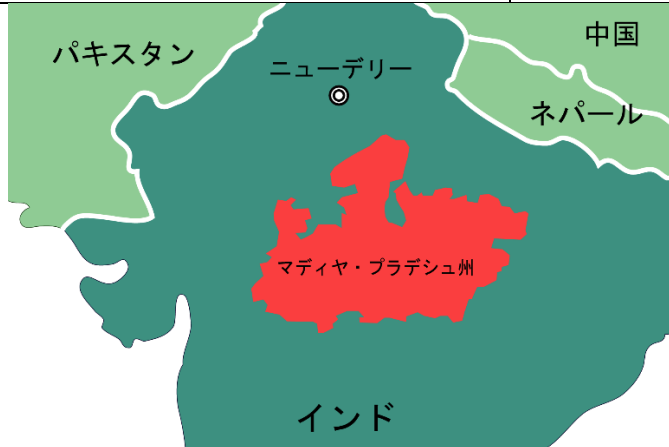


国名	マディヤ・プラデシュ州送電網整備事業
インド	



プロジェクトサイト (外部評価者作成)



本事業で建設されたジャバルプール変電所 (外部評価者撮影)

I 案件概要

事業の背景	インドの電力セクターでは、中央及び州の政府機関が政策立案・規制監督を行い、発電・送配電事業は中央・州及び民間の電力事業者が担う。政府は規制・監督から距離を置き、中央レベルの規制委員会は州をまたがる事柄、州規制委員会は各州内の事柄を監督している。送電については、全国規模の大容量の高電圧送電網を中央送電公社が、各州内の送電網(400kV, 220/132kV)を州送電公社がそれぞれ建設、所有、運用する。中央送電公社は、すべての送電地域が1つのグリッド(One Nation, One Grid)に接続されるように、地域間または州間の送電システムの開発を担当する。計画時(2011年)、堅調な経済発展が見込まれるマディヤ・プラデシュ州(以下、「MP州」という; 2011年人口7,260万人)では都市部の電力需要の増加が予想され、電力供給不足を補うために、2012年中に2つの新規火力発電所の運用が開始される予定であった ¹ 。また、送変電網の増強が必要とされ、同州の第11次5カ年送電計画(2007年4月～2012年3月)では送変電設備の増強に3,770億ルピーの投資が計画されていた。以上を背景に、「マディヤ・プラデシュ州送電網整備事業」(以下、「本事業」という)の借款契約が2011年6月に締結された。			
事業の目的	MP州全域において、送電線及び変電設備を整備することにより、同州の供給信頼度の向上、送電ロス率の低下及び電力安定供給を図り、もって同州及びインド西部地域の経済発展に寄与する。			
実施内容	1. 事業サイト：MP州全域 2. 事業スコープ(実績) 送電線新設：220kV 341.65km, 132kV 1,801.58km 変電所新設：220/132kV 変電所8カ所、132/33kV 変電所26カ所 変電所増強：400/220kV 変電所3カ所、220/132kV 変電所14カ所、132/33kV 変電所84カ所			
事業実施スケジュール	交換公文締結日	2011年6月6日	貸付完了日(円借款のみ)	2018年9月25日
	贈与契約締結日	2011年6月16日	事業完了日	2021年9月
事業費	交換公文供与限度額・贈与契約供与限度額：18,475百万円		実績額：12,465百万円	
相手国実施機関	MP州送電公社(Medhya Pradesh Power Transmission Company Limited)			
借款契約条件	金利0.5%、返済期間20年(うち猶予期間6年)、アンタイド			
借入人	インド大統領			
案件従事者	本体：BHARAT HEAVY ELECTRICALS LTD.(インド)、B.S. LTD.(インド)、LARSEN & TOUBRO LTD.(インド)、UNITECH POWER TRANSMISSION LTD.(インド)、SHREEM ELECTRIC LTD(インド)(以上、10億円以上の契約) コンサルタント：なし 調達代理機関：なし			

II 評価結果

【要旨】

本事業はMP州全域において、送電線及び変電設備を整備することにより、同州の系統安定化、送電ロス率の低下及び電力安定供給を図り、もって同州及びインド西部地域の経済発展に寄与することを目的に実施された。その目的は事前評価時のインドの国家開発政策、MP州の電力分野のニーズと高い整合性がある。本事業は日本の開発協力方針と整合していた。さらに、本事業、後続円借款事業、アジア開発銀行(以下、「ADB」という)による事業はいずれもMP州送電公社のマスタープランに沿って実施され、事業間の整合性及び相乗効果が見られる。よって、本事業の妥当性・整合性は高い。本事業で設定された運用・効果指標は全て目標を達成し、本事業が貢献したと考えられる。本事業による送電システム増強は冗長性の増大を通じて

¹ これらの発電所は2013年と2014年に運用開始された。

送電の安定性を高めたほか、需要地近くの変電所建設により需要家端での電圧改善、停電の減少に貢献したと考えられる。よって、本事業の目的は達成され、有効性・インパクトは高い。アウトプットは概ね計画されたとおりに実現した。事業費は計画内に収まったものの、事業期間は計画を上回ったため、本事業の効率性はやや低い。本事業の施設・機材は適切に運用・維持管理されており、持続性に関する政策・制度面、組織・体制面、技術面、財務面な課題はない。よって、本事業の持続性は高い。以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

総合評価 ²	A	妥当性/整合性	③ ³	有効性/インパクト	③	効率性	②	持続性	③
-------------------	---	---------	----------------	-----------	---	-----	---	-----	---

【留意点/評価の制約】(特になし)

1 妥当性・整合性

【妥当性】

(1) 事前評価時のインド政府の開発政策との整合性

- ・インドの第11次5ヵ年計画(2007年4月～2012年3月)ではGDP成長率年平均8～9%、期間末には10%以上を実現することを目指していた。このような急速な経済成長を支えていくため、安定的な電力供給を継続することは克服すべき最大の課題のひとつとされ、78,600MWの新規電源開発、地域間基幹送電線の増強、地方電化の推進等を掲げていた。
- ・MP州では1998年の「電力規制委員会法」に基づき、法定独立規制機関であるMP州電力規制委員会(MPERC)を設立した。その後、「マディヤ・プラデシュ州改革法」に従い、垂直統合型のMP州電力庁(MPSEB: Madhya Pradesh State Electricity Board)は2002年7月にMPSEBを持ち株会社とする5つの独立した法人に分社された。さらに、2003年に国内の競争原理の導入を通じたセクター改革と投資促進、消費者利益の保護、全国民への電力供給の実現などを目的とする「新電力法(the Electricity Act 2003)」が施行された。
- ・よって、MP州において送電公社を実施機関として送電設備整備により電力の安定供給を図る本事業と、事前評価時のインドの開発政策との整合性は高い。

(2) 事前評価時のMP州における開発ニーズとの整合性

- ・MP州では堅調な経済発展に伴い電力需要は2009年度の42.9GWhから2014年度の58.1GWhに増加し、2014年度の電力不足率は25%に達すると予想されていた。これに対応するため同州では2012年度中に2つの新規火力発電所が運用開始を予定し、これに伴う送電設備の増強が必要とされた。「MP州第11次5ヵ年送電計画」(2007年4月～2012年3月)では回線延長6,531kmの送電線整備、63カ所11,035MVAの変電所新設に、3,770億ルピーの投資を計画し、本事業はその一部として計画された。
- ・以上から、本事業と事前評価時の開発ニーズとの整合性は高い。

【整合性】

(1) 事前評価時における日本の開発協力方針との整合性

- ・2006年5月の対インド国別援助計画の重点目標「経済成長の促進」を受け、JICAは「経済インフラ整備を通じた持続的経済成長の支援」を援助重点分野の一つに掲げていた。エネルギーの安定供給は上記分野の開発課題の一つであり、本事業は事前評価の日本の開発協力方針、JICAの開発協力方針と整合している。

(2) 内的整合性

- ・本事業の後続円借款事業「マディヤ・プラデシュ州送電網増強事業」(円借款、2015～)は送電公社のマスタープランに沿って計画された。同じマスタープランに沿って実施された本事業及び後続円借款事業の設備は、いずれも、送電システムの一部として連動して機能している。本事業で建設された変電所に後続円借款による変圧器が設置されるなど、両事業の設備が直接接続された事例も確認された。よって、本事業と後続円借款事業には相乗効果が見られた。

(3) 外的整合性

- ・ADBは2007年以降、MP州送電公社への3件の借款事業を実施してきたが、本事業とこれらの3つの事業はいずれも送電公社のマスタープランに沿って、同州の送電システムの一部として整合性をもって計画されていた。これらの事業による設備は連動して機能している。本事業で建設された変電所・送電線とADB事業により建設された変電所が接続されるなどの事例も確認された。よって、本事業と一連のADB事業には相乗効果が見られる。

【評価判断】

以上より、本事業の妥当性・整合性は高い⁴。

2 有効性・インパクト⁵

【有効性】

(1) 本事業による設備のMP州送電システム全体での位置づけ

- ・本事業では2,143kmの送電線が新設された。これは2020年の送電システムの送電線総延長39,582kmの5.4%に相当する。本事業では34カ所の変電所が新たに建設され、18カ所の既存変電所に新たな変圧器が設置された。これらの52カ所の変電所において合計2,454MVAの変電容量が本事業により追加された。これらの変電所は配電公社が運営する配電網に直接

² A: 「非常に高い」、B: 「高い」、C: 「一部課題がある」、D: 「低い」

³ ④: 「非常に高い」、③: 「高い」、②: 「やや低い」、①: 「低い」

⁴ 妥当性は③、整合性は③。

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。

接続する 33kV 母線を備え、配電網に直結している⁶。これは 2020 年の送電システムの変電所総数 396 カ所の 13.1%、総変電容量 59,705MVA の 4.1%に相当する。

(2) 対象変電所の利用状況

- ・本事業により建設または変電容量が増加した 52 カ所の変電所の 2021 年度の平均最大負荷率（日最大負荷の平均値 MVA÷変電容量 MVA）は 24%～80%の範囲であり（平均値 43%）、最大利用率（年間最大負荷 MVA÷変電容量 MVA）は 89%以下であった。送電会社によると、これらの変電所はいずれも適切な負荷の下で運用されている⁷。

(3) MP 州送電システムの運用効果指標

① 総変電容量

表 1 MP 州送電システムの総変電容量

		2010 年	2016 年		2020 年		本事業の貢献
		基準値	目標値	実績	目標値	実績	
総変電容量 (MVA)	400kV	4,200	8,610	7,350	8,610	10,595	355
	220kV	14,030	18,450	21,990	18,450	28,410	960
	132kV	15,070	18,032	24,056	18,032	31,295	1,139
	合計	33,300	45,092	53,396	45,092	70,300	2,454

出所：MP 州送電公社

注）2016 年の目標値は事前評価時のもの。2020 年の目標値は PCR に記載されたもの。

- ・総変電容量は 2016 年から 2020 年に 1.3～1.4 倍に増加した。これは、送電公社の投資計画に沿って事業完成後も変電容量が増強されてきたためである。

② 平均稼働率

表 2 MP 州送電システムの平均稼働率

平均稼働率		基準値	目標値	目標値	実績
		2010 年	2016 年	2020 年	2020 年
	400kV 変圧器	99.05%	98%	98%	99.62%
	220kV 変圧器	99.58%	98%	98%	99.02%
	220kV 送電線	98.22%	98%	98%	99.77%
	132kV 変圧器	99.84%	98%	98%	99.61%
	132kV 送電線	98.70%	98%	98%	99.82%
	全送電システム	不明	98%	98%	99.60%

出所：MP 州送電公社

注）2016 年の目標値は MPERC が定めたもの。

- ・変圧器、送電線の平均稼働率（年間稼働時間÷年間総時間）は、電圧別に全て目標値 98%を上回った。送電網全体の平均値は 2020 年に 99.6%を記録した。これは、インドで最も大きな電力需要地域を抱える 3 つの州（マハラシュトラ州、ウッタールプラデッシュ州、グジャラート州）と比べても十分高い水準であった⁸。よって、MP 州の送電システムの安定性・信頼性は十分高い。
- ・変圧器、送電線は落雷、動物の接触等により発生する事故電流によって設備が遮断（トリップ）し停止する。本事業に含まれた変電所では上記のような理由による一時的なトリップの他、碍子や変流器の劣化等によりトリップすることもある。しかし、全送電システムの平均稼働率が MPERC の基準を下回るようなトリップは生じていない。なお、通常の維持管理作業時にも年間 25～40 時間程度（年間稼働時間の 0.2～0.5%に相当）は稼働停止するため、稼働率が 100%に達することはない。
- ・維持管理やトリップにより一部の変圧器・送電線が稼働停止しても、他の設備により電力供給を維持できるように、送電システムでは常に能力の余裕と冗長性が計画されている⁹。余力や冗長性が乏しいと、1 カ所のトリップの影響がより広範囲に及ぶほか、再稼働までに時間がかかる。本事業は送電システムの冗長性を増加させることにより、平均稼働率の向上に貢献していると考えられる。

⁶ 52 カ所中 37 カ所の変電所では本事業以降、さらに変圧器の増設が行われ、2,386MVA の変電容量が追加された。なお、本事業では合計 73 カ所の変電所が増強されたが、このうち 55 カ所は送電線の増設に伴って引込口のみを増設したものであり、変圧器の増設は行われなかった。

⁷ 送電会社は負荷率 80%以上が一定期間継続することを過剰負荷の目安とし、ある変電所で能力の 80%を超える負荷が一定期間続き、さらに将来の需要増が見込まれる場合、新たな設備投資が検討される。

⁸ 2020 年の送電システム稼働率はマハラシュトラ州が 99.67%、ウッタールプラデッシュ州が 99.46%、グジャラート州が 99.47%であった。（各州の送電会社ウェブサイトによる）

⁹ 数 (N) ある設備のうち 1 台が故障 (-1) することを N-1 故障と呼び、N-1 故障が起きても電力供給に支障を起こさないように、設備に冗長性を持たせるという考え方を「N-1 基準」と呼ぶ。これは電力を安定供給する上で国際的に広く用いられている考え方であるが、送電公社も N-1 基準で送電システムを整備している。例えば同じ変電所に変圧器を 2 台設置し、通常は能力の半分以下で運用していれば、片方の変圧器が停止しても送電を継続できる。

③送電ロス率

表 3 MP 州送電システムの送電ロス率

送電ロス率		基準値	目標値	目標値	実績
		2010 年	2016 年	2020 年	2020 年
	全送電システム	3.88%	4%以下	4%以下	2.62%

出所：MP 州送電公社

- 送電公社の送電ロス率は 2010 年の 3.88% で既に目標値を達成していたが、計画時には、引き続きそのレベルを維持することを目標としていた。実際には、送電ロス率は 2020 年の 2.62% まで、さらに改善された。これは、インドで最も大きな電力需要地域を抱える 3 つの州（マハラシュトラ州、ウッタルプラデッシュ州、グジャラート州）と比べて最も低い水準であった¹⁰。よって、MP 州の送電ロス率は非常に低いと言える。
- 送電時には電流（I）の二乗と抵抗値（R）の積（ $I^2 \times R$ ）に比例して電力損失が生じること、また、同じ電力を送電するときには電圧が低い方が電力損失が大きくなることから、高圧送電システムの整備は電力損失の低下に結びつく¹¹。本事業による送電システムの整備が送電ロスの削減に貢献していると考えられる。送電公社の試算によると、本事業により送電ロス率は約 0.2% 押し下げられたと考えられる¹²。
- 他方、MP 州では配電部門において比較的大きな電力損失が発生している。2020 年の配電ロス率は 24.7%、送・配電ロス率は合計 27.3% に達し、これは全インド平均の 20.5% を上回る¹³。同州の送・配電ロス率は 2010 年の 37.6% から大きく改善したが、それでも、まだ改善の余地が残されている。MP 州東部配電公社によると、盗電の多さが配電ロスを押上げている。

④電圧変動（追加指標）

- 電力サービスの質を図る指標として、電圧変動を追加指標とした。送電システムが配電会社の電力網に接続する 132kV 送電端において、電圧を 132kV \pm 10% の範囲に収めることが標準とされる。下表に示すように、2020 年の実績は +5.6% ~ マイナス 3.4% と適切な範囲にある。電圧変動幅（最大電圧と最低電圧の差）は 2016 年の 9.4% から 2022 年の 9.0% に縮小した。需要家端における電圧低下を防ぐためには最低電圧を改善することがより重要であり、MP 州の送電システムの電圧変動は確かに改善したと言える。
- 配電網に接続された需要家端での電圧変動についてデータは得られなかったが、後述するように、本事業等により需要家のより近くに 132/33kV 変電所が建設され、需要家端での電圧降下が抑えられたと考えられる。

表 4 MP 州送電システムの電圧変動幅

132kV 送電端最大・最低電圧/変動幅 (%)	期間	最大電圧	変動幅	最低電圧	変動幅	変動幅
	2016 年 1~12 月	138.9kV	5.2%	126.4kV	-4.2%	9.5%
	2022 年 1~12 月	139.3kV	5.5%	127.6kV	-3.3%	8.9%

出所：MP 州送電公社

注) 約 300 カ所の 132kV 送電端の年間最大・最低電圧変動の平均値

(4)定性的効果

- 送電公社の説明、及び、現地視察により確認した新たな送変電設備の運用状況等から、本事業は以下のように供給信頼度の向上、送電ロスの削減、安定した電力供給の実現に貢献している。
 - 送変電設備に冗長性を持たせることで故障時にも問題なく送電を継続できる。例えば、負荷が大きくなった変電所に 2 つ目の変圧器を設置し、通常は余裕を持たせた運用（変電容量の半分以下での運用）を行うことで、片方の変圧器が停止しても送電を継続できる。負荷が大きくなった変電所と連結される新たな変電所を建設しても同様の効果が得られる。また、ある送電線が稼働停止しても、迂回路があれば送電を継続できる。本事業は送電システムにこのような冗長性を持たせることで、系統安定度の向上に貢献したと考えられる。送電公社によると、州の送電システムの一部あるいは全体が停止するような大規模な系統事故は、少なくとも過去 30 年間、一度も発生していない。MP 州送電システムの安定運用は、中央送電公社の高電圧送電網で連係された西部地域の安定した送電に貢献している。
 - 送電線を建設して送電経路を分散したり、需要地近くに新たな変電所を建設したりすることにより、電力損失を削減できる。また、新たな変電所を建設して需要家までの配電線延長を短縮することにより、末端の需要家端での電圧低下を抑制することができる。なお、送電公社はこれまで 132/33kV 変電所等にある 33kV 母線から末端需要家までの配電線延長を最大 35km とすることを目標に送変電設備を計画していたが、需要家端での電圧低下をさらに抑えるために、現在は、最大 20 km とすることを目指して新たな変電所建設を計画している¹⁴。さらに、複数の変電所から配電網に接続することで、配電網における停電の範囲を縮小し、停電時間を短縮することができる。

¹⁰ 2020 年の送電ロス率はマハラシュトラ州が 2.94%、ウッタルプラデッシュ州が 3.37%、グジャラート州が 3.50% であった。（各州の送電公社ウェブサイトによる）

¹¹ 例えば、同じ電力を同じ距離だけ送電する場合、1 本であった送電線を 2 本にすると、電力損失は半減する。また、需要地の近くに新たな 132kV/33kV 変電所を建設した場合、需要地のより近くまで高い電圧で送電できるため、電力損失が減少する。

¹² 事後評価時の経済分析では、2019 年に 145.46GWh のロス削減により、電力料金 6.25Rs/KWh を前提に、年間 909.1 百万 Rp が節約されたと試算された。同年の総送電電力量は 71,945GWh であり、送電ロス率を約 0.2% 押し下げたことになる。

¹³ インド中央銀行の Handbook on Statistics of Indian States 2021-22 による。

¹⁴ 132kV/33kV 変電所で 33kV まで降圧された電力は配電会社の電力網に供給される

▶送電会社によると、中央政府の電化推進政策の下、MP州の世帯電化率は2015年の69%から大きく増加し、2019年に100%に達した。2012年頃までは電力不足による計画停電が行われていたが、過去10年間、計画停電は行われず、24時間給電が実現している¹⁵。停電に関するデータは得られなかったが、送電会社によると、停電のほとんどは配電網において発生している。

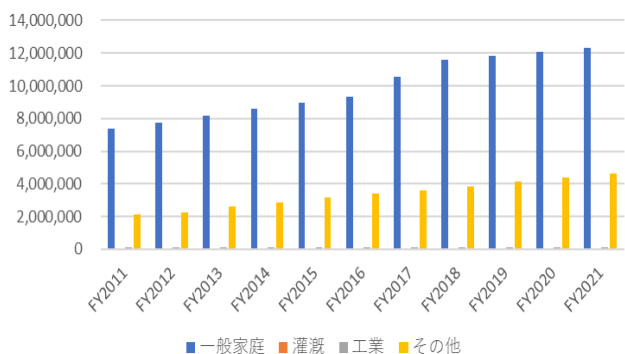
<有効性のまとめ>

- ・設定された指標は全て目標を達成した。これには本事業が貢献したと考えられる。本事業による送電システム増強は冗長性の増大を通じて送電の安定性を高めたと考えられる。需要地近くの変電所建設により需要家端での電圧改善、停電の減少に貢献したと考えられる。以上から、本事業の目的は達成されたと判断される。

【インパクト】

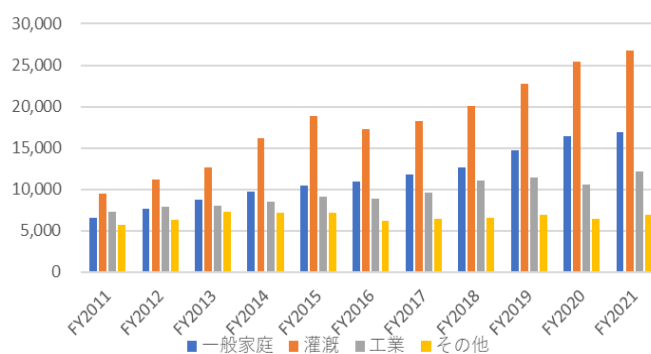
<MP州・西部地域の電力利用と経済成長>

- ・MP州の電力需要家の7割強は一般家庭である。需要家数は2011年の963万から2021年の1812万に78%増加した。MP州の2021年の電力消費量の47%を農業（灌漑）が占める。一般家庭が27%、工業が19%であった。2021年の電力消費量は2011年から117%増加した。部門別には一般家庭が161%、農業が183%、工業が67%、その他（商業を含む）が20%増加し、一般家庭と農業の伸びが大きかった。世帯あたり電力消費量は2011年の881kWhから2021年の1373kWhへと56%増加した。
- ・MP州の2021年の州内総生産（2011年価格）は2011年から97%増加した。州内総生産の内訳は、農業が35%、工業が25%、サービス業が40%とされる（2019年）¹⁶。
- ・西部地域（2011年総人口2億3700万人）¹⁷では2012年～2020年の期間に電力需要が29億kWhから38億kWhへと約31%増加したが、同じ期間、地域内総生産は約54%増加した¹⁸。



出所：MP州送電公社

図1 MP州の電力需要家数



出所：MP州送電公社

図2 MP州の電力消費量 (単位: GWh)



出所：インド中央銀行

図3 MP州の州内総生産 (単位: 億ルピー、2011年価格)

<産業と電力供給>

- ・MP州の産業界へのヒアリングによると¹⁹、安定した電力供給は産業にとって非常に有用であり、以下のように、MP州の

¹⁵ 灌漑需要家に対しては1日10時間の電力供給が行われている。

¹⁶ MP州は州面積の約半分が農業耕作地であり、耕作地の約半分で電力を用いた深井戸による灌漑がおこなわれ、主に麦、大豆、米等が耕作されている。また、同州は積極的に投資を誘致しており、安定した電力供給は、同州の良好な投資環境を構成する条件のひとつとされている。(インド中央銀行による)同州は2019年のEase of Doing Business Ranking (Department for Promotion of Industry and Internal Trade, Ministry of Commerce and Industry)で全28州中、第4位であった。

¹⁷ 西部地域にはMP州、マハラシュトラ州、グジャラート州、ゴア州、チャッティースガル州の5州、ダーンドラー・ナガル・ハヴェーリーおよびダマン・ディウ連邦直轄領が含まれる。

¹⁸ Central Electricity Authority 及び National Statistical Office による。

¹⁹ MP州西部商工会議所 (Mahakaushal Chamber of Commerce & Industries)、MP州コールドチェーン協会、及び SRF 社 (インドールで132kVで送電システム

送電システムによる電力供給は非常に安定している。また、配電網を通じた電力供給にも一定の改善が見られたが、遠隔地域の一部では配電網が弱い場合、今も停電が頻発する。

- ▶ MP 州西部商工会議所によると、10～20 年前は計画停電により夕方以降は工場を稼働できなかったが、今は 24 時間稼働できる。2000 年代前半の電力事情は最悪だったが、その後、大幅に改善した。送電システムから高圧で直接供給を受ける場合、電圧は安定し、停電はほとんど起きない。24 時間稼働の製造ラインを持つ工場などでは停電がないことが非常に重要である²⁰。他方、配電会社の配電網から供給を受ける場合は今でも停電が起きる。工業地帯では新たな変電所の建設により停電の頻度や範囲が減少したほか、電圧が改善された。これは産業の発展にとって重要な変化である。
- ▶ MP 州コールドチェーン協会によると、工業地帯に比べ、農村地域にある産業は配電網における頻繁な停電の影響を受けやすく、発電機などを準備する必要がある。電圧変動も大きく、冷凍・冷蔵庫が影響を受けるので困る。

<衛星データを用いた夜間光分析>

- ・本事業で建設あるいは変圧器が増設され、配電網に接続される 132kV 母線を持つ 53 カ所の変電所の周辺（半径 30 km）を本事業の直接受益地域と定め、事業前後の夜間光強度の変化を州全体の変化と比較した。直接受益地域・州全体ともに夜間光強度は 2013～2022 年の 10 年間に 2 倍近くに増加したが、その増加率は直接受益地域の方がやや大きかった。よって、本事業の直接受益地域における電力利用の増加は州全体の増加より大きかった可能性がある。（詳細は末尾のコラムを参照）

<自然環境へのインパクト>

- ・本事業は、「国際協力機構環境社会配慮ガイドライン」（2010 年 4 月策定）に沿って、環境や社会への望ましくない影響が比較的小さいカテゴリ B に該当するとされた。
- ・送電会社は他ドナー案件で求められる場合は社会・環境専門家をコンサルタントとして雇用し、モニタリング報告書を作成することがあったが、本事業においては JICA インド事務所との協議の上で、モニタリング報告書を作成することは行わなかった。JICA インド事務所の説明によると、本事業はカテゴリ B に該当し、自然環境への負のインパクトは見込まれなかったことから、送電会社との協議により、特に報告書を求めないことに合意した。送電会社によると、本事業による自然環境への負の影響は特に認められない。現地踏査でも自然環境への負の影響は確認されなかった。

<用地取得・住民移転等>

- ・送電会社によると本事業に伴い合計 165ha の用地が取得された。用地取得は JICA 環境配慮ガイドラインに沿って行われた。取得した用地のほとんどは政府所有の土地であり、私有地は 5.4ha のみであったが、特に問題なく取得された。国内法及び送電会社が定める補償方針に従って、土地所有者 7 名に 1750 万 Rs（約 3,000 万円）の補償金が支払われた。建設工事が農業作物等に及ぼす損害に対しても、政府の規定に沿った補償金が支払われた。用地取得及び補償について、交渉に時間を要するケースはあったが、特段の問題は発生しなかった。住民移転は行われなかった。

<その他のインパクト>

- ・送電会社の試算によると、本事業は送電ロス率低下により 2019 年に 145.46GWh の電力を節約した。これにより年間約 13.2 万トンの温室効果ガスが削減できたと推測される²¹。
- ・本事業は送電会社で初めてのフルターンキー契約で実施された²²。それまでは資機材調達と建設工事を別契約としていたが、それに比べ、より効率的に実施することができた²³。この経験により、その後の送電会社の送電設備整備事業の大半がフルターンキー契約で実施されることとなり、本事業の経験が活かされた。
- ・送電会社によると、ジェンダー、公平な社会参加を阻害されている人々、社会的システムや規範・人々の幸福・人権について、特筆すべきインパクトはなかった。

<インパクトのまとめ>

- ・2011 年以降の 10 年間に MP 州の電力消費は倍増し、世帯あたり電力消費量は 6 割近く増加した。世帯電化率は 100% を達成し、全人口が電力の恩恵を受けている。本事業を含む電力システムの継続的な整備がこれを可能とした。MP 州では州内総生産の 35% を占める農業を灌漑用電力が支えている。工業地帯、高圧電力を中心に電力供給が安定し、産業を支えている。以上から、所期のインパクトが発現したと考えられる。

【評価判断】

以上より、本事業の有効性・インパクトは高い。

から直接電力の供給を受けて食品包装フィルムを製造する企業）へのヒアリングを行った。

²⁰ SRF 社によると、2017 年の工場稼働以来、一度も停電がなく継続的な供給を受けている。24 時間稼働する製造ラインは停電によりいったん停止すると再稼働まで 1 週間かかるため、継続的な電力供給は非常に重要である。

²¹ Central Electric Authority ウェブサイトのデータより係数を 0.91t-CO₂/MWh として算出。

²² フルターンキー契約とは、施設や機材の設計から機器・資材・役務の調達、建設及び試運転までの全業務を単一のコントラクターが一括して定額で、納期、保証、性能保証責任を負って請け負う契約のこと。それまで、州送電会社は資機材調達と建設工事を別契約で実施していた。

²³ 別契約の場合、資機材の調達と建設工事の時期を上手く合致させることが難しく、使われない大量の在庫を保管することになったり、在庫の損失が出たりしていた。在庫管理等の管理業務も大変であった。

3 効率性

<アウトプット>

表6 アウトプットの計画と実績

	計画 ^(注1)	実績
送電線新設	2,142km	220kV 341.65km 132kV 1,801.58km (合計 2,143km、60 路線)
変電所新設	220/132kV 変電所 8 カ所 132/33kV 変電所 26 カ所	220/132kV 変電所 8 カ所 132/33kV 変電所 26 カ所
変電所増強	合計 74 カ所 (うち変圧器増設 18 カ所) ^(注2)	合計 73 カ所 (うち変圧器増設 18 カ所) ^(注2)

出所：送電公社提供資料、JICA 提供資料により作成

注1：計画時の変電所数には重複による誤りがあったため、事後評価時に修正した。

注2：その他の変電所では送電線引込口増設等が行われた。

- 一部の対象変電所周辺の電力需要が予想を超えて急速に増加したため、送電公社は 2011 年に、本事業のアウトプットの一部を先に自己資金で実施し、当初の事業範囲に含まれた送電線 2 路線と変電所 9 カ所を、別の送電線 2 路線、変電所 8 カ所に入れ替えた。それ以外は計画通り実施された。よって、アウトプットの算出はほぼ計画通りと言える。

<事業費>

- 本事業の事業費は 22,213 百万円（円借款 18,475 百万円）の計画であったが、実績は 19,659 百万円（円借款 12,465 百万円）と計画内であった（計画比 89%）。

表7 事業費の計画と実績

	計画 (百万円)			実績 (百万円)		
	JICA	インド側	合計	JICA	インド側	合計
機器調達・土木工事	16,003	0	16,003	12,465	5,238	17,703
物価上昇	792	0	792	0	0	0
予備費	1,680	0	1,680	0	0	0
用地取得・補償	0	201	201	0	352	352
管理費	0	934	934	0	1,222	1,222
税金	0	2,402	2,402	(インド側土木工事費に含む)		
建中金利	0	169	169	0	343	343
コミットメントチャージ	0	32	32	0	40	40
合計	18,475	3,738	22,213	12,465	7,194	19,659

出所：MP 州送電公社提供資料により作成

<実施期間>

- 本事業は 2011 年 6 月の借款契約から 2014 年 5 月の設備供用開始までの 36 カ月間で実施される計画であった。実際は、計画通り 2011 年 6 月に借款契約が結ばれ、2021 年 2 月の設備供用開始までの 117 カ月間（計画比 325%）で実施された²⁴。

<実施の経緯>

- 本事業は 2013 年までに 20 本の契約により工事が開始された。16 契約は送電公社にとって初めてのフルターンキー契約だった。大半の工事は 2014 年までに完了したが（新設変電所建設の 9 割程度が完成していた）、2013 年の豪雨により一部の工事に遅延が発生した。一部のコントラクターは財務制約等により契約通り工事を進めることができず、2015 年に 4 つの契約が解除された。残工事は再入札により 2016～2017 年に建設・資材調達契約（5 契約）が新たに締結された。一部の工事は調達資機材を用いた送電公社自身による建設作業により実施された。
- 2018 年 9 月の貸付実行期限までにほとんどの工事は完了したが、新規変電所 1 カ所及び送電線 7 路線はそれまでに完了できなかった。変電所の遅れは土地所有者である国防省との調整に時間を要したこと、送電線の遅れは上記の契約解除の残工事であり工事開始が 2017 年以降であったこと、一部線路で線下補償の交渉に時間を要したことが原因であった。

<経済分析 (EIRR) >

²⁴ 本事業の工事契約には設備完成後、1 年間の保証期間が設定されているが、事業完成は設備の完成・供用開始時と定義される。

- ・事業事前評価表策定時、以下の前提により本事業の財務的内部収益率（FIRR）は 14.23%、経済的内部収益率（EIRR）は 18.50%と算出された。事後評価にあたり実績を踏まえて再計算したところ、FIRR は 15.1%、EIRR は 20.8%であった。計画時より高くなった主な要因は、コストを勘案して定められる送電料金が、計画時の想定より高くなったことと考えられる。

費用：事業費、運営維持管理費用（EIRR では経済費用）

便益：送電収入の増加、送電ロスの削減

プロジェクトライフ：30 年

【評価判断】以上より、事業費は計画内に収まったものの、事業期間は計画を大幅に上回ったため、本事業の効率性はやや低い。

4 持続性

(1) 政策・制度

- ・発電・送電・配電の分社化と MPERC の設置を含む電力改革の成果は定着している。さらに、太陽光・風力などの独立発電事業者や送電部門への民間事業者の参入が進められている。送電公社は中央電力規制委員会と MPERC の監督のもとで送電システムの運用と計画・整備を進めている。送電料金は、必要なコストを勘案したうえで MPERC により定められる。
- ・以上により、本事業の持続性について政策・制度面の課題はない。

(2) 組織・体制

- ・州給電指令室は、州電力システムの適切な運用のため、各発電所、各変電所、3 つの配電公社及び中央給電指令室と連携を取りつつ本事業を含む送電システムを運用している。
- ・州の地域別に設置された維持管理サークル（Maintenance Circle）のもとに送電・変電を維持管理するチームあるいは維持管理事務所（Division）があり、送電線と変電所を巡回しながら定期的な維持管理業務を行っている。送電線については 4 維持管理サークルのもとに 12 維持管理事務所と 37 送電線維持チームがあり、変電所については 14 維持管理サークルのもとに 45 維持管理事務所がある。各維持管理事務所には 30 名前後の職員が配置されている。
- ・各変電所には送電公社の技師・職員数名の他、運用・維持管理・警備を担当する外部人材が変電所の規模により 10～30 名程度雇用されている。変電所ではマニュアルに沿って毎時・毎日、四半期毎、雨期前・雨期後、毎年など定期的な点検・検査・維持管理作業が行われる。日常の検査・作業は変電所に配置された人材が行うが、雨期前・雨期後、毎年の検査・作業は維持管理事務所のチームが巡回して行う。
- ・送電線では地上からの目視による定期的な検査（月 1 回）、送電鉄塔に上ったの検査（年 2 回）を始めとした検査とともに、必要な維持管理作業が行われる。トリップ発生後には現場を踏査しての原因調査が行われる。絶縁高所作業車等を使った通電したままでの点検・修理、ドローンを使った上空からの点検なども行われている。送電鉄塔を移設する際には、停電時間を短縮するため、短時間で設置できる仮設送電鉄塔を使った移設作業が行われている。
- ・いずれの作業も、設備を停止して行う場合、電力供給に影響が出ないように電力需要の少ない時期・時間を選んで実施されている。
- ・以上により、本事業の持続性について組織・体制面の課題はない。

(3) 技術

- ・送電公社の下にある州給電指令室は太陽光・風力等の再生可能エネルギーを含む各発電所と送電システムの運用状況をリアルタイムでモニタリングし、安定した系統運用ができるように、必要に応じて発電所・変電所に指令を出す。送電公社は 2016 年に新たに SCADA を導入し、全ての送変電設備の運用状況をリアルタイムで、各変電所の各の給電線の電力・電圧、変圧器その他の変電設備の状態、トリップの場所・原因等を常時モニタリングできるようになった。その情報は各変電所の端末だけでなく、職員の携帯電話でも見ることができる。送電公社によると、SCADA の導入は送電システムの稼働率向上と安定運用、送電設備の効率的な運用を通じた送電ロス率の低減等に寄与している。また、これには太陽光・風力による発電量の予測、需要過多に対応して計画停電と復旧を速やかに行う電力需要自動管理システムが組み込まれている。ただし、これまでに同システムが対象とするような計画停電が実施されたことはない。
- ・送電公社の給電指令所は 2022 年に National Power System Conference の給電指令部門で優秀賞を受賞した。また、送電公社の変電所の一部（2021 年末現在、35 カ所）は品質管理についての国際規格（ISO9001）を取得している。
- ・送電公社は新しい技術の導入に積極的であり、これまでに、運用については SCADA、電力需要自動管理システム、維持管理については絶縁高所作業車、仮設送電鉄塔、点検用ドローンなどの新技術をインドで率先して導入してきた。
- ・送電線、変電所について維持管理マニュアルがあり、それに沿って保守点検、維持管理が計画的に実施されている。その結果は全て記録されている。例えば、変圧器毎に 1 冊のノートに導入時からの全ての技術情報が記載され、担当者や変圧器の設置場所が変わっても情報が受け継がれるようになっている。
- ・送電公社には研修部門があり、職員は繰り返し研修を受け、技術の更新に対応できるようになっている。各変電所で雇用する外部人材に対しては 3 週間程度の研修を行い、技術能力を確保している。
- ・以上から、送電公社の技術水準は高く、本事業の持続性について技術面の課題はない。

(4) 財務

- ・送電公社の過去 3 年間の収支は下表のとおりである。2020 年度には営業利益が大幅な黒字に転じたが、これは、送電料金体系が前年度に遡って改訂され、前年度の収益の一部が 2020 年度に加えられたためである。なお、送電料金はコストをカ

バーできるように設定され、MPERC が承認する。

表 8 MP 州送電公社の財務実績

(単位：1000 万 Rs)

	2019-20	2020-21	2021-22
営業収入	2,991.81	4,797.55	4,535.49
営業支出	3,220.31	3,644.24	4,220.42
営業利益	-228.50	1,153.31	315.07
その他の収支	248.13	-1,131.74	763.76
税引前利益	19.63	21.57	1,078.83

出所：MP 州送電公社

- 送電公社の営業利益率は 2019 年度がマイナスであったが、2020 年度 24%、2021 年 7%と十分高くなった。流動比率、負債比率はいずれも 80%程度であり、財務の安全性は十分高い。送電公社の修理・維持管理支出は以下のとおり。各維持管理サークルは翌年度の修理・維持管理必要額を算定して予算を請求する。送電料金がコストを勘案して定められていることもあり、修理・維持管理予算の不足はない。

表 9 MP 州送電公社の修理・維持管理支出

(単位：1000 万 Rs)

	2019-20	2020-21	2021-22
修理・維持管理支出	77.56	81.56	59.24

出所：MP 州送電公社

注：上記の金額は州給電指令室に関する支出を含まない。

- 以上から、必要な修理・維持管理予算が確保されており、今後も確保できる見通しである。財務面に課題はない。

(5) 環境社会配慮

- 送電公社では環境・社会面の問題が発生した時は現場技術者から本部に報告する体制が取られている。よって、環境社会配慮に特に問題はない。

(6) リスクへの対応

- 暴風雨等による鉄塔の倒壊や変電所の洪水など、緊急対応が求められる場合について、送電公社は標準対応手順を定めている。当該部門に配分された修理・維持管理予算により修理が行われる。変電所のコントロールルームが浸水したケースでは、予め送電経路を変更して設備を停止させ、大規模な停電を防ぐことができた。よって、緊急対応体制が準備されており、特に問題はない。

(7) 運営・維持管理状況

- 本事業の送変電設備に大きな修理が求められたことはなく、適切に稼働している。送電網は全体として稼働率が高い。変電所には安全管理の注意書きが各所に貼られており、作業員への研修も行われていることから、安全管理は適切と考えられる。マニュアル類は整備され、部品庫には交換部品が備えられている。SCADA 画面、電話、関連組織の担当者連絡先一覧などが備えられている。現地踏査時に配電網がトリップし、各所に連絡を取りつつ迅速に対応する事例を確認した。以上から、本事業の運営・維持管理状況は適切である。

【評価判断】

以上より、本事業によって発現した効果の持続性は高い。

III 提言・教訓

(1) 実施機関への提言：

- 送電公社は本事業を適切に運用・維持管理するとともに、必要な送電網の整備を継続し、MP 州の安定した電力供給のための努力を継続する必要がある。

(2) JICA への提言：特になし

(3) 教訓：

- 本事業では送電公社が適切なマスタープランを作成し、それに基づいて事業範囲が準備・調整されたことが、他ドナー事業等との整合性を確保することに結びついた。よって、電力分野等、多数の施設・設備が連動したシステムとして運用される分野において、そのシステムを増強する資金協力を行う場合は、実施機関が適切な手法で質の高いマスタープ

ランを作成しているかどうかを確認することが重要である。

- ▶ 本事業の運用効果指標はシステム全体について設定された。本事業の設備がシステムの一部として機能し、個別に効果を図ることが難しい以上、事業目的の達成度を判断するためにそのような指標を設定することは適切であった。しかし、それだけでは本事業による設備がシステム全体の指標に貢献していることが確認できないため、本事後評価では、本事業が建設・増強した変電所が適切に運用されていることを、上記指標とは別に確認した。よって、システムの一部の設備を整備する事業においては、当該設備の全体への貢献をより明示的に記述するためには、情報が利用可能な範囲で、当該各設備の稼働状況・運用状況についての指標も加えて設定することが望ましい。

VI ノンスコア項目

・適応・貢献

客観的な観点による評価（特になし）

・付加価値・創造価値（特になし）



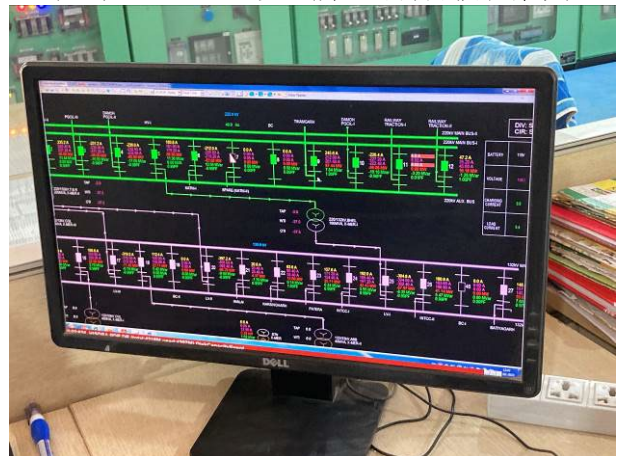
変電所の開閉器
(ジャバルプール変電所：外部評価者撮影)



本事業の変圧器（手前）・後に増設された変圧器（後方）
(ジャバルプール変電所：外部評価者撮影)



変電所のコントロール・ルーム
(ダモール変電所：外部評価者撮影)



変電所の SCADA ディスプレイ
(ダモール変電所：外部評価者撮影)

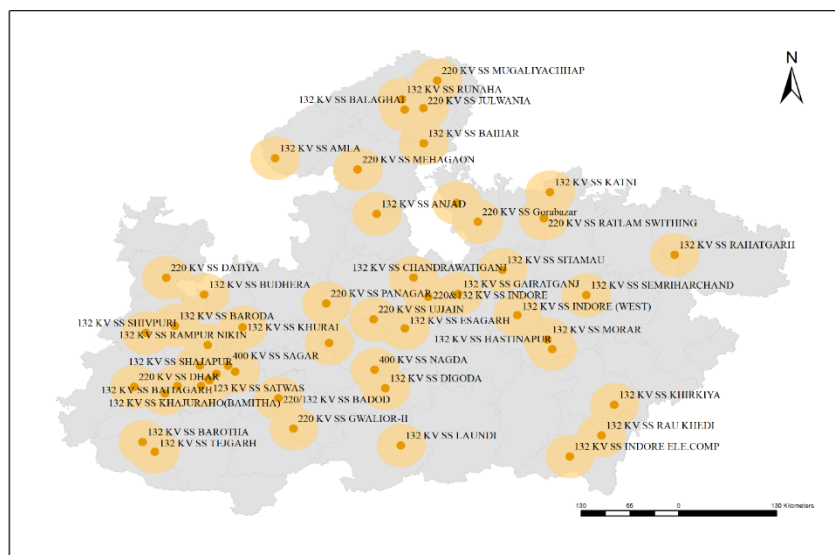


変電所のスペアパーツ在庫
(ゴラバザール変電所：外部評価者撮影)



変圧器の定期点検の様子
(ダール変電所：外部評価者撮影)

本事業で建設あるいは変圧器が増設され、配電網に連結される 132kV 母線を持つ 53 カ所の変電所の周辺（半径 30km）を本事業の直接受益地域と定め、事業前後の夜間光強度の変化を州全体の変化と比較した。米軍軍事気象衛星 DMSP（Defense Meteorological Satellite Program）に搭載されている可視域センサ OLS（Operational Linescan System）、及び、NASA の地球観測衛星 Suomi NPP に搭載されている VIIRS（Visible Infrared. Imaging Radiometer Suite）センサの夜間光画像をもとに、2013～2022 年の 夜間光強度を州全体と直接受益地域で比較した。



出所：アーサー・C・クラーク近代技術研究所提供資料

図 4 夜間光分析のための直接受益地域

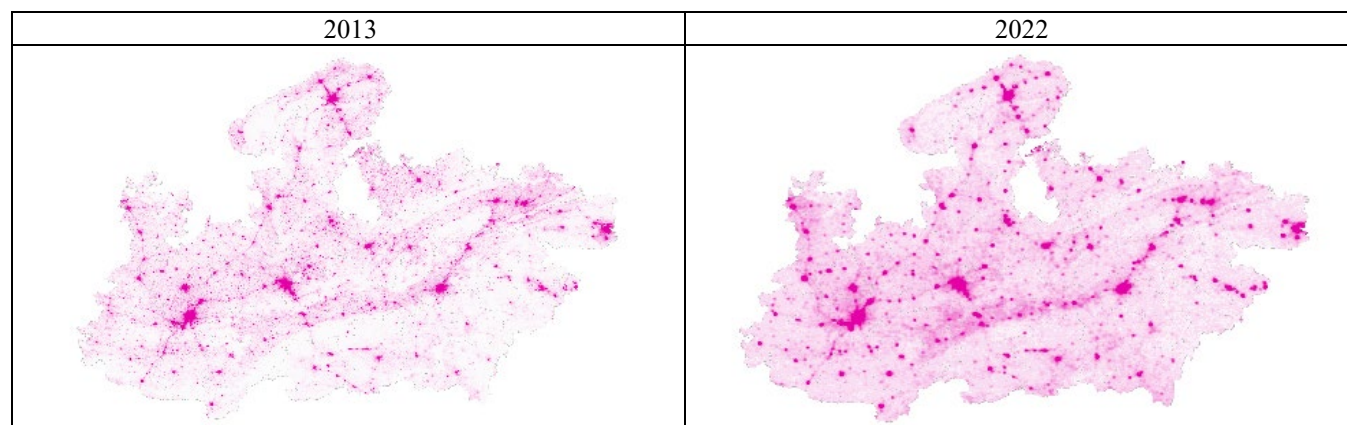
以下のように、直接受益地域・州全体ともに夜間光強度は 2013～2022 年の 10 年間に 2 倍近くに増加したが、その増加率は直接受益地域の方がやや大きかった。よって、本事業の直接受益地域における電力利用の増加は州全体の増加より大きかった可能性がある。

表 10 夜間光強度の変化：直接受益地域と州全体の比較

(単位： $10^{-8}W/cm^2/sr$)

	2013(a)	2022(b)	増加率(b/a)
直接受益地域	0.60	1.13	188%
州全体	0.48	0.88	183%

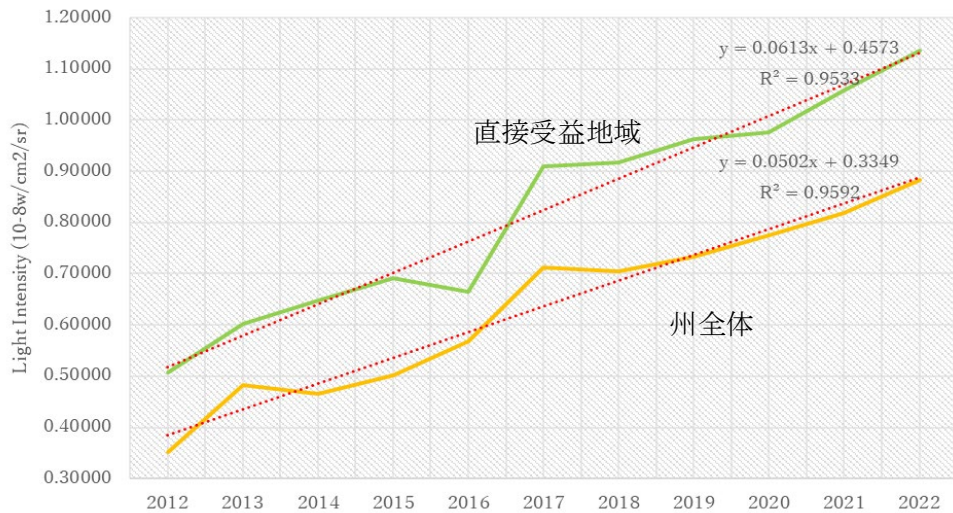
出所：アーサー・C・クラーク近代技術研究所提供資料



出所：アーサー・C・クラーク近代技術研究所提供資料

図 5 MP 州の夜間光の変化

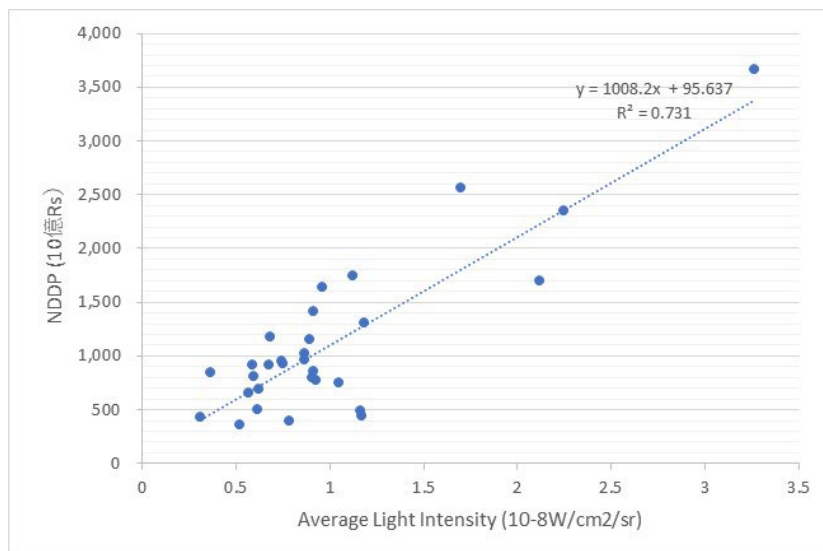
²⁵ 本分析はアーサー・C・クラーク近代技術研究所（Arthur C Clarke Institute for Modern Technologies、スリランカ）に委託して実施した。



出所：アーサー・C・クラーク近代技術研究所提供資料

図6 夜間光の経年変化

参考として、同州各県の夜間光強度と地域総生産（Net District Domestic Product : NDDP）の相関関係を分析し、夜間光の変化と受益地域の経済活動の変化を関係づけることを試みた。2019～2020年度のNDDPと夜間光強度には強い相関が見られる（相関係数：0.73）。この相関関係を仮定すると、直接受益地域における夜間光強度の増加（2013年0.60→2022年1.13 10⁻⁸W/cm²/sr）は、NDDPの85%程度の増加に対応する（627億Rs→1,157億Rs、Datanet India Private Limited提供データ）。ただし、これは両者の間に因果関係があることを示すものではない。他方、州全体の夜間光強度の増加（2013年0.48→2022年0.88 10⁻⁸W/cm²/sr）は、NDDPの79%程度（507億Rs→907億Rs）の増加に対応しており、州全体に比べて受益地域のNDDP増加の方が大きいことが示唆される。



出所：アーサー・C・クラーク近代技術研究所提供資料

図7 県別の地域総生産（NDDP）と夜間光強度の関係（2019-2020年度）