

「大規模太陽光発電システム等を利用した 技術実証事業（インド）」（事後評価）

（2010年度～2019年度 10年間）

実証テーマ概要 **（公開）**

株式会社日立製作所（代表幹事会社）

伊藤忠商事株式会社

株式会社日立システムズ

NEDOプロジェクトチーム(新エネルギー部・国際部)

2020年 9月 17日

1. 事業の位置付け・必要性
 - (参考) 目的
 - (1) 事業の意義 (社会的背景・位置付け)
 - (1 a) 事業の意義 (インドでの実証の意義・必要性)
 - (2) 政策的必要性
 - (3) NEDO関与の必要性
2. 実証事業マネジメント
 - (1) 相手国との関係構築
 - (2) 実施体制
 - (2 a) 実施体制 (役割分担)
 - (3) 事業内容・計画
3. 実証事業成果
 - (1) 事業内容・計画の達成状況と成果の意義
4. 事業成果の普及可能性
 - (1) 事業成果の競争力
 - (2) 普及体制
 - (3) ビジネスモデル
 - (4) 政策形成・支援措置
 - (5) 対象国・地域又は日本への波及効果の可能性

1. 事業の位置付け・必要性

…NEDOプロジェクトチーム

2. 実証事業マネジメント

…NEDOプロジェクトチーム

3. 実証事業成果

…株式会社日立製作所（代表幹事会社）
伊藤忠商事株式会社
株式会社日立システムズ

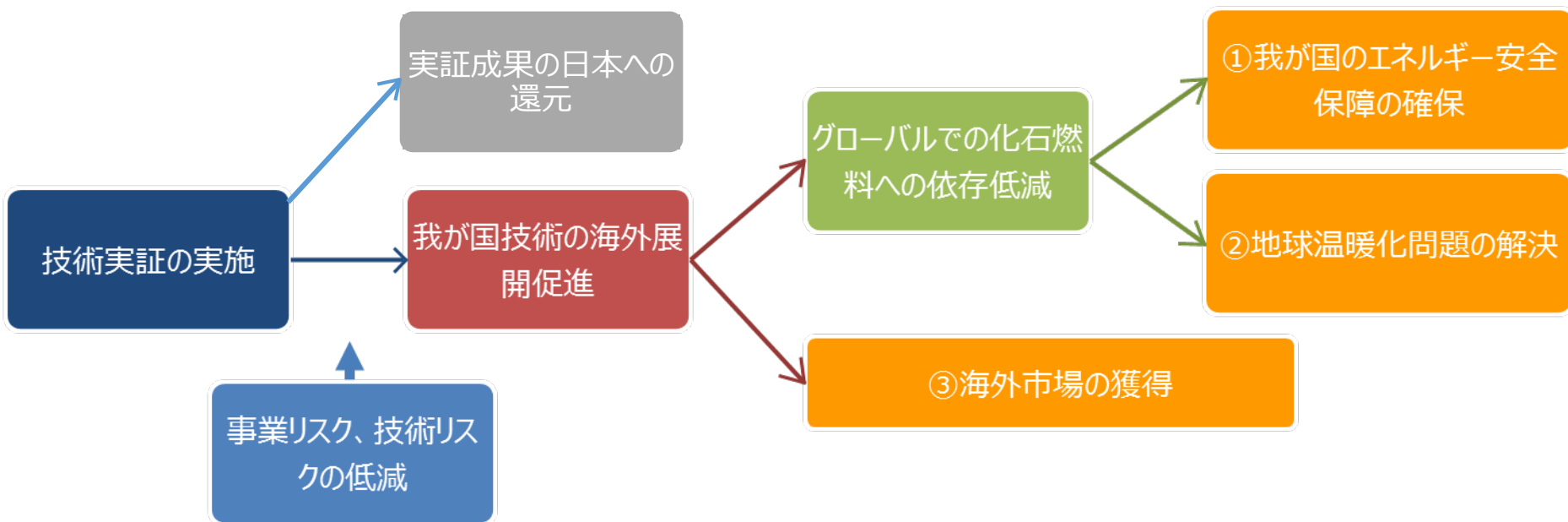
4. 事業成果の普及可能性

…株式会社日立製作所（代表幹事会社）
伊藤忠商事株式会社
株式会社日立システムズ

1. 事業の位置付け・必要性

エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業

3E+S（安定供給、経済性、環境適合、安全性）の実現に資する我が国の先進的技術の海外実証を通じて実証技術の普及に結び付ける。さらに、制度的に先行している海外のエネルギー市場での実証を通じて、日本への成果の還元を目指す。これらの取組を通じて、我が国のエネルギー関連産業の海外展開・市場開拓、国内外のエネルギー転換・脱炭素化、我が国のエネルギーセキュリティに貢献することを目的としている。（出所：基本計画）



1. 事業の位置付け・必要性

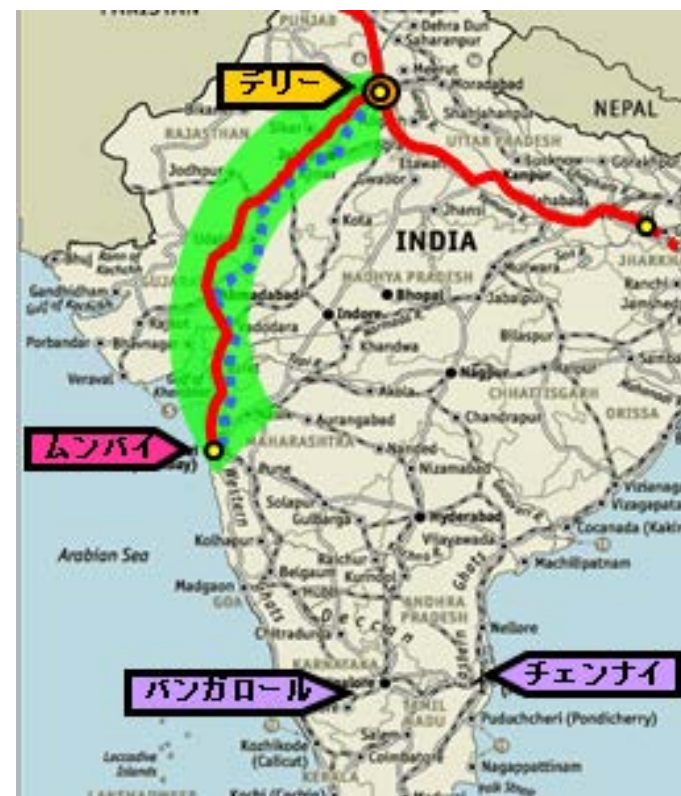
(1) 事業の意義 (社会的背景・位置付け)

- インドでは急速な経済発展に伴い電力需要が急増しており、以下の課題が顕在化している。
 - (1) 電力不足による停電多発
 - (2) 石炭火力発電によるCO2排出量の増加
 - (3) 低電力品質による工業発展阻害



- NEDOは日印エネルギー協力事業とDMIC構想参画の一環として、
 - ・ デリー・ムンバイ産業大動脈開発公社 (DMICDC)
 - ・ インド新・再生可能エネルギー省 (MNRE)
 - ・ インド財務省 (MOF)

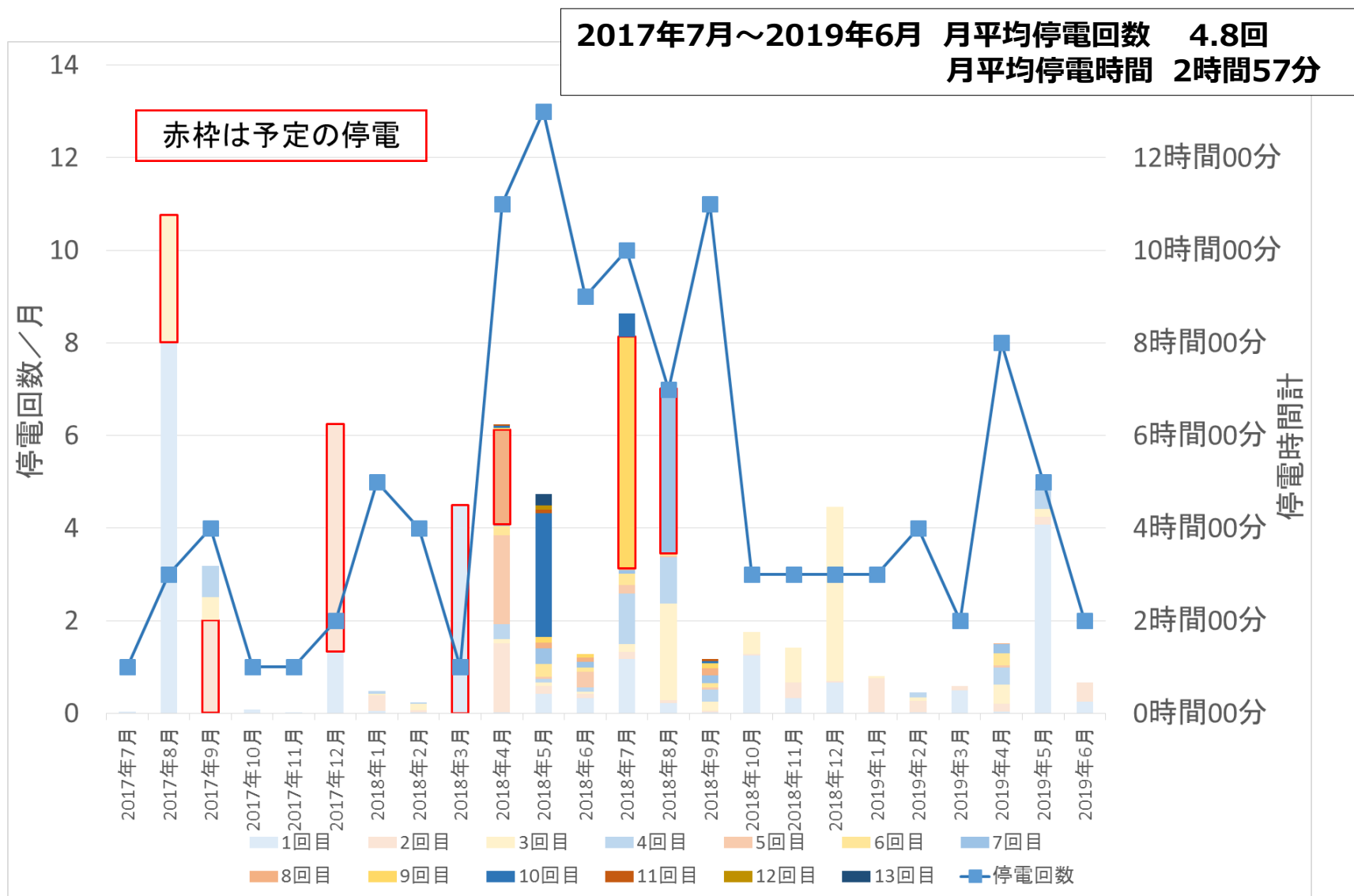
とMW級の太陽光発電技術、マイクログリッド関連技術等の実証に合意 (2012年)



1. 事業の位置付け・必要性

(1) 事業の意義 (社会的背景・位置付け)

参考 ニムラナ工業団地系統電力 (11kV) 停電実績



1. 事業の位置付け・必要性 (1a) 事業の意義 (インドでの実証の意義・必要性)

● 意義：

- ・ 電力需要増大、工業発展への対応と、環境対策の両立への貢献

● 必要性：

- ・ 大規模太陽光発電設備の設置と運営、系統連系の技術とノウハウは不十分であり、具体的なプロジェクトの実施が必要。

① 発電から系統連系に至るシステムの有効性確認

② CISと薄膜シリコン太陽電池の高温環境における性能確認

- ・ マイクログリッドの制御技術を、現地環境において導入し、その有効性の実証して普及を図る。

① 高品質電力の安定供給
実績作り

② 省エネルギーとCO₂削減の
実証



- インフラ・システム輸出戦略への貢献（太陽光発電関連産業への参入）
 - ・ インドには太陽光発電に関して多様なニーズが存在し、公的な支援、普及策もまた多様である。 目標とする導入量も大きい。(註)
モジュール、PCS等の機器に始まって、システム、管理等幅広い市場の形成が予想される。
 - 価格、規模等の市場概要が明確となる前に、主要機器とシステムの運用を行い、有効性の実証によって市場開拓に寄与

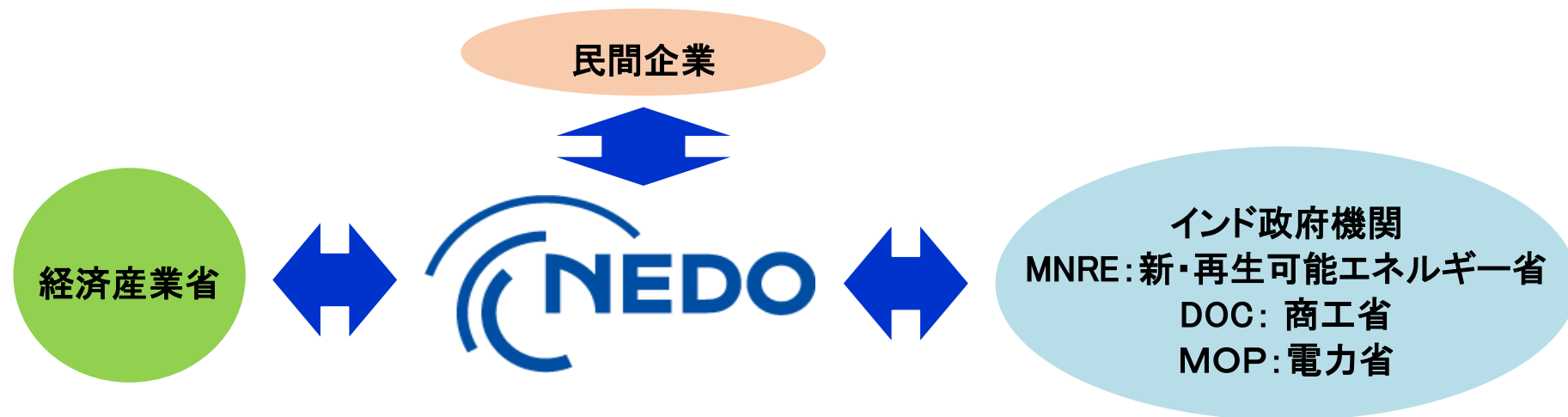
(註) 電力需給の逼迫および、石炭火力発電への依存等によるCO2問題などを背景に、インド政府は2009年にNational Solar Mission(NSM)を発表、太陽光発電を2022年までに100GW導入するための政策的枠組みを構築するとしている。

● 日本とインドの政治・経済的関係

- ・ 日印エネルギー協力事業は継続的に多数の案件が実施されており、経済協力の主要一分野。
- ・ デリー・ムンバイ間産業大動脈構想（DMIC）は2006年日本の提案で始まり、多数のプロジェクトが進行中。

● 規制のクリア

- ・ 発電事業の実施や実配電系統への連系は、重要なインフラへの関与となるため、民間企業単独での実施は困難。
NEDOによるインド政府機関との連携が有効。



● 早期実施

- ・ 太陽光発電単価の低下など、損益見通しに想定を含む段階での実施と、優遇政策の動向によって損益が左右されることから、NEDOによるリスクヘッジと情報収集が必要。

- 本プロジェクトの実施にあたっては、以下の文書を締結した。
 - ・ NEDOとインド政府関係機関の間 ----- MOU
 - ・ 日本側事業者コンソーシアムとインド側事業主体の間 ----- ID
(ID : Implementation Document、MOUの付属書の位置づけ)上記を含む全体の体制は「(2)実施体制」で示す。
- MOUおよびIDではそれぞれの役割分担が明示された。MOU・IDにおける役割分担については「(2a)実施体制 (役割分担)」で述べる。
- また、MOUではインド政府の協力事項として以下が明記された。
 - プロジェクトの実施に関連してNEDOから提供され、インドに出荷される機器に課されるインドの税金、輸入税等はインド側の事業主体であるDMICDCの負担とする。
 - DMICDCは、関係するインド政府によるポリシーサポート、プロジェクトの実施に必要なすべての許可、ライセンス、およびその他インドにおいて必要となる承認を得るものとする。

上記の協力事項は日印間の役割分担に反映され履行された。

- 本プロジェクトについては日印政府間の会議の議題にも取り上げられてきた。

2012年10月10日：

第6回「日印エネルギー対話」における共同声明において、本事業のMOU締結を歓迎する旨言及。枝野経済産業大臣（当時）とアルワリア計画委員会副委員長（当時）による「日印エネルギー対話」が東京で開催。NEDOからは古川理事長（当時）が同席。

2013年4月2日：

茂木経済産業大臣（当時）がチダンバラム財務大臣（当時）と日本で会談。本事業への協力を要請。

2013年5月29日：

シン首相（当時）が来日し、安倍首相と会談。日印首脳共同声明において、本事業の実施を精力的に加速することに合意。

2013年9月11日：

茂木経済産業大臣（当時）がシャルマ商工大臣（当時）とインドで会談。古川理事長（当時）が同席し、インド側予算の問題の解決についてシャルマ大臣からの働きかけを要請。

2013年9月12日：

茂木経済産業大臣（当時）とアルワリア計画委員会副委員長（当時）による第7回「日印エネルギー対話」がデリーで開催。

古川理事長（当時）が同席し、本事業についての協力を要請。

また、共同声明において、本事業の迅速な実現に向けて、インド側が日本側と並んで必要な全ての手順を進めることに合意。

2014年1月25日：

安倍首相が訪印し、シン首相（当時）と会談。日印首脳共同声明にて、本事業の資金調達制度における問題の解決についての歓迎の意と、事業が迅速に実施段階に移行することへの期待が示された。

2014年9月1日：

モディ首相が来日し、安倍首相と会談。日印首脳共同声明のファクトシートにおいて、本事業の進捗に対する歓迎の意と、事業実施を加速化するよう関係当局に指示を出した旨言及。

2015年12月12日：

安倍首相が訪印し、モディ首相と会談。日印首脳共同声明のファクトシートにて、本事業の進展について歓迎の意が示された。

2016年1月12日：

林経済産業大臣（当時）とゴヤル電力・石炭・新再生可能エネルギー大臣（当時）による第8回「日印エネルギー対話」が東京で開催。NEDOからは宮本副理事長（当時）が同席。共同声明のファクトシートにおいて、本事業の進展について歓迎の意が示された。

2018年5月1日：

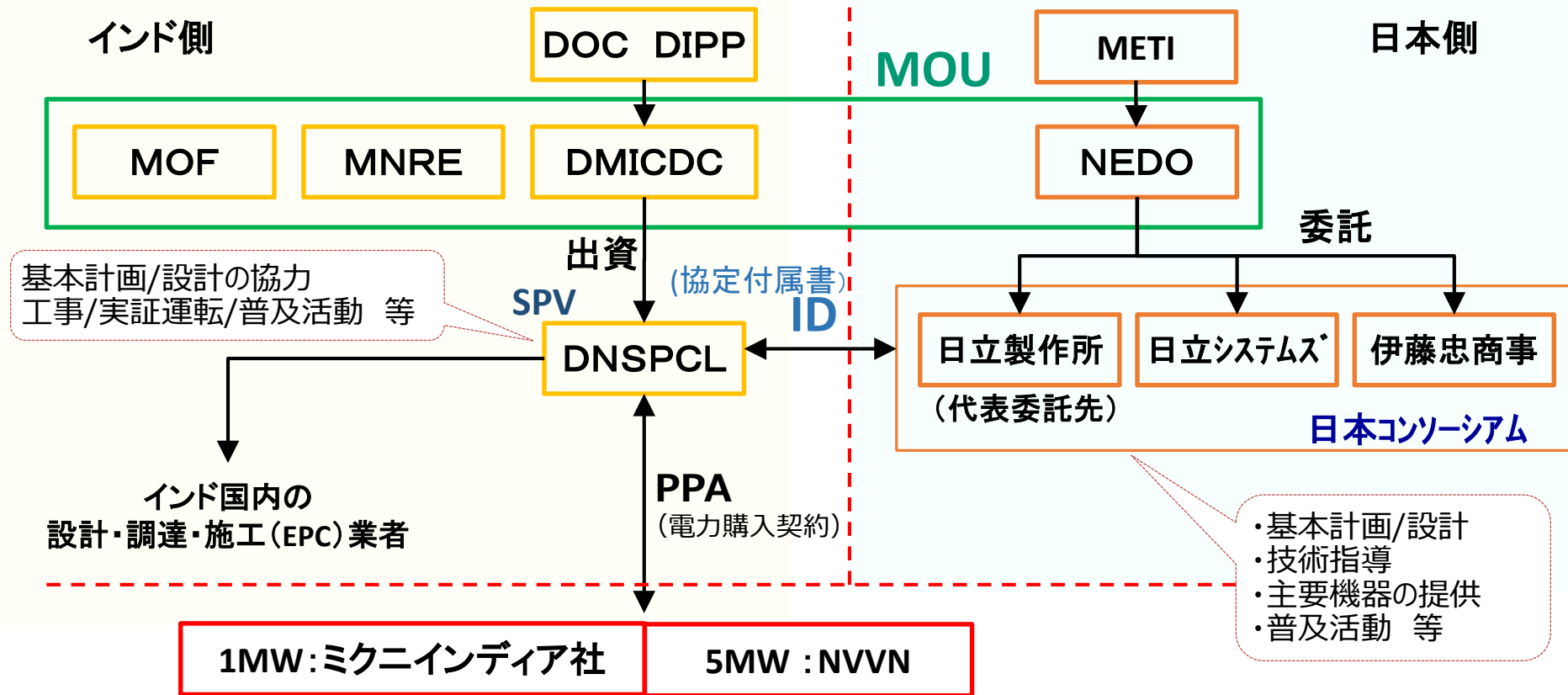
世耕経済産業大臣（当時）とラージ・クマール・シン電力・新・再生可能エネルギー大臣による第9回日印エネルギー対話の共同声明文に、ニムラナの実証プロジェクトの着実な進展と普及を進める旨の記載が盛り込まれた。対話にはNEDO石塚理事長も出席。

2019年12月10日：

梶山経済産業大臣とインドのラージ・クマール・シン電力・新・再生可能エネルギー大臣による 第10回日印エネルギー対話の共同声明文に、ニムラナのマイクログリッドシステムの実証事業が成功裏に終了し、その信頼性のある電力供給システムが確認された旨の記載が盛り込まれた。

2. 実証事業マネジメント

(2) 実施体制 ～全体像～



DOC DIPP: インド商工省 産業政策振興局 (Department of Commerce, Department of Industrial Policy & Promotion)
MOF: インド財務省 (Ministry of Finance)
MNRE: インド新・再生可能エネルギー省 (Ministry of New and Renewable Energy)
DMICDC: デリー・ムンバイ間産業大動脈開発公社 (Delhi Mumbai Industrial Corridor Development Corporation Limited)
DNSPCL: DMICDCソーラーパワーカンパニー (DMICDC Neemrana Solar Power Company Limited)
NVVN: 火力発電公社傘下の電力トレーダー (NTPC Vidyut Vyapar Nigam Limited)(NTPC:火力発電公社)

- インド側実施体制

- インド側実施体制はインド法人；

「デリー・ムンバイ産業大動脈公社」（以下**DMICDC**、Delhi Mumbai Industrial Corridor Development Corporation Limited）

が主体となり、インド側の資金拠出およびインド側の役割部分についてのプロジェクトマネジメントを行った。

- DMICDCは日印共同の地域開発構想「デリー・ムンバイ産業大動脈構想」におけるインフラ開発の推進主体として、インド政府が49%出資している公社。インド国内における本プロジェクト推進母体として、資金面も含めインド政府の裏づけをもった妥当な組織と言える。

- なお、DMICDCは資金を拠出して、本プロジェクトの発電設備を運用するSPV（特別目的会社、Special Purpose Vehicle）として；

「DMICDCソーラーパワーカンパニー」（以下**DNSPCL**、DMICDC Neemrana Solar Power Company Limited）

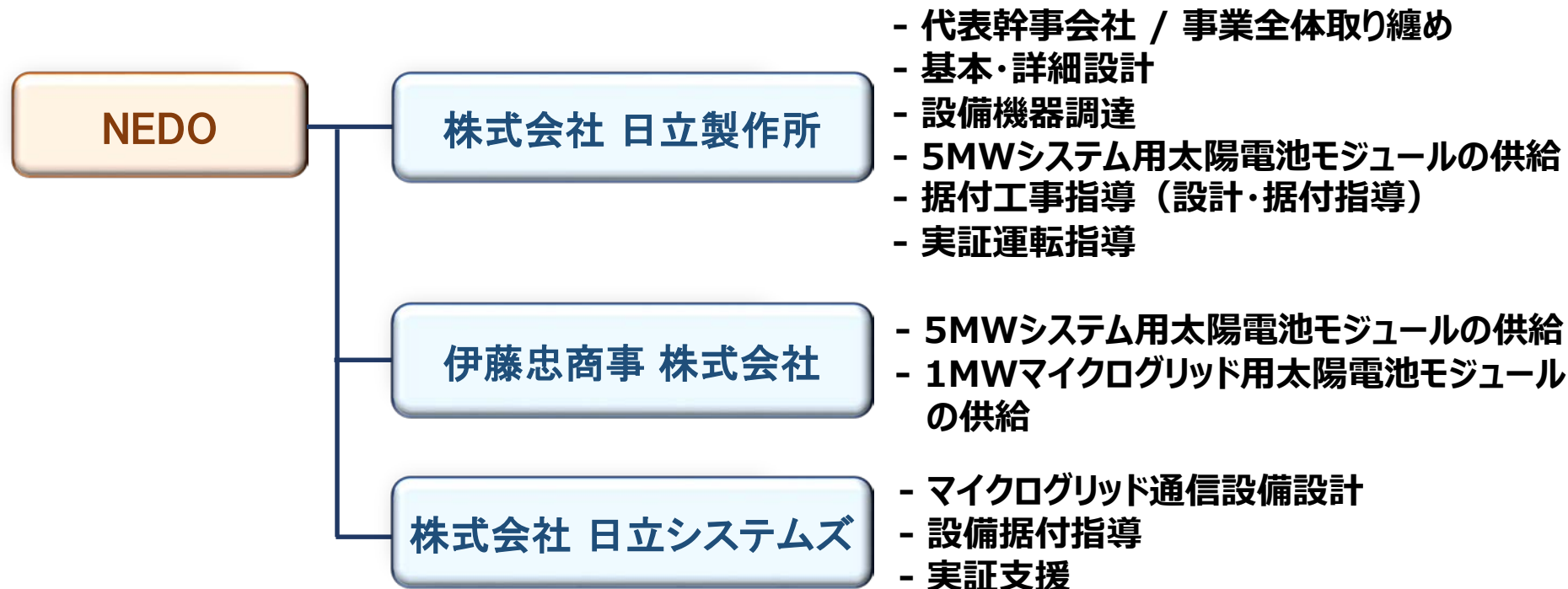
を設立、DNSPCLを通じて、EPCの構築、売電先との契約、O&Mなどを実施した。

- 日本側実施体制
 - 日本側ではNEDOの委託事業として、次の3社がコンソーシアム体制で実証に参画した。
 - 株式会社 日立製作所 (代表幹事会社)
 - 伊藤忠商事 株式会社
 - 株式会社 日立システムズ
 - それぞれの分担については「(2a)実施体制 (役割分担)」で述べる。特に電力関係で高い知見やプロジェクト経験を有する日立製作所が代表幹事となり、IDの締結を含めたインド側との調整主体として日本側のプロジェクトリーダー(PL)に任命、インドDMICDC側のPLと協力してプロジェクトの全体的な取り纏めを実施した。
 - 日本側実施体制についても、委託事業者、分担も含めて適切な体制であったと言える。

- 日印間の役割分担はMOUおよびID内で明確に規定した。MOUの分担概要は下記の通り。 IDにおいても下記に準じて日本側コンソーシアムとインド側SPVの役割分担が規定された。

日本側	インド側
---	用地の確保
機器、システムの基本設計/詳細設計	建屋、土木関連の基本設計/詳細設計
以下機器類の製作および入手 <ul style="list-style-type: none"> ・PVモジュール ・PCSおよび関連機器 ・マイクログリッド制御機器（SCADAおよび関連機器） ・通信機器 	以下機器類の製作および入手 <ul style="list-style-type: none"> ・PV架台および配線類 ・配電設備および関連機器 ・マイクログリッドのディーゼル発電機 ・その他、日本側から供給されない機器、設備類
右記インド側の実施サポート	建築、システム構築、試運転の実施
O&Mトレーニングの実施	O&M要員の手配
実証運転の指導	実証運転の実施
普及活動	普及活動

- 日本コンソーシアム側の役割分担は実証事業委託実施計画書（委託契約書の付属文書）内で明確に規定した。概要は以下の通り。



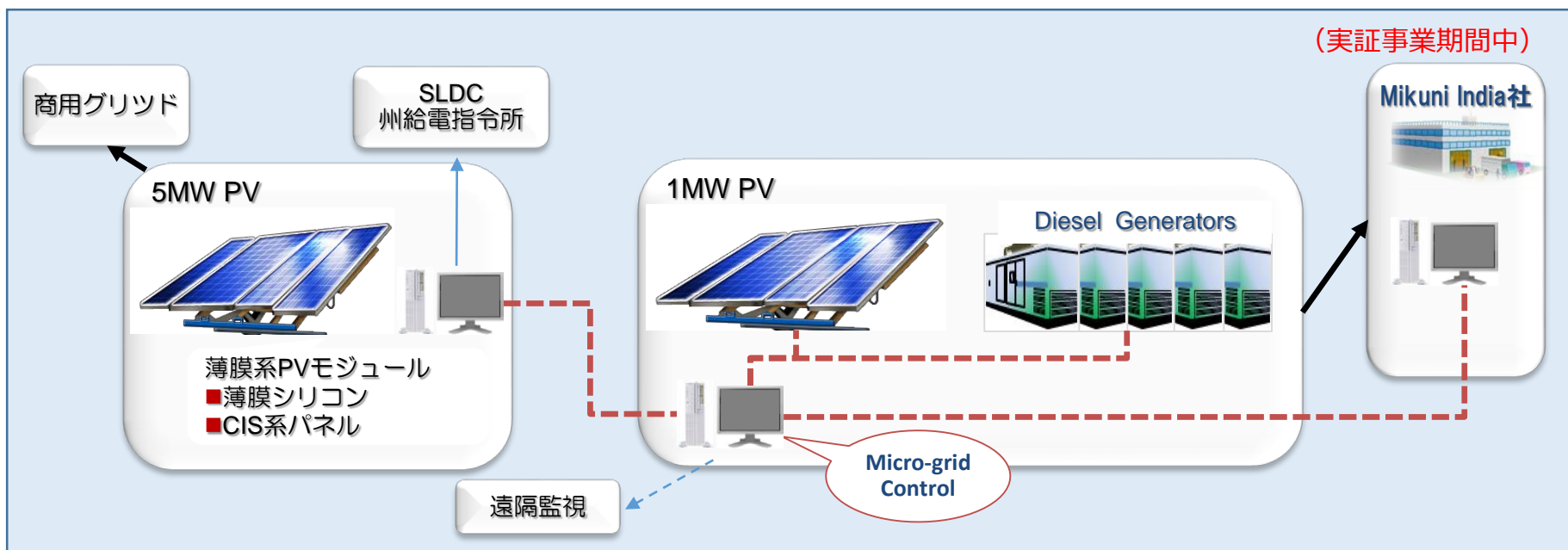
(註) 5MWシステム用太陽電池モジュールについてはカネカ製（1MW）とソーラーフロンティア製（2MW）は日立製作所が、シャープ製（2MW）は伊藤忠商事が供給を担当した。

なお、2010年7月～2011年9月の間で実施したFS期間においては、上記3社に加えて以下の2社も調査事業に参画した。

- ・東京電力株式会社
- ・株式会社日立プラントテクノロジー

2. 実証事業マネジメント (3) 事業内容・計画 ～実証システム全体像～

- 全体
 - 合計 6MWの太陽光発電設備、ディーゼル発電設備、各種制御・連系機器を設置。
- 5MWシステム・・・2015.9月から商用運転。
 - NVVN系統へ送電。ニムラナ工業団地内の変電所に接続。
 - 高温での効率低下が少ない薄膜系パネルを設置し運用中。
- 1MWマイクログリッドシステム・・・2017.7月から実証運転。2019.8月に実証事業完了。
 - マイクログリッドとして実証期間中は日系企業ミクニインディア社へ24時間・週7日で送電。
 - マイクログリッドは商用グリッドとは独立。 PVとディーゼル発電機のハイブリッドで発電。



システムの概略構成図

5MW システムの概観

データ関連設備

- 実証用トレンドデータ収集機能（発電、気象 等）
- SLDC（州給電指令所）向けデータ送信機器



送電

- 33kVでNVVN（火力発電公社傘下の電力トレーダー）の系統に送電

太陽光発電設備

- 薄膜シリコンPVモジュール：
2MW（シャープ製）
特徴：フレームレス構造
- 1MW（カネカ製）
特徴：多結晶シリコンとアモルファスシリコンのハイブリッドモジュール
- CIS PVモジュール：
2MW（ソーラーフロンティア製）
- PCS：
500KVAタイプ 10台設置

1MW マイクログリッドシステムの概観



送電

- 11kV(2系統)でミクニンディア社に送電
電力需要 契約電力1000 kW

ディーゼル発電設備

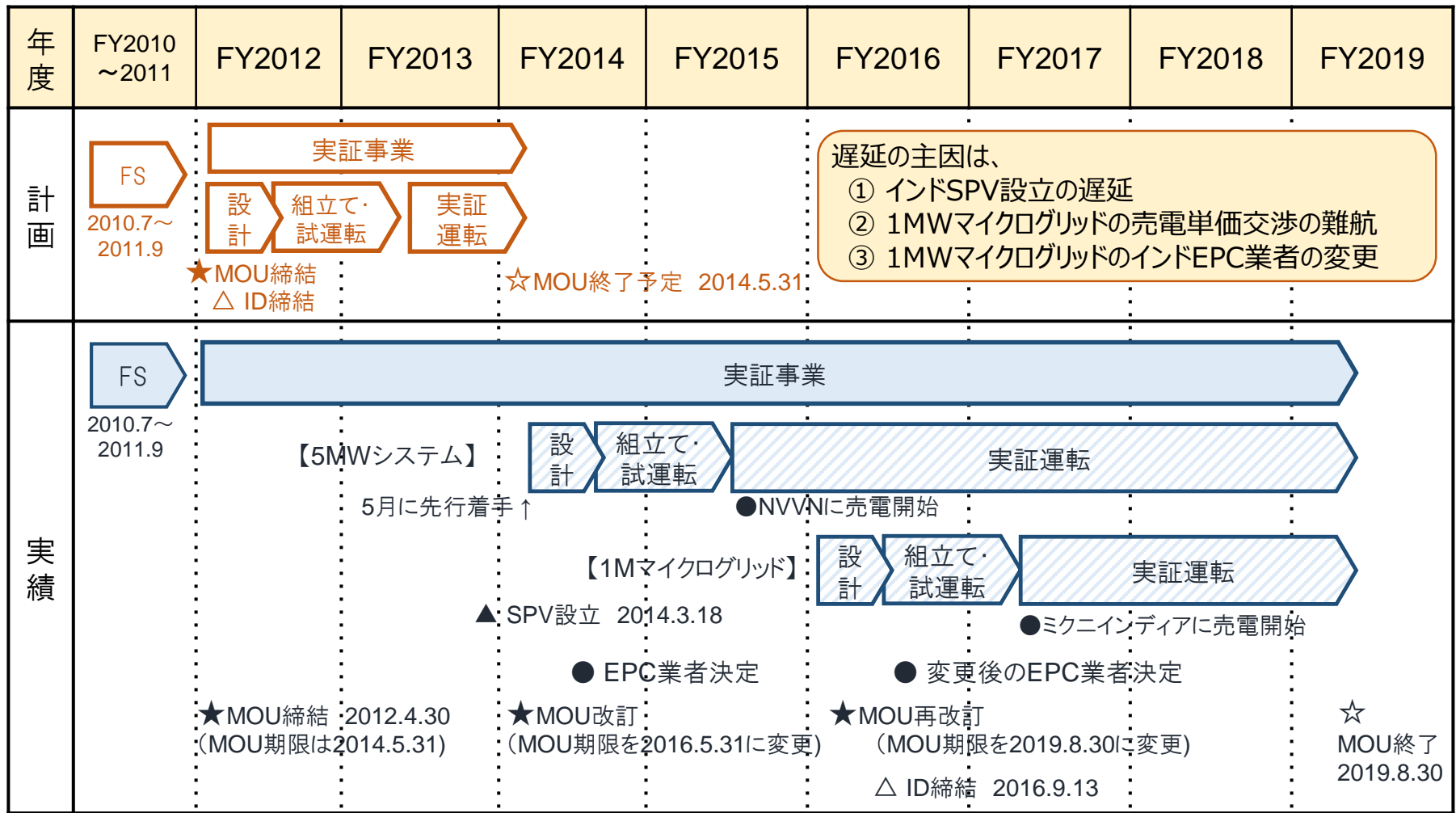
- 500kVA DG： 5台設置 (S&W製)
(1台予備、2～4台の台数制御)

太陽光発電設備

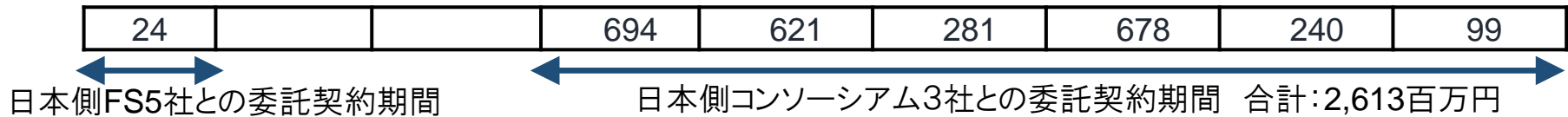
- 多結晶系PVモジュール：1MW（京セラ）
- PCS：500KVAタイプ 2台設置 ⇒ 日射及び需要に対する出力制御機能有り
- SCADA：日立製作所製

2. 実証事業マネジメント (3) 事業内容・計画 ～全体計画と進捗～

- プロジェクトの全体計画と実績を 図2-(3)-1 に示す。
- 進捗管理、その他各種調整を目的として設定した会議体を 図2-(3)-2 に示す。
- 実証事業の主だった経緯を 表2-(3)-1 に示す。
- 図2-(3)-1 に示すように、プロジェクトの完了時期については、計画遅れにより、当初予定から約5年遅延した。それに伴いMOUの期限も2回にわたって延長している。
- プロジェクトは延長されたものの、NEDO負担額の実績はFS当初の予算額から2億円程度下回って終了した。
- 上記、遅延要因となった問題を中心にプロジェクトにおいて発生した主要な問題とその対応について、表2-(3)-2 に纏めた。(非公開)



費用(NEDO実績負担額、単位百万円)



2010年当時の事業全体予算はFSを含めて概算2,830百万円。実績では同予算額を200百万円程下回った。

図2-(3)-1 実証事業のスケジュール



- (註1) ステアリングステアリングコミッティーは2017年2月に設置した。1MWシステムの運用開始までは月1回のペースで開催、運用開始後は半年に1回程度のペースで計11回開催した。
- (註2) NEDOと代表幹事会社の日立製作所を中心とした日本側の打ち合わせ。月1回程度のペースで開催した。
- (註3) 日立製作所とDMICDC/DNSPCLとの現地会議体。プロジェクト進捗管理に加えて、日本側から施設の運転指導も実施。月1回開催。



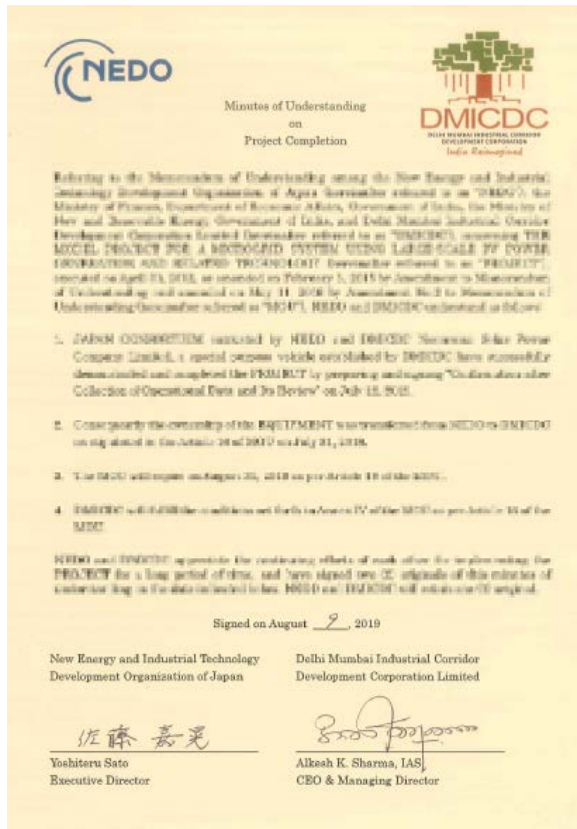
ステアリングコミッティー@DMICDC

図2-(3)-2 日印の会議体

表2-(3)-1 プロジェクトの主な経緯

- 2012年4月： 実証事業のMOU締結。（日本側: NEDO, インド側: MOF, MNRE, DMICDC）
分担概要は 日本側：太陽電池と制御機器・通信機器 インド側：それ以外
- 2014年3月： インド側でSPV（DNSPCL）設立、政府（DMICTラスト）の100%出資。（①遅延）
- 2015年9月から： 5MWシステムの電力は商用系統に売電。
- 2016年5月： 1 MWシステムの売電先のミクニインディア社とSPV(DNSPCL)との間でPPA締結。
（②遅延）
- 2016年12月： 1MWシステムのEPC（設計・調達・建設）インド側業者が決定。（③遅延）
- 2017年7月から： ミクニインディア社に対して、1 MWシステムの安定電力の供給開始。
- 2019年7月： 1MWシステムの2年間の実証運転期間が終了。MOU期間中は商用運転を継続。
- 2019年8月9日： NEDO佐藤理事、DMICDCシャルマCEO間で実証が成功裏に完了した旨の確認文書に署名。（次ページ）
- 2019年8月30日： MOU期間終了、NEDO資産をインド側に無償譲渡し、インド側で単独運転実施。

表2-(3)-1 プロジェクトの主な経緯（プロジェクト終了）



NEDO佐藤理事（写真右）とDMICDCシャルマCEO

2019年8月9日 NEDO佐藤理事が訪印、本実証プロジェクトが成功裏に完了した旨の確認文書に佐藤理事、DMICDCシャルマCEOが署名して取り交わされた。



署名に向けた最終確認会議

システム運転上の課題



1 MWマイクログリッドでは製造会社の生産ラインの電力をPPA契約に則って提供

ゆえに ⇒ **電力品質の確保は至上命題**



対応 ①

ディーゼル発電機を余剰に運転（N+1フィロソフィ）することで、単独機器故障時の停電防止、需給変動に対する周波数維持

対応 ②

電力品質維持・向上に向けて、日本側コンソーシアムによる現地運転指導

対応 ①

ディーゼル発電機を余剰に運転（N+1フィロソフィ）することで、単独機器故障時の停電防止、需給変動に対する周波数維持

【副作用】

- ⇒ ディーゼル発電機の余剰運転により太陽光発電利用率の減少
(ディーゼル発電機の最低運転負荷の維持の必要性のため)
- ⇒ ディーゼル発電機燃費の悪化

現地のディーゼル燃料価格が想定以上に高騰したことに加えて、上記要因が重なってDNSPCL（売電会社）の採算が悪化。



【対処】

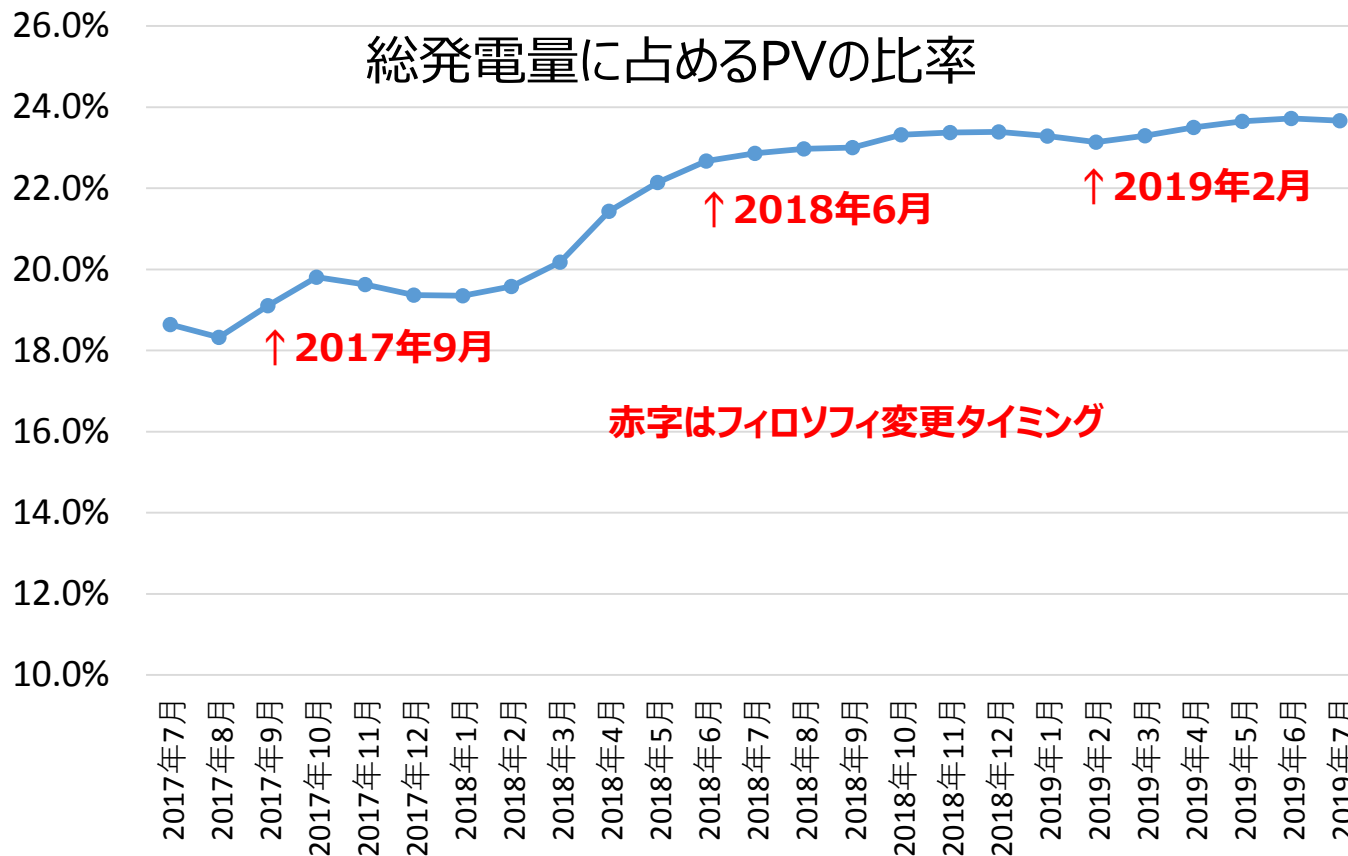
需給変動状況および運転状況を観察し、電力品質を維持させながら、段階的にN+1フィロソフィのプログラムを3回変更、ディーゼル発電機の余剰運転率を減らして、太陽光発電利用率向上および燃費の改善を図った。

(但し、SPVの採算への貢献にはなかったが、燃料価格の高騰を吸収しきるまでには至らず)

電源品質を維持しつつ、経済性と環境性能の改善

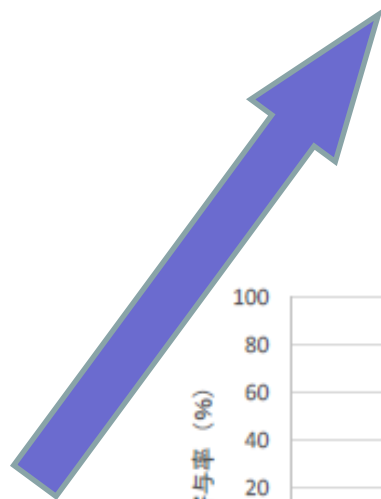
1MWマイクログリッド 太陽光発電利用率の改善結果

総発電量に占める太陽光発電の比率は19%から23%に高まった。
(日中に限れば利用率はその倍ほどになると考えられる)



電源品質を維持しつつ、経済性と環境性能の改善

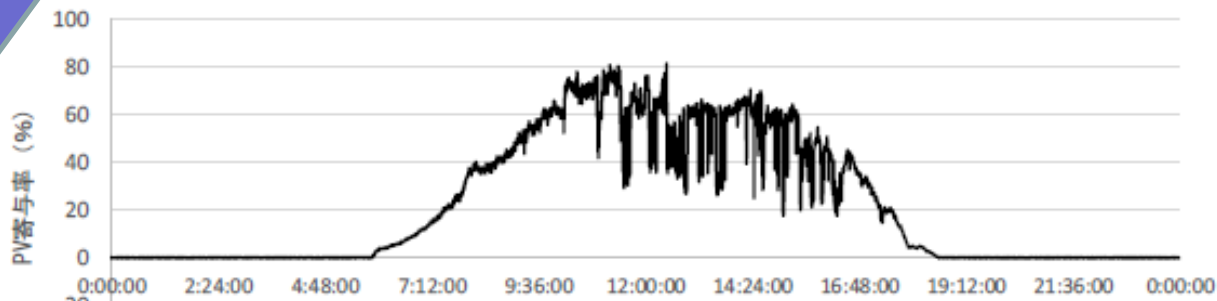
1MWマイクログリッド 段階的太陽光発電利用率の向上



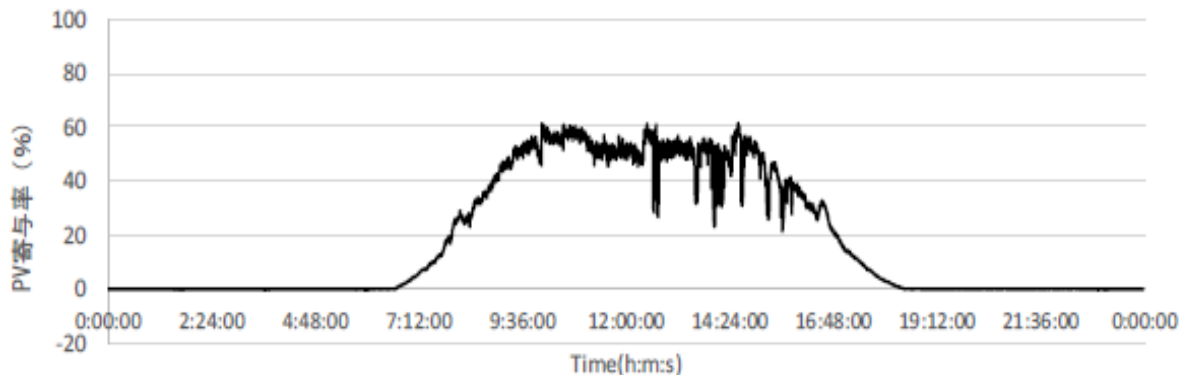
PV寄与率 (%) (2019年4月3日水曜日)



PV寄与率 (%) (2018年6月19日火曜日)



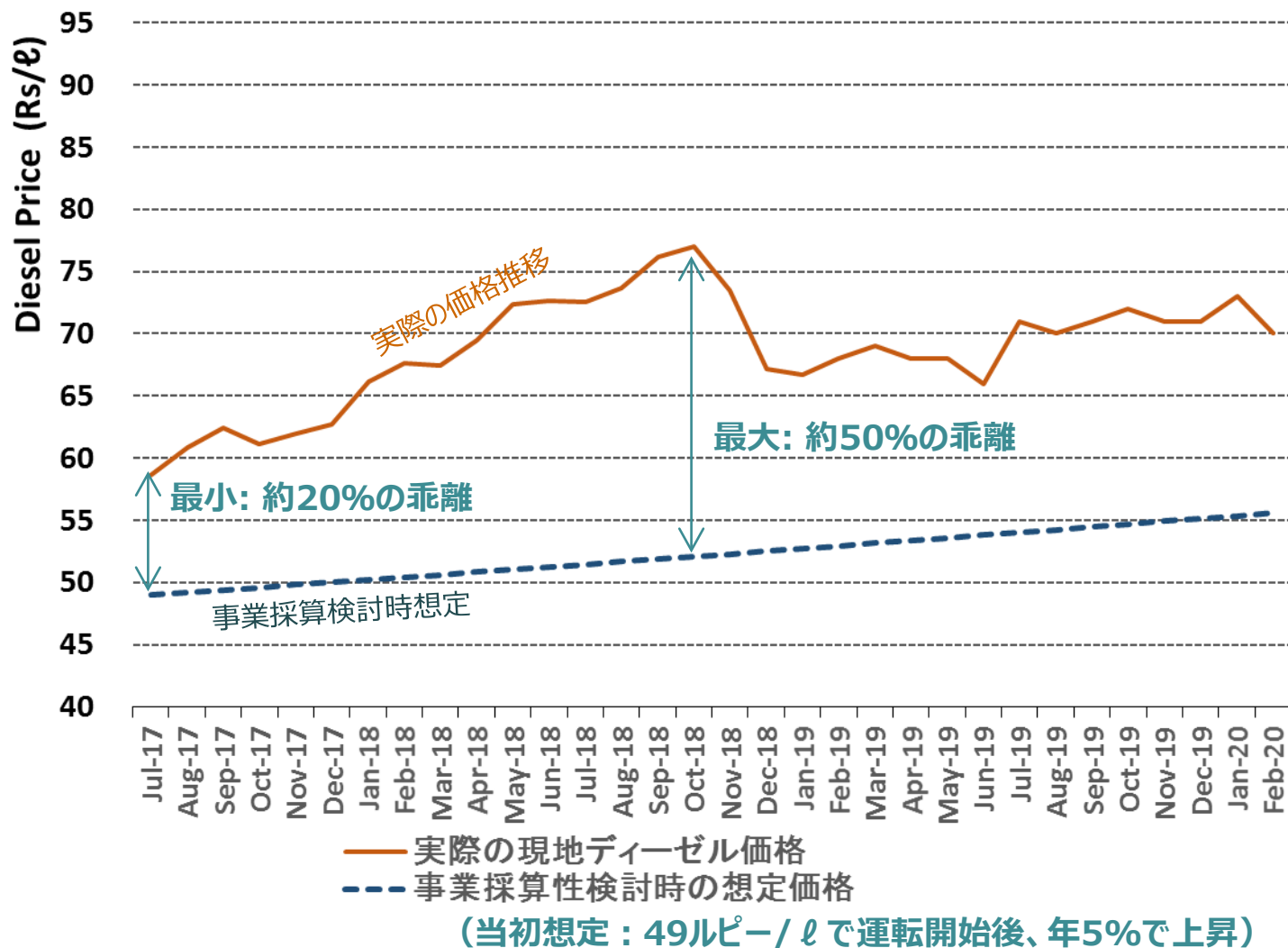
PV寄与率 (%) (2018年3月22日木曜日)



太陽光発電の最大寄与率を、
56%から70%に高めた。
(総量は電力需要や日射量に
よって日々異なる)

(参考) ニムラナ地区のディーゼル燃料価格の高騰

ディーゼル燃料価格が、事業採算性検討時の想定価格より約20～50%高く推移してSPVの採算を圧迫した。



対応 ②

電力品質維持・向上に向けて、日本側コンソーシアムによる現地運転指導

- 日立製作所による現地運転指導およびインド側プロジェクト担当とのミーティングを定期的に実施（月1回のペース）
- NEDOも参画のうえで大規模な一斉総点検の開催（実証期間中1回）
日常点検ポイント等について現地作業者に指導。現地オペレーターの品質意識の動機づけにも寄与。

↓ 一斉総点検結果はNEDO PTにて取り纏めて日印双方で共有

~ Photographs ~
1MW MICROGRID SOLAR POWER PROJECT
INSPECTION IN
5,6 DECEMBER

RE

See following document
"MINUTES OF THE MEETING ON 1MW MICROGRID IN NEEMRANA, RAJASTHAN HELD ON TUESDAY 6 DECEMBER, 2017 AT 1MW MICROGRID SOLAR IN RAJASTHAN"

Area 9: WMS

Observation and suggestion
Installation of Module temperature sensor condition is not appropriate. (Gap between sensor and PV surface. It shall be rectified.)
Has been rectified immediately!

Observation and suggestion
Bended structure shall be rectified, if possible.

Observation and suggestion
Condition of foundation shall be checked. If some crack or defect has found, it shall be rectified.

Observation and suggestion
Wire condition was not good. Irradiant sensor was dirty.
As sensor type has been changed, Technical documents on WMS shall be provided for Hitachi.

Observation and suggestion
Irradiant sensor shall be cleaned once a week by dry cloth.
Comparison WMS data of 5MW and 1MW may be useful to confirm irradiant sensor condition.
Correction has been made for wires and sensor!

Observation and suggestion
top side and back side shall be cleaned. Big size grass shall be cut and avoid shade on the solar panels.

LT panel & UPS DB

Battery Bank

All the Battery terminals are uncovered.
Strong recommendation
Terminals shall be properly covered to avoid fatal electrical shock.
In consideration of visitors entering the room, at least appropriate warning placards and/or markings shall be installed.

9

20

23

2. 実証事業マネジメント (3) 事業内容・計画 ～システム運転上の課題と対応～

1MWマイクログリッドにおいて実証期間中に発生した電力供給トラブル

- システム操作ミスおよび機器故障による停電が3回発生したが、日本側から供給した機器に起因したトラブルは発生しなかった。

～システム操作ミス～

2017年7月14日【初期の操作ミス】

DG燃料漏れにより、手動操作切替時のオペレーションミスにより18分間の停電発生。

～機器故障～

2017年7月31日【インド側調達機器の故障】

AUXトランスが発火、その後PCS2台が停止し、周波数低下異常で売電先の製造ラインにて稼働中のマシニングセンター2台が停止し、再立ち上げ時にホルダーと治具を破損させた。

再発防止対策として回路設計を再検討して、AUXトランス無しのシステム構成に変更した。

2018年11月5日【インド側調達機器の故障】

No.5 DGシンクロパネルのACBで内部の配線が近傍の金属部材に噛み込んで地絡発生、それによってサイトがトリップ（48分間発電停止）。損傷した内部配線を修理。製造時の機器の内部配線の固縛不良に起因したものと推定。NEDOおよび日立製作所からはDMICDCに対して同様の不具合が発生する可能性のある箇所について水平展開点検の実施を要請。

2019年2月17日【インド側調達機器の故障】

変圧器タップ切換器のシーケンススイッチ（DSS）の緩みによりオーバーボルテージによるトリップが発生、変圧器のメーカーであるRaychemのエンジニアによって不具合が修正された。NEDOおよび日立製作所からはDMICDCに対して同じく水平展開点検の実施を要請。

2. 実証事業マネジメント (3) 事業内容・計画 ～システム運転上の課題と対応～

1MWマイクログリッドにおいて実証期間中に発生した電力供給トラブル

～不可抗力～

2017年8月18日【小動物侵入】

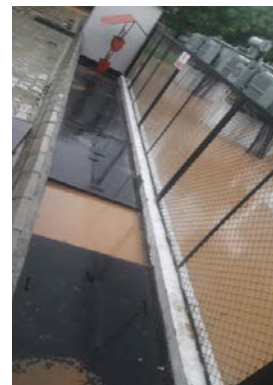
PCS-2停止。原因はPLC同士の通信異常。8月23日に日立のエンジニアが訪印して点検、光ケーブルが小動物にかじられた傷を見つけた。当該光ケーブルを交換して修復。再発防止として制御盤内への小動物侵入防止対策を実施。

2018年6月7日【受電側運用に起因】

シティグリッドが停電した際に、受電側においてデマンドに擾乱発生。その影響で1Mサイトの発電がトリップした。

2018年7月22日【天災】

豪雨時に隣地から流れ込んだ雨水により、サイトが広範囲に浸水、オペレータの判断でサイトをシャットダウンした。排水後、復旧・点検作業を実施して7月24日に運転再開。隣地所有者に対して雨水流れ込み防止策を要求、後日同対策の実施を確認するとともに、DNSPCL側でも豪雨時の自己防衛対策を実施した。



隣地からの雨水により
サイトが浸水

太陽光発電によるCO₂年間削減量試算

インドSPV作成の発電レポートをもとに、以下簡略化して試算した。

- 5MWシステムの年間太陽光発電量（実証期間後半の2年間の平均実績値）
：7,302MWh/年
- 1MWマイクログリッドの年間太陽光発電量（同上）
：1,029MWh/年



1MW+5MWで概算 7,430tCO₂/年の削減効果となる。

（参考： F/S時点の想定目標値：7,266tCO₂/年）

変換指数はインド電力省中央電力機構による、FY2017～2018のグリッド電力のCO₂換算データ（註）から以下の値を採用した。

5MWシステム：0.96tCO₂/MWh (Simple operating margin OM)

1MWマイクログリッド：0.70tCO₂/MWh (Diesel)

また、システム側排出量は5MWは概算で0.034tCO₂/MWh、1 MWは0.0455tCO₂/MWhで試算した。

（註） Ministry of Power Central Electricity Authority

CO₂ Baseline Database for the Indian Power Sector User Guide Version 14.0

1. 事業の位置付け・必要性

…NEDOプロジェクトチーム

2. 実証事業マネジメント

…NEDOプロジェクトチーム

3. 実証事業成果

…株式会社日立製作所（代表幹事会社）
伊藤忠商事株式会社
株式会社日立システムズ

4. 事業成果の普及可能性

…株式会社日立製作所（代表幹事会社）
伊藤忠商事株式会社
株式会社日立システムズ

◆ 3-(1)-1. 事業の成果・達成状況

- 2010年7月～2012年9月のFS事業をインド中央政府各省庁、ラジャスタン州政府、DMICDCと協力体制を確立。
- 2012年にMOUを締結し2014年から2019年にかけて実証事業を実施した。
- 実証設備の5MW太陽光発電所は系統に接続、1MW太陽光マイクログリッド設備は工業団地内ユーザー企業への電力供給を継続した。
- 「安定電力供給」「省エネ」と「太陽電池パネルの有効性」の各課題を実証した。

課題と成果(まとめ)

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

項目	目標	成果	達成度	残った課題/変更した場合はその内容など
電力安定供給技術の実証	太陽光発電システムとディーゼル自家発電機を協調運転制御し電力安定供給を行う。	2年間の実証運転期間中はユーザー側停止期間を除き、昼夜連続24時間運転により安定電力供給を達成。	○	技術面で残った課題はない。
マイクログリッド制御技術による省エネ	ディーゼル自家発電機の燃料消費量の節減効果を実証した。	システムの安定性を確保しつつ、太陽光発電寄与率を最大化し燃料消費量を削減した	○	実証期間を通して日印間で協力し寄与率を改善した。
日本の最新の太陽電池パネルの有効性を実証	気温50℃を越す高温環境における日本製太陽電池の有効性実証	冬には一桁、夏季には50℃を超える気温環境下での安定発電性能を実証	○	特になし。

◆ 3-(1)-1. ①-1 電力安定供給技術の実証

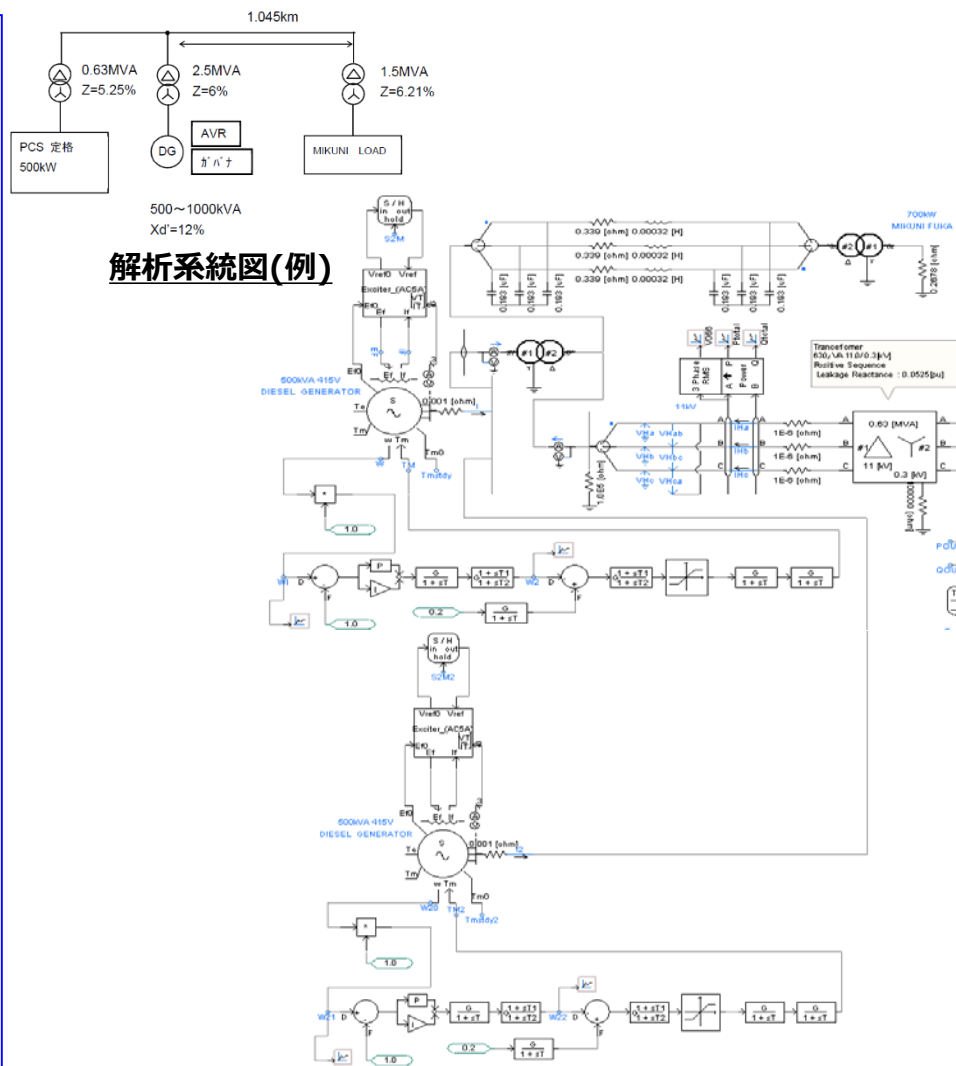
- 工業団地でマイクログリッドを構成するための課題と対応手法を整理。
- プラント建設に先立ち、想定される負荷と変動要因を想定したシミュレーションにより安定運転条件を評価、この結果を踏まえ実負荷運転による実証を行った。
 1. (N+1) 冗長設計に基づき、負荷量に応じDG運転パターンを決定。DGの瞬動予備力確保とPV-PCSリミッタコントロールにより、PV-PCS故障、DG故障や負荷変動に対して安定な電力供給を継続できる。
 2. 複数台DGを最低出力付近で運用する場合でも、DGガバナーによる負荷追従制御を行うので、短周期のランダムな負荷変動やPVの出力変動に対して周波数制御能力を維持し、電力品質を維持できることが検証できた。
 3. 複数のDGとPVを連系させてマイクログリッドを構成し、DGガバナーとPVの協調制御を行うことにより、電力安定供給を犠牲にせずPV出力を最大化することができた。実証期間中もPV電力量を継続的に改善した。

インド工業団地においてPVなどの再生可能エネルギーを活用したマイクログリッドモデルが電力安定供給に対する一つの解決策となることを示すことができた。今後、他の工業団地にも同様のモデルを構成する機会につながることを期待している。

◆ 3-(1)-1. ①-2 電力安定供給技術の実証

負荷変動シミュレーションについて

- 安定供給条件の事前評価の為、最大負荷、DG及びPCSの運転台数と負荷変動幅をケース別に系統解析評価した。
- 解析は、想定する負荷条件下で発電機器1台が脱落しても、安定電力供給できることを基準に運転台数を整理した。
- 1MWマイクログリッド運開当初は安定性を重視したプランを策定したが、燃料高騰によるインド側要望も踏まえ、PV寄与率を段階的に改善した。
- 改善の各段階では目標PV寄与率を実現する運転プランを系統解析により確認しながら進め安定性の確保に寄与した。



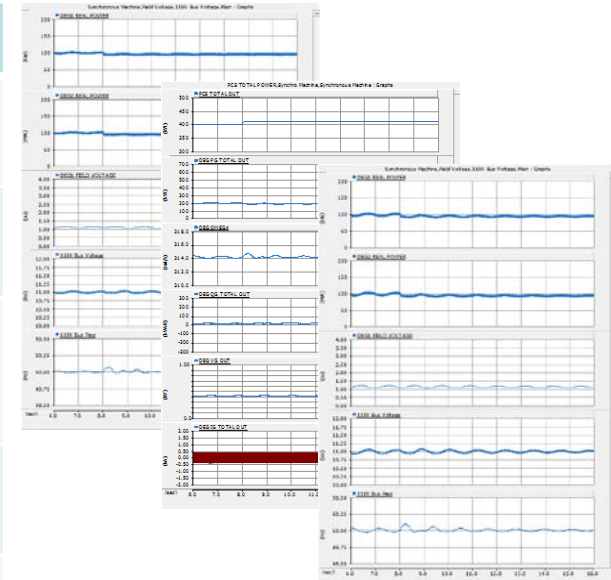
PSCAD解析系統図(例)

◆ 3-(1)-1. ①-3 電力安定供給技術の実証

No.	課題	対応手法	検証方法
1	安定電力供給	<ul style="list-style-type: none"> (N + 1) 冗長性設計に基づくシステム設計 DGガバナーによる瞬動予備力の確保。 PCSリミッタによるDG過負荷と逆電力防止。 	長期的な実績データを取得して、負荷に供給される電力を確認する。
2	電力（電圧・周波数）品質の維持	<ul style="list-style-type: none"> 負荷変動が緩やかで大きい場合は、DG運転台数とDG出力設定値変更で対応 発電機ガバナーは、高速および小さな負荷変動に応動。 	長期的な実績データを取得して、電圧と周波数の品質を確認。
3	経済性と環境性能の改善	<ul style="list-style-type: none"> グリッドを安定させるために必要なDGの数を減らす。 PV出力を最大にする。 燃料コストと環境負荷を最小限にする発電計画。 	長期的な実績データを取得して、PV & DGの電気エネルギー量（WH）を算出。

解析ケース例

No.	初期状態			PCS運転安定性	最大周波数変動	11kV母線最大電圧変動	波形図番
	PV発電電力	DG発電電力	負荷電力				
1	760kW(2台) ↓ 380kW(2台)	240kW(3台) ↓ 620kW(3台)	1000kW	安定	-0.5%	+0.2% -1.1%	図3.6.19
2	380kW(2台) ↓ 760kW(2台)	620kW(3台) ↓ 240kW(3台)	1000kW	安定	+0.6%	+1.2% -0.6%	図3.6.20
3	760kW(2台) ↓ 380kW(1台)	240kW(3台) ↓ 620kW(3台)	1000kW	安定 DGガバナーは安定確認必要	-3.6% +1.6% 仕上がり2%以内	-9.1% +6.3% 仕上がり5%以内	図3.6.21
4	40kW(1台)	160kW(2台)	200kW	安定	PCS起動時のため評価対象外	PCS起動時のため評価対象外	図3.6.22
5	500kW(1台)	500kW(2台)	1,000kW	安定 DGガバナーが不安定	PCS起動時のため評価対象外	PCS起動時のため評価対象外	図3.6.23



◆ 3-(1)-1. ①-4 電力安定供給技術の実証

1. 電力品質の評価結果

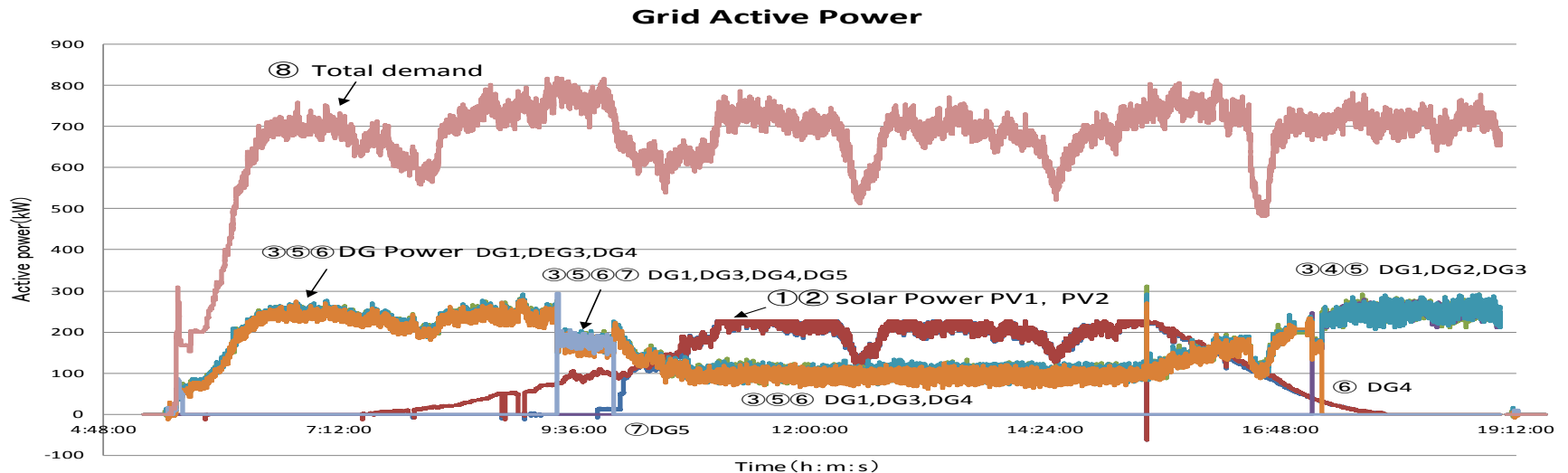
- 2018年の春分、夏至、秋分、冬至の日について合計負荷電力、PV出力及びDG出力の変動状況を評価した。負荷変動の状況は季節に関係なくランダムな変動であり、DGが追従して周波数制御を行っている。

2. 負荷変動評価事例

- '18.6.21の負荷は最大800kW、負荷変動標準偏差は11kW程度であった。
- '18.12.20の負荷は最大900kWを超過、負荷変動標準偏差は14.7kW程度

3. 総括

- 実証期間中の電力品質は、周波数変動で基準値0.4%以内、母線電圧変動で基準値の±5%以内であった。期間中、電力品質に係るトラブルもなく安定して電力を供給した。



◆ 3-(1)-1. ② マイクログリッド制御技術による省エネ

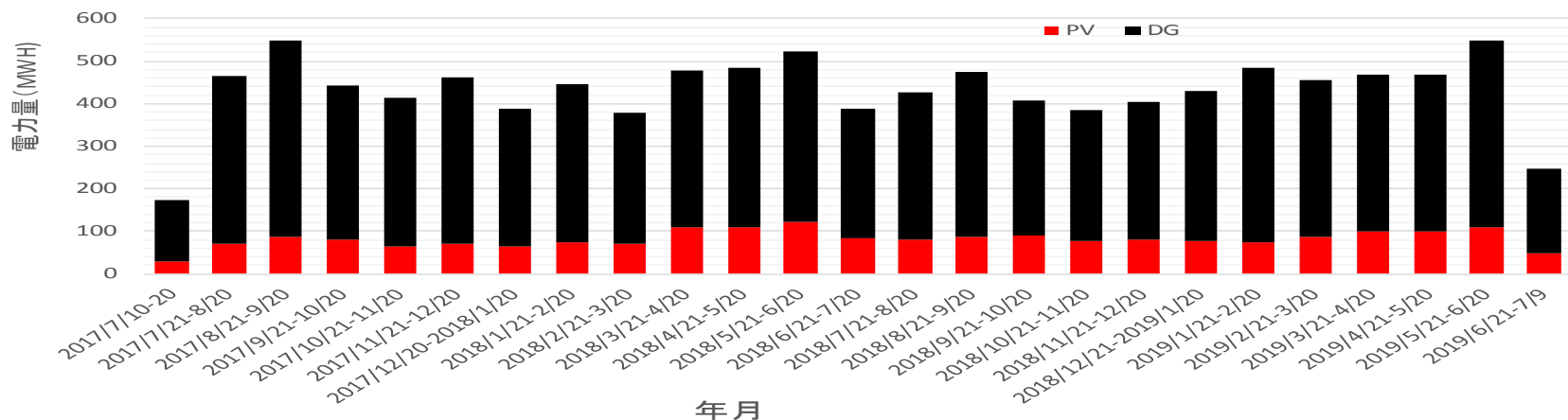
実証期間中のDG燃料消費量節減効果

- 2017年7月10日から2019年7月9日までの2年間におけるDG発電量とPV発電量実績を評価した。
- PV発電は2017年7月10日から2019年7月9日までの2年間の総発電量約10,780MWhの19.1%となる約2,057MWhを占め。この発電量に相応した燃料節減に貢献した。
- PV出力を定格400kWのDGで出力すると、約5,142時間で運転することとなり、DGの燃料消費量を概ね101.5 (l/h)として2年間の節減燃料消費量は522(kl)と算定することができる。

PV寄与率改善効果について

- 3-(1)-1.①で説明したPV寄与率の改善施策により2017年の運転開始時に19%程度であったPV寄与率は2019年には約1.2倍の23%程度を達成した。
- これは、運用モード更新による効果も一つの要因であるが、現地プラントでインド側担当者と運用改善に向けた継続的なディスカッションを実施し安定運用の推進体制を維持できた点も大きな要因である。

PV電力量とDG電力量の実績(月単位 2017/7/10～2019/7/09)



◆ 3-(1)-1. ③-1 太陽電池パネルの有効性を実証

経緯及び目的

- 本事業着手当時(2010年～)、多結晶シリコン系PVパネルが実績を重ねる一方、薄膜シリコン系や化合物系パネルの開発が日本国内のパネルメーカーで進んでいた。
- この中で、化合物系や薄膜系パネルは高温下でも出力低下が低い特徴をもち、夏季に50℃を超える過酷なインド国内の環境で発電能力を評価することを主眼の一つとした。
- 本事業では、5MWプラントでCIS系、薄膜シリコン系パネルの実証を進めた。



5MW発電所



PCS設置状況



SHARP製モジュール



KANEKA製モジュール



SF製モジュール

◆ 3-(1)-1. ③-2 太陽電池パネルの有効性を実証

太陽電池パネルのクリーニング(発電量の確保)

- 1サイクル/週の計画でパネル表面の汚れを洗浄
- この為にサイト内に井戸と貯水タンクを設置、サイト内に配水し各所の水栓から放水。
(写真は5MWサイト)



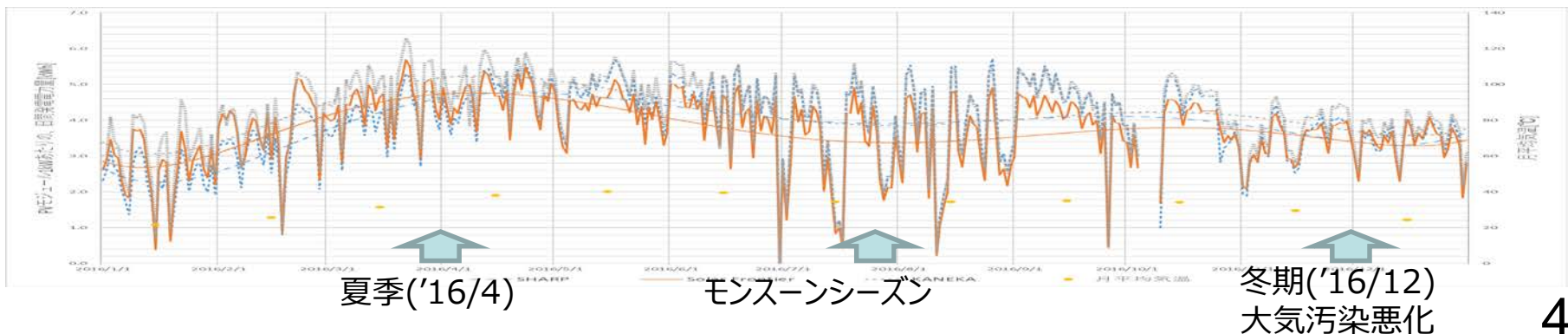
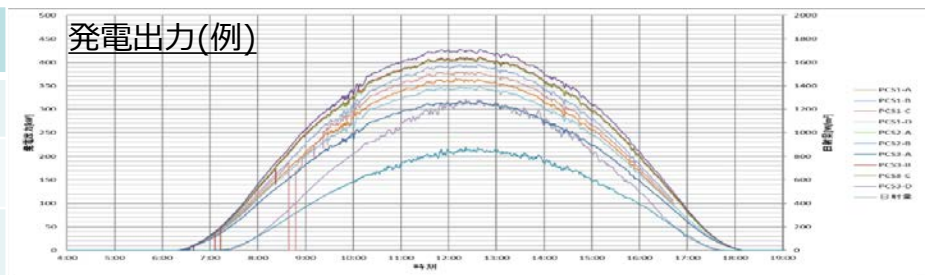
インド現地は日本と比較してはるかに降雨量が少なく、また付近の土壌が非常に細かな砂で構成されていることもあり粉塵としてパネル表面に付着、日射を阻害する為、オペレータにより毎日没後に2時間程度かけてパネル洗浄を実施。※モンスーン時期は定期的な雨により洗浄されている。



◆ 3-(1)-1. ③-3 太陽電池パネルの有効性を実証

- パネルの有効性は系統接続の5MW発電設備の発電出力と日射量測定値などをもとに評価した。
- この結果、各パネルともインドの50℃を超える過酷な気候条件下でも安定して発電する事を確認した。
- PCSにはインド国内製造の日立製500kW型を使用。高温/高負荷環境でも安定して運転している。
- パネル別では、薄膜シリコンのシャープ製モジュール、多結晶とアモルファスシリコンのハイブリッドであるカネカ製モジュール、化合物系のソーラーフロンティア製モジュールともに4月～6月の夏季にも安定発電しており、特に薄膜系ではその特長である温度上昇による変換効率低下が少ない事も確認できた。
- 一方、薄膜系モジュール2機種(シャープ製、カネカ製)で採用したフレームレスタイプは現地業者による設置作業時に破損が発生、取り扱い面での課題も明らかになった。プラント運用自体は予備パネルも活用しDNSPCL側で柔軟に運用を継続、実証事業開始から現在に至るまで安定して発電中。

PCS No.	PVモジュール
PCS1-A~D	シャープ製モジュール
PCS2-A~B	カネカ製モジュール
PCS3-A~D	ソーラーフロンティア製モジュール



◆ 4-(1). 成果の競争力

- インド共和国内では、事業開始当初に比較して系統電力の状況は改善しつつあるが、依然として安定電力に対する需要は存在する。
- 再生可能エネルギーを活用した炭酸ガス排出抑制の意欲は旺盛であり、自家発電設備と太陽光発電設備の組み合わせによる安定電力供給に対する一定の潜在需要が見込まれる。
- 本事業では太陽光発電と組み合わせる発電設備として事業開始当初に工業団地においてほとんどの企業で導入し主電源として利用されていたディーゼル発電設備を対象とした。
- 事業着手当初のディーゼル燃料価格トレンドに基づき12-15ルピー/kWh程度の電力単価での運用も可能と試算。政策的に7-8ルピー/kWh程度で推移していたグリッドの電力単価と比較しても、安定性の観点から一定の需要と市場が想定できた。
- しかし、実証事業期間開始以後の市場環境変化によりディーゼル燃料価格は想定から50%以上高騰する事態となり発電コストも約20ルピー/kWhを超えるケースも発生。事業面で非常に厳しい環境に晒されることとなった。
- 実証事業中盤に燃料コストがいったん落ち着いた時期もあったが、現時点までで高騰傾向は続いており、改善の進むグリッド電力との比較で本実証モデルの普及範囲が縮小しているのは事実である。発電コスト改善の為、燃料コストで相対的に優れたガス発電などとの組み合わせによる普及可能性はあるだろう。

◆ 4-(2). ① 普及に向けた体制

- 普及計画は実証期間を通し、インド側パートナーであるDMICDC(現NICDC)と協力して調査検討を実施した。
- この共同検討結果から、安定電力の確保の為に自家発電設備を導入する企業がインドには数多く存在することを確認。普及計画の評価と推進を図る為、実証設備をニムラナに建設、実証を行った。
- 実証事業段階への移行過程において、インド国内では太陽光発電設備の導入が急加速し、これと並行し太陽光発電設備用パワーコンディショナー(太陽光PCS)の市場規模も急速に拡大していった。本事業では太陽光PCSとして日本国内製を採用する予定で進めたが、グジャラート州の日立現地工場での製造が開始された為、本事業でも同工場製の機器を採用することとした。インド国内の太陽光PCS市場では本事業と進捗と並行して同工場製品の普及が進む状況となっている。
- 一方、実証事業開始後にディーゼル燃料価格の高騰が急激に進んだこともあり、自家発電設備と太陽光発電設備を組合せたマイクログリッド設備の導入市場に関しては、改めて対象市場の調査を行う必要が生じていた。
- 実証完了時において、具体的な普及体制構築には至っていないが、事業期間後半インド研究機関であるTERI、NEDOと共同で実施した調査ではガス発電設備を保有する工場などでマイクログリッド設備の導入ニーズが潜在することを確認している。

◆ 4-(2). ② 普及に関する競合分析とリスク対策

- 太陽光発電設備を利用したマイクログリッド発電設備では、蓄電池も組み合わせたシステム検討が多く提案されている。本事業では蓄電池を採用せず既存発電設備との組合せによるモデルとしており、上記のような設備モデルとは直接的な競合状況にはなく具体的な分析・リスク対策は実施していない。
- 本事業モデルは一定の特定ユーザーに需要はあるが、系統電力の改善状況など市場状況とディーゼル発電機に係る燃料コストにも事業性が大きく依存する為、普及にあたっては案件個別にリスク評価を行い可能性を判断する必要がある。

◆ 4-(3). ビジネスモデル

- 商用運転実績の結果、太陽光と組合せる発電設備の運用コストの影響、商用グリッドとの併用策の検討などが普及面での課題として抽出された。
- ビジネスモデルは各案件個別にインド側で適用可能なスキームの確認、事業者側の運用期間など具体的な電力供給に係る契約条件など、個別の課題解決が不可欠である。
- また、インド国内の許認可に係る規制なども日々変化する為、中央政府、州政府の各支援スキーム、協力体制も含め改めてインド側パートナーを見出したうえで推進妥当性を判断することが必要である。

◆ 4-(4). 政策形成・支援措置

- 実証対象国であるインドでは、政府が再生可能エネルギーの普及プログラムを2010年代から推進しており本実証事業でも、そのスキームを援用し事業推進を図ってきた。
- これまでは、グリッド接続側の大型太陽光発電設備を中心に計画が遂行されており導入量も拡大している。
- 一方で、本事業で実証したマイクログリッドシステムに関連した措置として、インド政府は「Off-grid and Decentralized Solar PV Applications Programme -Phase III」も推進しており、Off grid型太陽光発電施設の設置目標として100MWが掲げられている。同プログラムでは、Financial assistanceも提示されており普及に向けた支援政策となる可能性はある。

◆ 4-(5). 対象国・地域又は日本への波及効果の可能性

■ インド国での波及効果

- 本事業は太陽光発電設備が世界規模で拡大を加速した2010年に着手し、実証事業に向けて、以下のようなイベントにも参画、再生エネルギーの活用拡大に向け、海外の関係各所とも意見交換、普及策について検討を深めた。
 - 2012年1月「日印エネルギーフォーラム」にて本事業の計画を紹介、デリームンバイ産業大動脈沿線の各種開発事業の動向なども踏まえインド国内工業団地における課題認識をインド側関係者と共有。
 - 2012年5月「Training Program on Smart Grid」にて進捗報告。パネルディスカッションにて太陽光発電導入拡大に向けた課題についても議論
 - 2013年2月「ワークショップ“Energy Efficiency and Renewable Energy in India”」にて本事業の計画と進捗を報告
 - 2013年7月「日印再エネ対話 官民対話セッション」にて本事業の計画と課題を報告
 - 2013年9月「日印エネルギーフォーラム」:インドのエネルギー、政策動向なども踏まえ進捗報告
- 実証事業開始後は、燃料高騰の状況なども背景もあり現実的な課題に対する解決策をDMICDCとも協力して検討。インド国ガス供給企業とも意見交換を行い波及策の一つとして認識を共有
- NEDOとも協力しインド研究機関であるTERI (The Energy and Resources Institute)とインド国内での波及可能性を検討した。この中では導入候補企業を訪問し具体的な課題検討を実施。TERIの分析結果と波及可能性に関するビジョンが共有されている。
- 実証事業を通しては、マイクログリッド運用を通して設備運用方法、障害発生時の対応など定期的に推進した技術指導、意見交換の場でインド側要員のスキルアップと人材開発に寄与することができた。

■ 日本国内での波及効果

- 本事業の成果に関し電気学会 電力・エネルギー部門誌(2019年7月号)で発表。本事業のマイクログリッド構築事例と、安定電源維持施策を紹介した。
- 本マイクログリッドを一つの事例として今後は産業用途の他、島しょ部地域での独立電源への応用、分散電源などへの活用を期待したい。