

第6章 最適開発計画案

6.1 まえがき

タナ川はケニア国において最大の河川であり、河川水と有効な落差は今日まで水力発電のために開発されている。1968年以來、タナ川に沿い五つの水力発電所が建設された。タナ川の縦断図を図6.1.1に示す。ムトンガ及びグランドフォールズダムサイトは、豊富な水量と適切な地形と良好な地質条件により、有力な開発地点とみなされている。本計画は5.2章で述べた電力需要の伸びに対しクリーンで安定かつ経済的な電力を供給するものである。

本計画は、水力発電および灌漑・都市用水への水供給のみならず河川水の制御による下流環境の改善に貢献する。

ムトンガ及びグランドフォールズ水力発電所の現地調査及び予備設計は、1980年にキャンベレ計画のフィージビリティ調査、1986年にケニア全国電力開発計画 (KNPDP)、1990年にケニア全国電力開発計画のupdate調査により実施され、次の四つの計画が報告されている。

- 1) ムトンガダム (MT)
- 2) 低グランドフォールズダム (Low GF)
- 3) 低グランドフォールズダム+ムトンガダム (Low GF + MT)
- 4) 高グランドフォールズダム

本計画は、キャンベレダム地点における放水水位542.0mとグランドフォールズダム地点の標高444.0m間の標高差98mを水力発電に利用するものである。高グランドフォールズダムは、一箇所に大規模ダムを建設することにより98m水頭を利用するのに対し、低グランドフォールズダムとムトンガ計画は二つの中規模のダムの建設によりこの水頭をを開發するものである。開発規模による、貯水池面積と容量の変化を図6.1.2に示す。

プロジェクトの最適計画案は、上記4計画の中で純便益と内部収益率を最大とする計画案が選定される。

最適計画案の検討は、最適開発計画案と比較案の検討及び最適投入時期の検討を次の四つのステップにより実施した：

- 第一ステップは、五つの既存ダムと計画中ダムの貯水池群から成るシミュレーションモデルを構築し貯水池模擬運用操作を実施した。貯水池運用操作は、電力による便益を最大にする既存及び計画中の貯水池の最適運用操作を確立するために、一定の貯水池運用操作を設定し実施した。
- 第二ステップは、四つの開発計画案 (MT, 低GF, 低GF + MT, 高GF) の中から電力便益、灌漑と都市用水による便益、人工洪水による便益を考慮し、最適開発計画案を見つけた。プロジェクトの重要な機能のひとつである人工洪水は、電力及び灌漑便益を減少させるが、環境を改善する。人工洪水による負の便益は、経済分析することで検証し

た。

- 第三ステップは、第二ステップで選定された最適開発計画案に対し、地形および地質条件を考慮し、ダムサイト及びダムタイプを比較検討し最適な計画のレイアウトを見つけるために実施した。
- 第四ステップは、最適設備容量を決定するために実施した。

6.2 貯水池運用

6.2.1 シミュレーションモデル

マシंगा、キャンブル、ギタル、キンダルマ、キャンベレの既存の貯水池を考慮しムトンガ、低グランドフォールズ、高グランドフォールズダムの最適な貯水池運用ルールを確立するために、シミュレーションモデルを構築した。モデルは、IMAGINE THAT Inc.により開発されたソフトウェア "EXTEND"を使用した。

図3.2.2に示される上流域は、図 6.2.1の様にモデル化した。モデル化した流域は、コンピューターソフトウェアの中にコード化した。モデルの構造は 図 6.2.2に示される。各小流域に於ける河川流量シリーズは3.2章で作成されたものを使用し、5.3と5.4章で算出された灌漑と都市用水に対する水供給を使用した。各小流域に於ける河川流量と水供給は、水文モデルの中に取り込んだ。シミュレーションは、上流域の水供給を控除した残りの流量シリーズにより実施した。

タナ川における水力発電所は表6.2.1に示される。五つの大規模の水力発電所が電力を供給している。上流から、順に1981年にマシंगा、1974年にキャンブル、1978年にギタル、1968年にキンダルマ、1988年にキャンベレが発電を開発している。計画の規模と貯水池の規模を決定する重要な要素の一つは、貯水容量比である。これは、年間流入量に対する貯水池の有効貯水量の比率により表わされる。タナ川の貯水池のこの比率を下の表に示す。

項目	マシंगा	キャンブル	ギタル	キンダルマ	キャンベレ	ムトンガ	低G/F	高G/F
流入量 (m ³ /s)	87.37	107.52	107.76	107.96	111.18	145.45	160.67	160.67
年間総流入量(10 ⁶ m ³)	2,755	3,391	3,398	3,405	3,506	4,587	5,067	5,067
有効貯水量 (10 ⁶ m ³)	1,410	135	12.5	7.5	485	82.5	955	3,616
調整率	0.512	0.040	0.004	0.002	0.138	0.018	0.185	0.714

上の表は、マシंगाダムは大きな調整能力を持つことを示している。また、マシंगाダムはタナ川の最上流に位置しており、下流の発電所及び貯水池操作に大きく影響している。

モデルはタナ川にある水力発電所をモデルの中に取り込んでいる。タナ川の水力発電所は、流れ込式と貯水池式発電所の二つのタイプに分けられる。調整率が5%以下の発電所は、季節的な河川流量の調整能力がないため、流れ込み式発電所とした。

タナ川の水力発電所は以下の通りに分類される。

- 流れ込み式発電所：キャンブル、ギタル、キンダルマ、ムトンガ

- 貯水池式発電所 : マシंगा、キャンベレ、(低/高)グラントフォールズ

各発電所のデータは、大きく三つの入力データと六つの出力データから成る。入力データは1) 流入量、2) 貯水池操作ルール、と3) 最小発電流量から成る。出力データは1) 貯水池水位2) 発電流量、3) 洪水吐きからの流出、4) 発電出力、5) 発電量と6) 蒸発散による損失から構成される。流れ込み式発電所に対しては、貯水池操作ルールと最小発電流量と蒸発散による損失を考慮しない。

各貯水池への流入量は、上流の発電所からの流出量、洪水吐きからの流出量、残留域からの流出量を含む。また残留域からの流出量は、灌漑及び上工水への水供給量を控除している。

6.2.2 シュミレーションモデルの条件と仮定

上流の貯水池から下流の貯水池までの貯水池操作は、日流量を基に次の手法により実施した。

(1) 貯水池内の水バランス

貯水池内の水バランスは次の式により計算した。

$$S_j = S_{j-1} + I_j - O_j - EV_j$$

ここに、	S_j	:	当日の貯水池の貯留量
	S_{j-1}	:	前日の貯水池の貯留量
	I_j	:	当日の貯水池への流入量
	O_j	:	当日の貯水池からの流出量
	EV_j	:	当日の貯水池からの蒸発散量

シュミレーションの流れ図を図6.2.3と6.2.4に示す。蒸発散量は貯水池面積比により算定した。流入量は、当日の貯水池への流入量が未知であるため、前日の流入量とした。貯水池からの流出量は、発電使用流量と洪水吐きからの流出量である。洪水吐きからの流出量は、貯水池水位が満水位を越えた場合に、流出量を算定した。

(2) 発電流量

貯水池操作を確立し、各貯水池タイプの貯水池操作ルールを図6.2.5と6.2.6に示す。また次の様に考えた。

- ルールカーブ1は、流入量が保障流量を越えない限り、貯水池水位を常時満水位(FSL)に維持する。
- ルールカーブ2から5は、乾期の終了時期(3月と10月の始め)に貯水池水位を常時満水位(FSL)以下のある水位まで下げ、雨期に満水位に戻す様にした。
- 水車を通じて流出する最小流量を保障流量と設定した。これは、流入量が渇水期に小さい時、最小流量の継続を避け、最小発電出力を保障することを目的としている。保障出力は、貯水池水位が最低運転水位(MOL)に最終的に達するまで、この保障流量により発電する。

上記ルールカーブは、毎月の始めに目的とする貯水池水位を明かにする。貯水池運用操作は、貯水池への流入量が発電使用可能流量よりも小さい限り、また保障流量より大きい限り、毎年周期

的に月ごとのルールカーブに従った。

貯水池への流入量は、流入量が発電可能流量よりも大きい時は、貯水池に貯留され、貯水池水位を上昇させる。また、余剰水は、貯水池水位が常時満水位(FSL)を越えた時、洪水吐きより放流される。流入量が保障流量より小さい場合、貯水池に貯留された水が発電用として放流される。この場合、貯水池水位はルールカーブ以下に低下する。貯水池水位が最低運転水位(MOL)にある時は、発電流量は流入量と同じ流量とした。発電可能流量は、貯水池水位により、以下の式に表わされる。

$$Q = Q_{\max} \times (h_e/h_r)^{0.5}$$

ここに、 Q : 発電流量 (m^3/s)
 Q_{\max} : 有効水頭での最大発電流量 (m^3/s)
 h_e : 有効水頭 (m) = 静水頭 - 損失水頭
 h_r : 有効水頭 (m)

(3) 発電出力

発電出力(kW)と電力量(kWh)は、次の式により算定される。

$$P = g \times Q \times h_e \times E_t \times E_h$$

ここに、 P : 発電出力 (kW)
 g : 重力加速度 ($9.8 m/s^2$)
 Q : 発電流量 (m^3/s)
 h_e : 有効水頭 (m) = 静水頭 - 損失水頭
 E_t : 水車と発電機の合成効率
 E_h : 水頭の変化による水車効率

$$E = P \times t$$

ここに、 E : 電力量 (kWh)
 t : 発電時間(hr.)

(4) 流れ込式発電所の発電ルール

既存のキャンブル、キンダルマ、ギタル、ムトンガの各発電所は、調整率が5%以下であり季節的に流入量を調整出来ない為、流れ込み式発電所とした。流れ込み式発電所の発電流量は、発電可能流量まで流入量と同じとした。シュミレーションに於ける貯水池水位は、常時満水位(FSL)に維持した。蒸発散による損失は、貯水池面積が小さいので考慮しなかった。

(5) 貯水池運用ルールの評価

水力発電所の発電便益は、保障出力と年間平均発電量により評価した。年間の発電便益は、発電出力に対する電力価値121.4 \$/kWと発電量に対する電力量価値0.0705 \$/kWhにより算出した。最適貯水池運用操作は、発電便益を最大にするものとして考えた。

(6) 発電計画案

既存及び計画中の貯水池面積及び貯水容量は図6.2.7から6.2.9に示す。ムトンガとグランドフォールズダムは、タナ川とムトンガ川・カジタ川の合流地点に位置する。

以下の計画基本諸元をシュミレーションに適用した。

項目	ムトンガ	低GF	高GF
最低水位：MOL (m)	538.5	491.4	518.2
満水位：FSL (m)	550.0	512.0	550.0
設備容量(MW)	60.0	140.0	200.0
台数	2	2	2

以上の最低運転水位(MOL)は、6.4.1章に於ける貯水池水位の検討結果を参考にした。最適化検討は、最初のステップとして、最適開発計画を探すことを目的として実施した。6.4.1章における最低運転水位(MOL)の決定後、また最終の最低運転水位により、最適計画案を検証した。

6.2.3 最適貯水池運用操作

貯水池運用操作は、1957年から1990年までの34年間の日流量を使用し実施した。日流量は3章で算定されたもので、12,410日に当たる。

貯水池運用操作は、段階的に実施した。即ち、第一に計画のダム上流に位置する既存のダムを運用した。第二に計画のダムを運用し、最後にタナ川全体の貯水池を運用した。

(1) 既存のダム

マシंगा+流れ込み式発電所

三箇所の流れ込み式発電所であるキャンブル、ギタル、キングルマは、マシंगाダムの下流にあり、また貯水容量が小規模であるため、マシंगा貯水池により制御される。また、マシंगाダムの操作は、四箇所の発電所をシュミレーションすることにより評価した。

流量 $35 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $60 \text{ m}^3/\text{sec}$ までの保障流量に、ルールカーブ1から5を適用した。シュミレーションは、30ケース (= 6ケース 保障流量 x 5ルールカーブ)を実施した。図6.2.10に示す様に、年間平均発電量と保障出力の二つの評価指数により最適ルールカーブを評価した。この図は保障流量の増加に従い、年間平均発電量が増加し、一方保障出力は保障流量が40 to $55 \text{ m}^3/\text{sec}$ を越えた時に減少することを示している。更に、図6.2.10は保障流量 $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ がルールカーブ3で最大の年間平均発電量と保障出力を与えることを示している。従って、マシंगाダムにより発生する電力便益は、ルールカーブ3、保障流量 $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ により最大にされることが分かる。

キャンベレ

流量 $55 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $80 \text{ m}^3/\text{sec}$ での保障流量は、ルールカーブ1から3を適用した。キャンベレダムのルールカーブはマシंगाダムのルールカーブと同じとした。シュミレーション結果は、図6.2.11に示す。この図は、 $55 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $70 \text{ m}^3/\text{sec}$ の範囲でルールカーブ2と3に於いて、緩やかに年間平均発電量が増加する一方、保障出力は保障流量が $60 \text{ m}^3/\text{sec}$ を越える時点で減少することを示している。従って、キャンベレダムにより発生する電力便益は、保障流量 $60 \text{ m}^3/\text{sec}$ で最大にされることが言える。

全既存ダム

シュミレーションは、以上により選定された保障流量 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ （マシंगाダム）と $60 \text{ m}^3/\text{s}$ （キャンベレダム）を使用し次のルールカーブの合成により実施した。

ダム	ルールカーブナンバー											
マシंगाダム	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
キャンベレダム	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

キャンベレとマシंगाダムを含むタナ川の全ての発電所の年間平均発電量と保障出力、図6.2.12に示す。図6.2.12に示される様に、マシंगाダムに対しルールカーブ3をキャンベレダムに対しルールカーブ2を採用したコンビネーションが他のルールカーブより、最大の便益をもたらすことが分かる。従って、マシंगाダムに対しルールカーブ3をキャンベレダムに対しルールカーブ2を適用した貯水池運用操作が、発電所群として既存の発電所の電力便益を最大にすることになる。

(2) 計画ダムの検証

計画の下流ダムのムトンガ、低グランドフォールズ、高グランドフォールズダムに対し、上記と同じシュミレーションを実施した。

ムトンガ

ムトンガは流れ込み式発電所とみなした。保障流量は $60 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $85 \text{ m}^3/\text{sec}$ に変化させ、ルールカーブ1のみを採用した。シュミレーション結果を図6.2.13に示す。この図は、流量 $60 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $70 \text{ m}^3/\text{sec}$ の範囲で年間発生電力量に大きな変化はないが、保障流量 $65 \text{ m}^3/\text{s}$ に於いて最大の電力便益をもたらすことを示している。従って、保障流量 $65 \text{ m}^3/\text{sec}$ が最大出力を出すこととなる。

低グランドフォールズ

保障流量を $65 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $95 \text{ m}^3/\text{sec}$ に変化させ、ルールカーブ1から3を採用した。シュミレーション結果を図6.2.14に示す。この図は、保障流量 $75 \text{ m}^3/\text{s}$ に於いて最大の電力便益をもたらすことを示している。従って、保障流量 $75 \text{ m}^3/\text{sec}$ が最適な保障流量となる。

高グランドフォールズ

保障流量を $60 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ に変化させ、ルールカーブ1から3を採用した。シュミレーション結果を図6.2.15に示す。図6.2.15により、最適な保障流量は $70 \text{ m}^3/\text{sec}$ であると選定される。年間平均発生電力量は保障流量を $70 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $85 \text{ m}^3/\text{sec}$ の範囲で変化しないが、最大の保障出力が $70 \text{ m}^3/\text{sec}$ で導かれることにより、最適な保障流量が $70 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる。

(3) 最適貯水池運用操作ルール

既存のダムと計画のダムと一緒に運用操作した場合につき、最終の最適貯水池運用操作ルールを決定する為に、シュミレーションを実施した。その結果、ムトンガ、低グランドフォールズ+ムトンガ、高グランドフォールズダムは低グランドフォールズの運用操作と同じ運用操作であるこ

とが、明かになった。

ダム	ルールカーブナンバー	保障流量
マシंगा	3 and 4	$Q_f = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
キャンベレ	1, 2, 3	$Q_f = 60 \text{ m}^3/\text{s}$
低グラウンドフォールズ	1, 2, 3	$Q_f = 75 \text{ m}^3/\text{s}$
ケース数	18 ケース	

マシंगाからグラウンドフォールズダムまで全部の発電所の合計の年間平均発生電力量と保障出力を図6.2.16に示す。この図は、マシंगाダムがルールカーブ3、下流のキャンベレ及びグラウンドフォールズダムがルールカーブ2において、最も大きな発電便益をもたらすことを示している。マシंगाダムは大規模な貯水池を持つ最上流のダムであり、下流のダム群に調整された水を供給し、かつ貯水位を高い標高で操作することにより、ダム群のなかで最も重要な役割を果たしていることが分かる。

6.3 最適開発計画の検討

6.3.1 最適開発計画

プロジェクトの最適開発計画を選定するために、ムトンガダム(MT)、低グラウンドフォールズダム(低GF)、低グラウンドフォールズダム+ムトンガダム(低GF+MT)、高グラウンドフォールズダム(高GF)案の経済比較検討を、電力、灌漑、都市用水及び洪水を含む経済効果の点における便益と費用を算定することにより実施した。この章は電力における経済比較につき説明する。

- (1) 概略設計
- (A) ダム

最適開発計画の比較検討を実施する為に、ダムタイプとして中央遮水型ロックフィルダムを選んだ。キャンベレダムのフィージビリティ調査報告書(1980, EPDC)と全国電力開発計画(1986, Acres)で明かになったダムサイトに追加し、今回ダム両岸とダム天端長さを考慮し、下流ダム軸も検討した。貯水池容量及びダム堤体量と掘削量を比較検討した結果、工事費・単位盛土による形成される貯水池容量を考慮し、MT、低GF、高GFに対し前回のダム軸を選定した。選定したダム軸のレイアウトを図6.3.1から6.3.3に示す。図6.3.4にロックフィルダムの断面を示す。

ボーリング及び物理探査を含む地質調査は、推定した掘削深さは適切であると確認された。ダムの掘削量及び盛土量はデータプロセッシングにより算定した。MT、低GF及び高GFの盛土量は、 $810,000 \text{ m}^3$ 、 $5,560,000 \text{ m}^3$ 、 $22,320,000 \text{ m}^3$ と見積もられた。また掘削量は $194,000 \text{ m}^3$ 、 $860,000 \text{ m}^3$ 、 $2,058,000 \text{ m}^3$ と見積もられた。

ダムの洪水に対する安全性はムトンガダム、低グラウンドフォールズダムと高グラウンドフォールズダムに $10,000$ 年確率洪水 $10,900 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、 $12,800 \text{ m}^3/\text{sec}$ の洪水を適用し検証した。更に、仮排水路の設計洪水として、 50 年確率洪水 $2,400 \text{ m}^3/\text{sec}$ をムトンガダム、 $2,800 \text{ m}^3/\text{sec}$ をグラウンドフォールズダムに採用した。主ダム、洪水吐き、コファードム、仮排水路は上記の洪水量に安全な様

に設計した。

(B) 水理構造物

ムトンガダム

ムトンガダムの洪水吐きは、掘削量が最も少ないダム堤体から200mの左岸に位置するように設計した。洪水吐きのシュートは長さ300m、幅81mである。仮排水路トンネルは、トンネル長の短いダム左岸に設置した。仮排水路トンネルは長さ460m、内径10.5 mを2条建設する。

内径6.3m長さ370mの2条の水路を左岸に建設する。トンネル端部の地山被りが薄いことを考慮し、鉄管路は地上式とした。内径4.8m 2条の鉄管路を水路と発電所を結ぶようにした。地上式発電所を河岸に配置した。

低グラントフォールズダム

低グラントフォールズダムの洪水吐きは、右岸に適切なサイトがなく、建設費を最小とする左岸に位置するように設計した。洪水吐きのシュートは長さ200m、幅90mである。2条の仮排水路トンネルをダム右岸に設置した。仮排水路トンネルは長さ650m、内径10.5 mを2条建設する。

内径5.0m長さ460mの2条の水路を左岸に建設する。水路が短く調圧水槽を設置する必要はない。地上式発電所をタナ川河岸に配置した。

高グラントフォールズダム

高グラントフォールズダムは河床部分を除き、低グラントフォールズダムと同じ軸とした。洪水吐きは、地形条件を考慮し左岸に位置するように設計した。洪水吐きのシュートは長さ520m、幅90mである。長さ650m、内径10.5 m 2条の仮排水路トンネルをダム左岸に設置した。

内径4.0m長さ370mの2条の水路を左岸に建設する。水路が短く調圧水槽を設置する必要はない。洪水吐き下に地下式発電所を建設するように設計し、放水路トンネルは発電に使用した水をタナ川に排出するようにした。

(2) 工事費

工事数量は上記の概略設計、レイアウト、構造物の縦横断を基に見積もった。

土木工事、機電/水門・鉄管工事の工事費単価は次の考えに基づき見積もった。

- 全国電力開発計画 (KNPDP) のUpdate
- キャンベレ、ソンドウ/ミリウ、マグワグワプロジェクトなどのケニアにおける類似プロジェクトを参考
- 世界の類似プロジェクトを参照

MT、低GF、高GFの建設費を表6.3.11に示す。

(3) 経済費用への換算

工事費は次の方法により経済費用に換算した。

- 外貨分の費用はいかなる調整もせず経済費用として使用する。
- 内貨分：

- 第一に、国際価格に移行される費用は、材料費と機械費から除外する、
- 第二に、セメントの経済価格は潜在価格を考慮し、財務費用の38%とする。
- 第三に、非交易材部分は標準変換率92%により国際市場価格に変換する。
- 第四に、経済的労務費用は熟練労務者に対し85%、非熟練労務者に対し60%の潜在労務賃金率を適用し見積もった。

工事費は以下の構成により推定した。

項目	外貨分	内貨分	合計
資材費	0.031	0.262	0.293
機械費	0.339	0.034	0.373
設計監督費	0.050	-	0.050
労賃			
熟練労働者	-	0.142	0.142
非熟練労働者	-	0.142	0.142
合計	0.420	0.580	1.000

注：セメントの費用は内貨分の資材費のうち40%を含めるものとした。故に、セメントの分担率は0.105である。

水車、発電機、施工機械、鋼材等の機器費用は原則として外国にて調達されるとして、全費用の34%とした。一方、労務者同様堤体材(岩)、コンクリート骨材、セメント等の資材は国内市場で入手が可能であるとして、資材費に26%、労賃に28%の加重値が与えられた。詳細設計の設計業務及び工事施工監理業務は外国コンサルタントにより実施されるものとした。その結果、工事費の経済費用への換算する率は、0.89と算定された。

建設費と換算された経済費用は、表6.3.1に示される。MT、低GF、低GF+MT、高GFの経済費用はUS\$187.7百万、US\$362.5百万、US\$550.2百万、US\$673.4百万となった。

(4) 工事工程及び工事費年次別支出

工事のクリティカルパスは、仮排水路トンネル工事、河川転流、ダム盛土及び湛水による。各々の工事スケジュールを図6.3.5から6.3.8に示す。MT、低GF、低GF+MT、高GFの工事期間を4年、5年、9年、7.5年とそれぞれ考えた。この工事期間をもとに、工事費の年次別支出を算定した。

(5) 電力及び電力量便益

代替火力法は水力発電の経済的実施可能性評価のために適用される。計画の水力発電所は電力需要に合う様に、代替の火力発電所と置き換える。計画の水力発電所より発電される電力は、始めに電力需要のピーク部分に配分され、次に水量が豊富な年に中間部分に配分される。この点を考慮し、ガスタービンと低速のディーゼル火力発電所を代替火力として選定した。電力価値、電力量価値と維持管理費は、以下の通り1992年の全国電力開発計画 (KNPDP) を参考とした。

項目	ガスタービン	低速ディーゼル	平均	維持管理費
電力価値 (\$/kW)	593	1,034	814	16.0
電力量価値 (\$/kWh)	0.0879	0.0492	0.0686	-

電力量価値は、世界銀行発行“Commodity Price Forecasts, First Quarter 1996”に基づきUS\$ 17/bblと設定し、また設備利用率を70%とした。また水力と火力の電力損失率を次表のよう

に考えた。

項目	(Unit: %)	
	水力発電	火力発電
(電力価値と電力量価値に対し)		
送電線による損失	5.0	2.0
所内発電による損失	0.3	6.0
(電力価値のみ)		
事故による停止	0.5	5.0
維持管理による停止	2.0	8.0

上記の損失は水力発電をより便益のあるものとする。便益は電力価値に対し1.147、電力量価値に対し1.028の調整係数を換算することにより算定した。12%の割引率と25年間の火力発電所の寿命を仮定し、資本還元率は次の様に計算した。

$$\text{資本還元率} = (1 + i)^n \times i / ((1 + i)^n - 1) \times 100 = 12.75 \%$$

また、年間の電力価値と等価電力量価値は次の様に見積もった。

項目	電力/電力量価値	調整係数	資本還元率	等価年間価値
電力価値 (\$/kW)	830	1.147	0.1275	121.4
電力量価値 (\$/kWh)	0.0686	1.028	-	0.0705

(6) 電源開発の観点からの経済比較

発電機器の修繕費用は、運転開始後30年に一回実施されるとした。維持管理費は土木工事費と水門・鉄管と送変電設備費の0.5%と設備容量の4 から 8 US\$/kWを加算して算定した。経済的キャッシュフローは、12%の割引率で作成した。その結果、経済的指標は表6.3.1に示され、以下の通り纏められる。

項目	単位	ムトンガ	低GF	低GF +ムトンガ		高GF
				低GF	高GF	
設備容量	MW	60	140	200	200	
保障出力	MW	58	134	192	197	
年間発生電力	GWh/year	337	715	1,052	1,108	
経済プロジェクト費用	百万US\$	187.7	362.5	550.2	673.4	
年間便益	百万US\$/year	30.8	66.7	97.5	98.5	
費用の現在価値	百万US\$	161.9	297.8	387.9	514.1	
便益の現在価値	百万US\$	182.1	351.8	455.6	414.4	
便益/費用		1.12	1.18	1.18	0.81	
純便益	百万US\$	20.2	54.0	67.7	-99.7	
内部収益率	%	13.4	13.8	13.8	10.1	
発電費用単価	¢/kWh	8.1	7.9	7.9	10.0	

注) 発電費用単価は割引率12%で算定した費用の現在価値を発電量の現在価値で除し算定した。

上表の純便益と内部収益率による経済指標は、低グランドフォールズ+ムトンガ計画が最も経済的な開発計画であることを示している。また経済検討の結果は、低グランドフォールズとムトンガ計画、即ち低グランドフォールズを最初に建設し、次にムトンガを建設することを示唆してい

る。

低グラウンドフォールズ+ムトンガ計画の開発順序に追加して、ムトンガ+低グラウンドフォールズ計画の開発順序につき、経済比較をプロジェクトの開発順序を検証する為に実施した。その結果、ムトンガ計画+低グラウンドフォールズダム計画は、純便益US\$ 44.8百万、内部収益率13.4%と算定された。また、発電単価は8.1¢/kWhと算定された。以上の検討により、低グラウンドフォールズ+ムトンガ計画はムトンガ+低グラウンドフォールズ計画に比較して、純便益と内部収益率を最大にすることになり、経済的であることが明かになった。

一方、低グラウンドフォールズダムの嵩上げ案が経済的に可能性があると推定された。低グラウンドフォールズダムの嵩上げ案につき、プロジェクトの経済的開発案を検証した。上記表より、低グラウンドフォールズダムを嵩上げた場合の追加費用は、US\$ 310.9百万 (US\$ 673.4百万-US\$ 362.5百万)と推定される。低グラウンドフォールズダムの嵩上げ工事はダム建設後10年後に開始し、工事は4年間とした場合、嵩上げ案の純便益と内部収益率はUS\$ 36.6百万、13.2%と算定され、低グラウンドフォールズ+ムトンガ計画よりも低い経済指標であることが分かった。従って、低グラウンドフォールズ+ムトンガ計画が本計画の最適計画案であることが確認された。

(7) 1947年から1995年までの流量による追加経済比較

3.2章に於ける水文検討の結果は、1957年から1990年までの34年間につきタンクモデルを使用し算定した長期日流量を示している。この日流量を基に、最適計画の比較検討は、貯水池模擬操作運転を実施し、経済比較を行うことで実施した。

1957年から1990年までの長期日流量を、1947年から1956年までと1991年から1995年までの流出を加え、1947年から1995年までの長期日流量を作成した。1947年から1995年までの長期日流量は、1997年7月にKPC与えられた日流量の測定流域の流出量をもとに作成した。また、未測定流域の日流量は以下の様に算定した。

- 未測定流域MASI-RLの1947年から1956年までと1991年から1995年まで流出量は、測定流域4CB4+4CA2の流出量に、それぞれの流域比と比流量比を乗じて求めた。
- KAMB-RL、GITA-RL、KIND-RL、MUTO-R、KIAM-RL、GRAF-RLの各々6地域の未測定流域の流出量は、算定されたMASI-RLの流出量を基に逐次隣接する流域間の流域比と比流量比を乗じて求めた。
- MUTO-Lは4EA7を基に、上記の方法により算定した。
- ムトンガと低グラウンドフォールズダムの流出量は、以上の測定流域と未測定流域の流出量を合計して求めた。

算定した1947年から1995年までの長期月平均流量は、表6.3.2と表6.3.3に示す。

1947年から1995年までの長期日流量を使用して各計画案の経済比較の検討の結果を以下の表に示す。

項目	34年間の流出量(1957年-1990年)				49年間の流出量(1947年-1995年)			
	ムトンガ	低GF	低GF +ムトンガ	高GF	ムトンガ	低GF	低GF +ムトンガ	高GF
設備容量 (MW)	60	140	200	200	60	140	200	200
保障電力 (MW)	58	134	192	197	58	135	193	197
年間発生電力量 (GWh/yr)	337	715	1,052	1,108	340	710	1,050	1,103
純便益 (百万US\$)	20.2	54.0	67.7	-99.7	21.4	52.7	67.2	-103.0
内部収益率 (%)	13.4	13.8	13.8	10.1	13.5	13.8	13.8	10.1

比較検討の結果次の点が明らかになった。

- 1947年から1995年までの49年間の日流量を使用して求めた保障出力は、1957年から1990年までの34年間の日流量を使用し算定した保障出力と相違はない。これは、マシンガ、キャンベレ、低グランドフォールズダムの大規模な貯水池により長期流出量が調整されることに起因する。
- 1947年から1995年までの49年間の日流量により求めた年間発生電力量は、また1957年から1990年までの34年間の日流量より求めた年間発生電力量と相違はない。これは、マシンガ、キャンベレ、低グランドフォールズダムの大規模な貯水池により調整され流出する流量の貢献による。
- 49年間の日流量により算定された純便益と内部収益率は、34年間の日流量より求めたものと殆ど同じ。従って、プロジェクトの最適開発計画は前の検討により選定された低グランドフォールズ+ムトンガ計画であることが、更に確認された。

6.3.2 灌漑便益を考慮した最適開発計画

(1) 一般

本計画がない場合、既存のダムからの流出量を利用し、ある一定の面積まで灌漑は開発可能である。しかし、本計画に伴うダムから流出する河川流量の改善により灌漑面積が増加し、追加の灌漑便益がもたらされる。この章では追加の灌漑便益を、考えうるオプションの検討により実施した。

前章において、計画ダムの貯水池運用操作は、安定した電力の供給を確実に行う様に、ダムからの流出量を操作することにより、発電便益を最大限にすることを目的にして、シミュレーションした。しかし、灌漑の水需要は、作付けパターンにより月々違い、発電に必要とされる供給パターンと違う。ムトンガダムは、貯水池容量が小さいため、季節的な流量調整機能を持たない。従って、この章では、低グランドフォールズ+ムトンガダムと高グランドフォールズのオプションにつき検討した。

本計画は、2010年に低グランドフォールズダム、2010年に高グランドフォールズダムが完成する

予定である。追加の灌漑面積は、既存のダムにより調整された流量により開発される。従って、本計画の貯水池運用操作は、2020年に於ける水需要を基にシミュレーションした。増加灌漑面積に対する灌漑施設の建設は、本計画ダムの完成直後に開始するものとし、灌漑便益は工事開始後3年後に発生するとした。また、灌漑便益は8年後に最大になり、上流での水需要により、その後年率0.45%で減少すると仮定した。

(2) 本計画による灌漑開発面積

比較検討のオプションに対し

タナ川沿いの灌漑便益を評価する為に、比較検討オプションに対し最大増加灌漑面積を算定した。灌漑のポテンシャルは、三つの大きな要素の適合性、即ち土地、水、気候を検討することにより、評価可能である。三要素の内、水と気候は全国水資源基本計画調査(MOWD/JICA)の中で、土、地形、気候と土地利用などの変化するデータを使用して評価された。またこの検討では、評価結果をタナ流域沿いの灌漑ポテンシャルを評価する為に適用した。

土地利用

全国水資源基本計画調査は、1)土地勾配、2) 土壌の条件と3) 気温を考慮し、農業生産に対する有効な土地を選定した。有効な土地の選定後、都市部、森林、公園、自然公園、幹線道路と河川から離れた地域を控除した。図6.3.9と図6.3.10に全国水資源基本計画調査により引用された高地作物と低地作物に適する土地の分布を示す。

ダムからの放流

農業用の土地はダムより放流される水を利用し灌漑される。本計画ダムからの放流総量により下流の灌漑可能面積を最大限にするダムからの月放流パターンを確立するために、次の仮定をした。

- i) 下流域には、貯留設備を設けない。
- ii) 余剰水は下流域に配分する。
- iii) リターンフローは考慮しない。
- iv) 家庭及び家畜の水需要については考慮しない。
- v) マナジニ市下流地域に対し、タイプIの作付けパターンを適用した。(MOWDの調査による作付けパターンは、水需要を見積もるために、TARDAの農耕専門家と議論の上、適用した。)
- vi) マナジニ市上流地域に対し、タイプIIの作付けパターンを適用した。

下流地点に於ける河川流量は、4F13における流量を基に算定した。図6.3.11は、各々の小流域に於ける上下流地点を示す。4F13における河川流量は、下流域の流量が全国水資源基本計画調査により推定された自然流量に対して同じ比率により変化すると仮定して、各地点流量に変換された。

次の下流灌漑面積に対しての放流パターンは、下表に示される。

パターン	単位: m ³ /s												合計
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
A	34	19	132	115	165	34	11	109	48	155	98	68	988
B	35	20	133	116	166	35	12	110	49	156	99	69	1,000
C	36	21	134	117	167	36	13	111	50	157	100	70	1,012
D	37	22	135	118	168	37	14	112	51	158	101	71	1,024
E	38	23	136	119	169	38	15	113	52	159	102	72	1,036
F	39	24	137	120	170	39	16	114	53	160	103	73	1,048
G	40	25	138	121	171	40	17	115	54	161	104	74	1,060
H	41	26	139	122	172	41	18	116	55	162	105	75	1,072
I	42	27	140	123	173	42	19	117	56	163	106	76	1,084
J	43	28	141	124	174	43	20	118	57	164	107	77	1,096

放流パターンE以上の計画ダムからの放流は、下流のポテンシャル灌漑可能面積を飽和させる。従って、パターンEを灌漑操作のシュミレーション方法と適用した。

ダム操作シュミレーション

グランドフォールズダムの河川流量は(測定地点No. 4F13)、“without Project”についてと、灌漑目的の貯水池操作に於けるケースにつきシュミレーションした。灌漑目的における貯水池操作は、上記の表にあるパターンEに合うようにし、シュミレーションした。全ケースにおいて、2020年における上流域の水需要を控除した。シュミレーションのケースは、以下の通りになる。

低グランドフォールズダムに対する灌漑目的のシュミレーション

高グランドフォールズダムに対する灌漑目的のシュミレーション

計画のダムからの放流量のシュミレーション結果を図 6.3.4と6.3.6に示す。

灌漑面積

灌漑面積は、放流量 (m³)を水需要 (m³/ha)で除して決定される。灌漑面積は、各小流域 4GA から 4GGまでに対し1957年から1990迄の月流量により算定した。灌漑可能面積な算定の結果を下の表に示す。

(Unit: 1,000 ha)		
"Without Project"	低GF	高GF
83	102	124

(3) 便益と費用見積

灌漑面積は、全ての灌漑可能面積が小規模ポンプ灌漑計画として仮定し、“without-Project”と“with-Project”の条件で比較し算定した。プロジェクトの便益と費用は単位便益と単位費用に増加灌漑面積に乗じて算定した。小規模ポンプ灌漑計画の単位便益と単位費用は、MOALDにより準備された地域開発計画と資料により見積もった。これによると、タナ川に沿いガリッサとタナ川地区に、表6.3.7に示す様に2,433 haの小規模ポンプ灌漑計画があることが分かる。単位費用と単位便益は、合計の費用と便益を合計の面積(2,433 ha)で除して計算した。

費用

ポンプ灌漑計画の費用は2種類の費用(ポンプの費用および基盤整理)を合計することにより見

積もった。ポンプ費用はポンプのサイズにより変化する。各計画のポンプサイズと容量 (HP) は、表 6.3.9に記述されている式を適用し、表6.3.8に示される様に算定した。計算には、次の仮定をした。

- 1) ポンプのサイズと数は、20 - 25ha/グループ同時に作業するグループに対する最大面積により限定される。
- 2) 20-25 ha以上の面積は、スタンバイユニットを含み少なくとも2台のポンプは必要である。計画の規模と市場の有効性を考え4種類のポンプシステムが、費用見積もりのため推定した。

タイプ A	5 HP	Ksh 75,000	(調達先の見積+ 25%の余裕)
タイプ B	8 HP	Ksh 100,000	
タイプ C	16 HP	Ksh 187,500	
タイプ D	20 HP	Ksh 225,000	

合計144のポンプが必要であり、その費用はKsh. 21,012,500 (ガリッサ) and Ksh. 7,462,500 (タナ河)であった。基盤整備の費用Ksh. 20,000/haを含み合計費用は、Ksh. 56,580,500 (ガリッサ)とKsh. 20,562,500 (タナ川)であり、総額Ksh. 77,143,000である。単位開発費用は、1995年レベルで約Ksh. 32,000/haであった。これを1995年から1997年まで年5%でエスカレーションし、1997年における単位開発費用をKsh 39,000/haとした。

便益

殆どのポンプ灌漑、特にガリッサにおいて、主に野菜とバナナを生産している。

ガリッサの灌漑計画レポート(Danidaによる資金)は、安定した食物としてバナナを生産するために農地の半分を使用し、また他の半分を園芸作物、トマト・メロン・とうがらし・とうもろこしの生産にあてている。

各計画の便益算定のため、灌漑面積の半分をバナナにより耕作し、残りの半分を園芸作物として代表的なトマトの生産にあてること推定した。“Farm budget survey report”¹によれば、トマト生産によるの平均利益は Ksh. 88,960/haであり、バナナは Ksh. 23,480/haである。1995年価格レベルでKsh. 56,000/haとなる。従って、1995年から1997年までの2年間の10%のエスカレーションを考慮し、平均の利益はKsh 68,000/haと見積もられた。

費用と便益のまとめ

算定された追加の灌漑費用と便益は以下の表に示す。

計画	増加灌漑面積 (1,000 ha)	便益 (百万 Ksh/US\$)	投資額 (百万Ksh/US\$)
低GF	19.0	1,292/25.8	741/14.8
高GF	41.0	2,788/55.8	1,599/32.0

Note : Exchange rate, 1US\$=50 Ksh.

¹ Ministry of Agriculture Irrigation and Drainage Branch : Profitability of Small Holder Irrigation in Kenya, 1990.

(4) 経済評価

貯水池運用操作を実施し、発電目的と灌漑目的の場合につき、経済評価を行った。その結果を下表に示す。

項目	低グランドフォールズ + ムトンガ	高グランドフォールズ
保障出力 (MW)	48	32
年間平均電力量 (Gwh/y)	912	968
年間電力便益 (百万US\$)	70.1	72.1
年間灌漑便益 (百万US\$)	25.8	55.8
純便益 (百万US\$)	4.5	-88.7
内部収益率 (%)	12.1	10.6

経済比較の結果、低グランドフォールズ+ムトンガ計画が高グランドフォールズ計画より経済的であることが明かになった。

6.3.3 水供給を考慮した最適開発計画

5.4章で説明した様に、計画ダム地点まで都市用水のため上流での取水量は、シミュレーションモデルのなかで控除される。また下流域での水需要は1992年実施のケニア全国水資源調査の中で見積もられ、以下の表の通りになる。

(単位: m ³ /s)	都市部	農村部	家畜	工業	合計
<u>河川からの取水</u>					
タナ川	0.05	0.08	0.09	0.01	0.23
ガリッサア	0.01	0.25	0.15	0.01	0.42
ルマ	0.02	0.08	0.04	0.01	0.15
					小計 0.80
<u>水の輸送</u>					
モンバサ	0.00	1.57	0.00	0.77	2.34
キリフ	0.27	0.47	0.05	0.09	0.88
					小計 3.22
合計	0.35	2.45	0.33	0.89	4.02

タナ川下流に沿う水需要は少なく0.8 m³/secである。またモンバサとキリフを含む水需要は4.02 m³/secとなる。全国水資源調査は、モンバサと海岸地域の都市用水は1) 第二ムジマ給水計画と2) サバキ増設計画により供給されると推奨している。また下流地方の水供給は、タナ川の有効水量に比較して取水量が少ないため、比較検討案に対し影響なくタナ川から取水される。

タナ川下流域での有効水量は、上流域での取水により減少する。6.2.3章で説明した様に、低グランドフォールズダムと高グランドフォールズダムの保障流量は、75 m³/secと70 m³/secである。一方、計画ダムがない場合2020年における上流での取水条件での、最小日河川流量は5.6 m³/secである。従って、69.4 m³/sec (75 - 5.6) と 64.4 m³/sec (70 - 5.6)の流量が低グランドフォールズダムと高グランドフォールズダムの水供給による便益と考えられる。発電設備を除くブ

プロジェクトの建設費は以下の通りに見積もられる。

構造物	Unit: US\$百万	
	低GF	高GF
準備工事	19.2	21.3
仮排水路	39.6	30.0
主ダム及仮締切ダム	82.2	289.0
洪水吐き	36.7	101.7
水門・鉄管	40.4	37.9
小計	218.1	479.9
詳細設計及工事監理	21.8	48.00
土地取用	15.2	31.0
工事用予備費	25.0	62.3
合計	280.1	621.2

上記建設費は0.89の換算率を乗じることにより、経済費用に換算される。経済費用は低グランドフォールズ計画に対し5年、高グランドフォールズ計画に対し7年間の建設期間年次別に配分される。割引率12%を用い資本還元率0.1204を乗じて年経費を50年間につき求めた。また20%の損失を考慮し、単位水建設費用を算定した結果を下表に示す。

項目	単位	低GF	高GF
工事費	百万US\$	280.1	621.2
経済的工事費	百万US\$	249.3	552.9
割引後の工事費	百万US\$	197.2	410.7
年工事費	百万US\$	23.7	49.4
使用水量	百万m ³ /yr	1,751	1,625
単位水当たりの建設費	US\$/m ³	1.35	3.04

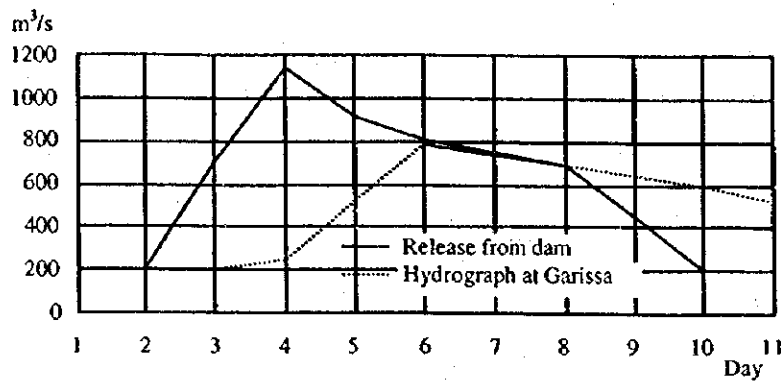
上表より、低グランドフォールズ計画の単位水建設費用は、高グランドフォールズダムの単位水建設費用よりも経済的であることが明らかになった。

6.3.4 人工洪水

4.4章に於けるタナ川下流環境調査の結果、低グランドフォールズダムより放流される年2回の人工洪水により現在の劣化した下流環境が改善されることが明らかになった。グランドフォールズ下流200kmのガリッサ地点を、下流地域が冠水する通常洪水を解明する目標地点として選定した。ガリッサ地点に於ける水文調査の結果、通常洪水は500m³/sec以上の年2回発生する洪水として明らかになった。また、低グランドフォールズダム地点とガリッサ地点の相関を検討した水文解析の結果、低グランドフォールズダムからの下流放流パターンが明らかになった。通常洪水の波形は、ガリッサ地点とグランドフォールズ地点とにおいてピーク流量785m³/sec 及 1,100m³/secと6.5日の洪水期間であることが、明らかになった。また洪水の総流出量は、各々の地点で 3.9億m³と4.9億m³である。この通常洪水の洪水波形を以下に示す。

(単位 : m³/s)

日数	低G/Fからの流出量 (発電流量)	ガッリッサでの流量 (発電流量)
0		
1	200	200
2	707	250
3	1,146	529
4	921	785
5	807	739
6	750	689
7	689	646
8	450	600
9	200	520
10	200	



計画のダムから人工洪水を放流する様に貯水池操作をした。貯水池操作は、人工洪水を毎年の洪水開始時期の4月1日と11月1日に放流するように実施した。発電は6.2章で説明した貯水池運用操作の方法とルールに従いおこなった。

人工洪水放流機能を持つ低グランドフォールズダムの貯水池運用操作の結果を図6.3.16と図6.3.17に示す。貯水池運用操作の結果は、低グランドフォールズダムが年2回の通常洪水を放流可能であることを証明した。貯水池運用操作の結果を下表に示す。

(Unit : m³/s)

項目	低グランドフォールズ	高グランドフォールズ
平均	157.2	152.9
月最大	1,608.1	1,340.7
月最小	75.0	70.0
日最大	2,237.2	2,091.1
日最小	69.2	70.0

人工洪水放流は水力発電による電力出力を減少させる。人工洪水放流を考慮した経済キャッシュフローを割引率12%で計算した。その結果を下表に示す。

項目	単位	低GF+ムトンガ	高グランドフォールズ
保障出力	MW	136.4	178.4
年間発生電力量	GWh/yr	870.9	962.3
年間電力便益	百万 \$	78.0	89.5
費用の現在価値	百万 \$	387.9	514.1
便益の現在価値	百万 \$	352.2	376.7
便益/費用		0.91	0.73
便益-費用	百万 \$	-35.7	-137.4
内部収益率	%	11.0	9.4

人工洪水放流機能は、低グランドフォールズ+ムトンガ計画と高グランドフォールズ計画の経済的有効性を減少させる。上の表にある様に、割引率12%による低グランドフォールズ+ムトンガ計画と高グランドフォールズ計画は、人工洪水放流により負の純便益をもたらした。しかし、人工洪水放流は悪化した下流環境を改善し、下流環境にプラスの効果を導く。環境に対するプラスの効果は評価出来ないが、人工洪水放流はプロジェクトの便益を増すと考えられる。

更に、4.4章に於ける環境影響調査の結果は、最適な貯水池運用操作ルールを確立するように推奨している。最適な貯水池運用操作ルールは、電力出力を最大にする一方、通常洪水の放流を許す余剰の貯水池容量を維持することを目的として確立される。環境影響調査の結果は更に、七箇所のダム群の合成した発電設備を有効的に運用することにより、実際の電力費用を最小化し補うことが出来ると推奨している。この最適な貯水池運用操作と七箇所のダム群の発電設備の有効利用により、保障出力と年間発生電力量を増加することが可能となる。その結果、本計画により生み出される便益は増加すると推定される。従って、ピーク流量1,100m³/sec総流出量4.9億m³の条件の基算定された内部収益率11.0%は、考える最小の値であり、かつ控えめな値であると考えられる。適切な貯水池運用操作が行われた場合、内部収益率は大きくなると考えられる。

以上の人工洪水放流によるタナ川下流環境の改善を考慮すると、水力発電による電力出力を減少させる適切な貯水池運用操作が行われた場合、低グランドフォールズ+ムトンガ計画は依然として経済的に実現可能であると言える。更に、以上の結果は、低グランドフォールズ+ムトンガ計画は高グランドフォールズ計画より優れていることを示している。

6.3.5 貯水位及び洪水流出

経済比較のための貯水池操作につき実施した12ケースにつき下表に示す。

項目	低GF+ムトンガ			高グランドフォールズ		
	発電操作	灌漑操作	洪水操作	発電操作	灌漑操作	洪水操作
1995年に於ける流量						
2020年に於ける流量						

1995年に於ける流量での低グランドフォールズダムの貯水池水位と合計の流出量を図6.3.12から6.3.23に示す。

貯水池水位

タナ川の電力設備システムの中で、マシニングダムの貯水池を有効に利用し流量を調整することにより、電力の便益を最大限に引き出すことが出来る。本計画の発電所はダム直下に建設される。発電上の貯水池操作は、可能な限り貯水池水位を高く保つことを必要とする。最適な貯水池規模は、貯水池水位を雨期には常時満水位（FSL）に回復する貯水池規模であると考えられる。もし貯水池水位が雨期に常時満水位に回復しない場合、貯水池規模は大き過ぎると考えられる。次の表は1995年に於ける流量での、34年間の内貯水池水位が満水位に回復しない回数を示す。

項目	低グランドフォールズ	高グランドフォールズ
発電操作	0	7
灌漑操作	4	11
洪水操作	11	12

以上の結果より、高グランドフォールズダムは貯水池が大きすぎ、一度貯水池水位を下げると雨期には水位を常時満水位に回復することが出来なく、効果的に経済的に良く機能しないことが分かる。

洪水吐きからの流出

平均流入量に対する洪水吐きからの流出量の比を下表に示す。

項目	低グランドフォールズ	高グランドフォールズ
発電操作	14.3	11.7
灌漑操作	14.0	11.4
洪水操作	24.4	22.7

低グランドフォールズダムと高グランドフォールズダムとの間には、貯水量の大きな違いはあるが、平均流入量に対する洪水吐きからの流出量の比率には顕著な相違点は見られない。これは、既存の上流のマシニングとキャンベレダムにより河川流量が調整され、中規模の低グランドフォールズダム貯水池が、効果的に河川流量を利用していることを示す。

6.3.6 最適開発計画

電力開発の観点からの計画案の比較検討の結果は、下表の結果が示される。

項目	比較案			
	ムトンガ	低GF	低GF + ムトンガ	高GF
経済費用 (百万US\$)	188	363	550	673
設備容量 (MW)	60	140	200	200
保障出力 (MW)	58	134	192	197
年間発生電力 (GWh/yr)	337	715	1,052	1,108
純便益 (百万US\$)	20	54	68	-100
内部収益率 (%)	13.4	13.8	13.8	10.1
発電単価 (US\$/kWh)	8.1	7.9	7.9	10.0

以上により、低グランドフォールズ + ムトンガ計画は、四つの比較計画案のなかで技術的及経済的観点から、最も最適な開発計画であると言える。また低グランドフォールズ ダムの建設を実施しその後 ムトンガダムの建設を実施する低グランドフォールズ + ムトンガ計画は、純便益 US\$ 48.8百万、内部収益率13.4%を持つムトンガダムの建設後低グランドフォールズ ダムの建設を実施するムトンガ計画 + 低グランドフォールズ計画と比較して、経済的であることが明らかになった。

6.3.2章での灌漑への水供給により導かれる便益を経済比較検討した結果、低グランドフォールズ + ムトンガ計画は高グランドフォールズ計画より優れていることが明らかになった。

更に、人工洪水放流は低グランドフォールズ + ムトンガ計画と高グランドフォールズ計画の経済的実現可能性を減少させるが、低グランドフォールズ + ムトンガ計画は劣化した下流環境を改善する点を考慮し、経済的優良性を持つことが明らかになった。

以上より、低グランドフォールズ + ムトンガ計画は、技術的及経済的な観点から最適開発計画であると結論づけられる。

6.4 開発計画の比較検討

6.4.1 貯水池水位

(1) 満水位

1987年の全国電力開発調査（KNPDP）はキャンベレ発電所の放水位とグランドフォールズダムサイト間の静水頭を十分に有効利用する水力発電計画の開発を推奨した。このコンセプトを今回のフイージビリティ調査でも採用した。キャンベレ発電所の放水口の河床は、標高538.5 mである。またキャンベレ発電所は、放水位を標高550mのように設計されている。従い、ムトンガ貯水池の満水位は、標高550mと設定される。

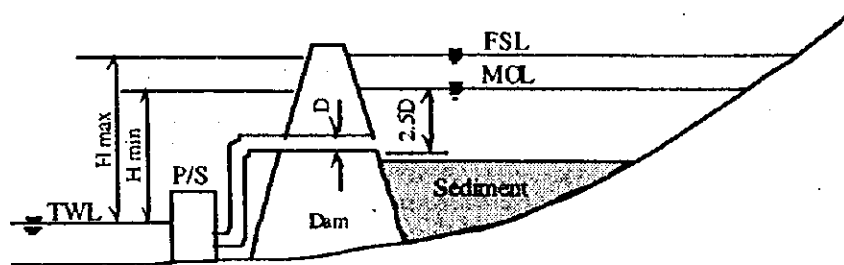
タナ川とムトンガ川との合流地点から約2.8 km下流の地点では、タナ川の川幅は比較的広くなり、ダムサイトとしては適切ではない。ムトンガダムのダム軸は合流地点から0.8 kmと2.1 kmの地点が適切だと推定される。ムトンガダムのダム軸は、経済的な工事費を考慮し、ムトンガ川との合流地点から800 m下流地点に選定される。発電放流量によるが、ムトンガダムの放水位は標高507.3mから510.7 m間の範囲にある。

グランドフォールズダムのダム軸はカジタ川との合流地点から4.1 kmと7.0 kmの地点に考えられる。従って、低グランドフォールズダム貯水池の満水位は、ムトンガ発電所の放水位に影響しないように標高512.0 mに設定した。

(2) 最低水位

貯水池の最低運転水位（MOL）は次の条件を満足する様に決定した。

- 条件 1: 発電用取水口の敷居は設計堆砂位の上に置く。また、取水口上の水被りは取水時空気を連行しない様に設ける。従って、最低運転水位（MOL）は、設計堆砂位の上に取水口内径の2.5倍以上をとることとする。
- 条件 2: 最低運転水位（MOL）は貯水池運用操作シミュレーションの貯水位より低くとする。
- 条件 3: 最大水頭に対する最小水頭の比率を、水車に対し悪影響を与えないように70 %以上とるようにする。



設計堆砂位を決定するために、キャンベレダムの設計堆砂位、50年堆砂位を採用した。放流設備を持つ低グランドフォールズダム及ムトンガダムともこの設計基準により、3.2章で算定した年間の堆砂量を基に、堆砂量と堆砂位を計算した。その結果を下の表に示す。

ダム	年間堆砂量 (x 10 ⁶ m ³ /year)	設計堆砂量 (x 10 ⁶ m ³)	設計堆砂位 (m)
ムトンガダム	1.10	55	540.35
低グラントフォールズダム	1.40	70	477.79

水位と水路の諸元と各ダムの上記条件を次の表に示す。

ダム	満水位 (EL.m)	放水位 (EL.m)	内径 (m)	堆砂位 (m)	最低水位		
					条件1	条件2	条件3
ムトンガダム	550	510.6	4.7	540.4	552.1	538.9	538.2
低グラントフォールズダム	512	441.1	5.4	477.8	491.3	508.4	490.7

上記の3条件の検討した結果、ムトンガダムの最低運転水位 (MOL) は条件2により標高 538.5 m と設定した。堆砂位が標高 526.8 mに達した時点で、堆砂は放流設備を利用し排砂する。堆砂標高 526.8 mにおける堆砂量は約12.2 百万 m³であり、これは10 年間の堆砂量に相当する。低グラントフォールズダムの最低運転水位(MOL) を条件1により標高491.4 mとした。これは条件2における貯水池運用操作シミュレーションにより決定される水位と、人工洪水に対する洪水量 4.9億 m³を考慮して決定した。

6.4.2 ダム比較案

(1) ダム設計

ダム型式

地形、地質および建設材料を考慮し、ムトンガダムと低グラントフォールズダムのダムタイプとして、次のダムタイプが考えられる。

- 1) ロックフィルダムタイプ
- 2) コンクリートダムタイプ
- 3) 複合ダムタイプ
(河床部をコンクリートダム、右岸をロックフィルダムタイプ)
- 4) 表面遮水壁型ダムタイプ

各ダムタイプの基本断面を図6.4.1に示す。ムトンガダムと低グラントフォールズダムサイトに於ける有効なロックフィル材料は片麻岩と花こう岩である。ロックフィル材料の物性値を考慮し表面遮水壁型ダムの上下流面勾配を1:1.4とした。また、ロックフィルダムの下流面勾配を1:1.8、上流面勾配を1:2.0とした。ロック材の内部摩擦角43° に対し、下流面勾配を1:1.8は、地震時の安全率1.20を満足する。コンクリートダムに対しては、基本三角形を基本形状として採用した。上流面勾配は鉛直とし、下流面勾配は1:0.8とした。フィレットを上流面勾配に備えた。

仮排水路

仮排水路の設計洪水は次表の通りとした。

ダムタイプ	確率年	(Unit: m ³ /sec)	
		ムトンガ	グラントフォールズ
ロックフィルダムタイプ	50年確率	2,400	2,800
コンクリートダムタイプ	5年確率	1,600	1,800

仮排水路トンネルと仮締切は、上記洪水量を工事中の洪水を転流する様に設けた。仮排水路トンネルの内径と仮締切ダムの高さは、上記洪水量により決定した。

洪水吐き

コンクリートダムと洪水吐きの設計洪水として、200年確率洪水を採用した。またロックフィルダムの設計洪水として、200年確率洪水の1.2倍を採用した。更に、10,000年確率洪水に対し1.5mの余裕高を確保するようにした。洪水吐きの設計洪水を下表に示す。

ダムタイプ	設計洪水	ムトンガ	グランドフォールズ
ロックフィルダムタイプ	200年確率x1.2	4,800	5,400
コンクリートダムタイプ	200年確率	4,000	4,500
異常洪水	10,000年確率	10,900	12,800

(Unit: m³/s)

水路

水路は取水口、導水路、調圧水槽と水圧鉄管からなる。コンクリートダムの場合、発電所がダム直下にあるので調圧水槽は必要とされない。調圧水槽は、比較的長い導水路を持ち、急激な圧力変動に対応するために、ロックフィルダムに対し必要とされる。水路の内径は導水路と鉄管に対し流速を各々3.0m/secと5.0m/sec以内と仮定して決定した。

発電所

発電所は、河川勾配が非常に緩やかであり導水路トンネルにより下流に発電所を位置しても不経済である点を考慮し、ダム直下に設けた。地上式発電所を、ムトンガダムと低グランドフォールズ計画に採用した。発電所は水車と発電機を設置出来る様に寸法を決定した。

(2) 工事費

ムトンガダム

ムトンガダムのダムタイプ比較検討案の建設工事費を表6.4.1に示す。ロックフィルダムとコンクリートダムの工事費はUS\$210.9百万とUS\$208.8百万と見積もられる。

ムトンガダム貯水池は容量が小さく、貯水池は堆砂で埋る。従って、砂れきを取水口の敷居標高まで排砂する設備をダムに設置する必要がある。ロックフィルダムとコンクリートダムは排砂設備をダム堤体内に設置することが可能である。ロックフィルダムと表面遮水壁型ダムは排砂操作を有効的にすることは難しいと推定された。また、表6.4.1に示される様に、コンクリートダムはロックフィルダムと比較して経済的な工事費である。基礎は堅固であり、小規模のコンクリートダムの建設は可能である。従って、コンクリートダムをムトンガダムに選定した。図6.4.2にコンクリートダムと発電所の平面図を示す。

低グランドフォールズダム

低グランドフォールズダムのダム軸をタナ川とカジタ川の合流地点から約4.1km下流に選定した。この地点で地形の観点から、ダムの建設上適切と考えられる、三つのダム軸を、図6.4.3に示される様に選定した。ダムタイプは表面遮水壁型フィルダム、ロックフィルダム、複合ダムの三つを考えた。また、複合ダムは河床部をローラーコンパクトコンクリートダム(RCC)を、河岸

部をロックフィルダムとした。下流のダム軸の天端は非常に長く、表面遮水壁型フィルダムは、上流軸とした。地形条件よりダム軸の線形は、中流と下流のダム軸においてカーブを採用した。また、ロックフィルダムと複合ダムを中流と下流のダム軸に採用した。

低グラウンドフォールズダムのダムタイプとダム軸を下に示す。

- Case-1 : 上流ダム軸、表面遮水壁型フィルダム
- Case-2 : 中流ダム軸、ロックフィルダム
- Case-3 : 中流ダム軸、複合ダム
- Case-4 : 下流ダム軸、ロックフィルダム
- Case-5 : 下流ダム軸、複合ダム

図6.4.4から図6.4.8は比較検討案のダムタイプと軸の平面を示す。比較案の工事費は表6.4.2に示すように見積もった。表面遮水壁型フィルダムの天端長は比較的長く1,900mである。表面遮水壁型フィルダムはコンクリート表面のクラックを通じて浸透する水に対し脆い。天端長が長い程、コンクリート表面の発生の可能性が増す。また、長い天端長を持つ表面遮水壁型フィルダムの例は比較的少なかった。

ロックフィルダムの技術的有利性は、コア材料の施工性にある。ロックフィルダムは850,000 m³以上のコア材を必要とする。コア材は貯水池内にあるが、河岸の傾斜地に1m程度に薄く抜っている。また表面をはぎ捨てなければならない。従って、土取場は広く拡がり、運搬距離が長くなる。乾期における自然含水比は数パーセントであり、12%以上の最適含水比をえるためには、常に散水が必要である。土層は粘土性と砂質性からなり、混合が必要である。

下流ダム軸の複合ダムは、表6.4.2に示される様に最低のプロジェクトコストをもたらす。従い、下流ダム軸の複合ダムが、低グラウンドフォールズダムのダム軸とタイプとして選定された。マスコンクリートの量は955,000 m³と見積もられた。ローラーコンパクトコンクリートダム(RCC)がコンクリートダム堤体に採用された。コア盛立量は、ロックフィルダムのコア盛立量より少なく333,000 m³である。コンクリートダム堤体には、下流環境改善対策として、人工洪水と土砂の放流設備を設置することが可能である。

6.5 最適設備容量

6.5.1 貯水池運用操作

低グラントフォールズ及びムトンガ計画の最適設備容量の検討をこの章で説明する。設備容量は電力便益及び建設工事費との関係で最適化される。

ムトンガ発電所は、貯水池容量が小さいことから、調整地タイプの発電所と見なせる。ムトンガダム貯水池に対し、保障流量として60 m³/secを、また貯水池運用操作ルールカーブ1を適用した。一方、低グラントフォールズダムに対しては、保障流量として75m³/secを、また貯水池運用操作ルールカーブ2を適用した。比較した設備容量及び各ダムの基本条件を次の表に示す。

ムトンガ発電所					
項目	単位	40 MW	60 MW	80 MW	100 MW
最大使用水量 (Q _{max})	m ³ /s	114	174	240	316
放水位	m	510.1	510.6	511.3	512.0
有効水頭	m	39.5	39.0	37.5	35.8
合成効率		0.90	0.90	0.90	0.90
低グラントフォールズ発電所					
項目	単位	100 MW	120 MW	140 MW	160 MW
最大使用水量 (Q _{max})	m ³ /s	158	192	227	262
放水位	m	440.4	440.9	441.1	441.5
有効水頭	m	70.7	69.8	69.1	68.3
合成効率		0.91	0.91	0.91	0.91

ムトンガ発電所と低グラントフォールズ発電所の放水位につき、等流計算と測量横断面に基づき算定した結果を図6.5.1に示す。

最適設備容量の検討における貯水池運用操作は、6.2章で実施したモデルを使用し実施した。また1957年から1990年迄の日流量をシュミレーションに使用した。貯水池運用操作の結果、ムトンガ発電所と低グラントフォールズ発電所の各設備容量に対する保障流量と年間発生電力は次表に示されるようになった。

ムトンガ発電所					
項目	単位	40 MW	60 MW	80 MW	100 MW
保障出力	MW	38.7	58.1	63.6	58.7
年間発生電力量	GWh/yr	302.7	337.5	354.3	363.4
低グラントフォールズ発電所					
項目	単位	100 MW	120 MW	140 MW	160 MW
保障出力	MW	94.4	114.3	135.0	133.6
年間発生電力量	GWh/yr	664.9	688.2	714.9	727.3

6.5.2 電力便益と建設工事費

年間の発電便益は、保障出力と年間発生電力量に電力価値121.4 \$/kWと電力量価値 0.0705 \$/kWh, を乗じて得られる。各計画の各々の設備容量に対する年間の発電便益は、下表に示される。

ムトンガ発電所

項目	単位	40 MW	60 MW	80 MW	100 MW
電力便益	(百万US\$)	4.7	7.1	7.7	7.1
電力量便益	(百万US\$)	21.3	23.8	25.0	25.6
年間発電便益	(百万US\$)	26.0	30.9	32.7	32.7

低グランドフォールズ発電所

	単位	100 MW	120 MW	140 MW	160 MW
電力便益	(百万US\$)	11.5	13.9	16.4	16.2
電力量便益	(百万US\$)	46.9	48.5	50.4	51.3
年間発電便益	(百万US\$)	58.4	62.4	66.8	67.5

ムトンガ発電所と低グランドフォールズ発電所の比較検討した各々の設備容量に対する建設費は表6.5.1と表6.5.2に示され、下表に要約される。

ムトンガ発電所

単位	設備容量			
	40 MW	60 MW	80 MW	100 MW
建設費 (百万US\$)	195.6	208.8	222.3	235.0

低グランドフォールズ発電所

	100 MW	120 MW	140 MW	160 MW
建設費 (百万US\$)	375.0	383.9	392.3	400.8

6.5.3 最適設備容量

ムトンガ発電所と低グランドフォールズ発電所の最適な設備容量を決定する為に、各計画の各々の設備容量に対する経済比較を実施した結果を下表に示す。

ムトンガ発電所

経済指標	単位	40 MW	60 MW	80 MW	100 MW
純便益	百万US\$	5.2	20.4	20.1	9.9
内部収益率	%	12.39	13.37	13.27	12.60

低グランドフォールズ発電所

経済指標	単位	100 MW	120 MW	140 MW	160 MW
純便益	百万US\$	35.9	50.3	66.9	63.9
内部収益率	%	13.35	13.83	14.36	14.22

経済比較検討の結果、各々の計画の最適な設備容量は、純便益と内部収益率を最大にする、ムトンガ発電所に対し60 MW、低グランドフォールズ発電所に対し140 MWであることが、明らかになった。

更に、低グランドフォールズ+ムトンガ発電所を組み合わせて検討した結果を下表に示す。

計画	単位	設備容量 (MW)			
		40	60	80	100
ムトンガ	MW	40	60	80	100
低グランドフォールズ	MW	100	120	140	160
経済指標					
純便益	Mill. US\$	37.4	60.4	77.0	76.4
内部収益率	%	13.10	13.69	14.11	14.07

上の表に示されるように、低グランドフォールズ+ムトンガ発電所を組み合わせを検討した結果、低グランドフォールズ140 MW、ムトンガ60 MWが最大の純便益と内部収益率を与えることが明らかになった。従って、低グランドフォールズとムトンガ発電所の最適な設備容量は、各々140 MWと60 MWであることが確認された。

第7章 予備設計

7.1 まえがき

6章による最適計画案検討の結果、プロジェクトの最適計画案は低グランドフォールズとムトンガ計画からなることが結論づけられた。この章はこの最適計画案に基づきおこなった予備設計につき設計のコンセプトと基本諸元につき説明する。またこの予備設計の結果は、工事工程の立案及びプロジェクト費用に反映した。

最適計画の比較検討の結果、次の基本諸元が決定された。

	低グランドフォールズ計画	ムトンガ計画
- 満水位 (FSL):	EL. 512.0 m	EL. 550.0 m
- 最低運転水位 (MOL):	EL. 491.4 m	EL. 538.5 m
- 有効貯水容量 (百万 m^3):	955	85
- 設備容量	140 MW (70 MW \times 2 units)	60 MW (30 MW \times 2 units)
- 保障出力	134 MW	58 MW
- 年間発生電力量	715 GWh/年	337 GWh/年
- 最大使用水量	227.6 m^3 /sec	175.0 m^3 /sec

7.2 低グランドフォールズ計画

7.2.1 仮排水路

仮排水路トンネルと仮締切ダムは、ダム工事中に河川流量を転流するため建設される。タナ川左岸は急峻な地形をなしかつ地質条件が良好であることを考慮し、仮排水路トンネルは左岸に建設する。仮排水路トンネルと仮締切ダムを含む仮排水路の計画を図面-03に示す。

仮排水路トンネルの設計洪水は、ロックフィルとコンクリートの複合ダムであることを考慮し、2,800 m^3 /secのピーク流量を持つ50年確率洪水とし、仮排水路トンネルは2条設置するものとする。仮排水路トンネルの内径は、水理的浸食を考慮し2,800 m^3 /secのピーク流量を16.2 m /secの最大流速で流下するように10.5 m と決定した。

上流仮締切ダムは、仮排水路トンネル取水口と主ダムとの間に建設し、高さ26 m のロックフィルダムタイプである。上流仮締切ダムは、洪水が仮排水路トンネルを流下する時に、1.0 m の余裕高を持つ様に標高466 m と設定した。下流仮締切ダムは、仮排水路トンネル放水口と主ダムとの間に建設し、ロックフィルダムタイプである。

7.2.2 主ダム

(1) ダム軸及びダム型式

6.4章で記述されているダム軸位置及びダム型式の比較検討の結果、主ダムの軸は下流位置に決定され、またダム型式は河床部のコンクリートダムと右岸部のロックフィルダムの複合ダムに決定した。ダムの一般平面図を図面-03に示す。

(2) ダム非越流部高さ

常時貯水池操作時の貯水池満水位 (FSL) は水位512.0 mと設定した。ダムの天端標高は、常時貯水池操作時の水位に余裕高を考慮した場合と、洪水時水位に余裕高を考慮した場合のどちらか高いものを比較した結果、以下に説明する様に標高516.5 mと設定した。常時貯水池操作時の余裕高は、4.3 mと算定した。これは波浪波高2.3 m (風速30 m/sec、対岸距離10 km)と地震時波高0.5 mと1.5 mのロックフィルダムに対する余裕高を加算したものである。貯水池満水位512.0 m (FSL)に上記4.3 mの余裕高を加算しダム非越流部高さは、標高516.5 mとした。

洪水貯水池操作時の余裕高は、洪水追跡の結果により決定される。12,800 m³/secのピーク流量を持つ10,000年確率洪水時の貯水池満水位は(FWL)、図7.1に示される様に水位513.0 mと計算された。貯水池に流入する洪水流は洪水吐きゲートの操作より放流される。洪水流量が洪水吐きゲート放流量より小さい場合、洪水は貯水池に貯留されることなく放流される。即ち洪水吐きへの流入量と流出量とは等しい。洪水流量が洪水吐きゲート放流量より大きい場合、洪水流量は貯水池に貯留される。洪水時の余裕高はゲートの誤操作の1.0 mと余裕1.0 mを加算し2.0 mとし、洪水時水位513.0 mに2.0 mの余裕高を加算した標高515.0 mがダム非越流部高さとして計算された。従って、洪水時により算定されるダム非越流部高さは、常時の非越流部高さとして算定される高さより低いことになり、最終的にダム非越流部高さは、標高516.5 mとなった。

(3) コンクリートダム

コンクリートダム断面

河床部のコンクリートダムは上流面が鉛直、下流面が1:0.8の勾配として設計した。また1:0.2の勾配をもつフィレットを上流面に設けた。ダムは堤体長405 m高さ90 mである。ダム上流基礎に排水孔とグラウト孔を設けかつダム放流設備への通路として、監査廊をダム堤体内低標高に設置した。

ダムは、工事費、工事工程、工事期間を考慮しローラーコンパクトコンクリートダム (RCC) タイプを採用した。ダムコンクリート量は1,175,000 m³となる。ダム断面を図面-04に示す。

洪水吐き(越流部)

洪水吐きは、ダム天端に対し十分な余裕高を持ち10,000年確率洪水を流下出来るように、コンクリートダムの河川部に設けられる。

洪水吐きは、3 mのピアと6門の幅15 m高さ15.5 mのラジアルゲートを含み合計105 mの幅を有する。減勢工を含む洪水吐きを図面-04に示す。

減勢工

比較的ダム高さが高いこと及び経済性を考慮し、水没バケット型減勢工を選定し、設計洪水 (100年確率洪水4,600 m³/sec) のエネルギーを減勢するように設計した。設計洪水時の下流水深は、ローラーによりエネルギーを減勢するのに十分な水深を確保することを、水理検討により確認した。

通常洪水及び土砂放流設備

4.4章で記述したように、現在の下流環境の劣化及び河床低下を改善するために、通常洪水及び土砂の放流をする必要がある。通常洪水を再現する為に、ピーク流量1,100 m³/sec、4.9億m³の人工洪水

の放流を行う必要がある。図面-06に示す様に、コンクリートダム堤体に通常洪水及び土砂の放流設備を設置することとした。放流設備は、水位504.0 mと最低運転水位491.4 mとの間の貯水容量を放流することにより、人工洪水の放流を可能とする。放流設備はまた磷酸塩と有機物を含む砂及び浮遊砂を放流することも可能である。人工洪水放流操作は、雨期開始時期年2回（4月及び11月）に雨期初期に貯水池に流入してくる土砂を効果的に放流することを目的として、実施される。

放流設備は、洪水吐き右岸に設置した。放流設備は、幅5.0 m高さ5.0 mのスチールコンジット2条から成り、高圧ローラーゲートと予備ゲートを設置している。放流設備の呑み口標高は469.0mに設定し、浮遊砂を含む密度流を放流することとした。

(4) ロックフィルダム

中央遮水壁型ロックフィルダムをタナ川右岸に建設する。ロックフィルダムの最大高さは55mであり、天端の長さは1,025mである。ダム下流勾配を1:1.8、上流勾配を1:2.0とした。中央遮水壁の上下流勾配を1:0.25とした。

3.4章における材料調査の結果、中央遮水壁として使用されるコア材は良い品質を持ち透水係数 10^{-8} cm/secであり、内部摩擦角 31° 、粘着力 0.5 t/m²である。コア材の盛り立て量は、597,000 m²である。

ロック材は、タナ川右岸の片麻岩から成る原石山より生産される。ロック材の物性値は、比重2.65、内部摩擦角 41.0° 、給水率1%である。ロック材盛り立て量は、1.85百万 m²である。ロック材上下流面はリップラップにより保護される。コア材の上下流面はフィルター材によりより保護される。フィルター材はタナ川右岸の溪流沿いの河床から運搬される。

ロックフィルダムの断面を図面-05に示す。

(5) 基礎処理

コンクリートダムの基礎に対し、間隔3m長さ30mのカーテングラウトと間隔3m長さ5mのコンソリデーショングラウトから成る基礎処理を実施する。カーテングラウトは浸透流のカットオフとしてダム上流より施工する。また、排水孔を監査廊より実施する。

ロックフィルダムの基礎に対しては、カーテングラウトとブランケットグラウトを施工する。カーテングラウトは1条間隔3m長さ20m、ブランケットグラウトは間隔3mメッシュ長さ5mとした。

7.2.3 水路

(1) 発電用取水口

発電用取水口をコンクリートダム上流面に設けた。発電用取水口は幅9.5 m高さ40.0 mである。取水口の敷居は、50年堆砂を考慮し標高477.8 mに設定した。

浮遊砂を含む密度流を効果的に確保し流入させ発電用水として利用するように、取水口に多段式ゲートを設置した。

鉄管路前面には、幅3.9 m高さ6.5 mの取水ゲートを設置した。浮遊物が鉄管路に流入にない様にトラッシュラックを取水口前面に設置した。

(2) 鉄管路

鉄管路は内径5.4 m長さ90 mであり、取水した水を発電所に導くために、コンクリートダム内に埋設した。

7.2.4 発電所

発電所はコンクリートダム直下流に位置した。発電所は地上式発電所であり、2組の立軸同期発電機+フランス型水車が設置される。また屋外開閉所が右岸に建設される。

(1) 発電所建屋

発電所は幅32 m長さ60 m高さ50 mである。基本配置を図面-07に示す。

発電所立屋は幅22 m長さ36 mの機械室、幅22 m長さ14 mの組み立て室、幅10 m長さ60 mの制御室から構成される。発電機器の中心間隔は、水車及び付属機器の配置と設置を考慮し、18.0 mと設定した。また水車中心は、必要な吸出し高さを確保するためにEL436.5 mと設定した。主変圧器は経済性を考え発電所背面に設置した。

(2) 屋外開閉所

屋外開閉所は、長さ129 m幅50 mの面積を持ち、発電所近隣の右岸に位置する。屋外開閉所には、主開閉器と制御機器が設置される。

7.2.5 プロジェクト道路

低ランドフォールズからのプロジェクト道路は、既存キャンペレ発電所からタナ川右岸沿いに建設される。プロジェクト道路は図面-02に示すされる様に、長さ53 km幅6.0 mである。プロジェクト道路は、タナ川右岸溪流を渡る地点で9箇所橋を設置する。橋は水没式橋7橋、コンクリート桁型橋2橋を建設する。

プロジェクト道路は、またムトンガ発電所に行く分岐道路6.5 kmを途中から建設する。

7.2.6 水門・鉄管

水門・鉄管はゲート、トラッシュラック、鉄管から成り、基本諸元は以下の通りである。

- | | |
|------------------|---------------------------------|
| (1) 仮排水路水門 | |
| - 形式 | : ローラゲート |
| - 数量 | : 2 門 |
| - 寸法 | : 巾 10.5 m × 高 10.5 m |
| (2) 余水吐ゲート | |
| - 形式 | : ラジアルゲート |
| - 数量 | : 6 門 |
| - 寸法 | : 巾 15.0 m × 高 15.5 m |
| (3) 排砂ゲートおよび放流管 | |
| - 形式 | : 高圧ローラゲートおよび予備ゲート |
| - 数量 | : 2 門 |
| - ゲート寸法 | : 巾 5.0 m × 高 5.0 m |
| - 放水管寸法 | : 巾 5.0 m × 高 5.0 m × 延長 30.0 m |
| (4) 発電用取水口スクリーン | |
| - 形式 | : 固定式スクリーン |
| - 数量 | : 2 門 |
| - 寸法 | : 巾 9.5 m × 高 35.0 m |
| (5) 発電用取水口多段式ゲート | |
| - 形式 | : 4 段式ローラゲート |
| - 数量 | : 2 門 |
| - 寸法 | : 巾 9.5 m × 高 10.5 m (1 段当り) |
| (6) 発電用取水口ゲート | |
| - 形式 | : ローラゲート |
| - 数量 | : 2 門 |
| - 寸法 | : 巾 3.9 m × 高 6.5 m |
| (7) 放水口ゲート | |
| - 形式 | : ローラゲート |
| - 数量 | : 2 門 |
| - 寸法 | : 巾 5.6 m × 高 5.0 m |
| (8) 水圧鉄管 | |
| ゴム埋込型水圧鉄管 | : 延長 90.0 m (取水口～水車入口弁) |

7.2.7 発電機器

発電機器の基本条件は以下の通りである。

- 満水位 (FSL):	EL. 512.0 m
- 最低運転水位 (MOL):	EL. 491.4 m
- 最大使用水量	227.6 m ³ /sec
- 放流水位	EL. 441.2 m
- 設備容量	140,000 kW

発電機器の台数は、2台と選定した。これはタナ川既存発電所の発電機台数が2台であること、1台と比較して維持管理に融通がきくこと、また3台と比較し経済的であることを考慮したものである。

水車は、低グランドフォールズ発電所の有効落差と流量を考慮し、フランシスタイプと決定した。また、発電機はその回転数と容量から立軸傘型同期発電機とした。

図面-12の系統図に示される様に、低電圧同期機能付きのユニットシステムを採用した。発電機電圧は屋外開閉所の主変圧器で220 kVに昇圧され、1 $\frac{1}{2}$ CB方式母線システムを持つ屋外開閉所に接続される。なお、この屋外開閉所はムトンガ発電所およびキャンベレ発電所へむかう220 kV、2回線を有している。また、この開閉所には下流における発電所新設に備えて、2回線分のスペースが用意されている。1500 kVAの所内用変圧器2台に加え、1000 kVAの変圧器1台もローカル配電用に納入される。

発電機器の基本諸元を以下に示す。

- (1) 水車
 - 台数 : 2
 - 型式 : 立軸フランシス
 - 有効落差 : 69.0 m
 - 最大流量 : 113.8 m³/sec/unit
 - 定格出力 : 71,600 kW
 - 定格回転数 : 188 rpm
- (2) 発電機
 - 台数 : 2
 - 型式 : 立軸交流3相自励式同期発電機
 - 定格容量 : 82,400 kVA
 - 定格電圧 : 11 kV
 - 定格周波数 : 50 Hz
 - 出力 : 70,000 kW
- (3) 主変圧器
 - 台数 : 2
 - 型式 : 屋外型油入風冷式
 - 容量 : 82,400 kVA
 - 電圧比 : 11/235 kV

- (4) 220kV遮断器
- 定格電圧 : 245 kV
 - 定格電流 : 1600 A
 - 定格遮断電流 : 31.5 kA

7.2.8 送電線及び変電所

設備容量140 MWを持つ低グランドフォールズ発電所は、既存キャンベレ発電所から北東45 km地点に建設される。また設備容量60 MWを持つムトンガ発電所は、両発電所の中間地点に建設される。

低グランドフォールズ及びムトンガ両発電所で発電される電力は、新設の送電線により既存キャンベレ発電所の変電所を通じ、ナイロビ近郊の既設エンバカシ変電所に送られる。低グランドフォールズ発電所で発電される電力をナイロビに供給する為には、既設送電線に加えて、現在計画中のキャンベレ変電所とエンバカシ変電所を結ぶ220 kV送電線が、低グランドフォールズ発電所運転開始前に完成される必要がある。更に、ムトンガ発電所で発電された電力を確実に送電するために更に新たな送電線を新設する必要がある。

(1) 送電線設備

電線最高温度75℃から計算される電流容量と必要送電容量を考慮し、ケニアで使用されている220kV送電線の標準電線よりCanary (ACRS 460 mm²)を選択した。回線遮断などの不慮の事故や将来のタナ川下流域開発の増容量に対するため、グランドフォールズ - ムトンガ - キャンベレ間の送電線は2回線とする。

送電用鉄塔は2回線を縦列配置とし、避雷用として2本の架空地線（亜鉛メッキ銅撚線90 mm²）を備える。鉄塔の間隔は平均350 mとし、キャンベレ - グランドフォールズでの鉄塔総数は45 kmで130基以上を予定、ムトンガ発電所への引込み回線においては12基を予定している。

碍子は一般的な懸垂碍子（Φ254 mm×146 mm×15連）とし、視覚的なインパクトが最小となるような青か茶色のガラス又は機器硝子とする。

プロジェクトの建設スケジュールと整合をとるため、このプロジェクトの送電線は2期に分けて建設される。低グランドフォールズ発電所から既設キャンベレ発電所までの2回線は、低グランドフォールズ建設中に建設される。この回線の分岐点から新設ムトンガ発電所への引込み2回線はその後ムトンガ発電所の建設に併せて建設される。両発電所とキャンベレ間の220 kV計画送電線ルートを図面-02に示す。

(2) 変電所設備

次の変電所設備を設置する。

低グランドフォールズ

- 低グランドフォールズ発電所の屋外変電所
- ムトンガ発電所の屋外変電所
- 既存キャンベレ発電所の屋外変電所の拡張

既存キャンベレ変電所の拡張は既存変電所の南東に十分な敷地を確保できる。また、変電所設備のレイアウトは既存の変電設備と同じとする。

7.3 ムトンガ計画

7.3.1 仮排水路

タナ川はダムサイト上流において北東から南東に蛇行し、また下流において北東にその方向を変える。仮排水路トンネルはダムサイト付近の蛇行を考慮し左岸に建設される。仮排水路トンネルはトンネルルートに沿いに十分な傾りを持ち、また適切な地質条件を持っている。仮締切ダムを含む仮排水路の計画を図面-08に示す。

仮排水路トンネルの設計洪水は、コンクリートダムであることを考慮し、 $1,600 \text{ m}^3/\text{sec}$ のピーク流量を持つ5年確率洪水を採用した。仮排水路トンネルは1条設置するものとする。仮排水路トンネルの内径は、設計洪水流量時 $18.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ の最大流速で流下するように 11.0 m と決定した。

上流仮締切ダムの天端は、洪水が仮排水路トンネルを流下する時に、 1.0 m の余裕高を持つ様に標高 539.0 m と設定した。下流仮締切ダムは、仮排水路トンネル放水口と主ダムとの間に建設する。

7.3.2 主ダム

(1) ダム型式

6.4章で記述されているダム型式の比較検討の結果、ダム型式はコンクリートダムと決定した。ダムの一般平面図を図面-08に示す。

(2) ダム非越流部高さ

常時満水位(FSL)及び最低運転水位(MOL)はEL. 550.0 m とEL. 538.5 m と設定した。ダムの天端標高は、常時満水位に余裕高を考慮した場合と、洪水時水位に余裕高を考慮した場合のどちらか高いものを低グランドフォールズダムの場合と同様に決定した。常時のダム天端標高は、余裕高 2.0 m (波浪波高 1.0 m + 地震時波高 0.5 m + コンクリートダムに対する余裕高 0.5 m)を考慮し標高 552.0 m と算定される。一方洪水貯水池操作時のダム天端標高は、洪水追跡の結果により決定される $10,000$ 年確率洪水時ピーク流量 $10,900 \text{ m}^3/\text{sec}$ の最高貯水位EL. 553.0 m に余裕高 2.0 m を加算し、EL. 555.0 m が得られた。その結果、ダムの天端標高はEL. 555.0 m とした。

(3) コンクリートダム

コンクリートダムは上流面が鉛直、下流面が1:0.8の勾配をもつ様に設計した。また1:0.2の勾配をもつフィレットを上流面に設けた。ダムは堤体長660 m高さ60 mである。ダム上流基礎に排水孔とグラウト孔を設けかつダム放流設備への通路として、監査廊をダム堤体内低標高に設置した。ダムは、比較的安く小さいダムであり、RCCタイプの経済的利点を期待出来ないので、従来のコンクリートダムタイプを採用した。ダムコンクリート量は416,000 m³である。ダム断面を図面-09に示す。

(4) 洪水吐き(越流部)

洪水吐きは、ダム天端に対し十分な余裕高を持ち10,000年確率洪水10,900 m³/secを流下出来るように、コンクリートダムの河川部に設けた。

洪水吐きは、4門の幅17.5 m高さ16.0 mのラジアルゲートを洪水を放流するために設置する。減勢工を含む洪水吐きを図面-09に示す。

比較的ダム高さが低いことを考慮し、減勢池型減勢工を選定した。減勢工の設計洪水は100年確率洪水3,400 m³/secとした。減勢池は設計洪水に対する水理検討の結果30 m長さとなった。

(5) 通常洪水及び土砂放流設備

ムトンガダムは、図面-10に示すされる様に、貯水池内の堆砂を排砂する為に2条の排砂設備を設置した。

6.4章で説明したように、ムトンガダムの貯水池は比較的短期間に堆砂する。従って、貯水池の寿命を維持するために、土砂を排砂する排砂設備を設置した。排砂設備は、幅5.0 m高さ5.0 mのスチールコンジット2条から成り、高圧ローラーゲート、ラジアルゲートと予備ゲートを設置している。高圧ローラーゲートはダム前面の粗い砂れきを含む土砂を排砂する。ラジアルゲートは、高圧ゲートの水密性を補強するために、高圧ゲート直下流に設置する。スチールコンジットは土砂に含まれる粗粒子による浸食から保護するために設置する。

排砂設備は、洪水吐き兩岸に設置した。排砂設備の呑み口標高は512.0 mに設定し、排砂設備前面に堆砂した土砂を効果的に排砂する。この排砂設備を通し、人工洪水を低ランドフォールズダム同様放流する。

(6) 基礎処理

コンクリートダムの基礎に対し、間隔3 m長さ30 mのカーテングラウトを河床部に、長さ20 mのカーテングラウトを兩岸部に施工する。また間隔3 m長さ5 mのコンソリデーショングラウトをダム基礎に実施する。基礎処理を図面-09及び10に示す。

7.3.3 水路

(1) 発電用取水口

発電用取水口をコンクリートダム上流面に設ける。発電用取水口は8.0 m幅15.0 m高さである。取水口の敷居は、取水時の空気混入を防止するためにMOLに対する最小抜りを確保する様に、標高526.5 mに設定した。最大取水量87.5 m³/sec/門取水時の取水口への流入速度は0.67 m/secである。浮遊物が

鉄管路に流入にない様にトラッシュラックを取水口前面に設置した。

(2) 鉄管路

内径4.7 m長さ59 m鉄管路はコンクリートダム背面に設置し、取水した水を発電所に導くこととした。

7.3.4 発電所

発電所は、図面-08に示すコンクリートダム直下流に位置している。発電所は地上式発電所であり、縦軸型発電機とフランシス型水車を2台が設置される。また屋外開閉所が左岸に建設される。

(1) 発電所

発電所は幅30 m長さ49 m高さ44 mである。基本配置を図面-11に示す。

発電所建屋は幅21 m長さ36 mの機械室、幅30 m長さ13 mの組み立て室、幅8.5 m長さ49 mの制御室から構成される。発電機器の中心間隔は、水車及び付属機器の配置と設置を考慮し、18.0 mと設定した。また水車中心標高は、必要吸出し高さを確保するために509.5 mと設定した。

(2) 屋外開閉所

屋外開閉所は、図面-08に示すされる様に発電所近隣の左岸に位置する。屋外開閉所は、低グランドフォールズ発電所からの送電線と既存キャンベレ発電所へ出ていく送電線を考慮し、更に主開閉機器および制御機器が配置できるように、長さ129 m幅90 mの面積を持つ。

7.3.5 プロジェクト道路

ムトンガダム発電所へのプロジェクト道路は、低グランドフォールズダムとキャンベレ発電所を結ぶプロジェクトのプロジェクト道路から分岐し6.5 kmの道路を建設する。

7.3.6 水門・鉄管

(1) 仮排水路水門

- 形式	:	ローラゲート
- 数量	:	1 門
- 寸法	:	巾 11.0 m × 高11.0 m

(2) 余水吐ゲート

- 形式	:	ラジアルゲート
- 数量	:	4 門
- 寸法	:	巾 17.5 m × 高16.0 m

(3) 排砂ゲートおよび放流管

- 形式	:	高圧ローラゲート、高圧ラジアルゲート および予備ゲート
- 数量	:	2 門
- ゲート寸法	:	巾 5.0 m × 高5.0 m
- 放水管寸法	:	巾 5.0 m × 高5.0 m × 延長 40.0 m

- (4) 発電用取水口スクリーン
- 形式 : 固定式スクリーン
 - 数量 : 2 門
 - 寸法 : 巾 8.0 m × 高 15.0 m
- (5) 発電用取水口角落し
- 形式 : ローラゲート
 - 数量 : 2 門
 - 寸法 : 巾 3.4 m × 高 5.9 m
- (6) 放水路ゲート
- 形式 : ローラゲート
 - 数量 : 2 門
 - 寸法 : 巾 4.2 m × 高 3.9 m
- (7) 水圧鉄管
- ダム埋込型水圧鉄管 : 延長 59.0 m (取水口～水車入口弁)

7.3.7 発電機器

発電機器の基本条件を以下の通りに示す。

- 満水位 (FSL):	EL. 550.0 m
- 最低運転水位 (MOL):	EL. 538.5 m
- 最大使用水量	175.0 m ³ /sec
- 放流水位	EL. 510.7 m
- 設備容量	60,000 kW

発電機器の台数は、7.2.7章で説明した様に2台とした。基本配置を図面-11に示す。

貯水池の水位変動がほとんど無く落差変化が小さいことから、その性能と経済性を考慮し低速立軸フランシスタイプと決定した。また、発電機はその回転数と容量により立軸傘型同期発電機とした。

図面-12の系統図に示すされる様に、低電圧同期機能付きのユニットシステム（水車－発電機－変圧器が一線状に並ぶユニット）を採用する。発電機電圧は主変圧器で220 kVに昇圧され、11/2CB母線システムの220 kV屋外開閉所に接続される。なお、この屋外開閉所は低グランドフォールズから来る220 kV送電線2回線と既設キャンベレ発電所へいく220 kV送電線2回線用の開閉機器を備える。

なお、1500 kVAの所内用変圧器2台に加え、1000 kVAの変圧器1台もローカル配電用に設置される。

発電機器の基本諸元を以下に示す。

- (1) 水車
- 台数 : 2
 - 型式 : 立軸フランシス
 - 有効落差 : 38.9 m
 - 最大流量 : 87.5 m³/sec/unit
 - 定格出力 : 30,800 kW
 - 定格回転数 : 176 rpm

- (2) 發電機
- 台數 : 2
 - 型式 : 立軸交流 3 相自勵式同期發電機
 - 定格容量 : 35,300 kVA
 - 定格電壓 : 11 kV
 - 定格周波數 : 50 Hz
 - 出力 : 30,000 kW
- (3) 主變壓器
- 台數 : 2
 - 型式 : 屋外型油入風冷式
 - 容量 : 35,300 kVA
 - 電壓比 : 11/235 kV
- (4) 220kV遮斷器
- 定格電壓 : 245 kV
 - 定格電流 : 1600 A
 - 定格遮斷電流 : 31.5 kA

第8章 工事实施計画と工事費の算定

8.1 工事实施計画と工事工程

8.1.1 序章

工事实施計画は、基本設計に基づいてプロジェクト実施方法、施工順序、工事遂行のための施工方法および建設機械等について概略検討した。当プロジェクトは低グランドフォールズ工事とムトンガ工事の2つから構成されている。工事は各々4つの工事实施形態からなり、入札参加資格制限付国際入札により選定された請負業者によって、実施され、また下記の工事实施形態によって行うものとして計画した。エンジニアリング・サービスに関しては、詳細設計、工事監理の段階でコンサルタントが実施するものとした。

(1) 土木工事

仮設工事、仮排水路トンネル、仮締切ダム、主ダム、発電所、放水路、放流水路、取付道路、ベースキャンプ等工事を含む。

(2) 水門・鉄管工事

仮排水路トンネルゲート、土砂吐ゲート、洪水吐ラジアルゲート、取水ゲート、水圧鉄管、放水路ゲート等工事を含む。

(3) 発電設備工事

水車、発電機器、変圧器、開閉機器および制御機器、監視装置、補機類、雑資機材、送電線保護装置、電力搬送通信機器等設置工事を含む。

(4) 送電線・変電設備工事

低グランドフォールズ工事には、キャンベレグランドフォールズで間の送電線工事、屋外開閉機器およびキャンベレ変電設備の拡張工事等を含む。一方、ムトンガ工事には、主送電線への接続送電線工事および屋外開閉機器等設置工事を含む。

図8.1に示すように、低グランドフォールズ工事を最初の実施し、次いでムトンガ工事が遂行されるものとした。発電所の運転開始をそれぞれ、2008年中期および2012年中期と計画した。

8.1.2 低グランドフォールズ工事实施計画

(1) 基本条件

本プロジェクトの工事計画は、前述の工事实施形態および工事工程の中に示す主要工事の完了期日を踏まえて計画した。また、ケニア国内の建設事情、気象条件、地質、地形条件等を考慮して、機械化施工により工事を実施するよう計画した。

工事契約締結後、工事着工を2003年7月として計画した。低グランドフォールズの全工事は、2008年6月には完了するものとし、全体工事期間を5年間（60ヵ月）として工事实施計画を作成した。

施工計画にあたっては一般土工事の稼働日数を年間252日とした。また、コアおよびフィルターの盛立て工事については年間215日、ロック盛立てについては年間256日とし、コンクリート工事、

グラウト工事については年間260日の稼働日数で計画した。

特に、コア盛立ては4月と5月、11月と12月にわたって降雨により施工が制限されることもありうる。稼働日数の詳細を表8.1に示す。

(2) 準備工事・仮設備

取付道路

当プロジェクトサイトはナイロビから北西150 kmに位置する。ナイロビからグランドフォールズに至るムウインギ・ルートは約275 kmで、もう1つのルートであるエンブ・ルートは230 kmである。道路状況から判断して工事期間中の資機材輸送はこのムウインギ・ルートが利用できる。キャンベレから低グランドフォールズ間の取付道路として、延長53 kmを新規に計画している。その他仮設道路として、工事期間中、土取場、砕石場、川砂堆積場、工事設備等への連絡道路、ダムコンクリート運搬道路が必要となる。

仮設建物

工事実施にあたり、仮設建物をダムサイトに建設するよう計画した。仮設建物には、請負業者の事務所、宿舍、修理工場、水門・鉄管工場、倉庫、労務宿舍等を含む。業者の仮設建物とは別に、新たに建設される取付道路沿いに、企業者側のキャンプを計画する。このベースキャンプは工事監理に利用するとともに、発電所運転開始後の運用に供する。

給水設備

工事施工上かつベースキャンプに必要な工事用水および飲料水は、タナ川およびその支流から給水するものとした。給水設備はダムサイトに計画し、必要水量は約15m³/分であろう。

工事用電力設備

工事用電力は、ディーゼル駆動発電機により供給するものとして計画した。ダムサイトで約3,500から4,000kWの発電容量がコンクリート工事、ロックフィルダム工事、水門・鉄管工事、発電設備工事等のため必要であろう。一方、ベースキャンプの電力供給は、送電線工事が工事工程上最終段階となるため、ディーゼル駆動発電機により供給するものとした。

通信設備

電線ケーブルによる電話設備を工事期間中設置するものとする。電話回線数としては約50回線とし、親局を請負業者の事務所に設置する。

(3) 河川転流・仮締切ダム

ダム工事に必要な河川転流を仮排水路トンネルで実施するよう計画した。仮排水路トンネルおよび仮締切ダム工事は、全体工事工程の中でクリティカル・パスとなる。仮排水路トンネルは本数1本、内径10.5m、延長630mのコンクリートライニングトンネルで、2004年の8ヶ月間で掘削を完了する。トンネル掘削は上半先進・下部半断面掘削工法とし、月進速度70mとして計画した。掘削作業は、6ブーム・ドリルジャンボで削孔し、1.4 m³サイドバケットずり積機、11トンダンプトラックにてずり出し作業を行う。

コンクリートライニングは9mスライドセントルで全断面巻き立てとし、ライニング速度を月進72

mとして計画した。コンクリートライニングは2004年の5ヵ月間で実施するものとした。コンクリートは、3m³×3コンクリートプラントで製造し、4.5m³アジテータトラックで坑内まで運搬後、100m³/時コンクリートポンプ車で打設する。

仮排水路トンネル完成後、直ちに上下流の1次仮締切堤を構築し、河川水を転流する。転流時期を2005年1月として計画した。

仮排水路トンネルの閉塞は湛水期間5ヵ月を考慮して、2007年12月として計画した。閉塞コンクリート工事は、発電設備の運転試験開始前には完了するよう計画した。

ゾーンタイプ仮締切ダムは、ダム本体の上流に予備締切りにより仮排水トンネルに河川水が転流された後建設される。仮締切ダムは河床掘削およびRCCコンクリート打設開始前に完了するよう計画した。不透水性盛立材(コア材)は、土取場から11トンダンプトラックで運搬し、20トンタンピングローラで締固める。ロック材およびリップラップ材は、碎石場から32トンダンプトラックで運搬する。

(4) 主ダム

ダムはロックフィルダムとRCCダム(ローラーコンパクトコンクリートダム)の複合タイプダムで計画されており、2005年から2007年にかけての3年間で建設するものとして計画した。下記の施工方法により工事を行う。

ロックフィルダム

(A) 基礎掘削

ダム基礎掘削は工事工程表に示すように、仮排水路トンネル工事と平行作業で行う。土砂・軟岩掘削作業は、32トンリッパ付きブルドーザ、5m³ホイールローダ、32トンダンプトラックで行う。岩掘削は、10m³/分クローラドリル、30kgジャックハンマー、11トンダンプトラックで行う。岩表面は、人力施工にて処理清掃を行う。

(B) 盛立

ロックフィルダム盛立工事は、コンクリートダムの打設標高がロックフィルダムのコア底部の標高と一致してから実施するものとし、その後19ヵ月間で完了するよう計画した。コア材は、上流4km内に位置する4ヵ所の土取場から採取する。また、ロックフィル材はダムから2kmに位置する碎石場より運搬する。一方、砂はダムから3km地点のヌゴル川の砂堆積場および9km離れたカラング川の砂堆積場より採取する。

コア材土取場の開発は、盛立開始の2ヵ月前から実施するものとして計画した。表土除去作業は、21トンブルドーザ、2.2m³トラクタショベル、11トンダンプトラックで行う。碎石場の開発は、仮排水路のコンクリートライニングの骨材製造を考慮して2004年3月に実施するよう計画する。

コア材は予定土取場全域にわたって、1mから1.5mの薄い層で分布している。コア材は21トンブルドーザで集積し、その後最適含水比に調整するため散水車で加水するものとする。コア材積込運搬は、2.2m³トラクタショベル、11トンダンプトラックで行い、11トンブルドーザで敷均らした後20cm厚に20ton自走タンピングローラにて締固める。

細粒フィルター材は河床堆積物を使用するが、粗粒フィルター材はコンクリート骨材と同様クラッシングプラントで製造する。

砕石場の岩掘削は、ベンチ高7.5mから10mのベンチカット工法で実施する。岩の削孔は15m³/分クローラドリルで行い、5m³ホイールローダと32トンダンプトラックの組合わせで積込運搬し、ダム盛立サイトでは21トンブルドーザで敷均した後、15トン振動ローラにて締固める。

リップラップ材も、ロック材と同様砕石場から採取し、ロックフィル斜面上で0.6m³バックホウおよび人力で整形する。リップラップの間隙は小径の岩ずりで充填する。

(C) 基礎岩盤処理

基礎掘削および岩盤清掃後、コンソリデーショングラウトとカーテングラウトを2005年から2006年にわたって実施するよう計画した。カーテングラウトは、コア材盛立と重複して行う。コンソリデーショングラウト注入孔の穿孔は、7m³/分クローラドリルおよび5.5kWボーリングマシーンで行う。カーテングラウト孔に関しては、5.5kW、11kWボーリングマシーンで穿孔する。セメントグラウトは、ダム天端に設置された中央グラウト混合プラントで製造後、各作業スポットに配置された200リットルx2基グラウトミキサに搬送し、7.5kW、11kWグラウトポンプで注入を行う。ロックフィルダムとコンクリートダムのグラウト工事はそれぞれ別途に計画する。

RCC ダム(ローラーコンパクトコンクリートダム)

コンクリートダムは、ロックフィルダムとの接合部を含めて堤頂長405m、堤高91m、堤体積1,175,000m³である。内部コンクリートはRCCとし、拡張レイヤー工法でコンクリート打設を行う。コンクリート打設期間を2005年、2006年、2007年にわたって30ヶ月で計画した。コンクリートダム工事は、ロックフィルダム工事と平行作業で行う。

(A) 基礎掘削

ダム河床部の基礎掘削は工事工程表に示すように、河川転流後行う。土砂・軟岩掘削作業は、32トンリッパー付きブルドーザ、5m³ホイールローダ、32トンダンプトラックで行う。岩掘削は、10m³/分クローラドリル、30kgジャックハンマー、11トンダンプトラックで行う。岩表面は、人力施工にて処理清掃を行う。さらに岩着面は高圧ジェット水により清掃するものとする。

(B) コンクリートダム

RCCの骨材は、ロックフィル材と同じ採取場から供給する。コンクリート骨材は、ダム右岸2km地点の砕石場の岩より製造するよう計画した。一方、支流に堆積している砂はダムサイロから3km離れたヌゴル川および9km離れたカラング川にある。

砕石場の開発は、仮排水路のコンクリートライニングの骨材製造を考慮して2004年3月に実施するよう計画する。表土除去作業は、21トンブルドーザ、2.2m³トラクタショベル、11トンダンプトラックで行う。砕石場の岩掘削は、ベンチ高7.5mから10mのベンチカット工法で実施する。岩の削孔は15m³/分クローラドリルで行い、5m³ホイールローダと32トンダンプトラックの組合わせで積込み、クラッシングプラントに運搬する。

細骨材の砂は、河床堆積物を使用するが、規定粒度分布に調整するため水洗およびスクリーニングが必要である。また、河床堆積物は雨季に供給されるので、砂のストックパイルを計画する必

要がある。

コンクリートダムは多量のセメントを必要とする。当ダムサイトは、キングダマおよびマシंगाの気温データから、高温度下でのコンクリート打設が予想される。ケニア国内のコンクリートダム実績から、ポゾランセメントが使用されている。このポゾラーナセメントはモンバサ市のバンブーリー・セメント会社が生産している。

コンクリートダム施工は、本計画段階ではダンプトラック直送方式によるものとして計画した。しかしながら、詳細設計段階でコンクリート打設方法を再度検討する必要がある。当ダムは、RCCとロックフィルの複合ダムとして計画されている。地形条件およびロックフィルダムを含めると全体の堤頂長の長大さから、ケーブルクレーンによる打設よりもダンプトラックによる直送運搬方式が、コンクリート打設上適当と考えられる。

ダンプトラック直送方式によるコンクリート打設方法を採用しても、建設資機材の運搬、土砂吐ゲート、洪水吐ラジアルゲート、取水ゲート、水圧鉄管等の据付工事のために13.5トン固定式タワークレーンの設置が必要である。

コンクリートは、 $3\text{m}^3 \times 3$ コンクリートプラントを2基設置して製造する。コンクリート運搬は、20トンダンプトラック(9 m^3 積載)により行う。コンクリート運搬路は、アスファルト舗装とし、かつタイヤ洗浄設備を設置する。ダム標高が高くなるにつれ、運搬路とダム打設面を連絡するため、ダム近接部の道路盛土の付け替え、あるいはリフトアップ式架設橋の設置等が必要となる。

コンクリートプラントで製造されたスランプゼロのコンクリートを、RCC打設スポットまで20トンダンプトラックで運搬し、15トン湿地ブルドーザにより一層0.75mで敷均す。RCCコンクリートは、7トンから10トン振動ローラで締め固めた後、ダム軸上15m間隔で振動目地切り機により目地を設ける。コンクリート表面は、水をはって養生し、かつスプリンクラーにより噴霧状態で表面を保護する。次の層の打設開始前にグリーンカットを行い、1.2 m^3 ホイールローダと人力でモルタルを打設面上に一様に敷く。

外部コンクリートおよび構造物回りのコンクリートも、20トンあるいは11トンダンプトラックで運搬し、打設スポットに仮置きする。その後、1.2 m^3 ホイールローダにより2次運搬し、150mmパイププレート4本装着のコンクリート振動締め固め機で外部コンクリートを締め固める。上下流面の外部コンクリートには、通常の鋼製型枠を設置する。

ダム天端近くのコンクリート打設は、柱状打設工法を採用せず、レヤー打設により行うものとした。コンクリートは11トンダンプトラックで運搬し、その後3 m^3 ロードホールダンパーで所定の打設スポットまで2次運搬する。コンクリート締め固めは、外部コンクリートの場合と同様に行う。

(C) 基礎岩盤処理

岩着部のコンクリート打設後、コンソリデーショングラウトとカーテングラウトを2005年から2007年にわたって、ダムコンクリート打設と重複して実施するよう計画した。コンソリデーショングラウト注入孔の穿孔は、7 m^3 /分クローラドリルおよび5.5kWボーリングマシンで行う。カーテングラウト孔に関しては、5.5kW、11kWボーリングマシンで穿孔する。セメントグラウトは、ダム天端に設置された中央グラウト混合プラントで製造後、各作業スポットに配置された200リットル \times 2基グラウトミキサに搬送し、7.5kW、11kWグラウトポンプで注入を行う。コンクリートダ

ムとロックフィルダムのグラウト工事はそれぞれ別途に計画する。

その他工事

減勢工のフリップバケットは、コンクリートダム打設と平行して10ヵ月間で施工する。コンクリートは13.5トンタワークレーンによるバケット打設とし、締固めは外部コンクリートと同様に行う。フリップバケットの曲線部は、特殊型杵を使用してコンクリートを打設する。

土砂吐ゲート、洪水吐ラジアルゲート、取水ゲート、水圧鉄管等はダム本体内に据付けられる。これらの据付工事は、ダム打設スケジュールにしたがって計画する。ダム下段から中段に埋設される土砂吐ゲートおよび水圧鉄管は13.5トンタワークレーンで据付けるが、RCCコンクリート打設スケジュールを十分勘察して行う必要がある。洪水吐ラジアルゲートと取水ゲートの据付けは、ダム天端部のコンクリートおよびピア部コンクリートが完了してから、工事の最終段階である2008年に実施するよう計画した。

取水構造物コンクリートも、13.5トンタワークレーンで打設する。水圧鉄管と土砂吐ゲート回りのコンクリートも13.5トンタワークレーンで打設し、120mmコンクリートパイププレートで締め固める。

(4) 発電所

発電所はコンクリートダムの直下流に建設される。発電所は地上式の鉄筋コンクリート構造物で、長さ60m、幅32m、高さ50mである。発電所基礎構造物コンクリートおよび建築建屋のコンクリートは、天井クレーンの据付け開始の2006年7月前に完了するように計画した。第1段階の工事としては、明かり掘削、基礎構造物コンクリート、ドラフトチューブの据付けとその回りの2次コンクリート等が含まれる。第2段階の工事としては、建築建屋コンクリート、天井クレーンの据付け、ケーシングと2次コンクリート、タービンと発電機等の据付けが含まれる。

発電所および放水路の基礎掘削は、10m³/分クローラドリル、21トンブルドーザ、32トンリッパ付きブルドーザ、2.2m³トラクタショベル、11トンダンプトラックの組合わせで行う。基礎構造物コンクリートは、4.5m³アジテータトラックで運搬し、100m³/時コンクリートポンプ車あるいは1m³コンクリートバケットと30トントラッククレーンにより打設する。コンクリートは、ダム工事で設置された3m³×3コンクリートプラントで製造する。基礎構造物コンクリートとドラフトチューブの据付けに引き続いて、建築のコンクリート工事を行う。天井クレーンは、ケーシング、タービンおよび発電機の据付けのために、2006年8月に準備するように計画した。発電所の建築仕上げ工事は、タービン、発電機の据付け工事と平行して行う。

(5) 主要施工機械

施工方法および施工機械の検討の結果、低ランドフォールズ工事実施に必要な主要施工機械一覧を表8.2に示す。

8.1.3 ムトンガ工事実施計画

(1) 基本条件

工事契約締結後、工事着工を2008年1月として計画した。全工事は2012年6月には完了するものとし、全体工事期間を4.5年間(54ヵ月)として工事実施計画を作成した。

ムトンガ工事の稼働日数は、低グランドフォールズ工事で計画したものと同一とした。

(2) 準備工事・仮設備

取付道路

キャンペレーと低グランドフォールズ間の取付道路は、2005年には通行可能となるよう計画した。この道路から分岐して、ムトンガ・ダムサイトへの取付道路6.5kmが新規に必要となる。

その他仮設道路として、工事期間中、砕石場、川砂堆積場、工事設備等への連絡道路が必要となる。

仮設建物

工事実施にあたり、仮設建物をダムサイトに建設するよう計画した。仮設建物には、請負業者の事務所、宿舍、修理工場、水門・鉄管工場、倉庫、労務宿舍等を含む。業者の仮設建物とは別に、ムトンガ・ダムサイト付近に企業者側のキャンプを計画する。このベースキャンプは工事監理に利用するとともに、発電所運転開始後の運用に供する。

給水設備

工事施工上かつベースキャンプに必要な工事用水および飲料水はタナ川およびその支流から給水するものとした。給水設備はダムサイトに計画し、必要水量は約10m³/分であろう。

工事中電力設備

工事中電力は、ディーゼル駆動発電機により供給するものとして計画した。ダムサイトで約2,000から2,500kWの発電容量がコンクリート工事、水門・鉄管工事、発電設備工事等のため必要であろう。一方、ベースキャンプの電力供給は、低グランドフォールズ工事で設置された送電線から供給可能であろう。

通信設備

電線ケーブルによる電話設備を工事期間中設置するものとする。電話回線数としては約50回線とし、親局を請負業者の事務所に設置する。

(3) 河川転流・仮締切ダム

ダム工事に必要な河川転流を仮排水路トンネルで実施するよう計画した。仮排水路トンネルおよび仮締切ダム工事は、全体工事工程の中でクリティカル・パスとなる。仮排水路トンネルは本数1本、内径11.0m、延長660mのコンクリートライニングトンネルで、2008年から2009年にかけての8ヵ月間で掘削を完了する。トンネル掘削は上半先進・下部半断面掘削工法とし、コンクリートライニングは全断面巻立て工法で行う。コンクリートライニングは、2009年に5ヵ月間で実施するよう計画した。コンクリートは、1.5m³×2コンクリートプラントで製造し、4.5m³アジテータトラック

で坑内まで運搬後、100m³/時コンクリートポンプ車で打設する。

仮排水路トンネル完成後、直ちに上下流の1次仮締切堤を構築し、河川水を転流する。転流時期を2009年1月として計画した。

仮排水路トンネルの閉塞は湛水期間1ヵ月を考慮して、2012年2月として計画した。閉塞コンクリート工事は、発電設備の運転試験開始前には完了するよう計画した。

ゾーンタイプ仮締切ダムは、ダム本体の上流に予備締切りにより仮排水トンネルに河川水が転流された後建設される。仮締切ダムは主ダムの河床掘削開始前に完了するよう計画した。

(4) 主ダム

主ダムはコンクリートダムタイプで計画されており、2009年から2011年にかけての24ヵ月間で建設するものとして計画した。コンクリートダムは、堤高60m、堤頂長620m、堤体積415,660m³である。下記の施工方法により工事を行う。

基礎掘削

ダム河床部の基礎掘削は工事工程表に示すように、河川転流後行う。土砂・軟岩掘削作業は、32トンリッパ付きブルドーザ、5m³ホイールローダ、32トンダンプトラックで行う。岩掘削は、10m³/分クローラドリル、30kgジャックハンマー、0.6m³バックホウ、11トンダンプトラックで行う。岩表面は、人力施工にて処理清掃を行う。さらに岩着面は高圧ジェット水により清掃するものとする。

コンクリートダム

コンクリート骨材は、ダム右岸2km地点の砕石場の岩より製造するよう計画した。一方、支流に堆積している砂はダムサイロから2km離れたムキンド川、4km離れたカニヤカ川および59km離れたコニュー川にある。

砕石場の開発は、仮排水路のコンクリートライニングの骨材製造を考慮して2008年9月に実施するよう計画する。表土除去作業は、21トンブルドーザ、2.2m³トラクタショベル、11トンダンプトラックで行う。砕石場の岩掘削は、ベンチ高7.5mから10mのベンチカット工法で実施する。岩の削孔は15m³/分クローラドリルで行い、5m³ホイールローダと32トンダンプトラックの組合わせで積込み、クラッシングプラントに運搬する。

細骨材の砂は、河床堆積物を使用するが、規定粒度分布に調整するため水洗およびスクリーニングが必要である。また、河床堆積物は雨季に供給されるので、砂のストックパイルを計画する必要がある。

セメントは、低グランドフォールズ工事と同様ポゾラーナセメントを使用する。このポゾラーナセメントはモンバサ市のバンブーリ・セメント会社が生産している。

コンクリートダム施工は、本計画段階ではトレスル・クレーン方式によるものとして計画した。しかしながら、詳細設計段階でコンクリート打設方法を再度検討する必要がある。打設方法の選定にあたっては、全体の建設期間が限定されているため、アバットのケーブルクレーン設置の追加基礎掘削、ダム堤頂長が620mと長いこと等から、ケーブルクレーン打設工法は除外した。当

計画では、タワークレーンによるコンクリート打設で実施するものとした。

河床部に、コンクリート打設のためにタワークレーンが移動できるように、鋼製のトレスルを準備する。両アバット部には、クレーン打設範囲を考慮して、地山を掘削後コンクリートスラブを構築し、軌道を設置する。コンクリート打設として、9.5トン自走式タワークレーンを2基配置するものとした。コンクリートは、両アバット部に配置したコンクリートプラントからトランスファーカーにより運搬する。タワークレーンは、コンクリート打設作業以外に建設資機材の運搬、土砂吐ゲート、洪水吐ラジアルゲート、取水ゲート、水圧鉄管等の据付け工事のために使用する。コンクリートプラントは、総打設量および打設期間から1.5m³×2プラントを2基とし、各々左右岸に設置する。

コンクリートブロックは、幅15m、リフト高1.5mとし、3m³コンクリートバケットを9.5トンタワークレーンにより打設スポットまで運搬する。締固めは、150mmパイプレータ3本装着のコンクリート振動締固め機で行う。

柱状ブロック打設では、各リフト毎にクーリングパイプの設置、グラウトパイプの設置が必要で、引き続きクーリングおよびジョイントグラウトを行う。次のブロック打設前に、グリーンカットおよびモルタル敷均しを行う。

基礎岩盤処理

岩着部のコンクリート打設後、コンソリデーショングラウトとカーテングラウトを2009年から2011年にわたって、ダムコンクリート打設と重複して実施するよう計画した。コンソリデーショングラウト注入孔の穿孔は、5.5kWボーリングマシーンで行う。カーテングラウト孔に関しては、5.5kW、11kWボーリングマシーンで穿孔する。セメントグラウトは、ダム天端に設置された中央グラウト混合プラントで製造後、各作業スポットに配置された200リットル×2基グラウトミキサに搬送し、7.5kW、11kWグラウトポンプで注入を行う。

その他工事

減勢工のコンクリート工事は、コンクリートダム打設と平行して12ヵ月間で施工する。コンクリートは9.5トンタワークレーンによるバケット打設とし、締固めはダムコンクリートと同様に行う。

土砂吐ゲート、洪水吐ラジアルゲート、取水ゲート、水圧鉄管等はダム本体内に据付けられる。これらの据付け工事は、ダム打設スケジュールにしたがって計画する。ダム下段から中段に埋設される土砂吐ゲートおよび水圧鉄管は、9.5トンタワークレーンで据付ける。洪水吐ラジアルゲートと取水ゲートの据付けは、ダム天端部のコンクリートおよびピア部コンクリートが完了してから、工事の最終段階である2011年に実施するよう計画した。

取水構造物コンクリートも、9.5トンタワークレーンで打設する。水圧鉄管と土砂吐ゲート回りのコンクリートも9.5トンタワークレーンで打設し、120mmコンクリートパイプレータで締固める。

(4) 発電所

発電所はコンクリートダムの直下流に建設される。発電所は地上式の鉄筋コンクリート構造物で、長さ49m、幅30m、高さ44mである。発電所基礎構造物コンクリートおよび建築建屋のコンクリートは、天井クレーンの据付け開始の2010年7月前に完了するように計画した。第1段階の工事として

は、明かり掘削、基礎構造物コンクリート、ドラフトチューブの据付けとその回りの2次コンクリート等が含まれる。第2段階の工事としては、建築建屋コンクリート、天井クレーンの据付け、ケーシングと2次コンクリート、タービンと発電機等の据付けが含まれる。

発電所および放水路の基礎掘削は、10m³/分クローラドリル、21トンブルドーザ、32トンリッパ付きブルドーザ、2.2m³トラクタショベル、11トンダンプトラックの組合わせで行う。基礎構造物コンクリートは、4.5m³アジテータトラックで運搬し、100m³/時コンクリートポンプ車あるいは1m³コンクリートバケットと30トントラッククレーンにより打設する。コンクリートは、ダム工事で設置された1.5m³ x 2コンクリートプラントで製造する。基礎構造物コンクリートとドラフトチューブの据付けに引き続いて、建築のコンクリート工事を行う。天井クレーンは、ケーシング、タービンおよび発電機の据付けのために、2010年8月に準備するように計画した。発電所の建築仕上げ工事は、タービン、発電機の据付け工事と平行して行う。

(5) 主要施工機械

施工方法および施工機械の検討の結果、ムトンガ工事实施に必要な主要施工機械一覧を表8.2に示す。

8.1.4 工事工程

フィージビリティスタディの完了後、追加の環境影響調査として、2年間が必要であろう。詳細設計および契約書類の作成は、1.5年間にわたって実施するものとした。この技術管理業務は、低グランドフォールズ工事およびムトンガ工事を含ま全プロジェクトを対象としている。

発電所の運転開始時期を、低グランドフォールズ工事は2008年中期、ムトンガ工事は2012年中期として工事实施工程を計画した。低グランドフォールズ本体工事は、2003年7月に着工してから2008年6月に完了するとして、建設工事实施期間を5年間とした。図8.1に示すように、当工事の実施期間はフィージビリティスタディ完了後、11年間として計画した。

ムトンガ工事の開始時期は、低グランドフォールズ工事の完了の6ヵ月前として計画した。ムトンガ本体工事は、2008年1月に着工してから2012年6月に完了するとして、建設工事实施期間を4.5年とした。図8.1に示すように、当工事の実施期間はフィージビリティスタディ完了後、15年間として計画した。プロジェクトの資金調達を、追加の環境影響調査、詳細設計および建設工事实施段階の3回に分けて行う必要がある。その資金調達に関しては、ケニア電力会社が担当するものとした。

プロジェクトの工事实施にあたっては、次の工事完了期日を目標として、工事工程を計画した。

(1) 低グランドフォールズ工事

- a) プロジェクト資金の調達(追加の環境影響調査)
1998年1月から6月までの6ヵ月間
- b) 追加の環境影響調査
1998年7月から2000年6月までの24ヵ月(2年間)
- c) プロジェクト資金の調達(詳細設計)
2000年1月から6月までの6ヵ月間

- d) コンサルタント契約(詳細設計)
2000年7月から9月までの3ヵ月間
 - e) 詳細設計および契約書類の作成
2000年10月から2002年3月までの18ヵ月間(1.5年間)
 - f) プロジェクト資金の調達(建設工事)
2001年4月から2002年3月までの12ヵ月間(1年間)
 - g) コンサルタント契約(工事監理)
2002年4月から6月までの3ヵ月間
 - h) 入札および工事契約(入札参加資格審査を含む)
2002年7月から2003年6月までの12ヵ月間(1年間)
 - i) 建設工事
2003年7月から2008年6月までの60ヵ月間(5年間)
 - j) 発電所運転開始
2008年7月初旬
- (2) ムトンガ工事
- a) プロジェクト資金の調達(建設工事)
2005年10月から2006年9月までの12ヵ月間(1年間)
 - b) コンサルタント契約(工事監理)
2006年10月から12月までの3ヵ月間
 - c) 入札および工事契約(入札参加資格審査を含む)
2007年1月から12月までの12ヵ月間(1年間)
 - d) 建設工事
2008年1月から2012年6月までの54ヵ月間(4.5年間)
 - e) 発電所運転開始
2012年7月初旬

8.2 工事費の算定

8.2.1 序

低グラウンドフォールズ工事およびムトンガ工事を含む本プロジェクトの工事費を、発電水力施設の基本設計、工事施工計画および工事工程に基づいて積算した。各工種の単価は、現地情勢、施工機械、資材、施工方法、類似プロジェクト例を考慮し、算定した。

工事費の外貨分および内貨分を、各々米ドルおよびケニアシリングで算定し、その後ケニアシリングに換算した。

工事費の積算は、以下の前提条件により行った。

- a) 価格の基準年 : 1997年6月時点の価格
- b) 為替交換比率 : 1米ドル=54ケニアシリング=120円
- c) 工事数量 : 工事数量および項目を表8.13と表8.14に示す。
- d) 本プロジェクトは、国際競争入札により選定された請負業者によって実施される。
- e) 工事費は、直接工事費と間接工事費に分けて算定した。直接工事費(請負工事費)は、仮設工事費を含んだ土木工事費、水門・鉄管工事費、発電設備工事費、および送電線・変電設備工事費から構成されている。一方、間接工事費には、用地費・移転費、実施機関の工事経費、技術管理費および予備費を含む。

8.2.2 仮設工事費

仮設工事費には、工事保険、仮設建物、給水設備、給電設備、通信設備、医療設備、医者・看護婦等経費、内陸輸送費、試験器具、工事に用道路、プラント設備の設置工事費、ダム工事に用仮設備費等を含む。仮設工事費は、工事の規模およびコンクリートダム施工方法を考慮して、その他土木工事費の総計に対して、低グラウンドフォールズ工事では5%およびムトンガ工事では10%として算定した。

8.2.3 土木工事費

土木工事費は、労務費、資材費、機械費および請負業者の管理費・利益を含んだ単価を適用して、算定した。

(1) 労務費

労務費は、1日8時間の賃金である。労務費は、ナイロビ市での調査より算定した。労務賃金を表8.3に示す。

(2) 建設資材

建設資材は、ケニア国内の市場より調達するものとした。資材費は、ナイロビ市、モンバサ市での調査より算定した。建設資材費を表8.4に示す。現地での建設資材費には、基準価格、内陸輸送費、関税および付加価値税を含み、プロジェクトサイト着の価格とした。ケニア国内で調達不可能の資材については、関税および税金を除いた価格とした。

(3) 機械費

機械費算定にあたっては、建設機械が請負業者持ちの機械であることを前提とした。機械の基礎価格は、1997年6月の日本価格をベースとして、ケニア国モンバサ港CIF価格とした。関税および税金は、機械費から除外した。機械費のうち、償却費、スペアパーツおよび消耗資材等整備修理費を外貨分で算定した。一方、整備修理費のうちの整備作業の人件費、維持管理費を内貨分で算定した。機械費を表8.5に示す。

(4) 請負業者の間接経費

請負業者の管理費および利益に関しては、各工事の単価に割りふった。間接経費率を、労務費、資材費および機械費等直接工事費分の総計に対し25%として算定した。

(5) 単価

本土木工事で適用した単価は、前述条件を踏まえて算定した。各単価を表8.13と8.14の建設費の内訳に示す。

(6) 土木工事の工事項目

- 仮排水路トンネル
- 仮締切ダム
- 主ダム
- フリップバケットおよび減勢工
- 取水工
- 発電所

- 放水路および放流水路
- 取付道路および橋梁
- ベースキャンプ

8.2.4 水門・鉄管工事費

水門・鉄管工事費は、最近の工事入札価格に基づいて算定した。基準価格をケニア国モンバサ港CIF価格とし、関税および税金を除外した。外貨分には、本体価格、海上運賃および貨物海上保険を含めた。モンバサ港での貨物荷卸費用、港湾使用料、内陸輸送費を内貨分にて算定した。据付け工事費は、外貨分および内貨分に分けて算定した。水門・鉄管工事費を、下記工事項目について算定した。

- 仮排水路トンネルゲート
- 土砂吐ゲート
- 洪水吐ラジアルゲート
- 取水ゲート
- 水圧鉄管
- 放水路ゲート

8.2.5 発電設備工事

発電設備工事費は、最近の工事入札価格に基づいて算定した。基準価格をケニア国モンバサ港CIF価格とし、関税および税金を除外した。外貨分には、本体価格、海上運賃および貨物海上保険を含めた。モンバサ港での貨物荷卸費用、港湾使用料、内陸輸送費を内貨分にて算定した。据付け工事費は、外貨分および内貨分に分けて算定した。発電設備工事費を、下記工事項目について算定した。

- 水車
- 発電機器
- 変圧器
- 開閉機器
- 補機類
- 雑資材
- 送電線保護装置
- 電力搬送通信機器

8.2.6 送電線および変電設備等工事費

送電線工事、変電設備等に係る鉄塔、電線、変電機器等の基準価格をケニア国モンバサ港CIF価格とした。送電線工事費には、サイトの伐開、土木工事および基礎工事等の費用を含む。その他の積算条件は、外貨・内貨分に関しても、前述発電設備工事費の場合と同様である。送電線および変電設備等工事費を、下記工事項目について算定した。

低グラウンドフォールズ工事

- キャンベレーグラウンドフォールズ間の送電線
- 低グラウンドフォールズの屋外開閉機器
- キャンベレの変電設備の拡張

ムトンガ工事

- 主送電線への接続送電線
- ムトンガの屋外開閉機器

8.2.7 土地収用費

工事実施に必要な土地収用および移転は、各々、低グランドフォールズ工事、ムトンガ工事の工事着工前には実施されるものとした。当費用には、湛水池および建設用地の用地費、住民移転に必要な移転費用を含む。

8.2.8 実施機関の工事経費

当該プロジェクトの実施機関の工事経費は、直接工事費(請負工事費)の0.5%として算定した。本工事経費は、内貨分に計上されている。

8.2.9 技術管理費

詳細設計および契約書類の作成に関する技術管理費を、人・月ベースで積算した。詳細設計および契約書類の作成は、低グランドフォールズ工事およびムトンガ工事の両方を行うものとして計画した。工事監理段階の技術管理費は、直接工事費(請負工事費)の7%として算定した。そのうち、85%を外貨分に、15%を内貨分として算定した。

8.2.10 予備費

予備費を、工事に対する予備費と物価上昇による予備費に分ける。工事に対する予備費は、仮設工事費を含む土木工事費、実施機関の工事経費および技術管理費については総計の10%として算定した。水門・鉄管工事、発電設備工事および送電線・変電設備工事に関する予備費は、直接工事費の5%として算定した。

低グランドフォールズ工事の物価上昇による予備費は、工事完了まで1997年から2008年に至る12年間と長期にわたるが、外貨分に対して物価上昇率2%として年次別工事費支出表から算定した。内貨分に対する予備費は、工事実施期間が長期にわたること、内貨分の物価上昇率が米ドルに対する為替交換レートの比率と連動するであろうと推定して、内貨分の工事費を外貨分の米ドルに変換して、同じ物価上昇率2%を適用して算定した。ムトンガ工事の物価上昇による予備費も、工事完了まで1997年から2012年にいたる16年間と長期にわたることから、物価上昇率2%として算定した。物価上昇による予備費を便宜的に、外貨分に計上した。

8.2.11 工事費

低グランドフォールズ工事およびムトンガ工事の両方を含む全プロジェクトの工事費総額を、表8.6に示す。工事費総額は、物価上昇による予備費を除いて、30,561百万ケニアシリング(566百万米ドル)である。物価上昇分を含めた工事費総額は、36,686百万ケニアシリング(679百万米ドル)である。

低グランドフォールズ工事の工事費総額は、物価上昇による予備費を除いて、20,609百万ケニアシリング(382百万米ドル)で、そのうち外貨分は15,124百万ケニアシリング(280百万米ドル、外貨分比率73.4%)、内貨分は5,485百万ケニアシリング(内貨分比率26.6%)である。また、物価上昇を含めた工事費総額は、24,002百万ケニアシリング(444百万米ドル)で、そのうち外貨分は18,518百万ケニアシリング(343百万米ドル、外貨分比率77.2%)、内貨分は5,485百万ケニアシリング(内貨分比率22.8%)である。低グランドフォールズ工事の工事費を表8.7に示す。

ムトンガ工事の工事費総額は、物価上昇による予備費を除いて、9,953百万ケニアシリング(184百万米ドル)で、そのうち外貨分は7,553百万ケニアシリング(140百万米ドル、外貨分比率75.9%)、内貨分は2,400百万ケニアシリング(内貨分比率24.1%)である。また、物価上昇を含めた工事費総額は、12,684百万ケニアシリング(235百万米ドル)で、そのうち外貨分は10,284百万ケニアシリング(190百万米ドル、外貨分比率81.1%)、内貨分は2,400百万ケニアシリング(内貨分比率18.9%)である。ムトンガ工事の工事費を表8.8に示す。

工事費の内訳を、各々表8.9および表8.10に示す。

詳細な工事費内訳を、各々表8.13および表8.14に示す。

8.2.12 工事費の年次別支出

総工事費の年次別支出を、外貨分、内貨分に対して工事実施工程に基づいて算定した。総工事費の年次別支出を、下記にとりまとめた。低グランドフォールズ工事およびムトンガ工事の年次別工事費支出を、表8.11および表8.12に示す。

工事年次	1000米ドル	1000ケニアシリング	1000ケニアシリング
2000	2,642.27	23,760	166,443
2001	8,260.50	183,266	629,333
2002	3,153.91	247,731	418,042
2003	45,850.72	1,012,065	3,488,004
2004	44,580.91	476,518	2,883,887
2005	54,125.13	1,010,731	3,933,488
2006	83,911.05	1,388,796	5,919,993
2007	88,771.85	1,125,163	5,918,843
2008	59,867.29	705,609	3,938,443
2009	22,003.60	312,082	1,500,276
2010	48,197.38	731,024	3,333,683
2011	61,481.16	574,563	3,894,546
2012	10,514.07	93,383	661,143
合計	533,359.84	7,884,691	36,686,122

第9章 プロジェクトの評価

9.1 緒論

本章ではプロジェクトの経済・財務分析を実施し、ムトンガ・グランドフォールズ水力発電プロジェクトの実行可能性について検証した。9.2章では水力発電プロジェクト自体についての経済的実行可能性について検証し、同時に人工洪水放流を行った場合について検証した。プロジェクトの財務的な実行可能性については9.3章で検証した。ローンの償還可能性についての分析も含めた。

9.2 経済評価

9.2.1 プロジェクトの経済的費用と経済的便益

経済評価はプロジェクトの国家的な経済開発に対する寄与の度合を検証するために行うものである。プロジェクトの実行可能性は、その経済的費用と経済的便益に基づく内部収益率(EIRR)により検証される。

水力発電プロジェクトでは水力発電と同等の電力及び電力量を生み出す代替火力発電プラントのコストをもってその経済的便益とした。6.3.1章で説明したように、プロジェクトの代替火力発電プラントには、ガスタービンと低速ディーゼル火力発電所を選定した。

電力価値と電力量価値については1992年時点のKNPDPのデータを参照して、それぞれUS\$814/kW及びUS\$0.0686/kWhと推定した。年間維持管理費(O & M cost)はUS\$16/kWと設定した。電力価値及び電力量価値に対する調整値はそれぞれ1.147及び1.028と算定された。

6.3章における最適化の検討の結果、低グランドフォールズ水力発電所における保障出力及び年間平均発生電力量はそれぞれ134MW及び715GWhと算定された。ムトンガ水力発電所については、保障出力及び年間平均発生電力量はそれぞれ58MW及び337GWhとなった。以上の基礎的データに基づいて、低グランドフォールズ及びムトンガの便益及び維持管理費は下記のように算定された。

		低グランドフォールズ	ムトンガ
保障出力	(MW)	134	58
年間平均発生電力量	(GWh/年)	715	337
電力便益	(US\$1,000)	125,110	54,152
電力量便益	(US\$1,000/年)	50,408	23,759
維持管理費	(US\$1,000/年)	2,459	1,064

代替火力発電プラントの建設期間は2年間と想定した。代替火力発電プラントは低グランドフォールズ及びムトンガのそれぞれの水力発電所の完成と同時に完成するので、電力便益は各水力発電プラント工事完了までの2年にわたって発生することとした。

プロジェクトの価格変動を含まない工事費はそれぞれ、8.2.11章に示されるように低グランドフォールズ水力発電所についてはUS\$382百万、ムトンガ水力発電所についてはUS\$184百万と算定されている。経済費用は変換率0.89を適用し、低グランドフォールズについてはUS\$339.7百万、ムトンガについてはUS\$164.0百万と算定された。その工事期間中の年配分は表9.2.1に示した通りである。

発電機器の据替え費はプラント引渡し後30年目に発生するとした。維持管理費は土工費、鋼構造物建設費、送電網建設費からなる工事費の0.5%に、低グランドフォールズ水力発電所については発電機器の維持管理費US\$ 5.5/kWを、ムトンガ水力発電所については同じくUS\$ 8/kWを加えたものとした。

代替火力発電プラントの据替え工事はその耐久年限を考慮して25年ごとに行うと想定した。据替え費用は当該代替火力プラントの初期投下費用の90%とした。

9.2.2 経済評価

(1) 発電開発に対する経済評価

プロジェクトの経済的実行可能性は、プロジェクトライフ50年に対する経済的内部収益率(EIRR)を算定し検証した。

経済的キャッシュフローについては表9.2.2に示した通りであり、経済評価結果の各指標を下表に要約した。

指標の種類	単位	経済指標
費用の現在価値	US\$1,000	229,837
便益の現在価値	US\$1,000	286,710
内部収益率 (EIRR)	%	14.98
純便益 (B - C)	US\$1,000	56,873
便益・費用率 (B/C率)		1.25

プロジェクトのEIRRは14.98%と算定された。このEIRRはケニアにおける資本の機会費用12%よりも高くなった。割引率12%における純便益の現在価値はUS\$ 56.87百万、便益費用率は1.25と計算された。

(2) 人工洪水放流を行った場合の追加効果に対する経済評価

環境影響調査(4.4章参照)では、現行の下流環境を維持するためには、低グランドフォールズダムから総量4億9,000万 m^3 、1,100 m^3 /秒のピーク流量の自然洪水を年2回放流することが必要であると提言している。人工洪水の放流はグランドフォールズ発電所の保障出力及び年間発生電力量を低減させることになる。貯水池のシミュレーション結果によれば、保障出力及び年間発生電力量はそれぞれ、低グランドフォールズの単独運転時点では77.25MW及び533.36 GWh/年、低グランドフォールズ水力発電所とムトンガ水力発電との同時運転時点では136.38MW及び870.89 GWh/年となることわかった。

以上から低グランドフォールズ水力発電所の単独運転時点における電力便益及び電力量便益はそれぞれUS\$ 72.1百万及び年当りUS\$37.6百万/年となった。同時運転時点におけるそれぞれの便益は各々、US\$ 127.3百万及び年当りUS\$ 61.4百万/年と算出された。

表9.2.3に人工洪水を放流した場合の追加的な効果を推定するためのキャッシュフローを示し、下表に要約した。

指標の種類	単位	経済指標
費用の現在価値	US\$1,000	235,535
便益の現在価値	US\$1,000	220,282
内部収益率 (EIRR)	%	11.23
純便益 (B - C)	US\$1,000	-15,253
便益・費用率 (B/C率)		0.94

低グランドフォールズ水力発電所を通じて人工洪水の放流を行った場合のプロジェクトのEIRRは11.2%であり、資本の機会費用12%より低くなった。しかし、下記の点から、プロジェクトは依然として経済的に実行可能性があるということができよう。

- 下流域の自然環境及び生態系は既存の5ダムの影響をすでに受けており、年2回の通常洪水の減少により下流域の環境は劣化している。洪水放流を考慮しないダム建設は、環境劣化をさらに促進させるであろう。しかし、洪水放流対策を講じたダムの建設は、この負の影響をプラスに転じ、下流環境を改善することになる。

人工洪水放流のプラスの効果が無形便益であるためその価値を数量化できないが、プロジェクトによる計画されている人工洪水の放流はプロジェクトの便益増加に寄与する。

人工洪水の必要放流量4.9億 m^3 は低グランドフォールズダムの有効貯水容量の9.55億 m^3 の51%に相当する。締切りダム及び仮排水路の建設費用を含むダム工事費用を上述の率で総工事費から環境改善分として分離すれば、その分発電が受け持つことになる工事費は小さくなる。コストアロケーションを行った結果、経済的内部収益率(EIRR)は14.4%と算定され、純便益の現在価値はUS\$37.5百万となった。

- 4.9億 m^3 は、“定型放流”方式を採用した場合の最大の人工洪水放流量である。下流域からの追加流入を考えた“補足放流”方式を採用した場合、人工洪水の総量は約12%減少すると推定され、その場合EIRRは12.5%と算定される。もし、上流の7つの貯水池と各季節の流量を最大に利用できるように上流域の降雨に応じて統合管理できれば、システム全体の発電費は増加させることができる。

9.2.3 感度分析

(1) 費用と便益の変動に対する感度分析

統計資料によれば、ケニアにおけるインフレの対前年変動率は表2.1.11に示すように、1981年以降、1.6%から53.91%の範囲であり、年平均変動率は17.56%となっている。感度分析はこのインフレの変動を考慮して、次の2つの場合について行った。すなわち、1)費用が5%、10%、15%と増加した場合のケース-1及び、2)便益が5%、10%、15%と低下した場合のケース-2の2ケースである。結果を下表に要約した。

ケース-1			
便益	ベース	ベース	ベース
費用	+5%	+10%	+15%
EIRR	14.27%	13.63%	13.03%
ケース-2			
便益	-5%	-10%	-15%
費用	ベース	ベース	ベース
EIRR	14.24%	13.49%	12.74%

すべてのケースに対し、EIRRは資本の機会費用12%よりも高かった。

(2) 建設工事の順序に対する感度分析

低グランドフォールズ及びムトンガ計画の同時開発

低グランドフォールズとムトンガ計画の開発順序に対する感度分析として、低グランドフォールズとムトンガ計画の同時建設を検証した。

同時開発の場合、低グランドフォールズとムトンガ計画の建設費はオリジナルの段階開発順序(低グランドフォールズを建設しその後ムトンガ計画を建設)の97%と考えた。これは段階開発順序と比較して同時開発は、工事中キャンプ及び工事中道路を含む一般事項の工事費が、両計画とも共通仮設として使用されることにより、削減可能であると考えたことによる。また、一般管理費と間接工事費の一部も削減出来ると考えた。価格変動を除いた、工事費は低グランドフォールズ計画でUS\$333.1百万、ムトンガ計画でUS\$161.3百万と算定された。

低グランドフォールズ計画は、追加環境調査・詳細設計と入札後2003年の7月に工事を開始する計画である。一方、ムトンガ計画の建設は、低グランドフォールズ計画建設開始後半年遅れの2004年の1月に開始する。両計画とも2008年の7月に運転を開始し、合計年間1,052GWh/年の電力を発電する。

同時開発に対する経済分析の結果、EIRRは15.33%と算定され、オリジナルの開発順序(14.95%)より多少高い値を示した。しかし1)2008年に両発電所から発電される電力量を電力系統が吸収出来ない可能性があり、また2)同時開発に対し、莫大な建設費を同時に手当しなければならず、建設費のアレンジが難しいことを考える必要がある。

低グランドフォールズ及びムトンガ計画の逆開発順序

同時開発に追加して、低グランドフォールズとムトンガ計画の逆開発順序(ムトンガ計画を建設しその後低グランドフォールズ計画を建設)する場合につき、経済的可能性を検証した。

逆開発順序の建設費はオリジナルと同じと考えた。逆開発順序の場合、ムトンガ計画は詳細設計と入札後2001年の7月に工事を開始し、2005年に完成する。追加環境調査は、ムトンガ計画の建設と平行して実施する。一方、低グランドフォールズ計画の建設は、2005年の7月に工事を開始し、2010年に6月完成する。ムトンガ計画は337GWh/年の電力を2006年の1月より発電し、低グランドフォールズ計画は715GWh/年の電力を2010年の7月より発電する。

逆開発順序に対する経済分析の結果、EIRRは14.65%と算定され、オリジナルの開発順序より多少経済的に劣っていることが明らかになった。

(3) 送電線追加によって費用が増加した場合の感度分析

5.2.7章で検討した送電の系統分析の結果、電力系統における安定な送電を、特にナイロビへの送電を保障するために、2012年にキヤンベレ変電所とナイロビのエンバカシ変電所の間に220kVの単線回路の送電システムを増設する必要があることが分った。この送電設備の信頼性を高めることを考慮すると、キヤンベレからナイロビまでの追加送電施設建設費は別の財源より手当することが考えられる。しかし、この追加送電建設事業費をムトンガ水力発電設備の工事費用に加えた場合の感度分析を行うこととした。

このキャンベレーエンバカシ間の追加送電施設建設費用の単位工事費用については、US\$ 140,000/kmと想定した。一方、キャンベレーエンバカシ間の距離は162.5kmである。したがって、追加送電施設の工事費は合計でUS\$ 22.75百万となる。その経済的費用は換算率0.89によりUS\$ 20.25百万となる。

追加送電施設の工事期間は3年と想定した。したがって、年当りの経済的費用はUS\$6.75百万となる。追加送電施設の建設により費用が増加した場合の感度分析を行った結果、そのEIRRは13.43%となった。

9.2.4 最適投入時期

低グランドフォールズ及びムトンガ発電所の最適投入時期は、電力系統の電力と電力量需要の伸びに合うように新規発電設備を電力系統内に投入し、発電設備の長期運用計画に最小費用をもたらすものとして、当該計画の投入年につき検討した。

最適投入時期の検討は、アメリカ合衆国のマサチューセッツ工科大学(MIT)と電力研究機関(EPRI)により開発されたソフトウェア“EGEASを使用した。また、電力供給の信頼性に関しては、“電力損失の発生可能性 (LOLP)”を持ちいて検証した。

(1) 条件及び仮定

当該計画の最適投入時期の検討は、次の条件と仮定により実施した。

- 火力発電所は、水力発電所の発電が減少する渇水期に、電力の不足を補うために投入する。
- 投入プログラムは、ケニアに於ける年間の乾期および雨期の影響を反映し、発電量の年間4季ごとの季節変化を考慮し実施する。電力の季節変動を表 9.2.4に示す。
- 電力停止あるいは電力損失の発生可能性(LOLP) は年間10日と設定した。また、未供給電力量は0.79 US\$/kWhとした。
- 投入される発電設備は、5.4章で算定した電力と電力量需要の伸びに合うように投入する。
- 表9.2.5に既存および計画中の水力発電設備のデータを示す。ギタル発電所の3号機72.5MWは1999年に運転を開始する。一方、ソンデウ/ミリウ水力発電所は設備容量60MWで2002年に運転を開始する。
- 既存および計画中の火力発電設備は、表 9.2.6に示されるように、オルカリヤ地熱発電所、キベブ火力発電所とナイロビとキベブの燃焼型火力発電所とした。キベブ低速ディーゼル発電所の1号機と2号機の75MWは1999年に運転を開始することとした。オリカリヤ北東地熱発電所(オルカリカ2号と3号機)各64 MW は1999年と2000年に運転を開始することとした。
- 地熱発電所 (64 MW)、中速ディーゼル発電所 (60 MW) と低速ディーゼル発電所 (50 MW) を代替火力発電設備として考えた。これらの発電設備の設備費、設備の寿命、燃料費、燃焼効率と発生電力量と電力停止について表 9.2.7に示す。
- 低グランドフォールズ及びムトンガ発電所の保障出力と年間発生電力量を表9.2.5に示す。
- 世界銀行の1996年第1季における商品価格調査は、燃料価格として、1997年時点で原油価格をUS\$ 17/bblとしている。

一方、8.1章における工事工程は、最早の運転開始年は2008年に低グランドフォールズ発電所、2012年にムトンガ発電所であることを示している。しかし、原油価格US\$ 17/bblでは、水力発電所の初期投資額が大きいため水力発電所の最早の投入は選定されてこないであろう。従って、投入時期の検討の第1ステップは、原油価格をUS\$ 17/bblからUS\$ 20/bbl迄変化させ、また投入年を固定せず実施した。検討の第2ステップは、原油価格US\$ 17/bbl・工事工程・開発順序を考慮し、低グランドフォールズ及びムトンガの投入時期を検討した。低グランドフォールズとムトンガ発電所の発電設備の特性は、6.5章における最適計画検討結果を参考とした。第2ステップの検討は、3つの投入順序に対する長期運用計画におけるコストを求めた。すなわち、3つの投入順序オリジナルの投入順序（低グランドフォールズを2008年に、ムトンガを2012年に投入）及び同時投入（低グランドフォールズとムトンガを2008年に投入）及び逆投入順序（ムトンガを2006年に低グランドフォールズを2010年に投入）の総コストを算定した。

“EGEAS”は渇水年における電力の不足を避けるための設備投入計画を探し、“動的計画手法(DP)”により、発電設備の長期運用計画の最小費用を算定した。

(2) 最適投入時期

燃料価格を変化させ“EGEAS”により、低グランドフォールズ及びムトンガ発電所の最適投入時期を検討した。その結果、“EGEAS”は原油価格US\$ 19/bblで低グランドフォールズを2009年、ムトンガを2014年に投入することが最適であることを示した。2009年低グランドフォールズ、2014年ムトンガの運転開始に対する長期運用計画のコストは、25年間でUS\$ 981百万、50年間でUS\$ 1,287百万と算定された。低グランドフォールズ及びムトンガの投入順序を捜す第2ステップの検討は、原油価格US\$ 17/bblで実施した。その結果を下表に要約する。

単位: 百万 US\$

投入順序	運転開始年 (低グランドフォールズ/ムトンガ)	既存及び投入計画を含むシステムの合計費用 (低グランドフォールズ: 140 MWとムトンガ: 60 MW)	
		25年間	55年間
オリジナル	2008/2012	988	1,275
同時投入	2008/2008	993	1,281
再投入	2010/2006	997	1,281

低グランドフォールズ発電所2008年、ムトンガ発電所2012年とした投入計画が、発電設備の長期運用計画上、燃料価格US\$ 17/bblで最小費用をもたらすことが明かになった。図9.2.1と図9.2.2と表9.2.8とに最適投入時期を検討した結果を示す。また、表9.2.9と表9.2.10に低グランドフォールズ発電所2008年、ムトンガ発電所2012年投入年における電力系統内の電力と電力量のバランスを示す。

9.3 財務評価

9.3.1 財務評価

(1) 発電に対する財務評価

プロジェクトの財務的な実行可能性は、プロジェクトの単独の経済性について検証することにより行なわれる。プロジェクトの財務的評価は計画の建設及び維持管理にかかる費用と発電する電力から生み出される収益に基づく財務的内部収益率 (FIRR) に焦点を当てて行われる。

財務的便益はプロジェクトの商業運転によってもたらされる収益の増加をもってこれにあてる。8.1章の工事計画によれば、低グランドフォールズ水力発電所は2008年7月から商業的な発電を開始することとなっている。またプロジェクト全体の全商業運転はムトンガ水力発電所の工事が完了する2012年7月以降となる。KPCの資料によれば、ケニア全土の全平均電力料金は1997年時点の時価水準でKShs. 5.04/kWhである。またKPCは1999年において電力料金をKShs. 6.72/kWhと予測している。既往の実際の電力料金及び、将来の電力料金の水準は下表のように推移している。

(単位:KShs/kWh)

暦年	一般家庭+ 街灯向け 料金	商業需要+ 産業需要 向け料金	非ピーク時	全平均電力料金	対前年 電力料金 伸び率
1993	2.398	2.493	2.518	2.462	46.90%
1994	3.536	3.818	3.461	3.709	50.65%
1995	4.355	4.571	4.219	4.466	20.41%
1996	4.588	4.641	4.321	4.610	3.22%
1997	5.266	4.850	4.628	5.040	9.33%
1998	6.166	5.659	5.399	5.880	16.67%
1999	7.049	6.467	6.171	6.720	14.29%
1993年以降の伸び率	19.69%	17.22%	16.11%	18.22%	
1995年以降の伸び率	12.79%	9.06%	9.97%	10.75%	

出典： Average Tariff (KSh/KWh) by Consumption Classification (Current Prices) (Actual Revenue/Actual Sales), projected by KPC, March 1997 Load Forecast.

上表によれば、1993年から1999年までの全平均電力料金の年平均伸び率は18.22%となっている。しかし1993年と1994年の対前年伸び率は異常な伸び方を示している。表2.1.1に見られるような統計資料でも同じようなインフレのパターンを示していることから、この電力料金の異常な伸びは経済的な現象を反映しているものと推定される。一方、定常的な伸びと思われる対前年伸び率が3.22%から20.41%の範囲にある1995年から1999年までの伸び率は10.75%となる。更に1995年から1997年の伸び率は6.24%となり低い値を示している。

上述の電力料金の趨勢を考慮して、予測された1999年の電力料金KShs. 6.72/kWhを年率5%で推移し2008年の電力料金KShs. 10.42/kWhとした。

プロジェクトによる発生電力は発電所の所内使用分も含めた送電損失を差引いた分が需要家に給電されることとなる。送配電損失16%を考慮した場合の低グランドフォールズ水力発電所からの年間給電可能電力量は601GWh、ムトンガ水力発電所からの年間給電可能電力量は283GWhと算出された。以上から、低グランドフォールズ水力発電所からの収入は2009年時点でUS\$ 115.9百万、ムトンガ水力発電所からのそれは2013年時点でUS\$ 54.6百万と算定された。

プロジェクトの費用は表9.3.1に示すように支出した。発電機器の据替え費用はプラント引渡し後30年後に発生するものとした。維持管理費(O/M cost)は土木工事費、鋼構造物建設費、送電施設建設費等の費用総額の0.5%に、低グランドフォールズ水力発電所に関してはUS\$5.5/kWhの発電機器の維持管理費を、またムトンガ水力発電所に関してはUS\$8.0/kWhを加えたものとした。配電費用はUS\$0.03/kWhと推定した。表9.3.2は財務便益計算のためのパラメータ及びその他関連のパラメータを示したものである。

表9.3.3に示したキャッシュフローを用いて財務的内部収益率(FIRR)を計算した。その結果、本件プロジェクトのFIRRは15.10%と算定された。

(2) 人工洪水放流を行った場合の追加効果に対する財務評価

財務評価において人工洪水放流を行った場合についてFIRRによる検証を行った。貯水池のシミュレーションの結果、低グランドフォールズ水力発電所の単独運転及び低グランドフォールズ水力発電所とムトンガ水力発電所の同時運転時点における年平均発生電力量はそれぞれ533.4GWh/年及び870.9GWh/年と算定された。送配電損失率を16%とし、2009年時点における低グランドフォールズ水力発電所からの年平均収入は2009年においてUS\$ 86.5百万、ムトンガ水力発電所からの年平均収入は2013年でUS\$ 54.7百万と算出された。価格変動及び維持管理費前項を含めたプロジェクトの費用は前項と同じ年配分を行った。その結果、FIRRは12.22%と算定された。

9.3.2 FIRRの感度分析

プロジェクトの財務的実行可能性を検証するため、FIRRの感度分析を行った。

FIRRの感度分析は、前述の電力料金の変動の趨勢、価格変動の趨勢等を考慮して、将来におけるプロジェクトの費用及び電力料金につき下記2つの場合について行った。すなわち、

- ケース-1: 費用についても収入についても1997年以降まったく価格変動がなかった場合（電力料金：KShs.5.04/kWh）。
- ケース-2: 費用及び収入の双方に次のような価格変動を考慮した場合、すなわち1)費用については外貨について年率2%、内貨について年率10%を考慮、2)電力料金について年率10%（電力料金：KShs.14.38/kWh）。

FIRRの感度分析の結果は下表の通りとなった。

ケース別	FIRR
ケース-1	9.06%
ケース-2	15.75%

プロジェクトにとって最悪の条件であるケース-1の場合でも、FIRRで見ると限り9.1%の収益を期待することができることを示している。

9.3.3 ローンの償還可能性

本件プロジェクトのローン償還の可能性については下記の条件で検証した。すなわち、

-	ローンの総額	:	総工事費用の85%
-	ローンの利率	:	2.3%
-	償還期間	:	30年
-	据置期間	:	10年

土地用償費、租税・関税等はローン対象とはならない。ローンの償還は建中金利も含め、元利均等年払いとした。

表9.3.4はローンの償還計画を示したものである。本計画の歳入と支出の残高は、本計画の収入が初めて期待できる9年目からプラスに転じ、その年から累加された債務を減らし、10年目から債務がなくなる。

第10章 追加環境調査

4章における環境調査結果は下流環境の劣化に対する改善と貯水池内の移転に対しての対策を提言している。しかし、下流環境が既存のダム群により劣化している現況と更に本計画の開発により影響が促進されることを考慮すると、遅延なくタナ川の下流における追加環境調査を実施する必要がある。

追加環境影響調査は長期における全体の環境マネジメントをタナ川氾濫原及びデルタに実施することになり、つぎの工程が考えられる：

- (1) 追加環境影響調査の実施
- (2) 環境マネジメント計画の作成
- (3) 環境モニタリング計画の実施

追加環境影響調査は上記最初のステップ (1) をカバーし、タナ川氾濫原及びデルタにおける自然資源、人間活動および河川体系を考慮し実施されなければならない。調査は次の調査を網羅する。

- 1) データ及び資料の収集とレビュー
- 2) 測量調査
- 3) 生態系の価値、機能、影響の調査
- 4) 自然資源の利用及び保護の調査
- 5) 社会経済活動に対する影響の調査
- 6) 開発機会及び制限に対する調査
- 7) マネジメント上の問題の調査
- 8) マネジメントの政策の立案
- 9) トレーニング及び技術移転

また、追加環境影響調査は、1) グランドフォールズ下流域、ガリッサから下流のタナ川氾濫原と15m深さの沖合いと季節により変化するタナ川の後背地を含む季節的湿地帯と海岸線の自然を網羅するタナデルタと2) 土砂生産および河川流量に関係するガリッサから上流をカバーする。

調査期間は、調査開始より最終報告書(案)提出まで合計24ヵ月であり調査初期において二雨期を網羅し流量と土砂の測定観測を実施し、氾濫原における環境への影響に対する要点を把握するものとする。追加環境影響調査の各々の調査工程を図10.1に示し次の通りである。

- 第1ヵ月日から第3ヵ月日まで3ヵ月間、資料の整理とレビューと編集をおこなう。
- 第4ヵ月日から第16ヵ月目の間13ヵ月間、レビュー作業を含む測量と調査を実施する。
また、洪水と土砂の測定を実施することを考慮し、二雨期をこの期間に含む。
- 第4ヵ月日から第16ヵ月目の13ヵ月間、生態系と自然資源の利用を調査し明かに

する。

- 第9ヵ月日からまで第19ヵ月日の10.5ヵ月間の間、社会経済活動による影響を調査し明らかにする。また、維持流量の調査を含む。
- 第14ヵ月日からまで第15ヵ月日の2ヵ月間の間、開発計画の機会及び抑制につき確認する。
- 第14ヵ月日からまで第15ヵ月日の2ヵ月間の間、管理上の問題つき確認する。
- 第20ヵ月日からまで第23ヵ月日の3.5ヵ月間の間、管理方針を確立する。
- 第23ヵ月日からまで第25ヵ月日の2ヵ月間の間、技術移転を行う。

2年間の調査期間全体を通じ研修を行い、長期の調査作業方法を取得し、また上記作業と関連したモニタリング項目を継続する。