

ケーススタディ：インドネシア共和国・ジャワ島の 工業団地におけるスマートコミュニティ実証

1. イントロダクション

2012年から2017年にかけて、インドネシア共和国・ジャワ島において、エネルギー需要の伸びが著しい工業団地における高度なエネルギー利用方法の確立にフォーカスしたスマートコミュニティ実証事業が行われた。

本実証事業は、NEDOの「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、インドネシア共和国エネルギー・鉱物資源省（Ministry of Energy and Mineral Resources：MEMR）から国営電力会社（PLN）への実施協力要請のもと、スルヤチプタ工業団地をプロジェクトサイトとして実施された。実証事業は、NEDOとMEMRとの間に締結された基本協定書（Memorandum of Understanding：MOU）のもと、日本の事業者である住友商事、富士電機、三菱電機、住商機電貿易およびNTTコミュニケーションズの5社とPLNが合意文書（Implementation Document：ID）を結び、共同で行われた（図1）。

本実証では、電力品質安定化のためのシステム、工業団地のエネルギー管理のためのシステムの導入に加えて、それらの基盤となるICTプラットフォームの構築と効果検証が行われた。

同時に、本実証は単に技術実証を行うだけではなく、導入技術の事業性を検討するビジネス実証を兼ねた事業として実施された。

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コミュニティ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

実証開始当時（2011年）、インドネシア共和国ジャワ島における計画停電実施日数は年間165日あり、電力需給は逼迫している状況であった。これは、インドネシア共和国において2006年に策定された第1次短期電力開発計画で資金調達や建設工事などの大幅な遅延により慢性的な電力不足が解消されずにいる一方、高い経済成長に伴い電力需要の伸びが高くなっていったためである。

そうした電力需要が著しく増加する状況において、同国のエネルギー消費量の約1/3を占める「産業」が集積する工業団地は、電力需要の伸びが特に著しい状況にあった。その中でも、首都ジャカルタの東方55kmの西ジャワ州カラワン県に位置するスルヤチプタ工業団地は、住友商事が土地販売を代行しており、多くの日本企業が進出（入居企業約130法人中、半数以上が日系企業）しているため、高品質な電源が求められていた。

上記の背景を踏まえて実施した本実証は、工業団地に電力供給を行う電力会社（PLN）に対して、日本の技術によって電力の品質改善および省エネルギーのサービスを提供する新たなビジネスモデルの創出を目指したものである。

電力品質改善サービスの実証のためには、工業団地内に新規に配電システムを作る必要があり、1エリア1供給事業者という同国の規制に抵触するため、MEMRとPLNとの協力の下、NEDOの実証事業として実施した。

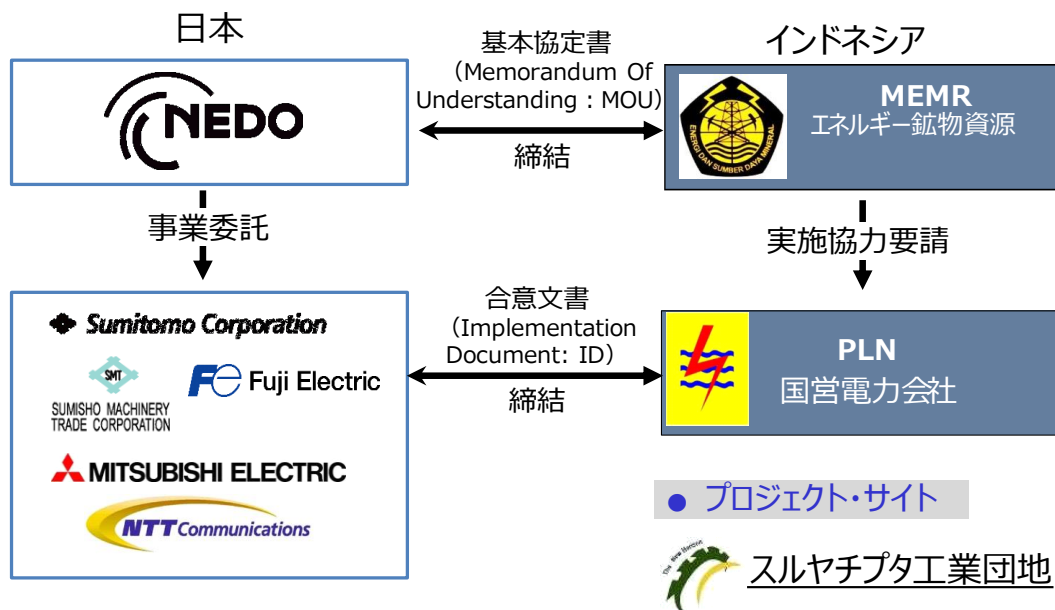


図1 実証体制

3. 本実証における取組の概要

本実証は4つのテーマに基づいて行われた。実証のテーマと実施事業者の役割分担を表1に示す。

実証テーマ1および2は、前述したインドネシアの実情を踏まえた技術・ビジネス実証である。テーマ3は、テーマ2のシステム導入を実現するためのインフラに関する技術実証である。更にテーマ4は、それらの技術・ビジネスを現地に展開するための事業体制等の検証を行うものである。

表1 実証テーマと日本側の役割分担

名称	概要	実施事業者
1. 電力品質の安定化技術	高品質電力供給システム (HQPS) の技術・ビジネス実証	富士電機
	配電自動化システム (DAS) の技術実証	
2. 工業団地エネルギー管理	デマンドサイドマネジメント (DSM) システムの技術・ビジネス実証	三菱電機
	工場設置型 FEMS、簡易型 FEMS の技術実証	
	クラウド型 FEMS の技術実証	富士電機
3. テーマ2の基盤となるICTプラットフォームの構築	ICTプラットフォームの技術実証	NTTコミュニケーションズ
4. 現地JVC設立調査	ビジネスモデル分析およびJVC設立調査	住商機電貿易

以下では、各テーマの概要についてまとめるとともに、実証の全体像を図2に示す。

3.1. テーマ1：電力品質の安定化技術

テーマ1は、電力品質改善のための実証である。本テーマでは、高品質電力供給システム (High Quality Power Supply: HQPS) と配電自動化システム (Distribution Automation System: DAS) の2つのシステムを導入して検証が行われた。

一般的に工場では、重要な生産設備を停電や瞬間電圧低下による大きな被害から保護するため、工場毎に個別に無停電電源装置 (UPS) および自家発電設備を設置するなどの自衛措置を講じている。こうした工場毎の個々の対策に対して、配電系統の中に大

容量の電力品質安定化装置を設置し、無停電の高品質電力供給を行うことで、個々の対策と比べてスケールメリットにより初期投資・メンテナンス費用を軽減することが可能となる。

実証では、PLN 配電系統と工業団地間に電力品質安定化装置を設置し、専用線にて無停電かつ安定した電圧の高品質電力を工業団地内の3工場に供給するシステム (HQPS) を構築し、電力品質改善の有効性や事業展開の実現性検証が行われた。

また、配電系統の SAIDI/SAIFI (平均停電継続時間/平均停電回数) の改善による供給信頼度の向上を図ることを目的として、配電系統での事故発生時の停電時間を短縮するための事故復旧機能などを有した配電自動化システム (DAS) を構築して PLN の事業所に導入し、停電時間の短縮への貢献について評価が行われた。併せて、日々拡大する配電系統に対して PLN が DAS を更新できるよう、機器増設などの配電系統拡張に対する DAS のデータベースのメンテナンス性 (PLN が容易にデータベースを更新できること) についても評価が行われた。

3.2. テーマ2：工業団地エネルギー管理

テーマ2は、省エネルギーのための実証である。本テーマでは、デマンドサイドマネジメント (DSM) システムと工場向け電力使用量見える化ツール (FEMS) の2つのシステムを導入して検証が行われた。

実証では、電力需給逼迫時の電力需要のピークカットや高コスト発電の抑制を目的として、ICT技術を利用して工業団地内の需要家 (複数工場) の電力需要の動的な制御を行うデマンドサイドマネジメント (DSM) システムを導入して、電力需要抑制効果および事業モデルの検証が行われた。なお、インドネシアでは、欧米のように電力自由化が進んでおらず、卸電力取引市場がないことから、ネガワットの収集状況に応じてインセンティブ単価を柔軟に設定できる DSM が開発された。

また、DSM を有効に活用するために、参加工場向けに電力使用量を見える化し、省エネを促進するツールとして3種類 (工場設置型、簡易型、クラウド型) の FEMS を導入し、電力使用量の分析の効率性や効果の検証が行われた。

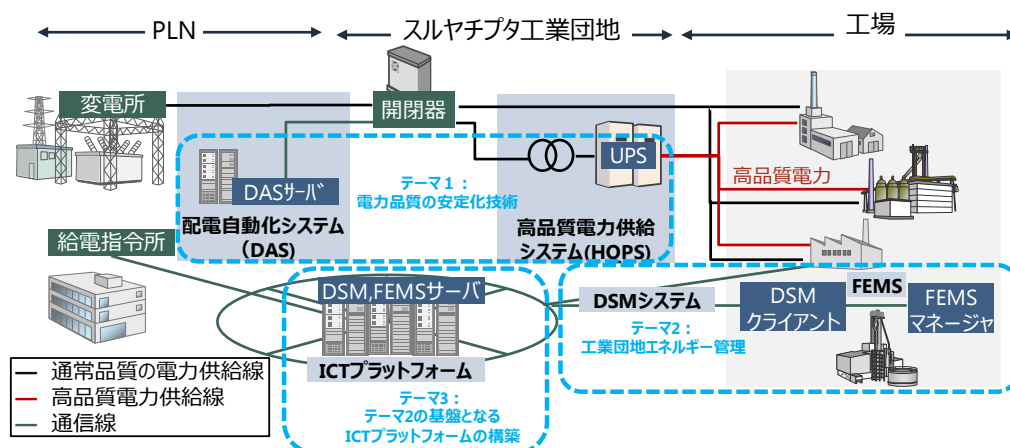


図2 インドネシア共和国・ジャワ島におけるスマートコミュニティ実証の全体像

3.3. テーマ3：テーマ2の基盤となるICTプラットフォームの構築

テーマ3は、テーマ2で開発したアプリケーションのうち、DSM およびクラウド型 FEMS を実際に稼働させるために必要となるインフラ（共通基盤）の構築、およびその有効性を検証するものである。

具体的には、ジャカルタ市内のデータセンタと工業団地を結ぶ広域および工業団地内にまたがる高品質な通信インフラの構築、並びに各種サーバ機能等を搭載するクラウド基盤の構築により、工業団地内の工場向けに ICT プラットフォームとして提供し、テーマ2に対する共通基盤としての可用性等についての検証が行われた。また、これらの ICT プラットフォームの有効活用や業務アプリケーション提供等の可能性についても検証が行われた。

3.4. テーマ4：現地 JVC 設立調査

テーマ4は、テーマ1から3で実証した技術・ビジネスを現地に展開するための事業体制等の検証である。

事業の継続およびパッケージ型のインフラ輸出の展開のためには、現地に根差した運営母体が不可欠である。加えて、これまでのような物売りではなく現地事業者との連携による事業展開が求められる。

そのため、実証事業当初に検討したビジネスモデルの実現のために、JVC (Joint Venture Company) 設立可能性および条件を具体化するため、関連する事業者への聞き取り調査を行い、その結果を整理した。

また、HQPS、DSM、FEMS、ICT プラットフォームのビジネスを実施するにあたっての現地法規制、現地会社設立手続き、事業ライセンスについて、それぞれ調査を行った。

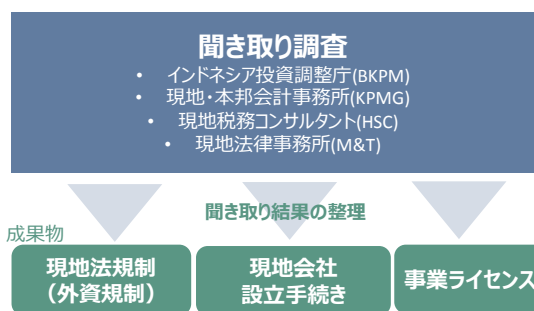


図3 調査スコープ

4. 実証システムの構築

以下では、実証のために構築されたそれぞれのシステムについて説明する。

4.1. テーマ1：電力品質の安定化技術

4.1.1. 高品質電力供給システム (HQPS)

停電や瞬時電圧低下等への対応策として一般的な個々の工場

向けにUPSを設置する従来の方式では、顧客毎に設備投資が必要となるが、高圧系統内で一括して供給が可能な高品質電力供給システム (HQPS) は、各工場での設備投資無しで高品質な電力を享受できるシェア型サービスモデルである。本実証ではスルヤチプタ工業団地内にHQPSが設置され（図4）、工業団地内の3つの工場に対し、約1年間の実証運転が行われた。



図4 HQPSを設置していた工業団地内の施設（外観・内部）

HQPSは、瞬時停電や瞬時電圧低下に対し、安定した電力供給を維持するための装置として、UPSを備えている。UPSには、4MVA/3.2MWのバッテリーが内蔵されており、PLN系統の停電時も、専用線を介して3つの工場の重要負荷への電力供給を維持することができる仕組みである（図5）。

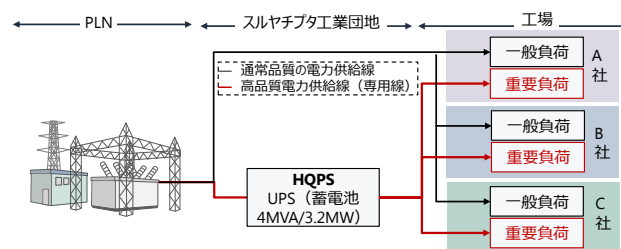


図5 HQPSの構成

実証開始前はPLN系統に起因した停電や電圧低下が頻繁に発生しており、電力供給品質の改善が大きな課題となっていた。実証に参加した工場は自前のバックアップ設備を持っておらず、当時、電圧や周波数の変動が製品の品質に影響を及ぼすことが問題視されていた。

4.1.2. 配電自動化システム (DAS)

配電自動化システム (DAS) は、スルヤチプタ工業団地を供給エリアとして管轄する西ジャワ州カラワン県の事業所である PLN Karawang 営業所に納入された。PLNでは、送配電系統の拡充とともに系統を遠隔で集中監視する監視制御システム (SCADA) の導入が進んでいるが、配電系統の運用については導入途中であり、配電線の事故の自動復旧や容易な設備メンテナンスの機能を持つDASは殆ど導入されていない。



図6 PLN Karawangの外観（左）とDASが設置された執務室（右）

DAS は、配電システムの監視・制御のためのシステムであり、表 2 に示すように、PLN が主に活用している SCADA が有する通常の監視制御機能に加えて、事故自動復旧機能、柔軟なデータベースメンテナンス機能、作業停電計画機能といった DAS 固有の機能を多く備えたシステムである。

なお、事故自動復旧機能に関して、日本で活用される DAS は、時限順送方式という計測電圧によって系統事故の原因となっている区間を検出する仕組みであるが、インドネシアでは系統構成の違いを踏まえ、計測電流により検出する仕組みを採用している。

インドネシアでは、系統事故発生時は現地の巡視によって原因を探索しているため、健全な区間への復旧さえも長時間に及んでいるが、本機能の導入により数十秒で復旧することが期待できる。

また、DSM を有効活用するために参加工場向けに電力使用量が見える化し、省エネを推進するツールとして 3 種類(工場設置型、クラウド型、簡易型)の FEMS を製作して設置し、電力使用量分析の効率性等の検証が行われた。

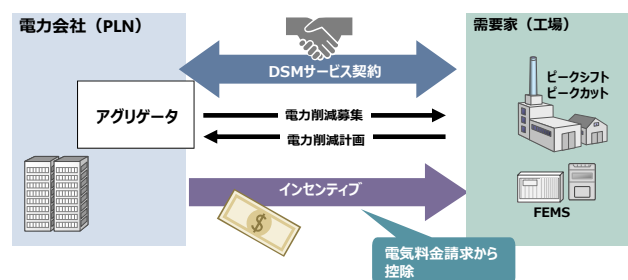


図 7 DSM の仕組み

表 2 実証用 DAS と競合システム (SCADA) との保有機能の差異

主要機能	競合システム	実証用 DAS
変電所の監視制御	○	○
配電システムの監視制御	○	○
配電システム「DAS」表示 (充電電/事故点など)		○
データベースメンテナンス (ユーザで容易に DB メンテ)	○	◎
事故自動復旧 (事故判定/自動復旧等)		○
作業停電計画		○
実績データ保存	○	○
システム異常管理	○	○

4.2. テーマ 2 : 工業団地エネルギー管理

4.2.1. デマンドサイドマネジメントシステム (DSM システム)

本実証で導入したデマンドサイドマネジメント (DSM) システムは、PLN からの電力削減要請に基づき、アグリゲータが需要家 (工業団地内の工場) の電力需要削減 (ピークシフト/カット) を実現し、電力需給バランスの安定化と省エネルギーおよび電力コスト削減を目指すシステムである。

実証では、三菱電機がアグリゲータとなり、PLN と連携して、需給逼迫状況に応じて日時とインセンティブ単価を設定して電力削減の募集をスルヤチプタ工業団地内の 21 工場に対して行った。アグリゲータは、工場から通知 (入札) される電力削減の収集状況に応じて、PLN から通知された上限値の範囲内でインセンティブ単価を適宜アップする運用とした。

工場向けの DSM のアプリケーションを製作し、PLN からの電力需給バランス予測に基づく電力削減要求、アグリゲータによる電力削減募集、DSM 実証に協力する各工場の電力需要削減実行のシーケンスが有効に動作することを検証するとともに、各工場の電力削減実績に応じたインセンティブの設定 (実際に電気料金請求額から検除) により、電力削減量 (入札値) がどの程度変動するかを検証が行われた。

4.2.2. 電力使用量見える化ツール (FEMS)

工場において DMS の入札を実行するに当たっては、工場内の電力使用量を管理することが肝要となる。電力使用量の管理を行い、DSM を有効に活用するために、3 種類 (工場設置型、クラウド型、簡易型) の電力使用量見える化ツール (FEMS) を計 17 工場に導入して、電力使用量や削減可能量の把握を可能にした。

大規模工場向けで多くの計測ユニットを設置する「工場設置型 FEMS」を 2 工場に、中小規模工場向けで限られた計測ユニットを設置する「クラウド型 FEMS」を 9 工場に、中小規模工場向けの低コストな「簡易型 FEMS」を 6 工場に導入した。クラウド型 FEMS と簡易型 FEMS はいずれも中小規模工場向けであるが、前者は計測ユニットを設置したうえで機器毎の使用量の計測を行うのに対し、後者は既に設置されている電力量計の使用量を収集するため、より低コストで設置できるという違いがある。

見える化ツールの導入に関しては、工場から各 FEMS を提供するメーカーに対して月額料のサービス料を支払うビジネスモデルの検討が行われた。

表 3 FEMS の種類および導入した工場の数

カテゴリ	工場設置型 FEMS	クラウド型 FEMS	簡易型 FEMS
メーカー	三菱電機	富士電機	三菱電機
特徴	●大規模工場向け ●多くの計測ユニット	●中小規模工場向け ●限られた計測ユニット	●中小規模工場向け ●低コスト
構成	DSM サーバ DSM クライアント 工場 工場設置型 FEMS 計測ユニット	DSM サーバ クラウド FEMS サーバ DSM クライアント 工場 WEB ブラウザ 計測ユニット	DSM サーバ DSM クライアント 工場 計測ツール
導入工場数	2 工場	9 工場	6 工場

4.3. テーマ3：テーマ2の基盤となるICTプラットフォームの構築

4.3.1. ICTプラットフォーム

本実証において、DSM とクラウド FEMS の提供を支援する高信頼なクラウド基盤と通信を、ICT プラットフォームとして 20 工場向けに提供した。

クラウド基盤はジャカルタ市内のデータセンタに配置し、工業団地までの 50km に亘る通信回線（中継回線）は異なる 2 つの通信会社による通信回線で構成し、冗長化を図っている（図 8）。

また、工業団地内は、光ファイバアクセス回線によりリング状に冗長化しており、各工場は本プラットフォームを利用することでインターネット利用も可能としている。

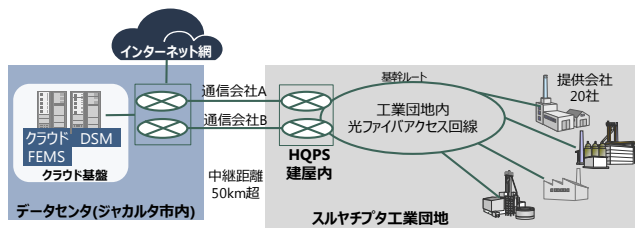


図 8 ICT プラットフォームの構成

5. 実証の成果

5.1. テーマ1：電力品質の安定化技術の実証結果

以下では、HQPS と DAS とそれぞれのシステムの評価結果について説明する。

5.1.1. HQPS の評価結果

HQPSによる高品質電力供給の実証では、実証運転期間に複数回発生した瞬時電圧低下に対して、電力品質改善の有効性を検証した。約1年間の実証期間中にPLNシステムの供給電力の瞬時電圧低下が14回発生し、そのうち7回は工場の重要施設に影響を与え得る深刻レベルであったが、HQPSにより需要家に影響のないレベルまで改善できることが確認できた。図9のとおり、HQPSがない状態であれば、99ミリ秒（約0.1秒）の間、供給電力の電圧が45.2%低下しているが、HQPSを導入することにより、電圧低下が顕著に抑えられていることが分かる。なお、7回の深刻レベルの瞬時電圧低下により生産設備が停止・故障した場合の直接経済損失は、観測期間（約1年間）において3工場で合計6,090万円と試算され、そのリスクを回避できたと言える。

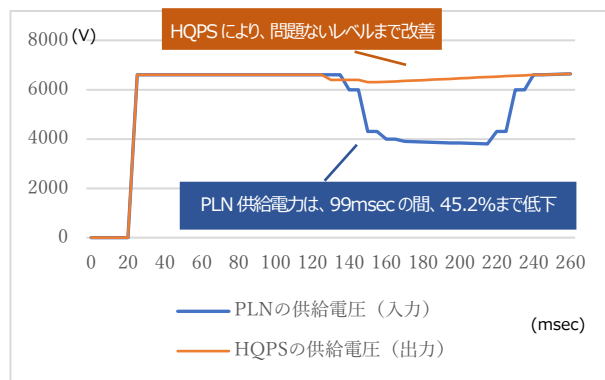


図 9 HQPS による電力品質改善事例

また、ビジネスモデルの検証では、HQPS を利用する工場が PLN に対して、高品質電力の対価として高品質電力料金を支払い、PLN は、HQPS の O&M を担う事業者（JVC）に対し、O&M サービスの対価を支払うというスキームを想定して事業展開の実現性を検証した。

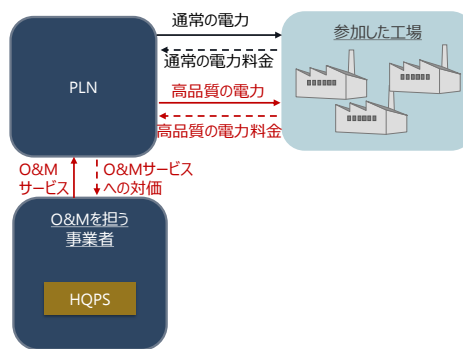


図 10 HQPS のビジネス実証スキーム

PLN および O&M サービス事業者（JVC）の収益は、高品質電力料金の価格と通常電力料金との差額分（実証開始前は 650Rp/kWh）となることから、高品質電力料金の価格はインドネシア政府が規定する上限に相当する価格（1,650Rp/kWh）を設定することにより、収益として確保することが可能となる試算であった。しかし、実証期間中に通常電力料金が 2 倍近くに高騰したことによって、通常の電力料金と規制による上限の差が小さくなり（差額が 250Rp/kWh まで減り）、実証エリアにおいて、利益の確保が困難になった（表 4）。

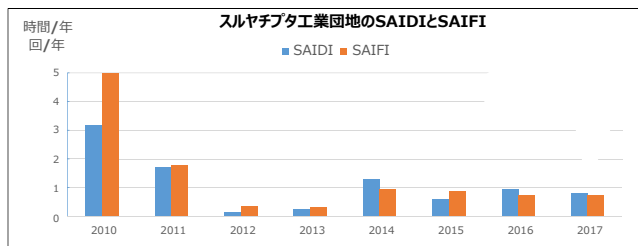
表 4 電力料金の高騰にみる利ザヤ幅の変化

	2011 年 (実証開始前)	2017 年 (実証期間中)
規制による電力料金の上限	1,400 Rp/ kWh*	1,650 Rp/kWh
通常電力料金	750 Rp/kWh	1,400 Rp/kWh
差額 (= 本実証での利ザヤ)	650 Rp/kWh	250 Rp/kWh

※ 1 ルピアは 0.008 円 (2020 年時点)

上記の電力料金高騰に加え、スルヤチプタ工業団地では、2010年には年に3.2時間(5回)の停電が発生していたのに対し、2015年から2017年の間は1時間未満(1回)の停電発生となり、工業団地におけるPLNの電力供給品質は急激に改善された(図11)。

(但し、2019年8月には同地域で12時間に亘る大規模停電が発生した)。



注：2010年のみはPLNのデータが欠測しているため、工業団地内の某工場の実績

図11 工業団地における停電時間(SAIDI)と回数(SAIFI)の変遷

実証期間中に生じた電力料金の高騰および電力品質の改善という事業環境の大きな変化を受け、HQPSを導入し、O&M サービスを提供するという当初想定していたビジネスモデルは、実証エリアにおいて成立困難という結論に至り、実証機器(HQPS)を利活用した事業継続を断念するという結果に至った。

5.1.2. DASの評価結果

DAS(配電自動化システム)の実証では、PLNが定める標準仕様および国際標準プロトコルに準拠した、高度な事故復旧機能と柔軟なデータメンテナンス機能を有するシステムの導入により、事故発生時の停電時間の短縮への貢献および日々拡大する配電系統へのメンテナンス性について検証した。

本実証でPLN Karawang 営業所に導入したDASのサーバおよび監視制御卓(コンソール)は、PLNによって変電所に設置される遠隔監視・制御用の子局(RTU)と接続するための通信規格として、PLNが定める標準仕様(PLNスタンダード)に準拠したものを導入した。

また、国際標準プロトコル(IEC)によってSiemens、ABB等、複数ベンダのRTUとの相互運用性試験を行い、相互接続が可能であることを確認できた。

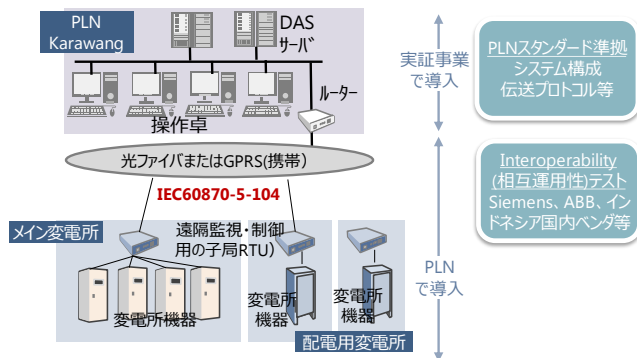


図12 DASの全体仕様(構成と通信規格)

DASの事故自動復旧機能に関しては、電力品質の向上により実証期間中(DAS設置完了後)は、DASを導入し運用を行っている工業団地の一部配電系統(6フィーダ)では停電が発生しなかったため、2011年から2017年までのスルヤチプタ工業団地の停電実績を基に、スルヤチプタ地域の現状の供給信頼度について解析を行い、自動事故復旧機能による停電時間を試算した。試算の結果、DAS導入前とDAS導入後(推定)では、停電時間が半分以下へと大幅に改善することができるという結果が得られた(表5)。

表5 自動事故復旧機能による停電時間改善(推定)

		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
SAIDI* (分)	DAS導入前	104	10	16	78	36	57	49
	DAS導入後(推定)	10	3	7	10	4	8	9

*停電時間 × 停電した需要家数の合計

DASのデータベースメンテナンス機能に関しては、DASの画面上のパレットからPLN担当者が機器を選択して自由に配置し、配電線を描画することが可能となっており、機器増設などの配電線更新時にPLNの担当者が容易にデータベースを更新できることが確認できた。

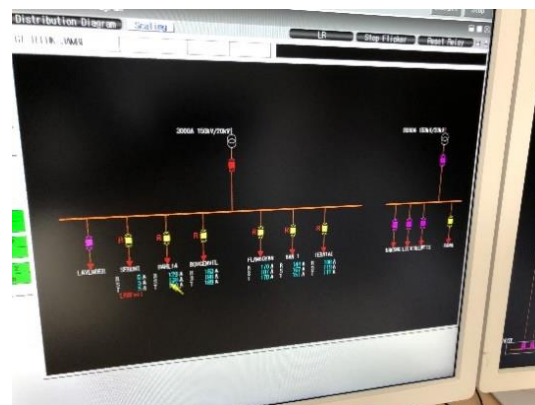


図13 DBメンテナンス機能により作成された系統図

5.2. テーマ2：工業団地エネルギー管理の実証結果

以下では、DSMとFEMSそれぞれのシステムの評価結果について説明する。

5.2.1. DSMの評価結果

DSMの実証では、PLNが過去に試行したDSMの課題を解決する新しいDSMアプリケーションを開発し、実際の工業団地においてPLNと各工場間でのインセンティブ・ペナルティの収受および3種類のFEMS導入による電力の見える化の有効性を検証した。

PLNは、2011年に独自でDSMの実証を行っている。当時の実証は、PLNと工場との契約をベースとしたDSMとなっており、工場との情報交換システムを持たず、固定のインセンティブ単価で、

電力削減の日時指定がなく、電力需要が高い時間帯（ピークタイム）における電力削減の実績ベースでインセンティブを工場に対して支払うものであった。また、電力削減をしなくともペナルティは課せられないというものであった。このため、電力削減量の予測や削減量のコントロールができないという課題があり、実用には至らなかった経緯がある。本実証で導入した DSM は、入札ベースで入札量に応じてインセンティブ単価を変動するものであり、電力削減量の予測・コントロールできることが確認できた(図 14)。

	入札なしの インセンティブ単価固定DSM (PLNが2011年に試行)	入札ベースの インセンティブ単価変動DSM (本実証)
削減量の予測	工場からの入札アクション無し →電力削減量の予測が困難	募集に応じた入札と削減 →電力削減量の予測が可能
削減量のコントロール	インセンティブ単価固定 →過剰削減または削減不足	入札量に応じた単価変動 →目標とする削減を達成可能

図 14 実績ベース/入札ベースの DSM の違い

DSM 実証にあたっては、参加工場と PLN との間で、実証期間中のインセンティブ/ペナルティの単価(上限 1,650Rp/kWh) に関するサービス合意書を締結し、収受することが出来た。参加工場に対する DSM システムを通じた電力削減募集は、実証期間中に計 13 回実施され、延べ入札回数 829 回、インセンティブ総額 4,719kRp、ペナルティ総額 150kRp となった(表 6)。

表 6 参加工場による入札実績

2017年7月~2018年2月の間の13日間に電力削減を実施	
入札参加工場数	実施日あたり平均：6工場 延べ：75工場
入札回数	実施日あたり平均：64回 延べ：829回
インセンティブ単価 (平均)	募集開始時 769(Rp/kWh) 募集終了時 1,397(Rp/kWh)
インセンティブ総額	4,719(Rp/kWh)
ペナルティ総額	150(Rp/kWh)

インセンティブ単価の設定方法に関しては、電力削減募集開始時には低いインセンティブ単価を設定し、実施期間中にインセンティブ単価をアップし、その経過日数に対する参加工場の入札数の変化をカウントすることでインセンティブ単価アップの影響を確認した。

その結果、インセンティブ単価が低い場合は入札量(電力削減量)が少なく、インセンティブ単価が増加すると入札量(電力削減量)が顕著に増加するという結果が得られた。実証データ実績は図 15 の通りであり、インセンティブ単価を 500Rp/kWh と設定した時期は電力削減量が 13kW から 24kW 程度であるが、1,200Rp/kWh に引き上げると電力削減量が 103kW まで増加している。これによりインセンティブ単価の増減により、電力需要の抑制量をコントロールできる可能性があることが分かった。

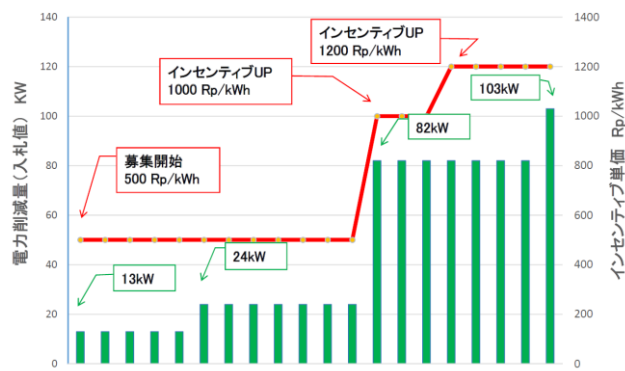


図 15 インセンティブ単価変動による入札量の変動

加えて本実証では、日本の事業者が、アグリゲータとして PLN に代わって参加工場との間で電力削減の入札のやり取りを行うため、PLN とライセンス契約を結ぶというビジネスモデルの可能性を検証した。

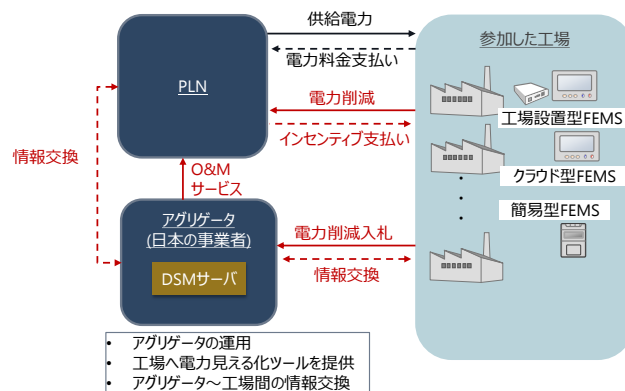


図 16 DSM のビジネス実証スキーム

しかし、5.1 でも述べた通り、PLN の供給力の増強に伴って実証事業対象地域の電力需給バランスは 2016 年時点で大きく改善しており、電力削減のニーズそのものがなくなったことから、実証エリアにおいて、実証事業当初に想定していた上記のビジネスモデルは成立困難という結果になった。

5.2.2. FEMS の評価結果

(1) 工場設置型 FEMS

大規模工場を想定したオーダーメイド型の FEMS の実証では、工場の時間帯別の電力使用量データ(kWh) および生産数データ(個)をもとに、ライン毎の電力原単位(製品 1 台あたりの使用量)を確認できるようになった(図 17)。

$$\text{使用量のデータ (kWh)} \div \text{時間帯別の生産数 (個)} = \text{電力原単位 (kWh/個)}$$

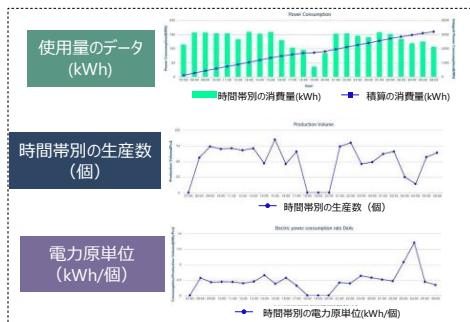


図 17 工場設置型 FEMS による電力原単位の見える化

また、工場内の個別の装置の生産状況（停止、アイドル、実稼働）を画面上で色別に見える化し、例えばアイドルの抑制により、生産していない時間帯の省エネルギー化や DSM への入札の検討も可能になった（図 18）。



図 18 装置の時間帯別の稼働状況の見える化例

(2) クラウド型 FEMS

中規模工場向けを想定したクラウド型 FEMS の実証では、工場内のエネルギー消費の多い機器の動作状況が把握できるため、省エネの検討に繋げることができる。そのための機能として、電力使用量 (kWh) をもとにエネルギー消費の多い装置をランキング表示できる機能を開発した（図 19）。

電力使用量の多い装置をランキング表示

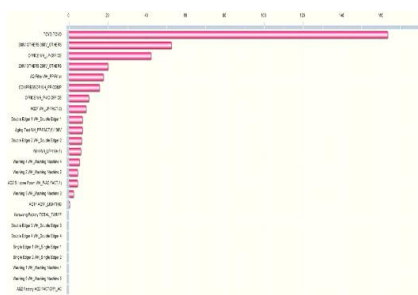


図 19 装置別の電力使用量 (kWh) ランキング

更に時間帯別の電力使用量グラフでは、装置別の電力使用量内訳を表示することで、消費の多い装置の稼働状況を見える化する機能を開発した（図 20）。

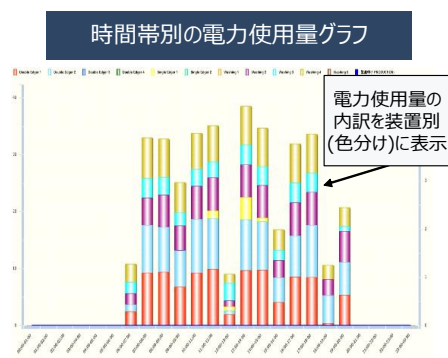


図 20 時間帯別の電力使用量グラフ

上記の機能を活用することで、工業団地に多い中規模工場での省エネルギーや電力使用量平準化（エネルギーシフト）の実行が可能となった。

(3) 簡易型 FEMS

小規模工場を想定した簡易型 FEMS の実証では、電力メータと繋がる子機と、DSM と繋がる親機を無線通信（920MHz 帯特定小電力）で結ぶ最小限の機器構成とすることで、容易に工場の電力の見える化を実現できる構成とした（図 21）。

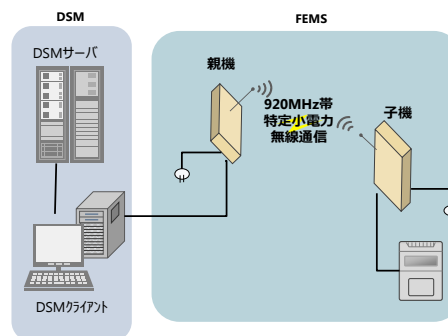


図 21 簡易型 FEMS の構成

(4) DSM との関連性

これらの見える化技術を利用し、3 種類のいずれかの FEMS を設置した工場の DSM への参加、誘導の可能性を工場別の DSM 入札頻度を基に評価した（図 22）。

DSM に参加した 21 工場のうち、FEMS 非設置の工場は入札件数が極端に少ないのに対し、3 種類のいずれかの FEMS（工場設置型、クラウド型、簡易型）を設置した 17 工場は、DSM 入札が活発になることを確認した。

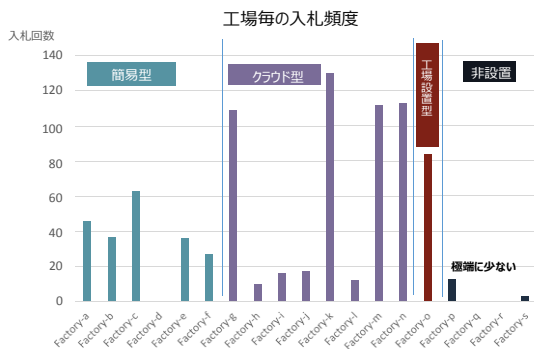


図 22 工場毎の DSM 入札頻度 (FEMS 設置・非設置)

5.3. テーマ3: ICTプラットフォームの構築の実証結果

ICTプラットフォームの構築実証では、今回の冗長化した構成を採用することにより、DSM やクラウド FEMS に対しサービスを滞りなく提供することができた。本実証期間中のシステムの性能および品質については問題なく、その有効性を検証することができた。

2017年5月から2018年2月の間の観測結果をもとに、表7に冗長構成の有無による稼働率を比較した結果を示す。冗長構成による稼働率を下段に、冗長構成でない場合の当該期間の稼働率を上段に推計として示している。データセンタから工業団地内の引込線までの区間において、冗長構成でない場合は年間の故障時間が7時間以上発生するのに対し、冗長化構成を採用したことで故障時間が0時間となり稼働率100%の高可用性を確保することに成功している。

表 7 冗長構成の有無による稼働率の違い

稼働率・年間換算故障時間	区間1	区間2
	データセンタから 工業団地内の引込線まで	データセンタから 各工場(終端)まで
冗長構成でない場合(推計)	稼働率: 99.92%	稼働率: 99.86%
冗長構成による可用性	年間換算故障時間: 7.1時間 稼働率: 100%	年間換算故障時間: 12時間 稼働率: 99.94%
	年間換算故障時間: 0時間	年間換算故障時間: 4.8時間

5.4. テーマ4: 現地 JVC 設立の調査結果

現地 JVC 設立の調査では、各システムのビジネスモデルを前提に事業成果の普及可能性を検証した。

調査を通じて、各事業がインドネシアの規制に準拠して必要となる事業ライセンス、現地会社の設立手続きを網羅的に確認することができた。HQPS および DSM によるサービス提供ビジネスを実施する場合は電力サポート事業ライセンス、FEMS によるサービス提供ビジネスを実施する場合は情報省への事業者登録、ICTプラットフォームを提供する場合は ICT の事業ライセンス取得が必要となるなど、扱うソリューションによってライセンスは異なるが、現地会社設立手続きとしては、省庁への申請や登記等、共通的な手順により実施する形となることが分かった (表 8)。

表 8 事業別の要件 (要約)

	現地法規制 (外貨規制)	事業ライセンス	現地会社設立手続き
HQPS	95%まで参入可能	電気事業ライセンス (IUJPTL)が必要	事業内容によらず、以下の手順で実施 ①インドネシア投資調整庁(BKPM)に投資登録 ②法務人権庁にて会社名(高号)の予約 ③公証人による設立証書の作成
DSM	95%まで参入可能	電気事業ライセンス (IUJPTL)が必要	④市役所にて所在地証明取得 ⑤管轄税務局より納税番号取得
FEMS (クラウド型)	67%まで参入可能	情報省への事業者登録が必要	⑥現地銀行口座開設 ⑦公証人による法務人権省への会社設立登記
ICTプラットフォーム	67%まで参入可能	ICTの事業ライセンス登録が必要	⑧BKPNより投資許可の取得 ⑨商務省へ会社登録 ⑩MEMR他の各種事業ライセンス取得

5.5. 実証成果のまとめ

4つのテーマにおける実証の成果について、表9にとりまとめ再掲する。

表 9 実証の成果 (まとめ)

推進テーマ	成果
電力品質の安定化技術	<ul style="list-style-type: none"> ✓ DAS システムおよび子局間の通信規格は、PLN が定める標準仕様 (PLN スタンダード) に準拠し、複数ベンダ機器との相互接続が可能であることが確認できた。 ✓ 自動事故復旧機能による停電時間の改善 (試算) や、PLN 担当者による系統図メンテナンスの更新が可能となった。 ✓ HQPS の導入により、実証期間中に発生した PLN システムの供給電力の瞬時電圧低下に対し問題ないレベルまで改善できることが確認できた。
工業団地エネルギー管理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ インセンティブ単価のアップに応じて入札が活性化していることを確認できた。これによりインセンティブ単価の増減により電力需要を抑制する効果があることが分かった。 ✓ FEMS を用いた見える化を実現し DSM と連動できることを確認した。見える化を導入すると DSM の入札が活性化することが分かった。
ICTプラットフォームの構築	<ul style="list-style-type: none"> ✓ DSM およびクラウド型 FEMS を通信ネットワークを介して利用する ICT プラットフォームとして構築することができた。 ✓ 本実証期間中の性能および品質については問題なく、その有効性を検証することができた。特に冗長化構成を採用したことで故障時間が 0 時間となり稼働率 100% の高可用性を確保することに成功した。
現地 JVC 設立の調査	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 各事業がインドネシアの規制に準拠して必要となる事業ライセンス、現地会社の設立手続きを網羅的に確認することができた。

また、DSM 導入による省エネ効果および CO2 削減効果も本実証の成果として試算した。

工業団地の契約電力や平均電力削減率を基に省エネ効果を試算し、それを基に PLN のジャワバリ系統での試算も行っている。

<DSM 導入による省エネ効果>

工業団地の省エネ効果: 800MWh/年

ジャワバリ系統の省エネ効果: 67.1GWh/年、844GWh(10年間)

<DSM 導入による省エネ効果>

ジャワバリ系統の CO2 削減効果: 752kt-CO2 (10年間)

6. Key Findings

今回の実証事業を通じて得られた重要な成果や示唆について、以下3つの観点で整理を行った。

- ① 事業環境変化に対するフレキシビリティの重要性
- ② 国際標準化とユーザビリティの両立
- ③ 技術力からビジネス視点へ

① 事業環境変化に対するフレキシビリティの重要性

実証開始当時（2011年）、インドネシアは電力供給力不足にあり、電力会社サイドの需要削減ニーズや需要家サイドの電力品質安定化（停電回避）ニーズが高かった。

本実証は、そうしたニーズを踏まえたうえでのビジネス実証という位置づけであったが、電力会社である PLN が発電設備を急激に増強したことによって実証期間中に需給バランスが大きく改善され、短期的には当初想定していた HQPS および DSM のビジネスモデルは不成立という結果になった。

PLN の事業所に導入された DAS に関しても、PLN 社の Adi 氏によると、スルヤチプタ工業団地は既に相対的にみて供給信頼度の高いエリアになっており、供給信頼度の低いエリアであれば更に活用できたらというコメントがあった。

一方、スルヤチプタ工業団地 (Suryacipta City Of Industry : SCI) の Walla 氏は、今後開発する工業団地にロボットや半導体等の工場が入れば高品質な電力ニーズが高まること、それに加えて工業団地が自社で電源を持つことで需要削減のニーズが高まる可能性もあると指摘しており、将来的な日本の技術力活用の可能性を示唆していた。

このようにエネルギー事業においては、需給バランスの変動や当該エリアにおいて求められる電力品質の違いがビジネスに大きなインパクトを与えることから、事業環境の動静を事前に可能な限り想定するとともに、プロバイダ側として柔軟に計画変更できる体制を整えることが求められる。

本実証は、NEDO によるスマートコミュニティ実証としては、東南アジアでは初であり、本実証の結果を踏まえて PDCA サイクルによって事業体制の見直しを適宜行うこと等を定めたリスクマネジメントガイドラインの策定が実際になされており、その後の実証の計画やマネジメントにも活かされていることは1つの成果であると考えられる。技術的な観点での具体的なアプローチとしては、今回の ICT プラットフォームにもクラウド基盤が活用されていたように、「持たざる IT」として SaaS (Software as a Service) 型のソリューションを積極的に活用することにより柔軟性を高めることが有用と考える。ハードウェアベースのソリューションであれば、モノの扱いや維持に伴う固定費増が問題となるが、クラウドベースのソリューションは基本的に利用のみとなるため、柔軟な契約形態や顧客ニーズに応じたサーバの拡張・廃止等、運用において優位性がある。

② 国際標準化とユーザビリティの両立

富士電機は、本実証での DAS (配電自動化システム) 構築を通じて国際標準 (IEC) の通信規格に準拠し、複数ベンダの機器との Interoperability (相互運用性) のテストも実施しており、汎用性の高いパッケージシステムを構築することに成功している。

これまで日本国内の一般送配電事業者が導入している国内ベンダ製の SCADA や DAS は、通信規格やデータベースにおける IEC への準拠が限定的であり、標準的に活用されるレベルには至っていない。

一方で、欧米の大手ベンダのシステムは遠隔制御子局 (RTU) も含めて IEC の通信規格をベースに開発されており、それらが既に多く導入されている東南アジアにおいても、システム間の連携を含めて IEC の適用が標準になっている。

実際に、PLN 社が採用する製品の標準仕様を定めた PLN スタンドアードも通信規格は IEC をベースに開発されており、日本のように独自の規格は採用されていない。

したがって今後、日本のソリューションを海外展開するうえでも国際標準規格への準拠を前提に、既存の他システムや他機器との容易な連携を可能とするためのシステム構築が重要と考える。

加えて、競合他社と比較した強みという点では、DAS 固有の機能が PLN 社の運用に役立っており、ユーザビリティを意識した独自機能は今後付加価値になるであろう。

DAS が設置されている PLN Karawang 営業所の Hendra 氏によれば、実証後も週に1回程度は DAS を活用しており、主に使っている機能は、系統切替のための遠隔操作、系統図変更、機器状態の監視とのことであった。DAS によってオンラインで配電系統上の機器の状態を監視できるようになったのは大きな成果であり、何かトラブルが起きた際も事前に対策がとれるようになっている。

一方で、多機能かつユーザビリティにも優れている反面、欧米の競合システム (SCADA) と比較するとユーザでのカスタマイズにはある程度の制約があり、自由度の低い設計となる点は課題である。

上記を踏まえ、標準規格への準拠によって汎用性や相互運用性を高めることと、顧客ニーズに合わせてユーザビリティを両立させることが日本のソリューションの強みに繋がると考える。

③ 技術力からビジネス視点へ

本実証において、DAS、HQPS、DSM、FEMS および ICT プラットフォームのそれぞれが技術実証については、いずれも目標を達成しており、日本の当該分野における技術力の高さを示すことができたと考えられる。

実際に、PLN 社の Purnomo 氏や MEMR の Edi 氏らをはじめ様々なステークホルダーが日本のソリューションに関して、品質の高さに対して賞賛を述べていた。

一方で、システム導入により得られる便益とシステムの維持に係るコストを天秤にかけた場合、現時点でビジネスとしてはフィジブルではないというコメントも得られている。

特に今回は、先に述べたとおり実証期間中に電力需給バランスが改善したことにより、事業者として収益の確保そのものが難しいという状況になったことが原因の1つではあるが、遅かれ早かれ需給バランスが改善されていた状況を鑑みると、ビジネスとして成り立たせるためには事業環境の変化によらない普遍的な価値の創出を目指すことも重要であると考えます。

また、SCIのWallia氏やMEMRのEdi氏からは、日本からの技術移転を望む声が聞かれた。日本のソリューションを日本のベンダのみで持ち込む形ではなく、現地のベンダ等とも協力することにより、当該国プロバイダの技術力向上にも資するという考え方がある。

加えて、現地JVC設立の調査の結果、事業を展開するためには、ライセンス登録が必要であり日本の事業者単独では難しいという点を住友商事の舘氏も指摘している。

ビジネスとして展開していくためには、国外パートナー（事業者）との提携も含めて現地の技術力のリソースを拡充することや、ソリューション提供のみならず技術的なノウハウの輸出も含めて国外でのプレゼンスを高めていくことが重要ではないかと考える。

7. おわりに

これまで、本実証で実施された取り組みについて、テーマそれぞれの実施内容、成果、そしてKey Findingsを整理してきた。

日本の強みである電力品質向上技術の有効性をインドネシアの系統で実証し、それぞれが品質の目標を達成したことは大きな成果と言える。

加えて、電力会社のPLNをはじめとして、現地関係者との関係が構築されたことは、今後、日本企業がインドネシアで技術を展開するうえでも役立つものと考えます。

一方で需要の伸びが著しいインドネシアにおいては供給力の確保が最優先の課題であり、社会コストや人件費の低減等に資するソリューションとしては時期尚早であったとも考えられる。

しかし今後、蓄電池等の分散型エネルギーリソースの低コスト化等を契機にエネルギーの自家消費が進展することによって、電力会社のみならず需要家の領域でもDSMやHQPSのようなソリューションが価値を高めていくことが想定される。

その際には、本実証で得られた知見や学びを参考として、ビジネスとして展開されることを期待したい。

最後に、本実証に深く関わった国内外のステークホルダーのコメントを紹介する。

PLN Purnomo 氏のコメント

PLNにおける監視制御システムはSCADAが基本である。そのような中でスルヤチプタのDASは今でも使用している。更に先進的な機能を追加すれば、色々なところで必要とされるのではないかと。5年後、10年後にはDASはもっと普及するのではないかと考えている。

日本の技術者はオープンかつフレンドリーで連携もとりやすい。困ったことがあればすぐに対応してくれる。安心して一緒に仕事をする事ができた。日本とのプロジェクトが顧客にとってフィジブルなものであればまたやりたいと考えている。

富士電機 中村氏のコメント

PLNの技術者にDASに興味を持ってもらえたことは1つの成果だと考えている。事故点の検出・復旧、系統図メンテナンス機能には特に興味を持ってもらえたと感じている。欧米ベンダのSCADAの場合、系統図をメンテナンスする際は自分たちでコーディングまでしなければならず、充停電の表示にも対応していない。そういった点で日本のメンテナンス機能は重宝するが、ユーザ側で自由に機器の種類を増やせない点は課題である。

SURYACIPTA CITY OF INDUSTRY Wallia 氏のコメント

電圧や周波数の小さな逸脱に対して反応できる場所はPLNの運用の基準よりもレベルの高いものであった。実証後も通常の電力料金に上乗せして使い続けるという結果には至らなかったが、2019年にエリアでブラックアウト（3回の停電）が発生したため、HQPSを撤去したことを悔やんでいる工場もあるかもしれない。今後、工業団地にロボットや半導体等の工場が入れば、求める品質も高いため、HQPSのニーズも出てくるのではないかと。

また、スルヤチプタ工業団地としては、時間帯によらない一律の価格でPLNと電力契約を結んでおり、DSMのメリットを見出すことができなかったが、例えば自身で供給力を調達する（発電設備を持つ）という観点で、本来は100の電力を用意するところをDSMによって60に抑えることが可能になれば有用だと思う。現在、計画している新しい工業団地ではそういったことを考えており、日本の技術が活用できそうな領域もあると考えている。

MEMR Jaya 氏のコメント

実証に関しては参加工場も多く、使い勝手がいいという意見があったものの現時点ではそれほど必要ではないという反応であった。

局としては省エネ推進を責務としており、供給力過多であっても取り組むべき課題である。工場のようなC&I（商業&工業）の需要家は10%のポテンシャルがあると言われており、技術的な部分（省エネの機能を適用した標準規格の制定など）での取り組みを進めていく考えである。

三菱電機 牧野氏のコメント

実証開始前、PLNはピーク時間帯の需要削減を目的に、固定額のインセンティブでDSMを試行していたが、アンコントロールブルであると嘆いていた。今回の実証はコントロールブルにするというのが目的であった。結果として、インセンティブ単価がこのくらいであれば、このくらい集まるということが把握可能となった。また、FEMSを持っていない工場よりも持っている工場の方が明らかに省エネ意識が高まり、入札も多くなるということも分かった。単なるシミュレーションではなく、PLNと工場間の電力契約に織り込み、実際に電力削減指令を行うところまで踏み込めたことも大きな成果であった。

工場のオペレータは忙しくなると画面を見なくなるという課題があり、自動化のニーズも出ていた。今回は実証目的であったため、そこまで行わなかったが実際のビジネスにおいてはユーザビリティを意識した設計が重要であると分かった。

住友商事 館氏のコメント

本実証は、もともとJVCの設立を目指すものであったが事業環境の変化等を受けて要件の調査に留まる結果となった。事業変化の大きな要因はインドネシアの供給力が実証期間中に改善されたことである。

現地で事業を展開するためには、ライセンス登録が必要であり日本の事業者単独では難しいということも分かった。そのため、現地のステークホルダーと連携を図ることの重要性が認識できた。

謝辞

本ケーススタディの執筆にあたり、ご協力を賜った中村正雄氏（富士電機）、金澤康久氏（富士電機）、渡辺淳司氏（富士電機）、牧野真也氏（三菱電機）、加藤英紀氏（NTT コミュニケーションズ）、高田輝文氏（NTT コミュニケーションズ）、米津直和氏（NTT コミュニケーションズ）、館信道氏（住友商事）、河野浩平氏（住友商事マシネックス）、赤岩繁氏（九州電力）、Edi Sartono氏（MEMR）、Adrian Marta Kusuma氏（MEMR）、Wijaya Rajasa氏（MEMR）、Purnomo氏（PLN）、Adi Sulistyawan氏（PLN）、Hendra Aji氏（PLN）、Karel Walla氏（Suryacipta City Of Industry）、Agus Sukarno Suryatmojo氏（Suryacipta City Of Industry）に感謝の意を表す。

8. 参考文献

- [1] NEDO, 「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/インドネシア共和国・ジャワ島の工業団地におけるスマートコミュニティ実証事業」個別テーマ/事後評価報告書, 2019
- [2] NEDO, 「インドネシア共和国・ジャワ島の工業団地におけるスマートコミュニティ実証事業」, (2012年度~2017年度成果報告書, 2018
- [3] 総務省, 「我が国における無線設備の技術基準認証制度について」, 2017
- [4] PLN, 「Case study : implementation of IEC 61850 in Java-Bali transmission system」, 2010
- [5] 独立行政法人国際協力機構, 「インドネシア国 電力技術・技能基準整備調査」, 2010
- [6] 一般財団法人新エネルギー財団「東南アジアの再生可能エネルギー情報」, 2018

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。