

フィリピン共和国

レイテ送電計画

調査報告書

(APPENDIX)

1982年2月

国際協力事業団

鉅計資

82-2(2/3)



フィリピン共和国

レイテ送電計画

調査報告書

(APPENDIX)

JICA LIBRARY



1045978[2]

1982年2月

国際協力事業団

國際協力專業団	
受入 月日 5/8/88.27	118
登録No. 14014	5644
	MPN

目 次

A-1	計画地域の気象と設計風速	A-1
A-2	碍子の塩分附着量調査	A-12
A-3	San Bernardino 海峡調査結果	A-19
A-4	直流送電の特質	A-24
A-5	超速応励磁及びPSS	A-31
A-6	現地調査入手資料リスト	A-34
A-7	現地調査実績日程表	A-37
A-8	経済評価	A-45

A-1

計画地域の気象と設計風速

A-1 計画地域の気象と設計風速

1. フィリピンの気象

フィリピン諸島は約5°Nから21°Nの間にまたがる、大小7,000以上の島から成っており、これ等は、ルソル地域、ビサヤス地域およびミンダナオ地域に大別される。

フィリピンは低緯度に位置しているため、その気候は高い山地を除くと熱帯気候の特色を示し、年間の温度変化に乏しく、また多湿である。降雨量も一般に多くその分布は季節風の影響を受けている。

これ等フィリピンの気候を支配する要因は主に次の4つの型に分けることが出来る。

1) 南西モンスーン (Southwest Monsoon)

南半球の冬季に発生したインド洋高気圧から吹くインド洋貿易風によるものでフィリピン附近では南西寄りの気流となる。この風は6月初頃に吹き初め、8月に最強となって9月末頃まで吹き、時には10月末まで持続することもある。フィリピン西海岸側一帯に6月から9月にかけて強雨をもたらす、いわゆる雨期となる。

この6月から9月までの期間、レイテ島北側、サマル島西側およびルソン島南側地域では、SWが主風でSSWからWまで変化し、風速は概ね3~6 ktである。

2) 北東モンスーン (Northeast Monsoon)

アジア性の冬季高気圧による強い寒気流であり、フィリピンでは北東寄りの風となる。10月末頃吹き初めて、1月に最強となり、通常4月末頃まで吹く。この気流の影響で比較的寒い気候が続き、冬期に東海岸(大太平洋側)地域に強雨がある。

レイテ島北側、サマル島西側およびルソン島南側地域では概ねNEの風向で、風速は4~8 ktである。

3) 北大太平洋貿易風 (The North Pacific Trades)

北大太平洋高気圧からの気流で、フィリピンでは一般にNやEの方向から吹いて来る。4月、5月、10月に優勢となり、東部地域で北東モンスーンの気団を抑える。フィリピンに影響を及ぼす最も暖かい気流であることが特徴で、晴天をもたらす、時には積雲から雷雨がある。

4) 南大太平洋貿易風

南半球で発生する南大太平洋高気圧から来る気流で、フィリピンでは6月に南西寄りの風となる。これは暖い気流であり、下層は湿度が高いが上層では比較的乾燥しており、前述の南西モンスーンと同様の特徴である。

フィリピンの気候を特徴づけるのは、以上の4種の気流の他に南洋性台風があるが、また前線や赤道無風帯などの影響を受けるとともに、四囲を海面でかこまれた列島であるため海流に

よる影響も大きい。

フィリピンの気温は年変化に乏しく、たとえば、サンボアンガでは1年中で1番高い月(4月5月)の平均気温が26.7℃、1番低い月(1月、2月)の平均気温が26.1℃で、その年較差はわずか0.6℃にすぎず、マニラでも3.6℃前後である。

フィリピン全体の平均年降雨量は約2,400mmである。しかし、これは一様に分布しているわけではなく、地形の影響が大きく、その時の季節風に対する方向によって規則正しい分布をなしている。マニラを含め南シナ海側は乾・雨季の差が明瞭であるが、大太平洋側では1年中を通じて降雨量が多いのが通常である。

2. レイテ島北側、サマール島西側およびルソン島南側地域の気象

この地方の気象観測地点 Tacloban (レイテ島)、Catbalogan (サマール島) および Legaspi (ルソン島) における気象データを Table A-1-1 に示す。これ等のデータからこの地域の気象について次の様に要約できる。

i) 気 温

年平均気温は約27.3℃である。最高、最低気温は Legaspi でそれぞれ37.2℃、16.7℃であるが、地域差、標高差等を考慮すると、この地域としては最高40℃、最低10℃程度の気温であると考えられる。

ii) 降 雨 量

この地域は特に乾・雨季の区別がなく、冬期に北東モンスーンによって多量の雨がもたらされる。

iii) 雷雨日数は、Tacloban 市：69.5日、Legaspi 市：35.5日といずれも多雷地帯に属している。

3. 台 風

フィリピンは世界で最も台風の直撃をうける国である。特にフィリピン諸島の中部・北部がおそわれやすく、南のパラワンやミンダナオでは非常に少ない。台風は通常フィリピンの東沖に発生し、同諸島およびインドシナ方向に進む、7月から12月にかけて台風の襲来が多く、これら台風の平均進路は2月から8月にかけて漸次北上し、以降1月までは南下をつづけるのが一般的である。

年平均20個の台風がフィリピンへの影響圏に入り、この42%がフィリピン諸島を通過しており、ルソン南端部、サマール北部：31~40%、レイテ北部：21~30%、サマール南部11~20%の台風のコースとなっている。又、年平均4.7個の台風がフィリピンの何処かに被害を及ぼしており、これの43%の年平均2個の台風は、レイテ北部、サマールおよびルソン南部に人的経済的損害をもたらしている。(Table A-1-2)

Table. A-1-1 CLIMATIC DATA IN THE PROJECT AREA

Item	Station	Month												Annual Average	Observation Period				
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.						
Temperature (°C)	Average	Tacloban	26.0	26.0	26.6	27.5	28.0	28.0	27.7	28.0	28.0	27.7	28.0	27.7	27.1	26.5	27.3	20	
		Catba- logan	26.1	26.1	27.0	27.8	28.5	28.5	28.1	28.3	28.1	27.5	28.1	27.5	27.0	26.3	27.4	20	
		Legaspi	25.5	25.6	26.3	27.3	28.1	28.1	27.7	27.7	27.3	27.1	27.3	27.1	26.6	26.0	27.0	20	
Highest	Tacloban	33.3	34.4	34.4	36.1	36.1	35.6	35.6	35.6	35.6	36.1	35.6	35.6	36.1	34.4	33.3	36.1	16	
	Catba- logan	33.4	34.3	35.0	36.6	36.2	35.9	34.8	35.2	35.2	35.0	34.9	35.0	34.9	36.9	34.0	36.9	10	
	Legaspi	32.8	33.9	33.9	35.6	37.2	37.2	36.7	35.6	35.6	36.1	35.0	34.4	33.3	33.3	37.2	37.2	27	
Lowest	Tacloban	18.9	17.8	17.8	20.0	22.2	22.2	21.7	21.1	21.1	21.7	21.7	21.1	21.1	20.0	17.8	17.8	16	
	Catba- logan	16.4	18.3	18.1	17.9	21.4	22.1	21.7	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	18.9	18.3	16.4	18	
	Legaspi	17.2	16.7	17.2	18.9	20.0	21.7	20.6	21.1	21.1	21.1	18.3	18.9	17.8	16.7	16.7	16.7	27	
Sea level pressure (mb)	Tacloban	1012	1013	1013	1011	1010	1010	1009	1009	1009	1009	1010	1010	1010	1011	1011	1011	20	
	Catba- logan	1014	1013	1012	1011	1010	1011	1009	1009	1009	1010	1010	1010	1010	1010	1009	1011	20	
	Legaspi	1013	1013	1013	1012	1010	1010	1010	1008	1008	1009	1010	1010	1010	1011	1012	1011	20	
Relative humidity (%)	Tacloban	83	82	81	80	81	80	81	78	78	78	82	83	84	81	81	81	20	
	Catba- logan	82	81	79	79	80	80	81	80	80	80	83	84	84	84	81	81	20	
	Legaspi	84	82	82	82	82	82	84	85	85	85	85	85	85	85	85	84	20	
Total (mm)	Tacloban	338	216	170	137	155	183	165	140	155	213	302	373	254	34	34	34	34	
	Catba- logan	298	191	157	135	165	207	254	204	258	308	366	383	2926	34	34	34	34	
	Legaspi	391	292	196	150	163	201	259	201	259	348	465	516	344	36	36	36	36	
Rainy days (day)	Tacloban	22	17	18	15	16	17	17	15	16	20	21	23	217	42	42	42	42	
	Catba- logan	20	16	16	14	15	17	18	16	18	21	21	21	213	34	34	34	34	
	Legaspi	23	16	17	14	14	15	19	17	19	21	22	24	221	47	47	47	47	
Greatest in one day (mm)	Tacloban	127	116	97	104	152	116	117	58	44	72	103	106	152	8	8	8	8	
	Catba- logan	133	113	47	107	159	91	105	234	96	190	269	333	333	6	6	6	6	
	Legaspi	236	41	72	74	84	237	133	134	83	92	485	128	485	5	5	5	5	
Rainfall	Nos. of days for each of classes of rainfall (day)	15	14	10	10	11	11	14	13	14	16	17	21	166					
		5	4	3	2	4	4	5	4	5	5	7	8	56					
		2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	3	21					
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7					
		14	12	10	9	10	13	17	13	14	14	14	20	170					
		6	5	3	2	3	6	7	6	7	8	9	9	68					
		3	1	1	1	2	3	3	3	3	2	4	4	29					
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10					
		18	18	12	11	10	12	19	16	17	17	17	20	22	186				
		10	5	5	4	4	4	6	5	5	9	3	11	13	84				
Thunderstorm (day)	Tacloban	5	1	2	1	1	3	3	3	3	4	7	8	41					
		2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	4	13					
		0.9	1.0	2.2	4.5	10.5	11.4	10.2	7.6	8.7	8.0	2.9	1.6	69.5					
Thunderstorm (day)	Legaspi	0.0	0.2	0.5	1.1	5.8	6.2	4.7	4.7	5.5	4.2	1.8	0.8	35.5					
		0.0	0.2	0.5	1.1	5.8	6.2	4.7	4.7	5.5	4.2	1.8	0.8	35.5					
		0.0	0.2	0.5	1.1	5.8	6.2	4.7	4.7	5.5	4.2	1.8	0.8	35.5					

Table A-1-2 NUMBER OF TROPICAL CYCLONE

Month	Cyclone affected to the philippines	Disastrous cyclone	
		Philippines project area	
Jan.	17	3	1
Fed.	9	1	1
Mar.	8	1	0
Apr.	12	5	2
May	25	7	5
June	48	11	5
July	100	21	4
Aug.	108	15	2
Sept.	97	16	1
Oct.	77	25	11
Nov.	74	29	20
Dec.	41	11	10
Total	616	145	62
Mean	19.9	4.7	2.0
Period	1948 - 1978	1948-1978	1948-1978

Reference : Tropical Cyclone Summaries From 1948 to 1978

PAGASA (Dec. 1978)

台風に関するデータから、レイテ北部、サマールおよびルソン南部地方の最大風速、最低気圧ならびに最大24時降雨量についてまとめた結果をTable A-1-3に示す。同地域において観測された極値はそれぞれ次の通りである。

最大風速：275 KPH (76.4 m/s) (Virac, Catanduanes 1970年)

最低気圧：950 mb (Virac, Catanduanes 1959年)

最大24時間降水量：494 mm (Virac, Catanduanes 1974年)

又、ルソン南部、サマール北部地方は前述の通り、台風のコースとしての頻度が非常に高く、これによってもたらされる影響(強風、低気圧、降水量)の特に大きい地方である。

4. 設計風速の推定

送電線路は長期にわたって、高い信頼性をもって運転されなければならないが、そのためには大きな荷重を想定して設計しなければならないが、一方、過大な荷重を想定すれば建設費が大きくなって経済性が損なわれる。このため設計にどのような風速を用いるか、非常に重要な問題である。

設計風速には、過去その地域で記録された最大風速を用いる方法、強風の発生確率の分布を解析し風速値を推定する方法があるが、前者はその地点の記録年数の差の影響が出る欠点がある。近年は後者の方法が一般的に採用されており、送電線の信頼度により再現期間を定め、その時の推算風速を設計風速としている場合が多い。

気象データの解析によって、毎年の最大風速の分布は、GumbelのI型に適合する場合が多いことが確かめられている。これによれば、風速がある風速Vを超過する確率P(V)は次式で表わされる。

$$P(V) = 1 - \exp \left\{ - \exp \left\{ - \frac{\pi}{\sqrt{6} \delta v} (V - \bar{V} + 0.45 \delta v) \right\} \right\}$$

ここに P(V)：風速がVを超過する確率 ($= \frac{1}{T}$ T：再現期間)

\bar{V} ：年間最大風速の平均値

δv ：年間最大風速の標準偏差

これよりTable A-1-4に示す近傍観測地点の年間最大風速データ(1分間評価)にもとづいて再現期間(RP)と風速(V)の関係を求めるとFig. A-1-1に示すとおりとなる。

送電線の設計で設計風速が大きい場合、風荷重の全体にしめる割合が高く設計風速を大きくすれば、送電線の建設費は指数函数的に増加する傾向にある。

設計風速は送電線の経済性と信頼性に直接影響を与える要素であり、又、本計画での架空送電線は亘長約432 Kmとその規模も大きく、設計風速を過大評価した場合に送電線の経済性を損なうことの影響も大きい。これ等の理由により本計画の送電線に採用する設計風速は、フィリ

Table A-1-3 HIGHEST MAGNITUDE OF TROPICAL CYCLONE DATA
(1948 ~ 1978)

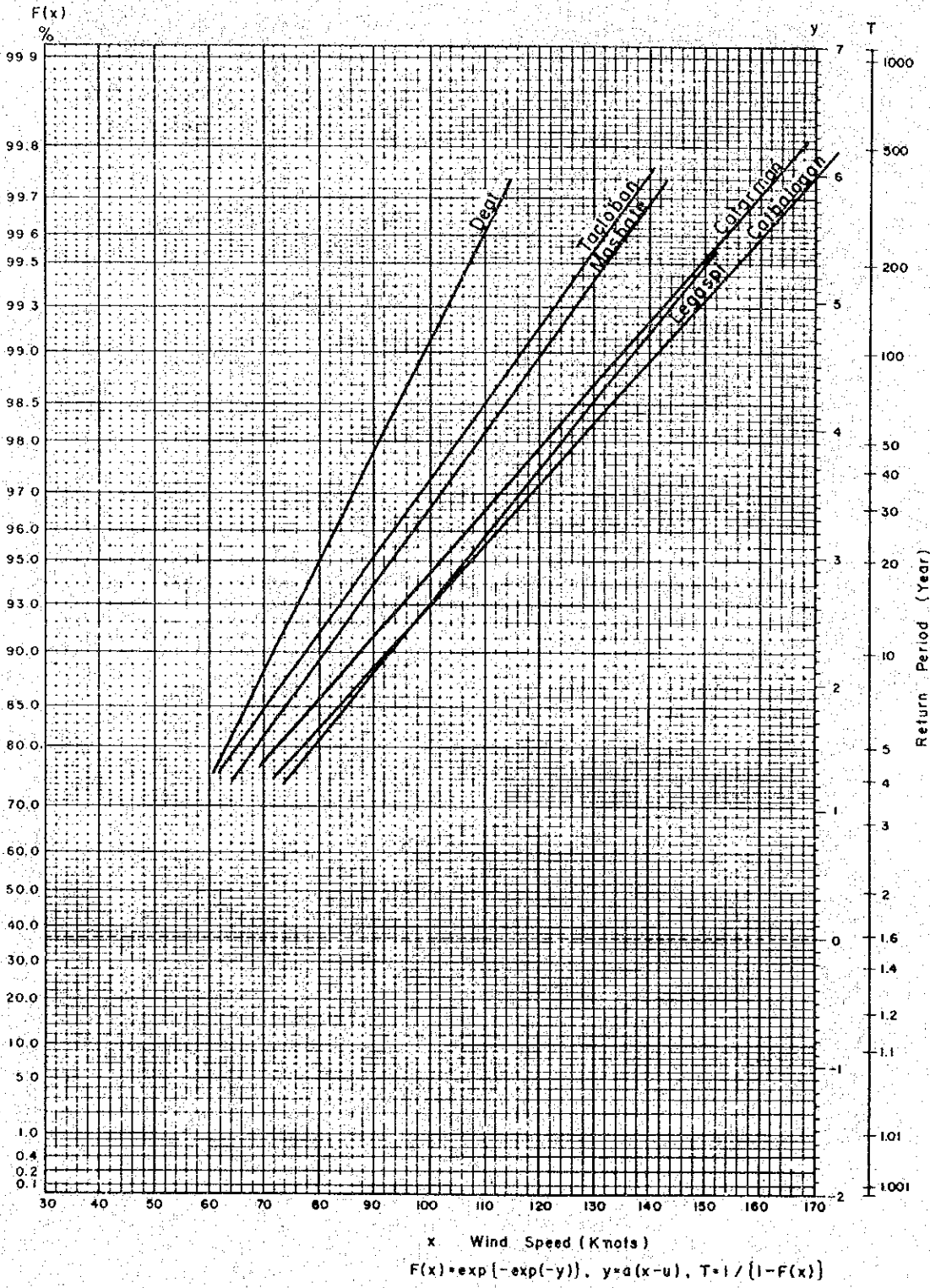
Name of place	Max. wind speed (KPH)	Mini pressure (mb)	Max. 24 hour rainfall (mm)
Tacloban (Leyte)	195 (1966)	986 (1971)	152 (1966)
Catbalogan (Samar)	218 (1959)	969 (1959)	388 (1959)
Gandara (Samar)	—	—	484 (1951)
Catarman (Samar)	261 (1957)	974 (1951)	347 (1953)
Borongan (Samar)	121 (1951)	972 (1968)	377 (1968)
Sorsogon (Luzon)	—	—	336 (1949)
Legaspi (Luzon)	215 (1952)	970 (1972)	485 (1967)
Deal (Luzon)	185 (1967)	970 (1967)	391 (1949)
Masbate (Masbate)	185 (1966)	988 (1972)	285 (1952)
Virac (Cotabuanes)	275 (1970)	950 (1959)	494 (1974)

Table A-1-4 RANKS OF ANNUAL MAX WIND SPEED

(Speed in Knots)

Station Ranks	Leyte Is.	Samar Is.		Luzon Is.		Masbate
	Tacloban	Catbagan	Catarman	Legaspi	Deal	Masbate
1	25	22	36	21	26	30
2	26	28	38	30	33	30
3	30	30	39	38	44	36
4	30	30	40	40	46	36
5	32	40	40	40	46	38
6	34	40	40	40	49	40
7	36	42	40	44	50	46
8	36	46	40	48	50	48
9	37	50	40	51	52	50
10	37	52	46	52	55	52
11	38	65	46	55	56	60
12	38	70	48	55	56	62
13	40	79	50	56	66	68
14	42	80	55	56	72	100
15	43	95	60	60	90	100
16	44	98	61	60		
17	47	114	104	69		
18	50		140	70		
19	52			80		
20	52			80		
21	55			94		
22	56			100		
23	56			110		
24	61			116		
25	72					
26	84					
27	90					
28	102					
29	105					

Fig. A-1-1 WIND SPEED AND RETURN PERIOD



ピン国内の実績、風速データの解析結果等を総合的に判断して決定するのが妥当である。

NAPOCORの既設送電線では設計風速 165KPH GUST (1分間平均風速 127KPH, 突風率 1.3) である。これで設計した送電線が台風により鉄塔倒壊事故が発生したため、設計風速の見直しを行い最近の計画送電線では、これを 185KPH GUST (1分間平均風速 142KPH, 突風率 1.3) としている。

電圧 230 kV 送電線は支持物に鉄塔、電圧がこれ以下の送電線では殆んど木柱を使用している実状であり、又、電圧 230 kV 送電線はルソン島に実績あるだけで、レイテ島、サマル島には実績はない。

以上の実績のみから本計画の送電線に採用する設計風速は、

- a) 本計画地域はフィリピン諸島でも比較的台風の直撃が多く、強風の発生頻度が高い。
- b) 大容量電源送電線であり高信頼度が要求される。

等を勘案して NAPOCOR が最近採用している設計風速 185KPH GUST よりも高い値を採用することが必要である。

NAPOCORの標準では、想定最大荷重に過負荷係数を乗じた荷重を作用させた時に、降伏点強度を基準とした部材強度が部材に働く応力以上となる様に鉄塔設計をしている。設計風速に極値を用いる場合、想定最大荷重に過負荷係数は 1.1 程度を考えれば十分であるが、極値が得られない場合、一般には過負荷係数 1.5 程度を考慮して、これを極値と見做し、この応力を降伏点部材強度に対応させる。

NAPOCORの鉄塔設計は後者の方法を採用しており、設計風速 185KPH GUST から極値を推定すると 216KPH GUST ($185\text{KPH} \times \sqrt{1.5/1.1}$) である。

又、鉄塔風圧値は、風上面一面当りの鉄塔風圧に部材の投影面積の 2 倍を乗じた値としている。鉄塔の充実率が非常に小さく、風上面が風下面に対してしゃへいの影響が殆んど無いと考えた場合であって、実際には、しゃへいの影響があるので、部分の投影面積の 1.5 倍程度考えれば十分である。この要素を吐き出すことで、鉄塔が実際上耐え得ると考えられる値は 249KPH GUST ($216\text{KPH GUST} \times \sqrt{2/1.5}$) である。

これは、設計風速 185KPH GUST で設計した鉄塔が実際には、風速 249KPH GUST まで部材が永久歪みを生じないで耐えることを意味し、所謂極値風速である。

この極値風速 249KPH GUST の突風率 1.3 を考慮して Fig. A-1-1 に示した観測地点の内、極値風速の最も大きい観測地点 Catbalogan の風速 (1 分間評価) と再現期間の関係から再現期間を求めると 15 年程度であり、当地域では設計風速 GUST とした場合 15 年に 1 回程度送電線の鉄塔に強風による事故が生じるものと考えられる。

高信頼度を要求される送電線では、再現期間 50 年程度を採りこの時の風速 (極値) で設計を行うのが一般的であり、本計画の送電線も再現期間 50 年程度を考慮することが望ましい。

観測地点 Catbalogan の風速 (1 分間評価) と再現期間との関係から突風率 1.3 を考慮して再現期間 50 年の極値風速を求めると 305KPH GUST、この値は NAPOCOR が採用している設

計風速レベルでは、226KPH GUSTとなる。

NAPOCORが最近の計画送電線に採用している設計風速(185KPH GUST)に対し20%程度大きな設計風速を採用すれば、本計画地域の台風による強風の発生頻度、本計画の送電線の信頼度、更には経済性を考えてもこれを著しく損うことなく、ほぼ妥当な設計風速と推定されるので、設計風速は220KPH GUSTとし、設計プラクティスはNAPOCORの設計標準によることとする。

また、観測地点 Tacloban では観測地点 Catbalogan に比べ風速が小さく、上記と同様の推算を行うと再現期間50年では187KPH GUSTと推定される。このことから San Juanico 海峡横断架空送電線、AC 138KV架空送電線の設計風速は観測地点 Tacloban での推算結果を重視して185KPH GUSTとする。

A-2

碍子の塩分附着量調査

A-2 碍子の塩分付着量調査

1. 目的

送電線に使用する碍子の表面が電解質の物質によって汚損され、それが空気中の水分によって湿潤されると、碍子の絶縁性能が著しく低下し、清浄な状態の場合の数分の一の値になることもある。汚損物質としては海面から発生する気中塩分が特に問題であり、海岸に近接する送電線を建設するには、絶縁設計上碍子の絶縁耐力低下を考慮して取付個数を決定することが肝要である。

このため、送電線の予定ルートにおける碍子塩分付着密度を調査する必要がある。碍子の塩分付着状況は気象条件や測定地点によって大きく変化するので、これを充分に把握するには出来るだけ多くの地点において、且つ長期間にわたって調査測定を継続して実施することが望ましい。

レイテ送電計画は建設開始までに短期間しかないので、可能な限り早急に、この碍子塩分付着量調査を開始すべきである。

以上に、碍子塩分付着密度調査方法について述べる。

2. 測定地点

送電線予定ルート上の、大海に面した海岸に接近している部分の多くの地点で測定を行なうことが望ましいが、少なくとも下記の6地点において実施する必要がある。

- ④ Alegria 地点 (または Uban Pt 地点)
- ⑤ Calbayog から Viriato の間の最も海岸に接近している地点
- ⑥ Lipata cable terminal 附近の地点
- ⑦ Santa Magdalena cable terminal 附近の地点
- ⑧ Botan 附近の地点 (Sorsogon 湾に最も接近している地点)
- ⑨ Pasacao 地点

それぞれの地点で、次のことに留意して供試設備の設置場所を選定する。

- 一 海岸に近く、海側が開けた小高い丘や尾根の頂上附近であること。
- 一 海側には植物等の遮蔽物がなく風通しがよいこと。
- 一 台風時、季節風等に強風が吹き易い場所であること。
- 一 測定をするのに便利であること。

3. 供試設備

各測定地点に Fig. A-2-1 に示す様な供試設備を設置する。

Table A-2-1 Measured Data of Equivalent Salt Deposit Density

Site

Date of Measuring	Kind of Insulator	Fog type				Suspension type			
	Item	Upper surface		Under surface		Upper surface		Under surface	
		Collected Solution	Distilled Water	Collected Solution	Distilled Water	Collected Solution	Distilled Water	Collected Solution	Distilled Water
(Month Day Year)	Volume of Water								
	Conductivity								
	Salt Concentration								
	Salt Content								
	E.S.D.D								
	Volume of Water								
	Conductivity								
	Salt Concentration								
	Salt Content								
	E.S.D.D								
	Volume of Water								
	Conductivity								
	Salt Concentration								
	Salt Content								
	E.S.D.D								
	Volume of Water								
	Conductivity								
	Salt Concentration								
	Salt Content								
	E.S.D.D								

木柱の高さは6 m以上と、供試碍子連が附近の樹木等より高い位置になる様な高さとする。
木柱には、供試碍子連を2連取付け、それぞれ定期測定用と臨時測定用に使用する。

供試碍子連は、上部に250mm耐霧碍子2個、下部に250mm標準懸垂碍子2個の計4個の碍子で構成する。このうち、中間部の2個が測定供試碍子であり、上端および下端の2個の碍子は、碍子近傍の周囲の空気の流れを実際の碍子連と同じ状態にするためのダミーである。

4. 等価塩分付着密度測定

i) 測定碍子

250mm標準懸垂碍子および250mm耐霧碍子の2種類とし、それぞれの碍子表面を上面と下面に分けて等価塩分付着密度を測定する。

ii) 測定時期

次の2パターンでの測定を行なう。

—定期測定……毎月1回を月内の一定の時期に測定する。

—臨時測定……台風・季節風等の強風が吹いた後や乾季で晴天が続いた後に測定する。

実際の測定日は降雨があった後を出来るだけ避けるように決定する。特に乾季は降雨の前日に測定する様に注意することが肝要である。

iii) 測定器機

電導度計（液体用）

水温計

メスシリンダー（300CC程度）

ビーカー（500CC程度）

ロート（小型）

バット（30cm×30cm）

ピンセット

ハサミ

ガーゼ（1枚／1回）

蒸溜水（300CC／1回）

iv) 測定方法

以下の手順によって測定を行なう。

- (a) 全ての測定器具を蒸溜水で十分に洗浄する。
- (b) メスシリンダーで蒸溜水を一定量（100CC）計量し、ビーカーに分ける。
- (c) 電導度計を使用して蒸溜水電導度を測定する。（蒸溜水の電導度が十分に小さいと判断される場合は、この測定を省略してもよいが、時々確認する必要がある）
- (d) バットの上でピンセットとカーゼにより碍子表面の附着物質をビーカーの蒸溜水で完全に洗いおとす。碍子上下面をできるだけ正確に分割して附着物質を採取するものとし、下面の場合は最も内側のヒダの内側のピン周囲の部分は採取しない。また、磁器表面以外の部分の附着物質が採取液に混入しないよう注意する必要がある。
- (e) ガーゼに含まれている物質をしぼり出し、バット内の採取液を攪拌して一様な濃度にする。なおガーゼは採取1回毎に捨てる。
- (f) 採取液をビーカーに移して、溶液電導度を測定し、同時に溶液の温度も測定する。

(g) 溶液および蒸溜水の電導度・温度，使用水量を Table A-2-1 の表に記録する。

5. データの整理

測定データから供試碍子表面の等価塩分付着密度を求める。まず，溶液および蒸溜水の電導度と水温からグラフを使用して塩分濃度に換算し，更に下式によって等価塩分付着密度を算出する。

溶液濃度×使用水量（100 CC）＝溶液含塩量

蒸溜水濃度×使用水量（100 CC）＝蒸溜水含塩量

$$\frac{\text{溶液含塩量} - \text{蒸溜水含塩量}}{\text{採取面積}} = \text{等価塩分付着密度 (mg/cm}^2\text{)}$$

なお，等価塩分付着密度とは供試碍子表面に付着している水溶液物質の量を，電導度のうゑで等価的な食塩（NaCl）の量として評価しているものである。

このようにして求めた等価塩分付着密度のデータを測定期間について統計を行ない。Fig. A-2-2 に示すような時系列グラフや発生分布グラフにとりまとめる。

また，測定期間におまる毎日の気象データ（天候・風速・降雨量等）についても記録集計する必要がある。

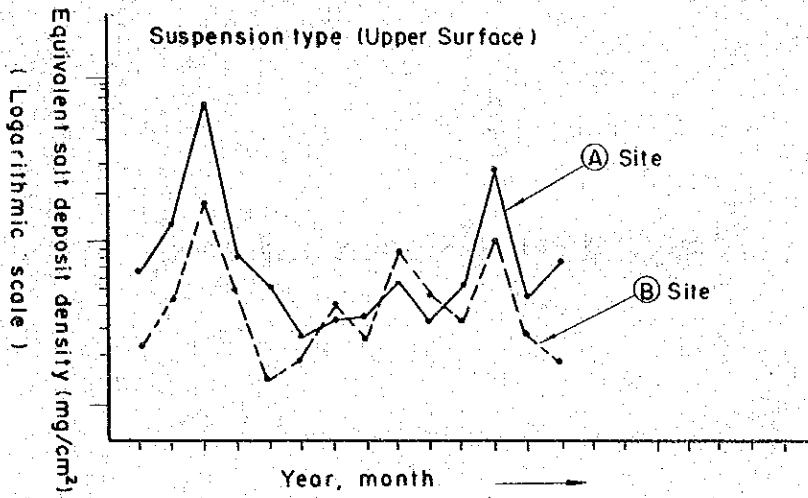
Table A-2-1 Measured Data of Equivalent Salt Deposit Density

Site

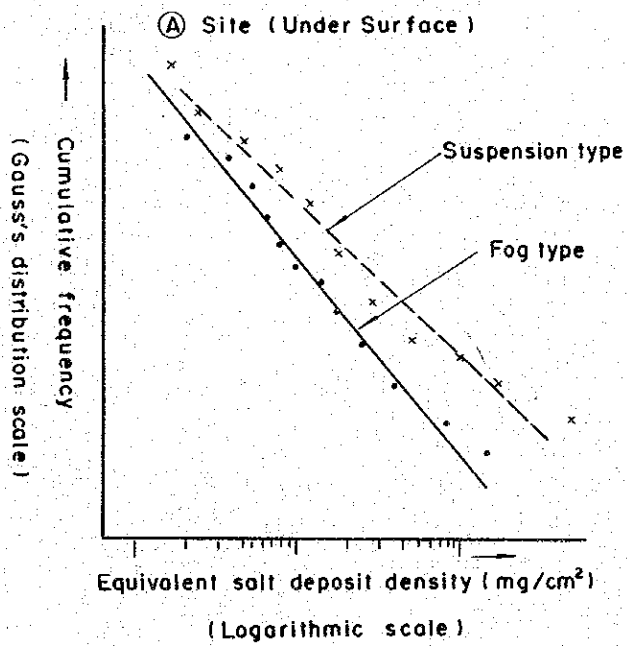
Date of Measuring	Kind of Insulator	Fog type				Suspension type			
	Item	Upper surface		Under surface		Upper surface		Under surface	
		Collected Solution	Distilled Water	Collected Solution	Distilled Water	Collected Solution	Distilled Water	Collected Solution	Distilled Water
(Month Day Year)	Volume of Water								
	Conductivity								
	Salt Concentration								
	Salt Content								
	E. S. D. D								
	Volume of Water								
	Conductivity								
	Salt Concentration								
	Salt Content								
	E. S. D. D								
	Volume of Water								
	Conductivity								
	Salt Concentration								
	Salt Content								
	E. S. D. D								
	Volume of Water								
	Conductivity								
	Salt Concentration								
	Salt Content								
	E. S. D. D								

Fig. A-2-2 Graph of Equivalent Salt Deposit Density Data

Trend of E.S.P.D.



Frequency of E.S.P.D.



A - 3

San Bernardino海峡調査結果

A-3 San Bernardino 海峡の調査結果

1. はしがき

サマール島とルソン島間にある San Bernardino 海峡は巾 17 km～23 km, 最大水深約 150 m である。既に両島の国道 1 号線は、サマール島の Allen とルソン島の Matnog 間で航行するフェリーで結ばれている。

本海峡は、国際交流の自由の保証された海域でいわゆる公海である。フィリピン諸島水域と大太平洋とを連絡し、諸島の東岸を往来する沿岸航路般の大部分が利用している。また、大太平洋からマニラ、セブまたは Iloilo に向かう船の主航路の一つでもある。

本計画に於て、この海峡は海底ケーブルによらなければならず本海峡での海底ケーブル布設の可能性は、本計画自体の可否にもかかわる極めて重要な事項である。更には海底ケーブル線路の信頼性と経済性を確保するのに、海底地形、底質等の海底状況の調査が極めて重要なことは、既に本文 6.2.4 項(1)において述べた通りである。このため、今回のフィジビリティ調査では、海図等による検討他、測量機器等を使用して本海峡の海底地形、底質等の海底状況について現地調査を実施した。これ等調査結果の概略は以下の通りである。

2. 現地調査期間 1981年3月10日～1981年3月23日

3. 調査項目および調査方法

1) 基準点測量

基準点測量は船位測定に使用する電波測距儀(オーディスター)の従局位置決定のための測量で、本調査では、各従局点において後方交会法により行なった。

2) 海底地形測量

測深機を調査船に積み込み、調査海域を航行し、この測深記録から水深、起伏等を詳細に解析し海底地形図を作成した。

調査船の船位測定には、電波測距儀を使用し、測深は水深の連続的測定記録が可能である音響測深機を使用した。

3) 底質調査

船上投下式円筒型採泥器(口径 20 cm)により表層底質の採取を行った。

4) 潮流調査

今回の調査では簡易的に調査船を所定の位置で海面上に漂流状態として流速を測定した。

また、上記の他船舶航行調査、資料収集を実施した。

4. 調査結果

1) 海底地形

海底地形調査は、測深機を調査船に積み込み、調査海域を航行し、この測深記録から水深、起伏等を詳細に解析し海底地形図を作成した。これを Fig. A-3-1 に示す。ここでの海底地形測量には、調査船の船位測定は、電波測距儀法を採用し、測深には水深の連続的測定記録が可能である音響測深機を使用した。

本海峡は、両島の汀線附近より海峡中央部側に向かって斜面、平坦面と交互に変化する地形で、サマール島より約 1/3 地点で SW-NE 方向に巾 5km 水深約 120m~160m のほぼ平坦な凹地を有している。調査海域での最大水深はこの地点で約 160m である。

サマール島側は、汀線附近より約 0.5km-1km の沖合で、水深約 50m と調査海域では比較的急斜面の部分で、その傾斜は 6°~22° である。また、汀線附近より約 4km~6km 沖合まで水深約 50m~100m とほぼ平坦地で、これよりつづいて本海峡の最深部に至る水深約 100~120m の間は、緩やかな斜面で傾斜は 7°~15° 程度となっている。

サマール島側に比べルソン島側は斜面の傾斜は緩やかであるが、平坦地では比較的起伏に富んでいる。汀線附近より約 0.4km~1.5km で水深約 20m と緩やかな斜面である。この間は、サンゴ礁の張り出しが多い。また、汀線より約 3km~5km 沖合まで水深約 20m~50m とほぼ平坦地であるが、大小の起伏が存在する。Santa Magdalena の東側約 3km 沖に水深約 66m の凹地があり、この傾斜は 5°~8° 程度と緩やかである。この平坦地から、巾約 0.1km~2km の区間は斜面で水深約 50m~70m、傾斜は 2°~11° 程度である。水深約 70m~100m、巾約 2km~4km の間はほぼ平坦で、これより本海峡の最深部に続く傾斜 5°~12° 程度の斜面がある。

調査海域は以上の地形状況の他、地形的な特徴としてサンドウェーブが認められた。この位置は Fig. A-3-1 に示すとおり、サマール島側の平坦面上、海峡の最深部およびルソン島側の平坦面上の 3ヶ所である。

サマール島側平坦面上のサンドウェーブは水深約 50m~70m 附近に発達し、その峰の方向は SW-NE で、その波長 50~70m、波高 4~14m 程度である。海峡の最深部のサンドウェーブは、水深約 130m~150m 附近に発達し、その峰の方向は SSW-NNE で、波長 30~90m、波高 5~16m 程度である。ルソン島側平坦面上のサンドウェーブは水深約 40~80m 付近に発達し、その峰の方向は SW-NE で、波長 50m、波高 15m 前後である。

サンドウェーブは海底の砂層が海潮流によって、波やうねりに似た地形をつくる現象で、一般には移動するものと言われる。サンドウェーブが移動する場合、海水の底層流による移動と、表面の波による海水の往復運動に伴って移動する場合とがある。

サンドウェーブに海底ケーブルを布設すると、これが移動しない場合でもサンドウェーブの峰の方向によってはケーブルがブリッジして長期の間には波浪や潮流の影響を受け機械的

に疲労して損傷が発生する恐れが考えられること、またサンドウェーブが移動する様な場合には、礫、砂などの転がりあるいは滑りなどにより、ケーブル自体に摩耗損傷が生ずる恐れが考えられることなどにより、ケーブルの信頼度の面からは好ましくない地帯である。

サンドウェーブの移動形態は、全体的に移動するもの、同じ範囲の中で波長、波高などが変化するもの、或いはこれ等が合成して変化するもの、だがその形態は複雑で、これはまたその地点の地形、潮流および底質などとも密接な関係があると考えられている。

今回の調査は短期間であるので、砂浪の性状については確認されなかったが、今後共長期に亘りかつ継続的にサンドウェーブの性状について調査する必要がある。

調査海域の海底地形は今回の調査結果からサンドウェーブ地帯、サマール島 Calarayan 沖合約 0.5km 地点の急傾斜面（最大斜度 22°）を除けば比較的緩やかで、また、ケーブルに支障を来たす様な傾斜、起伏も比較的少ないと推定される。

2) 底 質

調査海域内の 22 地点について、採泥器（口径 20cm）を調査船より投下して底質採取を行った。採泥地点、底質およびこの地点の水深を Fig. A-3-1 に示した。

ルソン島 Santa Magdalena, Talaonga の汀線附近で細かい砂 (fs) が採取された他は、ほとんどの採泥地点で、サンゴ (Co), 貝殻片 (sh) およびサンゴ片、貝殻片がまじったもの (Co, sh) であった。3 地点のサンドウェーブ地帯では、一部サンゴ片、砂がまじっているが殆んどは貝殻片で、その大きさは細かく均一化している。

採泥器は口径 20cm であるので、これ以下の径であれば当然転石等が採取出来るはずであるが、ほとんどこれ等は採取出来なかった。

調査海域のサマール島、ルソン島の海岸には Fig. A-3-1 に見られる様に岩の張り出しが多く、しかも、この汀線附近にはサンゴが沿布している。

本海峡の底質は、内湾の汀線附近で流れの影響の少ない個所を除き、概ねサンゴ、貝殻で構成されしかも、ここには転石なども少ないものと考えられ、これ等から推定するとケーブルに支障を来たす様な底質でないものと考えられる。

3) 潮 流

本海峡の潮流は水路誌によれば、主として月の赤緯の影響を受け月が赤道近くにあるときは、1日2回潮、月が北または南の赤緯の極大に近づくとつれて1日2回潮が1日1回潮に変化する。上げ潮流は南西方へ、下げ潮流は北東方へ流れる。最大流速は、上げ潮流では大潮時に 5.5Kt、下げ潮流では大潮時に 5.5Kt~8Kt である。

今回の調査では簡易的に、調査船を所定の位置で海面上に漂流状態にして、流速を測定した結果最大値はサマール島 Simaga pt 沖合約 1.5km の地点で 3.5Kt (測定日時 1986年3月21日、12時48分から13時18分) であった。

今回の水深の測深期間中でも、サマール島 Malalimon pt. から Balicuatre pt. までの沖合

約 3kmで、南西方あるいは北東方への推定 4～5 Ktの潮流が感じられた。また、この沿岸付近では反流、渦流が見受けられた。ルソン島 Talagio pt.の沖合約3km附近でもサマール島側と同様速い潮流が感じられた。

本海峡の潮流は、現地潮流予報値では大潮時最大 6～7 Ktを表わしているが、この値は海峡中央部とされ、両島の沿岸付近では土地の形状、海底地形の状況などに影響されることが多く、湾口、瀬戸等ではこれが強い。

潮流が速い海域では、船舶および作業員の安全面から不適當であることは言うまでもなく、予定したケーブル・ルートに沿って操船が困難となり、更に、布設工事中にケーブルの性能低下を招くおそれがある。このため、ケーブル・ルートは潮流の速い海域を可能な限り避ける他布設工事時期は、潮流表を使用して潮流の比較的遅くなる小潮時あるいは転流時を選定する必要がある。

一般に潮流観測は、潮流計を使用して一周期以上実施するもので、本海峡は比較的潮流が速いので、ケーブル・ルート予定海峡について、この観測を実施し実態を十分把握する必要がある。

A - 4

直流送電の特質

A-4 直流送電の特質

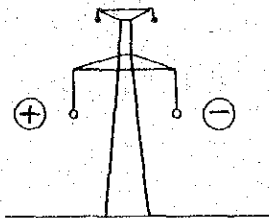
1. 送電設備が小さく安価になる

(1) 架空送電線の場合

a) 鉄塔が小さい

- 構造が簡単である。

Steel tower for DC bipolar power transmission (equivalent to two circuit of AC lines)



Steel tower for power transmission by two circuit of AC lines

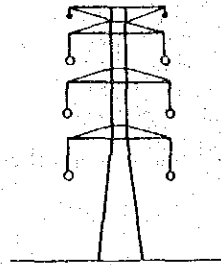


Fig. A-4-1 Typical Steel Towers for DC and AC Power Transmission

(例) 北本連系 (Hokkaido-Honshu HVDC Link, DC±250 kV)は交流 154 kV級である。

北本 { 標準鉄塔高 35 m
鉄塔平均重量 約 10 t/基 } ≒ 交流 154 kV 級

- 直流送電では北本連系とほぼ同一の鉄塔高さで 600 万kWの送電が可能である。

(DC±250 kV, 12 kA [TACSR810mm²×6]とした場合)

b) 導体数が少い

- 交流の 1/3 以下の導体数でよい。(Fig. A-4-2)

c) 安定度の問題がなく、回線数を多くとる必要がない。

- 交流送電では距離が長くなると安定に送電できる電力に限界が出てくるので、大電力送電の場合は回線数を多くする必要がある。

- 直流送電ではこのような問題がないので、電線の電流容量一杯の送電が可能である。

d) 長距離送電で経済性が生ずる

- 直流送電線コストは交流の数分の1ですむ。
- 送電線と両端の変電所コストを含めて交流と比較すると送電距離が長い場合直流に経

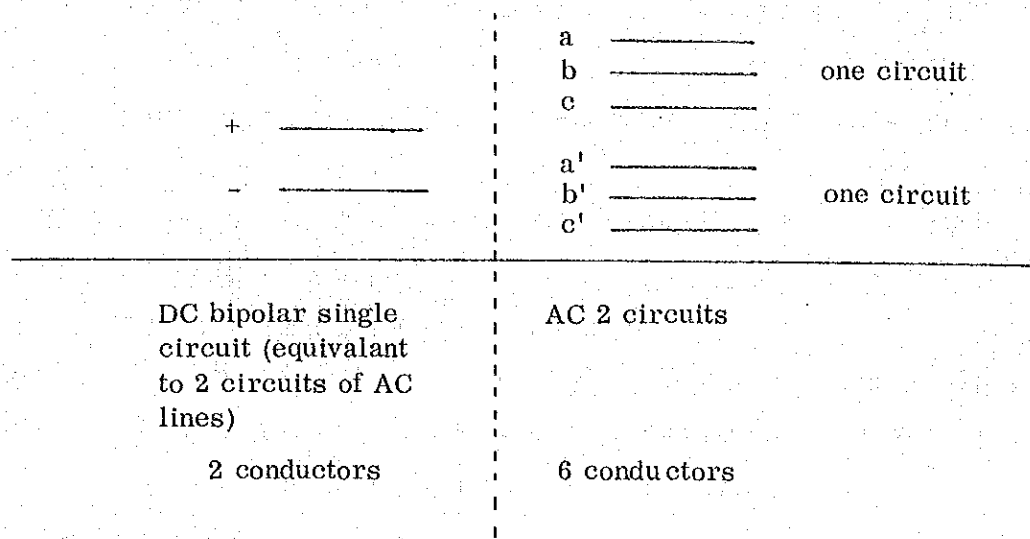


Fig. A-4-2 Comparison of Basic Configuration of DC and AC Lines

濟性が顕著に表われる。

(2) ケーブル送電の場合

a) ケーブルが細く安くなる。

— ケーブルの絶縁は交流より直流の方が数倍強い。

(例) 北本連系ケーブル(DC ±250kV)は絶縁面から見ると交流 187kV (大地電圧 110kV) 相当である。

b) 充電々流による制約がない

— 交流ケーブルでは内部に充電々流が流れ、送電容量が低下する。(特に海底ケーブルで顕著で、60~70kmで送電容量は半減してしまう。)

c) 長距離ケーブルで経済性が生ずる

— 海底ケーブルに関する検討では、直流交流の経済平衡距離は 30~60kmである。

2. 系統運用面でメリットが大きい

(1) 系統間を直流連系しても短絡地絡電流を増加させない。

交流で連系すると短絡地絡電流が増大し、通信線の電磁誘導対策に多額の費用がかかり、またしゃ断器のしゃ断能力アップのため、技術開発や既設のしゃ断器の取替えなどが必要となる。直流で連系すればこのような問題は生じない。

- (2) 潮流制御が迅速で思いのままとなる。

交流で連系すると発電機の慣性のため、汐流を変化させるのに数〜数十秒程かかるが、直流で連絡すると瞬時に、なおかつ潮流変化量を思いのままに決めることができる。

- (3) 既存の交流送電線の送電能力を向上させられる。

既存の長距離交流送電線の送電能力は、電線の許容電流で決らず、安定に運転できる限界で決る場合が多くむだが多い。

交流送電線と並行ないし分断する直流送電線を設けることにより、交流送電線の送電能力を大幅に向上させられる。

- (4) 常時及び事故時の周波数改善を迅速にかつ適切に行える。

例えば、一つの系統で電源脱落が生じ、周波数が大幅に低下したときには、直流で連系することにより瞬時に、健全系統から無理を与えずに必要な電力を応援することができる。交流で連系すると、応援しすぎて連系を切らざるをえないことがある。

- (5) 交流系統の電圧変動を抑えられる

交流長距離送電では、軽負荷時里側電圧が上昇する問題（フェランチ効果：Ferranti effect）があるが、直流送電ではこのような問題はない。

3. 直流送電の欠点

- (1) 両端に設置する交直変換所の建設費が高い

直流送電用の交直流送電用の交直送電の変電所に比し建設コストが高く、交流送電との経済平衡距離が比較的長い。しかしながら、今後の大容量のものでは、経済平衡距離はかなり短くなるであろうと考えられる。

- (2) 系統構成の自由度が小さい

現在実施されている直流送電は送電側1端子、受電側1端子の2端子送電のみである。多端子直流送電技術が確立されていないため、交流送電のようにいくつかの電源地点と需要地点をネットワークに組んで何処へでも送電するわけにはいかない。また直流用しゃ断器の実用化が完了していないため、系統事故時の対応に柔軟性を欠く。

交流のように電圧を簡単に変圧できない点も系統構成上の制約となる。しかしながら、多端子送電技術、直流しゃ断器が数年以内に実用化される見通しであり、この問題の多くは解消される。

- (3) 運転実績が少く信頼度評価するに十分なデータがない

最新のサイリスタ変換装置を使用した直流送電設備は、内外ともに運転開始してから日が浅く、信頼度評価上最も重要な実績データがないのが現状である。

信頼度面からみた場合、送電線は交流と直流で基本的な相違はない。交直変換所は交流変電所に比し、機器数が多くなり、信頼度上不利な条件を有するが、すでに現状技術で99%以

上の信頼度をねらえる段階にある。さらに機器構成、主回路構成、系統構成上で対処すれば使用上交流送電と同等にできると考えられている。

4. 直流送電の適用分野

以下に世界的な直流送電の適用に当たっての傾向を述べる。

(1) 長距離大容量送電

今後、電源立地難から電源の大容量化、遠隔化、偏在化の傾向は益々顕著になっていくものと考えられ、これに伴い長距離大容量送電が必要となる。経済性や安定運転、用地環境などの面から直流送電が交流送電に比べ優利となる。

(2) 短絡容量対策

電力系統の拡大に伴い、系統の短絡容量も不可避免的に増大する。これにより、しゃ断器の短絡容量の格上げ、直列機器への影響、通信線への誘導障害物等が問題となる。この対策として、直流送電系統の導入や下位系統の分割などが考えられる。

(3) 過密需要ケーブル送電

今後、都市への人口集中、産業集中は続くものと思われ、これに対応した都市開発、都市再開発が進むものと考えられる。

このため、近郊大容量電源の直接都市部導入あるいは外輪からの大容量送電の供給形態を考慮する必要が生じてくる。送電方式としては、用地環境面などから、大容量地中ケーブル送電となり、交流送電での充電々流や短絡電流の問題がない直流送電が優利である。

(4) 離島間ケーブル送電

今後、電源立地難から、比較的電源立地が行いやすい沖合の離島に大規模電源を立地し、ここより海底ケーブルによって本土に直流送電によって送電することが考えられる。

(5) 系統間連系

今後、電源の大規模集中化、送電規模の増大が顕著になるものと考えられ、これにより電源脱落規模の増大が予想され、系統間連系容量もこれへの対応が必要となるものと考えられる。

(6) 新発電技術との結合

MHD 発電や海洋温度差発電などで発生した電力を、極低温又は超電導ケーブルを用いて充電々流や短絡電流の問題のない直流送電により送電することが将来考えられる。

5. 世界の直流送電プロジェクト

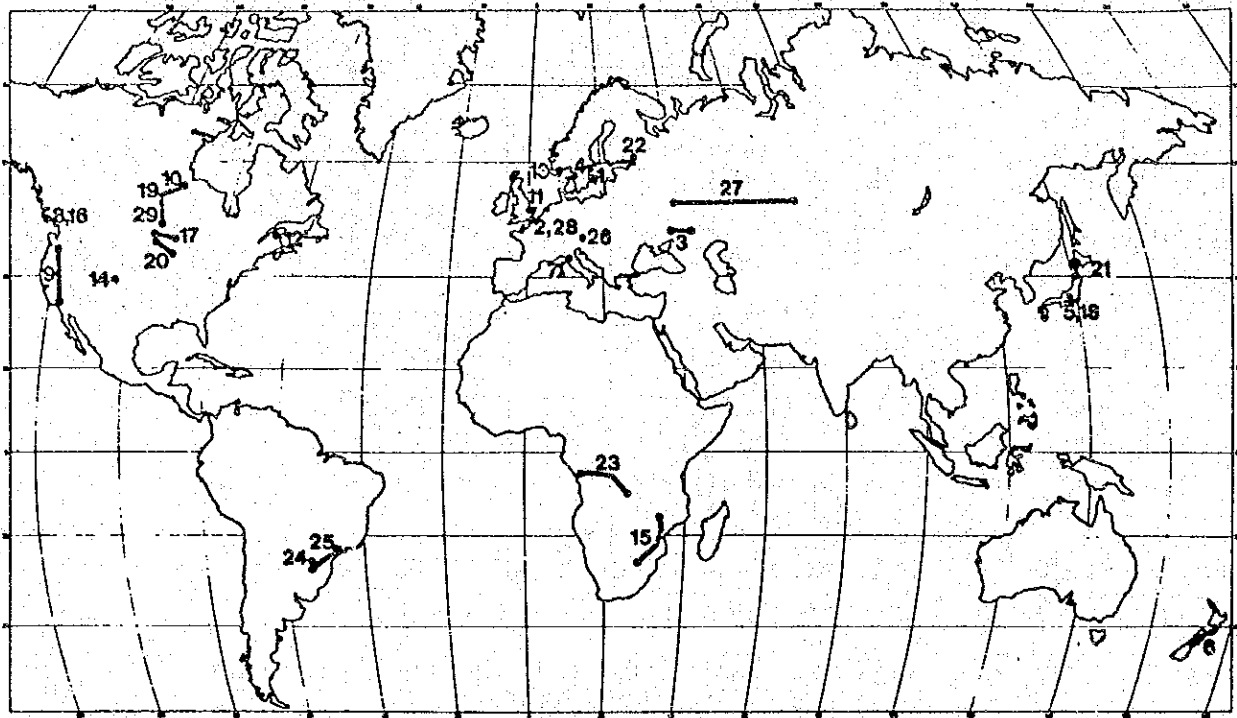
Fig. A-4-3に世界の直流送電プロジェクト(1979年現在)を示す。ここ2~30年から、直流送電を積極的に採用するようになってきた。

これらのプロジェクトの実績を踏えて、今後急速に直流送電が採用されることが予想される。

Fig. A-4-4に示すように、1979年末現在の全設備量は12,000MWに達している。

現在、世界の注目を浴びているのは、ブラジルのItaipu計画で、送電々力6,300MW、送電々圧はDC±600kV、送電距離約800kmの大プロジェクトであり、現在順調に工事が進行しており、1985年には全設備が完成する予定である。

Fig.A-4-3 HVDC systems in service, under construction or active consideration (situation as of October 1979)



No	HVDC system	Transmission Distance km			Rated voltage kV x No. of circuits	Nominal capacity MW	Max. continuous capacity MW	Commissioning date	Comment
		Overseas line	Cable	Total					
a) Mercury-arc valve systems in operation									
1	Gotland - Swedish Mainland	0	96	96	150	30	30	1958/70	Thyristor bridge extension 1970
2	Cross Channel 1 (GB-F)	0	7+50+8	65	± 100	160	160	1961	
3	Volgograd - Dombass (SU)	870	0	870	± 400	720	720	1962-65	
4	Kontti-Skan (DK-S)	55+60	25+60	180	250	250	250	1965	
5	Sakuma (J)	-	-	-	125x2	300	300	1965	50/60 Hz tie
6	New Zealand (NZ)	535+35	39	609	± 250	600	600	1965	
7	Sardinia - Italian Mainland	86+156+50	16+105	413	200	200	200	1967	Corseca tapping 1984/85
8	Vancouver Pole 1 (CAN)	total 41	total 33	74	± 260	312	312	1968/69	
9	Pacific Intertie (US)	1362	0	1362	± 400	1440	1440	1970	Extension 1984 to ± 500 kV, 2000 MW
10	Nelson River Bipole 1 (CAN)	890	0	890	± 450	1620	1620	1973-77	
11	Kingsnorth (GB)	0	59+23	82	± 266	640	640	1974	Construction in-feed
b) Thyristor valve systems in operation									
12	Eel River (CAN)	-	-	-	80 x 2	320	350	1972	Asynchronous tie
13	Skagerrak (DK-N)	85+28	127	240	± 250	500	500	1976/77	Extension to 1000 MW possible
14	David A. Hamill (US)	-	-	-	50	100	110	1977	Asynchronous tie
15	Cabora Bassa - Apollo (MOC-ZA)	1414	0	1414	± 533	1920	1920	1977-79	
16	Vancouver Pole 2 (CAN)	total 41	total 33	74	± 280	370	476	1977/79	
17	Square Butte (US)	749	0	749	± 250	500	550	1977	
18	Shim-Shinano (J)	-	-	-	125x2	300	300	1977	50/60 Hz tie
19	Nelson River Bipole 2 (CAN)	930	0	930	± 250	900	1000	1978	Final stage 1985: ± 500 kV, 1800 MW
20	CU (Underwood-Minneapolis, US)	710	0	710	± 400	1800	1100	1979	
c) Thyristor valve systems under construction or active consideration									
21	Hokkaido - Honshu (J)	27+97	44	168	125	150		1979	Final stages ± 250 kV, 600 MW
22	USSR-Finland	-	-	-	± 85x3	1070		1981	Asynchronous tie
23	Inga - Shaba (Zaire)	1700	0	1700	± 500	560		1981	Final stages ± 500 kV, 1120 MW
24	Acaraj (PY-BR)	-	-	-	26	50		1981	50/60 Hz tie
25	Itaipu (BR)	783/805	0	783/806	± 600x2	6100		1983-85	
26	Durrnrohr (A)	-	-	-	NA	550		1983	Asynchronous tie
27	Ekibastuz - Centre (SU)	2400	0	2400	± 750	6000		1984	
28	Cross Channel 2 (GB-F)	n	17+66+3	68	± 270x2	2000		1984	
29	Nelson River Bipole 3 (CAN)	930	0	930	± 500	2000		1990	

NA No data available

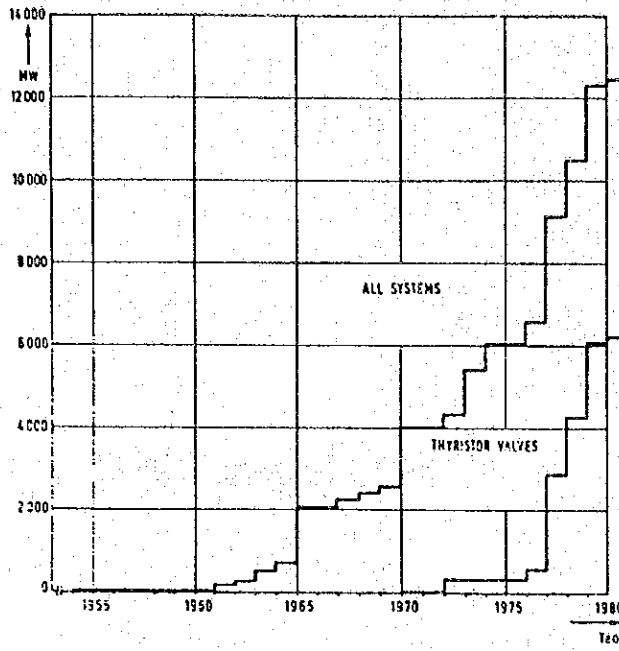


Fig A-4-4 Development of the total installed capacity of HVDC systems until 1980

A - 5

超速応励磁及びPSS

A-5 超速応励磁及びPSS

超速応励磁方式とは系統事故などのじょう乱時に発電機端子電圧変化を迅速にとらえ、発電機の励磁をすみやかに、かつ適切に制御して過渡及び動態安定度を向上させるものである。

速応励磁により過渡安定度を向上させるためには、発電機界磁回路の時定数が大きいため、AVRを含む励磁系の速応性及び励磁系の頂上電圧を高くする必要がある。このため超速応励磁方式では、従来方式より数段高い特性を持つサイリスタ励磁装置や高速応ブラシレス励磁機を用いて励磁系の速応性を高め、励磁系頂上電圧は発電機界磁回路の絶縁許容限界近くまで高められている。

一方、励磁系の速応性を高めると系統事故後の発電機相差角動揺第一波は抑制され過渡安定度は向上するが、動態安定度が低下し、第2波以後の動揺の減衰が悪化する。このため超速応励磁方式ではPSSを付けて動態安定度を改善している。

PSS (Power System Stabilizer)

PSSは他の安定化装置と比較して小さな設備投資で大きな安定度向上効果が期待できることから、近年水力機から火力、原子力機まで広く使われるようになってきた。PSSには、その検出方式からみて、 Δf (周波数偏差検出形)、 Δp (電力偏差形)、 $\Delta \omega$ (位相角速度偏差形)の3つのタイプに分類されるが、動作原理はいずれも同じで、これらの検出量がプラスのときに(線路事故等で発電機が加速状態にあるとき)発電機端子電圧を上げるようにAVR回路に働きかけ、発電機ローターの加速エネルギーを系統へ掃き出し、発電機が減速状態のときは、その逆動作を行なわすことにより発電機のダンピングを強める装置である。

(PSSの原理)

Fig. A-5-1のような一機無限大系モデルに於て1回線が開放されると、発電機位相角は発電機のインピーダンス変化とダンピングを無視すれば、 A_0 を中心として A_{min} と A_{max} の間で永久振動することになる。このとき発電機出力 P_g は次式で与えられる。

$$P_g = \frac{|E_q| \cdot |V_b|}{X} \sin A$$

但し

E_q : 発電機内部電圧

V_b : 無限大母線電圧

$X = X_q + X_t \times X_l$

A : E_q と V_b 間のアングル

図中、実線は上式の A に対する P_g を1回線、2回線送電につき描いたものであるがPSSがあ

ると上式は次のようになる。

$$P_g^{pss} = \frac{|E_q + \Delta E| \cdot |V_b|}{X} \sin \Lambda$$

これは図中の点線で示されるカーブとなる。

このとき発電機内部電圧 E_q は PSS により次式のように制御される。

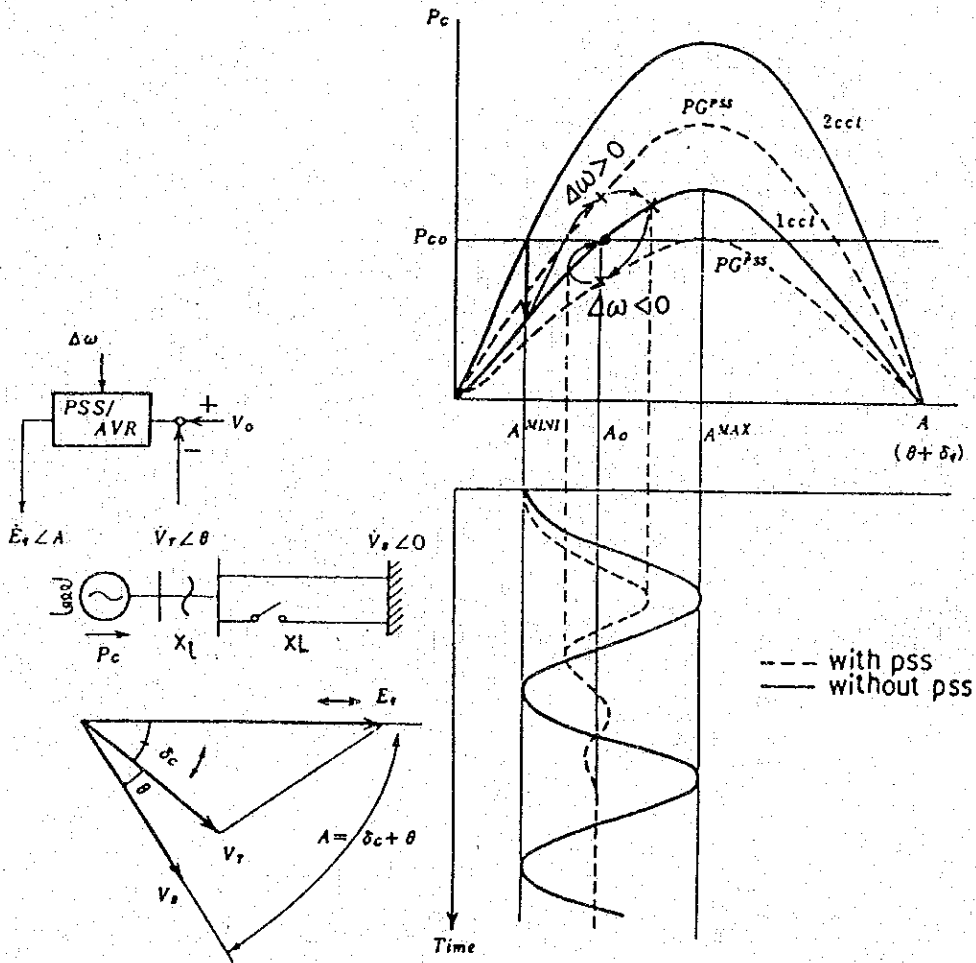
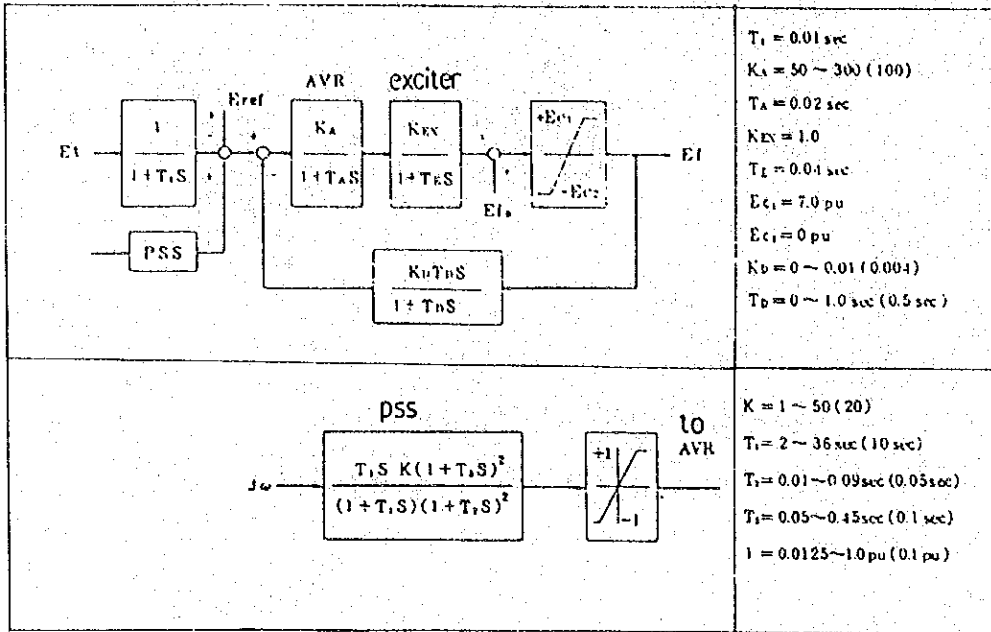
$$\frac{\Delta E}{\Delta \Lambda} > 0$$

すなわち発電機が加速状態 ($\Delta \omega > 0$) では、 $P_g^{pss} > P_g$ 減速状態 ($\Delta \omega < 0$) では $P_g^{pss} < P_g$ となり、1回線がしゃ断されても、アングル Λ は矢印のように A_{min} から A_{max} の手前を通り、渦を巻きながら、すみやかに安定平衡点 A_0 へ到達する。

$$\left(\Delta \omega = \frac{\Delta \Lambda}{\Delta \tau} \right)$$

このときアングル Λ の変化に対する内部電圧 E_q の制御タイミングが重要になる。なぜならば励磁回路の時間遅れを、動揺周波数に対して適切に補正する必要があるからである。

Fig.A-5-1 Principle of PSS



A-6

現地調査入手資料リスト

A-6 LIST of DATA and INFORMATION COLLECTED

No.	Data and Information Collected	Remarks
1	Mak-ban Geothermal Power Plant	submitted by NAPOCOR
2	Implementation Schedule for various projects for Leyte-Samar Development	"
3	Daraga 50 MVA Substation Relaying and Metering single line diagram	"
4	Location map (Legaspi sub-area)	"
5	Tongonan Geothermal Power Plant & Outral Switching Station	"
6	High Voltage Substation Equipment Technical Provisions	1 Book "
7	Tongonan Geothermal Power Station Preliminary Design Report Draft Part 1 and Part 2	1 "
8	VHF/FM Existing Visayas Communication Network	1 "
9	Proposed Luzon Regional Communication Network	1 "
10	Proposed Visayas Regional Communication Network	1 "
11	Proposed Mindanao Regional Communication Network	1 "
12	Allocation of P. L. C Equipment	1 "
13	Tropical Cyclon Summeries '48 - '78	1 Book submitted by PAGASA
14	Significant Philippine Earthquakes	1 Book submitted by NAPOCOR
15	Potential Geothermal Areas	1 "
16	Bulk Substations Forecasted Load	1 set "

No.	Data and Information Collected	Remarks
17	Generation Expansion Program Leyte-Samar Grid	submitted by NAPOCOR
18	Projected Construction Schedule Luzon Power Grid	"
19	Power System Development Map	"
20	Luzon Grid. Historical and Projected Energy Generation and Peak Demand	"
21	Leyte-Samar Grid. "	"
22	Historical and Projected Energy Generation and Peak Demand. 3-19-81	"
23	Historical Energy Sales & Forecast	"
24	NAPOCOR Generating Plants Luzon Grid	"
25	Single Line Diagram Southern Luzon 1981 - 1986	1 set "
26	Generation Expansion Program Luzon Grid Updated Accelerated Program (Revised 27/Mar '81)	1 "
27	Tongonan Geo. Construction Schedule	1 "
28	1979 Philippine Development Report	1 Book "
29	Philippine Economic Indicators Dec. 1979	1 Book "
30	" Dec. 1980	1 Book "
31	Annual Report National Power Corporation 1977	1 Book submitted by NAPOCOR
32	" " 1978	1 Book "
33	" " 1979	1 Book "
34	Power Expansion Program Aug. 1980	1 Book "
35	Energy Generation & Sales Statistics	1 Book "
36	PLC Frequency Allocation	1 Book "

No.	Data and Information Collected	Remarks
37	Rating and Characterizing of Existing and Proposed Transmission Lines	1 set submitted by NAPOCOR
38	Rating and Characterizing of Existing and Proposed Substations	1 set "
39	Rating and Characterizing of Existing and Proposed Power Stations	1 set "
40	Sailing Directions	1 set
41	Nautical Charts	1 set
42	Geographical Map of the Philippine	1 set
43	Topographical Maps (Scale : 1 to 50,000, 1 to 250,000)	1 set

A - 7

現地調査実績日程表

A-7 Actual Field Investigation Schedule

1. 1st Field Investigation (March 2 - 31, 1981)

a) Group A : Transmission Line & Converter Stations Survey Team

<u>Date/Day</u>	<u>Description</u>	<u>Member</u>	<u>Lodging</u>
Mar. 2 (Mon.)	Arriving at Manila	H. Kitazawa K. Kamikawaji	Manila "
3 (Tue.)	Courtesy call at the Embassy of Japan, JICA Office and NAPOCOR Office	M. Sakai Y. Inoue M. Sato	" " "
4 (Wed.)	Discussion about scope of work of the Project and field survey schedule of the Survey Team		Manila
5 (Thu.)	Data collection at NAPOCOR office		Manila
6 (Fri.)	Manila-Legaspi Legaspi Allen-Legaspi by Helicopter H. Kitazawa M. Sato	Data collection at NAPOCOR office	Manila
	[Legaspi C.S. site T.L. Route Electrode sites]	K. Kamikawaji M. Sakai Y. Inoue	
7 (Sat.)	Cable landing sites Sorsogon (Luzon side)	Arrangement of Data	Manila
8 (Sun.)	Ditto Legaspi (Samar side)	Ditto	Manila
9 (Mon.)	Legaspi-Tongonan Cebu Cebu by Helicopter	MELALCO dispatching center and MAK-BAN G. T. P. S.	Cebu
	[T.L. Route Jaro C.S. site]		

<u>Date/Day</u>	<u>Description</u>	<u>Member</u>	<u>Lodging</u>
Mar. 10. (Tue.)	Visiting the Cebu Regional Office Cebu City S.S. and Cebu G. T. P. S.		Cebu
11 (Wed.)	Cebu-Tacloban by Plane		Tacloban
12 (Thu.)	Jaro C.S. site, Electrode site T. L. Route and Tongonan P.S.		Ormoc
13 (Fri.)	San Juanico Strait		Tacloban
14 (Sat.)	Tacloban-Catbalogan (Samar)		ditto
15 (Sun.)	Tacloban-Allen-Sorsogon		Sorsogon
16 (Mon.)	Submarine Cable route by ship (Matnog-Allen)		ditto
17 (Tue.)	Submarine Cable landing site (Samar side)		ditto
18 (Wed.)	ditto (Luzon side)		Legaspi
19 (Thu.)	Visiting Daraga S.S. and Tiwi G. T. P. S. (Legaspi C.S. site)	H. Kitazawa K. Kamikawaji M. Sakai	ditto
20 (Fri.)	Visiting Daraga S.S. and Electrode Site (Donsol)	Y. Inoue M. Sato	ditto
21 (Sat.)	Electrode site (Paliqui Bay) by ship		ditto
22 (Sun.)	Legaspi-Manila by Plane		Manila
23 (Mon.)	Data collection at NAPOCOR office		Manila
24 (Tue.)	ditto		ditto
25 (Wed.)	Arrangement of data and Survey result		
26 (Thu.)	ditto		ditto

<u>Date/Day</u>	<u>Description</u>	<u>Member</u>	<u>Lodging</u>
Mar. 27 (Fri.)	Explanation of results of survey and discussion with NAPOCOR		Manila
28 (Sat.)	Checked & reviews of survey report		Manila
29 (Sun.)	ditto		ditto
30 (Mon.)	Explanation to NAPOCOR and JICA		ditto
31 (Tue.)	Courtesy call to the Embassy of Japan, JICA office Leaving for Tokyo		

b) Group B : Submarine Cable Survey Team

Member : Y. Yamaguchi
 Y. Watanabe
 T. Ohmura
 K. Shimo

<u>Date/Day</u>	<u>Description</u>	<u>Lodging</u>
Mar. 2 (Mon.)	Arrival of 1st Group (Y. Yamaguchi & Y. Watanabe)	Manila
3 (Tue.)	Curtesy call to Embassy, JICA & NAPOCOR	Manila
4 (Wed.)	Meeting with NAPOCOR	Manila
5 (Thu.)	Meeting with NAPOCOR, Arrival of 2nd Group (T. Ohmura & K. Shimo) at Manila	Manila
6 (Fri.)	Movement to Legaspi Hiring negotiation of survey boat	Legaspi
7 (Sat.)	Movement to Sorsogon Preparation of survey materials Field survey of cable landing sites in Luzon	Sorsogon
8 (Sun.)	Measurement of base points Field survey of cable landing sites in Samar	Sorsogon
9 (Mon.)	Equipment of the survey boat Measurement of the base points	Sorsogon
10 (Tue.)	Submarine cable route survey (No work due to heavy waves)	Sorsogon
11 (Wed.)	- do -	Sorsogon
12 (Thu.)	Submarine cable route survey (No.1 to No.3)	Sorsogon
13 (Fri.)	- do - (No.4 to No.6)	Sorsogon
14 (Sat.)	- do - (No.7 to No.12)	Sorsogon

<u>Date/Day</u>	<u>Description</u>	<u>Lodging</u>
Mar. 15 (Sun.)	Submarine cable route survey (No. 13 to No. 19)	Sorsogon
16 (Mon.)	- do - (No. 20 to No. 21)	Sorsogon
17 (Tue.)	- do - (No. 22 to No. 26)	Sorsogon
18 (Wed.)	Submarine cable route survey (No. A & B) Sampling of seabed sand/soil	Sorsogon
19 (Thu.)	Sampling of seabed sand/soil	Sorsogon
20 (Fri.)	- do -	Sorsogon
21 (Sat.)	Sampling of seabed sand/soil Observation of tide way	Sorsogon
22 (Sun.)	Measurement of base points	Sorsogon
23 (Mon.)	Submarine cable route survey (No. 27 to No. 28) Removal of the survey equipment from the boat	Sorsogon
24 (Tue.)	Packing of the survey equipment Arrangement of collected data (Y. Yamaguchi) Movement to Legaspi Cancellation of base contract of the boat	Sorsogon Legaspi
25 (Wed.)	Cancellation of base contract of the boat Movement to Manila	Manila
26 (Thu.)	Arrangement of collected data	Manila
27 (Fri.)	Arrangement of collected data Meeting with NPC	Manila
28 (Sat.)	Arrangement of collected data	Manila
29 (Sun.)	Arrangement of collected data	Manila
30 (Mon.)	Courtesy call to Embassy, JICA & NAPOCOR	Manila
31 (Tue.)	Leaving for Tokyo	

c) Group C : Economic Study Team

Member : K. Yanagisawa

<u>Date/Day</u>	<u>Description</u>	<u>Lodging</u>
Mar. 5 (Thu.)	Arriving at Manila	Manila
6 (Fri.)	Courtesy call to Embassy, JICA & NAPOCOR	Manila
7 to 13	Data collection	Manila
14 (Sat.)	Manila-Legaspi-Sorsogon	Sorsogon
15 (Sun.)	Inspection of seabed survey	Legaspi
16 (Mon.)	Legaspi-Manila	Manila
17 (Tue.)	Data collection	Manila
18 (Wed.)	Manila-Tacloban-Tongonan-Ormoc Visiting Tongonan Geothermal Site	Ormoc
19 (Thu.)	Ormoc-Isabel-Tacloban Visiting PASAR & PHILPHOS sites	Tacloban
20 (Fri.)	Tacloban-Manila	Manila
21 to 25	Data collection	Manila
26 (Thu.)	Arrangement of collected data	Manila
27 (Fri.)	Meeting with NAPOCOR	Manila
30 (Mon.)	Courtesy call to Embassy, JICA & NAPOCOR	Manila
31 (Tue.)	Leaving for Tokyo	

2. 2nd Field Investigation (July 5 - 25, 1981)

Member : H. Kitazawa
 T. Iso
 M. Sakai

<u>Date/Day</u>	<u>Description</u>	<u>Lodging</u>
July 5 (Sun.)	Tokyo - Manila	Manila
6 (Mon.)	JICA, Embassy, NAPOCOR	"
7 (Tue.)	NAPOCOR	"
8 (Wed.)	NAPOCOR	"
9 (Thu.)	Manila - Tacloban, San Juanico Strait	Tacloban
10 (Fri.)	Jaro - Carigara	"
11 (Sat.)	Tacloban - Manila	Manila
12 (Sun.)	Manila	"
13 (Mon.)	Manila - Naga - Legaspi	Legaspi
14 (Tue.)	Legaspi - Sorsogon	Sorsogon
15 (Wed.)	Sorsogon - Matnog	"
16 (Thu.)	Sorsogon - Allen - Legaspi	"
17 (Fri.)	Legaspi - Manila	Manila
18 (Sat.)	NAPOCOR	"
19 - 24	NAPOCOR	"
25 (Sat.)	Manila - Tokyo	

3. 3rd Field Investigation (Oct. 7-21, 1981)

Member : K. Ozawa
 H. Kitazawa
 T. Iso
 A. Tanaka

<u>Date/Day</u>	<u>Description</u>	<u>Lodging</u>
Oct. 7 (Wed.)	Tokyo - Manila	Manila
8 (Thu.)	Japan Embassy, JICA, NAPOCOR I/A Amendment	"
9 (Fri.)	NAPOCOR, Preparation of site investigation	"
10 (Sat.)	Mak-Ban Geothermal Power Plant	"
11 (Sun.)		"
12 (Mon.)	Manila - Naga for Naga C/S by RP Domestic Airline	Naga
13 (Tue.)	Naga Electrode site in Pasacao by Cars	Naga
14 (Wed.)	Electrode site in Santa Rosa-Bonat and Naga Legaspi by Cars	Legaspi
15 (Thu.)	Legaspi - Matnog - Legaspi by cars for Cable Site	"
16 (Fri.)	Legaspi - Manila by PR Domestic Airline	Manila
17 (Sat.)	Making Report for Site Investigation	"
18 (Sun.)	Making Report for Site Investigation	"
19 (Mon.)	Report on the Investigation, Discussion on the Basic Design with NAPOCOR Report to JICA	"
20 (Tue.)	Discussion with NAPOCOR, Report to JICA	"
21 (Wed.)	Manila - Tokyo	

A—8

經濟評估

A-8 ECONOMIC EVALUATION

The economic viability of the project has been assessed using annual oil savings as the economic benefit. The oil savings is realized from the non operation of existing oil thermal plants located in the Greater Manila Area.

1. Calculation of Equivalent Available Supply Energy

GWH Generation of Tongonan- Station Service and
Transmission line Losses
= Energy Sales in Luzon

Generation of Oil fired thermal plant in Luzon =
Energy Sales (Tongonan) + Station Service Loss

e.g. $3338 \times 0.93 = 3,104.34$ energy sales in Luzon
 $3104.34 \times 1.05 = 3,259.56$

2. Calculation of Oil Savings Unit Cost

Data

\$34/barrel

600 KWH/barrel

$\$34 \div 600 \text{ KWH/barrel} = 0.0567 \text{ \$/KWH}$

3. Calculation of EIRR

Linear Interpolation between 10% and 13%

DISCOUNTED COST AND BENEFIT STREAMS

YEAR		8 % D. R.		10 % D. R.		13 % D. R.	
		COST OF HVDC / PLANT	BENEFIT	COST OF HVDC / PLANT	BENEFIT	COST OF HVDC / PLANT	BENEFIT
1982	3	2.9	-	3.1	-	3.3	-
1983	2	38.3	-	39.7	-	41.9	-
1984	1	173.9	-	177.1	-	181.9	-
1985	0	43.3	-	43.3	-	43.3	-
1986	1	140.7	171.1	138.2	168.0	134.5	163.6
1987	2	130.4	153.0	125.7	147.5	119.1	139.8
1988	3	150.0	145.3	142.0	137.5	131.0	126.8
1989	4	179.5	133.7	166.8	124.3	149.8	111.6
1990	5	141.1	123.0	128.7	112.2	112.5	98.1
1991	6	136.5	168.6	122.3	151.0	104.0	128.5
1992	7	167.8	206.5	147.6	181.6	122.2	150.4
1993	8	175.4	214.3	151.5	185.1	122.1	149.2
1994	9	161.9	197.7	137.3	167.6	107.8	131.5
1995	10	149.2	182.1	124.2	151.6	94.9	115.8
1996	11	138.1	168.6	112.9	137.8	84.0	102.5
1997	12	127.9	156.1	102.6	125.3	74.3	90.7
1998	13	118.4	144.5	93.3	113.9	65.8	80.3
1999	14	109.7	133.8	84.8	103.5	58.2	71.0
2000	15	101.5	123.9	77.1	94.1	51.5	62.9
2001	16	94.0	114.7	70.1	85.6	45.6	55.6
2002	17	87.1	106.2	63.7	77.8	40.3	49.2
2003	18	80.6	98.4	57.9	70.7	35.7	43.6
2004	19	74.6	91.1	52.7	64.3	31.6	38.5
2005	20	69.1	84.3	47.9	58.4	28.0	34.1
2006	21	64.0	78.1	43.5	53.1	24.7	30.2
2007	22	59.2	72.3	39.6	48.1	21.9	26.7
2008	23	58.0	67.0	38.0	43.9	20.5	23.6
2009	24	58.1	62.0	37.4	39.9	19.6	20.9
2010	25	51.1	57.4	32.3	36.3	16.5	18.5
2011	26	43.5	53.1	27.0	33.0	13.4	16.4
2012	27	40.3	49.2	24.6	30.0	11.9	14.5
2013	28	39.0	45.6	23.3	27.3	11.0	12.8
2014	29	38.4	42.2	22.5	24.8	10.3	11.4
2015	30	34.1	39.1	19.7	22.5	8.8	10.0
		3277.6	3482.9	2718.4	2816.7	2141.9	2128.7

EIRR = 12.64%

YEAR	COST OF HYDRO						COST OF TONGOMAN GEOTHERMAL PLANT						BENEFIT COST	
	AVAILABLE SUPPLY ENERGY (GWH)	LOSS FACTOR (%)	LOSS ENERGY (GWH)	CAPITAL INVESTMENT (10 ⁶ US \$)	O & M COST (10 ⁶ US \$)	LOSS COST (10 ⁶ US \$)	GEN CAPACITY (MW)	O & M COST (10 ⁶ US \$)	STEAM COST (10 ⁶ US \$)	TOTAL COST (10 ⁶ US \$)	EQUIVALENT AVAILABLE SUPPLY ENERGY (GWH)	OIL SAVING COST (10 ⁶ US \$)		
1982				2.3						2.3				
1983				32.8						32.8				
1984				161.0						161.0				
1985				43.3						43.3				
1986	3,138	11.6	387	0	5.4	19.2	440	10.5	116.8	152.0	3259.56	184.82		
1987	3,223	11.6	385	0	5.4	19.2		11.2	116.3	152.1	3147.26	178.45		
1988	3,305	11.6	383	36.8	5.4	19.1		12.0	115.7	189.0	3227.33	182.99		
1989	3,286	11.6	381	92.0	5.4	19.0		12.8	115.0	244.2	3208.78	181.94		
1990	3,263	11.6	378	55.1	5.4	18.9		13.7	114.2	207.3	3186.32	180.66		
1991	4,832	7.7	371	0	7.8	18.5	220	21.5	168.8	216.6	4718.45	267.94		
1992	6,392	3.4	926	0	7.8	26.8	220	29.3	223.7	287.6	6241.79	353.91		
1993	7,165	9.2	659	0	7.3	32.9	110	33.2	250.8	324.7	6996.62	396.71		
1994	7,137	9.2	656	0	7.8	32.8		33.2	249.9	323.7	6969.28	395.16		
1995	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
1996	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
1997	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
1998	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
1999	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2000	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2001	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2002	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2003	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2004	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2005	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2006	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2007	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2008	7,100	9.2	653	18.6	7.8	32.6		33.2	248.5	340.7	6933.15	393.11		
2009	7,100	9.2	653	46.6	7.8	32.6		33.2	248.5	388.7	6933.15	393.11		
2010	7,100	9.2	653	27.9	7.8	32.6		33.2	248.5	350.0	6933.15	393.11		
2011	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2012	7,100	9.2	653	0	7.8	32.6		33.2	248.5	322.1	6933.15	393.11		
2013	7,100	9.2	653	14.1	7.8	32.6		33.2	248.5	336.2	6933.15	393.11		
2014	7,100	9.2	653	35.3	7.8	32.6		33.2	248.5	357.4	6933.15	393.11		
2015	7,100	9.2	653	21.1	7.8	32.6		33.2	248.5	343.2	6933.15	393.11		

JICA