

気象データのEMS分野での利活用例 —JST CREST HARPSの取り組み—



EMS
ENERGY
Management
SYSTEM

大竹 秀明

(国) 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター
システムチーム 研究員
気象研究所 予報研究部 客員研究員



Horns Rev Offshore Wind Farm@北海

Photograph by [CHRISTIAN STEINNESS](#)

<https://twistedstifter.com/2011/10/picture-of-the-day-amazing-turbine-clouds-in-the-north-sea/>



ソフトバンク苫東安平ソーラーパーク@北海道

<https://www.sbenergy.co.jp/ja/business/list/individual/176.html>

第4回WXBCセミナー

平成31年1月30日

場所: 気象庁講堂

エネルギー基本計画

平成30年7月

(1) 再生可能エネルギー

①位置付け

現時点では安定供給面、コスト面で様々な課題が存在するが、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることから、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、長期を展望した環境負荷の低減を見据えつつ活用していく重要な低炭素の国産エネルギー源である。

②政策の方向性

再生可能エネルギーについては、2013年から導入を最大限加速してきており、引き続き積極的に推進していく。そのため、系統強化、規制の合理化、低コスト化等の研究開発などを着実に進める。再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議の司令塔機能を活用し、引き続き関係府省庁間の連携を促進し、更なる施策の具体化を進める。これにより、2030年のエネルギーミックスにおける電源構成比率の実現とともに、**確実な主力電源化**への布石としての取組を早期に進める。

これに加えて、それぞれに異なる各エネルギー源の特徴を踏まえつつ、世界最先端の浮体式洋上風力や大型蓄電池などによる新技術市場の創出など、新たなエネルギー関連の産業・雇用創出も視野に、経済性等とのバランスのとれた開発を

17

再生可能エネルギー(太陽光、風力、)⇒ **主力電源化**
将来に向けても、日射観測・予測データはますます重要

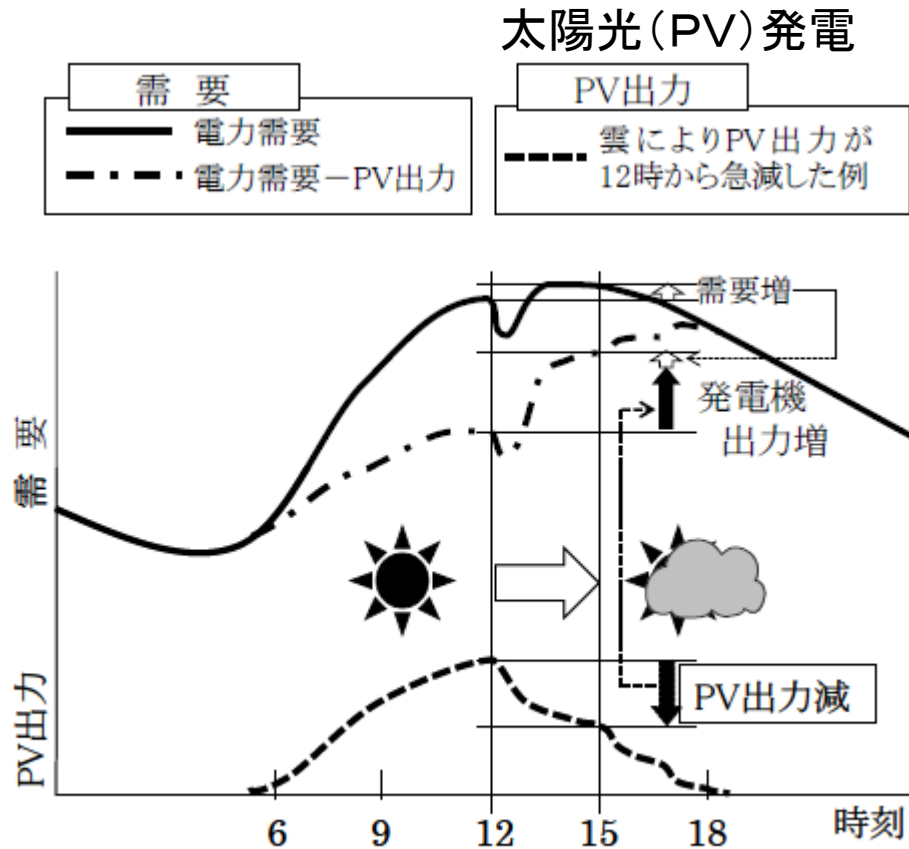


図5 PV出力変化と電力発電機の出カ調整イメージ

(三輪、2015(電気学会全国大会))

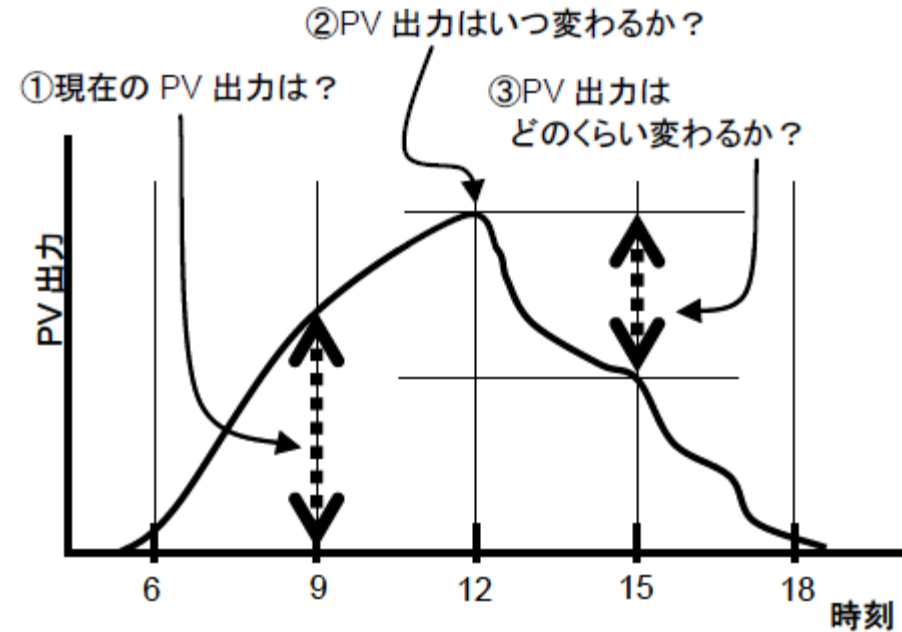


図6 電力需給における PV 出力予測・把握の観点

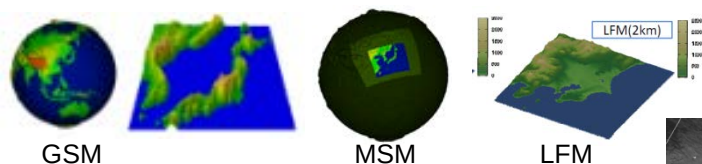
(三輪、2015(電気学会全国大会))

- ✓ **火力・水力発電を需給バランス**に応じて事前に適切に準備し、火力発電の待機運転に伴うデメリットを最小化するためには、**需要を精度良く予測**するとともに**太陽光発電の出カも併せて精度良く予測**する必要がある。(三輪、2015(電気学会全国大会))
- ✓ 風力発電の予測も同様

発電予測技術

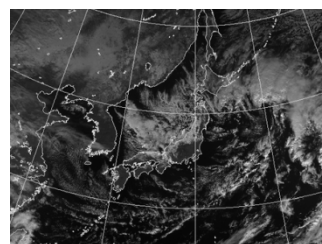


数値予報モデル
(NWP: Numerical Weather prediction)



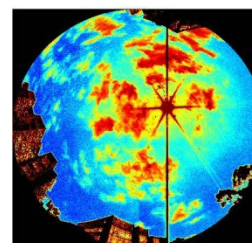
出典: JMA

衛星画像等



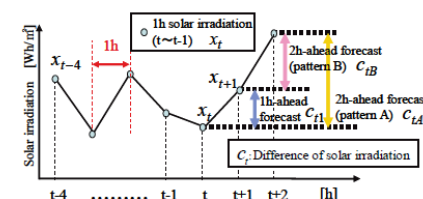
出典: JMA

天空画像



出典: Bryan

実測データ(持続モデル)



出典: waseda

- ① 現在から6時間先までの予測:
実測データをベースに予測する手法
- ② 6時間先から数日先までの予測:
気象予報(数値予報)モデルによる予測

提供 産総研(大関)

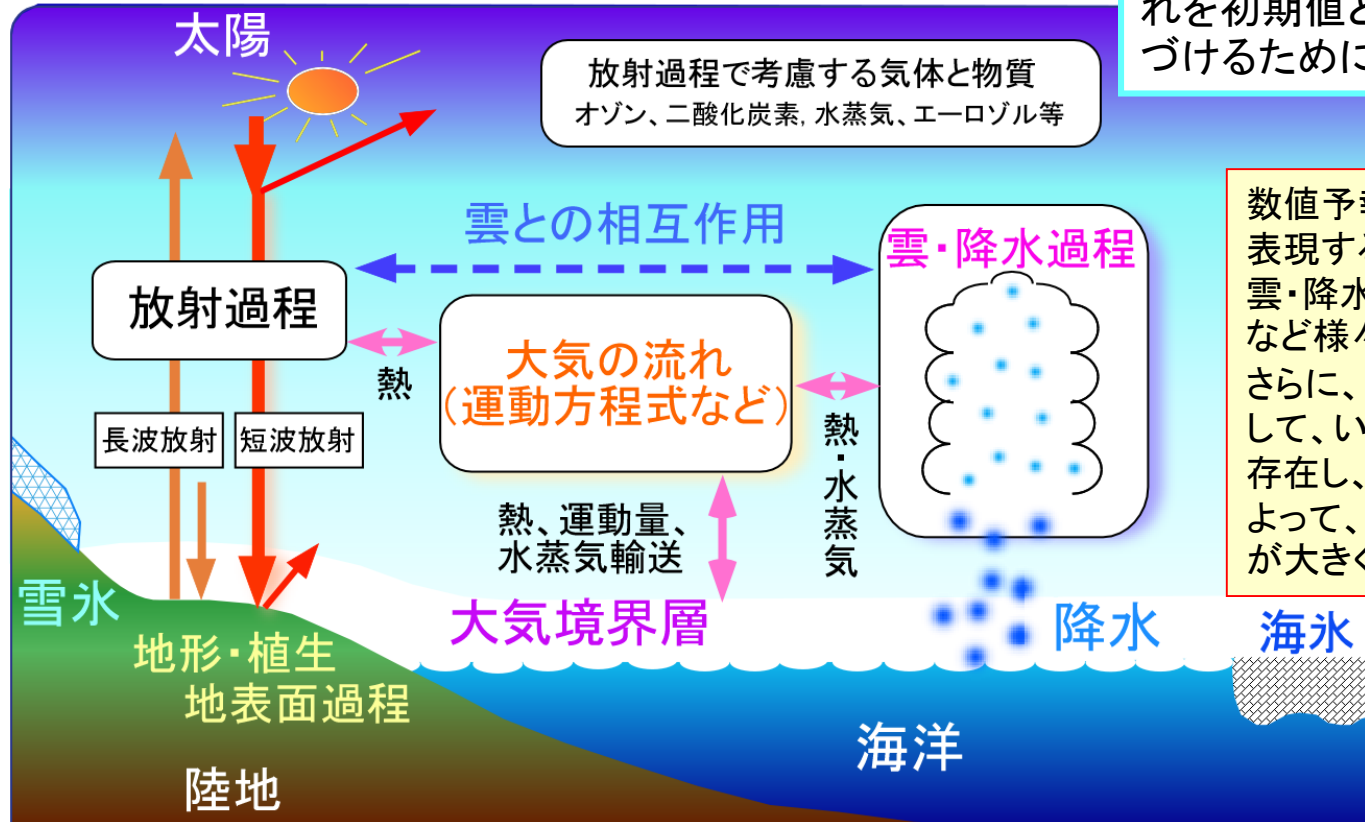
日射量予測技術

観測データ



数値予報モデルでは、観測データは、計算を開始するときの大気の状態(これを初期値という)を現実のものに近づけるために使われる。

放射過程で考慮する気体と物質
オゾン、二酸化炭素、水蒸気、エアロゾル等



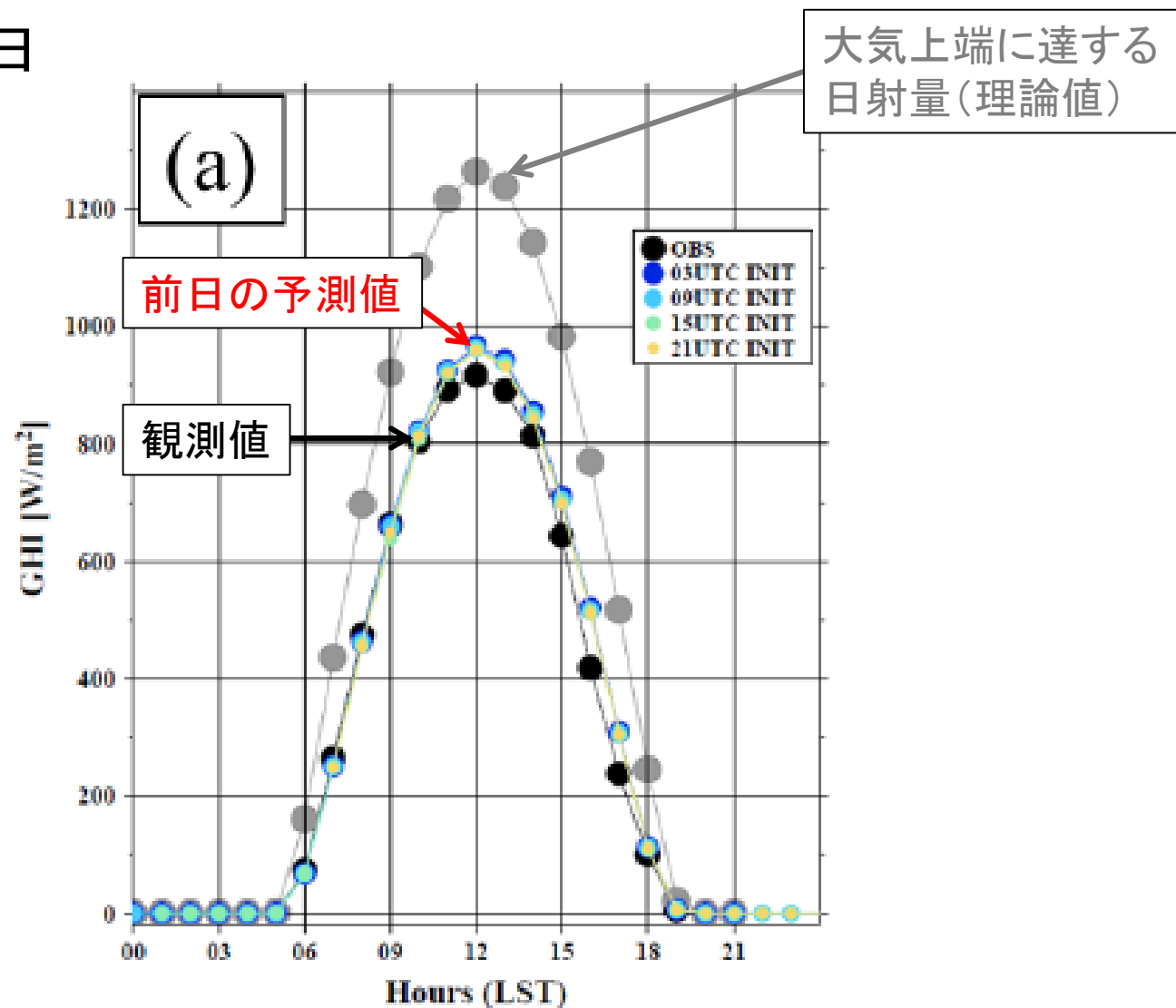
数値予報モデルは、大気の流れを表現する力学過程、境界層過程、雲・降水過程、放射過程、陸面過程など様々なサブモデルからなる。さらに、それぞれのサブモデルに対して、いろいろなモデル化の手法が存在し、どの手法を採用するかによって、数値予報モデルの予測特性が大きく変化することもある。

日射量予測 ①短波放射 ②雲・降水のプロセス

出典: 気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>

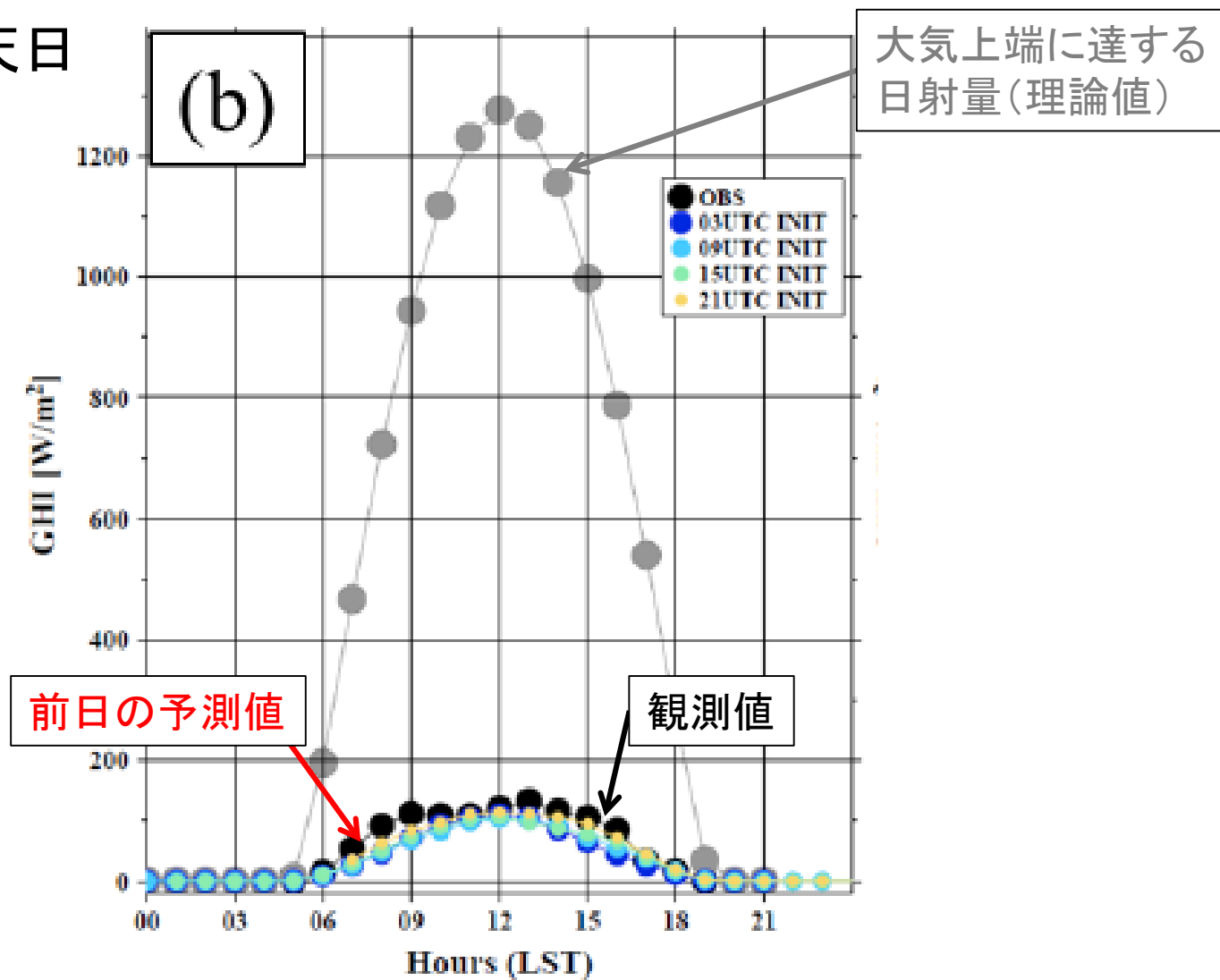
- ✓ 数値予報モデルでは日射量の予測も可能
- ✓ しかし、完全なモデル、完全な観測はないので予測誤差がつきもの

快晴日



- ✓ 東京電力エリア全体を対象とした予測結果
- ✓ 快晴時や曇天時は予測精度が高い

曇天日



✓ 曇天時は予測精度が高い

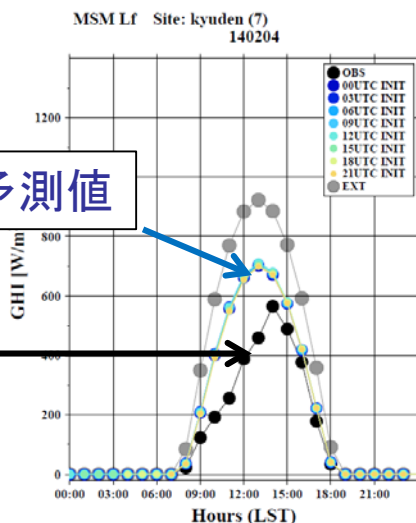
太陽光発電電力量予測と需給運用への影響

前日予測

日射量の
過大予測の例

前日の予測値

観測値



Case1: 日射量の過大予測

実際には、日射量が少ないので
太陽光による発電量も少ない

(うまく火力発電がカバーできなければ、)

⇒ 供給支障(停電)の恐れ

Case2: 日射量の過小予測

実際には、日射量が多いので
太陽光による発電量も多い

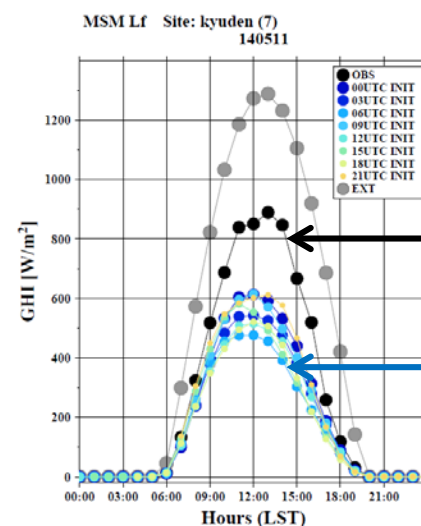
(うまく需要側や出力抑制でカバーできなければ、)

⇒ 余剰電力の恐れ(電気は
余ってもいけない)

日射量の
過小予測の例

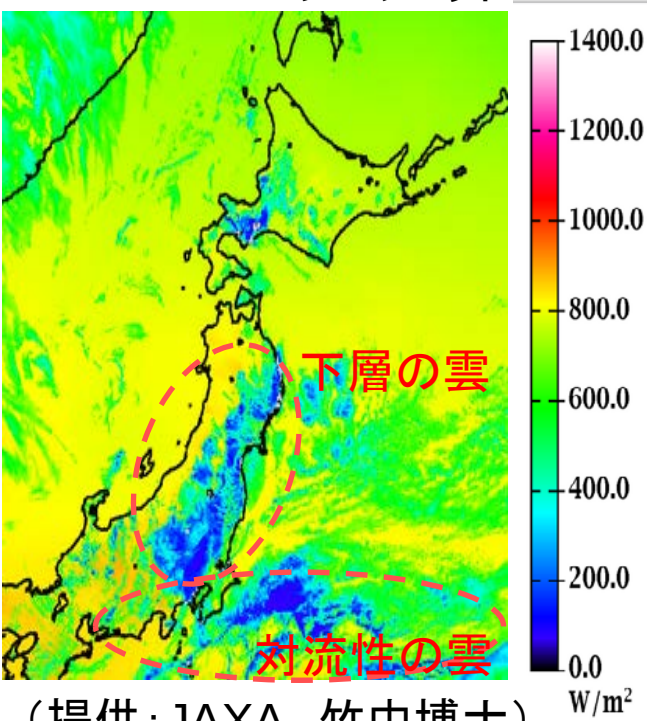
観測値

前日の予測値



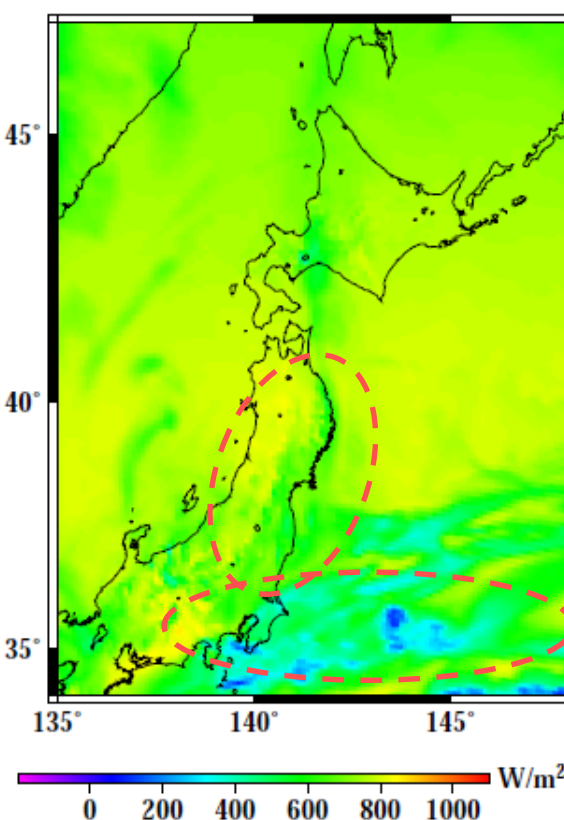
2013年9月23日12時
衛星推定日射量

AMATERASSデータセット

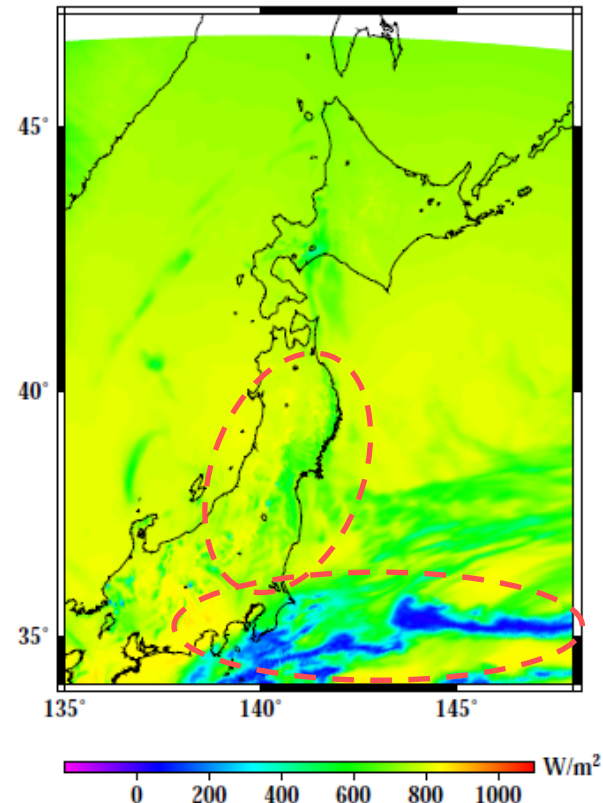


(提供: JAXA 竹中博士)

MSM(5kmメッシュ)
6時間先予測



LFM(2kmメッシュ)
6時間先予測



日射量予測が広域で外れた事例

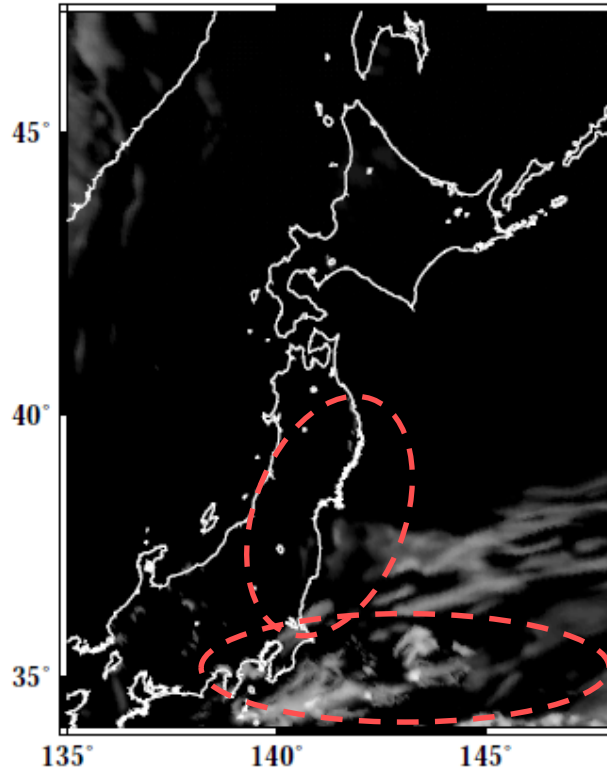
- 雲の予測には地上の日射量予測に大きなインパクト
(雲の予測ができない場合は、日射予測にも広域エリアで影響)

2013年9月23日12時
衛星 可視画像

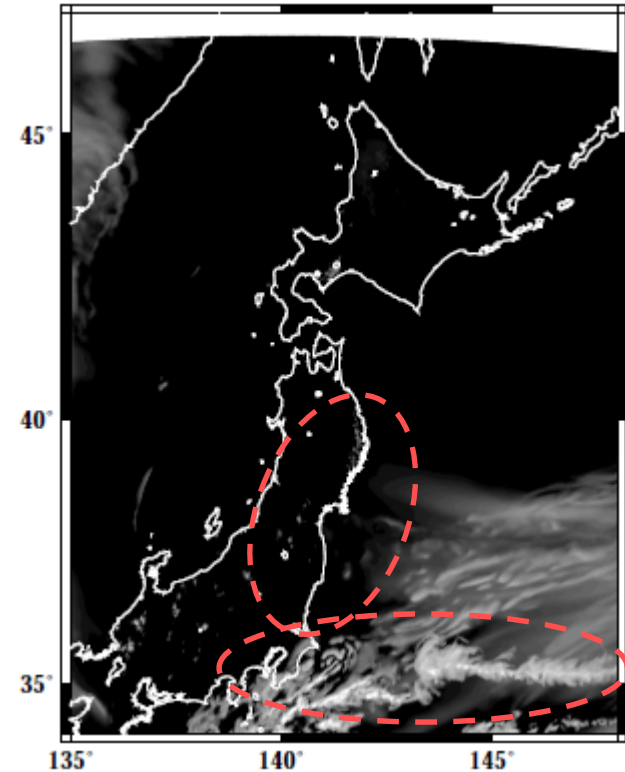


高知大学気象情報頁より

MSM(5kmメッシュ)
6時間先予測



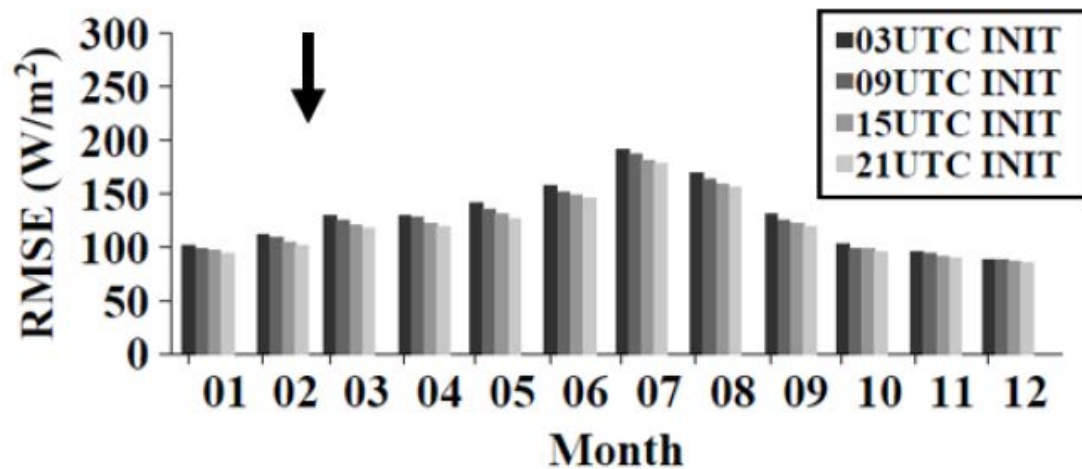
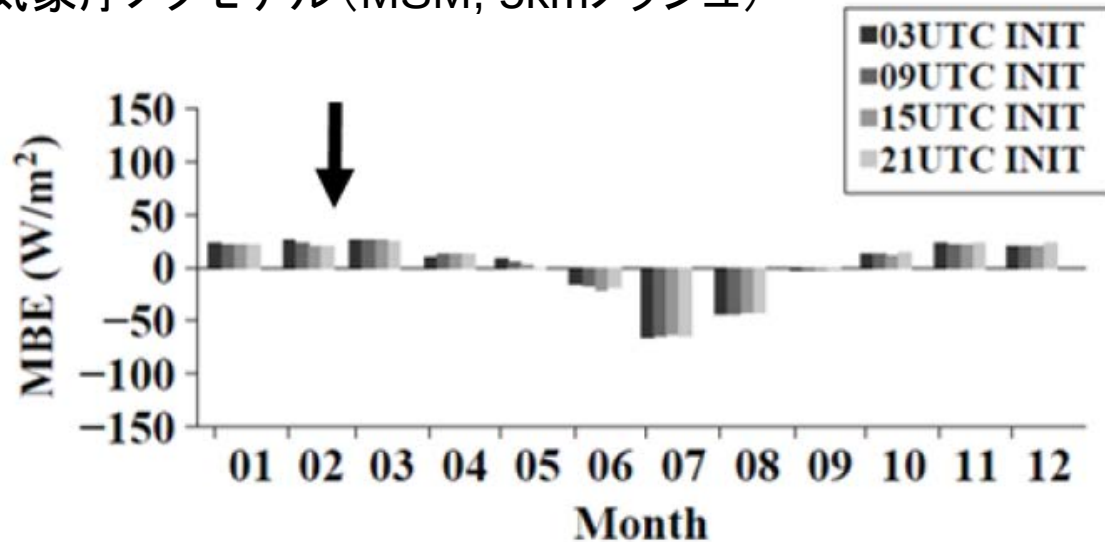
LFM(2kmメッシュ)
6時間先予測



日射量予測が広域で外れた事例

- 東寄りの風にとまなう、下層の雲の予測はMSM, LFMともに再現できず
- 対流性の雲はLFMで表現されているが、位置はずれあり

気象庁メソモデル(MSM, 5kmメッシュ)



夏季: 日射量過小予測(雲の過大予測)

冬季: 日射量過大予測(雲の過小予測)

当日予測(21UTC初期値)では前日予測(03UTC)よりもやや改善

しかし、当日予測でも予測が大きく外れることもある

OBS: 観測値、FCST: 予測値

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (FCST_i - OBS_i) \dots\dots\dots (1)$$

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

大竹秀明, 宇野 史睦, 大関 崇, 山田 芳則, 2018: 最新の気象庁現業数値予報モデルの日射量予測の検証. 電気学会論文誌B, Vol. 138, No. 11, 881-892

快晴日

曇天日

曇天日（予測外れ事例）

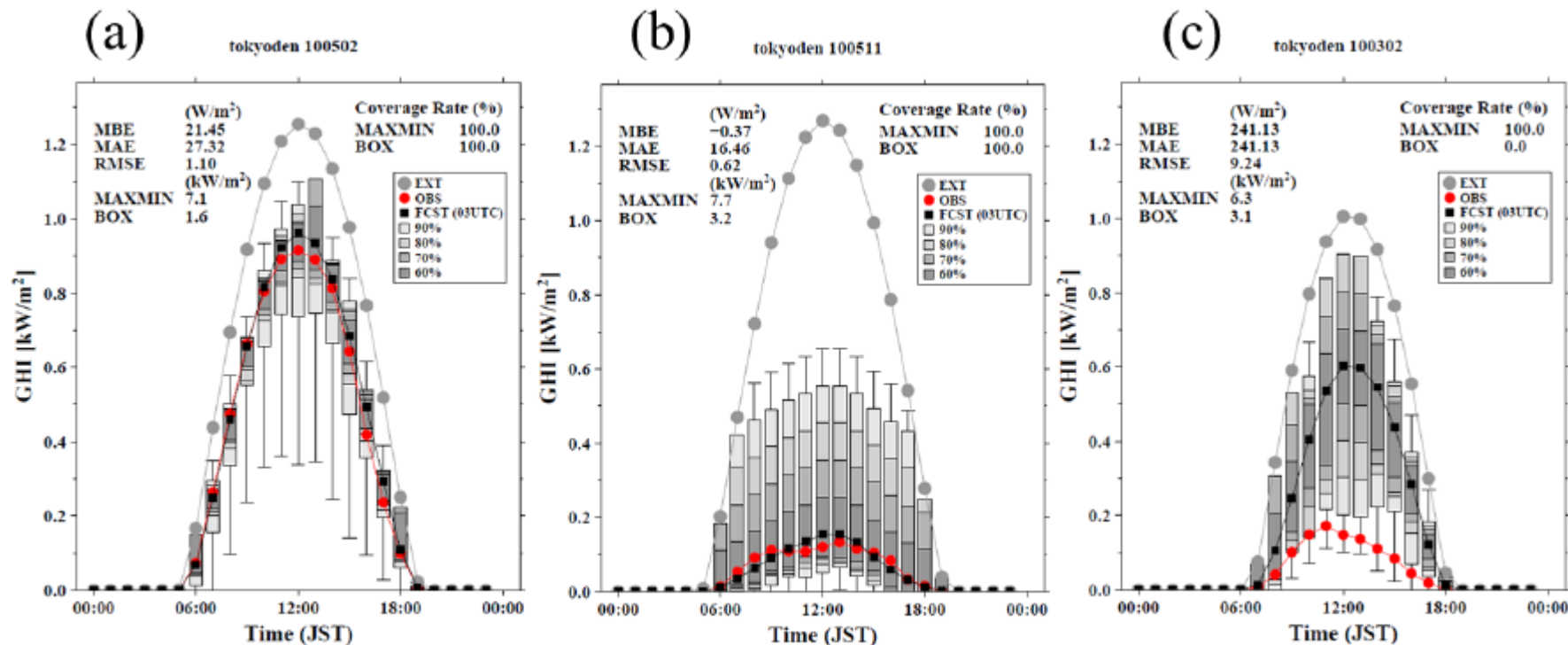


Fig. 6: Time series of solar irradiance with confidence intervals

- ✓ 日射量予測値には**予測誤差**を伴う(完全な予報モデルはない)
- ✓ 予測値を完全に信頼するとリスクも伴う
⇒ 予測値に**信頼度情報**を付加する手法の開発
- ✓ 将来的には、**メソアンサンブル予報**のデータも活用したい

日射量予測

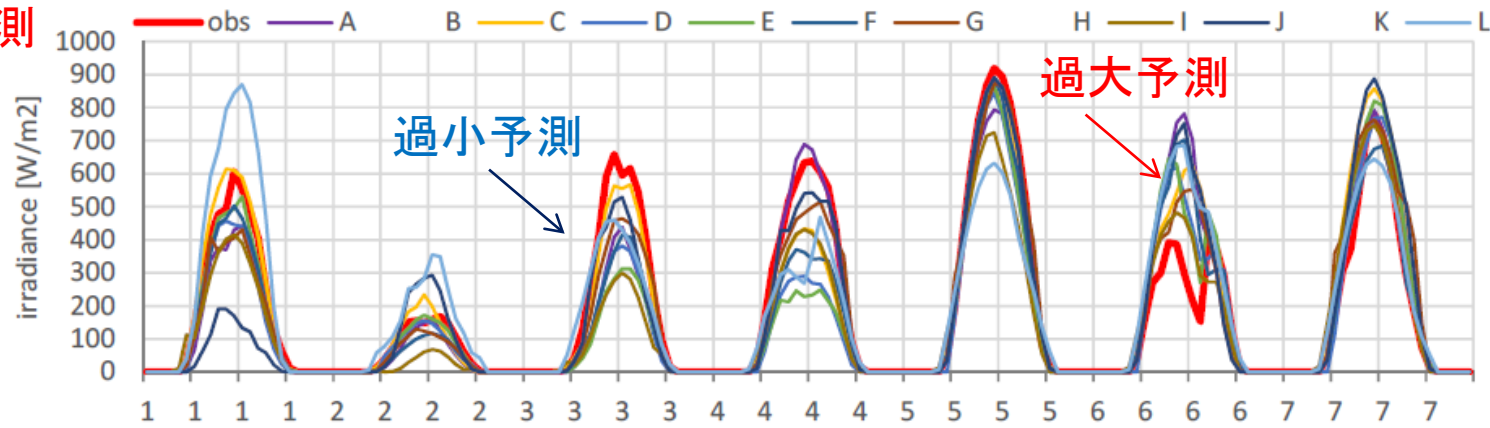


図1 中部地域の空間平均日射強度の実測値および予測値の例(2012年5月1日～7日, 手法B, H, Jを除く)

加藤 (2015, 電気学会全国大会)

風力発電予測

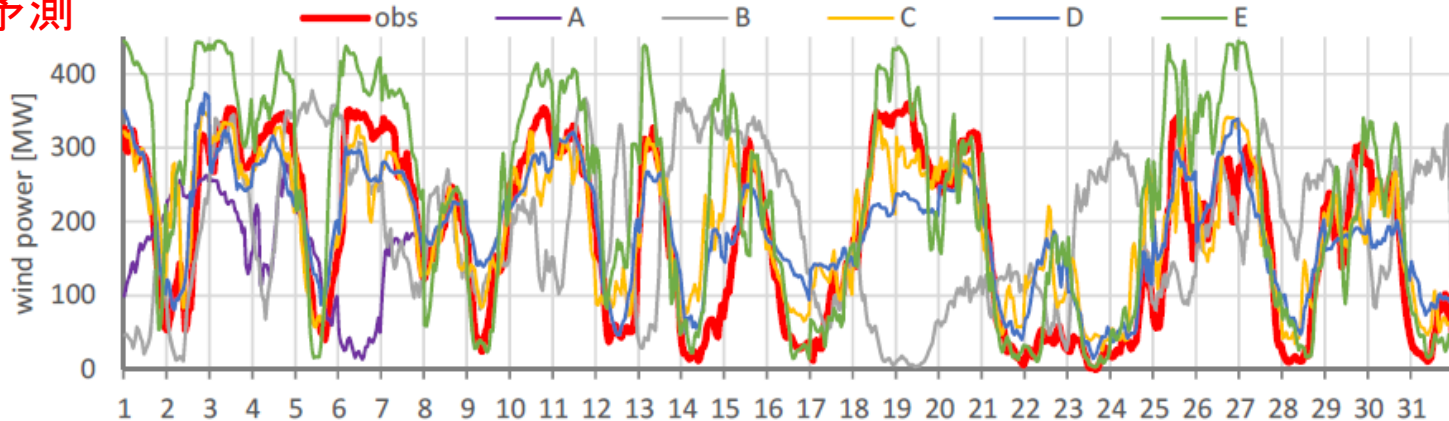


図4 東北地域の一部地域における風力発電合計出力の実測値および予測値の例(2013年1月1日～31日)

加藤 (2015, 電気学会全国大会)

- ✓ 各種予測手法による日射量予測、風力発電予測コンペが電気学会において初開催
- ✓ 数値予報モデルの入力値として、気象庁GPV(GSM, MSM)データも利用
- ✓ 予測機関・手法毎にばらつき → 予測値の信頼度情報にも関心が高い

JST CREST HARPS

CREST 戦略的創造研究推進事業



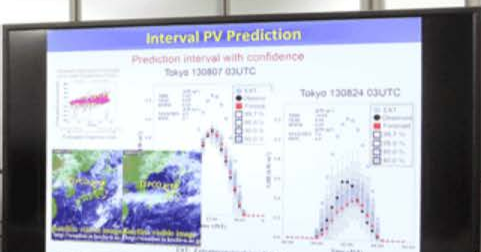
HARPS

太陽光発電予測に基づく
調和型電力系統制御のためのシステム理論構築
System Theory for Harmonized Power System Control Based on Photovoltaic Power Prediction



🏠
研究
メンバー
活動
アクセス
リンク
メンバー専用





コラボレーションルーム@東京理科大学 葛飾キャンパス

JST CREST 戦略的創造研究推進事業

研究領域

分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開 [🔗](#)

研究課題

太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築
System Theory for Harmonized Power System Control Based on Photovoltaic Power Prediction

研究期間

平成27年4月～平成32年3月

本研究課題では、太陽光発電の大量導入のもとで調和した電力供給を実現するための、次々世代の電力系統制御のためのシステム理論を構築することを研究目標にしています。そのため、太陽光発電・需要予測を活用し、また、供給側・需要側に加えてアグリゲータといった様々な様態が想定される中間



Google カスタム検索

🇬🇧 🇯🇵 023936

研究内容

研究業績

活動内容

電力コラボレーションルーム

国際連携

HARPCONメンバー限定

コラボルーム提供システム

<http://harps-crest.jpn.org/>

- 気象・電力需給・送電・配電・電力需要・制御理論・数理科学の各分野が連携
- 次世代のエネルギーシステムについて学術サイドから研究を推進
- 太陽光発電の大量導入の将来、予測と制御の観点



<https://www.youtube.com/channel/UCe7nco9LFA-UoMD0IxdggoQ>

用途1: **火力発電**の起動停止計画(**前日、当日予測**)
(前日夕方までに計画を確定)

気象学会秋季大会 2018 D159 宇田川 氏(東大生研・構造計画)

用途2: **揚水発電**の運転計画・制御(**週間・当日予測**)
⇒ 太陽光発電が多くなれば揚水運転、
少なければ発電運転

用途3: **蓄電池・EV**の充電放電制御(**当日予測**)
⇒ 太陽光発電が多くなれば蓄電運転、
少なければ放電運転

用途4: **送電線**の熱負荷の制御(**前日、当日予測**)
⇒ 日射が多くなれば送電線が受ける熱
が大きくなる、気温や風の情報も有効
(送電線の温度管理)
送電容量の確保(どこにどれだけ
電力を送れるか潮流計算も必要)



引用 東京電力WEBサイト「送電について」

http://www.tepco.co.jp/electricity/mechanism_and_facilities/supply/transmission.html



引用 東京電力カフュエル＆パワーWEBサイト「富津火力発電所」: <http://www.tepco.co.jp/fp/thermal-power/list/futtsu.html>



北海道電力・南早来変電所の大型蓄電池 (大竹撮影)

JST CREST HARPS システム構築

- 太陽放射コンソーシアムコンソーシアム 日射量データ(ひまわり8号)
- MSM,LFMなどの予測値(時系列データ)



HARPS Forecast

JST
独立行政法人
科学技術振興機構

CREST
戦略的創造研究推進事業
Cross Researcher to Promote
Science and Technology

EMS
環境未来研究所
Environmental Future Institute

対象モデル

☒ NusDasデータ

GSM

☐ 衛星データ

MSM
LFM

場所の指定

☒ 緯度・経度入力

場所名

☒ 1点指定 (S)

☐ 対角指定 (R)

指定↓

修正

削除

☐ 場所指定

東京都気象台grid

↑
↓

☐ ユーザ作成の場所ファイルを使用

削除

ファイルを選択

選択されていません

☒ 都道府県指定

☐ 市区町村指定

埼玉県

千葉県

東京都

東京都千代田区

東京都中央区

東京都港区

東京都新宿区

東京都文京区

選択解除

地図で確認

選択解除

メッセージ

HARPS FORECAST Team -- 利用可能データ (2017.10.13現在) -----

☒ GSM : 2014.01.01 - 2017.7.31 (12UTC初期値のみ、84時間先予測で6時間事の出力)

ログインユーザ： h_hcr_ohtake

戻る

初期値の設定

期間 [2016/08/01] 03 ▼時~ [2016/08/01] 08 ▼時

☒ 全ての時間を対象

☐ 指定の時間を対象 [00 ▼]

出力する予測時間長さ

☒ 全ての時間長さ

00 : 初期値、01 ~ : 予測値

☐ 開始 ~ 終了 日射量等一部の物理量には初期値は存在しない

抽出物理量

_RSDB(全天日射量;W/m2)
_RSDBc(快晴時の全天日射量;W/m2)
_RSDT(大気外日射量;W/m2)
_RBEAM(MSMで使用可-直達日射量;W/m2)
_RDIF(MSMで使用可-散乱日射量;W/m2)

▼

選択解除

その他物理量

処理オプション

☒ 平均処理をする

ファイル識別名

☒ 場所名を使用

☐ 任意指定

抽出ファイル形式

☒ 場所でファイルを分ける

☐ 物理量でファイルを分ける

ダウンロードオプション

☒ 入力ファイル(input.xml)もダウンロードする

注) 本機能はHARPS内限定

県別・市町村別にエリアを指定し、気温、日射量などの時系列データをCSVファイルで出力



HARPS Forecast






対象モデル

☐ NusDasデータ
 2.5min
☒ 衛星データ
 10min
 30min

場所の指定

☒ 緯度・経度入力

場所名

☒ 1点指定 (S)

☐ 対角指定 (R)

指定!

修正

削除

場所指定

東京管区気象台grid

☐ ユーザ作成の場所ファイルを使用

削除

ファイルを選択
 選択されていません

都道府県指定

☒ 都道府県指定
 ☐ 市区町村指定

宮城県

宮城県

秋田県

山形県

宮城県

宮城県

宮城県

宮城県

仙台市

仙台市

仙台市

仙台市

青葉区

宮城野区

若林区

太白区

泉区

選択解除

地図で確認

一般送配電事業者管轄エリア指定

北海道電力

東北電力

東京電力パワーグリッド

選択解除

都道府県指定



ログインユーザ: h_hcr_ohatake

戻る

03 ▼ 時

初期値は存在しない

データの処理(衛星データ)

☐ 損データの時刻は-9999を出力する
 ☐ 損データの時刻はスキップする

ファイル形式

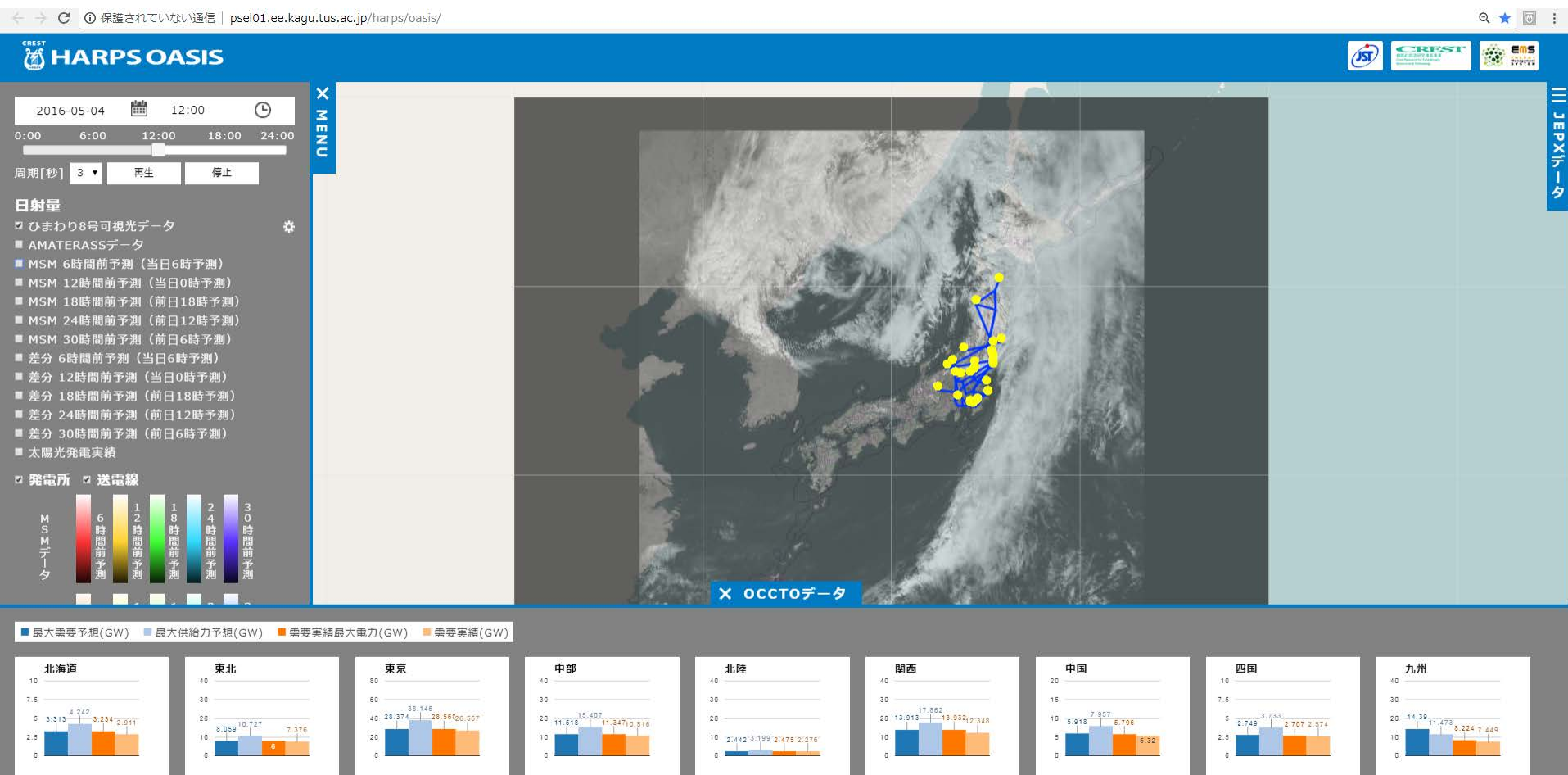
☐ 場所でファイルを分ける
 ☐ 物理量でファイルを分ける

クリア

ダウンロード

注)本機能はHARPS内限定

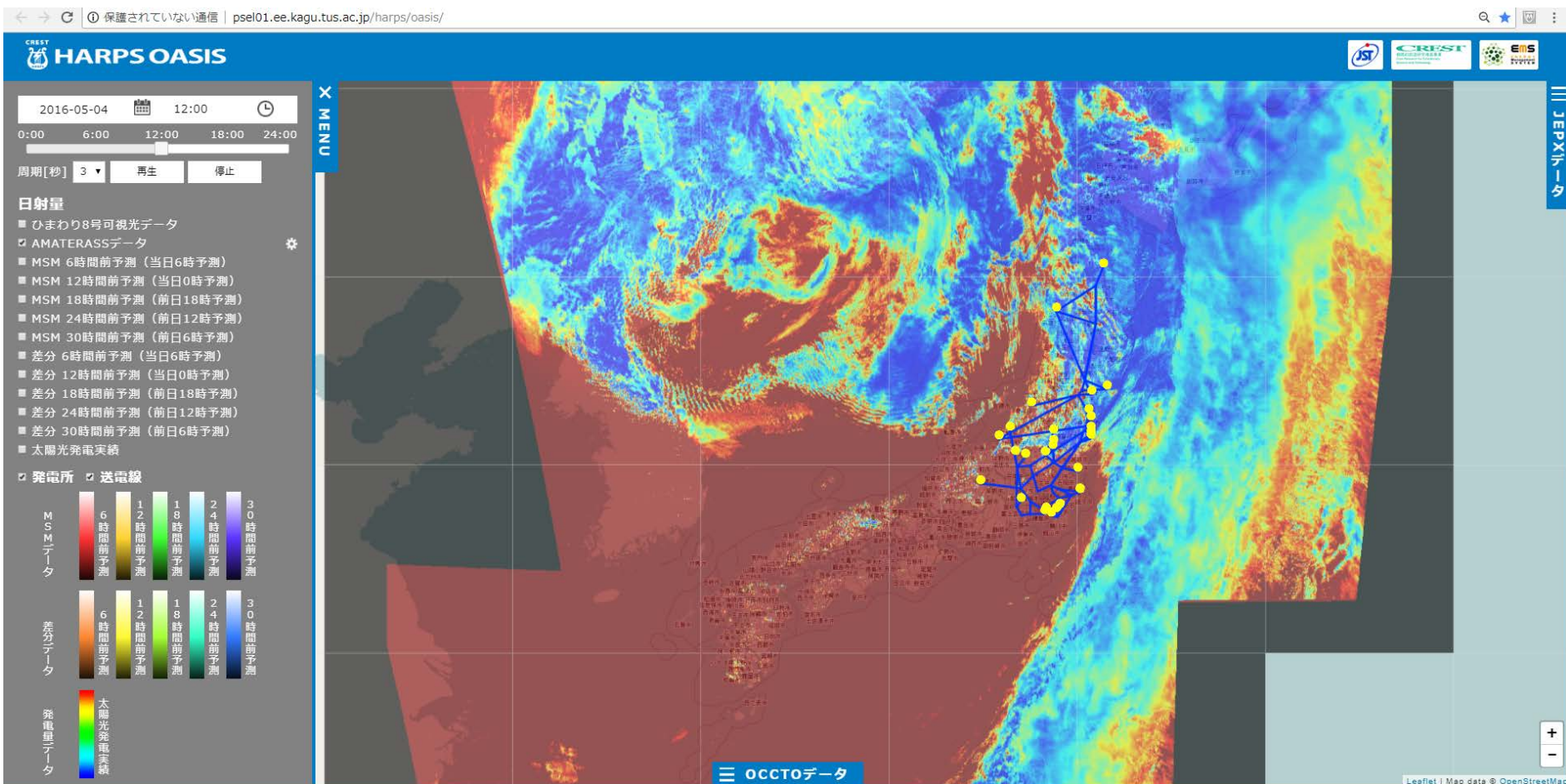
- 気象データ、電力システム情報の可視化ツールの開発
- ひまわり8号データの可視化と太陽光発電量実績



JST CRSET HARPS OASISシステム (一般へ公開中)

<http://psel01.ee.kagu.tus.ac.jp/harps/oasis/>

衛星推定日射量 2016年5月4日

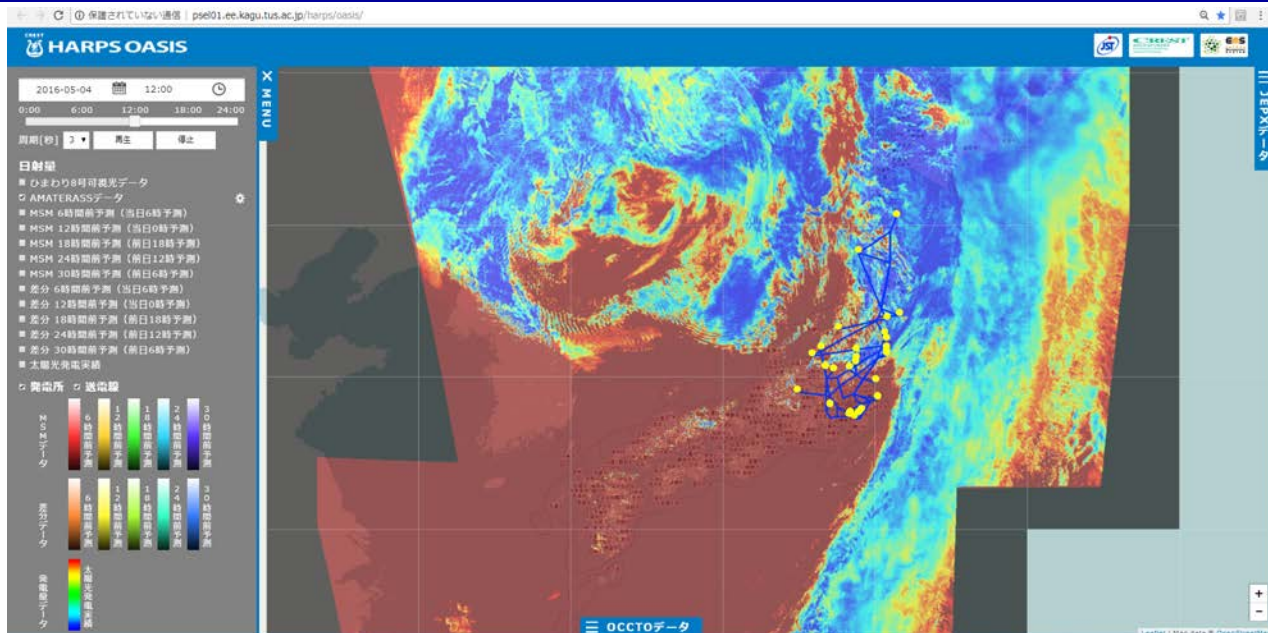


JST CRSET HARPS OASISシステム (一般へ公開中)

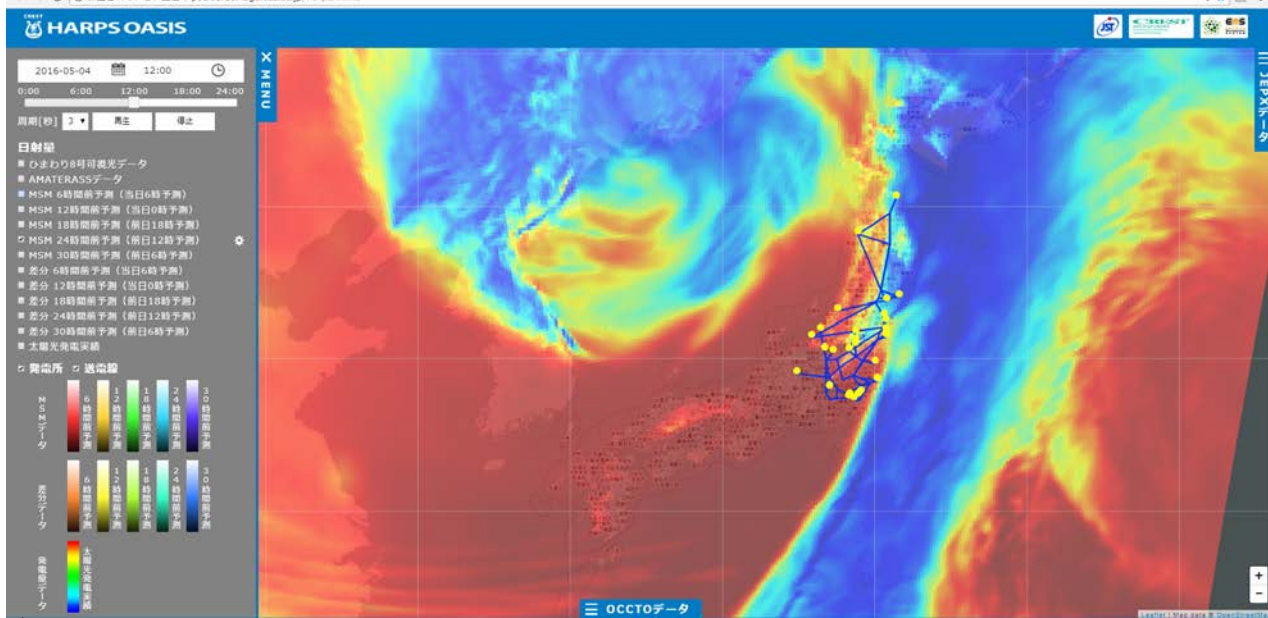
<http://psel01.ee.kagu.tus.ac.jp/harps/oasis/>

2016年5月4日

衛星推定
日射量



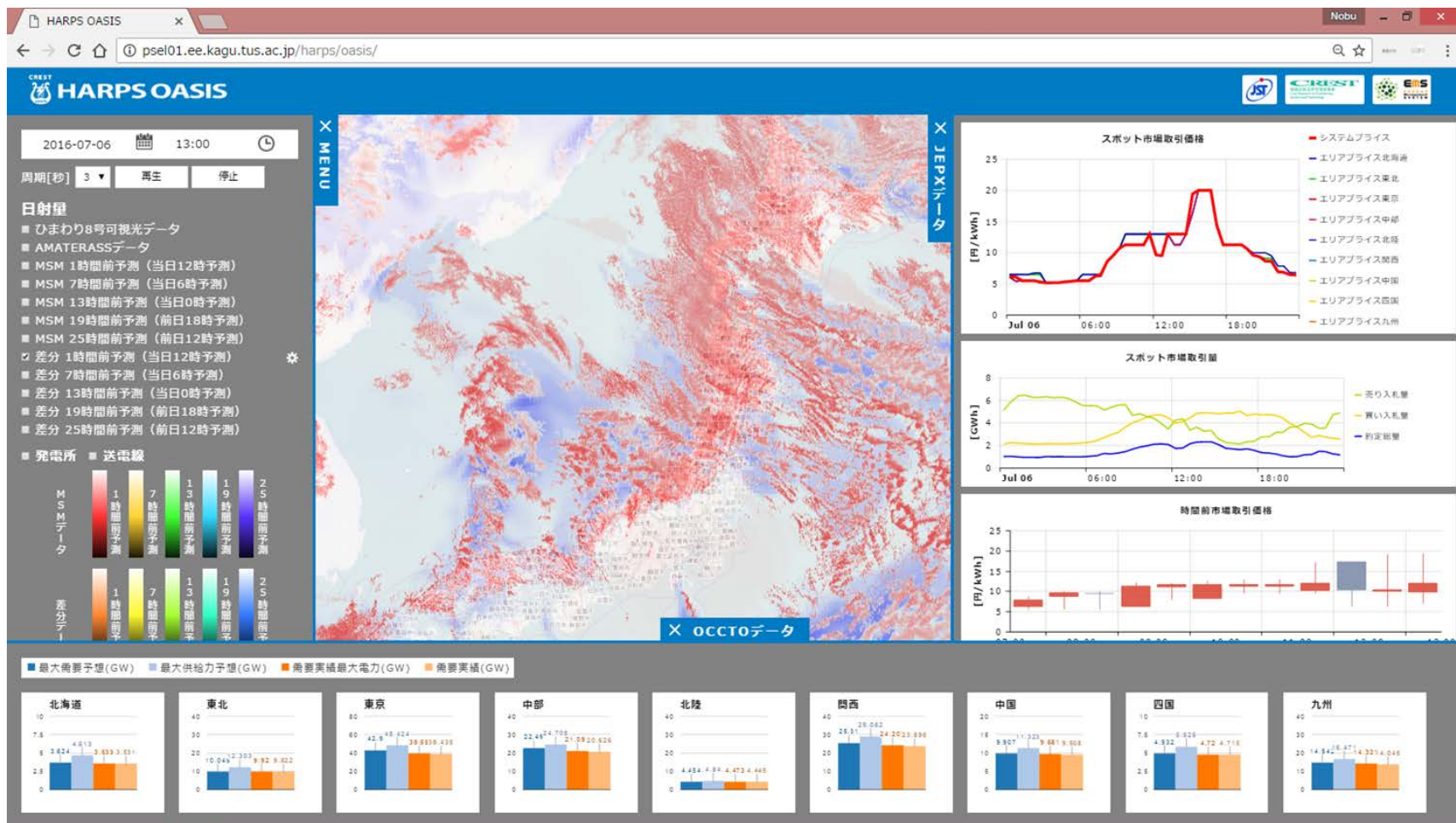
MSM
24時間前予測



HARPS OASISシステム <http://psel01.ee.kagu.tus.ac.jp/harps/oasis/>

2015年度：日射予測データの表示

2016年度：ひまわり8号可視光実績、日射量実績、JEPX価格・取引量、OCCTO
需要のデータを表示できるように改良



赤色: 日射(PV) 過大予測 → 実際、PV小
青色: 日射(PV) 過小予測 → 実際、PV大

- 予測誤差を加味した広域エリアでの電力システムの制御、運用を議論

JST CREST HARPS

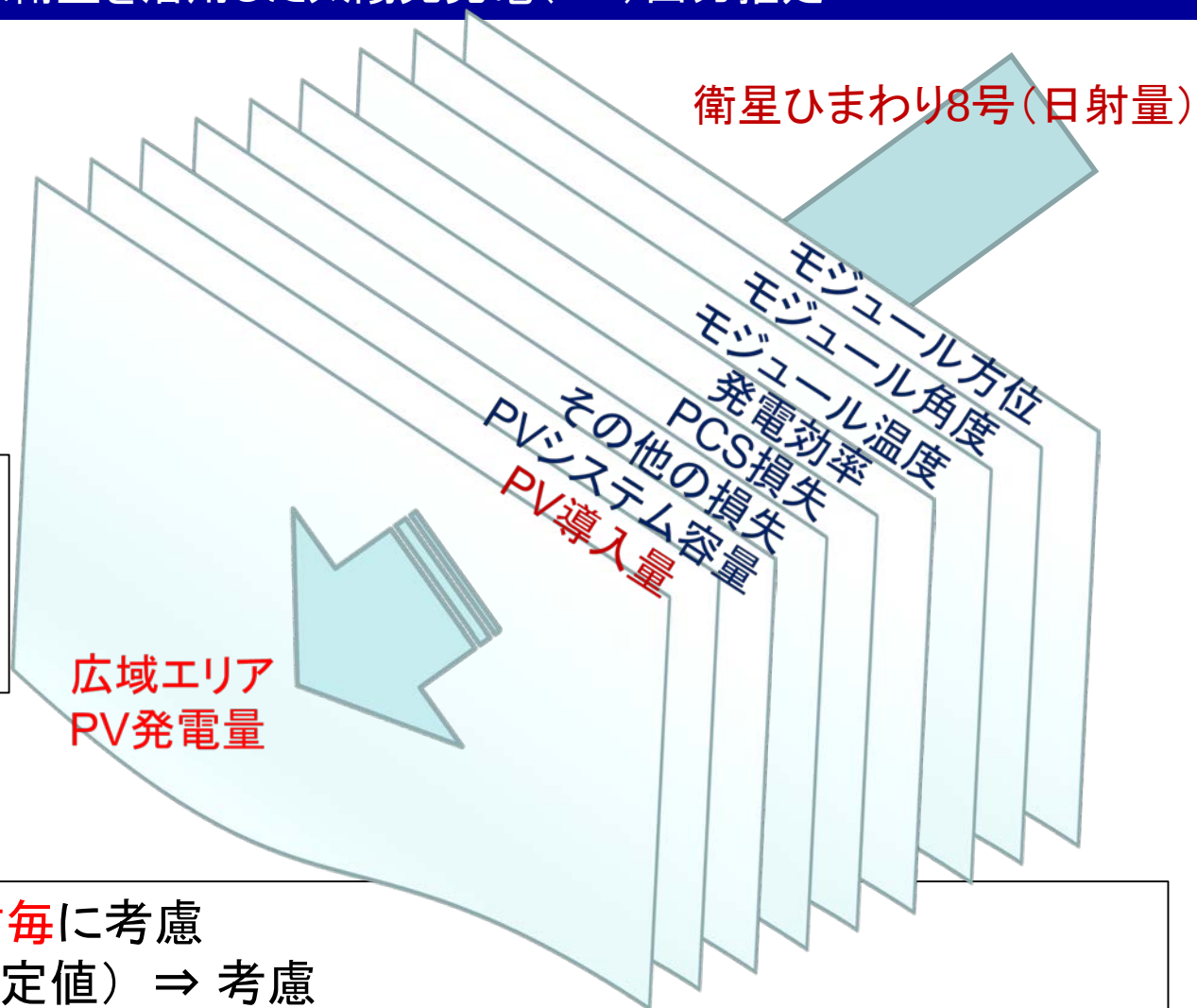
気象データの活用例

気象衛星を活用するメリット

- 市町村毎に出力推定可能
- 2.5分毎に推定
- 地上の計測値がない地域における推定が可能

気象衛星を活用するデメリット

- 欠測することもある
- 推定値であり検証は必要
- アルゴリズムの改良
(例えば、積雪の事例)



- PV導入量 ⇒ **市町村毎**に考慮
- PVモジュール温度(推定値) ⇒ 考慮
- PVモジュールの角度、方位、PCS増増率などは考慮せず
- PCS容量⇒仮定
- システム損失、モジュール温度損失⇒仮定

参考 [Ohtake et al \(2018, Energy Science & Engineering\)](#)

固定価格買取制度

情報公表用ウェブサイト

<お知らせ(平成27年4月9日)>

この度、認定されたバイオマス発電設備の一部においてバイオマス比率の誤適用が見つかりましたので、過去に公表した認定容量及び導入容量(バイオマス比率考慮あり)の一部を見直しました。ついては、平成26年4月末から平成27年1月末までのダウンロード用ファイル(A表及びB表)内の一部数値を赤字にて修正しておりますのでご確認ください。 (正誤表は[こちら](#))

固定価格買取制度における再生可能エネルギー発電設備について、直近3ヶ月の導入状況等を公表いたします。なお、当ページ最下段にて電子ファイルをダウンロードいただくことにより、都道府県や市町村別といったエリア別の詳細な導入状況等もご覧いただけます。

■平成28年8月末時点の状況(平成28年12月6日更新)

	(1)導入容量 (万kW)		(2)買取電力量 (万kWh)		(3)買取金額 (億円)(※3)		(4)認定容量 (万kW)
	新規認定分 (※1)	移行認定分 (※2)	平成28年 8月分	制度開始から の累計	平成28年 8月分	制度開始から の累計	新規認定分 (※1)
太陽光 (住宅) (※4)	425 +6	471	71,998 +12,185	2,300,093	296 +50	9,884	500 +7
太陽光 (非住宅)	2,595 +49	26	378,820 +75,118	5,886,525	1,501 +294	23,906	7,527 +9
風力	57 +0	253	27,514 -810	1,963,558	61 -1	4,294	303 +1
中小水力	21 +1	21	15,857 -2,582	449,322	42 -7	1,176	79 +1
地熱	1 +0	0	613 -25				
バイオマス (※5)	64 +0	113	62,242 +3,410				
合計	3,162 +57	883	557,043 +87,495				

引用:固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト

http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/statistics/index.html

<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary> (最新版はこちら)

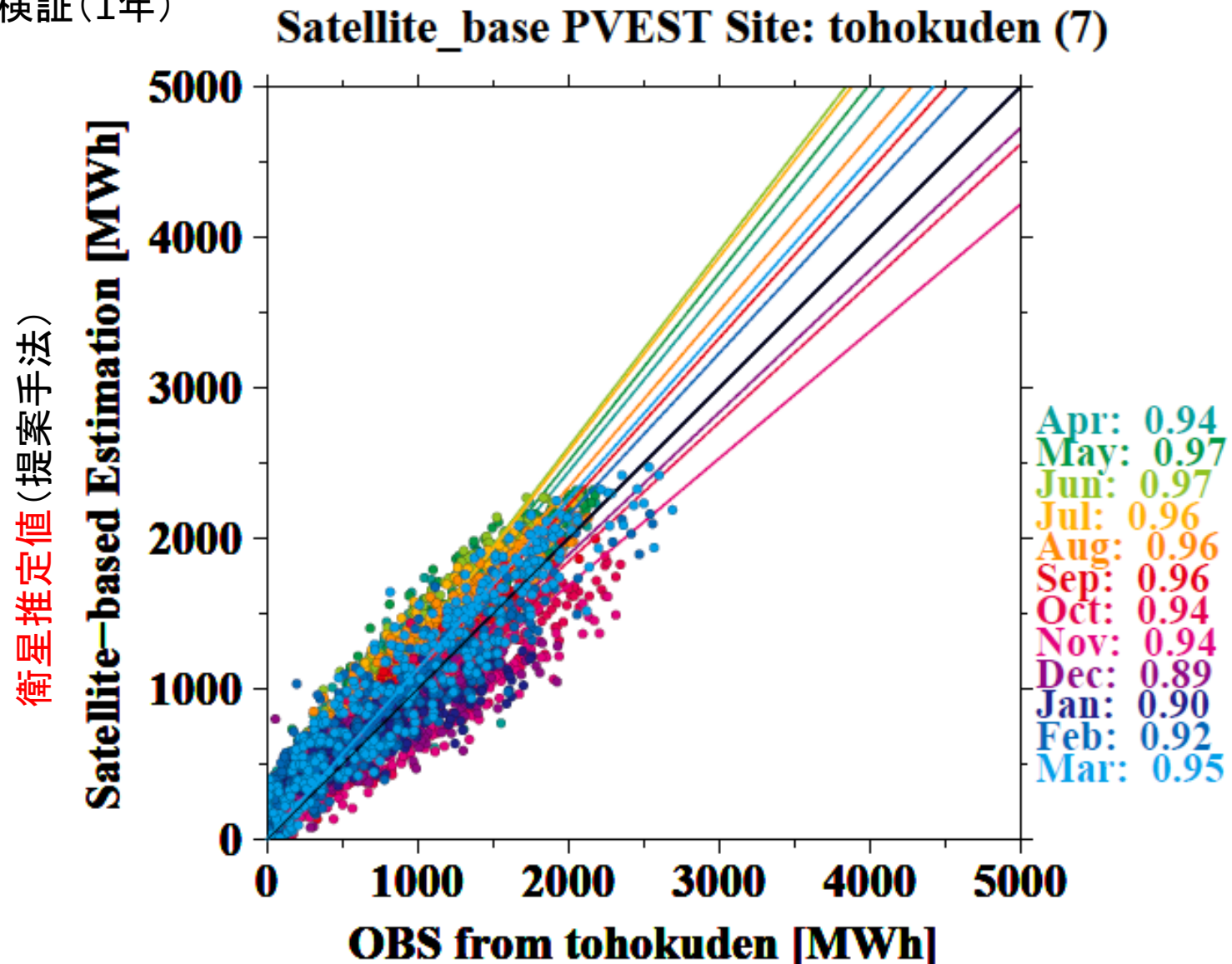
- 県別・市町村別でのPV導入量(現在稼働分や認定容量)が情報公開
- 太陽光発電**、風力発電、中小水力発電、地熱発電、バイオマス発電

本発表では、A表(都道府県別)、B表(市町村別)と呼ぶ

■詳細情報ダウンロード(データ構成の詳細は[こちら](#))

	エリア別の認定及び導入量		買取状況の推移
	都道府県別	市町村別	
上表揭示分	A表 都道府県別認定・導入量 (平成28年8月末時点)	B表 市町村別認定・導入量 (平成28年8月末時点)	C表 買取電力量及び 買取金額の推移 (平成28年10月末時点)
	A表 都道府県別認定・導入量 (平成28年9月末時点)	B表 市町村別認定・導入量 (平成28年9月末時点)	
	A表 都道府県別認定・導入量 (平成28年10月末時点)	B表 市町村別認定・導入量 (平成28年10月末時点)	
過去公表分	A表、B表 過去公表分 はこちら		

推定値の検証(1年)

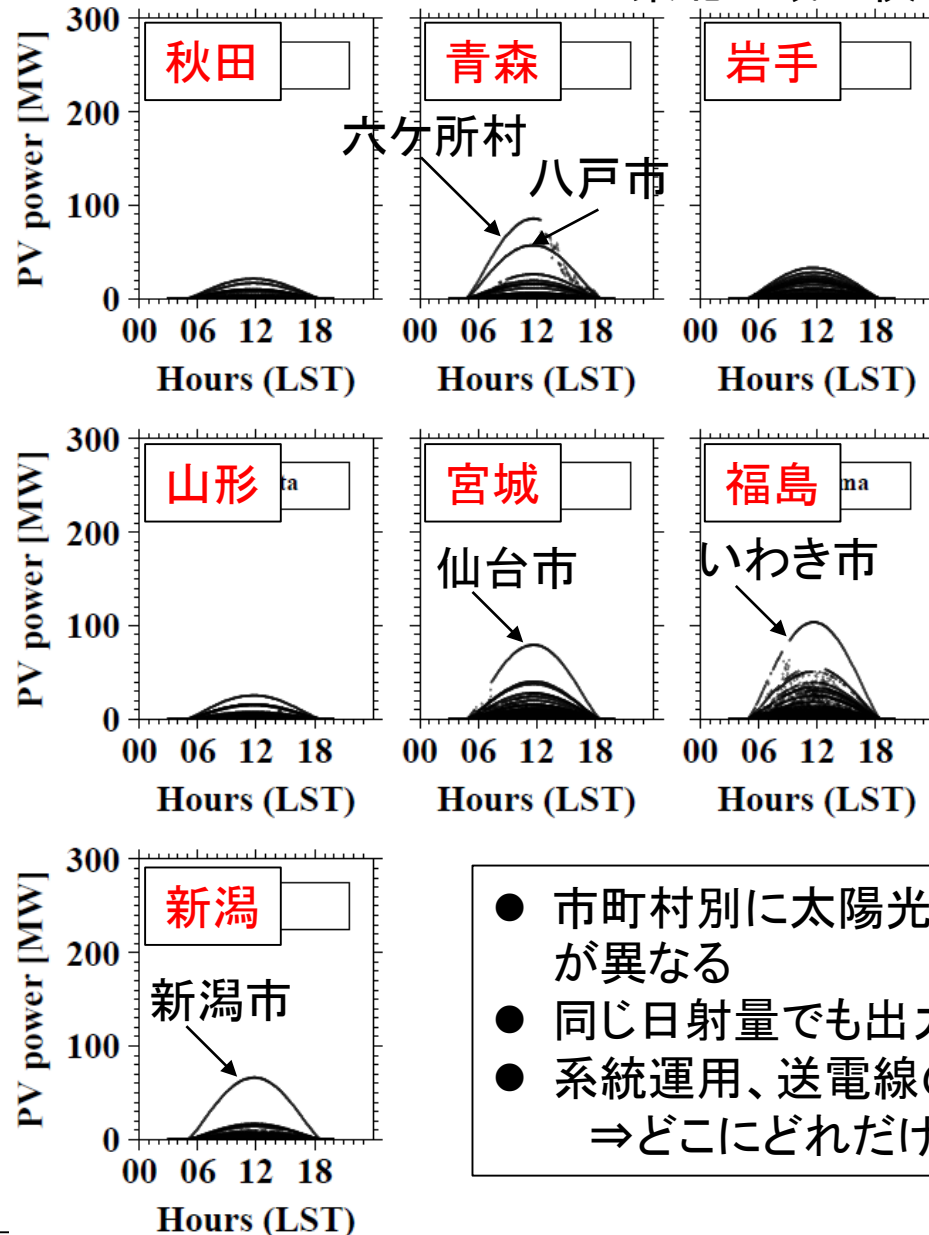


やや季節的なバイアスを確認

東北電力エリア各県 市町村別

Satellite_base PVEST Tohokuden
160807

東北全域が快晴の事例(2016年8月7日)



- 市町村別に太陽光発電システムの導入量が異なる
- 同じ日射量でも出力は**数倍**異なる
- 系統運用、送電線の管理にも影響
⇒どこにどれだけ電力を送るべきか？

Demand and Supply Operations of Power Systems with Battery Energy Storage System Using Photovoltaic Forecasting with Prediction Intervals

Rajitha Udawalpola
Department of Electrical and
Information Engineering,
University of Ruhuna
Galle, Sri Lanka
rajitha@eie.ruh.ac.lk

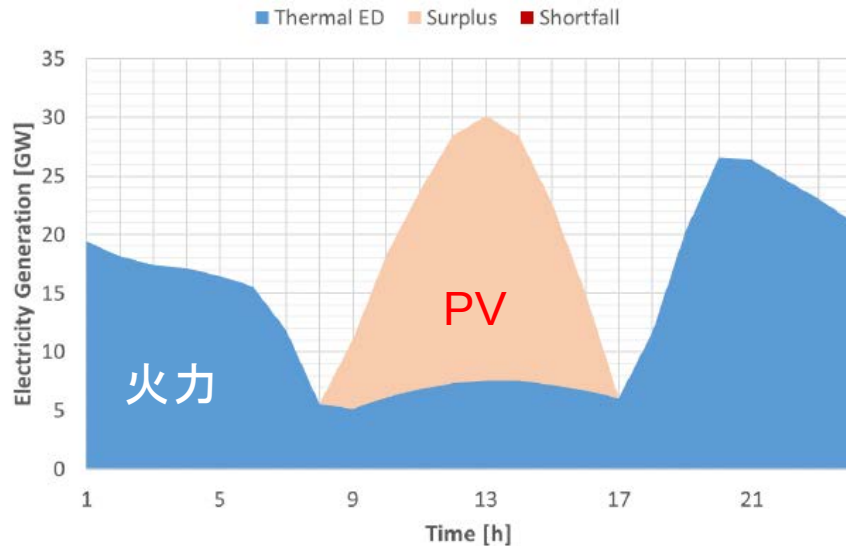
Taisuke Masuta
Department of Electrical and
Electronic Engineering,
Meijo University
Nagoya, Japan
masuta@meijo-u.ac.jp

Hideaki Ohtake
National Institute of Advanced
Industrial Science and
Technology
Tsukuba, Japan
hideaki-ootake@aist.go.jp

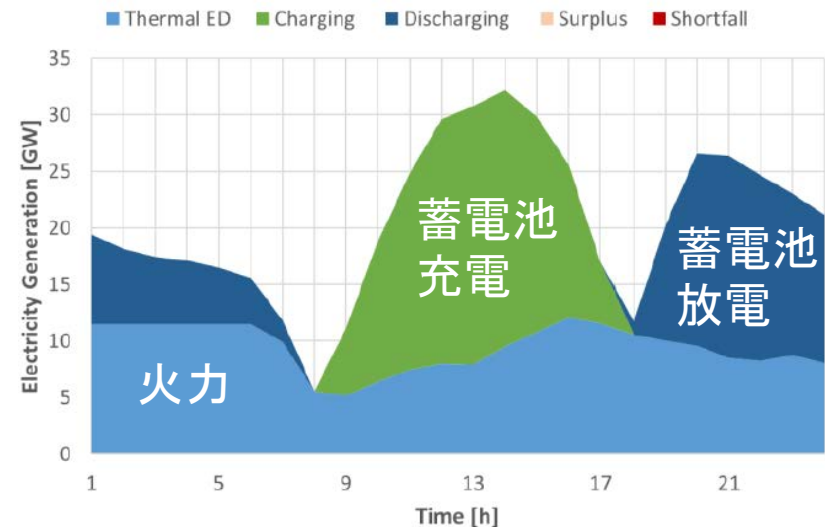
Joao Gari da Silva Fonseca
Junior
The University of Tokyo
Tokyo, Japan
jfonseca@iis.u-tokyo.ac.jp

- 気象予報から発電予測
- 停電、電力余剰の影響評価
- PV発電予測の信頼度情報の活用
- 蓄電池の導入効果

太陽光(PV)発電・過小予測 ⇒ PV余剰 ⇒ 蓄電池導入 ⇒ 充放電計画



(a) Case 1 (without BESS and without PI)



(b) Case 2 (with BESS and without PI)

Udawalpola, R., Taisuke Masuta, T., Ohtake, H., Fonseca Jr., 2018, [Demand and Supply Operations of Power Systems with Battery Energy Storage System Using Photovoltaic Forecasting with Prediction Intervals](#), Proc. of 2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), DOI: 10.1109/SEST.2018.8495857

事例2:送電線の熱負荷計算に気象予測データの活用

気温、日射量、風の情報 ⇒ 送電線の熱負荷

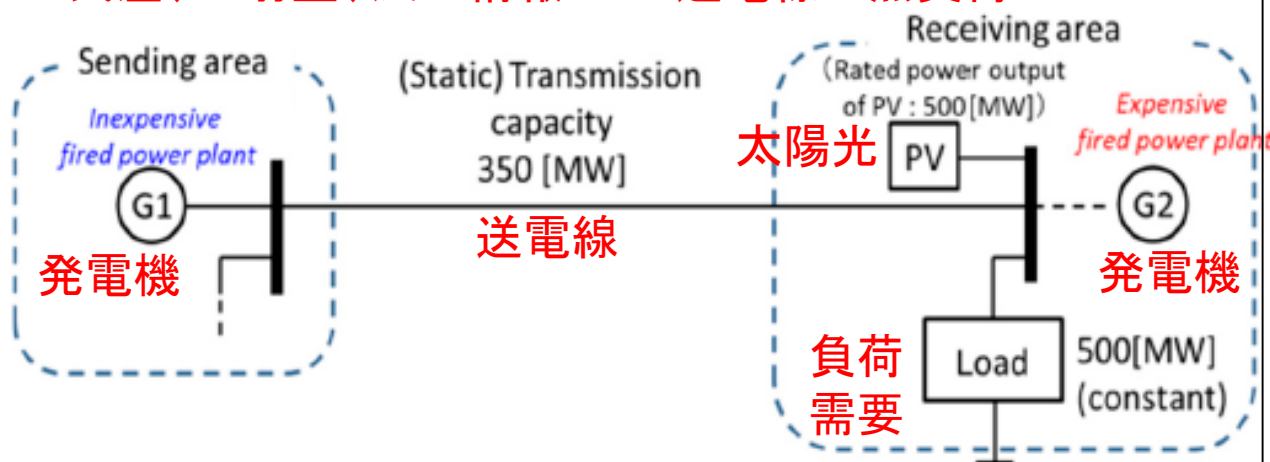


Figure 4. A sub-transmission network test system.

Table 1. Ambient meteorological conditions

Parameter	Typical Value
Atmospheric temperature	40 (°C)
Solar irradiation	0.1 (W/cm ²)
Wind speed	0.5 (m/s)
Wind direction	45 (°)

(送電線の温度管理)

- 送電量が多いと送電線の温度が上昇
- 上昇しすぎると送電線が垂れてしまう
- どの程度PV出力があるのか把握
- 風が吹くと送電線を冷やす働き

⇒ 予測(日射量、風)を活用し、どの程度PV送電可能かを管理

送電線の設備設計を気象条件の最悪シナリオで設定

[Sugihara et al. \(2017\):Evaluation Method for Real-Time Dynamic Line Ratings Based on Line Current Variation Model for Representing Forecast Error of Intermittent Renewable Generation, Energies, Vol. 10, 4, pp.1-16.](#)

JST CREST EMS領域

「太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築」

● システム構築：異分野間の連携促進

電力コラボレーションルーム（東京理科大学 葛飾キャンパス）

- ・ 遠隔地からのデータ抽出、モデル実験など

HARPS FORECAST

HARPS OASIS など

● 各種分野での気象データの評価（価値の創出）

- 電力需給：日射予測 ⇒ PV発電量、発電抑制、供給支障（停電）の定量分析
- 蓄電池：日射予測 ⇒ 運用計画、予測のインパクト評価
- 送電線：日射量、気温、風向・風速のデータ ⇒ 送電線の温度管理、設備設計

(2019年 出版予定, 日刊工業新聞社)

AI/IoTによるスマートアグリゲーションがもたらす未来の電力システム(仮) ～太陽光発電、蓄電池をもつプロシューマーとアグリゲーターが支配する世界～

編著: 井村順一(東京工業大学)、原 辰次(中央大学)

著者: 井村順一(東京工業大学)、植田 譲(東京理科大学)、大関 崇(産業技術総合研究所)、大竹秀明(産業技術総合研究所)、児島 晃(首都大学東京)、杉原英治(大阪大学)、造賀芳文(広島大学)、津村幸治(東京大学)、原 辰次(中央大学)、益田泰輔(名城大学)、山口順之(東京理科大学)

- 電力システムの現況と課題: 次世代電力システムの構築に向けて
- IoT/AIによるスマートアグリゲーション
- 次世代調和型電力システム
- IoT/AIを活かした太陽光発電予測
- プロシューマーとスマートアグリゲーション
- 電力市場とスマートアグリゲーション
- 系統制御とスマートアグリゲーション
- ビッグデータと数理モデル連携によるシステム開発

「太陽光発電システムの大量導入とエネルギー・マネージメントの課題」の特集にあたって (仮), JSES太陽光発電部会25回セミナー(特集号), Vol.45, No.2, (2019年 出版予定, 太陽エネルギー学会)

大竹秀明, 2018: UVIG 2017 Forecasting Workshop参加報告, エネルギー・資源学会誌, 第228号(3月号), Vol. 39, No.2, pp.128-130.

宇野史睦, 大竹秀明, 吉田健二, 宇田川佑介, 島田照久, 2018: 2017年度秋季大会専門分科会「再生可能エネルギーなどの気象観測・予測情報の気象ビジネスへの利活用」報告, 天気, 65(2), 133-137.

https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2018/2018_02_0055.pdf

大竹秀明, 宇野史睦, 嶋田 進, 宇田川佑介, 中島 孝, 2017: 2016年度秋季大会スペシャル・セッション「気象予測・観測技術の再生可能エネルギー分野への応用」報告, 天気, 64(5), 63-68.

https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2017/2017_05_0063.pdf

大竹秀明, 宇野史睦, 嶋田 進, 宇田川佑介, 中島 孝, 2016: 2015年度秋季大会スペシャル・セッション「気象予測・観測技術の再生可能エネルギー分野への応用」報告, 天気, 63(3), 11-15.

https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2016/2016_03_0101.pdf