

ラオス人民民主共和国
ナムグム水力発電所補修計画
基本設計調査報告書

平成 元年4月

国際協力事業団

無計一

89-71

JICA LIBRARY



1075258(2)

19402

ラオス人民民主共和国
ナムダム水力発電所補修計画
基本設計調査報告書

平成 元年4月

国際協力事業団

国際協力事業団

19402

序 文

日本政府は、ラオス人民民主共和国政府の要請に基づき、同国のナムグム水力発電所補修計画にかかる基本設計調査を行なうことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施した。

当事業団は、平成元年1月9日より1月29日まで、通商産業省資源エネルギー庁公益事業部発電課課長補佐、佐藤文三氏を団長とする基本設計調査団を現地に派遣した。

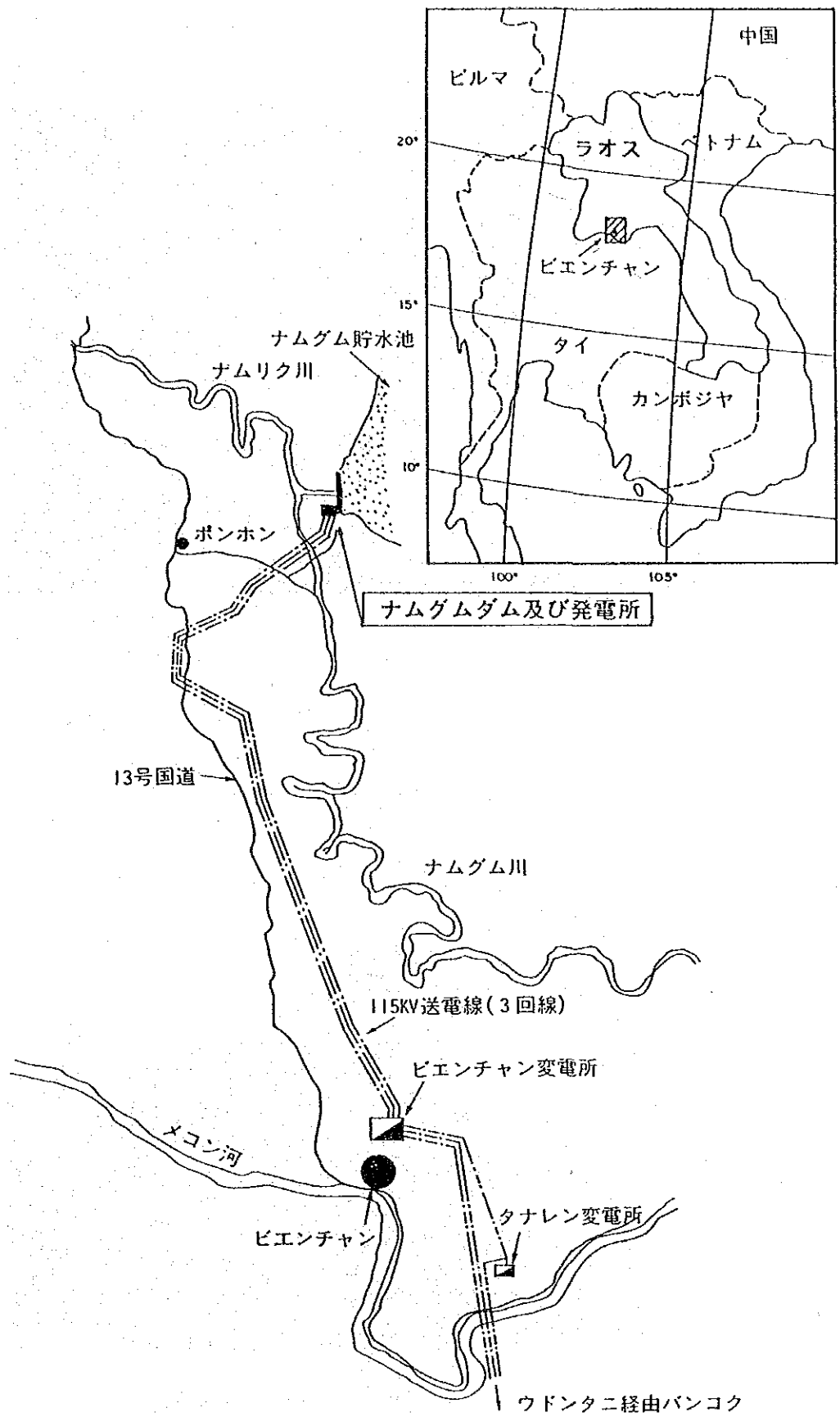
調査団は、ラオス国政府関係者と協議を行なうとともに、プロジェクト・サイト調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が、本プロジェクトの推進に寄与するとともに、ひいては両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものである。

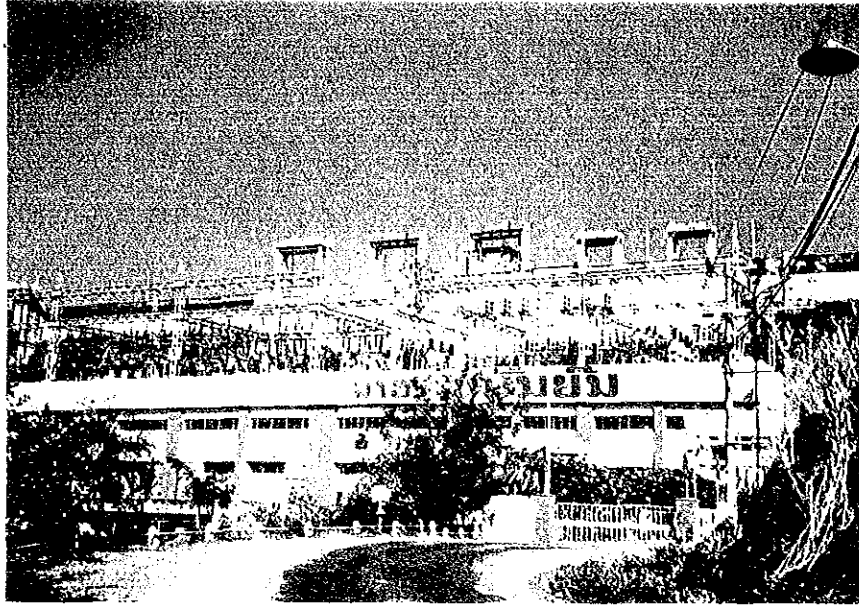
終わりに、本件調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝の意を表するものである。

平成 元年4月

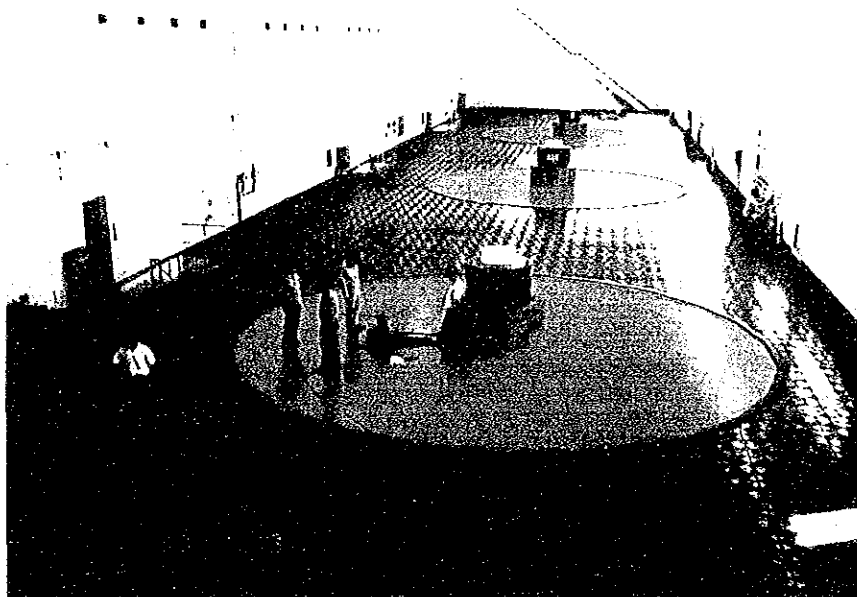
国際協力事業団
総裁 柳谷謙介



計 画 位 置 図



ナムグム発電所外観



発電機室 (手前から3号・4号発電機)

要 約

要 約

ラオス人民民主共和国はその国境を中国、ビルマ、タイ、カンボジア、ベトナムに接し、約1,000kmにわたり南北に延びる細長い内陸国で、首都はビエンチャンである。国土面積は236,800km²で、日本の本州とほぼ同じ面積を有しているが、人口は3.7百万人（1986年現在）であり、人口密度は16人/km²と低い。内陸国という地理的条件、社会基盤の未整備、人的資源の不足等の要因により、土地、水力、鉱物という賦存資源に恵まれながら、十分にそれを活かし切れず国民一人あたりのGNPは156US\$（1987年）と世界の国々の中でも最も低い国の一つに数えられている。

ラオス国の主要産業は農業で、就業人口の85%がそれに従事している。一方、主要な輸出品目は、電力を筆頭に原木および木材製品、コーヒー、鉱物（錫、石膏等）となっており、そのうち電力輸出の占める割合は44.9%（1984年～1987年平均）である。しかしながら貿易収支は慢性的に輸入超過で、1987年末での累積債務は735.6百万ドルに達し外貨の不足を外国援助に依存して凌いでいるのが現状である。

ラオス国政府は第二次5ヶ年計画（1986年～1990年）において、食料自給の達成、食料以外の輸入の削減、国家収支の改善を目的とする生産および輸出の促進、運輸および通信部門の整備という目標を掲げている。この計画の中で電力部門は、ビエンチャン平原農村電化と南部州電化計画および遠隔地における中小水力の開発によって、エネルギーの石油依存を削減し、また電力輸出を継続することに力点を置き、輸入の削減、輸出の促進という目標の中に位置づけられている。

ナムグム水力発電所は首都ビエンチャンの北方約90kmに位置し、電力事業を担当しているラオス電力公社（Electricite du Laos、略称EDL）によって、運営されている。三段階の建設工事を経て現在の規模に到っており、5台の水車発電機によって定格出力で150,000kW、年間で890百万kWhの発電能力を有している。同発電所の設備は国内の電力設備の約90%の容量を占め、かつ第二次5ヶ年計画の電力部門の計画を成り立たせる重要性を持っている。なお、ラオス国の電力輸出はタイ国に対してのみ行なわれているが、その電力のすべてがナムグム水力発電所によるものである。

ラオス電力公社は、第二期段階（1978年）に運転開始した3・4号発電機器を1986年に点検した結果、両機器とも損傷を受けていることがわかり、分解補修の実施を企画した。しかしながら技術力の不足と経済的理由から、ラオス国独自では補修を実施できないまま現在

に至っている。ラオス国政府は安定した電力を確保し、電化計画を推進し、更に電力輸出を継続するためナムグム水力発電所3・4号発電機器補修について、日本国政府に対して無償資金協力要請を越したものである。

この要請に基づき、補修計画の妥当性および効果を確認すると共に、本計画の必要かつ最適な規模、内容等に関する基本設計調査を実施するため、国際協力事業団は1989年1月9日から1月29日までの間、通商産業省資源エネルギー庁公益事業部発電課課長補佐、佐藤文三氏を団長とする調査団をラオス国に派遣した。調査団は滞在期間中ナムグム水力発電所の現況調査、基本設計を実施するために必要な資料や情報の収集および本計画の実施機関であるラオス電力公社関係者と協議し議事録を作成、調印した。

現地調査を通じて以下のことが明らかになった。

- (1) 現地調査の時点で3・4号機の累計運転時間がそれぞれ約70,000時間、約65,000時間、また経過年数が約10.5箇年となっており、水力発電所の機器に対して日本も含め世界各国で一般的に採用されている分解補修実施の基準40,000時間、または10年を超過していること。
- (2) 3号機・4号機とも水車ランナには壊食が認められ、水車内の各部に腐食・侵食が発生しており、水車以外の電気設備・機械設備にも修理・交換を必要とする部分のあること。
- (3) タイ国への送電は事前の通告のみで随時停止可能であり、電力輸出のために補修工事実施が制約を受けることはないこと。
- (4) ナムグム水力発電所の所員は、第一期段階の完成以来機器の運転保守に携わってきているので、本計画の完了後も通常の発電所維持管理に関して、現体制で問題はないこと。
- (5) ラオス電力公社は補修工事を通じて補修技術を修得すべく、しかるべき人員を配置する用意があること。

国内解析において基本設計計画を策定した結果、補修の対象となった機器は下記の通りである。

- (1) 3・4号水車本体および補機
- (2) 3・4号発電機本体
- (3) 補助機械設備
 - －発電所天井走行クレーン
 - －空調・換気設備
 - －水位指示装置
 - －冷却水供給装置

- (4) 3・4号機用取水口ゲートの操作系統
- (5) 115kV開閉装置
- (6) 制御・計装・保護装置
- (7) 交流・直流補助電源装置

本計画は、2台の水車発電機(3・4号機)を同時期に補修する場合、補修部品製作・輸送・現地工事を含めて15箇月を要する。本計画を日本国の無償資金協力で実施する場合には詳細設計・入札業務を含めると交換公文締結後19箇月を要し二期に分けて実施することが妥当と判断される。

運転時間の長い3号発電機器の補修を第一期に実施し4号発電機器は第二期に実施するのが適当である。必要工期は第一期・第二期とも業者契約後12箇月である。

本計画の実施機関はEDLであり、その中で直接補修工事を担当するのはナムグム水力発電所である。EDLの本部およびナムグム水力発電所の現行組織とその陣容から見て、本計画の実施機関として問題はないと判断される。

本事業を日本の無償資金協力で実施する場合、日本側は3・4号機の交換部分の製作と手配、それらの輸送、分解補修工事、補修後の試験・調整を行ない、ラオス国側は補修工事に必要な電力と工事用事務所等の建設用敷地の提供を行なうのが妥当であると判断される。本計画の実施に必要な事業費は、日本側負担分が872百万円(第一期487百万円、第二期385百万円)であり、ラオス国側負担分が420,000キップ(1989年1月の交換レートでは1キップは3.5円)である。

本計画の実施に伴う事業効果は、発電機器が本来の機能を回復することにより、運転上の信頼性が向上し、安定した電力が確保できることである。また年間可能発生電力量は現状より約9,000,000 kWh増加すると見込まれ、それは見かけ上設備容量を増加したのと同じ効果を発揮し、ラオス国が計画している地方電化の推進に資すると同時に、電力輸出による外貨の増収が可能になる。加えて、補修工事の実施によって、発電所の所員は分解補修の技術を修得できる。計画の必要性、緊急性、事業実施の効果、本計画の実施体制、計画完成後の維持管理体制などを勘案し、日本国政府の無償資金協力の対象として妥当であり実施する意義は高いと結論付けられる。

本計画によって3・4号発電機器が補修された場合、長期間その機能を維持するために、EDLは維持管理担当の特に若年層の育成を強化し、適切な維持管理計画を策定実行する必要がある。加えて消耗品、予備品の必要項目と必要数量の定期購入を制度として実現することが望まれる

目次

序文

ナムグム水力発電所補修計画 計画位置図

ナムグム水力発電所写真

要約

	頁
第1章 緒言	1
第2章 計画の背景	2
2-1 ラオス国の概要	2
2-1-1 国土、人口、気候	2
2-1-2 国家経済	2
2-1-3 国家開発計画	3
2-2 ラオス国の電力事情の概要	5
2-2-1 電力需給	5
2-2-2 ラオス電力公社 (ELECTRICITE DU LAOS) の概要	7
2-3 ナムグム水力発電所の概況	10
2-3-1 ナムグム水力発電プロジェクト	10
2-3-2 ナムグム発電所の運営体制、予算	13
2-3-3 ナムグム発電所の運転状況と電力輸出	14
2-3-4 ナムグム発電所3・4号発電機器の現況	15
2-4 関連計画の状況	18
2-4-1 当該分野開発計画	18
2-4-2 ナムグム発電所3・4号発電機補修基本計画との関連	19
2-5 要請の経緯と内容	20
2-5-1 要請の経緯	20
2-5-2 要請の内容	21

	頁
第3章 計画の内容	23
3-1 計画の目的	23
3-2 要請内容の検討	24
3-2-1 計画内容の検討	24
3-2-2 追加要請	28
3-3 計画の内容	31
3-3-1 実施及び運営機関	31
3-3-2 事業計画	32
第4章 基本設計	41
4-1 基本設計方針	41
4-2 基本設計の策定	42
第5章 事業実施計画	51
5-1 事業実施体制	51
5-2 工事負担区分	53
5-3 施工計画	53
5-3-1 施工方針	53
5-3-2 施工上の注意	54
5-3-3 実施設計と施工監理計画	55
5-3-4 資機材調達計画	56
5-4 実施スケジュール	57
5-5 概算事業費	58
5-5-1 日本側負担事業費	58
5-5-2 ラオス国政府負担事業費	58
第6章 維持管理計画	60
6-1 維持管理体制	60
6-2 維持管理費	61
6-3 維持管理要員育成の必要性	62
第7章 事業評価	63
7-1 事業実施の直接効果	63
7-2 事業実施の間接効果	64

第8章 結論と提言	65
8-1 結論	65
8-2 提言	65

付表・付図

付属資料

添付図面

第 1 章 緒 言

第1章 緒言

ラオス人民民主共和国（ラオス国）のナムグム水力発電所は、定格出力150,000kW（最大出力180,000kW）の設備を保有するが、1972年に第一期として1・2号機による計30,000kWが1978年には第二期として3・4号機による計80,000kW、更に1984年に最終の第三期として5号機の40,000kWがそれぞれ完成して今日に到っている。

第一期が完成して以来、首都ビエンチャン及びその周辺の電力需要は完全にカバーされ、余剰電力は隣接のタイ国東北地帯に送電されている。

一般的に発電用水車に対して各部の侵食、壊食、腐食の補修または、磨耗もしくは疲労部品の交換のため、10年に1度の周期で分解点検を実施する基準が日本の電力会社でも採用されている。

ラオス電力公社（ELECTRICITE DU LAOS、以下EDLと略称）は3・4号水車に対し、この周期に達する2年前の時期、つまり運転開始後8年後の1986年5月に内部の精密点検を実施した。その折、分解点検は実施せず、組み立てられた状況での点検であったが、ランナにキャビテーションによる壊食が既に発生していたので、それに対して応急的補修を行なった。当時の機器の状況、特に水車の内部状況から判断して早急に3・4号機主機の本格的分解補修が必要であるとの認識から、ラオス政府を通じて昨年我が国に無償資金協力を要請してきたものである。

日本政府は基本設計調査の実施を決定し、国際協力事業団が1989年1月9日から同月29日まで21日間にわたって通商産業省資源エネルギー庁公益事業部発電課、佐藤文三課長補佐を団長とする調査団をラオス国に派遣した。

調査団は、ラオス国に滞在中、ナムグム発電所の3・4号機及び取水口ゲートなどの補修計画の妥当性と効果を確認すると共に、本計画に必要な最適規模・内容等について基本設計調査を行なうため、発電所設備の現況調査、ラオス国政府機関との意見交換、資料及び情報の収集を実施した。

調査団の構成、調査日程、ラオス国政府関係者リスト、協議議事録（写）、メモランダム（写）は資料-1から資料-5に示した。

本報告書は、上記現地調査の結果を踏まえ国内解析において当該計画の妥当性を検討し、計画内容・規模を策定し、それを受けて計画実施の概算事業費の積算、実施工程、事業完成後の維持管理計画、事業評価及び結論・提言を検討し、基本設計報告書として取り纏めたものである。

第 2 章 計画の背景

第2章 計画の背景

2-1 ラオス国の概要

2-1-1 国土、人口、気候

ラオス国は、236,800km²の面積と約370万人（1986年現在）の人口を有する内陸国で、その人口の85%は農業に従事している。しかし高地が多く、平野はメコン河とその支流の河谷に限られ、耕地は全国土面積の8%（18,400m²）に過ぎない。

気候は熱帯モンスーンに支配され、5月から10月までは雨季で暑く、首都ビエンチャンで約1,600mmの降雨がある。11月から3月までは乾季で、2月までは涼しいが3月と4月が最も暑い。ビエンチャンでの年平均気温は約26度だが4月には約40度にも達する。湿度は年間通じて高く、年間平均値で約75%である。

人口密度は16人/km²で極めて低く、人口増加率は推定値で2.4%である。60種以上の民族が分布しているが、その内ラオス族が全人口の60%を占めている。

ラオス国に関する各種統計データ（Country Data）は資料-7に示されている。

2-1-2 国家経済

世界銀行発表の資料によると、1987年現在ラオス国の国民一人あたりのGNPはUS\$156で世界の国々の中でも最も低い国の一つに数えられている。ラオス国は土地、水資源、鉱山資源という賦存資源に恵まれている。しかしながら下記理由により経済発展を推し進める投資が低い水準に留まっている。

- i) 世界市場からの隔離
- ii) 低水準の人的資源開発
- iii) 弱体な公共設備
- iv) 貧弱な道路配置、通信網の現況
- v) 低い人口密度

従って、輸出基盤は非常に弱く、タイ国に対する電力輸出に大きく依存している。

（次表参照）

輸出額(1984年～1987年平均)

品目	金額(百万US\$)	百分率
電力	25.0	44.9
原木および木材製品	14.2	25.5
コーヒー	9.0	16.2
鉱物(錫、石膏等)	3.5	6.3
その他	4.0	7.2
計	55.7	100.0

(FDL資料)

ラオス国全体の貿易収支は慢性的な赤字である。1987年末での累積債務は735.6百万ドル(債務返済比率は11.6%)に達したが、この極端な外貨不足を外国援助に依存して凌いでいる。因みに同年の輸出総額64.3百万ドルに対し輸入総額は216.2百万ドルであった。また同年の国家予算は125百万ドルであった。

2-1-3 国家開発計画

二次にわたる国家開発計画(1978年～1980年・1981年～1985年)に引き続き、第2次5ヶ年計画(1986年～1990年)は1986年11月、国会にあたる党大会で承認されたが、その総括的目標は次のとおりである。

- i) 食料自給の達成、食料以外の輸入の削減、国家収支の改善を目的とする生産および輸出の促進
- ii) 運輸および通信部門の整備
- iii) 基幹要員の育成および人的資源の開発

上記第2次計画を達成するため、下表に示す投資が策定された。

第2次5ヶ年計画中の公共投資(1986年～1990年)

(単位:百万キップ、1987年水準)

項目	投資額		計	百分率
	外資分	内資分		
農業部門	6,569	7,500	14,069	18.5
工業部門	11,851	3,750	15,601	20.5
商業部門	1,136	1,000	2,136	2.8
運輸部門	15,134	5,000	20,134	26.4

建設部門	4,926	1,250	6,176	8.1
他の生産投資	-	1,250	1,250	1.6
文教部門	1,361	2,000	3,361	4.4
保健部門	1,293	1,250	2,543	3.3
文化部門	1,137	750	1,887	2.5
住宅部門	768	1,250	2,018	2.7
その他	-	7,000	7,000	9.2
計	44,175	32,000	76,175	100.0

(EDL資料)

外貨分は1US\$=95キップのレート換算した。

第2次5ヶ年計画にてラオス国政府は「電力施設の改善と開発」に高い優先度を与え、下記の開発項目を設定した。

- a) 地方のエネルギー源としての石油への依存度を、国内の中小水力発電の開発で低減することにより外貨を節約
- b) 余剰電力をタイ国に輸出することにより外貨収入の増大
- c) ポンプ灌漑による食料増産
- d) 精米、コーヒー精製および製材のごとき農林業指向産業の開発促進

また、1987年から1993年までの電力開発に係る資金計画は下表の通りである。

(単位1,000US\$)

項目	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	計
南部各州電化	582	9,129	10,117	6,876	3,687	2,137	0	32,527
セセット水力	68	3,605	8,747	13,989	9,859	1,932	0	38,200
他の水力	1,139	3,063	3,847	3,157	0	0	0	11,206
タケク-ボンティ- 間22kV配電線	228	2,805	2,267	2,886	585	0	0	8,771
他の送配電線	0	692	5,398	8,696	3,595	121	0	18,502
ナムグム第3発電所 調査	1,509	343	0	0	0	0	0	1,852
変電所改修	1,540	0	0	0	0	0	0	1,540

ビエンチャン 平原電化(I)	473	0	0	0	0	0	0	473
ビエンチャン 平原電化(II)	4,385	2,420	1,049	358	0	0	0	8,211
ビエンチャン 平原電化(III)	0	0	0	3,010	0	3,938	2,793	10,346
ビエンチャン 近郊改修	911	1,205	1,233	1,246	1,273	1,317	1,363	8,547
ナムドン、 セラバム改修	3,562	0	0	0	0	0	0	3,562
その他の支出	1,937	4,488	3,397	661	0	0	0	10,483
計	16,334	27,751	36,054	37,867	22,609	9,445	4,161	154,221

(EDL資料)

2-2 ラオス国の電力事情の概要

2-2-1 電力需給

EDLの資料によると、ラオス国での人口一人当たりの、石油の重量換算による一次エネルギーの消費量は、1985年の水準で55kgであった。ちなみに同年の数値で、バングラディシュ44kg、スリランカ115kg、フィリピン199kg、パキスタンで201kgであった。一般の燃料としてはラオス国産の木材が広く利用されているが、その消費の割合は1985年のエネルギー源に関するデータでは全体の90%に達していた。残りの10%のうち5%が輸入石油、5%がラオス国内で発電された電力であった。

ラオス国全土の潜在水力発電地点は豊富で、その発電力の合計は18,000,000kWに達するものの、開発済みの水力発電は約153,000kWで、その内150,000kWをナムグム発電所が占めている。

ディーゼル発電を含む既設の発電設備は次の通りである。

位置および名称	型式	設備規模(kW)	備考
<u>ビエンチャン州</u>			
ナムグム	水力	150,000	2 x 15,000kW (1972年) 2 x 40,000kW (1978年) 1 x 40,000kW (1984年)
ソバルアン	ディーゼル	8,000	4 x 2,000kW (1971年)
<u>ルアンプラバン州</u>			
ナムドン	水力	1,000	3 x 336kW (1970年)
<u>チャンバサック州</u>			
セラバム	水力	2,040	3 x 680kW (1969年)
バクセ	ディーゼル	240	1 x 240kW (1970年)
チャンバサック	ディーゼル	100	1 x 100kW (1982年)
バクソン	水力	40	1 x 40kW (1985年)
<u>サバナケット州</u>			
サバナケット	ディーゼル	1,000	4 x 250kW (1970年)
<u>サラバン州</u>			
サラバン	ディーゼル	400	2 x 200kW (1985年)
<u>ファパン州</u>			
ファパン	水力	150	1 x 150kW (1986年)
<u>ボンサリ州</u>			
ボンサリ	水力	50	1 x 50kW (1986年)
その他	ディーゼル	3,300	
計		167,000	

(EDL資料)

ラオス国における電力需給の実績と予測は下表に示すとおりである。

(単位：GWh)

項目	1984	1985 実績	1986	1987 予測	1988	1989 推定	1990
発電電力量	891.0	906.6	867.3	566.0	716.7	870.0	870.0
ラオス国内需要	129.8	130.4	124.9	125.5	146.2	157.9	173.7
ラオス国内の損失	51.5	60.0	58.9	53.8	54.8	56.6	60.0
タイ国への輸出量	709.7	716.3	683.6	387.6	515.7	655.5	636.6
タイ国からの輸入量	16.6	17.6	17.2	17.9	18.3	18.2	19.2

(EDL資料)

上の表における発電電力量のうち、ナムグム発電所以外による分は無視できるほど小さい。損失は送配電網によるものである。また、タイ国からの電力輸入は南部地区にて消費された分で、メコン河の底に敷設された22kVの電力ケーブルによる。

2-2-2 ラオス電力公社 (ELECTRICITE DU LAOS) の概要

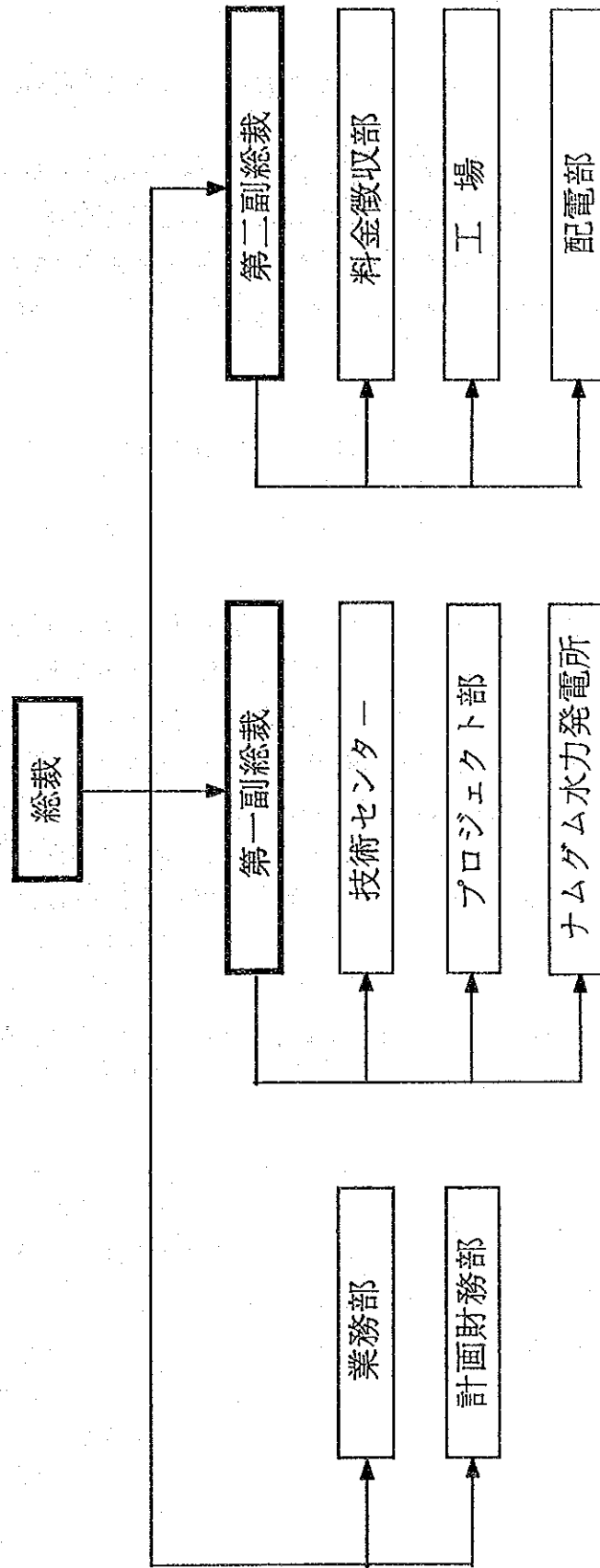
(1) 役割と組織

本計画の実施母体であるラオス電力公社 (EDL) はラオス国全土の電気事業を担当している。創立は1924年で、ラオス国の内閣の決定により1980年に国営となり産業工芸省 (Ministry of Industry and Handicraft) の所轄下にある。

EDLの総裁は産業工芸省に推挙され内閣によって任命される。副総裁は二名居り、それぞれ技術系部門と事務系部門を管理している。1989年現在の職員数は931名である。その人員組織は図2.1の通りである。

ビエンチャン州以外の電気は各州の地方電気局で配電され売電されている。その電気局の殆どの業務はEDLから独立した形で遂行されているものの、新しい電力施設の取得と建設はしばしばEDLが直接実施する形となっている。

図2.1 ラオス電力公社組織図



(2) 財務と経理

一つの国営組織として独自に運営されているが、EDLの財務活動は政府の財政と密接な関連がある。

EDLは毎年その年の所要資金と予算を作成し政府に提出するが、財務に関する公式責任を負うものの、電力料金、投資計画及び財源確保はすべて政府の決定による。EDLは現在減価償却と金利を含む運用経費の25%に相当する税金を課せられている。又、大規模補修と投資のための保留金を除いた後の資金は配当金として政府に納入することが義務づけられている。

1986年と1987年の収入実績は資料8に示した通りである。

(3) 電力料金

EDLには現在2種類の電力料金がある。一つはタイ国との電力の輸出入のための料金、あとは一つはラオス国内の一般供給のための料金である。電力輸出はナムグム発電所よりの発電電力量からラオス国内の一般供給を控除した余剰電力量で、タイ国発電会社（Electricity Generating Authority of Thailand、以下EGATと略称）に決められた料金は、1987年9月21日に締結された協定によりUS\$0.0305/kWhである。南部のカムモアン州とサバナケット州はEGATから電力輸入しているが、この料金はナムグム発電所からの輸出料金よりUS\$0.005/kWh高いUS\$0.0355/kWhである。このUS\$0.005/kWhは電力輸入に利用しているEGATの22kV送電系統の使用料である。

ラオス国内の一般供給のための料金は1kWh当たり7キップである。EGATとの協定電力料金の変遷を資料9に示す。

2-3 ナムグム水力発電所の概況

2-3-1 ナムグム水力発電プロジェクト

ナムグム水力発電プロジェクトは国連メコン委員会の主導により、その第一期建設を1966年に着手し、最終の第三期は1985年に完成した。プロジェクトの主要施設はコンクリート重力ダム、150,000kWの発電設備を収容する発電所、発電所からビエンチャン変電所を経由しメコン河を横断してタイ国電力系統に連携する115kV送電線から成り立っている。

ナムグム水力発電プロジェクトの第一期は、我が国を含む諸国の協調供与よりなるナムグム基金を世界銀行が管理する形で、発電規模30,000kW（1号機・2号機）が建設された。第二期は我が国、西独、英国よりの融資による基金をアジア開発銀行が管理して80,000kW（3号機・4号機）が、第三期は我が国とアジア開発銀行との協調融資で40,000kW（5号機）が建設された。

各段階の構成要約は以下の通りである。

第一期（本工事建設期間：1967年～1972年）

- コンクリートダム築造
 - 1号機・2号機発電設備の設置
 - 発電設備2基収容の発電所建屋の建設
 - 1号機・2号機用水路鋼構造の設置
 - 115kV 1回線送電線の建設（ナムグム発電所～ウドン変電所間）
 - ポントン変電所とノンカイ変電所の新設
- （所要資金：約2,400万ドル）

第二期（本工事期間：1975年～1978年）

- 3号機・4号機発電設備の設置
 - 発電設備3基収容の発電所建屋の増築
 - 余水吐用ゲートを含む3号機・4号機用水路鋼構造の設置
 - 115kV 2回線送電線の建設（ナムグム発電所～ウドン変電所間）
 - ポントン変電所の増設
 - タナレン変電所の新設
- （所要資金：約4,900万ドル）

第三期（本工事期間：1982年～1985年）

- 5号機発電設備の設置
- 5号機用水路鋼構造の設置
- （所要資金：約2,000万ドル）

この結果、下記の施設が完成した。

- 高さ75m、長さ468mのコンクリート重力ダム
- 設計全流出量4,400m³/secのフリップバケット付余水吐（ラジアルゲート4門付）
- 150,000kW発電機器を収容し屋上に開閉装置を有する地上式発電所
- ナムダム発電所からメコン河を横断しEGATの電力系統に連携する115kV 3回線送電線
- ビエンチャン近郊の115/22kV変電所（ボントン及びタナレン変電所）
- 送電線保護装置と115kV電力線搬送通信装置
- 22kV配電網
- 発電所所員のための永久宿舎設備

第一期で設置された1号機と2号機に対しては1980年に我が国の無償資金協力によって補修工事が実施され、現在順調に運転されている。

上記施設の詳細は表2.1に示す。

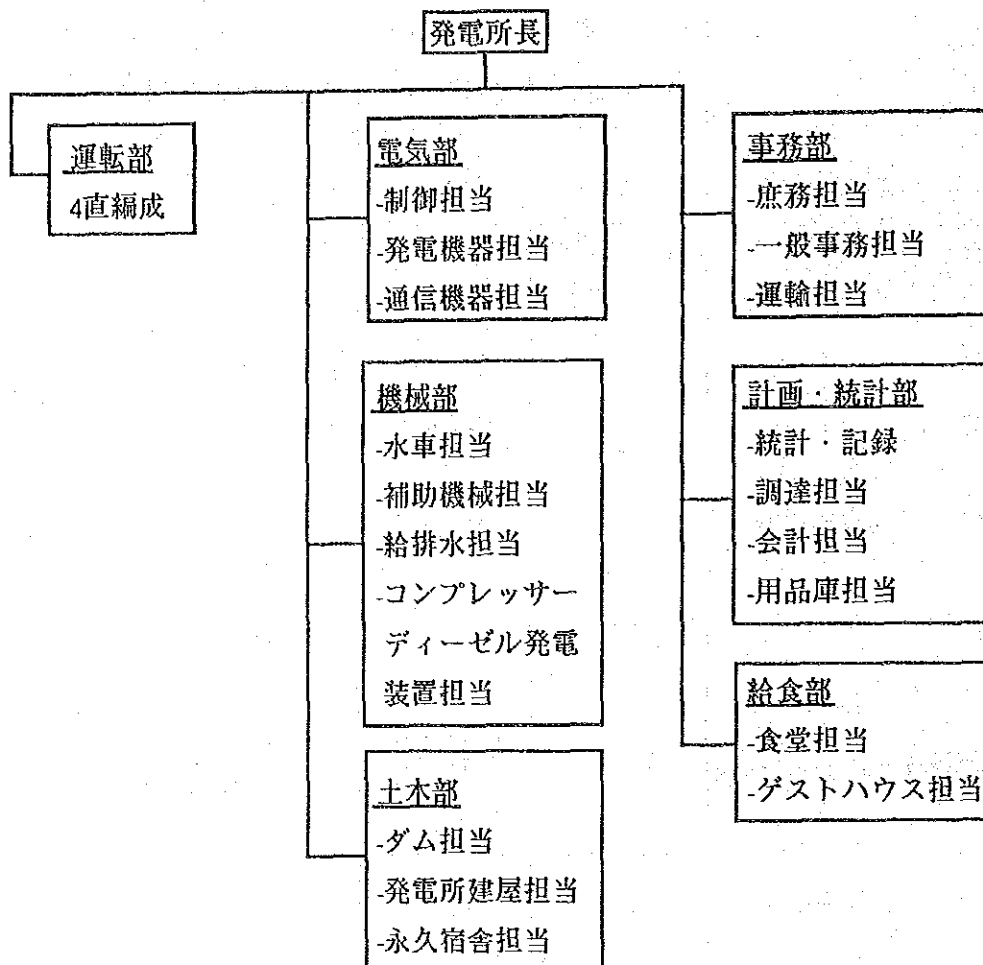
本計画は第二期で設置された3号機・4号機及び関連設備の分解補修の基本設計である。

表2.1 ナムダム水力発電所の主要諸元

項目	段階	第一期	第二期	第三期	備考
貯水池最高運用水位(m)		EL. 202.50	EL. 212.00	EL. 212.00	合計 150,000kW 合計 5 台
貯水池最低水位(m)		EL. 196.00	EL. 196.00	EL. 196.00	
利用水深(m)		6.50	16.00	16.00	
有効貯水池容量(106m ³)		1,600	4,700	4,700	
有効落差(m)		32	37	37	
設備出力(kW)		30,000	80,000	40,000	
発電機台数		2	2	1	
水車形式		フランシス	フランシス	フランシス	
回転数(rpm)		176.5	136.4	136.4	
周波数(Hz)		50	50	50	
単機発電機容量(kVA)		17,500	53,000	53,000	
発電機電圧(kV)		11	11	11	
主要変圧器容量(kVA)		17,500	50,000	50,000	
年間可能発生電力量(GWh)		240	890	890	
取水口ゲート					
型式		ローラーゲート	ローラーゲート	ローラーゲート	
径間x扉高(m)		3.4 x 3.4	6 x 6	6 x 6	
門数		2	2	1	
水圧鉄管					
径(m)		3.4	6	6	
本数		2	2	1	
長さ(m)		50	55	55	
余水吐ゲート					
型式		-	ラジアルゲート	-	
径間x扉高(m)		-	12.5 x 10	-	
門数		-	4	-	
ビエンチャン近郊変電所					
名称		ボントン変電所	ボントン変電所	-	第一期は22,000kVA2台
主要変圧器容量(kVA)		44,000	30,000	-	
電圧比		110/22/15	110/22	-	
名称			タナレン変電所	-	
主要変圧器容量(kVA)			10,000	-	
電圧比			110/22	-	
115kV送電線電線					
回線数		1	2	-	ナムダム〜ウドン間
線路長(km)		140	140	-	

2-3-2 ナムグム発電所の運営体制、予算

1972年の第一期完成による商業運転開始以来16年を経過したナムグム発電所の運営体制は、下記のごとき組織で今日に至っている。



運転部は1当直5名編成で4班による合計20名、各部門の保守を担当するのは電気部、機械部、土木部で、技術系所員が合計約30名配属されている。さらに事務系所員、自動車運転手、補助職を加えたナムグム発電所所員の総在籍数は所長以下160名である。

ここ最近5年間に見るナムグム発電所予算額とその実績は下表の通りである。

年	予算額		実績額	
	外貨 (US\$)	内貨 (Kip)	外貨 (US\$)	内貨 (Kip)
1983年	160,634	5,842,682	45,487	3,718,674
1984年	125,000	10,402,434	-	4,210,478
1985年	180,520	10,466,906	59,257	8,560,230
1986年	120,375	36,438,260	101,256	24,900,400
1987年	1,200,000	28,057,077	900,596	28,519,947

(ナムグム発電所資料)

(1989年1月現在 1kip = 0.29円)

外貨の用途目的はラオス国内の市場では購入できない予備品、消耗品、機械器具の、主に日本からの調達である。1987年の予算額と実績を除くと、発電機器5台からなる150,000kWの規模の水力発電所としては、かなり少額の外貨予算といえることができる。

2-3-3 ナムグム発電所の運転状況と電力輸出

現在、運転時間計が故障しているため、3・4号機の正確な累計運転時間は不明であるが、ナムグム発電所で1986年5月末に記録された値は、3号機で60,846時間、4号機で56,021時間であった。その当時から今回実施した現地調査の時期まで約2箇年半以上の期間が経過したが、この間の発電電力量は、1987・1988年と2年続きの異常渇水による貯水量の減少で平年をかなり下回る約1,400百万kWhしか発電していない。この発電量から推定すると約9,000運転時間が加算されたことになる。ナムグム発電所は150,000kWの設備規模で年間可能発電電力量が890百万kWhと計画されており、年間運転時間は約6,000 (890,000,000kWh/150,000kW=5,930hr) 時間であるから、2箇年半では15,000時間程度の運転時間になる筈であるが、推定時間に留まったことは誠に稀有な異常渇水であったと思われる。

通常、貯水池を有する水力発電所は、ピーク供給力として年間3,000時間内外の運転として計画される。しかしナムグム発電所は、その立地条件から電力系統の年間負荷率に合わせて設備規模を決めてありピーク発電所ではない。従って、この発電所の年間運転時間は、通常の貯水池式ピーク発電所に比べると長い。

ナムグム発電所の発電電力量からラオス国内での一般供給を控除した余剰電力量はEGATに輸出されているが、第一期竣工以来の電力輸出額を下表に示す。

年	電力輸出額(US\$)	年	電力輸出額(US\$)
1972年(1・2号機運開)	0	1981年	10,594,681.14
1973年	20,777.44	1982年	23,452,625.32
1974年	281,397.46	1983年	24,063,120.26
1975年	868,259.61	1984年(5号機運開)	26,150,107.25
1976年	1,540,635.21	1985年	28,615,952.96
1977年	1,758,970.26	1986年	26,976,899.55
1978年(3・4号機運開)	2,229,362.19	1987年	11,065,303.07
1979年	8,165,125.17	1988年10月まで	9,469,967.64
1980年	7,918,816.77		

(EDL資料)

1987・1988年の電力輸出額が少ないのは前述のごとく異常渇水に起因するものである。

2-3-4 ナムグム発電所3・4号発電機器の現況

前項で記述したように運転開始以来3号機は約70,000時間、4号機は約65,000時間に達している。その間、分解補修は未だ一度も実施されていない。

熱帯・亜熱帯地域での水力発電建設工事で、大容量貯水池に湛水する際水位が上昇するに従って水没地に繁茂していた草木の葉緑素が化学的に変質して硫化水素が発生する例がある。更にその硫化水素が貯水池の水に解け、その水に接触している鉄鋼を侵すことがある。ナムグム発電所の第一期完成の約1年後から3年間ほどおびただしい硫化水素が発生し、水車の本体部品が腐食した。しかし、現在は貯水池や発電所周囲には硫化水素の独特な臭気はなく、現在の水は鉄鋼に対する腐食性を帯びていないと判断される。

第二期にて余水吐ゲートが設置され、貯水池水位が約10m上昇したため周辺の草木が水没した。この時の硫化水素の発生によると思われる腐食が水車内部に認められたが、腐食の程度は第一期完成後の硫化水素の影響に比べると軽微であった。

ラオス政府からの要請書に添付されていたEDL報告書の3・4号機の現状観察は、現地調査の結果概ね正確であることが確認された。現地調査の際に認められた状況は3号機と4号

機の間には差は殆ど無く、補修を必要とすると判断される主要項目は下記の通りであった。

水車

- 吸出管に腐食・壊食が認められる。
- ステイリングのボトムリングに相対する部分に局所的な腐食が認められる。
- スパイラルケースの塗装が部分的に剥離している。
- ガイドベーンのサイドギャップが腐食のため設計値0.7mmに対して2倍から3倍に広がっている。
- ランナの出口反作用面上に空洞現象(キャビテーション)による壊食が発生している。
- ディスチャージリングのステンレス張り部分の直下に腐食による凹凸が分布している。
- 3号機プロテクトライナ上に一箇所条痕が認められる。
- ボトムリング端部のランナに相対する部分に腐食が分布している。
- ガイドベーン操作機構の摩擦力が増加している。
- ガイドベーンサーボモータのロッキング装置が正常でない。
- 吸出管圧力計が破損している。
- 推力軸受潤滑油飛沫分離装置の作動が不適切である。
- 3号機圧油タンクマンホールカバーから漏油している。

発電機

- 固定子コイルとギャップの間のコンパウンドの面で部分的な剥がれがある。
- 固定子コイル接続銅帯の絶縁処理が不完全である。
- コレクタリングに若干の条痕が見られる。
- 4号機の機械式速度検出装置が作動していない。
- 記録温度計の殆どが正常に作動していない。

天井走行クレーン

- 1号機クレーンのロープトロリーホイストワイヤロープ素線が僅かに潰れている。
- 冷却水給水装置室クレーンの操作用ペンダントスイッチのケーブル接続部が損傷している。
- 倉庫クレーンの上下限リミットスイッチが故障している。

空調・換気装置

- エアコンディショナの冷媒圧力が低下している。
- 換気装置のファン駆動用Vベルトが不足若しくは失われている。

消火装置

- －ホースやノズルの状況が不完全ですぐに使用できる状態にない。

冷却水給水装置

- －一次側逆止弁が外してある。

水位指示装置

- －水位検出装置と発信器の錆が著しい。
- －貯水池用、放水路用とも受信装置の指示が正確でない。

取水口ゲート

- －塗装膜の防食機能は失われている。
- －ワイヤロープのグリース塗布が不十分である。
- －ホイストブレーキの清掃が不十分である。
- －現場操作盤の内蔵電気品に劣化しているものが多い。又、故障が放置されている。

115kV開閉装置

- －遮断器の動作が不安定である。
- －断路器の接点に錆の発生が著しい。
- －計器用変圧器の頭部から漏油している。
- －避雷器の放電カウンタと放電電流測定装置に錆が著しい。
- －操作箱扉のガスケットの機能が失われている。

制御・計装・保護装置

- －計器や表示器に故障していたり動作が不確実なものがある。

交流・直流補助電源装置

- －遮断器の中に焼損しているものがある。
- －鉛蓄電池の内部に異物が認められる。
- －鉛蓄電池の端子に著しく腐食しているものがある。

2-4 関連計画の状況

2-4-1 当該分野開発計画

ラオス国政府の承認のもとでEDLが現在推進している電力関連分野の開発計画でアジア開発銀行融資と技術援助(Technical Assistance)が決定している案件に下記のものがある。

借款

借款番号	プロジェクト	金額	承認年月日
65-LAO(SF)	ビエンチャン地区配電網整備	US\$3,370,000	1971年5月6日
128-LAO(SF)	ビエンチャン地区配電網整備(追加)	US\$1,350,000	1987年5月3日
501-LAO(SF)	ビエンチャン平原農村電化(I)	US\$4,300,000	1980年12月19日
624-LAO(SF)	ビエンチャン平原農村電化(II)	US\$6,300,000	1983年10月11日
698-LAO(SF)	セセット水力発電(技術援助借款)	US\$1,000,000	1981年10月23日
小計		US\$16,320,000	

技術援助

番号	プロジェクト	金額	承認年月日
275-LAO	ビエンチャン平原農村電化(準備段階)	US\$140,000	1978年12月22日
374-LAO	セセット水力発電(準備段階)	US\$246,000	1980年11月14日
小計		US\$386,000	

上記のほかに電力開発関連プロジェクトとして次の計画が具体化している。

一送電線新設計画

ナムグム発電所からボントン変電所へ到る既設の115kV送電線から、ナムグム発電所の極く近くの地点で分岐し、バンビエンを経由ルアンプラバンに到る約208kmの一回線送電線新設計画で、アジア開発銀行による融資予定額がUS\$12,700,000である。すでにスウェーデンのコンサルタント会社スエドパワー社によるフェージビリティスタディーが終了している。またバンビエンとルアンプラバンそれぞれの変電所の建設も計画に含まれ、1989年中に実施に移行する予定である。これらの計画は1992年6月の完成を目指し、電力不足に悩まされているラオス国北部地区を活性化しようとしている。

一変電所新設計画

現在ビンエンチャンの北東約20kmに位置するタゴン地区の開発がラオス国の政府機関により推進されている。その中に含まれている工業団地建設に呼応して、10,000kVAの設備を有するタゴン変電所を建設し、既設の115kV送電線から分岐して接続する計画である。アジア開発銀行からの融資が予定されている。

一水力発電所建設計画

既に準備工事が開始されている計画でセセット (Xeset) 水力発電プロジェクトと称されている。45,000kWの規模を有しラオス国南部地区の主要都市パクセの南東約70kmに本格的な建設が始まろうとしている。この水力発電プロジェクトの資金計画は下記の通りである。

(百万ドル)

資金源	外貨分	現地貨分	計
アジア開発銀行	15.50	—	15.50 (38.9%)
SIDA*	17.04	—	17.04 (42.7%)
UNDP	1.76	—	1.76 (4.4%)
ラオス政府 (EDL)	—	5.60	5.60 (14.4%)
計	34.30	5.60	39.90 (100.0%)

* Swedish International Development Authority

この発電所は大規模貯水池を持たない自流式発電所であり、その点についてはナムグム発電所と基本的に相違するが、余剰電力をタイ国に電力輸出するという運用上の性格は全くナムグム発電所と同一である。

尚、このセセット水力発電プロジェクトに関連して、ラオス国南部州の電化計画に関連する送配電網施設の改修・新設に必要な資金は、IDA(International Development Association)が融資する方針も決定していると言われる。

2-4-2 ナムグム発電所3・4号発電機補修基本計画との関連

ナムグム発電所で発電された電力はラオス国の首都ビエンチャンとその周辺およびナムグム発電所の近傍地区に限って供給されているのが現状であるが、国内需要の増加を推進するためビエンチャン平原農村地区計画によって22kV配電線の建設が進行している。さら

に既設の115kV送電線の直下にも、この農村電化計画のための変電所が完成間近である。

前述のバンビエンを經由して古都ルワンプラバンに至る115kV主幹送電線が予定どおり完成すれば、北部地区の電力不足は一挙に解決しその地区の住民は多大の恩恵に浴することになる。

このようにラオス国内の電力需要が近い将来着実に伸びる環境が整えられている。従って水力発電以外に有力な代替エネルギーを持たないラオス国の需要家に対して安定供給を確実にするため、ナムグム発電所の重要性と発電機器の維持管理の必要性は更に増大すると言うことができる。

2-5 要請の経緯と内容

2-5-1 要請の経緯

ビエンチャン地区の電力消費量は1970年に約25GWhであったが、15年後の1985年には130GWhに達し年間増加率の平均値は11.6%であった。特に最近の数年間に見られた急激な伸びの主な背景には、経済に相当なインフレ傾向があったにも拘わらず電力料金が著しく低く抑えられたということがある。1985年3月に料金が現在の水準に改定されたことにより電力消費量が一時的に低下したが、近年再び増加に転じ現在着実な伸びを示している。

第二次5ヶ年計画の目標にしたがってEGATに大量の電力を輸出し外貨を獲得しながら、ラオス国内の地方電化を推進可能ならしめているのは、ナムグム発電所の電力である。この観点からナムグム発電所の安定した状況の維持は、ラオス国および国民にとって重要な意味を持っているといえる。

ナムグム発電所に設置された5台の発電機器のうち3・4号機は、1978年に運転開始されて以来10余年を経過し、その間分解補修は実施されていない。従って機器の部材や部品の疲労が進んでいるので早急に分解補修が必要であると判断される。しかし、目下ラオス国が直面している厳しい財政状況やEDLの経済的・技術的現状では、この分解補修を独自で実施することは殆ど不可能である。

上記の認識と判断からラオス国政府は、日本政府の無償資金協力を要請した。

2-5-2 要請の内容

現地調査において、本計画のラオス国側実施期間であるEDLと最終的に確認した要請の内容は下記のとおりである。

- (1) 本計画の目的は、ナムグム発電所の既設3・4号発電機器にて、著しく損傷又は磨耗した構成要素及び部品を修理若しくは交換することである。
- (2) 当該3・4号発電機器とは下記の7項目を指す。
 - i) 水車
 - ii) 励磁系統を除く発電機
 - iii) 補助機器
 - iv) 取水口ゲート
 - v) 115kV開閉装置
 - vi) 運転制御装置
 - vii) 交流・直流補助電源装置

要請に含まれている機器の種別と作業項目は下記の通りである。

- i) 3号・4号水車本体および補機の分解補修
- ii) 3号・4号発電機本体の分解補修
- iii) 補助機械設備（発電所天井走行クレーン、空調・換気設備、消火設備、水位指示装置および冷却水供給装置）の補修に関する指導ならびに予備品の供給
- iv) 3号・4号取水口ゲートの操作機構の修理、リミットスイッチの動作確認、ブレーキの調整および不良部品の交換
- v) 115kV遮断器の分解補修および他の115kV開閉装置の修理
- vi) 制御・計装・保護装置の修理、動作試験ならびに不良部品の交換
- vii) 交流・直流補助電源装置の修理、動作試験ならびに不良部品の交換

現地調査実施中に、EDLは上記項目に追加して下記項目の要請を提示した。

- i) 所内排水系統の修理
- ii) 3号・4号機以外の取水口ゲートの点検

- iii) 3号・4号機以外の制御・計測・保護装置の不良部品交換と予備品の供給
- iv) 3号・4号機以外の115kV開閉装置の修理と増設
- v) 11kV開閉装置の修理と予備品の供給
- vi) 22kV開閉装置の修理
- vii) 1号・2号機用補助電源装置の修理と保守用具の供給
- viii) 1号・2号機用励磁系統の予備品供給
- ix) 主配電盤の一部器具の供給

追加要請の内容に関しては、本報告書の3-2-2項に記述した。

第 3 章 計画の内容

第3章 計画の内容

3-1 計画の目的

本計画の目的は、運転開始後10年余りを経過したナムグム発電所の3・4号水車発電機および関連機器を、本格的な分解補修を実施することにより、経年変化で低下した性能を向上させ本来の機能を回復することにある。そして信頼性を増した発電により、ラオス国内の電力需要に対し安定供給を確保する一方、タイ国への電力輸出を継続し、ひいてはその電力輸出によって得られる外貨収入がラオス国の財政に寄与することが期待できる。

このため日本国政府の無償資金協力により、3・4号機の分解補修に必要な資機材の調達と輸送、補修工事と工事完了後の試験・調整を実施しようとするものである。

現地調査の結果、3・4号水車ランナには空洞現象（キャビテーション）による壊食が認められ、すでに本格補修を実施しなければならない状態になっていることが確認された。一方ガイドベーンの部分的腐食が進行して固定部分（ボトムリング）とのギャップ（隙間）が設計値の2～3倍に達している。ランナのキャビテーション壊食やガイドベーンギャップの拡大は、それら構成要素に使用されている材質、もしくは貯溜水の物理的水質が直接的に起因しているとは判断されず、累計運転時間が長いことがもっとも大きな原因であると考えられる。

水車にのみ着目しても、この状況を放置すれば下記の技術的問題が発生することは明白である。

- (1) ランナに認められるキャビテーション壊食による凹凸が、更なるキャビテーションの発生を促し壊食が加速的に進行し、水車の運転効率を低下させると同時にその壊食の溶接補修を困難にさせる。
- (2) ナムグム発電所の水車は1号機から5号機まですべて入口弁を設置していないが、これは有効落差や水圧鉄管の長さを考慮して、設備の簡易化を計ったためである。従って、通常のランナの停止はガイドベーンの閉操作によってのみ行なわれるため、ガイドベーンの腐食によるギャップの拡大は、ガイドベーンを全閉してもギャップからの漏水によりランナが停止しないという事態を招く。このランナ停止不能の事故は補修前の1・2号水車でも実際に起きている。

水車以外の機器に関しても、下記のように緊急に補修を必要とする項目が認められる。

- (1) 発電機器の状態監視の基本的要素である温度の指示や記録が、当該装置の故障で不能である。
- (2) 過速度検出のための機械式装置が正常に作動していないので、電気式装置のみに依存している。
- (3) 発電機巻線の相間接続銅帯の絶縁処理が不完全で地絡、短絡発生の可能性が強い。

上記の項目を早期に補修することにより問題の進行を防ぎ、また現地調査では存在を確認できなかった問題箇所を、機器を分解することにより捕捉して手当し、大きな事故や損傷の発生確率を小さくすることが可能となる。

3-2 要請内容の検討

3-2-1 計画内容の検討

各要請項目の現状を現地調査にて確認した。その要点は表3.1に示した通りである。

運転開始以来、現在の如く補修を必要とする状況にまで立ち到った原因について検討し、補修基本設計の指針とした。今回要請が出された項目の補修が必要になった原因を、下表のように6項目に分類した。複数の原因が考えられる項目も存在する。

原因A： 運転年数の経過と共に自然の磨耗・疲労若しくは汚れ

原因B： 機器・部品の材質・設計・製作若しくは据付の不適切

原因C： 水質および腐食性雰囲気などの不測要素

原因D： 不適切な運転又は乱暴な取り扱い

原因E： 満足な保守作業の不履行

原因F： その他

項目	原因	A	B	C	D	E	F
1. 水車							
(1) 吸出管ライナ		○		○			異物の噛み込みによる損傷
(2) ステイリング				○			
(3) スパイラルケース				○			
(4) ガイドベーン		○					
(5) ランナ		○					
(6) ディスチャージリング				○			
(7) プロテクトライナ							
(8) 上部カバー及びその排水系統				○		○	
(9) ボトムリング				○			
(10) ガイドベーン操作機構						○	
(11) ガイドベーンサーボモータ						○	
(12) 吸出管圧力計					○		
(13) 推力軸受潤滑油飛沫分離装置			○				
(14) 調速機及び圧油系統		○					
(15) 案内軸受		○					
(16) 潤滑油・圧油		○					
2. 発電機							
2.1 固定子							使用されている絶縁ワニスの種類選定にも問題がある。
(1) 固定子巻線自体		○	○				
(2) 固定子巻線接続部		○					
2.2 回転子							
(1) 回転子自体		○					
(2) コレクターリング					○	○	
(3) 刷子・刷子保持器		○					
2.3 制動機・油ジャッキ		○					
2.4 機械式速度検出装置			○				

項目	原因	A	B	C	D	E	F
2.5 記録温度計		○				○	
2.6 空気冷却器		○		○			
2.7 軸受		○					
3. 補助機械装置							
(1) 天井クレーンのワイヤロープ					○		
(2) 天井クレーンのペンダントスイッチ						○	
4. 空調・換気装置							
(1) ファン駆動ベルト						○	
(2) 冷媒圧力						○	
5. 消火装置		○				○	
6. 冷却水給水装置		○		○			
7. 水位指示計		○		○			
8. 取水口ゲート							
(1) ホイストブレーキ			○				
(2) 現場操作盤			○	○			
(3) 操作系統						○	
(4) ダム頂設置の分電盤				○		○	
9. 115kV開閉装置							
(1) 遮断器		○					
(2) 断路器		○		○			
(3) 計器用変流器		○					
(4) 計器用変圧器		○	○				
(5) 避雷器		○		○			

項目	原因	A	B	C	D	E	F
(6) 接地網 (7) 照明器具 (8) 操作箱				○		○ ○ ○	
10. 制御・計測・保護装置 (1) 主配電盤上の温度指示計 (2) 記録電力計 (3) 記録周波数計 (4) 記録電圧計 (5) 積算電力計 (6) 動作表示計 (7) 保護継電器 (8) 自動同期検定装置 (9) 記録温度計 (10) 積算時間計 (11) 計器一般 (12) 機側制御盤の電話室の遮音 (13) 流量計 (14) ケーブル貫通孔 (15) 温度センサーの接続ケーブル (16) 蛍光灯		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○					記録用紙、ペン等の 消耗品の補充が円滑 でない。 経年変化の有無を確 認する。 内蔵部品が故障して いる可能性がある。
11. 補助電源装置 (1) 蓄電池 (2) 電解液 (3) 充電器 (4) 直流主回路の遮断器		○ ○ ○		○		○ ○	

上表に見られるように、運転年数の結果による自然磨耗・劣化と硫化水素の溶け込みによる古い腐食が主な原因である。

補修対象の主要部分を占める水車に関しては、原因が「水質」と「経年変化」によるものが殆どである。ナムグム発電所の第二期工事で余水吐ゲートの設置により、貯水池水位が約10m上昇したが、貯水池周辺が水没したことにより繁茂していた草木が硫化水素の発生源となり、水が腐食性を帯びたため水車の内部に腐食を生じたものと判断される。現在、硫化水素の発生は完全に消滅しているため、今後水質に起因する水車の腐食は起きないものと考えられる。

水車以外の機器に関しては、消耗品・予備品の在庫補充が円滑に進まず、保守作業の実施に支障を来し磨耗や劣化を抑止できなかつたと判断される。

3-2-2 追加要請

現地調査中EDLより提示された追加要請項目（資料5メモランダム参照）にて、本計画における扱い方の区分は下表の通りである。

追加要請項目	本計画に 含める	本計画から 除外する
A. 所内排水系統		
(1) ポンプ制御系統と水位検出装置の点検	○	
(2) ポンプと配管系統の点検と修理	○	
B. 取水口ゲート（3・4号機以外）		
(1) 現場操作箱、リミットスイッチ及びブレーキの点検		○
(2) 水位検出装置の点検		○
(3) ゲート位置指示用発信器の点検		○
C. 制御・計測・保護装置		
(1) 断線したシグナルランプの交換	○	

追加要請項目	本計画に 含める	本計画から 除外する
(2) 調速機制御用モーターの予備品	○	
D. 115kV開閉装置（3・4号機以外） (1) 115kV送電線遮断器の分解点検 (2) 115kV母線の計器用変成器及び避雷器の点検 (3) 予備品供給 (4) 3,000kVA局配変圧器の115kV側遮断器	 ○ ○ 	 ○ ○
E. 11kV開閉装置 (1) 開閉装置の点検 (2) 3・4号機用励磁変圧器の交換 (3) 遮断器の操作用電磁弁の点検 (4) 主変圧器11kV側銅帯支持碍子の予備供給	 ○ ○ 	 ○ ○
F. 22kV開閉装置 (1) 内蔵機器の点検・修理・交換	 ○	
G. 補助電源装置 (1) 1・2号機用蓄電池の交換 (2) 低圧配電盤の点検 (3) 希硫酸の供給 (4) 直流電圧計の供給 (5) 比重計の供給	 ○ ○ ○ ○	 ○
H. 界磁遮断器 (1) 1・2号機用予備遮断器1台の供給	 ○	

追加要請項目	本計画に 含める	本計画から 除外する
I. 主配電盤器具 (1) 115kV 1号送電線用積算電力計 (2) 故障解析装置	○	○

上述の区分を行なった理由は下記の通りである。

I. 本計画に含めた理由

- (1) 3・4号機の運転に密接に関係しており、点検作業はコントラクターの指導によって発電所所員が実施することが可能である。

[A(1)項、A(2)項、D(1)項、D(2)項、I(1)項]

- (2) コントラクターの派遣員の指導により発電所所員が実施することが可能なので事業費の増額とはならない。

[E(1)項、E(2)項、G(2)項]

- (3) 日常の保守作業に必要なが、特注品でラオス国市場では短期間で調達が出来ない。

[C(1)項、G(3)項、G(4)項、G(5)項]

- (4) 予備品の手持ちが無い上に現在かなり老朽している。

[C(1)項、H(1)項]

- (5) 発電所所内電源、発電所所員永久宿舍電源、及び発電所周辺地区への配電に使用されているが、第一期工事の工事電力供給に使用し、完成後現在の目的に流用したため経過年数が17年に達し老朽が甚だしい。

[F(1)項]

II. 本計画から除外した理由

(1) 実質的に現状の改善である。

[D.(4)項、E(2)項、I.(2)項]

(2) 通常の保守作業に含めるべきである。現状は緊急に点検・修理を必要としていない。

[B.(1)項、B(2)項、B.(3)項]

(3) 追加項目の性格上、発電所の予算で調達すべき品目である。

[D.(3)項、E.(4)項、G.(1)項]

3-3 計画の内容

3-3-1 実施及び運営機関

本計画のラオス国側実施機関はEDLである。ビエンチャンの本部に統括を配置し、本計画の実施において必要な他の諸機関との調整・連絡などを担当する。補修工事の直接担当機関はナムグム発電所であり、EDLの現場責任者に発電所所長が当たり、主に技術的業務を行なう。実務は保守担当の電気班と機械班の幹部所員を部門責任者として補修グループを結成する。しかし保守担当所員だけでは人員数が不足なので、運転担当からも運転勤務に支障のない範囲で補強し30人程度の陣容とする。これは発電所の現在の人員配置から見て十分に可能である。

本計画完了後の維持管理はナムグム発電所が引き続いて担当するので基本的には何ら問題はない。

3-3-2 事業計画

無償資金協力案件として最短の工期で、かつ最小の費用を目指すものとする。

事業には次の業種が含まれる。

(1) 部品の製作・資機材調達・輸送及び現地据付作業

例： 水車ガイドベーン交換作業
発電機固定子巻線の絶縁処理

(2) 現地作業のための人員派遣

例： 水車本体及びランナの肉盛溶接補修

(3) 現地作業指導のための人員派遣

例： 配電盤器具の較正・修理・調整
開閉装置の点検・補修

(4) 補修のための部品・資機材納入

例： 冷却水給水装置の予備品納入
取水口ゲート補修用資機材納入

表 3.1 要請内容の検討

要請項目	現状に対する検討
1. 水車	
(1) 吸出管ライナの腐食、壊食の補修	<p>建設当初の塗装は健全であり全般的に異状は認められないが下記部分に流水による腐食・壊食の影響が見られた。</p> <p>ドラフトフィン下流面頂部の腐食 フィン長さ 2,500 mm のうち頂部約 1/3 に深さ1~5 mm のクレータ状腐食が見られた。ただし補修用ペイントは残されている。</p> <p>フィン下流域に張られた耐キャビテーション用のステンレス板張り溶接はほぼ健全であるが3号機上流側フィンに深さ1~2 mm のうねり状壊食跡がみられる。</p> <p>写真 1, 2 参照 付図 3 ~ 7 参照</p>
(2) ステイリングの補修	<p>ボトムリングに相対するステイリング端部が水平・垂直両面に渡り局部的に腐食している。端部水平面には深さ1~2 mm 面積 10~50 cm² 程度の腐食跡が局部的に分布している。ギャップ中は設計値3.5 mm に対し4号機は4~4.5 mm で腐食量は少ないが3号機は4~6 mm でやや多くなっている。なお、腐食部の錆除去跡には補修ペイントが残っておりペイントの防食効果が認められる。</p> <p>写真 3 参照 付図 22 参照 付表 1 参照</p>
(3) スパイラルケースの補修	<p>スパイラルケース内部の防食塗装は全般的に健全であるが、一部剥離している部分もある。</p>
(4) ガイドベーンサイドギャップの補修	<p>下部隙間特に下流トウ部の腐食が大きく、設計値0.7 mm に対し全ガイドベーンの平均値で、3号機は 1.62 mm、4号機は 2.2 mm に増大しており、最大値で3~4 mm に達するものもある。</p> <p>上部隙間は設計値に対し、許容範囲に入っているものが多い。また今回調査結果と 196 年調査時のデータ比較では、3・4号機共若干の進行が見られる。3号機に比べて4号機の方が進行の程度が大きい。</p> <p>流水面に一部外部よりの損傷を受けた跡が認められるが、シャッター面、上・下流端部、流水面のいずれも健全であり、塗装も良好な状態で残っている。</p> <p>付図 1, 2 参照</p>
(5) ランナベーンのキャビテーション壊食の溶接補修	<p>ベーン出口反作用面の壊食は全面積で3号機約 6,400 cm²、4号機約 9,200 cm²、一枚当たり面積はそれぞれ 320 cm² および 460 cm² である。深さは3号機が1~4.5 mm、4号機が1~7 mm で全般的に4号機が3号機に比べ若干壊食が進んでいる。壊食部位の前回補修位置との関連は明確でないがほぼ同位置か若干クラウン側境界部に壊食が発生しているように思われる。前回補修より約5年半を経過しているが現在の壊食量より想定すれば約7年程度が標準的オーバーホールの周期と想定される。</p> <p>写真 4 参照 付図 8 ~ 15 参照</p>
(6) ディスチャージリング腐食部の補修	<p>ステンレス製ウェアリングは全く損傷を受けていないが、その下方が全周に渡り深さ4~5 mm の凹凸が認められる。</p> <p>損傷は3号機はウェアリング下部に約 400 mm、4号機は約 100 mm の範囲に分布している。しかし、3号機に実施された補修ペイントは健全で銅地肌がほとんど露出していないことから防食ペイントの効果は有効であることが認められる。</p> <p>写真 5 参照 付図 16 ~ 19 参照</p>
(7) プロテクトライナの補修	<p>全般的に異状はないが3号機ガイドベーン No. 11 と No. 12 の間のプロテクトライナに深さ1~2 mm、巾13 mm、長さ170 mm の条痕が1箇所認められた。</p> <p>写真 6 参照 付図 23 参照</p>

表 3.1 要請内容の検討

要請項目	現状に対する検討
(6) 上部カバーの分解点検と排水系統の点検・清掃	<p>ヘッドカバーは両面とも確認できる範囲ではキャビテーション又はコロージョンの影響を受けていない。取付ボルトの中に一部錆が認められるのでオーバーホールの際に取り替えを要す。</p> <p>シャットシールパッキンからの漏水、上カバー内排水は3・4号機共異状を認められなかった。</p>
(9) ボトムリング端部腐食部の補修	<p>ランナに相対するボトムリングの端部水平部、およびギャップ部が全周に渡り腐食しており水平部は1～4mmの深さで軟鋼部の中全域に渡り腐食が進行している。</p> <p>ギャップ部は設計値 3.5mm に対し4～7mm に増大している。</p> <p>写真 7 参照 付図 20, 21 参照</p>
(10) ガイドベーン操作機構の補修	<p>操作機構の摩擦力が増大している。機構部の清掃と無給油軸受の交換が必要である。</p>
(11) ガイドベーンサーボモーターの内部点検	<p>3号機サーボモーターの全ストロークが 2mm 不足しており機械的ロッキング装置の一片が挿入できない。調整を要す。</p>
(12) ドラフト圧力計の補修	<p>圧力計が取付け板より腐食により外れている。また圧力取り出し部、ストップバルブ接続部等より漏水がある。</p>
(13) スラストメタル用オイルミストセパレーターの分解点検	<p>オイルミストセパレーターへの排気の一部が、水車ビット内に拡散し内部に油が、結露する傾向が見られる。</p>
(14) 調速機および圧油系統の分解点検	<p>ガバナーの動作は正常であり、異状はない。3号機圧油タンクマンホールよりの漏油が見られた。</p>
(15) 案内軸受	<p>3号・4号機共各部異状無くメタル温度、ギャップ値の何れも正常値の範囲にある。</p>
(16) 水車およびスラストメタルの潤滑油および調速機圧油の分析	<p>4号機用油を採取した。</p>
(17) 予備品	
2. 発電機	
2.1 固定子	固定子
(1) 固定子巻線、楔、接続箇所保持部の清掃ワニスの塗布	<p>コイル</p> <p>コイルに変形、損傷、移動は認められない。</p> <p>コイル端部の位置の不揃い。 円周方向で最大 10mm、また隣コイルとの間隔で最小間隙 13mm 最大間隙 29mm の不揃いが 4号機の下側で見られたが、これは据付時のもので運転中の機械力に拠る変形ではない。</p> <p>上側コイルエンドには、ほとんど油分は認められず表面の汚れも僅少である。</p> <p>下側コイルエンドには、近隣するメタルからのオイルミストによる油脂分が僅かに認められるが、ごみの付着は未だ僅少である。</p> <p>吹き付けられた仕上げワニスは、コイル表面では完全に接着しているが、コイルとギャップの間のコンパウンドの面で剥がれが見られる。</p>

表 3.1 要請内容の検討

要請項目	現状に対する検討									
<p>(2) 固定子巻線接続部キャップの点検、変形 きずの発生しているものがあれば交換</p>	<p>コイル接続キャップ 一発電機当たりのスロット数は 420 であり、キャップ数は 858 個である。そのうち 3・4 号機とも上側 75 個下側 75 個のキャップについて調べたところ、最大の傷は長さ 10mm 巾 1mm のドライバーの先を刺した様なものと、長さ 75mm のナイフの先端が触れた様な傷であった。</p> <p>最大の傷は前記のものであるが、これを含め傷および窪みの数は下記のとおりである。</p> <table border="1" data-bbox="651 521 845 600"> <thead> <tr> <th></th> <th>傷</th> <th>窪み</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 号機</td> <td>2</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>4 号機</td> <td>3</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table> <p>なお、窪みの最大は約 3mm に達しているもの 2 箇所があった。ただし上記の変形は組立時に生じたもので、ゴムの弾性も失われておらず、運転後の劣化によるものではない。</p> <p>異常な磨れは認められなかった。</p> <p>鉄心 鉄心には緩みはない。</p> <p>下部表面には僅かにオイルミストによる油脂分が認められるが、通風ダクトにも塵埃の付着は未だ少ない。</p> <p>楔 75 スロット/台の楔についてハンマリングによる診断を行なったが、何れも固く打ち込まれており、緩みや脱落は皆無であった。</p> <p>コイル接続バーの絶縁 3・4 号機とも接続バーの絶縁に使われているワニスガラステープに含浸された赤ワニス硬化しないで流出し、コアの押さえ板の上に滴下している。</p> <p>写真 8 参照</p> <p>現時点でも硬化しておらず、流出が続いているので、絶縁性能は次第に低下する傾向にある。</p> <p>バインドリング バインドリングは固く固定されている。</p> <p>結束 直線部の結束、端部隣コイルとの結束、バインドリングとの結束、何れもガラステープで施工されており、その緩みや変形、切断などは全く認められず、強固に固定されている。</p> <p>エンドベルカバー エンドベルカバーは FRP で作られており、24 等配の断面の端部に多少の欠落が見られたが、歪みや緩みなどはなく健全である。</p> <p>コイルとカバーとの間隔 15~25 mm と、ファンとカバーとの間隔 6~13 mm は適正な値が保たれている。下部カバーの断面にはオイルミストによる油脂分が見られる。</p>		傷	窪み	3 号機	2	11	4 号機	3	14
	傷	窪み								
3 号機	2	11								
4 号機	3	14								
<p>2.2 回転子 (1) 回転子の点検・清掃</p>	<p>回転子 コイルと鉄心 3・4 号機共下側表面に僅かにオイルミストによる油脂分が見られるが、塵埃の付着は軽微である。</p> <p>コイルや絶縁カラーに緩みや損傷は全く無い。</p> <p>コイル間の接続 2 枚の銅帯をスパイダー側は直角に曲げ、またギャップ側は斜に下げて接続している。</p> <p>接続部はメッキなしの銅帯のままゴルト締めされ、絶縁も施していない。硫化水素等による腐食の跡は全く見られず、健全である。</p>									

表 3.1 要請内容の検討

要請項目	現状に対する検討
(2) コレクターリングの手入れ	<p>コイルとコレクターリング間の銅帯 銅帯の絶縁用ワニスガラステープに含浸された赤ワニスが硬化しないで流出飛散したため、その絶縁はすでに新しいテープで巻き替え、修復されている。</p> <p>写真 9 参照</p> <p>銅帯のスライダーへの固定状況は緩みや変形もなく健全である。</p> <p>ダンパー ダンパーバー、リングとも健全である。</p> <p>リングの接続はメッキされていない銅板をボルト締めしただけであるが、腐食や過熱の跡は全く見られない。</p> <p>ファン ファンの固定状況も良好である。 下部のファンには僅かにオイルミストによる油脂分が見られる。</p> <p>コレクターリング 溜動面にスパイラルの溝はないが、その色は鉛色で概して良好な状態である。ただ、3・4号機共下側のリングに若干の条痕が見られる。</p> <p>絶縁物にも緩みや損傷は見られない。</p>
(3) 刷子と刷子保持器の交換	<p>刷子と刷子保持器 刷子リード線の過熱等の形跡もなく、刷子よりの火花の発生も皆無で良好な状態で運転されている。刷子保持器の状態も良好である。</p> <p>スライダーとヨーク 鉄心取付状態、その他異常なし。</p> <p>絶縁抵抗測定 (3・4号機) 固定子コイル (1000V メガー 1分値) U-E 2000 MΩ 以上 V-E 同上 W-E 同上 U-V 同上 V-W 同上 U-W 同上</p> <p>回転子コイル (500V メガー 1分値) 1台分 44 コイル-E 1000 MΩ 以上</p>
2.3 ブレーキおよびジャッキアップ装置の分解点検とブレーキライナーの交換	<p>ブレーキおよび ジャッキアップ装置 3号機油圧ポンプのフィルターに若干量の油漏れが見られる。 4号機油圧ポンプ系の動作不良は既に修復され良好である。 3・4号機共ブレーキ系は良好である。 3・4号機共ブレーキライナーはあまり磨耗していない。 3・4号機共ブレーキリング面も平滑である。</p>
2.4 永久磁石発電機 (PMG) と機械式速度検出装置との接続部の改修	<p>PMG と速度検出装置 4号機メカニカルスイッチがうまく作動していない、フォトスイッチは3号機が動作不良である。</p>
2.5 記録温度計の不具合修理	<p>温度測定装置 (1) 発電機コイル用 記録温度計は動作不良でうまく打点していない。 埋め込まれた8本/台のサーコイルは3・4号機共健全である。 (PT 0℃ 100 ohmによる計測で休止時 110 ~ 120ohm であった)</p> <p>(2) スラスト、水車メタル用 記録温度計は動作不良でうまく打点していない。 3号機は温度指示は良いが紙送りが不良。 4号機は温度指示・紙送り共不良。</p>
2.6 空気冷却器の点検、清掃	<p>エアークーラー 3・4号機共健全である。 4号機のクーラー出口の風の温度計 (ダイヤル式) は停止時 8個 / 台が 30 ~ 34 度のばらつきを示している。</p>

表 3.1 要請内容の検討

要請項目	現状に対する検討
2.7 軸受の分解点検	<p>スラスト軸受 3号機冷却水管取り付け板のバックイン面から少量の油漏れがある。 3・4号機共メタル上部ブロー機構からと思われるオイルミストにより、発電機の下部エンドベル、下側コイルエンド、鉄心下部に若干量の油脂分が見られる。 負荷時の温度も 56℃と正常である。</p> <p>写真 10 参照</p>
2.8 予備品	<p>予備品 ブレーキシュー 8枚 絶縁キャップ 123個 刷子(コレクターリング用) 約 100個 発電機エアークーラーガasket 1式 ダイヤル温度計 1個 フローメーター(エアークーラー用) 1個</p>
2.9 消火装置	<p>手動操作の水配管で特に問題はない。</p>
2.10 静止形励磁装置	<p>既に修理完了し正常である。</p>
3. 補助機械装置	
3.1 天井走行クレーン	
(1) 主機分解点検開始前の点検	<p>横行するクレーン台への給電ケーブルを支えているローラー付き吊り金具が破損し溶接補修した痕が見られた。クレーン操作用のペンダントスイッチボックスへのケーブル取付部が損傷している。</p>
(2) 100トンクレーンの5トンホイスト用ワイヤーロープの交換	<p>5tクレーンのワイヤーロープは索線切れはないものの濡れが認められた。又横行の制限リミットスイッチが故障しており自動停止ができない状態である。100tクレーンの方は使用していないようであるが、無負荷運転では異常は認められなかった。集電ブラシの機能が低下しており運転中に停電状態になることが報告されている。</p>
3.2 冷却水装置室天井クレーン 冷却水用熱交換器室にあるホイストの電源およびペンダントスイッチケーブルの交換	<p>クレーン操作用のペンダントスイッチボックスへのケーブル取付部が損傷している。</p>
3.3 倉庫天井クレーン	<p>上下限リミットスイッチが故障していて、操作が不能であった。</p>
4. 空調設備	
(1) 換気装置のVベルトの取付	<p>排気ファンはモーター直結型なので内部の点検はできなかった。給気ファンは3本ベルト掛けである。いずれのファンもベルトの伸び緩みが認められた。</p>
(2) エアコンディショナの軸受、Vベルトおよび冷媒の補給	
5. 消火設備 点検・修理	<p>組立室に2箇所、発電機室に6箇所の消火栓が設備されている。ゴムホースは定期的に点検清掃された形跡がなく初期の耐圧を保っているか疑問である。いずれの消火栓もノズルが破損していたり紛失している。又ホースとバルブとの取付金具が損傷しているため有事にホースの取付が迅速に行なえない状態にある。</p>
6. 冷却水給水設備	
(1) 分解点検と予備品調達	
(2) 二次側逆止弁の不動作	<p>一次側冷却水系のチェックバルブが破損している。</p> <p>バックリングその他異常なし。</p>

表 3.1 要請内容の検討

要請項目	現状に対する検討
7. 水位指示計	貯水池、放水路用の受信装置の指示が正確でない。
8. 取水口ゲート、その他 8.1 取水口ゲート	<p>扉体外観および腐食状態 3号機・4号機とも扉体全体に渡って塗膜に欠陥が現われており、防食の機能は失われている。ただし扉体の強度材料そのものには、著しい腐食は見られない。</p> <p>シーブ回転部 シーブはロープの動きに連れて滑らかに回転しており、又ロープ溝の傷やシーブその物の破損も見られない。</p> <p>主ローラー 主ローラー踏面は腐食しているが深い傷はなかった。軸はステンレス鋼を使用しているため、健全な状態を保っている。又、手によってローラーを動かしてみたところ、滑らかに回転したので、軸受けなども健全な状態であると判断される。</p> <p>水密部 3号機・4号機とも側部水密ゴムの敷金物との当たり面が底部水密ゴムのそれより5mm程度浮いている。底部水密ゴムの潰れ代は3mmほどであるので側部水密ゴムと底部水密ゴムとの間隙から漏水することが考えられる。水密ゴムその物は、傷や破損もなく弾性もあることから、水密性を保っているものと判断される。水密ゴム押板の塗膜には欠陥が発生しており、腐食しているが、有害な損傷は見られない。押板止めボルトにはステンレス材料が使用されているので、健全な状態が保たれている。</p> <p>ワイヤーロープ ワイヤーロープの索線切れはいずれのロープにも認められなかった。3号機4号機ともワイヤーロープのグリース塗布が不十分である。特に3号機のワイヤーロープにはロープ内部からの発錆が認められた。</p>
(1) ホイストブレーキの点検	<p>開閉装置 清掃が十分に行なわれていないことを除けば、特に問題になる点はない。ワイヤードラムのロープ溝には発錆が見られた。ギヤや軸受けに対するグリースの給油がなされていない。特にドラムギヤは完全に油切れになっていて、発錆が見られた。ドラムカバーの点検窓が小さいため、点検も給油もやりにくい状態である。4号機開閉装置の左側ドラムのドラム軸受けは破損したために溶接修理した痕があった。 仕様書では巻き上げ速度が1m/minとなっており、巻き下げは常時、非常時とも2m/minとなっている。設計者の意図は、常時巻き下げ時はモーターを駆動して2m/minとし、非常時巻き下げは直流電源でもって電磁ブレーキを外し自重降下を計るものであったことが、5号機の開閉装置を見て推察される。その際巻き下げ速度は、ファンブレーキでもって2m/min+0.5mに収まるように調節される。しかしながら、3・4号機の開閉装置は常時非常時とも巻き下げはファンブレーキで自重降下させる方式を取っており、操作する側には不安を抱かせるものである。</p>
(2) 現場操作盤の不良電気品の交換	<p>操作盤 運転員の報告では、補助リレーのコイルが焼損したので代替部品と交換して、その場しのぎをしているとのことであった。操作盤内に使用されている部品は、高温多湿の環境下で、かなり劣化している。絶縁抵抗値は0.2メガオームであると報告された。 操作盤の扉に使用されている、ラバーパッキンは劣化しており脱落したりしているためシールは全く効いていない。そのため外界との遮断が薄く湿気やほこり、昆虫やトカゲが侵入して、電気品の劣化を促進している。 3・4号機取水口ゲートの製作はスイスのメーカーであるため、操作盤に使用されている部品も欧州製である。従って、交換部品や予備品の調達が困難である。そのためか、状態表示用の指示盤に使用されている、電球が切れても日本製電球が取り付けられないため、そのまま放置されている。</p>
(3) 操作系統の点検・試験、特にリミットスイッチの操作確認と不良品交換	<p>上下限の保護リミットスイッチは調整されていない不動作のまま操作員の監視の元で運転されている。そのため誤操作時には、開閉装置の保護ができない状態にある。ワイヤーロープ緩み保護リミットスイッチは、機構が不適合で完成時から動作しなかったのではないかと推察される。</p>

表 3.1 要請内容の検討

要請項目	現状に対する検討
	<p>運転試験 3・4号機とも全閉から全開および全閉の運転試験を行なった。巻き上げ試験時の電圧は380Vで電流は20Aであった。異常な振動は認められなかった。ギヤも全周で当たっている。軸受け温度にも異常は認められなかった。巻き上げ機械その物は、保守の態さを除いて全般に良好な状態であると判断される。 3・4号機とも漏水が認められた。漏水量は30～40 liter/min程度で、水車内の作業には何ら支障を来たすものではなかった。3号機の方が4号機に比べ漏水量が多かった。</p>
(4) ダム頂部にある分電盤の補修	
8.2 ガントリークレーン	要請項目には明記されていなかったが、関連施設であるので調査に含めた。
(1) 取水口側ガントリークレーン	上下限およびワイヤーロープ緩み保護リミットスイッチが不動作である。又、給電ケーブルの劣化が著しくひび割れが認められた。絶縁抵抗値は0.2メガオームであると報告されている。
(2) 放水口側ガントリークレーン	上下限およびワイヤーロープ緩み保護リミットスイッチが不動作である。
9. 115V 開閉装置 遮断機の分解点検 断路器の点検 計器用変流器の点検 計器用変圧器の点検 避雷器の放電カウンターの点検・修理 接地網への接続箇所の改良 腐食した照明器具の交換 操作ボックスの扉用ガスケット交換	2号主変圧器用操作箱の漏気 頂部よりの漏油 放電電流測定部分の腐食
10. 制御・計測・保護装置 (1) 主配電盤上の温度指示計の点検・較正 (2) 記録電力計の修理・交換 (3) 記録周波数計の修理・交換 (4) 記録電圧計の修理・交換 (5) 積算電力計の較正 (6) 動作表示器の点検 (7) 保護継電器の動作試験 (8) 自動同期検定装置の点検 (9) 記録温度計の修理・交換 (10) 積算運転時間計の交換 (11) 計器の較正 (12) 機側制御盤の電話室扉に対する遮音 (13) 流量計の点検・修理 (14) ケーブル貫通孔の閉塞 (15) 温度検出センサーの接続ケーブルに発生した錆の除去 (16) 蛍光灯の交換	配電盤器具(計器、表示器)に故障しているものがある。

表 3.1 要請内容の検討

要請項目	現状に対する検討
11. 交流・直流補助電源 (1) 蓄電池の点検と不良ユニットの交換 (2) 電解液の液面矯正 (3) 充電器の点検 (4) 直流主回路にある不良遮断器 (MCCB) の交換	電解液槽内に異物が認められる。端子が著しく腐食しているのが散見される。

第 4 章 基本設計

第4章 基本設計

4-1 基本設計方針

現地調査の結果、基本設計の方針として、要請された対象機器の構成要素または部品を下記のように分類する。

- A. 今後使用を継続するために補修（再塗装・再調整も含む）する部分
- B. 現在使用中であるが不具合の程度から見て新品と交換する部分(分解の度毎に交換を必要とするパッキング等の消耗品も含む)
- C. 分解して内部を点検し必要に応じ補修する部分
- D. 予備品の手持ちがないので納入のみとする部分

各機器に関する分類項目は下表の通りである。

分類	A	B	C	D
<u>水車</u>	<ul style="list-style-type: none"> -ランナ -上部吸出管ライナ -ステイリング -スパイラルケース -ディスクチャージング -プロテクトライナ -ボトムリング -3号機軸受潤滑油 -冷却器 -ガイドベーン操作機構 -上部カバー排水ポンプ及び配管 	<ul style="list-style-type: none"> -ガイドベーン -各種パッキング -機械式速度検出装置 -ガイドベーン操作機構のプッシュ -各種ボルト、ナット、ワッシャ、ピン類 	<ul style="list-style-type: none"> -推力軸受潤滑油 -飛沫分離装置 -調速機及び圧油系統 	<ul style="list-style-type: none"> -ガバナモータ
<u>発電機</u>	<ul style="list-style-type: none"> -固定子巻線相間接続銅帯の絶縁 -コレクターリング -温度計測装置 	<ul style="list-style-type: none"> -固定子巻線保持用くさび -各種パッキング類 -コレクターリング刷子 -各種ボルトナット、ワッシャ類 	<ul style="list-style-type: none"> -固定子巻線 -回転子巻線 -空気冷却器 	<ul style="list-style-type: none"> -絶縁材料 -ブレーキライナ
<u>補助機器</u> 冷却水 給水装置 水位指示装置		<ul style="list-style-type: none"> -不都合部品 		<ul style="list-style-type: none"> -各種パッキング類 -予備ポンプセット及び附属品

分類	A	B	C	D
取水口ゲート		-不良電気部品 -現場操作箱 -ダム頂部設置の 分電盤	-ホイストブレーキ	
115kV 開閉装置		-計器用変圧器 -各種パッキング類	-遮断器 -断路器 -計器用変成器 -避雷器	
制御・計測 保護装置	-自動同期検出装置 -指示の不正確な 計器類	-不良計器、表示 器類 -断線ランプ		
補助電源 装置		-蓄電池 -故障部品	-充電器	

4-2 基本設計の策定

策定にあたり、下記の諸点を検討した。

- (1) 水車は所定の公差・精度を確保しなければならないので機械加工を要する部分がある。工場で新製した場合と現地で機械加工を実施する場合との比較において、精密度の確保と加工時間の長短、工作機械の利用（日本から適当な工作機械の持ち込み、持ち帰りを含む）を考慮した場合の技術的・経済的得失を検討した。
- (2) 現状から次回の分解点検の時期までの磨耗・損傷の発生、および進行状況を推定し、補修対象を決定した。
- (3) 磨耗発生の原因と、発電機器の性能に対する影響とを考慮した。
- (4) ナムグム発電所所員の保守技術水準の現状と、その将来の於ける改善の可能性を検討した。

補修計画の基本設計要綱を要請項目と対比して表4.1に示してある。

表4.1 補修計画の基本設計

要請項目	補修計画の基本設計
<p>1. 水車</p> <p>(1) 吸出管ライナの腐食・壊食の補修</p> <p>(2) ステイリングの補修</p> <p>(3) スパイルケースの補修</p> <p>(4) ガイドベーン隙間（ギャップ）の補修</p> <p>(5) ランナベーンの前部キヤビテーション壊食の補修</p> <p>(6) ディスチャージャリング腐食部の補修</p> <p>(7) プロテクトライナの補修</p>	<p>ランナ出口直下のステンレス張り部分は腐食していないので補修は行なわれない。しかし、ステンレス張りの下の吸出管ライナは腐食しているので防食塗装を行なう。ドラフトフィンの下流側にある部分的な壊食は肉盛溶接による補修法を採用する。</p> <p>腐食の程度は比較的軽微であるので溶接補修は行なわれない。凹凸部分を成型して防食塗装を行なう。ボトムリングとの隙間は設計値より広がっているが水車の性能には直接関係がないので、腐食の進行を止める目的で充填剤を詰める。</p> <p>溶接補修を必要としない部分はない。しかし、十分に清掃した後に塗料が剥離した部分については再塗装を実施する。</p> <p>水車1台に20個のガイドベーンが使用されているが、ガイドベーンの間隙を設計値に戻すための補修は機械仕上げを必要とする。工作機械を持ち込み、技能者の派遣を要するうえ、現地工事期間が長くなる為、更新と費用が変わらないことから全数更新とする。</p> <p>分解してランナを外部に取り出して肉盛溶接を実施した後成型する。ステンレス鋼の溶接であるため溶接作業前後の熱処理と溶接作業の管理を厳重に行なう必要がある。溶接補修後には防食塗装を行なう。</p> <p>充分清掃した後、下地処理を行ない防食塗装を行なう。</p> <p>3号機のプロテクトライナの一部に深さ1~2mmの条痕が認められるので肉盛溶接により補修する。</p>

要請項目	補修計画の基本設計
<p>(8) 上部カバーの分解補修と排水系統の補修・清掃</p> <p>(9) ボトムリング端部腐食部の補修</p> <p>(10) ガイドベドベーン操作機構の補修</p> <p>(11) ガイドベドベーンセンサーモータの内部補修</p> <p>(12) 吸出管圧力計の補修</p> <p>(13) 推力軸受潤滑油飛沫分離装置の分解補修</p> <p>(14) 調速機及び圧油系統の分解補修</p> <p>(15) 案内軸受の補修</p> <p>(16) 潤滑油及び調速機圧油の清浄処理</p> <p>(17) 予備品</p>	<p>清掃と塗装を実施する。上部カバーのランナ側は腐食・磨耗部分の補修を行なう。排水系統は汚れが著しいので、分解補修に併せて清掃を行なう。</p> <p>肉盛溶接の必要はないと判断される。腐食部の成型後に防食塗装を行なう。</p> <p>分解補修を行なう。無給油軸受を更新する。各種ブッシュの交換を行なう。</p> <p>手動鎖錠装置が正常に作動していないので分解して再調整を行なう。</p> <p>配管の手直しを実施して漏水箇所を修理する。ストップバルブを更新する。</p> <p>水草ピット内に排気管が設置されているため、油気の原因となっている。配管を更新して排気ピットの外部に導く。排気ブロアの分解掃除と調整を行なう。</p> <p>分解して内部の清掃・補修を行なう。圧油タンクのマンホールカバーの漏油止め補修を行なう。</p> <p>分解して内部の補修・清掃を行なう。主軸封水部のパッキングは交換する。</p> <p>4号機の潤滑油と圧油を採取して分析した結果、交換の必要はない。両油ともろ過処理を行なうこととする。</p> <p>調速機用モータを納入する。</p>

要請項目	補修計画の基本設計
<p>2. 発電機</p> <p>2.1 固定子</p> <p>(1) 固定子巻線、くさび、接続箇所保持部の清掃、ワニスの塗布</p> <p>(2) 固定子の巻線接続部補修</p> <p>(3) 固定子鉄心</p> <p>2.2 回転子</p> <p>(1) 回転子の補修</p> <p>(2) コレクターリングの補修</p> <p>(3) 刷子と刷子保持器</p> <p>2.3 制動機とジャッキ装置の補修</p> <p>2.4 永久磁石発電機及び機械式速度検出装置</p> <p>2.5 記録温度計の不具合修理</p> <p>2.6 空気冷却器の補修</p>	<p>分解補修を行なう。巻き線表面にワニス塗布を行なう。</p> <p>接続部のキャップは、劣化、割れ、変形しているものの交換を実施する。巻線の相間接続銅帯に現在処理してある絶縁処理が不完全なので再処理を行なう。</p> <p>表面にワニスの吹き付けを行なう。</p> <p>分解補修して清掃を行ないワニス塗布を施す。</p> <p>糸痕の補修を行なう。</p> <p>磨耗して長さが規定以下になっている刷子を交換する。</p> <p>空気制動機、油圧ポンプを分解し内部の補修を実施する。ガスケット類は交換する。</p> <p>機械式速度検出装置は3号機用に応急処置を施してあるが、4号機は作動していないので3・4号機共改修する。</p> <p>温度検出装置（サーチコイル）は一部を除き健全な状態であるが、温度計が不良なため温度記録が取れていない。現在設置されている計器は旧型で修理が困難なため更新する。</p> <p>分解補修を行ない清掃する。ガスケット類は交換する。</p>

要請項目	補修計画の基本設計
2.7 軸受の補修 2.8 予備品	分解補修及び清掃を行なう。漏油箇所を修理しガasket類は交換する。 要請に従い納入する。
3. 補助機械装置 3.1 天井走行クレーン (1) 主機分解前の点検 (2) 100トンクレーンの5トンホイストロープの交換 3.2 冷却水装置室天井クレーンのペンダントスイッチの修理	発電機の回転子の吊り上げには、クレーンに最も厳しい加重を課すことになるので、安全を確認するたため機械部分、電気部分の精密点検を実施し、不良部品を交換する。 ワイヤロープの索線が潰れているが切断は認められない。自然磨耗であると判断され、強度的に問題はないので交換の必要はない。 上下方向制限スイッチの故障は修理が容易に行なえるので発電所所員によって補修することとし、本計画には含まない。
4. 空調・換気装置 (1) 換気装置のファン駆動用Vベルト (2) エアコンディショナーの冷媒圧力の低下	主要機器の運転には直接関係はない。発電所内の換気維持は通常の営繕作業に含めるべきであるので、発電所側にて実施する項目として本計画には含まない。 主要機器の運転には直接関係はない。運転員の勤務環境を良好に保つのは通常の発電所側の進めるべき営繕作業の一つであるとの判断から本計画から除外する。

要請項目	補修計画の基本設計
5. 消火装置の点検・修理	<p>発電機や主変圧器には専用の注水式消火装置が設置されており、配電盤開閉装置には化学消火器が配置されている。従って、発電所内の消火装置の保安上の重要性はそれほど高くない。現在、当該消火装置は床洗浄用が散水用の目的に利用されている。ホースやノズルの修理は発電所側で実施されるべきものである。本計画から除外する。</p>
6. 冷却水給水装置	<p>(1) 分解点検と予備品 各部の温度分布、流量から見現在動作状況は全く問題なく、分解の必要はないので実施しない。ポンプのように、その機器の故障によって主要機器の停止にまで到るような重要な機器については、予備品を納入する。</p> <p>(2) 二次側逆止弁修理 現在不動作となっているのが一次側配管系統の逆止弁である。故障が原因で不動作になっているのではなく、人為的に外してあるのが実状である。配管系統図（スイス国コンサルタント、モーターコロンプス社の作成）を技術的に検討したがこの逆止弁の必要性は認められない。従って、この逆止弁の復旧は実施しない。</p>
7. 水位指示計	<p>水位検知部に錆が著しく発生している。既存部品の劣化の状態から、修理しても信頼性を確保できないので更新とする。 受信部の指示の不正確は、計器の精度が低下しているものと判断されるので、受信部を更新する。</p>
8. 取水口ゲート	<p>(1) ホイストブレーキの調整 現在動作が不安定な電磁ブレーキはスプリングの調整が必要である。発電所の所員による調整作業が可能であるので、本計画には含まない。</p> <p>(2) 現場操作盤の不良電気品の交換 錆の発生、劣化程度が著しく修理が困難なので、新たに操作盤を製作し納入する。</p>

要請項目	補修計画の基本設計
(3) 操作系統の点検、リミットスイッチの 操作確認と不良品の交換	リミットスイッチは更新する。操作系統の点検作業は発電所の所員により実施することとする。
9. <u>115kV</u> 開閉装置 (1) 遮断機の分解点検 (2) 断路器の点検 (3) 計器用変流器の点検 (4) 計器用変圧器の点検 (5) 避雷器の点検 (6) 接地網への接続箇所改良 (7) 腐食した照明器具の交換 (8) 操作箱扉のガスケット交換	分解して内部点検を行ない接点部分を清掃する。圧縮空気系統や操作機構等重要部分を再調整する。 主接点部に錆が認められているので清掃する。 端子箱内の点検と、碍子部分を清掃する。 漏油している変圧器は修理が困難と判断されるので新品と交換する。 碍子部分を清掃する。放電電流測定装置は殆ど機能していないこと、又、運用上特別に重要でない ので取外す。 接続端子の腐食の著しいものは良品と交換する。 新品と交換する。 耐久性の高い新品と交換する。
10. 制御・計測・保護装置 (1) 主配電盤上の温度指示計 (2) 記録電力計 (3) 記録周波数計	修理を原則とするが、今後の長期間の使用と新型機種の使用と交換して新品と交換する。 同上 同上

要請項目	補修計画の基本設計
(4) 記録電圧計	修理を原則とするが、今後の長期間の使用と新型機種の使用とを勘案して新品と交換する。
(5) 積算電力計	同上
(6) 動作表示計	同上
(7) 記録温度計	同上
(8) 積算運転時間計	同上
(9) 計器の較正	経年変化の可能性が十分考えられるので較正動作試験、整定値の再確認を実施する。
(10) 保護継電器	同上
(11) 自動同期検定装置	同上
(12) 機側制御盤の電話室扉の遮音対策	新しい遮音材に張替える。
(13) 流量計の点検・修理	流量検出のための水圧感知部は構造が簡単なので故障の発生する可能性は少ない。変換部又は指示部を点検し修理する。現在の指示値から見ても新品に交換するのが適切である。
(14) ケーブル貫通孔の閉塞部修理	小動物侵入や塵埃対策上閉塞部は完全を保つことが必要であるが、この主の作業は発電所の担当者にて遂行可能である。しかし充填材は本計画で供給する。
(15) 温度センサーの接続ケーブルに発生した錆の除去	特殊ケーブルは本計画で供給し、作業は発電所の担当者で実施する。
(16) 蛍光灯の交換	蛍光ランプは交換し器具も点検する。

要請項目	補修計画の基本設計
<p>11. 交流・直流補助電源</p> <p>(1) 蓄電池の点検と不良ユニットの交換</p> <p>(2) 電解液面の矯正</p> <p>(3) 充電器の点検</p> <p>(4) 直流主回路の不良遮断器交換</p> <p>(5) 蓄電池室の換気扉効果</p>	<p>電解液内に析出している異物の発生原因は不明である。全数新品と交換する。</p> <p>電解液は規格品が必要であるが、ラオス国内市場での調達は困難であるので本計画で供給する。</p> <p>機器そのものの温度上昇は低く、電氣的不調は認められない。従って外觀検査のみを行なう。</p> <p>修理不能であるため新品と交換する。</p> <p>蓄電池室の換気は励行する必要があるので新品と交換する。</p>

第 5 章 事業実施計画

第5章 事業実施計画

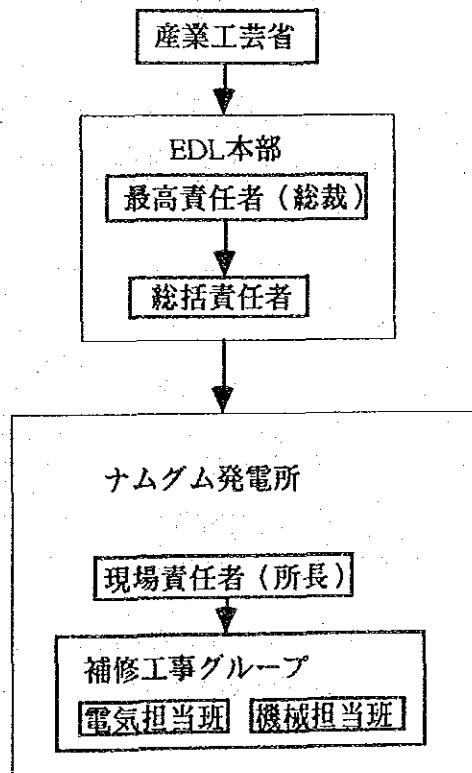
5-1 事業実施体制

本計画のラオス国政府側の実施主体はラオス電力公社（Electricite du Laos、略称EDL）である。EDLは、計画の実施に係わる下記の如き業務について権限が与えられる。

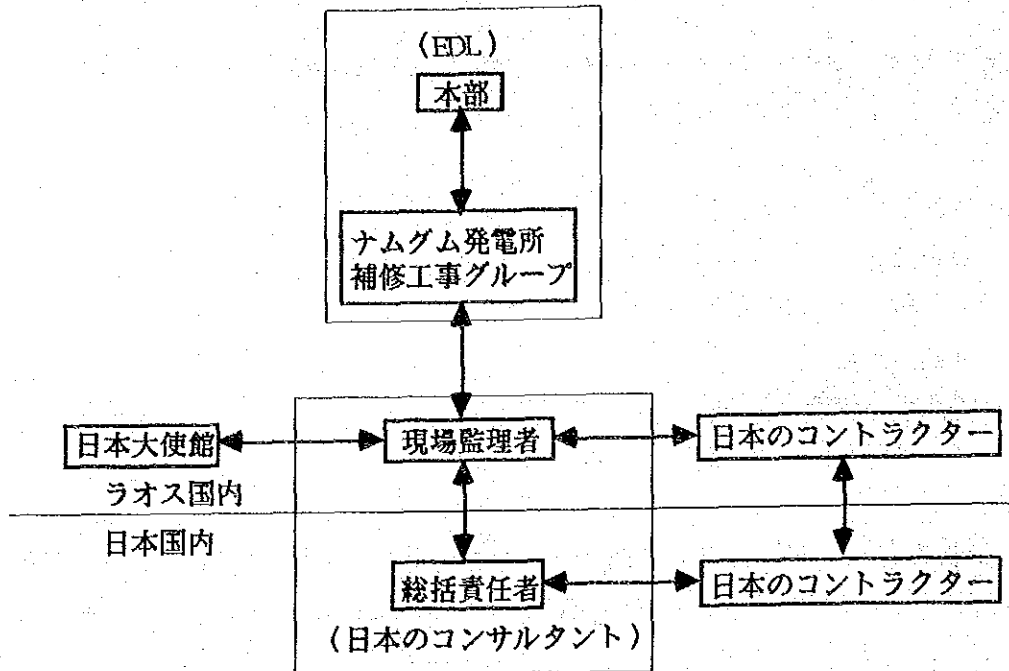
- (1) コンサルタントおよびコントラクターとの契約
- (2) 実施設計および入札書類の承認
- (3) 入札および入札評価
- (4) 支払の承認
- (5) 事業全体の管理
- (6) ラオス国政府関係機関との連絡・調整

上記業務の最高責任者は、EDL総裁（General Manager）である。本計画を円滑に遂行するため、ビエンチャンのEDL本部に総括責任者（Project Manager）を、ナムグム発電所に同発電所所長を現場責任者（Superintendent）とする補修工事グループを設ける。

ラオス国側の実施体制は下記の通りである。



また、本計画を日本の無償資金協力により実施する場合の実施体制は、下図に示す通りである。



ラオス国政府、日本のコンサルタント、日本のコントラクター三者の業務分担について総括すると、以下の通りである。

- － ラオス国政府側は、当計画実施の施主の立場からEDLを実施主体として、実施設計・監理および工事の発注、工事費の支払、完成施設の引き取りを行なう。
- － 日本のコンサルタントは、ラオス政府からの委託を受け、当計画実施のための実施設計、入札書業務、業務選定のためEDLへの協力、工事中の技術的監理、出来高支払の承認、竣工引き渡しに関する試験・検査、関連機関への報告を行なう。
- － 日本のコントラクターは、工事契約後契約書に基づき交換部品の製作、補修に必要な資機材の手配・輸送・現地作業・人員派遣・指導等を行ない、引き渡し前にコンサルタントから必要な立会検査を受け、承認を受けた後に所定の手続きに従ってラオス国政府に引き渡す。

5-2 工事負担区分

ナムグム発電所構内での作業であるため、ラオス国側で費用負担する工事区分は工事用電力供給以外はない。

5-3 施工計画

5-3-1 施工方針

3号機と4号機の内1台を第一期の事業対象とし、もう1台を第二期に繰り伸べる案(期分け案)と、2台を一期の対象に含める案に関して下記のごとく検討した。その結果、本計画は二期に分けて実施するのが妥当であると判断される。

(1) 工程よりの検討

- 水車の補修部品の製作に1台分のみに必要な期間は7箇月であるが、2台分については10箇月を要する。
- 輸送期間は2箇月間とした。
- 準備作業は1箇月をかけて行なう。発電機器を停止して行なう現地作業期間は1台につき5.5箇月間を必要とする。
- 発電機の補修工事は水車部品が到着する前に着手できるので、1台のみの場合は全体工期は12箇月間となる。
- 現地工事の重複期間を4箇月とすれば2台の工程を7箇月とすることが可能である。2台の場合結局、補修用部品の製作期間を含めた全体工期は、15箇月間が必要である。

(2) 事業費よりの検討

- 本事業は機器の分解点検・補修工事であるため、総額の中で占める人件費の割合が機器の新設に比べて大きいという特徴がある。また2台を同時に補修するとしても日本からの派遣人員数は殆ど変わらない。
- 期分け案の場合、第一期と第二期の現地工事費の合計は一期案の場合よりも多くなる。
- 期分け案では3号機と4号機両方に共通して使用されている部分は第一期に含める。従って、補修のための機材費用は第一期の方に多く掛かることになる。

(3) 無効溢流の有無

- 一 現地での本格工事開始直前に貯水池の水位を最低水位まで下げておくとした場合、
渇水年と平均年では期分け案、一期案とも無効溢流は生じないが、豊水年では一期案の場合は溢流が生じる。

1号機から5号機までの発電機器のうち3・4号機の分解補修であるから他の発電機の運転と並行しての施工となる。従って、下記の点の配慮を行なう必要がある。

(a) 発電所内の安全

- 一 組立場（エレクションベイ）から見て、手前より1号機から5号機まで発電機が配置されている。3・4・5号機は発電機のハウジングカバーの標高と発電機室の床面標高が一致しているため、エレクションベイの利用と併せて作業面積は充分である。しかし本計画では、1・2・5号機の通常運転を継続しながら補修工事を実施しなければならないので、運転のための通路と作業場を完全に区別し、安全対策の万全を期する必要がある。

(b) 貯水池と放水路の季節的水位変動

- 一 年によって差はあるが、貯水池と放水路の水位は乾季と雨季で大きく変動する。最高水位と最低水位の差は貯水池では16m、放水路では12mに達することがある。貯水池側の止水は取水口ゲートを全閉し、鋼製角落とし（ストップログ）を設置して二重に行なうので、止水に対して特別な考慮は必要ない。しかし、放水路側はストップログのみでゲートは設置されていないので、水位が高い期間での漏水を最小限に抑えるために、ストップログを設置する際に止水部の十分な調整を行なう必要がある。

5-3-2 施工上の注意

分解点検・補修の大部分の作業は発電所の建屋内、115kV開閉装置に関しては発電所建屋の屋上、取水口ゲートに関してはダム頂部で作業を実施することになるため、第三者的不特定多数の人々に対する考慮、地域的特性、法規上の留意点は特にない。

5-3-3 実施設計と施工監理計画

(1) 実施設計

交換公文締結後コンサルタントは、ただちにEDLとコンサルタント契約を行ない、実施設計に係わる協議を経て日本国内での設計作業に着手する。実施設計および入札関連書類は、入札の前にEDLの承認を得るものとする。

補修工事の各作業は、それに係わる責任の所在によって下記の3項目に分類される。実施設計において作業の責任所在の違いを考慮し、入札関連書類の作成に当たる必要がある。

作業I コントラクターが自己の責任で全作業を遂行する項目

作業II コントラクターの指導によりラオス側が作業を遂行する項目。しかし、指導の不完全により発生する問題に対してはコントラクターが責任を負う。

作業III ラオス側が作業を遂行する項目。この項目に関してコントラクターは一切責任を負わない。

なお、予備品の納入に関しては作業は伴わないものの、引き渡し後1ヶ年の品質を保証することを原則とする。

上述の各分類に含まれる主要作業項目は下記の通りである。

作業I

- (1) 水車本体及び補機に係る作業
- (2) 発電機本体に係る作業
- (3) 115kV開閉装置に係る作業
- (4) 制御盤器具のうち自動同期装置の動作試験

作業II

- (1) 配電盤器具の較正、修理、交換
- (2) 保護、制御継電器の動作試験
- (3) 鉛蓄電池交換

(4) 11kVおよび低圧開閉装置に係わる作業

作業Ⅲ

- (1) 補助機械に係る作業
- (2) 取水口ゲートに係る作業
- (3) ダム頂部設置の配電盤に係る作業
- (4) 22kV開閉装置に係わる作業

(2) 監理計画

機器の分解点検、清掃、修理、交換、肉盛溶接、仕上げ、塗装、組立、再調整等、作業項目は多岐にわたるが、作業範囲がまとまっていること、天井クレーンが利用できること、大規模な仮設備を必要としないこと等を考慮すると、施工上工事が相互に干渉し合うことはないと考えられる。しかし、工程管理には万全を期し、更に品質管理と安全管理に留意する必要がある。

コンサルタントは、常駐監理者として電気・機械設備に広範囲な知識経験を有する技術者を1名派遣し、監理を遂行する必要がある。

5-3-4 資機材調達計画

本事業に必要な資機材は、仮設の木材等をラオス国内で調達する他は、すべて日本において調達することになる。

発電機は西独AEG社製であるので、日本製部品と互換性のないものについてはAEG社製部品を調達しなければならないが、絶縁材料以外の部品はないと判断される。

発電機の分解点検・組立に係わる作業に、問題発生を未然に防ぐ目的で、AEG社の指導員1名の派遣を実現すべきである。

取水口ゲートの現場操作箱の内蔵電気品は劣化が著しく補修の必要がある。現場操作箱はスイス国のチョックワルトマン社製であるため、部品の調達ができず長期間修理交換されないまま放置されている。現場での修理は作業性が悪いため修理費用は新しい操作箱の製作費用より高額となることから本計画では操作箱を更新することとする。また将来の補修を考慮し、ラオス国においても部品調達が比較的容易な日本製の操作箱とする。

5-4 実施スケジュール

図 5.1 に本計画の交換公文締結後の実施スケジュールを示す。

(1) コンサルタント契約および実施設計

本計画は対象が明確であり、従って要求事項も具体的に指示できるので、入札仕様書作成を含む実施設計の期間は、1.5箇月と短くできる。

(2) 入札関連および業者契約

入札期間および審査期間は1箇月を想定した。交渉も含む契約締結に係わる期間はEDL関連の無償資金協力プロジェクトの実例を参考にして0.5箇月とした。

(3) 補修部品の製作

補修部品の製作期間の長短は全体工程に大きな影響を与える。新製する交換部品の中で量的にも最も大きなものはガイドベーンで水車一台あたり20枚である。製作に要する期間は1台分に対して7箇月とした。

(4) 輸送

日本からの補修用資機材の輸送は、バンコクまでの海上輸送と、タイ国およびラオス国内の陸上輸送によって行なわれる。輸送期間はラオス国でのプロジェクトの実例を参考にして2箇月間とした。

西独から調達する物品については、空輸可能の程度のものであるため、特に期間的に勘案しなかった。

(5) 現地補修工事

準備作業期間が1箇月、機器を停止して実施する現地補修工事期間は5.5箇月間である。

5-5 概算事業費

5-5-1 日本側負担事業費

本事業の第一期は約487百万円、第二期は約385百万円の費用を要するので計画実施に必要な日本側の負担事業費総額は約872百万円である。

5-5-2 ラオス国政府負担事業費

ラオス政府負担分は工事用電力のみで推定必要量30,000kWhに対する420,000キップ（円換算値約120,000円）である。

図 5.1 工事工程表

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
交換公文(EN)締結	▲											▽																
実施設計および入札書類作成		■										□																
入札および入札審査			■									□																
工事契約および認証				■											▽													
補修部品の手配および製作					■																							
輸送 (海上および内陸)										■																		
現地補修工事																												

凡例 ■ : 第一期工事 □ : 第二期工事

第 6 章 維持管理計画

第6章 維持管理計画

6-1 維持管理体制

本計画完了後においても、施設の運営・管理を実施するのはEDLであり、直接その任に当たるのはナムグム発電所の所員である。ナムグム発電所の現行組織は、2-3-2項に記載した通りである。

運営に当たる発電所の組織構成及び業務分掌は、1972年以來の運転の経験により定着しており、改善すべき項目は特にない。各構成組織の責任者は第一期竣工以來の経験者が就任しており、日常的な維持管理の範囲では現在のところ特記すべき問題はない。

現地調査の段階での技術部門に関する所見は以下に述べる通りである。

A. 所長の技術的業務

EDL本部との重要事項の連絡・調整、発電所での技術的業務の立案・承認・指示は的確に遂行され、現地調査中には所長の不手際による作業の停滞は全く無かった。副所長（又は次長）の地位がないので来客の応対に忙しく、本来の所長職務遂行に対する影響が懸念される。

B. 運転部門

運転部門は、1当直5名による4班で構成されている。1当直8時間による3交替勤務は、東南アジアでは標準的な体制である。自動運転記録装置は導入されていないので、記録はすべて人手によっている。そのため日常的巡回と計器の指示値読み取り等の作業量からみて、1当直5名の配属員数は適当であると判断される。

発電機器の状況監視・調整、ビエンチャン変電所との連絡、運転日誌記帳等、日常の運転勤務は円滑に行なわれている。また記録も正確に行なわれ、記録済用紙はよく保存されている。

運転の不適切に起因する主機停止は今まで起きていない。

C. 保守部門

(1) 電気部

現地調査の時点では、その年の降水量が記録的に少なかったため貯水池水位が低く、3台の発電機が夕刻のピーク時以外は停止していた。停止時間を利用して発電機・変圧器等の電気機器の清掃が励行されていた。しかし、屋上の開閉装置の停電作業までは計画的に実施されていないため部分的に汚れが目立った。屋内機器に比べて屋外機器に対する保持に改善の余地が見られる。また保守用機器・計器の管理にも工夫を必要とする。

(2) 機械部

現地調査の際、機械担当保守員が行なった点検のための準備作業から判断して、大部分の要員が通常の保守作業を遂行する能力を有しているものと思われる。また命令指揮系統も満足すべき状況であった。しかし、保守用資機材が不十分で人員数との調和がとれておらず作業効率が落ちる傾向がある。今後これら資機材の計画的調達が可能になれば保守作業の効率や精度はかなり向上することが期待できる。

保守作業が臨時的に大掛かりになった場合、運転要員の応援で凌いでいるが、保守の将来を考えると機械部門は10名程度の増員を考慮すべきである。

消耗品・交換部品の調達は項目、数量のつり合いを欠いていると思われ改善が必要である。

6-2 維持管理費

ナムグム発電所の1987年のキップ貨支出実績は約28.52百万キップで、その大部分が人件費であった。一方予備品、交換部品の調達には外貨が割り当てられている。これら外貨分の支出実績は1986年にてUS\$101,256、1987年はポンプなどの緊急調達を実施したためUS\$900,596と増加したが1988年にはUS\$148,918であった。

キップ貨の変動によりナムグム発電所の年間予算額は増加傾向にあるので1988年時には30百万キップを超過していると思われる。

外貨分予算は年間US\$150,000程度であるが、ナムグム発電所の規模および運転状況を考慮すれば、調達物品の項目、数量から判断して少なくとも現在の5倍程度の予算が必要である。

6-3 維持管理要員育成の必要性

ナムグム発電所第一期工事竣工以来、年月の経過と共に経験を有する古参者の数が年々少なくなり、若手所員が増加しつつある。ナムグム発電所は点検のために停止する場合、あるいは1987・88年の如き異常湧水の場合を除き、年間を通じ全発電機が一定負荷で連続運転される。従って、起動・停止や出力調整操作の機会が極めて少なく、運転技術向上のための実務遂行中の研修（On-the-job-training、略してOJT）が実施しにくいとすることができる。また一定負荷での連続運転は機器の疲労が少ないので保守作業の頻度は低く、保守についてもOJTの機会が少ない。若手所員が技術を修得する機会が少ないという問題を解決するための技術指導の必要性は、将来に備え増加してきたと判断される。

第 7 章 事業評価

第7章 事業評価

7-1 事業実施の直接効果

(1) 発電機器の信頼性向上

発電機器、特に水車の経年劣化は、疲労・損傷という形で現われる。特に流水に接している部分は空洞現象（キャビテーション）発生による壊食を受ける。また、水中の土砂および酸素が原因となって、水車は侵食・腐食を受ける。水車の経年劣化は避けられない問題であり、いつ修理するか、また劣化がどの程度進行するまで水車を使用可能かを判断することは、水力発電所維持管理上の重要な課題である。一方、現実には補修の実施の判断基準を明確化することは、難しい問題であるが、一般に累計運転時間が40,000時間または経過年数が10年を越えたところで、分解して内部の点検と補修を行なうという基準が、日本を含め世界で広く採用されている。

水車ランナに損傷を与えるものの一つにキャビテーションによる壊食があり、实例でも発生度数が最も多い。累計運転時間が3号機で約70,000時間、4号機で約65,000時間と、基準値の40,000時間をかなり超過しているナムグム発電所の3・4号水車にも、この壊食が明白に認められた。

本事業を実施することにより、水車に関し下記の問題を解消することが出来る。

- i) 壊食の凹凸がキャビテーションの発生を更に誘発させ、壊食が加速度的に進行し、ランナの破損という大事故が発生する。
- ii) ガイドベーンとボトムリングの隙間の腐食による拡大で、ガイドベーン全閉時の漏水が増大し、入口弁が設置されていないナムグム発電所では水車の停止が困難になる。

他方、水車以外の発電機器は補修を実施することによって、現在既に発生している諸問題を解消することが出来る。

補修を実施することによって、水車の性能は完成直後と同じ状況まで回復し、今後少なくとも10年間は安定した運転が期待できる。他の機器に関しても不良箇所は解消され、水車の状況回復とあいまって、ナムグム発電所はその重要な役割を継続することができる。

(2) 水車効率の改善

キャビテーション壊食を補修することによって水車効率が経験的に2%上昇することが期待できるので3・4号両水車の補修完了後、平均年の年間可能発生電力量が約9,000,000kWh増加する。

この発電量の増分について考察すると、現在、ナムグム発電所付近の村落へは、地方電化の一環として22kV配電線により給電されている。その対象人口は約20,000人(約4,000戸)であり、1988年の供給量が約6,400,000kWhであった。したがって、本計画が実施された場合ナムグム発電所付近の電力消費の割合から推定して、EGATに対する電力輸出に影響を与えることなしに、新規に28,000人強(5,600戸)に対して電力を供給できることになる。

7-2 事業実施の間接効果

3・4号機発電機器の分解補修作業を経験または観察することによって、発電所の所員が研修の機会を持つことが出来、将来所員による独自の分解補修計画の立案と実施に資することが期待できる。

第 8 章 結 論 と 提 言

第8章 結論と提言

8-1 結論

ナムグム発電所は、現在首都ビエンチャン及びその周辺と同発電所の周囲村落の電力需要を完全に満たし、更に目下EDLが推進しているビエンチャン平原の地域電化計画や、バンビエン・ルワンプラバン送電計画の実現によって発生する電力需要に対しても、十分供給できる施設規模を有している。電気の利用は首都圏の住民だけに留まらず、それ以外の地域の住民の間にも広がり、EGATへの電力輸出による外貨獲得とあいまって、ナムグム発電所が担っている役割はますます重要になっている。

要請で取り上げられた3・4号機は、現地調査および国内解析の結果、既に分解補修の早急な実施を必要とする段階に到っており、現況を放置すると機器の疲労・欠陥の程度が拡大し、補修が困難になる可能性があることが判明した。3・4号機の補修の重要性はラオス国政府も十分認識しているが、ラオス国政府の財政の現状から見て、本事業を自己資金で早急に実施することは非常に困難である。この点から、本計画の実施に対してラオス国政府が行なった日本国政府無償資金協力の要請は妥当なものであると判断される。

本計画の実施による効果は、直接的には発電機器の信頼性と性能の回復による安定な電力供給の実現であり、間接的には発電所の所員に電気機器の分解補修に関する実地研修の機会を与えることである。このような効果が期待でき、更に前章で述べたようにラオス国の電力需要の増加を勘案すれば、本計画を実施する意義は極めて高く、日本国政府の無償資金協力の対象として適切な案件であると結論付けられる。

8-2 提言

本計画完了後のナムグム発電所の維持管理体制は、組織として強化の余地はあるが基本的には問題はないと判断される。しかしながら、ナムグム発電所の若年層の指導については、要員のEDL教育機関への一定期間配属、各種マニュアルの活用などの、一般的な指導が日常的に行なわれているものの、技術面における成果は上がっていないようである。従って、維持管理の技術水準を改善向上させるべく、運転および保守要員を対象とした技術指導の強化を提言する。

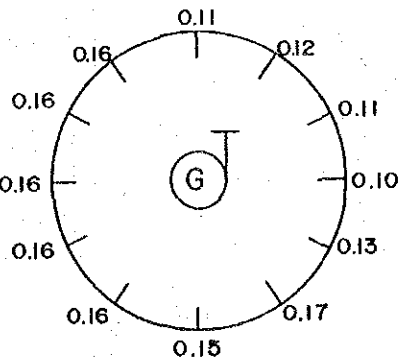
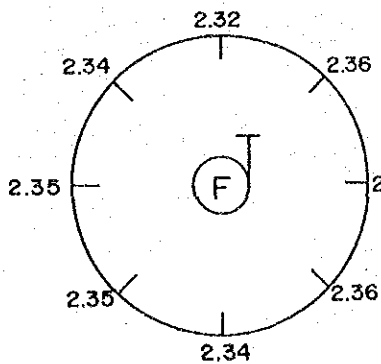
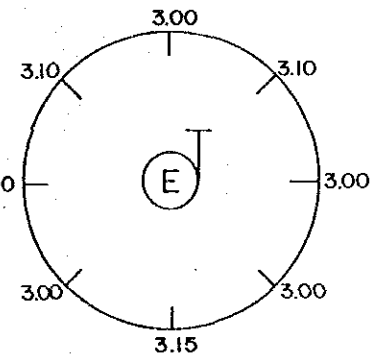
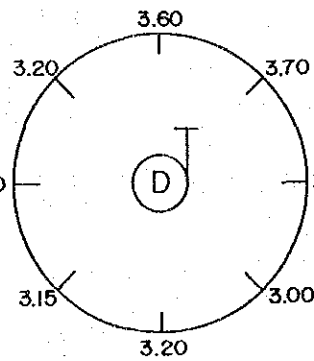
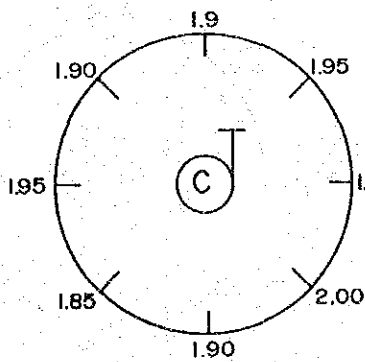
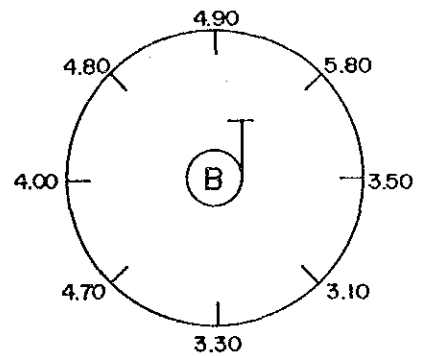
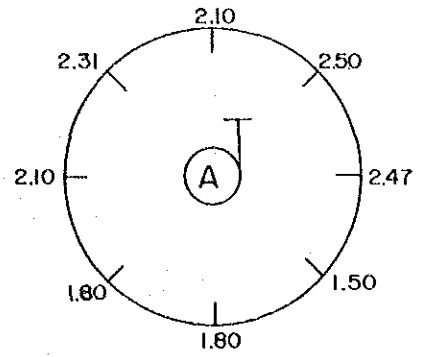
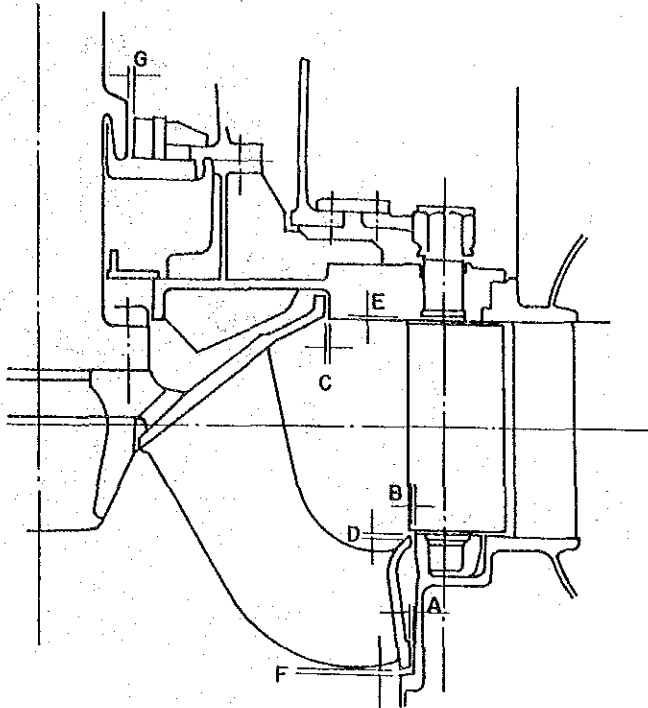
発電機器の良好な状況を長期にわたって継続するため、予備品（交換部品）及び消耗品の計画的な輸入調達ができるように、毎年外貨予算措置が講じられる態勢と制度の確立を提言する。

付表・付図

EDL NAM NGUM	付図-1 3号機ガイドベーン・ランナ間の隙間	14/1/89
-----------------	---------------------------	---------

UNIT : NO.3

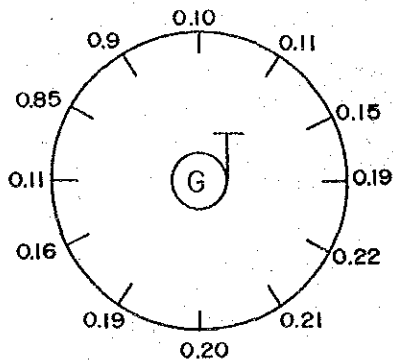
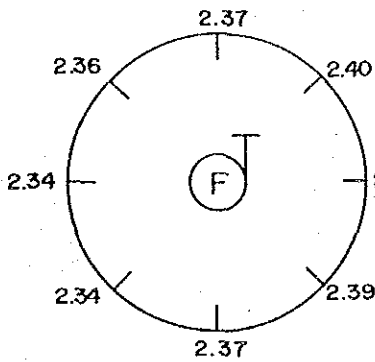
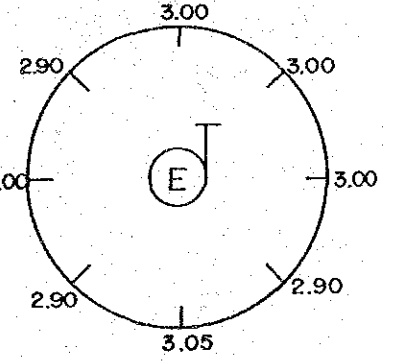
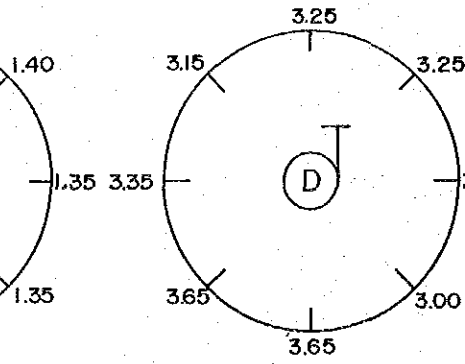
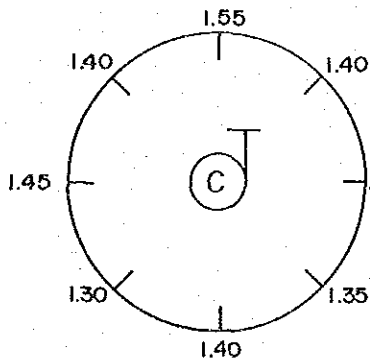
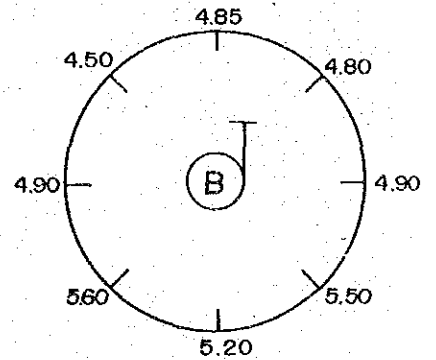
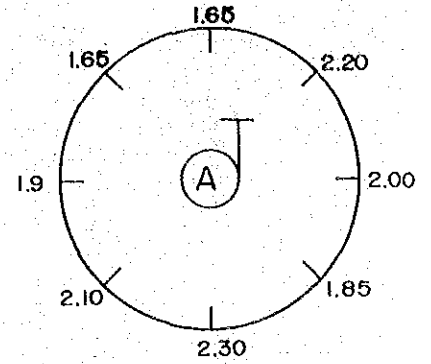
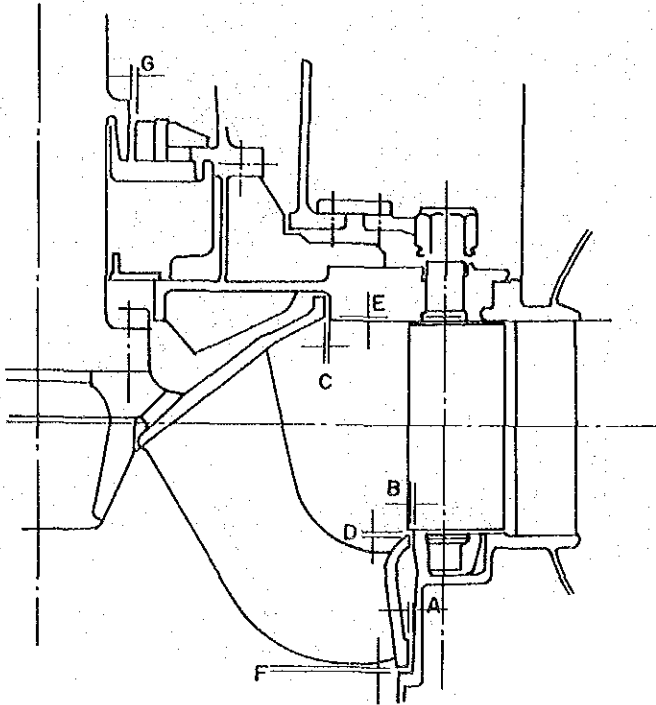
UNIT : mm



EDL NAM NGUM	付図-2	
	4号機ガイドベーン・ランナ間の隙間	19/1/1989

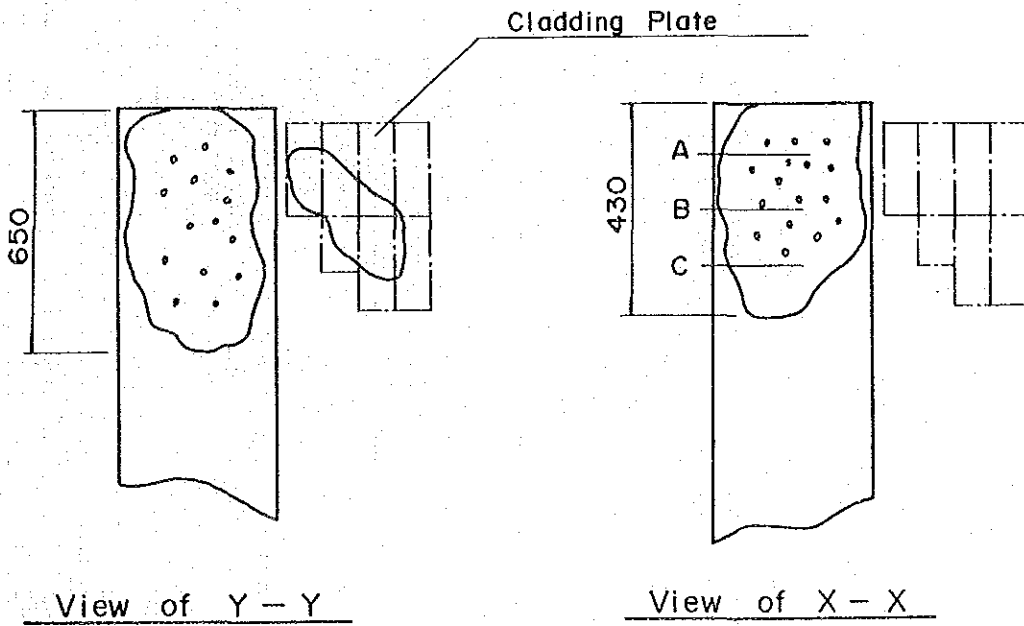
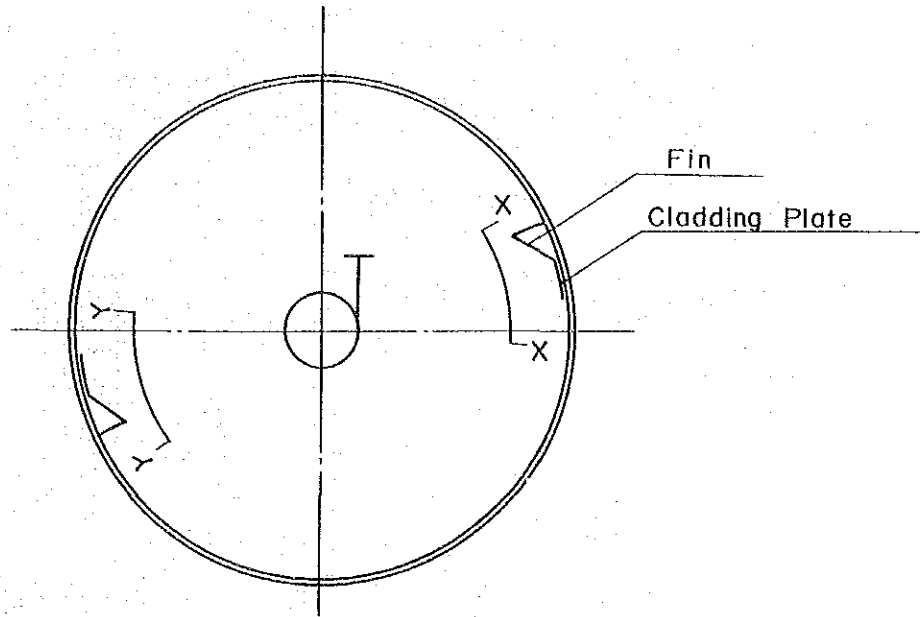
UNIT : NO.4

UNIT : mm

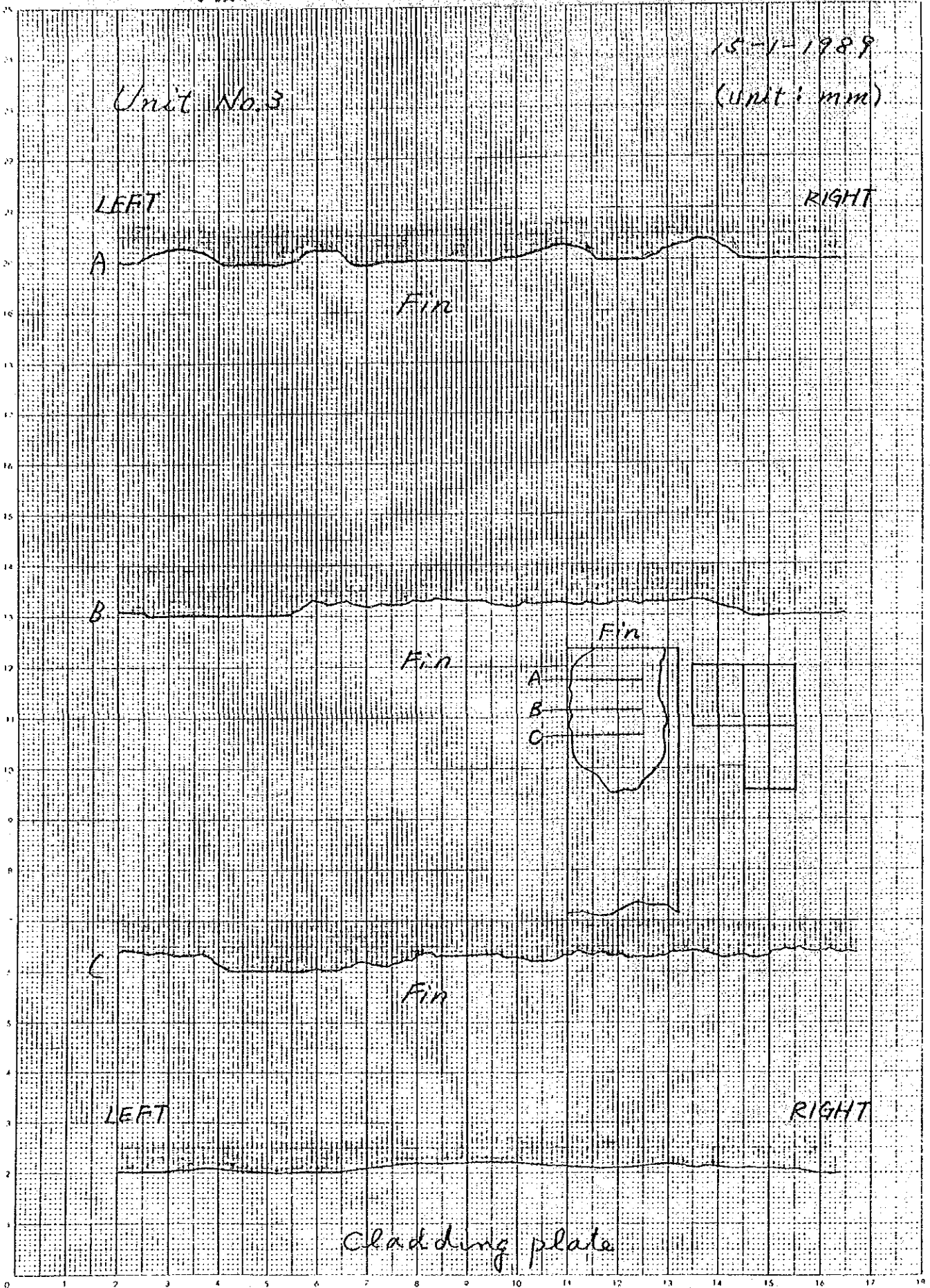


EDL NAM NGUM	付図-3 3号機吸出管フィンの キャビテーション	15 / 1 / 1989
-----------------	-----------------------------	---------------

UNIT : NO.3

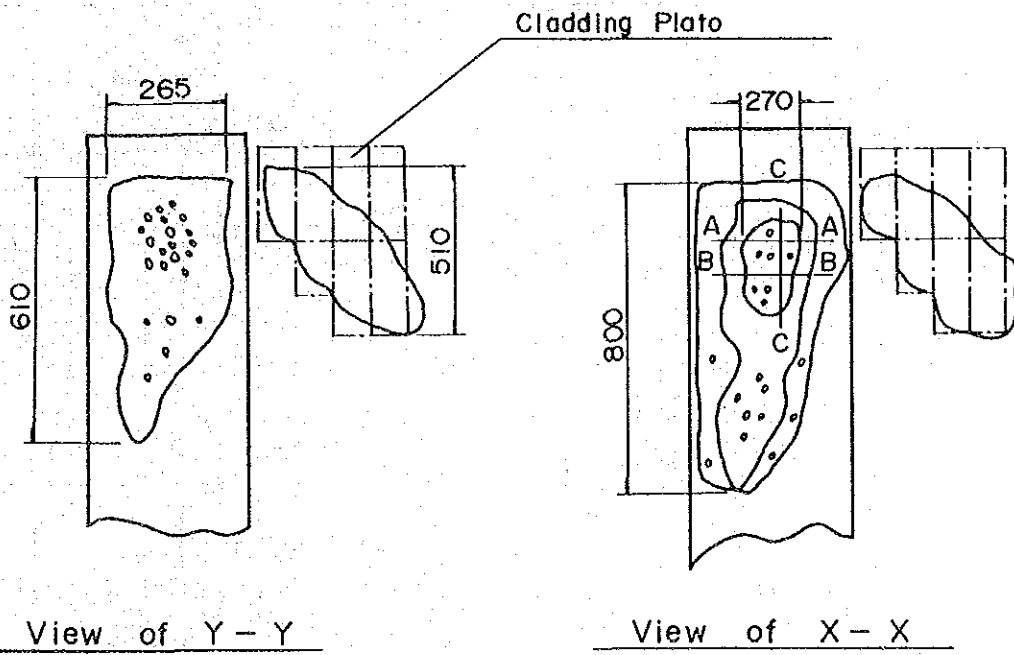
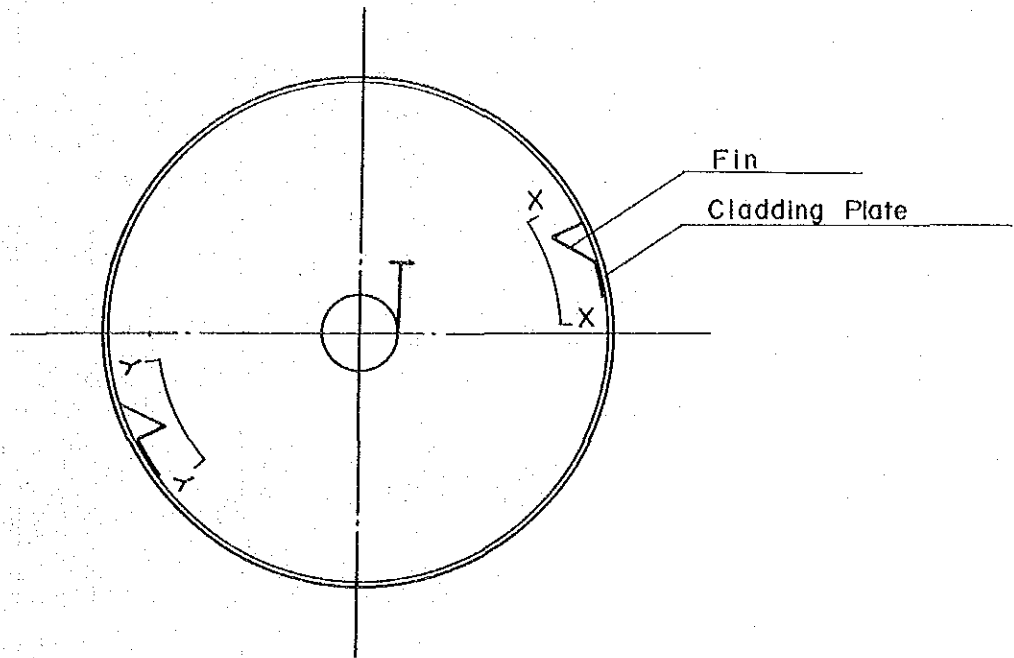


付図-4
3号機ドラフトチューブフィンの腐食および壊食の形状



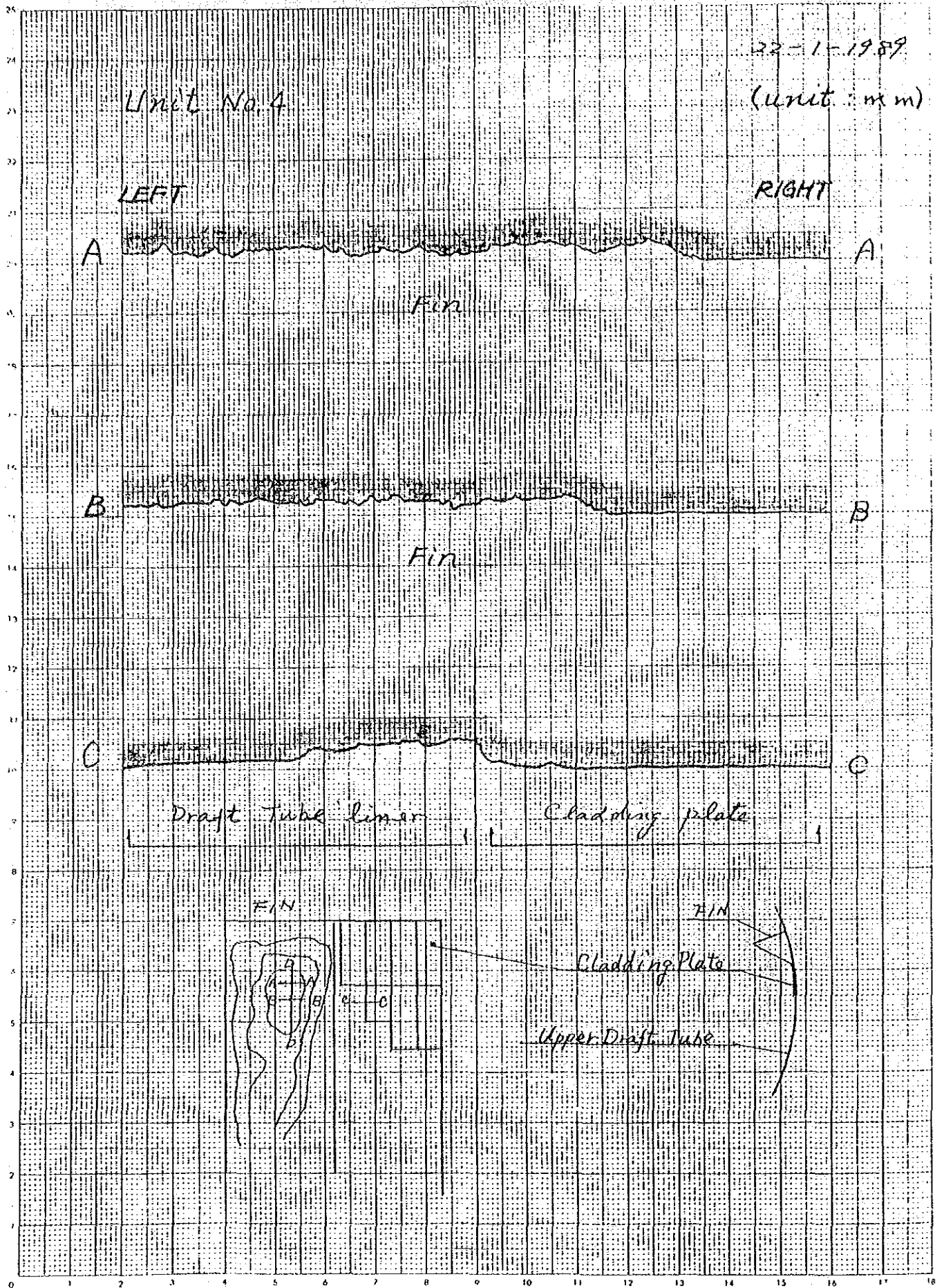
EDL NAM NGUM	付図-5 4号機吸出管フィンの ギャビテーション	24 / 1 / 1989
-----------------	-----------------------------	---------------

UNIT NO.4



付図-6

4号機ドラフトチューブフィンとフィン直下流の腐食および壊食の形状



付図-7

4号機ドラフトチューブフィンとフィン直下流の腐食および壊食の形状

