

第20回 ESI Symposium

「電力システムの運用を支える予測技術の発展の方向性」



需給運用のための予測情報と昨今の開発課題

2024.03.04

環境・エネルギー事業部 山口 浩司

本日の発表内容

1. 日本気象協会について
2. 需給運用に向けた予測情報
3. 需給運用に関わる気象情報へのニーズ
4. 近年の主要課題に対する技術開発の状況
5. 需給運用の高度化に向けた更なる課題

1. 日本気象協会について

1. 日本気象協会について

日本気象協会は1950年創業の民間気象会社

天気予報で培った予測技術を活用し、電力・河川・商品需要など様々な現象の予測および利活用支援を行っています。



日本気象協会

設立	1950年5月10日（2009年10月：一般財団法人化）
従業員数	852名（2023年7月1日現在）
主たる事務所	東京、札幌、仙台、名古屋、大阪、福岡
主たる業務	気象予報事業、気象情報提供事業、環境事業、防災事業
有資格者	気象予報士343名、技術士120名、博士19名

メディア・コンシューマ事業

- ・TV・ラジオへの天気予報
- ・tenki.jpの運営 など

環境・エネルギー事業

- ・洋上風力発電支援事業
- ・再エネ/電力需要予測 など

社会・防災事業

- ・道路・鉄道・河川防災事業
- ・商品需要予測事業 など



tenki.jp



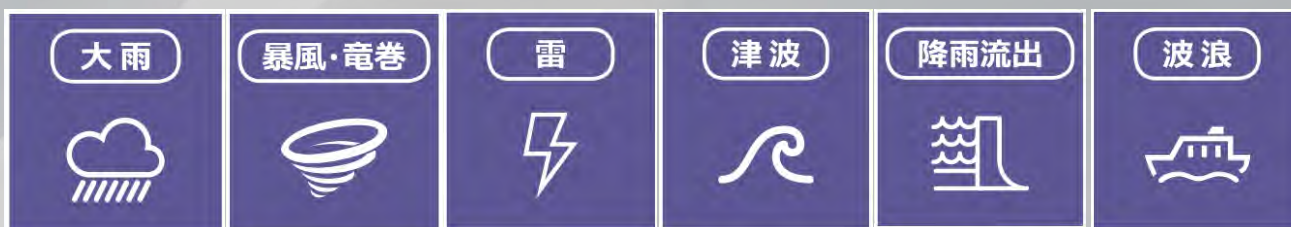
1. 日本気象協会のエネルギー事業

電力やガスのエネルギーマネジメント支援情報の提供、重要インフラのリスクマネジメントを支援。

エネルギーマネジメント

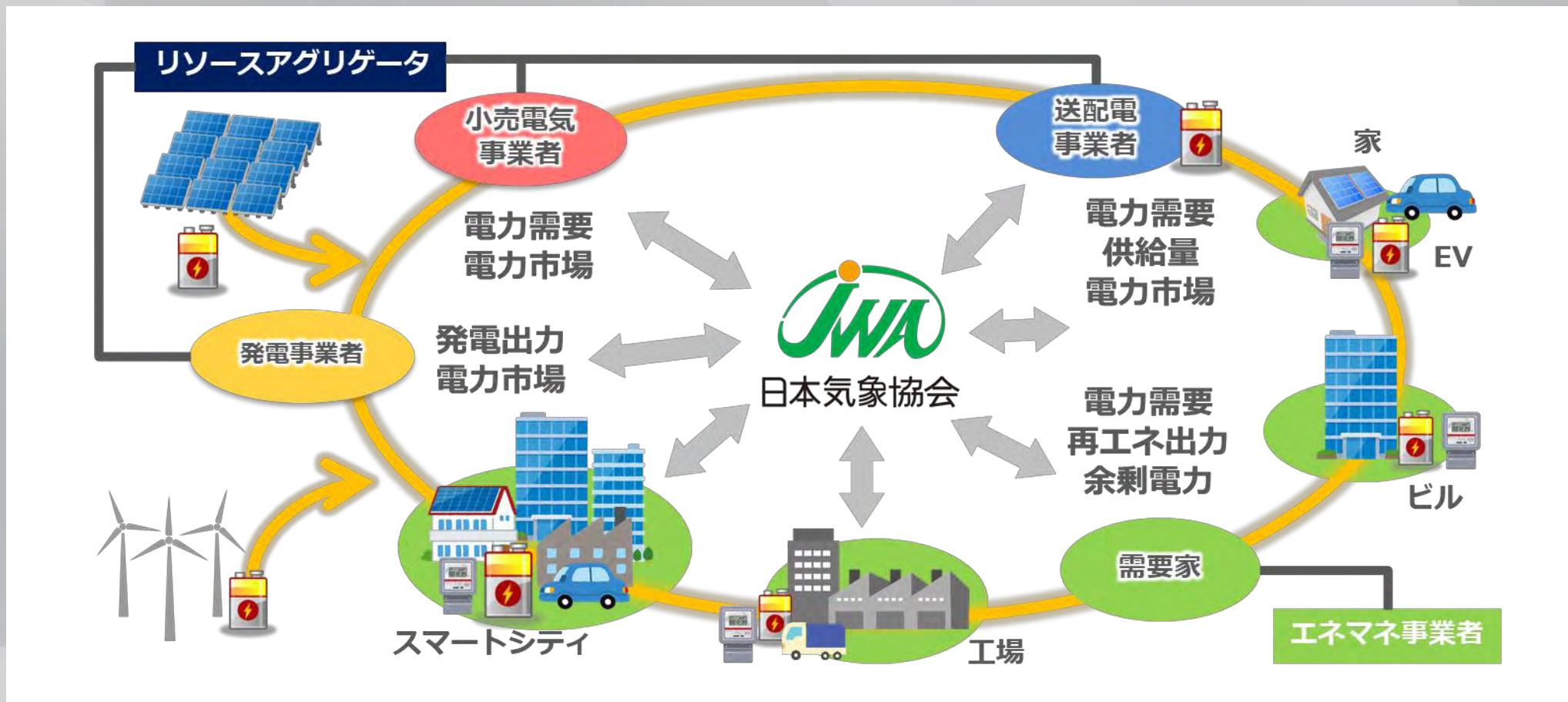


リスクマネジメント



1. 日本気象協会のエネルギー事業

気象予測情報をベースとした再エネ予測、需要予測、電力取引価格予測をセットでご提供することで、再エネを活用した高度なエネルギーマネジメントの実現を支援します。

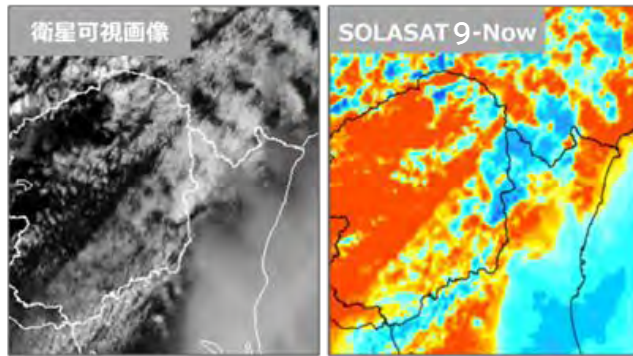


2. 需給運用に向けた予測情報

2. 日本気象協会の日射量予測・推定サービス

- 衛星画像や独自気象モデル（SYNFOS）を活用し、日射量推定・予測情報を高精度化
- 送配電事業者、再エネ発電事業者、小売電気事業者など導入実績多数

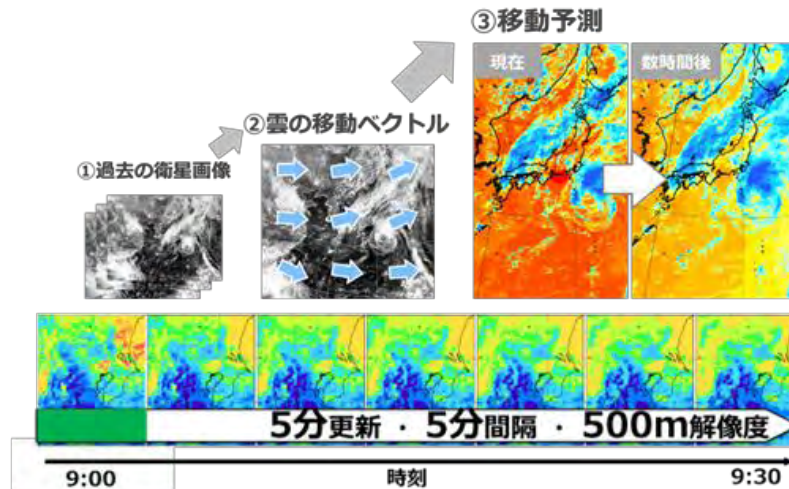
SOLASAT 9-Now (衛星推定日射量)



独自開発の日射量変換モデルにより
衛星画像から日射量を推定

- ・空間解像：500mメッシュ
- ・更新頻度：2.5分

SOLASAT 9-Nowcast (数時間先予測)



- ・空間解像：500mメッシュ
- ・時間解像：5分
- ・予測時間：3.5時間先まで

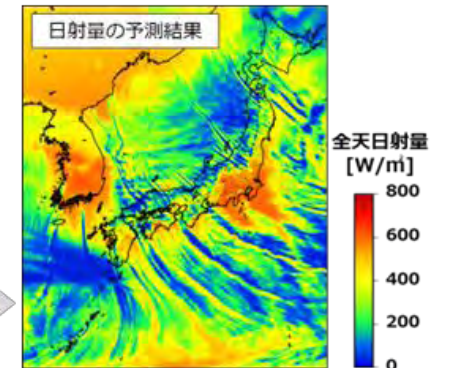
SYNFOS-solar 1km (78時間先予測)



平成30年度新エネ大賞「資源エネルギー庁長官賞」受賞！



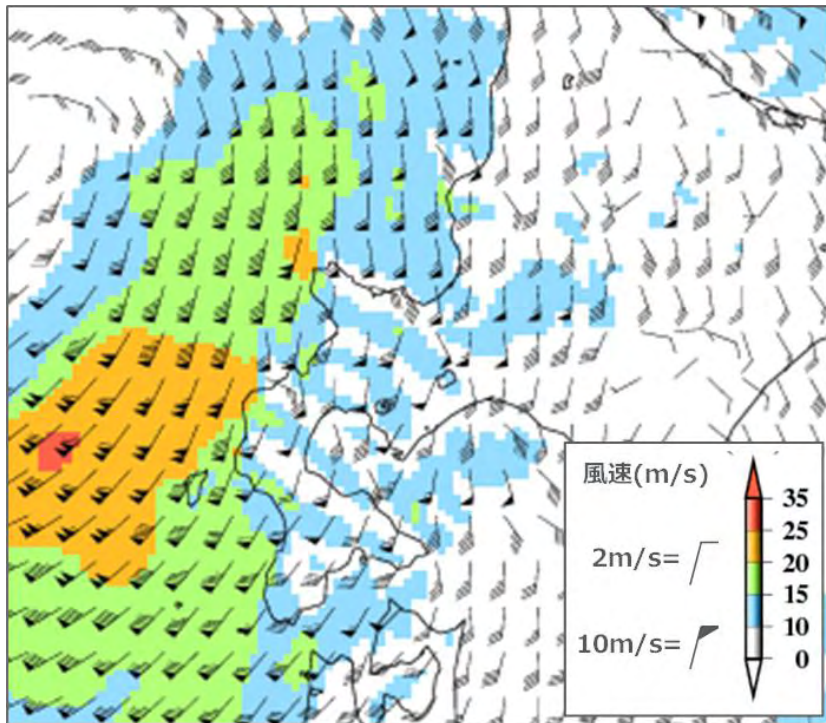
日射量予測に最適化
面的な統計補正技術



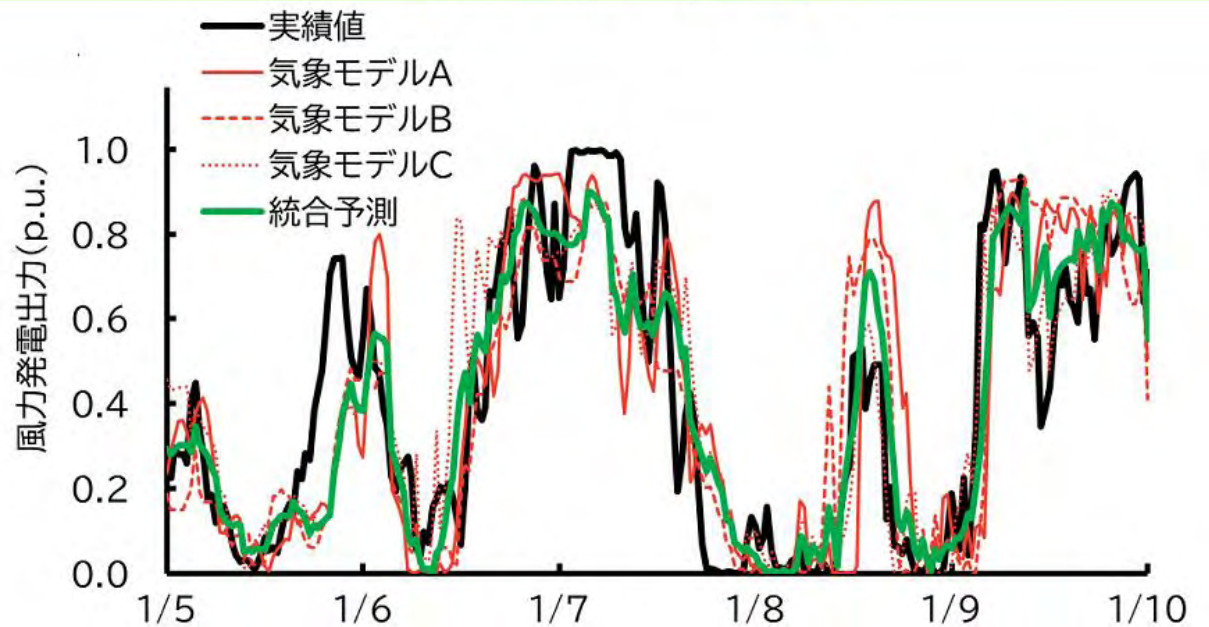
- ・空間解像：1kmメッシュ
- ・時間解像：30分
- ・予測時間：78時間先まで

2. 日本気象協会の風力発電向け予測サービス

- 国内外の複数気象モデルを活用した統合予測とAI技術をはじめとした各種解析技術を組み合わせることで、高精度な予測情報を提供
- 送配電事業者、再エネ発電事業者、小売電気事業者など導入実績多数

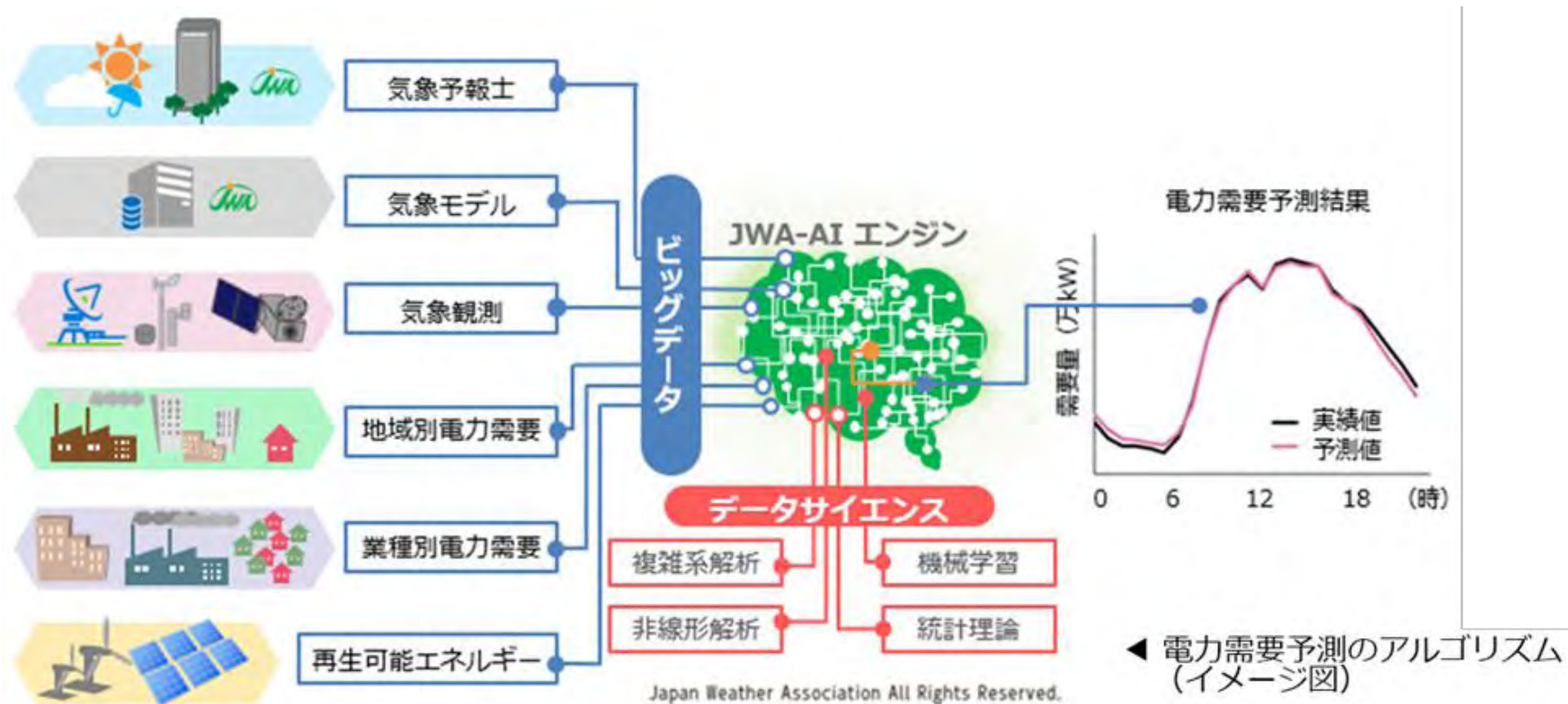


統合予測の適用例



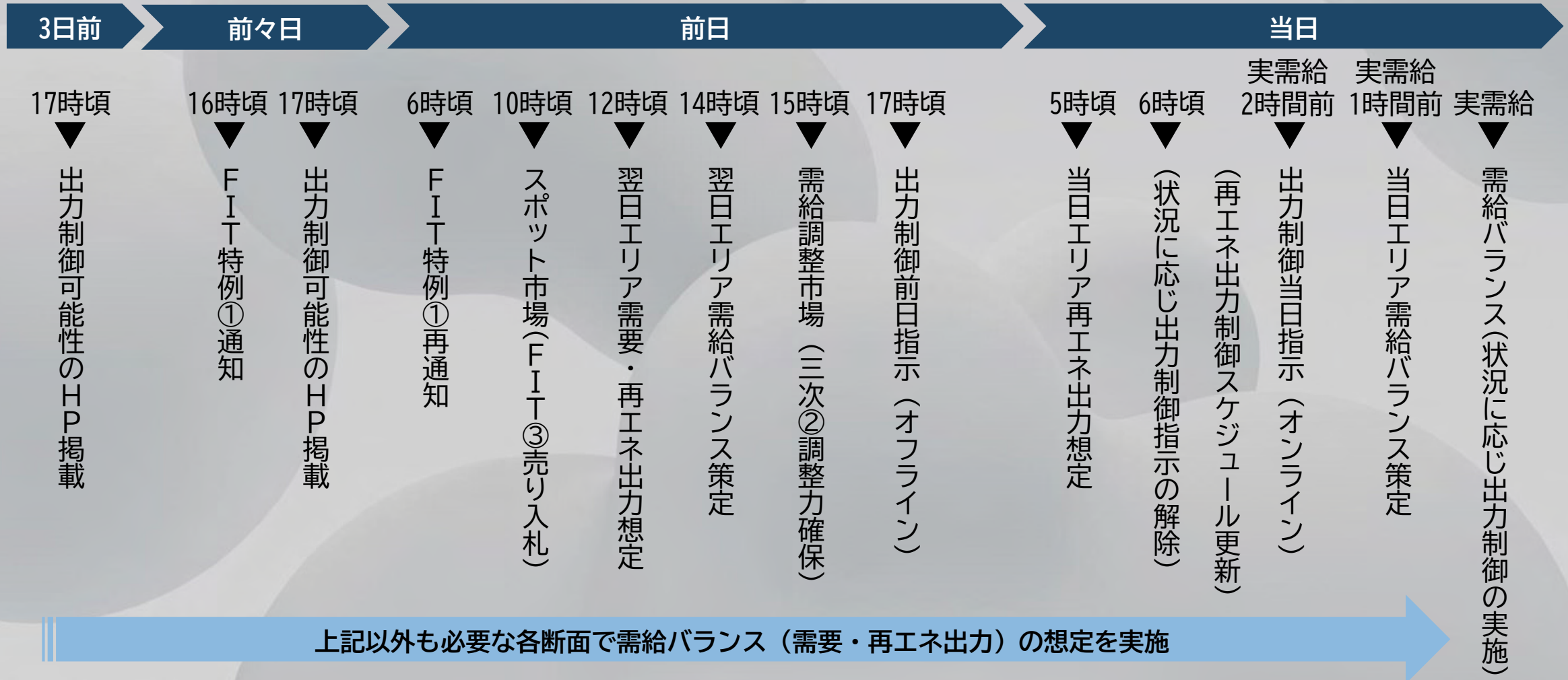
2. 日本気象協会の電力需要予測

- 独自の気象・再エネ予測技術×データ分析技術で、高精度な需要予測を実現
- 気象予測から電力需要予測まで自社で実施するため気象予測を考慮した最適な需要予測を提供可能
- 送配電事業者や小売電気事業者など導入実績多数



3. 需給運用に関わる気象情報へのニーズ

3. 気象情報に関わるTSO側の主な業務スケジュール（例）



3. 気象情報が関わるTSO側の主な業務

◆ 需給バランス想定（週間計画、前日計画、当日計画）

- エリア需要想定、再エネ想定に予測情報を利用

◆ FIT特例①の配分、FIT特例③の市場供出

- FIT電源（太陽光、風力）の翌日計画値作成用に予測情報を利用

◆ 三次調整力②の必要量算定

- FIT電源の再エネ予測誤差に対応するための三次②必要量テーブル切り替えにアンサンブル予報に基づく信頼度情報を利用

◆ 出力制御量の検討

- 再エネ（太陽光、風力）の出力想定に予測情報を利用
- 想定誤差量の見通しにアンサンブル予報を活用するケースも

3. 予測情報が関わる近年の主要な課題

◆ 再エネ予測誤差に対応するための調整力確保費用の低減

- 三次調整力②は太陽光発電等のFIT再エネの予測誤差に備えた調整力。再エネ出力の予測誤差が大きくなれば需給調整市場での調達量が増大し、コストも増大（2023年度の交付額は1,200億円、2024年度見込みは500億円）。
- 調整力必要量は再エネ予測誤差の下振れ大外し事象に対応できる必要があるため、**大外し誤差を低減**することが重要。
- 併せて予測値の**信頼度情報も活用**することで誤差の程度の事前把握も有効。

◆ 出力制御量の低減

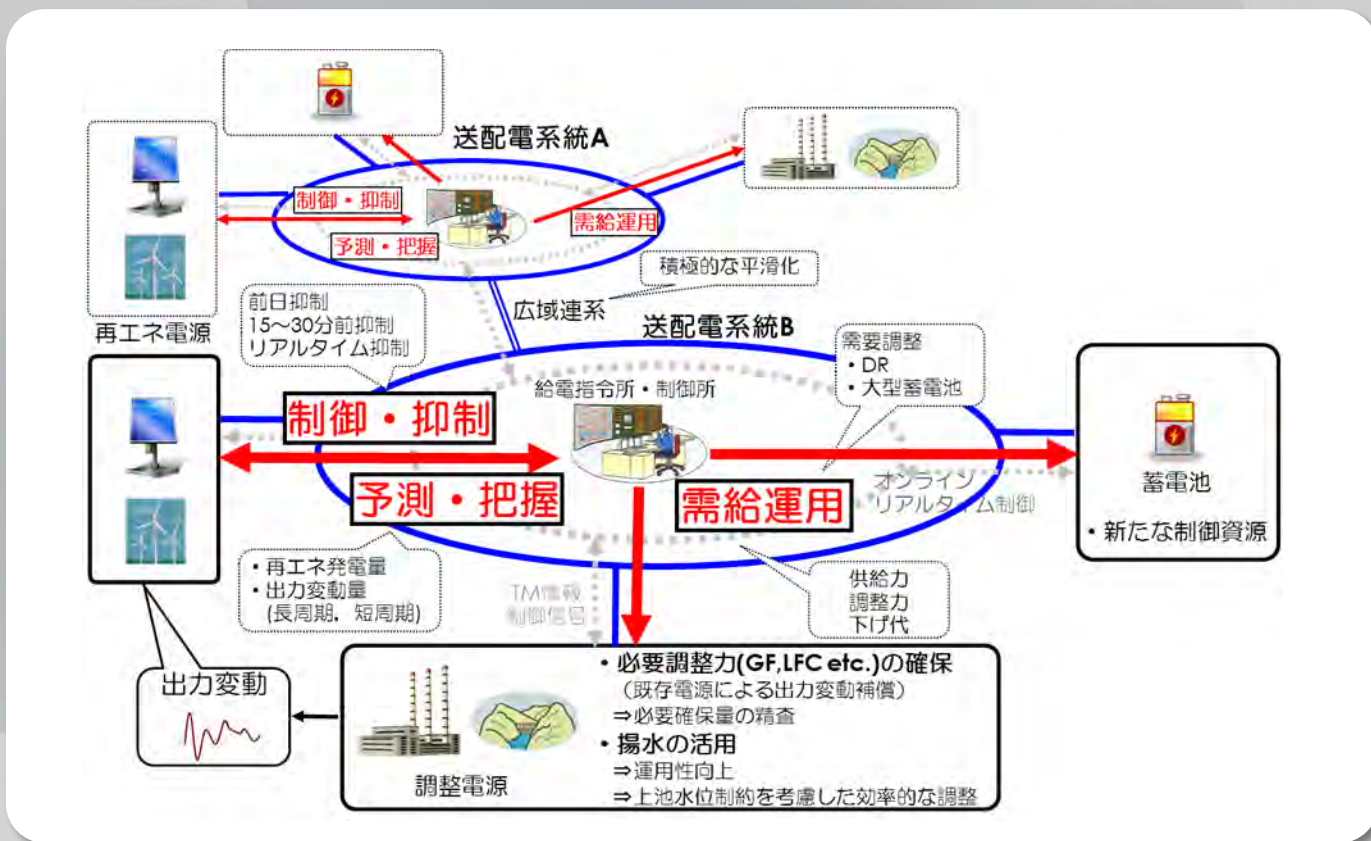
- 前日の出力制御指示は過去の最大誤差や平均誤差なども織り込んで検討しているため、再エネ予測誤差の低減が制御量の低減にも寄与する。
- 当日の制御指示も実需給2時間前の状況から制御判断を行うため、**数時間程度先の予測精度向上も重要**。
- 折り込み誤差量については、過去の最大誤差や平均誤差以外にもアンサンブル予測による情報の活用も折り込み誤差量の低減に貢献できる可能性あり。



4. 近年の主要課題に対する技術開発の状況

4. NEDO：電力系統出力変動対応技術研究開発事業

- NEDO委託事業「電力系統出力変動対応技術研究開発事業」。2014～2018年度の5カ年で東京大学など6大学、2電力会社、6法人が共同で実施。
- 電力需給運用に影響を与える風力発電の急激な出力変動（ランプ）に着目し、再エネの予測技術や出力制御技術を高度化させ、予測と出力制御を踏まえた需給運用の手法確立を目的としたもの。

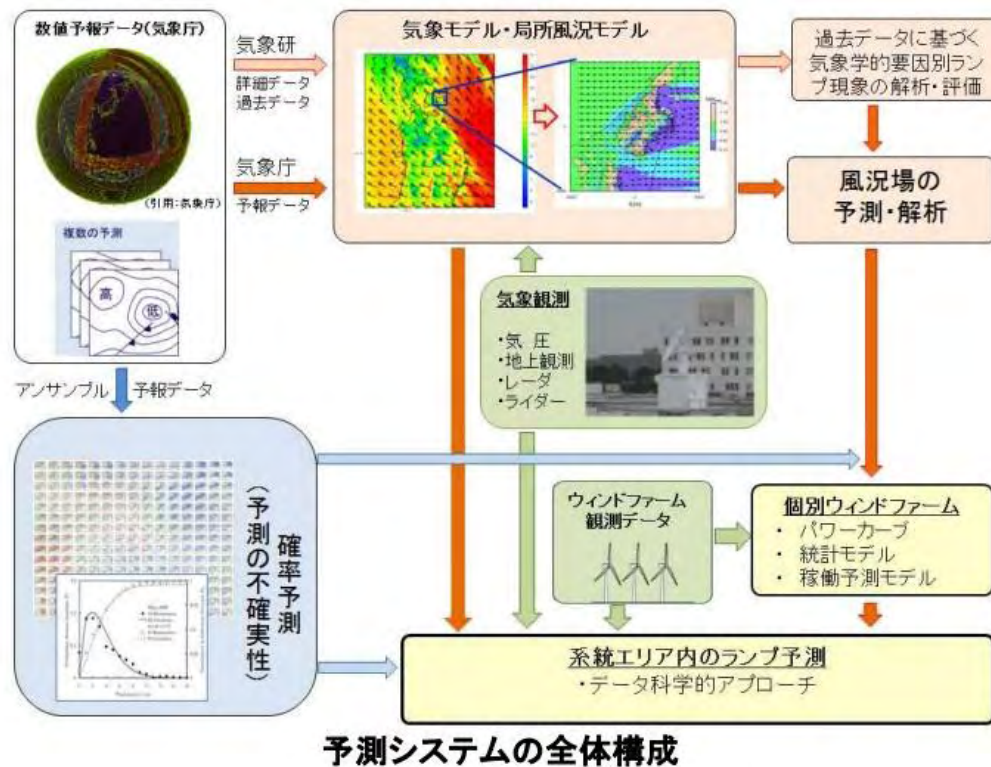


- 日本気象協会は、ランプ現象を予測するシステム構築と実系統（新島）の受給運用に予測情報を提供し、その適用性の実証に参画した。

OKADA, Maki, et al. Development of a wind power ramp forecasting system via meteorological pattern analysis. Wind Energy, 2022, 25.11: 1900–1916.

4. NEDO：電力系統出力変動対応技術研究開発事業

- 風力発電のランプ予測技術では、火力発電の起動に必要となる約6時間先以降に発生する風力発電定格出力のエリア合計値に対する30%以上の出力変動（継続時間6時間以内）をランプ現象と定義し、現行の予測モデルよりも予測精度を向上させ、「大外し（ランプ発生予測の適中に対する見逃し）」を評価指標（CSI*）において20%以上低減させることを目標とした。



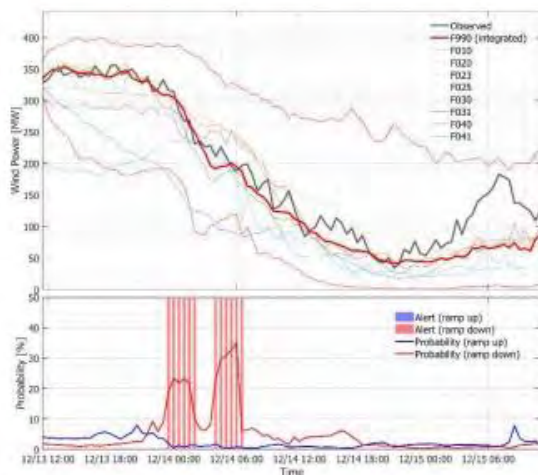
19

NEDOホームページ中間評価報告書より <https://www.nedo.go.jp/content/100802644.pdf>

4. NEDO：電力系統出力変動対応技術研究開発事業

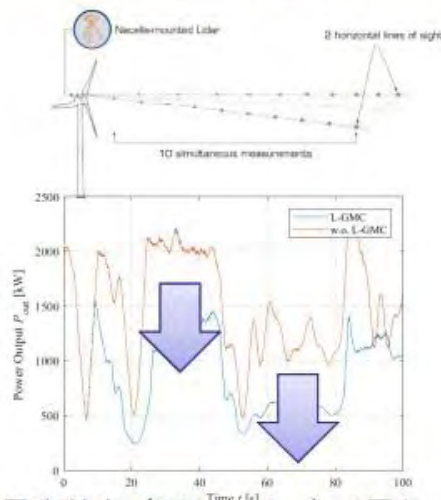
ランプ予測技術、WF内制御技術、WF間制御技術において、高いレベルで設定した目標を達成。風力発電の出力変動緩和による電力系統への影響の最小化が見込まれる。

ランプ予測技術開発



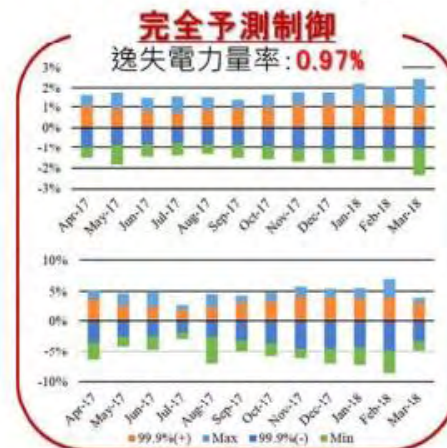
最新のデータ科学技術と数値気象予測技術で、世界でも類を見ない多様性のある7つの予測手法を開発し、風力発電の変動性・不確実性に対応した予測技術を実現。
 ランプ予測技術の予測精度は、既存数値目標を達成（改善率20%以上）。その予測精度は海外プロジェクトにおけるランプ予測精度と比較して、世界最高水準を達成。

WF内制御技術開発



風車前方（100-400m）の風をLIDARにて計測し、急激な風の変動（ガスト）を検知して事前出力変動を予測し、出力制御を実施することで、出力急変を緩和する制御技術を開発。世界初のガスト緩和制御技術を実機にて実現。30%を超える変動緩和も達成。

WF間制御技術開発



電力系統エリア内の風力発電合計出力の超短周期および短周期変動を少ない逸失電力量率で低減する制御技術を開発。
 超短周期変動・短周期変動率および逸失電力量率の目標（1%以下）を達成し、電力系統の調整力不足による連系制約の改善（風力連系設備容量の増加）に寄与。

最終目標に対する達成度

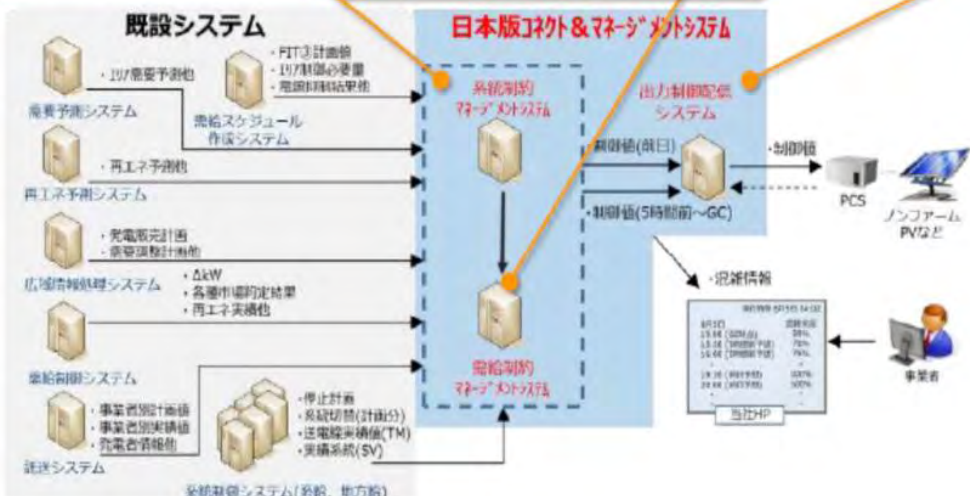
○ ○達成、△一部達成、X未達

NEDOホームページ事後評価報告書より <https://www.nedo.go.jp/content/100901477.pdf>

4. NEDO：日本版コネクト＆マネージを実現する制御システムの開発

- NEDO委託事業「日本版コネクト＆マネージを実現する制御システムの開発」。2019～2023年度の5カ年で東京電力PGなど12法人が共同で実施。
- 一定の条件下で系統への接続を認めるノンファーム型接続といった「日本版コネクト＆マネージ」の仕組みを実現し、既存系統を最大限活用していくための効果的かつ合理的な制御システムの開発と実証を行う事業。

- 1 系統制約マネージメントシステム**
 - 潮流状態を予測・作成
 - 系統混雑箇所を特定し、必要な系統制御量を算出
 - ノンファーム電源の系統制御量について需給制約マネージメントシステム側へ連係
- 2 需給制約マネージメントシステム**
 - 調整力下げ代不足を解消する全系エリア出力制御量を決定
 - 系統制約マネージメントシステムからの系統制御量を踏まえ、ファーム電源およびノンファーム電源の制御値決定
- 3 出力制御配信システム**
 - ファーム電源およびノンファーム電源に出力制御値を送信
 - インターネットや専用回線等により、オンラインでの出力制御を実施



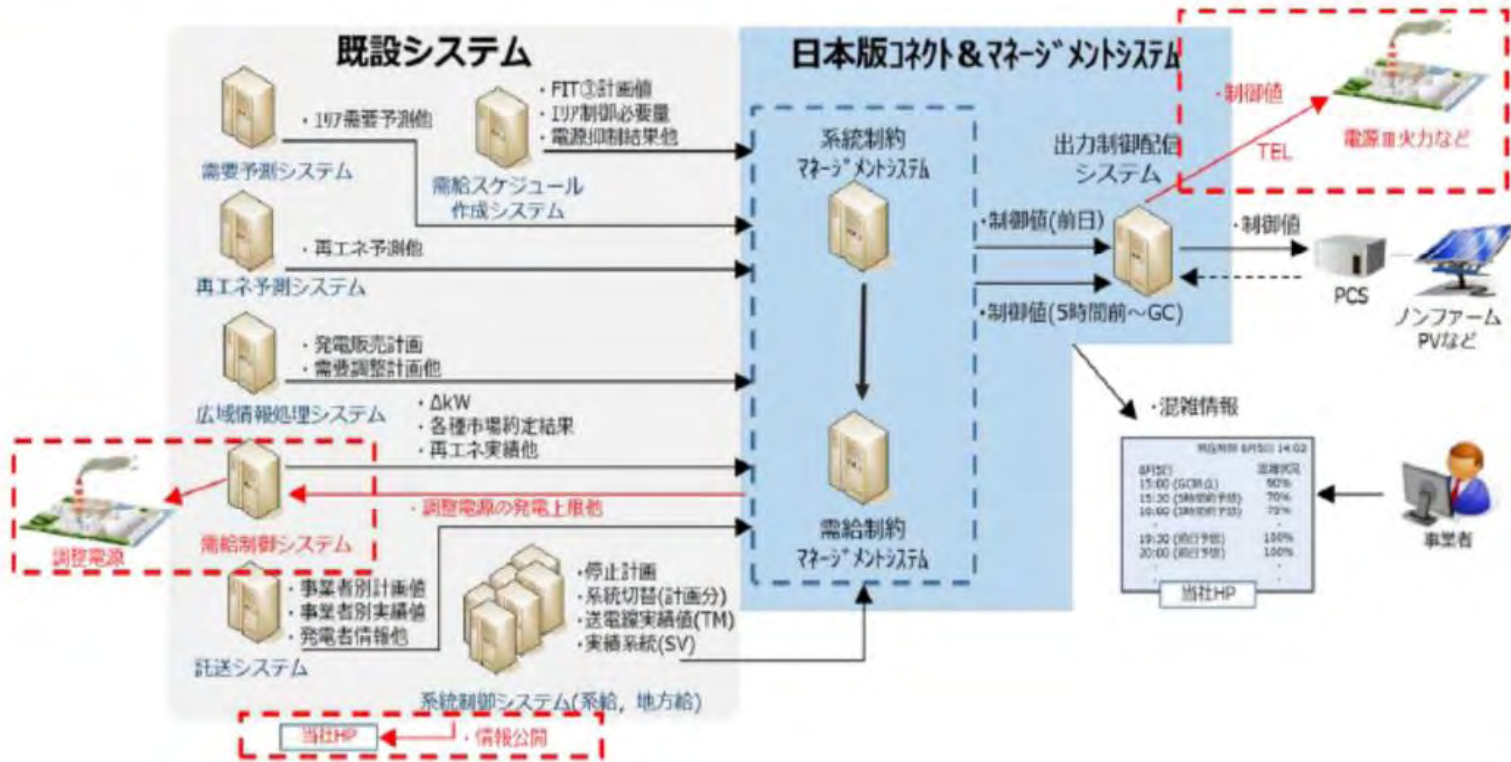
- 日本気象協会は、基幹系統やローカル系統におけるPVや風力予測、需要予測に資するメッシュ気象情報の開発＆配信等を実施している。
- 電力エリアの予測と比べて、予測対象が基幹系統やローカル系統となるため、高精度なメッシュ予測により発電所位置の予測情報が必要となる。

NEDOホームページ中間評価報告書より <https://www.nedo.go.jp/content/100938778.pdf>

4. NEDO：日本版コネクト&マネージを実現する制御システムの開発

3. 2 日本版コネクト&マネージを実現する制御システムの開発

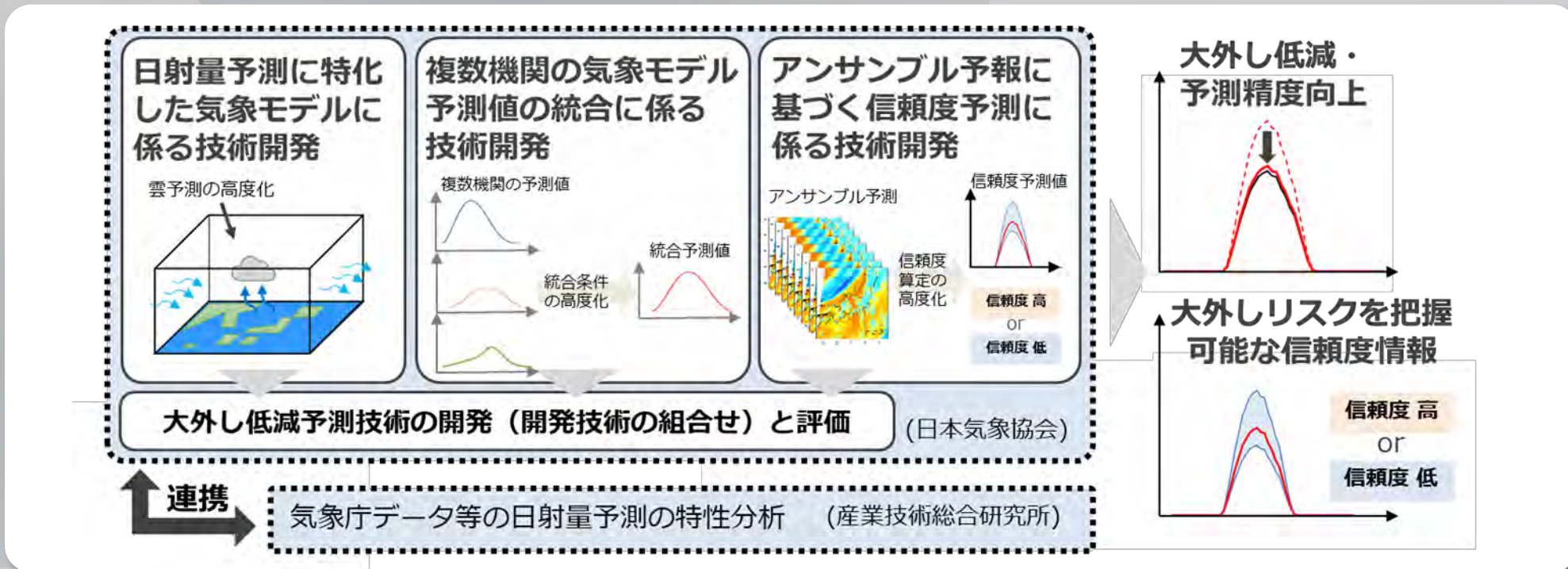
- 再給電方式の追加に伴い、赤枠部分を拡張。
- 制度の議論と研究開発に齟齬がないように、第54回広域系統整備委員会（2021年6月）において、事業事業者から最新の状況及び今後の計画を紹介。



NEDOホームページ中間評価報告書より <https://www.nedo.go.jp/content/100938778.pdf>

4. NEDO：翌日および翌々日程度先の日射量予測技術の開発

- NEDO委託事業「翌日および翌々日程度先の日射量予測技術の開発」。2021～2024年度の4カ年で日射量予測の技術開発を実施中。
- 太陽光発電出力の予測誤差による電力系統への影響を緩和するために、翌日および翌々日程度先の日射量予測について大外しの低減と大外しリスクを把握可能な信頼度情報を開発に取り組む。



久野勇太 ほか：翌日および翌々日程度先の日射量予測技術の開発～気象モデル・複数モデル予測値の統合・信頼度予測に係る技術開発～。
日本太陽エネルギー学会講演論文集（2022），p. 309-310，2022。

宮崎聡 ほか：海面更正気圧の主成分分析を利用した日射量予測大外し事例の分析。令和5年電気学会全国大会，6 - 243，2023。

4. NEDO：翌日および翌々日程度先の日射量予測技術の開発

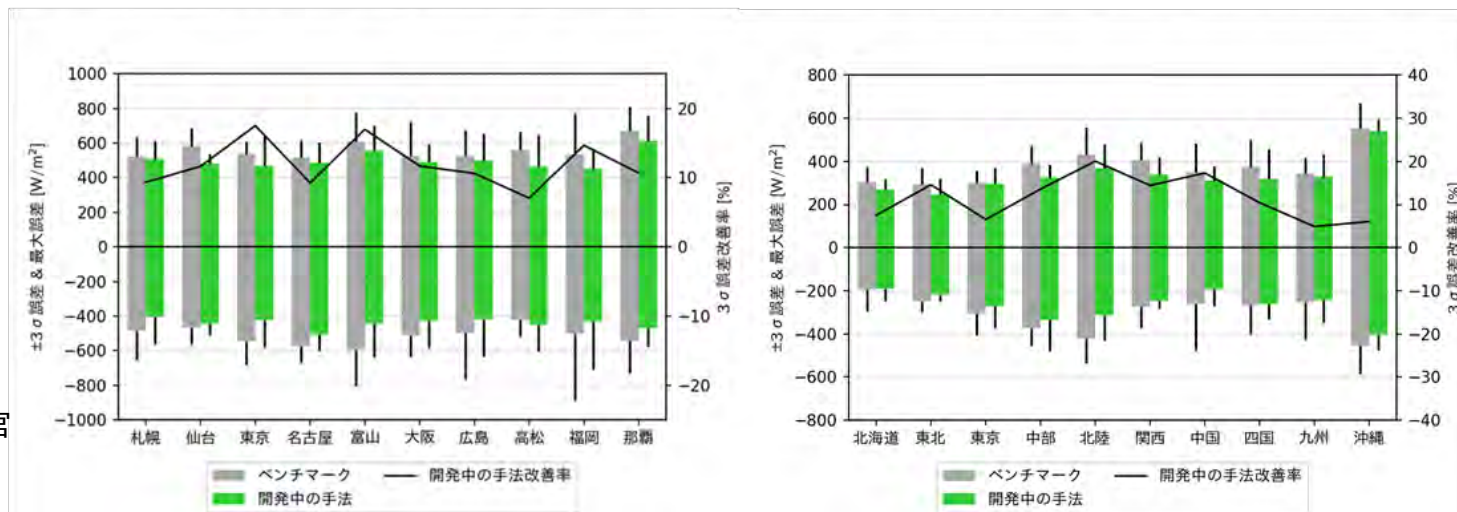
- 2022年度末には事業の中間年度として、大外し低減予測技術の開発（開発技術の組み合わせ）と評価を実施。
- ベンチマークと比較し、「日射量予測に特化した気象モデル」および「複数機関の気象モデル予測値の統合」の組み合わせにより、年間の $\pm 3\sigma$ 誤差が約12%減となることを確認。
- 2023年度以降も継続的に技術開発を行い、更なる予測誤差低減に向けて技術開発を遂行する。

2022年度時点での検討手法を組み合わせた過去1年間を対象とした予測精度検証

「日射量予測に特化した気象モデル」および「複数機関の気象モデル予測値の統合」を組み合わせた日射量予測の精度検証結果

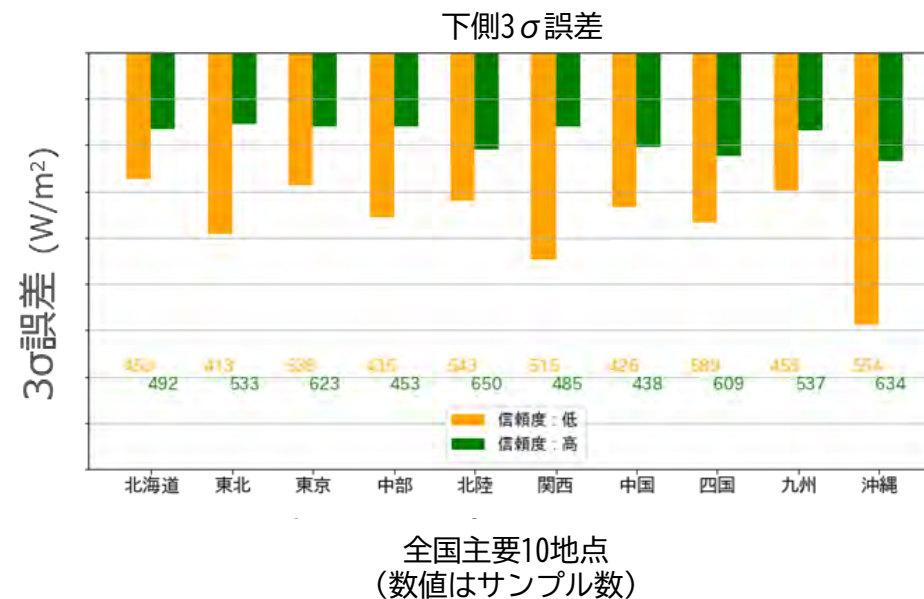
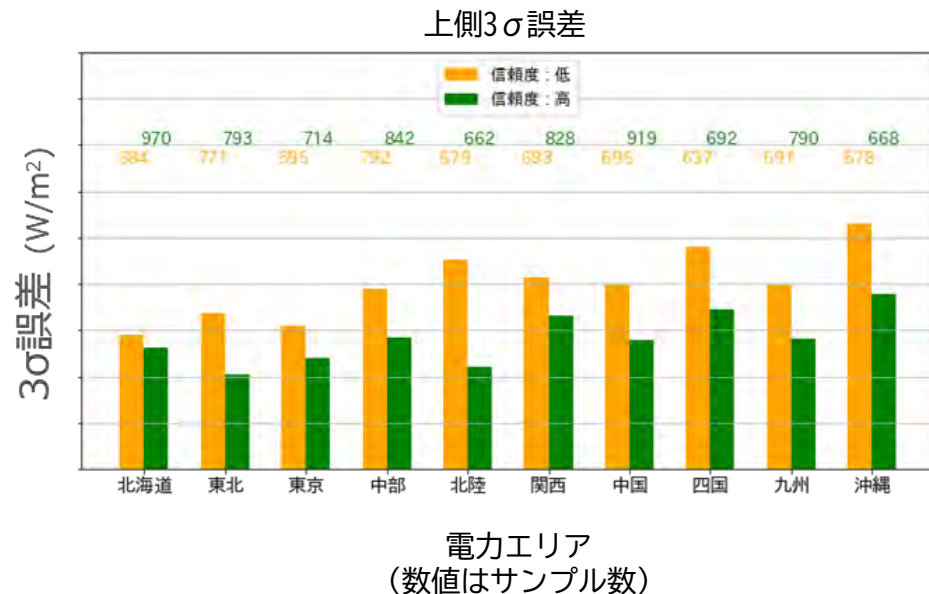
左：全国主要10地点
右：電力エリア平均

電力エリア平均は主要官署地点の平均にて評価



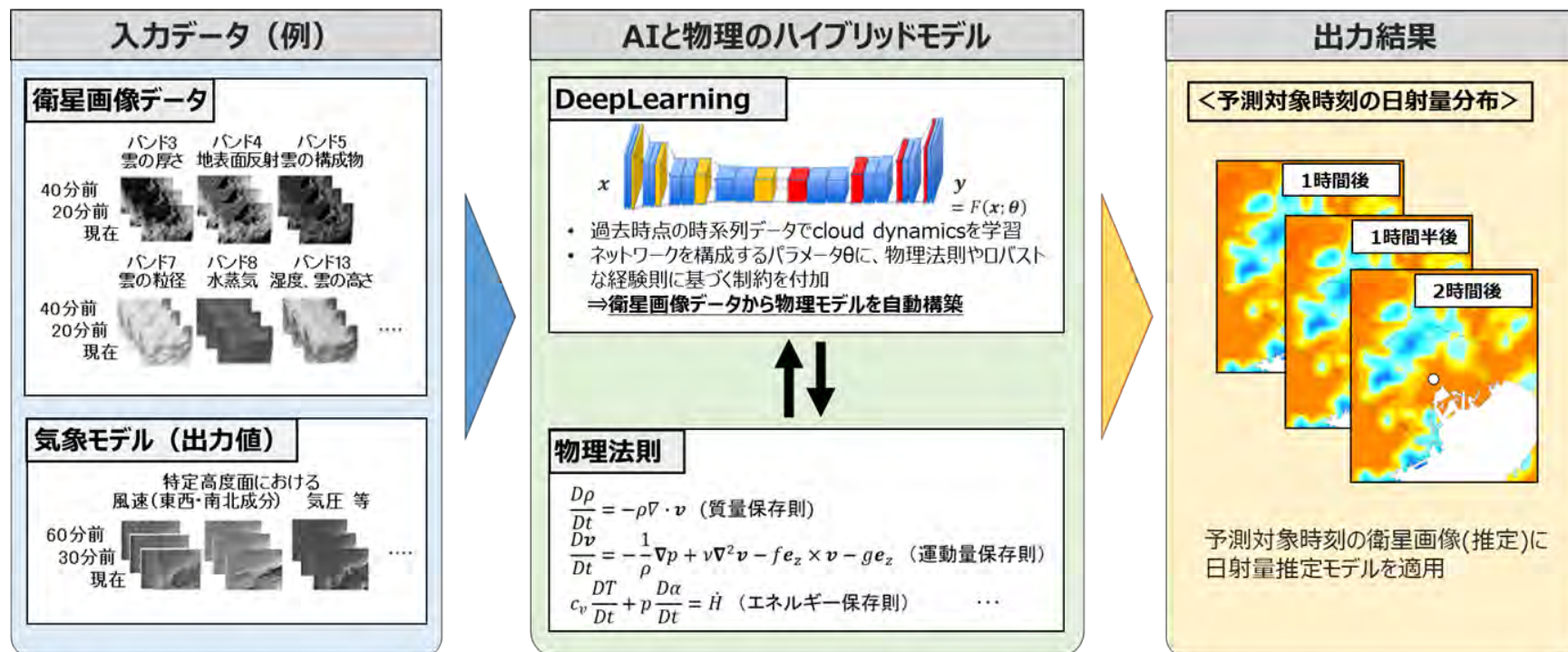
4. NEDO：翌日および翌々日程度先の日射量予測技術の開発

- アンサンブル予測の日射量予測値を用いた信頼度階級予測を実施。
- 統計補正を行ったアンサンブル予測データを利用し、日々の予測を信頼度「高」と信頼度「低」に分類。
- 信頼度階級予測の結果、過大/過小予測ともに、信頼度「高」の3 σ 誤差の絶対値は信頼度「低」の値と比較して小さくなった。
- 今後、さらなる高度化に向けた検討を実施予定。



4. NEDO：数時間先の日射量予測技術の開発

- NEDO委託事業「発電量の短期予測に向けた日射量予測技術の開発（日射量の短期予測に関する研究開発）」。2020～2024年度の5カ年で数時間先を対象とした日射量予測の技術開発を実施中。
- 衛星による雲分布を使った短時間先予測と、気象モデルによる物理学的予測を組合わせた物理AIモデルを開発中であり現在は6時間先までの予測精度向上に取り組んでいる状況。



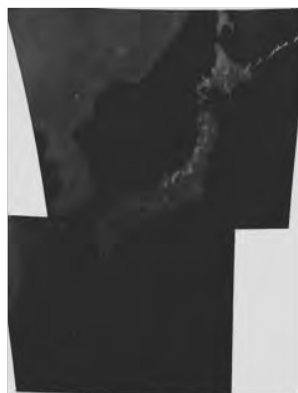
4. NEDO：数時間先の日射量予測技術の開発

まず、初期値となる日射量推定値の高度化を実施（下記課題への対応）。

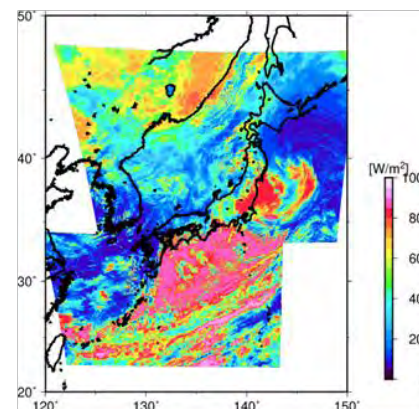
課題1：可視画像だけでは、雲と雲以外のものを誤判別する事例があり、地上の日射量を適切に評価できない（判別が難しい事例：雲と積雪面、森林の無い平野部上の薄雲 など）

課題2：可視画像のアルベドだけでは、放射に関する精緻な物理を表現できないために、曇天や薄曇り下で誤差が生まれる

<既存の日射量推定手法>



衛星可視画像
(アルベド)

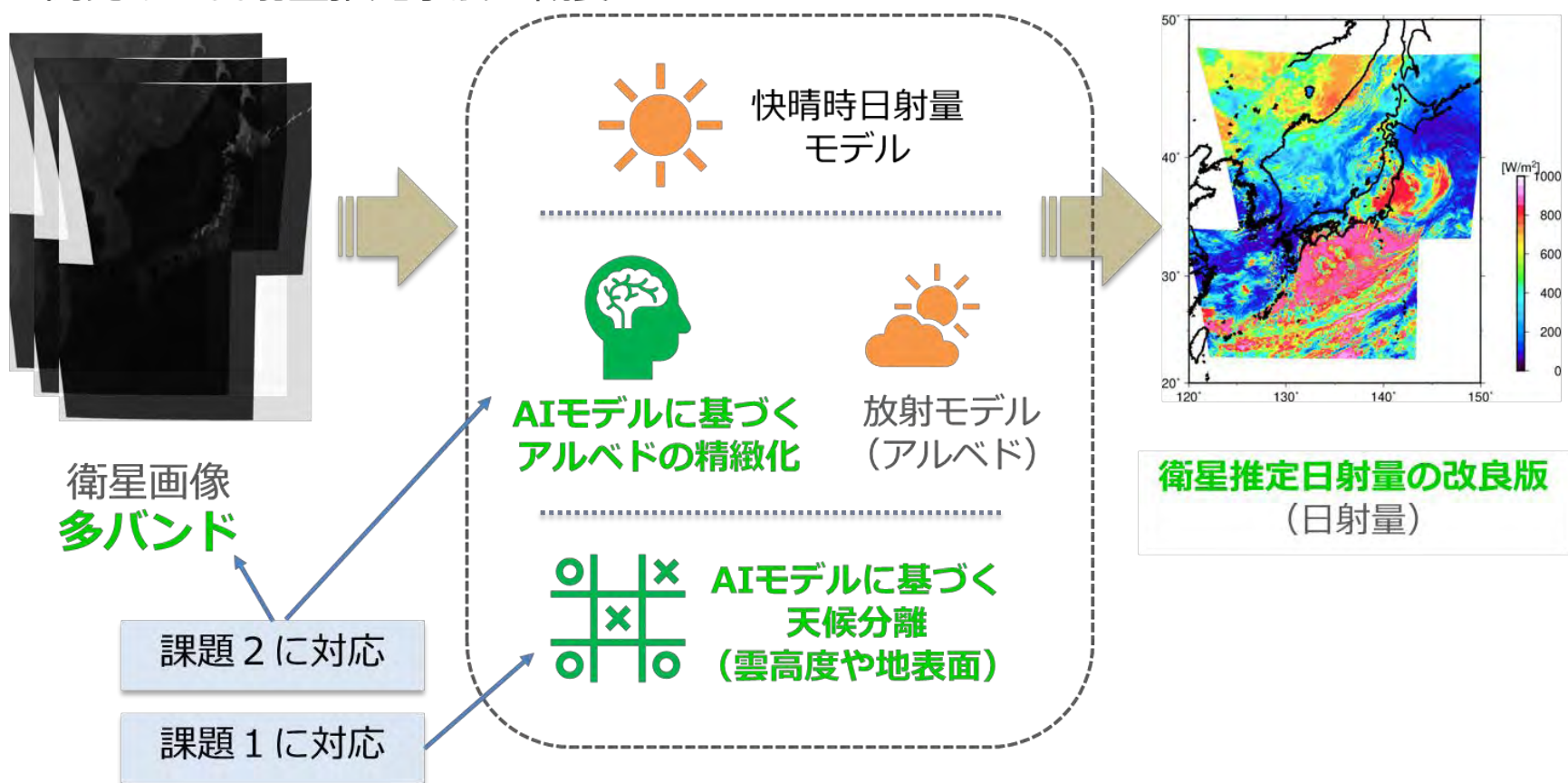


衛星推定日射量
(改良前)

4. NEDO：数時間先の日射量予測技術の開発

前項の課題を解決するため、16バンドの観測値とAIを活用した日射量推定モデルを開発。

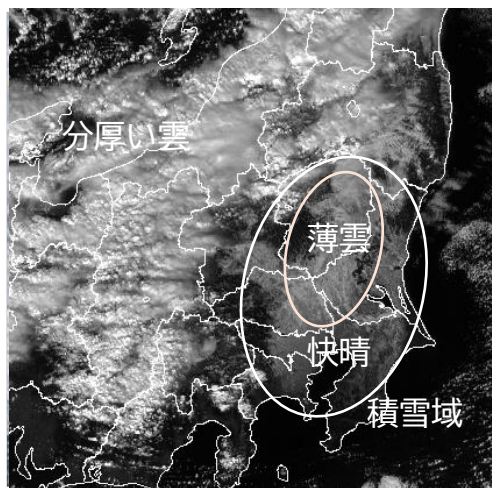
＜開発した日射量推定手法の概要＞



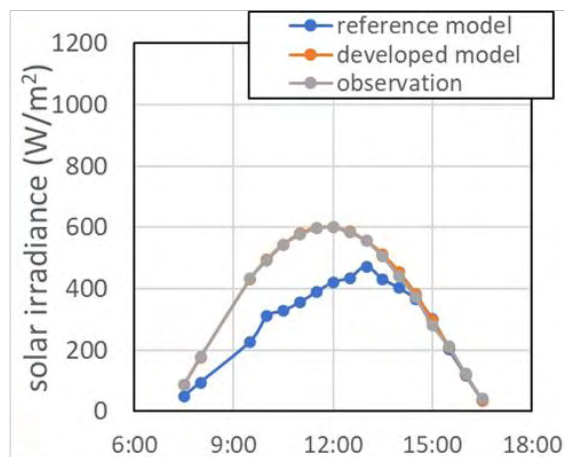
4. NEDO：数時間先の日射量予測技術の開発

- 2018年1月22日に関東地方で降雪を観測した事例。23日の未明に降雪は止んだものの、23日午後12時には宇都宮で19cmの積雪深を観測。
- 参照モデルでは積雪面を雲と誤判別した一方、改良モデルでは積雪面を適切に判別し、観測値に近い変化を示した。
- 年間の推定精度も向上し、全国気象官署全ての地点でRMSEは改善（全国平均約16%の改善）。

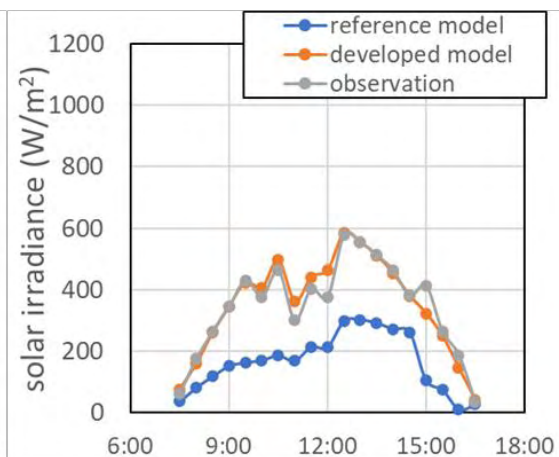
積雪時の晴天の事例（2018年1月23日）



2018年1月23日12:30衛星画像



つくばの日射量時系列



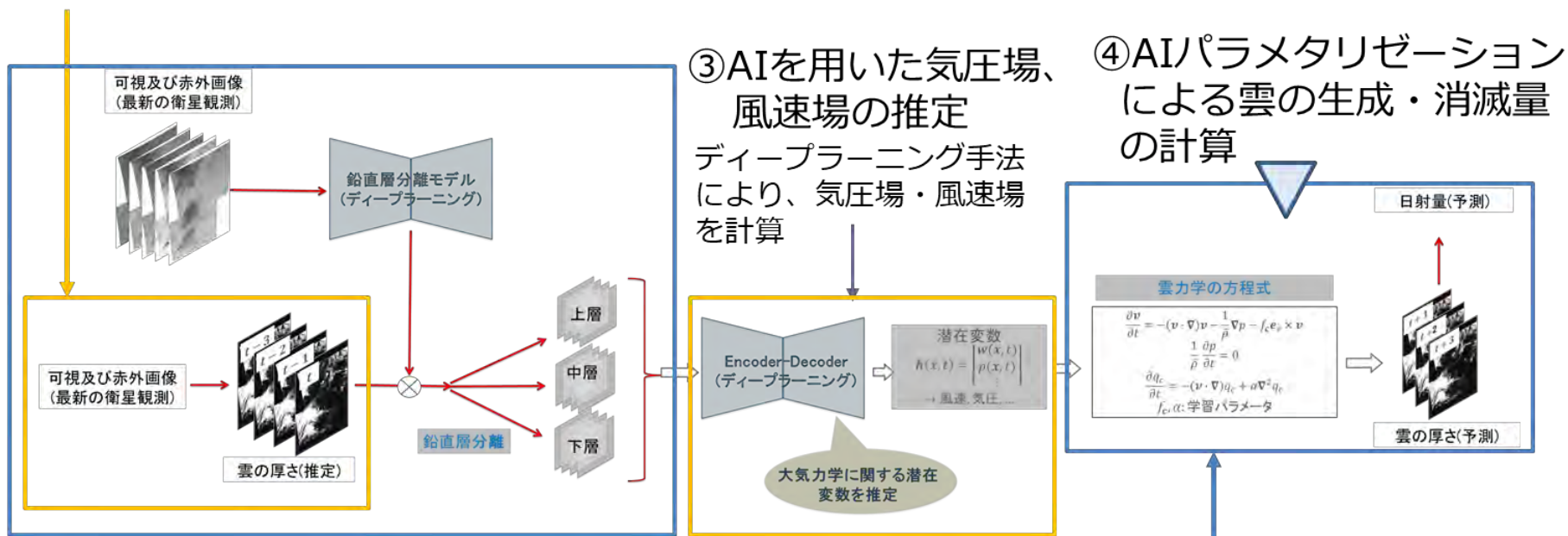
宇都宮の日射量時系列

4. NEDO：数時間先の日射量予測技術の開発

開発した日射量短時間予測モデルのアーキテクチャ

① 気象衛星画像を用いた日射量の推定

ひまわり8号のマルチバンドデータを用いて、ニューラルネットワークと放射伝達モデルを組み合わせることで、高精度な日射量分布（雲分布）を推定



② 鉛直層の分離

ひまわり8号のマルチバンドデータに基づき、上層、中層、下層の雲分布や地表面の状態を推定

⑤ 次の時刻の日射量の予測計算

現在時刻における、気圧場、風速場、より、次の時刻における雲分布、日射量分布を計算

宇都宮健志 ほか：物理学的手法と AI を組み合わせた日射量短時間予測技術の開発，令和5年電気学会全国大会，6-242，2023.

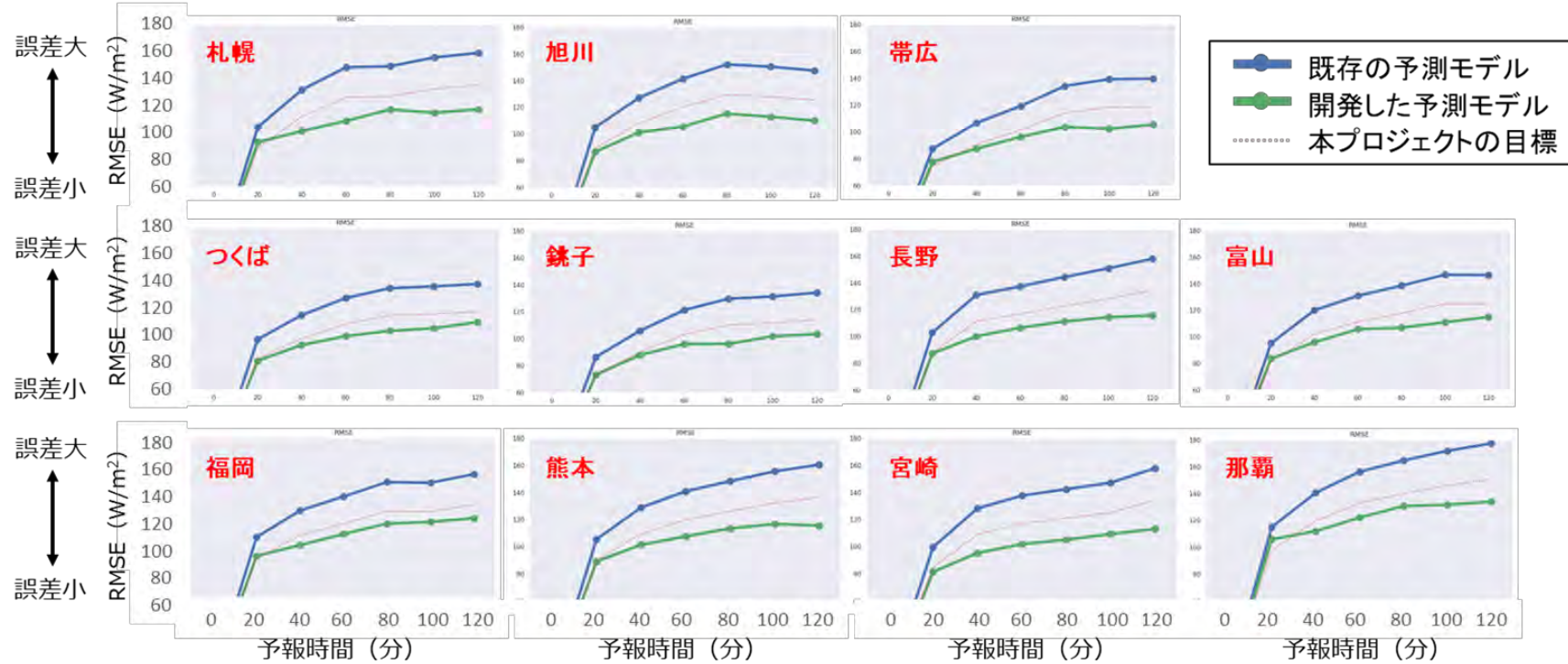
J. Sasaki, et al, Hybrid Modeling Approach Using Cloud Dynamics and Deep Learning for Solar Nowcasting, PVSEC-33, 2023

4. NEDO：数時間先の日射量予測技術の開発

短時間日射量予測の精度検証結果

＜既存モデルと開発した予測モデルのRMSE＞

横軸：予報時間（分）
縦軸：RMSEの値（W/m²）



＜評価仕様＞

- ・対象期間：2018年1月1日～12月31日
- ・対象地点：日射量を観測している10地点
- ・対象データ 推定値：20分毎の日射量推定値（瞬時値）
観測値：20分毎の日射量観測値（瞬時値）

2023年度末目標のRMSE15%改善を達成



5. 需給運用の高度化に向けた更なる課題

5. 需給運用の高度化に向けた更なる課題

◆ 日射量予測精度の更なる向上

- 紹介したとおりNEDO事業等での技術開発において、大外し誤差の低減に成果が得られている状況だが、一方で、全ての気象モデルやアンサンブル予報が捉えきれない大外し誤差事象も少なからず存在している状況。引き続き気象モデル自体の高精度化に取り組むことが不可欠（気象事業者、気象庁、+AI活用）。
- 一方で、「三次調整力②の効率的な調達」に向けた検討も進められており、前日断面では従来の 3σ ではなく 1σ での調達に変更となる可能性あり。この場合は、大外し事象のみでなく平均的な誤差の低減も重要となる（ニーズの変化）。

◆ 予測誤差を加味した上での需給運用業務の高度化

- 近年、出力制御や三次②の調整力確保などの取り組みにおいて、ようやく予測誤差や信頼度情報を加味したオペレーションがなされるようになってきた。
- 上記は予測情報を扱う上で不可欠なものであり、S+3Eの実現には上記視点を意識した予測側、需給運用側双方の連携した取り組み強化が不可欠となる（アンサンブル予報の品質向上。加えてその解釈と伝え方）。

5. 需給運用の高度化に向けた更なる課題

◆ 広域ブロック全体での大外し事象

- 広域需給調整によるエリア間融通の取り組みが進展。
- 上記は予測情報を扱う観点からも非常に良い取り組みと考えるが、予測側としては広域ブロックが同時に大外しとなる事象について、大外しを低減する取り組みや誤差の可能性に関わる情報の作成を強化する必要あり。

◆ コネクト&マネージへの対応

- 上記とは逆で、基幹系統やローカル系統の予測では、エリアと比べて相対的に誤差が増大する。
- 対応策としては、メッシュ気象予測精度の向上と、当該地域における再エネや需要のリアルタイム実績を活用した発電量/需要予測の精度向上の取り組みが不可欠。

5. 需給運用の高度化に向けた更なる課題

◆ 再エネ発電側、需要側の変化への対応

- 今後は再エネを自家消費した形での余剰電力の増加や、導入拡大が見込まれる蓄電池の計画運転の拳動、出力制御頻度の増加などにより、従来のピュアな再エネ予測では実績との乖離が大きくなり、再エネ、需要予測の複雑化が進行すると想定。
- また、大規模洋上風力の連系拡大も、従来の太陽光主体における再エネと需要の関係性が変容する可能性があり、従来とは異なる需給運用を迫られる可能性。
- 再エネや需要がより複雑化する状況においては、答えとなる実績値の把握が不可欠であり、また、リアルタイムでの把握が可能であるほど、実績値に合わせ込んだ予測技術の投入が可能となることから、データ取得に関わる環境整備が重要。

5. 需給運用の高度化に向けた更なる課題


◆まとめ

- 近年、電力システムにおける予測情報の重要性が急激に高まっており、予測情報の活用により調整力確保量の低減などで効果も現れている。
- これまで、再エネ導入拡大にともない顕在化した各種事象に対応するため、都度、新たな制度や運用ルールが設けられ、予測側へのニーズも変化してきた。
- 今後も、再エネの利用方法の変化や蓄電池の導入拡大、電源構成の変化などに伴い、予測側へ求められる内容も変容していくと推察。
- 予測側としては変容するニーズを踏まえた予測情報や付加情報を開発するとともに、予測誤差をできるだけ0に近づけることへの要求は不変であるため、気象事業者や気象庁などによるさらなる精度向上の取り組みは不可欠。
- 一方で、電力サイドも予測誤差を含む情報を効果的に利用するために、予測値の品質の理解と業務への折り込み方の検討が必要。
- 併せて、予測のターゲットとなる再エネや需要、残余需要の実績把握がリアルタイムにできるよう、環境整備を行うことが重要。

An aerial photograph of a wind farm. The landscape is a patchwork of green and brown fields, with several white wind turbines scattered across the terrain. The sky is filled with large, white, fluffy clouds. The overall color palette is dominated by greens, browns, and whites.

Weather as a Service

あらゆるビジネスに、気象データを。



本資料に関するお問い合わせ先

一般財団法人日本気象協会
環境・エネルギー事業部 山口 浩司
yamaguch@jwa.or.jp