

次世代型双方向通信出力制御実証事業

評価用資料

平成 27 年 9 月 4 日

電力・ガス事業部 電力基盤整備課

補助事業者 33 法人※

※…国立大学法人東京大学／国立大学法人東京工業大学／学校法人早稲田大学／ＫＤＤＩ株式会社／エヌ・アール・アイ・セキュアテクノロジーズ株式会社／沖電気工業株式会社／オムロン株式会社／株式会社ＮＴＴドコモ／株式会社関電工／株式会社東光高岳／株式会社東芝／株式会社日立製作所／三洋電機株式会社／シャープ株式会社／住友電気工業株式会社／日新電機株式会社／日本アイ・ビー・エム株式会社／日本電気株式会社／パナソニックシステムネットワークス株式会社／富士電機株式会社／三菱電機株式会社／富士通株式会社／一般財団法人電力中央研究所／北海道電力株式会社／東北電力株式会社／東京電力株式会社／中部電力株式会社／北陸電力株式会社／関西電力株式会社／中国電力株式会社／四国電力株式会社／九州電力株式会社／沖縄電力株式会社

目 次

1	事業の目的・政策的位置付け	2
1-1	事業目的	2
1-2	政策的位置付け	2
1-3	国の関与の必要性	2
2	研究開発目標	6
2-1	研究開発目標	6
2-2	全体の目標設定	6
2-3	個別要素技術の目標設定	7
3	成果、目標の達成度	8
3-1	成果	8
3-1-1	全体成果	8
3-1-2	個別要素技術成果	10
3-1-3	特許出願状況等	61
3-2	目標の達成度	62
4	事業化、波及効果について	64
4-1	事業化の見通し	64
4-2	波及効果	64
5	研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	64
5-1	研究開発工程	64
5-2	研究開発実施者の実施体制・運営	66
5-3	資金配分	68
6	費用対効果	69
6-1	費用対効果	69
6-2	変化への対応	69

1 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

2010年6月に閣議決定された「エネルギー基本計画」において、我が国が低炭素社会を実現していくための電力供給システムとして、再生可能エネルギー等の利用が中長期的に大幅に拡大する中、電力の安定供給を維持しつつ、社会的コストが最小となるような需給管理を可能とすること、またこれを実現するためには2020年代を目途に原則全ての電源や需要家と双方向通信が可能な次世代送配電ネットワークの構築を目指すことが述べられた。

これまで、「低炭素電力供給システムに関する研究会」、「次世代送配電ネットワーク研究会」等の有識者会議で取り纏められたように、太陽光発電の大量導入は電力システムの運用上、余剰電力発生、配電線の電圧上昇等多くの技術的課題をもたらし、その対策が求められている。既にいくつかの実証事業において、これらの諸課題に対応するための研究開発、実証試験が行われているが、上記2つの研究会に引き続き開催された「次世代送配電システム制度検討会」において、太陽光発電の出力制御の必要性、また、そのため将来のきめ細やかな出力制御に必要な双方向通信技術を確立する必要性が2011年2月に取り纏められた。

このような中、2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う深刻な供給力不足を背景に、これまで以上に太陽光発電を中心とする再生可能エネルギーが注目されている。

以上のような経緯、最新の情勢を踏まえ、太陽光発電の設置者における太陽光発電の出力抑制による発電機会損失を最小化するため、双方向通信機能による太陽光発電や系統側蓄電池等の制御に関する技術開発、および実証を行う。

1-2 政策的位置付け

エネルギー基本計画等で目標とされている2020年の太陽光発電の2,800万kW導入にあたっては、電力の安定供給の観点から、電力需要の少ない時期における余剰電力対策が不可欠であり、また、系統安定化コストの低減の観点から太陽光発電の出力抑制は効果的である。よって、太陽光発電の大量導入と電力の安定供給、系統安定化対策コストの低減を同時に達成するためにも、太陽光発電や系統側蓄電池の制御に係る機器の開発、実証等について早急に取り組む必要がある。

1-3 国の関与の必要性

太陽光発電等の再生可能エネルギーの大量導入は、国のエネルギー政策によって決定されたものであり、それに伴う系統安定化対策については、民間事業者である電力会社とともに国も責任を持って対応することが必要である。

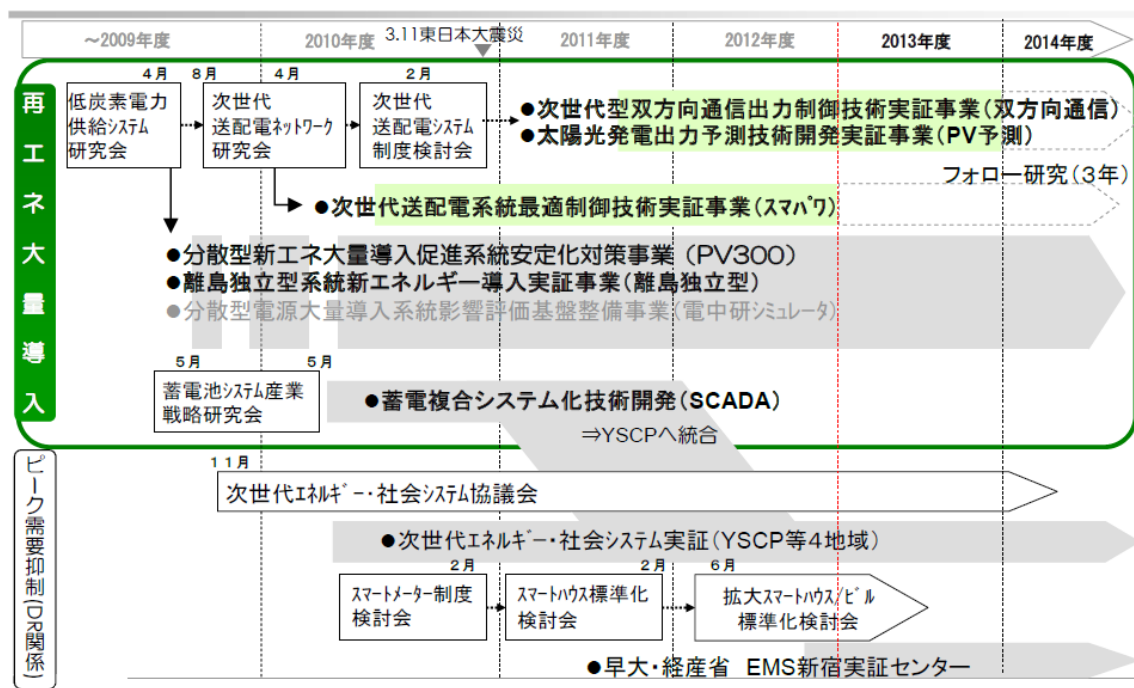


図 1 - 1. 実証プロジェクトの国の研究会との関係と実証期間

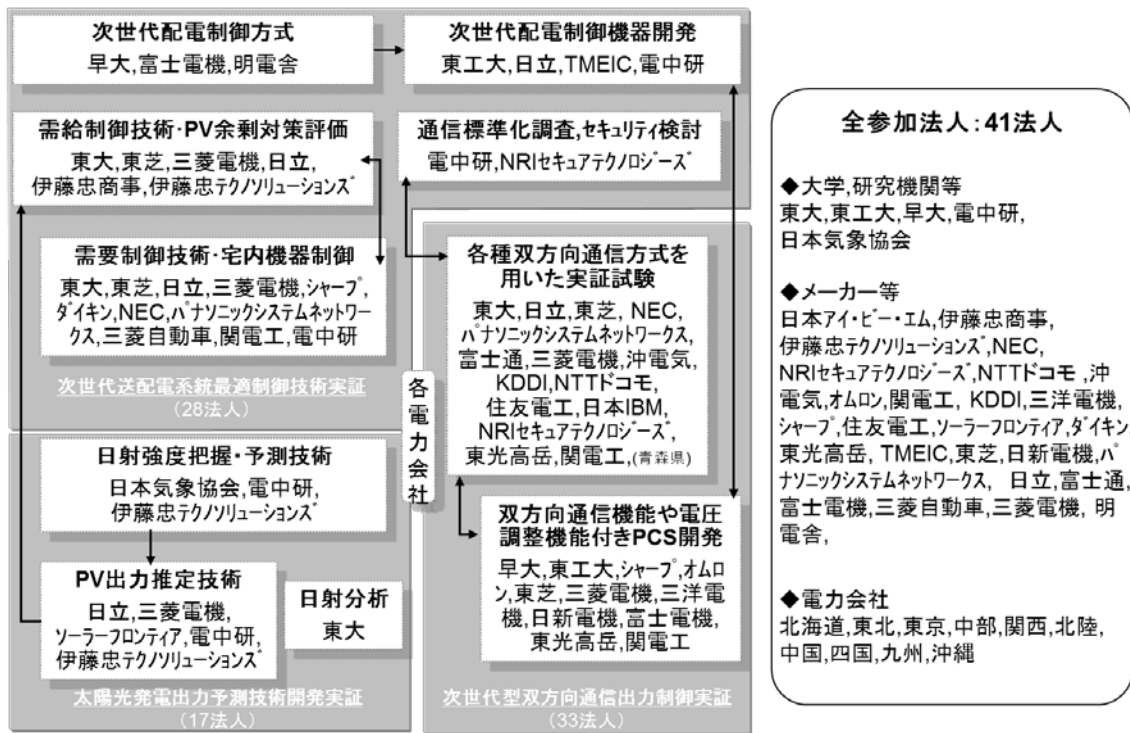


図 1 - 2. 次世代送配電制御、次世代双方向通信、PV 出力予測の実証体制

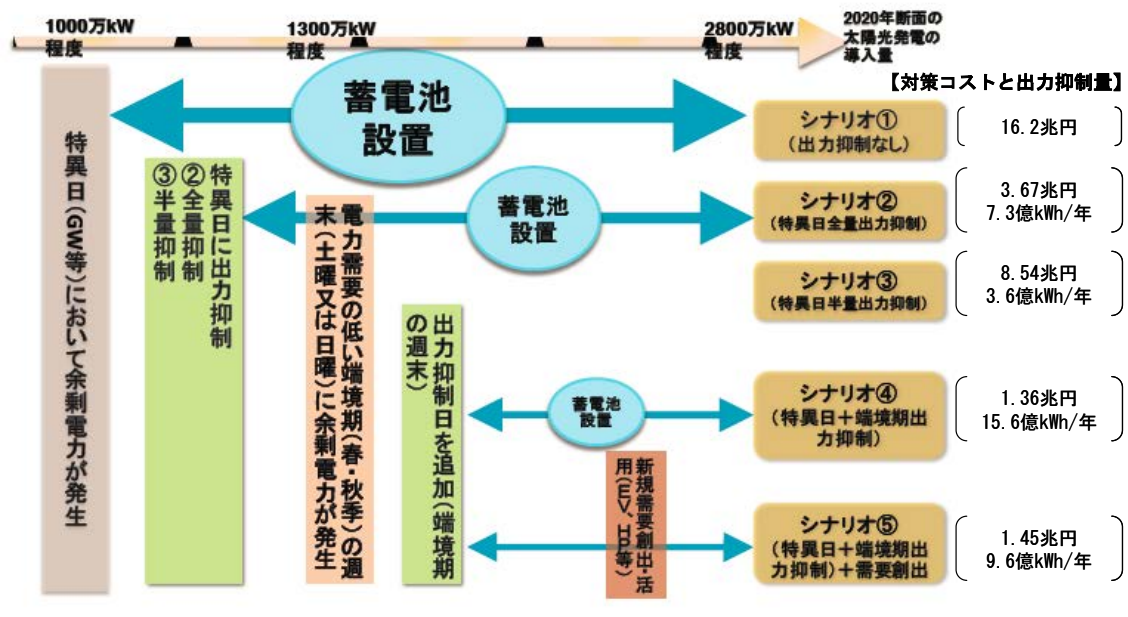


図 1 - 3. 系統安定化対策化シナリオと余剰電力対策量試算の考え方

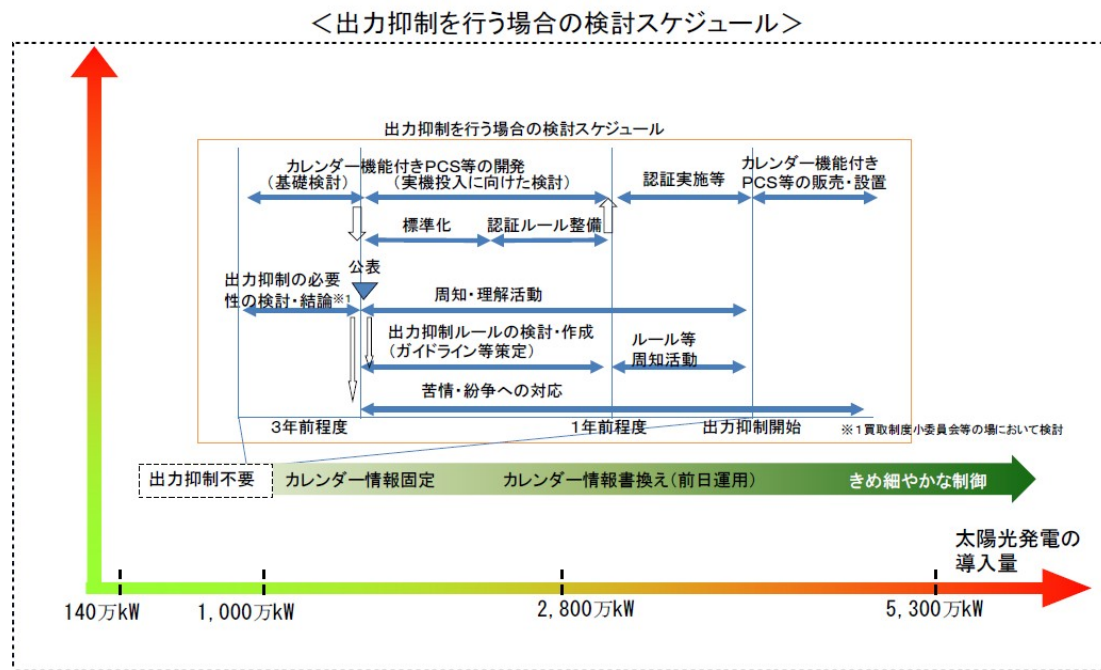


図 1 - 4. 出力抑制を行う場合の検討スケジュール

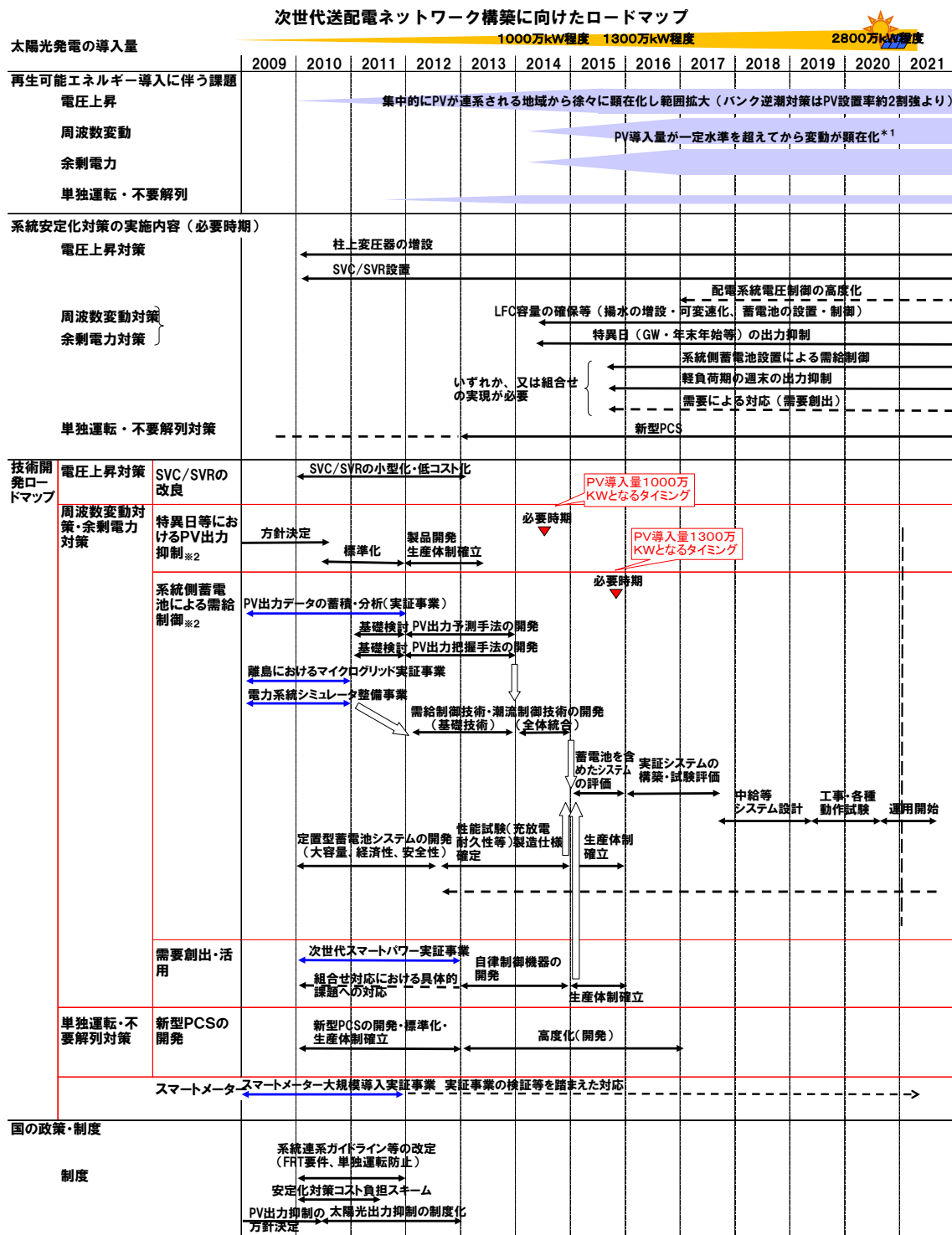


図1-5. 次世代送配電ネットワーク構築に向けたロードマップ

2 研究開発目標

2-1 研究開発目標

太陽光発電の大量導入に備え、系統状況によって外部からの通信信号により出力をコントロールできる太陽光発電用 PCS（Power Conditioning System: 直流交流変換装置）を開発するとともに、通信と組み合わせた試験を実施する。

試験では、PCS の設置環境として、住宅地・商業地・農村などの地域環境、宅内・宅外といった設置場所など、様々な状況を想定して、今後適用が期待される電力系統と需要家を結ぶ種々の通信手段を用いた試験を実施する。試験は、実証フィールドや参加法人の自社敷地内を用いて基礎的・系統的な試験を行うとともに、実際の住環境におけるフィールドテストを青森県六ヶ所村の青森フィールドで実施する。さらに、蓄電池など一般の太陽光発電システム以外の要素についても、双方向通信によって制御する試験を実施する。

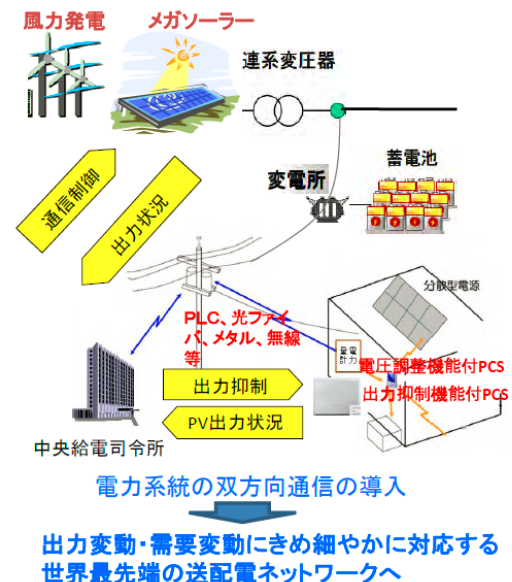


図2-1. 実証概要

(www8.cao.go.jp/cstp/budget/saisyu/sanko40.pdf より引用)

2-2 全体の目標設定

表2-1. 全体の目標

目標・指標	設定理由・根拠等
太陽光発電の大量導入に備え、系統状況によって外部からの通信信号により出力をコントロールできる太陽光発電用 PCS 等の開発、およびその PCS 等を制御するための通信方式の開発	双方向通信により、太陽光発電の出力制御を実現するシステムを構築するため、新たに開発する。

2-3 個別要素技術の目標設定

表 2-2. 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標	設定理由・根拠等
①通信による出力制御が可能な太陽光発電用 PCS（住宅用、事業用）	・通信機能付き太陽光発電用 PCS の開発 ・通信信号に応じて出力をコントロールできること	現状の太陽光発電用 PCS にデータ通信によって制御信号などの授受を行う機能を付加することにより遠隔での制御の実現可能性を確認するため。
②通信による出力制御が可能な蓄電池用 PCS	・通信機能付き蓄電池用 PCS の開発 ・通信信号に応じて出力をコントロールできること	現状の蓄電池用 PCS に、データ通信によって制御信号などの授受を行う機能を付加することにより遠隔での制御の実現可能性を確認するため。
③電圧調整機能付き PCS	・シミュレーション等の検討で選定された最適な制御方式を具備した PCS の開発 ・安定的に動作すること	選定された制御方式を具備した電圧調整機能付き PCS が安定的に機能しているか確認するため。
④双方向通信機器	・PCS の出力制御を実現する種々の双方向通信機器の開発 ・安定的かつ確実に動作すること	電力会社が保有する通信網（光ファイバー、メタルケーブルなど）、通信事業者による広域サービス（携帯電話、WiMAX など）を有効に活用しつつ、ローカルに通信網を形成するための無線 LAN、特小無線（900MHz 帯、400MHz 帯）や、電線そのものをインフラとして活用する電力線搬送（PLC）が PCS 制御の要件を満たしていることを確認するため。
⑤サイバーセキュリティ関連機器	・通信ネットワークに内在する脆弱性の検討・セキュリティ技術の開発 ・想定される攻撃からネットワークを保護できること	双方向通信によって、太陽光発電や蓄電池を含む機器・システムを制御する状況では、相応のセキュリティ確保が必要であるため。

3 成果、目標の達成度

3-1 成果

3-1-1 全体成果

将来の太陽光発電の大量導入に備え、系統状況によって外部からの通信信号により出力をコントロールできる PCS を開発するとともに、通信と組み合わせた検証試験を実施することを目的とした研究計画に基づき、下記に示す5つの要素技術の開発を実施した。

「通信による出力制御が可能な太陽光発電用 PCS（住宅用、事業用）」では、通信による出力制御実証試験を行う機能を検討し、通信装置とのインターフェースの共通仕様を取り纏め、それらを具備する機器開発を実施し、開発機器の動作試験および通信装置との接続試験を実施した。また、実フィールドへ開発機器を設置したうえで、双方向通信による PCS 出力制御試験を実施し、通信信号に応じて出力をコントロールできることを確認することで、良好な結果を得ることができた。

「通信による出力制御が可能な蓄電池用 PCS」では、系統制御用途および需要家用途を想定した双方向通信機能を有する蓄電池用 PCS について、充・放電電力制御方法や主回路定格などの基本仕様ならびに通信機能仕様の検討、それらを具備する機器開発、動作試験および通信装置との接続試験を実フィールドにて実施し、通信信号に応じて出力をコントロールできることを確認することで、良好な結果を得ることができた。

「電圧調整機能付き PCS」では、太陽光発電用 PCS に具備することが可能な無効電力制御機能として、①電圧比例制御、②電圧一定制御（現行方式）、③定力率制御（全系で同一力率）、④電圧依存型定力率制御の4つの制御方式を定義した。この4方式の中から電圧上昇抑制効果や SVR (Step Voltage Regulator: 電圧調整器) タップ動作への影響、SVC (Static Var Compensator: 静止型無効電力補償装置) 制御機能への影響、制御の安定性などを評価項目として、定力率制御方式、電圧依存型定力率制御方式を実証器に具備する制御方式として選定するとともに、基本制御仕様を検討・確定した。さらに前者を組み込んだ 3kW 級 PCS および後者を組み込んだ 50kW 級 PCS を実フィールドへ設置し、仕様どおりの動作特性を確認することで、良好な試験結果を得ることができた。

「双方向通信機器」では、センターサーバと PCS 間の構成、通信手順、電文形式等を取り纏め、PCS の制御を目的とした双方向通信方式である公衆無線網（携帯電話、WiMAX）、特定小電力無線（900MHz 帯、400MHz 帯）、電力線搬送（PLC）、無線 LAN について必要となる機器を開発し、実証フィールド（青森フィールド、関電エフィールド、東光高岳フィールド）および参加法人の自社敷地内における試験を実施した。青森フィールドでは、開発した通信機器、PCS、PV を現地に設置し、試験を実施した。試験では、PCS の出力制御方式として、出力制御カレンダーによる方式、および翌日出力制御情報による制御と当日制御を組み合

わせた方式の2方式を採用した。関電工フィールドでは、開発した PCS を関電工事業所に設置し、青森フィールドのセンターサーバと PCS とを公衆無線網で接続し、PCS の直接制御を開始した。また、関電工事業所内に設置した BEMS との組み合わせによる PCS の出力制御の実証も開始した。東光高岳フィールドでは、開発した PCS を東光高岳事業所に設置し、青森フィールドからの直接制御試験を実施した。また、PLC と配搬信号との干渉試験を行い、運用上問題ないことを確認した。特定小電力無線および無線 LAN の試験では、無線周波数の違いや建物構造の違い等による伝搬特性の比較・評価などを実施した。いずれの試験においても、PCS の出力制御を実現する種々の双方向通信機器が、安定的かつ確実に動作することを確認し、良好な試験結果を得ることができた。

「サイバーセキュリティ関連機器」では、スマートグリッドシステムのセキュリティに関わる文献調査などにより、セキュリティリスクに対する対策方針について検討を行った。また、開発した侵入検知システムを青森フィールドに導入し、作成した対策方針を参考に複数の検知方法についてそれぞれ検知結果の評価を実施することで、想定される攻撃からネットワークを保護できることを確認し、良好な試験結果を得ることができた。

3-1-2 個別要素技術成果

(1) 通信による出力制御が可能な太陽光発電用 PCS（住宅用、事業用）

下記の通り、通信による出力制御が可能な太陽光発電用 PCS の開発および試験を実施した。

評価指標は、PCS の開発および通信信号により出力制御できることであり、結果として、仕様に基づいた PCS を開発し、試験において確実に出力制御できることがわかり、良好な試験結果を得ることができた。

	参加法人	開発機器	設置場所	試験結果
①	オムロン	PCS（住宅用）	東光高岳フィールド 青森フィールド	良
②	東芝	PCS（住宅用）	青森フィールド	良
③	三洋電機	PCS（住宅用）	東光高岳フィールド 青森フィールド	良
④	シャープ	PCS（住宅用）	東光高岳フィールド	良
⑤	三菱電機	PCS（住宅用）	東光高岳フィールド	良
⑥	東光高岳	PCS（事業用）	東光高岳フィールド	良
⑦	日新電機	PCS（事業用）	関電エフィールド	良

① 双方向通信出力制御機能を有する太陽光発電用 PCS 開発・試験（オムロン）

①-1 開発

通信アダプタからの指示により、即時に出力制御を実施する通信制御方式の太陽光発電用 PCS を 2 機種（4.0kW タイプと 5.5kW タイプ）開発した。

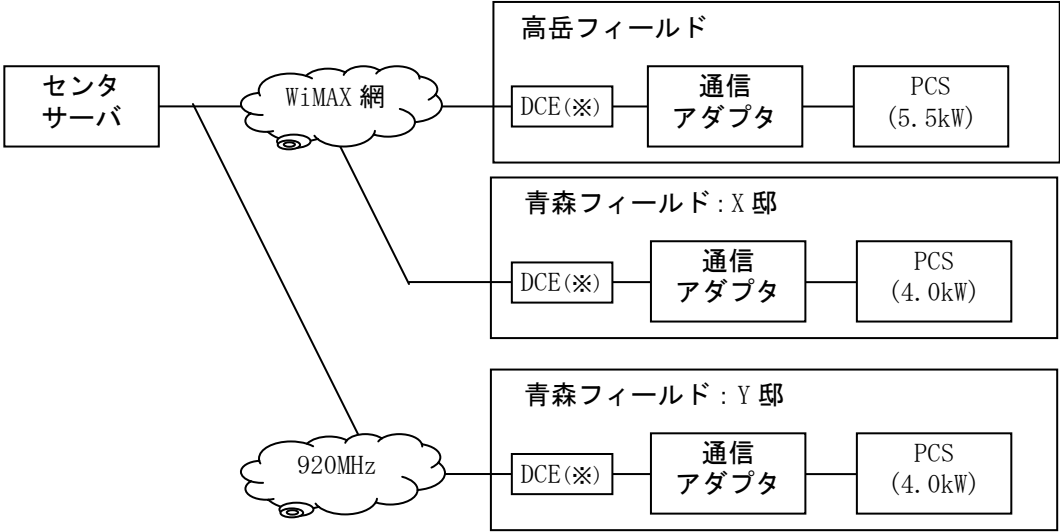
表 3-1. PCS 仕様

型式	4.0kW タイプ	5.5kW タイプ
写真		

①-2 試験

東光高岳フィールド内の配電ネットワーク試験場、および青森フィールドの

一般家屋 2 軒のご協力を頂き、機器の動作状況や効果検証を実施した。通信アダプタからの制御要求に対しては、制御成功率 100%と確実に制御を実施することを確認し、良好な試験結果を得ることができた。



(※)DCE(Data Circuit terminating Equipment)：データ回線終端装置

図 3-1. 試験機器構成

② 双方向通信出力制御機能を有する太陽光発電用 PCS の開発（東芝）

②-1 開発

系統側からのカレンダー情報を通信アダプタ側に処理させる制御方式（Simple PCS）にしたがって PCS を開発するとともに、プロトコル仕様は下記のとおり（図 3-2）とした。

アプリケーション層	—
プレゼンテーション層	ECHONET Lite
セッション層	
トランスポート層	—
ネットワーク層	—
データリンク層	調歩同期
物理層	RS-485

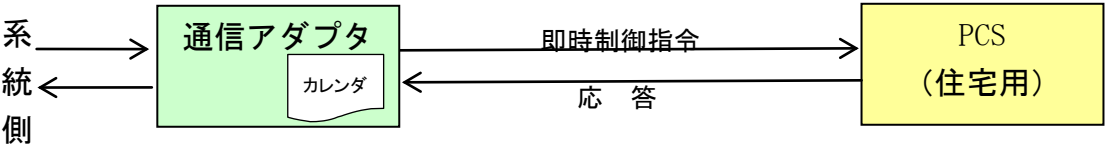


図 3-2. プロトコル仕様

②－２ 試験

開発した双方向通信出力制御機能付き太陽光発電用 PCS を実環境の中で試験動作させるため、PCS の他に太陽光発電パネルを含めた太陽光発電システムを六ヶ所村役場第二庁舎に設置した。



図 3－3．PV および PCS 外観

双方向通信出力制御機能付きの太陽光発電用 PCS の状態は、通信モジュールを介して 2012 年 12 月から計測を実施し、双方向通信による出力制御が正常に動作することを確認しており、良好な試験結果を得ることができた。

③ 双方向通信出力制御機能を有する太陽光発電用 PCS の開発（三洋電機）

③－１ 開発

通信仕様書を踏まえ、弊社既存の PCS および送信ユニットの改造を行い、PCS の出力制御処理シーケンスと送信ユニットの通信処理部分については新たに開発を実施した。（図 3－4 の朱色部）

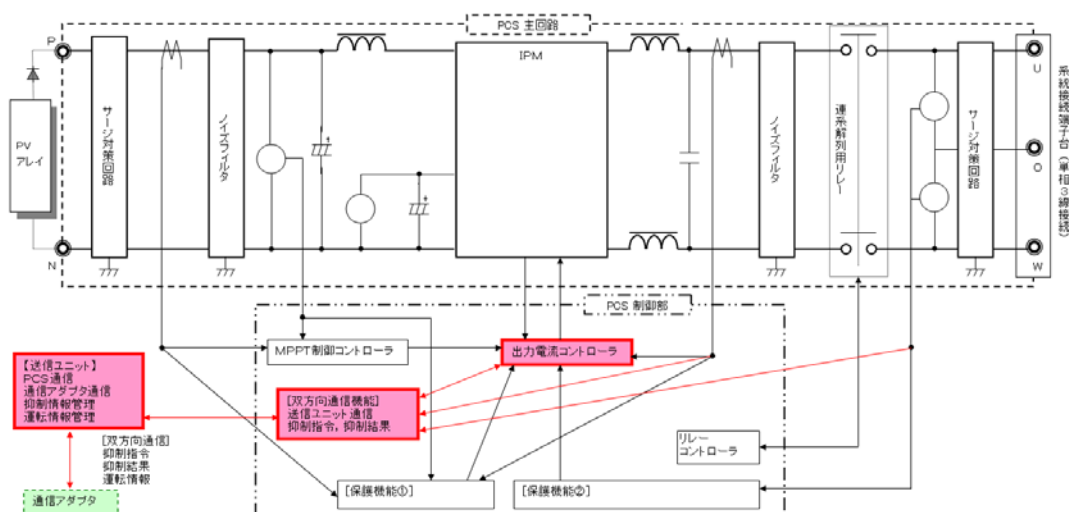


図 3－4．PCS 回路図

③－２ 試験

開発した機材を青森フィールド、東光高岳フィールドに設置し、遠隔からの双方向通信による出力制御が正常に動作することを確認しており、良好な試験結果を得ることができた。図３－５に開発した PCS および送信ユニットの設置状態を示す。（通信アダプタとは壁内配線接続）

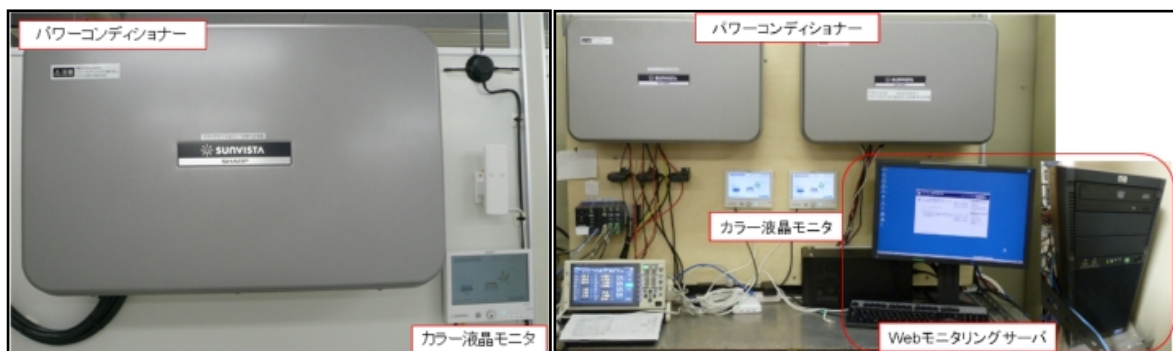


図３－５． PCS および送信ユニットの設置状態

④ 双方向通信出力制御機能を有する太陽光発電用 Intelligent PCS の開発、及びシャープ Web モニタリングサービスを利用した出力制御運転検証（シャープ）

④－１ 開発

開発した Intelligent PCS を図３－６に示す。出力制御予定の日時、抑制量を“出力制御カレンダー情報”として、また出力制御運転状況を“運転履歴情報”“発電量/出力抑制量”として PCS 内で管理するとともに、図３－７に示すように PCS 用カラー液晶モニタを用いて“見える化”を図った。



東光高岳フィールド（東光高岳・小山）

シャープ葛城事業所

図３－６． 開発した Intelligent PCS と設置場所

⑤ 双方向通信出力制御機能を有する太陽光発電用 PCS の開発（三菱電機）

⑤－１ 開発

家庭用標準製品（型番 PV-PN30G）をベースに、カレンダー情報を受信する I / F 機能を追加し、開発した。主な開発内容を以下に示す。

- ・ 外部との I / F は、本事業の共通仕様である RS-485 を採用
- ・ ベースとした製品に RS-485 通信のドライバ、本事業で規定された電文フォーマットおよび通信手順を実装
- ・ 双方向通信による出力制御機能を実装。但し、電圧上昇抑制による出力制限機能と内部温度上昇などから PCS を保護するための PCS 機器保護出力制限機能の既存機能を阻害しないこと。



図 3－9．PV-PN30G の外観

⑤－２ 試験

開発した PCS は、東光高岳フィールドで評価を実施し、双方向通信による出力制御が正常に動作することを確認しており、良好な試験結果を得ることができた。

⑥ 双方向通信出力制御機能を有する太陽光 PCS（事業用）の開発（東光高岳）

⑥－１ 開発

50kW PCS に、各社共通の仕様を通信機能に組み込み、50kW 事業用太陽光発電用 PCS を開発した。



図 3 - 1 0 . 50kW 事業用太陽光発電用 PCS

⑥-2 試験

開発した機器が実系統に接続された場合を想定し、東光高岳フィールドでの配電ネットワーク試験場にて、開発した 50kW 事業用太陽光発電用 PCS を含めた下記の 3 つの実証機を設置した。

配電ネットワーク試験場における試験状況を図 3 - 1 1、システム構成図を図 3 - 1 2 に示す。

- ・ 3～5kW 級家庭用双方向通信機能付き PCS
- ・ 50kW 事業用双方向通信機能付き PCS
- ・ 3kW、50kW 電圧調整機能付き PCS



試験場全景



家庭用 PCS 設置状況

図 3 - 1 1 . 配電ネットワーク試験場での双方向通信試験状況

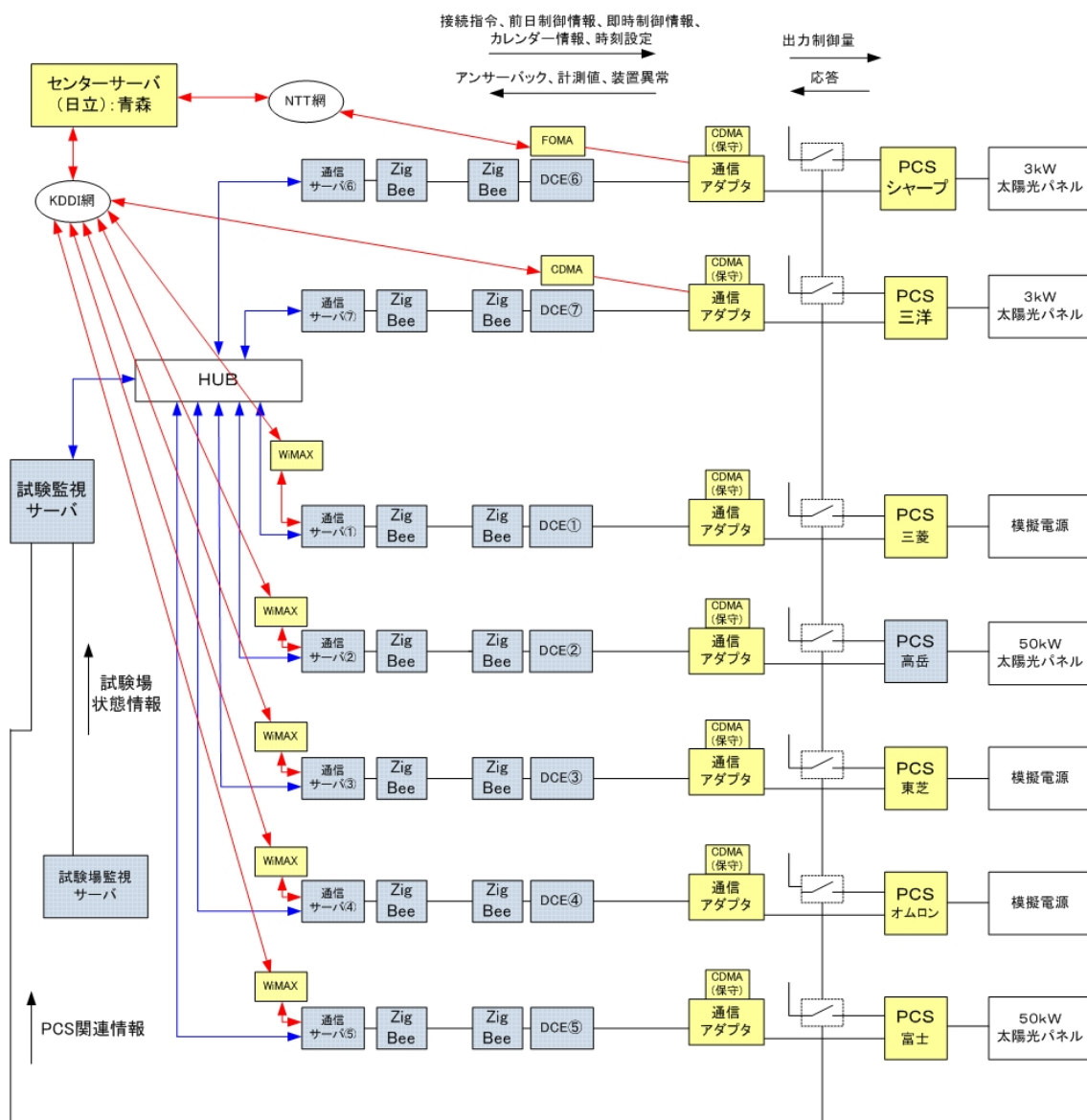


図3-12. 配電ネットワーク試験場でのシステム構成図

さらに、青森フィールドのセンターサーバから出力制御信号を利用して、各 PCS の出力制御機能の実証を行った。図 3－13 に、事業用 PCS（50kW）の出力波形例を示す。図中の赤線で示したグラフの左側が出力制御あり時（30%に出力抑制）、右側が出力制御なし時（100%出力）の波形である。

図 3－13 より、左の波形では制御指令通りに定格の 30%に確実に出力制御されていることがわかり、良好な試験結果を得ることができた。

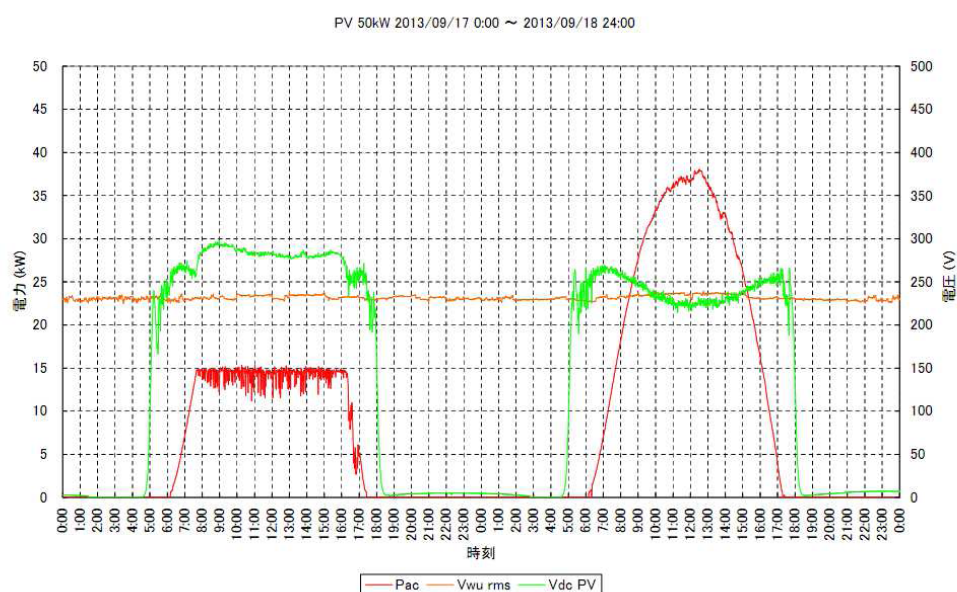


図 3－13. 太陽光発電の出力波形

⑦ 双方向通信出力制御機能を有する太陽光発電用 PCS の開発（日新電機）

⑦－１ 開発

PCS 通信インターフェース共通仕様に基づき、10kW PCS をベースに双方向通信出力制御機能付き PCS を開発した。

共通仕様として策定した Simple PCS を下記に示す。

- ・上位システムからのカレンダー情報、即時出力制御情報等は通信アダプタ（PCS 外部）が受け取る。
- ・PCS は通信アダプタからの出力制御指示に基づき、出力制御を行う。

開発した PCS の外観、装置構成、および出力制御性能を図 3－14～図 3－16 に示す。



図 3－14．PCS 外観

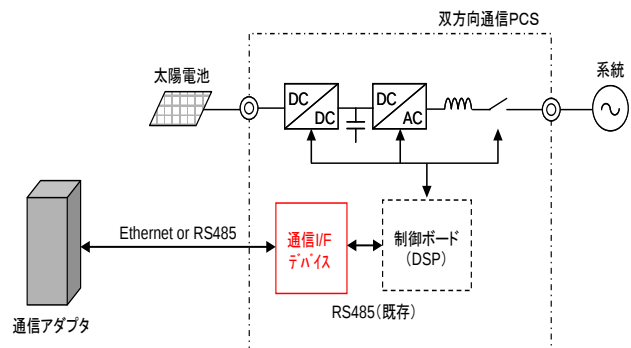


図 3－15．装置構成

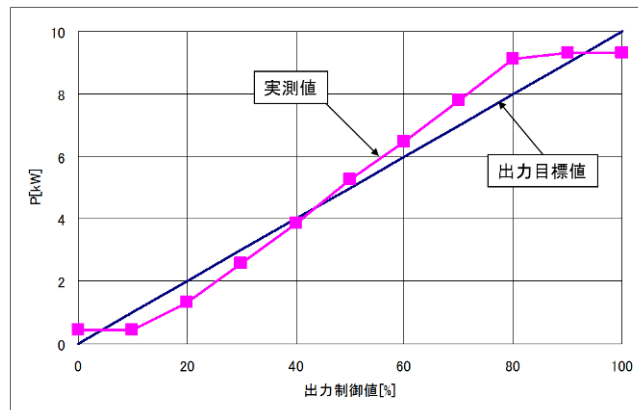


図 3－16．出力制御性能グラフ

⑦－２ 試験

開発した PCS を関電エフィールドに設置し通信試験を実施し、双方向通信による出力制御が正常に動作することを確認しており、良好な試験結果を得ることができた。

（２）通信による出力制御が可能な蓄電池用 PCS

下記の通り、通信による出力制御が可能な蓄電池用 PCS を開発の開発および試験を実施した。

評価指標は、PCS の開発および通信信号により出力制御できることであり、結果として、仕様に基づいた PCS を開発し、試験において確実に出力制御できることがわかり、良好な試験結果を得ることができた。

	参加法人	開発機器	設置場所	試験結果
①	関電工	蓄電池用 PCS (余剰電力対策用)	関電エフィールド	良
②	東光高岳	蓄電池用 PCS (周波数調整用)	東光高岳フィールド	良

① 双方向通信出力制御機能を有する蓄電池用 PCS の開発（関電工）

①－１ 開発

太陽光余剰電力発生時の需要家内の蓄電池を用いた出力抑制対策、および節電対策が可能なシステム構築を構築するための蓄電・蓄熱・負荷設備を導入し、双方向通信機能を有する蓄電池用 PCS および中央監視システムの開発を行った。加えて、出力抑制回避運用および節電制御に用いるアルゴリズムの開発を行った。

太陽光発電制御：出力抑制回避制御アルゴリズム（蓄電池、給湯用 HP 用）

節電制御：節電制御アルゴリズム（蓄電池、照明、パッケージエアコン用）

表 3－2. 蓄電池用 PCS の基本仕様

機器	仕様	構成
蓄電池用 PCS (余剰電力対策用)	定格容量 5kW	2 台



蓄電池



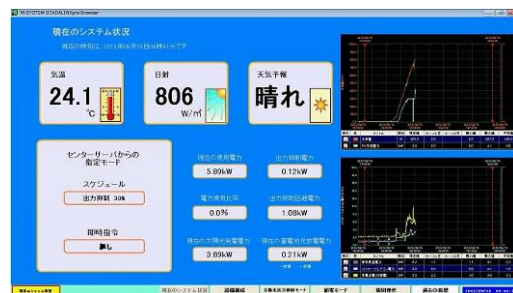
蓄電池用 PCS



蓄熱設備(給湯用 HP)



負荷設備(照明、パッケージエアコン)



中央監視システム

図 3-17. 各種機器導入状況

①-2 試験

導入した設備に対して、中央監視システムからの制御確認試験を実施し、以下の通り良好な試験結果を得ることができた。

表 3-3. 機能確認試験結果

対象機器	試験項目	結果
蓄電池	定電流充放電試験	良
	定電力充放電試験	良
空調用HP	スケジュール運転試験	良
給湯用HP	スケジュール運転試験	良
負荷	照明制御試験	良
	空調制御試験	良

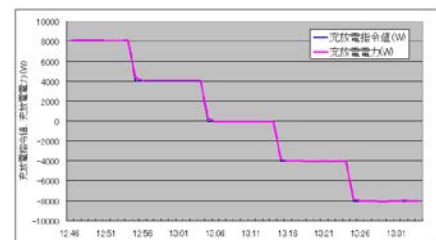


図 3-18. 定電力充放電試験

② 双方向通信出力制御機能を有する蓄電池用 PCS の開発 (東光高岳)

②-1 開発

今回開発する PCS は、太陽光発電用 PCS の双方向通信出力制御機能をベースとして、充電時、放電時ともに出力制御指令による出力制御を実施し、電池残存容量の返信(アンサーバック)を行うこととした。

なお、今回は系統設置を想定し、模擬蓄電池 SCADA から出力制御信号を送信し、蓄電池サーバを介して、蓄電池用 PCS の双方向通信制御の動作を確認する。

通信仕様については、太陽光 PCS の双方向通信出力制御に使用する、次世代双方向通信出力制御に係る共通インターフェース仕様に準拠した。

通信データフォーマットは、ECHONET_LITE の中の機器オブジェクト「3.3.14

蓄電池クラス規定」を使用した。

表 3－4．蓄電池用 PCS の基本仕様

機器	仕様	構成
蓄電池用 PCS (周波数調整用)	定格容量 200kW	50kW PCS4 台並列運転

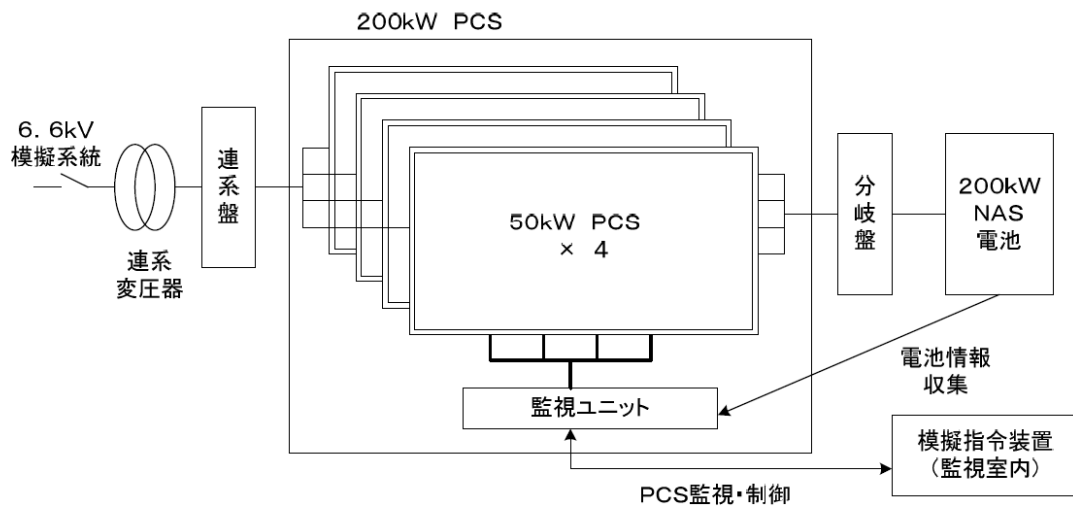


図 3－19．蓄電池用 PCS 主回路構成図

②－2 試験

検証を実施するための実証試験場での通信構成を
図 3－20 に示す。

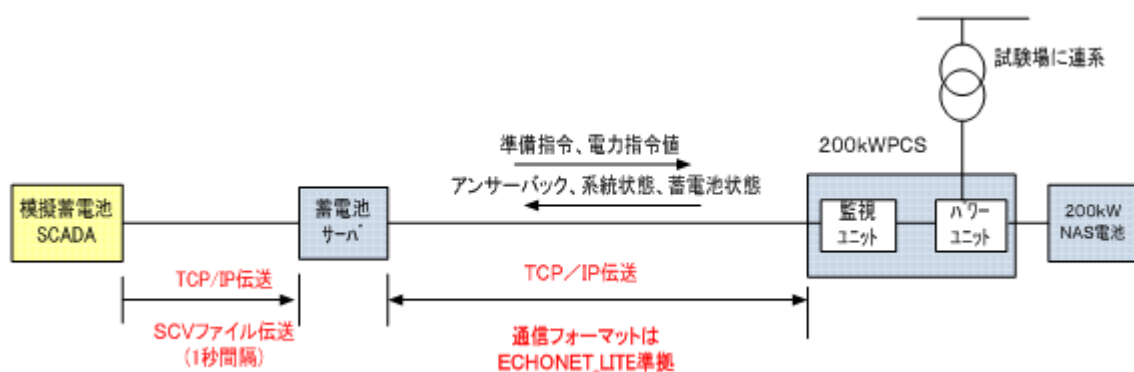


図 3－20．実証試験場での通信構成



200kW NAS 電池用
双方向通信出力制御機能付
PCS

200kW NAS 電池

図 3 - 2 1 . 実証試験場での設置状況

蓄電池用 PCS の双方向通信出力制御機能試験を実施し、以下の通り良好な試験結果を得ることができた。

- ① 模擬蓄電池 SCADA および蓄電池サーバを使用して、AFC 指令による NAS 電池の双方向通信出力制御が可能であることを確認した。
- ② ECHONET-LITE フォーマットでの双方向通信出力制御を確認した。
- ③ 模擬蓄電池 SCADA および蓄電池サーバともに、1 秒周期での情報送受信ができることを確認した。
- ④ NAS 電池 PCS は 1 秒周期の AFC 制御での出力制御が可能であることを確認した。
- ⑤ 東光高岳フィールド環境で、1 秒周期での応答確認（AFC 指令値受信確認および瞬時充放電電力制御）は可能であることを確認した。

N A S 電池の双方向出力制御の結果例を図 3 - 2 2、図 3 - 2 3 に示す。

AFC指令値とPCSの充放電指令値、充放電電力の測定結果

NAS電池 100kW充電運転時

【伝達関数】 $K=0$ $G=1$ $T=10$ で AFC指令値送信

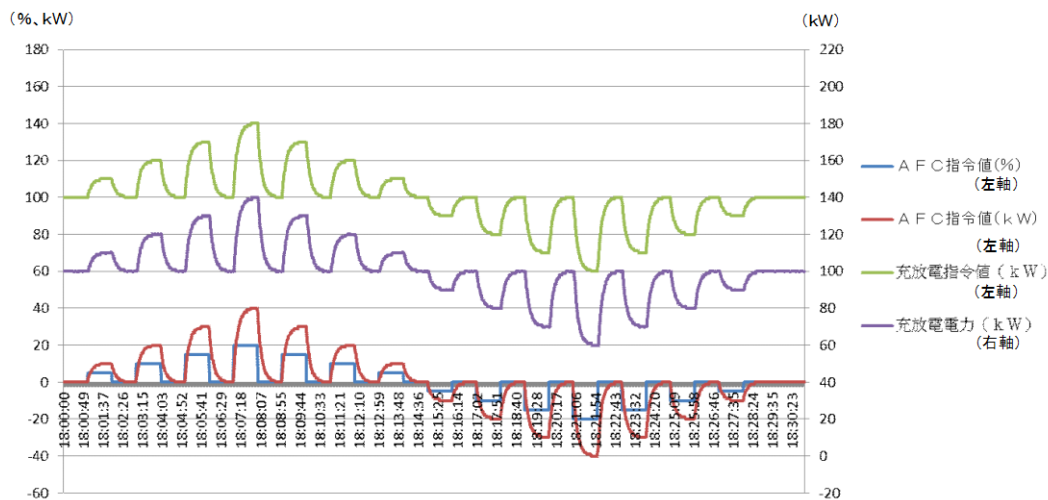


図3-22. NAS電池100kW充電運転時での出力制御例

AFC指令値とPCSの充放電指令値、充放電電力の測定結果

NAS電池 100kW放電運転時

【伝達関数】 $K=0$ $G=1$ $T=10$ で AFC指令値送信

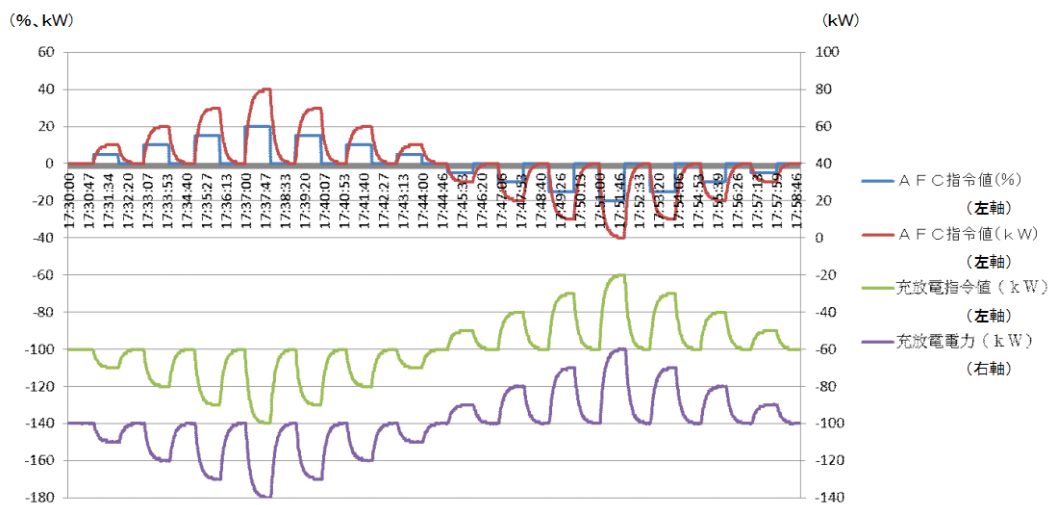


図3-23. NAS電池100kW放電運転時での出力制御例

(3) 電圧調整機能付き PCS

下記の通り、電圧調整機能付き PCS を開発し、試験を実施した。

評価指標は、最適な制御方式の選定、PCS の開発および安定的に動作することであり、結果として、制御方式の選定、仕様に基づいた PCS の開発、および機能試験により安定的に動作することの確認を行い、良好な試験結果を得ることができた。

	参加法人	開発機器	設置場所	試験結果
①	東芝	定力率制御方式 PCS	東光高岳フィールド	良
②	富士電機	電圧依存型定力率 制御方式 PCS	東光高岳フィールド	良

○電圧調整方法として比較検討する無効電力制御方式は、下記の 4 方式を検討対象とした。

- ・電圧比例制御

連系点電圧に応じて進み無効電力を出力する。

- ・電圧一定制御

連系点電圧が上限値を逸脱した場合には、上限値に低下するまで進み無効電力を出力する。

- ・定力率制御

連系点電圧にかかわらず、P V 出力に応じて一定力率となるよう進み無効電力を出力する。

- ・電圧依存型定力率制御

連系点電圧および P V 出力に応じて、連系点電圧が高いほど低い力率となるよう進み無効電力を出力する。(電圧に応じて力率を変化)

上記 4 方式について比較検討した結果を表 3-5 に示す。評価の結果、定力率制御と電圧依存型定力率制御方式の 2 方式を実証器に採用することとした。

表 3－5．無効電力制御の比較結果

	電圧比例制御方式	電圧一定制御方式	定力率制御方式	電圧依存型定力率制御方式
動作特性・原理	連系点電圧に比例して進み無効電力を出力する。 $K = \frac{1}{V_H - V_L}$	連系点電圧が上限値を逸脱した場合には、上限値に低下するまで進み無効電力を増加出力させる	連系点電圧に関わらずPV出力に比例して進み無効電力を出力する $K = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta} - 1}$ $\cos \theta = \text{設定力率} > 0.85$	PV出力に比例し、かつ連系点電圧に比例して進み無効電力を出力する $K = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \theta} - 1}$ $\cos \theta = \text{設定力率} > 0.85$
逸失発電電力（出力抑制量）	△	△	◎	◎
電圧上昇抑制効果	◎	△	◎	◎
タップ動作回数低減	◎	△	◎	◎
配電線損失	○	◎	△	○
LRTタップへの影響	△	△	◎	△
実証器に採用	——	——	○	○

○電圧調整機能付き PCS の試験法の検討

試験法を検討し、以下の通り決定した。

- ・ 高圧 PCS の電圧補償機能の検証試験（三相 3 線 400V）
 - (a) 定力率制御 PCS 模擬 NAS 電池の出力上昇（発電電力増）に伴い発生する電圧上昇の抑制効果検証
 - (b) 設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認（出力抑制を伴わない場合）
 - (c) 設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認（出力抑制を伴う場合）
 - (d) 系統側要因（LRT 動作）で発生する電圧変動に対する供試 PCS の動作状況を確認
 - (e) 定力率制御 PCS 模擬 NAS 電池の出力急変により発生する電圧変動に対する供試 PCS の動作状況を確認
- ・ 高圧 PCS、低圧 PCS 混在系統での電圧補償機能の検証試験
 - (a) 定力率制御 PCS 模擬 NAS 電池の出力上昇（発電電力増）に伴い発生する電圧上昇の抑制効果検証
 - (b) 設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認（出力抑制を伴わない場合）
 - (c) 設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認（出力抑制を伴う場合）
 - (d) 系統側要因（LRT 動作）で発生する電圧変動に対する供試 PCS の動作状況を確認

① 電圧調整機能付き PCS の開発と試験評価（東芝）

①－１ 開発

住宅用 PCS の電圧調整機能において、太陽光発電が大量導入された時に生じる電圧変動を抑制するために必要な対策技術を検討した。

系統電圧の適正値を逸脱した時の住宅用 PCS の自律的電圧制御のための制御方式について検討した結果、制御内容がシンプルかつシミュレーションにおいても良好な結果が得られた「定力率制御方式」機能を持った住宅用 PCS を開発した。

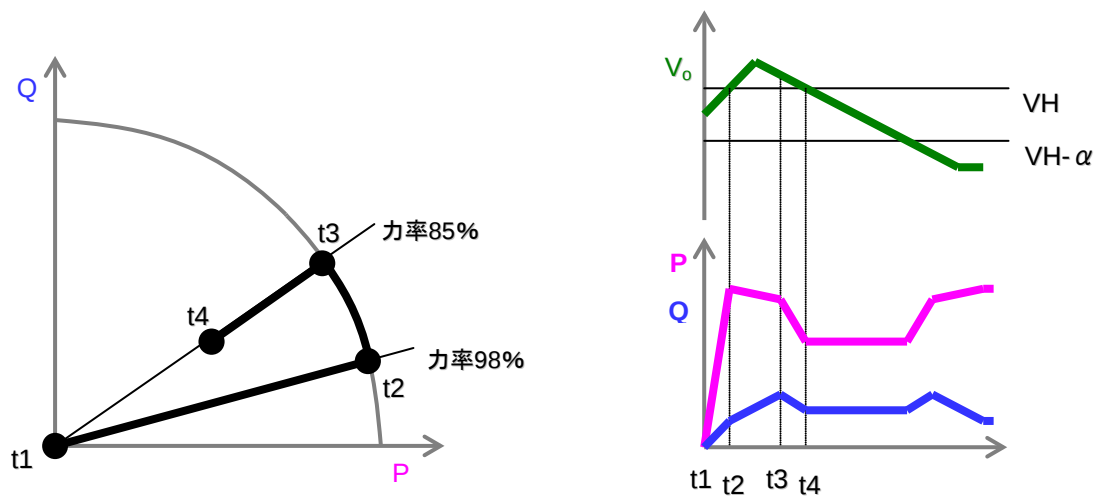


図 3－2 4．PCS の動作

①－２ 試験

東光高岳フィールドに設置した PCS の設置状況を図 3－2 5 に示す。設置した PCS に対して以下の試験を実施し、良好な試験結果を得ることができた。

・ Case1 から Case7（低圧家庭用 PCS の試験項目）

Case1 : 定力率制御 PCS 模擬 NAS 電池の出力制御（発電電力増）に伴い発生する電圧上昇の抑制効果検証

Case2 : 供試 PCS の発電電力増に伴い発生する電圧上昇の抑制効果検証

Case3 : 系統側要因（LRT 動作）で発生する電圧変動に対する供試 PCS の動作状況確認

Case4 : 定力率制御 PCS 模擬 NAS 電池の出力急変により発生する電圧変動に対する供試 PCS の動作状況を確認

Case5 : 運転点が供試 PCS 設定電圧上昇値以下での単独運転（供試低圧 PCS のみ）

Case6 : 運転点が供試 PCS 設定電圧上昇値以下での単独運転（供試低圧 PCS

＋その他低圧 PCS)

Case7 : 運転点が供試 PCS 設定電圧上昇値で出力抑制状態での単独運転 (供試低圧 PCS＋その他低圧 PCS)

・ Case13 から Case16 (高圧事業用 PCS、低圧家庭用 PCS 混在系統での試験項目)

Case13 : 定力率制御 PCS 模擬 NAS 電池の出力上昇 (発電電力増) に伴い発生する電圧上昇の抑制効果検証

Case14 : 設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認 (出力抑制を伴わない場合)

Case15 : 設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認 (出力抑制を伴う場合)

Case16 : 系統側要因 (LRT 動作) で発生する電圧変動に対する供試 PCS の動作状況確認



図 3－25. PCS の設置状況

②-1 開発

Figure 1 illustrates the system configuration. The main components and their connections are as follows:

- Power Source:** PV (Photovoltaic) source connected to the standard PCS.
- Standard PCS:** Connected to the Fuji Electric PCS via V, I, P, Q, f .
- Communication Adapter (NEC):** Connected to the Fuji Electric PCS via RS-485.
- Transducer (V, I, P, Q):** Connected to the Communication Adapter via RS-485.
- Micro-SX (PLC):** Connected to the Transducer via RS-485.
- PC S:** Connected to the Micro-SX (PLC) via Ethernet.
- PC:** Connected to the PC S via Ethernet.

The Fuji Electric PCS contains the following components:

- MTD:** High-speed multi-transducer.
- Communication Device (Sequencer):** Manages communication.
- POD:** Power Output Device.

The Micro-SX (PLC) has the following modules:

- 電源 (Power)
- CPU
- AI (Analog Input)
- DI (Digital Input)
- DO (Digital Output)
- AO (Analog Output)
- RS-485(2口) (RS-485 ports)
- Ethernet

The PC S (Personal Computer) has the following modules:

- 異常情報、運転/停止他 (Abnormal information, operation/stop others)
- 運転/停止 (Operation/stop)
- 出力抑制制御値、Q指令値 (Output suppression control value, Q command value)
- 異常詳細情報 (Abnormal detailed information)
- 電圧、電流値 (Voltage, current value)
- インターネット (Internet)
- 各種電気量、計算量 (Various electrical quantities, calculation quantities)

具備する機能は以下の通り。

- ・ PV- PCS 機能
- ・ 系統連系機能
- ・ 通信アダプタとの通信機能
- ・ 通信アダプタ経由の信号による出力抑制機能
- ・ PCS 状態監視/状況通知
- ・ POD（ディスプレイ装置）による状態監視/制御機能
- ・ 各種データ計測/ロギング機能

Micrex-SX：通信アダプタからの指令により PCS 状態情報、計測情報を返信する。PCS に対する出力抑制指令値を受信し、PCS の出力制御を行う。トランスデューサからの P、V 等の電気量、POD からの各種整定値を使用し、PCS に対する Q 指令、出力抑制指令値を算出、出力（4-20mA）し、連系点電圧上昇を抑制させる。

29

②－２ 試験

東光高岳フィールド内の配電ネットワーク試験場に、50kW 事業用双方向通信機能付き PCS の設置を完了し（図 3－27 参照）、センターサーバ～通信サーバ～通信アダプタ～PCS 間で、出力抑制制御が実行されることを確認した。また、設置した PCS に対して以下の試験を実施し、良好な試験結果を得ることができた。

- ・ Case8 から Case12（高圧事業用 PCS の試験項目）

- Case8：定力率制御 PCS 模擬 NAS 電池の出力上昇（発電電力増）に伴い発生する電圧上昇の抑制効果検証

- Case9：設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認（出力抑制を伴わない場合）

- Case10：設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認（出力抑制を伴う場合）

- Case11：系統側要因（LRT 動作）で発生する電圧変動に対する供試 PCS の動作状況確認

- Case12：定力率制御 PCS 模擬 NAS 電池の出力急変により発生する電圧変動に対する供試 PCS の動作状況を確認

- ・ Case13 から Case16（高圧事業用 PCS、低圧家庭用 PCS 混在系統での試験項目）

- Case13：定力率制御 PCS 模擬 NAS 電池の出力上昇（発電電力増）に伴い発生する電圧上昇の抑制効果検証

- Case14：設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認（出力抑制を伴わない場合）

- Case15：設定電圧下限値をパラメータとして供試 PCS の動作状況を確認（出力抑制を伴う場合）

- Case16：系統側要因（LRT 動作）で発生する電圧変動に対する供試 PCS の動作状況確認

(4) 双方向通信機器

下記の通り、双方向通信機器を開発し各フィールドにて通信試験を実施した。

評価指標は、双方向通信機器の開発および開発機器の安定的かつ確実な動作であり、各フィールドにおいて、パケットエラー率（PER）や通信成功率にて評価を行い、良好な試験結果を得ることができた。

	参加法人	開発機器	設置場所	試験結果
①	三菱電機	900MHz 帯特小無線	自社フィールド	良
②	パナソニック システムネット ワークス	900MHz 帯特小無線 2.4GHz 帯無線 LAN	自社フィールド	良
③	富士通	2.4GHz 帯無線 LAN	自社フィールド	良
④	日立製作所	試験用無線端末 センターサーバ	青森フィールド	良
⑤	東芝	900MHz 帯特小無線	青森フィールド	良
⑥	沖電気工業	900MHz 帯特小無線	青森フィールド	良
⑦	住友電気工業	電力線通信（PLC）	青森フィールド 東光高岳フィールド	良
⑧	日本電気	通信アダプタ	青森フィールド 関電エフィールド 東光高岳フィールド	良
⑨	日本アイ・ ビー・エム	インターネットで動作 する汎用通信ソフトウ ェア	青森フィールド	良
⑩	KDDI	広域サービス網を利用 した通信ネットワーク	青森フィールド 関電エフィールド 東光高岳フィールド	良
⑪	NTTドコモ	広域サービス網を利用 した通信ネットワーク	青森フィールド 関電エフィールド 東光高岳フィールド	良
⑫	関電工	PCS 出力制御システム	関電エフィールド	良

① ローカル通信網（特小無線）による双方向通信試験（三菱電機）

カレンダー情報を送信するための通信手段として、900MHz 帯の特小無線を実建物設備において通信性能を測定し、実用性の評価を行った。

①－１ 開発

900MHz 帯特小無線の測定・評価を行うための測定、および評価ツールを開発した。

・測定ツールの開発

送信側の PC より測定開始指示をすると自動的にテストパケットを受信側に送信し、パケットを受信するとともに電界強度の測定を行う。測定終了後、受信側の通信ユニットに蓄積された測定結果をデータ収集用 PC で収集する。これにより、測定員の電波干渉を防ぐとともに、省力化が可能となった。

・測定結果の例

測定ツールの構成を図 3－28 に示す。

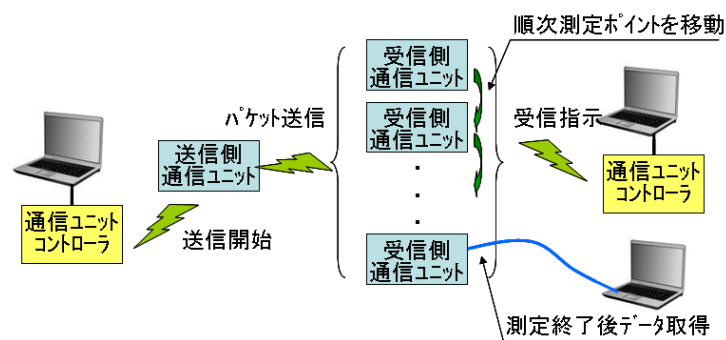


図 3－28．測定ツールの構成

①－２ 試験

(a) 実建物における通信性能評価

10 箇所の実建物にて測定し評価を行った。測定は、外部から宅内への情報伝達を想定して、スマートメータの設置箇所（外壁やパイプシャフトなど）を送信点とし、宅内の様々な箇所との通信性能を測定した。

実建物は、木造モルタル構造の戸建て 6 箇所（内、寒冷地区 2 箇所）、コンクリート構造戸建て 2 箇所、コンクリート構造集合住宅 2 箇所で測定を行い、外壁の断熱材、床暖房設備などの影響で電波強度（以下 RSSI）の減衰がみられ、送信点より遠い箇所で一部のパケットロスが観測されたが、殆どの箇所で良好な通信性能が得られた。この結果から、一般的な家屋では、900MHz 帯特小無線が、宅外から宅内への通信手段として有効であると判断することができた。

測定の状況について、木造モルタル構造の戸建て住宅の測定例を図 3－29 に示す。左図が、1 階部分、右図が 2 階部分で、TX1（星印、建物外壁）を送信点とし、宅内の各点（○印）を受信点とした。

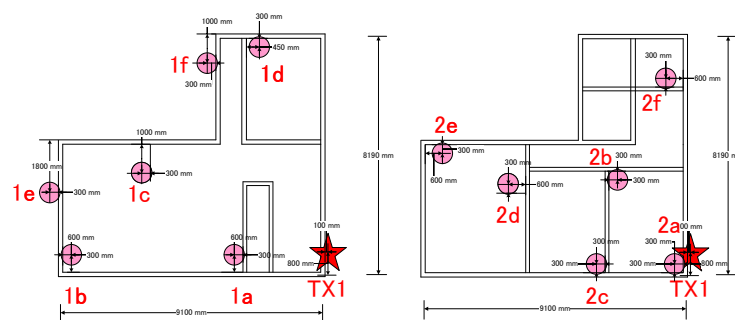


図 3－29．戸建て住宅の測定例

図 3－30 が測定結果で、送信側の通信ユニットは、アンテナ 2 本で構成しており、青線が送信側のアンテナ 1 で送信した場合の RSSI、赤線がアンテナ 2 で送信した場合の RSSI を示しており、1 箇所 RSSI が低い箇所があるが、通信性能を確保できる -50dBm から -70dBm の範囲におさまっている。また、エンジ線と緑線は、PER を示しているが、RSSI の低い箇所も含めて PER が 0 となり良好な結果が得られている。

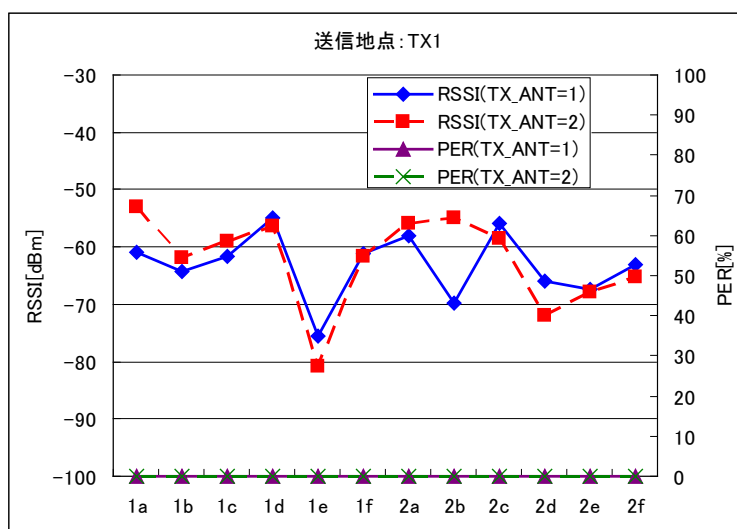


図 3－30．戸建て住宅の測定結果

(b) 金属ボックスの影響評価

スマートメータが、建物の外壁に設置された金属ボックスに収納されるケースを想定して、送信側の通信ユニットを一般に使用されている金属ボックスに収納した状態で通信性能を測定し、金属ボックスの影響を評価した。

送信源は送信用通信ユニットを電力メータ内に格納し、電力メータから宅内機器への通信を想定して既設電力メータの位置に TX1 を設置した。また、建物の外壁に電力メータが設置されることを想定して、屋外の離れた場所(約 5m)にも送信源 TX3 (金属製の自立型メータボックスに収納)、TX4 (窓ありメータ

ボックスに収納)を設置した。また、送信側の通信ユニットに搭載している選択ダイバーシチの2本のアンテナ別(Tx ant1 および Tx ant2)に測定している。測定した鎌倉市大船新スマートハウス測定地点の間取りと測定ポイントを図3-31、測定地点とRSSI、PERのグラフを図3-32に示す。

測定結果では、金属製の自立型メータボックスの収納したケースで、1箇所パケットエラーを検出しているが、PERは1%以下となっており、実環境において使用できる通信性能を十分に確保していることがわかった。

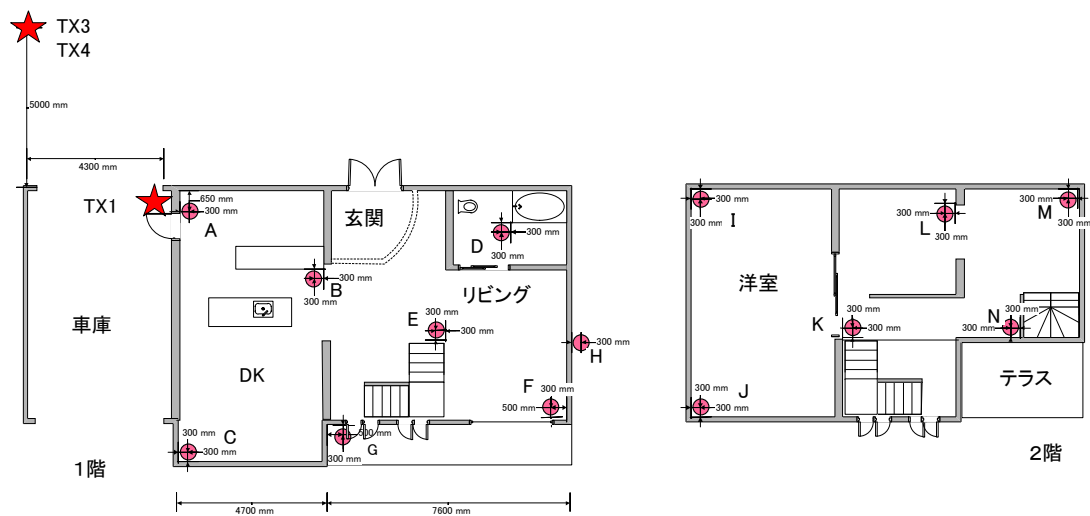


図3-31. 鎌倉市大船新スマートハウス 間取りと測定ポイント

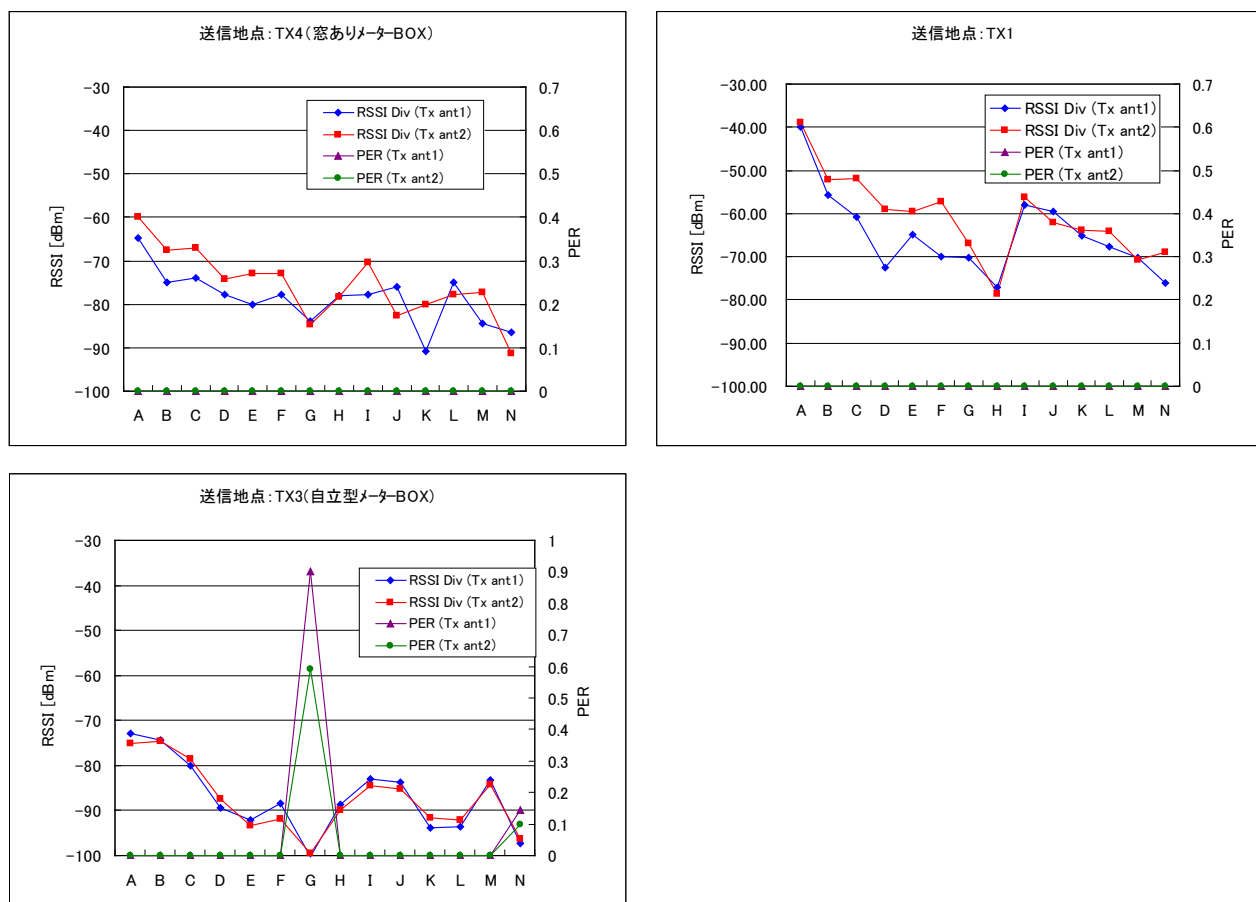


図 3-32. 鎌倉市大船新スマートハウス 測定地点と RSSI、PER のグラフ

② ローカル通信網（特小無線および無線 LAN）による双方向通信試験（パナソニックシステムネットワークス）

②-1 開発

電力系統と需要家を結ぶ双方向通信手段のうち、ローカルに通信網を形成するための通信手段として、特小 920MHz 帯無線機および無線 LAN (2.4GHz) 伝送装置を開発した。周波数再編により新規割当てとなった 920MHz 帯に対応した特小無線機のハードウェア試作開発および PCS のデータ収集、状態取得、機器制御を行う 1 対 N およびマルチホップに対応した通信方式の開発を実施し、加えて無線管理サーバの開発を実施した。



図 3-33. 特小 920MHz 帯無線機



図 3-34. 無線 LAN 伝送装置

②-2 試験

(a) 特小 920MHz 帯無線機および無線 LAN 伝送装置の伝搬評価

宅内への伝搬および、屋外でのコンクリート建物の見通し外を含む伝搬評価を実施した。

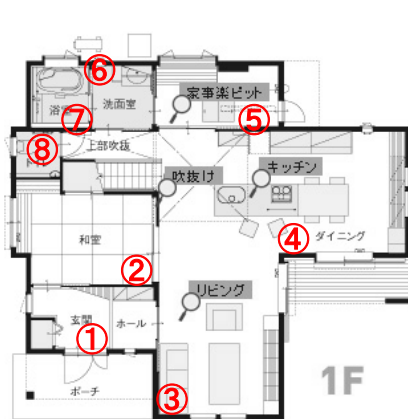


図 3-35. 宅内伝搬環境（別途 2F）

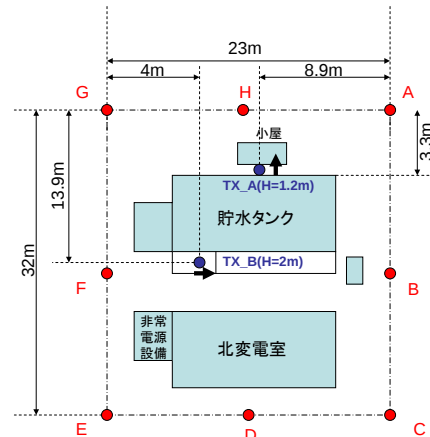


図 3-36. 屋外伝搬環境

- ・ 宅内伝搬では建物外からの送信点 3 箇所、受信点 15 箇所を測定し、920MHz は PER 0~0.1%、無線 LAN は 1Mbps で PER 0%、11Mbps で PER 0~0.82%であった。

→ 宅内伝搬では、920MHz 帯無線、無線 LAN 共に良好な通信結果が得られたことから、実環境において十分使用できることが確認できた。

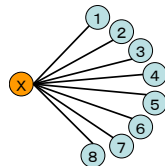
- ・ 屋外伝搬では送信点 2 箇所、受信点 9 箇所を測定し、920MHz は PER 0~3%、無線 LAN は 1Mbps で PER 0~95%、11Mbps で PER 0~100%であった。

→ 屋外伝搬では、920MHz 帯無線においては良好な結果が得られたことから、実環境において十分使用できることが確認できた。なお、無線 LAN においては見通し外通信の場合には直接通信の難しいエリアが多くなり、密集したエリアでの利用や中継器の追加などが必要となってくると考えられる。

(b) 様々なトポロジー構成におけるデータ伝送性能評価

1 対 N、マルチホップのトポロジーに対してブロードキャストおよびユニキャストのデータ伝送を行い、応答時間の測定結果を評価。※ブロードキャストは全データの応答完了時間

構成 1 : N



構成 マルチホップ (7 段)

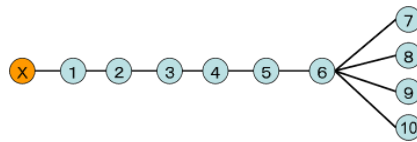


図 3 - 3 7 . トポロジーの構成

・ 応答時間に関する結果 特小 920MHz が約 500ms～4s

無線 LAN が約 20ms～500ms

→ 無線 LAN においては伝送速度が早く十分な伝送性能を有している結果が得られたことから、実環境において十分使用できることが確認できた。なお、特小 920MHz に関しては、見通し外通信でのエリア構成が行いやすい特性があるが、応答時間のホップ段数による増加が大きく、ホップ数を削減するトポロジー制御が重要と考える。

表 3 - 6 . 応答時間の測定結果

(単位 : ms)

試験構成	試験内容	特小920MHz	無線LAN
1:N	ユニキャスト	518.7	21.5
	マルチキャスト	550.2	445.7
マルチホップ (7段)	ユニキャスト	最上段 932.5	最上段 28.5
		最下段 3,698.1	最下段 43.6
	マルチキャスト	最上段 652.0	最上段 45.2
		最下段 4,112.5	最下段 557.7

③ ローカル通信網（大規模マルチホップ通信（無線 LAN））による双方向通信試験（富士通）

③－１ 開発

アドホック方式を用いて太陽光発電用 PCS の出力制御を目的とした 2.4GHz 無線 LAN の双方向通信網（以下、無線 LAN マルチホップネットワーク）を構築した。

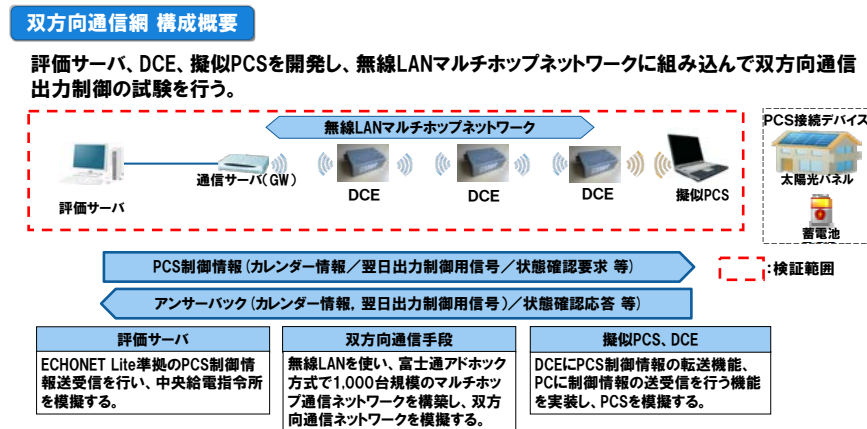


図 3－38．双方向通信網構成概要

(a) 評価サーバ、疑似 PCS の開発

ECHONET-Lite 準拠の電文（PCS 制御情報）を生成し、無線 LAN マルチホップネットワークの電文にのせて送受信する機能を開発した。動作環境は Windows7 である。動作画面を図 3－39、図 3－40 に示す。

(b) DCE の開発

ハードウェアは既設の無線 LAN マルチホップネットワークで稼動しているものを元に開発し、ソフトウェア（ファームウェア）は本実証実験に必要な機能（ECHONET-Lite 対応など）を追加した。機器の外観を図 3－41 に示す。



図 3－39．評価サーバ
動作画面



図 3－40．疑似 PCS
動作画面



図 3－41．DCE の外観

③－２ 試験

遠隔からの PCS 制御が確実にできることの検証と性能評価のための試験を実施した。

(a) 無線 LAN マルチホップネットワーク（通信サーバ～DCE 間）の通信性能測定

評価サーバから疑似 PCS に対して測定条件を変えてデータを送信し、応答時間と通信成功率の平均値を測定した。測定条件は以下の通り。

通常試験：カレンダー情報、翌日出力制御情報、状態確認要求の 3 種類を 20 秒/回で送信

加速試験：通常試験と同じ PCS 制御電文を 15 秒/回、10 秒/回、7 秒/回で送信

負荷試験：10 秒/回で 1024byte、2048byte、4096byte のデータを送信

測定した結果、平均応答時間は通常試験と加速試験で差は無く、ともに 0.1～0.4 秒と HOP 数の増加に比例して長くなった。負荷試験では 1024byte と 2048byte の時は両方とも 1.5 秒、4096byte では 2.1 秒に増加した。平均通信成功率は全ての試験で 99.5%以上となり、問題なくデータを送受信できることを確認した。

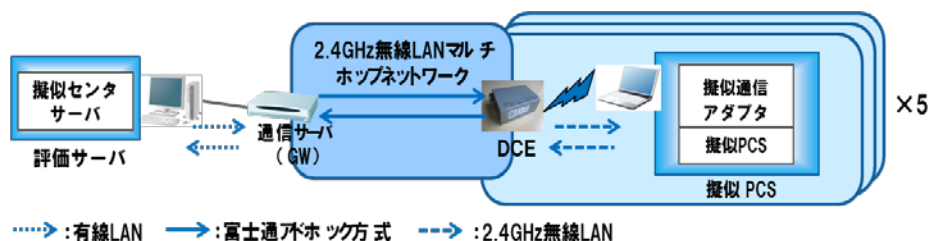
(b) 無線 LAN マルチホップネットワークと 900MHz 帯無線マルチホップネットワークの性能評価基礎データ収集と両者の比較評価

900MHz 帯無線マルチホップネットワークと無線 LAN マルチホップネットワークにおいて、通信サーバ(GW)と DCE 間でデータ通信を行い、応答時間と通信成功率の平均値を測定した。

結果、平均応答時間は HOP 数別に見ると 900MHz 帯無線マルチホップネットワークが 2.4GHz 無線 LAN マルチホップネットワークの約 10 倍大きい値となり（5HOP の時 900MHz が 1,846msec、2.4GHz が 181msec）、それぞれの通信速度に応じた結果となった。平均通信成功率は 98.4～99.9%となり、問題なくデータを送受信できることを確認した。

(c) 実フィールドに近い環境下での出力制御情報の応答率測定と測定結果に対する環境(天候、気温等)の影響評価

実フィールドに近い測定環境をオフィスに構築し、年間を通して定期的に PCS 制御情報を送信して応答率を測定した。あわせて測定期間中の気象データを取得し、応答率に対する気温や湿度等、環境による影響の有無を評価した。図 3－4 2 に、実フィールドに近い環境下の通信性能測定環境を示す。



【設置環境】

評価サーバと通信サーバはオフィス2階、通信ユニット (DCE) と疑似PCSはオフィスの外周部に設置

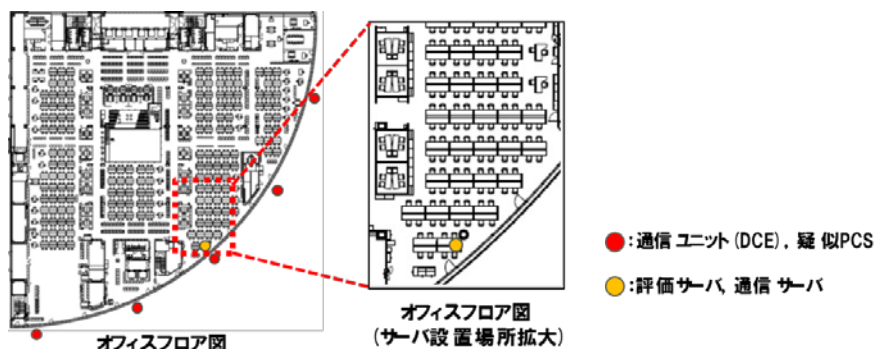


図3-42. 実フィールドに近い環境下の通信性能測定環境

上記測定環境において、評価サーバから5台の疑似PCSに対して一定間隔で複数種類のPCS制御情報を送信し、応答率を測定した。併せて測定期間中の気象データとして、気象庁から東京気象台で測定された最高気温、降水量、平均湿度を取得し、それらの値と応答率の相関関係の有無について回帰分析を行い、応答率に対する環境による影響の有無を評価した。

表3-7に応答率の測定結果(2013年6月20日～2013年12月31日)を示す。

表3-7. PCS制御情報毎の応答率

No.	制御電文	送信頻度	応答率平均値	応答率最大値	応答率最小値
1	80 (動作状態)	30 分/回	99.55%	100.00%	98.33%
2	88 (異常発生状態)		99.70%	100.00%	98.33%
3	D0 (系統連系状態)		99.73%	100.00%	98.75%
4	F7 (PCS 異常コード)		99.70%	100.00%	98.33%
5	F8 (通信アダプタ異常コード)		99.70%	100.00%	98.33%
6	F4 (翌日出力制御情報設定)	24 時間/回	99.02%	100.00%	80.00%
7	F6 (当日積算発電電力量計測値)		99.39%	100.00%	80.00%
8	F1 (出力制御カレンダー (翌年) 設定)	1 カ月/回	100.00%	100.00%	100.00%

応答率平均値は、30 分に 1 回送信される PCS 制御情報は 99.5%以上。1 日に 1 回送信される PCS 制御情報は 99%台、月に 1 回送信される PCS 制御情報は 100% となった。

全ての PCS 制御情報について散布図を作成して回帰分析を行い、決定係数 R^2 を求めたところ、全ての決定係数の値は全て 0.07 以下であり、各 PCS 制御情報と気象データ（降水量、最高気温、平均湿度）の相関は低いことが分かる。よって応答率に対する気温、降水量、湿度の影響は小さいものと考えられる。この結果から 2.4GHz 無線 LAN マルチホップネットワークは気温、降水量、湿度の影響を殆ど受けずに遠隔での PCS 制御が行えることが分かった。

④ 青森フィールドにおける実証試験（日立製作所）

④－１ 開発

青森フィールドにおいて通信実証試験を行うための 21 台（特定小電力無線 5 台、CDMA 携帯無線 6 台、FOMA 携帯無線 5 台、WiMAX 無線 5 台）の無線端末を開発した。また、共通試験においてユースケースを実行可能なセンターサーバを開発した。

④－２ 試験

PCS 出力制御を行うための双方向通信システムに関し、通年のロングラン試験による通信性能評価を目的とした。2012 年 12 月から 2013 年 11 月の 1 年間を季節毎に 4 期に分けて試験を行う予定で、冬、春、夏の 3 期まで試験を完了した。各期は 3 ヶ月あり、月毎に共通シナリオ 1、共通シナリオ 2、個別試験を行った。共通シナリオ 1 では出力制御カレンダーによる制御用の通信、シナリオ 2 では翌日出力制御による制御用の通信に関する評価を行った。個別試験では通信メディアの特性を評価した。

表 3－8. 実証スケジュール

試験区分	H24	H25										
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
シナリオ1												
シナリオ2												
個別試験												

・シナリオ 1：出力制御カレンダー更新による PCS 出力制御

PCS 出力制御が、PCS 出力制御用通信網の本格的な構築よりも早期に必要なとなった場合を想定したシナリオである。年に 1 回程度、数週間をかけて当年と翌年の出力制御カレンダー情報（年間の特異日の出力制御情報を格納）を設定する。

・シナリオ 2：翌日（当日）出力制御情報による PCS 制御

PCS 出力制御用通信網が、PCS 出力制御が必要とされる時期よりも早期に本格的に構築された場合を想定したシナリオである。毎日、翌日の出力制御の要否を判定し、必要であれば翌日の出力制御情報を設定する。また、当日内の出力制御も可能とする。

(a) 通信実証試験

共通試験では、シナリオ毎のユースケースに対応する電文の到達率や応答速度を測定した。個別試験では、無線電波の伝搬特性を測定した。

図 3－4 3 は、共通試験における通信メディア毎の応答速度を示す。920MHz 無線の応答は速く、携帯電話はリンク確立に時間がかかるが、メディアによらずほぼ 100%の到達を確認した。図 3－4 4 は、個別試験における特定小電力無線の電波伝搬特性を示す。周波数が低い 429MHz 無線は回り込み効果があり、障害物のある環境でも遠方まで伝搬する。いずれも、季節による差異は計測されなかった。

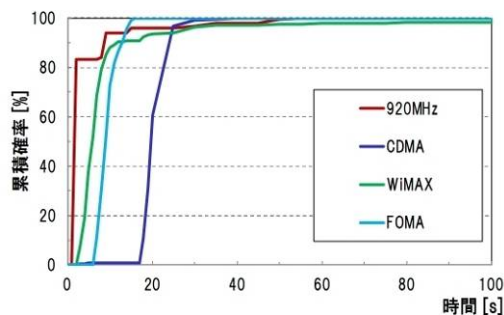


図 3－4 3．共通試験の応答速度比較

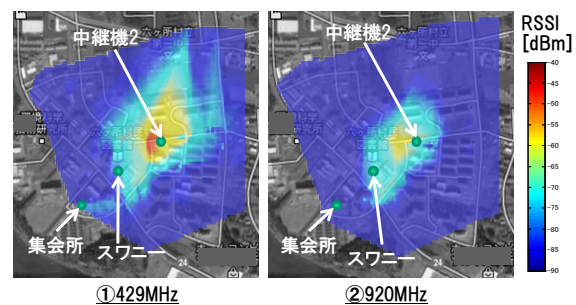


図 3－4 4．個別試験の電波伝搬特性

(b) センターサーバ動作試験

共通試験においてセンターサーバからユースケースを実行し、各通信サーバとの通信電文ログを取得し、制御応答特性を測定した。

青森フィールドの全端末から 590 秒以内に制御応答が返ってくることから、センターサーバが各機器と安定的かつ確実に通信できていることがわかった。

⑤ 900MHz 帯特定小電力無線（1mW タイプ）を用いた双方向通信の開発・試験（東芝）

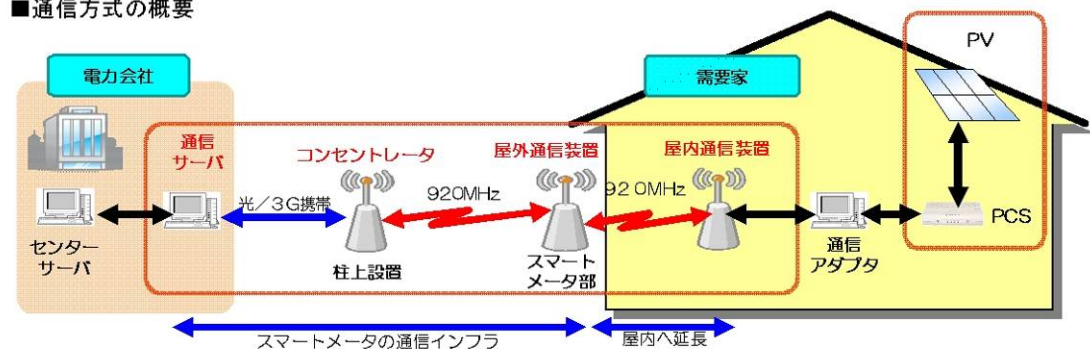
⑤－１ 開発

青森フィールドにおける検証を行う通信媒体のうち、900MHz 無線マルチホップについて、電波出力が 1mW のタイプの機能および性能検証を行うための通信サーバ、コンセントレータ、屋外通信装置、屋内通信装置の各通信装置を開発した。

⑤－２ 試験

900MHz 無線マルチホップ技術が将来のスマートメータ通信インフラの一つとして採用された場合に、屋内の PCS に接続された通信装置へ同じ通信技術で接続することを想定したネットワーク構成としている。青森フィールドにおける検証でのネットワーク機器構成図を図 3－4 5 に示す。事前の無線伝搬環境調査などの結果から各装置の設置箇所を決定後に、村内の計 33 カ所に各装置を設置して 2012 年 12 月より検証を行っている。

■通信方式の概要



■実証試験構成図

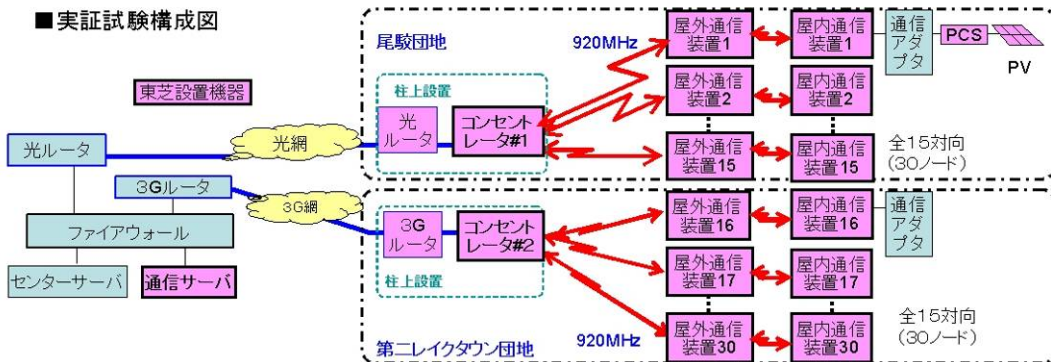


図 3－4 5．実証試験構成図

青森フィールド内の無線ネットワークは、2 カ所の電柱上に設置されたコンセントレータを中心に構成され、状況によりマルチホップ状態を変化させつつ、安定した通信を行える状態となっている。住民の方の転居に伴う停電の影響を

除き、個別試験期間（2 月、5 月、8 月、11 月）を除く期間におけるセンターサーバとの双方向通信に関する応答成功率は以下となった。

表 3－9．センターサーバからの要求に対する応答成功率

応答が返ってきた数	37459
応答が返ってこなかった数	7
応答成功率平均値	99.98%

月ごとの応答成功率については 99.80%から 100%の間の高い確率で推移しており、安定した通信ができていたことがわかる。

⑥ 900MHz 帯特定小電力無線（10mW タイプ）を用いた双方向通信の開発、センターサーバとの双方向通信試験（沖電気工業）

⑥－1 開発

開発システムは、センターサーバと通信アダプタ間の 920MHz 帯無線マルチホップシステム（出力 20mW）の管理・制御を行う通信サーバ、マルチホップ通信を行い通信サーバへ電文を受け渡すコンセントレータ、および、各エリアを接続するための中継器、家庭に設置され、基地局無線機とマルチホップ通信を行い、通信アダプタ間でデータの送受信を行う DCE で構成される。

⑥－2 試験

青森フィールドにこれらの機器を設置し、屋外及び居住環境における試験を実施した。

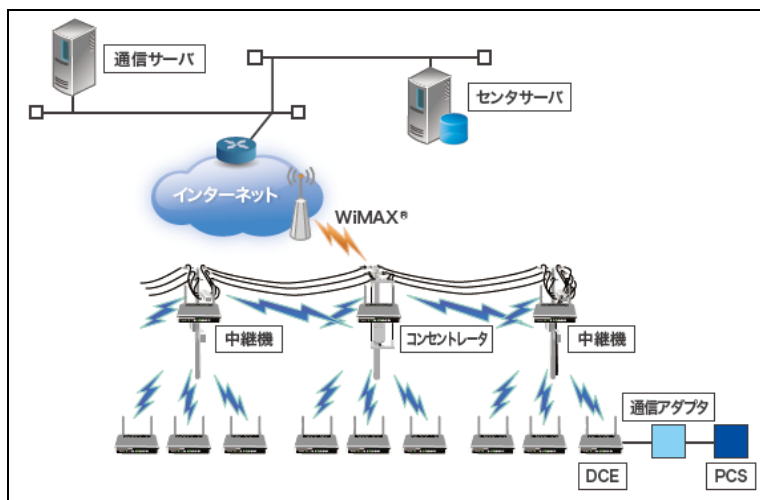


図 3－4 6．システム構成



図 3－4 7．開発した無線機

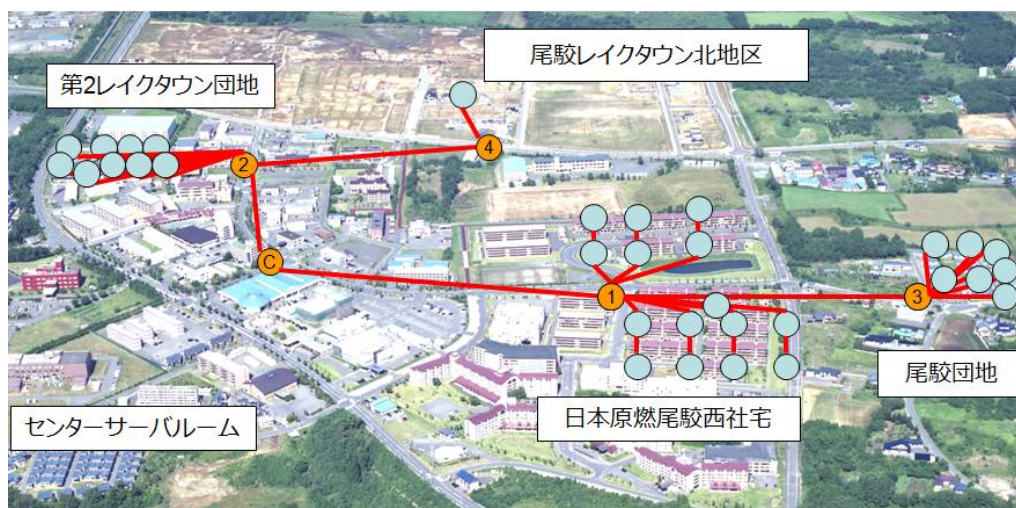


図 3-48. 青森フィールドにおける機器の設置状況
(青が DCE、橙がコンセントレータ、中継機を示す、赤線は転送経路の一例)

本試験では、センターサーバからの制御信号が通信サーバを経由して、家庭に設置した各 DCE、あるいは通信アダプタに到達し、応答がセンターサーバに戻ったことをもって通信成功となる。この条件において、各 DCE の通信成功率を求めたところ、全期間を通じて平均 98.9%であった。一部の通信はセンターサーバにおいて未応答時に再送を行っている。この再送は初回通信の 3 時間もしくは 6 時間後に行われており、再送後の通信成功率は 100%である。

2013 年 2 月末に通信サーバに再送機能を追加した結果、3 月～11 月の平均通信成功率は 99.7%となり、通信性能の改善を確認することができた。通信サーバにおける再送機能は、通信失敗時に約 4 分毎に最大 5 回の再送を行っており、一時的な通信環境の悪化に対応している。センターサーバにおける再送を行った通信は 100%の成功率となったことから、遅延時間に十分な余裕があれば今回のように対象家屋がまばらに存在する環境であっても確実な通信を行うことが可能である。

以上の試験結果より、開発機器が安定的かつ確実に通信できていることが確認できた。

表 3-10. 月別実験結果

	戸建住宅	原燃社宅	尾駁団地	第 2 レイク タウン団地	全体
24 年 12 月	99.3%	93.9%	99.6%	96.9%	96.2%
25 年 1 月	98.3%	96.2%	99.2%	96.4%	97.0%
25 年 2 月	98.5%	96.4%	99.2%	97.5%	97.4%
25 年 3 月	100.0%	98.8%	100.0%	99.7%	99.4%
25 年 4 月	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%	100.0%

25 年 5 月	99.7%	100.0%	100.0%	99.3%	99.8%
25 年 6 月	99.2%	99.4%	99.7%	96.1%	98.5%
25 年 7 月	99.4%	100.0%	99.8%	99.0%	99.7%
25 年 8 月	100.0%	100.0%	99.7%	99.5%	99.8%
25 年 9 月	98.5%	99.6%	99.8%	97.4%	99.0%
25 年 10 月	100.0%	100.0%	99.8%	99.7%	99.9%
25 年 11 月	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

⑦ 電力線通信（PLC）を用いた双方向通信の開発・試験（住友電気工業）

⑦－１ 開発

電力会社の配電線を通信路とする通信方式（PLC：Power Line Communication）として、TWACS 方式と G3 方式の 2 方式の PLC 通信装置の開発と現地への機器設置を行った。（図 3－49、図 3－50 参照）



図 3－49．PLC 通信装置の設置状況



図 3－50．通信実証システム構成

⑦－２ 試験

PLC 通信試験の結果を表 3－11 に示す。TWACS 方式、G3 方式共にセンターサーバ～通信アダプタ間の通信成功率は 99%以上を示している。また、PLC 区間における通信成功率（PLC 通信以外の失敗要因を除外した場合）に着目すると、TWACS 方式、G3 方式共に年間平均 99.8%以上の高い値を示しており、PLC が通信媒体として非常に安定していることがわかる。これに、上位層の再送手順を組合せることによって、非常に信頼性の高い通信システムを構築することができる。

表 3－1 1．PLC 通信試験結果

PLC 方式	月	PCS 制御 シナリオ	通信成功率[%] (センタサーバ～ 通信アダプタ間)	通信成功率[%] (PLC 通信区間)	備考
TWACS 方式	12	シナリオ 1	99.97	100.0	
	1	シナリオ 2	99.95	99.98	
	3	シナリオ 1	99.83	99.85	
	4	シナリオ 2	99.98	100.0	
	6	シナリオ 1	99.56	99.95	
	7	シナリオ 2	99.97	100.0	
	9	シナリオ 1	100.0	99.38	
	10	シナリオ 2	100.0	99.91	
	年間平均			99.88	
G3 方式	12	シナリオ 1	99.08	100.0	
	1	シナリオ 2	99.61	99.98	
	3	シナリオ 1	99.98	99.87	
	4	シナリオ 2	99.31	99.92	
	6	シナリオ 1	99.12	99.87	
	7	シナリオ 2	99.93	99.95	
	9	シナリオ 1	98.21	99.95	
	10	シナリオ 2	100.0	99.70	
	年間平均			99.91	

⑧ 実建物設備及び実証試験場を用いた双方向通信試験と通信アダプタの開発
(日本電気)

⑧－１ 開発

通信機能付き PCS を、複数存在する双方向通信手段を用いて接続可能とする、通信アダプタ装置を開発した。通信アダプタ装置のシステム構成、得られた成果について以下に示す。

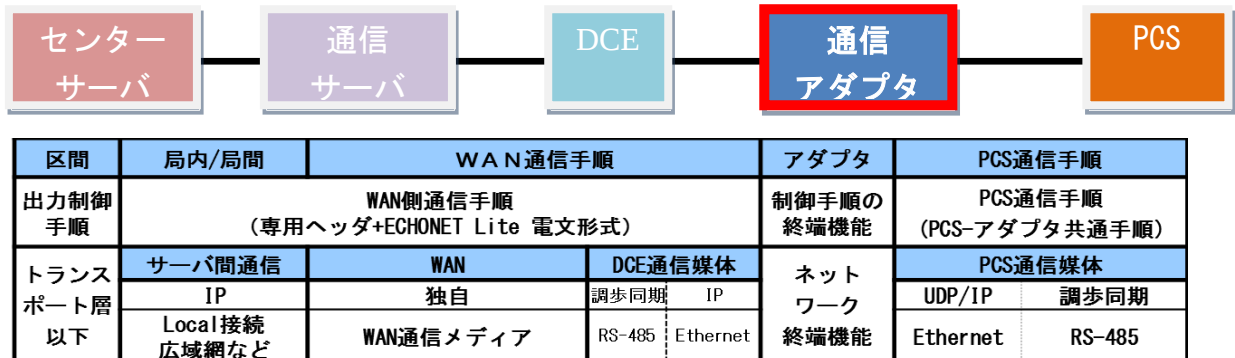


図 3-5 1. 通信アダプタにおけるプロトコルスタックとシステム構成

・ 通信アダプタ装置の開発と PCS 間の通信手順を標準化

実証参画 PCS メーカーとともに「PCS-通信アダプタ」間の通信プロトコルを標準化した。PCS により異なっていた通信手順を標準化することで、制御機器の標準化・共通化を実現。WAN 側通信のネットワーク終端はもとより、PCS を補完する機能である、制御カレンダーの保持、セキュリティ面の担保など PCS へ抑制制御を行うゲートウェイ装置の必要性を、本開発を通じて検証した。

⑧－２ 試験

実証機器の実環境フィールドとして青森フィールド、法人内実験フィールドとして東光高岳フィールド、関電エフィールドの 2 か所、計 3 拠点で実証を行った。図 3-5 2 にシステム構成を示す。



図 3-5 2. 通信アダプタシステム構成

センターサーバから送出された電文を、各通信メディアを介して通信アダプタにて終端する。電文送達を行うにあたり実施した検証結果を以下に示す。

・実証フィールドでの通信アダプタ装置の評価

3 拠点合わせ、計 20 台を設置し、実験場や実住環境など PCS 制御を行う上での課題や手法を検証した。特に、青森フィールドでは個宅 2 軒へ設置し、監視・制御の確実性を検証した。住民が生活する中での生活パターンや、それらを加味した抑制タイミングの検証・必要性、装置サイズや設置場所の検証を行った。本装置を活用することで、抑制制御日における PCS への制御成功率は 100%を実現した。

・双方向通信の往復時間の検証

青森フィールドにおける各メディアの往復時間について表 3－12 に示す。

表 3－12. 各メディアの往復時間について

	日立 FOMA	東芝 特小	IBM	住友 G3	住友 TWACS	沖 特小	KDDI CDMA	KDDI Wimax
電文 往復時間(秒)	7.90	19.93	10.00	5.63	729.53	10.96	19.35	6.01

伝送速度の違いや、通信初期立ち上げ時間など、各々違いが見受けられる。双方向通信における PV 抑制制御において、通信アダプタ装置を経由しての制御は、どのメディアを活用した場合においても問題は発生しないレベルであることが結果より推察される。



図 3－53. NEC 製通信アダプタ装置
(試作機)



図 3－54. 電気設備室への
設置事例

⑨ 双方向通信を実現する上位インターフェース仕様の共通化と、その汎用通信ソフトウェアの開発および双方向通信を実現する汎用通信ソフトウェアの試験（日本アイ・ビー・エム）

⑨－１ 開発

太陽光の出力制御は、多様な通信方式により実現されることがから、双方向通信による出力制御の実現に必要な、個別送信・同報送信、送達確認、再送制御、セキュリティ（暗号化・認証）などの処理を共通化する通信ソフトウェアを開発することで、今後大量に導入・接続される PCS との相互接続性・対障害性・保守性を向上させることを目的とした。

青森実証各社との連携により「青森フィールドに係る共通インターフェース仕様」として、センターサーバーPCS 間のアプリケーションレベル及びデータレベルでの共通仕様を作成した。また、作成した仕様にもとづき、多様な通信方式上で統一的に双方向通信による出力制御を実現する汎用通信ソフトウェアを開発した。

⑨－２ 試験

開発した汎用通信ソフトウェアを用いて、青森フィールドに、一般に入手可能な WiMAX と FOMA によるインターネット環境を構築し、信頼性・性能・障害回復などの観点での出力制御の実証試験を実施した。構成図を図３－５５に示す。

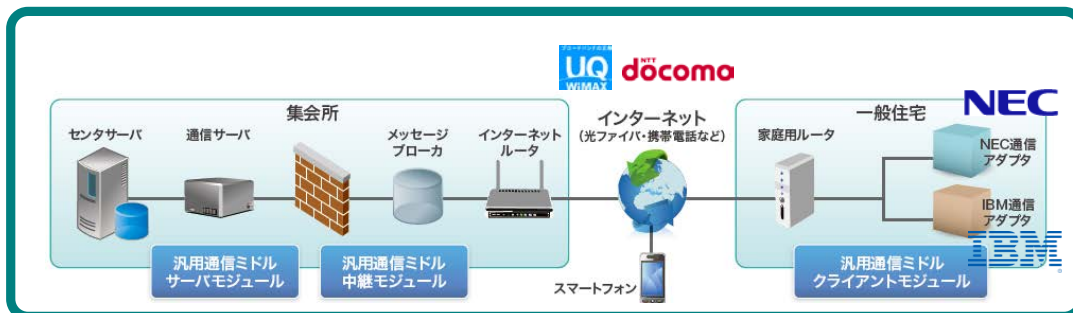


図３－５５．システム構成概要

図３－５６は、本試験を実施するネットワーク環境を示している。六ヶ所村からのインターネット接続は、NTT 東日本の B フレッツ光で、インターネットサービスプロバイダは NTT コミュニケーションズ社の OCN を利用した。通信アダプタ側のインターネット接続は、通信アダプタ#1 については、UQ WiMAX 回線サービスと UQ 社のインターネット接続サービスを、通信アダプタ#2 については、NTT ドコモ FOMA 回線サービスと、IIJ 社のインターネット接続サービスを利用した。本実証では、センターサーバと通信アダプタ間のデータを中継するブローカサーバを米国コロラド州のデータセンターに設置した。

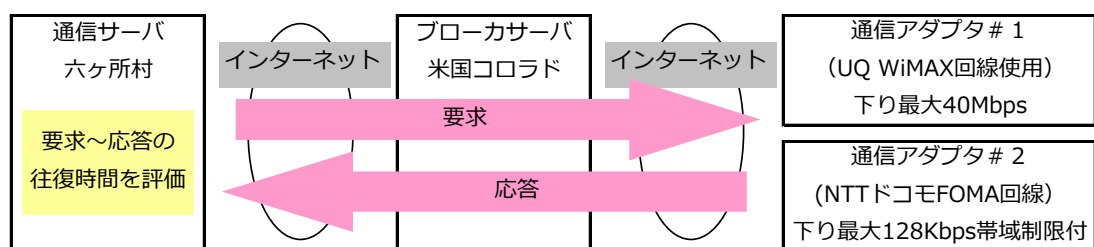


図 3－5 6．フィールド試験を実施するネットワーク環境

本環境において、出力制御の要求電文は、通信サーバから通信アダプタに送信され、応答電文が返送されることになる。ブローカサーバを米国に設置したため、出力制御の要求～応答に際して、電文は日米を 2 往復することになり、その遅延時間として、日米片道 300 ミリ秒、1 往復で 600 ミリ秒、2 往復で 1.2 秒程度を要する点に考慮が必要である。

表 3－1 3．WiMAX のみ 1 回線構成での平均往復時間と往復件数

	平均往復時間（秒） （要求～応答のパターン）		往復件数（件）	
	通信アダプタ#1	通信アダプタ#2	通信アダプタ#1	通信アダプタ#2
2012 年 12 月	16.917	3.543	141	142
2013 年 1 月	20.524	4.510	132	132
2013 年 2 月	10.702	2.079	41	41
2013 年 3 月	24.108	4.250	124	124
2013 年 4 月	2.867	1.699	132	132

表 3－1 4．WiMAX/FOMA の 2 回線構成での平均往復時間と往復件数

	平均往復時間（秒） （要求～応答のパターン）		往復件数（件）	
	通信アダプタ#1	通信アダプタ#2	通信アダプタ#1	通信アダプタ#2
2013 年 5 月	16.472	1.780	55	56
2013 年 6 月	13.895	1.920	77	77
2013 年 7 月	1.580	1.923	49	49
2013 年 8 月	2.026	2.124	92	92
2013 年 9 月	1.781	2.167	124	124
2013 年 10 月	1.364	1.835	170	170
2013 年 11 月	1.643	2.041	85	85

WiMAX/FOMA の 2 回線構成とした 2013 年 5 月以降の通信アダプタ毎の月別の

平均往復時間は、表 3－14 の通りである。ここで往復とは、通信サーバから要求電文送信後、応答電文が返答されるまでを指す。

本実証では、段階的にソフトウェアの修正やパラメータ変更を行ったが、最新版ソフトウェアを適用した 2013 年 9 月～11 月の結果は、通信アダプタ#1、#2 とともに、往復率 100%、応答時間は 1.60 と 2.01 秒であり、インターネット環境で、日米 2 往復するネットワーク構成による遅延(1.2 秒)を鑑みると、実用面で十分に高い応答性能を達成できている。

⑩ 双方向通信に用いる通信手段の検討と基礎試験（KDDI）

⑩－1 開発

WiMAX による双方向通信試験の構成図を図 3－57 に示す。センターサーバールームに設置した、センターサーバから、ルータと接続し、閉域網上に存在する通信サーバを介して需要家側の DCE／端末に接続する。需要家側は、DCE／端末、通信アダプタ、PCS、PV へと接続する。本試験構成において、センターサーバから通信サーバ宛ての通信制御データおよび通信サーバから DCE／端末宛ての通信制御データおよびその応答のデータを 1 年間取得した。その成果について以下に示す。

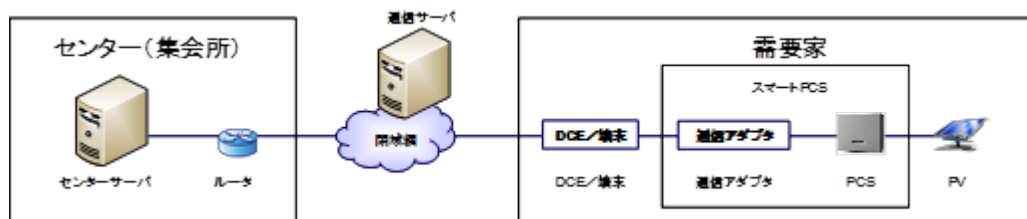


図 3－57. WiMAX による双方向通信試験構成

表 3－15. DCE／端末の制御データ取得結果

項目	端末ID				
	01050706	01050707	01050708	01050709	0105070A
制御データ送信数(回)	2165	2025	2048	2029	1883
応答成功数(回)	2136	2021	1855	2029	1869
成功率(%)	98.6	99.8	90.5	100	99.2

本結果では、電源の喪失やハードウェアの故障が原因による通信不良については送信回数に含めないものとした。結果としては 5 台の WiMAX 端末の内、1 箇所については設置場所の問題から 90%となっているが、その他においては 98%以上の成功率であり、再送機能等を盛り込むことにより、実環境において十分に使用できることが確認できた。

⑪ 通信事業者の広域サービス網（携帯電話）による双方向通信試験（NTTドコモ）

⑪－１ 開発

FOMA を利用した試験用通信ネットワークの構成を図３－５８に示す。

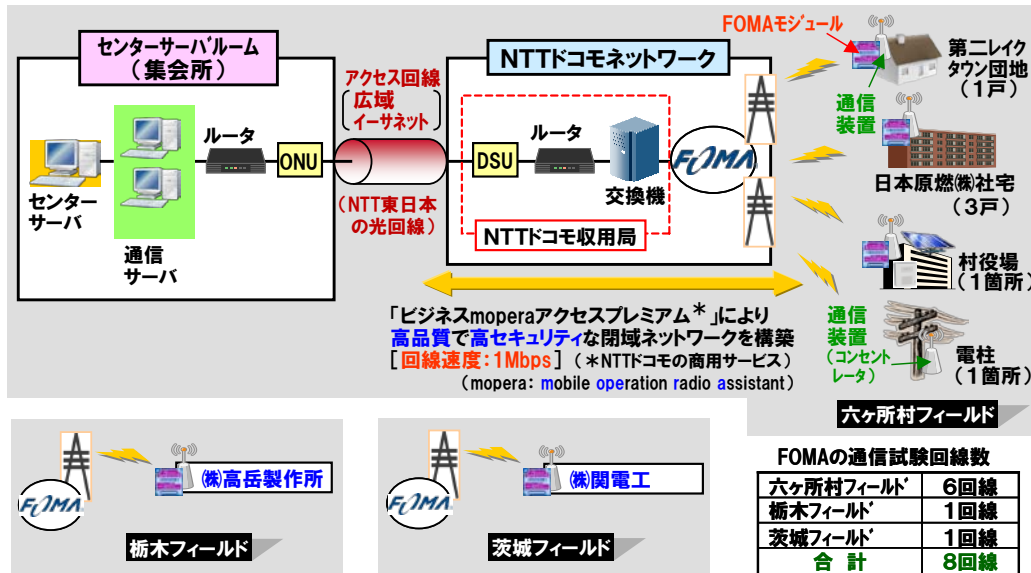


図３－５８．FOMA を利用した試験用通信ネットワークの構成

⑪－２ 試験

青森フィールドの FOMA 通信端末設置場所の電波調査結果を表３－１６に示す。どの設置場所も「弱電界」以上を示し、通信品質は概ね問題ないと判断できる。

表３－１６．電波調査結果

建物	FOMA端末設置場所	RSCP# 値(dBm)	干渉電力比(dB)	判定
第二レイクタウン団地	トイレ内上部欄	-103 (窓付近:-99)	-10 (窓付近:-8)	弱電界 (窓付近:強電界)
日本原燃(株)西社宅C棟	玄関付近	-94~-89	-11~-10	強電界~弱電界
日本原燃(株)西社宅2号棟	リビングルーム窓側の床	-93 (窓付近:-89)	-9 (窓付近:-8)	弱電界 (窓付近:強電界)
日本原燃(株)西社宅10号棟	台所の床上	-99~-96	-10~-8	強電界~弱電界
村役場第二分庁舎	2階廊下に設置した欄	-82~-80	-7~-6	強電界

[#RSCP: Received Signal Code Power]

判定	内 容
強電界	パケット通信可能
弱電界	パケット通信可能*
圏 外	パケット通信不可

[*IP着信からパケット通信開始
まで時間がかかる場合あり。]

また、図3-59に通信スケジュールパターンが同じである、季節毎の4つのデータを示した。これらのデータにおける5回（3時、10時、14時、18時、21時）のピークの時間帯は、センターサーバが通信スケジュールパターンに従って通信指令を出した時間帯である。これらの時間では、いずれも21時頃のピークが一番大きく、3時、10時、14時、18時頃のピークは、どれも21時頃のピークよりも小さくなっている。このように、測定日時によらず、同じ傾向のデータが得られたことから、FOMAが双方向通信として安定して機能しており、実環境において十分に使用できることが確認できた。

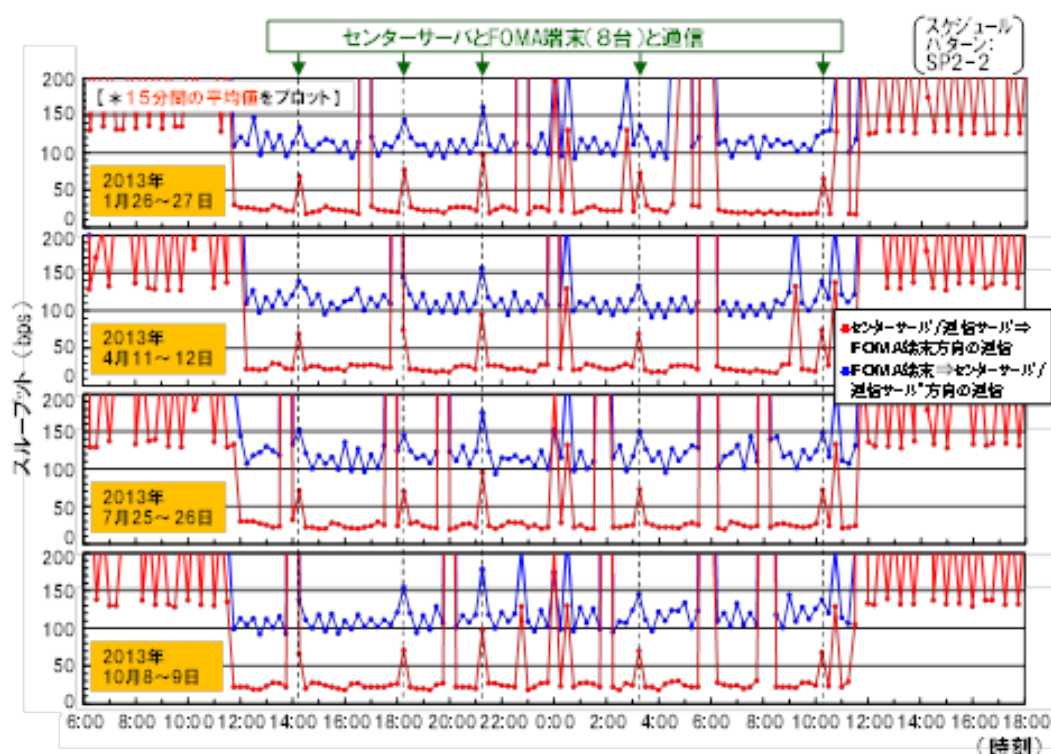


図3-59. 通信スケジュールパターンが同じで測定日が異なるスループットの時間変化の比較

⑫ 実建物設備を用いた双方向通信試験（関電工）

⑫－１ 開発

関電工フィールドにて、一般的なビルに太陽光発電設備が設置されることを想定し、設置形態別に太陽光発電用 PCS の出力制御を目的とした双方向通信試験設備および制御システムを構築した。また、双方向通信に用いる電文の開発を行った。

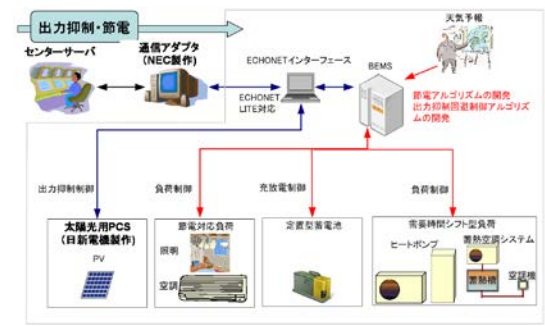


図 3-60. システム概要



図 3-61. 制御システム

⑫－２ 試験

(a) 双方向通信試験

センターサーバからの指令を模擬した通信確認試験を実施した。

・ 通信アダプター-PCS 間通信確認試験

試験内容	試験実施日	試験項目数	結果
電文送信試験 (太陽光発電制御)	2012/11/21	22 項目	良

・ 通信アダプター-制御システム間通信試験

試験内容	試験実施日	試験項目数	結果
電文送信試験 (太陽光発電制御)	2013/1/21	10 項目	良
電文送信試験 (節電制御)	2013/1/21	11 項目	良
電文送信試験 (蓄電池制御)	2013/1/21	11 項目	良

(b) 実証試験

余剰電力対策における太陽光発電出力抑制に関する試験として、

- a) PV 出力抑制試験
- b) 蓄電池を用いた出力抑制回避制御試験
- c) 蓄電池および給湯用 HP を用いた出力抑制回避制御試験
- d) 空調用 HP を用いた蓄熱試験
- e) 天気予報を考慮した HP 運用試験

を実施し、良好な結果を得た。

試験結果の一例として、蓄電池を用いた出力抑制回避制御試験の結果を図 3-62 に、蓄電池および給湯用 HP を用いた出力抑制回避制御試験を図 3-63 に示す。

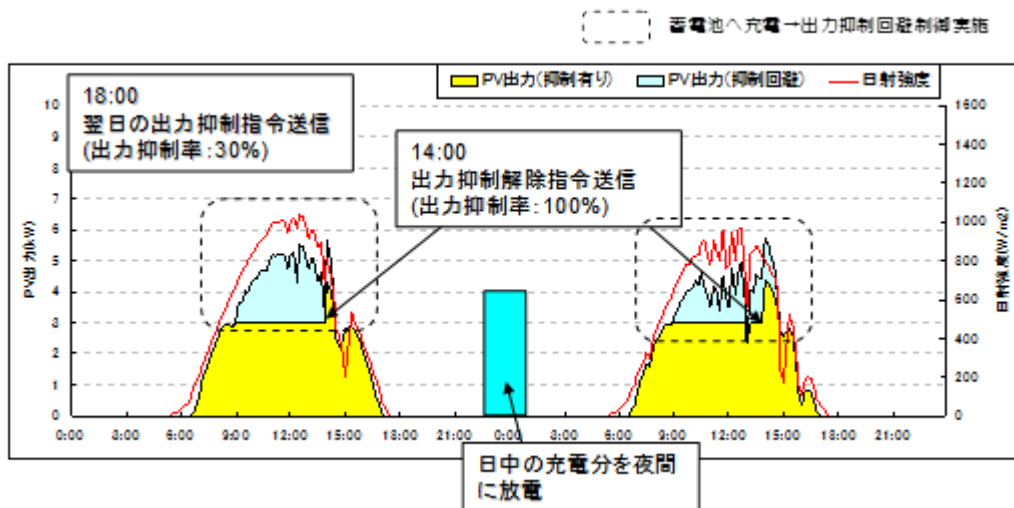


図 3-62. 蓄電池を用いた出力抑制回避制御トレンド

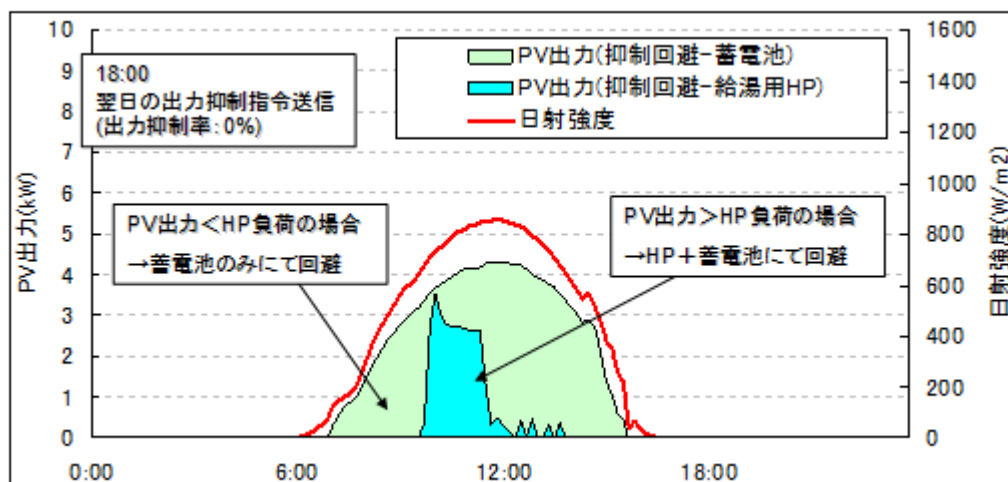


図 3-63. 蓄電池および給湯用 HP を用いた出力抑制回避制御トレンド

(5) サイバーセキュリティ関連機器

下記の通り、セキュリティリスクの評価・診断およびサイバーセキュリティ関連機器を開発した。

	参加法人	開発機器	設置場所	達成度
①	NRIセキュアテクノロジーズ	セキュリティリスク評価・診断 攻撃検知／防御システム	青森フィールド	達成

① セキュリティリスク評価・診断・攻撃検知/防御システムの開発・試験（NRIセキュアテクノロジーズ）

太陽光発電大量導入に備え、系統状況によって外部からの通信信号に応じて出力をコントロールできる太陽光発電用 PCS を通信と組み合わせた検証とセキュリティ評価を、「机上」「診断」「検知」の三つのアプローチで実施した。

セキュリティ評価は、最初に、システムの対象把握を行い、「机上」「診断」「検知」それぞれ3つのステップで実施を行い、最後に全体をまとめることとした。

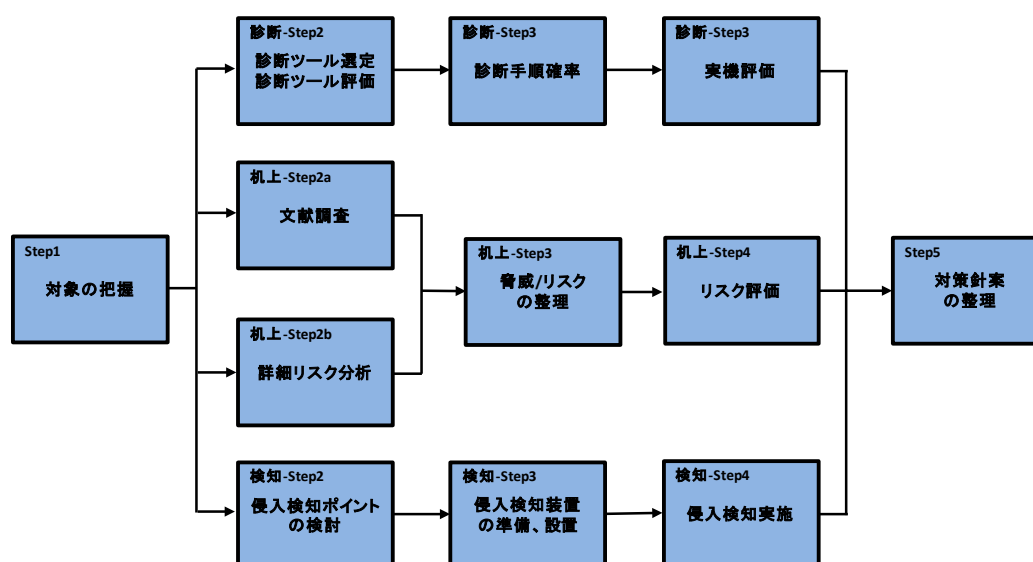


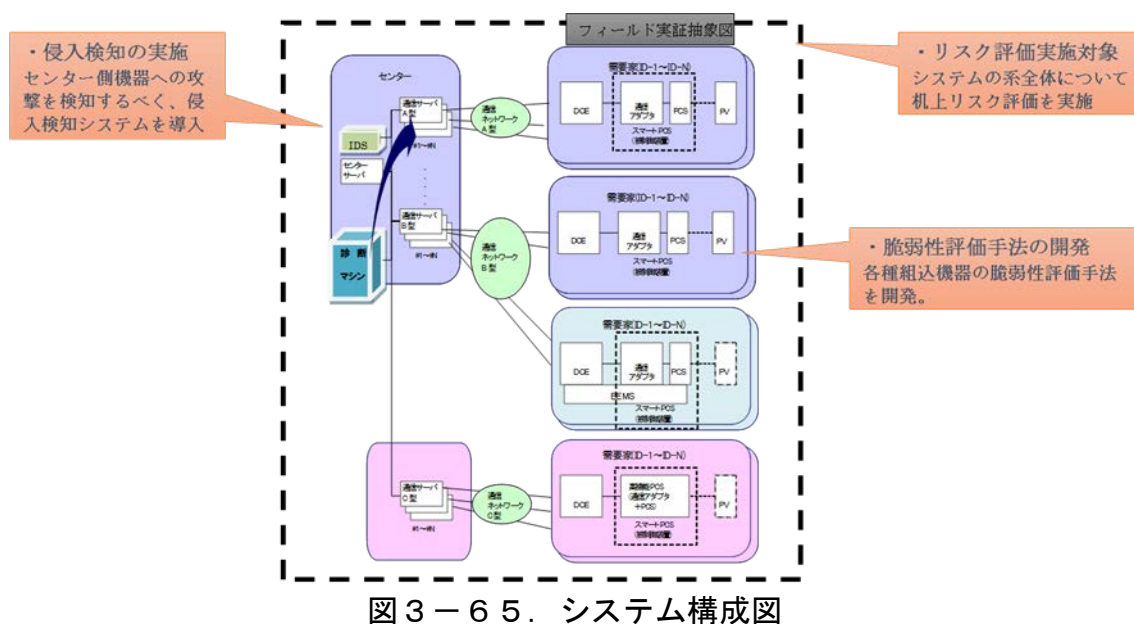
図 3－6 4．進め方イメージ

「机上」では、本実証事業のシステムを構成する1つ1つの構成要素に対して、機能面、取扱い情報の2点からリスクを洗い出し、リスクの顕在率と顕在化した場合の影響度からリスク評価を行った後、技術面、物理面、運用面の3

つの観点から、対策についてまとめた。

「診断」では、青森フィールドの構成機器に疑似アタックをかけることでシステムの脆弱性を洗い出した。制御系独自の攻撃で行われるような、ファジングという手法を用いて、セキュリティ診断を行うことで、より厳しく制御システムのセキュリティ面での「脆弱点」を洗い出すことができた。

「検知」では、ファジングによる攻撃を含め、検知が可能か調査を行った。青森フィールドで効果的に侵入検知を行うために、ファイアウォールの内側と外側に IDS を設置し、インターネットからの攻撃の状況と、ファイアウォールの効果を測定することとした。システム構成を図 3-65 に示す。



検知結果を図 3-66 に示す。アラートとして検知したものは ICMP 関連の検知と SNMP の検知であった。送信元・送信先の IP アドレスがファイアウォール内部のルータなどのアドレスであり、検知が監視で用いられる ICMP、SNMP などの定常的な通信であることがわかる。実証事業サイトでの検知結果から、監視通信や各スマートメータへのポーリング通信などが誤検知される傾向にあるため、こうした定常的な通信を検知除外するなどのチューニング作業が必要であると考えられる。

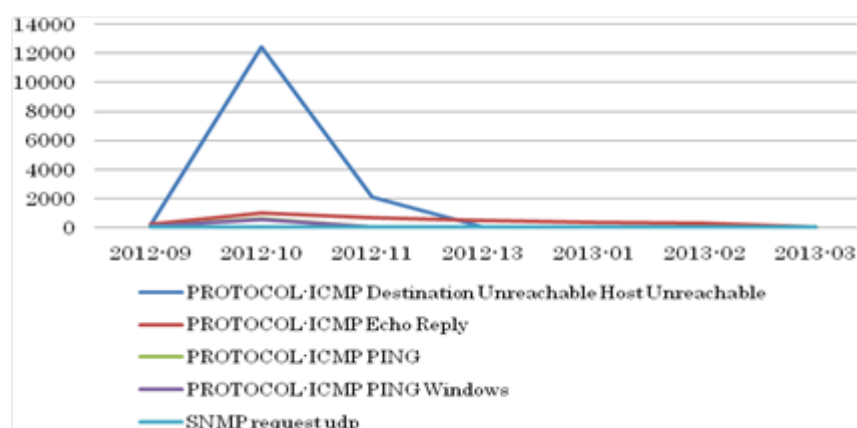


図 3－6 6．実証事業環境でのイベント検知 TOP5（月別推移）

攻撃ツールで用いたトラフィックの統計情報による検知手法を実証事業環境でも設定を行い、検知を実施した。以下に実証事業環境で収集したトラフィックの統計情報をまとめる。

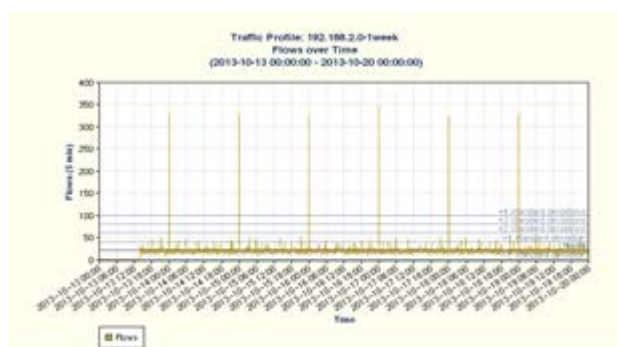


図 3－6 8．正常時トラフィック
パターン

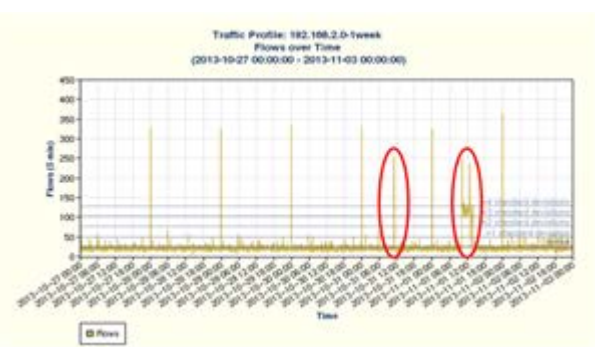


図 3－6 7．異常時トラフィック
パターン

実証事業環境における通信は、通信量・通信時間などパターン化が可能といえる。図 3－6 7にて通常時のパターンと異なる通信パターン（アセスメント実施時）が見られ、異常通信を検知することができた。これらの試験結果より、想定される攻撃からネットワークを保護できることを確認し、良好な試験結果を得ることができた。

3-1-3 特許出願状況等

表 3-17. 特許・論文等件数

要素技術	論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	国際標準 への寄与
①通信による出力制御 が可能な太陽光 PCS (住 宅用、事業用)	0	0	0	0
②通信による出力制御 が可能な蓄電池用 PCS	0	0	0	0
③電圧調整機能付き PCS	0	0	0	0
④双方向通信機器	4	0	0	0
⑤サイバーセキュリテ ィ関連機器	0	0	0	0
全般	5	0	0	0
計	9	0	0	0

	題目・メディア等	時期
発表	電気学会電子・情報・システム部門大会「次世代型双方向 通信出力制御実証事業における通信仕様」	H24. 9
	電気学会全国大会「再生可能エネルギー大量導入に向けた スマートグリッドの現状と将来展望」	H25. 3
	電気学会全国大会「次世代型双方向通信出力制御実証事 業」青森実証フィールドの進捗」	H25. 3
	日本太陽エネルギー学会「次世代送配電系統最適制御技術 実証事業の取り組み」	H25. 8
	IEEE Power Engineering Society「Present status and future prospects of smart grid technologies for massive PV system integration」	H25. 8
	電子情報通信学会「次世代型双方向通信出力制御実証事 業」青森実証フィールドの進捗」	H25. 9
	日本太陽エネルギー学会「再生可能エネルギー大量導入に 向けたスマートグリッドに関わる国の実証事業の取り組 み」	H25. 11

	電子情報通信学会「次世代型双方向通信出力制御実証事業」青森実証フィールドの実証概要」	H26.3
	エネルギー総合工学研究所「次世代型双方向通信出力制御実証事業の取組みについて」	H26.3

表 3-18. 論文、投稿、発表、特許リスト

3-2 目標の達成度

表 3-19. 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成果	達成度
①通信による出力制御が可能な太陽光 PCS（住宅用、事業用）	・通信機能付き太陽光発電用 PCS の開発 ・通信信号に応じて出力をコントロールできること	通信による出力制御実証試験を行う機能を検討し、通信装置とのインターフェースの共通仕様を取り纏め、それらを具備する機器開発を実施し、開発機器の動作試験および通信装置との接続試験を実施した。また、実フィールドへ開発機器を設置したうえで、双方向通信による PCS 出力制御試験を実施し、通信信号に応じて出力をコントロールできることを確認することで、良好な結果を得ることができた。	達成
②通信による出力制御が可能な蓄電池用 PCS	・通信機能付き蓄電池用 PCS の開発 ・通信信号に応じて出力をコントロールできること	充・放電電力制御方法や主回路定格などの基本仕様ならびに通信機能仕様の検討、それらを具備する機器開発、動作試験および通信装置との接続試験を実フィールドにて実施し、通信信号に応じて出力をコントロールできることを確認することで、良好な結果を得ることができた。	達成
③電圧調整機能付き PCS	・シミュレーション等の検討で選定された最適な制御方式を具備し	各種シミュレーションを実施した上で、電圧上昇抑制効果や SVR タップ動作への影響、SVC	達成

	た PCS の開発 ・ 安定的に動作すること	制御機能への影響、制御の安定性などを評価項目として、定力率制御方式、電圧依存型定力率制御方式を実証器に具備する制御方式として選定するとともに、基本制御仕様を検討・確定した。さらに前者を組み込んだ3kW 級 PCS および後者を組み込んだ50kW 級 PCS を実フィールドへ設置し、仕様どおりの動作特性を確認することで、良好な試験結果を得ることができた。	
④ 双方向通信機器	・ PCS の出力制御を実現する種々の双方向通信機器の開発 ・ 安定的かつ確実に動作すること	センターサーバ～PCS 間の構成、通信手順、電文形式等を議論のうえ取り纏め、PCS の制御を目的とした各種双方向通信において必要となる機器を開発した。また、開発した機器を実証フィールドおよび各社敷地内等に設置したうえで、携帯電話、WiMAX、インターネットによる公衆通信網、特定小電力無線、無線 LAN、PLC の各種通信試験を実施し、いずれの試験においても、PCS の出力制御を実現する種々の双方向通信機器が、安定的かつ確実に動作することを確認し、良好な結果を得ることができた。	達成
⑤ サイバーセキュリティ関連機器	・ 通信ネットワークに内在する脆弱性の検討・セキュリティ技術の開発 ・ 想定される攻撃からネットワークを保護できること	スマートグリッドシステムのセキュリティに関わる文献調査などにより、セキュリティリスクに対する対策方針について検討を行った。また、開発した侵入検知システムを青森フィールドに導入し、作成した対策方針を参考に、複数の検知方法につい	達成

		てそれぞれ検知結果の評価を行い、想定される攻撃からネットワークを保護できることを確認し、良好な試験結果を得ることができた。	
--	--	---	--

4 事業化、波及効果について

4－1 事業化の見通し

太陽光の発電出力を制御できる通信機能付き太陽光発電用 PCS、通信機能付き蓄電池用 PCS、PCS の出力制御を実現する種々の双方向通信機器、および各 PCS の通信機能としての各通信メディアについては、事業化に対し十分な技術的成果が得られた。

今後の事業化に向けては、ネットワークにて採用すべき通信方式の決定、出力制御システムの標準化等の整備を進めていく必要があり、今年度から開始となる「次世代双方向通信出力制御緊急実証事業」の検討において、本事業の成果・知見を反映することで、通信方式の決定や出力制御システムの標準化に寄与していくこととしている。

4－2 波及効果

(1) 成果の高度化等に関する波及効果の事例

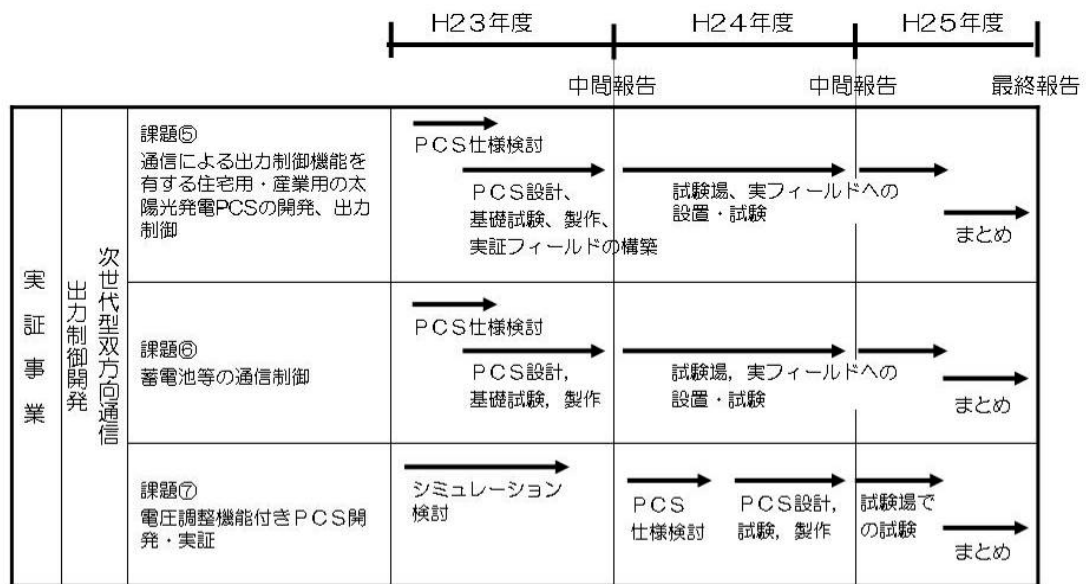
- ・双方向通信機能を具備した太陽光発電用 PCS の風力等他の分散電源用 PCS への応用
- ・双方向通信機能を具備した系統蓄電池用 PCS の家庭用蓄電池用 PCS への応用
- ・電圧調整機能付き PCS の制御方式の検討ノウハウの配電制御高度化への応用
- ・PCS 制御用双方向通信方式の他のセンサーネットワーク（スマートメータ、デマンドレスポンスなど）への応用

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5－1 研究開発工程

本実証事業は、平成 23 年度から平成 25 年度の 3 ヶ年で実施した。全体概略スケジュールとしては（各要素テーマの詳細スケジュールについては後述する）、平成 23 年度、平成 24 年度に個別機器の開発、制御方式の検討および要素技術開発を実施し、平成 25 年度に総合的な実証試験と評価を行い、成果のとりまとめを行った。

表 5－1．研究開発工程



※上記課題と要素技術の関係は以下のとおり。

- ・課題⑤
 - ・要素技術①：通信による出力制御が可能な太陽光 PCS（住宅用、事業用）
 - ・要素技術④：双方向通信機器
 - ・要素技術⑤：サイバーセキュリティ関連機器
- ・課題⑥
 - ・要素技術②：通信による出力制御が可能な蓄電池用 PCS
- ・課題⑦
 - ・要素技術③：電圧調整機能付き PCS

○要素技術の実施内容

①通信による出力制御が可能な太陽光 PCS（住宅用、事業用）

現状の太陽光発電用に、データ通信によって制御信号などの授受を行う機能を付加する開発を実施した。開発には国内の主要な PCS メーカー 8 社が参画し、本実証の中で要求する共通の仕様に対し、それぞれが自社製品をベースに付加開発を実施した。

②通信による出力制御が可能な蓄電池用 PCS

蓄電池用 PCS に、データ通信によって制御信号などの授受を行う機能を付加する開発を実施した。開発には、本実証試験で蓄電池システムを提供する事業者が通信制御機能の付加開発を実施した。

③電圧調整機能付き PCS

太陽光発電用 PCS に具備する電圧調整機能は、様々な制御方式が考えられるため、シミュレーション等の検討で望ましい制御方式を絞り込み、家庭用（3～5kW級）、事業用（10～50kW級）の開発を行い、東光高岳フィールド内の配電ネットワーク試験場を用いて、動作・効果の実証試験を実施した。

④双方向通信機器

電力系統と需要家を結ぶ双方向通信については、電力会社が保有する通信網（光ファイバー、メタルケーブルなど）、通信事業者による広域サービス（携帯電話、WiMAX など）を有効に活用しつつ、ローカルに通信網を形成するための無線 LAN、特小無線（900MHz 帯、400MHz 帯）や、電線そのものをインフラとして活用する電力線搬送（PLC）などから、情報量や通信速度等の要求を満たす通信手段に対し、対象とする地域の通信インフラ、サービス提供の状況や通信環境などに応じて、コスト、信頼性などの観点から最適なものを選定して構成していくことになる。

本実証試験では、種々の双方向通信の手段に対し、各実証フィールドにおいて太陽光発電用 PCS の設置環境（宅内、宅外など）を模擬した通信環境を構築し、動作・機能の評価を実施した。

⑤サイバーセキュリティ関連機器

双方向通信によって、太陽光発電や蓄電池を含む機器・システムを制御する状況では、相応のセキュリティ確保が必要となることから、想定される通信ネットワークに内在する危機や脆弱性の検討を行い、防護システムの試作・評価を実施した。

5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

（1）研究開発実施者の実施体制

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、国立大学法人東京大学他33 法人が経済産業省からの委託を受けて実施した。

また、研究開発の実施に当たっては、研究開発を統括するためのプロジェクトリーダー（東京大学 横山教授）、プロジェクトサブリーダー（東京工業大学 赤木教授）、事務局（東京電力、電力中央研究所）を設置するとともに、効率的な本研究開発の遂行のため、実施事項毎にサブワーキンググループ（SWG）を組織し、リーダー、サブリーダー、幹事会社を設定して推進した。全体の進捗確認、各SWG へのフィードバック、SWG 間の連携などの全体運営は、全体会議、ステアリング会議、幹事会を設置し、随時開催して推進した。

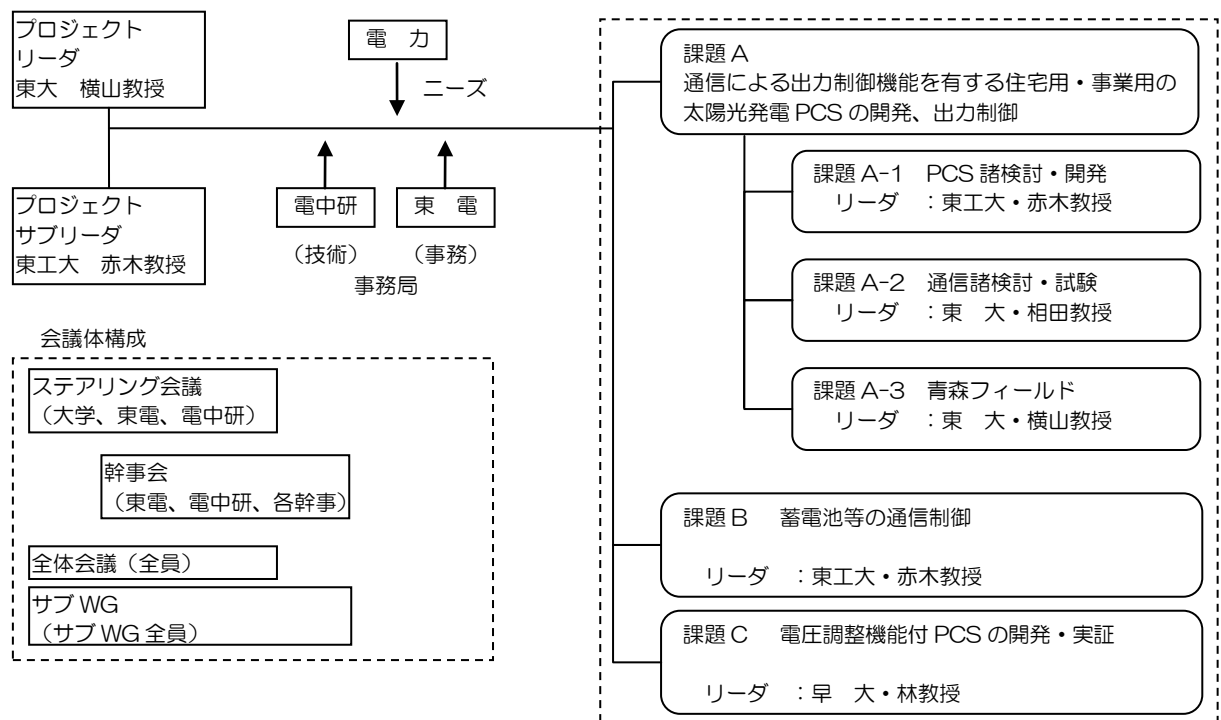


図 5-1. 研究開発実施体制

表 5-2. 要素技術と課題の関係

課題 要素技術	A1	A2	A3	B	C	法人名
①通信による出力制御が可能な太陽光PCS (住宅用、事業用)	○		○			オムロン、東芝、三洋電機、シャープ、三菱電機、東光高岳、日新電機、富士電機
②通信による出力制御が可能な蓄電池用PCS			○	○		関電工、東光高岳
③電圧調整機能付きPCS			○		○	東芝、富士電機
④双方向通信機器		○	○			KDDI、NTT ドコモ、三菱電機、パナソニックシステムネットワークス、富士通、日本電気、日立製作所、東芝、沖電気工業、住友電気工業、日本アイ・ビー・エム
⑤サイバーセキュリティ関連機器		○	○			NRI セキュアテクノロジーズ

（２）実施体制の妥当性

プロジェクトリーダーである東京大学横山教授の下、主要開発項目である PCS については国内主要 PCS メーカー 8 社、双方向通信機器については、国内主要メーカー 9 社が参画し、また、通信事業者、セキュリティ関連メーカー、電力会社と、本事業を成す上で必要十分な参加法人の参画により実施することができ、非常に効率的に事業の目的を遂行することができた。

（３）実施者間の連携

課題毎に SWG を組織し、定期的に情報交換を行うことで実施者間の連携を十分とることができた。

５－３ 資金配分

研究資金の配分に当たっては、各研究課題担当法人にて年度ごとの研究計画を作成し、資金の見積を行った。さらに各法人間にて十分に調整を行った上で研究資金を配分しており、妥当な配分であったと考えられる。

表 5－3. 資金配分 (単位：百万円)

年度 平成	2 3	2 4	2 5	合計
①通信による出力制御が可能な太陽光 PCS（住宅用、事業用）	40.5	7.4	5.3	53.2
②通信による出力制御が可能な蓄電池用 PCS	30.9	7.9	3.1	41.9
③電圧調整機能付き PCS	1.9	5.2	2.5	9.6
④双方向通信機器	368.4	99.8	57.9	526.1
⑤サイバーセキュリティ関連機器	49.6	36.6	7.3	93.5
合計	491.3	156.9	76.1	724.3

6. 費用対効果

6-1 費用対効果

本事業は、双方向通信技術を活用したきめ細かな太陽光発電の出力制御の実施を目指し、都市部や郊外などの地域環境、宅内・宅外といった設置場所など様々なPCSの設置環境を想定した上で、電力系統と需要家を結ぶ種々の通信手段を用いた実証試験を実施する必要がある。このため、複数の通信方式・PCSの技術を保有した主要国内メーカーが複数参加することで、様々な設置環境を想定した各種試験を実施可能な体制とした。

また、上記異メーカーに加え、太陽光発電の出力制御のニーズもとである国内全電力会社が参加することで、機器開発から実証試験にわたり、異なる視点からの幅広い意見を本事業に反映することができた。

さらに、電力・通信分野に深い知見のある有識者を含めた産学官が連携した実施体制を構築することで、非常に効率的かつ実効的に事業を推進することができた。

6-2 変化への対応

2012年7月の固定価格買取制度の開始により太陽光発電を中心とした再生可能エネルギー発電設備の導入量が大幅に増加している。このため、電力各社にて系統への接続申込みへの回答を保留する状況となり、接続可能量を拡大するための出力制御実施に向けた各種検討が進められている。このような状況変化に対応すべく、今年度から開始となる「次世代双方向通信出力制御緊急実証事業」においても、本事業の成果・知見を反映しつつ、出力制御システムの開発・実証とあわせて、出力制御方式の標準化検討にも取り組むこととしている。