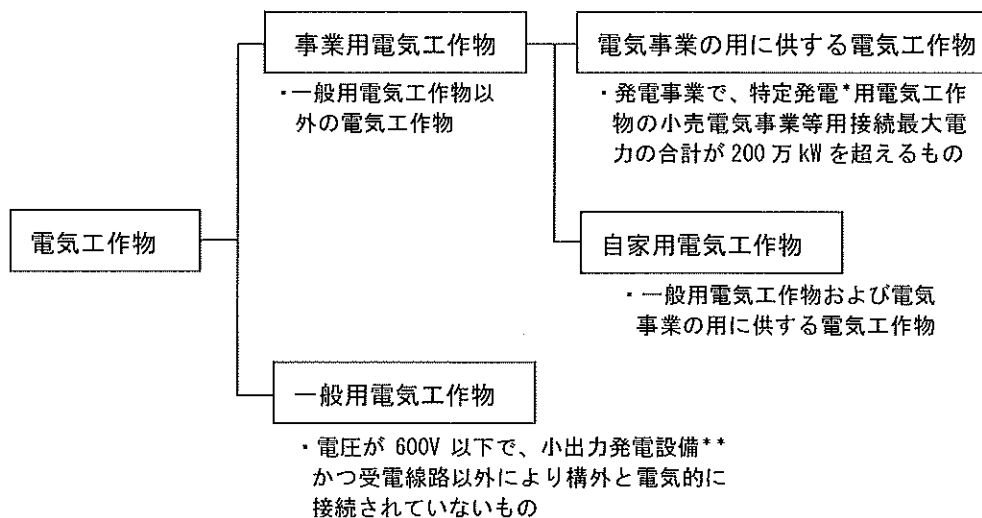


図 6-1-1 電気工作物の分類

*** 特定発電**

①出力が 1,000kW 以上であること、かつ②出力の値 (kW) に占める小売電気事業用等接続最大電力の値が 50%を超えること、かつ③1 年間の発電電力量 (kWh) に占める小売電気事業等の用に供する電力量が 50%を超えると見込まれること

**** 小出力発電設備**

出力が 20KW 未満で、特定施設 (土地改良法、水道法、下水道法、工業用水道事業法に掲げられる施設) 内に全ての水力設備が設置されるもの

(3) 電気工作物に係る主要な条項

事業用電気工作物に係る主要な項目は技術基準への適合、自主的な保安、工事計画及び検査である。

[技術基準への適合]

技術基準への適合については下記のとおり第 39 条で定められており、技術基準に適合していないと認められているときは適合命令を受ける。

第 39 条 (事業用電気工作物の維持)

事業者は自主保安体制の整備を図るため・常に技術基準に定めるところにしたがい、電気工作物を正常な状態に維持しておかなければならない。

第 40 条 (技術基準適合命令)

主務大臣は、事業用電気工作物が前条一項の主務省令で定める技術基準に適合していないと認めるときは、事業用電気工作物を設置する者に対し、その技術基準に適合するように事業用電気工作物を修理し、改造し、若しくは移転し、若しくはその使用を一時停止すべきことを命じ、又はその使用を制限することができる。

[自主的な保安]

自主的な保安を行うために、設置者は保安規定を定めるとともに主任技術者を選任しなければならない。

第 42 条 (保安規程)

事業用電気工作物を設置する者は、事業用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安を確保するため、主務省令で定めるところにより、保安を一体的に確保することが必要な事業用電気工作物の組織ごとに保安規程を定め、当該組織における事業用電気工作物の使用 (第 51 条第 1 項の自主検査又は第 52 条第 1 項の事業者検査を伴うものにあつては、その工事) の開始前に、主務大臣に届け出なければならない。

⇒保安規程に定めるべき事項については 8.2 保守管理を参照のこと。

第 43 条 (主任技術者)

事業用電気工作物を設置する者は、事業用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安の監督をさせるため、主務省令で定めるところにより、主任技術者免状の交付を受けている者のうちから、主任技術者を選任しなければならない。

* 水力発電では「電気主任技術者」と「ダム水路主任技術者」の選任、届出が必要である。

** 主任技術者免状の種類

「電気主任技術者」第1種、第2種、第3種

「ダム水路主任技術者」第1種、第2種

⇒各免状の監督範囲については「8.3 主任技術者の責務」別表 8-3-1,8-3-2 を参照のこと。

[工事計画]

事業用電気工作物設置者は工事計画を作成して認可または事前届出しなければならない。

第47条（工事計画）

事業用電気工作物の設置又は変更の工事であって、公共の安全の確保上特に重要なものとして主務省令で定めるものをしようとする者は、その工事の計画について主務大臣の認可を受けなければならない。ただし、事業用電気工作物が滅失し、若しくは損壊した場合又は災害その他非常の場合において、やむを得ない一時的な工事としてするときは、この限りでない。

第48条

事業用電気工作物の設置又は変更の工事（前条第一項の主務省令で定めるものを除く。）であって、主務省令で定めるものをしようとする者は、その工事の計画を主務大臣に届け出なければならない。その工事の計画の変更（主務省令で定める軽微なものを除く。）をしようとするときも、同様とする。

2 前項の規定による届出をした者は、その届出が受理された日から三十日を経過した後でなければ、その届出に係る工事を開始してはならない。

(4)各開発段階における手続き

事業用電気工作物については、各開発段階において、次のような手続きが必要である。

○計画段階（設置の工事の場合）

- ・保安規定届出 ・電気主任技術者の選任・届出 ・ダム水路主任技術者の選任・届出
- ・工事計画届出

○工事段階

- ・使用前自主検査 ・使用前自己確認（及び結果の届出） ・安全管理審査の受審

○運用管理

- ・保安規定に従った運営管理→巡視・点検及び検査による技術基準適合の確認
- ・事故報告

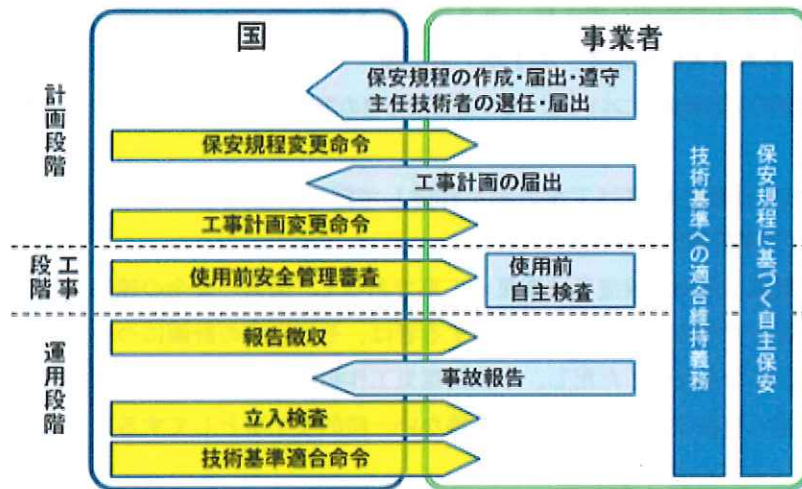


図 6-6-2 事業用電気工作物の手続き

(5) 発電設備の実態に応じた要否

発電設備の実態（出力条件等）に応じた手続きの要否は下表のとおりである。

表 6-6-1 発電設備の実態に応じた要否

出力等条件	保安規程	主任技術者選任		工事計画届
		電気	ダム水路	
ダムを伴う 又は最大出力200kW以上 又は最大使用水量1m ³ /s以上	要	要	要	要※
【小型のもの】 ダムを伴うものを除き かつ最大出力20kW～200kW未満 かつ最大使用水量1m ³ /s未満	要	要	不要	不要
【特定の施設内に設置されるもの】 ・農業用排水施設(ダムを除く。)に設置されるもの ・水道法、工業用水法に定める導水施設、浄水施設又は送水施設に 設置されるもの *ダムは有しない ・下水道法に定める終末処理場に設置されるもの *ダムは有しない	要	要	不要	不要
<一般用電気工作物> ダムを伴うものを除き かつ最大出力20kW未満 かつ最大使用水量1m ³ /s未満又は特定の施設内に設置されるもの	不要	不要	不要	不要

特定の施設：土地改良法、水道法、下水道法、工業用水事業法に係る施設

6.3 河川法

(1) 河川法の体系および目的

河川法は次のように体系づけられている。

第一章 総則 第二章 河川の管理 第三章 河川に関する費用 第四章 監督 第五章 社会資本整備審議会の調査審議等及び都道府県河川審議会 第六章 雑則 第七章 罰則

また、河川法の目的は第1条、河川管理の原則については第2条で次のように定められている。

第 1 条 (目的)

この法律は、洪水、津波、高潮等による災害の発生が防止され、河川が適正に利用され、流水の正常な機能が維持され、及び河川環境の整備と保全がされるようにこれを総合的に管理することにより、国土の保全と開発に寄与し、もって公共の安全を保持し、かつ、公共の福祉を増進することを目的とする。

第 2 条 (河川管理の原則等)

河川は公共用物であって、その保全、利用その他の管理は、前条の目的が達成されるように適正におこなわなければならない。

2 河川の流水は、私権の目的となることができない。

(2) 河川法に係る主要な条項

水力発電に係る主要な項目は流水の占有、土地の占有、工作物の新築等である。

[流水の占有]

河川の流水を発電の目的のために新たに利用するためには河川管理者の許可を（水利権の取得）、また農業用水等を利用する場合は河川管理者の登録を受けなければならない

第 23 条 (流水の占有の許可)

河川の流水を占有しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。ただし、次条に規定する発電のために河川の流水を占有しようとする場合は、この限りではない。

*水利権の分類

特定水利使用：最大 1,000kW 以上

準特定水利使用：最大 200 kW 以上

その他：最大 200Kw 未満

第 23 条の 2 (流水の占有の登録)

前条の許可を受けた水利使用（流水の占有又は第 26 条第 1 項に規定する工作物で流水の占有のためのものの新築若しくは改築をいう。以下同じ。）のために取水した流水その他これに類する流水として政令で定めるもののみを利用する発電のために河川の流水を占有しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の登録を受けなければならない。

*慣行水利権を利用した従属発電用水利権への登録制の適用

慣行水利権を利用した従属発電用水利権については、その従属関係が確認できれば、登録制を適用できるとされている。従属関係を確認する方法については、国土交通省より「慣行水利権に係る小水力発電の水利使用手続の簡素化について」（平成 25 年 12 月 11 日付け国土交通省水管理・国土保全局水政課水利調整室長）により通知されている。

http://www.mlit.go.jp/river/riyou/syosuiryoku/131211_kankou_kansoka.pdf

[土地の占有]

第 24 条 (土地の占有の許可)

河川区域内の土地（河川管理者以外の者がその権原に基づき管理する土地を除く。以下次

条において同じ。)を占有しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。

[工作物の新築]

第 26 条 (工作物の新築等の許可)

河川区域内の土地において工作物を新築し、改築し、又は除却しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。河川の河口附近の海面において河川の流水を貯留し、又は停滞させるための工作物を新築し、改築し、又は除却しようとする者は、同様とする。

[その他]

工事において河床掘削、掘削土石を捨てる行為などが発生する場合には、次の許認可手続きが必要である。

- ・土砂等の採取 (第 25 条)
- ・土地の掘削等 (第 27 条)
- ・河川保全区域における行為の許可 (第 55 条)

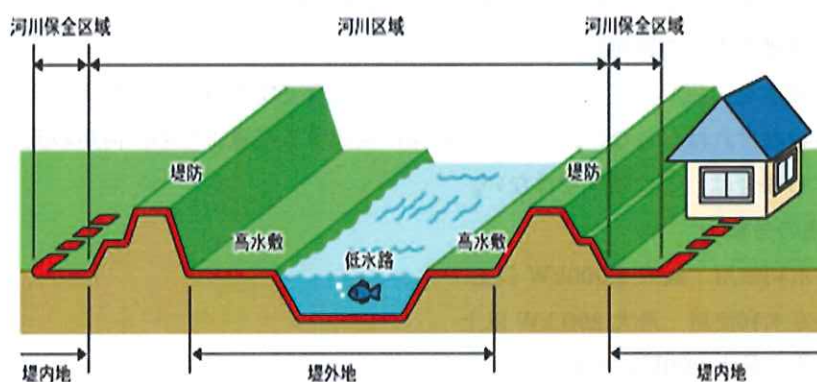


図 6-4-1 河川区域・同保全区域

6.4 固定価格買取制度

(電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法)

(1) 固定価格買取制度の概要

平成 24 年 7 月 1 日に施行された「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」は、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスによって発電した電力を、電気事業者によって一定の期間、価格で買い取ることを義務づけるとともに、再生可能エネルギーを買い取る費用を、電気を使用する者がそれぞれの使用量に応じて、「賦課金」という形で電気料金の一部として負担するというものである。

3 再生可能エネルギー賦課金

固定価格買取制度で買い取られる再生可能エネルギー電気の買い取りに要した費用は、再エネ賦課金によってまかなわれます。再生可能エネルギーで発電された電気は、日々使う電気の一部として供給されているため、再エネ賦課金は、毎月の電気料金とあわせていただいています。

電気料金明細書

エネルギー クロウ 様

ご使用電力量 000kWh 再生可能エネルギー 0.000kWh

再生可能エネルギー賦課金 0.000円

再エネ賦課金

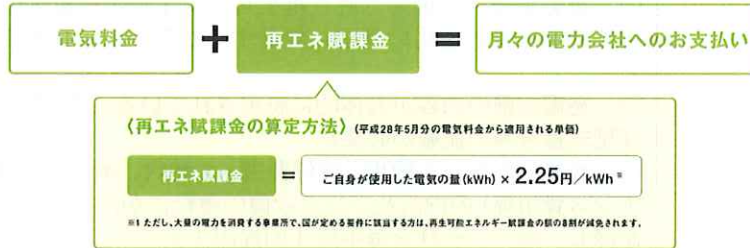


図 6-5-1 再生可能エネルギー賦課金
出典) 再生可能エネルギー 固定価格買取制度ガイドブック
2016 (平成 28) 年度版 経済産業省 資源エネルギー庁

電気事業者が買い取る価格・期間については、再生可能エネルギー源の種類や設置形態、規模等に応じて、中立的な第三者委員会（調達価格等算定委員会）が公開の場で審議を行い、経済産業大臣がその委員会意見を尊重して、買取価格・買取期間を毎年度告示することが定められている。

平成 28 年度の小水力発電に係る買取価格・買取期間は表 6-6-1 のとおりである。

表 6-6-1 発電電力量ごとの買取価格及び期間（平成 28 年度時点：税抜）

中小水力発電	1,000kW 以上 30,000kW 未満	200kW 以上 1,000kW 未満	200kW 未満
買取価格	24 円/kWh	29 円/kWh	34 円/kWh
買取期間	20 年間	20 年間	20 年間

(2) 固定価格買取制度における設備認定

固定価格買取制度の適用に当たっては、経済産業大臣の設備認定が必要となるが、発電設備の主な認定基準は以下のとおりである。

なお、毎年度決定される買取価格等については、(a)接続契約の申込みを電気事業者が受領した時、(b)経済産業大臣の設備認定を受けた時のうち、いずれか遅い時点での価格が適用されることとなる。

水力発電設備認定基準を表 6-6-2 に示す。

表 6-6-2 水力発電設備認定基準

水力発電設備 認定基準	200kW 未満	200kW 以上 1,000kW 未満	1,000kW 以上 30,000kW 未満
満たさねば ならない基準	A + F	A + F	A + F
A	<ul style="list-style-type: none"> ○ 調達期間中、導入設備が所期に期待される性能を維持できるような保証又はメンテナンス体制が確保されていること ○ 電気事業者に供給された再生可能エネルギー電気の量を計量法に基づく特定計量器を用い適正に計量することが可能な構造となっていること ○ 発電設備の内容が具体的に特定されていること（製品の製造事業者及び型式番号等の記載が必要）。 ○ 設置にかかった費用（設備費用、土地代、系統への接続費用、メンテナンス費用等）の内訳及び当該設備の運転にかかる毎年度の費用の内訳を記録し、かつ、それを毎年度 1 回提出すること。 ○ 【既存設備のみ適用】 既存の発電設備の変更により再生可能エネルギー電気の供給量を増加させる場合にあつては、当該増加する部分の供給量を的確に計測できる構造であること 		
F	<ul style="list-style-type: none"> ○ 発電機の出力が 3 万 kW 未満であること。 ○ 揚水式発電ではないこと。 		
買取価格	35.7 円 (34 円 + 税) /kWh	30.45 円 (29 円 + 税) /kWh	25.2 円 (24 円 + 税) /kWh
買取期間	20 年	20 年	20 年

出典) 鋼構造物計画設計技術指針 (小水力発電設備編) 平成 26 年 12 月 P-技術参考資料 299

7. 土木設備・電気設備の設計

7. 土木設備・電気設備の設計

7.1 土木設備

(1) 取水ダム

- 1) 取水ダムとは、水路式（流れ込み式）の発電所において、河水の水を取り入れるために設置する堤高の低いダムであり、高さ15m以上のものをハイダム、未満のものをローダムと通称している。取水ダム（ローダム）を図 7-1-1 に例示する。

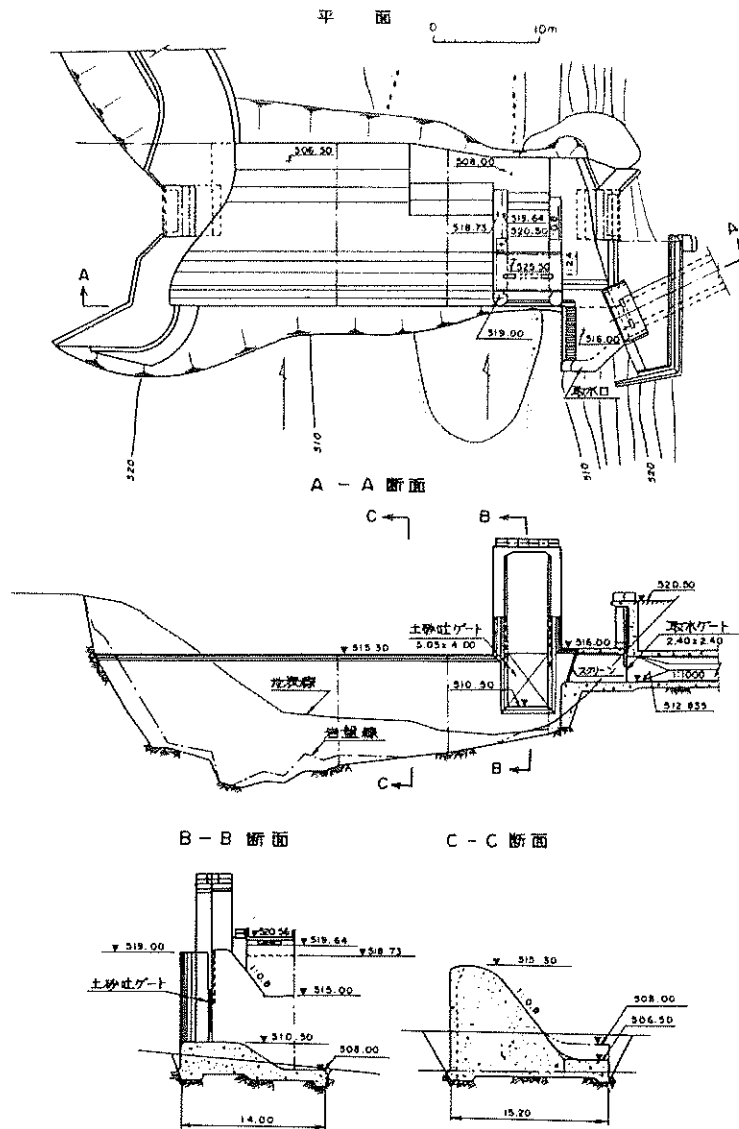


図 7-1-1 取水ダムの例（固定ダム）

出典) 水力開発ガイドマニュアル P11-26 財団法人 新エネルギー財団

- 2) ダム高 (堤高) とは、基礎地盤から非越流部の堤頂までの高さとする (図 7-1-2 参照)。出典：改定新版 建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説 設計編〔I〕 P-145

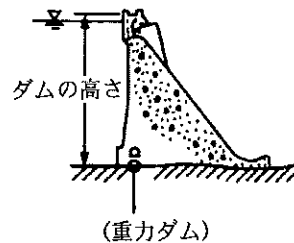


図 7-1-2 ダムの高さ

なお、砂防ダムは、基礎地盤から水通しまでの高さを堤高と定義している (図 7-1-3 参照)。

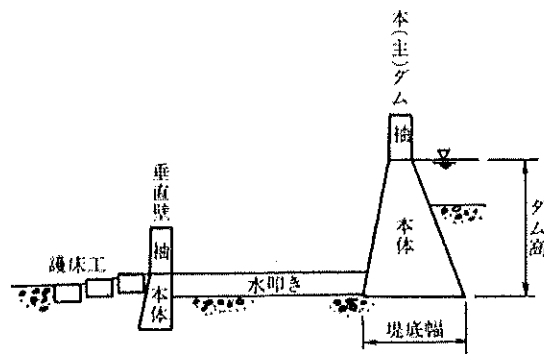


図 7-1-3 砂防ダムの高さ

出典：改訂新版 建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説 設計編〔II〕 P4

- 3) 電気事業法における「ダム」は、発電用として河川の流水を貯留又は取水するための土木工作物のことをいい、堤高は問わない。

出典) 電気事業法における「ダム」の取扱いについて 平成 24 年 11 月
経済産業省商務流通保安グループ電力安全課

- 4) 取水ダムの設置位置は、一般的には、基礎岩盤が浅いこと、ダムによる上流部への背水 (堰上げ) の影響が少ないこと、維持管理が容易なことなどを勘案して計画する。また、河道のわん曲部などでは偏流により取水が不安定となる場

合があること、及び洪水時の流勢で河岸の損傷を誘発する危険性があるため、極力河道の直線区間を選定することが望ましい。

- 5) 取水ダムの体積を少なくするためには河川幅が狭いことが望ましいが、狭すぎると設計洪水水位（堰上げ水位）が高くなり、護岸やゲートピア高、並びに上流に既設橋梁がある場合は桁下高などに支障を及ぼす可能性がある。
- 6) 取水ダムの設計洪水水位は、「水力設備に関する技術基準を定める省令、同技術基準の解釈及び解説 第1章総則 第2条」で“ダムの直上流の地点において、①200年につき1回の割合で発生するものと予想される洪水の流量、②当該地点において発生した最大の洪水の流量、③当該ダムに係る流域と水象若しくは気象が類似する流域のそれぞれにおいて発生した最大の洪水に係る水象若しくは気象の観測の結果に照らして当該地点に発生するおそれがあると認められる洪水流量のうちいずれか大きい流量の流水が、ダムの洪水吐きを流下する場合におけるダムの非越流部の直上流における最高の水位をいう”としている。

ただし、高さ15m未満の流量調節を目的としないダム及び河川管理施設等構造令第五章の規定の適用を受けるダムにあつては、“当該ダムに係る流域の水象又は気象の観測結果により求めた当該ダムの直上流の地点における洪水の流量の流水がダムを流下する場合におけるダムの直上流における最高の水位をいう”としている。

出典)平成23年改訂版 発電用水力設備の技術基準と官庁手続き (一社) 電力土木技術協会 P167]

- 7) 設計洪水流量及び洪水水位は前記のとおりであるが、計画実施に際しては、取水地点の流域面積及び周囲の開発状況等を踏まえ、河川管理者と協議して決定する。
- 8) 構造的には、ダムに作用する「自重」、「静水圧」、「動水圧」、「泥圧」、「地震力」及び「揚圧力」による合力の作用点が、常時においては中央1/3以内、地震時においては中央2/3以内でなければならない。

出典)平成23年改訂版 発電用水力設備の技術基準と官庁手続き (一社) 電力土木技術協会 P177]

- 9) 取水ダムには取水口寄りの位置に土砂吐（排砂門）を設ける。

- 10) 取水ダムに魚道を設ける場合は、河川維持流量放流設備を兼用させる場合が多い。
- 11) 一般的には、ダムは堅固な岩盤に設けるが、流れ込み式発電所の高さの低いダムにおいても、ハイダムと同様の基礎岩盤の調査、試験、及び基礎処理等が必要となる場合もあり、経済性を比較するとフローティングダムとする方が有利となる場合がある。フローティングダムの例を図 7-1-3 に示す。

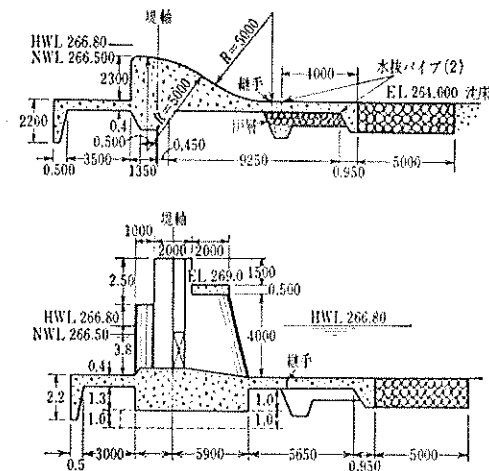


図 7-1-3 フローティングダムの例
出典) 発電水力演習 千秋信一著 学献社 P244)

注) フローティングダムとは、砂礫層上に設けられた越流型コンクリートダムをいう。フローティングダムの設計では、「転倒」「地耐力」「滑動」の安定性に加えパイピング(基礎砂礫層内の浸透流によって引き起こされる基礎の破壊現象)を防止するために必要なクリープ長(構造物と基礎との接触面に沿う流線の長さ)を十分に確保した形状のダムをいう。

(2) 取水口

- 1) 取水口は、一般に川の流れが直線的な所で、土砂や漂流物が流入しないように、河川に直角か、やや上流向きに設ける。
- 2) 取水口入口は、幅を広くして流入流速が $0.3\text{m/s} \sim 1.0\text{m/s}$ 程度となるように設計するが、スクリーンに付着する塵芥を勘案すると、流入流速は 0.5m/s 程度が目安となる。
- 3) 取水口の前面には、スクリーン及び制水ゲートを設ける。
- 4) 入口の敷高は、土砂の流入防止のため、取水ダムの土砂吐高よりも 1m 程度高くする（図 7-1-4 参照）、あるいは入口前面にもぐり堰を設ける。

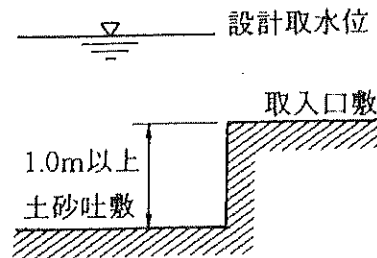


図 7-1-4 取水口の縦断形状

出典) 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「頭首工」P193

- 5) 溪流での取水方法のひとつとして、堤頂部から取水する型式(チロリアン方式)も挙げられる。なお、既設の砂防ダムにチロリアン方式の取水設備を設置する場合は、砂防ダムにかかわる各種技術基準に抵触しないような配慮が必要である。



チロリアン方式による取水設備の例（その1）

http://h-2a-go.sakura.ne.jp/benri/damu_3/cina.html



チロリアン方式による取水設備の例（その2）

既設砂防ダムを利用した
梶並発電所（岡山県企業局）の取水設備

(3) 沈砂池

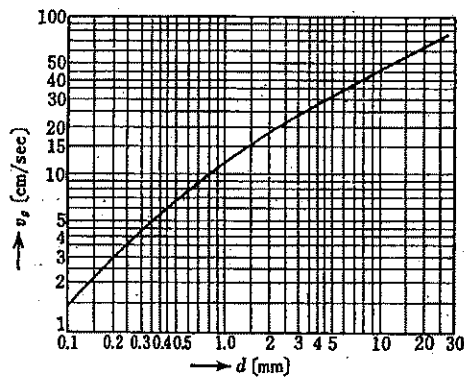
- 1) 取水ダム直近には沈砂池を設置する。沈砂池はコスト及び施工性から地上式で計画するが、やむを得ない場合にはトンネル内に設置する場合もある。
- 2) 沈砂池は、取水とともに流入した掃流砂を沈殿させ、導水路内への土砂流入を防ぐものである。沈砂池内に堆積した土砂を掃流力で排除できる敷勾配とすることが得策である。
- 3) 沈砂池の必要長の計算は、次式による。この式は理論式であり、実際の設計では算定された長さの2～3倍とするのが一般的である。

$$L \geq \frac{H}{v_g} V = \frac{Q}{B \cdot v_g}$$

$$L' = L \times (2 \sim 3)$$

$$L' = L \times (2 \sim 3)$$

- ここに、
- L : 沈砂池の最小所要長 (m)
 - L' : 設計時の沈砂池の長さ (m)
 - H : 沈砂池の水深 (m)
 - B : 沈砂池の幅 (m)
 - V : 沈砂池内の平均流速 (m/s)
(0.3m/s以内とする)
 - v_g : 沈降すべき最小粒径の限界沈殿速度 (m/s)
(v_g の値は、通常砂粒径 $d = 0.5 \sim 1\text{mm}$ に対する値0.1m/sec程度をとる)
 - Q : 流量 (m³/s)



砂粒子の平均径 d と
限界沈降速度 v_g との関係

出典) 発電水力演習 千秋信一著 学献社

(4) 導水路

- 1) 水路式発電所における導水路は、特殊な箇所（サイフォン工等）を除き無圧水路が一般的である。
- 2) 導水路の勾配は、急過ぎると有効落差を減じ、また、流速が速くなるため水路内の摩耗が懸念され、逆に緩やか過ぎると土砂が水路内に堆積しやすいなどの支障を及ぼす。導水路勾配の目安を以下に示す。

施工可能最小断面の場合 : $i = 1/1,000 \sim 1/3,000$

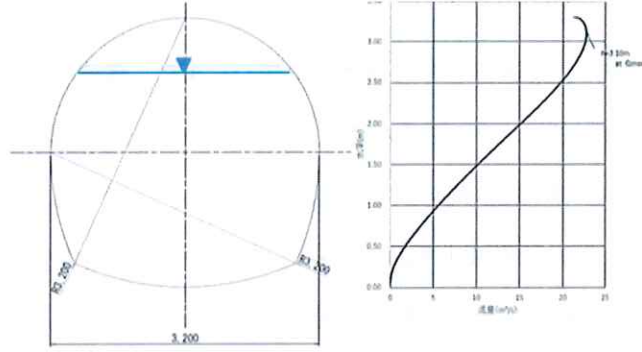
Q_{\max} で決まる断面の場合 : $i = 1/800 \sim 1/1,000$

- 3) 山岳地帯における導水路トンネルの施工方法としては、発破工法とTBM工法が挙げられる。発破工法における最小施工断面は幅1.8m×高1.8m程度であるが、最近はこのような小断面トンネルの施工技術者の不足が顕在化しつつある。
- 4) TBM工法の最小施工断面は、掘削径2.6m程度である。なお、TBM工法は施工速度が速いが機械設備費が高いため、一般的には延長が2.5~3km程度以上の場合にその採用が浮上してくる。
- 5) 開渠による導水路は、以下の事項に留意する。
 - ① 側壁高は、水槽余水吐越流水位からの背水上昇を考慮した余裕高を設定する。
 - ② 導水路終端に接続する水槽の水面に、ハンチング（波打ち現象）などの悪影響を与えない導水路線形や流速とする。
 - ③ 地下水位による浮力に対し、安全な躯体重量とする。
 - ④ 降雪地帯では積雪が水路を閉塞しないように、あるいは山岳地帯では枯葉が多量に流入しないように蓋渠とするなどの配慮が必要である。

6) 馬蹄形及び円形断面水路の水理位特性曲線

馬蹄形や円形断面の水路で開水路流を流下させた場合の水理特性曲線を図7-1-5に示す。同図に示すとおり、天端付近に水位があるときは通水能力が減少するため、この特性を踏まえた上で通水時の設計水位及び余裕高を設定する必要がある。

標準馬蹄形における水理特性曲線



円形断面における水理特性曲線

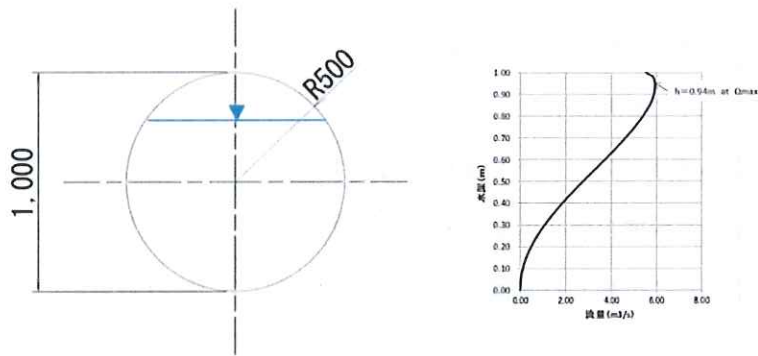


図 7-1-5 馬蹄形及び円形断面水路の水理特性曲線

(5) 水槽（ヘッドタンク）

- 1) 水槽は、極力地山の安定した尾根部を選定する。
- 2) 水槽の水位調整器がハンチング現象を起こさないために必要な水面積（ $A = 5 \sim 10 \times Q_{max}$ ）を確保する（図 7-1-6 参照、出典：中小水力発電ガイドブック P300）。

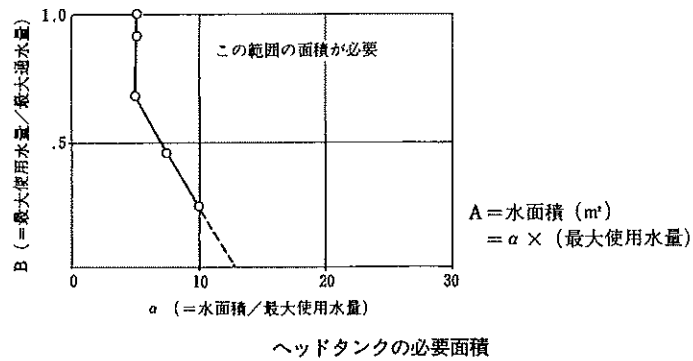


図 7-1-6 ヘッドタンクの必要面積

- 3) 水車ランナ等にゴミや夾雑物が絡まることによる水車性能低下やランナの損傷を防ぐ目的で、水槽にはスクリーンを設ける。
- 4) 水槽には、取水口からの流入量と水車を通過させる流量を一致させるためなどに必要な容量（水調運転容量）を確保する（図 7-1-7 参照）。

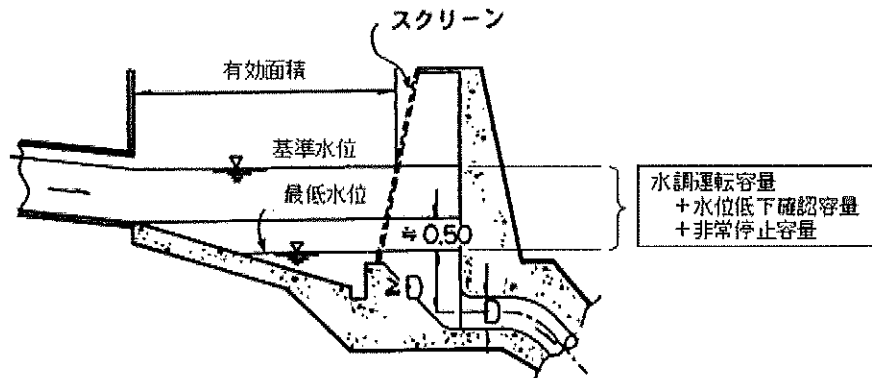


図 7-1-7 水槽模式図

出典) 中小水力発電ガイドブック P300

- 5) 水圧管の呑口は、渦が発生して空気が水圧管内へ連行されることがないように、常時の水位に対し $2 \sim 3 \times D$ (D = 水圧管呑口の直径) のかぶり水深を確保する (図 7-1-8 参照)。

出典：水力発電所取水口における渦防止対策

https://www.chuden.co.jp/resource/corporate/news_88_N08815.pdf

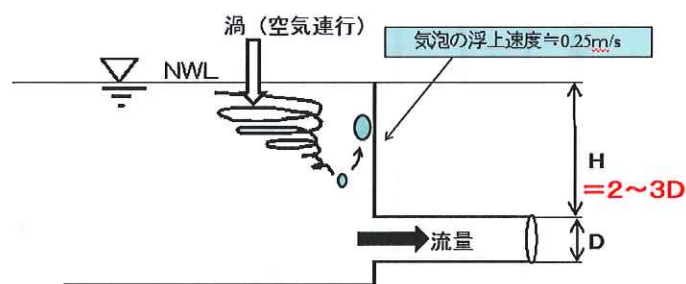


図 7-1-8 被り水深

気泡の浮上速度：出典：発電水力演習 P268

(6) 余水路

1) 余水路の配置

- ① 水槽の余水路は、水車が急に停止した場合（負荷遮断、水車急停止時）に水槽の余水吐きから越流した流水を河川に放流させる設備である。
- ② 余水路を流下する流れは、高速の射流となるのが通例であり、水路の屈曲部では衝撃波や空洞現象（負圧）を生じる恐れがあるため、できる限り直線的な配置が望ましい。
- ③ 余水路が管路の場合、呑口部や屈曲部には十分な給気が必要であることから空気を設けることを前提として、流水中に空気の混入を考慮した管径を確保する。空気混入水流の空気混入量及び見かけの水深（空気の混入によってふくれ上がった水深）の算定は、例えば、Gumensky（ガメンスキー）の式が挙げられる（出典：発電水力演習 千秋信一著 学献社 P-263）。

- ④ 余水路の終端部には、流水のエネルギーを十分に減殺する減勢工を設置する。
- ⑤ 減勢工の設計に当たっては、減勢前の流速を適切に設定しないと期待した減勢効果が得られない。

2) 余水路の省略

水力発電所のコストダウン方策として、余水路の省略が挙げられる。余水路省略のための代表的な方法を以下に示す。

① 導水路の空容量を利用する方法

導水路断面に余裕がある場合は、この余裕を利用して取水地点（沈砂池余水吐き）から余水を放流させる。

② デフレクタ^{注1)}を利用する方法

「デフレクタ放流」と呼称されるもので、ペルトン水車などデフレクタを装備する水車では、急負荷遮断時に即応したニードルバルブ操作を行うことを避けられ、緩やかな操作でニードルバルブを閉止することが可能となり、水槽水位の上昇を抑えることができる。

注1) デフレクタとは

ノズルとランナバケットの間にあつて、ジェット水流の向きを変えてそのエネルギーが水車に作用しないようにする装置をいう

(7) 水圧管路

1) 水圧管路と動水勾配線

水圧管路は、いかなる場合でも、上流端の呑口水位を始点とする動水勾配線以下に水圧管路全体があるように設計しなければならない。動水勾配線以下に水圧管路を設計すれば、始点から終点までの縦断線形に凹凸があっても流水は流下する。ただし、設計に当たっては、水圧管路からの抜水も配慮した縦断線形としなければならない。

動水勾配線とは、流下方向にピエゾ水頭 ($E_p = p / (\rho g) + z$) の高さを連ねた線をいう。

また、ピエゾ水頭に速度水頭 ($\alpha \cdot u_m^2 / 2g$) を加えた線をエネルギー線という。

ここに、 ρ = 水の密度、 g = 重力加速度、 α = エネルギー係数(一般的には 1.1)、 u_m = 管内平均流速、 d = 管の直径、 z = 位置水頭、 l = 管路の延長、 h_f = 摩擦損失水頭である (図 7-1-9 参照)。

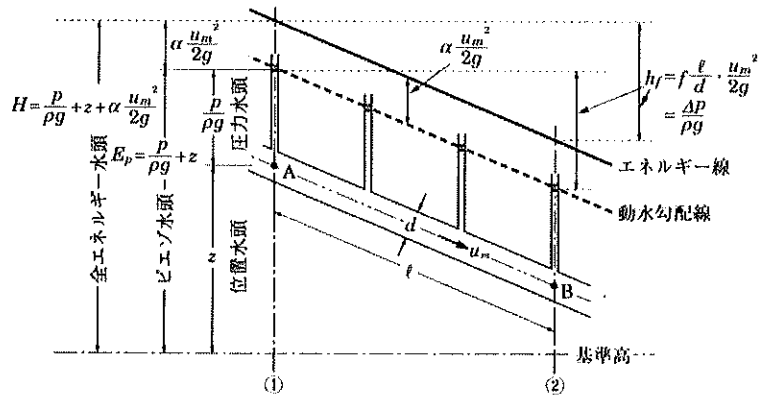


図 7-1-9 動水勾配線、及びエネルギー線

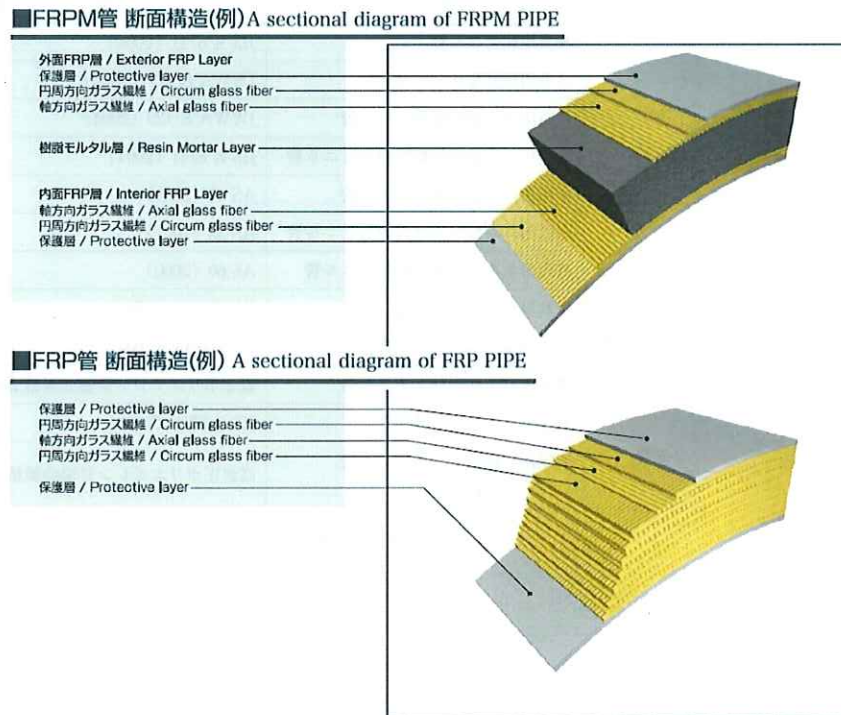
2) 管種及び管径

① 管種

発電用水圧管は、一般に鋼管、ダクタイル鋳鉄管及びFRPM管^{注2)}が採用されている。

注2) FRPM管及びFRP管(強化プラスチック複合管)

FRPM管は、強化プラスチック複合管(Fiberglass Reinforced Plastic Mortar Pipes)の略称で、ガラス長繊維及び不飽和ポリエステル樹脂からなる「FRP層」と、珪砂及び不飽和ポリエステル樹脂からなる「樹脂モルタル層」を複合的に配置した構造となっている。また、外圧荷重が少ない場合では、「樹脂モルタル層」を含まない高圧用FRP管を採用する場合もある。



FRP (M) 管の断面構造図

出典) 水力発電用クリモトFRP (M) 管 (株)栗本鐵工所 カタログ

また、発電用水圧管の管種のひとつとして、平成22年9月に「水力発電設備の樹脂管（一般市販管）技術規程（社）日本電気協会 JEAC2601-2010」が制定された。同技術規程は、農業、上水道、下水道等において使用されている硬質塩化ビニル管等の安価で施工性の良い樹脂管を、水力発電設備の水圧管路に適用する場合の、計画・設計・施工・保守管理について示した民間規定である。

水圧管の管種は、前記に加え表7-1-1に示す樹脂管も比較することが望ましい。

表 7-1-1 管胴本体の材料

管 種		規 格
塩ビ管	硬質塩化ビニル管	JIS K 6741 (2004)
	水道用硬質塩化ビニル管	JWWA K 127 (2004)
	水道用ゴム輪形硬質ビニル管	JWWA K 129 (2004)
	水道用ゴム輪形衝撃性硬質ビニル管	JIS K 6741 (2004)
	水道用ゴム輪形硬質ビニル管	AS 31 (2001)
	水道用ゴム輪形衝撃性硬質ビニル管	AS 33 (2001)
	農業用水用厚肉硬質塩化ビニル管	AS 60 (2000)
押出ポリ管	一般用ポリエチレン管	JIS K 6761 (2004)
	水道用ポリエチレン二層管	JIS K 6762 (2004)
	農業用高密度ポリエチレン管	農水ポリエチレン管協会規格 ISO 4427-2 (2007)
リップ管	耐圧ポリエチレンリップ管	JIS K 6780 (2003)
	内圧用高耐圧ポリエチレン管 (ハウエル管)	高耐圧ポリエチレン管協会規格 (HIPPAS-P01)

出典) 水力発電設備の樹脂管（一般市販管）技術規程 P9

② 管径

水圧管の内径は、管に応じた建設費と損失落差への影響を考慮して発電力及び発電電力量を求め、最も経済的な管径を選定する。普通、管内流速は約2~4m/s程度としているが、低落差の場合には管径を大きくし損失落差を少なくするほうが有利である。一方、高落差の場合には、ある程度有効落差を犠牲にしても、管径を小さくするほうが有利となる。

3) 露出管路

水圧管路は、露出管路と埋設管路に分けられる。

露出管路は、以下のとおり計画する。

- ① 水圧管路は、極力地山の安定した尾根部を選定する。また、平面線形は、施工性を考慮して極力直線で計画する。
- ② わん曲部（勾配変化部）では、水圧管をコンクリート製のアンカーブロックで固定する。



真加子発電所（岡山県企業局）の
水圧管路、及び余水管路（露出管路）

- ③ アンカーブロック間の直線区間（図 7-1-10 参照）は、コンクリートサドル（一般的には 6m 間隔 図 7-1-11 参照）、又はリングガーター（一般的には 18m 間隔 図 7-1-12 参照）で支持する。
- ④ これらの支持間隔は、現地までの輸送条件や仮設条件などを考慮しなければならない。

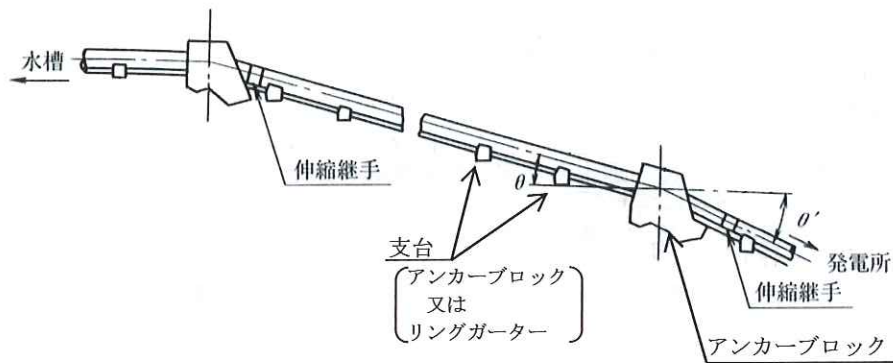


図 7-1-10 水圧管路のアンカーブロック及び支台

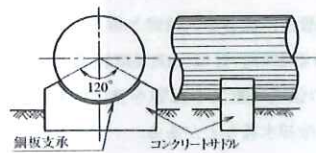


図 7-1-11 コンクリートサドル

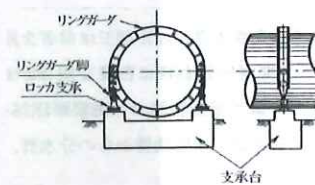


図 7-1-12 リングガーター

- ⑤ アンカーブロックは、水圧管に作用する荷重を確実に基礎に伝達しなければならない。そのため、十分な支持力をもつ基礎地盤の上に設けなければならない。これが困難な場合は適切な基礎工を施工し、十分な支持力を確保しなければならない（出典：水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鉄鋼構造物編 P204）。

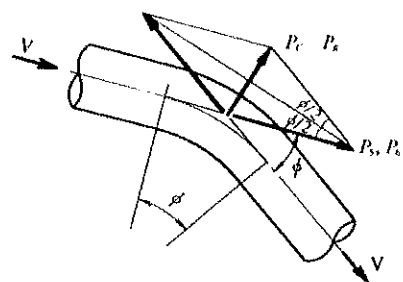
- ⑥ 小口径でわん曲部の不平衡力が小さい場合に、わん曲部以外の位置にアンカーブロックを設け、その間を曲管を含む連続梁として取扱い、わん曲部にアンカーブロックを設けない場合もある（出典：水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鉄鋼構造物編 P203）。
- ⑦ アンカーブロックの安定計算に考慮する荷重は、表 7-1-2 のとおりである。

表 7-1-2 アンカーブロックの安定計算に考慮する荷重

荷 重	アンカブロックの安定計算
(1) アンカブロックの質量	○
(2) アンカブロックが支承する管及び水の質量	○
(3) 管軸方向の推力	
1) 管の自重による推力	○
2) 管内水の摩擦による推力	○
3) 漸縮管に作用する内圧による推力	○
4) 伸縮継手に作用する内圧による推力	○
5) 支承部摩擦力	○
6) 伸縮継手摩擦力	○
7) わん曲部に作用する遠心力による推力	○
8) わん曲部に作用する不平衡力による推力	○
(4) 地震力	○

出典) 水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鉄鋼構造物編 P209)

- ⑧ アンカーブロックの安定計算に考慮する荷重のうち、わん曲部に作用する推力を図 7-1-13 に示す。同図に示すとおり、遠心力 (P_c) 及び不平衡力 (P_R) はわん曲部の外側方向へ働く。遠心力は管内流速 (V) の 2 乗に比例し、不平衡力はわん曲部に働く水圧 (P) に比例する。



P_c : わん曲部の遠心力
 P_R : わん曲部の不平衡力
 P_5 : わん曲部に作用する遠心力による推力
 P_6 : わん曲部に作用する不平衡力による推力
 ϕ : わん曲部の合成角

図 7-1-13 わん曲部に作用する力

4) 埋設管路

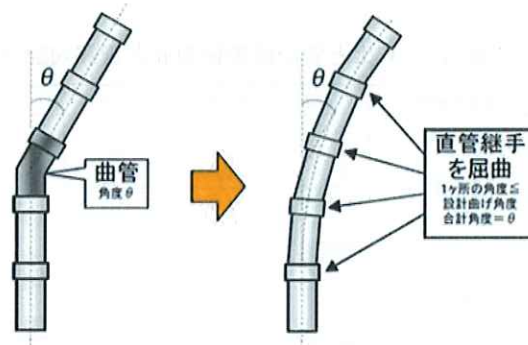
埋設管路は、以下のとおり計画される。

- ① 水圧管路を既設の道路に埋設することができるならば、地形の改変もほとんど不要であり、経済的となる場合が多い。
- ② 延長が長い埋設管路は、水中の浮遊土砂等が管内に沈殿することを避けるため、管内流速の最少限度は、設計時流量で0.3m/s以上とする（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」P174）。
- ③ 埋設管路は、前掲表 7-1-2 に示す一般市販管の採用事例が増えてきている。これらの管は直線配管が原則であるが、継手部の設計曲げ角度内の曲げ配管も可能である。当該角度については、強化プラスチック複合管協会の資料を示すが（図 7-1-13 参照）、計画実施に際しては管種に応じ製造メーカーの技術資料等を確認されたい。

【参考 FRPM管の曲げ配管工法】

出典) 強化プラスチック複合管協会

<http://www.kyopla.com/magehaikan.html>



呼び径	許容曲げ角度 θ_a	設計曲げ角度 θ_d
200~400	6° 00'~4° 30'	3° 00'~2° 15'
450~800	4° 00'	2° 00'
900~1000	3° 30'	1° 45'
1100	3° 00'	1° 30'
1200	2° 50'	1° 25'
1350	2° 40'	1° 20'
1500~3000	2° 30'	1° 15'

図 7-1-13 FRPM管の曲げ配管工法

- ④ 傾斜部管路の勾配の上限は、土と管の摩擦係数（ μ ）と管路勾配（上限）の関係は表 7-1-3 のとおりである。この角度以上の場合は上流管路の滑動力を埋設固定台などで受けるものとしている（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」P422）。

表 7-1-3 土と管の摩擦係数 μ と管路勾配（上限）の関係

基礎の種類	管の種類	μ	上限管路勾配の目安
土基礎	コンクリート管 鋼管 ダクタイル鋳鉄管	0.5	0.5/1.5=0.33→18°
	硬質ポリ塩化ビニル管 ポリエチレン管 強化プラスチック複合管	0.3	0.3/1.5=0.20→11°
コンクリート基礎		$\tan \delta$	$\tan 25^\circ \rightarrow 0.47/1.5=0.31 \rightarrow 17^\circ$
			$\tan 30^\circ \rightarrow 0.58/1.5=0.38 \rightarrow 21^\circ$

注1) コンクリートと土の摩擦係数は、 $\mu = \tan \delta$ （ δ ：摩擦角）とする。

2) 場所打ちコンクリートの場合は、 $\delta = \phi$ （基礎地盤の内部摩擦角、25°～30°）とする。

- ⑤ 埋設深さは、地質、地盤の状況、載荷重、地下水位、及び凍結深などを考慮して決定する。道路や農地では埋設深さの設計基準が定められており、当該基準に準拠しなければならない。
- ⑥ 地下水位が高く管内空虚時に浮力が作用する恐れがある場合には、管上部の土かぶりを深くし、寒冷地では凍結深度^{注3)}より深く埋設する。

注3) 凍結深度とは、地盤の凍結が起こらない地表面からの深さをいう。地面が凍結すると膨張して地盤が押し上げられるため、埋設している水圧管は凍結深度より深いところに設置する必要がある。凍結深度より浅く敷設すると水圧管が破裂するおそれがある。凍結深度は、地域によって異なり、定められた基準（例えば、道路土工 排水工指針 社団法人 日本道路協会）によって各々算定する。

(8) 発電所

- 1) 発電所の計画地点は、以下の事項に留意して計画する必要がある。
 - ① 基礎地質が良い所
 - ② 洪水により被害を受けず、河流の衝突しない所
 - ③ 山崩れや、雪崩の恐れのない所
 - ④ 屋外変電所や、送電線設置に取り合わせの良い所
 - ⑤ 建設資材や、機器の運搬が容易で将来の維持・管理が容易な所
- 2) 発電所の平面寸法は、機器の配置、及び分解点検時の部品仮置スペースを考慮して決定する。
- 3) 小規模な発電所では、近年建屋の簡素化や省略など行われてきている。また、民家等に近接して発電所が計画されることも増えてきている。このような場合は、発電所から生じる騒音についても十分な配慮が必要である。

(9) 放水路・放水口

- 1) 放水路の流速は、 $1\text{m/s} \sim 2\text{m/s}$ 程度を目安として断面積を計画する。
- 2) 放水口の位置は、以下の事項に留意して計画する必要がある。
 - ① 河流中の土砂の堆積によって放水口が閉塞される恐れのない所
 - ② 河流が直接衝突しない所
 - ③ 洪水時に水面が著しく上昇せず、また洪水による被害の恐れのない所
 - ④ 放水口河流近くで川幅が狭くなる部分がない所

7.2 電気設備の設計

(1) 水車の種類

水車の種類は、前掲「3.5 (6) 水車・発電機の選定」の項に記すとおり、衝動水車と反動水車に大別される。

(2) 水車の選定方法

水車は、型式によって適用範囲が異なる。設計初期段階においては、「中小水力発電ガイドブック (P-108)」、あるいは「中小発電計画導入の手引き 平成25年3月 経済産業省 資源エネルギー庁 一般財団法人 新エネルギー財団 3 電気設備選定の手引き編 P8」記載の「水車型式選定図」が参考となる。

ここに、前掲「図 3-5-7」に示した水車型式選定図を図7-2-1として再掲する。

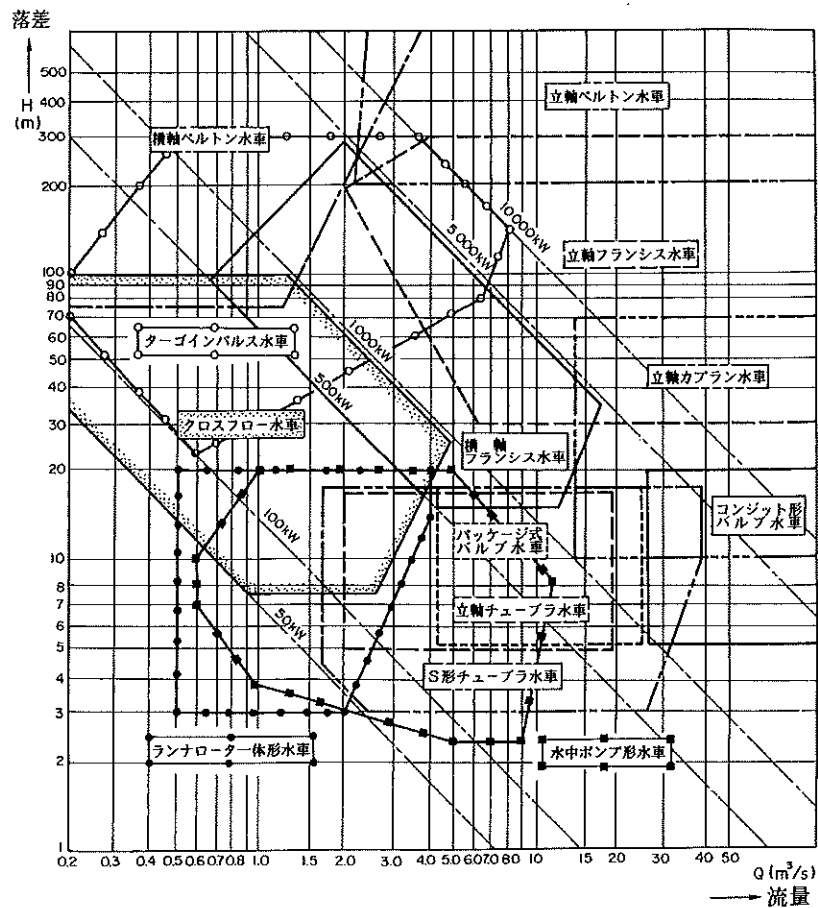


図7-2-1 水車形式選定図 (再掲)

出典) 中小水力発電ガイドブック (新訂5版) P108

(3) 水車型式の選定における留意事項

水車型式適用範囲が重なる場合の選定方法は、下記の事項が参考となる。

- ① 水車の出口圧の有無（衝動水車のランナは、構造・原理上水没状態にできない）
- ② ペルトン水車とフランシス水車の比較
 - ア 部分負荷で運転する時間が多い場合は、軽負荷時に効率のよいペルトン水車が有利である。
 - イ 水圧管路の勾配が比較的緩やかで長いときは、水圧管路の経済性を考え、負荷遮断時の水圧上昇率を少なくできるペルトン水車が有利となる。
 - ウ 発電所地点の洪水位が高いときや直接貯水池・調整池に放水路がつながっている場合などは、フランシス水車が有利である。
 - エ 比速度 (N_s) は、フランシス水車の方が高くとれるので、発電機器価格及び建物等の工事費が軽減できる。
 - オ 水質の悪い河川や浮遊砂が多い場合では、摩耗・侵食に対する保守の容易なペルトン水車が有利である。
- ③ フランシス水車とクロスフロー水車（ガイドベーン分割型）の比較
 - ア 放水位の変動が大きい場合、及び洪水位が高い場合は、フランシス水車が有利である。
 - イ 効率は、低負荷領域ではクロスフロー水車の方が高く、全負荷領域ではフランシス水車の方が高くなるため、流量変化の少ない場合にはフランシス水車が有利である。
 - ウ 保守管理については、ガイドベーン枚数の多い複雑なフランシス水車よりガイドベーン枚数が2枚で分離の容易なクロスフロー水車の方が簡単である。
 - エ クロスフロー水車は、高落差になるほど N_s は小さくなり、極度に N_s が小さくなるとランナ幅が小さくなることから、ガイドベーンの分割が困難になる。
- ④ ポンプ逆転水車
 - ア ポンプ逆転水車とは、反動水車の一種で、一般的に使用されているポンプ（渦巻きポンプあるいは軸流ポンプ）を逆方向に回転させることで発電に使用する水車である。
 - イ ランナの羽根形状以外はポンプと同じ部品を使うことが可能であるため安価である。また寸法、質量なども小さく、設置が容易であり、維持管理についても通常のポンプと同様である。出力10～200kW程度、落差6～80m程度、流量0.02～1.0m³/sが適用範囲とされている。
 - ウ 最高効率は75～80%未満と低く、ガイドベーンを有せず、流量や落差が常時安定している箇所への設置が要求される。
 - エ ポンプ逆転水車の採用に当たっては、価格面のメリットと効率面とのデメ

リットを総合的に考慮する必要があるが、水道施設やかんがい施設のパイプライン等で採用実績が多い。

代表的な水車を次に示す。



横軸フランシス水車



クロスフロー水車



ペルトン水車



ポンプ逆転水車



S型チューブラ水車（プロペラ水車）

(4) 水車の特性

出典) 中小水力発電ガイドブック P-105

1) 比速度 (N_s)

比速度とは、ランナの形状を幾何学的に相似な状態で小さくして、1 mの落差で1 kWの出力を発生する水車を作った場合の回転速度である。落差と出力を一定とした場合には、回転速度の高低を表すことから比速度といわれる。

$$N_s = N \times \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

ここに、 N_s : 比速度 (m-kW)

N : 定格回転速度 (r/min)

H : 有効落差 (m)

P : 有効落差Hにおける出力 (kW)

比速度のとり得る上限値は次のとおりである。

$$\text{ペルトン水車} \quad N_s \leq \frac{4,300}{H+200} + 14$$

$$\text{フランシス水車} \quad N_s \leq \frac{23,000}{H+30} + 40$$

$$\text{斜流水車} \quad N_s \leq \frac{21,000}{H+20} + 40$$

$$\text{プロペラ水車} \quad N_s \leq \frac{21,000}{H+16} + 50$$

$$\text{クロスフロー水車} \quad N_s \leq \frac{4,000}{H+14} + 16$$

注) 比速度の算出に用いる出力は、フランシス水車、射流水車及びプロペラ水車ではランナ1個当たり、ペルトン水車ではノズル1個当たりの出力をとるものとする。

2) 回転速度

水車発電機の回転数 (N) は接続する送電系統の周波数 (Hz) と磁極 (ポール) 数によって次式で算定される。

$$N = \frac{120 \times f}{P}$$

- ここに、 N : 回転数 (r/min)
 f : 系統の周波数 (Hz)
 P : 発電機の磁極 (ポール) 数

ここで、回転数 (N) は、主として発電機制作上から表7-2-1 に示すように標準回転速度が決められている。

水車の採り得る回転速度の上限値 : N_{el} は、採り得る比速度の上限値 : N_{sl} から次式でもとめられるが、これ以下でもっともこれに近い標準回転速度を選択するのが一般的である。

$$N_e = N_{sl} \times \frac{H^{5/4}}{\sqrt{P}}$$

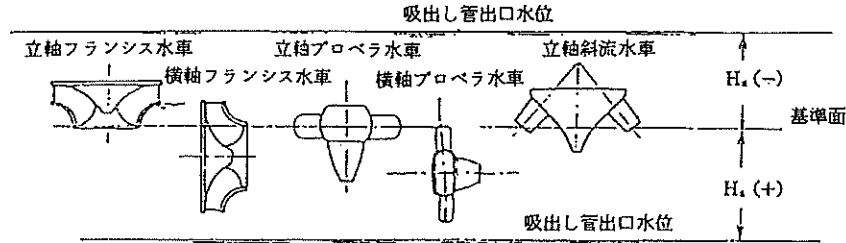
表7-2-1 標準回転速度 (JEC-4001)

(単位 r/min)

極数	50Hz	60Hz	極数	50Hz	60Hz	極数	50Hz	60Hz
4	1,500	1,800	28	214	257	60	100	120
6	1,000	1,200	30	200	240	64	94	113
8	750	900	32	188	225	70	86	103
10	600	720	36	167	200	72	83	100
12	500	600	40	150	180	80	75	90
14	429	514	42	143	171	84	71	86
16	375	450	48	125	150	88	68	82
18	333	400	50	120	144	90	67	80
20	300	360	54	111	133	96	63	75
24	250	300	56	107	129	100	60	72

3) 吸出し高さ (H_s)

吸出し高さとは、反動水車の吸出し管出口水位から水車ランナ基準面までの高さをいう。



4) 無拘束速度

水車が定格出力運転中に負荷が急遮断されると回転速度が急上昇し、水力の入力と水車、発電機の機械的な回転力の釣合いがとれるまで回転速度が上昇する (図 7-2-2 参照)。この回転速度を無拘束速度という。通常の状態では無拘束速度となることはないが、事故などにより無拘束速度となる可能性があるので、水車・発電機は、一定時間はこれに耐えられる設計を要求するのが通例である。

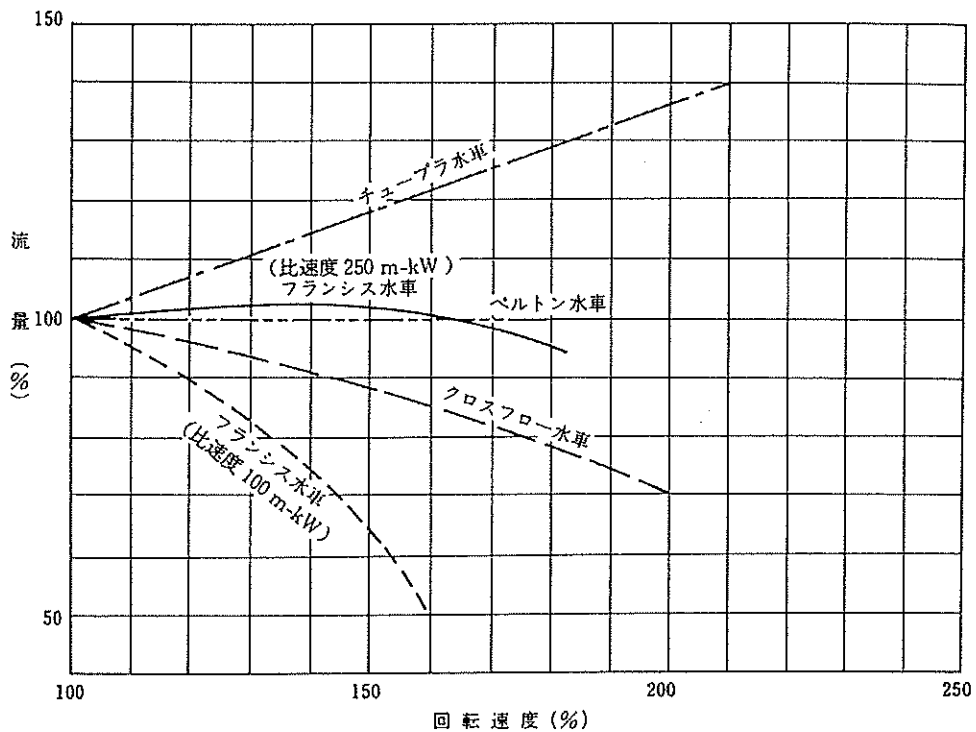
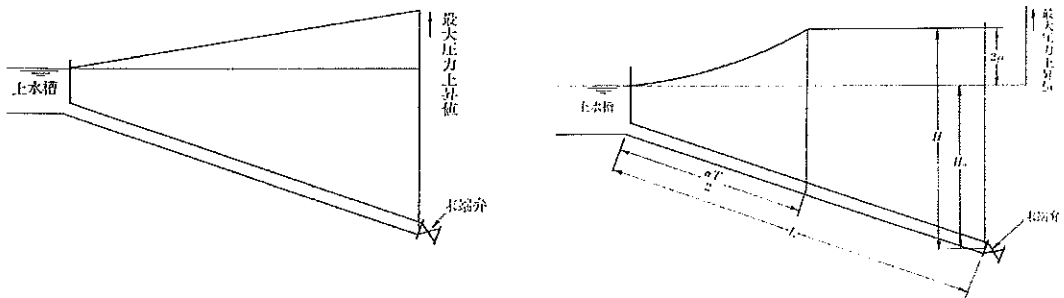


図7-2-2 各種水車の速度に対する流量特性図

出典：鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編）平成26年12月 P-71

以下に、水車が負荷遮断した時に水圧管路に働く最大圧力分布を、緩閉塞時（通常の場合）と、急閉塞時（クロージングタイムが水圧管路を伝搬する圧力波の往復時間より短い場合）を模式図で対比する。



緩閉塞領域の最大圧力上昇

急閉塞領域の最大圧力上昇

出典：水撃作用と圧力脈動 秋元徳三著 日本工業新聞社 P-22, P-24

緩閉塞とは 水車のガイドベーン閉塞時間 > 水圧管路を往復する圧力波の時間

急閉塞とは 水車のガイドベーン閉塞時間 < 水圧管路を往復する圧力波の時間

また、水圧管路の延長が相当に長い場合、ガイドベーンのクロージングタイムを長くとっても、負荷遮断時において水車の特性上、急激な流量変化が水圧管路に生じ、大きな水撃圧（急閉塞に類似の水理的挙動）が生ずる場合もある。このような場合は水車・発電機の回転軸に質量を付けることで「はずみ車効果：GD²」の増加を図り急激な回転上昇、すなわち急激な流量変化を抑制する。

5) 比速度 (N_s) と効率 (η) の関係

比速度 (N_s)
出力規模 ($H_e \times Q$) } 効率は異なる。

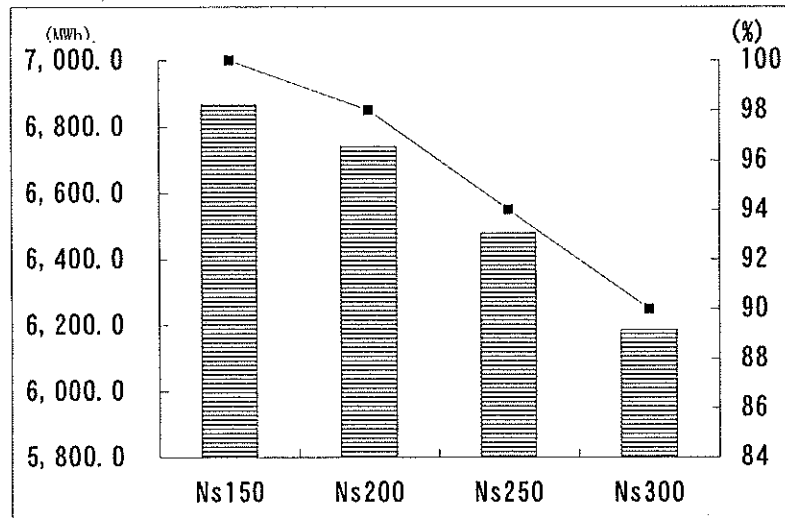
参考としてある発電計画 ($P_{max}=1,500kW$) に係る N_s と年間可能発電電力量の関係を次に示す。

なお、流量資料は実測の日流量資料を使用した。

以下に示すとおり、計画段階であっても比速度の選定を誤ると、発電電力量ひいては経済性の評価を誤りかねないことになる。

N_s と発電電力量の関係 (参考例: $P_{max}=1,500kW$)

N_s	発電電力量 (MWh)	比率 (%)
N_{s150}	6,867.7	100
N_{s200}	6,742.1	98
N_{s250}	6,480.3	94
N_{s300}	6,187.3	90



(5) フランス水車の機械計画

1) フランス水車の製作限界

ランナ径 : $D_1 < 0.80\text{m}$ 程度 → 立軸機不可

ランナ径 : $D_1 < 0.40\text{m}$ 程度 → 横軸機不可

なお、近年 $D_1=0.30\text{m}$ の横軸フランス水車も製作されている。

2) 水車諸元の計算例 (中小水力発電ガイドブック P-110)

条件 最大使用水量 : $Q_{\max}=3.00\text{m}^3/\text{s}$

有効落差 : $H_{e\max}=45.00\text{m}$

規定周波数 : $f=50\text{Hz}$

$$\begin{aligned}N_{s\ell} &= \frac{23,000}{H_{e\max} + 30} + 40 \\ &= \frac{23,000}{45.00 + 30} + 40 = 347 \text{ (m-kW)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{i\max} &= 9.8 \times Q_{\max} \times H_{e\max} \\ &= 9.8 \times 3.00 \times 45.00 = 1,323 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_t &= 0.8137 + 0.0192 \cdot \log P_{i\max} \\ &= 0.8137 + 0.0192 \cdot \log 1,323 = 0.874\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_t &= P_{i\max} \times \eta_t \\ &= 1,323 \times 0.874 = 1,156 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_{lim} &= N_{s\ell} \times \frac{H_{e\max}^{1.25}}{P_t^{0.5}} \\ &= 347 \times \frac{45.00^{1.25}}{1,156^{0.5}} = 1,188 \text{ (r/min)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N &= \frac{120 \times f}{P \text{ (6ポール)}} \\ &= \frac{120 \times 50}{6} = 1,000 \text{ (r/min)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_s &= N \times \frac{P_t^{0.5}}{H_{e\max}^{1.25}} \\ &= 1,000 \times \frac{1,156^{0.5}}{45.00^{1.25}} = 291 \text{ (m-kW)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_s &= 9.7 - 0.048 \left(\frac{N_s}{100} \right)^{1.5} \times H_{e\max} \\ &= 9.7 - 0.048 \left(\frac{291}{100} \right)^{1.5} \times 45.00 = -1.06 \text{ (m)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_u &= 10^{-0.9171 - \log N_s (0.1004 \log N_s - 0.5798)} \\ &= 10^{-0.9171 - \log 291 (0.1004 \log 291 - 0.5798)} = 0.798\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_1 &= 84.6 \cdot K_u \cdot \frac{H_{e \max}^{0.5}}{N} \\
 &= 84.6 \cdot 0.798 \cdot \frac{45.00^{0.5}}{1,000} = 0.45 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

ここで、 $N=1,000$ r/minとした場合、 $H_s < 0$ となるため回転数を1段下げ750 r/minとする必要がある。

$$N = 750 \text{ r/min} = \frac{120 \times f}{P} \quad (8 \text{ ポール発電機を採用する})$$

$$\begin{aligned}
 N_s &= N \times \frac{P_t^{0.5}}{H_{e \max}^{1.25}} \\
 &= 750 \times \frac{1,156^{0.5}}{45.00^{1.25}} = 291 \text{ (m-kW)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_s &= 9.7 - 0.048 \left(\frac{N_s}{100} \right)^{1.5} \times H_{e \max} \\
 &= 9.7 - 0.048 \left(\frac{219}{100} \right)^{1.5} \times 45.00 = +2.70 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_u &= 10^{-0.9171 - \log N_s} (0.1004 \log N_s - 0.5798) \\
 &= 10^{-0.9171 - \log 291} (0.1004 \log 291 - 0.5798) = 0.776
 \end{aligned}$$

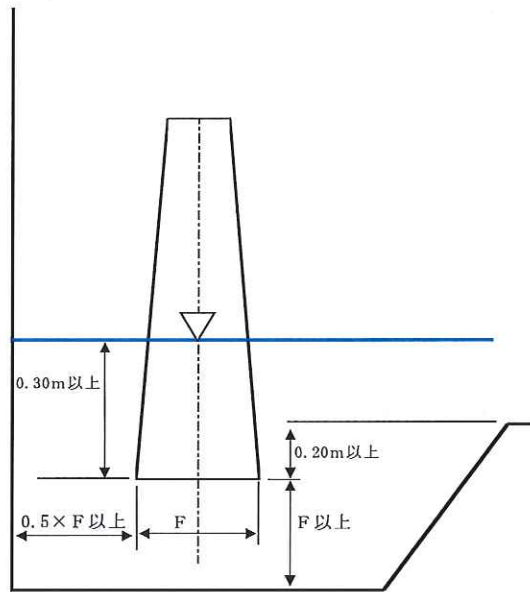
$$\begin{aligned}
 D_1 &= 84.6 \cdot K_u \cdot \frac{H_{e \max}^{0.5}}{N} \\
 &= 84.6 \times 0.776 \times \frac{45.00^{0.5}}{750} = 0.587 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

すなわち、採用する水車は、次の諸元となる。

$$\begin{aligned}
 P_t &= 1,156 \text{ kW} \\
 N_s &= 291 \text{ (m-kW)} \\
 H_s &= +2.70 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3) 吸出し管（コーン型ドラフトチューブ）に対する放水庭の基本形状

反动水車のドラフトチューブ（吸出し管）は先端を水没させなければならない。横軸フランシス水車では一般的なコーン型ドラフトチューブにおける放水庭の基本形状を、図 7-2-3 に示す。



出典) 昭和61年度ダム管理用発電設備設置計画の手引き P93

図7-2-3 コーン型ドラフトチューブの場合の放水庭の基本形状

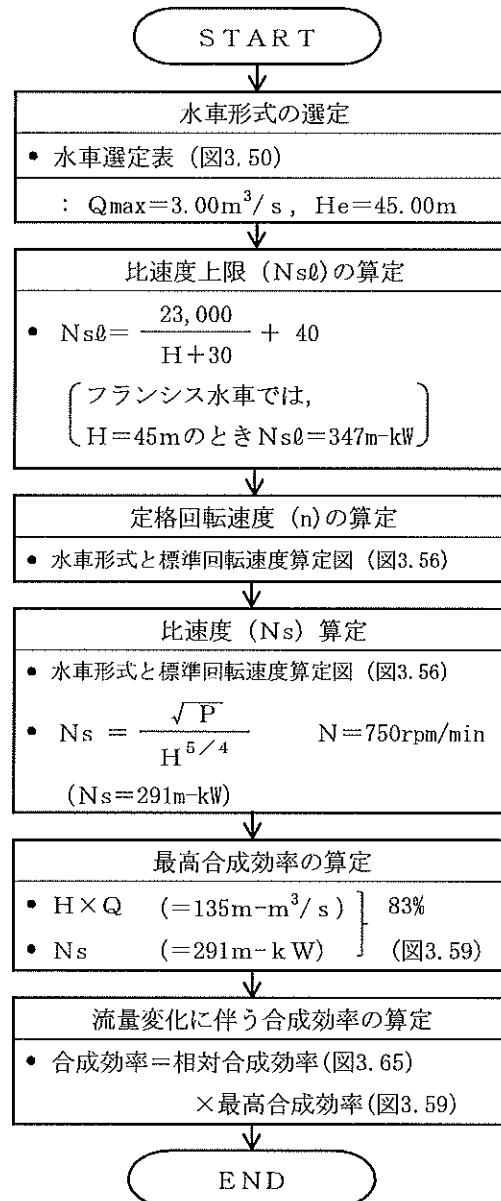
(6) 水車・発電機効率

1) 水車の変流量効率 (中小水力発電ガイドブック P-108~P-126)

水車・発電機効率 (合成効率) は、流量の変化 (変流量効率) 及び落差の変化 (変落差効率) を考慮する必要がある。

ここに、合成効率 = 水車効率 × 発電機効率

使用水量の変化に伴う水車・発電機効率は、概略検討時は通常以下のとおり算定する。



2) フランス水車の等効率曲線図 (中小水力発電ガイドブック P-127)

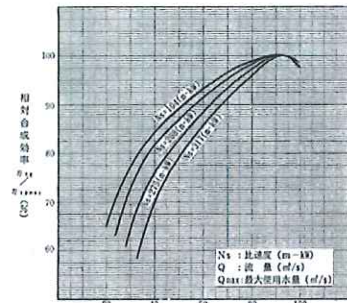
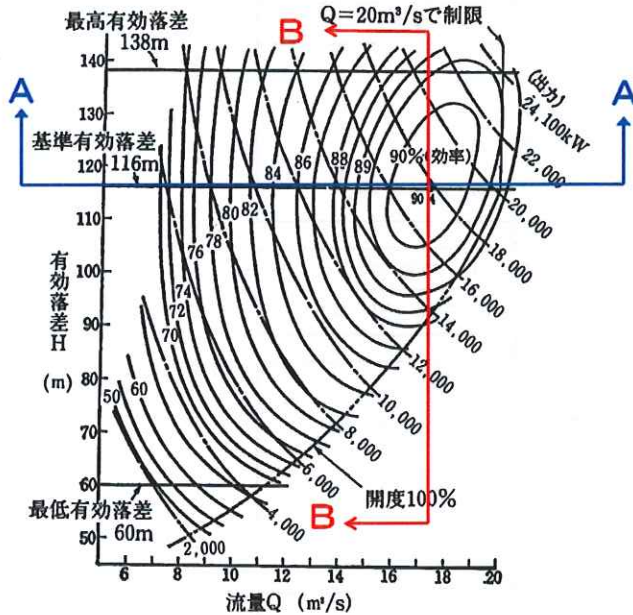
図7-2-4は、フランス水車の等効率曲線図といわれるもので、通称“目玉カーブ”とも呼ばれているものである。横軸は流量、縦軸は有効落差を示し、A-A断面は基準有効落差^{注1)}時における変流量効率である。

ちなみに、B-B断面は基準有効落差を挟む変落差効率である。

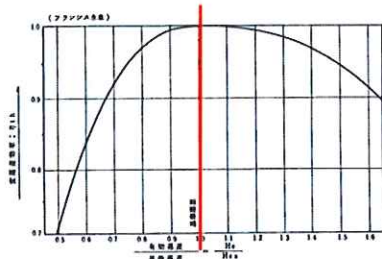
注1) 基準有効落差とは

水車を設計する場合の基準となる落差をいい、一般的には、日々変動する流量の頻度などを勘案して、最も効率良く発電できる落差として定める。

変流量効率, 変落差効率



変流量効率 (A-A)



変落差効率 (B-B)

図 7-2-4 フランス水車の等効率曲線図

注2) ペルトン水車、クロスフロー水車等の効率曲線図は割愛するが、必要に応じて中小水力発電ガイドブック (P120~126) を参照されたい。

3) 発電機効率

同期発電機と誘導発電機の効率の目安を図 7-2-5 に示す。同図は、定格電圧、定格力率（95%時）、及び最大出力時（100%出力）の効率である。

同図に示すとおり、発電機出力が小さくなるにしたがい、発電機効率が低下する。

図 7-2-5 から発電機の定格出力時の効率を求め、図 7-2-6 によりその発電機の部分負荷効率（特性曲線）を求めることができる。

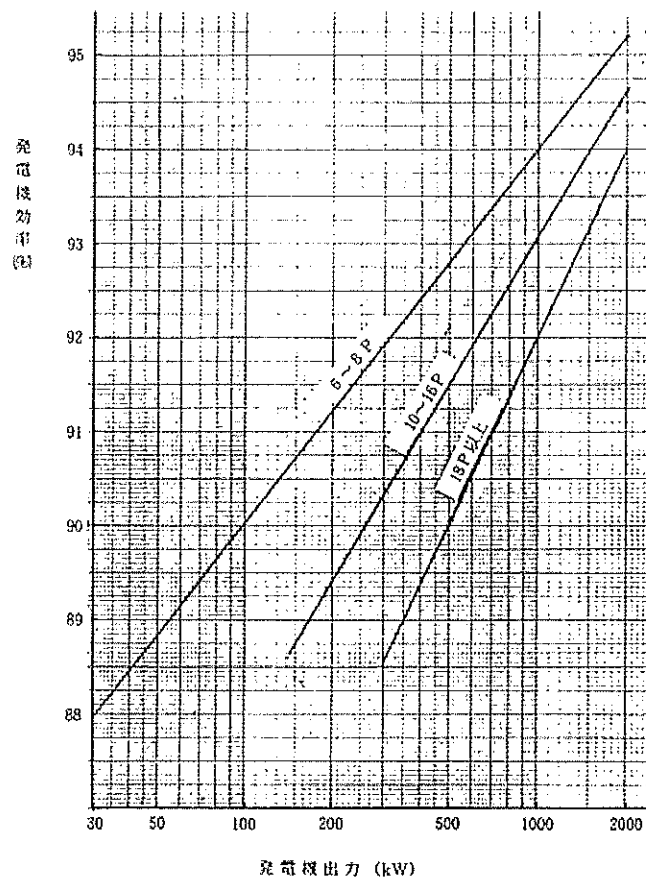


図7-2-5 発電機定格出力時の効率（目安値）

出典：鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編）平成26年12月 P-79

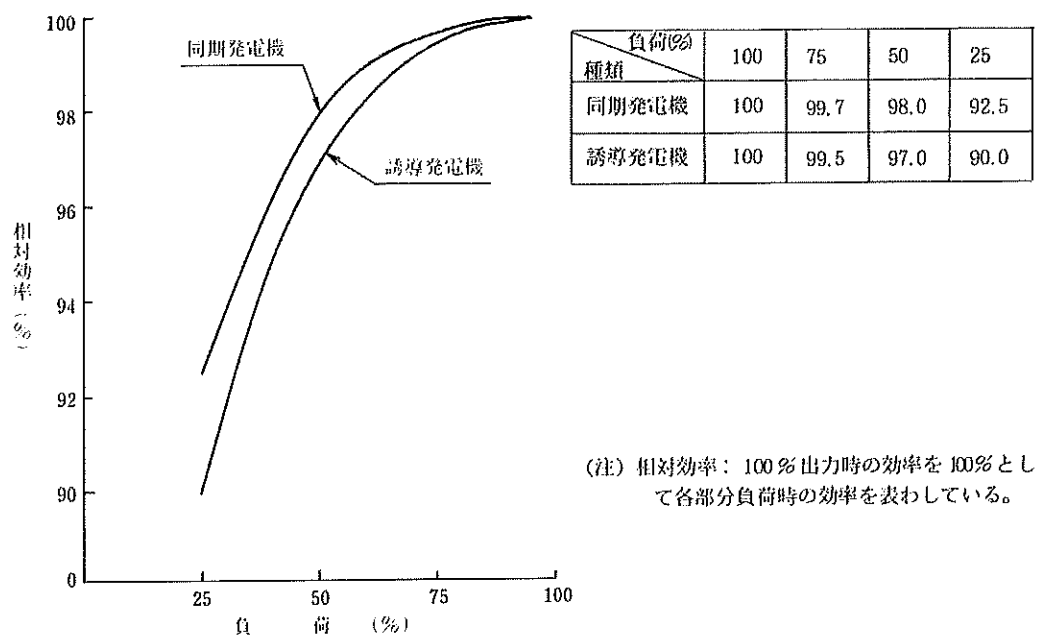


図7-2-6 発電機部分負荷効率（目安値）

出典：鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編）平成26年12月 P-80

(7) 発電機の種類と特徴

1) 誘導発電機と同期発電機の比較

発電機には、同期発電機と誘導発電機が代表的であり、一般には前者のものが使用されるが、しっかりした電力系統に接続される小容量の水力発電には後者が使用される場合も増えてきている。誘導発電機と同期発電機の比較を表 7-2-2 に示す。

なお、誘導発電機の採用の可否は、連系する送電系統における保安の確保等を前提として、地元電力会社との協議により決定すべき事項である。

表7-2-2 誘導発電機と同期発電機の比較

	誘導発電機	同期発電機
回転子の構造	かご形回転子で簡単。	界磁巻線や交流励磁機（又はスリップリング）をもち複雑。
励磁装置	不要。	必要。
保守	構造が簡単で励磁装置もなく保守が容易。	界磁巻線や励磁装置等の保守点検を要す。
価格	安価であるが低速機は割高。	誘導発電機よりは高価。
効率	良いが低速機は悪くなる。	良い。
容量	大容量機は製作困難、数千kW以下が適当。	大容量機でも問題ない。
並列時の同期合せ	不要。	必要。
並列時の突入電流	強制並列なので大きな過渡電流が流れる。系統の電圧降下を抑えるためにリアクトルの必要な場合がある。	同期を合わせて並列に入れるので過渡電流は小さく系統の電圧降下に問題ない。
無効電力	負荷に供給できないうえに励磁電流分を系統から取り込む。	定格力率以内は負荷に合わせて供給可能。
力率	力率が悪い場合、力率改善コンデンサが必要となる場合が多い。	通常、定格力率 0.90～0.98（遅れ）とする。
単独運転	通常できない。	常に可能。

出典) 中小水力発電ガイドブック P-102

2) 誘導発電機の運転上の問題

① 並列時の突入電流による電圧降下

誘導発電機を系統に並列する時は、回転速度を系統の周波数に対応する同期速度にできるだけ近づけ発電機用遮断器を投入するが、この場合定格電流の約5～10倍の突入電流が数サイクル程度流れたのち定格電流以下まで減衰する。系統の容量によっては、この突入電流により系統の電圧降下が大きく他の設備に影響を与えることもあるので、あらかじめその影響を検討する必要がある。

② 力率の改善

誘導発電機は接続される系統から励磁電流を取って運転するので、単独運転はできず力率も調整できない。

この励磁電流の分だけ系統に無効電力の負担を及ぼす。力率を改善する場合には発電機に並列にコンデンサを接続する必要がある。

③ 自己励磁現象

誘導発電機の力率改善用コンデンサなどが接続され発電機と並列に接続されるコンデンサ容量が大きな状態で負荷遮断が行われると、コンデンサの進み電流により発電機が励磁され、高い電圧を誘起する自己励磁現象が発生する可能性がある。

これを防止するため発電機の無負荷飽和特性とコンデンサの電圧、負荷特性を十分検討し、コンデンサの容量を適切に選定する必要がある。

自己励磁現象を検討する際の静電容量としては、力率改善コンデンサ、他需要家及び線路に設置されているコンデンサ、配電線及び発電機回路に使用されているケーブル等がある。したがって、線路停止時に自動的に発電機を解列する装置が必要となる。

誘導発電機と同期発電機の比較は、前掲表 7-2-2 に示すとおりである。

(8) スクリーン

水車ランナにゴミや夾雑物が絡まることによる水車性能低下やランナの損傷を防ぐ目的で、取水口及び水圧管の呑口にスクリーンを設ける。

スクリーンの有効間隔（目幅）は、水車の種類や寸法、及びゴミ等の量や質を考慮して決定する必要があるが、入口弁口径が $\phi 200\text{mm}$ ～ $\phi 800\text{mm}$ 程度でのスクリーンの有効間隔は $20\sim 30\text{mm}$ 程度である（図 7-2-7 参照）。

なお、実際には、各機器により要求もあるため、メーカー技術資料等を参考とすることも必要である。

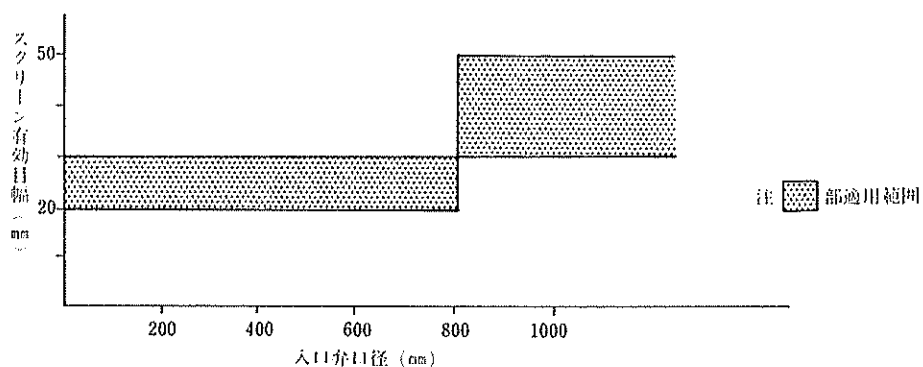


図7-2-7 スクリーンの有効間隔（目幅）参考値

出典) 鋼構造物計画設計技術指針

(小水力発電設備編 農水省構造改善局 昭和61年 P43)

また、フランス水車の場合、経験的に水車ランナ径の5%程度を目安とする場合もある（中小水力発電ガイドブック P-65）。

ここに、水車ランナ径の概算値は、中小水力発電ガイドブック P-110 記載のフランス水車諸元算定手順によって概略値（ D_1 の値）が算定できる。

(9) 送変電設備

本項については、「鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電設備編）平成26年12月 例えば技術参考資料 P115を参考とした。

1) 発電規模と系統電圧

発電機の電圧は、接続される系統電圧及び主変圧器の有無等の主回路接続方式並びに変圧器、遮断器、開閉装置及びケーブル等による経済性を検討して決定されることになるが、2,000kW以下の小規模な水力発電では、次の容量区分が一般的である。

発電機容量	発電機電圧
2,000～300kVA	6,600又は3,300V
300kVA以下	440又は220V

注) 系統とは、電気事業者が電気の需要に応じるため電源（水力、火力及び原子力発電所など）から電力輸送設備（変電所、送電線及び配電線）を経て負荷にいたるまでの全ての要素が有機的に密接に連系され、電力の発生から消費まで行っているものを総称したものである。

系統連系規程では、電圧階級と1つの系統構成について、以下のとおり定めている。

低圧とは	600V以下
高圧とは	600Vを超えて7,000V以下
特別高圧とは	7,000Vを超えるもの

2) 系統電圧の変動

配電線の電圧は、需要家に影響を与えないよう電気の供給地点において維持すべき変動の幅が法規で規定されている。したがって、発電所を接続することにより、この規定値を超過しないように考慮しなければならない。

このため、最も大きな電圧変動が予想される並列投入時については、線路特性も含めて検討し、同期発電機の場合には同期投入装置の設置、誘導発電機の場合には突入電流を抑えるためのリアクトルの設置を考慮する必要がある。電気事業者によってはリアクトルの設置を要求される場合がある。

3) 系統力率の保持

誘導発電機の場合は、系統より無効電力の供給を受けるため系統の力率を低下させる。

力率低下の程度は、発電機が低速機となるほど大きい。系統によっては、この力率低下を改善するため発電機に並列に電力用コンデンサを設置することを電気事業者より要求される場合がある。

なお、このコンデンサを設置した場合は、解列時自己励磁現象により高電圧を発生することがあるので、その容量の決定に当たっては十分注意する必要がある。

4) 負制動現象

同期発電機の場合、発電機を含めた線路のリアクタンス X と抵抗 R の関係 X/R が大きくなると発電機が乱調を起こすことがある。特に、配電線に接続される制動巻線なしの発電機によく生じるので、接続される配電線の特性を調査の上、発電所側の対策が必要となる場合がある。

5) 保護方式

発電所内の故障による配電線に影響を及ぼさぬようにすることや、配電線故障に対する対応方法、発電機の単独運転防止等、電気事業者と保護方式について協調をとる必要がある。保護装置の種類については、ここでは割愛するが「系統連系規程（社）日本電気協会」等を参照されたい。

6) 配電盤及び制御盤

① 盤の構成

盤構成（7面構成）の1例を表7-2-3に示す。

表7-2-3 標準的な盤構成

	盤名称
高圧盤	VCT盤
	送電遮断器盤
	発電機遮断器盤
	所内盤
低圧盤	発電機盤
	保護継電器盤
	A V R 盤
	自動制御盤
	直流電源盤

高低圧配電盤配置図（7面構成）及び概略寸法・概略重量を図7-2-8に示す。

② 配置図

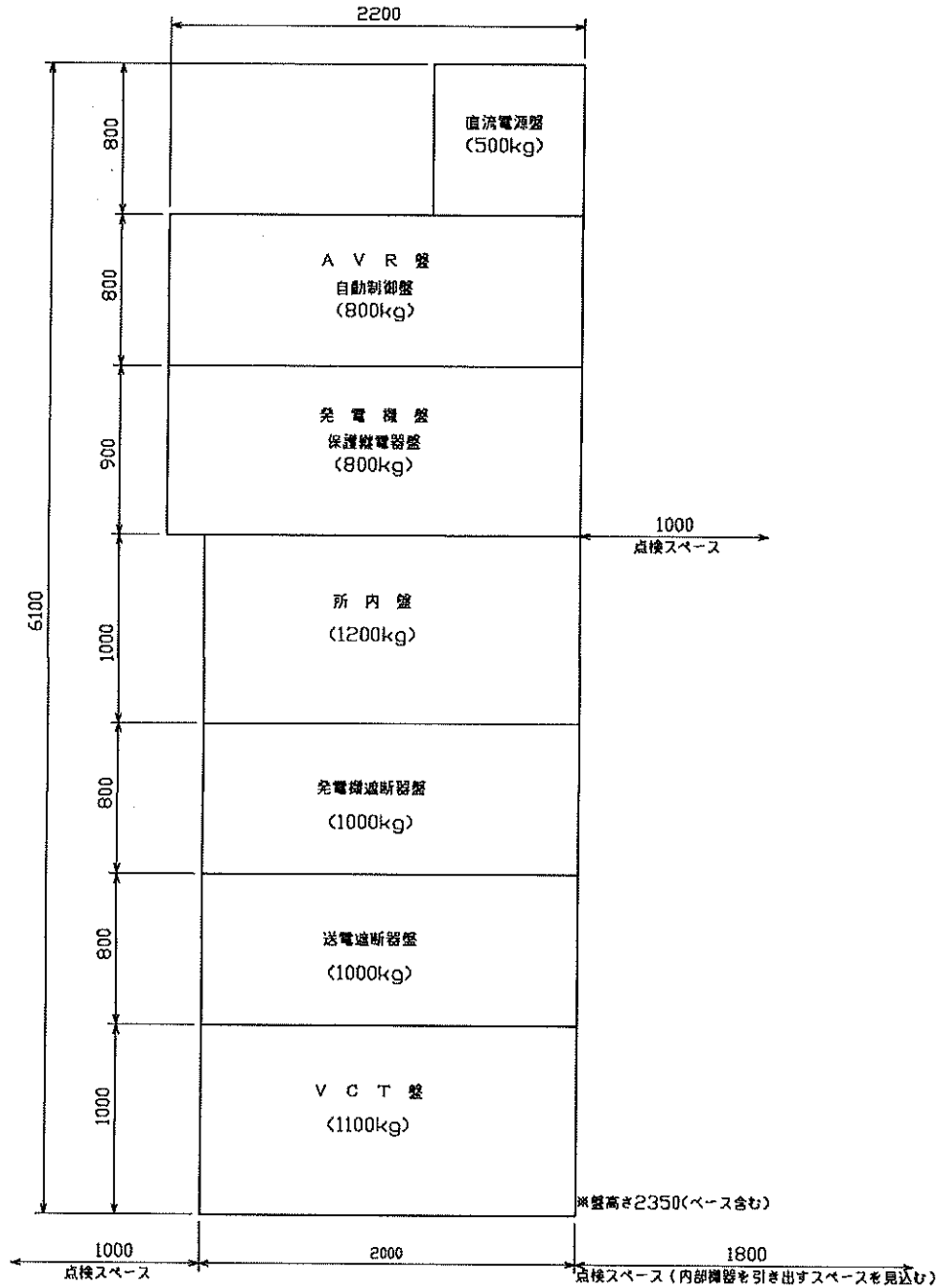


図7-2-8 高低圧配電盤配置図(7面構成)

出典)「鋼構造物計画設計技術指針(小水力発電設備編)平成26年12月
技術参考資料 P279

8. 運転・保守管理 および主任技術者の実務

8. 運転・保守管理および主任技術者の実務

8.1 運転・監視制御

従来の大規模水力発電所では高度な制御ならびに保護を行っている場合が多いが、中小規模の発電所は電力系統に対する重要度が低いので、系統運営の障害とならない範囲で、制御、保護方式の簡略化を図ることが必要である。

(1) 運転制御方式の種類

出典)「鋼構造物計画設計技術指針(小水力発電設備編) 平成 26 年 12 月
技術参考資料 P228

1) 操作場所による運転制御方式

(ア) 機側操作方式

水車、発電機、補機等を直接監視することのできる場所で操作する方式で、一般に配電盤が主機の単独操作によって行われることが多く、運転員が各種器の正常な動作を確認しながら、各機器を単独に操作(手動制御)することになる。

(イ) 遠隔操作方式

水車、発電機、補機等を配電盤室等から遠隔に操作する方式で、監視制御盤が主機の位置から離れた配電盤室に設備される場合に採用される。この操作方式は、水車等の運転状態を監視制御盤上に表示して、これらの計器を目視しながら水車等を連動操作(一人制御)によって行うものである。

(ウ) 遠方操作方式(遠方制御方式)

発電所から離れた制御所から水車等を運転操作する方法で、通常故障の場合には自動停止して、制御所に警報するように設備された自動運転方式である。

操作方法による分類	監視制御の方法による分類	操作場所による分類
手動制御方式	常時監視制御方式	機側操作方式
自動制御方式	随時監視制御方式	遠隔操作方式
	遠隔常時監視制御方式	遠方操作方式 (遠方制御方式)

(注) ----- は監視制御方式と、他分類による方式との関連を示す。

2) 操作方法による運転制御方式

(ア) 手動制御方式(単独操作方式)

水車、発電機の始動・運転・停止並びに諸制御を機側で運転員の判断と操作によって行う方式である。水車、発電機及び附属機器等が直接監視できる場所で、換作する配電盤が主機の近くに設置される場合に採用される。この方式の場合には、各機器の操作手順はそれぞれ単独操作によって行われることが多く、運転員が各機器

の正常な動作を確認しながら、それぞれの機器を単独に操作することになる。

(イ)一人制御方式（連動操作方式）

この方式は水力発電所の自動制御方式の基本形であり、多くの発電所で採用されている。配電盤室で、運転員が操作スイッチを操作することによって補機類の始動を行い、始動条件が満足されると水車の始動、発電機の電圧発生、並列など電力の発生に必要な操作が順序よく自動的にできるようになっている。配電盤上の主制御スイッチを「運転」に操作し、運転条件が満足されると水車が自動的に始動する。

(ロ)全自動制御方式

運転員が操作しなくても、あらかじめ定められた条件（例えば水位が規定値、始動の設定時刻、送電線が規定電圧など）により、水車、発電機を自動始動させて系統に並列に入れる。出力調整は水位調整器や予定のスケジュール（プログラム運転）などにより、自動的に行われ、事故時やあらかじめ定められた条件（例えば水位が規定値以下、停止の設定時刻、送電線が無電圧など）で自動停止を行う方式である。

(2)監視制御方式の分類

監視制御方式は「電気設備に関する技術基準」第46条（常時監視をしない発電所等の施設）に基づき定められた発変電規程第2-1条（日本電気協会）に、次の4種類に分類されている。

- ① 常時監視制御方式
- ② 遠隔常時監視制御方式
- ③ 随時監視制御方式
- ④ 随時巡回方式

すなわち、常時監視しない発電所の監視制御方式は、上記②から④である。近年は、電力用機器の信頼度の向上、保護装置の充実により、ほとんどの発電所が、常時人がいない発電所となっている。

表 8-1-1 に水力発電所の監視制御方式を分類して示す。各監視制御方式の適用条件は、発変電規程で表 8-1-2 のとおり規定されている。

水車及び発電機の運転・停止を監視操作する装置、水車及び発電機の負荷を調整する装置、運転操作に常時必要な遮断器の開閉を監視する装置については、監視制御方式の種類に応じて施設する場所が、発変電規程で規定されている（表 8-1-3 参照）。

表 8-1-1 水力発電所の監視制御方式

区分	種類	定義
発電所において常時監視をするもの	常時監視制御方式	技術員が発電所に常駐し、発電所の監視及び機器の操作をその発電所において行うものをいう
発電所において常時監視をしないもの	遠隔常時監視制御方式	技術員が制御所に常時駐在し、発電所の監視及び機器の操作を制御所から行うものをいう。
	随時監視制御方式	自動電圧調整装置又は自動負荷制限装置を施設する発電所であって、技術員が発電所又はその構外にある技術員駐在所に常時駐在し、必要に応じて発電所に出向き、発電所の監視及び機器の操作を制御所から行うものをいう。
	随時巡回方式	自動負荷調整装置又は自動負荷制限装置を施設する発電所であって、技術員が適当の間隔においてその発電所に出向き、発電所の監視及び機器の操作をその発電所において行うものをいう。

表 8-1-2 水力発電所の監視制御方式の適用条件

(発電電規程第 2-2 条)

項目	常時監視制御方式	遠隔常時監視制御方式	随時監視制御方式	随時巡回方式
発電所の出力	制限なし	制限なし	制限なし	2,000kW 未満
発電所に施設する変圧器の使用電圧	制限なし	制限なし	170kV 以下	170kV 以下
切替操作頻度	制限なし	制限なし	送電系統の切替操作頻度が少ないこと。ただし、制御所又は技術員駐在所から切替操作を監視し、かつ、操作する装置を施設する場合はこの限りではない。	送電系統の切替操作が非常に少ないこと。

表 8-1-3 水力発電所の監視操作装置等の施設箇所

(発電電規程第 4-15 条)

項目	種類	常時監視制御方式	遠隔常時監視制御方式	随時監視制御方式	随時巡回方式
水車及び発電機の運転・停止を監視及び操作する装置		当該発電所	当該発電所制御所	当該発電所	当該発電所
水車及び発電機の負荷を調整する装置		当該発電所	当該発電所制御所	当該発電所	当該発電所
運転操作に常時必要な遮断器の開閉を監視する装置及び操作する装置		当該発電所	当該発電所制御所	当該発電所	当該発電所

8.2 保守管理

(1) 保安規程に基づく保守管理

保守管理にあたっては次のような事項について保安規程を定め、主任技術者の責任監督のもとに運営管理する。

保安規程に定めるべき事項（施行規則第 50 条第 3 項）

- ① 電気工作物の工事、維持、又は運用に関する業務を管理する者の職務及び組織に関すること
- ② 電気工作物の工事、維持、又は運用に従事する者に対する保安教育に関すること
- ③ 電気工作物の工事、維持、又は運用に関する保安のための巡視、点検及び検査に関すること
- ④ 電気工作物の運転又は操作に関すること
- ⑤ 発電所の運転を相当期間停止する場合における保全の方法に関すること
- ⑥ 災害その他非常の場合に採るべき措置に関すること
- ⑦ 電気工作物の工事、維持、又は運用に関する保安についての記録に関すること
- ⑧ 電気工作物の法定事業者検査又は使用前自己確認に係る実施体制及び記録の保存に関すること
- ⑨ その他事業用工作物の工事、維持及び運用に関する保安に関し必要な事項

(2) 保守業務

保守業務は設備の機能を保ち、劣化・損傷等から守ることであり、主とした日常的な業務は次のようなものである。

表 8-2-1 保守業務の主な内容

種類	内容
巡視	設備を巡回して異常の有無、補修の要否を把握する (定期、臨時、細密)
点検	設備の状態把握及び機能確認を行う (定期、臨時、細密)
計測試験	設備の安全性及び性能確認を把握するため点検等に合わせて行う
補修作業	発見された設備及び関連構造物の不具合を補修する

土木設備の保守管理にあたっては、構成する各設備の構造、特徴を熟知し、日常の巡視ならびに点検、手入れを入念に行うとともに、ゲート等の適切な操作によって、事故を未然に防止し、発電が支障なく行われるよう努めなければならない。

電気機械設備の保守点検においては、設備の性能、構造及び部品の異常の有無を調査し、その傾向を把握することで設備の健全な維持につなげていくことが大切である。

(3) 報告

電気事業者は電気関係報告規則により、定期報告（第 2 条）、事故報告（第 3 条）および必要な報告をすることが定められている。

定期報告：発受電月報（電気事業者）

自家用発電所運転半期報（自家用電気工作物（出力千 kW 未満の発電所を除く）を設置する者）

事故報告：感電、電気工作物の破損、電気工作物の誤操作、電気火災事故、社会的に影響を及ぼした事故等

8.3 主任技術者の実務

(1) 主任技術者の職務

主任技術者は、通常の業務執行における指揮・監督関係とかかわりなく、電気工作物の工事、維持および運用に関する保安監督の責任と権限を有し、保安規程に基づいて次のような職務を誠実にを行う。

- ① 保安のための諸計画の立案にあたり、関係責任者に指示、指導・助言を行う。
- ② 保安上必要な場合には、関係責任者に指示、指導・助言を行う。
- ③ 保安活動の実施状況の記録内容を点検・確認する。
- ④ 使用前自主検査等において、検査の指導、監督を行う。
- ⑤ 所管官庁が行う立入検査に立会う。

(2) ダム水路主任技術者

1) ダム水路主任技術者の選任

水力発電所（小型のもの又は特定の施設内に設置されるものであって別に告示されるものを除く）であって、高さ 15m 以上のダムもしくは圧力 392kPa 以上の導水路、サージタンクもしくは放水路を有するものまたは高さ 15m 以上のダムの設置工事を行うものはダム水路主任技術者の選任を行う。（電気事業法施行規則第 52 条）

2) ダム水路主任技術者の監督範囲および資格要件

監督範囲および資格要件は別表 8-3-1 のとおりである。

3) ダム水路主任技術者の選任形態

主任技術者免状を有する者を自社の従業員から選任することが原則である。ただし、一定の条件を満たせば、以下の例外制度の利用が可能である。

【外部選任制度】

設置者は、主任技術者の保安上の意見を尊重する旨の契約を締結するなどを条件に、主任技術者を自社の従業員以外（派遣労働者等）から選任できる制度

（根拠規程）規則第 52 条第 1 項「主任技術者制度の解釈及び運用（内規）」

【統括事業場制度】

主任技術者が「水力発電所そのもの」に常駐するのではなく、保安人員とともに「水力発電所を統括する事業場」に常駐し、近接の複数の水力発電所を統括して管理できる制度（ダムの高さが 15m 未満等の水力発電設備に限る）

（根拠規程）規則第 52 条第 1 項、*運用内規を明確化（平成 28 年 3 月）

【兼任制度】

大臣の承認を受けて、近隣の複数事業場を兼任できる制度

（根拠規程）規則第 52 条第 3 項「主任技術者制度の解釈及び運用（内規）」

【外部委託承認制度】

小規模な電気工作物であれば、外部の主任技術者や保安法人（主任技術者を擁し、保安サービスを提供する法人）へ保安管理業務を委託できる制度

（根拠規程）規則第 52 条第 2 項（電気）、*外部委託制度を創設（平成 28 年 3 月）

【許可選任制度】

大臣の許可を受けて、主任技術者免状を持たない者から主任技術者を選任できる制度

（根拠規程）法第 43 条第 2 項、「主任技術者制度の解釈及び運用（内規）」

表 8-3-1 対象施設等の実態に応じたダム水路主任技術者選任等の要否

		自家用電気工作物			電気事業の用に供する事業用電気工作物
		500kW未満	2,000kW未満	2,000kW以上	
免状保有者	外部選任制度 (自社・派遣労働者)	○(※1)	○(※1)	○(※1)	×
	統括事業場制度(自社)	(※2) *ダムの高さ15m未満又は導水路の圧力が392kPa未満等のものに限る			
	兼任制度(自社)	○	○	○	○
	外部委託承認制度 (他社)	(※2) *水路式かつダムの高さ15m未満のものに限る			×
免状を保有しない者	許可選任制度	○	○(※3) *対象は2,000kW以下 *水路式かつダムの高さ15m未満、経済産業省の講習受講者に限る。	×	×

※1 平成24年3月30日付けで改正(発電所に常時勤務)
 ※2 平成28年3月22日付けで改正(原則2時間以内に到達体制)
 ※3 平成26年9月30日付けで改正

11

4) ダム水路主任技術者に求められること

水力発電設備に事故・トラブルがあった際、急激な溢水、相当量の漏水、土砂崩れ等による人的傷害、公共施設の損壊等が懸念される。また、水力発電設備の構造は、設置地点ごとに設計仕様が異なることもあり、ダム水路主任技術者には、現場に応じて次のようなことが求められる。

- ・ 技術基準に適合していることを判断する
- ・ 定常運転時における設備の異常を発見する
- ・ 自主点検等において設備の健全性を判断する
- ・ 事故・トラブル時において適切に対応する
- ・ 発電所の運転操作を指導する

(3) 電気主任技術者

1) 電気主任技術者の選任

水力発電所（小型のもの又は特定の施設内に設置されるものであって別に告示されるものを除く）、変電所、送電線路又は需要設備の設置工事を行う事業場、又はそれらを管理する事業場を直接統括する事業場は電気主任技術者の選任を行う。（電気事業法施行規則第 52 条）

2) 電気主任技術者の監督範囲および資格要件

監督範囲および資格要件は別表 8-3-2 のとおりである。

3) 電気主任技術者の選任形態

【選任届出】（電験有資格者を 1 事業場に）

原則として、自家用電気工作物である事業場に、そこに常時勤務している電気主任技術者免状の有資格者を選任する形態

* 監督する事業場が掛け持ちの事業場ではないため、「専任」ともいう

【選任許可】（免状がない者を 1 事業場に）

自家用電気工作物である事業場に、そこに常時勤務している電気主任技術者免状を有していない者を選任することの許可を受けた形態

【兼任承認】（電験有資格者を複数事業場に）

自家用電気工作物である事業場に、すでに別の事業場に選任している電気主任技術者免状の有資格者を兼任させることの承認を受けた形態

【外部委託承認】（委託して選任しない事業場）

中小規模の自家用電気工作物である事業場に、保安全管理業務を所定の条件を満たす外部の法人（電気保安法人）又は個人（電気管理技術者）に委託して、自らの役員や従業員等から電気主任技術者を選任しないことの承認を受けた形態

表 8-3-2 自家用電気工作物に係る電気主任技術者の選任形態

選任形態	主な条件	需要設備の最大電力			
		100kW未満	100kW以上 500kW未満	500kW以上 2000kW未満	2000kW以上
選任	電気主任技術者免状	○	○	○	○
選任許可	第1種電気工事士又は認定校卒	○	○	×	×
	第2種電気工事士等	○	×	×	×
兼任	電気主任技術者免状	○	○	○	×
外部委託承認	保安業務委託	○	○	○	○

* 外部委託については、電圧 7 千 V 以下で受電するものに限る

* 発電所、配電所等は、それぞれの選任形態により設備規模の上限が異なる

【主任技術者の監督範囲および資格要件】

別表 8-3-1 ダム水路主任技術者

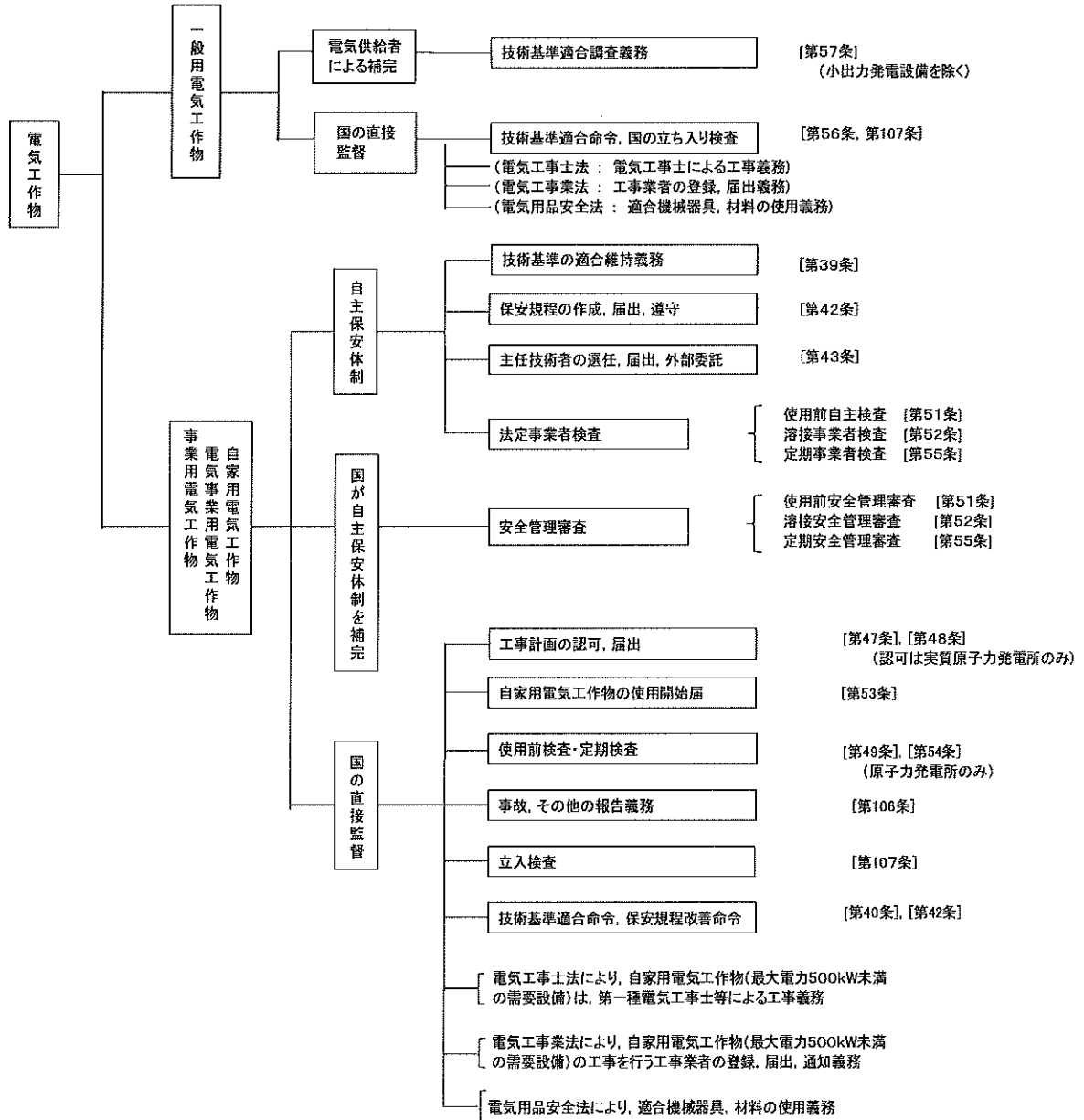
	第一種ダム水路主任技術者	第二種ダム水路主任技術者
監督範囲	水力設備の工事、維持及び運用	水力設備（ダム、導水路、サージタンク及び放水路を除く）、高さ70m未満のダム並びに圧力588kPa未満の導水路、サージタンク及び放水路の工事、維持及び運用
資格要件	<ul style="list-style-type: none"> ・大学（土木工学） 5〔3〕年 ・大学 9〔3〕年 ・短大、高専（土木工学） 6〔4〕年 ・短大、高専 10〔4〕年 ・高等学校（土木工学） 10〔5〕年 ・高等学校 14〔5〕年 ・中学 20〔10〕年 <p>[]は、高さ15m以上のダムの工事、維持又は運用の経験年数</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・大学（土木工学） 3〔3〕年 ・大学 5〔3〕年 ・短大、高専（土木工学） 3〔3〕年 ・短大、高専 5〔3〕年 ・高等学校（土木工学） 5〔3〕年 ・高等学校 7年〔3〕年 ・中学 12〔10〕年 <p>[]は、水力設備の工事、維持又は運用の経験年数</p>

別表 8-3-2 電気主任技術者

	第一種電気主任技術者	第二種電気主任技術者	第三種電気主任技術者
監督範囲	事業用電気工作物の工事、維持及び運用*	電圧17万ボルト未満の事業用電気工作物の工事、維持及び運用*	電圧5万ボルト未満の事業用電気工作物(出力5千kW以上の発電所を除く)の工事、維持及び運用*
資格要件	<p>【実務経験】電圧5万ボルト以上の電気工作物の工事、維持又は運用</p> <p>〈大学〉（経済産業大臣認定の電気工学で規定の科目） ・・・・卒業前の経験の1/2と卒業後の経験の和が5年以上</p> <p>〈第二種電気主任技術者〉 ・・・・免状交付後の経験が5年以上</p>	<p>【実務経験】電圧1万ボルト以上の電気工作物の工事、維持又は運用</p> <p>〈大学〉（同左） ・・・・卒業前の経験の1/2と卒業後の経験の和が3年以上</p> <p>〈短大、高専〉（同上） ・・・・卒業前の経験の1/2と卒業後の経験の和が5年以上</p> <p>〈第三種電気主任技術者〉 ・・・・免状交付後の経験が5年以上</p>	<p>【実務経験】電圧500ボルト以上の電気工作物の工事、維持又は運用</p> <p>〈大学〉（同左） ・・・・卒業前の経験の1/2と卒業後の経験の和が1年以上</p> <p>〈短大、高専〉（同上） ・・・・卒業前の経験の1/2と卒業後の経験の和が2年以上</p> <p>〈高等学校〉（同上） ・・・・卒業前の経験の1/2と卒業後の経験の和が3年以上</p>
	第一種電気主任技術者試験合格者	第二種電気主任技術者試験合格者	第三種電気主任技術者試験合格者

*第一種ダム水路主任技術者に係る範囲は除く

【参考】電気保安体系



9. 電力系統と運用

9. 電力系統と運用

(1) 電力系統

発電所から各需要先までのネットワークを電力系統という。電力系統は、図 9-1 に示すとおり、電源から変電所、開閉所等を経て工場、事業場さらには各家庭まで超高圧の変電所から配電線に至るネットワークを形成している。

また、基幹送電網については、50c/s と 60c/s を仲介する周波数変換所(F/C:Frequency Converter) や海峡を接続する直流送電線を介して、沖縄電力を除くすべての電力会社を連系している(図 9-2 参照)。

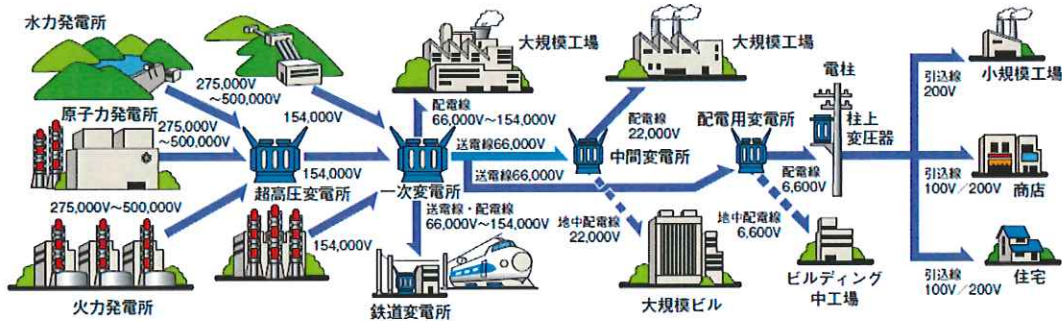


図 9-1 電力系統の模式図

出典) 電気事業連合会 HP

<http://www.fepec.or.jp/library/data/infobase/>

(2) 運用

電力会社は、それぞれ中央給電指令所を中心にネットワークの運用を図っており、需要の調整、事故時の対応、ならびに周波数の維持等を図っている。

(3) 系統連系

水力発電所を設置した場合、全量を自家消費する場合を除いて、電力系統へ接続することになる。概して出力が大きい場合は送電線が対象となるが、規模の小さい場合は配電線へ直接つなぎ込むことになる。実際には、当該時点の系統の状況や後述する誘導発電機の系統保護上の問題等により、委細は電力会社と十分な調整が必要である。本件に関しては平成28年度7月に資源エネルギー庁が「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン 平成28年度7月28日」を定めているので、巻末に「参考資料1」として示す。

● 全国基幹連系系統 (2014年7 月末現在)

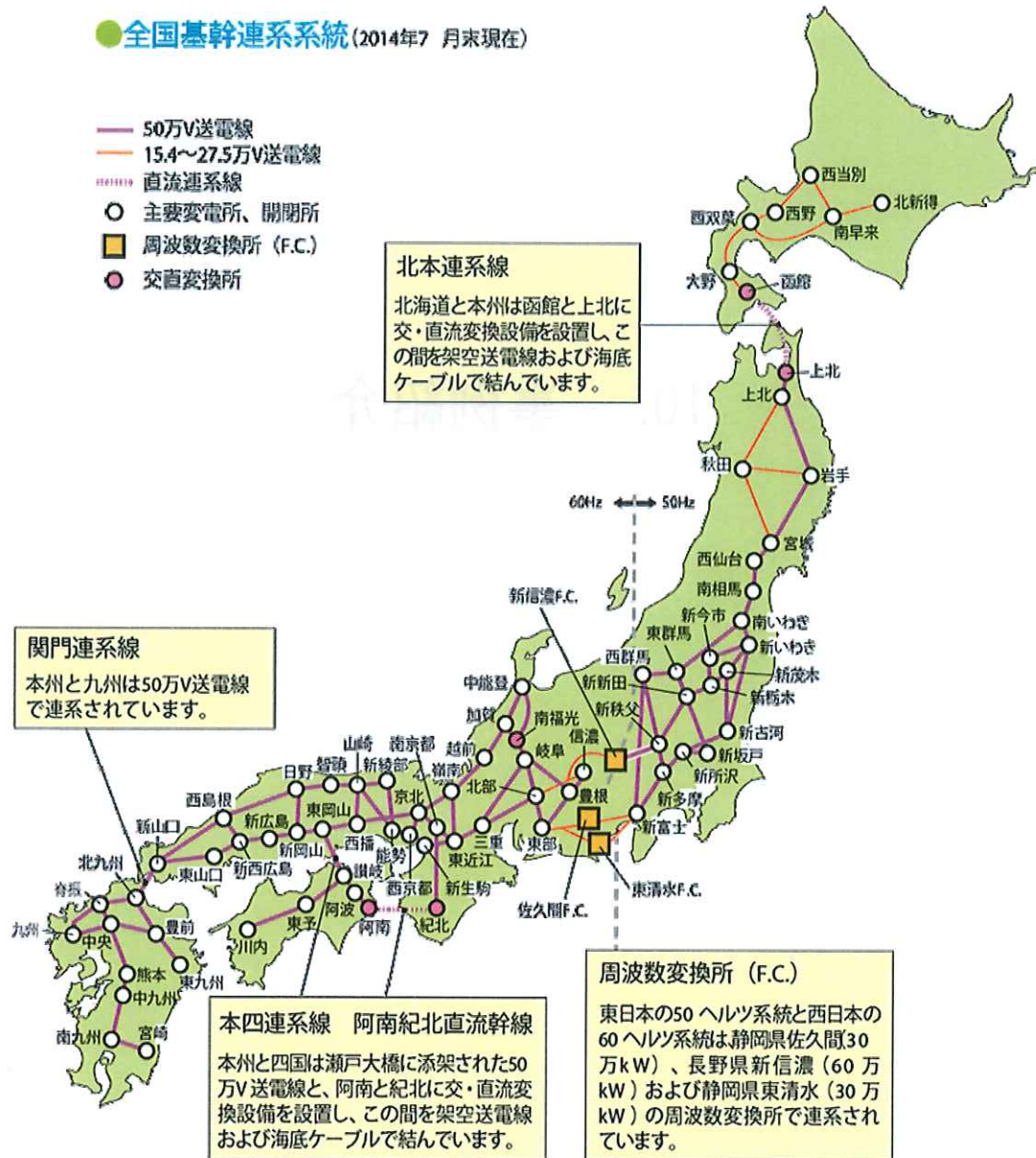


図 9-2 全国基幹連系系統

出典) 電気事業連合会 HP

<http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/>

(4) 誘導発電機

通常、電力系統に接続されている発電機は同期発電機であるが、500kW程度以下の発電所(システム)では、構造がシンプルで価格の安い誘導発電機が有利となることが多い。

ただし、誘導発電機を採用した場合には、励磁装置が不要なものの、系統並列時の突入電流(ラッシュカレント)対策、力率改善用コンデンサの要否等の問題がある。

10. 事例紹介

10. 事例紹介

水力開発の主要な隘路である地域の合意形成に注目して、その要となる地域貢献の要素と貢献事例について調査し取りまとめるとともに、事業者と地域が利益背反となる従来の関係から脱却し、地域が主体となって専門家や外部資本との協働で地域に公益をもたらす水力開発を推進するための考え方をとりまとめた。なお、本資料は公益財団法人河川財団による河川基金の助成を受けた研究成果（代表者井上素行）を利用している。

10.1 水力発電の価値および開発の隘路

（1）水力発電の価値

水力はCO₂や大気汚染物質の排出が非常に少ないクリーンなエネルギーである。太陽光や風力と異なり安定した発電が可能で、長期的な持続性や経済性に優れている。調整池式や貯水池式の水力は出力変動が激しい再エネ導入に対してシステムの安定にも寄与し、これからの我が国の電力供給に大切な役割を果たす再生可能エネルギーである。地域のくらしや経済への貢献、防災や環境の改善などと一体的に開発することによって多様な価値を創出することが可能である。しかし、このような水力の価値と可能性については十分に理解されておらず、総合的に価値を生かすための方法論が確立されていない状況である。

（2）水力開発の隘路

全国の水力開発経験者および水力に強い関心を有する個人を対象として、水力開発の隘路および解決方策に関するアンケート調査を行った（「再生可能エネルギーとしての水力の価値の評価と開発推進方策に関する調査研究（平成26年度河川財団助成研究）」¹⁾）。

アンケート調査において水力開発が十分進まない理由について尋ねた結果、主な要因として「経済性が低い」、「地元の合意が得られにくい」および「総合的な水力開発の推進戦略・推進体制が不十分」があげられた。また、「規制緩和」、「支援制度・水力利用技術」および「ダム式水力」についても様々な課題があることが明らかになった。

特に、水力開発の地元合意については回答者の約2/3が水力開発が進まない理由にあげており、地域の共有財産である河川水を発電利用する際の大きな課題となっている。対策・要望の主な内容は以下のとおりであった。

1) 地域貢献

地場産業や観光振興等による地域の活性化・持続的な収益につながる地元のメリット、災害時の電気供給等の防災・減災面での地元への貢献、地域と共生する地域参加型の水力開発事業スキームなどが不足している。

2) 環境との調和

国・自治体等による支援・調整、漁協や用水組合、住民等の地域社会との調和、自然環境の保全対策などが不十分である。

3) 水力の価値の理解と活用

水力の電力価値や地域貢献の先進事例の理解・活用、地元の推進リーダーの育成、地域の問題や要望への事業者の対応力などが不足している。

(3) 隘路の解決に向けて

開発現場で生じている主な隘路は経済性と地元合意であるが、この背景原因を追究すると、水力の特性をふまえた総合的な開発戦略・推進体制と水力関係者への専門的な支援の弱さがある。さらに、これらの背景には、関連情報を分析し政策につなげるための専門家や研究者、実務者などからなる推進支援体制の弱さがある。これらを分析すると、図 10.1 に示す相互に関連する 4 つの主要な隘路に整理することができる。

今後、再生可能エネルギーとしての水力の優れた電力価値、環境価値、および社会的価値を生かして、永続的に地域と共存し、電力の安定供給に貢献するための水力開発を実現するためには、相互に関連している 4 つの隘路を総合的に解決する必要がある。

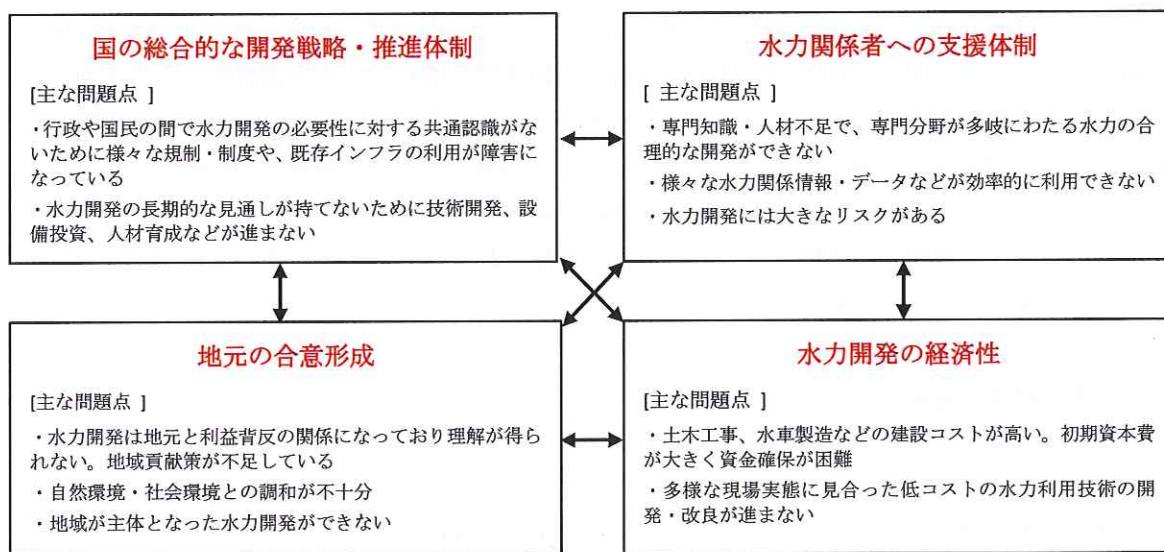


図 10.1 相互に関連している水力開発に係る 4 つの主要な隘路

10.2 制度・政策における地域貢献の要素

(1) 制度・政策における地域社会への貢献のねらい

発電設備等の設置、運用による地域社会への貢献については、これまでも国のエネルギー政策や地域政策に盛り込まれてきた。それらは、電源立地促進のための地元対策の考え方から、地域資源を活用した立地地域の活性化、すなわち再生可能エネルギープロジェクトの便益を立地地域が共有し、発電所と地域の持続的な共生を図る考え方に変化している。表 10. 1 は、これまでの主な制度・政策における地域社会への貢献の狙いを、経済的効果と社会的効果に分けて整理したものである。

第一次石油危機直後の 1974 年に創設された電源三法（「電源開発促進税法」「電源開発促進対策特別会計法」「発電用地域周辺施設整備法」）交付金は、非化石燃料電源として、原子力・水力・地熱の各発電施設の立地促進と運転の円滑化を図るために、立地地域の自治体に交付されるもので、当初は用途が公共施設等の整備事業等に限定されていたが、2003 年以降は、「電源立地地域対策交付金」として、地域振興や地域活性化に資する様々な事業に拡充されている²⁾。

2009 年創設の「グリーンニューディール基金」は、温暖化対策として、地域主導による再生可

表 10.1 地域社会とエネルギーに関わる国の主な制度・政策とその狙い

制度・政策	主管官庁	経済的効果	社会的効果
電源三法交付金 (1974～)	経済産業省	<ul style="list-style-type: none"> 産業振興施設の整備 地場産業の支援 	<ul style="list-style-type: none"> 公共用施設等の整備 地域の魅力向上 福祉サービス提供 環境維持・保全・向上 生活利便性向上 人材育成
電源地域振興事業 (1985～)	経済産業省	<ul style="list-style-type: none"> 産業育成ビジョン策定 マーケティング調査 技術導入 	<ul style="list-style-type: none"> 人材育成 地域活性化イベント
地域再生制度 (2005～)	内閣府	<ul style="list-style-type: none"> 地域経済基盤の強化 地域再生計画・事業の支援 <ul style="list-style-type: none"> -地場産業創造 -地場産品のブランド化 -農水産物の6次産業化 -観光・宿泊施設の整備 	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーを活用したまちづくり 生活環境の整備 中山間地や農山漁村における地域活力の維持向上
グリーン電力証書需要創出 (2009～)	環境省	<ul style="list-style-type: none"> 住宅用太陽光発電のグリーン電力市場の形成・維持支援 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体・市民・企業の参加
地域グリーンニューデール基金 (2009～)	環境省	<ul style="list-style-type: none"> 地域の環境保全 <ul style="list-style-type: none"> -省エネ改修 -エネルギーインフラ整備 地域主導の自立・分散型エネルギーの導入 <ul style="list-style-type: none"> -風力・地熱発電の導入 売電収入の維持管理への還元 	<ul style="list-style-type: none"> 地域の環境保全 <ul style="list-style-type: none"> -公共交通機関の利便性向上 -廃棄物処理 地域主導の自立・分散型エネルギーの導入 <ul style="list-style-type: none"> -防災拠点となる公共施設等への再生エネ導入
地域創造施策 (2010～)	総務省	<ul style="list-style-type: none"> 地域資源の活用・事業化 <ul style="list-style-type: none"> -再生エネ事業化 -森林と林業再生 -農業再生と6次産業化 -歴史・文化等の観光資源化 地域内循環の促進 <ul style="list-style-type: none"> -地産地消 -地域ファンド, 市民出資 -企業・NPO等との協働 	<ul style="list-style-type: none"> 定住自立圏の形成 過疎地域の医療・交通の確保 人材育成・交流の促進 地域情報化の推進
地域主導による再生可能エネルギー等導入事業化推進 (2011～)	環境省	<ul style="list-style-type: none"> 地域資源や資金の活用・循環 地域経済と一体の持続的な低炭素事業の実現 	<ul style="list-style-type: none"> 地域主導の低炭素・循環・自然共生社会づくり 事業化組織・人材の育成
再生可能エネルギー発電事業による地域活性化 (2012～)	経済産業省	<ul style="list-style-type: none"> 事業収益性の確保 自治体施策ツールや地域資源の活用 	<ul style="list-style-type: none"> 地域整備や人的交流の促進
農山漁村への再生可能エネルギー導入推進 (2012～)	農林水産省	<ul style="list-style-type: none"> 農山漁村の地域資源の活用 地域主導の再生可能エネルギーの導入 地域への利益還元 6次産業化の促進 雇用・所得の創出 	<ul style="list-style-type: none"> 農林地等の適正な利用 農林漁業者等の参加 人材・後継者育成
分散型エネルギーインフラプロジェクト (2013～)	総務省	<ul style="list-style-type: none"> 電気と熱の分散型エネルギーインフラ整備による産業振興 FIT活用による利益の地域還元 	<ul style="list-style-type: none"> 災害に強いまちづくり 官民連携による地域活性化

能エネルギー導入を促進するための基金で、2011年以降は、東日本大震災被災地域の復興支援も含めて拡充されている。単に設備の導入を促進するだけでなく、エネルギーインフラ整備や売電収入による地域への経済的効果、防災拠点づくりなどの社会的効果も狙っている³⁾。

一方、2005年の「地域再生法」に基づく支援制度は、地域経済基盤の強化と住みよい生活環境の整備を図るために、地域が主体となっていく様々な事業を支援するもので、その対象に、再生可能エネルギー事業や省エネ事業も含まれている。さらに、2010年からの地域創造施策では、「緑の分権改革」⁴⁾を中心に、再生可能エネルギー等の地域資源を活用した地域活性化事業が進められている。

また海外でも、IEA水力実施協定が「水力発電と環境に関わるガイドライン」(2000年)⁵⁾において、水力プロジェクトの便益を立地地域が共有することの重要性を勧告している。さらに同協定は、各国の水力プロジェクトにおける地域との便益の共有事例を調べ、地域への主要な便益として、発電(地域への電力供給)、ダム機能(多目的ダム)、地域インフラ整備、地域産業振興の4つを挙げ、水力開発における地域社会への貢献の実例を示している⁶⁾。この考え方は、「発電所立地のための地元対策」ではなく、「発電所と地域との持続可能な共生策」を示している点が重要である。

地域主導で再生可能エネルギーを開発する場合には、事業リスクが低く導入が容易であることや、エネルギーインフラとして長期持続性が確保されることも重要な要素と考えられる。

(2) 地域社会への貢献の要素

上述した制度・政策等に関する調査結果を踏まえ、再生可能エネルギーの地域社会への貢献として検討する要素を、地域経済の活性化、地域インフラの整備、地域へのエネルギー供給、地域環境の保全・改善、地域社会の活性化、地域への定着の6つに分け、表10.2のように整理した。貢献内容は事業主体、開発の形態・規模および地域の特性によって異なるものになる。

表 10.2 地域社会への貢献要素

分類	貢献要素		分類	貢献要素	
I 地域経済の活性化	A	税・交付金等の収入	IV 地域環境の保全・改善	A	森林・生態系保全
	B	事業収益の地域還元		B	水環境保全
	C	投資・生産誘発, 雇用・産業創出		C	廃棄物削減・リサイクル
II 地域インフラの整備	A1	道路・公園等の整備, 土地の活用	V 地域社会の活性化	A	地域の魅力・知名度の向上
	A2	河川・水路・ダム湖等の整備		B	観光・レクリエーション・文化資源
	B	設備の防災機能		C	教育・研修・人材育成, イベント・交流
III 地域へのエネルギー供給	A1	事業所電力・公共施設・街路灯・鳥獣害対策・農業電化・充電インフラ・非常用電源等	VI 地域への定着性	A	事業リスクの低さ, 導入の容易さ
	A2	熱利用など		B	事業の長期持続性
	B	自家発電, 局地配電・単独供給などによる地域への電力供給			

10.3 水力発電の地域貢献事例

水力発電は地域社会に対して様々な社会的・経済的価値をもたらすことが可能であり、具体的な事例を以下に示す。使用したデータは2014年時点のものである。

(1) 農協による小水力発電

－売電収益による農村の振興（中国地方の農協等）⁷⁾－

1) 概要

自家用発電を除いて電力会社以外には発電事業が認められなかった時代に、1952年の「農山漁村電気導入促進法」の下で、中国地方の農業協同組合や電化農業協同組合を事業主体とする小水力発電の売電事業が活発に進められ、約20年間に90ヵ所計12.2MWの小水力発電所が建設された。これは、農業電化のためではなく、地域の資源である水力を利用して、その売電収益を農協等の活動を通じて地域に還元し、農村地域の発展を図ることが目的で、中国電力株式会社出身の織田史郎氏が、小水力発電の計画から機器製造、建設、保守までを一貫して行うイーモル工業株式会社を1950年に設立し開発を主導した。

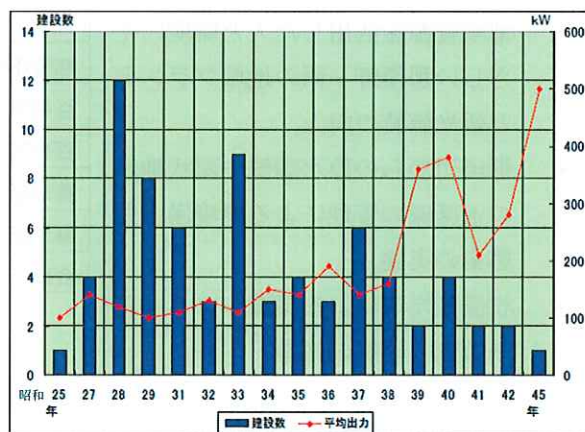
2) 事業による地域への貢献

- 発電所建設により、建設期間中1ヵ所当たり数百人の雇用が発生。
- 発電所運転要員は交代制で農家が兼業。
- 売電収益は農協による農業施設整備等を通じて地域経済に大きく寄与。

3) 課題と今後の展開

多くの発電所が建設開始から50年以上経過しており、設備の老朽化、維持管理費用の増大、豪雨・土砂災害からの復旧などで採算性が悪化した発電所は廃止されたが、現在も半数以上の53発電所が運用されている。

今後これらの発電所を長期的に維持・運用していくためには、低コスト維持管理技術の開発や改修・更新の財政的補助等の支援制度が必要である。



中国地方の小水力発電所建設の推移
(沖武宏「中国地方の小水力発電」)



所在地	広島県東広島市
河川	太田川水系関川
事業者	志和堀電化農業協同組合
発電方式	水路式
有効落差	25.76m
最大使用水量	0.5m ³ /s
最大出力	95kW
運転開始	1954.10

志和堀発電所の建屋および諸元

(2) 土地改良区による小水力発電

— 売電収益の農家への還元（那須野ヶ原土地改良区連合）⁸⁾ —

1) 概要

那須野ヶ原は栃木県北東部の那珂川と箒川に挟まれた約 4 万 ha の広大な複合扇状地であり、1995 年に総延長 340km の那須野ヶ原用水が完成。農業用水路を利用した発電事業は 1992 年から開始され、2013 年 8 月現在、5 発電所・合計出力 1MW が稼働している。売電による事業収益は、受益農家の賦課金軽減、施設の維持管理費軽減、用水路や遊水地の整備等に充てられている。将来的には、EV 充電インフラの設置や、畜産廃棄物のバイオガス化利用による環境負荷低減を目指した実証試験等も行っており、地域資源の活用や環境保全への取り組みにより、地域の知名度と観光価値の向上や、環境・エネルギー教育・研修にも貢献している。

2) 事業による地域への貢献

- 売電収益を農家や土地改良施設整備に還元。
- 地域資源を活用した人と環境にやさしい那須野ヶ原の地域ブランドと観光価値の向上。
- 那珂川からの取水調整や扇状地内の水循環の管理による環境保全型農業の実践。
- 設備見学等による環境・エネルギー教育・研修の推進。

那須野ヶ原土地改良区連合の水力発電所

発電所名	有効落差 (m)	最大使用 水量(m ³ /s)	最大出力 (kW)	運転開始
那須野ヶ原	28	1.6	340	1992.3
百村第一	2	2.4	30	2006.4
百村第二	2	2.4	90	2006.4
墓沼第一	29	1.6	360	2009.2
墓沼第二	16	1.6	180	2009.2
合計	—	—	1000	—

3) 課題と今後の展開

那須野ヶ原用水路の未利用落差を利用した採算性が見込まれる小水力賦存量は、那須塩原市の 2010 年度の調査で 560 カ所、5.9MW、31GWh と推定され、今後、電力の自家消費とともに、公共施設や農産物直売所、EV 充電スタンド等への電力供給も可能とするさらなる小水力開発が期待される。

従属発電については、水利使用許可手続きの簡素化や、売電収入を発電施設だけでなく土地改良施設全体の維持管理にも充当できるなど、規制緩和が進んでいる。しかし現在、農水省補助事業では、売電収入がこれらの支出を上回る場合、国庫返納が義務付けられており、今後さらに従属発電を拡大するには、売電収入を地域のその他の公益的事業にも還元できるようにするなど、一層の規制緩和が望まれる。



那須野ヶ原発電所の建屋

(3) 自治体による小水力発電の普及啓発

—小水力による町おこし（山梨県都留市）^{9) 10)}—

1) 概要

山梨県都留市は、2004年4月の市制50周年を記念して、水のまち都留市のシンボルとして、豊富な水資源を活用した小水力発電の普及・啓発を図ることを目的に、市役所を供給先とする水車方式による小水力発電所を市民参加型で導入することとした。市内を流れる相模川水系家

山梨県都留市の家中川小水力市民発電所

発電所名	有効落差 (m)	最大使用水量(m ³ /s)	最大出力 (kW)	水車	運転開始
元気くん1号	2.0	2.0	20	開放型下掛け水車	2006.4
元気くん2号	3.5	1.0	19	開放型上掛け水車	2010.5
元気くん3号	1.0	1.0	7.3	開放型らせん水車	2012.3
合計	—	—	46.3	—	—

中川に、2006年以降、出力7.3～20kWの異なる3タイプの水車発電機を設置した。大きな効果として、3タイプの運用や維持管理等の実績データを公開することにより、全国の自治体や民間企業等の関心を集め、毎年多数の見学者が来訪し、「小水力発電のまち」というイメージを定着させたことが挙げられる。その他、設備建設費の市民公募債による調達や、グリーン電力証書の販売などの先進的取り組みも、市の知名度を高めている。

2) 事業による地域への貢献

- 「小水力発電のまち」としての都留市の知名度・魅力の向上。
- 運用実績データの公開や設備視察・見学等による環境・エネルギー教育・研修の推進。
- 自治体や学術機関との連携、研究会の開催等による人材交流・育成の促進。
- 自家発電による市役所の電気代削減および余剰電力の売電収入。



開放型下掛け水車「元気くん1号」

<http://www.city.tsuru.yamanashi.jp>

(3) 課題と今後の展開

家中川は、農業用水に利用されるため流量の季節変動が大きく、また生活河川としてゴミの流入も多い。このため、「元気くん1号」には、流量変動に応じた効率的な発電をするための可変速水車や、自動除塵システムなどが導入されている。1号はすでに約8年の運転実績があるが、タイプの異なる2号と3号を含め、さらに長期間の運転・維持管理を実証することにより、今後のわが国における小水力発電の普及に大きく貢献することが期待される。また、「小水力発電のまち」として確立した都留市の地域ブランドを、地域の発展につなげていくことも重要な課題である。

(4) 特定電気事業による集落への電力供給

— 過疎地域の生活を支えるエネルギーインフラ（住友共同電力）¹¹⁾ —

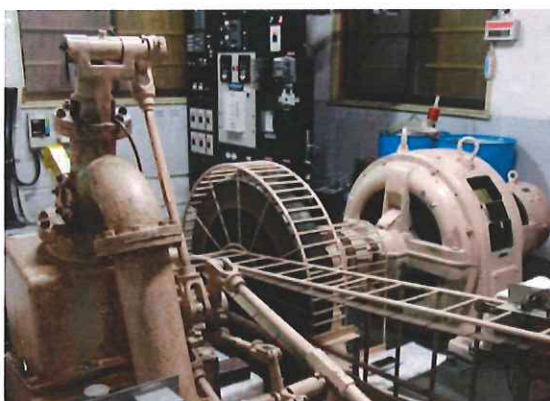
1) 概要

愛媛県新居浜市別子山地区(旧・別子山村、現在の人口約 200 人)では、古くから別子銅山事業に伴う地域電力供給が行われており、1957 年から森林組合により、電力会社の系統とは独立した約 1MW の小水力発電による地域電力供給が行われ、2003 年以降は住友共同電力株式会社により、特定電気事業として継続されている。水車発

住友共同電力の特定電気事業用水力設備

発電所名	別子山	小美野
発電方式	水路式	水路式
運用開始	1955.1	1959.10
有効落差(m)	103	96.9
最大使用水量(m ³ /s)	0.1	1.3
最大出力(kW)	71	1000

電機は、現在まで約 60 年間更新されることなく、低コストかつ適切な維持管理により安定して運用されてきた。運用する住友共同電力は、別子山地区の設備以外に、水力・火力計約 659MW の発電設備を保有し、新居浜地区の住友グループ企業への電力供給や、電力会社等への卸供給も行っている電気事業者であり、別子山地区の事例は、地産地消的な地域電力供給というよりも、長年行ってきた小集落への電力供給を特定電気事業として継続しているもので、他に例のない珍しい事例といえる。



別子山発電所の建屋(上)と水車発電機(下)

2) 事業による地域への貢献

- 別子山地区という山間の集落に、約 60 年にわたり安価で安定した電力供給を継続し、現在は過疎化が進む同地域にとって、不可欠のエネルギーインフラとなっている。

3) 課題と今後の展開

別子山地区の水車発電機は約 60 年にわたって運転されてきたが、今後設備の大規模な更新が必要と考えられる。これまでと同様に小水力発電による地域電力供給が継続されるかどうかは、単に事業の採算性だけでなく、過疎化による電力需要の減少、国のエネルギー政策の見直し、2016 年度からの電力小売り全面自由化の影響等、様々な不確実な要因が関係する。この地域において、小水力発電の低コストで安定した電力品質、環境適合性、長期持続性などの価値が総合的に評価され、事業の継続につながるかどうか注目される。

(5) 電力会社によるダム湖の観光利用への協力と環境保全

—地域の観光資源と自然環境に配慮した再開発（中国電力）^{12) 13)} —

1) 概要

中国電力株式会社の帝釈川ダム周辺は、比婆道後帝釈国定公園第1種特別地域内に位置し、ダム湖は釣りや観光船などに利用され、地元の貴重な観光資源となっている。流域から生活排水や畜産排水などの汚濁負荷があるため、ダム湖の水質は必ずしも良好とは言えず、中国電力は水質の継続的なモニタリング等により水質保全に努めている。また、2003～2006年の新帝釈川発電所新設工事(4.4MW→11MWへの再開発とダムの大規模改修)では、地元の湖面利用に配慮して利用水深を設定し、また構造物の色や形状を周辺景観と調和させるなど、地元や環境に配慮して事業を推進した。技術的には、完成後約80年と老朽化した既設帝釈川ダムの堤体の構造補強と洪水処理能力の向上によるダムの再生が主な特徴である。

2) 事業による地域への貢献

- 地元の貴重な観光資源であるダム湖の利用、および周辺環境に配慮した再開発により、観光価値の維持と自然環境保全を図った。
- 発電所が立地する広島県神石高原町には電源立地地域対策交付金が交付され、町道の舗装工事や法面保護工事等に充当されている。

新帝釈川発電所の計画諸元

	既設	再開発後	
	帝釈川	新帝釈川	帝釈川
発電所名	帝釈川	新帝釈川	帝釈川
発電方式	ダム水路式	ダム水路式	水路式
流域面積(km ²)	213	120	92
有効落差(m)	95.2	129	95.2
最大使用水量(m ³ /s)	5.7	10	3.1
最大出力(MW)	4.4	11	2.4
運用開始	1924	2006.6	2006.6



帝釈川貯水池(神竜湖)
水源地環境センター「ダム湖百選」



帝釈川ダム

3) 課題と今後の展開

ダム湖を観光資源として活用している事例は全国に数多くあり、水力発電の重要な社会的価値の一つである。帝釈川ダムの場合は、水力発電の長期持続性と環境保全によって、ダム湖の観光利用が可能になっている。しかし、流域からの汚濁負荷の流入による水質悪化は、ダム管理者だけでは解決できないため、行政や地域住民と連携した継続的な取り組みが必要である。

また、水力発電の長期持続性という点で、本事例の再開発のように、既存の堤体を活かしつつ、

異常出水への対応と耐震強化を図った先進的技術は、今後の既設ダムの有効活用や長寿命化に大きく貢献することが期待される。

(6) 電力会社による国の治水ダムと連携した洪水対策

— 発電用ダムの空き容量を治水に活用（東京電力）¹⁴⁾ —

1) 概要

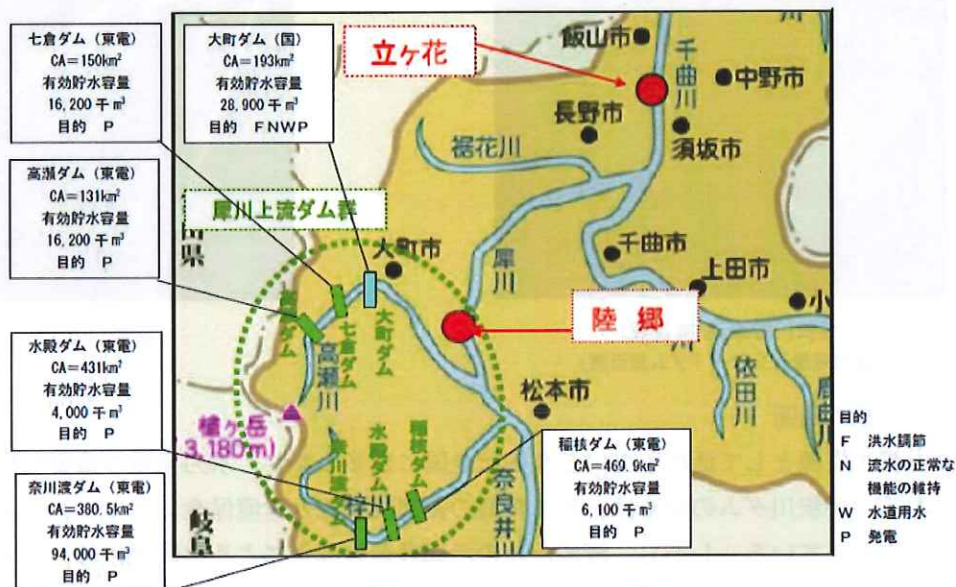
東京電力株式会社は、信濃川水系高瀬川に高瀬ダムと七倉ダム、同水系梓川に奈川渡ダム、水殿ダム、稲核ダムの、計5ヵ所の発電専用ダムを保有しており、これらのダムには本来治水機能は義務付けられていない。近傍で治水機能を持つのは、高瀬川中流の国土交通省の大町ダムのみである。しかし、2006年7月の豪雨により下流の犀川で氾濫の恐れが生じた際、河川管理者からの要請を受け、東京電力は大町ダムと連携して、発電用5ダムの空き容量を利用した特例的な洪水調節運用を行い、犀川での氾濫を防いだ。こうした特例的な運用には当然限界があるが、発電用ダムでも、運用の範囲内で、ある程度の治水効果を発揮できるという実例である。

2) 事業による地域への貢献

- 信濃川水系犀川の出水時に、上流域にある本来は治水義務のない東京電力の発電用ダム（混合揚水式）の空き容量を利用して、国の治水ダムと連携した特例的な洪水調節運用により、下流危険箇所（陸郷地点）での氾濫を防いだ。

3) 課題と今後の展開

発電用ダムの治水機能は、再生可能エネルギーの中でも水力発電だけが持つ重要な社会的価値である。近年の異常出水の増加により、今後ますます発電用ダムの治水機能の活用への期待が高まることが予想される。一方で、水資源の有効活用の観点から、治水ダムの発電への活用など、貯水容量の多面的活用が期待される。



ダム(■)および水位観測所(●)位置図

水源環境センター「ダム・堰危機管理業務顕彰」平成15~21年度

(7) 電力会社による被災水力発電所の復旧と河川の再生

—水力発電所を核とする地域防災と河川の再生・維持（九州電力）¹⁵⁾—

1) 概要

九州電力株式会社は、宮崎県の耳川水系に7ヵ所計340MWの水力発電所を保有しているが、2005年9月の台風14号による豪雨で同水系の発電所・集落などに甚大な被害が出たため、同社は、宮崎県・漁業者・地域住民と連携して、被災した発電所の復旧と防災、および出水時のダムの通砂運用を柱とする総合土砂管理による地域の安全・安心確保と、多様な生物との共生に配慮した耳川の上流～河口域までの再生を目指した事業を、2007年から開始した。現在は、通砂運用のためにダムの改造を実施中であり、2016年以降に運用開始予定である。この事業は、単に電力会社の発電所の復旧に止まらず、地域の防災や流域の環境保全を含めた先進的取り組みであることが注目される。



耳川水系の水力発電所

(加来他：平成23年度中小水力発電技術に関する実務研修会，2011.7.)

発電所	ダム高さ (m)	有効落差 (m)	最大使用 水量(m ³ /s)	最大出力 (MW)	運転開始
上椎葉	110	144	73	93	1955
岩屋戸	58	80.4	75	51	1942
塚原	87	100.1	74.7	63	1938
諸塚	59	226.4	27	50	1961
山須原	29	40.8	120	41	1932
西郷	20	27.3	120	27	1929
大内原	26	16.2	120	16	1956
合計	—	—	—	340	—

2) 事業による地域への貢献

- 洪水対策の強化による地域住民の安全・安心確保。
- 地域社会にとって重要な河川である耳川の総合土砂管理による河川の機能の再生。
- 発電所が立地する宮崎県日向市、椎葉村など4市町村には電源立地地域対策交付金が交付され、町道や林道の舗装工事、公共施設の整備、公園整備など、地域の様々な事業に活用されている。

3) 課題と今後の展開

本事業のように、水力発電所を核として、河川の上流から河口、海岸域までの再生を目指す本格的な取り組みは、わが国初の試みである。ダムの通砂運用、森林・斜面の保全、河川生態系の保全など、個別には他の地域でも先例はあるものの、技術的、経済的な課題も多く、それらを解決して河川の再生につなげていくためには、事業者と地域社会が連携した長期的かつ継続的な取り組みが必要と考えられる。

(8) 民間企業による環境と調和した小水力発電

— 地域環境保全と観光・産業振興（日本工営）¹⁶⁾ —

1) 概要

日本工営株式会社は、鹿児島県伊佐市にある観光名所「曾木の滝」の落差と流量を利用した国内初となる460kWの小水力発電事業に参入した。事業の実施に当たり、伊佐市と協定を結び、曾木の滝の観光振興や発電所周辺の環境保全に配慮する他、伊佐市が進める地域資源を活用した学習型観光・教育啓発活動にも協力することとしている。具体的には、滝の景観を守るために河川流量が少ない時に発電取水を制限する他、竣工後に工事用道路を公園の遊歩道として提供し、伊佐市の環境教育施設への展示や地域の自然環境の紹介、明治時代に建設された旧曾木発電所遺構の保全などに協力している。また、建設工事や保守業務等の地元企業への委託により、地域の雇用・産業の創出にも貢献している。

2) 事業による地域への貢献

- 地域の観光名所である曾木の滝の景観を守るため、河川流量が $20\text{m}^3/\text{s}$ を下回った場合は発電を停止。
- 伊佐市が進める旧発電所遺構等と組み合わせた学習型観光・教育啓発活動への協力。
- 車椅子の利用者も滝の観光ができるように、工事用道路を遊歩道として整備。
- 発電所建設や機器の設置、運開後の保守業務等を地元企業に委託し、地域の雇用・産業創出に貢献。

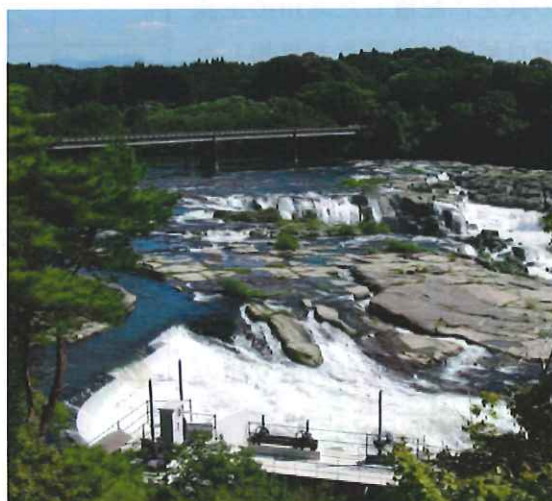
3) 課題と今後の展開

民間企業が自治体と連携して主導する、地域の観光振興や自然環境保全に配慮した公益的小水力発電事業の一つのモデルとして注目される。旧曾木発電所設備の一部の活用と固定価格買取制度(FIT)による売電収入で事業性を確保しているが、維持管理コストの低減や観光振興等を通じた地域社会とのつながりの強化によって、FIT 期間終了後も長期的に地域貢献型発電事業として定着することが期待される。

新曾木発電所

所在地	鹿児島県伊佐市
河川	川内川水系川内川
事業者	新曾木水力発電(株)*
発電方式	水路式
有効落差	11.6m
最大使用水量	$5.5\text{m}^3/\text{s}$
最大出力	460kW
運転開始	2013.4

* 日本工営株式会社が100%出資する発電事業会社



曾木の滝(奥)と新曾木発電所の取水口(手前)

(9) 温泉事業者による小水力発電

— 売電収益による温泉町の復興（つちゆ清流エナジー）¹⁷⁾ —

1) 概要

福島県土湯温泉町は、東日本大地震による原子力発電所事故の風評被害により、旅館の休廃業など地域の衰退の危機に瀕したことから、町全体で復興再生に取り組み、その中核事業として、地域資源である水力や地熱を活用した再生可能エネルギー発電を、2015年度から行っている。既設の砂防堰堤を利用した水力発電事業は、地元が設立した SPC が運営し、売電収益は土湯地区のまちづくりに活用される予定である。地域が主体となった地域の発展のための事業であることから、地元の合意形成や許認可手続きは円滑に進められ、また、推進体制の迅速な構築や、過去に国交省が行った水力発電事業の可能性調査結果の活用、建設資金への国の補助金の活用等により、事業の経済性も高められている。

2) 事業による地域への貢献

- 地域主体の再生可能エネルギー事業により、地域の活性化、雇用・産業創出に貢献。
- 発電設備を利用した環境・エネルギー体験学習による交流人口の増加、地域の知名度の向上。
- 温泉熱を利用した農水産物の栽培・養殖事業（実証試験中）。
- 電気バス導入や再生可能エネルギーの地産地消など、環境保全と防災に取り組む先進的なまちづくり事業（構想中）。

東鴉川発電所

所在地	福島県土湯温泉町
河川	阿武隈川水系東鴉川
事業者	つちゆ清流エナジー(株)*
発電方式	水路式
有効落差	44.4m
最大使用水量	0.45m ³ /s
最大出力	140kW
運転開始	2015.4

* 地元の温泉組合や NPO 等が間接出資する発電事業会社

3) 課題と今後の展開

地域の温泉事業者ら地元の関係者が主体となり、地域の復興と発展を目的として実施された本事業は、推進体制や合意形成、資金調達などの事業スキームが、我が国の従来型の水力開発とは様々な面で異なっている。地元関係者の強い決意と知識の蓄積は目を見張るものがあった。一方で水力開発に関する専門知識・経験の乏しさが懸念材料の一つだったが、設計・施工を担う専門業者との密接な連携を図ったことで、事業を円滑に推進できた。今後、地域が主体となった地方創生に資する新たな水力開発のモデルとして、全国各地への展開が期待される。



東鴉川発電所の取水に利用した既設砂防堰堤

10.4 水力発電の地域貢献の可能性と課題

10.3 で紹介した地域貢献事例と 10.2 に示した地域貢献要素の関係をまとめると、表 10.3 のようになる。これらも参考に水力発電の地域貢献の可能性と課題を整理した。

(1) 地域経済の活性化

表 10.2 に示した貢献要素 A(税・交付金等)では、設備の固定資産税等が自治体の収入になる。また、出力 1MW 以上・年間発電電力量 5GWh 以上で運用開始後 15 年以上経過した水力発電は、「電源立地地域対策交付金」の対象となり、水力の場合は交付期間が最長 30 年と長く、立地地域とその周辺自治体への経済的貢献が大きい^{2) 18)}。

貢献要素 B(事業収益の地域還元)、C(投資・生産、雇用・産業)では、地域が主体となった取り組みや事業者が協力することによって貢献が可能となる。収益の地域還元については、単に発電所の収益金の一部を提供するのではなく、収益金を使って地域の伝統・文化の保存や環境改善、地域の未来を考える活動などを、地域と一緒に支援する取り組みに活用することが大切である。水力開発にあたっては、専門能力を最大限生かして、リスクが少なく採算性がよいものとし、地銀等の融資を最大限活用することが求められる。また、調査・設計や建設工事については最大限地元業者を活用して行うとともに、水力開発に関わる土木建築や水車発電機関係等の技術を地元に移転し、これからの水力開発とメンテナンスを地元中心で行えるようにすることが大切である。巡視点検や取水口の塵芥処理などのメンテナンスについても安易に自動化するのではなく、地元の高齢者の活用等によりトータルでの発電コストの低減と雇用の確保を目指すべきである。山間地域が衰退が進行する中で、水力開発が地元との共生を図るためには地域外の企業や金融機関等が行う事業においても B、C の貢献への配慮が重要である。

(2) 地域インフラの整備

貢献要素 A(道路・公園等、土地の活用、河川・水路・ダム湖等)では、水力開発に伴う工事用の仮設道路や将来の発電所の運転保守に必要な管理用道路を地元の林業や観光用に活用できるように配慮して建設すれば地域に大きな貢献を果たす可能性がある。また、ダム湖や水路の巡視路などは、IV. B(水環境保全)、V. B(観光・レクリエーション・文化資源)との関連で、公園や遊歩道等への利用が考えられる。ダム湖では、水力発電設備の周辺を含めて地域のインフラとして利用できるようにしている実績も多い¹²⁾。既存水力発電所の増出力などの再開発にあたっては、設備の安全性の向上、河川環境との調和を図るとともに、地域の特性をふまえて発電所と地域の持続可能な共生策を考える機会とすべきである。

貢献要素 B(設備の防災機能)では、本来治水機能が義務付けられていない水力発電用ダムでも運用によって、出水時に洪水調節効果を発揮し、渇水時に下流への利水補給等に貢献することが可能である¹⁹⁾。このことは、近年地球温暖化の影響によって洪水や渇水現象が激甚化する傾向にある中で、下流域の防災・減災のために万が一の場合は発電用の貯水池を総合的に活用することが望まれる。このためには、ダムを弾力的に運用するための出水予測技術、運用システムの高度化や制度の改善が必要である。また、洪水時に上流域から流出する土砂をダムで適切に制御する技術と制度が必要である。土砂をダム貯水池に貯め込まずに下流へ流す運用をすれば、堆砂によるダムの寿命が延伸するとともに、ダム上流の河床が上昇することによる氾濫を防止し、下流の河

表 10.3 水力発電による地域貢献と貢献要素の関係

カテゴリー	貢献要素	好 事 例			事例 No.
		概 要	地 域	事業主体	
地域経済の 活性化	事業収益の 還元	売電収益を土地改良施設の維持管理費や受益農家の賦課金軽減に充当	栃木県 那須塩原市	那須野ヶ原土地改良区連合	(2)
		売電収益を温泉町のまちづくり事業に活用	福島県 土湯温泉町	つちゆ清流エナジー (株)	(9)
	地域雇用の 創出	地域による小水力発電事業の運営保守	福島県 土湯温泉町	つちゆ清流エナジー (株)	(9)
	地域産業振 興	「農山漁村電気導入促進法」で開発された小水力の売電収益により農業振興に貢献	中国地方	電化農業協同組合等	(1)
		地元の重要な観光資源であるダム湖の環境保全や貯水位の安定化に貢献	広島県比婆郡	中国電力(株)	(5)
		地元の重要な観光資源である滝の景観に配慮した取水運用で観光振興に貢献	鹿児島県 伊佐市	新曾木水力発電(株)	(8)
地域インフ ラの整備	防災機能	国交省の多目的ダム治水容量と発電用 5 ダム空き容量を活用して下流の氾濫防止に貢献	長野県 千曲川	東京電力(株)	(6)
		水害で被災した発電所群の水系総合土砂管理により河川の洪水・土砂災害対策を強化	宮崎県 耳川	九州電力(株)	(7)
地域へのエ ネルギー供 給	単独供給	水力発電で過疎地の集落にかけがえがない安価な電力を特定供給	愛媛県 新居浜市	住友共同電力(株)	(4)
地域環境の 保全・改善	水環境・景観 保全	ダム周辺が国定公園内に位置することから構造物の景観やダム湖の水質保全に配慮	広島県比婆郡	中国電力(株)	(5)
	河川環境保 全	発電所群の水系総合土砂管理により河川の上流～河口までの環境・生態系の再生を図る	宮崎県 耳川	九州電力(株)	(7)
地域社会の 活性化	地域資源の 創出	市民参加型の小水力発電に先進的に取り組む自治体として地域の魅力・知名度を向上	山梨県 都留市	都留市	(3)
		地域が主体となった地域の復興・発展のための小水力開発のモデル事業として全国に発信	福島県 土湯温泉町	つちゆ清流エナジー (株)	(9)
	地域交流促 進	自治体が運営する小水力発電設備の視察・教育・研修	山梨県 都留市	都留市	(3)
		土地改良区が運営する農業用水を利用した水力発電設備の視察・教育・研修	栃木県 那須塩原市	那須野ヶ原土地改良区連合	(2)
		地元 SPC が運営する小水力発電設備視察・教育・研修	福島県 土湯温泉町	つちゆ清流エナジー (株)	(9)
地域への 定着	事業の持続 性	農協等により 1950～75 年に開発された約 90 の小水力のうち現在も 53 ヶ所が稼働	中国地方	電化農業協同組合等	(1)
		約 60 年にわたり安価で安定した電力供給を過疎地の集落に継続	愛媛県 新居浜市	住友共同電力(株)	(4)

床環境の回復や堤防・橋脚の侵食防止、さらに海岸侵食を緩和することにもつながる²⁰⁾。また、災害発生時に、ダムや水力発電所の監視・通信システムを災害情報の提供に利用することや、管理用道路を物資の輸送に利用することも考えられる。また、Ⅲ. A1(地域電力需要)との関連で、災害時等の非常用電源としての貢献が考えられる。農水省は、停電時に自立運転可能な小水力発電による重要施設への電力・熱供給や、マイクロ水力発電による避難時・停電時の安全確保、緊急車両(EV)への充電機能の確保など、いくつかのモデルを設定して、非常用電源として利用するための課題と解決策を検討している³⁰⁾。現状では、需要地に近い水路等に設置される小規模水力発電設備にそのような役割が期待されているが、今後は更に、ディーゼル発電機等の通常の非常用電源に比べてリスク管理面(故障や燃料不足への対応等)での効用や系統連系から単独供給への切り換えに要するコストなどの課題を総合的に捉えて、水源地域への貢献策を検討する必要がある。

(3) 地域へのエネルギー供給

ここでの「地域供給」とは、分散型電源・熱供給源などの「地産地消」への貢献である。

貢献要素 A1(事業所電力等)では、太陽光発電や風力発電は単独では出力変動が大きく、安定供給のためには蓄電池や他の電源との併用が必要であるが²¹⁾、水力は安定した発電が可能で制御性にも優れている。比較的消費電力の少ない街路灯などの電源や、災害時に避難場所となる道の駅などの非常用電源として、小水力発電が使われている例も見られる。

貢献要素 A2(熱利用など)では、水力は古くから水車小屋や農業水路のらせん水車などで粉ひきや脱穀などの動力源として利用されてきた歴史があるが、近年はほとんど見られなくなっている。熱利用については地熱発電やバイオマス発電において熱併給等が行われているが、水力についても電力供給源として利用するだけでなく、地域の特性をふまえて、直接、熱源として利用することが考えられる。水力による圧縮空気を用いて断熱条件で温熱・冷熱を作り、温室栽培や食料の保存に利用するとともに、圧縮空気のエアレーションによって水質の浄化や生物環境を改善する研究も行われている²²⁾。また、水力発電で水を電気分解し水素を製造・利用することも考えられる。

貢献要素 B(地域電力供給)では、かつては水力発電の電源地帯で局配用の設備が整備されていたが、近年では電力系統と配電網が整備されたことによってほとんどその機能は消滅している。近年、発電が不安定な太陽光や風力と、安定性が期待できる水力、地熱、バイオマスを組み合わせるスマートグリッドの研究が始まっており、貯水池を有する水力は発電の制御性と系統を安定化させる負荷追随性を有しているために魅力的な電源である。ただし、このようなローカルで需給バランスを考える場合は、供給の信頼性やコスト面での課題が残っている。

(4) 地域環境の保全・改善

貢献要素 A(森林・生態系)では、森林整備で発生する未利用間伐材等を有効利用するバイオマス発電では森林の保全に貢献することが可能になるが²³⁾、水力発電にとっても水源の涵養や土砂・流木の流出防止の観点から水源林の保全は有益であるため、事業者や地域の協力を得て積極的に水源林の維持管理や植林、水源地の環境保全などの形で地域に貢献することが大切である

24)25)。森林保全は地域環境の保全に止まらず、CO₂の固定促進による地球環境の保全という意義も大きい。

貢献要素 B(水環境)では、II. A2(河川・水路・ダム湖等の整備)との関連で、水力発電所周辺の水環境が改善される可能性がある¹⁸⁾。

貢献要素 C(廃棄物削減・リサイクル)では、大量に発生する鶏糞や建物の解体廃材、庭木の選定材などの廃棄物を利用するバイオマス発電が該当するが、水力発電では、ダム堆砂の掘削・浚渫土砂を建設材料等に利用することにより、川砂利や山砂利の代替資源として国土の環境保全に貢献している。その他、取水口のスクリーンに漂着した塵芥を除去することによって河川のごみ掃除を行っている実態がある。

(5) 地域社会の活性化

貢献要素 A(地域の魅力・知名度)では、発電施設そのものや、事業モデルの独自性・先進性などをアピールすることで注目され多くの人を訪れるようになる。

貢献要素 B(観光・レクリエーション・文化資源)では、自然環境が豊かな中山間地に設置される水力発電所では、自然・文化資源や周辺施設を活用したレクリエーション、スポーツ、エコツアー、ビュースポット等の提供の場として貢献可能と考えられる。これまで大規模水力はダム湖が環境資源として活用されることが多く、年間100万人以上の観光客が来訪する富山県の黒部ダムを始めとして、地域経済・社会の活性化に貢献している例も多い¹⁸⁾。

また、C(教育・研修・人材育成、イベント・交流)も、再生可能エネルギーに対する社会の関心が高いことから、環境教育や研修、イベント等の場としての貢献が可能である。

(6) 地域への定着

貢献要素 A(事業リスクの低さ、導入の容易さ)では、太陽光発電が設備の設置や資金調達が比較的容易で、開発のリードタイムが大規模集合型でも1年以内と短い、最近では景観破壊が問題となって開発が難航するケースが見られるようになっている。風力発電も陸上部では、低周波騒音や猛禽類のバードストライク、景観影響などの環境問題から開発が難航するようになっている。地熱発電は資源探査の不確実性や厳しい環境規制、地元温泉事業者の反対などで開発のリードタイムが10年以上と長い⁸⁾。また、建築廃材等を燃料とするバイオマス発電は、すでに原材料の国内流通量が限界に近く、海外からの輸入も法的規制があること、さらに今後は国内の木材利用との関係も懸念材料である。いずれの再生可能エネルギー発電も地域の環境影響と合意形成が導入の鍵になっている。水力発電は、河川の流量調査や地元の合意形成、許認可のためにこれまでは開発にかなりの時間を要しているが、既存の流量資料データを有効活用し、地域と一体になって地域に総合的に貢献する水力発電を目指すように変われば、開発はさらに容易になるものと考えられる。

貢献要素 B(事業の長期持続性)では、水力発電設備の実際の寿命が水車発電機50~60年、土木設備100年以上と長く、初期投資回収後も設備を継続して運用できることから長期的には非常に経済性が高く¹⁸⁾、他の発電方式に比べて長期的な持続性が高い特徴がある。

地域の共有財産である河川水を利用する水力開発は、地域の自然・社会環境と調和するととも

に低廉なエネルギーを生み出し、地域と地球の未来に永続的に貢献するものとなるように、地域自らが考え、水力の多様な価値を総合的に生かすように推進する必要がある。地域に不足している技術・知識・経験・資金などについては地域外の専門家や企業等と協働で事業を進めることも考慮すべきである。

このような認識を国レベルで共有し、省庁横断の連携体制で地域に貢献する総合的な水力開発を推進することが必要である。「エネルギー基本計画」では、原子力の推進についてのみ立地地域との共生が謳われているが、再生可能エネルギー発電についても地域との持続可能な共生について明記することが必要である。主な注目点は以下のとおりである。

- ① 利益を地域に還元し、地域の活性化に貢献する
- ② 地域の防災と環境の保全・改善に貢献する
- ③ 水力発電の長期持続性を確保する維持管理
- ④ 既設水力施設の性能を高め、設備の安全と河川環境の改善、地域活性化に貢献する再開発
- ⑤ ダム貯水容量の柔軟かつ多面的な活用

10.5 地方創生に資する水力開発の考え方

我が国の水力開発は、自然・社会環境の変化に対する合意形成の難しさなどから、技術的に可能な地点は多くあっても実際に開発できる地点は非常に限られていると考えられてきた。このような状況を打破し、水力の優れた電力価値、環境価値、社会的価値を総合的に生かすためには、地域と開発主体が利益背反の関係になっている従来型の水力開発から脱却する必要がある。

水力が低廉な電力の安定供給に貢献し、かつ地域から愛されるものとなるための水力エネルギー利用・地域の活性化・防災・環境改善を含めた新たな環境調和型の総合的な水力開発事業モデルと国民全体の共通認識が必要である。

(1) 地域社会に永続的に貢献する総合的な水力開発の実現に向けて

水力発電は地域の共有財産である河川水を利用するものであり、かつ設備の寿命が非常に長いために地域のインフラの一部として将来にわたって超長期に地域とともに歩み続ける特徴がある。このために、開発にあたっては地域の自然環境や暮らしの実態と調和がとれたものとなるように十分配慮することが必要である。水力開発の立地地点となる農山村地域では、農林水産業が衰退して人口の減少や高齢化が進み、若い世代の雇用の場が確保できない状況になっている。このため、地域の文化や伝統を継承し、地域の将来を見通すことが非常に難しくなっており、水力の開発にあたっては地域に永続的に貢献する新たな役割が求められるようになっている。

1) 地域貢献の充実

設備の形態や規模、それぞれの地域の実情などによって異なるが、水力の売電収益や地場産業育成による地域経済の活性化、水力開発に伴うインフラ施設の整備や維持管理費低減、地域へのエネルギー供給、治水機能の充実、河川環境の改善、観光資源の充実、さらに、収益を地域の伝統・文化の継承や地域の将来像を模索する活動への支援などがあげられる。このために、それぞれの地域の特徴を生かした水力開発を地域の問題として捉え、地域の関係者が主体となって公益をもたらす取り組みを推進する。「地域が主体となった水力開発」は地域単独の開発だけでなく地域外の関係者と協働で取り組む事業を含んでいる)

2) 自然・社会環境との調和

これからの水力は長年に亘る設備の運用・保守の経験や技術の蓄積を生かして、地域の自然・社会環境に調和した持続可能なものとして安価でクリーンな純国産エネルギーの増大に寄与する必要がある。このために、地域の住民や漁協なども事業に参画し、行政・研究者等の協力を得て、環境の保全と水力利用の両立を図るための減水区間での維持流量の評価や、ダム式水力の活用と水質や堆砂に対する環境保全対策のあり方について自ら考え判断する活動を推進する。合意形成にあたっては地域の開発推進リーダーの存在と理解の促進が重要であり、そのための支援体制を構築する。また、これらの取り組みを通じて我が国の水源地域の環境を守る。

3) 地域が主体となった水力開発の推進支援

身近なエネルギーである水力の利用を広げるためには、それぞれの地域の特色を生かして水力以外の水利用、観光などの様々な用途と共存できるような開発を自治体や地域住民が主体となって推進することが重要である。しかし、地域の関係者には水力開発の経験や知識、資金が不足している場合が多い。このために、水力設備の規模や形態によって後述する技術・人材の支援体制や財政支援の仕組みを充実させるとともに、モデル地点での成功事例を全国大で共有化し地域が主体となった水力開発の事業スキームを確立する。

(2) 地域が主体となった水力開発の推進体制

水力発電を通じた地域貢献を実現するためには、地域の人々が自ら、エネルギーの利用と環境、そして地域のくらしと水力開発を結び付けて考え、地域のためのかけがえがない水力利用となるように取り組む必要がある。地域が水力開発に主体的に取り組むことによって様々な経済的利益と社会的利益を地域にもたらすことが可能になる。

前述したように地域の関係者は水力開発に関する知識・経験と技術が不足しており、事業リスクが高いことから資金の調達も難しく、地域への利益の還元を可能とする収益を確保することの不確実さ等の様々な課題がある。地域の人々による水力開発は自らの力だけでは不十分なことが多い。このため、開発全体にわたって、自然・社会環境との調和、経済設計、地域貢献等の課題を共に考え解決する専門家などの支援体制・協働事業化体制が必要である。また、地域と共生する水力開発を進める上で、事業の立ち上げ段階から自治体による公的な支援も必要である。水力資源を活用した地方創生事業の構成要素と開発ステップの関係の例を表 10.4 に示す。これは、最近の開発事例や各地の取り組み状況を分析して、開発地点の発掘から開発基本構想の策定、基本設計・許認可の取得、設備の建設、運用保守の各段階の構成要素の関わりを示したものである。個別地点ごとにそれぞれの特性をふまえて各要素が果たす役割を具体化する必要がある。図 10.2 に開発基本構想の検討体制例を示す。

自治体の支援に関しては、長野県飯田市が 2013 年 4 月に施行した「再生可能エネルギー導入による持続可能な地域づくりに関する条例」²⁶⁾ が、地域住民による地域の再生可能エネルギー資源の活用を自治体が支援する先進的な取り組みとして注目される。同条例は、地域の再生可能エネルギー資源を市民の総有財産と捉え、市民がそれらを優先的に利用する権利として「地域環境権」を保障し、市民による「地域公共再生可能エネルギー活用事業」を市が協働事業化して支援することを定めたものである。具体的には、法務・環境経済・金融・再生可能エネルギー等の専門家で構成する「再生可能エネルギー導入支援審査会」を設けて、事業計画の指導・助言や適格

表 10.4 水力資源を活用した地方創生事業の構成要素例

構成要素	開発ステップ				
	計画・調査・設計段階			建設段階	運用保守段階
	開発地点の発掘	開発基本構想の立案と実施判断	基本設計・許認可取得		
地元住民・地元企業	◎	◎	◎	◎	◎
自治体	○	○	○	△	△
地方創生水力ファンド	○	◎	○	○	△
発電事業者	—	—	○	◎	◎
専門家・研究者	◎	◎	◎	○	○
注)	地元のやる気、リーダーの存在 水力の価値の理解 全体観のある水力専門家による支援	採算性の確保 自然・社会環境調和 地域貢献策の議論 総合的な水力開発構想の立案、人材育成	地方創生に資する持続的な貢献 地元企業の育成・活用 行政の理解支援	大手の建設・メーカーは事業者として参加しノウハウを活用 地元企業の活用	地元の最大活用 計画～建設・運用保守、地域貢献のPDCAサイクル確立 モデルの全国展開

◎ 中心的な役割 ○ 重要な役割 △ 支援、監理

* 「地域が主体となった環境調和型水力開発研究会（代表者京都大学井上素行）」作成資料

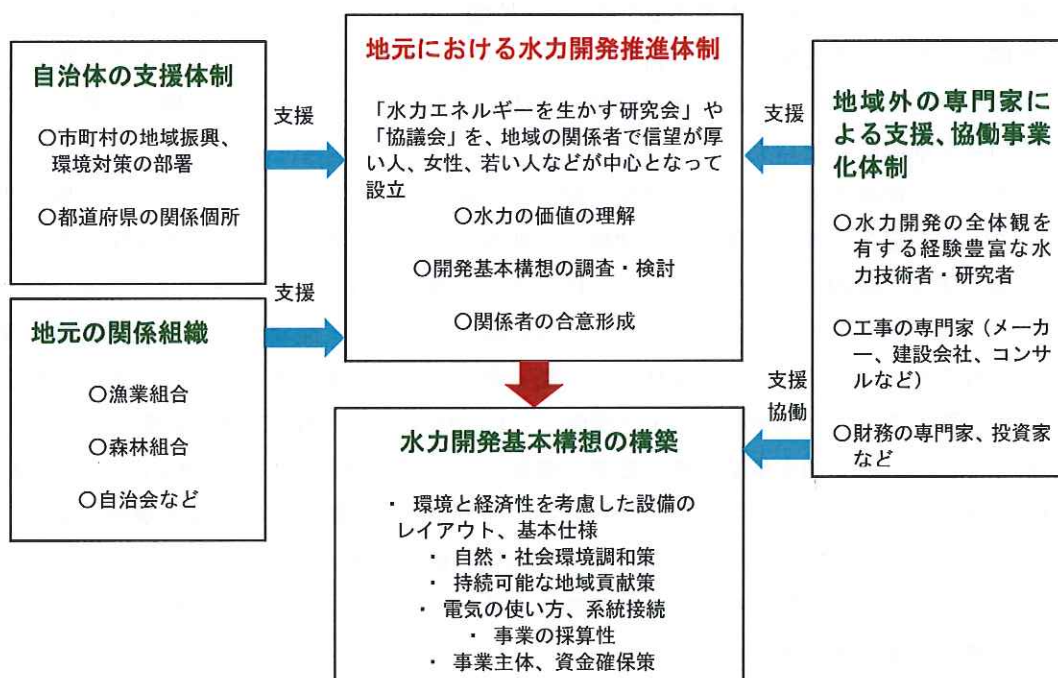


図 10.2 水力の多様な価値を生かす開発基本構想の検討体制例

* 「地域が主体となった環境調和型水力開発研究会（代表者京都大学井上素行）」作成資料

性認証等を行うことや、基金を設けて事業化調査後の基本設計費用を補助することなどが規定されている。これにより、事業に対する公共的な信用付与が可能になり、金融機関による融資など資金調達の安定化や許認可手続き等の円滑化が期待される。栃木県は、2012年11月に計画が認

定された「地域活性化総合特別区域計画」²⁷⁾において、地域の活性化を図るため、総合特区における規制の特例措置等を活用し、農業用水路水利権協議の簡素化や主任技術者要件の緩和により小水力発電事業の促進を目指している。また、長野県では部局を横断して「地域密着型小水力発電事業」²⁸⁾を積極的に推進支援する取り組みが行われている。このように、各自治体で地域による水力開発を積極的に推進支援する活動が始まりつつある。

その他、栃木県が民間事業者に委託して、2013年5月から開始した県営寺山ダムにおける日本初の「ダムESCO事業」²⁹⁾は、BOT(建設・運営・譲渡)方式により、自治体と民間事業者の双方が利益を共有できる事業モデルの1つと考えられる。

(3) 地域が主体となった総合的な水力開発事業モデルの構築に向けて

水力開発地点の発掘から、計画策定、許認可申請、設計、施工、運用保守のすべての段階において、外部の専門家や企業と協働して地域が水力開発について自ら考え、地域に貢献する水力を実現するための総合的な水力開発事業モデルを構築する必要がある。このため、開発推進体制の構築、基礎資料の収集、現地の確認調査、設備計画の基本構想、自然環境の保全と地域貢献策の調査、合意形成のプロセス、建設コストの低減、運転保守管理体制の基本構想、事業の採算性の評価、事業主体と資金確保策、建設、運転保守などの水力開発全体のプロセスについて具体的な地点で課題解決のための実践研究を行う。

水力発電の計画は広範な専門分野にまたがっていること、また近年開発が進んでいなかったことから経験豊かな人材が乏しい現状にある。このため、電力、建設、コンサル、大学、行政、小水力推進組織等のOBおよび現役の実力者の力を結集して取り組む必要がある。

1) 開発地点の発掘段階

○ 開発推進体制の構築

地域の関係者による水力開発推進体制をつくる。最初は水力発電の勉強会や研究会の形でもよい。地域の人々に信望が厚い人、若い世代や女性層の参加を得て、水力発電の環境面、電力供給面、地域への貢献などの社会的な面での価値と可能性の理解を共有する。自治体の理解を得た協議組織ができれば様々な協力や支援を受けることも可能になる。

地元のやる気と推進リーダーの存在が不可欠であり、水力開発の多様な価値を理解している専門家が地域の理解啓発やリーダーの育成に支援する必要がある。

○ 開発地点の発掘

水源の涵養や土砂・流木の流出、斜面崩壊などに関連する流域の地形・地質、降雨や積雪などの気候条件、道路や堰堤などの既存インフラ、水利用・土地利用の状況、動植物、景観、地域の歴史・文化、規制による制約条件などを踏まえて、開発候補地点を発掘する。出力・設備利用率、災害リスク、系統連系などを考慮して採算性が取れる地点を選定するために、水力開発の全体観を有する専門家の支援が不可欠である。

2) 基本構想の検討段階

○ 現地調査

取水箇所、水路ルート、発電所・放水箇所、減水区間の河川の流況・動植物・景観・水利用、

上流域からの土砂や流木の流出、周辺の民家、地域のくらし・文化・歴史などを調査する。これによって、複数の発電所案の中から最適な発電所レイアウトを抽出する。

また、現地の関係者と協働で河川および周辺環境を調査し、水力開発による利水、治水、漁業、生態系、暮らしや景観への影響を考えるとともに、将来の水力設備を利用した観光資源の充実、建設やメンテナンス、発電収益の活用などを通じた地域産業・雇用の活性化などの地域貢献策について総合的な議論を行い、地域の自然・社会環境に調和した水力開発の在り方を検討する。

○ 水力開発基本構想の策定

環境と経済性を考慮した取水口、水路構造物、発電所、放水口などのレイアウトと設備の基本仕様、施工方法、系統接続、発電所の運転保守などに関する発電設備基本構想とともに、自然・社会環境保全策と地域貢献策の基本方針を立案する。地元の建設・製造業の活用、メンテナンスを考慮した簡素な設備、海外製品の導入と技術移転などのコスト低減策、河川や暮らしの環境保全と地域貢献、農業・観光などと一体的に捉えた開発など、総合的な水力開発の基本方針をとりまとめる。また、地域が主体となった持続可能な水力発電の事業主体と資金確保策を固めて、地域貢献を考慮した総合的な水力開発事業の採算性の評価を行う。事業主体には個人、漁協、農協、企業などの地元関係者が参加するとともに、開発の趣旨に賛同し地方創生を支援する外部企業、金融機関などの協働事業者（地方創生水力ファンド）を考慮する必要がある。そしてこれらについて関係者への合意形成を図る。これらの課題を合理的に解決するためには、地元の関係者と総合的な水力開発に知見を有する水力専門家、地方創生水力ファンドの三位一体の取り組みが必要である。また、このような取り組みを通じた次世代の人材育成が重要である。

3) 基本設計・許認可取得段階

○ 基本設計

計画地点の自然・社会条件と調和した合理的な設計・施工計画を策定する。低コストで地域の自然・社会環境と調和した総合的な水力開発を合理的に進めるためには、流域の水文特性や地形・地質、施設の設計・施工、運用保守、環境保全、許認可、系統接続、地域貢献・合意形成、資金調達などについて水力開発全体にわたる経験と専門知識が不可欠である。専門家の知識と経験をフルに活用して現場プロジェクトの全体を後押しする明確な支援体制の構築が必要である。これからの水力開発にあたっては、建設会社・メーカー・コンサルタント会社等も水力開発に事業者として参加し、設計・施工や環境・安全等に関するノウハウを合理的な水力開発の実現に生かすとともに、地元の建設会社や工事会社、コンサルタント、測量会社等の育成に貢献することが望まれる。

○ 許認可取得等

地球環境と国のエネルギーセキュリティに貢献する地域による地域のための水力開発を実現するための各種許認可や系統接続には、手続きに精通した専門家の支援とともに自治体による理解と積極的な協力・支援が重要である。

4) 建設段階

○ 工事の実施

地元の建設会社や工事会社等が主体となって建設工事を実施する。地元業者を育成するための支援が必要であり、大手の建設会社やメーカーなどは事業者として参画して地域に貢献することが望まれる。

○ 工事の管理

地域が主体となった発電事業者が工事の品質・安全・環境および資金の管理を適切に行うためには工事等の専門家による支援が必要である。

5) 運用保守段階

○ 運転保守

地域が主体となった運転保守管理体制について検討を行う。設備の点検保守や改良工事に高齢者や地元業者を積極的に活用するとともに、水力発電の建設から運用保守にわたる改善サイクルを回す方策を検討する。また、地域における電力関係会社などの既存の保守体制との連携についても検討する。

○ 地域貢献

地域が主体となった発電会社は、水力発電所の運転・保守・会計管理を行うだけでなく、地元の公益要望を把握し、収益の一部を地域に還元するなど、地域の活性化の取り組みを支援する地域貢献センター的な役割も果たす。

○ 総合的な水力開発モデルの展開と支援

成功モデルの全国への紹介や全国の水力開発の関係者への啓発や支援活動を実施する。

6) 全体を通じて

○ 水力開発に対する支援の在り方

モデル地点の実践研究を通じて、地域が主体となった水力開発に対する開発現場と行政への支援の在り方を検討する。個別地点の結果を全国で共有し、次期地点に生かすとともに、水力開発の制度・技術の改善提言につなげるための仕組みについても検討が必要である。

○ 水力開発の総合的な価値評価

地域が主体となった環境調和型水力開発における電力・環境・社会的側面の全体から見た総合的な価値評価基準について考察する。

以上

【参考文献】

- 1) 井上素行, 再生可能エネルギーとしての水力の価値の評価と開発推進方策に関する調査研究、河川財団助成研究報告書, 2015年 : <http://www.kasenseibikikin.jp/promotion/>

- 2) 電源地域振興センター：電源立地制度の概要，2010. 3.
- 3) 環境省：地域グリーンニューディール基金の創設，2009. 7.
- 4) 椎川忍：緑の分権改革，学芸出版社，2011.
- 5) IEA：Hydropower and the Environment, Implementing Agreement for Hydropower Technologies and Programmes Annex III, 2000.
- 6) IEA：Hydropower Good Practices: Environmental Mitigation Measures and Benefits, Implementing Agreement for Hydropower Technologies and Programmes Annex VIII, 2006.
- 7) 藤本稔彦・皆田潔・島谷幸宏：中国地方の小水力エネルギー利用に観る自然エネルギーに基づく地域づくりの思想，中山間地域研究センター，No. 8, 2012.
- 8) 農林水産省：「立ち上がる農山漁村」平成 18 年度選定事例.
- 9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：新エネ百選，2009. 6.
- 10) 経済産業省九州経済産業局：九州における環境・エネルギー・リサイクル産業の現状とビジネスモデル調査報告書，2011. 2.
- 11) 駒宮博男：小水力を核とした脱温暖化の地域社会形成，社会技術研究開発事業 平成 20 年度研究開発実施報告書.
- 12) 水源地環境センター：ダム湖百選，
<http://www.wec.or.jp/library/100selection/index.html>
- 13) 沖田俊治・吉岡一郎・市原昭司：新帝釈川発電所建設工事の概要，電力士木，No. 309, 2004. 1.
- 14) 水源地環境センター：大町ダム，高瀬ダム，七倉ダム，奈川渡ダム，水殿ダム，稲核ダム 平成 18 年 7 月豪雨時の直轄ダムと利水 5 ダムによる下流水位上昇の抑制，ダム・堰危機管理業務顕彰，平成 20 年度.
- 15) 加来睦宏・市丸義次・江藤公彦：耳川水系の災害と整備計画、並びに上椎葉発電所水車・発電機更新工事等の計画，設計，施工について，平成 23 年度中小水力発電技術に関する実務研修会，新エネルギー財団，2011. 7. 14.
- 16) 全国小水力利用推進協議会：新曾木発電所，小水力発電事例集 2013.
- 17) つちゆ清流エナジー株式会社：土湯温泉町東鴉川水力発電所事業概要，2015. 5.
- 18) 資源エネルギー庁：水力発電に関する研究会中間報告，2008. 7.
- 19) 水源地環境センター：ダム・堰危機管理業務顕彰，平成 15～21 年度.
- 20) Morris, G. L. and Fan, J. (Reservoir Sedimentation 研究会翻訳，角哲也・岡野眞久監修)：貯水池土砂管理ハンドブック，技報堂出版，2010.
- 21) 山家公雄：迷走するスマートグリッド，エネルギーフォーラム，2010.
- 22) 榎田真也，石田啓，富澤洋介，安田成夫，川崎秀明，開水路流れにおけるクロスフロー水車を用いた圧縮空気生産実験，ダム工学 17(2)，2007.
- 23) 山家公雄：再生可能エネルギーの真実，エネルギーフォーラム，2013.
- 24) 東京電力：尾瀬戸倉山林，森林認証 FSC 取得，2010. 2. 25.
- 25) 九州電力：社有林の適切な管理，環境アクションレポート，2008.
- 26) 長野県飯田市：飯田市再生可能エネルギー導入による持続可能な地域づくりに関する条例，2013. 3. 25.
- 27) 栃木県：「栃木再生可能エネルギービジネスモデル創造特区」総合特別区域計画，

2012. 11. 30 認定.

28) 長野県：地域密着型小水力発電事業の進め方,

<http://www.pref.nagano.lg.jp/ontai/kurashi/ondanka/shizen/susumekata.html>

29) 栃木県砂防水資源課：ダム ESCO 事業, 2012. 10.

30) 農水省「平成 23 年度災害対応バイオマス有効活用モデル策定調査事業」

http://www.maff.go.jp/j/biomass/saigai_taio/

[参考] 再生可能エネルギーとしての水力の価値

*平成26年度河川財団助成研究（代表者井上素行）による作成資料

価値の分類		内容
環境価値	CO ₂ 排出量	設備の製造・建設から運用、廃棄までを含めたライフサイクルにおいて、発電電力量当たりのCO ₂ 排出量が化石燃料発電に比べて極めて少ない低炭素電源であり、水力発電は再生可能エネルギー発電の中でも排出量が最少レベルである。
	大気汚染物質排出量	ライフサイクルにおける発電電力量当たりの大気汚染物質排出量が、化石燃料発電に比べて大幅に少ないクリーンな電源であり、水力発電は再生可能エネルギー発電の中でも排出量が最少レベルである。
	河川環境負荷	水路式発電による河川の流況変化や減水区間の発生、ダムによる魚類の移動阻害、堆砂と下流域の流砂の減少、ダム湖の濁水長期化・富栄養化等があげられる。近年、このような問題に対して河川維持流量の放流や堰への魚道の設置、ダムへの選択取水設備や排砂設備の設置などの対策が取られ改善されてきている。今後の開発においては、減水区間における適切な河川維持流量の設定およびダムからの排砂を含めた総合土砂管理が重要な課題である。
電力価値	量	第5次包蔵水力調査結果によれば、未開発地点は2706地点、約1,207万kW、456億kWhである。また、既設構造物の未利用落差を利用する発電包蔵水力として1389地点、33万kW、16.6億kWhが抽出されている。さらに、既存ダムを水力発電に徹底活用した場合には324億kWhの新たな発電量が試算され、これらを合わせると合計で約800億kWhに及ぶ非常に大きな賦存量がある。
	経済性	初期投資が高いが、耐用年数が長くほぼ計画通りの発電量を安定して得られるため、長期的に見れば最も安価な電源である（図表1-1）。しかし、短期的に見れば、経済性が既存の火力発電より劣る場合があり、更なる建設コストの低減が必要である。但し、再生可能エネルギーの中では最も経済性に優れている。
	品質	太陽光や風力と異なり、安定した発電が可能であり制御性に優れている。このために、系統の安定に寄与し、系統安定化の費用は不要である。さらに、調整池式や貯水池式水力は負荷調整が容易であり、電力系統の周波数および電圧の安定維持に貢献する。このため、貯水池を有する水力は出力変動が激しい再エネ導入に対して調整力を持った再生可能エネルギーである。
社会的価値	地域の経済・産業	地域が水力事業経営を行うことによる収益の地域への還元、地場産業の育成と活用による雇用の創出、ダム湖等の水力施設を観光資源として活用などが行われており、さらに水力発電を活用した6次産業などの取り組みが考えられる。
	インフラの整備	水力発電用水路と農業用水路を共同利用する総合開発、ダムの総合的な活用による河川環境・エネルギー・洪水調節機能の改善、水力発電の収益を多目的ダムや農業用施設等のインフラの維持・整備に活用、建設工事に伴う河川・水路・道路の整備、地域電力供給などが行われている。
	環境・防災機能の改善	再開発によって発電所の設備・運用を環境調和型に改良し安全性も向上、ダム排砂によって山地から海域までの流砂系環境を改善、環境教育の推進、発電用ダム貯水池を洪水時の治水に活用などが行われている。
	持続性	他の再エネと異なり、設備の寿命が非常に長く、設備の部分改修や機能向上により、半永久的に設備が持続し地域に定着することが可能である。

【参考資料1】

平成28年度

「水力発電事業性評価等支援事業」（人材育成等を行う事業に係る業務）」に関する「地域環境等の概観」について

平成28年度

一般社団法人 電力土木技術協会

《目次》

1. 自然・社会環境概況.....	1
(1) 地形・地質（特殊土を含む）	
(2) 月別降水量（県庁所在地 1981 年－2010 年平均：気象庁 HP 参照）	
(3) 一級河川・二級河川	
2. 自然環境規制状況.....	6
(1) 自然公園概況（環境省・各県 HP 参照）	
(2) 自然環境保全区域概況（環境省・各県 HP 参照）	
(3) 鳥獣保護地区概況（各県 HP 参照）	
(4) 特別天然記念物概況（環境省・各県 HP、既存文献参照）	

1. 自然・社会環境概況

(1) 地形・地質（特殊土を含む）

① 北海道

当地域は千島弧と東北日本弧の会合部に当たり、地形・地質の特徴から、西部・中央部・東部に区分して説明される。

西部は、山地と小規模な丘陵、山間盆地、海岸平野などが火山地形と混在して分布している。地質的には、中生代の堆積岩類や白亜紀の花こう岩類を基盤として、古第三紀末から第四紀にかけての火山岩類と堆積岩類が主に分布している。

中央部には、本道の背骨にもたとえられるほぼ南北に伸びる山地や丘陵地からなる山地帯が分布している。地質的には南北の帯状配列を示す複雑な地質帯が分布する。すなわち、日高変成岩類・深成岩類、蛇紋岩体・高圧型の神居古潭変成岩類、さらには白亜紀層や古第三紀層、新第三紀層が複雑な褶曲構造をつくりながら分布している。

東部は、阿寒―知床火山列の標高 1,500m 前後の火山山地を中軸として、その北側には比較的小規模な平野が分布し、南側では釧路平野や根釧台地など広大な低地帯が発達する。地質的には白亜紀～釧路炭田の炭層を含む古第三紀層が地域で最も古い地層として分布する。

【特殊土壌】

一方、北海道には、かつては特殊土壌と呼ばれた重粘土・火山性（灰）土・泥炭土の 3 種類の土壌が分布している。

② 東北

当地域には、太平洋に面して非火山性古期岩類からなる北上・阿武隈両山地が雁行配列し、その西側にグリーンタフ地域と称される新第三紀の火山性堆積盆がある。グリーンタフ地域の奥羽山脈と出羽丘陵は 2 つの隆起帯で、その間には山間盆地が南北に配列する。

地質の構成からみると、北上・阿武隈山地は、第三紀以降の非活動域となっており、中・古生層と貫入する花崗岩類から構成され、北西―南東方向のほぼ並列した多くの断層によって分割されている。西側のグリーンタフ地域は、新第三系中新統下部の厚い緑色凝灰岩類と、その上位に連なる堆積層の構成によって特徴づけられる堆積盆である。

③ 北陸

富山県の地質構成は、大きく第四紀堆積物、新第三紀堆積物、白亜紀末―古第三紀火成岩類、中生界、中生代以前の火成岩類・変成岩類に分類される。これらはほぼ帯状に配列し、富山湾を中心にほぼ同心円状の起伏を示す。

石川県は、飛騨変成岩類と船津花崗岩類からなる飛騨帯に位置し、その上盤に中生代や新生代の火山岩類等がみられる。

福井県は、北から飛騨帯・飛騨外縁帯・美濃帯・丹波帯・超丹波帯の地質帯が分布している。飛騨帯には飛騨変成岩類がみられる。飛騨外縁帯には中・古生代の地層が含まれる。美濃帯・丹波帯にはジュラ紀の緑色岩や層状チャート・砂岩・頁岩、あるいは石灰岩が含まれる。超丹波帯は緑色砂岩や石灰質砂岩などを含む。

④ 関東

当地域は本州弧の中央部にあって、西南日本弧と東北日本弧の会合部にあっている。そして、関東地方の西部にある関東山地は西南日本の外帯の延長であり、北部の三国山脈や足尾～

八溝山地は地形的には東北日本の奥羽山脈へつながる山地である。これらの山地にいだかれて、その南東側にわが国でもっとも広い関東平野が広がっている。

足尾および三国山地の周辺には、那須火山帯の諸火山がある。また関東山地の南～西部には富士火山帯にぞくする火山群がある。さらに、関東地方の北西隅は上記の2つの火山帯と鳥海火山帯とが会合する地域にあたり、そこでは浅間火山と草津白根火山がそびえたっている。

当地域の地質系統は、前述の地形にほぼ対応している。すなわち、関東・足尾・帝釈・三国・八溝の各山地と日立地域には、地向斜で堆積した地層を主とする中・古生界とその変成相およびこれらにともなう各種の火成岩類が分布している。そのほか、ところによっては前者を基盤とした非海成～浅海成の中生界などが分布している。このほか、那珂湊には白亜系、銚子や関東平野下には中・古生界がある。また、丹沢・関東・三国・足尾・八溝の各山地および関東平野などの縁辺部、房総半島南端部や三浦半島、関東平野の北西部の地下などには、新第三系が分布している。

⑤ 中部

当地域は本州弧の中央部を占め、東北日本弧と西南日本弧の接合部にあたる。日本列島の中でもっとも幅が広く、またもっとも標高が高い山脈が分布している。これらの条件は大きな河川の存在も可能としていて、地形に変化を与えている。

当地域の地形は、中部山岳地帯を中心とする山地と、太平洋側の平野・台地・丘陵地帯に大きく2分される。前者は、3,000mを超す山々をもつ飛騨・木曾・赤石山脈とその西側の山地である。後者は、駿河湾・遠州灘・三河湾・伊勢湾の沿岸を構成しており、それぞれ山地から発するいくつかの河川が流れ込んでいる。このほか、独立した火山が存在しており、伊豆半島および西日本の近畿三角地帯（琵琶湖を囲む地域）に属する養老・鈴鹿山地がある。

当地域の地質は、地質年代に着目し、大きく古第三紀以前・新第三紀・第四紀以降の3つに区分すると理解しやすい。なお、日本列島の地質構造区分には、フォッサマグナ (Fossa Magna) と呼ばれる大断裂帯の西縁に位置する糸魚川―静岡構造線と中央構造線の2つの大きな構造線が存在する。前者は、日本列島を東北日本と西南日本に分ける。後者は、西南日本を内帯（南側）と外帯（北側）に分ける。これらの大構造線は中部地域にみられ、地質区分もこれらにほぼ基づいている。当地域の北から、飛騨帯・飛騨外縁帯・美濃帯・領家帯・山波川帯・秩父累帯・四万十帯がほぼ帯状に分布しており、古第三紀以前の地質区分に相当する。新第三紀の地質は、グリーンタフ地域と非グリーンタフ地域に区分される。第四紀以降の地質は、海洋堆積物や河川堆積物等の現世の地層・岩石からなる。

⑥ 関西

当地域の地形は、中央構造線を境に大きく異なっているのが特徴である。この南部域は紀伊半島の南部に相当し、比較的高い山々とリアス式海岸で特徴づけられる。地質学的には西南日本外帯と称され、中生代の付加体が分布している。中央構造線の北部域は、南北方向の断層によって山地と盆地が混在している。地質学的には西南日本の内帯と呼ばれ、花こう岩が広く分布している。

⑦ 中国

当地域の地形は、1,000～1,500m程度の高度をもつなだらかな脊梁山地が東西に走り、その南北に標高400～700mを中心とした高度に吉備高原や世羅台地などの低平な侵食性台地が数段分布している。さらにその南北外側には海岸平野が分布する。

一方、中国地方の構成地質は多様であり、付加体として形成された地層が、南西部を中心に分布している。砂岩、泥岩、チャート等に加えて、変成岩や石灰岩体が含まれている。中国山地の大半は花崗岩類およびそれと前後する後期中生代の火砕岩類が占めるが、一部には中生代～古第三紀の浅海成ないし湖成の地層群―成羽層群や美祢層群のような地層が断片的に分布しており、これらは砂岩、泥岩とともに一部には石炭層が含まれている。

【特殊土壌】

特殊土（施工に際して不良な土、あるいは厄介な土）の観点からみると、中国地方は花崗岩類が多いことが特徴で、いわゆるまさ土といわれる砂状風化物に変化している地域が多い。

⑧ 四国

当地域の中央部には四国山地が東西方向に伸びており、四国の脊梁を形成している。四国の地質は、中央構造線や御荷鉾構造線・仏像構造線をはじめとする大規模な構造線を境にして多種多様な地質構成になっている。

⑨ 九州

九州中部の阿蘇火山の南には、非火山性の高く大きな山地（九州山地）が連なり、火山を含む台地・丘陵をなす地域との間に明瞭な境界線が走っている。これが四国の中央構造線の続きとみられる臼杵―八代線である。そのすぐ北方には大分―熊本線がほぼ平行に走っている。これによって九州は大きく北部と南部に区分できる。

九州の土台をなす第三紀より前の基盤岩類の構造は、基本的には西南日本弧の帯状構造の続きである。中国・四国地方とほぼ同様、九州では主に古生代・中生代の秋吉帯、三郡帯、領家帯、秩父累帯、四万十累帯(第三紀層を含む)の堆積岩・変成岩および白亜紀の花崗岩などが基盤を構成している。基盤岩類はいくつかの構造線(断層)によって切断され転位し、帯状構造は乱れあるいは屈曲し琉球弧に続く。九州はほぼ九州中部を斜めに横断する臼杵―八代構造線によって二分されている。その北側が西南日本弧の内帯であり、南側(南部九州)が西南日本弧の外帯である。なお、北側地域の南部は火山や断層で特徴づけられる特異な地帯であり、中部九州と呼ぶ。

【特殊土壌】

当地域の特殊土は、地質条件によって大きく分類すると、火山成岩土：温泉余土・島原焼土・ぼく・赤ぼく・赤ほや・よな・灰土・阿蘇溶岩・しらす・ぼら・こら、河成土：そうら層、海成土：有明粘土である。

⑩ 沖縄

沖縄本島北部では、中生代白亜紀の泥岩が変成した泥質（黒色）千枚岩を主体とする名護層と、新生代第三紀の砂岩、砂岩泥岩互層及び粘板岩を主体とする嘉陽層が大部分を占めている。このうち嘉陽層は、複雑な褶曲構造を成している特徴がある。沖縄本島中・南部は、新生代第三紀の海成堆積岩類である島尻層群および新生代第四紀（主に更新世）の石灰岩である琉球層群が大部分を占めている。

久米島には新生代第三紀の安山岩溶岩を主体とする火山岩類が広く分布する。

石垣島では於茂登岳周辺に新生代第三紀の花崗岩の貫入岩が分布し、また平久保崎周辺に県内で最も古いとされているトムル層（泥質片岩、苦鉄質片岩）が分布している。

西表島では、中生代第三紀の八重山層群（泥岩・砂岩互層）が広く分布している。

【特殊土壌】

沖縄県では上記の母材を基質とした国頭マージ、島尻マージ、ジャーガル、沖縄土壌と呼ばれる特殊土壌が分布する。

(2) 月別降水量（県庁所在地 1981年～2010年平均：気象庁 HP 参照）

① 北海道

札幌管区気象台における至近の30年(1981～2010年)統計による降水量の平均値は1,106.5mmとなっており、全国平均と比較すると少雨傾向である。

② 東北

年平均降水量で比較すると、日本海側の秋田・新潟では全国平均とほぼ同等であるが、その他の都市では下回っている。

③ 北陸

いずれの都市においても年間平均降水量は約2,300mmで、全国平均である約1,700mmを大きく上回っている。これは、冬季の降雪が影響しているものと考えられる。

④ 関東

年平均降水量で比較すると、いずれの都市においても概ね1,100～1,600mmで、全国平均とほぼ同等か、やや下回っている。

⑤ 中部

当地域において、静岡市は年間を通して降水量が多く、かつ年間降水量は2,325mmと全国平均を大きく上回っている。これに対して長野市は933mmと、全国平均を大きく下回っている。その他の地域は1,500～1,800mmで、全国平均とほぼ同等である。

⑥ 関西

年平均降水量で比較すると、いずれの都市においても概ね1,200～1,600mmで、全国平均とほぼ同等か、やや下回っている。

⑦ 中国

山陰に位置する松江市と鳥取市は、年間を通して平均的に降水があり、年間降水量は瀬戸内海側より多く、全国平均と同等程度の1,700～1,900mm。瀬戸内海側に位置する2県及び山口県は夏季に降水量が多く冬季に少なく、特に岡山県は1,100mm程度と降水量が少ない。

⑧ 四国

当地域は四国山地を境に著しく異なっており、降水量の上でも、瀬戸内側では年平均1,000～2,000mm、太平洋側は2,500～3,000mmとその差が顕著に現れている。

⑨ 九州

当地域は梅雨期の6、7月の降水量が多く、次に台風の影響を受ける8、9月が多い。年間降水量では、福岡県が最も少なく1,612mm、宮崎県が最も多く2,508mmを示す。

⑩ 沖縄

沖縄県では、5～6月に梅雨前線の影響を受け、8～9月に台風の接近数が多いことから、降水量が多くなっている。年降水量は2040.8mmで、国内では降水量の多い区域である。

(3) 一級河川・二級河川

① 北海道

石狩川、天塩川、十勝川などの13水系1,129の一級河川、新川などの230水系467の二級河

川、78水系429の準用河川、そのほかに多くの普通河川がある。この内もっとも流域面積が広いのは石狩川で、14,330km²である。

② 東北

国内有数の流域面積をもつ北上川(10,150km²)をはじめ、多くの一級河川・二級河川がある。

③ 北陸

富山県：2,720km²の流域面積をもつ神通川をはじめ、5水系の一級河川と29水系の二級河川がある。

石川県：809km²の流域面積をもつ手取川をはじめ、2水系の一級河川と60水系の二級河川がある。

福井県：2,930km²の流域面積をもつ九頭竜川をはじめ、2水系の一級河川と22水系の二級河川がある。

④ 関東

国内最大の流域面積をもつ利根川(16,840km²)をはじめ、多くの一級河川・二級河川がある。

⑤ 中部

当地域には、9,100km²の流域面積をもつ木曾川をはじめ、13水系の一級河川がある。さらに当地域には212水系の二級河川がある。

⑥ 関西

当地域は、8,240km²の流域面積をもつ淀川をはじめ、15水系の一級河川がある。さらに当地域には232水系の二級河川がある。

⑦ 中国

中国地方には一級河川が13水系あり、このうち江の川(島根県、広島県)は、幹川流路延長、流域面積ともに、規模が最も大きい。一方、二級河川は各県に多く存在し、最も多いのは山口県で108水系である。

河川の分布を見ると、山口県を除く4県は、県中央部の中国山地から沿岸部にかけて一級河川が流れており二級河川は沿岸部に短い河川が分布しているが、山口県は沿岸部に河川延長の短い二級河川が分布するほか、二級河川の多くは河川延長が長く、県中央部から沿岸部にかけて流れている。

⑧ 四国

四国の瀬戸内海側に流れる河川は一般に流路が短いのに対し、太平洋側は吉野川、四万十川など比較的長い流路を持つ河川が多いのが特徴である。

⑨ 九州

九州には20水系の一級河川がある。筑後川が2,863km²の流域面積を有し、最大となっている。二級河川の水系数・河川数は長崎県が最も多い。流域面積・河川総延長では鹿児島県が一番となっている。

⑩ 沖縄

沖縄県には一級河川は無い。地理的条件から、いずれの河川も流域面積および流路延長が小さく、急勾配となっている。

2. 自然環境規制状況

(1) 自然公園概況

自然公園とは、すぐれた自然の風景地を永久に保護し、その中でだれでも自由に風景を楽しみ、休養し、レクリエーションを行い、また動植物や地質などの自然を学べるように「自然公園法」に基づいて指定、管理されるもので、国立公園、国定公園及び都道府県立自然公園をいう。

【国立公園】全国で29か所が指定（平成22年4月時点）

わが国の風景を代表するに足りる傑出した自然の風景地で、環境大臣が指定し、国が管理する。

【国定公園】全国で56か所が指定（平成22年4月時点）

国立公園に準ずる自然の風景地で、都道府県の申し出を受けて環境大臣が指定し、都道府県が管理する。

【都道府県立自然公園】全国で312か所が指定（平成22年4月時点）

国立・国定公園に次ぐ、都道府県を代表する自然の風景地。都道府県が指定し、自ら管理する。

それぞれの自然公園には、その自然景観の特色に応じた保護の方法や利用の仕方が、「公園計画」として定められている。そして、この計画に基づいて、木竹の伐採、建築物の設置など、自然環境に影響を及ぼす行為が規制される。

特別地域

公園の風致を維持するための地域。用途に応じて、第一種から第三種まで区別がある。以下の行為には、許可が必要となる。

工作物の新築・改築、樹木の伐採、鉱物の採取、河川・湖沼の取水・排水、広告の掲示、土地の埋立・開墾、動植物の捕獲・採取、本来の生息地でない動物の放鳥獣、本来の生育地でない植物の植栽、施設の塗装色彩の変更、指定区域内への立入、指定区域内での車の使用など

第一種特別地域

特別保護地区に準ずる景観を有し、特別地域のうちでは風致を維持する必要性が最も高い地域であって、現在の景観を極力保護することが必要な地域

第二種特別地域

特に農林漁業活動については努めて調整を図ることが必要な地域

第三種特別地域

特に通常の農林漁業活動については原則として風致の維持に影響を及ぼすおそれが少ない地域

特別保護地区

特別地域の内、特に重要な地区。以下の行為には、許可が必要となる。

特別地域で許可を要する行為、樹木の損傷、動物の放鳥獣（家畜の放牧を含む）、植物の植栽・播種、物の集積・貯蔵、たき火

海域公園地区

海域の景観を維持するための地区。1970年（昭和45年）の改正で、「海中公園地区」として設定された。以下の行為には、許可が必要となる。

工作物の新築・改築、鮎物の採取、広告の掲示、動植物の採取、埋立・干拓、海底の形状の変更、物の繫留、排水、環境大臣が指定する区域・期間内の動力船の使用

普通地域

特別地域や海域公園地区に指定されていない自然公園の地域。以下の行為には、届出が必要となる。

工作物の新築・改築、特別地域の河川・湖沼へ影響を及ぼすこと、広告の掲示、水面の埋立・干拓、鮎物の掘採、土地や海底の形状の変更

① 北海道

【国立公園】阿寒・大雪山・支笏洞爺・知床・利尻礼文サロベツ・釧路湿原の6か所。

【国定公園】網走・大沼・ニセコ積丹小樽海岸・日高山脈襟裳・暑寒別天売焼尻の5か所

【道立自然公園】厚岸・富良野芦別ほか全13か所

【世界遺産】知床

② 東北

【国立公園】複数の県に属するが、十和田八幡平国立公園ほか全8か所。

【国定公園】青森県：下北半島・津軽の2か所、岩手県：栗駒・早池峰の2か所、秋田県：男鹿ほか全4か所、宮城県：蔵王・栗駒の2か所、山形県：鳥海・蔵王・栗駒の3か所、福島県：越後三山只見の1か所、新潟県：2か所

【県立自然公園】青森県：浅虫夏泊ほか全7か所、岩手県：花巻温泉郷ほか全7か所、秋田県：八森岩館ほか全8か所、宮城県：松島ほか全8か所、山形県：庄内海浜ほか全6か所、福島県：霊山ほか全11か所、新潟県：13か所

【世界遺産】白神山地

③ 北陸

【国立公園】複数の県に属するが、白山国立公園がある。

【国定公園】複数の県に属するが、越前加賀海岸国定公園がある。石川県：能登半島、福井県：若狭湾がある。

【県立自然公園】富山県：朝日・有峰・五箇山の3か所、石川県：山中大日山・獅子吼手取・碁石ヶ峰・白山一里野・医王山の5か所、福井県：奥越高原の1か所

④ 関東

【国立公園】複数の県に属するが、日光・尾瀬・秩父多摩甲斐・小笠原・富士箱根伊豆・南アルプスの6か所の国立公園がある。

【国定公園】群馬県：妙義荒船佐久高原、茨城県：水郷筑波、山梨県：八ヶ岳中信高原、千葉県：水郷筑波ほか全2か所、神奈川県：丹沢大山、東京都：明治の森高尾

【県立自然公園】茨城県：奥久慈ほか全9か所、栃木県：益子ほか全8か所、山梨県：県立南アルプス巨摩ほか全2か所、埼玉県：狭山ほか全10か所、千葉県：養老溪谷奥清澄ほか全8か所、神奈川県：丹沢大山ほか全4か所、東京都：滝山ほか6か所

【世界遺産】小笠原諸島

⑤ 中部

【国立公園】複数の県に属するが、富士箱根伊豆・南アルプス・伊勢志摩・吉野熊野・中部山岳・白山・上信越高原・秩父多摩甲斐・妙高戸隠連山の9か所

【国定公園】愛知県：三河湾ほか全4か所、静岡県：天竜奥三河の1か所、三重県：鈴鹿ほか全2か所、岐阜県：飛騨木曾川ほか全2件、長野県：八ヶ岳中信高原ほか全3か所

【県立自然公園】愛知県：渥美半島ほか全7か所、静岡県：日本平・三保の松原ほか全4か所、三重県：水郷ほか全5か所、岐阜県：千本松原ほか全15か所、長野県：中央アルプスほか全6か所

⑥ 関西

【国立公園】複数の県に属するが、山陰海岸・瀬戸内海・吉野熊野がある。

【国定公園】京都府：京都丹波高原ほか全4か所、大阪府：明治の森箕面ほか全2か所、滋賀県：琵琶湖ほか全2か所、奈良県：金剛生駒紀泉ほか全4か所、兵庫県：氷ノ山後山那岐山、和歌山県：金剛生駒紀泉ほか2か所がある。

【府県立自然公園】京都府：笠置山ほか3か所、大阪府：北摂ほか全2か所、滋賀県：三上・田上・信楽ほか全3か所、奈良県：矢田ほか全3か所、兵庫県：多紀連山ほか全11か所、和歌山県：高野山町石道玉川峡ほか11か所がある。

⑦ 中国

【国立公園】複数の県に属するが、当地域には山陰海岸・瀬戸内海・大山隠岐の3か所の国立公園がある。

【国定公園】複数の県に属するが、当地域には氷ノ山ほか5か所の国定公園がある。

【県立自然公園】鳥取県：西因幡ほか全3か所、島根県：断魚溪・観音滝ほか全11か所、岡山県：高梁川上流ほか全7か所、広島県：南原峡ほか全6か所、山口県：豊田ほか全4か所、

⑧ 四国

【国立公園】1府10県にまたがる「瀬戸内海国立公園」、四国西南部（愛媛県、高知県）に属する「足摺宇和海国立公園」の2か所がある。

【国定公園】徳島県と高知県に属する剣山と室戸阿南海岸国定公園、愛媛県と高知県に属する石鎚国定公園がある。

【県立自然公園】香川県：大滝川の1か所、徳島県：箸蔵ほか全6か所、高知県：手結住吉ほか全18か所、愛媛県：四国カルストほか全7か所

⑨ 九州

【国立公園】福岡県や大分県に一部が属している1府10県にまたがる「瀬戸内海国立公園」がある。長崎県には、雲仙天草と西海の2か所がある。熊本県や大分県には、阿蘇・くじゅう国立公園がある。宮崎県や鹿児島県には、霧島錦江湾や屋久島国立公園がある。

【国定公園】福岡県：北九州ほか全3か所、佐賀県：玄海国定公園、長崎県：壱岐対馬、熊本県：耶馬日田英彦山ほか全2か所、大分県：祖母傾ほか全3か所、宮崎県：日南海岸ほか全4か所、鹿児島県：甕島ほか全3か所、

【県立自然公園】福岡県：筑豊ほか全5か所、佐賀県：黒髪山ほか全6か所、長崎県：多良岳ほか全6か所、熊本県：金峰山ほか全7か所、大分県：国東半島ほか全5か所、宮崎県：尾鈴ほか全6か所、鹿児島県：吹上浜ほか全8か所

⑩ 沖縄

【国立公園】西表石垣国立公園がある。

【国定公園】沖縄海岸・沖縄戦跡の2か所がある。

【県立自然公園】久米島の1か所。

(2) 自然環境保全区域概況

ほとんど人の手が加わっていない原生の状態が保たれている地域や優れた自然環境を維持している地域については、自然環境保全法及び都道府県条例に基づきそれぞれ、原生自然環境保全地域、自然環境保全地域、または都道府県自然環境保全地域として指定し、自然環境の保全に努めている。

【原生自然環境保全地域】

人の活動の影響を受けることなく原生の状態を維持している地域(1,000ha以上、島嶼は300ha以上)

【自然環境保全地域】

ア. 高山・亜高山性植生(1,000ha以上)、すぐれた天然林(100ha以上)

イ. 特異な地形・地質・自然現象(10ha以上)

ウ. 優れた自然環境を維持している湖沼・海岸・湿原・河川・海域(10ha以上)

エ. 植物の自生地・野生動物の生息地のうち、ア～ウと同程度の自然環境を有している地域(10ha以上)

【都道府県自然環境保全地域】

自然環境保全地域(上記)に準ずる自然環境を維持している地域(ただし、海域を除く)

【保全のための規制】

原生自然環境保全地域	自然生態系に影響を与える行為は原則禁止 立入制限地区:原則立入禁止
自然環境保全地域 及び 都道府県自然環境保全地 域	特別地区:各種行為は一定の基準に合致するもののみ許可
	野生動植物保護地区:特定の野生動植物の捕獲、採取は原則 禁止
	普通地区:各種行為は届出

【行為の許可・届出】

- ・原生自然環境保全地域・自然環境保全地域:環境大臣、各地方環境事務所長
- ・都道府県自然環境保全地域:都道府県知事

① 北海道

【原生自然環境保全地域】遠音別岳など2か所が指定。

【自然環境保全地域】大平山の1か所が指定。

【道自然環境保全地域】大千軒岳など7か所が指定。

さらに、北海道自然環境等保全条例に基づき、環境緑地保護地区等及び記念保護樹木を指定し

ている。

② 東北

【**県自然環境保全地域**】青森県：然ヶ岳ほか全 9 か所、岩手県：県内 14 か所、秋田県：県内 18 か所、宮城県：県内 16 か所、山形県：今神山ほか全 5 か所、福島県：県内 47 か所、新潟県：県内 23 か所

③ 北陸

【**県自然環境保全地域**】富山県：沢杉ほか全 11 か所、石川県：杉の水ほか全 7 か所、福井県：池河内ほか全 2 か所

④ 関東

【**県自然環境保全地域**】栃木県：大佐飛山、群馬県：利根川源流部の 2 か所。

⑤ 中部

【**県自然環境保全地域**】愛知県：田之士里湿原ほか全 15 か所、静岡県：大井川源流部ほか全 7 か所、三重県：藤原河内谷ほか全 5 か所、岐阜県：能郷白山ほか全 16 か所、長野県：姫川源流ほか全 8 か所

⑥ 関西

【**府・県自然環境保全地域**】京都府：男山ほか 12 か所、大阪府：本山寺ほか全 6 か所、奈良県：玉置山、兵庫県：阪神北ほか全 15 か所、和歌山県：立神社社寺林ほか全 7 か所

⑦ 中国

【**県自然環境保全地域**】鳥取県：菅野ほか 15 か所、島根県：西谷川オオサンショウウオ繁殖地ほか全 6 か所、岡山県：塩滝地域ほか全 3 か所、広島県：龍頭峽ほか全 27 か所

⑧ 四国

愛媛県と高知県に属する笹ヶ峰自然環境保全地域がある。地域全体 537ha が特別地域に指定されており、そのうち 259ha が「野生動植物保護地区」となっている。

⑨ 九州

【**県自然環境保全地域**】福岡県：猪野ほか全 4 か所、佐賀県：檜原湿原、長崎県：虚空蔵山ほか全 15 か所、熊本県：染岳ほか全 4 か所、大分県：武多都ほか全 6 か所、宮崎県：檜葉ほか全 2 か所、鹿児島県：稲尾岳ほか全 4 か所

⑩ 沖縄

【**県自然環境保全地域**】嘉津宇岳・安和岳・八重岳の 3 か所。

(3) 鳥獣保護地区概況

鳥獣保護区は、鳥獣の保護の見地から「鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律」に基づき指定されている。鳥獣保護区は、環境大臣が指定する国指定鳥獣保護区と、都道府県知事が指定する都道府県指定鳥獣保護区の 2 種類があり、環境大臣又は都道府県知事は、鳥獣保護区の区域内で鳥獣の保護又はその生息地の保護を図るため特に必要があると認める区域を特別保護地区に指定することができる。鳥獣保護区内においては、狩猟が認められないほか、特別保護地区内においては、一定の開発行為が規制される。

① 北海道

【**国指定鳥獣保護区**】大規模生息地 1 か所、集団渡来地 8 か所。

【道指定鳥獣保護区】森林鳥獣生息地 193 か所、大規模生息地 3 か所、集団生息地 20 か所、集団渡来地 4 か所、希少鳥獣生息地 2 か所、身近な鳥獣生息地 76 か所。

② 東北

【国指定鳥獣保護区】青森県・岩手県・秋田県・新潟県の各ホームページに掲載されている。

③ 北陸

【国指定鳥獣保護区】複数の県に属するが、白山や片野鴨池など 7 か所がある。

【県指定鳥獣保護区】富山県：ねいの里ほか全 38 か所、石川県：キゴ山ほか全 47 か所、福井県：永平寺ほか全 31 か所

④ 関東

【国指定鳥獣保護区】複数の県に属するケースもあるが、浅間や渡良瀬遊水地など 11 か所がある。

⑤ 中部

【国指定鳥獣保護区】愛知県：藤前干潟の 1 か所、三重県：大台山系・紀伊長島の 2 か所、長野県：浅間・北アルプスの 2 か所

【県指定鳥獣保護区】愛知県：闇苜ほか全 67 か所、静岡県：下田ほか全 111 か所、三重県：志摩市浜島町大崎ほか全 84 か所、岐阜県：金華山ほか全 109 か所、長野県：平尾富士ほか全 130 か所

⑥ 関西

【国指定鳥獣保護区】京都府：冠島沓島の 1 か所、兵庫県：浜甲子園・円山川下流域の 2 か所

【府県指定鳥獣保護区】京都府：笠置ほか全 63 か所、大阪府：箕面勝尾寺ほか全 18 か所、奈良県：大台山系ほか全 21 か所、兵庫県：伊丹ほか全 92 か所、和歌山県：友ヶ島ほか全 98 か所

⑦ 中国

【国指定鳥獣保護区】鳥取県：大山ほか 2 か所、島根県：中海ほか全 2 か所

【県指定鳥獣保護区】鳥取県：20 か所、島根県：80 か所、岡山県：65 か所、広島県：101 か所、山口県：81 か所

⑧ 四国

【県指定鳥獣保護区】香川県：阿弥陀越ほか全 13 か所、徳島県：剣山山系ほか全 53 か所等

⑨ 九州

【国指定鳥獣保護区】長崎県：1 か所、宮崎県：2 か所

【県指定鳥獣保護区】福岡県：46 か所、佐賀県：42 か所、長崎県：20 か所、熊本県：105 か所、大分県：66 か所、宮崎県：107 か所、鹿児島県：132 か所

⑩ 沖縄

【国指定鳥獣保護区】沖縄本島：国頭村のやんばる（安田）ほか全 4 か所、石垣島：名蔵アンパルの 1 か所、西表島：西表の 1 か所

【県指定鳥獣保護区】沖縄本島：国頭村の西銘岳ほか全 9 か所、久米島：仲里・具志川の 2 か所

(4) 特別天然記念物概況

① 北海道

野幌原始林、大雪山、昭和新山、アポイ岳高山植物群落、阿寒湖のマリモ、タンチョウ

② 東北

- 青森県：小湊のハクチョウおよびその渡来地、岩手県：夏油温泉の石灰華・根反の大珪化木・
焼走り溶岩流・早池峰山および薬師岳の高山帯・森林植物群落
秋田県：玉川温泉の北投石、
宮城県：鬼首の雌釜および雄釜間歇温泉
山形県：羽黒山の杉並木・東根の大ケヤキ

③ 北陸

- 富山県：薬師岳の圏谷群、ホタルイカ群遊海面、ライチョウ、カモシカ、魚津埋没林、白馬
連山高山植物帯
石川県：カモシカ、岩間の噴泉塔群
福井県：オオサンショウウオ、カモシカ、コウノトリ、タンチョウ

④ 関東

- 栃木県：日光杉並木街道附並木寄進碑、コウシンソウ自生地
群馬県：浅間山溶岩樹型、尾瀬
山梨県：鳴沢溶岩樹型
埼玉県：牛島のフジ、田島ヶ原サクラソウ自生地、御岳の鏡岩
東京都：大嶋のサクラ株、アホウドリ
千葉県：鯛ノ浦タイ生息地

⑤ 中部

- 静岡県：湧玉池、狩宿の下馬ザクラ
三重県：カモシカ、オオサンショウウオ
岐阜県：ライチョウ、オオサンショウウオ、根尾谷断層、根尾谷の菊花石、カモシカ、石徹
白のスギ[いとしろのすぎ]
長野県：上高地、白馬連山高山植物帯、ライチョウ、カモシカ、白骨温泉の噴湯丘と球状石灰石

⑥ 関西

- 滋賀県：長岡のゲンジボタルおよびその発生地
奈良県：春日山原始林

⑦ 中国

- 鳥取県：大山町のダイセンキョラボク純林
島根県：松江市の大根島の溶岩隧道
山口県：美祢市の秋吉台
山口県：美祢市の秋芳洞
山口県：周南市・下松市の八代のツルおよびその渡来地

⑧ 四国

- 香川県：宝生院のシンパク
徳島県：加茂の大クス
高知県：ミカドアゲハ・杉の大スギ
愛媛県：八釜の甌穴群
定めず：土佐のオナガドリ

⑨ 九州

福岡県：古処山ツゲ原始林・立花山クスノキ原始林

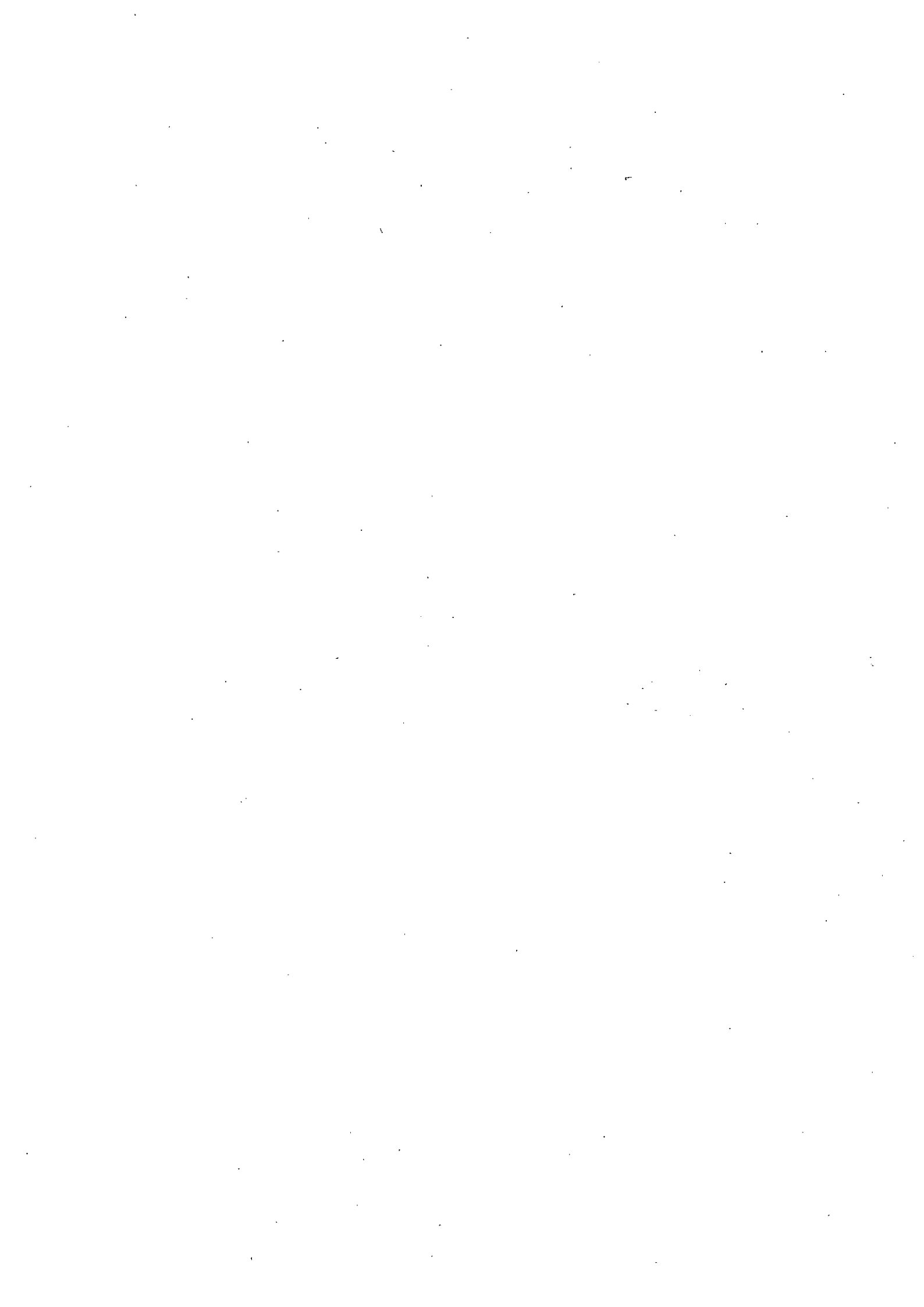
熊本県：相良のアイラトビカズラ

宮崎県：青島亜熱帯性植物群落・内海のヤッコソウ発生地・都井岬ソテツ自生地

鹿児島県：ツルおよび渡来地・枇榔島亜熱帯性植物群落・蒲生のクス・喜入のリュウキュウ
コウガイ山地・鹿児島県のソテツ自生地・屋久島杉原生林

⑩ 沖縄

コウノトリ、ノグチゲラ、イリオモテヤマネコ、カンムリワシ、アホウドリ



【参考資料 2】

電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン

平成 2 8 年 7 月 2 8 日

資源エネルギー庁

目次

第1章 総則	1
1. ガイドラインの必要性	1
2. 適用の範囲	1
3. 用語の整理	2
4. 連系の区分	5
5. 協議	6
第2章 連系に必要な技術要件	6
第1節 共通事項	6
1. 電気方式	6
2. 発電出力の抑制	6
第2節 低圧配電線との連系	7
1. 力率	7
2. 電圧変動	7
3. 不要解列の防止	9
第3節 高圧配電線との連系	9
1. 力率	9
2. 自動負荷制限	10
3. 逆潮流の制限	10
4. 電圧変動	10
5. 不要解列の防止	12
6. 連絡体制	12
第4節 スポットネットワーク配電線との連系	13
1. 力率	13
2. 自動負荷制限	13
3. 電圧変動	13
4. 不要解列の防止	14
5. 連絡体制	15
第5節 特別高圧電線路との連系	15
1. 力率	15
2. 単独運転時における適正電圧・周波数の維持	16
3. 自動負荷制限・発電抑制	17
4. 電圧変動	17
5. 不要解列の防止	18
6. 発電機運転制御装置の付加	18
7. 連絡体制	19

第1章 総則

1. ガイドラインの必要性

系統連系技術要件ガイドラインの整備は、コージェネレーション等の分散型電源を電力系統に連系する場合の技術要件として、昭和61年8月に策定され、その後数次の改定を行ってきた。同ガイドラインは、分散型電源の導入に向けた環境整備の観点から、電力系統への連系を可能とするための商用電力系統（以下「系統」という。）側の電気事業者と発電設備等設置者の間における技術的指標を提示してきたものである。

元来、発電設備等の系統連系については、系統運用者である一般送配電事業者と発電設備等設置者の両者間で、その条件について個別に協議を行い設定されるものである。しかしながら、

- ① 発電設備等設置者は、系統運用を日常的に行っているわけではないので、系統に係る情報が不足しがちであること
- ② 系統運用者には、系統を運用する上で系統内の発電設備等に係る情報を把握する必要があること

から、連系に係る協議が円滑に行われるようにするためには、系統連系に係る情報の透明性及び公平性が確保されることが必要である。

かかる観点を踏まえ、本ガイドラインは、系統に連系することを可能とするために必要となる要件のうち、電圧、周波数等の電力品質を確保していくための事項及び連絡体制等について考え方を整理したものである。系統連系に際しての一般送配電事業者の対応についての考え方については、電気事業法に基づく広域的運営推進機関においても、一般送配電事業者がルールとして定めるべき事項として、系統を利用する者等による議論も踏まえ送配電等業務指針が策定されているが、本ガイドラインは、当該指針とも相まって、分散型電源等の系統連系に係る環境整備を図ろうとするものである。

2. 適用の範囲

このガイドラインは、一般送配電事業者がその供給区域内で設置する発電設備等以外の発電設備等を系統と連系する場合に適用する。この場合、系統連系時間の長短にかかわらず、原則として適用する。また、既設の発電設備等で系統と連系しないで運転していたものを新たに改造して連系する場合にも適用する。

ここで、系統と発電設備等との連系は、電氣的に交流回路で接続している状態を指し、整流器等を介して直流回路を接続する状態は除かれる。ただし、発電

そのものは行っていない設備であっても、二次電池などで放電時の電気的特性が発電設備と同等である場合、系統に与える影響を考慮しなければならないため、本ガイドラインの適用範囲に含まれる。

なお、発電設備等の系統への連系に当たっては、感電の防止等の電気工作物の安全に関する対応も必要となる。これについては、電気事業法第39条及び第56条に基づく電気設備に関する技術基準を定める省令（通商産業省令第52号）により、公共の安全の確保の観点から設置者及び一般送配電事業者及び送電事業者が遵守すべき基準として定められている。

3. 用語の整理

(1) 系統の種類

① 低圧配電線

低圧需要家に電力を供給する低圧の配電線をいう。一般には、単相2線式：100V、単相3線式：100V/200V、三相3線式：200V、及び三相4線式：100/200Vの方式がある。

② 高圧配電線

高圧需要家に電力を供給する役割と、配電用変電所から柱上変圧器等を介して低圧需要家に電力を供給するまでの送電を行う役割を兼ね備えた高圧の配電線をいう。一般には、三相3線式：6.6kV。また、特定の一需要家への電力供給を目的に施設される専用線もある。

③ スポットネットワーク配電線

2回線以上の22kV又は33kV特別高圧地中電線路から需要家がそれぞれの回線ごとに施設した変圧器の2次側母線で常時並行受電する配電線をいう。

④ 特別高圧電線路

7kVを超える特別高圧の電線路であって、特別高圧需要家に電力を供給する役割と変電所まで電気を送電する役割とがある。なお、電圧が35kV以下の場合は、配電線扱いもある。また、特定の一需要家への電力供給を目的に施設される専用線もある。

(2) 系統の状態等

① 並列

発電設備等を系統に接続すること。なお、本ガイドラインにおいては、発電設備等を系統への接続を交流回路で行うものについて記述している。

② 解列

発電設備等を系統から切り離すこと。

③連系

発電設備等が系統へ並列する時点から解列する時点までの状態。

④逆潮流

発電設備等設置者の構内から系統側へ向かう有効電力の流れ（潮流）。

⑤単独運転

発電設備等が連系している系統が、事故等によって系統電源と切り離された状態において、連系している発電設備等の運転だけで発電を継続し、線路負荷に電力供給している状態。

⑥再閉路

系統の事故等が発生した場合、配電用変電所等において、通常、当該系統を系統電源から切り離すが、早期復旧を図るために、一定時間経過後に、自動的に当該系統と系統電源とを接続して再送電を行うことをいう。

(3) 装置

①逆変換装置（インバータ）

電力用半導体素子のスイッチング作用を利用して、直流電力を交流電力に変換する装置。転流の方法によって、転流電圧がインバータの構成要素から与えられる自励式とインバータの外部から与えられる他励式とがある。

②転送遮断装置

変電所遮断器の遮断信号を専用通信線や電気通信事業者の専用回線で伝送し、発電設備等設置者の連系用遮断器を動作させる装置

③自動同期検定装置

同期発電機を用いた発電設備等の系統への並列に際して、系統側と発電設備等側との周波数、電圧及び位相を自動的に合わせて投入する装置。

④保安通信用電話設備

電気工作物の保安のために発電設備等設置者と系統運用者との間等に施設される通信用電話設備。

⑤専用回線電話

通信事業者の電話交換機を介さない電話

⑥スーパービジョン

発電機の運転情報、遮断器の開閉情報、保護継電器の動作などの情報を遠方へ伝送・表示する装置。

⑦テレメータ

電圧、電流、電力などの計測値を遠方へ伝送・表示する装置。

(4) 機能・方式

①進相無効電力制御機能

逆変換装置を用いる場合、自動的に発電設備等の電圧を調整する対策の一つとして用いられる機能。発電装置から系統に向かって、電圧より電流の位相が進んだ無効電力（進相無効電力）を制御することにより、自動的に電圧を設定値に調整する機能。

②出力制御機能

逆変換装置を用いる場合、自動的に発電設備等の電圧を調整する対策の一つとして用いられる機能。逆潮流がある場合には、発電装置の出力を制限することにより電圧を調整する機能となる。逆潮流がない場合には、受電電力を常時監視し、発電装置の出力を自動的に設定値に制御する機能。

③自動同期検定機能

系統側と発電設備側との周波数、電圧及び位相を自動的に合わせて投入する機能。

④スポットネットワーク受電方式

一般送配電事業者の変電所から、スポットネットワーク配電線（通常3回線の22kV又は33kV配電線）で受電し、各回線に設置された受電変圧器（ネットワーク変圧器をいう。）を介して二次側をネットワーク母線で並列接続した受電方式をいう。

電気方式には、一次側は22kV（又は33kV）三相3線式、二次側200～400V級三相4線式（低圧スポットネットワーク方式）と二次側6.6kV三相3線式（高圧スポットネットワーク方式）とがある。

(5) その他

①発電設備等の一設置者当たりの電力容量

受電電力の容量又は系統連系に係る発電設備等の出力容量のうちいずれか大きい方。なお、「受電電力の容量」とは、契約電力であり、契約電力は常時の契約電力と予備の契約電力（自家発補給電力等）の合計をいう。また、「発電設備等の出力容量」とは、交流発電設備を用いる場合にはまずその定格出力を指し、直流発電設備等で逆変換装置を用いる場合には、逆変換装置の定格出力をいう。

②再開路時間

系統の事故等が発生した場合であって、事故復旧の迅速化のために、系統運用者側が遮断器を開放した時点から当該遮断器を自動投入（再開路）するまでの時間。

③発電抑制

連系された系統の事故時（例えば、2回線の系統で1回線事故時）に、健全な系統の過負荷を回避するため、系統側に必要に応じて過負荷検出装置を設置して、発電設備等の出力を抑制させること。

④二次励磁制御巻線形誘導発電機

二次巻線の交流励磁電流を周波数制御することにより可変速運転を行う巻線形誘導発電機

4. 連系の区分

(1) 低圧配電線との連系

発電設備等の一設置者当たりの電力容量が原則として50kW未満の発電設備等は、第2章第1節及び第2節に定める技術要件を満たす場合には、低圧配電線と連系することができる。ただし、同期発電機・誘導発電機・二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いた発電設備の連系（逆変換装置を介した連系を除く。）は、原則として逆潮流がない場合に限る。

(2) 高圧配電線との連系

発電設備等の一設置者当たりの電力容量が原則として2,000kW未満の発電設備等は、第2章第1節及び第3節に定める技術要件を満たす場合には、高圧配電線と連系することができる。

(3) スポットネットワーク配電線との連系

発電設備等の一設置者当たりの電力容量が原則として10,000kW未満の発電設備等は、第2章第1節及び第4節に定める技術要件を満たす場合には、スポットネットワーク配電線とスポットネットワーク受電方式により連系することができる。

(4) 特別高圧電線路との連系

第2章第1節及び第5節に定める技術要件を満たす場合には、発電設備等を特別高圧電線路（(3)に定めるスポットネットワーク配電線を除く。）と連系することができる。ただし、35kV以下の特別高圧電線路のうち配電線扱いの電線路と連系する場合に限り、高圧配電線との連系に係る技術要件に準拠することができる。また、この場合、連系できる発電設備等の一設置者当たりの電力容量は原則として10,000kW未満とする。

(5) 下位の電圧連系区分に準拠した連系

発電設備等の出力容量の合計が契約電力に比べて極めて小さい場合には、契約電力における電圧の連系区分より下位の電圧の連系区分（一段下の連系区分に限定するものではない。）に準拠して連系することができる。

ここで、発電設備等の出力容量の合計が契約電力に比べて極めて小さい場合の

考え方としては、個々のケースにより異なるのでケースごとに考えるべきではあるが、発電設備等の出力容量の合計が契約電力の5%程度以下であることが一般的な目安と考えられる。

5. 協議

このガイドラインは、系統連系において電力品質を確保するための技術要件についての標準的な指標であり、実際の連系に当たっては、発電設備等設置者及び系統側電気事業者は誠意を持って協議に当たるものとする。

第2章 連系に必要な技術要件

第1節 共通事項

1. 電気方式

- (1) 発電設備等の電気方式は、(2)に定める場合を除き、連系する系統の電気方式と同一とする。
- (2) 発電設備等の電気方式は、次のいずれかに該当する場合には、連系する系統の電気方式と異なってもよいものとする。
 - ① 最大使用電力に比べ発電設備等の容量が非常に小さく、相間の不平衡による影響が実態上問題とならない場合。
 - ② 単相3線式の系統に単相2線式200Vの発電設備等を連系する場合であって、受電点の遮断器を開放したときなどに負荷の不平衡により生じる過電圧(中性線に対する両側の電圧を監視し、そのどちらか120Vを超える場合をいう。)に対して逆変換装置を停止する対策、又は発電設備等を解列する対策を行う場合。

2. 発電出力の抑制

逆潮流のある発電設備のうち、太陽光発電設備、風力発電設備及びバイオマス発電設備には、一般送配電事業者からの求めに応じ、発電出力の抑制ができる機能を有する逆変換装置やその他必要な装置を設置する等の対策を行うものとする。

第2節 低圧配電線との連系

1. 力率

低圧配電線との連系については以下のように考えるものとする。

- ① 逆潮流がない場合の受電点の力率は、適正なものとして原則85%以上とするとともに、系統側からみて進み力率（発電設備等側からみて遅れ力率）とはならないようにする。ただし、逆潮流がない発電設備等のうち、逆変換装置を介して連系する発電設備等については、受電点での力率調整を行うために、発電設備等設置者全体の負荷、家電機器の増減に対応した無効電力の調整を発電設備等に負わせることは困難である。したがって、発電設備等自体の運転力率で判断することとし、力率を系統側からみて遅れ95%以上とすればよいものとする。
- ② 逆潮流がある場合の受電点の力率は、適正なものとして原則85%以上とするとともに、電圧上昇を防止するために系統側から見て進み力率（発電設備等側から見て遅れ力率）とならないようにする。ただし、次のいずれかに該当する場合には、受電点における力率を85%以上としなくともよいものとする。
 - ア. 電圧上昇を防止する上でやむを得ない場合（この場合、受電点の力率を80%まで制御できるものとする。）
 - イ. 逆変換装置を用いる場合であって、その定格出力が低圧配電線との連系の場合の連系実績を踏まえ、単相2線式では2kVA以下、単相3線式では6kVA以下、三相3線式では15kVA以下を目安とした小出力である場合、又は、一般住宅の負荷のように、負荷の使用状態にかかわらず、負荷力率が極めて1に近く、発電設備等を連系している状態でも受電点の力率が適正と想定できる場合（この場合、発電設備等の力率を、無効電力を制御するときには85%以上、無効電力を制御しないときには95%以上とすればよいものとする。）

2. 電圧変動

(1) 常時電圧変動対策

発電設備等を低圧配電系統に連系する場合には、電気事業法第26条及び同法施行規則第38条の規定により、低圧需要家の電圧を標準電圧100Vに対しては 101 ± 6 V、標準電圧200Vに対しては 202 ± 20 V以内に維持する必要がある。

発電設備等設置者から逆潮流を生じることにより、低圧配電線各部の電圧が上昇し、適正値を逸脱するおそれがある場合は、当該発電設備等設置者が

他の需要家を適正電圧に維持するための対策を施す必要がある。なお、構内負荷機器への影響を考慮すれば、設置者構内も適正電圧に維持することが望ましく、特に、一般家庭等に小出力発電設備等を設置する場合には、設置者の電気保安に関する知識が必ずしも十分でないため、電圧規制点を受電点とすることが適切である。しかし、系統側の電圧が電圧上限値に近い場合、発電設備等からの逆潮流の制限により発電電力量の低下も予想されるため、他の需要家への供給電圧が適正値を逸脱するおそれがないことを条件として、電圧規制点を引込柱としてもよい。

電圧上昇対策は、個々の連系ごとに系統側条件と発電設備等側条件の両面から検討することが基本となるが、個別協議期間短縮やコストダウンの観点から、あらかじめ対策について標準化しておくことが有効である。発電設備等からの逆潮流により低圧需要家の電圧が適正値（ $101 \pm 6V$ 、 $202 \pm 20V$ ）を逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において、進相無効電力制御機能又は出力制御機能により自動的に電圧を調整する対策を行うものとする。なお、これにより対応できない場合には、配電線の増強等を行うものとする。

（２）瞬時電圧変動対策

発電設備等の連系時の検討においては、発電設備等の並解列時の瞬時電圧低下は、コンピュータ、OA機器、産業用ロボット等の情報機器が、定格電圧の10%以上の瞬時電圧低下により機器停止等の影響を受ける場合があることも勘案し、常時電圧の10%以内（100V系では90Vが下限値）とすることが適切である。瞬時電圧低下対策を適用する時間は2秒程度までとすることが適当である。これは、落雷等により発生した故障点を除去するまでの間、故障点を中心として電圧が低下することがあるが、配電系統において、この電圧低下状態が継続する時間は、一般的には0.3～2秒程度となっていることにかんがみたまものである。このような前提の下、以下のような対策を行うものとする。

- ① 自励式の逆変換装置を用いる場合には、自動的に同期がとれる機能を有するものを用いるものとする。また、他励式の逆変換装置を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、配電線の増強を行うか、自励式の逆変換装置を用いるものとする。
- ② 同期発電機を用いる場合には、制動巻線付きのもの（制動巻線を有しているものと同程度の乱調防止効果を有する制動巻線付きでない同期発

電機を含む) とするとともに自動同期検定装置を設置するものとし、二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いる場合には、自動同期検定機能を有するものを用いるものとする。また、誘導発電機を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、同期発電機を用いる等の対策を行うものとする。

- ③ 風力発電設備等を連系する場合であって、出力変動や頻繁な並解列による電圧変動(フリッカ等)により他者に影響を及ぼすおそれがあるときは、発電設備等設置者において電圧変動の抑制や並解列の頻度を低減する対策を行うものとする。なお、これにより対応できない場合には、配電線の増強等を行うか、一般配電線との連系を専用線による連系とするものとする。

3. 不要解列の防止

(1) 保護協調

連系された系統以外の短絡事故やループ切替時の瞬時位相ずれなどによる系統側で瞬時電圧低下等が生ずることがあるが、この場合に極力不要な解列を防ぐため、電圧低下時間が不足電圧継電器の整定時限以内の場合は発電設備等は解列せず、運転継続又は自動復帰できるシステムとする。系統の電圧低下の継続時間が不足電圧継電器の整定時限を超える場合は、発電設備等を解列する。

(2) 事故時運転継続

発電設備等が、系統の事故による広範囲の瞬時電圧低下や瞬時的な周波数の変化等により一斉に停止又は解列すると、系統全体の電圧や周波数の維持に大きな影響を与える可能性があるため、そのような場合にも発電設備等は運転を継続するものとする。

第3節 高圧配電線との連系

1. 力率

高圧配電線との連系のうち、逆潮流がない場合の受電点の力率は、標準的な力率に準拠して85%以上とし、かつ系統側からみて進み力率とはならないこととする。逆潮流がある場合の受電点の力率は、低圧配電線との連系の場合と同様に取り扱う。

2. 自動負荷制限

発電設備等の脱落時等に連系された配電線路や配電用変圧器等が過負荷となるおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。

3. 逆潮流の制限

配電用変電所におけるバンク単位で逆潮流が発生すると、系統運用者において系統側の電圧管理面での問題が生ずるおそれがあることから逆潮流のある発電設備等の設置によって、当該発電設備等を連系する配電用変電所のバンクにおいて、原則として逆潮流が生じないようにすることが必要である。

ただし、当該発電設備等の設置によって、当該バンクに逆潮流が生じる場合は、系統側の電圧管理面で問題が生じないよう、当該発電設備等を連系する配電用変電所に設置されている電圧調整装置が逆潮流に対応できるような措置を講じることや、配電線に電圧調整装置を設置するなどの対策を行うものとする。

4. 電圧変動

(1) 常時電圧変動対策

発電設備等を一般配電線に連系する場合においては、電気事業法第26条及び同法施行規則第38条の規定により、低圧需要家の電圧を標準電圧100Vに対しては 101 ± 6 V、標準電圧200Vに対しては 202 ± 20 V以内に維持する必要がある。

しかし、発電設備等が連系された場合には、解列による電圧低下等により系統側の電圧が適正値を維持できなくなる場合も考えられる。また、逆潮流有りの発電設備等が連系された場合には、系統側の電圧が上昇し適正値を維持できない場合も考えられる。

電圧変動の程度は、負荷の状況、系統構成、系統運用、発電設備等の設置点や出力等により異なるため、個別に検討することが適切であるが、需要家への電気の安定供給を維持していくため、電圧変動対策が必要な場合には、以下に示す電圧変動対策のための装置を発電設備等設置者が設置するものとし、これにより対応できない場合には、配電線新設による負荷分割等の配電線増強を行うか、又は専用線による連系を行う。

- ① 一般配電線との連系であって、発電設備等の脱落等により低圧需要家の電圧が適正値（ 101 ± 6 V、 202 ± 20 V）を逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。

- ② 発電設備等からの逆潮流により低圧需要家の電圧が適正值(101±6V、202±20V)を逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に電圧を調整する対策を行うものとする。

(2) 瞬時電圧変動対策

発電設備等の連系時の検討においては、低圧の場合と同様、発電設備等の並解列時の瞬時電圧低下は常時電圧の10%以内とし、瞬時電圧低下対策を適用する時間は2秒程度までとすることが適当であることを前提として、以下のような対策を行うものとする。

- ① 同期発電機を用いる場合には、制動巻線付きのもの(制動巻線を有しているものと同様以上の乱調防止効果を有する制動巻線付きでない同期発電機を含む。)とするとともに自動同期検定装置を設置するものとし、二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いる場合には、自動同期検定機能を有するものを用いるものとする。また、誘導発電機を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、同期発電機を用いる等の対策を行うものとする。
- ② 自励式の逆変換装置を用いる場合には、その構成(変圧器、フィルタ等)や並列方法によっては変圧器の励磁突入電流が流れ、また、系統と逆変換装置出力が同期していないと、並列時に大きな突入電流が流れる。したがって、この場合には、自動的に同期が取れる機能を有するものを用いるものとする。また、他励式の逆変換装置を用いる場合であっては、逆変換装置自身に突入電流を抑制する機能がない。したがって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、自励式の逆変換装置を用いるものとする。
- ③ 風力発電設備等を連系する場合であって、出力変動や頻繁な並解列による電圧変動により他者に影響を及ぼすおそれがあるときは、発電設備等設置者において電圧変動の抑制や並解列の頻度を低減する対策を行うものとする。なお、これにより対応できない場合には、配電線の増強等を行うか、一般配電線との連系を専用線による連系とするものとする。

5. 不要解列の防止

(1) 保護協調

連系された系統以外の短絡事故等により系統側で瞬時電圧低下等が生ずることがあるが、連系された系統以外の事故時には、発電設備等は解列されないようにするとともに、連系された系統から発電設備等が解列される場合には、逆電力継電器、不足電力継電器等による解列を自動再閉路時間より短い時限、かつ、過渡的な電力変動による当該発電設備等の不要な遮断を回避できる時限で行うものとする。ここで、「不要な遮断を回避できる時限」とは、発電設備等を継続的に安定運転させるため、単独運転時の逆潮流と単独運転以外の一時的な逆潮流（構内の急激な負荷変動や連系された系統の電圧・周波数の変動によって起きる一時的な逆潮流）を判別できる時限のことをいう。

(2) 事故時運転継続

発電設備等が、系統の事故による広範囲の瞬時電圧低下や瞬時的な周波数の変化等により一斉に停止又は解列すると、系統全体の電圧や周波数の維持に大きな影響を与える可能性があるため、そのような場合にも発電設備等は運転を継続するものとする。

6. 連絡体制

発電設備等設置者の構内事故及び系統側の事故等により、連系用遮断器が動作した場合等には、一般送配電事業者と発電設備等設置者との間で迅速かつ的確な情報連絡を行い、速やかに必要な措置を講ずることが必要である。このため、系統側電気事業者の営業所等と発電設備等設置者の技術員駐在箇所等との間には、保安通信用電話設備を設置するものとする。ただし、保安通信用電話設備は次のうちのいずれかを用いることができる。

①専用保安通信用電話設備

②電気通信事業者の専用回線電話

③次の条件を全て満たす場合においては、一般加入電話又は携帯電話等

ア. 発電設備等設置者側の交換機を介さず直接技術員との通話が可能な方式（交換機を介する代表番号方式ではなく、直接技術員駐在箇所へつながる単番方式）とし、発電設備等の保守監視場所に常時設置されているものとする。

イ. 話中の場合に割り込みが可能な方式（キャッチホン等）とすること。

ウ. 停電時においても通話可能なものであること。

エ. 災害時等において当該電気事業者と連絡が取れない場合には、当該電気事業者との連絡が取れるまでの間発電設備等の解列又は運転を停止するよう、保安規程上明記されていること。

第4節 スポットネットワーク配電線との連系

1. 力率

スポットネットワーク配電線との連系については、高圧配電線との連系の逆潮流がない場合と同様に扱う。なお、線路の作業等で1回線停止後、再送電したときに、発電設備等の出力状態によっては、ネットワーク継電器の差電圧投入ができない場合が生じるので、この場合は、発電設備等の出力・力率制御を行って、差電圧投入を促すこととする。

2. 自動負荷制限

発電設備等の脱落時等に主として連系された配電線路や配電用変圧器等が過負荷となるおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。

3. 電圧変動

(1) 常時電圧変動対策

スポットネットワーク配電線の電圧は、後述の特別高圧電線路への連系の場合と同じ管理基準が用いられるので、常時電圧変動の適正值は常時電圧の概ね $\pm 1\sim 2\%$ 以内とする。

また、スポットネットワーク配電線には、特別高圧需要家のほか、変圧器室やレギュラーネットワークによる低圧需要家も存在する。このため、発電設備等をスポットネットワーク配電線に連系する場合には、系統に連系する低圧需要家の電圧を、電気事業法第26条及び同法施行規則第38条の規定に基づき、標準電圧100Vに対しては $101\pm 6V$ 、標準電圧200Vに対しては $202\pm 20V$ 以内に維持する必要がある。

しかし、発電設備等が連系された場合には、発電設備等の解列による電圧低下等により系統の電圧が適正值を維持できないおそれがある。

電圧変動の程度は、負荷の状況、系統構成、系統運用、発電設備等の解列点や出力等により異なるため、個別に検討するものとするが、発電設備等の脱落等により系統の電圧が適正值を逸脱するおそれがある時は、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。

(2) 瞬時電圧変動対策

本受電方式の需要家では高度な情報機器が用いられることが多く、これら機器は、定格電圧の10%以上の瞬時電圧低下で機器停止等の影響を受ける場合

があるため、発電設備等の並解列時の瞬時電圧低下は10%以内とすることが適切である。

- ① 同期発電機を用いる場合には、制動巻線付きのもの（制動巻線を有しているものと同等以上の乱調防止効果を有する制動巻線付きでない同期発電機を含む。）とするとともに自動同期検定装置を設置するものとし、二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いる場合には、自動同期検定機能を有するものを用いるものとする。また、誘導発電機を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれのあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、同期発電機を用いる等の対策を行うものとする。
- ② 自励式の逆変換装置を用いる場合の取扱は、「第3節 高圧配電線との連系」における要件に準ずる。すなわち、自励式の逆変換装置を用いる場合には、その構成（変圧器、フィルタ等）や並列方法によっては変圧器の励磁突入電流が流れ、また、系統と逆変換装置出力が同期していないと、並列時に大きな突入電流が流れる。したがって、この場合には、自動的に同期がとれる機能を有するものを用いるものとする。また、他励式の逆変換装置を用いる場合であっては、逆変換装置自身に突入電流を抑制する機能がない。したがって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から10%を超えて逸脱するおそれのあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、自励式の逆変換装置を用いるものとする。

4. 不要解列の防止

(1) 保護協調

発電設備等の故障又は系統の事故時に、事故範囲の局限化を行い、需要家への電気の安定供給を維持していくためには、以下の考え方を基本とするものとする。

- ① 連系された系統の事故及びプロテクタ遮断器までの事故に対しては、事故回線のプロテクタ遮断器を開放し、健全回線との連系は原則として保持して、発電設備等は解列しないこと。
- ② 連系された系統以外の事故時や系統側の瞬時電圧低下等に対し、発電設備等は解列されないこと。

(2) 事故時運転継続

発電設備等が、系統の事故による広範囲の瞬時電圧低下や瞬時的な周波数の変化等により一斉に停止又は解列すると、系統全体の電圧や周波数の維持に大きな影響を与える可能性があるため、そのような場合にも発電設備等は運転を継続するものとする。

5. 連絡体制

発電設備等設置者の構内事故及び系統側の事故等により、連系用遮断器が動作した場合等には、電力会社と発電設備等設置者との間で迅速かつ的確な情報連絡を行い、速やかに必要な措置を講ずることが必要である。このため、系統側電気事業者の営業所等と発電設備等設置者の技術員駐在箇所等との間には、保安通信用電話設備を設置するものとする。ただし、保安通信用電話設備は次のうちのいずれかを用いることができる。

①専用保安通信用電話設備

②電気通信事業者の専用回線電話

③次の条件を全て満たす場合においては、一般加入電話又は携帯電話等

ア. 発電設備等設置者側の交換機を介さず直接技術員との通話が可能な方式（交換機を介する代表番号方式ではなく、直接技術員駐在箇所へつながる単番方式）とし、発電設備等の保守監視場所に常時設置されているものとする。

イ. 話中の場合に割り込みが可能な方式（キャッチホン等）とすること。

ウ. 停電時においても通話可能なものであること。

エ. 災害時等において当該電気事業者と連絡が取れない場合には、当該電気事業者との連絡が取れるまでの間発電設備等の解列又は運転を停止するよう、保安規程上明記されていること。

第5節 特別高圧電線路との連系

1. 力率

特別高圧電線路に連系する場合には、高圧配電線との連系に準ずる。ただし、逆潮流がある場合には、発電設備等設置者の受電点における力率は、系統の電圧を適切に維持できるように定めるものとする。

2. 単独運転時における適正電圧・周波数の維持

特別高圧電線路との連系時においては、低圧・高圧配電線との連系と異なり、逆潮流有りの場合に対して原則として単独運転は可能である。これは、特別高圧電線路には、発電事業者の発電設備等が連系される状況となっており、特別高圧電線路へ連系される発電設備等に対して系統安定・維持に資することが期待されるようになったためである。

上位系統事故や連系された系統の事故等により電圧や周波数の維持に資する大規模な電源が喪失した場合であって、発電設備等設置者が単独運転を実施する場合にも、適正な系統電圧・周波数を維持することが必要である。そこで、以下の対策を講ずることとする。なお、単独運転時における適正な電圧や周波数の値については、系統構成等が影響し、一義的に決めることはできないため、一般送配電事業者と発電設備等設置者との協議によることとする。

(1) 保護装置の設置

- ① 逆潮流有りの条件で連系する場合、適正な電圧・周波数を逸脱した単独運転を防止するため、周波数上昇継電器及び周波数低下継電器、又は転送遮断装置を設置する。なお、周波数上昇継電器及び周波数低下継電器の特性は、単独運転の結果、系統電圧が定格電圧の40%程度まで低下した場合においても、周波数を検知可能なものとする。周波数上昇継電器又は周波数低下継電器が上記特性を有しない場合は、単独運転状態になった場合に系統等に影響を与えるまでに低下した系統電圧を検知可能な不足電圧継電器と組み合わせることで補完しながら使用すること。
- ② 逆潮流無しの条件で連系する場合、単独運転を防止するため、周波数上昇継電器及び周波数低下継電器を設置する。ただし、発電設備等の出力容量が系統の負荷と均衡する場合であって、周波数上昇継電器又は周波数低下継電器により検出・保護できないおそれがあるときは、逆電力継電器を設置するものとする。

(2) 保護装置の設置場所

(1)の保護継電器は、受電点又は故障の検出が可能な場所に設置する。ここで、「故障の検出が可能な場所」とは、具体的には、発電設備等の引出口、受電点と発電設備等との間の連絡用母線、受電用変圧器二次側等のことである。

(3) 解列箇所

(1)の保護装置が動作した場合、次の箇所のいずれかで発電設備等を系統から解列する。なお、解列にあたっては、発電設備等を電路から機械的に切り離すことができ、かつ、電氣的にも完全な絶縁状態を保持しなければならない

め、原則として、半導体のみで構成された電子スイッチを遮断装置として適用することはできない。

- ① 受電用遮断器
- ② 発電設備等出力端遮断器
- ③ 発電設備等連絡用遮断器
- ④ 母線連絡用遮断器

(4) 保護継電器の設置相数

(1) の継電器のうち、周波数低下継電器、周波数上昇継電器及び逆電力継電器は一相設置とする。また、不足電圧継電器は、三相設置とする。

3. 自動負荷制限・発電抑制

発電設備等の脱落時等に主として連系された電線路や変圧器等が過負荷となるおそれがあるときは、発電設備等設置者において自動的に負荷を制限する対策を行うものとする。また、原則として100kV以上の特別高圧電線路と連系する場合には、必要に応じて過負荷検出装置を設置し発電抑制を行うものとする。

4. 電圧変動

(1) 常時電圧変動対策

電圧階級、負荷の軽重、負荷の力率、系統の線路定数、系統側の短絡容量、系統運用等の要因により、連系しようとする電線路個別の条件によって電圧変動の程度は変化するが、特別高圧電線路への連系においては、発電設備等の連系による電圧変動は、常時電圧の概ね $\pm 1 \sim 2\%$ 以内を適正值とし、この範囲を逸脱するおそれがある場合には、発電設備等設置者において自動的に電圧を調整するものとする。

(2) 瞬時電圧変動対策

発電設備等の並解列時において、瞬時的に発生する電圧変動に対しても、常時電圧の $\pm 2\%$ を目安に適正な範囲内に発電設備等設置者においてこの瞬時電圧変動を抑制するものとする。

- ① 同期発電機を用いる場合には、制動巻線付きのもの（制動巻線を有しているものと同様以上の乱調防止効果を有する制動巻線付きでない同期発電機を含む。）とするとともに自動同期検定装置を設置するものとし、二次励磁制御巻線形誘導発電機を用いる場合には、自動同期検定機能を有するものを

用いるものとする。また、誘導発電機を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から±2%程度を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、同期発電機を用いる等の対策を行うものとする。

- ② 自励式の逆変換装置を用いる場合には、自動的に同期が取れる機能を有するものを用いるものとする。また、他励式の逆変換装置を用いる場合であって、並列時の瞬時電圧低下により系統の電圧が常時電圧から±2%程度を超えて逸脱するおそれがあるときは、発電設備等設置者において限流リアクトル等を設置するものとする。なお、これにより対応できない場合には、自励式の逆変換装置を用いるものとする。

5. 不要解列の防止

(1) 保護協調

発電設備等の故障又は系統の事故時に、事故範囲の局限化等を行い、需要家への電気の安定供給を維持していくためには、安全確保上の対応を講じることは前提として、

- ① 連系された系統以外の事故時には、原則として発電設備等は解列されないこと。
- ② 連系された系統から発電設備等が解列される場合には、逆電力継電器、不足電力継電器等による解列を自動再閉路時間より短い時限、かつ、過渡的な電力変動による当該発電設備等の不要な遮断を回避できる時限で行うこと。

が適切である。

(2) 事故時運転継続

発電設備等が、系統の事故による広範囲の瞬時電圧低下や瞬時的な周波数の変化等により一斉に停止又は解列すると、系統全体の電圧や周波数の維持に大きな影響を与える可能性があるため、そのような場合にも発電設備等は運転を継続するものとする。

6. 発電機運転制御装置の付加

原則として100kV以上の特別高圧電線路と連系する場合であって、系統安定化、潮流制御等の理由により運転制御が必要な場合には、発電設備等に必要運転制御装置を設置する。

7. 連絡体制

(1) 発電設備等設置者の構内事故及び系統側の事故等により、連系用遮断器が動作した場合等には、系統運用者と発電設備等設置者との間で迅速かつ確かな情報連絡を行い、速やかに必要な措置を講ずることが必要である。このため、系統側電気事業者の給電所等と発電設備等設置者の技術員駐在箇所等との間には、保安通信用電話設備（専用保安通信用電話設備又は電気通信事業者の専用回線電話）を設置するものとする。ただし、保安通信用電話設備は、35kV以下の特別高圧電線路と連系する場合には、次のうちのいずれかを用いることができる。

①専用保安通信用電話設備

②電気通信事業者の専用回線電話

③次の条件を全て満たす場合においては、一般加入電話又は携帯電話等

ア. 発電設備等設置者側の交換機を介さず直接技術員との通話が可能な方式（交換機を介する代表番号方式ではなく、直接技術員駐在箇所へつながる単番方式）とし、発電設備等の保守監視場所に常時設置されているものとする。

イ. 話中の場合に割り込みが可能な方式（キャッチホン等）とすること。

ウ. 停電時においても通話可能なものであること。

エ. 災害時等において当該電気事業者と連絡が取れない場合には、当該電気事業者との連絡が取れるまでの間発電設備等の解列又は運転を停止するよう、保安規程上明記されていること。

(2) 60kV以上の特別高圧電線路と連系する場合には、系統側電気事業者の給電所と発電設備等設置者との間に、必要に応じ、系統運用上等必要な情報が相互に交換できるようスーパービジョン及びテレメータを設置するものとする。なお、このような機器を設置することは、発電設備等設置者の過度の負担となりかねないので、逆潮流の有る場合に限定することとする。また、このための伝送路は保安通信用電話設備回線と兼用することを前提とする。

【参考資料3】

全国の代表的な流況

出典) 第5次発電水力調査報告書 資料編

2. 地域別流況 (100km²当たり)

(札幌通産局)

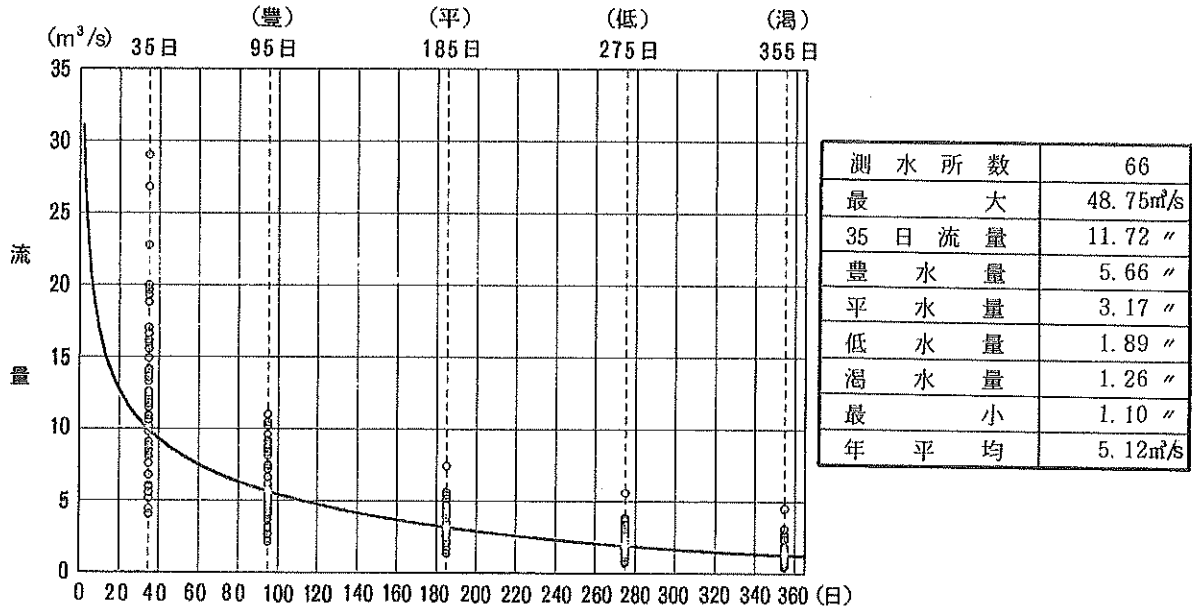


図-6.8(1)

(仙台通産局)

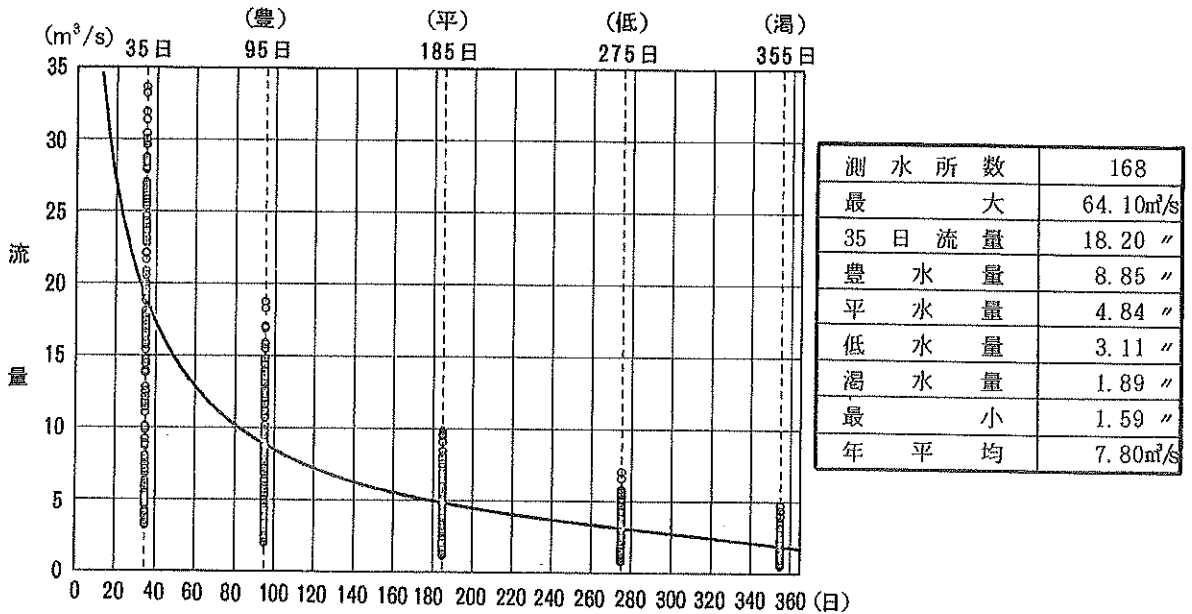


図-6.8(2)

(東京通産局)

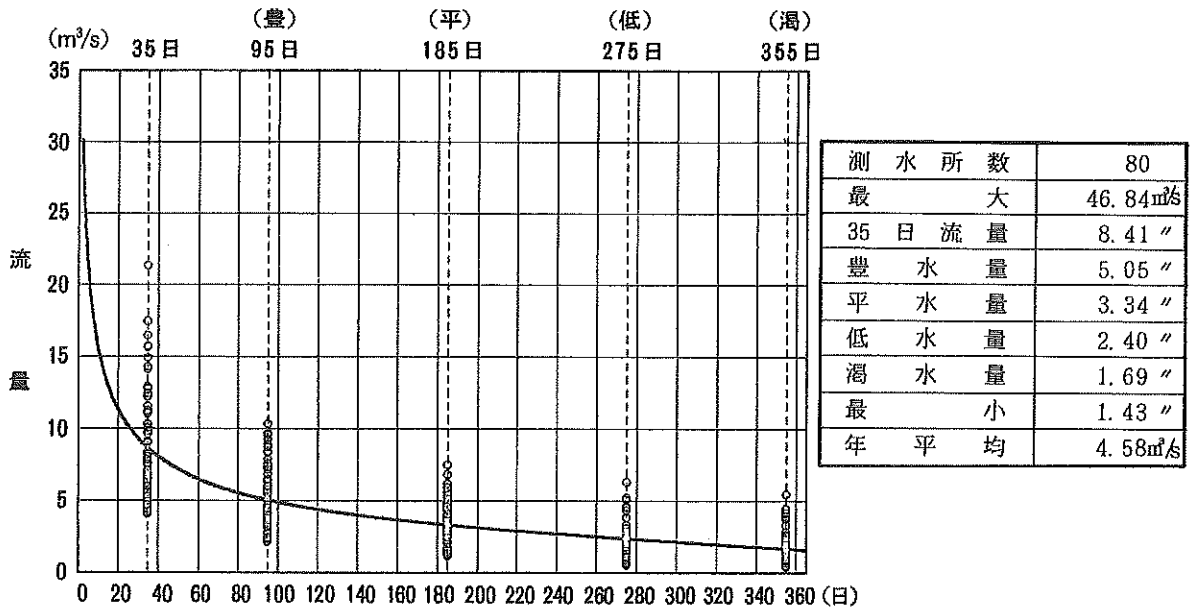


図-6.8(3)

(名古屋通産局)

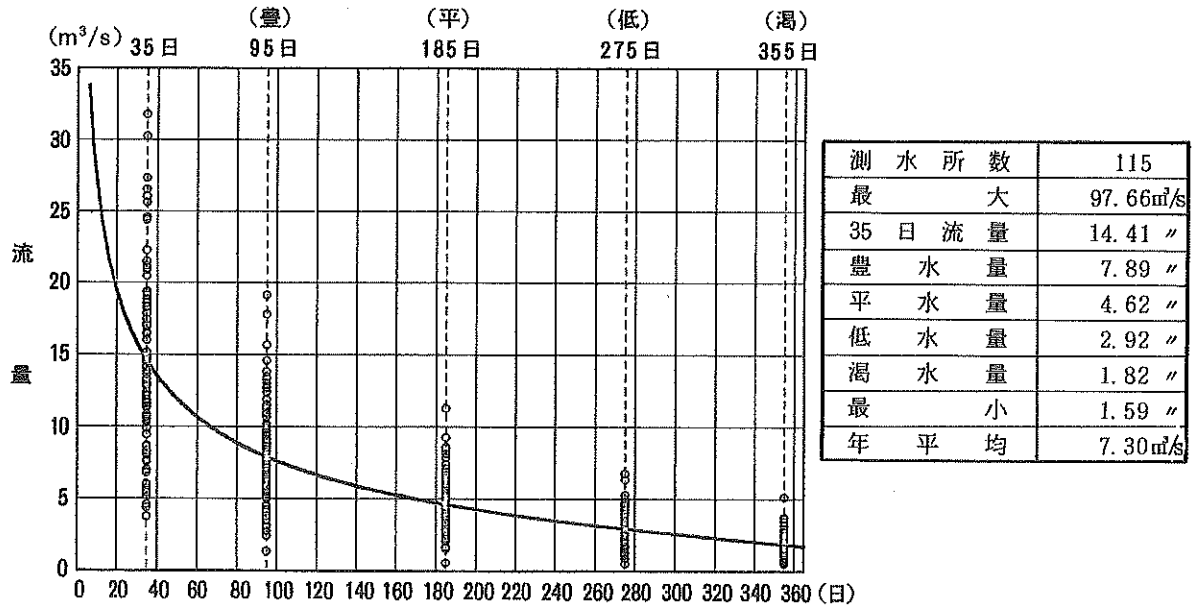
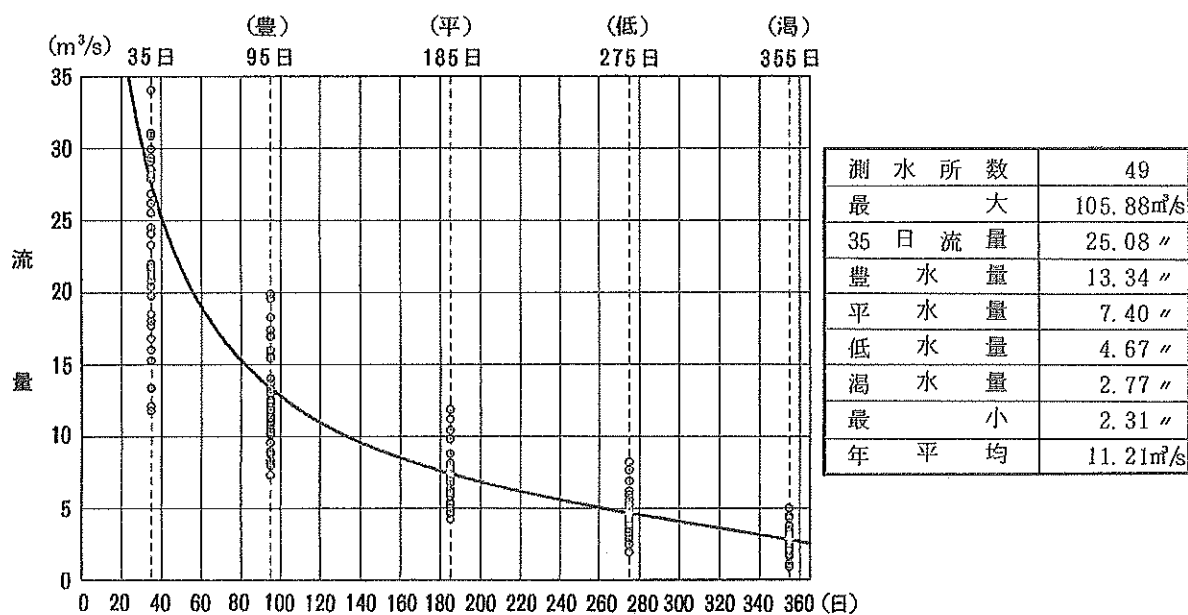


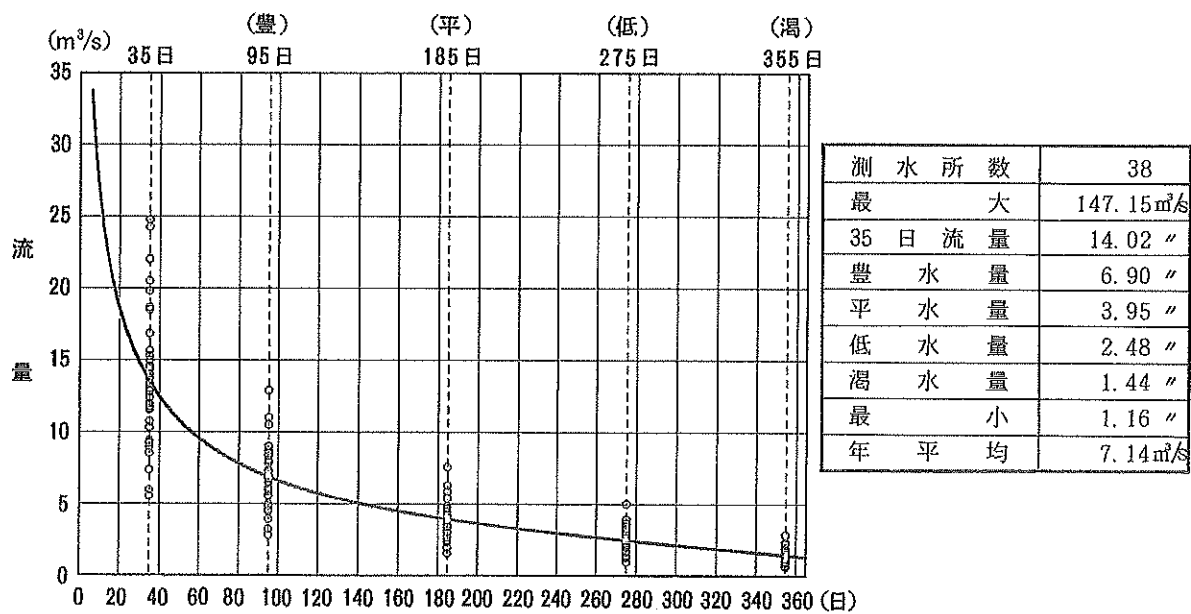
図-6.8(4)

(富山支局)



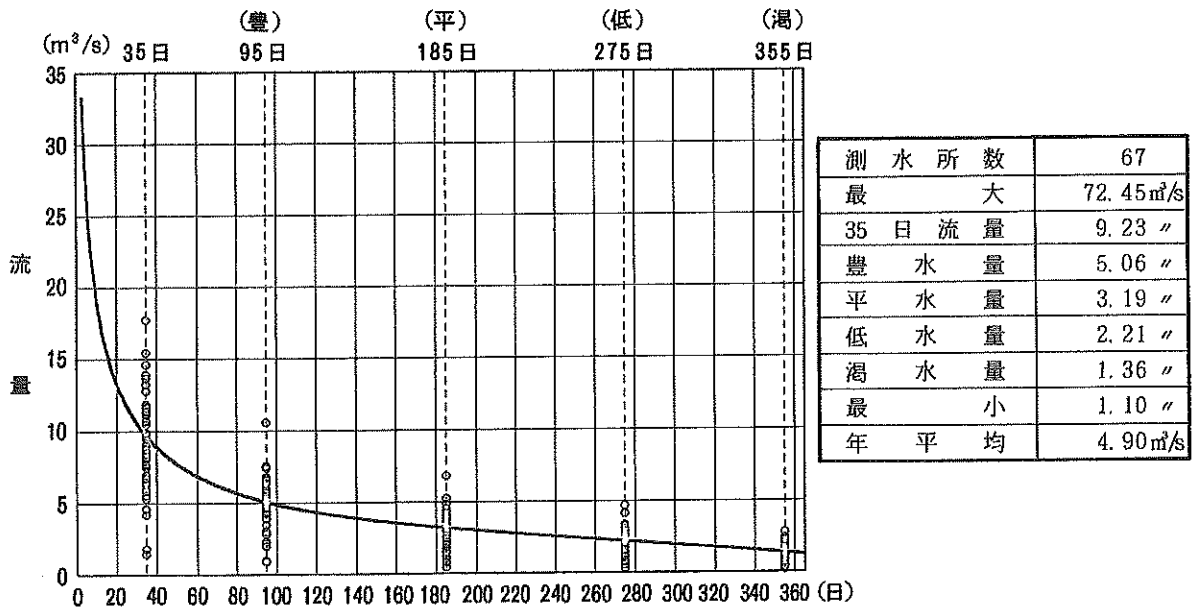
図—6.8(5)

(大阪通産局)



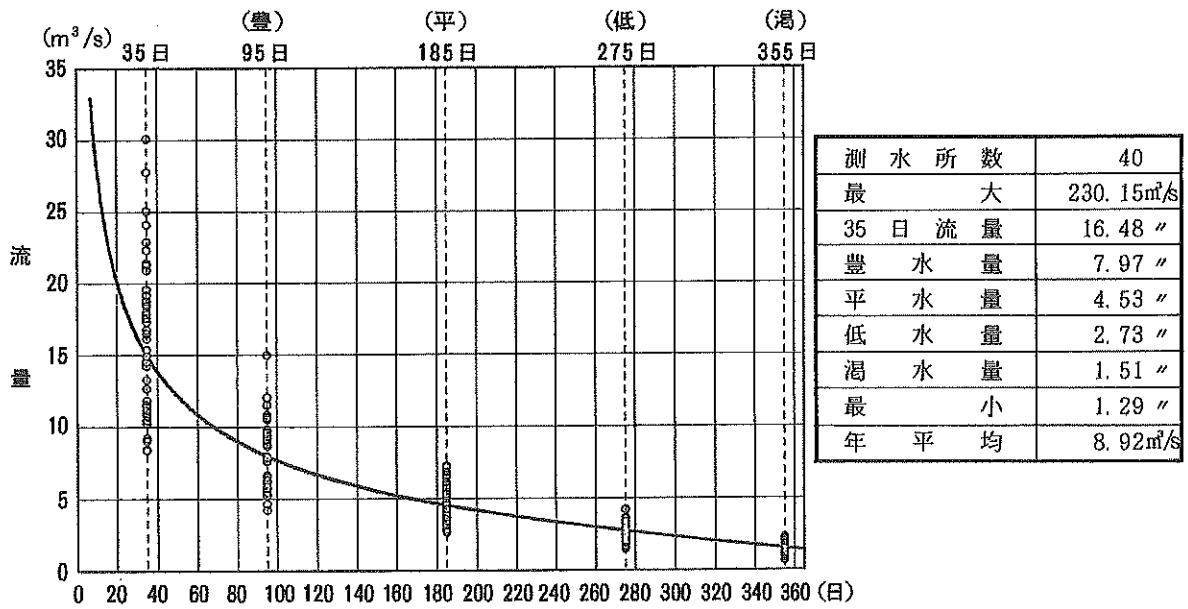
図—6.8(6)

(広島通産局)



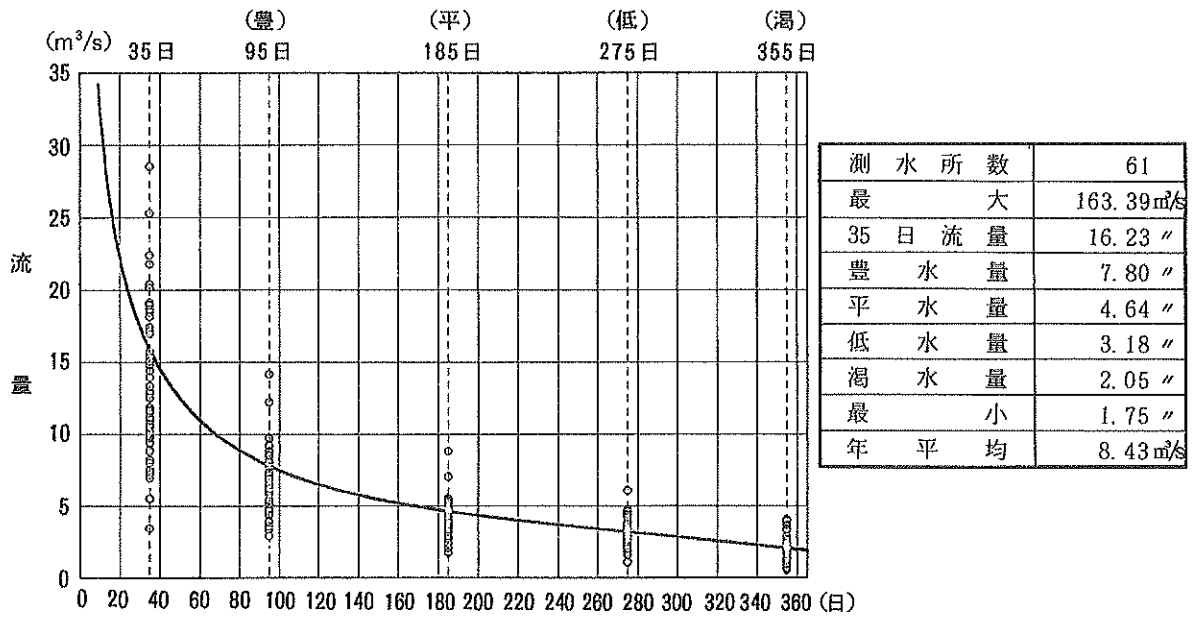
図—6.8(7)

(四国通産局)



図—6.8(8)

(福岡通産局)



図一6.8(9)

【参考資料4】

現地調査野帳例

沈砂池 (1)
・施設設置位置変更必要性の有無
・代替位置の有無
・地形・地質の状況(周辺地山の安定性、掘削の多寡等)
・アクセス方法 (道路、ケーブルクレーン、インクライン等)
・規模縮小化及び省略の可能性 (流下土砂の多寡、上流崩落地の有無等)

略 図 等

導水路
・ルート変更必要性の有無(坑口、開きよ・暗きよのルート)
・代替ルートの確認
・経過地の地形・地質の状況
・アクセス方法 (道路、ケーブルクレーン、インクライン等)

略 図 等

水槽・水圧鉄管・余水路 ・施設設置位置・ルート変更必要性の有無
・代替位置・ルートの確認
・地形・地質の状況(掘削の多寡、露出・埋設の検討、斜面勾配等)
・水圧管路と余水路併設の確認
・アクセス方法 (道路、ケーブルクレーン、インクライン等)

略 図 等

発 電 所 ・施設設置位置変更必要性の有無
・代替位置の確認
・地形・地質の状況(発電所形式の確認、掘削の多寡、スペースの確認等)
・アクセス方法 (道路、ケーブルクレーン、インクライン等)

略 図 等
