

マレーシア

円借款事業事後モニタリング
「テノンパンギ水力発電所リハビリテーション事業」

評価者：OPMAC 株式会社

小林 信行

現地調査：2009年9月

1. 事業の概要



事業位置図



テノンパンギ水力発電所の取水口

1.1 事業目的

サバ州において、洪水被害によって損傷を被ったテノンパンギ水力発電所の施設を修復することにより、安定的な電力供給を図り、もって地域の経済成長に寄与する。

1.2 事業概要（借款契約概要等）

円借款承諾額／実行額	5億4,300万円／2億9,900万円
借款契約調印／貸付完了	1992年5月／1999年9月
事後評価実施	2003年度
実施機関	サバ電力公社 Sabah Electricity Sdn. Bhd. (SESB)
コンサルタント契約	日本企業等

1.3 事後モニタリングの対象となった背景・理由

テノンパンギ水力発電所はマレーシア国サバ州のパダス川に隣接した最大出力 66MW の流れ込み式水力発電所であり、円借款による支援により建設された。同発電所は 1984 年に運転を開始したが、1988 年の集中豪雨により取水口（塵芥除け、垂直ゲート）が損傷し、運転が不安定となっていた。本事業では損傷した施設の修復を行う一方、将来的に発電停止につながるような事故を予防するべく、施設の建設や土木工事を実施した。事後評価では同発電所の発電量の回復が確認されたものの、修復・建設された施設に再び損傷が発生していたことが明らかとなった。本事業の対象となった施設のうち、特に網場、ストレーナー/砂分離装置、水量予測システムに深刻な損傷が認められた。網場は完成後、数週間で浮

きが流出し、取水口に流入する塵芥を取り除くことができなくなっていた。ストレナー/砂分離装置は完成後、数週間で不具合が発生しており、旧システムに切り替える必要があった。水量予測システムは機能しなくなっており、計測設備に土砂の目詰まりが起こった上、一部設備が盗難にあっていた。事後評価時点では、これらの損傷により発電停止の事態を招く恐れがあり、持続的な事業効果の発現が強く懸念されていた。したがって、本事業を事後モニタリングの対象とし、今次現地調査等の結果に基づき事業を評価項目別にレビューし、結論を導き出した。

2. モニタリング結果

2.1 有効性（インパクト）

事後評価後、テノンパンギ水力発電所の発電量は回復し、2007年度及び2008年度には500GWhを超える高い水準にある。発電機の修理のため、2009年度に発電量は低下したものの、2009年度末の修理完了に伴い、今後は回復する見込みである。事後モニタリング時点でも網場には損傷が見られるが、発電所の運営に与える影響は軽微であった。

2.1.1 定量的効果

(1) テノンパンギ発電所の発電量、最大出力

本事業による工事は1998年に完成しており、工事完了後の1999年度から2002年度の年間発電量は平均423GWhとなっていた¹。事後評価後、2003年度から2007年度にかけて年間発電量は400GWhから510GWhで推移しており、平均466GWhに上昇した（図1、表1を参照）。また、2007年度には発電量は過去最高水準を記録している。2009年度に年間発電量には大きな落ち込みが見られたが、これは水力関連の部品交換及び発電機3号機の緊急修理が原因である。2009年8月に修理が完了しており、今後、発電量は回復する見込みである。なお、事後モニタリング時点でも網場には損傷が見られ、洪水時には取水口周辺の損傷につながるリスクがある。しかしながら、発電量の減少にはつながっていないことから、損傷が発電所の日常的な運転に与える影響は比較的軽微と考えられる（なお、網場の損傷については「2.2.2 運営・維持管理状況」に詳述した）。

表1：テノンパンギ発電所の年間発電量

(単位：GWh)

年度 ²	2002	2003	2004	2005
発電量	414.6	405.94	435.17	438.63

年度	2006	2007	2008	2009
発電量	496.40	514.07	505.33	334.30

出所：SESB

¹ マレーシア「テノンパンギ水力発電所リハビリテーション事業」事後評価報告書に基づく。

² 表1、表2ともに、SESBの会計年度は9月より8月まで。

(単位：GWh)

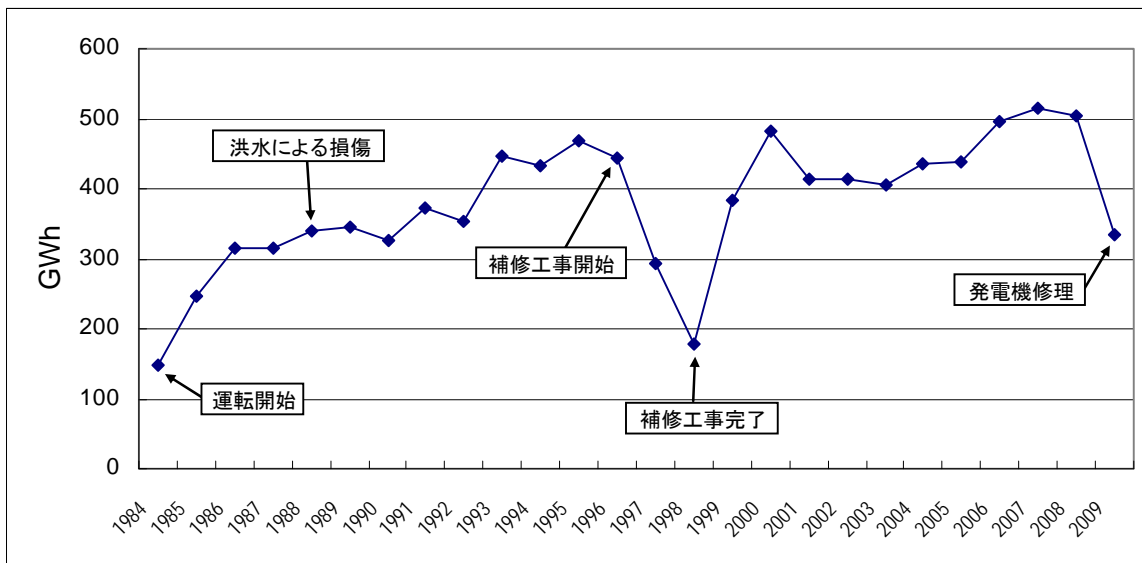
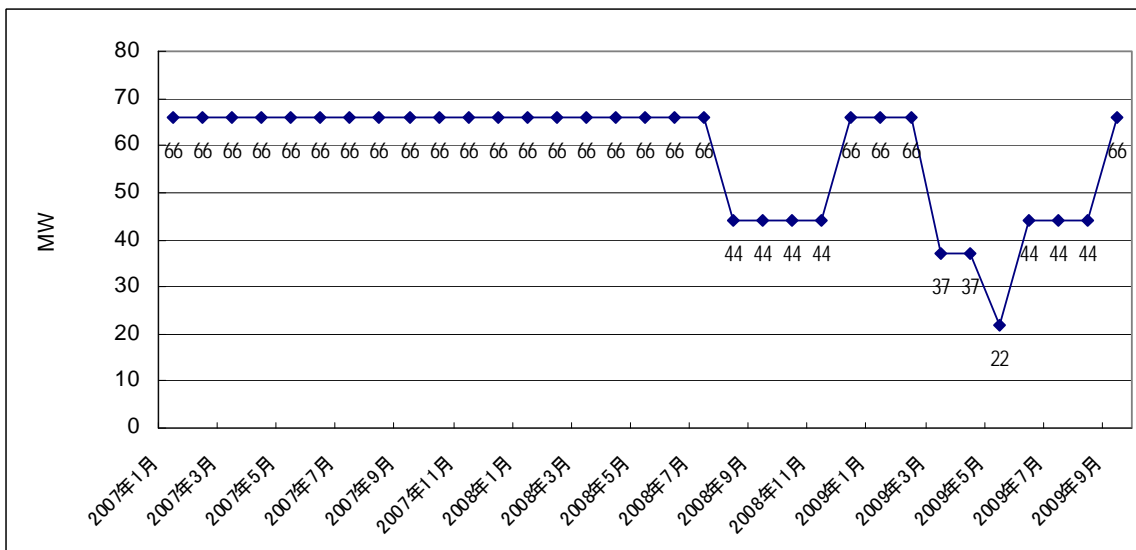


図 1：テノンパンギ水力発電所の年間発電量

テノンパンギ水力発電所の最大出力は通常では 66MW (22MW×3 基) となっている。しかしながら、上記の通り、水力関連の部品交換及び発電機 3 号機の緊急修理を行った結果、2007 年 8 月から最大出力が低下している (図 2 を参照)。修理完了後、2009 年 9 月より最大出力は 66MW に回復している。

(単位：MW)



出所：SES B

図 2：テノンパンギ水力発電所の最大出力

(2) テノンパンギ水力発電所の停止時間

テノンパンギ水力発電所の過去3年間の停止時間（発電機1、2、3号機の合計）は表2の通りである。2008年度に入り、計画外停止時間が大幅に増加したが、これは3号機の緊急修理が原因である。2009年8月の3号機の修理完了に伴い、計画外停電時間は減少する見込みである。

表2：テノンパンギ水力発電所の停電時間

(単位：時間)			
年度	2007年度	2008年度	2009年度
計画外停止時間	85.73	263.26	2177.50
計画停止時間	174.41	281.75	882.47
停止時間合計	260.14	545.01	3059.97

出所：SESB

(3) 財務的内部収益率（FIRR）

事後評価時点でのFIRR算出方法に基づき、本リハビリ事業のFIRRを再計算したところ、FIRRは12.1%となり、事後評価時（9.2%）を上回る水準となった。本リハビリ事業完成後の発電量の増分（実績値）が事後評価時点での推計値を超えていることが、その主な要因である。なお、FIRRの再計算条件は、以下の通りである。

費用：投資額、工事期間中の機会費用、O&M費用³

便益：販売電力の増分（発電量増⁴×販売価格⁵）

便益発現期間：発電所本体の完成後50年間（2033年まで）

2.1.2 インパクト

(1) 地域経済への貢献

サバ州のGDPは事後評価以降、年5%の成長率を維持しており、人口増加率も年約2%を超える水準にある（表3を参照）。経済の拡大や人口の増加に伴い、電量消費量も高い伸びが続いている。テノンパンギ水力発電所の発電量がサバ州全体の発電量に占める割合は、事後評価時点の約15%に対し、2008年時点ではサバ州発電量の約12%となった。サバ州の発電量に占める割合を考慮すると、事後モニタリング時点においてもテノンパンギ水力発電所は主要な電力供給源であるため、同発電所からの電力供給は州経済の成長を支える役割を果たしていると判断される。

³ 投資額、工事期間中の機会費用、O&M費用はいずれも事後評価時データに基づく。O&M費用は建設累計額の2%とする。

⁴ 本事業完成後の発電量増分とし、2003-2009年の間は実績値、2010年以降は03-09年の平均値を使用。

⁵ 事後評価後、サバ州では電気料金の改訂は行われていない。そのため、販売価格は事後評価時の価格をCPIで調整した。

表 3：サバ州の GDP、人口、電力消費量

	事後評価時	事後モニタリング時	成長率／年
GDP (2000 年価格、百万リンギット) ⁶	21,702	26,563	5.18%
人口 (千人) ⁷	2,603.5	3,219.2	2.69%
電力消費量 (GWh) ⁸	2,118.1	3,384.7	8.13%

出所：マレーシア統計局、SESB

(2) サバ州の電力需給

・電力統計

事後評価時と比べて、サバ州の電力需給は逼迫傾向にあり、テノンパンギ水力発電所は重要な電力供給源となっている。同州では発電容量・発電量ともに大幅な伸びを見せているが、需要の増加が著しいことがその原因である（表 4 を参照）。第 9 次 5 ヶ年計画では、SESB の年間発電量のうち約 2 割を石炭火力発電から供給することが計画されていた。しかしながら、環境への影響が危惧され、石炭火力発電への転換が遅れたことが、需給逼迫の一要因となっている。

表 4：サバ州の電力需給⁹

	事後評価時	事後モニタリング時
年間発電量 (GWh)	2,736.4	4,176.3
年間消費量 (GWh)	2,118.1	3,384.
年間発電量／年間消費量	129.2%	123.4%
発電容量 (MW)	768	959
ピーク時需要 (MW)	447.0	646.9
発電容量/ピーク時需要	171.8%	148.3%

出所：マレーシア統計局、SESB

・需要家へのアンケート調査及び非定型インタビュー

電力需給の現況を確認するため、サバ州の州都コタキナバル市において、製造業 15 事業所を対象とした簡便なアンケート調査と非定型インタビューを実施した¹⁰。また、参考データの収集のため、同市近郊で優先的に電力が供給されているコタキナバル工業団地 (KKIP) の 5 事業所でも同様の調査を行っている。アンケート調査と非定型インタ

写真 1：需要家へのアンケート調査



⁶ 事後評価時データは 2002 年確定値、事後モニタリング時データは 2006 年度暫定値。

⁷ 事後評価時データは 2000 年センサスに基づく確定値。事後モニタリング時データは 2008 年予想値。

⁸ 事後評価時データは 2002 年確定値、事後モニタリング時データは 2008 年確定値。

⁹ 事後評価時データは 2002 年確定値、事後モニタリング時データは 2008 年確定値。

¹⁰ 2009 年 9 月上旬にコタキナバル市内のケロンボン、イナナム、ペナンパンの 3 ヶ所でアンケート調査と非定型インタビューを行った。

ビューの結果は、総じて電力需給の逼迫を裏付ける内容となった。

コタキナバル市内の事業所では、電力供給は「不安定」もしくは「少し不安定」と回答した事業所が大半を占め、5年前と比較した電力供給の安定性についても「より不安定」との意見が過半数となった（表5及び表6を参照）。

表5：現在の電力供給の安定性

	非常に不安定	不安定	少し不安定	安定
コタキナバル市内	0人	5人	8人	1人
KKIP	0人	0人	1人	4人

表6：5年前と比較した電力供給の安定性

	より安定	変わらず	より不安定	わからない
コタキナバル市内	1人	5人	7人	2人
KKIP	2人	1人	1人	1人

非定型インタビューを通じて、市内の一部では電力供給の逼迫により輪番停電が行われていることが明らかとなった。但し、停電の理由としては、配電線の事故にも言及があり、電力需給の逼迫のみが停電の原因ではない。停電による悪影響としては、製品の品質に影響が出るため加工途中の材料を捨てる、労働者が働けないなどの意見があった。市内の事業所ではバックアップ用の自家発電設備を保有していることが多いものの、金属加工などの電力需要の大きな事業所では、十分な電源が確保できない、追加費用がかさむなどの理由により、バックアップ電源を保有しない事業所もあった。なお、KKIP内ではバックアップ用の自家発電設備を保有する事業所はなかった。

(4) 環境社会面のインパクト

本事業は損傷した施設の修復が主な事業スコープであり、用地取得、住民移転は発生していない。サイト調査では、事後評価時点と比べた環境社会面での顕著な変化は確認されなかった。

2.2 持続性

事後評価後、運営・維持管理体制には大きな変更はない。技術面に関しては、事後評価時点では技術移転により十分な水準に達していたが、事後モニタリング時点においても継続的なトレーニングを通じて技術水準の維持が図られている。財務面に関しては、親会社 **Tenaga Nasional Berhad (TNB)** の財務諸表を分析した結果、事後評価時点（2003年）から事後モニタリング時（2008年）にかけて利益率、財務安定性ともに改善が確認された。事後評価では網場、ストレーナー／砂分離装置、河川流量予測システムの損傷が指摘されたが、網場を除き実施機関により適切な対応がなされており、運営・維持管理状況には改善が見られる。

2.2.1 運営・維持管理機関

2.2.1.1 運営・維持管理の体制

テノンパンギ水力発電所の運営維持管理は SESB が担当している。SESB は垂直統合型の電気事業者であり、サバ州において発電、送電、配電のすべてを行っている。SESB の運営部門のうち、発電部 (Division of Generation) でテノンパンギ発電所の運営維持管理が行われている。事後評価時点と変わらず、国有電力会社 TNB が実施機関 SESB の支配株主として、発行済み株式の 80% を保有している。SESB は TNB の連結決算対象子会社である。

2.2.1.2 運営・維持管理における技術

事後モニタリング時点では、テノンパンギ水力発電所の総職員数は 98 人、うち 75 人が発電所の運営維持管理に関与している。技術水準に関しては、事後評価時点では本事業の実施途中に十分な技術移転を得たため、十分な技術水準にあると判断されていた。事後モニタリング時点では、SESB は定期的なトレーニングを通じて職員の技術水準の維持を図っている。発電所職員を対象に SESB 内部で発電所運営に関するトレーニング (7 種類) が年 2 回行われている。日常的維持管理 (日次、週次、月次の点検)、定期的維持管理 (年 2 回の点検) は発電所スタッフが実施、オーバーホール (10 年に一度)、緊急修理 (随時) は外部業者 (TNB REMACO) に委託している。交換部品は入手可能だが、入手に時間を要するケースが多い。

2.2.1.3 運営・維持管理における財務

SESB 単独の財務諸表は一般に公開されていないため、親会社 TNB の財務指標から財務安定性を判断する (表 7 を参照)¹¹。総資産利益率 (ROA) は年度毎に変動が見られるが、支払利息/EBIT からは利息支払いに必要な収益を確保できていると判断できる¹²。また、過去 3 年間では負債比率は安定して推移しており、流動比率も 1.5 前後を維持しており、財務安定性に問題は見られない。事後評価時点と比較すると、事後モニタリング時点の ROA はより高い水準にあり、支払利息/EBIT、流動比率、負債比率ともに財務安定性の改善を示している。実施機関 SESB の電気料金は 86 年以来改訂されていないが、親会社 TNB の財務安定性には問題はなく、SESB の財務状態が本事業の持続性に与える影響は軽微である。

表 7 : TNB の財務指標

会計年度	2003	2004	2005	2006	2007	2008
支払利息/EBIT	0.44	0.48	0.47	0.37	0.21	0.27
ROA	1.77%	1.28%	2.02%	3.32%	6.01%	3.72%
流動比率	0.92	1.73	1.22	1.41	1.51	1.68
負債比率	3.27	3.26	2.92	2.33	1.81	1.71

出所 : TNB

¹¹ 2003 年度から 2008 年度までの年次報告書の財務データに基づき財務指標を計算した (連結決算ベース)。年次報告書はいずれも公開されている。

¹² EBIT : 支払利息前かつ税引き前純利益

2.2.2 運営・維持管理状況

本事業では、①水力発電所の補修、②土木施設の補修、③河川流量予測システムの整備が行われた。本事業で補修・整備を行った施設のうち、網場、砂分離装置、河川流量予測システムに関しては事後評価時点で損傷が指摘されていた。これらの施設については実施機関が補修工事を実施しており、網場を除き維持管理状況は改善している。各施設の現況は以下のとおり。

(1) 網場

事後評価時点では、網場の浮きが流されており、塵芥を止める設備には損傷が見られた。事後評価後の2004年に、取水口前に塵芥をせき止める構造物が設置された(写真2を参照)¹³。しかしながら、工事の約半年後に再び損傷が発生し、事後モニタリング時点では取水口に塵芥の漂着を防止する設備は設置されていない(写真3を参照)。

写真2：取水口（事後評価後）



写真3：取水口（事後モニタリング時点）



実施機関は、以下の対応をとっている。

- ①取水口に塵芥が溜まらないよう、取水口のゴミ取り格子の枠を広げる。
- ②取水口と導水トンネル間に設置された沈砂池で塵芥を取り出す。沈砂池には防塵スクリーンが設置されており、塵芥を取り出す装置（**Raking Machine**）が使用されている。
- ③塵芥が特に多い場合、発電を止め、堰を開放して、塵芥を流す。

取水口に塵芥の漂着を防止する設備がないため、ゴミ取り格子に塵芥がつまり、取水口が損傷するリスクが残る。また、上記③の場合には、不足電力を補うため、高コストの電源（ディーゼル火力発電、天然ガス火力発電）に切り替える必要がある。上記の理由により、実施機関は再工事を計画しており、構造物の素材の見直しや可動部の改良を盛り込んだ設計となる予定である。

¹³ 取水口前に構造物を設置した期間（04年11月-05年5月）と前年同期（03年11月-04年5月）の比較分析をSESBが行っており、上記③の対応による逸失発電量は4177MWhから1766MWh（40%減）に低下している

(2) ストレナー／砂分離装置

テノンパンギ水力発電所では、取水の一部から砂を分離して冷却水を精製し、発電機の軸受けの冷却に使用している。事後評価時点では、機材の不具合により、本事業で調達したストレナー/砂分離装置が使われていなかった。事後評価後に新しい装置を導入し、冷却システムは更新されている。事後評価時点に比べて砂の目詰まりは少なく、冷却システムの清掃は運転の支障になっていない。

写真 4：砂分離装置



(3) 河川流量予測システム

本事業では上流域3カ所（クマボン、アンシップ、ビア）に計測ステーションを設置したが、事後評価時点では計測ステーションは機能していなかった。事後評価後に、SESBは州灌漑排水局と共同で計測ステーション（3カ所）を再設している。事後モニタリング時点では、計測ステーションのうち1ヶ所は洪水による損傷で機能していないものの、残り2ヶ所からは河川流量データが発電所に送信されている。また、計量ステーションは無人で設備の盗難にあいやすいため、実施機関職員がより頻繁に施設を点検し、近隣に施設を有する他の政府機関と協力し警備を強化している。

本事業で整備した土木施設に関しては、地すべりにより蛇籠の損壊が生じているものの、発電所へのアクセス道路は適切に補修されており、発電所内の通行には支障は発生していない。上記以外の施設・設備に関しては、運営に支障をきたす損傷は確認されなかった。

3. 結論及び教訓・提言

3.1 結論

取水口前の網場は損傷した状態であるものの、事後評価後、発電量は回復しており、発電所の運営への悪影響は確認されなかった。事後評価時と比較すると、サバ州の電力需給はより逼迫しており、テノンパンギ水力発電所は貴重な電力供給源となっている。網場以外の損傷箇所については、維持管理状況は改善傾向にある。事後評価時点で指摘された問題点に関しては実施機関が概ね適切な対応をとっており、事後モニタリング時点でも本事業は有意義と判断される。

3.2 教訓

なし

3.3 提言

(1) 網場の補修工事のモニタリング（対実施機関）

事後モニタリングの結果、網場が設けられておらず、取水口に塵芥が漂着していること

が明らかとなった。実施機関 SESB が設計を見直して、網場の再工事を行う計画があるが、網場はこれまでも3度（事業実施前、事業実施後、事後評価後）にわたり損傷が発生した箇所であり、1988年に発生した事故のように取水口の破損にもつながるリスクも有している。構造上、取水口近辺に塵芥が滞留することは避けられないため、実施機関が取水口での塵芥の滞留や発電所運営への影響に関してモニタリングを継続し、定期的に塵芥を撤去することが望ましい。

主要計画／実績比較

項 目	計 画	実 績
①アウトプット		
<u>塵芥制御</u>	一式	} 計画通り
1) 網場 (トラッシュブーム)	〃	
2) 可動式プロテクションラック	〃	
3) ストレナー/砂分離装置	〃	
4) 水位差検地システム	〃	
<u>土木施設の修復</u>	一式	
1) 側壁前趾・エプロン根固め	〃	
2) 蛇かご擁壁	〃	
3) アクセス道路斜面保護	〃	
<u>流量予測システムの改善</u>	一式	
1) 流量予測システム	〃	
<u>コンサルティング・サービス</u>	国際:20.90 M/M 現地:25.50 M/M	国際:21.24 M/M 現地:25.70 M/M
②期間		
借款契約調印	1992年5月	同 左
コンサルタント選定	1993年1月～1993年3月	1995年1月
入札書類準備	1993年4月～1993年5月	1995年4月
入札	1993年6月～1993年7月	
入札審査および承認	1993年8月～1993年9月	1996年6月
交渉・契約	1993年10月	
建設工事		
1) 塵芥制御	1994年7月～1994年11月	1996年9月～1998年1月
2) 構造物リハビリ	1994年7月～1994年12月	1996年9月～1998年1月
3) 流量予測システム	1994年7月～1994年10月	1996年9月～1997年7月
③事業費		
外貨	4億8,200万円	不明
内貨	2億4,300万円	不明
合計	7億2,500万円	4億8,500万円
うち円借款分	5億4,300万円	2億9,900万円
換算レート	1RM=46.6円 (1994年レート)	不明