

# 太陽光発電のシステム研究開発

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  
大関 崇

# 太陽光発電のシステム研究開発

- システム研究の分野
  - エネルギーリソース、システム設計(電気、構造)、BIPV(デザイン)、コンポーネント(セル以外)、パワコン機器、信頼性(モジュール込)、LCA、保守点検、リサイクル、電力系統、エネルギーシステム、消費者選考(WTP)、市場、政策など…。
- 太陽光発電システムの多様性への対応、社会システムを動かしていくことが必要
  - 特定の個別実験による深堀研究に加え、フィールドワークから得られる知見が重要。
  - 知見を一般化していくことと共に、社会実装すること、文化を醸成すること。
  - 横断的な分野融合が必要であり、自然科学に加え社会科学の側面。
  - あるべき姿を示し、社会システムの中で、どのようにして変化を与え、改善していく流れを作れるか。

# 太陽光発電の導入拡大に向けた方向性 (課題と対策 ～PV100年構想に向けて～)

【 太陽光発電競争力強化研究会  
報告書の概要 】

## 太陽光の自立的な導入加速時代 ～未来型ソーラーライフ時代へ～

### 1. 自家消費モデルの確立

・系統への負担が少ない、自給・自立型や、地産池消モデルの普及拡大が鍵。



・2019年に向けて、

- ①EV、蓄電池と連携したエネルギーマネジメントの実現  
(共通通信規格の普及等)
- ②自家消費インセンティブ  
(FIT価格<電気料金)

### 2. PVベースの未来型社会

・地域に分散的に導入されるPVをベースとして生み出される

- ①新たな暮らしや社会の姿や、
- ②VPP等の新たなエネルギーの取組の実現を目指すとともに、これを実現するビジネスの創出、更には海外展開に取り組むべき。

## 競争力のある太陽光発電の実現 ～コスト構造改革、 競争力のある産業の創出～

### 1. 電源としての競争力強化

・高いFIT価格、多段階流通構造により、システム費用が海外の約2倍。



・FIT価格低減等で競争を促し、技術開発によるコスト低減と併せ、FITから自立した導入を目指す。  
(2030年に7円/kWh)

### 2. 産業の国際競争力強化

・日本企業・産業が、グローバルな規模拡大競争の中で、海外展開を含め、競争を勝ち抜く力を持つことが重要。



- ①高効率・高信頼性による差別化
- ②市場に応じた事業展開  
(システム売り等の高付加価値化)

## 安定的な信頼ある太陽光発電の実現 ～長期安定発電、系統制約対策～

### 1. 長期安定的な発電基盤

・多数の投資目的の低圧案件、長期安定発電の意識が低い。



- ①FITでメンテナンスを義務化
- ②長期安定発電の体制の構築  
ーインフラファンド活用による所有・運営の再構築  
ー地域メンテ産業の創出

### 2. 電力系統制約の克服

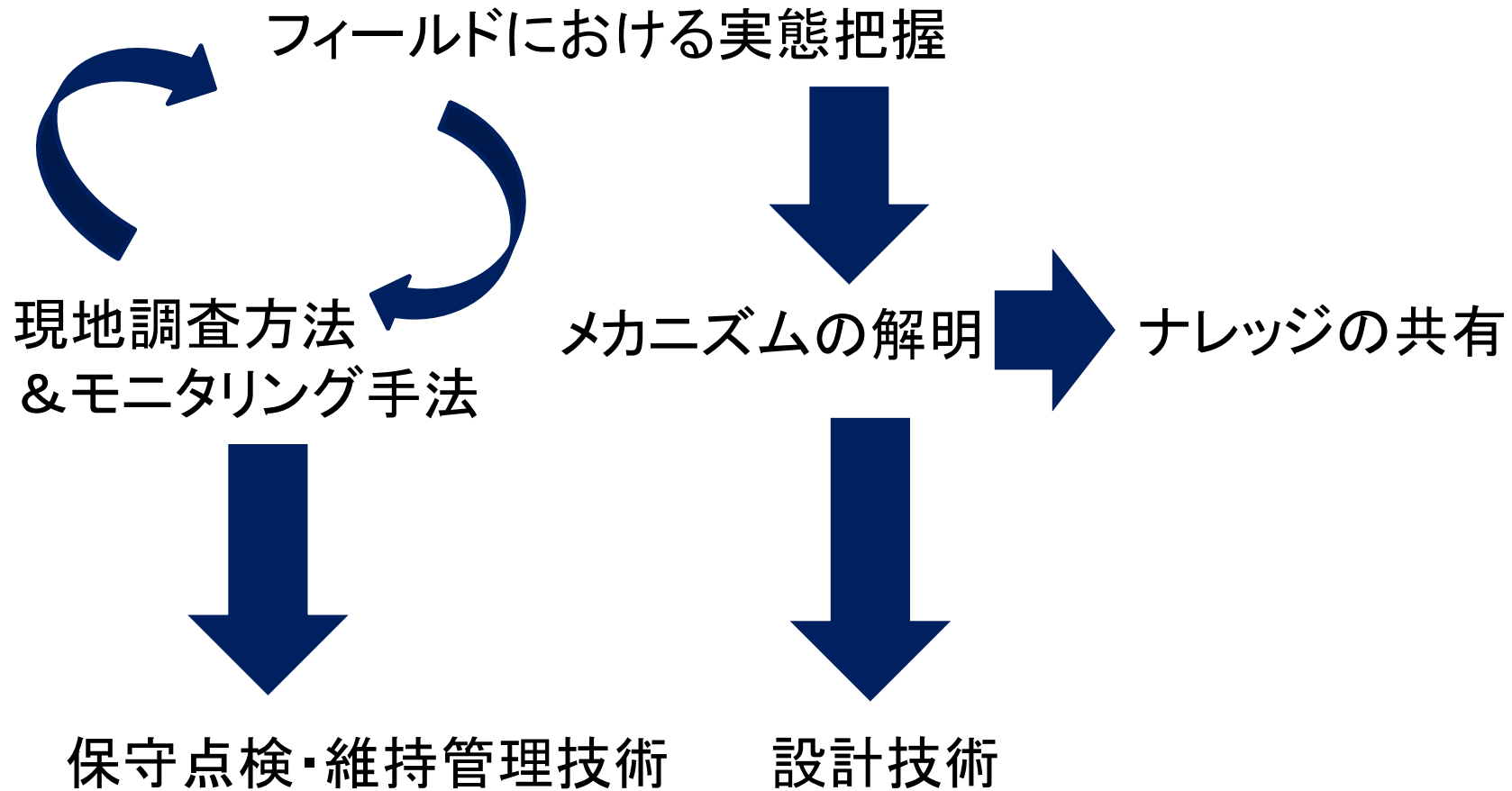
・自然条件により出力が変動、導入可能量に制約が存在。



- ①導入拡大に向けた系統運用ルールの見直し
- ②出力変動対策の技術開発等  
(出力制御、変動予測、蓄電池)

～産官学による将来の太陽光の導入像を共有、技術開発、規制改革により、民間の投資を喚起～

# PVの長期安定発電化に向けた研究



# これまでのフィールドにおける実態把握

## 【フィールド】

AISTメガソーラータウン  
(モジュール全数調査)

その他、実際のシステム  
の現地調査

個別案件の意見交換や  
情報交換

## 【ナレッジ】

**構造物損壊、飛散**

例えば、風耐力設計不足、雪荷重  
設計不足

**火災、雷害**

例えば、インターコネクタ接続不良  
⇒バイパス回路常時ON  
⇒接続部開放

**感電**

例えば、地絡発生しているが未検知

**外観的不良、出力低下**

例えば、変色、剥離、セル割れ、ス  
ネイルトレイル

## 【対応】

**ナレッジの共有**

・書籍、論文、技術文書、  
学会ガイドライン など

**技術開発**

・遠隔監視 & 検知技術  
・現地IV測定技術  
・バイパス回路故障発見  
技術 など

**文化の醸成**

・講演、セミナー、合宿  
など

# ヒヤリハット・インシデント・事故情報の収集



太陽光発電の安全に関する  
ヒヤリハット・インシデント・事故情報収集システム

<https://pvsafety.pj.aist.go.jp/>

- 産総研において、太陽光発電設備の安全管理の現状を把握するため、太陽光発電設備の計画、設計、施工、運転、保守、廃棄時におけるヒヤリハット・インシデント・事故情報を収集しています。
- ヒヤリハット・インシデント・事故情報として報告いただく事例の範囲は、特にありません。些細な事でも構いませんので、本サイトへご登録ください。
- ご報告いただきたい内容：
  - 発生年月および発生場所
  - 当該システムの構成や規模およびメーカーなど
  - 事例の内容や対応状況
  - ご登録いただく貴社名などのプロフィール
  - 改めて、こちらからご連絡させて頂く場合もございます。
  - 当時の写真等があれば添付ください。

# フィールドから得られたナレッジの事例

## 【フィールドでの発見】



セルの発熱 → EVAの黄変・バックシートの黄変  
 → バックシートの焼損痕

## 【メカニズム】

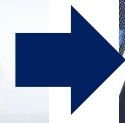
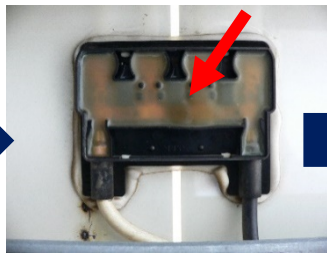
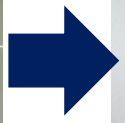
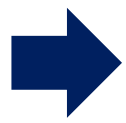
インターコネクタ  
の接続不良

BPRの常時動作

BPRの開放故障

ガラス全損

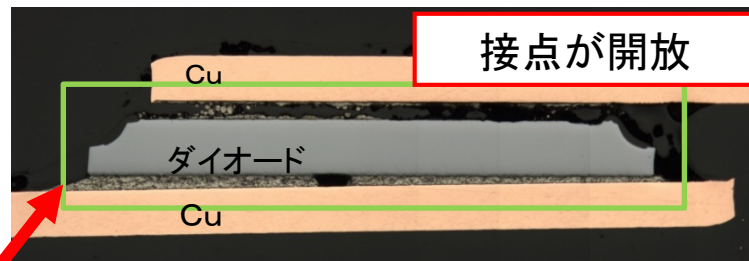
焼損の進行



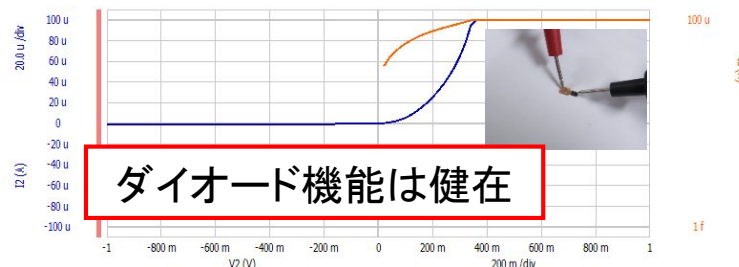
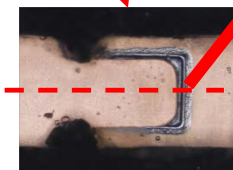
※BPR: バイパスダイオードを含むバイパス回路

# 設計技術へのフィードバック

- ・ バイパス回路の開放故障は、素子(バイパスダイオード)の開放ではなく回路の接点。
- ・ 接点の信頼性を対象とした、モジュール(端子箱)試験方法の必要性を示唆。



- 開放したバイパス回路を破壊分析した結果、開放場所はダイオードと回路の接点。
- ダイオードは導通が取れていた。





# 保守点検・維持管理技術へのフィードバック

- 現地調査にて得られたナレッジより、目的に応じた現地調査技術の開発。



目視観察  
発熱観察



ストリング計測：  
ブロッキングダイオード検査、  
絶縁抵抗測定、開放電圧測定、  
ストリングI-V測定  
静電容量、TDR



内部回路検査  
バイパスルート機能検査

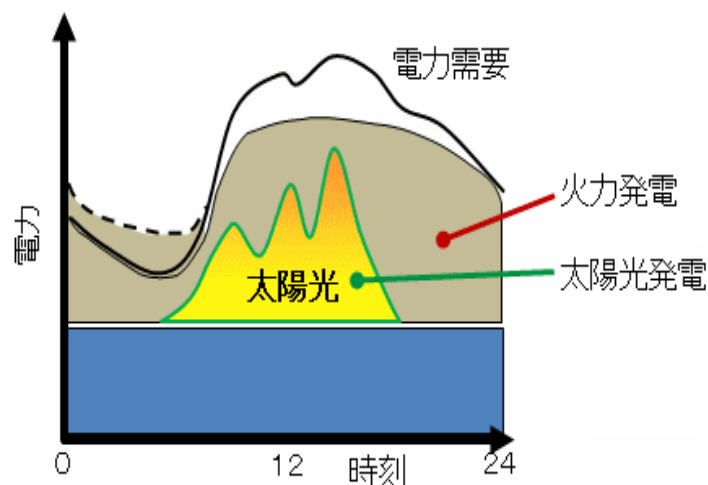
加藤和彦, 屋外で太陽電池モジュールの基準状態の最大出力を判定する実用的方法の提案, 太陽エネルギー, 42(3), 73-84, 2016.  
 加藤和彦, 配線路探査器を用いた結晶Si太陽電池モジュールの不具合探査に関する基礎的検討, 太陽エネルギー, 35(1), 65-72, 2009.  
 加藤和彦, 太陽光発電システムの不具合事例の分析・評価(2): 産総研太陽光発電設備における不具合事例, 太陽エネルギー, 35(4), 61-66, 2009.  
 加藤和彦, 太陽光発電システムの不具合事例の分析・評価(1): 故障診断手法の確立に向けて, 太陽エネルギー, 33(4), 69-74, 2007.  
 加藤和彦, 太陽光発電システムの不具合事例ファイル —PVResQ! からの現地調査報告, 日刊工業新聞社 (2010).  
 T. Takashima et al., Experimental studies of fault location in PV module strings, Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 93, pp. 1079-1082, 2009.

# 社会実装

- ドキュメント等によりナレッジの共有
  - － 書籍、論文
  - － 技術文書
    - 「太陽光発電の直流電気安全のための手引きと技術情報」
    - 「太陽光発電火災発生時の消防活動に関する技術情報」 など
  - － 学会発表
- 技術の実用化支援
  - － MSTのプラットフォーム化
    - 全数測定によるベースデータが揃ったフィールドの提供。(モニタリング技術、地絡装置の実証等)
  - － 国プロの実施
    - HEMSを用いたPV発電電力量の遠隔自動診断と故障部位把握方法の開発: 遠隔監視による出力低下検知技術。
    - 太陽光発電設備の安全化に関する実証試験および研究: バイパス回路、積雪荷重、雷について。 など

# 電力系統制約の克服

- 需給バランスの調整のため前日に需給計画。
- 需要予測とあわせて、PVの発電予測が重要。
- 需給対策の蓄電、抑制、デマンドレスポンス等があるが、どの制御にも発電予測が必要。



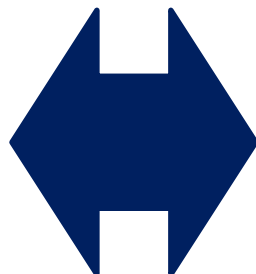
出典：産総研・太陽光発電研究センターHPより

# 出力変動対策に向けた研究

- 予測を利用する需給制御との共同研究体制。
- 予測技術向上とマネージメント技術向上の両方が必要。

## 【発電予測の研究】

- 気象学、工学的アプローチによる予測誤差の低減、予測の高度化

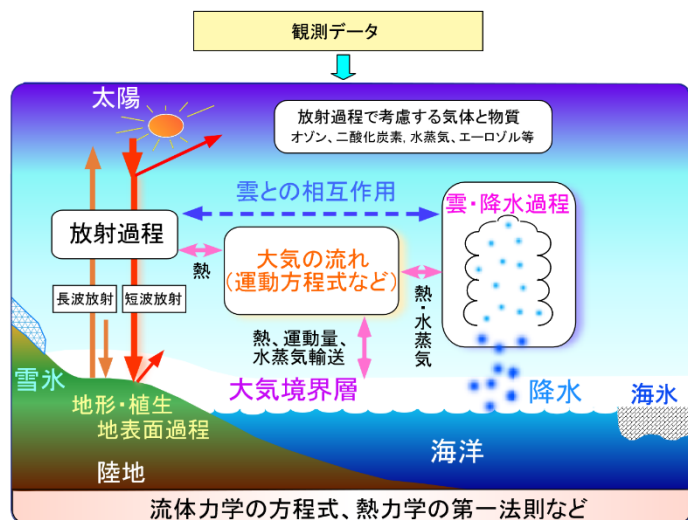


## 【エネルギーマネージメントの研究】

- 予測を利用した電力系統における需給運用。  
(東大G(NEDO))
- 区間予測を利用した最適需給運用。
- 発電予測誤差による蓄電設備容量の検討 等  
(東工大G等(CREST))

# 予測の特徴把握

- ・ 気象学による分析により、科学的知見の共有。
- ・ 電力工学との異分野融合。



- ・ 日射量予測が大きく外れる場合は雲のタイプとの関係
- ・ 特に、層積雲、積雲(積乱雲)、高積雲、巻雲  
 H. Ohtake et al., Solar Energy, **98** Part B (2013), 138-152.  
 H. Ohtake et al., Solar Energy, **116** (2015), 83-99.
- ・ 大外れ時の予測の特徴  
 H. Ohtake et al., Renew. Energy Environ. Sustain. **1** (2016), 37-1-4.

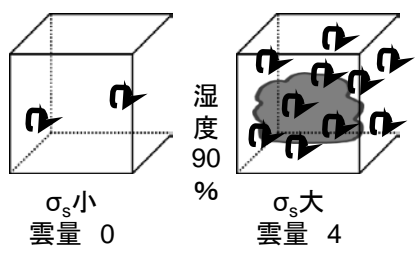


出典: 気象庁

# 発電予測技術の開発

## 【気象モデルの改良】

- 大元となる気象庁モデルの改良。(気象研との共同)
- 部分凝結スキームの変更による日射予測の改善。
- 長期的な視野の研究であるが、国内での予測モデル全体の誤差低減に影響。

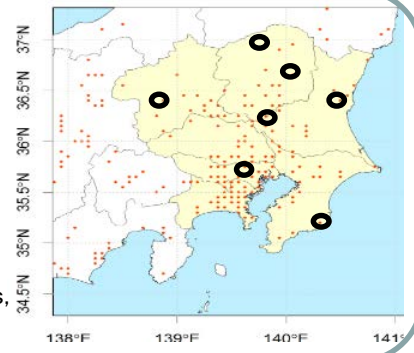


K. Shimose et al.,  
Energy Procedia, 57 (2014) 1346.

## 【広域予測技術】

- エリア合計を予測するためのサンプリングによるUP-scaling手法。
- 2点間距離が40 km未満間隔でのモニタリングが有効であることを示唆。

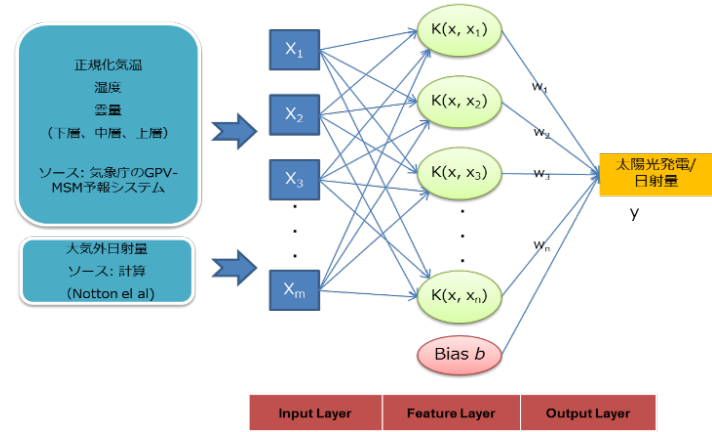
J. G. da S. Fonseca Jr. et al.,  
Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 23 (2015) 1203.



## 【発電予測モデル】

- 機械学習の一つであるサポートベクターマシンを利用した予測モデル。
- GPV(MSM)を入力にして、発電に変換。
- 既存のGPV利用のため実用可能。  
※民間にプログラム提供の実績有

### サポートベクターマシンの設定



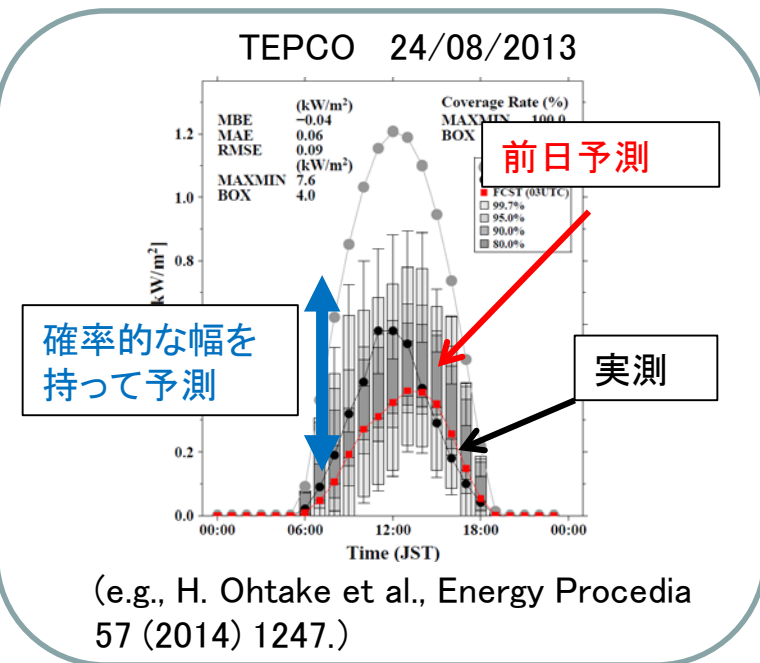
J. G. da S. Fonseca Jr. et al., Progress in Photovoltaics:  
Research and Applications, 20 (2012) 874.

関連のポスター発表: 97 大竹, 高解像度気象予報モデルによる雲・日射予測の高精度化の検討  
96 海崎, 太陽光発電の実測データ分析に基づいた最適出力制御を行うための短時間予測技術開発

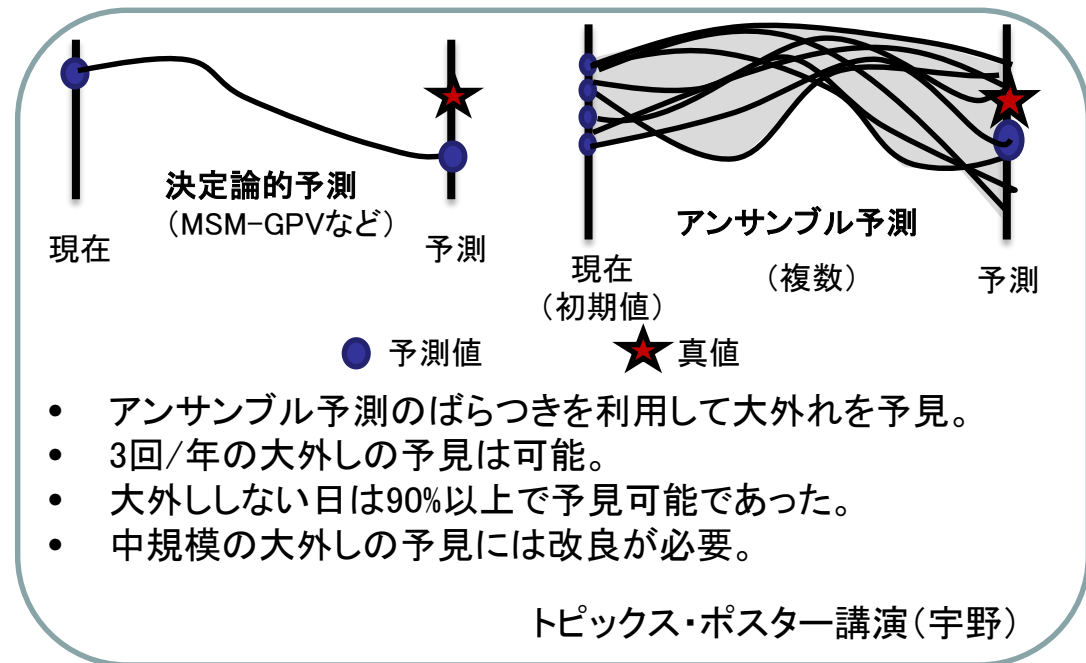
# 発電予測の付加価値

- ・ 確率的な情報や特異な状況の予測。
- ・ 各種情報を有効利用するマネージメント技術と協調

## 【信頼区間付予測】



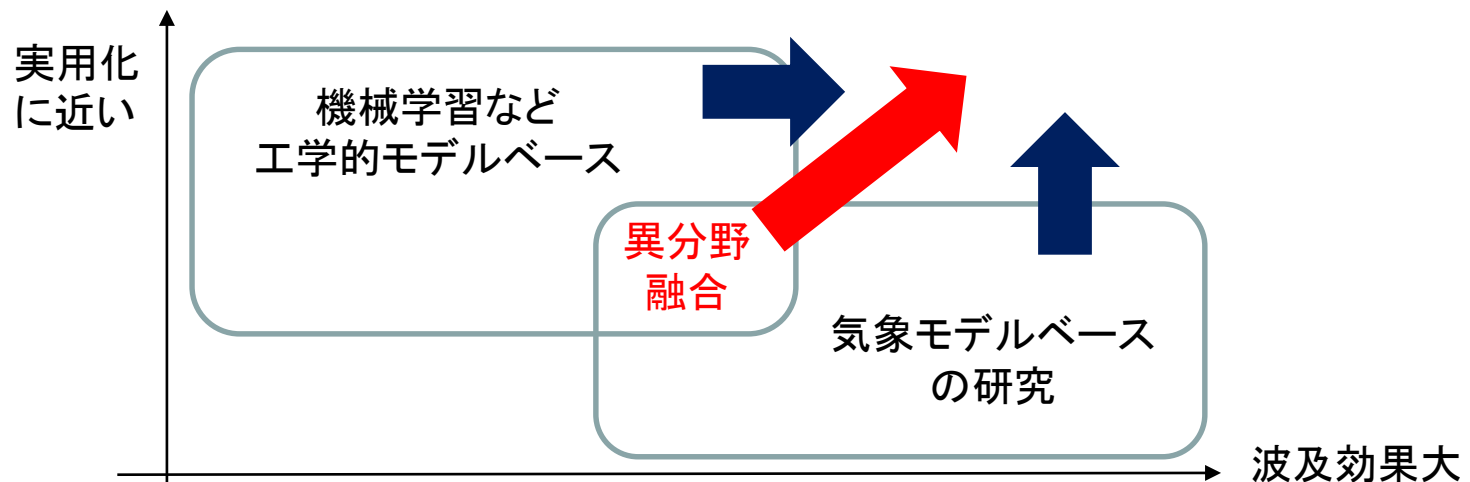
## 【大外れ検知】



関連のポスター発表: 98宇野, 複数予報機関のアンサンブル予測を利用した日本における日射量予測大外れの予見可能性

# 社会実装

- 工学的アプローチにより、現存する気象データインフラ(ビッグデータ)を有効活用し、短期的に実運用への活用。
- 気象学のアプローチにより、気象モデルベースの改良を試行。長期的予測誤差の改善。

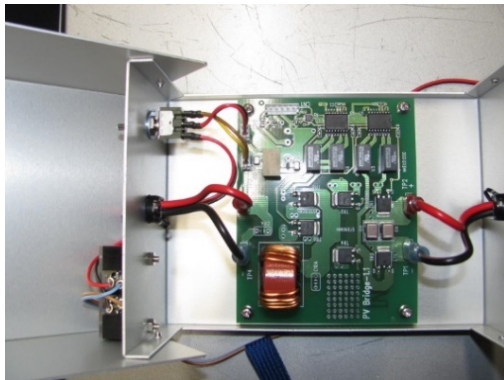




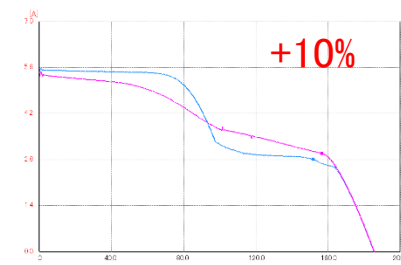
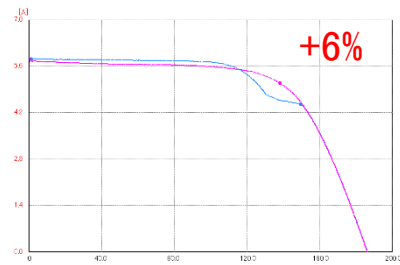
# 新しいシステムの探索

## ● 発電性能向上や安全性向上の技術開発

### 【新しいシステムの例：電力配分回路】



- 出力特性のばらつき、日陰などにより発生する電流－電圧特性を自動的に整形する回路。
- 回路ミスマッチ損失を低減し発電性能が向上。



その他の技術を含む特許

特許6103595、特願2013-166188: 太陽電池の電力配分回路

特許6078914: 太陽電池ストリングの電圧調整回路

特許5311495: 太陽電池モジュール

特許4915821: 太陽光発電システム

特許4780416: 太陽電池アレイ故障診断方法

特許5246866: 太陽電池モジュール不具合検出装置

# 太陽光発電の導入拡大に向けた方向性 (課題と対策 ～PV100年構想に向けて～)

【 太陽光発電競争力強化研究会  
報告書の概要 】

## 太陽光の自立的な導入加速時代 ～未来型ソーラーライフ時代へ～

### 1. 自家消費モデルの確立

・システムへの負担が少ない、自給・自立型や、地産池消モデルの普及拡大が鍵。



- ・2019年に向けて、
- ①EV、蓄電池と連携したエネルギーマネジメントの実現  
(共通通信規格の普及等)
- ②自家消費インセンティブ  
(FIT価格<電気料金)

### 2. PVベースの未来型社会

・地域に分散的に導入されるPVをベースとして生み出される

- ①新たな暮らしや社会の姿や、
- ②VPP等の新たなエネルギーの取組の実現を目指すとともに、これを実現するビジネスの創出、更には海外展開に取り組むべき。

## 競争力のある太陽光発電の実現 ～コスト構造改革、 競争力のある産業の創出～

### 1. 電源としての競争力強化

・高いFIT価格、多段階流通構造により、システム費用が海外の約2倍。



- ・FIT価格低減等で競争を促し、技術開発によるコスト低減と併せ、FITから自立した導入を目指す。  
(2030年に7円/kWh)

### 2. 産業の国際競争力強化

・日本企業・産業が、グローバルな規模拡大競争の中で、海外展開を含め、競争を勝ち抜く力を持つことが重要。



- ①高効率・高信頼性による差別化
- ②市場に応じた事業展開  
(システム売り等の高付加価値化)

## 安定的な信頼ある太陽光発電の実現 ～長期安定発電、システム制約対策～

### 1. 長期安定的な発電基盤

・多数の投資目的の低圧案件、長期安定発電の意識が低い。



- ①FITでメンテナンスを義務化
- ②長期安定発電の体制の構築  
ーインフラファンド活用による所有・運営の再構築  
ー地域メンテ産業の創出

### 2. 電力システム制約の克服

・自然条件により出力が変動、導入可能量に制約が存在。



- ①導入拡大に向けたシステム運用ルールの見直し
- ②出力変動対策の技術開発等  
(出力制御、変動予測、蓄電池)

～産官学による将来の太陽光の導入像を共有、技術開発、規制改革により、民間の投資を喚起～

# 太陽光発電のシステム研究における 産総研の役割

- フィールドワークとナレッジマネジメント
  - 実システムにておきていることのナレッジを蓄積、適切な広報により、要素からシステムレベルの対策技術開発を誘因。
- 将来のあるべき姿の提案と実現に向けた流れの創出
  - 設備設計、保守点検の考え方
  - エネルギーネットワークのあり方
- いくつかの技術開発・技術移転、実用化支援や標準化
- 良いPVを多くつくり、長くしっかりと利用することにより、PVがエネルギーインフラとなる社会を実現する。

# 産総研 太陽光発電研究センター システムチーム

- 構成メンバ(2017年4月1日現在)
  - 常勤職員(4名): 大関, 加藤, 高島, 大竹
  - 産総研特別研究員(1名): 宇野
  - テクニカルスタッフ(3名): 山田, 池田, 海崎
  - チームアシスタント(1名)
  - 技術研修生(4名: 筑波大学)
- 一緒にシステム研究をやっていただける人を募集。

連携のやり方は様々。  
「そうだ! 「産総研」があった! 」: [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/collab/index.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/collab/index.html)  
E-mail: [takashi.oozeki@aist.go.jp](mailto:takashi.oozeki@aist.go.jp)