

ベトナム国  
北部再生可能エネルギーによる  
地方電化計画フォローアップ調査

最終報告書

本 編

2004年10月

独立行政法人 国際協力機構  
経済開発部

経済

JR

04-018



## 序文

日本国政府はベトナム国の要請に基づき、同国の北部地域を対象に再生可能エネルギーによる地方電化計画フォローアップ調査を行うことを決定し、国際協力機構がこの調査を実施しました。

当機構は、平成15年3月から平成16年10月までの間に6回にわたり、プロアクトインターナショナル株式会社の大瀧克彦氏を団長とし、同社と東北電力株式会社の団員から構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団はベトナム国政府関係者と協議を行うとともに、マイクロ水力資源を用いた分散型の村落電化手法に関する適用妥当性について、パイロットプロジェクトを通じて技術的、組織的、経済的に実証を行い、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、ベトナム国の地方電化計画の推進に寄与するとともに、両国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、本調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心から感謝申し上げます。

平成16年10月

独立行政法人国際協力機構  
理事 伊沢 正



平成 16 年 10 月

独立行政法人国際協力機構  
理事 伊沢 正 殿

ベトナム国北部再生可能エネルギーによる  
地方電化計画フォローアップ調査団  
団長 大瀧 克彦

### 伝 達 状

ここに、ベトナム国北部再生可能エネルギーによる地方電化計画フォローアップ調査最終報告書をご提出申し上げます。

本調査は、平成 13 年 1 月から平成 14 年 6 月にかけて実施された「ベトナム国北部再生可能エネルギーによる地方電化計画調査」にて提案されたオフグリッド地方電化モデルプランのうち、特に北部山岳地域で有望と考えられるマイクロ水力発電を用いた分散型電化手法について、実際のパイロットプラント建設を通じてそのフィージビリティを実証したものであります。本調査では、特に利用者であり、運転管理主体でもある村落レベルでのサステナビリティの確立をめざして、当該地域の実情を踏まえ、技術、経済性、組織といった面からの検討を重ねてまいりました。さらに、今後ベトナム北部において実際のオフグリッド地方電化事業の進展につながるよう、本調査の成果を各種マニュアルの形でとりまとめ、各省（Province）技術者や村落で維持管理を担当する住民のガイドブックとなるよう配慮しております。

最終報告書の内容については、日本国政府及び貴機構のご意見も反映させていただきました。また、ハノイ市において適時行いました協議を通じて得られた、カウンターパートである工業省やホアビン省工業局の各官のご意見も反映させております。

ベトナム農村部において電化へのニーズは高く、その政策的な緊急性・重要性から、ベトナム政府が最終報告書で提案されている地方電化手法をベースにして、山岳地域の未電化地域におけるオフグリッド地方電化事業を本格化させることを推奨するものであります。このためには、各省技術者の一層のキャパシティビルディングやマイクロ水力資源についての広範囲な調査実施、村落での運転管理方法のガイドライン化などを早期に具体化すべきであると考えます。

この機会をお借りしまして貴機構、外務省及び経済産業省に対し、心より御礼申し上げますとともに、ベトナム側の関係各機関に対しましても、我が調査団に対して頂戴しました御厚誼、御協力につき、深く感謝申し上げます次第です。



# 目次

はじめに

調査の概要

<b>第 1 章</b>	<b>パイロット事業の背景と目的</b>	<b>1</b>
1-1	背景	1
1-2	目的	1
1-3	パイロット事業関係組織	2
1-4	全体スケジュール	3
<b>第 2 章</b>	<b>パイロット村落の概要</b>	<b>5</b>
2-1	パイロット村落の選定経緯と理由	5
2-2	パイロット村落の概況	6
<b>第 3 章</b>	<b>パイロット設備の設計</b>	<b>13</b>
3-1	モデルプランとの比較	13
3-2	発電計画諸元	14
3-3	土木設備の設計	15
3-4	電気機械設備の設計	24
3-5	配電設備の設計	31
3-6	DOI への技術移転	41
<b>第 4 章</b>	<b>パイロット設備の施工</b>	<b>43</b>
4-1	実施体制	43
4-2	工事計画申請	44
4-3	工事工程	44
4-4	工事費内訳	46
4-5	施工管理	47
4-6	試運転	56
<b>第 5 章</b>	<b>パイロット設備の運営管理</b>	<b>59</b>
5-1	運営管理プラン	59
5-2	組織体制と役割分担	60
5-3	運転操作	63
5-4	保守作業	66
5-5	電気供給契約	69
5-6	電気料金と徴収金管理の考え方	71
5-7	トレーニング計画	74
<b>第 6 章</b>	<b>モニタリング結果とその評価</b>	<b>81</b>
6-1	季節的な運用	81
6-2	運転実績（試験結果含む）	85
6-3	需要分析と将来予測	87

6-4 電気機器の使用状況 .....	90
6-5 電気料金改定と資金管理 .....	92
6-6 住民の満足度－ヒアリング結果と分析 .....	95
6-7 経済性評価 .....	98
6-8 開発資金 .....	102
<b>第 7 章 パイロット事業の総合評価と政策的支援 .....</b>	<b>105</b>
7-1 パイロット事業の総合評価 .....	105
7-2 本格的事業展開への道のり .....	107

## 参考資料

## 巻末

1. 施工図面
2. オフグリッド地方電化マニュアル
  - (1) 計画・技術者用 設計・施工編
  - (2) 村落維持管理組織用 運転・保守編（日本語版／越語版）
  - (3) 村落維持管理組織用 組織・運営編（日本語版／越語版）



## 表 目 次

表 2-2-1	QuyHoa Commune 内の村落及び世帯数.....	6
表 2-2-2	Theu 村の世帯と人口数.....	8
表 2-2-3	Theu 村の電化製品普及状況.....	11
表 3-1-1	モデルプランとの仕様比較表.....	13
表 3-2-1	発電計画諸元表.....	15
表 3-3-1	素掘水路諸元選定表.....	16
表 3-3-2	コンクリート水路諸元選定表.....	17
表 3-3-3	水槽沈砂部の延長設定表.....	18
表 3-3-4	水槽越流幅の設定.....	19
表 3-4-1	水車仕様.....	24
表 3-4-2	発電機仕様.....	25
表 3-4-3	部品仕様.....	29
表 3-5-1	配電区間.....	31
表 3-5-2	配電線資材 基本仕様.....	31
表 3-5-3	電線組み合わせ表.....	33
表 3-5-4	鉄筋コンクリート柱 技術仕様.....	34
表 3-6-1	DOI への技術移転内容.....	41
表 4-2-1	工事計画申請書の記載例.....	44
表 4-3-1	パイロット事業工事工程（実績）.....	45
表 4-4-1	パイロットシステム工事費内訳表.....	46
表 4-5-1	配電線施工手順.....	54
表 4-5-2	パイロットシステム設備一覧.....	54
表 5-3-1	トラブルシューティング例.....	65
表 5-4-1	外部機関のサポート体制.....	67
表 5-4-2	部品の取り替え作業.....	67
表 5-4-3	予備品一覧表.....	68
表 5-4-4	危険要因と対応策.....	68
表 5-4-5	安全に関する住民への指導例.....	68
表 5-5-1	主な家畜・農産物のマーケットへの売却価格（参考）.....	71
表 5-6-1	CEU による一ヶ月あたりの運営収支試算（700VND/kWh の場合）.....	74
表 5-7-1	トレーニング項目.....	75
表 6-3-1	Theu 村の 1 世帯あたりの電力需要原単位（現在）.....	88
表 6-3-2	電気利用実績（2004 年 9 月）.....	89
表 6-3-3	電気器具と市場価格.....	89
表 6-3-4	Theu 村の 1 世帯あたりの電力需要原単位（将来予測）.....	90
表 6-4-1	照明器具の比較.....	91
表 6-4-2	白黒テレビの発生現象.....	92
表 6-4-3	電気機器の稼働電圧.....	92
表 6-5-1	改定後の電気料金（VND）.....	93
表 6-5-2	CEU による一ヶ月あたりの運営収支試算（新電気料金の場合）.....	93
表 6-6-1	モニタリング時期と内容.....	95
表 6-6-2	サンプル世帯における電灯利用.....	95
表 6-6-3	Village Hydro の利点.....	96
表 6-6-4	電灯下での活動.....	96
表 6-6-5	引込み料金の工面方法.....	96
表 6-6-6	ヒアリングに基づくサンプル世帯の電気使用量試算（一ヶ月あたり）.....	97

表 6-6-7	サンプル世帯の電気使用量実績（一ヶ月） .....	97
表 6-6-8	Village Hydro に対する満足理由 .....	98
表 6-7-1	経済性評価結果—FIRR — 建設費補助率 90% .....	100
表 6-7-2	経済性評価結果—EIRR — 建設費補助率 90% .....	101
表 6-8-1	135 プログラムによるインフラ整備プロジェクト実績（2002 年） .....	102
表 6-8-2	135 プログラムの申請フロー（電気分野 2005 年予算のケース） .....	103
表 7-2-1	今後の事業実施に必要な作業 .....	107
表 7-2-2	事業実施におけるグリッド延長と Villagehydro 開発の比較 .....	109

## 図 目 次

図 1-3-1	パイロット事業関係機関	3
図 1-4-1	全体工程（実績）	3
図 2-2-1	QuyHoa Commune 内の村落位置図	6
図 2-2-2	Theu 村の住宅配置図	9
図 2-2-3	Theu 村の一般家屋	10
図 2-2-4	家屋と周辺スペースの利用例	10
図 2-2-5	電灯（左）と灯油ランプ（右）	11
図 2-2-6	6V バッテリ（左）とその利用：ヘッドライト（右）	12
図 3-2-1	Hoa Binh 省 Lac Son 郡における月毎の平均降水量	14
図 3-3-1	改修後の取水堰	15
図 3-3-2	改修後の既設水路断面図	16
図 3-3-3	改修後の既設水路	16
図 3-3-4	新設水路断面図	17
図 3-3-5	新設水路	18
図 3-3-6	沈砂池	18
図 3-3-7	水槽平面図	19
図 3-3-8	水槽縦断面図	19
図 3-3-9	水槽	20
図 3-3-10	PVC 管とフランジ部	20
図 3-3-11	水圧管路縦断面図	21
図 3-3-12	固定台断面図	22
図 3-3-13	発電所基礎設計図	22
図 3-3-14	放水庭縦断面図	23
図 3-3-15	発電所断面図	23
図 3-4-1	ターゴインパルス水車	24
図 3-4-2	水車発電機（左が水車、右が発電機）	25
図 3-4-3	機器平面図	26
図 3-4-4	機器断面図	26
図 3-4-5	ダミーロードガバナの動作原理	27
図 3-4-6	ダミーロード（水冷式）	28
図 3-4-7	単相 2 線結線図	28
図 3-4-8	制御回路図	29
図 3-4-9	運転時と事故時のシーケンス	30
図 3-5-1	配電系統図	32
図 3-5-2	鉄筋コンクリート柱の基本仕様	34
図 3-5-3	装柱状況（左：シングルアーム、右：ダブルアーム）	35
図 3-5-4	主要引込み設備（左：引込柱、右：電力量計とブレーカー）	35
図 3-5-5	引込線工事（左：引込線の架線、右：電力量計の取付）	36
図 3-5-6	1 線連接接地方式（標準型）	36
図 3-5-7	誘導雷による電気事故	37
図 3-5-8	1 線連接接地方式（改良型）	37
図 4-1-1	オフグリッド地方電化の実施体制予想図	43
図 4-1-2	パイロット事業実施体制図	43
図 4-5-1	住民による作業状況（左）と村内道路・水路改修状況（右）	47
図 4-5-2	水車発電機の運搬	48
図 4-5-3	ダミー抵抗の冷却	49

図 4-5-4	ダミーロード制御基盤（左）と過電圧継電器（右）	49
図 4-5-5	制御盤（外部・左と内部・右）	50
図 4-5-6	配電線工事フロー	55
図 4-6-1	ネットスクリーン	56
図 4-6-2	低周波数継電器	57
図 5-1-1	運営管理プランの考え方	60
図 5-2-1	住民集会の様子（計画説明）	61
図 5-2-2	Theu 村 CEU の構成と役割	61
図 5-2-3	Theu 村 CEU に対する外部支援体制	62
図 5-3-1	電圧計	63
図 5-3-2	水圧計	64
図 5-3-3	入口弁閉鎖	64
図 5-3-4	CEU とバックアップ組織の連絡フロー	65
図 5-4-1	水車の内部点検	66
図 5-4-2	ブラシ交換	66
図 5-5-1	契約書の署名	69
図 5-5-2	メーターチェックと電気利用者台帳記録（徴収額の整理）	70
図 5-7-1	運転に関するノウハウの蓄積	77
図 5-7-2	水車発電機の始動・停止トレーニング	77
図 5-7-3	メンテナンスに関するノウハウの蓄積	78
図 5-7-4	電力量計の結線方法（左）と引込み線施工（右）のトレーニング	78
図 5-7-5	マネジメントに関するノウハウの蓄積	78
図 5-7-6	マネジメントトレーニングの様子	79
図 6-1-1	発電用調整池概要図	81
図 6-1-2	調整池放流設備図	82
図 6-1-3	調整池放流設備施工状況	83
図 6-1-4	輪番停電計画図	84
図 6-1-5	区分開閉器 施工状況	84
図 6-2-1	ロードカーブの状況（2004.7）	85
図 6-2-2	起動・負荷変動時の状況	86
図 6-2-3	自動停止(取水カット)の状況	86
図 6-2-4	負荷遮断の状況	87
図 6-3-1	村落内の主要電気器具	88
図 6-4-1	照明機器の特性試験結果	91
図 6-5-1	電気利用実績（Theu 村 2004 年 9 月）	94
図 6-5-2	CEU の支出内訳（Theu 村 2004 年 9 月）	94
図 7-1-1	パイロット事業のノウハウ蓄積	107
図 7-2-1	事業実施の標準フロー	108

## Acronyms and abbreviations

CDM	Clean Development Mechanism
CEMA	State Committee for Ethnic Minorities Affairs
CEU	Community Electricity Unit
DARD	Department of Agriculture and Rural Development
DOI	Department of Industry
DPI	Department of Planning and Investment
EDME	Enterprise for Designing and Manufacturing Electrical Equipments
EIRR	Economic internal rate of return
ELCB	Earth Leakage Circuit Breaker
EVN	Electricity of Vietnam
FIRR	Financial internal rate of return
F/S	Feasibility Study
GOV	Government of Vietnam
HH	Household
HPC	Hydro Power Center
IE	Institute of Energy
JBIC	Japan Bank for International Cooperation
JICA	Japan International Cooperation Agency
MARD	Ministry of Agriculture and Rural Development
MCB	Main Circuit Breaker
MOF	Ministry of Finance
MOI	Ministry of Industry
MP	Master Plan
MPI	Ministry of Planning and Investment
NPV	Net Present Value
ODA	Official Development Assistance
O & M	Operation and maintenance
OJT	On-the- job training
PC	Power Company
PPC	Provincial People's Committee
PVC	Polyvinyl Chloride
RARE	Rural Area Renewable Energy Facility
\$	US dollar (\$1=15,600VND as of October 2004)
VAT	Value Added Tax
VND	Vietnamese Dong

WB	World Bank
135 Program	Program on the Socio Economic Development in Mountainous, Deep-lying Remote Communes with Special Difficulties (Decision No,135/QD-TTg of July 31,1998)
Pico-hydro	Inexpensive 100W class propeller turbine generator for individual household
Village Hydro	A concept of micro-hydro scheme sustainable for power supply in rural communities, which is proposed in this report

## はじめに

電気の利用は開発途上国の農村部では最大の願望のひとつであろう。ベトナムでは 2010 年までにすべてのコミューンを電化するという政府の目標に向かって電力系統（グリッド）の拡張が飛躍的に進展している。しかしながらグリッド電化は多くの場合コミューンの中心部までに限定されており、周縁の村落については、中心部からの距離や人口密度の低さなどからグリッド延長の経済効率が低く未電化のまま取り残される場合が多い。山岳地帯をかかえる北部ベトナムにはこのような未電化村落が多数存在する。こういった村落を対象にした地方電化事業は貧困対策や都市部との生活格差是正といった観点から同国の重要な政策課題となっている。

こうした地域に存在する再生可能エネルギー資源を有効に活用し、オフグリッド発電による地方電化を促進させることを目的として、国際協力機構は 2001 年より 2002 年まで「北部再生可能エネルギーによる地方電化計画調査（マスタープラン調査）」を実施した。その中ではマイクロ水力による村落電化のモデルプランである「Village Hydro」が提案された。オフグリッド地方電化に関しては技術的な問題以上に住民によるマネジメントが難しく、これまで同国では成功事例がほとんどなかった。また、オフグリッド地方電化の中核となるべき地方人民委員会工業局（DOI）の技術者が経験に乏しく、その組織強化のためにも有望なオフグリッド電化方式である Village Hydro の実証を求める要望書が国際協力機構に提出された。こうした背景に基づき、本調査はパイロット事業の実施を通じてオフグリッド地方電化モデルとしての Village Hydro の実現性および持続可能性を実証するとともに、地方政府の技術者に対する知識の浸透を通じてベトナムにおけるオフグリッド地方電化の促進に寄与することを目的として 2003 年 3 月より実施された。

DOI はグリッド電化に関する経験、技術を十分に備えているものの、オフグリッド地方電化を担うためには、小水力発電計画を含む電化計画立案能力の強化が必要となる。そのキャパシティビルディングを行ううえで、パイロットシステムの設計や建設に関するノウハウやその運営管理手法は貴重な教材となる。また、電化対象村落が自ら運転、維持管理できるよう、本調査では村落電化組織に対して運転保守などの技術的ノウハウに加えて資金問題など運営に関する指導を時間をかけて十分に行った。こうして得られた多くの知見は、設計／施工に関するものは電化計画を担当する地方技術者向けに、運営や維持管理に関するものは村落住民向けにそれぞれマニュアルとしてとりまとめた。

本報告書が、今後 DOI が主体となってオフグリッド地方電化を進めていくためのテキストとして活用され、北部ベトナムで電化を待ちわびている地域の生活向上に繋がっていくことができれば幸いである。

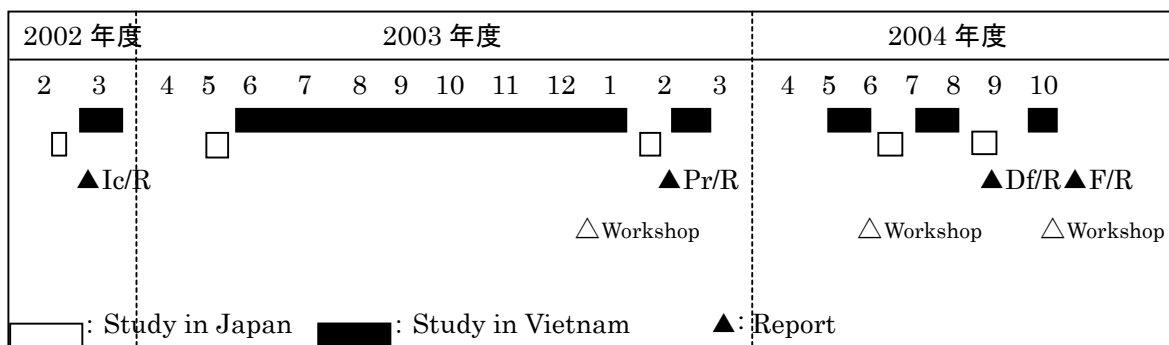
## 調査の概要

本調査は、北部ベトナムに再生可能エネルギーとして広く分布するマイクロ水力資源に着目し、Village Hydro というオフグリッド電化システムのモデルプランに基づくパイロット事業の実施を通じてそのモデルの持続可能性および普及可能性を実証することを第一の目標としていた。このため、事業実施に当たってはベトナム側の地方人民委員会工業局（DOI）を頂点とする実施体制を整備し、調査団の作業監理によりパイロットシステム（ハード）を建設し、運営管理手法（ソフト）をトレーニングで技術移転しながらモニタリングを実施した。

パイロットシステムはすべてベトナム国内技術および資機材によって建設され、完成後の長期間にわたるトレーニング/モニタリングにより、持続的運営を目指したシステム設計や運転管理手法の妥当性が確認された。このトレーニング/モニタリング期間を十分確保できたことが、システムの持続可能性を確立するためには重要であった。さらに、この成果をベトナム国内の関係者、特に DOI へ技術移転し、将来の普及拡大へとつなげることも重要なテーマであり、そのためにパイロットプロジェクトを通じて得られた成果をマニュアルに取りまとめた。また、ワークショップ等の機会を通じて Village Hydro の技術や運転管理手法を関係者へ広く紹介し、意見交換を通じて資金スキームを含めた今後の実施方針を提言した。

### 1. 調査スケジュール

当初の調査計画では調査終了時期が 2004 年 3 月となっていたが、パイロットサイトの選定に時間を要したため、プラント施工が約半年程度繰り延べとなった。これに伴い、当初から重視していた運転開始後のトレーニング/モニタリング期間を十分確保するため全体スケジュールが見直され、2004 年 9 月にドラフトファイナルレポートを提出するという調査スケジュールに変更された。





## 2. 調査経緯

### 第一次現地調査： フォローアップ調査実施に係るカウンターパート協議 / (2003年3月)      パイロットプラント候補地点の確認と情報収集

ベトナム側にフォローアップ調査での作業項目やスケジュールについて説明し、地方電化の現状や調査の方針について意見交換を行った。また、パイロット事業実施への強い要望があったラオカイ省を訪問し、サイト情報および今後の進め方について意見交換を行った。

### 第二次現地調査： パイロットシステムの建設 / 技術ワークショップ (2003年6月～2004年1月)

#### ① パイロットプロジェクト地点の調整・選定 (2003年6月～2003年8月)

EVN および地方各省におけるグリッド電化計画の進行状況を確認した結果、ホアビン省においてコミュニン周辺部の村落を対象として実施するのが妥当と判断し、未電化村落数カ所の現地踏査および関係者との調整を実施した。

#### ② 村落における維持管理体制に係る調整 (2003年9月～2003年10月)

関係者との調整を踏まえ、ホアビン省ラクソン郡 QuyHoa コミュニンの Theu 村をパイロットプロジェクト地点候補に選定した。現地で住民集会を開催し、電化計画や維持管理体制について住民合意を得て詳細設計および仕様書の作成を開始した。

#### ③ 工事準備および現地再委託契約の締結 (2003年10月～2003年11月)

ホアビン省人民委員会へ工事計画を申請し許可取得し、その後、現地コンサルタント、水車発電機メーカー、建設会社との契約を締結して11月21日に工事着工。

#### ④ 施工監理、試運転 / 技術ワークショップ開催 (2003年11月～2004年1月)

建設会社によるパイロットシステム施工および住民による引込み線接続の作業監理を実施。発電設備運転開始の点灯式と合わせて12月23日にサイトにて政府関係者、ドナー、ホアビン省地方人民委員会等の参加により、パイロットシステムの建設に関する技術的事項を紹介する第1回ワークショップを開催した。配電設備を含むパイロットシステムは1月中旬に完成し、渇水による出力不足を考慮し54世帯を第1期として電化した。

### 第三次現地調査： 運転と維持管理に関するフォローアップおよびモニタリング (2004年2月～3月)

パイロットシステムの運転状況を確認し、特に出力低下時の運転操作方法などを指導し継続運転を定着させた。また、電気使用契約に基づく料金徴収および記帳事務等の資金管理を指導し、運営事務を本格的に開始した。

### 第四次現地調査： フォローアップおよびモニタリング / マネジメント・ワークショップ (2004年5月～6月)

パイロットシステムの運転実績に基づき、長期的な運転継続へ向けたリスク評価を行い、細かな保守点検手法などを指導した。また、運営事務の実績を踏まえ、財務分析に基づく電気料金の見直しについて村民と協議し合意した。これらの内容をもとに政府関

係者や世銀等のドナー、北部 8 省の DOI 関係者を集め、Village Hydro のマネジメント手法を議論するための第 2 回ワークショップを開催した。

**第五次現地調査： フォローアップおよびモニタリング / 普及計画についての協議**  
(2004 年 7 月)

雨季の状況確認に基づくモニタリングを実施。乾季の出力不足対策として調整池運用設備を施工し、発電所運転方法を再確認した。併せて未接続世帯への第 2 期引込みを施工し、村落全体での運営について指導した。また、今後の普及計画について政府関係機関およびドナーとの意見交換を行った。

**第六次現地調査： ドラフトファイナルレポートの説明協議 /**  
(2004 年 10 月) **地方電化の促進に関するワークショップ**

出力不足対策として系統分割装置を配電線へ設置し、運転、維持管理、電化運営事務について総括的フォローアップおよびモニタリングを実施し、指導してきた運営項目について定着を確認した。最後に、政府関係者とドナー機関の参加により、Village Hydro の事例をもとにオフグリッド地方電化の普及促進とその課題に関する意見交換を主体とした第 3 回ワークショップを開催した。

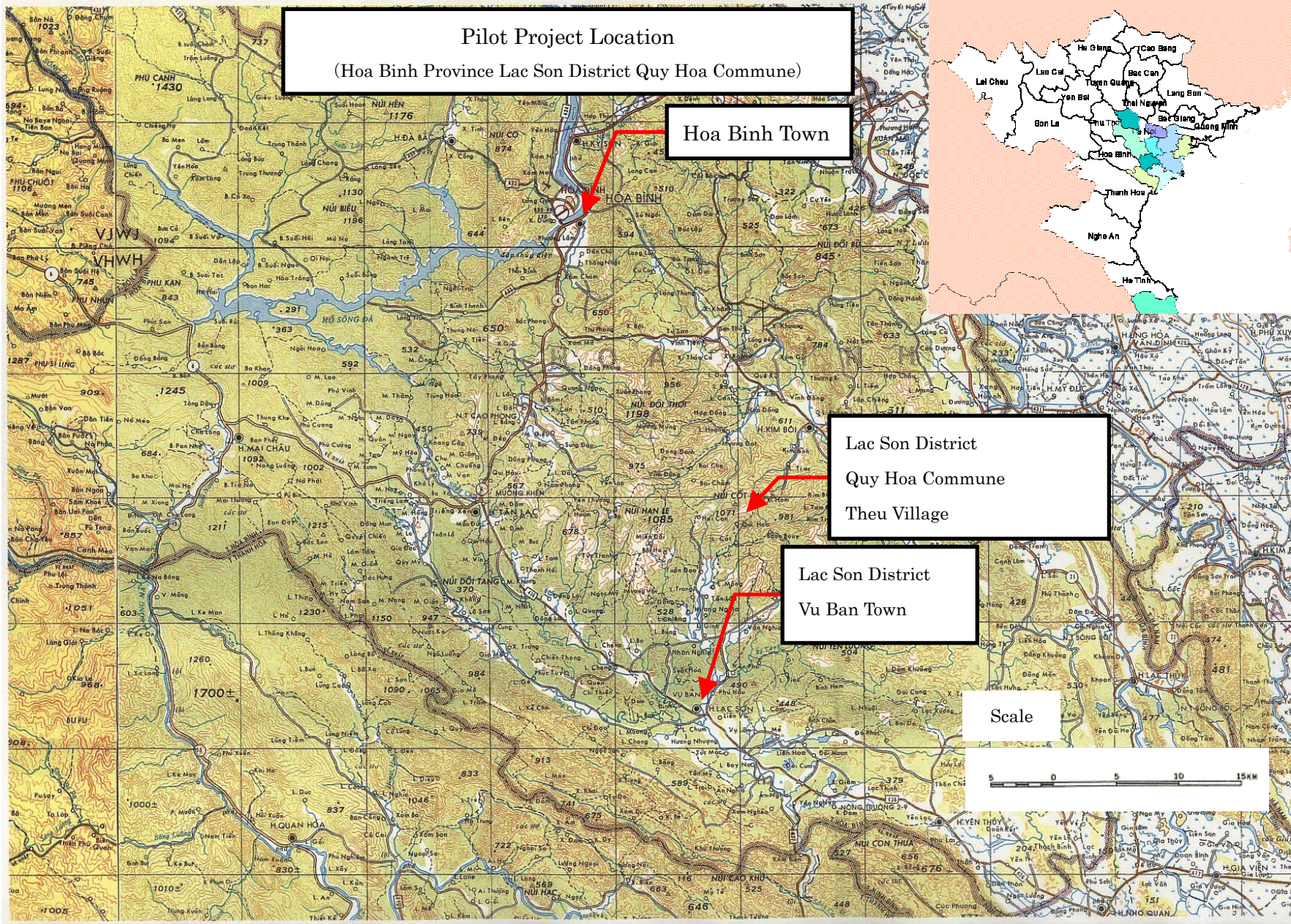
### 3. 調査団

ベトナム工業省(MOI)が本調査の正式なカウンターパートである。MOI は調査団との共同作業のため、ベトナム電力公社(EVN)とエネルギー研究所(IE)を含めたワーキンググループを組織した。MOI エネルギー石油部副部長である Nguyen Manh Hung 氏がベトナム側の取りまとめ役である。加えて、パイロット事業の実施においてホアビン省人民委員会工業局(DOI)局長 Quach The Hung 氏より適切な助言や手配をいただいた。両氏のほか多くのベトナム側関係者の協力によって本調査はスムーズに実施され、実りある成果を上げることができた。

日本側は、プロアクトインターナショナル株式会社と東北電力株式会社が協力して調査を実施した。調査団員とその担当項目は以下の通りである。

担 当	氏 名
総括/ 持続的運営	大瀧 克彦
小水力計画	Adam Harvey
発送電信頼度向上	桑原 憲一 (2004 年 5 月から)
土木/ 技術者育成	吉田 紀之
電気機械/ 技術者育成	山崎 恭正
村落組織/ モニタリング	宮田 智代子
業務調整	嶋田 祥一 (2004 年 3 月まで)
同	渡邊 亮 (2004 年 5 月から)





Pilot Project Location  
(Hoa Binh Province Lac Son District Quy Hoa Commune)

Hoa Binh Town

Lac Son District  
Quy Hoa Commune  
Theu Village

Lac Son District  
Vu Ban Town





## パイロットシステム設備



取水堰（住民施工）



導水路（新設部分）



ヘッドタンク



発電所建屋



水車・発電機



配電線

# 第1章 パイロット事業の背景と目的

## 1-1 背景

ベトナム北部地域は山岳地域をかかえているため国内の他地域に比べて電化率が低く、多数のコミューン、村落がまだ電力供給を受けていない。電力供給は貧困削減や地方部の格差是正などにつながる重要な政策課題であるため、こういった未電化村落についてベトナム政府では世銀等の資金援助を活用してグリッド電化事業を積極的に進めている。その推進主体は EVN である。EVN の計画では 2010 年までに全国の約 90% の村落についてグリッド電化を達成するとしている。しかし、地形が険しい場所にある村落やコミューン中心から遠い村落についてはグリッド延長が困難な場合があり、こういった場合には独立型電源によるオフグリッド電化を実施する必要がある。EVN の方針としてもコミューン中心部はできる限りグリッド電化を行うこととしているが、周辺部の村落については投資効率が低い場合にはオフグリッド電化とすることはやむを得ないという立場である。オフグリッドの場合には EVN の電力系統とは別であるため、計画・実施の中核となるのは各省の人民委員会であると規定されている。(首相決定第 22 号：1999)

このように全国で約 10% の村落についてはオフグリッド電化が必要と考えられ、ベトナムの場合にはその気象条件から小水力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーが有力と考えられているが、これまでのところオフグリッド電化の実施例は極めてわずかである。また、過去に開発された独立型小水力発電所について適切な管理が行われず、運転停止したまま放置されているといった不幸な例も多い。このようにオフグリッド電化が活発でない理由としてはさまざまな原因が考えられるが、地方農村部において開発するのに適した資金的あるいは技術的なモデルプランが確立されていないことが第一に指摘できる。これまでオフグリッド電化についてさまざまな調査が行われ、多数の計画が提案されてきたが、実際に建設し、その後に十分なモニタリングを行って持続可能性を確認したという例はほとんどない。どのような方式（設計）で開発したらよいか、またどの程度の資金が必要であり、それをどのように調達するのか、どのように運転を継続させていったらよいか、という先例が必要なのである。

また、都市部に人材が集中する傾向にあり、地方部ではこういった開発プロジェクトを担うことのできる人材の不足が顕著である。開発のポテンシャルがあるケースについて、資源評価や基本計画立案など開発の初期段階をリードすべき各地方政府内部の担当組織の経験不足は事業展開における大きな障害となっている可能性がある。

## 1-2 目的

このような背景から、本調査では以下のような目的を持ってベトナム北部の山岳地帯の典型的な未電化村落を選んでマイクロ水力（=Village Hydro）のパイロット事業を実施し、その建設と

運転の過程において持続可能性、普及可能性を確認するとともに、このパイロット事業の経験をもとにベトナム国内関係者の啓蒙育成も目指すこととなった。ここで実証されたハード、ソフトの両面にわたるモデルプランがベトナム国内に根付き、それをベトナム側が主体的に各地に広めていくことが理想である。

- ①Village Hydro による地方電化モデルについて、経済、技術、マネジメントといった面からの持続可能性、普及可能性を実証
- ②オフグリッド地方電化推進の中核となるべき各省人民委員会（Provincial People's Committee; PPC）工業局(Department of Industry; DOI) のスタッフのキャパシティビルディング
- ③パイロット事業の成果に基づくマニュアル作成など、将来の開発に活用できる知識基盤の整備

### 1-3 パイロット事業関係組織

このプロジェクトに参画した各組織が得たノウハウをベースにして、同様な開発プロジェクトがベトナム国内の広い地域で具体的に進展していくことが究極的な目標である。まず、ハードな部分については、当初から国産化率 100%を目指しており、ベトナム側関係者との共同事業によってその実現を図った。ベトナム国内で入手可能な製品を選定し、国内の基準などを考慮しながら設計を進め、一部の機器については性能試験も実施した。最近におけるベトナム国内の技術水準の向上は著しく、このタイミングは Village Hydro の国産化を実現するのに適切であり、結果的に全てベトナム国産技術によって建設できたことによってベトナム国内での普及可能性は大幅に高まったと考えられる。

ハードだけでなく Village Hydro に関するさまざまなノウハウをどのようにベトナム国内に定着させるかについても配慮した。このような観点から、国内コンサルタントやメーカーがこのパイロット事業に参加することによってできるだけ多くの知見を蓄積できるよう、このパイロット事業では計画段階からベトナム側関係機関の参加を促した。また、こういったオフグリッド事業を政策的に推進すべき中央政府や開発計画推進の中核となるべき各省人民委員会(PPC)工業局(DOI) に対しても将来に活用できるよう情報提供を行い、また DOI については技術移転を常に心がけた。

このパイロット事業で重要な部分はプラント完成後の運営管理方式の実証的开发であり、長いトレーニング、モニタリング期間を設定して住民の受容度や理解度を確認しながら運営管理方式の具体化に努めた。通常のプロジェクトでは設備完成後のモニタリング期間は短くなりがちで、運営管理の部分については十分な調査検討が行われない例が多いが、本プロジェクトでは長期的な運転を住民だけで実施できることを確認するという大きな目標に向かって全力投入し、満足できる成果を得た。

以下に今回のパイロット事業の関係機関とその主な役割について示す。

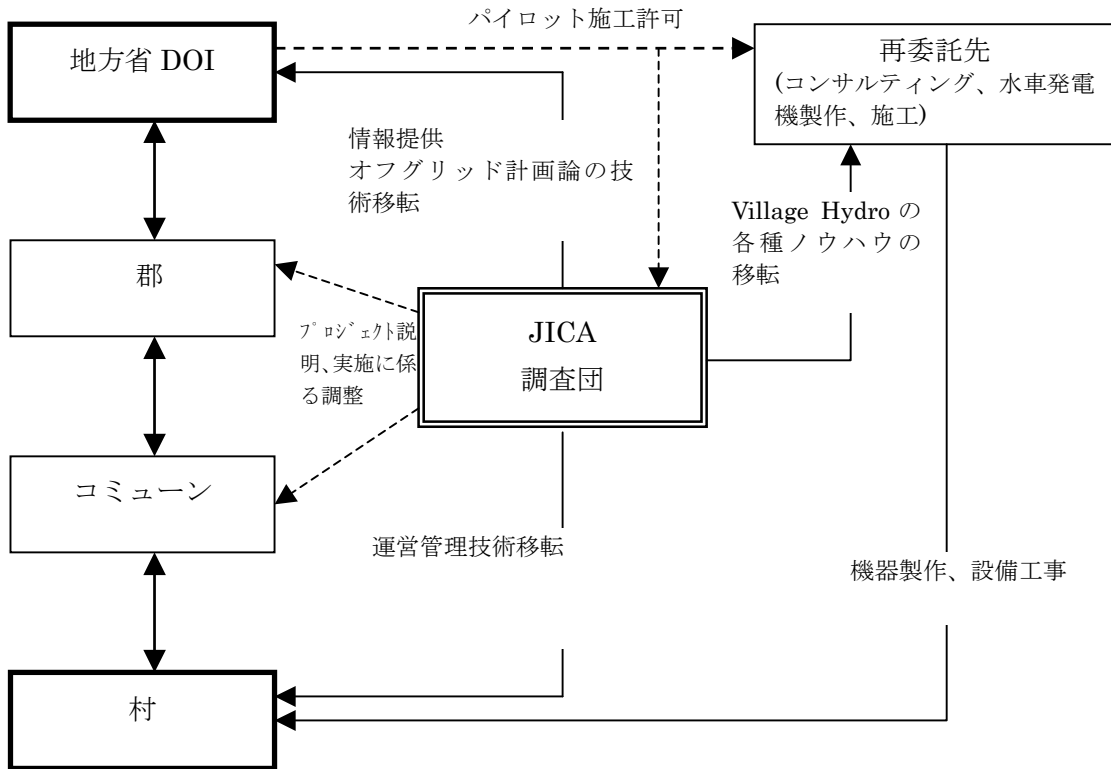


図 1-3-1 パイロット事業関係機関

### 1-4 全体スケジュール

パイロット事業の全体工程は以下の通りであった。

実施項目	2003												2004									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
地点選定	Lao Cai			Hoa Binh			▼候補選定		▼地点決定													
現地調査							▼住民集会(計画説明)								▼住民集会(電気料金等)							
詳細設計							▼電化計画申請/許可															
施工							▼着工		▼竣工		建設会社による施工					引込作業1st			引込作業2nd			
維持管理							▼点灯式		O&M指導		1st		2nd		3rd		4th		マニュアル作成/協議			

図 1-4-1 全体工程 (実績)





## 第2章 パイロット村落の概要

### 2-1 パイロット村落の選定経緯と理由

パイロット村落の選定にはいくつかの条件を設けそれらに適合するサイトを選定した。以下にその条件を示す。

- ① マイクロ水力に適した資源ポテンシャルを有している。(山地斜面にある、灌漑水路と棚田が整備されている、乾季にも一定の水量が確保できる、容易に落差を得ることが出来る)
- ② 当面(最低5年以上)グリッドによる電化計画がなく、モニタリング期間を十分確保できる。
- ③ 引込み料金、電気料金の支払や電気機器購入など、住民による費用負担が可能である。
- ④ 村落住民の電化への意欲が強く、また村としてのまとまりがある。
- ⑤ アクセスが比較的容易であり、設備見学等による波及効果も期待できる

当初はオフグリッド地方電化に積極的なLaoCai省でサイト選定を進めることとし、LaoCai省工業局による推薦地点(コミュニンセンター付近)の現地調査を行った。しかし、いずれの地点もグリッドからの距離やグリッド電化予定時期などの面から、パイロットサイトとしては不適切であることが判明した。また、LaoCai省の未電化コミュニン電化計画についてEVN地方電化部と協議したところ、ベトナム国内のグリッド電化計画がこの調査に先立って実施されたマスタープラン(MP)調査時に比べて加速しており、コミュニンセンターについては2010年頃までに全てグリッド電化したいという意向が示された。

Village Hydroは100戸程度を対象とした電化方式であり、実証地点については必ずしもコミュニンセンターに限定する必要はないと判断し、本調査の時間的制約からも、ハノイから近く調査が進めやすい地域でコミュニンセンターから離れた”Village”を対象とするパイロット事業の実施を念頭に、サイト選定を行うこととした。その後EVNなど関係機関との協議の結果、マイクロ水力ポテンシャルを有する未電化村落データなどの情報が整備されている、ハノイ近郊のHoaBinh省でのパイロット事業実施が有力となり、HoaBinh省工業局の推薦する地点の現地調査を行い、最終的に最もパイロットサイトとして適していると判断される、HoaBinh省Lac Son郡QuyHoaコミュニンTheu村をパイロット村落として選定した。

## 2-2 パイロット村落の概況

### 2-2-1 Quy Hoa コミューン

Theu 村の属する Quy Hoa コミューン(中心地は Kha 村)は、ホアビン省中心地より車で約 2 時間、ラクソン郡中心地より約 30 分の距離に位置する米作主体の農村である。

表 2-2-1 QuyHoa Commune 内の村落及び世帯数

	村落名	世帯数	グリッド電化済み 世帯数	備考
1	Thung 1	59		
2	Thung 2	66		
3	Doi 1	48	79	
4	Doi 2	52		
5	Theu	78		
6	Ve	72	27	
7	Thang 1	61	124	* 1
8	Thang 2	76		
9	Kha 1	56	92	
10	Kha 2	70		
11	Cao	100	81	
12	Coc	59	28	
13	Ram	52	* 2	
14	Kem	45		
15	Ngoc	48	30	
16	Cu 1	41	56	
17	Cu 2	45		
		1028	517	* 3

\* 1 : Some households are electrified by grid from neighbor commune.

\* 2 : Number of electrified households is not identified.

\* 3 : Population 5,400 As of October 2003

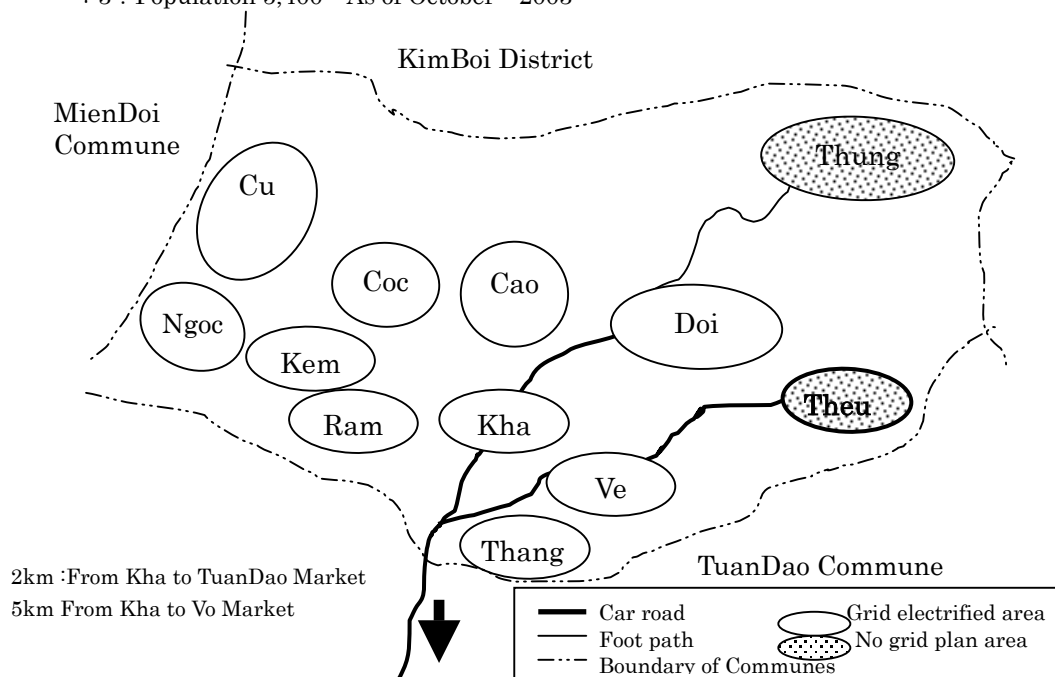


図 2-2-1 QuyHoa Commune 内の村落位置図

人民委員会事務所のある中心地 Kha 村を含め、2002 年以降、National Grid による電化が進み、現在大部分の村落に電力が供給されているが、この中には Ve 村や Ngoc 村のように村民が独自に資金を出し合って隣村から低圧線を引いている村や Thang 村のように隣接コミューンから配電線を引いている（村の半分のエリア）村も含まれている。コミューン内での電気利用は、主に電灯・テレビ（白黒及びカラー）・扇風機といった電気製品に対してだが、電気調理器、炊飯器、冷蔵庫、揚水ポンプ、精米機利用世帯もある。

コミューン内グリッド電化地域については、コミューン人民委員会の副委員長（コミューン内の電力関係の責任者）の監督の下、コミューンの電気管理組織が料金徴収・メンテナンス等の管理を行っている。Power Company (Lac Son) から、450VND/kWh(390VND+VAT)で購入し、700VND/ kWh で住民に販売しており、この差額で電気組織メンバーの給料やメンテナンス費用を賄っている。政府は 1999 年 2 月から、農民の負担軽減を図るため、農村部で住民が支払う家庭用電気料金水準の上限として 700VND/kWh を設定しており、QuyHoa コミューンも基本的にこれを適用している。しかし、独自に隣村から低圧線を延長し電力供給している村落（EVN の範囲外）では、例外的に 1,000~1,200VND/kWh を適用している村落もある。

電気管理組織は（2004 年 5 月時点）4 名で構成され、リーダー1 名は 3 ヶ月、残り 3 名は 1 ヶ月のトレーニングを LacSon 郡中心地の Power Company で受講しており、基礎的な技術事項（電気の基礎、引込み線・メーター等の取り付け方法、メンテナンス方法等）及び料金徴収に関する管理等の留意点について学習している。通常の業務は軽微な故障への対応や毎月の料金徴収が主で、資金管理はリーダーが行い、コミューン副委員長に報告している。電気管理組織からの聞き取りによれば、徴収した料金のうち一部コミューン人民委員会へ上納していた分は、2004 年 2 月より廃止された。また、徴収料金から administration と maintenance 用にある程度リザーブしておくよう、Hoa Binh Power Company から指導を受けている。また、コミューンでは独自に定めた電気利用に関する規則が存在し、違反者への罰則や電気管理組織の業務などについても記されている。以下は電気利用手続きの流れである。

- ①電気利用希望者はまず、申込書を記入し電気管理組織に提出
- ②コミューンでの電気利用に係る規則を確認の上、コミューン独自の電気利用契約書に署名
- ③グループによる引込み線とメーターの設置

## 2-2-2 Theu 村

### (1) 村の概要

Theu 村は、Quy Hoa コミューン中心地より約 4 km の距離に位置する、世帯数 78、人口約 390 人の Muong 族の村である。悪路ではあるが車輛で村の中心部までアクセス可能であり、外部との接触も比較的頻繁に行われている。家屋は点在し、アクセス道路の両側に建てられている。村はもともと上流部の Theu 地区と下流部の Mai 地区に分かれていたが、合併して現在の Theu 村の形になった。こうした事情により現在も Theu 村は大きく分けて、上流部の地区 1、学校付近

を中心とした地区 2（上流部と下流部から移動してきた世帯で形成）、下流部の地区 3 の 3 つに分けられる。（図 2-2-2 参照）

表 2-2-2 Theu 村の世帯と人口数

地区	世帯数	人口
1	31	164
2	25	120
3	22	102
	78	386

\*2003 年 10 月時点

## (2) 村の生活

人々は棚田利用による米作農業を中心に基本的に自給自足的な生活を営んでいるが（米は 2 期作）、必要に応じて近隣のマーケットで農産物や家畜を売却して現金を得ている。米はほぼ自家消費費用であり、メイズ・キャッサバは主に飼料作物とアルコール用に栽培しており、自家で消費するとともに一部マーケットで販売もしている。聞き取りによれば、住民は少額の現金が必要なときは筍、鶏等を売却し、まとまった金額が必要な際は豚を売却しており、牛・水牛は田畑での重要な働き手なので、めったに売却しないとのことであった。村長への聞き取りによれば、2002 年の平均収入は 1.2 百万 VND/世帯であり、これは各世帯の年間の米・メイズ・キャッサバの正確な収穫量と豚・鶏の売却実績（自己申告または村長試算）から算出し、コミュニンに報告している数値である。

農作物や家畜の売却は隣の TuanDao コミュニンのマーケット（土曜日 Quy Hoa 中心から 2km）か、NanNghia コミュニンの Vo マーケット（水、日曜日 Quy Hoa 中心から 5km）で行うことが多い。Vo マーケットは近隣 6 コミュニン地域で最大のマーケットであり、生活用品はほぼ全てここで購入出来る。

村の公共施設としては小学校が 1 つあるが（2004 年 10 月現在閉校中）、これは低学年用であり幼稚園と併設しているため、小学生でも一定学年以上になると隣村の小学校へ通う。村に診療所などの保健施設はなく、病気の場合はコミュニンセンターにあるクリニックに行く。電話などの通信手段ももちろん村には無い。飲料水については山からの清水を各世帯家屋の裏手までパイプや樋で引いてきており、それを煮沸して利用している。

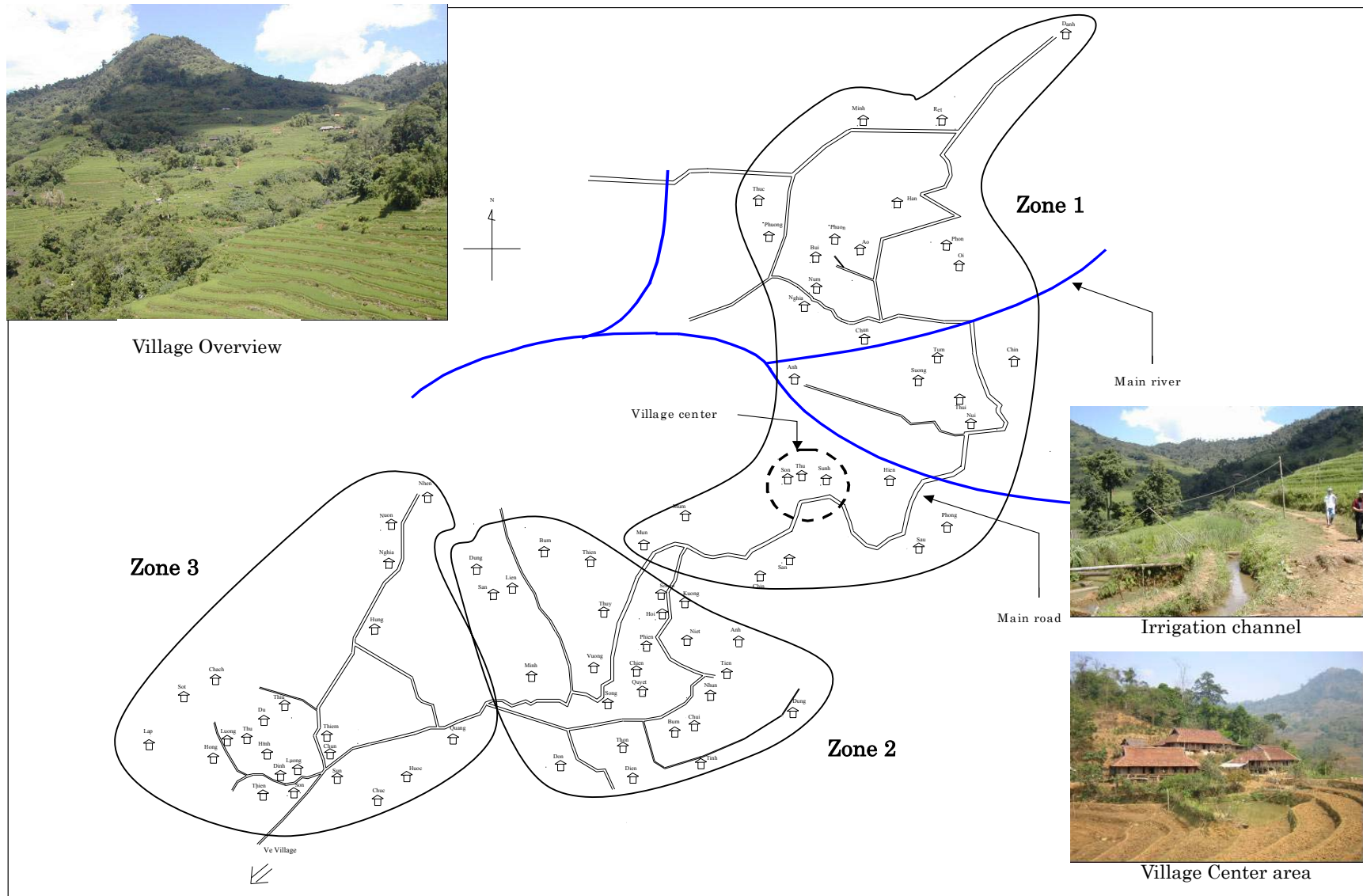


図 2-2-2 Theu 村の住宅配置図

(3) 村の一般家屋



図 2-2-3 Theu 村の一般家屋

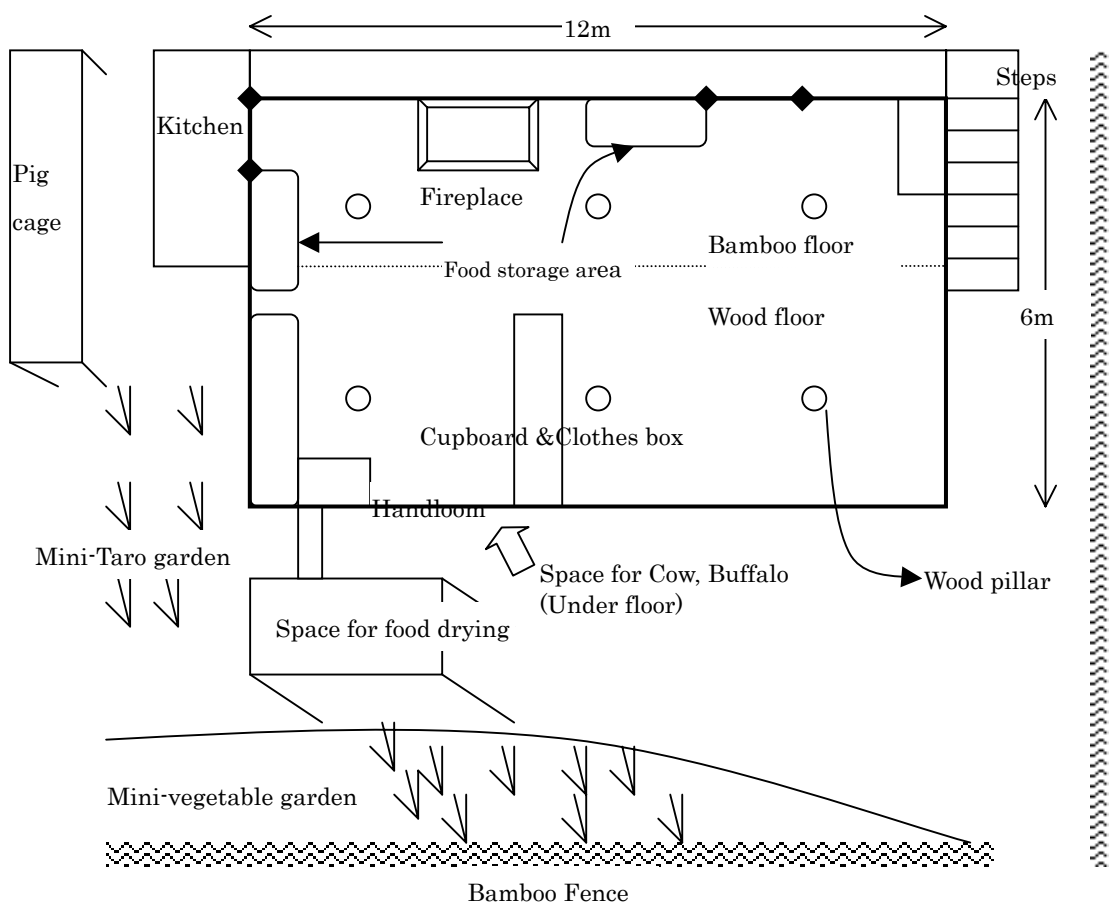


図 2-2-4 家屋と周辺スペースの利用例

Muong 族に一般的な高床式の大型家屋である。この村では丈夫な木柱を支柱として使い、また屋根はタイル張りとなり、かなり頑丈な造りとなっている。藁葺屋根の家屋もあるが、近年写真のようなスタイルの家屋に建て替えが進んでいる。こうした家屋では床下は牛・水牛等を飼ったり、薪、農具、その他資材の保管に利用したりしている。また、家屋から 2-3m の距離に別途豚小屋

を設けることもある。鶏や家鴨は家の周囲または床下を中心に放し飼いをしていることが多い。屋内は一般的に壁による仕切などはなく、一つの部屋を広く使い、それをタンスや食器棚等で部分的に仕切り、スペースを分けて使用している。収穫後の米なども屋内にスペースを設け貯蔵している。火所は広い部屋の一角にある場合と、それとは別に部屋との隣接部に簡易的なスペースを設けている場合がある。水場も同様である。

#### (4) 村の電気利用

現在、2-3の世帯で共有しているケースも含め、村落の約70%にあたる54世帯（2003年10月時点）がピコ水力発電機（Pico-hydro）による電気を利用しているが、車輛用バッテリーを充電しての電気利用はない。主な利用電化製品は電灯（25W 白熱灯、40W 蛍光灯の組み合わせが主体）、白黒テレビ、扇風機である。ラジオは半数の世帯が所有しており乾電池による利用が主体である。Pico-hydro を持たない完全な未電化世帯では灯油ランプを利用している。

表 2-2-3 Theu 村の電化製品普及状況

Electric Appliance	Electric Light		TV		Fan	Radio	Cassette-Recorder
	Bulb	Fluorescent	B/W	Color			
所有世帯数	53	35	26	4	25	33	15
比率	68%	45%	33%	5%	32%	42%	19%

\* 2003年10月時点



図 2-2-5 電灯（左）と灯油ランプ（右）

また、6Vの小型バッテリーが普及しており、Pico-hydroの電力で充電し、夜間歩行の際に懐中電灯やヘッドライトに使用している。この6VバッテリーはPico-hydroを持たない世帯もPico-hydroを所有する隣人や知人宅で充電させてもらって利用している。





図 2-2-6 6Vバッテリー (左) とその利用：ヘッドライト (右)

(5) 村の組織

1) 村の指導層（リーダー達）とそれを支える組織

Theu 村では、村長、副村長、共産党書記のリーダー3名が村の指導層（幹部）として活動しており、通常村内の公共施設や土地の管理・監督、道路改修や学校建設等の村の開発事業を指導している。また、退役軍人会、女性連合、農民連合、青年団、長老会などの組織がコミュニーの同種組織と連携しながら、村で活動を行っている。

2) 灌漑水路維持管理組織

Theu 村には約 80%の世帯が利用する5つの主要灌漑水路があり、それは全て村に属しているが、5名の管理人（3名は個人、2名は退役軍人会と長老会の代表者）がそれぞれの水路の維持管理を担当している。この5名に村長を加えた6名で、村の灌漑水路維持管理組織という形を取っており、年2回の収穫後に使用者から管理費を徴収し、維持管理にあてている。

例) 1000m<sup>2</sup>の水田所有者の場合

利用・管理費：5kgの米（精米前）または 10,000VND/年（5,000VND × 2回）



## 第3章 パイロット設備の設計

### 3-1 モデルプランとの比較

Village Hydro は村落単位で住民自らが日常の運転／維持管理を実施することを念頭においたオフグリッド電化方式であり、つぎの特長を有する。

- ① 設備の大型化を避け、電力供給範囲を限定した簡素なシステム
- ② 運転操作や維持管理の容易さを優先した設計
- ③ ベトナム国内で調達できる資機材および在来技術を使用し、建設や維持管理が容易
- ④ 低コストで建設できる

Theu 村に建設したパイロットシステムと MP 調査において提案した同クラスの流込み式水力発電のモデルプランとの仕様比較を下表に示す。モデルプランからの変更点はつぎのとおり。

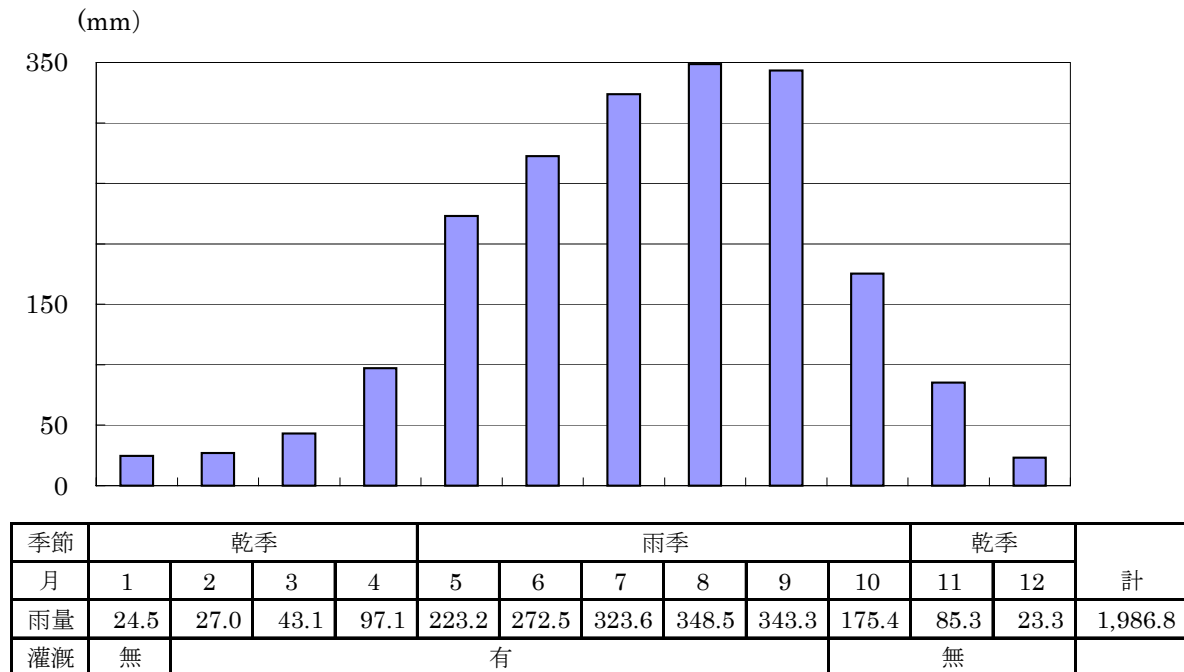
- ① 土木設備では廉価でかつ耐久性も向上できるレンガ積工を多く使用
- ② 水車はペルトン水車よりも小型化でき水車効率が高いターゴ水車を採用
- ③ 発電機はモーターを誘導発電機として使用することとしていたが、安価な同期式発電機が市場に流通し始めたことからこれを採用
- ④ バッテリー充電装置は住民からの要望がなく設置を見送った。

表 3-1-1 モデルプランとの仕様比較表

項目	仕様比較	
	パイロットシステム	モデルプラン
(1) 基本諸元		
a. 発電方式	流込み式	
b. 出力	9kW	
c. 落差	60m	
d. 使用水量	0.03m <sup>3</sup> /s	
e. 配電システム	低圧220V、単相2線	
(2) 発電設備		
a. 取水堰	既設灌漑設備を流用	既設灌漑設備を流用
b. 取水口	既設灌漑設備を流用	既設灌漑設備を流用
c. 沈砂池	追加設置：レンガ積、表面モルタル	省略
d. 導水路	素掘り開水路（既設灌漑設備を併用）	素掘り開水路（既設灌漑設備を併用）
	新設部はレンガ積、表面モルタル	
e. 水槽	鉄筋コンクリート	鉄筋コンクリート
f. 水圧管路	PVC管（φ200）	PVC管（φ200）程度
g. 発電所	繊維コンクリート板の屋根 レンガ積みによる建屋	繊維コンクリート板の屋根 木製板壁による建屋
h. 水車	ターゴインパルス水車	ペルトン水車
i. 水車発電機	同期式発電機	誘導モーターでのコンデンサ励磁発電
j. 自動制御装置	ダミーロードコントローラ	ダミーロードコントローラ
k. 充電器	省略	バッテリー充電装置を併設
l. 放水路	レンガ積、表面モルタル	素掘り

### 3-2 発電計画諸元

HoaBinh 省 LacSon 郡における月毎の雨量は下図に示すとおり 11 月から 4 月にかけての乾季に大きく減少する。この乾季における河川流量（渴水量）が発電計画の基本となる。Theu 村では事前に乾季の調査を実施できず、渴水量は現地での聞き取りにより推定した。



出典：IE 提供気象データを基に、調査団が作成

図 3-2-1 HoaBinh 省 LacSon 郡における月毎の平均降水量

Theu 村では乾季にも水が枯れることはないという長老の発言から、雨季の地中浸透水が長期にわたって浸み出していることが予想できる。乾季の流量を現地にて聞き取り調査し、約 1km<sup>2</sup> のサイト集水面積に対する渴水量を 0.01m<sup>3</sup>/s と推定した。村では 2 月より灌漑が始まり、その運用を考慮すると 2~3 月が発電にとって最も厳しい期間となる。渴水量に対して乾季出力をできるだけ確保するため、発電サイトは村落内で最大の落差をとれるサイトとし、灌漑用水路末端の高度差 60m 程度の斜面を発電に利用することとした。この条件により得られる乾季出力は約 3kW となり、全世帯を供給範囲とすると一戸当たりの需要原単位は照明需要に対応する 40W 程度となる。ただし、この発電運用には灌漑との調整が必要となる。この問題点について住民集会を通じて村民と協議した結果、当該期間は電気使用制限を実施し、昼は灌漑、夜は発電という水運用で両立を図ることとなった。

一方、雨季には十分な流量により更に出力を向上させることができる。Theu 村での電力需要原単位を将来的に 100W/世帯程度まで想定すると、必要な最大設備出力は約 8kW となる。これを満足するため、雨季には最大使用水量を 0.03m<sup>3</sup>/s に設定し、落差 60m により最大出力を 9kW 程度とする発電計画とした。

表 3-2-1 発電計画諸元表

項目	諸元	備考
(1) 供給世帯数	79世帯	一般家庭78世帯および小学校
(2) 集水面積	1 km <sup>2</sup>	
(3) 発電出力	9 kW	
	< 3 kW (2~3月)	乾季出力は乾季使用流量による
(4) 落差	60 m	
(5) 使用水量	0.03m <sup>3</sup> /s	
	< 0.01m <sup>3</sup> /s (2~3月)	乾季使用流量は聞取りにより想定

### 3-3 土木設備の設計

パイロットシステムの土木設備は、住民による維持管理を前提とし、既存の灌漑設備を最大限兼用する設計とした。これにより、つぎの効果を得ることができる。

- ① 新設水路が一部不要となり、建設工期が短縮され、事業費用が低減される。
- ② 住民が修復可能な設備とすることにより、以後の維持管理が容易となる。
- ③ 生活に密着した設備となり、その状態や維持に対する住民の関心が高まる。

#### 3-3-1 既存灌漑設備の改修

##### (1) 取水堰、取水口

取水堰、取水口は既存のもので、住民を指導し発電に伴う取水量の増に対応するため石積みでの改修を行い、さらに出水に備えて雨季前には石積みモルタルにて補強した。



図 3-3-1 改修後の取水堰

(2) 既設水路

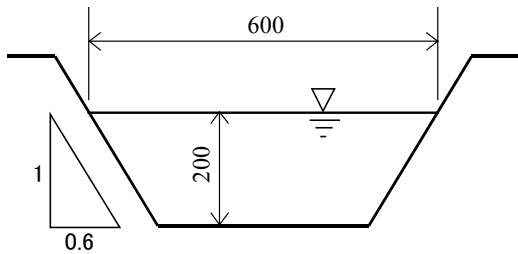
既存の水路は素掘であり、流量増加に対する改修は素掘での拡幅、掘下げを主体とした。水理諸元は、MP 調査における素掘水路諸元の考え方にに基づき、下表の◎に示す諸元とした。また、生活用水供給と併用することを想定し、0.1m の余裕深さを確保した。

表 3-3-1 素掘水路諸元選定表

水路種類		素掘り水路														
水路勾配		1/500					1/250									
法勾配 i		1 : 0.6					1 : 0.3									
水面幅 W (m)		0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20					
流下水量 Q (m <sup>3</sup> /s)	0.01	0.20														
	0.02		0.10					0.10								
	0.03		◎	水深					◎	水深						
	0.04		0.30	h = 0.20 (m)					0.30	h = 0.20 (m)						
	0.05		0.40						0.40							
	0.06								0.50							
	0.07								0.30							
	0.08															
	0.09			0.40	0.30											
	0.10							0.40	0.30							

注：表中の  は流速が0.3m/s未満であり、水路内に土砂が堆積しやすい。

水路勾配 i=1/500



水路勾配 i=1/250

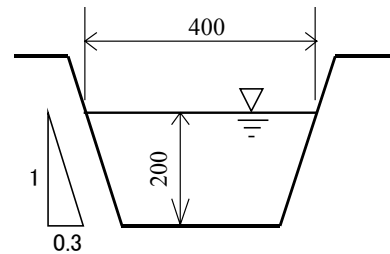


図 3-3-2 改修後の既設水路断面図



図 3-3-3 改修後の既設水路

当該サイトには3箇所の小規模な沢横断がある。雨季にはこれらの沢部で出水があり、水路が埋まるなどの問題も予想されるが、それに対応するための設備を建設すれば大規模なものとなる。したがって、当該箇所は特に改修せず、住民による修復作業によって原状回復させる方針とした。素掘水路では漏水対策が重要であり、特に乾季の漏水量は減少させる必要がある。本プロジェクトでは漏水が著しい箇所は粘土によって隙間を埋めるなどの対応を施した。

### (3) 調整池

渇水時における運転対応のため、既存の溜池を調整池として使用することとした。詳細については「6-1-1 予備供給力の確保：発電用調整池」を参照のこと。

### 3-3-2 新設水路（導水路、水槽余水路、放水路および沈砂池）

パイロットシステムには新設水路として導水路、水槽余水路、放水路がある。これらの新設水路は特に深く掘削する箇所は無く、作用する荷重が小さいためレンガ積みの構造とし、表面をモルタル仕上げすることにより粗度係数を向上させた。水理諸元はMP調査におけるコンクリート水路諸元の考え方にに基づき、下表の◎に示す諸元を採用した。

表 3-3-2 コンクリート水路諸元選定表

水路種類	コンクリート水路					
水路勾配	1/250					
法勾配 i	鉛直					
水面幅 W (m)	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	
流下水量 Q (m <sup>3</sup> /s)	0.01	◎				
	0.02					
	0.03					
	0.04					
	0.05	水深 h = 0.20 (m)				
	0.06					
	0.07					
	0.08					0.30
	0.09					
	0.10					

注：表中の ◎ は流速が0.3m/s未満であり、水路内に土砂が堆積しやすい。

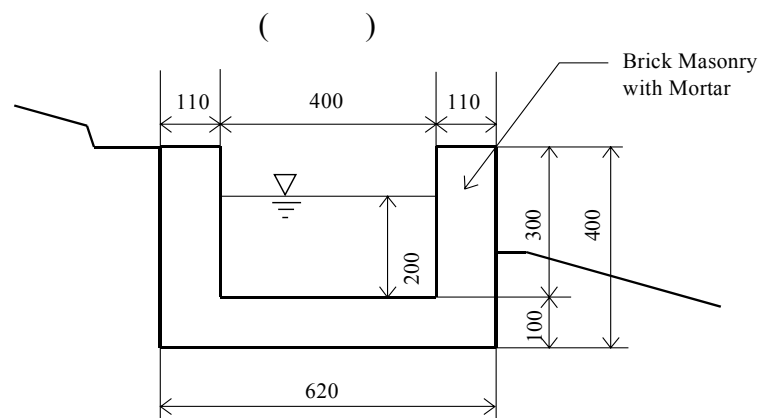


図 3-3-4 新設水路断面図





図 3-3-5 新設水路

なお、パイロットシステムでは、水槽へ流入する土砂を低減させるため新設導水路の途中へ沈砂池を設置した。



図 3-3-6 沈砂池

### 3-3-3 水槽

水槽は斜面の掘削量を減少させるため水槽内幅をできるだけ狭めることとし、内幅 0.80m に対する MP 調査時の沈砂部延長をベースに、若干の余裕を確保して水槽延長を決定した。

表 3-3-3 水槽沈砂部の延長設定表

水槽内幅 W=0.80 (m)に対する沈砂部の延長				
導水路水深 h (m)	0.20	0.30	0.40	0.50
発電使用水量 Q (m <sup>3</sup> /s)	0.01	L = 0.50 (m)		
	0.02	1.00		
	0.03	1.50		
	0.04	2.00		
	0.05	2.50		

※L：水槽における沈砂部の延長

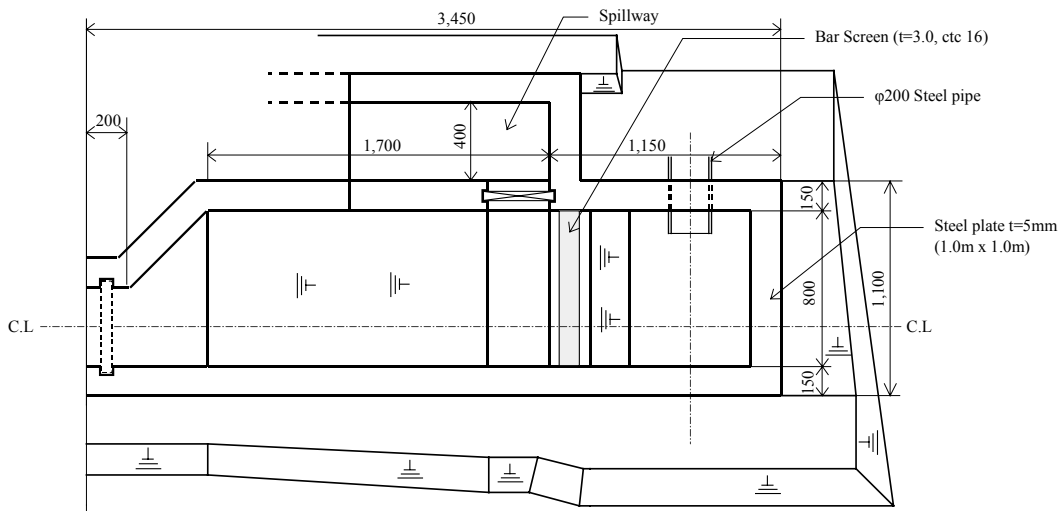


図 3-3-7 水槽平面図

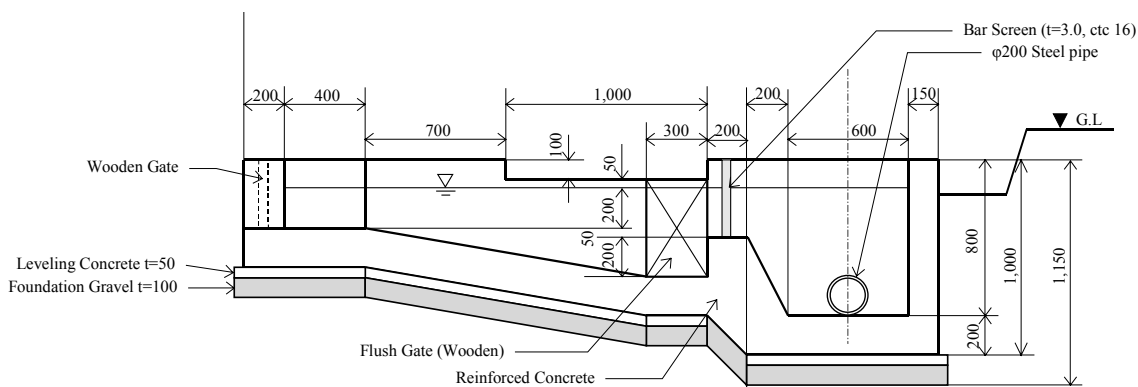


図 3-3-8 水槽縦断面図

水槽については深さ 1m 以上の掘削が発生するため、空虚時の土圧および充水時の水圧を検討のうえ鉄筋コンクリート構造とした。また、水圧管路への塵芥流入を防止するため、鋼製スクリーンを設置し、スクリーン後の水面部には鋼製カバーを設置した。既設灌漑設備を導水路として活用する場合、水槽からの灌漑用水切り回しの検討が必要となるが、当該サイトでは水槽が水路の末端に位置するため不要となる。水槽余水吐きは下表に示す越流計算に基づき最大  $0.03\text{m}^3/\text{s}$  以上を越流可能な越流幅 1.00m を確保した。

表 3-3-4 水槽越流幅の設定

越流水深 h (m)	越流せき長 L (m)	h/L	越流係数 C	越流せき幅 B (m)	越流量 Q (m <sup>3</sup> /s)
0.10	0.20	0.50	1.620	1.00	0.051
0.08	0.20	0.40	1.585	1.00	0.036
0.07	0.20	0.35	1.581	1.00	0.029



図 3-3-9 水槽

### 3-3-4 水圧管路

#### (1) PVC 管の選定

Village Hydro の対象地域は一般にアクセス条件が悪く、鋼管溶接に用いる電源の搬入が難しい。また、管路布設は人力での施工となる。これらの条件を踏まえ、水槽からの水圧に耐え得る資材を調査した結果、ベトナム国内で耐圧型の PVC (塩ビ) 管が流通していることを確認した。PVC 管は安価で軽量かつ現場での接続も容易であり、前述した条件での施工性に優れている。よって Village Hydro の水圧管路は PVC 管を標準とし、パイロットシステムでもこれを採用した。



図 3-3-10 PVC 管とフランジ部



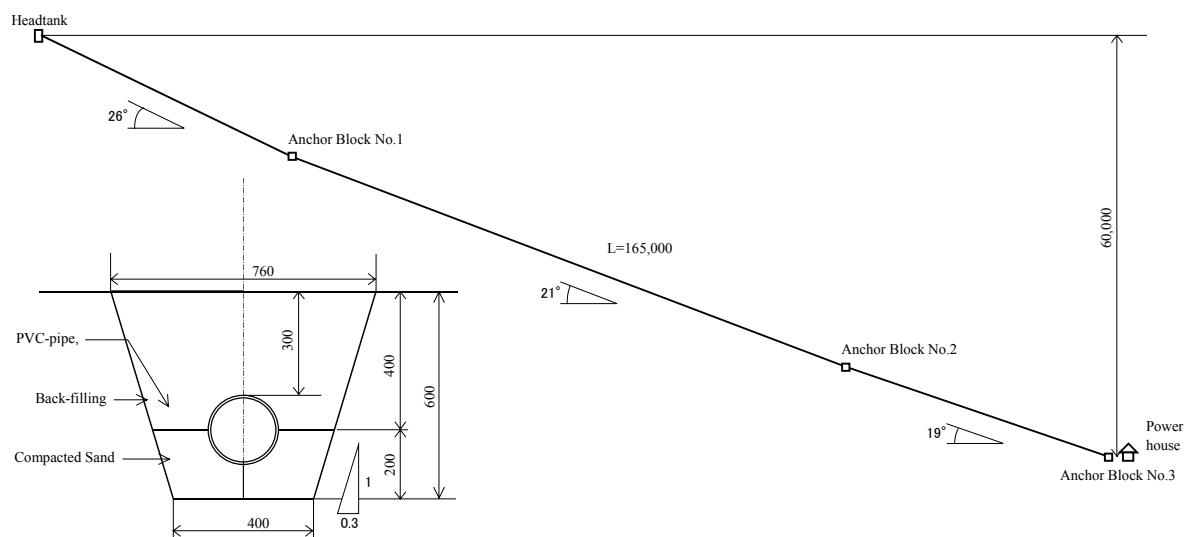


図 3-3-11 水圧管路縦断面図

水圧管路内径は管径変化による摩擦損失量の検討に基づき選定する。過小な管路内径では水流の管内摩擦により発電出力が減少し、過大な管路内径では資材代／工事費が増大する。パイロットシステムでは、摩擦損失が総落差の 10%以内という条件で検討を行い、管径 200mm の PVC 管を採用した。当該サイトは水量が少なく内径 150mm でも摩擦損失は 10%程度となるが、落差損失による発電出力の減少をできるだけ抑制するため、MP 調査時よりワンクラス大きめの 200mm を採用した。これにより、約 60m の総落差に対して摩擦損失は 2m 未満となっている。

## (2) 固定台の設計

埋設水圧管路の場合、緩斜面（傾斜 17° 程度以内）では管路および管内水の重量は地面で支持され、それを越える斜面勾配では固定台により荷重が一部支持される。固定台は斜面勾配の変化に合せた管の曲がり部にて管路を固定するものであり、管路および管内水の重量の分力、管の漸縮による推力等を考慮して諸元を決定する。パイロットシステムでは、斜面途中での勾配変化に伴い、斜面途中と末端で計 3 個の固定台を設置し、該当部分には鋼管を用いて PVC 管とフランジ結合させた。末端固定台は、斜面途中の固定台が水圧管路布設後に設置される施工手順を考慮し、施工時に発生する水圧管路全体の荷重を支持できるものとして設計を行った。中間固定台は、ユニット長さが規格されている PVC 管布設に対応するため、管路掘削後に斜面勾配を計測し、設置範囲にある程度の自由度を持たせる形式で設計を行った。

PVC 管の表面は滑らかであり勾配 20° を超える斜面では部分的に埋め戻し土の安定性が低下する可能性があるが、ベトナムでは植生繁茂が活発であり、短期間で表面を覆ってしまうためすべりは発生し難いと考えられる。

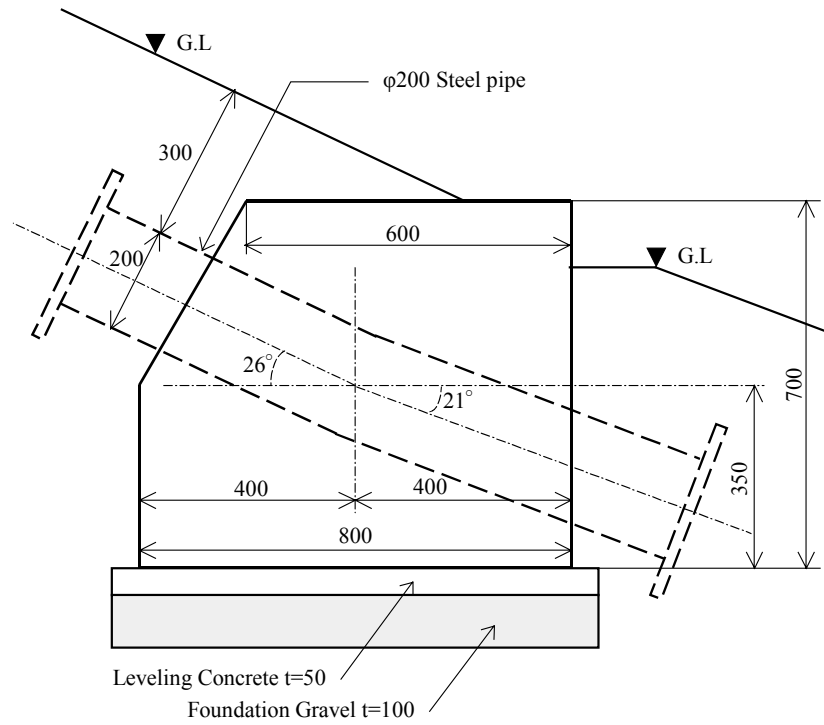


図 3-3-12 固定台断面図

### 3-3-5 発電所

#### (1) 発電所基礎

発電所基礎は水車発電機の自重および水車振動に耐えるため、鉄筋コンクリート構造とした。

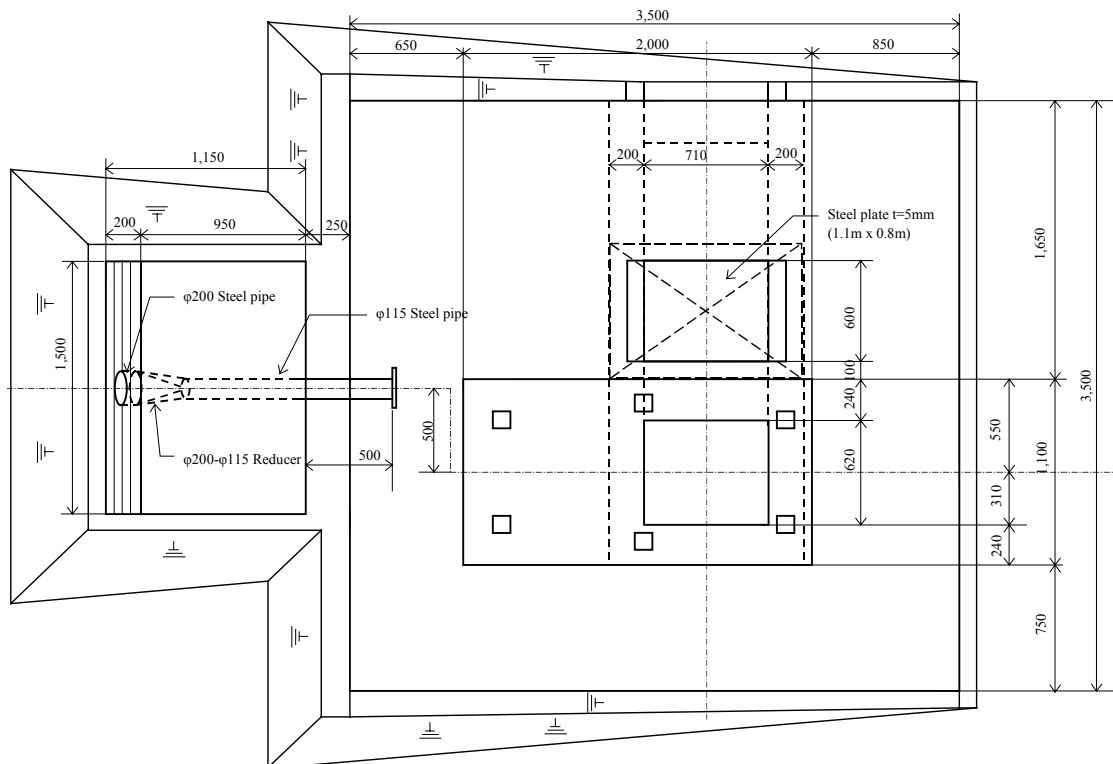


図 3-3-13 発電所基礎設計図

(2) 放水庭

水車発電機基礎の下部には放水庭を設け、後述する水冷式ダミーロードを放水庭へ設置した。

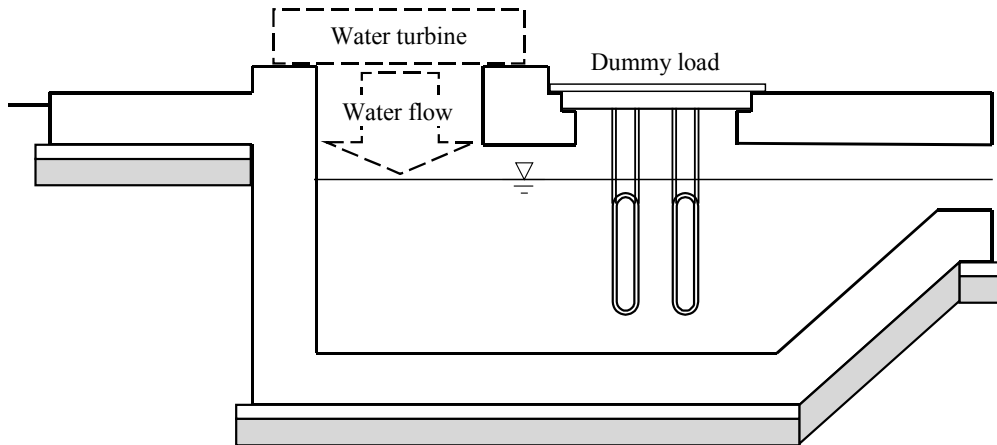


図 3-3-14 放水庭縦断面図

(3) 建屋

建屋は火災等を考慮しレンガ積み構造の表面モルタル仕上げとし、水車搬入等を考慮し両側に大型の扉を設置し、ケーブル引出しの高さを考慮し最低高さ 2m 以上を確保した。屋根材はベトナムで汎用されているファイバーセメント板等を使用し、雨水は発電所に影響を及ぼさない下流方向等へ流す片勾配とした。

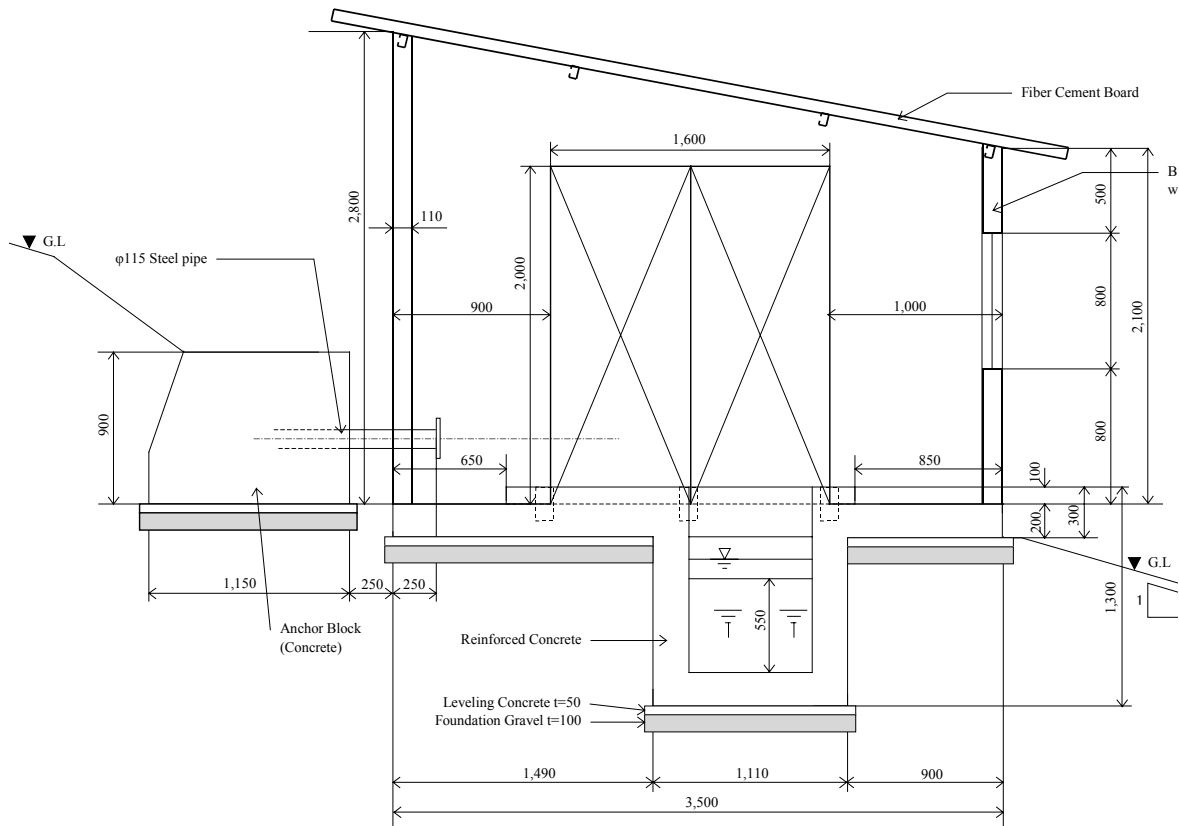


図 3-3-15 発電所断面図

### 3-4 電気機械設備の設計

#### 3-4-1 水車

高落差、小流量の水力発電計画では衝動水車が望ましく、パイロットシステムでは60mという落差の条件からその一つであるターゴ式水車を採用した。ターゴ式水車は小型化が可能であり、流量変動に対しても効率低下が少なく摩耗にも強い。この水車はベトナムの水車メーカーが製造したが、今後、Village Hydro が普及することにより、こういったマイクロ水力用の水車のコスト低下、品質の安定化が期待される。



図 3-4-1 ターゴインパルス水車

表 3-4-1 水車仕様

項目	仕様
型式	ターゴインパルス水車 (1ノズル)
直径	330mm
最大流量	0.03m <sup>3</sup> /s
落差	60m
回転数	1500rpm



図 3-4-2 水車発電機（左が水車、右が発電機）

### 3-4-2 発電機

MP 調査時のモデルプランでは低コストの誘導電動機をコンデンサ励磁によって発電機として使用する計画であったが、最近ではベトナム製の比較的安価な小型同期発電機が市場に流通し、容易に入手することができることが判明した。単独システムにおいては同期発電機の方が優れていることは明らかであり、パイロットシステムでは性能確認の上で発電出力に対して余裕がある 12kW クラスの単相同期発電機を購入し、使用した。

表 3-4-2 発電機仕様

項目	仕様
型式	自己励磁式単相交流同期発電機
定格電圧	220V
定格電流	54.5A
定格容量	12kW
力率	1.0

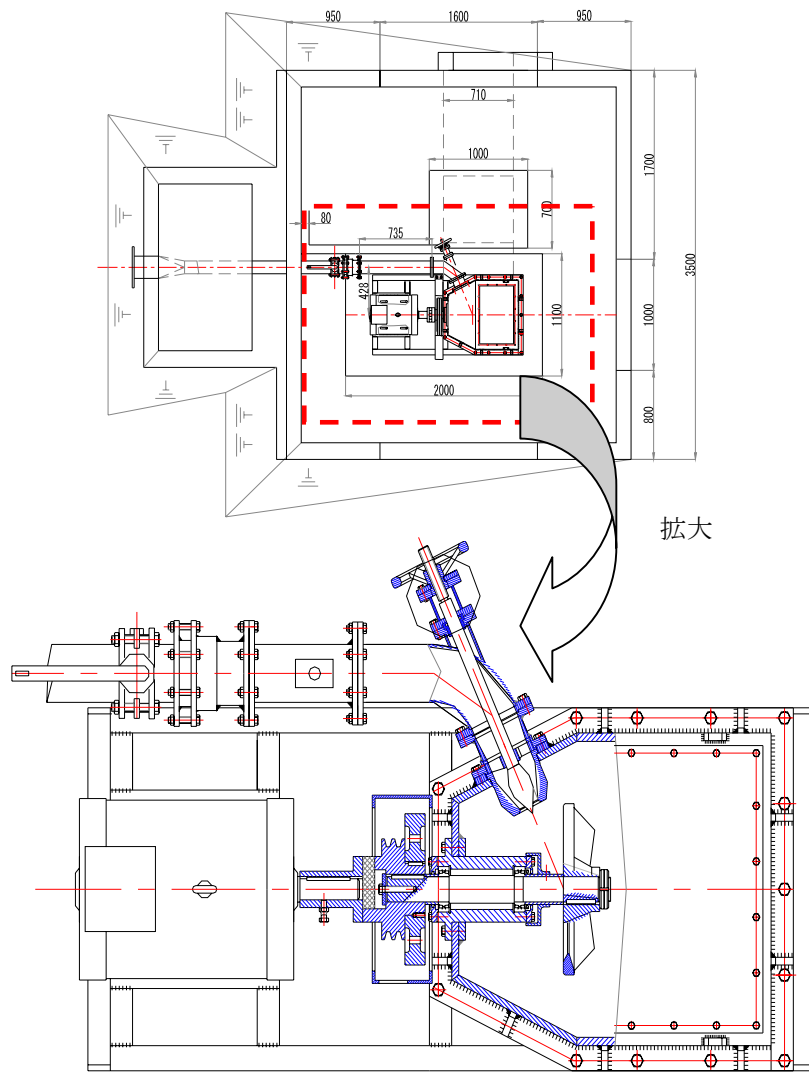


图 3-4-3 機器平面図

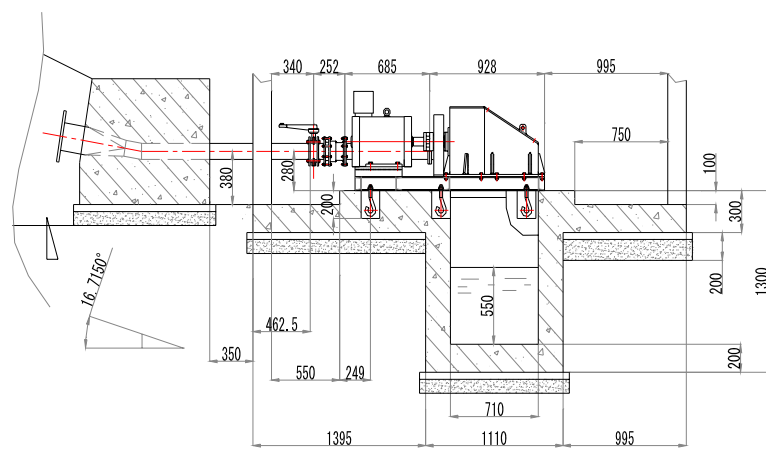


图 3-4-4 機器断面図

### 3-4-3 調速機（ガバナ）

運転している水車の回転速度は電力負荷の変動に伴って変化する性質を持っている。この結果、電力需要が増減すると発生する電気の周波数（Hz）や電圧（V）が変化してしまう。また、保護装置が働いて送電が停止された場合には電力負荷が消失してしまうが、水車は回転を続けているため回転速度が著しく上昇し、発電機の内部が損傷してしまうおそれがある。このような理由から、良質の電気供給と水車・発電機の保護のため、負荷の変動があっても水車の回転速度を一定に調整する装置が必要となる。Village Hydro の場合には構造が簡単で電子式自動制御機能がついているダミーロード式ガバナを用いるのが一般的である。このダミーロード式ガバナは既にベトナム国内でも製品化されている。

#### (1) ダミーロード式ガバナの動作原理

ダミーロード式ガバナの動作原理は、需要負荷にダミーロード負荷を加えたものを水車発電機出力と均衡させ、水車の回転数を一定に保つものである。需要負荷が増加すれば、ダミーロード負荷を減少させ、また需要負荷が減少すれば、ダミーロード負荷を増加させるよう動作する。調速作用が安定かつ正確であること、また事故などによる負荷遮断時、直ちにダミーロード負荷を投入し、水車および発電機の異常な速度上昇を防ぐことがダミーロードガバナの必要条件として上げられる。パイロットシステムで使用したのはベトナムで製作された、需要変動による周波数変化を感知して周波数制御を行う電子回路を組み込んだダミーロードガバナであり、据付前の工場試験、据付後の現地調整試験によって正常動作を確認、性能品質も良好であることを確認した。

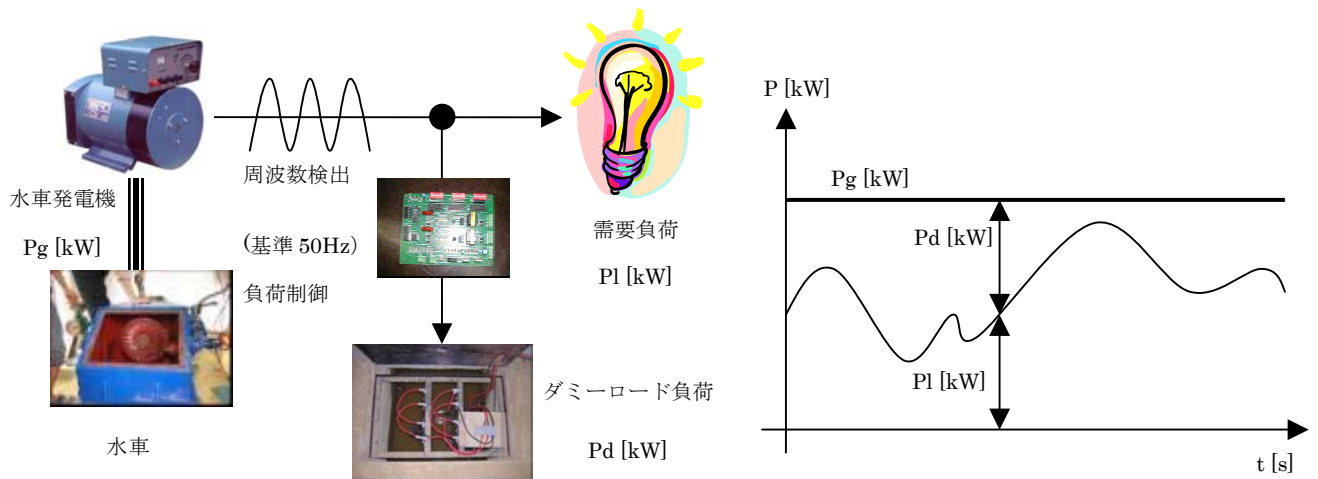


図 3-4-5 ダミーロードガバナの動作原理

#### (2) ダミーロードの選定

ダミーロードは抵抗要素であるヒーターエレメントで構成される。容量は発電機最大出力と同等容量である 12kW とした。冷却方式は水冷式とし、発電用水の有効利用を目的として、放水路部に設置した。



ヒーターエレメント



ダミーロード据付図（放水路内）

図 3-4-6 ダミーロード（水冷式）

### 3-4-4 運転制御・保護継電器装置

Village Hydro は住民が主体となって維持管理する小規模発電所であり、「運転の操作性」「維持管理の簡素化」および「コスト低減」を考慮したシステム構成を基本とする。計器類には、日常運転の運転・維持管理のデータ把握のため、電圧計、電流計、周波数計を取付けた。保護継電器としては、過電流継電器、過電圧継電器、周波数継電器を装備し、また耐雷設備として避雷器を設置した。「維持管理の簡素化」や「コスト低減」の追求によるシステムの簡素化は、反面、設備保護上の弱点を増やすことに繋がる。そこで、村民に対し、設備の運転管理方法を安全面も含め、時間をかけて指導した。過剰設備でコスト高とならないよう注意しながら、かつ設備を安全に運用管理できるよう村民への教育を確実に行うことが Village Hydro では重要となる。

以下にパイロットシステムで採用した単相 2 線結線図、制御回路図、部品仕様を記載する。

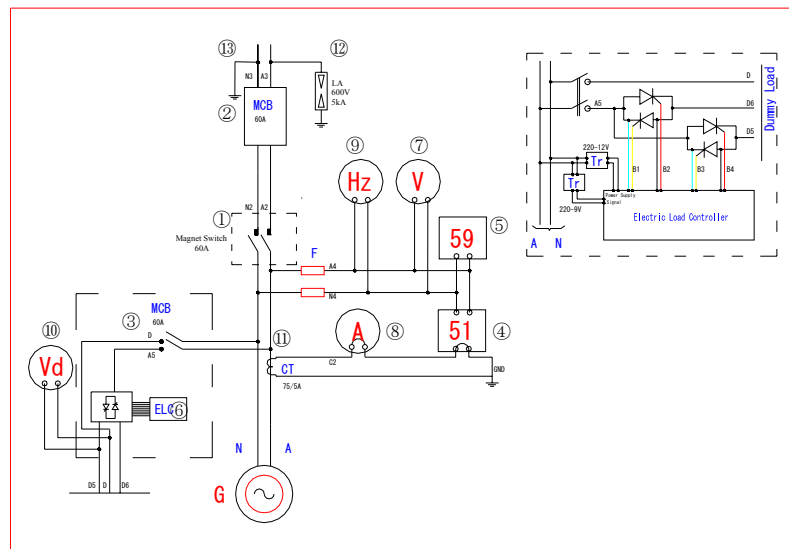


図 3-4-7 単相 2 線結線図



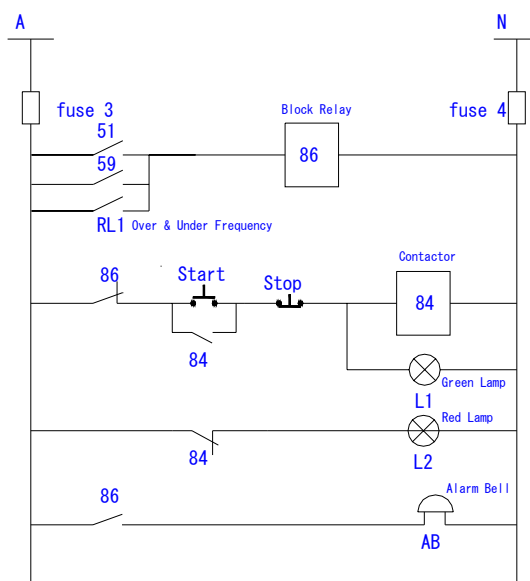


図 3-4-8 制御回路図

表 3-4-3 部品仕様

Classification	No.	Device	Specification	Function
Switch	①	Contactor	100A (> 60A)	系統接続・切離用
	②	MCB for transmission	60A	過負荷・短絡保護
	地絡保護のために ELCB を設置することも可能。			
Protective Relay	③	MCB for Dummy Load	60A	ダミーロード短絡保護
	④	Over Current Relay (51)	7.5-97.5A (0.5-6.5A) On Time 0-10s Delay Time 0-30s	過負荷・短絡保護
	⑤	Over Voltage Relay (59)	220-300V On Time 0-30s Delay Time 0-30s	過電圧保護
Instrument	⑥	Over & Under Frequency Relay (OF, UF)	OF 55Hz UF 45Hz On Time 5s Type : Set in ELC	周波数上昇低下から機器保護
	⑦	Potential meter	0-300V	発電電圧の計測
	⑧	Current meter	0-150A	発電電流の計測
	⑨	Frequency meter	45-65Hz	周波数の計測
Transformer	⑩	Potential meter for DL	0-300V	ダミーロード負荷の計測
	⑪	Current Transformer	75 / 5 A	計器・継電器用
Lightning Protection	⑫	Lightning Arrester (LA)	600V 5000A	雷からの機器保護
	⑬	Earth 片線多重接地方式による	< 4 Ω	

運転開始時にスタートスイッチを押すとコンタクター (84) On となり、自己保持回路が形成される。停止時にはストップスイッチを押すことにより自己保持回路は解放され、コンタクター (84) Off となる。

事故または故障の場合には、各保護継電器動作により補助継電器 (86) が動作となり、自己保持回路は解放され、コンタクター (84) Off となり、同時に警報動作する。(図 3-4-9) また、水量が減少した場合には、発電機電圧低下により制御回路母線間の電圧が低下しコンタクターが解放する。ランプは消灯、警報は動作しない。

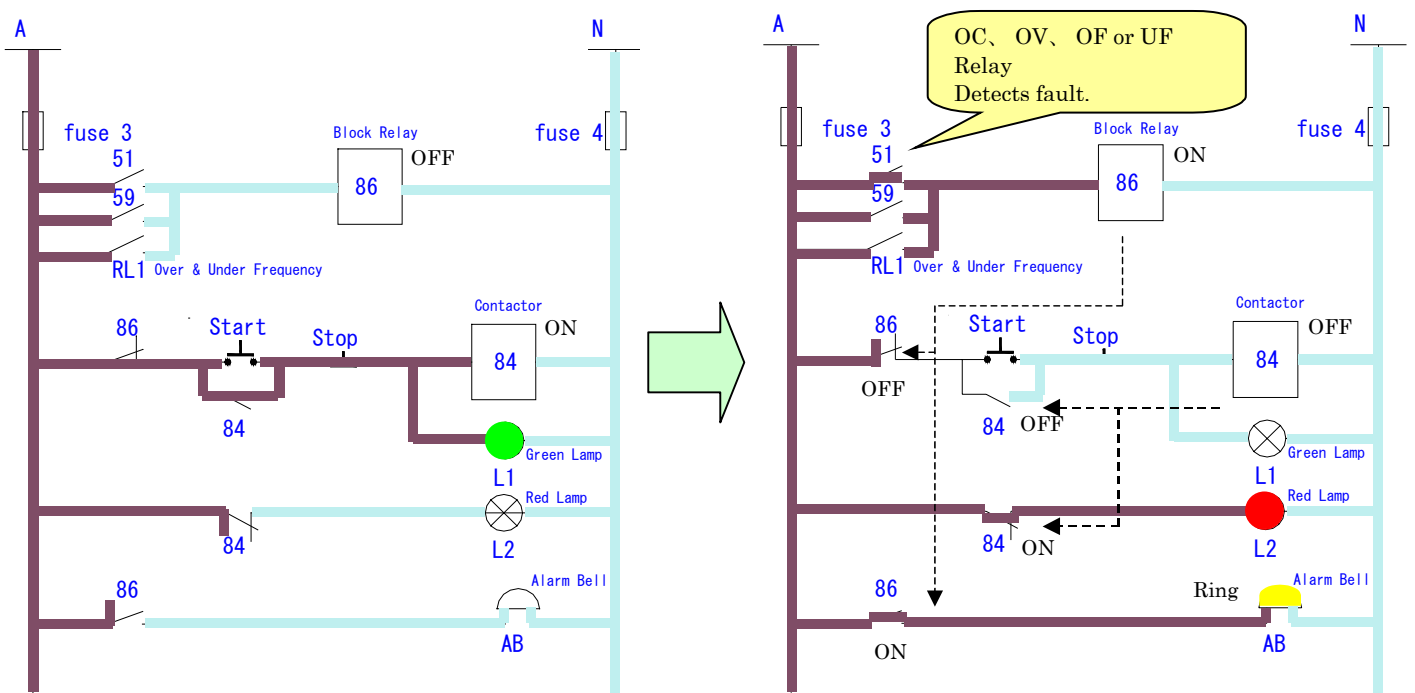


図 3-4-9 運転時と事故時のシーケンス

### 3-5 配電設備の設計

Theu 村は北東-南西方向に伸びる主要道路に沿って 2km 以上の広さがあり、今回の発電所はそのほぼ中心に位置する。Theu 村の住宅配置は配電系統図(図 3-5-1)に示すとおりで、東側と西側の 2 大グループに分割できる。家屋は広く散在しているが、その多くは主要道路の周辺に存在する。したがって、配電設備は、下表に示す配電区間ごとの世帯数を考慮し、末端での電圧が 200V を確保できるよう、主要道路沿いに最短距離で配置する計画とした。配電方式は Village Hydro の標準である単相 2 線式 220V である。費用対効果を考え、住宅がある程度まとまっている地区を主体に配電線を建設し、各戸への引込み線が原則として 100m 以内でおさまるよう計画した。また、道路横断部では、電線のたるみによる影響を受けないよう道路に隣接して電柱を配置し、電線の地上高さを確保した。電線の地上高さへの影響が無い沢横断箇所では径間を 100m とし工事費の低減を図った。

配電系統には、最初の分岐地点（配電柱 No. 4）に区分開閉器をとりつけ、供給区間を 2 分割できるシステムを採用した。この結果、乾季の負荷制限対応や事故時の停電範囲縮小が可能となる。このような機能は Village Hydro においては常に考慮すべきものである。

表 3-5-1 配電区間

配電区間 No.	区間内世帯数	区間距離 (m)	電柱本数 (本)
L0	1	122	3
L1	29	1,058	23
L2	42	1,324	35
L3	7	366	10
合計	79	2,870	71

配電線資材の基本仕様は、ベトナムの技術基準に基づき下表のとおりとした。

表 3-5-2 配電線資材 基本仕様

項目	型式	寸法
支持物		
鉄筋コンクリート柱	H7.5m - B 型	H=7.5m、設計荷重 380kgf
	H7.5m - C 型	H=7.5m、設計荷重 440kgf
コンクリート柱基礎	コンクリート M150	L=0.7m、W=0.7m、D=1.2m
地支線	支線バンド他	コンクリート根架、鋼線、
低圧線		
電線	アルミニウム絶縁電線	断面積：35、50、70mm <sup>2</sup> 電圧降下計算より選定
腕金	L 型アングル(シングル)	L 63×63×6mm×1 本
	L 型アングル(ダブル)	L 63×63×6mm×2 本
碍子	低圧用セラミック碍子	ベトナム標準規格



### 3-5-1 電線

電線はベトナムの標準品であるアルミニウム絶縁(Al-PVC)電線を使用した。電線断面積はできるだけ小さいものが経済的であり、電圧降下条件の範囲内で最小の断面積を選定する。配電線末端で 200V の電圧を確保できるよう電圧降下シミュレーションを実施し、電線断面積を決定した。電圧降下シミュレーションの条件はつぎのとおりである。

- ① 送出電圧は 230V
- ② 負荷力率は 0.8
- ③ 1 世帯あたりの需要は 100W

配電線の電圧降下計算式  $\Delta V = 2 \times I \times Z_e \times L$  (V)

ここで

I : 負荷電流 (A)

$Z_e$  : 電線 1 条の単位長さ当りの等価抵抗  $Z_e = R \cos\phi + X \sin\phi$  ( $\Omega/\text{km}$ )

$\cos\phi$  : 負荷力率

R : 電線 1 km 当たりの抵抗値 ( $\Omega/\text{km}$ )

X : 電線 1 km 当たりのリアクタンス値 ( $\Omega/\text{km}$ )

L : 配電線の距離 (km)

Al-PVC 電線 (断面積 : 35mm<sup>2</sup>、50mm<sup>2</sup>、70mm<sup>2</sup>) の仕様に基づき、配電線末端で常時 200V の供給電圧を確保できるよう、最適組み合わせを比較検討した結果、下表の組み合わせで電圧降下条件を満足できた。

表 3-5-3 電線組み合わせ表

区間番号	区間名	線種
L0	Power house~4	Al-PVC 70mm <sup>2</sup>
L1	4~36~57	Al-PVC 35mm <sup>2</sup>
L2	4~25	Al-PVC 70mm <sup>2</sup>
	25~35~35-2	Al-PVC 50mm <sup>2</sup>
L3	12~12-10	Al-PVC 35mm <sup>2</sup>

### 3-5-2 支持物

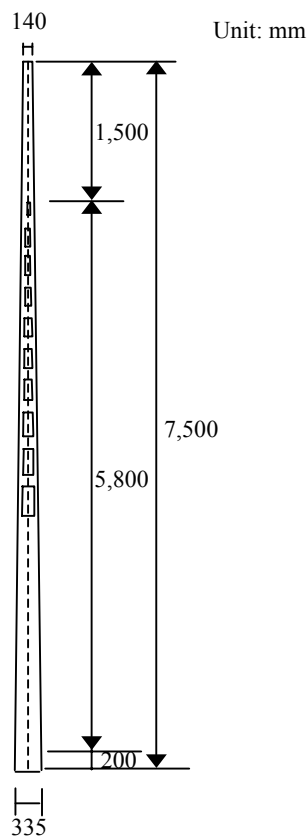
電柱はベトナムの技術基準に基づき標準径間 40m 以内、電線の地上高さ 4.0m 以上を条件に、比較的大きな電線張力が電柱に作用する以下①～③の地点について高荷重型（H7.5m-C 型）を、その他には標準荷重型（H7.5m-B 型）の鉄筋コンクリート柱（H7.5m）を採用した。各々の電柱基礎はベトナムの標準設計に基づき、高荷重型は電柱への荷重分散のため地支線で補強した。

- ① 配電線路の末端個所
- ② 電線が曲がり水平角度が 5 度以上発生する個所
- ③ 電線径間が 40m 以上となる個所

表 3-5-4 鉄筋コンクリート柱 技術仕様

項目	名称	
	H7.5-B	H7.5-C
型式	H7.5-B	H7.5-C
長さ (m)	7.5	7.5
破壊荷重 (kgf)	380	440
コンクリート重量 (kg)	480	480
鉄筋重量 (kg)	55.86	59.28
総重量 (kg)	535.86	539.28

Low-voltage Concrete pole



Foundation of Concrete pole

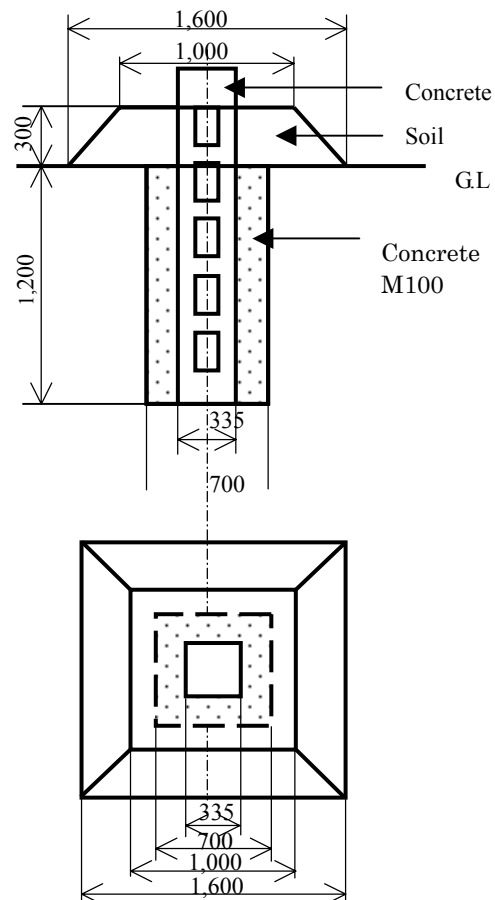


図 3-5-2 鉄筋コンクリート柱の基本仕様

### 3-5-3 装柱

電線の固定に用いる碍子はベトナムの標準品を使用した。アームはL型アングルによる水平装柱方式とし、標準荷重型（H7.5m-B型）の電柱に対してシングルアーム、高荷重型（H7.5m-C型）の電柱に対してダブルアームと2種類（シングル、ダブル）の型式を使い分けた。



図 3-5-3 装柱状況（左：シングルアーム、右：ダブルアーム）

### 3-5-4 引込み設備

引込み設備とは配電線から各住宅へ電気を送る電線や電力量計、ブレーカーなどである。引込み設備の設置費用は需要家負担であり、資金力のない住民には大きな負担となる。したがって、資材選定では技術レベルを維持しながらも簡易な方式を採用し、支払可能なコストと妥協できるよう配慮した。主な仕様は以下のとおりとした。

- ① 資材は市場で購入可能な汎用品を選定（PVC-Mケーブルの適用）
- ② 引込柱は村落周辺で容易に調達でき、施工・メンテナンスに有利な木柱を採用
- ③ 将来グリッド電化された場合でも活用できる設備構成（電力量計、引込開閉器の取付）



図 3-5-4 主要引込み設備（左：引込柱、右：電力量計とブレーカー）



引込み工事は需要家が追加されるたびに行うため、村落電化組織が主体となった住民参加型の作業とする必要がある。このため、資材選定、工具の取り扱い、引込柱設置、引込線の架線方法、電力量計と引込開閉器の取付と結線などの施工手順についてトレーニングを兼ねた OJT により、技術の定着化を図った。



図 3-5-5 引込線工事（左：引込線の架線、右：電力量計の取付）

### 3-5-5 耐雷設計

配電系統は 1 線連接接地方式を採用した。本方式はベトナム電気基準に基づく標準方式であり、片線（接地線側）の多重接地により架空地線（Ground Wire）の機能を併用した設備形成が特徴である。耐雷対策として架空地線を新設する必要がなく、設備費が安価に済む利点がある。

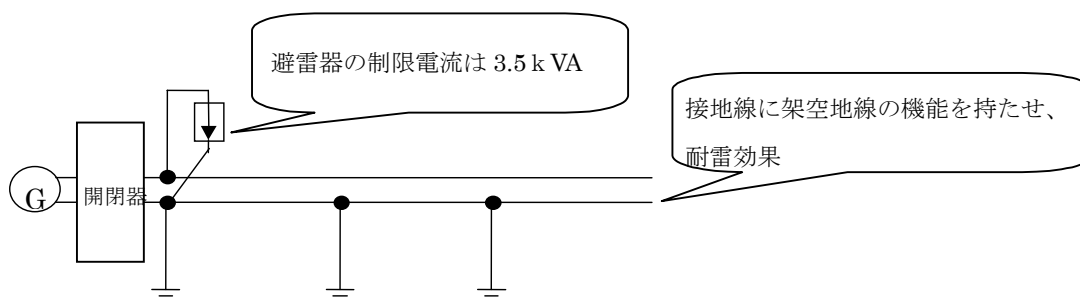


図 3-5-6 1 線連接接地方式（標準型）

さらに、プロジェクトサイトは多雷地域ということで、耐雷度を強化するため、200m おきに避雷器を施工した。接地抵抗値は、抵抗の低い方向にサージ電流が流れる傾向を利用して、発電所に向かって流れ易くなるよう、発電所で  $4\Omega$ 、配電線の接地で  $30\Omega$  である。不利な点は地絡保護が困難なことである。この弱点を補うために住民に対し電線に触れないよう注意喚起することを徹底した。接地箇所より負荷側に漏電遮断器を設置すれば、それ以降は保護できる。しかし、ベトナムでは漏電遮断器は高価なため一般的に普及していない。

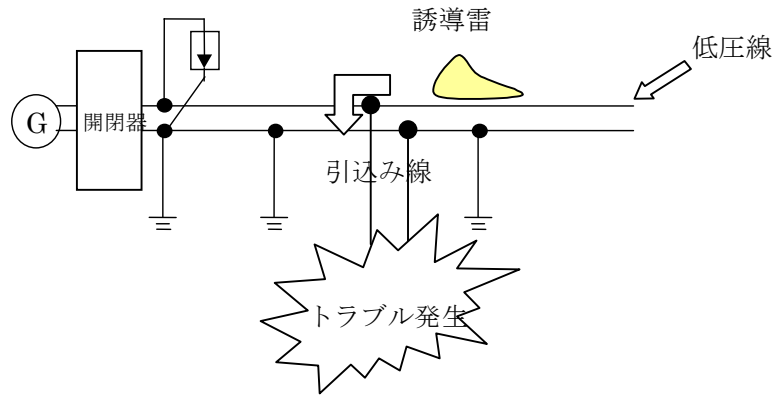


図 3-5-7 誘導雷による電気事故

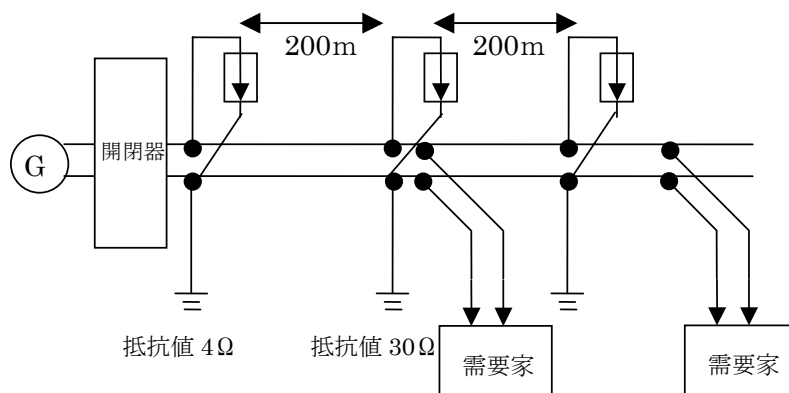


図 3-5-8 1線連接接地方式（改良型）

### 3-5-6 感電保護と耐雷設計

(1) 感電保護の考え方：感電電流の条件

1) 離脱限界電流

感電時、自分の力でこの状態から脱出できる電流の限界値は一般的に次の値になる。

女性 7.5-13mA

男性 9.7-20.7mA

2) Koeppen の式による安全限界

$I[\text{mA}] \times T[\text{s}] = 50[\text{mA} \cdot \text{s}]$  (人体通過電流と時間の積は一定値となる。)

また、人体通過電流が 50mA 以下では安全限界は時間に無関係としている。これを安全率 1.62 で除し、30mA を安全限界とする。

3) Dalziel の式による安全限界

$I[\text{mA}] = 116 / \sqrt{T[\text{s}]}$  (57kg の羊が確率 0.5% で死亡する限界値)

ベトナムでは平均身長は低く、裸足でサンダルが一般的。よって、人体の抵抗値を

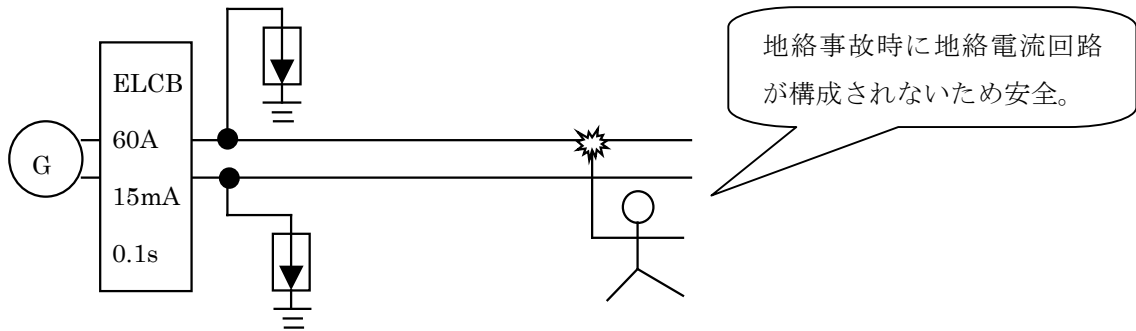
600Ωと仮定する。電圧を220Vとすれば、感電時は367mAの電流が人体に流れ、上式から0.1sが安全限界の時間となる。

(2) 感電保護（地絡保護）を目的とした接地方式の比較

参考：各接地方式の比較

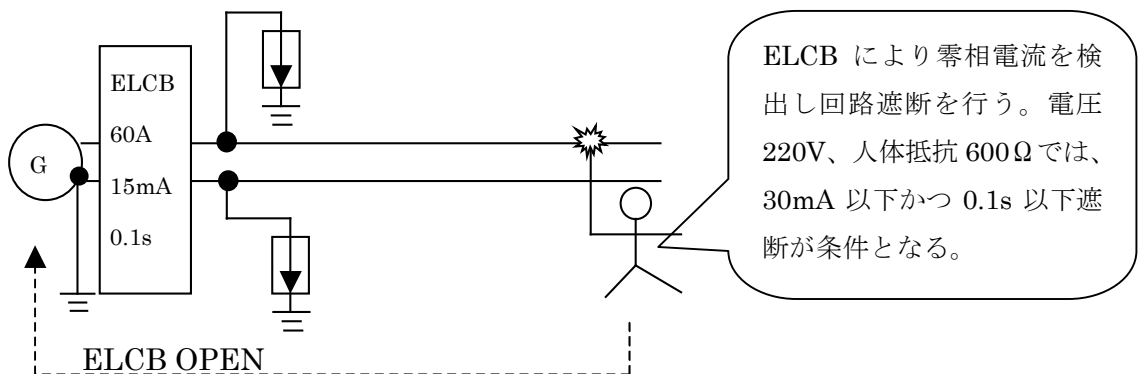
接地方式	特徴	長所	短所
非接地方式	低圧回路を非接地系とし、地絡事故時にも地絡電流回路を構成させない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>地絡時あるいは人間が充電部に接触しても電流が電路の対地静電容量分しか流れない。</li> <li>系統用接地工事が不要であり、安価。（避雷器や機器、操作箱用は必要）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地絡が生じても検出できないため、長時間継続することとなり、その間に二重地絡を生ずると無保護となる。</li> <li>電路の絶縁が良好であるという条件が必要である。</li> <li>地絡時に異常電圧が発生する恐れがある。</li> </ul>
漏電遮断方式（片線一点接地）	零相電流を検出し、回路遮断を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>微地絡でも高速遮断を行えるので感電保護にきわめて有効である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不必要に動作しないよう、保護目的、使用条件、電路規模、負荷特性に応じて感度電流、動作時間を選ばなければならない。</li> </ul>
片線多重接地（ベトナム低圧基準に基づく方式）	単線のうち、片方の線を200mおきに接地するもの。	<ul style="list-style-type: none"> <li>接地線を耐雷用架空地線として使用することにより、工事費を低減できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地絡事故時、多重接地個所との間で電流回路を構成するため、地絡保護は困難。保護するためにはOCG、UV等が必要になる。</li> </ul>

1) 非接地方式



絶縁ケーブルを使用し、系統が小さいこと、また定期的に漏電を検査することを条件として、この方式がシンプルかつ安価である。地方電化では第一に推薦する方式である。（非接地のため ELCB は MCB 機構のみ使用）

2) 漏電遮断方式（片線一線接地）

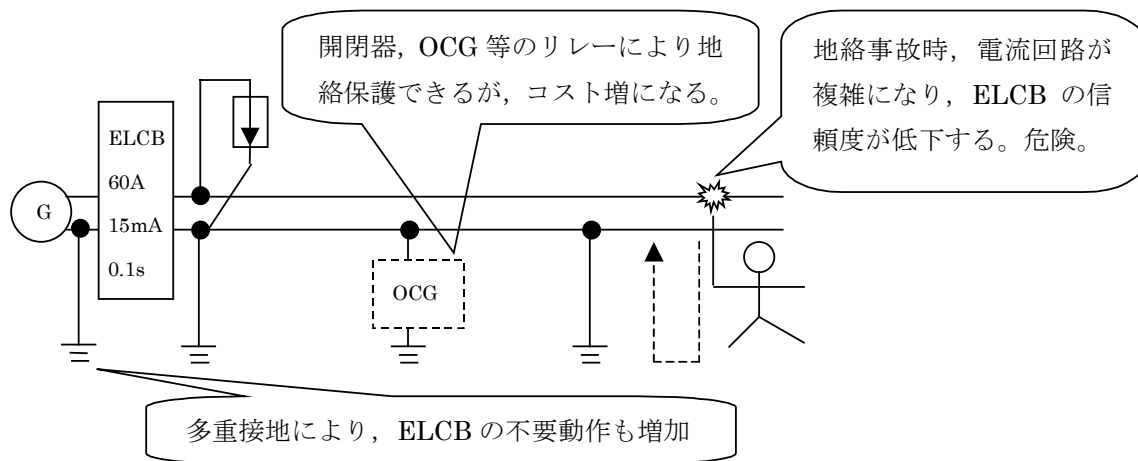


漏電遮断器(ELCB)は地絡検出感度電流の 50-100%で動作しなければならない。一般的には 70-80%程度で動作する。 $15\text{mA} \times 50\% = 7.5\text{mA}$  であるので、感電保護の考え方(1)-1)より、15mAの漏電遮断器を使用すれば、離脱電流値で保護できる。

地絡の安全度は電流と時間の組み合わせで考えるのが一般的である。感電保護を目的とするなら、(1)-2)、3)から、30mA、0.1s 以内遮断の漏電遮断器を使用する。

感電保護の面からは、動作電流は小さいほど、動作時間は速いほど良い。しかし、電動機負荷始動で漏電遮断器動作するなど、不要動作を少なくすることも同時に求められる。整定が異なる漏電遮断器を何個か設置し、感度・時限協調を取る事も必要であろう。これも地方電化では推薦する方式の一つである。安全信頼度は高い。

### 3) 片線多重接地方式 (ベトナムの低圧基準に基づく方式)



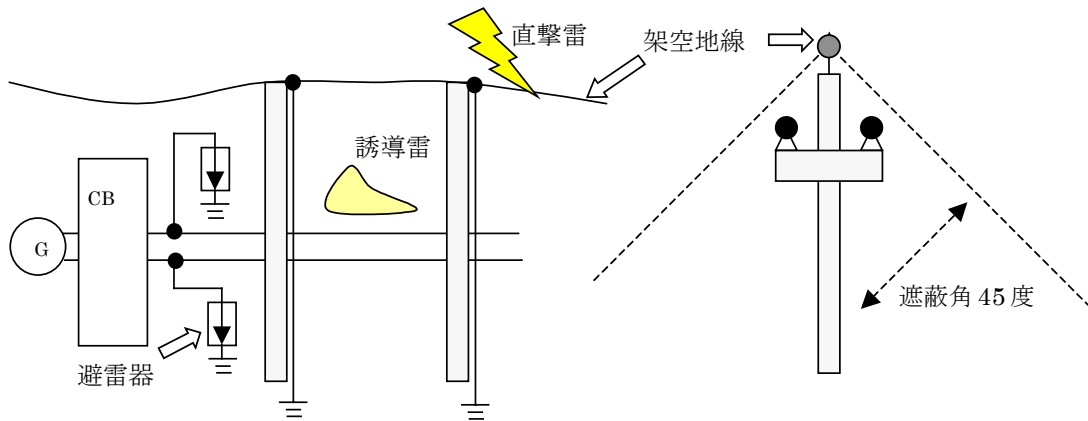
感電保護の観点からはこの方式は勧められない。ELCBの信頼度は著しく低下する。各家庭の引込み口に漏電遮断器を使用できればよいが、現在のベトナムでは漏電遮断器は高価なことからほとんど普及していない。しかし、この方式はベトナム基準で規定されているものである。これは耐雷設備コスト低減の目的があると考えられる。

### (3) 耐雷設計

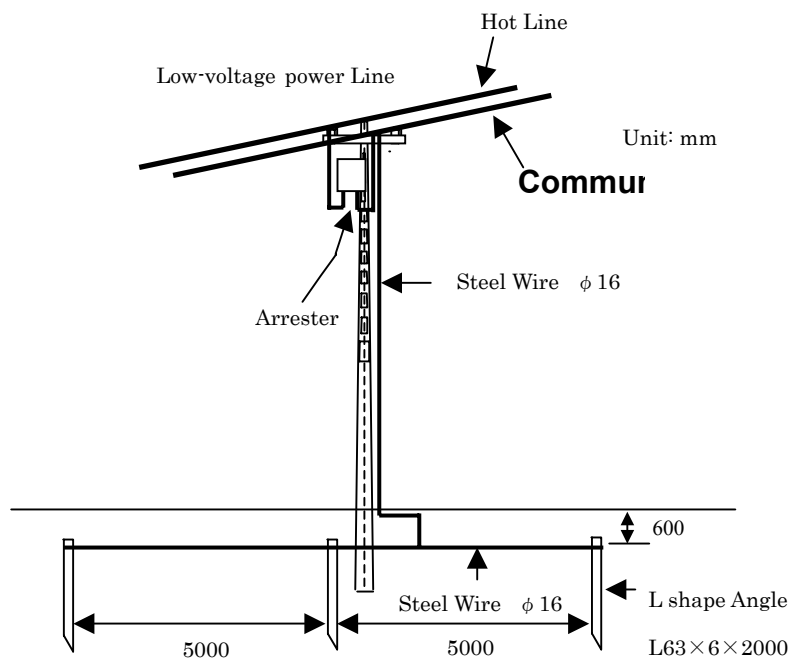
絶縁された低圧線は、裸線、高圧線に比較して雷害の確率は低い。雷害対策としては、避雷器を取り付ける方法が一般的である。多重雷地区で直撃雷対策を必要とする特定個所にはさらに架空地線を施設する。

#### 1) 避雷器、架空地線による耐雷設計 (非接地系統)

直撃雷は架空地線で防護する。遮蔽角 45 度内で 99%の直撃雷を防護できる。誘導雷は避雷器で防護する。放電電流は統計から求めるが一般的に 10kA で良い。



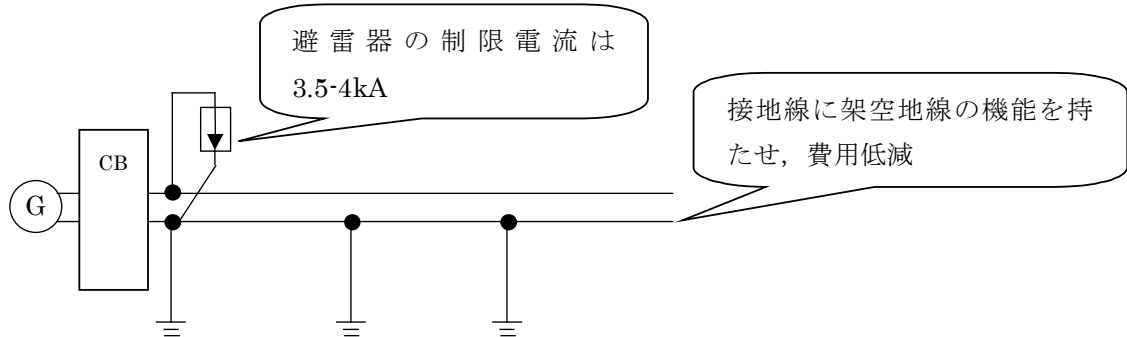
雷害対策として、活線側に避雷器 (Lightning Arrester) を設置することで、サージ電流の進行を減衰させることが可能である。なお接地抵抗値は、接地抵抗の低い方向に流れる傾向を利用して、発電所へ向かって電流が流れ易くなるよう、配電柱の接地抵抗値は  $30\Omega$  以下、発電所の接地抵抗値は  $4\Omega$  以下とする。



参考： 避雷器 (Lightning Arrester)

2) 片線多重接地方式による耐雷設計

接地線を架空地線としても使用することで、資材、工事費の低減を図っている。避雷器は1種類しかなく、試験をしたところ、制限電圧は、1kV程度、制限電流は3.5-4kAであった。本方式がベトナムにおける低圧線の標準方式である。



3-6 DOIへの技術移転

パイロット事業を実施したホアビン省のDOIには所員が30名在籍しており、そのうち5名が電化担当者である。電化担当者はこれまでは送配電システムの整備による電化の経験しかなく、オフグリッド地方電化に関する業務する知識はほとんど持っていない。したがって、今後DOIがVillage Hydroによる地方電化を自ら実行するためには、水力発電設備計画のほか住民による設備の維持管理まで考えた電化計画立案全般に関するキャパシティビルディングが必要となる。このキャパシティビルディングについては、モデルとなるプロジェクトをベースに、サイト選定に向けた現地調査段階からDOIと共同作業を行い、実務経験を蓄積できるOJT方式で実施されることが望ましい。本パイロット事業では、建設までのリードタイムがタイトであったため共同作業はできなかったが、作業の各段階において調査団が取りまとめた資料に基づきホアビン省DOIへ説明し内容を協議するという形式で、DOIへの技術移転を図った。その実施内容は、下表に示すとおりである。

表 3-6-1 DOIへの技術移転内容

作業段階	実施内容
予備調査段階	小水力によるオフグリッド電化計画の全体像および基本事項について説明
現地調査段階	住民集会のためサイトへ同行する機会を通じて、水力発電計画の実例として、パイロット基本計画を説明
工事計画申請段階	設備の機能および諸元の検討手順を説明
設備完成段階	サイトにおいて開催したワークショップの機会を通じて設備見学を実施し、設計、施工の内容を詳細説明

今回のパイロットサイトは調査団自らが事前調査したが、DOIは「このようなオフグリッド地方電化のサイトは、DOIが候補地点を探すのが一般的であり、今後はDOIが事前調査した上で

設計を進める手順のほうが、作業を効率的に進めることができる」という見解を示している。この見解は、管内コミュニケーションすべてのデータを収集可能な DOI にとって妥当なものであり、これまでのグリッド電化に加えてオフグリッド電化に関する情報に着目することで地点抽出作業は効率的に進めることができる。ただし、水力発電計画は個別の地形条件等を勘案して実施されるものであり、ベトナム全体として検討事例を蓄積し情報を共有することが望ましい。したがって、今後ベトナム北部の各省においてキャパシティビルディングする場合には、集団トレーニング等を通じてオフグリッド地方電化計画の基本事項を説明した後、各省において具体例に基づく電化計画立案を OJT 方式で実施することが効果的であると考え。また、パイロット事業を通じて得られた知見をまとめた「設計・施工マニュアル」は、DOI の計画担当者を対象とした教育テキストとして活用できるものとする。