

太陽光発電出力予測技術開発実証事業
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太陽光発電出力予測技術開発実証事業は、太陽光発電の出力データや気象情報等を活用し、太陽光発電の出力把握や出力予測手法の開発を行い、太陽光発電等の大量導入時代における安定的な電力供給を確保することを目的に、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、この太陽光発電出力予測技術開発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太陽光発電出力予測技術開発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

太陽光発電出力予測技術開発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

太陽光発電出力予測技術開発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)

太陽光発電出力予測技術開発実証事業事後評価

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
- ・太陽光発電出力予測技術開発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

太陽光発電出力予測技術開発実証事業事後評価検討会 委員名簿

太陽光発電出力予測技術開発実証事業の評価に係る省内関係者

太陽光発電出力予測技術開発実証事業事後評価 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	8
3. 成果、目標の達成度	11
4. 事業化、波及効果について	54
5. 研究開発マネジメント・体制等	55
6. 費用対効果	58
第3章 評価	
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	60
2. 研究開発等の目標の妥当性	62
3. 成果、目標の達成度の妥当性	63
4. 事業化、波及効果についての妥当性	64
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	65
6. 費用対効果の妥当性	66
7. 総合評価	67
8. 今後の研究開発の方向等に関する提言	68
第4章 評点法による評点結果	70
参考資料 太陽光発電出力予測技術開発実証事業 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	太陽光発電出力予測技術開発実証事業			
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> 太陽光発電の出力データや気象情報等を活用し、太陽光発電の出力把握や出力予測手法の開発を行い、太陽光発電等の大量導入時代における安定的な電力供給を確保する。				
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 2 3 年度	平成 2 5 年度	平成 2 5 年度	平成 2 7 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
100, 000	90, 000	33, 000	223, 000	137, 765

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
＜日射量の把握＞			
日射量観測データや気象衛星データからの日射量推定（課題①）	日射量観測データや気象衛星データからの日射量推定技術を用いて、全国規模の実況日射量分布推定モデルを開発する。	気象衛星画像から日射量を推定する手法を需給運用上のニーズに合うよう改良し、全国規模の実況日射量分布推定モデルを開発した。 衛星推定日射量に日射計観測値を用いた誤差補正を行うことで精度向上を図った。	達成
空間線形回帰法（クリギング）に基づく空間補間による日射量推定（課題②）	リアルタイムの日射量マップの作成を目指し、地球統計学の空間線形回帰法（クリギング）に基づく日射の空間補間法を太陽光発電出力把握に適した手法に改良する。	これまでの10km四方程度を推定する空間補間法を、電力系統の需給エリアで適用できるよう、面的広がりの大きさの違いによる変動平滑化効果を考慮して改良した。 日射量の空間補間法をもとに、気温に関する空間補間を行う技術を開発し、推定精度の向上を図った。	達成
気象衛星データを用いた日射量推定（課題③）	衛星データ等を用いて日射量分布の推定を行う手法を構築する。	日射計観測値をもとに、GPVデータで面的に補完する手法を構築し、推定精度の向上も図った。	達成
＜日射量の予測＞			
時間スケールに応じた日射量予測（課題④）	日本気象協会保有の数値予報モデル（SYNFOS-3D）や統合日射量データベースなどを用いて日射量予測手法を開発する。	数時間先の予測は気象モデルではなく移動予測手法を用いるなど、予測する時間スケールごとの日射量予測技術を開発した。 翌日、当日予測では、気象モデルに統計的手法を組み合わせ、精度の向上を図った。	達成
気象モデルによる日射量の予測（課題⑤）	電力中央研究所保有の気象予測・解析システム（NuWFAS）をベースとして、当日・翌日の気温・日射量を予測できるようにする。	既開発の気象予測・解析システムの水平計算領域などを変更することで、日射量を予測できるシステムに改良し、翌日・当日予測技術を開発した。	達成
気象予測モデルおよび統計手法を用いた日射量の予測（課題⑥）	数値予報データを利用した統計学的手法により日射量を予測するモデルを構築する。	気象庁数値予報データ（GPV）の雲量を入力データとし、統計解析により日射量予測値を出力するモデルを構築した。	達成

＜太陽光発電出力の推定＞			
地域の太陽光発電導入状況に対応した太陽光発電出力推定 (課題⑦)	設置条件（太陽光パネル、方位等）による補正手法を検証評価し、地域ごとの太陽光発電設置状況の違いに対応可能な太陽光発電出力推定手法を開発する。	個別のPV出力推定に影響を与える要素（パネルの方位、角度など）を整理し、対象地域の太陽光発電導入（設置）状況に対応した発電出力を推定する手法を開発した。	達成
統計手法を用いた太陽光発電出力推定 (課題⑧)	日射量推定・予測値をもとに、過去の実測データによる学習および補正などを適用し太陽光発電出力を推定する手法を開発する。	需給計画・運用のニーズに基づきPV出力を推定する時間・空間解像度を決定し、それに基づいた太陽光発電出力推定モデルを構築した。また、PV300実測データを用いた学習および補正により推定精度の向上を図った。	達成
日射量推定結果からの太陽光発電出力推定誤差要因の分析 (課題⑨)	太陽光パネル設置地点の位置、パネルの方位・角度・温度、さらにはパネルの種類やPCSの変換効率など、様々な要因が日射量から太陽光発電出力の推定に与える影響を整理する。	太陽光発電出力推定の誤差要因を分析し、推定誤差への影響の有無および大きさを整理した。	達成
各種統計モデルと配電線潮流を用いた配電一全体系統の太陽光発電出力推定 (課題⑩)	配電線レベルの広さの太陽光発電出力の推定を行う手法を開発する。	NEDO事業等のデータを用い、各種相関をモデル化・統計分析し、潮流と日射量計測値から配電（地域）レベルの太陽光発電出力推定手法を開発した。	達成
統計処理による太陽光発電電量推定 (課題⑪)	簡易的な手法により、地域の日射強度から発電電力量を推定する手法を開発する。	自社モニターデータおよびPV300のデータを用い、統計処理（機械学習）を行うことで、日射強度と気温から簡易にPV出力を推定する手法を開発した。	達成

<日射量の分析>			
日射量データ分析 (課題⑫)	太陽光発電出力の予測や推定をする技術の観点から、用途・目的に応じて日射量や太陽光発電の発電量データがどの程度の空間密度、計測サンプリングが必要であるかを考察する。	PV300で設置した日射計のデータを様々な角度から分析し、太陽光発電の大量普及時に太陽光発電電力量の予測や出力を推定する技術の観点から、電力システムの運用という用途・目的に応じて日射量や太陽光発電の発電量データがどの程度の空間密度、計測サンプリングが必要であるかを考察するための基礎分析を行った。	達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

なし

<共通指標>

論文数
32

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、中でも気象条件によって発電量が変化する太陽光発電は、需要に合わせて発電することが出来ないため、安定的かつ効率的な需給運用を行う上で、その出力を正確に予測する技術の確立が求められる。

また、太陽光発電出力の予測・把握技術の精度が向上することにより再生可能エネルギーの導入量拡大が実現されるとともに、火力等の従来電源の効率的運転にも寄与し、本事業の社会的意義は大きい。

なお、予測に関わる各種データについては予測技術の利用者（電力）だけでなく、太陽光発電事業者に対する提供、情報開示も積極的に行うべきである。

2. 研究開発等の目標の妥当性

気象衛星データや地上における日射量観測データ、数値予報データなど、我が国の持つインフラを有効に活用した開発目標が設定されている。

また、日射・太陽光発電出力について、現状把握、時間スケールに応じた予測技術の開発を目標としており、電力システムにおけるニーズが反映されている点も評価される。

一方、電力系統運用面から求められる精度にはまだ到達しておらず、引き続き技術開発を進める必要がある。

また、ランプ変動などの影響が大きいと予想される現象について、個別の開発目標があってもよかった。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

日射量の把握・予測、太陽光発電出力の推定等、各要素において行われた各事業で、いずれも目標の達成を示した優位な結果が得られており、各課題によって得られた成果が今後の同分野での研究開発のベンチマークとなり、今後の研究開発に対して具体的な数値目標を示しうる結果が得られたと考える。

論文・学会発表も積極的に取り組んでおり、外部専門家との間で十分な議論がなされている。

一方、評価指標として、大外れやランプ変動などを加味した電力システムへの影響が大きい事象に関する予測制度の評価やより高精度・高信頼の把握・予測手法の開発が必要と思われ、少なくとも、今回の成果を組み合わせることで、どのような改善が望めるか、その際に技術的な課題となる事項について考察が欲しい。

4. 事業化、波及効果の妥当性

各電力会社における需給運用に用いられる技術のベースとなる成果が得られ、太陽光発電出力予測・把握システムにおけるベンチマークの一つとして活用されるなど、事業化及び波及効果において妥当な成果が得られていると評価できる。

なお、電力システム全体の出力の把握については、必要な観測地点数等について検討されているが、地形や周辺環境が異なる地域において、具体的にどこを観測点とすべきかを選定できるようにして欲しい。

また、PPS等への波及のため日射量などの生データを提供する体制を整備して欲しい。

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

電力10社、企業及び大学が参加する体制は研究開発の推進から事業化までを見据えた十分な体制であったと考えられ、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も適当であったと考える。

なお、日射の把握や予測において、複数のアプローチからの開発が行われているが、それらの得失を踏まえた手法の開発に着手する計画があってもよかったと考える。

6. 費用対効果の妥当性

太陽光発電の大量導入と電力の安定供給の実現に資する成果であり、今後の太陽光発電システムの発電コスト低下に伴う電力価格の低減や電力分野における低炭素化に資するものと考えられる。

また、PV300等の既存のデータを活用することで、効率的に研究開発が実施されており、費用対効果の高い事業と判断される。

なお、予測の大外れの回避やランプ変動の前日予測など、今後も継続した技術開発を行う上での基礎データ整備のため、PV300の観測体制を補強する取り組みがあってもよかったと考えられる。

7. 総合評価

太陽光発電の大量導入という国策を推進する上で必要不可欠な技術開発を適切なタイミングで実施し、その成果として太陽光発電の出力をより正確に予測・把握することが可能となり、系統容量に対する太陽光発電の導入可能量の拡大、系統全体の安定化・効率化など一定の成果が挙げられていることは評価に値する。

なお、電力系統運用面から求められる精度にはまだ到達できていないので、今後も継続的に技術開発を進める必要がある。

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

電力系統運用面から求められる精度にはまだ到達できていないので、実用化に向けて研究を進め、より高精度な予測手法の開発や知見の蓄積が進むことを期待する。

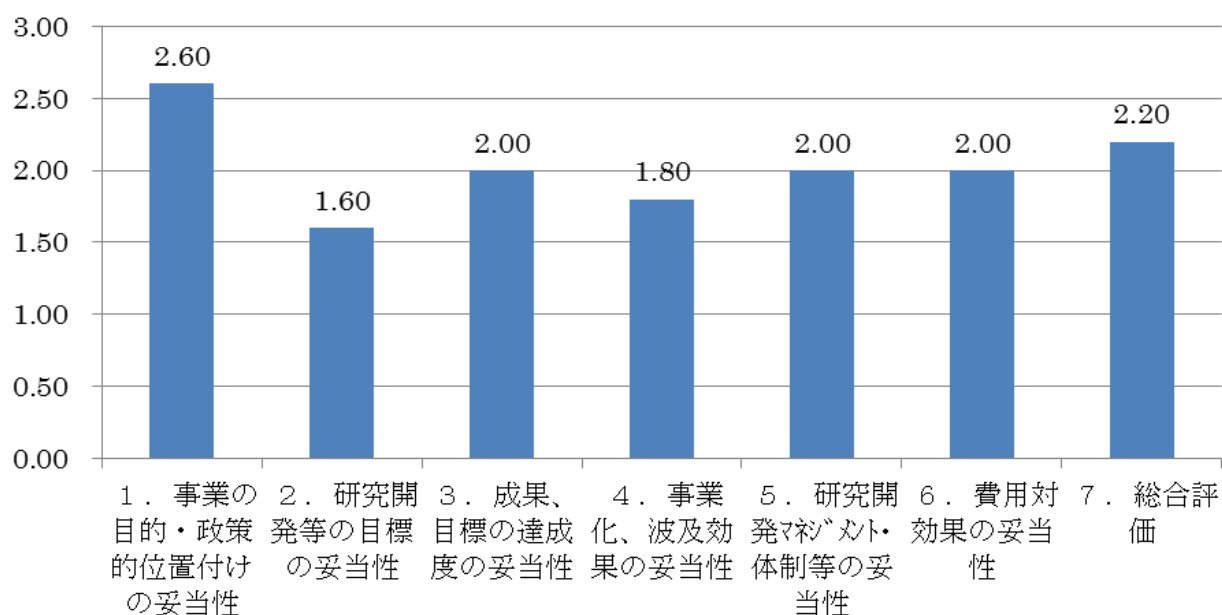
また、気象観測・予報の分野では、ひまわり8号などのより精度の高い計測データが導入されていることから、本事業に基づいて開発された技術を要素ごとにより一層進化させるニーズは高く、継続的な技術開発、既存技術の改良などが求められる。

評点結果

評点法による評点結果 「太陽光発電出力予測技術開発実証事業」

	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	2.60	2	2	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	1.60	2	2	2	1	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	1.80	2	1	2	2	2
5. 研究開発マネジメント体制等の妥当性	2.00	2	2	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.00	2	1	2	3	2
7. 総合評価	2.20	3	2	2	2	2

評点



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

太陽光発電出力予測技術開発実証事業（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（中部電力株式会社）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、プロトタイプの実製等があったか。
- (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態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 事業の目的

天候等の気象条件により発電出力が変動する太陽光発電（PV：Photovoltaics）が大量に導入されることにより、需給運用が複雑化し、電力の安定供給が損なわれるおそれがあるため、太陽光出力データ収集実証事業（分散型新エネルギー大量導入促進系統安定対策事業（以下「PV300」という）、平成21年度～平成23年度）による太陽光発電の出力データ等や気象情報等を活用し、現在では確立されていない太陽光発電の出力把握や出力予測手法の開発を行い、太陽光発電等の大量導入と安定的な電力供給を確保する次世代送配電ネットワークの構築に寄与することを目的とする。

1-2 政策的位置付け

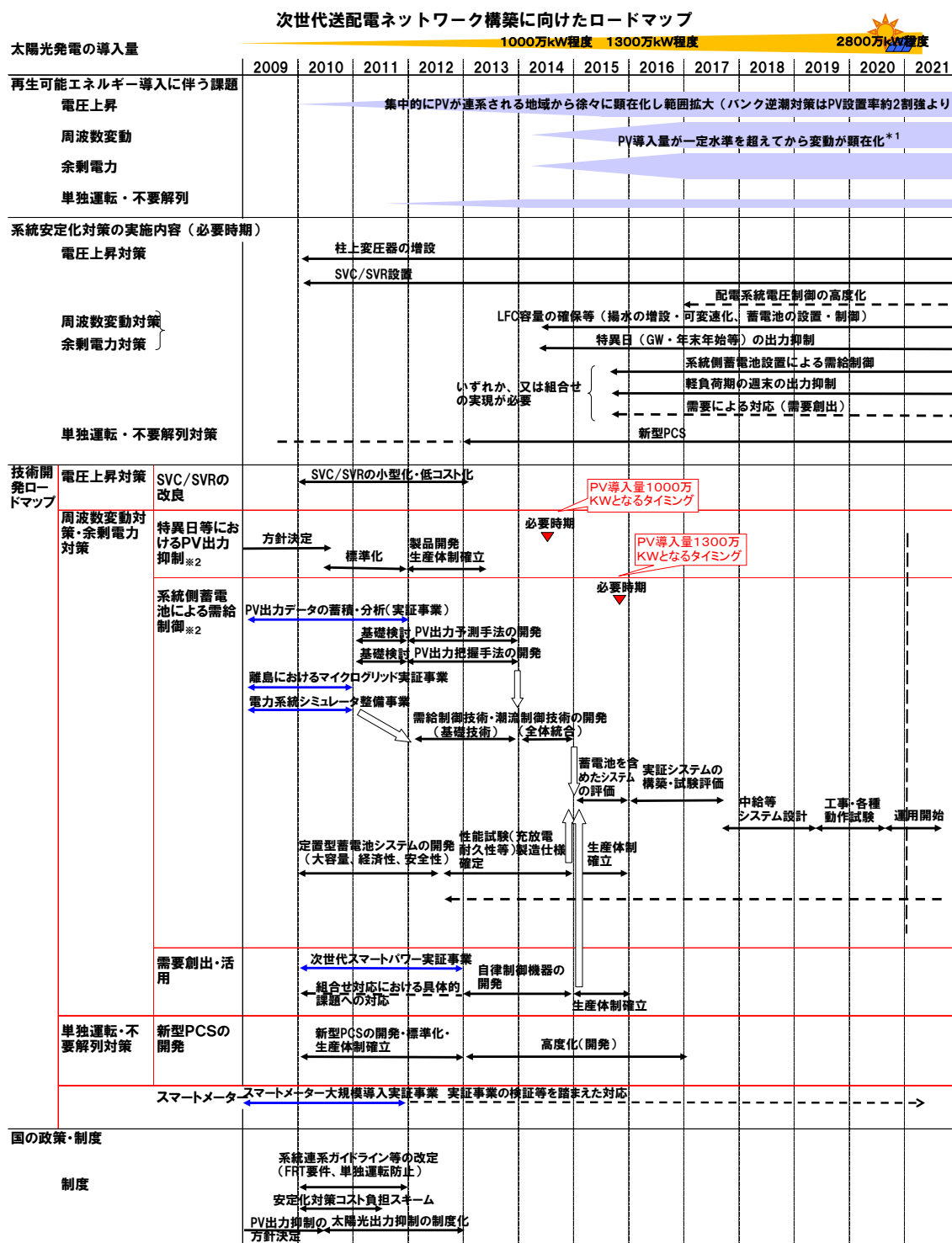
2009年8月の長期エネルギー需給見通し（再計算）において、太陽光発電の導入を2020年に2005年の20倍程度（約2,800万kW）と想定したことに基づき、次世代送配電ネットワークの構築に向けた系統安定化対策に係る技術的課題の整理、工程表（ロードマップ）の策定、系統安定化対策コストの試算等について検討が行われた。

系統安定化対策に係る技術課題については、余剰電力の発生、周波数調整力の不足、配電系統における電圧上昇等について、その対策と技術的課題の整理を行うとともに、太陽光発電の大量導入を想定し、技術的に解決すべき課題を克服すべく、2020年までに取り組むべき事項等について図1-1のロードマップとして整理され、これに基づき事業を実施した。

1-3 国の関与の必要性

広範囲に大量導入された太陽光発電の出力を予測する技術は、国の政策目標である太陽光発電の大量導入によって必要となる技術である。

また、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。



2. 研究開発等の目標

2-1 研究開発目標

太陽光発電大量導入時に必須となる、太陽光発電の出力状況把握や出力予測のための技術開発を行う。

(1) 太陽光発電の出力把握手法の開発

衛星画像や気象データおよび日射量計や配電系統に設置される電圧・潮流センサー等の情報を活用し、太陽光発電のエリア全体での出力状況の把握技術を開発する。

(2) 太陽光発電の出力予測技術の開発

気象予報や太陽光発電の出力状況把握技術の確立のもと、日単位や数時間程度先の太陽光発電の出力予測技術を開発し、電力系統における安定的な需給運用へつなげる。

2-2 全体の目標設定

太陽光発電出力予測技術開発実証事業の全体の目標は表2-1のとおり。

表2-1 全体の目標

目標・指標	設定理由・根拠等
衛星画像や気象データ、分散型新エネルギー大量導入促進系統安定対策事業で設置した日射計を始めとする各種センサーのデータや電流・電圧データから、太陽光発電の現在出力を把握する手法を開発する。	想定している太陽光発電の大量導入は一般家庭への設置が中心であるが、発電電力量計を太陽光発電システムごとに設置し直接発電出力を計測することは、その対象箇所数の多さから膨大なデータを扱う計測システムとその信頼性維持を両立させる必要があり現実的ではないため。
気象予報技術を応用し、日単位や数時間程度先の太陽光発電出力を予測する手法を開発する。	天気による太陽光発電出力の変動を補うために電源設備の出力を変化させなければならないが、火力発電機のように発電までに時間がかかるものは、太陽光発電の出力変動が予測できれば、その変動量や時間に応じて必要となる発電機を予め起動して系統に並列する対応をとることが可能となるため。

2-3 個別要素技術の目標設定

太陽光発電出力を推定するプロセスでは、まず日射量の把握または予測を行い、その日射量をもとに太陽光発電出力を推定する。

そのため、本実証事業ではこのプロセスを「日射量の把握」「日射量の予測」「太陽光発電出力の推定」に分類し、さらに日射量の把握・予測のための「日射量の分析」を加えて実施した。

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
<日射量の把握>		
気象衛星データや日射量観測データからの日射量推定 (課題①) 【日本気象協会】	気象衛星データや日射量観測データからの日射量推定技術を用いて、全国規模の実況日射量分布推定モデルを開発する。	気象衛星画像から日射量を推定する既存の手法に、日射量観測データ等による補正を反映し、推定精度を向上させるため。

要素技術	目標・指標	設定理由・根拠等
空間線形回帰法（クリギング）に基づく空間補間による日射量推定 （課題②） 【電力中央研究所】	リアルタイムの日射量マップの作成を目指し、地球統計学の空間線形回帰法（クリギング）に基づく日射の空間補間法を太陽光発電出力把握に適した手法に改良する。	データ入手のタイムラグを極小化することが期待できる日射計観測データを用いて、未計測地点の日射量を空間補間する技術の開発を行うため。
気象衛星データを用いた日射量推定 （課題③） 【伊藤忠テクノロジーソリューションズ】	気象衛星データ等を用いて日射量分布の推定を行う手法を構築する。	衛星情報等のデータから準リアルタイムで面的な日射量の推定を行うとともに、日射量観測データ等の実測値による学習および補正を行い推定精度の向上を図るため。
＜日射量の予測＞		
時間スケールに応じた日射量予測 （課題④） 【日本気象協会】	日本気象協会保有の数値予報モデル（SYNFOS-3D）や実況日射量分布推定モデルなどを用いて、週間・翌日・当日・数時間先などの時間スケールに応じた日射量予測手法を開発する。	通常の気象要素（降水量、気温、風など）だけでなく、日射量、大気安定度などの予測が可能なSYNFOS-3Dや、日射量把握において構築した要素技術を用いることで、週間・翌日・当日・数時間先の時間スケールに応じた日射量予測手法の開発が可能なため。
気象モデルによる日射量の予測 （課題⑤） 【電力中央研究所】	電力中央研究所保有の気象予測・解析システム（NuWFAS）をベースとして、翌日・当日の気温・日射量を予測できるようにする。	NuWFASは、各国の気象予報センターが日々実施している気象予測の格子点情報（GPV：Grid Point Value）をもとに、特定地域の気象をより高解像度で予測する数値気象予測システムであり、日射量を直接予測することができるため。
気象予測モデルおよび統計手法を用いた日射量の予測 （課題⑥） 【伊藤忠テクノロジーソリューションズ】	数値予報データを利用した統計学的手法により日射量を予測するモデルを構築する。	気象庁数値予報データ（GPV）の雲量を基に、統計学的手法により予測を行うことで、演算時間を短くすることができるため。
＜太陽光発電出力の推定＞		
地域の太陽光発電導入状況に対応した太陽光発電出力推定 （課題⑦） 【電力中央研究所】	設置条件（太陽光パネル、方位等）による補正手法を検証評価し、地域ごとの太陽光発電設置状況の違いに対応可能な太陽光発電出力推定手法を開発する。	既存の日射・気象データからの太陽光発電出力推定手法について、地域毎の導入状況（太陽電池種類、設置方位等）による補正方法等を検討することで、さらに推定精度向上を図ることができるため。

要素技術	目標・指標	設定理由・根拠等
統計手法を用いた太陽光発電出力推定 (課題⑧) 【伊藤忠テクノソリューションズ】	日射量推定・予測値をもとに、過去の実測データによる学習および補正などを適用し太陽光発電出力を推定する手法を開発する。	過去の実測データによる学習および補正等を行うことで、日射量から太陽光発電出力の推定精度向上を図ることができるため。
日射量推定結果からの太陽光発電出力推定誤差要因の分析 (課題⑨) 【日立製作所】	太陽光発電パネル設置地点の位置、パネルの方位・角度・温度、さらにはパネルの種類やPCSの変換効率など、様々な要因が日射量から太陽光発電出力の推定に与える影響を整理する。	日射量から太陽光発電出力を推定するための様々な入力データの省略の可否を判断するため。
各種統計モデルと配電線潮流を用いた配電一全体系統の太陽光発電出力推定 (課題⑩) 【三菱電機】	配電線レベルの広さの太陽光発電出力の推定を行う手法を開発する。	太陽光発電出力の変化は、広域では電力系統の周波数に、狭域では地域の電圧に影響を与えるので、配電線レベルの広さの太陽光発電出力推定手法の開発が必要なため。
統計処理による太陽光発電量推定 (課題⑪) 【ソーラーフロンティア】	簡易的な手法により、地域の日射強度から発電電力量を推定する手法を開発する。	収集可能な最低限の情報から地域発電量の推定値を求めるため。
<日射量の分析>		
日射量データ分析 (課題⑫) 【東京大学】	太陽光発電出力の予測や推定をする技術の観点から、用途・目的に応じて日射量や太陽光発電の発電量データがどの程度の空間密度、計測サンプリングで必要であるかを考察する。	PV300で設置した日射計のデータを様々な角度から分析し、太陽光発電量の予測・推定を行っていくための計測装置の仕様や配置に関する提言を行うため。

3. 成果、目標の達成度

3-1 成果

3-1-1 全体成果

太陽光発電大量導入時に必須となる、太陽光発電の出力状況把握や出力予測のための技術を開発した。

(1) 太陽光発電の出力把握手法の開発

衛星画像や気象データ、および日射量計や電力系統で計測している潮流値等の情報を活用し、電力の需給運用エリアでの太陽光発電出力の状況を把握する技術を開発した。

(2) 太陽光発電の出力予測技術の開発

気象予報技術の応用により、日単位や週間および数時間先の太陽光発電の出力予測技術を開発した。

3-1-2 個別要素技術成果

(1) 日射量の把握

電力の安定供給のためには、需要と供給を時々刻々とバランスさせることが求められるため、太陽光発電出力を把握する必要がある。また地域系統の運用においても、潮流管理のために太陽光発電出力を把握して需要を推定する必要がある。そこで、現在の太陽光発電出力が推定できるよう、日射量（日射強度）を把握するための推定手法を開発した。

(a) 日射量推定値の提示仕様

日射量把握の要素技術（課題番号①～③）ごとの日射量推定仕様を表3-1-1に示す。

表3-1-1 日射量推定仕様

課題番号	使用データ 「データ元」	推定値提示時期	推定する日射量
① ③	気象衛星画像 「気象庁所管」	毎時00分、40分 (最大40分遅れ)	30分毎の前30分平均値
②	日射強度観測値 「PV300等」	推定要求の5分後	5分前の瞬時値

日射量推定の時間的イメージを図3-1-1、図3-1-2に示す。

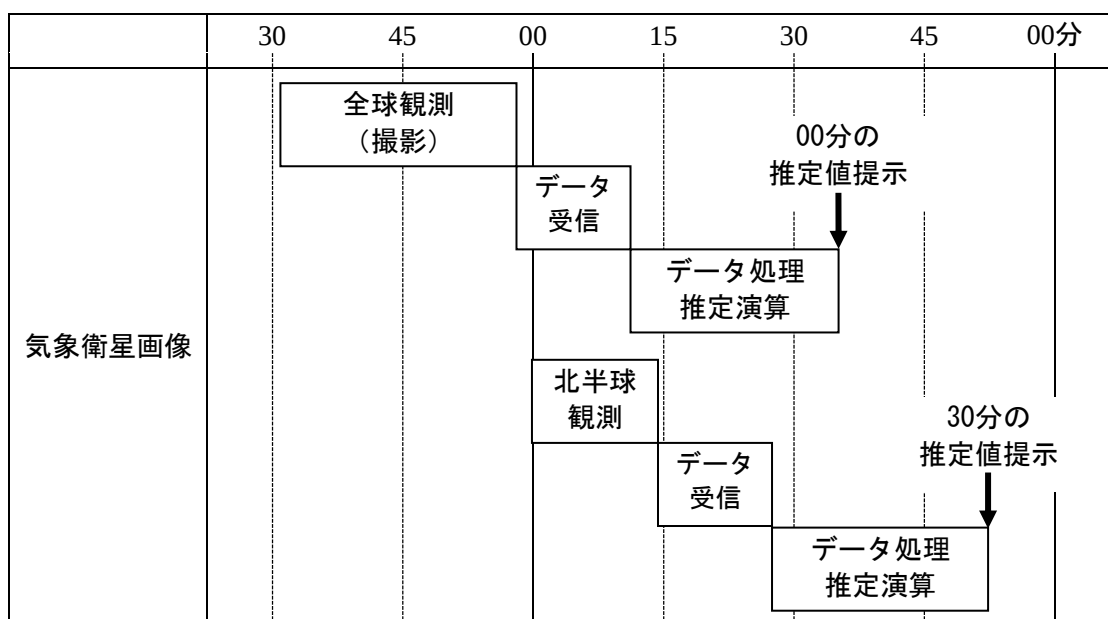


図3-1-1 気象衛星¹画像を使った日射量推定イメージ（課題①，③）

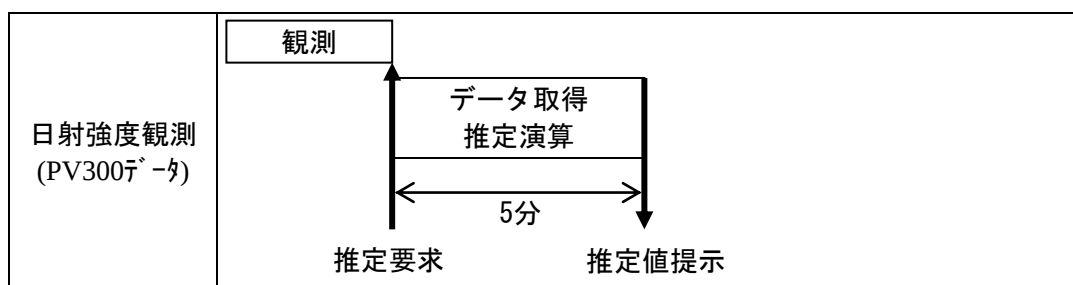


図3-1-2 日射強度観測値を使った日射量推定イメージ²（課題②）

¹ 静止気象衛星ひまわり7号

² PV300 観測値の収集にかかる時間が数分のため5分とした。なお、通信回線の速度、データ量、演算装置の能力によりこの時間は変わる。

(b) 日射量把握の概要と評価結果

(i) 各要素技術（課題①～③）の概要

(イ) 課題①：日射量推定の精度向上および太陽光発電出力把握に向けた検討【日本気象協会】

項 目	内 容
手法の概要	気象衛星画像データを用いた推定日射量を観測値で補正し、推定精度を向上させる。
推定結果出力	1kmメッシュの日射強度
推定時間間隔	気象衛星画像の配信間隔による。
特徴	・上空からの観測であるため、広範囲を同じように推定することができる。 ・地上の観測データを組み合わせることで、精度向上を図ることができる。 ・気象衛星画像は、可視画像だけでなく赤外画像も活用している。 ・推定可能な時間帯は、日射がある（可視画像で反射輝度が観測されている）時間帯となる。

▶ 気象衛星画像を元に、現在の日射量を推定する

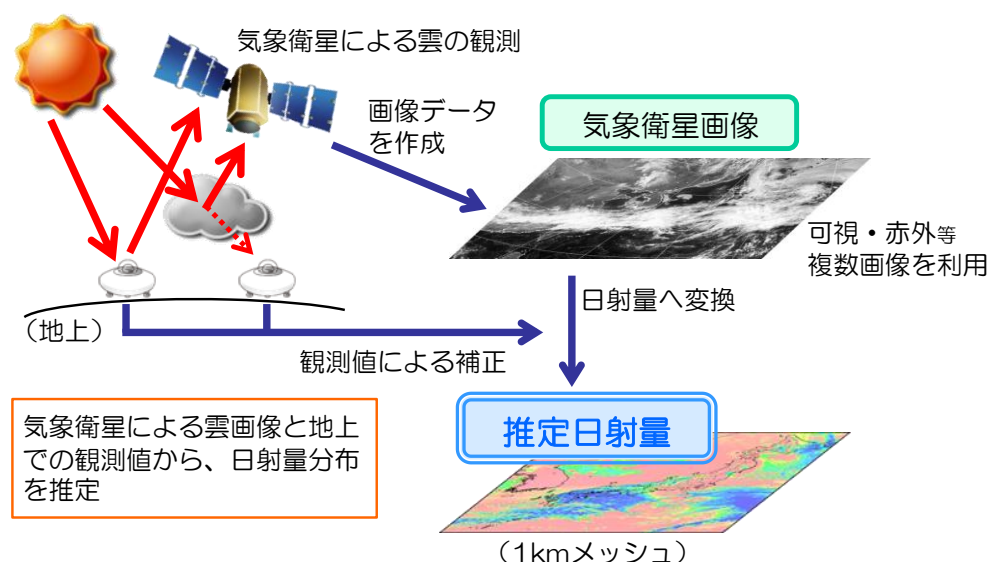


図3-1-3 気象衛星画像データによる日射把握手法の概要（課題①）

(ロ) 課題②：空間線形回帰法（クリギング）に基づく空間補間による日射量推定【電力中央研究所】

項 目	内 容
手法の概要	PV300等観測データを用いて、空間線形回帰法(クリギング)に基づく空間補間により推定を行う。
推定結果出力	1kmメッシュの日射強度
推定時間間隔	観測周期による。
特徴	・ ほぼリアルタイムで日射を把握することができる。 ・ 観測地点の有無、配置が推定精度を左右する。

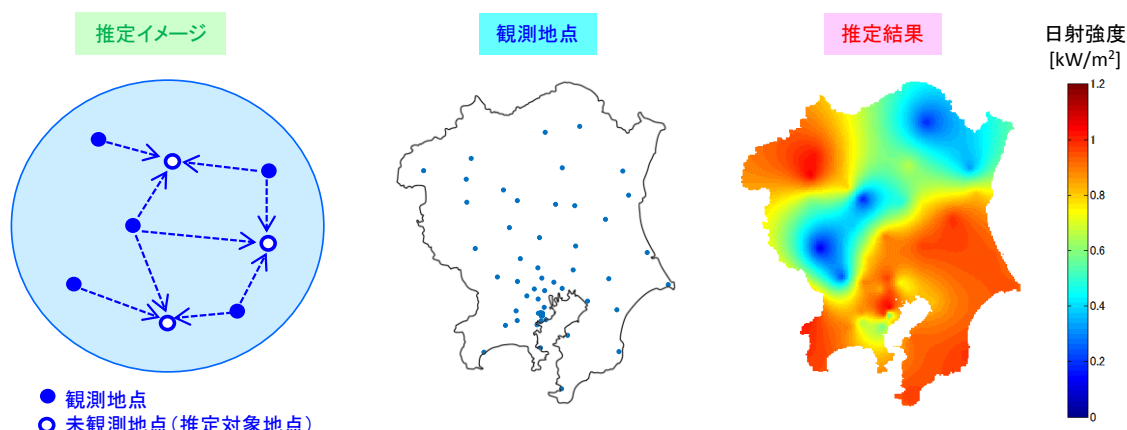
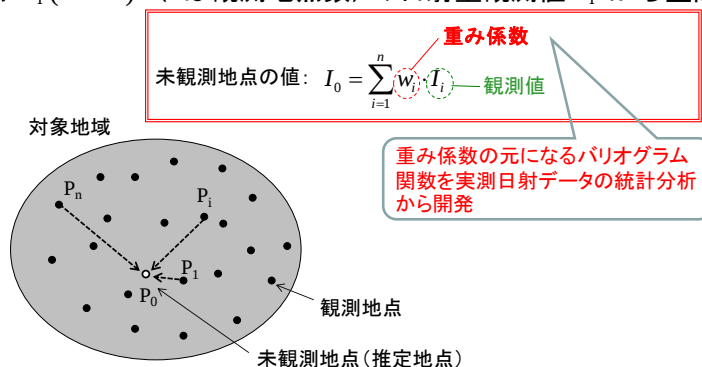


図3-1-4 観測データの空間補間による日射把握手法の概要

クリギングとは

クリギング (kriging) とは、未観測地点の未知の物理量を観測地点の既知の値から、統計的に予め求めておいた距離依存性（バリオグラム (variogram) 関数という）を用いて、誤差の期待値が数学的に最も少なくなるように推定する地球統計学的手法をいう。

ここでの物理量は日射量であり、未観測地点 P_0 の日射量 I_0 を、その周囲の観測地点 $P_i (i=1\sim n)$ (n は観測地点数) の日射量観測値 I_i から空間補間推定する。



(ハ) 課題③：気象衛星データを用いた日射量推定【伊藤忠テクノロジーソリューションズ】

項 目	内 容
手法の概要	気象衛星データを用いた推定日射量（東京大学竹中特任研究員作成）を観測値で補正し、推定精度を向上させる。
推定結果出力	1kmメッシュの日射強度
推定時間間隔	気象衛星画像の配信間隔による。
特徴	・上空からの観測であるため、広範囲を同じように推定することができる。 ・地上の観測データを組み合わせることで、精度向上を図ることができる。

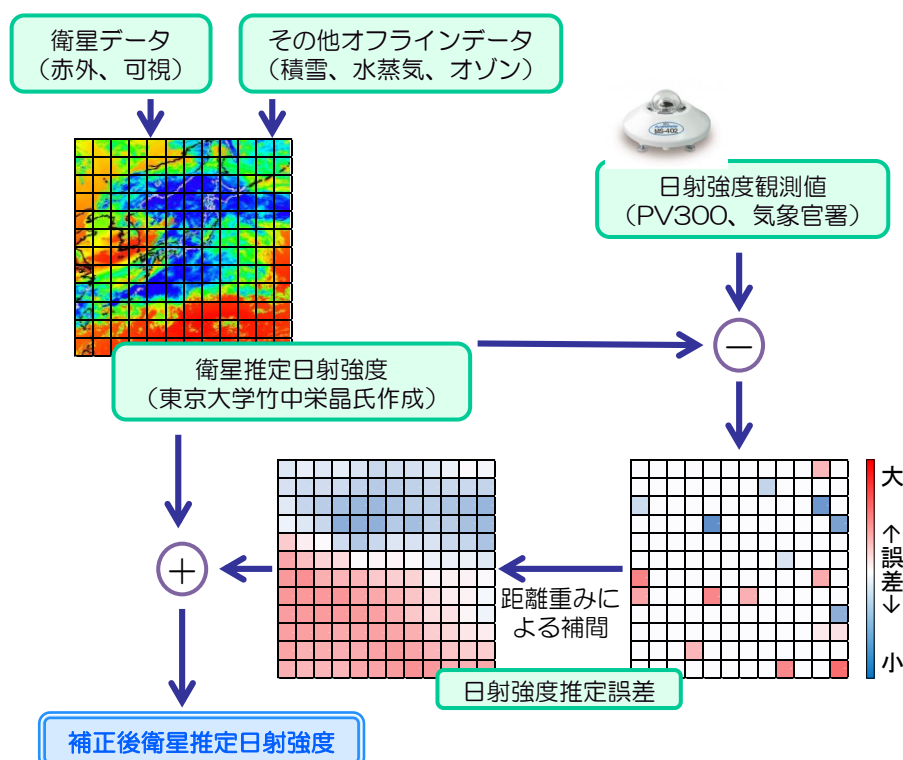


図3-1-5 気象衛星データを用いた日射把握手法の概要（課題③）

(ii) 評価方法

要素技術（課題①～③）ごとに日射強度推定を行い、推定精度を評価した。評価の条件を表3-1-2に示す。

評価の基準値にはPV300の全天日射強度観測値（実績値）を使用した。課題①、③は、気象衛星画像を使用しているため理論的に地域差が生じないため、代表地域で評価を行った。代表地域はPV300観測地点が集中している地域から評価エリアを選定した。PV300観測地点が少ない地域は、推定結果の誤差が観測されていない地点の影響である可能性が高いためである。

また、評価エリアは複数の地域と大きさのエリア（表3-1-3、図3-1-6）を選定し、地域や観測地点の配置の影響についても確認することとした。なお、日射強度観測値データを日射量推定に使用する課題②は、観測点の粗密・配置が精度に影響するが、課題①、③と同じ条件で評価するために、同じエリアとし、時間間隔も30分とした。

表3-1-2 日射量推定値 評価の条件

評価期間	2010年11月～2013年10月
評価時間帯	6～18時 ³
推定の時間間隔	30分（30分毎の前30分平均）
評価エリア	表3-1-3の6地域
評価基準	評価エリア内のPV300観測値（全天日射強度30分平均値）の全地点平均
推定値	評価エリア内のメッシュ（海等の非対象地域を除く）ごとの全天日射強度推定値（30分平均値）の全メッシュ平均

表3-1-3 評価に使用したエリアの概要

エリアの大きさ	地域	PV300観測地点数	1kmメッシュの数 ⁴
10km四方	名古屋市中心	5	100
	横浜市付近	5	73
20km四方	名古屋市内	10	387
	大阪市内	9	340
40km四方	愛知県西部	14	1,531
	大阪市付近	20	1,502

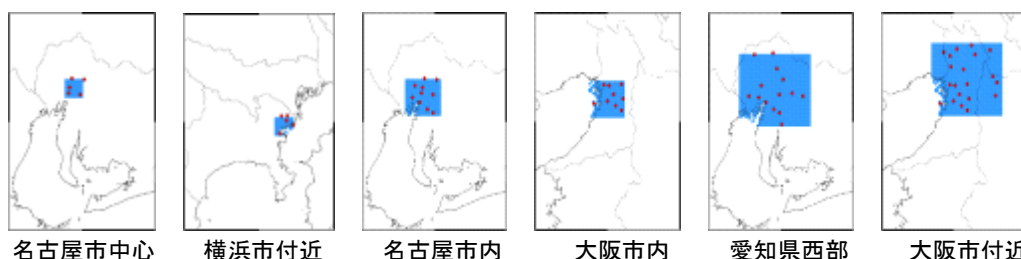


図3-1-6 評価に使用したエリア⁵

(iii) 評価結果

RMSE⁶を用いて年間の推定誤差を表3-1-4に示す。RMSE(W/m²)の計算式は下式の通り。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (EST_i - OBS_i)^2}$$

EST : 推定値
 OBS : 観測値
 N : データ数

なお、年間の推定誤差は2010年11月～2011年10月、2011年11月～2012年10月、2012年11月～2013年10月の各1年間の平均誤差と2010年11月～2013年10月の3年間の平均誤差を示す。

基準日射強度1,000W/m²に対し日射量把握の年間推定誤差は課題①、②で10～15W/m²

³ 日の出前、日の入り後の時間は評価から外している。

⁴ エリア内の海の部分は除いているため、エリアの面積とは若干異なる。

⁵ 図中の点はPV300観測地点を示す。

⁶ RMSE (Root Mean Square Error) : 二乗平均平方根誤差

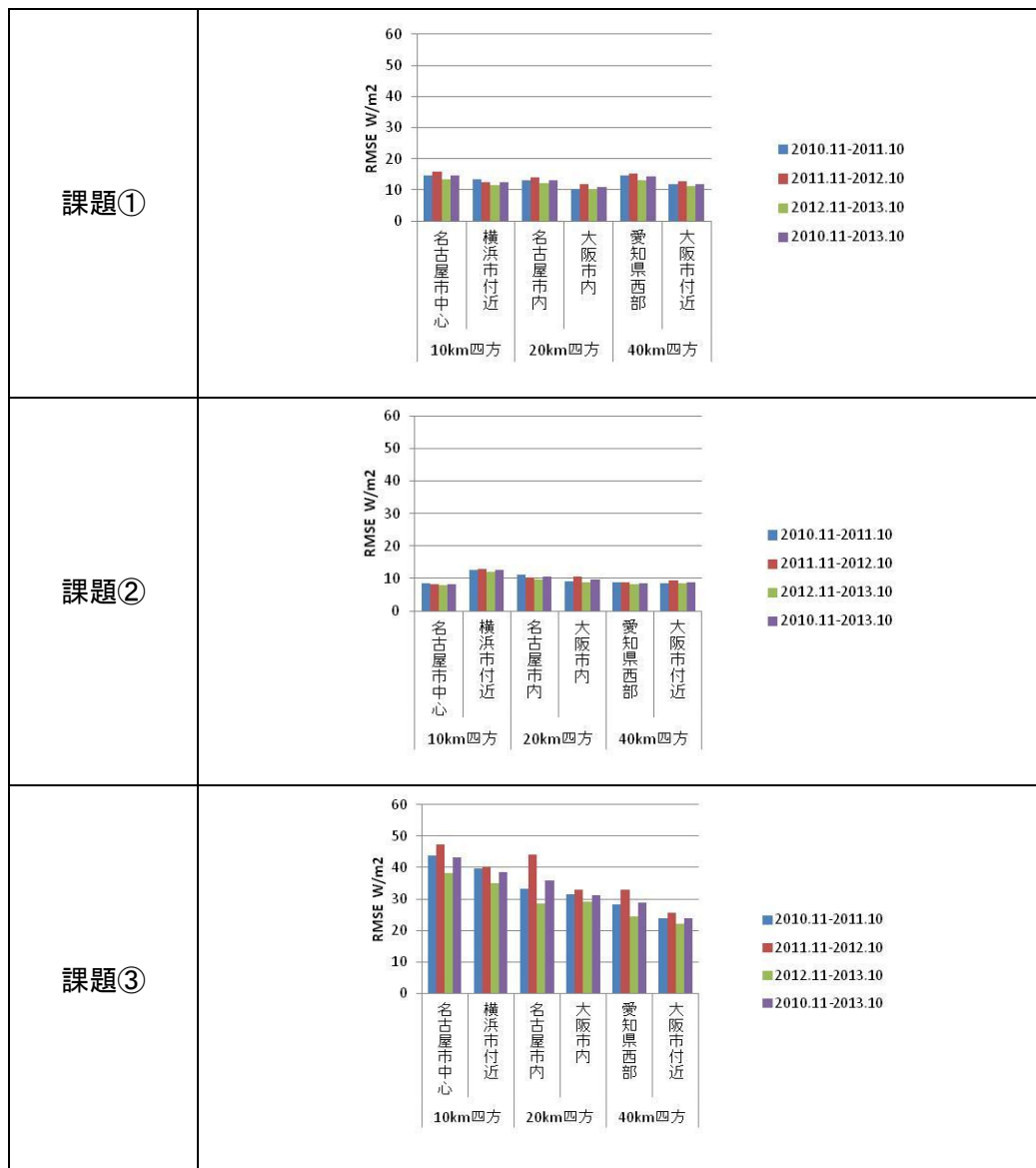
真値（今回の場合はPV300観測値）からの「ばらつき」を表す。値が小さく0に近いほど精度が高いことを示す。なお、標準偏差を求める式と同じである。

程度の精度が得られた。

課題①と③はともに衛星画像を使用しているが、観測値を用いた補正方法の違いなどにより推定誤差に違いが生じている。課題①はエリアの大きさと誤差に明確な関係が見いだせないが、課題③は観測値を用いた補正方法が電力会社毎の供給エリアでの誤差が小さくなるように調整しているため、評価エリアが小さくなるほど誤差が大きくなるなど、エリアの面積による誤差傾向に違いが見られた。（課題③については、推定精度向上を図るために、衛星画像以外のデータを用いた追加検討を後述の（Ⅴ）で行っているので参照されたい。）

日射強度観測値を使用する課題②の推定手法では、衛星画像を使用する推定手法とは異なり、評価基準としたPV300観測値を入力データとしているため、他の手法より誤差が小さくなる傾向がある。しかし、この手法では入力データとなる観測値の観測地点数が変化すると、誤差に影響を及ぼすことに注意が必要である。入力データの観測地点数が少ない場合は誤差が大きくなる。

表3-1-4 評価エリアにおける年間推定誤差（RMSE：W/m²）



※ 基準日射強度：1,000W/m²

(iv) 全国での日射量把握の確認

電力会社ごとの供給地域内を対象に日射量推定を行い、その結果について誤差を確認した。評価基準値となるPV300観測地点が少なくなると正確な評価ができないため、ここでは参考扱いで「確認」とした。対象エリアとPV300観測地点を図3-1-7、エリアの大きさ（1kmメッシュの数）とPV300観測地点数を表3-1-5に示す。

表3-1-5 確認に使用したエリアの概要

電力会社	PV300観測地点数	1kmメッシュ数 ⁷
北海道	12	84,805
東北	21	81,068
東京	48	38,607
中部	46	39,737
北陸	14	12,010
関西	37	26,934
中国	21	29,963
四国	15	17,924
九州	23	35,509
沖縄	3	1,298

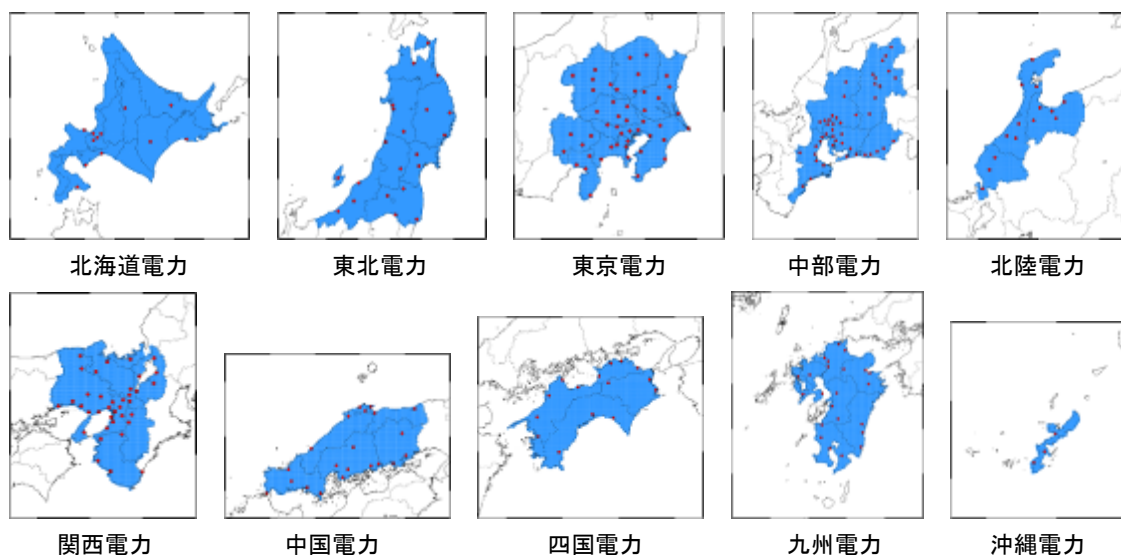


図3-1-7 確認に使用したエリア⁸

RMSEを用いて年間の推定誤差を表3-1-6に示す。

評価エリアでの推定結果と同様に、課題①と③は、ともに衛星画像を使用する推定手法であるが、それぞれの観測値を用いた補正手法の違いにより推定誤差に違いが生じている。

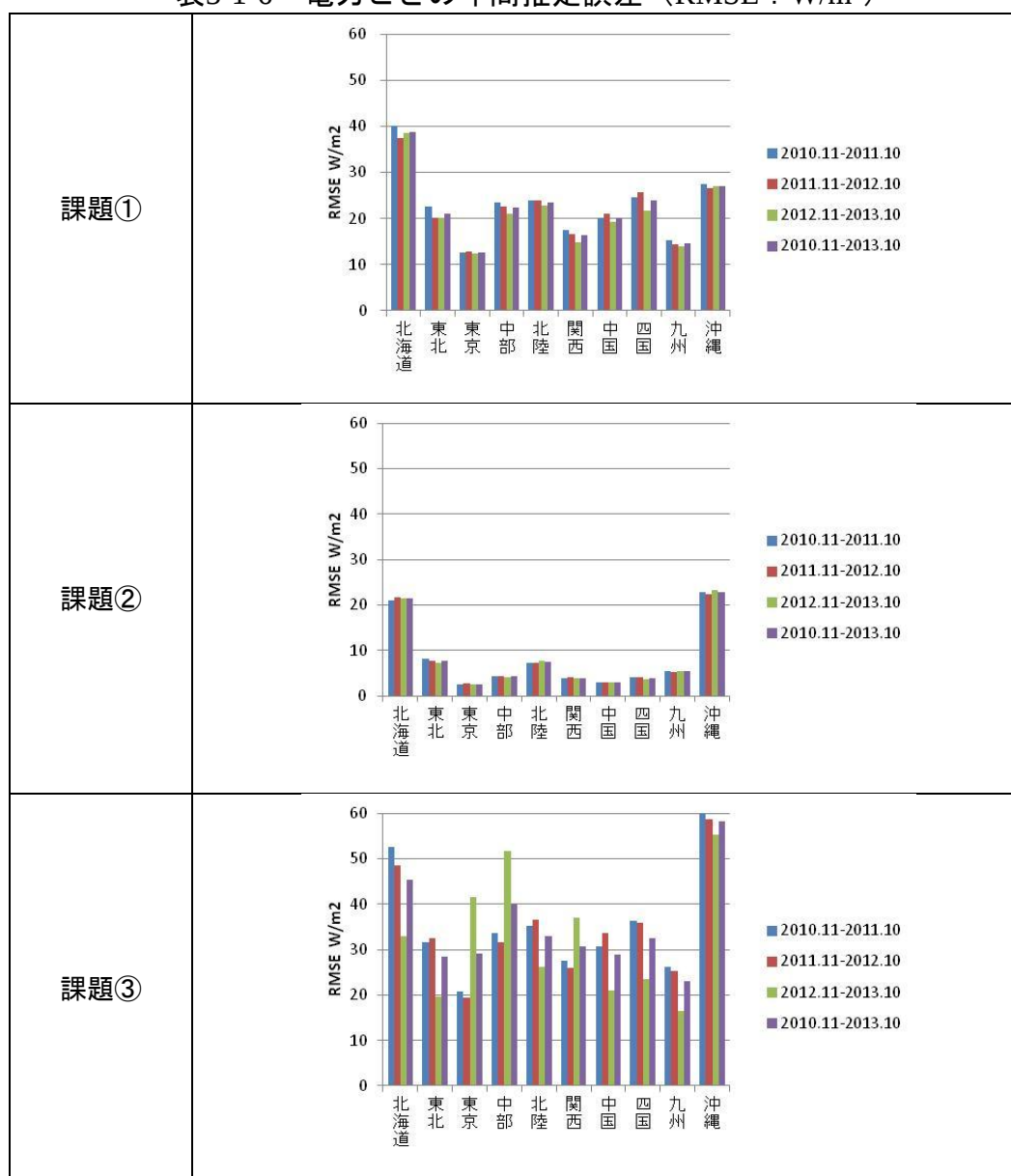
また、日射強度観測値を使用する課題②の推定手法では、北海道と沖縄が他に比べRMSEが大きくなっているが、これらのエリアの特徴として、基準値とした観測地点に対して推定地点が外挿⁹になっている範囲が広いためである。

⁷ 海上や大きな湖、PV300の観測点を持たない島は除いている。

⁸ 図中の点はPV300観測地点を示す。

⁹ 観測点に囲まれた領域の外側を対象に推定していること。

表3-1-6 電力ごとの年間推定誤差 (RMSE : W/m²)



※ 基準日射強度 : 1,000W/m²

(v) 課題③の追加検討

課題③の中で、推定精度向上を図るため、衛星画像データでなくGPV¹⁰データを用いた日射量推定も行った。

項 目	内 容
手法の概要	PV300等観測データをもとに、観測を行っていない地点の日射強度分布をGPVデータで面的に補間することにより推定を行う。
推定結果出力	5kmメッシュの日射強度
推定時間間隔	PV300の日射観測周期による。
特徴	・ GPVデータは広範囲をカバーしたデータであり、日本全国を同じように推定することができる。 ・ 地上の観測地点の配置が推定精度を左右する。 ・ GPVデータの配信エラーは極めて稀であり、安定して推定ができる。

¹⁰ GPV(Grid Point Value) : 大気中もしくは地表などに設定された格子点上の気象要素（気象庁数値予報）などの値

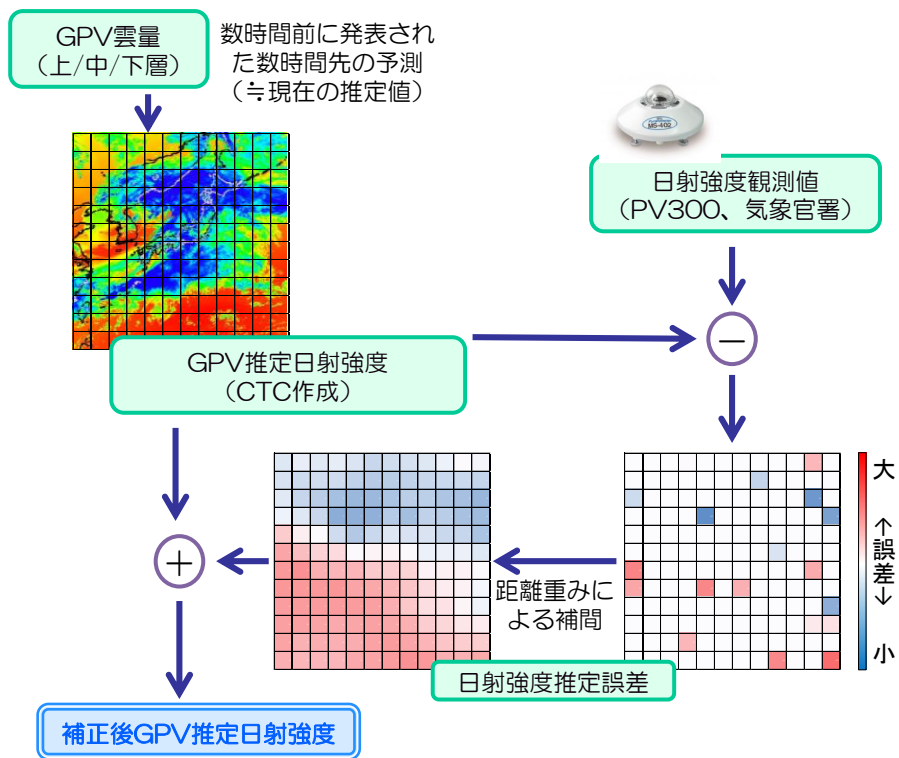
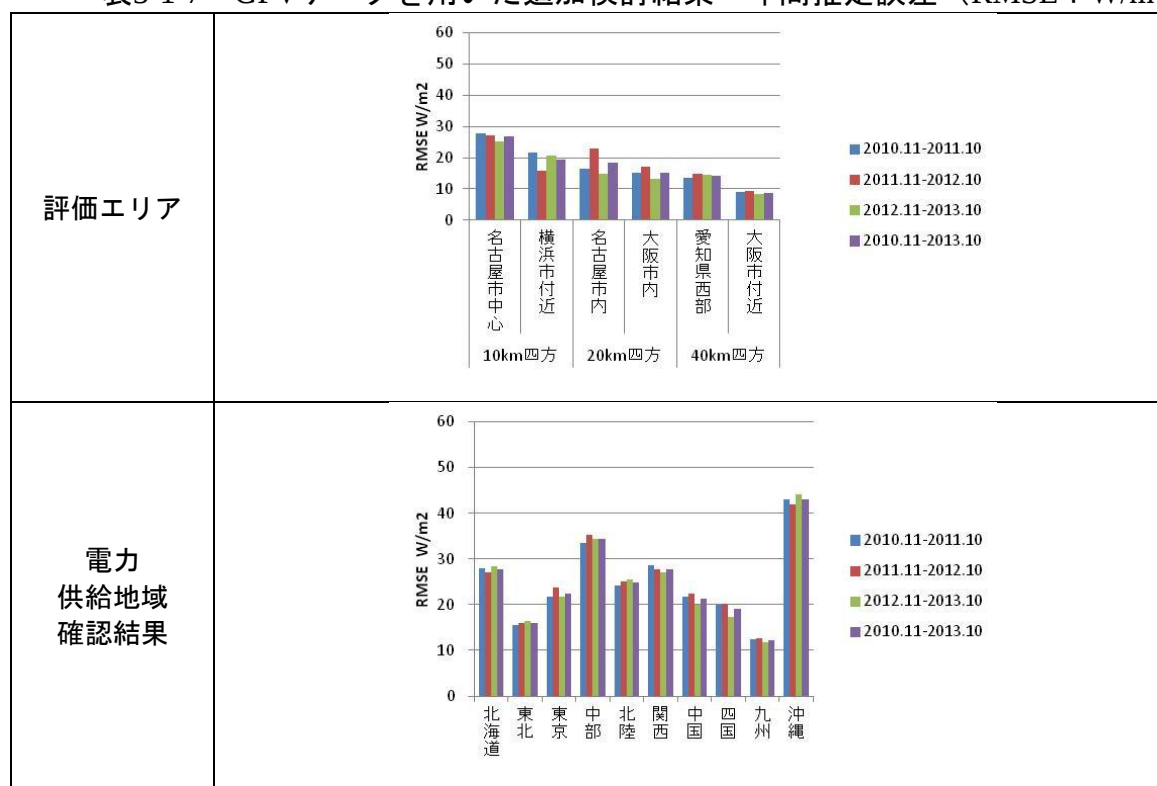


図3-1-8 GPVデータを用いた日射把握手法の概要

表3-1-7に評価エリアごとの年間推定誤差を示す。なお、（iv）と同様に電力会社の供給地域ごと（確認エリア）の推定誤差確認結果も示す。評価の方法は前述の（ii）と同じである。

表3-1-7 GPVデータを用いた追加検討結果 年間推定誤差（RMSE：W/m²）



※ 基準日射強度：1,000W/m²

GPVデータを利用することで、追加検討前の衛星画像データを用いた手法の結果（表3-1-4 課題③）と比べ年間推定誤差を改善することができた。狭いエリアでの誤差が大きい傾向は残っているが、40km四方と比較的広いエリアでの年間推定誤差は9～15W/m²程度と、課題①，②の推定誤差と遜色ないレベルである。

（２）日射量の予測

太陽光発電の出力は天気によって変化する。例えば天気が晴れから雨や曇りになった場合には、広範囲で出力が減少する。このような出力変化を補うために、電源設備の出力を変化させなければならないが、火力発電機のように発電までに時間がかかるものは、予め起動して系統に並列しておく必要がある。そこで、将来の太陽光発電の出力変化を推定するために、数時間～1週間先程度の日射量（日射強度）を予測する手法を開発した。

（a）日射量予測値の提示仕様

日射量予測の翌日・当日予測などの種別ごとの日射量予測仕様を表3-2-1に示す。なお、要素技術（課題番号④～⑥）により扱う予測種別が異なる。また、予測種別ごとの日射量推定の時間的イメージを図3-2-1～図3-2-3に示す。

表3-2-1 日射量予測仕様

課題番号	予測種別	予測値提示時期	予測範囲	予測値の出力間隔	予測値
④ ⑤ ⑥	翌日予測	前日11時	翌日1日間	30分間隔 (毎正時、30分)	前30分 平均値
	当日予測	当日5時	当日1日間	30分間隔 (毎正時、30分)	前30分 平均値
④ ⑥	週間予測	11時	7日先まで	30分間隔 (毎正時、30分)	前30分 平均値
	数時間先	正時 もしくは30分	6時間先まで	30分間隔 (毎正時、30分)	前30分 平均値

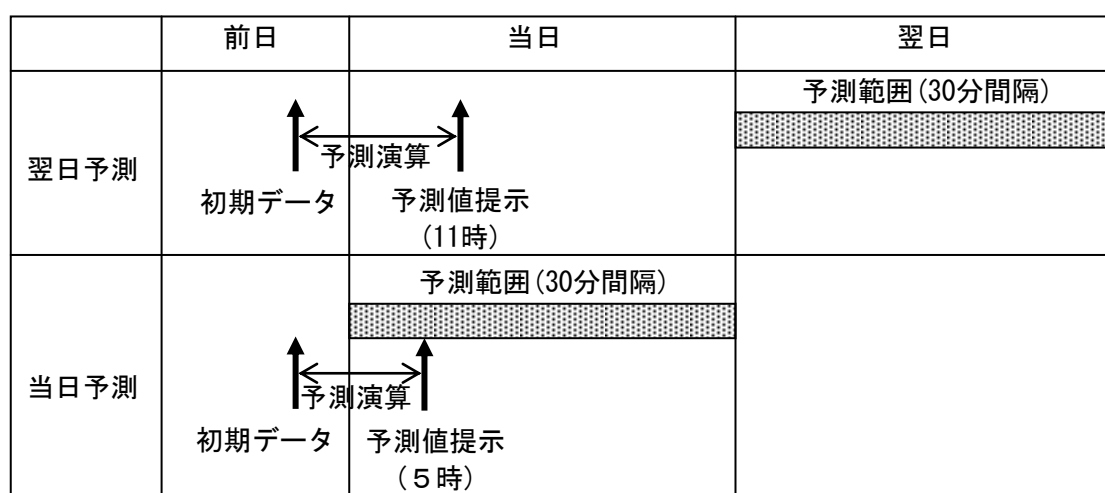


図3-2-1 翌日、当日の日射量予測イメージ

	前日	当日	1日先	2日先	3日先	4日先	5日先	6日先	7日先	
週間予測				予測範囲（30分間隔）						

図3-2-2 週間日射量予測イメージ

	基準	1時間先	2時間先	3時間先	4時間先	5時間先	6時間先
数時間先 予測	予測範囲（30分間隔）						
	初期 データ	予測値提示 （30分後）					

図3-2-3 数時間先予測イメージ

- (b) 翌日、当日予測の概要と評価結果
 (i) 各要素技術（課題④～⑥）の概要
 (イ) 課題④：時間スケールに応じた日射量予測手法の開発および太陽光発電量予測に向けた検討【日本気象協会】

項 目	内 容
手法の概要	数値気象モデル（SYNFOS-3D）による予測値を、過去の実測値を用いて統計的に補正する。
予測結果出力	1kmメッシュの日射強度
特徴	・ 日射予測の目的に応じたパラメータ設定により気象モデルの改良を行い、精度を高めている。 ・ GPV受信後の数値予測の計算に4時間程度を要する。

SYNFOS-3D（シンフォス スリーディ）

ギリシャ語で雲を意味する「synnefo」と、数値予報システム「Numerical Forecasting System」の頭文字を組み合わせたもので、「3D」は旧来の「SYNFOS」に3次元変分法によるデータ同化機能を加えたという意味

▶ 天気予報の技術を応用し、日射量を予測する

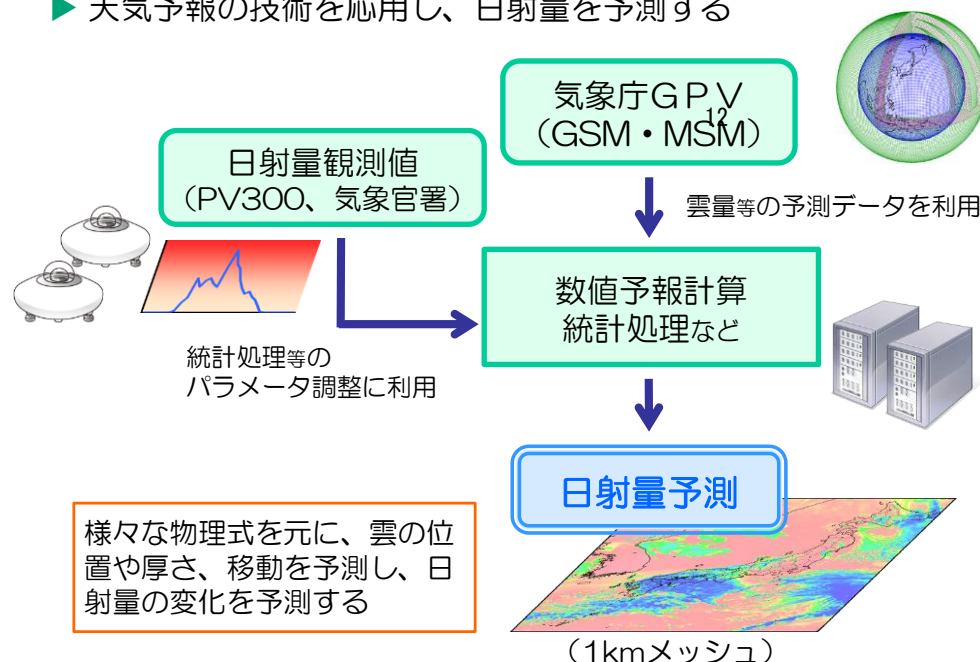


図3-2-4 数値気象モデル（SYNFOS-3D）による日射量予測手法の概要¹¹

¹¹ GSM (Global Spectral Model) 全球モデル：地球全体の大気を対象とした気象庁の数値予報モデル

MSM (Meso Scale Model) メソモデル：日本および近海の大気を対象とした気象庁の数値予報モデル

(ロ) 課題⑤：気象モデルによる予測【電力中央研究所】

項 目	内 容
手法の概要	数値気象モデル(NuWFAS)により予測を行う。水平領域など適切な計算条件の設定により精度向上を図る。
予測結果出力	5kmメッシュの日射強度
特徴	・必要に応じて特定地域の気象のみをより高い解像度で予測することができる。 ・過去の実績値を用いた統計処理を行わずに、日射量を直接予測できる。 ・GPV受信後の数値予測の計算に4時間程度を要する。

NuWFAS（Numerical Weather Forecasting and Analysis System、ニューファス）

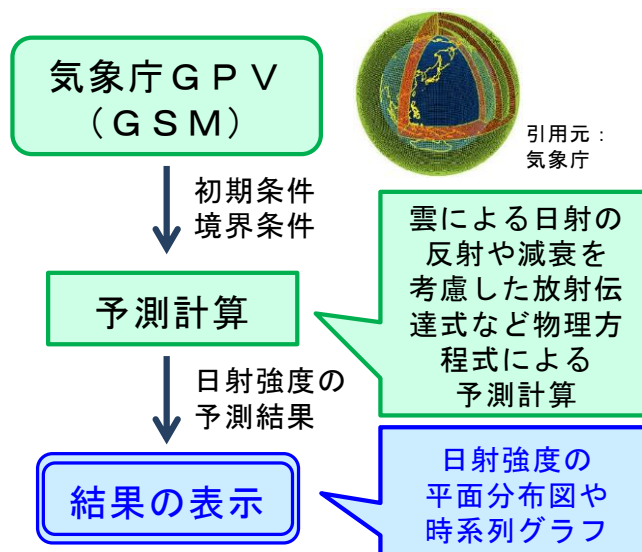


図3-2-5 数値気象モデル（NuWFAS）による日射量予測手法の概要

(ハ) 課題⑥：気象予測モデルおよび統計手法を用いた予測

【伊藤忠テクノソリューションズ】

項 目	内 容
手法の概要	気象庁数値予報データ（GPV）の雲量を元に、統計学的手法により予測を行う。
予測結果出力	5kmメッシュの日射強度
特徴	・雲量の計算が不要のため、計算時間が短く最新のGPVデータが使用できる。 ・予測メッシュは気象庁の配信データによる。 ・GPV受信後の数値予測の計算に20分程度を要する。

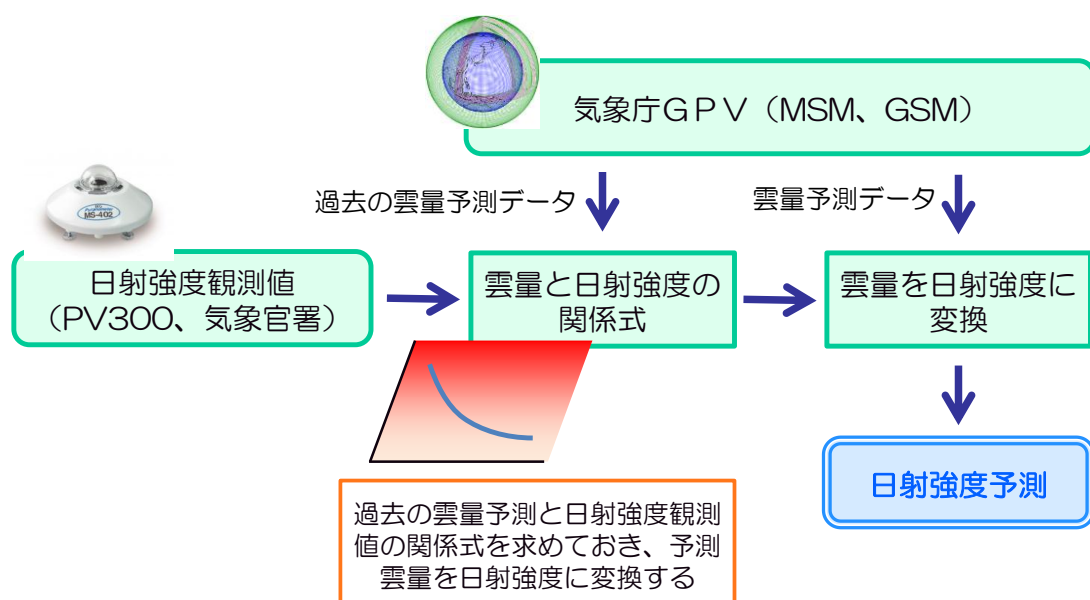


図3-2-6 統計学的手法を用いた日射量予測手法の概要

(ii) 評価方法

要素技術（課題④～⑥）ごとに日射量予測を行い、予測精度を評価した。評価の条件を表3-2-2に示す。

評価の基準値にはPV300の全天日射強度観測値（実績値）を使用した。課題④～⑥は数値気象モデルを用いているため日射量予測にあたり地域差は生じないと考え、「日射量の把握」と同様に代表地域で評価を行った。評価エリアは表3-1-3、図3-1-6と同じである。

表3-2-2 日射量予測値 評価の条件

評価期間	2010年11月～2013年10月
評価時間帯	6～18時 ¹²
予測の時間間隔	30分（30分毎の前30分平均）
評価エリア	表3-1-3の6地域
評価基準	評価エリア内のPV300観測値（全天日射強度30分平均値）の全地点平均
予測値	評価エリア内のメッシュ（海等の非対象地域を除く）ごとの全天日射強度予測値（30分平均値）の全メッシュ平均

¹² 日の出前、日の入り後の時間は評価から外している。

(iii) 評価結果

RMSEを用いて翌日、当日予測の年間予測誤差を表3-2-3に示す。RMSE(W/m²)の計算式は下式の通り。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (FORE_i - OBS_i)^2}$$

FORE : 予測値
OBS : 観測値
N : データ数

基準日射強度1,000W/m²に対し翌日予測の年間予測誤差は100～160W/m²程度、当日予測の年間予測誤差は80～150 W/m²程度の精度が得られた。翌日予測と当日予測の誤差を比べると、当日予測の方が10%～15%程度小さくなっている。なお、日射量予測精度の更なる向上を図るには、入力データとなる気象庁数値予報の精度を向上させることが必須となる。

表3-2-3 翌日、当日予測の年間予測誤差 (RMSE : W/m²)

	翌日予測	当日予測
課題④		
課題⑤		
課題⑥		

※ 基準日射強度 : 1,000W/m²

(c) 週間予測の概要と評価結果

課題④および⑥では日射量の週間予測を検討した。その手法の概要と評価結果を示す。

(i) 各要素技術（課題④，⑥）の概要

(イ) 課題④：時間スケールに応じた日射量予測手法の開発および太陽光発電量予測に向けた検討【日本気象協会】

項 目	内 容
手法の概要	気象庁数値予報データGPV(GSM)をベースとして、統計手法により精度向上を図る。
予測結果出力	5kmメッシュの日射強度
予測時間間隔	30分間隔で1週間先まで
特徴	・GSMの利用は、天気 の長期予報と同じ（予報は20kmメッシュ）。 ・時期が先に行くほど誤差が大きくなる。

▶ 数値予報の結果から、統計的手法で日射量を予測

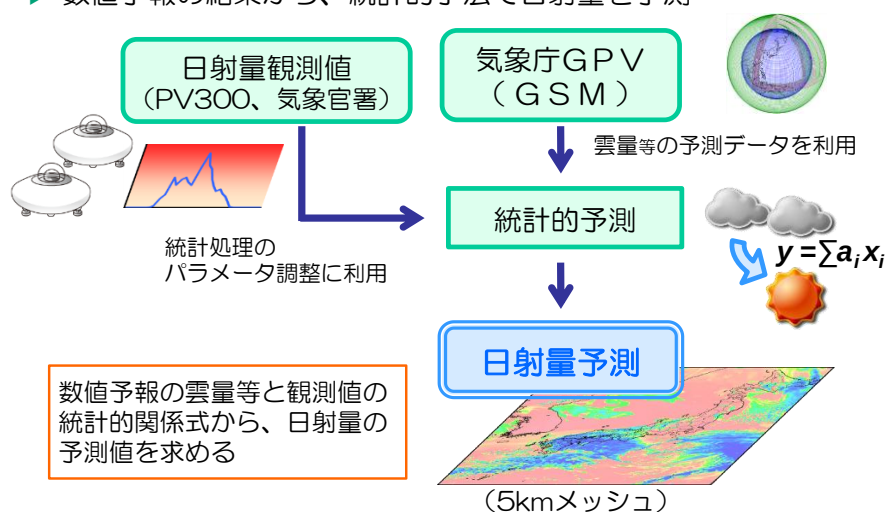


図3-2-7 数値予報データによる週間日射量予測手法の概要

(ロ) 課題⑥：気象予測モデルおよび統計手法を用いた予測

【伊藤忠テクノソリューションズ】

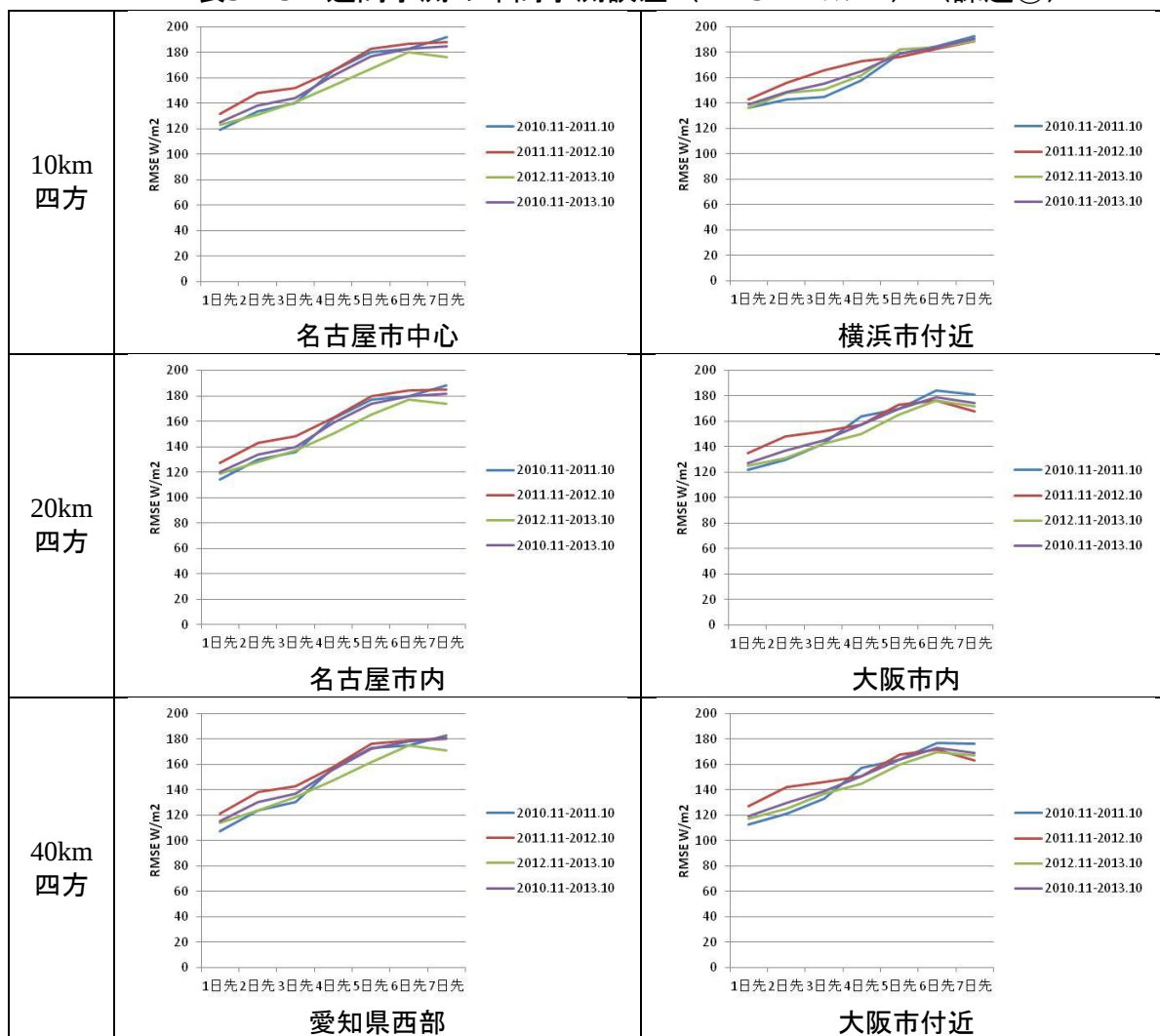
項 目	内 容
手法の概要	気象庁数値予報データGPV(GSM, MSM)をベースとして、統計手法により精度向上を図る。
予測結果出力	5kmメッシュの日射強度
予測時間間隔	30分間隔で1週間先まで
特徴	・翌日、当日予測と同様に計算時間が短い。 ・時期が先に行くほど誤差が大きくなる。

(ii) 評価結果

日射量の週間予測の精度を評価した。評価方法は翌日、当日予測と同じである。1日先～7日先の年間予測誤差を時系列にして課題④の評価結果を表3-2-5に示す。同様に課題⑥の評価結果を表3-2-6に示す。

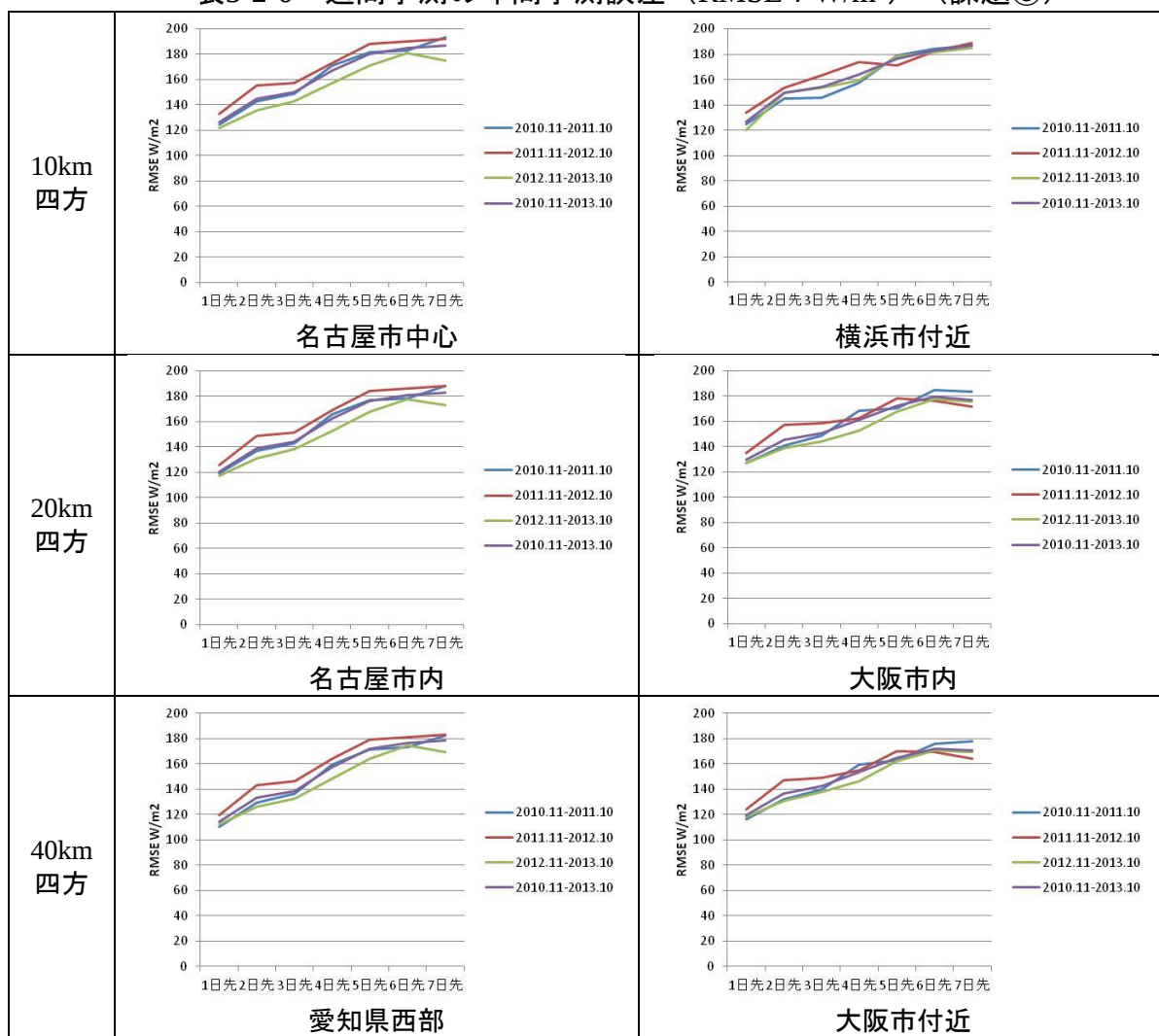
1～2日先において予測誤差が $150\text{W}/\text{m}^2$ を下回り、翌日予測の誤差と同等になっているが、予測対象日が先になるにつれてこの値が大きくなり、7日先では $190\text{W}/\text{m}^2$ 程度まで誤差が大きくなっている。

表3-2-5 週間予測の年間予測誤差 (RMSE : W/m^2) (課題④)



※ 基準日射強度 : $1,000\text{W}/\text{m}^2$

表3-2-6 週間予測の年間予測誤差 (RMSE : W/m²) (課題⑥)



※ 基準日射強度 : 1,000W/m²

(d) 数時間先予測の概要と評価結果

課題④および⑥では数時間先予測を検討した。その手法の概要と評価結果を示す。

(i) 各要素技術（課題④，⑥）の概要

(イ) 課題④：時間スケールに応じた日射量予測手法の開発および太陽光発電量予測に向けた検討【日本気象協会】

項 目	内 容
手法の概要	過去数時間分の日射量から運動学的手法により、数時間先の日射量分布の移動予測を行う。地形性の雲の発生を考慮することで精度向上を図る。
予測結果出力	1kmメッシュの日射強度
予測時間間隔	30分間隔で6時間先まで
特徴	・現在の状態から予測するため、数時間先であれば気象モデルの予測より精度が高い。 ・運動学的手法のため、雲が発生、消滅した場合には誤差が大きくなる。

▶ 移動予測の手法で、数時間先の日射量を予測する

(現在までの雲の動き)

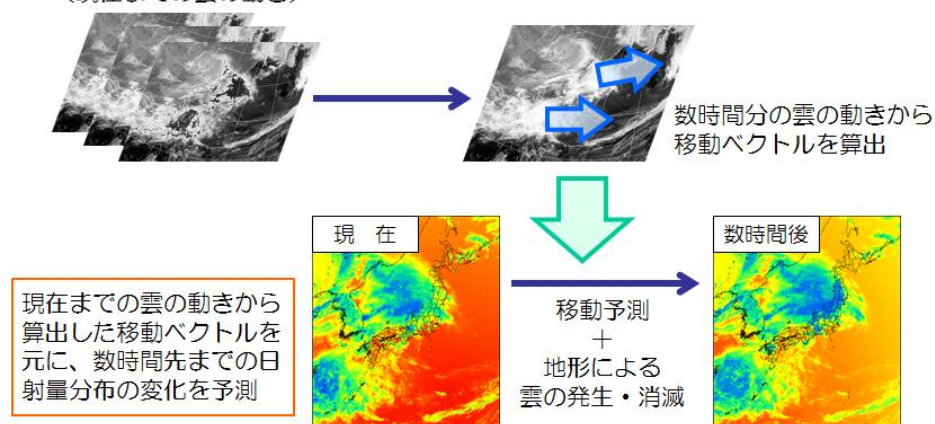


図3-2-8 移動予測を用いた数時間先日射量予測手法の概要

(ロ) 課題⑥：気象予測モデルおよび統計手法を用いた予測

【伊藤忠テクノソリューションズ】

項 目	内 容
手法の概要	過去数十日分の日射強度実績値(PV300)から統計学的手法により、数時間先の日射強度の予測を行い、気象庁数値予報データ (GPV) より求めた予測値に考慮することで精度向上を図る。
予測結果出力	5kmメッシュの日射強度
予測時間間隔	30分間隔で6時間先まで
特徴	- 気象庁数値予報データ (GPV) では考慮されていない発表時刻直近の日射強度実績値(PV300)の傾向も考慮することにより、予測発表から数時間の予測誤差を低減することができる。 - 日の出直後は直近の実績値が無いため補正による効果は少ない。

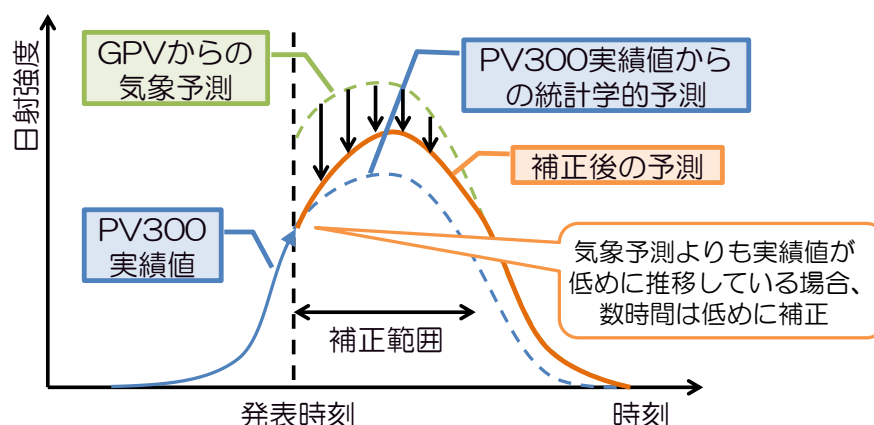


図3-2-9 統計学的予測と気象予測を組み合わせた数時間先日射量予測手法の概要

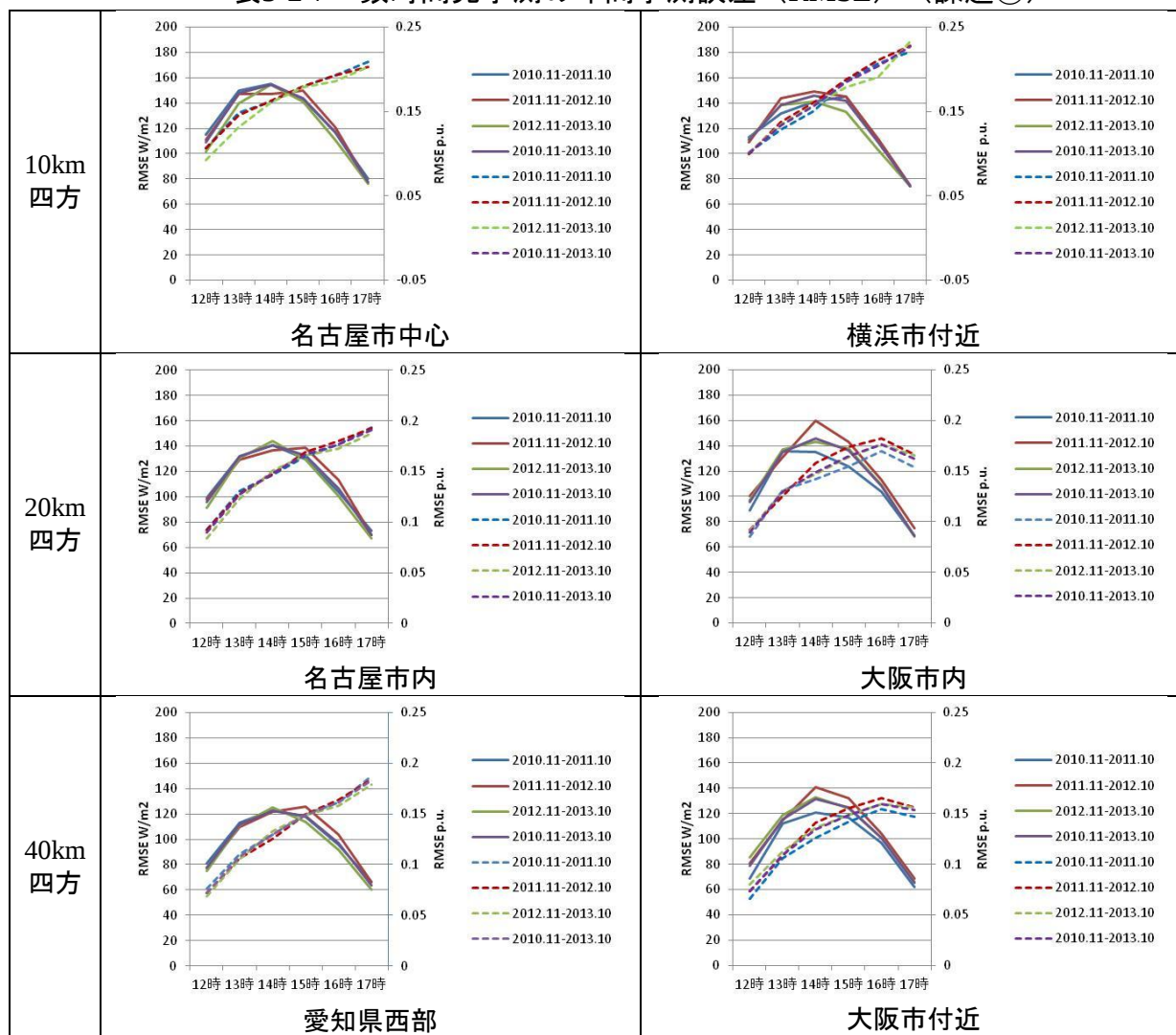
(ii) 評価結果

11時00分を初期時刻とした場合の数時間先予測を行い、精度を評価した。評価方法は評価時間帯を除き、翌日、当日予測と同じである。1時間先～6時間先の年間予測誤差を時系列にして課題④の評価結果を表3-2-7に示す。同様に課題⑥の評価結果を表3-2-8に示す。

14時までは発表時刻から離れるほど誤差 (W/m^2) が大きくなっているが、その後は太陽高度低下に伴い日射強度が小さくなるため、誤差 (W/m^2) も小さく見えてしまう。そのため、RMSEを大気外日射強度¹³で規格化し単位法 (pu) で表示することで（グラフ中の点線）、発表時刻から離れるほど予測誤差 (pu) が増加する様子がわかる。

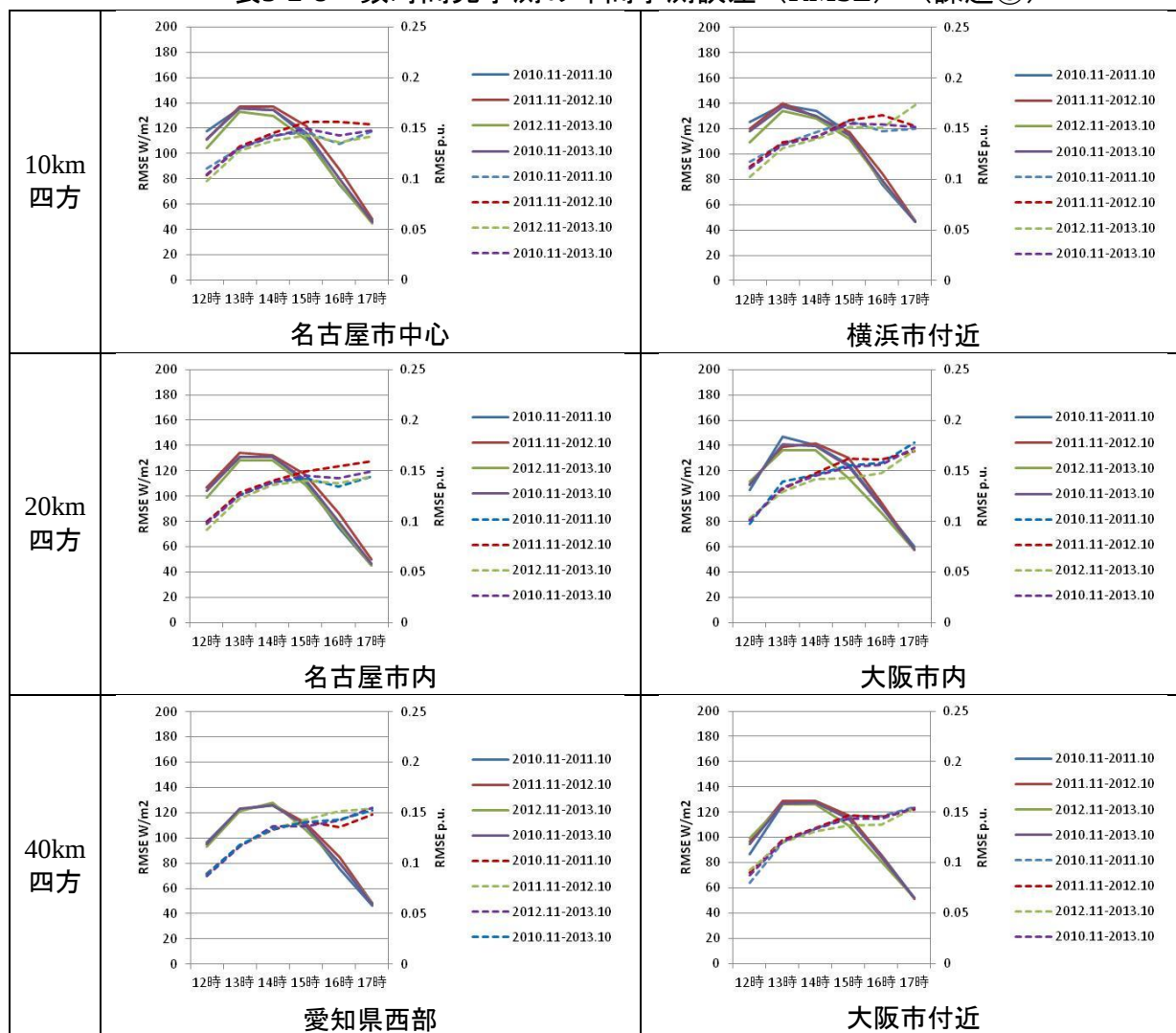
¹³ 通常の日射強度は地表面で観測される値であるが、大気外日射強度は大気圏外で観測される値であり、太陽と地球の位置および方向で決まる。

表3-2-7 数時間先予測の年間予測誤差（RMSE）（課題④）



実線：RMSE(W/m²) 点線：RMSE(p.u.)

表3-2-8 数時間先予測の年間予測誤差（RMSE）（課題⑥）



実線：RMSE(W/m²) 点線：RMSE(p.u.)

（３）太陽光発電出力の推定

日射量から太陽光発電出力推定の概要を図3-3-1に示す。日射量の把握値を入力すれば現在の太陽光発電出力を、日射量の予測値を入力すれば将来の太陽光発電出力の推定値を得ることができる。

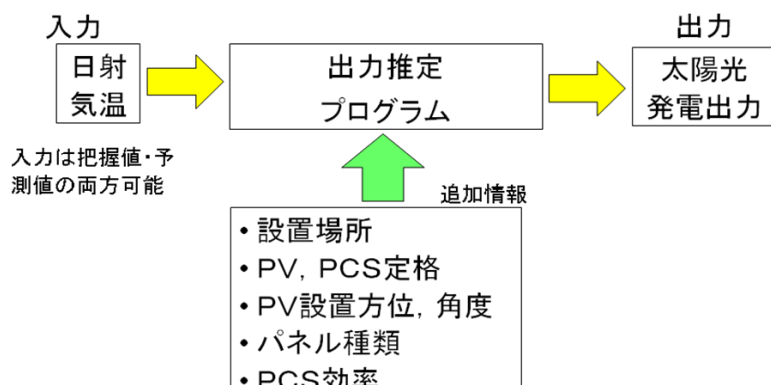


図3-3-1 日射量から太陽光発電出力推定の概要

太陽光発電出力の推定に関する要素技術は、大きく3つに分類している。

- 分類①：把握した日射量（日射強度）あるいは予測した日射量（日射強度）から、広域での太陽光発電出力を推定する。
- 分類②：配電線レベルから系統全体までの需要変化も含めた太陽光発電出力変化を推定する。
- 分類③：日射強度から太陽光発電出力への推定誤差の要因を分析し、その影響を評価する。

（a）分類①：広域での太陽光発電出力推定の概要と評価結果

分類①の要素技術の概要を示す。なお、発電出力推定時間間隔は、現在値であれば日射量の把握の推定時間間隔、予測値であれば日射量予測の予測時間間隔と同じである。

（i）各要素技術（課題⑦，⑧，⑪）の概要

（イ）課題⑧：地域の太陽光発電導入状況に対応した太陽光発電出力推定

【電力中央研究所】

項 目	内 容
手法の概要	全天（水平面）日射強度と気温からPV出力を推定する。さらに地域のPV導入状況に対応したPV出力推定も念頭に入れる。
推定メッシュ	5km
特徴	・太陽光発電パネルの設置角度や方位に応じた発電出力を推定するため、全天（水平面）日射強度から傾斜面日射へ変換する。 ・気温から太陽光発電パネルの温度を推定することで、誤差の低減を図る。

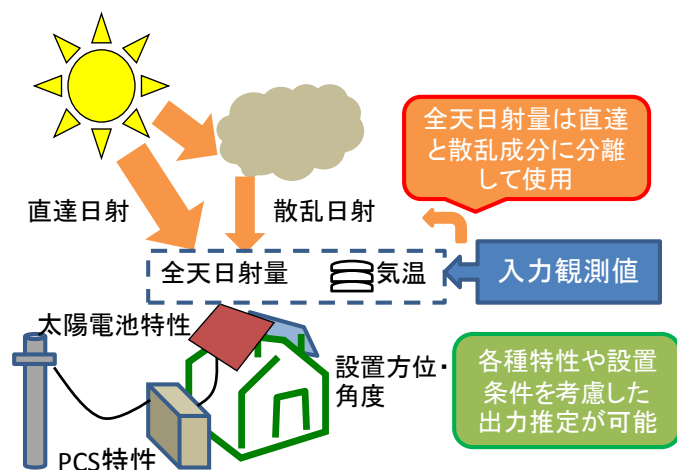


図3-3-2 水平面日射強度と気温からのPV出力推定手法の概要（課題⑧ー7）

（ロ） 課題⑧：統計手法を用いた太陽光発電出力変換手法の構築

【伊藤忠テクノソリューションズ】

項 目	内 容
手法の概要	日射量の把握値・予測値をもとに、過去の実測データによる学習および補正などを適用しPV出力を推定する。
推定メッシュ	5km
特徴	・ 日射量の推定誤差，予測誤差も勘案し、天気パターン・エリア広さ別などで補正を行う。

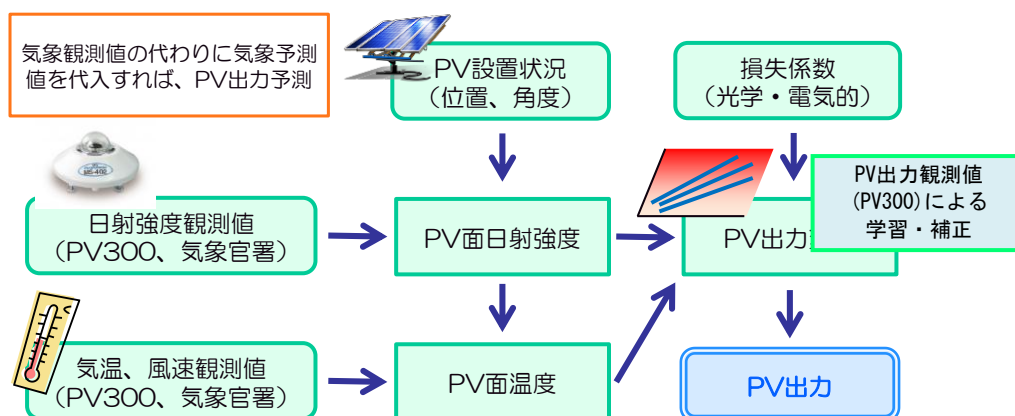
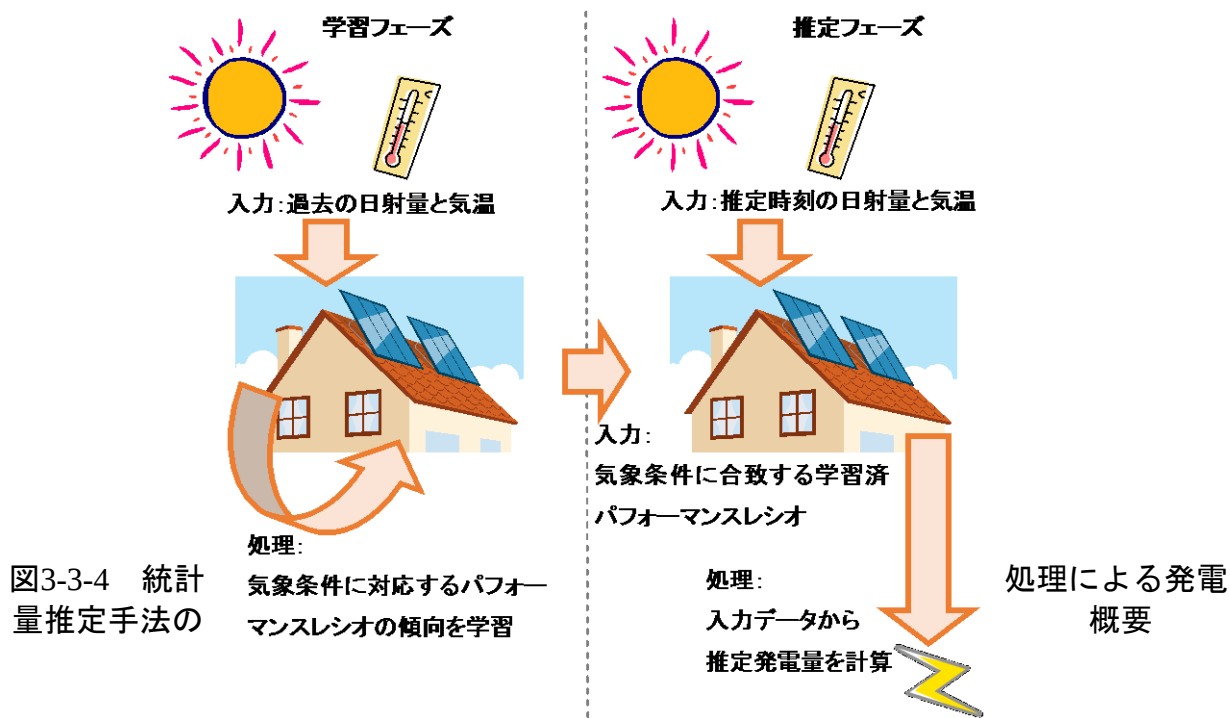


図3-3-3 統計学的手法を用いたPV出力変換手法の概要

(ハ) 課題⑪：統計処理による発電量推定【ソーラーフロンティア】

項 目	内 容
手法の概要	過去の実測データから機械学習により日射条件とパフォーマンスレシオ ¹⁴ の関係を求めることによって、日射量からPV出力を推定する。自社のモニターデータも利用している。
推定メッシュ	5km
特徴	・日射量、気温のみでPV出力を推定し、学習データにより補正をかけ精度を上げる。 ・元々少ないデータで出力推定を行うため、学習データが少ないと精度が落ちる。



(ii) 評価方法

要素技術（課題⑦，⑧，⑪）ごとの太陽光発電出力の推定値を、PV300の太陽光発電パネル併設箇所の発電出力観測値により評価した。評価の条件を表3-3-1に示す。

ここでは、日射から太陽光発電出力を推定する手法の評価であるため、評価エリアは太陽光発電出力を計測し、かつPV300観測地点が集中しているエリアとした。

また、地域や観測地点の配置の影響がないことを確認するため、それぞれ異なる地域と大きさのエリアとした。そのため、日射量把握・予測で採用した地点と異なる地域を選定した。

なお、実際の運用時には、把握あるいは予測された日射量を元に太陽光発電出力を推定するが、ここでは日射量推定値の誤差を除くため、PV300全天日射強度観測値から太陽光発電出力を推定した。

¹⁴ パフォーマンスレシオは以下の定義による。

$$\text{パフォーマンスレシオ} = \text{発電電力} / (\text{定格出力} \times \text{日射強度})$$

表3-3-1 太陽光発電出力推定値 評価の条件

評価期間	2010年11月～2013年10月
評価時間帯	9～15時 ¹⁵
評価の時間間隔	30分（30分毎の前30分平均）
評価エリア	表3-3-2の3地域（図3-3-5参照）
全天日射強度	評価エリア内のPV300観測値（全天日射強度30分平均値）
評価基準	評価エリア内のPV300観測値（太陽光発電出力30分平均値）の全地点平均
推定値	評価エリア内のPV300地点太陽光発電出力推定値（30分平均値）の全地点平均

表3-3-2 評価に使用したエリアの概要

エリアの大きさ	地 域	PV300観測地点数 （PV併設地点）
10km四方	富山市付近	5
20km四方	京浜付近	3
30km四方	名古屋市付近	8

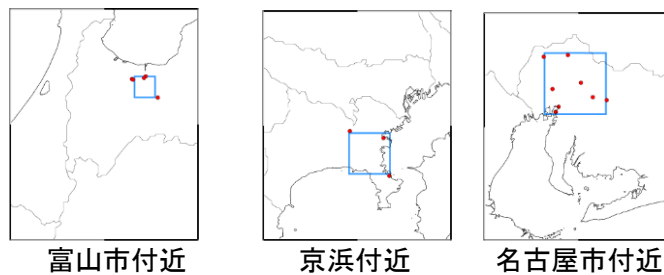


図3-3-5 評価エリア

¹⁵ 日射強度が小さな時間帯は評価から外した。

(iii) 評価結果

太陽光発電出力定格値を基準としたRMSE(%)を用いて年間の推定誤差を、表3-3-3に示す。RMSE(%)の計算式は下式の通り。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (EST - OBS)^2} / P_{rated}$$

EST : 推定値
 OBS : 観測値
 P_{rated} : 定格出力
 N : データ数

課題⑦, ⑧の10km四方（富山市付近）を除くと年間推定誤差は5%以内であった。富山市付近のような積雪の影響を受ける地域では、日射があっても発電しないことによる影響が考えられる。

表3-3-3 太陽光発電出力の年間推定誤差（RMSE：％）

課題 ⑦	<table><caption>課題⑦ RMSE (%)</caption><thead><tr><th>地域</th><th>2010.11-2011.10</th><th>2011.11-2012.10</th><th>2012.11-2013.10</th><th>2010.11-2013.10</th></tr></thead><tbody><tr><td>富山市付近</td><td>5.8</td><td>6.5</td><td>6.1</td><td>6.1</td></tr><tr><td>京浜地区</td><td>4.3</td><td>3.5</td><td>3.3</td><td>3.7</td></tr><tr><td>名古屋市付近</td><td>2.3</td><td>2.2</td><td>2.7</td><td>2.4</td></tr></tbody></table>	地域	2010.11-2011.10	2011.11-2012.10	2012.11-2013.10	2010.11-2013.10	富山市付近	5.8	6.5	6.1	6.1	京浜地区	4.3	3.5	3.3	3.7	名古屋市付近	2.3	2.2	2.7	2.4
地域	2010.11-2011.10	2011.11-2012.10	2012.11-2013.10	2010.11-2013.10																	
富山市付近	5.8	6.5	6.1	6.1																	
京浜地区	4.3	3.5	3.3	3.7																	
名古屋市付近	2.3	2.2	2.7	2.4																	
課題 ⑧	<table><caption>課題⑧ RMSE (%)</caption><thead><tr><th>地域</th><th>2010.11-2011.10</th><th>2011.11-2012.10</th><th>2012.11-2013.10</th><th>2010.11-2013.10</th></tr></thead><tbody><tr><td>富山市付近</td><td>5.4</td><td>5.7</td><td>4.9</td><td>5.4</td></tr><tr><td>京浜地区</td><td>4.5</td><td>3.7</td><td>3.8</td><td>3.8</td></tr><tr><td>名古屋市付近</td><td>2.8</td><td>3.3</td><td>2.7</td><td>3.0</td></tr></tbody></table>	地域	2010.11-2011.10	2011.11-2012.10	2012.11-2013.10	2010.11-2013.10	富山市付近	5.4	5.7	4.9	5.4	京浜地区	4.5	3.7	3.8	3.8	名古屋市付近	2.8	3.3	2.7	3.0
地域	2010.11-2011.10	2011.11-2012.10	2012.11-2013.10	2010.11-2013.10																	
富山市付近	5.4	5.7	4.9	5.4																	
京浜地区	4.5	3.7	3.8	3.8																	
名古屋市付近	2.8	3.3	2.7	3.0																	
課題 ⑪	<table><caption>課題⑪ RMSE (%)</caption><thead><tr><th>地域</th><th>2010.11-2011.10</th><th>2011.11-2012.10</th><th>2012.11-2013.10</th><th>2010.11-2013.10</th></tr></thead><tbody><tr><td>富山市付近</td><td>3.0</td><td>3.2</td><td>3.4</td><td>3.2</td></tr><tr><td>京浜地区</td><td>3.1</td><td>3.4</td><td>3.4</td><td>3.3</td></tr><tr><td>名古屋市付近</td><td>2.7</td><td>3.2</td><td>3.0</td><td>3.0</td></tr></tbody></table>	地域	2010.11-2011.10	2011.11-2012.10	2012.11-2013.10	2010.11-2013.10	富山市付近	3.0	3.2	3.4	3.2	京浜地区	3.1	3.4	3.4	3.3	名古屋市付近	2.7	3.2	3.0	3.0
地域	2010.11-2011.10	2011.11-2012.10	2012.11-2013.10	2010.11-2013.10																	
富山市付近	3.0	3.2	3.4	3.2																	
京浜地区	3.1	3.4	3.4	3.3																	
名古屋市付近	2.7	3.2	3.0	3.0																	

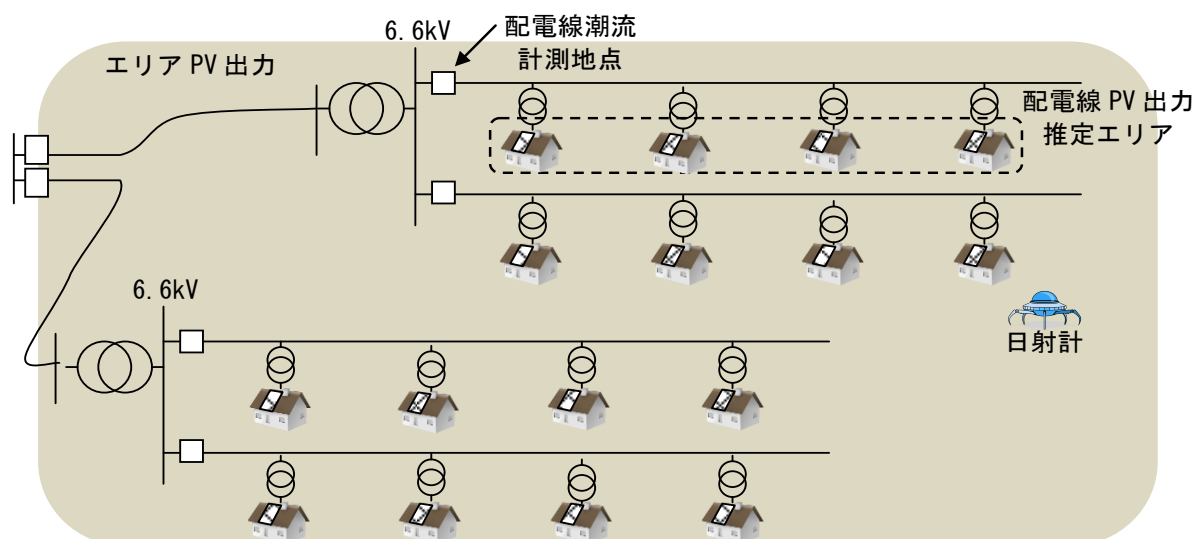
(b) 分類②：配電線レベルでの太陽光発電出力推定の概要と評価結果

太陽光発電出力の変化は、広域では電力系統の周波数に、狭域では地域の電圧に影響を与える。そこで分類②では、配電線レベルの広さにおける太陽光発電出力の推定を行う。

(i) 要素技術の概要

課題⑩：各種統計モデルと配電線潮流を用いた配電一全体系統の太陽光発電出力推定【三菱電機】

項 目	内 容
手法の概要	配電系統の潮流と日射量・気温から配電線に連系しているPV出力を推定する。また、上位系統の潮流を用い、より広域のPV出力を推定する。
推定範囲	潮流センサーより負荷側（下位系統）の供給範囲
特徴	・ 潮流の短周期変動成分を太陽光発電出力の短周期変動成分とみなすことで、発電出力の短周期変動成分を推定する。 ・ 各PV発電の出力を積み上げるのではなく、上位系統の潮流センサーの計測値を用いることで、該当系統の太陽光発電総出力を推定する。 ・ 推定に適している範囲は10km～40km四方程度であり、この範囲を外れると誤差が大きくなると想定される。



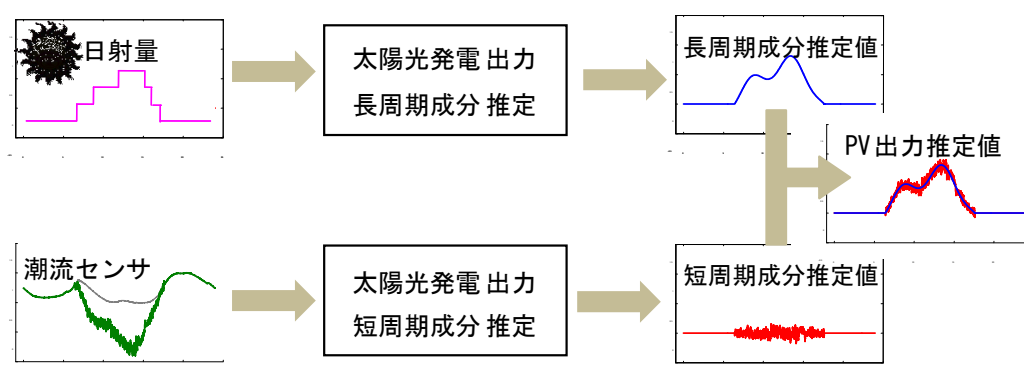


図3-3-7 配電線レベルの太陽光発電出力推定の処理概要

(ii) 評価方法

配電線レベルの潮流の実績値および日射量の実績を計測したデータとして、NEDO集中連系型太陽光発電システム成果普及事業（以下「NEDO事業」という）のデータを中心に評価を行った。評価に用いたデータの詳細を、表3-3-4に示す。

表3-3-4 評価に使用したデータ

データ元	NEDO事業
データ項目	・ 水平面日射強度（6箇所平均値） ・ 需要（553件合計値，住宅タイプ） ・ 太陽光発電出力（553件合計値，総容量2129 kW）
評価期間	2006年12月～2007年11月
評価時間帯	8～16時
評価の時間間隔	1秒
評価基準	PV出力計測値（553件合計値）（1秒瞬時値）
推定値	PV出力推定値（553件合計値）（1秒瞬時値） ※計測水平面日射量と配電線潮流（需要とPV出力から作成）に基づいて推定

(iii) 評価結果

図3-3-8にある特定日のデータを用いた推定結果の一例を示す。日射量実績（1時間値）から推定したPV出力の長周期成分（PV出力推定値（長））、および潮流実績から推定したPV出力の短周期成分（PV出力推定値（短））の和により、PV出力がほぼ正確に推定されている様子が確認できる。

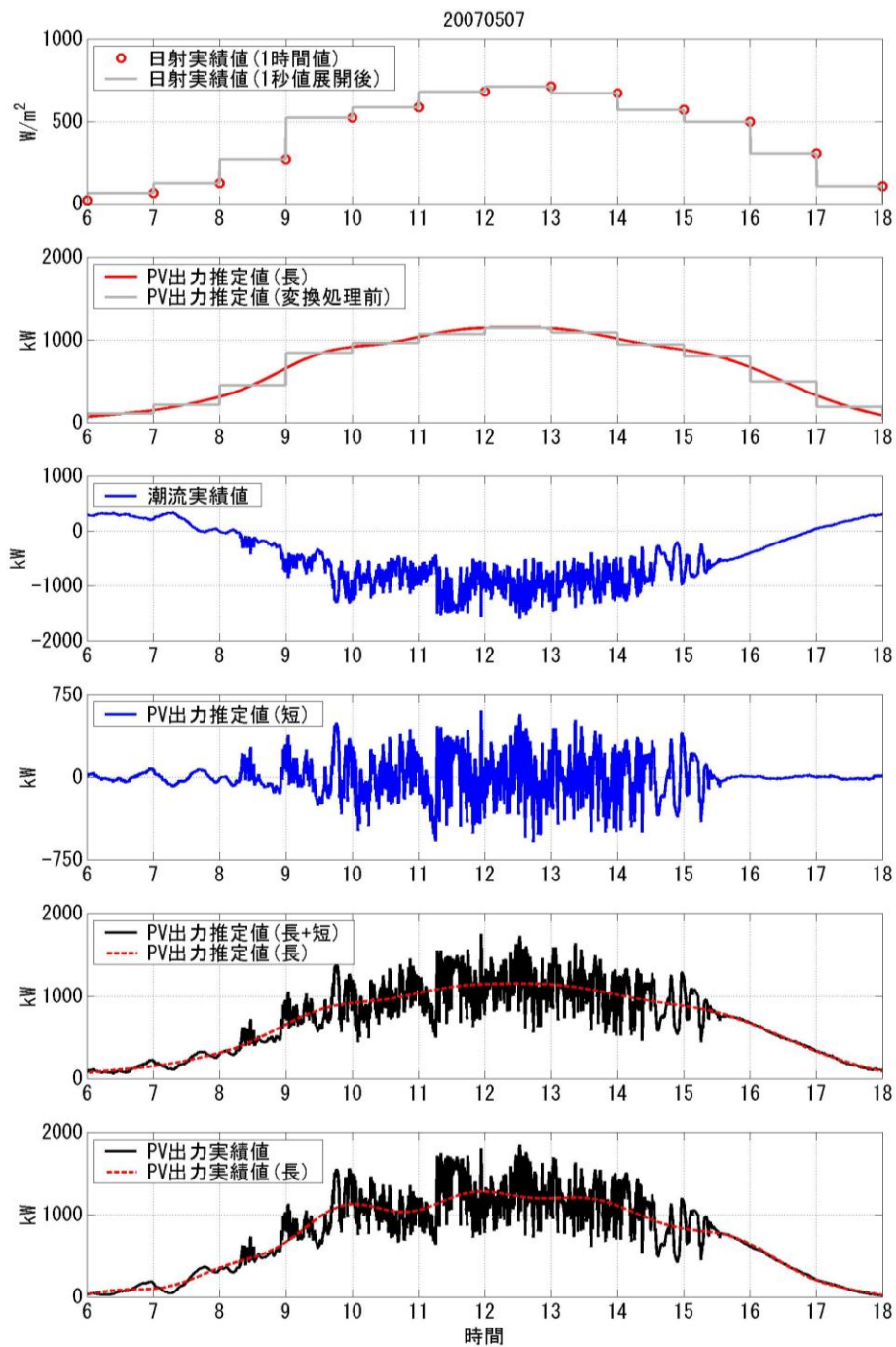


図3-3-8 配電線レベルの太陽光発電出力推定結果の一例

表3-3-4のデータを用いた評価結果（RMSEの頻度分布）を図3-3-9に示す。

NEDO事業のデータを用いて評価した結果、太陽光発電出力定格値を基準としたRMSE（%）は約4.5%であった。

RMSE(%)は以下の定義により算出した。

$$RMSE_d = \frac{1}{P_{rated}} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (EST_{i,d} - OBS_{i,d})^2}$$

$$RMSE = \frac{1}{N_D} \sum_{d=1}^{N_D} RMSE_d$$

EST : 推定値

OBS : 実績値

P_{rated} : 定格出力

N : 1日のデータ数

N_D : 評価対象日数

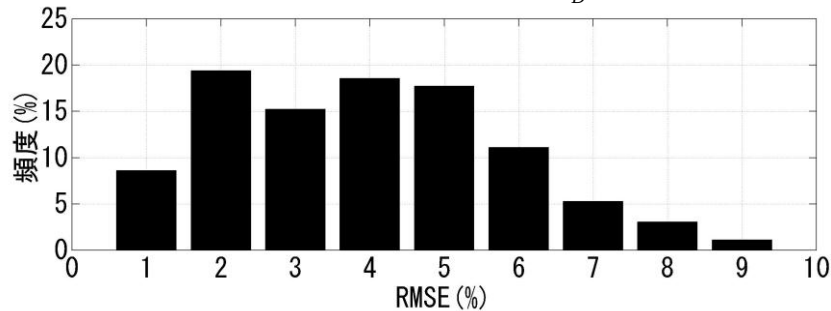


図3-3-9 RMSEの頻度分布

（c）分類③：誤差要因の分析

全天日射強度（水平面日射強度）から太陽光発電出力を正確に推定するためには、設置地点の位置・パネルの方位・角度・温度、さらにはパネルの種類やPCS（Power Conditioning System、パワーコンディショナ）の変換効率など、様々な入力データの影響を受けると予想される。一方、入力データが少ない方が推定演算およびデータの収集・管理は容易であるため、入力データの省略可否が判断できるよう、それぞれの要因が推定誤差に与える影響を調査した。

（i）要素技術の概要

課題⑨：日射量推定結果からの太陽光発電出力把握【日立製作所】

項 目	内 容
手法の概要	それぞれの誤差要因を入力することができるPV出力推定モデルを作成し、そのモデルにより誤差への影響を評価する。

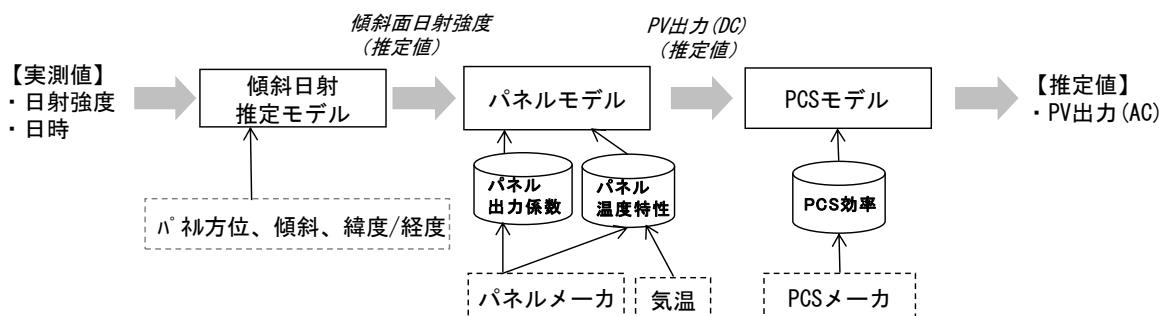


図3-3-10 太陽光発電出力推定モデルと誤差要因

（ii）発電出力推定誤差要因の影響調査結果

誤差要因ごとの太陽光発電出力推定への影響有無を表3-3-5に示す。

表3-3-5 推定誤差要因と影響の有無

誤差要因	影響	備考
設置地点の緯度	あり	2度（約200km）程度であれば、出力の差は最大約2%。
設置地点の経度	あり	2度（約180km ¹⁶ ）程度であれば、出力の差は最大約3%。ただし、太陽の南中時刻のずれによるもので最大出力は変化しない。
パネルの傾斜	あり	季節で異なるが、5度程度でPV出力が10%異なる
パネルの方位	あり	季節で異なるが、15度程度でPV出力が10%異なる
パネル面への反射	なし	広範囲に影響することはない。
雲の影響	なし	全天日射強度の予測値に織り込み済みのため考慮しない。
影の影響	なし	個々のパネルでは影響があるが、モデルケースで推定した結果、複数のパネルでは影響が少ない。
汚れの影響	なし	定期的に清掃が行われている気象台の観測値と比較しても顕著な違いがない。
パネル種類	あり	日射の入力に対し温度・経年・特性により出力が変わる。今回の検証では、パネル種類による出力の差は最大4%。
パネル温度	あり	パネル温度が上昇すると発電出力が低下する。パネル種類の温度特性で決まる。
PCSの効率	あり	定格より小さい出力ではカタログ値より効率が下がる。

¹⁶ 緯度 35 度のとき

(4) 日射量の分析

課題⑫：日射量データ分析によるデータ密度・周期・取得装置配置の検討 【東京大学】

(i) 概要

太陽光発電が大量普及する近い将来を念頭に、発電出力の予測および出力推定を行う技術開発の観点に基づきPV300データを分析した。また、電力システムの安定運用を考慮した時に、日射量および発電量の観測データがどの程度の空間密度および計測サンプリングを必要とするのかを考察した。併せて、今後太陽光発電出力の予測・推定を継続的に行うために必要となる計測装置の仕様および配置に関する提言を行った。

(ii) 検討結果

日射量データ分析によるデータ密度・周期・取得装置配置の検討のために行ったデータ作成、データ分析の流れを図3-4-1および成果一覧を表3-4-1に示す。

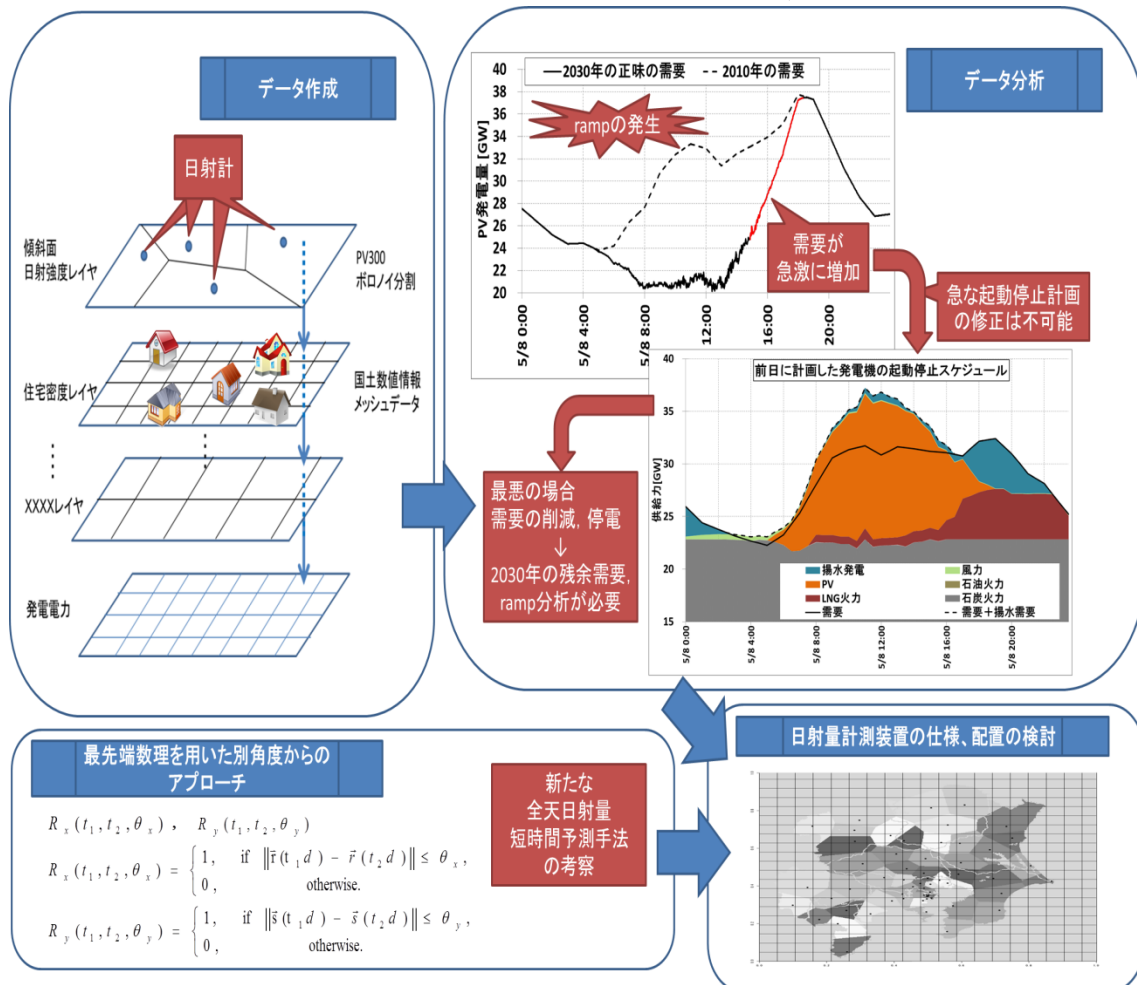


図3-4-1 日射量データ分析による取組み

表3-4-1 分析項目と成果一覧

分析項目	成 果
全天日射量の時空間的基礎特性の分析	各観測地点の平均の予測をするよりも、予測の平均を取る方が1～6時間先の範囲で予測誤差の観点で良い予測を得られる結果となった。
気象官署データによる合計発電量とPV300による合計発電量の比較評価	既存の気象官署データ（日射量、日照時間など）をベースに作成した合計発電量の、PV300による合計発電量に対する代替可能性を検討した。全電力システムでの平均誤差が負であることから、気象官署データをベースにした発電量データはPV300に比べ過小評価となっていることが分かった。例えば、全国で53GWのPVシステムの導入を想定したケースでは、東京電力システムではおよそ1GWhの二乗平均平方根誤差が生じてしまう結果となり、その誤差は非常に大きい。
残余需要分析、ramp検出方法の検証および分析	各電力システムの2011年の需要、2030年相当の残余需要に対するPVシステムのピーク需要低減効果、およびramp現象の探索を行い、その分析手法を確立した。2030年相当のPV導入量では、北海道電力システムではピーク需要削減率が著しく低く、その他の電力システムではおよそ7%～50%となった。また、PV導入量の増加と共にピーク需要削減率が減少していく結果となった。
ボロノイ分割による電力システムの合計発電出力データの作成	PVシステムの空間的な導入分布、住宅密度、耕作放棄地など土地利用の情報等を加味できる仕様にて合計発電量データを作成した。
日射量データ空間密度、サンプリング周期	東京電力システムでは、20分以下の変動については10～30kmの間に無相関距離があることが分かった。即ち、必要となる空間サンプリング密度は10～30kmである結果を得た。
日射量計測装置の仕様、配置	基本的には計測時間サンプリングの決定が重要である。数分先予測を除けば、出力予測よりも出力把握の方が短いサンプリング周期のデータ（準リアルタイム性）を必要とする。出力予測、出力把握の許容できる時間遅れは、利用するシステムに依存し、出力把握であれば電力システムの事故復旧時の監視間隔、予測であれば、利用する短時間予測の最も短い時間サンプリングが必要となる。日射計測装置の配置については約10～30km間隔での日射観測が望ましいと考えられる。

3-1-3 特許出願状況等

表3-5 特許・論文等件数

要素技術	論文発表数	特許等 (出願中含む)	国際標準への 寄与
日射量の把握	5	0	0
日射量の予測	5	0	0
PV出力の推定	8	0	0
日射量の分析	6	0	0
全 般	8	0	0
計	32	0	0

(平成27年3月までの件数)

表3-6 論文、投稿、発表、特許リスト

	題目・メディア等	時期
論文	日本太陽エネルギー学会 学会誌「太陽光発電システムの発電出力把握・予測技術の最新動向」	H25.11
	電気学会 論文誌B(電力・エネルギー部門誌)「日射量、統計モデルと配電線潮流を用いた太陽光発電出力推定に関する研究」	H26. 6
投稿	なし	
発表	27 th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU-PVSEC27) 「ANALYSES OF SOLAR IRRADIANCE DATA FROM DISTRIBUTED OBSERVATION SITES FOR SPATIAL INTERPOLATION」	H24. 9
	IEA PVPS 「Analysis and Forecast of PV power Variation」	H24.10
	電気学会 電力系統技術研究会「日射観測における日影データの判別方法についての検討」	H25. 1
	電気学会 全国大会「太陽光発電量の空間分布の非負分解」	H25. 3
	電気学会 全国大会シンポジウム「太陽光発電出力予測技術開発実証事業 太陽光発電出力予測・推定技術の開発」	H25. 3
	17 th International Conference on Intelligent Systems Applications to Power System, Panel Session 「PV output estimation based on solar irradiation and power flow in distribution system」	H25. 7
	International Symposium of Nonlinear Theory and its Applications 「Complex dynamics of photovoltaic outputs」	H25. 9
	題目・メディア等	時期
発表	電気学会 電力・エネルギー部門大会「太陽光発電出力把握のための日射量推定・予測手法の開発」	H25. 8
	日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会 第5回セミナー「気象会社における太陽光発電の出力把握・予測の取組」	H25. 8
	日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会 第5回セミナー「配電線潮流データを用いたPV出力推定の研究」	H25. 8
	日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会 第5回セミナー「太陽光発電出力把握技術の開発」	H25. 8
	日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会 第5回セミナー「太陽光発電出力変化の実態と電力需給運用面からの予測のニーズ」	H25. 8

	電気学会 電子・情報・システム部門大会「気象観測データの現状と活用について」	H25. 9
	電気学会 電力技術・電力系統技術合同研究会「配電線潮流を用いた太陽光発電出力推定手法の検討」	H25. 9
	IEA PVPS「Accuracy evaluation of solar irradiance forecasting technique using a meteorological model」	H25.10
	電気学会 新エネルギー・環境/メタボリズム社会・環境システム合同研究会（テーマ：再生可能エネルギーの発電予測とシステム技術）「数値気象モデルWRFによる様々な時間・空間条件下での日射量予測誤差の評価」	H25.11
	電気学会 全国大会「太陽光発電設備容量情報を用いない太陽光発電量の推定に関する検討」	H26. 3
	電気学会 B部門大会「太陽光発電の短時間変動特性に関する導入分布等の影響分析」	H26. 9
	電気学会 B部門大会「太陽光発電出力把握のための日射量推定・予測手法の開発（２）」	H26. 9
	6 th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6) 「Progress of PV Forecast Technology in Japan」	H26.11
	6 th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6) 「Analysis of the Variability of PV Power and Residual Load」	H26.11
	6 th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6) 「Development of Solar Radiation Estimation and Forecasting Method for Solar Power Generation」	H26.11
	6 th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6) 「Estimation of Power Output of Photovoltaic Systems in the Distribution Network」	H26.11
	題目・メディア等	時期
発表	電気学会 全国大会「電力システムにおける太陽光発電短時間変動量の予備的検討」	H27. 3
	電気学会 全国大会シンポジウム『太陽光発電の出力把握・予測』 「はじめに」 「予測のニーズ」 「日射変動特性の分析」 「日射量のリアルタイム把握」 「日射量の予測」 「太陽光発電出力の推定」	H27. 3
特許	なし	

3-2 目標の達成度

太陽光発電出力の予測を必要とする時期や予測対象時間など電力システムの需給運用上のニーズを明確にし、日射量および太陽光発電出力の把握・予測技術の開発を行った。さらに、太陽光発電出力の把握・予測に影響のある現象（雲等の気象条件、太陽光発電パネルの種類・設置状況・発電設備固有の条件など）を分析・反映し、精度向上を図り、実用化の見通しを得た。

各要素技術の目標・指標に対する成果・達成度を表3-7に示す。

表3-7 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
<日射量の把握>			
日射量観測データや気象衛星データからの日射量推定 (課題①) 【日本気象協会】	日射量観測データや気象衛星データからの日射量推定技術を用いて、全国規模の実況日射量分布推定モデルを開発する。	気象衛星画像から日射量を推定する手法を需給運用上のニーズに合うよう改良し、全国規模の実況日射量分布推定モデルを開発した。 衛星推定日射量に日射計観測値を用いた誤差補正を行うことで精度向上を図った。	達成
空間線形回帰法（クリギング）に基づく空間補間による日射量推定 (課題②) 【電力中央研究所】	リアルタイムの日射量マップの作成を目指し、地球統計学の空間線形回帰法（クリギング）に基づく日射の空間補間法を太陽光発電出力把握に適した手法に改良する。	これまでの10km四方程度を推定する空間補間法を、電力系統の需給エリアで適用できるよう、面的広がり大きさの違いによる変動平滑化効果を考慮して改良した。 日射量の空間補間法をもとに、気温に関する空間補間を行う技術を開発し、推定精度の向上を図った。	達成
気象衛星データを用いた日射量推定 (課題③) 【伊藤忠テクノソリューションズ [®] 】	衛星データ等を用いて日射量分布の推定を行う手法を構築する。	日射計観測値をもとに、GPVデータで面的に補完する手法を構築し、推定精度の向上も図った。	達成
<日射量の予測>			
時間スケールに応じた日射量予測 (課題④) 【日本気象協会】	日本気象協会保有の数値予報モデル（SYNFOS-3D）や統合日射量データベースなどを用いて日射量予測手法を開発する。	数時間先の予測は気象モデルではなく移動予測手法を用いるなど、予測する時間スケールごとの日射量予測技術を開発した。 翌日、当日予測では、気象モデルに統計的手法を組み合わせ、精度の向上を図った。	達成
気象モデルによる日射量の予測 (課題⑤) 【電力中央研究所】	電力中央研究所保有の気象予測・解析システム（NuWFAS）をベースとして、当日・翌日の気温・日射量を予測できるようにする。	既開発の気象予測・解析システムの水平計算領域などを変更することで、日射量を予測できるシステムに改良し、翌日・当日予測技術を開発した。	達成
気象予測モデルおよび統計手法を用いた日射量の予測 (課題⑥) 【伊藤忠テクノソリューションズ [®] 】	数値予報データを利用した統計学的手法により日射量を予測するモデルを構築する。	気象庁数値予報データ（GPV）の雲量を入力データとし、統計解析により日射量予測値を出力するモデルを構築した。	達成

＜太陽光発電出力の推定＞			
地域の太陽光発電導入状況に対応した太陽光発電出力推定 (課題⑦) 【電力中央研究所】	設置条件（太陽光パネル、方位等）による補正手法を検証評価し、地域ごとの太陽光発電設置状況の違いに対応可能な太陽光発電出力推定手法を開発する。	個別のPV出力推定に影響を与える要素（パネルの方位、角度など）を整理し、対象地域の太陽光発電導入（設置）状況に対応した発電出力を推定する手法を開発した。	達成
統計手法を用いた太陽光発電出力推定 (課題⑧) 【伊藤忠テクノソリューションズ [®] 】	日射量推定・予測値をもとに、過去の実測データによる学習および補正などを適用し太陽光発電出力を推定する手法を開発する。	需給計画・運用のニーズに基づきPV出力を推定する時間・空間解像度を決定し、それに基づいた太陽光発電出力推定モデルを構築した。また、PV300実測データを用いた学習および補正により推定精度の向上を図った。	達成
日射量推定結果からの太陽光発電出力推定誤差要因の分析 (課題⑨) 【日立製作所】	太陽光パネル設置地点の位置、パネルの方位・角度・温度、さらにはパネルの種類やPCSの変換効率など、様々な要因が日射量から太陽光発電出力の推定に与える影響を整理する。	太陽光発電出力推定の誤差要因を分析し、推定誤差への影響の有無および大きさを整理した。	達成
各種統計モデルと配電線潮流を用いた配電一全体系統の太陽光発電出力推定 (課題⑩) 【三菱電機】	配電線レベルの広さの太陽光発電出力の推定を行う手法を開発する。	NEDO事業等のデータを用い、各種相関をモデル化・統計分析し、潮流と日射量計測値から配電（地域）レベルの太陽光発電出力推定手法を開発した。	達成
統計処理による太陽光発電量推定 (課題⑪) 【ソーラーフロンティア】	簡易的な手法により、地域の日射強度から発電電力量を推定する手法を開発する。	自社モニターデータおよびPV300のデータを用い、統計処理（機械学習）を行うことで、日射強度と気温から簡易にPV出力を推定する手法を開発した。	達成

<日射量の分析>			
日射量データ分析 (課題⑫) 【東京大学】	太陽光発電出力の予測や推定をする技術の観点から、用途・目的に応じて日射量や太陽光発電の発電量データがどの程度の空間密度、計測サンプリングが必要であるかを考察する。	PV300で設置した日射計のデータを様々な角度から分析し、太陽光発電の大量普及時に太陽光発電電力量の予測や出力を推定する技術の観点から、電力システムの運用という用途・目的に応じて日射量や太陽光発電の発電量データがどの程度の空間密度、計測サンプリングが必要であるかを考察するための基礎分析を行った。	達成

4. 事業化、波及効果について

4－1 事業化の見通し

利用主体となる電力会社が参加することで、電力系統の需給運用に基づくニーズを反映した太陽光発電出力の把握や予測という新規技術の開発ができた。

ここで開発した新規技術は、電力会社の需給運用に要素技術として適用され、太陽光発電出力把握・予測システムとして開発・導入されつつあるとともに、太陽光発電出力把握・予測分野におけるベンチマークの一つとしての役割を果たしている。

また、日射量の予測に関する基礎技術の向上に資することで、太陽光発電事業者へ発電量予測を提供するための基礎技術として活用されつつある。

4－2 波及効果

本事業は、電力系統の安定的な需給運用に資することを目的として実施しており、電気事業以外の産業分野へこの技術が直接的に展開されるのは想定しにくい。

しかし、より正確な日射量予測のためには、基礎となる気象予測技術の精度向上が不可欠であることから、気象予報の高精度化に対する非常に強いニーズとなる。これによる気象予報の高精度化が実現されれば、その恩恵は幅広い分野にあるものと見込まれる。

また、本事業により開発した太陽光発電の出力把握・出力予測技術を適切に活用することで、電力需給バランスを適切に維持するための調整電源の必要量減少や、需給バランス上やむを得ず必要とされる太陽光発電の出力抑制量の減少が期待される。さらに、太陽光発電出力把握に必要な膨大なデータを扱うリアルタイム計測システムが不要となることで、設備の合理化が可能となることが期待される。

5. 研究開発マネジメント・体制等

5-1 研究開発計画

本事業は、2-1項の研究開発目標を達成すべく、平成23年度から平成25年度の3カ年で実施した。スケジュールを表5-1に示す。

表5-1 研究開発スケジュール（実績）

実施項目／年度		2 3	2 4	2 5
日射量の把握	データ収集	■	■	■
	手法の開発	■	■	■
	手法の評価	■	■	■
	まとめ	■	■	■
日射量の予測	データ収集	■	■	■
	手法の開発	■	■	■
	手法の評価	■	■	■
	まとめ	■	■	■
太陽光発電出力の推定	データ収集	■	■	■
	手法の開発	■	■	■
	手法の評価	■	■	■
	まとめ	■	■	■
日射量の分析	データ収集	■	■	■
	手法の検討	■	■	■
	分析・考察	■	■	■
	まとめ	■	■	■
報告		■ 中間報告	■ 中間報告	■ 最終報告

5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

本事業は、経済産業省資源エネルギー庁電力基盤整備課の公募による選定審査手続きを経て、東京大学・伊藤忠テクノソリューションズ・ソーラーフロンティア・日本気象協会・日立製作所・三菱電機・電力中央研究所・電力10社の計17法人の共同申請により採択を受けて実施した。

事業の実施にあたっては、技術開発を統括するためのプロジェクトリーダー（東京大学生産技術研究所 荻本 和彦 特任教授）のもと、課題担当法人間の連携や事業の進捗管理を行うための事務局を設置し、図5-1に示す体制とした。

また、実証事業の目的を達成するため、研究課題は各々の参加事業者が持つ強みを活かすことができるものを設定し、全体会議やワーキンググループの実施により事業者同士の連携を図りながら効率的な事業運営を行った。

なお、本事業は太陽光発電の大量普及に伴う諸課題解決のために実施した「次世代送配電系統最適制御技術実証事業（事務局：東京電力）」「次世代型双方向通信出力制御実証事業（事務局：東京電力）」との連携も図りながら取り組んだ。

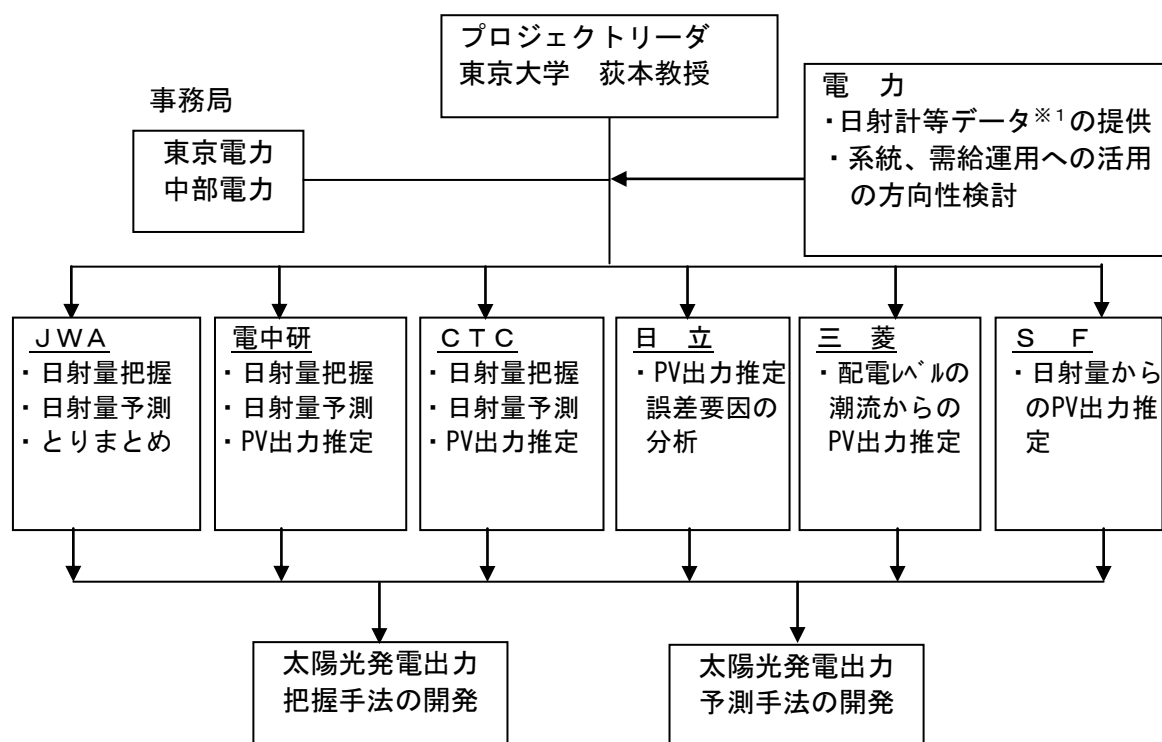


図5-1 実施体制

凡例

電力：電力10社

JWA：一般財団法人 日本気象協会

電中研：一般財団法人 電力中央研究所

CTC：伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

日立：株式会社 日立製作所

三菱：三菱電機株式会社

S F：ソーラーフロンティア株式会社

※1 分散型新エネルギー大量導入促進系統安定対策事業（PV300）で設置した各種センサーのデータ

5-3 資金配分

経済産業省からの補助金は、補助金交付要綱に則った手続きにより確定検査を経て表5-2のとおり確定した。

表5-2 資金配分 (単位：千円)

実施個所／年度	23 (実績)	24 (実績)	25 (実績)	合計
東京大学 ・ 日射量データ分析によるデータ密度・周期 ・ 取得装置配置の検討 (課題⑫)	164	480	397	1,041
伊藤忠テクノソリューションズ ・ 気象衛星データを用いた日射量推定 (課題③) ・ 気象予測モデルおよび統計手法を用いた予測 (課題⑥) ・ 統計手法を用いた太陽光発電出力変換手法の構築 (課題⑧)	29,739	4,607	2,391	36,737
ソーラーフロンティア ・ 統計処理による発電量推定 (課題⑪)	3,686	1,500	1,499	6,685
日本気象協会 ・ 日射量推定の精度向上および太陽光発電出力把握に向けた検討 (課題①) ・ 時間スケールに応じた日射量予測手法の開発および太陽光発電量予測に向けた検討 (課題④)	38,721	20,917	4,824	64,462
日立製作所 ・ 日射量推定結果からの太陽光発電出力把握 (課題⑨)	4,032	1,774	1,683	7,489
三菱電機 ・ 各種統計モデルと配電線潮流を用いた配電-全体系統の太陽光発電出力推定 (課題⑩)	3,539	3,179	2,099	8,817
電力中央研究所 ・ 空間線形回帰法 (クリギング) に基づく空間補間による日射量推定 (課題②) ・ 気象モデルによる予測 (課題⑤) ・ 地域の太陽光発電導入状況に対応した太陽光発電出力推定 (課題⑦)	4,481	4,066	3,998	12,545
電力10社 ＜日射計等データ収集＞	2,714	14,166	13,432	30,312
合計	87,077	50,688	30,324	168,089

※掲載の数値は四捨五入しているので合計が合わない場合があります

5－4 変化への対応

本事業は、安定的な電力供給の確保に資するために電力10社が参加して需給運用ニーズを反映させた技術開発を行った。しかし、評価・検証に用いたデータは平成22年11月～平成25年10月の3年間であり、開発した技術・手法が特定の気象条件に基づいているおそれがある。そのため、当該期間以外の気象状況でも同等の精度が得られるかを、さらに3年間（平成25年11月～平成28年10月）のデータ等を用いて評価することにより、開発技術の汎用性を確認している。

6. 費用対効果

6－1 費用対効果

系統安定化対策の観点から精緻な太陽光発電の出力把握・予測手法の確立が期待されているなかで手法確立に必要な新規技術の開発を行ったところ、利用主体となる電力会社の参加により、開発した技術は日々の需給運用に基づくニーズを反映した実効性あるものとなった。

将来的には、「4－2 波及効果」の項でも述べたように、太陽光発電の出力把握・出力予測技術の確立により調整電源の必要量や太陽光発電の出力抑制量を減らすことが可能となり、運用コストの低減や再生可能エネルギーの有効利用が期待される。また、膨大なデータを扱うリアルタイム計測システムが不要となることで設備の合理化も期待される。

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

太陽光発電の急速な普及による電力系統運用への影響が課題となっている状況において、本事業は政策的に重要である。

また、公益性の高い電気事業の性格に照らすと、その目的、政策的位置づけともに妥当と評価できる。

今後も全ての電力事業者にとって重要な技術となることが考えられるため、国が取り組むべき技術開発として妥当であると判断する。

一方、先行研究と本事業との関連が示されておらず、本事業の位置づけが明かではない。

【肯定的意見】

- ・ 太陽光発電の急速な普及による電力系統運用への影響が課題となっている状況において、本事業は政策的に重要である。（委員A）

- ・ F I Tの導入をきっかけに太陽光発電の大量導入が進んでいる。気象条件によって発電量が変化する太陽光発電は、需要に合わせて発電することができないので、安定的かつ効率的な電力需給運用を行える体制を整えるためには、その出力を正確に予測する技術の確立が求められる。

気象データ、日射量計データから太陽光発電出力を把握する手法の開発と、気象予報技術を応用し太陽光発電出力を事前に予測する手法の開発を目指した本事業は、公益性の高い電気事業の性格に照らすと、その目的、政策的位置づけともに妥当と評価できる。

（委員B）

- ・ 太陽光発電システムの導入量拡大を推進するうえで、その出力や変動を前日、数時間前、数分前など様々なタイミングで適切に予測する技術や、面的な発電量の現在値を把握する技術は、電力の安定供給における需給バランス確保ならびに既存電源との協調運用による経済性の向上等を実現するために不可欠な技術である。今後も全ての電力事業者にとって重要な技術となることが考えられるため、国が取り組むべき技術開発として妥当であると判断する。（委員C）

- ・ 予測技術は電力系統運用の基本となるものであり、精度が上がれば再生可能エネルギーの導入量拡大が実現できると共に火力等の従来電源の効率的運転が可能になる。

（委員D）

- ・ デマンドレスポンス等、太陽光発電出力の変動に対する様々な対策を有効活用する上で出力予測は本質的に極めて重要であり、本事業の社会的意義は大きい。国策として太陽光発電の導入を今後も拡大するのであれば、大量導入に不可欠な予測技術の開発を国の補助事業とすることは妥当である。（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・ 日射や太陽光発電発電量の予測に関する研究は歴史があるが、それら先行研究と本事業との関連が示されておらず、本事業の位置づけが明かではない。（委員A）
- ・ 太陽光発電の今後の導入拡大を考える上で、予測技術の利用者（電力）だけでなく、太

陽光発電事業者に対する予測技術の提供、予測に関わる各種データの情報開示を積極的に行うべきと考えられる。（委員 E）

2. 研究開発等の目標の妥当性

政策的要求を切り分け、課題を適切に設定している。

また、太陽光発電出力の現在把握と事前予測を行う技術を確立するとしての目的に照らして妥当である。我が国の持つインフラを有効に活用した開発目標が設定されており、本研究において開発すべき技術分野を適切にカバーしていると思われる。

一方、研究の進捗状況に応じた発展方向での目標の見直し等が期待され、先行研究の調査や現状の電力需要予測との比較により、具体的な数値目標を設定すべきであった。

また、予測のニーズの観点から、一日の中で高い予測精度が要求される時間帯を示し、それに対応した予測手法の開発目標の設定があってもよかった。

さらに、ランプ変動などの影響が大きいと予想される現象について、個別の開発目標があってもよかった。

【肯定的意見】

- ・政策的要求を切り分け、課題を適切に設定している。（委員A）
- ・気象データや日射量計データ等から現在の太陽光発電出力を把握する手法の開発と、気象予報技術を応用した事前に太陽光発電出力を予測する手法の開発としての目標の設定は、太陽光発電大量導入時の安定的な需給運用のため、太陽光発電出力の現在把握と事前予測を行う技術を確立するとしての目的に照らして妥当と評価できる。（委員B）
- ・気象衛星データや地上における日射量観測データ、数値予報データなど、我が国の持つインフラを有効に活用した開発目標が設定されている。予測・把握・推定のそれぞれにおいて複数の機関で異なるアプローチをとっており、本研究において開発すべき技術分野を適切にカバーしている。（委員C）
- ・日射・太陽光発電出力について、現状把握、時間スケールに応じた予測技術の開発を目標としており、電力システムにおけるニーズが反映されている。（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・電力系統運用面から求められる精度にはまだ到達できていないので今後も技術開発を進める必要がある。（委員D）
- ・多くの機関が参加し、複数の課題に取り組んでいることから、各課題間の連携を意識した目標を、事業を進める中であらためて設定していくなど、研究の進捗状況に応じた発展方向での目標の見直し等が期待される。（委員C）
- ・先行研究の調査や現状の電力需要予測との比較により、具体的な数値目標を設定すべきであった。

予測のニーズの観点から、一日の中で高い予測精度が要求される時間帯を示し、それに対応した予測手法の開発目標の設定があってもよかった。

ランプ変動などの影響が大きいと予想される現象について、個別の開発目標の設定があってもよかった。（委員E）

3. 成果、目標の達成度の妥当性

日射量の把握・予測、太陽光発電出力の推定等、各要素において行われた各事業で、いずれも目標の達成を示した優位な結果が得られている。各課題によって得られた成果が今後の同分野での研究開発のベンチマークとなり、今後の研究開発に対して具体的な数値目標を示しうる結果が得られたと考える。

また、一部は電力需給運用業務に適用されるなど、実用性の高い成果が得られている。

さらに、論文・学会発表も積極的に取り組んでおり、外部専門家との間で十分な議論がなされている。

一方、評価指標として、大外れやランプ変動などを加味した電力システムへの影響が大きい事象に関する予測制度の評価が必要。

今回の成果を組み合わせることで、どのような改善が望めるか、その際に技術的な課題となる事項について考察が欲しい。

【肯定的意見】

- ・日射量の把握、日射量の予測、太陽光発電出力の推定、日射量の分析の各要素において行われた各事業で、いずれも目標の達成を示した優位な結果が得られている。事業は妥当な成果が得られたと評価できる。（委員B）
- ・各手法において、それぞれ一定の成果を挙げており、一部は電力需給運用業務に適用されるなど、実用性の高い成果が得られている。（委員E）
- ・論文発表を積極的に行っている。（委員D）
- ・様々な視点からのアプローチにより多くの知見を得ることができた。今後はこれらの知見を整理し、外部の専門家も交えて議論していくことで、より深い議論、新たな技術課題の創出など新しい展開につながることを期待できる。論文・学会発表も積極的に取り組んでおり、外部専門家との間で十分な議論がなされている。（委員A）
- ・各課題によって得られた成果が今後の同分野での研究開発のベンチマークとなり、今後の研究開発に対して具体的な数値的目標を示しうる結果が得られたと考えられる。また、論文発表数も十分であり、この意味においても同分野の今後の発展に貢献したと言える。（委員C）

【問題点・改善すべき点】

- ・評価指標として、一定期間のRMSEなどのほかに、大外れ、ランプ変動など、電力システムへの影響が大きい事象に関する予測精度を評価すべき。

日射把握において、リアルタイム性が高いが空間分解能が低いクリギングと、リアルタイム性は劣るが空間分解能が高い衛星手法とを同じ指標で比較してもよい。同様に、前日予測でも、GPVの起点データを揃えて比較するのではなく、各手法において計算に要する時間が異なることを考慮し、予測結果の発表時刻を揃えて評価すべきではないか。

日射の把握、予測ともに、各機関から異なるアプローチによる研究が行われているが、最終的に、それらを統合して、より高精度・高信頼の把握・予測手法の開発が必要と思われる。少なくとも、今回の成果を組み合わせることで、どのような改善が望めるか、その際に技術的な課題となることなどについて考察がほしい。

衛星画像による把握の場合の千葉大CEReSによる先行研究など、今回開発した手法の先行研究に対する優位性、改善点を明確にしてほしい。（委員E）

4. 事業化、波及効果についての妥当性

各電力会社における需給運用に用いられる技術のベースとなる成果が得られた。太陽光発電出力予測・把握システムにおけるベンチマークの一つとして活用されるなど、事業化及び波及効果において妥当な成果が得られていると評価できる。

一方、PPS等への波及のため日射量などの生データを提供する体制を整備して欲しい。

現在はまだ基礎研究段階であり、さらに研究を進めて知見を蓄積して頂きたい。

【肯定的意見】

- ・すでに要素技術が電力会社の需給運用に適用されたり、太陽光発電出力把握・予想システムとして開発・導入されたり、ベンチマークの一つとして活用されているとのことだったので、事業化及び波及効果において妥当な成果が得られていると評価できる。

(委員B)

- ・各電力会社における需給運用に用いられる技術のベースとなる成果が得られた。

(委員C)

- ・電力会社の運用に取り入れられている。予測技術が確立されれば設備の合理化が期待できる。(委員D)

- ・前日予測、数時間先予測については、精度の向上は必要であるが、事業化に関する問題点も少ないと思われる。(委員E)

【問題点・改善すべき点】

- ・現在はまだ基礎研究段階であり、さらに研究を進めて知見を蓄積して頂きたい。

(委員A)

- ・配電線レベルのPV出力推定では、数km四方程度の配電レベルでも、様々な天候において適用可能か。

電力システム全体の出力の把握については、必要な観測地点数等について検討されているが、地形や周辺環境が異なる地域において、具体的にどこを観測点とすべきかを選定できるようになっているか。

PPS等への波及のため、日射などの生データを提供する体制を整備してほしい。

(委員E)

5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性

電力10社、企業及び大学が参加する体制は研究開発の推進から事業化までを見据えた十分な体制であったと考えられる。

また、全体を統括するプロジェクトリーダーの強いリーダーシップのもと、それぞれ適任の実施者により、当初の目標に対して計画的に研究開発が進められた。

一方、日射の把握や予測において、複数のアプローチからの開発が行われているが、それらの得失を踏まえた手法の開発に着手する計画があってもよかったと思われる。

【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）
- ・ 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妥当と思われる。（委員B）
- ・ 電力10社、および大学、企業が参加する体制は研究開発の推進から事業化までを見据えた十分な体制であったといえる。（委員C）
- ・ 多数の参加会社間で調整して実施されていた。（委員D）
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダーの強いリーダーシップのもと、それぞれ適任の実施者により、当初の目標に対して計画的に研究開発が進められた。（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・ 日射の把握や予測において、複数のアプローチからの開発が行われているが、それらの得失を踏まえた手法の開発に着手する計画があってもよかったと思われる。（委員E）

6. 費用対効果の妥当性

電力会社のニーズに対応した実効性のある技術に対し、PV300等の既存のデータを活用することで、効率的に研究開発が実施されており、費用対効果の高い事業と判断される。

【肯定的意見】

- ・ 電気事業全体の将来のコスト低減に活用できる新規技術が開発されたことから、十分な費用対効果が得られたと評価できる。（委員B）
- ・ 太陽光発電の導入量拡大と電力の安定供給の実現に資する成果であり、今後の太陽光発電システムの発電コスト低下にともなう電力価格の低減や電力分野における低炭素化に資するものと考えられる。（委員C）
- ・ 予測技術が確立されれば設備の合理化が期待できる。（委員D）
- ・ 電力会社のニーズを反映した実効性のある技術に対し、PV300等の既存のデータを活用することで、効率的に研究開発が実施されており、費用対効果の高い事業と言える。（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・ 予測の大外れの回避、ランプ変動の前日予測など、今後も継続した技術開発が必要であり、そのための基礎データ整備のため、PV300の観測体制を補強する取り組みがあってもよかったと思われる。（委員E）

7. 総合評価

太陽光発電の大量導入という国策を推進する上で必要不可欠な技術開発を適切なタイミングで実施できた。

また、電力会社の運用に取り入れられており、予測技術が確立されれば設備の合理化が期待できる。

さらに、喫緊の課題に対して、速やかに事業に反映可能な研究開発目標が設定されており、それぞれ一定の成果が挙げられていることは評価に値する。

一方、電力系統運用面から求められる精度にはまだ到達できていないので、今後も継続的に技術開発を進める必要がある。

【肯定的意見】

- ・ 太陽光発電出力の予想精度が向上すると、太陽光発電の供給をより正確に把握・予想することができるようになり、系統容量に対する太陽光発電の導入可能量の拡大、系統全体の効率化などの成果が期待できることから、国策として推進されている再生可能エネルギーの導入拡大策の一環として、国が取り組むべき技術開発分野と考えられる。設定された目的は、いずれも達成されており、実証事業の成果は得られたと評価できる。

（委員B）

- ・ 太陽光発電システムの導入量拡大という国策を推進する上で必要不可欠な技術開発を適切なタイミングで行うことができたと考える。（委員C）
- ・ 電力会社の運用に取り入れられている。予測技術が確立されれば設備の合理化が期待できる。（委員D）
- ・ 喫緊の課題に対応して、速やかに事業に反映可能な研究開発目標が設定されており、それぞれ一定の成果が挙げられていることは評価に値する。（委員E）

【問題点・改善すべき点】

- ・ 電力系統運用面から求められる精度にはまだ到達できていないので今後も技術開発を進める必要がある。（委員D）
- ・ 予測の大外れやランプ変動など、希頻度で影響の大きな事象に特化した開発があってもよかった。また、今回の成果の中で、それらに関して、どの程度の精度・信頼性が確保されているのかなどの評価が不十分に感じる。（委員E）

8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

非常に重要な技術であるが、電力系統運用面から求められる精度にはまだ到達できていないので今後も技術開発を進める必要がある。

また、本事業によって開発された技術、得られた情報等を社会全体でより有効に活用できるようにするため、可能な限り、実証結果、データ等を公開していただきたい。

さらに、予測に必要な計算時間・コストも評価の要素として、精度や利用のし易さなども含め、どのような手法をどのようなタイミングで用いることが有効であるかを明らかにしていくことが望まれる。

【各委員の提言】

- ・引き続き、実用化に向けて研究を進め、より高精度な予測手法の開発や、知見の蓄積が進むことを期待する。（委員A）
- ・非常に重要な技術であるが、電力系統運用面から求められる精度にはまだ到達できていないので今後も技術開発を進める必要がある。（委員D）
- ・太陽光発電は大量導入による需給運用の困難化が一部地域で顕在化するなどの問題が生じており、電力の安定的かつ効率的な需給運用を図るためには、太陽光発電出力をより正確に把握・予想することができる新しい技術の開発、既存技術の改良などが求められる。

また、気象観測・予報の分野では、本年、より精度の高い観測情報が提供される新しい気象衛星の運用が開始されたり、随時、処理能力が高いシステムが導入されたりして、進化を続けている。

これらの事情を考慮すると、本事業に基づいて開発された技術を要素毎により一層進化させるニーズは高いと思われる。継続的に各要素技術の進化を図っていただきたい。

また、本事業によって開発された技術、得られた情報等を社会全体でより有効に活用できるようにするため、可能な限り、実証結果、データ等を公開していただきたい。

（委員B）

- ・ひまわり8号など最新の計測データに対応するさらなる技術開発と、オープンイノベーションを促進するための、学術分野での利用者に対する元データの提供。（委員C）
- ・厳しい言い方をすれば、今回の成果は、既存の手法で現在、どの程度の精度で把握・予測が可能であるかを確認した様な印象。

把握については、衛星画像によるものと、観測値の空間補間によるものとは、互いに補間しあうべきものであるように思われるので、そのような方向性での精度向上を期待する。

予測については、利用者の立場から予測に必要な精度を明確にした上で、特に影響が大きいと思われる事象について、精度向上を図ることが望ましいと思われる。

また、予測に必要な計算時間・コストも評価の要素として、精度や利用のし易さなども含め、どのような手法をどのようなタイミングで用いることが有効であるかを明らかにしていくことが望まれる。（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

「太陽光発電出力予測技術開発実証事業」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
(太陽光発電出力予測技術開発実証事業)

	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	2.60	2	2	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	1.60	2	2	2	1	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	1.80	2	1	2	2	2
5. 研究開発マネジメント・体制等の妥当性	2.00	2	2	2	2	2
6. 費用対効果の妥当性	2.00	2	1	2	3	2
7. 総合評価	2.20	3	2	2	2	2

