

スリランカ

サマナラウェア水力発電事業 (1) (2) (3) およびサマナラウェア水力発電改修事業

評価者：進藤裕之（(独) 水資源機構）

現地調査：2006年10月、12月

1. 事業の概要と円借款による協力



事業地域の位置図



サマナラウェア水力発電所管理棟

1.1 背景

スリランカは、石油、石炭、天然ガスといった化石燃料資源に乏しく、固有のエネルギー資源としては水力とバイオマスのみである。特に、水力は同国にとって最も可能性をもったエネルギー資源であったことから、同国政府は水力発電の拡大に努め、マハヴェリ水系、ラクサパナ水系において大規模な水力発電開発を進めてきた。

一方、本事業が計画された当時の1980～1985年の販売電力量の伸び率は年平均8.2%と、同国の電力需要は急速に増加し、引き続き着実な増加が予想されていた。この電力需要の増加に対処するため、スリランカ政府は大規模石炭火力発電を稼働させる予定であったが、1985年時点で石炭火力の稼働開始は大幅に遅れる見通しで、90年代前半には電力需給の逼迫が予想された。本事業はこの電力需給の逼迫を緩和すべく計画されたものである。

1.2 目的

本事業は、コロンボの南東約160kmのワラウェ川上流部において、最大出力120MWのダム貯水池式発電所を建設することにより、スリランカの電力供給不足への対応をはかり、もって同国の国民経済および福祉の向上に寄与するものである。

1.3 借入人／実施機関

スリランカ共和国／セイロン電力庁（CEB）

1.4 借款契約概要

案件名	水力発電事業			改修事業
	第1期	第2期	第3期	
円借款承諾額	145億円	139億2,000万円	32億6,400万円	52億8,200万円
円借款実行額	145億円	139億2,000万円	32億6,400万円	31億3,400万円
交換公文締結	1986年7月	1987年7月	1991年1月	1995年7月
借款契約調印	1986年9月	1987年10月	1991年3月	1995年8月
借款契約条件	金利 3.25% 返済 30年 (据置 10年) 一般アンタイド	金利 2.75% 返済 30年 (据置 10年) 一般アンタイド	金利 2.50% 返済 30年 (据置 10年) 一般アンタイド	金利 2.60% 返済 30年 (据置 10年) 一般アンタイド
貸付完了	1992年9月	1994年4月	1995年3月	2005年3月
本体契約 (10億円以上)	熊谷組(日本)・間組(日本)・鹿島建設(日本)(JV)			
コンサルト契約 (1億円以上)	日本工営(日本)			
事業化調査(フィージビリティ・スタディ: F/S) 等	1978年 F/S CECB(スリランカ) / ソ連 1984年 技術レポート 英国コンソーシアムグループ 1985年 技術レポート CEB/CECB			

1.5 借款の経緯

本事業は円借款と英国との協調融資により実施されたもので、総事業費 601 億 7,600 万円の計画で 1986 年に開始された。円借款 (284 億 2,000 万円) は 2 回の融資により実行する予定で、1986 年から第 1 期融資、1987 年から第 2 期融資が実行された。本事業のうち、おもな円借款対象は仮排水トンネル、ダム、発電水車、水門鉄管および施工管理である。

ダム工事中の 1988 年に、ダム右岸地山内に透水性の大きな箇所があることが確認されたことから、右岸遮水工事 (カーテングラウチング¹⁾) 等を追加することとして事業計画を見直し、総事業費を 743 億 1,300 万円 (うち、円借款分 316 億 6,400 万円) に変更し、1991 年から第 3 期の円借款として残額 (借款増額相当分) が融資された。

右岸遮水工事終了後、貯水池湛水中の 1992 年 10 月に、ダム下流の右岸地山から大量の漏水が発生した。このため、スリランカ政府は専門家からなる国際委員会を設置し対策を検討した結果、水中ブランケット工法²⁾による対策工事の実施 (改修事業) を決定し、この改修事業に対し 1995 年から円借款が融資された。

注) 本報告では、第 1 期～第 3 期融資の対象となった事業を「水力発電事業」と表記し、この水力発電事業と改修事業をあわせたものを「本事業」と表記している。

本事後評価は、水力発電事業と改修事業を一体の事業と見なして評価を行った。また、当初計画時の調査・検討の妥当性については、審査時に評価済みであることから本事後評価の対象外としている。

¹ この場合は、地山を通る漏水を防ぐため、地山内にセメントミルクを注入してカーテン状に遮水ゾーンを形成するもの。

² 土砂を貯水池面から投下し、土砂で漏水の入口を覆うことにより漏水量の減少をはかるもの。

2. 評価結果 (レーティング : D)

2.1 妥当性 (レーティング : a)

2.1.1 審査時における妥当性

本事業が審査された当時(1985年)、国内発電量の大半(97.2%)は水力発電により供給されていた。また、本事業開始以前の1980~1985年の販売電力量の伸び率は年平均8.2%と急増しており、引き続き、電力需要の着実な増加が予想されていた。

この増加する電力需要に対処するため、スリランカ政府は1993年から大規模な石炭火力発電を稼働させることとし、同国の電源開発計画では、80年代後半は水力発電が主流を占め、90年代は石炭火力発電が主流を占めることとされていた。しかしながら、本事業の審査当時、石炭火力発電は、立地予定地の人種抗争により稼働開始が大幅に遅れる見通しとなっており、1990年代前半には深刻な電力需給の逼迫が生ずるものと予想されていた。

本事業は、同国の発電の主力が水力発電から石炭火力発電へと移行する期間に位置し、90年代前半の電力需給逼迫を緩和するための電源開発事業と位置づけられ、また、当時のCEBの長期電源開発計画における水力発電事業のなかで、最も規模が大きく経済性の高いものとされていた。

このように、本事業は、1990年代前半に予想される電力供給不足に対処する最も経済的かつ有効な手段であり、同国の国民経済および福祉の向上に資するところ大であると認められたことから、本事業の優先度は高いと判断されていた。

なお、本事業は1950年代からいくつかの機関により検討が行われている。1978年にCECB(スリランカの技術コンサルタント)とソ連により詳細設計を含むフィージビリティ調査(F/S)が実施され一部の準備工事も行われたが、1979年に工事が中断された。その後、1984年に英国コンソーシアムグループ、1985年にCEBとCECBにより技術レポートが作成されている。

2.1.2 評価時における妥当性

スリランカ政府の政策文書“Victory for Sri Lanka (2005年)”では、エネルギー確保が重要政策の一つと位置づけられ、CEBの「長期電源開発計画2006-2020(2005年12月)」では、既設水力発電による継続的な電力安定供給を前提として将来計画が策定されている。また、同国の電力需要は、本事業が開始された1986年から2004年の間、平均年率6.4%の伸びで急増しており今後も着実な増加が予測される。

一方、電力供給面では、予定されていた石炭火力発電は現在まで実現しておらず(2011年に国内初の石炭火力発電が稼働予定)、増加する電力需要に応えるため2000年頃から石油火力発電の比重が高まってきた。同国は石油を輸入に依存しているため、石油燃料が発電コスト増大の主要因の一つとなっている。

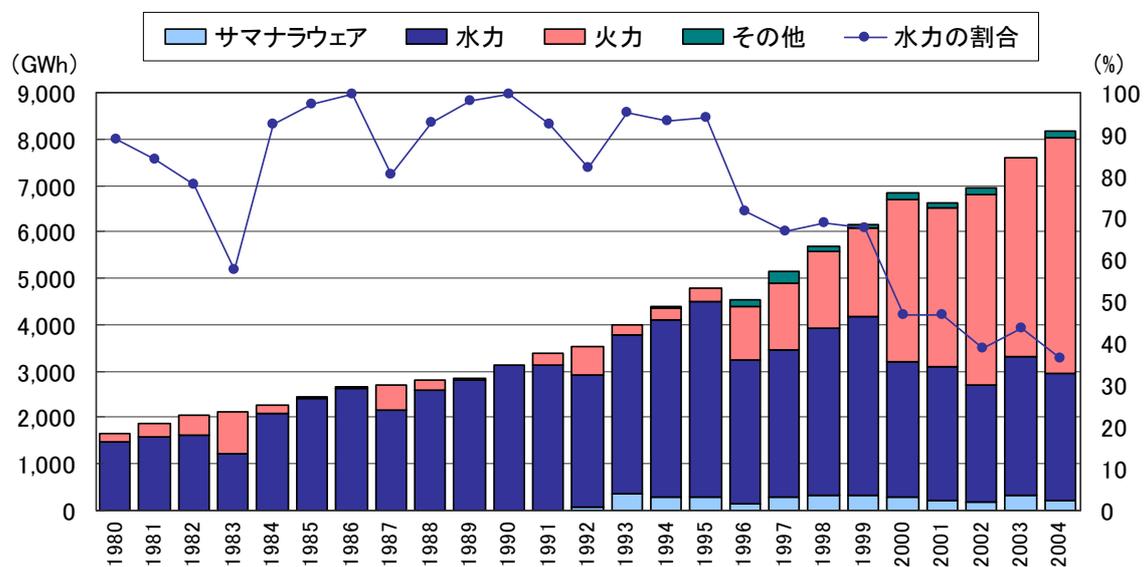
このように、スリランカにおいては、エネルギー確保が重要政策であること、電力

需要の着実な増加が予想されること、および、水力発電は経済的な国産電力資源であることから、現時点においても水力発電事業の重要性は大きい。

また、サマナラウェア発電所の年間発電量は、発電開始当時（1993年）で国全体の8.8%（ピーク時には16.1%）を占め、その後、同国の全体発電量の増加に伴ってこの割合は相対的に低下しているものの、最近（2004年）においても2.9%（ピーク時8.2%）を占めている。また、発電運用面では、貯水池型の特性を生かし、電力需要ピーク時に対応した発電運転が行われている。

サマナラウェア水力発電所はスリランカの電力供給に大きな貢献を果たしていると判断され、評価時においても、本事業の妥当性は高いと判断される。

図1 スリランカ国内発電量の増加傾向と水力発電の割合



2.2 効率性（レーティング：b）

2.2.1 アウトプット

本事業の主要アウトプット（円借款対象工事分）は下表に示す通りである。

英国融資対象工事も含め、水力発電事業にかかわる主要アウトプットはおおむね計画通り実施された（増減20%以内）。また、ダム工事中にダム右岸地山内部の高い透水性が確認されたことから、右岸遮水工が追加実施された。なお、計画と実績で最高水位（EL.460m）と最低水位（EL.424m）が変わっていないにもかかわらず、有効貯水容量（貯水池容量のうち最低水位と最高水位の間の容量）の計画値と実績値に差異があるという不整合があり、既存資料の確認およびCEBへの聞き取りを行ったが、その理由を確認することができなかった。

改修事業にかかわるアウトプットについては、メインブランケットは計画の15%減で終了し、フォローアップブランケットは中止されたが、これは国際委員会の提言に基づくものである。

表1 主要アウトプットの計画と実績（円借款対象工事分）

項 目	計 画	実 績
【水力発電事業】		
仮排水トンネル（2本）	延長 520m および 545m	延長 482m および 502m
ダム	堤高 103.5m、堤長 529m 有効貯水容量 254 百万m ³	堤高 100m、堤長 530m、 有効貯水容量 218.2 百万m ³ （第3期審査時追加工事） 右岸遮水工 一式
発電水車	フランシス型 使用水量 42.0m ³ /s	計画通り
水圧鉄管	延長 648m	延長 670m
【改修事業】		
メインブランケット	投入量 500,000m ³	投入量 426,030m ³
フォローアップ ブランケット	投入量 500,000m ³	中止

注) 計画の各値は、水力発電事業は第1期審査時(1986年)、改修事業はこの事業の審査時(1995年)のもの。

2.2.2 期間

事業期間は、水力発電事業については当初計画に対して17カ月の延長(29%増)となったが、これはおもに、右岸遮水工を追加実施したことによる。改修事業については、23カ月の短縮(33%減)となったが、これはおもにフォローアップブランケットを中止したことによる。

表2 事業期間の計画と実績

計 画	実 績
【水力発電事業】 (当初計画) 1986年9月～1991年7月(59カ月) (第3期融資時見直し) 1986年9月～1991年9月(61カ月)	【水力発電事業】 1986年9月～1992年12月(76カ月)
【改修事業】 1995年8月～2001年5月(70カ月)	【改修事業】 1995年8月～1999年6月(47カ月)
発電運転開始 1991年7月(当初計画)	発電運転開始 1992年12月

注) 事業期間にかかわるレーティングは、本事業の目的が発電であることに鑑み、事業開始から発電運転開始(発電機2台両方の運転)までを事業期間として評価を行った。

2.2.3 事業費

事業費は、当初計画額601億7,600万円(うち円借款284億2,000万円)に対し、実績額は、水力発電事業と改修事業をあわせて735億9,300万円(うち円借款348億1,800万円)で、22%の増額となった。水力発電事業の増額(17%)のうち、円借款額の増は、おもに右岸遮水工の追加によるものである。また、発電用の導水トンネル工事(英

国融資)で約100億円の増額があるが増額理由の記録が残されておらず、当時の工事関係者からの聞き取りを行った。これによれば、地質が予想より悪かったため、工事数量が大幅に増加したためとのことであった。

改修事業単独では、計画額に対して48%の減額となっており、これは、当初予定していたフォローアップブランケットを中止したこと等によるものである。

表3 事業費の計画と実績 (水力発電事業)

計 画		実 績
第1期融資時	第3期融資時 (見直し)	
601億7,600万円 外貨431億3,900万円 内貨170億3,700万円	743億1,300万円 外貨536億4,100万円 内貨206億7,200万円	703億2,900万円 外貨481億1,200万円 内貨222億1,700万円

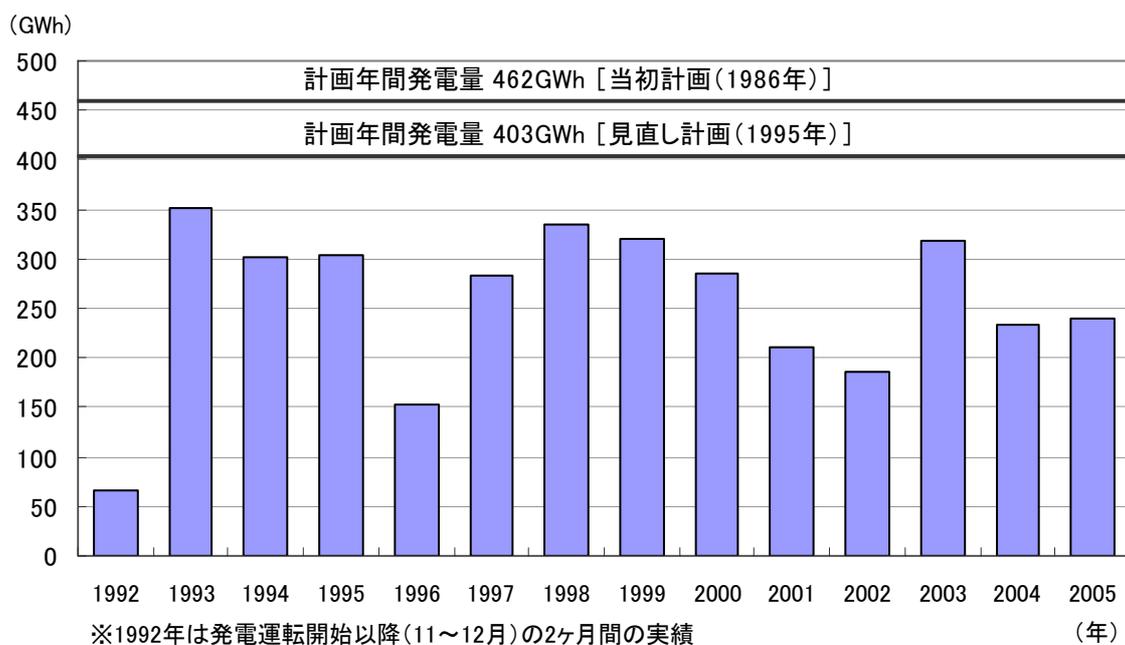
表4 事業費の計画と実績 (改修事業)

計 画	実 績
62億1,400万円 外貨50億6,100万円 内貨11億5,300万円	32億6,400万円 外貨23億5,900万円 内貨9億500万円

2.3 有効性 (レーティング : b)

2.3.1 発電量

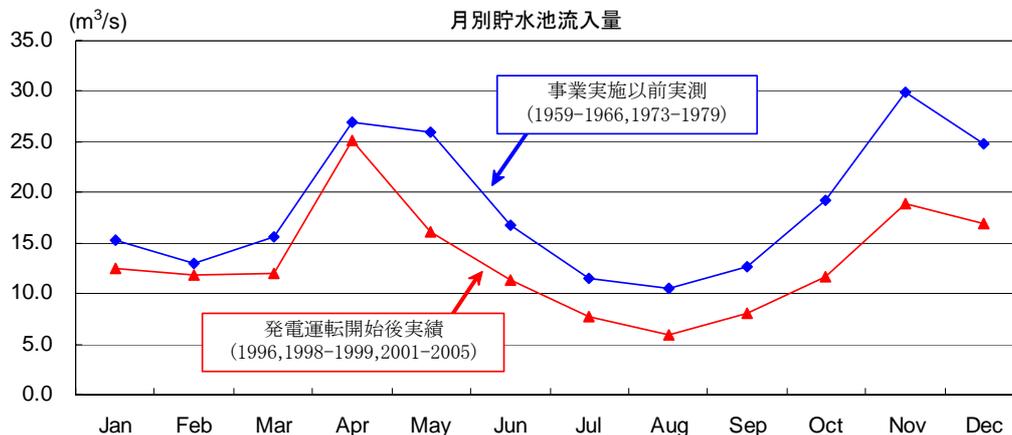
図2 サマナラウェア発電所の発電実績



~2005年平均)で、当初計画値に対し59%、見直し計画値に対し67%にとどまった。

計画年間発電量（462GWh/年および 403GWh/年）の算出根拠資料が保存されておらず、計画内容と実績内容を直接比較することが困難であったため、入手できた資料を基に分析を行った。

図3 事業実施以前と以後の貯水池平均流入量の比較

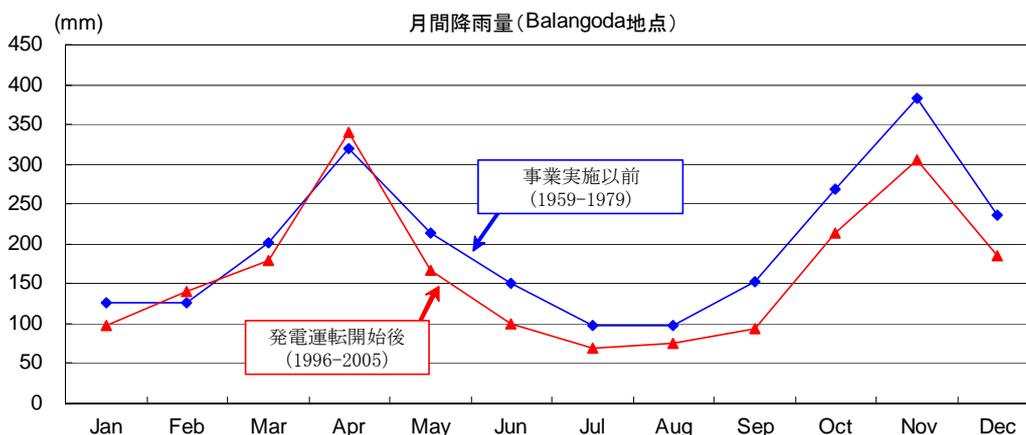


平均流入量

事業実施以前実測	18.5 m ³ /s
発電運転開始後実績	13.2 m ³ /s
当初計画値(*)	17.9 m ³ /s

(*) 年流入量 563*10⁶ (m³) から算出

図4 事業実施以前と以後の流域年間降雨量の比較 (バラングダ地点)



この結果、当初計画では貯水池への平均流入量を 17.9m³/sとしているが、実績値は 13.2 m³/s (流入量記録が残されている年のみの平均) で大きな差が認められる。また、事業実施以前にダム地点の流量観測 (実測) が行われた期間があり、この期間の平均流量は 18.5 m³/sとなっている。一方、ダム流域内に位置するバラングダ地点の年間降雨量では、事業実施以前に比べて実施後のほうが少なくなっている傾向が確認される。

したがって、近年の小雨傾向が主要因となって、貯水池流入量の計画値と実績値に

大きな差が生じているものと推察される。概略試算では、この差異により 100～110GWh/年の年間発電量の減少が生じていると見積られる。

サマナラウェアダムから下流のカルトタ農業地区に対して灌漑用水が放流されている。灌漑放流量は灌漑局との合意により決定されているが、発電所を經由しないため、この放流量が増えると発電量は減少する。CEBによれば、当初計画の年間放流量 5,000 万 m^3 に対し、実績では年間平均 8,900 万 m^3 が放流されており、概略試算では、この差異により 30GWh/年程度の発電量の減少が生じていると見積られる（既存の関連資料から推定すると、当初計画の年間放流量が 2,160 万 m^3 であった可能性があり、この場合には、発電減少量は 50GWh/年程度になる）。

最大出力については、1993～2005 年の全年で 120MW 以上の出力実績があり、電力需要のピークに対応して、最大出力が有効に活用されている。

2.3.2 経済的内部収益率（EIRR）

審査時の計算方法に倣い、実際の事業費支出および便益（代替施設の建設および管理費用、燃料費等）を用い、水力発電事業と改修事業をあわせた事業全体の経済的内部収益率（EIRR）を計算したところ 12.5%となった（第 1 期審査時の見込値は 12%）。

審査時の算出では石炭火力発電施設を代替施設としていたが、今回の評価ではガスタービン火力発電施設を代替施設とした。これは、スリランカでは、現在まで石炭火力発電が稼働していないこと、サマナラウェア発電所が電力ピーク需要対応の発電運転を行っており、これと同様の可変的運転にはガスタービンが適当と考えられることによるものである。

ガスタービン施設に用いるディーゼル燃料が石炭に比べて高価なため EIRR を引き上げている一方、実績発電量が計画値を下回っていることにより EIRR を引き下げた結果、当初見込値と同等の EIRR 算出値となった。

2.3.3 財務的内部収益率（FIRR）

EIRR 算出と同様に、審査時の計算方法に倣い、実際の事業費支出および便益（実績発電量に基づく売電収益等）を用い、事業全体の財務的内部収益率（FIRR）を計算したところ 7.1%となった（第 1 期審査時の見込値は 8.8%）。

この計画と実績の差異は実績発電量が計画値を下回っていることの影響が大きい（これまでの実績発電量が今後も継続すると仮定しているため）。計画値を用いた場合の FIRR は 9.0%で、当初見込みに近い値となる。

また、評価時における売電単価（1kWh あたり）は 10.75 ルピーであるが、将来の単価については CEB の見解を尊重し、2008 年以降の単価を 12.25 ルピーとして計算を行っている。

2.3.4 その他の定性的効果

上記のほか、本事業による定性的効果として、①他水系の貯水池との連携による電力システムの強化、②ワラウェ川流域の灌漑への貢献、③アクセス道路が住民にもたらす利便性、④本事業に伴う雇用創出効果が期待されていた。

このうち、①については、実運用上で明確な連携運用効果は認められないが、これは、2000年前後から火力発電が増大し発電電源構成が変化し、他水系貯水池との連携（相互補完）の必要性が低下したためと考えられる。

②、③、④については、インパクトの事項に後述する。

2.4 インパクト

2.4.1 電力安定供給等

本事業着手時点（1986年）と2004年を比較すると、国内年間発電量は3.1倍、世帯電化率は4.2倍に増加した。本事業は、この急増するスリランカの電力需要に対する電力供給の一翼を担ってきた。また、本事業では、貯水池型の特性を生かしたピーク負荷対応の運転が行われ、電力需要ピーク時には、国内総発電量のうち最大8.2%を本事業が占めており（2004年実績）、同国の電力安定供給に対する重要性は大きい。

さらには、水力発電は同国の貴重な国産エネルギーである点、および、再生可能なクリーンエネルギーである点で大きなメリットを有している。本事業により年間約20万トンのCO₂削減効果（石油火力と比較）が見込まれ、地球温暖化防止面でのメリットも認められる。

表5 1986年と2004年の電力各数値の比較

	1986年全国実績	2004年全国実績
発電設備容量	1,065MW	2,280MW (2.1倍)
年間発電量	2,652GWh	8,159GWh (3.1倍)
ピーク時電力需要量	540MW	1,563MW (2.9倍)
世帯電化率	約17%	約71% (4.2倍)

2.4.2 住民移転および補償

本事業では、1986～1991年に428世帯（水没地406世帯、発電所用地22世帯）が移転した。移転に対しては金銭補償または移転地提供の選択肢が与えられ（ハンダギリヤ地区移転者を除く）、275世帯に対しては金銭補償、153世帯に対しては代替移転地が提供された。また、移転前の家屋、土地等の資産に応じた水没補償が行われた。

移転地は、ハンダギリヤ地区（22世帯）、レイ農園第3地区（42世帯）、ウィッキリヤ地区（19世帯）、レイ農園第2地区（50世帯）、マハヴェリC地区（20世帯）である。この5地区のうち、マハヴェリC地区以外の4地区は事業地周辺に位置している。この4地区の選定、移転者の資産評価および補償額の算定は州と政府関係機関が行い、CEBは補償金支払いおよび移転地のインフラ整備（電力供給、飲料水供給（井戸等）およびアクセス道路の整備）を行った。

本評価にあたっては、マハヴェリC地区を除く4地区を訪問し聞き取り調査を行う

とともに、移転者数の多いレイ農園第2地区および第3地区を対象として50人に対し個別アンケート調査を行った。なお、金銭補償を選択した移転者については、所在がわからず調査困難であった。

アンケート調査の結果、移転に関して、「満足」が42%（21人）、「不満足」が32%（16人）、「どちらとも言えない」が26%（13人）との結果になった。興味深い点として、「満足」と回答した移転者の86%が、その理由として、都市近郊への移転による「インフラや社会へのアクセス向上」を挙げ、一方で「不満足」と回答した移転者のうち88%が、その理由として「自給自足経済および農村的生活の消失」を挙げており、農村部から都市近郊部への移転という環境変化に対して、移転者の受け止め方に相違があることが表れている。また、「自給自足経済および農村的生活の消失」の不満の背景には、移転地での就労や現金収入等の経済的困難があるものと推察され、移転に際して、補償だけでなく職業訓練などの生活再建に対する配慮が行われていれば、不満はもっと少なくなっていたと考えられる。

全調査対象者（50人）のうち、「電気の供給」については92%（46人）、「学校へのアクセス」については96%が「移転前よりも良い」と回答している一方で、「飲料水の確保」については98%（49人）が「移転前よりも悪い」と回答している。

乾期の井戸枯れによる飲料水や耕作用水の不足は、他の移転地区住民に対する聞き取り調査でも大きな問題とされていた。州政府によれば、乾期の水枯れは、移転地だけでなく周辺地域に広くみられる問題であり、対策として簡易水道の整備を進めているが、予算の制約から進捗が遅いとのことであった。

移転地のなかでは、ハンダギリヤ地区が最も生活水準が低いとの印象を受けたが、聞き取り調査でも、移転地インフラ整備の不十分等の不満が聞かれた。

また、水没補償については当時のスリランカの法制度にのっとって行われているが、アンケート結果では「不満足」との回答が多かった（74%）。ハンダギリヤ地区については補償金の支払いが遅延したが、これは土地所有権利関係の整理に時間を要したためである。

このほか、聞き取り調査やアンケート調査では、医療や市場へのアクセス利便性の向上が移転後のメリットとして評価されている一方で、移転後の不満としては、生活費の増大、現金収入機会の不足、水田耕作地が与えられなかった、子どもたちに分け与える土地がないことが問題点として聞かれた。

なお、貯水池上流に位置するインブルペ地区の49世帯に対し、貯水池満水時に生活道路へのアクセスが困難となるため、現在、州により移転補償（金銭補償）の手続きが進められているが、手続きに時間を要しているため移転はまだ行われておらず、それまでの間の暫定的な対応として、CEBはアクセス道路整備および貯水池を横断するためのボートの提供を行っている。

2.4.3 貯水池内の植生除去

水質汚濁の防止のため、貯水池内の植生除去が必要とされ、水没面積の約半分の植生が除去された。CEB は貯水池水質のモニタリングを行っており、これによれば、評価時点では、水質は良好な状態にあり特段の水質汚濁問題は発生していない。

2.4.4 地下水位低下の問題

発電用導水トンネル工事によりトンネルルート上の地域の地下水位が低下し、井戸の枯渇、耕作地の早魃等の問題が発生し、これに対し、CEB は給水車による水の供給を行った。

問題発生当時、地下水位は工事終了後に回復するものと予測されており、CEB は、トンネルルート上のラジャワカ地区で、工事終了後から現在まで、地下水位観測を継続してきた。これによれば、地下水位は 1991～1993 年の間に大幅に回復し、その後はほぼ一定した状態にある。

また、本評価にあたっては、ラジャワカ地区で聞き取り調査を行ったが、工事中に水枯れが生じた湧水は、工事以前の状態に回復したとのことであった。一方、アンケート調査では、地域により、地下水位が回復したとの回答と、回復していないとの回答の両方が認められた。しかしながら、これらの地域における事業実施以前の地下水の状況が記録されておらず比較評価は困難であった。

2.4.5 下流水利への影響

ダム地点下流のカルトタ地区では、本事業実施以前から灌漑農業が行われていたが、本事業の発電使用後の水はダムの直下流には放流されず同地区を迂回するため、本事業の実施にあたっては同地区の灌漑用水に対する配慮が必要とされていた。

これに対しては、CEB と灌漑局との間の合意により、灌漑用水がダムから放流されている。ダム右岸地山からの漏水が灌漑用水として利用され、不足する場合には農業用水放流バルブから放流が行われている。

本評価にあたっては、カルトタ農業地区住民 20 人に対してアンケート調査を実施した。これによれば、ダム建設以前には河川の水を自由に使用できたのに対し、ダム建設後は水の管理が必要となったことに対する不満が確認されたが、灌漑用水に対する最大の不満は、同地区内の配水施設の漏水や破損による配水システムの不良に対するのもので、総体的には、ダムからの放流により必要な灌漑用水量は確保されているものと考えられる。

灌漑局によれば、当地区の単位面積あたりの灌漑用水量は国内平均に比べ著しく大きいことが、この理由としては地質上、水田の地下浸透量が多いこと、地形上、用水の繰り返し使用ができないことに加え、配水システム不良によるロスが大きいことであった。現在、CEB は、カルトタ農業地区に対して、関係組織と連携した効率的な水利用の促進への支援や、近隣のカツパスオヤ農業地区に対して、発電使用水を導水する水路を建設し用水供給の支援を行っている。

なお、乾期の渇水時には、貯水池への流入量を超える灌漑用水がダムから放流されており、本事業がカルトタ農業地区の渇水被害防止に貢献している面が確認される。また、同地区の灌漑用水需要が増加しダムからの放流量が増えた場合に発電量が減少することが懸念されたが、カルトタ地域の大半がすでに水田として利用されているので、今後、灌漑用水需要が大幅に増加することはないものと考えられる。

このほか、CEBによれば、乾期には、ダム貯水を利用した発電運転の結果として下流河川水量を増大させており、これによりワラウェ川下流域の灌漑への貢献も果たしているとのことであった。

2.4.6 生態系への影響

スリランカで、環境影響評価法に基づく環境計画策定の規定は 1988 年に定められている。本事業はそれ以前に開始されたため、事業着手に先立つ自然環境調査は実施されなかったが、貯水池湛水前（1992 年）に自然環境調査が CEB により行われ、これによれば、水没により消失する植物については同様の植生が周辺に分布し、また、動物については、貯水により消失する河畔林に生息するは虫類および両生類の一部の固有種が影響を受けるとされていた。

生態系への影響に関する事業完了後のモニタリング調査が行われていないため、比較評価は困難であったが、CEB 等、現地での聞き取りの範囲内では、生態系に大きな影響を与えたとの話は聞かれなかった。また、事業周辺地域の自然環境に知見を有する学識者への聞き取り調査を試みたが、適切な学識者を見つけることができなかった。

なお、本事業による直接の影響ではないが、CEBによれば、人口増加、耕作地の拡大、道路整備等の地域開発の進捗により、流域内の森林の荒廃が進んでいるとのことであった。これに対し、スリランカ政府は本ダム上流域を含む高地地域の環境保全を目的とした「上流域管理プロジェクト」を進めており、CEBもこれに協力している。

2.4.7 アクセス道路が地元住民にもたらす利便性

本事業では、ダム地点から発電所間に約 23km の工事用道路が建設された。事業完了後、この道路は一般道路として使用され公共バス路線ともなっており、地域住民の日常生活に利用されていることを確認した。また、沿線の一部には住宅も立地している。

2.4.8 本事業に伴う雇用創出効果

CEBによれば、事業実施中には2,000～3,000人の雇用創出があったとのことであった。事業完了後は、本事業および事業関連で約150名が雇用されている。また、本事業で使用された土地、建物等を利用して、周辺地域に大学（サバラガムワ大学）や地方政府職員の研修センター等の公的機関が立地し、CEBによれば約1,000名の雇用が創出されているとのことであった。

2.5 持続性（レーティング：c）

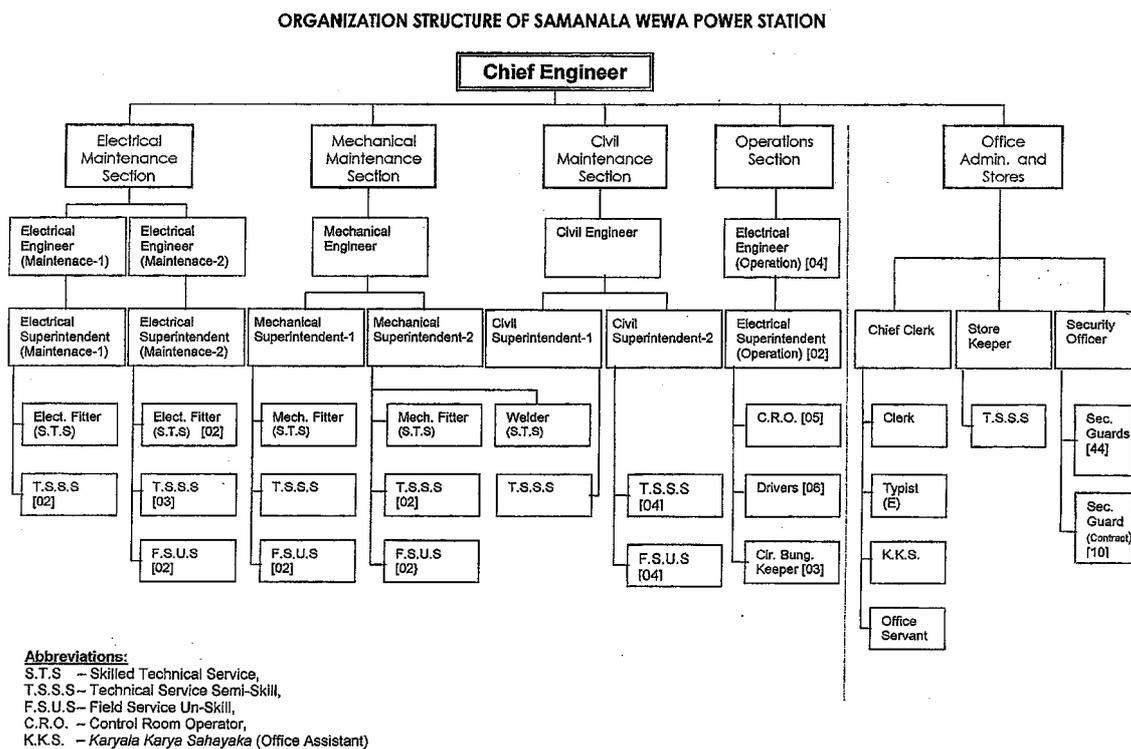
2.5.1 技術

本発電所の電気、機械、土木の各維持管理部門および運転部門を所轄する技術者はすべて高等教育を受けており、各部門を監督する職員はそれぞれ十分な技術教育経歴と経験を有している。各部門の修理工や作業担当者的大半についても十分な技術教育と10年以上の経験年数を有している。

また、技術トレーニングが毎年計画的に実施されており、職員の技術向上に寄与しているものと判断される。加えて、発電所を統括する所長は建設段階から本事業に携り、細部にわたる知識・経験を有し、発電所の運営において中心的な役割を果たしている。したがって、技術面での持続性は高いと判断される。

2.5.2 体制

図5 サマナラウェア水力発電所組織図



サマナラウェア発電所の組織職員構成を上図に示す。技術系部署には電気、機械、土木の各維持管理部門および運転部門がある。それぞれの部門は1または2名の技術者が統括しており、それぞれの下に、監督職員、修理工および作業担当者が配されている。発電所の全職員数は106名である。

事業着手当時（1984年）、CEBは電力エネルギー省の監督下にあり、100%政府出資の公社で、職員数は1万2,195名であった。現在もCEBの性格は変わっておらず、2004

年末時点の職員数は1万3,408名である。スリランカの「国家エネルギー政策・戦略（2006年12月）」によれば、エネルギーセクターリフォームの一環として、CEBの発電、送電、卸電力取引および配電の各部門の分離化が計画されているが、その詳細や時期は未定である。

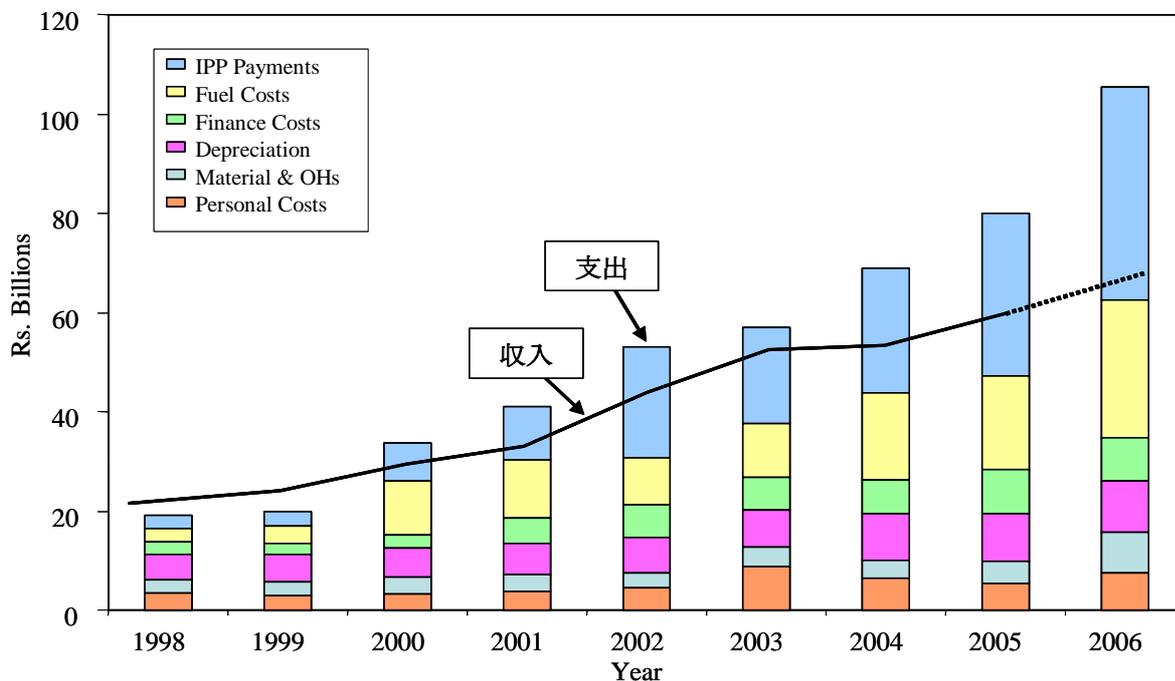
2.5.3 財務

事業実施初期、CEBの収益は1988年で11億4,000万ルピー、1989年で9億1,000万ルピーと良好であり財務も安定していると評価されていた。しかしながら、CEBの財務状況は2000年前後から急激に悪化し、2004年の収支は157億ルピーの赤字となっている。

CEBの財務悪化は、近年の少雨傾向による水力発電量の減少、石油火力発電の急増による石油燃料増、石油価格上昇および卸電力事業（IPP）への支払い増の影響が大きい。

一方、本発電所の維持管理については、CEB財務悪化後も、CEBは優先的に必要な費用を資金配分してきており、費用の不足による維持管理上の支障は生じていない。CEBによれば、今後も維持管理上必要な費用は優先して配分するとのことであった。

図6 CEBの収入と支出の変化（CEB作成グラフを引用）



2.5.4 維持管理

ISO9001の認証を受け、維持管理マニュアルも整備されており、質の高い維持管理が実施されていると判断される。本発電所の維持管理はスリランカ国内でも高く評価され、2006年12月、政府から「生産性・品質賞（公共部門）」を受賞している。維持

管理上の最大の課題は、施設・機器の修繕・更新にあたっての外国製スペアパーツの調達であり、新たなパーツ購入ルートの開拓などの努力が行われている。

なお、貯水池堆砂について CEB はモニタリングを行っていないが、現時点で特段の問題は生じていない。

2.5.5 ダムの工学的安定性

本評価では、ダム本体について現地確認を行うとともに、ダムからの浸透量、堤体の変形等のデータ分析を行った。この結果、ダム本体は安定状態にあり特段の問題はないと判断される。ダム表面に熱水変質作用を受けた岩石材料が使用されているため、その一部が風化作用により劣化しており、CEB は岩石の補填を行っている。これについては、今後継続した補填が必要と判断される。

2.5.6 ダム右岸地山からの漏水

ダム右岸地山の漏水対策として、第3期融資により右岸遮水工事（カーテングラウチング）、改修事業により水中ブランケット工事が実施された。この漏水に対して、スリランカ政府は、専門家による「第三者レビュー委員会」および「国際委員会」を設置して工法選定や施工方法の助言を受けた。また、海外経済協力基金（当時）も日本人専門家による「湧水問題検討会」を設置して対処した。工事実施以降、漏水量および右岸地山内部の地下水位のモニタリングが現在まで継続して行われている。

右岸遮水工事については、工事後に大量の漏水が発生したこと、およびグラウトカーテンによる地下水位低下効果がみられない（カーテンが遮水効果をもつ場合には、カーテンの上流と下流の間で地下水位に差が生じる）ことから、評価時点において、工事の明確な効果は認められない。

一方、改修事業は、漏水量の一定程度の抑制を目的として実施されたもので、1998年の水中ブランケット工事により漏水量は減少し、国際委員会は本工事を成功と評価した。工事以前には、貯水池満水時に毎秒 2.8 m³程度であった漏水量が工事後には毎秒 2.2m³程度に減少し、その後の漏水量はダム貯水位に連動して毎秒 1.5～2m³程度で安定した状態にあった。

しかしながら、2006年12月3日に、漏水量は毎秒 5m³以上に増加した。その後、右岸地山内の地下水位および貯水池水位の低下に伴い、毎秒 2.9m³程度（2007年3月12日時点）に減少しているが、この数値は改修事業実施前の漏水量よりも多い。したがって、2006年12月までは改修事業の目的は達成されていたと評価されるが、評価時点においては、漏水量が改修事業実施以前よりも多くなっていることから、改修事業が目的とした効果は失われたものと判断される。

なお、この漏水量増大は、増大時の地下水位の挙動等からみて、漏水吐き口付近で生じた地山内の破壊に起因するものと推定され、施工された水中ブランケット部分の遮水効果は現在も維持されているものと思われる。

3. フィードバック事項

3.1 教訓：なし

3.2 提言：

現地調査時点（2006年12月）以降、CEBは最大出力発電を継続して貯水位を低下させたことに伴い、その後漏水量は減少（2007年3月）したが、水位低下を継続するとともに漏水量や濁り、貯水位および右岸地山内地下水位の観測を継続し、専門家による検討、必要に応じた追加調査・計測および解析を踏まえ対応を検討することが適当であると判断される。

(事業地周辺図)



主要計画／実績比較

項 目	計 画	実 績
①アウトプット		
【水力発電事業】 仮排水トンネル（2本） （日本） ダム（日本） 導水路トンネル（英国） 発電水車（日本） 発電機（英国） 水圧鉄管（日本） 送電線（他）	【水力発電事業】 延長 520m および 545m 堤高 103.5m、堤長 529m、 有効貯水容量 254 百万m ³ 長さ 5,150m 使用水量 42.0 m ³ /s 120MW（60MW×2基） 延長 648m 17km（発電所～バランゴ ダ）	【水力発電事業】 延長 482m および 502m 堤高 100m、堤長 530m、 有効貯水容量 218.2 百万m ³ 右岸遮水工 一式 長さ 5,159m 計画通り 計画通り 延長 670m 19km（発電所～バランゴダ） 39km（発電所～エンビリピテイチャ）
【改修事業】 メインブランケット（日本） フォローアップブランケット（日本）	【改修事業】 投入量 500,000 m ³ 投入量 500,000 m ³	【改修事業】 投入量 426,030 m ³ 中止
②期間		
【水力発電事業】	【水力発電事業】 1986年9月～1991年7月 （59カ月）	【水力発電事業】 1986年9月～1992年12月 （76カ月）
【改修事業】	【改修事業】 1995年8月～2001年5月 （70カ月）	【改修事業】 1995年8月～1999年6月 （47カ月）
③事業費		
【水力発電事業】 外貨 内貨 合計 うち円借款分 換算レート	【水力発電事業】 431億3,900万円 170億3,700万円 （24億3,380万Rs） 601億7,600万円 284億2,000万円 1Rs=7円 （1986年4月現在）	【水力発電事業】 481億1,200万円 222億1,700万円 （56億6,000万Rs） 703億2,900万円 316億8,400万円 1Rs=3.93円 （1986～1995年）
【改修事業】 外貨 内貨 合計 うち円借款分 換算レート	【改修事業】 50億6,100万円 11億5,300万円 （5億6,800万Rs） 62億1,400万円 52億8,200万円 1Rs=2.03円 （1995年2月現在）	【改修事業】 23億5,900万円 9億500万円 （4億5,300万Rs） 32億6,400万円 31億3,400万円 1Rs=2.00円 （1996～1999年）

注) 計画の各値は、水力発電事業は第1期審査時(1986年)、改修事業はこの事業の審査時(1995年)のもの。

【参考資料－1】

住民移転にかかわる個別アンケート調査結果

調査地区 : レイ農園第2地区移転地およびレイ農園第3地区移転地

調査対象者数 : 50人(第2地区25人、第3地区25人)

調査対象者の構成 : 男性22人、女性28人

①移転に関する満足度(50人)

満足 : 42% (21人) 不満足 : 32% (16人) どちらともいえない : 26% (13人)

②移転に満足であるおもな理由(21人)

インフラおよび社会サービスへのアクセス向上 : 86% (18人)

都市周辺での生活環境 : 62% (13人)

③移転に不満足であるおもな理由(16人)

自給自足経済および農村的生活の消失 : 88% (14人)

水不足の問題 : 69% (11人)

④移転後の社会サービスに関する評価(50人)

	移転前より良い	移転前と同様	移転前より悪い
飲料水の確保	0% (0人)	2% (1人)	98% (49人)
電気の供給	92% (46人)	8% (4人)	0% (0人)
学校へのアクセス	96% (48人)	4% (2人)	0% (0人)

⑤水没補償に関する満足度(50人)

満足 : 20% (10人) 不満足 : 74% (37人) どちらとも言えない : 6% (3人)

注) 水没補償は、当時のスリランカの法制度にのっとって行われている。

【参考資料-2】

住民移転にかかわる現地聞き取り調査結果（移転者のおもなコメント）

調査地区：ハンダギリヤ地区（本地区移転者は、発電所事業用地から移転）

- ・当地区へは 22 世帯が移転し、全世帯が残存している。
- ・移転前の暮らしのほうが良かった。
- ・移住地では水の問題があり耕作が難しい。乾期は地下水が低下し、井戸が使用できない。耕作は雨期の 6 カ月しかできない。CEB に対して、発電放流水を飲料水として供給してほしいと要望している。
- ・財産補償は移転から 10 年後に支払いを受けた。この 10 年間の物価上昇が大きいので、補償費の価値は著しく低下した。
- ・電気の供給は移転から 5 年後で、単系統のため、使用中に電圧低下の問題がある。
- ・外部へのアクセスは有料バスだが、道路状態が悪く、CEB に対応を要望している。

調査地区：レイ農園第 3 地区

- ・当地区へは 38 世帯が移転し、全世帯が残存している（注；本地区へは 1988 年に 38 世帯、1991 年に 4 世帯で計 42 世帯が移転）。
- ・移転前の土地は田舎だったが、当地は都市近郊である。
- ・移転後のメリットは、学校に近いので教育環境が良い、病院が近い、道路工事等の仕事がある。
- ・移転後のデメリットは、旧来の生活慣習の喪失、子どもたちに分け与える土地がない、教育や農薬購入等で、支出が増えた。移転前の生活（自給中心）と異なり、当地では米や野菜をすべて買わなければならない。
- ・乾期に井戸が枯れるので飲料水の問題がある。簡易水道を敷設してほしい。また、水がないため、茶の栽培は年間の半分程度しかできない。茶の収入だけでは不十分なので、他の仕事もしている。
- ・電気は移転後すぐに供給され、電圧低下等の問題はない。水没補償も移転後すぐに支払いを受けた。

調査地区：ウィッキリヤ地区

- ・（現地調査訪問時に在宅者が少なく、主婦 1 名と若い女性 1 名からのみの聞き取り）
- ・移転世帯のほとんどが残存している。
- ・移転前には多くの土地を所有していたので、その補償金で家を建てた（注：比較的大きく、整った家屋）。
- ・教育、病院、市街へのアクセスは移転前に比べて向上した。
- ・主人は、茶栽培を行っているが、乾季は機械工で収入を得ている。
- ・移転者のうちの何名かは、周囲の原住民より豊かになっているのではないかと。
- ・唯一の問題は水の問題。乾期の井戸水は飲料に適さない。移転後、簡易水道が与えられたが現在は壊れている。
- ・電気に関する問題はない。

調査地区：レイ農園第 2 地区

- ・移転した 50 世帯は現在も残存している。与えられた土地の一部を売った者もいる

(注；制度上は移転地の土地は売買できない)。

- ・主たる収入は茶栽培。乾季はできないので、作業労働者として働いている。
- ・我々、移転者は茶の摘み方を知らないので、茶摘みにはタミル人労働者を雇用している。その費用や肥料代がかかり、収入は多くない。
- ・CEB が提供した井戸は乾期に枯れるので、2~3km 離れた場所から水を運ばなくてはならない。CEB 提供の沐浴場も枯れる。
- ・当地区の金持ちは簡易水道を持っているが、移転者には与えられていない。
- ・病院、学校、市街地へのアクセス面では便利になった。しかし、生活面は安定していない。
- ・電気に関する問題はない。
- ・次世代に与える土地がなく、将来が心配。米作用の農地が欲しい。

(参考) レーティング

【妥当性】 a (ニーズ、政策との整合性が認められる)

サマナラウェア水力発電所はスリランカの電力供給に大きな貢献を果たしていると判断され、評価時においても、本事業の妥当性は高いと判断される(報告書参照)。

【有効性 (インパクト)】 b

年間発生電力量、最大出力実績、IRR、インパクトの各評価を総合的に評価することとするが、年間発生電力量(主要効果指標)とインパクトを重視して、b 評価とする。

①有効性 : b

年間発生電力量 : b (計画の 50%以上 80%未満)

当初計画 (1986) 462GWh に対し実績 271GWh (1993~2005 年平均) で 59%

最大出力 : a (計画の 80%以上)

計画 120MW に対し、1993~2005 年の全年で 120MW 以上の発電出力実績

EIRR : a (計画の 80%以上)

当初見込値 (1986) 12%に対し 12.5% (計画の 104%)

FIRR : a (計画の 80%以上)

当初見込値 (1986) : 8.8%に対し 7.1% (計画の 81%)

②インパクト :

定量評価が困難なためさまざまな項目を総合的に判断する必要がある。スリランカの電力供給に対する貢献が大である一方で、特に、水没移転に関しては問題が見受けられる。

【効率性】 : b

期間、事業費ともに b 評価なので、評価基準により b 評価となる。

①期間 : b (計画の 100%超 150%以下)

本事業の目的が発電であることに鑑み、事業開始から発電運転開始(発電機 2 台両方の運転)までを事業期間として評価。

当初計画期間 59 カ月 (1986.9~1991.7) に対し実績は 76 カ月 (1986.9~1992.12) で 129%

②事業費 : b (計画の 100%超 150%以下)

計画額は水力発電事業の第 1 期融資時の計画額、実績額は水力発電事業と改修事業の実績額合計を用いて評価。

当初計画事業費 601 億 7,600 万円に対し 735 億 9,300 万円で 122%

【持続性】 : c (評価時点で持続性に問題あり)

下記内容を総合的に判断した。発電所の維持・管理面については a 評価に値するが、特に、2006 年 12 月に漏水量が増加し今後の持続性に懸念が生じており、これを踏まえ c 評価とした。

- ・ 技術および体制面については、技術者の配置、計画的な研修実施、ISO を導入した組織運営面から、高い持続性が見込まれる。
- ・ 財務面では、CEB 全体としては 2000 年以降、継続的な赤字計上状態にあるものの、この間もサマナラウェア発電事業に関しては必要な管理費用が確保されており、また、CEB の回答では、今後とも必要な管理費用を確保することであることから、持続性が期待される。
- ・ 評価時において、ダム／発電所としての機能は果たされているものの、漏水量が増加しており、この点において持続性での懸念がある。

【総合判定】：D（「不満足」レーティングフローチャートより）