ミャンマー

2019 年度　外部事後評価報告書

無償資金協力「バルーチャン第 2 水力発電所補修計画」

外部評価者：株式会社グローバル・グループ 21 ジャパン　薗田元

０. 要旨

「バルーチャン第 2 水力発電所補修計画」（以下、「本事業」という）は同発電所の補修を行うことにより同発電所の長期連続運転を可能とする運転上の信頼性・安全性の維持を図り、もってミャンマーの安定的な電力供給に寄与することを目的に実施された。電力分野、中でも既存発電所の改修及び新規発電所建設は事前評価時、事後評価時ともにミャンマーの重要課題であり、本事業は政策及び開発ニーズとの整合性が高い。本事業は持続的経済成長のために必要なインフラや制度の整備等の支援を援助の柱の一つと位置づける計画時の日本の援助政策とも整合する。よって、本事業の妥当性は高い。本事業のアウトプットには実施段階で追加があり、事業費は計画どおりであったが、事業期間が計画を上回ったことから、本事業の効率性は中程度である。本事業による補修後、バルーチャン第 2 発電所では計画外停止が減少してより長期の連続運転が行われ、最大出力を回復したことなどにより、発電電力量は補修前に比べて約 2 割増加した。本事業の目標達成度は高く、全国の電力供給に対する所期のインパクトが実現したと考えらえる。よって、本事業の有効性・インパクトは高い。本事業の運営・維持管理は制度・体制、技術、財務、状況ともに問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

１. 事業の概要

事業位置図

バルーチャン第 2 水力発電所

１.１ 事業の背景

ミャンマーでは 1980 年代後半より電力需要が供給を上回る電力不足の状況が続いていたが、2000 年代には大型水力発電所の建設により発電容量の増強が図られた。しかし、2010 年代に入り、中国への電力輸出、火力発電所の燃料不足、既設発電設備の老朽化による出力低下等により、可能な発電電力は総設備容量の半分以下となっていた。一方、ミャンマーの電力需要は GDP の成長に伴って増加し、需給バランスは逼迫した状態が続き、ミャンマー最大の電力需要地であるヤンゴン市において計画停電が行われていた。急速に増えていくと予想される電力需要に対し、計画停電解消のための水力発電の推進が電力政策の緊急課題として挙げられ、ベースロード電源としての水力発電による電力確保が短期的な目標となっていた。

ミャンマーで初めて建設された水力発電所であるバルーチャン第 2 水力発電所（総設備容量 168MW=28MW x 6 台）は、首都ヤンゴン市の東北約 300km のカヤー州ローピタのバルーチャン川に位置し、運転開始以来 1～3 号機が 52 年間、4～6 号機は 38 年間に及ぶ連続稼働運転により機器の損傷・磨耗が進み、老朽化が深刻な問題となっていた。1994 年に、1～3 号機の水車発電機を対象とした補修が有償資金協力により実施されたが、4～6 号機の水車発電機、主要変圧器、変電機器、制御機器等は本格的な補修が実施されていなかった。そのような状況の下、ミャンマー政府は日本政府にバルーチャン第 2 水力発電所の補修に係る無償資金協力を要請し、JICA は 2001 年度に基本設計調査を行った。同調査では 3 期に分けた補修計画が策定され、その第 1 期工事が 2002 年度に無償資金協力により実施された。その後、国内の情勢変化による中断期間を経て、JICA は 2012～2013 年に本事業の準備調査を実施し、第 2 期、第 3 期の補修計画を見直して必要かつ最適な補修内容を検討するとともに、その効果ならびに無償資金協力案件としての妥当性を確認した。それを踏まえて 2013 年 3 月に本事業の交換公文及び贈与契約が締結された。

１.２ 事業概要

バルーチャン第 2 水力発電所の補修を行うことにより同発電所の長期連続運転を可能とする運転上の信頼性・安全性の維持を図り、もってミャンマーの安定的な電力供給に寄与する。

供与限度額 / 実績額	6,669 百万円 / 6,669 百万円
交換公文締結 / 贈与契約締結	2013 年 3 月 / 2013 年 3 月
実施機関	責任官庁：電力省（Ministry of Electric Power: MOEP）（現

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td>電力エネルギー省：Ministry of Electricity and Energy）
実施機関：水力発電公社（Hydropower Generation Enterprise: HPGE）（現発電公社： Electric Power Generation Enterprise: EPGE）</td></tr>
<tr><td colspan="2">事業完成</td><td>2017 年 5 月</td></tr>
<tr><td colspan="2">事業対象地域</td><td>カヤー州ローピタ郡</td></tr>
<tr><td rowspan="2">案件
従事者</td><td>本体</td><td>日立三菱水力株式会社（Lot1）、丸紅株式会社（Lot2）</td></tr>
<tr><td>コンサルタント</td><td>日本工営株式会社・東京電力ホールディングス株式会社（コンソーシアム）</td></tr>
<tr><td colspan="2">協力準備調査</td><td>2012 年 6 月～2013 年 3 月</td></tr>
<tr><td colspan="2">関連事業</td><td>「バルーチャン第 2 水力発電所補修計画」（2002 年）</td></tr>
</table>

２.調査の概要

２.１ 外部評価者

薗田元（株式会社グローバル・グループ 21 ジャパン）

２.２ 調査期間

今回の事後評価にあたっては、以下のとおり調査を実施した。

調査期間：2019 年 7 月～2020 年 7 月

現地調査：2019 年 9 月 16 日～10 月 9 日、2019 年 12 月 12 日～12 月 19 日

３.評価結果（レーティング：A[1]）

３.１ 妥当性（レーティング：③[2]）

３.１.１ 開発政策との整合性

計画時、ミャンマーは電力政策の緊急課題として、短期的には計画停電の解消、中・長期的には電力不足の解消を重点項目に挙げ、電力分野は対外援助が必要とされる優先分野とされた。短期的には既存発電所の補修・改修と新規発電所建設には高い優先度が与えられていた。2018 年に計画財務省が作成した「ミャンマー持続的開発計画 2018-2030」は「電力、道路、港湾、電子政府等の経済基礎インフラの早急な整備を優先する」ことを主要政策の一つに掲げる。また、「国の将来のための天然資源・環境管

[1] A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」
[2] ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

理」を目標の一つに掲げ、そのための戦略として「適切なエネルギー・ミックスにより適切な価格で信頼性の高いエネルギーを国民及び産業に提供する」ことを挙げている。よって、本事業は計画時、事後評価時共に開発政策との整合性が高い。

３.１.２ 開発ニーズとの整合性

「１.１ 事業の背景」で述べたように、計画時、ミャンマーでは水力発電の推進が電力政策の緊急課題となっていた。バルーチャン第 2 水力発電所は 1960 年に運転開始し、雨季・乾季を通して安定的に電力を供給し続けてきたが、連続フル稼働運転が長く続いたことにより、主要機器の経年劣化や損傷が進んでおり、重大な事故の発生が懸念されていた。安定的な長期運転を継続するためには、老朽化した設備の大幅な補修を行い機能回復させることが喫緊の課題であった。

事後評価時、JICA の協力により作成され政府に承認された「電力開発計画」（2014）では 2030 年までの電源及び送電網の開発計画が示され、水力発電が主要な電源として重視されている。他方、発電公社（EPGE）によると、ミャンマーの電力需要は年々増加し、2020 年には 4000MW に達すると予想されるが、電力供給能力は需要を満たすことができず、ヤンゴンやマンダレーなどの大需要地では計画停電が行われている。バルーチャン第 2 水力発電所は豊富な水資源を利用し、年間を通じてベースロード電源として活用され、同発電所は全国の発電電力量の約 6%（2018 年）を供給した。また、全国送電網が停止した時に始動するための発電所の役割も担っている。よって、同発電所の必要性は事後評価時にも維持されている。

以上から、本事業は計画時、事後評価時ともにミャンマーの開発ニーズと整合している。

３.１.３ 日本の援助政策との整合性

2012 年 4 月に制定された日本の対ミャンマー経済協力方針は「持続的経済成長のために必要なインフラや制度の整備等の支援」を重点分野の一つとしている。これを受け、JICA は 2012 年以降、本事業を始めとした一連の電力分野の技術協力・資金協力を開始した。また、バルーチャン第 2 水力発電所 6 台の発電機のうち 3 台（1～3 号機）は日本の戦後賠償で建設された経緯があり、運転から約 25 年を経過した際に有償資金協力（1987 年）でオーバーホールを実施した[3]。また、その後の劣化への対応として 2001 年に無償資金協力での補修を計画し、3 期工程のうち第 1 期を終えたところでミャンマーの情勢変化を受け協力が中断していた。よって、本事業は日本の援助政策との整合性が高い。

---

[3] オーバーホールとは機械製品を部品単位まで分解して清掃・再組み立てを行い、新品時の性能状態に戻す作業のこと。

以上より、本事業の実施はミャンマーの開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、妥当性は高い。

３.２ 効率性（レーティング：②）

３.２.１ アウトプット

本事業ではバルーチャン第 2 水力発電所の発電設備、変電設備及び水圧鋼管のリハビリが実施された。アウトプットの計画及び実績は表 1 のとおりである。

表１　アウトプットの計画と実績

	計画	実績
発電設備 変電設備 水圧鉄管	発電機固定子巻線、発電機制御盤、入口弁、水車ランナ等 主要変圧器、所内変圧器、132kV 遮断機、非常用電源装置等 水圧鉄管ライナ等	概ね計画通り。 以下の追加アウトプットあり。 －3号機水車ニードルシャフト用パッキンの補修、パッキンの調達 －天井クレーン巻き上げ機のCFブレーキ調達 －発電機の回転子界磁コイル補修材料の調達 －発電機補修用機材の調達 －1号機タイヤカップリング、6号発電機エアクーラー用流量スイッチの調達。 －水車の下部ノズル、調速機負荷制限モータ、オイルリフター流量調整バルブ、発電機軸受けの調達 －発電機キュービクルの調達（5，6号機） －制御室の状態表示機、電圧検出回路、計器の調達 －主要変圧器、非常用電源供給システムの予備品調達
コンサルティングサービス	詳細設計、施工管理維持管理能力向上指導（ｿﾌﾄｺﾝﾎﾟｰﾈﾝﾄ）	計画通り

出所：JICA提供資料

本事業の詳細設計は準備調査（2013）で示された「重大事故を未然に防止し継続運転を可能にするための必要十分な補修を行う」「原形復旧が困難な設備は運転保守要員の技術水準及び今後の維持管理体制に見合った仕様を適用する」「既存機材への影響を最小化できる機材の配置・施工方法の採用」という方針に沿って行われた。

準備調査時は、電力不足により発電を長期間止めることができないため、補修範囲を確認するための設備を停止・分解する時間が制約されたが、実際に部品を交換する実施

段階では時間をかけて設備をより細かく分解するため、設備の状況を詳しく把握することができた。その結果、準備調査時には発見が困難だった新たな補修の必要性が確認され、事業費の残余金（後述）を使用して複数回の契約修正が行われ、追加アウトプットの調達が行われた。また、継続的な発電のために重要な予備品（変圧器など）が追加調達された。このようなアウトプットの追加は、事業目的及び上記の計画方針に沿って判断されたものであり、適切なものであったと考えられる。発電公社によると、本事業の作業範囲（実施段階の変更を含む）、設備の品質、ソフトコンポーネントの範囲・手法は適切である。輸入資機材の免税措置、日本側工事関係者のビザ取得、事務所・宿泊施設提供などのミャンマー側負担事項は計画通り実施された。他方、事業範囲については、有効性・持続性に影響を及ぼす以下の点を指摘できる。

- 本事業実施前から発電機冷却器のパイプ詰まりによる発電機の停止（温度上昇の警告を受けて、パイプを取り外して洗浄するための 1～2 時間の計画外停止）が起きていたが、その原因である冷却用水中のゴミを取り除く対策（オートストレーナーの設置など）はミャンマー側の最終的な要請に含まれていなかったため、本事業の対象として検討されなかった。このため、事業完成後も、発電機冷却器のパイプ詰まりを原因とする計画外停止が起きている。

- 既存の励磁装置（各発電機の電圧を調整する装置）は形式が古く補修部品の調達が困難だったため、新式のものに更新した。他方、ガバナ（調速機：各発電機の周波数を調整する装置）は、当初からの機械式ガバナの保守点検を 50 年以上行ってきており、発電所職員が技術的に習熟していることから継続して保守可能と判断し、旧式の機械式ガバナそのものは維持して一部の部品のみ交換した。しかし、発電公社が 2018 年に実施した試験によると、1～3 号基では周波数を十分制御することができていない。発電公社は、機械式ガバナの制御モータの出力が不十分なことがその原因と考えている。なお、制御モータの出力が大きな 4～6 号機では同様の問題は起きていない。

- 4～6 号機を使ってブラックスタート（送電網全体が停止した時に他の発電所の始動に必要な電力を最初に供給する作業）を行う際、変電所の保護装置が働いて上手く始動できない現象が、事業完成後になって起きるようになった。原因は究明されていないが、発電公社は、新式の励磁装置を旧式のガバナと組み合わせたことにより、励磁装置のより十分な調整、あるいは、変電所側の保護装置の再調整が必要になったものと考えている。発電公社は、バルーチャン第 2 水力発電所がブラックスタートを行う際にいったん送電網から切り離して 4～6 号機を始動し、発電が安定してから送電網と再び接続するという新たな手順を考え出して、

この現象を回避している[4]。

上記のうち、冷却用水の水質改善策は、そもそも要請に含まれなかったために検討対象に上らなかったうえ、警告が出る前に計画的に停止して洗浄するなど適切な運営保守を行うことによりある程度、対応できる可能性があった。励磁装置をアップグレードしつつ旧式のガバナを維持したことについては、技術的により詳細に検討すれば結論が変わった可能性があるが、準備調査では上記の方針に沿い、かつ、事業費と事業期間を適切な範囲に収めるという観点から判断されたものであった。よって、上記のように事業範囲を定めたことが不適切であったとまでは言えない。

バルーチャン第 2 水力発電所：発電設備（左）、変電設備（右）

バルーチャン第 2 水力発電所：機械式ガバナ内部（左）、コントロール室（右）

[4] 発電公社は 2018 年 5 月に実施したブラックスタートの際に発生したこの現象の記録を取って本事業のコンサルタントに相談したが、原因究明のためにはより多くの記録の蓄積が必要とされた。他方、ブラックスタート時にこの現象が起きると全国の発電所の再始動が 30 分程度遅れることとなり、停電が長引くことから、上述の新たな手順を採用して停電からの回復を急ぐ必要がある。このため、2018 年 5 月以降、この現象の新たな記録は得られていない。

３.２.２ インプット

３.２.２.１ 事業費

本事業の総事業費は総事業費 6,686 百万円（日本側：6,669 百万円、ミャンマー側：17 百万円）の計画であった。計画されたアウトプットの日本側事業費は競争により約7%圧縮されたが、追加アウトプットを含めると、事業費は 6,647 百万円（計画比 100%）に達した。ミャンマー側事業（実績 31 百万円）を含む総事業費の実績は 6,678 百万円（計画比 100%）となり、ほぼ計画どおりであった。

３.２.２.２ 事業期間

本事業は詳細設計、入札期間を含む 2013 年 4 月～2016 年 2 月の 35 カ月間で実施される計画であった。実際には 2013 年 4 月のコンサルタント契約から 35 カ月目の 2016 年 2 月に主要な補修が完了したが、追加的な補修及び予備品の調達に時間を要し、2017 年 5 月に全体が完了した。事業期間の実績は 50 カ月（計画比 143%）と、計画を上回った。

以上より、本事業は事業費がほぼ計画どおり、事業期間が計画を上回ったため、効率性は中程度である。

３.３ 有効性・インパクト[5]（レーティング：③）

３.３.１ 有効性

本事業により、バルーチャン第 2 水力発電所の長期連続運転を可能するための運転上の信頼性・安全性が維持されることが期待され、その指標として「計画外停止回数の減少」及び「最大出力の増加」が想定されていた。以下、定量的効果としてこれらの指標を中心とした同発電所の運用実績の事業前後の変化を分析する。さらに、定性的効果としてその他の効果を分析する。

３.３.１.１ 定量的効果

本事業では 2014 年 7 月から 2016 年 2 月にかけてバルーチャン第 2 水力発電所の 6 台の発電機、所内変電設備、水圧鋼管が補修された。以下に、補修前（2011 年～2013 年）、及び、補修後（2017 年～2018 年）の同発電所の運用実績の変化を示す。

[5] 有効性の判断にインパクトも加味して、レーティングを行う。

表 2　事業前後の指標の変化

	計画時目標	補修前				補修後			比率
		2011	2012	2013	平均①	2017	2018	平均②	②/①
計画外停止（注）（1 台あたり、回/年）	3.0	5.2	6.8	4.3	5.4	3.5	3.7	3.6	66%
冷却器の故障・不具合	（なし）	4.7	6.8	4.2	5.1	3.3	3.0	3.2	62%
その他の設備の故障・不具合	（なし）	0.5	0.0	0.1	0.3	0.2	0.7	0.4	125%
最大出力（発電所、MW）	（なし）	157.5	157.0	152.0	155.5	166.9	167.8	167.4	121%
第 1 号発電機（MW）	28.0	24.0	22.0	22.0	22.7	28.0	27.0	27.5	108%
（参考情報）発電電力量（発電所、GWh/年）	（なし）	806	1,079	1,003	963	1,066	1,262	1,164	121%

出所：発電公社による質問票回答をもとに評価者が作成
注：表中の計画外停止は発電設備の故障・不具合による停止のみの数値。計画外停止には、この他にも、発電所以外の送電設備に起因する停止、水資源の不足による停止などがあるが、本事業の目的は発電設備の故障・不具合による停止を減らすことであった。なお、発電電力量（参考情報）によりバルーチャン第 2 水力発電所の全国の電力供給への貢献を見ることができる。

（１）計画外停止の減少

発電設備の故障・不具合に起因する計画外停止（発電機 1 台あたり年間停止回数）は、補修により 3 回に減少することが目標とされていた[6]。実際には、補修前に 5.4 回起きていた計画外停止が、補修後には 3.6 回に減少した。目標とされた 3 回に達しなかったが、補修前の約 3 分の 2 に減少し、その目標達成度は中程度と判断される[7]。

これらの計画外停止のほとんどは冷却器の故障・不具合によるものであり、その多くは老朽化した冷却水パイプの漏れ、その他はパイプ詰まりによる停止であった[8]。本事業は冷却器を交換することにより、パイプの漏れによる計画外停止は起きなくなった。しかし、パイプ詰まりの原因となる冷却水中の異物を取り除く対策は取られなかったため（「３.２.１　アウトプット」参照）、補修後もパイプ詰まりは継続している。パイプ詰まりは発電設備に損傷を与えるような危険な不具合ではないが、その度に 1～2 時間、発電機を停止する必要があり、発電に影響を与えている。

6 本事業の事前評価表によると、計画時には基準値として 2011 年に 1 台あたり 15 回の計画外停止があり、これを 1 台あたり 3 回に減らすことが目標とされていたが、基準値として採用した計画外停止の定義（理由の範囲）が不明確であったため、基準値についても今回入手した計画外停止に関する実績データを採用することとした。目標値については、本事業のコンサルタントへのヒアリングにより、発電設備に起因する計画外停止についての目標であったことが確認された。以上に基づき、事後評価では発電公社より新たに入手した「発電設備の故障・不具合による計画外停止」の実績に基づき、基準値 5.2 回/年（2011 年）、目標値 3.0 回/年、実績値 3.6 回として目標達成度の分析を行った。

7 達成度は、「実現した計画外停止の減少（5.2 回－3.6 回＝1.6 回）」÷「計画された計画外停止の減少（5.2 回－3.0 回＝2.2 回）」として 73%と算出される。

8 冷却水には発電原資となるモエビダムから流下するバルーチャン川の水が使われており、河川沿いの住民生活等で発生するゴミが混入してパイプ詰まりが増加する原因となっている。

発電設備に起因する上記以外の計画外停止は、補修前後でわずかに増加した（0.3回→0.4 回）。補修後の 2 年間（2017 年～2018 年）に発電所全体で 5 回の停止があったが、うち 1 回は外部要因（変電設備への蛇の侵入）、他の 4 回は本事業の補修対象外の部分の不具合であった。本事業で補修された部分では事後評価時までに故障・不具合が発生したことはなく、補修がなければさらに多くの計画外停止が発生していたと考えられる。したがって、この増加は本事業による補修の失敗を意味するものではない。

2018 年には変電設備に蛇が侵入して短絡が起きたため 6 号発電機が計画外停止したが、本事業により調達した予備変圧器を利用することにより短時間（25 時間）で運転再開することができた。予備変圧器がなければ他の発電所・変電所等から予備変圧器を搬入する必要があり、長期間の停止になっていた可能性がある。

以上から、補修後、バルーチャン第 2 発電所では計画外停止が減少してより長期の連続運転が行われており、本事業がそれに貢献していると言える[9]。

（２）最大出力

バルーチャン第 2 発電所の第 1 号発電機は、老朽化により 2011 年に最大出力が 24MW まで下がっていたが、本事業は、これを定格最大出力 28MW まで回復することを目指していた。第 1 号発電機の最大出力は 2013 年には 22MW まで落ち込んだが、補修後、2017 年には計画通り 28MW に回復した。（補修直後の 2015 年に 28MW が達成されている）2018 年は 27MW にとどまったが、補修後、第 1 号発電機は特にトラブルを起こしていないことから、これは発電機の不具合によるものではないと考えられる。また、発電所全体の最大出力は補修により約 12MW、補修前に比べて 21％増加し、2018 年に最大 167.8MW（定格最大出力 168MW の 99.9％）を達成した。

以上により、バルーチャン第 2 発電所は本事業の補修により計画通り最大出力を回復したと判断され、その達成度は高いと判断される。

（３）発電電力量（参考情報）

バルーチャン第 2 発電所の年間発電電力量は補修前の 963GWh から補修後の 1,164GWh（補修前の 121％）に増加した。2018 年には発電電力量が 1,260GWh に達した。これは同発電所の設備の最大能力 1,472GWh（168MW×6 台×24 時間×365 日）の 86％であり、ほぼフル稼働の状況にあったと考えられる。これには、本事業による計画外停止の減少、すなわち年間運転時間の増加、及び最大出力の増加が貢献して

[9] 計画外停止時間（年間 1 台あたり）については発電所設備、発電所以外の送電設備、その他の原因別の経年データが得られなかったが、全体では補修前の 141.6 時間から補修後の 34.5 時間（補修前の 24％）に大きく減少した。

いると考えられる[10]。

３.３.１.２ 定性的効果

本事業のソフトコンポーネントでは発電所の職員を対象に電気機械設備と水圧鋼管の運転保守に関するマニュアル作成と研修が行われた。これは、マニュアルに沿った運転・保守（予防保守）の実施、運転記録・保守点検記録の作成につながった。事後評価時にもこれらが継続されていることが確認された。

発電公社によると、本事業により設備の信頼性及び安全性が全般的に高まったと考えられ（本事業完成後、事故は発生していない）、そのことは、発電所の職員の心理的なストレス軽減につながったとのことである。発電所の職員からも、以前はいつ壊れるかと心配しながら運転していたが、今は安心して勤務できるとの声が聞かれた。

以上から有効性についてまとめると、本事業による補修後、バルーチャン第 2 発電所では計画外停止が減少してより長期の連続運転が行われているほか、計画通り最大出力を回復したことにより、発電電力量は補修前に比べて約 2 割増加した。計画外停止回数及び最大出力についての目標達成度も考慮し、本事業の有効性は高いと判断される。

３.３.２ インパクト

３.３.２.１ インパクトの発現状況

（１）全国の電力供給への貢献

発電公社によると、ミャンマーの最大電力は 2011 年の 1,588MW から 2017 年の 3,189MW に倍増した。2020 年には 4,000MW 達すると予想されている。発電電力量も同様に、2011 年の 10,312GWh から 2017 年の 20,141GWh に倍増した。3～5 月の夏季はエアコンによる電量需要により電力不足が発生し、ヤンゴン等の大需要地では計画停電が行われている。なお、2000 年代以降、中国の資金により北部で多数の水力発電所建設が開始されて順次稼働したが、3 月～5 月の渇水期には水量が減り、発電は制約を受けている。

バルーチャン第 2 発電所は電力（MW）で全国の 5.2%、発電電力量（GWh）で全国の 5.3%を担う（2017 年）。北部の水力発電所と違い、同発電所はモエビダムの豊富な水資源を利用して渇水期も含め年間を通じた発電がおこなわれている（図 1）。本事業の直接の貢献は、同発電所の最大出力を約 12MW 増大し（2017 年全国需要の 0.4%に相当）、発電電力量を 202GWh 増加した（2017 年全国需要の 1.0%に相当）ことと考えられる。同発電所は十分利用されていることから、本事業に期待された全国

[10] 同発電所の発電機 1 台あたりの年間運転時間は補修前で 7,630 時間から補修後の 8,250 時間（補修前の 108%）に増加した。

の電力供給への貢献は概ね実現したと考えられる。

（単位：GWh）

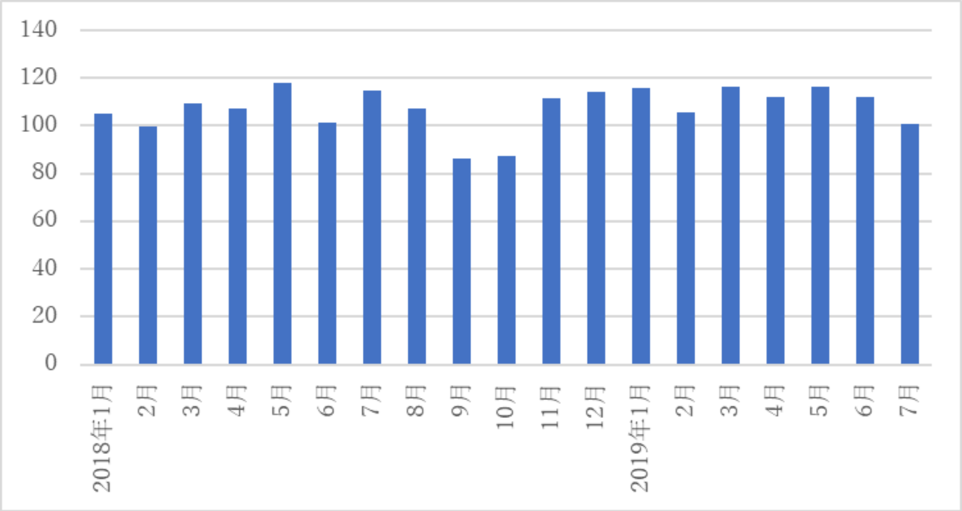

図 1　バルーチャン第 2 発電所の発電電力量

出所：発電公社提供資料

（2）ブラックスタートへの貢献

バルーチャン第 2 発電所は、電力系統が完全停電になった場合、一番始めに運転し、他の発電所が運転を開始するために必要な初期電力を供給するブラックスタートの役割を担う。その際は単独の発電所（発電機）で安定した周波数の発電が必要である。本事業による補修により各発電機の周波数の安定性が増加したが、特に第 4～6 号発電機では十分な周波数の安定が得られており、ブラックスタートをより適切に行うことが可能となったと考えられる。他方、変電所の保護装置が作動する現象が起きるようになったため、現在は、ブラックスタート時に一時的に送電網と切り離すにするという変則的な運用が必要とされている（「３.２.１　アウトプット」参照）。

（3）バルーチャン第 3 発電所への貢献

バルーチャン第 2 発電所の水はそのまま、下流にあるバルーチャン第 3 発電所（52MW）が発電に利用している。本事業によりバルーチャン第 2 発電所でより長期の連続運転が行われるようになったことは、バルーチャン第 3 発電所の活用にも貢献したと考えられる。なお、発電公社によると、同じ水を利用して発電を行うバルーチャン第 1、第 2、第 3 発電所の連携運用のガイドライン、及び、水資源の状況に合わせた最適な運用計画を立てる方法は確立しておらず、今後の検討事項である。

（４）技術面の波及効果

バルーチャン第 2 発電所に長年勤務し、本事業の経験を積んだスタッフが他の水力発電所の責任者に昇進した。また、発電公社により本事業のソフトンポーネントのマニュアル・様式（保守点検記録用紙、修理履歴記録用紙）が他の水力発電所に共有された。

３.３.２.２ その他、正負のインパクト

計画時、本事業では環境・社会への大きなインパクトは想定されなかった。本事業の工事により廃棄されることとなった古い変圧器絶縁油（PCB 廃棄物）及びアスベスト廃棄物は、計画通り、密封して保管されており、環境面の大きなインパクトはない。その他の環境・社会面のインパクトは確認されなかった。

以上より、本事業の実施によりおおむね計画どおりの効果の発現がみられ、有効性・インパクトは高い。

３.４ 持続性（レーティング：③）

３.４.１ 運営・維持管理の制度・体制

バルーチャン第 2 発電所は発電公社の傘下にあり、その組織体制は図 2 のとおりである。長年の運営経験から組織体制、業務分担は確立しており、特に問題はない。ミャンマー政府は政府機関の人員を定員の 3 分の 2 まで削減するとの方針のもと、全ての政府機関において新規採用が抑制されている。

バルーチャン第 2 発電所の職員数は、定員 165 人のところ、2012 年には 159 人だったが、この方針のもと、能力のある職員を残しつつ人員が減らされ、事後評価時には 114 人となった。単純労働については職員でなく契約雇用の労働者を雇用している。同発電所によると、現在の職員数は十分とは言えないが、通常運転においては現在の職員数で特に問題はない。ただし、経験豊富なシニアのオペレーターが何らかの理由で休んだ場合や、大きな問題が起きた場合には応援が必要となる。第 2 発電所の近くには第 1、第 3 発電所があり、緊急時はお互いに応援を頼んで対応してきた。また、以上のような課題への組織的な対応として、発電公社本部は各発電所で発生する問題の種類に応じて、該当分野の能力・経験の高い職員を選び、派遣することとしている。

以上から、本事業の運営・維持管理の制度・体制面には特に大きな課題はない。

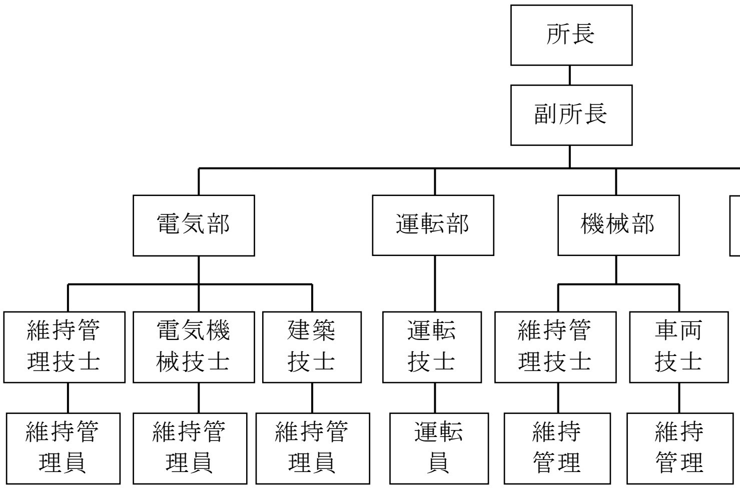

図 2　バルーチャン第 2 水力発電所の組織図

出所：発電公社提供資料

３.４.２ 運営・維持管理の技術

バルーチャン第 2 発電所の運営・維持管理職員の平均勤続年数は約 20 年と長く、全体として、同発電所の運営・維持管理について多くの知識・経験を蓄積している。運営・維持管理職員 55 名の勤務年数別内訳は、30 年以上が 3 名、20～29 年が 27 名、10～19 年が 18 名、10 年以下が 7 名である。

本事業のソフトコンポーネントで作成したマニュアル及び各種フォーマットは全て利用されている。研修参加者によると、ソフトコンポーネントの講義及び実務研修を通して水力発電所の運営・維持管理についての網羅的な知識体系を得ることができた。研修参加者のほとんどは現職にとどまっているが、2名は昇進して他の発電所に異動した。

各発電所は発電公社本部に毎月、保有するスペアパーツのリストを提出しており、本事業で調達したスペアパーツも含み、在庫は適切に管理できていると考えられる。バルーチャン第 2 発電所によると、発電を継続するために必要なスペアパーツは概ね揃っているが、一部に重要なパーツでスペアを確保すべきものがあり、発電公社本部に申請中である[11]。重要なパーツでスペアが手元にない場合、発電公社本部を通じて他の発電所、あるいは送配電会社（送電・系統運用局）から調達できるが、時間を要する。純正パーツが入手できない場合は国内で加工・生産することもある。なお、機材図面及び取扱説

[11] 各発電所は、毎年、必要なパーツのリストとその理由を発電公社本部に提出し、本部が技術的な審査を行って財務省に予算を申請する。財務省は予算の範囲で承認するが、発電公社によると、2017 年、2018 年は一部、承認されなかった。しかし、2019 年は電力インフラへの予算配分が優先される方針のため、ほとんどが承認されることが期待されている。

明書は適切に保管されている。

以上から、本事業の運営・維持管理の技術面には特に大きな課題はない。

３.４.３ 運営・維持管理の財務

発電公社によると、バルーチャン第 2 水力発電所の収支は以下のとおり。発電所の収支は大幅な黒字であり、継続的な運転のための予算は確保されている。

表 3　バルーチャン第 2 発電所の収支

（単位：百万チャット）

	2016年度	2017年度	2018年度 前期
発電収入	45,037	59,267	35,137
その他の収入	2,280	2,502	29
歳入	47,318	61,770	35,166
人件費	471	453	251
維持管理費	158	91	33
消耗品	57	54	31
その他（減価償却費を含む）	3,181	3,445	1,757
税金	2,147	2,825	1,675
支出合計	6,015	6,867	3,746
収支	41,302	54,902	31,420

出所：発電公社提供資料

従来は、ミャンマーの電力料金はアセアンでも最低水準に設定され、発電コストとの逆ざやが政府の大きな負担となっていた。また、発電公社から送配電部門に電力を売るときの卸売価格を安く設定することで各配電会社の黒字経営を保っていたが、発電公社は赤字経営となり、赤字を補填するための政府補助金を発電公社に集中させていた。2019 年 7 月に、電力エネルギー省（MOEE）は 5 年ぶりに電力料金を改定して大幅な値上げを行い、合わせて、電力卸売価格を約 2 倍に値上げして発電公社の財務健全化を図った。同省によると、この値上げにより 2020 年度以降、発電公社は黒字化が見込めるとのことである。

以上から、本事業の運営・維持管理の財務面には特に大きな課題はない。

３.４.４ 運営・維持管理の状況

事後評価時の現地視察によると、発電所内は適切に清掃され、設備は適切な機能を保ち運転されている。所内変電施設では蛇の侵入事故の後、蛇を防ぐ防護板が設置された。本事業が調達したスペアパーツは適切に倉庫に保管されている。

ソフトコンポーネントで指導されたとおり、運転保守記録は全て保存されている。データはパソコンに入力されている。過去のデータをすぐ出せるので、問題発生時の分析や、発電公社本部からのデータ提供の要請にすぐ答えることができる。ただし、データを用いた傾向分析までは行っておらず、これまでどおり、経験により数値を解釈して異常を判別している。また、ソフトコンポーネントで指導されたとおり、計画的な予防保守（定期点検・精密点検）を始めることができた。運転記録は毎日、予防保守は電力需要が少ない週末に、発電機を 1 週間に 1 台ずつ、5 時間程度停止して行う。同発電所の記録によると、毎週の維持管理作業は確実に行われており、マニュアルに沿った点検により異常を検知して詳細な点検・修理を行った例もある [12]。

以上から、本事業の運営・維持管理の状況には特に大きな課題はない。なお、本事業の補修範囲には直接含まれないが、「３.２.１　アウトプット」で述べたように、冷却用水の水質が良くないこと、ガバナの補修が部分的であったことはバルーチャン第 2 発電所の運用に影響を及ぼしていると考えられる。

以上より、本事業の運営・維持管理は制度・体制、技術、財務、状況ともに問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

４.結論及び提言・教訓

４.１ 結論

本事業はバルーチャン第 2 水力発電所の補修を行うことにより同発電所の長期連続運転を可能とする運転上の信頼性・安全性の維持を図り、もってミャンマーの安定的な電力供給に寄与することを目的に実施された。電力分野、中でも既存発電所の改修及び新規発電所建設は事前評価時、事後評価時ともにミャンマーの重要課題であり、本事業は政策及び開発ニーズとの整合性が高い。本事業は持続的経済成長のために必要なインフラや制度の整備等の支援を援助の柱の一つと位置づける計画時の日本の援助政策とも整合する。よって、本事業の妥当性は高い。本事業のアウトプットには実施段階で追加があり、事業費は計画どおりであったが、事業期間が計画を上回ったことから、本事業の効率性は中程度である。本事業による補修後、バルーチャン第 2 発電所では計画外

[12] 2018 年 8 月にはマニュアルに沿った点検によりペンストックの水漏れが見つかり、発電を止めて修理した。

停止が減少してより長期の連続運転が行われ、最大出力を回復したことなどにより、発電電力量は補修前に比べて約 2 割増加した。本事業の目標達成度は高く、全国の電力供給に対する所期のインパクトが実現したと考えらえる。よって、本事業の有効性・インパクトは高い。本事業の運営・維持管理は制度・体制、技術、財務、状況ともに問題なく、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 実施機関（発電公社）への提言

発電公社は冷却器のパイプ詰まりの原因となっている冷却用水中のゴミを取り除く対策（オートストレーナーの設置など）を検討し、速やかに実施する必要がある。

4.2.2 JICA への提言

JICA は発電公社による上記の提言の実施を促し、その実施状況をモニタリングする。

4.3 教訓

<u>補修事業の予備費・予備期間</u>

本事業では準備調査により補修範囲の計画を立てたが、発電機を長期間停止させられないこともあり、補修の必要性を詳細に確認することはできなかった。事業開始後、補修を実施するために設備をより細かく分解する過程で追加的な補修の必要性が明らかとなり、事業範囲が追加された。競争により当初計画部分の調達価格が計画を下回ったため、残余資金を活用して追加部分の調達を実施することができたが、事業期間は計画を上回り、効率性は中程度と判断された。

一般に、発電所のような電気機械設備の補修を行う事業においては、運用中である対象設備の補修範囲を事前に全て確認することは難しく、実施段階で事業範囲が追加される可能性があると考えられる。よって、適切な補修により事業目的を達成するためには、計画時に、補修範囲がどの程度まで具体的に確認できたかに応じて、予備費および予備的な実施期間の必要性を検討し、計画に含めることが必要である。

以上