

国際協力事業団

ミャンマー国電力省
ミャンマー電力公社

ミャンマー国
農村地域における再生可能エネルギー導入調査

最終報告書

第4巻 主報告書

持続型小水力マニュアル

平成15年9月



日本工営株式会社
財団法人 日本エネルギー経済研究所



鉦調資

JR

03-100

序 文

日本国政府は、ミャンマー国政府の要請に基づき、同国の農村地域における再生可能エネルギー導入調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施しました。

当事業団は、平成13年1月から平成15年8月までの間、日本工営株式会社の片山氏を団長とし、日本工営株式会社と財団法人日本エネルギー経済研究所の共同企業体から構成される調査団を、合計9回にわたり現地に派遣しました。

調査団は、ミャンマー国政府関係者と協議を行うとともに、ミャンマー電力公社のカウンターパートと協力して現地調査および既存小水力発電所のモニタリングを実施し、国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、ミャンマーにおける地方電化率の向上および同国の貧困緩和・地域間格差是正に貢献するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係者各位に対し、心から感謝申し上げます。

平成15年9月

国際協力事業団
総裁 川上 隆朗

川上隆朗



NIPPON KOEI CO., LTD.

Consulting Engineers

伝達状

国際協力事業団

総裁 川上隆朗 殿

ミャンマー国農村地域における再生可能エネルギー導入調査を終了致しましたので、ここに最終報告書を提出致します。本報告書は、ミャンマー電力公社をはじめ、同国関係機関から表明された意見を反映させ、かつ日本国側関係諸機関の助言も反映させております。

本調査では、首都ヤンゴンでも電力需給が逼迫しているミャンマー国の電力需給の現状を鑑み、農村地域において再生可能エネルギーを導入し、地場技術を活用することによって同国の地方電化率を早急に改善するため、政府による本格的電化事業と村落主導の簡易照明事業を提案しております。本報告書のガイドライン、マニュアル、データベース等が、ミャンマー国における地方電化率の持続的向上のために、政府による電化事業と村落主導の簡易照明事業の実施・維持管理に活用され、ひいては農村部の貧困緩和および都市・地方の地域間格差是正にも貢献できれば幸いです。

貴事業団、外務省並びに経済産業省各位から本調査期間中に頂いたご支援及びご指導に心から感謝申し上げます。

平成 15 年 9 月

日本工営株式会社

財団法人 日本エネルギー経済研究所

片山 陽夫

ミャンマー国農村地域における再生可能エネルギー導入調査

団長 片山 陽夫

ミャンマー国・農村地域における再生可能エネルギー導入調査

最終報告書

レポート構成

第1巻 要約

第2巻 主報告書： 調査概要

第3巻 主報告書： 地方電化ガイドライン

第4巻 主報告書： 持続型小水力マニュアル

4-1 小水力運転保守マニュアル

4-2 小水力設計マニュアル

4-3 村落水力設計マニュアル

4-4 制度・財務面

第5巻 主報告書： 開発計画

再生可能エネルギーによる地方電化データベース（CD）

略語

組織

DEP, DOEP	Department of Electric Power of MOEP	電力省電力局
DHP	Department of Hydroelectric Power of MOEP	電力省水力総局
DOMH	Department of Meteorology and Hydrology	気象水力局
EOJ	Embassy of Japan	日本大使館
GOM/SPDC	Government of Myanmar/State Peace and Development Council	ミャンマー政府/ 国家平和発展評議会
GOJ	Government of Japan	日本政府
ID	Irrigation Department of Myanmar	灌漑局
ITC	Irrigation Technology Center, Irrigation Department	灌漑局・灌漑技術センター
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力事業団
MADB	Myanmar Agricultural Development Bank	ミャンマー農業開発銀行
MAPT	Ministry of Agricultural Products and Trade	農産物流通省
MEC	Myanmar Economic Commission	ミャンマー経済委員会
MELC	Myanmar Electric Light Co-operative Society Ltd.	ミャンマー電灯協同組合
MEPE	Myanma Electric Power Enterprise	ミャンマー電力公社
MIC	Myanmar Inventors Co-operative Ltd.	ミャンマー発明家組合
MOAI	Ministry of Agriculture and Irrigation	農業灌漑省
MOC	Ministry of Cooperatives	協同組合省
MOCT	Ministry of Commerce and Trade	商業貿易省
MOE	Ministry of Energy	エネルギー省
MOEP	Ministry of Electric Power	電力省
MOF	Ministry of Forestry	林業省
MOFA	Ministry of Foreign Affairs	外務省
MOI	Ministry of Industry	工業省

MOST	Ministry of Science and Technology	科学技術省
MPBANRDA	Ministry for Progress of Border Areas and National Races and Development Affairs	国境地域少数民族開発省
NCEA	National Commission for Environmental Affairs	国家環境委員会
NEDO	New Energy & Industrial Technology Development Organization, Japan	日本新エネルギー・産業技術総合開発機構
SPICL	Sein Pann Industrial Production Co-operative Limited	セインパン産業協同組合
SPDC	State Peace and Development Council	国家平和発展評議会
USDA	Union Solidarity and Development Association (an NGO)	連邦共同開発協会 (NGO)
VEC	Village Electrification Committee	村落電化委員会
VPDC	Village Peace and Development Council	村落平和発展評議会
VWSDC	Village Water Supply Distribution Committee	村落給配水委員会
YIE	Yangon Institute of Economics	ヤンゴン大学経済学部
YIT	Yangon Institute of Technology	ヤンゴン工科大学

経済・財務

ATP	Ability to Pay	支払能力
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GRDP	Gross Regional Domestic Product	国内地域総生産
IRR	Internal Rate of Return	内部収益率
WTP	Willingness to Pay	支払意志額

単位

kWh	kilo-Watt-hour
MWh	Mega-Watt-hour (10^3 kWh)
MJ	Mega-Joule (10^6 J)
K	Currency unit of Myanmar (Kyat)

toe	Tons of Oil Equivalent (10 ⁷ kcal)
US\$, \$	Currency unit of USA (US dollar)
¥	Currency unit of Japan (Yen)

その他

BCS	Battery Charging Station	バッテリー充電所
CDZ	Central Dry Zone	中央乾燥地帯
FS	Feasibility Study	フィージビリティ調査
HRD	Human Resources Development	人的資源開発
IPP	Independent Power Producer	独立系発電事業者
MP	Master Plan	マスタープラン
NGO	Non Governmental Organization	非政府組織
OJT	On-the-Job-Training	実地訓練
O&M	Operation and Maintenance	維持管理
R&D	Research and Development	研究開発
RE	Rural Electrification	地方電化
SHS	Solar Home System	太陽光発電家庭電化システム

為替レート 特記しない限り、 US\$ 1.00 = K500 = ¥ 120 (2001 年 5 月)

US\$ 1.00 = K1,000 = ¥ 120 (2003 年 5 月)

ミャンマー国
農村地域における再生可能エネルギー導入調査

最終報告書

主報告書
第4巻 持続型小水力マニュアル

Part 4-1	小水力運転保守マニュアル
Part 4-2	小水力設計マニュアル
Part 4-3	村落水力設計マニュアル
Part 4-4	制度・財務面

ミャンマー国 農村地域における再生可能エネルギー導入調査
最終報告書
第4巻 持続型小水力マニュアル
Part 4-1 小水力運転保守マニュアル

目次

1	運転保守の組織と規則	1
1.1	発電所の要員	1
1.1.1	一般	1
1.1.2	員数の決定	1
1.1.3	運転保守分離	1
1.2	運転・保守記録管理	3
1.3	連絡・報告システム	5
1.3.1	連絡・報告システム	5
1.3.2	緊急時の対応システム	5
1.3.3	IT化時代への対応	6
1.4	マニュアルと図面の管理	7
1.4.1	統括管理関係	7
1.4.2	運転関係	7
1.4.3	保守関係	7
1.4.4	運用関係	8
1.5	維持管理技術者の育成	9
2	電気設備の運転	11
2.1	運転手順	11
2.1.1	一般	11
2.1.2	運転方法	11
2.2	運転上の技術	15
2.2.1	並列運転	15
2.2.2	调速機	15
2.2.3	運転特性	16
2.3	ピーク運転	18
2.3.1	調整池の利用	18
2.3.2	他の発電設備との並列運転	20
3	電気設備の点検・保守・補修	22
3.1	保守	22
3.1.1	一般	22
3.1.2	保守体制	22
3.2	主要機器の概要と保守の要点	24
3.2.1	水車	24
3.2.2	発電機	31
3.2.3	励磁装置	34
3.2.4	调速機	38
3.2.5	圧油装置	39

	3.2.6 その他の機器.....	43
3.3	主要機器の特性と試験.....	48
	3.3.1 水車.....	48
	3.3.2 発電機.....	53
	3.3.3 调速機.....	55
	3.3.4 圧油装置.....	58
	3.3.5 総合特性試験.....	61
	3.3.6 計測および保守用器具・工具と予備品.....	66
3.4	保守基準.....	69
	3.4.1 保守の区分.....	69
	3.4.2 試験.....	70
	3.4.3 記録および報告.....	70
4	土木施設の点検、保守及び補修.....	71
	4.1 水文気象状況の監視及び記録.....	71
	4.2 水力発電施設点検の分類.....	74
	4.3 土木施設.....	76
	4.3.1 土木施設の点検項目.....	76
	4.3.2 土木施設の点検.....	76
	4.4 ゲート、除塵スクリーン及び水圧鉄管路.....	100
	4.4.1 ゲート、除塵スクリーン及び水圧鉄管路の点検項目.....	100
	4.4.2 取水口及び水槽（ヘッド・タンク）に設置する制水門の操作上の点検項目.....	102
	4.4.3 取水口におけるゲート操作.....	103
	4.5 排砂操作.....	106
	4.6 堆砂対策工.....	107

付表リスト

表 1.1.1	運転・保守分離合理化例	2
表 1.5.1	技術者に必要な専門知識と実技 (例)	10
表 2.1.1	運転方法	12
表 3.3.1	流量測定法	52
表 3.3.2	負荷急増試験測定項目	65
表 4.3.1	土木構造物の点検項目	82
表 4.3.2	流量観測結果	83
表 4.3.3	設計と測量結果に基づく水路床高さの比較	86
表 4.3.4	設計時と同一条件のケース (堆砂のない状態) の水理計算結果	86
表 4.4.1	ゲート、除塵スクリーン及び水圧鉄管路の点検項目	101
表 4.6.1	‘サクソフォン’サクション・ヘッド式装置の排砂容量	110

付図リスト

図 2.2.1	励磁と無効電流	15
図 2.2.2	負荷と周波数変化	16
図 2.3.1	水位と貯水量(1)	18
図 2.3.1	水位と貯水量(2)	18
図 2.3.2	調整池	19
図 3.2.1	ペルトン水車の構造と名称	24
図 3.2.2	バケット先端部分損耗	25
図 3.2.3	フランシス水車の構造と名称	26
図 3.2.4	漏水	27
図 3.2.5	キャビテーション	28
図 3.2.6a	横軸単輪複流型	29
図 3.2.6b	横軸双輪前口型	29
図 3.2.7	クロスフロー水車の構造と各部の名称	29
図 3.2.8	ランナー羽根亀裂	30
図 3.2.9	同期発電機の構造と名称	31
図 3.2.10 a	円筒型回転子	32
図 3.2.10 b	凸型回転子	32
図 3.2.11	集電子	32
図 3.2.12	回転子	33
図 3.2.13	軸受	33

図 3.2.14	直流励磁機	34
図 3.2.15	整流子	35
図 3.2.16	静止励磁機	36
図 3.2.17	ブラシレス励磁方式	37
図 3.2.18	调速機	38
図 3.2.19	圧油装置	39
図 3.2.20	圧油装置の構造と各部の名称	40
図 3.2.21a	スルース弁	44
図 3.2.21b	蝶型弁	44
図 3.2.22	複葉弁	45
図 3.3.1	開度-出力の関係 (1)	48
図 3.3.1	開度-出力の関係 (2)	48
図 3.3.2	各種水車の効率比較	50
図 3.3.3	変落差特性	51
図 3.3.4	流況曲線	53
図 3.3.5	水車効率曲線	53
図 3.3.6	基本特性	53
図 3.3.7	サーボモータ開度	55
図 3.3.8	调速率特性	56
図 3.3.9	開度出力特性	56
図 3.3.10	速度調整機(65P)	56
図 3.3.11	過渡速度垂下率	57
図 3.3.12	圧油タンク	59
図 3.3.13	サーボモータの開閉	61
図 4.1.1	普通雨量計	71
図 4.1.2	河川での量水標の設置	72
図 4.1.3	量水標の詳細	72
図 4.1.4	水圧式自記水位計の設置図	73
図 4.2.1	流れ込み式水力発電施設の配置図	74
図 4.2.2	点検サイクル	75
図 4.3.1 (1/5)	モニタリング・点検手順	77
図 4.2.1 (2/5)	モニタリング・点検手順	78
図 4.3.1 (3/5)	モニタリング・点検手順	79
図 4.3.1 (4/5)	モニタリング・点検手順	80
図 4.3.1 (5/5)	モニタリング・点検手順	81
図 4.3.2	導水路内の堆砂と堆砂深さの測定	84
図 4.3.3	漏水箇所のスラブと基礎の浸食状況	84

図 4.3.4	水路の床スラブと壁との付け根の浸食状況.....	84
図 4.3.5	導水路縦断測量ガイドマップ.....	85
図 4.3.6	導水路の設計と測量結果の比較.....	86
図 4.3.7	設計時と同一条件のケース（堆砂のない状態）の導水路水面形.....	87
図 4.3.8	取水口開始地点から横越流余水吐きまでの導水路区間の水位-流量曲線.....	87
図 4.3.9	推奨される取水口位置.....	88
図 4.3.10	ギャビオン導流壁一般図.....	90
図 4.3.11	ギャビオン導流壁詳細図.....	91
図 4.3.12	取水口縦断図.....	92
図 4.3.13	取水口のスキマーウォール.....	94
図 4.3.14	作業デッキ改善案.....	95
図 4.3.15	流木防御対策案.....	96
図 4.3.16	コンクリート表面保護用のライニング案.....	97
図 4.3.17	追加鉄筋コンクリートによる堰堤体の補強案.....	98
図 4.3.18	鋼製枠ギャビオン.....	99
図 4.4.1	取水口における水門及び水位計.....	103
図 4.4.2	制水門及び排砂門の操作.....	104
図 4.5.1	沈砂池の一般配置図.....	106
図 4.6.1	‘サクソフーン’ サクション・ヘッド式排砂装置.....	108
図 4.6.2	溝穴付きパイプ式排砂装置.....	108

添付資料リスト(第 6 巻 Part 6-1 に収録)

Appendix 1	Forms of Equipment Inventory (Sample)
Appendix 2	Safety Rules (Sample)
Appendix 3	Guidelines for OJT
Appendix 4	Method on Operation of Hydraulic Turbine for Achievement of ‘High Efficiency Operation’
Appendix 5	Principle and Mechanism of Governor
Appendix 6	Maker’s Manual of Chinese Governor (Sample)
Appendix 7	Operation Instruction of Thyristor Excitation Unit for Synchronous Generators Type KGLF-OOF (Sample)
Appendix 8	Testing Method of Turbine Efficiency
Appendix 9	Water Hammer
Appendix 10	Inspection and Testing by Splitting Maintenance Works
Appendix 11	Design of Water Rheostat
Appendix 12	Sediment Control
Appendix 13	Sample of Sand Flushing Operation
Appendix 14	Monitoring Data for Civil Works Structures of Zi Chaung Power Station

1 運転保守の組織と規則

1.1 発電所の要員

1.1.1 一般

発電所が所期の目的に合った有効な運転を継続し、設備の機能を維持して長い寿命を保たせるために、発電所の運転・保守を担当する要員とその組織が必要である。

業務の運用にあたっては、従業者が準拠すべき諸規定が必要となり、通常、運転操作規定、保守業務要項、関連する技術資料の整備などを重点的に行わなければならない。

また、安全の維持には特に留意し、人身・機器・設備及びそれらの異常による波及被害を考慮した安全マニュアルが不可欠である。これらが整備され、責任ある管理者の指揮監督によって、はじめて発電所は本来の機能を発揮し、長期にわたって有効に運用される。

1.1.2 員数の決定

発電所の要員数は次の事項を考慮して、総合的な見地から決定する。

- 発電所出力 発電規模、有用性などに関連する代表的な要因である
- 設備機器台数 水車、発電機、変圧器等の台数
- 土木設備形式・規模 ダム式・流れ込み式の別、大きさなど
- 制御方式 自動式、遠隔制御方式、手動式などの別
- 運転形式 単独運転、系統並列運転、時間運転など
- 立地条件 居住地域からの距離、道路条件など
- インフラ整備 通勤交通手段(車・バイクの使用)、通信方式など
- 経済性 発電原価の低減に対する配慮

1.1.3 運転保守分離

通常発電所員の数は、前項のような要因を考慮しながらも、主として緊急対応時に必要な人員を念頭において決められる場合が多い。このようにして決められた所員の通常の勤務は、運転業務と保守業務を並行的に行うか、相互に交替して行っている場合が多い。本来運転業務と保守業務は、本質に異なっており、これを同一人、または同一直勤務で行う時、いずれかの分担に手すきが生じたり、技術レベルの向上に徹底さを欠くような傾向になる。

この欠点を除くため、運転を専任する所員と、保守を専任する所員に分類し、各々の分野の業務を専行させることにより、作業の質の向上、技術レベルの高度化を図ると共に、勤務体制の合理化に伴う人員削減による経済効果も望める事になる。

この方式は、単独運転発電所においては、他の制約条件の影響によって、それほど大きな効果を望めない事もあるが、次のような条件下にある発電所に適用することで、大きな効果が期待できる。

- (1) 同一水系など、複数の発電所が系統的に配列され、集团的に統一した運用ができる場合
- (2) 水力に限らず、他電源と混在して、同一系統に供給している発電所の場合
- (3) Gridに並列されている発電所で、運転業務量の少ないところ
- (4) 自動化されている発電所

表1.1.1に通常配置の勤務形態を、運転・保守分離して合理化した例を示す。

表 1.1.1 運転・保守分離合理化例

項目		A 発電所	B 発電所	
設備規模	発電所出力	1,500 kW	1,000 kW	
	主機設備台数	3 台	2 台	
	制御方式	ワンマン	ワンマン	
	運転方式	単独運転	単独運転	
従来の形態	所長	1	1	
	日勤者	3	2	
	直勤務員 (1 直の員数)	(夜間 5)	(4) (夜間 4)	
	3 直 2 交替総員数	15	12	
	日勤者 (直勤務予備員)	2	1	
	(小計)	(21)	(16)	
運転保守分離後の形態	所長	1 (B 発電所々長兼務)	0	
	日勤者	2	1	
	直勤務員 (1 直の員数)	(3) (夜間 3)	(2) (夜間 2)	
	3 直 2 交替総員数	9	6	
	(小計)	(12)	(7)	
	(新設)	保守センター		
	所長	1		
	日勤員	7 (内 2 名 直勤務予備員)		
	(小計)	(8)		
	比較	総員数	日勤者	直勤者
	従来形態	37	10	27
	運転保守分離	27	12	15

Source: Proposed by JICA Study Team

1.2 運転・保守記録管理

発電所の稼働状況、設備の状態、保守作業の内容などは、発電所の運営上重要な事であり、定められた様式で記録管理する必要がある。

(1) 運転の記録

A. 運転日誌

日常の運転状況を知るため、次の主要データを、1時間ごとに定められた用紙に記録する。

() は測定機が設定されている場合。

a. 稼働量のデータ

電力、電力量、(使用水量)、送電電力量

b. 運転状態のデータ

電圧、電流、力率、周波数、回転速度、水口開度、水圧、油圧、上水槽水位、圧油槽油面

c. 保守上のデータ

軸受温度、発電機温度、(冷却水温度)

d. その他のデータ

日付、天候、外気温度、所内温度、(湿度)

e. 特記事項 (別紙とする場合もある)

突発事故、計画作業

B. 運転月報

月毎に、次の事項を運転日誌より作成する。

月発生電力量、日発生電力量、日平均電力 (日平均使用水量)

最大電力、最小電力、最高電圧、最低電圧、最大電流、最小電流

複数台の設備のある場合は、各機ごとと合計値について、上記項目を記載する。各記録は整理して永久保存する。

(2) 保守の記録

発電所設備の保全のため、日常または定期的に行う保守点検記録及び事故処理などは、必ず記録として管理する。

A. 日常点検記録

次の点検項目を定めた用紙に日誌形式で記載する・

a. 外観

漏水、漏油、スリップリング火花、冷却水、放水路 (渦、気泡、油の有無など)、結露

b. 触感、触覚、その他体感

振動、騒音、異音、異臭、小動物・鳥類・虫などの侵入、汚れ

c. 作業

調整、手入れ、清掃、油・グリースの補充など

B. 定期作業記録

主機を停止して行う点検、手入れ作業、及び分解して内部を調べる点検・補修の記録などを、写真をつけて詳細にまとめる

C. 事故復旧記録

特に原因、事故箇所、他機への波及状況、復旧の程度、次期対策、再発防止作など、事故復旧作業内容と共に詳細に写真、関係する技術データなどを添付してまとめる。

B、Cの記録は、当該所内に衆知徹底させると共に、上部管理機関などにも報告し、技術向上に資する事が望ましい。記録は次の保守作業の参考としても重要な意味を持つので、所内に保管すると共に、複数部数を作成し、関係機関でも保存する。

これらの保存方式については、地域の実情と合わせて、関係機関と協議の上、規定化しておく必要がある。

1.3 連絡・報告システム

1.3.1 連絡・報告システム

A. 日常の連絡

直勤務の交替時における引継ぎ事項、日勤者の直勤務者への連絡事項など、定期的に行われる連絡は、授受者の氏名を記載した文書形式で行い、引継ぎ毎に記載する。

非定常の連絡は、周知させる範囲を明確にし、伝達の完成を確実にできるシステムが必要である。口頭連絡をした場合は、後刻、その旨の記録が残るよう、引き継ぎ簿、連絡簿などの整備が望ましい。

B. 作業等の連絡

作業等の連絡は、常に正確さと安全性を必要とするので、文書を作成し責任者が点検・承認する。

特に停電作業、重量物移動作業、複数作業者の共同作業に関する連絡は、事前の打合せと連絡方法の明確化により、不測の事故を発生しないようシステム化する必要がある。

C. 報告システム

報告は全て定められた基準によって行うものとし、報告内容によって報告先の範囲の明確化、形式の標準化、記録保管の部署の決定、報告書の伝送・伝達の方法などをシステム化する。

1.3.2 緊急時の対応システム

次の事項の発生は、緊急対策を必要とするので、迅速・正確な連絡と、対応手段についてシステム化し、平素より訓練・熟知する事が必要である。

人身事故... 特に夜間当直者の少ない時間帯、水槽、取水口など、遠隔地点の作業時などに注意

火災事故

水圧鉄管破裂

主機の重大事故 主軸折損、発電機コイル焼損など

送变电設備の重大事故

洪水時など天災による事故

外部から緊急事態の連絡を受けたとき

その他当直者が緊急事態と判断した時

1.3.3 IT化時代への対応

世界的なIT化時代の到来によって、連絡・報告システムは、ハード面で大きな変革が起こることが予想される。主として紙に記載する形式によってシステム化を規定してきた従来のシステムを、IT化対応に変更する考慮が必要である。特に、システム変更の過渡期には混乱の起きる恐れがあるので、早期に配慮する必要がある。

1.4 マニュアルと図面の管理

発電所の運転保守を正確かつ円滑に行うためには、関係する図面類の整備、参考となるマニュアル、技術参考資料などを参照する必要がある。次にその主要資料名を列記する。

1.4.1 統括管理関係

設備台帳	発電所の設備に関する定格事項を、形式をそろえて台帳とし、その発電所及び関係する監督機関に置くもので、形式は通常、事業法などで決まっている。
保管記録	発電月報（運転月報の抜粋）、定期報告物、事故報告、統計
図面（A3版で製本が望ましい）	位置図、一般平面図、取水位置図、集水面積図、堰堤構造図、水路縦断図、発電所構造図、主機配置図、主機断面図、単線結線図、屋外鉄構図、送電系統図
官庁関係図書	建設時官庁へ提出した設計書控など

1.4.2 運転関係

運転規定（またはマニュアル）	取水方法、水門操作要領、主機起動停止方法、開閉器操作規定、緊急対策
運転手順表	運転手順を見やすくグラフィックにしたもの
緊急連絡表	緊急連絡先、連絡方法を見やすくポスターにした表
送電関係図表	単線結線図、送電系統図を1枚にポスター表示するもので、主要開閉器と充電区間の関係が、明確に解るもの
運転日誌他	運転日誌、運転月報、事故報告書、その他必要とする運転報告書

1.4.3 保守関係

設備台帳	統括管理用と同一のもの
保守規定（またはマニュアル）	日常・定期点検、精密補修に関する、設備別、期間、要領などを規定したもの。
保管記録	日常・定期作業報告書、事故報告書、補修記録など
図面	統括管理用および土木関係構造図。水車構造図、発電機構造図、軸受詳細図、入口弁構造図、ルーズ接手構造図、油圧系統図、アンローダ構造図、调速機構造図、消耗材料一覧図、配電盤構造図、シーケンス図、電線結線図、ケーブル布設図、冷却水系統図、消耗部品単体図、その他保守上必要な図面
整備資料	圧油説明書、调速機説明書、AVR説明書 水車特性曲線、発電機特性曲線、励磁機特性曲線、出力-開度特性、各種技術参考資料

1.4.4 運用関係

安全規定日常作業の安全、事故処理、勤務者の衛生管理、安全管理要領などを規定する。

緊急時処理要領 連絡方法、救急法、救急備品整備、各所の特殊事情に対する具体策などを示す。

1.5 維持管理技術者の育成

発電所の運営に携わる技術者は、その専門分野から土木・電気・機械の3分野に分かれる。土木関係の技術は、水力発電の根幹を成すもので、水文、水理、地質、構造、測量など広い分野にわたり、主として開発建設時の大部分の業務範囲を占める。

電気は、発電、制御、送電の分野、機械は流体機械の内、水車に関する技術を必要とする。発電所の建設が完了し、運営に入ると、日常業務は主として電気と機械の分野が多くなり、維持管理技術者としては電気・機械の技術者が必要になるが、最近では電気・機械と分離せず、電気として一括発電技術に携わる傾向にある。

発電所の運営は、大別すると、運営管理、運転業務、保守業務になるが、技術者は本来自己の専門とする土木・電気・機械などの基礎知識と共に、担当する業務に必要な知識を習得し、実技に習熟しなければならない。

このための技術者育成としては、関連する専門知識の教育と実技の訓練があり、前者はテキストの整備、講習会の実施、他機関へ出向しての受講等の方法が行われているが、後者はOJTによる教育方法を取る。

これらの教育は、技術者が独自で個人的にはできない事なので、発電の企業者が、組織的に計画実施する事が必要である。育成の目標とする技術者に必要な専門知識と実技の、内容項目の例を次表に示す。

表 1.5.1 技術者に必要な専門知識と実技 (例)

項目	運転		保守		
	電気	機械	電気	機械	土木
負荷しゃ断時の現象解析					
水車出力開度特性・効率					
発電機特性・電圧変動					
調速制御論					
負荷力率とその改善方法					
送電線路理論					
測定法					
圧油技術					
機械設計工作法					
実技					
溶接実技					
天井クレーン操作方法					
シール技術とパッキング					
並列技術					
調速機操作法					
水門操作法					
蓄電池保守法					
機械加工法					
電気配線技術					
消火法					

Source: Proposed by JICA Study Team

2 電気設備の運転

2.1 運転手順

2.1.1 一般

発電所の運転は、長期的に見た発電事業の内、最も重要な業務で、自然の出水と無作為に変化する需要電力に合わせて、所有する設備を有効に利用し、安定した良質の電力を、効率的に供給する義務がある。

運転従事者は、発電所の諸設備はもとより、周辺の地形・連絡路などの状況についても熟知し、日常の安定した機器運転と同時に、人身事故等人為事故の発生を招かないため、十分な注意を払って、運転業務を遂行しなければならない。

このためには、運転規定を遵守すると共に、各機器の詳細な取扱説明書などを熟読し、運転上の実技に精通する努力が必要である。

運転の現場には、操作・運用を確実にこなせるよう、運転手順表、電気系統図、緊急連絡表などを、見やすい場所に掲載しておくことを推奨する。また、洪水、地変など、不測の事故に対しては、速やかに関係部署に通報すると共に、責任者の指示に従って、沈着に行動できるよう、平素から心がけると同様に、関係諸規定の熟知、訓練の実施など必要である。

2.1.2 運転方法

運転の操作は、取水・鉄管初充水など、稀に行われるものと、主機の起動・停止、送電など日常の操作に分類される。

前者は、主として責任者の指揮によって、発電所員全員の作業として行われる重要な操作である。後者は、日常随時行われる操作で、運転員の独自の判断で行われるものである。

これらの運転方法は、発電所の出力、設備台数、制御方式などによって異なるが、一般的な設備形式の運転方法を次表に示す。

表 2.1.1 運転方法

ステップ	操作要領	注意事項	責任者
取水	取水口制水門を開いて、必要な水量を水路に流し込む。	水路を事前点検し、安全を確かめる。 必要な地点に監視員を配置する。 急激な水流を起さないよう、水門を徐々に開く。	
水路、沈砂池、上水槽・調整池の充水	前項の取水操作により、水路に水を流し、水路内の異物・堆積物を排砂ゲートから排出後、水路系を充水する。	前項の取水操作前に次のゲート操作を確認する。 沈砂池、上水槽・調整池の排砂ゲート全開 上水槽の制水門(鉄管呑み口ゲート)全閉	
水圧管初充水	上水槽の制水門を開けて、水圧管に水を流入する。 (制水門のない水槽は、土砂吐き門を開けて、水槽の着水を確認した後、土砂吐き門を徐々に閉じて、管路への流入量を監視しながら充水する)	水圧管の排水弁を開放しておく 主機入口弁、側路弁、冷却水弁など発電所内で管路に関係のある弁が全部閉じられていることを確認する。 制水門を徐々にあげ、管口径の下部20%以内の流入とする。 流水が下部に達し、排水弁から塵芥を含んだ走り水が抜けたことを確認して、排水弁を閉じる。	
起動前の確認事項	起動前に、次の事項を確認する。 入口弁、側路弁、サーボモータの機械的ロックの解除 主回路断路機の閉路 主回路遮断機開	表示ランプ青を確認	
	圧油系統の点検 軸受油面の確認 軸受温度計の指示 ブレーキ解除 負荷制限の位置 冷却水の流れ	圧油筒残油量、集油槽油面、各バルブの開(または閉)位置 空気流入管の取り付け 起動開度にあること 充分流れていること	

ステップ	操作要領	注意事項	責任者
	<p>発電機ダンパー閉</p> <p>ブラシの状況</p> <p>需要先負荷の大きさの想定</p> <p>所内非常灯の点検</p> <p>運転員の配置</p>	<p>ブラシレスの場合は、整流器の外観</p> <p>投入時の回転低下に対する予知・準備</p> <p>水車出力との整合</p> <p>送電系統の確認</p> <p>各自点呼確認</p>	
起動	<p>先行機入口弁開</p> <p>#1 起動 ON</p> <p>(ガイドベーン開)</p> <p>(回転始動)</p> <p>(定格電圧)</p> <p>(無負荷定格回転)</p> <p>後行機入口弁開</p> <p>(無負荷定格回転、定格電圧)</p> <p>並列</p> <p>電圧平衡</p> <p>揃速</p> <p>同期投入</p>	<p>(手動の場合は、側路弁開を先行) 全開確認</p> <p>(手動の場合は、ハンドルを徐々に開いて起動)</p> <p>(手動の場合は順次運転員の手動操作)</p> <p>配電盤運転員と水車室運転員の連携動作</p> <p>先行機に準ずる</p> <p>先行機に後行機を並列</p> <p>電圧差 定格電圧の5%以内</p> <p>回転速度差 定格速度の0.3%以下</p> <p>後行機を遅い方から先行機に同期</p> <p>(手動の場合は、同期点到達の0.5秒位前にC.B.投入操作をする。)</p>	
速度上昇 (目標 51~51.2 Hz)	65P の位置を、先行・後行機共、開度 3/4 相当位置まで上げる。	相方交互に、少しずつ変位する。この時の目標周波数約 51~51.2 Hz (調定率 3%の場合)	
送電	送電用 C.B.投入	配電盤室・水車室運転員の確認連絡	
通常運転	定格電圧・定格周波数の維持操作	出力・力率の監視、運転技術 2.2 参照	

ステップ	操作要領	注意事項	責任者
停止 負荷遮断 ガイドベーン 全開 回転停止 冷却水断 発電機風道	送電用 C.B.開放 65P、77 下げ 入り口弁閉・側路弁閉 (手動ハンドルで操作) ブレーキ操作 ダンパー閉	関係先へ連絡 (D.S.開) 下限まで ランプ確認、水車室運転員目視確認 回転速度定格の30%以下を確認	
停止後の確認	上水槽の溢流状況 所内残流確認 放水路流況	現場で目視、安全確認 入口弁、側路弁、冷却水など 現場で目視、異常の有無を確認	

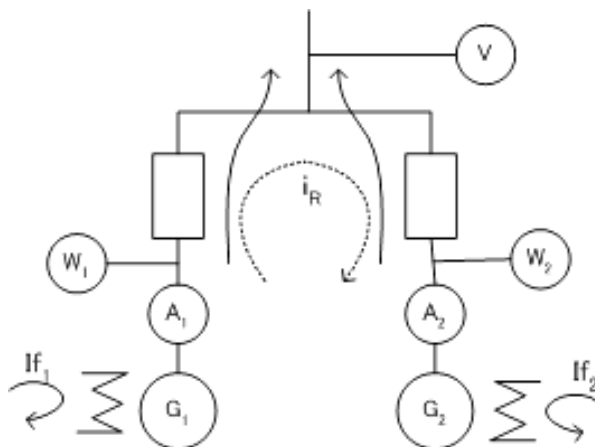
Source: Proposed by JICA Study Team

2.2 運転上の技術

2.2.1 並列運転

(1) 励磁の調整

複数の発電機を並列接続して運転する場合、(ここでは2台の場合について述べる) 両機の端子電圧は、母線によって同一の値になる。



Source: JICA Study Team

図 2.2.1 励磁と無効電流

発電機の容量が同じで、等負荷の運転をしているとき、片方の励磁を大きくすると、その機械の電流が多くなる。すなわち、

$$G_1 = G_2, W_1 = W_2$$

$$I_{f1} > I_{f2} \text{ のとき } A_1 = A_2$$

となる。

これは、 G_1 と G_2 の間に、無効電流 i_R が流れているからで、発電機に無用な発熱を生ずることになり、良好な運転といわれない。これを防止するためには、励磁を調整して、両機の力率を同じにしなければならない。なお、この調整の時、

母線電圧 V を規定値に保つよう、注意が必要である。

(2) 高効率運転 (Part 1 Appendix 4 参照)

複数台の同容量の発電機を、並列運転している場合、各機の出力を同一にして運転する。この運転を高効率運転といい、その時の使用流量に対し、各機の合計出力が最大になると、周波数応答幅が大きくなるなど、有効な運転となる。複数台が異なった容量または特性の場合については、Part 1 Appendix 4 に示す。

(3) レーシングの防止

10 kV 以下の送電線で、送電している負荷電力の値が、全発電機容量の15%以下になると、レーシングを生ずることがある。このときは1台運転とするか、励磁をアンバランスにして、一方の力率を悪くすれば、レーシングは止まる。

2.2.2 調速機

(1) 特性定数 (Part 1 Appendix 5 参照)

調速機の次の特性定数は、必ず揃えて運転する。

速度調定率 (Permanent Speed Regulation)

弾性復元率 (Transient Speed Regulation)

弾性定数 (Dash Pot Time)

(2) 負荷制限 (Part 1 Appendix 5 参照)

湧水で止むを得ず出力を制限する必要がある場合は、負荷制限をする。負荷制限装置のある場合は、その開度指示を見ながら整定し、ない場合は、サーボモータの手動ハンドル位置で制限する。ただし、ハンドルには固定する装置がなく、整定が狂う恐れがあるので、なるべく使用せず、全開位置に置いたほうがよい。

(3) 基準周波数調整 (Part 1 Appendix 5 参照)

速度調整機 (65P) を使用して定めるが、この装置には通常、目盛など目安になるものがないので、複数機の出力が同一に揃った状態で規定の周波数に収まるよう、各機の65Pを徐々にかつ交互に調整して設定する。

このとき各機の出力が安定するには、弾性定数の影響がなくなるまで、数秒から数十秒の時間を要するので、急がずゆっくりと行う。

(4) 起動開度 (Part 1 Appendix 5 参照)

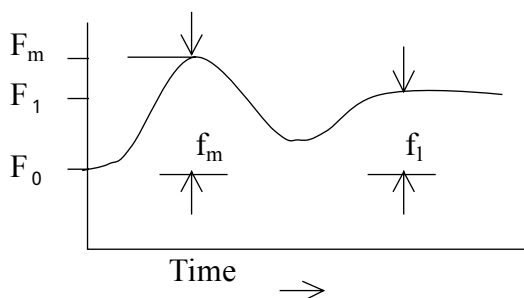
停止しているときの调速機は、常に関開方向に動くように働いているので、自動起動の場合は、負荷制限装置の働きによって、水車の起動する位置に開度を制限する。この開度を起動開度といい、開度が大きいと起動時過速度を生ずる恐れがあり、少ないと定格回転に達しない場合があるので、予め適当な位置を負荷制限装置の下限として調整しておく必要がある。なおこの値は、放水路の水位変動などで変わることがあるので、注意を要する。

2.2.3 運転特性

(1) 電圧変動率

定格速度において、一定励磁のまま発電機の出力を、0から定格容量まで変化させた時の、発電機端子電圧の変化分を、定格電圧に対する百分率で表した値を、電圧変動率といい、通常10%~15%の値である。

AVRを使用していない発電機の場合は、出力の変化に対し、端子電圧を一定に保つため、



Source: JICA Study Team

図 2.2.2 負荷と周波数変化

励磁電流の値を手動で調整する。AVRは、端子電圧を一定にするよう、自動的に励磁電流を調整する装置であるが、一般に制御上の理由から±1%程度の電圧変動率を持っている。

負荷が急激に変化した時、制御の遅れから、過渡的に5~8%の電圧変動を生ずる事があり、これを過渡電圧変動率として表す。負荷の変化に伴って、回転速度の変動があるときは、この値

がさらに大きくなる事がある。過渡電圧変動によって、電圧が30%以上上昇した場合は、過電圧リレー(59)によって、励磁を切ると同時に水車を停止する。

(2) 速度変動率

調速機を無調整のまま、負荷を変化すると、周波数（回転速度）が変化する。図 2.2.2 は負荷を減少させたときの、時間経過における周波数の変化を示したもので、周波数は、一度大きく上昇した後、多少上下を繰り返しながら、減少前の周波数より、少し高い値に安定する。

全負荷運転の状態から、負荷を遮断したときの f_m と F_0 の比を速度変動率（又は速度上昇率）と言い、水車発電機運転上、重要な特性である。また f_1 を F_0 で割った値を速度調定率と言い、調速機に設定されている値である。

(3) 水圧変動率

水車に加わる水圧は、定常状態では使用流量によって変化する。これは、管と水の摩擦によって生ずるもので、変化の値は流量の二乗に比例する。流量を急激に変化すると、この値よりはるかに大きい値の変化が起こる。この現象を水撃現象といい、変化の値を静水頭で割った値を百分率で表したものを、水圧変動率という。

流量を減少した時は水圧が上昇し、増加した時は水圧が低下するが、その値は、流量の変化速度が速いほど、大きい。

この上昇値が大きすぎると、管の破裂を招き、下降値が大きい時は大気圧によって管が破壊するので、サーボモータの動作速さはこれを配慮し、一般に全負荷を遮断しても管が破損しない値に調整されている。

水車発電機の運転中、負荷の変動によって、電圧、速度、水圧は常に変動するが、その機械の安全値を知っていれば、多少急激な変化やトリップ事故の場合でも、慌てることなく安心して対応する事ができるので、自己の運転する発電所の主機の特性を、日頃より熟知しておかねばならない。また、百分率は、とっさの場合、判断が難しいので、最大値を直接の値で表示し、見やすいところに表示しておき、運転の目安とする方法が良い。

2.3 ピーク運転

2.3.1 調整池の利用

調整池は、自流量（河川から取水し、水路を通して入ってくる流量）が発電に使用する流量より多いときに、水が蓄えられ、自流量が発電流量より少ない時には、蓄えている水を流出するので、調整池の貯水量が減少する。

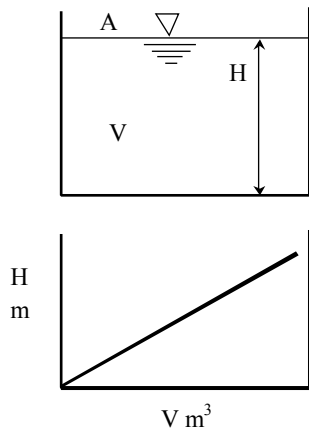
(1) 調整池貯水量と水位の関係

貯水量Vは調整池の面積が深さによって変わらない時、

A: 調整池の表面積 m^2

H: 調整池の深さ m

$$V = AH \quad m^3$$



となり、貯水量と水位の関係は、図2.3.1のようになる。

深さによって表面積が変わる時には、図2.3.2に示すように、深さ毎の面積を計算して、これを深さの順に積算し、深さと貯水量の関係を求める。

このように、どの場合でも、貯水量は調整池の水深によって、

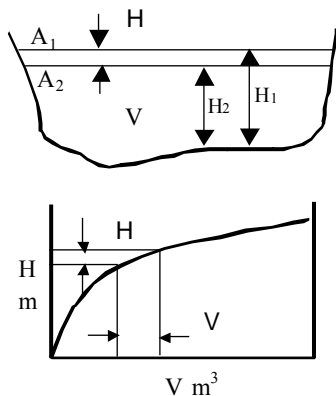
$$\Delta V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times H$$

その量を知ることができる。

Source: JICA Study Team

図 2.3.1 水位と貯水量(1)

表示する。



(2) 調整池の利用

自流量、発電使用量と貯水量の関係は、図2.3.3において、

Q_i : 自流量 m^3/s

Q_o : 発電使用量 m^3/s

とすれば、

$Q_i - Q_o$ の値が調整池の貯水量に変化を与える。 $Q_i - Q_o$ が(+)のときには、この状態が続く時間を T_p 秒とすると、

$$V_p = (Q_i - Q_o) T_p \quad m^3$$

Source: JICA Study Team

図 2.3.1 水位と貯水量(2)

の貯水を行うことができる。

$Q_i - Q_o$ が(-)のときには、その時間を T_m 秒とすると、

$$V_m = (Q_i - Q_o) T_m \text{ m}^3$$

の貯水量が流出する。

この現象を利用し、渇水期など自流量の少ない時、日中送電を停止して貯水し、夜間のピーク負荷に対し、自流量に貯水量の流出分を加えて、出力を増大した運転を行うことができる。

この場合の利用の仕方を、例を持って示すと、次のようになる。

調整池のピーク運転の利用計算例

貯水量 $V = 10,000\text{m}^3$ の調整池で、

自流量 $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ のとき、発電所を停止して満水に貯水する時間は、

$$10,000 \div 0.4 \div 3,600 \quad 7 \text{ 時間 となる。}$$

この貯水量を利用し、ピーク時2.5時間増加運転するものとすれば、調整池から流出させる事のできる流量は、

$10,000 \div (2.5 \times 3,600) = 1.1 \text{ m}^3/\text{s}$ となるので、これに自流量を加えた $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ の出力で、2.5 時間運転できることになる。

(3) 運転上の留意事項

調整池水位

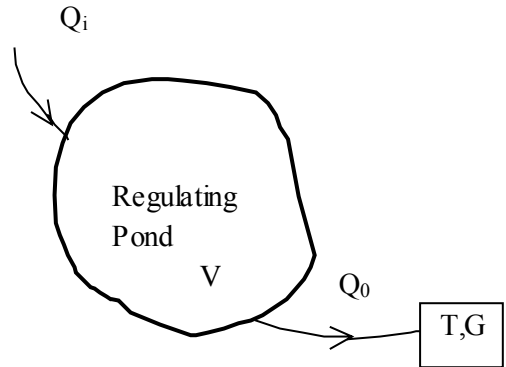
貯水量を有効に利用するためには、満水位から最低水位まで調整池水位を変動させることになるので、これに伴う沈砂池や連絡水路への影響には注意しなければならない。

特に、最低水位の近くでは水系の各所に射流現象が起こると考えられるので、事前に十分な検討が必要である。

また、単独運転の発電所は、系統に並列している発電所と違って、発電所の都合で自由に出力を変更できないので、調整池が最低水位になる少し前にあらかじめ余裕を持って、送電負荷の部分切り離しなどの操作を進める必要がある。

水位計

調整池の水位は、2~3 m の比較的大きい変化をするので、これを一台の水位計で測定すると、アナログタイプの場合は最小読み取り値が大きくなり、精度の高い読み取りが難しい。



Source: JICA Study Team

図 2.3.2 調整池

このような場合は、溢水天端付近で作動する水位計と、最低水位付近で作動する水位計の2台を使用する方法がある。また、水位計の精度が2%程度でも差し支えない様に、利用最低水位に余裕をつけて運転してもよい。

運転規定

調整池の運用は、自流量、運転出力、計画運転時間など関連を持った要素が多く、難しい点がある。

このため、運転規定に、その運用方法を具体的に定め、それに準じて間違いのない運転をする必要がある。

2.3.2 他の発電設備との並列運転

ピーク時に不足する電力を補うために、他の発電設備と並列運転をする方法がある。この方法は、一種の小系統を構成する考え方で、小水力発電所を主機とし、他の発電設備を補助的に使う場合を示す。

(1) ディーゼル発電機

ディーゼル発電機は、起動・停止が簡単なので、補助機として使用するのに最も適している。並列する場合に重要なことは、次の通りである。

a. 励磁特性の検討

主機との間に無効横流が流れないように、あらかじめ両機のAVR特性を調べ検討する。

AVR特性が合わずレーシングする恐れのある場合は、発電機容量の少ない方の機械を定励磁にし、自動制御の場合は、発電機容量の小さい方をAQR (Automatic Var Controller) にする。APfR (Automatic Power Factor Regulator) の100%運転は、軽負荷時に同期化力が少なくなり、ハンチングする恐れがある。

b. 調速機特性の検討

ディーゼル発電機は、調速機の応答速度が速いので、周波数応答はディーゼルガバナに行わせ、水力発電所は負荷制限運転とする。水力発電所側に水位調整機の設備があるときは、その運転とする。

(2) モミガラ発電機

モミガラ機関は、出力の調整の応答が遅いので、電圧、周波数共に水力発電所で行うことが望ましい。この意味で、モミガラ発電機は、誘導発電機を使用せず、回転数のみの整合で並列し、供給した燃料に応じて出力を増減できるので、補機用として適した特性を持っている。

(3) 風力発電

調整池容量の大きな水力発電所と並列し、調整池の運用を計れば、貯水のため水力発電所

を停止しないで運転できる。

風力発電機も誘導発電機を使用するので、運転には手数を要さない。技術的な問題として、風は変化が頻繁で、かつ変わり方が早いので、水力発電所の応答が激しくなり、サーボモータ、リンク機構などの磨耗が多くなることが考えられる。

また、圧油の使用量が増加するので、圧油槽や圧油ポンプ、アンローダなどの機能を調べると共に、時として改良を伴うことも考えられる。

このような理由から、風力発電機の容量は、並列する水力発電機の容量の10%以内にする必要がある。