

国際協力事業団

サンタカタリナ州電力公社

ブラジル連邦共和国

ピラウン滝水力発電開発計画

調査報告書

主報告書

平成6年3月

日本工営株式会社

鉦調資

J R

94 - 073

ブラジル連邦共和国

ピラウン滝水力発電開発計画

調査報告書

主報告書

平成6年3月

国

703
643
MPN

国際協力事業団

サンタカタリナ州電力公社

ブラジル連邦共和国
ピラウン滝水力発電開発計画

調査報告書

主報告書

JICA LIBRARY



1119803(3)

27698

平成6年3月

日本工営株式会社

国際協力事業団

27698

序 文

日本国政府は、ブラジル連邦共和国の要請に基づき、同国のピラウン滝水力発電開発計画調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成5年3月から平成6年1月までの間、3回にわたり日本工営（株）の大沼茂夫氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団はブラジル連邦共和国政府関係者と協議を行うとともに、対象地域における現地調査を実施し、更にフロリアノポリスにおいてサンタカタリナ州電力公社の協力のもとに計画検討作業を進め、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りました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、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ります。

終わりに、調査に御協力と御支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成6年3月

国際協力事業団

総裁 柳谷 謙介

平成6年3月

国際協力事業団
総裁 柳谷謙介殿

伝 達 状

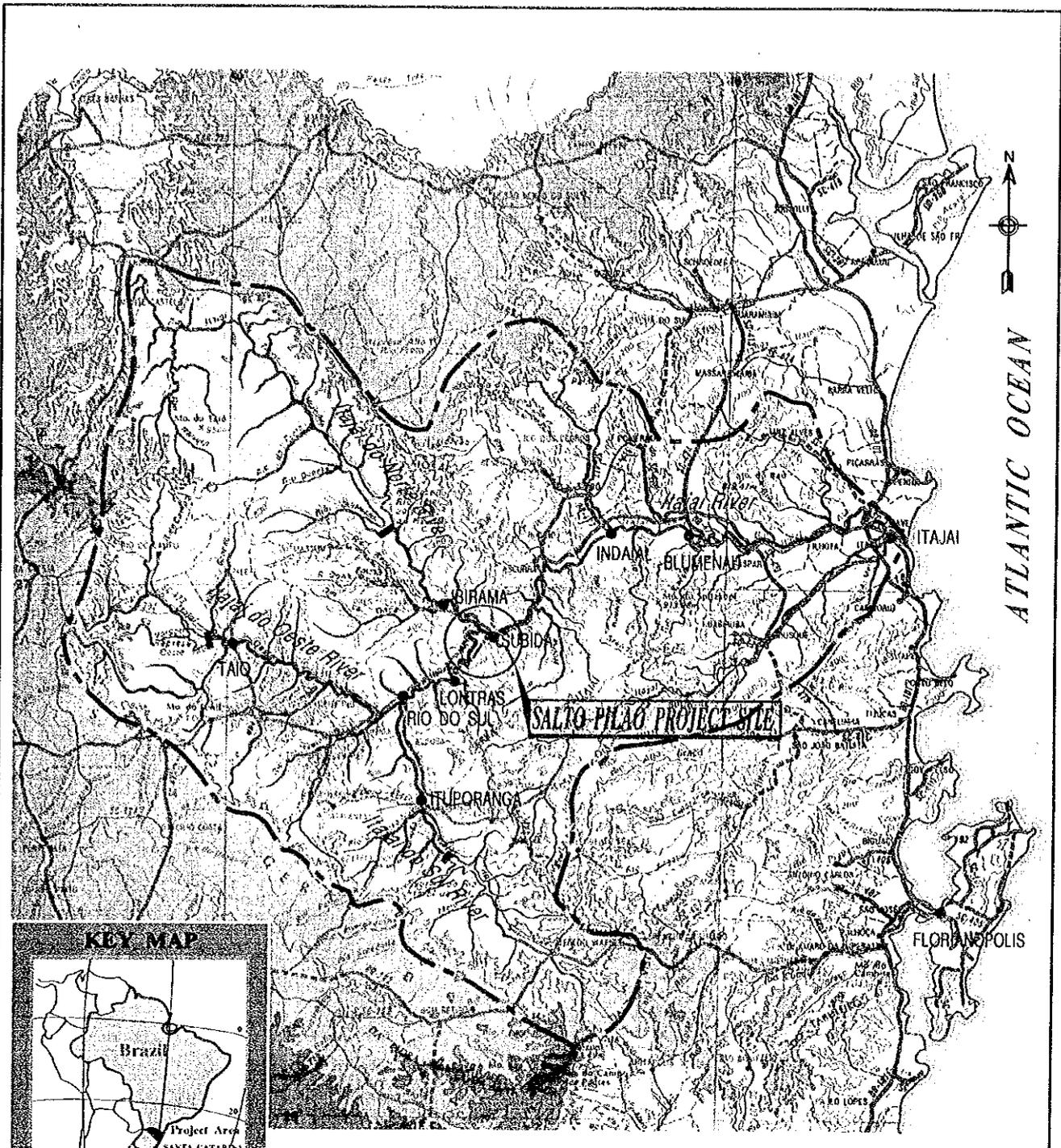
ブラジル連邦共和国ピラウン滝水力発電開発計画調査の最終報告書を提出いたしますので宜しく御査収願います。

本報告書は、ブラジル南部サンタカタリナ州のイタジャイ河中流部での河川急流部により生じる200mに及ぶ落差とイタジャイ河本川流量を利用したピラウン滝水力発電計画についての調査結果を記述しております。現在、サンタカタリナ州は州内の電力需要の95パーセントを他州からの供給に頼っており、将来の電力安定供給のために州内での独自の電源開発が急務となっております。この背景を踏まえ、本報告書では調査結果に基づき設備容量142MWの流れ込み式発電所の開発を提案しております。

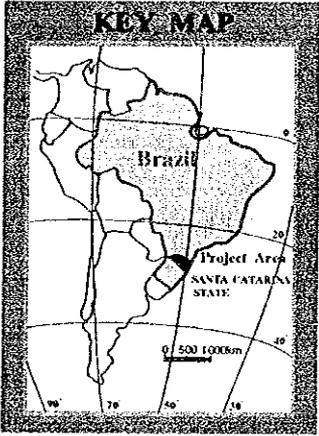
本報告書は要約・主報告書および付属書の3分冊で構成されており、要約には本調査結果の要旨を、主報告書には水文・地質、開発規模策定、設計、環境影響評価、工事費積算、事業評価および工事実施計画等を含む全ての調査結果を、また付属書には補足情報と資料および詳細計算を記載しました。

本報告書を提出するに当たり、全調査期間にわたり多大な御支援と御助言を賜った貴事業団、貴ブラジル事務所、駐ブラジル日本大使館、ならびにブラジル政府諸機関およびサンタカタリナ州電力公社の関係者各位に対し、心からの感謝の意を表するとともに、本調査の結果がブラジルの今後の発展のために少しでも貢献できることを切に願う次第であります。

ピラウン滝水力発電開発計画
調査団長 大沼 茂夫



ATLANTIC OCEAN



Scale



凡例

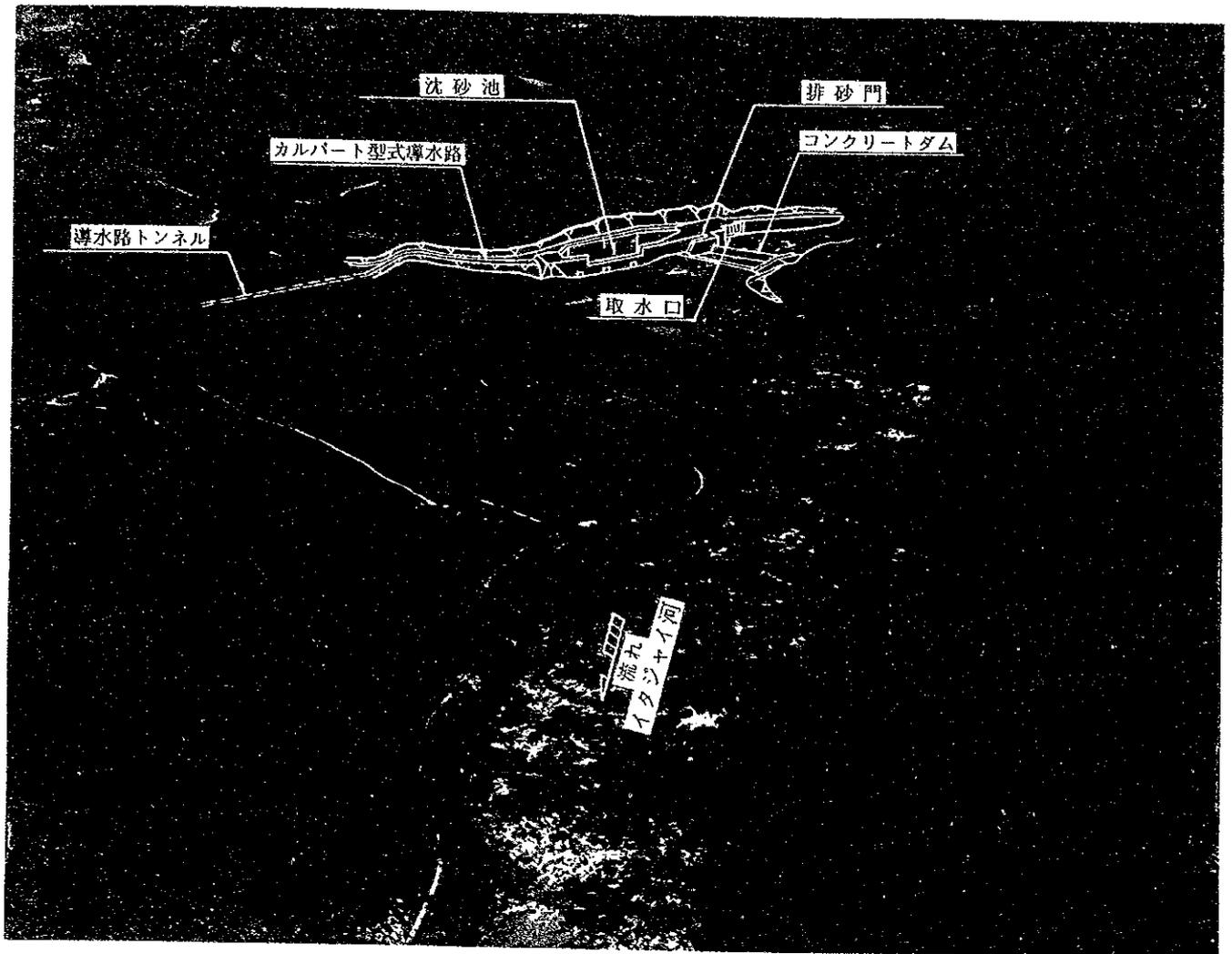


河川

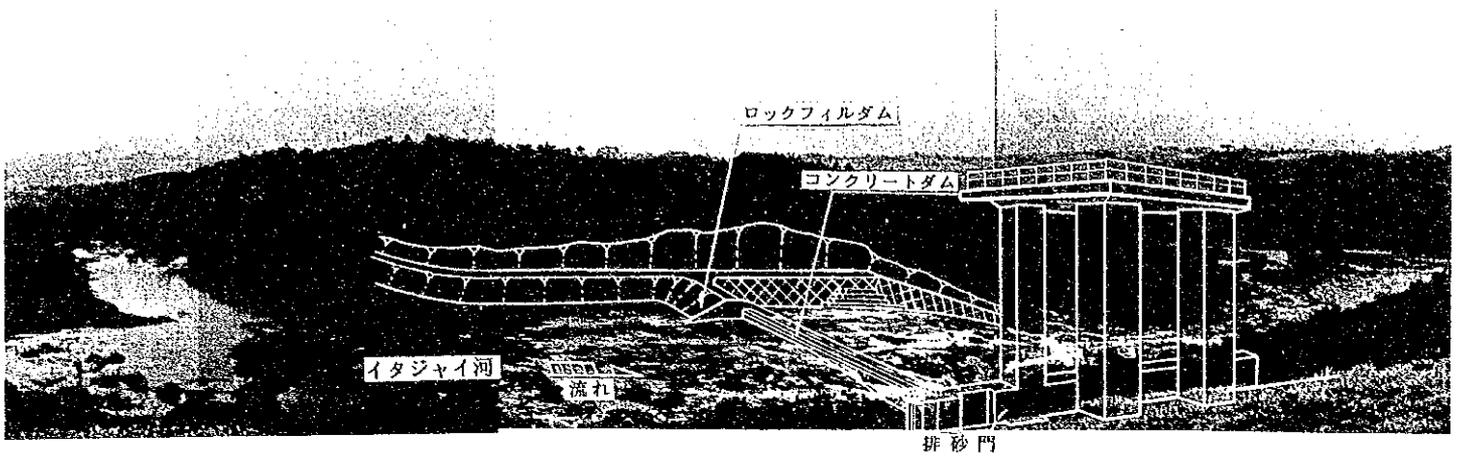


イタジャイ河 流域界

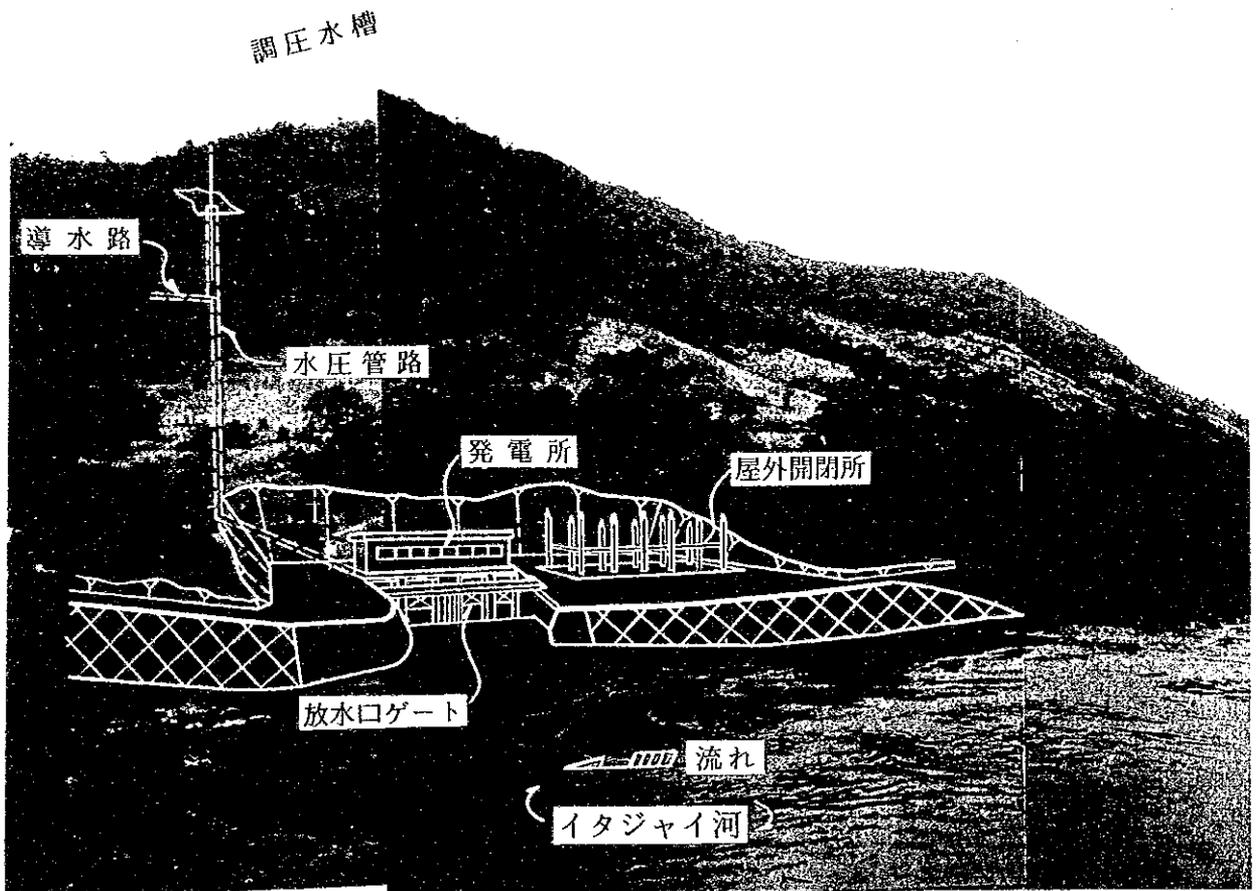
ピラウン滝水力発電開発計画
位置図



1. ダムサイト全景



2. ダム (ダムサイト右岸より)



3. 発電所

ピラウン滝水力発電計画

主 要 諸 元

(1) 位 置

河川名	イタジャイ河
緯度経度	南緯27° 07'、西経49° 30'
所在地地区名	ロントラス、イピラマおよびアビューナ
州名	サンタカタリナ州

(2) 貯水池

水位	常時満水位	標高 319.0 m
	1,000年洪水位	標高 325.0 m
面積	集水面積	5,597 km ²
	貯水池面積 (満水位)	0.16 km ²
貯水容量 (満水位)		280,000 m ³
日調節容量		なし

(3) ダム地点河川流量

多年平均 (1941/90)	108.2 m ³ /s
限界渇水期間平均 (1949.4/1956.11)	86.3 m ³ /s
最小日流量	4.1 m ³ /s
最大日流量	2,499 m ³ /s
最小月平均流量	9.0 m ³ /s
ダム設計洪水量 (1,000年洪水)	5,300 m ³ /s
工事設計洪水量 (2年洪水)	1,100 m ³ /s

(4) 発電所地点河川流況

集水面積	9,041 km ²	
多年平均流量	174.2 m ³ /s	
発電所設計洪水量 (1万年洪水)	12,000 m ³ /s	
水位	最大出力時 (Q _p = 90 m ³ /s)	標高 111.5 m
	平均出力時 (Q _p = 49 m ³ /s)	標高 111.2 m
	設計洪水時	標高 125.0 m

(5) 発 電

最大使用水量	90.0 m ³ /s
多年平均使用水量 (1941/90)	56.3 m ³ /s
渇水期間平均使用水量 (1949.4/1956.11)	49.0 m ³ /s
総静落差	207.5 m
最大損失水頭	28.2 m

渇水期間平均損失水頭 (1949.4/1956.11)	8.7 m
定格有効落差	179.3 m
渇水期間平均有効落差	199.1 m
設備容量	142 MW
年間発生電力量 常時	70.46 MWy = 617.2 GWh
二次	11.08 MWy = 97.1 GWh

(6) ダム及び洪水吐

型式	重力式コンクリートダム (一部盛土式)、 洪水吐はゲートを有しないコンクリート 堰	
全長	301.0 m	
最低基礎標高	307.0 m	
堤頂標高	コンクリート部	325.0 m
	盛土部	326.0 m
最大堤高	18 m	
洪水吐	越流頂標高	319.0 m
	越流巾	200 m
	設計越流量	5,300 m ³ /s
	下流端処理	減勢工を有しない水叩き
排砂門	巾	5.0 m
	敷標高	312.0 m
	ゲート 型式	二段ローラーゲート
	寸法	5.0 m巾×7.3 m高×1門
	角落し 寸法	5.0 m巾×1.8 m高×4枚
工事中の転流方式	半川締切り法	

(7) 取水口

型式	横流入式
入口寸法 (巾×高)	27.3 m×10.0 m
取水敷標高	315.0 m
頂部標高	325.0 m
除塵スクリーン (巾×高×面数)	5.7 m×10.0 m×4
除塵機	機械式 2台

(8) 沈砂池

型式	台形断面水槽 (余水路付き)
連数	3連
寸法 (深×巾×長)	7.5 m×52.9 m×95.0 m
入口制水門 (巾×高×門数)	3.7 m×4.4 m×3
入口角落し (巾×高×枚数)	3.7 m×1.5 m×3
出口制水門 (巾×高×門数)	3.8 m×4.8 m×1
排砂門 (巾×高×門数)	2.0 m×1.0 m×9

(9) 導水路

延長 (カルバート+トンネル)		454 m + 5,638 m = 6,091 m
カルバート	型式	内張管付きコンクリート暗渠
	内径	4.8 m (部分的に5.8 m)
トンネル	型式	吹付けコンクリート巻立て馬蹄形断面 (一部コンクリート円形断面)
	内径	5.8 m

(10) 調圧水槽

型式		制水口型
直径	水槽	17.0 m
	制水口	2.3 m
高さ		42.9 m

(11) 水圧管路

型式		コンクリート巻立て立坑と鋼管埋設水平 トンネル
長さ×直径	コンクリート巻立て部	264.4 m × 4.8 m × 1条
	鋼管埋設部	292.0 m × 4.3 m × 1条 + 31.5 m × 2.5 m × 2条

(12) 発電所

建屋	型式	地上式
	寸法	31.5 m巾 × 57.5 m長 × 43 m高
敷地標高		125.0 m
水車中心標高		107.2 m
主機台数		2台
入口弁	内径	2.5 m
水車	型式	縦軸フランシス型
	定格出力	72.6 MW
	定格落差	179.3 m
	定格回転数	327.3 rpm
発電機	型式	準傘型同期発電機
	定格出力	78.9 MVA
	力率	0.9
	定格電圧	13.8 kV
	周波数	60 Hz
放水口制水門	型式	スライド型
	寸法	3.4 m巾 × 3.1 m高 × 2門
所内クレーン	径間	17.0 m
	吊り容量	200トン
主変圧器	型式	屋外・三相・油入形

昇圧比 13.8 / 138 kV
容量×台数 80 MVA×2台

(13) 費用

総事業費 2.155億ドル (1992年12月基準)
kW当り建設費 1,518ドル/kW
常時電力原価 34.7ドル/MWh

ピラウン滝水力発電開発計画

調査報告書

目次

序文
位置図
写真
主要諸元

	頁
第1章 序文	1-1
1.1 イタジャイ河流域における水資源開発の経緯	1-1
1.2 調査の目的	1-1
1.3 開発の概要	1-2
1.4 調査の構成	1-2
1.5 実施した現場調査	1-2
1.6 調査の進捗状況	1-3
1.7 レポートの内容	1-3
1.7 謝辞	1-3
第2章 要約並びに結論	2-1
2.1 スタディーの要約	2-1
2.2 結論	2-12
第3章 背景	3-1
3.1 ブラジルの地勢的社会的状況	3-1
3.1.1 地勢的状況	3-1
3.1.2 社会的状況	3-1
3.2 サンタカタリナ州	3-2
第4章 既存資料	4-1
第5章 水文	5-1
5.1 イタジャイ川の基本情報	5-1
5.2 気象水文	5-1
5.3 低水解析	5-1
5.4 高水解析	5-2
5.5 流砂量解析	5-3
5.6 水質	5-4
5.7 河川維持用水	5-4
5.8 ダム及び発電所での水位流量曲線	5-5

	頁
第6章 地質	6-1
6.1 地形的特性.....	6-1
6.2 過去の地質調査	6-1
6.3 流域の地質	6-2
6.4 プロジェクト地区の地質	6-2
6.4.1 今回の調査	6-2
6.4.2 岩の分類	6-3
6.4.3 各地点での地質	6-3
6.5 建設材料	6-7
6.5.1 コンクリート用骨材	6-7
6.5.2 盛立材料	6-7
第7章 電力需給の現状	7-1
7.1 電力供給系統と組織.....	7-1
7.2 既存電力供給システム	7-1
7.2.1 ブラジル全国の電力系統	7-1
7.2.2 南部と南東部の電力系統	7-2
7.2.3 CELESCの電力系統	7-3
7.3 電力市場	7-3
7.3.1 電力需要現況	7-3
7.3.2 負荷曲線	7-5
7.3.3 CELESCの電力市場動向	7-6
7.3.4 電力料金	7-6
7.4 電力需要予測	7-7
7.4.1 全体系統の電力需要予測	7-7
7.4.2 CELESC系統の電力需要予測	7-7
7.5 電力需給収支	7-8
7.5.1 電力拡張計画	7-8
7.5.2 電力需給収支	7-10
7.6 水力電源開発の必要性	7-10
第8章 最適規模策定	8-1
8.1 序論.....	8-1
8.2 検討条件	8-1
8.2.1 発電用流量	8-1
8.2.2 河川維持用水	8-2
8.2.3 設計洪水量	8-2
8.2.4 余裕高	8-2
8.2.5 常時満水位上限	8-2
8.2.6 発電運転形態	8-3
8.2.7 経済性評価基準	8-3
8.3 一次スクリーニング	8-5
8.3.1 検討手順及び検討ケース	8-5
8.3.2 比較案	8-5
8.3.3 プロジェクト各要素の設計	8-7

	頁
8.3.4 発電電力量の検討 -----	8-9
8.3.5 各比較案の費用 -----	8-11
8.3.6 ダム軸位置と満水位の最適化 -----	8-11
8.4 二次スクリーニング -----	8-14
8.4.1 一般 -----	8-14
8.4.2 設計見直し -----	8-14
8.4.3 発電計算 -----	8-15
8.4.4 費用見積り -----	8-15
8.4.5 開発規模の最適化 -----	8-16
8.4.6 最適開発計画 -----	8-17
第9章 各施設の最適化及び施設設計 -----	9-1
9.1 一般 -----	9-1
9.2 土木 -----	9-1
9.2.1 ダム及び洪水吐 -----	9-1
9.2.2 取水口及び沈砂池 -----	9-2
9.2.3 導水路 -----	9-3
9.2.4 調圧水槽 -----	9-4
9.2.5 圧力水路 -----	9-4
9.2.6 発電所 -----	9-5
9.3 水門及び水圧鉄管 -----	9-6
9.4 発電関係機器 -----	9-7
9.5 発生電力 -----	9-7
第10章 工事計画及び事業費積算 -----	10-1
10.1 概要 -----	10-1
10.2 工事計画 -----	10-1
10.2.1 基本条件 -----	10-1
10.2.2 工事計画 -----	10-1
10.3 事業費の見積り -----	10-5
10.3.1 概要 -----	10-5
10.3.2 見積り条件 -----	10-5
10.3.3 事業費の構成 -----	10-5
10.3.4 直接工事費 -----	10-5
10.3.5 間接費 -----	10-6
10.3.6 建中金利 -----	10-6
10.3.7 事業費 -----	10-7
10.4 運転保守管理費 -----	10-8
第11章 環境影響評価 -----	11-1
11.1 一般 -----	11-1
11.2 自然・社会状況 -----	11-1
11.2.1 物理環境 -----	11-1
11.2.2 生物環境 -----	11-3
11.2.3 社会環境 -----	11-4

	頁
11.3 予想される環境上の問題点	11-6
11.3.1 物理的環境への影響	11-6
11.3.2 生物環境への影響	11-7
11.3.3 社会環境への影響	11-8
11.4 対策	11-11
11.4.1 物理環境	11-11
11.4.2 生物環境	11-12
11.4.3 社会環境	11-12
11.5 環境保全計画及び計測計画	11-13
11.5.1 設計施工上の留意点	11-13
11.5.2 その他環境保全計画	11-14
第12章 プロジェクト評価	12-1
12.1 一般	12-1
12.2 経済評価	12-1
12.3 財務評価	12-2
12.4 発生原価とkW当たり建設費	12-4
第13章 工事実施計画	13-1
13.1 工事実施体制	13-1
13.2 工事実施計画	13-1

付表リスト

	頁
表 5.1	ダム地点での月平均流量-----T 1
表 6.1	地質調査一覧表-----T 2
表 6.2	日本の岩質区分-----T 3
表 6.3	ブラジルの岩質区分-----T 4
表 6.4	室内岩質試験結果-----T 5
表 8.1	一次スクリーニング比較案一覧表-----T 6
表 8.2	各比較案の設備容量及び発生電力量-----T 7
表 8.3	常時満水位の経済比較-----T 8
表 8.4	二次スクリーニング比較案事業費一覧表-----T 9
表 10.1	用地補償費一覧表-----T 10
表 10.2	環境保全費一覧表-----T 11
表 10.3	費用項目「その他」の内訳-----T 12
表 10.4	事業費内訳（米ドル表示）-----T 13
表 10.5	各工事単価の内貨・外貨構成比-----T 18
表 11.1	移転家屋補償対象地及び移転人口一覧表-----T 19
表 12.1	経済分析の為の年度別費用・便益表-----T 20
表 12.2	財務分析の為の年度別収支表-----T 20
表 12.3	借款返済分析表-----T 21

付図リスト

	頁
図 1.1	プロジェクト近傍位置-----F 1
図 1.2	全体作業フロー図-----F 2
図 1.3	作業工程表-----F 3
図 5.1	予定ダム地点での日流量図-----F 4
図 5.2	予定ダム地点での流況曲線-----F 8
図 5.3	予定ダム地点での洪水波形-----F 9
図 5.4	イタジャイ川流域内外の既存ダムの設計洪水量比較-----F 10
図 5.5	発電所地点の水位流量曲線-----F 11
図 6.1	イタジャイ河縦断面-----F 12
図 6.2	プロジェクト地点の航測図化範囲-----F 13
図 6.3	イタジャイ川流域地質図-----F 14
図 6.4	プロジェクト地域内地質図-----F 15
図 6.5	トンネル・ルート沿い地質断面図-----F 16
図 6.6	ダム地点地質平面図-----F 17
図 6.7	ダム軸 B、C、D 地質断面図-----F 18
図 7.1	南部／南東部系統のピーク電力需給予測-----F 19
図 7.2	南部／南東部系統の電力量需給予測-----F 20
図 8.1	比較案の全体配置図-----F 21

図	8.2	発電使用水量流況図	F 22
図	8.3	電力発生状況図	F 23
図	9.1	導水路ルート比較案	F 24
図	9.2	全体平面図及び、縦断面図	F 25
図	9.3	ダム及び取水設備全体平面図	F 26
図	9.4	ダム、縦断面図及び標準断面図	F 27
図	9.5	取水口及び沈砂池、標準断面図	F 28
図	9.6	導水路、平面図及び標準断面図	F 29
図	9.7	調圧水槽及びベンストック、平面図、縦断面図及び標準断面図	F 30
図	9.8	発電所、平面図及び断面図	F 31
図	9.9	放水路、縦断面図及び標準断面図	F 32
図	9.10	屋外開閉所、平面図	F 33
図	9.11	単線結線図	F 34
図	10.1	工事用道路及び施工設備位置図	F 35
図	10.2	ダム転流工、平面図及び標準断面図	F 37
図	11.1	流域内沿海自然林保護区位置図	F 38
図	11.2	貯水池湛水影響範囲	F 39
図	11.3	工事設備位置図	F 40
図	13.1	プロジェクト実施組織図	F 41
図	13.2	プロジェクト実施全体工程	F 42
図	13.3	プロジェクト工事工程表	F 43

略語表

(1) 機関名

JICA	日本国際協力事業団
ACARESC	サンタカタリナ州農村信用組合
CASAN	サンタカタリナ州上水道衛生管理事業団
CEDEC	市民保護協会
CELESC	サンタカタリナ州電力公社
CEPA	サンタカタリナ州農業経済計画院
CIDASC	サンタカタリナ州農業開発統合事業団
DNAEE	国家水利電力局
DNER	国家高速道路局
DER	地方高速道路局
DNOS	国家衛生管理局
ELETRORBRAS	ブラジル電力公社
ELETROSUL	南部電力公社
EMATER	農村拡張技術支援機関
EMBRAPA	ブラジル農業畜産調査機関
EMPASC	サンタカタリナ州農業畜産調査機関
FATMA	環境保護技術財団
FGV	ジェットリョ・バルガス大学財団
GAPLAN	企画開発委員会
GCPS	電気システム計画機関
IBDF	ブラジル森林開発院
IBGE	ブラジル地理統計院
IBRD	世界銀行
ITAG	経営管理技術院
MA	農業省
MDUMA	環境技術都市開発省
PORTOBRAS	ブラジル港公社
SAMAE	自治都市上下水道管理機関
SUDEPE	漁業開発庁
ITAIPIU BINATIONAL	ブラジル国とパラグアイ国に確立された、パラナ川の イタイプ水力電源開発の実施機関

(2) 単位

Length

mm	: millimeter
cm	: Centimeter
m	: meter
km	: kilometer

Area

cm ²	: square centimeter
m ²	: square meter
ha	: hectare
km ²	: square kilometer

Volume

cm ³	: cubic centimeter
l	: liter
M ³	: cubic meter
MCM	: million cubic meter

Weight

g	: gram
kg	: kilogram
ton	: metric ton

Derived Measure

m ³ /sec	: cubic meter per second
---------------------	--------------------------

Money

Cr\$: Cruzeiro
US\$1	: US dollar
¥	: Japanese Yen

Time

s or sec	: second
min	: minute
hr	: hour
yr	: year

Electricity

Hz	: Hertz
kV	: Kilovolt
MVA	: Megavolt Ampere
kVA	: Kilovolt Ampere
MW	: Megawatt
kW	: Kilowatt
MWy	: Megawatt year
GHh	: Gigawatt hour
MWh	: Megawatt hour
kWh	: kilowatt hour
V	: Volt
W	: Watt

Others

%	: percent
°C	: degree centigrade
10 ³	: thousand
10 ⁶	: million
10 ⁹	: billion

(3) 為替レート

Official rate as of December 1992 : US\$ 1 = Cr\$ 11,163.33 = ¥ 120

(4) その他

GDP	: Gross Domestic Product
GRDP	: Gross Regional Domestic Product
GVA	: Gross Value Added
VA	: Value Added
PV	: Production Value

(5) 既存調査報告書

Power Study - 1969	Power Study of South Brazil, Aug. 1969 - UNDP/Canaimbra
Itajai F/C Study - 1977	Master Plan on the Itajai River Basin Flood Control Project, Jan. 1988 - JICA
Lower Itajai F/C Study - 1990	Feasibility Study on the Flood Control Project in the Lower Itajai River Basin, Mar. 1990 - JICA
Hydro Inventory Study - 1991	Master Plan and Pre-feasibility Study on the Itajai River Basin Hydroelectric Power Potential inventory project, Oct. 1991 - JICA

第1章 序 文

1.1 イタジャイ河流域における水資源開発の経緯

イタジャイ河流域は、その河川中流部で急勾配を有する特異な河川縦断形状をなしている。この急勾配の約10 km区間の河道部で、200 m以上に及ぶ落差が形成されている。この落差とイタジャイ河の本川流量を利用したピラウン滝水力発電計画検討が、イタジャイ河に隣接するカノアス河からの流域変更発電計画案の一部として、現地コンサルタントによって1963年に最初の調査が行われた。その後、1966年にブラジル南部の総合電力調査の一環として、UNDPの下で、再検討が開始され、現地調査及び計画検討に基づくカノアス河流域変更発電計画として、1969年に報告書が提出された。

一方、イタジャイ河流域での洪水氾濫による被害を減少すべく、流域治水計画マスタープランスタディ、ブルメナウーガスバル区間及びイタジャイ市を含むイタジャイ下流部の治水計画に関するフィージビリティスタディが、1986年3月より1990年3月に亘り、JICAにより実施された。その後、1990年6月から1991年10月にかけて行われたJICAのイタジャイ河流域包蔵水力調査において、ピラウン滝水力発電計画が、流域の豊富な発電潜在能力を開発する最も有望なプロジェクトとして挙げられた。

ブラジル連邦共和国政府は、日本政府に対してピラウン滝水力発電開発のフィージビリティ調査を推進する為の技術支援を要請した。この要請を受けて日本政府は、1990年9月22日に両国がブラジリアにて調印した技術協力協定に基づき、この調査を実施することを決定した。日本政府の対外技術協力推進機関であるJICAと、この調査の協力実施機関であるCELESCはフロリアノポリスにおいて調査の実施範囲について協議し1992年12月15日最終合意を得た。この合意に基づき、JICA調査団は、1993年3月から13ヶ月に亘るフィージビリティ調査を実施した。

1.2 調査の目的

本調査の目的は、既に1991年10月に終了しているプレフィージビリティ調査の成果を踏まえ、当プロジェクトに関する本格的なフィージビリティ調査と設計業務を遂行することである。更に、本調査を通じ、ブラジル側カウンターパートの専門家に技術移転を図ることも、もう一つの目的である。

1.3 開発の概要

当プロジェクトは、図1.1に示すように、ブラジル南部サンタカタリナ州の中央東部を流れるイタジャイ河の中流部に位置する。このプロジェクトは、ロントラス市の下流からイタジャイ河とその支流イタジャイノルテ河との合流地点下流までの約200mの自然落差を利用して水力発電潜在能力を開発するものである。その為、ロントラス市下流約10km地点に、高さ18mのダムを建設し、イタジャイ河の水を右岸に設ける約6kmの導水トンネルに通し、イタジャイノルテ河との合流地点の約5km下流にあるスピダ村に設けられる発電所で、142MWの発電を行うものである。

1.4 調査の構成

本調査は、予備調査・現場調査及びフィージビリティ調査の3段階に分けられる。全体の作業の流れを図1.2に示す。

予備調査の段階では、フィージビリティ調査及び設計の為の準備作業を行った。これにはプレフィージビリティ調査で策定された計画の見直し、ELETROBRAS/DNAEE/CELESCとの協議を通じて使用する水力発電計画規準の確認、現地踏査及び予備環境調査、電力需給調査、社会経済調査、その他、計画に必要な情報の収集が含まれた。

現場調査の段階では、地形調査、地質調査、流砂量調査を行った。地形調査では航空写真に基づくプロジェクト地域の図化を行った。地質調査ではダムサイト・水路・発電所及び予定原石山においてボーリング調査を実施するとともに、室内岩石試験を行った。流砂量調査は、ダムサイトの約4km上流地点のイタジャイ河の水を採取し、室内試験で分析した。

フィージビリティ調査の段階では、調査に必要な一連の検討と設計作業が行われた。それには、水文調査、環境調査、電力需給調査、最適開発規模策定、主要構造物の設計、建設工程/工事費の見積もり、プロジェクトの評価及び工事実施計画等が含まれている。

1.5 実施した現場調査

現場調査として地形調査、地質調査及び流砂量調査が行われた。地形調査では、プロジェクト全域63 km²を対象範囲とする縮尺1:5,000の地形図、及び縮尺1:2,000のダムサイトと発電所の地形図を航空写真図化によって行った。地質調査では、ダムサイト・ベンストック・発電所及び原石山において、全長300mのコアボーリング調査を実施し、採取した岩石を用いて室内岩石試験を行った。流砂量調査は、ロントラス市の下流において、全20回の採水を行い濃度分析を行った。

1.6 調査の進捗状況

本調査を、予備調査、現場調査及びフィージビリティ調査に分けて実行した。1993年3月の予備調査では、プレフィージビリティ調査で策定された開発計画の見直し、現地踏査、必要な資料収集を行うとともに、ELETROBRAS/DNAEE/CELESCの専門家とブラジルの計画設計基準について協議を行い、調査検討項目の具体化、詳細作業計画及び技術移転計画を立案した。1993年5月から7月の現場調査では、地形調査及びコアボーリングと室内岩石試験を含む地質調査、更に流砂量調査を行った。1993年6月より計画地域の地形地質・水文学的調査の結果及び環境インパクト評価に基づき、施設設計・工事費積算・経済評価・工事計画等を含む一連のフィージビリティ調査を実施した。これらの作業の進捗を図1.3に示す。

1.7 レポートの内容

本報告書は、3分冊より構成されている。第1部は要約報告書、第2部は主報告書、第3部はこれに対する付属報告書となっている。要約報告書は、現地調査及びこれに基づくフィージビリティ調査の要約が述べられている。第2部の主報告書には水文、地質、電力需給の現状、計画諸施設の適正規模を決定するための最適化検討、施設設計、工事計画及び工事費積算、環境影響評価、計画の経済的、財務的妥当性及び工事実施計画等が述べられている。第3部の付属報告書には、現地調査、フィージビリティ調査のための基本計画検討及び解析及び施設設計等の詳細が記載されている。

1.8 謝辞

当計画の調査期間全般に亘り協力を頂いた関係各省の担当者に対し、深く感謝の意を表する次第である。特に、この調査の受入れ機関であるCELESCによる数知れない支援協力に対し謝意を表すると共に、現地調査において当調査団に協力頂いた現地関係各省の方々にも、深く感謝する次第である。

第2章 要約並びに結論

2.1 スタディーの要約

各分野の検討結果を以下に要約する。

(1) 水文

水力発電計画の基礎資料となる、低・高水解析と流砂量解析を実施し以下の結果を得た。

- (i) 低水解析に於いて、予定ダム地点での日平均流量を、計画ダム地点上流約20kmに位置するリオ・ド・スル水位観測所の流量記録と計画ダム地点の集水面積比を基に算定した。1941年1月から1990年12月までの平均流量は、 $108.2\text{m}^3/\text{s}$ である。
- (ii) 高水解析は降雨資料を用いた流出量解析を行い、いくつかの確率再起年の洪水波形曲線を算定した。解析に使用した流出モデルは、1978年、1980年、1983年及び1984年の大洪水記録と降雨を基礎に確立した。算定された予定ダム地点でのピーク洪水量は、以下の通りである。

再起期間 (年)	ピーク洪水量 ($\text{m}^3/\text{秒}$)	備考
2	1,600 (1,100)	() は、スル及びオエステ・ダムでの貯留効果がある場合を示す。
10	2,600 (2,500)	
100	3,600	
1,000	5,300	
10,000	7,400	

- (iii) 掃流砂、浮流砂及びウォッシュロードを含む流砂量と河川流出量の相関を求める為に、流送砂量調査を、1993年6月から7月の2ヶ月間、計画ダム地点の上流約4kmに位置するロントラスの吊橋で実施した。この結果を基にして、過去のJICAの調査によって得られた流量に対する流砂量の相関式の本プロジェクトへの適用可能性を確認した。この相関式に50年間の日平均流量を適用し、年平均流砂量が $247,000\text{m}^3/\text{年}$ と見積もられた。

(2) 地質

今回の調査に於いて、予定ダム地点・サージタンク・ベンストックライン・発電所並びに原石山での10孔のコアボーリング（合計300m）と現場透水試験を実施した。導水トンネルに対しては、以前実施されたコアボーリング資料を参考にした。更に岩盤の物理特性確認の為に室内岩石試験を実施した。

- (i) ダム地点として3本のダム軸代替案が考えられた。これらは、上流から下流へ向かってB・

C及びD軸と名付けられた。ダム軸Cは、1991年の調査で選定したダム軸に一致する。他のB及びD軸は、それぞれC軸に対し約500mほど上下流に位置している。コアボーリング調査はC軸にのみ計画した。これはB軸においては過去の調査で既にボーリング調査が実施済みであり、D軸はC軸の地質条件にはほぼ同じと見込まれた為である。C軸は、花崗岩が河床に露頭しているが両岸斜面には見当らず、ボーリング調査結果によれば、両岸は強風化花崗岩層を含む土被りが深く、岩盤線は河床から地山内部に向かって僅かに上昇しているだけである。

- (ii) 導水トンネルは、それぞれのダム軸によって長さが5.5から5.9kmに変わる。流紋岩内を通る延長約100mの下流終点部分を除いて、トンネルの大部分は花崗岩内を通る。過去のボーリング調査と地質踏査結果によれば、節理の多い流紋岩ゾーンを除いて断層の徴候は見つかっていない。坑口部と沢横断部及び流紋岩ゾーンを除いて花崗岩ゾーン内の導水トンネルはコンクリート巻立ての省略が可能と考えられる。
- (iii) 発電所予定地域では、流紋岩がサージタンク直下の急崖面と河岸縁に露出している。ベンストックルート上でのボーリング調査によれば、土被りは最大で約25mで、川側へ向かってゆるやかに薄くなっている。その下の風化流紋岩層は、最大厚さ約10mで発電所付近では約6mであり、この下に新鮮な流紋岩が存在する。
- (iv) プロジェクト地域内での河床砂礫堆積は非常に少ない。砂分を含む河床堆積物はブルメナウに至る約85kmの河道中にはほとんど見当たらず、ダム予定地付近の原石山を利用するのがコンクリート骨材を得る最も実際的な方法として、考えられる。コアボーリング調査を、ダム軸Bの上流約1kmと下流約3kmに位置する2ヶ所の原石山候補地について行ない、それぞれの有効量は $12万m^3$ と見積もられた。

(3) 電力需給現況

- (i) イタイプ発電所が連結されている南/南東部電力網及び電力網は、ブラジル最大である。この電力網の合計設備容量は45,000MWで、その電力量生産は1992年において198,000GWhである。CELESCの送配電線は、サンタカタリア州に設置されたELETROSULの変電所を介し、南/南東部の送電系統にリンクしている。CELESCは州内の電力需要に対する供給の100%を担っている。1992年時点で、CELESCが所有し管理している既設電力供給施設は、合計73MWの12ヶ所の流込式発電所であり、この施設による発電量は、州全体の電力需要の僅か5%にすぎず、不足分は主にELETROSULおよびイタイプ発電所よ

り買電している。CELESC系統内で必要な電力エネルギーは、年平均6.7%増加し、1983年の4,360GWhから、1992年の7,798GWhと増えた。しかしながら、CELESC自身が発電した発電量は、増加していない。

- (ii) CELESC系統が含まれる南部電力網は、規模では南/南東部電力網の約1/5である。南部電力網に於ける消費者への配電は、4つの州の配電会社により担われており、1992年に此等の会社により売電された電力は31,850GWhであり、その比率は工業分野が40%、家庭用が27%であった。CELESC系統内の消費者数は急速に伸びており、この10年間で、特に、工業分野の伸びが2.8倍、家庭分が1.8倍と著しい。
- (iii) 最近の22年のCELESC系統の日負荷率の変化を調査したところ、一日の内2つの負荷ピーク（夜間の高ピークと日中の低ピーク）があり、一日の負荷率は65%から81%の間で変動する。最近10年のピーク需要は序々に増加しているが、年間負荷率は1970年の55%から1990年の65%へと改善されていることが分かった。
- (iv) ELETROBRASの「10ヶ年計画」中に示された州単位の需要予測を基に、南/南東部電力網に於ける2003年迄の年間電力需要を算定した。この予測によれば、需要は年平均成長率4.8%で伸び、1992年には33,000GWh、2003年には52,500GWhに達する。CELESC系統の電力需要は年平均成長率4.5%をもって、1992年に1,360GWh、2003年に2,220GWhに達すると予測されている。
- (v) 南/南東部電力網に於けるピーク電力と電力量の将来的需給バランスを、ELETROBRASの電源拡張計画を基に検討したところ、計画中の全プロジェクトが予定通り実現された場合、供給能力は将来10年の需要に対しては十分な予備力を有すると考えられる。しかし、多くのプロジェクトが資金、および環境問題によりその開発に遅れを生じている。CELESCは、所有発電施設の規模が極めて小さく、所要の電力の大部分を他の電力会社から買わねばならない為に、電力不足に陥り易い状況にある。新規発電プロジェクトの開発の減速によるCELESCの将来の電力不足を解消し、電力供給の安定化を計る為に、CELESC自身の発電設備を新たに投入することが不可欠と考えられる。

(4) 最適規模策定

最適開発規模策定においては、それぞれ次の3項目に関し、数種の代替案を考慮し、それぞれ組合せて検討した。

—ダム地点の選定

一常時満水位を含むダム規模

一発電所の設備容量

- (i) ダム軸選定には3本の比較案を考慮した。ダム軸Cは、1991年のプレフィージビリティ調査時に選定された位置に一致する。ダム軸Bは、ダム軸Cの上流約500mにある滝の直上流に位置し、ダム軸Dはダム軸Cの下流約500mに位置する。最適なダム軸の選定には、それぞれ2つのケース、即ち、ピーク発電運転に対応できる調整池を持たせるか、持たせないかを基に行った。同時に次の5項目 (i) 常時満水位 (FSL)、(ii) 最大使用流量、(iii) 調整水容量、(iv) 調整池堆砂量、並びに (v) 洪水時流量のパラメーターを加味した。常時満水位設定については、ダム軸Bで2ケース、ダム軸C及びDでそれぞれ3ケース、合計8ケースの異なる常時満水位を考えた。発電規模設定においては、ダム下流側の河川に7.2m³/秒の河川維持用水を確保する条件の下で、6種の最大発電使用水量を考えた。此等の組合せにより合計48の代替案を検討し、それぞれのダム軸での、各常時満水位、各運転形式における暫定的な最適使用水量を求めた。この検討中で、調整池容量は低いダムの場合は零とし、高いダムについては60%の負荷率で3時間ピーク運転に必要な水量を確保できる容量とした。洪水吐は、1,000年確率洪水を安全に放流できる自然越流型洪水吐とした。調整水池内の堆砂は年間123,000m³の流入流砂量を考慮した。導水路トンネルに対しては吹付けコンクリート巻立ての適用、調圧水槽に対しては単動式、発電所に対しては2基の発電機器の設置等を仮定した。
- (ii) 次に各ダム軸での最適常時満水位は、暫定的に求めた最大使用水量90m³/秒を用いて、それぞれの工事費、発生電力量及び発電便益を算定した。調整池を有する場合、調整池なしの場合に比べ流入量が発電可能水量より下回った場合でも調整池に貯った水を利用することにより、運転が可能となるため発生電力量が増加するが、ダム高が高くなること、調整容量確保の為、流入し堆砂した砂の処理にかかる費用が大きくなる。比較検討の結果、どのダム軸に対しても低いダムが経済性が高いとの結論を得た。その結果以下の6ケースが、次の検討対象と考えられた。

ダム軸	最適常時満水位 (m)	
	調整池付	調整池なし
B	319	324
C	310	315
D	305	310

- (iii) 上記6ケースについて計画検討の評価基準である常時電力原価を算定した。この結果、調

調整池有、無しの両ケースともB軸が最も経済性が高い事が明らかとなった。B軸での調整池有、無しの両ケースについてさらに解析の精度を上げて、常時電力、発電便益、工事費及び常時電力原価を検討した。その結果、調整池付の場合の工事費は、調整池なしのケースに比べ12.8%増加するが、常時電力の増加は5.8%に止まり、その結果、常時電力原価が7.8%増加する。これは調整池付の発電案が調整池無しのケースに比べ経済性の面で劣る事を意味する。従って本計画では、調整池なしのベース負荷発電計画案を採用した。

- (iv) 採用された調整池なしのBダム軸案に対し、最適発電規模決定のため、6つの異なる最大使用水量を用いて検討を行った。この結果、最適発電規模として最大使用水量 $90\text{m}^3/\text{秒}$ 、発電容量142MWが選定された。

(5) 発電施設の最適化と施設設計

- (i) 最適規模検討結果に基づき、発電諸施設の最適化を土木施設機器関連施設及び発電機器等について実施した。土木施設においては、ダム、洪水吐、取水施設、導水路、調圧水槽、水圧管路及び発電所を検討した。
- (ii) ダムと洪水吐は、ゲートなし洪水吐をもつコンクリートダム案、ゲート付き洪水吐をもつコンクリートダム及びロックフィルダム案の3案に関して検討を行った。この結果、巾200mのゲートなし洪水吐を有する全長301m、高さ18mのコンクリートダム案が採用された。
- (iii) 取水施設は、土砂吐施設、取水施設及び沈砂池より構成される。検討の結果、巾5m高さ7mのゲートを有する土砂吐、巾5.7m高さ10mのスクリーン4面を有する取水施設、及び3連の水槽をもつ巾52.9m長さ190mの沈砂池がダム軸右岸に計画された。
- (iv) 導水施設については、導水方式としては無圧トンネル案と圧力トンネル案の2案が考えられ、経済的見地より圧力トンネル案が採用された。トンネルルートはダム地点と調圧水槽を直線で結ぶ最短ルートが考えられるが、このルート上に2本の沢が交差しており、横断方法として、カルバート型の水路が採用された。トンネル延長は約6,200mであるが、このうち約90%は堅固な花崗岩中を通過するためコンクリート吹付け巻立て工法を適用し、残りのトンネル部についてはコンクリート巻立て工法を適用した。経済性より最適なトンネル径が検討され、コンクリート吹付け巻立て断面は5.8m、コンクリート巻立て断面では4.8mとした。
- (v) 調圧水槽には、17mの内径を有する制水孔型を適用した。調圧水槽から発電所までを結ぶ

圧力導水路は、1条の長さ174mの垂直管路と長さ414mの水平管路を計画した。発電所に連続される水平管路の内発電所側の324mには内張り鉄管を配置し、鉛直管路を含む残りの部分は内径4.8mの鉄筋コンクリート巻立てを計画した。内張り鉄管路の内径は4.3mであり、これは発電所直上流で分岐管により内径2.5mの2条に分岐する。

(vi) 発電機器の台数については、最大使用水量、合成効率、計画発電停止による発電ロス、計画外発電停止による発電ロス、工事費及び渇水時の発電不可能な期間等より検討を行ない、その結果、2台案が採用された。発電所の型式については、地上式案と地下式案の2案の検討が行われ、経済性より地上式案を採用した。発電所地点については、プレフィージビリティ調査で提案された地点とこれより約400m下流地点の2案が検討されたが、主として環境上の観点より、上流案を採用した。計画された発電所は、長さ58.5m、巾31.5m、高さ43.5mの建屋となっている。

(vii) 発電機器類として水車・発電機・変圧器等を一般計画基準及び最適規模検討結果に基づき検討した。設計された機器類の諸元は、次の通りである。

水車 : 縦軸型、単輪、単流、フランス型定格出力72,600kWの水車2台

発電機 : 三相、縦軸、準傘型、交流同期機、定格出力78,900kVA発電機2台

主変圧器 : 屋外式三相、二巻線、油入形 2台

容量138KVの2回線送電線がブルメナウ〜リオドスル間の2回線送電線よりT分岐する予定であり、当発電所と連結する事が計画された。

(6) 工事計画及び工事費積算

(i) 当計画の主たる工事は、コンクリートダム・取水施設・導水路トンネル・調圧水槽・水圧管路及び発電所等の土木工事、ゲート・水圧鉄管・発電機器等の機器工事に大別される。コンクリートダム工事は、河川の半川締切り工法により2乾期にわたり実施予定である。延長約6kmの導水路トンネル工事は、発破工法により掘削、その延長の殆どをコンクリート吹付け工法で覆工するものとする。水圧管路のうち立坑は、下からレイズクライマーによりパイロット坑を掘り、その後、所定の寸法に掘削拡大しコンクリート巻立てを行う。ゲート・鉄管等の機器類は、土木工事終了後に設置する。発電機器は、所内クレーン設置後据付工事を実施する。

(ii) 工事費は、1992年12月の為替レートUSS1 = Cr\$11,163.33 = ¥120を基に、ELETROBRASの工事積算様式に従って積算した。算定された工事費は、215.5百万US\$である。一方、国

際融資機関からの借り入れを考慮して、工事費を見なし外貨分と内貨分に振り分けた。
算定された外貨相当額は、105.3百万USS、内貨相当額は110.2百万USSである。

(7) 環境影響評価

本環境影響評価では、提案されている計画諸施設によって将来起るかもしれない自然及び社会環境への影響を予測すると共に、環境の悪化を防止するための方策についての提案を行った。

将来予想される環境上の問題点の確認

(A) 物理的な環境への影響

- (i) 景観；調圧水槽の建設と原石山の開発及びダム地点下流8kmに位置する小規模な島の上に建てられた保養地への河川流量減少の影響等を検討した結果、景観への影響は中程度と考えられる。ダム地点においては、貯水池面積も極めて小さく、現在の急流河川より緩流河川へと変化させるので、景観上はプラスとなると考えられる。
- (ii) 地形；イタジャイ河流域で一般的に見られるゆるやかな丘陵の広がりを見せる景観に比べ、当開発地点は急な河岸が多くその様な特徴を有していない。河川沿いの原石山の開発は、山腹の景観をある程度悪化させる可能性がある。計画されている貯水池の面積は16haと小さく、ダムの上流約800m程度冠水させるのみで、湛水による影響は殆ど考えられない。
- (iii) 土壌；貯水池地域の土壌の殆どは丘陵地性のもので、農地には適しておらず、牧草地として利用されている。従って土壌への影響は、殆ど考えられない。発電所地点も農耕地として適しておらず、計画実施による影響は殆ど考えられない。諸施設の建設に伴う掘削土の土捨場は、主として牧草地及び草地の傾斜部に予定されており、この地域には商業上及び学術上の価値の高い動植物は殆どないと報告されている。
- (iv) 水質；工事期間中は、工事に伴ない河川水の汚濁の増大と下流部集落への影響が考えられるが、現況の河川が上流部での工業用水により既に汚濁されている状況を考えるとその影響は大きいとは考えられない。ダム地点とノルテ川合流点間での工業活動はなく、居住地も存在しない。
- (v) 鉱物資源；計画実施による鉱物資源への影響は、考えられない。
- (vi) 道路；工事实施により約18本の工事用道路が必要とされるが、その殆どが既存の道路の利用である。但し、工事用に供するため拡幅、補強等を要する。これらの改修により、既存道路へもたらすマイナス要因は考えられない。

(B) 生物への影響

- (i) 植物群；当計画地点は、国の規準による環境保護区域の外に位置しており、貯水池地点の植物も二次性のものである。その上、水没地面積が極めて小さい為、その影響も小さい。ダム地点～ノルテ川合流部間は、植生がなく、荒廃している。発電所地点は、急傾斜地で岩が露頭しており植生は二次性のものである。調圧水槽地点では、植生の伐採が進んでいる。計画地点全体に亘り、特に注目すべき水棲植物は、存在しない。したがって、本計画実施に伴う影響は、ほとんどないと考えられる。
- (ii) 動物群；計画された貯水池の延長は約800mで、その間で現在の急流河川は緩流河川へと変化する。貯水池の水深が浅いため水温の階層化は予想されず、貯水池による富栄養化現象は、考えられない。一方、魚類の上下流への周遊現象を示す記録はない。鳥類はごく一般的なものでも貴重種は存在せず、計画による森林地区への直接的影響は考えられないため、鳥類への影響は極めて少ないものと考えられる。
- (iii) 希少及び保護すべき動・植物群；当計画地点は、国による環境保護区外にあり、しかも既に荒廃している。このため、希少及び保護すべき動・植物群は見当たらない。
- (iv) 問題とすべき慣習；上記理由により、当計画地区内では、動・植物群に対し問題とすべき慣習は報告されていない。
- (v) 野生動物；同様の理由により、計画地区内には野生動物地区の存在は報告されていない。
- (vi) 商業上考えられる動・植物群；商業上考えられる動植物の一つとして魚類があげられる。貯水池の形成により魚類の増加、これに伴う釣り人口の増加が考えられる。これは、計画に伴うプラス要因と考えられる。

(C) 社会環境への影響

- (i) 土地；ブラジル環境評議会では、貯水池外100mまでのベルトゾーンの設置を義務づけており、貯水池の出現により、その周辺の土地約4haが収用される。これらの外辺ベルトゾーン、取水施設、発電所および土捨場等を含む地区での補償物件は、家屋数23軒、土地面積100haとなっている。発電所地点では、集落化が進んでおり、家屋の移転を含め集落での経済活動への影響、工事中の交通量の増加に伴う工事騒音の影響等が考えられる。ダム地点～ノルテ川合流部間での観光及びリクリエーションへの影響は考えられない。乾期の下流への流量減少は逆に、ダム地点より8km下流の島の上に建てられた保養地の水

辺の活用につながり、プラス要因となるものと考えられる。

- (ii) 人口；工事に伴ない雇用機会が増大し、約400人の新規雇用人口が予想される。
- (iii) 歴史文化的遺産；特にめばしい歴史文化的遺産は見当たらないが、既に廃線となっている鉄道のトンネルを今後歴史的遺産として維持する事が望ましいと考えられる。
- (iv) 水利用；当計画地区での農業用への水利用は、ダム上流部の一部地区を除き殆どなされていない。ダム地点～ノルテ川合流部間沿岸部は、急傾斜地で岩が露頭しており家屋は存在せず河川水の利用はされていない。但し河岸頂部に数軒の家屋が存在するが、生活用水を井戸水に依存している。この様な状況より、河川の減水による影響はほとんどないと考えられる。

環境影響に対する対応

(A) 物理的環境影響への対応

- (i) 荒廃地区の復旧計画；工事実施に伴なう原石山、土捨場、土取場、調圧水槽及び発電所地点等に対し、植生工事を土木工事終了後開始する必要がある。
- (ii) 河川維持用水；河川維持用水としてDNAEEの規準に従いダム地点での既往月最小流量の80%に相当する7.2m³/secを下流部に流下させるものとする。
- (iii) 地質上への影響；土木工事においては、原石山・トンネル・発電所及びダム地点での発破振動に伴なう地山への影響等を監視する計画を実施する事が望まれる。この監視計画では、発破による影響及び丘陵地傾斜部の掘削に対する安定を観測する事が考えられる。一方ダムの貯水による地下水への影響を検討するため、貯水池湛水前に地下水位を測定しておく事が提案される。

(B) 生物的環境影響への対応

- (i) 貯水池での生態学観測所設置；ブラジル環境評議会は、生態学上の保存地区及びその観測所の設置を要請している。当計画地区では、特に、ダム地点～ノルテ川合流部間の既に荒廃した傾斜地の復旧計画実施のために予算を確保することが望まれる。
- (ii) 水棲動物資源の保存；水棲動物の保存は、河川維持用水に直接関連づけられる。現在生息する水棲動物の生存量に関する資料が皆無である為、現存の水棲動物に関する資料を充実させる計画を促進させる事が望ましい。

(C) 社会環境影響への対応

- (i) 洪水に対する公聴会；ダム建設に伴う洪水による被害増の可能性は地域住民の重大な関心の一つで、特に、ダム上流部のロントラス・リオドスル等の地域社会では、最も重大な問題と考えられる。地域社会の環境グループ及び集会等を通じ、ダム建設が洪水の発生に対していかなる影響も与えない旨の公聴会を実施する事が望まれる。
- (ii) 公衆衛生計画；工事現場における伝染病及び保健衛生上の監視が重要である。公衆衛生への配慮、伝染病監視等の予防的措置が必要とされる。
- (iii) 道路信号及び道路舗装；ロントラス～スピダ及びスピダ内の道路に対しては、事故防止のための交通信号、標識の設置、及び乾期における土ほこり、雨期における路面悪化を防止するために、アスファルト舗装が必要とされる。これらの対策はCELESCが主体となり、地域運輸局により実施される事が望ましい。

環境保全、計測計画

- (i) 環境保全活動；工事用道路の建設手順、原石山の開発計画、土捨場の排水・法面処理、工事用宿舎の下水処理等を含む環境管理のための対応が工事实施の前提条件と考えられる。
- (ii) 以下に示す計画を関係省庁の協力の下に作成促進する事が考えられる。

計画	目的
貯水池清掃計画	水没地区の清掃
地質への影響監視計画	丘陵地の安定の観測
荒廃地復旧計画	荒廃地の改良
生態学的地区の設置	生態学的地区の保存
水棲動物監視計画	水棲動物の監視
気象観測計画	洪水の監視
水質管理計画	計画の水質に対する影響評価
公衆衛生管理計画	公衆衛生の維持と伝染病の監視
労働人材管理計画	計画促進
地域社会支援計画	計画促進
人口移転計画	スピダよりの人口移転
交通規制の監視	交通法規執行監視

(8) 経済評価

- (i) 見積もられた工事費及び発生電力量に基づいて、当計画の経済的及び財務的妥当性の検討を実施した。計画の優位性を常時電力原価及び融資返済能力の二点より評価した。

- (ii) 経済評価に使用する経済費用は、算定された工事費に経済費用換算率0.9を乗じて求めた。算定された経済費用は、159.5百万US\$である。経済便益は、限界費用51US\$/MWhを常時電力量に乗じて求めた。算定された年便益は、29.37百万US\$である。経済評価は、内部収益率 (EIRR) によって算定するものとし、評価期間を50年とした。算定された内部収益率は14.4%である。又工事費の増大、便益の減少に伴う経済評価の影響を検討した。結果は、次の通りである。

便益減少		工事費増加	
		15%	0%
0%	EIRR	12.7	-
15%	EIRR	10.9	12.4

- (iii) 計画の財務的妥当性は、財務支出及び売電による収入を基に、財務内部収益率 (FIRR) により算定した。財務支出は計画への投資額と維持管理費から成る。算定された投資額は177.2百万US\$である。一方、年収入は、発電元での電力料金を1992年度におけるCELESCの売電収入から算定した。算定された年売電収入は、26.9百万US\$である。算定された財務支出額及び売電収入に基づいて求められた財務内部収益率は12.1%である。
- (iv) 当計画資金への融資返済能力について投資額の100%を利率10%、4年の返済猶予期間を含む20年の返済期間を想定し、検討した。検討の結果、発電開始から12年目以後は収支バランスがプラスに転じるとの結果を得た。
- (v) 算定された工事費、常時及び二次発生電力量を基に発電原価を算出した。算出された発電原価は34.7US\$/MWhで、これはELETROBRASで規定している南部電力系統での限界費用の51US\$/MWhより安く、当計画は経済的見地より早期開発の価値があるものと評価される。

(9) 工事実施計画

- (i) 工事の実施は、CELESCにより管理され、現地での工事は、新たに設立されるピラウン滝発電工事事務所によって実施される可能性が高いと考えられる。工事事務所は、工事の建設・運営の両面の実施機関を有する。建設工事は入札で選出された建設業者により実施され、選定されたコンサルタントの支援を得てこの工事事務所の工事管理の下に実施予定である。
- (ii) 建設工事は、3.5年の期間に亘って実施される。この工事でのクリティカルパスは、延長6kmの導水路トンネルと掘削・コンクリート工事量の多い取水施設建設にあると考えられ

るので、これらの工事は、準備工事及び土地収用終了後直ちに雨期・乾期を通して工事を実施する計画である。高さ18mのコンクリートダム工事は、河川を交互に締切り、2年の工期で行う予定である。工事期間第4年目の工事完了2ヶ月前までに全ての工事を終了させ、発電機器の試験運転のためダム貯水池を湛水させる。発電所の引き渡し及び営業運転は、第5年目初頭より開始予定である。

2. 2 結論

南部／南東部電力網に於けるピーク電力と電力量の将来的需給バランスを電源拡張計画を基に検討した結果、供給能力は、現在計画中の全プロジェクトが予定通り実現された場合、将来10年の需要に対しては十分な予備力があると考えられるが、実際にはかなりのプロジェクトが資金、並びに環境問題により開発の遅れを生じている。CELESCは、その所有発電施設が極めて小さく、所要の電力の大部分を他の電力会社からの買電に頼らざるを得ない状況にあり、電力不足に陥り易い状況にある。新規発電プロジェクト開発の減速に伴うCELESCの将来の電力不足を解消し、電力供給を安定化する為に、CELESC自身による新規発電設備の投入を考える必要がある。

当発電計画は、イタジャイ河流域全体における包蔵水力調査で、最も有望な計画としてとりあげられて来ている。この計画では、ロントラスの下流とスピグ間での200m以上の自然落差と豊富なイタジャイ河本川流量を利用して発電計画を実施するものであり、地形的条件及び環境面より大きな貯水池をもたない流れ込み式発電を意図としている。ダム地点では堅固な花崗岩が露頭し、これが右岸に計画されている導水路トンネルの殆どの区間に亘って広がっている。このような良好な地質条件より、工事での技術的問題点は殆どないと考えられている。一方環境面では、高さ18mのダムとこれにより形成される貯水池の面積が、わずか16ha程度と規模が小さく、諸施設の建設に伴う補償物件が家屋23軒、土地100haであり、土地補償、移転問題への影響が極めて小さい事が明らかとなっている。この他の環境面での深刻な問題点も殆どないと調査結果を得ている。さらに、計画に関する技術的及び経済的妥当性は、十分であるとの結論が得られている。

工事の実現に当っては、約216百万US\$の莫大な工事資金が必要とされる。ブラジルにおける経済状況を考えると、この資金の殆どを国際融資機関からの融資に依らざるを得ないと考えられる。工事の実現を計るためにはCELESCが、ブラジル中央政府との緊密な協力の下に融資のための必要な要請手続き、及び技術支援等を含む業務を早急に促進させる事が提案される。

第3章 背景

3.1 ブラジルの地勢的社会的状況

3.1.1 地勢的状況

ブラジルは、851万km²と日本の22.5倍の国土を持ち、東西4,160km、南北4,190kmの幅を有する。北西で、ガイアナ、ベネゼラ；西方でコロンビアとペルー；南西で、ボリビアとパラグアイ；南方で、アルゼンチンとウルグアイにそれぞれ国境を接し、東は大西洋に面している。ブラジルの地勢は、平らなアマゾン地域と、東部と南部にまたがる台地に区分される。この台地は、東海岸に向かって序々に標高が高くなっているが、海岸沿いで急崖をなして一気に標高が下がる。東海岸での平坦部は限られているが、多くの都市が海外線に沿って存在する。

ブラジルは、相対的に標高の変化が少なく、約41%が標高250m以下で標高900m以上は3%にすぎない。その他に標高200mから300mの低侵食台地が、17%を占めている。

ブラジルの土地形態は、6つに大別される。即ち、ガイアナ台地、北部のアマゾン平野と低地、中部沿岸と南部のブラジル台地、西部のパンタナル平野、東部の沿岸平野と低地、そして南部のウルグァイ・南リオグランデ台地である。

ブラジル台地は、更に5つに分類される。即ち、結晶岩・堆積岩台地が多くを占める中部台地、堆積岩・玄武岩台地が多く占める南部台地、パラナイバ流域の隆起堆積岩からなるマラニャーン・ピラウイ台地、盾状結晶岩と分離堆積岩の北東台地、そしてブラジル台地の山地で結晶状山脈である南部台地である。

ブラジルの河川のうち、北部のアマゾン河とサンフランシスコ河のそれが大きく、国土の56%と8%を占める。有名なパウロアフォンソ滝は、後者にある。南部のパラナ河流域は、国土の10%を占め、ブラジルでの水力の豊庫である。ブラジルの包蔵水力は、世界第4位である。

年平均気温は南東部のリオデジャネイロで25.9℃。南部ポートアレグレで19.5℃である。両都市の月平均最高温度は、1月で26℃と24℃であり、11月のベレンで26.5℃である。各々の月平均最低温度は、7月に20.8℃と14.2℃、3月で26.4℃である。年間降雨は、ベレンで2,770mm、リオデジャネイロで1,074mm、ポートアレグレで1,313mmである。

3.1.2 社会的状況

1991年のブラジルの人口は、約1億4600万人、平均人口密度は17人/km²である。1970代及び1980年代での人口増加率はそれぞれ2.48%と2.08%であった。人口は南東及び北東地域に集中して

おり、特に南東地域の大都市サンパウロとリオデジャネイロへの人口集中が進行中である。

ブラジル全国土851万km²は、国有地370万km² (43.5%)、農地224万km² (26.3%) 森林101万km² (11.9%)、その他156万km² (18.3%) から成る。農地は更に49万km²の耕地、175万km²の牧草地に分けられる。

1970年代に国家経済は著しく拡大し、GDPは年平均8.6%の成長を遂げた。その後、80年代前半に2%台に落ち込んだものの1985-86年に8%と持ち直した。しかし、1988年と1990年には世界的な景気後退によりマイナス成長へとペースが落ちた。1987年の一人当たりGDPは、85,000クルゼイロ (約2,000ドル相当) とピークを記録したが、その後1992年迄に1,900ドルへと次第に下がっている。これは、数年に亘る景気後退と人口増加に因るものである。経済分野の構成は、農業、工業、サービス部門別にそれぞれ1985年の10.8%、41.1%、50.7%から1991年の9.6%、33.2%、53.2%と変わった。これらの分野の過去6年の年平均成長率は、1.32%、0.68%及び3.14%となっている。各分野のうち工業分野は最低成長を示している。一方、サービス分野の役割は相対的に増大し、同じ時期の平均成長率は1.83%である。

1991年の貿易収支は、輸出316億ドル、輸入210億ドルで、106億ドルの黒字だった。オイルショックにより、1970年代の貿易収支は恒常的に赤字だったがその後、輸入制限・節約等により黒字に転じた。

3.2 サンタカタリナ州

サンタカタリナ州は、ブラジル南部に位置し、東は大西洋、西はアルゼンチンに面し、パラナとリオグランデスルの両州間にあって長い三角形状をしている。

面積は95,483 km² (日本の約1/4) で、ブラジル全国土の1.12%を占め、標高200m以下の海岸沿い平地が14%、200mから800mの海岸沿い山地が42%、800m以上の西方高地が44%を占める。山と高地も概して平坦で、全山地面積の77.8%は、一次産業用として既に開発されている。

西方高地に源を発する河川とその支川の大部分は、西方又は南方に流れてウルグアイ川へ注ぎ、北部のそれはイグアス川へ流入し、東部の残りは東へ流れ大西洋へ注いでいる。

気候は、気温13℃-25℃の多湿亜熱帯型だが、高地は冬に時々氷点下まで下がり降雪も見られる。海岸沿いの平地は比較的温暖であるが、海岸沿いの寒流により温度は変わり易い。

州行政は22地区 (これは更に260地方区に分れる) に分れ、州都はフロリアノポリスである。州政府は、州内閣所属の9局、3長官職、並びに7特別職により構成される。

1991年国勢調査での人口は、453.8万人で、これは全国の3.1%に相当する。1980年調査では362.8

万人であったり、平均で年2.1%伸びたこととなる。1991年の人口密度は、全国値の2.8倍に当たる47.6人/km²で、当州の中で最も高いのはフォズドリオイタジャイで、174.9人/km²である。

1980年統計によると、サンタカタリナ州は全国平均より高い就業率、即ち133.6万人中の133.1万人、率で98.1%を記録した。就業人口は農業部門で41.8万人(30.8%)、工業部門で31.9万人(31.6%)、サービス部門で48.4万人(35.7%)であった。

1991年の地域総生産(GRDP)は、7兆6390億クルゼイロで、これは全国GDPの4.6%に当たる。GRDPは1985年から1991年の間で年平均2.25%成長した。これは国全体での1.83%より高い。1991年の一人当たりGRDPは、1,683,000クルゼイロ(2,400ドル相当)である。1987年は最近7年間の中で最高だったが、その後、全国的な景気後退で落込んでいる。それでもまだ国全体に比べ24%高い所得を保っている。サンタカタリナ州には3種の道路、即ち国道・州道及び地方道があり1991年12月現在で国道2,121 km、国/州道914 km、州道4,698 km及び地方道53,295 km、合計61,028 kmとなっている。外洋港はインピツバ、サンフランシスコドスル及びイタジャイの3港で、サンフランシスコドスル港が、州北部工業地帯の玄関として最も活動的である。貨物の約60%以上がこの3港で取扱われる。フロリアノポリスにはヘルシリオールツ空港という州内唯一の国際空港があり、特に人及び郵便の移動の時間節約に重要な役割を担っている。他方、州には26ヶ所の空港があり、フロリアノポリス、ジョインビル、ナベガンテス、シャペコ、クリチウマ、及びラージェスの6空港に定期便が飛んでいる。

1993年現在の土地利用に係わる情報は入手出来なかったが、1985年に於ける農業部門の経済統計によれば州の78%を占める74,100 km²が農地で、その内訳は次の通りである。

-21,933 km ²	(23%)	・・・小麦などの農作地
-24,691 km ²	(26%)	・・・牧草地と放牧地
-19,094 km ²	(20%)	・・・森林
-2,498 km ²	(3%)	・・・空耕地

第4章 既存資料

本プロジェクトの計画検討に必要な、既存のレポート書類並に情報を含む既存資料を、収集しレビューした。各分野毎に集めた資料は以下の通りである。

(1) 地形調査

- (i) IBGEが設けた国家測量基準点、及びJICA調査団が前回設けた測量基準点の資料
- (ii) 1/30,000 縮尺の航空写真, 1990年撮影
- (iii) 1/10,000 縮尺の航測地形図

(2) 社会・経済調査

- (i) ブラジル及びサンタカタリナ州の人口統計, IBCE
- (ii) 経済統計値, FGV
- (iii) ブラジル及びサンタカタリナ州の工業と農業統計値, IBGE
- (iv) 世界開発レポート, 世界銀行

(3) 水文

- (i) イツボランガ及びブルメナウでの気象資料, EPAGRI
- (ii) イタジャイ川流域内観測所での降雨記録, DNAEE
- (iii) イタジャイ川及びその支川内水位観測所での流量記録, DNAEE
- (iv) イタジャイ川及びその支川内水位観測所での水位流量記録, DNAEE
- (v) タイオでの時間降雨資料, DNAEE
- (vi) イタジャイ川流域洪水調節調査、並に1990年イタジャイ川下流域洪水調節調査中の洪水解, JICA 1988

(4) 地質

- (i) コアーボーリング資料, UNDP 1969
- (ii) 1テスト・ピット資料、地震波調査資料、トンネル・ルートでのオーガ・ホール資料, UNDP 1969
- (iii) コアーボーリング資料, 1991年JICA

(5) 電力需要と供給現状

- (i) 南／東南部電力網とCELESC電力網中の既設発電所
- (ii) CELESCシステム中の既設変電所
- (iii) CELESC／ELETROBRASの電力供給記録
- (iv) CELESCシステムの負荷と月最大需要に係わる記録
- (v) 南／南東部電力網の電源拡張計画
- (vi) 南／南東部電力網とCELESCシステムの電力需要予測
- (vii) CELESCシステムの電力料金に係わる資料

(6) 計画形成とフィージビリティ用設計

- (i) 電力開発マニュアル, ELETROBRAS
- (ii) 水力発電開発用調査の指針, ELETROBRAS
- (iii) 水力開発計画フィージビリティ段階に於ける規模策定規準, ELETROBRAS

(7) 建設計画と工費見積り

- (i) 工費見積り基準, ELETROBRAS
- (ii) 人夫、材料及び機器の単価表, ELETROBRAS
- (iii) 工費見積り指針, ELETROBRAS

(8) 環境評価調査

- (i) 環境調査マニュアル, ELETROBRAS
- (ii) ピラウン滝プロジェクト、環境調査レポート、現地コンサルタントAMBIENTAL

第5章 水 文

5.1 イタジャイ河の基本情報

河川総延長は280 km、集水面積15,220 km²を有するイタジャイ河は、標高約1,800 mの流域南部山間地に源を發し、イタジャイドスル川として、北方へ流れ、リオドスル市でイタジャイドオウエステ川と合流後、イタジャイ河と名を変える。この2つの流域には、洪水調節用ダムのスル・ダムとオエステ・ダムがある。リオドスル市に沿って、1/13,000と緩い勾配で約20 km北東へ流れた後、イタジャイ河はダム予定地点を通過する。その後、約10 kmの急流部を流れ、イビラマ市付近でイタジャイドノルテ川と合流する。合流点から約5 km流下後、発電所予定地点へ至る。更にアビューナ、アスキュラ、インダイアル（ベネディト川と合流）、ブルメナウ、イタジャイ市（イタジャイ・ミリム川と合流）を経て、最終的に大西洋へ注ぐ。

ダム及び発電所予定地とプロジェクト内主要支川の集水面積は、以下の通りである。

－イタジャイドスル川	: 2,166 km ²
－イタジャイドオエステ川	: 3,050 km ²
－ダム地点	: 5,597 km ²
－イタジャイドノルテ川	: 3,360 km ²
－発電所地点	: 9,041 km ²

5.2 気象水文

ダム地点約40 km上流に位置するイトボランガの1985年から1991年迄の気象記録によると、年平均温度は17.9℃、最高及び最低は、それぞれ30.9℃と5.5℃である。年平均相対湿度は81.9%、流域平均年間蒸発量は、1,500 mmで、これは4.1 mm/日に相当する。

年間降雨は、流域中心部に於いて1,400 mmから1,500 mm、南北の山地地域では1,500 mmから1,800 mmであり、流域平均年間降雨は、約1,500 mmである。ダム地点から約20 km上流に位置するリオドスル市での年間降雨日数は、1982年から1991年までの10年間の平均で145日、30 mm以上の降雨日数は、平年で15日である。

リオドスル市にある観測所の月平均流量は、101.4 m³/秒で、流出係数は、0.4と見込まれる。既往最大洪水は、スル・ダムとオエステ・ダムが完成後発生した1983年の洪水であり、2,560 m³/秒が記録されている。

5.3 低水解析

本計画の開発規模策定に必要なダム予定地点への長期間の日流量を求め、その流況曲線を確立

するため、低水解析を行った。

ダム予定地の upstream 約 20 km に位置するリオドスル水位観測所は、集水面積 5,230 km² を有し、ダム地点の集水面積の 93% を測定範囲とし、水位および流量観測を 1940 年以来、50 年以上続けている。リオドスルでの流域平均降雨量とダム予定地の下流 20 km に位置するアビューナ水位観測所での流量データを使い、相関式およびダブルマスカーブ法を用いて、リオドスル観測所の流量データの信頼性を検討した。その結果、リオドスルの流量データの信頼性は確認され、当プロジェクトの長期流量算定の基本資料として使用できると判断された。

ダム地点の日平均流量は、ダム地点とリオドスル観測所の集水面積比をもとに、リオドスル観測所の日平均流量を換算し、求めた。ダム地点の日平均流量は、図 5.1 に、この日平均流量を基に算定された月平均流量は、表 5.1 に示された。

流れ込み式の計画発電計画に必要な流況曲線は、図 5.2 に示された通りであり、これはリオドスル観測所の全記録期間、及び ELETROBRAS が規定している 1949 年 4 月から 1956 年 11 月までの最洪水期間においてそれぞれ整理し、作成した。

5.4 高水解析

工事期間中の仮排水路の対象洪水量と洪水吐の設計洪水量を求める為、高水解析を行った。解析は、イタジャイ川流域洪水調節プロジェクトで確立したシュミレーション解析法を見直し、降雨データを用いて幾つかの再起確率年に対するピーク洪水量と洪水波形曲線をシュミレーションして求めた。再起確率年は、2、5、10、20、50、100、200、500、1,000 及び 10,000 年とした。

降雨と洪水波形の関係は、スル・ダム及びオエステ・ダム完工後に発生した 1978 年、1980 年、1983 年及び 1984 年の大洪水の降雨と流量記録を基に求めた。再起確率年に対する確率降雨は、テーセン法により導いた流域平均日降雨を基に算定した。流域モデル、流出係数、平均河道勾配及び流量等のシュミレーション解析に必要なパラメータ類は、地形および既存水文資料を基にそれぞれ検討し、ダム予定地点における、それぞれの再起確率年の洪水流量曲線を求めた。その結果を図 5.3 に示し、ピーク洪水量を以下にまとめた。

再起期間 (年)	ピーク洪水量 (m ³ /秒)	備考
2	1,600 (1,100)	() 内は、スル及びオウエ ステ・ダムでの貯留効果をみ た場合を示す。
5	2,300 (2,000)	
10	2,600 (2,500)	
20	2,900	
50	3,300	
100	3,600	
200	3,900	
500	4,700	
1,000	5,300	
10,000	7,400	

本プロジェクトと近隣既存プロジェクトの1万年確率洪水ピーク流量を図5.4にまとめた。その結果、本プロジェクトの比流量1.32 (7,400 cms/5,597 km²) は、クリーガー係数50に相当し、同程度の集水面積を有するノルテ、スル及びカンボス・ノボスダムプロジェクトのクリーガー係数も50前後であることがわかり、上記で算定した1万年確率洪水量7,400 m³/秒は、妥当であると判断された。

他方、プレフィジビリティ調査後、ELETROSULは、独自で、1万年確率洪水量の再検討を実施した。この解析は、リオドスルで観測された1940年から1991年の52年間の年最大日平均流量を用いて解析を行ない、リオドスルとダム地点の集水面積比より、ダム地点における1万年確率洪水量を5,700 m³/秒と算定した。調査団が算出した洪水量より過小に算定された理由は、本プロジェクトのように集水面積が比較的小さくピークの期間が短い場合は、最大日平均流量を用いることに無理がある為であり、このことは、そのクリーガー係数が35と他既存プロジェクトに比べるとかなり小さいことよりも証明されている。

詳細設計時により高い精度で高水解析を行う為、リオドスル観測所での雨期の水位と流量の記録の蓄積、ダム予定地点に自動水位記録計を新たに設置し、記録することを提案する。

5.5 流砂量解析

前回のイタジャイ河流域洪水調節プロジェクトで確立された流砂量推定式を、1993年6月～7月にJICA調査団がロントラス吊橋地で調査した流砂濃度と対比し、その適用性を検討した。その結果、上記推定式が貯水池への流砂量算定に適用できることが確認された。

リオドスルで観測された1941年から1990年の50年間の日流量と上記推定式を基に、年平均流砂は、230,000 m³/年 (44 m³/km²/年) と見積られた。但し、ウオッシュロードと浮流砂の合計20%が、掃流砂の量に相当すると仮定している。この比流砂量44 m³/km²/年を適用し、当プロジェク

トの流入流砂量は、年間 247,000 m³ と見積られた。

5.6 水質

DNAEEが実施したリオドスルでのイタジャイ河の水質解析結果によると、鋼構造物にとって重要な指数であるpH値は5.5から7.6で、ほぼ中性であり、特に問題はないと判断された。

河川水のコンクリート工事への使用可能性に関しては、油及びグリースが3から13 ppmの範囲で検出されている。この量は、コンクリートの大幅な強度低下を引き起こす程のものではないが、工事着工前に練混ぜ試験等を行い、確認する必要がある。

5.7 河川維持用水

水文と環境の両面から河川維持用水量の検討を行った。水文的には、ダムがある場合と無い場合を考え、ダム予定地点下流の流況を検討した。環境面については、ダム予定地点下流域に於ける河川水の減少に伴う生物的、社会的環境に与える影響を解析した。

水 文

1941年から1990年の50年間の長期日平均流量記録のうち、既往最少日流量は、1952年の4.1 m³/秒で、次いで1944年で7.9 m³/秒である。幾つかの発電最大使用流量 (Q) を想定し、ダム予定地点下流側に水が継続して全く放流されない期間を検討した。その結果は、Q=80 m³/秒の場合、210日間にわたり下流側に全く放流されず、Q=50 m³/秒の場合、130日であることがわかった

環 境

景観・地形・河道状況等に関する物理的特性、水棲動植物の生物学的特性、プロジェクト内の土地及び水利用等の現状を調べ、河川流量の減少が生物及び人的環境に与える影響を検討した。結果は、魚の生息への影響を除いて、流量の減少は特に影響がない事が分かった。生息すると考えられる魚類の大型魚の身巾の2倍、約0.2 mが魚の移動に必要な水深であると推定して、ダム予定地点とノルテ川との合流点間10.2 kmに必要な河川流量を検討した。

所要河川維持用水量

上記検討より、適切な河川維持流量の条件として、次の2点が挙げられた。

- 魚移動の為に必要な河川流量を確保すること。
- 水質確保と魚類用酸素供給の為に、河道内水量を1日最低5回交換するのに必要な河川流量を確保すること。

河道の地形的特性を考慮した上で、河川流量と水深の関係を検討し、河川維持流量として3.0

m³/秒が提案された。この提案後、関係各省担当者と協議を重ね、最終的に、サンタカタリナ州の観光開発の観点より、ダム地点における既往月最小流量の80%に相当する7.2 m³/secを採用する事に決定した。

5.8 ダム及び発電所での水位流量曲線

1993年6月から8月迄、一日に一度、ダム及び発電所予定地点にて河川水位観測を実施し、水位流量曲線を作成した。各地点の流量はリオデスル観測所とアビューナ観測所の流量から求めた。発電所予定地点の水位流量曲線を図5.5に示す。

第6章 地質

6.1 地形的特性

イタジャイ河流域は、サンタカタリナ州の中央東部に位置し、東南方向に走る標高800mから1,000mのジェラル急崖により流域の西部及び南西部を囲まれている。流域面積は15,200km²でイタジャイ河の河川延長は約280kmである。

南方山地に源を発するイタジャイドスル川とイタジャイドオエステ川は、リオドスル市で合流した後、イタジャイ河となる。合流地点の標高は330mである。リオドスル市からロントラス下流のリアシュエロ村にかけての約25kmは、川巾80~100m、約1/13,000位の緩い流れである。この村の約2km下流で、川は突然小さな滝の連続からなる急流部となり、そこから、イタジャイドノルテ川との合流点間の12kmは峡谷をなし、この間で約197m降下する。その後約4km、スピダの急崖に沿って流れ、更にこの間で約19m降下する。この急崖終端部に発電所が予定されている。ダム予定地点から発電所までの総落差は約216mである。河は更に河口まで、145km流れる。図6.1に河川縦断面図を示す。

リアシュエロ村近くの取水口とスピダ急崖との間の右岸地は、緩い起伏の丘で標高は400~450mであり、その地点とスピダの峡谷底部までの標高は約340mである。

1991年の調査では、発電所地点から、イタジャイドスル河とイタジャイドオエステ河の下流部分までの範囲を含む1/10,000の地形図を作成した。今回は航空写真測量により、ダム地点から発電所地点までの計画地区全体を含む1/5,000地形図、および、両地点だけを含む1/2,000の地形図を作成した。今回の航空写真測量の測量範囲は図6.2に示された通りである。

6.2 過去の地質調査

このプロジェクトに関する最初の地質調査は、UNDPによる南部電力調査の一環として、カナンプラエンジニアリング・コンサルタント（英領印）が行い、1969年8月に「南ブラジルの電力調査」として報告書を提示した。この調査では、ピラウン滝プロジェクトはカノアス川からイタジャイ河へ転流して発電するという多段発電計画の1つとして考えられていた。この調査での内訳を以下に示す。

- コアボーリング : 9孔総長403.5m (ダム地点4、トンネル・ルート3、ペンストック・ルート2)、及び各孔の透水試験。
- テストピット : 6地点 (ダム2、トンネル2)
- 地震波探査 : トンネル・ルート7点

ーオーガー孔 : トンネル・ルートで1点

その後、1991年にJICAによりイタジャイ河包蔵水力調査として同地点の調査が実施された。この調査ではイタジャイ河流域中16地点の内、当プロジェクトは「流れ込み式」計画で最も有望なものとの結論を得ている。この時点で実施した地質調査は、総長110 m (ダム、トンネル、発電所地点に各1) のコアボーリング、及び各孔での透水試験等である。

6.3 流域の地質

イタジャイ河流域の地質は図6.3に示す様に、ほとんどが先カンブリア紀と古生代に形成された旧堆積岩である。流域西方周辺に沿ったジェラル急崖の斜面に、古生代後期に川又は海中堆積によりできた泥岩、頁岩、砂岩の互層が見られる。流域中西側半分は古生代初期の泥岩及び砂岩層でおおわれている。ピウラン滝プロジェクトから下流の東半分の流域は、先カンブリア紀の砂岩、泥岩及び片麻岩でおおわれている。河に沿った平坦部は第三紀、又は第四紀の沖積土でおおわれている。

ロントラスとスピダの間に位置するプロジェクト地域は、カンブリア紀の貫入花崗岩(スピダ花崗岩)で形成されている。スピダ地区の下流のイタジャイ溪谷の両側は、イタジャイ群に属する堆積岩がおおっている。この2種の岩帯は、スピダ地区発電所地点の上流の溪谷の西側崖に沿って現われている流紋岩によって分断されている。

流域内の地質構造は異なる二方向の構造線、即ちNEからSWとNWからSEが卓越している。ダム地点付近では、NEからSWの構造線が河の右岸を横切っており、他にNEからSWの構造線がトンネル・ルートを横切っている。

6.4 プロジェクト地区の地質

6.4.1 今回の調査

本調査では、1993年6月から7月にかけて10孔、合計300 mのコアボーリングを現場透水試験と合わせて行った。岩性状の確認の為、露頭岩も含めた13試料をサンパウロの試験室にて岩石物理試験を実施した。ダム及び発電所地点については1/2,000地質図を作成し、トンネル・ルートを含めたプロジェクト全体地域は、1/5,000の地質図を作成した。図6.4に前回並びに今回実施した調査孔位置を示す。今回の調査項目を表6.1に示す。

今回の調査ではB、C、Dと呼ぶ3本のダム軸案が選定された。C軸案は、1991年JICA調査時のC軸案に一致する。他の2案は、現場踏査を基にC軸案の上流と下流500 mに選定された。ポ

ーリングはC軸案についてのみ行った。これは、B軸案については前回データ（カナンブラとJICA）が利用でき、D軸案については、地質的にみてB及びC軸案の地質と大差が無いと考えられる事による。

発電所の位置およびペンストック・ルートは予備踏査後、計画された。1案は1991年調査時に選ばれたもので、他案はその200m程下流に発電所を位置するものである。前者の地質は前回調査したため、今回は後者について調査を行なった。

原石山については、B軸案の上流1km地点、およびB軸の下流3km地点に位置する候補地2ヶ所を調査した。

6.4.2 岩の分類

現地地質調査に於いては、表6.2に示す日本の基準と、表6.3に示すブラジルの基準の2つの岩質分類基準を参照した。

6.4.3 各地点での地質

(1) プロジェクト全体

ロントラスとスピダ間の丘陵部、及びロントラスとイタジャイドノルテ川との合流点間のイタジャイ溪谷の両岸には、花崗岩が分布している。ダム地点からトンネルルート上サージタンクまでの間に分布している花崗岩は、堅岩で色は桃色から灰色である。スピダの山峡部とスピダ村に流紋岩が分布している。発電所は、この山峡部の根元に位置する。図6.4にプロジェクト全体の地質図を示し、図6.5にトンネルルート沿いの地質断面を示す。

(2) ダム地点

今回の調査結果を基に作成したダム地区内の地質図を図6.6に示す。ダム軸3地点の地質は、次の通りである。

B軸

高さ約6mの滝をダム軸が斜めに横切る形で計画され、この付近の河床全体には硬い花崗岩が露出している。この滝は、花崗岩内の縦の節理に沿って侵食され形成されたものとみられる。河床岩の表面から5m程は、縦横の節理又はクラックが発達している。右岸にある旧鉄道跡の切土面には風化花崗岩がみられるが、上の部分は砂質又は粘土質の土が厚く覆っている。左岸の岸辺と斜面には岩の露頭はみられない。被り土は深くなるにつれマサ化の進んだ花崗岩に変わる。硬岩に達するまでの被り土の深さは右岸で15m、左岸で25m程である。被り土と硬岩の間の風化岩層は、

かなり薄い。左岸の硬岩表面は、地表面の勾配よりかなりゆるやかな勾配で上昇している。このため、左岸でダム頂 (EL 325m) より高い岩表面が現われるのは川岸から約110 m山側に入った位置になると考えられる。ダム軸に沿った地質断面を図6.7に示す。

一本の構造線 (GL-1) が河床右岸部でB軸と直交しており、この点で滝が形成されている。この構造線は、断層の可能性はあるが、その方向 (NEからSW) は滝面に直角であるため、重大な破砕帯ではないと考えられる。しかし将来の詳細調査では、確認のため斜めボーリングによる探査が望まれる。

ダム基礎の花崗岩等級は、日本の分類によるとA又はBで、ブラジルのそれでは、H1F1A1S1である。岩は、表6.4にみられる如く一軸圧縮強度140 MPa以上、動弾性係数50 G Pa以上である。現場透水性は、全般に1ルジオン以下である。

右岸の土被りは、表層5 m下で行った現場透水試験で、 3×10^{-4} cm/secの透水性を示した。深部では透水性はもっと低くなると考えられ、深部の被り土はかなりの非透水性を有していると判断される。兩岸の被り土の性状にはどちらも大差がない。

C軸

C軸の直上流左岸は、丘に向かって深く侵食されている。その低地は、沖積性の堆積物で覆われている。河床には花崗岩が露出しているが、兩岸斜面には露出岩はない。マサ化した花崗岩層を含む兩岸の被り土は深く、岩盤線は丘内部に向かって緩く上昇している。被り土の厚さは、左岸で約10 m、右岸で約5 mである。この下に、CM、又はH3F2A3S3に分類される若干風化をうけた花崗岩があり、低ダムの基礎としては十分な強度を有する。この風化岩層の標高は、右岸で310 m、中央並に左岸尾根で320 m位と見込まれる。風化層下の新鮮な花崗岩は堅硬でA-Bクラス、又はH1F1A1S1に分類される。重大な破砕層は見当たらないダム軸に沿った地質断面は図6.7に示された。

新鮮な花崗岩の性状は、B軸のそれと同じである。少々風化した花崗岩の圧縮強度は40 MPa、動弾性係数は15 G Pa、そして透水性は20 ルジオンである。

D軸

左岸の丘は厚く広がり呈しているが、右岸は2本の谷間に挟まれた岬状の尾根により形成されている。硬い花崗岩が河床前面に露出しているが、兩岸面には見られない。右岸にある旧鉄道トンネルの坑口跡に (E L 310 m) 花崗岩がみられるが、マサ化が進んでいる。岩盤面は丘又は尾根の内部へ向かって、河床から非常に緩い勾配で延びているものと想定される。それ故に、兩岸の岩表面は川岸より水平距離で100 m山側にはいった位置で標高310 mに達すると予想される。ダム

軸に沿った地質断面を図6.7に示す。

このダム軸では、ボーリング調査を行っていないが、基礎岩と被り土の性状は、B及びC軸のそれと同じと予想される。

(3) 導水路

カルバート

導水路の上流部は、開削・埋戻し型のカルバートが予定されている。その長さはB軸案で約400 m、C及びD軸案で100 mである。いずれのルートも、土とマサ化した花崗岩より成る被り土は深い。地質踏査によると、基礎花崗岩は川岸に近い位置で本川の河床とほぼ同標高にあり、岩盤線はカルバート近くを流れる支流の川底に平行して序々に登っている。被り土は、深く掘削すると侵食と地滑りの危険があり、切り土面は十分な保護が必要である。

トンネル

トンネル長は、5.5～5.9 kmあり、流紋岩中を通る下流部100 mを除いた大部分は、花崗岩層を通過する。花崗岩は堅硬で、岩級A又はH1F1A1S1と分類される。その圧縮強度及び動弾性係数は、それぞれ150 MPaと62 GPaとみられる。流紋岩も同様に硬く、試料ではそれぞれ170 MPaと69 GPaを得た。但し、多くの節理およびクラックが発達している。岩相全体を概観すると、岩分類は一階級下の、岩級BからCH、又はH2F2A2S2である。現場透水性は、花崗岩で2ルジオン以下、流紋岩でも同程度であるが局所的に5～10ルジオンと高い部分がある。

花崗岩と流紋岩の明確な境界は、地質踏査によっても発見できなかったが、その大略位置は地形的差異から判断された。将来の詳細調査時に、この境界の地質状況を調査する必要があるが、一般的な先カンブリア紀の岩の性質から判断して恐らく問題はないと考えられる。

トンネルルートを6本の地質的構造線が横切っており、これらに沿ってV字形の谷が形成されている。GL-2からGL-7はほぼ直交に、GL-5がトンネルルートを斜交する(図6.4参照)。GL-6上に位置した1969年のボーリングB-2に依ると、推定50 m長さの破砕帯がみついている。この破砕帯は、岩級CL又は、H4F4A4S4と分類される。但し、他の構造線が破砕帯を伴っているかどうかは不詳であり、過去のボーリング結果と今回の地質踏査に関する限り、断層を暗示するものは見当たらない。

過去のボーリング調査によると、B軸ダムから延びるカルバートがトンネルへ入る付近の堅岩の深さは、約11 mである。但し、深さは一定ではなく場所により変化する。ダム軸B及びCからのトンネルは、トンネル坑口から500 m下流で小溪谷を横切る。被りが薄く、且つCL又はH4F4A

4S4に分類される軟岩の為、この部分は堀削・埋戻し型カルバートになる。但し、トンネルの可能性の再検討および関係構造物の詳細設計の為更なる詳細な調査が必要である。

坑口及び上述箇所を除いた花崗岩内のコンクリート巻立ての省略の可能性が、考えられる。花崗岩中で構造上必要とするコンクリート巻立部の延長は、500m程度と推定される。他方流紋岩(約100 m) 中では、節理とクラックが発達しているのでコンクリート巻立が必要である。

(4) 発電所地点

2ヶ所の地点が、候補地として選定されている。1ヶ所は、1991年の調査で選ばれた地点であり、他はその下流200 mの地点である。サージタンク及びベンストックルートも各々発電所位置に対応させて選定された。

上流地点

流紋岩が、サージタンク地点下の崖と河岸に露出している。崖と川岸間は、小石混りの土とC M-C L又はH3F4A4S4に分類される風化流紋岩で覆われている。被り土の深さは最大25 mで、序々に川に向かって薄くなっている。風化流紋岩の厚さは、最大で10 m、発電所辺で6 mある。この下層の流紋岩は硬い(分類; CH、又はH2F4A2S3) が、多くの縦又は傾斜節理が5~10 cmの間隔で発達している。B I-1ボーリングに於いて流紋岩の下の地表から27 mの深さにホルンフェルスが現われ、双方の接触は強固である。ホルンフェルスは硬いがクラックが多く、CH-B又はH2F3A2S V S2と分類される。現調査では湧水と破碎帯を示すものは、みつかっていない。

下流地点

ベンストックルートは、2本の小さい沢の間の尾根に設定された。この尾根は粘土質の土と風化流紋岩に覆われており、その最大深さは20 mである。サージタンク近辺の風化岩は、土と同じ程度まで風化が進んだ状態であるが、ベンストック・ルート中間部は、それ程風化が進んでおらずC L-C M又はH3F4A3S4と分類されるクラックの発達した岩である。新鮮流紋岩は地表約20 m下に横たわる。岩は上流地点と同じで、B-C H又はH2F3A2S3と分類される。

発電所地点の河岸平坦部は、粘土と玉石の沖積期堆積物で覆われており、河岸にも岩はみられない。約厚さ12mの沖積土の下に基礎岩がある。この岩は流紋岩の中に貫入している輝緑岩で、C H又はH2A2F3F3と分類される

6.5 建設材料

6.5.1 コンクリート用骨材

本プロジェクト近傍には河床砂礫堆積物が見られず、ブルメナウまでの85 kmの河底にも砂を含む堆積物は極めて少ない。このため、コンクリート骨材原料の入手する最も実際的な方法は、建設地付近の原石山を利用することである。

ダム軸Bの上流約1 kmにある保養地の対岸の原石山-Aの調査結果、川岸側150 mの急斜面に硬い花崗岩の露頭がみられ、採取可能量は120,000 m³程度と見積もられた。但し、景観上よりこの原石山からの採取は好ましくないと考えられる。代案として、Bダム軸の下流3 kmの右岸の丘陵部の調査を行い、河岸部に150 m長で約10 m高さをもつ花崗岩の露頭を確認した(原石山-B)。丘頂部の被り土の深さは約15 mと厚いが、120,000 m³程度の採取は可能と考えられる。

原石山-Aで採取した岩の試験結果によると、花崗岩の圧縮強度は150 MPaであり強度上コンクリート骨材として問題はないが、すりへり減量が32 %とやや大きい。トンネル掘削に伴う掘削ズリに含まれる岩もコンクリート用骨材の原料として使用可能と考えられる。

6.5.2 盛立材料

仮締切りダムおよびブランケットを含むダム左岸部の盛立材料として、岩石材料及び不透水粘土材が、必要である。ダム地点の丘の上の被り土は、粘土質土で厚い。これを不透水材として利用することが可能である。ロック材は、原石山又は構造物の基礎掘削で得られる岩石を利用する。左岸部仮締切りダムの建設には、ダム軸Cの下流2 kmの左岸にある既に開発されている原石山(原石山-C)が利用可能である。この原石山-Cの岩は、硬く良質で量的にもまかなえるものと考えられる。

第7章 電力需給の現状

7.1 電力供給系統と組織

鉱山動力省の国家エネルギー局に属する国家水利電力部 (DNAEE) は、電力政策面の主管官庁であり、電力政策の策定、電力設備の建設実施計画の承認や電力料金の決定等を業務としている他、ブラジルの全電気事業者の監督官庁でもある。

全国規模の電力供給は、ブラジル電力公社 (ELETROBRAS) に委任されている。ELETROBRASは、鉱山動力省の管轄下におかれた半官半民の電力公社で、ブラジルの電力政策の実施機関として、発電・送電および配電設備の計画、資金調達および実施計画の管理を行なっている。また、ELETROBRASは、連邦並に州の電力部門に対する主要な資金供給機関であり、4つの地域電力公社ELETRONOTE、CHESF、FURNAS、ELETROSULを介し全ブラジルの電力システムを運用している。更に、リオデジャネイロ州のLIGHTおよびエスピリトサント州のESCELSAの2つの州の電力公社を傘下においている。同時に、ELETROBRASは州電力公社のパートナーであり、ブラジルとパラグアイの二国家所有のイタイプ水力発電所の株式の50%を所有している。

ELETROBRAS系の電力会社とは別に、主な州政府は州立電力公社を所有しており、DNAEEの承認を条件として、独自に自州内の電力開発の権利をもっている。

ELETROSULは、南部の全3州および中西部のマトグロッソス州の電力供給を統括しており、COPEL、CELESC、CEEEおよびENERSULの4つの州電力公社が、ELETROSULの管轄下におかれている。

CELESCは、サンタカタリナ州政府が所有する電力会社で、同州内の電力供給を行なっている。CELESCは、電力会社の合併によって1956年に設立された。1992年におけるCELESCの保有発電設備は、総計72.87 MWであり、これは州全体の電力総需要の僅か5%にすぎない。この為、電力の不足分は主にELETROSULとイタイプ発電所より買電している。

7.2 既存電力供給システム

7.2.1 ブラジル全国の電力系統

ELETROBRASは、全国を電力系統運営の観点から4地域に区分し、ELETRONOTE (東部)、CHESF (東北部)、FURNAS (中西・南東部)、ELETROSUL (南部) の4つの直轄電力公社を設立した。これらの直轄電力公社は、各々自社の電源と送電系統を保有している。ブラジルの電力系統は、北系統 (北部および東北部) と南系統 (南東部および南部) の2系統に大別される。この2大系統は、現在分離されているが、2000年頃までに両系統が統合される見込みである。主幹送電系統は、交流230/345/440/500/

750 kVおよび直流600 kVの超高压送電線で構成されている。1992年のブラジルの電力設備容量および電力供給量は、以下の通りである。

設備容量 (MW)	水力	火力・原子力	合計
ELETROBRAS全体 :	22,999	3,090	25,389
-FURNAS	(6,800)	(1,323)	(8,123)
-CHESF	(7,251)	(453)	(7,704)
-ELETROSUL	(2,602)	(620)	(3,222)
-ELETRONORTE	(4,685)	(694)	(5,379)
-ESCELSA	(160)	-	(160)
-LIGHT	(801)	-	(801)
他の電力会社	18,486	1,665	20,151
イタイプ発電所	12,600	-	12,600
合計	53,385	4,755	58,140
	(91.9 %)	(8.2 %)	(100 %)

電力供給量 (GWh)	水力	火力	原子力	合計
ELETROBRAS	98,837	1,244	-	100,081
イタイプ発電所	50,156	-	-	50,156
その他	95,954	880	-	96,834
合計	244,947	8,124	-	253,071
	(96.8%)	(3.2%)	(0.0%)	(100%)

上の表から分かるように、水力発電が全設備容量の92%を占めており、全電力供給量の97%をまかなっている。

7.2.2 南部と南東部の電力系統

イタイプ発電所を含む南部及び南東部系統は互いに連系され、ブラジル最大の電力系統となっている。この系統の設備容量と電力供給量の内訳は、以下の通りである。

設備容量 (MW)	水力	火力	原子力	合計
南部系統*	6,297.9	1,133.0	-	7,430.9
南東部系統	23,039.0	1,317.2	657.0	25,013.2
イタイプ発電所	12,600.0	-	-	12,600.0
合計	41,936.9	2,450.2	657.0	45,044.1
	(93.1 %)	(5.4 %)	(1.5 %)	(100 %)

電力供給量 (GWh)

南部系統*	25,521	3,223		28,744
南東部系統	117,835	382	1,759	119,926
イタイプ発電所	50,156			50,156
合計	193,512	3,605	1,759	198,826
	(97.3 %)	(1.8 %)	(0.9 %)	(100 %)

(註) *南部系統は、マトグロッソドスル州のENERSUL分を含む。

7.2.3 CELESCの電力系統

CELESC保有の送配電線は、同州内にあるELETROSULの変電所を介して南/南東部系統に連系している。CELESCは、95,483 Km²をもつサンタカタリナ州内の電力需要の100%を担っている。1992年の時点で、CELESCが保有および運転している電力設備は、流れ込み式水力発電所(12箇所)の総出力72.32 MW、送電線全長3,454.2 Km、変電設備3,157.4 MVAである。1992年に12水力発電所で376,160 MWhを発電し、1982年から1992年の年平均設備利用率は58%であった。1992年度の年間所要電力量と供給実績は、次の通りである。

	<u>電力量 (MWh)</u>	<u>比率 (%)</u>
-CELESC独自の発電量	376,160	4.8
-買電 -ELETROSUL	4,575,203	58.7
-イタイプ発電所	2,806,292	36.0
-他	40,503	0.5
合計 7,798,158	100.0	

CELESCは電力供給量の95.2%をELETROSUL及びイタイプから買っており、自社は僅かに4.8%である。CELESCとELETROSUL間の連系点は、9ヶ所である。

7.3 電力市場

7.3.1 電力需要現況

(1) 南/南東部系統

全体

統合されている南/南東部系統は、ブラジル最大でサンパウロおよびリオデジャネイロの様な大消費地を含んでいる。1992年の現状は以下の通りである。

	南部系統	南東部系統*	合計
-電力消費量 (GWh)	32,684	137,200	169,884
-ピーク電力 (MWh/h)	6,650	26,268	32,923
-設備容量 (MW)	7,431	37,613	45,044
-負荷率 (%)	65	69	68

*:イタイプ分を含む

南部系統

CELESC系統が含まれるELETROSULが管轄する南部系統は、電力市場規模に於て、全南/南東部系統の20%である。消費者への配電は、4つの州立電力公社、即ちCOPEL（パラナ）、CELESC（サンタカタリナ）、CEEE（リオグランデスル）並びにENERSUL（マトグロソスル）が行っている。此等4社が1992年に供給した電力量とピーク電力は、以下の通りである。

項目	電力量 (GWh)	比 (%)
・ 売電		
- 家庭	8,572	26.9
- 工業	12,770	40.1
- 商業	4,145	13.0
- 農村	2,879	9.1
- 公共及びその他	3,479	10.9
- 小計	31,845	100.
・ 地方配電会社への大口供給	573	
・ ロス及び差異	3,242	
・ 所要合計量	35,660	
- 自社発電	(14,296)	
- 他よりの受電分	(21,364)	
・ 年間ピーク需要	4,260 MWh/h	
・ 平均負荷率	62.8%	

(2) CELESC系統

1992年におけるCELESC系統の電力需要は、7,798 GWhであり、この内自社使用とロス分を除いた合計の93%に相当する7,234 GWhが、消費者と将来CELESCに合併される予定である州内の地区配電会社へ供給された。

CELESCが1992年に供給した電力量は、以下の通りである。

項 目	電力量 (GWh)	比 (%)
・売電		
- 家庭	1,708	24.0
- 工業	3,454	48.6
- 商業	723	10.2
- 農村	670	9.4
- 公共及びその他	556	7.8
小計	7,111	100.0
・地方配電会社への大口供給	123	
・ロス及び差異	565	
・所要合計量	7,798	
- 自社発電	(376)	
- ELETROSULと他よりの受電分	(7,422)	
・年間ピーク需要	1,358 MW h / h	
・平均負荷率	65.6 %	

過去10年間で電力消費者数は、家庭及び工業分野が各々1.8倍と2.8倍と急速な伸びを示し、家庭分野の消費量は、総需要に対する比で19%から23%に増加した。しかし工業分野では、他分野の急増により55%から50%以下に低減した。

7.3.2 負荷曲線

100から150 MWと見込まれる当プロジェクトの開発規模を考慮して、今回2つの電力網の負荷曲線について調査した。1つは、1,300 MWの負荷規模をもつ全CELESCネットワークで、他は、同系統内で300 MWの負荷規模をもつイタジャイ河流域のサブネットワークである。後者は、当プロジェクトの直接供給対象地域に当たりブルメナウ、リオドスル、イタジャイなどの都市をカバーしている。

調査の結果、以下の事柄が判明した。

- 夜間に高ピーク、日中に低ピークという、毎日2つの負荷ピークがある。この2者間の比は、週日に於て1.05から1.35である。
- 日別負荷率は、全CELESCネットワークで0.65から0.81の間、サブネットワークで0.65から0.89の間で変わる。週日の通常負荷率は0.71から0.84だが、日曜日はむしろ低く0.64から0.67である。
- 最近10年の月別のピーク需要は、直線的傾向をもって序々に増えている。年間ピークは、殆ど5月から7月の3ヵ月間に現われる。年間負荷率は、経済活動の低迷により過去3度（1973年、1981年から1983年、1989年から1991年）低下したが、1970年代初頭で55%台、1990年代初頭で65%台と序々に上昇している。

7.3.3 CELESCの電力市場動向

1983年から1992年の10年間に於けるCELESC系統について、種々異なる分野のエネルギー消費記録を基に消費成長の年率を調査した。全体需要は、年平均成長率7.1%で安定的に伸びてきたが、1990年の需要は、工業分野の景気停滞を主因として若干落ち込んだ。工業分野の需要の増加率は、他分野に比べむしろ低いが、CELESC系統の全消費量の約1/2を依然として消費している。家庭及び農業分野は、相対的に高成長率を保っている。

他方、1986年から1991年までの6年間の需要全体伸び率は、年平均で5.6%であり、この間のサンタカタリナ州の総生産の伸びは、年率2.2%であった。この事実よりCELESCの電力市場は、経済活動の安定的増大並びに生活水準の急上昇を主因として州総生産よりも高率で拡大している。

7.3.4 電力料金

電力料金は、DNAEEの承認事項である。料率改訂は連邦、又は州電力企業がDNAEEへ申請し、承認された料率が消費者並びに電力公社間の取引に適用される。料率が改訂されると直ちに官報に公表される。ブラジルの恒常的物価上昇に対応すべく料率は、毎年2~3回上昇されており、当レポートでは、1993年3月11日決定の料率を使用する。Cr\$表示の料金は、1993年3月1日付のCr\$ 20,062/US\$の比でUS\$へ換算した。

料金体系は、消費者用、電力公社間取引用及びイタイプ電力用から構成される。

消費者用料金は、500 kW以上の大口消費者とそれ以下の小口消費者用からなる。大口消費者用料金は、ピークとオフピーク時間で、又乾期と雨期でそれぞれ異なる。ピーク時間は、17:00-20:00で乾期は5月から11月の間である。大口料金はピーク電力に対し、US\$ 1/kWからUS\$ 7/kW、又電力量に対しては、約US\$ 16/MWhからUS\$ 47/MWhと契約規模によって変わる。他方、小口料金は消費量に対してUS\$ 17/MWhからUS\$ 88/MWhとなっている。

電力公社間の取引料金は、電源拡張限界費用から計算し、エネルギー消費条件により3種、即ちT1（長期契約電力P1とエネルギーE1）、T2（P1とE1を越える短期契約電力P2とエネルギーE2）、並びにT3（P1+P2とE1+E2を越える実消費電力P3とエネルギーE3）に分れている。P1とE1は毎年GCPS（系統計画調整グループ）が計算する。P2とE2は州電力公社の短期運転計画により決定される。ELETROSULからCELESCが購入する際、適用されるT1、T2、及びT3の料率内訳は以下の様である。

	<u>T1</u>	<u>T2</u>	<u>T3</u>
・エネルギー (US\$/MWh)	19.33	5.46	2.22
・電力：ピーク (US\$/kW)	1.36	1.36	1.36
オフピーク (US\$/kW)	1.35	1.35	1.35

現契約では、ピーク/オフピークの区分は適用外で、ピーク電力料率のみが、全電力に対し適用されている。

イタイプ発電所からの電力については、契約によりELETROSUL送電システムを経由して受電している。1993年3月現在、契約は422MWである。電気料金は次の2種のから成っている。

- イタイプに払う発電費用 US\$ 17.017/MW
- ELETROSULへ払う送電費用 US\$ 2.688/MWh

7.4 電力需要予測

7.4.1 全体システムの電力需要予測

国家及び地域の電力需要に関する最新の公的予測は、1992年にGCPSが作成しELETROBRASが承認した、10ヶ年拡張計画（1992/2003年）に述べられている。この計画は、ELETROBRASの国家電力エネルギー計画－1987/2010（Plano 2010）を基にしている。この10ヶ年計画に示された州別の需要予測を基にして、4地域電力システムの各々の年需要と南/南東システムの年ピーク需要を計算した。1992年、1995年、2003年の予測値を以下に要約する。

電力系統	1992年	1995年	2000年	2003年
・エネルギー (GWh)				
- 北 部	18,256	20,966	29,685	37,282
- 北東部	27,767	32,734	44,271	52,715
- 南東部	137,203	155,961	195,317	223,725
- 南 部	32,684	38,338	49,778	57,901
- ブラジル全体	215,907 (4.5)	247,999 (5.3)	319,051 (5.2)	371,623
・ピーク電力 (MW)				
- 南東部	26,268	30,083	38,369	42,134*
- 南 部	6,655	7,666	9,525	10,406*
- 合 計	32,923 (4.8)	37,749 (4.9)	47,894 (4.7)	52,540*

* : 2002年のピーク電力

() : %で示す年成長率

7.4.2 CELESCシステムの電力需要予測

CELESCシステムの電力需要予測は、サンタカタリナ州のエネルギー消費の実績と将来の経済活動の予測を解析してCELESCが毎年改訂している。CELESCの2003年迄の各消費分野別の最新需要予測を以下に要約する。

分野	1992年	1995年	2000年	2003年
エネルギー消費 (GWh)				
－消費	7,111	8,266	10,578	12,207
－大口供給	123	137	168	189
－ロス等	564	625	803	926
－所要合計	7,798 (4.5)	8,988 (5.1)	11,549 (4.9)	13,322
ピーク負荷 (MW)	1,358 (4.9)	1,569 (4.5)	1,957 (4.2)	2,215

() : %で示す年成長率

CELESCシステムの将来需要については、今回の調査で電力消費を幾つかの分野（家庭、工業、商業、農村／他、大口供給、ロス／差異）に分けて経済変数法を用いて独自に検討した。使用した各分野の変数を以下に示す。

－エネルギー消費の年成長率（1992－2003年）

- ・家庭 7.0－5.0%
- ・工業 5.0－5.0%
- ・商業 5.5－4.5%
- ・農村 5.5－4.5%
- ・公共及びその他 5.5－3.5%

－合計消費に対する比

- ・大口供給 1.6%
- ・ロス／差異 7.5%

上記の値は、次の想定を基にしている。

1. 世界的に経済活動は近年鈍化しており、サンタカタリナ州は既に相当に開発が進んでいる。このため、本州の各分野の年成長率は、この10年で少し減るであろう。
2. 1992年から2003年のサンタカタリナ州の人口の年成長率は、1.6－1.3%であろう。
3. 工業分野の成長率は、世界、国内経済の影響を相当に受けるが、過去平均値位を保つであろう。
4. 来たる10年で、都市化率は74.2%から80.1%になり、農村部のシェアは減るであろう。
5. 全体消費中の大口供給とロスとの比は、各々1.6%と7.5%と過去平均値と変わらないであろう。

上述変数を用いた独自の需要予測は、CELESCのそれと大略一致するので、CELESCの予測は妥当と言える。

7.5 電力需給収支

7.5.1 電力拡張計画

第7.4節で述べた需要予測に従ってELETROBRASは、「1993/2002年の国家電源拡張計画」を策定し、1992年にGCPSにより改訂された。

南/南東部系統内及び州内の年次発電拡張計画を以下に要約する。

(1) 南/南東部電力拡張プログラム

年	設備容量増分(MW)						電力量増分*	
	水 力		火 力		合 計		(GWh/年)	
1992年の現存電源								
南/南東部系統	41,416	(5,983)	3,115	(1,133)	44,531	(7,116)	150,001	(28,351)
イタイプ	12,600	(5,983)	-	-	12,600	-	50,519	-
新規電源								
1993	1,702	(630)	-	(-)	1,702	(630)	6,824	(2,526)
1994	2,314	(315)	350	(350)	2,664	(665)	10,681	(2,666)
1995	119	(-)	425	(425)	544	(425)	2,181	(1,704)
1996	861	(63)	375	(375)	1,236	(438)	4,956	(1,756)
1997	1,406	(63)	350	(-)	1,756	(63)	7,041	(253)
1998	3,286	(1,310)	350	(350)	3,636	(1,660)	14,577	(6,656)
1999	2,139	(1,310)	875	(50)	3,014	(1,360)	12,085	(5,453)
2000	1,808	(826)	400	(400)	2,208	(1,226)	8,853	(4,916)
2001	2,731	(962)	50	(50)	2,781	(1,012)	11,503	(4,058)
2002	4,696	(3,032)	175	(175)	4,871	(3,207)	19,530	(12,858)

備考； ()：南部系統の値

*：1992年の南/南東部の設備利用率の90%にあたる0.4577の推定設備利用率を使用した計算値

(2) サンタカタリナ州の電源拡張計画

年	設備容量増(MW)	
	CELESC	ELETROSUL
1992	3	-
1993	-	-
1994	-	350
1995	45	-
1996	-	-
1997	-	-
1998	-	810
1999	-	810
2000	-	440
2001	-	1,640
2002	-	992

7.5.2 電力需給収支

南／南東部系統における電力需給の将来収支を、図7.1及び7.2に示す。若し、計画中のプロジェクトの全てが予定通り実施されるならば、ピーク電力と電力量の供給能力は将来10年の需要に対し十分余裕がある。しかし最近の資金及び環境的諸問題により、進行中の多くのプロジェクトの完工が遅れている。計画中のプロジェクトも多くが、同じ理由で繰り延べを余儀なくされている。

仮に、CELESCの現拡張計画が予定通り実行され、合計48 MWの新規電源が1995年末迄に投入されたとしても、CELESC自身の発電能力は、同年末の全エネルギー需要に対し依然7.8%と低い。これは、他の南部の州電力公社（COPELの100%、CEEEの50%）と比べても非常に低い。CELESCは、その所有する発電施設能力が極めて小さく、所要電力の大部分を他社から買わねばならない為、電力不足に陥り易い立場にある。

7.6 水力電源開発の必要性

水力発電が南／南東部系統中の全電力設備能力に占める割合は、1992年で93%であった。この割合は、諸外国の電力供給形態と比べて著しく高いものであり、この傾向は、少なくとも2010年迄は続くと思われる。南／南東部電力系統では、主として流れ込み式水力発電が、原子力及び石炭火力と共にベース電力供給を担い、貯水池式水力発電所は、ピーク電力供給として運転されている。

電源拡張計画によれば、南／南東部系統の電力需給収支は、ピーク電力及び電力量双方とも当分は十分な余裕をもってバランスすることになっている。しかし、計画中の電源開発が、資金的問題により依然として遅れており、予定どおり実施するのは、難しい状況にある。又、CELESC自身の発電能力は、ブラジル内の他の電力公社のそれと比較して、極端に小さいのが実情である。

このようなCELESCの実情を考えると、新規水力発電所をイダジャイ川流域に開発するのが是非とも必要であり、それにより連邦電力公社の計画おくれによる影響を少しでも回避でき、CELESCの電力供給の安定化が可能になる。

第8章 最適規模策定

8.1 序論

最適規模策定に当り、ダム地点・常時満水位・発電設備容量についていくつかの代替案を考え、それらを組合せた比較案を選んで検討した。

月単位又は季節単位の流量調節が可能な貯水池式発電方式はダム地点の地形上の制約から、その考えは除外され流れ込み式発電のみを検討対象とした。しかし、取水堰を設けることにより必然的に小さな池が形成され、それが日流量程度の調節に役立つと考えられたので、その効果については検討対象とした。

常時満水位の比較案選定に当りまずその最高制限を吟味した。制限値としてはダム地点の2 kmほど上流に滝があるが、その上流へはダムによる背水が及ばない標高とした。ダム規模については、日ピーク運転の為の調整池容量を付加した場合としない場合について検討した。

比較案ごとに構造物の設計を行った後、その建設費を積算し発生電力量を計算した。これらの工費と電力量を基に各ケースごとの純収益(B-C)を求め、環境上の制約、日調節の可能性等を考慮して、まずダム地点と常時満水位の最適組合せを選定した。その後、最適発電設備容量をELETROBRASの最適化法、即ち純収益極大化法、に準じて検討した。この最適規模策定後、導水路トンネルの線形・内径・コンクリート巻立ての必要性及び圧力管路形式、サージタンク形式、発電機台数等を次章で比較検討している。

8.2 検討条件

8.2.1 発電用流量

発電計算には1941年から1990年までの50年間の日別流量を使用した。当プロジェクトが属する電力系統内の水文的限界渇水期間はELETROBRASによって1949年4月から1956年11月までの96ヶ月間と設定されている。その為、発電計算は次の2組の流況に対して行った。

- 限界渇水期間 : 1949年4月から1956年11月まで
- 長期 : 1941年1月から1990年12月まで

これらに対する流況曲線は図5.2に示されている。限界渇水期間の平均流量は $86.3 \text{ m}^3/\text{s}$ であるが、長期平均は $108.2 \text{ m}^3/\text{s}$ である。

8.2.2 河川維持用水

ダム地点下流河道の水棲動植物を保護する為、常にダムからは河川維持流量を放流する必要がある。この放流量は過去の月別最低流量の80%に相当する7.2 m³/sとした。発電に使用できる水量は河川流量からこの7.2 m³/sを差し引いた流量とした。

8.2.3 設計洪水量

(1) ダム及び洪水吐の設計洪水量

ダム及び洪水吐の設計洪水量は、ダム決壊の被害規模即ちダムとその貯水池規模によって変わる。ELETROBRASはそのガイドラインで設計洪水量をいくつかに分類しダム規模に応じて適用すべきとしている。当ダムはガイドラインによると「中規模、低危険」に分類される。この分類に適用すべき設計洪水量は、100年確率洪水又は確率最大洪水 (PMF) の1/2と規定されている。PMFは大略1万年洪水と一致する。100年洪水と1万年洪水は、各々3,600 m³/sと7,400 m³/sであるから初期の検討には、3,700 m³/sを適用した。

然し最終的に選定した最適案に対しては更に安全性を高める為、ELETROBRASと協議した上で設計洪水量を1,000年洪水 (5,300 m³/s) に上げることにした。

(2) 発電所設計洪水量

ELETROBRAS基準により、1万年確率洪水 (12,000 m³/s) を適用する。

(3) 建設中の設計洪水量

取水ダムは大部分がコンクリート造りで比較的小規模である。ダムの予想工期は2年と短く、建設中のダムが仮に洪水で越流されたとしても大被害は生じないと予想される。依って切替工事には2年確率洪水を適用する。

8.2.4 余裕高

ELETROBRASの基準に基づき余裕高 (設計洪水位からダム頂、又は発電所地盤面までの高さ) を以下のように決めた。

—ダム・コンクリート部分	: 1000年洪水位に対し余裕高0.0 m
—ダム盛立部分	: 1000年洪水位に対し余裕高1.0 m
—発電所	: 1万年洪水位に対し余裕高0.0 m

8.2.5 常時満水位上限

各ダム予定地点の上流1から2 kmの左岸に保養地があり、滝の丁度下流の景勝地に位置している。

保養施設の大部分は標高321 mから326 mに設けられている。検討初期段階では、この保養地水没が問題視されたが、CELESCの調査の結果、水没補償による解決が可能であることが判明し、保養地保全のための制約は無くなった。しかし、滝の上流には既に農地・居住地として開発された平地が標高330 m前後で広がっており、その土地に水没の影響が及ぶと重大な社会問題となる。その為、許容満水位上限は滝の上流へ影響が及ばないように標高324 mとした。

8.2.6 発電運転形態

当プロジェクトの貯水池は規模が小さく湛水後早い時期に土砂堆積で埋ってしまう。しかし、定期的に浚渫して土砂除去を行えば、ピーク運転に必要な調整池容量を確保できると考えられる。そこで、貯水池に調整容量が充分に取れる高いダムの場合に対しては準ベース負荷運転方式を適用した。この方式は原則として3時間ピークと21時間オフピーク運転から成り、日合成負荷率は将来の日負荷変動を考えて60%とした。日調整を行えない低いダムの場合は純ベース運転とした。

8.2.7 経済性評価基準

ELETROBRASはブラジル国内の電力プロジェクトの経済評価をELETROBRAS自身の規準に従って行うことを要求している。その規準は以下の通りである。

- (1) 常時電力量は系統全体の水文的限界渇水期間に発電した平均発生電力量と定義する。
- (2) 二次電力量は、常時電力量を越えて発電した電力量と定義し、長期平均発生電力量と常時電力量との差として計算する。
- (3) 発電所は定期保守或は不測事態によって運転停止される。運転停止期間はELETROBRASが実績から導いた以下の標準数値によって計算する。

設備容量 (MW) P	停止期間：β (%)		
	定期保守	不測事態	合計
30 ≤ P < 60	1.6	5.1	6.7
60 ≤ P < 200	2.5	7.7	10.2

系統へ供給できる有効電力量は、運転停止を考えずに計算した可能発生電力量の(100 - β)%となる。

- (4) 保証ピーク電力は95%の発生確率で発電しうるピーク電力と定義する。
- (5) 建設費見積りは、ELETROBRASの見積り基準と書式に従って行う。送電線の建設費はプロジェクトコストに含まない。金利は年10%とする。

- (6) プロジェクトの寸法決定の為の経済比較においては、耐用期間50年、割引率10%を適用する。
- (7) 発電原価（常時電力原価）はプロジェクトの優位性を評価する指標の一つで、系統の電源拡張限界費用と対比される。発電原価は下式によって求める。

$$CMG = CAI + COM - (8,760 \cdot CRES \cdot ES) - (1,000 \cdot CMP \cdot PG) / 8,760 \cdot EF$$

ここで、	CMG	=	発電原価 (US\$/MWh)
	CAI	=	投資額年価 (US\$/年)
	COM	=	年間運転保守費用 (US\$/年)
	CRES	=	二次電力量の参照費用 (US\$/MWh)
	CMP	=	ピーク電力の参照費用 (US\$/kW/年)
	ES	=	二次電力量 (MW year)
	PG	=	保証ピーク電力 (MW)
	EF	=	常時電力量 (MW year)

- (8) 上式中の参照費用は限界費用と密接に関係している。参照費用の値は、各地域電力系統の電源拡張長期計画を基にELETROBRASが決定し毎年見直し改訂している。当プロジェクトが含まれる南部系統に対し1993年3月に決められた常時電力量とピーク電力の参照費用は以下の通りである。

運転開始年	参照費用	
	常時電力量 (米ドル/MWh)	ピーク電力 (米ドル/MW)
2000以前	51	0
2001-2005	60	0
2006-2010	62	0
2011-2015	64	0
2016-2020	69	0
2021-2029	70	0

備考：この数値はプロジェクトの規模決定に適用される。

二次電力量の参照費用は火力の燃料費に相当し11.92米ドル/MWhとする。ピーク電力の参照費用は系統の大部分が水力により構成され、それらの多くはピーク負荷に容易に対応できる貯水池式であるから、零と決められている。

- (9) 発電単位便益は上記 (8) 項に述べた参照費用を適用して計算する。
- (10) 設備容量等のプロジェクト主要素の規模決定は純収益 (B - C) を最大にする方法で行う。即ち、ある要素を増大するのに必要な費用がその増分に起因する便益に近づきしかも越えない点として下式によって求める。

$$\Delta B > \Delta C$$

$$\Delta B = [(\Delta EF) \cdot CRE + (\Delta ES) \cdot CRES \cdot 8,760 + (\Delta PG) \cdot CMP \cdot 1,000] \cdot \alpha$$

ここで、 ΔB : 増分現価便益 (米ドル)
 ΔC : 増分投資額 (米ドル)
 CRE : 常時電力量の参照費用 (米ドル/MWh)
 α : 年価現価率 (50年、割引率10%) $\alpha = 9.9148$
 Δ : 増分を表す

他は、上記 (7) 項に記載のものと同じ

(11) 複数のプロジェクトを単純比較する為の単位設備投資額を以下の如く定義する。

$$\text{単位設備投資額 (CUI)} = \frac{\text{投資額}}{\text{設備容量}} \quad (\text{米ドル/KW})$$

8.3 一次スクリーニング

8.3.1 検討手順及び検討ケース

まず最初にダム軸位置と貯水池常時満水位についてふるい分けを行いそれらの最適組合せを選定する。次いでその最適組合せに対する最適発電規模を二次スクリーニングでふるい分けし最終的な最適計画を決定する。一次スクリーニングに対しては以下の比較案を選定した。

—ダム位置	: B、C及びD軸
—常時満水位 (FSL)	
・B軸	: 標高319 m、324 m
・C軸	: 標高310 m、315 m、319 m
・D軸	: 標高305 m、310 m、315 m
—発電最大使用水量	: 30、45、60、75、90及び105 m ³ /s

図8.1に比較案の配置図を示す。

8.3.2 比較案

(1) ダム軸位置

ダム軸C案は、1991年プレF/S時に選ばれたのと同じ位置である。B軸案はC軸の上流500mの滝の上に位置する。満水位を標高330mとした場合のB軸案は1991年にも検討されたが、水没面積が大きくなることから断念されていた。然し乍ら、B軸は地形地質的に魅力的な位置であり、且つ満水位を324mまでさげることも可能であることから今回の調査で再検討することにした。B軸の河床標高は309mでC軸より7m高く、ダム高を逆に低くできる。D軸はC軸の500m下流に位置する。この地点は兩岸ともかなりの急斜面でダム地点として良好である。C軸案に比較し河床は8m低いから発電落差的には不利になるが、導水路が短くなる分損失水頭が減少するのでその不利が相殺

されると考えられた。

(2) 常時満水位 (FSL)

FSLは上流の平野を冠水させないように標高324 m以下とした。B軸案は標高319 mより低い水位は取水口設置が困難になる。C軸案は河床標高が302 mであるから最低FSLを310 mとし、他に日調整容量を持つ標高315 mと319 mを比較案に選んだ。D軸案のFSLは河床標高294 mから最低FSLを305 mとし、他に310 mと315 mを比較案に選んだ。

(3) 発電使用水量

今回の調査では最大使用水量を30、40、45、60、75、90及び105 m³/sの6種を比較案とした。河川維持用水 (7.2 m³/s) を差し引いた後の発電に利用できる河川流量の流況曲線を図8.2に示す。

(4) 貯水池容量

日流量調整に必要な貯水池容量は次式で求まる。

$$V = (Q_p - q) \cdot 3h \cdot 3,600 \text{ sec}$$

ここで、 V : 日調整貯水容量 (m³)
 Q_p : ピーク運転時使用水量 (m³/s)
 q : 日平均発電使用水量 (m³/s)

60%負荷率では、最大使用水量 (Q_{max}) によるピーク運転の状態では q が Q_{max} の60%になる時 V が最大になる。従って、所要最大貯水容量 (V_{max}) は $V_{max} = 4,320 \cdot Q_{max}$ で計算される。各比較案の常時満水位、低水位及び貯水容量を表8.1に示す。

(5) 貯水池堆砂

貯水池への年間平均流入土砂量は246,000 m³と推定されている。そのうちの50%は水中に漂う微粒なウォッシュロードで貯水池に沈降することなくそのまま取水口に入るか又は溢流水として流出する。残りの50%が貯水池に堆積すると想定され、その量を123,000 m³/年と見積もった。

8.3.3 プロジェクト各要素の設計

(1) ダムと洪水吐

(i) 型式

ダム地点の河川断面は200 m巾の台形である。ダムの高さは最高で25 m程度である。このような地点でダム型式として考えられるのはコンクリート重力式或はロックフィル式である。ダム規模に比較して洪水流量が3,700 m³/sと大きい。洪水吐の形式としてはゲートを有する型式と有しない型式が考えられる。

ダム型式選定の為の経済比較を行った結果、ゲートを有しない洪水吐を持った重力式コンクリートダムが最も経済的であることが判明した。このプロジェクトのように貯水池容量が洪水流入量に比べ極端に小さい場合、ゲート付の洪水吐では安全性に問題があるが、ゲートを有しない洪水吐にすればより安全性が高まる。従って、ゲートを有しない洪水吐を持ったコンクリートダムを採用した。

(ii) 基礎部地質と遮水対策

全ダム地点の河床には硬い花崗岩が露出している。しかし、B軸案の右岸を除いて兩岸の土と腐食軟花崗岩の被りは20 mから30 mとかなり深い。この被り土は若干透水性が高い。この点を考慮して左岸の地山とコンクリートダムの間は盛土とする。地山からの漏水を防止する為、粘土ブランケットを岸辺に沿って設けるものとする。

(iii) 洪水吐

ナップ形状を持ったコンクリートの洪水吐を河床部に設けゲートは設置しない。越流巾は下流河川巾とほぼ等しくなるように全ケースとも200 mとする。越流堰頂標高はFSLと同じとし、越流容量は下式により計算する。

$$Q = C \cdot B \cdot H^{1.5}$$

ここで、 Q : 越流量 (m³/s)
B : 越流巾 (m)
H : 越流水深 (m)
C : 越流係数

設計洪水量3,700 m³/sでの越流水深は5.2 mと計算された。堰の下流はダム高に等しい長さ迄1 m厚さのコンクリート水叩きで保護する。

(iv) 堤頂標高

一次スクリーニングにおいて、ダム非越流部の標高は設計洪水（100年確率）の水位の上にコンクリート部では1m、盛土部では2mを加えて決定した。

(v) 排砂門と常用放流設備

取水口全面の堆砂排除の為にダム右岸の取水口近傍に排砂門を設ける。排砂能力は完全な掃砂ができる様に最大発電使用水量の1.5倍とし、掃砂勾配5%を取水口下に付けられる様に敷高を決めた。排砂ゲートは2段ローラーゲートとする。上段扉は越流型で河川維持用水 $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ を放流できる構造とする。

(vi) 転流工

ダム建設時の転流としては、トンネル方式と開渠方式が考えられる。設計洪水は2年確率洪水 $1,100 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。これら2案の比較を行った結果、経済性に優れた開渠方式を採用した。

(2) 取水口と導水路

(i) 取水口

流れ込み式発電所用取水口は一般に河川軸と直交し、堆砂が取水口の中へ巻込まれないように排砂工近くに設けられる。取水口下流の水路は2乃至4本の開水路に分割し沈砂池に連結する。その水路には閉鎖用鋼製ゲートを設ける。開水路部の沈砂防止の為に最大流速を 2.0 m/s とする。

(ii) 沈砂池

発電時に取水に混じって取り込まれた比較的大粒の砂はペンストック、水車等を傷める。此等の除去の目的で、取水口下流の水路に沈砂池を設ける。沈砂池は2乃至4本からなる台形状の水路とする。池内底部に沈降した砂は、池の底部に設ける排砂門を時々開けて池外へ排出する。池の側壁頂部標高はダム頂に同じとする。池の下流端は導水路カルバートに接続する。

(iii) 導水トンネル

導水トンネルは内水の浸出防止面から内水圧より外水圧を高く保ち、且つ軟岩部でも無筋コンクリート巻立てとし得る様に地形を選んで配置する。岩の被りは内圧水頭の50%以上に保つようにする。トンネルルート的大部分は堅硬な花崗岩からなり長期的自立を保つに十分な強度を有している。トンネル延長の90%がこれに相当する。残りの10%は比較的低強度の花崗岩か又はクラックの多いと見られる流紋岩である。

比較案としての最適トンネル断面形を求める為、次の4型式について暫定的な経済比較を行った。

- 型式1 : コンクリート巻立円形断面（発破工法）。
- 型式2 : 吹き付けコンクリート巻立馬蹄形断面、コンクリート底板付（発破工法）。
- 型式3 : 型式2に同じ、但し吹き付け無し。
- 型式4 : TBM工法による無巻き円形断面、但しコンクリート底板付き。

経済比較の結果、型式2が最も経済的であることが分かり、弱岩部を除き全て吹付コンクリート巻立断面とした。弱岩部はコンクリート巻立円形断面とした。

トンネル内径は許容最小径を1.8 mとし、平均流速2.5 m/s（コンクリート巻立部は3.5 m/s）として計算した。吹き付けコンクリート厚は10 cm、コンクリート巻立厚は最小25 cmとした。

(iv) 調圧水槽

型式は単胴型とし、100%負荷時の急閉条件から上昇水位を求め、半負荷急増時の条件から下降水位を求めた。水位解析はカラム・ガダーンの簡易法に依った。

(v) ベンストック

この段階の検討では、鋼管を地下斜坑内に埋設した1条案を採用した。内径は最大流速が6.0 m/sとなるように決めた。鋼管埋設の必要性及び立坑案については後で検討する。

(3) 発電所

発電所は主機2台の地上式発電所を考えた。水車機種は使用水量と落差から立軸フランシス水車とした。水車発電機諸元及び建屋寸法は経験式に依り求めた。発電所の仕上げ地盤標高は1万年確率洪水水位に一致させ215 mとした。

8.3.4 発生電力量の検討

(1) 序論

ELETROBRASの基準によると発電所における常時電力量は組み込まれる電力系統における増加常時電力量であると定義されている。この増加常時電力量は当該発電所がある場合とない場合の電力系統での発電計算によって求められる。

当発電所で南部/東南部電力系統に組み込まれる事となる。当発電所の規模は系統での発生電力量合計の0.5%以下と系統内での運転を左右する程大きくなく系統内に組み込まれた場合当発電所で発生した電力量は系統内では余剰を生む事にて完全に吸収されてしまうものと考えられる。

系統への影響を評価するため当発電所の系統解析をELETROBRASが開発したシミュレーションプログラム、MSULを使用してCELSCにより実施された。解析計算は当発電所がある場合とない場合の2ケースに対し実施された。解析結果によると当発電所の系統への影響は極めて小さく、当発電所がある場合とない場合との系統での常時電力量の比は0.992より1.003程度に止まる。従って今回の発電計画では系統への組み込まれを考慮しない単独の発電計算により計画を進める事とした。計算は1941～1990年の50年間の日流量を基に実施するものとした。

(2) 有効落差

水車の有効落差は静落差から運転中の損失水頭を減じて求める。静落差計算用貯水池水位は、満水位と低水位の間、もしくはダム越流中は洪水位をとる。放水口水位は発電所位置での河川流量により変わる。発電所地点の流量は、ダム地点と発電所地点の集水面積比が約1:1.6なので両者間の残流域からの流出量がダム地点での流量の60%に等しいと考えて計算した。

(3) 水車・発電機の効率

水車・発電機の合成効率は、単機容量と運転負荷係数により変わる。合成効率は落差が170から220 mの範囲でしかも20から110 MWの単機容量に対し下式にて近似させた。

$$F = 0.000283 (P - 60) - 0.5928A^2 + 1.0035A + 0.482$$
$$A = Q \cdot H / (Q_{\max} \cdot H_d)$$

ここに、 F : 合成効率
P : 単機設備容量 (MW)
Q : 任意使用水量 (m³/s)
Q_{max} : 最大使用水量 (m³/s)
H : 任意有効落差 (m)
H_d : 設計有効落差 (m)

(4) 発電出力

発電出力を下式により計算した。

$$P = Q \cdot H \cdot F \cdot g$$

ここに、 P : 発生電力 (kW)
Q : 水車流量 (m³/s)
H : 有効落差 (m)
F : 合成効率
g : 重力加速度 (9.8m/s²)

設備容量 (Pmax) は、最大使用水量をQmax、設計有効落差をHd及び設計効率をFdとして、
 $P_{max} = Q_{max} \cdot H_d \cdot F_d \cdot g$ として与えられる。各比較案の設備容量 Pmaxを表8.1に示す。

(5) 発生電力量

各比較案について、日流量流況曲線を用いて年間発生電力量を計算した。流況曲線は常時電力量を求める限界湧水期間と二次電力量を求める長期曲線の二種を用いた。日調整貯水容量を持つ場合と持たない場合の出力パターンの違いを図8.3に示す。保守等の為の運転休止期間を考慮した後の有効発生電力量を表8.2に示す。

8.3.5 各比較案の費用

(1) 投資額

各比較案の建設費をELETROBRASの積算標準に従って算定した。価格基準は1992年12月価格とし、為替交換率は1米ドルに対し11,163.33クルゼイロ又は120円とした。

(2) 運転保守管理費

プロジェクト完成後の運転保守管理費は、ELETROBRASが1993年にブラジルでの実績から求めた下記の式で計算する。

$$COM = A \cdot P^{\alpha}$$

ここに、 COM : 年間保守管理費 (米ドル/kW)
 P : 設備容量 (MW)
 A、 α : 下表に示す係数

P (MW)	A	α
146.71未満	124.28	-0.61
146.71以上	11.43	-0.1281

8.3.6 ダム軸位置と満水位の最適化

(1) 手順

ELETROBRASの規準に基づき、純収益 (B - C) が最大になるようなダム軸位置と常時満水位 (FSL) を選ぶ。この最適化は次の3段階で行う。

- 1: 各ダム軸とFSLの比較案に対し、暫定的な最適使用水量を選ぶ。
- 2: 各ダム軸案の最適FSLを選ぶ。
- 3: 最適ダム軸を選ぶ。

設備容量は次節の二次スクリーニングで選定する。

(2) 暫定的最適使用水量

経済比較によって、6種の使用水量の中から各ケースごとの最適使用水量を求める。便益としては常時電力量の単価を51米ドル/MWhとして計算した。計算の結果、高ダムのケース（C319及びD315）を除き使用水量を90 m³/sとするのが最も経済的となったので、ダム軸とFSLの最適化にはこの90 m³/sを採用した。

(3) 最適常時満水位（FSL）

FSLの最適化の為貯水池水位を2乃至3 mごとに変えて、それぞれの工費と便益を検討した。当初想定したFSLの比較案は4乃至5 mの差なので、その中間の水位での費用は内挿法で求め便益は発生電力量を新たに計算して求めた。最大使用水量は90 m³/sとした。

FSLの選定に当って日調節の可能性が重要な要素となる。もし貯水池に調整容量があれば、日平均流量が水車の呑込み可能最小流量以下になっても貯留水を使って1日の何時間かは発電が可能になり、その分の発生電力量が増える。そこで、調整容量のある場合とない場合それぞれの最適FSLを求める。各FSL案の費用と便益を表8.3に示す。下表はそれらをまとめたものである。

ダム軸	FSL (m)	調整容量なし			調整容量あり		
		費用 C (SM)	便益 B (SM)	純収益 B - C (SM)	費用 C (SM)	便益 B (SM)	純収益 B - C (SM)
B	319	227.4	340.3	112.9			
	322	238.3	345.6	107.3			
	*324	245.7	349.1	103.4	256.5	358.7	102.2
C	310	229.7	324.8	95.1			
	313	239.3	330.0	90.7			
	315	245.6	332.6	87.1	256.3	342.5	86.2
	317				263.5	346.2	82.7
	319				270.5	349.9	79.4
D	305	229.9	316.7	86.8			
	307	235.7	320.1	84.4			
	310	245.1	325.7	80.6	255.8	334.5	78.7
	313				265.4	339.9	74.5
	315				272.0	343.5	71.5

備考、SM：百万米ドル *：FSLの最高制限

この表からわかるように、調整容量のあるなしに関わらず満水位を上げて行くと純収益が減少

する。これはダムが低い程経済的であることを示している。経済的な有利性に加え、低いダムほど環境に与える影響が少なくなる。よって各ダム軸ごとの最適満水位を以下のように選定した。

ダム軸	最適満水位 (m)	
	調整容量なし	調整容量あり
B	319	324
C	310	315
D	305	310

(4) 最適ダム軸

表8.3に3本のダム軸案B、C及びDの経済比較が示されている。純収益は調整容量のあるなしに関係なくB軸案が最も高く経済的である。地形・地質等技術的な面でもB軸案が他の二案より優れている。これらを総合してB軸案を最適案として選定した。

(5) 日調整の可能性

CELESCは自身のピーク発電所を持たないので、系統の弾力的運用の為に当プロジェクトにピーク発電能力を持たせられれば都合がよい。しかし、統合されている南部・東南部系統全体を見た場合、その中には多くの貯水池発電所がありそれらでピークを負担することが可能である。

もし、当プロジェクトにピーク発電能力を付加するとした場合、日調整容量を確保する為ダム規模を大きくする必要がある。例え日調整容量があっても、堆砂ですぐに埋ってしまうので定期的に浚渫して堆砂を除去しなくてはならない。調整容量あるなしの場合のそれぞれの純収益を表8.3に示してあるが、B軸案に関する値は次のようである。

項目	単位	調整容量なし	調整容量あり	比 (B/A)
		(A)	(B)	
・満水位	m	319.0	324.0	-
・常時電力量	MWh	74.0	78.29	1.058
・便益	百万米ドル	340.3	358.7	1.054
・費用	百万米ドル	227.4	256.5	1.128
・純収益	百万米ドル	112.9	101.2	0.896

この表に示されるように調整容量付きの場合は、費用が調整容量を付けない場合より12.8%高くなるが、常時電力量は5.8%しか増えない為、純収益は結果的に10%少なくなってしまう。これは当プロジェクトでのピーク発電がむしろ不経済となることを示している。この結果を基に、当プロジェクトは貯水池に調整容量を持たない純粋なベース運転発電所とすることに決定した。

8.4 二次スクリーニング

8.4.1 一般

二次スクリーニングに当り、前節で選定した最適比較案（B軸、満水位319 m）の構造物、特に導水トンネルとベンストック、についてそれらの配置や寸法を更に追及し、それぞれが最も経済的となるように設計の見直しを行った。この設計見直し後、6種の最大使用水量（30、45、60、75、90及び105 m³/s）ごとの設備容量を求め、それぞれの発生電力量と建設費を計算した。最適設備容量は経済性と技術的な面から検討して決定した。

8.4.2 設計見直し

導水路

一次スクリーニングでは導水路内径を最大流速の経験的限界値、即ち吹き付けコンクリートに対して2.5 m/s、コンクリート巻立に対し3.5 m/s、として決めていた。これらの限界値は発電所の設備利用率が60%から70%の時は合理的であるが、極端に利用率が異なると必ずしも限界値とは一致しなくなる。当プロジェクトの利用率は下表のようである。

最大使用水量 (m ³ /s)	設備容量 (MW)	ケースB319の設備利用率 (%)	
		限界渇水期間	長期
30	50.6	79	83
60	102.0	60	61
90	154.0	48	56
105	180.2	43	51

導水路の水頭損失はその内径によって変わり発生電力量にも関係する。内径を大きくすれば損失が少なくなり発生電力量も増えるが同時に建設費も増加する。最適径は純収益（B-C）が最大になる点によって与えられる。それらの経済比較を行った結果を基に各ケースの最適径を次のように決めた。

最大使用水量 (m ³ /s)	吹付けトンネル		コンクリート巻立トンネル	
	D	V	D	V
30	4.4	2.0	3.6	3.0
60	5.4	2.6	4.3	4.1
90	5.8	3.4	4.8	5.0
105	5.9	3.9	4.9	5.6

D：最適径 (m) V：最大流速 (m/s)

この結果、一次スクリーニングで仮定した内径より小さくした方が経済的となることが分かり、

二次スクリーニングには上表の経済的最適径を用いて検討した。

ペンストック

一次スクリーニングでは、地下斜坑に鋼管を埋設することとし、その内径は最大流速を6.0 m/sと仮定して求めた。二次スクリーニングに当たっては、その設計の見直しを行い、配置・内径・内張り管の必要性について経済比較と技術的検討を実施した。その結果、コンクリート巻立てだけの鉛直立坑と鋼管を埋設した下部水平トンネルの組合せとすることとし、その内径を以下のよう

最大使用水量 (m ³ /s)	コンクリート巻立 ペンストック		鋼管埋設 ペンストック	
	D	V	D	V
30	3.6	3.0	2.8	4.9
60	4.3	4.1	3.7	5.6
90	4.8	5.0	4.3	6.2
105	4.9	5.6	4.5	6.6

D：最適径 (m) V：最大流速 (m/s)

8.4.3 発電計算

上述で見直した設計を基に再度発生電力量を計算した。導水路トンネル及びペンストックの径が変更されたので、有効落差及び水車・発電機の効率は再計算した。この計算でも発電機は2台案のままとした。有効落差と設備容量を次に示す。

	最大使用水量 (m ³ /s)					
	30	45	60	75	90	105
・有効落差 (m)	192.8	188.2	185.8	181.1	179.3	174.5
・設備容量 (MW)	50.2	73.8	97.4	119.2	142.0	161.8

常時電力量及び二次電力量を計算した結果を以下に示す。

	最大使用水量 (m ³ /s)					
	30	45	60	75	90	105
・常時電力量 (MWy)	38.09	50.16	59.07	65.14	70.51	74.35
・二次電力量 (MWy)	2.01	3.94	6.39	8.45	11.03	12.45

8.4.4 費用見積り

見直しを行った設計を基に数量と単価を再計算し、建設費を表8.4のように見積もった。その結果を以下に示す。

(単価 : 百万米ドル)

項目	最大使用水量 (m ³ /s)					
	30	45	60	75	90	105
・直接工事費	75.3	94.2	111.4	124.9	137.4	149.1
・間接費	21.8	27.3	32.3	36.2	39.8	43.3
合計	97.1	121.5	143.7	161.1	177.2	192.4
・工事中金利	20.1	26.2	331.0	34.8	38.3	41.5
総計	118.1	147.7	174.3	195.9	215.5	233.9

運転開始後の運転維持費は次のように見積もった。

(単価 : 百万米ドル)

	最大使用水量 (m ³ /s)					
	30	45	60	75	90	105
・年間運転維持費	0.57	0.67	0.74	0.80	0.86	0.96

8.4.5 開発規模の最適化

最適開発規模（設備容量）は純収益が最大になるように選定する。各ケースごとに計算した費用と便益を以下に示す。

最大使用 水量 (m ³ /s)	設備容量 (MW)	費用 (百万米ドル)			電力便益 現在価値 (百万米ドル)	純収益 (百万米ドル)
		投資額	運転維持	合計 (C)		
30	50.0	118.1	5.7	123.8	170.8	47.0
45	73.8	147.8	6.6	154.5	226.3	71.8
60	97.4	174.7	7.3	182.0	268.3	86.3
75	119.2	195.9	8.0	203.9	297.3	93.4
90	142.0	215.5	8.5	224.0	323.8	99.8
105	161.8	233.9	9.6	243.5	342.2	98.7

この表から分かるように、純収益は設備容量が大きくなる程増えて行くが最大使用水量が105 m³/sになると減少する。この傾向から判断して、純収益は設備容量が142 MWと162 MWの間で極大になると思われる。

一方、常時電力原価は、次表に示すように設備容量が100 MWを超えると高くなり、142 MWを超えると急激にその増える度合が大きくなる。これは大規模にするほど当プロジェクトの優位性が低下することを意味する。このことから最適規模として142 MWを選定した。

最大使用水量 (m^3/s)	設備容量 (MW)	常時電力原価 (米ドル/MWh)
30	50.0	36.8
45	73.8	34.5
60	97.4	34.2
75	119.2	34.5
90	142.0	34.7
105	161.8	35.7

8.4.6 最適開発計画

これまでの一次及び二次スクリーニングで選定した最適開発計画を下記に示す。

ダム軸		B軸
貯水池	常時満水位 (FLS) FSLでの貯水容量 FSLでの貯水面積 調整容量	標高 319.0 m 280,000 m ³ 16 ha なし
ダム、堤頂標高 (コンクリート部)		標高 325.0 m
洪水吐	排出容量 越流巾	5,300 m ³ /s 200 m
取水口	設計最大流量	90 m ³ /s
導水路	カルバート カルバート トンネル トンネル トンネル	型式 コンクリート円形断面 径×長さ 4.8 m×404 m + 5.8 m×50 m 型式 吹付コンクリート巻立馬蹄形断面 (部分的にコンクリート巻立円形断面) 長さ 5,636 m 径 5.8 m (部分的に4.8 m)
調圧水槽		型式 制水孔型
ベンストック	型式	コンクリート巻立て立坑と下部鋼管埋設 水平坑との組合せ 径 4.8 m~2.5 m
発電所		地上式
発電設備	主機台数 最大使用水量 定格落差 設備容量	2 90 m ³ /s 179.3 m 142 MW (=2×71 MW)

第9章 各施設の最適化及び施設設計

9.1 一般

最適規模策定検討結果にもとずき、土木、水門設備、及び発電設備の最適型式、寸法の検討等の施設設計がなされた。検討された土木構造物は、上流側からダム・洪水吐、取水口・沈砂池、導水路、調圧水槽、圧力水路及び発電所である。

9.2 土木

9.2.1 ダム及び洪水吐

ダム軸での河川断面は、河床部幅200mの台形断面で、河床には硬い花崗岩が露頭しているが、兩岸部では土被りが厚く、特に左岸側ではこの厚さが約25mにも達する。設計洪水は、ELERTOBRASと協議の結果決めた設計規準に基づき、1,000年確率洪水である5,300m³/秒が適用された。

最適化の検討としてダム型式に関し、次の3つの型式が検討された。

- 型式1 : ゲート無し洪水吐を持つコンクリート式重力ダム
- 型式2 : ゲート付き洪水吐を持つコンクリート式重力ダム
- 型式3 : ゲート付き洪水吐を持つロックフィルタダム

型式1では河幅全体を洪水吐に利用し、洪水吐のクレストは常時満水位に一致させた。型式2及び3では河幅の半分を洪水吐とし、そのクレストは河床より2m高く設定した。各工事費見積りの結果、型式1が最も安いことが判明した。加えて、本ダム計画地点上流域には洪水予報システムは設置されておらず、このシステム無しに微妙なゲート操作は極めて困難であり、経済性並びに操作面より型式1を採用した。

上記検討結果に基づき本調査で設計されたダム及び洪水吐の全体レイアウト及び標準断面は、図9.3及9.4に示す通りであり、その概要は次の通りである。

ダムは、200m幅のゲート無し洪水吐を有する全長301m、ダム高18mのコンクリート重力式ダムである。左岸アバット部の岩盤線が非常に深い為、この部分は、遮水ゾーン、フィルターゾーン、ロックゾーン及びリブラップから成る小規模のロックフィルダムとした。河床標高は、左岸端は標高316mで右岸にむかって河床標高が下がり右岸端では309mである。常時満水位は319m、設計洪水水位は325mであり、余裕高は、ELETROBRASと協議の結果決めた設計規準に基づき、コンクリートダムでは0.0m、ロックフィルダムでは1.0mとした。

ダム基礎岩盤が良好なこと、及びダム基礎に作用する水圧が比較的小さいことよりダム基礎処理はコンソリデーショングラウトのみとした。

9.2.2 取水口及び沈砂池

本施設の型式変更に伴う工事費の増減は、本プロジェクトのフーズビリティを損なうような影響を与える程大きくないため本調査では比較検討は行われなかった。本取水施設は、排砂門、取水口及び沈砂池から成り、これらの全体レイアウト、標準断面は、図9.2、9.4及び9.5に示す通りである。

巾5.0m×高さ7.3mの二段ゲートを有する排砂門は、取水口直下流のダムの右岸側に配置する。本ゲートは、下段ゲート进行操作し排砂を行い、上段のゲート进行操作し維持放流量の調整ができる利点を考慮して選定された。排砂門前面に堆積する砂の取水口への流入を防ぐため、排砂門の敷高は、取水口の敷高より3m下げ標高312mとした。

取水口は、ダム軸直上流にほぼダム軸と直角に設けられた。本構造物は、毎秒90mの設計最大取水量とスクリーンに付着するゴミ類の除去可能最大流速1.0m/秒から、取水口の敷高は常時満水位より4m低い標高315m、開口部の巾は22.8mと設計された。スクリーンの前面には、浮遊ゴミがスクリーンに付着するのを防ぐ目的でコンクリート製のカーテンウォールを設け、ここに溜まった浮遊ゴミは、二段ゲートの上段のゲート进行操作し、下流に流失させる。スクリーンに付着したゴミ類の除去は、2基の機械式除塵機で行う。

導水路への土砂流入を避けるべく以下の理由により、沈砂池を導水路入口部に設計する計画とした。

- (i) 当発電計画では、延長約6kmの導水路と200mにおよぶ落差をもつ発電所が提案されている。このため、高流速で流下する河水中に含まれる土砂により発電施設が損傷され易い状況となっている。もしいったん浸食が導水トンネル内で発生した場合その補修及び維持管理にかなりの困難が伴うものと考えられる。
- (ii) 当計画では、圧力水路に内張り鉄管を採用している。発電では、特に、雨期には相当の流砂を含む水を使用してその運転を行わざるを得ず、当然内張鉄管及び水車の摩耗等が発生する事が予想される。

沈砂池は、取水口の直下流に設け、その規模を巾52.9mの全長190mとした。発電を中断せず沈砂池に溜まった砂の除去作業が行えるように本沈砂池は、独立した3槽から成り、それぞれの水槽には上流端に巾3.7m×高4.4mのローラゲート、下流端に同型式巾3.8m高さ4.8mゲート、底部に砂吐

き設備が設けられている。最大粒径0.3mmの砂の除去を対象として一槽当りの水槽の巾は15.3m、必要水深は4.3mと決められた。河側の水槽側壁高さは、高水時に沈砂池内に流入した設計取水量以上の流量を吐くため標高320mとした。沈砂水槽内に溜った砂の除去は、各槽底部に設けられた暗梁と巾2.5m高さ1.0mのスライドゲートから成る砂吐設備で行う。

9.2.3 導水路

導水路に関しては、導水方式、ルート、巻立方法、最適内径が検討された。

導水方式については、地形から判断して開水路方式の実現性は考えられず、トンネル方式となった。トンネル導水方法としては、無圧式と圧力式があるが、経済比較より圧力トンネル案を採用した。

ルートに関しては、図9.1に示すように沈砂池の下流約100mと800mの地点に位置する深い沢が、ルート選定上重要な要因となっている。最初の沢を横断する方法としては、i)水管橋を用い最短距離で横断、ii)カルバート式水路を沢の斜面なりに沿わせ沢の上流側で横断する2方法が考えられたが、工事費比較の結果、後者の方法が採用された。二番目の沢を横断する方法として2つのルートが考慮された。1つは、第一の沢を横断直後設けられるトンネル坑口から調圧水槽まで直線で結んだ最短ルートであるが、沢でのかぶりが薄い為、内張り鉄管をほどこしたコンクリートカルバートでこの沢を横断する必要がある。他方のルートは、この沢をトンネルで横断できるようにトンネル線形を山側に約500m寄せたルートであるが、この結果、前者に較べ全長は239m長くなる。両トンネル共坑口の20mと、流紋岩及び花崗岩中に存在する弱層部の計約540mは、コンクリート巻立て、その他は吹き付けコンクリート仕上げの条件下で、工事費と水頭損失の差に伴う便益の差を算出し、経済比較検討を行った。結果として、経済的有意差は見られなかったが、前者ルートは、沢の地質状態によっては開削方式ではなく薄いかぶりのトンネルを許容できる可能性があり、この案を選択した。

トンネルの巻立て方法に関しては、地質調査結果より、トンネルの通過する岩は硬質な花崗岩であり、技術的には無巻きも可能であると判断された。一方無巻きトンネルは、工事費は低廉であるが、同じ内径のコンクリート巻立てトンネルに比べて損失水頭が大きく、この結果発電便益が小さくなる。巻立て方法の選定は、まず最初にコンクリート巻立てトンネルについて工事費と発電便益の損失を最小とする断面を求め、次に同じ大きさの発電便益の損失を生じせしめる無巻き、吹付け、及びTBMを用い無巻きとした場合の各断面を算定し、工事費の比較を行った。結果として最も経済性の優れた吹付けコンクリートによる巻立案を採用した。

トンネルの最適径は、工事費と50年間に生じる発電便益損失の合計が最小となるように試算され、コンクリート巻立部では4.8m、吹付けコンクリート部では5.8mと定められた。

上記検討結果より導水路の全体レイアウト、縦断、標準横断面は、図9.2及び図9.6に示す通りであり、その設計概要は次の通りである。

沈砂池下流端から調圧水槽を連結する導水路は、2つのカルバート式水路と2つのトンネルより成り、全長6,165m、縦断勾配は1:309である。上流側のカルバート式水路（No.1カルバート）は、沈砂池下流端のゲートより始まり最初のトンネル坑口までで、その長さは403.8mである。次のカルバート（No.2カルバート）は、沈砂池より下流800mに位置する沢と導水路の交差点に設けられ、その長さは50mである。2つのカルバート間に位置する上流側トンネルは長さ492m、下流側トンネルはNo.2カルバートの下流端から調圧水槽までで、長さ5,145.3mである。調圧水槽上流約100mより下流側に存在する流紋岩と花崗岩層に存在する弱層部等を考慮し、トンネル全長の内約90%を内径は5.8m、吹付け厚10cmの吹付けコンクリート巻立、残り10%に相当する約600mをコンクリート巻立とした。調圧水槽側に連続してつながるコンクリート巻立部の内径は4.8mとし、吹付け巻立区間内に不連続的に配置されるコンクリート巻立の内径は、断面変化を避ける為、吹付けコンクリート巻立部と同じ内径、すなわち5.8mとした。コンクリート巻立の厚さは岩盤の状況により異なり、中級程度の岩では25cm、坑口付近や低級岩盤では40cmとした。

9.2.4 調圧水槽

調圧水槽は、制水口付き調圧水槽として最高上昇水位及び最低下降水位を解析より求め設計した。最高上昇水位の検討では、洪水時の沈砂池下流端の最高水位322.5m時の全負荷急遮断とし、最低下降水位の検討では、常時満水位319m時で半負荷急増とした。その結果、水槽内径17mとした場合、最高上昇水位が329.8m、最低下降水位が297mが算定された。平面図及び標準断面図は、図9.7に示す通りである。

9.2.5 圧力水路

圧力水路に関しては、型式、管路の条数及び最適径の検討がなされた。

型式については、発電所が地上式であること、及び地形地質的条件から地上設置案と地下式案の両者が適用可能である。次に述べる地上式1案と地下式2案の工事費、及び損失水頭に伴う損失便益を考慮した経済検討を行い、最も経済的である地下式の型式Ⅱが選定された。

型式Ⅰ：：明かり式水圧鉄管路で、調圧水槽から下流に延びる60mの水平トンネル、433mの

水圧鉄管、水圧鉄管バルブ及びコンクリートアンカーブロック・支台から成る。

型式Ⅱ： 地下式圧力水路で、調圧水槽より20mの水平トンネル、174mの立坑及び立坑下端より発電所につながる394mの水平トンネルより構成される。水圧鉄管は、発電所から上流側336mの位置までとし、その他は鉄筋コンクリート巻立とする。

型式Ⅲ： 上記Ⅱの立坑を斜坑とした案。調圧水槽から下流にのびる20mの水平トンネル、250m長の斜坑、及び336mの水平トンネルより構成される。斜坑部以上は、コンクリート巻立のみの設計とした結果、調圧水槽は約100m上流側に移動し、調圧水槽は完全地下式となる。

管路の条数に関しては、1) 調圧水槽から発電所の前面数十mに設置される分岐点まで一条とし、そこから2条にして各ユニットに連結する方法と2) 調圧水槽から2条で直接ユニットに連結する方法がある。後者の案は、前者に比べて工事費は明かに高いが、水圧管路の点検修理時に2台同時に運転を中断せずに行える利点がある。しかし、本発電所が連結される系統の発電容量は大きく、本発電所の発電中断による系統への影響は、非常に小さい。したがって、1条案を採用した。

水圧鉄管路の最適径は、工事費、損失水頭に伴う損失便益の他、水撃圧に影響を与える水車の閉鎖時間も考慮して経済検討を行い、最も経済的な結果に至った内径4.3mとした。

上記検討の結果に基づき施設設計がなされ、平面図及び標準断面図は図9.7に示す通りである。その内容は、次の通り要約される。

圧力水路は、調圧水槽から下流に延びる20mの水平トンネル、174mの立坑及び立坑下端から発電所につながる393.5mの水平トンネルにより構成される。発電所から上流側323.5mまでの区間は鋼管埋設とし、その他は内径4.8m、巻立厚40cmの鉄筋コンクリート巻立が適用される。鋼管は、水車中心より43m上流側に設置される球分岐で、内径4.3mの鋼管一条から2.5mの鋼管二条変わる。鋼管を埋設するトンネル区間は、作業性を考えてコンクリート巻立厚は60cmとした。

9.2.6 発電所

発電所に関しては、主機台数、発電所地点、発電所型式の検討がなされた。

最小運転可能流量、効率、計画及び非計画休止による発電損失及び工事費を考慮して、2台案、3台案及び4台案について最適主機台数の検討を行い、その結果最も経済的である2台案を採用した。発電所地点は、プレフィージビリティで提案された地点の他に、下流約400mの地点が新たに考慮された。しかし、比較検討の結果、下流案は上流案に比べて経済的優位性は同等かそれ以下でありかつ移転住民の数が増えることが判明した。この理由より、原案の方が採用された。発電所型式として地上式と地下式が検討されたが、地下式発電所の工事費が大巾に増大するため地上式を

採用した。

上記検討結果に基づく発電所の設計は、図9.7から図9.11に示す通りであり、その内容は次のように要約される。

提案された発電所地点は、イタジャイ河の右岸に位置する。河川水位は年平均111.6mであり、ELETROBRASと協議の結果決めた設計規準に基づき採用した10,000年確率の設計洪水量12,000m³/秒における水位は、標高215mである。発電所は主機台数2台の地上式発電所であり、水車は縦軸フランシス、発電機は縦軸半カサ型である。発電所の寸法は長さ58.5m、巾31.5m、高さ43.5mであり、放水庭から出た水が河になめらかに流入するように、放水路ルートを水圧管路軸に対して時計方向に15°河川下流方向に傾けた。放水路は巾28m長さ60mあり、この放水路により既設道路が分断される為、スパン36m長のコンクリート橋が必要となる。主変圧器は発電所の背面、つまり水圧管路側に設置される。屋外開閉所は、発電所の上流側に隣接し、138kVの開閉器が配置できる広さとして長さ80m巾55mを確保した。

9.3 水門及び水圧鉄管

本プロジェクトに必要な各ゲート、スクリーン、除塵機、水圧鉄管は、フィージビリティレベルでの工事費見積りを主目的とし、標準的な設計がなされた。これらの基本寸法は、次に示す通り。

装 置 名	寸 法
土砂吐門ゲート	二段ゲート(巾5m×高7.3m)×1セット 4分割角落とし(巾5m×高7.2m)×1セット
取水口スクリーン	巾5.7m斜長10.146m×4セット 自走式除塵機2台
取水口ゲート	ローラーゲート(巾3.7m×高4.4m)×3セット 3分割角落とし(巾3.7m×高4.5m)×1セット
排砂ゲート	ローラーゲート(巾2.5m×高1.0m)×9セット
沈砂池閉鎖ゲート	ローラーゲート(巾3.8m×高4.8m)×1セット
ドラフトチューブゲート	スライドゲート(巾3.5m×高4.4m)×2セット
カルバート内張管	薄肉鋼管 内径4.8m×長さ394m 内径5.8m×長さ70m
水圧管路埋設管	鋼管 内径4.3m~2.5m×全長365m 球分岐管 内径4.3m1個

9.4 発電関係機器

水車、発電機及び変圧機器の発電機器の設計は、本調査レベルでの工事費見積を目的として標準的設計がなされた。基本緒元は、次に示す通り。

機 器 名	寸 法
水 車	立軸フランス型定格出力 72,600 kW 2 台
発電機	3相、準カサ型立軸同期発電機 定格出力 78,900 kVA、60 Hz、力率 0.9、13.8 kV、 327.3 rpm 2 台
主変圧器	屋外式 三相 油入形式 2 台

現在、ブルメナウーリオドスル間の一部が138 kV1回線であるが、1994年末にはCELESCにより138 kV2回線に増設される予定であり、本発電所はこの2回線送電線に接続予定である。

9.5 発生電力

上記施設設計で決定された次の諸元にもとずき、1941年から1990年の50年間のダム地点及び発電所地点の日流量を用いて発生電力のシュミレーションがなされた。

— ダム軸	B
— 貯水池満水位	319.0 m
— 設計放水口水位	111.5 m
— 設計静落差	207.5 m
— 最大損失水頭	28.2 m
— 導水路全長	6,091 m
— ペンストック全長	588 m
— 発電機器	
主機台数	2台
容 量	2 × 71.0 MW = 142.0 MW
— 最大使用水量	90 m ³ /秒
— 定格落差	179.3 m

日発生電力は次式で算出された。

$$P = Q \cdot H \cdot F \cdot g$$

但し、 P: 発生電力

Q: 発電使用日流量

H: 有効落差

F: 合成効率

g: 重力加速度 (= 9.8 m/秒²)

発電使用日流量は、河川維持放流量 7.2 m³/秒を考慮した。次式に示された通り、貯水位と放水口水位の差である静落差より取水口から放水口までの損失水頭を減じて有効落差を求めた。放水口水位は、発電所地点の流量に関係しており、発電所下流に位置するアピューナで観測された日流量に観測地点と発電所地点の集水面積比を乗じて求めた流量を使用して放水口水位を算出した。

$$H = H_g - H_s$$

$$H_s = H_{s \max} \times (Q/Q_{\max})^2$$

但し H_g : 静落差 (m)

H_s : 流量 Q での損失水頭 (m)

$H_{s \max}$: 最大使用流量 Q_{\max} での損失水頭 (m)

Q_{\max} : 最大使用流量 (= 90 m³/秒)

使用した合成効率、次に示す通りであり、1台当たりの負荷が全負荷の40%以下の時は運転中止とした。

負荷率	合成効率
100 %	0.898
85 %	0.912
70 %	0.899
40 %	0.794

日発生電力シミュレーションの結果に基づき、月平均最大発生電力量は表 9.1 及び図 9.9 に示し、年間平均最大発生電力量は同様図 9.10 に示した。有効発生電力量はELETROBRASの規準に従い休止率 10.2 % を適用し、有効常時電力 70.46 MWy、有効二次電力 11.08 MWy と算出された。

第10章 工事計画及び事業費積算

10.1 概要

本章では、本プロジェクトに係わる工事計画と事業費の見積りを行う。

10.2 工事計画

10.2.1 基本条件

工事計画は、次の基本条件に基づき作成した。

(1) 作業可能日数

河川締切り	: 220 日
土工	: 264 日
コンクリート工	: 288 日
トンネル工	: 300 日

但し、日作業時間は、トンネル工以外は8時間とし、トンネル工は、二交替制で一交替10時間とした。

(2) 締固めによる土及び岩の膨張係数は、それぞれ0.95, 1.40。

(3) 工事に必要な全ての施工機械及び設備は、ブラジルで入手可能。

(4) 施工機械の作業効率は、ELETROBRAS及びELETROSULが使用している標準値を使用。

(5) 全ての工事材料はブラジルで入手可能である。粗骨材は、全必要量を砕石によって製造する。細骨材に関しては、55%を砕石から製造するが、45%はブルメナウより川砂を購入する。骨材製造の原材料として60%は原石山より、残り40%はダム、トンネルの掘削材料を流用する。原石山の位置を図10.1に示す。

(6) 工事の為の一般作業員は、プロジェクトの近隣地域より雇用し、専門作業員も近隣地域もしくはフロリアナボリス、イタジャイ及びブルメナウより雇用する。

(7) ブラジルの規定に従い、環境対策費は事業費に含める。

10.2.2 工事計画

(1) 準備工事

本工事に先だち、工事用道路、土捨場、工事用宿舍、砕石及びコンクリートプラント、配電設備、給排水設備の工事を行う。これら準備工事の位置は、図10.1に示す通りである。100 ton/hの製造能力を有する砕石プラントは、上流側の原石山近くに設置し、製造能力60 m³/hと45 m³/h