

次世代型双方向通信出力制御実証事業
事後評価報告書
(案)

平成27年 月
産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している次世代型双方向通信出力制御実証事業は、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応じて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）を開発するため、平成23年度から平成25年度まで実施したものである。

今回の評価は、この次世代型双方向通信出力制御実証事業の事後評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からなる次世代型双方向通信出力制御実証事業事後評価検討会（座長：大山 力 横浜国立大学大学院工学研究院教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ（座長：渡部 俊也 東京大学政策ビジョン研究センター教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成27年 月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

委 員 名 簿

座長	渡部 俊也	東京大学政策ビジョン研究センター教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学工学研究院グリーン水素研究センター長 ・ 特任教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所人間・生活研究本部長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター副所長・教授
	高橋 真木子	金沢工業大学虎ノ門大学院工学研究科教授
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	西尾 好司	株式会社富士通総研経済研究所主任研究員
	森 俊介	東京理科大学理工学研究科長

(座長除き、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

次世代型双方向通信出力制御実証事業事後評価検討会
委員名簿

座長	大山 力	横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授
	安芸 裕久	国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 安全科学研究部門 エネルギーシステム戦略グループ 主任研究員
	伊藤 敏憲	株式会社伊藤リサーチ・アンド・アドバイザー 代表取締役
	植田 譲	東京理科大学 工学部第一部 電気工学科 講師
	加藤 丈佳	名古屋大学エコトピア科学研究所 グリーンシステム部門 教授

(座長除き、五十音順)

事務局：経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課

次世代型双方向通信出力制御実証事業の評価に係る省内関係者

【事後評価時】

(平成27年度) 【今回】

資源エネルギー庁 電力基盤整備課電力需給・流通政策室長 江澤 正名 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 岩松 潤

【中間評価時】

(平成25年度)

資源エネルギー庁 電力基盤整備課電力需給・流通政策室長 井上 悟志 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 飯村 亜紀子

【事前評価時】 (事業初年度予算要求時)

資源エネルギー庁 電力基盤整備課電力需給・流通政策室長 吉川 徹志 (事業担当室長)

次世代型双方向通信出力制御実証事業事後評価

審 議 経 過

○第1回事後評価検討会（平成27年9月4日）

- ・評価検討会の公開について
- ・評価の方法等について
- ・次世代型双方向通信出力制御実証事業の概要について

○第2回事後評価検討会（平成27年10月19日～10月30日：書面審議）

- ・評価報告書(案)について

○産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

（平成27年 月 日）

- ・評価報告書(案)について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ 委員名簿

次世代型双方向通信出力制御実証事業事後評価検討会 委員名簿

次世代型双方向通信出力制御実証事業の評価に係る省内関係者

次世代型双方向通信出力制御実証事業事後評価 審議経過

	ページ
事後評価報告書概要	i
第1章 評価の実施方法	
1. 評価目的	2
2. 評価者	2
3. 評価対象	2
4. 評価方法	3
5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準	3
第2章 プロジェクトの概要	
1. 事業の目的・政策的位置付け	6
2. 研究開発等の目標	9
3. 成果、目標の達成度	12
4. 事業化、波及効果について	67
5. 研究開発マネジメント・体制等	68
6. 費用対効果	71
第3章 評価	
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	73
2. 研究開発等の目標の妥当性	74
3. 成果、目標の達成度の妥当性	75
4. 事業化、波及効果についての妥当性	76
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	77
6. 費用対効果の妥当性	78
7. 総合評価	79
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	80
第4章 評点法による評点結果	82
参考資料 次世代型双方向通信出力制御実証事業 事後評価の概要	

事後評価報告書概要

事後評価報告書概要

プロジェクト名	次世代型双方向通信出力制御実証事業			
上位施策名	再生可能エネルギーの安定供給確保			
事業担当課	資源エネルギー庁 電力基盤整備課			
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 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応じて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実証試験を実施する。				
予算額等（補助（補助率：1/2））				（単位：千円）
開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成23年度	平成25年度	平成25年度	平成27年度	東京大学等
H23FY 予算額	H24FY 予算額	H25FY 予算額	総予算額	総執行額
800,000	459,158	108,000	1,367,158	491,329

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

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タップ動作への影響、SVC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	達成

			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。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無
なし
<共通指標>

論文数
9

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

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、余剰電力対策としての出力抑制は不可欠である一方、発電事業者にとっては発電機会の損失であるため、事業者間における抑制負担の公平性や全体最適な運用が可能となる技術の開発が求められる。

その上で、通信を用いた太陽光発電出力制御技術の開発は国が積極的に関与して取り組むべき課題であり、補助事業として妥当と考えられる。

2. 研究開発等の目標の妥当性

PV、蓄電池の遠隔制御に不可欠な基本的要素技術や複数の通信手段を用いた技術が開発目標として適切に設定されている。

一方、基本的には、既存の技術の応用で達成可能と思われる目標設定であり、実用性・先進性の観点からは、多数のPCSとの双方向通信の実用性の検証を開発目標とすべきであったと考えられる。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

工場試験だけでなく実フィールドにおいて異なる通信方式による双方向通信について出力制御が可能であることを実証しており、当初の目標が達成されている。

また、サイバーセキュリティ対策についても想定される攻撃に対する保護機能を実証できており、評価できる。

なお、論文・学会発表が少なく、外部専門家との間で十分な議論がされていないと考えられ、幅広く実証成果を利活用できるよう、発表機会を増やして欲しい。

さらに、今後は国際標準化や海外への発信等を視野に入れて欲しい。

4. 事業化、波及効果の妥当性

国内の多くのメーカーが本事業に参画しており、業界としての事業化に向けての基盤となっている。すべての要素技術において実用性に適う実証結果が得られており、再生可能エネルギーの大量導入に資することが期待され、評価できる。

なお、国内外での事業化に向け、採用すべき通信方式などについて、総合評価があってもよかったと考える。

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

多くの企業、電力会社及び大学等による十分な実施体制が構築されており、すべての対象事業において妥当な結果が得られていることから評価できる。

なお、「電圧調整機能付きPCS」については事業者が2社しか参加しておらず、資源投入も小さかったため、今後の海外展開を見据えた場合、より多くの資源を投入してもよかったと考える。

また、「通信による出力制御が可能な太陽光用PCS」については事業者が7社担当しており、各社の現有PCSでの動作が実証されているが、将来的にどのような方式とすべきか、海外展開も含め、今回の成果に基づき、今後の開発方針等に関する提言があってもよかったと考える。

6. 費用対効果の妥当性

産学官の連携の下、効率的に事業が推進されており、本研究の成果により、適切な出力抑制の実施と不必要な出力抑制の低減が期待され、太陽光発電システムの有効利用と電力の安定供給につながることを期待される。

また、当初予算と比較して、執行率は53%程度であり、適切な予算計画であったとすれば、費用対効果が高く、効率的な研究が実施できていると言える。

なお、本事業の効果は、多数のPCSを含むPCS群全体として、目標とする制御が実施できるか否かによるため、その意味では今回の成果だけでは、本事業の真の費用対効果を評価することは難しい。

7. 総合評価

本事業は再生可能エネルギーの大量導入のために緊急に必要となる技術であり、設定された目的、並

びに目標はいずれも事業化に適う成果をあげて達成されており、実証事業は妥当な成果が得られたと評価できる。

また、多くのPCSメーカーが参画している点も、業界としての事業化に向けての基盤となっており評価できる。

なお、海外においても出力制御や電圧調整機能付きPCSの導入は検討されており、本事業の成果を社会に還元するためには、国際標準化が必要不可欠であるとする。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

本事業において、出力制御技術が実用化できることが実証されたと考えられ、通信方式の決定や出力制御システムの標準化を速やかに進め、成果を早期に活用できる体制の構築を求める。

また、太陽光発電システムは20年以上の長期間の運用を想定しているため、将来の技術革新や新技術の導入に柔軟に対応できる出力制御方式や機器構成とすることが期待される。

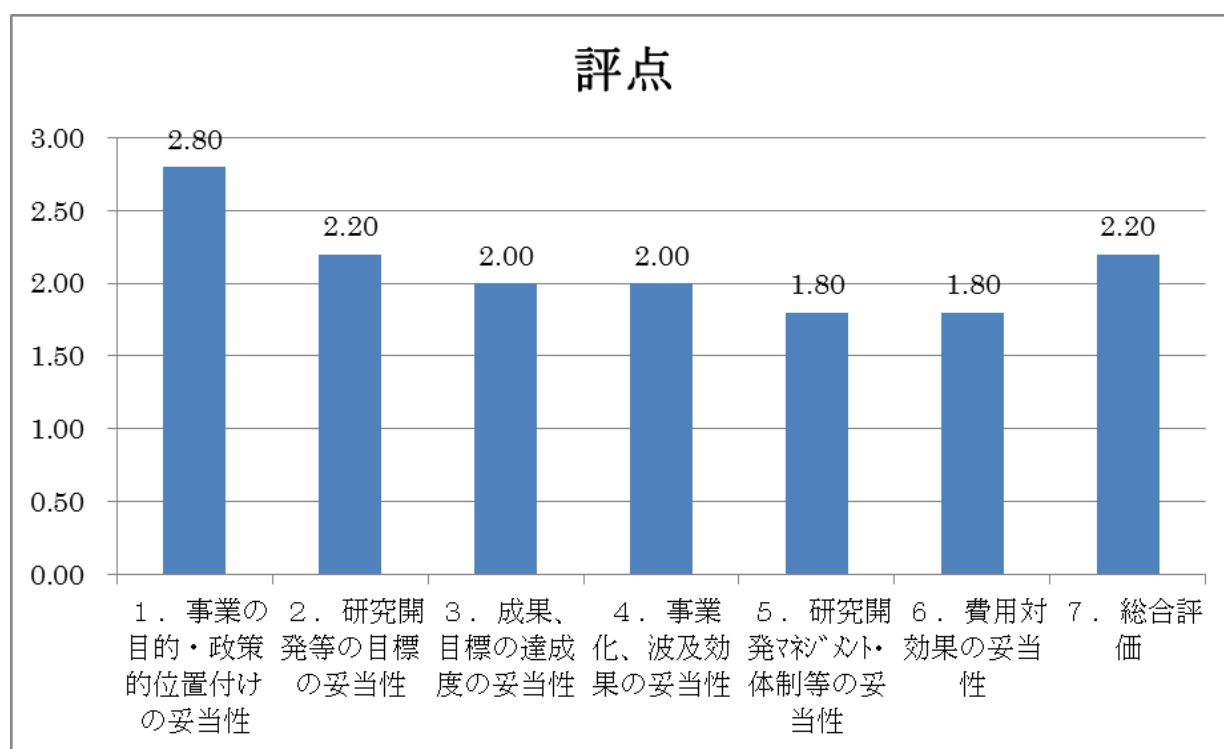
さらに、住宅用PVも含め、PV群全体としての制御の実現可能性の検証等が期待される。

なお、得られた成果については国際標準化を見据えるとともに、サイバーセキュリティ対策については引き続き検討を進めていく必要がある。

評点結果

評点法による評点結果 「次世代型双方向通信出力制御実証事業」

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.80	3	2	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.20	2	2	3	3	1
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.00	2	2	2	2	2
4. 事業化、波及効果の妥当性	2.00	2	1	2	3	2
5. 研究開発マネジメント体制等の妥当性	1.80	2	2	2	2	1
6. 費用対効果の妥当性	1.80	2	1	2	3	1
7. 総合評価	2.20	2	2	2	3	2



第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改定、以下「評価指針」という。）に基づき、以下のとおり行われた。

1. 評価目的

評価指針においては、評価の基本的考え方として、評価実施する目的として

- (1) より良い政策・施策への反映
- (2) より効率的・効果的な研究開発の実施
- (3) 国民への技術に関する施策・事業等の開示
- (4) 資源の重点的・効率的配分への反映

を定めるとともに、評価の実施にあたっては、

- (1) 透明性の確保
- (2) 中立性の確保
- (3) 継続性の確保
- (4) 実効性の確保

を基本理念としている。

プロジェクト評価とは、評価指針における評価類型の一つとして位置付けられ、プロジェクトそのものについて、同評価指針に基づき、事業の目的・政策的位置付けの妥当性、研究開発等の目標の妥当性、成果、目標の達成度の妥当性、事業化、波及効果についての妥当性、研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性の評価項目について、評価を実施するものである。

その評価結果は、本プロジェクトの実施、運営等の改善や技術開発の効果、効率性の改善、更には予算等の資源配分に反映させることになるものである。

2. 評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、プロジェクトの目的や研究内容に即した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある5名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課が担当した。

3. 評価対象

次世代型双方向通信出力制御実証事業（実施期間：平成23年度から平成25年度）を評価対象として、研究開発実施者（東京電力株式会社）から提出されたプロジェクトの内容・成果等に関する資料及び説明に基づき評価した。

4. 評価方法

第1回評価検討会においては、研究開発実施者からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第2回評価検討会においては、それらを踏まえて「プロジェクト評価における標準的評価項目・評価基準」、今後の研究開発の方向等に関する提言等及び要素技術について評価を実施し、併せて4段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準

評価検討会においては、経済産業省産業技術環境局技術評価室において平成25年4月に策定した「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準について」のプロジェクト評価（中間・事後評価）に沿った評価項目・評価基準とした。

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

- (1) 事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。
 - ・事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
 - ・事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）
 - ・社会的・経済的意義（実用性等）
- (2) 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。
 - ・国民や社会のニーズに合っているか。
 - ・官民の役割分担は適切か。

2. 研究開発等の目標の妥当性

- (1) 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。
 - ・目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
 - ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

- (1) 成果は妥当か。
 - ・得られた成果は何か。
 - ・設定された目標以外に得られた成果はあるか。
 - ・共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。
- (2) 目標の達成度は妥当か。
 - ・設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

- (1) 事業化については妥当か。
- ・事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。
- (2) 波及効果は妥当か。
- ・成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
 - ・当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

- (1) 研究開発計画は適切かつ妥当か。
- ・事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。
 - ・採択スケジュール等は妥当であったか。
 - ・選別過程は適切であったか。
 - ・採択された実施者は妥当であったか。
- (2) 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。
- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
 - ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
 - ・目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
 - ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。
- (3) 資金配分は妥当か。
- ・資金の過不足はなかったか。
 - ・資金の内部配分は妥当か。
- (4) 変化への対応は妥当か。
- ・社会経済情勢等周辺の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
 - ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 費用対効果の妥当性

- (1) 費用対効果等は妥当か。
- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
 - ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。

7. 総合評価

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

第2章 プロジェクトの概要

第2章 プロジェクトの概要

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。

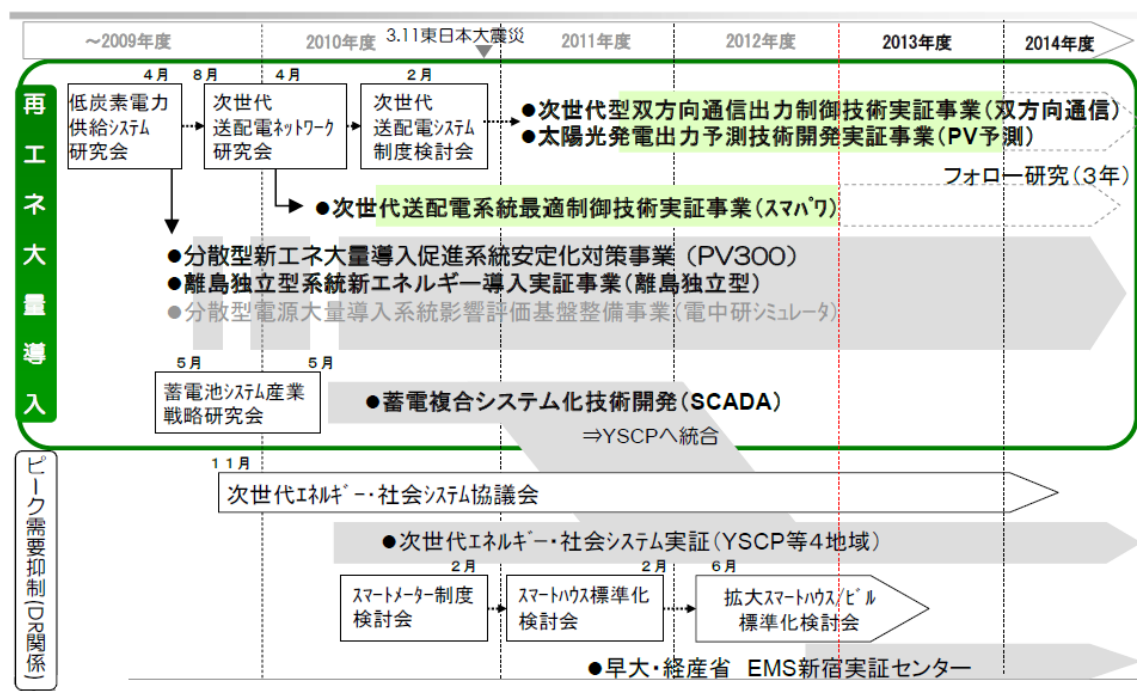


図 1 - 1. 実証プロジェクトの国の研究会との関係と実証期間

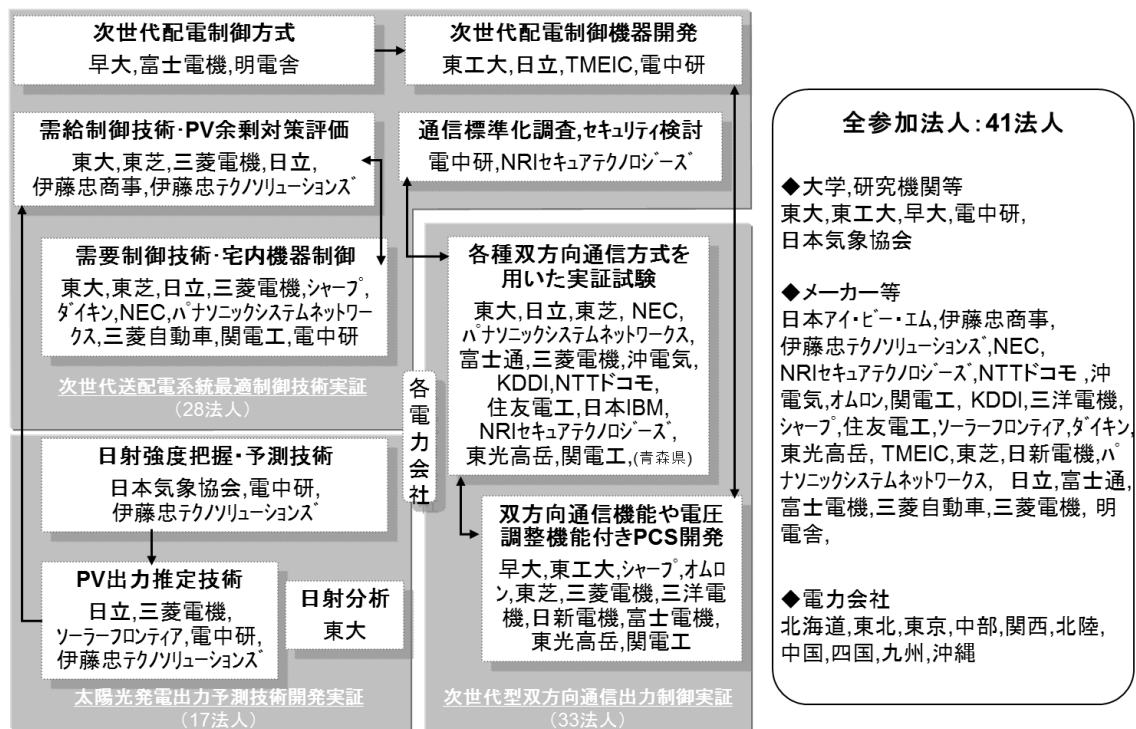


図 1 - 2. 次世代送配電制御、次世代双方向通信、PV出力予測の実証体制

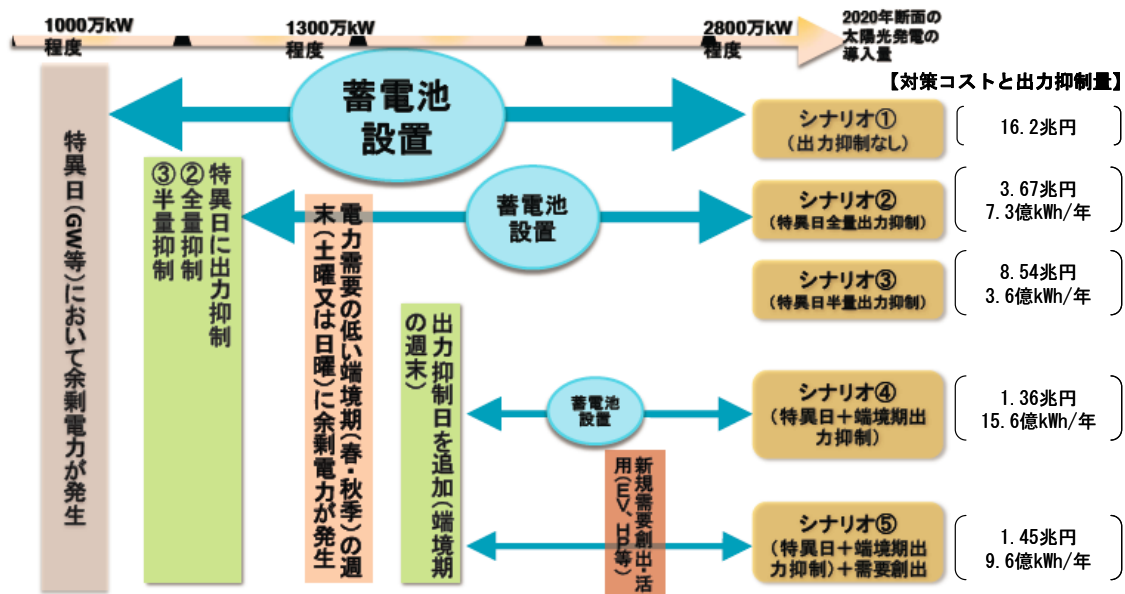


図 1 - 3. 系統安定化対策化シナリオと余剰電力対策量試算の考え方

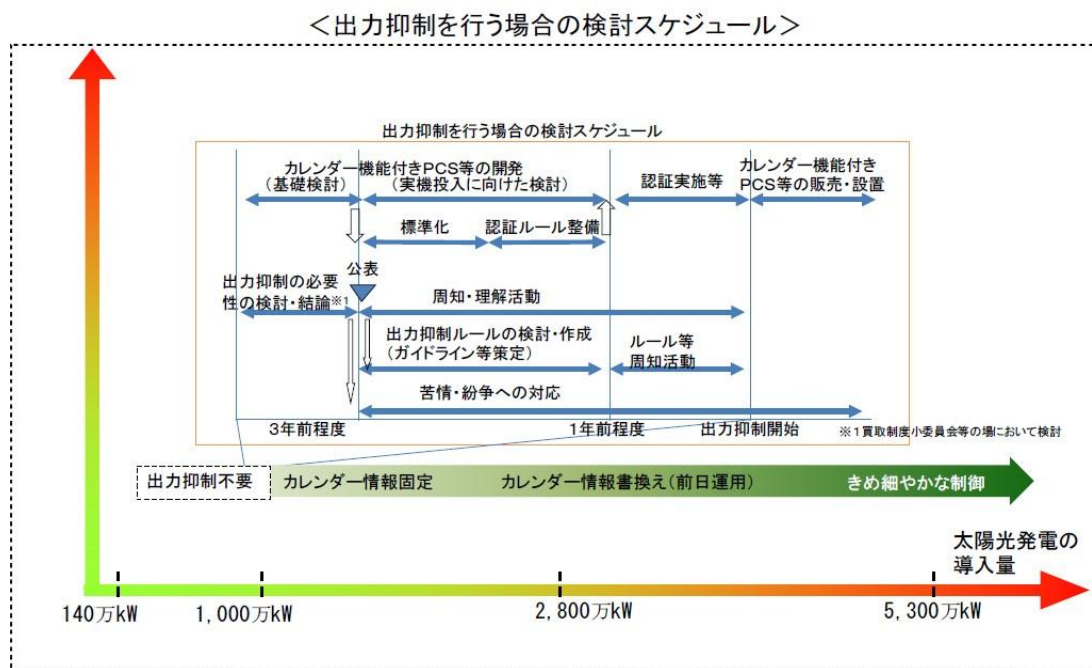


図 1 - 4. 出力抑制を行う場合の検討スケジュール

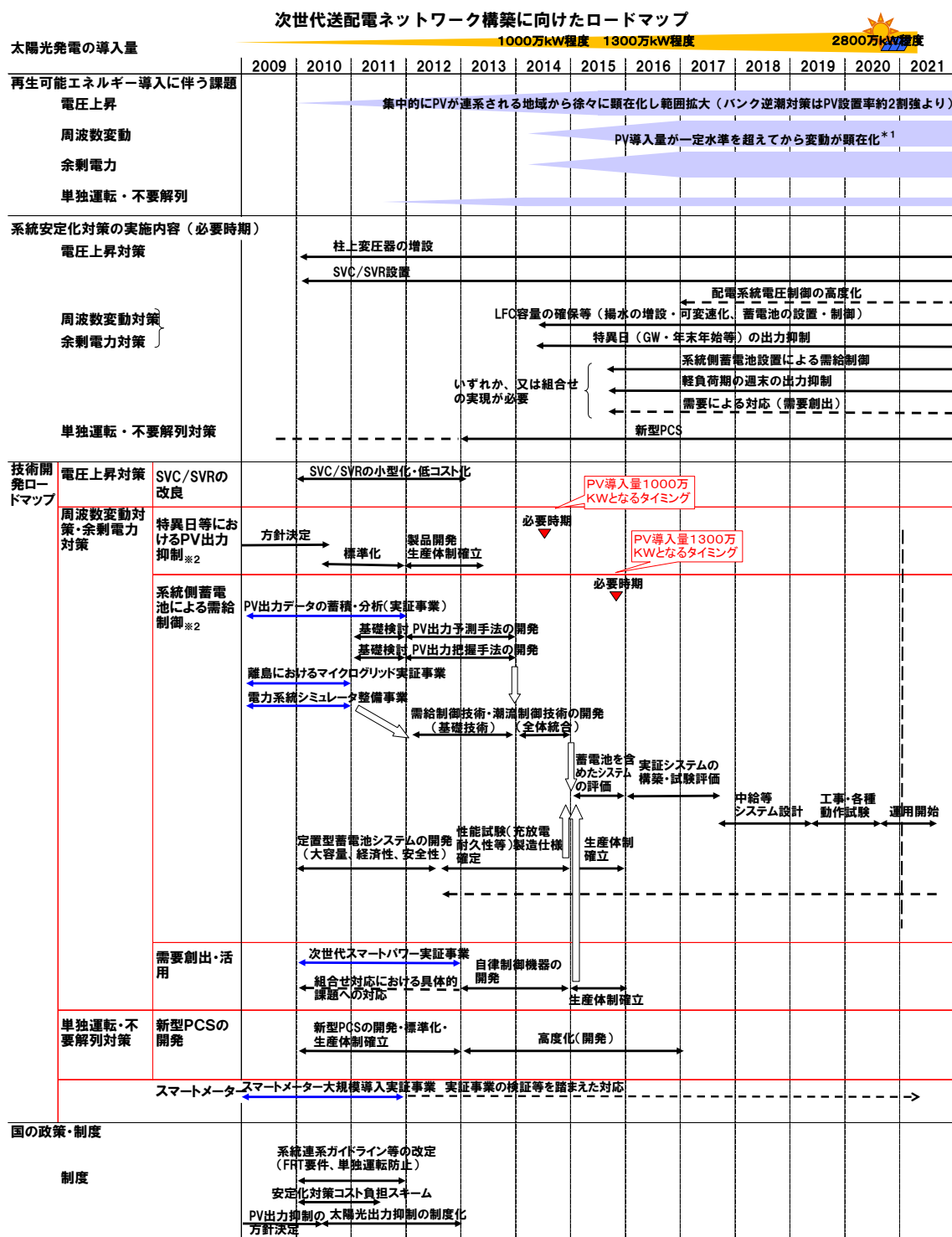


図1-5. 次世代送配電ネットワーク構築に向けたロードマップ

2 研究開発等の目標

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。

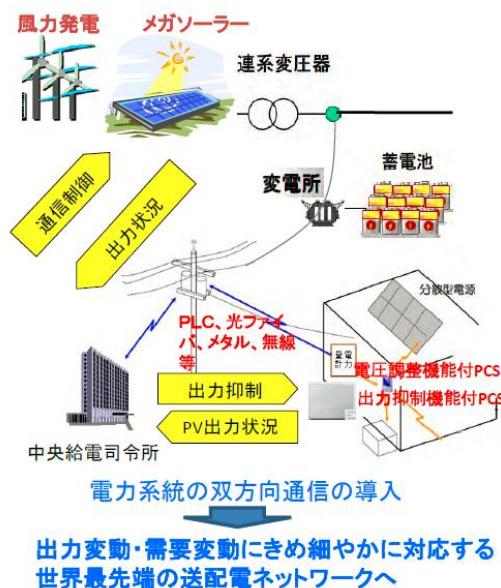


図 2－1．実証概要

(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	・シミュレーション等の検	選定された制御方式を具備し

きPCS	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	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。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

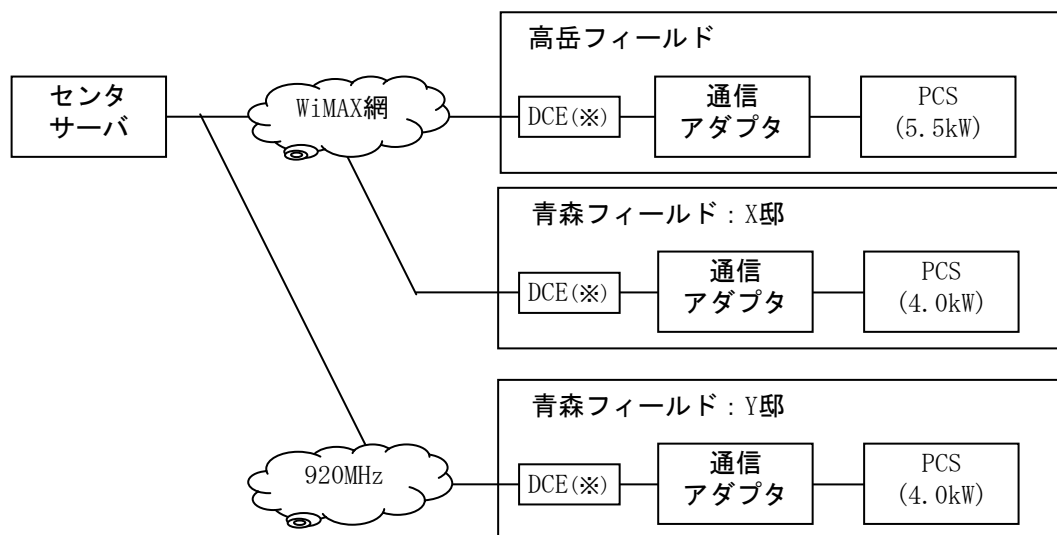
通信アダプタからの指示により、即時に出力制御を実施する通信制御方式の太陽光発電用PCSを2機種（4.0kWタイプと5.5kWタイプ）開発した。

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

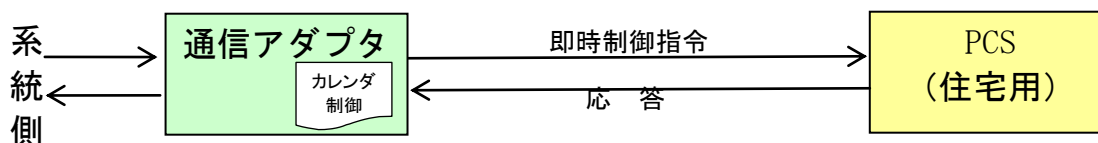


図3-2. プロトコル仕様

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）

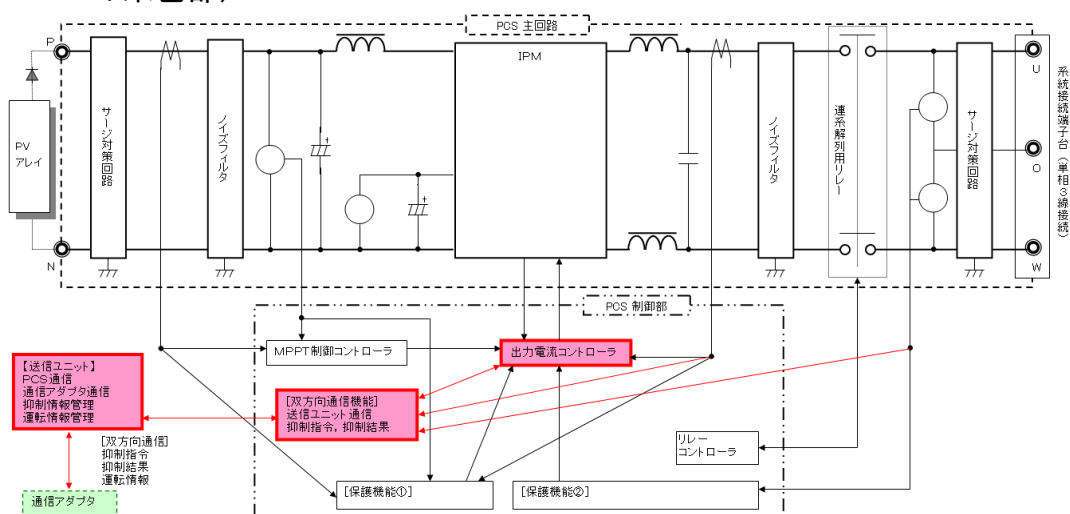


図 3 - 4. PCS回路図

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。

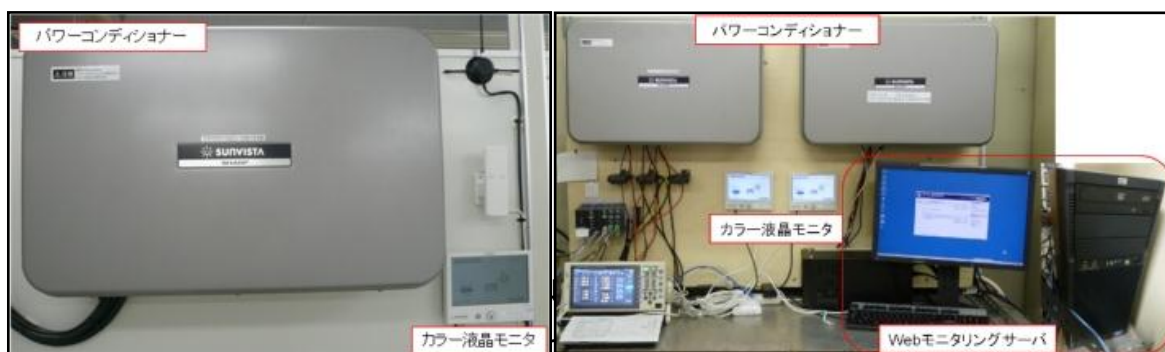




図 3-7. カラー液晶モニタ 開発画面の一例

④-2 試験

シャープWeb モニタリングサービス（※）を利用して、多数台のPCSに対して一括した出力制御運転を実現できることを目的に試験を行った。

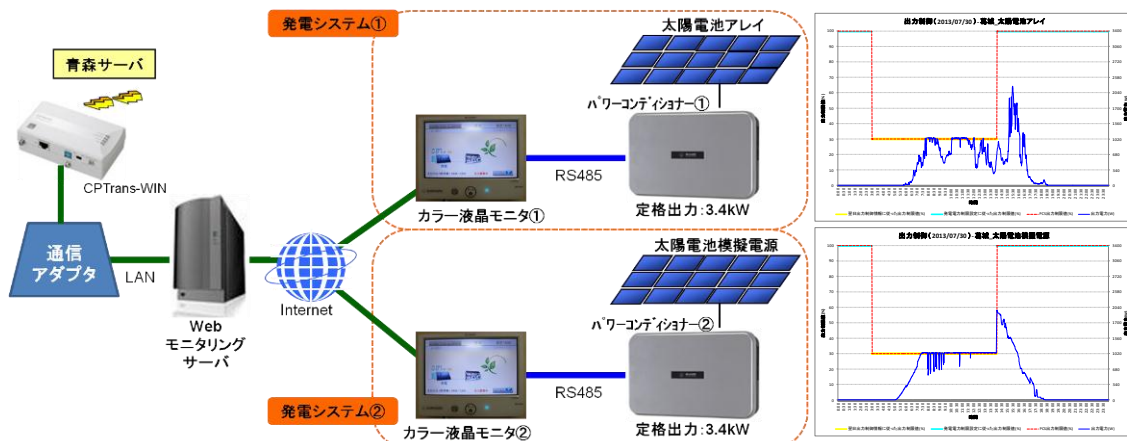


図 3-8. Webモニタリングサービスを利用した機器構成と制御情報による出力制御結果

（※）Web モニタリングサービス： インターネットを介して各ユーザー宅の太陽光発電用PCSとシャープソーラーモニタリングセンター内のWebモニタリングサーバとを接続し、太陽光発電用PCSの監視と定期診断を行うサービス

図 3-8 に示すシステムをシャープ葛城事業所内に構築し、青森サーバからの出力制御情報をWebモニタリングサーバで受信し、同サービスを利用する複数台（本実証事業では2台）の太陽光発電用Intelligent PCSに配信できることを確認した。加えて、太陽光発電用Intelligent PCSが配信された出力制御情報に従い出力制御を行う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。

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。



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 3－11、システム構成図を図 3－12 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



用PCS設置状況

家庭

図3-11. 配電ネットワーク試験場での双方向通信試験状況

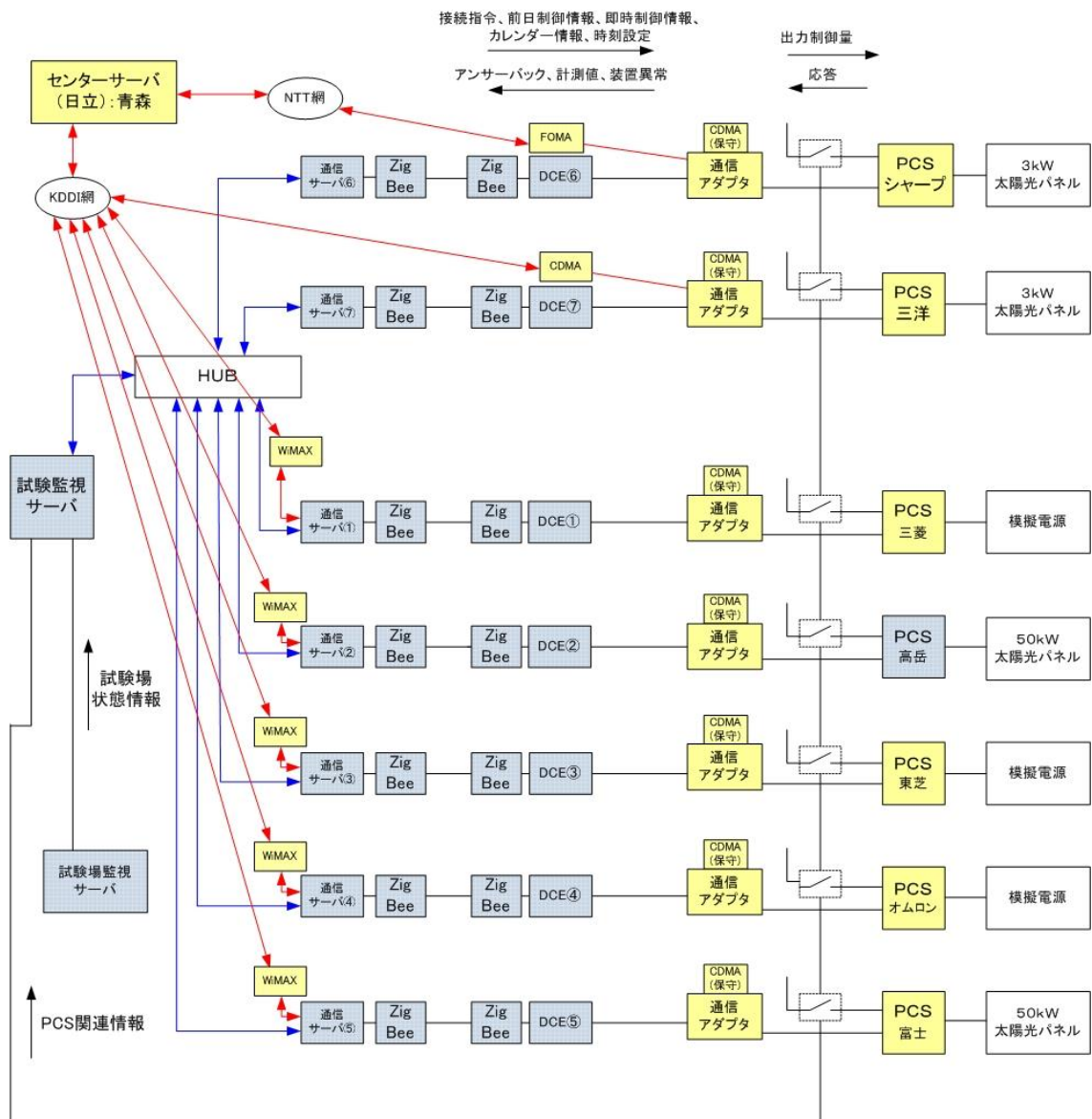


図 3 - 1 2. 配電ネットワーク試験場でのシステム構成図

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。

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。

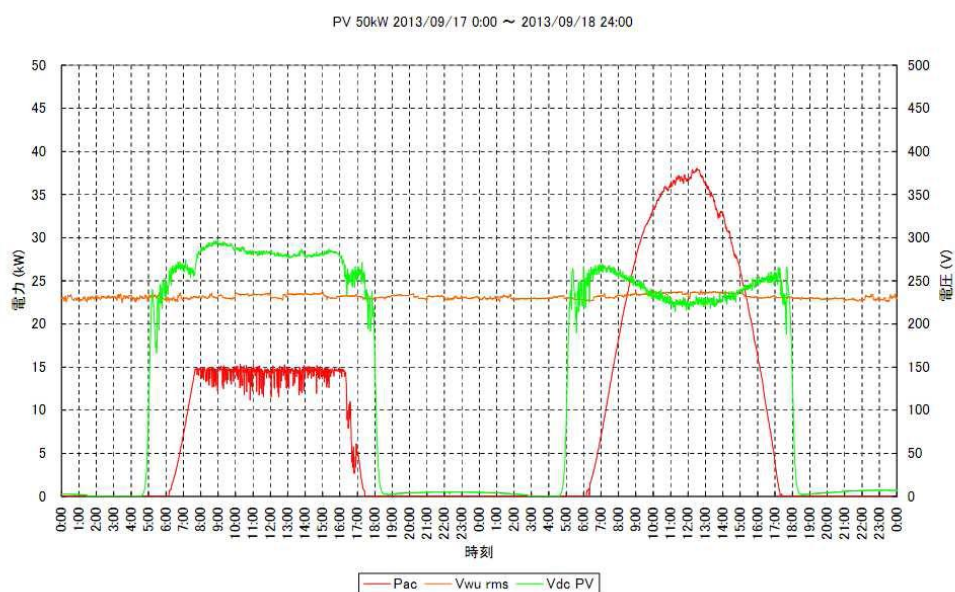


図3-13. 太陽光発電の出力波形

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

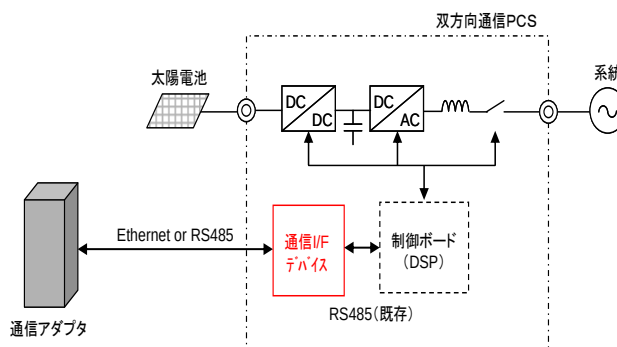


図3－15．装置構成

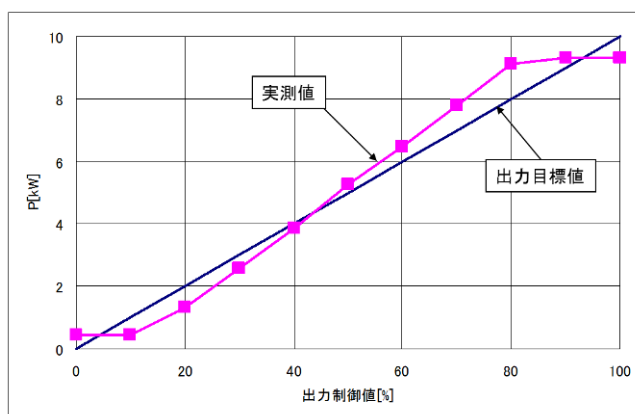


図3－16．出力制御性能グラフ

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)	関電工フィールド	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



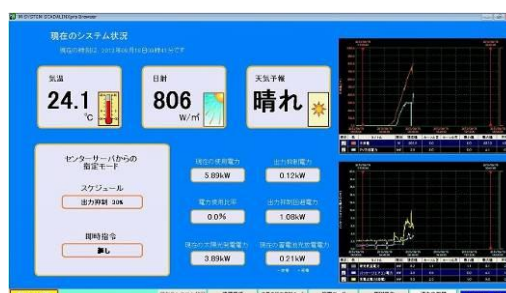
蓄電池用PCS



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

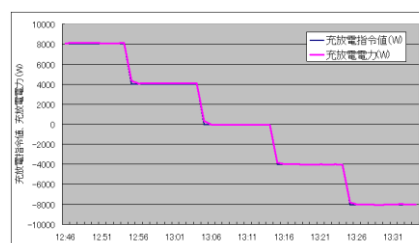
図3-17. 各種機器導入状況

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



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

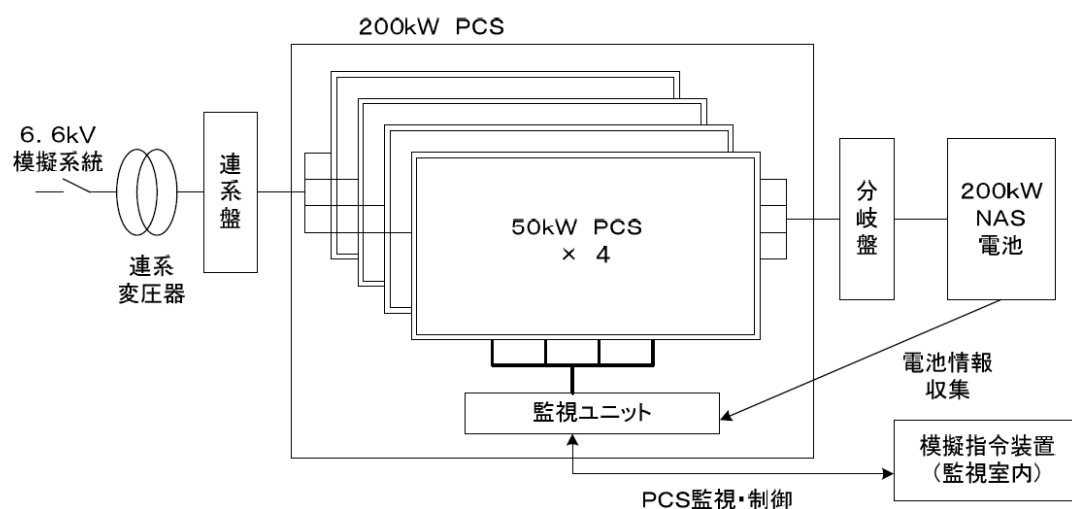


図 3－19．蓄電池用PCS主回路構成図

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。

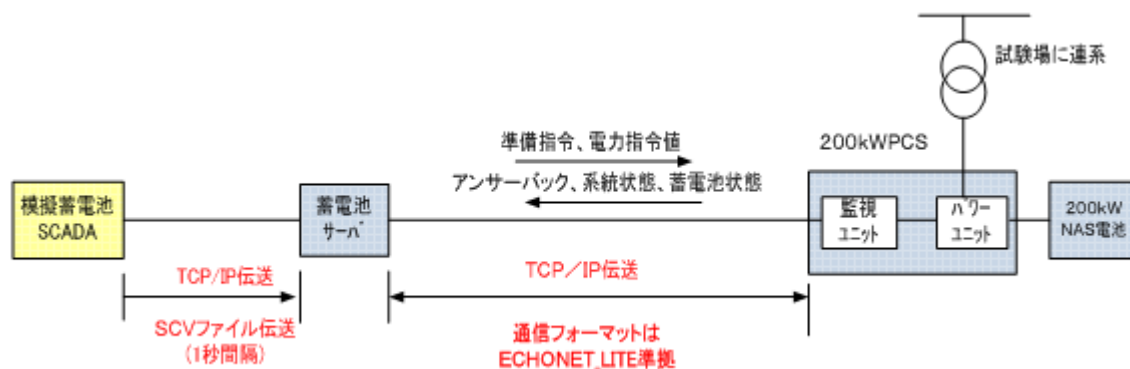


図 3－20．実証試験場での通信構成



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

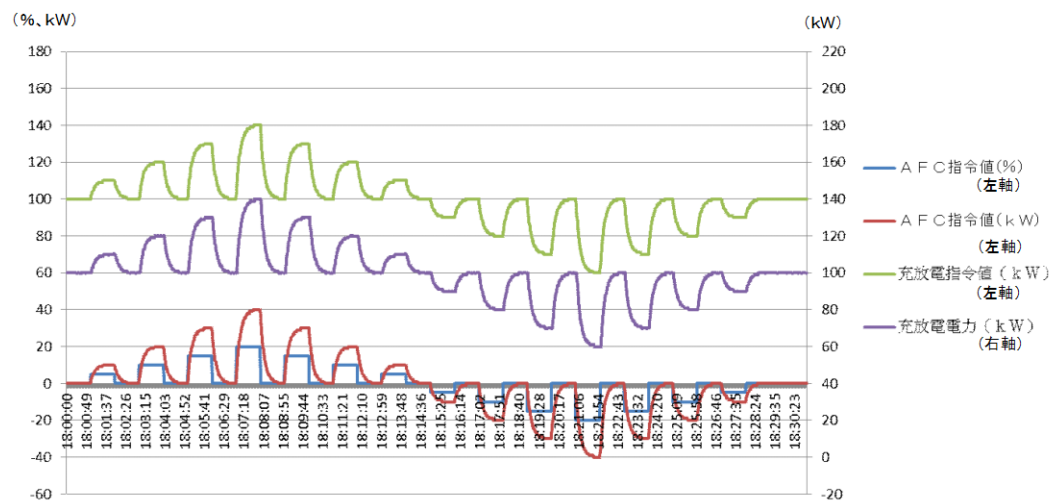


図 3-22. NAS電池100kW充電運転時での出力制御例

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

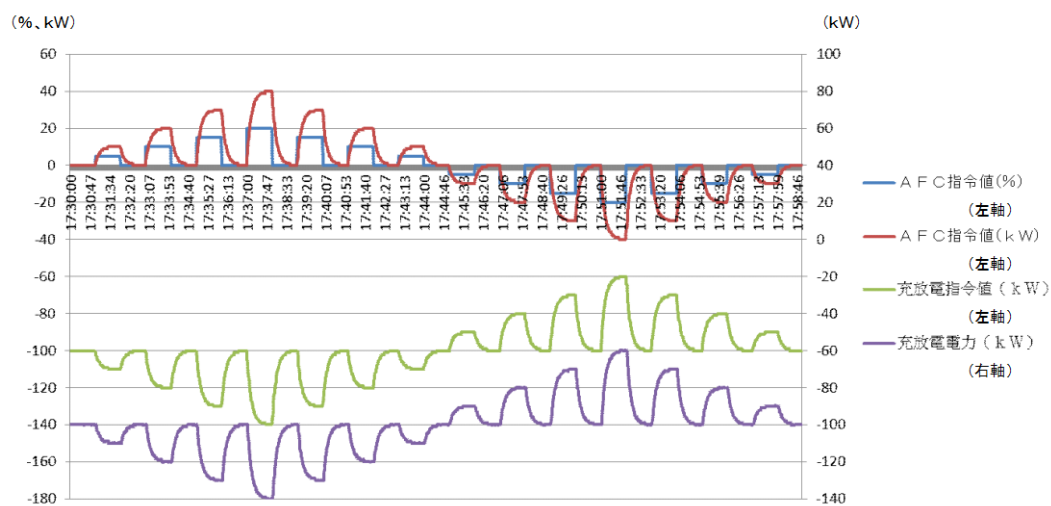


図 3-23. NAS電池100kW放電運転時での出力制御例

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 V V_H V_L PF=98%相当 出力 Q 無効電力 連系点電圧に比例して進み無効電力を出力する。 力率95%相当 $K = \frac{1}{V_H - V_L}$	連系点電圧 V V_H PF=98%相当 出力 Q 無効電力 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 力率95%相当	連系点電圧 V V_H 0.5pu 1.0pu PF=98%相当 出力 Q 無効電力 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 $K = \sqrt{\frac{1}{\cos\theta} - 1}$ $\cos\theta = \text{設定力率} > 0.85$	連系点電圧 V V_H V_L PF=98%相当 出力 Q 無効電力 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 $K = \sqrt{\frac{1}{\cos\theta} - 1}$ $\cos\theta = \text{設定力率} > 0.85$
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）

- 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

- 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

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。

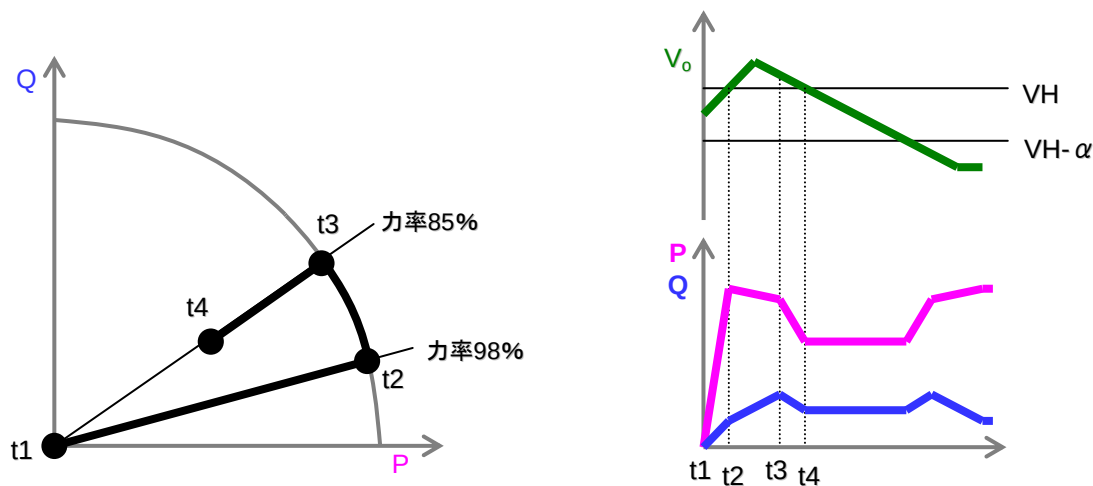


図 3 - 2 4 . PCSの動作

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 3－2 5．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3－26に示す。標準PCS、通信デバイス（シーケンサ）、POD、MTDより構成される。

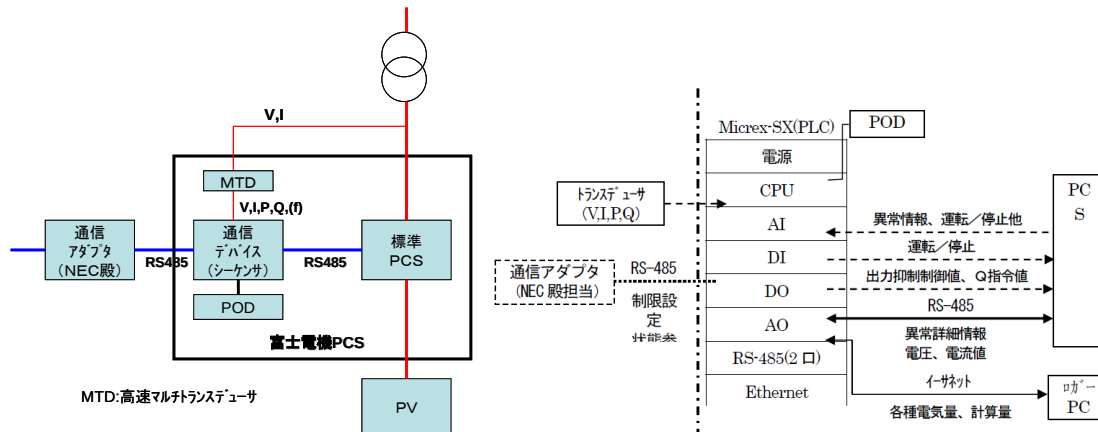


図3－26 システム構成図

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

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	K D D I	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	N T T 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。

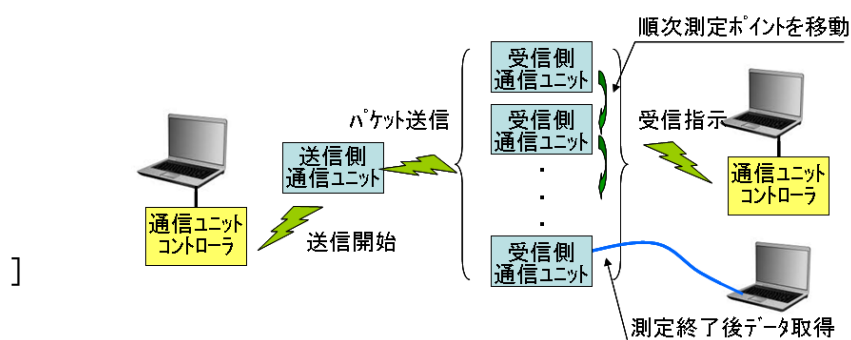


図3－28 測定ツールの構成

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箇所にて測定を行い、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。

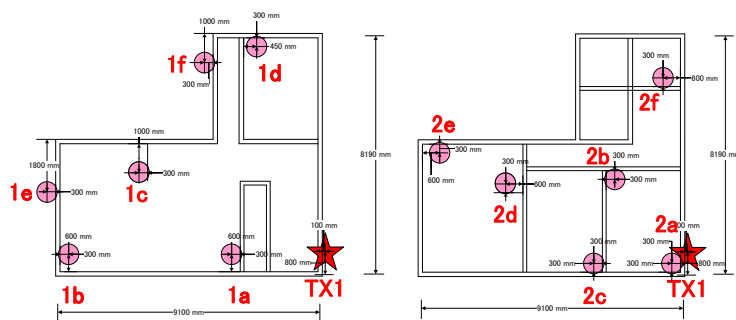


図 3－29．戸建て住宅の測定例

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。

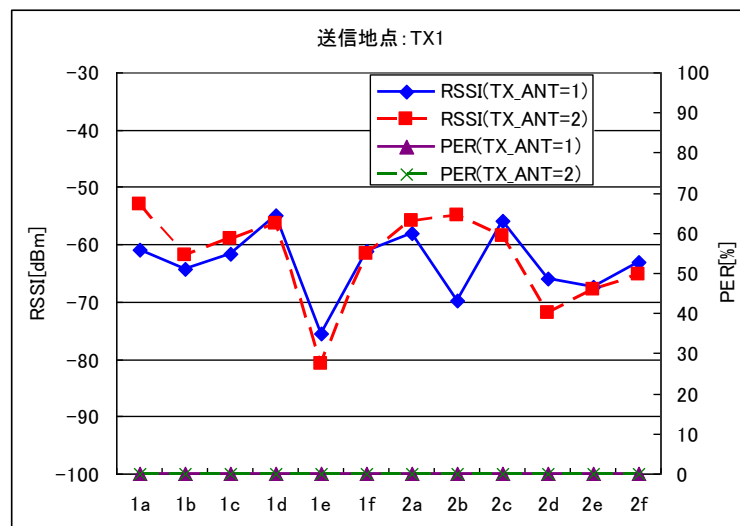


図 3－30．戸建て住宅の測定結果

(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。

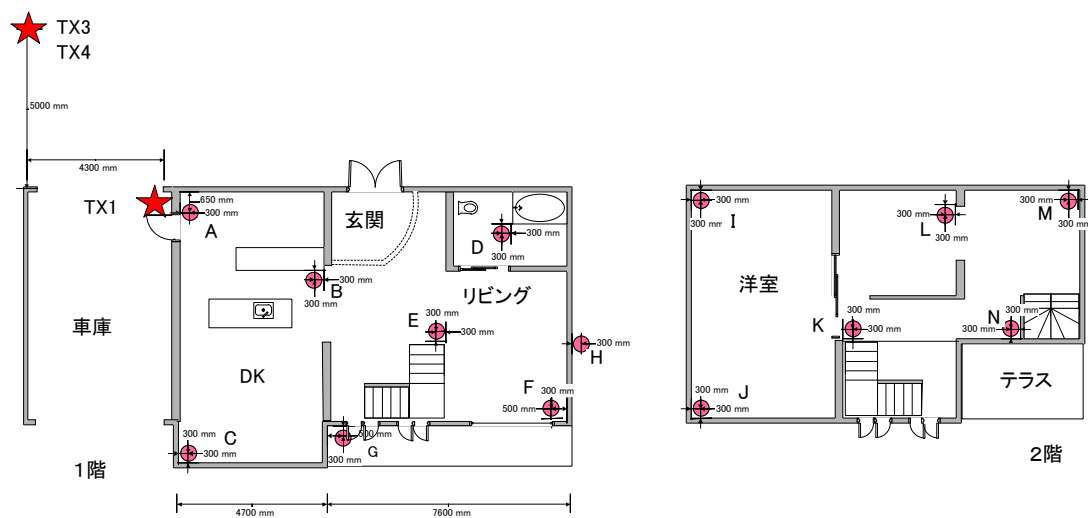


図 3 - 3 1. 鎌倉市大船新スマートハウス 間取りと測定ポイント

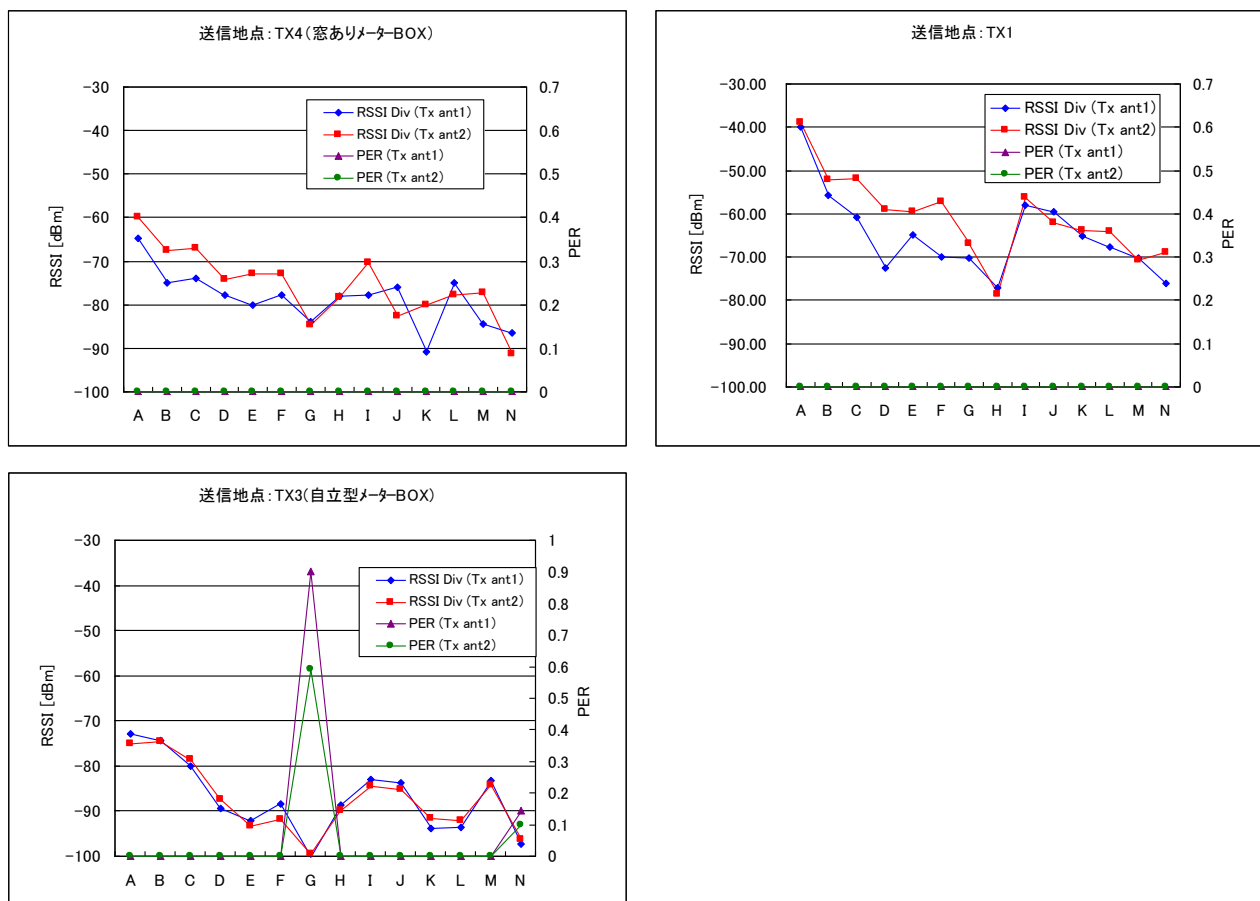


図 3-3-2. 鎌倉市大船新スマートハウス 測定地点とRSSI、PERのグラフ

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。

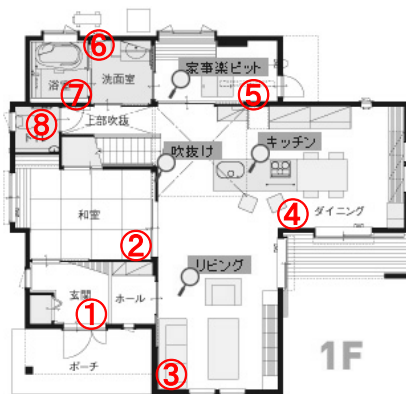


図 3-35. 宅内伝搬環境（別途2F）

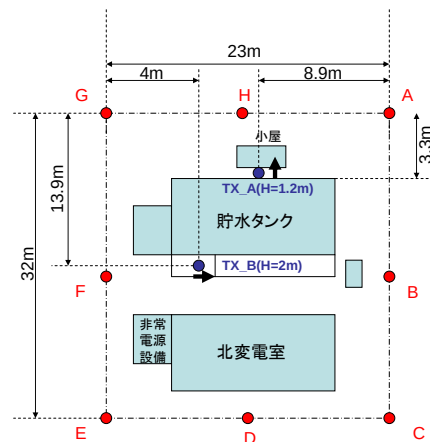


図 3-36. 屋外伝搬環境

- ・ 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

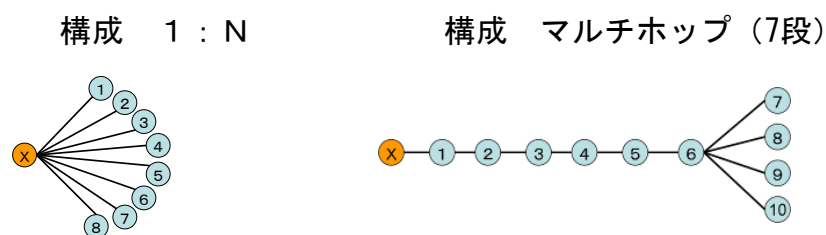


図 3 - 3 7 . トポロジーの構成

- ・ 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。

双方向通信網 構成概要

評価サーバ、DCE、疑似PCSを開発し、無線LANマルチホップネットワークに組み込んで双方向通信出力制御の試験を行う。

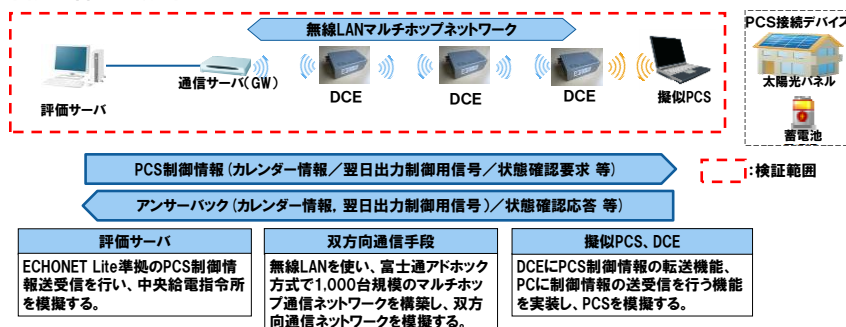


図 3－3 8．双方向通信網構成概要

(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 9、図 3－4 0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 3－4 1に示す。

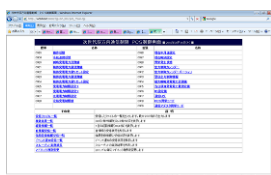


図 3－3 9．評価サーバ
動作画面

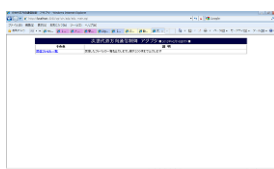


図 3－4 0．疑似PCS
動作画面



図 3－4 1．DCEの外観

③－２ 試験

遠隔からのPCS制御が確実に行え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。

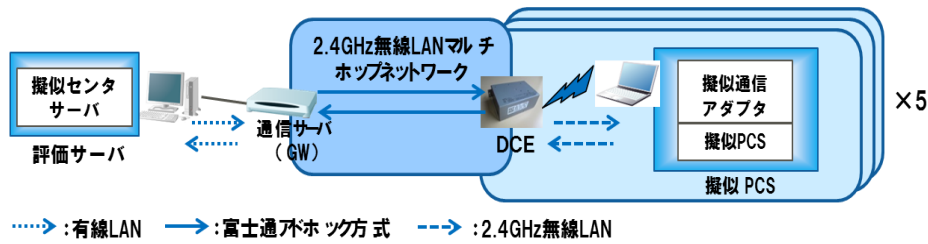
(b) 無線 LAN マルチホップネットワークと 900MHz 帯無線マルチホップネットワークの性能評価基礎データ収集と両者の比較評価

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3－42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) と擬似PCSはオフィスの外周部に設置

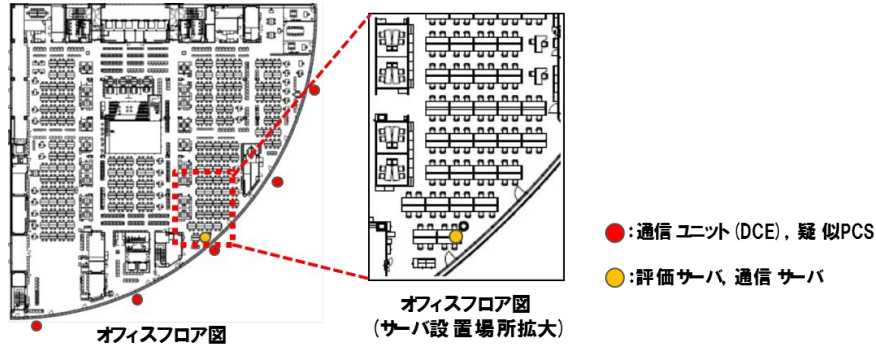


図3-42. 実フィールドに近い環境下の通信性能測定環境

上記測定環境において、評価サーバから5台の擬似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3-43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3-44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。

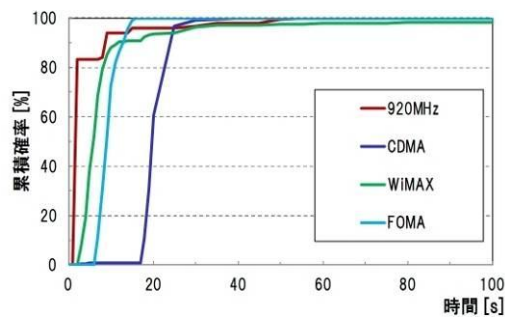


図3-43. 共通試験の応答速度比較

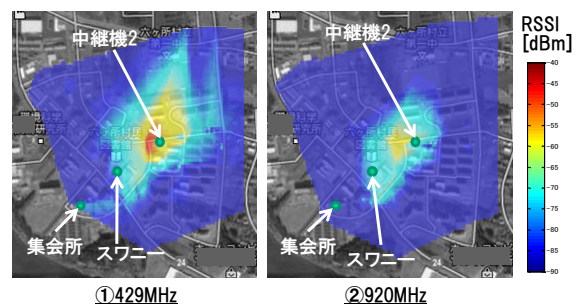


図3-44. 個別試験の電波伝搬特性

(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）

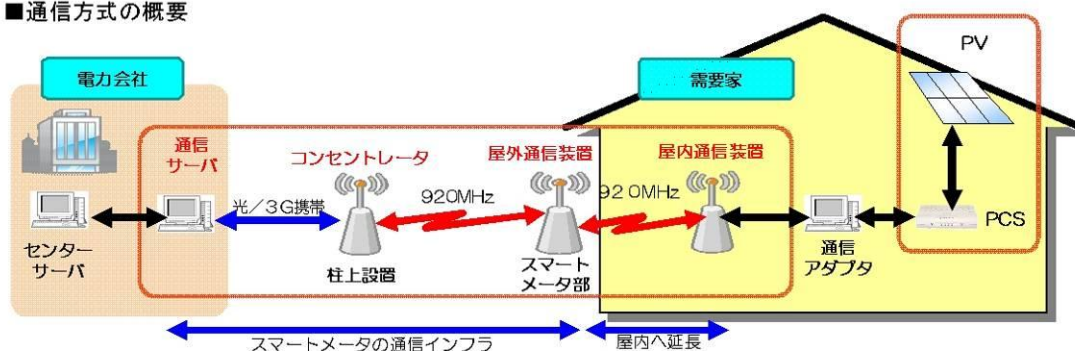
⑤－１ 開発

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3－45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

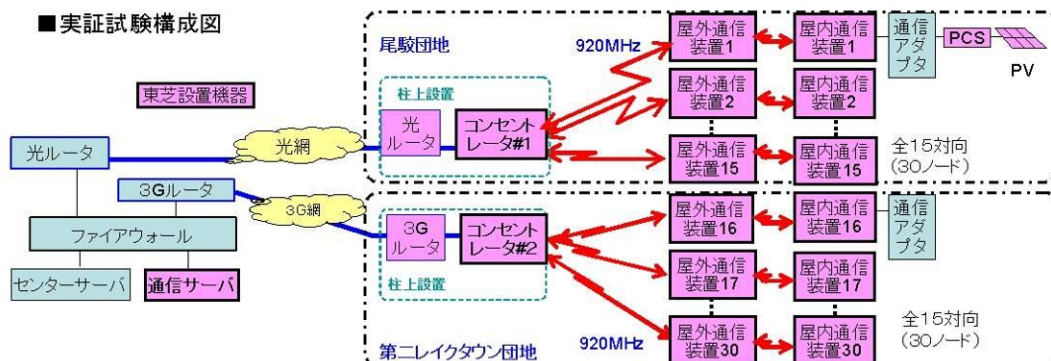


図3－45．実証試験構成図

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。

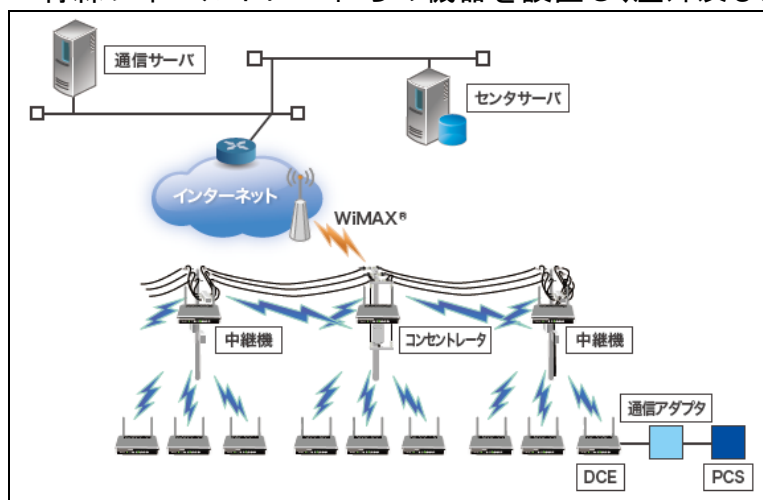


図 3－4 6．システム構成



図 3－4 7．開発した無線機

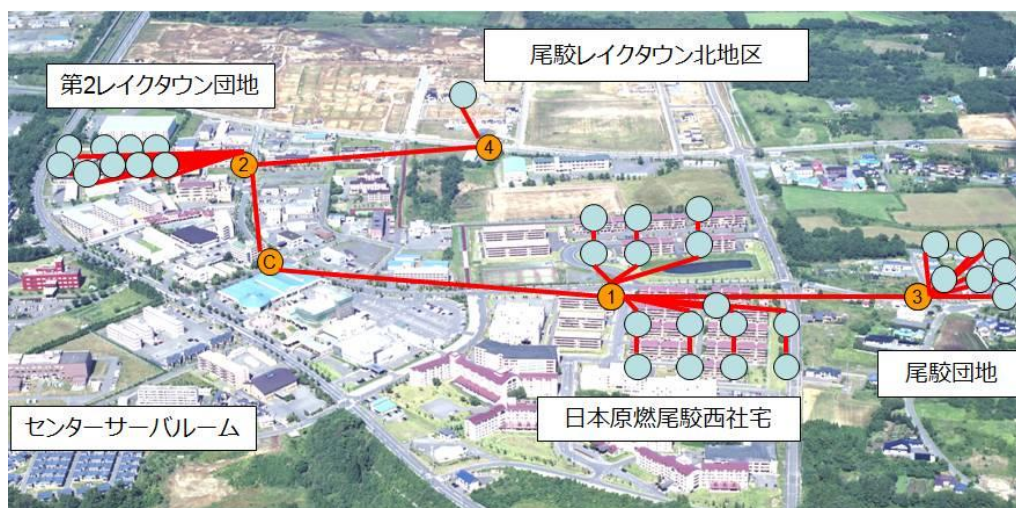


図 3-48. 青森フィールドにおける機器の設置状況
(青がDCE、橙がコンセントレータ、中継機を示す、赤線は転送経路の一例)

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。

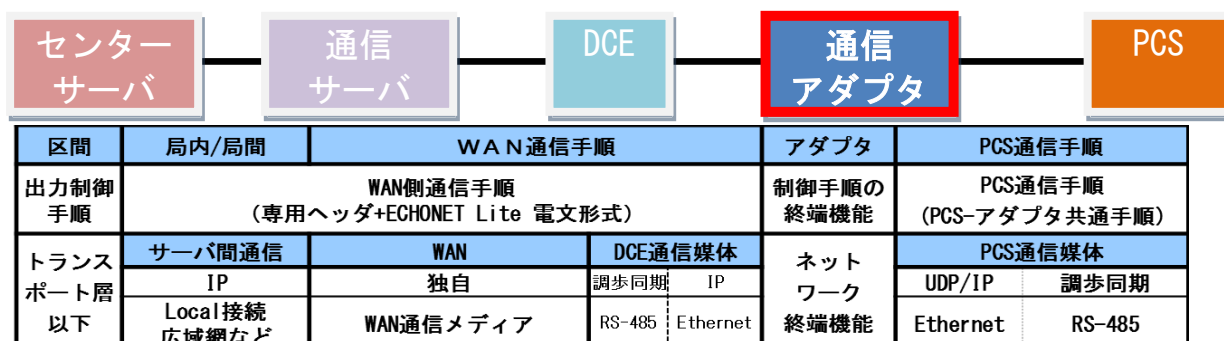


図3-5 1. 通信アダプタにおけるプロトコルスタックとシステム構成

・ 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。

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。

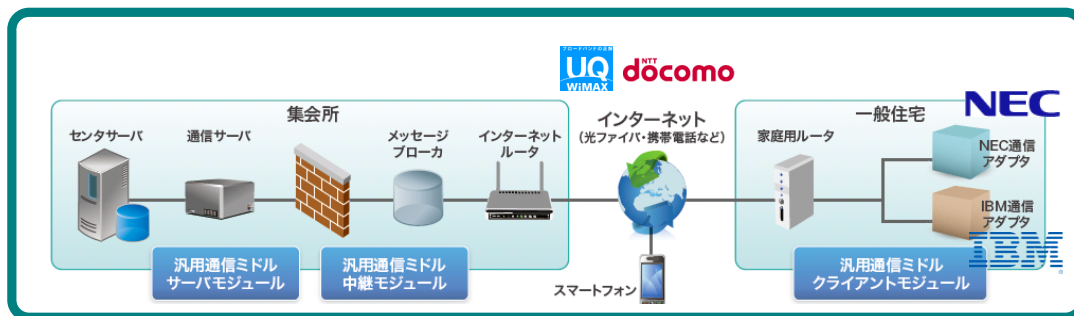
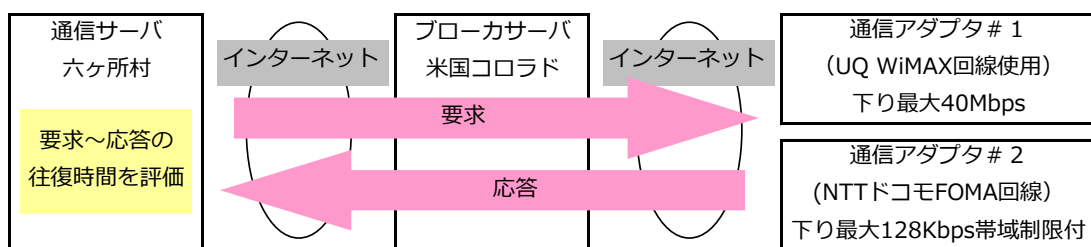


図３－５５．システム構成概要

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、センタサーバー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

ー 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。

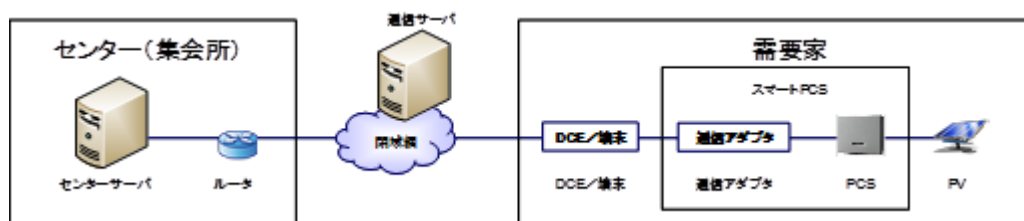


図3－57. WiMAXによる双方向通信試験構成

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。

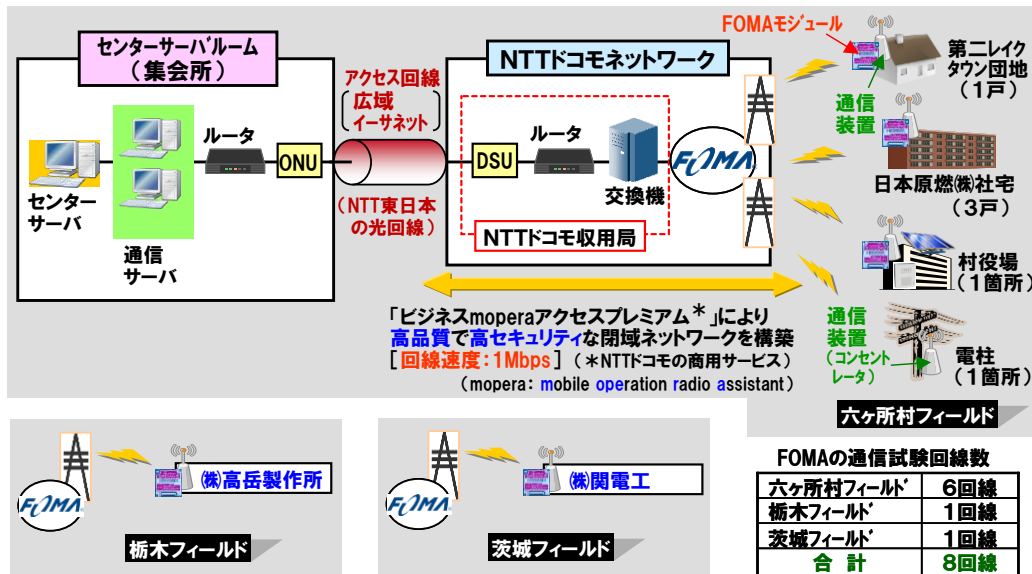


図３－５８． FOMAを利用した試験用通信ネットワークの構成

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	ハケット通信可能
弱電界	ハケット通信可能*
圏外	ハケット通信不可

*IP着信からハ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。

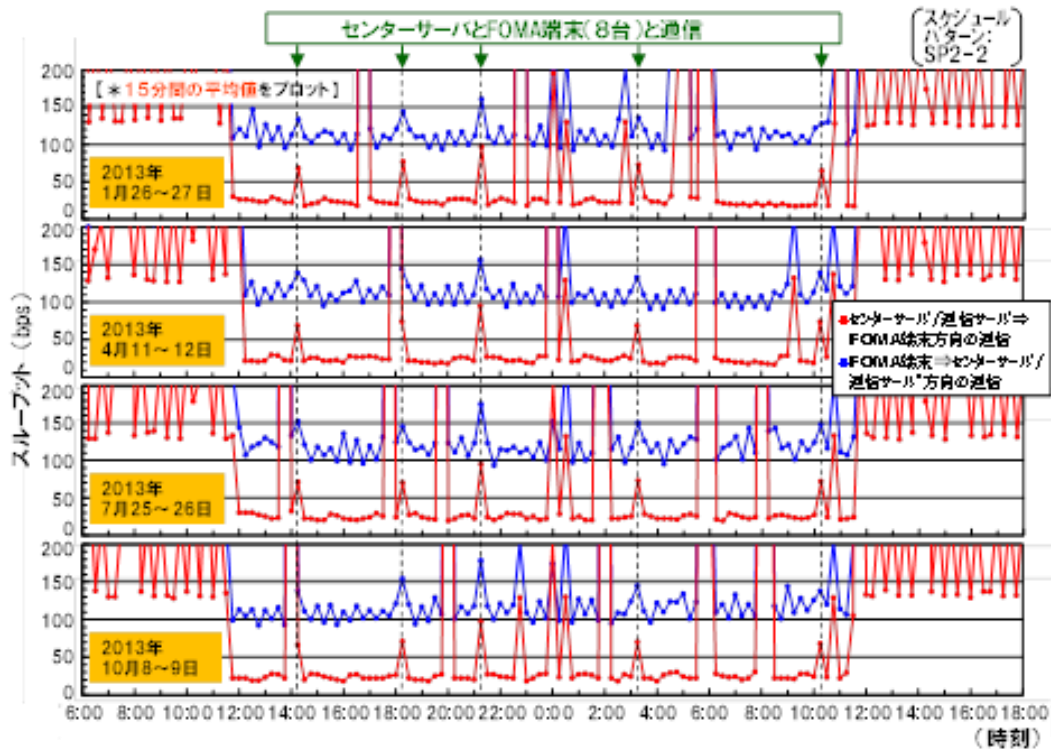


図3-59. 通信スケジュールパターンが同じで測定日が異なるスループットの時間変化の比較

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。

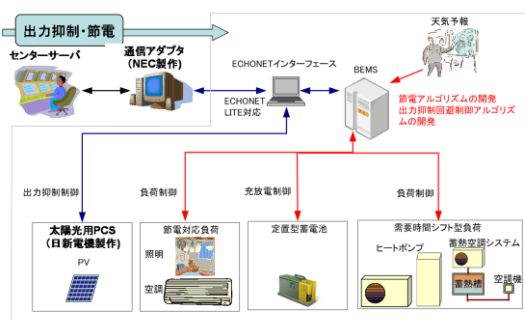


図3-6-1 制御システム

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 3-6 2 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 3-6 3 に示す。

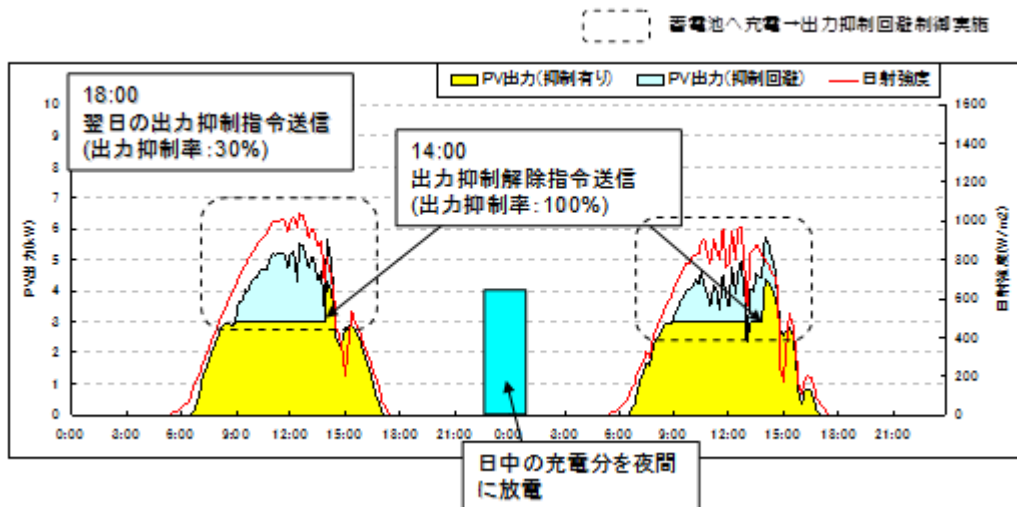


図 3-6 2. 蓄電池を用いた出力抑制回避制御トレンド

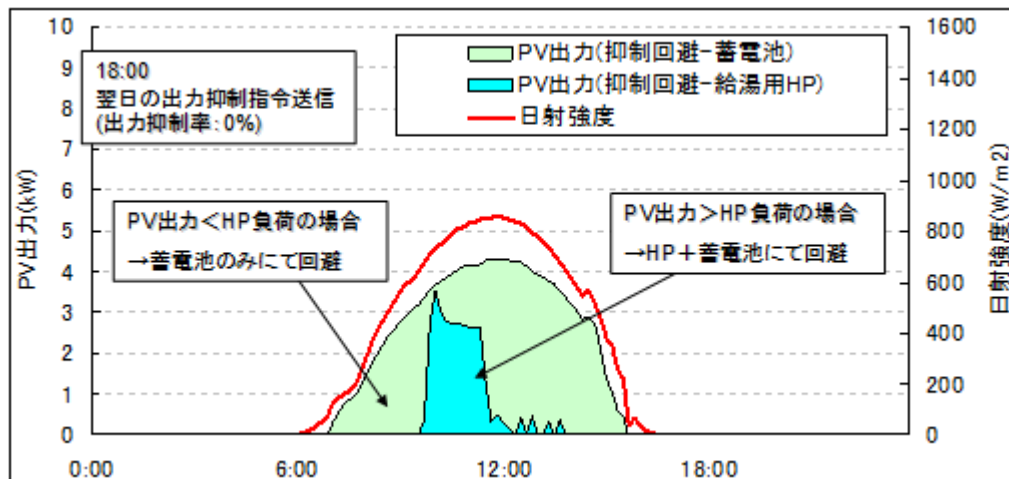


図 3-6 3. 蓄電池および給湯用 HP を用いた出力抑制回避制御トレンド

(5) サイバーセキュリティ関連機器

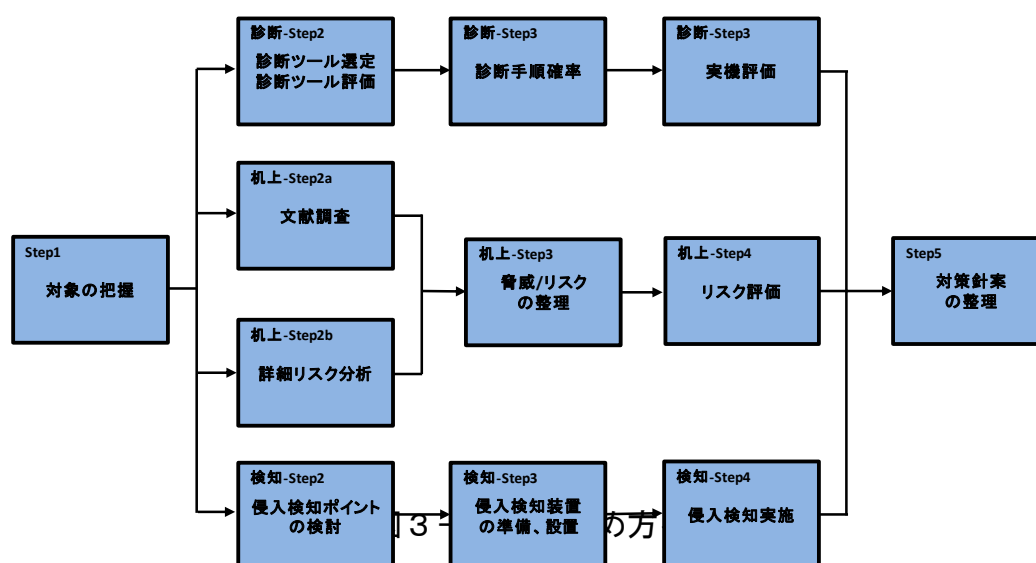
下記の通り、セキュリティリスクの評価・診断およびサイバーセキュリティ関連機器を開発した。

	参加法人	開発機器	設置場所	達成度
①	N R 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（N R 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。



「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。

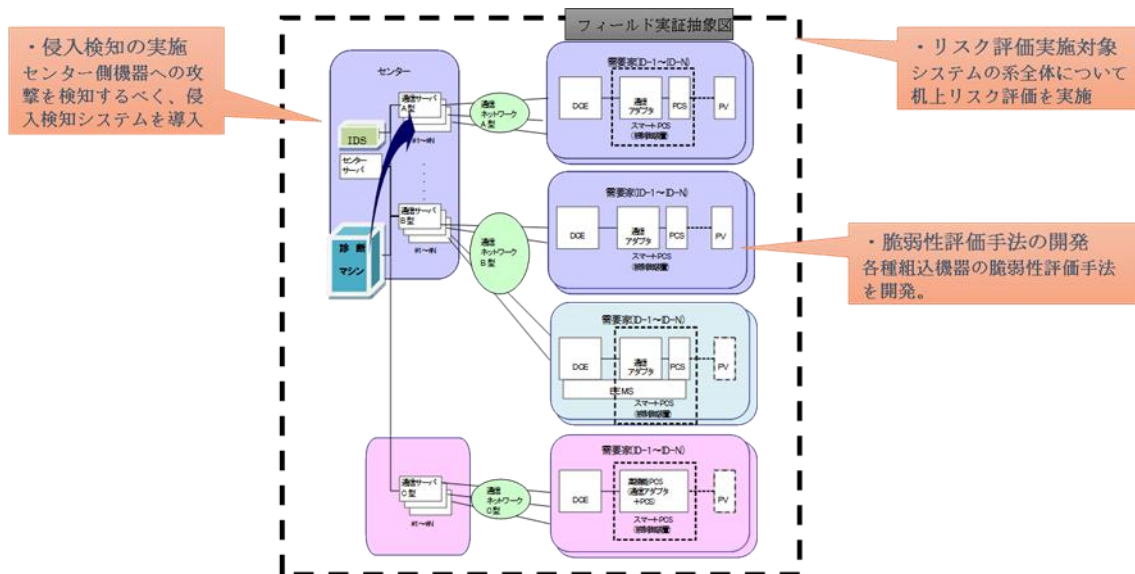


図3-65. システム構成図

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。

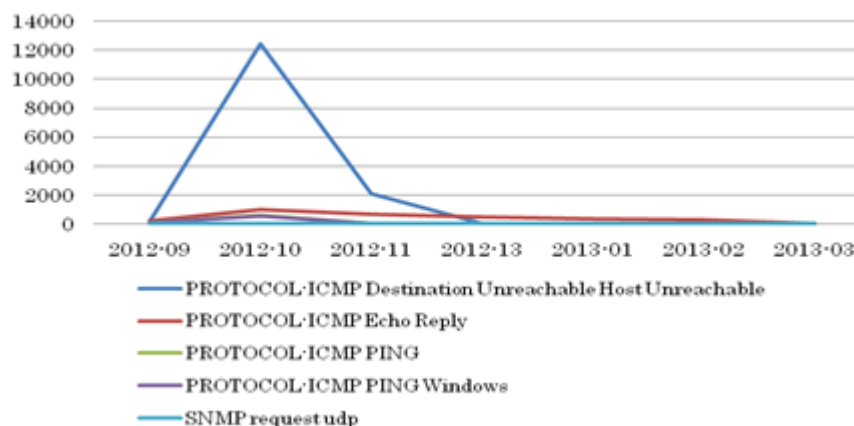


図3-66. 実証事業環境でのイベント検知TOP5（月別推移）

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。

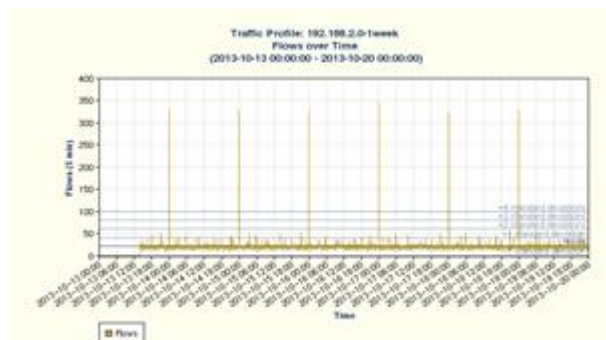


図3-68. 正常時トラフィックパターン

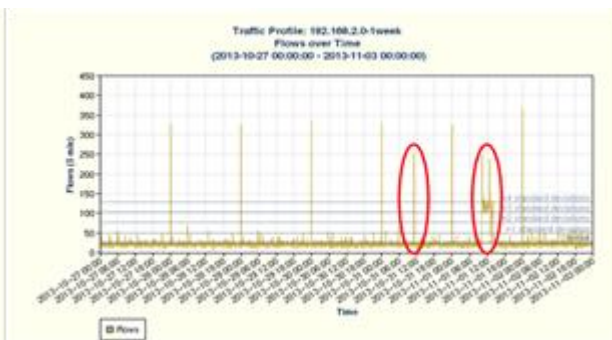


図3-67. 異常時トラフィックパターン

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3-67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

表 3-18. 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
	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 実証事業の取り組みについて」	H26. 3

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タップ動作への影響、SVC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。	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	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	達成

	機器の開発 ・安定的かつ確実に動作すること	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。	
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、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。	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

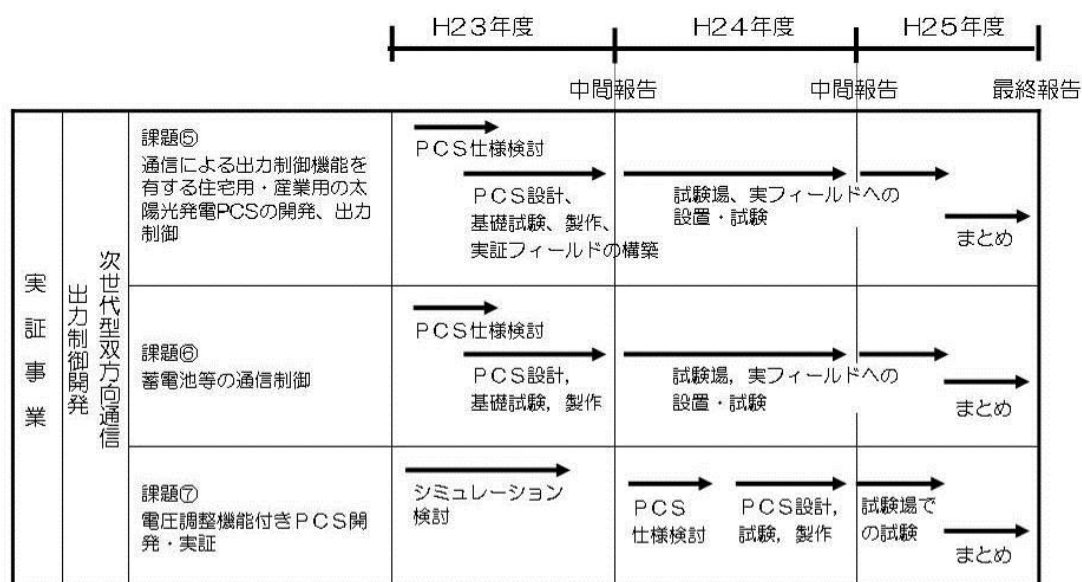
- ・双方向通信機能を具備した太陽光発電用PCSの風力等他の分散電源用PCSへの応用
- ・双方向通信機能を具備した系統蓄電池用PCSの家庭用蓄電池用PCSへの応用
- ・電圧調整機能付きPCSの制御方式の検討ノウハウの配電制御高度化への応用
- ・PCS制御用双方向通信方式の他のセンサーネットワーク（スマートメータ、デマンドレスポンスなど）への応用

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カ年で実施した。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。

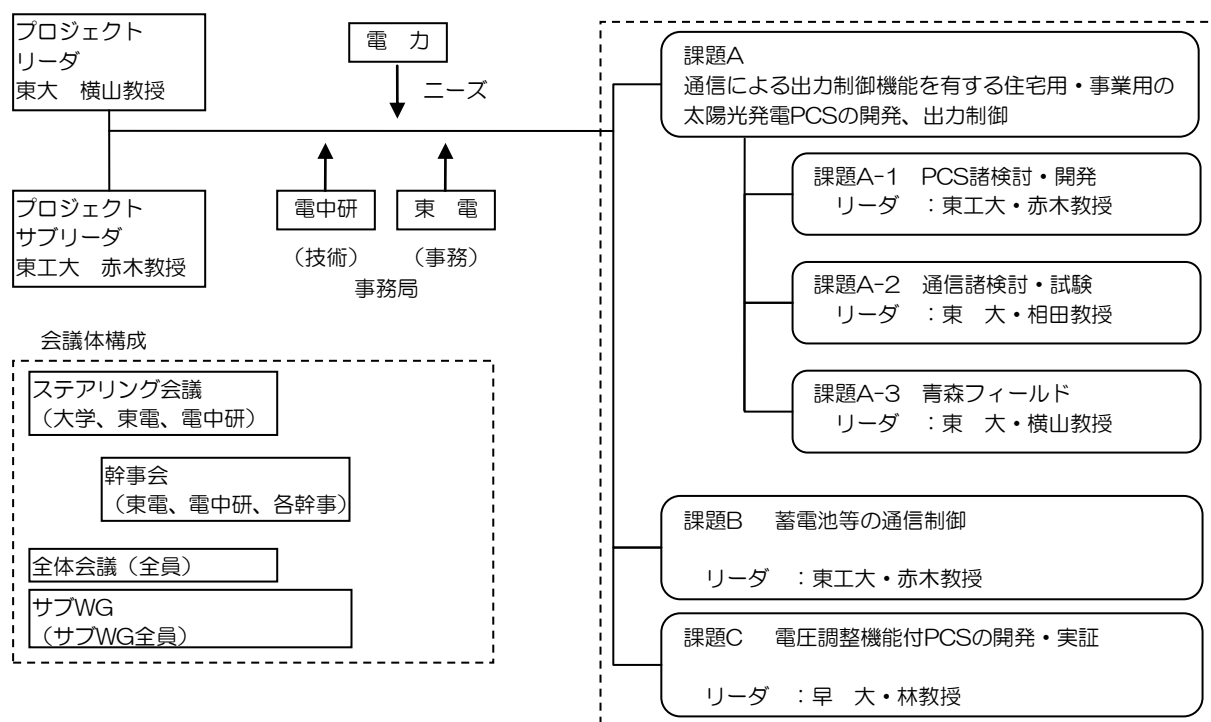


図5-1. 研究開発実施体制

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

5-4 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。

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。

第 3 章 評価

第3章 評価

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

通信を用いた太陽光発電出力の制御技術は、太陽光発電を大量導入するために有効な技術分野であることから、国が積極的に関与して取り組むべきと考えられる。よって、事業の目的、政策的位置付けは妥当と評価できる。

また、実際のフィールドで試験を実施したことについて、社会的意義は大きいと考えられる。

【肯定的意見】

- ・再生可能エネルギー大量導入のために緊急に必要となる技術である。（委員D）
- ・通信を用いた太陽光発電出力の制御技術は、太陽光発電を大量導入するために有効な技術分野であることから、国が積極的に関与して取り組むべきと考えられる。事業の目的、政策的位置付けは妥当と評価できる。（委員B）
- ・太陽光発電システムの導入量の拡大に向け、余剰電力対策としての出力抑制は不可欠である。しかし、太陽光発電事業者にとっては発電機会の損失であり、また、事業者間における抑制負担の公平な分担も求められる。このような課題に対しては国として研究開発を行い、広く公平性を確保しつつ全体最適な運用が可能となる技術を開発すべきであり、本事業は国の事業として適切である。（委員C）
- ・電力システム全体の計画・制御の観点から個々のPVや蓄電池を制御するための通信機能であり、社会的な意義から国の補助事業として妥当と考えられる。

PCSからのデータ収集については、既に実績のある技術であり、双方向通信機能を付加することに関する技術的課題は大きくないと思われるが、実際のフィールドで試験を実施したことについて、社会的意義は大きいと考えられる。（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・該当なし。

2. 研究開発等の目標の妥当性

PV、蓄電池の遠隔制御に不可欠な基本的要素技術が開発目標として適切に設定されている。また、出力抑制を確実に実施するための要素技術並びに複数の通信手段を用いた技術が開発目標として適切に設定されている。

一方、基本的には、既存の技術の応用で達成可能と思われる目標設定である。実用性・先進性の観点からは、多数のPCSとの双方向通信の実用性の検証を開発目標とすべきであったと考えられる。

また、他事業の成果を考慮して、多数のPV群全体の同時制御も目標に含めるべきであった。

【肯定的意見】

- ・ 実証事業の対象とされた要素技術毎に設定された目標・指標は、いずれも妥当と評価できる。（委員B）
- ・ 出力抑制を確実に実施するための要素技術開発、ならびに複数の通信手段を用いた技術開発が行われており、目標として適切である。（委員C）
- ・ 現実的な目標設定が行われ、達成されている。（委員D）
- ・ PV、蓄電池の遠隔制御に不可欠な基本的要素技術が開発目標として適切に設定されている。（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・ 基本的には、既存の技術の応用で達成可能と思われる目標設定であり、実用性・先進性の観点からは、非常に多数のPCSとの双方向通信の実用性の検証を開発目標とすべきであったと考えられる。

また、「次世代送配電制御」および「PV出力予測」事業の成果を考慮して、多数のPV群全体の同時制御も目標に含めるべきであったように思われる。（委員E）

3. 成果、目標の達成度の妥当性

工場試験だけでなく実フィールドにおいて異なる通信方式による双方向通信について出力制御が可能であることを実証しており、当初の目標が達成されている。

また、サイバーセキュリティ対策についても想定される攻撃に対する保護機能を実証できており、評価できる。

一方、論文・学会発表が少なく、外部専門家との間で十分な議論がされていない。

また、成果の国際標準化を目指すべき。

【肯定的意見】

- ・ 全体として十分な成果が得られており、目標を十分に達成している。（委員A）
- ・ すべての要素技術において目標・指標は達成されており、妥当な成果が得られたと評価できる。（委員B）
- ・ 各機関とも、異なる通信方式を用いて出力抑制が可能である事を実証した。（委員C）
- ・ 設定された目標は達成され、実用化ができる状況にある。（委員D）
- ・ 工場試験だけでなく実フィールドにおいて、各社のPCSに対する様々な通信方式による双方向通信について出力制御が実証されており、当初の目標が達成されている。サイバーセキュリティについても、想定される攻撃に対する保護機能を実証できており、評価できる。（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・ 論文・学会発表が少なく、外部専門家との間で十分な議論がなされていない。（委員A）
- ・ 得られた成果の国際標準化を目指してほしい。（委員D）

4. 事業化、波及効果についての妥当性

国内の多くのメーカーが本事業に参画しており、業界としての事業化に向けての基盤となっている。実用化段階に来ており、再生可能エネルギーの大量導入に資することが期待され、評価できる。

なお、国内外での事業化に向け、採用すべき通信方式などについて、総合評価があってもよかったと考える。

【肯定的意見】

- すべての要素技術において実用性に適う実証結果が得られており、妥当な成果が得られたと評価できる。（委員B）

- 実用化段階に来ている。再生可能エネルギー大量導入に資することが期待できる。

（委員D）

- 主なPCSメーカーが参加しており、業界としての事業化に向けての基盤となっている。

（委員E）

- 技術的な面では事業化が可能である事を実証できたと考えられる。国内の多くのメーカーが参画しており、今後、国内で標準的に用いる通信方式が決定した際には、速やかな実装が期待できる。（委員C）

【問題点・改善すべき点】

- 国内外での事業化に向け、採用すべき通信方式などについて、総合評価があってもよかったのではないかと。（委員E）

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

多くの企業、電力会社及び大学等による十分な実施体制が構築されており、すべての対象事業において妥当な結果が得られていることから評価できる。

一方、「電圧調整機能付きPCS」については事業者が2社しか参加しておらず、より多くの資源を投入してもよかった。

また、「通信による出力制御が可能な太陽光用PCS」については事業者が7社担当し動作が実証されているが、将来的にどのような方式とすべきか、それぞれ提言があってもよかったと考える。

【肯定的意見】

- ・ 十分な体制が構築されており、機能していたと感じる。（委員A）
- ・ 各事業に関わる主要企業が幅広く参加し、すべての対象事業において妥当な結果が得られていることから、研究開発マネジメント・体制等は妥当だったと評価できる。
（委員B）
- ・ 多くの企業、電力会社と大学が連携した実施体制であり、本研究開発にとって適切であった。（委員C）
- ・ 主なPCSメーカーが参加しており、業界全体として事業化に向けた基盤となっている。
（委員E）
- ・ 現実的な目標を短期間で達成する計画、体制であった。（委員D）

【問題点・改善すべき点】

- ・ 電圧調整機能付PCSへの資源投入が小さく、事業者も2社しか参加していない、本技術は国際展開においても重要であり、より多くの資源を投入しても良かった。（委員A）
- ・ 当初予算と比較して、執行額は53%程度であり、目標達成の困難さを過大評価しすぎたのではないか。

通信によるPV用PCSの制御については7社が担当しており、各社の現有PCSでの動作が実証されているが、将来的にどのような方式とすべきかなど、海外展開も含めて、今回の成果に基づき、今後の開発方針等に関する提言があってもよかったのではないか。

（委員E）

6. 費用対効果の妥当性

産官学の連携の下、効率的に事業が推進されていた。

また、PV以外にも風力、燃料電池、ヒートポンプ給湯器などへの応用を考えると、費用対効果は概ね良好といえる。

一方、本事業の効果は、多数のPCSを含むPCS群全体として、目標とする制御が実施できるか否かによるため、その意味では今回の成果だけでは、本事業の真の費用対効果を評価することは難しい。

【肯定的意見】

- ・ 概ね妥当と評価できる。（委員B）
- ・ 産学官の連携の下、効率的に事業が推進されていた。（委員D）
- ・ 本研究の成果により、適切な出力抑制の実施と不必要な出力抑制の低減が期待され、太陽光発電システムの有効利用と電力の安定供給につながることが期待される。（委員C）
- ・ FITにおけるPVの認定台数あたりの執行額は5000円／台程度か（ただし、認定PVの設備容量は考慮せず）。PV以外にも風力、燃料電池、ヒートポンプ給湯機などへの応用を考えると、費用対効果は概ね良好といえる。

当初予算と比較して、執行率は53%程度であり、適切な予算計画であったとすれば、費用対効果が高く、効率的な研究が実施できていると言える。（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・ 本事業の効果は、今後、どのような制御を行うか、また、非常に多数のPCSを含むPCS群全体として、目標とする制御が実現できるか否かによる。その意味では、今回の成果だけでは、本事業の真の費用対効果を評価することは難しい。（委員E）

7. 総合評価

本事業は再生可能エネルギーの大量導入のために緊急に必要となる技術であり、国が関与して取り組むべき技術開発分野であると考えられる。

また、設定された目的、並びに目標はいずれも事業化に適う成果をあげて達成されており、実証事業は妥当な成果が得られたと評価できる。

主な、PCSメーカーが参画している点も、業界としての事業化に向けての基盤となっており評価できる。

一方、本事業では国際標準化への取り組みはなされておらず、早急に国際標準化を図る必要がある。論文、学会、交流会等での発表も増やして欲しい。

また、「次世代送配電制御」及び「PV出力予測」事業と並行して実施するのではなく、これらの成果を反映した実証試験を実施できるように開始年度をずらしてもよかった。

【肯定的意見】

- ・ 太陽光発電の大量導入を図るために有効な技術開発分野であり、太陽光発電の導入を政策的に推進している状況を照らすと、国が関与して取り組むべき技術開発分野であると考えられる。設定された目的、並びに目標はいずれも事業化に適う成果をあげて達成されており、実証事業は妥当な成果が得られたと評価できる。（委員B）

- ・ 様々な通信手段を用いて出力抑制が可能である事を、研究開発期間内に実証できた。

（委員C）

- ・ 再生可能エネルギー大量導入のために緊急に必要となる技術である。現実的な目標を短期間で達成する計画、体制であり、実用化段階の技術を開発することができた。

（委員D）

- ・ 主なPCSメーカーが参加しており、業界としての事業化に向けての基盤となっている。

（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・ 得られた成果の国際標準化を目指してほしい。（委員D）
- ・ 海外においても、出力抑制や電圧調整機能付きPCSの導入は検討されており、本事業の成果を社会に還元するためには国際標準化が必要不可欠である。本事業では国際標準化への取り組みはなされていないが、いわゆるガラパゴス化を防ぐためにも、早急に国際標準化を図る必要がある。（委員A）
- ・ 関連する事業者、研究者が幅広く実証成果を利用・活用できるよう論文、学会・交流会等での発表機会を増やしていただきたい。（委員B）
- ・ 本事業の本当の意味での成果は、非常に多数のPCSを含むPCS群全体として、目標とする制御が実現できるか否かによると考えられる。その意味では、「次世代送配電制御」および「PV出力予測」事業と並行して実施するのではなく、これらの成果を反映した実証試験を実施できるように開始年度をずらしてもよかったのではないかと。（委員E）

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

本事業において、出力制御技術が実用化できることが実証されたと考えられ、通信方式の決定や出力制御システムの標準化を速やかに進め、成果を早期に活用できる体制の構築を求める。

また、風力発電などの他の分散型電源、送配電設備などの分野にも展開を図るとともに、電力システムとして必要とされるPV群や蓄電池群の全体としての制御の実現可能性の検証等が期待される。

国際標準化やサイバーセキュリティ対策については引き続き検討を進めていく必要がある。

【各委員の提言】

- ・引き続き、実用化に向けて研究を進め、早期に普及が進むことを期待する。（委員A）
- ・今回の実証事業によって、通信を用いた太陽光発電出力の制御技術が実用化できることが実証されたと考えられる。通信方式の決定、並びに、出力制御システムの標準化を速やかに進め、事業化を急いでいただきたい。また、本実証事業を応用できる風力発電などの他の分散型電源、送配電設備などの分野にも展開を図っていただきたい。

（委員B）

- ・得られた成果の国際標準化を目指してほしい。サイバーセキュリティに関しては継続的に検討してほしい。成果を早期に活用してほしい。（委員D）
- ・太陽光発電システムは20年以上の長期間の運用を想定しているため、今回実証した出力抑制方式、通信手段に限ること無く、将来の技術革新や新技術導入に柔軟に対応できる出力抑制方式や機器構成とすることが期待される。

今後はサイバーセキュリティに関する研究開発を推進するとともに、太陽光発電や需要家の高度なマネジメントなどを通じて、電力システムの更なる低炭素化と、より快適に、かつ安心して電気を使える社会の実現を目指して欲しい。（委員C）

- ・「次世代送配電制御」および「PV出力予測」事業の成果を踏まえ、PV群全体として達成すべき制御目標に対して、住宅用PVも含めて個々のPVにどのような制御指令を与えるべきかについても更に検討を重ね、電力システムとして必要とされるPV群や蓄電池群の全体としての制御の実現可能性の検証等が期待される。（委員E）

第4章 評点法による評点結果

第4章 評点法による評点結果

「次世代型双方向通信出力制御実証事業」に係るプロジェクト評価の実施に併せて、以下に基づき、本評価検討会委員による「評点法による評価」を実施した。その結果は「3. 評点結果」のとおりである。

1. 趣 旨

評点法による評価については、産業技術審議会評価部会の下で平成11年度に評価を行った研究開発事業（39プロジェクト）について「試行」を行い、本格的導入の是非について評価部会において検討を行ってきたところである。その結果、第9回評価部会（平成12年5月12日開催）において、評価手法としての評点法について、

（1）数値での提示は評価結果の全体的傾向の把握に有効である、

（2）個々のプロジェクト毎に評価者は異なっても相対評価はある程度可能である、との判断がなされ、これを受けて今後のプロジェクト評価において評点法による評価を行っていくことが確認されている。

これらを踏まえ、プロジェクトの中間・事後評価においては、

（1）評価結果をできる限りわかりやすく提示すること、

（2）プロジェクト間の相対評価がある程度可能となるようにすること、

を目的として、評価委員全員による評点法による評価を実施することとする。

本評点法は、各評価委員の概括的な判断に基づき点数による評価を行うもので、評価報告書を取りまとめる際の議論の参考に供するとともに、それ自体評価報告書を補足する資料とする。また、評点法は研究開発制度評価にも活用する。

2. 評価方法

- ・各項目ごとに4段階（A（優）、B（良）、C（可）、D（不可）〈a, b, c, dも同様〉）で評価する。
- ・4段階はそれぞれ、 $A(a)=3$ 点、 $B(b)=2$ 点、 $C(c)=1$ 点、 $D(d)=0$ 点に該当する。
- ・評価シートの記入に際しては、評価シートの《判定基準》に示された基準を参照し、該当と思われる段階に○を付ける。
- ・大項目（A, B, C, D）及び小項目（a, b, c, d）は、それぞれ別に評点を付ける。
- ・総合評価は、各項目の評点とは別に、プロジェクト全体に総合点を付ける。

3. 評点結果

評点法による評点結果

(次世代型双方向通信出力制御実証事業)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.80	3	2	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.20	2	2	3	3	1
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.00	2	2	2	2	2
4. 事業化、波及効果の妥当性	2.00	2	1	2	3	2
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	1.80	2	2	2	2	1
6. 費用対効果の妥当性	1.80	2	1	2	3	1
7. 総合評価	2.20	2	2	2	3	2

評点

