

太陽光発電出力予測技術開発実証事業 事後評価の概要について

平成27年11月30日

電力・ガス事業部 電力基盤整備課

目次

1. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等
7. 費用対効果
8. 前回(H25)中間評価の対応状況
9. 評価
10. 提言及び提言に対する対応状況

1. 太陽光発電出力予測技術開発実証事業の概要

概 要	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。
実施期間	平成23年度 ～ 平成25年度 (3年間)
予算総額	2.2億円(補助(補助率1/2)) (平成23年度:1.0億円 平成24年度:0.9億円 平成25年度:0.3億円)
実施者	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
プロジェクトリーダー	荻本 和彦 東京大学 特任教授

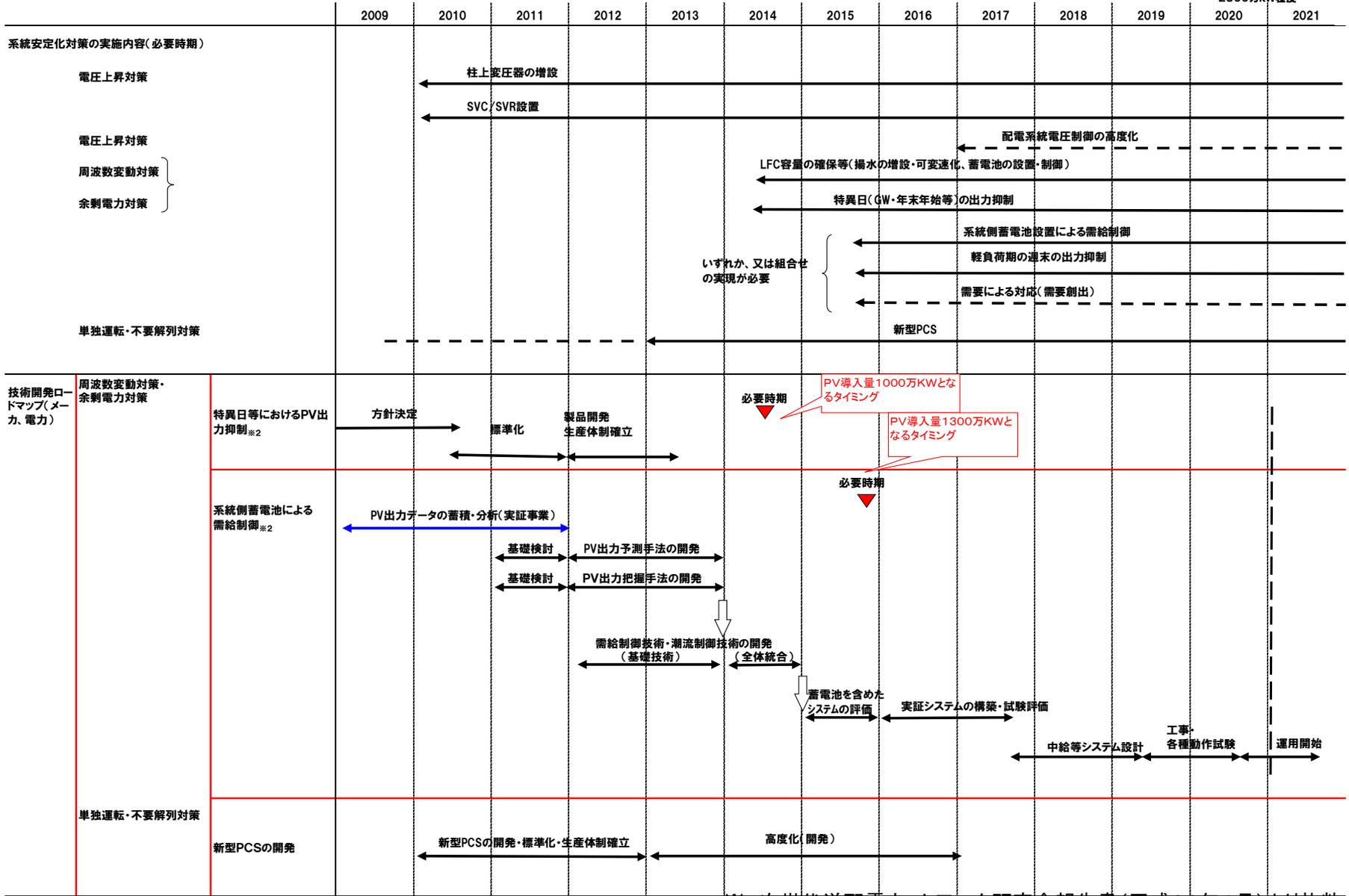
2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

次世代送配電ネットワーク構築に向けたロードマップ



太陽光発電の導入量

1000万kW程度 1300万kW程度 2800万kW程度



※ 次世代送配電ネットワーク研究会報告書(平成22年4月)より抜粋

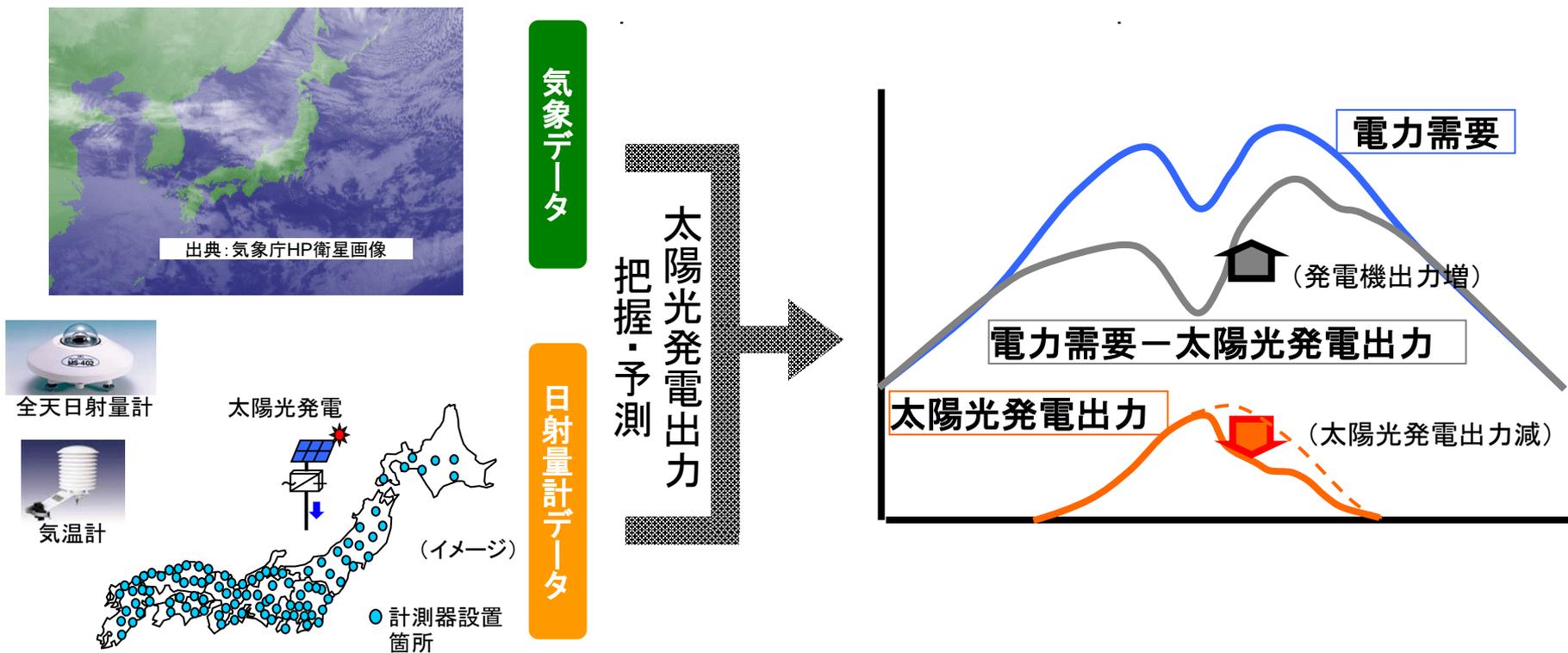
2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

～太陽光発電出力予測技術開発実証～

目的 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

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

■ 太陽光発電出力の把握・予測と需給運用の関連 <概念図>



3. 目標

要素技術と担当法人

日射量の把握	課題①	JWA	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②	電中研	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③	CTC	気象衛星データを用いた日射量推定
日射量の予測	課題④	JWA	時間スケールに応じた日射量予測
	課題⑤	電中研	気象モデルによる日射量の予測
	課題⑥	CTC	気象予測モデルおよび統計手法を用いた日射量の予測
太陽光発電出力の推定	課題⑦	電中研	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⑧	CTC	統計手法を用いた太陽光発電出力推定
	課題⑨	日立	日射量推定結果からの太陽光発電出力推定
	課題⑩	三菱	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⑪	S F	統計処理による太陽光発電量推定
日射量の分析	課題⑫	東大	日射量データ分析

JWA：一般財団法人 日本気象協会

日立：株式会社 日立製作所

東大：国立大学法人 東京大学

電中研：一般財団法人 電力中央研究所

三菱：三菱電機 株式会社

CTC：伊藤忠テクノソリューションズ 株式会社

S F：ソーラーフロンティア 株式会社

3. 目標 <日射量の把握>

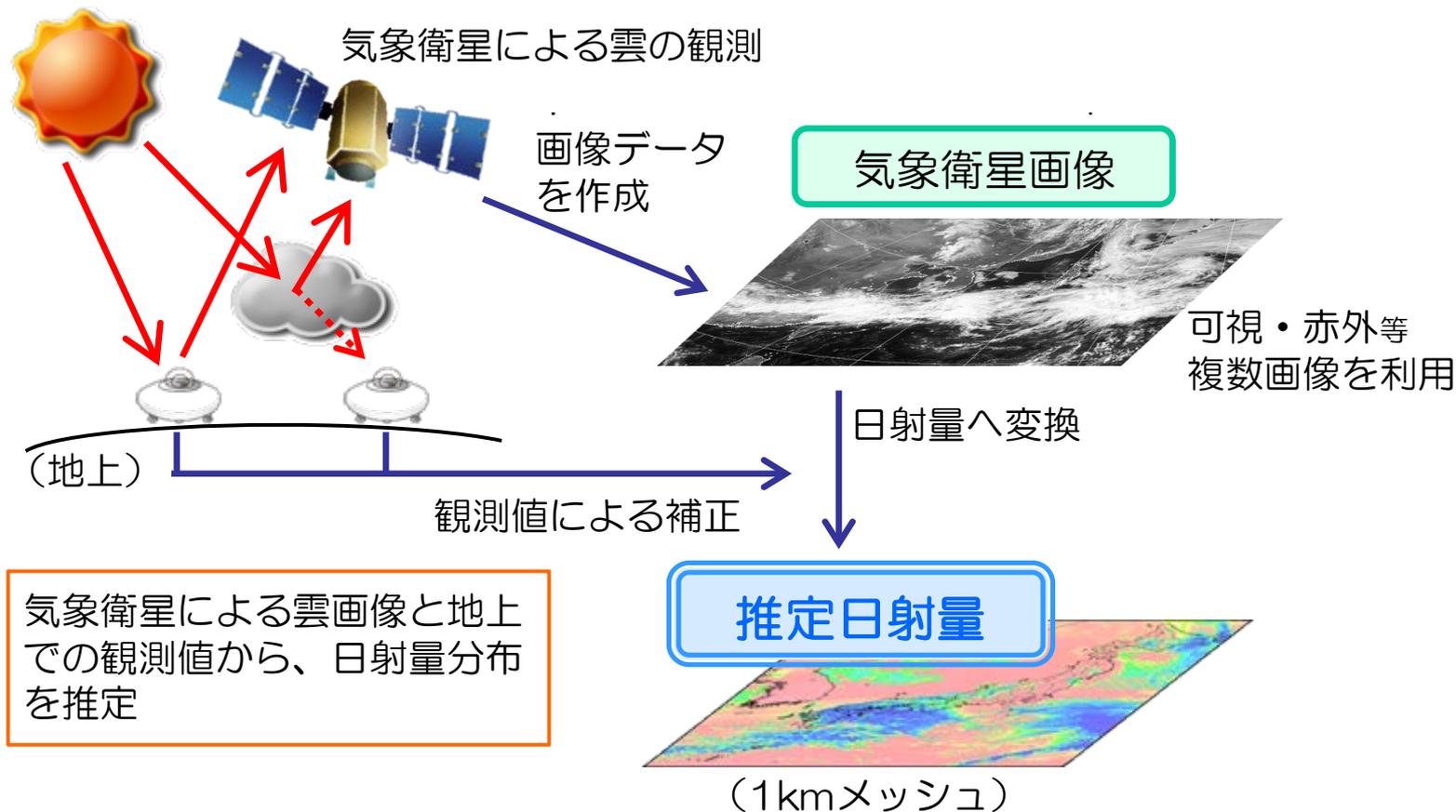
課題 番号	要素技術	目標・指標
①	気象衛星データや日射量観測データからの日射量推定【JWA】	気象衛星データや日射量観測データからの日射量推定技術を用いて、全国規模の実況日射量分布推定モデルを開発する。
②	空間線形回帰法（クリギング）に基づく空間補間による日射量推定【電中研】	リアルタイムの日射量マップの作成を目指し、地球統計学の空間線形回帰法（クリギング）に基づく日射の空間補間法を太陽光発電出力把握に適した手法に改良する。
③	気象衛星データを用いた日射量推定【CTC】	衛星データ等を用いて日射量分布の推定を行う手法を構築する。

3. 目標 <日射量の把握>

要素技術の一例①

【課題①】気象衛星画像データによる日射把握の概要

- ▶ 気象衛星画像を元に、現在の日射量を推定する

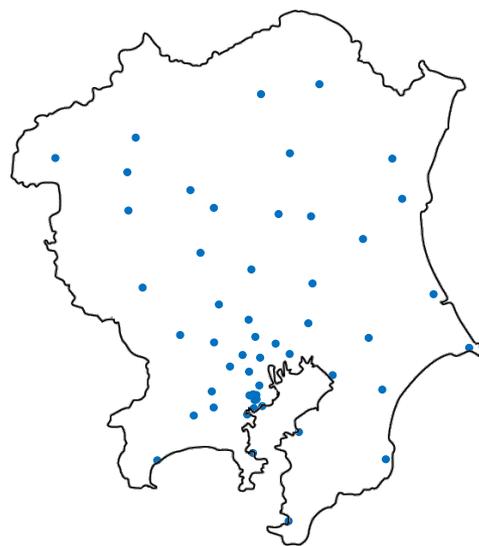


3. 目標 <日射量の把握>

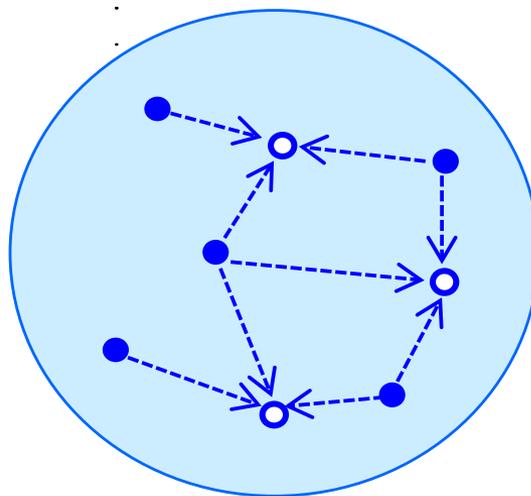
要素技術の一例②

【課題②】観測データ空間補間による日射把握の概要

観測地点



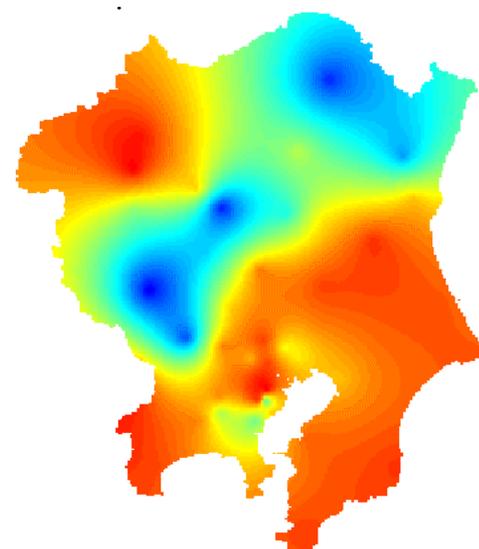
推定イメージ



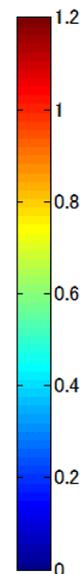
- 観測地点
- 未観測地点(推定対象地点)

空間線形回帰法
(クリギング)による補間

推定結果



日射強度
[kW/m²]



3. 目標 <日射量の予測>

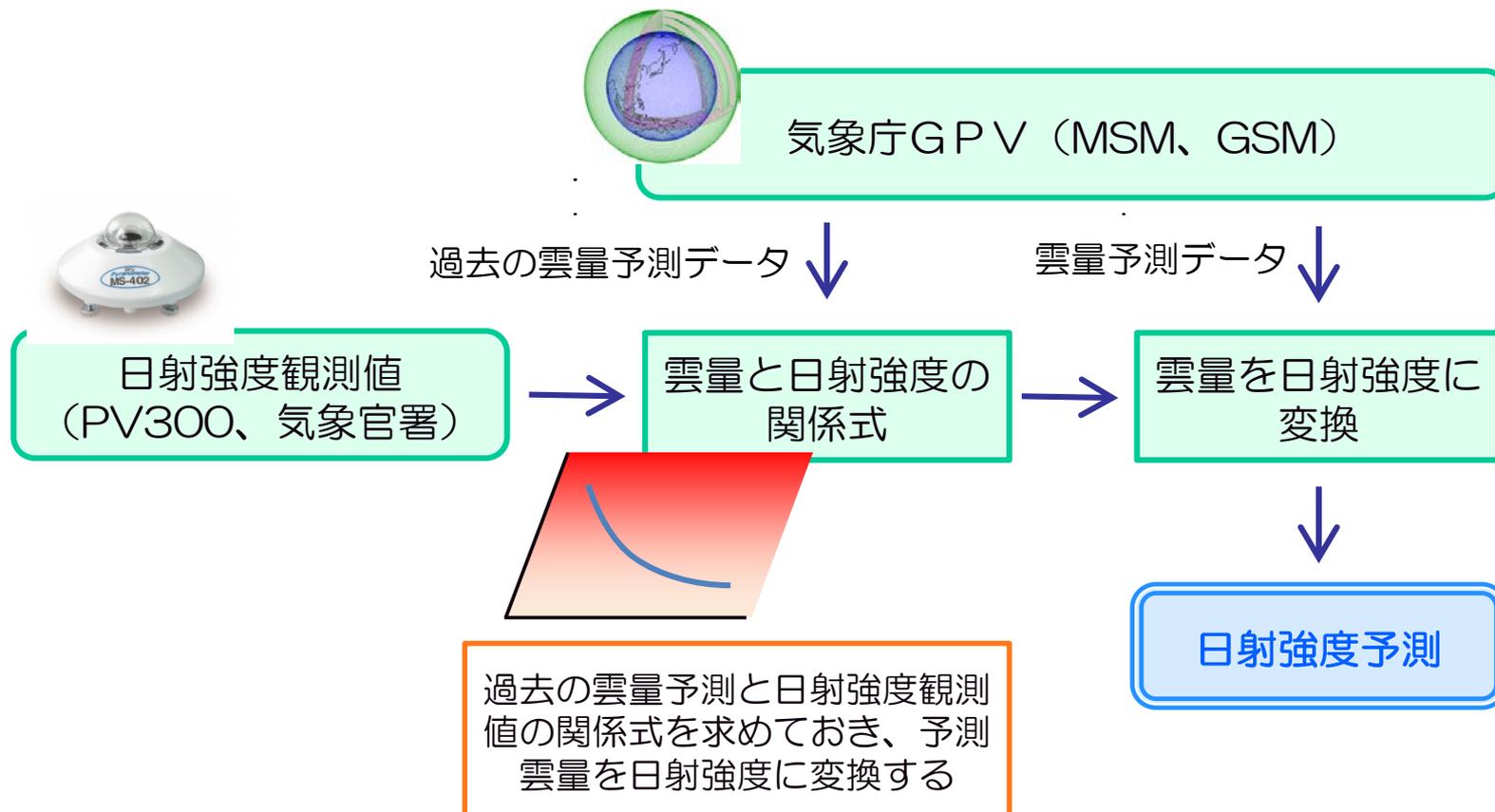
課題番号	要素技術	目標・指標
④	時間スケールに応じた日射量予測【JWA】	日本気象協会保有の数値予報モデル（SYNFOS(シンフォス)-3D）や全国規模の実況日射量分布推定モデルなどを用いて週間・翌日・当日・数時間先などの時間スケールに応じた日射量予測手法を開発する。
⑤	気象モデルによる日射量の予測【電中研】	電力中央研究所保有の気象予測・解析システム（NuWFAS(ニューファス））をベースとして、翌日・当日の気温・日射量を予測可能にする。
⑥	気象予測モデルおよび統計手法を用いた日射量の予測【CTC】	数値予報（GPV）データを利用した統計学的手法により日射量を予測するモデルを構築する。

3. 目標 <日射量の予測>

要素技術の一例③

【課題⑥】

統計学的手法を用いた日射量予測手法の概要



気象庁GPV(Grid Point Value): 気象数値予報値を地表などに設定された格子点上(地図上)に示したものの

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

3. 目標 <太陽光発電出力の推定>

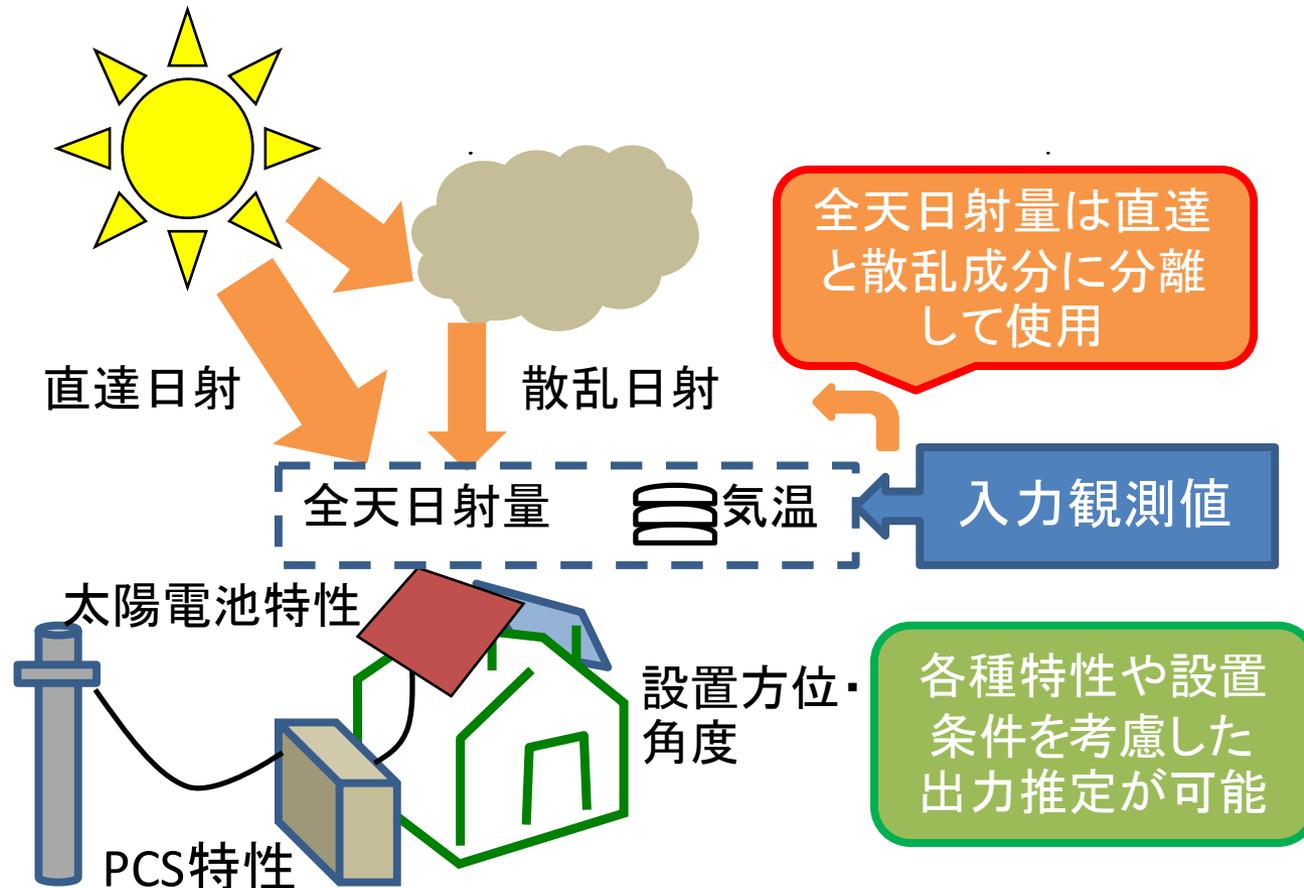
課題 番号	要素技術	目標・指標
⑦	地域の太陽光発電導入状況に対応した太陽光発電出力推定【電中研】	設置条件（太陽光パネル、方位等）による補正手法を検証評価し、地域ごとの太陽光発電設置状況の違いに対応可能な太陽光発電出力推定手法を開発する。
⑧	統計手法を用いた太陽光発電出力推定【CTC】	日射量推定・予測値をもとに、過去の実測データによる学習および補正などを適用し太陽光発電出力を推定する手法を開発する。
⑨	日射量推定結果からの太陽光発電出力推定誤差要因の分析【日立】	太陽光発電パネル設置地点の位置、パネルの方位・角度・温度、さらにはパネルの種類やPCSの変換効率など、様々な要因が日射量から太陽光発電出力の推定に与える影響を整理する。
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】	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。
⑪	統計処理による太陽光発電電量推定【SF】	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。

3. 目標 <太陽光発電出力の推定>

要素技術の一例④

【課題⑦】

水平面日射強度と気温からのPV出力推定手法の概要

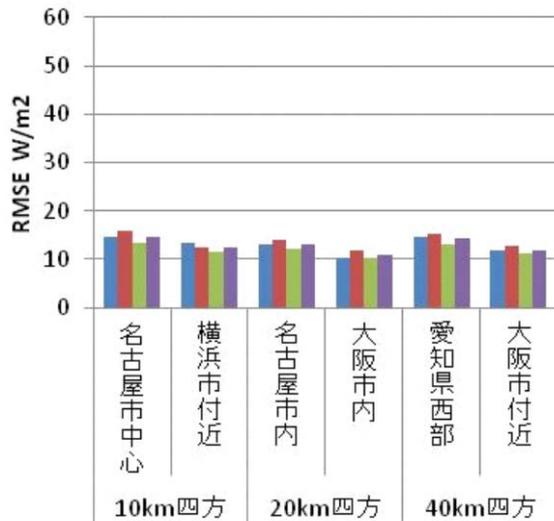


3. 目標 <日射量の分析>

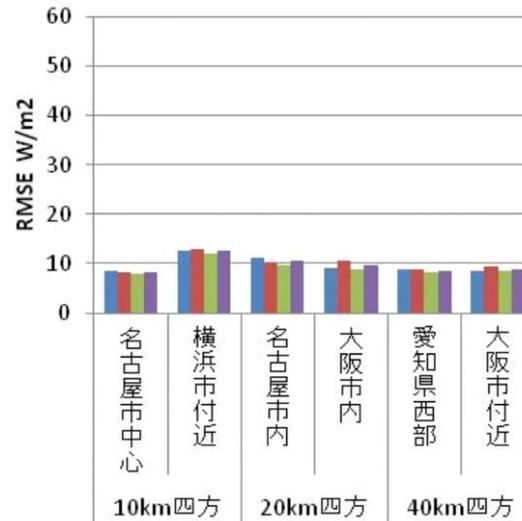
課題 番号	要素技術	目標・指標
⑫	日射量データ分析 【東大】	太陽光発電出力の予測や推定をする技術の観点から、用途・目的に応じて日射量や太陽光発電の発電量データがどの程度の空間密度、計測サンプリングが必要であるかを考察する。

4. 成果、目標の達成度 <日射量の把握>

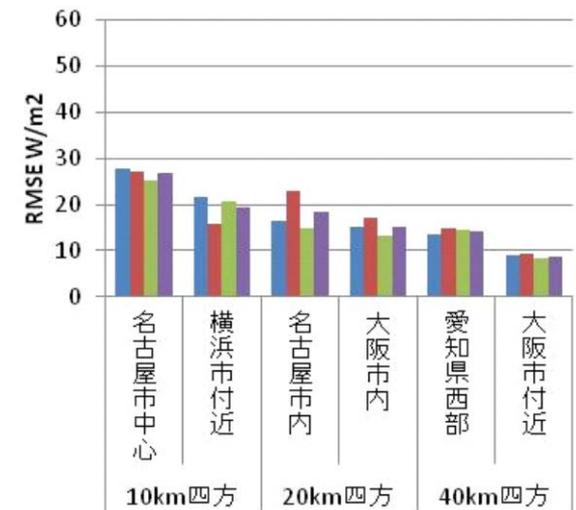
課題① JWA



課題② 電中研



課題③ CTC



日射量推定値

30分毎の前30分平均値

評価エリア

10, 20, 40km四方の各2地域(計6地域)

評価基準値

評価エリア内のPV300日射計観測値の30分平均値

誤差表示

年間の二乗平均平方根誤差(RMSE [W/m²])

■ 2010.11-2011.10

■ 2011.11-2012.10

■ 2012.11-2013.10

■ 2010.11-2013.10

基準日射強度1,000W/m²に対し、年間推定誤差15W/m²以下の精度を得た。

課題③は、電力供給地域(広い面積)で誤差が小さくなるようにチューニングされているため、10km, 20km四方のような小さな面積を対象にすると誤差が大きくなる。

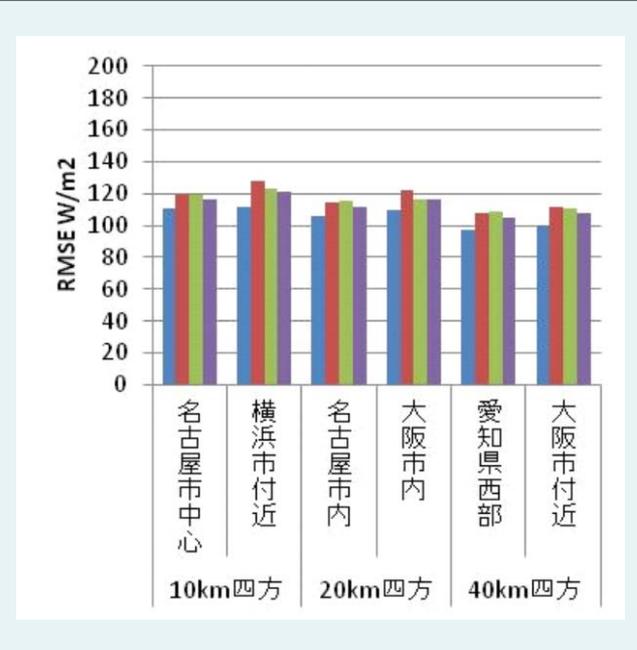
4. 成果、目標の達成度 <日射量の把握>

課題 番号	目標・指標	成果・達成度
① JWA	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。	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。 目標達成
② 電中研	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、推定精度向上を図った。 目標達成
③ CTC	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、推定精度の向上を図った。 目標達成

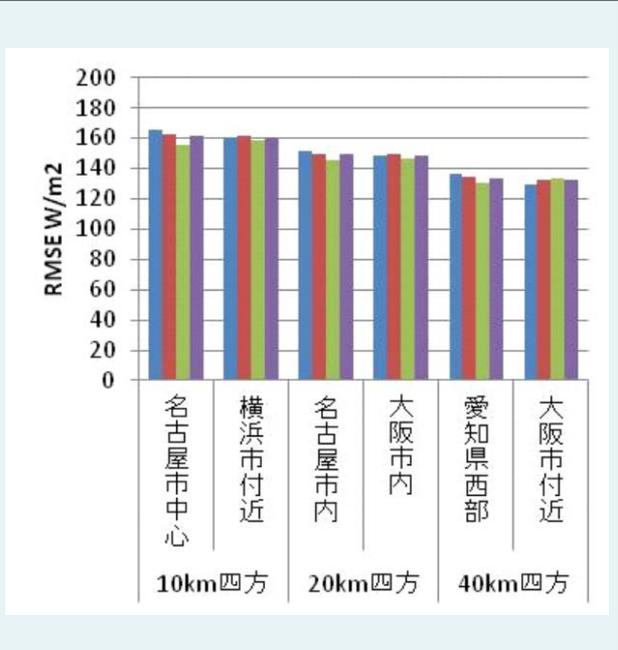
4. 成果、目標の達成度 <日射量の予測>

翌日予測

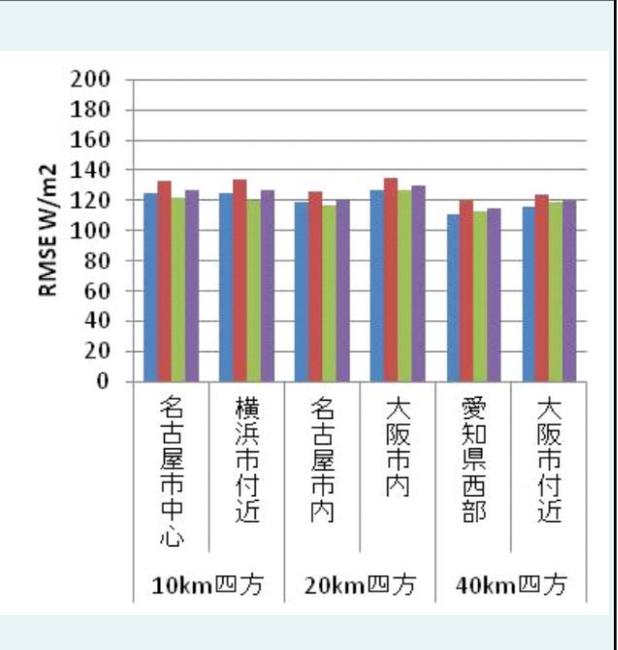
課題④ JWA



課題⑤ 電中研



課題⑥ CTC



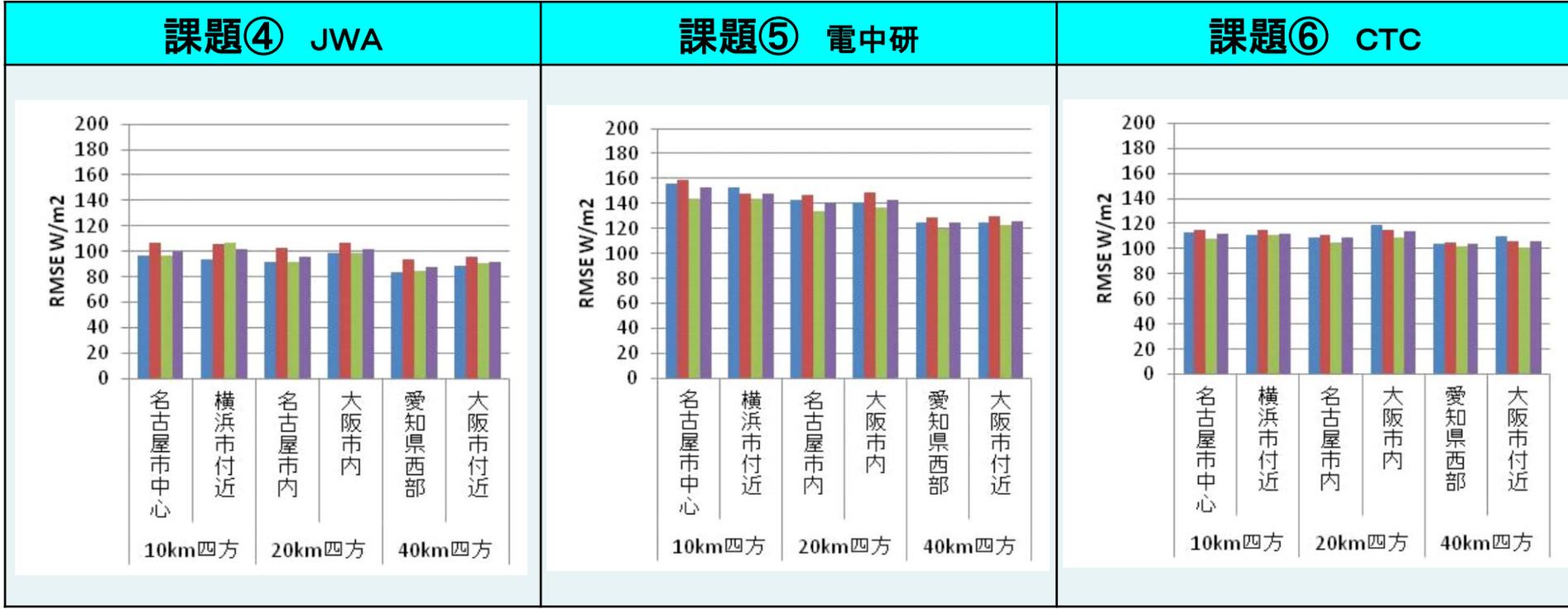
日射量予測値	30分毎の前30分平均値
評価エリア	日射量の把握と同じ
評価基準値	
誤差表示	

- 2010.11-2011.10
- 2011.11-2012.10
- 2012.11-2013.10
- 2010.11-2013.10

<翌日予測>
 基準日射強度1,000W/m²に対し、年間予測誤差100~160W/m²程度の精度を得た。

4. 成果、目標の達成度 <日射量の予測>

当日予測



日射量予測値	翌日予測と同じ
評価エリア	
評価基準値	
誤差表示	

- 2010.11-2011.10
- 2011.11-2012.10
- 2012.11-2013.10
- 2010.11-2013.10

<当日予測>
 基準日射強度1,000W/m²に対し、年間予測誤差80~150W/m²程度の精度を得た。

週間予測および数時間先予測は説明を割愛(評価用資料参照)

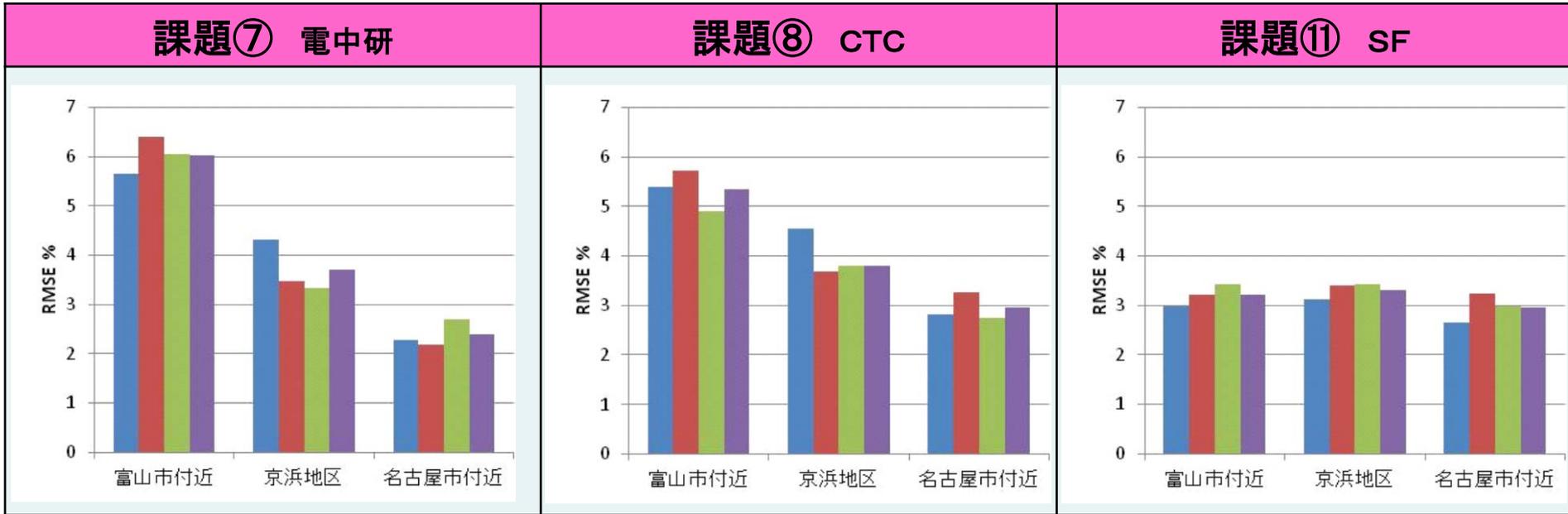
4. 成果、目標の達成度 <日射量の予測>

課題 番号	目標・指標	成果・達成度
④ JWA	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。	予測する時間スケールごとの日射量予測手法を開発した。 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て、精度の向上を図った。 <p style="text-align: right;"><u>目標達成</u></p>
⑤ 電中研	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・日射量を予測可能にする。	NuWFASの水平計算領域などを変更することで、翌日・当日の日射量を予測するシステムを開発した。 <p style="text-align: right;"><u>目標達成</u></p>
⑥ CTC	数値予報（GPV）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。 <p style="text-align: right;"><u>目標達成</u></p>

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。

4. 成果、目標の達成度 <太陽光発電出力の推定>

要素技術:「把握(予測)した日射量から広域の発電出力推定」



発電推定値	30分毎の前30分平均値
評価エリア	10km四方(富山)、20km四方(京浜)、30km四方(名古屋)
評価基準値	PV300観測地点に併設されたPV発電出力の30分平均値
誤差表示	PV発電出力定格値を基準とした年間RMSE (%)

- 2010.11-2011.10
- 2011.11-2012.10
- 2012.11-2013.10
- 2010.11-2013.10

<広域の発電出力推定>
 年間推定誤差5%以下の精度を得た。(富山市付近を除く)

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ため誤差が増加する。

4. 成果、目標の達成度 <太陽光発電出力の推定>

◆要素技術:「配電線レベルでの(潮流を用いた)発電出力推定」

課題⑩ 三菱	年間推定誤差 約4.5%
-----------	--------------

発電推定値	1秒ごとの発電量
評価データ	「NEDO集中連系型太陽光発電システム成果普及事業」で計測した配電線レベルの潮流および日射量の実測値(2006.12~2007.11)
誤差表示	PV発電出力合計値(553件分)を基準とした年間RMSE(%)

◆要素技術:「誤差要因の分析」

課題⑨ 日立	緯度、経度、パネルの傾斜角・方位・汚れ・種類・温度、PCSの効率などの出力推定の誤差要素を分析し、影響を評価した。	
	分析結果 (代表例)	パネルの傾斜が5度程度でPV出力が10%異なる。 パネルの方位が15度程度でPV出力が10%異なる。

4. 成果、目標の達成度 <太陽光発電出力の推定>

課題番号	目標・指標	成果・達成度
⑦ 電中研	設置条件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。 目標達成
⑧ CTC	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。	発電出力推定モデルを構築し、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。 目標達成
⑨ 日立	設置地点、パネルの方位・角度・温度・種類やPCSの変換効率など、様々な要因が日射量から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。 目標達成
⑩ 三菱	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。 目標達成
⑪ SF	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容易にPV出力を推定する手法を開発した。 目標達成

4. 成果、目標の達成度 <日射量の分析><全体>

課題 番号	目標・指標	成果・達成度
⑫ 東大	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日射計のデータを分析し、太陽光発電の大量普及時にPV発電量の予測や出力を推定する技術の観点から、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。 目標達成

全体

- ◆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い、発電出力の把握・予測に影響のある現象を分析・反映することで精度向上を図り、実用化の見通しを得た。

4. 成果、目標の達成度

特許・論文等件数

要素技術	論文数	特許等件数 (出願を含む)	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
太陽光発電出力の推定	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

5. 事業化、波及効果

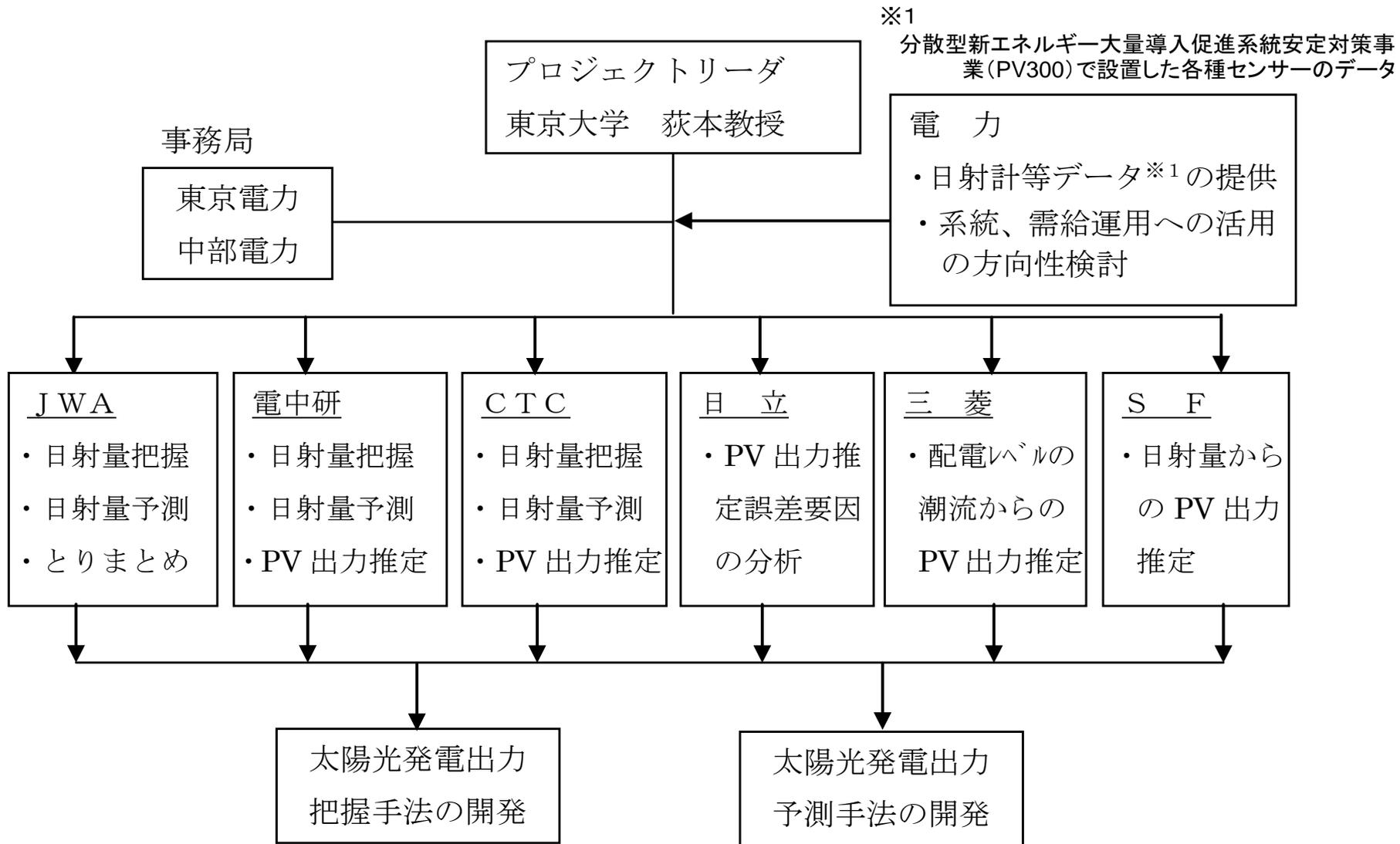
○ 事業化の見通し

- 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。
- 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。
- 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。

○ 波及効果

- 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。(設備の運用コスト低減、再生可能エネルギーの有効活用)
- 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、設備の合理化が期待される。
- 気象予報の高精度化に対する非常に強いニーズとなる。

6. 研究開発マネジメント・体制等



「次世代送配電システム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)」と連携を図りながら取り組んだ。

7. 費用対効果

- 利用主体となる電力会社の需給運用に基づくニーズを反映した実効性ある新規技術を開発した。
- 将来的には、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。

8. 前回(H25)中間評価の対応状況

今後の研究開発の方向性等に関する提言

○産学官の様々な実施者によるオープンイノベーションの促進、公的資金による研究の成果は公共財であるとの認識による成果・データに対するオープンアクセスの提供などの実現を期待する。

提言に対する対応状況

○事業終了後、全法人参加して事業の成果の検証をフォロー研究にて実施中である。(平成26年度～平成28年度)

○事業の成果を論文により公表した。
(平成27年3月時点:32論文)

○事業の成果を活用した日射量予測サービスを一般へ提供している。

9. 評価

9-1. 評価検討会

評価検討会名称

太陽光発電出力予測技術開発実証事業事後評価検討会

評価検討会委員

座長

大山 力

横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授

委員

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

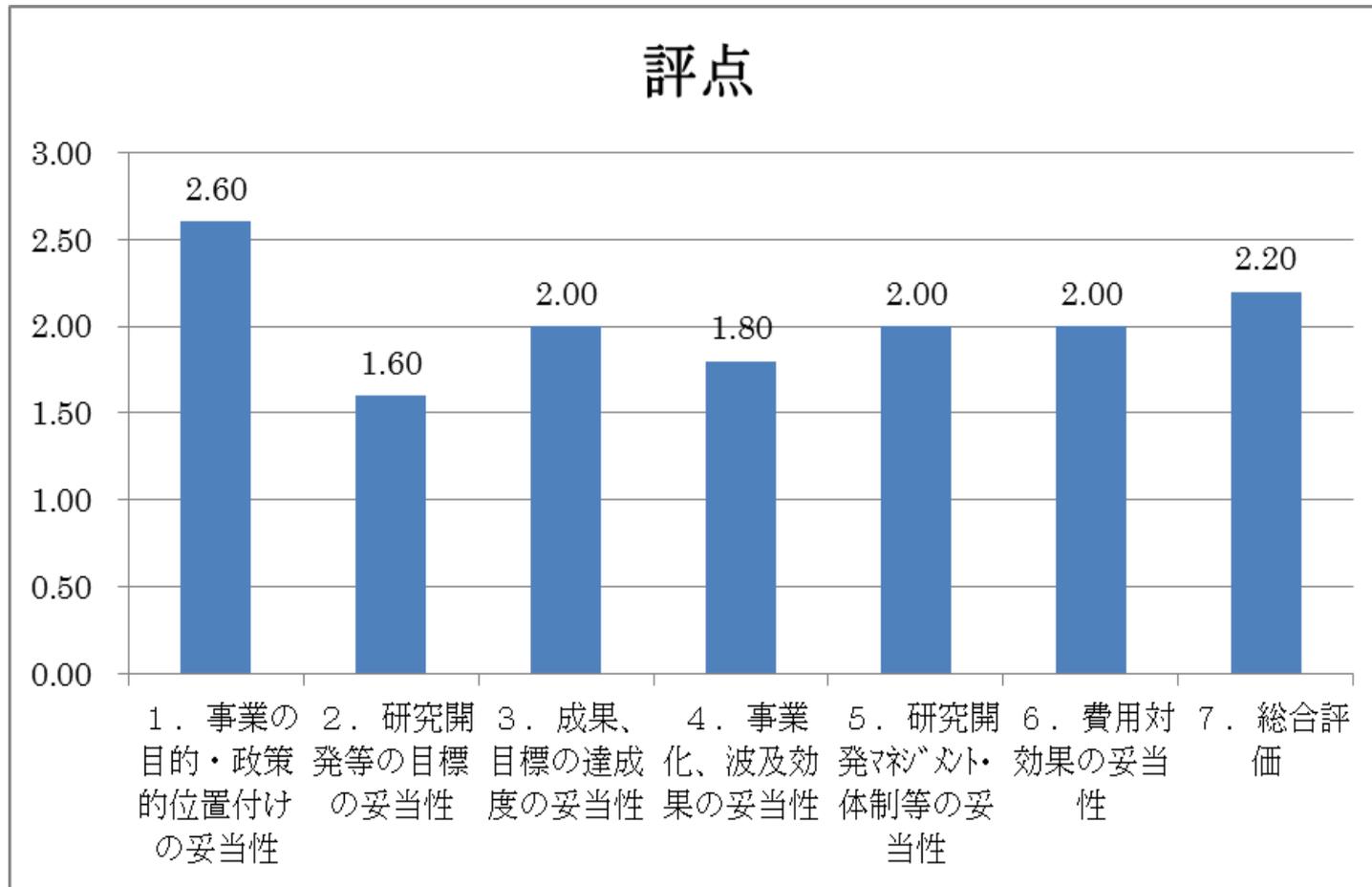
加藤 丈佳

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

9-2. 総合評価(コメント)

- 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。
。

9-3. 評価(評点結果)



【評価項目の判定基準】

評価項目1.~5.

3点:非常に重要又は非常によい

2点:重要又はよい

1点:概ね妥当

0点:妥当でない

6. 総合評価

(中間評価の場合)

3点:事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点:事業は良好であり、継続すべきである。

1点:事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点:事業を中止することが望ましい。

10. 提言及び提言に対する対応状況

今後の研究開発の方向性等に関する提言

○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。

提言に対する対応状況

○出力予測の精度は、ベースとなる気象予報の精度に寄るところが大きいいため、予測が外れる場合もある。ランプ変動などによる予測外れについては、本事業で得られた知見を活かして、各電力会社や他の実証事業の中で対応技術の開発を進めていく。

○本事業の実証結果の情報公開については、今後もフォロー研究の中で論文・学会発表等を通じて積極的に行うとともに、公共の利益となる場合にはデータ等の提供も行っていく。

○利用方法、予測精度や計算時間等の仕様、要求コストなどは各利用者(電力会社、発電事業者等)により異なることから、今後は本事業で開発した手法の適用方法や組み合わせ方も含めて、利用者毎に検討を進めていく。