

第2章 ヘホー小水力開発計画

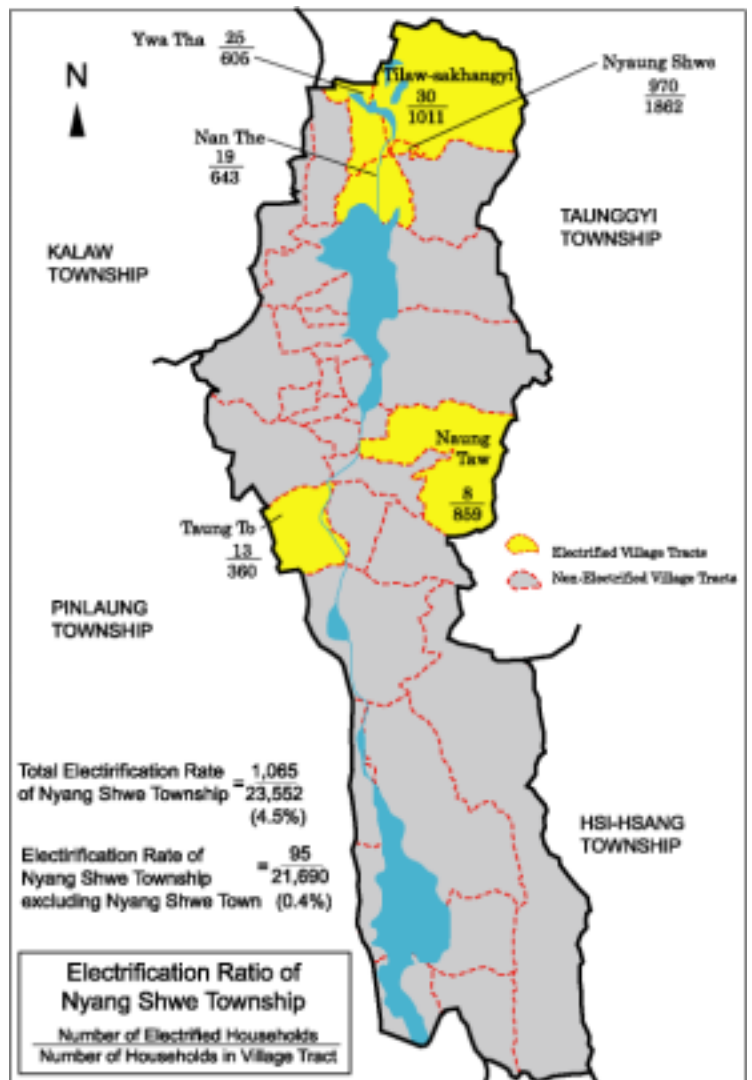
SH-01 南シャン州インレ湖沿岸地方電化計画

2.1 プロジェクト対象地域

プロジェクト対象地域は南シャン州のインレ湖岸に位置するニャンシュエ郡である。小水力開発地点は、ミャンマー第2の都市マンダレーの南南東約 160 km に位置するヘホー南部平原を西から東に向かって流れる Negya Chaung に位置する。この峡谷を流れる河川水は最終的にニャンシュエ郡内のインレ湖に流入する。

ニャンシュエ郡の行政上の中心地は世帯数 1,862 軒、人口 1 万 2,500 人のニャンシュエ町である。ニャンシュエ郡には町の他に 408 カ所の村落が 35 の村落グループに分かれて所属しており、インレ湖及びその南部に位置するモビエダム貯水池の周囲に立地している。インレ湖の東岸には少数民族パオ族が住む特別第 6 区が設置されている。ニャンシュエ郡全体の世帯数は 2 万 3,552 軒、総人口 15 万 3,000 人である。(表 2.2.1 参照)

ニャンシュエ郡全体の電化状況は 4.5% であるが、そのうち 35 村落グループの電化率は図 2.2.1 に示すように僅か 0.4% である。



Source: JICA Study Team

図 2.1.1 ニャンシュエ郡の電化状況

表 2.1.1 ニャンシュエ郡の人口と世帯数

Quarter/ Village Tract	Quarter/Village Tract Name	Population	Number of Household	Electrified Household	% Electri- fication	Note
Q1	Kan Thar	2,559	274	180	65.7	
Q2	Thar Si	1,257	183	100	54.6	
Q3	Nan Dar Won	3,826	606	150	24.8	
Q4	Myo Htae (Down town)	879	133	140	105.3	
Q5	Win	1,113	175	100	57.1	
Q6	Nanpan	976	172	100	58.1	
Q7	Mingalar	658	101	80	79.2	
Q8	Minele	1,278	218	120	55.0	
	Sub-total	12,546	1,862	970	52.1	
VT1	Nan Thae	4,396	643	19	3.0	
VT2	Kyung Kyi	4,069	630		0.0	
VT3	Linn Kinn	4,234	639		0.0	
VT4	Kaung Htaing	2,889	443		0.0	
VT5	Lat Maung Kawe	2,077	324		0.0	
VT6	Taung Po Gyi	3,195	476		0.0	
VT7	Taung Chae	5,438	954		0.0	
VT8	Mine Thauk	5,883	922		0.0	
VT9	Ywar Thar	3,948	605	25	4.1	
VT10	Hti Law	7,097	1,011	30	3.0	
VT11	Min Chaung	5,360	1,405		0.0	
VT12	Nan Pan	4,760	803		0.0	
VT13	Tone Lae	3,526	578		0.0	
VT14	Ta Paye Pin	6,246	1,024		0.0	
VT15	Ngarphae Chaung	3,003	493		0.0	
VT16	Ywar Ma	4,365	705		0.0	
VT17	Thar Lay	5,099	304		0.0	
VT18	Taung Tho	3,637	360	13	3.6	
VT19	Kyuk Tai	1,837	278		0.0	
VT20	Naung Taw	7,023	859	8	0.9	
VT21	Inn Yar	4,477	810		0.0	
VT22	Kyae Paw Kon	6,170	980		0.0	
VT23	Inn Tein	3,593	363		0.0	
VT24	Inn Kyan	4,989	756		0.0	
VT25	Inn Paw Kore	5,567	942		0.0	
VT26	Ta Lae Oo	5,626	920		0.0	
VT27	Sa Kar	2,593	337		0.0	
VT28	Lone Kan	2,212	312		0.0	
VT29	Pont Mu	5,033	795		0.0	
VT30	Linlan Myauk	1,370	224		0.0	
VT31	Ban Pyin	3,547	582		0.0	
VT32	Inn Tan	1,627	235		0.0	
VT33	Mine Pyo	2,566	370		0.0	
VT34	Yae Pu	1,757	226		0.0	
VT35	Lin Lan Taung	1,245	205		0.0	
	Sub-total	140,454	21,690	95	0.4	
	Grand Total	153,000	23,552	1,065	4.5	

Source: JICA Study Team

表 2.1.2 に南シャン州で調査した未電化村及び電化村の世帯あたりの年収、消費額及び年末貯蓄額を示す。電化村の年収の平均額は約 K 31 万、未電化村では約 K 24 万であった。

表 2.1.2 南シャン州の世帯あたり年収、消費額及び年末貯蓄額

(K/世帯/年)

Electrification Status	Southern Shan State	
	Un-Electrified	Electrified
1. Income	239,900	309,800
2. Expenditure	214,000	193,400
3. Saving	25,900	116,400
4. Donation	12,900	14,200

Source: JICA Study Team

2.2 電化の必要性と需要予測

1) 電力需要予測

ニャンシュエ郡の電力消費先は 1) 世帯用、2) 公共施設用、3) 商用、及び 4) 産業用の 4 カテゴリーに分類される。カテゴリごとの内容と対象力所数を表 2.2.1 に示す。

ニャンシュエ郡の電力需要を下記計算式を用いる手法によって推定した。

$$P_D = P_H + P_P + P_B + P_I \cdots \cdots (1)$$

$$P_x = n_x W_x C_x A_x / 1,000 \cdots \cdots (2)$$

ここで、 P : 電力需要量 (単位: kW) ただし、添字の H は世帯用を、同じく P は公共施設用を、B は商用を、I は産業用需要をそれぞれ表す。

n_x : X セクターの需要家数

W_x : X セクターの単位電力需要量 (単位: W)

C_x : X セクターにおけるピーク時の同時使用率

A_x : X セクターにおける電力購入率

各カテゴリーの単位電力需要量は現地調査結果を基に算定し、その結果を Appendix B-1 に示す。

表 2.2.1 ニャンシエ郡の電力需要予測

Object	Number of Object	Step	Nighttime						Daytime						
			Unit Consumption	Simultaneous %	Unit Consumption	Accessibility %	Estimated Power Demand	Sub-total	Unit Consumption	Simultaneous %	Unit Consumption	Accessibility %	Estimated Power Demand	Sub-total	
			Watt		Watt	%	kW	kW	Watt		Watt	%	kW	kW	
1. Household	23,552	1-1	130	90%	120	87	2,458.8	2,458.8	130	15%	20	87	409.8	409.8	
		1-2	220	70%	160	87	3,278.4	3,278.4	220	20%	50	87	1024.5	1024.5	
2. Public															
2.1 Street Light	416		400	50%	200	100	83.2		0	0%	0	100	0.0		
2.2.1 Temple	220		2,000	30%	600	100	132.0		2,000	40%	800	100	176.0		
2.2.2 Pagoda	236		2,000	30%	600	100	141.6		2,000	40%	800	100	188.8		
2.3 Hospital	3		350	70%	250	100	0.8		350	50%	180	100	0.5		
2.4 Clinic	6		310	70%	220	100	1.3		310	50%	160	100	1.0		
2.5.1 H. School	6		6,200	0%	0	100	0.0		6,200	20%	1,240	100	7.4		
2.5.2 M. School	12		1,640	0%	0	100	0.0		1,640	20%	330	100	4.0		
2.5.3 P. School	205		380	0%	0	100	0.0		380	20%	80	100	16.4		
Sub-total								358.9						394.1	
3. Business															
3.1 Restaurant	5		3,185	30%	960	100	4.8		3,185	30%	960	100	4.8		
3.2 Hotel	36		7,000	80%	5,600	100	201.6		7,000	70%	4,900	100	176.4		
Sub-total								206.4						181.2	
4. Industry															
4.1 Rice Mill	39		5,000	0%	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	156.0		
4.2 Oil Mill	4		7,000	0%	0	100	0.0		7,000	80%	5,600	100	22.4		
4.3 Powder Mill	3		5,000	0%	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	12.0		
4.4 Sugarcane Processing	58		5,000	0%	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	232.0		
4.5 Saw Mill	6		5,000	0%	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	24.0		
4.6 Paper Mill	0		5,000	0%	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	0.0		
4.7 Tofu Mfg	26		4,000	0%	0	100	0.0		4,000	80%	3,200	100	83.2		
4.8 Noodle Mfg	0		7,000	0%	0	100	0.0		7,000	80%	5,600	100	0.0		
4.9 Furniture	0		5,000	0%	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	0.0		
4.10 Iron Work	6		4,000	0%	0	100	0.0		4,000	80%	3,200	100	19.2		
4.11 BCS	11		1,500	0%	0	100	0.0		1,500	80%	1,200	100	13.2		
4.12 Weaving	4		5,000	0%	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	16.0		
4.13 Water Pump	2		200	0%	0	100	0.0		200	80%	160	100	0.3		
Sub-total								0.0						578.3	
5. Total															
5.1 1-1+2,3,4								3,024						1,563	
5.2 1-2+2,3,4								3,844						2,178	
6. Gross Total															
6.1 1-1+2,3,4		Including 5% of transfer loss						3,190	Incl. 5% transfer loss						1,650
6.2 1-2+2,3,4		Including 5% of transfer loss						4,050	Incl. 5% transfer loss						2,300

Source: JICA Study Team

世帯用需要量予測は電化による収入増と生活レベルの向上に配慮した2段階方式によって算定した。

ニャンシュエ郡の現時点における1世帯当たり夜間電力需要量は、電化済世帯と同一内容とする基準で、電灯3灯による90W、10Wの小型ラジオ1台、60Wの小型TVの所有率50%、同時使用率を90%として合計120Wと算定した。

夜間の世帯電力需要量の第2段階は将来15%の世帯が600W級の電気炊飯器を所有する段階を想定した。これは村落社会調査の結果、電気炊飯器が村人の将来購入希望電化製品として電灯に次いで第2位にランクされている人気製品であることを考慮したものである。この結果、1世帯当たりの将来電力需要量は160Wとなる。

電力購入には当然資金が必要であり、低収入世帯の何%かは購入が困難になる。現地調査の結果、電力購入用の年収ボーダーラインとして約K10万を設定した。表2.2.2に年収分布から求めた地域別電力購入可能率を示す。

表 2.2.2 世帯の電力購入可能比率 (%)

Description	Shan South	Shan North	Kachin	Total
Un-electrified	86	82	93	87
Electrified	89	93	94	92
Average	87	84	93	88

Source: JICA Study Team

世帯用以外の3分野（公共施設、商用及び家内工業）用電力需要は世帯の電化状況が変わった場合にも変化がないこと及び配電損失を5%と見込んだ場合の総電力需要予測を表2.2.3に示す。

表 2.2.3 電力需要予測 (kW)

Situation	Consumer	Nighttime	Daytime
First step	Household (Step1-1)	2,459	410
	Public Institutions	359	394
	Business	206	181
	Industry	0	578
Total	Net Demand	3,024	1,563
Total Demand including 5% transfer loss		3,200	1,700

Situation	Consumer	Nighttime	Daytime
Second step	Household (Step1-2)	3,278	1,025
	Public Institutions	359	394
	Business	206	181
	Industry	0	578
Total	Net Demand	3,844	2,178
Total Demand including 5% transfer loss		4,100	2,300

Source: JICA Study Team

15%の世帯が600W級炊飯器を購入する前提の世帯第2段階電化の実現度合いは、電力供給量に左右され得ることに注意する必要がある。

2) 支払い意思額

農村社会経済調査の結果によると、南シャン州住民の電力システムへの初期接続料金に対する支払い意思額は未電化村住民がK 9,000、電化村住民がK 10,000となっている。

一方、毎月の電気料金に対する支払意思額は、未電化村、電化村とも毎月 K 360 となっている。これら支払い意思額を年末貯蓄額（表 2.1.2）と対比してみると、MEPE 向け月額支払い実績は支払い意思額より安価ではあるものの、何れの村の世帯も支払い意思額を支払うことに支障のないと思われる。

2.3 開発構想

ヘホー小水力計画の開発構想は以下の通りである。

- 1) ヘホー小水力計画は、23,552 世帯、人口 153,000 人を含むニャンシュエ郡の電化を主な目的としているが、以下のような配電オプションも考えられる。

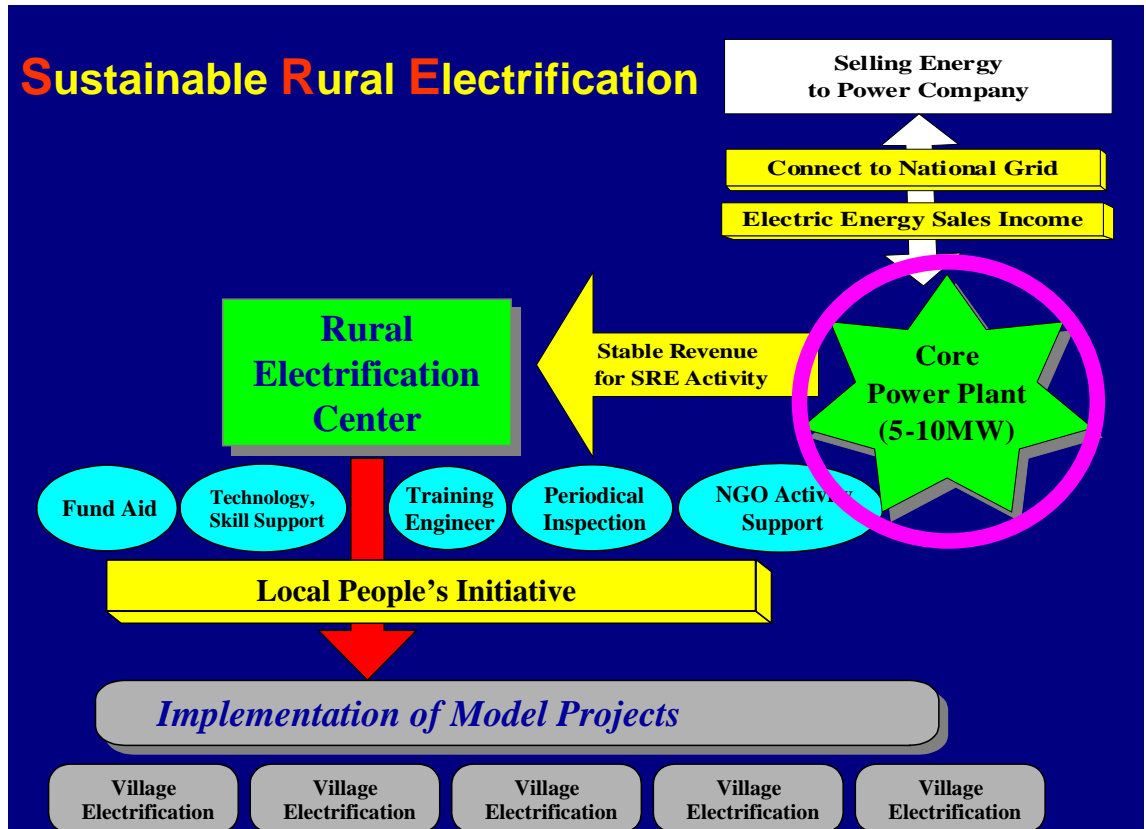
表 2.3.1 ヘホー小水力計画オプション

Source: Proposal of JICA Study Team

	NyaungShwe Township around Inle Lake	Moby	Heho Aungbang Pindaya	Grid Connection	Installed Capacity
Option-1					8MW
Option-2					8MW
Option-3					8MW
Option-4					4MW

本調査においては、ニャンシュエ郡に給電しつつ、雨季の余剰電力を中央電力系統に供給するオプション-1 を想定して検討を行うものとする。また、プロジェクトの実施に当たっては、ヘホー小水力発電所と既設の Zauggyi - I 及び Zauggyi - II 水力発電所を中央電力系統から遮断して、南シャン州全体の需要を賄うことも考えられる。

- 2) Negya Chaung の水力ポテンシャルを最大限に利用するために、ゲートを取水堰に設置し、乾季は河道貯留を利用して日調整を行い、夜間ピーク負荷に対応する運転を検討する。
- 3) 本計画は、MEPE 工事部隊による直営工事において、日本人トンネル工事専門家がガイダンスとして指導することにより、小水力発電所トンネル工事のモデルとして位置付ける。ミャンマー国におけるトンネルを有する小水力開発のパイオニアとしての役割が期待される。
- 4) ヘホー小水力発電所は、図 2.3.1 に示すように売電による収入により、持続的的地方電化を普及するためのコア発電所としての役割が期待される。



Source: JICA Study Team

図 2.3.1 持続的農村電化の概念

この計画の実施により、以下の効果が期待できる。

- a) 現在の電化率が全 21,690 世帯の僅か 0.4%にすぎないニャンシュエ郡における地方電化への貢献
- b) 無電化村の電化による生活水準の向上
- c) 地場産業の育成
- d) 工事実施を通じたトンネル施工技術移転
- e) 輸入燃料の節減による国家経済への貢献
- f) 二酸化炭素排出量の低減

2.4 基本設計および積算

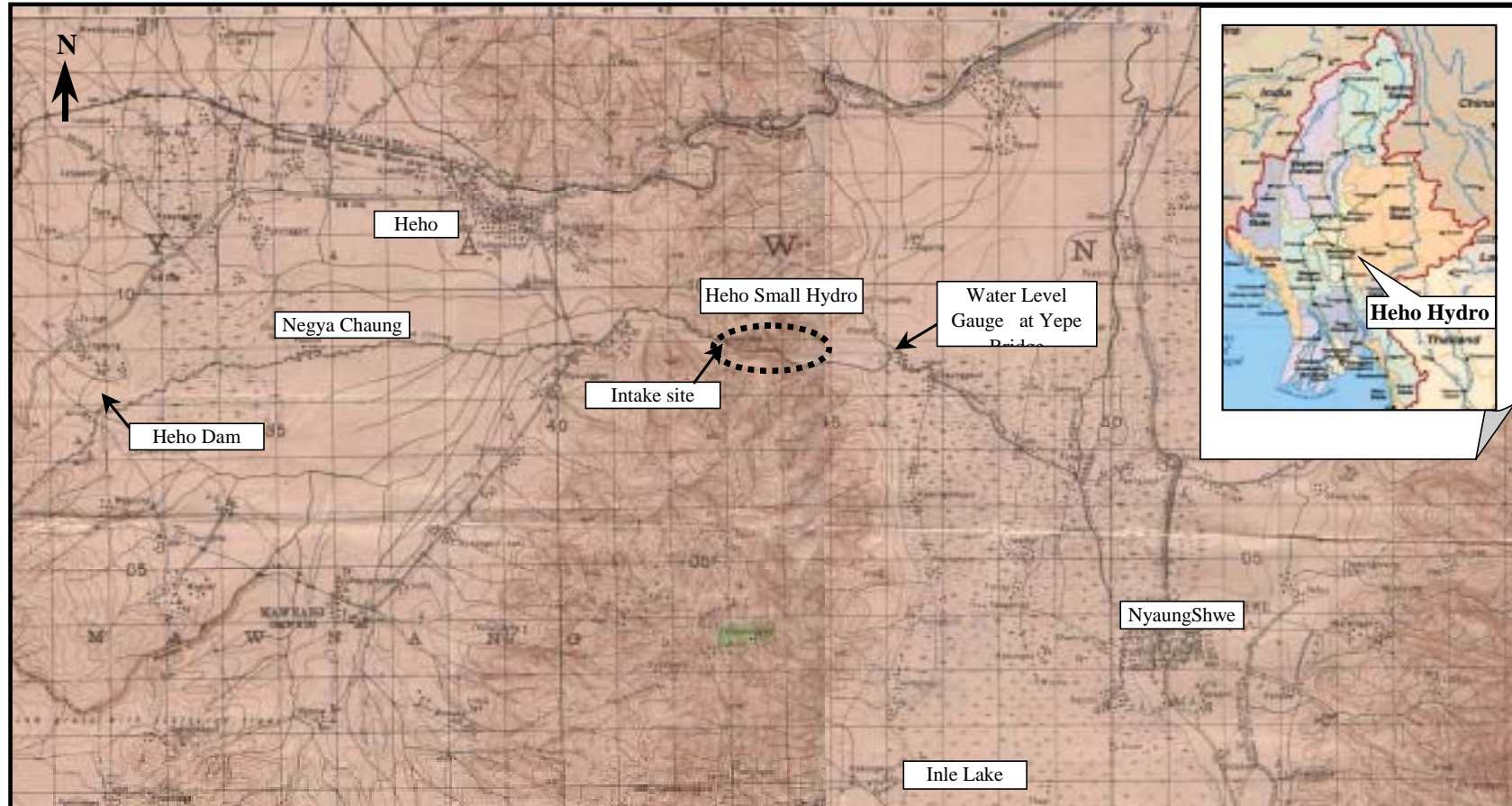
2.4.1 概説

ヘホー小水力サイトは、南シャン州カラウ郡ヘホー地区の南東約 5km 地点に位置する。本計画は、ヘホー平野中央部を通過して Shwenyaung 渓谷を東方に流下しインレ湖北岸に流入する Negya Chaung の総落差 229.0 m、平均流量 4.2 m³/s を利用して水力発電を行うものである。

Negya Chaung の流域面積は、渓谷の直上流に位置する取水口計画地点で 249 km² であり、Thigaungtaung 山麓の泉を主な水源としている。取水口計画地点の約 10 km 上流には貯水容量 630,000 m³ を有する均一アースフィル式のヘホーダムが建設され、泉からの湧水を集め灌漑用の放流を行っている。なお、ヘホーダムには洪水調節機能はない。プロジェクトサイトの位置は図 2.4.1 に示す通りである。取水口は、Negya Chaung の滝直上流に位置し、北緯 20° 42′、東経 96° 51′ 地点に位置する。取水口への建設用及び運転保守用のアクセスとしては、ヘホー市街区に近い Taunzaung 村から分岐し取水口へ至る約 3.5 km の既設農道を拡幅整備することにより使用可能である。発電所サイトへのアクセスとしては、インレ湖東岸を走る Heho - Kaungdaing 道路（舗装済）から Yeype 村で西方に分岐する農道を拡幅整備することにより工事用及び運転保守用道路として転用する。

プロジェクトレイアウトとしては、1) 左岸案および 2) 右岸案のルートが考えられる。本調査においては両案に対して水文調査、地形測量、地質調査が行われ、基本設計がなされた。その結果、後述するように、地形的にも地質的にも条件が勝っている右岸案を採用することとした。但し、最終的なレイアウトは、より詳細な水文調査、地形測量、地質調査に基づき総合的に判断して決定されるべきである。

Negya Chaung の河川流量は年毎あるいは季節毎に大きく変動しており、今後の検討のためには連続的な流量観測が推奨される。また、Negya Chaung は高い水力ポテンシャルを有するが、河川水は上流域で灌漑用水に利用されており、発電用水との水配分を考慮する必要がある。従って、発電用に使用可能な取水口地点での Negya Chaung 河川流量を継続的観測することが不可欠な課題である。



Source: JICA Study Team

図 2.4.1 ヘホー小水力発電計画位置図

2.4.2 水文

1) 水文資料の収集および流量測定

今回の調査で収集した水文関連のデータは次の通りである。

- Kaungdaing Road、Yeype 橋地点における日水位データ（1998 年 8 月 4 日～2001 年 12 月 22 日）
- Heho ダムへの月流入量（1966 年 1 月～1971 年 12 月、出所：MEPE Report）
- Heho ダムへの月流入量（1996 年 1 月～2001 年 01 月、出所：Discharge Measurement and Test Pitting Report for Heho Dam）
- Heho ダムの日流入量および放流量（1997 年 1 月～2001 年 06 月、出所：Irrigation Department）
- Heho 日雨量（1999 年 1 月～2001 年 9 月、出所：Irrigation Department）
- また、調査団では以下の測定を実施した。
- 取水口地点における流量観測（2001 年 2 月 28 日、5 月 24 日～6 月 7 日、9 月 20 日、11 月 23 日）
- Yeype 橋地点における流量観測（2001 年 2 月 28 日、5 月 26、30 日、6 月 6、7、23 日、9 月 19、20 日、11 月 23 日）
- 流量観測結果を Appendix B-2 に示す。

2) 発電使用水量

発電使用水量の検討には、ある程度長期間の流量データが必要であるが、取水口近傍には流量観測の設備はなく長期に亘るデータが得られなかったため、以下の二つのデータを用いて発電使用水量の検討を行った。

- Heho ダムの日流入量
- Yeype 橋地点の流量観測結果から水位 - 流量曲線（図 2.4.2 参照）を作成し、Yeype 橋の日水位データを流量に換算

これら二地点における年平均流量をまとめると次の通りである。

		年平均流量 (m ³ /s)
Heho ダムへの流入量	1966-1971	4.25
	1996-2001	4.02
	1966-2001	4.14
Yeype 橋の換算流量	1998-2001	2.07

この表から Heho ダムと Yeype 橋の流量では約 2 倍の差異が認められるが、この原因として、Yeype 橋の流量は約 3 年分であり、この間に取水口地点上流域で実験的な作付による例外的な灌漑取水が行われたため特に 2000 年の下流河川流量が減少したこ

とが考えられる。

地形上、取水口地点～Yeype 橋間の残流域流出は少ないと考えられるため、Yeype 橋での流量を発電用流量として用いることは可能であるが、2000 年の例外的灌漑取水の影響を考慮するとともに、今後は、取水口地点において流量観測を継続して実施していく必要がある。

参考資料として取水口計画地点で流量観測から得た水位 - 流量曲線と 1999 年と 2000 年の Yeype 橋における換算流量データから作成した流況曲線を Appendix B-2 に示す。

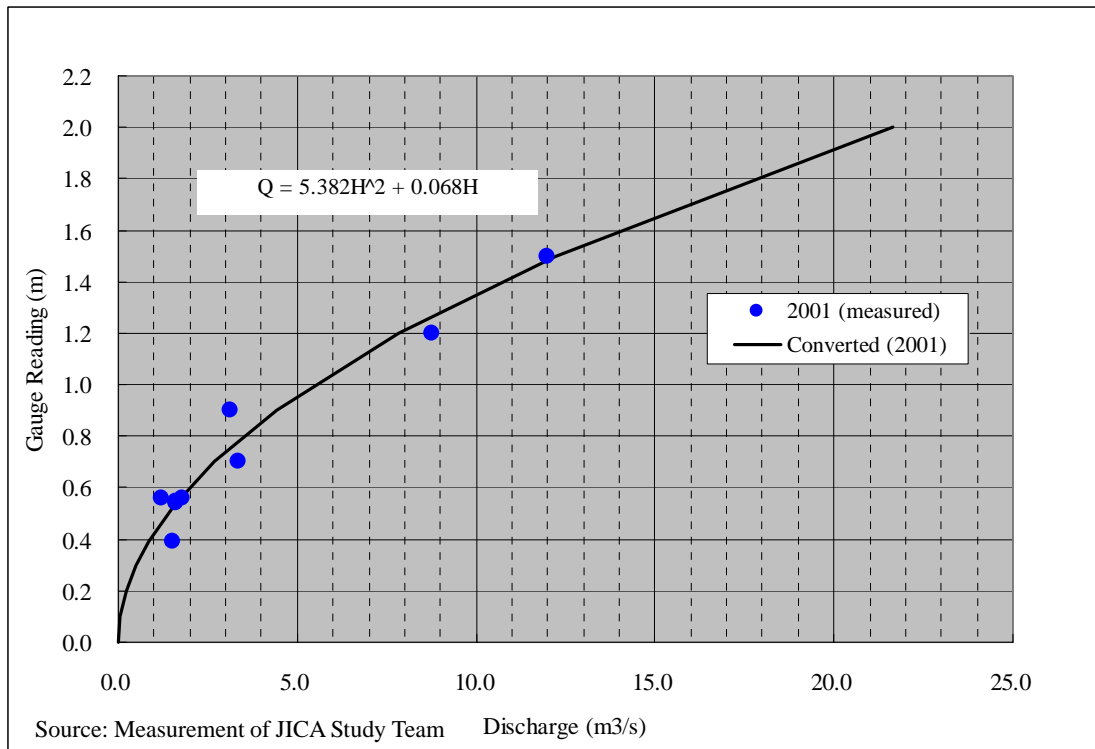


図 2.4.2 Yeype 橋地点 水位 - 流量曲線

3) Negya Chaung における湧水

へホーダムと Yeype 橋の流量を時系列に表した図を Appendix B-2 に示すが、この記録から、Negya Chang の流量が 2000 年 4、5 月に極端に少なくなっていることが分かる。この原因を調査した結果、1)この年が渇水年であった事、2)農民がジャガイモ栽培のために川を堰き止め水を転流させていたこと、3)試験的に米の二期作が実施されたことの実事が確認された。このような状況は恒常的に起こるものでなく、この年のみの特別のケースと判断できる。しかし、信頼のおける流量データを得るためには、取水口地点での継続的な流量計測が必要であるとともに、灌漑による水利用の実態を更に調査する必要があると言える。

4) 設計洪水流量

設計洪水流量について、以下の方法の比較により検討を行った。

- Method-1: 近傍雨量観測所の観測記録から 100 確率日雨量を決定し、ラショナル式により計算する方法
- Method-2: 近傍雨量観測所の既往最大日雨量から、ラショナル式により計算する方法
- Method-3: 近傍流量観測所の洪水記録より流域比換算して計算する方法
- Method-4: Creager 曲線による方法
- Method-5: 下流 Yeype 橋地点の既往最大水位を、流量観測により作成した水位 - 流量曲線により換算して流量を求める方法
- Method-6: Yeype 橋地点の水位と取水口計画地点の水位の相関から、Yeype 橋地点の既往最大水位に対応する取水口計画地点の最大水位を算出した後、この最大水位における流量を等流計算により求める方法

以上の 6 つの方法から得られた結果は、表 2.4.1 の通りであり、詳細は Appendix B-2 に示す。

表 2.4.1 設計洪水流量算出結果

	最大洪水 流量(m ³ /s)
1) 100 年確率日雨量から求める方法	491
2) 既往最大日雨量から求める方法	428
3) 近傍の洪水記録から流域換算する方法	143
4) Creager 曲線から求める方法	660
5) Yeype 橋の既往最大水位から水位 - 流量曲線により求める方法	21.7
6) 取水口地点の想定最大水位から等流計算により求める方法	28.8

Source: Estimation by JICA Study Team

以上のように、6 つの手法による計算結果は最大 660 m³/s と最小 21.7 m³/s と大きな開きがある。

この原因として次のような当地点の特殊性が考えられる。

取水時期のヘホダムへの流入と Yeype 橋地点の流出を比較すると、かなりのタイムラグがあり、洪水の緩やかな立ち上がりとは緩やかな収束の様子は、あたかも大河川のような振る舞いを示している。

取水口計画地点上流部は湿地帯が広がっているが、出水が生じるとこの上流部で川がオーバーフローし、湿地帯が調整池のような働きをして急激な水位変化を吸収し、下流部では穏やかな水位変化になると考えられる。

上記算出結果のうち上の 1)~4)の手法には、この Heho 上流部の調整池機能が反映されていないため、5)、6)の手法がより現実的な値を表していると考えられる。従って、

当地点の設計洪水流量としては、5)～6)の最大値である $29 \text{ m}^3/\text{s}$ を採用することとする。

2.4.3 地形

Negya Chaung が流下する Shwenyaung 溪谷は両岸が急傾斜の深い谷を形成している。両岸の地形測量は左岸 132.7 ha、右岸 53.6 ha の範囲を対象として 2001 年 6～7 月に実施された。左岸の 3 地点にはコンクリート製のコントロールポイントが設置されている。地形図は、水路ルート選定を主目的として、縮尺 1/2,000、等高線 2 m 間隔で作成された。今後実施される詳細設計時には、取水口、水槽、水圧鉄管および発電所の明かり構造物設計用に縮尺 1/500 程度の地形測量が必要である。

2.4.4 地質

Negya Chaung 川の集水域は古生代の岩盤と新規に形成された谷に堆積する沖積層からなっている。この地に見られる岩層のグループは、(1) シャン苦灰岩界、(2) ミンビャトゥン界および (3) ピンダヤ界である。

シャン苦灰岩界はヌワバング層群、ティンゴントウン層群、ティシピン石灰岩層群から成る。ミンビャトゥン界はナム・シン層群、ワビャ層群およびリンウェ層群から成っている

ピンダヤ界はナオン、ウンビェ、ロクピインの三層群から成る。主たる岩種は破碎石灰岩と有孔虫石灰岩、タービダイト系石灰岩、粘土質石灰岩、珪質石灰岩、レンズ状石灰岩、頁岩、泥灰岩、砂岩、葉状シルト質石灰岩などである。地塊断層運動による傾動と褶曲はかなり強く、幾つかの川の水源地帯の浸食は非常に激しい。緩やかに起伏する丘陵地帯はテラ・ロッサ赤土に覆われ、侵食は非常に強い。深く浸食された谷は所によっては両岸に 40 フィート以上の崖を作っている。平坦な地域では淡水貝を伴った暗灰色のシルト質粘土から成る湖沼堆積物が見られる。扇状地や山麓部の堆積物は大部分が岩片を含む黄褐色粘土質の土である。

Negya Chaung は黒い沖積土の土地を流れ、また灌漑水路が滝の 1 マイル上流で Negya Chaung に合流する。黒い沖積土は当然 Negya Chaung の本流に向かって傾斜している。しかし、石灰岩の丘に近いところでは往々にして沖積土は丘に向かって傾斜し、表流水は丘のふもとに形成された窪地やシンクホールに流れ込んでいる。従って、貯水池建設案は問題外となる。貯水池周辺からの漏水は大きく、これを妥当な工事費で止める事は不可能であろう。

1) 左岸案

プロジェクト地点の岩は多色の石灰岩と粘土質石灰岩、石灰質砂岩、黄褐色の泥灰岩である。これらの石灰岩の一般走向は N-S から N20 E で、ヘホー平野とシュウエニャウン川との間に一組の向斜と背斜褶曲がある。また、走向断層群とこれを切って尾根を横断する方向の断層がある。Negya Chaung 両岸の急傾斜の山腹には、また、若干の

円形および面状崩壊が認められる。

試掘縦坑 No.1 は Negya Chaung 左岸の取水口地点に位置する。深さ 2.5ft までは植物の根を含む暗褐色シルト質粘土の表土層、2.5 ft ~ 7.0 ft は黄褐色の固い粘土からなる崩積土で 6 ft ~ 7ft の位置に強く風化した石灰岩片を含んでいる。7 ft-15 ft はやや湿っているが手で掘れないほど非常に硬い赤褐色の硬質粘土である。あらゆる深さに散在する強風化石灰岩片が、粘土層の起源が崩積土であることを示している。この粘土は、水分を加えると著しく塑性を増す。

レンズ状石灰岩の露頭はこの縦坑から斜面の上の方に向かって約 50 ft の位置にある。層の走向は N20E、西に急角度で傾斜する。トンネルの坑口を開く位置は縦坑地点より北に動かす必要がある。

縦坑 No.2 は深さ僅かに 5 ft で、3.4 ft の深さに緩んだ風化岩が見出され、4 ft から 5 ft の間で基盤の石灰岩が出た。硬くて、通常の道具で手作業によって掘ることはできなかった。節理の走向は N-S、傾斜は西に 85 度であった。他の種類の節理は東傾斜 28 度である。トンネルの被りを充分取るために、取水口の入り口はもっと山側に寄せなければならない。

取水口の丘と水槽の丘の間には一個の向斜谷がある。トンネル底盤はこの谷の底よりも低く、且つ、十分な岩盤の被りを持たなければならない。この要求を満足させるためには、トンネルの路線を西に寄せて、谷と交わらないようにすべきである。

計画地域に露出するオルドビス紀の石灰岩は N-S から N20°E の一般走向を示す。層の厚さは 1 ft ないし 5 ft ある。水槽計画地点には大きな露頭がある。この露頭を走査線測量で測り、次の Priest & Hudson 式 (1976) によって岩質評価の RQD 値を算定した。

$$RQD = 100e^{-0.1 \cdot (0.1 + 1)} \dots\dots\dots(1)$$

が 6 ~ 16/m の時、次の式により RQD の妥当な数値を算定できる事がわかった。

$$RQD = -3.68 \cdot \dots + 110.4 \dots\dots\dots(2)$$

節理の傾斜角は大きく、間隔は 0.65 ft から 2 ft, その面は粗および粗 ~ 起伏または段状で、一般に乾燥または僅かに湿潤している。最大圧縮強度 (UCS) は 70 ~ 110 KPa。以上の数値から Rock Mass Rating (RMR) は 60 - 80 %、すなわちトンネルのためには良好な岩である。

岩の剪断抵抗粘着力は 250 - 350 kPa、内部摩擦角は 30 - 40 度と採ることが出来る。向斜軸付近ではロックボルトとショットクリートが必要となろう。

暫定案の水槽地点では全域に岩盤が露出している。ここでは基礎の支持力や安定に関する問題はないであろう。同様に、アンカーブロック地点の縦坑 No.3 でも基礎岩盤は地表下 5 ft にあるであろう。

水圧鉄管上流部は比較的急斜面に位置している。斜面の中腹部に直線的に続く崖が確

認でき、400m ほどの長さで斜面を横断している。崖の上の斜面と比較すると崖の下の斜面は多少緩やかである。この地形は、大規模な地滑りの跡と解釈される。崖が位置する個所の地質には、断層などの弱層が存在する可能性がある。このように形成された地滑り土塊は通常安定性を失っている。豎坑 No.3 では風化岩および節理のある床岩が見付かったと報告されているが、それらは崩土に含まれる石塊であると思われる。斜面が比較的急斜である為、豪雨や地震によって滑りが再発する可能性がある。水圧鉄管をこの崩土上に設置するのは勧められない。

水圧鉄管下流部は比較的緩斜面に埋設され、この斜面は未固結堆積物によって形成されている。ここで掘削した深さ 4.5m の豎坑 No.4 は床岩に達しなかった。上述の滑りが再発すれば、地滑り土塊がこの未固結堆積物の上部を圧迫して、この堆積物を変形させる可能性があり、水圧鉄管に悪影響を与えることとなる。従い、水圧鉄管を崖錐に設置することは勧められない。

発電所地点では試掘豎坑 No.5 を 15 ft の深さまで掘削した。深さ 8.5 ft までは表土と赤みがかったシルト質粘土で、その下 3 ft 区間は黄色、湿潤、硬質、節理の密な強風化シルト岩、更にその下は 15 ft の坑底まで中級～微弱風化の黄白色シルト岩である。岩は乾燥して比重が大きく、非常に硬くて手道具で掘ることができない。

この豎坑に近い川岸にレンズ状石灰岩と砂質石灰岩が露出している。試掘豎坑の中には水はなく、乾いたシルト岩は発電所の基礎岩盤となり得るものである。

計画された貯水池の踏査では、沖積層と貯水池周辺の岩盤露頭との境に沿って多くの窪地やシンクホールが見られた。

取水堰は測水所の上流側に位置することになるが、ここでは滝の付近よりも河床が高いので、その分だけ堰は低くすることができるのである。

取水口は測水所付近の左岸に位置するが、ここでは、表土の厚さが 10-12 ft で、その下にある多孔質の石灰華堆積物または粘土質崩積土が基礎となる。

試掘豎坑 No.1 から No.5 の柱状図は Appendix B-5 を参照されたい。

2) 右岸案

右岸の豎坑 No.1 は沖積層に位置する。豎坑には、旧地表面と思われる灰色のシルト質古固結層が 5 層見られる。このことは、侵食されて流出してきた凝灰質堆積物がこの地域に再堆積している過程で、少なくとも 5 回の堆積中断時期があったことを示唆している。灰色の層はこの堆積中断時期に形成されたと考えられる。これらの層は豎坑内で確認する限り水平である。シルト質古固結層の間の凝灰質堆積物は軟らかく、粘性はごく僅かもしくは全くないが、未固結である。人力による掘削は容易である。地表下 14ft で確認された地下水は当日の河川の水位と同レベルであると思われる。ピエゾメーターを設置することによって地下水の流れが確認できるはずであるが、山麓に位置する断層に向かって地下水が流れている可能性が高い。その為、取水施設から

トンネル坑口までの水路はコンクリート構造とし、貯水池も粘土ブランケットもしくはジオテキスタイルで覆うことが望まれる。

山麓に位置するトンネル坑口における未固結土堆積物の掘削は最小限に押さえられ、坑口は山の斜面に対して垂直に設置できる。

下流側の坑口と水槽は急斜面に設置される。滑らかな脚と斜面の急勾配は床岩が浅い深度にあることを示唆する。トンネル坑口と水槽の大部分は床岩上に建設できるであろう。掘削は最小限に押さえられる。表土層が薄い為、斜面が不安定であることを示す要素は確認されない。

水圧鉄管は調整池の下流の急斜面に設置される。斜面が不安定であることを示す要素は観察されない。床岩は浅い深度で発見されると思われ、急斜面に特筆すべき地質問題は認められない。

斜面の下部において、水圧鉄管は比較的大きな沢を横断する。この地点では土石流堆積物が確認される。このような土石流は豪雨時に再発する為、今後も発生する可能性がある。このため、このような土石流から水圧鉄管を保護する必要がある。

豎坑 No.2 はサトウキビ畑に位置する。確認された土と小石は、豎坑の地質が河川の浸食物質の堆積によって形成されていることを示している。豎坑の下部には石灰岩岩片が確認された。従い、豎坑南方に位置する小川が現在の線形になる以前にこの豎坑付近を流れていた可能性が高い。豎坑の西に位置する湧水は、小川の流下方向に線構造があることを示していると考えられ、水圧鉄管ルートを北の山脚に移動させることが望まれる。

沢の下流に認められる湧水には祭壇もうけられており、村人にとって神聖なものとなっている。この湧水は前述の土石流堆積物を伏流水として流れてきたものと思われる。水圧鉄管の埋設などのためにこの土石流堆積物を掘削する場合には、堆積物が乱され、湧水に悪影響が出ることが懸念される。地元住民対策上何らかの配慮が必要と考えられる。

豎坑 No.3 は Negya Chaung に流入する小川の左岸に位置する。豎坑底部において床岩は確認できなかったが、豎坑は地表下 10ft しか掘削されておらず、発電所の基礎はさらに深いことから、床岩は確認できると考えられる。発電所位置を西方に 20m 程移動すれば、より確実に安定した岩盤の上に建設できるはずであるが、その場合、斜面の安定を確認する必要がある。それは斜面上に観察される屈曲した樹が、斜面表土のクリープを示しているからである。斜面掘削後、ロックボルト等による斜面安定対策を講じる必要がある。

試掘豎坑 No.1 から No.3 の柱状図は Appendix B-5 を参照されたい。

2.4.5 左岸案と右岸案の比較検討

地形測量は左岸 (132.7 ha)・右岸 (53.6 ha) 共に実施され、作成された 1/2,000 の地

形図（等高線間隔 2m）をもとに両案の基本設計が行われた。両案について作成された図面は本レポートに添付されている。各案の諸元は次表のとおりである。

	左岸案	右岸案
暗渠長 (m)	35.79	38.28
トンネル長 (m)	944.77	1,218.48
水圧鉄管長 (m)	766.43	771.46
取水口満水位 (m)	1,134.00	1,134.00
水槽満水位 (m)	1,132.75	1,132.62
発電所地盤標高 (m)	918.00	906.00
水車中心 (m)	917.13	905.05
放水位 (m)	915.53	902.95
洪水位 (m)	914.00	901.00
総落差 (m)	218.47	228.95
損失水頭 (m)	5.43	5.07
有効落差 (m)	213.04	223.88
設備容量 (MW)	8.0	8.0
設計流量 (m ³ /s)	4.5	4.3

へホーダムへの平均流量程度を最大使用流量量とすると約 8MW の発電が可能である。この条件の下で、左右両岸の比較設計を行った。

右岸案のトンネル長が左岸案と比較して 270m 程長いが、同じに右岸案のほうが高落差を確保できる。その他、水理・構造設計面において両案に著しい差異はない。しかし、左岸案は、水圧鉄管斜面に大規模な地滑り層が存在するのに対し、右岸案ではそのような斜面の安定性に係る不安定要素は確認されない。

以上から、本調査では、右岸案を採用することとした。

2.4.6 発電基本計画

本調査で左岸案と右岸案ともに発電基本計画を構築したが、本レポートでは、採用に至った右岸案に関してのみ記述することとする。

1) 発電出力

電力施設は、Kalaw – Taunggyi 間を走る中央電力系統の 66 kV 送電線への接続も視野において検討した。従って、発電所設備容量の検討においては電化対象地域への給電だけでなく、中央電力系統への余剰電力売電を考慮した。

右岸案の総落差は地形条件から 228.95 m となる。有効落差は 223.88 m であり、損失水頭の詳細計算は Appendix B-3 に添付される。

最大使用流量は、本調査においては以下の考察から 4.3 m³/s とした。

- a) 雨季における Negya Chaung の水力ポテンシャルを最大限に活かすために 1966 年～1971 年及び 1996 年～2001 年までのへホーダム地点での平均流量である 4.1 m³/s より若干大きめの流量とし、4MW x 2 台の水車・発電機を設置する。

- b) 流量が低下する乾季においても電化対象地域の電力需要である 3.2 ~ 4.1 MW を河道貯留による 1 台運転で賄う。
- c) 流量の変動性が高い河川の流量を有効に利用するため、渇水流量 ~ 平均流量程度の範囲の流量を使用する。

水車・発電機の発電効率は、以下に示す 5 ~ 10 MW クラスの標準的な値である 0.85 を用いた。

水車効率	0.89
発電機効率	0.96
総合効率	$0.89 \times 0.96 = 0.85$

設備容量は次のようになる。

$$P = 9.8 \times 213.04 \times 4.5 \times 0.85 = 8,000 \text{ kW (4,000 kW} \times 2 \text{ 台)}$$

2) 発電出力

発生電力量の計算は、1) 流れ込み式発電の場合および 2) 河道貯留の場合（乾季）の 2 ケースについて行った。計算結果を Appendix B-4 に示す。

i) 流れ込み式運転

流れ込み式運転の場合の設定条件と計算結果は以下の通りである。また、Case-1 の計算結果を図 2.4.3 に示す。

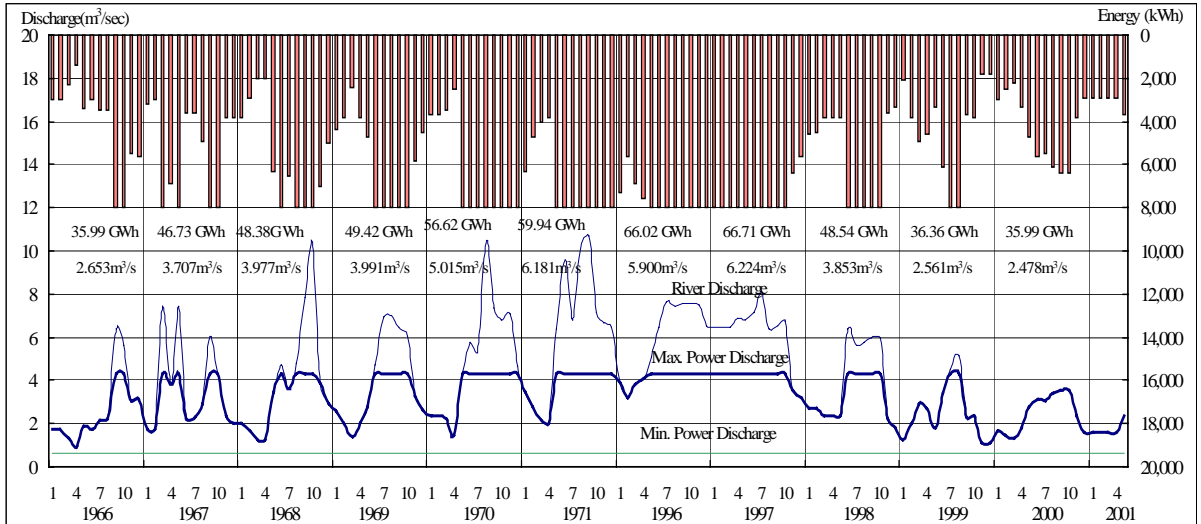
Case-1

流量データ	ヘホーダム付近の実測月平均流量(約11.5年間) 1966年1月から1971年12月及び1996年1月から2001年
平均出力	5,712 kW
年間発生電力量	47.6 GWh
設備利用率	67.8%

Case-2

流量データ	下流Yeype村での日流量(約3年間) 1998年8月から2001年9月
平均出力	3,137 kW
年間発生電力量	26.3 GWh
設備利用率	37.3%

Notes : Max. turbine discharge : 4.3 m³/s for 2 units
Min. turbine discharge : 0.645m³/s for 1 unit (2.15 x 30°)



Source: Calculation by JICA Study Team

図 2.4.3 発生電力量の計算 (Case-1)

以下に、流れ込み式運転時の設定条件と計算結果についての留意事項を記す。

- a) 取水口地点での発電使用可能流量については、今後更に精度を高めるために数年に亘る流量観測を実施する必要がある。
- b) 上記 Case - 1 についてはヘホーダム～取水口地点間の灌漑用水取水および Negya Chaung 支川合流流量については考慮していない。
- c) 2000 年には、ヘホー平野における実験的な作付け実施に伴う例外的な灌漑取水により、灌漑地区下流の河川流量が極端に低下し枯渇に近い状況となったことが報告されている。

ii) 河道貯留による日調整運転

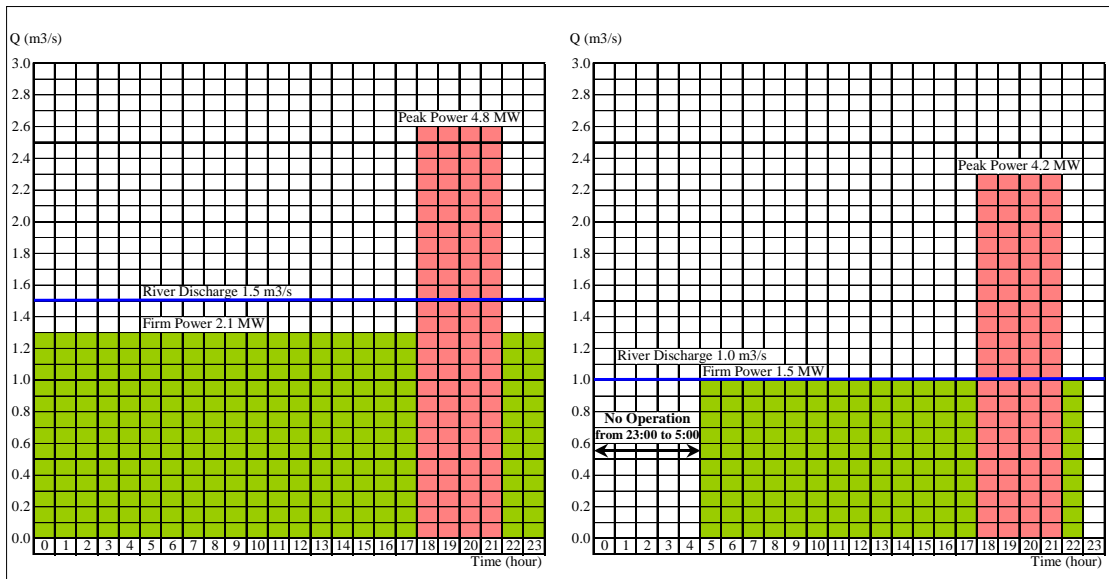
河川流量が低下する乾季においても電化対象地域のピーク電力需要を賄うために、河道貯留によるピーク発電を以下の条件の下で検討した。

- a) 河道貯留運転は洪水が発生しない 11 月～4 月にかけての乾季に実施するものとする。
- b) 取水堰に高さ 2.5 m のゲートを設置することにより、河川流量の調節を行う。河道貯留量は平均河川勾配 1/500、平均河川幅 12 m として約 18,800 m³ とした。

検討結果は以下に示す通りである。

River Flow (m3/s)	Firm Power			Peak Power		
	Q _{firm} (m3/s)	Output (kW)	Duration	Q _{peak} (m3/s)	Output (kW)	Duration
1.5	1.28	2,100	22:00 ~ 18:00	2.59	4,800	18:00 ~ 22:00
1.2	0.98	1,500	22:00 ~ 18:00	2.29	4,200	18:00 ~ 22:00
1.0	1.00	1,500	5:00 ~ 18:00	2.31	4,000	18:00 ~ 22:00

上記計算より、乾季において河川流量が $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度の場合でも、出力 4.0 MW の4時間ピーク運転と出力 1.5 MW のベース運転は可能と考えられる。河道貯留による日調整運転の発電パターンを図 2.4.4 に、計算結果を Appendix B-4 に示す。



Source: JICA Study Team

図 2.4.4 河道貯留による日調整運転の発電パターン

2.4.7 土木構造物の基本設計

1) レイアウト

主要土木構造物は、取水口、沈砂池、導水路トンネル、水槽、水圧鉄管、発電所および放水路である。Shwenyaung 渓谷はその両岸が急傾斜の深い谷を形成しており、開水路を採用した場合、大規模掘削が必要となり現実的ではない。地形・地質条件から、トンネル式導水路が妥当と判断された。

プロジェクトレイアウトとしては、以下の2案を検討した。

a) A 案：左岸案

総落差	:	218 m
導水路トンネル長	:	945 m
水圧鉄管長	:	766 m

b) B 案：右岸案

総落差	:	229 m
導水路トンネル長	:	1,218 m
水圧鉄管長	:	771 m

各案の平面・縦断は添付図面に示す通りであるが、2.4.5 節で記述された通り、本調査では上記のうち右岸案が採用された。その為、両案について基本設計は行われたが、本レポートでは右岸案に対する基本設計のみを紹介するに留めることとする。

2) 取水口

取水口は滝始点の直上流に位置する。取水口構造物は、取水堰、取水堰に隣接する土砂吐、流入口、沈砂池及び排砂ゲート、余水吐、放水口からなる。構造物の諸元は以下の通りである。

可動堰	固定堰 3.0 m 高 x 10.0 m 幅 固定堰堰頂標高 EL. 1,134.00 m ゲート 2.0m 高 x 5.0m 幅 x 2 門 満水位 EL. 1,134.00 m (ゲート開放時) EL. 1,135.50 m (ゲート閉鎖時) 洪水位 EL. 1,137.00 m (設計洪水量 28m ³ /s)
土砂吐ゲート	2.0 m 高 x 2.0 m 幅 (取水口前面の堆積土砂吐) ゲートシル標高 EL. 1,132.30 m
流入口	4.0 m 幅 x 1.7 m 水深、流速 0.63 m/s スキマー壁、スクリーン、2.0 m 高 x 2.0 m 取水ゲート付き
沈砂池	矩形断面 6.0 m 幅 x 22.5 m 長 設計流量時水深 2.5 m、流速 0.21 m/s 横越流余水吐 14.5 m 長、越流頂標高 EL. 1,133.90 m
暗渠	矩形断面 2.0 m 高 x 2.0 m 幅 x 34.5 m 長 設計流量時水深 1.45 m、流速 1.48 m/s

3) 導水路トンネル

導水路は幌型断面を有する無圧トンネルである。トンネルライニングを基本的に適用する設計とするが、岩盤が良好な場合は吹付けコンクリートとすることも可能である。トンネルルートは Negya Chaung から約 170 m 離れてほぼ並行に走る沢を迂回するルートを辿るが、トンネルの被りは最低 20 m は確保するものとした。導水路トンネルの諸元は次の通りである。

トンネル	コンクリートライニング 幌型断面 内径 2.0 m 高 x 2.0 m 幅 x 1,218 m 長 勾配 1/1,000 等流水深 1.58m (設計流量 4.3 m ³ /s、粗度係数 0.016)
------	--

4) 水槽

水槽は導水路トンネルと水圧鉄管の接続部に負荷変動を調節するために約 1 分間の流量を供給できるよう 272 m³ の容量で設計された。また、水槽は最終的な土砂沈殿・除去する機能を持つ。水槽位置は水圧鉄管が最適なルートを辿るよう、尾根上の安定した基礎とする地点が選定された。急負荷遮断時の水槽の水位上昇はペルトン水車のデレクターの操作によって避けられる為、水槽の余水路を省略する設計とした。

5) 水圧鉄管

水圧鉄管径は実際の適用例の範囲から直径 1,500 mm とした。水圧鉄管は 1 条の径 1,500 mm、長さ 771 m の鉄管が水槽から伸び、発電所直上流で 2 条の径 700 mm、長さ 12 m の鉄管に分岐し、それぞれの水車に接続する。水圧鉄管の上流 396 m 区間は露出管であり、屈曲部ではアンカーブロックにより、また 6 m 間隔のサドルピアにより支えられる。水圧鉄幹路が急斜面から緩斜面へ遷移する地点で枯沢に合流し、さらに、緩斜面左岸部は斜面を形成している。これら地形条件より、想定される豪雨時の土石流や地滑りによる被害を避ける為、下流緩斜面部の 375 m 区間は埋設式とした。

6) 発電所

発電所は、Negya Chaung 滝の下流端部付近の安定な基礎地盤上に計画され、発電所地盤標高は EL. 906.00 m とした。発電所付近の Negya Chaung 洪水位は 2001 年 8 月 13 日の洪水痕跡から EL. 901.0 m 付近と推定され、放水位はこれに余裕を見て EL. 902.95 m と設定した。

発電所は設備容量 4.0 MW x 2 台の発電機器を設置するようなレイアウトとした。また、発電所に隣接する屋外開閉所は 2 台の変圧器 (5MVA-33/11 kV) と開閉機器 (33 kV x 1、11 kV x 4) を収容する。

放水路は幅 2.0 m x 高さ約 2.0 m x 長さ 28 m の矩形断面を有する鉄筋コンクリート製開水路として水車からの放流水を Negya Chaung に還流するよう設計された。

2.4.8 鋼構造設備

1) 可動堰ゲート

固定堰の上部に乾季の河道内貯留を目的とした 2.0 m 高 x 5.0 m 幅のゲートを 2 門設置する。

2) 取水口スクリーン

取水口スクリーンは流木・ゴミ等が沈砂池に流入することを防ぐために、取水口開口部 4.0 m 幅 x 5.7 m 高をカバーするように設置される。

3) 取水口ゲート

2.0 m 高 x 2.0 m 幅の取水口ゲートは、発電取水制御と取水口・沈砂池等の維持管理のために設置される。

4) 土砂吐ゲート

2.0 m 幅 x 3.0 m 高の土砂吐ゲートは取水堰の左側に隣接して設置され、取水堰上流に堆積した土砂の排出および浮遊物を堰から越流させる機能を有する。土砂吐ゲートは手動操作とする。

5) 沈砂池排砂ゲート

1.0 m 高 x 1.0 m 幅の沈砂池排砂ゲートは沈砂池末端下部に設置され、維持管理のため

沈砂池に堆積した土砂を定期的に排出する機能を有する。沈砂池排砂ゲートは手動操作とする。

6) 水槽スクリーン

水槽スクリーンは水車に有害となるような物質が水圧鉄管流入することを防止するため、水圧鉄管流入部に設置される。スクリーンは幅 6.0 m x 斜高約 3.7 m で勾配 1:0.3 として設計されている。

7) 水槽排砂ゲート

水槽排砂ゲートは 0.8 m 高 x 0.8 m 幅で水槽末端下部に設置され、維持管理のため水槽に堆積した土砂を定期的に排出する機能を有する。排砂ゲートは手動操作とする。鋼構造設備の設計データは表 2.4.2 に要約される。

表 2.4.2 鋼構造設備の主要設計データ

Items	Major Design Data
1)Penstock	Dia. : ϕ 1,500mm (Main pipe) to ϕ 700mm (Branched pipe) Length :Approx. 777m Max. Static Head: 216.72m Water Hammer:30% of Max. Static Head(Assumed)
2)Movable weir gates with hoist	Quantity: 2 sets Width: 5m Height:2m
3)Trashrack at intake	Quantity: 1set Width: 4m Slant Height: Approx. 5.9m (1:0.25)
4)Intake gate	Quantity: 1set Width:2m Height:2m Design Head : Approx. 4.7m
5)Scouring sluice gate	Quantity: 1set Width:2m Height:3m Design Head : Approx. 3m
6)Sand flushing gate at de-silting basin	Quantity: 1set Width:1m Height:1m Design Head : Approx. 7.4m
7)Trashrack at head tank	Quantity: 1set Width: 6m Slant Height: Approx. 3.70m (1:0.3)
8)Sand flush gate at head tank	Quantity: 1set Width: 0.8m Height:0.8m Design Head : Approx. 4m

Source: Proposal of JICA Study Team

Description		Q'ty
iii)	Insulator and Fitting Pin type insulator, 33 kV use Suspension insulator set, 33 kV use Pin type insulator, 11 kV use Suspension insulator set, 11 kV use Pin insulator, L.T. use Shackle insulator, L.T. use	8,000 2,700 18,700 6,400 52,000 8,000
iv)	Other Materials	1 lot

表 2.4.5 変電所設備

Description		Q'ty
i)	4,500 KVA Substation - 4,500 KVA Transformer – 1 Rated voltage : 33/11 kV - 33 kV Switchgear, 1 cct - 11 kV Switchgear, 4 ccts	2 station
ii)	1000 KVA Substation - 1000 KVA Transformer – 1 Rated voltage : 33/11 kV - 33 kV Switchgear, 1 cct - 11 kV Switchgear, 4 ccts	2 station

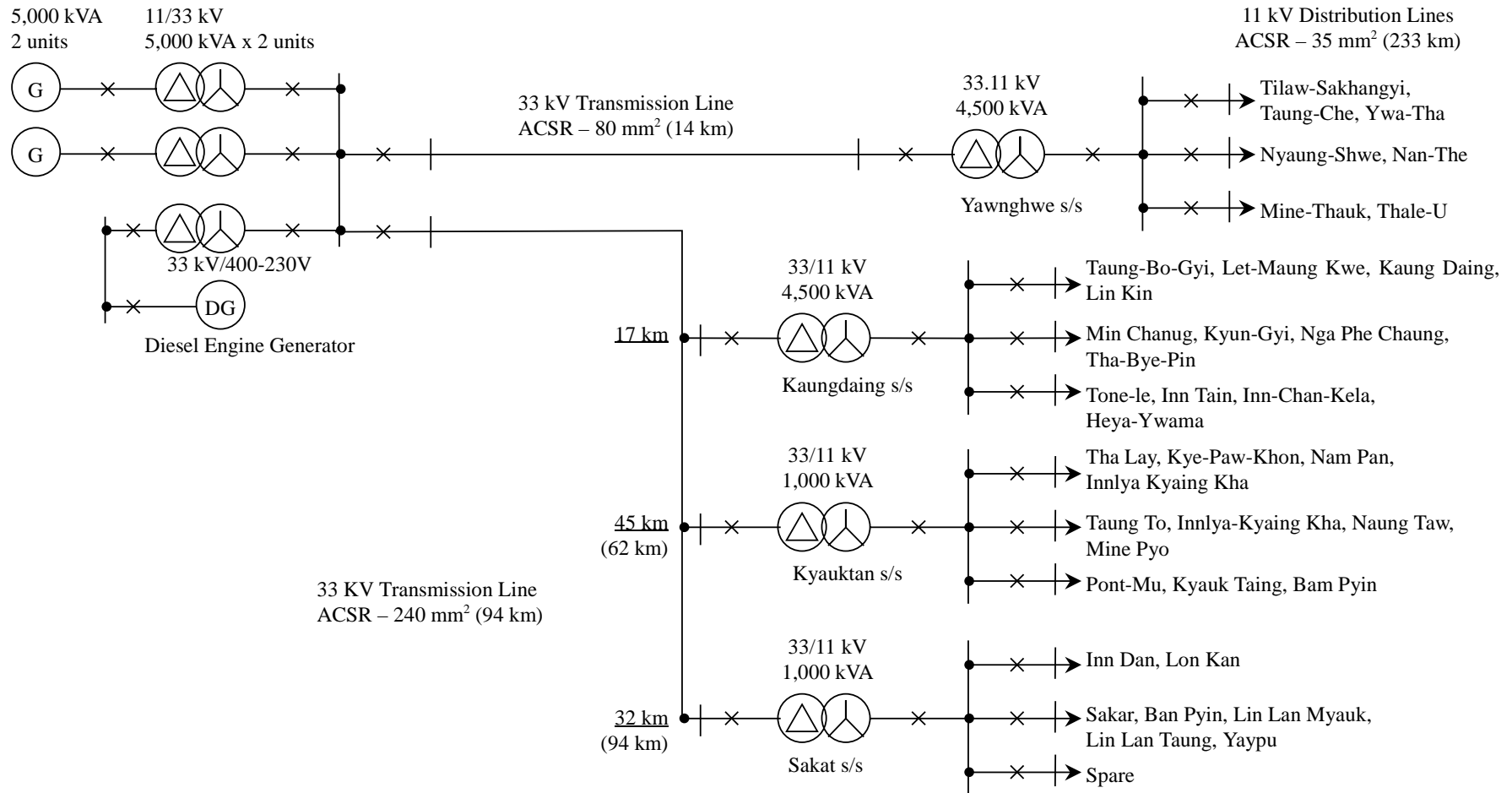
表 2.4.6 配電用変圧設備

Description		Q'ty
i)	Distribution Transformer Capacity : 50 kVA~250 kVA Rated voltage : 11 kV/400-230 V	40 Nos
ii)	11 kV Switchgear 1 cct	40 Nos
iii)	Distribution Box Rated Voltage : 600 V MCCB, Main : 1 Nos NFB : 4 Nos	

Source (表 2.4.3~2.4.6): Proposal of JICA Study Team

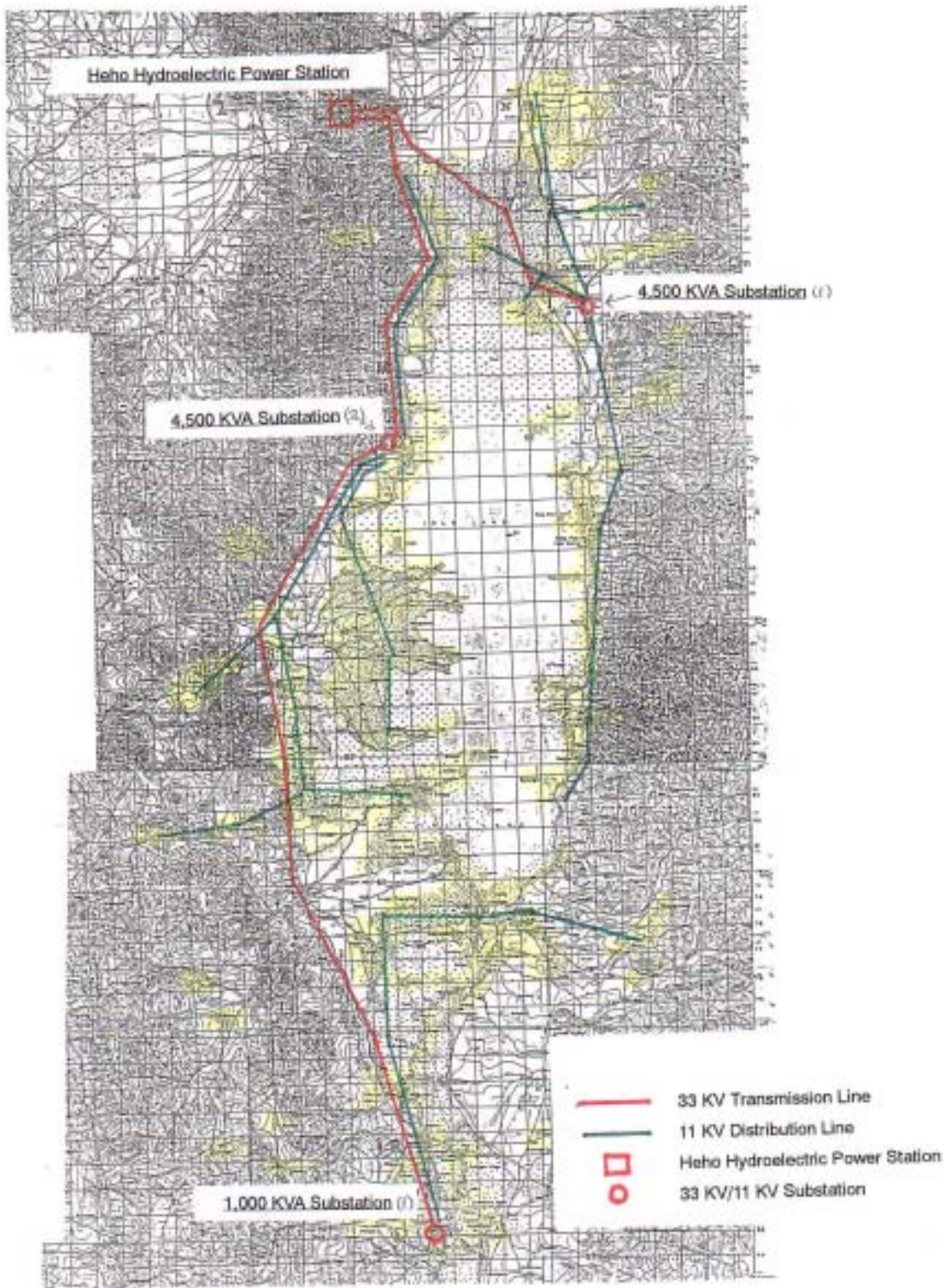
需要家への引込線 1 式

屋外照明設備 1 式



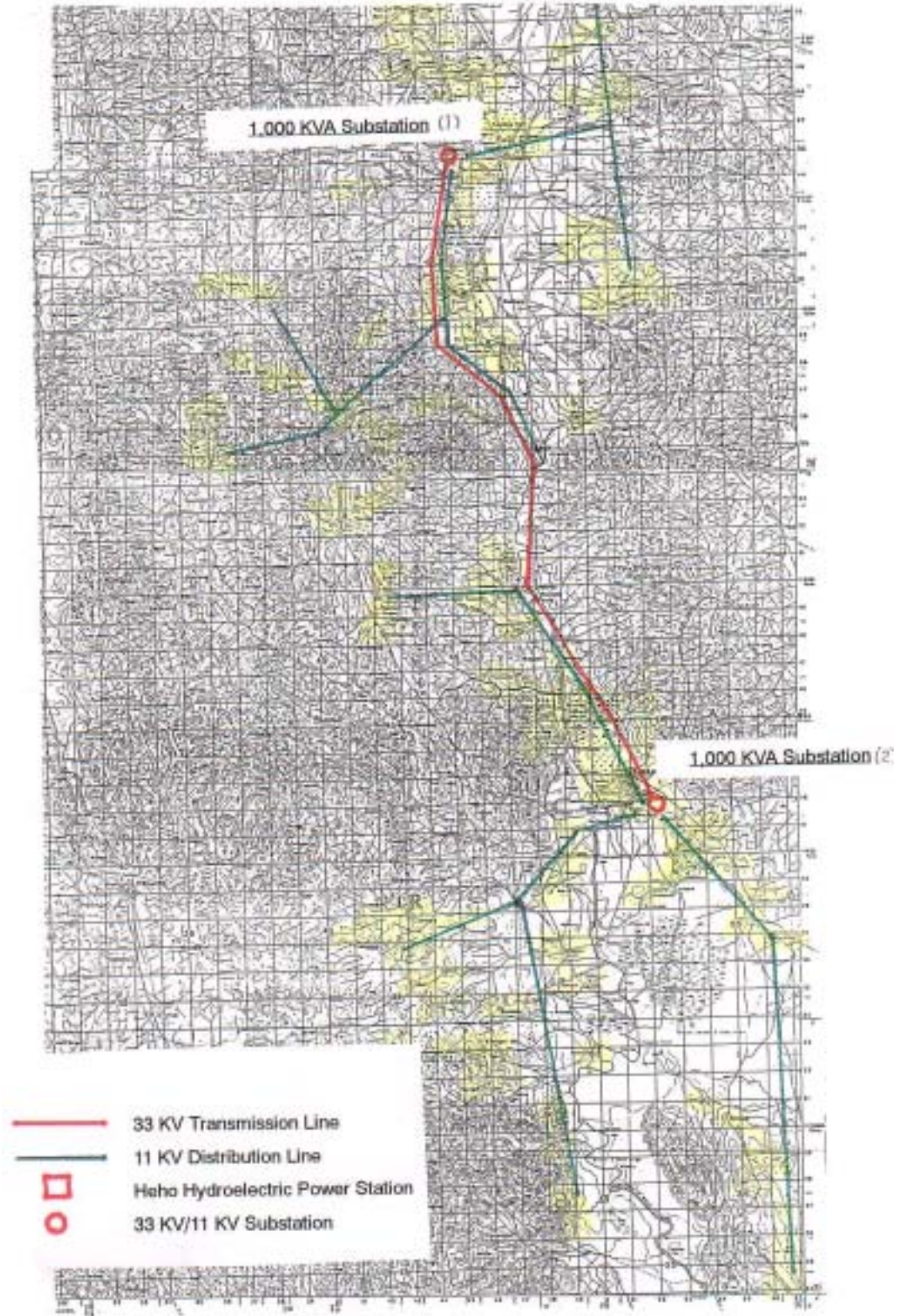
Source: JICA Study Team

図 2.4.5 配電システム概要図



Source: JICA Study Team

図 2.4.6 ヘホー発電所と 33/11 kV 変電所間の 33 kV 配電線ルートマップ (1/2)



Source: JICA Study Team

図 2.4.7 ヘホー発電所と 33/11 kV 変電所間の 33 kV 配電線ルートマップ (2/2)

表 2.4.7 設備および資機材調達案

	Q'ty			
		Myanmar	Japan	Other
1. Heho Power Station				
i) Turbine	2 units	-	○	-
ii) Generator	2 units	-	○	-
iii) Governor Cabinet	2	-	○	-
iv) Generator Control Panel	2	-	○	-
v) Main Valve	2	-	○	-
vi) 11 kV Switchgear Cubicle	4	-	○	-
vii) House Service Cubicle	1	-	○	-
viii) Diesel Engine Generator Set	1	○	-	-
ix) Diesel Engine Control Panel	1 nit	○	-	-
x) Control Panel	5	-	○	-
xi) 5 MVA Transformer 33/11 kV	2 units	○	-	-
xii) 33 kV Switchgear	1 lot	○	-	-
2. 33 kV, 11 kV and L.T. Lines				
i) Conductor, ACSR, 240 mm ²	280 km	○	-	-
ACSR, 80 mm ²	86	○	-	-
ACSR, 38 mm ²	700	○	-	-
HDCC, 22 mm ²	1,160	○	-	-
HDCC, 8 mm ²	390	○	-	-
ii) Concrete Pole, 33 kV use	2,500 Nos	○	-	-
11 kV use	5,900	○	-	-
400 V use	12,960	○	-	-
iii) Insulator, 33 kV Pin Insulator	8,000	○	-	-
33 kV Suspension Insulator	2,700 set	○	-	-
11 kV Pin Insulator	18,700	○	-	-
11 kV Suspension Insulator	6,400 set	○	-	-
L.T. Pin Insulator	52,000	○	-	-
L.T. Shackle Insulator	8,000	○	-	-
iv) Other Materials	1 lot	○	-	-
3. Substation				
i) 4,500 KVA Substation	2 units	○	-	-
4,500 KVA Transformer 33/11kV		○	-	-
33 kV Switchgear (1 ccA)		○	-	-
11 kV Switchgear (4 ccAs)		○	-	-
ii) 1,000 KVA Substation	2 units	○	-	-
1,000 KVA Transformer 33/11kV		○	-	-
33 kV Switchgear (1 ccA)		○	-	-
11 kV Switchgear (4 ccAs)		○	-	-
4. Distribution Transformer Station				
i) 50~250 KVA Transformer 11 kV/400V	40 units	○	-	-
ii) 11 kV Switchgear (1 cct)	40	○	-	-
iii) 400 V Switchgear	40 sets	○	-	-
5. Consumer Connection Cable	1 lot	○	-	-
6. Lighting Fixture	1 lot	○	-	-

Source: JICA Study Team

4) 水車形式の選定

落差 223.88m、設計流量 4.3m³/s の水力発電計画には 2 種類の水車が考えられる。ひとつは横軸ペルトン水車、もう一つはターゴインパルス水車である。それぞれの公証値と基本寸法は下記のとおりである。

a) ペルトン水車

	Description	Alternative Design A	Alternative Design B
i)	Rated features of turbine		
	• Effective head	224 m	224 m
	• Max. turbine discharge	4.3 m ³ /s	4.3 m ³ /s
	• Max. output	8,100 kW	8,100 kW
	• Revolution speed	500 min ⁻¹	428.5 min ⁻¹
	• Specific speed Ns	26.0 m-kW	22.3 m-kW
	• Type	HP 1R2Nx2	HP 1R2Nx2
ii)	Basic dimensions		
	• Runner diameter (pitch circle)	1100 mmφ	1300 mmφ
	• Max. diameter of one jet	147 mmφ	147 mmφ
	• Diameter of shaft	300 mmφ	320 mmφ

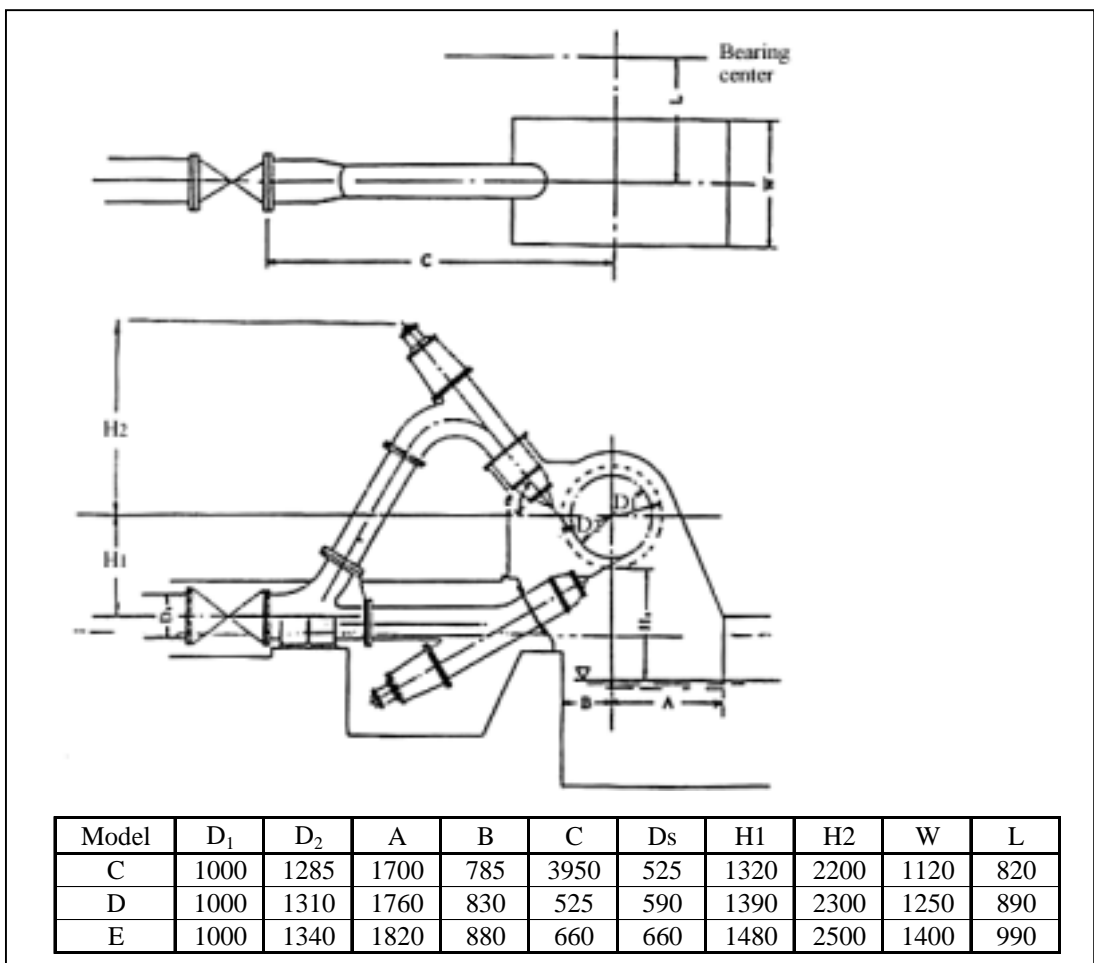


図 2.4.8 ペルトン水車の基本寸法

b) ターゴインパルス水車

	Description	Features
i)	Rated features of turbine	
	• Effective head	224 m
	• Max. turbine discharge	4.3 m ³ /s
	• Max. output	8,000 kW
	• Revolution speed	750 min ⁻¹
	• Specific speed Ns	55 m-kW
	• Type	HT 1R2N
ii)	Basic dimensions	
	• Runner diameter (pitch circle)	860 mmφ (outer diameter 1300 mm)
	• Max. diameter of one jet	210 mmφ
	• Diameter of shaft	400 mmφ

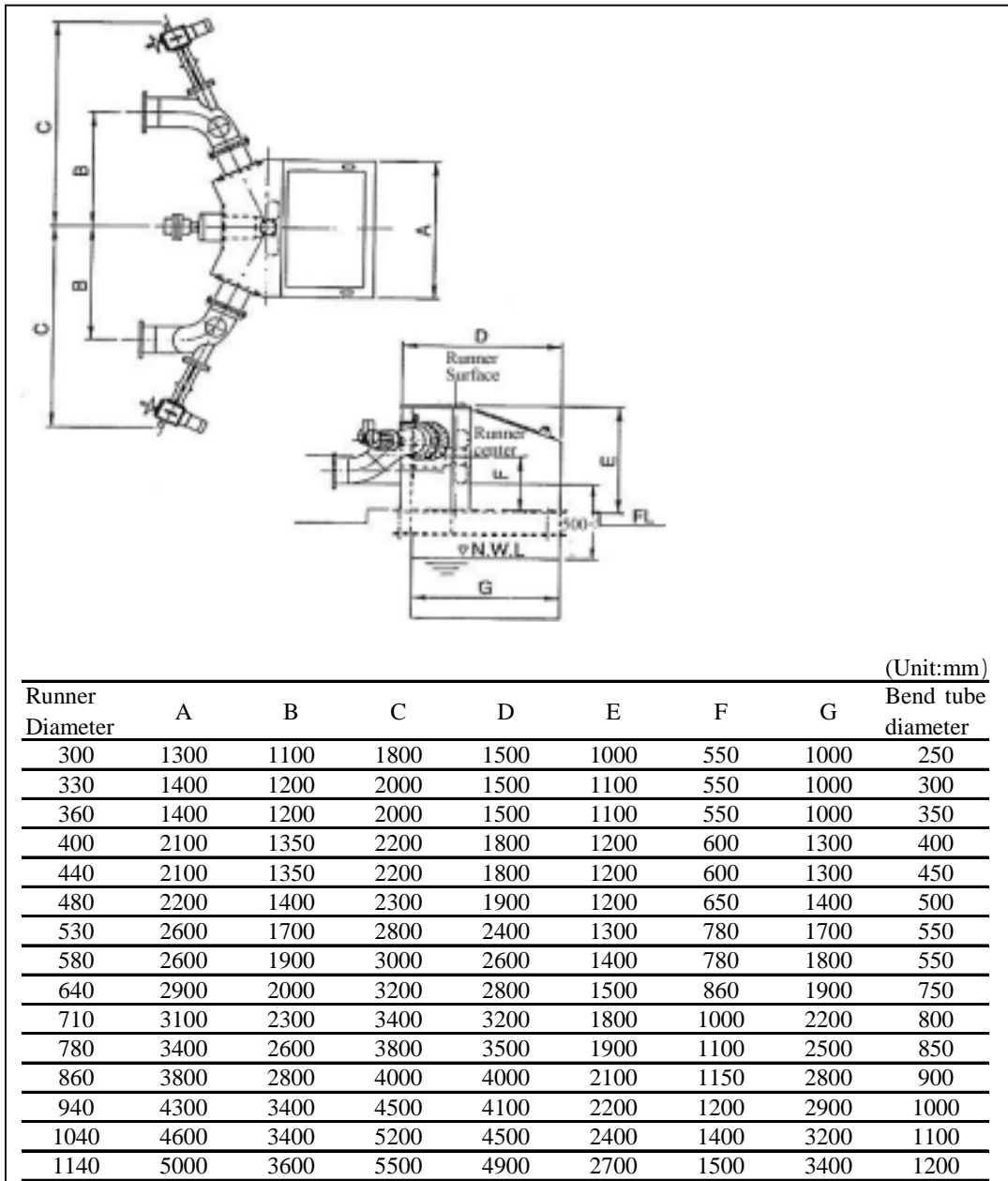


図 2.4.9 ターゴインパルス水車の基本寸法

ペルトン水車とターゴインパルス水車の比較から、ターゴインパルス水車の以下の優位性が認められる。

- 構造が簡易
- 回転速度が 750 min^{-1} で、一般的に製造されている8極の発電機と直結できるので、電気機器の価格が安価になる。

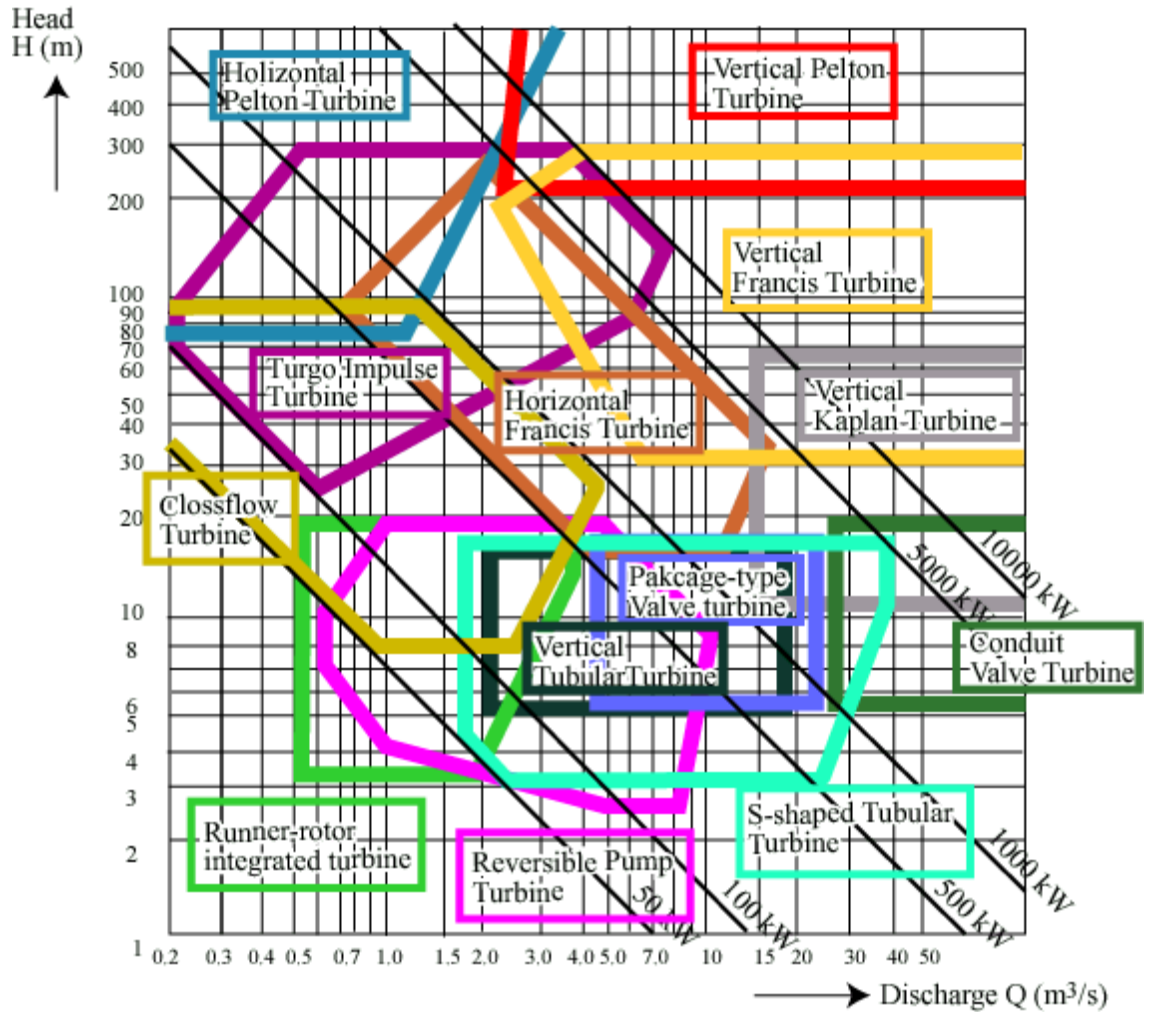


図 2.4.10 水車適用範囲

2.4.10 積算

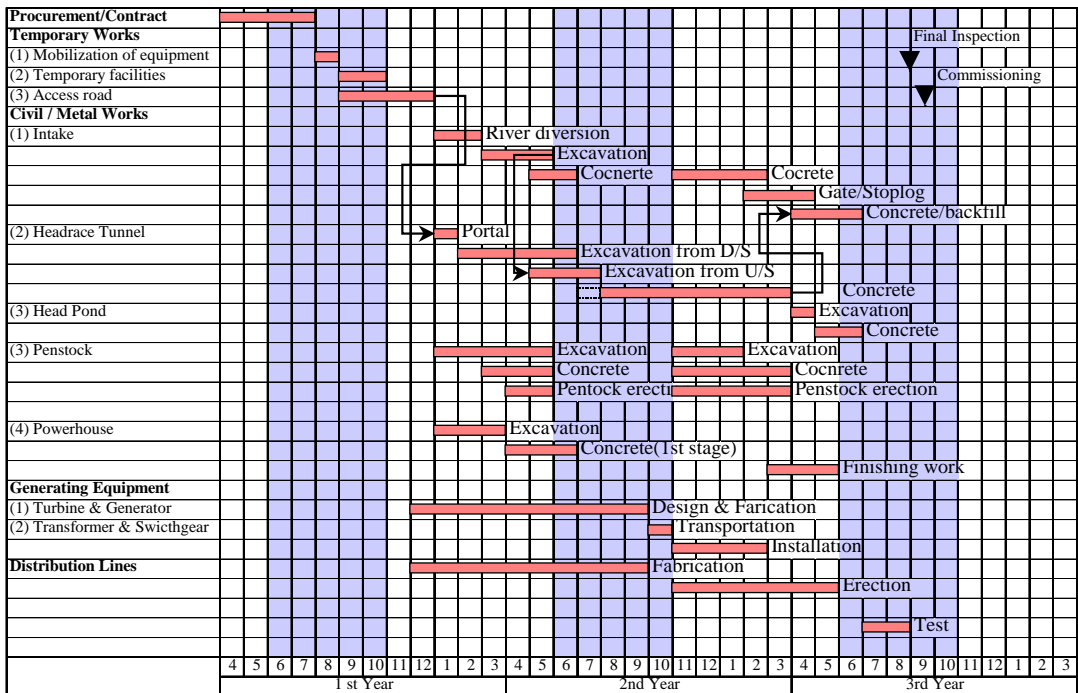
ヘホー小水力開発計画の概略建設コストは、土木工事はミャンマー国の地元建設業者が請負い、水車・発電機のみ本邦にて調達する条件の下、総額約 US\$20,300,000 と見積もられた。

プロジェクトを二つのフェーズに分割し、水車・発電機 1 台 (4MW) でインレ湖北部地域のみ配電する計画をフェーズ 1 とした。上記同様の条件の下、フェーズ 1 の概略建設コストは下記に示す通り、約 US\$9,082,000 と見積もられた。

Item	Amount (US\$)
Civil Works	4,671,000
Steel Penstock	430,000
Gate and Trashracks	20,000
Turbine and Generator	2,000,000
Transformer and Switchgears	495,000
Distribution Lines	1,466,000
Phase 1 Total	9,082,000

2.4.11 建設スケジュール

ヘホー小水力開発計画の建設スケジュールは基本設計に基づき、概略以下のように見積もられた。



Source: Estimation of JICA Study Team

図 2.4.11 概略工程表

2.4.12 今後の調査

へホー小水力の実施に向けて、今後以下の調査を実施することが必要である。

項目	調査・検討
流量観測	ネギヤチャンの取水口予定地点における継続的な流量観測
地形測量	詳細設計のため取水口、ヘッドタンク、ペンストック、発電所付近における1/500縮尺の地形測量

2.5 経済、財務および環境

2.5.1 経済

へホー小水力計画では 24 時間給電が期待できる。したがって、電力の経済便益は電灯からの便益以上となる。すなわち、家内手工業の動力源や料理用熱源としての便益が含まれる。

実際、インレ湖近くのある村落(Theley village)では、月間使用量が中央電力系統からの受電ではあるが平均 100 kWh にも達している。これは、料理用電力や鍛冶屋、金細工等の家内手工業用電力需要を含むためであり、電灯需要はずっと小さくなる。調査によればこの地域では料理用熱源、特に電気炊飯器への需要が大きい。この地域では薪炭の費用が平均家庭で月約 2 ドル(900Kyats)であるから、電力の料理用熱源としての便益は約 2 ドルと考えられる。

村落調査では家内工業電力総量は 23,552 軒をカバーする電化対象地域全体で 578 kW (0.025kW/hh) と見積もられている。午前 8 時から午後 4 時までの総使用量は $578\text{kW} \times 8\text{hr} = 4.6\text{MWh/day}$ となる。産業用動力はディーゼルエンジンの機械的エネルギーを直接利用しているので、電気によって代替される実際のパワーはわずかに小さくなる。モータ効率を 86% (15HP の標準モータ)とすると対象地域での産業に必要な電力消費量は $4.6 \times 0.86 = 4.0\text{MWh/day}$ となる。ディーゼル発電からこの量の電気を供給するためには、 $400\text{ガロン/day} = 4\text{MWh}/10$ (ミャンマーでのディーゼル発電効率は約 20%または 10kWh/ガロン)となる。月間コストは $400\text{ガロン} \times \$1/\text{ガロン} \times 30\text{day 間} = \$12,000/\text{月}$ になる($\$0.5/\text{month/hh}$)。

経済便益は電灯 ($\$1-\$2/\text{month/hh}$)、料理 ($\$2/\text{month/hh}$) および家内工業($\$0.5/\text{month/hh}$) を合わせ平均で $\$3.50-\$4.50/\text{month/hh}$ となる。

この推定では、昼間電力需要に比してへホー小水力計画の昼間電力容量にはまだ余裕があり、さらに 2 - 3 倍の産業用電力需要を供給できる。この場合、さらに $\$0.5$ から $\$1.0$ の経済便益の追加が見込まれ、全体として $\$4.00$ から $\$5.50/\text{month/hh}$ の経済便益となる。表 2.5.1 は財務・経済分析の計算を示している。へホー小水力計画では約 2 千万ドルの初期投資と 50 年間のプロジェクトライフを考慮すると経済内部収益率 (EIRR) は経済便益を $\$5.00/\text{month/hh}$ とすると 5.99%と計算される。

2.5.2 財務

財務便益は電力に対し実際に支払われる料金によって決められる。すなわち、これは電力料金と電力使用量の問題である。需要予測では家庭の夜間電力量は一軒あたりの平均として最大 $4,050\text{ kW}/23,552\text{hh} = 172\text{ W}$ である。夜間消費量は午後 6 時から 10 時までとして $4\text{ hours} \times 172\text{ watt} = 0.7\text{ kWh/day/hh}$ または 20 kWh/month/hh となる。家庭の昼間需要はこの約 1/5 と推定されるから家庭の需要は平均で $0.7 + 0.7/5 = 0.84$

kWh/day/hh または 25 kWh/month/hh と計算される。MEPE 電力料金を用いると毎月 K25 (固定費) + 25 x K2.5/kWh (エネルギー費) = K88 または約 0.18/month/hh となる。

昼間の家内工業需要は約 160 軒全体で 4.6 MWh/day と見込まれている。一軒平均一日 28.75 kWh または月平均 861kWh である。現在の MEPE 電力料金では家内工業一軒あたり平均で K2.5 (<50 kWh) x 50 kWh + K10 (<200 kWh) x 150 kWh + K25 (>201 kWh) x 661=18,150 Kyats または、\$36.3/month/hh と計算される。全 160 軒では月あたり、160 x \$36.3 = \$5,808 となる。家庭一軒あたりの平均に直すと 5808 / 23552 = \$0.25/month/hh である。一般家庭需要と合わせると 0.18 + 0.25 = \$0.43/month/hh になる。これは経済便益の約 1/10 のレベルである。全消費量は 0.84 kWh/day/hh x 23552 + 4.6 MWh/day = 24.3 MWh/day、731 MWh/month、31 kWh/month/hh または 8.76 GWh/year と計算される。突き当たり支払額は \$0.18 x 23,552 + \$5,808 = \$10,047 となり、平均価格は 10,047 / 731,000 = \$0.014/kWh となる。

現在の MEPE 電力料金 では産業需要が鍵となるが、24 時間給電ではこの産業需要を伸ばせる可能性がある。もし、産業需要を二倍に伸ばせたら一月あたりの支払いを \$5,808 増やせ、合計 \$15,855 となる。一家庭あたりの平均使用量は 40 kWh/month/hh、平均価格は \$0.2 {15855 / (731,000 + 4,600 x 30days)} まで増える。表 2.5.1 に、これに基づく財務内部収益率 (FIRR) が計算されているがマイナス 8.34% である。財務内部収益率は現在の平均価格の \$0.02 を \$0.05 にまで上げるか、または消費量が 38 kWh/month/hh から、100 kWh/month/hh にまで増えることによってプラスに転じる。すなわち、現在の電力料金レベルを 2 倍から 3 倍にするとヘー小水力計画の財務面が大きく改善される。

もうひとつの可能性として余剰電力の MEPE への売電がある。潜在的売電量は最大可能発電量と総需要量の差で計算される。昼間と夜間の合計需要は(夜間 4,050kW x 8hr + 昼間 2,300 kW x 8hr) x 365days = 18.5 GWh である。一方最大可能発電量は 46.7GWh/year と見積もられているため潜在的売電量は 46.7-18.5 = 28.2 GWh/year と推定される。これが MEPE 50 kWh 以下レベルの料金であれば総売上額は 28,200,000 kWh x K2.5/kWh = K70.5 million または、\$141,000/year となり、FIRR はマイナス 8.34% からマイナス 3.12% にまで上昇する。売電料金を 2 倍 (K5/kWh)、3 倍 (K7.5/kWh) の場合では FIRR がそれぞれマイナス 1.01% とプラス 0.5% となる。すなわち、売電料金が K7.5/kWh (1.5 セント相当) にまで上がれば FIRR がプラスに転じることがわかる。

表 2.5.1 に経済および財務便益を示す。

図 2.5.1 経済・財務分析

Assumptions									
Discount Rate%		10.0%		Construction Cost \$				20,263,853	
Consumption kWh/hh/month		40		O & M Cost (% of Construction Cost)				1.0%	
No. of Household		23,552		Fuel Cost \$/year				0	
Financial Benefit (Tariff \$/kWh)		0.02							
Initial Fee \$/hh (1st Year Only)		20							
Financial Benefit \$/Year = (Initial Fee x No.HH + Tariff (\$/kWh) x Consumption (kWh/hh/month) x No.HH x 12 month) x Discount F									
Economic Benefit (WTP \$/month) 5									
Economic Benefit \$/Year = WTP (\$/month) x No.HH x 12 month x Discount Factor									
Results:									
	Financial Net Benefit	-17,760,858		FIRR		-8.34%			
	Economic Net Benefit	-6,419,985		EIRR		5.98%			

Year	Discount factor	Benefit (\$, 2001 constant)				Cost (\$, 2001 constant)				
		Financial Benefit (Present Value)	Economic Benefit (Present Value)	Accumulated Financial Benefit (Present Value)	Accumulated Economic Benefit (Present Value)	Capital Investment (Construction)	O&M Cost	Fuel Cost	Total Cost (Present Value)	Accumulated Cost (Present Value)
1	0.91	633,763	1,284,655	633,763	1,284,655	20,263,853	202,639	0	18,605,901	18,605,901
2	0.83	186,859	1,167,868	820,622	2,452,522		202,639	0	167,470	18,773,371
3	0.75	169,872	1,061,698	990,493	3,514,220		202,639	0	152,245	18,925,616
4	0.68	154,429	965,180	1,144,922	4,479,400		202,639	0	138,405	19,064,021
5	0.62	140,390	877,436	1,285,312	5,356,837		202,639	0	125,823	19,189,844
6	0.56	127,627	797,669	1,412,939	6,154,506		202,639	0	114,384	19,304,228
7	0.51	116,025	725,154	1,528,964	6,879,660		202,639	0	103,986	19,408,213
8	0.47	105,477	659,231	1,634,441	7,538,891		202,639	0	94,532	19,502,746
9	0.42	95,888	599,301	1,730,329	8,138,192		202,639	0	85,939	19,588,684
10	0.39	87,171	544,819	1,817,500	8,683,011		202,639	0	78,126	19,666,810
11	0.35	79,246	495,290	1,896,746	9,178,301		202,639	0	71,024	19,737,834
12	0.32	72,042	450,264	1,968,788	9,628,564		202,639	0	64,567	19,802,401
13	0.29	65,493	409,331	2,034,281	10,037,895		202,639	0	58,697	19,861,098
14	0.26	59,539	372,119	2,093,820	10,410,013		202,639	0	53,361	19,914,459
15	0.24	54,126	338,290	2,147,947	10,748,303		202,639	0	48,510	19,962,969
16	0.22	49,206	307,536	2,197,152	11,055,839		202,639	0	44,100	20,007,069
17	0.20	44,733	279,578	2,241,885	11,335,417		202,639	0	40,091	20,047,160
18	0.18	40,666	254,162	2,282,551	11,589,579		202,639	0	36,446	20,083,606
19	0.16	36,969	231,056	2,319,520	11,820,636		202,639	0	33,133	20,116,739
20	0.15	33,608	210,051	2,353,128	12,030,687		202,639	0	30,121	20,146,860
21	0.14	30,553	190,956	2,383,681	12,221,643		202,639	0	27,383	20,174,243
22	0.12	27,775	173,596	2,411,456	12,395,239		202,639	0	24,893	20,199,136
23	0.11	25,250	157,815	2,436,707	12,553,054		202,639	0	22,630	20,221,766
24	0.10	22,955	143,468	2,459,662	12,696,521		202,639	0	20,573	20,242,339
25	0.09	20,868	130,425	2,480,530	12,826,947		202,639	0	18,703	20,261,042
26	0.08	18,971	118,568	2,499,501	12,945,515		202,639	0	17,002	20,278,045
27	0.08	17,246	107,790	2,516,747	13,053,305		202,639	0	15,457	20,293,501
28	0.07	15,678	97,990	2,532,425	13,151,295		202,639	0	14,052	20,307,553
29	0.06	14,253	89,082	2,546,679	13,240,378		202,639	0	12,774	20,320,327
30	0.06	12,957	80,984	2,559,636	13,321,361		202,639	0	11,613	20,331,940
31	0.05	11,779	73,622	2,571,415	13,394,983		202,639	0	10,557	20,342,497
32	0.05	10,709	66,929	2,582,124	13,461,912		202,639	0	9,597	20,352,095
33	0.04	9,735	60,844	2,591,859	13,522,756		202,639	0	8,725	20,360,820
34	0.04	8,850	55,313	2,600,709	13,578,069		202,639	0	7,932	20,368,752
35	0.04	8,046	50,285	2,608,755	13,628,354		202,639	0	7,211	20,375,962
36	0.03	7,314	45,713	2,616,069	13,674,067		202,639	0	6,555	20,382,517
37	0.03	6,649	41,558	2,622,718	13,715,625		202,639	0	5,959	20,388,477
38	0.03	6,045	37,780	2,628,763	13,753,404		202,639	0	5,418	20,393,894
39	0.02	5,495	34,345	2,634,258	13,787,749		202,639	0	4,925	20,398,819
40	0.02	4,996	31,223	2,639,254	13,818,972		202,639	0	4,477	20,403,297
41	0.02	4,541	28,384	2,643,795	13,847,357		202,639	0	4,070	20,407,367
42	0.02	4,129	25,804	2,647,924	13,873,160		202,639	0	3,700	20,411,067
43	0.02	3,753	23,458	2,651,677	13,896,619		202,639	0	3,364	20,414,431
44	0.02	3,412	21,326	2,655,089	13,917,944		202,639	0	3,058	20,417,489
45	0.01	3,102	19,387	2,658,191	13,937,331		202,639	0	2,780	20,420,269
46	0.01	2,820	17,624	2,661,011	13,954,956		202,639	0	2,527	20,422,796
47	0.01	2,564	16,022	2,663,575	13,970,978		202,639	0	2,298	20,425,094
48	0.01	2,331	14,566	2,665,905	13,985,543		202,639	0	2,089	20,427,183
49	0.01	2,119	13,242	2,668,024	13,998,785		202,639	0	1,899	20,429,081
50	0.01	1,926	12,038	2,669,950	14,010,823		202,639	0	1,726	20,430,808

Source: Analysis by JICA Study Team

2.5.3 環境

ひとつの案として雨季の余剰電力を Kalaw, Aungban, Heho, Shwe Nyaug や Nyang Shwe の都市郊外住民の料理用熱源として促進するため、戦略的電気料金を設けるという考え方があり。これは Inle 湖西岸にあるバルーチャン流域で薪炭の消費による森林伐採が進み、湖の富栄養化が問題となっていることから、原因のひとつと言われる都市郊外での薪炭の消費を減らそうというものである。

へホー小水力計画ではエネルギー源は水力であるから CO₂ 排出削減に貢献できる。中央電力系統では 1999-2000 年度で 4 million GWh (全 4.79 million GWh のうちの 83%) が化石燃料からもたらされている。熱効率を 38.1% (日本標準 2,250 kcal/kWh) とすると、全エネルギーは 4 trillion x 2,250 kcal = 9,000 trillion kcal となる。原油換算では $9,000/9,250$ (litter/kcal) = 973 billion litters または、 $973/159$ (litter/bbl) = 6.12 billion bbl となる。したがって、系統からの化石燃料の消費量は原油換算で kWh あたり $6.12/4,790$ = 約 0.00128 bbl となる。kWh あたりの CO₂ 排出量は $0.00128(\text{bbl}) \times 159$ (litter/bbl) x 0.85 (kg/litter) x 0.837 (Mt-C/Mtoe) = 0.145 kg (coefficient: 0.837 Mt-C/Mtoe) となる。20,000 軒の家庭が一軒あたり月 50kWh 消費すると CO₂ 排出量は 1 年で $0.145 \times 30 \times 20,000 \times 12$ = 1,044 ton (炭素重量換算) となる。照明用燃料消費は一軒あたり月に灯油または軽油で 1 ガロン消費する。これによる CO₂ 排出量は炭素重量換算で 4.54 (litter/gallon) x 0.8 (kg/litter) x 0.821 (Mt-C/Mtoe) = 3 kg/hh/month または 36 kg/hh/year (coefficient: 0.821 Mt-C/Mtoe) となる。20,000 軒では 1 年にして炭素重量換算 $3 \times 20,000 \times 12$ = 720 ton となる。

したがって、へホー小水力計画による CO₂ 排出削減量は炭素重量換算で合計 $1044 + 720 = 1764$ ton に達することが期待できる。