

次世代型双方向通信出力制御実証事業

評価用資料

平成25年11月13日

資源エネルギー庁電力・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／株式会社高岳製作所／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	9
3-1	成果	9
3-1-1	全体成果	9
3-1-2	個別要素技術成果	11
3-1-3	特許出願状況等	49
3-2	目標の達成度	50
4	事業化、波及効果について	53
4-1	事業化の見通し	53
4-2	波及効果	53
5	研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	54
5-1	研究開発計画	54
5-2	研究開発実施者の実施体制・運営	56
5-3	資金配分	57
5-4	費用対効果	58
5-5	変化への対応	58

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、そのために将来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。

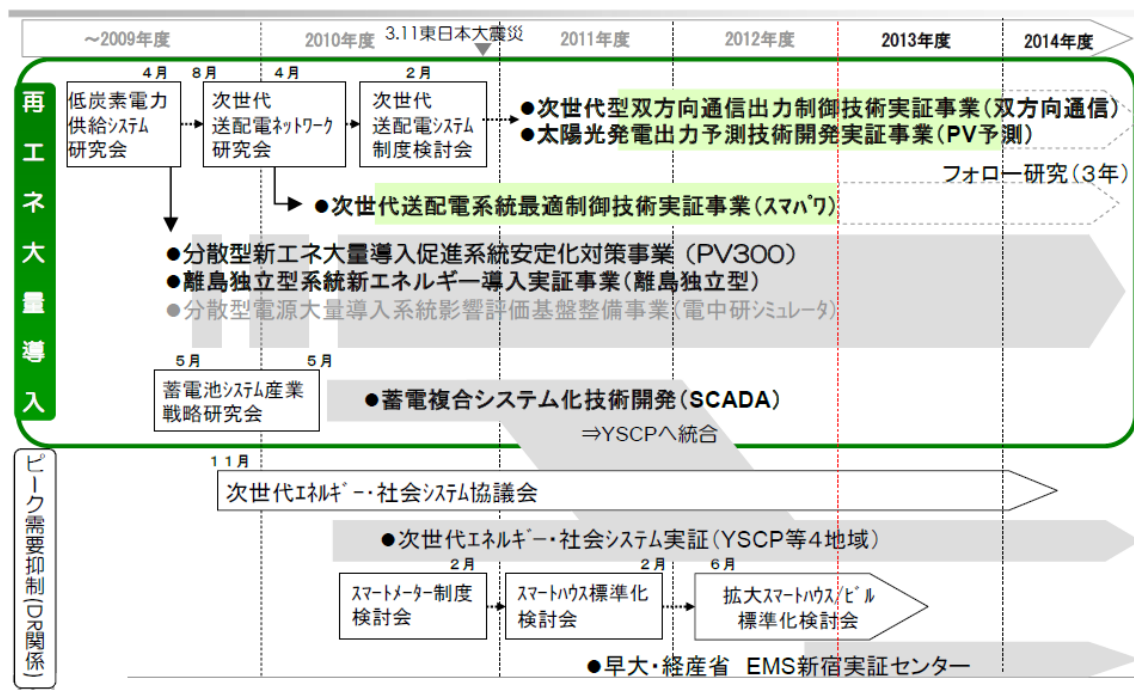


図 1 - 1. 実証プロジェクトの国の研究会との関係と実証期間

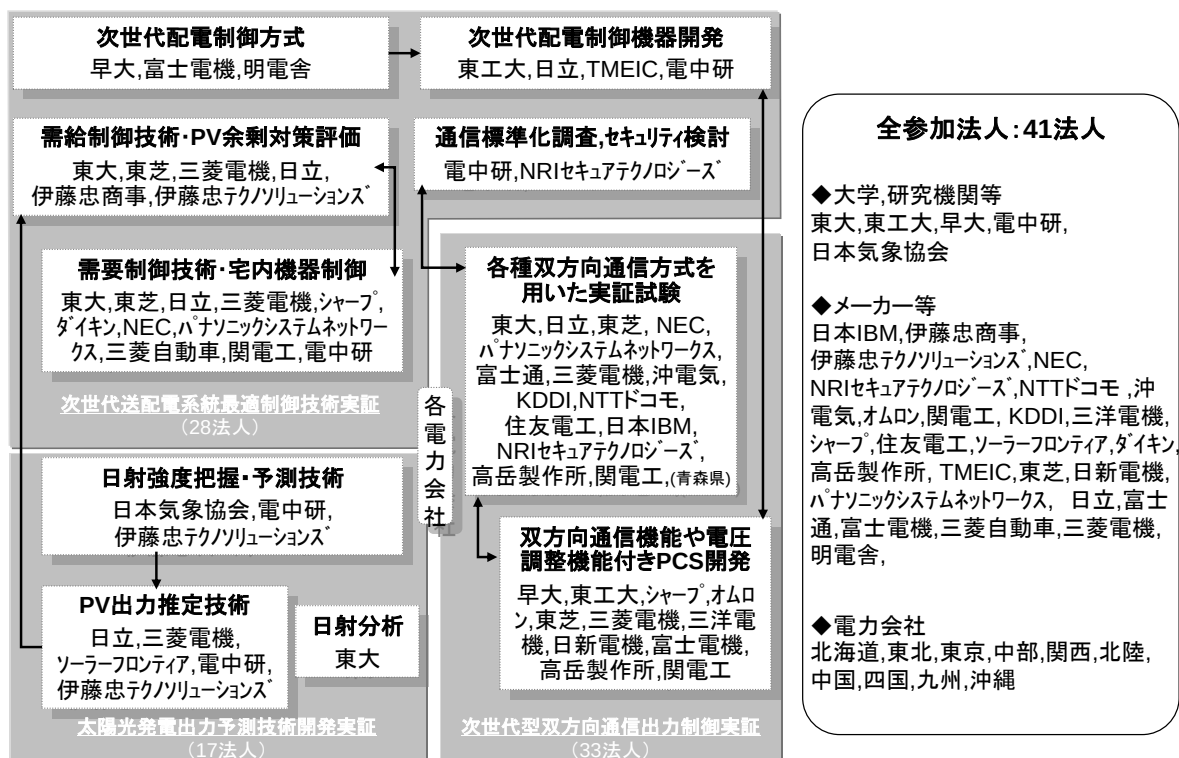


図 1 - 2. 次世代送配電制御、次世代双方向通信、PV 出力予測の実証体制

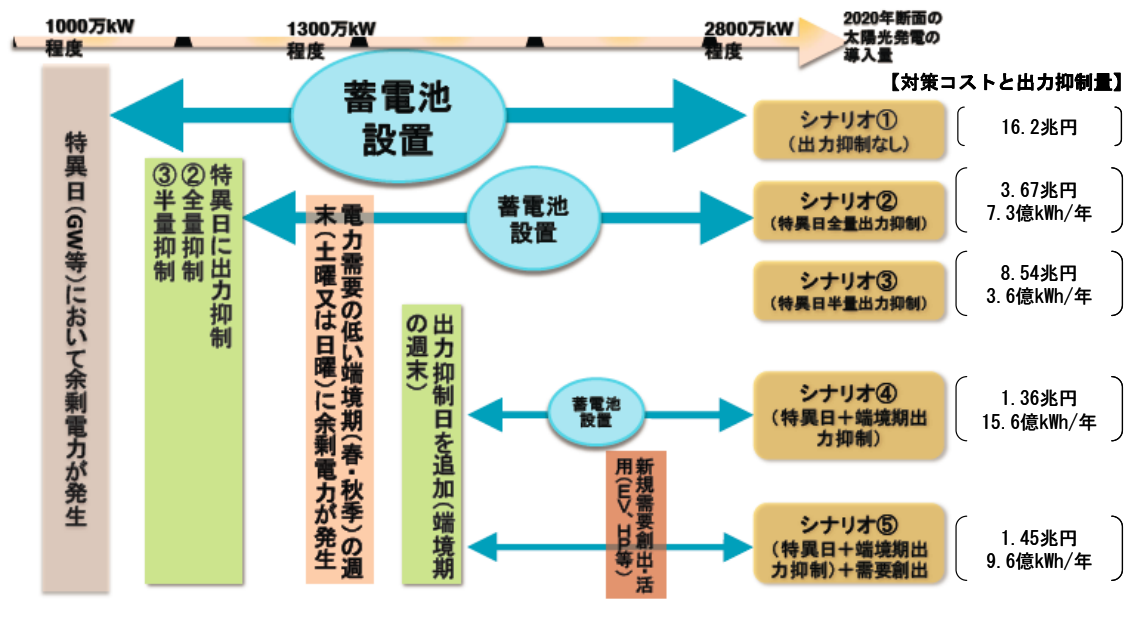


図 1 - 3. 系統安定化対策化シナリオと余剰電力対策量試算の考え方

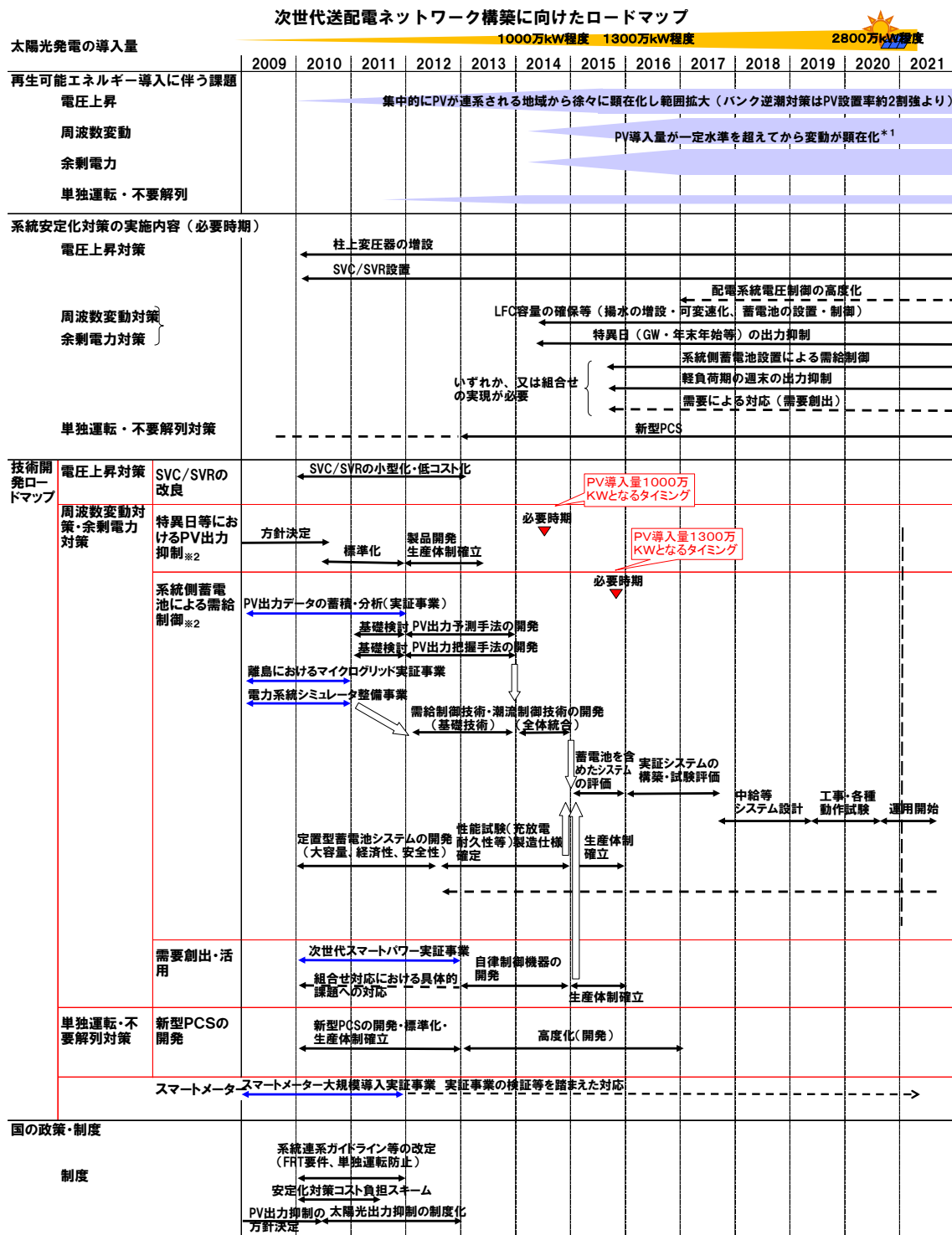


図 1 - 4. 次世代送配電ネットワーク構築に向けたロードマップ

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。

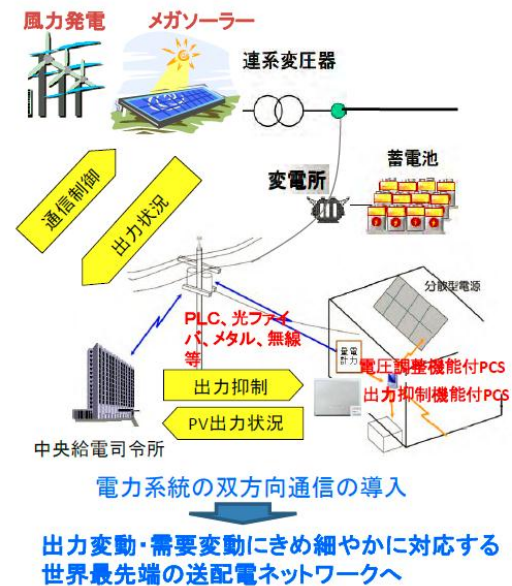


図2-1. 実証概要

(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 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	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	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 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	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	・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	・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	・シミュレーション等の検討による最適な制御方式の選定、その機能を具備した PCS の試作 ・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	・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	・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。また現在、実環境へ PCS を設置しフィールド試験を実施中である。

「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を検討し、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ている。

「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 を製作し、工場試験を実施した。

「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、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。関電エフィールドでは、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。高岳フィールドでは、開発

した PCS を高岳製作所事業所に設置し、青森フィールドからの直接制御試験を実施した。また、PLC と配線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。

「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した。

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）	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）	高岳フィールド 青森フィールド	良
④	シャープ	PCS（住宅用）	高岳フィールド	良
⑤	三菱電機	PCS（住宅用）	高岳フィールド	良
⑥	高岳製作所	PCS（事業用）	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。

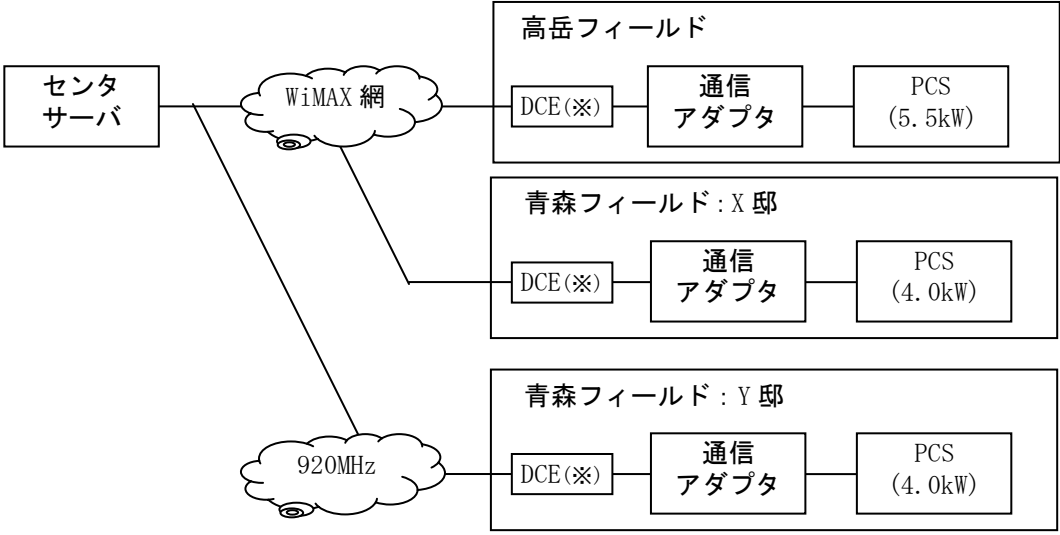
表 3-1. PCS 仕様

型式	4.0kW タイプ	5.5kW タイプ
写真		

①-2 試験

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、試験結果は良好である。



(※)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

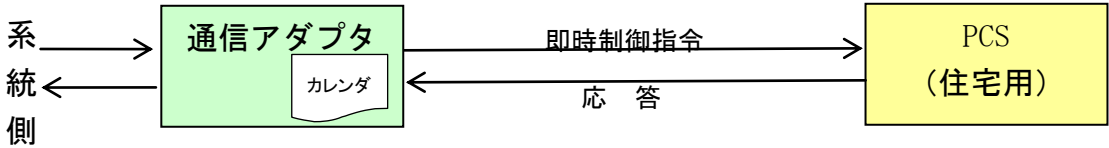


図 3-2. プロトコル仕様

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 月から計測中であり、試験結果は良好である。

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）

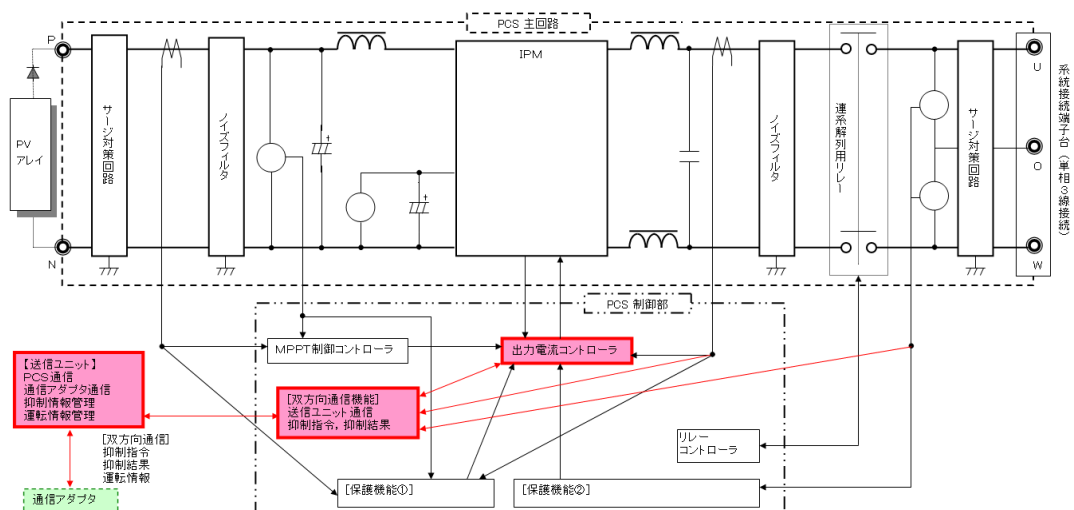


図 3－4．PCS 回路図

③－２ 試験

開発した機材を青森フィールド、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、試験結果は良好である。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

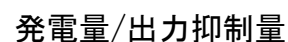
開発した Intelligent PCS を図３－６に示す。出力制御予定の日時、抑制量を“出力制御カレンダー情報”として、また出力制御運転状況を“運転履歴情報”“発電量/出力抑制量”として PCS 内で管理するとともに、図３－７に示すように PCS 用カラー液晶モニタを用いて“見える化”を図った。



高岳フィールド（高岳製作所・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、高岳フィールドで評価試験を実施中であり、試験結果は良好である。

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（高岳製作所）

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、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。さらに、青森フィールドでのセンターサーバとの双方向通信による出力制御を開始し、データを収集中である。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

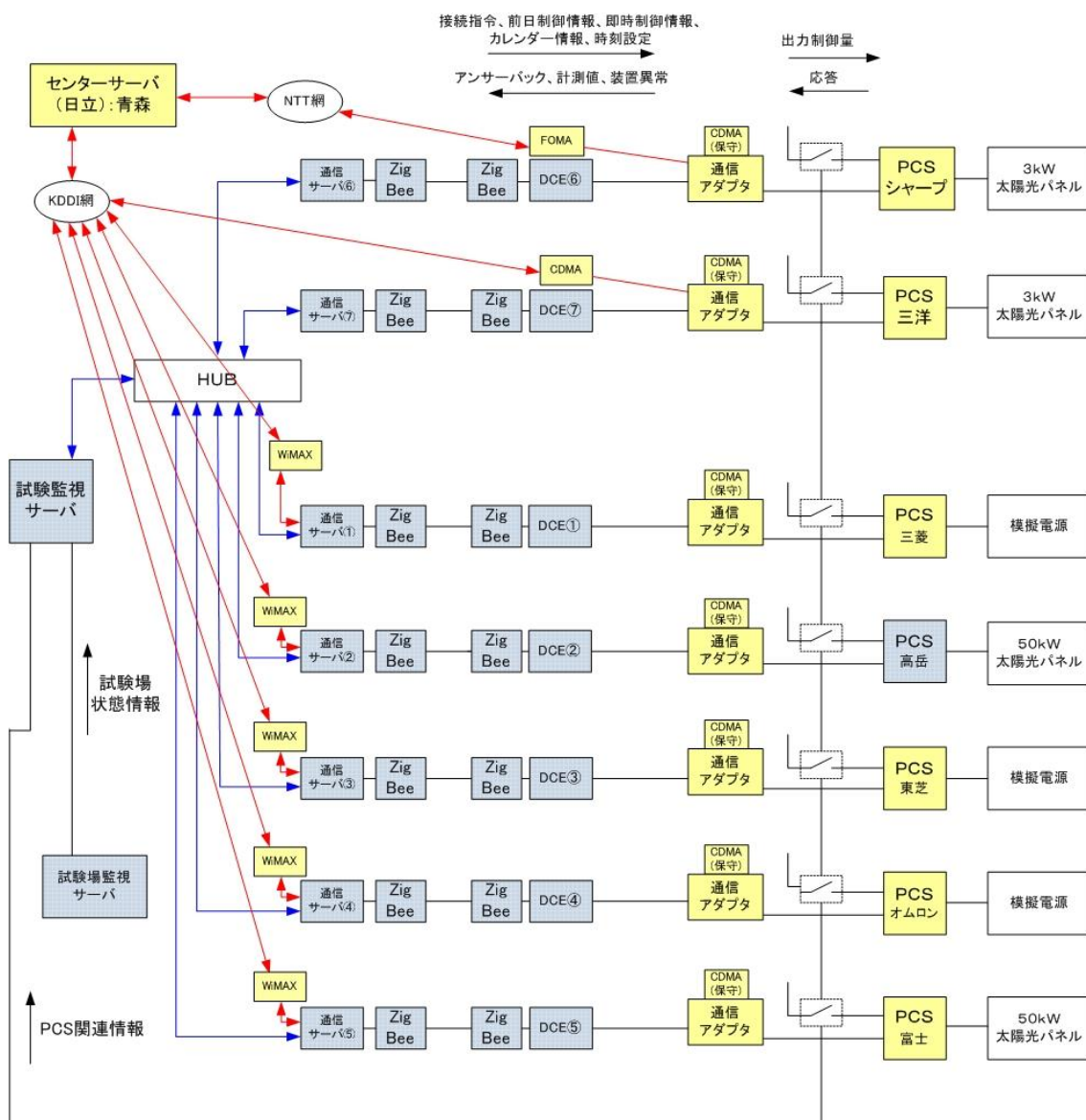


図3-12. 配電ネットワーク試験場でのシステム構成図

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 3－13～図 3－15 に示す。



図 3－13．PCS 外観

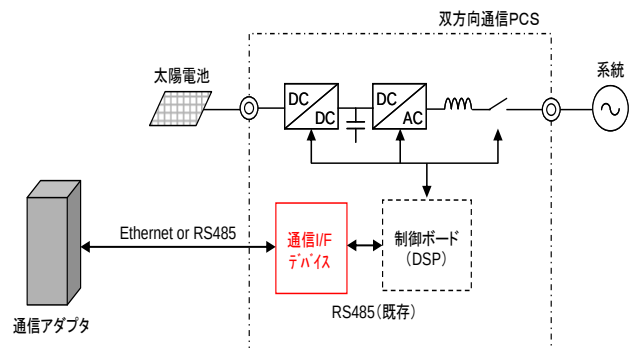


図 3－14．装置構成

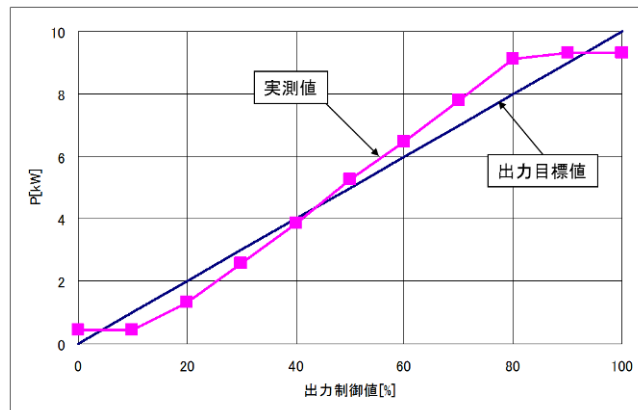


図 3－15．出力制御性能グラフ

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中であり、試験結果は良好である。

（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	関電エフィールド	良
②	高岳製作所	蓄電池用 PCS	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	定格容量 5kW	2 台



蓄電池



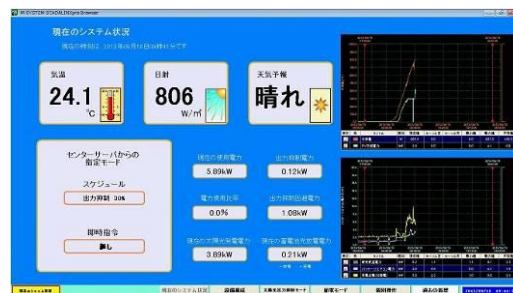
蓄電池用 PCS



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 3-16. 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行った。

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

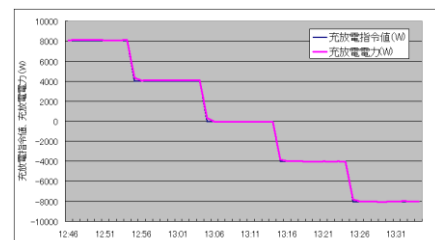


図 3-17. 定電力充放電試験

② 双方向通信出力制御機能を有する蓄電池用 PCS の開発 (高岳製作所)

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	定格容量 200kW	50kW PCS4 台並列運転

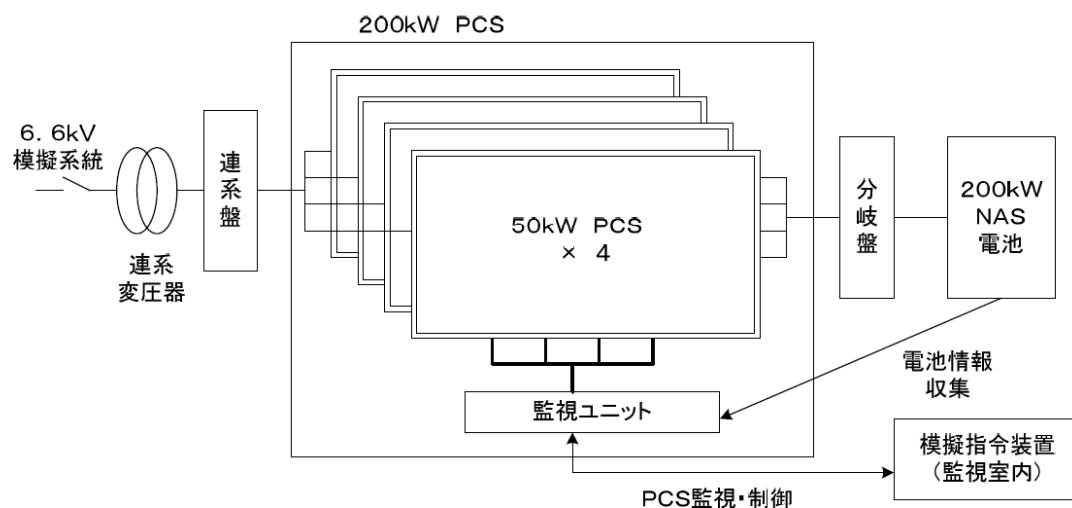


図 3－18．蓄電池用 PCS 主回路構成図

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 3－19 に示す。模擬蓄電池 SCADA を使用して、NAS 電池用 PCS に AFC 模擬信号（AFC 指令値（％））を送信し、有効電力制御を実施中であり、試験結果は良好である。



図 3－19．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

200kW NAS 電池

PCS 図 3 - 2 0 . 実証試験場での設置状況

(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	高岳フィールド	良 (工場試験)
②	富士電機	電圧依存型定力率 制御方式 PCS	高岳フィールド	良 (工場試験)

○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PV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。制御設計方針に基づき評価した結果、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V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 $K = \frac{1}{\cos\theta - \cos\theta_0}$ $\cos\theta = \text{設定力率} > 0.85$	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 $K = \frac{1}{\cos\theta - \cos\theta_0}$ $\cos\theta = \text{設定力率} > 0.85$
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）

- 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
- 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）
- 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）
- 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
- 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。

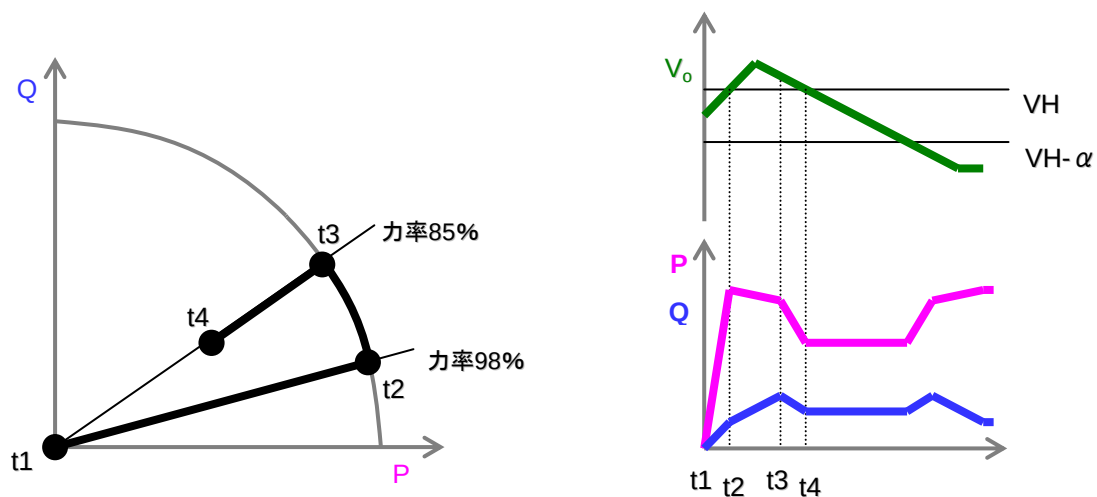


図 3－2 1．PCS の動作

①－2 試験

開発した PCS の電圧調整に関する動作・効果について工場試験を実施し、良好な結果を得られた。工場試験の実施項目は以下の通り。

- ・ハードウェア試験
- ・特性試験
- ・設定値変更試験
- ・設定値測定試験
- ・総合動作試験

また、高岳フィールドに設置した PCS の設置状況を図 3-22 に示す。今後は、系統側の条件を変えた動作試験を実施していく。



図 3-22. PCS の設置状況

② 電圧調整機能付き PCS の開発と試験評価（富士電機）

②-1 開発

今回開発した PCS を図 3-23 に示す。標準 PCS、通信ケーブル (シーケンス)、POD、MTD より構成される。

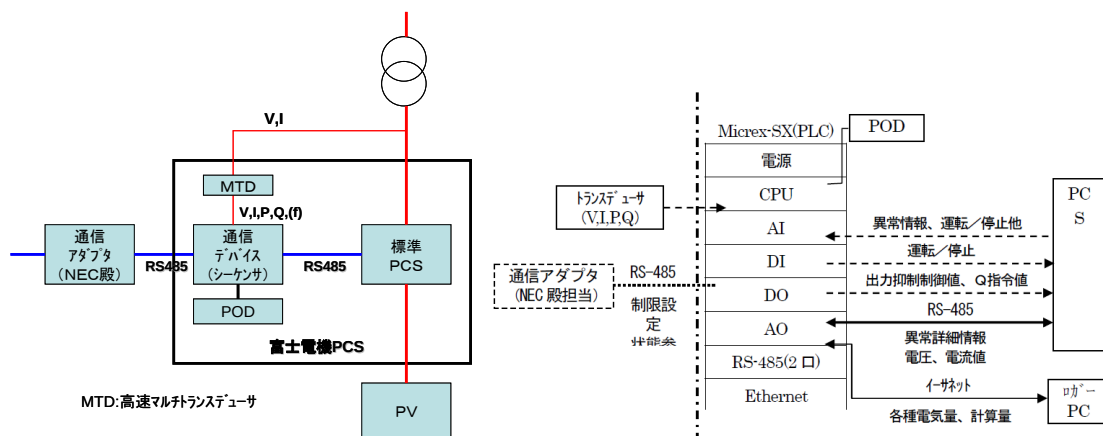


図 3-23. システム構成図

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

POD：各種整定値の設定、PCS、SX の状態表示、計測値表示を行う。

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。

ロガーPC：計測値、演算値等を SX より収集する。

②-2 試験

開発した PCS において、下記の工場試験を実施した。

- ・ ハードウェア試験
- ・ 通信アダプタとの通信機能試験
- ・ PCS 運転/停止動作試験
- ・ PCS 状態表示試験
- ・ 出力抑制試験

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 3-24 参照）、センターサーバ～通信サーバ～通信アダプタ～当社 PCS 間で、出力抑制制御が実行されることを確認した。現在、送受信データ状況を検証中である。引き続き、詳細試験を行い通信制御による出力抑制制御機能の評価を実施する予定である。また、電圧調整機能の実証試験を配電ネットワーク試験場において開始しており、現在 1 回目の実証試験結果を取り纏め中である。

今後、通信制御による出力抑制制御機能、および無効電力制御による電圧上昇抑制効果の評価を実施する予定である。

(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	関電工	PCS 出力制御システム	関電工フィールド	良
⑤	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
⑥	東芝	900MHz 帯特小無線	青森フィールド	良
⑦	沖電気工業	900MHz 帯特小無線	青森フィールド	良
⑧	住友電気工業	電力線通信（PLC）	青森フィールド 高岳フィールド	良
⑨	日本電気	通信アダプタ	青森フィールド 関電工フィールド 高岳フィールド	良
⑩	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
⑪	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 関電工フィールド 高岳フィールド	良
⑫	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 関電工フィールド 高岳フィールド	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 3－25 に示す。

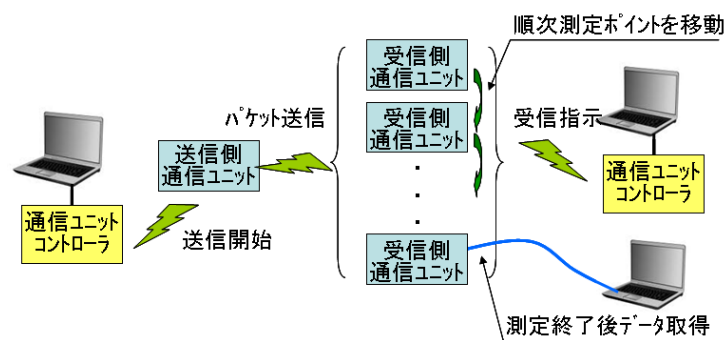


図 3－25 測定ツールの構成

①－２ 試験

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 3－26 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。

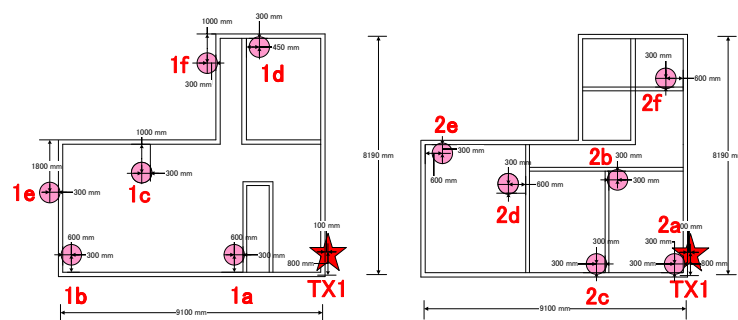


図 3－2 6．戸建て住宅の測定例

図 3－2 7 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。

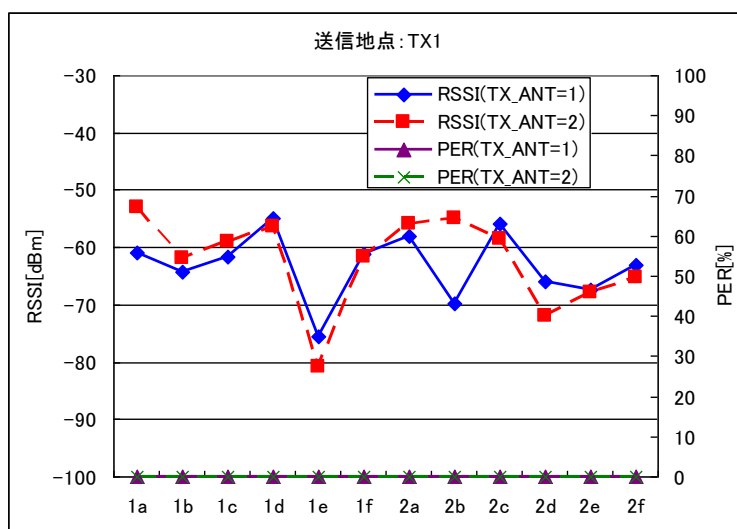


図 3－2 7．戸建て住宅の測定結果

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 3－28．特小 920MHz 帯無線機



図 3－29．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。

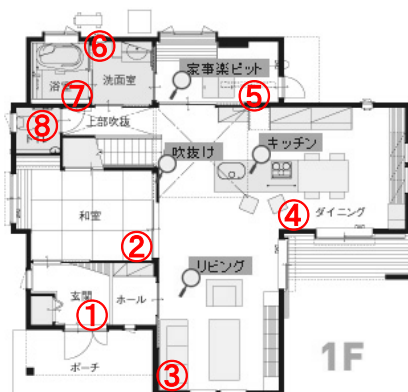


図 3－30．宅内伝搬環境（別途 2F）

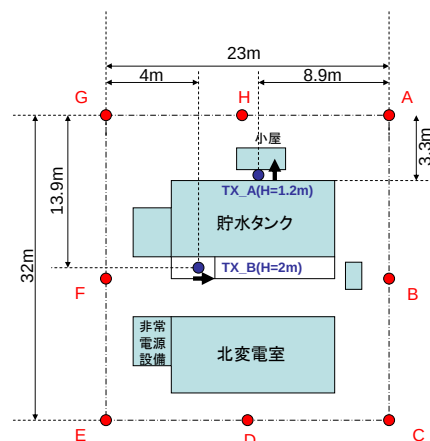


図 3－31．屋外伝搬環境

- ・ 宅内伝搬では建物外からの送信点 3 箇所、受信点 15 箇所 で RSSI、PER 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。

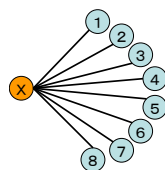
- ・屋外伝搬では送信点 2 箇所、受信点 9 箇所 で RSSI、PER を測定し、920MHz は PER 0～3%、無線 LAN は 1Mbps で PER 0～95%、11Mbps で PER 0～100% であった。

→ 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が、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)

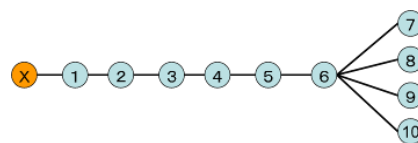


図 3 - 3 2. トポロジーの構成

- ・ 応答時間に関する結果 特小 920MHz が約 500ms～4s
無線 LAN が約 20ms～500ms
- ・ 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。

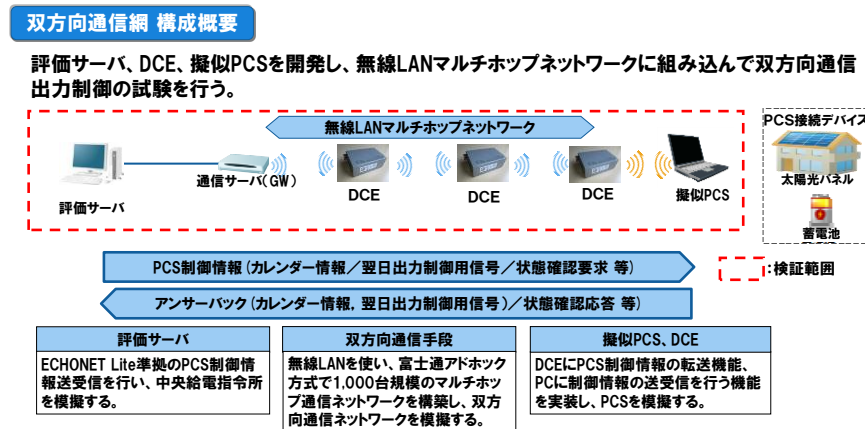


図 3－3 3. 双方向通信網構成概要

(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 3－3 4、図 3－3 5 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 3－3 6 に示す。

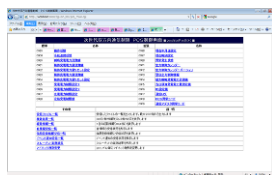


図 3－3 4. 評価サーバ
動作画面

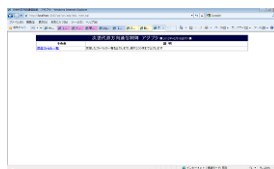


図 3－3 5. 疑似 PCS
動作画面



図 3－3 6. DCE の外観

③ー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

オフィス 2 階に評価用サーバ、オフィス外周に DCE と疑似 PCS を設置し、評価用サーバから疑似 PCS に対して定期的に 8 種類の PCS 制御信号を送信して通信成功率の平均値を測定し、測定結果と環境データ（最高気温、降水量、平均湿度）の間の相関有無を分析した。

結果、平均応答率は 98.1～100%であった。また、PCS 制御信号全種類の平均通信成功率と、最高気温、降水量、平均湿度それぞれの相関の有無について回帰分析を行った結果、直線回帰を確認する決定係数 R^2 の値は全て 0.06 以下となり、相関が低いことを示す結果となった。

④ 実建物設備を用いた双方向通信試験（関電工）

④－１ 開発

関電エフィールドにて、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。

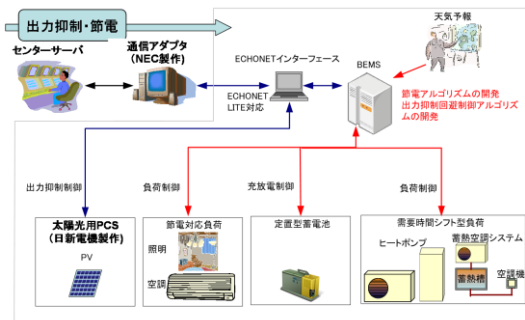


図 3-37. システム概要



図 3-38. 制御システム

④－２ 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

システム構築および電文の開発を用い、システム制御の実証試験を行った。また、需要家に設置された蓄電池を想定した双方向通信による実証試験を行い、太陽光発電電力の有効活用を検討・検証した。

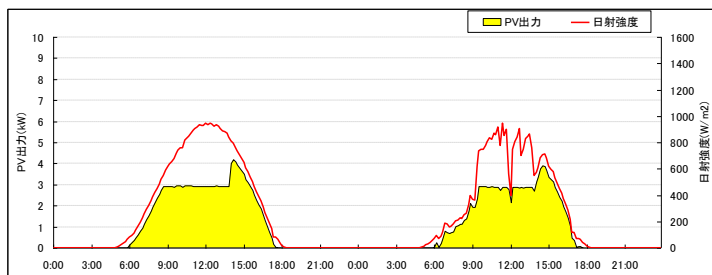


図 3-39. 出力抑制試験

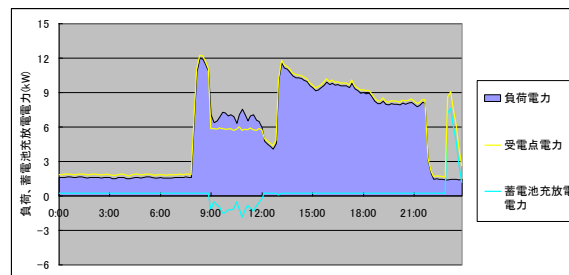


図 3-40. 節電試験

⑤ 青森フィールドにおける実証試験（日立製作所）

⑤-1 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。

⑤-2 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 3-7. 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 1 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 2 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。

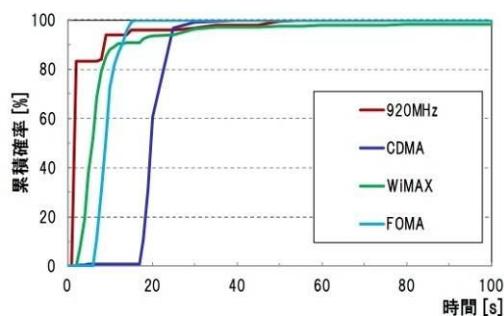


図 3－4 1．共通試験の応答速度比較

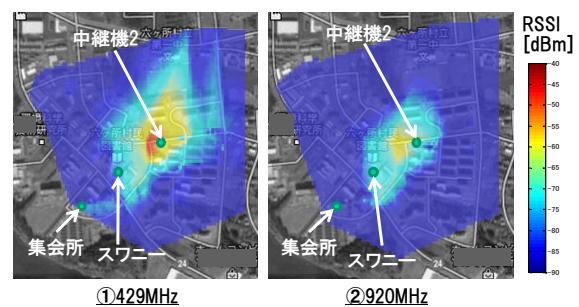


図 3－4 2．個別試験の電波伝搬特性

(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について、590 秒以内での制御応答を確認した。

⑥ 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）

⑥－１ 開発

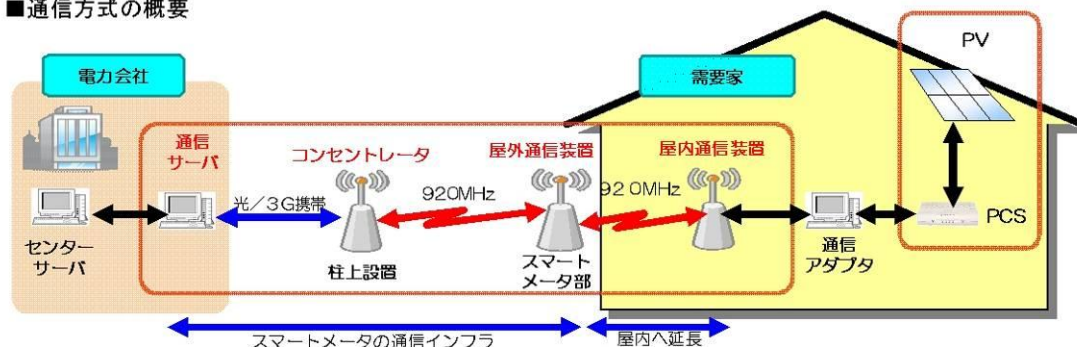
青森フィールドにおける検証を行う通信媒体のうち、900MHz 無線マルチホップについて、電波出力が 1mW のタイプの機能および性能検証を行うための通信サーバ、コンセントレータ、屋外通信装置、屋内通信装置の各通信装置を開発した。

⑥－２ 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 3 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。

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。センターサーバと屋内通信装置との双方向通信については、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）を除く期間においてセンターサーバからの要求に対してほぼ 100%の通信成功となっている。

■通信方式の概要



■実証試験構成図

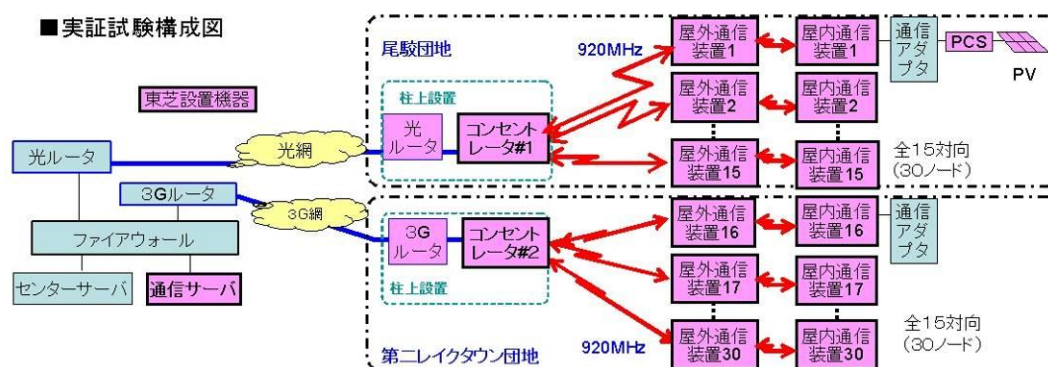


図 3 - 4 3 . 実証試験構成図

- ⑦ 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）

⑦-1 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。

⑦-2 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中である。

実験の結果、通信成功率は 99%以上となっており、出力制御に用いることが可能と判断している。今後、長期間の連続試験によって無線環境の変動に関するデータを取得していく予定である。

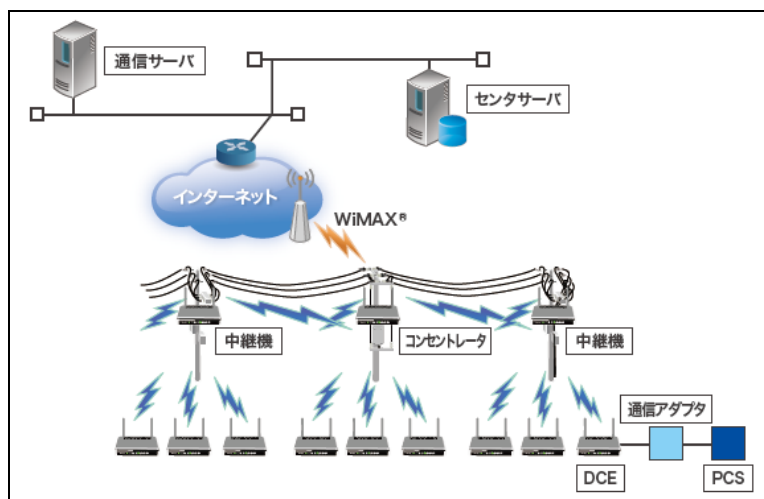


図 3-4 4. システム構成



図 3-4 5. 開発した無線機

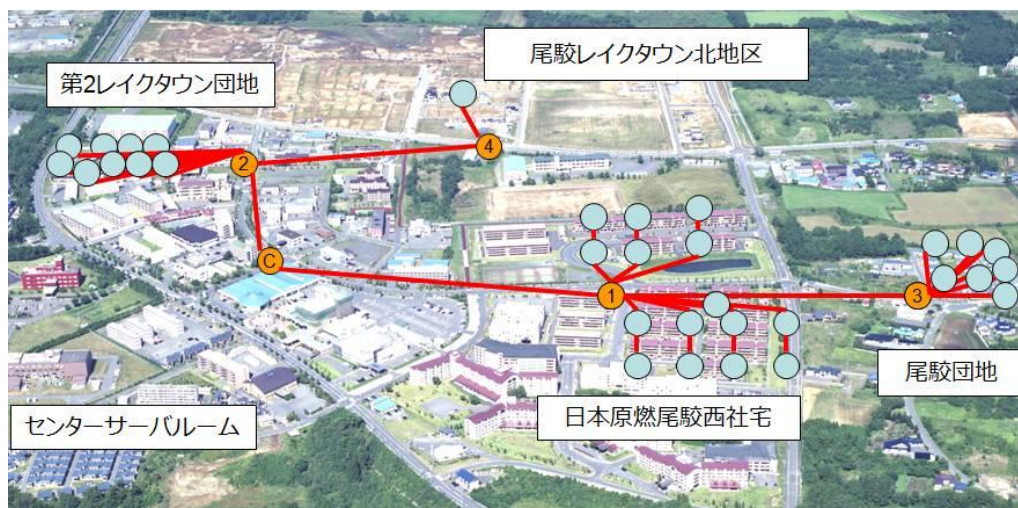


図 3-4 6. 青森フィールドにおける機器の設置状況
(青が DCE、橙がコンセントレータ、中継機を示す、赤線は転送経路の一例)

⑧ 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）

⑧-1 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 3-4 7、図 3-4 8 参照）



＜TWACS 方式 PLC 親装置＞ ＜G3 方式 PLC 親装置＞ ＜PLC 子機（DCE）＞

図 3－4 7．PLC 通信装置の設置状況



図 3－4 8．通信実証システム構成

⑧－2 試験

平成 24 年 12 月より青森フィールドでの通信実証を開始した。平成 25 年 7 月までの通信実証での PLC 区間の通信成功率を表 3－8 に示す。TWACS、G3 の両方式とも通信成功率 99.8%以上の結果であり、上位通信レイヤの再送手順と組み合わせて、信頼性の高い通信システムを構築可能である。

表 3－8．PLC 双方向通信実証の結果

PLC 方式	月	PCS 制御 シナリオ	PLC 区間の 通信成功率[%]
TWACS 方式	12	シナリオ 1	100.0
	1	シナリオ 2	99.98
	3	シナリオ 1	99.85
	4	シナリオ 2	100.0
	6	シナリオ 1	99.95
	7	シナリオ 2	100.0
G3 方式	12	シナリオ 1	100.0
	1	シナリオ 2	99.98
	3	シナリオ 1	99.87
	4	シナリオ 2	99.92
	6	シナリオ 1	99.87
	7	シナリオ 2	99.95

⑨ 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)

⑨－１ 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。

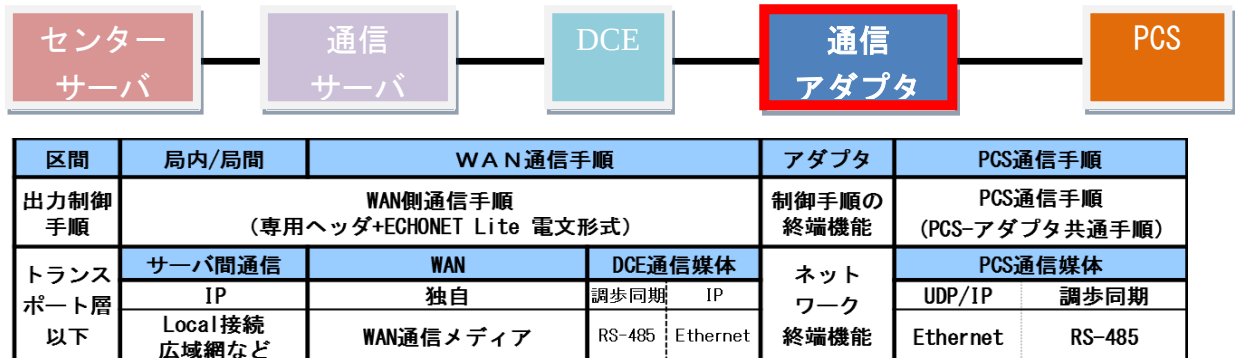


図３－４９．通信アダプタにおけるプロトコルスタックとシステム構成

・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。

⑨－２ 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。

・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。



図 3－50．NEC 製通信アダプタ装置
(試作機)



図 3－51．電気設備室への
設置事例

- ⑩ 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）

⑩－１ 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考えられることから、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。

⑩－２ 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継続中である。実証状況としては、電文の通信成功率 100%、応答時間は 1 秒台と十分な信頼性と性能が確保できている。引き続き、市販のインターネット回線上でのリアルタイム性の高い双方向通信による出力制御の実現可能性の検証を継続する。

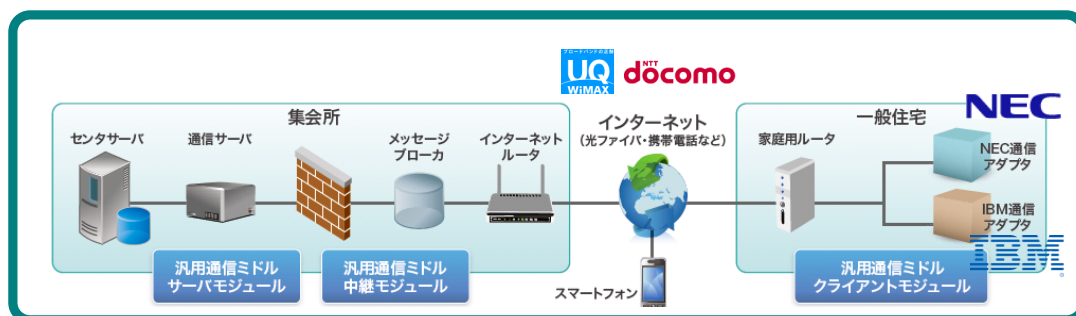


図 3－52．システム構成概要

⑪ 双方向通信に用いる通信手段の検討と基礎試験（KDDI）

⑪－１ 開発

広域サービス網（CDMA、WiMAX）を利用したセンターサーバから PV までの概要構成を図 3－53 に示す。センター側は、センターサーバ、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。実証試験システムでは、一部の需要家にはスマート PCS の応答を模擬できる DCE／端末を設置することで、通信アダプタの数以上に実測結果を収集する構成としている。

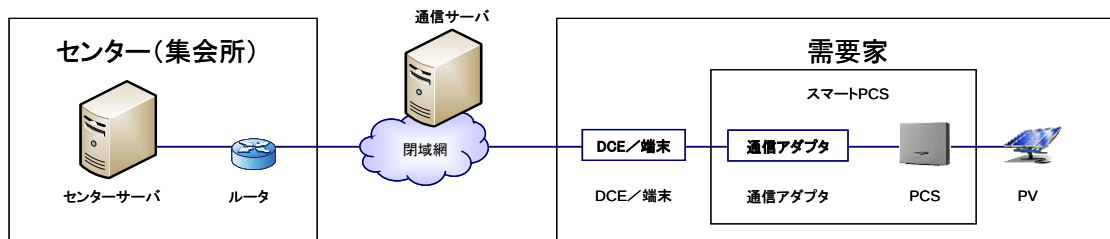


図 3－53．ネットワーク構成の概要

⑪－２ 試験

実証期間における試験実施内容は下記 2 点である。

- ・ 青森フィールドでの電波環境調査
- ・ 青森/高岳/関電エフィールドでの制御通信の記録

制御通信の試験内容については、PCS 出力制御用通信網の構築時期の違いとして 2 つのシナリオを想定し、毎日それぞれのシナリオに沿った試験として制御通信を配信し結果を記録した。

DCE／端末における平成 24 年 12 月 1 日～平成 25 年 7 月 31 日迄の制御通信の成功回数とその地点における初回の電波状況を下記に記す。どちらも通信応答に関し高い通信成功率であり、良好な結果が出ている。

表 3－9．DCE／端末における通信成功結果

	CDMA	WiMAX
測定地	基地局 500m圏内 鉄筋建屋内	基地局 1km圏内 木造建屋内
電波状況	○	△
通信応答	1127回／1128	1119回／1128

※電波状況 ○：ご利用可能です

△：建物周辺の地形、建物形状、建物内の利用階数・窓からの距離・利用場所等により通信しにくい場合や、圏外となる場合があります。

⑫ 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）

⑫－１ 開発

FOMA を利用した試験用通信ネットワークの構成を図３－５４に示す。

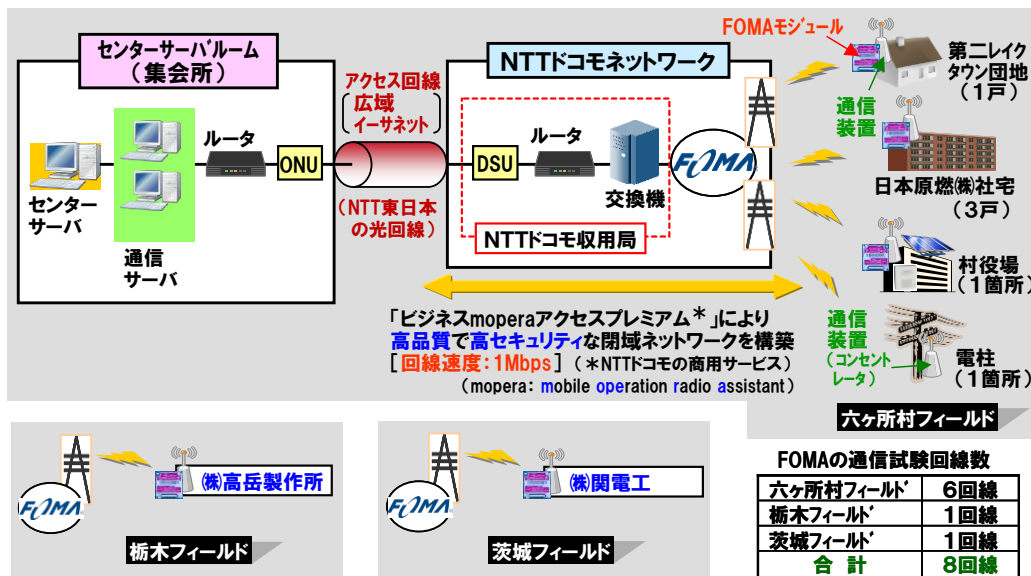


図３－５４. FOMA を利用した試験用通信ネットワークの構成

⑫－２ 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３－１０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した。

表３－１０. 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*
図 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、FOMA 通信データの分析結果を図３－５５に示す。(NTT ドコモのトラヒックレポートより)

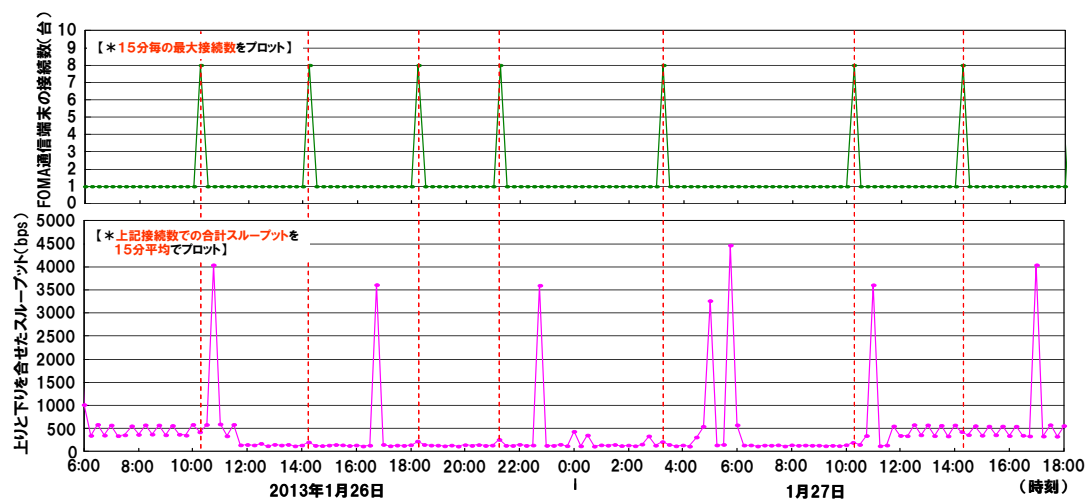


図 3－5 5．FOMA 通信データの分析結果

FOMA 通信端末の接続数が 8 台の時間帯は、センターサーバからの通信指令の時間帯に一致しており、その時のスループットのピークも観察される。さらに、他法人の FOMA 通信結果も鑑みると、FOMA は双方向通信として問題なく機能していると考えられる。

(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	NR I 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（NR I 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。

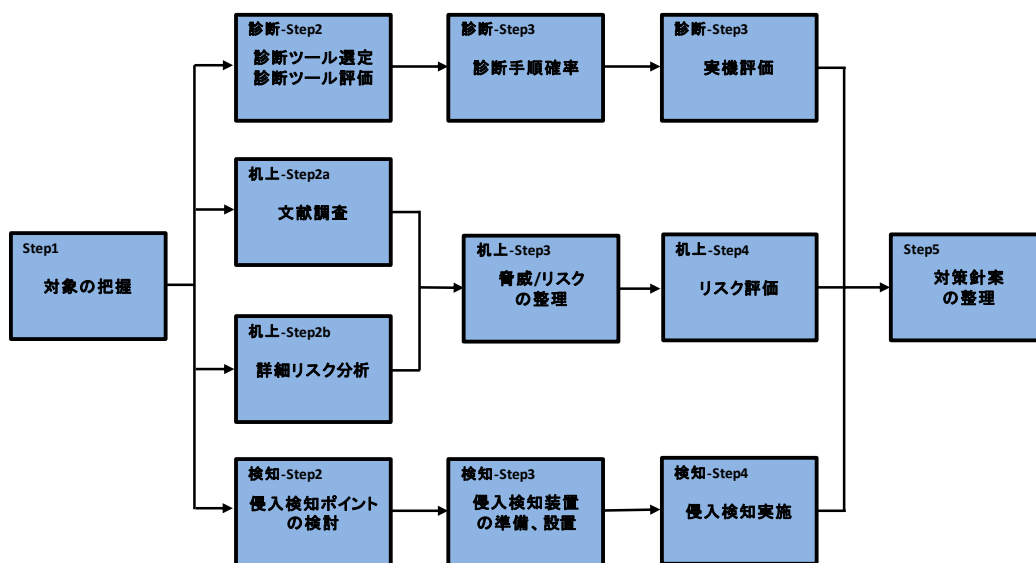


図 3-56. 進め方イメージ

「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3-57に示す。青森フィールドでは、インターネットからの攻撃を受けなかったことから、自社の検証環境にて攻撃ツールを用い、評価を行った。その結果、既存の機器やシグネチャでは、ファジングのような制御機器向けの専門的な攻撃の検知は出来なかったが、ノウハウを蓄積し、シグネチャのポリシーを適宜変えることで、検知が可能という状況が見えてきた。

実証事業当初、セキュリティのスコープも見えていない状況であったが、当実証事業を行った結果、リスクの整理、実際のシステムの脆弱性とその対策が明確になった。

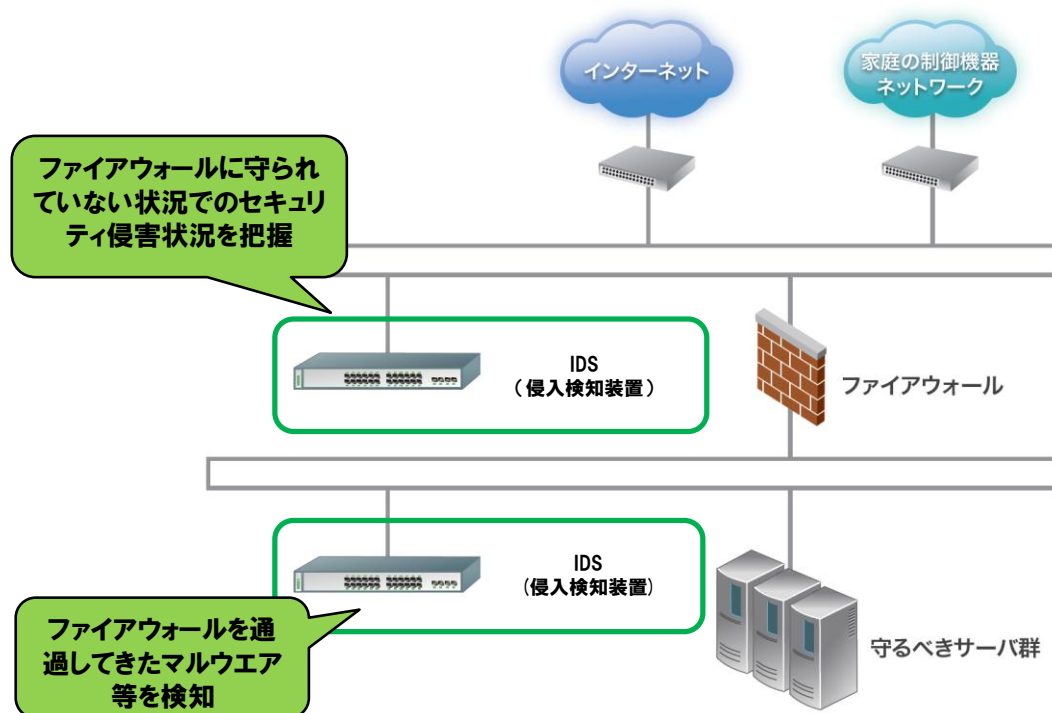


図 3－5 7．システム構成図

3－1－3 特許出願状況等

表 3－1 1．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	3	0	0	0
⑤サイバーセキュリテ ィ関連機器	0	0	0	0
全般	3	0	0	0
計	6	0	0	0

表 3－12. 論文、投稿、発表、特許リスト

	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

3－2 目標の達成度

表 3－13. 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標 (中間評価時点)	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。また現在、実環境へ PCS を設置しフィールド試験を実施中であり、結果は良好である。事業終了時には全評価が完了する見込みである。	達成
②通信による	・通信機能付き蓄電池用 PCS	充・放電電力制御方法や	達成

出力制御が可能な蓄電池用 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	主回路定格などの基本仕様ならびに通信機能仕様を検討し、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ており結果は良好である。今後は、実フィールドにおける試験および評価を実施し、事業終了時には完了する見込みである。	
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	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（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 を製作し、工場試験を実施した。今後は、実フィールドにおける試験および評価を実施し、事業終了時には完了する見込みである。	達成

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おいて試験を実施した。現在、年間を通じたデータの取得や各種条件下における試験および評価を実施中であり、結果は良好である。事業終了時には全評価が完了する見込みである。	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てそれぞれ検知結果の評価を行い結果は良好であった。今後はシステムの試験を引き続き実施し、事業終了時には評価を完了する見込みである。	達成

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。今後の事業化の前提として、現在検討が進められている電力自由化後の電力系統の姿も見据えながら、太陽光発電の双方向通信による出力制御の必要性について、広く関係者と議論を進めていくことが必要である。併せて、誰が太陽光発電の出力制御を主体となっていくのか、設置した PCS をどのような方法で登録するのかなど、制度面からの設計も平行して検討を進めていく必要がある。また、既に普及している太陽光発電設備も出力制御の対象とするのか、もし対象とするならば、どのような方式で行うのかなどもについても検討する必要がある。

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用蓄電池用 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 研究開発計画

本実証事業は、平成 23 年度から平成 25 年度の 3 カ年で実施する。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、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う。

表 5-1. 研究開発計画

		H23年度	H24年度	H25年度
		中間報告		最終報告
実証事業	次世代型双方向通信 出力制御開発	課題⑤ 通信による出力制御機能を有する住宅用・産業用の太陽光発電PCSの開発、出力制御	PCS仕様検討 PCS設計、基礎試験、製作、実証フィールドの構築	試験場、実フィールドへの設置・試験 まとめ
	課題⑥ 蓄電池等の通信制御	PCS仕様検討 PCS設計、基礎試験、製作	試験場、実フィールドへの設置・試験	まとめ
	課題⑦ 電圧調整機能付きPCS開発・実証	シミュレーション検討	PCS仕様検討 PCS設計、試験、製作	試験場での試験 まとめ

※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

○要素技術の計画内容

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行う。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行う。

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行う。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行う。

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）の開発を行って、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する。

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と考えられる。

本実証試験では、種々の双方向通信の手段に対し、住宅地・商業地・農村などの様々な地域環境や、通信先の第一義的对象である太陽光発電用 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・機能の評価を行う。

試験は、参画企業の工場などの敷地内や、保有ビルなどにおいて、適切な試験系を構築して実施する。

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・評価を実施する。

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。

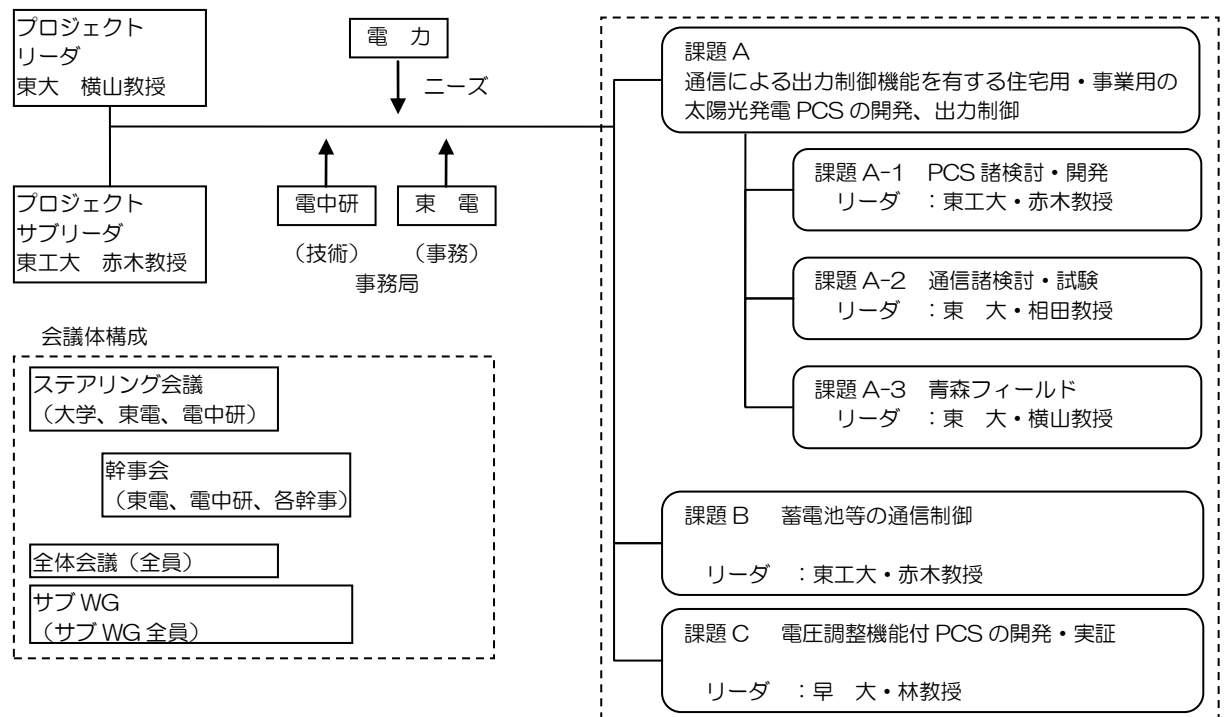


図5-1. 研究開発実施体制

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、高岳製作所、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、高岳製作所
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 社が参画しており、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可能となった。

(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ている。

5－3 資金配分

研究予算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、資金の見積を行なっている。さらに各法人間にて十分に調整を行った上で研究予算を配分しており、妥当な配分であると考えている。

表 5－3. 資金度配分

(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	6.4	54.3
②通信による出力制御が可能な蓄電池用 PCS	30.9	7.9	3.8	42.6
③電圧調整機能付き PCS	1.9	5.2	4.4	11.5
④双方向通信機器	368.4	99.8	76.5	544.7
⑤サイバーセキュリティ関連機器	49.6	36.6	8.5	94.7
合計	491.3	156.9	99.6	747.8

5－4 費用対効果

PCSおよび通信機器に関わる主要国内メーカおよび太陽光発電のPCSの出力制御のニーズもとである国内全電力会社の参加により、非常に効率的かつ実効的に実施することができている。

5－5 変化への対応

2012 年 7 月より再生可能エネルギーの固定価格買取制度が導入され、太陽光発電設備の導入量が増加しているが、太陽光発電の出力抑制を必要とする時期までのリードタイムを見込んでいることから、現時点において本事業の目的に影響を及ぼすことはない。また、本事業では、現時点において考えられる全ての通信方式について PCS との双方向通信が可能であることを確認していることから、技術動向、社会情勢、市場のニーズ変化に対して柔軟に対応できる素地を有している。