

# 水力開発ガイドマニュアル (第2分冊 小規模水力発電)

平成23年3月  
(2011年)

独立行政法人  
国際協力機構 (JICA)  
電源開発株式会社

株式会社開発設計コンサルタント

産業
JR
11-031

# 目 次

## **第1部 地方電化のための小規模水力発電の導入ガイド**

第1章	小規模水力開発の意義.....	1-1
第2章	ガイドマニュアルの目的と範囲.....	2-1
第3章	水力発電の基礎知識.....	3-1
第4章	小規模水力地方電化プロジェクト.....	4-1

## **第2部 電化地域の特定**

第5章	電化地域の選定および地点の発掘.....	5-1
-----	----------------------	-----

## **第3部 調査・計画、設計および工事**

第6章	社会経済調査.....	6-1
第7章	技術調査.....	7-1
第8章	発電計画の策定.....	8-1
第9章	土木構造物の設計.....	9-1
第10章	電気・機械設備の設計.....	10-1
第11章	配電設備の設計.....	11-1
第12章	調達・建設工事費.....	12-1
第13章	施工監理.....	13-1

## **第4部 電気事業運営**

第14章	電気事業運営機関と電気料金.....	14-1
第15章	設備の運転維持管理.....	15-1
第16章	電気事業運営への支援.....	16-1

## **第 1 部**

# **地方電化のための小規模水力発電の 導入ガイド**

# 目 次

<b>第 1 章</b>	<b>小規模水力開発の意義</b>	
<b>第 2 章</b>	<b>ガイドマニュアルの目的と範囲</b>	
2.1	目的 .....	2-1
2.2	小規模水力発電の定義およびマニュアルの範囲 .....	2-1
2.2.1	小規模水力発電の定義 .....	2-1
2.2.2	マニュアルの範囲 .....	2-1
<b>第 3 章</b>	<b>水力発電の基礎知識</b>	
3.1	水力発電のエネルギー .....	3-1
3.1.1	水力発電 .....	3-1
3.1.2	発電力 .....	3-2
3.1.3	発生電力量 .....	3-2
3.2	水力の発電方式 .....	3-2
3.2.1	発電所の運用上の特性による分類 .....	3-2
3.2.2	落差を得る方法による分類 .....	3-4
3.3	電化レベルと開発形態 .....	3-4
3.3.1	電化レベルと電力需要の関係 .....	3-4
3.3.2	電化レベルと電源の組合せの関係 .....	3-7
<b>第 4 章</b>	<b>小規模水力地方電化プロジェクト</b>	
4.1	開発の流れ .....	4-1
4.1.1	予備調査段階 .....	4-3
4.1.2	基本計画調査段階 .....	4-3
4.1.3	実施計画段階 .....	4-4
4.1.4	建設実施段階 .....	4-5
4.1.5	運営維持管理段階 .....	4-5
4.2	プロジェクトと地域との係わり .....	4-6
4.3	開発のスキーム .....	4-6
4.3.1	日本の開発援助プログラム .....	4-6
4.3.2	地方電化促進のための施策 .....	4-11

## 表リスト

表 3-1	電化の進展に伴う電力需要の変化.....	3-5
表 3-2	電化レベルと電源の組合せ例.....	3-7
表 4-1	予備調査段階の業務.....	4-3
表 4-2	基本計画調査段階の業務.....	4-3
表 4-3	実施計画段階の業務.....	4-4
表 4-4	建設実施段階の業務項目.....	4-5
表 4-5	運営維持管理段階の業務項目.....	4-5
表 4-6	地域との係わり.....	4-6

## 図リスト

図 3-1	水循環の模式図.....	3-1
図 3-2	流れ込み式.....	3-3
図 3-3	調整池式および貯水池式.....	3-3
図 3-4	ダム水路式.....	3-4
図 3-5	需要パターンの経年変化.....	3-5
図 4-1	小規模水力発電による地方電化実施の手順.....	4-2
図 4-2	日本の ODA の仕組み.....	4-8
図 4-3	無償資金協力実施の流れ.....	4-9

# 第 1 章

## 小規模水力開発の意義

## 第1章 小規模水力開発の意義

### (1) 地方電化への対応

世界には電気がない生活を送っている人が20数億人いると言われており、その大半は開発途上国に住んでいる。わずかな電気であっても、熱源、光源として人々の日常生活を充実させ、ワクチンの保存や医療機器の導入によって医療レベルの改善を図ることができ、学校など公共施設の電化に寄与し、灌漑・飲料水供給、小規模工場の動力となるなど、人々の生活の質は無電化と比較すると飛躍的に改善する。このように、地方電化に対するニーズが増大しているものの、電気を享受できないほとんどの人々は地方に住んでおり、国家電力網（送電線、配電線）の延伸では高コストのため、途上国政府はそのニーズに答えられない状況に直面している。小規模水力発電は、地方の機関が発電所と配電網を建設、運営することにより、コスト低減が図れるので、電力系統に接続されていない地域において効果的な電源といえる。

また、安定電源としての水力を、地域資源として生産的に利用することにより、地域住民の生計向上・エンパワーメントが図れる。

### (2) 地球環境問題への対応

水力発電は、炭水ガスや他の排気ガスといった環境汚染物質のマイナス面を有しなく、優れた再生可能エネルギーである。近年、エネルギー利用の拡大に伴い、地球の温暖化、酸性雨、砂漠化等、地球環境問題が国際的に喫緊の課題となっている。化石燃料の燃焼は、炭酸ガス（CO<sub>2</sub>）の増加による地球温暖化、酸性ガス（SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>）の放出による酸性雨問題を引き起こしている。また、開発途上国ではエネルギー源として、薪炭に頼っている地域が多く、森林荒廃、土壌喪失、砂漠化の一因となっている。このような背景に対し、水力発電は再生可能なエネルギーであり、環境負荷面において極めて優れている。

### (3) 地方の人材・技術の活用

水力発電の技術は既に100年以上の歴史を有する完成されたものであり、開発途上国の技術者に適切な技術移転を行うことによって、十分に安全で信頼度の高い電力エネルギーを得ることが可能である。特に、小規模水力の技術レベルは大規模水力のような高度な技術を必要としなく、かんがい設備のような地域の伝統的な技術の活用による設備の建設や、地域の人材の適切な教育により発電所運営ができる利点がある。

### (4) 安定した電気料金

小規模水力発電で生み出されるエネルギーは、国産の再生可能エネルギーであり、運転には燃料費を必要としない。近年、地球規模の経済発展により、石油などの燃料費が高騰する傾向にあるが、水力発電所は一旦建設すれば、燃料費の高騰の影響がなく、長期にわたり安定的に安価な電気を供給することができる利点がある。

## 第2章

### ガイドマニユアルの目的と範囲



## 第2章 ガイドマニュアルの目的と範囲

### 2.1 目的

本ガイドマニュアル（以下、「マニュアル」）は、地方電化用の供給電源として小規模な水力発電所を設置する場合について、その調査・計画から発電所の運用までについて解説したものである。

その内容は、水力発電に携わる関係者を対象に、以下に重点を置き作成されている。

- 中央および地方の行政官が水力発電に関する基礎知識を得て、発電所の計画から運転までのフロー、開発スキームなど、プロジェクトの具体化と持続的な運転に関する概略的な知見を得ること。
- 行政官を支援する関係者が、水力による地方電化に関し計画策定、設備設計、建設、完成後の運営維持管理、料金回収などに関する基本的な知見を得ること。なお、関係者には、電力公社、大学、コンサルタントの技術者、および水力発電に関する経験を有する地方の人々を含む。

### 2.2 小規模水力発電の定義およびマニュアルの範囲

#### 2.2.1 小規模水力発電の定義

国レベルの送電線網から遠く離れた地方は、独立した電力系統とならざるを得ない。独立系統の供給電源として、10～500kW程度が多く用いられるので、本マニュアルではこの出力範囲を「小規模水力発電（Small scale hydropower generation）」と定義し、略称「小規模水力」と呼称する。

#### 2.2.2 マニュアルの範囲

本マニュアルで扱う範囲は、小規模水力に関する調査、計画策定、設備設計（土木設備、電気設備、配電設備）、工事費算定、建設および発電所の運営維持管理である。

電気の使用量は一般的には運転開始当初はわずかなものであるが、村民がその利便性を認識するにつれ、使用量（電力需要）は増加する。本マニュアルで扱う小規模水力は独立系統に供給する発電所であるが、将来的には需要の増大に対応し送電線網の延伸が行われる可能性もあるので、その状況変化に対応できる内容を含むものとする。

地方電化のための小規模水力プロジェクトを進めるにあたって、使用する調査・検討手法やアプローチの手法には、種々の手法がある。本ガイドマニュアルの5章から16章では、代表的な手法のひとつを記載したものであるが、それぞれのプロジェクトが置かれている状況などにより、記載したものは異なった手法がとられることがある。

## 第 3 章

# 水力発電の基礎知識

## 第3章 水力発電の基礎知識

### 3.1 水力発電のエネルギー

#### 3.1.1 水力発電

##### (1) 水力

湖沼や貯水池などの高い場所にある水、河川を流下する水などは、いずれも位置エネルギーまたは運動のエネルギーをもっている。このような水のもつエネルギーを水力という。

この水力を利用して電気エネルギーに転換する発電方式を水力発電という。

##### (2) 水循環と水力

図 3-1 は、「雲→降雨→流出→蒸発散→雲」からなる水循環を表したものである。流域に降った雨は地上に到達し、その一部は河川流出となり、一部は地表や湖面、海面、植物からの蒸発散となり、一部は地下水となる。従って、この水を利用する水力発電は、水循環という現象を活用した再生可能エネルギーである。

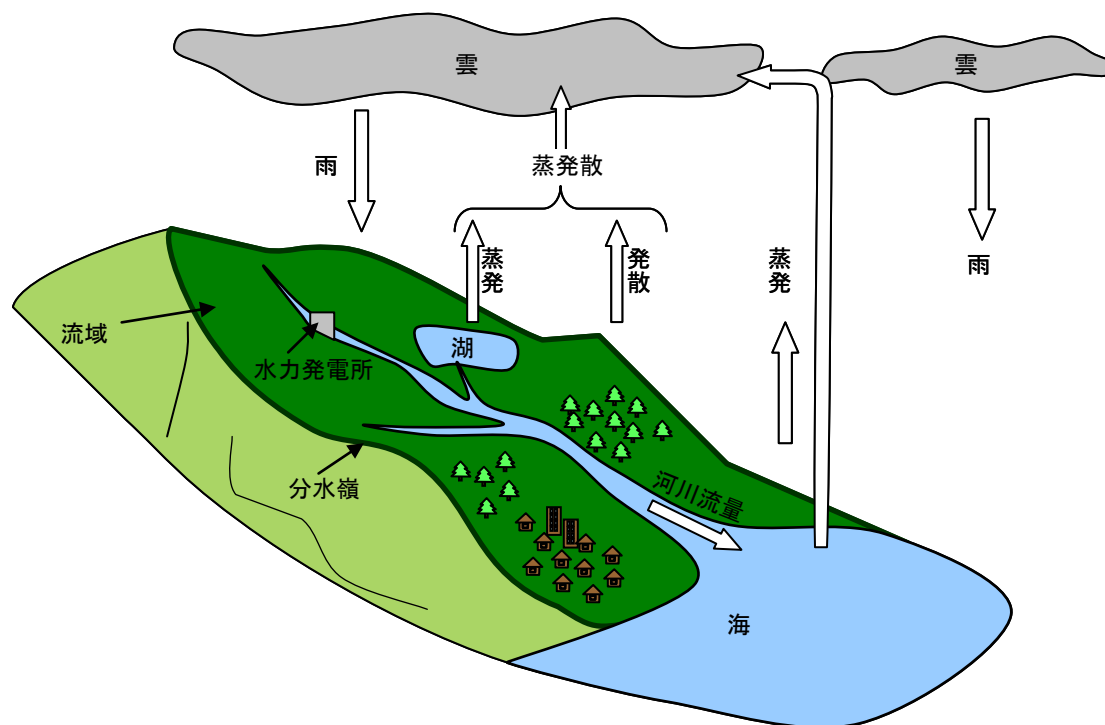


図 3-1 水循環の模式図

### 3.1.2 発電力

水力発電所では水のエネルギーによって水車、発電機を回転させ電力を発生する。すなわち、水のエネルギーを機械エネルギーに変え、更に電気エネルギーに変換させるのである。このようなエネルギー変換の過程において、水車および発電機によるエネルギーの損失があり、発電力は次式で表される。なお、第4章以降については、水の密度の記載を省略する。

$$P = \rho \times 9.8 \times Q \times H_e \times \eta$$

ここに、

P	: 発電力 (kW)
$\rho$	: 水の密度 = 1,000kg/m <sup>3</sup> (温度 4°C、標高 0m、大気圧 1 気圧)
9.8	: 重力の加速度 (m/sec <sup>2</sup> ) の概略値
Q	: 使用水量 (m <sup>3</sup> /sec)
H <sub>e</sub>	: 有効落差 (m)
$\eta$	: 水車・発電機の合成効率

1,000キロワット (kW) は1メガワット (MW) といい、このMWで発電力を表す場合もある。

発電所の性能を表現するため、設備出力、最大出力、常時出力（保証出力）、常時尖頭出力（保証尖頭出力）<sup>1</sup>等が用いられる。

### 3.1.3 発生電力量

発電力 (P) は発生する電力の大きさであって、この発電力 (kW) をT時間 (hour) 発生したときの電気の量 (PとTの積) を発電電力量といい、キロワット時 (kWh: キロワットアワーと読む) で表す。

発電所が1年間に発電する電力量を年間発電電力量という。

## 3.2 水力の発電方式

水力の発電方式として、発電所の運用上の特性による分類と落差を得る方法による分類がある。

### 3.2.1 発電所の運用上の特性による分類

#### (1) 流れ込み式

図 3-2 に示すとおり、河川の流水を取水し、調整せず発電する形式を流れ込み式という。3.2.2 (1)の水路式がこれに相当する。地方電化の小規模水力については、そのほとんどに流れ込み式が採用されている。

<sup>1</sup> 最大出力は発電所が発電し得る最大の出力をいい、定格出力と同義で用いられることが多い。常時出力（保証出力）は、年間を通じでほぼ毎日（95%流量程度）発生できる出力である。常時尖頭出力は年間を通じほぼ毎日の電力需要のピーク時に、必要とされる一定時間を連続して発生できる出力をいう。

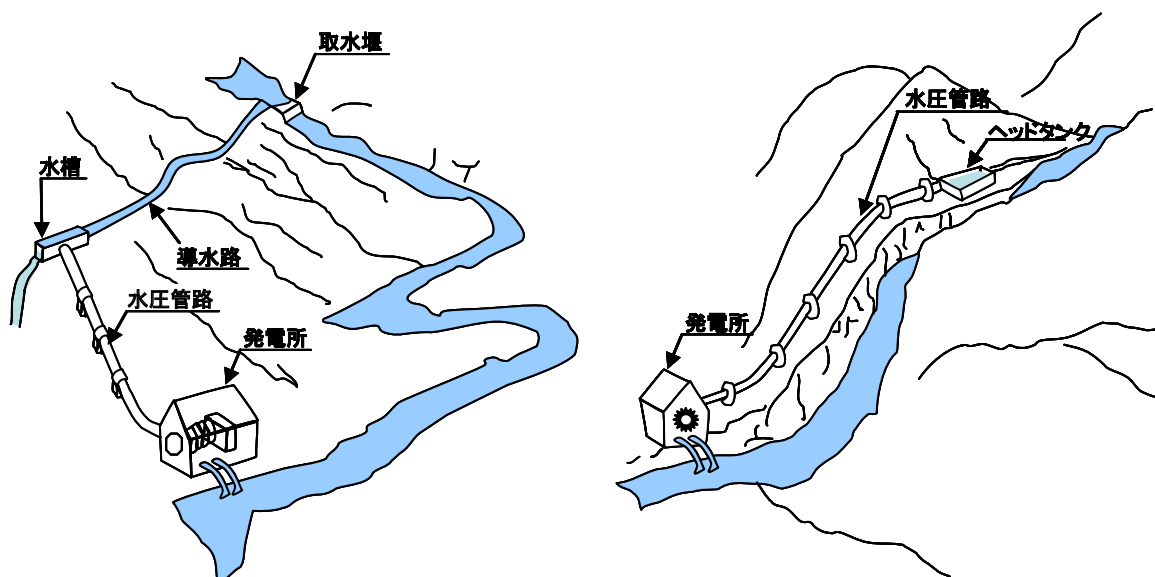


図 3-2 流れ込み式

(2) 調整池式

図 3-3 に示すとおり、1 日ないし数日の河川流量を調整できる容量の調整池を持ったものを調整池式という。電力の需要は 1 日のうち時間によって大きな変動があるので、調整池式水力は流量を調整し、需要の変動に追従できる特徴がある。

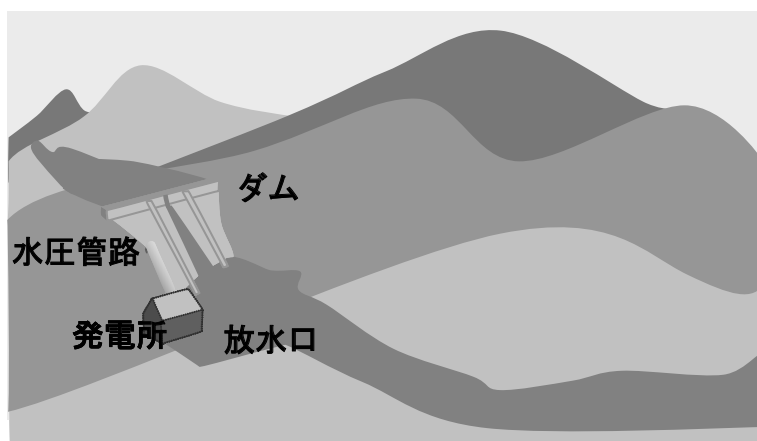


図 3-3 調整池式および貯水池式

(3) 貯水池式

河川流量は季節的に変動するので、図 3-3 に示すとおり、貯水池を利用することにより、年間を通じて流量を平準化して使用する発電形式を貯水池式という。調整池と同様、電力需要の変動に応じた運転を行うための発電方式である。貯水池式は年間を通じて平均した電力が得られること、需要の変動に追従して発電できる特徴があり、大規模水力に用いられることが多い。

### 3.2.2 落差を得る方法による分類

#### (1) 水路式

図 3-2 に示すとおり、河川に取水堰を造って取水し、水路（導水路、水圧管路）により発電所に導水し、この間の落差を利用して発電する方式である。この方式は、流れ込み式と組み合わせられることが一般的であり、地方電化の小規模水力に用いられる。

#### (2) ダム式

図 3-3 に示すとおり、ダム（取水堰）の高さにより、落差を得る形式で、発電所はダムに近接して設けられる。

#### (3) ダム水路式

図 3-4 に示すとおり、ダム式と水路式を組み合わせた発電方式である。両方の特性を兼ね備えた地点に適しており、各々単独の方式とした場合に比べて、より大きな落差を得ることが可能となる。この方式は、貯水池式、調整池式と組み合わせられることが一般的である。

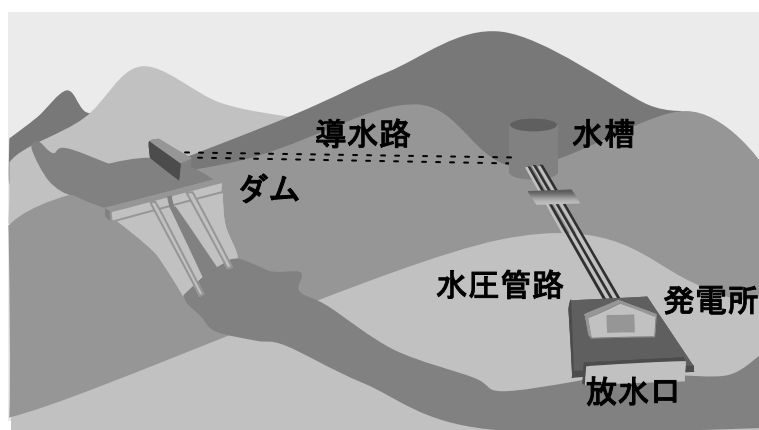


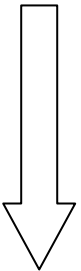
図 3-4 ダム水路式

### 3.3 電化レベルと開発形態

#### 3.3.1 電化レベルと電力需要の関係

電力需要の形態は電化対象地域の住民の生活レベルによって大きく異なる。また電化度合の速度も地域の特性により異なる。表3-1に電化された後の需要が増大してゆく段階での一般的な電力需要の特徴を示す。

表 3-1 電化の進展に伴う電力需要の変化

電化度合	段階	利用時間	日負荷率 (%)	世帯当月電力使用量	利用用途	使用器具
	未電化	(夜間)	-	-	照明	ランプ・バッテリーなど
	電化初期	夕方～夜の数時間	15 ~ 25%	10~30 kWh	照明	電灯・ラジオ
	次段階	主に食事時間帯	25 ~ 35 %	20~50 kWh	照明および情報娯楽	電灯・ラジオ・テレビなど
	標準	24時間利用	50% 前後	50 kWh 以上	照明・情報娯楽・動力	電灯・ラジオ・テレビ・冷蔵庫・ポンプ・電動工具など

上記の表は一般的な傾向を記載したものであるが、それぞれのプロジェクトが置かれている状況などにより、記載したものとは異なった傾向が示されることがある。

また、図3-5に1日の需要パターンの経年変化を日負荷曲線図で示す。

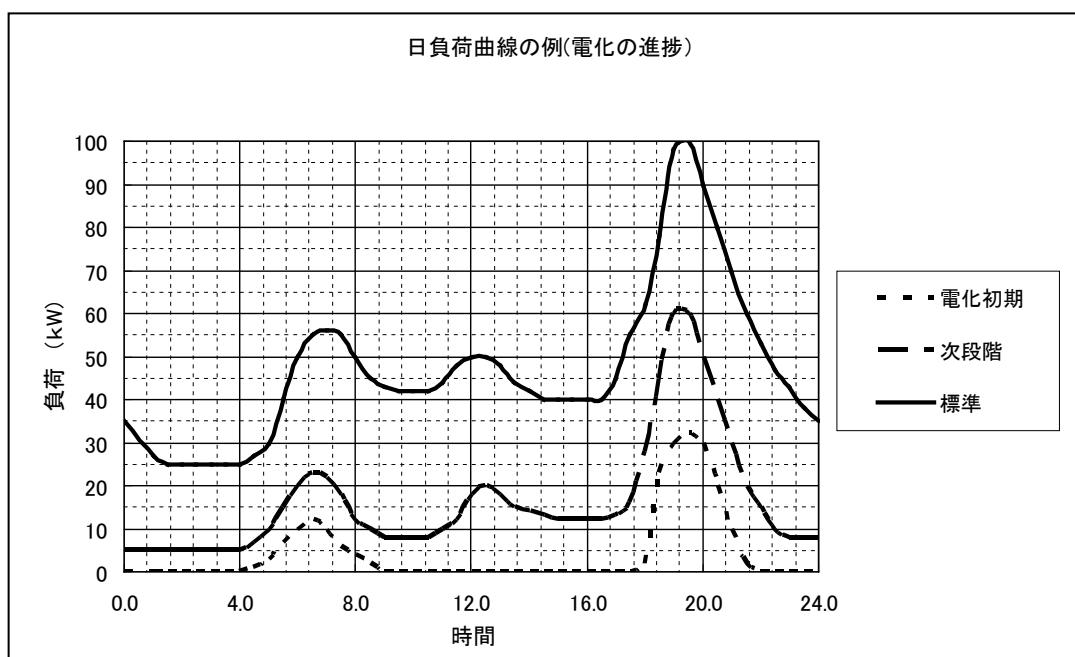


図 3-5 需要パターンの経年変化

上記図表に示されるように、電化が進むにつれて負荷が変化する。

電化をしようとする地域は概ね生活レベルが低いことから、電化された直後の電力需要は主に夜間の照明やラジオなどで1日数時間程度と短くまた消費量も少ない。しかし、一旦、電気の恩恵を受ける生活を始めると経済的理由が無い限り、需要は伸びてゆく。

これを用途別に見ると、当初の照明やラジオの利用から経済力が付くにつれてテレビが普及し、

電気の利用時間帯が広がって行く。また町の食堂や市場など食料を扱うところでは冷蔵庫の利用が始まり、24時間連続した電気の利用形態に移って行く。

また、電化後の各段階への移行スピードは、電化地域の発展度合いによって大きく左右される。

プロジェクト実施主体者は電化計画の策定に際して、以下の点を留意する必要がある。

- i) 電化計画の規模を決める際には、表3-1のどの段階を対象とするかによって、電力供給設備の規模が大きく異なる。
- ii) 地域の発展・変化を予測して、当初設備で賄える期間を見定める。



### 3.3.2 電化レベルと電源の組合せの関係

水力エネルギーを主体とした地方電化を行う場合、電力の供給を水力のみによる単独の電源とするか系統化を含む他の電源も利用するかどうかで、開発する水力発電所の役割は異なる。

表 3-2 電化レベルと電源の組合せ例

項目	ケース：水力単独	ケース：他電源との併用
1. 電化規模レベル	村落レベル (数百世帯)	町村レベル (千世帯以上)
2. 電源の形態	水力単独	他電源との組合せ
3. 需要に対する供給部分	全ての需要に対応する必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 流れ込み式の場合: ベース負荷に対応</li> <li>・ 調整池式の場合: ピーク負荷およびベース負荷の両方に対応可能</li> </ul>
4. 設備規模の目安	小さい (10～100kW程度)	比較的大きい (200～300kW以上)
(主な理由)	年間を通して一定の供給力が要求されるため、水の少ない乾期での河川流量程度を設備規模に設定することになってしまう。	渇水時でも他の電源で代替出来るため設備規模の制約が小さく、雨期の豊富な水の利用が期待できるため、水力単独に比べて同じ河川でも大きい出力が設定出来る。
5. 供給可能な年間設備利用率	95%程度	60～75%程度
(主な理由)	上記のように設備規模が設定されるため、ほとんど常に最大設備出力が可能である。	雨期は常に最大出力の発電が可能である乾期に出力が河川流量に応じて小さくなり、年間を通した供給可能な設備利用率は60%～75%程度が一般的である。
6. 余剰電力量	50～80%と多く発生する	ほとんど無し
(主な理由)	電気の利用が食事時や夜間に特定されるため、昼間や深夜の電気の利用が少ない。	発電出力が需要に対し相対的に小さいため、余剰電力はほとんど生じない。
7. 実質の設備利用率	15～45%程度	60～75%程度

## 第4章

# 小規模水力地方電化プロジェクト

## 第4章 小規模水力地方電化プロジェクト

### 4.1 開発の流れ

小規模水力発電による地方電化のプロジェクトの開発段階は、i) 予備調査、ii) 基本計画調査、iii) 実施計画、iv) 建設、v) 運営維持管理の5段階に分けられる。

図4-1に、標準的な小規模水力発電による地方電化実施の手順を示す。

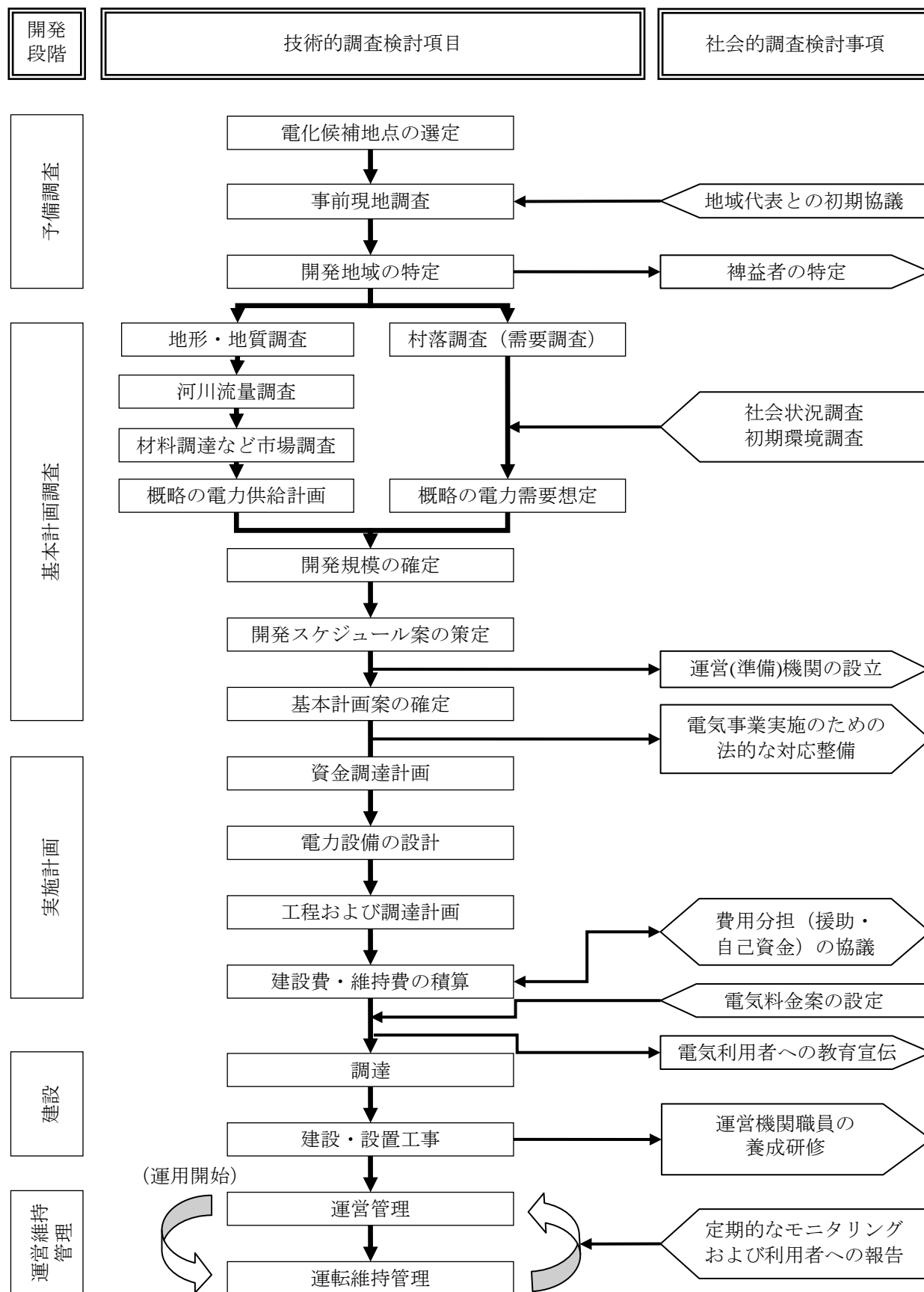


図 4-1 小規模水力発電による地方電化実施の手順

#### 4.1.1 予備調査段階

開発地域を特定するに際しては、水力ポテンシャル、需要地までの距離、系統拡張計画および周辺環境等を考慮して、小規模水力発電による地方電化の開発が有望な地域を絞り込む。

表 4-1 予備調査段階の業務

	業務項目	概要	参照
1	電化候補地点の選定	机上において電化の候補地点を選定する。	5.1
2	事前現地調査	水力ポテンシャルの概査、潜在需要地の有無、電力系統化の可能性、アクセス条件および法規制の確認を行う。	5.1, 5.2
3	地域代表との初期協議	電化計画とそのため調査内容を説明した上で、現地調査の立入りの承諾を得るために、地域の代表者と協議を行う。	5.2
4	開発地域の特定	既設配電網から遠距離で、村落の近傍に小規模水力発電の適地がある地域を選定する。	5.3, 5.4
5	裨益者の特定	選定された計画地域の住民（電気利用予定者）を計画の裨益者とする。	5.4

#### 4.1.2 基本計画調査段階

基本計画調査では、選定された地域の基本的な電化計画を確定する。本マニュアルでは、次の段階に進むための準備事項も記載する。

表 4-2 基本計画調査段階の業務

	業務項目	概要	参照
1	地形・地質調査	構造物の設計を行なうために、技術的な基礎資料の収集・調査を行う。	7.2, 7.3, 7.5
2	河川流量調査	構造物の設計、発電電力量計算および環境評価などのために基礎資料の収集・調査を行う。	7.1
3	材料調達など市場調査	積算を行う上で、調達方法は重要な項目であるが、地方電化は僻地であるため、労働市場、商品市場、輸送事情など個々の地点で条件が異なる場合が多い。そのため、この段階で積算条件を調査しておく必要がある。	7.4
4	概略の供給計画	発電規模について概略の計画を策定する。	5.3
5	村落調査（需要想定調査）	電化計画区域の村落において、現状のエネルギー消費状況を調査する。	7.4
6	社会状況調査、初期環境影響調査	生活実態や電化に対する意識調査ならびにその地域での産業などを調査する。また、小規模水力発電計画に関連する初期環境影響調査を実施する。	7.4, 8.4

	業務項目	概要	参照
7	概略の電力需要想定	村落の生活形態・特徴および電化の範囲などを考慮して、電化後の電力需要を想定する。	8.2
8	開発規模の確定	以上の調査結果を用いて、発電および配電計画を策定し、需給バランスを確認する。計画案について、電力設備の建設費用および維持管理費用などの費用積算を行い、財務的な実施可能性を確認する。また、計画が社会および自然環境に対する影響評価を行う。以上の妥当性を確認した後、開発規模を確定する。	8.3
9	開発スケジュールの策定	実現に向けて、資金調達、実施設計、調達、建設、発電所の運用開始などの具体的な作業や手続きのスケジュールを策定する。	12.1
10	運営準備機関の設立	将来は地元住民を主体とした発電所運営が行われるため、基本計画が確定した段階から、地元関係者を含めた運営機関またはその準備機関を設立する。また、この機関は完成までの地元対応窓口の働きも兼ねる。	6.5
11	基本計画の確定	プロジェクト実施関係者間で電化計画を合意する。	8.5
12	電気事業実施のための法的対応整備	地方電化においても、その国の法律に準拠したものでなければならない。開発に係わる環境面や電気事業などの法的規制事項を抽出し、その対応方針を立てる。	8.4
13	建設資金調達計画	建設を自己資金で行う場合は不要であるが、援助または融資でまかなう場合は、関係機関の同意が必要なため、その計画書を作成する。	12

#### 4.1.3 実施計画段階

基本計画に基づいて、プロジェクトの建設実施の設計、工程、調達、建設、運営計画など、より詳細で具体的な業務を行なう。

表 4-3 実施計画段階の業務

	業務項目	概要	参照
1	電力設備の設計	発電所や配電線などの電力設備を調達するための実施設計（詳細設計）を行なう。	9. 10. 11
2	工程および調達計画	建設工事の工程表およびそれらの調達方法を作成する。	12
3	建設費、運転維持費の積算	建設費や運営開始後の電力設備の運転維持管理費を見積り、電気料金の設定資料とする。	12
4	費用分担の協議	裨益者側の費用負担が可能な場合には、それら費用の負担割合について関係者間で合意する。	

5	電気料金案の設定	建設費や運営維持管理費などから、電気料金を算定する。 電気事業の監督機関によっては、建設前に想定電気料金の提示を求める場合がある。また、地元へも完成前に料金負担の説明をする。	14
---	----------	--	----

#### 4.1.4 建設実施段階

現場工事および製作設置の専門業者の選定・契約などの調達手続き、および建設工事の実施など施設を建設する。

表 4-4 建設実施段階の業務項目

	業務項目	概要	参照
1	調達	実施設計段階で準備された設備設計図及び設備仕様書を用いて入札書類を作成し、業者の募集・評価・選定・交渉・契約までの一連の調達業務を行う。	9～13
2	電気利用者への教育宣伝	建設開始前に、地元説明会を開いて、電化計画の説明し、建設中の協力を仰ぐ。また電化後の料金負担などの理解を深めてもらう。	
3	建設・設置工事	取水堰、水路および発電所基礎などの土木工事、水車、発電機などの電気設備の設置工事および配電線工事を実施する。	13
4	運営機関職員の養成研修	運営開始に備え、発電所の運転や配電線の保守要員の技術研修、ならびに電気料金の徴収や集計などの基本的な事務処理研修を行う。また、建設中の設備見学または一部建設工事への従事により、設備の構造や仕組みを実機で理解し養成効果を高めることが出来る。	16

#### 4.1.5 運営維持管理段階

発電所や配電線などの電力設備が完成し、実際に電気の供給を行う。

表 4-5 運営維持管理段階の業務項目

	業務項目	概要	参照
1	運営管理	電気事業の組織の経営・運営を行う業務で、電気料金の集計や請求・徴収、経理、調達など主に事務処理を行う。	14
2	運転維持管理	土木設備、電気設備および配電線などの運転ならびに維持管理業務を行う。	15
3	定期監査および利用者への報告	電気の利用状況や運営機関の執行内容を中立な立場から監査を行い、電気利用者に報告する。	16

## 4.2 プロジェクトと地域との係わり

小規模水力による地方電化は、一般水力や揚水発電などと比べて地元との係わり合いが密接となる。規模が小さいため、建設終了後は地元主体で電気事業経営、運転維持管理を任される場合が多い。そのため、共同開発者ならびに完成後の管理者予定者として、調査の段階から良好な関係を築くことが必要である。なお、実施に当っては、地元住民（裨益者）が、電力利用の長所・短所、電力の利用方法、電気料金・維持管理コスト等について十分理解し、当事者意識をもつために、プロジェクト開発当初から住民説明会等を開催する必要がある。

表 4-6 地域との係わり

	段 階	事 項	目的・内容
1	基本計画調査開始時	電化候補地域住民代表との事前協議	現地調査の立入りの承諾を取る
2	基本計画調査段階前期	社会状況調査	住民の電化に対する意識、経済力、潜在需要など基礎調査を行い計画策定のためのデータを収集する
3	基本計画調査段階後期	運営機関の設立準備委員会の設立	電化の推進が具体的に決まった段階で、地元住民参加のプロジェクトの推進母体を設立する。
4	実施計画段階	費用および役割分担の協議	用地など地元が負担する費用や便宜供与を含む地元側の役割分担などを決める。
5	実施計画段階	電気料金の合意形成	電気利用者に対して電気事業の理解と利用者の役割を教育宣伝する。
6	建設段階および運転開始段階	運転研修	運営機関の従事予定者に対して、電力設備の構造や運転方法を建設段階から受講させる。
7	建設段階および運転開始段階	事務管理研修	運営機関の従事予定者に対して、電気料金の請求、徴収、経理処理など一連の課金システムの研修を運転開始前に実施し習得させる。
8	運転段階	運営のモニタリングと利用者への報告	運営機関から定期的に運転記録および財務諸表を報告させ、経営状況を監査する。必要に応じ利用者に対して負担協力を仰ぐ。

## 4.3 開発のスキーム

### 4.3.1 日本の開発援助プログラム

#### (1) 日本の開発援助の種類

開発途上国の経済発展を支援することを一般に「経済協力」と呼んでおり、次の3つに大きく分類される。このうちODAを政府ベース、他の二つを広い意味で民間ベースの経済協力と呼んでいる。



- 政府開発援助（Official Development Assistance : ODA）  
日本政府による無償資金協力、技術協力、国際機関への出資・拠出、有償資金協力等
- その他政府資金（Other Official Flows : OOF）  
国際協力銀行（JBIC）等による輸出信用、直接投資等の資金援助
- 民間資金（Private Funds : PF）  
民間による輸出信用、直接投資等

## (2) 政府開発援助（ODA）

### 1) ODAの定義

次に挙げる3要件を備えた政府間ベースの援助が、ODAの定義（経済協力開発機構（OECD）下の開発援助委員会（Development Assistance Committee : DAC）による定義）とされている。

- 政府または政府機関によって供与されるものであること
- 開発途上国の経済開発や福祉の向上に寄与することを主たる目的としていること
- 資金協力については、その供与条件のグラント・エレメント<sup>1</sup>が25%以上であること

### 2) 二国間援助

日本の政府開発援助（ODA）には、図4-2に示すとおり、大きく分けて二国間援助と多国間援助とがある。さらに、二国間援助には技術協力、無償資金協力および有償資金協力（円借款）がある。

#### (a) 無償資金協力

無償資金協力は、開発途上国などに返済義務を課さない資金協力である。開発途上国が経済社会開発のための計画に必要な資機材、設備および役務の調達するために必要な資金を贈与する。開発途上国のなかでも、所得水準の低い諸国を中心に、病院や橋の建設などの社会・経済の基盤づくりや、教育、エイズ、子どもの健康、環境など人々の生活水準向上に直結した協力を幅広く実施している。

そのうち医療や給水、農村開発、運輸交通、農村電化などの基礎的な分野において、病院、学校、道路等の建設を行う「施設の建設」や、医療機材や教育訓練機材等の調達を行う「資機材の調達」など、主にハード面での協力をを行うのが無償資金協力である。

無償資金協力は、その形態から一般プロジェクト無償、ノン・プロジェクト無償などに区分されるが、小水規模水力による地方電化は一般プロジェクト無償に該当する。

---

<sup>1</sup> グラント・エレメントとは借款条件の緩やかさを示す指数。金利が低く、融資期間が長いほど、グラント・エレメントは高くなり、借入人（開発途上国）にとって有利であることを示す。贈与の場合のグラント・エレメントは100%である。

---

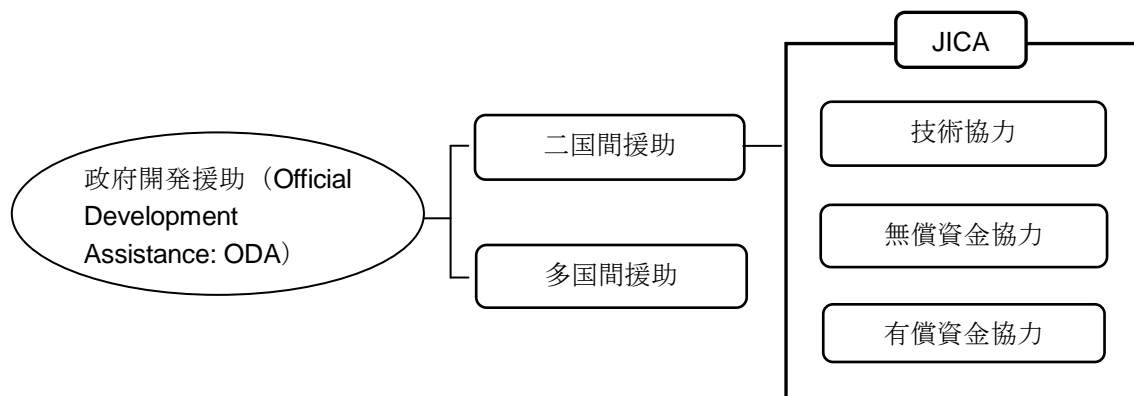


図 4-2 日本の ODA の仕組み

(b) 技術協力

技術協力では、日本の技術・知識・経験を活かし、開発途上国の社会・経済の開発の担い手となる人材の育成を行う。また、相手国の現場の状況に応じたオーダーメイドの協力計画を相手国と共同で作り上げ、その国の実情に合った適切な技術などの開発や改良を支援するとともに、技術水準の向上、制度や組織の確立や整備などに寄与することで、課題解決能力の向上を支援する。具体的には、研修員の受入、専門家の派遣、機材の供与、政策立案や公共事業計画策定の支援を目的とした調査（開発計画調査型技術協力）などを実施する。また、「技術協力プロジェクト」は、開発途上国が抱える課題に対して、「専門家の派遣」「研修員の受入れ」「機材の供与」等の投入を柔軟に組み合わせ、一つのプロジェクトとして一定の期間に実施される事業である。

(c) 有償資金協力

有償資金協力とは、低金利で返済期間の長い緩やかな貸付条件で開発途上国に必要な資金を貸し付けることで、開発途上国の発展への取り組みを支援する援助方法を指す。

「円借款」や「海外投融資」といった援助形態がこれに当たり、特に円借款は、一般に技術協力や無償資金協力よりも大きな規模で貸し付けが可能のため、開発途上国の大規模な基礎インフラ整備を目的とする支援で活用されている。

無償援助とは異なり、有償資金協力を受けた開発途上国には返済義務が生じるが、これにより開発途上国自らがプロジェクトの重要性、優先度を見極め、資金をできる限り効率的に配分・活用していく努力が求められることとなる。このような開発途上国側の自助努力を促しながらさまざまな開発事業を支援していくことも、有償資金協力の大きな目的となっている。

(3) 無償資金協力

1) 地方電化のための小規模水力

本マニュアルが目的としている地方電化のための小規模水力は、系統の延伸が見込めない独立系統を対象とする。このような農村地域では、返済義務を課す有償資金協力（円借款）では採算が合わず、特殊なケースを除き無償資金協力の範疇に入る。従って、ここでは、JICA の

無償資金協力を前提に説明する。なお、有償資金協力については、第1分冊に記載してある。

2) 無償資金協力実施の流れ

無償資金協力の業務は、図4-3に示すとおり、被援助国の援助要請、協力準備調査、案件審査、政府内部協議、閣議決定、交換公文の署名、贈与契約の締結、実施監理、事後監理のステップで実施される。

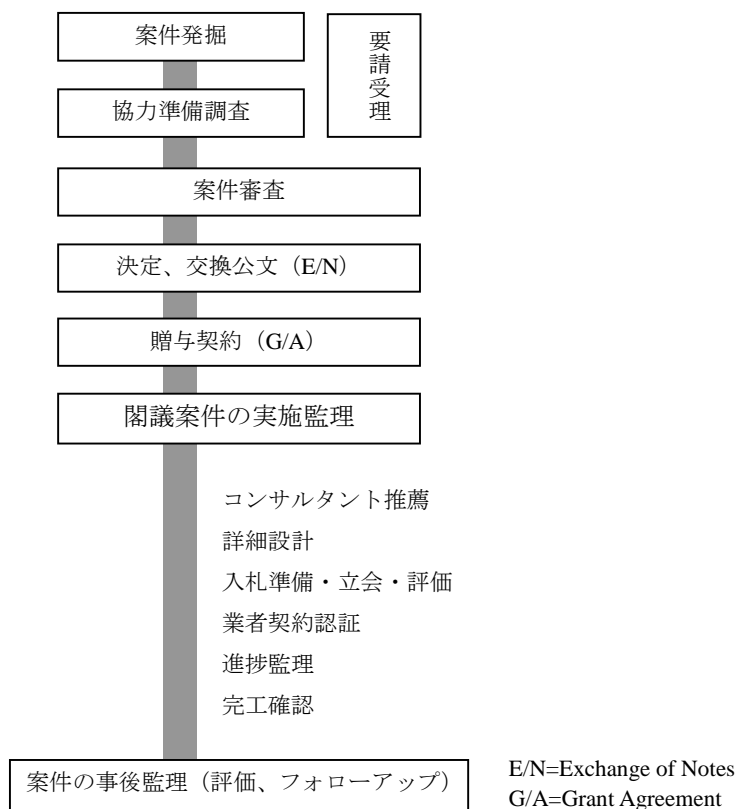


図4-3 無償資金協力実施の流れ

(a) 案件発掘・形成

協力準備調査等を通じ、プロジェクトに関わる開発計画の内容、目的、背景、効果、及び無償資金協力を実施する場合の内容、適切な規模や環境など基本的条件をチェックポイントとして、公共性の高さや管理・運営体制、技術協力との連携等について検討する。

協力準備調査の目的は、JICAおよび日本国政府が無償資金協力の審査を行う際に必要な基礎的資料（判断材料）を提供することであり、その内容は以下のとおりである。

- プロジェクトの背景、目的、効果ならびに実施に必要な被援助国側関係機関の能力の確認
- 無償資金協力実施の妥当性について技術面、財政面、社会・経済面での検証
- プロジェクトの基本構想について双方で確認
- プロジェクトの概略設計策定

➤ 概略事業費の積算

なお、要望された内容が全てそのまま協力の対象となるのではなく、我が国の無償資金協力のスキーム等を勘案し、基本構想が確認される。

(b) 審査

JICAは途上国政府の援助要請を受け、調査報告書などの関連資料に基づき、協力内容を審査する。日本政府は、JICAの審査結果を踏まえ必要な予算を確保するため、外務省が財務省と協議を行い、必要な手続きを経て、最終的に閣議によりその協力の実施を決定する。

無償資金協力の資金は、原則として、日本国又は被援助国の生産物ならびに日本国民または被援助国民の役務を購入するために使用される。なお、無償資金協力の資金はJICAおよび被援助国政府（または政府が指定する当局）が必要と認める場合には第三国（日本国または被援助国以外）の生産物の購入又は役務の購入にも使用することが可能である。但し、無償資金協力を実施するに当たって必要とするプライムコントラクター、即ち、コンサルタント、施工業者及び調達業者は「日本国民」に限定される。

(c) 交換公文と贈与契約

閣議決定後、被援助国政府とその国に駐在する日本国大使との間で、今回の協力の目的や内容についてまとめられた文書（交換公文）に署名が行われる。これを受けて、JICAは被援助国政府との間で「贈与契約」を締結する。

(d) プロジェクトの実施

交換公文（E/N）署名、贈与契約（G/A）締結後のプロジェクト実施主体は、被援助国政府（機関）であり、JICAはプロジェクトが円滑に実施されるよう指導・監理を行う。施設の建設や資機材の調達、適正に滞りなく行われるように、契約から建設の完了、資機材の引渡しまでの一連の過程で、被援助国政府やコンサルタントに対して、助言や連絡、実施指導を行う。

被援助国政府は当該プロジェクトに対して社会環境配慮を確保しなければならない。また、被援助国の環境規制及び「JICA社会環境配慮ガイドライン」に従わなければならない。

(e) 評価、フォローアップ

プロジェクトが終了し一定の期間を経た後、その効果を審査するためにJICAは「評価」を行う。審査時と完了時の状況を比較、検証し、協力の効果を分析することで、今後の協力の計画づくりや実施方法に反映させる。

協力終了後は、途上国政府により個々のプロジェクトが維持管理がなされる。しかしながら、機材の故障や費用の不足など、当初予想されなかった問題が生じて、プロジェクトの運営に支障をきたすことがある。JICAでは、必要に応じてフォローアップ協力をを行い、開発途上国に対して協力の効果が持続されるよう支援する。フォローアップ協力の種類には、フォローアップのための調査、資機材の調達、修理班の派遣、応急対策工事などがある。

### 4.3.2 地方電化促進のための施策

#### (1) 地方電化促進

系統延伸による電化が困難な地域には、ドナーの支援のもと、独立系統として地方電化が進められている。その実施促進の施策として、地方電化基金（Rural electrification fund : REF）や地方電化促進のための機関を設けている国が多い。また、援助機関からの資金は、再生可能エネルギーによる新規需要家接続のための補助、家庭太陽光発電システム（Solar Home System : SHS）の導入補助、再生可能エネルギー（小規模水力を含む）を使った電力システムの導入補助、パイロットプロジェクトの実施などに使用されている。

#### (2) 地方電化基金

REF は、政府資金、援助機関による資金で運営されている。国によっては売電料金の数%を発電課徴金として徴収し、REF に充当している場合もある。

REF の一例として、世界銀行（WB）の支援を受けて独立機関として設立された例を紹介する。

##### 1) 設立の目的は以下のとおりである。

- 地域間に偏りのない、公平な地方電化の促進
- 持続可能性のある村落電化事業への民間の参入促進
- 再生可能エネルギーの最大限の利用

##### 2) REF事務局の主な具体的業務は以下のとおりである。

- プロジェクト情報の提示
- 補助金などの資金援助に対する応募書類の評価と承認
- 計画立案や事業準備
- REF の支援を受けている事業のパフォーマンスのモニタリングと評価
- 地方電化データベースの維持管理など

第4章の参考文献

- [1] 水力開発ガイドマニュアル、新エネルギー財団、1996年
- [2] 中小水力発電ガイドブック(新訂第5版)、新エネルギー財団、1997年
- [3] マイクロ水力発電導入ガイドブック、新エネルギー・産業技術総合開発機構、2003年
- [4] Guide on Social Preparation for Renewable Energy-based Electrification Projects, Department of Energy, Philippines, JICA, 2009

## 第 2 部

### 電化地域の特定

## 目 次

### 第5章 電化地域の選定および地点の発掘

5.1	机上検討	5-1
5.1.1	事前調査	5-1
5.1.2	現地踏査地域の選定	5-4
5.2	現地踏査	5-4
5.2.1	流量調査	5-4
5.2.2	地形・地質	5-6
5.2.3	村落調査	5-8
5.3	概略計画の策定	5-9
5.3.1	供給計画（発電計画）	5-9
5.3.2	需要計画（需要想定）	5-11
5.4	小規模水力地点の選定	5-12

### 表リスト

表 5-1	平均年収と電力需要原単位	5-11
-------	--------------	------

### 図リスト

図 5-1	流況曲線および保証流量	5-2
図 5-2	河川縦断図	5-3
図 5-3	浮子測法による流量測定	5-5
図 5-4	電磁流速計及びプロペラ式流速計	5-6
図 5-5	水力発電設備	5-6
図 5-6	ハンドレベルによる落差測定	5-7
図 5-7	集落分布調査に用いる機材	5-9



## 第 5 章

### 電化地域の選定および地点の発掘

## 第5章 電化地域の選定および地点の発掘

### 5.1 机上検討

#### 5.1.1 事前調査

小規模水力による電化候補地域の選定にあたっては、小規模水力による地方電化が有効な地域かどうかを判断しなければならない。そのためには、小規模水力の候補地点が有する水力賦存量（発電力をいい、以下「水力ポテンシャル」という）のみならず、需要地までの距離や電力系統延伸計画および周辺環境等を考慮した総合的な評価を行う必要がある。

事前調査は、机上で入手可能な資料および簡易な現地調査をもとに、以下の項目について行う。

- 水力ポテンシャルの概査
- 潜在需要地の有無
- 電力系統の送電線・配電線の延伸の可能性の確認
- アクセス条件の確認
- 法規制の確認

事前調査に必要な資料は以下のとおりである。

- 地形図（縮尺 1/50,000～1/10,000 程度）
- 流量資料および降雨資料：電化候補地域周辺の流量観測資料、等雨量線図、近傍の雨量観測資料等
- 電力系統延伸計画（送電線延伸計画）
- 自然環境に関する法規制

#### (1) 水力ポテンシャルの概査

水力ポテンシャルは流量と落差で決定されるので、水力開発の候補地点の概略検討を行なうには、これらを推定しなければならない。

##### 1) 河川流量の推定

小規模水力だけで地方電化を行なう場合は、年間を通じてほぼ一定の電力供給を行う必要があるため、図 5-1 に示した流況曲線の 95%の期間において発電に使用できる流量を推定する。

小規模水力の対象となる小河川の乾期の流量は、当該流域の降雨量だけではなく、流域を構成する地質の保水性に大きく影響を受けること、既存の流量観測所は一般には大中規模河川に設けられており、これを用いた流域面積比換算による小河川の流量の算定には大きな誤差を含むことに留意する必要がある。

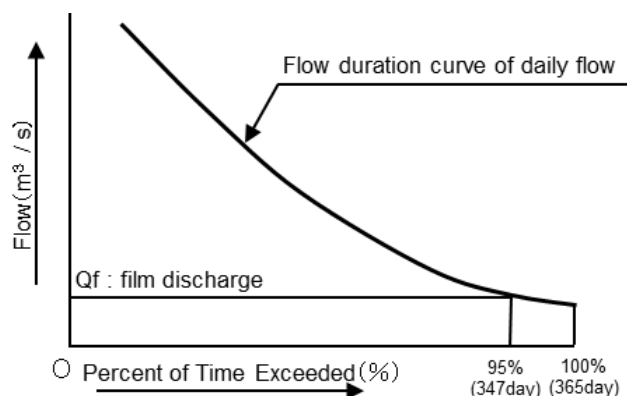


図 5-1 流況曲線および保証流量

本マニュアルでは、図 5-1 に示す年間の流況曲線における 95% に相当する流量を発電計画に使用する基本の流量と位置付け「保証流量」と定義する。また、単位流域面積あたりの保証流量を次式で表し、「乾期比流量」と呼称する。

$$q = Q_g / A_g$$

ここに、

- q : 乾期比流量 (m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>)
- Q<sub>g</sub> : 流量観測所における保証流量 (m<sup>3</sup>/sec)
- A<sub>g</sub> : 流量観測所の流域面積 (km<sup>2</sup>)

近傍の流量観測所の流量資料から、以下の方法により計画地点の流量を推定する。なお、近傍に流量観測所が存在しない場合には、気候条件が類似した地域の小中河川の乾期比流量を参考にする。

➤ 流域面積比換算による方法

$$Q = q \times A_p$$

ここに、

- Q : 取水堰の保証流量 (m<sup>3</sup>/sec)
- A<sub>p</sub> : 取水堰の流域面積 (km<sup>2</sup>)

➤ 流域の降雨量の重みを考慮した方法

$$Q = R_r \times q \times A_p$$

$$R_r = R_d / R_g$$

ここに、

- Q : 取水堰の保証流量 (m<sup>3</sup>/sec)
- R<sub>r</sub> : 取水堰の流域と既設流量観測所の流域との降雨量の比率
- R<sub>d</sub> : 取水堰の流域の平均雨量 (mm)
- R<sub>g</sub> : 流量観測所の流域の平均雨量 (mm)
- A<sub>p</sub> : 取水堰の流域面積 (km<sup>2</sup>)

- 有望と目される小規模水力地点については、5.2.1 項に述べる現地での簡易な流量測定が行われる。

## 2) 落差の推定

落差は、取水堰地点、発電所地点を特定して推定する。地形図から落差を判読する場合には、できるだけ短い水路で高い落差の地点を抽出するため、地形図から河川縦断を図 5-2 のように整理しておくこと、有望地点の抽出が容易となる。支流や沢が合流している場合には、合流点下流では流域面積が増えるので、取水堰の可能性サイトである。

また、地方政府や地域住民の持っている滝などの自然地形、既設農業用取水設備などの詳しい情報も考慮した方がよい。

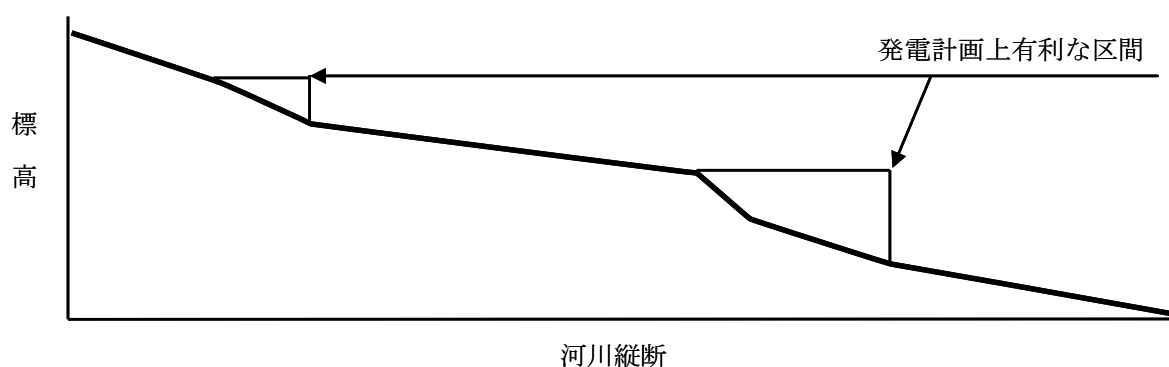


図 5-2 河川縦断図

## (2) 潜在需要地の有無

小規模水力による地方電化においては、発電所は電力供給地域に極力近い位置に選定されることが必要である。発電所から 20km 程度圏内に集落が存在しない地域では、仮に水力ポテンシャルが存在していても、需要に対して送電線損失が大きくなり、また送電線の建設費用も嵩むこととなる。

需要地がいくつかの集落に分かれて比較的広い範囲に分布している場合には、ひとつの発電所で全体の電力供給を行うより、小規模の発電所を分散して設置した方が、送電費用の低減、運転保守の容易性の確保、発電停止の場合の影響の低減等の観点から有利となる場合もある。

電化候補地域が集落レベルの場合は発電所と需要地の距離は数 km 程度、町村レベルの場合でも 20km 程度圏内が望ましい。

## (3) 電力系統の配電線の延伸の可能性の確認

電化候補地域の選定にあたっては、配電線の延伸計画が当分見込まれていない孤立している地域が優先される。しかしながら、将来、配電線が近傍まで敷設される計画があるものの、その時期が不透明である地域に対しては、配電線延伸と独立した小規模水力とを経済性の観点から比較検討する必要がある。

#### (4) アクセス条件の確認

小規模水力に使用する資機材は、小型で軽量であり、簡易な車輛や人力による施工時や運転時の資機材搬入が可能であるが、アクセス道路が利用できればベストである。一方、小規模水力は発電規模が小さいため、新たなアクセス道路の設置は全体の経済性を大きく低下させる原因になるので、既設道路の利用や車輛以外の運搬方法について検討が必要である。

#### (5) 法規制の確認

発電設備および配電設備の設置により、地域住民の生活に悪影響が予想される場合、また景勝地や貴重な自然に影響を及ぼすことが予想される場合には、事前に社会・自然環境に関する法規制の調査が必要である。

### 5.1.2 現地踏査地域の選定

上記机上検討によって、複数の有望な電化候補地域から現地踏査を実施する価値があるかどうかを評価する。

## 5.2 現地踏査

机上検討で特定された電化候補地域および小規模水力地点について、流量調査、地形・地質調査、村落調査を行う。小規模水力による地方電化においては、需要と供給のバランスが電化計画の成否を左右する。流量調査および地形・地質調査は発電所の規模を設定し、発電供給量を把握するための調査であり、村落調査は電化予定地域の電力需要量を把握するための調査である。

### 5.2.1 流量調査

#### (1) 浮子測法による簡易流量測定

浮子測法は浮子を川に投げ入れその流速を測定し、河川の流水断面を測り、流量を算定する方法である。浮子としては現場で調達できる木片を使用し、流速の測定方法は図 5-3 および以下のとおりである。

- 測定は横断面がほぼ一様な河川の直線部で行い、測定区間は水面幅以上とする。
- 測定区間の上下流端に流心に直角に測定線（A-A'線、B-B'線）を設ける（測定区間距離=L）。
- 測定区間の上下流端の流水面積を測定し、平均流水断面積（A）を算定する。
- 浮子の投下は上流の測定線の上流（O-O'線）より行い、A-A'線からB-B'線の測定線まで流下する時間（Ti）を計測する。
- 浮子投入は河川の横断方向を適当な3分割域（河川左側、中央、右側）に区分する。

以下により、3分割域の流速を平均し全体の平均流速を求める。

$$V_i = L/T_i$$

$$V_m = (V_1 + V_2 + V_3)/3$$

ここに、

- $V_i$  :  $i$  分割域の流速 (m/sec)
- $L$  : 測定線 A と B の距離 (m)
- $T_i$  :  $i$  分割域の測定線 A から B への浮子の到達時間 (sec)
- $V_m$  : 3 分割域を総合した平均流速 (m/sec)

(注) 各分割域の測定区間において 2 回以上の計測を行う。

流量計算式は、以下で表される。

$$Q = C \times V_m \times A$$

ここに、

- $C$  : 平均流速係数 (一般的な河川=0.8、断面一定のコンクリート水路=0.85、なめらかな河床の小河川=0.65、浅い (0.5m 程度) の流れ=0.45、浅く凹凸のある河床=0.25)
- $V_m$  : 平均流速 (m/sec)
- $A$  : 流水の断面積 ( $m^2$ )

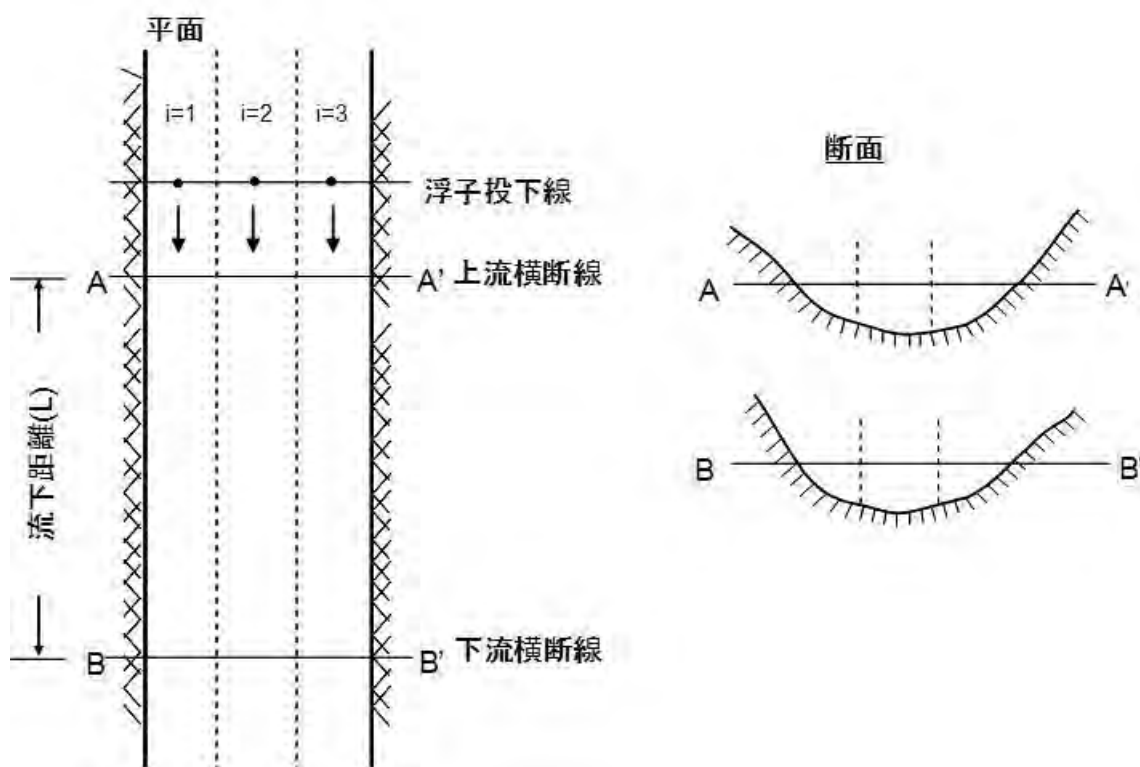


図 5-3 浮子測法による流量測定

## (2) 流速計による簡易流量測定

流速計による流量測定方法については、7.1 に記載してある。小河川における簡易流量測定として、電磁流速計あるいはプロペラ式小型流速計による表面流速と河川の流水断面積から流量を算定する方法である。上記(1)の変形であるが、図 5-3 の A-A' 線において、表面流速

を測定する。流量計算式は上記(1)と同じである。



電磁流速計

プロペラ式流速計

図 5-4 電磁流速計及びプロペラ式流速計

### 5.2.2 地形・地質

#### (1) 計画上および設計上配慮すべき地形・地質事項

水力発電所は図 5-5 に示すとおり、取水堰、取水口、導水設備（導水路、水槽、水圧管路）、発電所および放水口からなっている。発電は取水堰と発電所との間の標高差（以下、「落差」）を利用するので、計画立案上落差の把握が重要である。また、これらの発電構造物が、低コストで構築でき、かつ長期にわたり保安上問題とならないような設計上の配慮が求められる。現地踏査では、計画上および設計上の観点から地形・地質の状況を確認する。

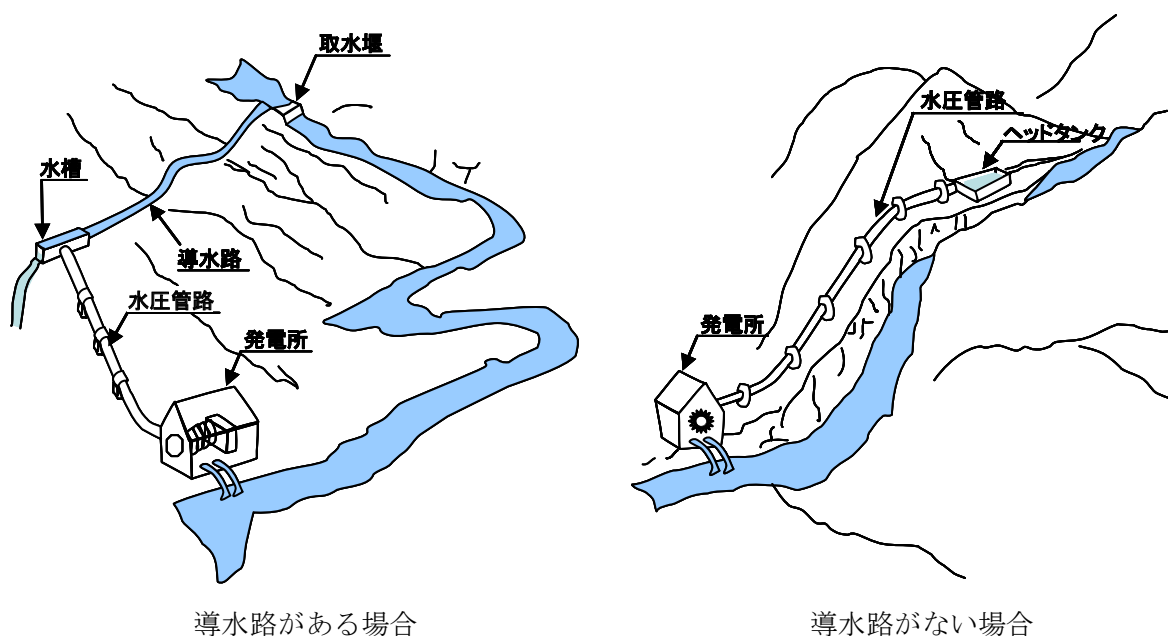


図 5-5 水力発電設備

#### (2) 各種工作物設置位置の確認

発電計画では、短い水路で大きな落差がえられるよう、自然地形を利用する。5.1 節に述べた

とおり、地形図上で図 5-5 の構造物の設置位置が決まる。しかしながら、この段階で入手できる地形図は、概ね縮尺 1/50,000 から 1/10,000 程度であり、精度が低いので机上検討の妥当性を現地で確認する。そのためには、現地で GPS（Global Positioning System）測量技術等を利用し、地形図上にそれぞれの工作物の位置を特定する。GPS 測量は人工衛星から送信される電波を利用し、緯度・経度と標高の測量を行う技術であり、広く用いられている。

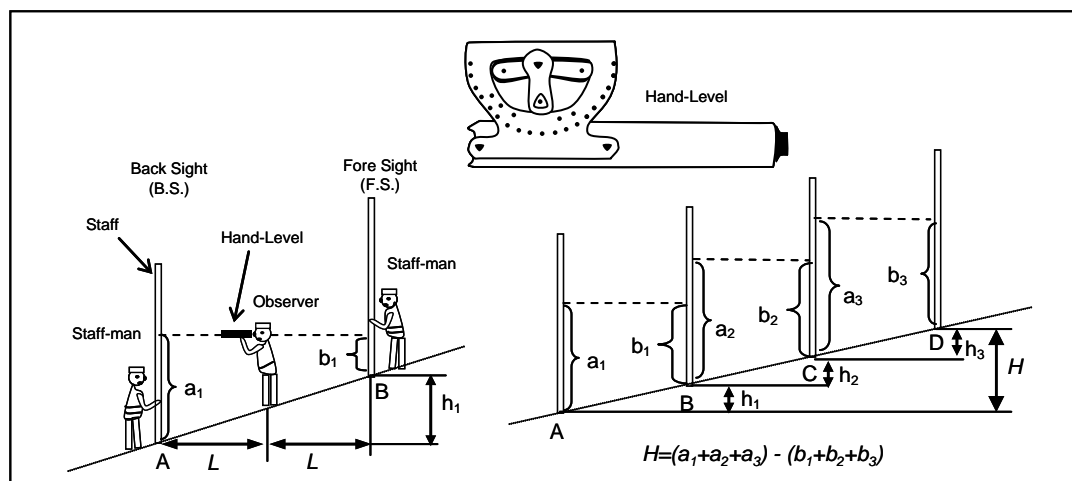
### (3) 落差の測定

水力発電計画の立案において、落差の測定は流量とともに最も重要な調査項目である。一般に入手できる縮尺 1/50,000 から 1/10,000 程度の地形図は精度が低いので、現地踏査において、ハンドレベル、高度計、GPS 等を用いて、取水堰から放水口までの落差の測定を行う。以下にそれらの測定方法を述べる。

#### 1) ハンドレベルの使用

本手法が最も一般的に用いられ、落差測定のために推奨される手法である。測量の概要とハンドレベルを図 5-6 に示す。

- a) A、B 観測点の中間点に立つ観測手がハンドレベルを水平に握り、垂直に立てたスタッフの目盛（ $a_1$ ）を読み取る。
- b) 次に、観測手は B 点に向けてハンドレベルを向け、前と同様の操作により B 点のスタッフの読み（ $b_1$ ）を読み取る。
- c) このような測量を、取水堰位置から放水口位置まで、順次繰り返す。
- d) A-D 間の高低差（総落差）は、図 5-6 に示すように算出する。



出典：JICA 報告書

図 5-6 ハンドレベルによる落差測定

#### 2) 気圧高度計、GPSの利用

気圧高度計や GPS による落差の測定は、概略の落差を推定するには簡易で有効な手法である。しかしながら、気圧高度計は気圧の変化により精度が低下する欠点があり、また GPS は山間部での人工衛星の電波の受信状態により精度が低下する欠点があるので、これを留意



して使用する。

(4) 主要工作物の安定に係わる地質状況の把握

小規模水力発電では、主要工作物のほとんどが明かり構造であること、水路経過地が山腹斜面であることなどから、地山表層部の地質踏査が必要である。

取水堰地点、水路経過地および発電所地点の地質踏査を行い、大まかな地質に関するスケッチを作成する。これをもとに、これらの構造物の設置を否定する決定的な地質上の問題がないことを確認する。

(5) 河川水の利用状況

水力発電によって減水区間が生じると、農業用水、内水面漁業、滝などを利用した観光などに影響する可能性があることや、ダムサイト上流に灌漑などの取水設備がある場合は、灌漑期に発電で利用できる流量の減少も考えられるので、上流、下流の利水の状況（将来計画を含む）を把握することが重要である。

(6) 公共上の重要な地物および貴重な動植物の有無

主要工作物設置地点および水路経過地に遺跡や墓地など公共上の重要な地物や貴重な動植物が存在するか否かを、地元関係者から聴取する。

### 5.2.3 村落調査

(1) 概略需要調査

概略需要調査項目として下記がある。

- 村落の名称および位置
- 人口および世帯数
- 公共施設等（病院・学校・集会所・食堂等）
- 主要な産業（製材所・脱穀機等）
- 主要な設備の使用時期（季節変動・日間変動）
- 予想とされる電化製品（電灯・ラジオ・テレビ・扇風機・冷蔵庫等）

これらの調査は、地元住民からの聞き取り調査が主体となるので、地元の需要家の協力を得て行う。また、需要設備の電灯・動力等の種別についても把握しておく。

(2) 集落分布調査

地方電化計画では、電化地域の需要と供給のバランスを図ること、発電規模と配電計画を検討することのため、小規模水力候補地点の有する供給能力の把握および供給エリアを特定することが必要である。

集落の分布調査にあたっては、縮尺が 1/2,000 から 1/1,000 程度の地形図が入手できればベストであるが、地方電化の対象地域では整備されていない場合が多い。従って、入手できる縮尺 1/50,000～1/10,000 地形図を使用して現地踏査を行い、家屋数の聞き取り調査等を実施す

る。

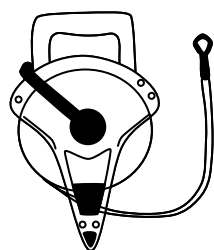
集落分布調査は、地形図および図 5-7 に示す機材等を使用し、下記の方法、内容、精度で実施する。なお、レーザー測距儀（水平距離・斜距離、高さ、鉛直角の計測）と GPS を利用する事により、ポイントに立つ事が出来ない場所へと作業範囲を広げると共にマッピング作業を効率化させる事ができる。

1) 調査手法

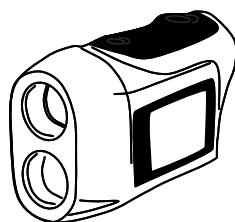
歩測、巻き尺、レーザー測距儀、車の距離計および GPS などを利用

2) 調査内容

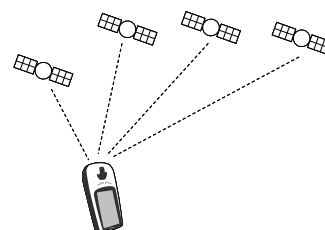
- 集落の中心位置および家屋数
- 周辺・通過地の地形（山地、平地など）
- 周辺・通過地の土地利用状況（田畑、森林、荒地など）



巻き尺



レーザー測距儀



GPS

図 5-7 集落分布調査に用いる機材

### 5.3 概略計画の策定

#### 5.3.1 供給計画（発電計画）

上記、机上検討（5.1節）および現地調査（5.2節）をもとに、各構造物の位置を決定し、発電計画を策定する。

(1) 取水地点の選定

取水地点は、地形図および現地踏査結果から、河川勾配が緩から急となる変化点や支川との合流点下流、または滝があればその上流を取水地点とすれば、効果的に落差が得られる。

取水位置は以下の事項を考慮して選定する。

- 上下流の河道が可能な限り直線となるような区間
- 土砂崩壊により取水機能が阻害されないよう、周辺地山が安定している地点
- 開発コスト低減のため、既設取水設備・水路等の既設構造物の利用が可能な地点
- 開発コスト低減および河川環境保全のため、自然に形成された淵等の利用が可能な地点
- 取水口・沈砂池等の設置が可能な地点

- 減水区間における農業用水等の取水や内水面漁業等の河川利用状況
- 取水ダム上流への堰上げ背水の影響

## (2) 導水路ルートを選定

小規模水力は一般的に水路式の発電計画となり、基本的に図 5-5（5.2.2 項）に示したレイアウトとなる。水路式では導水路工事費の総工事費に占める割合が大きくなるため、できる限り短い水路長で落差を得る計画とすることが望ましい。

通常、取水地点から無圧の導水路（開渠・蓋渠）を山腹沿いに設置し、この水路の下流端に設置した水槽から水圧管路を經由して発電所まで導水するが（Short Penstock Type と呼ばれる）、取水地点の沈砂池（水槽兼用）から導水路を省略し、川沿いや道路沿い等に水圧管路を敷設して発電所まで導水して発電する（Long Penstock Type と呼ばれる）こともある。後者は、水路設置にかかわる地形的制約が少ない特徴がある。

## (3) 水槽位置を選定

一般的には、導水路の末端に水槽を設け、水槽と発電所を水圧管路で結ぶが、水圧管路の長さが短くなるように水槽の位置を選定する。ただし、やせ尾根のように突出した不安定な場所に水槽を設けることは避けなければならない。

また、水槽余水吐からの余水放流による周辺地山の流失や、減水区間での急激な水位変動による人的災害等が起きないように、余水の放流場所について検討する。

## (4) 発電所および放水口地点を選定

河川勾配が急から緩になる変化点に発電所位置を設定すれば、短い水路で大きな落差が得られる。発電所位置は、河川勾配の観点に加え、主要機器および付属機器を収納する十分なスペースが得られる地形であること、重量物の搬入道路の確保が可能なこと、洪水時の河川水位の上昇による発電所の冠水・漏水への対策が可能であることなどを考慮して選定する。

特に、河川の狭窄部に位置選定すると、発電所設置所要面積の確保が困難であり、出水時の河川水位の変動も大きく、防水壁あるいは地山対策費用等が増大するだけでなく、機器運転上にも問題を生ずることがある。また、発電所予定地の直下流に河川狭窄部があると、出水時の河川水位変動が大きくなるので注意する。

放水口位置については、放水口前面への土砂堆積によって放水に支障をきたさないこと、放水による河床および周辺地山の洗掘されないこと、河川水の円滑な流下を妨げないなどを考慮して選定する。

## (5) 最大使用水量（ $Q_{max}$ ）の検討

発電計画における最大使用水量は、電源が小規模水力だけの場合は、保証流量に設定する。他の電源と組み合わさる場合の最大使用水量は、経済性の観点から決める必要がある。

## (6) 有効落差（ $H_e$ ）の検討

有効落差の算定は、以下の計算手法による。

$H_e = \text{総落差} - (\text{取水損失} + \text{導水路損失} + \text{水圧管路損失} + \text{放水路損失} + \text{その他損失})$   
 ここに、

取水損失（取水口・沈砂池・水路流入口・流出口等）＝約 0.05m

導水路損失＝1/1,000（導水路勾配）×導水路延長

水圧管路損失＝1/200×水圧管路延長

放水路損失＝1/1,000（放水路勾配）×放水路延長

その他損失（水車入口バルブ等）＝0.5m

### (7) 発電出力の算定

概略供給計画における発電出力の算定は、以下の計算手法による。

$$P = 9.8 \times Q_{\max} \times H_e \times \eta$$

（総合効率  $\eta$  は、0.6～0.7 程度で考える）

## 5.3.2 需要計画（需要想定）

### (1) 最大電力需要の想定

農村での電力需要予測を行う場合の一般的な方法は、既に電化されたところを参考にした上で、その村落における平均的な 1 世帯あたりの電力需要（原単位）を求め、世帯数を乗じて、全体の需要を予測する。

### (2) 所得層の比率が想定できる場合の算定

未電化村落における電力需要の推定は、経済指標、電化政策、地域特性等により差があるため、一概には決めることはできないが、過去の調査結果からは、世帯所得の高低が電力需要および電気料金の支払意志額と密接に関連していることが明らかとなっている。表 5-1 は、平均年収と電力需要原単位の概略の関係を示すものである。

表 5-1 平均年収と電力需要原単位

所得層	平均年収 (US\$/年)	電力需要原単位 (W/戸)
高所得	1,000 ~	200 ~ 300
中所得	500 ~ 1,000	150 ~ 200
低所得	~ 500	100 ~ 150

現地調査において所得層の比率が想定できる場合には、高所得層、中所得層、低所得層に分けて原単位を算定し、階層毎の比率を乗じて加算して、村落全体の需要を想定する。

### (3) 所得層の比率が想定できない場合

1 世帯あたりの平均電力需要は 150～200W 程度として、概略需要を算定する。

#### 5.4 小規模水力地点の選定

前述した概略の供給計画と需要計画の結果から、需給バランスが把握できる。これと供給可能規模をもとに供給エリアを決定する。

なお、発電所計画地点と需要地エリアとの距離は、前述のとおり、開発候補地点が集落レベルの場合は発電所と需要地の距離は数km、町村レベルの場合でも20km程度圏内が望ましい。

第5章の参考文献

- [1] 中小水力発電ガイドブック、新エネルギー財団、1997年
- [2] 分散型小水力発電マニュアル（案）、経済産業省新エネルギー財団、2001年
- [3] 分散型小水力社会環境ニーズ調査報告書、経済産業省資源エネルギー庁/(社)電力土木技術協会、2001年
- [4] 水力開発ガイドマニュアル、新エネルギー財団、1996年

## 第 3 部

### 調査・計画、設計および工事

## 目 次

<b>第 6 章</b>	<b>社会経済調査</b>	
6.1	地元住民との事前協議.....	6-1
6.2	電力需要調査.....	6-2
6.2.1	対象村落の分類.....	6-2
6.2.2	調査票.....	6-3
6.3	社会経済調査.....	6-6
6.4	裨益者の理解と役割.....	6-15
6.5	運営準備機関の設立.....	6-15
<b>第 7 章</b>	<b>技術調査</b>	
7.1	流量調査.....	7-1
7.1.1	発電計画に使用する流量資料.....	7-1
7.1.2	流量測定、水位観測による流量データの収集.....	7-2
7.1.3	堰による流量データの収集.....	7-7
7.1.4	塩分希釈法.....	7-8
7.2	地形調査.....	7-8
7.3	地質調査.....	7-8
7.4	環境社会影響調査.....	7-9
7.4.1	関連法令.....	7-9
7.4.2	環境社会影響.....	7-10
7.5	配電線調査.....	7-15
<b>第 8 章</b>	<b>発電計画の策定</b>	
8.1	発電計画策定の流れ.....	8-1
8.2	需要規模の検討.....	8-2
8.2.1	1世帯当たりの電力需要.....	8-2
8.2.2	村落タイプ別電力需要.....	8-5
8.2.3	電力需要想定.....	8-8
8.3	供給規模の検討.....	8-8
8.3.1	電源の組み合わせ.....	8-8
8.3.2	水力単独.....	8-9
8.3.3	補完電源の併用.....	8-13
8.4	社会・自然環境への影響の検討評価.....	8-15
8.4.1	スクリーニングおよびスコーピング.....	8-15



8.4.2	影響予測の実施および影響軽減策 .....	8-16
8.5	基本計画案の確定 .....	8-16
<b>第9章 土木構造物の設計</b>		
9.1	取水堰 .....	9-1
9.1.1	堰本体 .....	9-1
9.1.2	附属設備 .....	9-5
9.2	取水口 .....	9-5
9.3	沈砂池 .....	9-8
9.4	導水路 .....	9-10
9.5	水槽 .....	9-12
9.6	水圧管路 .....	9-14
9.7	余水路 .....	9-16
9.8	発電所 .....	9-18
9.9	放水路および放水口 .....	9-19
<b>第10章 電気・機械設備の設計</b>		
10.1	水車の選定と設計 .....	10-1
10.1.1	水車の種類 .....	10-1
10.1.2	水車の選定 .....	10-13
10.1.3	水車設計 .....	10-15
10.1.4	入口弁 .....	10-26
10.1.5	水車附属装置 .....	10-27
10.2	発電機 .....	10-30
10.2.1	発電機の種類と形式 .....	10-30
10.2.2	発電機の設計 .....	10-32
10.3	変圧器 .....	10-37
10.3.1	主要変圧器 .....	10-38
10.3.2	所内変圧器および所内低圧変圧器 .....	10-38
10.4	主回路接続方法および電気設備 .....	10-39
10.4.1	主回路接続方法 .....	10-39
10.4.2	遮断器 .....	10-41
10.4.3	断路器 .....	10-42
10.4.4	計器用変成器 .....	10-42
10.4.5	避雷器 .....	10-43
10.4.6	閉鎖配電盤 .....	10-43
10.4.7	配電盤 .....	10-43
10.4.8	保護装置 .....	10-45
10.4.9	直流電源装置 .....	10-46

10.4.10	運転制御方式	10-46
10.5	その他の機器	10-47
10.5.1	クレーン	10-47
10.5.2	接地線	10-47

## 第 11 章 配電設備の設計

11.1	ミニグリッドの計画	11-1
11.2	配電方式	11-1
11.2.1	配電電圧	11-1
11.2.2	中圧配電方式	11-2
11.2.3	低圧配電方式	11-5
11.3	線路計画	11-5
11.4	電氣的設計	11-5
11.4.1	線路定数	11-5
11.4.2	電圧降下	11-5
11.4.3	電力損失	11-6
11.4.4	故障電流	11-6
11.4.5	許容電流	11-7
11.4.6	誘導障害	11-7
11.4.7	絶縁設計	11-7
11.5	機械的設計	11-8
11.5.1	配電線路に働く荷重	11-8
11.5.2	支持物の強度	11-8
11.5.3	支線・支柱の強度	11-8
11.5.4	支持物基礎の強度	11-9
11.5.5	電線の弛度	11-9
11.6	地域の特性に合わせた設計	11-9
11.6.1	耐雷設計	11-9
11.6.2	耐塩設計	11-10
11.7	架空配電線路	11-10
11.7.1	支持物	11-10
11.7.2	支線・支柱	11-11
11.7.3	腕木・腕金	11-13
11.7.4	碍子	11-13
11.7.5	電線	11-14
11.7.6	変圧器	11-15
11.7.7	開閉器	11-16
11.7.8	避雷器	11-17
11.8	地中配電線路	11-17

11.8.1	ケーブル布設方法	11-18
11.8.2	ケーブル	11-18
11.8.3	中間・終端接続材料	11-19
11.9	引込線	11-20
11.9.1	引込線の選定	11-20
11.10	電力量計	11-20
11.10.1	電力量計の種類	11-20
11.10.2	電流制限器の種類	11-21

## 第12章 調達・建設工事費

12.1	全般	12-1
12.1.1	事業費の構成	12-1
12.1.2	積算上の留意点	12-1
12.2	土木設備	12-2
12.2.1	費用の構成	12-2
12.2.2	工事数量	12-3
12.2.3	工事単価	12-4
12.3	電気設備	12-8
12.4	配電設備	12-10
12.4.1	費用の構成	12-10
12.4.2	工事数量	12-10
12.4.3	工事単価	12-10
12.5	建設工程	12-11

## 第13章 施工監理

13.1	一般	13-1
13.1.1	総合管理	13-2
13.1.2	工程管理	13-2
13.1.3	品質管理	13-4
13.1.4	書類管理	13-4
13.1.5	出来高管理	13-6
13.1.6	設計変更手続き	13-6
13.1.7	安全・衛生	13-7
13.2	土木設備	13-7
13.2.1	施工監理工事項目	13-7
13.2.2	材料品質	13-8
13.2.3	出来形管理	13-9
13.2.4	現場での承認・確認手順	13-10
13.3	電気設備	13-10

13.3.1	水車効率の確認	13-11
13.3.2	発電機効率	13-11
13.3.3	工場試験	13-11
13.3.4	現地試験（引取り試験）	13-12
13.4	配電設備	13-14
13.4.1	施工監理工事項目	13-14
13.4.2	材料品質	13-14
13.4.3	現場での承認・確認手順	13-14

## 表リスト

表 6-1	地元住民との事前協議事項	6-1
表 6-2	一般世帯への調査票の例	6-4
表 6-3	商工業者への調査票の例	6-5
表 6-4	社会経済調査の項目	6-6
表 6-5	社会経済調査アンケートの例（1）	6-7
表 6-6	社会経済調査アンケートの例（2）	6-11
表 6-7	住民への説明事項	6-15
表 6-8	準備機関の活動事項	6-16
表 7-1	環境チェックリスト	7-13
表 8-1	照明器具の比較	8-3
表 8-2	冷蔵庫の容量別年間消費電力量	8-4
表 8-3	世帯 1 日当たりの電力消費量想定（電球型蛍光灯使用）	8-4
表 8-4	1 世帯 1 日当たりの電力消費量想定（白熱電球使用）	8-4
表 8-5	基本計画案	8-17
表 9-1	一般的な粗度係数（Manning）	9-12
表 9-2	水圧管の種類と特徴	9-17
表 10-1	電気・機械設備設計に必要な項目	10-1
表 10-2	標準回転速度（JEC-4001）	10-18
表 10-3	標準回転速度（JEC-4001）	10-35
表 10-4	遮断器の分類	10-41
表 10-5	定格電圧別の遮断器の機種	10-42
表 10-6	断路器の種類および適用	10-42
表 10-7	水車発電機保護項目一覧例	10-45
表 11-1	標準電圧（中圧）	11-1
表 11-2	標準電圧（低圧）	11-2
表 11-3	各種接地方式の比較	11-4
表 11-4	支線の機能別種類	11-11

表 11-5	支線の構造別種類.....	11-12
表 12-1	資機材と調達先.....	12-2
表 12-2	設備別数量項目.....	12-4
表 12-3	準備工事と仮設工事.....	12-4
表 12-4	土木工事単価構成.....	12-5
表 12-5	土木直接工事費設計内訳書様式例.....	12-6
表 12-6	工事原価の集計表様式例.....	12-8
表 12-7	電気設備関係工事費.....	12-9
表 12-8	配電主要設備.....	12-10
表 12-9	配電工事単価構成例.....	12-11
表 12-10	工事工程表の例.....	12-14
表 13-1	施工監理業務.....	13-1
表 13-2	総合管理項目.....	13-2
表 13-3	工程管理項目.....	13-3
表 13-4	品質管理項目.....	13-4
表 13-5	書類管理項目.....	13-4
表 13-6	土木設備の工事項目.....	13-7
表 13-7	材料品質項目.....	13-8
表 13-8	出来形管理要領表例.....	13-9
表 13-9	承認・確認手順項目.....	13-10
表 13-10	工場試験項目.....	13-12
表 13-11	現地試験（引取り試験）項目.....	13-13
表 13-12	工事項目と検査内容.....	13-14

## 図リスト

図 7-1	流況曲線.....	7-1
図 7-2	流況曲線の作成までの流れ.....	7-2
図 7-3	量水標の設置.....	7-3
図 7-4	河川横断測量の例.....	7-4
図 7-5	流速計による方法.....	7-5
図 7-6	プロペラ式流速計および流量の測定状況.....	7-6
図 7-7	水位流量曲線.....	7-6
図 7-8	ハイドログラフの例.....	7-7
図 7-9	四角堰.....	7-8
図 7-10	地表踏査による地質図.....	7-9
図 7-11	減水区間.....	7-10

図 7-12	滝を利用する発電計画.....	7-12
図 7-13	配電線ルート調査のフロー.....	7-16
図 8-1	発電計画策定の流れ.....	8-1
図 8-2	村落電化の日負荷曲線.....	8-5
図 8-3	低所得型村落の日負荷曲線の想定.....	8-6
図 8-4	中所得型村落の日負荷曲線の想定.....	8-6
図 8-5	高所得型村落の日負荷曲線の想定.....	8-7
図 8-6	ベトナムの電化1年目と2年目の電力需要の比較.....	8-7
図 8-7	水力の供給力と需要の関係.....	8-8
図 8-8	電源の組み合わせ検討フロー.....	8-9
図 8-9	流況と最大使用水量（流れ込み式）.....	8-10
図 8-10	衝動水車型の有効落差.....	8-11
図 8-11	反動水車型の有効落差.....	8-11
図 8-12	日負荷曲線と最大使用水量ならびに調整容量の関係.....	8-13
図 8-13	補完電源との組合せ（乾期）.....	8-14
図 8-14	雨期の電源.....	8-14
図 9-1	コンクリート重力式ダム.....	9-1
図 9-2	コンクリート補強布団かごダム.....	9-2
図 9-3	取水方式及び取水堰の高さ.....	9-4
図 9-4	土砂吐.....	9-5
図 9-5	側方取水.....	9-6
図 9-6	チロリアン方式及びその他の取水方式.....	9-7
図 9-7(1)	設計上の取水口の水位.....	9-7
図 9-7(2)	流入損失係数.....	9-8
図 9-8	沈砂池.....	9-9
図 9-9	無圧導水路.....	9-11
図 9-10	水槽9-13	
図 9-11	スクリーンの有効目幅（参考）.....	9-14
図 9-12	水圧管路.....	9-14
図 9-13	水圧管路の例.....	9-15
図 9-14	衝動型水車の発電所基礎.....	9-18
図 9-15	反動型水車の発電所基礎.....	9-19
図 10-1	水車の分類体系.....	10-1
図 10-2	ペルトン水車構造図（横軸2射）.....	10-2
図 10-3	ペルトン水車のノズル切替運転時の水車効率.....	10-3
図 10-4	ターゴインパルス水車構造図 （ペルトン水車とターゴのノズル比較）.....	10-4
図 10-5	クロスフロー水車構造図.....	10-5
図 10-6	ガイドベーン切替運転時の水車効率.....	10-5
図 10-7	立軸フランシス水車構造図.....	10-7

図 10-8	小容量プロペラ水車（カプラン水車）設置例.....	10-8
図 10-9	斜流水車構造図.....	10-8
図 10-10	バルブ水車構造図.....	10-9
図 10-11	S 形チューブラ水車構造図.....	10-10
図 10-12	パッケージ式バルブ水車構造図.....	10-11
図 10-13	縦軸チューブラ水車構造図.....	10-11
図 10-14	ストレートフロー水車構造図.....	10-12
図 10-15	水中ポンプ形水車構造図.....	10-12
図 10-16	ポンプ逆転水車概観（両吸込み単段渦巻き形）.....	10-13
図 10-17	水車形式選定図.....	10-14
図 10-18	水車設計のフロー.....	10-15
図 10-19	最大模型水車効率と比速度の関係（フランシス水車）.....	10-20
図 10-20	最大模型水車効率と比速度の関係（カプラン水車）.....	10-20
図 10-21	模型水車最大効率と比速度の関係（ペルトン）.....	10-22
図 10-22	フランシス水車のキャビテーション係数.....	10-25
図 10-23	カプラン水車のキャビテーション係数.....	10-25
図 10-24	ランナの指定点と吸出し高さ.....	10-26
図 10-25	入口弁概要図.....	10-26
図 10-26	スルース弁概要図.....	10-27
図 10-27	ダミーロード式调速機のシステム構成.....	10-28
図 10-28	水冷式ダミーロード構造図.....	10-28
図 10-29	排水ピットの設計例.....	10-29
図 10-30	ブラケット形.....	10-31
図 10-31	ペディスタル形.....	10-31
図 10-32	立軸形発電機の軸受配置による分類.....	10-31
図 10-33	発電機容量の検討フロー.....	10-32
図 10-34	定格時の発電機損失（Pg loss）.....	10-33
図 10-35	発電機定格容量と定格電圧の関係.....	10-36
図 10-36	主機 1 台、送電線 1 回線の例.....	10-39
図 10-37	主機 2 台、送電線 1 回線の例.....	10-40
図 10-38	主機 2 台、送電線 2 回線の例.....	10-40
図 10-39	一体型配電盤.....	10-44
図 10-40	水車、発電機の標準的な起動シーケンスフロー.....	10-47
図 11-1	中性点非接地方式.....	11-3
図 11-2	中性点接地方式.....	11-3
図 11-3	SWER 方式.....	11-3
図 11-4	線路定数.....	11-5
図 11-5	絶縁協調の例.....	11-8
図 11-6	鉄筋コンクリート柱（円柱）.....	11-11
図 11-7	鉄筋コンクリート柱（角柱）.....	11-11

図 11-8	腕金 .....	11-13
図 11-9	ラック金物で支持されたケーブル.....	11-13
図 11-10	碍子（ピン碍子は磁器製、耐張碍子はポリマー製） .....	11-14
図 11-11	中圧用裸電線.....	11-14
図 11-12	中圧用絶縁電線.....	11-14
図 11-13	中圧用架空ケーブル.....	11-14
図 11-14	低圧用絶縁電線.....	11-15
図 11-15	三相変圧器.....	11-15
図 11-16	単相変圧器.....	11-16
図 11-17	開閉器 .....	11-16
図 11-18	カットアウト.....	11-17
図 11-19	避雷器（ケーブルヘッド保護用） .....	11-17
図 11-20	直接埋設方式.....	11-18
図 11-21	管路方式 .....	11-18
図 11-22	単芯ケーブル.....	11-19
図 11-23	3 芯ケーブル.....	11-19
図 11-24	中圧ケーブルの接続例.....	11-19
図 11-25	電力量計 .....	11-21
図 11-26	電流制限器.....	11-21
図 11-27	電流制限器 .....	11-22
図 12-1	事業費の構成 .....	12-1
図 12-2	土木工事費の構成 .....	12-3
図 13-1	施工監理業務の工事種類 .....	13-1
図 13-2	建設の施工監理体制（例） .....	13-2



# 第 6 章

## 社会経済調査

## 第6章 社会経済調査

小規模水力による地方電化を持続可能なものとするためには、完成した発電所の運営維持管理は地元住民によって行なわれなければならない、地元住民の理解、自覚、自立が必要である。そのためにも、計画の初期段階から地元住民たちの関与が重要となる。

地元住民（利害関係者）に理解させるべき事項は下記のとおりである。

- 電気を使った場合の生活上の便宜
- 小規模水力による地方電化の、長所、短所の理解
- 小規模水力発電システムの運営維持管理と住民の役割
- 電気の適切な利用方法
- 電気料金についての理解

### 6.1 地元住民との事前協議

電化候補地域において、地方電化計画の現地調査を円滑に進めるためには、事前に地元代表者を含む地元住民から現地への立入りの承諾を得ておく必要がある。

下表に事前協議対象者と、この段階での必須説明項目ならびに承諾受領事項を示す。

表 6-1 地元住民との事前協議事項

項目	内容
1. 代表者との事前協議	
1) 対象者	郡長・村長・組長レベル
2) 必須説明項目	小規模水力発電の原理・仕組みなどの概要 調査目的 開発手順の流れ 開発後の運営方式
3) 承諾受領事項	調査に対する包括的承諾
2. 調査の立入り承諾	
1) 対象者	立入り箇所の地権者（公共の場合はその管理機関）
2) 必須説明項目	調査目的 調査期間 調査範囲と影響度合い 補償の有無
3) 承諾受領事項	立入り、一部改変など具体的事項についての承諾

なお、この段階は小規模水力による電化の可能性の調査を行うものであり、電化の実施が確定していないので、計画調査の全体の流れや実現性の可能性などを誤解無く伝え、過度の期待を持たせないよう注意する必要がある。

## 6.2 電力需要調査

通常、国全体の電力需要予測を行う場合は、過去の電力需要を経済成長率、人口増加率、所得、電気料金等を変数とする回帰式により表し、将来の電力需要を推定するが、小規模水力による地方電化の場合は、時系列データがないため未電化村落の電力需要を推定するには世帯電力需要を推定し、積上げる方法が取られる。そのためには対象村落の社会経済調査を事前に実施することが必要である。社会経済調査はあらかじめ調査票を作成し、ヒアリング調査あるいはアンケート調査で行なわれるが、より正確な情報を入手するためには戸別訪問によるヒアリング調査が推奨される。

なお、検討手法やアプローチの手法には、種々の手法がある。ここでは代表的な手法のひとつを記載したものであるが、それぞれのプロジェクトが置かれている状況などにより、記載したものとは異なった手法がとられることがある。

### 6.2.1 対象村落の分類

調査票は、対象村落の状況に適したものを作成する必要がある。未電化村落であっても小型発電機やバッテリーを所有している世帯があるなど所得が高い村落や子供が都市に出稼ぎに行き、仕送りが見込まれるなどさまざまである。このような村落に照明とテレビの電力需要だけを見込み、発電容量を設定すると年々家電製品が増えていき、供給不足に陥る。従って、適正な発電規模を設定するためには、事前の社会経済調査が非常に重要になる。村落の分類は大きく以下のように分けられる。

#### (1) 低所得型村落

低所得型村落は作付面積が狭い農村で、大都市から離れており、高齢化が進んだ村落に多く見られる。低所得型村落の電力需要は照明とテレビに限られており、電力需要の伸びは小さい。

#### (2) 中所得型村落

中所得型村落は換金作物を生産する農村や牧畜を営む農村に多い。これらの村落では、既に自動車用バッテリーを利用するテレビを所有している世帯がある。また、最近世界中で普及している携帯電話を所有する割合は、村落所得を判断する目安となる。アジアの中ではタイのような中進国の未電化村に多く、電力需要の伸びは大きい。

#### (3) 高所得型村落

小型発電機やオートバイ、自動車等を所有している世帯が多く、電化されると冷蔵庫、洗濯機、カラオケセットなどの電化製品が瞬く間に普及する。このような村落では小規模水力のような小さな発電容量では不満があり、系統による電化が望まれる。

## 6.2.2 調査票

### (1) 世帯調査

調査票の内容に答えるのは、未電化村落の住民である。彼らはテレビを持っていないことから情報等を得る機会が少ない。そのため質問内容はできるだけ簡単なものにし、可処分所得など難しい用語は使わないように心がけることが大切である。また、住民はエネルギー消費量や支出額を記録しているわけではないため、質問も答えやすい内容にするように工夫し、その回答から聴きたいことを推定する必要がある。例えば、1 か月のお米の消費量を知りたいときは、

#### 【悪い例】

1 ヶ月に米を何キロ買いますか？

#### 【良い例】

主食はご飯ですか？

1 日に何合ご飯を炊きますか？

住民は自分の記憶をたどって回答するため、1 ヶ月や1 年単位の質問は避け、身近なところから質問する必要がある。また、戸別訪問ではなく、アンケート用紙を配布する場合は、回答を選択式にし、記入しやすいようにする。さらに、電気料金の支払いの可能性（支払い意思額）を分析することも重要である。住民集会などで、電化計画を説明すると住民は電気を使いたいという気持ちは大きいですが、電気料金を支払うことが可能かということは別の話である。支払い意思額は、これまで電気の代替として支払ってきたケロシン・ランプの燃料費、バッテリー充電費等が相当する。

### (2) 産業調査

未電化地域では大きな産業は存在しないと思われる。しかしながら、既に発電機を利用している家内工業が存在するか、現在は電気を使用していないものの電化後は電気の利用が考えられる家内工業が存在するか、を把握する必要がある。

表 6-2 一般世帯への調査票の例

Sample of Socio-economic Survey for household (Questionnaire)

Date: \_\_\_\_\_

1. Occupation \_\_\_\_\_
2. Number of people in a family \_\_\_\_\_
3. Age composition in a family \_\_\_\_\_
4. Number of Room  
 one             two             three             four             five
5. Kind of light at present  
 Kerosene lamp    Gas lamp         Candle         Other
6. Number of lights  
 one             two             three             four             five
7. Above consumption per day \_\_\_\_\_
8. Fuel price \_\_\_\_\_
9. Using time of lighting per day  
 2 hours    3 hours    4 hours    5 hours    6 hours    Other
10. Wake-up time and time for bed \_\_\_\_\_
11. Do you have a battery?  
 Yes                       No
12. If you answer to #11 is Yes,
  - 12.1 Battery price \_\_\_\_\_
  - 12.2 Capacity of battery \_\_\_\_\_
  - 12.3 What is purpose of battery?  
 TV         Radio         Lighting         Other
  - 12.4 If you answer to #12.3 is TV,
    - 12.4.1 How many hours do you watch TV a day?  
 1 hour    2 hours    3 hours    4 hours    more than 5
    - 12.4.2 What wattage is power consumption of TV?
  - 12.5 If you answer to #12.3 is lighting,
    - 12.5.1 How many hours do you use light a day?  
 1    2    3    4    5    6    more than 6
    - 12.5.2 What wattage is a light? \_\_\_\_\_
  - 12.6 Battery charge price \_\_\_\_\_
  - 12.7 How many times do you charge battery per week?  
 1    2    3    4    5    6    7
  - 12.8 Battery life  
 less than 1 year    1 year    2 years    3 years    4 year

12.9 How many times do you fill in distilled water?  
 1/ month    1/ 2 months    1/3 months    Other

12.10 Price of distilled water\_\_\_\_\_

13. What kind of electric appliances will you purchase after electrification?  
 Lighting    TV    CD player    Fan    Washing machine  
 Refrigerator    Others

表 6-3 商工業者への調査票の例

**Sample of Socio-economic Survey for cottage industry (Questionnaire)**

Date:\_\_\_\_\_

1. Products\_\_\_\_\_
2. Capacity of diesel or gasoline generator\_\_\_\_\_
3. Operation hours per day\_\_\_\_\_
4. Operation time per day\_\_\_\_\_
4. Operation days per week \_\_\_\_\_
5. Fuel price\_\_\_\_\_

### 6.3 社会経済調査

裨益対象者となる住民の電化に対する意識調査を行い、具体的なニーズを把握して、計画および設計に反映させる。

表 6-4 社会経済調査の項目

項目	内容
<b>I 主要情報提供者調査</b>	
1. 実施時期	社会経済調査開始時 (事前協議と兼ねる場合もある。)
2. 対象者	郡長・村長・組長レベル
3. 調査事項	人口・世帯数・産業などの基礎情報
4. 用途・目的	基礎情報収集 世帯調査の規模および項目の確定のための資料
<b>II ワークショップ（説明会）</b>	
1. 実施時期	世帯調査実施前
2. 対象者	地元代表者および地域住民
3. 目的	小規模水力地方電化の概要説明 世帯調査実施の説明
<b>III 世帯調査</b>	
1. 実施時期	ワークショップ（説明会）後
2. 対象者	地域世帯数の約20%以上 (統計学上の信頼度および目標精度を考慮)
3. 方法	インタビュー
4. 主な調査項目	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 家族構成人数</li> <li>2. 職業・収入</li> <li>3. 電気器具類の使用の有無（現状）</li> <li>4. 電化に対する認識・意識</li> <li>5. 電化の要望度合い</li> <li>6. エネルギー支出額（照明・動力他）</li> <li>7. 支払い意思額</li> <li>8. 裨益対象者の数と地理的分布状況</li> </ol>

表 6-5 社会経済調査アンケートの例 (1)

< Questionnaire for village officer / key informant interview >

Name of Village, Union, District:	
Date:	
Name of Respondent:	
Name of interviewer	

1. Number of household

2000	2005	2010

2. Population

2000	2005	2010

3. Number of households moving in or out of the village

Year	In	Out
2006		
2007		
2008		
2009		
2010		

4. Communication system between outside

1) Cell phone    2) Telephone    3) Others: \_\_\_\_\_

5. Means of transportation (ex. Motorbike, bus)

\_\_\_\_\_

6. What kinds of village organizations are exist? (e.g. youth group, cooperative, farmers group)

Name of Organization	Activities
1	
2	
3	
4	
5	

7. Education: Primary and Secondary



	Primary	Secondary
Educational Ratio (%)		
Educational Expenses (Currency/Year)		

8. What kind of facilities are in your village?

Types		Number
1.	Hospital	
2.	Village hall	
3.	Tap water	
4.	Well	
5.	Elementary school	
6.	Secondary school	
7.	Daily Market	
8.	Restaurant	
9.	Motorbike/bike repair shop	
10.	Carpenter	
11.	Saw mill	
12.	Rice mill	
13.	Mosque / Church	
14.	Pharmacy	
15.	Other (Specify)	

9. Cropping calendar

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rice												
(harvest, plant)												
Sugarcane												
(harvest, plant)												
Jute												
(harvest, plant)												
Other ( )												
(harvest, plant)												

Priority needs, list and prioritize the needs felt by the village for improvement of livelihood (e.g. water, road, sanitation, medical care services, electricity etc.)

Rank	Need	Remark

10. Needs for electrification (Do the village people want to have electricity? Do they want to use it for machines or public facility lighting?)

---

11. Decision making mechanism (How do the village people decide the thing, how do they proceed the decision making?)

---

12. Past and on-going development projects;

1) Have your village ever have any development project in the past and at present?

---

2) If your village has, how it was financed and who managed the project?

---

3) How the villagers are involved in the process of identifying, planning, implementing, operating and maintaining the project?

---

13. Land ownership system;

1) Is the land ownership based on registration or customary right?

---

2) In the case of customary right, what is the content of the ownership (e.g. the right to farm the land only?)

---

3) What is the inheritance system of land ownership?

---

4) Was there any dispute on the land ownership (e.g. construction of public facility on private land)?

---

14. How do you get drinking water, bathing, washing clothes and irrigation?

---

---

Item	How do you get water?
Drinking	
Bathing	
Washing clothes	
Irrigation	
Other (specify)	

15. Wealth gap in a community

- 1) Are there any criteria of distinguishing between the rich and the poor (e.g. income, property, house material, educational level etc.)?

- 
- 2) Based on the criteria above, could you estimate approximate percentage of the households in each category (rich, middle and poor)?

	Estimation (%)
Poor	
Middle	
Rich	

***Thank you very much for your kind cooperation!!***

表 6-6 社会経済調査アンケートの例（2）

<Questionnaire for Household>

Name of Village, Union, District:	
Date:	
Name of Respondent:	
Name of interviewer	

1. No. of family who live under one roof: \_\_\_\_\_ persons
  
2. Does one of your family works away from home?
  - 1) 

Who
-----

 a: husband      b: wife    c: son    d: daughter      e: \_\_\_\_\_
  - 2) 

Where
-------

 a: Capital      b: Center of nearest district      c: Overseas      d: \_\_\_\_\_
  
3. How many years have you been living here?
 

a: under 5 years      b: 5 years to 10 years      c: 11 years to 20 years      d: over 21 years
  
4. No. of room: \_\_\_\_\_ rooms
  
5. Family Income Source
  - 1) Main source of cash income of the household and annual cash income  
 \*if you have a certain amount of agricultural products for selling, please answer it. But if you consume them for your own family, you don't have to answer.

Items	✓	Annual Cash Income (currency)
a. Agriculture		
b. Own business		
c. Government employee		
d. Migrant labor		
e. Private employee		
f. Other (Specify)		
TOTAL(currency/year)		

- 2) Do you receive any remittance from your family who works away from home?
  - a: Yes. If yes, how much do you receive? \_\_\_\_\_ currency/year
  - b: No.

Expenditure

	Item	Amount (currency/year)	Remarks
A	Food		
B	Housing		Housing loan repayment/house rent, etc.
C	Water		For cooking, drinking and washing.
D	Irrigation water		Agricultural use.
E	Education		Enrolment fee, books, uniforms etc.
F	Transportation		Bus fare, oils for your cars/bikes.
G	Health care		Medical treatment, medicines.
H	Social cost		Cash contribution to social events & ceremony
I	Others		Other costs not specified in the above
	TOTAL (currency/year)		

6. Debt or Credit

- 1) Do you borrow money?      a: Yes                      b: No
- 2) From which do you borrow? a: Cooperative      b: Bank                      c: Relatives  
d: Other
- 3) How much interest rate?                      /month,                      /year
- 4) Do you save money?                      a: Yes                      b: No

7. Own Properties

- 1) I have own land                      (ha)
- 2) I'm agricultural laborer      wage:                      currency/day
- 3) How many days do you work as agricultural laborer for a year?                      Days
- 4) I'm tenant farmer                      Rent for tenancy:                      currency/month or year
- 5) List the property owned by the family (e.g. house, livestock, bike, tools)

Property	Contents
A. House	a: Own house      b: Rent a house
B. Livestock	a. Cow      Number of head      _____
	b. Duck      Number of head      _____
	c. Chicken      Number of head      _____
	d. Goat      Number of head      _____
	e. Sheep      Number of head      _____
	f. Fish      Amount (kg)      _____
C. Car or motor bike	
D. Other	<u>Specify:</u> _____

8. Agricultural products

If your family has engaged in agricultural farming, let us know the kind of agricultural products and the volume.

	a. Volume/year	b. Where to sell (Market, factory etc.)	c. Selling Unit Price (Rs/kg)
1) Rice	kg		
2) Sugarcane	kg		
3) Maize	kg		
4) Jute	kg		
5) Vegetable	kg		
6) Fruits	kg		
7) Others ( )	kg		

9. Does your household use electricity now?

a: Yes **→** go to question No.15

b: No **→** go to question No.10

10. (for non-electrified household) What are the current energy sources in your household?

	a. Amount/month	b. Unit Price (currency)	Remarks
1) Kerosene	litter		Purchase cost. Do not include car, bike, and tractor, but include lamps.
2) Gasoline	litter		For diesel generator
3) Fuel wood	kg		Purchase cost
4) Dry batteries	pieces		Purchase cost
5) Candles	pieces		Purchase cost
6) Matches	pieces		Purchase cost
7) Car battery charging	units		Charging cost per unit
8) Charcoal	kg		
9) Others			Specify
TOTAL			

11. (for non-electrified household) Do you want to get electricity?

a: Yes      b: No      Reason: \_\_\_\_\_

12. (for non-electrified household) If you can use electricity in future, what kind of electric appliances do you want?

a: Light      b: Television      c: Radio      d: Video player      e: Refrigerator      f: Fan  
g: Ironing      h: Water pump      i: Other (Specify) \_\_\_\_\_

13. (*for non-electrified household*) If you can use electricity in the future, what kind of productive activities will you start by using electricity?

- a: Irrigation b: Sawmill c: Chicken farm d: Rice milling e: Handicraft  
 f: Home industry (making cake or bread) g: Shop  
 h: Restaurant i: Other (specify: \_\_\_\_\_ ) j: No idea

14. (*for non-electrified household*) If your house can get electricity, are you willing to pay for new electricity services?

- 1) for initial cost a: Yes b: No  
 2) for monthly charge a: Yes b: No

***This is the end of interview for non-electrified household.***

***Thank you very much for your cooperation!!***

15. (*for electrified household*) What kind of electric appliances does your family have

- a: Light b: TV c: Radio d: video player e: refrigerator f: fan g: ironing  
 h: water pump i: Other (Specify) \_\_\_\_\_

16. (*for electrified household*) How much do you use electricity for a month? Could you show us the latest three (3) month electric bill?

(Unit: currency/month)

Month	a. 2 month before	b. 1 month before	c. Recent month
1) Demand Charge			
2) Service Charge			
3) Electricity Charge			
4) 10% VAT			
5) Late payment			
TOTAL			

17. (*for electrified household*) Do you plan to start house industry and/or small industry by using electricity?

- a: Irrigation b: Sawmill c: Chicken farm d: Rice milling  
 e: Handicraft f: Home industry (making cake or bread) g: Shop  
 h: Restaurant i: Other (specify: \_\_\_\_\_ ) j: No idea

***This is the end of interview for electrified household.***

***Thank you very much for your cooperation!!***

## 6.4 裨益者の理解と役割

小規模水力プロジェクト実施主体者と地域住民とがお互いに意見交換を行い、相互理解を図るため、各段階において住民説明会を開催する必要がある。

下表に、住民説明会での必須説明項目を示す。

表 6-7 住民への説明事項

項目	内容
1. 対象者	地域住民
2. 実施時期	i) 基本計画調査段階 ii) 建設実施段階：建設開始前、建設中 iii) 運営維持管理段階：運営開始前
3. 実施方法	住民説明会
4. 必須説明項目	電化計画概要 発電、配電設備は住民の共有財産である 技術・財務的に電力系統とは切り離れた運営をする 電気料金の支払い 電柱、配電線などの用地占有への協力 電力計、引込み線などの初期費用

## 6.5 運営準備機関の設立

電力供給の運営機関は電化の規模やその国の電力行政によって異なるが、概ね地元住民が主体となって組織される。そのため、基本計画がある程度確定した段階から、地元関係者を含めた運営のための準備機関を設立する必要がある。

準備組織は、第14章に述べる実務機関に引き継ぐことを前提としており、最終的には図14-1に示す組織となり、プロジェクトの進捗に応じて、順次、実務担当者が加わる。

運営機関の具体的な活動内容については第14章に後述するが、準備期間の活動事項を表6-8に示す。



表 6-8 準備機関の活動事項

	事 項	概 要
1. 構成者	中央レベルの開発推進行政官 地方レベルの開発推進行政官 地域の関連行政機関 地元従事予定者（村・集落・班など）	開発推進行政官および行政機関は準備期間中は主体者となるが、完成後は管理行政の立場から関与する。
2. 実施時期	基本計画がほぼ固まった段階	
3. 実施方法	委員会および住民説明会	
4. 必須事項	1.計画推進の認知	地元民代表または全員を対象として住民説明会を開催する。
	2.運営機関の組織体制立案	構成者間で作成する。
	3.地元負担事項について	関係者間で調整を行って、地元の了解を得る。
	4.運営維持管理要員の募集と採用	発電所の運転保守および事務管理業務などの従事予定者を地元で募集し、採用する。
	5.運営維持管理要員の研修	従事予定者に対して、建設期間中から技術研修を始め、運営維持運営業務に備える。

第6章の参考文献

- [1] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画基本設計調査、国際協力機構、2005年
- [2] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト、国際協力機構、2005年

# 第 7 章

## 技術調査

## 第7章 技術調査

### 7.1 流量調査

#### 7.1.1 発電計画に使用する流量資料

河川流量は日々変動しており、1年周期で見ると雨期には増大し乾期には減少する。図7-1は、1年間365日の毎日の流量を大きさの順に並べた図（以下「流況曲線」）である。地方電化の供給力として小規模水力発電（以下「小規模水力」）を使用するには、流況曲線における90%流量から100%流量（最小流量）が重要な意味を有する。この流量は乾期の流量を特徴づけるデータであるとともに、発電所の規模を決定する際の基本データとなる。本マニュアルでは第5章で述べたとおり、流況曲線における95% に相当する流量を発電計画に使用する基本の流量とし、保証流量と位置付けている。

一方、小規模水力にディーゼル発電などの他電源と組み合わせると、雨期、乾期に関わらず、安定した電力供給が行える。この場合、乾期には小規模水力の出力が低下することを容認し、その不足部分を他電源で供給する。従って、小規模水力の計画は保証流量より大きな最大使用水量を設定することになるので、乾期だけではなく1年間を通した流量データが求められる。

さらに、洪水時には河川水位が上昇するので、発電所をはじめ土木構造物が洪水の影響を受けないよう設計する必要がある、洪水量の推定も必要となる。

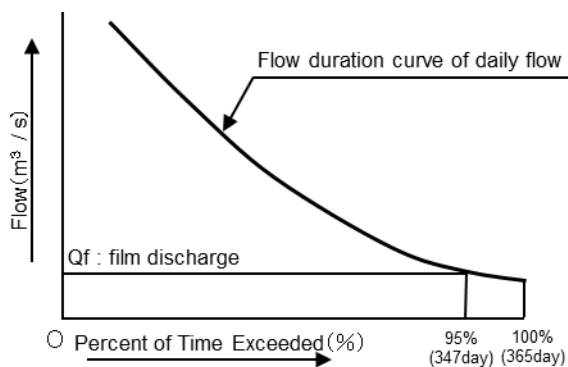


図 7-1 流況曲線

図7-2は、小規模水力の計画に使用する流況曲線の作成にあたり、水位流量曲線の作成、日々の流量の算定、これをもとにした流況曲線の作成を示したフローチャートである。

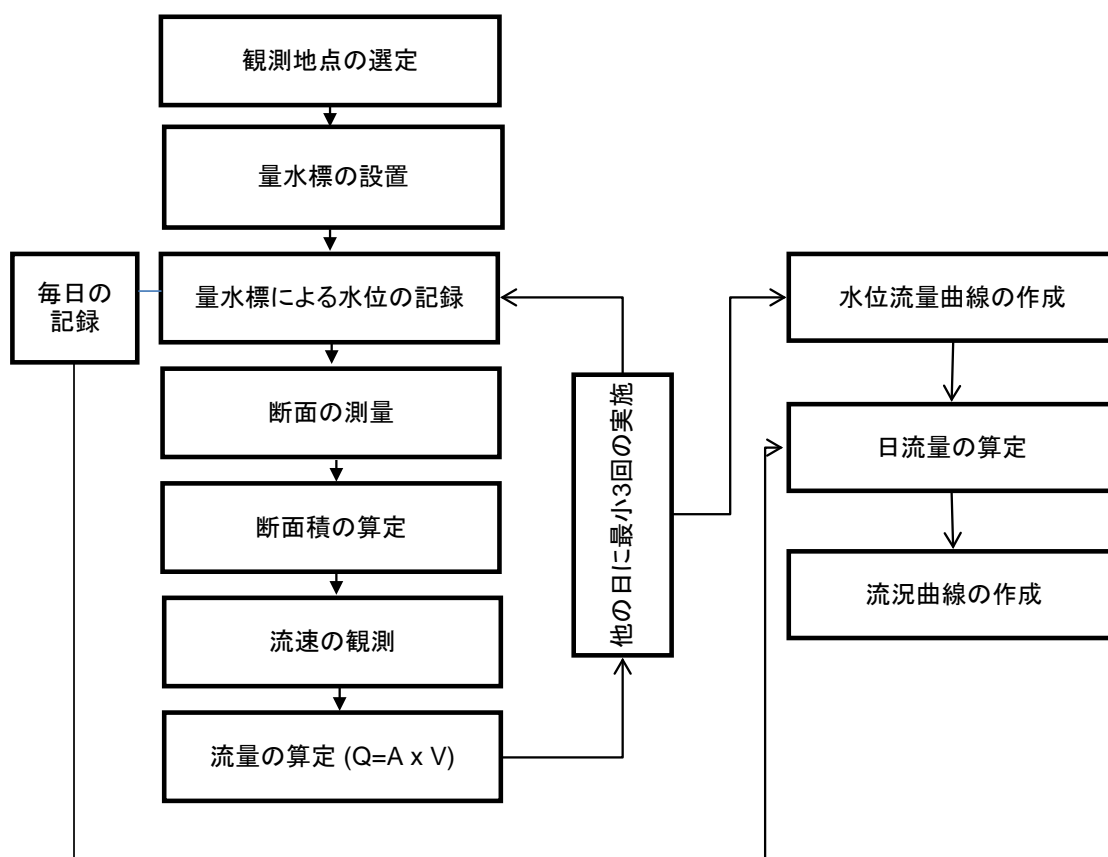


図 7-2 流況曲線の作成までの流れ

### 7.1.2 流量測定、水位観測による流量データの収集

5.2 節において、「浮子測法による簡易流量測定」について記載した。しかしながら、基本計画調査（フィージビリティ調査レベル）には、以下に述べる詳細な調査を行う。

#### (1) 流量測定と河川水位の観測

河川流量を観測するには、流速と河川断面の測定が必要である。しかしながら、その作業には大変な労力がかかるため、365 日、24 時間連続して行うことができないので、以下の方法を用いる。

- 現地で流量測定は、1 年間で 3 回以上とする。
- 河川水位は毎日観測する。
- 毎日の流量は、現地での流量測定をもとに作成された水位流量曲線と、毎日の河川水位から推定する。

#### (2) 流量観測所の設置

##### 1) 位置の選定

流量観測所（測水所）として、取水堰サイト候補近傍で下記の条件を満足する場所を選定する。

- 湾曲部や断面急変部を避け、川の流れが直線的であること
- 川の流れが急激または緩慢過ぎないこと
- 流路および河床の変動が少ないこと
- 流量の大小にかかわらず流量および水位が測定可能なこと

## 2) 量水標の設置

測水所位置に、量水標を設置する（図 7-3 参照）。

量水標の表面に 1cm 刻みに目盛りをつけ、何 m の水位であるのかが分かり易いように、1m 毎に大きな文字で明瞭にメートルを記載する。量水標を現地に据え付けるに当たり、以下を配慮する。

- 量水標の 0（ゼロ）点は、乾期の最低水位以下に設定する必要がある、量水標の据付は乾期に行う。
- 量水標の下端を地中に差し込み、河川の流れによって流出しないようコンクリートでしっかりと垂直に固定する。
- 観測者が川岸から容易に読み取れるよう、量水標の目盛り面の向きに配慮する。
- 量水標を設置した後、設置地点の座標およびゼロ点標高を記録する。
- 量水標を高さに応じて複数設置する場合は、50cm 程度重なるようにする。

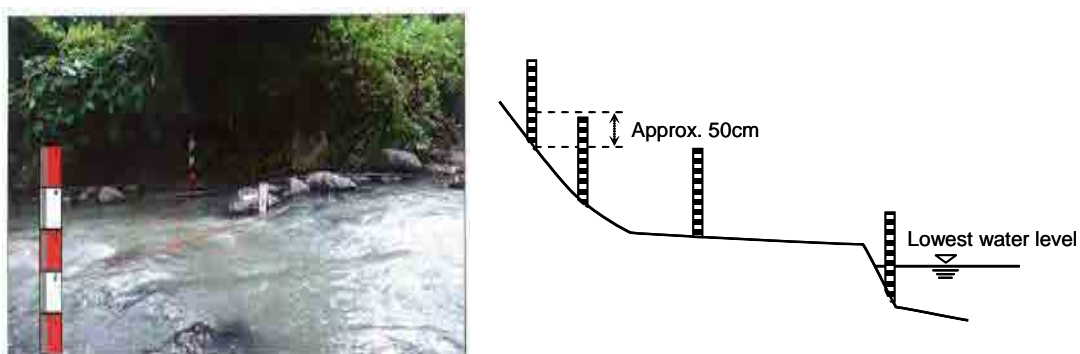


図 7-3 量水標の設置

## (3) 流量測定

### 1) 流量の算定

河川の流量（ $Q$ ）は、流水横断面積（ $A$ ）と平均流速（ $V_m$ ）の積で表されるので、流量の算定にあたっては、流水横断面積と流速の測定を行う。

$$Q \text{ (m}^3\text{/sec)} = A \text{ (m}^2\text{)} \times V_m \text{ (m/sec)}$$

### 2) 河川横断測量

測水所地点の横断測量を行い、河川横断図を作成する。洪水等によって河川の横断形状が変化したと認められる場合には、再度横断測量を行い、河川横断図を修正する必要がある。

図 7-4 は河川横断測量を実施している写真であり、図 7-5 は測定した横断図の例である。



図 7-4 河川横断測量の例

### 3) 流速計による流量測定

小規模水力の計画には、流量の少ない小河川あるいは沢が対象となる。流量測定は年間数回（最低 3 回）から 10 回程度を目安に実施する。次項の水位流量曲線を作る必要があるの  
で、流量観測時には、必ず同時に水位観測も行う。

図 7-5 に示す全河川幅を等間隔に区分し、それぞれの断面での流速を求める。

各断面における平均流速は、下記の簡易法による測定で算定する。

3 点法：表面から水深の 20%、60%および 80%の点の流速を測定する方法

$$V_m = 0.25 \times (V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8})$$

2 点法：表面から水深の 20%および 80%割の点の流速を測定する方法

$$V_m = 0.50 \times (V_{0.2} + V_{0.8})$$

1 点法：表面から水深の 60%の点の流速を測定する方法

$$V_m = V_{0.6}$$

ここに、

$V_m$	: 平均流速 (m/sec)
$V_{0.2}$	: 表面から 20%の水深の流速 (m/sec)
$V_{0.6}$	: 表面から 60%の水深の流速 (m/sec)
$V_{0.8}$	: 表面から 80%の水深の流速 (m/sec)

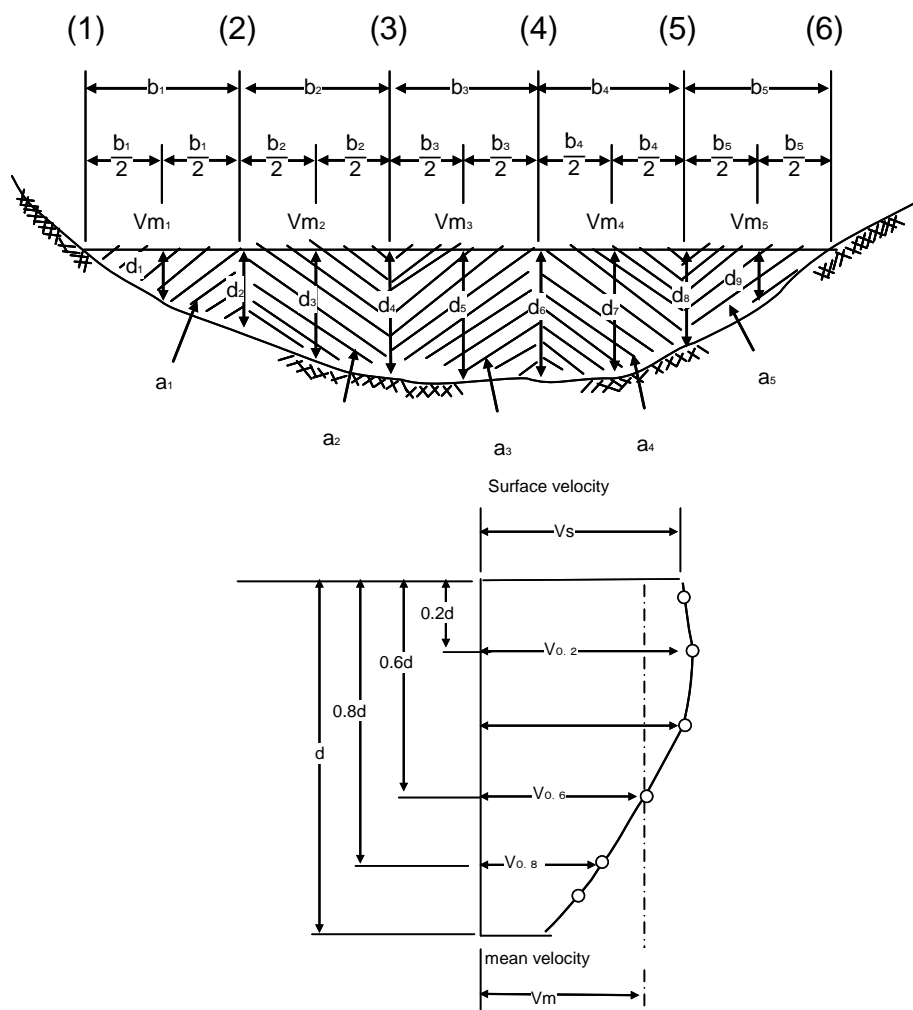


図 7-5 流速計による方法

上記のような方法によって各区分の平均流速  $V_m$  (m/sec) が求めれば、河川流量を算出する。例えば図 7-5 は河川断面を 5 断面に分割した例であり、全流量は次式で求められる。

$$Q = a_1 \times V_{m1} + a_2 \times V_{m2} + a_3 \times V_{m3} + a_4 \times V_{m4} + a_5 \times V_{m5} \quad (a_i = b_i \times d_{2i-1})$$

ここに、

- $a_i$  : 各断面間の流水面積 ( $m^2$ )
- $b_i$  : 各断面の幅 (m) ( $b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b_5$ )
- $d_i$  : 各断面の平均水深 (m)
- $V_{mi}$  : 断面(i)および断面 (i+1) の流速の平均値 (m/sec)
- $Q$  : 全流量 ( $m^3/sec$ )

小河川の流量測定には、プロペラ式流速計や電磁流速計が一般に用いられる。電磁流速計については、5.2.1 節に記載してある。図 7.6 はプロペラ式流速計を用いた流量測定の状態を示したものである。



流速計の使用にあたり、信頼できる流量データを得るには、そのキャリブレーションを信頼できる機関で行っておく必要がある。



図 7-6 プロペラ式流速計および流量の測定状況

#### 4) 水位流量曲線の作成

測定した流量とその時の河川水位を使用し、図 7-7 に示した水位流量曲線を作成する。水位を縦軸に、流量を横軸としてプロットし、最小二乗法で曲線式は得られる。水位流量曲線式は一般に次の放物線の式で表される。

$$Q = a + b \times h + c \times h^2$$

ここに、

Q : 流量 (m<sup>3</sup>/sec)  
 h : 水位 (m)  
 a, b, c : 定数

一つの式で水位と流量の関係を表わし得ない場合は、水位の高低に応じて幾つかの式に分けて表すことが望ましい。なお、洪水その他で河床が変化した場合、再度、調査を行い、水位流量曲線を作成する必要がある。

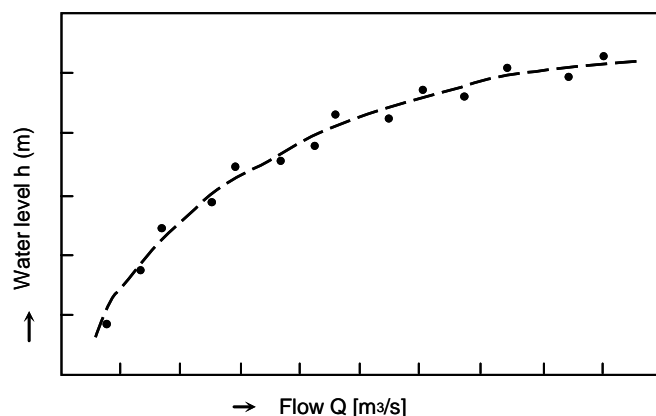


図 7-7 水位流量曲線

5) 水位の観測

水位観測は、一日 1 回あるいは 2 回、定時刻に行う。水位観測は、自動記録でなくても、周辺住民等に観測、記録を依頼すればできる。また、洪水期（雨期）の水位を観測することが、土木構造物を設計する上で重要である。

6) 流量データの作成および流況曲線の作成

観測した水位を水位流量曲線に当てはめ、河川流量を推定する。これにより図 7-8 に示す毎日の流量を示したハイドログラフが得られる。また、これをもとに図 7-1 に示した流況曲線が得られる。

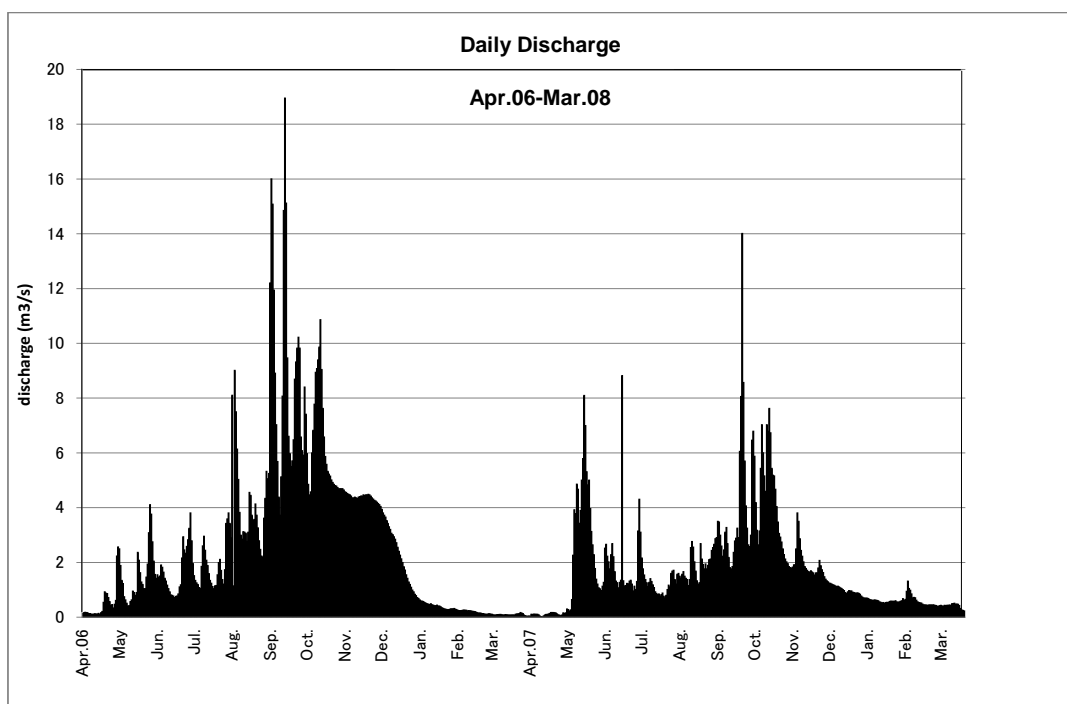


図 7-8 ハイドログラフの例

7.1.3 堰による流量データの収集

流量が小さく流速計による測定が出来ないような小河川では、図7-9のような堰を設けてその越流水深を測り流量を測定する。堰は流心に直角に設け、上流は流速の小さい平静な箇所を選定する。流量算出には多くの方法があるが、このマニュアルでは「フランシスの公式」を紹介する。

$$Q = 1.84 \times (b - 0.2 \times h) \times h^{1.5}$$

ここに、

- Q : 流量 (m<sup>3</sup>/sec)
- h : 越流水深 (m)
- B : 堰の幅 (m)

- b : 堰の開口幅 (m)  
 D : 水路底面から堰縁までの高さ (m)

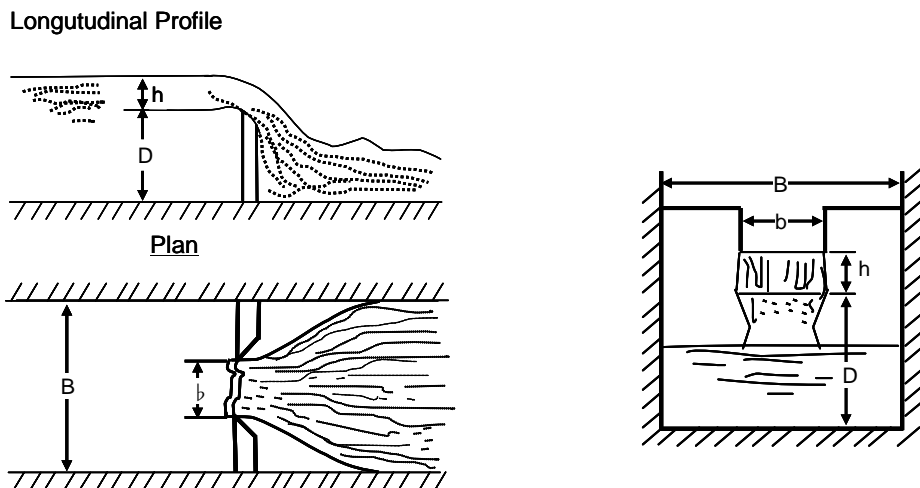


図 7-9 四角堰

なお、堰による流量測定は、固定堰で完全越流の堰でなければならない。

#### 7.1.4 塩分希釈法

沢や溪流などの玉石が点在する河川では、河川水が玉石間やその下部を流下するため流れの断面積を測定することができず、また流速も測定できない。この条件の河川では塩分希釈法が用いられる。塩分希釈法は、一定時間、定量の食塩水を継続的に上流に投入し、下流側にて電気伝導度を測定し、流量を計算にて求める方法である。

#### 7.2 地形調査

小規模水力では、主要構造物の多くが明かり構造物となることから、地形の把握は重要である。特に、取水設備、水槽、水圧管路、発電所等の面的な広がりを持つ構造物に関しては、設計精度の向上のため地形測量が必要である。

小規模水力の構造物の規模および地形測量誤差と工事数量等の関係を考慮し、構造物周辺の地形図は縮尺1/500～1/1000程度とする。

水路やアクセス道路等には、路線測量（中心線測量、横断測量）調査で、計画および設計は可能である。特にこれらの延長が長い場合には、調査費用の低減の観点から路線測量が有効である。

#### 7.3 地質調査

##### (1) 地表踏査

小規模水力における主要構造物のほとんどが明かり構造物であることと、水路経過地が山腹斜面となることから、地山表層部の安定に関する地表踏査が重要である。地表踏査は、地

表に表れた岩石の種類、地形、断崖等に見られる地層を踏査し、地質構成の概要を把握する。

一般に、岩石は表土で覆われ、その上に草木が繁茂している。沢や谷のように露頭した部分のみをもって地質調査を完成するわけにはいかないため、必要に応じて表土をはぎとって調査する。地層の変化は複雑であるため、地質踏査は局部だけでなく、できるだけ広範囲について行い、地質構造をマクロ的に把握する。

地表踏査の結果は、図 7-10 に示すようなスケッチ図を作成し、各種構造物の基本構造設計の参考とする。

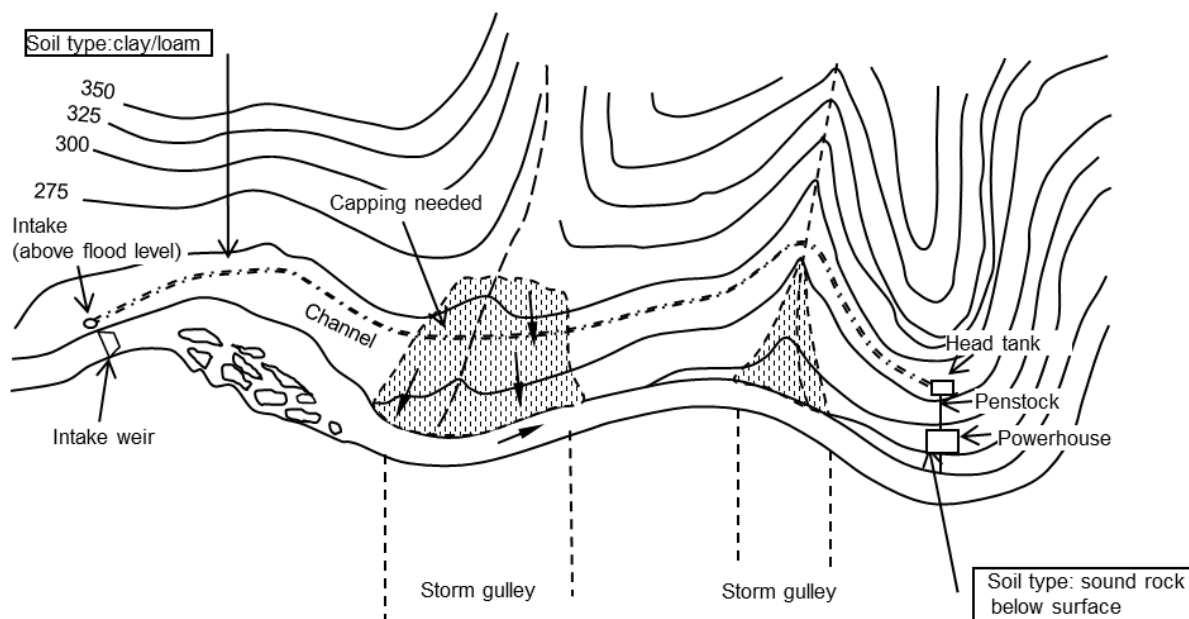


図 7-10 地表踏査による地質図

## (2) 空中写真判読

地表踏査では、踏査ルート of 局所的な地質の状況はよくわかるものの、広範囲の全体的な関連をつけにくい場合が多いため、航測図化に用いる空中写真がある場合には地質判読で補うことも考慮する。

## 7.4 環境社会影響調査

### 7.4.1 関連法令

小規模水力の開発を行う場合、実施する国の法制度やガイドライン、関係するドナーのガイドラインに従う必要がある。考慮すべき代表的な諸法令として、名称や区分は国やドナーによって異なるものの、概ね以下のようなものがある。

- 環境法 (National Environmental Act)
- 環境影響評価法 (Environmental Impact Assessment Law)
- 公衆衛生法 (Public Health Act)
- 水法 (Water Act)

- 農地法（Agriculture Land Act）
- 天然資源の保護に関する法律（Natural Resources Conservation Act）
- 国家遺産の保護に関する法律（National Heritage Conservation Act）
- 土地法（Lands Act）
- 漁業法（Fishery Act）
- 野生動物の保護に関する法律（Wildlife Conservation Act）
- 森林法（Forestry Act）
- 国際会議・地域会議による条約など

## 7.4.2 環境社会影響

### (1) 物理的影響

#### 1) 下流の流量変化

小規模水力の多くは、河川水を貯留、調整しない流れ込み式であるため、放水口下流の流量変化は起こらない。一方、河川流量を調整する調整池式が採用される場合には、放水口下流の流量が自然状態のそれに比較し変化する。

#### 2) 減水区間の出現

ダム水路式および水路式発電所は図 7-11 に示す通り、取水口から発電使用水量が取水され、長い水路で水を導水するので、ダムから放水口までの間は河川流量が減少する「減水区間」が発生する。この間で河川水を利用している住民、動植物に影響を与える可能性がある。



図 7-11 減水区間

#### 3) 水質汚染

土木構造物（堰、水路、発電所）の建設時には、水の濁りなどによる飲料水への影響、水生生物への影響が挙げられる。不注意な取り扱いによって、建設機械用燃料、潤滑油、その

他化学物質が河川に流出する恐れもある。運転段階においては、電気機器関連の潤滑油の漏洩によって、水質を汚染することが考えられる。

## (2) 生物的影響

### 1) 生物環境

小規模水力発電所の建設には、発電設備や配電線のための敷地に加え、アクセス道路の敷地が必要であり、その敷地内での植生の伐採は不可避である。さらに、運転段階に入っても、配電線の高さを確保するため、樹木伐採や除草が行われる。

### 2) 生物生息環境の消失

取水堰の築造により、その上流部は湛水面積に相当する陸地部分が水没する。陸地部分に希少動物や絶滅危惧種が生息する場合には、その生息環境が消失することになる。

取水堰を設けることよって水生生物の移動が阻害されることになるので、遺伝子交流の機会が減り、遺伝子多様性の低下を招くことになる。特に河川の上流から下流、海域の間を生活史の中で行き来する回遊性の水生生物が生息する場合、移動や繁殖が阻害される。

また、開渠の導水路、アクセス道路、仮設道路などは、地上徘徊性生物の移動を妨げる可能性がある。

## (3) 社会的影響

### 1) 事業によるプラスの効果

小規模水力プロジェクトは、未電化地域を電化することによる人々の暮らしに対するプラスの影響は大きい。影響の範囲は、保健衛生や教育、農業にとどまらず、新たな産業の発展にも貢献する可能性がある。ただし、利用者には電気料金を支払うことのできる資金力が求められるため、これらの可能性を引き出すための支援が必要になる場合もある。

### 2) 住民移転、農地減少など

小規模水力発電所、配電線の建設時には、事業計画地内に居住する住民は移転を迫られることや、建設期間中に一時的な移転（廃棄物処理・投棄、現場事務所、労働者住居、工事資機材置場など）が必要となることがある。配電線建設では、慎重なルート計画をしても影響が避けがたい場合には、配電線沿いあるいは線下に位置する住民を移転する必要がある。また、湛水地内に、農地や地域の重要な公共施設（公共墓地など）が水没する場合がある。

### 3) 文化遺産などの喪失

建設時に、予期せずして、考古学的遺跡や過去の住居跡などが発見されることがある。

### 4) 水利用、水利権、共有地利用権など

減水区間が内水面漁業に使用されていると、漁業に影響を与えることがある。また、発電所、配電線設備は、一度建設されれば、それまでの景観を損ない、潜在的観光開発の機会を奪い、社会的、経済的に負の影響を地域社会に及ぼすことが考えられる。特に、図 7-12 の

例に示す滝や湿原などの景勝地がプロジェクトにより影響を受ける可能性がある場合は、その影響に配慮する必要がある。



出典：JICA 資料

図 7-12 滝を利用する発電計画

5) 病気などの増加

取水堰による池ができることで蚊が発生し、マラリアなどの病気が増加することが考えられる。また、新規に電化される村落などでは、電気を初めて使用する際の安全確保が大きな課題となる。

6) 地域社会への影響

未電化地域への電力の新規導入は、地元住民の生活への変化を及ぼす。それまでのランプから電灯への切り替えにともない、灯油使用量が激減し、商人の灯油・ランプ機器の販売機会が奪われる。また、灯油式冷蔵庫も電気冷蔵庫に更新され、サービス提供者の事業機会が減少する。さらに、新たに引かれる予定の配電線についても、その利権をめぐり、地域間抗争が引き起こされたり、もともとある抗争が増幅されたりする可能性も否定できない。プロジェクトが不公平なかたちで設計されることがあれば、電化が一部の富裕層のみに利益を与えることになりかねない問題がある。

7) 交通への影響

小規模水力の建設では大きな問題にならない可能性が高いものの、子供の通学路や生活道路と工事用車両のルートが重なる場合などには、注意を要する問題である。

(4) 小規模水力の環境チェックリスト

上記に述べた物理的影響、社会的影響および生物的影響に関し、現地踏査を行い、表 7-1 に示す環境チェックリストを作成する。

表 7-1 環境チェックリスト

(A check list for proposed rural electrification projects)

1. General Information

1.1 Name of the proposed project:

1.2 Name of project owner/proponent

Project execution organization:

Name of the responsible office:

Name of contact persons:

Address:

E-mail:

Tel/Fax No.:

Cell phone no.:

Name of Authorized Person(s) Responsible for the Project:

Name:

Position:

Address:

E-mail:

Tel/Fax:

Cell phone:

Signature:

1.3 Information regarding the project site

Name of the village, commune, district and province

Address:

Other information regarding the village(s) the project site area belongs

2. Outline of the Proposed Project

2.1 Information on project characteristics

(1) Needs involuntary resettlement		
<input type="checkbox"/>	Yes	Scale: households, persons
<input type="checkbox"/>	No	
(2) Groundwater pumping		
<input type="checkbox"/>	Yes	Scale: m <sup>3</sup> /year
<input type="checkbox"/>	No	
(3) Land reclamation, land development and land cleaning		
<input type="checkbox"/>	Yes	Scale: hectars
<input type="checkbox"/>	No	
(4) Logging		



	Yes	Scale:           hectors
	No	

2.2 Description of the project

Main design specifications:

.....

.....

.....

2.3 Is the project consistent with the higher program/policy?

	Yes	(outline of the higher program/policy)
	No	

2.4 Any alternatives considered before the project ?

	Yes	(outline of the alternatives)
	No	

2.5 Did the project proponent have meetings with related stakeholders during the project planning?

	Yes	(mark the corresponding stakeholders)	
		<input type="checkbox"/>	Administrative body/local government
		<input type="checkbox"/>	Local residents/villagers
		<input type="checkbox"/>	NGOs
		<input type="checkbox"/>	Others (to specify)
	No		

2.6 Are any of the following areas located inside or around the project site?

	Yes	(mark related items listed below)	
		<input type="checkbox"/>	National park, wildlife sanctuary, protected area designated by the government
		<input type="checkbox"/>	Virgin forests, tropical forests
		<input type="checkbox"/>	Ecological important habitat areas
		<input type="checkbox"/>	Habitat of valuable species protected by domestic laws or international treaties
		<input type="checkbox"/>	Likely salt cumulus or soil erosion areas on a massive scale
		<input type="checkbox"/>	Remarkable desertification trend areas
<input type="checkbox"/>	Archaeological, historical or cultural valuable areas		

		Living areas of ethnic, indigenous people or nomads who have a traditional lifestyle or specifically valuable areas
	No	

2.7 May the project have potential negative impacts to the environment and local communities?

	Yes	(brief description of the potential negative impacts)
	No	
	Not identified	

2.8 Mark the related potential environmental and social impacts and describe briefly the contents of the impacts, if any.

Items of potential impacts		Items of potential impacts	
	Air pollution		Local economy, employment, livelihood, etc.
	Water pollution		Land use and utilization of local resources
	Soil pollution		Existing social infrastructures and services
	Waste (liquid and/or solid)		Poverty issue
	Causing noise and vibration		Ethnic and /or indigenous people
	Ground subsidence		Misdistribution of benefits
	Offensive odors		Local conflict of interests among villagers
	Geographical features		Gender issue
	Bottom sediment		Children's rights
	Biota and ecosystem		Natural and/or cultural heritages
	Potential conflict on water use rights		Infectious diseases such as HIV/AIDS, etc.
	Public health and hygiene		Global warming
	Involuntary resettlement		Others if any

Outline of related impacts marked as above:

- |     |     |
|-----|-----|
| (1) | (2) |
| (3) | (4) |

2.9 Key Results of the Environmental Screening

### 7.5 配電線調査

配電設備を計画するための地形調査は、まず1/10,000の地図や衛星写真などの机上データで概略案を作成する。電源となる小規模水力発電所と消費者となる需要家の家屋が最短で、道路沿い

となるルートを選択ルートとし、通常複数案（2～3案）作成する。

その後、配電線の障害となる樹木や電柱の敷設が難しい急峻な地形、大きな河川がないか現地調査を行なう。これらが存在し、配電線ルートを大きく変更する必要がある場合には、机上でのマップスタディに戻って代わりになる案を検討する。現地調査の際には、GPS、レーザー距離計、巻尺などを使う。なお、配電線コストは、ほぼ配電線の延長距離に比例するため、現地調査の結果、問題が少なく最短距離となるルートが最適案となる。

大まかな配電線ルートが決まった後、需要想定に基づいた負荷から最適となる変圧器の台数、容量を選定し、その変圧器から供給する需要家に対して中心となる位置（負荷中心）に変圧器を設置することを基本に、変圧器設置場所を検討する。その後、発電所から変圧器までの中圧線、変圧器から需要家までの低圧線を引き、供給電圧が許容値（通常公称電圧の±10%）以内であることを検討した後に、電柱位置を配電線と同じく設置後の維持管理も考慮して決定する。なお、配電線に関しては第11章「配電設備の設計」にも記載してある。

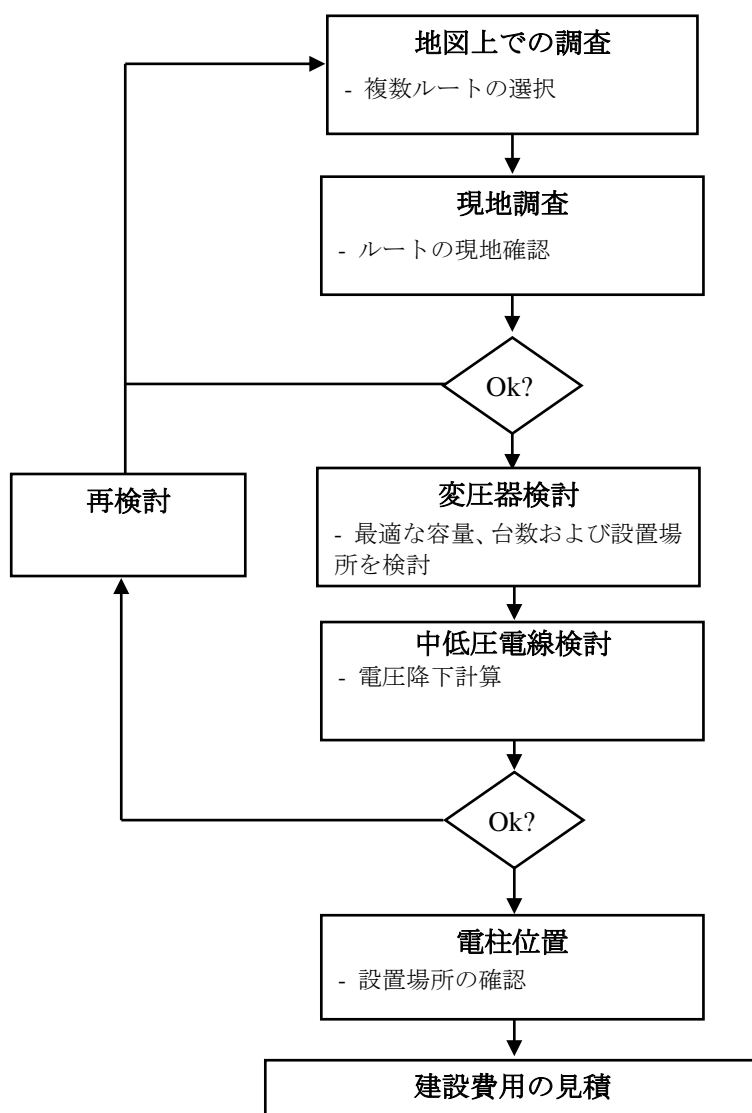


図 7-13 配電線ルート調査のフロー

第7章の参考文献

- [1] 水力開発ガイドマニュアル、新エネルギー財団、1996年
- [2] 中小水力発電ガイドブック(新訂第5版)、新エネルギー財団、1996年
- [3] マイクロ水力発電導入ガイドブック、新エネルギー・産業技術総合開発機構、1996年

## 第8章

# 発電計画の策定

## 第8章 発電計画の策定

### 8.1 発電計画策定の流れ

第5章で策定された概略の発電計画を更に具体的で実施可能なものとするため、発電の方式や落差や使用水量そして最大出力などの計画の諸元を策定する。

図8-1に発電計画策定の流れを示す。このフローチャートに記載した「所要の供給規模」は、単独地点だけではなく、複数地点（階段開発を含む）による供給を含む検討である。

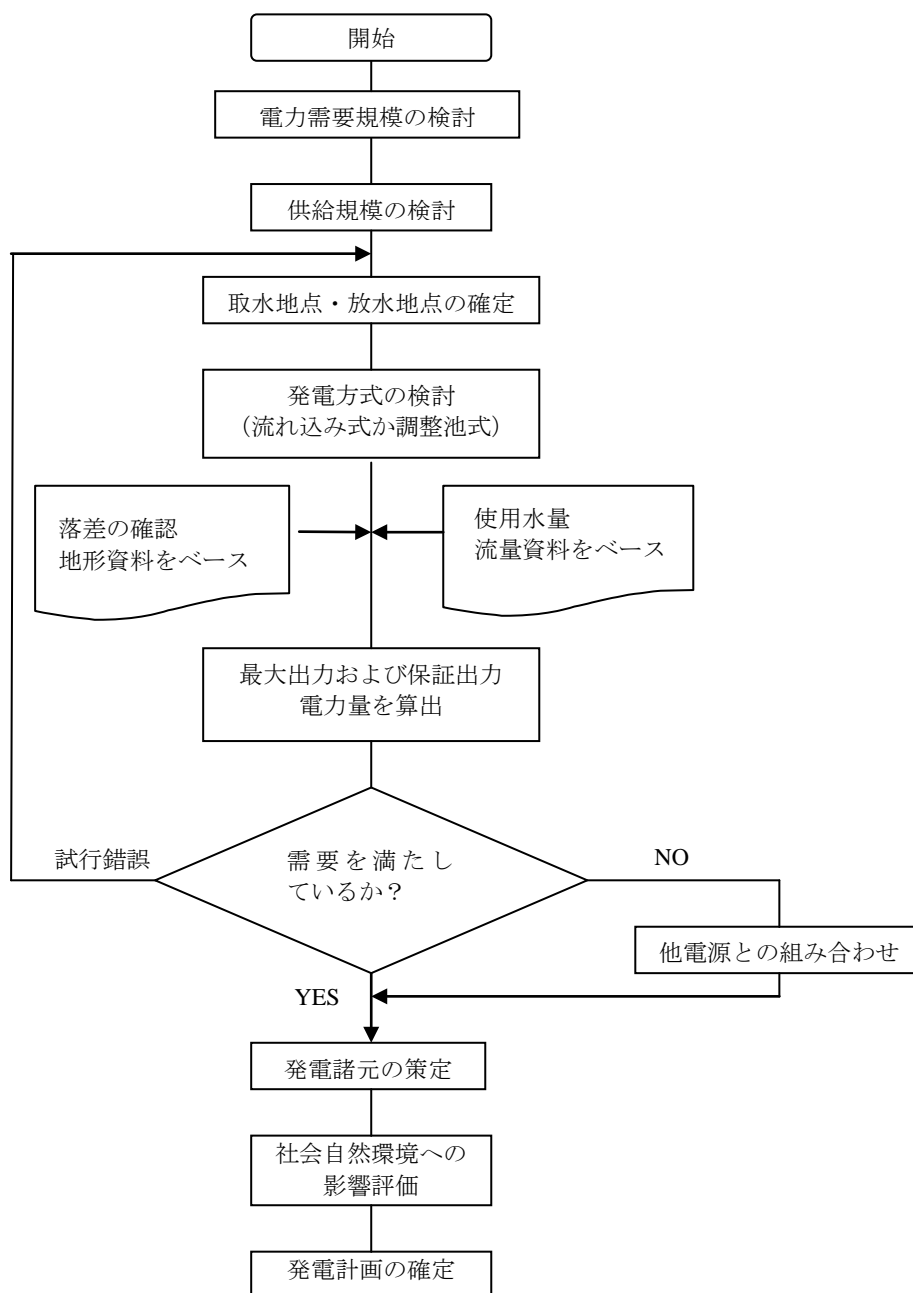


図 8-1 発電計画策定の流れ

## 8.2 需要規模の検討

### 8.2.1 1世帯当たりの電力需要

村落の電力需要は以下の式で計算される。

$$D_{\max} = D_{\text{ave}} \times N + D_I$$

$$E_{\max} = E_{\text{ave}} \times N + E_I$$

ここに、

$D_{\max}, E_{\max}$	: 村落電力需要 (kW, kWh)
$D_{\text{ave}}, E_{\text{ave}}$	: 1世帯あたりの平均電力需要 (kW, kWh)
$D_I, E_I$	: 産業用需要 (kW, kWh)
N	: 世帯数

しかし、未電化村落においては、どのような家電が購入されるかを想定する必要がある。そこで、この想定の基本となるのが、第6章に記載した社会経済調査の結果である。

1世帯の電力需要は想定される家電製品の数、家電の消費電力、使用時間で計算することができる。通常、途上国の村落では、照明用の電灯、テレビ、CDプレーヤー等が電化初期において購入される。収入が増えるに従い、扇風機、洗濯機等が購入され、更に収入が増えると冷蔵庫、アイロン、炊飯器等贅沢な家電製品を購入することになる。電力需要を想定するに当たって、最も重要なことは、全ての世帯が必ず使用する照明器具の選定である。照明器具の種類には、白熱電球、電球型蛍光灯、LED<sup>1</sup>電球が挙げられる。

#### (1) 照明

白熱電球の場合、価格は安いですが効率が悪いいため電力消費量が多く、寿命が短い。白熱電球は、電力消費のうち光となるのは約10%のため、ほとんどのエネルギーは熱となる。その結果、白熱電球の表面は高温になり、300℃を超えることもある。電球型蛍光灯やLED電球と明るさを比べると、白熱電球：10～20 (lm/W)<sup>2</sup>、電球型蛍光灯：60～80 (lm/W)、LED電球：60～85 (lm/W) となり、LED電球の明るさは蛍光灯と同程度以上、白熱電球の3～5倍になる。また、それぞれの寿命は、白熱電球1,000時間、電球型蛍光灯10,000時間、LED電球40,000時間が目安となる。価格は、白熱電球が100～300円に対し、電球型蛍光灯は500～1,000円、LED電球は3,000～7,000円になる。

つまり白熱電球は、蛍光灯やLEDに対して、効率は4分の1程度、寿命は40分の1から10分の1程度しかない。価格は圧倒的に安いですが、寿命と消費電力を考えると、蛍光灯の方が経済的である。LED電球も価格は高いが、蛍光灯の同等品を比べた場合、寿命を考慮するとLED電球の方が経済的である。今後、電球型蛍光灯やLED電球が量産されることにより価格は安くなることが期待されている。

一般に、初期費用の高い照明器具は村落住民には受け入れられることは難しいが、小規模

<sup>1</sup> LED（発光ダイオード：Light Emitting Diode）とは順方向に電圧を加えた際に発光する半導体素子のこと

<sup>2</sup> 一定のエネルギーでどれだけの明るさにできるかを表す「発光効率」は、(lm/W)（ワット当たりのルーメン、単位電力あたりの全光束）

な独立システムのような電力供給能力に制限がある場合は、長期的な経済性を説明し、電力消費の少ない照明器具を選択することを勧める。

表 8-1 照明器具の比較

	白熱電球	電球型蛍光灯	LED電球
電力消費	60W	12W	9W
明るさ（発光効率）	10～20 (lm/W)	60～80 (lm/W)	60～85 (lm/W)
価格	100～300円	500～1,000円	3,000～7,000円
寿命	1,000時間	10,000時間	40,000時間
			

(2) テレビ

テレビも大きさやブラウン管型、液晶型によって電力消費量が大きく違う。例えば、小さな白黒テレビは約 10W、25 型クラスのブラウン管および液晶カラーテレビは 150W 程度になるので、どのようなタイプのテレビが一般的に普及しているかを調べる必要がある。

(3) CD プレーヤー

一般的な CD プレーヤーの消費電力は 15W 程度。CD プレーヤーは休日の日中に若い世代で使われることが多い。

(4) 扇風機

扇風機の消費電力は、30～50W ぐらいで日中に使われるのがほとんどである。

(5) 洗濯機

洗濯機の消費電力は小型（5kg 以下）で 400W 程度、中型（6kg）で 470W 程度、大型（7kg 以上）で 500W 程度である。ただし、洗濯機はモーターの運転が連続ではないので、実際の消費電力量（Wh）は、消費電力（W）×洗濯時間（hour）よりも小さくなる。大体、1 回（40 分）の洗濯で消費される電力量は 60Wh ぐらいである。

(6) 冷蔵庫

冷蔵庫も洗濯機と同様モーターの運転が連続でないため、消費電力は 250W と表示されていても実際の消費電力量（Wh）は小さい。計算上は平均で 55W ずつ 24 時間電力を消費していることになる。また、大きな冷蔵庫のほうが小さな冷蔵庫よりも電力をたくさん消費するように思われるが、実際には、表 8-2 に示すように大きな冷蔵庫のほうが消費電力は少ない。



表 8-2 冷蔵庫の容量別年間消費電力量

容 量	年間消費電力量 (kWh)	平均消費電力 (W)
140リットル以下	362	41
141～200リットル	363	41
201～250リットル	508	58
251～300リットル	469	54
301～350リットル	469	54
351～400リットル	441	50
401～450リットル	376	43
451～500リットル	318	36
501リットル以上	434	50

出典：省エネルギーセンター「省エネ性能カタログ 2009年冬版」

以上の家電製品の電力消費量から1世帯当たりの電力消費量を想定すると、表 8-3 のようになる。低所得型村落では照明、テレビ（白黒）、CD プレーヤーの電力需要で 151Wh/日、中所得型村落では、照明、テレビ（カラー）、CD プレーヤー、扇風機、洗濯機の電力需要で 861Wh/日、高所得型村落では、照明、テレビ（カラー）、CD プレーヤー、扇風機、洗濯機、冷蔵庫の電力需要で 2,181Wh/日になる。これは日本の家電製品の電力消費を基に計算されているためそれぞれの国で普及している家電製品の電力消費量を調べる必要がある。

表 8-3 世帯 1 日当たりの電力消費量想定（電球型蛍光灯使用）

(Wh)

	低所得型村落	中所得型村落	高所得型村落	備 考
照明	96	96	96	12W×2灯×4時間
テレビ	40	600	600	4時間
CDプレーヤー	15	15	15	1時間
扇風機		90	90	3時間
洗濯機		60	60	40分
冷蔵庫			1,320	24時間
合 計	151	861	2,181	

もし、照明を電力消費の大きな白熱電球を使用すると低所得型村落の1世帯1日当たりの電力消費量は、151Wh/日から 535Wh/日へと3倍以上の電力消費量になる。

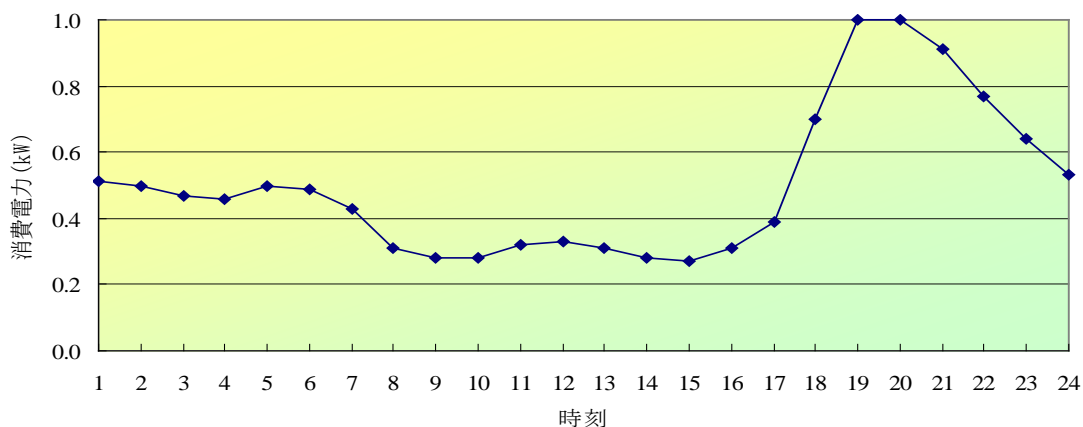
表 8-4 1 世帯 1 日当たりの電力消費量想定（白熱電球使用）

(Wh)

	低所得型村落	中所得型村落	高所得型村落	備 考
照明	480	480	480	60W×2灯×4時間
テレビ	40	600	600	4時間
CDプレーヤー	15	15	15	1時間
扇風機		90	90	3時間
洗濯機		60	60	40分
冷蔵庫			1,320	24時間
合 計	535	1,245	2,565	

## 8.2.2 村落タイプ別電力需要

前項で想定した1世帯当たりの電力需要量は1日の合計であるが、小規模水力発電の供給能力の検討では村落の最大電力を推定する必要がある。村落の電力需要のピークは電灯需要の夜間に発生する。図8-2は、電化プロジェクト（ベトナム、ラオス）で測定した村落の日負荷曲線（最大電力を1として表す）で、夜間にピークが発生しているのがはっきりと示されており、日中の電力需要はピーク時に比べて30%程度と低い。



出典：METI「東南アジアの水力調査/分散型小水力の開発調査」から作成

図 8-2 村落電化の日負荷曲線

ここでは、表8-3で示した家電製品と使用時間を基に100世帯の村落を想定して、日負荷曲線を推定する。この時、不等率を考慮する必要がある。不等率とはある系統の最大需要電力と、その系統に接続されている複数の負荷それぞれの最大需要電力の和の割合を言い、次式で定義される。

$$\text{不等率} = \text{系統に接続されている負荷の最大需要電力の和 (W)} / \text{系統の最大需要電力 (W)}$$

不等率が低いほど、複数の負荷が同時稼動しているということになる。例えば、X工場、Y工場、Z工場があり、これらの工場の最大電力が各200kWであれば、午前9時から午後5時まで同時に操業すれば600kWの配電設備が必要で、不等率は  $(200 \times 3) / 600 = 1$  になるが、それぞれの工場が8時間ずらして操業すれば配電設備は200kWですむことになり、この場合の不等率は、 $(200 \times 3) / 200 = 3$  になる。100世帯が照明（12W×2灯）、テレビ（10W）、洗濯機（400W）、冷蔵庫（250W）を所有していたとする。1世帯当たりの最大電力は684Wになり、これらの家電製品が100世帯で同時に使用されれば、配電設備は68.4kW（684W/世帯×100世帯）必要になる。しかし、実際には100世帯の冷蔵庫のモーターが同時に運転にされることや100世帯が同時に洗濯を始めることはない。

### (1) 低所得型村落の不等率想定

低所得型村落の家電製品は照明（12W×2）、テレビ（10W）、CD プレーヤー（15W）と想定した。これら3つの家電が同時に使用されたときの1世帯当たりの最大電力は49Wである。100世帯の最大電力の和は4.9kW（49W×100）になるが、100世帯が同時に全ての電化製品を使わない（テレビとCDプレーヤーは同時に使用しない）と想定すると、1日の最大電力は午後8時の3.4kWとなり、この時の不等率は1.44（4.9/3.4）になる。

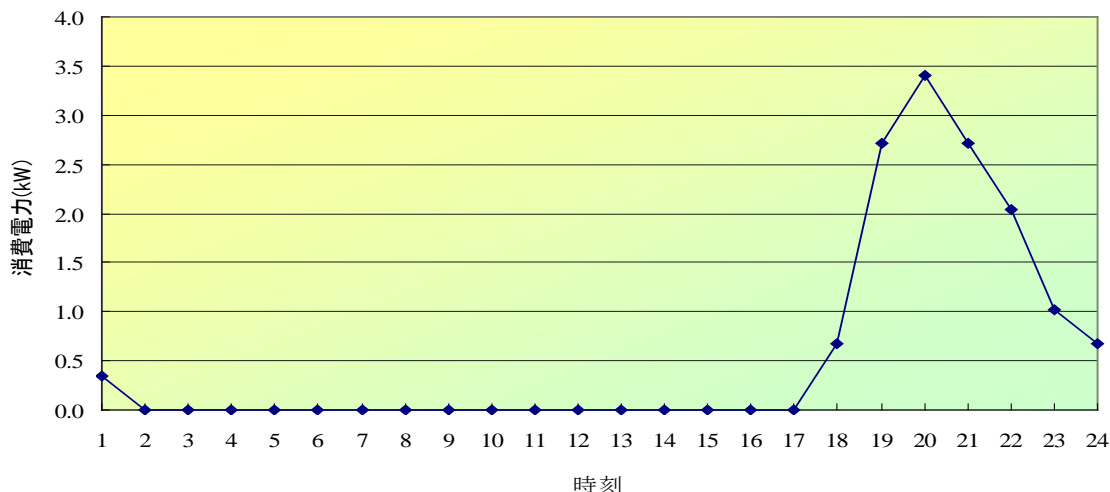


図 8-3 低所得型村落の日負荷曲線の想定

(2) 中所得型村落の不等率想定

中所得型村落の家電製品は、照明（12W×2）、テレビ（150W）、CD プレーヤー（15W）、扇風機（30W）、洗濯機（400W）と想定した。1世帯当たりの電化製品消費電力合計は619Wであるが、同時に全ての電化製品を使うことはない。ここで、朝8～11時の間に洗濯がなされ、その後、扇風機やCDプレーヤーが使われ、夜は電灯需要とテレビ（カラー）需要があると考えると1世帯当たりの最大電力は夜間の174Wになる。村落全体の日負荷曲線は図8-4のようになり、最大電力は午後8時の17.4kWと見込むと不等率は3.55（61.9/17.4）になる。

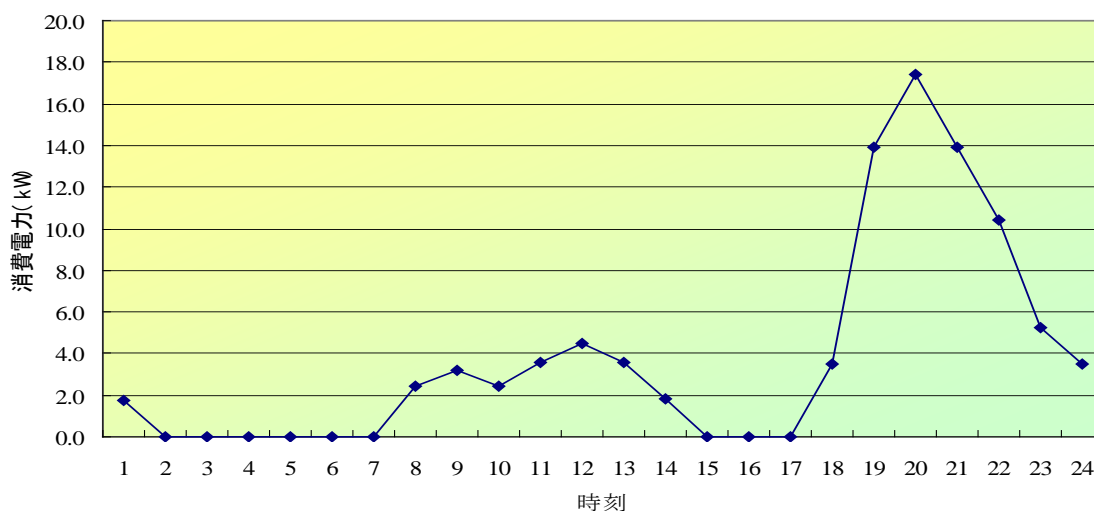


図 8-4 中所得型村落の日負荷曲線の想定

(3) 高所得型村落の不等率想定

高所得型村落の家電製品は照明（12W×2）、テレビ（150W）、CD プレーヤー（15W）、扇風機（30W）、洗濯機（400W）、冷蔵庫（250W）と想定した。1世帯当たりの電化製品消費電力合計は869Wであるが、同時に全ての電化製品を使うことはない。冷蔵庫を除く電力消費

パターンは中所得型村落と同じと仮定し、これに冷蔵庫需要 24 時間が加わると 1 世帯当たりの最大電力は夜間の 229W になる。前述したが、冷蔵庫は連続運転していないため、最大消費電力は 250W だが、1 日の平均電力は 55W と仮定している。日負荷曲線は図 8-5 のようになり、1 日の最大電力は午後 8 時の 22.9kW と見込むと不等率は 3.79 (86.9/22.9) になる。

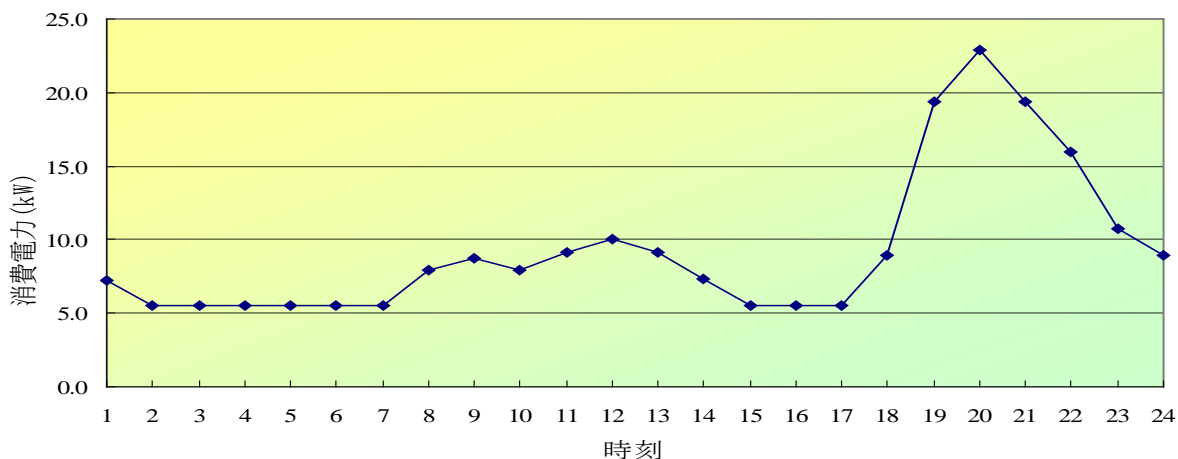
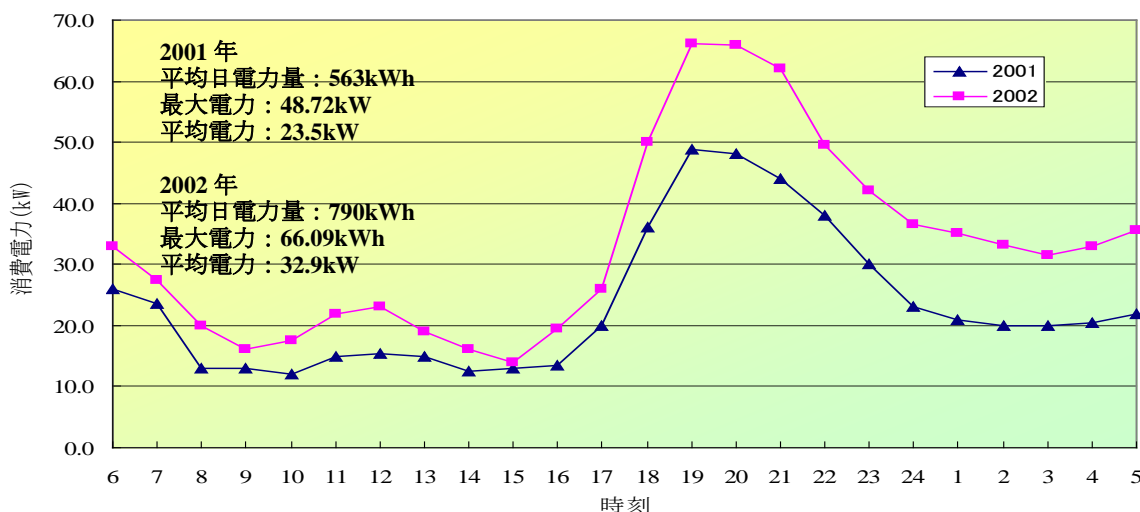


図 8-5 高所得型村落の日負荷曲線の想定

以上のように、夜間の電灯需要しかない村落の不等率は小さく、複数の負荷が同時に稼働していることを示している。いずれにせよ、産業が無い限りピーク需要は夜間になり、この需要から発電規模が決定する。未電化村のピーク需要を推定するためには、近隣のすでに電化された村落の日負荷曲線を参考にするとうい。しかし、過去の経験では、電化初期の村落電力需要の伸びは高いことがわかっており、図 8-6 に示すように 1 年間で最大電力が 35% も増加している。



出典：METI「東南アジアの水力調査/分散型小水力の開発調査」から作成

図 8-6 ベトナムの電化 1 年目と 2 年目の電力需要の比較

### 8.2.3 電力需要想定

途上国の村落の場合、電力需要のピークは電灯需要の夜間に発生する。したがって、1世帯当たりの夜間電力需要を推定し、それに世帯数を掛けた値が村落の最大電力になる。この最大電力を賄うように小規模水力発電の供給能力を設計すればよい。既に述べたように電化されたばかりの村落の電力需要はほとんどが電灯需要に限られており、最大電力もかなり小さい。しかし、このような電力需要の小さな村落でも電力需要は急激に増えてき、5年以内に電力需要は倍になると考えたほうが良い。このような電力需要の大きな伸びがいつまで続くのかということについての答はないが、既に電化されている近隣地域の1世帯当たりの電力需要が参考になるであろう。

## 8.3 供給規模の検討

### 8.3.1 電源の組み合わせ

前述の様に、村落の形態によって、1世帯当たりの電化初期の電力需要と電化後の需要増加率は大きく異なるが、何れにしても水力の開発規模は、流量や落差など、その地点の持つポテンシャルの範囲内となる。第5章で選定された発電計画地点における落差と流量の関係と需要の規模とを照らし合わせ、補完電源の必要性の有無を確認する必要がある。

水力による供給力と需要との関係は、図8-7に示すとおりであり、本節および8.3.3節では、この関係をもとに述べる。水力発電所の出口（以下、発電端）における保証出力、最大需要、配電損失との間には、以下の関係がある。

$$\begin{aligned} D_{\max} &= P_{h \text{ firm}} - P_{\ell} \\ &= P_{h \text{ firm}} (1 - \alpha) \end{aligned}$$

ここに、

- $D_{\max}$  : 最大需要 (kW)
- $P_{h \text{ firm}}$  : 水力の保証出力 (kW)
- $P_{\ell}$  : 配電損失 (kW)
- $\alpha$  : 水力の配電損失率 ( $=P_{\ell} / P_{h \text{ firm}}$ )

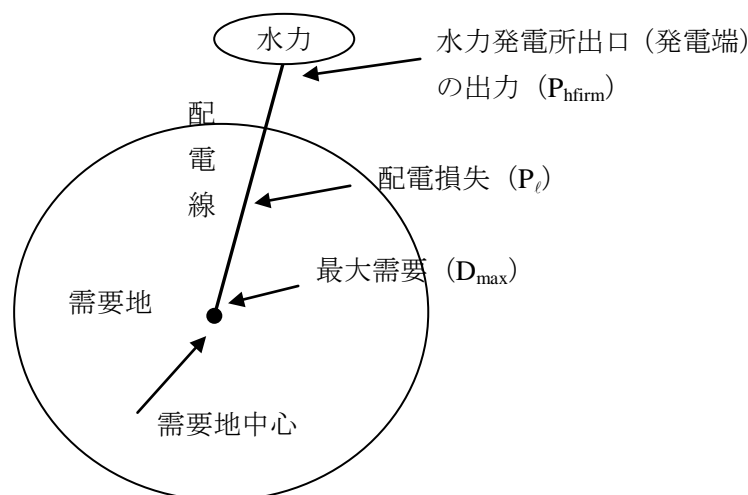


図 8-7 水力の供給力と需要の関係

保証出力<sup>3</sup>が計画された最大需要を満たしている場合は、水力単独の電源で対応可能である。

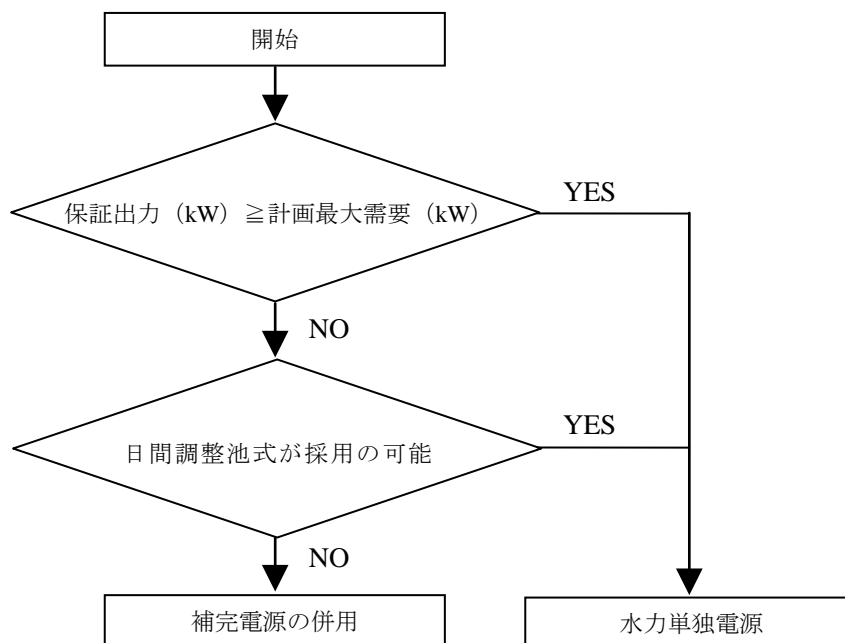


図 8-8 電源の組み合わせ検討フロー

### 8.3.2 水力単独

#### (1) 流れ込み式

##### 1) 設備出力

設備出力は、保証出力相当とすることが多い。図 8-9 に流況と最大使用水量の関係を示す。

ただし、湧水流量を最大使用水量とした場合、その出力が最大需要をはるかに上回る場合は、設備出力は最大出力と同等の出力とする。

$$P = 9.8 \times Q_{\max} \times H_e \times \eta_t \times \eta_g$$

ここに、

- P : 最大出力 (kW)
- $Q_{\max}$  : 最大使用水量 (m<sup>3</sup>/sec) =  $Q_{\text{firm}}$  (保証流量 ; 95%流量)
- $H_e$  : 有効落差 (m)
- $\eta_t$  : 水車効率
- $\eta_g$  : 発電機効率

<sup>3</sup> 流況図から求められる湧水流量 (90~95%確率流量) 相当を保証流量として、その時の発電所端での出力

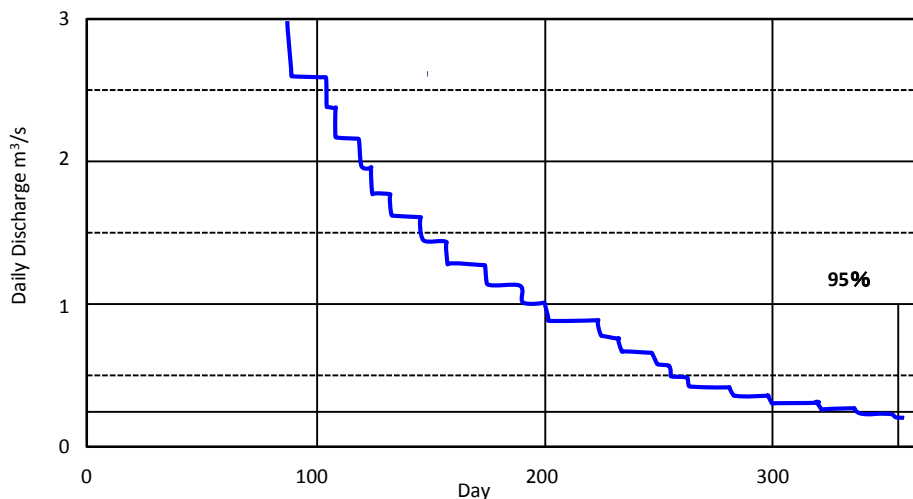


図 8-9 流況と最大使用水量（流れ込み式）

2) 損失落差、有効落差

図 8-10 はペルトン水車および斜流水車などの衝動水車型の有効落差に関する説明図である。総落差から図に示す設備ごとに損失落差を求め有効落差を求める。有効落差を式で表せば以下のとおりである。

(a) ペルトン水車および斜流水車の場合

$$H_e = H_g - (H_{L1} + H_{L2} + H_s + H_{L3})$$

ここに、

- $H_g$  : 総落差（取水位と放水位との標高差）
- $H_e$  : 有効落差
- $H_{L1}$  : 取水口から水槽までの間の水路構造物における損失水頭の和
- $H_{L2}$  : 水槽から水車入口までの間の水圧管路の損失水頭
- $H_{L3}$  : 放水庭から放水口までの間の放水路の損失水頭
- $V_2^2/2g$  : 吸出管出口流速  $V_2$  の速度水頭（反動水車の場合の廃棄損失水頭）
- $H_s$  : ペルトン水車の据え付け高さ

図 8-11 はフランシスおよびプロペラ水車など反動水車型の有効落差に関する説明図である。総落差から図に示す各設備に損失落差を求め有効落差を求める。

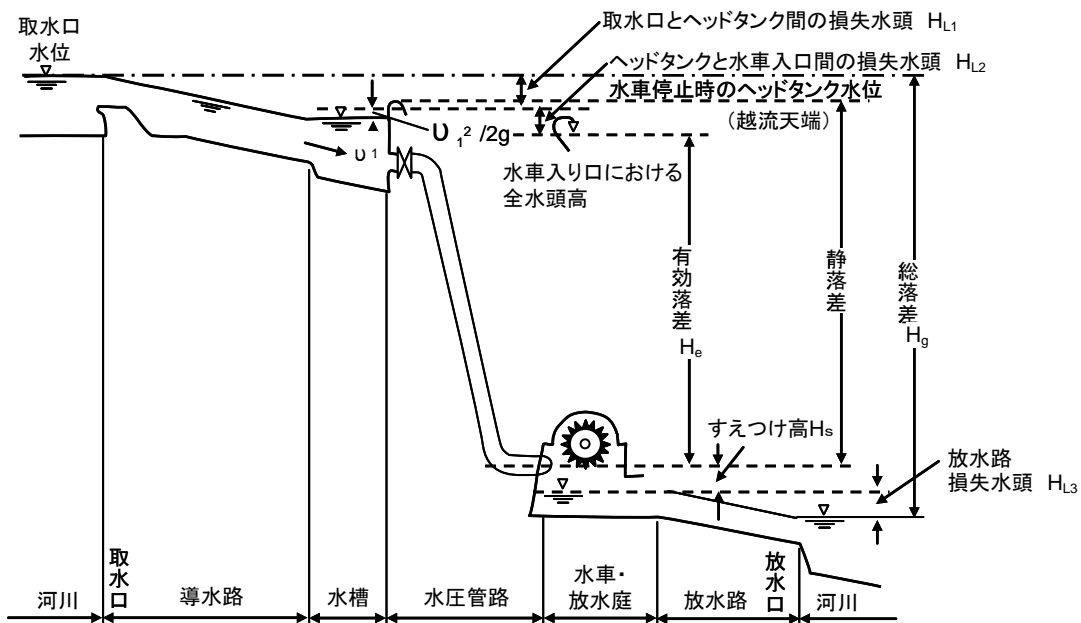


図 8-10 衝動水車型の有効落差

(b) フランシス水車、プロペラ水車の場合

$$H_e = H_g - (H_{L1} + H_{L2} + U_2^2/2g + H_{L3})$$

凡例は、ペルトン水車および斜流式水車と同じ。

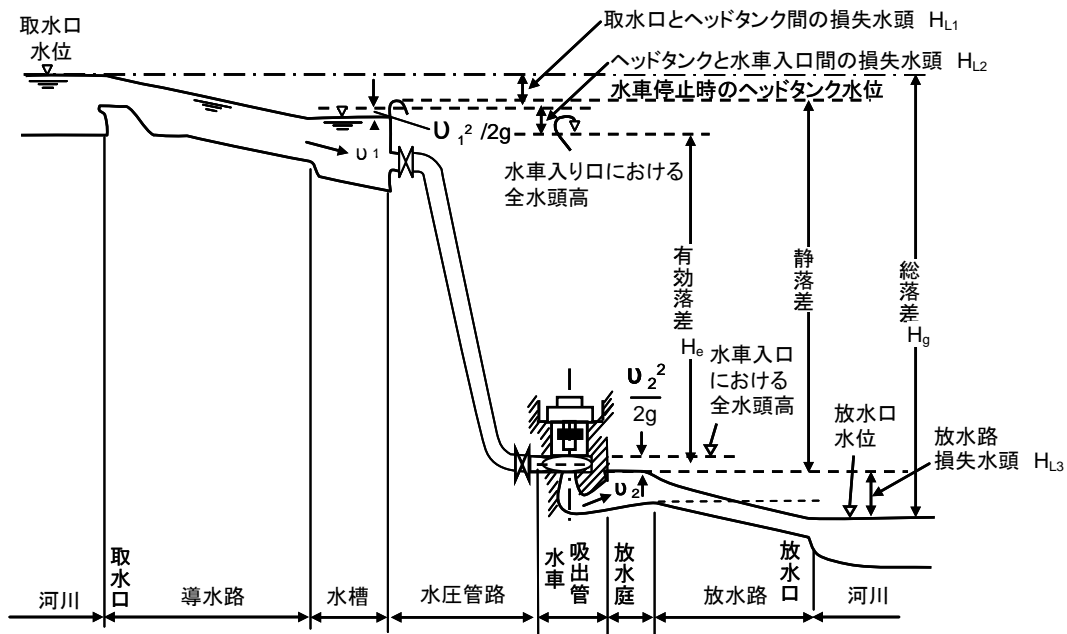


図 8-11 反動水車型の有効落差

3) 保証出力

水力の保証出力は以下の式で定まる。流れ込み式の場合、設備出力と合致することが多い。



$$P_{\text{firm}}=9.8 \times Q_{\text{firm}} \times H_e \times \eta_t \times \eta_g$$

ここに、

$P_{\text{firm}}$	: 保証出力 (kW)
$Q_{\text{firm}}$	: 取水地点の保証流量 (m <sup>3</sup> /sec)
$H_e$	: 有効落差 (m)
$\eta_t$	: 水車効率
$\eta_g$	: 発電機効率

## (2) 調整池式

乾期においても昼間や夜中のオフ・ピーク時間帯の無効放流分を調整池に溜め込み、その水を夜間のピーク時間帯の発電に回す発電方式である。この方式の最大の利点は、流れ込み式に比べて大きな発電出力とすることが可能なことである。

### 1) 調整池式の採用条件

調整池発電所は、ダムの築造や発電規模の増加により建設費が大きくなる。また、調整池の築造により環境へ与える影響が大きくなることにも配慮しなければならない。

### 2) 設備出力と調整池容量

調整池式の設備出力を表す式は、流れ込み式と同一である。

$$P=9.8 \times Q_{\text{max}} \times H_e \times \eta_t \times \eta_g$$

ここで、最大使用水量 ( $Q_{\text{max}}$ ) が、流れ込み式とは異なる。調整池発電所は、オフ・ピーク時間帯に溜め込んだ水を盛り上げて、短時間のピーク時間帯に発電するので、最大使用水量は、以下のように計算される。

$$Q_{\text{max}}=Q_{\text{firm}} \times 24 \text{ 時間/ピーク継続時間}$$

ここで、ピーク継続時間とは、ピーク時間帯の電力量と最大需要が連続すると仮定した電力量とが等しくなる時間とする。一般に無電化村が電化された場合、ピーク時間は、3～6時間程度である（図 8-3～8-5 参照）。電化地域の実情にあわせて、ピーク継続時間を選定する。

ピーク継続時間を設定すると、調整池に必要な有効貯水容量は、以下の式で定まる。

$$V_e=(Q_{\text{max}}-Q_{\text{firm}}) \times T \times 3,600$$

ここに、

$V_e$	: 有効貯水容量 (m <sup>3</sup> )
$Q_{\text{max}}$	: 最大使用水量 (m <sup>3</sup> /sec)
$Q_{\text{firm}}$	: 保証流量 (m <sup>3</sup> /sec)
$T$	: ピーク継続時間 (時間)

理論的には、 $T=12$  時間の時、 $V_e$  が最大となる。

図 8-12 に日負荷曲線と最大使用水量ならびに調整容量の関係を示す。

最大使用水量は日負荷率を 50%と仮定すると、濁水流量の 2 倍程度にまで拡大することが出来る。調整池の有効容量は最大使用水量の 6 時間分程度が必要となる。

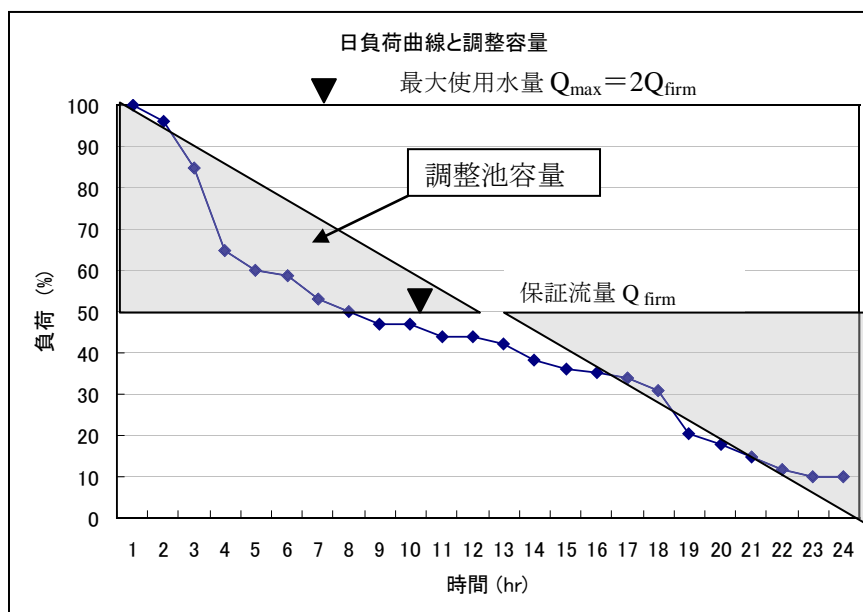


図 8-12 日負荷曲線と最大使用水量ならびに調整容量の関係

3) 損失落差、有効効落差

流れ込み式と同じ方法で算定する。

### 8.3.3 補完電源の併用

(1) 一般

水力発電の供給力だけで需要を満たせない場合は、補完電源を併用することになる。補完電源としては、ディーゼル発電、バイオマス発電、太陽光発電および系統接続などがある。ここでは水力のみの記載に止めるが、特に以下の点について注意が必要である。

- 水力および他の発電機は同期運転が可能な装置であること。
- 負荷変動に対し対応出来る装置であること。
- 運転および維持補修が比較的容易に行える装置であること。

(2) 電源の供給分担

1) 乾期

水力と補完電源を含めた全体の供給力は、発電端における需要を満たしていなければならない。図 8-13 に日負荷と補完電源を組み合わせた電源別の標準的な供給範囲例を示す。

水力発電は 24 時間運転でベース負荷に対応させ、補完電源は夕食時などのピーク負荷に対応させる方法が最も経済的である。

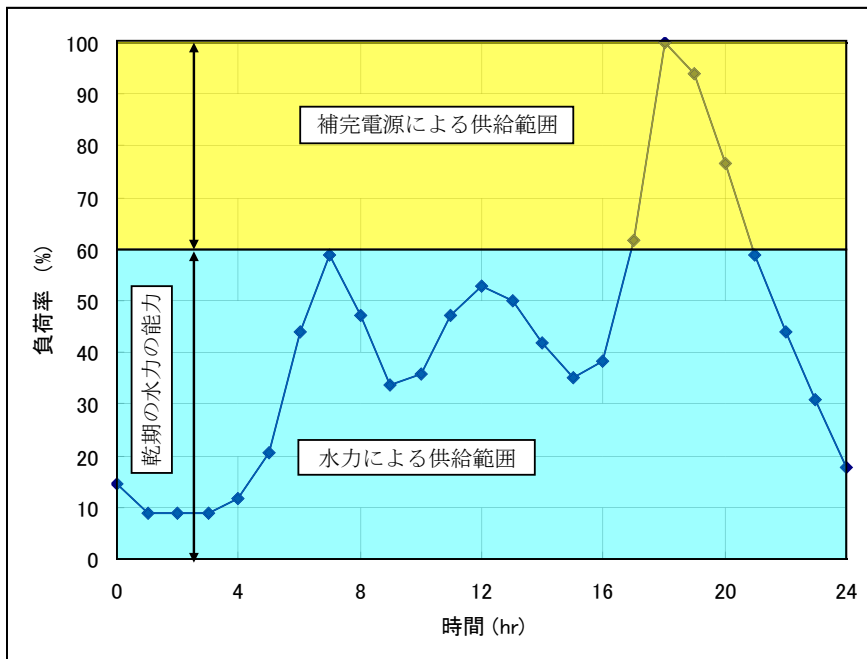


図 8-13 補完電源との組合せ（乾期）

2) 雨期

水量が少ない乾期は図 8-13 の供給分担となるが、水力の規模を大きくとることにより、雨期のように水量が豊富な場合は図 8-14 のように水力のみで供給が可能となる。すなわち、水力の保証出力は乾期の渇水量で定まるが、補完電源との組合せの場合、最大出力は年間の発電電力量と補完電源と合わせたコストとの関係で、更に大きな規模とする方が有利となる可能性がある。

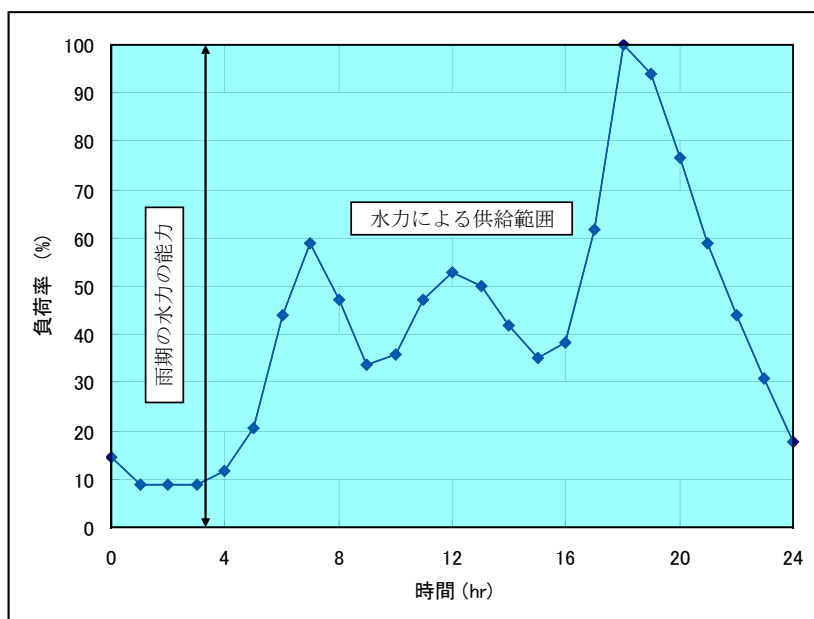


図 8-14 雨期の電源

### (3) 設備出力

#### 1) 補完電源

補完電源の設備出力は図 8-13 に示されるように最大需要から水力の供給力を差し引いた出力が必要である。

$$P_o (1-\beta) = D_{\max} - P_{h \text{ firm}} (1-\alpha)$$

$P_o$  : 補完電源の出力 (kW)  
 $D_{\max}$  : 最大需要 (kW)  
 $P_{h \text{ firm}}$  : 水力の保証出力 (kW)  
 $\alpha$  : 水力の配電損失率 ( $=P_l / P_{h \text{ firm}}$ )  
 $\beta$  : 補完電源の配電損失率

#### 2) 水力

水力の設備出力は最大需要と保証出力の間に存在する。図 8-14 に示すとおり、水力の最大使用水量 ( $Q_{\max}$ ) を  $Q_{\text{firm}}$  より大きくし、水力の最大出力 ( $P$ ) を  $P_{h \text{ firm}}$  より大きくすることが出来る。雨期などの水が豊富な期間は補完電源なしで供給することが可能となる。 $P$  の決定は、水力と補完電源と総合したコストと便益の観点から決定される。

## 8.4 社会・自然環境への影響の検討評価

### 8.4.1 スクリーニングおよびスコージング

#### (1) スクリーニング

環境影響評価が必要かどうかを判断する手続きをスクリーニングという。小規模水力による地方電化プロジェクトでは、国により環境影響評価が必要な場合やそうでない場合があり、環境アセスメント (Environmental Impact Assessment : EIA) 法制度がある国では、定められた手続きに基づき、EIA が必要かどうか判断される。

JICA 環境社会配慮ガイドライン<sup>4</sup>では、対象国の作成したチェックリストに基づき JICA がスクリーニングを行うこととされている。JICA プロジェクトのカテゴリ区分は、下記の A、B および C の 3 つがあり、カテゴリ B の場合は初期環境調査 (Initial Environmental Examination : IEE) の実施、カテゴリ A の場合は EIA の実施が必要となる。

##### ➤ カテゴリ A

環境や社会へ重大で望ましくない影響を及ぼす可能性があるプロジェクトは、カテゴリ A に分類される。また、影響が複雑であったり、先例がなく影響の予測が困難であるような場合、影響範囲が大きかったり影響が不可逆的である場合もカテゴリ A に分類される。影響は、物理的工事が行われるサイトや施設の領域を超えた範囲に及びうる。カテゴリ A には、原則として、影響を及ぼしやすいセクターのプロジェクト、影響を及ぼしやすい特性を持つプロジェクト及び影響を受けやすい地域あるいはその近傍に立

<sup>4</sup> <http://www.jica.go.jp/environment/guideline/ref.html>

地するプロジェクトが含まれる。

▶ カテゴリ B

環境や社会への望ましくない影響が、カテゴリ A に比して小さいと考えられる協力事業はカテゴリ B に分類される。一般的に、影響はサイトそのものにしか及ばず、不可逆的影響は少なく、通常の方策で対応できると考えられる。

▶ カテゴリ C

環境や社会への望ましくない影響が最小限かあるいはほとんどないと考えられる協力事業。

(2) スコーピング

スクリーニングで EIA または IEE が必要と判断された場合、スコーピングを実施する。スコーピングとは、影響が大きいと想定される項目を抽出し、調査方法、調査時期、調査範囲、予測方法などを決める作業である。多くの EIA 関連法令では、スコーピングの結果を公表した上でステークホルダー会議（Stake Holder Meeting：SHM）などを開催し、関係者の意見を伺うことになっている。関係者から出た意見は、可能な限り調査や予測に反映させる。スコーピングを実施する際は、EIA ガイドライン等に掲載されているスコーピングアイテムなどを活用しても良い。

#### 8.4.2 影響予測の実施および影響軽減策

スコーピング結果に基づき、影響予測を行う。影響予測の考え方および手法は第一分冊を参照されたい。

緩和策を導入しても残ってしまう社会的、環境的影響については、必ず補償は考慮されなければならない。一時的であれ恒常的であれ、プロジェクト実施・運用にともなういかなる家屋や建造物の喪失、土地・農地の喪失、農作物・樹木の喪失がある場合は、関係者およびコミュニティに対し、補償を提供することになる。透明かつ公平な補償方針と補償手続きの策定は、プロジェクトにより影響を受ける人々やコミュニティからのプロジェクトへの信頼を勝ち取るために極めて重要である。

#### 8.5 基本計画案の確定

(1) 基本計画案の策定

8.2 節では電化対象地域を想定し「需要規模」を検討した。8.3 節では対象地域に供給可能な小規模水力プロジェクトの「供給規模」を、需要規模を考慮に入れながら、水力単独の場合と補完電源との併用の場合について検討した。8.4 節では、小規模水力プロジェクトが社会・自然環境面に関し、重大な問題の有無を検討した。

これらをもとに、プロジェクトの計画を最終化し、表 8-5 に示す基本計画案をまとめる。

表 8-5 基本計画案

項目	単位	地点名	備考
流域面積	km <sup>2</sup>		
年間平均流量	m <sup>3</sup> /sec		
雨期平均流量（7月～10月）	m <sup>3</sup> /sec		
渇水流量（95%、347日）	m <sup>3</sup> /sec		
取水位	EL		
放水位	EL		
総落差	m		
有効落差	m		
最大使用水量	m <sup>3</sup> /sec		
設備最大出力	kW		
水車発電機台数	台		
水車形式			
導水路			
断面	m		
延長	m		
水圧管路			
断面	m		
延長	m		
年間可能発生電力量	MWh		
（上記の設備利用率）	%		
最大出力での運転可能日数	日		
渇水時出力（95%流量）	kW		
年間消費電力量（需要端）	MWh		1年目および5年目程度

(2) 開発スケジュール案の策定

小規模水力プロジェクトの計画案の確定から運転開始までのプロセスは、以下のステップを基に開発スケジュールを策定する。

1) 許認可および用地取得

開発に係わる当該国の環境面や電気事業などの許認可事項に対応する。また、発電設備の建設に関連する用地の取得を行う。

2) 資金調達

建設を援助または融資でまかなう場合は、関係機関に働きかけ資金調達を図る。

3) 電力設備の設計

土木設備、電気設備および配電設備の実施設計を行う。

4) 建設費・運転維持費の積算および工事工程

建設費および運営開始後の電力設備の維持管理費を見積る。

5) 調達

上記 3) の設計図や仕様書を用いて入札書類を作成し、業者の募集・評価・選定・交渉・契約までの一連の調達業務を行う。

6) 建設

土木工事、電気設備の設置工事および配電線工事を実施する。

第8章の参考文献

- [1] 水力開発ガイドマニュアル、新エネルギー財団、1996年
- [2] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画基本設計調査、国際協力機構、2005年
- [3] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト、国際協力機構、2011年



# 第 9 章

## 土木構造物の設計

## 第9章 土木構造物の設計

### 9.1 取水堰

取水堰とは、水路式（流れ込み式）の発電所において、河川の水を取り入れるために川を堰きとめる構造物のことである。

取水堰を設ける位置は、下記の事項を考慮して選定する。

- i) 基礎地盤が良質の岩盤で堆積土砂が少ないこと。
- ii) 基礎岩盤が深い場合は、比較的少量の掘削で、相当締まった基盤が得られること。
- iii) 堰築造後、直下流の河岸および河床の洗掘の恐れが少ないこと（上下流の河道が可能な限り直線となるような区間）。
- iv) 取水堰近傍に崩壊地や不安定な斜面が存在しないなど、周辺地山が安定していること。
- v) 工事中の仮排水・仮締切工が容易であること。
- vi) 将来の堆砂を考慮しても、なお安全に計画洪水量を流下させられる断面が得られること。
- vii) 堰は河川に直角に設けるが、やむをえず斜めに設けなければならないときは、洪水流下時の河岸の洗掘を防止する対策を行うこと。

なお、一般に、取水堰本体にかかる工事費低減のため、取水堰設置位置は河川狭窄部に選定されるが、小規模水力発電の場合には、狭窄部に取水堰を設置すると洪水位が必然的に高くなり、堰の安定性を確保するための堰断面の増大や、護岸高さ・設置長さが増大し、必ずしも有利とならない場合があることに留意する。

#### 9.1.1 堰本体

一般的に小規模水力発電の場合、取水堰の構造はコンクリート構造とする。コンクリート重力式は基礎岩盤に定着させるが、河床堆積層が厚く基礎岩盤が深い場合には、礫層の河床上にフローティング式とすることもある。ただし、堰の底部を通しての漏水により基盤の河床砂礫が流出しないよう十分止水工（カットオフ）を施すとともに、堰下流水叩き部が洪水により洗掘されないよう防護工（エプロン）を設ける。

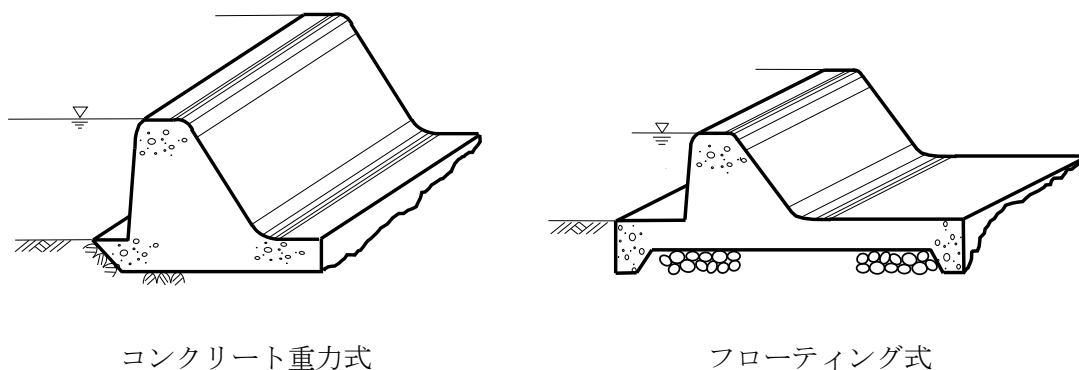


図 9-1 コンクリート重力式ダム

なお、コスト低減を図るために、布団かごの表面をコンクリートで補強した構造の取水堰もある。

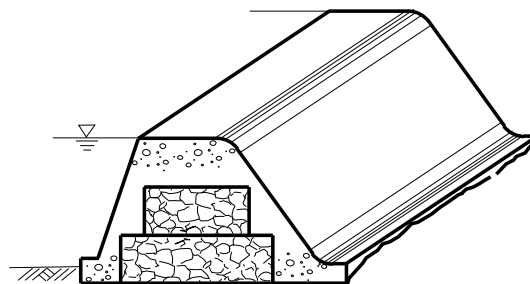


図 9-2 コンクリート補強布団かごダム

取水堰の高さは、以下の条件を考慮して決定する。

- i) 水路設置高さに関する制約条件
- ii) 下流河床上昇の可能性の有無
- iii) 堰前面および沈砂池の排砂条件
- iv) 発電量への影響
- v) 堰上げ背水による影響

(1) 水路設置高さに関する制約条件

小規模水力発電では、導水路等の水路がトンネルで計画されることは稀であり、開渠・暗渠等で計画されることが多い。このような水路形式を採用した場合の設置費は、経過地の地形・地質条件に左右される。

したがって、取水堰の高さの決定に際しては、取水堰設置地点の条件だけでなく、水路ルート上の地形・地質条件も考慮して設定する。特に水路費が全体工事費に占める割合の多い地点では慎重に検討する。

(2) 下流河床上昇の可能性の有無

小規模水力発電の取水堰は、一般に高さが数 m 程度と低く、下流河床の上昇により正常な機能が阻害されることも懸念される。

したがって、計画地点が以下のような状況にある地点では、将来の河床上昇を想定して取水堰高さを決定する。

- i) 流送土砂量の多い緩勾配河川
- ii) 砂防ダム等が取水堰下流に設置されている場合
- iii) 下流に崩壊地が存在し、将来的にも崩壊の進行が懸念される場合
- iv) 下流に土砂あるいは流木の流下を阻害するような狭窄部等が存在する場合

(3) 取水堰前面および沈砂池の排砂条件

取水堰前面あるいは沈砂池内の土砂を円滑に排出するため、通常は、取水方式（側方取水・チロリアン取水）による堰の高さは次の方法によって算定される値以上となるよう計画する（図 9-3 参照）。

1) 側方取水の場合

以下  $D_1$ 、 $D_2$  のいずれか大きい値を採用する。

(a) 取水堰土砂吐ゲート敷高との関係から決定される堰上高： $D_1$

$$D_1 = d_1 + h_i$$

(b) 沈砂池の敷勾配より決定される堰上高： $D_2$

$$D_2 = d_2 + h_i + L \times (i_c - i_r)$$

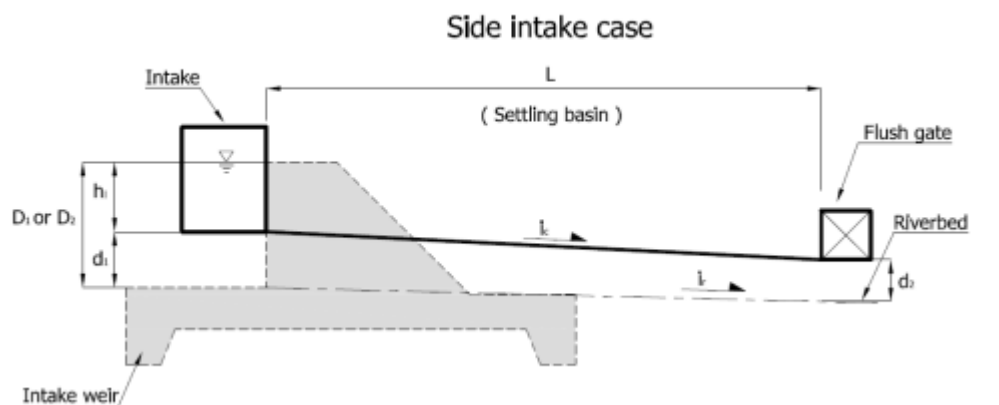
ここに、

- $d_1$  : 土砂吐ゲート敷より取水口敷までの高さ（通常 1.0m 程度）
- $d_2$  : 沈砂池土砂吐敷と同位置における河床との差（通常 0.5m 程度）
- $h_i$  : 取水口水深（通常、流入流速が 0.3～1.0m/sec 程度）
- $L$  : 沈砂池長さ
- $i_c$  : 沈砂池の水路勾配（通常、1/20～1/30 程度）
- $i_r$  : 現状の河川勾配

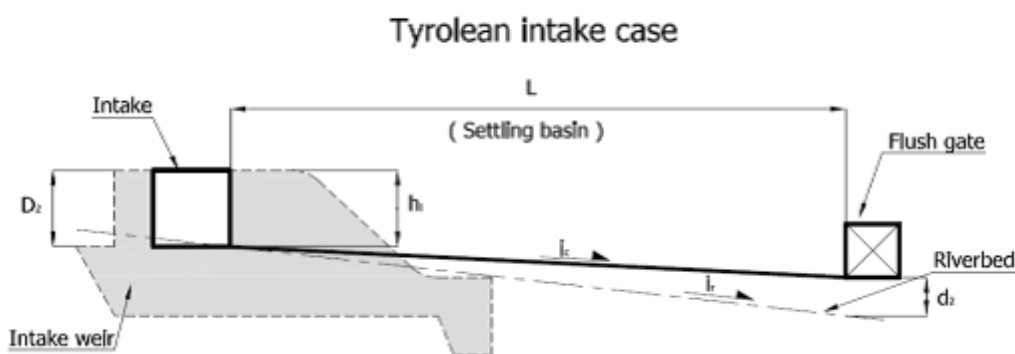
2) チロリアン取水の場合

底部取水方式のチロリアン取水の場合、堰前面は満砂となることを前提とするため、堰上げ高は側方取水の場合の  $D_2$  により決定される。

$$D_2 = d_2 + h_i + L (i_c - i_r)$$



側方取水の場合



チロリアン取水の場合

図 9-3 取水方式及び取水堰の高さ

(4) 発電量への影響

利用する落差が小さい地点や取水堰により落差を確保しようとする地点では、堰の高さが発電量に大きく影響する。

したがって、このような地点では堰の高さの差による工事費の変化量と発電量の変化量を比較検討したうえで、堰の高さを決定する。

(5) 堰上げ背水による影響

取水堰設置地点上流の低標高部に道路・宅地・田畑・橋梁・砂防ダム等が存在する場合、堰上げによる冠水を防止するよう堰の高さを決定する。

特に堰上げ高さが大きい地点では、背水計算等によりこれらへの影響度を確認する。

### 9.1.2 付属設備

急流河川に設けられた取水堰は、比較的短期間に土砂が堆積するので、必要量の取水を確保し、水路に土砂を流入させないため、土砂吐を設ける必要がある。

土砂吐は、通常取水堰の取水口寄りの位置に設け、洪水流が減少に向かっている時期等に開放し、土砂をフラッシュ（流水を利用し排出）させる。土砂吐ゲートは、流れが十分な掃流力を発揮できるだけの流速を得るのに必要な寸法を有しなければならない。また、流路表面の摩耗が激しいので、敷全体にわたって張石または鋼板張りを施工することがある。



図 9-4 土砂吐

土砂吐ゲートは、堆砂状態で確実に開放でき、土砂排出後も多少の土砂を含んだ流水下でも閉鎖できなければならないので、引き上げ型のスライドゲートが用いられる。

## 9.2 取水口

### (1) 設計に配慮すべき事項

取水口は、河川などから流水を水路に導入するための設備であり、下記の条件を満足するように設計する。

- i) 常に最大使用水量が取水でき、また、必要に応じて取水量を調整できること。
- ii) 損失水頭が小さいこと。
- iii) 取水時に流入がスムーズで渦や空気の連行がないこと。
- iv) 土砂、流木、枝葉等が流入しないこと。
- v) 洪水・山崩れなどにより被害を受けないこと。
- vi) 完成後の各種保守作業が容易なこと。

### (2) 取水方式

一般的に小規模水力発電の場合、取水口には、側方取水方式（取水堰に隣接して設ける構造）、河川底部から取水するチロリアン取水方式、簡易取水方式が採用される。

1) 側方取水方式（取水堰に隣接した構造）

取水口位置は、河川から最大使用水量を取水するために、取水堰による堆砂に影響されずに取水でき、かつ洪水時に水流や流木の被害を受けないような場所を選定する。また、取水口と導水路入口の間に、沈砂池を設けることができる位置を選定する。取水方向は、河川に直角またはこれよりやや小さい角度で取水するよう設計する。



図 9-5 側方取水

取水口の流速は 1.0m/sec 程度以下となるように設計する。取水口敷高は、取水堰の土砂吐ゲート敷高より 1.0m 程度高くして水路への土砂の流入を防止する。取水口前面には、バー間隔 5～15cm 程度のスクリーンを設ける。水路への接続部には、取水量調整や水路の点検・補修時に閉塞するための制水ゲート（小規模な場合には角落としても可能）を設ける。

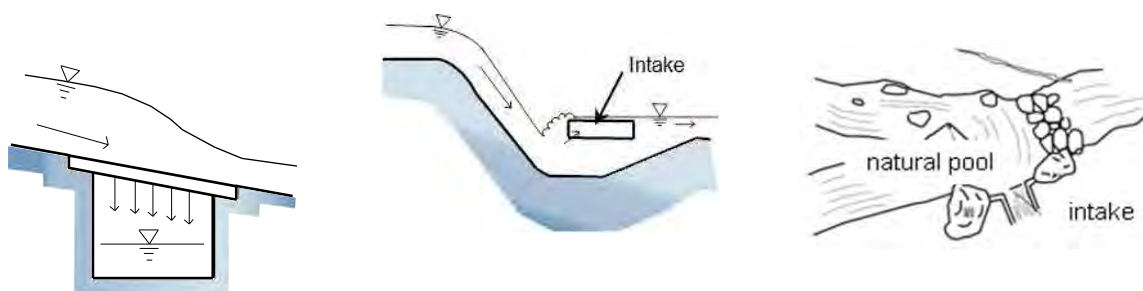
なお、取水口から水路にいたる断面形状は、損失落差をできるだけ小さくするよう、急激な断面変化を避ける構造とする。

2) チロリアン取水方式およびその他の簡易取水方式

チロリアン取水方式は、河川の底部に設けた水路に水が集められ、取水される方式である。水路上部にはスクリーンが流れの方法に設けられている。

3) その他の取水方式

水クッション型は水クッションにより水位の上昇した部分に取水口を設ける方式である。堰無し型はある。



チロリアン方式（下方取水） 水クッション型（側方取水） 堰無し型（淵利用側方取水）

図 9-6 チロリアン方式及びその他の取水方式

(3) コスト低減のため制水ゲートの省略

小規模水力発電における導水路は、開渠、蓋渠あるいは暗渠となる場合が多い。このような導水路形式では、最大使用水量を大幅に超過する流入は、導水路のトラブルに直結するため絶対に回避しなければならない。しかしながら、取水口におけるゲートの自動調整は建設コストの増大につながるため、出水時にゲート等を用いずに流入量を制御する方法として、以下の方法がある。

1) 設計上の留意点

この方法は、出水時の河川水位上昇に伴い取水口がオリフィスとなるよう設計するものであり、チロリアン取水において多く用いられているものである。

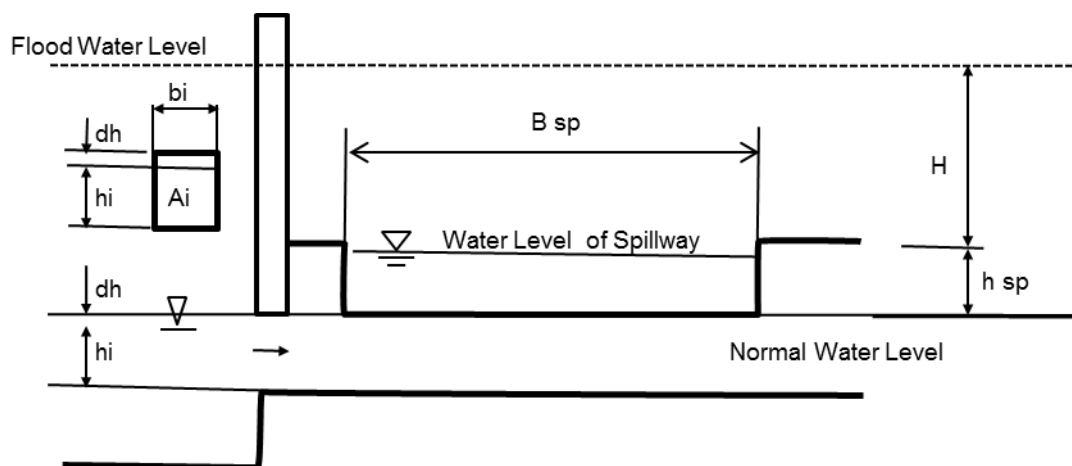


図 9-7(1) 設計上の取水口の水位

設計上の留意点を次に列挙する。

- 取水口は、上部が開放された形でなく、河川水位の上昇により圧力取水口となるよう上部が閉塞された形とする。
- 取水口の向きは、出水時の接近流速水頭を小さくするため、河川水流に対し極力直交する方向に設置する。
- 出水時には計画使用水量以上の流入があるため、沈砂池あるいは導水路始点の余水吐



容量を大きく設定する。

- ▶ 出水時の流入量の計算は以下の条件を設定しながらの試行錯誤により算定する。
- ▶ 取水口断面は、最大使用水量時に、流速が 1m/sec 以下となるようにする。また、このときのクリアランスは 10~15cm を確保できるようにする。
- ▶ オリフィスの下流側水位は、余水吐き越流長を仮定して越流水深を算定する。なお、このときの設計流量は、発電は停止することとして、流入量の全量を越流させるものとして計画する。

オリフィスからの流入量は下式により計算される。

$$Q = A_i \times C_v \times C_a \times (2 \times g \times H)^{0.5}$$

ここに、

- Q : 潜りオリフィスの流入量 (m<sup>3</sup>/sec)
- A<sub>i</sub> : 取水口面積 (m<sup>2</sup>) A<sub>i</sub> = b<sub>i</sub> × (d<sub>h</sub> + h<sub>i</sub>), d<sub>h</sub> = 0.10~0.15m
- b<sub>i</sub> : 取水口幅 (m)
- h<sub>i</sub> : 取水口水深 (通常時) (m)
- d<sub>h</sub> : 取水口余裕高 (通常時) (m)
- C<sub>v</sub> : 流速係数、C<sub>v</sub> = 1 / (1 + f)<sup>0.5</sup>
- f : 流入損失係数 (図 9-7(2)参照)
- C<sub>a</sub> : 収縮係数 = 0.6 程度
- g : 重力加速度 = 9.8m/sec<sup>2</sup>
- H : オリフィス上下流水位差 (洪水時) (m)

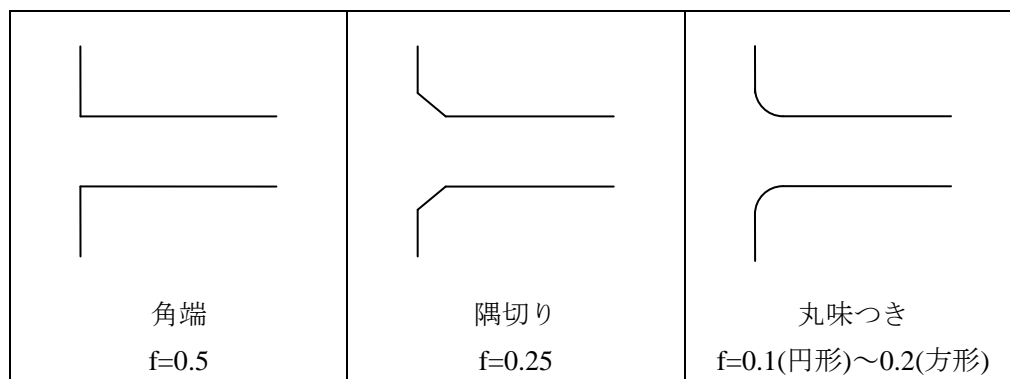


図 9-7(2) 流入損失係数

### 9.3 沈砂池

河川水には土砂が含まれており、特に出水時にはその濃度が非常に大きくなる。水路式の場合、土砂がそのまま水路へ流入すると、水路内に沈殿・堆積して流積を狭めたり、水圧管路や水車が摩耗したりする。このため、取水口になるべく近いところに沈砂池を設け、流入土砂を沈殿させ、排除する。

また、導水路への過剰水の流入を防止するための余水吐を設置する。

沈砂池は、基本的に下図に示す部分から構成されている。

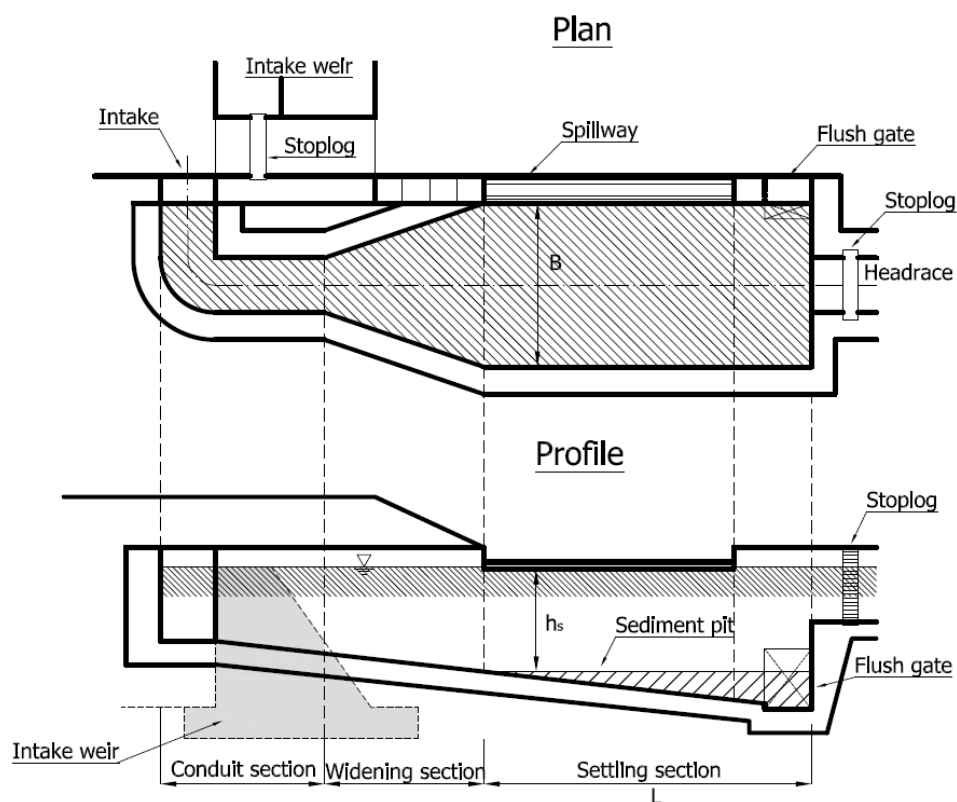


図 9-8 沈砂池

(1) 漸拡部

取水路からの水流を渦や乱流を生じないように整流し、沈砂池内の流速を 0.3～0.6m/sec に減じさせる。

(2) 沈降部

所定の粒径以上の土砂を確実に沈降させる部分であり、沈降流速、沈砂池流速および沈砂池水深の関係から、必要長さは次式により算定される。

なお、通常は次式により算定される必要長さに余裕を見込んで 2 倍程度として沈砂池長さが決定される。

$$l \geq h_s / v_g \times u$$

$$L \doteq l \times 2$$

ここに、

- L : 沈砂池長さ (m)
- l : 沈砂池必要長さ (m)
- h<sub>s</sub> : 沈砂池水深 (m)

- $v_g$  : 沈殿させなければならない土粒子の限界沈降速度 (m/sec)  
通常は対象粒径 0.5~1.0mm に対する値として 0.1m/sec 程度をとる。
- $u$  : 沈砂池の平均流速 (m/sec)、通常は 0.3m/sec 程度とするが、沈砂池の幅が制限されるような場合には 0.6m/sec 程度まで許容する。

$$u = Q / (B \times h_s)$$

- $Q$  : 最大使用水量 (m<sup>3</sup>/sec)  
 $B$  : 沈砂池の幅 (m)

### (3) 土砂溜

沈降した土砂が堆積する部分であり、流送土砂の多い河川では、排砂作業の頻度低減のため大きく設定される。

### (4) 余水吐

沈砂池には過剰な流入水を排除する余水吐が必要となる。

特に、取水口制水ゲートの省略を行った場合には、出水時の過剰流入水に対する設計が必要である。この場合の余水吐長と余水吐越流水深の関係は次式により算定される。

$$h = \{Q_f / (C \times b)\}^{2/3}$$

ここに、

- $h$  : 沈砂池余水吐越流水深 (m)  
 $Q_f$  : 出水時の過剰流入水量 (m<sup>3</sup>/sec)  
 $C$  : 越流係数 (1.84 : 刃形全幅ぜき流量係数)  
 $b$  : 沈砂池余水吐長 (m)

## 9.4 導水路

導水路は、取水口から水槽まで導水する設備である。導水路は、無圧水路と圧力水路に分類される。小規模水力発電の場合、通水量が少ないことから、導水路の形式は一般的に無圧水路である。その構造は、図9-9 に示す通り、開渠と暗渠に区分される。開渠には素掘り水路、コンクリート水路（石積みを含む）がある。暗渠には、蓋渠、管渠がある。開渠及び暗渠等の明かり構造となることが多いので、経過地の地形を十分調査する。また、水路ルートは基本的には等高線とほぼ並行に設置することとなり、導水路を山腹斜面に設置する場合、経過地の横断勾配に配慮するとともに、経過地の沢や尾根の通過方法についても検討して水路ルートを選定する。

なお、地形条件によっては、導水路を省略して沈砂池（水槽の機能を兼ねる）から直接水車に水圧管路で導水する方式が有利になる場合があることから、水路ルートの検討にあたっては比較検討する。

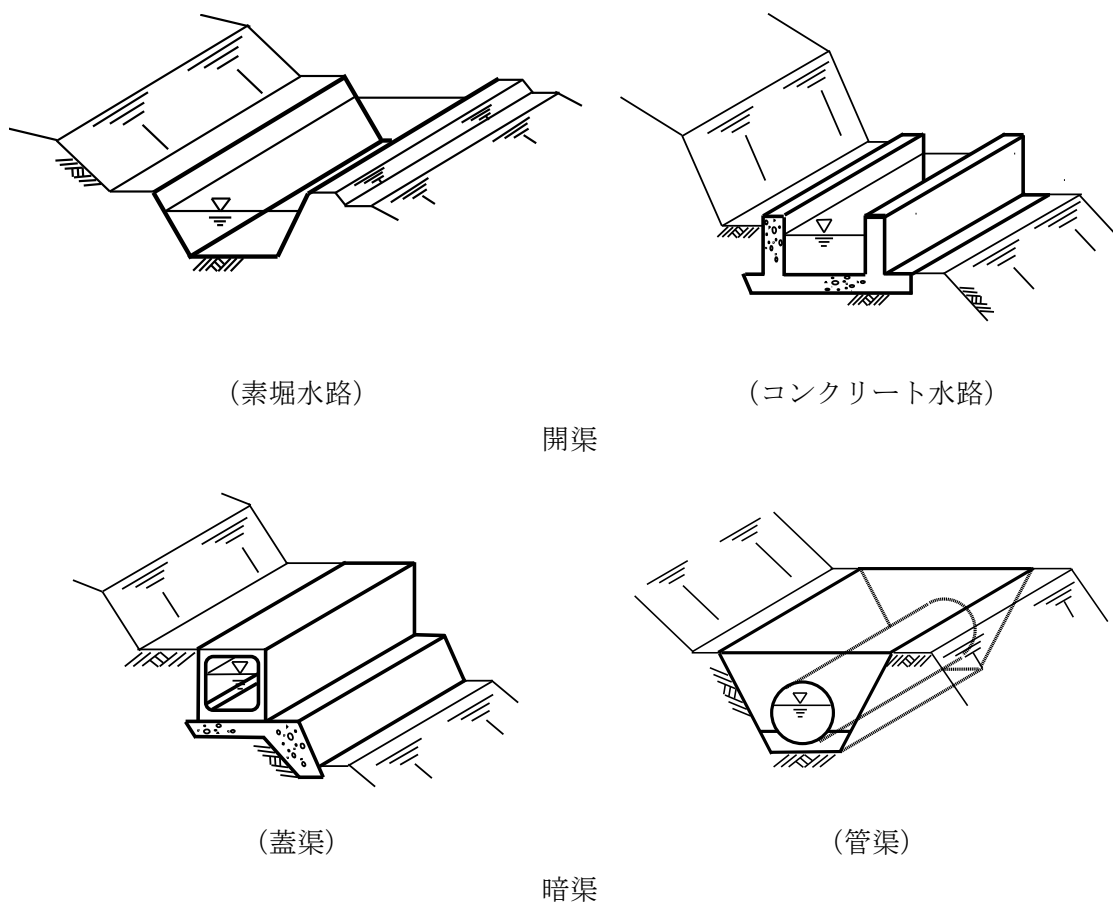


図 9-9 無圧導水路

(1) 水路勾配および水路断面

導水路断面は、水路勾配と相対的に定まるものである。

すなわち、通水量を一定とした場合、水路勾配を急にすれば水路断面積は小さくなり水路工事費を減少させることができるが、落差損失および摩擦損失が増大し、発電力が減少して必ずしも経済的ではない。逆に、水路勾配を緩やかにすると、落差損失および摩擦損失が減少し発電力は増加するが、水路断面積が大きくなり水路工事費が増加する。

したがって、水路工事費と出力・電力量を考慮して、最も経済的な水路勾配および水路断面を決定する。

一般的には、導水路内の流速は1~3m/sec程度で、水路勾配は1/500~1/1,000程度であるが、小規模水力発電水路勾配は地元の測量技術および施工能力を考慮して決定する。

(2) 導水路の通水量

導水路の通水量は Manning の式により算定するのが一般的である。

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

$$Q = V \times A$$

ここに、

- V : 水路内平均流速 (m/sec)
- n : Manning の粗度係数
- R : 径深 (m) (R=A/S、S: 潤辺長 (m) )
- I : 水路縦断勾配
- Q : 通水量 (m<sup>3</sup>/sec)
- A : 通水断面積 (m<sup>2</sup>)

表 9-1 一般的な粗度係数 (Manning)

水路の状態	n
素堀水路 (土砂地盤に掘った人工水路)	0.017~0.025
石積水路 (兩岸石張りの水路)	0.025
コンクリート水路	0.013~0.018

出典：本間・荻原「新版 流量計算法」

## 9.5 水槽

水槽は、発電所の負荷急増時に水量を補給し、負荷減少時に余水を排除するなど、負荷変動に伴う水圧管路流量と導水路流量との差を調整するとともに、流水中の土砂をここで最終的に沈殿・除去し、水車に障害を与えないようにするためのものである。

水槽は本体のほか、制水門、排砂門、スクリーン、除塵機、空気管などの付属設備によって構成される。

水槽の設計にあたっては、次の点に留意して検討する（図9-10参照）。

- i) 水槽に流入する水が渦を発生しないよう急激な断面変化を避ける。
- ii) 沈殿した土砂を集めて排除するために、底勾配を 1/15~1/50 の下り勾配として、その末端に溝を設け、土砂を排除するための排砂ゲートを設置する。
- iii) 沈殿した土砂が水圧管路に流入しないように、水圧管路入口部分の敷高を水槽最低部より 1.0~1.5m 程度高くする。
- iv) 取水庭の前面には、除塵スクリーンを設ける。
- v) 全負荷遮断時に、最大使用水量を安全に放流できる余水吐、余水路を設ける。

また、水槽の設計にあたって、特に留意すべき事項を以下に示す。

### (1) 水槽の容量および水面積

水槽の容量は、従来、最大使用水量の 1~2 分程度の量を確保することとしているが、電気式ガバナやダミーロードガバナを用いて発電所の運用を行う場合には、水槽の小容量化を図ることも可能である。

また、水槽の水面積( $A_s$ )は、水槽水位の変動を少なくするために、最大使用水量の5~10倍程度以上の面積を確保する。 $(A_s \geq Q_{max} \times (5-10))$

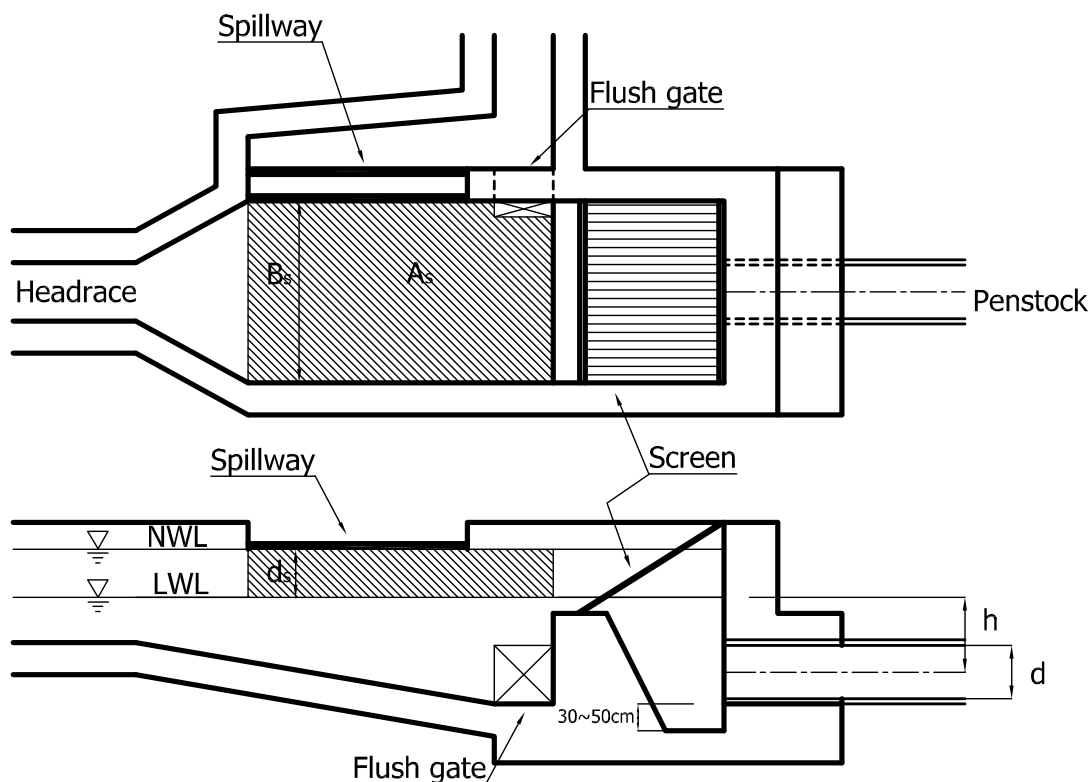


図 9-10 水槽

(2) 水圧管路呑口におけるかぶり水深の確保と設置高さ

水圧管路呑口のかぶり水深（呑口中心から水槽最低水位までの水深）は、流入渦が発生しないように以下の値以上を確保する。

$$d \leq 1.0\text{m} \text{ の場合 } h \geq 1.0d$$

$$d > 1.0\text{m} \text{ の場合 } h \geq d^2$$

ここに、

$d$  : 水圧管路の内径 (m)

$h$  : かぶり水深 (m)

また、水圧管路呑口における管下端は、水槽前庭部敷より 30~50cm 程度高く設置する。

(3) 除塵スクリーンのバー間隔の設定

除塵スクリーンのバー間隔（スクリーン有効目幅）は、入口弁の口径により概略値が決定されるが、水車の種類・寸法および塵芥の量や質を考慮して決定する。

以下に、スクリーン有効目幅の参考値を示す。

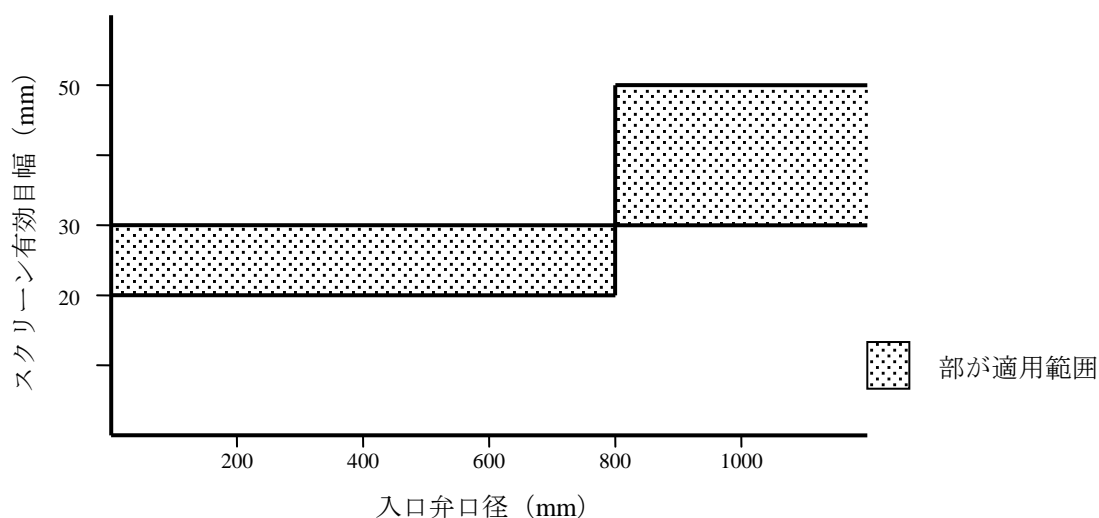


図 9-11 スクリーンの有効目幅（参考）

## 9.6 水圧管路

水圧管路は、水槽から水車に導水する管路である。

水圧管路の形式は、図9-12 に示すとおり露出式と埋設式に大別される。小規模水力発電では、水圧管路の管径が小さく、基礎に要求される条件も緩いことから、敷コンクリート省略型や直接基礎型（半埋設式）の採用が可能である。

水圧管路本体の材料は、図9-12に示すとおり一般には鉄管が多く使用されるが、小規模水力発電では、管径が小さいことや内圧が比較的低いことから、鉄管のほか強化プラスチック（複合）（Fiber Reinforced Plastic (Mortar) : FRM (M)）管、ダクタイル鋳鉄管、スパイラル鋼管、硬質塩化ビニル管等の利用が可能である。

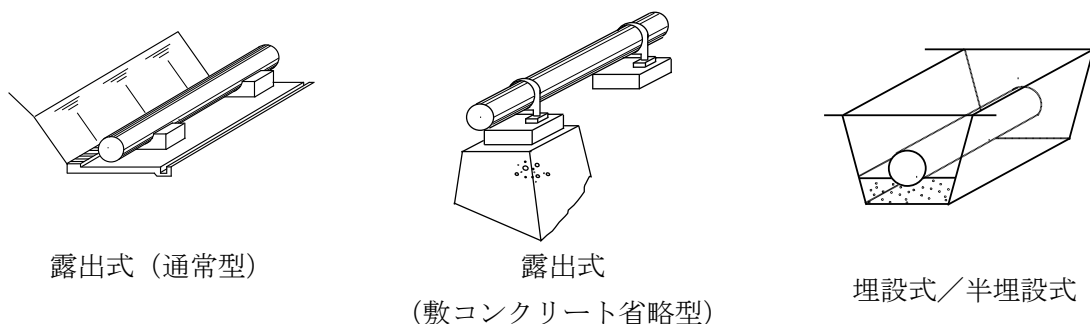


図 9-12 水圧管路

### (1) 水圧管路の計

#### 1) 露出式

露出式の水圧管路は、地すべり等の影響のない表層堆積物が薄い尾根筋に沿って、直線的に短距離になるよう計画するのが望ましい。

屈曲部では、管をコンクリート製アンカーブロックで固定する。一般に、鉄管を使用する場合のアンカーブロックの間隔は、50～100m 程度とする。強化プラスチック（複合）管な

どの挿入型継手の管では、掘削量を最小限にし、地山の安定を重視する為、屈曲部の数は鉄管の場合より多くなる。単管の傾斜による推力をその支台が分担するので、アンカーブロックの体積は鉄管の場合より小さくなる。

鉄管の場合、アンカーブロック間の直線区間は、コンクリートサドルで支持する。その支持間隔は、管径の3～5倍程度にとるが、実績としては6mの例が多い。



図 9-13 水圧管路の例

## 2) 埋設式

一方、埋設式の水圧管路は、既設の道路に敷設する場合や、導水路を省略して沈砂池（水槽機能を兼ねる）から直接発電所（水車）に導水する場合などに用いられる。管路の線形は、あまり地形に左右されることなく設定することができるが、埋戻土の安定を図るため比較的傾斜の緩い地形を選定する。

## 3) 縦断線形

水圧管路の縦断線形の設定に際しては、管路に負圧が発生しないように最小動水勾配線（最小圧力線）以下とすることが絶対条件であるため、特に、落差に比較して水圧管路が長い地点では注意する。

## (2) 水圧管路の設計

### 1) 管径の決定

管径は、導水路断面の決定の場合と同じように、管径の変化に伴う建設費と、損失落差の変化に伴う発電電力、発電電力量の変化を勘案して、最も経済的な管径を選択する。

一般的に、管内流速は約2～4m/sec程度としているが、低落差の場合は、管径を大きくし



て流速を小さくし、損失落差を小さくする方法が経済的となる。一方、高落差の場合は、管径を小さくする方が経済的となる。

## 2) 水圧鉄管の管厚の決定

水圧鉄管の必要管厚は、次式により算定される。

$$t = p \times D / (2 \times \sigma_a \times \eta) + \varepsilon$$

ここに、

t	: 管厚 (mm)、 $t \geq 6$ (mm) かつ $t \geq (D + 800) / 400$
$\varepsilon$	: 腐食に対する余裕厚 (mm) (一般に 2mm をとる)
p	: 設計対象箇所の最大設計水圧 (Mpa (kg/cm <sup>2</sup> ))、(設計水頭を h (m) とすると $p = 0.0098h$ MPa (0.1h kg/cm <sup>2</sup> ))
D	: 管の内径 (mm)
$\sigma_a$	: 許容引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )
$\eta$	: 縦方向継手の効率 (工場溶接 : 80~95%, 現場溶接 : 75~90%)

## 9.7 余水路

余水路は、沈砂池や水槽の余水吐からの越流水を、河川に放流するための設備である。形式としては、開渠、蓋渠、・管路(鉄管、鉄筋コンクリート管、強化プラスチック管等)が用いられる。

余水路は、一般に急斜面に計画されることが多いため、次の点に留意して検討する。

- i) 余水路のルート選定ならびに構造形式の決定にあたっては、水槽から河川までの地形・地質および周辺の環境条件を十分に調査して決定する。
- ii) 余水路内の流水は、急勾配水路を流下する高速射流であり、水路の屈曲部や不連続部において衝撃波や空洞現象を生じる恐れがあるため、水路はできる限り直線的な配置が望ましい。
- iii) 余水路の断面は、空気の連行による水深の膨れ上がりを生じる恐れがあるため、特に慎重に設計する。
- iv) 余水路が管路の場合、高流速で連行される空気を補給するために、屈曲部には通気孔を設置する。
- v) 余水路が開渠・蓋渠の場合でも、管路のアンカーブロックと同様に底面にカットオフ状の突起を設けてスライドを防ぎ、かつ漏水による浸食を防止する。
- vi) 余水路終端部には、水を下流に安全に放流するために減勢工を設置する。
- vii) 余水を河川に直接放流する場合には、河床の過度の洗掘など河川に影響をおよぼさないような方向とする。
- viii) 一般に、余水路は水圧管路と併設するが、ヘッドタンク付近の沢を余水路として利用できる場合は、余水路の長さを短くすることができる。

表 9-2 水圧管の種類と特徴

管 種	樹脂管		鉄 管		
	硬質塩化ビニル管	FRP(M)管	鋼 管	ダクタイル鋳鉄管	スパイラル鋼管
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>上下水道用の配管材料であり、パイプラインとしては最もポピュラーな管材</li> <li>小流量管路には有効である</li> <li>既製の異形管の種類も豊富である</li> <li>衝撃に弱いこと、線膨張係数が大きいことから、埋設式としての利用例が多い</li> </ul>	<p>&lt;FRP 管&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ガラス繊維で強化されたプラスチックの管である</li> <li>露出管として使用され、積雪以外の荷重は作用しないので、FRPM 管より管厚を薄くでき軽量となる</li> </ul> <p>&lt;FRPM 管&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>管の内面と外面との間に珪砂を骨材とする FRP と同一の樹脂を使用したモルタルを配して剛性を高めた管である</li> <li>内外圧に対抗することができ、水圧管材としては確実に、埋設管として有効である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的な水力発電所の水圧鉄管に使用される管材である</li> <li>確立された設計法があり、確実な管材である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上下水道・農工業用水等の分野で多くの使用実績を有する管材である</li> <li>一部露出管として使用した例があるが、一般的には埋設式が主流である</li> <li>内外圧に関して高い安全性を有する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水圧管路にも使用実績がある配管用鋼管であるが、溶接線が螺旋状となっているため、景観上埋設管として利用されるものが多い</li> <li>水圧管以外の用途として、鋼管杭がある</li> <li>板厚に関しマイナスの許容誤差（-12.5%）を認めている</li> </ul>
最大管径	厚肉管：φ 300 薄肉管：φ 800	φ 3,000	φ 3,000 程度	φ 2,600	φ 2,500
許容内圧	厚肉管：0.98 MPa 薄肉管：0.58 MPa	最大：2.20 MPa	13.05 MPa	約 3.92 MPa	1.47 MPa
水理特性	n = 0.009 - 0.010	n = 0.010 - 0.012	n = 0.010 - 0.014	n = 0.011 - 0.015	—
施 工 性	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽量であり異形管の種類が豊富なため設計・施工は容易</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽量であり管の接合に特殊形状のゴム輪を介すこと等から施工性は良好</li> <li>異形管は種類が限られ、基本的には鋼管で対応する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FRP(M)管等 비해施工性は劣る</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FRPM 管の倍以上の重量を有することから、施工性は樹脂管に比べ劣る</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FRP(M)管等 に比べ施工性は劣る</li> </ul>
水 密 性	<ul style="list-style-type: none"> <li>接着接合も可能であり、水密性は優れている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>継手部の接合方法が確立されていることから、水密性については問題ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>継手部の接合方法が確立されていることから、水密性については問題ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>優れている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>問題はない</li> </ul>

## 9.8 発電所

小規模水力発電の発電所は、水車、発電機、開閉装置、配電盤および付属機器が収容できる面積と容量を確保する。また、機器の配置は、運転維持管理および据付・分解点検が容易にできるように計画する。

発電所の位置は、次のような点に留意して検討する。

- i) 基礎地盤の良好な場所
- ii) 洪水時に被害を受けず河流の衝突しない場所
- iii) 山崩れ等の恐れのない場所
- iv) 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場所

特に、設計洪水量は確率洪水量や合理式で算定し、水位上昇に対応した設計とする。また、地元住民からのヒアリングも重要な情報となる。

小規模水力発電では、衝動型水車（ペルトン水車、ターゴインパルス水車、クロスフロー水車等）と反動型水車（フランシス水車、プロペラ水車等）が用いられる。このうち、衝動型水車としてクロスフロー水車、反動型水車としてフランシス水車が特によく用いられる。

発電所基礎の設計は、以下の観点で行う。

### (1) 衝動型水車の発電所基礎

衝動型水車では、ランナを通過した水は直接放水路に放流されるため、水車の下の水面は乱流となる。したがって、発電所基礎スラブ下面と水面のクリアランスを 30～50cm 確保する必要がある。

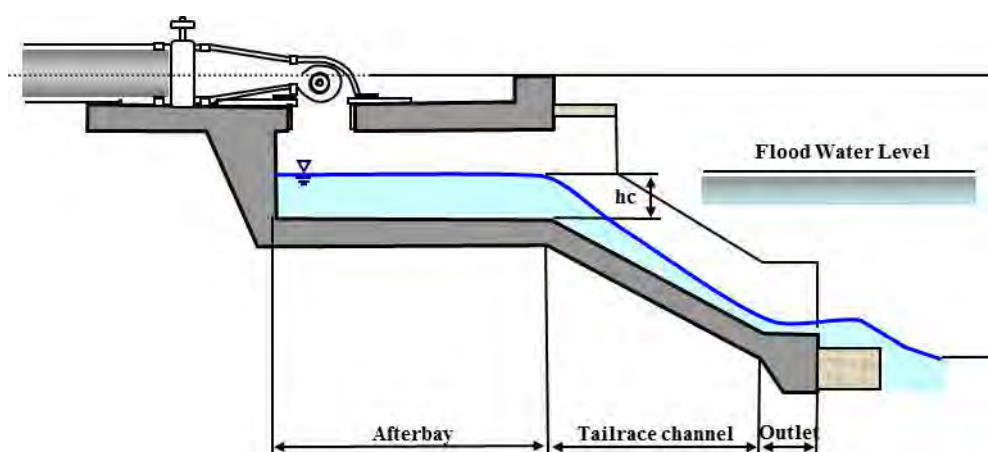


図 9-14 衝動型水車の発電所基礎

放水庭水位は、次式により算定される。

$$h_c = \{(1.1 \times Q_d^2) / (9.8 \times b^2)\}^{1/3}$$

ここに

$h_c$	: 放水庭水位 (m)
$Q_d$	: 最大使用水量 (m <sup>3</sup> /sec)
$b$	: 放水路幅 (m)

また、放水庭水位は計画洪水位よりも高く設定する。

## (2) 反動型水車の発電所基礎

反動水車では吸出管を使用しているため、最小使用水量の時にも放水位が吸出管出口よりも低くならないように設計する。

また、反動型水車の場合、水車中心と放水位の間の落差は吸出し高さ（ $H_s$ ）と呼ばれ、キャビテーションに係わる重要なファクターであり、第10章に詳述する。この形式の水車では、放水位までが発電のための落差として利用できるため、放水路ゲートを設置することにより放水位を計画洪水位よりも低く設定することができる。ただし、この場合には発電所を水密構造とするとともに、排水ポンプを設置する。

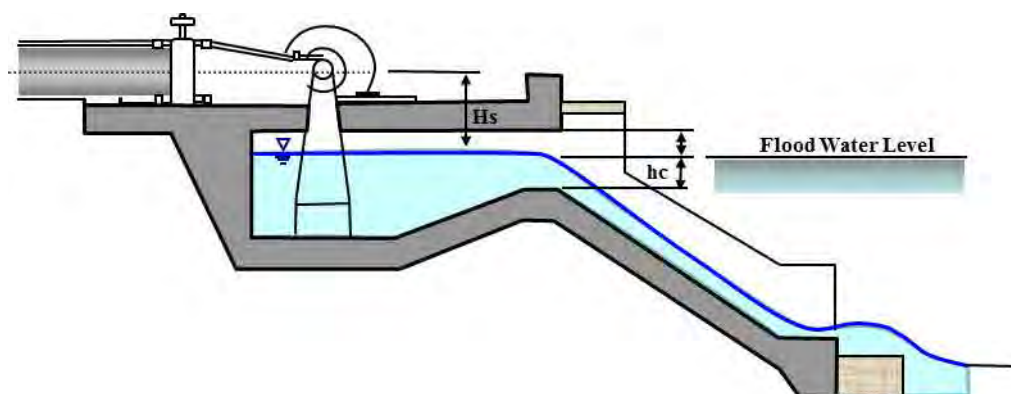


図 9-15 反動型水車の発電所基礎

## 9.9 放水路および放水口

放水路は、水車から放出された水を河川に導く水路であり、放水庭、放水路、放水口から構成される。

放水路内の流速は、一般に1～2m/sec程度とする。

放水口は、河川の流水や流砂により破損しないように、周辺の地形に応じたコンクリートや練石積による保護工を施す。

放水口の位置は、次のような点に留意して検討する必要がある。

- i) 河流の流水に含まれる土砂の堆積により出口が閉塞される恐れがないこと
- ii) 河川の流れが直接衝突することのない場所であること
- iii) 洪水時に著しい水面上昇、河床変動がなく、洪水による被害の恐れがないこと
- iv) 放水口近くの下流に川幅が狭くなる場所がないこと

第9章の参考文献

- [1] 中小水力発電ガイドブック、新エネルギー財団、1997年
- [2] 水力開発ガイドマニュアル、新エネルギー財団、1996年
- [3] 分散型小水力発電マニュアル(案)、経済産業省新エネルギー財団、2001年
- [4] Manuals and Guidelines for Micro-hydropower Development in Rural Electrification, Department of Energy, Philippines, JICA, 2009

# 第 10 章

## 電気・機械設備の設計

## 第10章 電気・機械設備の設計

### 10.1 水車の選定と設計

計画地点の取水位置（最大、基準、最低）、放水位置（最大、基準、最低）および発電に使用可能な最大使用水量など、表10-1に示す項目が選定されたならば、これらのケースについて電気機器の概略設計が求められる。以下に、水車、発電機、補機および電気的な回路の選定について記述する。第2分冊では、10～500kW程度の出力規模を対象としているが、電気設備については、第1分冊で扱う出力規模との関係から5MWまでを対象としている。

表 10-1 電気・機械設備設計に必要な項目

項目	単位	計画値		
最大使用水量	m <sup>3</sup> /sec			
基準有効落差	m			
主機台数				
周波数	Hz			
		最高落差時	基準落差時	最低落差時
取水位	EL. m			
放水位	EL. m			

#### 10.1.1 水車の種類

小水力発電に適用される水車としては、水車の原理的な水のエネルギーの利用形態から衝動水車と反動水車の二つに分類され、図10-1の体系に整理できる。これらの水車の中から、地点の落差、流況から多くの発電電力量を得られるものを選定する。

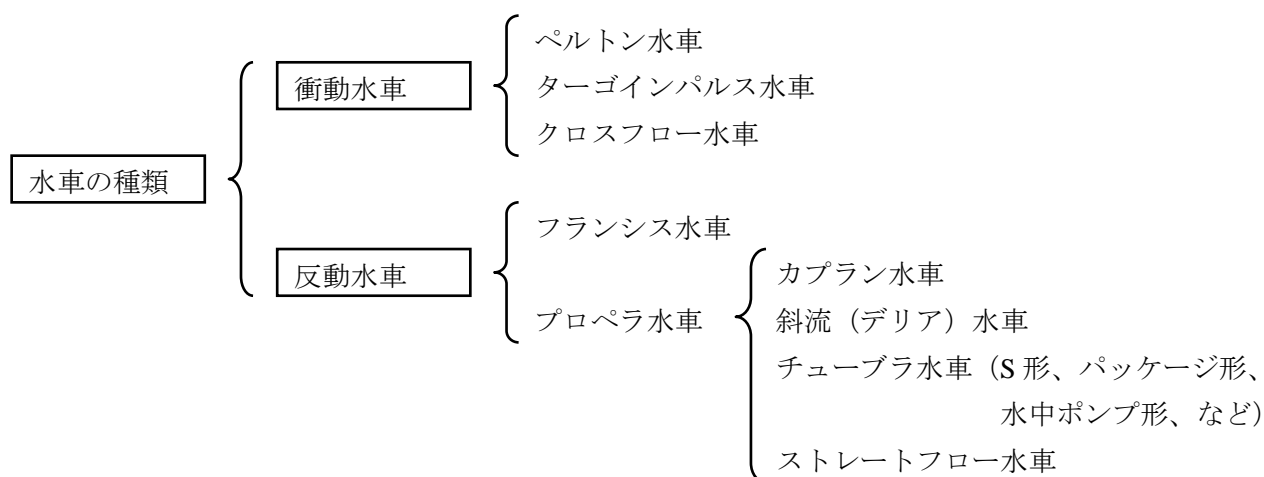


図 10-1 水車の分類体系



(1) 衝動水車

圧力水頭を持つ水をノズルから噴出させて、速度水頭に変え噴出水の衝動によりランナを回転させる構造の水車を言う。

(2) 反動水車

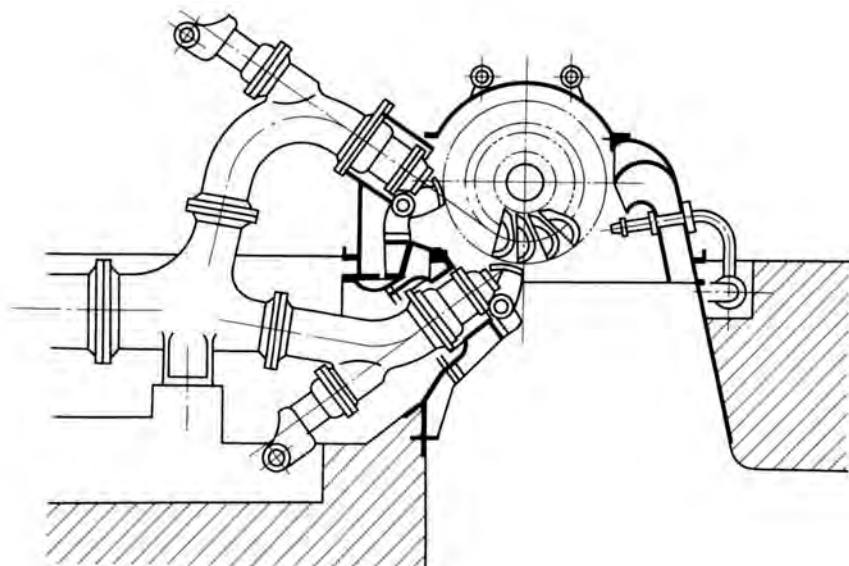
圧力水頭を持つ流水の水圧をランナに作用させる構造の水車を言う。

(3) ペルトン水車

ペルトン水車は衝動水車に分類され、ノズルから噴出する水をランナ外周部に配置したバケットに衝突させ、この反力を回転トルクとして利用する。回転速度の調整は、ノズルのニードルバルブによって噴出水の量を加減するか、噴出水がバケットに当たらないようにディフレクタで噴出水の方向を加減することで行われる。

ペルトン水車は一般に 200m 以上の高落差に適用されるが、近年小規模水力発電用としては、流量が小さくフランシス水車等の適用が困難な場合や、流量変化の大きい場合等にそれ以下の落差でも適用され、最小落差 75m 程度まで採用されている。ペルトン水車は落差変動に対しては効率の低下が大きいが、流量の変化に対しては、ノズルの運転数を調整して対応できるため、落差変動が小さく、流量変化の大きい流れ込み式発電所に適した水車と言える。小規模水力用ペルトン水車の適用範囲は概ね以下のとおりである。

出力	: 100～5,000 (kW)
流量	: 0.1～3 (m <sup>3</sup> /sec)
落差	: 15～500 (m)



出典：JIS-B0119 水車およびポンプ水車用語

図 10-2 ペルトン水車構造図（横軸 2 射）

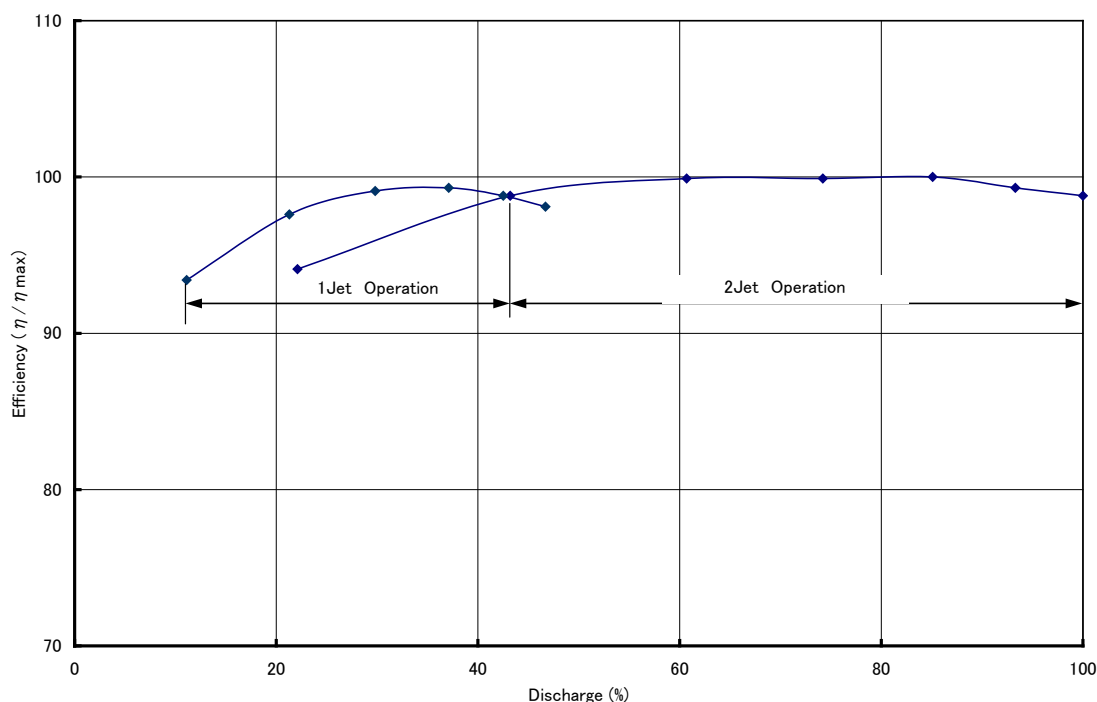


図 10-3 ペルトン水車のノズル切替運転時の水車効率

横軸ペルトン水車のノズルは、2本もしくは1本が一般的である。2本ノズルが採用されている水車では、渇水期において流量が少ない時に、出力調整を1本のノズルの運転で行う技術が開発され、低流量域での高効率運転が可能である。

空中でノズルから噴出する水をランナに作用させるため、ペルトン水車のランナの位置は、常に放水面より高くすることが必要であり、このため水車中心位置から放水面までの落差は全損失となる。水車の据付位置は、放水面に近づけることが良いが、洪水時にランナが浸水しないような安全な高さを残す必要がある。

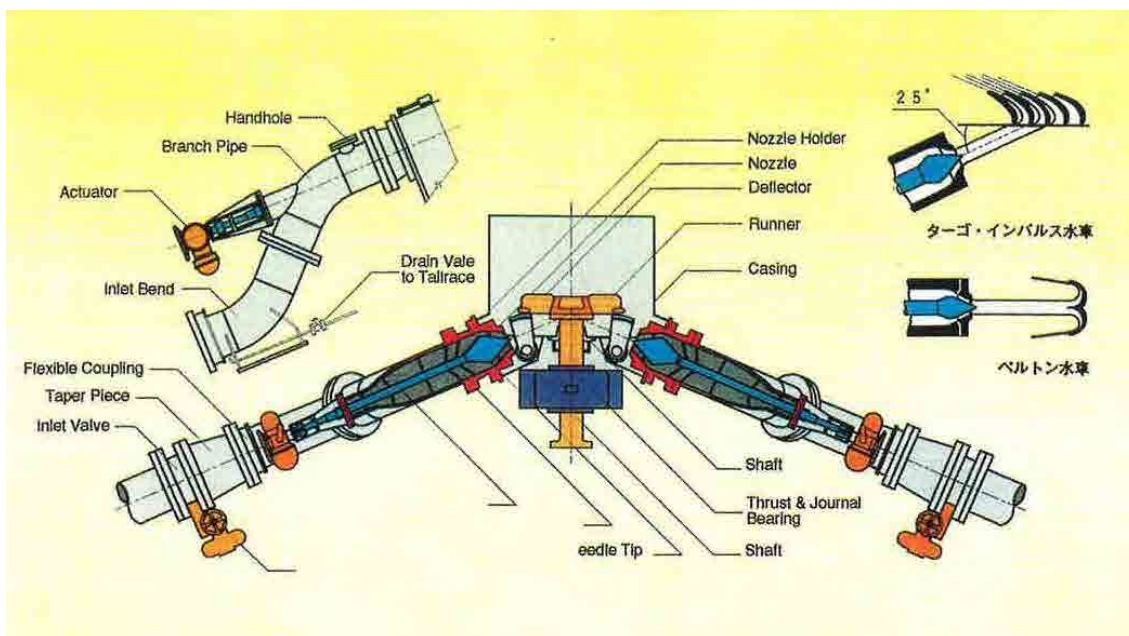
ディフレクタを設備したペルトン水車では、送電線故障や急な負荷変動により急激に発電機出力を遮断もしくは制御が必要となった場合、ノズル開度ではなく、ディフレクタでランナに作用する噴出水の方向を変えることで同等の効果が得られる。このため、水圧管路流水の緩閉鎖が可能であり、フランシス水車等で問題となる流水遮断時の管路内水圧上昇、回転速度上昇をディフレクタ放流で軽減することが可能である。また、ディフレクタで長時間の放流を行うことで、余水路を省略する技術も開発されている。このようにペルトン水車は、有効落差が大きく、流量変化が大きい流れ込み式発電所に適した水車と言える。

(4) ターゴインパルス水車

ペルトン水車と同様にランナとノズルで構成され、英国の水車製作者であるギルケス社（Gilbert Gilkes & Gordon Ltd.）が開発した衝動水車である。ノズルから噴出した水は、ランナの平らな面に斜め横から3~4枚の羽根に同時に吹き付けられてランナを駆動する。その構

造とペルトン水車とのノズルとランナの関係の比較を図 10-4 に示す。ペルトン水車よりも少し低い落差に用いられ、適用範囲は概ね以下のとおりである。

出力 : 100～10,000 (kW)  
 流量 : 0.2～8.0 (m<sup>3</sup>/sec)  
 落差 : 20～250 (m)



出典 : Gilkes 社 TURGOIMPULSE TURBINE Catalog

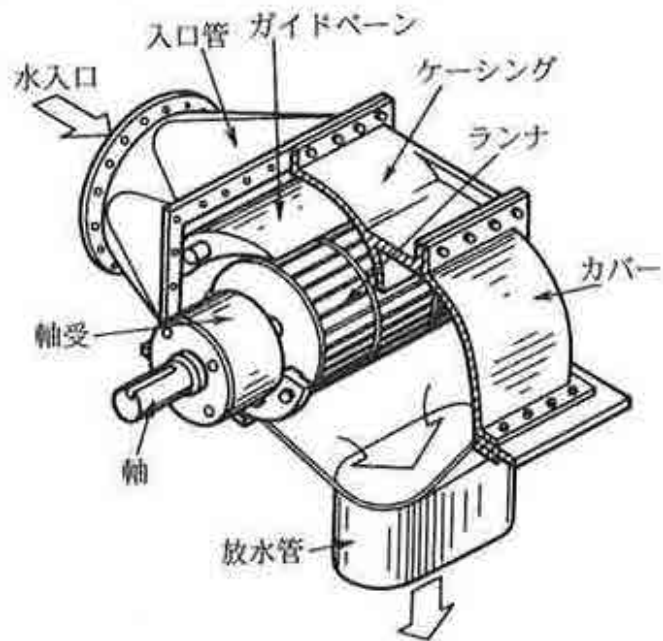
図 10-4 ターゴインパルス水車構造図（ペルトン水車とターゴのノズル比較）

ターゴインパルス水車は、同じ落差、流量のペルトン水車と比較した場合、回転速度を高く設定でき、本体重量だけでなく発電機重量も小さくなり、全体としてコストを低減できる可能性がある。ペルトン水車と同様に、複数のノズルを有する水車でのノズル切替による部分負荷での高効率運転、ディフレクタによる急閉鎖時の水撃圧軽減、回転数上昇軽減およびディフレクタ放流による余水路省略も可能である。

(5) クロスフロー水車

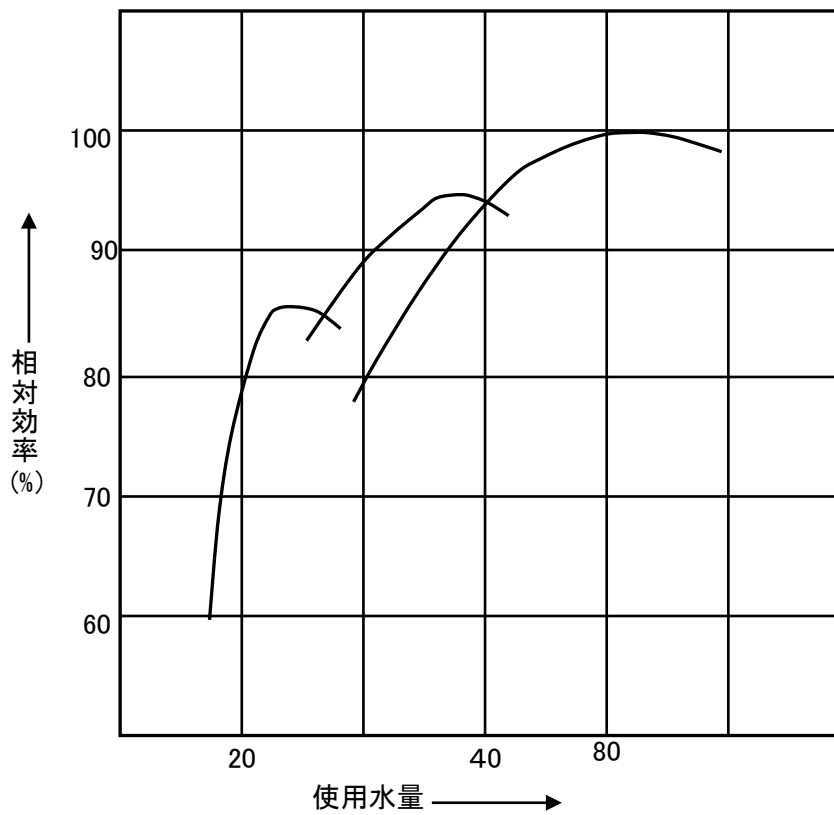
クロスフロー水車は、構造が簡単で製造が容易なため小規模水力開発に適用される例が多い。開発した水車製作者の会社名からオズバーガ水車とも呼ばれる。この水車は、中低落差で使用水量が少なく、流量変化の大きい流れ込み式発電所に適した水車であり、適用範囲は概略以下のとおりである。

出力 : 50～1,000 (kW)  
 流量 : 0.1～10 (m<sup>3</sup>/sec)  
 落差 : 5～100 (m)



出典：NEF 中小水力発電ガイドブック（新訂5版）

図 10-5 クロスフロー水車構造図



出典：NEF 中小水力発電ガイドブック（新訂5版）

図 10-6 ガイドベーン切替運転時の水車効率

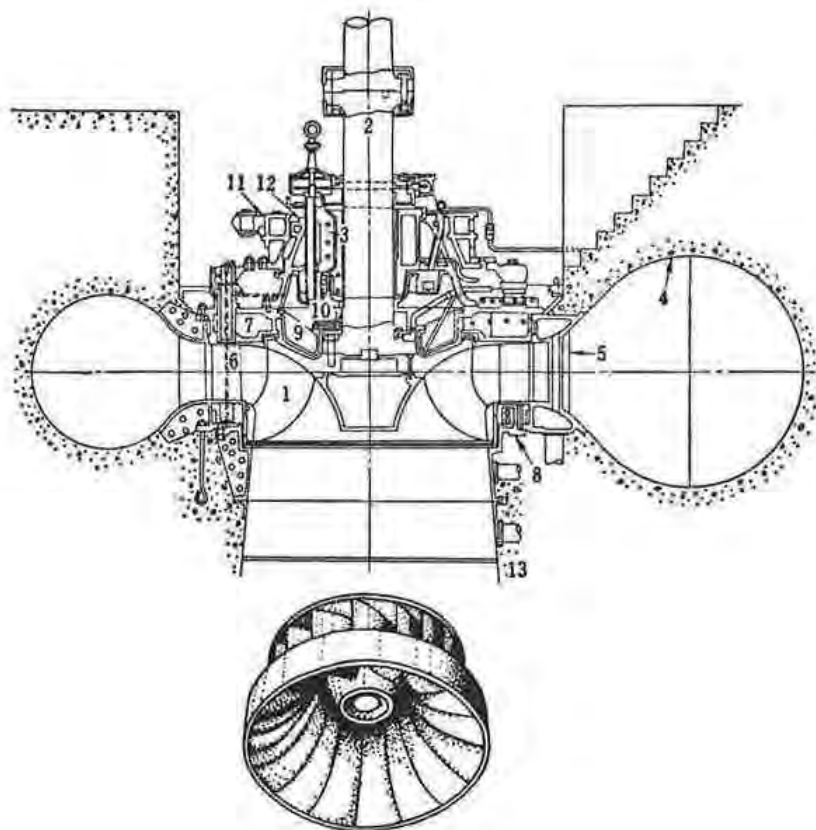
クロスフロー水車は、その簡単な構造から、運転、保守が容易であること、ガイドベーンを2枚の分割構造にすることで流量変化に対する効率を改善でき、広い運転範囲を有すること、および機器価格も安いという特徴がある。水流は、管路からガイドベーンで流量調整され、一旦ランナ羽根に作用しランナ内側に入り、中心部を横切り再びランナ外部のランナ羽根に作用するように水車ランナを貫いて流れる。ガイドベーンを1/3と2/3に分割し、流量、負荷に応じて個々に操作することで図10-6に示すように、ペルトン水車のノズル切替運転と同様に広い範囲で高効率運転ができる。ただし、この水車の最高効率は、比速度にあまり関係なく80%程度である。

クロスフロー水車は、衝動水車的一种であり、ランナの位置は放水面より高い位置とする必要がある。また、クロスフロー水車のランナ長さ／ランナ径の比（アスペクト比）は、比速度に比例して大きくなる。このため比速度を大きく選定した場合には、ランナの長さが長くなり、撓み等の強度面に問題が生じる可能性があるため、比速度の選定においては注意を要する。

#### (6) フランス水車

フランス水車は、最も普及している水車であり、高落差から低落差、大容量から小容量まで広い範囲に用いられている。構造も簡単なため小規模水力発電においてもフランス水車の採用例が多い。水はスパイラルケーシングでランナの全周から中心に向かって流れ込み、ランナを回転させ、吸出し管を経て放水庭に至る。ペルトン水車と異なり、ランナから吸出し管まで常に水で満たされているため、水車から放水庭までの落差も有効に利用できる。フランス水車には、立軸と横軸の両方が可能であるが、小規模水力用としては横軸フランス水車の採用例が多い。その概略適用範囲を以下に示す。採用例が多いため、設計の標準化も製作者で検討されている。近年、コンピュータを利用した流れ解析技術が進歩し、最高効率よりも部分負荷運転時に効率を改善した軽負荷ランナ等も提供されている。

出力	: 100～5,000 (kW)
流量	: 0.3～20 (m <sup>3</sup> /sec)
落差	: 15～300 (m)



出典：NEF 中小水力発電ガイドブック（新訂5版）

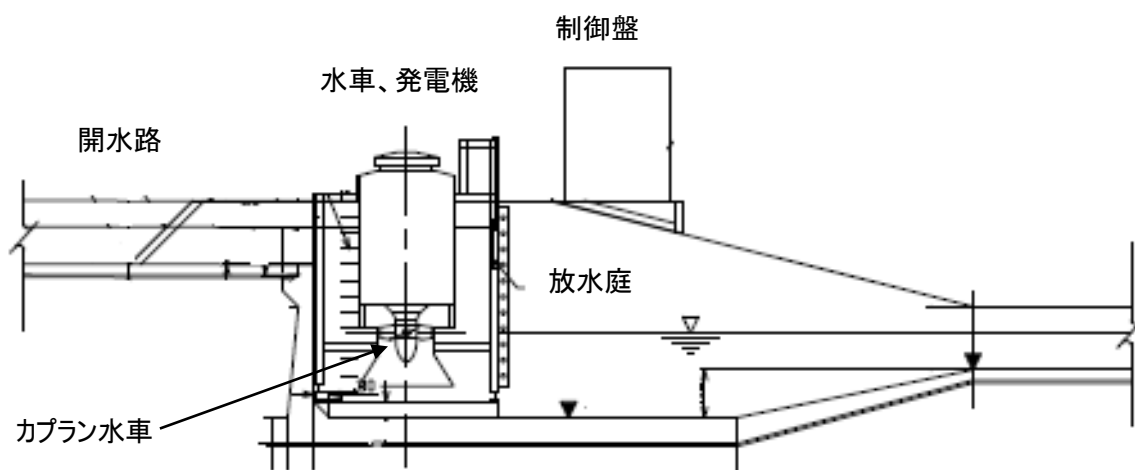
図 10-7 立軸フランシス水車構造図

### (7) プロペラ水車

プロペラ水車は 80m 以下の低落差領域で適用され、ランナ部分は船のプロペラの形をしており、ランナベーンは 3～10 枚で、羽根の枚数は低落差のものほど少なくなる。水は軸方向に流れて羽根を回転させる。プロペラ水車には、その構造によりカプラン水車、斜流（デリア）水車、チーブラ水車、およびストレートフロー水車等に分類される。

#### 1) カプラン水車

プロペラ水車のガイドベーンとランナベーンの開度を、有効落差、使用水量で常に最適効率となるよう関連づけて調整する水車をカプラン水車という。5m～80m 程度の落差範囲に適用される。プロペラ水車のほとんどがカプラン水車であり、出力 200,000kW を超えるものもあるが、小規模水力発電用としては、構造が複雑で高価であり採用例は少ない。近年、図 10-8 ランナベーン駆動機構を電動としたものが開発され、小容量のカプラン水車も可能となっている。

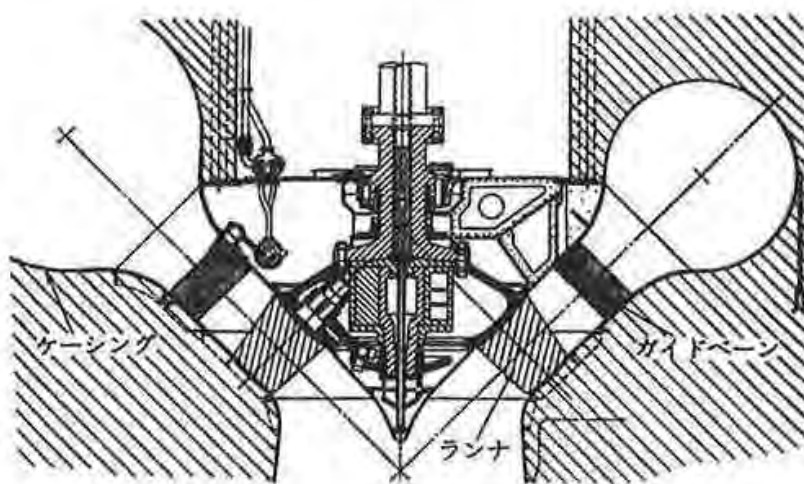


出典：ハイドロアグリ工事計画書

図 10-8 小容量プロペラ水車（カプラン水車）設置例

## 2) 斜流（デリア）水車

水車軸に対して、水を斜め方向に流す羽根を持つ水車を斜流水車と呼ぶ。カプラン水車と同様に落差、流量に合わせて、ランナベーンとガイドベーン開度の関係を最適に調整するものをデリア水車と呼ぶ。40～130m 程度の落差に適用され、容量も 50,000kW を超えるものもあるが、カプラン水車と同様に小規模水力用としては、構造が複雑すぎて高価なためほとんど採用例はない。



出典：NEF 中小水力発電ガイドブック（新訂5版）

図 10-9 斜流水車構造図

## 3) チューブラ水車

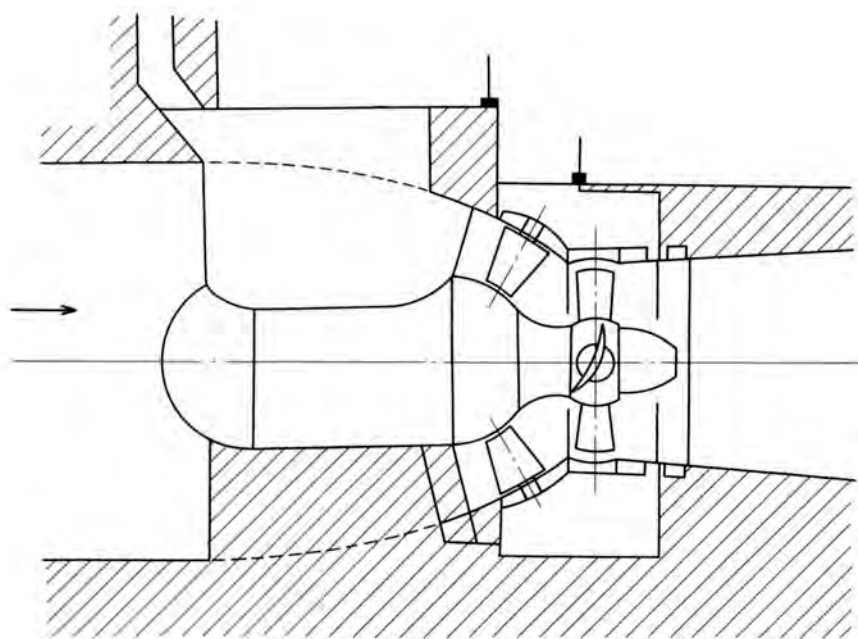
スパイラルケーシングに換えて円筒型（チューブラ）ケーシングを設置するプロペラ水車

をチューブラ水車と呼ぶ。3～25m 程度の低落差に適している。数 100～60,000kW を超えるものまである。大容量のものでは、カプラン水車の機能を有しランナベーンとガイドベーンを有効落差と使用水量に合わせて最適効率に調整可能なものもある。

(a) バルブ水車

発電機を流路中のバルブ内部に設置した水車である。数 100～60,000kW を超えるものまであり、低落差用の水車として採用例が多い。発電機を流路内部のバルブに設置するため、発電機の径、はずみ車効果が制約される。加えて、発電機からの熱を外部に放出する冷却装置が必要となるケースがある。小規模水力としての適用範囲は概略以下のとおりである。

出力 : 100～5,000 (kW)  
 流量 : 3.0～40 (m<sup>3</sup>/sec)  
 落差 : 3～18 (m)



出典：JIS-B0119 水車およびポンプ水車用語

図 10-10 バルブ水車構造図

(b) S 形チューブラ水車

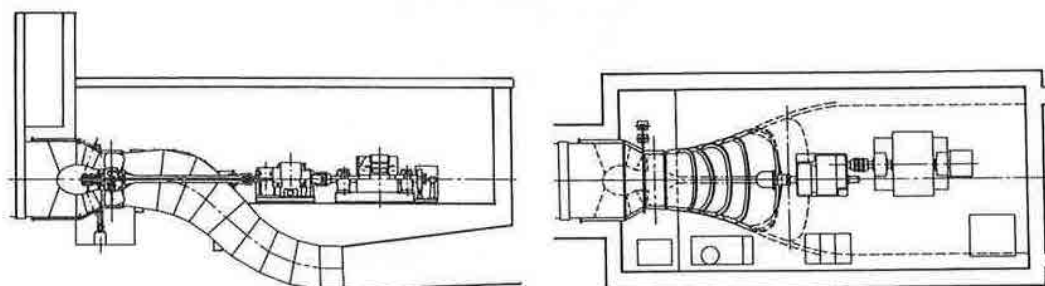
S 形チューブラ水車は、低落差で流量の多い場合に適用される水車であり、適用範囲は概略以下のとおりである。

出力 : 50～5,000 (kW)  
 流量 : 1.5～40 (m<sup>3</sup>/sec)  
 落差 : 3～18 (m)

S 形チューブラ水車は、発電機を設置するために、S 形に屈曲させた流路を持つ。ランナ部分は他のチューブラ水車類と同じ構造であるが、発電機を流路外に設置するために、水車の吸出し管を S 字に曲げて水車軸を水路外部に貫通させ発電機に接続する構造としている。流路内部のバルブやピット内部に発電機を設置するチューブラ水車に比べて、発電機



設計上の制限が無くなること、フライホイールの取付け、増速機の設置などが容易なことが利点である。



出典：NEF 中小水力発電ガイドブック（新訂5版）

図 10-11 S形チューブラ水車構造図

(c) 立軸チューブラ水車

立軸チューブラ水車は、S形チューブラ水車を立軸（もしくは斜め軸）として据え付けたものであり、基本的な性能、構造は同じである。適用範囲は概略以下のとおりである。

出力	: 100～2,000 (kW)
流量	: 2～20 (m <sup>3</sup> /sec)
落差	: 5～18 (m)

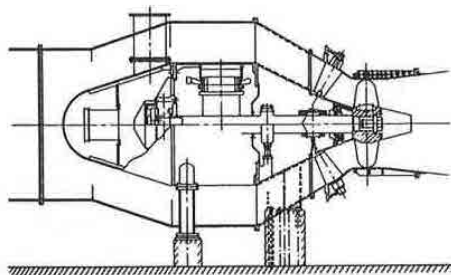
立軸チューブラ水車の場合、発電機および増速機を円筒形ケーシングの上に置くことができるので、発電所建屋をコンパクトな構造に出来る可能性がある。近年、新技術として、発電所の縮小を図るために、バルブ水車をエルボー形の吸出し管と組み合わせて立てに据付けた例もある。

(d) パッケージ式バルブ水車

パッケージ式バルブ水車は、バルブ水車に分類され構造も同じである。パッケージ式バルブ水車では、主に小容量のバルブ水車において流路と中に設置されるバルブ、発電機、水車、支持構造を工場で一体構造物として組上げ、現地で流路にフランジで接続するように設計されており、工期短縮、土木構造物の合理化、省スペース化を目的としている。水道、工業用水などの送水管の遊休落差利用などの比較的低落差で流量の多い場合に適した水車である。適用範囲は概略以下のとおりである。

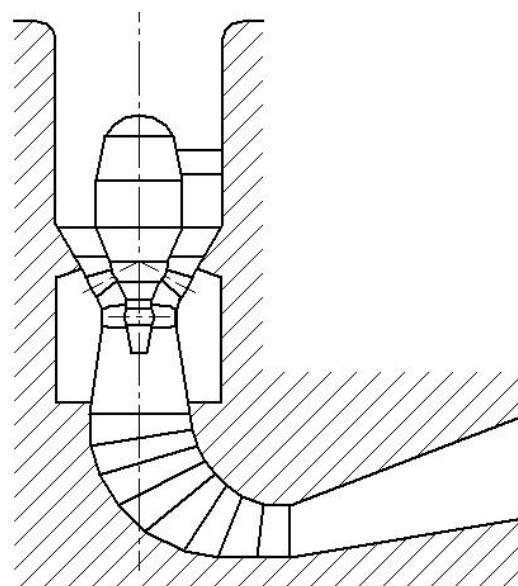
出力	: 150～3,500 (kW)
流量	: 4～25 (m <sup>3</sup> /sec)
落差	: 4～20 (m)

発電機はバルブ内に設置されるため、発電機の径、はずみ車効果が制約され、発電機からの熱を外部に放出する冷却装置（バルブ流路側の冷却用のヒダなど）が必要となるケースがある。



出典：NEF 中小水力発電ガイドブック（新訂5版）

図 10-12 パッケージ式バルブ水車構造図



出典：JIS-B0119 水車およびポンプ水車用語

図 10-13 縦軸チューブラ水車構造図

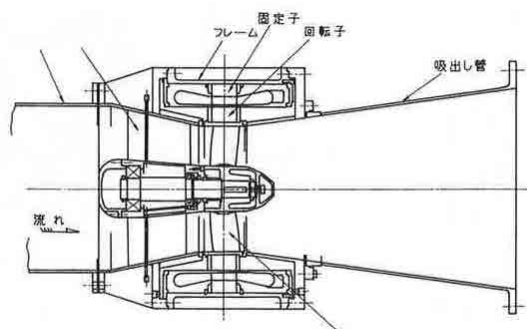
(e) ストレートフロー水車

欧州で歴史的に古くから、低落差で比較的流量が多い場合に採用されている水車である。チューブラ水車のランナの外周部に発電機が設置された構造であり、発電機が流路外部に設置されるため、保守性が良い、はずみ車効果に制約がない、発電所建屋をバルブ水車や Kaplan 水車と比較してコンパクトにできるなどの利点がある。水車ランナ外周部の発電機回転子が設置されているリングと水車上下流の固定部分との間にシール装置が必要であり、この発電機回転子外周の高い周速度に耐えるシール技術の難易度が高いことと、保守に手間を要するという難点がある。最近はランナベーンを可動としたものも実用化されている。出力 20,000kW、流量 120m<sup>3</sup>/sec まで適用範囲が拡大している。

また、小規模水力発電用として、発電機に誘導発電機を採用し、シールを省略して水車と発電機を一体とした一体型水車・発電機も製造されており、適用範囲は概略以下のとおりである。

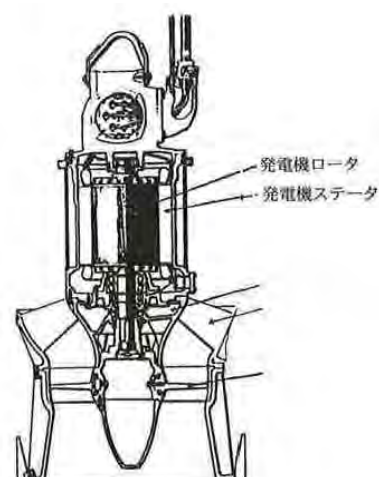
出力	: 10～600 (kW)
流量	: 0.5～4.0 (m <sup>3</sup> /sec)
落差	: 3～20 (m)

一体型水車・発電機は、ガイドベーン、ランナベーンともに固定式であるため、流量調整は、複数台設置し運転台数切替で行う必要がある。また水車の始動、停止は、入口弁か取水口ゲートの開閉で行う。



出典：NEF 中小水力発電ガイドブック（新訂5版）

図 10-14 ストレートフロー水車構造図



出典：NEF 中小水力発電ガイドブック（新訂5版）

図 10-15 水中ポンプ形水車構造図

(f) 水中ポンプ形水車

水中ポンプ形水車は、ガイドベーンを省略した固定羽根プロペラ水車と誘導発電機を、増速機を介して連結し、一体のケースに収納したコンパクトな構造である。開発した製作者の名称からフリクトタービンとも呼ばれる。適用範囲は以下のとおりである。

出力	: 30～850 (kW)
流量	: 0.4～10 (m <sup>3</sup> /sec)
落差	: 2.5～20 (m)

コンパクトな構造から、複雑な水車制御も必要としない。水車全体がモジュール化されており、取水口から放水口までを配管などでモジュール化し、現地で水車、発電機も含めて各コンポーネントを組立てるプレハブ構造とすることも可能である。

流量調整機能がないため、流量調整が必要な場合は台数制御により行う。使用水量が 2.0m<sup>3</sup>/sec 程度以上の場合は、可動翼ランナとして流量調整をランナベーンで行うことも可能である。

4) ポンプ逆転水車

ポンプ逆転水車は、汎用ポンプとして製造された製品を、逆転させ水車として使用するものである。汎用ポンプを水車として使用するため、流量調整、効率が水車として設計されたものより低いなどの制約はあるが、水車、発電機のコストを小さくできる可能性がある。誘導発電機との組合せ、インバータを適用して水車の速度制御を省略する例などもある。概略適用範囲は以下のとおりである。

出力	: 1～300 (kW)
流量	: 0.02～0.9 (m <sup>3</sup> /sec)
落差	: 6～100 (m)



出典：クボタ（株） ポンプ逆転水車カタログ

図 10-16 ポンプ逆転水車概観（両吸込み単段渦巻き形）

### 10.1.2 水車の選定

水車形式は有効落差、使用水量を基に河川の流量状況、貯水池、調整池の運用（落差変動、流量変動）および接続する需要を考慮して決定する。複数の水車形式を選定可能な場合は、経済性、保守性などを総合的に検討して決定する。

各種の水車はそれぞれの落差、適用比速度に対して限界があり、落差に対する強度、特性およびキャビテーション発生などから適用範囲が決められる。前項の水車形式も含めて水車の適用範囲を図10-17に示す。一般的にペルトン水車は高落差、小流量のとき、プロペラ水車は低落差、大流量のとき、フランシス水車は中・高落差で適用される。

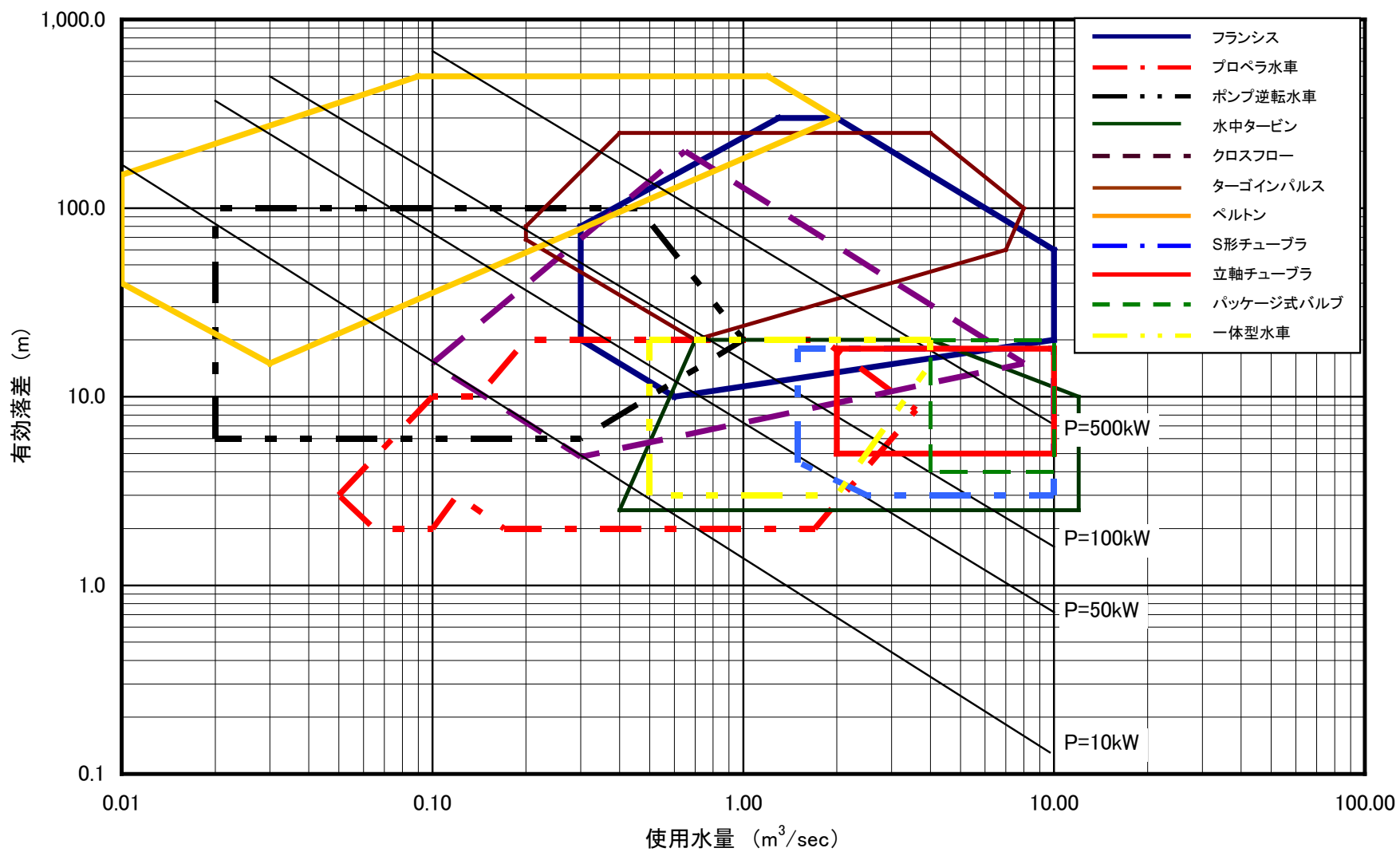


図 10-17 水車形式選定図

### 10.1.3 水車設計

水車の概略設計は以下のフローで行う。

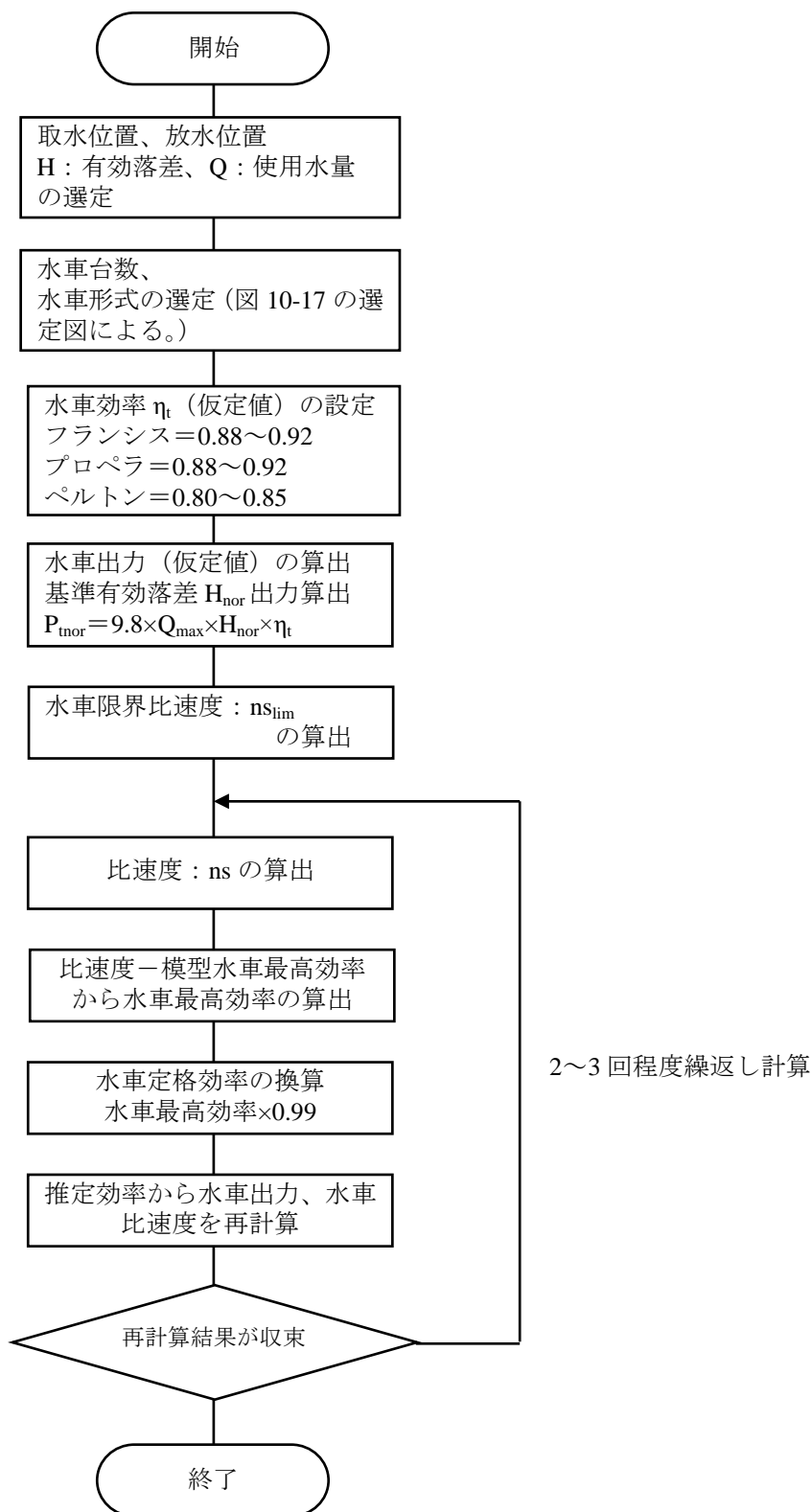


図 10-18 水車設計のフロー

(1) 水車出力の初期値の設定

最初の検討では、比速度、回転速度、効率の算定において、水車出力を設定する必要があるため、水車ごとに以下に示す効率値を初期値として仮設定し、検討を行い、順次設計を進め、必要に応じて再計算し精度を向上させる。水車出力の理論式を示す。

$$P_t = 9.8 \times Q_{\max} \times H_e \times \eta_t$$

ここに、

- $P_t$  : 有効落差  $H$  における水車最大出力 (kW)
- $Q_{\max}$  : 有効落差  $H$  における最大使用水量 (m<sup>3</sup>/sec)
- $H_e$  : 有効落差 (m)
- $\eta_t$  : 水車効率

水車効率の仮定値

- ペルトン水車 : 0.88～0.92
- フランシス水車 : 0.88～0.92
- 斜流水車 : 0.88～0.92
- プロペラ水車 : 0.80～0.85

(2) 水車比速度の算出

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、1m の落差で 1kW 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呼ばれる。比速度は次式で表される。

$$ns = n \times \frac{\sqrt{P_t}}{H_e^{5/4}} \qquad n = \frac{ns \times H_e^{5/4}}{\sqrt{P_t}}$$

ここに、

- $ns$  : 比速度 (m-kW)
- $n$  : 回転速度 (min<sup>-1</sup>)
- $H_e$  : 有効落差 (m)
- $P_t$  : 有効落差  $H_e$  における水車最大出力 (kW)

回転速度と比速度は比例し、比速度を大きくすれば回転速度を速くでき、水車、発電機とも小形化でき、機器代、発電所寸法の合理化が可能である。比速度を大きくするとキャビテーションが発生しやすくなるため水車の形式、落差により採用できる比速度の上限は、統計により以下のとおり与えられている。

$$\begin{aligned} \text{ペルトン水車} \quad ns &\leq \frac{4,300}{H_e + 200} + 14 \\ \text{フランシス水車} \quad ns &\leq \frac{23,000}{H_e + 30} + 40 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{斜流水車} \quad ns &\leq \frac{21,000}{H_e + 20} + 40 \\ \text{プロペラ水車} \quad ns &\leq \frac{21,000}{H_e + 16} + 50 \\ \text{クロスフロー水車} \quad ns &\leq \frac{4,000}{H + 14} + 16 \end{aligned}$$

上式の比速度の算出に用いる出力としては、フランシス水車、斜流水車およびプロペラ水車ではランナ 1 個あたり、ペルトン水車ではノズル 1 個あたりの最大出力を使用する。ただし、複流形ではランナ 1 個あたりの出力の 1/2 を使用する。クロスフロー水車については、次式で表される出力を使用する。

$$P = \frac{P_r}{B_g / D_1}$$

ここに、

- $P_t$  : クロスフロー水車の比速度算出に用いる出力 (kW)
- $P_r$  : ランナ 1 個あたりの出力 (min-1)
- $B_g$  : ガイドベーン流路幅 (m)
- $D_1$  : ランナ外形 (kW)

### (3) 水車回転速度の算出

水車形式を選定し、水車形式ごとに、以下に示す効率の仮定値を設定し、限界比速度を算出し、回転速度を算定する。水車・発電機の回転速度は、増速機や直流発電機を採用する以外は、接続する電力系統の周波数と発電機の磁極（ポール）数によって算定される。回転速度は主として発電機設計上から、表 10-2 の標準回転速度から選択するのが一般的である。

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

ここに、

- $f$  : 系統の周波数 (Hz)
- $p$  : 磁極（ポール）数

水車の回転速度の上限値は、前項に示すとおり水車形式ごとに限界比速度を求め、以下の回転速度と限界比速度の関係式から算出され、これに近い標準回転速度を選定する。

$$n = \frac{ns_{\text{lim}} \times H_e^{5/4}}{\sqrt{P_t}}$$



表 10-2 標準回転速度（JEC-4001）

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

出典：電気学会標準規格 JEC-4001 水車およびポンプ水車

以下に算定例を示す。

有効落差  $H_e = 100$  (m)

最大使用水量  $Q_{max} = 0.5$  (m<sup>3</sup>/sec)

フランシス水車を選定。

効率  $\eta_t = 0.9$  (仮定値) を設定。

水車出力  $P_t = 9.8 \times Q_{max} \times H_e \times \eta_t = 9.8 \times 0.5 \times 100 \times 0.9 = 441$  (kW)

限界比速度  $ns_{lim} = \frac{23,000}{H_e + 30} + 40 = 217$  (m-kW)

回転速度  $n = \frac{ns_{lim} \times H_e^{5/4}}{\sqrt{P_t}} = \frac{217 \times (100)^{5/4}}{\sqrt{441}} = 3,267$  (min<sup>-1</sup>)

従って、表 10-2 の標準回転速度から、50Hz 地区ならば 1,500 (min<sup>-1</sup>) もしくは 1,000 (min<sup>-1</sup>) が、60Hz 地区ならば 1,800 (min<sup>-1</sup>) もしくは 1,200 (min<sup>-1</sup>) が、水車回転速度の選定候補となる。選定した回転速度より、比速度を算出し、効率の設定に使用する。

(4) 水車効率の算定（フランシス水車、カプラン水車）

水車の出力と入力との比を効率といい、水車効率  $\eta_t = P_t / (9.8 \times Q_{max} \times H_e)$  で表される。

ここに、

$P_t$  : 水車出力 (kW)

$Q_{max}$  : 流量 (m<sup>3</sup>/sec)

$H_e$  : 有効落差 (m)

一般に水車は、全負荷もしくは部分負荷運転を考慮して最大流量の 80% 程度の流量において最高効率となるように設計されている。部分負荷もしくは過負荷になるほど効率は低下す

る。効率カーブは、水車の形式と比速度によって異なる。図 10-19 から図 10-21 に主要な水車形式ごとの比速度と模型水車効率の関係を示す。

模型水車とは、実際の水車設計の妥当性を検証するために、水車設計後に実機相似な模型水車を作成し、工場で性能の検証を行う水車のことを言う。この通常は模型水車の性能カーブを落差 1m、ランナ代表寸法 1m に無次元化して整理される。

前項で算出した回転速度による比速度により、効率の最大値を設定し、類似（比速度が同じ値）の模型水車の最大効率値を読み取り、以下の換算式で計画プロジェクトの値に換算する。

$$\eta_{tmax} = \frac{2 \times (\eta_{mmax} - 0.5(1 - (P_t/H_e^{1.5})^{0.1}))}{1 + (P_t/H_e^{1.5})^{0.1}}$$

ここに

- $P_t$  : 水車出力 (kW)
- $H_e$  : 有効落差 (m)
- $\eta_{mmax}$  : 模型水車効率最大値
- $\eta_{tmax}$  : 水車効率最大値

水車最大効率と水車定格（最大出力）時の効率差は 0.99 程度と評価されるため、水車定格出力時の効率は、水車効率  $\eta_{tmax}=0.99 \times \eta_{mmax}$  で与えられる。

水車効率が選定されると、水車出力が再計算される。このため、再度、比速度を計算し、同様に効率値の設定作業を行う。効率の値が大きく変化しなくなるまで、この作業を行う。通常 3 回程度、繰り返し作業が行われる。

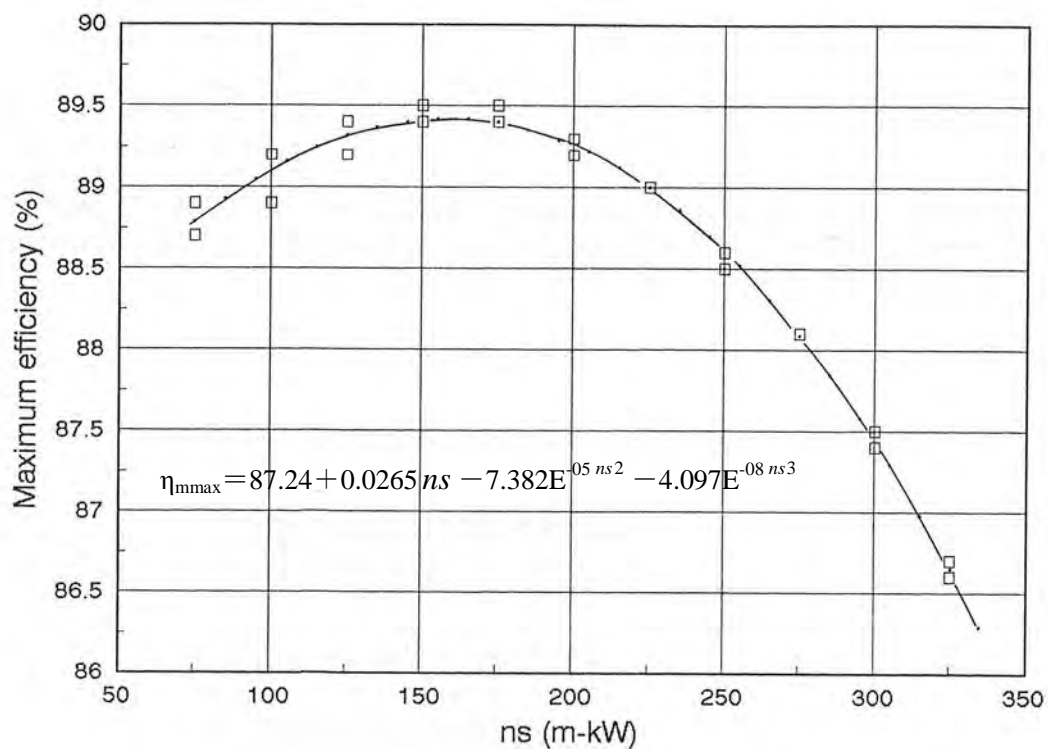


図 10-19 最大模型水車効率と比速度の関係（フランシス水車）

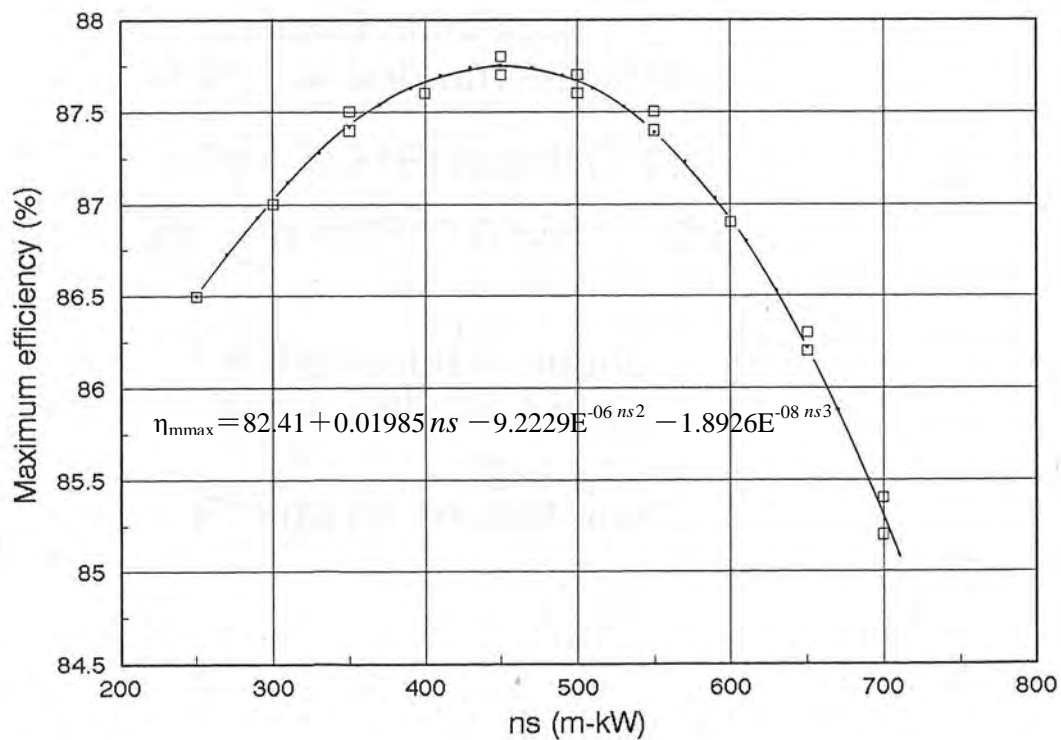


図 10-20 最大模型水車効率と比速度の関係（カプラン水車）

以下に算定例を示す。

水車形式 : フランス水車を選定  
 有効落差 :  $H_e = 100$  (m)  
 最大使用水量 :  $Q_{\max} = 0.5$  (m<sup>3</sup>/sec)  
 効率 :  $\eta_t = 0.9$  (仮定値) を設定  
 系統周波数 : 50 (Hz)

1 回目の計算

$$\begin{aligned} \text{水車出力} \quad P &= 9.8 \times Q_{\max} \times H_e \times \eta_t = 9.8 \times 0.5 \times 100 \times 0.9 = 441 \text{ (kW)} \\ \text{限界比速度} \quad ns_{\text{lim}} &= \frac{23,000}{H_e + 30} + 40 = 217 \text{ (m-kW)} \\ \text{回転速度} \quad n &= \frac{ns_{\text{lim}} \times H_e^{5/4}}{\sqrt{P_t}} = \frac{217 \times (100)^{5/4}}{\sqrt{441}} = 3,267 \text{ (min}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

表 10-2 の系統周波数 50Hz 地区から標準回転速度 750 (min<sup>-1</sup>) を選定し、比速度を算出する。

$$\text{比速度} \quad ns = n \times \frac{\sqrt{P_t}}{H_e^{5/4}} = 1,500 \times \frac{\sqrt{441}}{100^{5/4}} = 99.6 \text{ (m-kW)}$$

図 10-19 の最大模型水車効率と比速度の関係（フランス水車）より、最大模型水車効率  $\eta_{\text{mmax}} = 0.899$  を得る。これより、水車効率最大値を算出する。

$$\begin{aligned} \text{水車効率最大値} \quad \eta_{\text{tmax}} &= \frac{2 \times (\eta_{\text{mmax}} - 0.5(1 - (P_t/H_e^{1.5})^{0.1}))}{1 + (P_t/H_e^{1.5})^{0.1}} \\ &= \frac{2 \times (0.899 - 0.5 \times (1 - (441/100^{1.5})^{0.1}))}{1 + (441/100^{1.5})^{0.1}} \\ &= 0.895 \end{aligned}$$

$$\text{水車定格効率} \quad \eta_t = \eta_{\text{mmax}} \times 0.99 = 0.895 \times 0.99 = 0.886$$

2 回目の計算

$$\begin{aligned} \text{水車出力} \quad P_t &= 9.8 \times Q_{\max} \times H_e \times \eta_t = 9.8 \times 0.5 \times 100 \times 0.886 = 434.1 \approx 434 \text{ (kW)} \\ \text{比速度} \quad ns &= n \times \frac{\sqrt{P_t}}{H_e^{5/4}} = 1,500 \times \frac{\sqrt{434}}{100^{5/4}} = 98.8 \text{ (m-kW)} \end{aligned}$$

図 10-19 の最大模型水車効率と比速度の関係（フランス水車）より最大模型水車効率  $\eta_{\text{mmax}} = 0.899$  を得る。これより、水車効率最大値を算出する。

$$\text{水車効率最大値} \quad \eta_{\text{tmax}} = \frac{2 \times (\eta_{\text{mmax}} - 0.5(1 - (P_t/H_e^{1.5})^{0.1}))}{1 + (P_t/H_e^{1.5})^{0.1}}$$

$$= \frac{2 \times (0.899 - 0.5 \times (1 - (431/100^{1.5})^{0.1}))}{1 + (431/100^{1.5})^{0.1}}$$

$$= 0.895$$

水車定格効率  $\eta_t = \eta_{\text{mmax}} \times 0.99 = 0.895 \times 0.99 = 0.886$  (収束)

収束したことにより、求める水車の定格は以下となる。

水車効率	: 0.886
水車出力	: 434 (kW)
回転速度	: 1,500 (min <sup>-1</sup> )

(5) 水車効率の算定（ペルトン水車）

基本的にフランシス水車およびカプラン水車と同じ考え方、手法で水車効率が算出されるが、比速度がノズル数当りの値に規定されていることと、模型水車から実物水車への換算式が異なる。以下に最大模型水車効率から水車効率最大値への換算式を示す。ペルトン水車の比速度と模型水車最大効率の関係を図 10-21 に示す。

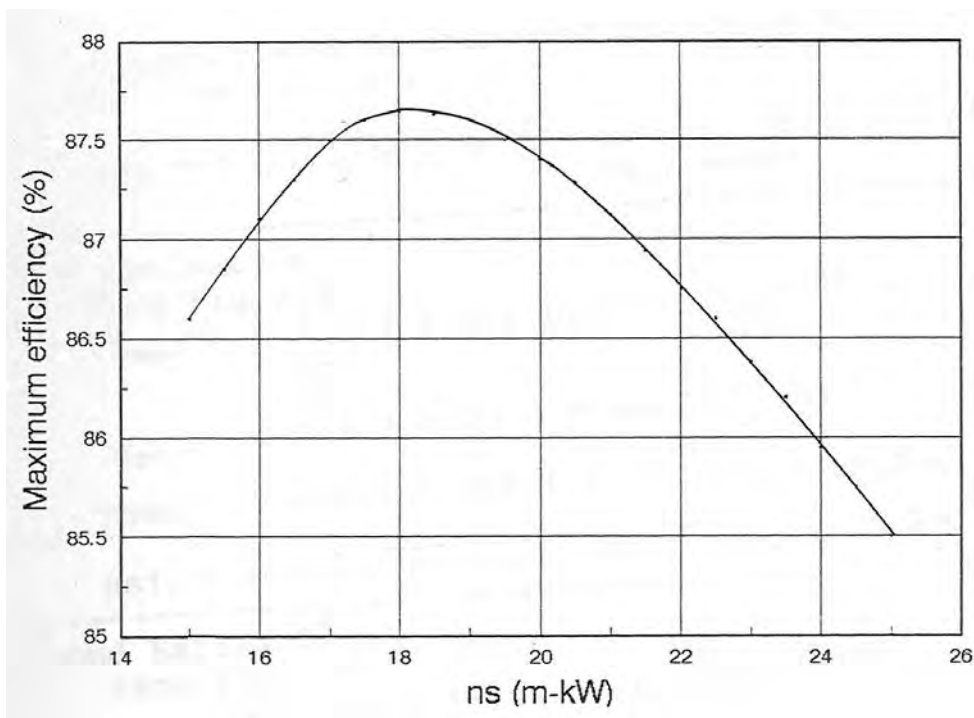


図 10-21 模型水車最大効率と比速度の関係（ペルトン）

$$\text{水車効率最大値 } \eta_{\text{tmax}} = \eta_{\text{mmax}} \times \left( \frac{P_t}{\text{Noj} \times 2500} \right)^{0.01375} \times \left( \frac{\text{Noj}}{4} \right)^{0.01475}$$

ここに

$P_t$  : 水車出力 (kW)

Noj : ノズル（ジェット）数  
 $\eta_{mmax}$  : 模型水車効率最大値  
 $\eta_{tmax}$  : 水車効率最大値

以下に算定例を示す。

水車形式 : 2射ペルトン水車  
 有効落差 :  $H_e = 150$  (m)  
 最大使用水量 :  $Q_{max} = 0.4$  (m<sup>3</sup>/sec)  
 効率 :  $\eta_t = 0.85$  (仮定値) を設定。  
 系統周波数 : 50 (Hz)

### 1 回目の計算

$$\text{水車出力 } P_t = 9.8 \times Q_{max} \times H_e \times \eta_t = 9.8 \times 0.4 \times 150 \times 0.85 = 499.8 \approx 500 \text{ kW}$$

4射ペルトン水車のためノズルあたりの出力  $P_j$  を求める。

$$\text{ノズルあたり出力 } P_j = P_t / \text{Noj} = 250 \text{ kW}$$

$$\text{限界比速度 } ns_{lim} = \frac{4,300}{H_e + 200} + 14 = 26.3 \text{ (m-kW)}$$

$$\text{回転速度 } n = \frac{ns_{lim} \times H_e^{5/4}}{\sqrt{P_j}} = \frac{26.3 \times (150)^{5/4}}{\sqrt{250}} = 873 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

表 10-2 の系統周波数 50Hz 地区から標準回転速度 750 (min<sup>-1</sup>) を選定し、比速度を算出する。

$$\text{比速度 } ns = n \times \frac{\sqrt{P_j}}{H_e^{5/4}} = 750 \times \frac{\sqrt{250}}{150^{5/4}} = 22.5 \text{ (m-kW)}$$

図 10-21 の最大模型水車効率と比速度の関係（ペルトン水車）より最大模型水車効率  $\eta_{mmax} = 0.866$  を得る。これより、水車効率最大値を算出する。

$$\begin{aligned} \text{水車効率最大値 } \eta_{tmax} &= \eta_{mmax} \times \left( \frac{P_t}{\text{Noj} \times 2500} \right)^{0.01375} \times \left( \frac{\text{Noj}}{4} \right)^{0.01475} \\ &= \eta_{mmax} \times \left( \frac{P_j}{2500} \right)^{0.01375} \times \left( \frac{\text{Noj}}{4} \right)^{0.01475} \\ &= 0.866 \times \left( \frac{250}{2500} \right)^{0.01375} \times \left( \frac{2}{4} \right)^{0.01475} = 0.830 \end{aligned}$$

$$\text{水車定格効率 } \eta_t = \eta_{mmax} \times 0.99 = 0.830 \times 0.99 = 0.821$$

### 2 回目の計算

$$\text{水車出力 } P_t = 9.8 \times Q_{max} \times H_e \times \eta_t = 9.8 \times 0.4 \times 150 \times 0.821 = 482.7 \approx 482 \text{ (kW)}$$

4射ペルトン水車のためノズルあたりの出力  $P_j$  を求める

ノズルあたり出力  $P_j = P_t / \text{Noj} = 241 \text{ kW}$

$$\text{比速度 } ns = n \times \frac{\sqrt{P_j}}{H_e^{5/4}} = 750 \times \frac{\sqrt{241}}{150^{5/4}} = 22.1 \text{ (m-kW)}$$

図 10-21 最大模型水車効率と比速度の関係（ペルトン水車）より最大模型水車効率  $\eta_{\text{mmax}} = 0.866$  を得る。これより、最大実機効率を算出する。

$$\begin{aligned} \text{最大実機効率 } \eta_{\text{tmax}} &= \eta_{\text{mmax}} \times \left( \frac{P_t}{\text{Noj} \times 2500} \right)^{0.01375} \times \left( \frac{\text{Noj}}{4} \right)^{0.01475} \\ &= \eta_{\text{mmax}} \times \left( \frac{P_j}{2500} \right)^{0.01375} \times \left( \frac{\text{Noj}}{4} \right)^{0.01475} \\ &= 0.866 \times \left( \frac{241}{2500} \right)^{0.01375} \times \left( \frac{2}{4} \right)^{0.01475} = 0.830 \end{aligned}$$

$$\text{水車定格効率 } \eta_t = \eta_{\text{mmax}} \times 0.99 = 0.830 \times 0.99 = 0.821 \text{ (収束)}$$

収束したことにより、求める水車の定格は以下となる。

水車効率	: 0.821
水車出力	: 482, (kW)
回転速度	: 750 ( $\text{min}^{-1}$ )

#### (6) 吸出し高さ

ペルトン水車、ターゴインパルス水車は、ノズル出口での有効落差をすべて速度水頭として利用する衝動水車である。従って反動水車と異なりノズルから放水位までの落差は利用できない。ランナ据付高さを放水位近くにすると、ランナを出た水によって泡立ったハウジング内部の放水面が盛り上がりランナ下面にあたり出力の低下を引き起こす。放水位からランナ据付高さは、ランナ形状や比速度によって異なるが一般的には2~3mとする。

洪水などで一時的に放水位が上がる場合には、最大使用水量時の放水位に合わせて据付高さを設定し、洪水時にはハウジング内部に圧縮空気を押し込んで水面を押下げて運転する方法もとられている。

クロスフロー水車のランナは、ペルトン水車と同様に空中で水を作用させるため、ランナ据付高さは、放水位より高くする。ランナ据付高さおよび有効落差は、吸出し管の有無により異なる。吸出し管を設けず、ランナに作用した水を直接大気中に放出する場合は、ペルトン水車と同様にランナ下端で泡立った放水面にあたらないように据付高さを定める。このためランナ中心から放水面までの落差は無効となる。吸出し管を設けた場合は、放水面から据付高さまでの落差の一部が回収される。

フランス水車、斜流水車およびプロペラ水車などの反動水車においては、吸出し管を設備しており、水車の放水路損失落差を最小にし、放水位までの落差を有効に利用することができる。この水車の中心位置と放水位までの高さを、吸出し高さと呼ぶが、この吸出し高さを放水位に近く、あるいは高くする方が洪水防護上また発電所基礎掘削の減少のためにも望ましい。しかし、吸出し高さがある程度より高くすると、ランナ翼背面の負圧が増加し、キ

キャビテーションの発生につながり、騒音、振動、効率低下などを引き起こし、またランナ自体の壊食を促進する。

キャビテーションの発生する条件を数量的に表す指標としてキャビテーション係数  $\sigma$  が用いられ、水車吸出し高さ  $H_s$  との関係は次式で表される。

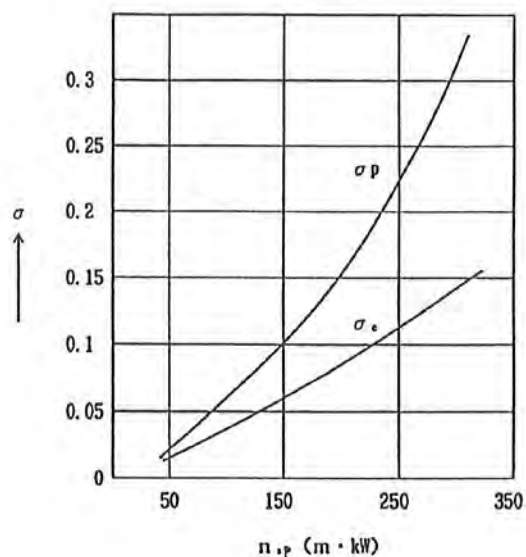
$$H_s = H_a - H_v - \sigma H$$

ここに、

- $H_s$  : 吸出し高さ (m)
- $H_a$  : 大気圧 (水柱m)
- $H_v$  : 飽和蒸気圧 (水柱m)
- $\sigma$  : キャビテーション係数 (図 10-22 および図 10-23 から求められる。)
- $H$  : 有効落差 (m)

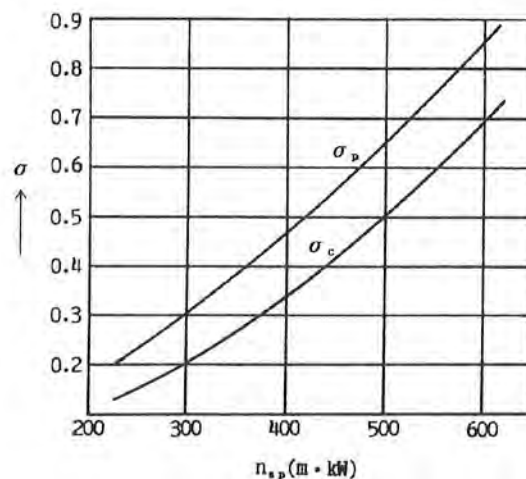
キャビテーション係数には、水車運転時に効率が低下し始める臨界キャビテーション係数  $\sigma_c$ 、実際に水車が据付けられる吸出し高さを示すプラントキャビテーション係数  $\sigma_p$  があり、フランシス水車およびカプラン水車における  $\sigma_c$  と  $\sigma_p$  の水車比速度  $n_s$  に対する関係を図 10-22、図 10-23 に示す。

また水車の吸出し高さ  $H_s$  は、ランナの指定点における放水位水面からの標高差を示し、各水車の指定点の位置を図 10-24 に示す。水車の中心でなく、キャビテーションの発生の観点からもっとも厳しい位置を指定点としている。



出典：電気学会標準規格 JEC-4001 水車およびポンプ水車

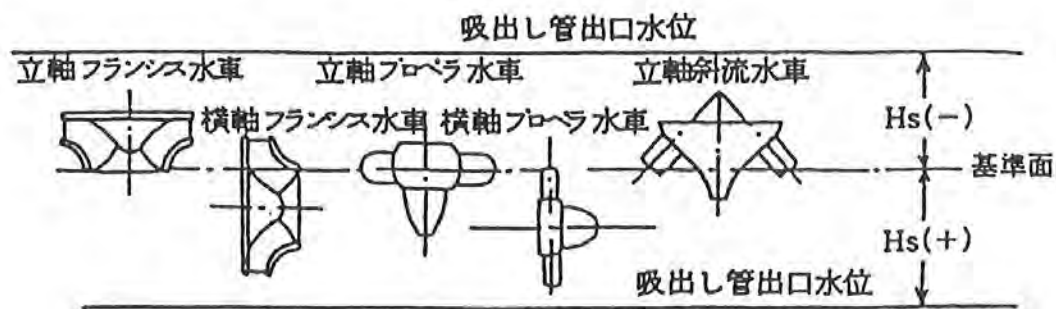
図 10-22 フランシス水車のキャビテーション係数



出典：電気学会標準規格 JEC-4001 水車およびポンプ水車

図 10-23 カプラン水車のキャビテーション係数





出典：電気学会標準規格 JEC-4001 水車およびポンプ水車

図 10-24 ランナの指定点と吸出し高さ

### 10.1.4 入口弁

入口弁は、水圧管路の末端部で水車ケーシングの直前に設置される。水車運転、停止時に開閉操作される止水弁である。入口弁は通常はガイドベーンが全閉で流れのない状態で動作するが、ガイドベーンもしくはガイドベーン操作機構が閉塞しない緊急時には、入口弁に水車全流量を流水遮断する能力を持たせる例もある。入口弁として適用される形式としては、ロータリー弁、蝶形弁および複葉弁の3形式がある。図10-25にその概略構造を示す。

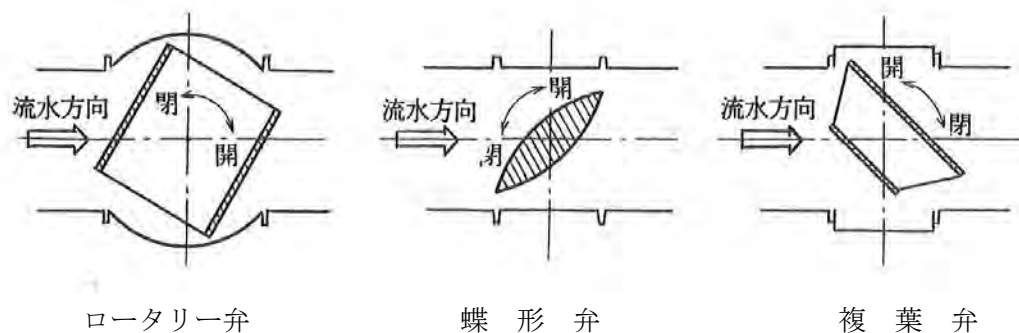


図 10-25 入口弁概要図

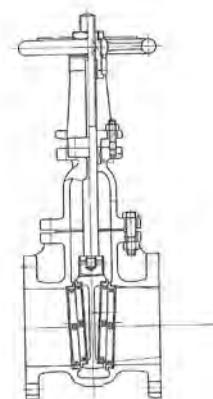
ロータリー弁は、球形の弁胴内に円筒状の弁体を設けたものである。弁全閉時は円筒の側面に取付けられたリング状のシール面で止水し、全開時は円筒の中空部が一本の管のように管路と水車ケーシングを接続する弁である。

蝶形弁は、円筒の弁胴内にレンズ状の弁体を設けたものである。全閉時はこの弁体が起立して流路を遮断して止水するが、全開時はレンズ状の弁体そのまま流路に横たわった状態で水圧管路と水車ケーシングを接続する弁である。

複葉弁は、円筒の弁胴内に円板状の止水板とそれを補強する平板の2枚を複数のリブでつない

だ弁体を設けたものである。全閉時の流路の遮断は弁体の止水板で行い、全開時は弁体そのものを流路に残し、流路を阻害するものは円盤とリブの断面だけで、弁体内部も流水が通過することができる。

入口弁の各形式は一般にロータリー弁が250m以上、蝶形弁は200m以下、複葉弁は350m以下の落差に適用される。70m程度以下の低落差の地点では、取水口と水車までの管路の長さにもよるが、水圧管路が短く、複数号機や他の利水分岐がない場合などにおいて、取水口ゲートに流水遮断機能を設備することで、入口弁を省略するケースもある。また、小規模水力発電所では、図10-26に示す汎用のスルース弁を入口弁に用いる例もある。



出典：JIS-B2031 ねずみ鋳鉄弁

図 10-26 スルース弁概要図

### 10.1.5 水車付属装置

#### (1) 調速機

調速機は、水車の回転速度および出力を調整するため、回転速度の変化に応じて、自動的に水車の開度を調整する装置である。調速機は、その速度調整機構を用いて、水車起動時には系統並列までの調速作用を行い、系統への並列後は出力調整を行うことができる。限られた負荷との単独運転時は、負荷の変動に応じて出力を調整し、周波数を一定に制御する。事故、送電線の故障などで系統から解列された場合は、ただちに水車を閉鎖し、水車と発電機の異常な速度上昇を防ぐ。

また、流れ込み式発電所では、水路の流入量に応じて水車流量を調整する水位調整器を設置している。水槽水位の変化に応じて調速機の負荷制限機構が作動して水車開度を加減するものである。近年、デジタル式が主流となっており、小規模水力発電所では、一体型配電盤として、起動、停止シーケンス制御だけでなく、発電機の励磁制御、調速制御も合わせて、制御用の PLC（Programmable Logic Controller）の内部にソフトウェア化される例もある。

単独系統に水車、発電機を接続する場合、発電機出力と需要（負荷）がアンバランスとならないよう、回転速度変化（発電機周波数）が定格値となるように、調速装置が水車の流量を調整する。ポンプ逆転水車などの流量調整機能を持たない水車を採用する場合、水車の部分負荷運転による損耗防止、水車構造、制御の簡素化によるコストダウンを目指して、水車の出力を調整せずに、余剰電力量の変動に合せえて、ダミーロードの量を電氣的に切り替えるダミーロード式調速機を採用することも可能である。

ダミーロード式ガバナーは、水車を最適の運転点で運転を行い、発電出力と需要との余剰電力量をダミーロード（抵抗）で消費する方式である。ダミーロード式調速機の運転制御システムの例を図 10-27 に示す。水冷式のダミーロードの例を図 10-28 に示す。水車は流量変化に応じた運転を行え、需要に変化に対する調整はダミーロードで行うため、水車の機械的な損耗を防止できる利点もある。ダミーロード式調速機は、200kW 程度以下の水車に適用可能である。

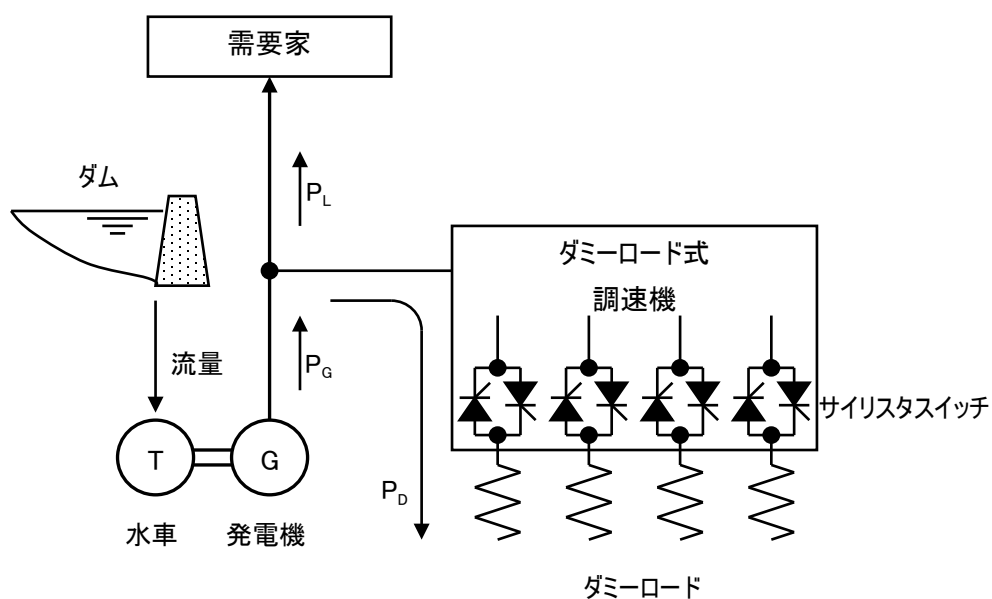


図 10-27 ダミーロード式調速機のシステム構成

ダミーロード式調速機は、 $P_G = P_L + P_D$ となるようにダミーロードの接続数をサイリスタスイッチで調整する。ただし、需要電力と発電電力の差は、発電機の回転速度の変化もしくは周波数として検出し調整を行う。

ここに、

- $P_G$  : 発電出力(kW)
- $P_L$  : 需要電力(kW)
- $P_D$  : ダミーロード消費電力(kW)



図 10-28 水冷式ダミーロード構造図

(2) 給水装置

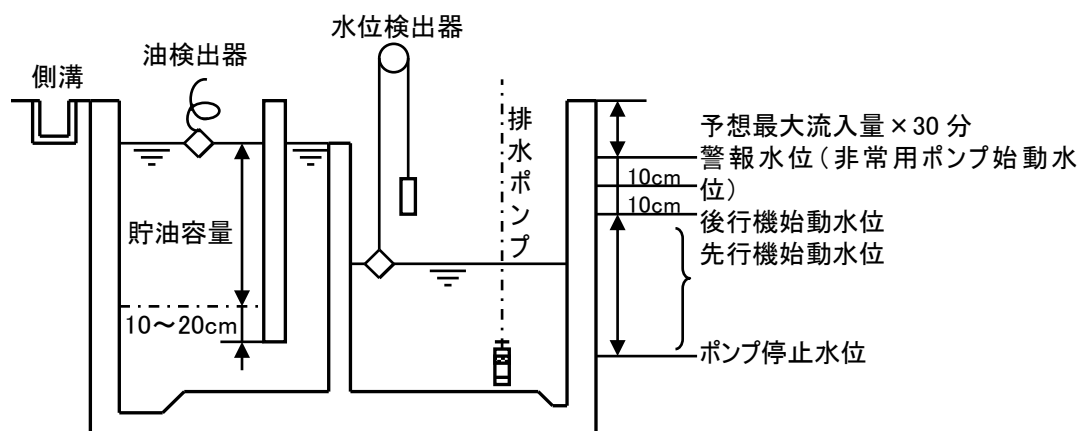
水車、発電機の軸受や発電機本体の冷却および消火用水等の給水設備である。落差が 30～150m の発電所では、水圧管路から自動弁、減圧装置を経由して給水される。落差が 150m 以上の発電所では、水圧の大きい水を使用することは減圧装置が大規模になることと、エネルギーのロスが大きくなるため、放水路から給水ポンプで汲みあげて給水する。管路もしくは給水ポンプにより取水した水は、自動ストレーナを経由して各冷却器に給水される。特に、主軸封水装置や、水潤滑軸受などに清浄水が要求される場合は、水の回転力を利用して水中の塵芥、砂を分離するサンドセパレータや急速ろ過装置が使用される。

数百 kW 程度の小容量の水車、発電機では、発電機の通風管による空冷、樹脂による主軸封水装置の採用、軸受ケース外部の放熱器による冷却、ヒートパイプの採用等により、冷却装置を省略することで、機器の合理化、保守性の向上を図っている。

(3) 排水装置

発電所内に侵入する水には、建屋周辺、基礎からの漏水、水車封水部からの漏水、作業時の水圧管路、ケーシング、各配管などの残水、雑用水等がある。これらは、発電所最下層に設けられた排水ピットに集められ、その水位によって排水ポンプが自動運転し建屋外に排水する。所内電源喪失時の対策として、ジェットポンプ、小水車ポンプ等が使用されるが、ジェットポンプは、有効落差 40m 以下の発電所では使用できない。排水ポンプの容量は、建物の大きさ、漏水量から設定される。排水ピットの容量は、停電故障時などが発生した場合に保守員が発電所に到着し、有効な対策を実施するのに必要な時間から設定される。

また、発電所内で潤滑油や作業用洗油などが流出しても、排水ピットに油水分離槽を設置し、直接河川に放出されないように対策する。ペルトン水車などで水車の据付高さが放水水位より高い場合は、発電所から自流させることも可能であるが、この場合でも油類が発電所外へ流出しないように排水ピットと油水分離槽を設置する必要がある。排水ピットと油水分離槽の設計例を図 10-29 に示す。



出典：電気協同研究 42 巻第 2 号 水車付属装置の設計指針

図 10-29 排水ピットの設計例

## 10.2 発電機

### 10.2.1 発電機の種類と形式

発電機は、主として突極回転界磁形の三相交流同期発電機である。近年、小容量で単独運転を行わない場合には、経済性を考慮して誘導発電機が採用される例も増えてきた。また、永久磁石発電機や直流発電機とインバータ（パワーコンディショナ）を組合せたものも開発されている。発電所の容量、負荷との関係、経済性等を考慮して最適なものを選定する必要がある。従来から使用されている同期発電機では軸方向、冷却方式等で以下のとおり分類される。

#### (1) 軸方向による分類

発電機は、横軸形と立軸形に分けられる。横軸形は高速機や小容量機に、立軸形は中、大容量機に適用される。軸方向の選定は、水車回転速度、寸法、出力および保守面等総合的に考慮して決定される。

#### (2) 冷却方式による分類

冷却方式により次の3形式の組合せに分類される。

- i) 冷却媒体（冷媒）の種類による形式（空気、水、水素）
- ii) 冷媒の通路および熱放散の形式（自由通風形、管路通風形、熱交換器形）
- iii) 冷媒の送り方の形式（自冷形、自力形、他力形）

発電機の場合、固定子、回転子を直接冷却する1次冷媒として空気、さらに2次冷媒として水を使用するものが一般的であり、概略次の形式にまとめられる。ごく稀な例として、大容量機で回転子、固定子内部を水で直接冷却する方式もある。

- 開放形（自由通風形）：小容量機に適用される。通常のモータ等もこれに分類される。
- 閉鎖風道換気形（管通風形）：中小容量機に適用される出口管通風形のものが多く、一般的に20MW程度まで用いられる。
- 閉鎖風道循環形（水冷熱交換器形）：循環形は風道内に空気冷却器を備え冷却水を供給する必要があるが、冷却能力が高く中容量以上で用いられる。

#### (3) 軸受配置による分類

##### 1) 横軸形

横軸形の発電機では、スラスト、案内軸受と発電機を含め一体構造とする図10-30に示すブラケット形と、それぞれ別ケースに収納し、発電機の前後に配置する図10-31に示すペディスタル形とに分類される。ブラケット形は小容量の発電機に採用例が多く、据付、調整が容易である。

##### 2) 立軸形

発電機の上、下部の案内軸受とスラスト軸受の配置により、普通形、傘形、準傘形および水車上カバー支持形に分類される。普通形は中小容量機に採用例が多く、準傘形は高速機から大容量機に採用される。傘形および水車上カバー支持形は低速度機で上部案内軸受を合理

化可能な場合に採用され、低落差の大容量機に採用例が多い。

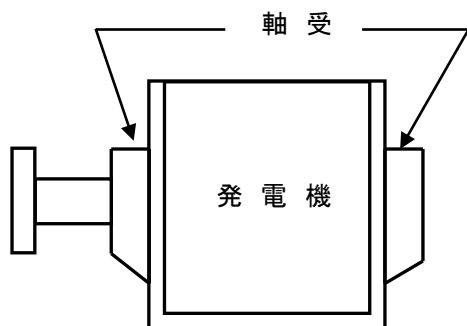


図 10-30 ブラケット形

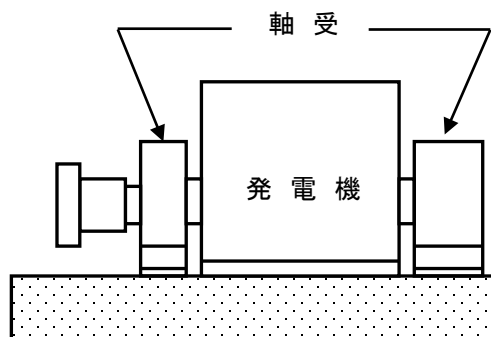


図 10-31 ペディスタル形

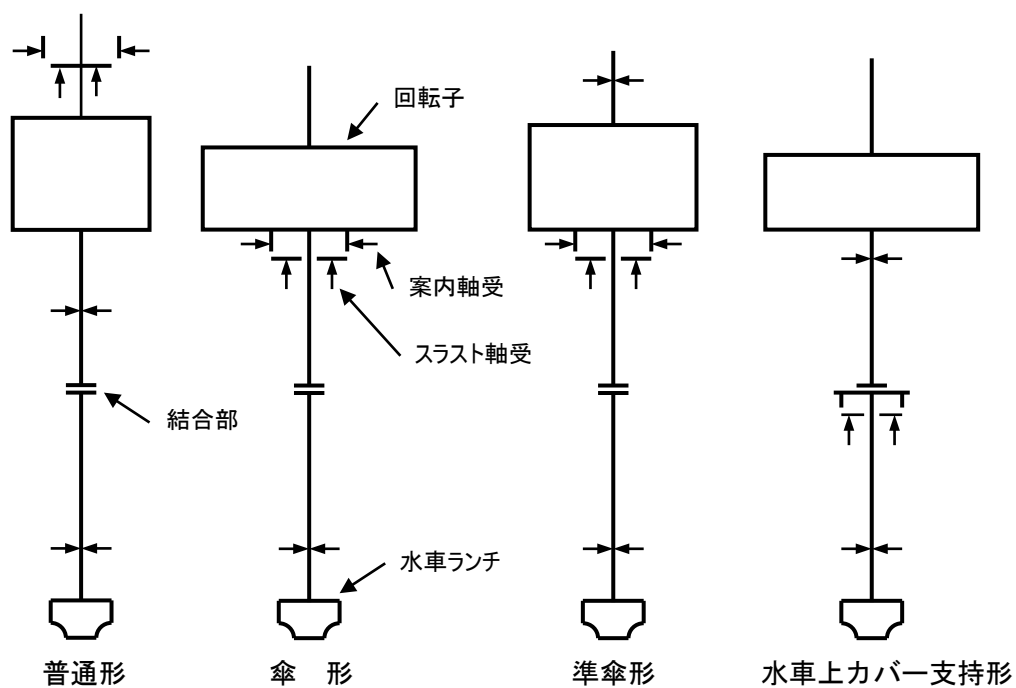


図 10-32 立軸形発電機の軸受配置による分類

## 10.2.2 発電機的设计

発電機的设计は次のように行う。

### (1) 出力と力率

発電機の定格容量は、定格力率において水車最大出力を電気出力にできる容量とするのが普通であり、水車最大出力から図 10-34 定格時の発電機損失実績より、以下のフローにより求められる。

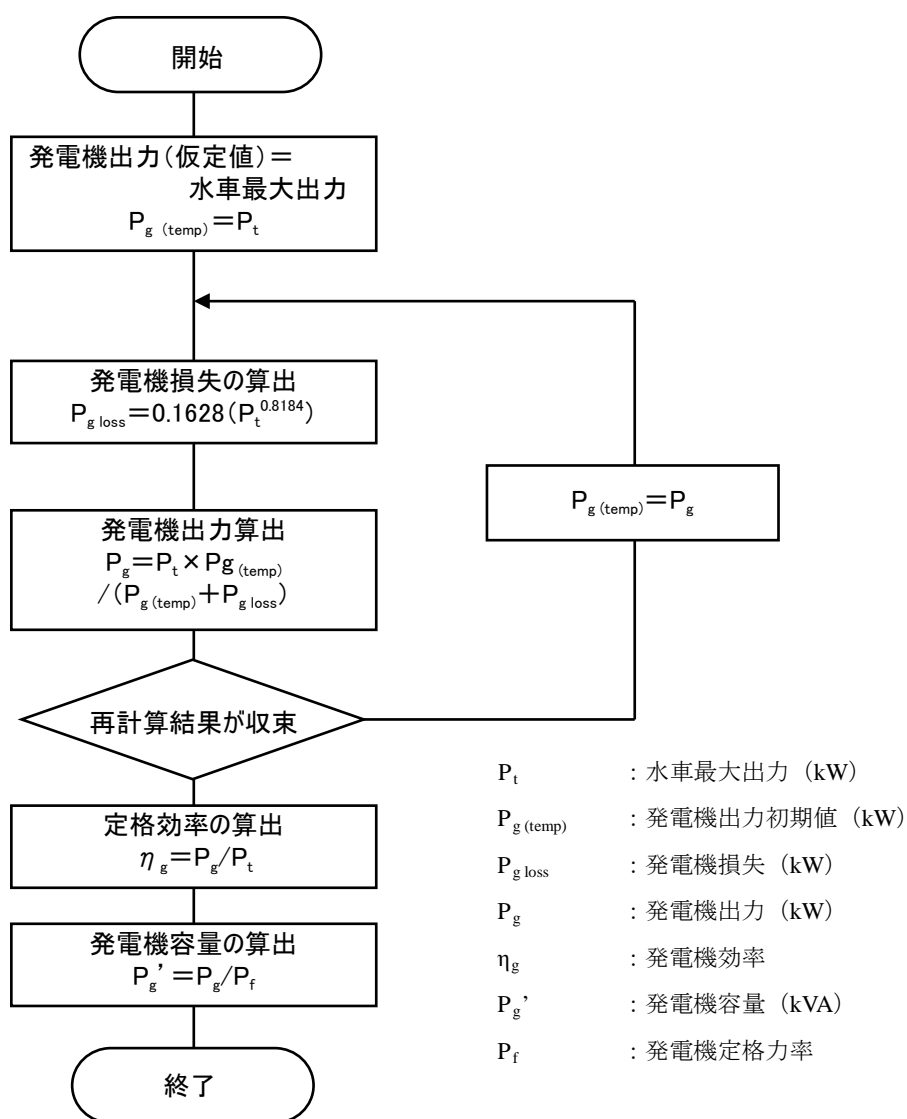


図 10-33 発電機容量の検討フロー

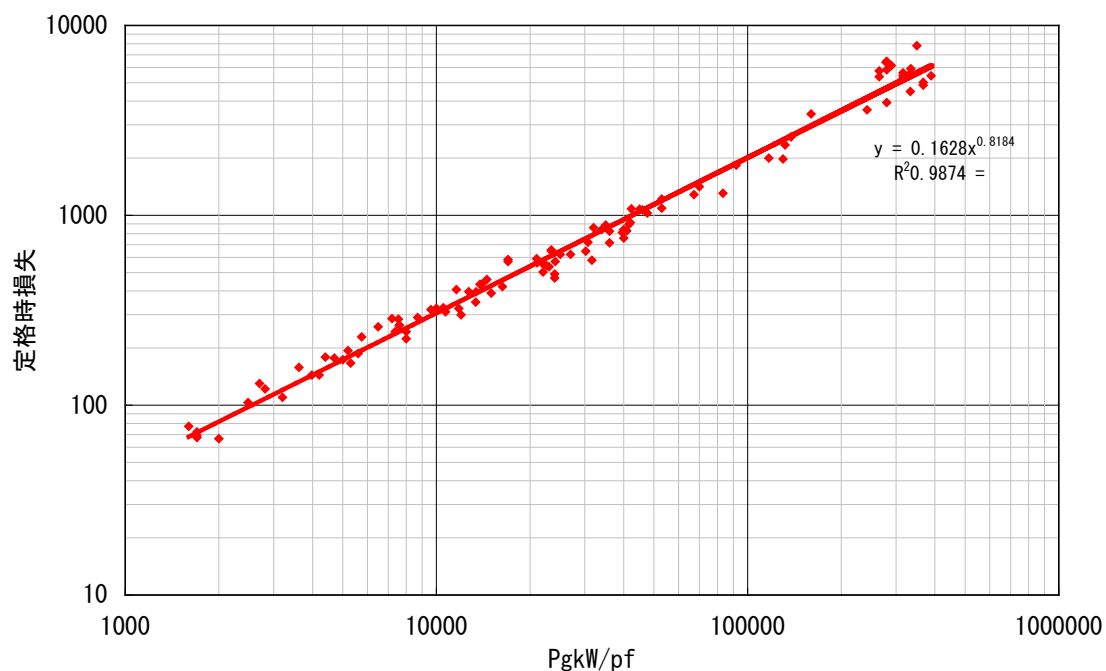


図 10-34 定格時の発電機損失 ( $P_{g \text{ loss}}$ )

以下に計算例を示す。

1 回目の計算

$$\begin{aligned}
 & \text{水車定格出力 } P_t = 434 \text{ kW とすると発電機出力初期値 } P_{g \text{ (temp)}} = 434 \text{ kW} \\
 & \text{発電機損失 } P_{g \text{ loss}} = 0.1628 (P_{g \text{ (temp)}})^{0.8184} = 23.5 \text{ (kW)} \\
 & \text{発電機出力 } P_g = P_t \times P_{g \text{ (temp)}} / (P_{g \text{ (temp)}} + P_{g \text{ loss}}) \\
 & = 434 \times 434 / (434 + 23.5) \\
 & = 414 \text{ (kW)}
 \end{aligned}$$

2 回目の計算

$$\begin{aligned}
 & \text{発電機出力初期値 } P_{g \text{ (temp)}} = 414 \text{ kW} \\
 & \text{発電機損失 } P_{g \text{ loss}} = 0.1628 (P_{g \text{ (temp)}})^{0.8184} = 22.6 \text{ (kW)} \\
 & \text{発電機出力 } P_g = P_t \times P_{g \text{ (temp)}} / (P_{g \text{ (temp)}} + P_{g \text{ loss}}) \\
 & = 434 \times 414 / (414 + 22.6) \\
 & = 412 \text{ (kW)}
 \end{aligned}$$

3 回目の計算

$$\begin{aligned}
 & \text{発電機出力初期値 } P_{g \text{ (temp)}} = 412 \text{ kW} \\
 & \text{発電機損失 } P_{g \text{ loss}} = 0.1628 (P_{g \text{ (temp)}})^{0.8184} = 22.5 \text{ (kW)} \\
 & \text{発電機出力 } P_g = P_t \times P_{g \text{ (temp)}} / (P_{g \text{ (temp)}} + P_{g \text{ loss}}) \\
 & = 434 \times 412 / (412 + 22.5) \\
 & = 412 \text{ (kW)} \text{ (収束、 } P_g = P_{g \text{ (temp)}})
 \end{aligned}$$

求める発電機出力  $P_g = 412 \text{ kW}$



$$\begin{aligned} \text{発電機効率 } \eta_g &= P_g / P_t = 412 / 434 \\ &= 94.9\% \end{aligned}$$

従って定格力率  $P_f = 0.95$  (95%) を採用するならば

$$\begin{aligned} \text{発電機定格容量 } P_g' &= P_g / P_f = 412 / 0.95 \\ &= 434 \text{ (kVA)} \end{aligned}$$

発電機効率は発電機出力および定格力率によって概略設定される。発電機定格力率は、負荷および電力系統の特性を考慮して決められる。通常は98%から85%程度が採用される。負荷との単独運転を実施しないならば、定格力率は100%近いほど発電機容量を小さく出来るため、発電機のコストを小さくできる。系統の電圧制御などの要求がないならば、98%程度に設定しても良い。

## (2) 周波数と回転速度および極数

通常、電力系統の周波数は、50Hz と 60Hz の 2 種類があり、接続する電力系統の定格周波数を採用する。水車の回転速度設定の項でも記載したが、同期発電機を採用する場合この周波数に従った回転速度が選択され、以下の式で表される。直流発電機、誘導発電機、および誘導発電機とインバータとの組合せシステムを採用するならばこの限りではない。

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

ここに、

- n : 回転速度 ( $\text{min}^{-1}$ )
- f : 系統の周波数 (Hz)
- p : 磁極 (ポール) 数

回転速度は、水車形式によって決まる限界比速度から決定される。回転速度を出来るだけ高くするほど発電機が小形となり経済的となるが、水車側の吸出し高さが大きくなることから、発電所の掘削量が多くなり、土木工事費が経済的に不利となる等の問題を生じることもあるため、総合的に経済比較をして決定する必要がある。発電機の標準回転速度を表 10-3 に示す。

表 10-3 標準回転速度（JEC-4001）

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

出典：電気学会標準規格 JEC-4001 水車およびポンプ水車

### (3) 電圧

発電機は電圧が高くなるほど固定子コイルの絶縁が厚くなり、導体の占有率が低下して重量が大きくなりコスト高となる。このため電圧は低めの方が有利となる。しかし、変圧器に至るまでの主回路の母線、開閉器類の容量を考慮すると低電圧かつ大電流となり、ケーブルサイズや接続導体が大きくなり、開閉器類の定格遮断容量の大きいものを設置する必要が生じ、総合的に勘案すれば経済的でなくなる場合もある。

これらを総合的に考慮して発電機の定格電圧を選定するが、計画段階の目安としては、発電機の容量に対して図 10-35 から、以下のとおり選定されるのが一般的である。

発電機容量 3MVA 以下       : 400 (V)  
                   3～10MVA       : 6.6 (kV)

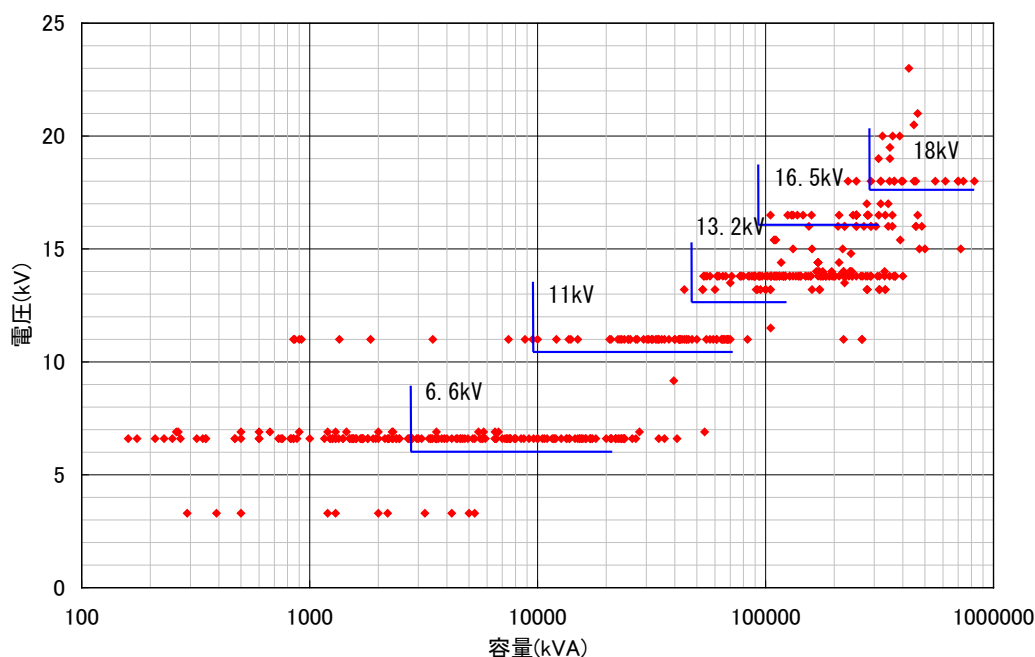


図 10-35 発電機定格容量と定格電圧の関係

(4) 電流

発電機定格電流は以下の式で求められ、これは発電機本体、変圧器までの主回路および開閉機器の仕様決定にとって重要な数値となる。

$$I_g = P_g' / \sqrt{3} / E$$

ここに

- $I_g$  : 発電機電流 (A)
- $P_g'$  : 発電機定格容量 (kVA)
- $E$  : 発電機定格電圧 (kV)

(5) 励磁装置

励磁装置は、発電機の回転子に界磁電流を与え、発電機の出力、電圧を制御する。サイリスタ、電源変圧器、自動電圧調整装置、スリップリング等で構成される。近年、小規模水力発電所向けに、一体型配電盤として、発電機の励磁制御も制御用の PLC (Programmable Logic Controller) 内部にソフトウェア化される例もある。

1) 励磁方式

現在使用されている励磁方式は以下のとおりである。

(a) 直流励磁方式

直流発電機を設置して界磁電流を供給する方式で、小容量機では分巻直流発電機が、中容量機以上では他励直流発電機が多い。励磁機の駆動方法は主軸直結が多い。直流発電機

が高価であり整流子のメンテナンスを要するため近年採用は少なくなっており、既設も他の方式に改造されることが多い。

(b) サイリスタ励磁方式

励磁用変圧器または交流発電機の出力をサイリスタ整流器で直流に変換して界磁電流を供給し、かつサイリスタの位相制御によって界磁電流を調整する励磁方式である。この方式は直流励磁方式に比べて整流子がないため保守も容易であること、制御スピードが高いなどの利点があり最近ほとんどこの方式が採用されている。

(c) ブラシレス励磁方式

発電機主軸に直結された回転電機子形交流発電機の出力を同一回転軸上に取り付けられた整流器で直流に変換し、スリップリングを介さずに直接界磁電流を回転子に供給する方式である。この方式は、スリップリングのブラシの保守が不要であるという特徴があり、中小容量機に用いられている。

2) 励磁機の容量と電圧

励磁機の容量は、発電機が定格出力かつ定格力率で運転するために必要な励磁電力に10%程度の余裕を加えたものとする。励磁機の電圧は、110V、220V、440Vのものが多く使用されている。

3) 自動電圧調整装置（AVR）

自動電圧調整装置（Automatic Voltage Regulator : AVR）は、発電機の電圧を一定に保つため、自動的に界磁電流を調整する装置である。発電機電圧の設定は、定電圧電源を電圧調整抵抗器によって調整し、これを基準電圧として発電機端子電圧とを比較し、その偏差信号によって界磁電流を調整する。

4) 自動力率調整装置（APFR）

大容量系統に比較的小容量の発電機が並列されている場合、発電機の電圧を一定にするのに必要な無効電力を発生させると、発電機が過電流になることがある。このような場合には、発電機電圧を系統電圧の変化に合わせて力率を一定にして運転する方が望ましく、このため自動力率調整装置（Automatic Power Factor Regulator : APFR）が使用される。小規模水力発電所では単独運転を実施する発電機以外は、この自動力率調整装置による一定力率運転を実施するのが一般的である。

## 10.3 変圧器

水力発電所の変圧器は、発電機電圧（主回路電圧）から送電線電圧への昇圧用に使用される主要変圧器、発電機電圧から所内電圧への降圧用に使用される所内変圧器と所内電圧から機器使用電圧への降圧に使用される所内低圧変圧器に区分される。

---

### 10.3.1 主要変圧器

水力発電所では、一般に屋外用三相変圧器が使用される。主要変圧器の冷却は、小容量のものは自冷式が採用される。屋内や地下発電所に設置する場合は、乾式変圧器が採用される。

主要変圧器の定格容量は、発電機の定格容量と同一に定める。電圧は一次電圧を発電機の定格電圧より5%程度低くするのが普通である。系統の高電圧化や発電機容量が小さく、定格力率が100%に近い場合は、発電機電圧に等しくすることもある。

また、小容量の発電所において、送電線電圧と発電機電圧が同じ電圧が選定されても、送電線からの雷サージ等の外乱が発電機に侵入するのを防止することと所内回路の短絡容量軽減のために、同電圧の絶縁変圧器を主要変圧器として設置する。

### 10.3.2 所内変圧器および所内低圧変圧器

所内変圧器および所内低圧変圧器の容量は、受電する給水ポンプ、排水ポンプなどの補機、照明、組立クレーンなどの消費電力から容量を算定する。屋内に設置されるこれらの変圧器類については、火災等の危険を避けるために乾式変圧器が採用される例が多い。安全を考慮して装甲開閉装置と同一箇所に並べて配置する。所内変圧器および主要変圧器のインピーダンスは、所内回路の短絡電流に影響するので、これらの機器の購入時には、インピーダンス値と短絡電流値の両方が適切な値になるよう検討する必要がある。

## 10.4 主回路接続方法および電気設備

### 10.4.1 主回路接続方法

水力発電所の主回路結線は、発電機の容量および台数、送電線回線数および引出し方式、発電所スペースなどの制約条件、所内電源の受電方法および配電線の有無、変圧器および開閉器の経済性と輸送条件、内部事故による停電範囲、故障修理および運転保守の安全性・容易性等について考慮し、発電所の信頼性、経済性および技術面から総合的に判断して決定する。

代表的な結線例を以下に示す。

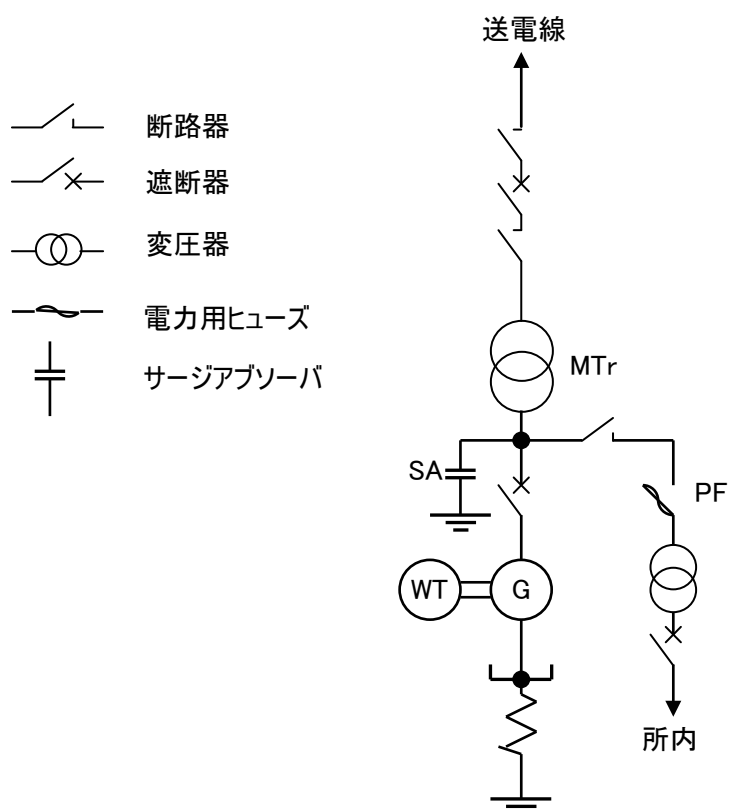


図 10-36 主機 1 台、送電線 1 回線の例

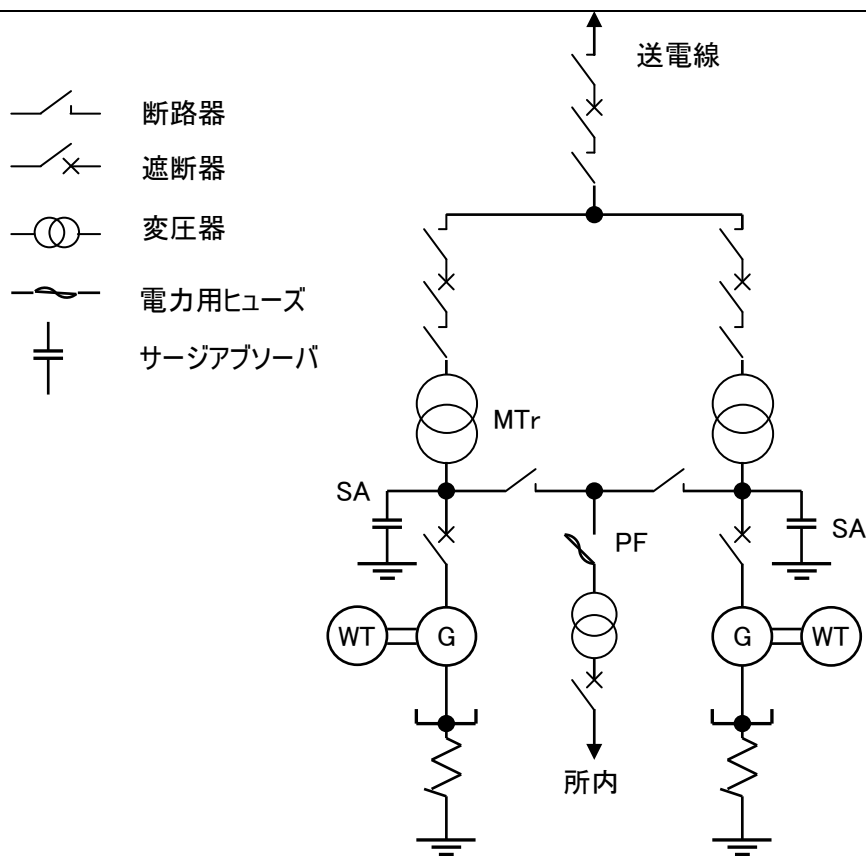


図 10-37 主機 2 台、送電線 1 回線の例

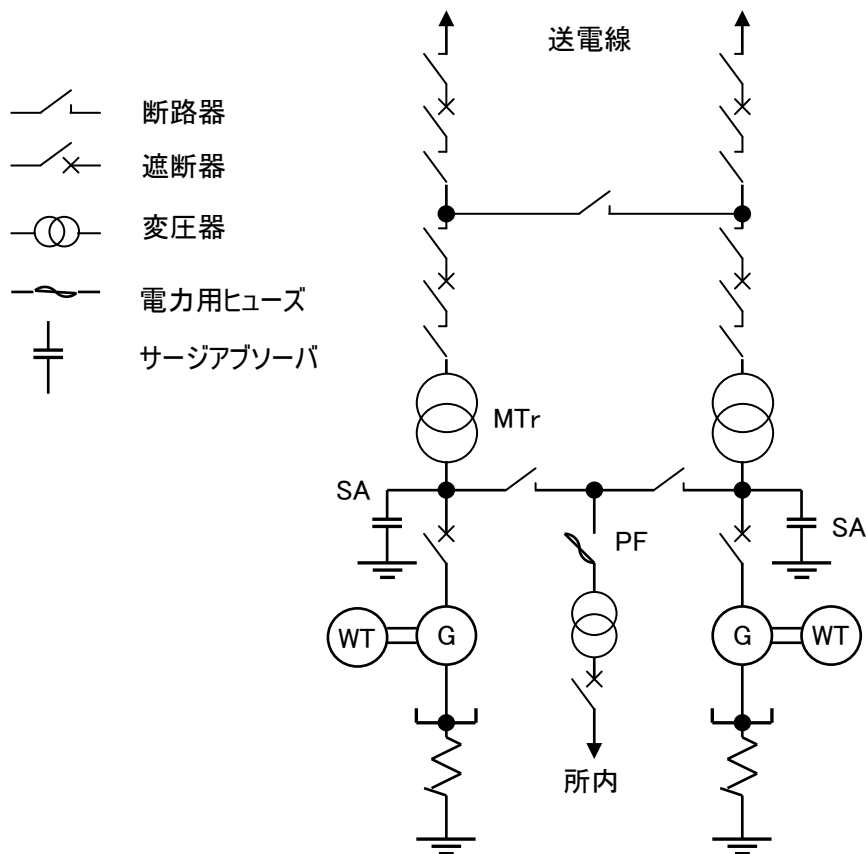


図 10-38 主機 2 台、送電線 2 回線の例

## 10.4.2 遮断器

遮断器は負荷電流の開閉だけでなく、故障時の短絡、地絡電流を遮断する装置で、表10-4に示す種類がある。操作方式は、空気操作、油圧操作、電気バネ操作がある。小規模水力発電所では、圧縮空気を使用しない設計とする例が多く、油圧操作もしくは電気バネ操作の採用例が多い。遮断器の選定は、表10-5に示すとおり、定格電圧別による適用機種があるのでこれを参考に機種選定を行う。以下に選定にあたって考慮すべき点を述べる。

### (1) 定格電圧

使用回路の最高電圧が遮断器の定格電圧を越えないように選定する。日本では系統電圧の公称電圧の 1.1～1.2 倍の定格電圧の遮断器を使うのが一般的である。たとえば、送電線公称電圧が 66kV ならば 72kV が定格電圧の遮断器を採用する。

### (2) 定格電流

遮断器に流れる負荷電流の最高値が定格電流を超えないように選定する。短時間ならば多少の過負荷電流を支障なく流すことができる場合もある。

### (3) 定格遮断電流

遮断容量に関する定格値は、遮断電流で表現されるので、使用回路の最大故障電流（通常は三相地絡）を計算して、これを上回る定格遮断電流の遮断器を選定する。計算する場合は、発電機のインピーダンスは、初期過渡値とする。一般には三相地絡電流を計算すれば充分であるが、零相インピーダンスが正、逆相インピーダンスより小さい回路では一線地絡電流が最大になるので、これを使用する必要がある。

表 10-4 遮断器の分類

種類	略号	消弧原理
油遮断器	OCB	消弧室内におけるアークによる絶縁油分解ガスの吹付け力により遮断する。
気中遮断器	ACB	大気中でアークを引き伸ばし、消弧室により冷却遮断する。
磁気遮断器	MBB	大気中で電磁力を使用して、アークを消弧室内部に導き、引き伸ばし冷却遮断する。
空気遮断器	ABB	圧縮した空気をアークに吹付けて遮断する。
真空遮断器	VCB	高真空における電子の高速度拡散により遮断する。
ガス遮断器	GCB	高絶縁性能を有した特殊ガス（SF6）をアークに吹きつけ遮断する。



表 10-5 定格電圧別の遮断器の機種

種 類	定格電圧 (kV)		
	7.2	12	24
磁気遮断器	○		
空気遮断器		○	
油遮断器	○	○	○
ガス遮断器			○
真空遮断器	○	○	○

### 10.4.3 断路器

断路器は負荷電流の開閉機能は持たず、電気機器を回路から切り離す場合に使用されるもので、母線、送電線の充電電流や変圧器の励磁電流等、定格電圧のもとに単に充電された回路を開閉する開閉器である。

断路器の種類、適用電圧を表10-6に示す。選定にあたっては、母線構成や据付面積等を総合勘案して選定する必要がある。なお、定格電圧および定格電流の決定は遮断器とほぼ同じである。

表 10-6 断路器の種類および適用

操作方式	種 類	適用電圧
手動操作	垂直 1 点切	7.2kV 以下
電動操作、空気操作	水平 2 点切	7.2kV～300kV

### 10.4.4 計器用変成器

計器用変成器には計器用変圧器（Potential Transformer：PT、またはPotential Divider：PD）および計器用変流器（Current Transformer：CT）がある。使用目的は高電圧、大電流の電気回路の計測用であり、変圧器、変流器の原理に基づき計器、継電器、電力量計に回路電圧、電流に比例した電氣量を供給するものである。

#### (1) 計器用変圧器（PT、PD）

使用場所の分類では、屋内形、屋外形、絶縁構造の分類では乾式、油入式、ガス絶縁式が、原理上の分類では巻線形、コンデンサ形がある。巻線形は通常の変圧器と同様の原理であり、一般的にはPTと、またコンデンサ形はPDと呼ばれ、コンデンサの容量分圧を利用したものである。電圧 22kV 以下では乾式が、66kV 以上では絶縁信頼度の高いコンデンサ形油入密閉式が用いられる。ガス絶縁開閉装置と組合せるガス絶縁形のPT、PDも開発されている。

#### (2) 計器用変流器（CT）

変流器のうち、使用場所および絶縁構造の分類は、計器用変圧器とほとんど同じである。巻線の構造の分類では、巻線形、貫通形、ブッシング形がある。発電機主回路あるいは所内

回路母線の計測用には、巻線形がこれ以上の電圧では油入密閉形、ガス絶縁形が用いられる。

#### 10.4.5 避雷器

電気設備、機器の絶縁を雷や開閉サージによる過電圧から保護する目的で使用される装置を総称して避雷装置といい、避雷器、保護ギャップ、保護コンデンサに分類される。避雷器は、雷または遮断器等の開閉に起因する波高値の高い過電圧（衝撃過電圧または開閉サージ電圧）が印加された場合、これに伴う電流を放電することにより過電圧を制限して、電気設備の絶縁を保護し、かつ続流を短時間のうちに遮断して通常状態に自動復帰する装置である。避雷器は過去には種々のものが採用されていたが、近年は保守性の良い酸化亜鉛形避雷器（ギャップレス避雷器）が採用されている。

#### 10.4.6 閉鎖配電盤

発電所の6.6kV所内回路、400V、200V、100Vの各電源の遮断器、断路器、計器用変圧器、計器用変流器を、安全を考慮して鉄製の箱に収納したものを、一括して閉鎖配電盤と呼ぶ。閉鎖配電盤は、発電所の補機、換気装置、雑電源、直流電源設備への電源の供給等の機能を負い、保守作業時等に適切に切り分けて区分可能なように考慮しなくてはならない。

#### 10.4.7 配電盤

水車、発電機、主回路、主要変圧器、送電線、所内回路等の運転、制御、保護を配電盤で行う。配電盤は機器の台数、送電線の回線数、制御方式、運転員の人数、発電所の規模、重要度を考慮して型式と配列を決定する。小規模水力発電所では、コストダウンを目指して、一体型配電盤として、起動、停止シーケンス制御、負荷、電圧などの調整制御、制御用のPLC（Programmable Logic Controller）に、前述の調速制御、励磁制御も含めてソフトウェア化する例もある。一体型配電盤の例を図10-39に示す。



**制御・保護**

- i) ヒューマンインターフェース
- ii) 自動同期装置
- iii) 故障表示機、表示復帰ボタン
- iv) 閉塞リレー復帰、警報リセット
- v) 非常停止ボタン
- vi) 並列用遮断器操作スイッチ
- vii) 電力量計

**制御・保護（内部配置）**

- i) 電源ユニット
- ii) CPU ユニット
- iii) GOV インターフェースユニット
- iv) AVR インターフェースユニット
- v) 保護リレー（過電流）
- vi) 保護リレー（地絡過電流）
- vii) 電源スイッチ、遠方切替スイッチ等

**補助（内部配置）**

- i) 補助リレー、タイマー
- ii) 速度検出センサー
- iii) 閉塞リレー
- iv) ケーブル接続端子

出典：一体型配電盤カタログ 東芝(株)

図 10-39 一体型配電盤

### 10.4.8 保護装置

保護装置は故障発生の際の影響を最小化することによって、下記の項目を減少させることを目的に設置するものである。

- 損害復旧の費用
- 故障が拡大し、他の部分に波及する可能性
- 発電停止する期間
- 電気事業者および需要家の損失

保護を効率的に行うために、水力発電所の保護は、発電機保護、変圧器保護、母線保護、送電線保護に区分して行っている。水車発電機保護の項目一覧の例を表10-7に示す。

表 10-7 水車発電機保護項目一覧例

保護種別	故障様相
非常停止 (電氣的故障)	発電機内部短絡、発電機内部地絡、発電機回路短絡、発電機回路地絡 発電機過電圧、発電機過電流、界磁喪失、主要変圧器内部短絡、 主要変圧器内部地絡、励磁装置重故障、制御装置（PLC）重故障
急停止 (機械的故障)	軸受温度上昇第二段、調速機故障、加速度、
緩停止	軸受温度上昇第一段、軸受油槽油面低下、冷却水断、励磁装置軽故障、 ステータコイル温度上昇、
警報	軸受油槽油面上昇、空気冷却器出口温度上昇、界磁回路接地、 冷却水不足、起動渋滞、補機運転異常、 排水ピット水位上昇、排水ピット油検出、主要変圧器温度上昇、

#### (1) 非常停止

発電機に電気故障が発生した場合で、系統に影響を与えないために故障発生と同時に並列用遮断器を開放し、系統からの故障電流の流入を断つとともに、励磁電源を切り発電機からの故障電流の供給も止め故障の拡大を防ぐ。

#### (2) 急停止

水車もしくは発電機に機械的な故障が発生した場合で、緊急に停止させる必要があるが、非常停止のように並列用遮断器で負荷遮断を行うと、回転速度上昇、水圧上昇により機械故障の拡大につながるため、これらの故障発生時にはガイドベーンを全閉し、無負荷にしてから並列用遮断器を開放し水車と発電機を停止させる。

近年、小規模水力発電所では、制御装置の簡素化を目的として、急停止モードを省略し、非常停止に統合した例もある。

(3) 緩停止

非常停止、急停止のように緊急に停止させる必要がないが、運転を継続した場合に故障が拡大する恐れのあるものを自動的に普通停止させる。

(4) 警報

機器の状況および各種計測データを確認し、運転継続の可否を運転員が判断するもので、必要に応じて発電機出力の抑制、または運転停止操作を行う。

#### 10.4.9 直流電源装置

直流電源装置は、配電盤、保護装置に制御用の直流を供給する設備であり、充電器、蓄電池およびインバータで構成されている。100kW以下の小規模の発電所では、直流電源装置を省略し、発電所全停電時は運転しないこと、水車および発電機を無拘束運転に耐える仕様として、交流で制御するプラントもある。また簡易的な直流電源設備としてパソコン等の汎用の無停電電源装置（Uninterruptible Power Supply : UPS、Constant Voltage Constant Frequency : CVCF）を採用する例もある。

#### 10.4.10 運転制御方式

運転制御方式は発電所の個々の規模、様式、電力システムに対する重要度、地理的条件、運転要員等を総合勘案して次の方式の中から選定する。また図10-40に標準的な発電起動制御フローを示す。

(1) 一人制御方式

配電盤で一人の運転員が水車、発電機の運転・停止操作、負荷・電圧調整、計測、記録、監視等ができ、故障発生した場合はその種別に応じ自動停止または警報するように設計された自動運転方式である。

(2) 遠方監視制御方式

水車、発電機の運転・停止操作、負荷・電圧調整、監視等を近傍の別の発電所もしくは給電指令所から行い、故障発生の場合は、その種別に応じ自動停止または警報をするように設計された自動運転方式である。この方式は、通信技術、コンピュータ技術の進歩および運転員の省力化により、積極的に採用されるようになってきており、10箇所以上の発電所を一つの制御所から集中制御する方式もある。

(3) 全自動制御方式

予め設定した起動条件が成立すると、水車、発電機は自動起動し、負荷を自動的に調整して運転を継続し、所定の停止条件または故障の場合には自動停止を行うように設計された自動運転方式である。自動運転条件は、時刻と指定負荷によるスケジュール運転や流れ込み式発電所における貯水池水位や水槽水位が採用される例が多い。

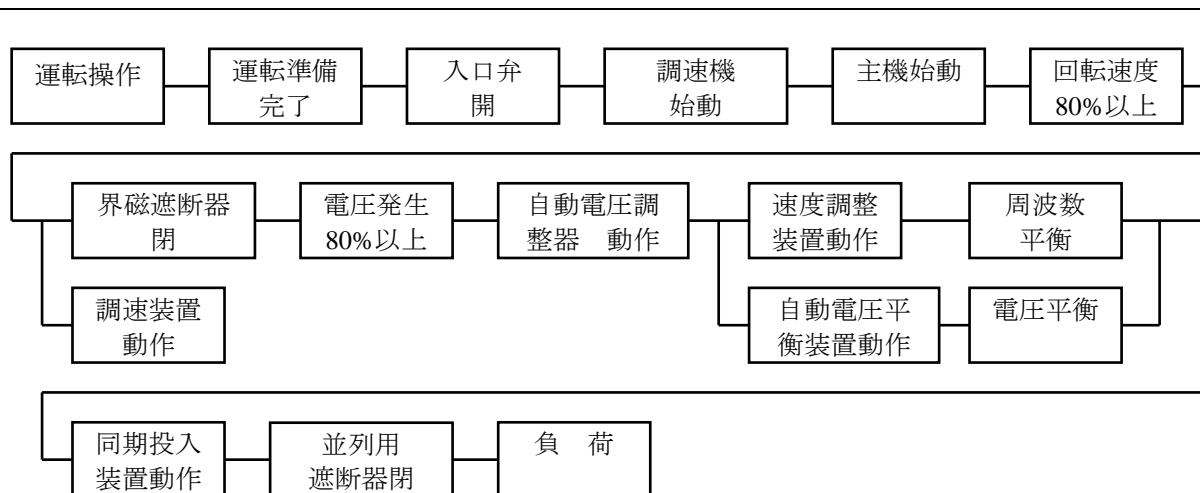


図 10-40 水車、発電機の標準的な起動シーケンスフロー

## 10.5 その他の機器

### 10.5.1 クレーン

水力発電所の水車、発電機の据付、組立用に、天井クレーン、ガントリークレーンが設置される。この場合、クレーンの巻上げ荷重の最大値は、発電機回転子の吊上げ荷重となる例が多い。また、発電所が地下や立抗深くに設置される場合、組立用クレーンとは別に、機器および資材の搬入用のクレーンが設置されることがある。小容量の発電所では、組立クレーンに変えて、トラッククレーン、小形電動ホイスト、手動ホイストおよびチェンブロックを利用する例もある。

### 10.5.2 接地線

送電線および発電機の地絡故障時に、発電所から地絡箇所に向けて地絡電流が流れるため、発電所には接地網を設置し、対地抵抗を規定値以下とし、歩幅電圧、タッチ電圧によって安全上の問題が生じないようにする必要がある。水車、発電機、補機、閉鎖配電盤、配電盤などの電気機器すべてを適切に接地網に接続する必要がある。

接地抵抗は、現地の基礎岩盤等の比抵抗を測定、もしくは推定して、接地抵抗実現に必要な面積を設計する。発電所基礎掘削、基礎コンクリート打設作業、フローコンクリート配筋作業時に接地線を網状に施工し、各機器の設置場所に機器を接続する接地線を設ける必要がある。配筋、コンクリート打設工事と錯綜するため、土木事業者との協調が重要である。屋外開閉所等でも基礎掘削時に接地線の埋設が同時作業となる。接地抵抗は施工後実測して確認するが、規定値に達成していない場合は、追加埋設が必要となる。

接地抵抗の目標値は、その国の電気保安基準で定められているが、概略として以下の値程度である。

直接接地系統の発電所（主要変圧器中性点が直接接地）	: 1Ω 以下
非直接接地系統の発電所 （主要変圧器中性点非接地、抵抗接地、リアクトル接地など）	: 10Ω

第10章の参考文献

- [1] 中小水力発電ハンドブック（新訂第5版）、新エネルギー財団、1997年
- [2] 水力開発ガイドマニュアル、新エネルギー財団、1996年
- [3] ハイドロタービン、ターボ機会協会、1991年
- [4] 電気工学ハンドブック、電気学会
- [5] TURGOIMPULSE TURBINE Gilkes 社 Catalog
- [6] ポンプ逆転水車カタログ、クボタ（株）
- [7] 水車附属装置の設計指針、電気共同研究 42 巻第 2 号
- [8] 一体型配電盤カタログ、東芝（株）
- [9] 標準規格 JEC-4001 水車およびポンプ水車、電気学会 1997 年
- [10] ねずみ鋳鉄弁、JIS-B2031

# 第 11 章

## 配電設備の設計



## 第11章 配電設備の設計

### 11.1 ミニグリッドの計画

一般的に小規模独立系統（以下、ミニグリッドと呼ぶ）を対象とした配電設備を計画するときには、以下の点を考慮に入れて設計する必要がある。なお、配電設備の計画・設計には、安全とライフサイクルコストを考慮するため、ミニグリッドにおける配電設備と一般の配電設備は技術的に同じである。

- 対象国の電力設備に適用される技術基準を満たしているか？
- 対象国の安全基準を満たしているか？
- 電化対象となるすべての需要家に対象国の電力基準で決められた品質以上の電力を供給することができるか？
- 初期投資だけでなく維持管理を含めたライフサイクルでのコストは最小か？

なお、小規模水力発電所による地方電化では供給可能な電力は限られており、大規模系統における系統計画において必要な長期計画に基づく将来の拡張性などはあまり考慮する必要が無い。

### 11.2 配電方式

#### 11.2.1 配電電圧

基本的に、対象国における配電電圧は電力技術基準等で定められているため、中圧電圧および低圧電圧ともそれに従う必要がある。もし定められていない場合には、表11-1および表11-2に記載の通りIEC<sup>1</sup>60038で定められた電圧を用いることが望ましい。一般的には、20kV級／230・400V配電方式が多く用いられている。

表 11-1 標準電圧（中圧）

Series I (50Hz と 60Hz)			Series II (60Hz)	
機器用最高電圧 (kV)	公称電圧 (kV)		機器用最高電圧 (kV)	公称電圧 (kV)
3.6 <sup>1)</sup>	3.3 <sup>1)</sup>	3 <sup>1)</sup>	4.40 <sup>1)</sup>	4.16 <sup>1)</sup>
7.2 <sup>1)</sup>	6.6 <sup>1)</sup>	6 <sup>1)</sup>	—	—
12	11	10	—	—
—	—	—	13.2 <sup>2)</sup>	12.47 <sup>2)</sup>
—	—	—	13.97 <sup>2)</sup>	13.2 <sup>2)</sup>
—	—	—	14.52 <sup>1)</sup>	13.8 <sup>1)</sup>
(17.5)	—	(15)	—	—
24	22	20	—	—
—	—	—	26.4 <sup>2)</sup>	24.94 <sup>2)</sup>
36 <sup>3)</sup>	33 <sup>3)</sup>	—	—	—
—	—	—	36.5 <sup>2)</sup>	34.5 <sup>2)</sup>
40.5 <sup>3)</sup>	—	35 <sup>3)</sup>	—	—

出典：IEC60038, 2002 年 7 月

<sup>1</sup> 国際電気標準会議、International Electrotechnical Commission

注：上記電圧は、特記のあるものを除き3相3線方式での線間電圧を示している。なお、( ) は新規系統に用いるべきではない。

1) 公衆の配電系統で用いるべきではない。2) 一般的に4線方式である。3) 統一化が検討されている。

表 11-2 標準電圧（低圧）

3相4線式		単相3線式 (単相2線式を含む)
公称電圧 (V)		公称電圧 (V)
50Hz	60Hz	60Hz
—	120/208	120/240
—	240	—
230/400	277/480	—
400/690	480	—
—	347/600	—
1,000	600	—

出典：IEC60038, 2002年7月

注：1値のみは3線方式の線間電圧であり、2値あるものは対地電圧／線間電圧である。

### 11.2.2 中圧配電方式

中圧配電方式は、大きく中性点の接地方式により分類できる。接地方式は、直接接地方式、抵抗接地方式、消弧リアクトル方式および非接地方式があり、接地箇所数によって、単一接地方式と多重接地方式に分けられる。図11-1、図11-2および表11-3に各中性点接地方式とその特徴を示す。それぞれ地絡時の異常電圧、通信線などへの誘導障害、低圧線路との混触時の低圧側電位上昇に違いがあり、主に配電電圧や施設条件によって選択する。一般的に、11kV以下は非接地方式、20kV以上は抵抗接地方式が用いられている。

上述の配電方式は、3相負荷を含む配電方式を対象にしている。単相負荷のみを対象にした地方電化で特に需要が小さい場合では、SWER (Single Wire Earth Return) 方式が用いられることもある。SWER方式は、図11-3にあるように中圧電線は1本のみで、帰路は大地を使う。使用する絶縁変圧器はコストが高いが長距離になればなるほど電線コストが安くなるため、ニュージーランド、オーストラリア、アフリカなどで広大なエリアに負荷が点在しているような場合に用いられている。初期投資が小さく、維持管理のコストが余りかからない利点があるが、電流が大地を通ることによって公衆災害の可能性があること、他の配電方式と比べて通信設備に対する電磁誘導が大きいこと、負荷が一定量を超えるとSWER方式では対応できず単相2線式など配電方式を変更しないとイケないことなど問題点も多い。

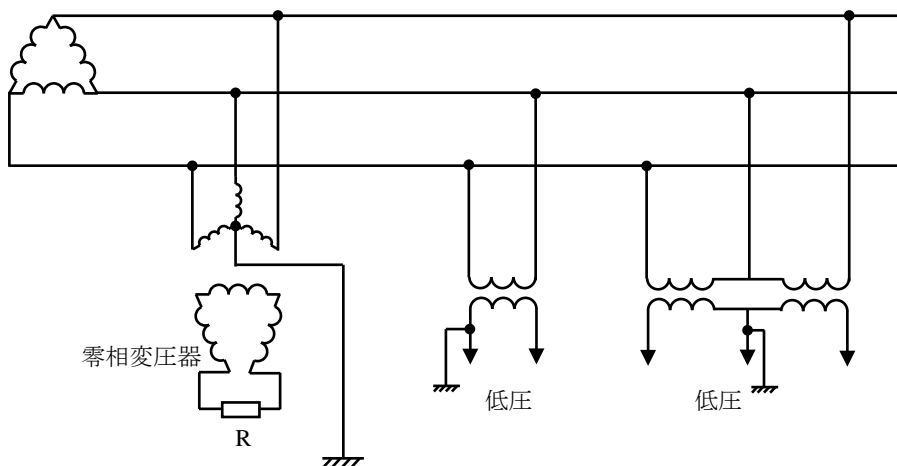
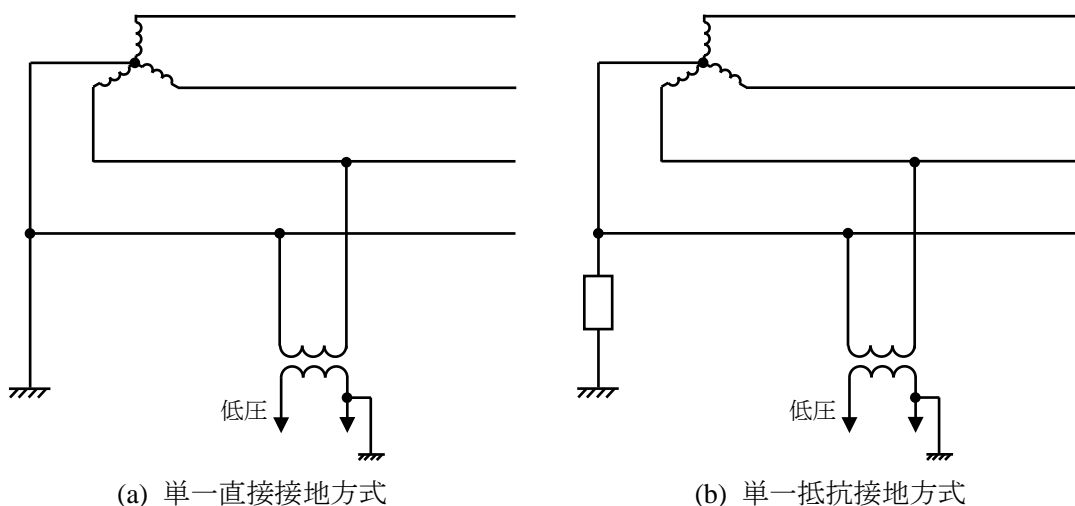


図 11-1 中性点非接地方式



(a) 単一直接接地方式

(b) 単一抵抗接地方式

図 11-2 中性点接地方式

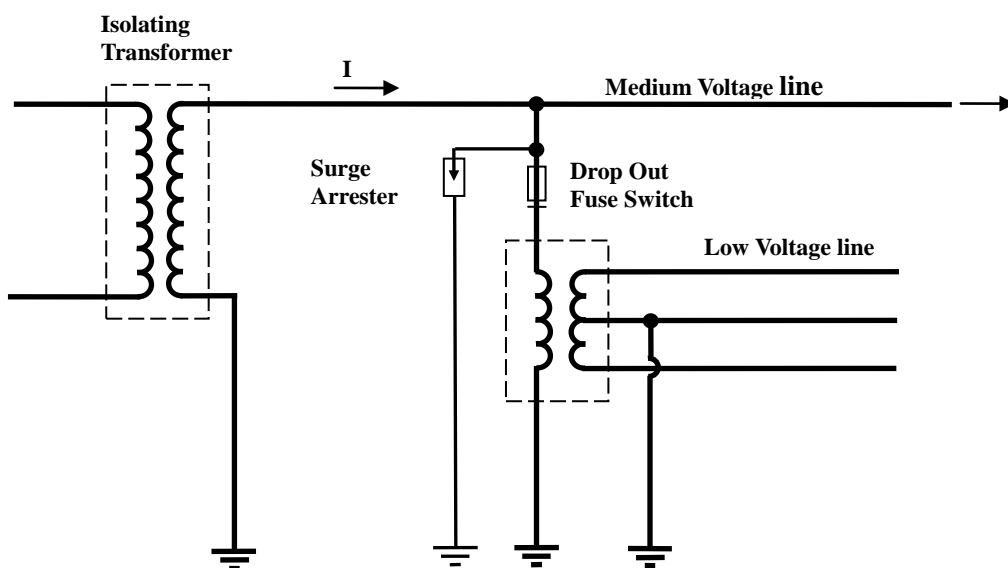


図 11-3 SWER 方式

表 11-3 各種接地方式の比較

接地方式		直接接地	抵抗接地			リアクトル接地	非接地	備考							
項目			40～90Ω	200Ω前後	500Ω (22kV) 950Ω (33kV)										
異常電圧	開閉サージ	投入サージが問題であり、その大きさは接地方式に直接左右されない						絶縁設計面から採用困難とする接地方式はない							
	一線地絡 定常	1.3 倍以下	$R_0/X_1 > 10$ ならば 2.0 倍以下 ・2.0 倍以下の条件を満たす対地容量のインピーダンス $R_N$ 50 190 950 $X_C > 250\Omega > 300\Omega > 600\Omega$ ・モデル系統の $X_C$ 都市 150～1,500Ω 周辺 180～6,700Ω 郡部 3,700～10,000Ω			過補償なら $\sqrt{3}$ 倍以下	$X_0/X_1 < 10$ ならば 2 倍以下								
		過渡	1.5 倍以下	$R_0/X_1 > 10$ ならば 3.0 倍以下			過補償なら 2.5 倍以下		$X_0/X_1 < 10$ ならば 3 倍以下						
	一線断線	問題なし			<table border="1"> <tr> <td><math>\alpha</math></td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td><math>V_0</math></td> <td><math>5E_a</math></td> <td><math>2.5E_a</math></td> <td><math>1.7E_a</math></td> <td><math>E_a</math></td> </tr> </table> ただし $\alpha = \text{過補償率} = (3X_L - X_C)/3X_L$	$\alpha$	0.1		0.2	0.3	0.5	$V_0$	$5E_a$	$2.5E_a$	$1.7E_a$
$\alpha$	0.1	0.2	0.3	0.5											
$V_0$	$5E_a$	$2.5E_a$	$1.7E_a$	$E_a$											
弱電への誘導	一線地絡時 平常時	大 多重接地の場合は、負荷不平衡電流の大地分流により障害あり	中 問題なし			小 問題なし	小 問題なし	直接接地は採用不可、抵抗接地は低抵抗なほど苛酷							
低圧との混触時の低圧側電位上昇	過大	大	中			小	小								
地絡保護	波形歪	問題なし	小	中			大								
	適用可能リレー	OC	3CT+DG	ZCT+DG 3CT+DG の場合もある			CT+OCG、GPT+OVG、ZCT+DG ZCT+DG は故障点条件によって誤動作・不動作する場合があります、DG の性能について慎重な配慮が必要である	リレー開発が必要な場合もあるが、解決困難な問題はない							
	故障検出感度	あまり高くできない	100～900Ω (10～30%)	2,000Ω (10%)	4,500～8,500Ω (10%)	10,000Ω 程度		( ) は DG の最低検出感度設定値							

(注)  $R_0$ : 零相抵抗、 $X_1$ : 正相リアクタンス、 $V_0$ : 零相電圧、OC: 過電流継電器、OVG: 地絡過電圧継電器、3CT: 各相 CT3 台の残留回路を使用するもの、 $X_0$ : 零相リアクタンス、 $X_C$ : 対地容量のリアクタンス、OCG: 地絡過電流継電器、DG: 地絡方向継電器、ZCT: 零相変流器、 $X_L$ : リアクトルのリアクタンス

出典: 「20kV 級配電方式 (架空編)」第 30 巻第 3 号、電気協同研究会

### 11.2.3 低圧配電方式

低圧の配電方式は、電灯負荷に対しては単相2線式または単相3線式、動力負荷に対しては3相3線式が適用される。一般的には、電灯負荷と動力負荷の両方に供給できる方式として3相4線式がよく使用されており、標準電圧230/400Vでは星型結線3相4線式が普及している。各方式の適用は、適用場所における需要の形態、密度などにより最も適した方式が選択される。

### 11.3 線路計画

線路計画では、施設場所、地形、経過地、ほかの工作物との関係など工事だけでなく維持管理が行いやすいルートを選定する必要がある。具体的には、以下の点に留意してルート選定を行う。

- 道路沿いであること
- 伐採が必要な樹木が少ないこと
- 地滑りや山崩れ、洪水などの自然被害を受けにくいこと
- 通行困難な沼地や山地を避けること
- 河川や道路などの交差箇所をできる限り少なくし、横断する箇所はできるだけ直交すること
- 線路はできる限り直線路を選び、支持物間の高低差および両側スパン差が少ないこと
- 水田や畑などを経過するときはできる限り畦に支持物を建てられること

### 11.4 電气的設計

#### 11.4.1 線路定数

配電線路は、図11-4のように抵抗、インダクタンス、キャパシタンス、漏れコンダクタンスの4つの定数（線路定数）を連続してもつ電気回路である。したがって、配電線路の電気特性を計算するには、この線路定数を知らなければならない。これらの線路定数は、電線の種類、太さ、配置によって定まるもので、電圧、電流、力率などにほとんど影響されないものである。また、配電線路は送電線路と比較して電圧が低く距離も短いため、平常状態では抵抗とインダクタンスのみを考えればよい。

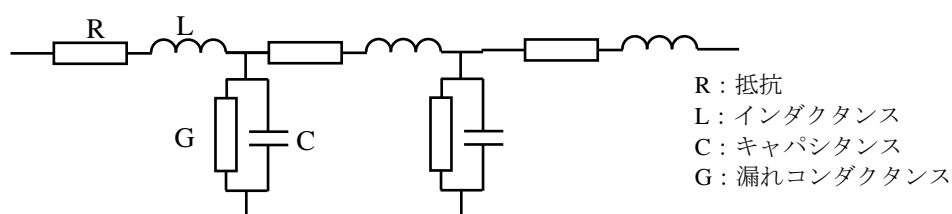


図 11-4 線路定数

#### 11.4.2 電圧降下

電圧降下とは、配電線路に負荷電流が流れた時に発生する、送り出し電圧と受電電圧との差である。電圧降下を計算する目的は、各負荷の最大電圧と最小電圧を計算し、それぞれ基準値以内

になるかどうかを求めることである。通常、基準値の範囲は、対象国の電力技術基準に記載されているが、一般的に公称電圧の±10%以内である。

配電線路は負荷が位置、容量、種類など様々に分散しているため、電圧降下の計算は複雑になる。よって、負荷分布の代表的な形についてそれぞれ分散損失係数を求めておき、これから電圧降下の概略値を得る方法が一般的にとられている。ただし、電源が複数ある場合は、この方法は用いることが難しく、別途計算ソフトなどを用いて潮流計算を行い、各地点の電圧を求める必要がある。

### 11.4.3 電力損失

配電線における電力損失は、主に線路の抵抗損および変圧器の鉄損（無負荷損）、銅損（負荷損）である。配電線路の抵抗損は、抵抗と電流の2乗に比例する。負荷電流を $I$  (A)、電線1条単位長当たりの抵抗を $r$  ( $\Omega \cdot \text{km}$ )、線路互長を $L$  (km)、電線の条数を $N$ とすれば、電力損失 $W$  (W)は、次式で表される。

$$W=I^2rLN \text{ (W)}$$

変圧器の損失は変圧器自体の特性によって決まるため、変圧器の品質を表す1つの指標となる。鉄損を $W_i$  (W)、銅損を $W_c$  (W)、変圧器利用率を $F$ とすれば、変圧器の電力損失 $P$  (W)は、次式で表される。

$$P=W_i+W_cF^2 \text{ (W)}$$

### 11.4.4 故障電流

電気的な故障は、地絡と短絡に分類できる。地絡故障は、線路に樹木や動物が接触したり、雷などにより碍子の沿面で放電したりすることにより大地に電気が流れることで、地絡電流の値は中性点接地方式によって異なる。短絡は、短絡点でインピーダンスがほぼゼロで電線が接触することで、一般的に短絡すると線路あるいは変圧器のインピーダンスを介して電源から電流が流れるため、短絡電流は大きな値となる。短絡電流により電線の温度が上昇し、電線が被害を受けるため、電線温度がその電線の許容温度（使用に支障が出ない温度）を超えないようにする必要がある。そのため、短絡事故時には変電所の過電流継電器により電流を遮断するが、それまでの間、温度上昇に耐えうる電線種を施設する必要がある。具体的には、電線の短時間許容電流が短絡電流を満たす必要がある。なお、短絡電流は短絡回路の線路インピーダンス（電源からの距離）に反比例し、電源に近いほど大きくなる。したがって、長亘長路線の場合には、末端の2相短絡等事故電流が小さくなりすぎて、継電器が検知できなくなる場合がある。その時は、線路途中にリクローザなどの事故電流を検知し遮断できる装置を設置する。

いずれの故障についても負荷側の設備を保護するとともに、電源側への事故波及を防止するために、事故を感知する保護継電器と事故を切り離す遮断器を設置して事故電流（特に短絡電流）を遮断する必要がある。

#### 11.4.5 許容電流

許容電流とは、規格上電線などの電気設備に流すことのできる最大の電流である。物体には電気抵抗があり、その物体に電圧をかけて電流を流すと抵抗によって発熱する。電線などの導体にも小さいながら抵抗があり、その発熱によって絶縁被覆が溶解すれば短絡し、場合によっては発火する可能性がある。そのため電線などの電気工作物にはそれぞれ許容電流が定められてあり、ヒューズ、遮断器などでこれを保護する。許容電流には、連続して流すことのできる常時許容電流と、短絡電流等短い時間のみ流すことができる短時間許容電流とがある。

許容電流は、下記によって変化する。

- 絶縁体の種類（絶縁被覆の許容温度が絶縁体によって異なるため）
- 電線の布設方法（布設方法により、熱拡散のし易さが異なるため）
- 周囲温度（周囲温度が低いと、絶縁被覆の許容温度に達するまでの電流が多くなる）

#### 11.4.6 誘導障害

誘導障害とは、電線に流れる電流の電磁誘導や電線との静電容量により、他の電線や通信回線に電流が流れて人に危害を与えたり通信障害を引き起こしたりする現象である。

静電誘導とは、近接した導体線の間には静電容量があり、一種のコンデンサになるため、一方の導体線に電荷があると、線が直接接続されていなくても電荷に誘導されてもう一方の導体線にも電荷の偏りが生じ、電圧が誘導されることである。もう一方の導体に発生する電圧の大きさは、相互静電容量と導体線の電圧によって決定される。

電磁誘導とは、一方の導体線の電流によって発生する変動磁界がもう一方の導体線と鎖交すると、もう一方の導体線に誘起電圧が発生することである。この大きさは導体線間の相互インダクタンスと電流、平行路線長によって決定される。

一般的に配電電圧が小さく、非接地方式であれば地絡電流も小さいので誘導障害はほとんど起こらない。しかし、配電電圧が20kV級以上になれば誘導障害についても検討し、規格で許容される誘導障害の値以下にする必要がある。

#### 11.4.7 絶縁設計

絶縁設計の対象は、i) 商用周波電圧、ii) 開閉サージなどの系統内の内部原因で生じる内部異常電圧、iii) 雷サージによる外部異常電圧に大別できる。絶縁設計の基本的な考え方は、内部異常電圧には線路絶縁が十分耐えうること、外部異常電圧には機器の絶縁破壊やフラッシュオーバーが生じないようにし、雷サージの抑制と組み合わせることでフラッシュオーバー事故を極力少なくすることである。雷サージによる外部異常電圧はi)、ii)よりはるかに大きいので外部異常電圧に対して適切に対策を施せばすべてに有効である。よって、耐雷設計が配電線路の絶縁設計における基本的な考え方になる。図11-5に絶縁協調の例を示す。

避雷器は、配電線路の絶縁階級と保護協調がとれた性能が必要であり、次の性能を満たす必要がある。

- 避雷器の動作開始電圧が配電線に生じる内部異常電圧より高いこと
- 避雷器の雷インパルス制限電圧が、配電線の碍子や機器の絶縁レベルより低く、所定の裕度をもって保護協調が取れていること
- 避雷器の続流遮断電圧は、配電線の回路における最高電圧よりも高いこと

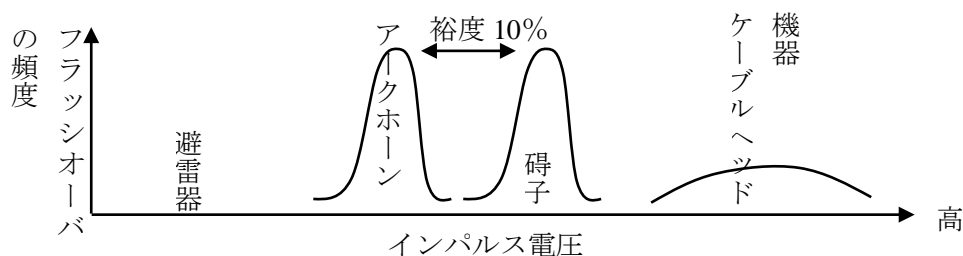


図 11-5 絶縁協調の例

## 11.5 機械的設計

### 11.5.1 配電線路に働く荷重

配電線路の支持物、電線などに働く荷重には、風圧荷重、電線の不平均張力、支持物の自重と装柱した工作物の重量などがある。これらの荷重は、合成されて配電線路に作用するため、線路の設計にあたっては、作用する方向別に分類して検討しなければならない。一般的には、以下の3つに分類される。

- 垂直荷重（工作物の垂直方向に働く荷重）
- 水平横荷重（工作物の水平方向に働く荷重のうち電線路と直角方向に働く荷重）
- 水平縦荷重（工作物の水平方向に働く荷重のうち電線路方向に働く荷重）

通常、配電線路の支持物は、垂直荷重に対して十分な強度を有しているため、設計にあたっては水平荷重の強度に耐えられるかどうかの検討が必要である。

### 11.5.2 支持物の強度

支持物の強度とは、支持物にかかる曲げモーメントなどの応力に対して、支持物の抵抗モーメントが大きいかどうか、つまり折れるかどうかということである。一般的には、支持物の破壊荷重に対して安全率が当該国の標準に定められた安全率以上になるように支持物の選定および支線もしくは支柱による荷重分担を行わなければならない。

### 11.5.3 支線・支柱の強度

支線・支柱は、配電線路の支持物にかかる荷重を分担することができる。電線路を引き留めることにより生じる不平均張力、電線路に角度がある場合に発生する合成張力、電線路の両側の径間差が大きいため生じる不平均張力などに対して必要な安全率を確保した支線・支柱を設置する必要がある。



#### 11.5.4 支持物基礎の強度

支持物の基礎は、その部分において支持物が分担する最悪条件下の外力による回転モーメントより支持物基礎部の土の抵抗モーメントが大きくなるように施設しなければならない。支持物基礎の強度は、根入れの長さ、根かせの有無、土質の種類による土質係数などによって異なる。

#### 11.5.5 電線の弛度

電線は、弛度を大きく（深く）とるほど電線自身にかかる張力が減り安全性を増すが、電線の地上高が低くなるため支持物の高さを上げなければならず、また風による横振れに起因する混線事故等による事故の可能性が増す。よって、これらを考慮して電線の安全率を満たす適当な弛度張力で設計しなければならない。

### 11.6 地域の特性に合わせた設計

#### 11.6.1 耐雷設計

配電線路の雷害事故は、雷放電現象により配電線路に衝撃性の過電圧が発生し、絶縁が破壊されることにより引き起こされるものである。この衝撃性過電圧のうち、実際の系統に発生するものを雷サージと呼び、人工的に試験に用いられるものを雷インパルスという。配電線路に被害を与える雷サージは以下の3つに分類できる。

(1) 誘導雷

配電線近傍の樹木や建造物などに落雷した場合に、雷放電路を流れる電流による線路近傍の電磁界の急変により生じる過電圧である。

(2) 直撃雷

配電線に直接雷が落ちる場合であり、流入電流、発生電圧とも極めて大きなものになる。

(3) 逆流雷（負荷設備への落雷時に起こる雷電流の逆流現象）

構造物やアンテナ設備に落雷した際に、その構造物の接地抵抗が高いと接地電位が高くなり、電源を供給している配電線側へ一部雷電流が逆流する場合がある。この現象を逆流雷現象という。この場合、構造物側の電気回路の構成によって、構造物側には被害が無く、配電線だけに事故が生じる場合がある。

耐雷設計では、配電線路に発生する雷サージの種類や発生頻度などを把握し、効果的な耐雷対策を検討しなければならない。耐雷対策としては、主に以下のような手法がある。

- 避雷器の設置
- 架空地線の設置
- アークホーンの取り付け
- 酸化亜鉛素子付機器の導入

## 11.6.2 耐塩設計

海岸沿いの地域に施設される配電線路は、海水の飛沫による塩害を受けやすい。塩害には、電氣的な絶縁性能を低くさせるものと、化学的な金属類の錆や腐食を招くものがある。特に強風時には塩分が配電設備に付着して広範囲に絶縁性能の低下をもたらす、電力供給に極めて大きな障害となる。

塩害対策には、塩分が付着しにくく付着しても塩害が発生しにくい特性を持った耐塩機材が使用されている。耐塩機材には、i) 漏洩距離を長くして漏洩電流を小さくする、ii) 表面抵抗を大きくして漏洩電流を制限する、iii) 遮蔽を設けて塩分や水分の浸入を防ぐ、iv) 密閉して充電部分が露出しないようにする、v) 表面処理をして絶縁物の表面に塩分が付着しないようにする、などの対策が取られている。

## 11.7 架空配電線路

配電線路は架空配電線路と地中配電線路に分けられるが、ミニグリッドでは建設コストが安く事故時の早期復旧が可能な架空配電線路が一般的である。

### 11.7.1 支持物

架空配電線路では、電線の地上高を確保し車両や歩行者の安全を確保するために支持物で支える必要がある。支持物の倒壊は、配電線路が人家に隣接していることから人身や建造物に被害をもたらす可能性が高く、その建て替えには余計なコストがかかる上に周辺の停電も伴う。よって、支持物の選択には、配電線路にかかる荷重に対して十分な強度をもち、かつ長期間の使用にも耐えうる品質を持つことが必要である。支持物の種類は、鉄筋コンクリート柱、木柱、鋼管柱、鉄柱などがある。

鉄筋コンクリート柱は、経済性、強度などの面で優れており、支持物の主流となっている。鉄筋コンクリート柱には、図11-6に示す遠心力によって締め固められた中空の断面を持つ円柱と図11-7にある型枠に流し込まれたコンクリートですべて詰まった角柱がある。また、あらかじめ鉄筋を緊張してコンクリートに圧縮応力（Prestress）を与えて見掛けの引張り強度を上げ、ひび割れに対する抵抗性を向上させているプレストレストコンクリート柱とそうでないコンクリート柱に分けられ、一般的にたわみやクラックが小さいプレストレス型が広く使用されている。

木柱は、山間部などコンクリート柱の搬入、建柱が困難な場所に使用されているが、地中部分の腐食による強度低下を防止するために、クレオソートなどの防腐剤を注入する必要がある。木柱の強度は材質によって異なる。



図 11-6 鉄筋コンクリート柱（円柱）



図 11-7 鉄筋コンクリート柱（角柱）

### 11.7.2 支線・支柱

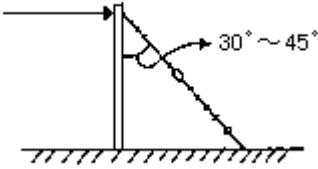
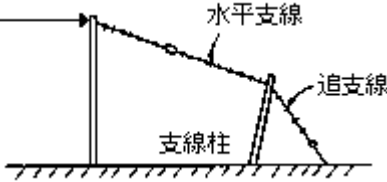
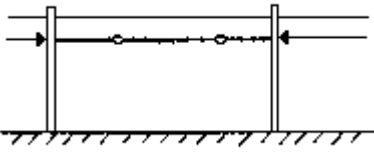
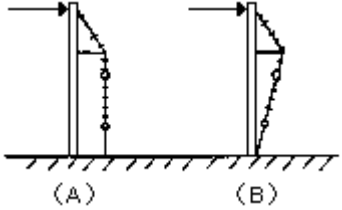
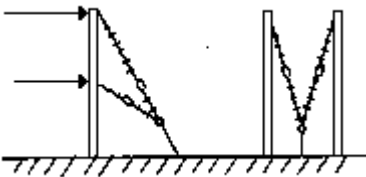
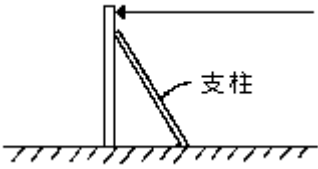
配電線路の末端、曲線路部など電線の張力が不平衡に支持物に加わる箇所では、この不平均張力に耐えるために支線もしくは支柱を施設する。支線は機能および構造で大別すると表 11-4、表 11-5 のようになる。なお、支柱は用地上の理由から支線が設置できない場合に支線の逆方向に支線の代わりとして施設される。

支線の材料には、一般的に亜鉛めっき鋼より線が用いられている。また、支線の基礎部分には支線の張力に耐えうるアンカーが施設される必要がある。

表 11-4 支線の機能別種類

支線の種類	構造	機能
引留支線		電線路の引留柱や支持物両側径間差によって常時生じる不平均張力に耐えるために施設する支線。
振留支線		電線路の直角に加わる風圧荷重が支持物で負担できない場合に、その一部を負担するために電線路と直角方向に施設する支線。 また、直線路が連続する場合に適当区間ごとに施設する支線。
角度支線		支持物両側の線路角度が 5°以上ある場合に発生する合成張力に対して耐えるために施設する支線。

表 11-5 支線の構造別種類

種 類	構造の形	支線の特徴・説明
普通支線		一般の場合
水平支線		土地の状況によって普通支線が施設できない場合
共同支線		2 支持物共同で施設する場合
弓支線		土地の状況によって支線の根開きが十分とれず、かつ電線の張力が規制値以下の場合
Y 支線		電線張力を分割する場合等
支 柱		土地の状況によって普通支線が施設できない場合

### 11.7.3 腕木・腕金

電線を支持物に支持するために、腕木・腕金が取り付けられる。腕木は木柱用に使用され、木柱と同様にクレオソートなどの防腐剤で処理される必要がある。図11-8に示す腕金は支持物の種類を問わず電線の支持用として広く使われている。材料は、圧延鋼材に錆止めをしたものである。図11-9に記載されたラック金物は、主に低圧電線の支持用として使用されている。



図 11-8 腕金



図 11-9 ラック金物で支持されたケーブル

### 11.7.4 碍子

碍子は、絶縁を確保しながら電線を腕金等で支持するために使用される。碍子には、電圧別、電線の取り付け方法別に分かれ、図11-10に示すように通り線や縁回し線の支持にはピン碍子もしくはラインポスト碍子、電線の引き留め支持には耐張碍子や引留碍子が使用されている。材料は基本的に磁器が用いられているが、中圧配電線には軽量のシリコンゴムを使用したポリマー碍子が使用されることもある。



図 11-10 碍子（ピン碍子は磁器製、耐張碍子はポリマー製）

### 11.7.5 電線

電線には、複数の素線で構成されるより線が一般的に使用されている。導体は、抵抗の少ない銅もしくはアルミが使われており、図11-11から図11-13に示すように被覆の有無、材質、鋼心を含めた電線の構造などで分類される。架空配電線の電線は、一般家屋などに接近して施設される場合が多いため、安全面を考慮して低圧線では図11-14に示すように絶縁電線が使用されることが一般的である。

電線の選定には、必要な許容電流を満足するとともに経過地、機械的強度、耐食性、経済性などの面から、種類および断面積を検討する。



図 11-11 中圧用裸電線



図 11-12 中圧用絶縁電線



図 11-13 中圧用架空ケーブル



図 11-14 低圧用絶縁電線

### 11.7.6 変圧器

架空配電線では、中圧配電線から低圧に降圧するために主に柱上変圧器が設置されている。柱上変圧器は、変圧器の主体（鉄心、巻線）を絶縁油に浸した油入自冷式のもものがほとんどである。鉄心の材質は、珪素鋼帯が広く用いられているが、より低損失な高品質方向性珪素鋼帯を使用したものや、さらに低損失なアモルファス材を使用したものも実用化されている。電氣的には図 11-15 および図 11-16 にあるように単相変圧器と3相変圧器の2種類があり、中圧配電方式、低圧配電方式によって結線が異なる。また、3相負荷に対しては単相変圧器を2台V結線して供給する方式があり、単相・3相負荷が混在する場合には異容量の単相変圧器をV結線して3相4線式により供給する。

変圧器の性能を表す主な指標として、無負荷電流、無負荷損、電圧変動率、効率などがある。変圧器の選定には、負荷を満たす容量だけでなく無負荷損や効率などの性能を考慮した選定が必要である。



図 11-15 三相変圧器



図 11-16 単相変圧器

### 11.7.7 開閉器

開閉器は、配電線事故時の事故区間の切り離し、配電線補修作業時の停電範囲の縮小を目的に設置され、電流を遮断する能力を持つ。図11-17に開閉器の例を示す。アーク放電を消滅させるための消弧媒体の種類により油入開閉器、気中開閉器、真空開閉器、ガス開閉器があるが、油入開閉器は、短絡発生時に着火の可能性があるため公衆保安上架空配電線路への取り付けは好ましくない。また、制御電源用の変圧器や避雷素子、各種センサーを内蔵した開閉器も使用されている。



図 11-17 開閉器

カットアウトは、変圧器の1次側に取り付けられる開閉器でヒューズを内蔵している。図11-18に例を示す。変圧器の過負荷、内部短絡故障の際に、自動的に配電線から変圧器を切り離す機能を持っており、1次側の開閉にも使用される。また、負荷電流の小さい分岐配電線に開閉器として使用されることもある。避雷素子を内蔵したものも一部で使用されている。





図 11-18 カッタウト

### 11.7.8 避雷器

避雷器は、配電線路と大地間に接続して配電設備を雷サージから保護するために設置するものである。図11-19に例を示す。非直線抵抗体である酸化亜鉛（ZnO）素子を使用しているものが多い。なお、避雷器は、保護対象機器にできるだけ接近にして取り付けるほうが有効である。



図 11-19 避雷器（ケーブルヘッド保護用）

### 11.8 地中配電線路

地中配電線路は、ミニグリッドでは何らかの理由で架空配電線路が設置できない場合（地上高が確保できないなど）に用いられる。

### 11.8.1 ケーブル布設方法

地中ケーブルの布設方法には、直接埋設方式、管路方式および暗渠方式がある。図11-20に記載された直接埋設方式は、埋設条数の少ない本線部分や引込線部分で用いられており、土中に防護物を並べケーブルを引き入れてから埋設する方法で、ケーブル取り替えの場合には再掘削が必要である。図11-21にある管路方式は、ケーブル条数の多い場所や、交通量や舗装などの関係で再掘削が困難な場所に用いられる方式で、マンホールやハンドホール間を多条数のパイプで結んだものである。ケーブルの引き入れ、引き出し、接続などの作業はマンホールやハンドホール内で行なうため、ケーブル工事に伴う再掘削は不要である。暗渠方式は、あらかじめトンネル状の構造物をつくっておき、その側壁に設けた受棚上にケーブルを布設する方法で、ケーブル条数が多い場所や通信線など一括して収納する場合に用いられる。地方電化のためのミニグリッドでは、舗装道路を横断する場合など再掘削が難しい場合を除き直接埋設方式がほとんどである。

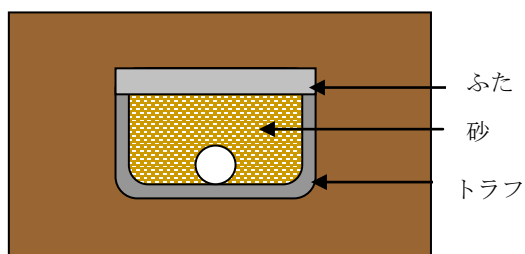


図 11-20 直接埋設方式

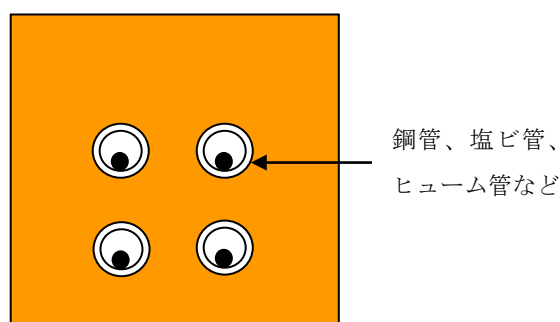


図 11-21 管路方式

### 11.8.2 ケーブル

地中配電線路に用いられるケーブルは、架橋ポリエチレンを絶縁に用いたCVケーブル（架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル、Crosslinked polyethylene insulated PVC sheathed cable）がほとんどである。

CVケーブルは、図11-22および図11-23に示すように基本的に導体、絶縁体、遮へい層（中圧のみ）および外装（シース）によって構成される。これらには、必要によって磨耗を防ぐためのがい装および防食層が付け加えられる。導体材料には、銅およびアルミニウムが使用されて、一般的にアルミニウムは銅より安価であるが、導電率は低く、中圧のケーブルでは絶縁物、シースの価格が占める割合が大きくなるため、外径が大きくなる銅がよく使用されている。

ケーブルの選定には、必要な許容電流を満足するとともに耐食性、経済性などの面から、種類

および断面積を検討する必要がある。

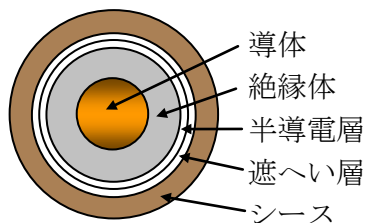


図 11-22 単芯ケーブル

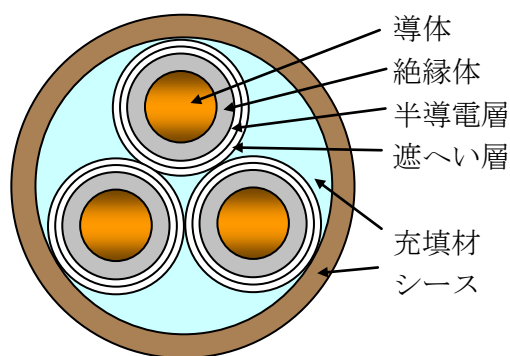


図 11-23 3芯ケーブル

### 11.8.3 中間・終端接続材料

中間接続は、ケーブルを相互に接続するために用いられ、直線接続と分岐接続（Y分岐、X分岐など）に分けられる。導体の接続には圧縮接続やくさびによる締め付け接続とし、これらにブレハブの絶縁筒をかぶせてテープによる防水処理を行なうものが一般的である。さらに、省力化、簡易化およびスキルレス化を図るために常温収縮材料も開発されている。図11-24に接続例を示す。

終端接続は、ケーブルと架空線または電気機器を接続する場合に使用される。ケーブル末端の電気絶縁を確保するために、終端接続材（ケーブルヘッド）が用いられる。終端接続材には、ゴムモールド品やがい管を用いた差込形終端接続部が主に使用されているが、常温収縮タイプも普及してきている。

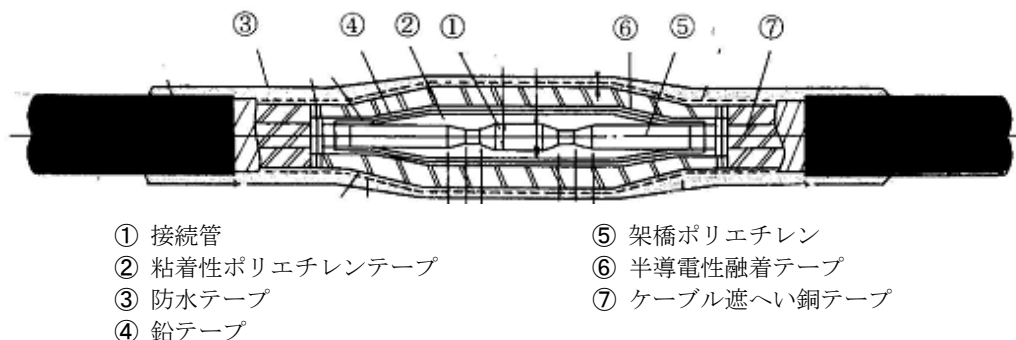


図 11-24 中圧ケーブルの接続例

## 11.9 引込線

引込線は、配電線から分岐して需要家の引込口に至る電線である。通常、引込口は財産分界点と責任分界点（電力会社と需要家間の保守・保安上の分界点である）に一致する。よって、盗電を防ぐために電力量計が電柱に設置され、電力量計の2次側が財産分界点および責任分界点となる場合には、需要家が家屋までの電線を準備することが多い。

### 11.9.1 引込線の選定

電線、ケーブルの選定と同様で、必要な許容電流を満足するとともに電圧降下が許容値以内になり、機械的強度も満たすような導体・断面積になる線種を選ぶ必要がある。引込線は、一般家屋などに接近して施設されるため、安全面を考慮して絶縁電線が使用されることが一般的である。

## 11.10 電力量計

電力量計は、電力会社と需要家で結ばれた契約に基づく電力料金を算定するために、需要家が使用した電力量を量るものである。よって、契約種別によって設置する電力量計も異なる。公衆街路灯や小規模な需要でかつほぼ使用状況が等しく使用電力量が一定とみなせる需要家には、電力量計をつけないケースもある。また、検針や電気料金算出にかかるコストと比較し、電力量計ではなく電流制限器（ロードリミッター）をつけて電気料金を定額制にする場合も有る。最近では、同様の理由でプリペイド方式の電力量計も使用されている。

### 11.10.1 電力量計の種類

電力量計には、その動作原理から大別して図11-25に示すように誘導型機械式電力量計と電子式電力量計がある。誘導型電力量計は、広く一般的に用いられているもので、電磁誘導により電流と電圧の乗算量に応じてアルミニウム製の円板を回転させ、その回転を歯車で表示装置に伝達し、機械的に電力を積算して使用電力量を表示するものである。一方電子式電力量計は、電力乗算部と表示部のいずれかまたはすべてが電子回路で構成されるもので、電子式乗算部にも、アナログ処理するものとデジタル処理するものの2方式がある。

また、電力の供給方式から単相計器、三相計器、変流器付計器および変成器付計器に分けられ、さらに計量精度によっても分けられる。一般的な低圧用単相計器であれば、誤差が±2.0%以内となるような電力量計が用いられることが多い。その他には、使用環境に応じた耐候性能によって分けられる。

プリペイド方式の電力量計には、図11-26に示すように携帯電話のプリペイドカードのようにある一定桁の番号を電力量計に入力することで使用可能量をチャージするものやICカードを使って使用可能量を窓口でチャージし、通信端末に挿入して使用するものなど様々である。プリペイド用の電力量計の価格は一般の電力量計よりも高く、システム導入に係るコストもかかるが、電力料金の不払いを防ぐことができ、検針などのコストがかからない利点もあるため、最近普及し始めている。



図 11-25 電力量計



(a) 一体型

(b) 通信端末と IC カード

図 11-26 プリペイド方式電力量計

### 11.10.2 電流制限器の種類

電流制限器は、使用電流の超過抑制のために使用されるもので、ヒューズなどの消耗品を使用せずに反復利用できることを前提にしている。図11-27に例を示す。よって、需要家の契約電流に応じて、その契約電流が電流制限器の定格電流となるものを選択する。



図 11-27 電流制限器

第 11 章の参考文献

- [1] 配電技術総合マニュアル、オーム社、1991 年
- [2] 20kV 級／400V 配電方式普及拡大技術、電気協同研究第 56 巻第 3 号 電気協同研究会、2000 年
- [3] 電気工学ハンドブック第 6 版、電気学会
- [4] 配電線耐雷設計ガイド、財団法人電力中央研究所、2002 年
- [5] Mini-Grid Design Manual ESMAP, 2000

# 第 12 章

## 調達・建設工事費



## 第12章 調達・建設工事費

### 12.1 全般

小規模水力による地方電化を行う地点は、電気料金収入だけでは建設費を回収することが困難な場合が多い。そのため、建設資金の一部または全てが政府や援助機関からの補助金や援助金となる場合が多いため、融資機関や援助機関からの資金調達のための具体的な積算根拠を用意する必要がある。

#### 12.1.1 事業費の構成

小規模水力による地方電化の事業費は建設工事費および設計施工管理費ならびに施主の運営管理費からなる。発電所や配電設備などの建設費は、大きく分けて土木設備、電気設備および配電設備からなる。積算方法は国や援助機関により異なるが、概ね設備毎に以下の方法が採用されている。

- 土木設備 : 設計図より数量を算出して単価を乗じて直接工事費を算出し、それに経費を加える方法（請負工事または直営工事）
- 電気設備 : 基本となる諸元を指定してメーカーが据付工事分も含め見積もる方法（購入据付工事）
- 配電設備 : 上記の混合型

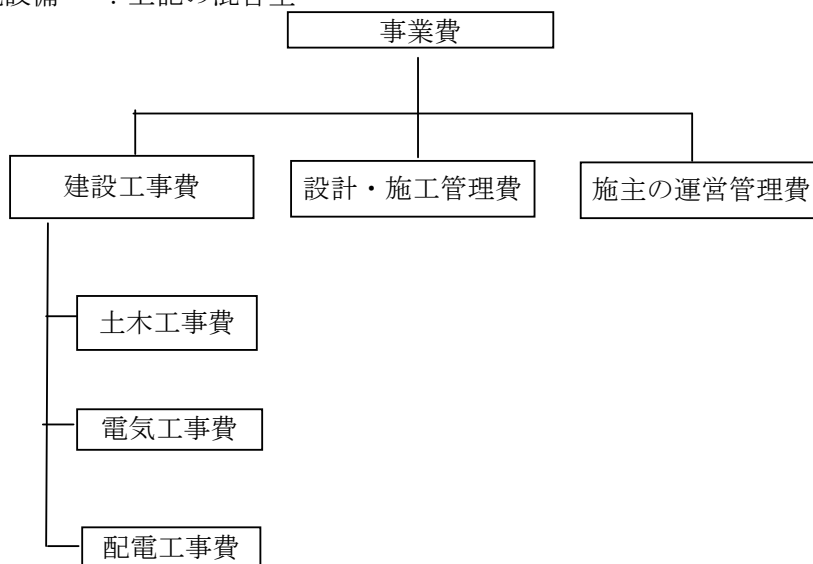


図 12-1 事業費の構成

#### 12.1.2 積算上の留意点

プロジェクトの促進を願う余り予算を低く見積もり、実施段階で資金ショートを起こしてプロジェクトが頓挫しないよう、実勢価格を調査する。また、予備費も確保しておく。

建設費の見積りに当っては、融資機関や援助機関への資料開示の要求に耐えられる具体的な根拠を用意する必要がある。特に以下の4項目に留意して積算を行う。

- 根拠が明らかであること
- 市場相場とかけ離れていないこと
- 地元労務者の雇用の可能性
- 資機材調達の可能性

想定される資機材の調達先を表12-1に示す。

表 12-1 資機材と調達先

資機材		現地調達	現地国内	輸入
工 事 用 資 機 材	砂・砂利・栗石	○		
	セメント	○		
	鋼材		○	
	建築用の資機材	○	○	
電 気 設 備	水車			○
	発電機			○
	運転制御盤			○
中 低 圧 配 電 線	支持物（コンクリート柱）		○	○
	電線・ケーブル類		○	○
	機器類（変圧器・開閉器等）		○	○
	通信設備		○	○

注：○印の位置は例であり、十分実情を調査して選定する必要がある。

## 12.2 土木設備

本節に記載する工事費積算は、実際の小水力発電所の工事段階を対象としたものであり、計画段階を対象としたものではない。

### 12.2.1 費用の構成

土木設備は取水堰、沈砂池、導水路、水槽、水圧管路、発電所および放水口などの電力設備に加え、管理用道路や管理棟などの付帯設備ならびにそれら永久構造物を作るための仮設工事も含まれる。以下に日本のODAで採用されている一般的な費用の構成項目を図12-2に示す。

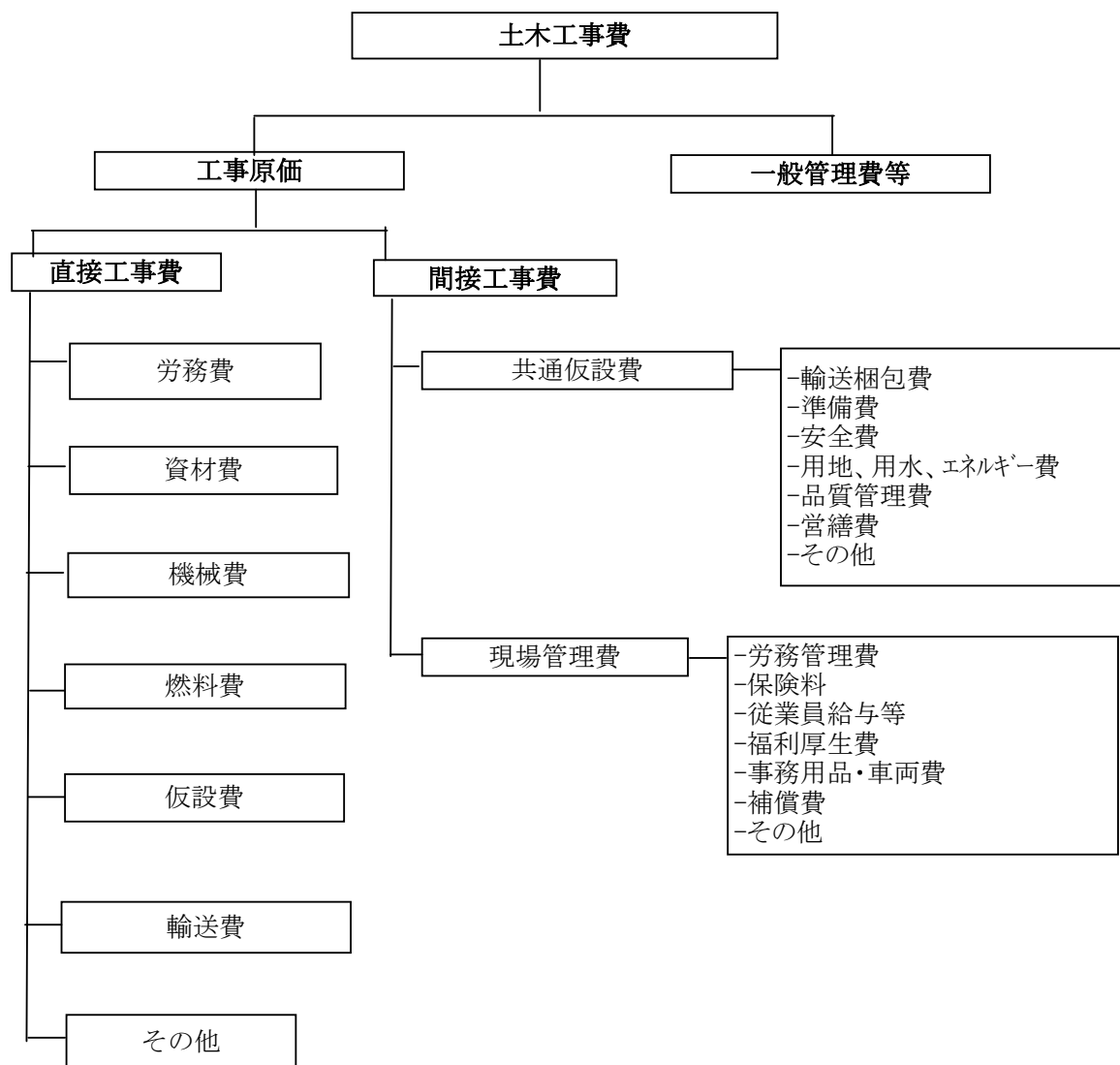


図 12-2 土木工事費の構成

上記の図は、費用を構成する要素を示しており、施主が積算を行う上での分類である。

しかし、実際の契約に当たっては、工種毎に単価を定め、数量を暫定的に決めて契約するケースが多い。すなわち、下式で表される。

$$\text{費用} = \text{数量} \times \text{単価}$$

ほとんどの土木工事は、設計内訳書（Price schedule）が用いられる。

次項以降に、数量と単価の求め方について述べる。

### 12.2.2 工事数量

施工計画や建設費を算定するためには、少なくとも表12-2に示す主要設備の工種別の数量を算

定する必要がある。

表 12-2 設備別数量項目

設備項目		掘削 (m <sup>3</sup> )	鉄筋 (kg)	コンクリート (m <sup>3</sup> )	型枠 (m <sup>2</sup> )	足場 (m <sup>2</sup> )	支保工 (m <sup>3</sup> )	金物 (kg)	その他 (式)
発電構造物									
1	取水堰・取水口	○	○	○	○	○	○		
	スクリーン、ゲート							○	
2	沈砂池	○	○	○	○	○	○		
	スクリーン、ゲート							○	
3	導水路	○	○	○	○				
4	水槽	○	○	○	○	○	○		
	スクリーン、ゲート							○	
5	水圧管路	○	○	○	○				
	鉄管							○	
6	余水路	○	○	○	○			○	
7	発電所基礎および建物	○	○	○	○	○			○
8	放水口または放水庭	○	○	○	○			○	
付帯設備									
9	管理用道路	○	○	○	○				
10	管理建物	○	○	○	○	○		○	
	給排水設備								○
	電気設備								○

上記永久設備を建設するために必要な準備工事、仮設工事の数量についても、算定が必要となる場合がある。代表的な仮設備の項目を表12-3に示す。

表 12-3 準備工事と仮設工事

	項目	目安数量	備考
1	伐採・伐根作業	面積および樹木の種類や本数	
2	労務宿舍設備	利用人数と期間	
3	取水堰工事の河流処理工事	直接工事費と同じ	
4	発電所および放水口の河流処理工事	直接工事費と同じ	
5	工事用の仮用地造成（土捨場・宿舍・組立工場など）	完成後は利用しないので借地が基本	

### 12.2.3 工事単価

前項に示した工種毎の数量に対する工事単価を求める。

(1) 単価の構成

主な土木工事単価の費用構成を表 12-4 に示す。

表 12-4 土木工事単価構成

	項目	内容	備考
1	労務費	構造物の工事に直接従事する者の労務費 運転手、大工、鉄筋工、溶接工など専門技術員および一般的な土工作業員など	
2	資材費	構造物の築造に直接必要な材料費や資材の損料 セメント、砂、砂利、材木、鉄筋、スチールその他購入する製品、型枠や足場材などの損料またはレンタル料など	
3	機械費	構造物工事に使用する機械に掛かる費用 ブルドーザー、バックホウ、ダンプトラック、クレーンなどの損料またはレンタル料	
4	燃料費	構造物工事で使用する機械や設備の運転に必要な燃料の費用 ガソリン、ディーゼル、電気、油脂など	
5	仮設費	工事施工に必要な仮設工、仮設備、仮設機械設備、電力・用水等の供給設備、防護設備、仮囲い等の設置等に要する費用	分けて別単価で計上する場合もある。
6	輸送費	資機材の調達地から現地サイトまでの輸送・梱包に要する費用	遠方の場合には分けて別単価で計上する場合もある。

(2) 単価調査

上記の各費用項目を積算するには、施工方法や歩掛かりなどの専門知識が要求される。そのため、経験や知識が乏しい場合は、まず、同種単価の相場を調査することを勧める。以下に留意点を示す。

- 見積もりを依頼する際の注意点は仕様、数量、時期、支払い方法など見積もり条件を明確にすることと、金額は単価のみでなく、出来る限り前述の単価構成別の内訳を要求すること。
- 調達後の品質低下、納期の遅延、調達先の倒産や破産による契約不履行などを防止するため、信頼の置ける調達先を選定すること。

(3) 採用単価

積算および見積もりの結果を工種毎に表にしてまとめる。

以下に労務費、資材費、機械費および工種別単価の様式例を付属資料 A-12-1～4 に示す。

前述で求められた数量と単価を用いて建設の直接工事費の設計内訳書を作成する。

以下に、小規模水力発電所の土木工事における一般的な工種を記載した設計内訳書の例を表 12-5 に示す。

(4) 直接工事費

表 12-5 土木直接工事費設計内訳書様式例

Bill of Quantity for Direct Construction Cost					Exchange rate	Local currency/ U.S.\$		
Name	Item	Class	Specification	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Note
<b>1 Access Road</b>								
Clearing and Grubbing				m <sup>2</sup>				
Excavation	Soil		including slope forming	m <sup>3</sup>				
Excavation	Rock		including slope forming	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated soil	Soil		including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated rock	Rock		including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Backfill	Soil		Using excavated soil	m <sup>3</sup>				
Concrete	18N		For wall structure	m <sup>3</sup>				
Concrete	21N		For drainage structure	m <sup>3</sup>				
Formwork			Wall	m <sup>2</sup>				
Formwork			Drainage	m <sup>2</sup>				
Reinforcement work			SD-295A	t				
Scaffolding			For concrete placing	m <sup>2</sup>				
Gravel Compaction			T=200 mm	m <sup>3</sup>				
Backfill			Clashed stone	m <sup>3</sup>				
<b>Sub-total</b>								
<b>2.2 Intake Weir</b>								
Clearing and Grubbing				m <sup>2</sup>				
Excavation	Soil		including slope forming	m <sup>3</sup>				
Excavation	Rock		including slope forming	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated soil	Soil		including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated rock	Rock		including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Backfill	Soil		Using excavated soil	m <sup>3</sup>				
Gabion			Wire mesh T=50cm	m <sup>3</sup>				
Concrete	18N		For body structure	m <sup>3</sup>				
Concrete	21N		For reinforcement concrete	m <sup>3</sup>				
Formwork			For weir structure	m <sup>2</sup>				
Formwork			For sedimentation structure	m <sup>2</sup>				
Scaffolding			For concrete placing	m <sup>2</sup>				
Water proofing			T = 200 mm	m				
Concrete Joint			T = 10 mm	m <sup>2</sup>				
Reinforcement work			SD-295A	t				
Handrail			h=1000mm	m				
Gate and Trash rack				L.S.				
Care of River				L.S.				
<b>Sub-total</b>								
<b>2.3 Headrace channel</b>								
Excavation	Soil		including slope forming	m <sup>3</sup>				
Excavation	Rock		including slope forming	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated soil	Soil		including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated rock	Rock		including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Backfill	Soil		Using excavated soil	m <sup>3</sup>				
Concrete	18N		For body structure	m <sup>3</sup>				
Concrete	21N		For reinforcement concrete	m <sup>3</sup>				
Formwork			For weir structure	m <sup>2</sup>				
Formwork			For sedimentation structure	m <sup>2</sup>				
Scaffolding			For concrete placing	m <sup>2</sup>				
Water proofing			T = 200 mm	m				
Concrete Joint			T = 10 mm	m <sup>2</sup>				
Reinforcement work			SD-295A	t				
<b>Sub-total</b>								

(続き)

Name	Item	Class	Specification	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Note
<b>2.4 Head tank</b>								
Clearing and Grubbing				m <sup>2</sup>				
Excavation		Soil	including slope forming	m <sup>3</sup>				
Excavation		Rock	including slope forming	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated rock		Rock	including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Backfill		Soil	Using excavated soil	m <sup>3</sup>				
Concrete		21N	For reinforcement concrete	m <sup>3</sup>				
Reinforcement work			SD-295A	t				
Formwork			For sedimentation structure	m <sup>2</sup>				
Scaffolding			For concrete placing	m <sup>2</sup>				
<b>Sub-total</b>								
<b>2.5 Penstock</b>								
Clearing and Grubbing				m <sup>2</sup>				
Excavation		Soil	including slope forming	m <sup>3</sup>				
Excavation		Rock	including slope forming	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated rock		Rock	including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Backfill		Soil	Using excavated soil	m <sup>3</sup>				
Concrete		18N	For body structure	m <sup>3</sup>				
Concrete		21N	For reinforcement concrete	m <sup>3</sup>				
Reinforcement work			SD-295A	t				
Formwork			For support block	m <sup>2</sup>				
Formwork			For anchor block	m <sup>2</sup>				
Scaffolding			For concrete placing	m <sup>2</sup>				
Steel pipe			D=600 mm, T = 6.4 mm	m				
<b>Sub-total</b>								
<b>2.6 Spillway</b>								
Clearing and Grubbing				m <sup>2</sup>				
Excavation		Soil	including slope forming	m <sup>3</sup>				
Excavation		Rock	including slope forming	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated soil		Soil	including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated rock		Rock	including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Backfill		Soil	Using excavated soil	m <sup>3</sup>				
Concrete		21N	For reinforcement concrete	m <sup>3</sup>				
Formwork			For anchor block	m <sup>2</sup>				
Steel pipe			D=800 mm, T = 6.4 mm	m				
<b>Sub-total</b>								
<b>2.7 Powerhouse</b>								
Clearing and Grubbing				m <sup>2</sup>				
Excavation		Soil	including slope forming	m <sup>3</sup>				
Excavation		Rock	including slope forming	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated soil		Soil	including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Disposal of excavated rock		Rock	including transportation to disposal site	m <sup>3</sup>				
Gabion			Wire mesh T=50cm	m <sup>3</sup>				
Concrete		18N	For body structure	m <sup>3</sup>				
Concrete		21N	For reinforcement concrete	m <sup>3</sup>				
Formwork			For support block	m <sup>2</sup>				
Formwork			For anchor block	m <sup>2</sup>				
Reinforcement work			SD-295A	t				
Building Work				LS				
Fence				m				
Temporarily Facility Work				LS				
<b>Sub-total</b>								
<b>Total</b>								

(5) 工事原価の集計

以上の積み上げた単価に、設計数量を乗じて工事原価を算定する。以下に設計内訳書の総括表の例を表 12-6 に示す。

表 12-6 工事原価の集計表様式例

項目	単位	数量	単価	金額	備考
I. 工事原価					
1 直接工事費					
2 間接工事費					
(1) 共通仮設費					
(2) 現場管理費					
小計					
計					
II. 一般管理費					
III. 合計					

### 12.3 電気設備

電気設備として水車、発電機、主要変圧器、開閉器類、配電盤制御装置、諸機械装置および諸装置に分類される。これらを製作者もしくは商社等の代理店に発注、契約することを想定して工事費を算定する。ほとんどが輸入品と想定され、世界的に標準とされているFIDIC<sup>1</sup>などのガイドラインを適用した仕様書、契約書を作成する。機器の分類ごとに発注するのではなく、電気機器を一括発注して、契約額が大きくなることによるコストメリットを享受することと、事務処理の低減を行うのが一般的である。表12-7に電気設備の工事費一覧の例を示す。

これらの機器の工事費は、同種の設備の契約実績から推定する。もしくは複数の業者から見積りの聴取を行い、工事費を推定する。見積り先の選定、契約先の決定においては、事前に同種の製品の納入実績、運転実績を調査し、製品の品質、信頼性も選定条件として考えるべきである。選定に当たっては、価格最優先とせず、据付時の製品の手直しの可能性、納期遅延による損害、運転開始後の保守費用増加、スペアパーツ代の増高が発生しないように注意すべきである。

また、土木設備などの他部門との責任範囲（供給区分）を明確にし、手配漏れがないように注意する必要がある。特に、水圧管路納入業者、土木工事施工業者との最終溶接の施工区分、配電線との接続部の供給区分、他部門への電源の引渡し場所などに注意する必要がある。

<sup>1</sup> Federation Internationale des Ingenierus-Conseils (International Federation of Consulting Engineers)



表 12-7 電気設備関係工事費

Item	FC	LC	Total	Remarks
Turbine Turbine Installation				
Generator Generator Installation				
Main Transformer Main Transformer Installation				
Switchgears and Control Equipment High Voltage switchgears Metal Enclosed Switchgears Control Equipment Water Level measurement equipment Transmission Line Protection system Tele-control Equipment Main Circuit Bus (IPB, SPB, CV-cable) Power and Control Cable and Rack Installation				
Steel Structure				
Auxiliary Equipment Station Service Transformers Crane DC Power System and CVCF Arrestor Emergency generator Grounding Wire				
Spare Parts				
Other Equipment Testing equipment Plant Communication System				

## 12.4 配電設備

### 12.4.1 費用の構成

配電設備は、電柱、電線・ケーブル類、機器類（変圧器・開閉器等）、通信設備などに分けられる。

配電設備の工事は、資材や機材の調達と、調達した資材の据付・建設工事に分けられる例が多い。電柱の例で言えば、電柱の購入と現場までの運搬を調達とし、それを現場で据付けることが建設工事となる。据付・建設工事の単価構成は、電柱そのものを除き、土木工事と同じである。

据付・建設工事部分の契約は、直接工事として実施される工種ごとに単価を定め、数量を暫定的に決めて契約する場合が多い。すなわち、下式で表される。

$$\text{費用} = \text{数量} \times \text{単価}$$

土木工事同様、直接工事費に間接工事費（共通仮設費と現場管理費）が加わり工事原価となり、さらに一般管理費が加わったものが、配電工事費となる。

一方、調達部分も、基本的には数量と単価で契約されるが、間接工事費は発生せず、一般管理費を加えるだけである。

### 12.4.2 工事数量

施工計画や建設費を算定するためには、表12-8にある主要設備の種類と数量を把握する必要がある。

表 12-8 配電主要設備

No.	設備項目	単位	備考
1	中圧架空電線	cct-m	線種、断面積
2	低圧架空電線	cct-m	線種、断面積
3	中圧地中ケーブル	cct-m	線種、断面積
4	低圧地中ケーブル	cct-m	線種、断面積
5	支持物	本	種類、長さ、強度
6	柱上変圧器	台	単相・三相、容量
7	開閉器	台	種別、容量
8	電力量計	台	単相・三相、容量

また、工事に付随して必要な伐採工事などの費用も算定する必要がある。

### 12.4.3 工事単価

一般的な単価構成は、資機材の調達部分は資機材費とそれらの運搬費で、据付・建設工事部分は労務費、資材費、機械費で構成される。表12-9に単価構成例を示す。

表 12-9 配電工事単価構成例

Item	Total Cost	Local Currency	Foreign Currency		Remarks
		Price Including Tax and Local Transport	CIF	Local Transport	
① Materials					
(a) 22kV Overhead Lines					
(b) Pole Mounted Transformers					
(c) Indoor Substations					
(d) 22kV Underground Cables					
(e) LV Lines					
(f) Watt-hour Meters					
(g) Radio Receivers					
Subtotal					
② Machines and Tools					
(a) Machines					
(b) Tools for Overhead Lines					
(c) Tools for Underground Cables					
(d) Consumables					
Subtotal					
③ Installation and Construction					
(a) 22kV Underground Cables					
(b) LV Underground Cables					
(c) 22kV Overhead Lines					
(d) LV Overhead Lines					
(e) Switches					
(f) Watt-hour Meters					
Subtotal					
Total					

## 12.5 建設工程

水力発電は自然の水の循環エネルギーを利用するため、石油や石炭などの発電用燃料を購入する必要が無いため、発電所の完成が早ければ早いほど有利となる。従って、建設する設備の品質や性能の低下が起こらない範囲で、短い期間で工事を完成させることが望ましい。

しかし、実際の工事は、気象、水文、地形、地質などの自然条件に左右されるだけでなく、労務者の作業能力、建設機械の手配および機器の調達手続きなどの不確定要素があるため、現実的な工程を計画する事が求められる。

建設工程を作成する上で特に以下の点について考慮する必要がある。

- 迂回路の有無を含めた季節毎の道路状況
- 資機材の輸送の難易度
- 河川流量および降雨パターンなどの工事への影響

建設工程の例を表12-10に示す。詳細な設計や数量が確定していない段階での基本工程の作成の目安を以下に示す。

(1) 全体工事期間の目安

1) 調達

建設工事の公示、業者の見積もり、プロポーザルの審査および評価、業者選定などの一連の業務で、一般的に2～3ヶ月程度は必要である。なお、業者募集のための公示用の資料作成や技術仕様書、図面ならびに契約書案などの入札図書を作成期間は含まれていない。

2) 契約交渉

まず、交渉権の1位業者と契約の交渉し、成立しない場合は交渉権の順位に従い契約が成立するまで行う。その期間は、通常で1ヶ月程度が必要である。

3) 建設工事

契約締結日から完成後施主に引き渡される日までの期間で、一般的には1年から1年半程度が必要である。

(2) 準備工事・仮設工事の期間

- i) 準備工事 : 1～3ヶ月間
- ii) 仮設工事 : 1ヶ月間程度
- iii) 管理用道路および工事用道路 : 現場状況により決まる

(3) 土木設備

土木全体としては1年から1年半程度の工期が一般的である。

- i) 取水堰、取水口 : 半年～1年間（雨期の制約により異なる）
- ii) 導水路、水槽 : 数ヶ月～1年（導水路延長により異なる）
- iii) 水圧管路 : 数ヶ月～半年程度（鉄管の材料および工場製作期間を考慮する必要がある。）
- vii) 発電所、放水口 : 数ヶ月～半年程度

(4) 電気設備

小規模水力発電の場合、水車や発電機などは比較的既製品化されているものもあり、以下の期間はそれらの利用を前提とした目安である。電気設備工事の全体期間はおよそ1年程度が一般的である。また、試運転を行うためには、土木や配電線の工事がほぼ終了していなければならない。

- i) メーカー設計、材料調達 : 数ヶ月
- ii) 工場製作、運搬 : 数ヶ月

- iii) 水車、発電機の据付 : 2～3 ヶ月間
- iv) 試運転 : 1～2 ヶ月間

(5) 配電設備

配電工事の工期は延長によって大きく変化するが、電化の規模が 500 戸～1,000 戸で配電線延長が 50km 程度の場合、一般的な所要工期は 8 ヶ月～1 年程度である。

- i) 線路調査 : 数週間～1 ヶ月程度
- ii) 業者設計、材料調達 : 2～3 ヶ月間
- iii) 工場製作、運搬 : 1～2 ヶ月間
- iv) 建柱、配線、電力量計 : 数ヶ月～半年間
- v) 試運転 : 1～2 ヶ月間（電気工事と平行して行う）

表 12-10 工事工程表の例

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1. 準備工事																			
用地取得および工事用道路	■	■																	
2. 土木工事																			
(1) 取水堰および沈砂池			■	■	■	■													
(2) 導水路、水槽および余水吐					■	■	■	■	■	■	■								
(3) 水圧管路																			
工場製作および輸送運搬						■	■	■	■										
現地据付設置										■	■	■							
(4) 発電所および放水口										■	■	■	■	■	■				
(5) その他雑工事															■	■	■	■	■
3. 電気工事																			
(1) 設計および材料調達		■	■	■	■														
(2) 工場製作および輸送運搬					■	■	■	■	■	■	■								
(3) 現地据付設置											■	■	■	■					
4. 配電工事																			
(1) 現地詳細調査			■	■	■														
(2) 設計および材料調達					■	■	■	■											
(3) 現地配電工事									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5. 据付調整および試運転																			■

第12章の参考文献

- [1] 無償資金協力に係るガイドライン等、国際協力機構、2010年
- [2] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画基本設計調査、国際協力機構、2005年

# 第 13 章

## 施工監理



## 第13章 施工監理

### 13.1 一般

この章では、実施機関（施主）側の施工監理(Construction Management)について記述するものであり、施工業者側の施工監理(Supervision of Works)とは異なる。さらに、本章では、技術的事項に特化した施工監理を扱う(Construction Supervision)。(注)本章では用語「監理」を「管理」と同意義として使用する。

小規模水力による地方電化を行う地点は電気料金収入だけでは建設費を回収することが困難である。そのため、建設資金の一部または全てが政府や援助機関からの補助金や援助金となる場合が多い。融資機関や援助機関によっては、資金が正当に使われているかを確認するために、建設の進捗状況の報告を課す場合がある。

小規模水力発電による地方電化の建設は小規模であるが、実施機関は、図13-1に示すように、土木設備、電気設備、配電設備の大きく異なった3種類の建設工事を監理する事となり、相互で調整をしながら進める必要がある。

施工監理業務は専門性が高く、煩雑なため、専門家の指導のもとで実施するか、または全面的にコンサルタントに委託することを勧める。

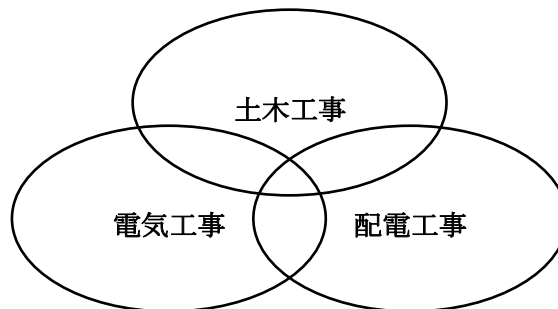


図 13-1 施工監理業務の工事種類

表13-1に、一般的な実施機関の施工監理業務を示す。

表 13-1 施工監理業務

項 目	内 容
1. 総合管理	プロジェクト全体的管理
2. 工程管理	建設工事の工程管理
3. 品質管理	品質管理の方法、チェックリスト
4. 書類管理	書類回付の手順および書類の様式、管理方法
5. 出来高管理	一般的な手順、様式、管理方法
6. 設計変更手続	状況の変化により設計を変更する必要がある場合
7. 安全・衛生管理	工事中の事故や災害を最小化させるための管理

### 13.1.1 総合管理

プロジェクトの建設を総合的に管理する項目は表13-2のとおりである。

表 13-2 総合管理項目

	項 目	内 容
1	組織管理	施工監理チームの組織を編成する。
2	業者提出資料の管理	契約書で規定される施工業者の提出物を管理する。
3	安全衛生管理	安全衛生管理体制を構築し、その運営を行なう。
4	進捗状況報告	報告書の内容、手順を確定させる。
5	完了手続き	工事全体の完了のみでなく、土木工事と電気工事の引渡しなどマイルストーン時にも適用する。また、施工監理チームは融資機関や援助機関に対して工事の記録や完成設備の内容を記載した完了報告書を作成し提出する事が求められる。

工事に先立ち、施工監理チームを組織し、建設工事の位置付けや実行方針について確認する。、施工監理チームとして、コンサルタントが主体となる場合や関係機関が直営で構成される場合がある。下図は、JICAの無償資金協力により実施した小規模水力による地方電化計画の施工監理体制である。現地には駐在技術者を1名配置し、工事の進捗に応じて専門分野の技術者が出張で対応する形となっている。本章の説明には、この体制及びその構成員を総称し、「施工監理者」と呼称する。

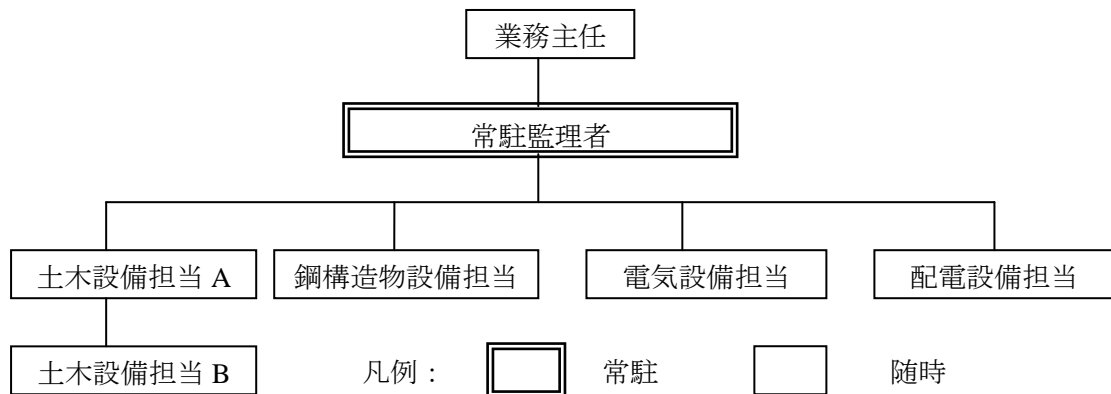


図 13-2 建設の施工監理体制（例）

### 13.1.2 工程管理

建設計画で定められた工程に従って、土木工事、電気工事および配電工事の異なる工事の進捗を相互調整しながら全体の建設の進捗を管理する業務である。工程管理は、表13-3に示す3つに大別される。

表 13-3 工程管理項目

	項 目	内 容
1	基本工程	約款工程の設定、更新の方法
2	キーデート・マイルストーン管理	キーデートの管理方法
3	施工業者間の工程調整	重複および接続箇所などの工程調整

(1) 基本工程

1) 管理上の基本となる工程表（Construction Program）

土木・発電・配電のそれぞれの施工業者と契約した工程が基本となる。

2) 修正工程表（Revised Construction Program）

状況の変化により、基本工程の変更が必要と認められた場合は修正工程表を作成する必要がある。

3) 改訂工程表（実工程表）（Updated Construction Program）

工事の進捗状況および各工事の予定終了期日が明示されているもの。実態を表す工程表。

(2) キーデート・マイルストーン管理

主要構造物や機器などの工事の着工日や引渡し日などのマイルストーンを設定し、その実施日をキーデートと呼ぶ。

予定したキーデートがずれると、その工事だけではなく、その工事完了を待って始める他の工事にも影響が出てくるため、進捗実績や今後の予定を常に確認しながら、関係者に周知させる必要がある。

(3) 施工業者間の工程調整

地方電化は工事規模が小さいので施工業者の数は比較的少ないと予想されるが、土木工事、電気工事および配電工事は相互に関連しているため、進捗に応じて工程の調整が必要となってくる。

特に前項のキーデートに関連している箇所については、出来るだけ早い時期に進捗の相互確認を取る必要があるため、管理者は以下の定期的な工程会議を開催するべきである。

- 週間工程会議（通常、週末日にその週の実績と翌週の予定を連絡し合い、関係箇所の段取りの調整を行う。）
- 月間工程会議（通常、月末にその月の実績を確認し、翌月以降の予定を関係者に伝える。）

### 13.1.3 品質管理

品質管理には、表13-4の範囲の内容が含まれる。

表 13-4 品質管理項目

	項 目	範 囲
1	材料品質	構造物の構成要素として使用される材料の管理 （盛立材料、骨材、コンクリート、ショットクリート、 ロックボルト、その他の施工材料・資材） 仮設構造物に使用する、あるいは仮設設備として使用する 材料は材料品質管理の対象には含まれない。これら は、施工品質あるいは安全管理の分野に含まれる。
2	出来形管理	部分を含む最終構造物の出来型の管理 プロジェクトに含まれる永久構造物が設計、仕様通りに 仕上がっているかどうかの管理
3	施工方法管理	施工方法の妥当性の管理、安全性の管理
4	機器類管理	プラント・機器・機材の性能管理

### 13.1.4 書類管理

書類管理は、工事進捗を管理するためだけでなく、融資機関や援助機関に対して、工事の進捗状況や費用の支出内容を報告する重要な手段の一つである。

書類管理の種類を表13-5に示す。

表 13-5 書類管理項目

	文書の種類	内 容
1	レター	施主、施工業者および役所などとの交信は、基本的にレターとする。
2	会議議事録	議事録はお互いが内容を確認してから保管する。
3	技術報告書	設計や検査・解析などの書類
4	図面	契約時の設計図面、変更図面、施工業者からの承認申請図面、施工業者への指示図面、竣工図面など
5	現場指示書	施工業者に対して工事内容の具体的な指示を行う際に発する書類
6	現場承認書	施工業者より提案された工事内容の具体的方法を承認する書類

(1) レター

建設工事の契約直後から施工監理者の発行するレター番号を決めておく。番号のつけ方は、発信場所、相手先、発行年、相手先を区別できるようにするのが整理し易い。発信簿と受信簿に分けて管理する。

(2) 会議議事録

➤ 3者会議

施主、施工監理者、個別施工業者の3者による定期的な会議で、主に工程について協議する。

➤ 調整会議（Coordination Meeting）

2つ以上の施工業者間にわたる工程調整等のために、施主、施工監理者、関連施工業者が集まり協議をする。

➤ 担当者会議

(3) 技術報告書

技術報告書とは、特定の問題や事項を検討・解析して、オーナーに報告書として提出するものである。

(4) 図面

1) 施工監理者の発行する図面

施工監理者が施工業者に提出する図面は、AFC（Approval for Construction Drawing）とも呼ばれる。建設開始時に、予め図面番号の付け方を決めておくのが望ましい。原則は、入札図面（Tender Drawing）の図面番号の最後に記号を加える。改訂の回数がかかるようにする。

2) 図面承認

施工業者から提出された施工図は、施工監理者が承認の審査を行うが、建設開始時に以下の事項について、施主と施工業者の間で取り決めておくことが必要である。

- 図面サイズおよびタイトル枠の様式
- 提出部数、返却部数
- 施工業者からの提出方法
- 作成者および審査者の確認サインの有無

3) 竣工図

竣工図は、契約により施工業者が作成し、施工監理者に提出する場合が一般的である。

(5) 現場指示書

現場指示書は、施工監理者が発行する。原本は施工業者が、施主と施工監理者は、それぞれ写しを保管する。現場指示書には、指示内容の他、支払い条件、工程への影響を記載する。

現場指示書の番号は、構造物、発行年月日がわかるような番号付けを推奨する。

## (6) 現場承認図書

施工業者から対象構造物、検査日時、検査内容を記載した検査申請書（Request for Inspection）を提出させる。施工監理者が承認し、施工監理者が原本を、施工業者が写しを保管する。施主もサインをするかどうかは、施主が原則として日常の検査（Inspection）に立ち会うかどうかによるので、建設前に施主と決めておく。

### 13.1.5 出来高管理

施工業者との契約で工事の進捗に応じて代金を支払う方式を出来高管理と定義する。この方式を採用した場合、工事の進捗を出来形の寸法や数量で確認する必要がある。

#### (1) 出来形測定による出来高管理

予め、出来形管理基準を作成しておき、これをもとに設計値と実測値を対比した出来形測定表と出来形管理図を作成し、出来形寸法が設計図書に合致するよう管理する。

一般的に以下の事項について管理する。

##### ➤ ベースライン測量

施工業者は、施工監理者の立会いのもと、工事数量算定の初期値と位置づける出来形の測量を行う。

##### ➤ 出来形検査

構造物などのその時点での仕上がり形状を測定計測して確認する。

##### ➤ 数量計算書及び出来高のチェック

ベースライン測量や出来形検査の結果を基に算定された数量計算書、これをもとに算定された出来高をチェックする。

#### (2) マイルストーン達成時の検査による出来高管理

定められた部分的な工事の着工または完了をマイルストーンとする方法があり、その設定の例を以下に示す。

##### ➤ 取水堰の基礎コンクリート打設開始を持って代金の一定の割合を支払う

##### ➤ 水路延長の30%がコンクリート打設完了を持って代金の一定の割合を支払う

検査および確認方法は前述と同様である。

### 13.1.6 設計変更手続き

工事の途中で当初の設計を変更する必要がある事がある。その場合、施工業者と設計変更の手続きを行う必要がある。また、融資機関や援助機関に対して報告や確認が必要となるケースが多い。

変更（Variations）には、変更（Alterations）、追加（Additions）および削除（Omissions）の3行がある。作業量の増減、作業の省略、作業の性格・品質・種類の変更、標高・原地表線・位置および寸法の変更、追加工事の施工、工事順序及び時期の変更が含まれる。

### 13.1.7 安全・衛生

建設工事は事故が発生する要因が多く、更に地方電化のように僻地での工事ため、一旦、事故や人身災害が発生すると対応や解決に多大な時間とエネルギーが必要となる。このような事故を未然に防ぐためにさまざまな対策をあてるものである。

施工監理者は施工業者が安全衛生対策を確実に実施しているかどうかを管理し、必要に応じて指導する。

- 随時、現場巡回による日常の安全・衛生状況
- 週間工程および月間工程会議時の指摘・改善事項の確認

また、施工業者に対して、以下の事項について指導する。

- 毎日の就業前の安全朝礼の実施（当日の作業項目の確認、同上の留意点の認識度、確認、体操）
- 安全目標の提示（工事内容・進捗に見合った安全に関する重点留意事項を月毎に定め、作業員の安全衛生の意識高揚を図る。）
- 安全日報の作成（施工監理者が必要に応じ閲覧できるものとする。）

## 13.2 土木設備

### 13.2.1 施工監理工事項目

一般的な土木設備の工事項目とその検査内容は、表13-6のとおりである。

表 13-6 土木設備の工事項目

	設備項目	内容	時期
1	用地確認・基準点測量	地権者、施工業者、施工監理者の3者で立会いのもと範囲や基準を確認する。	現地工事開始前
2	労務宿舎設備や工事用の仮用地確認	地権者、施工業者、施工監理者の3者で立会いのもと範囲を確認する。	施工業者現場乗り入れ前後
3	取水堰・取水口		
3.1	取水堰工事の河流処理工事	川水を流しながら行う工事なので、工事の進捗に応じて転流工事を行う必要がある。	取水堰工事開始時から完成後の湛水開始時まで随時
3.2	本体工事	基礎地盤からの漏水を防ぐことが最重要	出来る限り乾期中に行う
3.3	スクリーン、ゲート	漏水防止	施工期間中
4	沈砂池		
4.1	本体工事	不等沈下の無い様な基礎地盤	施工期間中
4.2	スクリーン、ゲート	漏水防止	施工期間中
5	水路		
	本体工事	水準管理が重要・漏水防止	施工期間中
6	水槽		
6.1	本体工事	不等沈下の無い様な基礎地盤	施工期間中
6.2	スクリーン、ゲート	漏水防止	施工期間中

	設備項目	内容	時期
7	水圧管路		
7.1	基礎工事	不等沈下の無い様な基礎地盤	施工期間中
7.2	鉄管工事	工場での検査・現場での溶接	据付施工前・後・中
8	余水路	水圧管路と同じ	施工期間中
9	発電所基礎および建物		
9.1	土木工事	不等沈下ならびに洗掘の無い様な基礎地盤	施工期間中
9.2	電気工事との接合部	鉄管の接続部・機械装置のアンカーなどの先行工事調整確認が重要	据付施工前・後
9.3	建物工事	機械装置の据付工事と調整確認が必要	据付施工前・後
9.4	発電所および放水口の 河流処理工事	河川敷よりも低い位置での工事となり、取水堰と同様の配慮が必要	施工期間中
10	放水口または放水庭		
	ゲート・角落し	漏水防止	施工期間中
11	保守管理用道路	工事期間中の運搬道路にも利用する 場合が多い	
12	管理建物		
12.1	建屋本体	不等沈下の無い様な基礎地盤	施工期間中
12.2	給排水設備	漏水防止	施工期間中
12.3	電気設備		施工期間中

### 13.2.2 材料品質

材料の品質管理の内容は、下記によって規定される。

表 13-7 材料品質項目

	規定項目	様式例
1	材料に要求される品質・規格	品質管理要領表参照
2	品質管理の内容（管理項目・頻度）	品質管理要領表参照
3	品質管理試験の記録様式	品質管理表参照
4	品質管理試験結果の報告様式	
5	品質管理試験記録の整理・保管方法	
6	品質管理試験記録の評価方法	
7	品質管理結果の活用方法	
8	品質管理試験の実施体制	

土木工事で使用する一般的な材料の項目と品質管理要領表の例を付属資料A-13-1に示す。また、主要工種の例としてコンクリートの強度品質管理表の例をA-13-2に示す。



### 13.2.3 出来形管理

一般的な出来形管理要領の例を表 13-8 に示す。また、出来形管理表例を付属資料 A-13-3 に示す。

表 13-8 出来形管理要領表例

Table 13-8 Example of Dimension Control

Work Item	Item of Measurement
Access Road	Road Width, Formation height
Stone Foundation	Width, Thickness
Leveling Concrete	Width, Thickness
Intake Weir, Settling Basin, Head Tank	Height, Width, Thickness, Formation height
Water Way, Spillway	Height, Width, Thickness, Formation height
Steel Penstock (Anchor Block)	Height, Width
Steel Penstock (Sand Foundation)	Width, Thickness
Powerhouse (Under Ground Pit)	Height, Width, Thickness, Formation height
Administration Office, Powerhouse (Building)	Height of column, Cross-sectional dimension of member, Formation height
Retaining Wall	Height, Width
Stone Masonry	Slope length, Thickness of strut, Thickness of backing concrete, Thickness of backing crusher run

### 13.2.4 現場での承認・確認手順

工事の重要度に応じた何段階かの検査・確認方法を定めておくことが、施工監理者のみでなく施工業者にとっても効率的である。

表13-9は、承認・確認行為を重要度に応じて、4段階（A～D）程度に分類した例である。付属資料 A-13-4に承認トランスミッタルの様式例、A-13-5に簡易承認確認表タイプBの様式例をそれぞれ示す。

表 13-9 承認・確認手順項目

種別	提出様式	対 象	コンサルタントの 処理	例
A	カバーレター（発信番号入り）とトランスミッタルを添付	仕様書で、施工監理者の承認事項と記載されている事項	承認時、トランスミッタルにサインする。不備がある場合は、再提出を求める。写しを施工業者に返却。	主要材料承認（コンクリート・鋼材）、各工事の開始（アクセス道路の掘削、水路の掘削開始等）
		支払いのマイルストーン		
		設計変更に係る事項		
		重要事項の議事録確認		
B	簡易承認確認票タイプ B による簡易な承認申請	仕様書で、施工監理者の承認事項と記載されている事項のうち軽微と判断されるもの	申請書に承認印を押印し、写しを施工業者に返却。	材料承認、型枠検査、コンクリート打設前検査等（ただし、マイルストーン工事は除く） 現場確認事項の議事録
		議事録確認		
		その他、コンサルタントの承認を受けたい事項		
C	カバーレター（発信番号入り）のみを添付	仕様書で、承認事項ではないが、提出と記載されている事項	受付印を押印して写しを施工業者に返却	週報の提出、月報の提出
D	口頭で連絡	承認を伴わない立会	立会者を選任し、派遣。 現場で協議事項が発生した場合は、施工業者側で議事録を作成し、承認申請を行う。	コンクリート試験の立会、用地確認等

### 13.3 電気設備

設計図書、承認申請図書、決定図書および竣工図書、機器取扱説明書は、基本的に土木と同様の承認手順で管理される。電気設備については、予め出来形認定方法が契約書で決定されており、主要機器の工場試験終了、現地搬入時、据付完了、現地試験（引取り試験）合格などの時期に支払い認定を行うのが一般的である。小規模水力などの小規模なプラントでは、竣工時一括とされる例もある。

施工監理で重要な項目は、土木工事などの他の部門とのインタフェース部分である。例を示すならば、発電所建屋の電気設備およびケーブル等を布設、据付けるための、箱抜き、基礎金物の施工を確実に土木部門の施工図に反映すること、基礎金物の供給区分を、電気設備納入者、据付業者、土木工事業者に適切に設定することなどがある。

発電設備の品質については、水車・発電機の効率、機器の製作、据付誤差の管理が重要であり、適用規格にもとづいた試験要領書を作成する、もしくは製作者に承認図書として準備させ、工場、現地で確認を行う。それらを検証する各種試験を厳正に行うことが品質確保に重要である。

### 13.3.1 水車効率の確認

水車効率は、重要なパラメータである。水車の購入仕様書もしくは見積り仕様書では、保証値として製作者に性能を保証させるのが一般的である。保証した効率を満足できない場合には製作者に罰則金を請求することになる。このため、水車の流体設計が完了し、実際の製造に入る前に、工場で実際の水車と相似な模型を用いて水車の模型試験を実施し、効率、無拘束速度、キャビテーションなどの性能の確認を行う。

水車模型試験は、IEC<sup>1</sup>などの国際規格に試験方法が規定されており、これを用いて試験を実施する。契約後、設計、模型試験、発電所の基礎コンクリート打設時に据付ける吸出し管の現地搬入までに1年程度が必要であり、工程上のクリティカルとなる例もある。

模型試験は、性能の確認として重要であるが、非常に試験費用が高価であり、小規模水力発電では、建設費に影響する。このため、近年、コンピュータを用いた流れ解析技術の高度化により、流れ解析を実施し、効率の推定を行うことで試験を省略する例もある。また、完成品としてシリーズ開発された水車を採用する場合や、汎用品のポンプ逆転水車などでは、模型試験は行われず、製品開発時の性能データを適用する。

現地での実水車の流量、有効落差、発電力を測定して効率測定を行うことも可能であるが、流量測定時の誤差が大きく、測定設備が大掛かりであり高価なため、小規模水力発電では行われないうのが一般的である。

### 13.3.2 発電機効率

水車効率と同様に発電機効率も重要なパラメータであり、契約上保証値として製作者に保証させる。水車効率と同様に確認試験として、工場で発電機を組立て、回転試験を実施し、確認する方法と、現地試験時に実機を用いて各種定数の測定を行い、効率算定する方法がある。試験方法はIEC等の国際規格に規定されており、これを用いる。小規模水力発電では、コストダウンを目指して、工場での回転試験を省略して、現地で実機を用いて測定するのが一般的である。

### 13.3.3 工場試験

工場試験は、発電機器が仕様書、契約書、および承認図書どおりに製作されていることをチェックする重要なポイントである。工場試験データの確認および実際の立会い試験は、品質管理を厳密に行うために注意深く実施されなければならない。以下に立会い試験の対象例を示す。完成品や汎用品などの購入において、立会い試験が省略されることがあるが、製作者に工場試験データを提出させ確認することは必要である。

---

<sup>1</sup> 国際電気標準会議（International Electrical Committee）

表 13-10 工場試験項目

立会い試験対象機器	
水車	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水車模型試験</li> <li>・ 吸出し管寸法試験</li> <li>・ ケーシング寸法、非破壊検査試験</li> <li>・ ランナ非破壊検査試験（仕上げ加工前）</li> <li>・ ランナ寸法検査（仕上げ後）</li> <li>・ ガイドベーン非破壊検査（仕上げ加工前）</li> <li>・ ガイドベーン寸法検査</li> <li>・ 上カバー、下カバー、ガイドリング外観構造、寸法、非破壊検査</li> <li>・ 水車主軸振れ見、非破壊検査</li> <li>・ 水車仮組立</li> <li>・ 調速機性能試験</li> <li>・ 水車補機等の性能試験</li> </ul>
発電機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上、下ブラケット外観構造、寸法、非破壊検査</li> <li>・ 案内軸受、推力軸受け寸法、非破壊検査</li> <li>・ 発電機主軸振れ見、非破壊検査</li> <li>・ 水車、発電機、ロータスポーク直結振れ見、バランス調整</li> <li>・ 固定子コイル 寸法、耐電圧試験</li> <li>・ 回転子コイル 寸法、耐電圧試験</li> <li>・ 固定子外観構造、寸法検査、耐電圧試験</li> <li>・ 回転子外観構造、寸法検査、耐電圧試験</li> <li>・ 励磁装置性能試験、耐電圧試験</li> <li>・ NGR 寸法、性能、耐電圧試験</li> </ul>
主要変圧器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外観構造、寸法検査</li> <li>・ 耐電圧試験</li> <li>・ 諸定数測定試験</li> </ul>
配電盤、開閉装置 およびその他の機 器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外観構造、寸法検査</li> <li>・ 性能試験（開閉試験、インターロック確認、シーケンス試験など）</li> <li>・ 耐電圧試験</li> </ul>

### 13.3.4 現地試験（引取り試験）

発電所としての性能、および購入、据付けの確認として製品を引取る判断をするために、現地試験（引取り試験）が行われる。加えて、工場試験データ、現地での据付時の測定値、および現地試験データは、将来の電気設備の経年による変化を比較観測するために必要な初期値となる。以下に現地試験の項目例を示す。

表 13-11 現地試験（引取り試験）項目

水車	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外観、構造検査</li> <li>・ 初回転試験</li> <li>・ メタル慣らし試験</li> <li>・ バランス調整試験</li> <li>・ 保護装置試験</li> <li>・ 負荷遮断試験</li> <li>・ 急停止試験</li> <li>・ 非常停止試験</li> <li>・ ガイドベーン制御油圧（電圧）低下急停止試験</li> <li>・ 負荷試験</li> <li>・ 監視制御装置試験（警報表示試験を含む）</li> </ul>
発電機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外観、構造検査</li> <li>・ 初回転試験</li> <li>・ メタル慣らし試験</li> <li>・ バランス調整試験</li> <li>・ 絶縁抵抗測定、耐電圧試験</li> <li>・ 発電機諸定数測定試験</li> <li>・ 相順試験</li> <li>・ 無負荷飽和特性試験</li> <li>・ 3相短絡特性試験</li> <li>・ 短絡比、および電圧変動率測定</li> <li>・ 電圧波形測定</li> <li>・ 励磁装置組合せ試験</li> <li>・ 軸電圧、電流測定試験</li> <li>・ 保護装置試験</li> <li>・ 負荷遮断試験</li> <li>・ 急停止試験</li> <li>・ 非常停止試験</li> <li>・ 負荷試験</li> <li>・ 監視制御装置試験（警報表示試験を含む）</li> </ul>
主要変圧器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外観、構造検査</li> <li>・ 変圧器諸定数測定試験</li> <li>・ 絶縁抵抗測定</li> <li>・ 耐電圧試験</li> </ul>
配電盤、開閉装置 およびその他の機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 外観、構造検査</li> <li>・ 性能試験（開閉試験、インターロック確認、シーケンス試験など）</li> <li>・ 耐電圧試験</li> <li>・ 遠方制御試験</li> </ul>

## 13.4 配電設備

### 13.4.1 施工監理工事項目

一般的な配電設備の工事項目とその検査内容は、以下のとおりである。

表 13-12 工事項目と検査内容

	設備項目	検査内容	時期
1	電柱位置、電線ルート 確認	地権者、施工業者、施工監理者の3者で立会いのもと位置を確認する。	現地工事開始前
2	支持物工事	建柱は垂直か？ 根入れ深さは十分か？ 根巻きは適切か？ 埋め戻し、残土処理は適切か？	据付期間中・後
3	支線工事	支線のアンカーの埋め込み深さは適切か？ 支線の高さはよいか？	据付期間中・後
4	接地工事	接地極の埋設深さ、接地線の施設方法はよいか？ 接地抵抗値は基準値以下か？	据付期間中・後
5	腕金	腕金、アームタイ、バンドの取り付けは適切か？	据付施工中・後
6	碍子	碍子の使用区分、取付方法は適切か？	据付施工中・後
7	電線	弛度は適切か？ 地上高、他物との距離はよいか？ 電線の支持方法は適切か？ 接続方法は適切か？ 絶縁抵抗は基準値以上か？	据付施工中・後
8	変圧器	変圧器が堅固に取り付けられているか？	据付施工中・後
9	開閉器類	開閉器は堅固に取り付けられているか？ 保安装置のヒューズ容量は適切か？	据付施工中・後
10	電力量計	取付場所、取付高さは適切か？ 電線の接続は正しいか？ 絶縁抵抗は基準値以上か？	据付施工後

### 13.4.2 材料品質

配電工事で使用する一般的な材料の品質管理は、工場における立会試験、メーカーによる品質検査、サンプル抽出による検査など、材料の重要度や数量に応じて使い分ける。

### 13.4.3 現場での承認・確認手順

土木工事と同様で、重要度と施工段階に応じた検査・確認方法を定めておくことが効率的である。

第13章の参考文献

- [1] 無償資金協力に係るガイドライン等、国際協力機構、2010年
- [2] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画基本設計調査、国際協力機構、2005年

**第 4 部**  
**電氣事業運営**



## 目 次

### 第 14 章 電気事業運営機関と電気料金

14.1	組織の構成.....	14-1
14.1.1	組織の設立.....	14-1
14.1.2	実施機関.....	14-3
14.2	電気料金の設定と料金回収および財務管理.....	14-5
14.2.1	電気料金設定の基本方針.....	14-5
14.2.2	維持管理費用の算定.....	14-5
14.2.3	電気料金体系の選定.....	14-6
14.2.4	電気料金の設定.....	14-7
14.2.5	加入時の利用者負担.....	14-7
14.2.6	電気料金回収及び事務処理方法.....	14-8
14.2.7	簡易収支バランスによる経営管理.....	14-10
14.2.8	運用開始後 1～2 年間の経営管理.....	14-12

### 第 15 章 設備の運転維持管理

15.1	一般.....	15-1
15.1.1	工務および調整業務.....	15-1
15.1.2	給電指令.....	15-3
15.2	土木設備.....	15-5
15.2.1	運転業務.....	15-5
15.2.2	維持管理業務.....	15-6
15.3	電気設備.....	15-10
15.3.1	運転・巡視.....	15-10
15.3.2	点検.....	15-10
15.3.3	予備品.....	15-13
15.4	配電設備.....	15-14
15.4.1	運転業務.....	15-14
15.4.2	維持管理業務.....	15-18

### 第 16 章 電気事業運営への支援

16.1	一般.....	16-1
16.2	運転開始前の支援.....	16-1
16.3	電力供給開始後の運営支援.....	16-3

## 表リスト

表 14-1	実施機関の規模・人員の目安 .....	14-3
表 14-2	事務管理部門の業務項目 .....	14-4
表 14-3	電化規模に応じた電気料金の体系 .....	14-6
表 14-4	消費電力量 kWh 当り原価の計算例.....	14-7
表 14-5	月間収支バランス管理シート(例).....	14-11
表 15-1	運転・保守運用の技術業務項目 .....	15-4
表 15-2	土木設備の運転業務 .....	15-5
表 15-3	土木設備の維持管理業務 .....	15-6
表 15-4	土木設備の点検チェック項目例 .....	15-9
表 15-5	発電機器の点検内容 .....	15-11
表 15-6	予備品リストの例 .....	15-13
表 15-7	配電設備の主な運転業務 .....	15-14
表 15-8	計画停電手順書例 .....	15-15
表 15-9	配電設備の事故記録例 .....	15-17
表 16-1	電気事業運営開始前支援.....	16-2
表 16-2	事務管理業務指導.....	16-2
表 16-3	土木設備の運転維持管理指導.....	16-2
表 16-4	電気設備の運転維持管理指導.....	16-3
表 16-5	配電設備の運転維持管理指導.....	16-3

## 図リスト

図 14-1	電気事業運営体制 .....	14-2
図 14-2	電気料金回収及び事務処理方法システムのフロー .....	14-9
図 15-1	設備の運転維持管理業務 .....	15-1

## 第 14 章

# 電気事業運営機関と電気料金

## 第14章 電気事業運営機関と電気料金

### 14.1 組織の構成

#### 14.1.1 組織の設立

電力供給を行うためには、まず電気事業運営機関を設立する必要がある。

円滑な運営とするためには、組織は第6章で述べた運営準備機関を母体とするのが良い。組織は以下の基本方針に沿って設立されることが望ましい。なお、人材育成・体制作りの方法はその国々によって事情が異なるため、第16章で述べる専門家からの適切な指導が必要である。

##### (1) 基本方針

- 電気事業運営機関はその国の法律上、合法的なものでなければならない。一般的には電気組合またはその地域または国の電力公社の形態が採用されている。
- 構成要員は地元在住者を原則とする。
- 透明性が確保できる経営・運営体制とする。運用開始後は、援助機関または支援機関に対して経営状況を報告できる体制とすることが望ましい。
- 社会調査結果を十分踏まえた運営を行う。

##### (2) 組織の形態

電気事業運営機関の形態は概ね以下の3ケースがある。

###### 1) 中央政府の電力公社または電力会社が直接運営する方法

電力公社または電力会社の支店や出張所のような位置付けで運営を行う方法。持続可能な運営という観点では、組織力が強いので最適な方法である。

###### 2) 管理組合による運営方法

電化の規模が200戸程度と小さく、財務上、専従者を多数雇用することが困難な場合。または、中央政府の電力公社または電力会社が直接経営する事が困難な場合に採用される。

###### 3) 独自に設立する公社による運営方法

電化の規模が500戸から1,000戸以上で比較的大きい場合で、中央政府の電力公社または電力会社による直接の経営が困難な場合に採用される。

このうち、新たに組織を設置する場合の例を以下に示す。

電気事業運営の組織は、実務を行う実施機関とその経営を監査指導する経営委員会からなる。

図14-1に、電気事業運営のための組織の例を示す。

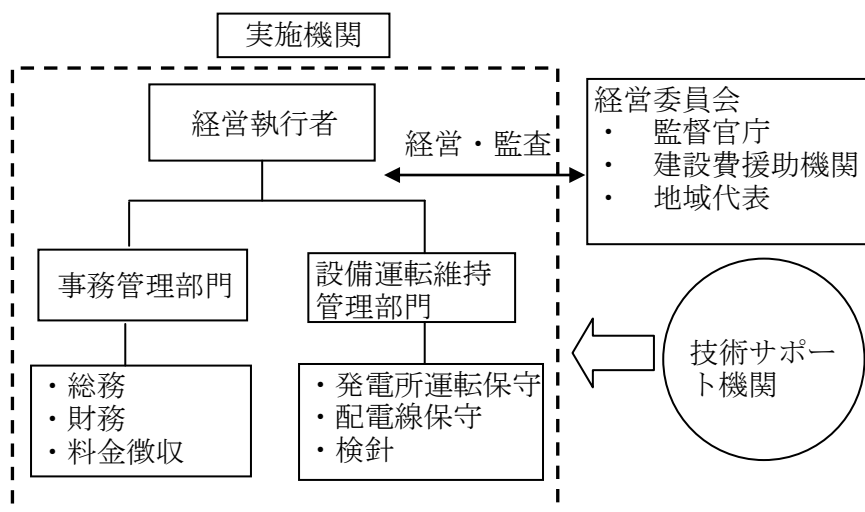


図 14-1 電気事業運営体制

(a) 経営委員会（Joint Steering Committee）

事業の経営権を有する委員会で、メンバーは地域ならびに地方電化や電力事業の監督官庁に加えて建設資金の援助機関などからの代表者で構成され、以下の責務を負う。

- 経営方針
- 経営管理の実務を行う経営執行者の任命・解任
- 電気料金の設定（上部に認可機関がある場合は電気料金の提案申請）
- 主要な補修・修繕計画の承認
- 財務監査

経営委員会は4半期から1年毎に委員会を開き、運営状況を監視・指導する。

(b) 実施機関（Management Body）

経営委員会が選任した経営執行者が、電気事業の実務を担当する。実施機関は、電気料金の徴収や組織運営上の事務管理部門と発電所の運転保守や配電線の保守などの設備運転維持管理部門の2部門からなる。

(c) 運転保守の技術サポート機関

技術的な経験に乏しいスタッフによる運転保守となるため、電力設備の運用保守の専門技術を有する電力公社などの機関から以下のサポートは必須である。

- 運転を開始後に発生する初期トラブルへの対応
- 定期点検、修理
- スペアパーツの補充指導

上記を初期の段階で怠ると、機器の寿命を著しく縮めるため、建設段階から技術サポートを行う機関と包括の契約を結んでおくことが望まれる。

## 14.1.2 実施機関

### (1) 業務事項

電気事業運営機関は、事務系と技術系に分けられる。

事務管理部門は、以下に示す項目の業務を行う。

- 人事労務（雇用、給与管理、就業管理）
- 総務（会議、文書管理、事務消耗品および機器の管理、安全管理、その他）
- 予算（経営計画、年度予算、支出入管理）
- 経理（帳簿管理、決算、資産管理）
- 財務（出納、財務管理）
- 顧客管理（顧客管理、料金徴収）
- 調達管理（建設工事契約、修繕補修業務の契約、購入）
- 在庫管理（倉庫管理、燃料および物品の管理）

より詳細を表 14-2 に示す。

上記の業務の実施に際しては、業務に優先順位を付け、優先順位の低い業務は出来る限り簡素化を図る。

設備運転維持管理部門は次の業務を行う。なお具体的な事項については第 15 章に記載する。

- 水力発電所の運転、維持および施設管理
- 配電線を含む施設全体の維持、点検、スペアパーツの管理及び修理
- 各発電所の運転状況の把握、起動・停止指令
- 電力使用量検針

### (2) 電気事業運営機関の規模・人員の目安

電気事業運営機関の規模は、電力の供給規模によって異なる。

表 14-1 に電力の供給規模に応じた目安の人員を示す。

表 14-1 実施機関の規模・人員の目安

職 種	単位	目安規模（集落戸数）			
		200 以下	200～500	500～1,000	1,000 以上
発電規模	kW	～40	40～100	100～300	300 以上
目安最低人員					
1 組織長	人	1	1	1	1
2 次長級（事務・技術）	人			1	2
3 事務管理員	人	1	2	2	4
4 発電所運転保守員	人	4	4	4	5
5 配電保守員（検針・請求）	人		2	2	3 以上
計	人	6	9	10	15 以上

表 14-2 事務管理部門の業務項目

I. 全般管理業務	II. 財務	III. 調達
1 人事労務	1 予算	1 調達
1) 雇用	1) 経営計画	1) 建設工事契約
i) 求人	i) 中長期経営戦略	
ii) 昇格	ii) 中長期計画	
iii) 解雇	iii) 経営委員会への報告	
iv) 退職	iv) 電気料金の改定	
2) 給与	2) 年度予算	2) 修繕補修業務の契約
i) 給与規定	i) 予算方針	
ii) 昇給	ii) 予算編成	
iii) 人件費	3) 支出入管理	
3) 就業管理	i) 支出入のチェック	3) 購入
i) 就業規則	ii) 会計監査	
ii) 勤務表	2 経理	
2 総務	1) 帳簿管理	2 在庫管理
1) 会議	i) 出納簿	1) 倉庫管理
i) 会議設定調整	ii) 台帳	i) 倉庫の在庫管理台帳
ii) 議事録	2) 決算	ii) 出入庫の記録
2) 文書管理	i) 賃借対照表	2) 燃料および物品の管理
i) 内規	ii) 損益計算書	i) 定期的なチェック
ii) 文書保管	iii) 決算報告	ii) 決算時のたな卸し
	3) 資産管理	
3) 事務消耗品および機器の管理	i) 固定資産	
i) 事務機器および什器	ii) 在庫管理台帳	
ii) 事務消耗品	3 財務	
iii) 配車管理	1) 出納	
4) 安全管理	i) 現金収入	
i) 設備の安全管理	ii) 現金支出	
ii) 従事者の安全管理	iii) 現金出納管理	
iii) 安全規則	iv) 現金管理および銀行預入	
iv) 懲罰規則	2) 財務管理口	
5) その他	i) 資金計画	
i) 委託業務	ii) 借り入れ	
ii) 郵便管理	4 顧客管理	
iii) 広報	1) 顧客管理	
iv) その他	i) 顧客台帳	
	ii) 料金台帳	
	2) 料金徴収	
	i) 電力計の記録	
	ii) 電気料金の請求書および徴収	

## 14.2 電気料金の設定と料金回収および財務管理

### 14.2.1 電気料金設定の基本方針

電気料金の基本的考え方は、掛かる費用は裨益者が負担する「原価主義」である。ただし、建設費用分を電気料金に加味すると経済的に地方電化そのものが成立しないため、受け入れ可能な料金を超える部分は援助機関からの支援によるものとする。

電気料金は、電気事業運営機関にとって最も重要な財務的原資である。電気事業運営機関が将来に渡って持続可能な状態を保つためには、以下に示す基本方針を採用することが望ましい。

- i) 公平性確保の観点から、全ての利用者が電気料金を負担し、その収入で電気事業運営機関が維持される。
- ii) 安定経営を維持させるため、運営上の財務収支バランスの安定を最優先とする。
- iii) 援助によって設けられた設備は、その回収に掛かる費用は含めないが、機械の性能を維持して行くための点検・修理・補修に掛かる経費を確保する。
- iv) 上記条件を満足させた上で可能な範囲で低所得者向けの電化を促進する。

### 14.2.2 維持管理費用の算定

初期の設備投資の回収分（減価償却費）を除く費用は、電気料金収入によって賄われる。その主な費用項目は、以下のとおりである。

#### (1) 人件費

機関長・事務管理担当・運転員などに直接支払う、従事者の給与や手当などの人件費を計上する。

#### (2) 事務経費

組合や公社などの電気事業運営機関の人件費を除く事務管理に掛かる経費を計上する。事務所の光熱費、事務消耗品費、旅費などで人件費の60～120%程度を見込む。

#### (3) 設備の営繕費

通常の運転状態で要する設備維持に掛かる費用を計上する。工具類、油脂、スペアパーツなどが該当する。

#### (4) 減価償却費

小水力の地方電化の建設費は援助金や補助金などで賄われている場合が多い。電気料金に減価償却費を計上すると、非常に高いものとなり、利用者が負担出来なくなる。そのため、本来の目的である電化計画が成り立たなくなる。

したがって、電気料金設定上では、減価償却費相当を計上しない場合が多い。

減価償却費を計上しないと、設備更新費用が蓄積されないこととなる。すなわち、設備が壊れたら電力供給が不可能となり、未電化状態に戻ることになる。それを防ぐ目的で次項のオーバーホール積立金を設ける必要がある。



本件の考え方は、国や機関などによって賛否両論があるため、関係者間で十分な協議を行う必要がある。

(5) オーバーホール積立金

電化計画が持続可能なものとするために、水車、発電機などの機器は数年毎に分解組立を含めた専門家による点検を行う必要がある、その費用を積み立てておく必要がある。電気設備の製造者である外国人技師が点検補修を行うため、その資金を準備する必要がある。

(6) その他諸経費

税金、保険およびロイヤリティーなどの諸費を計上する。

### 14.2.3 電気料金体系の選定

健全な運営が行われるためには、経営上、赤字を出さない電気料金を設定する必要がある。電気料金は運営体制および電化規模を考慮して、公平性と透明性を保ちつつ出来る限り簡単に運用し易い料金体系を採用する事が望ましい。

一般的に料金は大きく固定料金と従量料金に分けられる。

固定料金は電力使用量に係わらず支払う料金である。需要量が小さい小規模な村落電化などの場合は、水力発電所の維持管理費を確保するため、固定料金を採用するケースが多い。また、規模が比較的大きい場合では、電力量計の容量に応じて「基本料金」として徴収するケースがある。

従量料金は1kWh当りの単価を設定し、電力使用量を乗じた料金である。単価は使用量や利用者などのカテゴリー別に分ける場合もある。

表14-3に、電化規模に応じた電気料金の一般的な体系を示す。

表 14-3 電化規模に応じた電気料金の体系

電化規模	需要家構成	電力量計の有無	固定料金	従量料金	1戸当たり月間消費電力量の目安 (kWh/戸)
～100戸	農家	無	有	無	10～20
～200戸	商家などと混在	有	有、無どちらも可	kWh料金一定	20～30
～1,000戸	商家、工場などと混在	有	有、無どちらも可	kWh料金一定	50～80
500～1,500戸	商家、工場などと混在	有	有、無どちらも可	kWh料金一定、または kWh料金可変	80～100

### 14.2.4 電気料金の設定

平均電気料金は、販売される消費電力量のkWh当りの原価以上とする必要がある。算定に用いる消費電力量は電化の当初1年程度は需要が安定しないため、2，3年先を見越した値を設定する。

電気料金設定の根拠となる消費電力量のkWh当りの原価計算例を表14-4に示す。

不払いや盗電などのコマーシャルロスが生じるため、電気料金の設定に当っては、下表で求めたkWh当り費用にそれらの損失分を上乗せする必要がある。

表 14-4 消費電力量 kWh 当り原価の計算例

項目	単位	中規模集落	大規模集落	備考	ケース 7
<b>電化条件</b>					
1 集落数	戸	300	1000		1500
2 配電線延長	km	15	35		60
3 一戸当り月間消費量	kWh/M/戸	15	40		80
4 発電出力	kW	55	300		600
5 年間消費電力量	MWh/年	54	480		1,440
6 月間消費電力量	MWh/月	5	40		120
7 従業員数	人/月	6	12		15
<b>経費の算定</b>					
1 人件費	US\$/月	300	1,020		1,500
2 事務経費	US\$/月	300	1,020	人件費率	1,500
3 営繕費	US\$/月	200	200		200
4 減価償却費	US\$/月	0	0		
5 オーバーホール積立金	10%	80	224	上記1～3の比率	320
6 その他諸経費	5%	40	112	上記1～3の比率	160
7 合計	US\$/月	920	2,576		3,680
kWh当り費用	USセント/kWh	20.4	6.4		3.1
一戸当り出費額	US\$/月	3.1	2.6		2.5

### 14.2.5 加入時の利用者負担

電気利用者が加入時に支出する一般的な費用は以下のとおりである。

(1) 引き込み線工事費

電力量計が電柱に取り付けられている場合は、利用家屋から電柱の間の引き込み線が必要となる。電線の延長は位置関係によるが、数メートルから数十メートルの範囲である。

(2) 屋内配線工事費

家屋内での配線であり、ブレーカーを設置し引き込み線よりも細いコードで配線する費用である。

(3) 電力量計設置費用

利用者の消費電力量を計測する機器の費用である。プロジェクトによっては、電気事業運営機関が設置する場合がある。

(4) 保証金の徴収

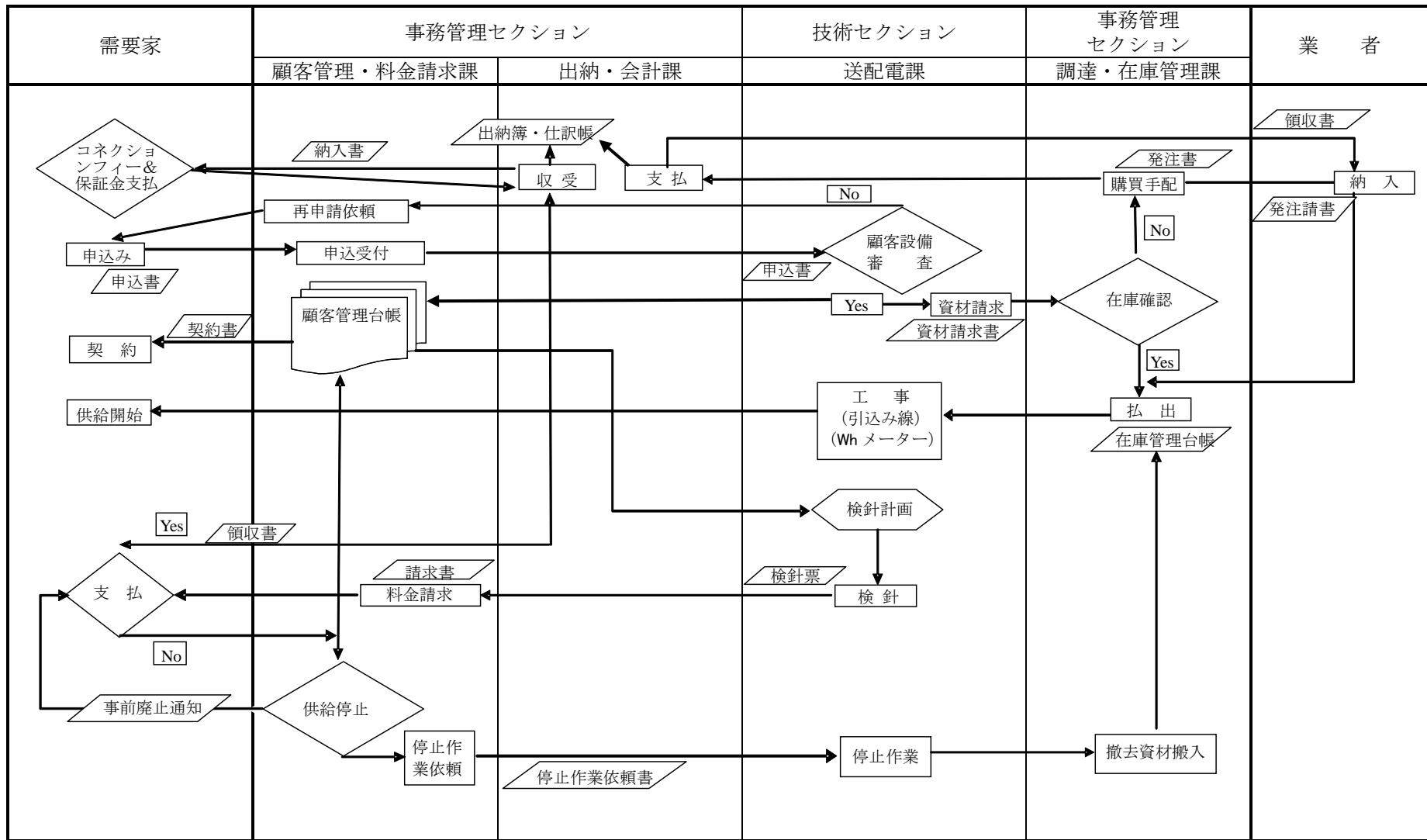
電気料金の滞納や未納の担保として、1～2ヶ月分相当の電気料金を加入時に徴収する場合がある。電気事業運営機関が、電化初期の運営費用として利用する側面もある。

#### 14.2.6 電気料金回収及び事務処理方法

この課金システムは、通常MBC（Metering-Billing-Collection）と称されており、需要家からの申込・需給契約の締結に始まり、需要家の消費電力量の検針、これに基づく請求と需要家の料金支払の收受までの一連の手順を確立し、これに則った確実なシステムの運営を言う。また、需要家の料金滞納があった場合に、どのように対応するかも、収入面はもとより、経営の規律面からも重要であり、これについても課金システムの一部となる。図14-2に課電気料金回収及び事務処理方法システムのフローを示す。

下記方法は標準的な手法であるが、それぞれのプロジェクトが置かれている状況などにより、記載したものと異なった手法がとられることがある。

図 14-2 電気料金回収及び事務処理方法システムのフロー



### 14.2.7 簡易収支バランスによる経営管理

健全な経営を続けるため、電気事業運営機関の管理者は、毎月、電気料金収入と運営経費の収支バランスを計算し、予想と実績の比較、差分の理由の解明、向う数ヶ月の予想など行う必要がある。

月々の収支バランスを簡易的に行うシート例を表14-5に示す。なお、経理上の財務収支計算などの作業は別途詳細に行う必要がある。

予め1年分の予想値を入力して置き、実績が出る度に更新していく方法で煩雑な集計作業結果を待たずに経営状態を管理することが出来る。

表の各項目は、以下のとおりである。

#### (1) 発電実績欄

- (a) 発電量 (kWh/月) : 発電端の月間発電電力量
- (b) 消費電力量 (kWh/月) : 需要端（検針）の月間消費電力量
- (c) 配電ロス (%) : 配電による電力量損失  $(1-(b)/(a)) \times 100$

#### (2) 料金収入欄

- (d) 請求金額 : 消費電力量(b)に相当する月間販売電力料
- (e) 徴収金額 : 期日までに実際に徴収された金額（第一回集計時）  
滞納分が納金された時点で更新する。
- (f) 未徴収率 (%) : 滞納分が納金された時点で更新する。

#### (3) 支出欄

- (g) 人件費 : 月々の人件費
- (h) 事務経費 : 事務所の運営のために支出する費用
- (i) 営繕費 : 電力設備の運転や補修や部品交換に掛る費用
- (j) その他諸経費 : 税金やロイヤリティーなど
- (k) 積立金 : 数年毎のオーバーホールのための積立金
- (l) 計 :  $(g)+(h)+(i)+(j)+(k)$

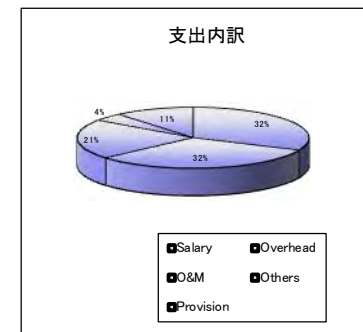
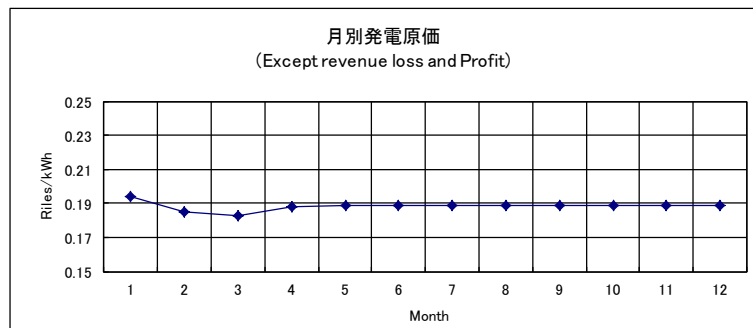
#### (4) 発電コスト・収益

- (m) kWh 当り費用 (金額/kWh) : 月間支出(l)/(b)
- (n) 月間収支 : その月の収支バランス(e) - (l)
- (o) 利益率 (%) : その月の収支から求められた利益率

表 14-5 月間収支バランス管理シート(例)

オーバーホール積立金 10% (収入比率) Tariff Rate 22 cent/kWh  
 諸費用 5% (人件費 + 事務管理費 + O&M費) の比率

月	発電実績			料金収入			支出					発電単価 \$/kWh	利益			
	発電量 kWh (a)	消費電力量 kWh (b)	ロス % (c)	請求額 (d)	徴収額 (e)	ロス % (f)	人件費 (g)	事務経費 (h)	営繕費 (i)	その他諸 経費 (j)	小計 (k)		積立金 (l)	計 (m)	(n)	(o)
1 Jan	5,869	4,850	21%	1,067	1,014	5%	300	300	200	40	840	101	941	0.19	72	7%
2 Feb	6,081	5,110	19%	1,124	実績値 1,087	5%	300	300	200	40	840	107	947	0.19	121	11%
3 Mar	6,344	5,200	22%	1,144	1,087	5%	300	300	200	40	840	109	949	0.18	138	13%
4 Apr	5,924	5,020	18%	1,104	1,049	5%	300	300	200	40	840	105	945	0.19	104	10%
5 May	6,000	5,000	20%	1,100	1,045	5%	300	300	200	40	840	105	945	0.19	101	10%
6 Jun	6,000	5,000	20%	1,100	計画値 1,045	5%	300	300	200	40	840	105	945	0.19	101	10%
7 Jul	6,000	5,000	20%	1,100	1,045	5%	300	300	200	40	840	105	945	0.19	101	10%
8 Aug	6,000	5,000	20%	1,100	1,045	5%	300	300	200	40	840	105	945	0.19	101	10%
9 Sep	6,000	5,000	20%	1,100	1,045	5%	300	300	200	40	840	105	945	0.19	101	10%
10 Oct	6,000	5,000	20%	1,100	1,045	5%	300	300	200	40	840	105	945	0.19	101	10%
11 Nov	6,000	5,000	20%	1,100	1,045	5%	300	300	200	40	840	105	945	0.19	101	10%
12 Dec	6,000	5,000	20%	1,100	1,045	5%	300	300	200	40	840	105	945	0.19	101	10%
計	72,217	60,180	17%	13,240	12,578	5%	3,600	3,600	2,400	480	10,080	1,258	11,338	0.19	1,240	9.9%



#### 14.2.8 運用開始後1～2年間の経営管理

運用の開始後1年間から2年間は、電化による電気利用者が増加する過程で電力需要量が計画値に満たないため、支出に見合う料金収入が得られない場合が多い。そのため財務面での対策が必要となってくる。その方法に決まりはないが、以下に示す幾つか案が考えられる。

- i) 加入時の利用者からの保証金を当面の運営資金の一部に当てる。
- ii) 金融機関から借り入れる。
- iii) 援助機関および政府機関からの資金的援助を得る。

上記の i) および ii) は負債となるため、将来的に補填または返済が必要となる。その原資はまず、利益および余剰金を引き当てるが、なおも不足となる場合は電気料金の改訂を行う必要がある。

第14章の参考文献

- [1] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画基本設計調査、国際協力機構 2005年
- [2] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト、国際協力機構、2011年



# 第 15 章

## 設備の運転維持管理

## 第15章 設備の運転維持管理

### 15.1 一般

電力供給は、24時間休み無く供給されることを基本とする。そのため、設備の運転維持管理は常に機能する体制を整えておく必要がある。本項では土木、電気、配電などの技術業務を取りまとめ、管理する事項について記載する。

電力設備の技術関連業務は、大きく運転と維持管理業務からなる。

下図は主な業務を示したものである。また、表15-1に運転保守の技術部門の業務項目の一覧を示す。

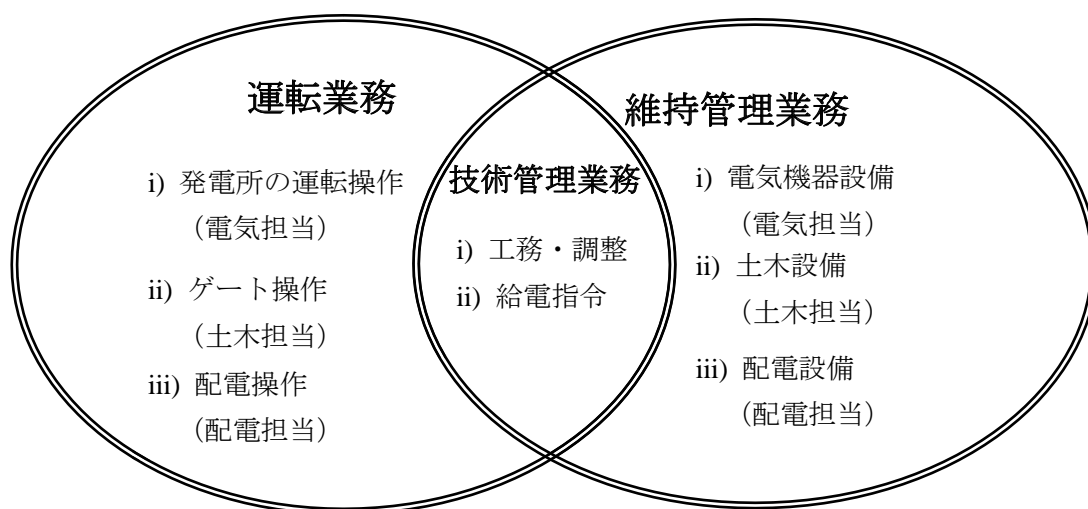


図 15-1 設備の運転維持管理業務

上記の業務は相互に関連しながら運営されて行くものであり、それらの一つが欠けたりすると、トラブルが発生し、正常な運用の継続が出来なくなる。また、電力技術基準が定められているか準備中の国においては、当然、それに準拠する必要がある。

以下に、業務の分担方法について例を記載する。適用に当たっては、それぞれの組織の実情に沿って作成する。

#### 15.1.1 工務および調整業務

##### (1) 庶務

- |         |                           |
|---------|---------------------------|
| 1) 労務管理 | : 技術職員を対象としたワークシフトなど勤務の管理 |
| 2) 業務調整 | : 各担当間の業務を調整するための機会の提供    |
| 3) 安全管理 | : 技術面からの電力設備運営の安全の管理      |

(2) 文書管理

- 1) 運転記録 : 作成された日報、週報、月報、年報の運転記録の保管と集計
- 2) 補修修繕記録 : 作成された補修記録簿の保管と集計
- 3) 事故・緊急対応記録 : 作成された事故や緊急時対応記録簿の保管と集計
- 4) 運転計画 : 作成された日間、月間、週間、年間の運転計画の保管と集計

(3) 中長期計画および予算作成（比較的規模が大きく需要が確実に伸びているケース）

- 1) 補修計画 : 5年程度を見越した補修計画とその予算計上
- 2) 定期点検計画 : 土木設備や電気機器ならびに配電設備などの定期点検計画とその予算計上
- 3) 工具・部品調達計画 : 設備や機器の部品や油脂など、性能および品質維持のための部品交換の計画とその予算計上

(4) 資産管理（事務管理部門に対しての技術面からの協力）

- 1) 固定資産台帳管理 : 災害や補修などにより変化が生じた場合に、設備運転管理部門から事務管理部門にその内容を伝える。
- 2) 資機材在庫台帳管理 : 部品などの利用予定や見込みなどを設備運転管理部門から事務管理部門に伝える。

(5) 需要家技術対応

- 1) 供給停止 : 事故の原因となった設備を管理する部門が、事故復旧（修理）を担当する。給電もしくは系統制御を担当する部門が事故復旧の指示を行なうことが多い。
- 2) 異常電圧 : 異常電圧の原因となった設備を管理する部門が、異常電圧の原因調査、対策を担当する。需要家の電圧を管理する配電部門が行なうことが多い。
- 3) 電力量計の故障 : 電力量計の円板が回らないなど、電力量計の故障に関する苦情・要望への対応である。電力量計を管理する配電部門が対応することが多い。
- 4) 電力量計の検査 : 電力量計の誤差が大きいと思われる場合など、電力量計を検査することである。電力量計を管理する配電部門が対応することが多い。

(6) 顧客対応

- 1) 受電申請技術審査 : 新規需要家からの受電申請や既存需要家からの容量増の申請があった場合など、接続工事の必要性を判断する。需要家の電圧を管理する配電部門が行なうことが多い。
- 2) 接続工事 : 新規電力量計、引込線の設置など新規需要家の受電申請に対応

- する工事や既存需要家の増設に対応する電力量計の取り替えなどを行なう。電力量計を管理する配電部門が行なうことが多い。
- 3) 検針 : 毎月もしくは決まった期間ごとに電力量計の指数を読む。電力量計を管理する配電部門が行なうことが多い。
- 4) 請求書配布 : 検針結果をもとに需要家に電気料金の請求書を配布する。電力量計を管理する配電部門が行なうことが多い。
- 5) 仮接続および解除 : 工事など臨時に電力を使用する場合に仮設備として電力量計などを設置する。電力量計を管理する配電部門が行なうことが多い。
- 6) 電力量計の撤去 : 契約解除など需要家が電力を使わなくなった場合に電力量計を取り外す。電力量計を管理する配電部門が行なうことが多い。

### 15.1.2 給電指令

電気は需要に合った供給を行わないと、周波数や電圧が乱れ正常な電気が送れなくなる。需要は一刻一刻変化するため、それらを監視して発電所に対して出力の指令を出す役目が必要となる。この給電指令担当は運転業務の中で中核となるものである。

表 15-1 運転・保守の技術業務項目

一般技術管理事項		発電所事項		配電設備事項	
1 庶務		1 発電設備の維持管理および安全作業		1 配電設備の維持管理および安全作業	
	i) 採用	2 作業管理		2 作業管理	
	ii) 人事評価	i) 就業規則		i) 就業規則	
	iii) 労務管理	ii) 勤務表		ii) 勤務表	
	iv) 安全管理	iii) 運転員当直予定表		3 配電設備計画	
2 文書管理		3 データ・記録管理		i) 中長期計画・予算	
	i) 運転記録	i) 運転記録		ii) 日常業務計画(維持管理および建設)	
	ii) 補修・修繕記録	ii) 取水堰、水路および水槽の水位		4 配電設備運用	
	iii) 事故・緊急対応記録	iii) 補修記録		i) 系統解析(負荷、配電ロスおよび電圧降下)	
	iv) 運転計画	iv) 故障および緊急時の記録		ii) 電流および電圧測定	
3 中長期計画および予算作成		v) 運転計画		5 計画停電	
	i) 補修計画	vi) 中長期計画・予算		i) 開閉器操作手順	
	ii) 定期点検計画	4 土木設備及び電気設備の運転・保守		ii) 需要家への周知	
	iii) 工具・部品調達計画	i) 日間の運転		iii) 開閉器操作指示	
4 資産管理		ii) 補修		iv) 開閉器操作	
	i) 固定資産台帳管理	iii) トラブルシューティング		v) 記録	
	ii) 資機材在庫台帳管理	5 土木設備の運転保守		6 事故停電	
5 需要家への技術対応		i) 運転:取水ゲート、排砂ゲート		i) 停電復旧手段の決定	
	i) 供給停止	ii) 保守:スクリーン全面の塵芥処理など		ii) 停電復旧作業指示	
	ii) 異常電圧	6 電気設備の運転保守		iii) 事故点探査および事故復旧	
	iii) 電力量計の故障	i) 水車、調達器、入口弁、潤滑油装置、給排水装置		iv) 記録	
	iv) 電力量計の故障検査	ii) 外部点検及び内部点検		7 配電設備の維持管理	
6 顧客対応		7 土木設備の点検/パトロール		i) 巡視および点検	
	i) 受電申請技術審査	i) コンクリート構造物、ゲート、水圧鉄管、管理用道路など		ii) 記録	
	ii) 接続工事	8 土木設備及び電気設備の補修計画		iii) 配電線接続障害物の除去およびその所有者との交渉	
	iii) 検針			iv) スペアパーツ管理	
	iv) 請求書配布			v) 工具管理	
	v) 仮接続および解除			8 配電設備建設	
	vi) 電力量計の撤去			i) 仕様書の作成	
				ii) 建設	
				iii) 建設管理	
				iv) 検査	
				v) 設備台帳管理	

## 15.2 土木設備

土木設備の維持管理の対象物は、取水堰、取水口、沈砂池、導水路、水槽、水圧管路、発電所、放水口および管理用道路などであり、設備の安全な運用と事故の予防を目的として維持管理を行う必要がある。

### 15.2.1 運転業務

#### (1) 運転業務項目

土木設備の主な運転業務は、以下のとおりである。

表 15-2 土木設備の運転業務

業務項目		内 容
1	ゲート操作	取水堰本体の土砂吐ゲート、取水口ゲート、沈砂池の土砂吐ゲート、水槽の土砂吐ゲート、放水口ゲート、他ゲートの開閉操作
2	運転の記録と報告	上記のゲート操作の運転実績を規定した様式に記録し、管理者に報告する。
3	水位測定	取水口および水路に設置された量水漂を定期的に測定し記録する。
4	事故対応	土木設備関係で事故が発生した場合の対応

#### (2) ゲート操作

##### 1) 取水堰本体の土砂吐ゲート

取水堰の池の水位を下げたり、取水口前面に堆積した土砂を水流で堰堤の下流に吐き出したりするためのゲート。発電時は閉められている。

##### 2) 取水口ゲート

発電用の水を取水する時は開けられている。導水路内の水を抜いて点検や補修を行う時は閉められている。

##### 3) 沈砂池の土砂吐ゲート

沈砂池に溜まった土砂を吐き出すためのゲート、また、構造物の点検や補修時に導水路内の水を抜く時にも利用する。発電時は閉められている。

##### 4) 水槽の土砂吐ゲート

水槽に溜まった土砂を吐き出すためのゲート、また、構造物の点検や補修時に導水路内の水を抜く時にも利用する。発電時は閉められている。

##### 5) 放水口ゲート

発電所・放水路内の点検や補修時に閉められ、発電時は開けられている。

6) その他の水路ゲート

導水路延長が長い場合、途中で水を抜くためのゲートを設ける場合がある。発電時は閉められている。

(3) 運転の記録と報告

前述のゲート操作の記録をその都度作成して責任者に報告する。

(4) 水位測定

水槽や導水路の水位を測定することにより発電に用いる水量を計測する。取水口と放水口地点の水位流量曲線を事前に準備しておく。

特に流量の少ない乾期には、毎日の水位を記録をすることにより、翌日の発電電力量の予測が可能となる。また、長期間の資料を蓄積して集計することにより、季節や年間の発電計画を立てる際の重要なデータとなる。

### 15.2.2 維持管理業務

(1) 維持管理業務の項目

土木設備の主な維持管理業務は、以下のとおりである。

表 15-3 土木設備の維持管理業務

項目		内容
1	文書作成管理	維持管理や点検記録簿の作成・整理
2	土木設備の維持管理パトロール	重要度に応じた頻度で定期的に土木設備の維持管理のためのパトロールを実施する。
3	補修と改善のための調査検討	大規模な修繕や補修工事を除く通常業務での補修および改善事項を対象とする。
4	その他	上記以外で発電維持管理に係わる土木業務

(2) 巡視点検項目と頻度

表 15-4 に、巡視点検項目とその頻度を示す。

通常、週間巡視点検は週明け、月間巡視点検は月初めに実施される。点検結果は予め準備した様式に記載して、責任者に報告する。付属資料 A-15-1～15-3 に土木設備の点検チェックシート例を示す。

(3) 補修

巡視点検においてトラブルが発見された場合、直ちに補修または改良の計画を立てた上で実行することとし、補修または改良の計画は、点検結果や追加調査結果に従って作成する。安全確保と毎日の運転は第一優先とする。補修を行った箇所については、設備台帳や図面などにその内容を記載して記録に残す。

#### (4) 巡視点検の内容

##### 1) 取水堰・取水口

取水設備は、常時、最大使用水量を安全確実に取水出来る状態に保っておく必要がある。

###### (a) 取水口スクリーン

スクリーン上の塵芥は、適時除去しなければならない。特にスクリーンの前面と背面に目視で水位差が認められる時は、発電出力に著しい影響を及ぼすので直ちに除去する。

###### (b) 取水口前面の堆砂

取水堰内には堆砂が進行するため、定期的に取り水口前面の堆砂位を計測して監視する。特に洪水の後は堆砂が増えるため、必ず確認する必要がある。

堆砂により取水口付近が閉塞またはその恐れが生じた場合は、取水堰本体に設置されている土砂吐ゲートにより、付近の堆積土砂を堰の下流側に放出させる。更に多量の堆積がある場合は、重機などにより池内の堆積土砂を掘削排除する。

###### (c) ゲート本体

ゲートはスムーズに操作出来るように、グリス油などを用い定期的にメンテナンスを行う。

###### (d) ゲート操作ハンドルの施錠

ゲート操作用のハンドルは外部侵入者による違法操作を防ぐため、常に確実に施錠がなされている。

###### (e) コンクリート躯体

ジョイント部や漏水の恐れのあるクラックなど、目視により定期的に点検を行う。

##### 2) 沈砂池

発電する水の中に砂が多く含まれていると水車に悪影響を及ぼすので、沈砂池は常にその機能を保つようしておく。

###### (a) スクリーン

スクリーン上の塵芥は適時除去する。特にスクリーンの前面と背面に目視で水位差が認められる時は、発電出力に著しい影響を及ぼすので直ちに除去する。

###### (b) 沈澱槽

沈澱槽内の砂の溜まり具合を定期的に測定しておくこと、排砂頻度の想定に便利である。少なくとも雨期の前後には水路点検と併せて沈澱槽に溜まった堆積物を土砂吐ゲートから排出することが望ましい。

###### (c) コンクリート躯体

ジョイント部や漏水の恐れのあるクラックなど、目視により定期的に点検を行う。

##### 3) 導水路

小規模水力の場合、導水路は一般的に開水路が採用される。水路に不同沈下が生じると漏水だけでなく側壁からの越水など、発電に大きく影響を与えかねない可能性がある。コンク



リート躯体のジョイント部や漏水の恐れのあるクラックなど、目視により定期的に点検を行う。

4) 水槽

(a) スクリーン

沈砂池と同じ対策が必要である。

(b) 沈澱槽

沈砂池と同じ対策が必要である。

(c) コンクリート躯体

沈砂池と同じ対策が必要である。

5) 余水吐水路

(a) コンクリート躯体

導水路と同じ対策が必要である。

(b) 吐口

放流水の吐口付近に堆積物がある場合は除去する。

6) 水圧管路（鉄管の場合）

(a) 振動

異常な振動や騒音が無いかを調べ、もし異常が認められた場合は専門家に相談する。

(b) ボルト

ボルトの緩みが無いか確認する。

7) 発電所・放水口

(a) コンクリート基礎

ジョイント部や漏水の恐れのあるクラックなど、目視により定期的に点検を行うこと。

(b) 建物

雨漏りの有無、屋根や壁などの部位の損傷、きしみや沈下等を目視で調査確認する。

(c) 放水口

放流水の吐口付近に堆積物がある場合は除去する。

8) 管理用道路

(a) 法面

豪雨などの後に法面や法肩に亀裂や浸食が無いかを目視で点検する。

(b) 側溝

側溝が土砂や流出物で塞がっていないかどうかを点検し、堆積物がある場合は直ちに除去する。

(c) 路面

路面に凸凹の激しい箇所がある場合は碎石等で充填する。

表 15-4 土木設備の点検チェック項目例

**Check items of civil structures**

Name of facility	Item	Maintenance point	Daily	Weekly	Monthly	Remarks
Intake weir	Intake screen	Remove the trash on the screen	○			If necessary
	Sedimentation	Flush out the accumulated sand in front of the intake			○	Rainy season, if necessary
	Gate	Check the function of the gate If necessary, put the oil on the gear			○	
	Locking	Check the locking of gate handle and guard fence	○			
	Structure	Water leakage, deformation and crack, etc		○		
	Appearance	Check the appearance, others	○			
Setting basin	Screen	Remove the trash on the screen	○			
	Sedimentation	Flush out the accumulated sand in front of the intake			○	If necessary
	Structure	Water leakage, deformation and crack, etc		○		
	Appearance	Check the appearance, others	○			
Headrace	Structure	Water leakage, deformation and crack, etc		○		
	Appearance	Check the appearance, others	○			
Head tank	Screen	Remove the trash on the screen	○			
	Sedimentation	Flush out the accumulated sand in front of the intake			○	If necessary
	Structure	Water leakage, deformation and crack, etc		○		
	Appearance	Check the appearance, others	○			
Spillway	Structure	Water leakage, deformation and crack, etc		○		
	Appearance	Water leakage, deformation and crack, etc	○			
Penstock	Vibration	Check the abnormal vibration or noise from the structure			○	
	Bolt	Tighten the bolt			○	If necessary
	Appearance	Check the appearance, others	○			
Powerhouse	Retaining wall	Deformation or depression of the structure		○		
	Appearance	Check the appearance, others	○			
Outlet	Sedimentation	Remove the sand or mud in front of the outlet			○	If necessary
	Appearance	Check the appearance, others	○			
Access road	Side ditch	Clean the side ditch		○		If necessary
	Weeding	Weeding around the path			○	If necessary
	Road surface	Check the condition of road surface		○		
	Slope protection	Check the condition of slope or guard fence		○		
	Appearance	Check the appearance, others	○			

### 15.3 電気設備

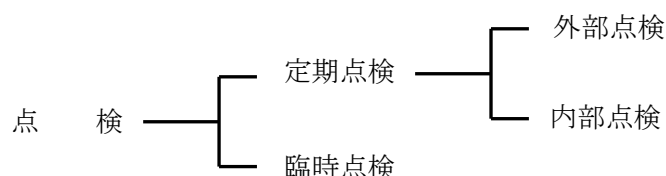
小規模水力発電所の電気設備の維持管理点検は、水車、発電機等の主要機器と、主要変圧器、母線および送電線の開閉機器に分類できる。主要変圧器、母線および送電線の開閉機器については、変電所等の設備の維持管理点検基準が適用可能である。以下に小規模水力発電設備特有の水車、発電機の維持管理点検について記述する。

#### 15.3.1 運転・巡視

巡視点検では、運転中の電気機器全般の異常の有無、異音、異臭、異常振動などの状況を把握し、運転記録を収集する。あらかじめ巡視コースを定めて、点検簿にメータ、圧力計、油面計、開度計などの位置表示器などの読み値の記録も合せて行い、毎日か1週間に1回程度の頻度で実施する。付属資料A-15-4に運転日報の例を示す。

#### 15.3.2 点検

電気設備の点検は、一般に以下のとおり分類される。



外部点検とは、水車、発電機を停止し異常の有無、機能の確認等を行う1～3年に1回程度の定期点検を指し、内部点検とは水車、発電機全般の分解点検、手入れを行い、機能回復をはかる5～10年に1回程度の定期点検のことである。なお、点検の周期は、点検結果および使用状態を勘案して決めることが望ましい。たとえば、1～3年に1回程度で行われる定期点検時に水車ランナのキャビテーション箇所の測定を行い、キャビテーションの進行量を把握し、補修が必要となる時期に内部点検を設定するなどの例がある。

臨時点検とは、機器に異常、故障が生じた際に水車、発電機を停止して行う点検、修理のことである。

電気設備の主要な定期点検項目を、表15-5に示す。付属資料A-15-5に週間点検表、A-15-6およびA-15-7に点検頻度、ならびにA-15-8に故障報告書の例を示す。

表 15-5 発電機器の点検内容

機 器 名	定 期 点 検	
	外部点検	内部点検
水 車	<p>(水車内部点検)</p> <p>ランナ、ガイドベーン、ケーシング内部の磨耗、亀裂、キャビテーション、発錆の点検測定、ランナギャップ、ガイドベーンギャップの測定</p> <p>軸受潤滑油の油質検査</p> <p>*試験：自動始動・停止</p>	<p>(水車分解点検)</p> <p>各部磨耗量の測定、しゅう動部・パッキン部の損傷状況、微細亀裂、欠陥の非破壊検査</p> <p>(軸受分解点検)</p> <p>しゅう動部の損傷、ギャップ測定、冷却水管の耐圧、温度計、油面計、油圧計の校正</p> <p>*磨耗部品の取替、キャビテーション、欠陥の溶接補修</p> <p>*試験：負荷遮断、振動測定、開度出力、負荷試験、自動始動・停止試験</p>
調 速 装 置	<p>(機構部点検)</p> <p>可動部の磨耗、ワイヤー、レバー等の緩み</p> <p>ストレーナ分解、点検</p> <p>(制御部点検)</p> <p>プリント板、位置検出器の状況、絶縁抵抗測定</p>	<p>(構造部分解点検)</p> <p>可動部 SSG の分解点検、磨耗部品の取替</p> <p>*試験：特性試験および負荷遮断</p>
入 口 弁	<p>(入口弁内部点検)</p> <p>漏水量測定、磨耗・キャビテーションの点検、シート面隙間測定</p> <p>位置開閉器状況</p>	<p>(操作機構分解点検)</p> <p>可動部、しゅう動部の損傷状況</p> <p>(弁体分解点検)</p> <p>磨耗、キャビテーション、パッキン損傷状況および封水状況</p> <p>*磨耗部品の取替</p>
圧油・潤滑油装置	<p>(性能点検)</p> <p>負荷運転時間測定、油質試験</p> <p>(油ろ過)</p> <p>油質試験</p>	<p>(油圧、潤滑油装置分解点検)</p> <p>内部の可動部・しゅう動部の磨耗、損傷、電動機の絶縁抵抗</p> <p>(性能試験)</p> <p>ポンプ吐出量測定、油圧、油面継電器点検</p>
給 排 水 装 置	<p>(ストレーナ分解点検)</p> <p>磨耗、キャビテーション、発錆</p>	<p>(ポンプ分解点検)</p> <p>内部の可動部・しゅう動部の磨耗、損傷、電動機の絶縁抵抗</p> <p>(性能試験)</p> <p>給排水量測定</p>

機 器 名	定 期 点 検	
	外部点検	内部点検
制 御 、 監 視 装 置	(各種継電器、センサー動作試験、外観構造点検)	(各種継電器、センサー動作試験、外観構造点検)
発 電 機	(発電機内部点検) 電気回路端子の緩み、巻線の変色、はく脱・緩み スリップリングの磨耗、回転部の緩み・発錆、ブラシ接触 圧測定 電気回路の絶縁抵抗測定 (制動装置) シュー磨耗量、動作状況 (中性点接地抵抗器) 抵抗測定、絶縁抵抗測定	(回転子吊出点検) 鉄心、巻線の緩み、巻線劣化測定、ウェッジの緩み、ワニ スの剥離、発錆 (制動装置・軸受・空気冷却器分解点検)  * 軸電流測定 * 励磁装置特性試験

### 15.3.3 予備品

異常発生時や故障発生時の早期復旧を目的として、予備品を保有する。予備品は故障発生頻度、製作期間、重要度から品種、数量を決めるとともに、運搬等を考慮して合理的な保有箇所、数量を決定する。なお、ブラシ、ヒューズ、表示ランプ等の消耗品については、別途必要数を保有する。また、他の発電所の予備品を使用できる場合は保有しない。

水力発電所の発電機器の予備品の例を表15-6に示す。

表 15-6 予備品リストの例

機器名	品名	数量	備考
水車関係			
水車本体	主軸受メタル	1台分	補修時に補修期間短縮を目的として、新品を購入し損傷品を補修して予備品とする。
	ガイドベーン弱点ピン	1/2台分	
	封水パッキン	1台分	
	ランナ	1台分	
	ガイドベーン	1台分	
	ノズルチップ バケット	1台分 1台分	
调速機	プリント板	各種1枚	
	コンバータコイル	1個	
	各種スプリング	各種1個	
圧油潤滑油装置	圧油・潤滑油ポンプ	各種1台	予備機を設置していないプラントのみ
	アンローダスプリング	1個	
	安全弁用スプリング	1個	
空気圧縮装置	減圧弁	1個	
自動制御装置	電磁弁用ソレノイド	1個	
発電機関係			
発電機本体	スラスト軸受メタル	1台分	
	案内軸受メタル	1台分	
	固定子巻線	5~10本分	
	ブラシホルダー	1/2台分	
励磁装置	プリント板	各種1枚	
	界磁遮断器用コイル	1個	
	半導体整流素子	1相分	
変圧器関係	ブッシング	1相分	
	放圧板	1枚	
開閉装置関係			
遮断器	ブッシング	1相分	
	固定、可動接触子	1相分	
	開・閉路コイル	各1個	
断路器	開・閉路コイル	各1個	
制御装置	プリント板	各種1枚	
その他			
発電機主回路	変流器（形式ごと）	各1個	
	計器用変圧器（形式ごと）	各1個	

## 15.4 配電設備

配電設備の維持管理の対象物は電柱、電線、変圧器、電力量計などであり、面的に広がっている。設備の安全な運用と事故の予防を目的として、効率的・安全に維持管理を行う必要がある。

### 15.4.1 運転業務

#### (1) 運転業務項目

配電設備の主な運転業務は、以下のとおりである。

表 15-7 配電設備の主な運転業務

	項目	内容
1	計画停電	配電設備の修理、点検や充電部に近接する樹木の伐採などの停電を伴う作業。
2	事故復旧	地絡などを原因とした配電線事故の復旧作業。
3	測定	電圧・電流などの測定業務。

#### (2) 計画停電

計画停電では停電となる範囲を最小限とすること、安全に作業を行なえることを基本に開閉器や接地短絡器具の取り付けなどの手順を、あらかじめ決めておく必要がある。また、手順書に沿って需要家には事前に計画停電を周知することも重要である。表 15-8 に手順書の例を示す。

#### (3) 配電線事故対応

配電線事故が発生した場合には、できるだけ早く復旧することが望ましい。多くの場合、配電線事故には設備破損などを伴うため、公衆安全、作業員の安全に十分注意する必要がある。よって、日頃から事故復旧の訓練、資材や道具の準備などを行なうことが望ましい。以下に事故復旧時の作業例を示す。

##### 1) 送電停止

配電線事故を保護継電器が検知し、自動的に遮断器が開放されて送電が停止される。

##### 2) 現在状況の確認

保護継電器などの状況(どのリレーで遮断器が動作したのか)、負荷の状況などを確認する。

##### 3) 事故原因の推定

現在状況の確認から事故原因を推定する。(例：過負荷、短絡、地絡、発電所構内事故など)

##### 4) 試充電

事故原因となる場所が分からない場合、すべての開閉器を開放した後、発電所から区間ごとに試充電を行なって、事故区間を確定させる。

表 15-8 計画停電手順書例

	<b>DATE OF WORK</b>		24-Feb-09		
	<b>WORK OUTLINE</b>		Installation of 10kVA Transformer to OR-066		
	<b>Place</b>		OR-066		
	<b>Purpose</b>		To supply electricity to a new customer		
	<b>Responsible person at the site</b>		Mr. A		
	<b>Deenergized MV Line</b>		From	Hydro P/S	
			To	Hospital S/S F1	
	<b>Outage PMT</b>		PMT01, PMT02, PMT03		
	<b>Date of notification*</b>		24-Feb-09		
	<b>Method of notification</b>		loudspeaker		
	<b>PROCEDURE</b>		<b>Outage PMT</b>	<b>TIME</b>	
				<b>Scheduled</b>	<b>Result</b>
1	Hydro P/S MCB	OFF	-		
2	Hospital S/S F2	OFF	PMT01,PMT02,PMT03	13:00	13:05
3	Hospital S/S F2	Earthing	PMT01,PMT02,PMT03		
4	OR-065	Check voltage	PMT01,PMT02,PMT03		
5	OR-065	Earthing	PMT01,PMT02,PMT03		
6	OR-067	Check voltage	PMT01,PMT02,PMT03		
7	OR-067	Earthing	PMT01,PMT02,PMT03		
8	OR-066	10kVA TR Installation	PMT01,PMT02,PMT03		
9	OR-066	Meter Box Installation	PMT01,PMT02,PMT03		
10	OR-065	Detach Earthing Tool	PMT01,PMT02,PMT03		
11	OR-067	Detach Earthing Tool	PMT01,PMT02,PMT03		
12	Hospital S/S F2	OFF	PMT01,PMT02,PMT03		
13	Hospital S/S F2	ON	-	16:00	15:30
14	OR-066	Check the New Equipment	-		
15	OR-066	Check voltage	-		
16	Hydro P/S	Synchronizing	-		
17	Hydro P/S MCB	ON	-		
	<b>Result of outage period**</b>		PMT01	2:25	
			PMT02	2:25	
			PMT03	2:25	



5) 事故点探査

事故区間が確定したら、事故区間の設備について臨時巡視を行い、事故原因となるものを見つける。

6) 事故復旧

事故原因となるものを取り除き、必要により修理を行なう。その際には、作業区間が安全になるように接地短絡器具の取り付けなどを確実に行なう。

7) 送電再開および記録

事故原因を取り除いたあと、送電を再開し、元の定常状態に戻す。その後、事故記録を取り、事故予防のための改善に役立てる。

表 15-9 に事故記録の例を示す。

(4) 測定

配電線の状態確認や系統維持のために、電圧、電流、接地抵抗などの測定を行なう必要がある。

供給電圧維持のためには、ピーク時とオフピーク時の配電線の電圧、電流を測定もしくは解析し、逸脱する場合には供給電圧範囲内になるように対策を行なわなければならない。

また、盗電などの配電線ロスを管理するためには、変圧器 2 次側に電力量計を設置し、その変圧器から供給する需要家の電力量の合計と比較することが有用である。

表 15-9 配電設備の事故記録例

Date	Outage time	Weather			
3-Apr-09	13:10	Rain with thunder			
<b>Customer Report</b>	Name	-			
	Date & Time	-			
	Contents	-			
<b>P/S Situation (Output before outage)</b>	A P/S	V0=21kV, Overcurrent, MCB Shutdown (60kW)			
	Diesel P/S	V0=22kV, V0-Overvoltage (100kW)			
	B P/S	Scheduled Stopping (0kW)			
<b>Responsible Person</b>	Order of Operation	Mr. A			
	Transmission	Mr. B			
	DG P/S	Mr. C			
Procedure		Date	Time	Condition(P/S, Site)	
1	Diesel P/S MCB	OFF	3-Apr	13:10	
2	District S/S F1,F2,F3	OFF	3-Apr	13:20	
3	Hospital S/S F1,F2,F3	OFF	3-Apr	13:25	
4	Diesel P/S MCB	ON	3-Apr	13:28	GOOD
5	Hospital S/S F1	ON	3-Apr	13:28	GOOD
6	Hospital S/S F2	ON	3-Apr	13:28	GOOD
7	Hospital S/S F3	ON	3-Apr	13:28	GOOD
8	District S/S F2	ON	3-Apr	13:34	GOOD
9	District S/S F3	ON	3-Apr	13:35	GOOD
10	District S/S F1	ON	3-Apr	13:36	GOOD
Inspection		Date	From	To	Result
MV Line of A P/S Side		3-Apr	13:50	15:00	GOOD
MV Line of B P/S Side		3-Apr	13:50	15:00	GOOD
From OM108 to OM135		4-Apr	14:30	15:00	GOOD
Reason for Fault					
Unkown --- Probably thunder shock					
Comments by Chief					
<p>The person who are responsible to order operations should stay DG P/S, and order operations to Distribution team by radio, so that DG P/S Indicator can be observed and do the next action quickly if Distribution team finds some Distribution equipment's abnormal condition.</p> <p>Distribution staff should be devided to 2 teams. One is to go to Hospital S/S, and the other is to go to District S/S. So Electricity Unit can go through the switch operation quickly, and reduce power outage duration to customers.</p>					

#### 15.4.2 維持管理業務

配電線事故を防ぐためには、日々の巡視や点検を通じて事故原因となるものを未然に取り除く必要がある。

##### (1) 巡視点検

基本的に、配電設備の巡視点検は、停電を伴わない。巡視点検は、以下の3つに分類される。

##### 1) 定期巡視（週単位または月単位）

飛来物や設備の破損、樹木倒壊など事故原因となりそうなものが無いか配電設備全体を大まかに見る。充電部と樹木が接近し、伐採が必要な場所も合わせてチェックする。

##### 2) 定期点検（年単位）

設備の劣化や破損が無いか詳細に調べる。

##### 3) 臨時巡視（配電線事故時など）

配電線事故時に、事故原因となるものを見つけるために巡視を行なう。

付属資料 A-15-9～15-22 に各設備を定期点検するときにおいて使用するチェックシートの例を示す。

なお、点検結果はあらかじめ準備した様式に記載して、責任者に報告する。

第 15 章の参考文献

- [1] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画基本設計調査、国際協力機構、2005 年
- [2] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト、国際協力機構、2011 年

## 第 16 章

# 電気事業運営への支援

## 第16章 電気事業運営への支援

### 16.1 一般

新たに設立され電気事業運営機関が、地元出身者で占められる場合、電気事業経営や運転維持管理の経験知識を持たない人達により行われることとなる。

ひとたび発電所が運転を開始すると、限られたスタッフが研修のために長期休暇をとることは難しく、そのため、電力供給開始前に、電力設備の運転維持管理に関する最低限の能力を有する人材を育成する必要がある。その対策として既設の水力発電所の運営や運転維持管理の実践を通しての研修（OJT）が必須となる。

これらの研修は、電力関係の国家機関または援助機関の専門家から支援を受けることが望ましい。

支援プログラムの作成および実行に当っては、特に以下の事項に留意すると効果的である。

- i) 運転維持管理要員に、建設工事の段階から携わる機会を出来るだけ設ける。工事期間中から補助業務などに携ることにより、設備の構造や仕組みが実地で見聞することが出来るため、理解度が高まり、運転操作やトラブルシューティングにその経験が活かせる。
- ii) 電力公社などが所有するトレーニングセンターまたは職業訓練校などを活用する。電気と係わりの無かった未経験者や、経験はあるが基礎知識に乏しい者に対して、電気の基礎知識や安全教育などを運転開始迄に習得させる必要がある。研修場所は、言葉の問題があり、自国語で教育が受けられるその国の電力公社や首都などの都市部の電気機械の職業訓練校を選ぶのが良い。
- iii) 運転開始後も、技術の習熟度が確認出来るモニタリングシステムを採用する。また、電気事業を所管する監督官庁による事業の経営・運営の監査を定期的実施する必要がある。

### 16.2 運転開始前の支援

建設が完了し、速やかに電気の供給を行うためには、事前に電気事業運営体制を構築し、基本的な運営規定を整えておく必要がある。そのためには電気事業運営の経験や知識を有する専門家による指導および研修などの支援が望まれる。

以下に、電気事業運営組織の設立および実務機関の要員への技術移転の支援事項を示す。

#### (1) 電気事業運営体制、組織の設立

経営執行者、事務管理者および技術管理者に対して電気事業運営を指導する。

表 16-1 電気事業運営開始前支援

活動項目	方 法
1) 実施機関の設立	準備時の規約作成に関する指導および設立時での組織運営方法等について指導し、組織を設立させる。
2) 経営委員会の設立	
3) 電気事業、電気料金の認可取得手続き	準備時の電気事業認可申請書、電気料金設定計画書の作成に関する指導を行い、許認可取得が行えるように支援する。
4) 電力供給事業の運営開始	実施機関が行う試運転期間に、事業運営について改善指導を行い、実施機関自身で運営が行える方向性をつける。

(2) 事務管理業務体系の策定

電気料金の徴収、収支管理を担当する管理部門の要員、運転管理部門の料金徴収ならびに配電線保守要員を対象に表に示す項目を指導する。

表 16-2 事務管理業務指導

活動項目	方 法
1) 電力施設の概要と機能	現地見学を含む講習により電力施設の基本事項を習得させ、事務管理要員の役割、位置付けを認識させる。
2) 電気料金システム	電気料金の考え方と課金システムについての講習を行い、3)、4)の実務の背景を理解させる。
3) 事務管理マニュアルの作成	事務管理マニュアルを準備し、業務フローを認識させる。
4) 使用電力量の確認、請求書の発行・送付、料金徴収に関する指導	左記の作業手順を理解させる。
5) 記録整理（検針、料金請求、料金徴収）に関する指導	左記の作業内容を理解させる。

(3) 土木設備の運転維持管理規定の策定

土木設備の運転維持管理要員を対象に、表に示す項目の指導を行う。

表 16-3 土木設備の運転維持管理指導

活動項目	方 法
1) 土木設備の概要と機能	現地見学を含む講習により電力施設の基本事項を習得させ、土木要員の役割、位置付けを認識させる。
2) 土木設備の機能、構造に関する指導	講習、現地見学により施設の機能、構造を理解させる。
3) 土木設備運転維持管理マニュアルの作成	設備保守管理マニュアルを準備し業務フローを認識させる。
4) 土木設備施設の点検、維持修理に関する指導	実地演習を主体として、日常的な点検事項を指導する。
5) 土木設備の保守記録整理（運転、停止、点検、修理）に関する指導	実地演習を主体として、点検簿等の記入を指導する。

(4) 電気設備の運転維持管理規定の策定

電気設備の運転維持管理要員を対象に、表に示す項目の指導を行う。

表 16-4 電気設備の運転維持管理指導

活動項目	方 法
1) 電気設備の機能、構造に関する指導	講習、現地見学により施設の機能、構造を認識させる。
2) 電気設備の点検、維持修理に関する指導	実地演習を主体として、日常的な点検方法を認識させる。
3) 電気設備運転維持管理マニュアルの作成	運転保守管理マニュアルを準備し業務フローを理解させる。
4) 電気設備の運転、停止状態の確認ならびにトラブルシューティングに関する指導	実地演習を主体として、通常の発電運転の基本動作ならびにトラブルシューティングを指導する。
5) 電気設備の保守記録整理（運転、停止、点検、修理）に関する指導	実地演習を主体として、点検簿等の記入を指導する。

(5) 配電設備の運転維持管理規定の策定

配電設備の運転維持管理要員を対象に、表に示す項目の指導を行う。

表 16-5 配電設備の運転維持管理指導

活動項目	方 法
1) 配電設備の機能、構造に関する指導	講習、現地見学により施設の機能、構造を認識させる。
2) 配電設備の点検、維持修理に関する指導	実地演習を主体として、日常的な点検方法を認識させる。
3) 配電設備運転維持管理マニュアルの作成	運転保守管理マニュアルを準備し業務フローを理解させる。
4) 配電設備の保守およびトラブルシューティングに関する指導	実地演習を主体として、通常の保守ならびに停電などのトラブルシューティングの基本動作を指導する。
5) 配電設備の保守記録整理（運転、停止、点検、修理）に関する指導	実地演習を主体として、点検簿等の記入を指導する。

16.3 電力供給開始後の運営支援

前節に示した事前研修と同じ項目について、実際の経営および運転維持管理業務を実践指導する。また、事前に作成した業務フローが実態に合っているかどうかを調査して、必要に応じて規定や方法を修正指導する。

(1) 運営支援項目

- i) 実施機関に対する事業の経営運営への助言・指導
- ii) 監督官庁に対する実施機関のパフォーマンスのモニタリング方法への助言・指導
- iii) 事務管理業務体系の実践指導と必要に応じた修正



- iv) 土木設備の運転維持管理の実践指導と必要に応じた修正
- v) 電気設備の運転維持管理の実践指導と必要に応じた修正
- vi) 配電設備の運転維持管理の実践指導と必要に応じた修正

(2) 支援期間

専門家による運営支援は、以下の理由から2～3年程度は必要である。

i) 1年目（課金システムや運転方法の実践と必要に応じた修正）

水力発電は自然の河川水を利用するため、雨期や乾期などの季節により運転方法が異なる。また、電力の需要も季節によって異なる。すなわち需要と供給の組合せパターンの周期は最低でも1年周期となる。発電事業運営組織や運営者にとって、1年目は全てが初経験となる。その上、完成した電力設備は十分な試運転期間を経ずに営業運転を行う場合が多いため、初期トラブルが発生する可能性が高い。

そのため、1年目の電力の安定供給を維持するためにも、専門家による密度の高い支援が必要である。

ii) 2年目以降（電気事業監査・指導、運転維持管理の技術指導・改善）

四半期程度毎に料金の回収状況や費用支出状況をチェックし、適正な経営管理が続けられるよう監査・指導する。また、電力設備の保守点検や運転操作ならびにトラブルシューティングなどの技術を反復訓練させ、運転保守要員にその技術を体得させる。

第 16 章の参考文献

- [1] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画基本設計調査、国際協力機構、2005年
- [2] カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト、国際協力機構、2011年

# 付 属 資 料

## 付属資料 目次

### 第 12 章 調達・建設工事費

A-12-1	労務単価様式例 .....	1
A-12-2	建設資材単価様式例 .....	2
A-12-3	建設機械単価様式例 .....	3
A-12-4	工事原価の集計例 .....	4

### 第 13 章 施工管理

A-13-1	品質管理要領例 .....	5
A-13-2	コンクリート強度品質管理表例 .....	6
A-13-3	出来形管理表例 .....	7
A-13-4	承認トランスミッタル様式例 .....	8
A-13-5	簡易承認・確認表 (Type-B) 例 .....	9

### 第 15 章 設備の運転維持管理

A-15-1	土木設備の日間点検チェックシート例 .....	10
A-15-2	土木設備の週間点検チェックシート例 .....	11
A-15-3	土木設備の月間点検チェックシート例 .....	12

### 第 15 章 設備の運転維持管理

A-15-4	水力発電所運転日報例 .....	13
A-15-5	電気設備の週間点検項目例 .....	14
A-15-6	電気設備の修理点検項目と頻度例 (その 1) .....	16
A-15-7	電気設備の修理点検項目と頻度例 (その 2) .....	18
A-15-8	電気設備の故障記録例 .....	19
A-15-9	配電設備の点検チェックシート例 (1) .....	20
A-15-10	配電設備の点検チェックシート例 (2) .....	21
A-15-11	配電設備の点検チェックシート例 (3) .....	22
A-15-12	配電設備の点検チェックシート例 (4) .....	23
A-15-13	配電設備の点検チェックシート例 (5) .....	24
A-15-14	配電設備の点検チェックシート例 (6) .....	25
A-15-15	配電設備の点検チェックシート例 (7) .....	26
A-15-16	配電設備の点検チェックシート例 (8) .....	27
A-15-17	配電設備の点検チェックシート例 (9) .....	28
A-15-18	配電設備の点検チェックシート例 (10) .....	29
A-15-19	配電設備の点検チェックシート例 (11) .....	30
A-15-20	配電設備の点検チェックシート例 (12) .....	31
A-15-21	配電設備の点検チェックシート例 (13) .....	32
A-15-22	配電設備の点検チェックシート例 (14) .....	33

- 第 12 章 調達・建設工事費
  - A-12-1 労務単価様式例
  - A-12-2 建設資材単価様式例
  - A-12-3 建設機械単価様式例
  - A-12-4 工事原価の集計例
  
- 第 13 章 施工管理
  - A-13-1 品質管理要領例
  - A-13-2 コンクリート強度品質管理表例
  - A-13-3 出来形管理表例
  - A-13-4 承認トランスミッタル様式例
  - A-13-5 簡易承認・確認表 (Type-B) 例
  
- 第 15 章 設備の運転維持管理
  - A-15-1 土木設備の日間点検チェックシート例
  - A-15-2 土木設備の週間点検チェックシート例
  - A-15-3 土木設備の月間点検チェックシート例
  
- 第 15 章 設備の運転維持管理
  - A-15-4 水力発電所運転日報例
  - A-15-5 電気設備の週間点検項目例
  - A-15-6 電気設備の修理点検項目と頻度例
  - A-15-7 電気設備の修理点検項目と頻度例 (その 2)
  - A-15-8 電気設備の故障記録例
  
- A-15-9 配電設備の点検チェックシート例 (1)
- A-15-10 配電設備の点検チェックシート例 (2)
- A-15-11 配電設備の点検チェックシート例 (3)
- A-15-12 配電設備の点検チェックシート例 (4)
- A-15-13 配電設備の点検チェックシート例 (5)
- A-15-14 配電設備の点検チェックシート例 (6)
- A-15-15 配電設備の点検チェックシート例 (7)
- A-15-16 配電設備の点検チェックシート例 (8)
- A-15-17 配電設備の点検チェックシート例 (9)
- A-15-18 配電設備の点検チェックシート例 (10)
- A-15-19 配電設備の点検チェックシート例 (11)
- A-15-20 配電設備の点検チェックシート例 (12)
- A-15-21 配電設備の点検チェックシート例 (13)
- A-15-22 配電設備の点検チェックシート例 (14)

A-12-1 労務単価様式例

1	Year, Month		5	Exchange Rate	Local currency/ U.S.\$
2	Country				
3	Project				
4	Sector				

	Name	Unit	Applied Rate				Total	Note
			Basic Rate	Allowance				
				Insurance	Bonus	Retirement		
1	Forman	day						
2	Specialist worker	day						
3	Common worker	day						
4	Earth worker	day						
5	Scaffolder	day						
6	Re-bar worker	day						
7	Driver-heavy Vehicle	day						
8	Driver-light vehicle	day						
9	Carpenter (form work)	day						
10	Carpenter	day						
11	Plaster man	day						
12	Mason	day						
13	Painter	day						
14	Welder	day						
15	Electrician	day						
16	Mechanic	day						
17	Plumber	day						
18	Watchman	day						
19	Concrete worker	day						
20	Steel frame worker	day						
21	Block layer	day						
22	Plaster man	day						
23	Window fitter	day						
24	Tile worker	day						
25	Roof worker	day						
26	Glazer	day						
27	Site supervisor	day						
28	Quality surveyor	day						
29	Store keeper	day						
30	Machinery operator	day						
31	Surveyor	day						
32	Office clerk	day						
33	Accountant	day						
34	Typist	day						
35	Secretary	day						
36	Office boy	day						
37	Cook	day						
38	Maid	day						
39	Driver	day						
40	Watchman	day						

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-12-2 資材単価様式例

1	Year, Month		5	Exchange Rate	Local currency/ U.S.\$
2	Country				
3	Project				
4	Sector				

	Name-1	Name-2	Specification	Unit	Adopted Unit Price			Procurement Place
					Local	U.S \$	Converted in US\$	
1	Steel Bar	Deformed bar	SD295A,10-16mm	t				
		Deformed bar	SD295A,19mm & over	t				
2	Steel Pipe	Steel pipe	φ600×6,000mm	kg				
		Steel pipe	φ800×6,000mm	kg				
		Steel pipe	φ1,000×6,000mm	kg				
3	Wire Mesh	Welding wire mesh	2m×1m×0.5m	m				
4	Concrete	Cement	White Portland cement	kg				
		Fine aggregate	for Concrete	t				
		Coarse aggregate	for Concrete	t				
		Sand	for Concrete	m3				
		Crushed stone	25-150	m3				
		Rock for slope protection	20-50kg/pc	m3				
5	Wood	Plywood for finishing	t=12mm	m2				
		Timber for structure	50mm×50mm	m				
		Timber for structure	100mm×100mm	m				
		Hard wood	1 st Class	m3				
		Hard wood	2nd Class	m3				
6	Asphalt		t=50mm	m2				
7	Fuel and Oil	Gasoline		l				
		Oil		l				
		Diesel Oil		l				

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-12-3 機械単価様式例

1	Year, Month		5	Exchange Rate	Local currency/ U.S.\$
2	Country				
3	Project				
4	Sector				

	Name	Specification			Unit	Adopted Unit Price		
		Class	Output	Weight		Local	US \$	Converted in US\$
1	Backhoe excavator	0.4 m3			day			
2	Backhoe excavator	0.6 m3			day			
3	Giant breaker	1,300 kg			day			
4	Wheel loader	0.8 m3			day			
5	trailer	20 t			day			
6	Bulldozer	11 t			day			
7	Bulldozer	15 t			day			
8	Dump truck	10 t			day			
9	Truck	4 t			day			
10	tire roller	8-16 t			day			
11	Motor grader	2.5 t, 4.0m			day			
12	Truck with crane	2 t			day			
13	Truck with crane	4 t			day			
14	Truck crane	16 t			day			
15	Crawler crane	20 t			day			
16	Vibro hammer	232 kW			day			
17	Vibration Roller	5-8 t			day			
18	Plate compactor	60-100 kg			day			
19	Generator	45 kVA			day			
20	Generator	60 kVA			day			
21	Re-bar bender	Electric			day			
22	Pick up truck	2,000 CC			day			
23	Four wheel drive car	2,500 CC			day			
24	Minibus	12 Persons			day			
25	Air compressor	2.5 m <sup>3</sup> , 3 /min			day			
26	Concrete mixer car	4 m3			day			
27	Vibrator for concrete	50 φ			day			
28	Water lorry	10 m3			day			
29	Engine welder	150 A			day			
30	Mortar mixer	0.5 m3 25ps			day			
31	Water pump	80mm, h=20m			day			
32	Water pump	100mm, h=20m			day			

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より



### A-12-4 工事原価の集計例

	Name-1	Name-2	Specification	Unit	Adopted Unit Price			Procurement Place
					Local	U.S \$	Converted in US\$	
1	Water way	Sealing compound	Polysulfide	m				
		Sealing compound	Silicone	m				
2	Roofing work	Corrugated aluminum sheet		m <sup>2</sup>				
		Metal roofing sheet		m <sup>2</sup>				
3	Doors and Window	Steel single swing flush door set	W=0.9,H=2.1	set				
		Aluminum double slide window	W=2.0, H=1.0	set				
		Cylinder lock		pc				
4	Glass work	Plate glass	t=4.5mm	m <sup>2</sup>				
		Float glass	t=2mm	m <sup>2</sup>				
5	Metal work	Anchor bolt	L= 250 dia=13	pc				
		Checkered plate	t=3mm	m <sup>2</sup>				
		Checkered plate	t=5mm	m <sup>2</sup>				
		Galvanized grating	W=300, Loading Capacity=1.0t	m				
		Electric Welding Rod	3.2 mm	kg				
		Electric Welding Rod	4.0 mm	kg				
		Light Gage Steel Partition Frame		m <sup>2</sup>				
		Light Gage Ceiling Frame		m <sup>2</sup>				

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-13-1 品質管理要領例

Item	Measure Item	Standard	Frequency	Remark
Sand	Sieve analysis test	-	before commencement of work	
	Specific-gravity test	MLIT standard	before commencement of work	
	Water Absorption test	MLIT standard	before commencement of work	
	Unit Weight test	-	before commencement of work	
	Moisture Content test	-	Each casting day	
Aggregate	Alkali aggregate reaction test	(No reaction)	before commencement of work	
	Sieve analysis test	-	before commencement of work	
	Specific-gravity test	MLIT standard	before commencement of work	
	Water absorption test	MLIT standard	before commencement of work	
	Unit weight test	-	before commencement of work	
	Test for resistance to abrasion of coarse aggregate by use of the Los Angeles machine	MLIT standard	before commencement of work	
	Moisture content test	-	Each casting day	
Cement	Catalog	-	before commencement of work	
	Compressive strength test	JIS R 5210	before commencement of work	
Water for Mixing	Water examination	-	before commencement of work	
Batching Plant	Weighing accuracy test	(±3%)	every 3 months	
Concrete	Compressive strength test	Technical specifications TS3.2.5	Each casting day	
	Slump test	Technical specifications TS3.2.1	Each casting day	
	Air content test	Technical specifications TS3.2.1	Each casting day	
	Chloride content test	MLIT standard	every 150m <sup>3</sup>	
Crushed Stone	Specific-gravity test	Technical specifications TS2.6.1	before commencement of work	
	Sieve analysis test	-	before commencement of work	
	Proctor Compaction test	-	before commencement of work	

\* MLIT standard: Standard for civil works by Ministry of Land, Infrastructure and Transport Japan.

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-13-2 コンクリート強度品質管理表例

出典：JICA「カンボジア国モンポルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

THE PROJECT FOR THE RURAL ELECTRIFICATION ON MICRO-HYDROPOWER IN REMOTE PROVINCE OF MONDUL KIRI															Checked by Contractor		Checked by Consultant	
強度 Strength: 18 N/mm <sup>2</sup>					Concrete 種類 (項目:スラブ)					Control Chart								
Frequency of meurement: 計測頻度															業者名		Mesured by	
Date																		
Item	No.																	
Design	cm																	
Actual	cm																	
Difference	cm																	
許容誤差 Standard ±2.0		<p>The control chart displays 15 data points, all of which are very close to the 0 cm mark. The upper control limit (UCL) is set at 2.0 cm, and the lower control limit (LCL) is set at -2.0 cm. The standard deviation is indicated as ±2.0 cm. The data points are well within the control limits, indicating a stable and accurate process.</p>																
Note																		

### A-13-3 出来形管理表例

Site: \_\_\_\_\_

Location: \_\_\_\_\_

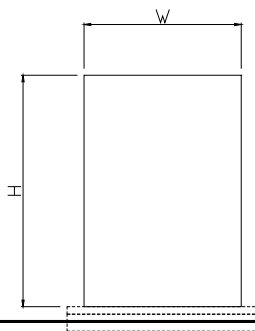
Control Item : 検査対象物名

Interval of Measurement : 計測間隔

Item Station	Width (W)			Height (H)			Remark
	Design (mm)	Actual (mm)	Differential (mm)	Design (mm)	Actual (mm)	Differential (mm)	
							(許容誤差)  Standard  $W \geq -**mm$ $\leq +**mm$  $H \geq -**mm$ $\leq +**mm$

The Upper: Checked by Contractor  
 The Lower: Checked by Consultant

計測部の略図



Measured by Contractor

Date:    /    /

Signature:

Checked by Consultant

Date:    /    /

Signature:

出典：JICA 「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より



**A-13-5 簡易承認・確認表 (Type-B) 例**

Project Name	xxx Micro Hydropower Project		
Contractor	xxx Construction Co., Ltd.	Consultant	xxx Consultant Co., Ltd.
<b>TRANSMITTAL FOR APPROVAL</b>			
Contractor			
NO.			
Date	Date / Month / Year		
Subject	Approval for (書類・図面・立会いなどの種類と工事・工種名)		
Attached	添付資料		
Comments;			
Consultant			
Date	回答し返却した日付		
<input type="checkbox"/>	Receipt	<input type="checkbox"/>	Confirmation
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Approve
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Pending
Comments;			

Signatures:

Consultant	Contractor
------------	------------

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-1 土木設備の日間点検チェックシート例

#### Check sheet of civil structures for daily patrol

Day \_\_\_\_\_ Month \_\_\_\_\_ Year \_\_\_\_\_ Name \_\_\_\_\_

Name of facility	Item	Condition		Status if "NG"	Remark
Access path	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Intake weir	Intake screen	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
	Locking	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Sedimentation basin	Screen	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Waterway	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Head tank	Screen	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Spillway	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Penstock	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Powerhouse	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Outlet	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		

A-15-2 土木設備の週間点検チェックシート例

Check sheet of civil structures for weekly patrol

Day \_\_\_\_\_ Month \_\_\_\_\_ Year \_\_\_\_\_ Name \_\_\_\_\_

Name of facility	Item	Condition		Status if "NG"	Remark
Access path	Side ditch	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
	Road surface	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
	Slope protection	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Intake weir	Structure	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Sedimentation basin	Structure	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Waterway	Structure	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Head tank	Structure	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Spillway	Structure	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Powerhouse	Retaining wall	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Outlet	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		



**A-15-3 土木設備の月間点検チェックシート例**  
**Check sheet of civil structures for monthly patrol**

Day \_\_\_\_\_ Month \_\_\_\_\_ Year \_\_\_\_\_ Name \_\_\_\_\_

Name of facility	Item	Condition		Status if "NG"	Remark
Access path	Weeding	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Intake weir	Sedimentation	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
	Gate	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Sedimentation basin	Sedimentation	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Head tank	Sedimentation	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Spillway	Appearance	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Penstock	Vibration	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
	Bolt	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		
Outlet	Sedimentation	<input type="checkbox"/> OK	<input type="checkbox"/> NG		



## A-15-5 電気設備の週間点検項目例

### HYDROPOWER STATION

Weekly Inspection Report				P.S		
Date: 01 / 11 / 2008		(Sat.)	Time: 9:00~11:00		Signature by	
Inspector:		Weather: Fine		Chief:		
		Room Temp.: °C		Operator:		
No.	Inspection Items	Unit	Standard Value	Reading values		Remarks
				Previous	This time	
<b>1</b>	<b>Hydraulic Turbine</b>					
	Casing and Outer construction	OK /No	Normal			
	water leakage	OK /No	No leak			
	Oil leakage	OK /No	No leak			
	Ground pickings	OK /No	No leak			
	Water outlet temp	°C	15- 35			
	Abnormal Sound or Vibration	OK /No	Normal			
	Bearing temperatures (turbine side)	°C	40- 50			
	Bearing temperatures (generator side)	°C	40- 50			
	Pressure of penstock	mAq	1.0- 1.2			
	Air Breather		Normal			
<b>2</b>	<b>Guide Vane Mechanism</b>					
	Casing and Outer construction	OK /No	Normal			
	Servomotor temperatures	°C	40- 50			
	Oil leakage	OK /No	No leak			
	Limit switches	OK /No	No leak			
	Guide Vane handle indicator	mm	Stroke 200			
<b>3</b>	<b>Speed Increaser</b>					
	Bearing housing construction	OK /No	Normal			
	water leakage	OK /No	No leak			
	Oil leakage	OK /No	No leak			
	Vibration	OK /No	Normal			
	Sound	OK /No	Normal			
	Smell	OK /No	Normal			
	Oil temperatures	°C	40- 50			
	Bearing temperatures (turbine side)	°C	40- 50			
	Bearing temperatures (generator side)	°C	40- 50			
<b>4</b>	<b>Inlet Valve</b>					
	Casing and Outer construction	OK /No	Normal			
	water leakage	OK /No	No leak			
	Abnormal Sound or Vibration	OK /No	Normal			
	Limit switches	OK /No	Normal			
<b>5</b>	<b>Generator</b>					
	Casing and Outer construction	OK /No	Normal			
	Oil leakage	OK /No	No leak			
	Abnormal Sound or Vibration	OK /No	Normal			
	Bearing temperatures (turbine side)	°C	40- 50			
	Bearing temperatures (generator side)	°C	40- 50			
	<b>Instruction</b>					
	1)					
	2)					
	3)					
	4)					
	5)					

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

A-15-5 電気設備の週間点検項目例 (続き)

HYDROPOWER STATION

Weekly Inspection Report				P.S		
Date: 01 / 11 / 2008		(Sat.)		Time: 9:00~11:00		Signature by
Inspector:		Weather: Fine		Chief:		Operator:
		Room Temp.:		°C		
No.	Inspection Items	Unit	Standard Value	Reading values		Remarks
				Previous	This time	
<b>6</b>	<b>Control Panels</b>					
	<b>Power system operation</b>					
	Sending power (transmission line)	kW	≤ 185			
	Reactive power	Vary	≤ 138			
	Line voltage	V	22,000			
	Line current	A	6			
	Frequency	Hz	50			
	Power factor	%	lag 1.0~0.8			
	Wh-meter (Sending)	kWh	total Wh			
	<b>Generator operation</b>	kW				
	Generator output	kW	≤ 185			
	Generator voltage	V	400			
	Generator current	A	333			
	Wh-meter (generation)	kWh	total Wh			
	Running hours	h	total hours			
	Status indicator	OK /No	Normal			
	Fault indicator	OK /No	Normal			
	Lamp test	OK /No	Normal			
	Switches lamps	OK /No	Normal			
	Dummy load	OK /No	Normal			
	AVR	OK /No	Normal			
	Cooling fans (inside panel)	OK /No	Normal			
<b>7</b>	<b>400V/22kV Step-up Transformer</b>					
	Cut out switches, Arrester, Transformer	OK /No	No leak			
	Oil leakage	OK /No	No leak			
	Vibration	OK /No	Normal			
	Sound	OK /No	Normal			
<b>8</b>	<b>Power Station</b>					
	Penstock (leakage, vending, landslide, etc.)	OK /No	Normal			
	Powerhouse	OK /No	Normal			
	Dam	OK /No	Normal			
	Gates	OK /No	Normal			
	Access load	OK /No	Normal			
<b>9</b>	<b>Pole mounted Substations</b>					
	Load Switches	OK /No	Normal			
	22kV/400V Transformer	OK /No	Normal			
<b>10</b>	<b>Transmission/Distribution Lines</b>					
	400V Distribution lines	OK /No	Normal			
	22kV Transmission lines	OK /No	Normal			
	400V Transformer	OK /No	Normal			
	Line materials	OK /No	Normal			
<b>11</b>	<b>Wiring</b>					
	Wh-meters	OK /No	Normal			
	Wiring, etc.	OK /No	Normal			
	<b>Instruction</b>					
	1)					
	2)					
	3)					
	4)					
	5)					

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

## A-15-6 電気設備の修理点検項目と頻度例（その1）

### Ordinary Maintenance

#### Interval of Ordinary Maintenance

Sr. No.	Classification of Equipment	Check Items	Check Interval				Remarks
			weekly	Once/ Month	Once/3 Months	Once/6 Months	
1	<b>Hydraulic Turbine</b>						
	1.1 Hydraulic Turbine	General Visual check	○				
		Check and Cleaning of the inside pit (outlet)			○		
	1.2 Inlet Valve	General Visual Check	○				
		External check and cleaning				○	
	1.3 Speed Changer	General Visual check	○				
		Oil checking of box and cleaning				○	
	1.4 Oil Cooling Unit	General Visual Check	○				
	1.5 Governor						
	1.5.1 Dummy Load Panel	General Visual check	○				
	1.5.2 Dummy Load Element	General Visual check				○	
	1.5.3 Servo motors	General Visual check	○				
2	<b>Generator</b>						
	2.1 Generators	General Visual Check	○				
	2.2 Automatic Voltage Regulator (AVR)	General Visual check	○				
		External checking			○		
	2.3 Excitation equipment						
	2.3.1 Brushless Exciters	General Visual Check	○				
	2.3.2 Exciter Transformer	General Visual Check	○				
	2.3.3 Exciter rectifier	General Visual Check	○				
	2.3.4 Field Controller	General visual check	○				
	[ Reactor Field breaker Field Resistor ]	External checking			○		
	2.3.5 Tacho-generator	General visual check	○				
3	<b>Transformer</b>						
	3.1 400V/22kV Transformer	General visual check	○				
		Changing of Taps (before dry season)				○	
	3.2 Cut out switches	Cut out switches				○	
	3.3 Arrestor	General visual check				○	
4	<b>Breaker</b>						
	4.1 Circuit Breaker	General Visual check	○				
		Check of the operation				○	
	4.2 Load Switch	General Visual check	○				
5	<b>Instrument Transformer (VT and CT)</b>	General Visual check	○				
6	<b>Cubicle</b>	General visual check	○				
7	<b>Electrical Wires and cables</b>						
	7.1 Electrical wire and insulators	General visual check	○				
	7.2 Power cables	General visual check	○				
8	<b>Protective Relays</b>						
	8.1 Transmission line protective relay equipment	General visual check	○				
		Automatic oscilloscope operational condition check				○	
	8.2 Generator and Bus Protective relays	General visual check	○				
9	<b>Automatic Control Unit</b>						
	9.1 System control unit	General visual check	○				
	9.2 Electronic control Unit	General visual check	○				
		Inspection at every three months			○		
		Inspection at every six months				○	

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

A-15-6 電気設備の修理点検項目と頻度例（続き）

Ordinary Maintenance

Interval of Ordinary Maintenance

Sr. No.	Classification of Equipment	Check Items	Check Interval				Remarks
			weekly	Once/ Month	Once/3 Months	Once/6 Months	
10	<b>Battery</b>						
	10.1 Battery cells	Measurement of all batteries and uniform charging				○	
	10.2 Converter	General visual check	○				
	10.3 Chargers	General visual check	○				
11	<b>Crane</b>	General visual check				○	
	11.1 Gantry crane	General visual check	○				
	11.2 Monorail crane	General visual check	○				
12	<b>Air Compressor</b>	General Visual check	○				
		Operational condition check				○	
13	<b>Transmission and Distribution lines</b>						
	13.1 400V/22kV Transformer	General Visual check	○				
		Cleaning				○	
	13.2 Distribution Transformers	General Visual check	○				
		Cleaning				○	
	13.3 Load switches	General Visual check	○				
		Cleaning				○	
	13.4 Arrestors	General Visual check	○				
		Cleaning				○	
	13.5 Wiring and Wh meters	General Visual check				○	
14	<b>Stand by Diesel Engine Unit</b>	General visual check	○				
	Diesel Generator 300 kW	External check and cleaning		○			
		Startup tests		○			

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

A-15-7 電気設備の修理点検項目と頻度例 (その2)

PERIODICAL DETAILED MAINTENANCE

Interval for Periodical Detailed Maintenance ( Power Station)

No.	Classification of Equipment	Check Interval	Remarks
1	Hydraulic Turbines		
1.1	Hydraulic Turbines	1) General overhauling	Once/ 10 years
1.2	Inlet Valve	1) General overhauling	Once/ 10 years
1.3	Governors ( Including dummy load and control units)	1) To be checked using, as a guide, manuals the checking interval half that for hydraulic turbines	
1.4	Hydraulic Turbine operation controller Equipment	1) To be checked using, as a guide, manuals the checking interval half that for hydraulic turbines	
1.5	Speed Changer	1) To be checked using, as a guide, manuals the checking interval half that for hydraulic turbines	
1.6	Oil Cooler unit	Same as for item 1.5 Speed changer	
2	Generators		
2.1	Generators	1) To be checked using, as a guide, manuals the checking interval half that for hydraulic turbines	
2.2	Exciters	Same as for item 2.1 Generator	
		Rotary and stationary excitation equipment	
2.3	Automatic Voltage regulators (AVR)	Same as for item 2.1 Generator	
		1) The control part should be checked at the interval half that for (1) Generators as a guide.	
3	Transformers	1) When it has been confirmed, as a result of the analysis of gas in the oil, that there is an abnormality inside a transformer.	
4	Breaker and Switch		
4.1	Magnetic Circuit Breaker	1) The specified frequency refers to the cumulative number of current interruptions, the number of interruptions of rated current, the number of switching operation of load current and the number of switching operations; and in other words.	As specified
4.2	Vacuum Breaker	1) The specified frequency refers to the cumulative number of current interruptions, the number of interruptions of rated current, the number of switching operation of load current and the number of switching operations; and in other words .	As specified
4.3	Load Switch	1) The specified frequency refers to the cumulative number of current interruptions, the number of interruptions of rated current, the number of switching operation of load current and the number of switching operations; and in other words.	As specified
5	Instrument Transformers (VT & CT)		As required
6	Cubicles		
6.1	Monitoring and control panels		As required
6.2	Relays for protection panels		As required
6.3	Station service panels		As required
6.4	Synchronizing unit		As required
7	Electrical wire and insulators		
7.1	Control cables		As required
7.2	Power cables		As required
7.3	Electrical wire and insulators		As required
8	Automatic control equipment		As required
9	Surge Absorbers		As required
10	Various types of transformers ( Including those for station service and those for local power distribution)	Same as for 3. Transformers	
11	DC Power supply unit for controls		
11.1	Battery		As required
11.2	Converter		As required
11.3	Chargers		As required
12	Air compressors		As required
13	Lighting Arrester		As required

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

## A-15-8 電気設備の故障記録例

### FAULT RECORD

(Urgent Report)

<b>Date</b>		
<b>Fault time</b>		
<b>Fault Power station</b>		
<b>Power System Load</b>	Total:        kW	
<b>Out Put (kW)</b>		
	Output:        kW	
<b>1 Status</b>		
<b>Kind of Fault</b>		
<b>Fault Indicators</b>		
<b>Reasons why</b>		
<b>2 Countermeasure</b>		
<b>Recovery time</b>		
<b>Temporarily recover</b>		
<b>Normal recover</b>		
<b>3 Operator name</b>		
<b>4 Approved by</b>		<b>Confirmed by</b>
<b>Note:</b>		<b>Note:</b>
<b>5 Comments by JICA advisors team</b>		

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より



## A-15-9 配電設備の点検チェックシート例 (1)

Detail Check Items for T&D Facilities' Inspection

Overhead	
Pole Assembly	
General	
Concrete Pole	
Surroundings	EUMP Staff Easy to access Bucket Car Easy to access Easy to climb No dead animal around No trace of rusty water around No new building is near No new construction work is near
Pole No.	MV Pole No. is clear LV Pole No. is clear
Ground	Not flow up Not sink down
Body of a pole	Not incline Not bent Not cracked Not weathered Not broken
Step bar	Not remain
TV cable	Attached appropriate
Guy Wire	
Height	Height over road Height over building Height over another place
Clearance	Clearance to MV Lines, LV Lines OK Clearance to another Transmission equipment OK Clearance to a building OK
Surroundings	No trace of rusty water around No new building around No new construction work around No vine growing along Not Obstruct Traffic
Ground	Not flow up Not sink down Anchor is Not shown
Wire	Elemental wire is Not broken Not too rusty Tension is not too loose Wire End is safe for public
Collier	Installed firmly Not too rusty Not broken
Parallel groove Clamp	Installed firmly Not too rusty Not broken
Turnbuckle	Installed firmly Not too rusty Not broken
Guy Insulator	Not cracked Not broken Not dusty No trace of arc
Rod	Not bent too much Not cracked too much Not broken Not too rusty
Guy Wire Cover	Attached at necessary place Not detached Not broken

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-10 配電設備の点検チェックシート例 (2)

Overhead		
Pole Assembly		
General		
Cross Arm		
	Cross Arm & Arm Tie	Not Incline Not bent Not broken Not too rusty
	Bolt & Nut	Not disappeared Not broken Not too rusty Not loose Not bent
	Obstacles	No nest of birds No other obstacles
Insulator		
	Porcelain	Not broken Not cracked Not dusty No trace of arc
	Bolt & Nut	Not disappeared Not broken Not too rusty Not loose Not bent
Earthing Wire		
	General Ground	Earth Resistance Good ※Need to measure Not flow up Not sink down Earthing Rod is Not shown
	Earthing wire	Protected enough by pipe Pipe not broken Pipe not cracked Pipe height enough Conductor is Not shown Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt
	Joint to equipment (Transformer etc.)	Jointed tightly Not too rusty Wire stripping Not too much

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-11 配電設備の点検チェックシート例 (3)

Overhead	
Pole Assembly	
Transformer Assembly	
Transformer	
Body outside	Height is enough Not incline Not bent Not dent Not bulge Not too rusty No trace of arc No oil leak Spray Coating Not coming off No abnormal noise Not heated too much Fixed tightly
Bolt & Nut	Not disappeared Not broken Not too rusty Not loose Not bent
Insulation Resistance ※If Discharge	Insulation Resistance is enough
Body Inside ※If Open & Discharge	Color of Oil is Clean Tap Position is appropriate Tap tightly fixed
Terminal (Primary/Secondary)	firmly fixed to Lead Wire & Cable Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Porcelain Not broken Porcelain Not cracked Porcelain Not dusty Porcelain No trace of arc
Lead Wire to FCO	Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Wire Tension is not too loose Wire Tension is not too tight Clearance enough to other objectives
Joint of Lead Wire	firmly fixed to Transformer and FCO Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Wire stripping Not too much
Earthing Terminal	Jointed tightly to earthing wire Not too rusty Wire stripping Not too much

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-12 配電設備の点検チェックシート例 (4)

Overhead	
Pole Assembly	
Transformer Assembly	
Fuse Cutout Switch	
Primary Cutout Switch	firmly fixed to Cross Arm firmly fixed to Lead Wire Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Porcelain Not broken Porcelain Not cracked Porcelain Not dusty Porcelain No trace of arc Fuse Size Appropriate
Lead Wire to MV Line	Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Wire Tension is not too loose Wire Tension is not too tight Clearance enough to other objectives
Joint of Lead Wire	firmly fixed to MV Line and FCO Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Wire stripping Not too much

出典：JICA 「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-13 配電設備の点検チェックシート例 (5)

Overhead	
Pole Assembly	
Transformer Assembly	
Lightning Arrester	
Body	firmly fixed to Cross Arm firmly fixed to Lead Wire Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Porcelain Not broken Porcelain Not cracked Porcelain Not dusty Porcelain No trace of arc Fuse Size Appropriate
Lead Wire to MV Line	Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Wire Tension is not too loose Wire Tension is not too tight Clearance enough to other objectives
Joint of Lead Wire	firmly fixed to MV Line Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Wire stripping Not too much
Earthing Terminal	Jointed tightly to earthing wire Not too rusty Wire stripping Not too much

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-14 配電設備の点検チェックシート例 (6)

Overhead	
Pole Assembly	
Transformer Assembly	
LV Distribution Board	
Body	
Body	Height is appropriate Easy to access for Reading meters Case is Not Charged Front Glass Not Foggy Front Glass Not Dirty Locked Fixed tightly Not broken Not incline
Lead Cable to Transformer	Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Fixed firmly to the Pole
Watt-Hour Meter	
Watt-Hour Meter	Fixed firmly to the Box Not broken Not incline Not too rusty Front Glass Not Foggy Front Glass Not Dirty No trace of arc Not Burned Inside Disk Rotate is smooth No abnormal noise Terminal Cover is Not Charged Terminal Cover is Fixed firmly Wire Fixed to Terminal firmly Terminal Voltage is appropriate Wires connected to correct phase or neutral Not heated too much
CT	Appropriate Combination to Watt-Hour Meter Fixed firmly to the Box Not broken Not incline Not too rusty Not Burned No trace of arc No abnormal noise Wire Fixed to Terminal firmly Wires connected to correct phase Not heated too much
MCCB	
Magnetizing Switch	Turn On & Off Smoothly Fixed firmly to the Box Not broken Not incline Not too rusty Not Burned No trace of arc No abnormal noise Wire Fixed to Terminal firmly Wires connected to correct phase Not heated too much

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-15 配電設備の点検チェックシート例 (7)

Overhead	
Pole Assembly	
Transformer Assembly	
LV Distribution Board	
Street Light Control Circuit with Timer	
Timer	Time Accumulated (Yes/No) Switch Turn On & Off smoothly Fixed firmly to the Box Not broken Not incline Not too rusty Not Burned No trace of arc No abnormal noise Wire Fixed to Terminal firmly Wires connected to correct phase Not heated too much
Wires Inside	
Wires Inside	No Abnormal Pressure from outside Fixed to the Box firmly Not heated too much Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Wire Tension is not too loose Wire Tension is not too tight
Joint of Wires	firmly fixed to Watt-Hour Meter etc. Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Wire stripping Not too much
Earthing Terminal	Jointed tightly to earthing wire Not too rusty Wire stripping Not too much

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-16 配電設備の点検チェックシート例 (8)

Overhead	
Pole Assembly	
LV Assembly	
Aggregating Meter Box	
Body	
Body	Height is appropriate Easy to access for Reading meters Case is Not Charged Front Glass Not Foggy Front Glass Not Dirty Locked Fixed tightly Not broken Not incline
Watt-Hour Meter	
Watt-Hour Meter	Fixed firmly to the Box Not broken Not incline Not too rusty Front Glass Not Foggy Front Glass Not Dirty No trace of arc Not Burned Inside Disk Rotate is smooth No abnormal noise Terminal Cover is Not Charged Terminal Cover is Fixed firmly Wire Fixed to Terminal firmly Terminal Voltage is appropriate Wires connected to correct phase or neutral Not heated too much
CB	
CB	Turn On & Off Smoothly Fixed firmly to the Box Not broken Not incline Not too rusty Not Burned No trace of arc No abnormal noise Wire Fixed to Terminal firmly Wires connected to correct phase Not heated too much

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より



### A-15-17 配電設備の点検チェックシート例 (9)

Overhead	
Pole Assembly	
LV Assembly	
Aggregating Meter Box	
Wires Inside	
Wires Inside	No Abnormal Pressure from outside Fixed to the Box firmly Not heated too much Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Wire Tension is not too loose Wire Tension is not too tight
Joint of Wires	firmly fixed to Watt-Hour Meter etc. Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Wire stripping Not too much
Earthing Terminal	Jointed tightly to earthing wire Not too rusty Wire stripping Not too much
Street Light	
Body	Not Incline Not bent Not broken Not too rusty
Bolt & Nut	Not disappeared Not broken Not too rusty Not loose Not bent
Circuit	Connection is correct Bulb Not Broken Glow Lamp Not Broken

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-18 配電設備の点検チェックシート例 (10)

Overhead	
Pole Assembly	
LBS Assembly	
LBS	
Location	Easy to Access Suit Location for Grid's-Operation
Operating Bar	Locked Not Charged Move Smoothly Fixed firmly to the Pole Not broken Not incline Not Bent Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent
Body	No nest of birds No Obstacles Not broken Not incline Not Bent Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Abnormal Noise
Blade	Not broken Not incline Not Bent Not too rusty Not too dirty No trace of arc
Porcelain	Not broken Not cracked Not dusty No trace of arc
Lead Wire to MV Line	Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Wire Tension is not too loose Wire Tension is not too tight Clearance enough to other objectives
Joint	firmly fixed to MV Line and Body Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Wire stripping Not too much
Earthing Terminal	Jointed tightly to earthing wire Not too rusty Wire stripping Not too much

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-19 配電設備の点検チェックシート例 (11)

Overhead		
Pole Assembly		
Underground Connecting Assembly		
MV/LV Termination		
	Location	Easy to climb
	Termination	Fixed firmly to the Pole No Compound Leakage Each Termination Not Touched Each Termination Not too close Phase Plate Not Detached No Tracking Winding Tape Not loose Not broken Not cracked Not dusty
	Lead Wire to MV Line	Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Wire Tension is not too loose Wire Tension is not too tight Clearance enough to other objectives
	Joint of Lead Wire	firmly fixed to MV Line Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Wire stripping Not too much
Cable along the Pole		
	Lead Cable along the Pole	Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Caution: If Finding abnormal condition, Check electric Leakage by MV Voltage Detector AT FIRST before approaching
Pipe along the Pole		
	Pipe along the Pole	Height is appropriate Fixed tightly to the Pole Not broken Not incline

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-20 配電設備の点検チェックシート例 (12)

Overhead	
Pole Assembly	
Underground Connecting Assembly	
Lightning Arrester	
Body	firmly fixed to Cross Arm firmly fixed to Lead Wire Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Porcelain Not broken Porcelain Not cracked Porcelain Not dusty Porcelain No trace of arc Fuse Size Appropriate
Lead Wire to MV Line	Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt No trace of arc Wire Tension is not too loose Wire Tension is not too tight Clearance enough to other objectives
Joint of Lead Wire	firmly fixed to MV Line Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Wire stripping Not too much
Earthing Terminal	Jointed tightly to earthing wire Not too rusty Wire stripping Not too much

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-21 配電設備の点検チェックシート例 (13)

Overhead		
Line		
	Ground Wire	
	Ground Wire	
	Clearance	Clearance to MV lines is enough.
	Sag	Not Unbalanced Not too loose
	Wire	No Kink Elemental Wire is not Broken No Obstacle on the Wire *Kite, Branch, etc.
	Near the pole	Fixed firmly to the Cross Arm
	Earthing Terminal	Jointed tightly to earthing wire Not too rusty Wire stripping Not too much
	MV Wire	
	MV Wire	
	Clearance	Height is enough. Clearance to other things is enough. Clearance to Construction Work is enough. Public cannot touch easily.
	Neighbor	Burned Trees near a wire Dead Animal by electrical shock No Obstacle near the Wire *Inclined TV Antenna or Tree *Tin Roof easy to fly toward, etc
	Sag	Not Unbalanced Not too loose
	Wire	No Kink Insulating Cover is not Cracked Insulating Cover is not Broken No trace of arc on the Insulating Cover Insulating Cover is not burned. No Obstacle on the Wire *Kite, Branch, etc.
	Near the pole	Elemental Wire is not Broken Binding Wire to an Insulator is not Detached Binding Wire to an Insulator is not Loose Bare Conductor is not Touched to other things.
	LV Cable	
	LV Cable	
	Clearance	Height is enough. Clearance to other things is enough. Clearance to Construction Work is enough. Public cannot touch easily.
	Neighbor	Burned Trees near a wire Dead Animal by electrical shock No Obstacle near the Wire *Inclined TV Antenna or Tree *Tin Roof easy to fly toward, etc
	Sag	Not Unbalanced Not too loose
	Wire	No Kink Insulating Cover is not Cracked Insulating Cover is not Broken No trace of arc on the Insulating Cover Insulating Cover is not burned. No Obstacle on the Wire *Kite, Branch, etc.
	Near the pole	Fixed firmly to the Clamp

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より

### A-15-22 配電設備の点検チェックシート例 (14)

Underground			
	Cubicle		
	Cubicle		
	Cubicle		
			EUMP Staff Easy to access No dead animal around No new building is near No digging construction work is near
	Foundation		Not sink Anchor Bolt is not Loose No Crack Not Broken Fixed to the Case Not incline Not Slide Not Collapse
	Case		Not broken Not Dent Not bulge Not bent Not too rusty Easy to read Name Plate Spray Coating Coming Off (Yes/No)
	Door		Locked Easily Open and Close Door Stopper works well Gasket of the Door is good Ventilation Opening is not Blocked
	Panel		Easy to read Switch Number and symbol No abnormal noise No trace of entering water No trace of animal No Condensation Not too dirt
	Earthing wire		Earth Resistance Good ※Need to measure Insulating Cover Not broken Insulating Cover Not cracked Insulating Cover Not melt Joint is tight Joint is Not too rusty Wire stripping Not too much
	Operation		Smooth to turn ON/OFF
	Switch		Blade does not Bent Blade is not too rusty Blade is not dirty Charged part is covered well Not Broken inside No trace of arc
	Terminal		firmly fixed to MV Line Joint Not too rusty Bolt & Nut Not disappeared Bolt & Nut Not broken Bolt & Nut Not loose Bolt & Nut Not bent No Tension to Joint Point Not heated too much Not melt Wire stripping Not too much
	Line		
	Cable		
	Cable		
	Location		No digging construction work is along the route
	Cable		Insulating Resistance Good ※Need to measure

出典：JICA「カンボジア国モンドルキリ州小水力地方電化計画の運営・維持管理プロジェクト」より