

No.011

サモア国

自然エネルギー導入可能性および最適電源にかかる

プロジェクト形成調査 報告書

JICA LIBRARY



J1164102[4]

平成13年3月

国際協力事業団

アジア第二部

アジア第二部 国際協力事業団 報告書 平成13年3月

11
13
25
ARY

地 二 南
J R
00-07



サモア国

自然エネルギー導入可能性および最適電源にかかる

プロジェクト形成調査 報告書

平成13年3月

国際協力事業団

アジア第二部



1164102[4]

自然エネルギー導入可能性および最適電源にかかる
プロジェクト形成調査 報告書

目次

	頁
第1章 序論	
1. 1 背景および調査目的	1- 1
1. 2 調査内容及びスケジュール	1- 1
第2章 サモアの社会・経済状況	
2. 1 社会・経済概況	2- 1
2. 2 電力事情	2- 4
2. 3 電力需給	2-12
第3章 小水力発電	
3. 1 既設発電設備の現状	3- 1
3. 2 水力開発候補地点	3- 1
3. 3 小水力開発の方向性	3- 8
第4章 太陽光発電	
4. 1 太陽光発電の概要	4- 1
4. 2 サモアにおける太陽光発電の導入可能性	4- 3
4. 3 メンテナンス	4-10
4. 4 海底ケーブルによる連系	4-11
第5章 風力発電	
5. 1 風力発電の概要	5- 1
5. 2 現地調査による風況	5- 1
5. 3 入手データによる風況	5- 4
5. 4 発電量電力量予測	5- 8
5. 5 風力発電開発の可能性	5-11
第6章 まとめと今後のプロジェクト形成	
6. 1 小水力発電	6- 1
6. 2 太陽光発電	6- 2
6. 3 風力発電	6- 4
6. 4 電源開発の方向性と今後のプロジェクト形成	6- 5

添付資料

- 1.1 調査団メンバーリストおよび調査行程表
- 3.1 小水力開発規模の検討
- 4.1 日射量実測データ
- 5.1 ファレオロ空港 2000年風速風向データ
- 5.2 風力発電導入検討

写真集

第1章 序論

第2章 サモアの社会・経済状況

第2章 サモアの社会・経済状況

2.1 社会・経済概況

(1) 社会概況

サモアは南太平洋上、南緯 13～15 度、西経 168～173 度の海域に位置する人口約 170,000 人、国土総面積約 2,900km² の島嶼国である（図-2.1.1 参照）。首都アピアのあるウポル島（面積約 1,100km²、人口約 125,000 人）とサバイ島（面積 1,700km²、人口約 45,000 人）を含む大小 9 つの島で構成される。人口のほとんどはこの 2 島に集中しているが、この他にこれら両島に挟まれるマノノ島、アポリマ島にそれぞれ約 1,000 人、100 人の島民が生活している。島はいずれも火山岩と珊瑚礁からなり、中央部にはサバイ島のシリシリ山（標高約 1,800m）をはじめとした 1000m 級の山が連なり、住民は海岸沿いのわずかな平野部に集落を作り生活している。

サモアの平均気温は 27° と熱帯性気候に属する。1 年の内、5 月～11 月は乾期、12 月～4 月までが雨期となる。年間降水量は平均して 3,000mm 程度であるが、島中央の山間部では 4,000～5,000mm にも達する多雨地帯である。

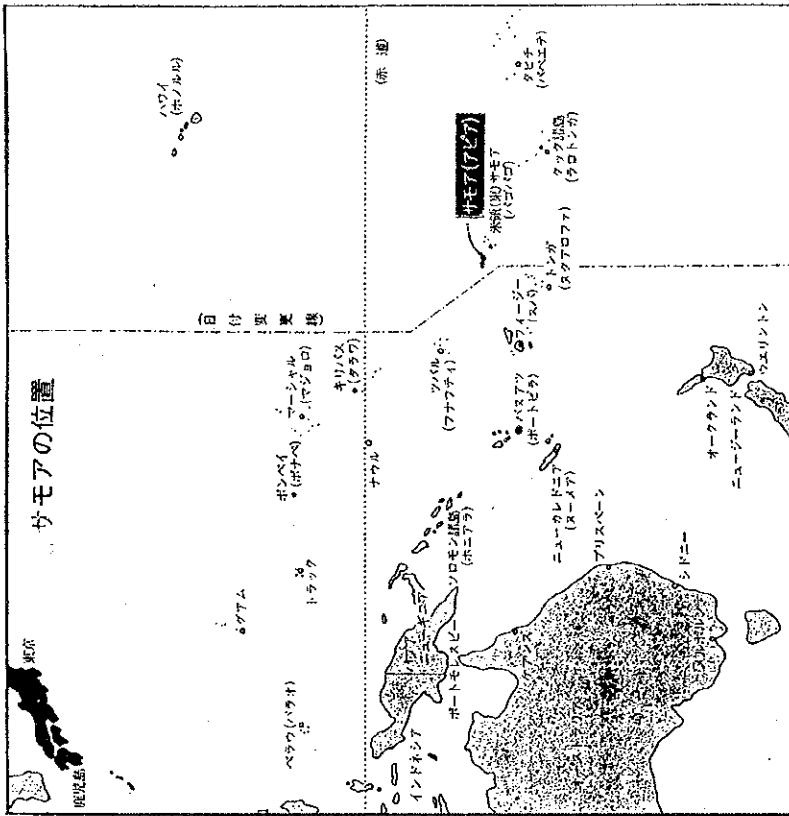
サモア諸島はポリネシア人発祥の地とされ、サモアの総人口の約 90% はポリネシア系である。かつてはニュージーランドの施政下に置かれていたが、1962 年には南太平洋地域において最初の独立を達成している。

サモアは南太平洋地域で最も伝統的社会構造が保持されている国とされる。地方自治体による地方制度はなく生活の基盤となるのはマタイ（酋長）と呼ばれる家長をリーダーとするアイガ（親族集団）である。あらゆる経済活動や儀礼行為はこのアイガを単位として行われる。マタイは終身制で土地の配分、儀礼の指揮、トラブルの仲裁等の権限を行使する。こうしたアイガの集合体が村であり、すべてのマタイからなるフォノと呼ばれる酋長会議が村落に関するすべてを決定する。

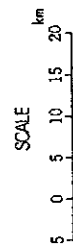
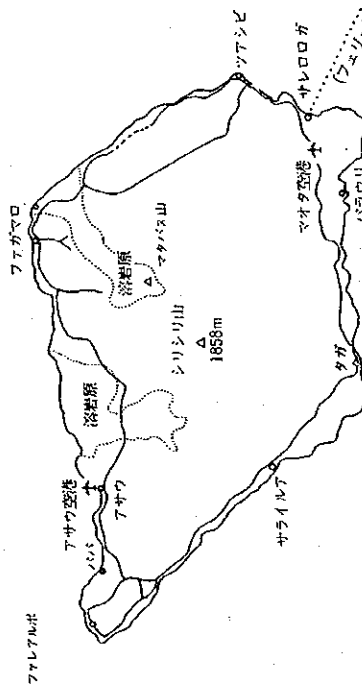
サモアの国土は憲法により慣習地、国有地、自由保有地の 3 つに区分されており、国土の約 80% を占める慣習地はアイガに帰属しその配分はマタイの権限により行われる。慣習地とその諸権利は憲法により擁護され、国会承認の伴わない土地の売買やリースは禁止されている。またマタイの許可無しではたとえ開発の用途であろうと、いかなる土地利用も困難ということである。

(2) 産業構造・貿易

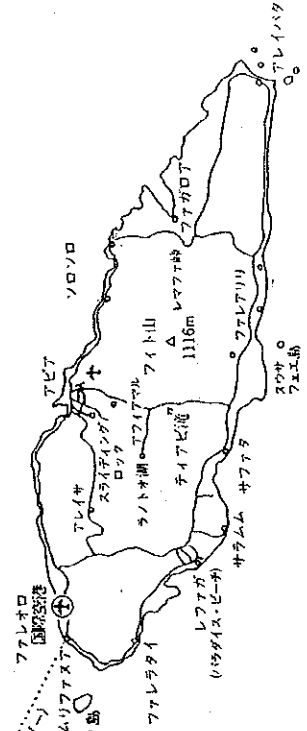
サモアの基幹産業は農業であり、労働人口の 6 割がコブラやタロイモ生産等に従事している。表-2.1.1 に部門別 GDP の 1994～1999 年の推移を示す。近年、農業や製造業に代わり、水産業や商業・ホテル・飲食業、運輸・通信業といった第 3 次産業が急速に成長しており、GDP の平均成長率は 5% を越える。



サバイイ島



ウポロ島



図・2.1.1 サモア位置図

表-2.1.1 実質 GDP 産業別構成 (1994-1999) (1994年固定価) (単位:百万 S\$)

	1994	1995	1996	1997	1998	1999
農業	74.08	88.30	89.57	77.34	75.81	74.91
水産業	20.56	20.51	22.02	26.64	35.12	37.25
食品加工業	17.10	20.93	29.67	29.47	24.16	24.18
製造業	80.83	74.75	70.62	64.75	58.16	58.91
建設業	33.31	35.89	36.96	39.49	38.27	43.40
電力・水道	12.84	13.34	14.29	14.72	14.58	14.15
商業	58.47	64.18	72.96	79.56	87.06	94.58
ホテル・飲食業	11.18	10.92	13.24	12.66	12.67	14.94
運輸・通信業	45.93	50.09	57.38	59.65	66.61	75.34
政府部門	45.53	46.73	50.07	54.71	59.49	63.55
金融業	27.80	28.61	32.74	34.94	38.82	39.22
自給生産・その他	51.36	55.49	57.54	58.62	40.27	62.61
合計	478.98	509.72	547.06	552.54	571.16	602.66

(QUARTERLY ECONOMIC REVIEW (Apr-Jun 2000), November 2000, Treasury Department, Samoa)

サモアの貿易は、主に第一次産品を輸出し、中間財（金属、石油、部品等）を中心に輸入する構造となっている。貿易収支の赤字は恒常的で、近年 20,000~30,000 万 S\$（サモアドル 1S\$=35 円程度）と推移している（表-2.1.2）。輸出品は、魚が最も多く 50%以上を占め、次にタロイモやココナッツオイル等の農産物となっている（表-2.1.3）。

表-2.1.2 貿易収支の推移

	1998	1999	2000
輸出額 (千 S\$)	55,521	54,735	45,115
輸入額 (千 S\$)	285,652	348,381	348,687
貿易収支 (千 S\$)	230,131	293,646	303,572

(FOREIGN TRADE REPORT, DECEMBER 2000 Central Bank of Samoa)

表-2.1.3 品目別輸出額

(単位:百万 S\$)

	1999				2000	
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q
ココナッツオイル	0.00	0.11	1.03	1.25	1.10	0.00
魚	3.57	8.54	11.09	9.39	4.59	6.21
ココナツクリーム	0.94	1.44	1.25	0.92	0.68	0.84
コブラ	2.26	0.70	1.22	0.73	0.65	0.40
カバ	0.86	0.44	0.33	0.52	0.19	0.35
ビール	0.55	0.69	0.84	0.74	0.48	0.68
タロイモ	0.08	0.10	0.09	0.17	0.15	0.10
衣服	--	--	--	--	1.05	0.40
その他	0.61	0.80	1.91	1.59	1.32	0.89
計	8.87	12.81	17.75	15.30	10.21	9.88

(Source ; Central Bank of Samoa)

2.2 電力事情

サモアの電力供給事業は、公共事業省（Ministry of Public Works）を監督官庁とする 100%政府所有のサモア電力公社（EPC；Electric Power Corporation）により運営されている。EPC の前身は公共事業省内の電力局で、1972 年に電力公社法（Electric Power Corporation Act）の元、分離独立している。EPC の組織は図-2.2.1 に示す通り、公共事業省大臣を議長とする理事会を頂点とし、そこから任命される総裁（General Manager）が EPC の経営全般、運営に対して責任を持つ。現在 EPC では約 400 人の職員が働いている。

EPC が所有する既設発電設備一覧を表-2.2.1 に示す。4 島に各電力システムがあり、ウポル島では水力及びディーゼル発電、サバイイ島、マノノ島、アポリマ島ではディーゼル発電により電力供給がなされている。表中、発電機の定格出力に対し、老朽化のための発電効率低下による現時点での実際の出力を、実出力として記載した。

1992～1994 年にかけて実施された日本の無償資金協力による地方電化計画によってウポル島、サバイイ島のほぼ全域に 22kV（一部 33kV）及び 6.6kV の送配電網が既に整備されており、サモア全体の電化率は 99% と高い。図-2.2.2、図-2.2.3 にそれぞれウポル及びサバイイシステム図を示す。ウポル島では、水力発電所及びディーゼル発電所がすべて東側に位置し、西側には電源がないことから、東側から西側へ電力を供給する際、長距離送電による電圧降下や送配電ロス等の非効率が生じている。従って、電源系統計画の面からは西側に電源を開発し、東西でバランスのとれたシステムとすることが望まれるところである。

一方、マノノ、アポリマ島は配電網が整備されているものの、高価な燃料費を節約するために発電所運転時間は夕方 18:00～24:00 までと制限されており、島民はウポル、サバイイ島ほど十分な電力による恩恵を受けていない。

表-2.2.2 に各システムでの 2000 年の発電量実績及び最大電力を、図-2.2.4 にそれらのグラフを載せる。サモア全体の電力需要の約 90% を占めるウポル島システムではその電力供給をディーゼル発電及び水力発電に頼っている。一方、この国では 12～4 月の雨期と 5～11 月の乾期の存在による降雨量と河川流量の季節変動が顕著である。従ってこの自然エネルギーである水力を有効に利用するためには、雨期に貯水し乾期に発電するような季節調整機能を持つ貯水池式水力発電所の運用が望ましいが、多孔質の火山岩及び珊瑚礁からなるウポル及びサバイイ両島では地盤の透水性が高く貯水池の建設が難しくなっている。このため、ウポル島の既設水力設備は Afulilo 貯水池を持つ Taelafaga 発電所（設備出力 4MW）以外はすべて流れ込み式発電所であり、乾期中には水不足のためにその定格出力の 20～30% まで低下する。この間の低下分は、ほとんどディーゼル発電に頼らざるを得ない。

図-2.2.5 に 1999、2000 年のウポルシステムでの水力及びディーゼル発電実績を載せる。

サモアの電気料金水準は比較的高い。1993 年に kWh 当たり S\$0.4 から S\$0.43 に値上げし、さらに 1998 年 9 月に S\$0.6/kWh に値上げしたがそれ以降の変更はない。最小支払額は S\$15/月である。

EPC Organisational Chart

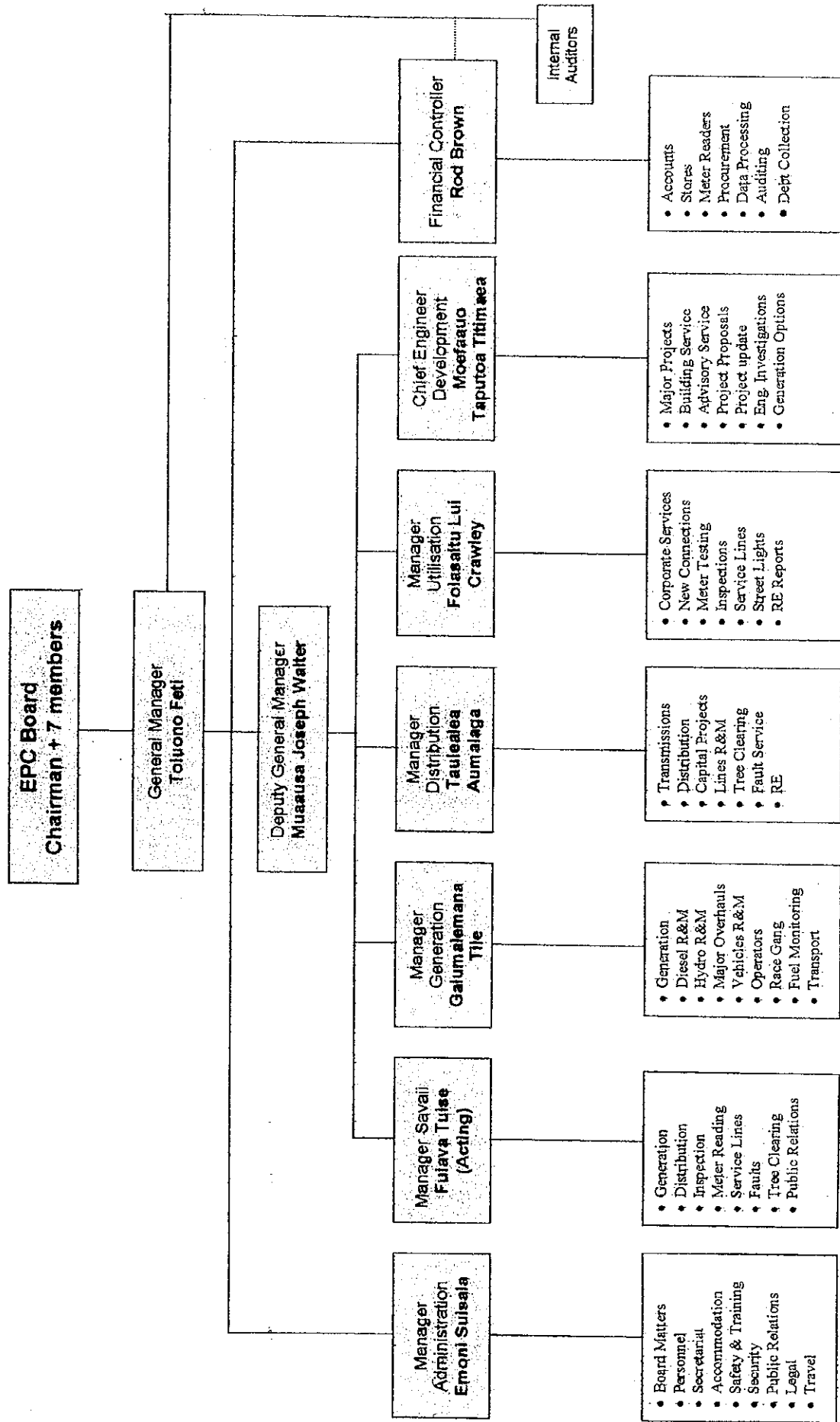
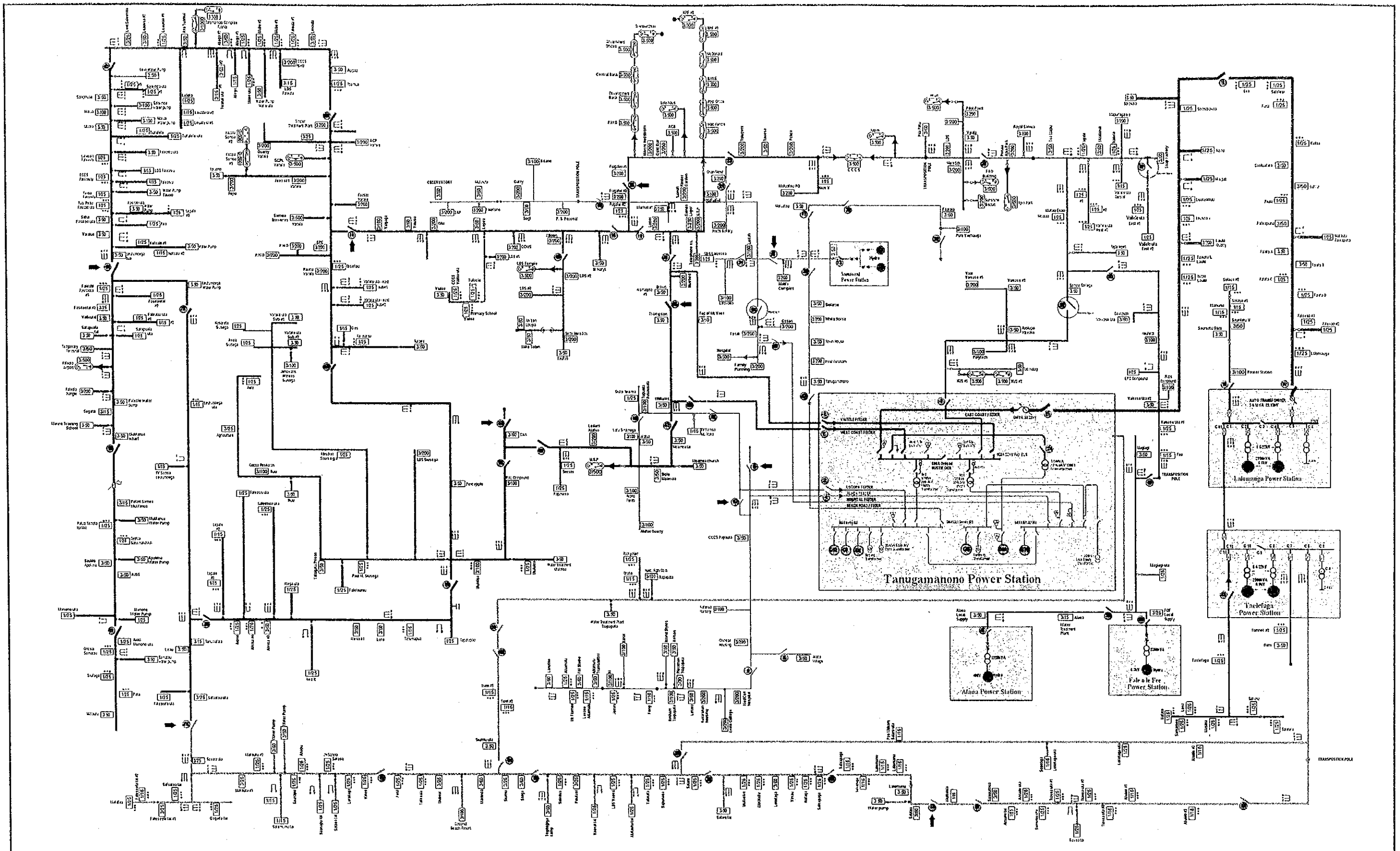


图-2.2.1 EPC组织图

表-2.2.1 E P C所有既設発電設備

発電所名	発電機No.	発電方式	定格出力 (kW)	実出力 (kW)	設置年
ウポル島					
Tanugamanono	No.4A	ディーゼル	2,200	2,000	1996
	No.7B	ディーゼル	4,000	4,000	1999
	No.9	ディーゼル	2,250	1,800	1984
	No.12	ディーゼル	3,620	3,200	1991
	小計		12,070	11,000	
ディーゼル計			12,070	11,000	
Taelefaga	No.1	水力	2,000	2,000	1993
	No.2	水力	2,000	2,000	1993
	小計		4,000	4,000	
Lalomauga	No.1	水力	1,850	1,700	1985
	No.2	水力	1,850	1,600	1985
	小計		3,700	3,300	
Fale-Ole-Fee	No.1	水力	1,740	1,700	1981
Alaoa	No.1	水力	1,045	1,000	1959
Samasoni	No.1	水力	950	700	1982
	No.2	水力	950	700	1982
	小計		1,900	1,400	
水力計			12,385	11,400	
計			24,455	22,400	
サバイイ島					
Salelologa	No.1A	ディーゼル	1,000	1,000	2001
	No.2	ディーゼル	450	350	1992
	No.3A	ディーゼル	1,000	1,000	2001
	No.4	ディーゼル	450	350	1992
	No.5A	ディーゼル	1,000	900	1998
	No.6	ディーゼル	450	350	1992
	No.7A	ディーゼル	1,000	800	1997
	小計		5,350	4,750	
Vaipouli	No.1	ディーゼル	140	120	1990
	No.2	ディーゼル	200	190	1990
	No.3	ディーゼル	260	150	1994
	小計		600	460	
計			5,950	5,210	
マノノ島					
Manono	No.1	ディーゼル	42	40	1994
	No.2	ディーゼル	42	40	1994
	小計		84	80	
計			84	80	
アポリマ島					
Apolima	No.1	ディーゼル	25	22	1996
計			25	22	
全体計			30,514	27,712	



Air Break Switches		
1 Tanugamanono - Vaitupu Feeder	18 LDIS Pagaia	42 Vaitupu Lta
2 Tanugamanono - West Coast Feeder	19 Vaimoso	43 Alava Power Station
3 Tanugamanono - Loloa Feeder	20 FOF Power Station	44 Leo Salemea
4 Tanugamanono - Alava Feeder	21 Sa'apu	45 Lomomanga bus
5 Tanugamanono - East Coast Feeder	22 Matafua Pina	46 Tuasamoa
6 Pasaia	23 Tanugamanono	47 Apia Primary
7 Alava	24 Fupu	48 Tuasamoa bus
8 Alava	25 Loloa - Alagamacio	49 Matafua
9 Head of State	26 Alava County	50 Savai'ia Tokona AS5A
10 Lomomanga Power Station	27 Loloa Rd	51 Matafua West
11 Vaimoso Primary School	28 Matafua	52 Vagagano school
12 Loloa	29 Apia Park	53 Samoa College
13 Loloa	30 Samoa College	54 Tuia Vaea - Vavasa
14 Loloa	31 Samoa College	55 Tuia Vaea - Vavasa
15 Loloa	32 Samoa College	56 Tuia Vaea - Vavasa
16 Loloa	33 Samoa College	57 Tuia Vaea - Vavasa
17 Loloa	34 Samoa College	58 Tuia Vaea - Vavasa
18 Loloa	35 Samoa College	59 Tuia Vaea - Vavasa
19 Loloa	36 Samoa College	60 Tuia Vaea - Vavasa
20 Loloa	37 Samoa College	61 Tuia Vaea - Vavasa
21 Loloa	38 Samoa College	62 Tuia Vaea - Vavasa
22 Loloa	39 Samoa College	63 Tuia Vaea - Vavasa
23 Loloa	40 Samoa College	64 Tuia Vaea - Vavasa
24 Loloa	41 Samoa College	65 Tuia Vaea - Vavasa

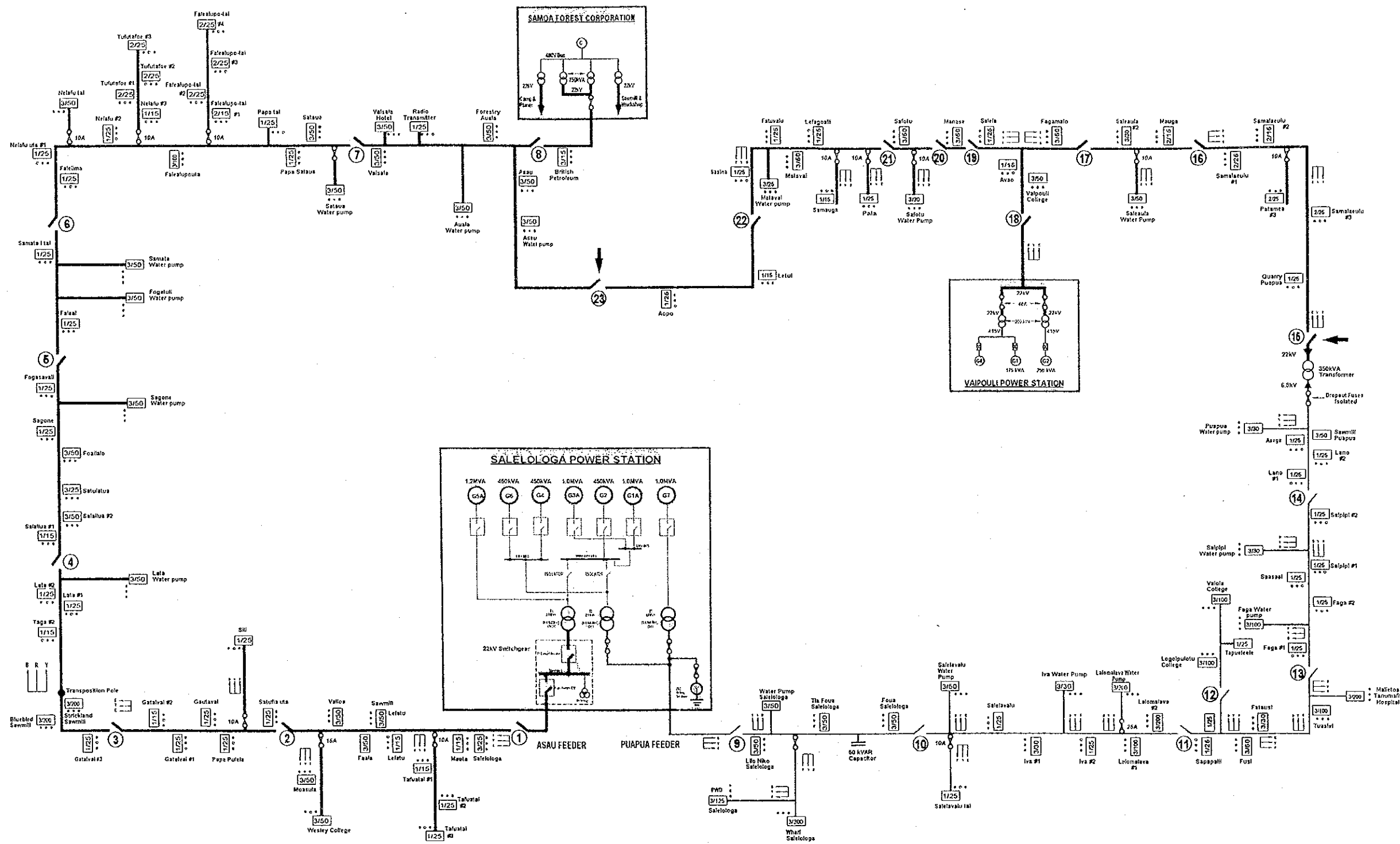
Key	
<p>SUBSTATION SWITCHES AT:</p>	<p> </p>

ISSUE: 1a	DESIGNATION	NAMES	SIGNATURES	DATE	AMENDMENTS
DRAWN:		L. ASUA		11 Mar 2000	NAME COMMENT DATE
CHECKED:	Manager	G.T. Lela			L. ASUA Tanugamanono Power Station updated 11 Mar 2000
	Chief Engineer	M.T. Thomas			S. SILEA Amendments of feeders updated 21 Mar 2000
	Deputy Chief Engineer	M.J. Walter			S. SILEA Amendments of feeders updated 01 Oct 2000
APPROVED:	General Manager	Takana F. Takana			

Electric Power Corporation

Upolu System Schematic Diagram

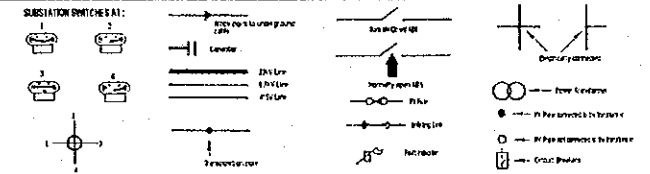
図-2,2,2 ウポル島系統図



Air Break Switches

1 Salelologa Power Station	7 Salua	13 Siufaga - Faga	19 Saleia
2 Pitouu Satupaitea	8 Asau Meo	14 Saipipi	20 Manase
3 Gataivai	9 Salelologa Power Station	15 Puapua	21 Safolu
4 Lala	10 Salelavalu	16 Mauga	22 Lefui
5 Vaipua	11 Lalomalava	17 Fagamalo	23 Asau
6 Fagafau	12 Fusi	18 Vaipouli Power Station	

Key



DESIGNATION	NAMES	SIGNATURES	DATE	DATE	AMMENDMENTS	INITIAL
DRAWN:	Engineering Officer	L. James	10 August 1999	30 January 1999	Puapua Feeder 6 KV Updated	S. Silva
CHECKED:	Distribution Overseer	S. V. T. T. T.		30 January 1999	Asau Feeder 22KV Updated	S. Silva
	Asau Feeder 22KV Updated				Asau Feeder 22KV Updated	
	Asau Feeder 22KV Updated				Asau Feeder 22KV Updated	
	Asau Feeder 22KV Updated				Asau Feeder 22KV Updated	
APPROVED:	General Manager	Toluone F. Toluone				

Electric Power Corporation

Savaii System Schematic Diagram

表-2.2.2 各系統での月別発電量と最大電力実績 (2000年)

	ウポル系統		サバイイ系統		マノノ系統		アポリマ系統	
	発電量 (kWh)	最大電力 (kW)	発電量 (kWh)	最大電力 (kW)	発電量 (kWh)	最大電力 (kW)	発電量 (kWh)	最大電力 (kW)
1月	6,308,439	12,596	770,412	2,312	3,074	-----	375.4	-----
2月	6,103,775	13,009	718,718	2,302	2,699	-----	337.1	-----
3月	6,537,332	13,184	756,723	2,568	3,078	-----	428.1	-----
4月	6,212,602	13,075	797,927	2,639	3,081	-----	407.5	-----
5月	6,546,982	13,464	805,191	2,660	2,895	-----	372.1	-----
6月	6,330,393	13,185	760,294	2,514	2,967	-----	353.4	-----
7月	6,476,120	13,361	790,189	2,516	3,184	-----	378.6	-----
8月	6,697,673	13,488	813,888	2,480	3,616	-----	361.4	-----
9月	6,604,005	13,135	774,912	2,535	4,320	-----	370.0	-----
10月	6,689,762	13,228	782,958	2,491	4,902	-----	370.0	-----
11月	6,868,582	14,426	771,938	2,390	4,484	-----	383.4	-----
12月	5,206,968	13,228	852,348	2,486	4,654	-----	382.7	-----
計	76,582,633	-----	9,395,498	-----	42,954	-----	4,520	-----

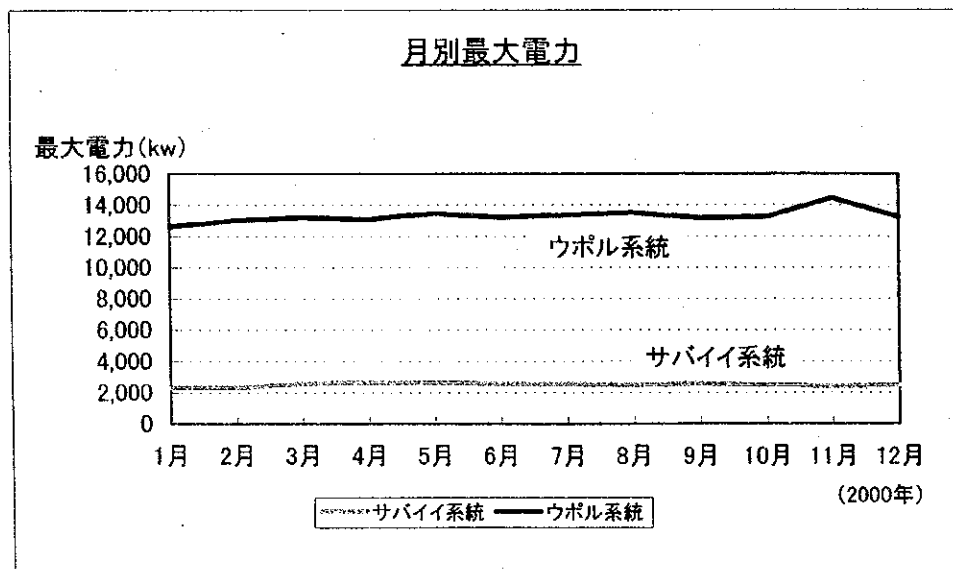
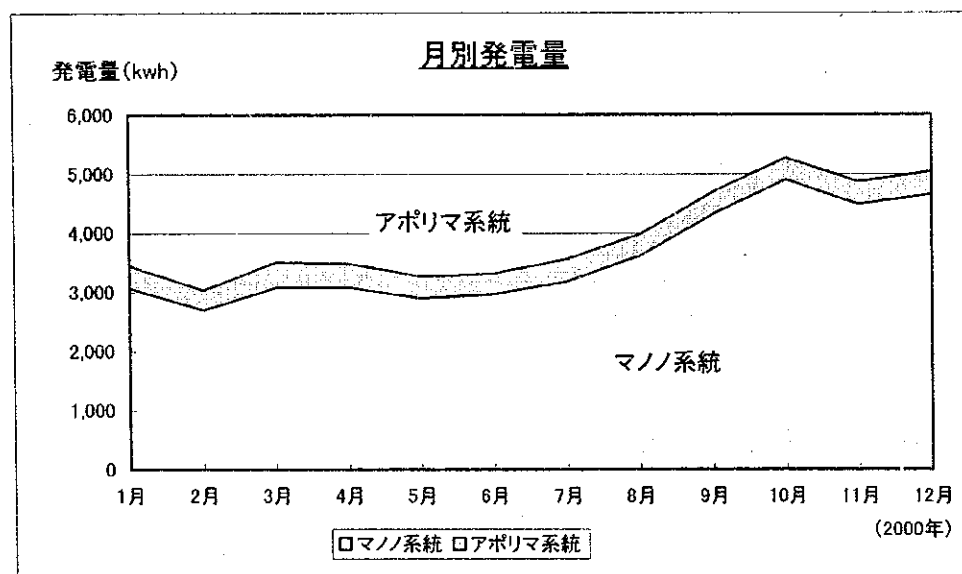
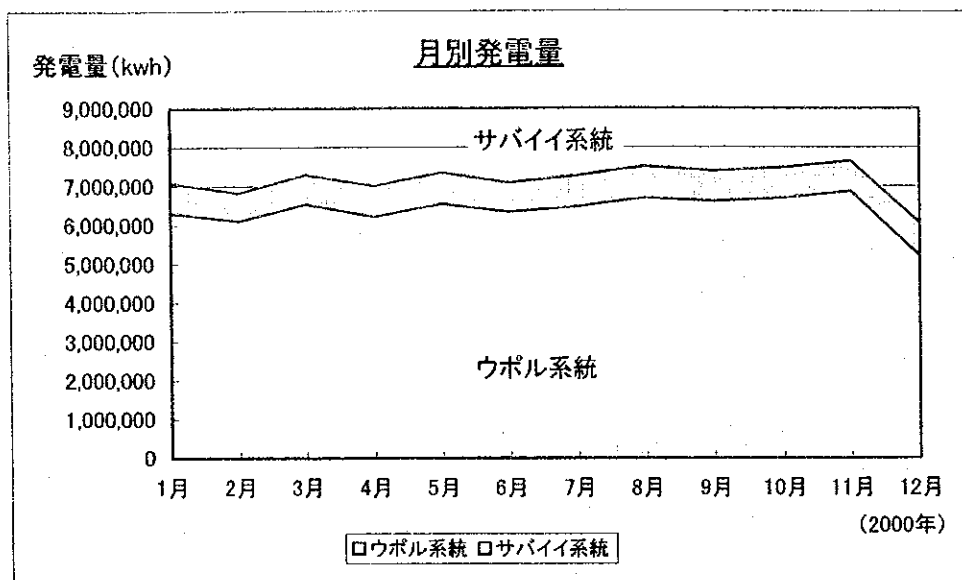


図-2.24 各系統での月別発電量と最大電力実績 (2000年)

U polu 系統

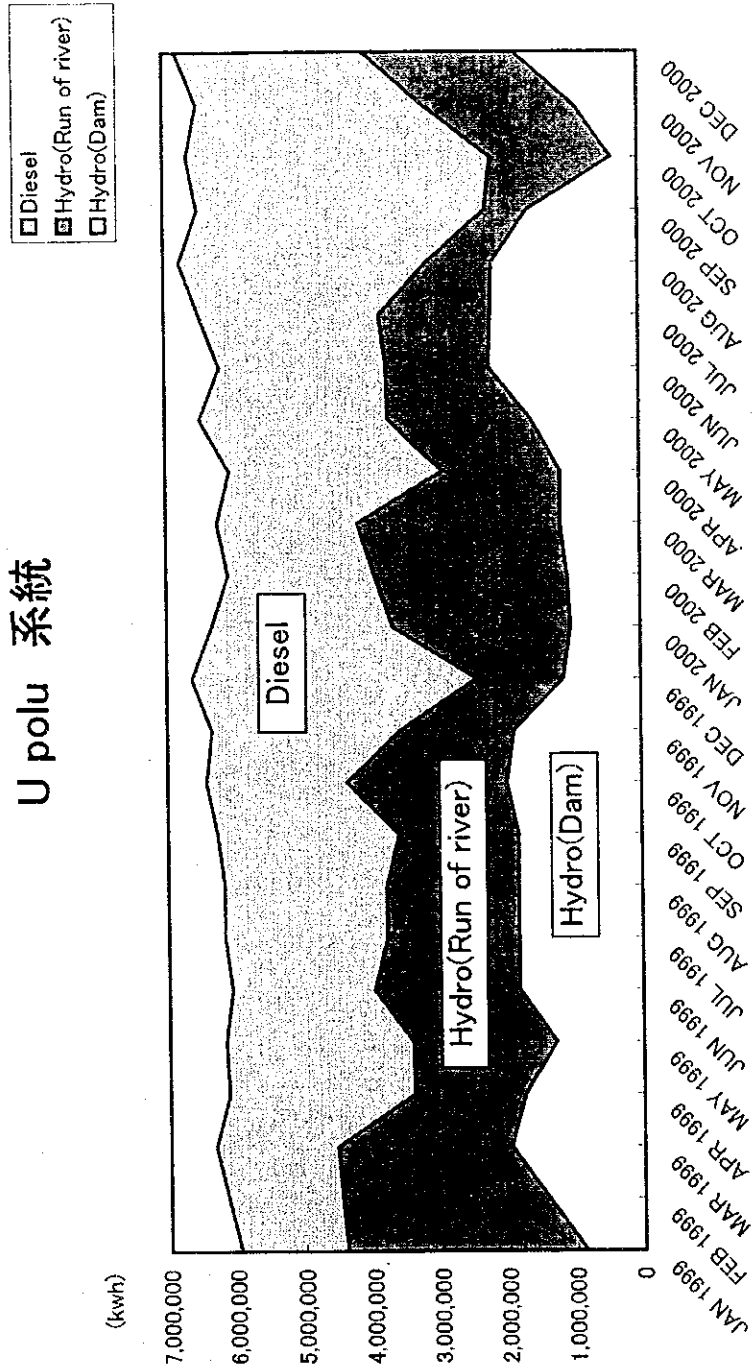


図2.2.5 小水カデーゼル発電実績 (1999年 2000年)

2.3 電力需給

ウボル島は、首都アピアを有し、その周辺の建設事業等により今後も年5%の電力負荷伸び率が期待されている。ウボル島はビジネスの中心地であり、企業や工場の誘致により、昨年は14MWを越えるピーク負荷が記録された(図-2.3.1)。このピーク負荷に対し十分な設備容量、供給力を持つと見えるが、実は乾期における水力発電所の出力低下により、前述の通り、需給は逼迫している。

一方、サバイイ島においては、最大の都市 Salelologa の都市開発計画があることから、電力負荷は過去数年間と同様、年10%の伸び率が期待されている。

マノノ島、アポリマ島については、既に電化されており、電力もほとんどが民生用(住宅用)であるため、急激な電力需要の伸びは期待できない。

図-2.3.2 にディーゼル用軽油価格の推移を示す。軽油はフィジー経由でシンガポールから輸入している。ディーゼル用軽油の価格は年々上昇を続けており、EPC としては燃料コストを抑制するために水力発電所を効率的に運用しているものの、乾期にはどうしてもディーゼル発電に頼らざるを得ず、その代替エネルギーとしての太陽光や風力の導入に対して非常に強い関心を示している。

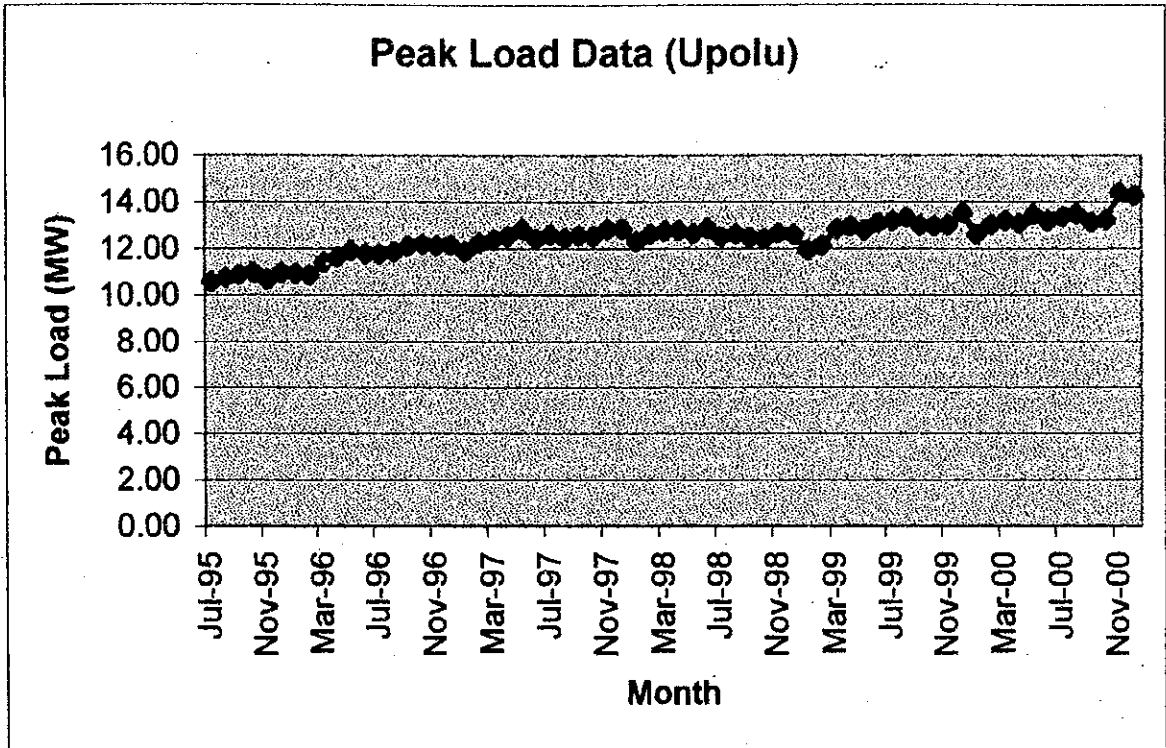


図-2.3.1 最大負荷の推移

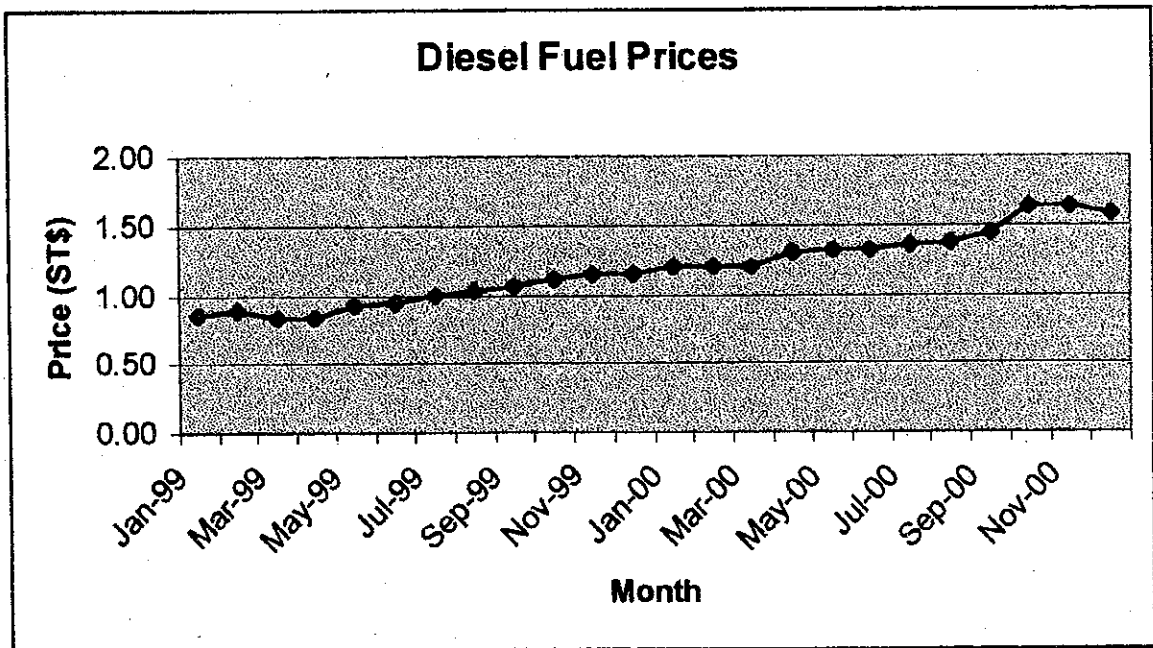


図-2.3.2 ディーゼル燃料価格の推移

第3章 小水力発電

第3章 小水力発電

3.1 既設発電設備の現状

2.2節に示した通り、サモア国電力需要の約10%を占めるサバイイ島の電源はすべてディーゼルであるが、一方、サモア国の電力需要の大半を占めるウボル島では、水力発電とディーゼル発電により賄われている。2001年2月の現地調査時点での設備出力は、12.8MWのディーゼル発電所（Tanugamanono）に対し、水力発電所は11.4MWであるが、これらの大半を構成する流れ込み式発電所（Latomauga 3.3MW, Fale-Ole-Fee 1.7MW, Alaoa 1MW, Samasoni 1.4MW）では雨期と乾期による季節変動が大きく、乾期には2～3割程度へ出力は低下する。一方、唯一の貯水池式発電所であるTaelefaga発電所（4MW）は乾期の水力発電所出力低下を補うべく建設された発電所であるが、近年の降水量不足のため十分な貯水がなされておらず、私たちが現地へ行った際も雨期の終わりにもかかわらず、貯水容量の20%程度（水面標高313m程度）しか貯水されていなかった（写真-3.1.1、3.1.2）。これら水力発電所の1999、2000年の発電状況を図-3.1.1に示す。

3.2 水力開発候補地点

燃料を海外からの輸入に頼るディーゼル発電はコスト的にも割高であり、EPCはそれに替わる代替エネルギーの開発としての水力開発を強く望んでいる。現在、調査も進みEPCとして開発優先度の高い水力開発プロジェクトはAfulilo増設計画及びSili水力開発計画であるが、その他にも有望な水力開発地点がいくつかある。これら水力開発候補地点位置図を図-3.2.1に示す。

(1) Afulilo 増設計画

現在4MWの設備出力を持つTaelefaga発電所及びそのAfuliloダムと貯水池に対して、ダムの嵩上げ（1.7m）による貯水池容量アップ、取水量アップのための水路新設、2MW発電機器の増設をはかるものである。これは段階的開発として4MW開発時に既に計画されており、Taelefaga発電所には2MW増設のためのスペースが既に確保されている（写真-3.2.1）。ADBの融資により実施予定であるが、2001年末あるいは2002年始めにサモア政府との融資契約が結ばれるかどうかといった状況である。現在ADBにより増設計画の環境影響評価が実施されている。

(2) Sili 水力開発計画

サバイイ島の南側に流下するシリ川（写真-3.2.2）に、段階的に1.8MW、1.8MW、2.3MWの合計5.9MWの水力発電所（2発電所）を建設する計画である。3,000～4,000mm/年の降水量が期待できる多雨地域にあり（表-3.2.1）、サモア国の中で最も豊富な流量を持つ河川である。

表-3.2.1 シリ川付近ここ最近の年間降水量

年	1998	1999	2000
降水量 (mm/年)	3,338	3,558	4,541

(Source ; Apia Observatory, Ministry Agriculture Forest Fishery & Meteorology)

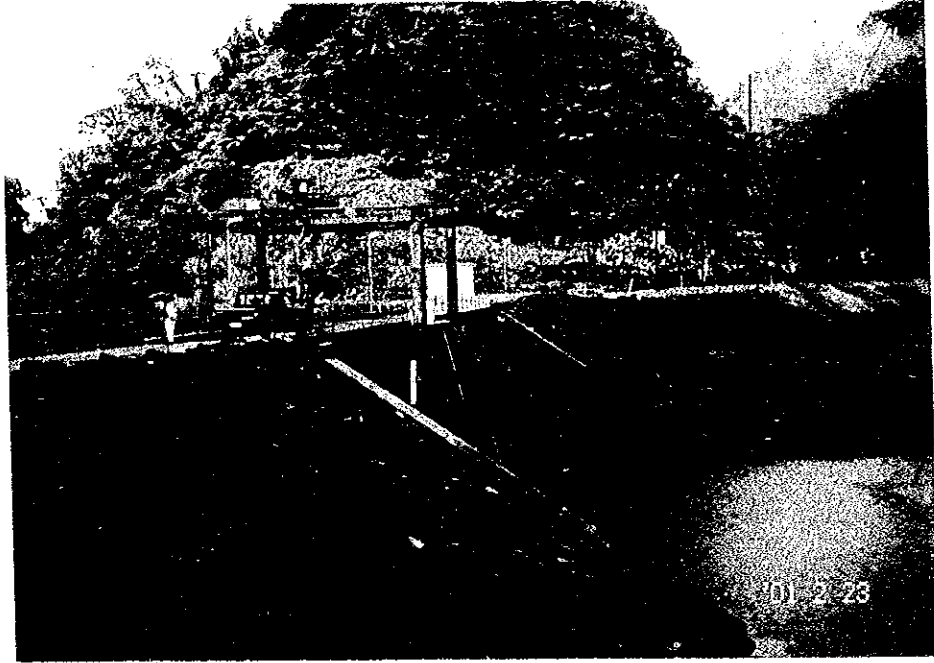


写真-3.1.1(1) Afuliloダム

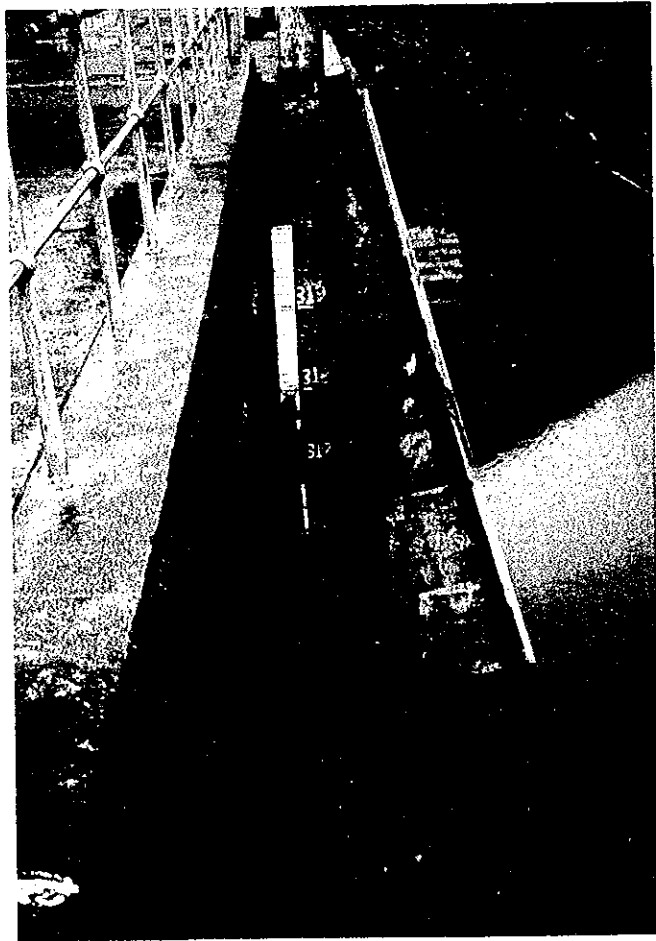


写真-3.1.1(2) 水面標高 313m (総貯水量の 20%程度)

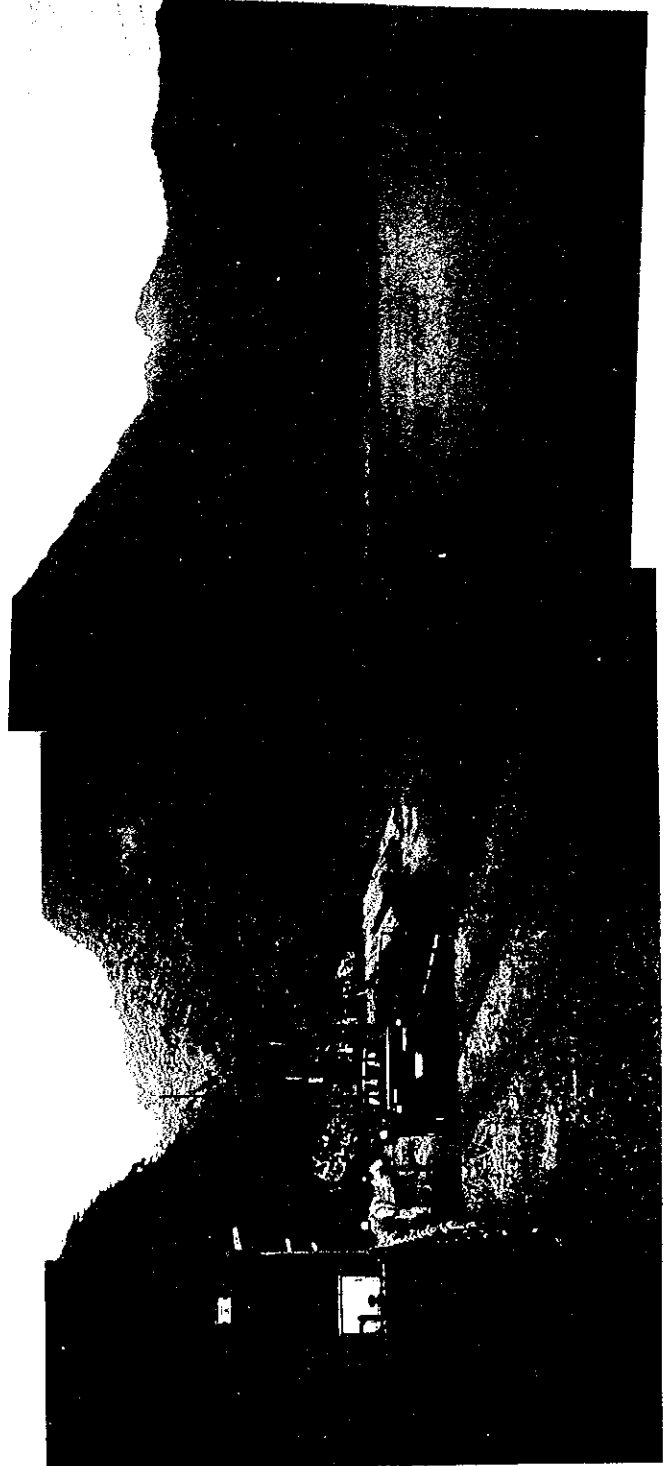


写真-3.1.2 Afulio 貯水池（降水量不足のため貯水量が低下している）

U polu 系統

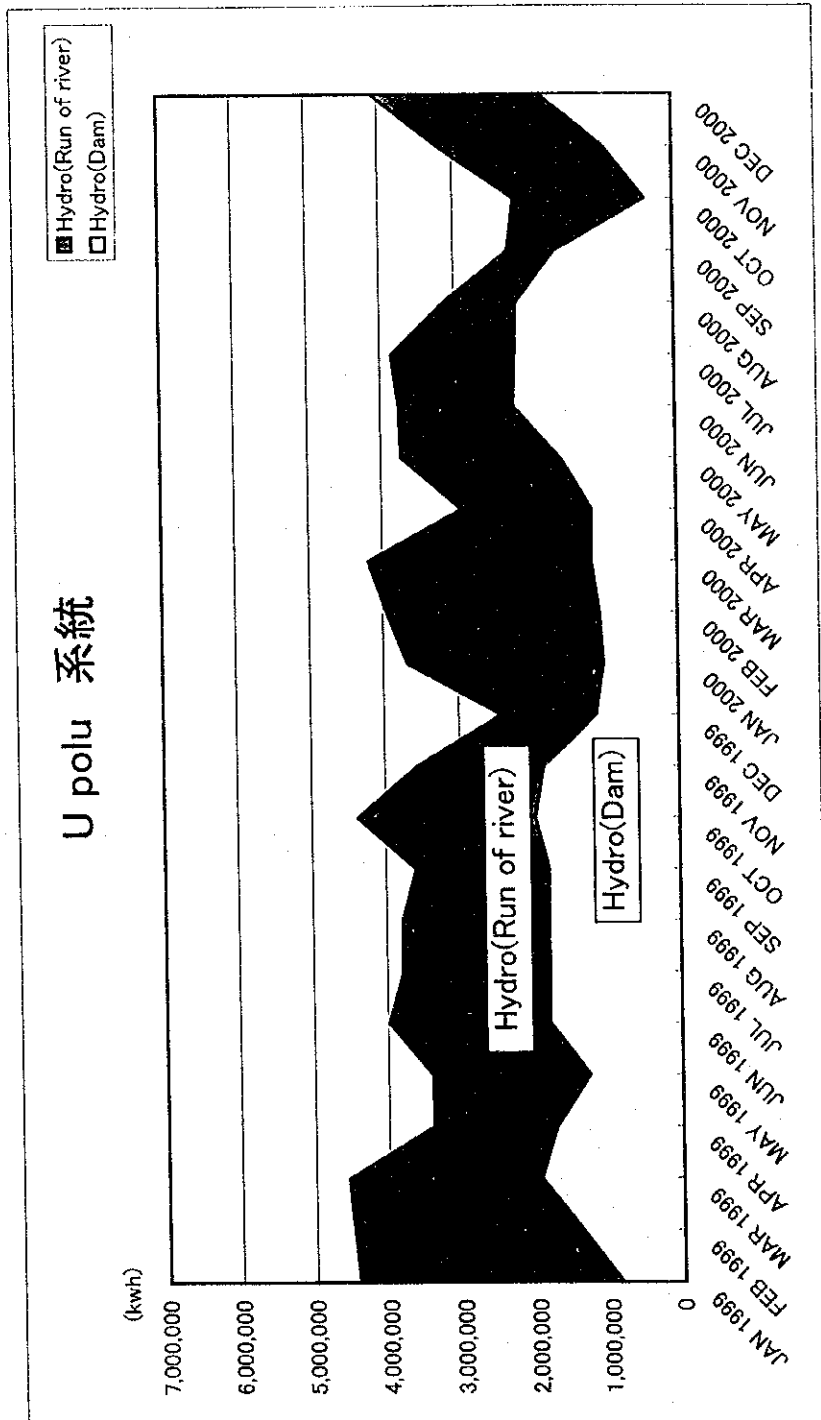
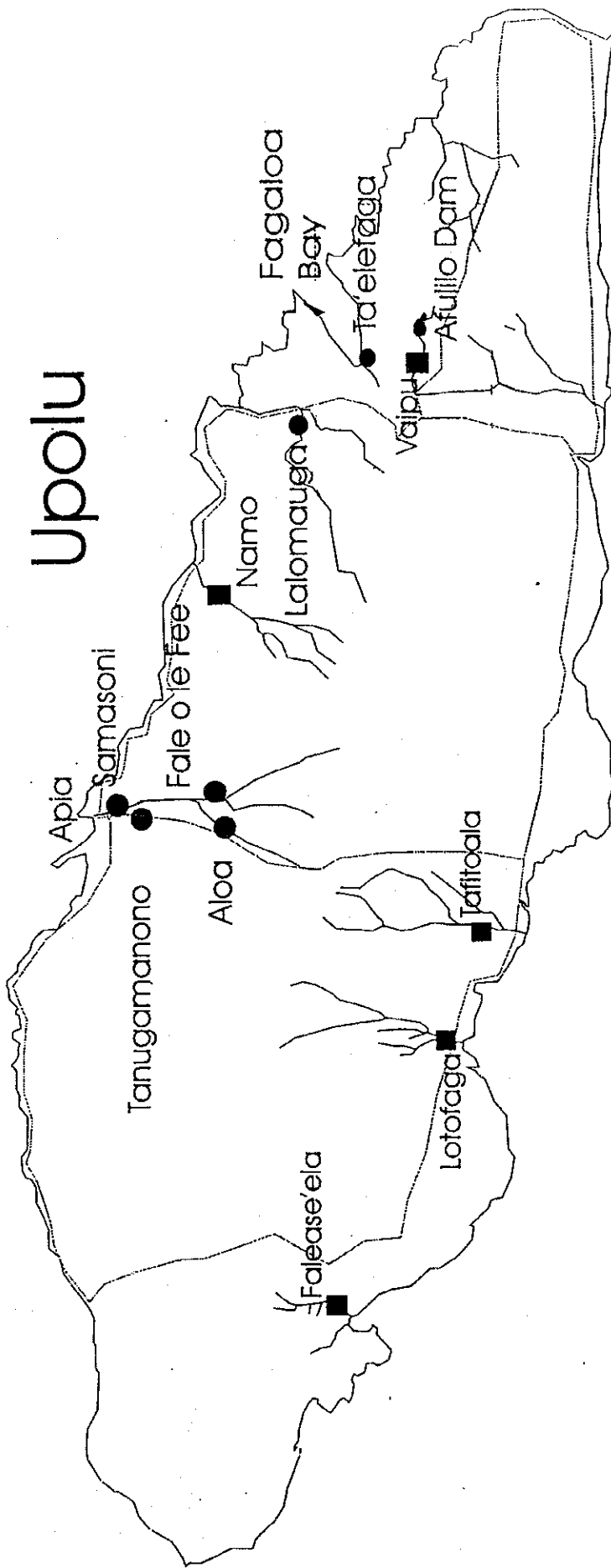


図-3.1.1 小水力発電所発電状況



MAP 1

EPC Generation - UPOLU

- Existing Generation
- Potential Generation Location

图-3.2.1 小水力開發候補地点位置图

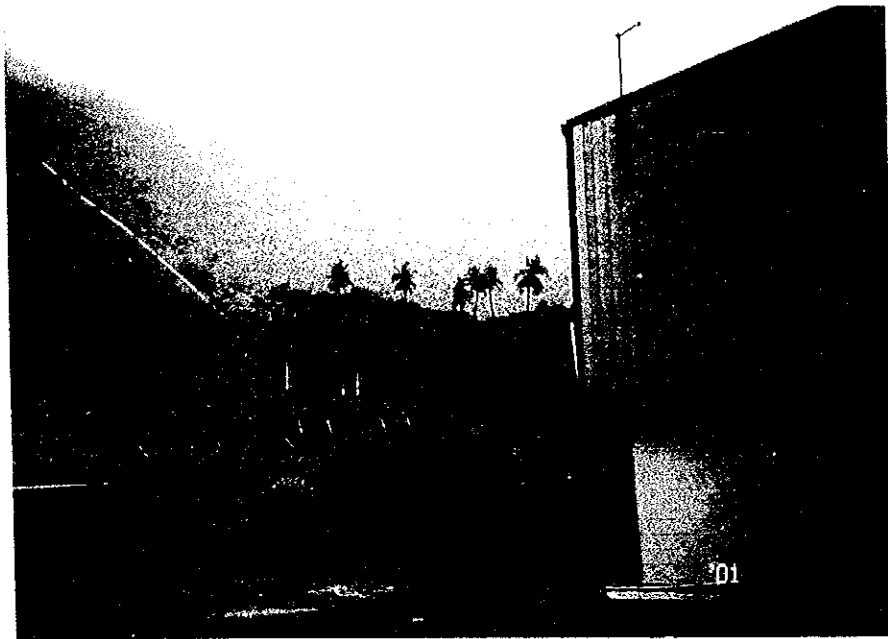


写真-3.2.1(1) Taclefaga 発電所



写真-3.2.1(2) Taclefaga 発電所発電機 (2MW×2基)

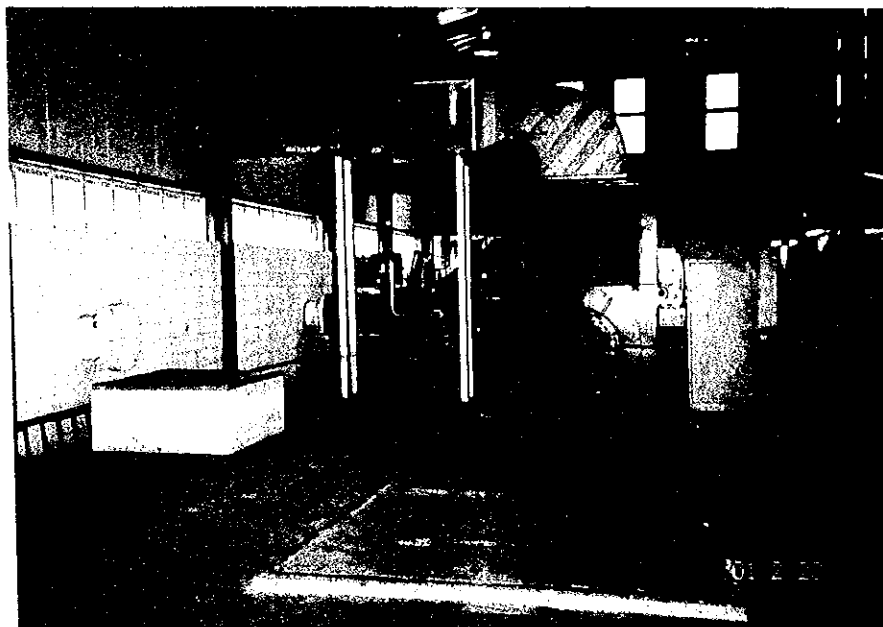


写真-3.2.1(3) 増設計画 (2MW)のためのスペース



写真-3.2.2(1) Sili川 (サバイイ島)



写真-3.2.2(2) Sili川 (サバイイ島)

(3) Lotofaga, Falese'ela, Tafitoala, Namo 地点

ウポル島南側を流れる Lotofaga 川 (写真-3.2.3)、Falese'ela 川及び Tafitoala 川 (写真-3.2.4)、ウポル島北側を流れる Namo 川 (写真-3.2.5) はサモアの中では比較的河川流量の多い川である。Lotofaga 及び Falese'ela 川については、1995 年 9 月にオーストラリアの Hydro-Electric Commission Enterprises Corporation がヘリコプターによる現地調査を行い、それぞれ 1.4MW, 0.8MW の流れ込み式発電所による発電計画を推奨している。

これらの地点は上記 2 地点(Afulilo, Sili)とは異なり、具体的詳細な設計は未だなされていない。

3.3 小水力開発の方向性

ウポル島、サバイイ島はいずれも火山岩と珊瑚礁から成る島であり、地上に降った雨の地下への浸透量は大きく、河川を流下する水量は降雨量に比較して少ないと考えられるものの、シリ川をはじめとする各河川では小水力を開発するポテンシャルを十分有すると判断された。ディーゼル発電燃料消費コストの削減、また、温室効果ガス削減の観点から後述の太陽光発電とともに継続的に開発されていくべきものである。

現在早期実現性の高いプロジェクトとして、前述の Afulilo 増設計画及び Sili 水力開発計画がある。ウポル島電力系統での需要対応として、Afulilo 増設計画が進められているが、近年の降水量不足による慢性的な貯水量不足状況を見ると、この増設による発生電力量増加はあまり期待できない。

一方、シリ川には豊富な水量があり、シリ水力開発計画による効果は大いに期待できる。サバイイ島電力系統での最大負荷 2.6MW (2000 年 5 月) を考慮すれば、段階的開発が妥当であるが、ディーゼル発電から自然エネルギーへの変換という観点からは貢献度の高いプロジェクトである。将来的にはサバイイ島、ウポル島を結ぶ海底ケーブル建設の構想もあり、サモアの電力需要の大部分を占めるウポル島系統への電力供給と、サモア電力系統における電源の東西アンバランス解消が期待される。

以上、述べたとおり、サモア国としては早期実現度の高い水力開発プロジェクトが進んではいる。しかしながら、サモアの電力需要の 90% を占めるウポル系統への対応という観点からは、上記プロジェクトと平行し、将来的にウポル島での小水力開発も念頭に電源開発を進めていく必要がある。参考までに地形図と降水量データより計算される各河川の想定開発規模は表-3.3.1 の通りであるが (算出根拠については添付資料 3.1 参照)、まずは、これらの地点に簡易測水所を設置し、降水量及び河川流量データを収集し、適正な開発規模及び経済性を評価することが必要である。

表-3.3.1 ウポル島各河川の想定開発規模

地点名	Lotofaga	Falese'ela	Tafitoala	Namo(1)	Namo(2)
流量	1.18 [m ³ /s]	0.63 [m ³ /s]	0.53 [m ³ /s]	0.28 [m ³ /s]	0.75[m ³ /s]
落差	130 [m]	120 [m]	110 [m]	190 [m]	80 [m]
出力	1,020 [kW]	510 [kW]	390 [kW]	360[kW]	400 [kW]

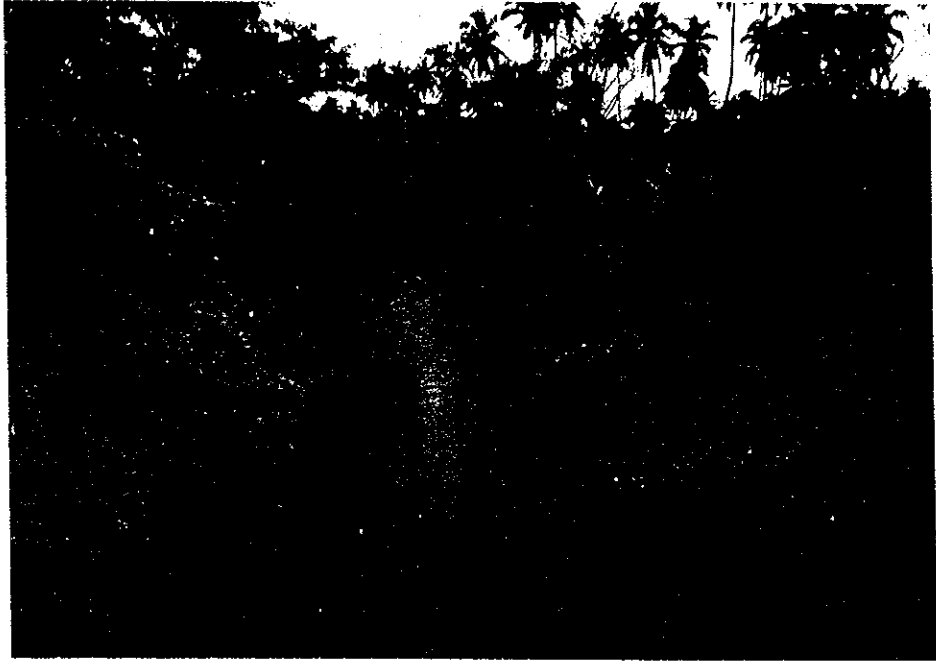


写真-3.2.3(1) Lotofaga 川 (ウボル島)



写真-3.2.3(2) Lotofaga 川 (ウボル島)



写真-3.2.4(1) Tafitoala 川 (ウボル島)



写真-3.2.4(2) Tafitoala 川 (ウボル島)



写真-3.2.5(1) Namo川 (ウボル島)



写真-3.2.5(2) Namo川河口付近



写真-3.2.5(3) Namo川河口付近

第4章 太陽光発電

第4章 太陽光発電

サモア独立国の有人四島では、居住エリアには配電線がほぼ完備されており、電力供給をしている。しかし小島のマノノ、アポリマ両島は18:00～24:00の1日6時間のディーゼル発電機による電力供給であり、首都アピアを有するウポル島でもディーゼル発電と水力発電設備を有しているが、乾期には発電容量が低下し電力需給が逼迫する事態となる。

今回の調査においてはこの四島を踏査し、環境性に優れ割高なディーゼル油を消費しない太陽光発電の導入可能性について調査・検討した。

4.1 太陽光発電の概要

太陽光発電は、太陽電池パネルが太陽光の日射を受けることにより、発電を行う静止型の発電システムであり、発電の際に排出物は全くない環境性に優れた自然エネルギーの最右翼として近年普及・拡大が進んできた。

また、燃料及び燃料供給インフラが不要のため、途上国の無電化地域の電化方策として注目されている。

(1) 太陽光発電の特徴

a メリット

- ・発電に際し、燃料を消費しないためCO₂、NO_x等の排出物を全く出さず環境に優しい。
- ・可動部がない（静止型）ため騒音を発生せず、メンテナンスが比較的容易。
（専門家でなくとも取り扱いが可能）

b デイメリット

- ・日射変動や周囲の陰等の影響により出力変動が大きい。
- ・エネルギー密度が低い。
- ・価格はディーゼル発電に比べ高い。

(2) 太陽電池の種類と原理

太陽電池は大きく分けてシリコン系太陽電池と化合物系太陽電池があり、電力用としては通常は前者が用いられており、このシリコン系太陽電池の中には結晶系の単結晶もしくは多結晶太陽電池と非結晶系のアモルファス太陽電池がある。

電力用としては、結晶系である単結晶及び多結晶太陽電池が最も広く用いられておりモジュール変換効率は、単結晶で12～15%、多結晶で10～14%である。

また、この変換効率は温度の上昇に伴い低下する傾向にある。

(発電原理)

太陽電池は半導体の一種で、2種類の異なるシリコン半導体（N型とP型）を張り合わせた構造であり、そこに太陽光が当たると、その光エネルギーは太陽電池内に吸収され、そのエネルギーによってプラス（+）とマイナス（-）の電荷（正孔と電子）が生じる。（+）電荷はP型に多く、（-）電荷はN型に多く集まり起電力を発生する。この電池の表と裏を負荷で繋げると電流が流れ電気エネルギーを取り出すことができる。

太陽電池の原理を、図-4.1.1に示す。

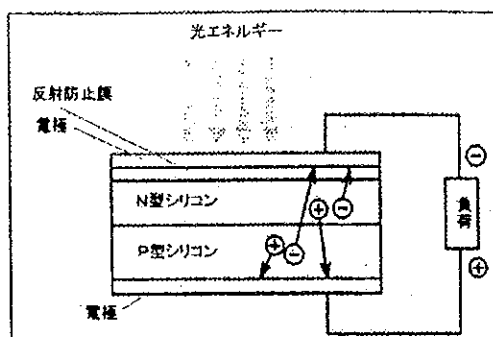


図-4.1.1 太陽電池の原理

(3) 太陽電池のモジュールとアレイ

太陽電池は、太陽電池セルが最小単位となる。10cm角もしくは15cm角の板状で、1枚では電圧0.5Vと低いため、セルを数10枚直列接続し、耐候性パッケージに収納し使用する。この単位をモジュールと言う。

寸法はメーカーによって異なるものの、約1m角もしくは1m×50cm角程度で、出力は50～100W程度である。それらのモジュールを直列や並列に組み合わせて、必要な発電電力を得るように大型パネル化したものを、太陽電池アレイと呼ぶ。

モジュールの構造を、図-4.1.2に示す。

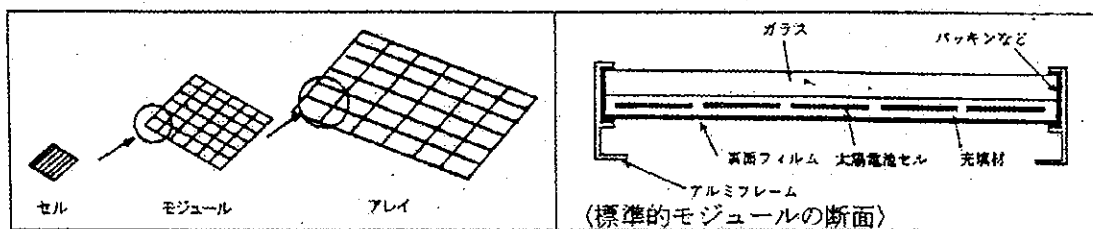


図-4.1.2 モジュールの構造

(4) 太陽光発電のシステム構成

太陽電池アレイ出力は直流であるため、商用電源として使用するためには、50Hzの交流にする変換装置（インバータ）が必要となる。

世界で最も太陽光発電が普及している我が国においては、3～4kWの住宅屋根設置タイプが一般的であり、配電線と連系されており昼間の晴天時で発生する余剰電力は電力会社が電気料金と同額で購入するため、電力貯蔵用のバッテリーは必要としない。

途上国のPVを用いた地方電化方策としては、鉛バッテリーと組み合わせた以下の様なシステムがある。

a SHS (Solar Home System)

100W程度の太陽電池パネル及び鉛バッテリーとそれに充電する充電装置（コントローラ）からなる簡易なシステムで独立形態の一種である。各家庭に1システムとなり供給電圧は直流12Vで、負荷は直流で動作する小型蛍光灯やラジオなど小容量家電機器に限定される。

電力量が鉛バッテリー容量分に制限されるため、使用者には電気を大事に使うという気持ちが醸成される。また低価格で未電化地域においては有効なシステムである。

一方、各家で発電システムを保有するため、それを定期的にメンテナンスしたり料金徴収しその一部を鉛電池取り替えのための積み立てをする等のスキームを構築する必要がある。

b バッテリーチャージ・ステーション

SHSの変形バージョンで、太陽電池パネルが各家毎にあるのではなく、1ヶ所にまとまってある形態をとる。NEDOがタイのカンチャナブリーで行ったプロトシステムでは、1週間に1度各家保有の自動車用鉛バッテリーをチャージステーションに運搬し1日かけて充電する。その際、充電する電力エネルギーは4kWの太陽光発電によって得られた電気エネルギーを使用する。

現在、タイのエネルギー開発促進局DEDPもこの手法を採用し独自に地方電化対策を進めている。

電力負荷は、SHSと同様に小型蛍光灯やラジオであるが、充電する回数が1週間に1度であるため、使用電力量は更に限定される。

c 集中型

数10kW以上の太陽電池に鉛バッテリー群を組み合わせ、インバータを介して商用電力とシグリッド連系で供給する比較的大規模なシステムである。

ディーゼル発電や小水力発電など別電源と連系させたハイブリッドシステムもこの形態の一種である。

インバータや鉛電池群の定期的かつ高度なメンテナンスが求められ、地元電力会社等による運転・管理が必要となる。

また、SHSやチャージステーション方式に比べ1戸当たりの建設コストが高くなり、電力負荷も比較的大きいため使用者も自分の電気という意識が持ちずらく、無駄に電気を消費してしまうことが危惧される。

4.2 サモアにおける太陽光発電の導入可能性

(1) サモアにおける日射量

太陽光発電システムの発電量を推定するには、長期に渡る日射量データが必要である。今回の調査で得られた1985年、86年、87年、88年の首都アピアの気象台での実測データを基に計算されるアピアにおける日射量実績を、表-4.2.1に示す。その結果、サモアにおける1日平均の日射強度は4.61kWh/m²日と東京の3.92kWh/m²日に比べ、2割程度高く、季節による変動も比較的少ないことがわかった。

なお、サモアは南緯13.5°に位置しているため、太陽光出力推定にはこの水平面日射量をそのまま採用することとした。

表-4.2.1 日射量実績(1985~1988年 平均値、アピア、水平面日射)

1月	2月	3月	4月	5月	6月			
150	133	127	130	123	119	(単位: kWh/m ² /d)		
7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計	月平均	日平均
122	147	142	172	162	155	1682	140	4.61

一方、現地調査期間中の2週間弱と短い期間であるが、アピアのJICA事務所とマノノ島のディーゼル発電所建屋の2ヶ所に日射量計を設置しデータ取得を行った。実測結果はJICA事務所で3.98kWh/m²日、マノノ島発電所で4.05kWh/m²日である。これを、表-4.2.1の2月分、3月分の日射量と比較すると今回実測データは若干低い値となっているが、計測期

間が短いことを考慮すれば入手したデータの妥当性を確認できたといえる。

観測装置および設置状況の写真を、写真-4.2.1に示す。また、実測データを添付資料-4.1に示す。



写真-4.2.1(1) 日射量計取付



写真-4.2.1(2) 日射量計取付

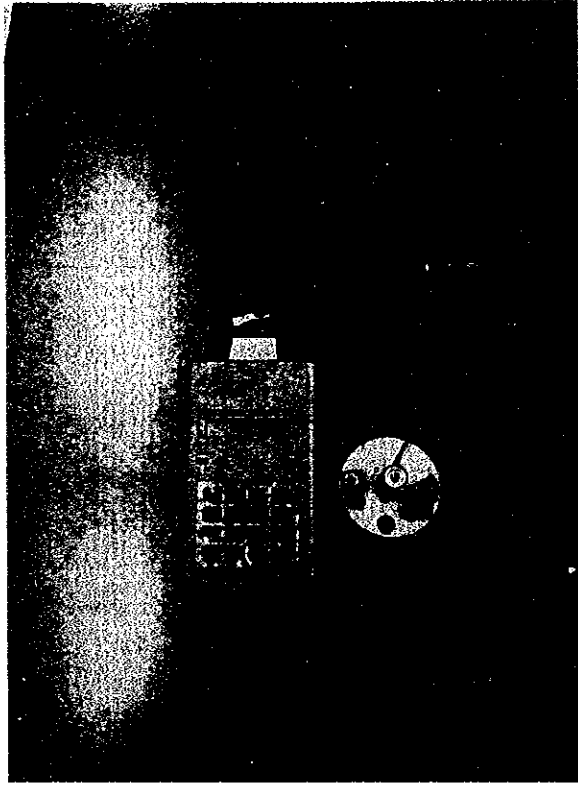


写真-4.2.1(3) 日射量計

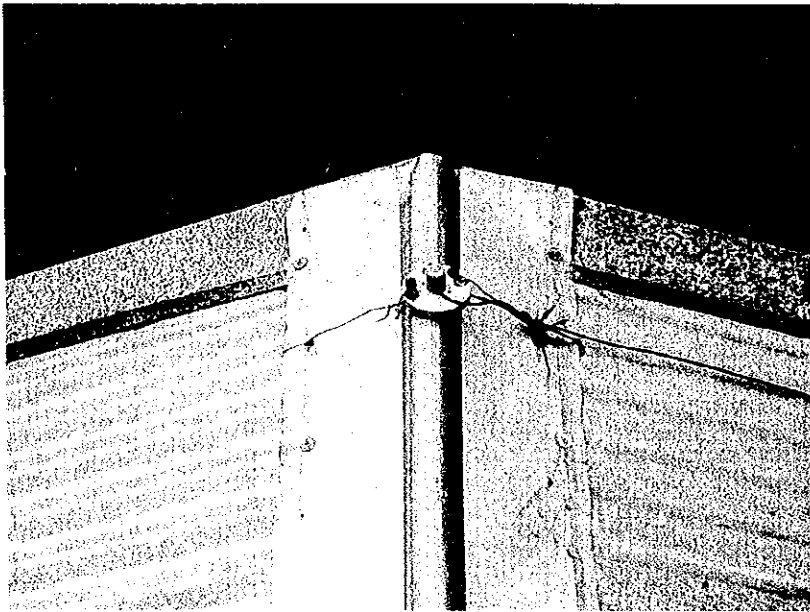


写真-4.2.1(4) 日射量計取付状況

(2) 太陽光発電システム導入によるメリット

太陽光発電導入によるメリットとして、以下のことが考えられる。

- ・低発電効率の老朽ディーゼル発電機[マノノ島：15.7%、アポリマ島：9.8%、参考ウポル島：35%]を太陽光発電で代替することによる環境性の向上
 - ・CO₂排出量の削減（マノノ島：17.5t-C/年、アポリマ島：2.9t-C/年）
 - ・NO_x及び煤塵の削減
 - ・高コスト軽油の節減（両島で年間約30,000L、約170万円の節減）
 - ・24時間電気が利用できることによる本島並の生活環境の向上(冷蔵庫、洗濯機の使用可)
- インフラ整備に伴う離島経済の活性化

(3) マノノ島での太陽光発電システム設計

マノノ島は人口1,000名程度の島で、工場や事務所はなく大部分は住居地域である。発電設備では、42kWのディーゼル発電機が2台あり、電力網はすでに整備されており、22kVの送電線で島全周を連系している。

このため、インバータを介してグリッド連系で供給する集中型太陽光発電システムとして設計する。太陽光発電システムの概念図を図-4.2.1に示す。

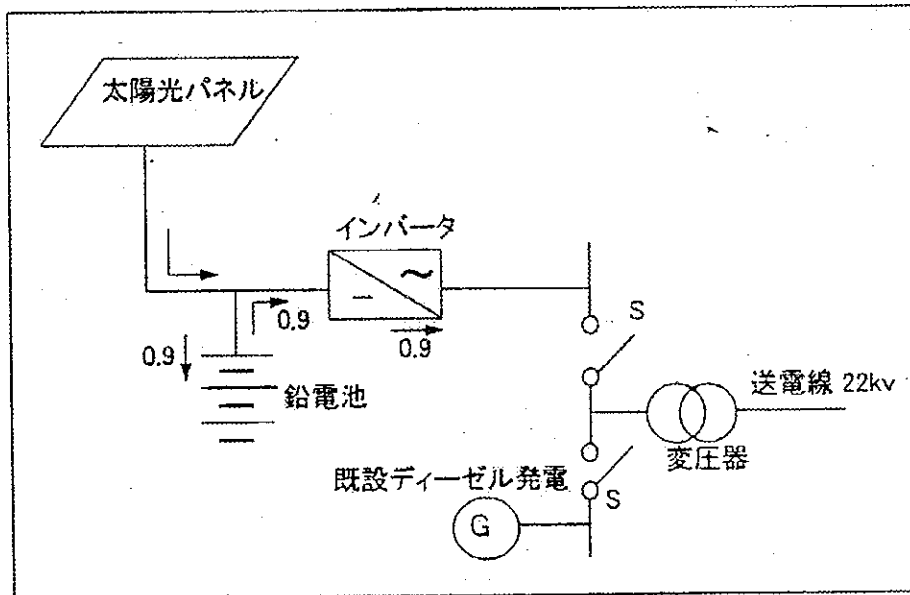


図-4.2.1 太陽光発電システム概念図

a 設計条件

太陽光発電設備容量の違いにより、2ケースについて検討する。

<ケース1の場合>

- ・2000年の電力需要実績 43,000kWhに、昼間電力需要の追加及び今後の増加分を考慮し50%増の65,000kWh供給できる集中型システムとする。
- ・通常は太陽光発電で電力供給を行い、非常時もしくは鉛バッテリーの容量不足時には既設ディーゼル発電機を運用

このため、PV設計においてはコスト増となる裕度分は見込まない。

<ケース2の場合>

- ・基本的には<ケース1>と同様であるが、現状の電力負荷の半分を太陽光発電で賄うものとし、残りは既設ディーゼル発電機で対応する。

b 電力負荷の種類

マノノ島には一般家屋、教会、店、学校等しかないため、主な電力負荷は電灯で夕方から夜間にかけて増加する。ただし、冷蔵庫を保有する店、家庭もあり、電力供給時間帯(18:00~24:00)に冷凍庫を冷やし、受電のない昼間はその冷熱を保持しながら利用している。

c 所要PVパネル容量

- ・1985年、86年、87年、88年の首都アピアでの実測データでは1日平均の日射強度は、4.61 kWh/m²日。
- ・太陽光発電のパネル面積は結晶系で1kW当たり、約8.4m²であるため、1kWのパネルで年間約1,410kWh(平均効率10%、DC出力)の発電量が期待できる。

<ケース1>

2000年の需要実績(43,000kWh)×1.5倍の65,000kWhを賄うものとする。

$$65,000\text{kWh}/1410\text{kWh} \times (0.9 \times 0.9 \times 0.9) = 63.2 = 65\text{kW} \quad \text{太陽電池容量：65kW}$$

<ケース2>

2000年の需要実績(43,000kWh)×0.5倍の21,500kWhを賄うものとする。

$$21,500\text{kWh}/1410\text{kWh} \times (0.9 \times 0.9 \times 0.9) = 21\text{kW} \quad \text{太陽電池容量：21kW}$$

d 所要バッテリー容量

$$\text{バッテリー容量[kWh]} : B = L \cdot N / (\text{DOD} \times H)$$

<ケース1>

L : 1日の電力量 178[kWh] (65,000kWh/365日)

N : 不日照日数 1[日]

DOD : 放電深度 0.65

H : 保守率 0.8

$$B = 342\text{kWh} = 3560[\text{Ah}] (96\text{V})$$

バッテリー容量：3560[Ah]

<ケース2>

L : 1日の電力量 59[kWh] (21,500kWh/365日)

その他の定数は同じ

$$B = 114\text{kWh} = 1190[\text{Ah}] (96\text{V})$$

バッテリー容量：1190[Ah]

e インバータ出力

<ケース1>

1日の最大電力が不明なため、既設変圧器の同容量の100kWとする。

<ケース2>

既設変圧器の半分の容量の50kWとする。

f 建設コスト (概算)

<ケース1> PV: 65kWシステム

太陽電池モジュール	65kW	× 50万円/kW	3,250万円
インバータ (保護回路含)	100kW	× 30万円/kW	3,000万円
鉛バッテリー (充電ユニット含)	340kWh	× 13万円/kWh	4,420万円
架台・工事費他	65kW	× 30万円/kW	1,950万円
その他機器			380万円
		合計	13,000万円

<ケース2> PV: 21kWシステム

太陽電池モジュール	21kW	× 50万円/kW	1,050万円
インバータ (保護回路含)	50kW	× 30万円/kW	1,500万円
鉛バッテリー (充電ユニット含)	120kWh	× 13万円/kWh	1,560万円
架台・工事費他	21kW	× 30万円/kW	620万円
その他機器			370万円
		合計	5,100万円

(4) その他の島への太陽光発電導入可能性

a アポリマ島への適用<ケース3>

アポリマ島は四島の中で最も小さく、住民数も100人程度と少なく、2000年の消費電力量は、4,500kWh程度である。(電力供給時間18:00~24:00) PV導入システムとしては、<ケース1>と同様に、基本的に太陽光発電(年間4,500kWh×1.5)で賄い、鉛電池容量の低下や非常時に既設ディーゼル発電を用いるシステムとする。

太陽電池モジュール	10kW	× 50万円/kW	500万円
インバータ (保護回路含)	25kW	× 40万円/kW	1,000万円
鉛バッテリー (充電ユニット含)	40kWh	× 15万円/kWh	600万円
架台・工事費他	10kW	× 40万円/kW	400万円
その他機器			300万円
		合計	2,800万円

(ケース1, 2に比べ発電容量が小さいため、設備単価が多少異なる)

b ウボル島への適用<ケース4>

ウボル島は首都アピアを有する経済、商業の中心の島である。電力需要はサモア全体の9割以上を占め、発電設備としては、Tanugamanono火力発電所(ディーゼル12MW)やTa'elefaga水力発電所(4MW)はじめとする数カ所の水力発電所があるが、乾期においてはこれら水力発電能力は低下し、その低下分のほとんどをディーゼルで賄っている。

また、島の西側のFalclataiは、送電線の末端で、重負荷時には電圧低下の現象が生じている。このため、ここに太陽光発電設備を設置し電圧低下を抑制するとともに、ディーゼル発電の一部代替を行うものである。

<ケース4>[PVシステムによる電圧低下抑制]

送電線のパラメタ、ケーブル長など関連情報は入手できず、概算で導出した。

・太陽電池モジュール	200kW × 50万円/kW	10,000万円
(電力負荷の0.3%を供給)		
・インバータ(保護回路含)	200kW × 30万円/kW	6,000万円
・鉛バッテリー(充電エレクト含)	600kWh × 13万円/kWh	7,800万円
(重負荷時に放電し、電圧を高める事より決定)		
・架台・工事費他	200kW × 30万円/kW	6,000万円
・その他機器		200万円
	合計	30,000万円

合計の建設コストは3.0億円となる。

<ケース4'>[力率改善用コンデンサによる電圧低下抑制]

電圧維持を太陽光発電システムでなくSC(力率改善用コンデンサ)で行う場合は、同等の能力を300kVAの容量で対応可能となる。

・力率改善用電力用コンデンサ(300kVA)	300万円
・遮断器	1,300万円
・盤、他工事	1,200万円
合計	2,700万円

SCを用いれば、1/10のコストで電圧維持は対応可能となる。

c サバイイ島

今後シリ水力発電の計画があり発電能力は十分となるため、また電力系統の問題も無いため、太陽光発電の導入の理由は特段見い出せない。

4.3 メンテナンス

- ・鉛バッテリーを使用するため約4年に1度は取り替えが必要となる。

<ケース1>では取り替えコストは約3,400万円で、4年分の燃料費節減額860万円では賄いきれない。

- ・コストの低い自動車用バッテリーは、通常浮動充電として使うため放電深度を大きく取る使い方をすれば、劣化が加速されすぐに寿命に至ってしまう。またSHSでの使用実績はあるものの、集中型としての使用実績は把握できていない。これを用い3年に1度取り替えた場合、取り替えコスト680万円は3年分の燃料費節減額640万円とほぼ同額となり、十分競争力が期待できる。
- ・劣化がほとんどなく、10年以上使用できる電気二重層コンデンサ(スーパーキャパシタ)はkWh当たり約600万円と鉛バッテリーの60倍の価格であり、またエネルギー密度が低く嵩ばる。キャパシタのメリットは低劣化の他に急激な電力を効率よく回収・貯蔵できる点で、電気自動車の制動時の運動エネルギーの効果的な回収などにバッテリーと組み合わせた使用法が適しており本システムには不適合である。
- ・既設ディーゼル発電所サイト内にPVシステムが建設が考えられることより、従来通り地元EPCメンバーによる専門的なメンテナンスが期待される。
これを適切に行うためには建設段階からEPCに技術情報の提供や、建設後のメンテナン

ス研修の実施、OJTが必要と考えられる。

- ・不要バッテリーの処理において海洋投棄による自然破壊が問題になっており、処理方法についても十分教育すると同時に処理・リサイクルのスキームの構築も必要である。このためには、バッテリー交換費と併せ処理費の積み立ても考慮すべきである。

4.4 海底ケーブルによる連系

マノノ島～ウボル島約4km間（水深3～7m）を海底ケーブルで連系した場合〈ケース1〉を想定する。

(1) 使用海底ケーブル

将来、更にサバイイ島まで海底ケーブルを連系し、サバイイ島の水力発電の開発により期待される余剰電力をウボル島に供給することを想定し、現在のマノノ島の電力負荷ではなく裕度を見込んだ送電容量として15,000kWを仮定する。

所要送電容量は約400A（22kV）で、海底布設により温度上昇が抑制されるためケーブルサイズは22kV C Vケーブル3芯150mm²とする。

海底ケーブルの外傷要因となる底曳き漁具、錨、岩盤による摩耗からケーブルを防護するため二重に鉄線鎧装を施したケーブルを採用とした。

布設の方法としてはトラフを用いずそのままの直置きとする。

(2) 建設コスト

ケーブル代	:	約 10,000万円（4km）,終端接続部含
人件費/資機材費	:	約 15,000万円
合計		約 25,000万円

詳細な事前調査が必要であり、その結果で布設工法も異なるがここでは概算で2.5億円程度と見積もられる。

