

第3章 ナムラン小水力開発計画

SH-02 北シャン州ナムラン地方電化計画

3.1 プロジェクト対象地域

ナムラン郡は北シャン州 Hsipaw Township の南方約 60 km に位置し、11 区と周辺 5 カ村で構成されている。ナムラン郡の 2001 年 9 月現在の人口は表 3.1.1 に示すように 1 万 2,229 人、世帯数 2,082 である。ナムラン郡の地図を図 3.1.1 に示す。

ナムラン郡は Hsipaw Township に属しているが、人口が 1 万人を超え、また区制を採用しており municipal township と位置付けられている。

表 3.1.1 ナムラン郡の人口と世帯数

Quarter/Village Tract		Population	Number of household	Electrified household	Electrification ratio (%)
No.	Name				
Q1	Plant Station	1,519	261	45	17.2
Q2	Kaung Lan	873	138	46	33.3
Q3	Pan Sin	851	168	14	8.3
Q4	Down Town	640	110	56	50.9
Q5	Northern Part	954	167	42	25.1
Q6	Southern Part	1,312	147	16	10.9
Q7	Kone Naung	1,378	237	20	8.4
Q8	Sein Pan	1,377	209	24	11.5
Q9	Que Taw	916	142	8	5.6
Q10	Aye Chan Ta	576	118	6	5.1
Q11	Ma Mone Hein	651	148	7	4.7
	Sub-total	11,047	1,845	284	15.4
V1	Nar Lawan Village	295	63	0	0.0
V2	Pan Heigh V.	398	72	0	0.0
V3	Naung Cho V.	148	32	0	0.0
V4	Na Nay V.	167	39	0	0.0
V5	Hosant V	174	31	0	0.0
	Sub-total	1,182	237	0	0.0
	Grand Total	12,229	2,082	284	13.6

Source: Field Survey by JICA Study Team

MEPE の統計によれば、ナムラン郡の電化率は中心部である 11 区で 15.4%、周辺 5 カ村で 0%、全体平均は 13.6%である。1994 年に 160 kW のディーゼル発電機がナムラン郡に設置され、区部向けに毎日 18 時 30 分から 21 時までの 2 時間半 MEPE が電力を供給している。

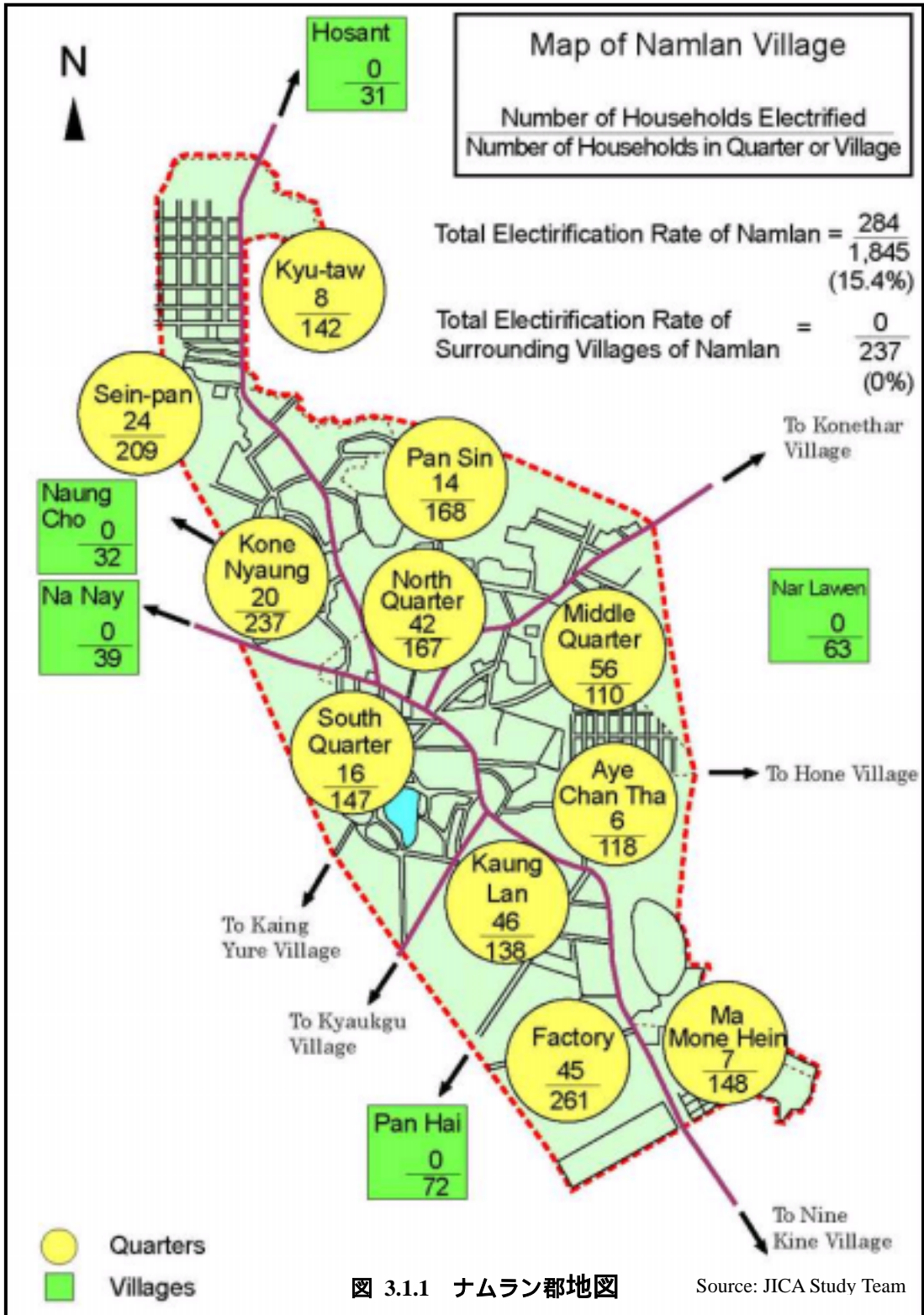


図 3.1.1 ナムラン郡地図

住民からの聞き取り調査によれば、MEPE 電力と自家発電を合わせたナムラン郡の実際の電化率は約 19%となる。その内訳は MEPE の電力による電化世帯 284 軒、自家用ディーゼル発電機による電化世帯 100 軒、自家用ピコ水力発電機による電化世帯 5 軒となっている。

ナムラン郡の電力消費先は 1) 一般家庭用、2) 公共施設用、3) 商業用、及び 4) 産業用の 4 グループに分類される。公共施設は寺院 10 カ所、パゴダ 1 カ所、病院 1 カ所、クリニック 1 カ所、高校 1 校、小学校 9 校である。商用としては区部にあるレストラン 3 軒、ゲストハウスと呼ばれる旅館 2 軒である。

ナムラン郡には自家用ディーゼル発電機を動力源とする家内工業が相当数ある。そのため夜間の電力需要の主力は一般家庭の照明用、昼間は家内工業用電力が主力になると予想される。

ナムラン村の家内工業は、精米所 18 カ所、搾油所 6 カ所、製材所 2 カ所、豆腐製造所 3 カ所、製麺所 3 カ所、家具製造所 5 カ所、自動車修理業を含む鉄工所 5 カ所、バッテリー充電業 2 カ所（個人用のもの 9 カ所を除く）および給水ポンプ 25 カ所である。

表 3.1.2 に北シャン州のナムラン郡周辺を含む未電化村及び北シャン州 Lashio Township 近傍の Naung Mon 及び Na Ya Ma 村両電化村で調査した 1 世帯あたりの年収、支出および年末貯蓄額の平均値を示す。未電化村の平均年収は K 218,600、電化村は K389,800 であった。年収の差異はビジネス売上構成比の相違（電化村での構成比 29% に対し、未電化村は 2%）に起因しているものと考えられる。

表 3.1.2 北シャン州における年収、支出、年末貯蓄額

(K/年/世帯)

項 目	北シャン州	
	未電化村	電化村
1. 年収	218,600	389,800
2. 支出	174,300	363,500
3. 貯蓄額	44,300	26,300

Source: Field Survey of the Study Team

3.2 電化の必要性と需要予想

1) 村落社会経済調査

2001年5月から6月にかけて北シャン州でナムラン郡在住世帯を含む430軒の世帯を対象に実施した村落社会経済調査によれば、農村部世帯の日常生活における優先順位は未電化村の場合 i)健康、ii)電気、iii)金品、iv)教育、及びv)食料の順番であり、電化村の場合は i)健康、ii)金品、iii)電気、iv)食料、v)職業である。

また、エネルギー源に対する優先順位は、i)薪、ii)小水力発電による電力、iii)送電線による電力、iv)灯油、及びv)ディーゼル発電機による電力の順となっている。これらの調査結果は、未電化村在住の住民は安定かつ連続的に供給される電力を強く望んでいることを示している。

2) 電力需要推定

ナムラン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。

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

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

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

各セクターの単位電力需要量は表3.2.2に示す現地調査結果を基に算定した。

現時点におけるナムラン郡の1世帯あたり夜間電力需要量は、電灯3灯による90W(30W×3)、10Wの小型ラジオ1台、60Wの小型TV(所有率50%)、同時使用率を90%として120Wと算定した。

将来の夜間世帯電力需要量としては15%の世帯が600W級の電気炊飯器を所有することを想定した。これは村落世帯調査の結果、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、世帯1軒あたりの将来電力需要量は160Wと算定した。

電力購入には自己資金が必要であり、低収入世帯の何%かは購入が困難になる。村落調査から、電力購入用の年収ボーダーラインを約K100,000と想定した。表3.2.1に年収分布から求めた地域別電力購入可能率を示す。

表 3.2.1 年収 10 万 K 以上の世帯率

	(%)			
	南シャン州	北シャン州	カチン州	平均
未電化村	86	82	93	87
電化村	89	93	94	92
平均値	87	84	93	88

Source: JICA Study Team

表 3.2.2 ナムラン郡の電力需要予測

電力消費先	需要家数	世帯電化段階	夜間						昼間						
			単位電力需要量	同時使用率	単位電力消費量	購入可能率	電力需要見込量	小計	単位電力需要量	同時使用率	単位電力消費量	購入可能率	電力需要見込量	小計	
			Watt	%	Watt	%	kW	kW	Watt	%	Watt	%	kW	kW	
1.世帯	2,082	1-1 1-2	130 220	90% 70%	120 160	93 93	232.4 309.8	232.4 309.8	130 220	15% 20%	20 50	93 93	38.7 96.8	38.7 96.8	
2. 公共施設															
2.1 街灯	16		400	50%	200	100	3.2		400	0	0	100	0.0		
2.2 寺院及びパゴダ	11		2,000	30%	600	100	6.6		2,000	40%	800	100	8.8		
2.3 病院	1		230	70%	160	100	0.2		230	50%	120	100	0.1		
2.4 クリニック	1		310	70%	220	100	0.2		310	50%	160	100	0.2		
2.5.1 高校	1		6,200	0	0	100	0.0		6,200	20%	1,240	100	1.2		
2.5.2 中学校	0		1,640	0	0	100	0.0		1,640	20%	330	100	0.0		
2.5.3 小学校	9		380	0	0	100	0.0		380	20%	80	100	0.7		
小計								10.2						11.0	
3. ビジネス															
3.1 レストラン	3		3,185	30%	960	100	2.9		3,185	30%	960	100	2.9		
3.2 ゲストハウス	2		4,905	50%	2,450	100	4.9		4,905	30%	1,470	100	2.9		
小計								7.8						5.8	
4. 工業															
4.1 精米所	18		5,000	0	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	72.0		
4.2 製油所	6		5,000	0	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	24.0		
4.3 製粉所	0		5,000	0	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	0.0		
4.4 製糖所 (砂糖黍処理)	0		5,000	0	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	0.0		
4.5 製材所	2		10,000	0	0	100	0.0		10,000	80%	8,000	100	16.0		
4.6 製紙所	0		5,000	0	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	0.0		
4.7 豆腐製造所	3		4,000	0	0	100	0.0		4,000	80%	3,200	100	9.6		
4.8 製麺所	3		7,000	0	0	100	0.0		7,000	80%	5,600	100	16.8		
4.9 家具製造所	5		5,000	0	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	20.0		
4.10 鉄工所	5		4,000	0	0	100	0.0		4,000	80%	3,200	100	16.0		
4.11 BCS	2		1,500	0	0	100	0.0		1,500	80%	1,200	100	2.4		
4.12 織物工場	0		5,000	0	0	100	0.0		5,000	80%	4,000	100	0.0		
4.13 給水ポンプ	25		200	0	0	100	0.0		200	80%	160	100	4.0		
小計								0.0						180.8	
5. 合計															
5.1 1-1+2,3,4								250.3						236.4	
5.2 1-2+2,3,4								327.8						294.5	
6. 総計															
6.1 1-1+2,3,4		配電ロス5%を含む						270	配電ロス5%を含む						250
6.2 1-2+2,3,4		配電ロス5%を含む						350	配電ロス5%を含む						310

Source: JICA Study Team

電力需要予測値に配電損失 5 %を加えたナムラン郡の電力需要量は下記のように算出した。

現時点での電力需要量	: 昼間需要	250 kW
	: 夜間需要	270 kW
第 2 段階(将来)での電力需要量	: 昼間需要	310 kW
	: 夜間需要	350 kW

電力需要予測結果の詳細を表 3.2.2 に示す。

3) 支払い意思額

北シャン州での農村社会経済調査によれば、電力システムへの初期接続用支払い意思額は未電化村においては K6,000、電化村においては K23,000 となっている。ただし、電化村住民が実際に支払った初期接続料金は上記支払い意思額より高い K32,600 であった。

一方、毎月の電気料金支払意思額は、未電化村においては毎月 K410、電化村においては K680 という調査結果となっている。

この K410-680 という額は、現在農村部の電化世帯が実際に支払っている平均的 MEPE 電気料金である毎月 K50 より相当に高く、それだけ村落住民が電化を強く望んでいることがうかがえる。

3.3 開発構想

ナムラン小水力発電計画の開発構想は以下のように要約できる。

- (1) ナムラン計画は、2,082 世帯を擁するナムラン郡 11 区 5 ケ村の夜間電化需要 270 kW および昼間電化需要 250 kW を満たすべく、小水力による地方電化を図るものである。
- (2) 小水力発電に利用される河川 Hosang Chaung は泉を水源としていて年間を通して安定した流況が期待されており、乾季流量は $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ である。Hosang Chaung の水力ポテンシャルは、総落差 69.5 m と乾季流量 $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ から出力規模としてはベース出力として約 110 kW と見積られる。
- (3) 一方、Hosang Chaung とナムラン村の間には数本の河川が流れている。これらのうち Nam Pankan Chaung と Kyutaw Chaung における流量の一部を Hosang Chaung に転流することで、現在の夜間電力需要である 270 kW に見合うだけの水力発電を行うことが可能となる。ただし、これら河川の下流域に広がる農地の灌漑用水を確保する必要がある。
- (4) 河川水利用に関しては、灌漑需要を優先させることを原則とする。したがって、発電は河川水から灌漑用水量を減じた水量を利用する。Nam Pankan Chaung と Kyutaw Chaung の流量の一部を Hosang Chaung に転流した場合でも、灌漑期初期あるいは渇水年には発電用水量が不足する可能性もあるが、その場合は使用可能流量に応じて適切な発電運用を行う。
- (5) 発電方式は基本的に流れ込み式であるが、発電使用可能流量が $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ を下回った場合でも夜間の電灯需要を確保するために最小限の日調整池を設ける。
- (6) ナムラン小水力の建設工事は第 1 期と第 2 期に分けられる。第 1 期は Hosang Chaung に設けられる取水堰から発電所までの設備および配電線を含む。発電設備容量は $160 \text{ kW} \times 2 \text{ 台} = 320 \text{ kW}$ とする。第 2 期は Nam Pankan Chaung および Kyutaw Chaung から Hosang Chaung への導水路建設を行う。第 1 期工事は、本調



Hosang Chaung (May 2001)



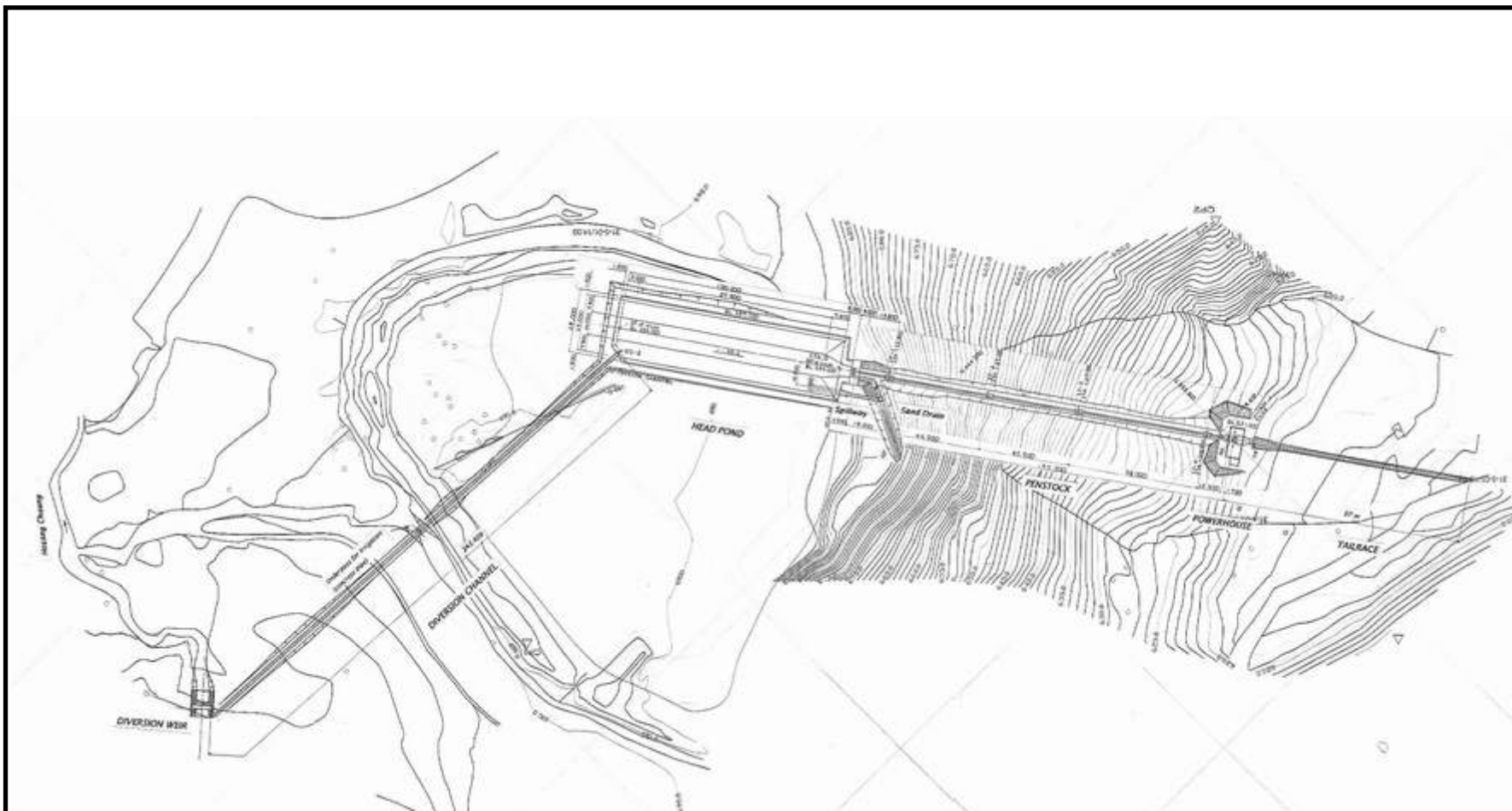
Nam Pankan Chaung (Sep. 2001)



Kyutaw Chaung (Sep. 2001)

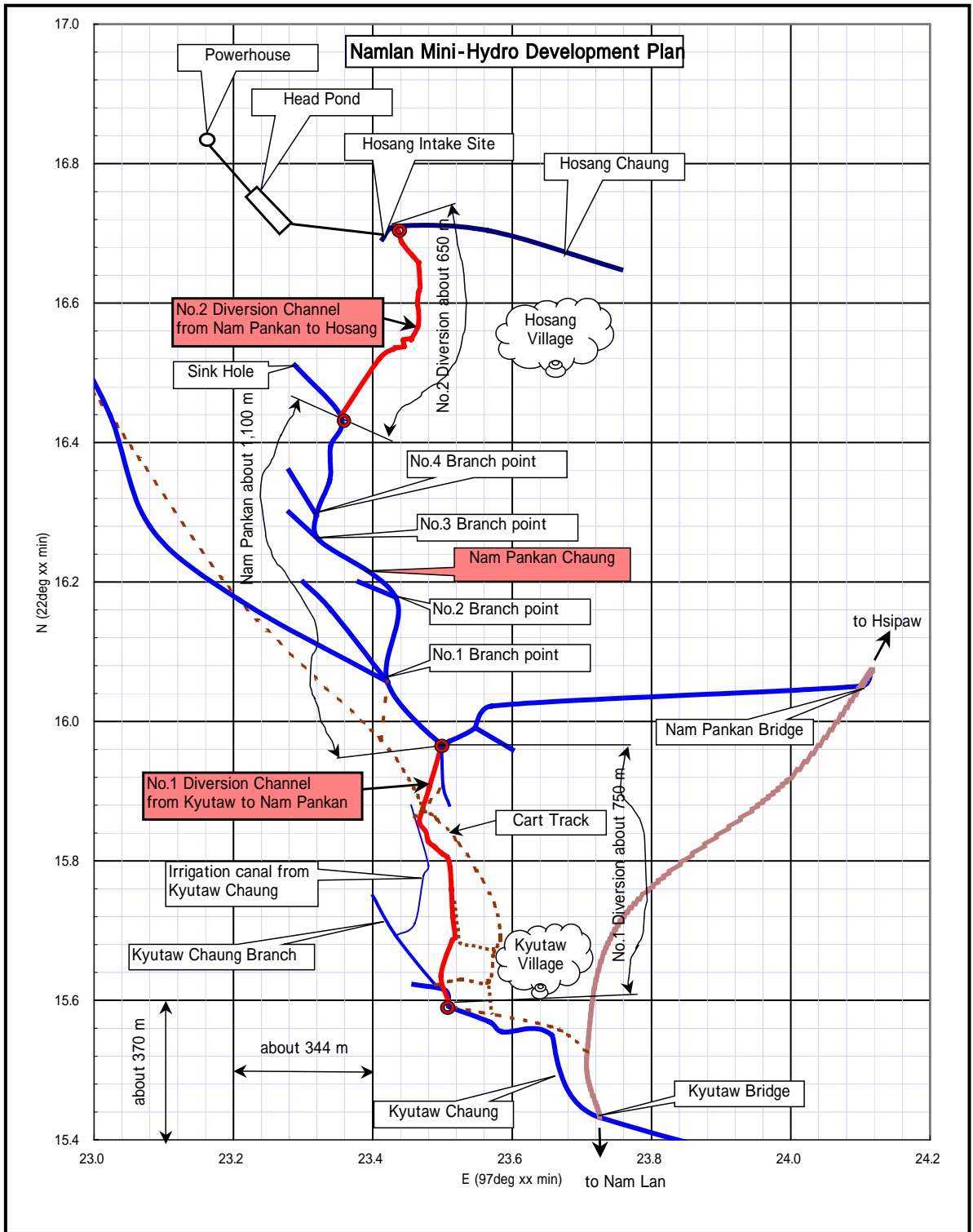
査において 2002 年～2003 年にかけて実施予定のパイロット工事として完了させる。第 2 期工事は、河川転流に関する地元住民の合意形成後、住民の自助努力により実施するものとする。建設材料は地元で調達・製作可能であり、資金は第 1 期工事後の電力料金徴収により賄うことができると考える。図 3.3.1 に第 1 期工事の一般平面図を、図 3.3.2 に第 2 期工事の導水路を含めた全体計画図を示す。

- (7) ナムラン小水力発電計画には、ミャンマー国の地方電化を推進していく上でいくつかの重要な要素が含まれているが、それは以下に要約できる。
- a) 小水力発電により 24 時間連続した安定な電力が供給できる。
 - b) 電化により照明、安全、衛生、教育、通信等の生活水準の向上が図れる。
 - c) 地場産業の育成に繋がる。
 - d) 村落電化委員会（VEC）主導による管理・運営の目指す観点から農村電化におけるモデルとなりうる。
 - e) 輸入ディーゼル燃料消費を節減し MEPE の財務収支改善への貢献が期待できる。



Source: JICA Study Team

図 3.3.1 ナムラン小水力一般平面(第 1 期工事)



Source: JICA Study Team

図 3.3.2 ナムラン全体計画図

3.4 基本設計および積算

3.4.1 概説

開発地点は、図 3.4.1 に示されるようにナムラン郡の北北西約 4 km 地点にあり、Hosang 村に属している。計画では、ナムラン郡の電化需要 270 kW を賄うために、Hosang Chaung、Nam Pankan Chaung、Kyutaw Chaung の 3 河川の乾季流量 $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ を用いて、Hosang Chaung の総落差 69.5 m を利用し出力 320 kW の水力発電を行おうというものである。これらの河川は西に流れ、最終的に Nam Tu 川に合流する。

プロジェクト地点は、シャン高原の標高 620 m ~ 700 m の高度にあり、北緯 $22^\circ 17'$ 、経度 $97^\circ 23'$ の位置にある。Hsipaw 観測所での 1990 年 ~ 2000 年までの年間平均降雨量は 1,300 mm である。雨季は通常 5 月から始まり、10 月まで継続する。雨季期間中の雨量は年間雨量の約 88 % に相当する。

Hosang Chaung は取水地点での流域面積が 1.1 km^2 である。Hosang 村に近い山麓から流出する湧水を源流としており、乾季においても $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ の安定した流出量が認められる。Nam Pankan Chaung は流域面積 52.5 km^2 、Kyutaw Chaung は 18.8 km^2 で、図 3.4.1 に示すように約 1 km の間隔をおいて Hosang Chaung にほぼ並行して流れている。Kyutaw Chaung から Nam Pankan Chaung まで約 750 m、Nam Pankan Chaung から Hosang Chaung まで約 650 m の導水路を設けることで Kyutaw Chaung と Nam Pankan Chaung の河川水の一部を Hosang Chaung まで導水することが可能である。導水路工事は Phase-2 として実施することが期待されるが、その詳細設計を実施するに当たっては水路沿いの地形測量および水路の詳細設計を実施する必要がある。

サイトへのアクセスとしては、Hsipaw から Loilem に伸びる国道 44 号線から Hosang 村に分岐する既設農道を整備することにより建設用および管理用アクセス道路として利用可能である。国道からの分岐点より Hosang 村経由で発電所までの延長は約 2.5 km である。

第 1 期工事は Hosang Chaung に設ける取水堰から発電所までの施設およびナムラン郡までの配電線を含むが、これを本調査の中でパイロット工事として 2002 年から 2003 年に実施する予定である。建設工程はアクセス道路を含む準備工事に約 4 ヶ月、本工事に約 12 ヶ月を見込んでいる。

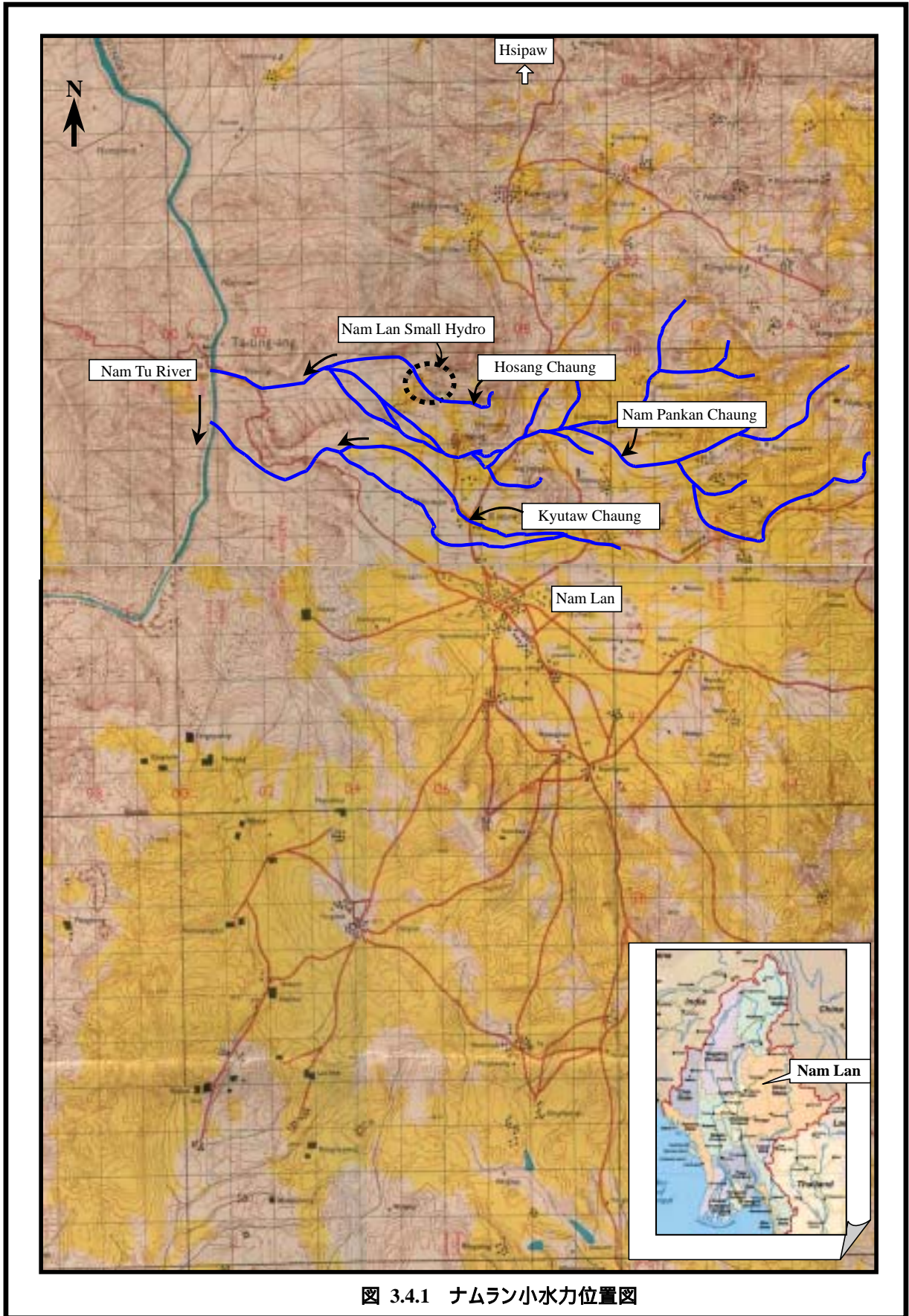


図 3.4.1 ナムラン小水力位置図

Source: JICA Study Team

3.4.2 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。

- Hsipaw 観測所の月雨量データ (1990 年 1 月 ~ 2001 年 6 月)
- Hsipaw 観測所の日雨量データ (1955 年 1 月 1 日 ~ 1997 年 12 月 31 日、1999 年 1 月 1 日 ~ 2001 年 9 月 10 日)

計画地点流域ではこれまで流量観測が実施されていないため、調査団は以下の現地観測を実施した。

- Hosang Chaung における流量観測 (2001 年 2 月 8 日)
- Hosang Chaung における流量観測 (5 月 20 日 ~ 2001 年 6 月 3 日)
- Hosang Chaung、Nam Pankan Chaung、Kyutaw Chaung における流量観測 (2001 年 9 月 17 日から週 2 回継続実施中)

流量観測結果を表 3.4.1. に示す。

2) 発電使用水量

次の理由から Hosang Chaung の基底流量は $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定される。

- 2001 年 2 月 8 日の調査団による現地流量観測結果が $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。
- 2001 年 5 月 20 日 ~ 6 月 3 日に実施した流量観測の最小流量が $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ (5 月 25 日) であった。
- Hosang Chaung は Hosang 山地の泉を水源としており、ここからの流出は年間を通して安定している。
- 最小流量が観測された 2001 年 5 月 25 日から 3 日前まで晴天が続いていた。

Nam Pankan Chaung、Kyutaw Chaung に関しては、2001 年 9 月より村民に委託して流量観測を実施しているが、乾季流量に関してはまだ十分なデータが得られていない。今後更なるデータの蓄積が必要であり、本調査では、乾季まで引き続き流量観測を実施し、その後、あらためて発電使用水量の検討を行うこととする。

現時点では、Nam Pankan Chaung、Kyutaw Chaung の基底流量を、Hosang Chaung の基底流量 $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 相当であると想定し検討を進めることとする。

年間の発電電力量を算定するには、年間を通した 3 河川の流量および灌漑への水供給量を求める必要があるが、本調査ではこれらを Hsipaw 地点の 1990 ~ 2001 年の降水パターンを用いて概算した。月平均流量の概算結果を表 3.4.2 に示す。

表 3.4.1 ナムラン小水力計画における流量観測

Date of Measurement	Hosang		Kyutaw	Nam Pan Kaung
	Gauge Reading (m)	Discharg (m ³ /s)	Discharg (m ³ /s)	Discharg (m ³ /s)
08 February 2001	-	0.25		
Ave.		0.25		
20 May 2001	-	0.31	-	-
21 May 2001	-	0.25	-	-
21 May 2001	-	0.26	-	-
22 May 2001	-	0.29	-	-
22 May 2001	-	0.30	-	-
23 May 2001	-	0.30	-	-
23 May 2001	-	0.30	-	-
24 May 2001	0.13	0.29	-	-
24 May 2001	0.13	0.28	-	-
25 May 2001	0.13	0.26	-	-
25 May 2001	0.13	0.25	-	-
26 May 2001	0.13	0.33	-	-
26 May 2001	0.13	0.33	-	-
27 May 2001	0.13	0.34	-	-
27 May 2001	0.13	0.33	-	-
28 May 2001	0.12	0.31	-	-
28 May 2001	0.12	0.31	-	-
29 May 2001	0.13	0.30	-	-
29 May 2001	0.13	0.30	-	-
30 May 2001	0.14	0.31	-	-
30 May 2001	0.34	0.50	-	-
31 May 2001	0.13	0.35	-	-
31 May 2001	0.13	0.35	-	-
Ave.		0.31		
01 June 2001	0.14	0.30	-	-
01 June 2001	0.14	0.30	-	-
02 June 2001	0.14	0.37	-	-
02 June 2001	0.14	0.36	-	-
03 June 2001	0.17	0.44	-	-
03 June 2001	0.17	0.44	-	-
Ave.		0.37		
17 September 2001	-	0.50	1.00	1.74
18 September 2001	-	-	1.15	-
21 September 2001	-	0.48	0.72	1.07
24 September 2001	-	0.44	0.70	1.26
28 September 2001	-	0.45	0.69	1.23
Ave.		0.47	0.85	1.32
01 October 2001	-	0.49	0.87	1.60
05 October 2001	-	0.53	0.82	1.43
08 October 2001	-	0.53	0.69	1.20
12 October 2001	-	0.51	0.97	1.40
15 October 2001	-	0.50	0.78	1.02
19 October 2001	-	0.46	0.61	1.19
22 October 2001	-	0.52	0.48	1.14
26 October 2001	-	0.50	1.36	2.76
29 October 2001	-	0.48	0.61	1.72
Ave.		0.50	0.80	1.50
27 November 2001	-	0.39	0.50	1.04
28 November 2001	-	0.36	0.45	-
30 November 2001	-	0.40		0.94
Ave.		0.38	0.48	0.99
03 December 2001	-	0.38		0.92
07 December 2001	-	0.31		0.99
10 December 2001	-	0.36		0.94
14 December 2001	-	0.32		0.84
17 December 2001	-	0.34		0.69
21 December 2001	-	0.34		0.97
24 December 2001	-	0.34		0.99
28 December 2001	-	0.33		0.84
31 December 2001	-	0.33		0.97
Ave.		0.34		0.91
Ave. (Total)		0.44	0.71	1.24

Source: Measurement by JICA Study Team

表3.4.2 概算月平均流量

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Remarks
Mean Rainfall (1990-2001)	4	16	47	49	172	226	227	225	175	123	59	15	Rainfall at Hsipaw
Hosang	0.25	0.26	0.27	0.27	0.34	0.37	0.37	0.36	0.34	0.31	0.28	0.26	Base flow =0.25m ³ /s
Kyutaw	0.26	0.30	0.41	0.42	0.84	1.03	1.03	1.03	0.85	0.68	0.45	0.30	Base flow =0.25m ³ /s
Nam Pankang	0.27	0.35	0.54	0.55	1.31	1.64	1.65	1.64	1.33	1.01	0.61	0.34	Base flow =0.25m ³ /s
Total	0.75	0.76	0.77	0.77	0.84	0.87	0.87	0.86	0.84	0.81	0.78	0.76	

Source: Measurement by JICA Study Team

3) 灌漑用水量

3 河川の下流部には水田地帯が広がり、水の一部を灌漑に用いている。従って、本計画では、米作の時期の灌漑用水を十分に確保する必要がある。

3 河川流域の灌漑面積は以下の通りである。

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1) Hosang Chaung | 32.4 ha (80 acre) |
| 2) Nam Pankan Chaung | 34.8 ha (86 acre) |
| 3) Kyutaw Chaung | 47.8 ha (118 acre) |

米作に必要とされる灌漑の水量は、平均的に 1,000 ha 当たり約 1.0 m³/s である。転流、およびその操作に伴う損失等の余裕を考慮して、灌漑への最大供給流量はそれぞれの河川について 5～7 月に約 0.1 m³/s、8～10 月に約 0.05 m³/s 程度と見積られる。

4) 確率洪水流量

再現期間 100 年の場合の確率洪水流量は以下の通りである。

	流域面積 (km ²)	雨量強度 (mm/hr)	洪水ピーク流量 (m ³ /s)
取水口地点(Hosang Chaung)	1.1	40.3	8.6
発電所地点(Hosang Chaung)	2.5	39.4	19.2

取水堰地点での設計流量は 8.6 m³/s と見積られているが、サイトの地形から判断して、洪水が生じたとしても洪水が取水堰計画地点に到達するまでに、河川上流部の水田地帯で氾濫することが予想される。

5) Nam Pankan Chaung および Kyutaw Chaung の最大流下能力

Nam Pankan Chaung および Kyutaw Chaung の導水路始点付近の河川断面における最大流量は、実測流量より換算して求めた粗度 0.037、河川勾配 1/500、等流の条件の下ではそれぞれ 11.9 m³/s および 6.6 m³/s となる。

3.4.3 地形測量

地形測量は、取水堰から発電所までをカバーする 13.3 ha のエリアについて実施された。コンクリート製コントロールポイントは 3 箇所設置されている。地形図は縮尺 1/500、等高線間隔 1 m で作成された。

第 1 期工事の対象範囲は上記測量図でカバーされるが、第 2 期工事の対象範囲は新たに測量する必要がある。第 2 期工事の詳細設計に先立ち、Kyutaw Chaung から Nam Pankan Chaung 経由 Hosang Chaung までの区間を導水路沿いに測量を実施する。

3.4.4 地質

ナムラン地域の地盤はすべてシャン苦灰岩界と呼ばれる厚さ数千メートルの炭酸塩岩から成っている。この界は間に挟まる二畳 石炭紀の石灰層によって下層（デヴォン紀）と上層（三畳紀）に分けられている。北部シャン州では、シャン苦灰岩界にヌワバング苦灰岩層群とミヤミョ苦灰岩層群が含まれる。

ヌワバング苦灰岩層群は著しく苦灰岩化され粉碎破砕された炭酸塩岩の重なりによって特徴づけられる。それは少なくとも 2,500-5,000 m の厚さがあり、次のような岩相を含んでいる。

薄層の有孔虫石灰岩相

葉状・タービダイト質の相

堆積角礫岩相

淡灰色 暗灰色細粒石灰岩相

シャン苦灰岩界の上位にあるのは中生代のナムヤウ層群であるが、これにはタチ石灰岩、シパウ・ロッド層、パンニョ蒸発残留岩（上部三畳 ジュラ紀）が含まれる。ナムヤウ界は、通常、時代的に重複しながらもヌワバング苦灰岩の上位にあると解釈されている。ナムヤウ界の基底にあるのは層状石灰岩で、ヌワバング苦灰岩層群とは赤みがかかった色によって区別される。炭酸塩、破碎岩、蒸発残留岩および微少化石が合わせ存在することから、ナムヤウ界は乾燥地帯に囲まれた浅海の陸棚堆積物が形成したものと考えられる。これまでの観察から下記の堆積パターンが推定される。

三畳紀の盾状地における炭酸塩岩の生成がジュラ紀の初期まで続いた。

海底における石灰分の堆積から大陸的な主として破碎物の堆積への変化が初期 中期ジュラ紀にしばしば起った。

この陸成破碎物堆積の間に海成の化石を含む層が挟み層として堆積した。

ジュラ紀の末から白亜紀にかけて陸成の赤色層が形成された。

ナムラン地域はシャン苦灰岩界によって広く覆われているとは言え、ホサン村付近にはナムヤウ層群の岩盤が発達している。村を囲む険しい丘は赤みがかかった黄色の石灰

岩から成っており、焼き石灰に使われている。ホサンから泉に至る手押し車用の道で、石灰岩とその上に載る紫色の頁岩・細砂岩層との境界が見られる。試掘縦坑 No.1 (アンカーブロック No.1 の BP 近く) は付近の平地から 1.8 m 程低いベンチのような段の上に位置する。この段差は恐らく地盤の不安定に起因するものであろう。従ってヘッドタンクは縦坑 No.1 から 15 m 程離れた高い段上に建設されるべきである。試掘縦坑 No.2 (鉄管路ルートの中段) では、表土の黒土と石灰華は厚さ僅か 0.8 m、その下は頁岩の風化で出来た厚さ 1 m の紫がかかった黄褐色の粘土層である。深さ 1.7 m から 2.1 m の間は強く風化し層理面が密で節理の細かく入った紫の頁岩で、手で掘ることができる。深さ 2.1 m から 4.5 m は強乃至中級風化の頁岩で、掘削するに硬く、基礎岩盤として C_M C_L 級に分類される。

発電所地点 (試掘縦坑 No.3) では、表土と極風化頁岩は僅か 1 m しかない。頁岩は軟質で掘り易い。深さ 1 m から 2.1 m の間では風化頁岩の中に若干の巨礫が見られた。礫は砂岩で、指交する砂岩層から来たものである。深さ 2.1 m - 4.5 m 区間は中くらいに風化した、層理の密な紫がかかった頁岩と灰色の細粒砂岩で岩盤等級は C_M である。この縦坑から約 4.5 m 離れて、硬く密度の高い、やや赤みがかかった灰色の細粒砂岩が露頭している。この砂岩帯はまたナムヤウ層群の紫頁岩と互層している。発電所地点の約 60 m 南には、赤味をおびた黄色の帯を持った石灰岩が露出している。石灰岩の崖下には洞窟のような窪みが見える。この石灰岩と村付近の丘にある石灰岩とは同じ組織を有する。発電所地点下流の農民の番小屋付近には多くの石灰華の巨礫や大塊が散在する。これらの岩塊はすべて崖の中腹から挫屈転落したものである。また、測水所上流の両岸に二、三の円形崩壊が認められるが、これは紫頁岩の区域である。計画された池は、貝殻を含む暗灰色の粘性土に覆われた平地にある。地形的に見て、縦坑 No.2 と No.3 および測水所付近に見られたような紫頁岩を覆って石灰華の薄層が存在するようである。基礎工学的な問題はないであろう。池の基礎は紫頁岩と砂岩の上に直接載せることができる。

取水堰と導水路に関しては、構造物規模も小さく地質的に重要な問題は見当たらない。調整池は平坦部に位置している。平坦部下流端に掘られた試掘縦坑 No.1 から、調整池基礎部には地表より約 4.5 m 付近には石灰華層が存在するとみられる。石灰華の固結度は低いが、ナムラン調整池の基礎としては十分な基礎支持力が期待される。試掘縦坑 No.1 付近の斜面上部には、幅約 50 m x 長さ約 50 m の範囲で小規模な地滑りの可能性のある地形が観察された。この部分は斜面頂部に位置しているので、豪雨時あるいは掘削時には滑動する可能性がある。また、その斜面下部にはなだらかな地滑り地形(崖錐)が続いている。この緩やかな斜面は通常の状態では滑動しそうにないが、掘削による緩みにより滑りを誘発する可能性が考えられる。

一方、試掘縦坑 No.2 と No.3 は上記斜面から左側に 20 m ~ 30 m 離れた位置に掘られている。これら 2 つの試掘縦坑では比較的浅い所で基礎岩盤が現れている (試掘縦坑 No.2 では地表から 1.65 m 深、No.3 では 2.1 m 深)。

上記から、水圧鉄管および発電所ルートは試掘縦坑沿いに位置するようなレイアウト

が推奨される。

3.4.5 発電基本計画

1) 発電出力

電力施設は、Hosang Chaung、Nam Pankan Chaung、Kyutaw Chaung の河川水を利用してナムラン村の電力需要 270 kW を賄うべく分散型単独運転発電所として設計される。3 河川ともに乾季の基底流量は $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度と見積られているが、特に Nam Pankan Chaung、Kyutaw Chaung については次の乾季に流量観測により確認する必要がある。分散型単独運転発電所の出力規模は、一般的に年間を通じて出力を確保できるよう乾季の基底流量に基づき、対象地域の電力需要を満たすようにして決定される。

総落差は地形条件から 69.5 m となり、有効落差は以下に示すように 68.8 m である。損失水頭の詳細計算は Appendix C-4 に添付する。

調整池天端標高	EL. 689.00 m
調整池最高水位	EL. 688.00 m
調整池最低水位	EL. 686.00 m
水車中心標高	EL. 622.00 m
発電所地盤標高	EL. 621.00 m
放水位	EL. 618.50 m
発電所下流河川洪水水位	EL. 616.00 m
総落差	$688.00 - 618.50 = 69.50 \text{ m}$
損失水頭	0.684 m
有効落差	$69.50 - 0.684 = 68.82 \text{ m}$

設計流量は 3 河川の基底流量と転流による損失等を考慮して $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。内訳は以下の通りである。

Hosang Chaung	$0.25 \text{ m}^3/\text{s}$
Nam Pankan Chaung	$0.20 \text{ m}^3/\text{s}$
Kyutaw Chaung	$0.20 \text{ m}^3/\text{s}$
合計	$0.65 \text{ m}^3/\text{s}$

水車・発電機の発電効率は、同程度の規模の機器における実績およびメーカーでの調査に基づき、以下のように定めた。

水車効率	0.815
発電機効率	0.900
総合効率	$0.815 \times 0.900 = 0.733$

設備容量は次のようになる。

$$P = 9.8 \times 68.8 \times 0.65 \times 0.733 = 320 \text{ kW} \quad (160 \text{ kW} \times 2 \text{ 台})$$

2) 発電運用シミュレーション

乾季における異常渇水および灌漑期の灌漑用水需要による渇水が想定されるため、その対策として容量 5,000 m³ の日調整池を設け、発電使用可能流量が 0.65 m³/s 以下となるような渇水時にピーク発電により対応するものとする。

考えられる渇水パターンと灌漑用水需要を想定し、それぞれの場合の発生電力量と調整池容量を評価するために、Appendix C-3 に示す発電運用計算を行った。その要約は以下の通りである。

- 発電運用シミュレーションは、発電使用可能流量に応じた日運用パターンについて流量が 0.60 m³/s ~ 0.05 m³/s の範囲で 0.05 m³/s 刻みで 12 ケース行い、年間運用パターンについては次の 3 ケースについて検討した。
 - i) Hosang Chaung のみ利用の場合 (乾季 0.25 m³/s ~ 雨季 0.50 m³/s)
 - ii) Hosang Chaung (0.25 ~ 0.50 m³/s) + Nam Pankan Chaung (0.20 m³/s ~ 0.50 m³/s)
 - iii) Hosang Chaung (0.25 ~ 0.50 m³/s) + Nam Pankan Chaung (0.20 m³/s ~ 0.50 m³/s) + Kyutaw Chaung (0.20 ~ 0.50 m³/s)
- 日運用は流入量に応じて以下の 6 パターンに分けられる。

$Q > 0.65 \text{ m}^3/\text{s}$	24 時間連続 2 台運転 (出力 320 kW)
$0.65 \text{ m}^3/\text{s} > Q > 0.40 \text{ m}^3/\text{s}$	24 時間 1 台運転 + 夜間/中間の 2 台ピーク運転
$0.40 \text{ m}^3/\text{s} > Q > 0.30 \text{ m}^3/\text{s}$	5:00 ~ 24:00 まで 1 台運転 + 夜間 2 台ピーク運転
$0.30 \text{ m}^3/\text{s} > Q > 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$	中間 1 台運転(時間制限)+夜間 2 台ピーク運転
$0.20 \text{ m}^3/\text{s} > Q > 0.10 \text{ m}^3/\text{s}$	夜間 2 台ピーク運転
$0.10 \text{ m}^3/\text{s} > Q$	夜間 1 台運転
- Hosang Chaung 取水堰からの流入量を測定する特別なモニタリング装置は設置されないが、発電機器に含まれるに圧力ゲージにより調整池水位を観測することで流入量を計算することができる。計算式は以下の通りである。

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dH} \cdot \frac{dH}{dt} = S(H) \cdot \frac{dH}{dt} = (Q_{in} - Q_{out})$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{(Q_{in} - Q_{out}) \cdot 3,600}{S(H)} = \frac{(Q_{in} - Q_{out}) \cdot 3,600}{\{25 + (H - 686)\} \cdot \{100 + (H - 686)\}} = \frac{(Q_{in} - Q_{out}) \cdot 3,600}{(H - 661) \cdot (H - 586)}$$

$$Q_{in} = \frac{dH}{dt} \cdot S(H) / 3,600 + Q_{out} = \frac{dH}{dt} \cdot (H - 661) \cdot (H - 586) / 3,600 + Q_{out}$$

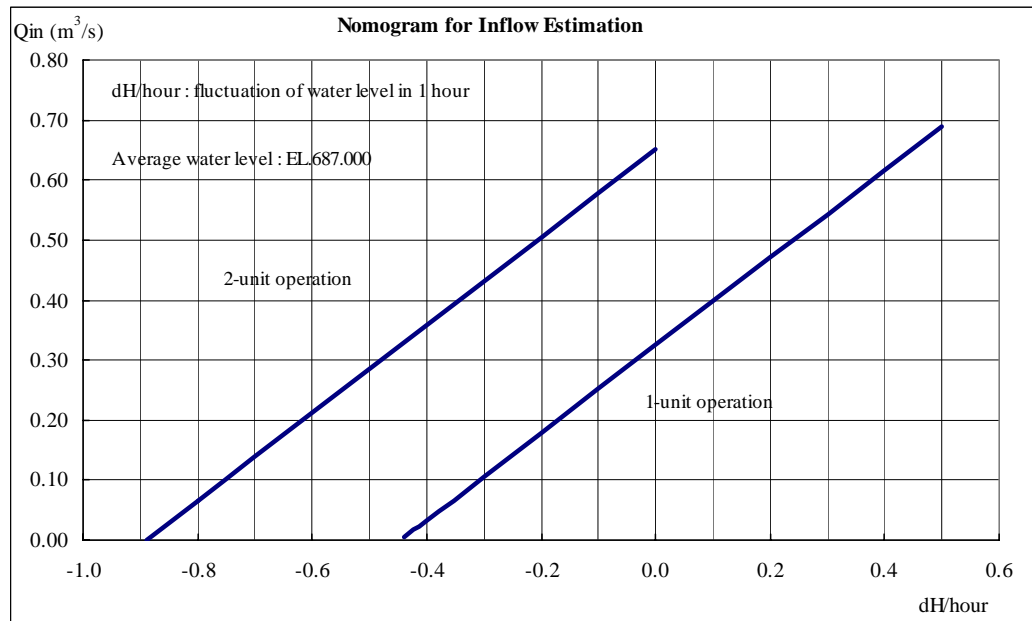
ここで、 dH/dt : 時間 dt 当たりの調整池水位変動量(m/hr)

H : 調整池水位 (m)

Q_{in} : 調整池への流入量 (m³/s)

Q_{out} : 発電使用流量 (m³/s)

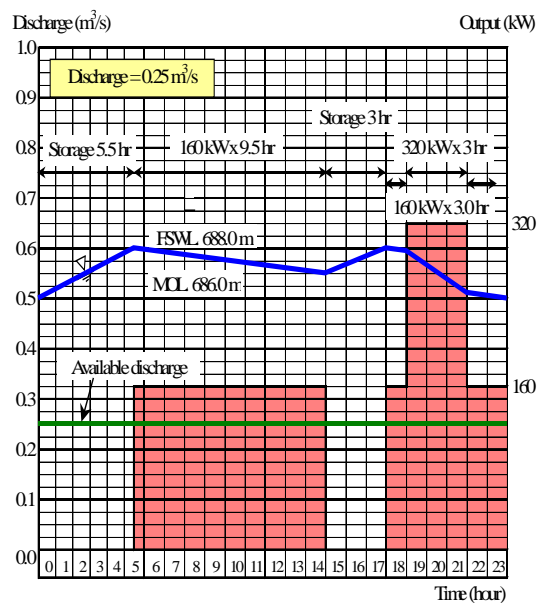
上記方程式を図示すると以下ようになる。



Source: Estimation by JICA Study Team

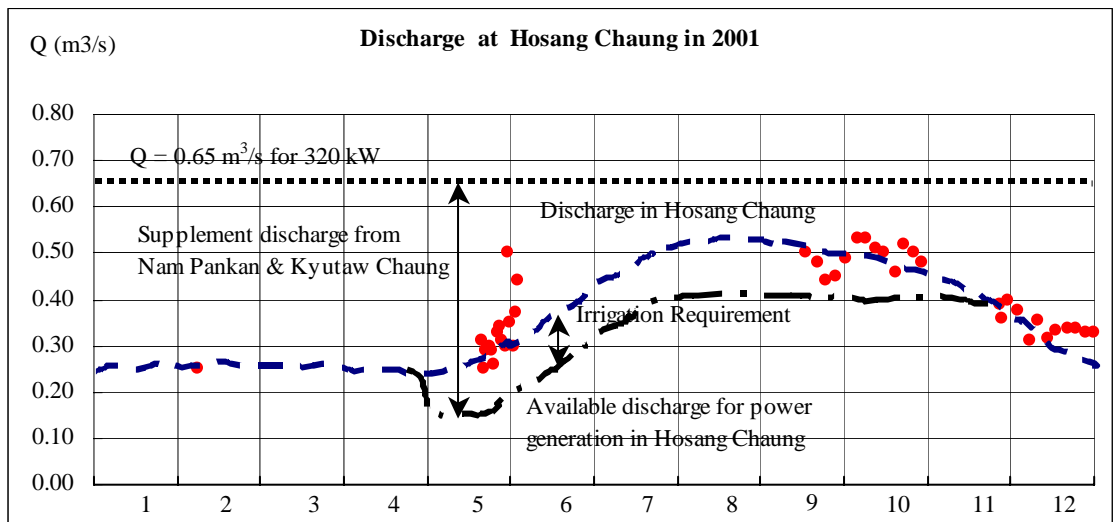
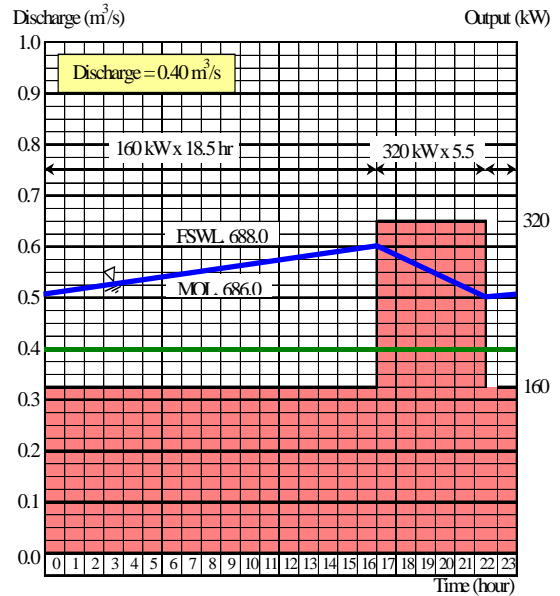
- 第1期工事、異常湧水あるいは灌漑期初期に発電用水量が設計流量 $0.65 m^3/s$ (320 kW 出力 24 時間運転に必要な流量) を下回る場合、発電利用可能流量と電力需要の優先度に応じて適切な発電パターンを採ることが必要となる。その場合、調整池を使用して、2 台の水車・発電機による台数時間制御を行う。

- 第1期工事では Hosang Chaung だけの河川利用となるので、乾季における発電用水量は $0.25 m^3/s$ (= 河川流量)、雨季における発電用水量は $0.40 m^3/s$ (= 河川流量 $0.50 m^3/s$ - 灌漑用水量 $0.10 m^3/s$) 程度となる。発電用水量が $0.25 m^3/s$ の場合、19:00~22:00 に2台運転 (320 kW)、5:30~15:00 / 18:00~24:00 に1台運転 (160 kW) するような運用が可能である。発電用水量が $0.40 m^3/s$ の場合、17:00~22:30 に2台運転 (320 kW)、その他時間帯を連続して1台運転 (160 kW) するような運用が可能である。



- Nam Pankan Chaung および Kyutaw Chaung からの転流を含めた第2期工事が完了すれば、基本的には 320 kW、24 時間連続運転が可能となる流量 $0.65 m^3/s$ の確保が期待できる。ただし、5 月~6 月の灌漑期初期および異常湧水期には発電利用可能流量が $0.65 m^3/s$ を下回ることもありうる。

- ナムラン地区における水田灌漑は通常5月から開始し10月に終了するが、特に灌漑初期の5月～7月には多くの水量を必要とする。一方、雨季は年によって異なるが一般に5月末頃に始まり10月末まで継続する。従って、発電使用可能流量は、河川流出量にも依るが特に5月～6月にかけての灌漑最需要期に不足する可能性がある。
- 2001年9月の流量観測によれば、Hosang Chaung で $0.44 \sim 0.50 \text{ m}^3/\text{s}$ 、Nam Pankan Chaung で $1.07 \sim 1.74 \text{ m}^3/\text{s}$ 、Kyutaw Chaung で $0.69 \sim 1.15 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。このような流出時には、灌漑用水量に影響されず最大出力で24時間運転が可能である。
- 3河川の流量が同程度で乾季に $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 、雨季に $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$ 、灌漑用水量を5月～7月に3河川合計 $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ 、8月～9月に $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度とした場合、年間を通じて出力320kW、ほぼ24時間連続運転が可能である。年間発生電力量は約2.6GWhである。



Source: Plan by JICA Study Team

3.4.6 土木構造物の設計

1) レイアウト

主要土木構造物は取水堰、導水路、調整池、水圧鉄管、発電所および放水路である。導水路は3区間に分かれ、1) Kyutaw Chaung から Nam Pankan までの約 750 m 区間、2) Nam Pankan から Hosang Chaung までの約 650 m 区間、3) Hosang Chaung から調整池までの 242 m 区間である。

全体計画のレイアウトは図 3.3.2 に示す通りである。このうち、Hosang Chaung 取水堰から発電所までの構造物および配電線を第 1 期工事とし、Kyutaw Chaung から Nam Pankan Chaung までの第 1 導水路、Nam Pankan Chaung から Hosang Chaung までの第 2 導水路は第 2 期工事とする。

各河川流量の水利用は灌漑用水利用を優先するものとし、発電用水量は河川流量から灌漑用水量を差し引いた水量を利用することを原則とする。水利用に関しては、今後 VEC により更なる検討を行う。Kyutaw Chaung からの導水は分水点に簡易ゲートを設け、灌漑期にはゲート操作により Kyutaw Chaung 下流域の灌漑用水量を放流しつつ、余剰水を第 1 導水路により Nam Pankan Chaung まで導水する。

Nam Pankan Chaung は灌漑用に合流・分流する水路網を形成している。Kyutaw Chaung からの導流水と Nam Pankan Chaung の河川流量の一部は、Hosang Chaung 寄りに位置する Nam Pankan Chaung 右端の支川に集め、第 2 導水路始点まではこの支川にそって導水させる。したがって、Nam Pankan Chaung に存在するいくつかの分流点には簡易ゲートを設けて流量調整を行なう必要がある。実際、これまで地元農民は灌漑用に分流点を閉塞・開放することにより水量調整を行ってきた。第 2 導水路は Nam Pankan Chaung から Hosang Chaung 取水堰の直上流まで引かれる。第 2 期工事の実施に先立ち、水路沿いの地形測量を実施し、詳細設計を行うことが必要である。

3 河川から集められた水は 242.4 m 長の第 3 導水路によって斜面頂部の平地部に設けられる調整池まで導水され、さらに斜面に沿って全長 182 m の水圧鉄管により発電所まで導かれる。発電後、水車からの放流水は長さ 97 m の開水路式放水路により発電所下流の沢に放流される。

2) 取水堰

Hosang Chaung は下流に広がる水田の灌漑用に複雑な灌漑水路網を形成している。したがって、取水堰はこれら水路分岐点の上流に設置するような計画とした。取水堰には、下流域の灌漑用に放水設備を設置する。Nam Pankan からの第 2 導水路は取水堰の直上流部で Hosang Chaung に合流する。

取水堰は設計ピーク洪水量(100年確率)8.6 m³/s を洪水吐を通して安全に放流するとともに、放流設備を通して灌漑用水を放流できるような設計とした。放流設備は 1.0 m

高 x 1.0 m 幅の手動スルースゲートで、土砂吐も兼用する。

第3導水路の流入部は取水堰直上流部の Hosang Chaung 右岸に位置し、幅 1.2 m x 高さ 1.5 m の断面を有する。取水堰の灌漑用放流ゲートを閉じた状態では、河川流量が $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の場合、全水量が洪水吐から越流することなしに導水路へ流入する。河川流量が $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上では取水堰直上流の河川水位が洪水吐堤頂を越え、洪水吐からの越流が開始される。

第3導水路流入部には幅 1.0 m x 高さ 1.5 m の手動スルースゲートが設置され、下流水路構造物の維持管理時に閉塞される。また、洪水時には多量の土砂流入が予想されるのでゲートを閉塞する。100年確率洪水時にゲートが万一閉じられなかった場合には、河川水位は EL. 692.66 となり、洪水吐からの越流量は $5.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 、導水路への流入量は $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。したがって、調整池への最大流入量は $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ と見積られる。

取水堰直上流に堆積した土砂は取水堰に設けた放流ゲートから排出される。ゲートの放流能力は河川水位が洪水吐越流堤頂 EL. 691.80 m にある条件の下で、ゲート全開時に $4.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 放流可能であり、ゲート通過流速は 4.6 m/s となる。

堤体は常時満水時、地震時満水時、洪水時においてミドルサード、滑動に対して安全となるよう設計した。堰下流エプロンは蛇籠による河床保護工、練石積による両岸斜面保護工とした。

建設工事中の河流切替えは、Hosang Chaung 取水堰地点を全面閉めきりとし迂回路を掘削する。取水堰建設は2002年11月～2003年8月にかけて行われる予定であり、この間の河川流量は乾季 $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ 、雨季は $0.5 \sim 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度と考えられる。転流水路は素掘り、底幅 1.0 m、側壁勾配 1:0.5、深さ 1.0 m の台形断面とする。河川流量が $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合、粗度係数 0.035、河床勾配 1:500 とすると水深 0.69 m、流速 0.65 m/s となる。

発電用水は 1.0 m 幅 x 1.0 m 高 x 242.4 m 長の第3導水路により Hosang Chaung 取水堰から調整池へ導水される。水路勾配 1:74.2、粗度 0.015 の下では、設計流量 $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ 流入時の水深は 0.27 m となり、100年確率洪水時の最大流入量 $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$ に対しては水深 0.84 m となる。

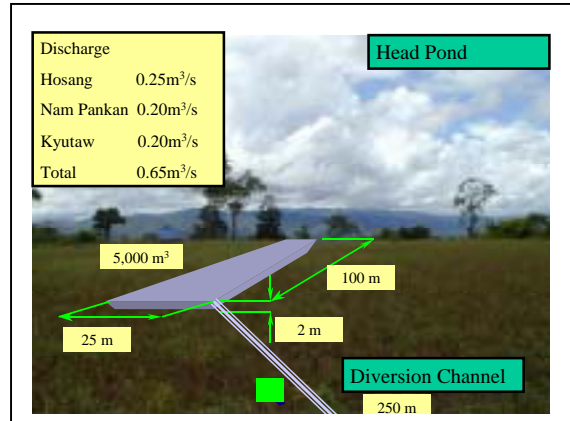
第3導水路は中間部付近で既設灌漑水路を横断することになるため、導水路下に径 1.0 m のコンクリートパイプを設置する。

3) 調整池

調整池は斜面頂部の平地部に位置し、流入量が $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の場合に調整池を利用した日調整運転を行う。

調整池は幅 25 m x 長さ 100 m x 利用水深 2 m として調整容量 $5,000 \text{ m}^3$ を有する。調整池天端標高は EL. 689.00 m、最高水位 EL. 688.00 m、最低水位 EL. 686.00 m、調整池下流端の敷高 EL. 684.20 m である。

調整池の形状は、調整池底部に堆積する土砂の排出を容易にするため、底面勾配を 1/55 と比較的急勾配とする。堆積土砂は、調整池下流端に設ける 60 cm x 60 cm の手動排砂ゲートにより排出する。また、最高水位に合わせて EL. 688.00 m の位置に幅 2 m の自由越流頂を有する余水吐を設ける。調整池は表面保護、漏水防止、容易な土砂排出等を考慮して練石積保護工とする。



排砂ゲート敷高は、水圧鉄管呑口部シル標高 EL. 685.70 から 1.5 m 下の EL. 684.20 とする。排砂ゲートは最高水位 FSWL.688.00 m の下で全開とした場合、最大 2.3 m³/s の放流能力を有するが、実際の操作は、下流放流部の安全性を考慮するとともに排砂時に土砂が水圧鉄管に流入しないよう、水位 EL. 685.70 m 以下で操作される。この場合、最大放流量は 1.0 m³/s (通過流速 2.8 m/s) 以下となる。排砂ゲート下流には径 0.6 m x 長さ 11.2 m の鉄管が接続し、濁水を排砂路に放流する。

調整池の余水吐は、100 年確率洪水時に導水路ゲートが閉塞されなかった場合に流入する最大流入量 3.0 m³/s を安全に放流する機能を持たせる。余水吐はコンクリート矩形水路であり、流入部では幅 2.0 m x 高さ 1.0 m、流入部から 5 m 下流で幅 1.0 m (水路勾配 1/10) に絞る形状とする。

4) 水圧鉄管

既存の Hosang 滝右岸斜面上部の幅 50 m x 長さ 50 m 区間に緩み領域が確認され、その斜面下部に位置する緩勾配区間には崖錐が存在する。豪雨時あるいは掘削時には滑動する可能性もあると考えられるため、水圧鉄管ルートは斜面安定性が比較的高いと考えられる位置に選定した。

ペンストックルート沿いに実施した 3ヶ所のテストピット結果から判断して、地表面から 1.5 m ~ 2.0 m 深の位置には、アンカーブロックの基礎として十分な支持力がある地盤が現れると考えられる。

水圧鉄管流入部は調整池下流端に設置される。流入部シル EL. 685.70 m 上には 3 m 幅のトラッシュラックを設ける。水圧鉄管始点中心標高は、EL. 685.20 (= 最低水位 EL. 686.00 - 鉄管径 0.8 m) とする。

水圧鉄管鉄管は同規模の小水力発電所の実績における平均的な範囲から直径 800 mm とした。水圧鉄管は全長 182.038 m で、径 800 mm x 長さ 178.485 m の鉄管 1 条が調整池から伸び、発電所直上流で 2 条の径 400 mm、長さ 3.553 m の鉄管に分岐し、それぞれの水車に接続する。水圧鉄管は 4 箇所縦断屈曲部に設けられたアンカーブロッ

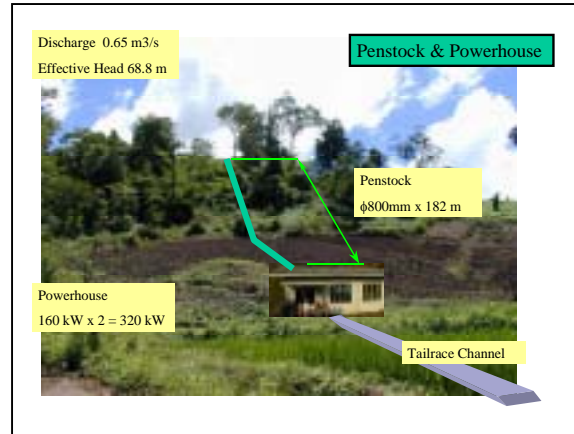
クおよび 23 ヶ所のサドルにより支えられる。アンカーブロック間隔は約 50 m 程度とし、転倒、滑動、支持力に対して安全であるように設計した。(詳細計算は Appendix C-5 参照)。

5) 発電所

発電所は斜面末端部付近下流に広がる水田標高 EL. 619.00 m ~ EL. 617.00 m より高い位置で且つ安定した基礎地盤が期待できる標高 EL. 621.00 m に設置される。放水位は発電所下流の沢における 100 年確率洪水量 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ に対応する洪水水位 EL. 616.00 を考慮して EL. 618.50 m と設定した。

発電所フロア標高は EL. 621.15 m とし、発電所屋外標高は EL. 621.00 とした。発電

所フロア EL. 621.15 m 以下の下部構造物は鉄筋コンクリート製とし、上部構造物は基本的に木造とする。フロアサイズは幅 13 m x 長さ 6 m で 2 台の水車・発電機 (220 kVA – 160 kW x 2)、ダミーロードヒーター、コントロールパネルおよび 11 kV キュービクルを収容する。発電用水は水車からフロア下部のドラフトチューブピットを通り、放水路に放水される。放水路は練石張りとし、長さ 97 m、勾配 1/27 の開水路で下流の沢に接続する。発電所に隣接して主変圧器 (500 kVA – 400V/11kV) が屋外に設置される。



3.4.7 鋼構造設備

1) 放水口ゲート

取水堰に設置される放水口ゲートは幅 1.0 m x 高さ 1.0 m で、Hosang Chaung 下流域の灌漑用水放流を行う。また、堰上流に堆積した土砂を排出する機能も有する。ゲートは手動により操作される。

2) 取水ゲート

導水路流入部に設置されるインレットゲートは幅 1.0 m x 高さ 1.5 m で下流水路の維持管理時および洪水時に閉じられる。ゲートは手動により操作される。

3) トラッシュラック

ペンストック流入部に設置されるトラッシュラックは、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機能を有する。トラッシュラックは幅 3.0 m、

1:0.3 の勾配で斜高 3.45 m として設計されている。

4) 排砂ゲート

調整池下流端に設置される排砂ゲートは 0.6 m 高 x 0.6 m 幅で、調整池に堆積した土砂を排出する機能を有する。ゲートは手動により操作される。

5) 水圧鉄管

水圧鉄管は全長 182.038 m で、径 800 mm x 長さ 178.485 m の鉄管 1 条が調整池から伸び、発電所直上流で 2 条の径 400 mm、長さ 3.553 m の鉄管に分岐し、それぞれの水車に接続する。

鋼構造設備の設計データは表 3.4.3 の通りである。

表 3.4.3 鋼構造設備の主要設計データ

Items	Major Design Data
1) River outlet gate	Quantity: 1set Width: 1.0 m Height: 1.0m Design Head : 3.0m
2) Inlet gate	Quantity: 1set Width: 1.0 m Height: 1.5 m Design Head : 1.8m
3) Trashracks at head pond	Quantity: 1set Width: 3m Slant Height: Approx. 3.45m(1:0.3)
4) Sand drain gate at head pond	Quantity: 1set Width: 0.6m Height: 0.6m Design Head : 3.8m

Source: Design by JICA Study Team

3.4.8 電気設備

1) 配電施設計画

a) 設計風圧

MEPE の風圧値を構造物の受風面積に適用する。

- 電線及びワイヤ : 40 kg/m²
- 円筒形構造物 (電柱等) : 30 kg/m²
- がいしおよび取付金具 : 60 kg/m²

b) 弛度計算の条件

架空線の弛度は以下の条件を想定して計算する。

- 電流による温度上昇を含めた電線最高温度は 75°C とする。すなわち、想定最高外気温度 40°C に対し 35°C の温度上昇を見込む。
- 最低温度時に最大風速が発生する可能性は高いが、想定最大風速時の設計電線温度は 10°C とする。
- EDS (常時張力) は 25°C、無風として計算する。
- 電線の安全率は、電線の破断候抗張力に対し、10°C、最大風速下においては 2.5 以上、EDS に対しては 4.0 以上とする。
- 支持物の地上高さを決定するための電線の最大弛度は、電線の最高温度、無風時の弛度とする。

c) 安全率

- 最大荷重時の構造物、電柱、その他支持物の限界強度に対し : 2.5
- 電線の最大作用張力はその電線の破断抗張力に対し : 2.5
- 最大荷重時の碍子セットは、その破壊強度に対し : 2.5
- 支持物の基礎は、同時に作用する構造物の最大荷重による
応力の地盤の圧縮強度および引抜強度に対し : 2.5

d) 電線の支持物高さ

架空線の支持物はコンクリート柱とし、その全長は下記の支持物高さより 11 kV 線用 8.0 m、9.0 m 及び 10.0 m、低圧線用 7.0 m 及び 8.0 m とする。

電線の最小絶縁間隔を下記の通りとする。

- 配電線の地上高	11 kv	L.V.
道路横断	6.0 m	5.7 m
道路沿い	5.7 m	5.4 m
耕作地	5.1 m	4.5 m
- 配電線と樹木との接近	2.0 m	1.0 m
配電線と建造物との接近	2.4 m	1.2 m

11 kV 線と低圧線との隔離	1.0 m
11 kV 線の相間隔	0.6 m
低圧線の相間隔	0.3 m

11 kV 線及び低圧線のポール長は以下の通りである。

11 kV 線及び低圧線のポール長さ

仕 様	11 kV 線		低圧線	
	ポール型式		ポール型式	
	A, B, BA C, D (m)	A, B, BA (m)	A, B, BA, C, D (m)	
電線最低地上高	6.0	5.7 (5.1)	5.7 (5.4)	4.5
電線弛度	0.5	0.5	0.5	0.5
ポール頭部と腕金との間隔	0.25	0.25	0.25	0.25
ポールの根入れ深さ	1.5	1.5	1.4	1.4
電線地上高の余裕	0.75	0.05 (0.65)	0.15 (0.45)	0.35
ポールの全長	9.0	8.0	8.0	7.0

11 kV 線低圧線共架のポール長さ

仕 様	11 kV 線 ポール型式 A, B, BA, C & D (m)	
電線最低地上高（低圧線）	5.7	4.5
電線弛度	0.5	0.5
ポール頭部と 11 kV 線腕金との間隔	0.25	0.25
11 kV 線と低圧線との腕金の間隔	1.0	1.0
低圧線と低圧線との腕金の間隔（分岐線）	0.7	0.7
ポールの根入れ深さ	1.7	1.5
最低部の電線地上高の余裕	0.15	0.55
ポールの全長	10.0	9.0

Source: Design by JICA Study Team

e) 配電施設の施工方法

総数 873 本の電柱の運搬および荷降ろしには、クレーン付きトラックを用い、穴掘りおよび据付作業は人力によるものとする。配電線の架線工事には高所作業車者を使うものとする。

g) 引込線・屋内配線工事

一般需要家への引込線工事はミャンマー側が担当する。引込線資材および電力積算計は本計画で調達するものとする。

2) 機材計画

本事業での調達資機材色材一覧表を表 3.4.4 に示す。

表 3.4.4 調達資機材

No.	機材	単位	数量	備考
1	水車発電機	台	2	160 kW。逆転ポンプ水車型。3相同期、端子電圧 400 V、力率 0.80。
2	コントローラ	セット	2	ダミー負荷型。容量 220 kVA。
3	主変圧器	台	1	屋外型、0.4/11 kV、500 kVA。
4	配電用開閉機器盤	セット	1	屋内型、電圧 11 kV、電流 400A、再閉路方式、スペースヒータ付き。
5	放水口ゲート	門		1.0 m 幅 x 1.0 m 高
6	取水ゲート	門		1.0 m 幅 x 1.5 m 高
7	排砂ゲート	門		0.6 m 幅 x 0.6 m 高
8	水圧管路	M		φ 800 : 178.5 m、φ 400 : 3.6 m
9	11 kV 配電線用 コンクリート電柱	本	347	8m、9m、10m 長さ、含む碍子金具及び腕金類
10	低圧配電線用 コンクリート電柱	本	526	7m 及び 8m 長さ、含む碍子金具類及び腕金類
11	配電用変圧器	台	3	3φ、200 kVA、11 kV / 400-230 V
12	配電用変圧器	台	2	3φ、50 kVA、11 kV / 400-230 V
13	11 kV 配電線	km	34	11kV、3 相 3 線式、ACSR 35 mm ² 、11.3 km x 3
14	低圧配電線	km	84.4	400-230V、3 相 4 線式、単相 3 線式、単相 2 線式、一部区間では 11kV 配電線路に低圧線共架、各家屋への引込線工事ハミヤンマー側の負担。
15	メータ、ブレーカ、 ケース、引込線	セット	2,100	調達のみの。
16	街路灯	セット	50	蛍光灯、電柱に設置。

Source: Planning by JICA Study Team

a) 水車型式

有効落差 68.8 m、水車の設計流量 0.325 m³/s の本発電計画の水車として想定される水車型式は、クロスフロー、ペルトン、ターゴインパルス、横軸フランシス、および逆転ポンプの 5 形式である。ペルトン水車とターゴインパルス水車は同じ衝動タイプであるが、本計画サイトの落差・流量条件の元ではペルトンの回転数は低くなり、その結果発電機が大きくなるため、ターゴインパルス水車と比べて経済性が劣る。したがってペルトン水車は以下の検討対象から外す。

i) 水車形式の比較

4 つの水車形式の長所・短所、概算重量等の比較表を表 3.4.5 に示す。

小水力発電所で設置実績の最も多い水車形式はクロスフローである。クロスフロー水車の適用落差は一般に 5-100 m とされるが、実際には 30-60 m を越えると 26 枚以上に上る薄肉ランナ(インペラー)の耐久性を確保することが重要な課題となり、一般的には避けることが賢明とされている。軟鋼で製作した場合、ランナの寿命が 3 年程度と短いこと、また、ランナの損傷原因のひとつにゴミの水車への流入があるが、ゴミの流入を 100% 防止することは現実には極めて困難なこと

から、容易な維持管理と相対的に高い耐久性（すなわち維持管理経費の低減）を目指す本計画の対象水車形式から外す。

表 3.4.5 水車形式の比較(1/2)

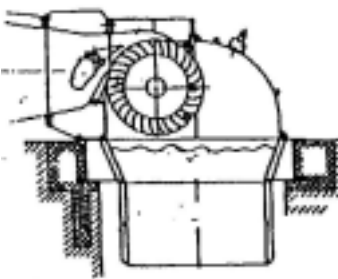
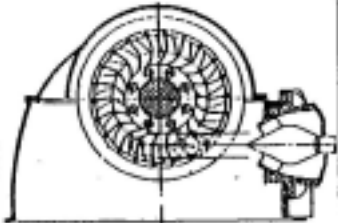
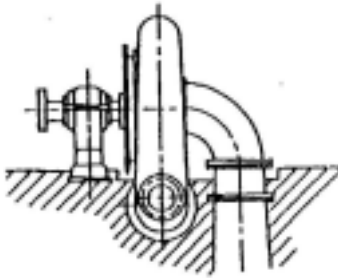
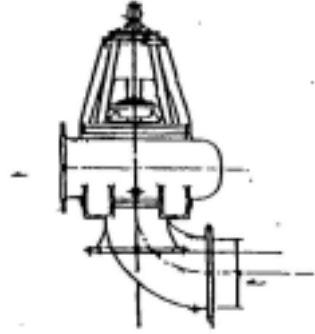
No.	項目	単位	クロスフロー水車	ターゴインパルス水車	横軸フランシス水車	逆転ポンプ水車
1	略図					
2	一般的適用出力	kW	50-1,000	100-10,000	500-5,000	
3	一般的適用流量	m ³ /s	0.1-10	0.2-8	0.65-18	
4	一般的適用落差	m	5-100	25-300	15-300	
5	水車の最高効率	%	79	85	86	78
6	回転数	min-1	680	750	1,000	1,000
7	ミャンマー国での導入実績		多くの実績があるが、設計・製作技術の向上が必要。	不明。ほとんどないと推測される。	実績はあるが、規模の大きなもの。	逆転ポンプ水車としてはないが、灌漑ポンプ等として多数あり、その O&M 経験はある。
8	総合評価		本計画が対象とする落差においては不適。回転数を高めるには薄肉ランナー(細く短いブレードとシャフト)が必要だが、応力集中による耐久性確保が課題。	適している。対応できる流量変動幅が大きく、効率よく発電できる。回転速度はフランシスより遅いが、構造はフランシスより簡易。部分負荷での効率が高く、設計流量の10%まで発電(2ノズルの場合)できるのが特徴である。	適している。固定ガイドベーンとダミーロードガバナを組合せ、取水量が一定であれば、構造は簡易になりコストも下げられる。固定ガイドベーンの場合、ダミーロードの性質上、無効放流が生じる。部分負荷では効率が落ちる。	ダミーロードガバナを採用し、取水量が安定していれば適。また、複数の台数が据付けられ台数制御によって出力を制御できれば適。ダミーロードガバナが必要不可欠であり、その性質上、無効放流が生じる。

表 3.4.5 水車形式の比較 (2/2)

No.	項目	単位	クロスフロー水車	ターゴインパルス水車	横軸フランシス水車	逆転ポンプ水車
1	特徴		<ol style="list-style-type: none"> 1.他の水車に比べて回転速度が最も遅い。 2.機器価格は他水車に比べ安価で、建設費も安い。 3.水車構造が簡易。 4.吸い出し高さを 100% 有効には利用出来ないのので、その分有効落差が小さくなる。 5.最高効率は他水車より低い。落差が小さければランナを分割することによって部分負荷での効率を高めることができる。 6.落差が大きい場合、ブレードに応力が集中する為、キャビテーションや砂摩耗により損傷を受け易い。 7.一般的にランナの寿命は、軟鋼で 3 年程度、ステンレスで 10 年程度である。 8.ランナブレードへのゴミ詰まりによる効率低下、振動発生を防止するために取水スクリーンの構造など、ゴミ対策に考慮が必要である。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.ペルトン水車に比べれば、回転速度を高くできるため、発電機を含めて小型化し、機器価格を低減できる。しかし、フランシス水車に比べると回転速度が低い。 2.本計画の落差は横軸ペルトンと横軸フランシスの境界にあるが、ターゴインパルスの適用範囲の中心にある。 3.構造が簡易。 4.据付費は横軸フランシス水車よりも安い。 5.ほかの水車に比べ、水車外形が大きく、据付面積が広がる。 6.水車据付位置から放水路までの落差は損失となり、その分有効落差が小さくなる。 7.最高効率はペルトン水車より 1-3%低いですが、部分負荷特性がよく、軽負荷運転が多ければ有利になる。 8.日本における適用実績は少ない。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.他の水車に比べて回転数が高いため、発電機を含めて小型化し、機器価格を低減できる。 2.ガイドベーン操作機構が複雑で保守性に劣る。(固定ガイドベーンを除く) 3.固定ガイドベーンにダムロードを組み合わせれば構造の簡素化が可能。 4.全吸い出し高さを有効に利用できる。 5.ほかの水車に比べ最高効率が非常に高いので、定格出力付近での運転が多い場合には有利である。一方、部分負荷効率が低くなるため、軽負荷運転が多い場合は不利となる。 6.固定ガイドベーンとする場合、水車が流量を調整出来ないのので、乾季の取水量が水車設計流量を下回る場合、発電を停止しなければならない。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.ポンプを逆転させて水車として利用するもので、標準設計のポンプを適用できる。 2.構造が簡単で、運転保守が容易。 3.ポンプを利用するものなので、ほかの水車と比べると効率が低い。特に、部分負荷時の効率が低いので、水車として利用するためには、ダムロードを用いて定格出力で運転しなければならない。 4.水車が流量を調整できないので、乾季の取水量が水車の設計流量を下回る場合、発電を停止しなければならない。

ターゴインパルス水車は、入口の構造がやや複雑であること、また、小水力発電所においてはゴミが流入した場合のノズル損傷等の維持管理上の課題がある。ミャンマーでの導入実績は不明だが多くはないものと推測される。フランス水車形式と比べて回転数が低くなる結果、発電機などのコストがその分増大する。ターゴインパルス水車は、負荷変動に応じて流量を調節することができ、また、乾季に取水量が減少しても、設計流量の10%まで運転(2ノズルの場合)できる。部分負荷での効率が高い為、部分負荷運転が支配的であれば、ターゴインパルス水車がナムランに最適である。

通常の横軸フランス水車は構造が複雑なことから、山間の協同組合による保守が課題である。また、本計画の出力と設計流量は横軸フランス水車の適用範囲からやや外れており、設計上の注意が必要となる。しかし、ターゴインパルス水車同様、出力が調節できるので、逆転ポンプでみられるような無効放流はない。設計流量における水車効率は比較対象水車の中で最も高く、適用範囲は広い。従い、十分な流量が確保され全負荷運転が支配的であり、大型発電所と系統で連繋している場合はフランス水車が最適である。しかし、ナムランの条件は異なる。

なお、ガバナをダミーロードとし、さらに固定ガイドベーンとすれば、構造の簡単なこと、放水位までの全落差を利用できる点、設計流量でしか運転できない点では、フランス水車と逆転ポンプ水車は同条件となる。価格のパラメータとなる重量は逆転水車の方が軽いが、効率はフランス水車が優る。しかし、本計画の規模では逆転ポンプ水車と比べてフランス水車は一般的に経済性が低い。

以上の比較検討の結果、本計画では、構造の簡単なこと(保守が容易)、耐久性(持続性)、および見積もりベースの平均価格の観点から、逆転ポンプ水車形式が適していると考えられる。

しかし、昨今、ターゴインパルス水車の価格低下の現状を加味すると、ターゴインパルス水車は价格的に逆転ポンプ水車に匹敵し、乾季に河川流量が設計流量を下回ったり、部分負荷運転が支配的である環境下においてはターゴインパルス水車に優位性がある。

ii) ダミーロードガバナの長所と短所

逆転ポンプ水車形式は流量を調節する機構を持たないため、独立発電系統となる本計画では、ダミーロードガバナを用いて一定流量、一定出力運転とすることが必要となる。ダミーロードガバナは、他の水車形式にも適用できるものであるが、次の長所を有する。水車の負荷変動がないため水圧管路に水撃圧が生じない、水車を常時定格流量で運転できるため水車のキャビテーションの発生が少なくなる。

一方、ダミーロードガバナは次の短所を持つ。水車流量を調節できないため取水量の変化に対応できず、乾季に取水量が定格流量を下回る場合等に小流量での運転ができない。調整池・貯水池式の場合低負荷時に無効放流を引き起こす(ただし、本計画は流込式なので該当しない)。事故時に水車の自動停止ができず、運転員が手動で入口弁あるいは取水ゲートを閉鎖しない限り水車発電機は回転を続けるため、発電機は最大無拘束速度で長時間運転可能なように設計することが必要となる。従って、事故時には(停電するので判断できる)昼夜を問わず運転員が発電所に急行し、マニュアルに従って対処することが必要となる。ダミーロードガバナは、水車負荷を一定に保つ為、系統負荷を超える余剰電力を熱エネルギーとして常に放出する(=無効放流を継続)特性がある。

iii) 乾季における停電

前項でも触れたが、逆転ポンプ水車は流量を調節する機構を持たないため、乾季に河川から取水できる量が水車の設計流量を下回った場合には、水車の台数制御(複数台の水車がある場合、総発電使用水量が取水量以下となるように運転台数を減らす)か、あるいは特殊な入口弁を設置して流量調節を行い部分負荷運転を実施することが必要となる。本計画の場合には、経済性の観点から発電機器は160 kW×2台とし、また流量調節用の入口弁は設けない(水圧管路遮断用の入口弁は設置する)ので取水量が水車の設計流量(0.325 m³/s)を下回った場合には発電所を停止することが必要である。乾季に取水量が設計流量を下回った場合には、2台の発電機の内1台を停止し、需要家に夜間の節電を呼びかけるか、あるいは村落別の計画停電を実施することが必要となる。

以上の水車形式の比較検討に基づいて、本計画では、構造が簡単で修理・交換が比較的容易であり、耐久性が相対的に高く、経済性に優れ、またミャンマーにおいても実績の多い灌漑用ポンプを応用した逆転ポンプ水車を採用する。

b) 発電・配電設備の設計条件

発電・配電設備の設計条件を以下に示す。

- この規模の水車・発電機の合成効率を0.733と想定して(厳密には入札者の保証効率による)水車の設計水頭は68.8 m、流量は0.325 m³/sとする。

$$P = g \eta Q_t H_e = 9.8 \times 0.733 \times 0.325 \times 68.8 = 160 \text{ kW}$$

- ヘッドタンク常時水位 : EL. 688.00 m
- 放水庭常時水位 : EL. 618.50 m

- 定格水頭 : 68.8 m
- 発電機定格容量 : 220 kVA
- 配電電圧 : 11 kV

c) 発電設備計画

発電所には以下の設備を設置する

i) 水車

- 流量×落差 : $0.325 \text{ m}^3/\text{s} \times 68.8\text{m}$
- 形式 : 逆転ポンプ水車
- 定格出力×台数 : $160 \text{ kW} \times 2 \text{ 台}$
- 回転数 : $1,000 \text{ min}^{-1}$
- ガバナ-方式 : ロードガバナ(ダミーロードヒータ)方式

ii) 発電機

- 形式 : 三相交流同期発電機、横軸開放防滴形
- 定格出力×台数 : $220 \text{ kVA} \times 2 \text{ 台}$ (力率 0.8)
- 定格電圧×周波数 : $400 \text{ V} \times 50 \text{ Hz}$
- 回転数 : $1,000 \text{ min}^{-1}$
- 冷却方式 : 自己通風空気冷却方式
- 励磁方式 : ブラシレス方式

iii) 主変圧器

- 形式 : 屋外用三相油入変圧器、無負荷時タップ切換装置付
- 変圧比 : $0.4 \text{ kVH}/11 \text{ kV}$
- 定格容量×台数 : $500 \text{ kVA} \times 1 \text{ 台}$
- 冷却方式 : 自冷方式

iv) 11 kV 開閉機器

- 形式 : 屋内用閉鎖形配電盤
- 定格電圧 : 11 kV
- 遮断器定格 : 12 kV, 600A, 12.5 kA
- 回線数 : 引き出し 1 回線

v) 低圧開閉器

- 形式 : 屋内用閉鎖形配電盤
- 定格電圧 : 400 V

もし、ターゴインパルス水車が選定される場合には、水車・発電機の諸元は以下のようになる。

i) 水車

- 流量 × 落差 : $0.65\text{m}^3/\text{s} \times 68.8\text{m}$
- 形式 : ターゴインパルス水車
- 定格出力 × 台数 : $370\text{ kW} \times 1\text{ 台}$
- 回転数 : 750 min^{-1}
- ガバナー方式 : CPU 調速機

ii) 発電機

- 形式 : 三相交流同期発電機 横軸開放防滴形
- 定格出力 × 台数 : $450\text{ kVA} \times 1\text{ 台}$ (力率 0.8)
- 定格電圧 : 400V
- 周波数 : 50 Hz
- 回転数 : 750 min^{-1}
- 冷却方式 : 開放型、自冷式
- 励磁方式 : ブラシレス方式

d) 配電設備計画

i) 11 kV 特別高圧配電線

11 kV 特別高圧配電線路はナムラン発電所から約 3.2 km 離れたクータウ地区に設置する配電用変圧器及びコネ・ヤング地区、カウング・ラン地区、マ・モネ・スイン地区及びパン・ハイ地区にそれぞれ設置する配電用変圧器に電力供給する電路で、その延長は約 11.3 km となる。尚、コネ・ヤング地区からパン・ハイ地区までの電路は既設の低圧線路に添って設置する。

主要資材の仕様は以下に示す。

- 方式 : 交流 3 相 3 線式
- 配電 : 11 kV
- 亘長 : 11.3 km
- 支持物 : コンクリート柱 (平均電柱間隔 40m)
- 電線 : 鋼心アルミ撚線 (35 mm^2)
- がいし : ピン碑子及び懸垂がいし

ii) 配電用変圧器

5ヶ所に設置する配電用変圧器は発電所の電力をナムラン村とそれを取り巻く 5つの村落の需要家約 2100 軒に電力供給するための変電設備である。

主要機材の仕様を以下に示す。

- 配電用変圧器
 - 形式 : 屋外用三相油入型
 - 定格容量 × 台数 : 50 kVA 2 台
200 kVA 3 台
 - 定格電圧 : 11 kV / 400-230V
- 負荷開閉器
 - 形式 : 屋外用三相単投操作型
 - 定格電圧 : 12 kV
 - 定格遮断電流 : 600 A
- ドロップアウト式電力フェーズ
 - 形式 : 屋外用、単相、フック操作型
 - 定格電圧 : 12 kV
 - 定格電流 : 100 A
 - 遮断容量 : 12.5 kA
- 壁電器
 - 定格電圧 : 14 kV
 - 定格放流電流 : 10 kA

iii) 低圧配電線

配電用変圧器ごとに低圧配電線を樹枝状に引き出す方式とする。これは構成が簡単で保守運用も容易である。

需要密度の高い地域には 3 相 4 線式を採用し、需要に応じ単相 3 線式又は単相 2 線式を採用する。その電路巨長は約 28 km である。

主要資材の仕様を以下に示す。

- 配電方式 : 三相 4 線式、単相 3 線式及び単相 2 線式
- 定格電圧 : 400-230 V
- 巨長 : 28 km
- 支持物 : コンクリート柱
(平電柱間隔 = 40 m)
- 電線 : 裸硬銅燃線
HDCC-38 mm²
HDCC-22 mm²
HDC-8 mm² 街路灯用
- 碍子 : ピン碍子及びシャックル碍子

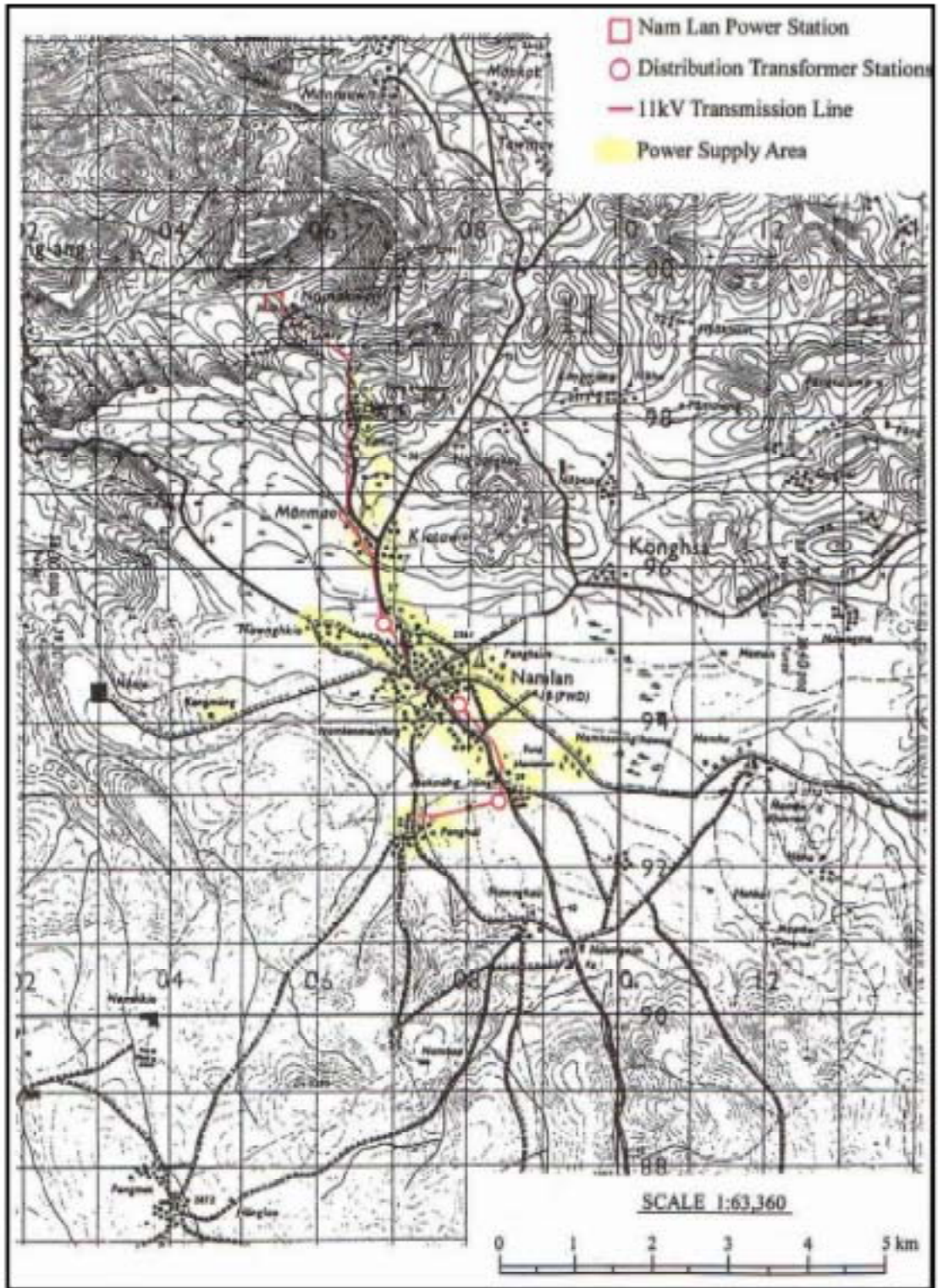
11 kV 高圧配電線路及び低圧配電線路のルート測量及び土質調査は今回実施していない。

11 kV 高圧配電線ルートを図 3.4.2 に、400-230 V 低圧配電線を図 3.4.3 に示す。

e) その他機材

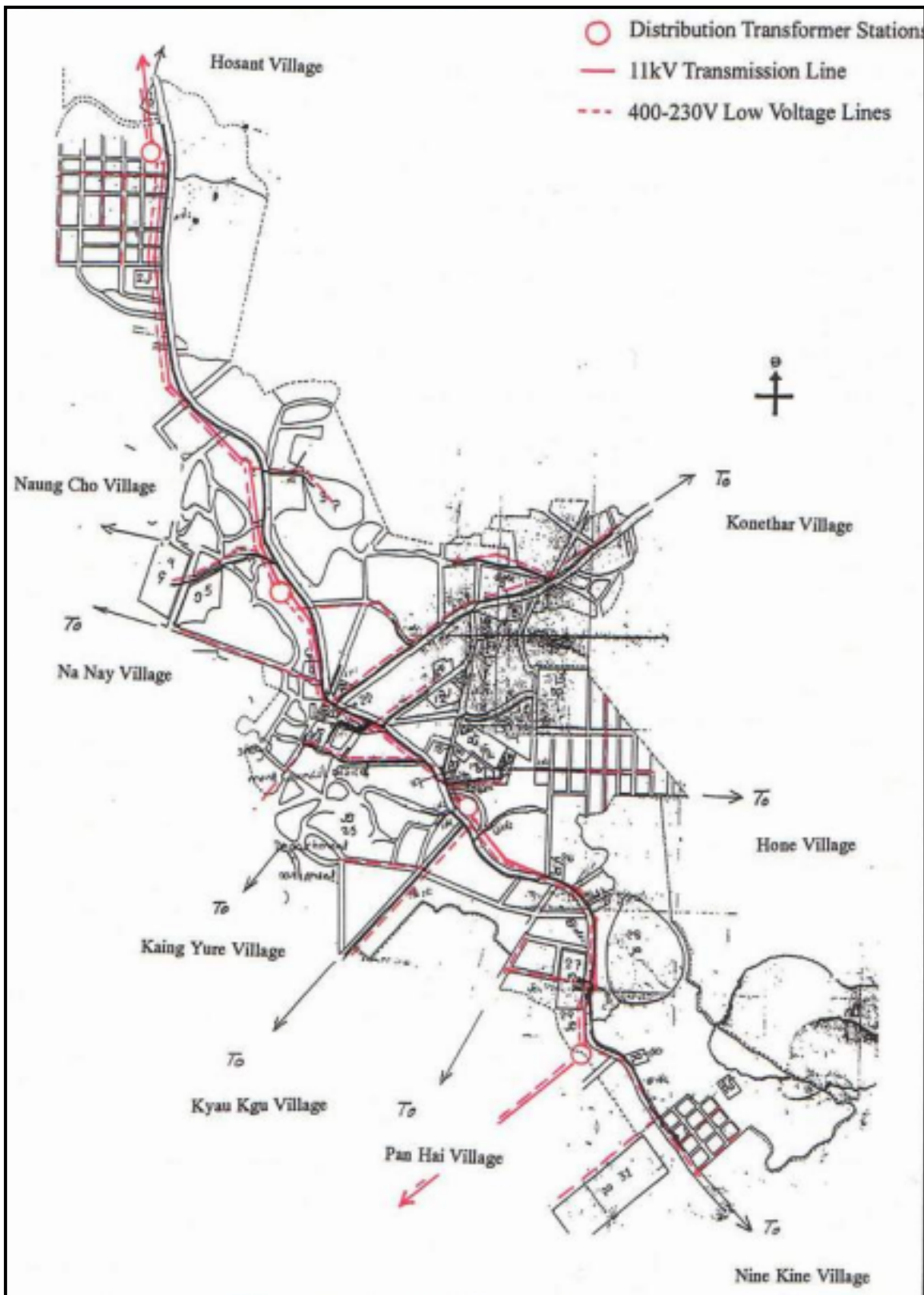
- i) その他機材は、故障が少なく点検・維持・修理が容易であること、スペアパーツが容易に入手できること、およびミャンマー国内における調達を原則とすることを基準として選定する。
- ii) 街路灯は、100W 以下の屋外用の蛍光灯とする。
- iii) 予備品は発電所や配電設備の円滑な運転を図るために常備するものである。本プロジェクトの予備品の選択にあたっては、電気共同研究 (SOCIETY OF ELECTRIC COOPERATIVE RESEARCH) 台 9 巻第 2 号「水力発電所の設置予備品について」を参照して、下記の基準により予備品の調達計画を作成した。
 - 事故例が多く予備品がないと運転に支障をきたすもの (軸受など)。
 - 摩耗、腐食を受けやすく予備品がないと運転に支障をきたすもの (ランナ、スリーブなど)。
 - 小部品で予備品がないと運転に支障をきたすもの (計器類、フューズ、表示灯の電球など)。
 - 消耗が激しい部品 (封水パッキングなど)。
 - 特殊設計品で、将来補充に時間を要すると予想されるもの (ランナ、ガバナ用ヒータなど)。
 - ほぼ一定の周期をおいて取り替える部品 (パッキン、グリースなど)。

なお、予備品の数量は現場が遠隔地にあつて調達に時間がかかること、また運転開始後当面は補修用積立金が限られて入ることを考慮して、運転開始後最低 2 年間は予備品の補充無しで運転を継続出来ることを目標として設定する。ただし、予算内においてできる限り長期の補充も検討する。



Source: Planning by JICA Study Team

図 3.4.2 11 kV 配電線図



Source: Planning by JICA Study Team

図 3.4.3 400-230 kAV 配電線

3.4.9 積算

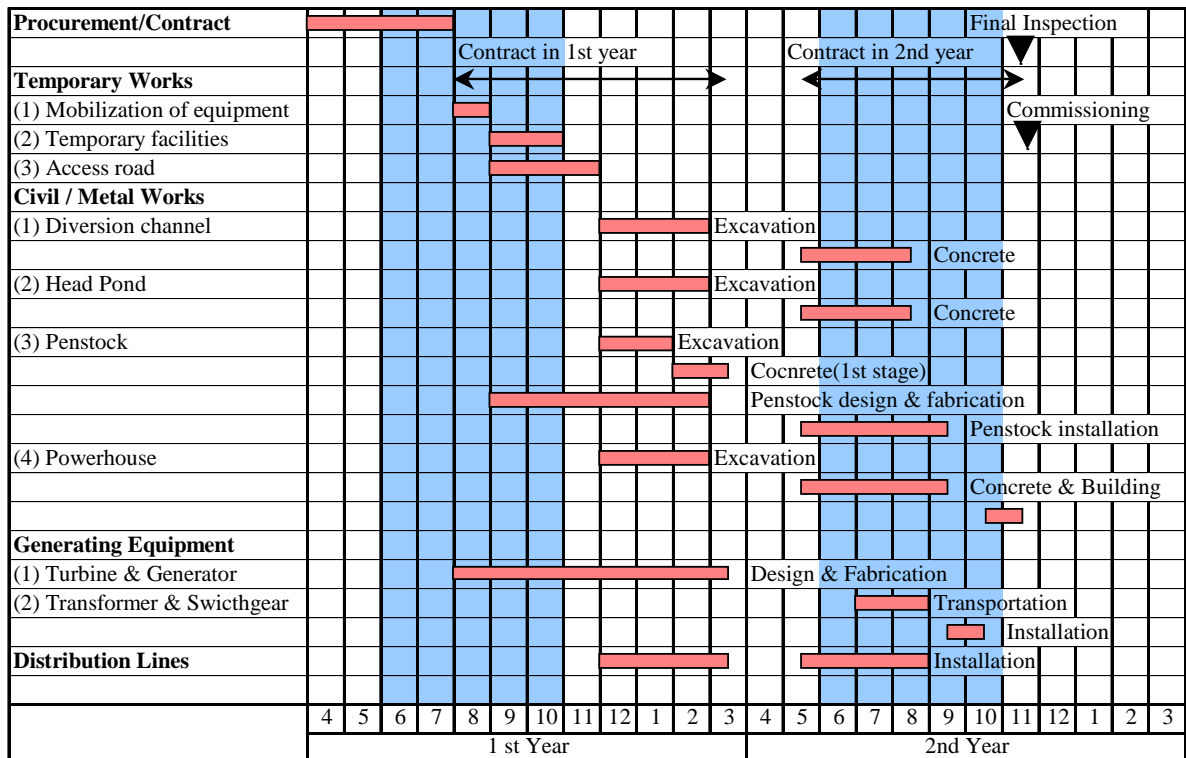
ナムラン小水力の建設コストは以下の条件の下で積算を行った。

- (1) 土木工事は調査団が作成する仕様書と契約条件に従い、MEPE による施工管理の下で、ミャンマー国内の地元建設業者が請負う条件とした。
- (2) 土木建設単価はミャンマー国における小水力工事の実績と一般的な国際入札方式の標準的価格を参考として設定した。
- (3) 水車・発電機・制御盤は本邦調達とし、他の機材・設備はミャンマー国内での調達とした。

ナムラン小水力の総工事費は、上記条件の下で US\$ 1,200,000 と見積られた。

3.4.10 建設スケジュール

ナムラン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、以下のように見積られた。



Source: Planning by JICA Study Team

図 3.4.4 建設工程表

3.4.11 今後の調査

ナムラン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。

調査項目	内容
地形測量	転流水路沿いの地形測量 縮尺1/2,000
流量観測	Nam Pan Chaung、Kyutaw Chaung及びHosang Chaungにおける 継続的な流量観測

3.5 経済、財務および環境

3.5.1 経済

ナムラン小水力計画では全 2,082 軒に 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になる。すなわち、家内工業の動力源や料理用熱源としての便益が含まれる。

ナムラン小水力計画では電化の最初の段階ではその電力需要は夜間 270 kW、昼間 250 kW であるが、いずれ夜間 350kW、昼間 310kW に伸びると推定されている。電力供給が朝 6 時から夜 10 時までの 16 時間（昼間 8 時間、夜 8 時間）とすると総需要量は最大、全 2,082 軒で月に $(350 \text{ kW} + 310 \text{ kW}) \times 8 \text{ hours} \times 30 \text{ days} = 158 \text{ MWh}$ となる。したがって、潜在的には一軒あたり月に 76 kWh/hh/month 以上になり、電灯需要を超える。実際、昼間需要は主に家内工業のものである。対象地域の既存の家内工業としては 1) 脱穀、2) 搾油、3) 家具、4) 鍛冶屋、5) 豆腐製造、6) 麵製造、7) 木材加工、8) BCS、9) 給水・灌漑ポンプがある。この中でも脱穀からの電力需要が最も大きく、次に搾油、木材加工と続く。これらは高原農村地域における典型的家内工業であり、地方電化の観点からは売電収入を増加させる需要先である。

村落調査で昼間需要は 310 kW(将来)と推定されている。総消費量は朝 8 時から夕方 4 時までで $310 \times 8 = 2,480 \text{ kWh/day}$ になる。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)とするとナムランでの産業に必要な電力消費量は $2,480 \times 0.86 = 2,133 \text{ kWh/day}$ 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、 $213 \text{ ガロン/day} = 2,133/10$ (ミャンマーでのディーゼル発電効率は約 19%または 10 kWh/ガロン)となる。月間コストは $213 \text{ ガロン} \times \$1/\text{ガロン} \times 30 \text{ days} = \$6,390/\text{day}$ になる。ナムランにはおよそ 50 の家内工場(需要先)があるので、一工場あたり月に \$127 となる。

電灯の経済便益は一月に一軒あたり \$1-\$2 であるから全 2,083 軒では月に \$ 2,000 から 4,000 になる。産業用電力を含めると月に \$8,390 から \$ 10,390 におよぶ。これは一月に一軒あたり平均 \$4.0 から \$5.0 である。

表 3.5.1 は財務・経済分析を示す。ナムラン小水力計画の投資額を約 \$1.20 million、プロジェクトライフを 50 年とすると、経済内部収益率 (EIRR) は経済便益を \$5.0/month/hh として約 10.3% と計算される

3.5.2 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。電力需要予測では家庭の夜間電力量は一軒あたり最大 $350 \text{ kW}/2082 = 168 \text{ W}$ である。夜間消費量は午後 6 時から 10 時までで $4 \text{ hours} \times 168 \text{ W} = 0.67 \text{ kWh/day/hh}$ 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 $0.67 + 0.67/5 = 0.8$ kWh/day/hh または 24 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) + $24 \times K2.5$ K/kWh (エネルギー費) = K85 K または約 \$0.17/month/hh となる。

昼間の家内工業需要は約 50 軒全体で 2.3 MWh/day と見込まれている。一軒平均一日 46 kWh または月平均 1380kWh 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 $K2.5 (<50 \text{ kWh}) \times 50 \text{ kWh} + K10 (<200 \text{ kWh}) \times 150 \text{ kWh} + K25 (>201 \text{ kWh}) \times 1180 = K31,125$ または、\$62.3/month/hh と計算される。家庭一軒あたりの平均に直すと $3115/2082 = \$1.5/\text{month}/\text{hh}$ である。一般家庭需要と合わせると $0.17 + 1.5 = \$1.67/\text{month}/\text{hh}$ になる。これは経済便益の約 1/2 から 1/3 のレベルである。全消費量は $0.8 \text{ kWh}/\text{day}/\text{hh} \times 2082 + 2.3 \text{ MWh}/\text{day} = 4\text{MWh}/\text{day}$ 、120 MWh/month、または、60 kWh/month/hh と計算される。ひと月あたり支払額は $\$0.17 \times 2082 + \$3,115 = \$3,468$ となり、kWh あたり平均価格は $3468/120,000 = \$0.029/\text{kWh}$ となる。

経済便益と比較すると昼間も夜間も経済便益よりずっと低い支払額である。しかしながら、明らかな違いは夜間ユーザーが数にして多いものの一軒あたりの需要が小さいのに対し、昼間の産業需要は数が少なく一軒あたりの需要量が大きいということである。

このことを考えると、例えば 1 年毎の契約更新料或いは VEC への年間組合費のような形で 1 年毎に徴収する料金を設定することも一案である。例えば夜間電灯需要と昼間の産業用需要を区別し VEC への組合費として夜間利用者 (月 50 kWh 以下) には年会費 \$10、産業用利用者 (月 51 kWh 以上) には年会費 \$50 と設定することができる。この場合、年間料金は一軒あたり $(10 \times 2082 + 50 \times 50)/2082 = \11.2 となる。

表 3.5.1 に、これに基づく財務内部収益率 (FIRR) が計算されているが 1.25% である。ナムラン小水力計画の場合、年会費が無い場合でも FIRR はプラスの 1.17% である。ヘホー小水力計画の場合に比べ産業用需要量の割合が大きく累進的 MEPE 料金が全体として平均価格を上げたことに起因している。

表 3.5.1 経済・財務分析

Assumptions			
Discount Rate%	10.0%	Construction Cost \$	1,200,000
Consumption kWh/hh/month	60	O & M Cost (% of Construction Cost)	1.0%
No. of Household	2,082	Fuel Cost \$/year	0
Financial Benefit (Tariff \$/kWh)	0.029		
Annual Fee \$/hh (1st Year Only)	10		
Financial Benefit \$/Year = (Initial Fee x No.HH + Tariff (\$/kWh) x Consumption (kWh/hh/month) x No.HH x 12 month) x Discount Factor			
Economic Benefit (WTP \$/month)	5		
Economic Benefit \$/Year = WTP (\$/month) x No.HH x 12 month x Discount Factor			
Results:			
Financial Net Benefit	-759,941	FIRR	1.25%
Economic Net Benefit	28,672	EIRR	10.30%

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	58,447	113,564	58,447	113,564	1,200,000	12,000	0	1,101,818	1,101,818
2	0.83	35,927	103,240	94,375	216,803		12,000	0	9,917	1,111,736
3	0.75	32,661	93,854	127,036	310,658		12,000	0	9,016	1,120,751
4	0.68	29,692	85,322	156,728	395,980		12,000	0	8,196	1,128,947
5	0.62	26,993	77,565	183,721	473,545		12,000	0	7,451	1,136,399
6	0.56	24,539	70,514	208,260	544,059		12,000	0	6,774	1,143,172
7	0.51	22,308	64,104	230,568	608,163		12,000	0	6,158	1,149,330
8	0.47	20,280	58,276	250,848	666,439		12,000	0	5,598	1,154,928
9	0.42	18,436	52,978	269,284	719,417		12,000	0	5,089	1,160,017
10	0.39	16,760	48,162	286,045	767,579		12,000	0	4,627	1,164,644
11	0.35	15,237	43,784	301,282	811,363		12,000	0	4,206	1,168,850
12	0.32	13,852	39,803	315,133	851,166		12,000	0	3,824	1,172,673
13	0.29	12,592	36,185	327,726	887,351		12,000	0	3,476	1,176,149
14	0.26	11,448	32,895	339,173	920,247		12,000	0	3,160	1,179,309
15	0.24	10,407	29,905	349,580	950,151		12,000	0	2,873	1,182,182
16	0.22	9,461	27,186	359,041	977,338		12,000	0	2,612	1,184,794
17	0.20	8,601	24,715	367,642	1,002,052		12,000	0	2,374	1,187,168
18	0.18	7,819	22,468	375,460	1,024,520		12,000	0	2,158	1,189,326
19	0.16	7,108	20,425	382,568	1,044,946		12,000	0	1,962	1,191,288
20	0.15	6,462	18,569	389,030	1,063,514		12,000	0	1,784	1,193,072
21	0.14	5,874	16,881	394,905	1,080,395		12,000	0	1,622	1,194,693
22	0.12	5,340	15,346	400,245	1,095,741		12,000	0	1,474	1,196,168
23	0.11	4,855	13,951	405,100	1,109,692		12,000	0	1,340	1,197,508
24	0.10	4,414	12,683	409,514	1,122,374		12,000	0	1,218	1,198,726
25	0.09	4,012	11,530	413,526	1,133,904		12,000	0	1,108	1,199,834
26	0.08	3,648	10,481	417,173	1,144,385		12,000	0	1,007	1,200,840
27	0.08	3,316	9,529	420,489	1,153,914		12,000	0	915	1,201,756
28	0.07	3,015	8,662	423,504	1,162,576		12,000	0	832	1,202,588
29	0.06	2,740	7,875	426,244	1,170,451		12,000	0	756	1,203,344
30	0.06	2,491	7,159	428,736	1,177,610		12,000	0	688	1,204,032
31	0.05	2,265	6,508	431,000	1,184,118		12,000	0	625	1,204,657
32	0.05	2,059	5,917	433,059	1,190,035		12,000	0	568	1,205,226
33	0.04	1,872	5,379	434,931	1,195,413		12,000	0	517	1,205,742
34	0.04	1,702	4,890	436,633	1,200,303		12,000	0	470	1,206,212
35	0.04	1,547	4,445	438,180	1,204,748		12,000	0	427	1,206,639
36	0.03	1,406	4,041	439,586	1,208,789		12,000	0	388	1,207,027
37	0.03	1,278	3,674	440,864	1,212,463		12,000	0	353	1,207,380
38	0.03	1,162	3,340	442,027	1,215,803		12,000	0	321	1,207,701
39	0.02	1,057	3,036	443,083	1,218,839		12,000	0	292	1,207,993
40	0.02	961	2,760	444,044	1,221,599		12,000	0	265	1,208,258
41	0.02	873	2,509	444,917	1,224,108		12,000	0	241	1,208,499
42	0.02	794	2,281	445,711	1,226,389		12,000	0	219	1,208,718
43	0.02	722	2,074	446,432	1,228,463		12,000	0	199	1,208,917
44	0.02	656	1,885	447,088	1,230,348		12,000	0	181	1,209,098
45	0.01	596	1,714	447,685	1,232,062		12,000	0	165	1,209,263
46	0.01	542	1,558	448,227	1,233,620		12,000	0	150	1,209,412
47	0.01	493	1,416	448,720	1,235,036		12,000	0	136	1,209,549
48	0.01	448	1,288	449,168	1,236,324		12,000	0	124	1,209,672
49	0.01	407	1,171	449,575	1,237,494		12,000	0	112	1,209,785
50	0.01	370	1,064	449,946	1,238,559		12,000	0	102	1,209,887

Source: Analyzed by JICA Study Team

3.5.3 環境

中央電力系統からのCO₂排出量は約0.00128bbl/kW または0.00128 x 156 (litter/bbl) x 0.85 (kg/litter) = 0.170 kg/kWh と推定された。一軒あたり、一月の使用量を60 kWh とすると、2000軒ではCO₂排出量は年間で0.170 (kg/kWh) x 60 kWh x 2,000 x 12 month = 245 ton (炭素重量)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年間一軒あたり36kg (coefficient: 0.821 Mt-C/Mtoe) である。20,00軒では1年にして炭素重量換算36 x 2000 = 72 tonとなる。

したがって、ナムラン小水力計画によるCO₂排出削減量は炭素重量換算で合計245 + 72 = 317 ton に達することが期待できる。

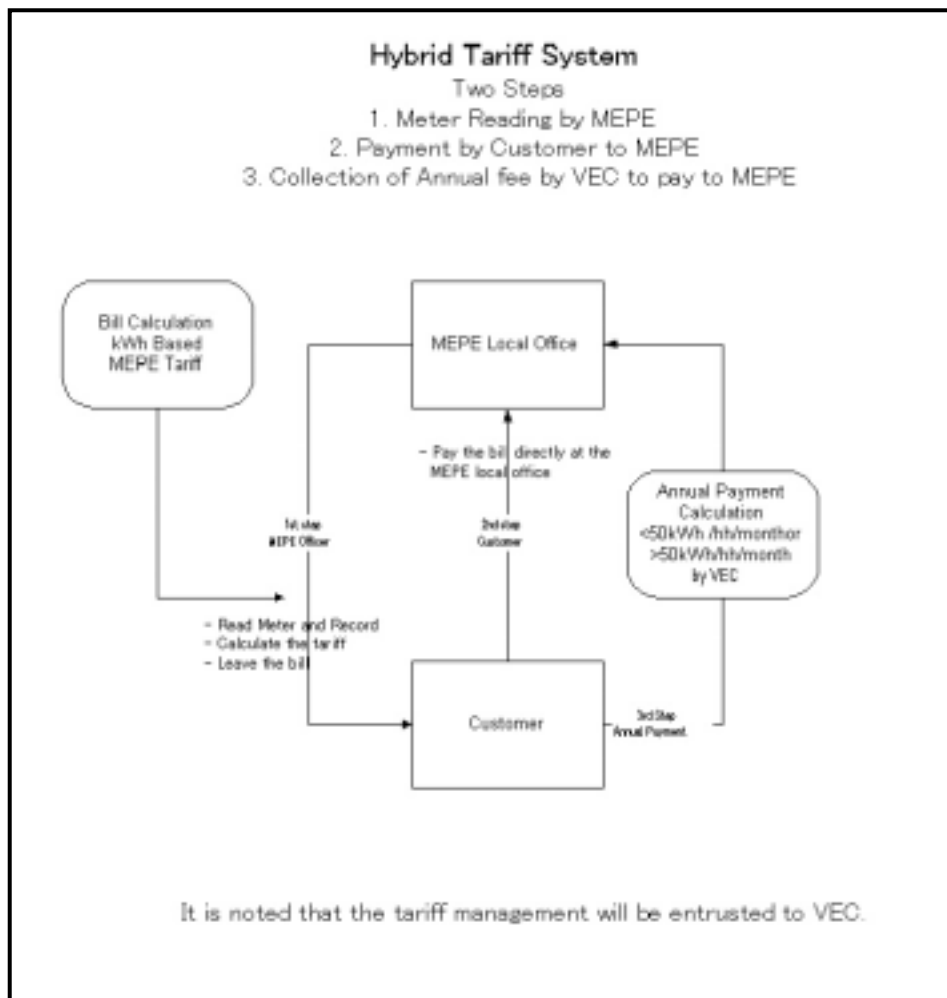
3.6 料金システムおよび会計

3.6.1 料金システム

電力料金システムとして MEPE 電力料金と 24 時間給電の保証としての年会費または年間契約料のハイブリッドシステムが考えられる。この場合、月ごとの MEPE に対する支払いと VEC に対する 1 年毎の支払いの 2 種類の支払いが発生する。

3.6.2 会計システム

会計と料金請求は統合されたものとなる。図 3.6.1 に示すように料金請求と料金徴収は 3 ステップに分けられる。まず、MEPE スタッフが料金を読み、そこで請求額を計算し、請求書を置いてくる。次に顧客がその請求書に基づいた月額を MEPE に支払う。さらに、第 3 ステップとして、VEC のスタッフが 1 年に一度各家庭を回り契約に基づいた金額を徴収し、これを MEPE に納める。



Source: Proposal of JICA Study Team

図 3.6.1 ナムラン料金徴収システム