

「静止気象衛星に関する懇談会」

—電力中央研究所・スカパーJSAT—

太陽光発電出力の予測手法の創出へ

～『ハイブリッド型太陽光発電出力予測システム』で宇宙と地上から雲を追跡して予測～

令和3年2月24日

(一財) 電力中央研究所 地球工学研究所 上席研究員 橋本 篤
スカパーJSAT (株) 通信システム技術部 技術担当主幹 小渕 浩希

一般財団法人 電力中央研究所について

電力中央研究所(電中研)は、1951年に日本の電気事業に関わる総合的な研究機関として創設され、複数分野からなる2つのセンターと8つの専門別研究所で、「電気事業の課題解決に寄与する中央研究機関」かつ「客観的な科学技術研究により社会に貢献する学術研究機関」として、電気事業と社会に貢献しています。



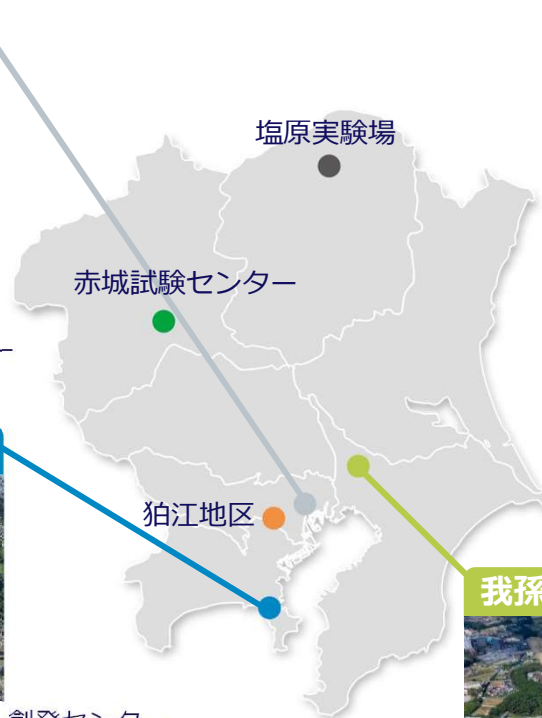
大手町地区

- ・ 本部
- ・ 原子力リスク研究センター
- ・ 社会経済研究所



横須賀地区

- ・ エネルギーイノベーション創発センター
- ・ 原子力技術研究所
- ・ エネルギー技術研究所
- ・ システム技術研究所
- ・ 電力技術研究所
- ・ 材料科学研究所



我孫子地区

- ・ 地球工学研究所
- ・ 環境科学研究所

研究戦略

電気事業が直面する課題の解決に向けた研究開発を着実に推進するとともに、2050年の日本の目指す姿には「持続可能で社会に受容されるエネルギーシステム」が不可欠であると考え、この実現のために必要な7つの目標を定め、達成に向けて研究に取り組んでいきます。

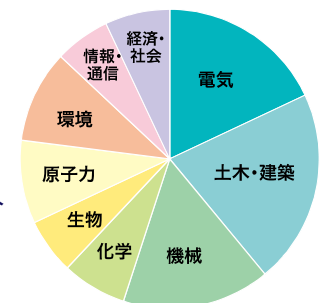


人員 2020.4現在

785人

研究698人、事務87人

博士号取得者380人



専門分野別内訳

スカパー J S A T 株式会社について



スカパーJSAT株式会社は、宇宙事業とメディア事業を両輪とするハイブリッドな強みを最大限に活かした事業を展開しています。

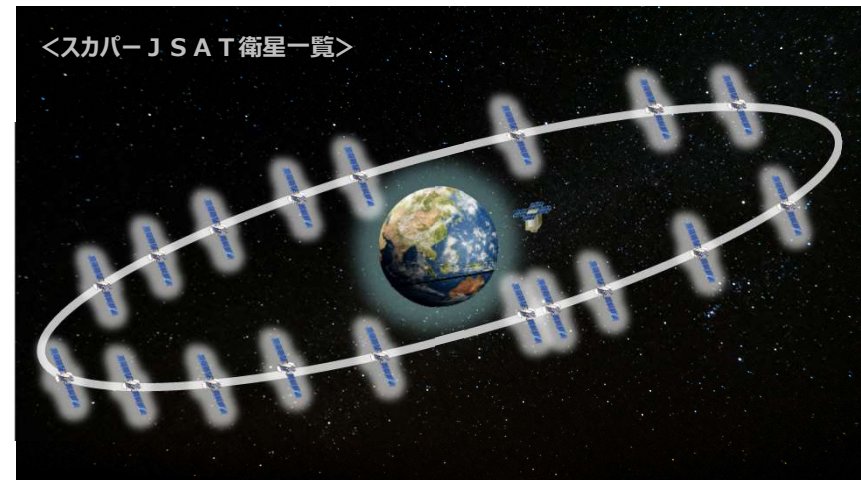
● **宇宙事業：**

- 宇宙から海洋まであらゆる空間をビジネスフィールドとし、アジア最大数の静止軌道衛星や低軌道衛星などのインフラを活用して事業を行っています。
- 衛星通信サービスの提供のみならず、それらのインフラから得られる様々なデータを活用し、新しい宇宙ビジネスを創り出しています。



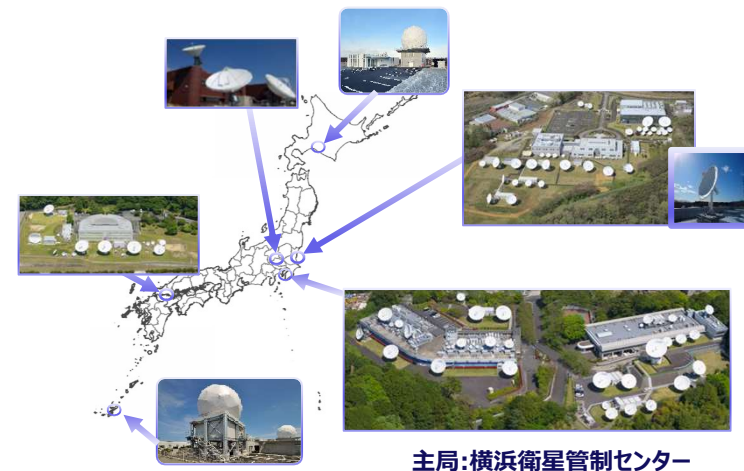
● **メディア事業：**

- 衛星多チャンネル放送「スカパー！」に加え、インターネットや光回線を経由した視聴サービスの提供など多様な視聴ニーズにお応えしています。300万件を超える顧客基盤をベースに、お客様の生活に密着したサービスを提案し、より豊かな時間をお届けしています。



スカパーJSATグループHP：<https://www.skyperfectjsat.space/>

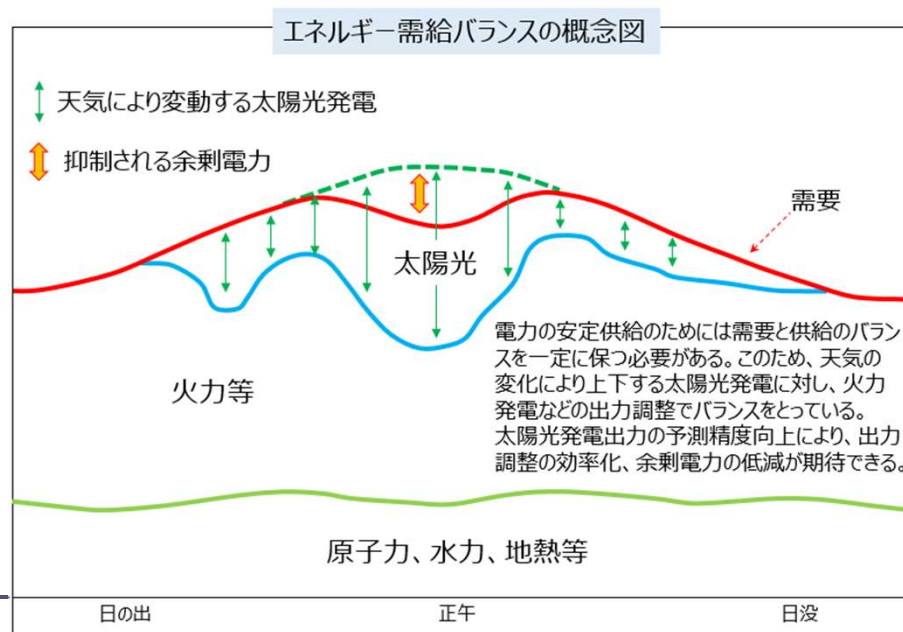
<スカパーJSAT衛星管制局一覧>



主局：横浜衛星管制センター

研究背景（その1）：電力需給バランスの維持

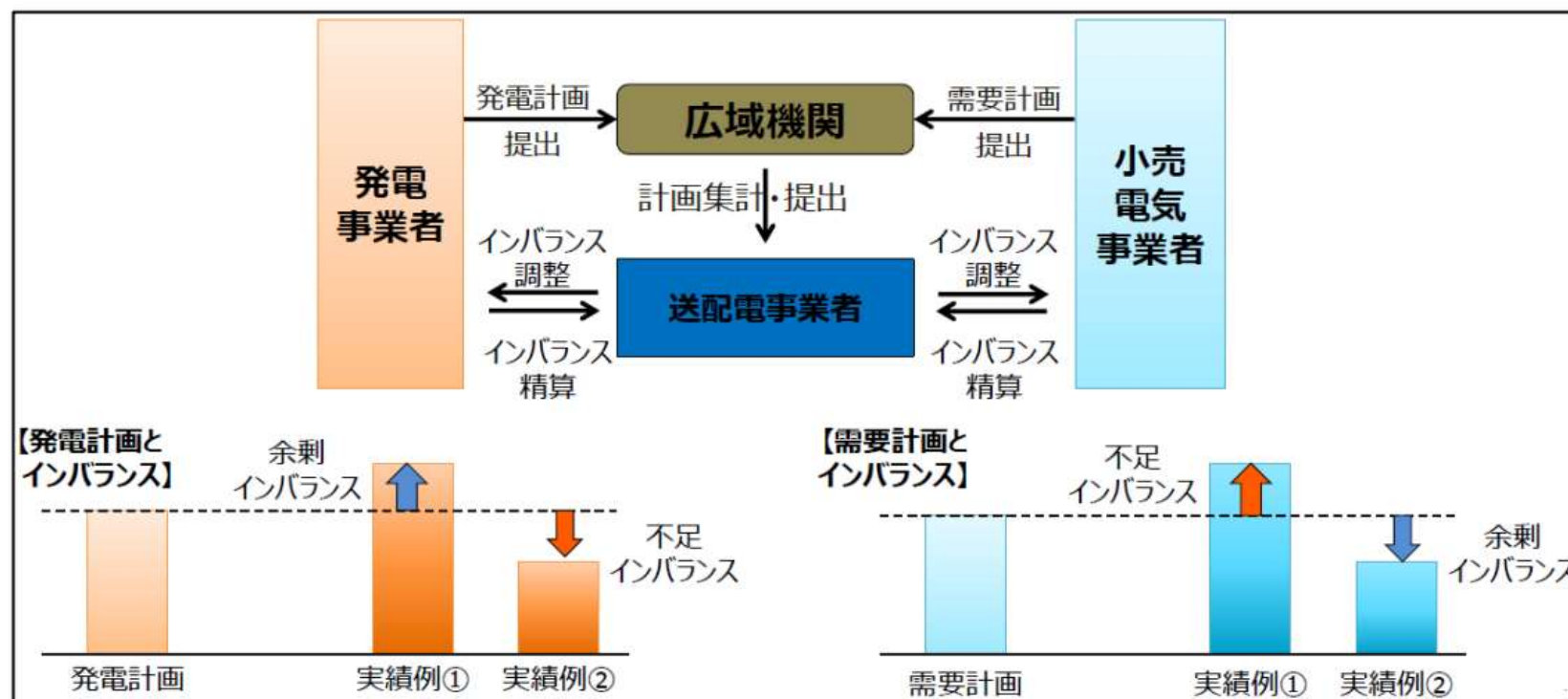
- 太陽光発電は天気・雲の変化によりその出力が大きく変動する。
- 需要（電気の消費）と供給（発電所の出力）のバランスが崩れると周波数が変動し、産業用機器などに不具合が生じる場合があり、最悪の場合は停電が発生する。
- 電力会社は前々日、前日の再エネ予測結果を基に当日の発電計画を作成する。
- 天気予報と同様に（例：晴れ⇒曇り）、計画（予測）が外れる場合がある。
- 通常、火力発電は停止から起動に十数時間～数日を要し、最新の火力発電（ガスタービンコンバインド火力）でも停止から起動に数時間を要する。
- 予測が外れた場合に備え、当日の日射量の高精度の予測が課題となる。
- 将来の需給調整の技術向上や需給調整市場の整備を見据え、数分から1時間という短期間の予測が求められている。また、短期間の予測精度の向上が、それ以降の予測精度の向上にも寄与する。



研究目的（その2）：発電量予測による同時同量への貢献

メガソーラや風力発電など再エネ発電事業者が送配電事業者の系統に送電する場合、発電計画を提出する。計画量と実際の伝送量の差はインバランス料金として支払う必要がある。
 予測精度の向上によりインバランスペナルティを軽減する。（経済価値）

計画値同時同量制度の概要



出所：経産省 第7回電力・ガス基本政策小委員会 制度検討作業部会資料

短時間予測のニーズ

今後開設される需給調整市場では30分未満の需給変動への対応を求めている。

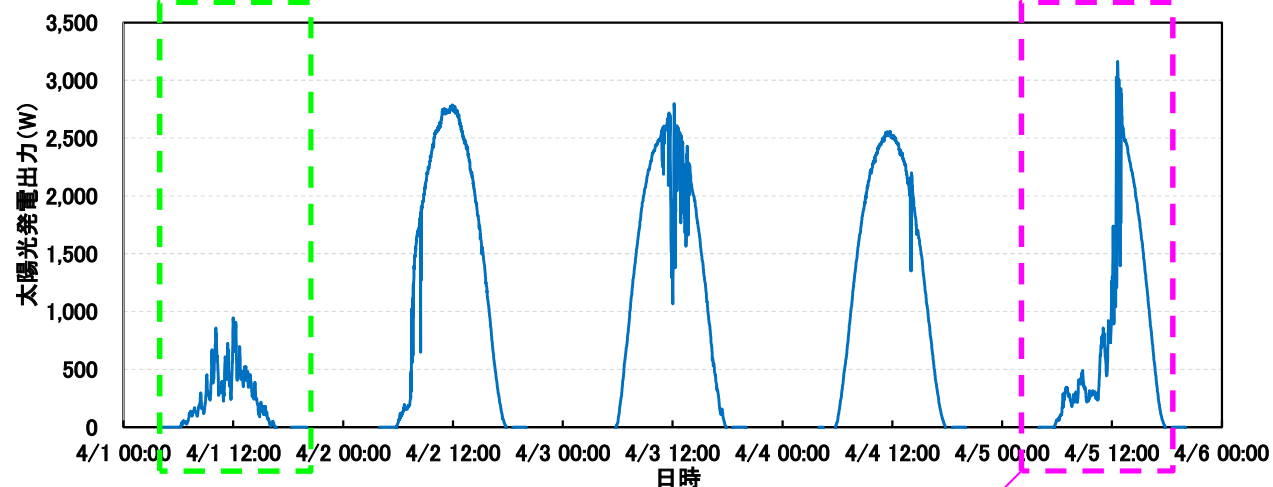
今後新たに開設される市場		第8回需給調整市場検討小委員会 参考資料をもとに作成	4
<ul style="list-style-type: none"> ■ 現在、電力を取引する市場として卸電力市場が設置されており、電力量（kWh価値）が取引されている。 ■ 2021年度に需給調整市場が開設され、調整力の取引が開始される。 			
<p>(参考) 容量市場と需給調整市場との関係（kW価値の取引）</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 需給調整市場という別個の市場で、一部のkW価値を取引することとすれば、kW価値についての調達主体・調達市場が複数になり、効率的なkW価値の調達がしにくくなるとともに、kW価値に対する複数の価格が存在することで容量市場の価格指標性が低下する。 ● このため、国全体に必要なkW価値は全て容量市場で取引することとし、その上で一般送配電事業者が必要とするΔkW価値は全て需給調整市場で取引することとしてはどうか。 ● 容量市場で取引されるkW価値の対象範囲、需給調整能力を持つ電源の確保、事業者の費用負担範囲については、別途検討が必要。 			
市場	役割	主な取引主体	参入が想定されるリソースの例
容量市場	● 国全体で必要となる供給力（kW価値）の取引	市場管理者（広域機関等） ※分散型の場合は小売電気事業者	年に数回であれば高需要期のピーク時間帯に需要の抑制が可能なリソースなど （例：電源 I'、随時調整契約 など）
卸電力市場	● 計画値に対して不足する電力量（kWh価値）の取引	小売電気事業者	応動に時間はかかるが計画的であれば安価にkWhを提供できるリソースなど （例：経済DR など）
需給調整市場	● ゲートクローズ後の需給ギャップ補填、30分未満の需給変動への対応、周波数維持のための調整力（ΔkW価値+kWh価値）の取引	一般送配電事業者	頻度の高い指令に追従した応動ができるリソースなど （例：調整力（電源 I-a、I-b 相当の調整機能を有していたもの）など）

電力広域的運営推進機関 第11回需給調整市場検討小委員会 資料4-2-2

太陽光発電の観測例（太陽光発電出力の急激な変化）



電中研・赤城試験センター
(群馬県・前橋市)



赤城地点での太陽光発電出力の時系列の変化 (2020年4月1日～5日)



太陽光発電設備



12時00分

12時30分

13時00分

13時30分

地上複合センサー（全天カメラ）による画像

技術開発と適用範囲のイメージ

電中研とスカパーJSATは両者の独自技術である衛星予測と複合地上センサー予測を組み合わせたハイブリッド予測システムの開発に共同で取り組む。

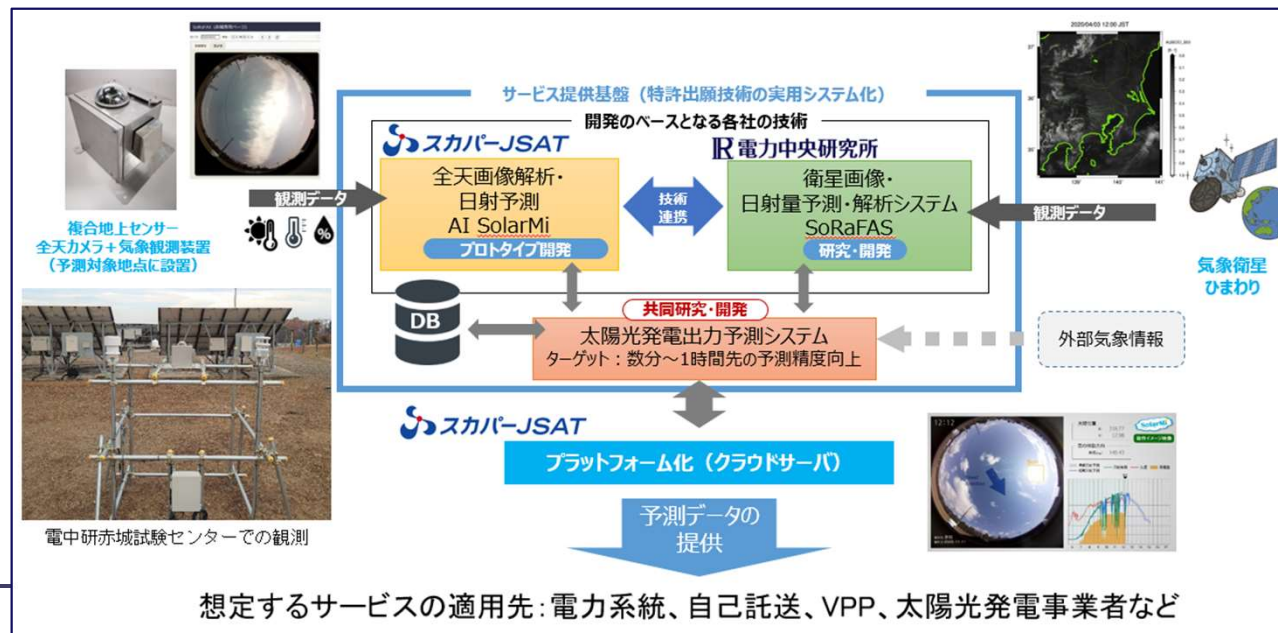
スカパーJSAT：全天画像予測、対象：数分先から15分先程度（最大30分）

電中研：衛星画像予測、対象：30分先から3時間先程度（最大6時間）

スカパーJSATと電中研：両者を組み合わせて15分～1時間先の計算精度向上を図る。

どうやって？ ⇒ 例：全天画像予測で得られた雲向きを衛星予測に引き渡す。

最初は地点の予測を実施し、複数のセンサーを配置することで広域の予測を目指す。



スカパーJSATが保有する技術：全天画像解析・日射予測「AI SolarMi」

地上センサーによるデータの取得

3G/LTE通信機

天球カメラ

GPS

気温・湿度・気圧計

地上センサーで取得したデータを用いて

- 短時間日射予測
- 雲挙動算出

を行う仕組みを構築中

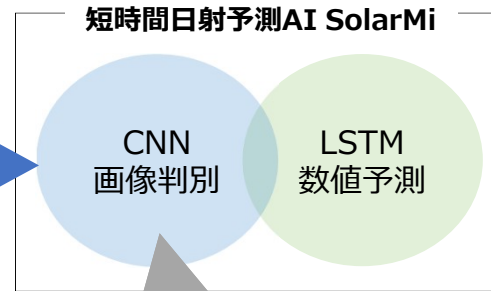


観測データ



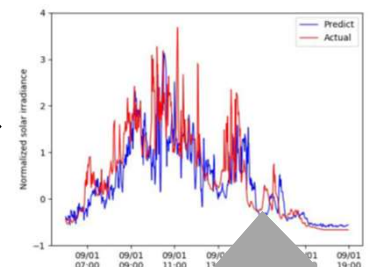
撮影画像

AI: SolarMiによる短時間予測



雲識別AI:KMOMYの活用

日射量短時間予測



数分～30分先の高精度予測を目指す

画像解析による雲挙動算出

雲の特徴抽出

差異検出

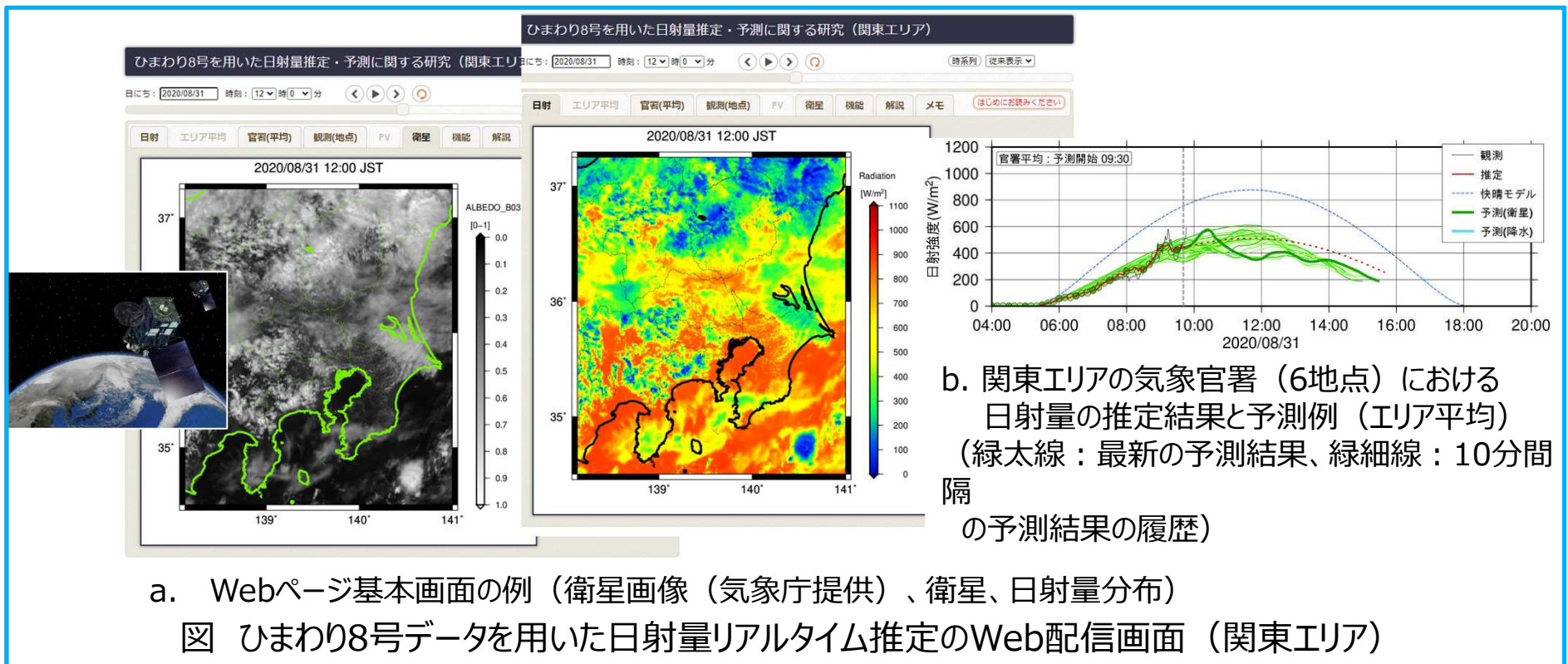


上空の雲挙動から風向きを推定

国交書補助による船舶気象観測自動化
研究開発において雲観測自動化のために
開発（耐久性・耐候性に優れる）
同研究開発のデータ収集のために管区気
象台等6気象台にこのセンサーを設置

電中研が保有する技術：ひまわり8号に基づく日射量予測・推定システム (Solar Radiation Forecasting and Analysis System : SoRaFAS)

- 電力系統エリア内での日射量を高精度に推定する手法の開発（1分間隔、1km解像度）
- 2～3時間先までの日射量を高精度に予測する手法の開発（10分間隔、6時間先まで）
- エリア内の気象官署の観測値に基づいて係数を設定（任意のエリアに展開可能）

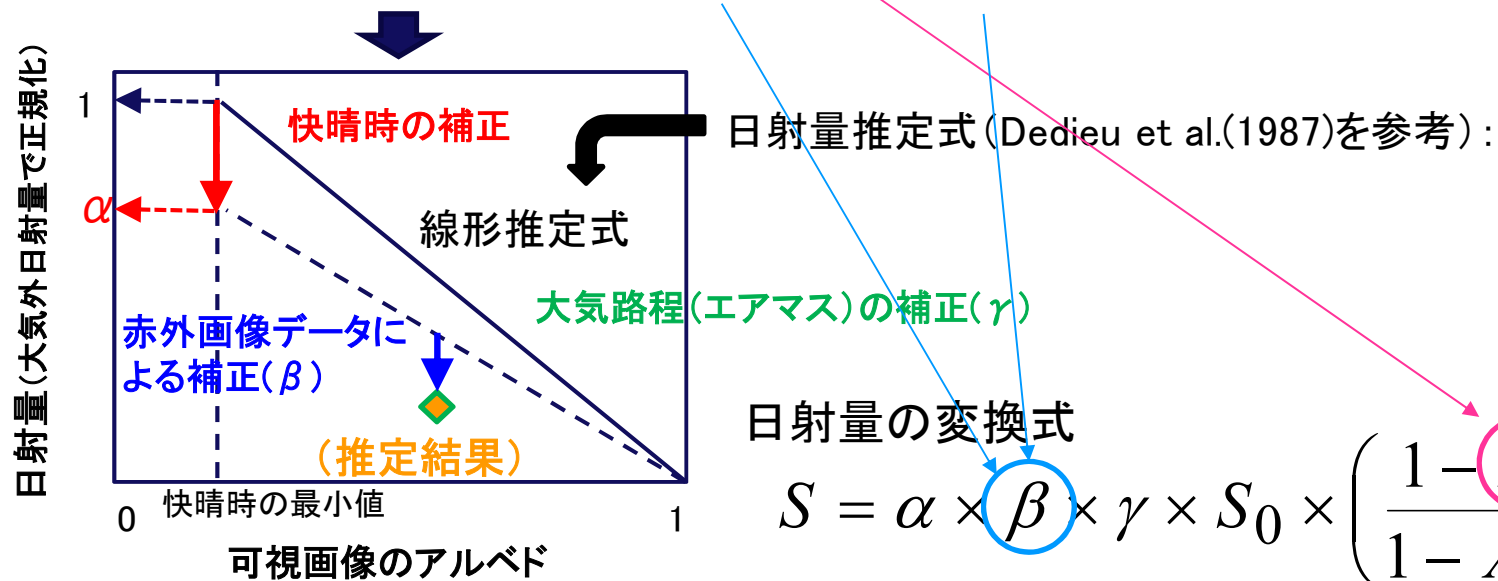


可視画像と赤外画像を組み合わせた日射量推定手法

使用する気象庁静止衛星(ひまわり8号)の画像データ:

可視画像(解像度0.5km) : B03(0.64)

赤外画像(解像度2km) : B13(10.4)、B15(12.3 μm)



Sは地上での全天日射量(W/m²)、S₀は大気外日射量、**α**は**快晴時の大気の補正係数**、**β**は**雲の種類を考慮した補正係数**、**γ**は**エアマス(大気路程)を考慮した補正係数**、Aは可視データの反射率、A_sは可視データの反射率から得られた地表面アルベド(学習期間中(9時~15時)の各時刻の最低値)。

過去と現在の画像から計算した速度ベクトルによる予測方法

速度ベクトルを用いた計算方法:

- ・現在と1時間前の画像を用いて1時間先の速度ベクトルを求める($uv1$)。
- ・現在と3時間前の画像を用いて3時間先の速度ベクトルを求める($uv2$)。

【画像の移動方法】

- ・相互相関法を用いて移動速度ベクトルを算出する。
- ・個々の雲域の動きではなく、電力系統エリアの総観的な雲の動きを追跡する。
- ・1時間先までは $uv1$ を用いる。
- ・1時間先から3時間先は両者を組み合わせる

$$uv = \alpha \times uv1 + (1 - \alpha) \times uv2$$
- ・3時間先からは $uv2$ を用いる。

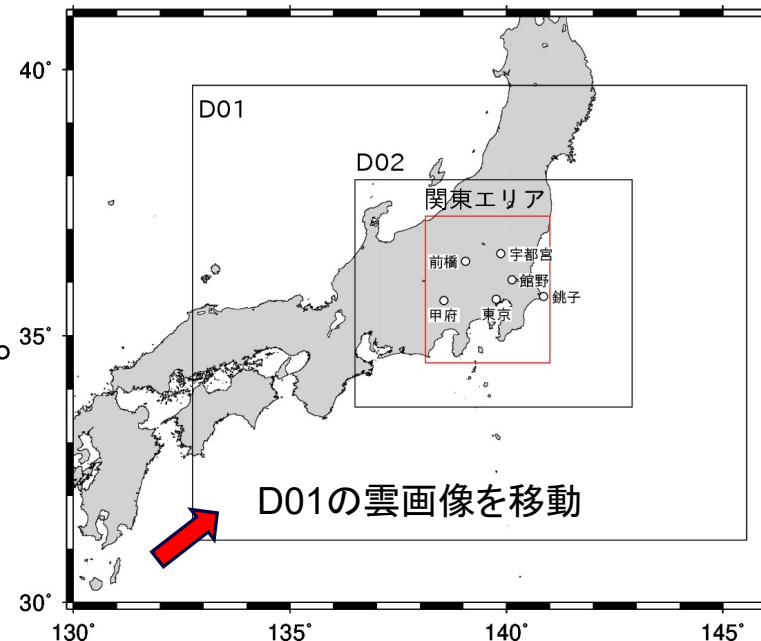


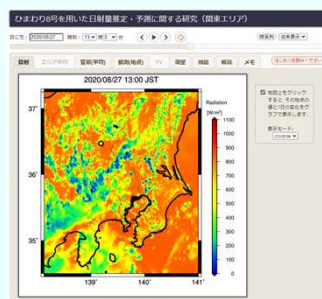
図 関東エリアの計算領域(□:表示領域)
 移送速度ベクトル算出には水蒸気画像B08(6.2)を利用

複合地上センサーと衛星を組み合わせた日射量予測

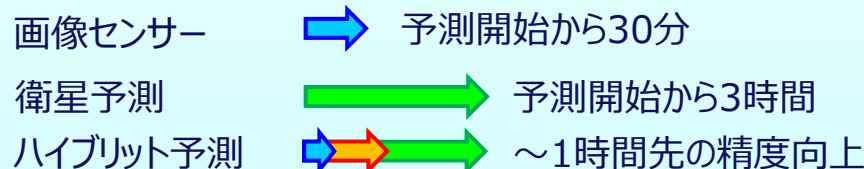
電中研が開発している衛星画像による日射予測・解析システム「SoRaFAS（ソラファス）」とスカパー-JSATが開発している複合地上センサー、全天画像解析、日射予測「AI Solar Mi（そらみ）」による短時間予測システムの技術を組み合わせることで、数分前から1時間先までの太陽光発電出力の予測精度向上を目指す。



全天画像
AI Solar Mi



衛星予測
SoRaFAS



開発する太陽光発電出力予測システムのイメージ

参考：太陽光発電出力予測に要する時間

全天画像所得：数分以内※目標
データ取得1分+計算・変換時間

衛星画像予測：約30分
データ取得10分+計算・変換時間

気象庁気象モデル予測（LFM）利用：約2時間
データ取得1時間30分+変換時間

気象庁気象モデル予測（MSM）利用：約3時間
データ取得2時間30分+変換時間

気象庁MSM+独自気象モデル予測：約4時間～
2時間30分+モデル計算+変換時間

カメラ画像と衛星画像、雲の種類判別を組合せ、 雲と雲の状態を特定して追跡する技術（その1）

全天カメラの特徴：

メリット：短い時間間隔・水平方向を高解像度で画像を取得することができる。

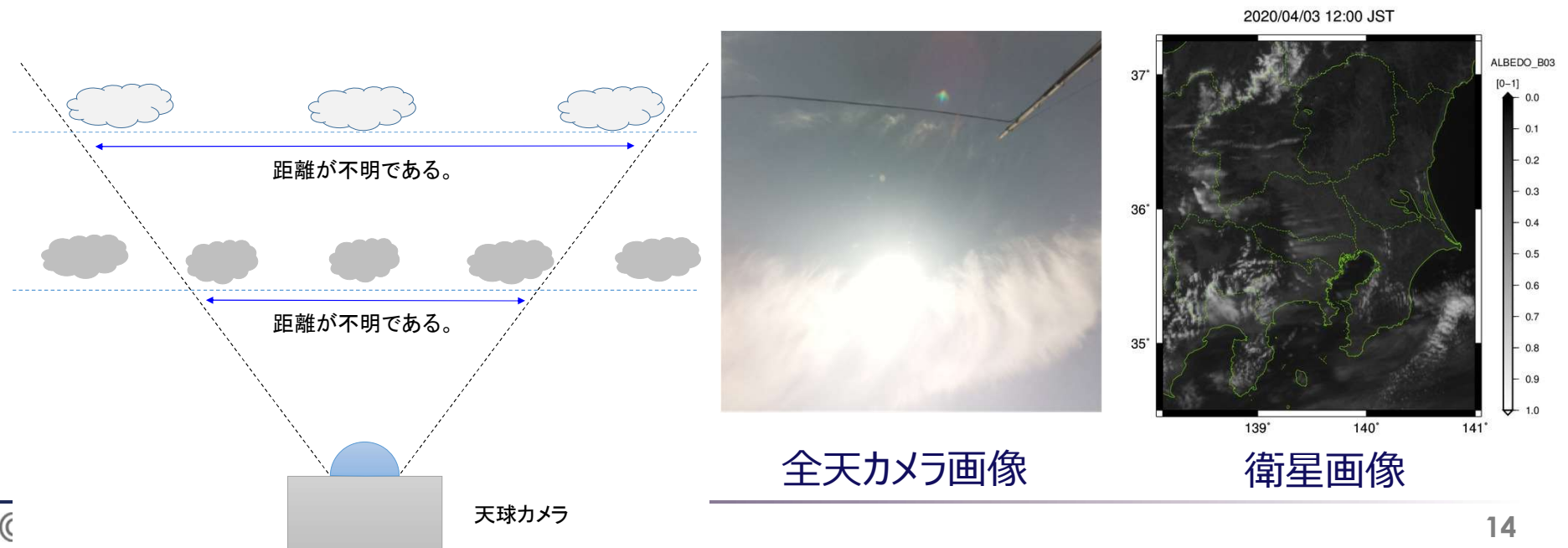
デメリット：範囲が狭く、カメラから雲の距離を判断することができない。

衛星画像：

メリット：広い範囲で画像を取得することができる。

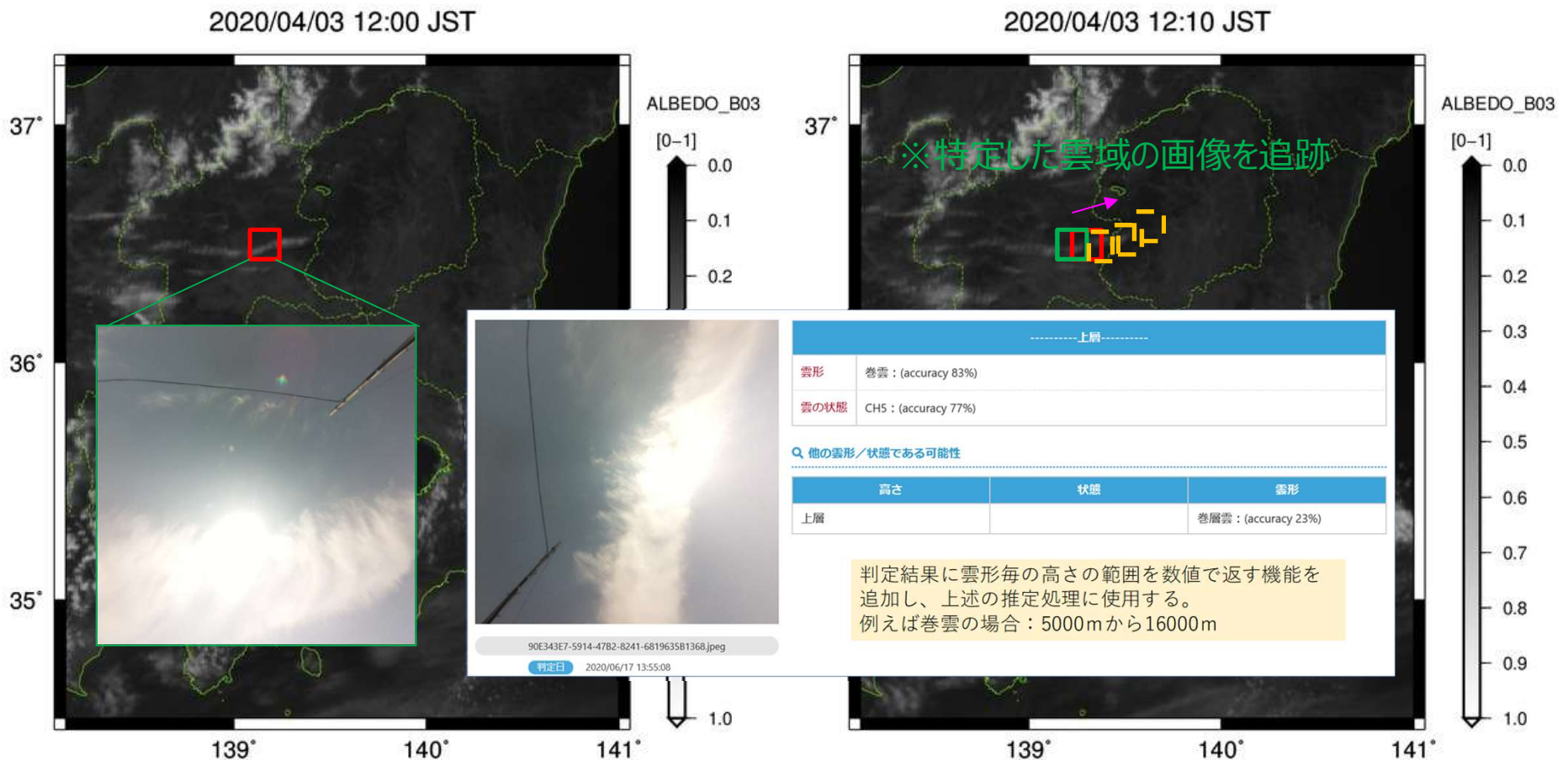
（宇宙から測定するので距離の情報を持つ）。

デメリット：水平方向の解像度が粗く、雲の下の状況を把握することはできない。



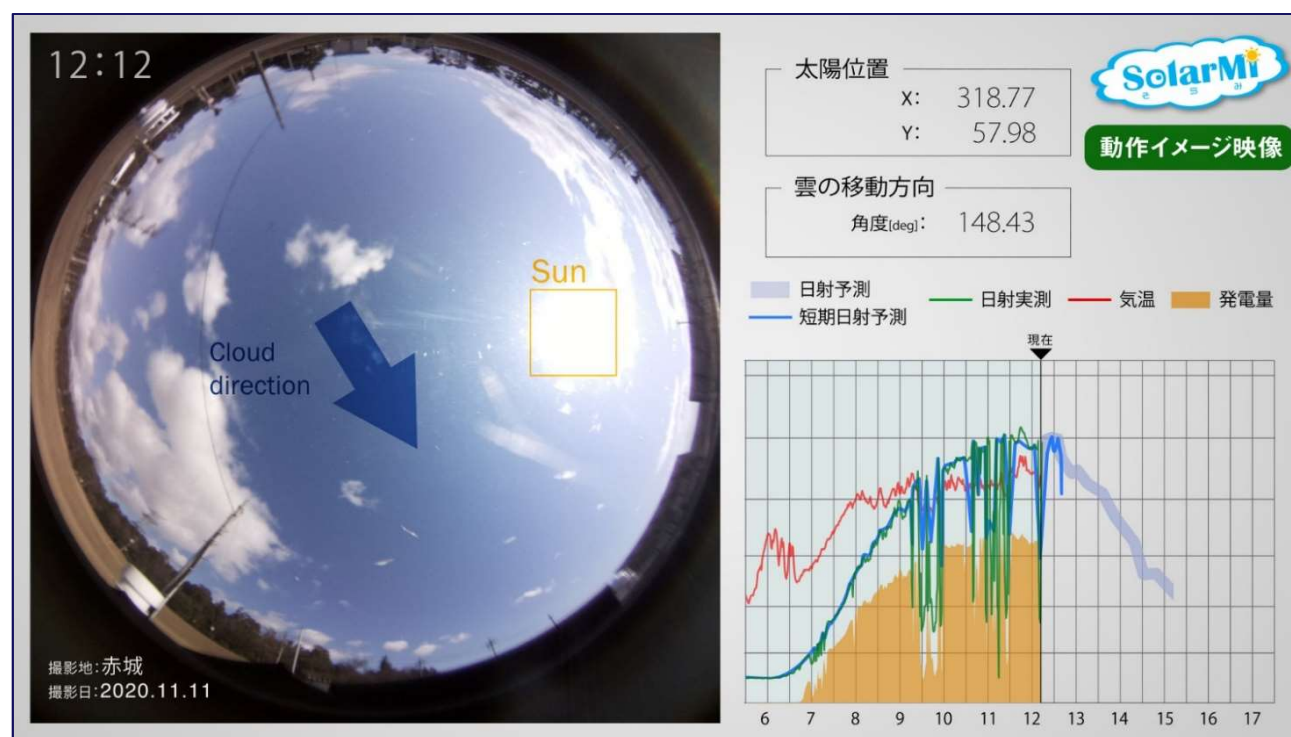
カメラ画像と衛星画像、雲の種類判別を組合せ、 雲と雲の状態を特定して追跡する技術（その2）

複合地上センサーの全天カメラ画像と衛星画像、および、雲の種類判別技術を組合せ、画像上の雲と雲の状態（雲の規模、雲底高度、雲頂高度、雲の厚み）を特定し、特定した雲の移動を追跡する。雲の移動を予測できると、日射量の変化を予測できる。



まとめと開発中の日射量予測のイメージ図（動画）

衛星画像予測と全天画像予測を組み合わせることで、宇宙（衛星）と地上（複合地上センサー）の両面から取得した雲画像から雲の動きを追跡する。これにより、これまでは技術的に実現が難しかった数分前から1時間先までの太陽光発電出力の予測精度向上を図ります。



<https://youtu.be/X1jWqmOlfw>

図：電中研赤城試験センターの実測値に基づく開発イメージ