

0. 要旨

本事業は、パキスタンにおいて給電システム¹及び関連施設の近代化・拡充を行い、電力系統²の運用の効率化・安定化を図ることを目的として実施された。事業の目的は、審査時及び事後評価時において経済成長に資する電力セクター改革を重視するパキスタンの開発政策、効率的・安定的な電力系統の整備に向けた同国の開発ニーズに合致し、また、審査時の日本の援助施策とも合致しており、妥当性は高い。本事業の事業費は計画内に収まったものの、入札・契約に係る遅延や既存の施設・機材を継続利用しながら新たな機材を導入設置するという本事業の特徴、実施体制の抱える課題や治安悪化・自然災害等の諸要因が影響し、事業期間は計画を大幅に上回ったため、効率性は中程度である。本事業の実施を通じて、給電システムの通信障害や送電線の事故平均復旧時間、ロス率が減少し、電力系統の信頼性・安定性が改善した。さらに、効率的な電力系統の運用によるコストの削減や電力系統の透明性の向上といったインパクトも確認されたため、有効性・インパクトは高い。一方、維持管理機関となる国営送電会社³（National Transmission and Dispatch Company、以下、「NTDC」という。）に体制面、技術面、運営維持管理状況の一部に課題が残っており、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

以上より、本事業の評価は高いといえる。

¹ 季節や気候条件、時間により異なる電力需要に合わせて発電電力の調整を行い、周波数や電圧に影響が出ないように安定した電力供給を行うことに加え、変電所や発電所の監視・制御を行うことにより、特に雷電等による事故時に停電地域・時間を最小限に留める役割を有するシステム。

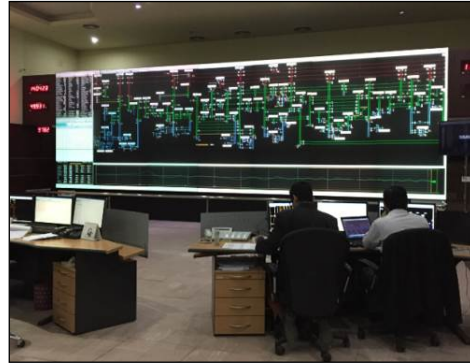
² 発電所から送電線、変電所、配電線を経由して、需要家に至るまでの全ての要素が有機的に連携されたものの総称で、電力の発生から消費までを包括するシステム。

³ NTDCは、パキスタンで唯一のシステムオペレーターであり、中央電力購入庁（Central Power Purchasing Agency Guarantee Limited.、以下、「CPPA」という。）から託送料を受け取り、所有する送電網を通じて各地域の配電会社の送配電網に電力を搬送する役割を担っている。また、発電各社による電源開発の進捗に合わせた送電設備の整備事業を行ってきた。

1. 事業の概要



事業位置図



電力制御システム 表示スクリーン

1.1 事業の背景

経済成長の加速と貧困の削減に取り組んでいたパキスタンでは、経済成長に伴い急増する電力需要⁴に対し、電力セクター改革を進めつつ、民間発電事業者（Independent Power Producer、以下、「IPP」という。）を中心とする大規模火力発電と発電単価の安い水力発電を効率的に組み合わせることを課題としていた。また、同国では火力発電の多くは主として中・南部、水力発電の多くは北部に位置していることから、500 キロボルト（kV）と 220kVを中心とした超高压送電システムによる効率的かつ安定的な系統運用が必要であった。全国の超高压送電システムと発電設備の管理・運用は、NTDCが実施しており、NTDCの中央給電指令所⁵（National Power Control Center、以下、「NPCC」という。）がその中心機能を担っている。1990年に運用を開始したNPCCは遠隔監視機能を持つ給電システムを一応備えていたものの、技術革新と電力システムの急速な拡大、IPPの参入により、機能的にも容量的にも安定的かつ円滑な系統運用の実施が困難となっていた。係る状況を受けて、本事業ではパキスタンの電力系統運用の効率化と安定化を目的として、NPCCの中央処理システムの取り換え、発電所・変電所の末端装置（Remote Terminal Unit、以下、「RTU」という。）の新設、通信システム等の整備を実施することとなった。

1.2 事業概要

パキスタンにおいて、NPCCの給電システム及び関連設備の近代化・拡充を行うことにより、NTDCの電力系統運用の効率化と安定化を図り、もって同国の経済・社会の発展に寄与する。

⁴ 1998年～2003年度の電力需要は年平均4%以上の伸びとなった（出所：JICA提供資料）。

⁵ 各発電所から届くデータをもとに、電力系統全体を把握し、主に需給調整業務や接点業務を行う指令所で、NTDCの一部署である。

円借款承諾額/実行額	3,839 百万円 / 3,123 百万円
交換公文締結/借款契約調印	2005 年 8 月 / 2005 年 8 月
借款契約条件	金利 1.3% 返済 30 年 (うち据置 10 年) 調達条件 一般アンタイド
借入人/実施機関	パキスタン・イスラム共和国大統領 / 国営送電会社
貸付完了	2013 年 2 月
本体契約	・ Alstom Grid Sas (フランス) / 株式会社 ビスキャス (日本) / Areva T&D (パキスタン) (JV)
コンサルタント契約	—
関連調査 (フィージビリティ・スタディ: F/S) 等	・ F/S (実施者: WAPDA、実施年: 1994 年) ・ F/S の見直し (実施者: NTDC、実施年 2002 年)
関連事業	(技術協力) ・ 送変電維持管理研修能力強化支援プロジェクト (2011 年～2014 年) (円借款) ・ ダドゥ～クズダール送電網事業 (2006 年 12 月) ・ パンジャブ州送電網拡充事業 (I) (2008 年 5 月) ・ 全国基幹送電網拡充事業 (2010 年 3 月) (世界銀行) ・ 電力セクター改革プログラム (2014 年～2016 年)

2. 調査の概要

2.1 外部評価者

高橋 久恵 (オクタヴィアジャパン株式会社)

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: 2015 年 9 月～2017 年 1 月

現地調査: 2016 年 1 月 10 日～1 月 22 日、7 月 17 日～7 月 22 日

2.3 評価の制約

本事業で調達された機材に対しては、実施機関により引渡証明書 (Taking Over Certificate、以下、「TOC」という。) が 2014 年 9 月に発行済である。また、後述のとおり、アウトプットはおおむね計画どおり産出されており、事業効果も発現している。一方、本事業は次の理由により、事後評価時実施時において、引き続き未完了である。1) 設置された一部 (3 カ所) の RTU が電力制御システム (Supervisory Control And Data Acquisition、以下、「SCADA」という。) に接続されておらず稼働していない。通信シス

テムの一部に技術面での障害が生じ、正確に稼働していない。2) 上記も含めたパンチリスト（問題が生じている機材、通信システムに関して、その要因や解決策をコントラクターが確認・対応するためのリスト）への対応をコントラクターが実施中である。そのため、対応後に実施されるべき信頼性テストの実施及び瑕疵担保期間が終了していない。3) 審査資料において「瑕疵担保期間の終了」を完成月と定義している。上記を踏まえ、通常は事業完成後の中長期的な効果として把握されるインパクトについても、定義上は本事業は未完成であるものの、一定の効果発現が見られることから、効果発現状況の経年変化や見通しを分析し、判断に加味することとした。

3. 評価結果（レーティング：B⁶）

3.1 妥当性（レーティング：③⁷）

3.1.1 開発政策との整合性

本事業の審査時におけるパキスタンの開発計画「10 年開発計画」（2001 年～2010 年）は電力セクター開発戦略を示し、同戦略は送配電網の整備・増強、システムロスの削減等を重視するとした。併せて具体的な新規設備投資計画として、追加的な設備容量拡大、送配電ロス率の低下を目標とした送配電設備整備を進めるとした⁸。

事後評価時の中長期開発計画「Vision 2025」（2014 年）において、同国は 2025 年までに上位中所得国となることを宣言し、成長と開発を支える 7 本の主要開発分野を掲げている。その主要分野には「エネルギー・水・食糧等の安定的確保」が含まれ、安定的かつ信頼できる電力の供給、電力へのアクセス増加、配電ロスの低下を通じた電力単価の引き下げ、エネルギー自給率の増加、効率化による電力需要管理等の目標が示された。さらに 2013 年に策定された「National Power Policy」では、2017 年までに電力の需給ギャップの改善、発電単価の引き下げ、送配電ロス率の低下、等を目指すことが掲げられている。

上記のとおり、審査時から事後評価時に至るまで、同国の開発政策・計画は送配電網の整備や増強、送配電ロス率の低下といったエネルギーの安定供給の確保と向上を重視してきた。本事業は同国の電力系統運用の効率化・安定化を図ることを目的としたものであり、審査時、事後評価時ともに同国の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

審査時、同国では経済成長に伴い急増する電力需要に対応するため、大規模火力発電と単価の安い水力発電を効率的に組み合わせることを課題としていた。しかし、火力発電は主に中・南部、水力発電は北部に位置しており、超高電圧送電システムによる効率的かつ安定的な系統運用が必要であった。また、超高電圧送電システムと発電設

⁶ A：「非常に高い」、B：「高い」、C：「一部課題がある」、D：「低い」

⁷ ③：「高い」、②：「中程度」、①：「低い」

⁸ 出所：JICA 提供資料

備の中心的機能を担うNPCCでは、システムの老朽化による通信障害、機器障害が頻発する等の問題を抱え、安定的かつ円滑な系統運用の実施が困難になっていたことから、関連設備の抜本的な近代化と拡充が急務とされていた⁹。

同国の発電設備容量、電力需要はともに審査時以降も増加を続けているが、事後評価時の最大需要/発電設備容量は97%であり、需要量に対応した設備容量の増加が必要となっている(表1参照)。また、事後評価時においても引き続き同国の中南部・北部間で電力が融通されており、同国の安定的な電力供給には十分な電力の容量に加え、システム障害発生時の迅速な対応を可能とする系統運用が重要とされている。したがって、本事業で実施する送電系統の遠隔監視機能を持つ給電システムの拡充、RTUの設置、さらに通信システムの整備へのニーズが確認できる。

表1 パキスタンの電力の最大需要と発電設備容量

	2004年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
最大需要 (MW)	11,078	18,860	18,940	18,827	21,017	22,083
発電設備容量 (MW)	15,819	20,986	20,499	20,850	22,753	22,745
最大需要/発電設備容量 (%)	70	90	92	90	92	97

出所：NPCC 提供資料

3.1.3 日本の援助政策との整合性

外務省の「対パキスタン国別援助計画」(2005年2月)では、重点分野の一つに「健全な市場経済の発達」、そのもとに「市場経済の活性化と貧困削減を支援する経済インフラの拡充と整備」の重要性が示された。JICAの「対パキスタン国別業務実施方針」(2005年3月)では、質量両面で信頼性の高い電力供給は経済発展に資するとし、電力セクターを積極的に支援するとした。また、公的部門の果たす役割が大きい電力分野における送電系統の整備を優先支援分野としていた。JICAの「海外経済協力業務実施方針」(2005年4月)においても、健全な市場経済の発達を対パキスタン支援における重点分野に指定していた。さらに、本事業は、同国の電力系統運用の効率化と安定化、ひいては同国の経済・社会の発展に資することを目指し実施されたものであり、日本の対パキスタンの重点支援分野に合致する。

3.1.4 事業計画やアプローチ等の適切さ

本事業では、NTDCの一部署であるNPCCがほぼ単独で事業実施ユニット(Project Implementing Unit、以下、「PIU」という。)の役割を担った。本事業で調達された機材は、SCADAを含む中央処理システム、RTU、通信システム、電話回線網等多岐にわたる。一方、NPCCが運営・維持管理(Operation and Maintenance、以下、「O&M」という。)を担当する機材は中央処理システムのみで、RTUや通信システム及び電話回線網のO&Mを担当しているのはNTDCの通信部門である。NPCCの職員はRTU

⁹ 出所：JICA 提供資料

や通信システムの技術的な知識・経験を有してないため、機材の調達や設置に際してもあらかじめ NTDC の通信部門との連携が必須であったが、本事業では機材が設置される段階においても通信部門の関与が限定的な体制で事業が進められた。この実施体制が「3.2.2.2 事業期間」で後述の通り、本事業のスムーズな実施に影響を及ぼし、事業遅延の要因の一つとなったといえる。

以上より、本事業では、計画段階に各機材の所管部門の責任・役割分担が十分に考慮されなかった点において、事業のスムーズな実施体制に課題が残ったものの、本事業の実施はパキスタンの開発政策、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

本事業のアウトプットの計画及び実績を表 2 に示す。実績はおおむね計画どおりであったが、設置された RTU 数が審査時の計画より大幅に増加した。主要なアウトプットの変更内容とその要因は以下に示すとおり。

表 2 主なアウトプットの計画及び実績

項目	計画	実績
中央処理システム設置	<ul style="list-style-type: none"> 電力制御システム ハードウェア（サーバー、ワークステーション、LAN 等を含む） データ処理システム 	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり 計画どおり サブ機能 Limited Market Operation は除外
RTU 設置	計 9 カ所 (発電所 1 カ所、変電所 8 カ所)	計 49 カ所 (発電所 16 カ所、変電所 33 カ所)
通信システム整備	<ul style="list-style-type: none"> 端末局 10 カ所 中継局 35 カ所 (NPCC のデータ処理システムと RTU を繋ぐ通信網の交換)	計画どおり
電話回線網	NTDC の旧回線の交換	計画どおり
地方管理センター整備	<ul style="list-style-type: none"> NPCC との電話回線接続 制御盤の塗装 	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり (機能に影響しないとの判断から) 制御盤の塗装は除外
その他	<ul style="list-style-type: none"> NPCC 職員の宿舍 53 室 車両 4 台 	計画どおり
コンサルティング・サービス	入札書類作成、入札補助、施工監理、事業進捗状況の報告 (NTDC の自己資金で実施)	サービス内容は計画どおり ¹⁰

出所：JICA 提供資料、NPCC 提供資料

¹⁰ 当初選定されたコンサルタント会社との契約は計画どおり 2008 年 4 月に終了した。事業期間の延長に伴い、引き続きコンサルティング・サービスが求められたが、入札準備段階におけるパフォーマンスが十分でなく改善が見込まれなかったため、同契約は更新せず、別のコンサルタント会社に引き継がれた。

主要なアウトプット変更内容とその要因：

【中央処理システム】

変更内容：サブ機能Limited Market Operationの除外¹¹

変更理由：同機能は市場での電力売買時の価格設定に係るサブ機能であったが、その機能を管轄する中央電力購入庁（Central Power Purchasing Agency、以下、「CPPA」という。）の事業として別途実施することが NTDC の方針として定められた。本来その機能を担う組織に移行するという決定に沿うものであり、妥当な変更であったといえる。

【RTU の新設（設置）】

変更内容：RTUの設置数が9カ所から49カ所へ増加¹²

変更理由：審査時の計画では、9カ所の発電/変電所に新しいRTUを設置し、残りの発電所/変電所においては既存のRTUを継続して活用する予定であった。しかし、コンサルタントが資機材設置のための詳細調査をした際（2008年）に、既存のRTUと新しいRTU間には互換性がなく、また既存のRTUには今後増加が見込まれるデータに対して適切な予備容量（spare capacity）を確保することが出来ないことが判明した。RTU間に互換性がない場合、各施設のデータが正しく中央処理システムに送信されない問題が生じ、さらに予備容量が十分でない場合、今後増加が見込まれるデータを収集・送信できず、瞬時の各施設・電力系統の現状の把握に支障をきたす可能性が高いとの判断から、既存のRTUの仕様を変更する必要性が指摘された。その際、RTUの仕様変更（増強）に係る費用は、新設費用よりも高額であったため、効率性を考慮して新設数を増加させることとなった。これは、実施機関であるNTDCが、コンサルタント、JICA専門家の意見を踏まえ、RTUの機能、互換性や効率性を再検討したうえ、NTDCからの要請を受け、JICAが正式に承認したアウトプットの変更であり、事業効果発現の観点から、妥当な変更であったといえる。

¹¹ 出所：JICA 提供資料

¹² 出所：JICA 提供資料



設置された RTU
(ラワット変電所)



設置された通信システム
(イスラマバード大学構内変電所)

3.2.2 インプット

3.2.2.1 事業費

総事業費は 5,720 百万円（うち円借款部分は 3,839 百万円）と計画されたが、実績は 5,343 百万円（うち円借款部分は 3,513 百万円）となり、計画内に収まった（計画比 93%）。RTU設置数は大幅に増加したものの、為替の変動¹³、調達した資機材に対する税金の支払い免除、物的予備費が不要となったことが計画内に収まった理由として挙げられる¹⁴。

3.2.2.2 事業期間

審査時に計画された本事業の事業期間は 2005 年 8 月～2009 年 1 月の計 42 カ月であったが、実績は 2005 年 8 月～2016 年 1 月の計 126 カ月¹⁵となり、計画を大幅に上回った（計画比 300%）。RTUのアウトプット実績が計画を大幅に上回った点（計画比 544%）を考慮する必要があるが、RTUを除く主要なアウトプットに大幅な変更がないのに対し、RTUを除く各アウトプットの事業期間の対計画比はアウトプットの対計画比を大幅に超えている（表 3 参照）。RTU設置の段階に至るまでの「コンサルタント選定」「入札・契約」期間も、計画期間を上回っていた。本事業の主な遅延理由は、以下に記載のとおりである。うち、「災害・治安等」に関しては、予測不可能かつ避けることのできない外部要因であったといえる。さらに、インフレや為替の変動により予定価格が計画を上回ったことや事業スコー

¹³ 為替レートは、審査時には 1 パキスタンルピー（Rs.）＝1.75 円、貸付実行期間の平均では Rs.1＝1.35 円となった。また、本事業では貸付期間終了後にも資機材の調達・据付作業が実施されており、実施機関によれば、資機材の調達開始（2010 年 3 月）から据付完了（2014 年 9 月）までの平均レートは Rs.1＝0.94 円となった。

¹⁴ NPCC からの質問票回答より。

¹⁵ 事業期間は L/A 調印日（事業開始）から瑕疵担保期間終了日（事業完成）までと定義されていた。ただし、「2.3 評価の制約」に記載のとおり、本事業は事後評価時において未完了と判断されたため、事後評価の実施にあたり、事業完成時を「事後評価第 1 次現地調査実施月」とした。

プの変更などの外部要因も影響した。一方で、「災害・治安」以外の以下の各要因に関しては、計画時の調査等において事業実施遅延を起こしうるリスクをより慎重に見極め、対応策を講じることも可能であったと考えられる。

表3 アウトプット及び事業期間の対計画比

	アウトプット 対計画比	事業期間 対計画比
中央処理システム	100%	333%
RTU	544%	333%
通信システム	100%	425%
電話回線網	100%	255%
計画比の平均	211%	337%

出所：JICA 提供資料及び NPCC 提供資料より作成。

注：事業期間は L/A 調印日から瑕疵担保期間終了日までと定義されている。表3はアウトプットごとの事業期間の対計画比を個別に計算し、その平均を示したものの。

本事業の主な遅延理由：

【入札に係る遅延】

1 年未満と計画されていた入札期間は 4 年以上を要した。これは、PIU である NPCC 並びにコンサルタントともに円借款事業の調達手続きに不慣れであったこと、実施機関による書類の確認にも一定の時間を要したことから、入札書類の作成開始から記載事項の確定に至るまでに想定以上の時間が必要とされたためである。

【災害・治安等の外部要因】

本事業実施中に同国では大規模な洪水が 2 回発生した。2010 年 7 月の洪水ではカイバル・パクトゥンクワ州、パンジャブ州、シンド州全体が被害を受け、主要な道路が寸断、本事業の作業も一時的に中断を余儀なくされた。さらに、2011 年 8 月に発生した洪水では同国の南部地域全体が影響を受けた。これらの被害を受け、本事業は約 6 カ月間作業が遅延したと考えられる¹⁶。また、ペシャワール地域におけるテロリスト活動の活発化により治安が悪化し、同国の内務省から本事業活動の許可が下りず、作業が遅延が生じた。さらに、パキスタン国内の治安悪化の影響により、特に 2013 年 4 月以降はコントラクターの外国人技術専門家の渡航に制限が課された点も本事業の進捗に影響を与える要因となった。

【デザイン（事業期間の設定）】

本事業では、事業サイトが全国に点在し、かつ既存の施設・機材を活用しつつ新たな機材を導入・設置する設計が計画されていた。このような状況を考慮した場合、1 年 5 カ月と計画されていた機材の調達・据付期間には本来 3 年程度の期間が必要

¹⁶ NPCC への聞き取り調査より。

であったとの意見が挙げられた¹⁷。審査時に双方合意のもと技術的妥当性を踏まえて設定された事業期間について、評価者が事後評価時点においてその適切性の検証を厳密に行うことは困難だが、パキスタン側関係者（実施機関、コンサルタント）は事業期間の設定が楽観的過ぎた点を指摘している。審査前の計画段階より、技術面や事業の特徴を考慮した現実的な事業期間が設定されているのかについて、実施機関との間でより慎重な確認を行うことが必要であった可能性も考えられる。

【実施体制】

「3.1.4 事業計画やアプローチ等の適切さ」に記載のとおり、本事業では NTDC の一部門である NPCC が PIU としての役割を担ってきた。しかし、調達された機材の大部分は NPCC ではなく NTDC の通信部門がその O&M を担当すべき機材であった。NPCC 職員は通信システムに関する十分な専門知識を有していなかったこと、一方で事業開始当初、NTDC の通信部門の関与は限定的であったため、機材設置時の連携や調整にも時間を要したことがスムーズな事業の進捗に影響した。給電システムは NPCC 単独で運用を担うことができる機材ではないため、関係部署、特に NTDC の通信部門が、本事業開始当初から、より深く関与することが不可欠であったといえる。

【既存施設での作業開始の遅延】

本事業では、既存の施設にて各機材の据付を行った。その際、古くからある施設では、機材の設置に不可欠とされる各施設所内の製図の入手が困難であったため、コンサルタント・コントラクターが現況を把握するために計画を上回る時間を要し、機材の適切な搬入・設置に遅れが生じた。

【信頼性テスト実施前の TOC の発行】

本事業では、実質的に事業が完了したとして、2014 年 9 月には調達された機材に対する TOC がコンサルタントより発行済みである。TOC を発行するタイミングは契約ごとに異なるが、通常は信頼性テストや瑕疵担保期間が経過した後に発行され、その後にコントラクターに対して契約金額の残額が支払われる。NPCC 及びコンサルタントによると、本事業の場合、契約に基づき、パンチリストへの対応や信頼性テスト実施以前に TOC が発行されており、支払い後にコントラクターのパフォーマンスが悪化したことが、事業の遅延要因の一つと指摘されている。

以上より、本事業は事業費については計画内に収まったものの、事業期間が計画を大幅に上回ったため、効率性は中程度である。

¹⁷ NPCC、受注コンサルタントへの聞き取り調査より。

3.3 有効性¹⁸（レーティング：③）

3.3.1 定量的効果（運用・効果指標）

(1) 運用指標：給電システムの通信障害回数、送電線事故復旧時間

審査時に設定されていた運用指標の基準値、目標値、実績値を表 4 にまとめた。本事業実施前、平均約 450 回/日生じていた給電システムの通信障害回数は、事後評価時には平均 18 回/日まで減少した。本事業実施前は、給電システムの老朽化及び容量不足に伴う通信障害、機器障害が頻発する事態となっていた。新たに中央処理システム及び末端装置、通信システム等を整備したことでシステムの機能が改善し、通信障害回数は目標値は満たさなかったものの大幅に減少した。

送電線事故平均復旧時間の実績は 550kV 系、220kV 系の送電線ともに平均 10 分/回へと短縮され、目標値の平均 45 分/回未満（500kV 送電線）及び平均 34 分/回未満（220kV 送電線）を達成している。

事業実施前には、各施設（発電所/変電所）から電話で事故状況（故障箇所等）の情報を入手していたため、正確な状況の把握やその状況に基づいた復旧方針の策定にも時間を要していた。本事業の実施により RTU が設置されたことで、NPCC の表示スクリーンで停止範囲や停電電力、故障部位といった事故様相を瞬時に把握することが可能となり、その結果、復旧に向けた方針の検討や操作にかかる時間が短縮され、事故復旧も迅速に対応可能になったといえる。

表 4 給電システムの通信障害回数、送電線事故平均復旧時間

	基準値	目標値	実績値	実績値
	2004 年	2010 年	2014 年	2015 年
	審査年	事業完成 1 年後	資機材の据 付完了年 ^注	資機材の据付 完了 1 年後 ^注
給電システムの通信障害回数 (回/日平均)	約 450	10	20	18
500kV 送電線事故平均復旧時間 (分/回)	45	45 未満	10	10
220kV 送電線事故平均復旧時間 (分/回)	34	34 未満	10	10

出所：JICA 提供資料、NPCC 提供資料

注：運用・効果指標の実績値は事業完成年とそれ以降の変化を記載することとなっている。しかし、資機材の据付は完了しているものの、事後評価時において本事業は未完了とされている。したがって、本事後評価では全ての機材の据付が完了した年（2014 年）とその 1 年後の実績値を用いて、効果を確認した。

¹⁸ 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。

(2) 効果指標：送電ロス率¹⁹

事業実施前には 7.6%であった送電ロス率は、事後評価時には 3.8%となり、目標値（7.6%未満）を達成した（表 5 参照）。新たな給電システムの整備により、電力系統をリアルタイムで監視し、電圧を適切に維持することが可能となり、結果として送電ロス率の改善に貢献したといえる。

表 5 送電ロス率

(単位：%)

	基準値	目標値	実績値	実績値
	2004 年	2010 年	2014 年	2015 年
	審査年	事業完成 1 年後	資機材の据付完了年	資機材の据付完了 1 年後
送電ロス率	7.6	7.6 未満	5.0	3.8

出所：JICA 提供資料、実施機関提供資料等

3.3.2 定性的効果（その他の効果）

(1) 電力系統の信頼性の向上

本事業により新たなシステムを設置したことにより、上記のとおり事故発生時の平均復旧時間が減少しており、電力系統の信頼性が改善した。本事業実施前に NPCC が使用していた 1985 年製の給電システムは、パキスタン国内の送電系統の遠隔監視機能を持つ給電システムを備えてはいたものの、電力系統の拡大に伴う容量不足及びシステムの老朽化により、通信障害や機器障害が頻発し、常時電力系統を監視できていない状況にあった。本事業で設置した新たなシステムでは、各施設から瞬時に送られてくる負荷（潮流、電圧等）情報を NPCC の表示スクリーンで常時モニタリングすることができる。そのため、NPCC の通信指令担当は瞬時に各系統の現状を把握し、迅速かつタイムリーな電力系統の運用や潮流制御を行うこと、また事故発生時の迅速な対応を行うことが可能となり、電力系統の信頼性が向上したといえる（表 6 参照）。

¹⁹ 送電ロス（損失）は、電力供給元から変電所や各消費者まで電力を送配電する際に失われる電力量を示す。発電量＝消費量＋送電ロス、と表すことができる。送電ロスは送電電圧が高くなるほど低くなる。また、需要の増加に伴い電圧は下がるため、系統内の電圧を適切に維持することが送電ロスの低下に必要とされる。

表 6 送電線事故時対応フロー（事業実施前後の比較）

タイミング	事業実施前	事後評価時
事故発生時	送電線事故の発生 ↓	送電線事故の発生 ↓
状況把握	各施設に電話をかけ、事後状況を把握 ↓	表示スクリーンに表示される正確な情報でリアルタイムに事故状況を把握 ↓
復旧方針策定・復旧	電話で確認をした情報（一部不確実な情報が含まれる）をベースに復旧方針を策定、復旧	システムが把握した正確な情報をベースに復旧方針を策定し、復旧
所要時間	復旧までに平均約 45分（500kV送電線） 34分（220kV送電線）	復旧までに平均約 10分
信頼性	人間系の介在した情報をベースにするため、一部に不確実な情報が含まれ、復旧作業の安全性・確実性が劣る。	システムが把握した正確な情報をベースにするため、復旧作業も安全かつ確実。

出所：JICA 提供資料及び NPCC への聞き取り調査より作成。

上記のとおり、計画された効果はほぼ達成されたが、本事業実施中または実施後に新たな発電所や変電所が設置されている²⁰。今後、より安定的な系統運用を行うためには、全ての発電所・変電所等がSCADAシステムに接続される必要がある。事後評価時点において、NTDCでは接続されていない発電所・変電所等のSCADAシステムへの接続に向けた新たな支援をアジア開発銀行に申請している。これらが本事業で設置したSCADAシステムに接続されることで、将来的にはさらに本事業の効果が高まることが期待できる²¹。

3.4 インパクト

3.4.1 インパクトの発現状況

本事業では、パキスタンにおける電力系統運用の効率化と安定化を図ることで経済・社会の発展に寄与することがインパクトとして期待されていた。しかし、「2.3 評価の制約」に記載のとおり、信頼性テスト、瑕疵担保期間の終了を経て、事業の完成と見なされるため、事後評価時に本事業のインパクトを分析するには時期尚早と考えられる²²。一方で、今次想定された運用・効果指標は一部を除き目標値に達していることから、一定程度のインパクトが発現していることも想定される。そこで、実施機関やコンサルタント等への聞き取り調査を通じ、以下のとおりインパクトの発現状況、変化、見通しを確認した。

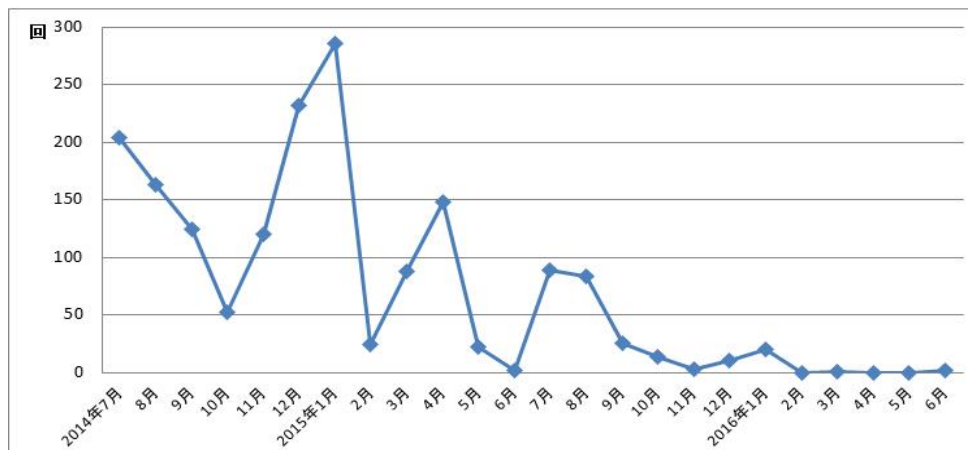
²⁰ 事後評価時に確認できた施設数は IPP の施設が 17 カ所、水力発電所 4 カ所、火力発電所 2 カ所の計 23 カ所である。

²¹ NPCC への聞き取り調査より。

²² NPCC 及び NTDC の通信部門での聞き取り調査より。

(1) 正確な情報の把握による電力系統の透明性の向上と安定運用

図1は、周波数の変動が規定範囲を超えた回数の推移を示したものである。本事業では2014年9月に各施設へのRTUの設置が完了している。その後、RTUとSCADAの接続に一定期間を要したが、接続が大幅に進捗した2016年にはその回数がほぼ0回にまで低下した。周波数は発電と負荷（需要）のバランスで定まる。周波数が大幅に変動した場合には発電用タービンや機材の一部が運転を続けることが出来なくなり、発電機が停止し大停電につながる可能性が生じる²³。NPCCにSCADA、発電/変電所にRTUが設置されたことで、事業実施前は各施設から電話を通じて入手していた各施設からの発電量・全体の発電量と負荷需要のバランスを瞬時に把握・分析し、周波数をコントロールすることが可能となっている²⁴。



出所：NPCC 提供資料

図1 周波数の変動が規定範囲を超えた回数の推移

なお、NPCCの所長によれば、正確な情報を入手し、その情報が瞬時に表示されることで、電力系統の現状把握、的確な需給の調整、そのための判断が可能になったことから、本事業の実施が電力系統の透明性（適時の情報に基づく電力系統の的確な運用）を確保したといえることができる。

(2) コストの節約

事後評価時においてNPCCは70カ所の発電所を管轄しているが、発電に係るコストは発電所ごとに異なる²⁵。給電システム及び関連設備を拡充したことにより、電力需要に併せ、より発電が必要となる場合には発電単価が安い発電所から順番に稼

²³ 実際に周波数の大幅な変動を300回近く記録した2015年の1月には（図1参照）、パキスタン全土で大規模停電が発生した。

²⁴ NPCCでの聞き取り調査より。

²⁵ 1キロワット（kWh）の発電に必要なコスト（燃料代及び運営維持管理費）は最も安価な発電所でRs.0.79、最も高額な発電所ではRs.31.8と大きく異なる。

働を開始し、発電量を減らすことが可能な場合にはより発電単価が高い発電所から稼働を止めるという判断を瞬時にかつ効率的に行っている。その結果、効率的なシステムの稼働が可能になり、発電やシステムの稼働に係るコスト削減につながった。例えば新たな給電システムを設置後、燃料費につき、NTDCは2013年にはRs.930,634百万を業者に支払っていたが、2014年にはRs.728,953百万と2割強のコスト削減²⁶となったという²⁷。

3.4.2 その他、正負のインパクト

(1) 自然環境へのインパクト

本事業の実施に伴う工事は、全て実施機関所有の敷地内での機材調達、据付であり、自然環境への負のインパクトは生じていない点を実施機関への聞き取り調査を通じて確認した。

(2) 住民移転・用地取得

本事業は既存施設敷地内での機材の調達・据付を行ったものであり、新規の用地取得及び住民移転は発生しなかった。

以上より、給電システムの通信障害回数、送電線事故発生時の平均復旧時間、送電ロス率はいずれでも減少し、給電システムの安定性・信頼性の向上が確認され、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。

3.5 持続性（レーティング：②）

3.5.1 運営・維持管理の体制

「2.3 評価の制約」に記載のとおり、事後評価時点において信頼性テストを終えておらず、コントラクターが引き続き維持管理を担当しており、NTDCのNPCC及び通信部門が機材のO&Mを本格的に開始するのは信頼性テストの実施後となる。主に中央処理システムのO&Mを担当するNPCCの職員数は385名、うち124名が技術者である。NPCCの所長によれば、職員数は十分確保できている。一方、RTUや通信システム、電話回線網のO&Mを担当するNTDCの通信部門の職員数は120名、うち64名が技術者である。同部門のチーフエンジニアによれば、技術者の人数が不足しているが、新たに30名の技術者の採用プロセスがほぼ完了しており、技術者不足は解消する見込みである。

なお、NPCCの主な役割は各施設から送られたデータを把握し、需給調整や系統連系の指令を出すことであり、通信システムに関する技術面での専門性は有していない。したがって、給電システムの運用には、両者の関与が不可欠である。また、機

²⁶ 出所：NPCCからの質問票回答

²⁷ 本事業で全ての機材の設置が完了したのは2014年である。

材の一部は変電所内に設置されており、変電所運営部門（Grid Station Operation: GSO）の協力も必要となる。しかし、NTDC では全体を管理する立場にある責任者が一時的（約 10 か月）に不在であったことも、事業完了に向けた作業に関して、NTDC 内の部門間の調整や連携が十分図られないという問題につながった。2015 年に本事業の事業完成に向けた管理・監督を担当する NTDC の取締役役員（技術者）が配属されたことで、今後の対応等につき定期的な会議が設定されるようになったことから、今後連携体制の改善が期待できる。

3.5.2 運営・維持管理の技術

審査時には、本事業の実施中に請負業者から NTDC 職員に対し O&M に係る適切な技術移転が図られることから、技術面における能力に問題はないとされていた²⁸。実際に研修は 2011 年に実施されたものの、研修を受けた職員の多くは異動または転職をしていることが NTDC の NPCC 及び通信部門への聞き取り調査で確認された。よって、研修で移転された維持管理に係る技術面での知識・経験が十分活用されておらず、適切な O&M が行われるためには、信頼性テスト実施後にリフレッシュ研修が必要という状況にある。NTDC の通信部門のチーフエンジニアによれば、通信部門の職員は調達された機材の基本的な運用や維持・管理を行うことはできるものの、適切な修理・修繕等に対応する能力を有していない。今後、十分な維持・管理を担当していくためには、電子機器に関する技術的な知識・経験に関する研修の実施や電子工学のバックグラウンドを有する技術者が NTDC の通信部門に必要となる²⁹。一方で、事後評価時において資機材の運営・維持管理を担っているコントラクターにより NPCC 及び通信部門に対する OJT が継続されている。さらに、アジア開発銀行による維持管理能力に係る技術支援も検討されている等、O&M に係る技術的なキャパシティの向上への期待が見込まれている。

各機材には調達時に O&M のためのマニュアルが配布されたものの、NTDC 職員によれば、O&M 実施時に必要となる現況図面（as built drawing）は事後評価時もコンサルタントが保有しており、NTDC の NPCC や通信部門に共有されておらず、早急な受け渡しをコンサルタントにリクエストしている。

3.5.3 運営・維持管理の財務

NTDC の純利益は過去数年にわたり黒字であり、売り上げも年々増加している。審査時には、配電子会社からの売電料金滞納が影響し、NTDC の売上、営業利益ともに低い水準となっていた。しかし、事後評価時においては、配電子会社が消費者

²⁸ 出所：JICA 提供資料

²⁹ 本事業の事業完成に向けた管理・監督を担当する NTDC の取締役役員（技術者）によれば、適切な O&M に向けて、NPCC の職員はシステム障害を回復するためのコンピュータシステムに関する技術、NTDC の通信部門の職員は電力線搬送通信（Power Line Communication :PLC）の装備品のメンテナンス・修理に係る技術的な能力を向上させる必要がある。

から徴収した電力料金は信託口座に入金され、そこから CPPA を介して送電料金相当分が NTDC に支払われている。また、その料金体系は電力規制庁によって燃料代等を考慮にいたった適正な水準に設定されているため、NTDC は安定的な収入が確保できる形となっている。したがって、NTDC が財務上、運転や維持管理に悪影響を及ぼす事態に陥る可能性は低いと考えられる。

表 7 NTDC の収支状況

(単位：Rs.百万)

項目	2012 年	2013 年	2014 年
売上	868,459	894,923	1,016,965
電力購入費	850,442	878,088	997,128
小計	18,017	16,835	19,837
運営費 ^{注 1}	18,543	14,771	12,683
営業利益	-526	2,064	7,154
その他の収入	3,588	96,860 ^{注 2}	1,609
金融費用	2,769	749	1,365
税引き前利益	293	98,175	7,398
税	90	38,751	57
当期純利益	203	59,424	7,341

出所：NTDC 財務部提供資料

注 1：2013 年、2014 年の運営費が減少しているが、2013 年には 2012 年に見積もられた貸倒引当金の一部を 2013 年に戻入れたため、また、2014 年には送電ロスが減少したため、それぞれ運営費が前年に比べ減少した。

注 2：2013 年に累積された貸倒引当金が戻入れされたことにより、「その他の収入」が 2012 年、2014 年と比較し高額となっている。

事後評価時点において、本事業で整備した機材の維持管理はコントラクターが実施しており、NTDC の予算ではカバーしていない。信頼性テストを終えた後に NTDC が運営/維持管理の予算を確保することとなるが、NTDC によれば必要と見積もられている通信部門管轄の対象機材の運営/維持管理費用は年間約 Rs.51.4 百万であり、NTDC の通常予算で確保可能な金額とされる。また、NPCC 管轄の機材についても必要な運営/維持管理費用は確保できるとしつつも、正確な金額については把握されていなかった。そのため、NTDC は信頼性テストを終えるまでに NPCC の維持管理に必要な維持管理費も含めた正確な金額を見積もっておくことが望ましいといえる。

上記のとおり、必要とされる O&M 費は実施機関で対応可能と考えられることから、財務面における持続性に懸念となる事項はない。

3.5.4 運営・維持管理の状況

既述のとおり、事後評価時点には、コントラクターがパンチリストに対応中の段階であり、O&Mはコントラクターによって実施されている。パンチリストの各項目への対応が終了し、信頼性テストが実施され（6カ月間）、その後1年間の瑕疵担保

期間を経て事業完成³⁰とみなされ、O&MがNTDCにより行われることとなる。

事後評価時の主要な各機材の稼働状況は以下のとおり。また、NTDCのNPCC所長及び通信部門チーフエンジニアによれば、調達された主な機材の約8割～9割が稼働している。

表8 機材の稼働状況

機材名	稼働状況
中央処理システム	良好
RTU	49カ所に設置されたRTUのうち、3カ所が接続状況に問題が生じており、システムに未接続。信頼性テストの実施に向けて、コントラクターが問題を確認中。
通信システム	通信障害が生じており、事後評価時の稼働率は約88%。コントラクターが要因を確認中。
電話回線網	構内自動交換機（Private Automatic Branch Exchange: PABX）の環境設定（コンフィギュレーション）に問題が生じており、コンサルタントが要因を確認中。事後評価時の稼働率は約60%に留まっている。
地方管理センター整備	地方管理センターとNPCC間を接続した電話回線の稼働率は93%。

出所：NPCC及び通信部門への聞き取り調査より。

信頼性テストは当初2014年7月に実施が予定されていた。しかし、設置された機材の接続や通信システムの不具合、その確認を行うコントラクターの外国人技術専門家の渡航制限、またNTDCとコンサルタント間で契約書の内容理解の相違、その相違による機材設置後の作業の役割分担の不明確化、さらにNTDC内の抱える連携不足等様々な要因が影響し、事後評価時点においても信頼性テストの実施に至っていない。事後評価の第1次現地調査以降、第2次現地調査が実施されるまでの間にも残りの作業計画をあらためて見直したスケジュールが計画され、その計画に沿った作業が開始される等一定程度の進捗は確認されている。今後、信頼性テストの実施に向けて機材が全稼働する状態となるよう、早急な対応が望まれる。

以上より、本事業の運営・維持管理は体制、技術面に一部問題があり、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

³⁰ 実施機関によれば、事業完成は2017年3月となる見込みである。

4. 結論及び提言・教訓

4.1 結論

本事業は、パキスタンにおいて給電システム及び関連施設の近代化・拡充を行い、電力システムの運用の効率化・安定化を図ることを目的として実施された。事業の目的は、審査時及び事後評価時において経済成長に資する電力セクター改革を重視するパキスタンの開発政策、効率的・安定的な電力システムの整備に向けた同国の開発ニーズに合致し、また、審査時の日本の援助施策とも合致しており、妥当性は高い。本事業の事業費は計画内に収まったものの、入札・契約に係る遅延や既存の施設・機材を継続利用しながら新たな機材を導入設置するという本事業の特徴、実施体制の抱える課題や治安悪化・自然災害等の諸要因が影響し、事業期間は計画を大幅に上回ったため、効率性は中程度である。本事業の実施を通じて、給電システムの通信障害や送電線の事故平均復旧時間やロス率が減少し、電力システムの信頼性・安定性が改善した。さらに、効率的な電力システムの運用によるコストの削減や電力システムの透明性の向上といったインパクトも確認されたため、有効性・インパクトは高い。一方、維持管理機関となる NTDC に体制面、技術面、運営維持管理状況の一部に課題が残っており、本事業によって発現した効果の持続性は中程度である。

以上より、本事業の評価は高いといえる。

4.2 提言

4.2.1 実施機関への提言

- ・給電システムの運用には NTDC 内の関係部局の調整・連携が不可欠である。事業実施中には NTDC の部門間において、本事業で PIU の中心的役割を担った NPCC と通信システムの大半の O&M を担当している通信部門の連携が十分に図られてこなかった。そのため役割分担が明確になっておらず、信頼性テストの実施に向けた作業の一部にも問題が生じている。NTDC では 2015 年に本事業の完成に向けた管理・監督を担当する取締役役員が配属され、今後の対応につき定期的な会議が設定されるようになった。NTDC は関係部署による同会議を今後も継続して実施し、コンサルタント・コントラクターも含め各役割を明確にしたうえで連携・調整を図り、事業完了に向けた作業をスムーズに進める必要がある。
- ・本事業は整備したシステムの信頼性テストを終えておらず、NTDC は未完了事業と認識している。NTDC はコントラクターによるパンチリストの対応を早急に済ませ、信頼性テストを実施し、NTDC への機材の受け渡しが完了するよう努める必要がある。また、パンチリストへの対応が遅々として進まない場合には、問題となっている要因を検出する目的も兼ねてパンチリストへの対応完了を待たず、信頼性テストを実施することも一案である。
- ・事業実施中、新たな発電・変電所が建設されている。また、水力発電や原子力発電、IPP による発電所も有り、その大半はシステムに接続されていない。NTDC は、ア

ジア開発銀行が検討中の技術支援も考慮のうえ、上記の接続されていない発電所/変電所の接続計画を早急に作成し実施していくことで、本事業で整備したシステムがさらに有効活用されることが期待される。

- ・ 瑕疵担保期間終了（事業完成）後、適切な O&M を実施するために、1) 実施機関はコンサルタント、コントラクターの協力を得て、本事業で支援した機材の O&M に係る費用を NPCC の管理するシステムも含め正確に見積もりその予算の確保に努めること、2) O&M に関与する職員へのリフレッシュ研修の場を設定し、不足している技術面でのキャパシティの向上を図る必要がある。

4.2.2 JICA への提言

- ・ 事後評価時にいたるまで、NTDC 内の連携が十分に図れておらず、コンサルタント・コントラクターも確認作業を行うべき担当部署が明確に把握できず、事後評価時までの作業に支障を来してきた。JICA は進捗促進のため、案件開始当初より定期的なモニタリングを行っており、事後評価実施の一年前から開始された NTDC 内の月例会議にも JICA は参加してきている。JICA 関係者は引き続き、必要に応じて事業完了に向けた進捗を適宜把握するために会議への参加等により、進捗を後押しする必要がある。

4.3 教訓

ステークホルダーの役割の明確化を考慮した実施体制の検討

本事業では、NPCC がほぼ単独で PIU の役割を担ったが、この実施体制がスムーズな事業の実施に影響し、遅延の要因の一つとなったといえる。給電システムの運営には NPCC のみでなく RTU や通信システムを担当している NTDC の通信部門や変電所設備を担当している GSO も関与している。NPCC には他部門が担当している機材や施設に関する専門知識を有する職員がいないことから、事業実施当初、技術面での能力不足や各資機材の管轄部門の関与が限定的といった実施体制が支障を来し、事業の遅延につながった。本事業のように複数の部門が施設・機材の運営・維持管理を担っている場合、計画段階において実施機関及び JICA は各機材の運営・維持管理体制における責任分担を明確にし、PIU 等にて中心的役割を担う機関・部署は整備施設対象調達機材への関与が最も高い部門とすること、計画段階から整備施設対象調達機材に関連する部門が事業計画の意思決定プロセスに適切に関与する体制を構築することが重要である。

既存の施設や機材活用時の事前の準備

本事業では、既存の施設に資機材が据付けられた。実施機関によれば、古くからある施設では資機材の設置に不可欠とされる各施設所内の製図の入手が困難であったため、資機材を適切に搬入・設置し、SCADA システムへの接続を行う際、現状の把握に想定以上の時間を要した。既存施設への機材の据え付けを含む事業の場合、計画段階におい

て機材の据付に必要となる図面の入手を含め現状把握を十分に行うこと、事業開始時までには十分な情報が得られない場合には、現状を把握するために必要な手段を計画し、それらに要する時間を踏まえた事業期間を設定することが望ましい。

以上

主要計画/実績比較

項 目	計 画	実 績
①アウトプット		
中央処理システム	<ul style="list-style-type: none"> 電力制御システム ハードウェア (サーバー、ワークステーション、LAN 等を含む) データ処理システム 	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり 計画どおり サブ機能 Limited Market Operation 除外
末端装置 (RTU) の設置	<ul style="list-style-type: none"> 計9カ所 (発電所1カ所、変電所8カ所) 	<ul style="list-style-type: none"> 計49カ所 (発電所16カ所、変電所33カ所)
通信システムの整備	<ul style="list-style-type: none"> 端末局10カ所 中継局35カ所 (NPCC のデータ処理システムと RTU を繋ぐ通信網の交換) 	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり 計画どおり (既存の500、220及び132kv ラインを光ファイバーアース線(OPGW)へ交換)
電話回線網	NTDC の旧回線の交換	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり
地方管理センター整備	<ul style="list-style-type: none"> NPCC との電話回線接続 制御盤の塗装 	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり 制御盤の塗装は除外
宿舍	NPCC のエンジニア・職員の宿舍53 (室)	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり
車両	4台	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり
コンサルティング・サービス	入札書類作成、入札補助、施工監理、事業進捗状況の報告 (NTDC の自己資金で実施)	<ul style="list-style-type: none"> 計画どおり
②期間	2005年8月～2009年1月 (42カ月)	2005年8月～2016年1月 (126カ月)
③事業費		
外貨	4,131百万円	4,235百万円
内貨	1,589百万円 (908百万パキスタンルピー)	1,108百万円 (821百万パキスタンルピー)
合計	5,720百万円	5,343百万円
うち円借款分	3,839百万円	3,513百万円
換算レート	1パキスタンルピー = 1.75円 (2005年2月時点)	1パキスタンルピー = 1.35円 (2005年8月～2013年2月平均)