

ケーススタディ：インド共和国におけるスマートグリッド関連技術に係る実証事業

1. イントロダクション

急速な経済成長にともない、電力供給品質の向上を課題とするインド共和国において、日本企業のスマートグリッド技術を活用し、配電事業の信頼性向上と効率化に取り組む実証事業が行われた。本実証事業は、2015年9月から2019年にかけて、インド・ハリヤナ州の地方都市であるパニパットで実施された。NEDOが世界各地で取り組む「スマートコミュニティ海外実証プロジェクト」のひとつであり、同時にインド電力省が主導する配電公社の収支改善、次世代配電網の構築を目的とした14のスマートグリッドパイロットプロジェクトのひとつに位置付けられる。実証事業は、ハリヤナ州北部配電公社 Uttar Haryana Bijli Vitran Nigam (UHBVN) の協力の下、富士電機、住友電気工業、THE パワーグリッドソリューション(2013年日立製作所・東京電力が出資し設立、2020年1月末にて解散)からなるコンソーシアムが主体となって行われた。本実証事業は、日本のスマートグリッド技術(スマートメータ・配電系統監視制御システム等)の導入と運用・保守の訓練も含めたキャパシティビルディング事業を同時に実施することで、パニパットにおける配電網データの見える化、およびデータ分析による停電時間短縮、配電ロス低減に貢献することを目指し、実施された。

本実証の実施にあたり、NEDO とインド電力省・インド財務省・ハリヤナ州電力局・UHBVN が基本協定書(Memorandum Of Understanding:MOU)を締結し、富士電機、住友電気工業、THE パワーグリッドソリューションがそれぞれ UHBVN と協定付属書

(Implementation Document:ID)を締結した(図1)。

本ケーススタディでは、本実証の取り組みを通して得られたスマートグリッド関連技術に対する示唆や実証の社会的意義について取りまとめる。

2. 実証の背景

インドでは、近年の急速な経済成長にともない、電力需要も年々増加、発電所新設や送配電インフラの整備が進められている。モディ政権の掲げる電化推進政策「Saubhagya」により2019年3月末時点での村落電化率は99.99%に達するなど、ほぼ全ての村落に電気が届けられたが、未だ郊外部では停電が頻発しており、供給品質の向上には課題が残っている。インドには、70以上の配電事業者が存在するが、デリーやムンバイなど都市部を営業エリアとする一部の民間配電事業者を除き、多くの州営配電事業者は厳しい経営状況に置かれている。その要因は、農業部門や家庭部門の電気料金が政策として安価に設定されていることもあるが、長時間の事故停電の多発や、技術的・商業的ロスの高さ(2018年12月時点のインド全土の技術的・商業的ロスは約20%)など、配電網運用の未熟さも経営状況悪化の大きな要因となっている。インドでは、国全体としての電力供給力は充足されてきたものの、太陽光発電を中心とする再生可能エネルギーや、電気自動車の急速な普及計画が発表されているため、送配電システムの運用は、さらに難易度が高くなると想定される。

日本では、2019年度末時点で、全戸の63.7%にスマートメータが導入されており、配電網のデータを活用した高度化運用の取組

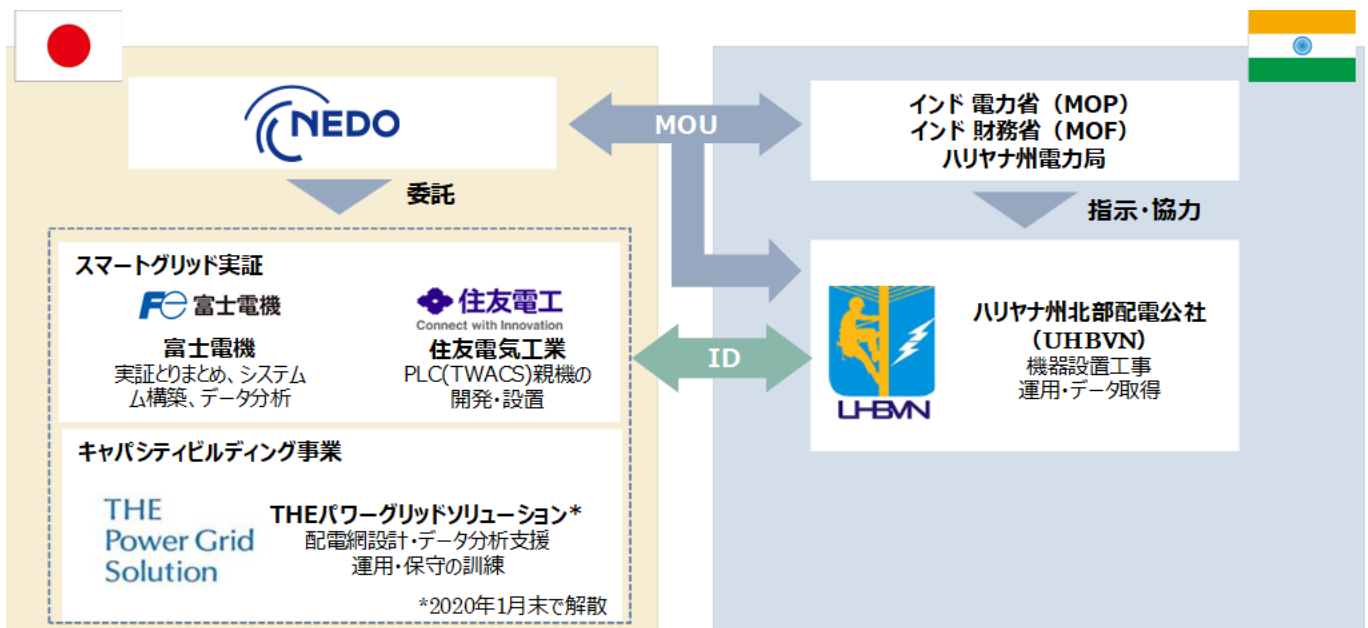


図1:実証事業の体制

【推進テーマ】

項目 1	スマートメータ通信技術の実証
項目 2	ピークロード低減技術の実証
項目 3	配電システムの供給信頼度改善および配電系統監視・制御技術の実証
項目 4	技術的・商業的ロスの低減および配電ロス低減技術の実証
項目 5	柱上変圧器故障率の低減技術の検証

【システム概要/事業内容】

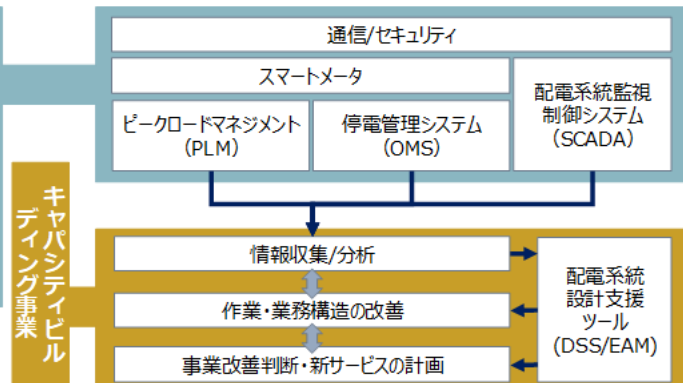


図2: 推進テーマと事業内容の関係性

みが進められている。インドでもスマートメータの導入が決定され、配電系統監視制御システム（Supervisory Control And Data Acquisition: SCADA）の導入も都市部より順次検討されているが、本実証の成果をアピールすることで、日本の先進的なスマートグリッド技術をインド市場に展開するきっかけになることが期待されていた。

3. 本実証における取組みの概要

以下では、実証のパートナーである UHBVN の概要を含め、本実証の取り組み内容についてまとめる。

3.1. UHBVN の概要

ハリヤナ州はデリー連邦直轄地の西部に隣接する人口約 2,700 万人（2017 年時点）の州であり、日本企業も多数進出しているインドの中でも産業が盛んな地域である。州営配電事業者の UHBVN は北部ハリヤナ州を営業エリアとし、約 250 万戸の需要家へ年間約 11,000GWh の電力を販売、ピーク需要は 8,000MW 以上となる配電事業者である（インドでは、州政府に認可を受けた配電事業者が電力小売事業を兼ねる）。実証の舞台パニパット市は、ハリヤナ州都であるチャンディーガルとデリーの中間に位置する地方都市であり、追加都市開発が計画されていることや、北部ハリヤナ州の中でも比較的電力ロス率が高いエリアであったことから、実証による成果が期待できるとして、実証サイトに選定された。UHBVN は他の州営配電事業者と比較すると経営状況は安定しているが、電力供給量不足、停電時間の短縮、電力ロスの改善（盗電や料金未回収の解消等）を課題とらえておりインド電力省傘下の公営企業である Energy Efficiency Services Limited (EESL) と連携したスマートメータ導入計画や、比較的規模の大きな都市・エリアに対して SCADA を導入し、停電時間の短縮と配電網の効率運用を進める計画を持っていた。

3.2. 実証事業の取り組み内容

実証事業は 5 つの推進テーマに基づき実施された。

各推進テーマに対し、主に設備導入・システム構築を実施するスマートグリッド実証と設計/保守運用業務の支援・教育を実施するキャパシティビルディング事業の 2 つのアプローチで実証事業を進めた。各テーマと両事業の関係性について図 2 に示しているが、スマートグリッド実証は項目 1~4、キャパシティビルディング事業は項目 3~5 について実証を行った。

スマートグリッド実証は、富士電機と住友電気工業が、キャパシティビルディング事業は THE パワーグリッドソリューションが担当し、検討結果やデータを共有しながら実証に取り組んだ。また、UHBVN は各設備の導入工事やデータの取得、実証事業中/実証事業後のシステム運用を担当した。

4. 実証システムの構築

本実証事業において、現地に導入した設備・システムについて詳細を記載する。

4.1. スマートグリッド実証での導入設備・システム

スマートグリッド実証では、主にスマートメータシステムと配電系統監視・制御システムを導入し、UHBVN が所有する既存の位置情報システム（GIS）や料金管理システムと連携した。各設備・システムの概要と各企業の役割分担を図 3 に記載する。

パニパット実証サイトに設置されたスマートメータや VCB、LBS、SCE 等の配電設備は、新たに構築された通信網を通じてデータセンターに設置された SCADA・HES とデータをやり取りし変電所に設置されたオペレーションセンター内のコンピュータを通じ、SCADA による遠隔監視・制御が行われている。

また、システム構築にあたっては、実証後の普及展開や、モデル政権の政策である「Make in India」を意識し、設備・システムの開発は可能な限り現地企業への外注が可能なかを検討した。その結果として、Lotus Wireless にスマートメータ（メータ・RF Mesh 通信ユニット・HES）の開発・製造を、Asa Bhanu に VCB/LBS の開発・製造を外注している。各外注先の詳細を図 4 に示す。なお、設備の導入工事は UHBVN の担当であり、入札により工事事業者が選定された。

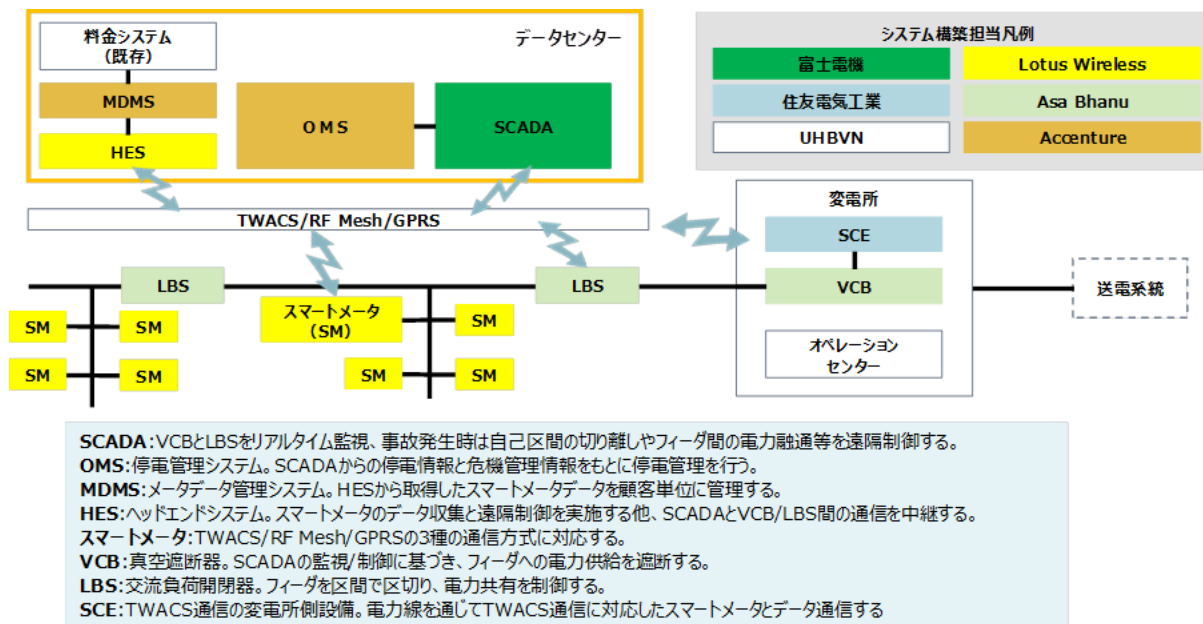


図3: 実証システムの構成



図4: 現地企業等への外注実績

4.2. キャパシティビルディング事業での導入設備・システム

スマートグリッド実証で SCADA や VCB、LBS を活用し、配電網を高度化運用するには、パニパットの配電網を日本で採用されている3分割3連系の構造に構築しなおす必要があった。

フィードBで事故が発生した場合、事故区間を開閉器で開放し、健全区間へは隣接するフィードCとフィードGから給電し救済する。

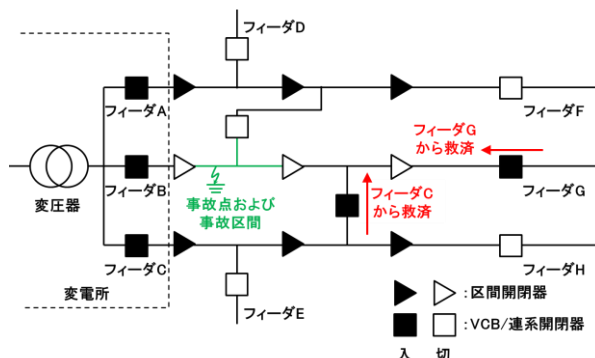


図5: 3分割3連系での停電救済モデル

3分割3連系とは、1つの配電線（フィード）を3区間に区切り、停電など事故があった場合は停電区間を遮断し、開閉器を通じて隣接する配電線から給電することで、停電影響を最小限にするための配電システムの考え方である（図5参照）。インドの配電網では一部ループ状に配電システムを構築し、冗長性を確保するループ構造が採用されているが、多くは変電所から需要家へ放射状に配電するラジアル構造が採用されている。ラジアル構造の場合、冗長構成が組まれていないため、配電線内の1区間で事故が発生すると、配電線全体が長時間にわたり停電することになる。

3分割3連系構造とインドで普及しているループ構造・ラジアル構造の設計・運用方法は大きく異なるため、キャパシティビルディング事業では、配電システムの構築や運用フェーズでUHBVNエンジニアの教育・支援を実施した。

具体的には、THEパワーグリッドソリューションがUHBVNのエンジニアと連携の上で現地配電網の調査を実施し、3分割3連系構造の設計の方針について、UHBVNエンジニアへ指導した。電柱や配電線の追加工事自体はUHBVNが選定した工事会社が実施したが、配電網の分割/連系ポイントの選定や配電システム全体の設計は日本側からの指導のもと実施された。

また、実証サイトに設置された3分割3連系の設備を実証期間後もUHBVNが継続的に活用できるよう、運用者への教育を目的としたトレーニングセンターをUHBVNの本社近くに構築した。

トレーニングセンターには2つの配電線が設置されており、配電線事故のシミュレーション機能により模擬事故を発生させ、実機と同じVCBやLBSを操作させての復旧訓練ができる。キャパシティビルディング事業では、この設備を用いて、UHBVNの主要エンジニアに配電線事故時の応動や復旧動作の短縮技術についての講義を実施した。



図6:トレーニングセンター等での講義風景

5. システム導入・施工

パニパットの実証サイトでは、4つの配電線に、22台のLBS、約11,000台のスマートメータが取り付けられた。



図7:実証設備のロケーション

(地図の利用について、wego.here.comより利用許諾を取得済み)

Mini Secretariat SubstationにはSCADAを操作するオペレーションセンターが設置された。オペレーションセンターではUHBVNのオペレーターがSCADA画面を使って、実証設備の監視・制御を行った。実証期間中には、日本側実証チームやLotus Wirelessのエンジニアも、このオペレーションセンターを実証拠点として活用していた。オペレーションセンターには配電計画の支援ツール(Decision-making Support Software:DSS)も導入され3分割3連系の配電システム設計に活用された。Mini Secretariat Substationを含め、各変電所には、VCBやSCE(TWACS通信の変電所側設備)など実証設備が導入され、携帯電話網やTWACS通信を通じ、データセンターに設置したSCADAサーバーやHESサーバーと状態監視/制御指示等のデータをやり取りしている。



図8:オペレーションセンターの様子(実証後に撮影)

スマートメータは、単相2線式と三相4線式を開発し、PLC通信技術のひとつであるTWACS通信と、RF Mesh通信を採用し、バックアップとして携帯キャリア網を使用するGPRS方式を準備した。TWACS通信は、電力線を通信回線として利用する通信技術であり、無線通信環境の悪いエリアでも、安定的な通信品質が期待される。RF Meshは、各メータがバケツリレー方式で通信しあい自立分散型ネットワークを構成する技術であり、日本国内のスマートメータネットワーク構築に活用実績がある。いずれも、インドでの無線通信環境を考慮した場合、GPRS方式と比較し信頼性が高いと想定される通信方法である。



図9:スマートメータ外観とRF Meshのイメージ

各実証設備は、2017年夏頃から設置工事が開始されたが、UHBVNによる工事事業者選定の遅れ、製品品質・工事品質にともなう工事遅延等の理由により、施工が完了したのは当初予定より遅い2018年5月となった。工事・システム構築に関する課題はインドでの事業展開への学びとして、Key Findingsに後述する。

6. 実証の成果

本実証では、5つの推進テーマに基づき検証が実施された。各テーマにおける実施内容と成果について、以下にとりまとめる。

6.1. スマートメータ通信技術の実証

スマートメータ通信技術の実証では、TWACS通信とRF Mesh通信の2種類の通信方式をもったメータを設置し、通信成功率を評価した。全部で10,188台のスマートメータを稼働させた。その内訳は、TWACS通信:4,853台、RF Mesh通信:5,335台とほぼ同数である。今回、スマートメータの開発にあたり、インドの工業規格であるBIS(Bureau of Indian Standards)規格に準拠した設計とし、実際にインドでBIS規格の認証を取得した第一号のスマートメータとなった。

スマートメータの通信成功率は、Scalar Read(1日に1回)とInterval Read(30分に1回)の計量頻度について、それぞれ評

価を実施した。また TWACS 通信については長距離通信（1 日に 1 回）の品質も確認するため、約 5km 離れた郊外部との通信試験も実施している。評価結果を表 1 に示す。TWACS 通信はいずれの評価項目でも 99%以上の成功率となり、インドにおいても信頼性の高い通信方式であることが確認できた。RF Mesh については、30 分単位での計量ではデータ欠損が発生するなど、日本国内での通信品質と比較するとやや低い成功率となった。なお、本実証では、スマートメータの故障や停電、携帯電話網の通信品質など外部要因による通信不具合が頻発したが、表 1 の評価からは外部要因による影響は除外している。

表 1：スマートメータ通信の成功率評価

評価項目	TWACS 通信方式	RF Mesh 通信方式
Scalar Read	99%以上	99%以上
Interval Read	99%以上	85%~90%
長距離通信	99%以上	(未実施)
評価	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 通信品質が高い ✓ 変電所からの距離や携帯電話網のエリアによらず通信可能 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 30 分単位の通信ではデータ欠損が発生 ✓ 携帯電話網のエリア外では RF Mesh の親機 (DCU) が通信できないため適用不可

6.2. ピークロード低減技術の実証

ピークロード低減技術の実証では、スマートメータで収集した需要家毎の消費電力を分析し、ピークロード低減技術導入の可能性について検証した。今回収集したデータより、電力需要の傾向として午前と午後には 2 回のピークが発生することが確認できた。このピークを抑制もしくは分散することができれば、配電システムへの負荷を低減することができる。



図 10: 電力需要の傾向 (2019 年 1 月 10 日)

本実証では電力需要を抑制するための機能として、スマートメータにデマンドリミット制御機能を実装した。本機能は、30 分毎に消費電力量をチェックし、設定されたリミット値を超過した場合は電力供給を遮断、30 分後に自動的に電力供給を再開するものである。実証で導入したスマートメータには本機能が実装されているが、実証での効果検証では実際に作動させることはなく、シミュレーションのみ実施した。

シミュレーションの結果、ピークカット目標を 850kWh (現状のピーク需要の 90%) とした場合、各メータに対し 80%のデマンドリミット値を設定すれば達成可能であることがわかった。

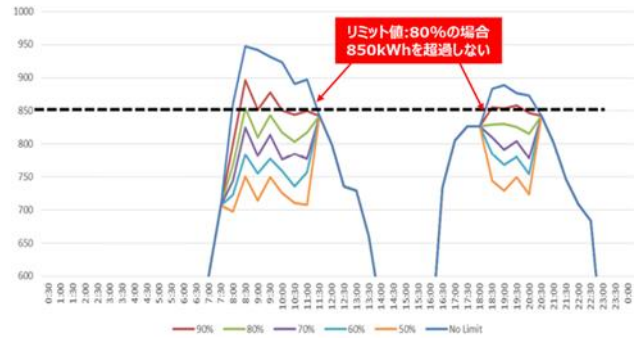


図 11: ピークロード低減技術のシミュレーション結果

また、上記は全てのメータにデマンドリミット値を設定した場合のシミュレーションであるが、電力需要の多い需要家に対し、リミット値を設定しない優先供給料金契約を設定する場合には、シミュレーション結果に影響が出る。優先供給料金契約の契約率によって成立するリミット値を試算したところ、契約率 4 割の場合は 60%以下、契約率 2 割の場合は 70%以下にリミット値を設定する必要があることが分かった。契約率 6 割以上の場合、リミット値を 50%以下にしても成立しない。当面はデマンドリミット制御機能や優先供給料金契約が実施されるわけではないが、今後スマートメータデータを活用した新たな効率化提案の可能性として本成果の活用が期待できる。

表 2: 優先供給料金契約を考慮した試算結果

デマンドリミット値	優先供給料金契約率			
	8 割	6 割	4 割	2 割
80%	×	×	×	×
70%	×	×	×	○
60%	×	×	○	○
50%	×	×	○	○

○: ピークカット可能 ×: ピークカット不可能

6.3. 配電システムの供給信頼度改善および配電システム監視・制御技術の実証

配電システムの供給信頼度改善および配電システム監視・制御技術の実証では、3 分割 3 連系に再構築した配電システムのデータを分析し、実証システムによる事故停電時間短縮効果を検証した。

前述のとおり、実証システムは 4 つの配電線に 4 台の VCB、22 台の LBS が設置され、オペレーションセンターに導入された SCADA により遠隔監視・制御される。(詳細は図 12 に記載)

今回、事故停電時間短縮効果の検証にあたり、2018 年 11 月～2019 年 1 月の事故停電 (UHBVN の集計方法に合わせ、停電時間 5 分以下の事例は計測対象外としている) を分析対象とした。対象となる停電件数は 4 本の配電線の合計で 51 件だが、一部通信設備や SCADA との連携不良が発生していたと想定される期間もあるため、実際にはもう少し多くの事故停電が発生していたと考えられる。

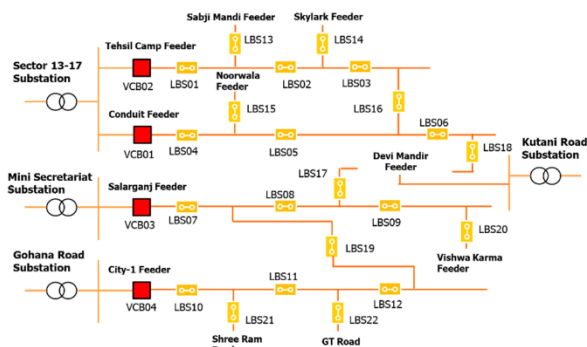


図 12: 実証での配電系統

以下は、実証期間中に SCADA 操作による停電時間短縮が確認された 3 つのケースである。

- ① 2018 年 11 月 8 日 7 時 11 分 42 秒 Conduit フィーダ
- ② 2018 年 11 月 13 日 22 時 28 分 53 秒 Salarganji フィーダ
- ③ 2019 年 1 月 25 日 2 時 32 分 33 秒 Salarganji フィーダ

3 ケースとも、配電線の特定区間に短絡事故が発生し配電線全体に停電が発生。その後、事故区間の特定・切り離しを実施し、隣接の配電線から救済することで、事故区間以外の早期復旧を実現している。なお、本実証では、事故区間の復旧までの所要時間（これまで、事故区間以外の区間も事故復旧するまで停電していた）から、事故区間以外の復旧までの所要時間を引いた差分を事故停電時間短縮効果と考える。ケース 1 では 1 時間 15 分 36 秒、ケース 2 の場合は 20 分 29 秒、ケース 3 の場合は 9 時間 21 分 21 秒の改善効果が確認された。

表 3: 事故停電時間短縮効果

項目	ケース 1	ケース 2	ケース 3
事故発生日時	2018/11/8 07:11:42	2018/11/13 23:28:53	2019/1/25 02:32:33
事故区間以外の復旧日時	2018/11/8 08:07:36	2018/11/14 00:26:00	2019/1/25 07:24:01
事故区間の復旧日時	2018/11/8 09:23:12	2018/11/14 00:46:29	2019/1/25 16:45:22
事故区間以外の復旧までの所要時間	00:55:54	00:57:07	04:51:28
事故区間の復旧までの所要時間	02:11:30	01:17:36	14:12:49
事故停電時間短縮効果	01:15:36	00:20:29	09:21:21

なお、SCADA の運用方法については、自動化機能の利用や運用習熟など更なる改善の余地があると考えられる。以下の追加改善施策を実施した場合は、事故点切り離しや電力融通の操作にかかっていた時間を大幅に短縮することが期待されるため、3 ケースとも、事故発生から 4~5 分以内での事故復旧が可能と考えられる。

<追加改善施策の内容>

- 今回は使用しなかった VCB の自動再閉路機能の活用により、瞬時事故/継続事故の判定時間を 1 分程度に短縮
- SCADA の運用習熟により、事故点切り離し操作を最大 2 分以下に短縮
- SCADA の運用習熟により、事故点切り離しから電力融通の操作を最大 2 分以下に短縮

実証システムによる配電システムの信頼度改善を確認するため、標準的な供給信頼性の指標である、平均停電継続時間指標 (System Average Interruption Duration Index: SAIDI)、平均停電回数指標 (System Average Interruption Frequency Index: SAIFI) について、実証前後での比較を実施した。実証前の数値は UHBVN より提供された 2017 年の年間平均値、実証後の値は SCADA で測定した 2018 年 11 月~2019 年 1 月のうち、比較的通信不良の影響が少なかった 2019 年 1 月の測定値を採用した。比較結果を表 4 に示す。SAIDI は 66.7%、SAIFI は 23.5%といずれも大幅な改善を確認することができた。SCADA の運用習熟など追加改善施策が実施されれば、更なる改善効果が期待される。

表 4: SAIDI・SAIFI の改善効果確認

指標	UHBVN 提供値 (2017 年平均値)	SCADA 測定値 (2019 年 1 月)	改善率
SAIDI	54[時間/月]	18[時間/月]	66.7%
SAIFI	17[回/月]	13[回/月]	23.5%

6.4. 技術的・商業的ロスの低減および配電ロス低減技術の実証

技術的・商業的ロス削減による配電ロス低減技術の実証では、実証システムのデータを分析し対策を講じることで、配電ロスを低減させることが可能か検証した。配電ロスとは、配電系統へ供給された電力量と実際に需要家側で消費された電力量の差分を指しており、技術的ロスと商業的ロスに分けて考えられることが多い。本実証では、技術的ロスと商業的ロスについて、以下のように定義している。

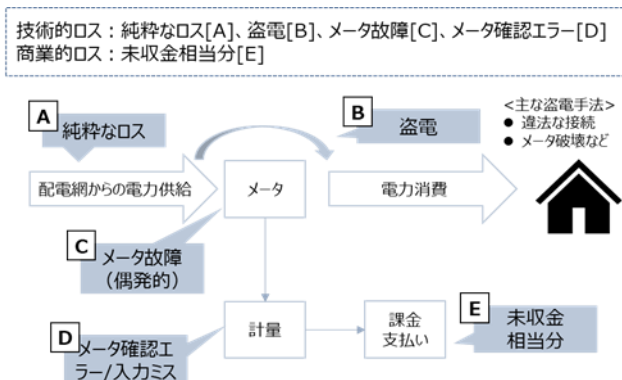


図 13: 配電ロスの定義

配電ロスを分析するために、まずは配電変圧器配下の需要家情報（契約高や契約種別等）から電力負荷予測手法（Customer Demand Curve Estimation 法:GDCE 法）を用いて需要家の需要予測値を試算した。この需要予測値と配電変圧器の実測値を比較することで乖離が大きければ、その配電変圧器配下で、盗電など何等かの異常が発生していると推測される。



図 14: 需要予測値と実測値の比較

需要予測値と配電変圧器実測値の乖離が大きい地点には現地調査を行い、差分理由を確認した。現地調査の結果、メータ ID の登録ミス等によるメータ設備データの誤りを要因として、正しく需要予測値を算出できていない地点が多くあった。今回、電力負荷予測手法の正確性は確認できたため、今後、メータ設備データが精査されれば、効率的にかつ正確に盗電など何等かの異常が発生している地点を「見える化」することができると考える。実際に盗電されていた地点では、メータへ違法アクセスするケースや配電線に違法接続するなどの盗電手法が見られた。また、スマートメータのアラーム機能からも、毎月 1% 程度のメータが違法に開けられていることが確認できた。こうした盗電ポイントに対しては、頻繁に状況を監視するとともに、図 15 に記載したような物理的対策を施した。このような取組みにより、配電ロスを実証前（2014 年時）の約 36.1% から 2018 年実績で 18.6% まで減らすことができた。

【メータへの対応】

- スマートメータをボックスへ収納し、封印することで外部からの違法アクセスを制限する
- 屋外柱上に設置することで、メータへの違法アクセスを困難にする。



【配電線への対応】

- 裸電線を被覆化することで、配電線への違法接続ができなくなり、盗電を防止できる。
- 配電線被覆化工事の優先順位付けには、実証での分析手法が有効活用できる



図 15: 盗電対策の例

商業的ロスの改善には電力料金を支払っていない需要家への徴収徹底が必要である。本実証で導入したスマートメータは遠隔遮断することが可能であるため、電力料金を支払っていない需要家への電力供給を停止することができる。遠隔遮断のオペレーションは UHBVN 主体で実施されたが、データを確認したところ、2018 年 10 月 1 日～2019 年 1 月 5 日の期間で 1,274 回の遠隔遮断が行われていた。UHBVN の記録によると、このうち、313 件、約 2.7 百万 INR（約 4.3 百万円）の料金徴収があったことが確認できた。もし、1,274 件全数への料金徴収が可能であったとすると、4 ヶ月間で約 11 百万 INR の追加料金徴収、年間に換算すると約 33 百万 INR（約 53 百万円）の追加料金徴収となり、商業的ロスの改善に大きく貢献することが期待される。

6.5. 柱上変圧器故障率の低減技術の実証

柱上変圧器故障率の低減技術の実証では、柱上変圧器の故障原因分析、現場での巡視・点検による予防保全を実施し、変圧器故障率の低減に取り組んだ。

一般的に東京電力など国内の送配電事業者は計画（Plan）に基づき巡視・点検を実施（Do）した上で、巡視・点検結果を分析（Check）し、保全方策を実施（Action）する、PDCA サイクルを基本の考え方とし、保全業務に取り組んでいる。UHBVN は、巡視・点検や故障要因の分析等を実施しておらず、柱上変圧器故障に対する傾向把握や対策の検討が困難な状況であった。

そこで、まずは現状把握のために、故障変圧器の状況を分析したところ、その 68% が浸水による 1 次巻線の絶縁破壊であることがわかった。また、新品の変圧器と比較し、修理履歴のある変圧器は早く故障することがわかった。このような分析結果から、変圧器故障の要因は修理品質にあると想定し、修理変圧器の気密試験やメーカー各社とのディスカッションを実施した。

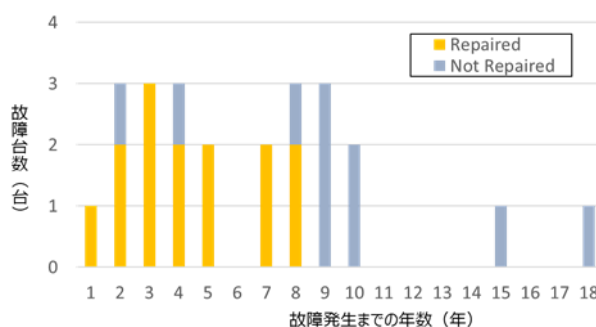


図 16: 変圧器の故障傾向 (25 台)

また、UHBVN では巡視・点検といった予防保全を行っておらず、故障した都度交換を行っていることがわかった。故障した変圧器は修理された後、再び現場に設置されるため、現場には新規製造品と修理品が混在している状況である。現状を把握するため、巡視による巡視・点検を実施し、対策が必要と考えられる変圧器には、予防保全（補修/計画取替等）を実施した。本実証における 4 本の配電線に設置された変圧器 143 台のうち 22 台が過去 1 年の

間に故障していることが分かった（故障率 15.4%）。本実証の間に 87 台の変圧器を巡視・点検することができた。日本側チームが同行してきた場合は具体的な巡視・点検と予防保全方法について、UHBVN エンジニアに対し教育を実施している。点検表を活用した現地巡視の結果、予防保全が必要とされたものは適切な対策を実施しており、当面故障の可能性は低下したと考えられる。点検を実施できなかった 56 台については故障発生の可能性はあるが、当初の故障率 15.4%（22 台/143 台=15.4%）を当てはめると、発生しても 9 台（56×15.4%=9 台）程度に収まるはずであり、143 台全体で考えると故障率約 6.3%（9 台/143 台=6.3%）と実証前から大きく改善することができた。

6.6. 実証成果のまとめ

5 つの推進テーマにおける実証の成果について、表 5 にとりまとめ再掲する。

表 5：実証の成果（まとめ）

推進テーマ	成果
[項目 1] スマートメータ通信技術の実証	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TWACS 通信方式/RF Mesh 方式の通信成功率を取得することができた ✓ TWACS 通信での通信成功率は 99%以上であり、同方式が優位であることが検証できた
[項目 2] ピークロード低減技術の実証	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 実証配電線の需要家の消費電力量トレンドを取得できた ✓ デマンドリミット制御を使った需要家電力量削減効果を確認できた
[項目 3] 配電システムの供給信頼度改善および配電システム監視・制御技術の実証	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 現地調査、および支援ツール（DSS 等）活用により、3 分割 3 連系の配電システムを構築した ✓ 3 分割 3 連系の運用方法や停電時の復旧手順等について、UHBVN エンジニアに教育を実施した ✓ 実証システムの事故検出機能および遠隔制御機能により、停電時間短縮効果を確認できた ✓ 実証システム導入後の SAIDI/SAIFI 値が改善されていることを確認した ✓ SCADA の運用習熟が進めば更に改善可能性があることを確認した
[項目 4] 技術的・商業的ロスの低減および配電ロス低減技術の実証	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 配電ロス・盗電に関する低減策の提案を実施し、UHBVN にて対策を実施した ✓ 実証システムのデータをもとに CDCE 法を活用し、盗電など何らかの異常が想定される変圧器を抽出した ✓ 現地調査の結果、盗電ポイントを発見した ✓ 一連の対策により、配電ロスを実証前の約 36.1%から 18.6%（2018 年）までに改善した ✓ 電力未払い顧客に対し遠隔遮断を実施することで料金を徴収することができた（年間 53 百万円相当）
[項目 5] 柱上変圧器故障率の低減	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 変圧器故障原因の分析を実施し、修理工程の改善策を提案した ✓ 現地巡視・点検と予防保全作業に同行し、教育を実施した ✓ 点検表を活用した現場での巡視・点検により、故障率を低減できる見込みを得た

また、主にスマートメータを活用したデマンドレスポンスによるピークカット効果（4 本の配電線におけるピーク電力の 10%：547kWh/日を削減）をベースとし、省エネ効果および CO2 削減効果も本実証の成果として試算した。

<実証による削減効果>

省エネ効果：51kL/年 CO2 削減効果：198ton/年

今後、インドにおいてスマートメータ普及が進み導入台数が増加すれば、更に削減効果は増えると考えられる。2030 年時点で累計 5,700 千台（インド政府による普及計画の 1.5%程度）が導入された場合の削減効果は以下のとおりである。

<2030 年時点の削減効果>

省エネ効果：29,247kL/年 CO2 削減効果：112,665ton/年

7. Key Findings

本実証を通じて、インドにおける配電事業者の現状を把握し、日本企業による高度なスマートグリッド技術の導入可能性を検証する中で、様々な気づき・教訓を得ることができた。そのうち代表的な 3 件について以下に記載する。

<本実証事業における Key Findings>

- ① デジタル化・見える化の重要性
- ② 先進技術と運用ノウハウの組み合わせ
- ③ 現地環境への適応

① デジタル化・見える化の重要性

本実証は、約 10,000 台のスマートメータと SCADA を中心とした配電システムの遠隔監視・制御システムの導入による、いわゆる配電網のデジタル化プロジェクトのひとつと考えられる。需要家の電力使用量や配電系統の情報をデジタルデータにし、分析可能な状態にすることで、本実証の成果としてあげられたピークカットや停電時間の短縮、盗電ポイントの抽出など、配電網の更なる効率化に寄与する付加価値を提供することが可能となる。

今回、日本とは異なる設備・異なる運用システムという環境下での実証となったが、国内で積み重ねてきたデジタル化技術の導入ノウハウ・経験はインド側にも非常に高く評価されており、今後、インドの他エリアや、アジア各国に事業展開する際には、日本企業の強みとして大いにアピールできることが確認できた。

特にスマートメータの通信品質は高く評価されている。日本側実証チームとしても、インド郊外部であるパニパットの未成熟な通信環境下で、TWACS 通信と RF Mesh 通信を導入することは大きなチャレンジであったが、現地企業との連携のもと、非常に高い通信成功率を達成したことは評価に値する。また、実証事業とはいえ、実際に約 10,000 件もの需要家データが取得できたことは大きな成果である。具体的なデータからインドでの電力需要の傾向を読み解くことは、今後インドでのエネルギービジネスを検討する上で、実証チームの財産となるはずである。残念ながら、実証期間中にインド各地で開始されたスマートメータの入札は GPRS 通信方式が指定され、日本国内と比較し、かなり安い価格帯（インドで最初の公開入札では、約 4,255 円/台で落札された）での落札が続いているため、日本技術を活用した提案が難しい状

況である。しかしながら、配電システムをデジタル化していくには信頼性の高い通信技術の採用が必須であり、今後インドの配電ビジネスが成熟化していくにつれ、信頼性の高い日本技術へのニーズは高まると考える。

またデータ分析を効果的に実施するためには、データの正確性が重要であることを再認識した。UHBVNにおいても、配電設備のデータベース化やGISデータとの連携は実施されているが、本実証を通じて正確性に課題があることがわかった。せっかくデータを分析しても、実際の設備設置場所とデータに食い違いがあると、正しい分析をすることができない。本実証では、実際に現地調査した結果、スマートメータのID登録が間違っており、データ分析結果に影響を与えていることが度々発生した。そのため現地設備情報を正しく入力しなおし、再度分析作業を行うことが必要となってしまった。



図 17: 設備データの確認・修正

インドで事業展開する上では、データを収集する仕組みづくりに加え、正確なデータを細かく更新していく習慣付け、またはデータ入力自体を自動化する等の工夫を合わせて検討する必要がある。機器管理など配電会社による管理体制も十分に整備されておらず、この点においても、日本のきめ細やかな管理方法を導入するなど、キャパシティビルディングの余地があると感じた。

本実証を通じて、日本や欧米といった先進国のみならず、インドにおいても、配電網へのデジタル技術導入の機会が近づいていることを確認することができた。また、導入に向けては、日本国内での実績・ノウハウが活用できることも検証できた。本実証の成果を活用し、日本企業の事業機会が更に拡大することを期待する。

② 先進技術と運用ノウハウの組み合わせ

本実証の特長として、日本の先進技術導入を主テーマとするスマートグリッド実証と、日本の精緻な設計・運用ノウハウを共有するキャパシティビルディング事業を組み合わせ、1つのプロジェクトとしていることがあげられる。

1つ目のKey Findingsにて、日本の先進技術がインドにおいても有効であることを記載したが、3分割3連系の配電システムモデルなど、本実証で採用した技術は、インドの配電事業者にとっては

馴染みの薄い技術であることも事実である。本実証では、配電系統の設計段階から日本のエンジニアが現地を支援し、細かく指導するなど、現場での手厚いサポートの他、トレーニングセンターや日本でのワークショップ開催など、日本の設計・運用ノウハウを教育することで、UHBVNのエンジニアが自ら3分割3連系の設計を行い、SCADAを運用するまでに成長した。また、このようなナレッジシェアの取組を通じて、インド側関係者から日本側実証チームへの信頼が高まった。

インドには、ABBやSchneider Electricなど、欧米の大手ベンダーがすでに入り込んでおり、日本企業が新たに市場参画していくには、欧米企業にはない差別化を検討する必要がある。実証に参加したTHEパワーグリッドソリューション(当時)の本澤純氏は、実証を通じてキャパシティビルディング事業に可能性を感じており、「日本企業にとって技術と運用面の細やかなフォローの組み合わせが欧米企業と渡り合うポイントかもしれない」とコメントしている。本実証では教育用資料を作成したことに加え、UHBVNの業務改善に向けた改善の提案(業務標準マニュアルの作成)などもキャパシティビルディング事業の一環として実施している。

【配電系統運用マニュアル】

- 第1章 分割連系について
- 第2章 分割連系の運用
- 第3章 分割連系開閉器について
- 第4章 配電線故障時対応
- 第5章 停止工事時の運用
- 第6章 安全対策について

【柱上変圧器予防保全マニュアル】

- 第1章 巡視業務
- 第2章 点検業務
- 第3章 補修業務

【柱上変圧器修理マニュアル】

- 第1章 修理工場の位置づけ
- 第2章 リユースする部材の選定
- 第3章 修理
- 第4章 気密試験

【配電システムロス低減マニュアル】

- 第1章 配電網システムロスの分類
- 第2章 ロス分布の構成
- 第3章 盗電ロスの低減方法
- 第4章 負荷予測手法
- 第5章 CDCEツールの説明

図 18: 本実証で作成したマニュアル類の目次概要

③ 現地環境への適応

本実証の中で、日本側実証チームが特に苦労したのが、インドの商習慣等、現地環境への適応である。今回は特に、規制と品質の面から、実証での苦労や日本企業が適応する上での課題を記載する。

<規制>

インドでは、工業製品に対する独自規格としてBIS規格への適用が求められる。そのため、日本で富士電機が商用化しているスマートメータではなく、Lotus Wirelessとの共同開発に取り組んだ。実証開始当時、スマートメータのBIS認証を取得したメーカーは存在せず、Lotus Wirelessが第一号となった。認証取得には、インド政府が管轄する、Electronics Regional Test Laboratory (ERTL)が定める認証プロセスにより、認証機関での電気試験・環境試験や工場監査を経て規格を満たしているか判断される。

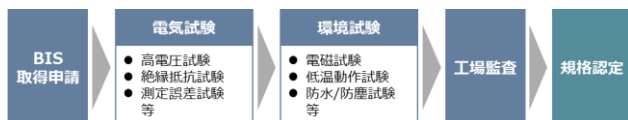


図 19:スマートメータのBIS 認証取得手順

今回は認証機関での試験が長引き、認証の取得までには当初想定していた6カ月を大きく超過、申請から約1年後ようやく認証を一号機として取得することができた。なお、TWACS 通信方式は、スマートメータからの発呼が必要など、BIS 規格を満たさない仕様があり、実証期間内での認証取得は断念している。他の実証設備でもBIS 規格の対象となるか、対象となる場合は規格を満たしているか確認を実施しており、インドで次事業展開する上ではBIS 対応の期間・コストを見込んでおく必要がある。

<品質>

本実証では、スマートメータをはじめとした多くの配電設備を実証サイトに導入したが、製造品質・工事品質の双方で問題が頻発し、対策を実施したため、工事期間の長期化につながった。

今回、Lotus Wireless にスマートメータ、Asa Bhanu に VCB・LBS の開発・製造を外注しており、事前に工場での品質監査等も実施していたが、実際に設置・運用してから漏水・焼損等の故障が発生している。実証中は漏水・省損を防止するために、追加対応として、防水カバーの設置や焼損部分の微調整等を実施したが、実際に商用化していくには、更なる製造品質の強化が必要である。



図 20:漏水したギアボックス内部 (左) と防水カバー (右)

また、本実証では各設備の設置工事は UHBVN が選定した工事業者によって実施されたが、ボルト締め付け不良や配電線の接続不良、設置場所の間違いなど、多くの工事品質問題が発生した。このような工事不良は、実証の成果に大きく影響するだけでなく、安全面でも、倒壊事故や配電事故につながる危険性があるため、改善していかなければいけない。実証の役割分担では、UHBVN が工事管理の責任を負うため、何度も改善提案を申し入れたが、改善されることはなかった。

スマートメータなど配電設備の入札へ参加する場合、設備の納入から工事までワンストップで実施可能な体制を準備することが要求される。今回の工事業者の品質が特に低かった可能性もあるが、インドで設備工事を行う際は、工事業者の選定・品質管理に注意しなければいけない



図 21:締め付け不良のボルト (左)、傾いた支柱 (右)

また、設備やサーバー間の通信手段として採用した携帯電話網の通信品質も大きな課題であった。実証で利用した通信事業者はインドでの大手事業者の1社である Airtel 社であり、UHBVN が入札により選定した。実証中の通信成功率は最も良い状態で約95%と、1日に1時間以上通信が切断される環境であった。各設備のデータが適切に送受信されないことで、日常の状態監視や停電事故時の制御ができないなど、実証事業の成果取得に大きな影響があった。スマートグリッド技術を活用するためには、遠隔監視・制御を実現する高速大容量かつ信頼性の高い通信環境の整備が必要である。インドでは経済発展にともない、通信環境も急速に改善しているが、当面郊外部において、安定的な事業を展開するためには、さらなる通信品質改善が必要である。

このように、インドにおける配電設備導入の市場環境は日本と大きく違っていることがわかった。現地 UHBVN や工事業者と対話していた富士電機の篠原氏は、「インドでスマートグリッド技術を導入していくには、ボルトをしっかり締める、配線もきちんと接続するという、基本的な作業を適切に実施することや、事前に決めたスケジュールに応じて進捗管理することなど、改善すべき点が見られた。」と話しており、実証中に、何度も UHBVN や現地事業者へ改善提案を実施した。残念ながら、本実証の中では、インド側の取組方法が大きく変化することはなかった。この点に関して、インド側の意見として、日本企業からの提案の正しさを認めつつも、日本企業側にも、インドの市場環境や商習慣をもう少し理解してほしいとの要望もあった。India Smart Grid Forum の Reji Kumar 氏は「日本企業がインド市場に進出したいのであれば、インドの商習慣を学ばなければいけない。どんなに良い技術や優れた工法の提案であっても、現地の事業者がその重要さを理解し、受け入れる準備がなければ導入されない。日本企業単独でインド市場を理解し適応するには時間がかかるだろう。現地に精通したインド企業と連携することは日本企業の事業展開にとって支援になるだろう。」とコメントしている。

インドに限らず、日本企業が海外進出する際には、高い技術力が認められても、商習慣等への適応が課題となり、ビジネス化に至らず、実証事業までで終わってしまうケースも少なくない。ビジネスとして継続的な関係を構築するためには、日本流のノウハウを持ち込む重要性を理解いただくとともに、相手国の事情・思いを理解し、時には、日本企業の技術を現地環境へ適応させる工夫が重要ではないだろうか。日本企業単独での対応が難しい場合

には、両国間の隙間を埋めてくれるような現地企業との連携がビジネス化の成否を決める鍵となるだろう。

おわりに

本実証は、経済発展に伴い急速に変化を続けるインドの電力市場に対し、日本企業の先進技術が適用可能か検証する非常に意義の大きい実証事業であった。結果として、日本企業の技術力の高さ、運用のきめ細かさは市場環境の違いに関わらず効果を発揮し、インドの配電事業高度化に大きく貢献できることがわかった。インド関係者も日本企業の誠実な対応に感謝するとともに、実証の成果を高く評価している。

UHBVN Manish Kumar 氏、Himanshu Sheokand 氏のコメント

今回導入いただいた日本企業の先進技術は非常に優れたものである。スマートメータの通信品質も高く、パニパットの配電ロスも大きく改善することができた。本実証の成果を参考に、UHBVN の営業エリアの中で同様の配電高度化の取り組みを拡大していく。一部入札を開始しているものもあり、是非富士電機をはじめ日本企業の皆様にも参加いただきたい。

ISGF Reji Kumar 氏のコメント

インド関係者は日本企業の誠実な対応に非常に感謝している。特にキャパシティビルディング事業における設計や保守業務の指導は非常に質の高いものであった。システム構成など日本と異なる点もあったが、インドの技術者にとって有益な情報共有となっただろう。

MOP Vishal Kapoor 氏のコメント

MOP としても、パニパット実証の成果は非常に高く評価している。日本で先行しているテクノロジーはインドの配電システム高度化に貢献するものとして注目している。今後、60 程度の都市に、SCADA と Distribution Management System (DMS) を導入していく計画を持っており、パニパット実証で採用された技術の市場は大きくなっていくだろう。

なお、評価のコメントがあった一方で、Key Findings にも記載したとおり、実際に事業展開していく上では、現地商習慣への適応や現地企業とのパートナーシップ組成に課題があるとの厳しいコメントもあった。インド関係者の多くが、日本企業の誠実な対応や技術力の高さに感銘を受け、今後も一緒に仕事を続けたいとコメントしており、厳しい意見も「親しい友人に対する温かいアドバイス」と受けとめるべきであろう。本ケーススタディや実証事業の成果が、インド市場への進出を検討する日本企業にとって有益な情報となることを期待する。

謝辞

本ケーススタディの執筆にあたり、ご協力を賜った富士電機の篠原孝司氏、高橋省氏、住友電気工業の前河秀治氏、矢田勝啓氏、THE パワーグリッドソリューション（当時）の本澤純氏、UHBVN の Manish Kumar 氏、Himanshu Sheokand 氏、ISGF の Reji Kumar 氏、MOP の Vishal Kapoor 氏に感謝の意を表す。



図 22: オペレーションセンター オープニングセレモニーの様子

参考文献

- [1] NEDO, 「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業 インド共和国(印国)におけるスマートグリッド関連技術に係る実証事業」平成 27 年度～平成 31 年度 成果報告書
- [2] NEDO, 「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業 インド共和国(印国)におけるスマートグリッド分野のキャパシティ・ビルディング事業」平成 30 年度 成果報告書
- [3] NEDO, 「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業 インド共和国(印国)におけるスマートグリッド関連技術に係る実証事業」事後評価分科会 資料 5
- [4] 経済産業省, 「平成 30 年度新興国等におけるエネルギー使用合理化等に資する事業(インド・電力システム高品質化のためのロードマップ策定に向けた調査)」調査報告書
- [5] 富士電機「富士電機技報 2019 Vol. 92 No. 2
- [6] ISGF「ANNUAL REPORT」2015～2018
- [7] MOP「Impact Assessment of Smart Grid Pilot Projects Deployed in India」

本ケーススタディは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託により、株式会社三菱総合研究所が執筆しました。