

太陽光システムチーム研究概要

産業技術総合研究所
再生可能エネルギー研究センター
大関 崇

FUKUSHIMA RENEWABLE ENERGY INSTITUTE, AIIST

脱炭素化とエネルギーの選択肢：▲80%@2050年

- 2050に向けては、さまざまなシナリオ。省エネとエネルギー供給の変換。
- 運輸と熱需要を低炭素燃料化(バイオ、水素)と電化、+ 電力供給のゼロエミッション化
- 電力供給技術の競争：PV(再エネ)、原子力、火力+CCS、再エネ水素(輸入含む)
- PV主導のシナリオの想定が重要。

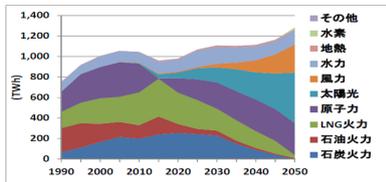


図3 発電量構成

エネルギー総合工学研究所

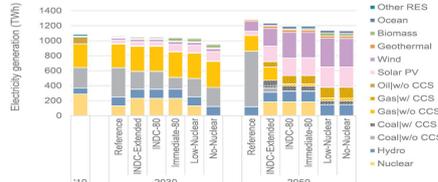


Fig. 2. Electricity generation in 2030 and in 2050.

国立環境研究所AIMプロジェクトチーム

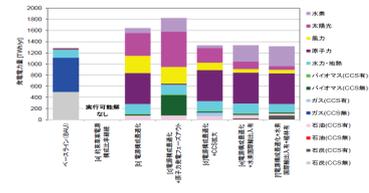
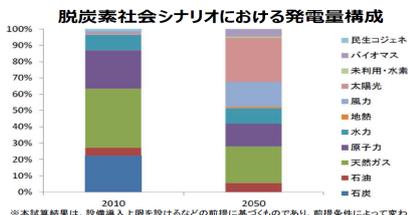


図8 2050年のBAUおよび80%削減時の日本の電源構成



※本試算結果は、設置導入上限を設けるなどの前提に基づくものであり、前提条件によって変わります。

MRI

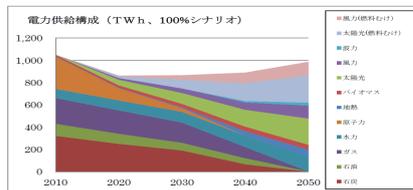
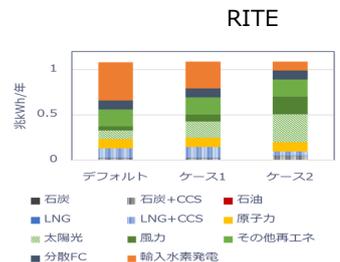


図 6.10 100%自然エネルギーシナリオの電力供給遷移図

WWF



RITE

AIIST

脱炭素化とエネルギーの選択肢：▲80%@2050年

- 2050に向けては、さまざまなシナリオ。省エネとエネルギー供給の変換。
- 運輸と熱需要を低炭素燃料化(バイオ、水素)と電化、+電力供給のゼロエミッション化
- 電力供給技術の競争：PV(再エネ)、原子力、火力+CCS、再エネ水素(輸入含む)
- PV主導のシナリオの想定が重要。

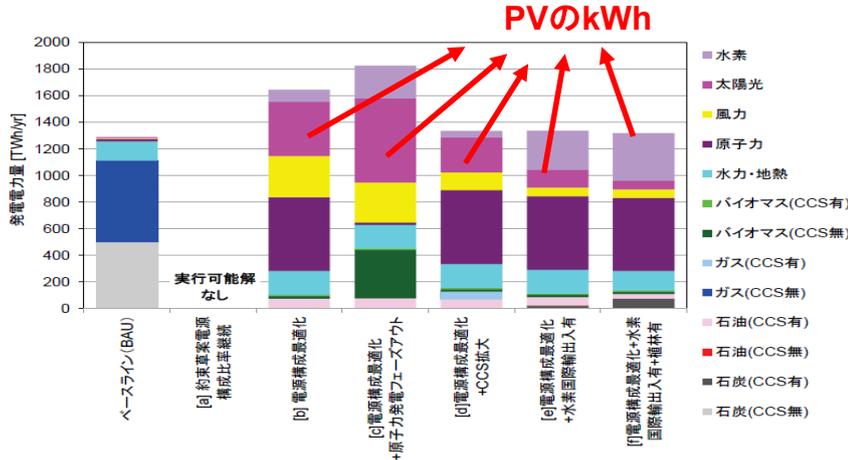


図8 2050年のBAUおよび80%削減時の日本の電源構成 出展：RITE

脱炭素化とエネルギーの選択肢：▲80%@2050年

- 2050に向けては、さまざまなシナリオ。省エネとエネルギー供給の変換。
- 運輸と熱需要を低炭素燃料化(バイオ、水素)と電化、+電力供給のゼロエミッション化
- 電力供給技術の競争：PV(再エネ)、原子力、火力+CCS、再エネ水素(輸入含む)
- PV主導のシナリオの想定が重要

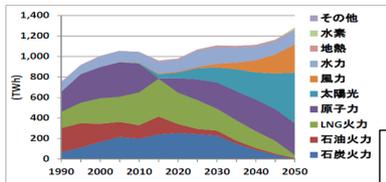
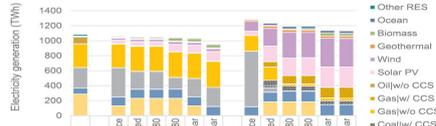
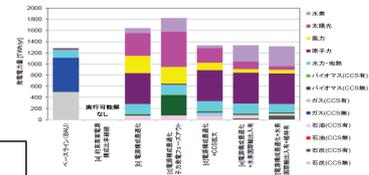


図3 発電量構成 エネルギー総合工学研究所

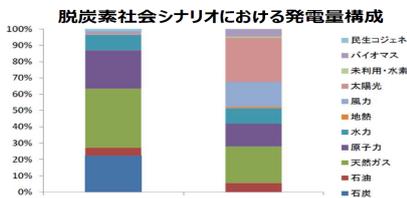


エネルギー分析例は～300GWくらいの想定



8 2050年のBAUおよび80%削減時の日本の電源構成

RITE



※本試算結果は、設備導入上限を設けるなどの前提に基づくものであり、前提条件によって変わります。

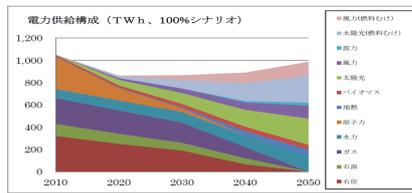
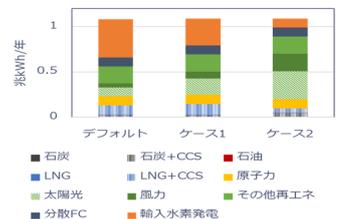
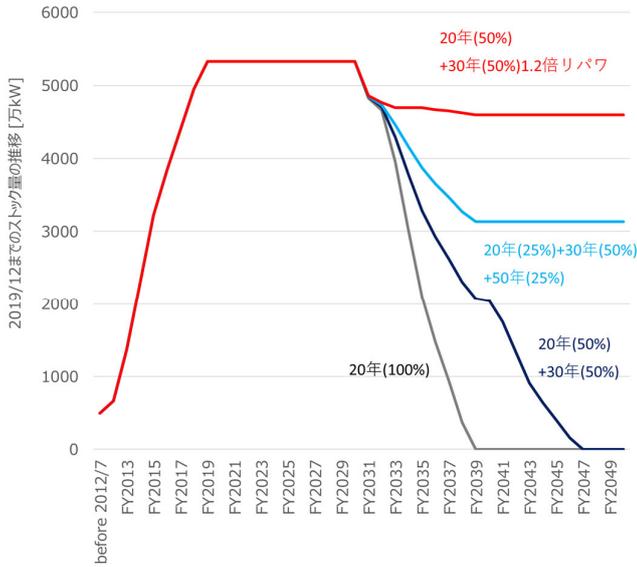


図 6.10 100%自然エネルギーシナリオの電力供給遷移図



将来想定されること：既設の発電設備

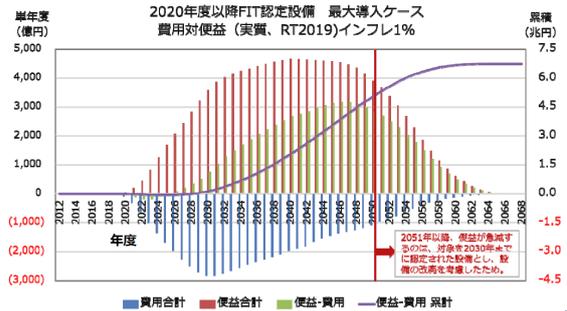


FIT情報からAISTが試算

- **すでに50～60GWが導入されている。**
- **このストックをどう維持、リパワリングしていくか。**
- **エネルギーインフラとしての役割を果たす必要。**
- **FITによる将来への便益は2030年以降。**

③ 試算結果：2020～30年認定のFIT/FIP設備の費用・便益

➢ 2020年度以降導入のFIT認定設備に限定した場合は、買取価格の低下などに伴い早期に黒字化する
➢ 半年度では2025年に便益が費用を上回り、累積では2028年に黒字転換、2036年には1兆円を超える



出典：JPEA

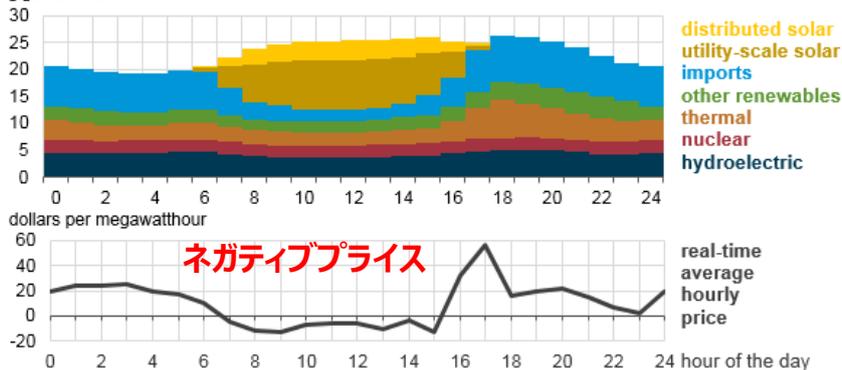
将来想定されること：電源価値

電源等の価値*	取引される価値 (商品)
電力量 【kWh価値】	実際に発電された電気
容量(供給力) 【kW価値】	発電することができる能力
調整力 【ΔkW価値】	短時間で需給調整できる能力

- **PVの大量導入時は、kWhの市場価値はなくなっていく。**
- **余るし、売れない。**
- **ディスパッチャブルな電源になる必要。**
- **市場でもPPAでも同様。**

出展：METI

California Independent System Operator net generation, March 11, 2017



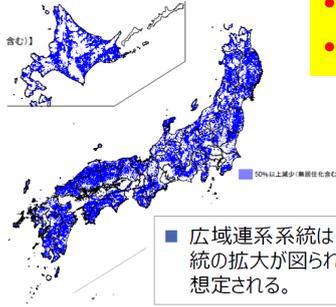
Source: U.S. Energy Information Administration, based on Monthly Electric Utility Sales and Revenue Report with State Distributions and California Independent System Operator (CAISO) data

将来想定されること：電力インフラ

人口減少

60%以上の地域で人口半減へ

全てのインフラの持続性が課題に

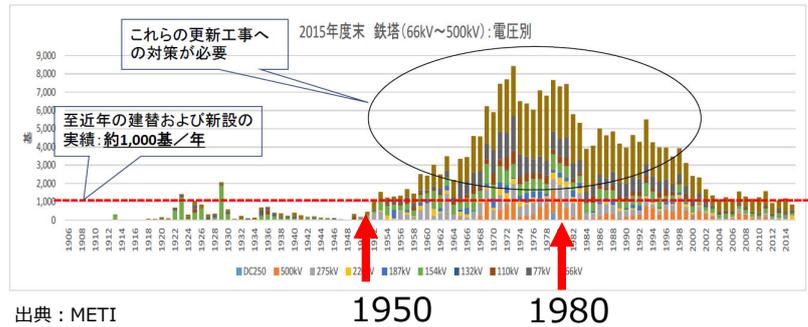


- ユニバーサルサービスを維持が課題。
- インフラ維持しつつ部分的に縮退。
- 機動性や柔軟性のあるインフラが必要。

送配電設備の更新時期

広域連系系統は、高度経済成長期(1950年代前半～1970年代前半)以降積極的な系統の拡大が図られ、2030年度に向けては、大量の流通設備が順次更新時期を迎えることが想定される。

流通設備の経年物量分布の例 鉄塔基数(500kV～66kV)：約248,000基



出典：TEPCO

将来想定されること：サービス

超スマート社会

Society 5.0

- 〔9の分野〕
- ①都市・地方
 - ②エネルギー
 - ③防災・減災
 - ④ヘルスケア
 - ⑤農業・食品
 - ⑥物流
 - ⑦ものづくり・サービス
 - ⑧金融
 - ⑨行政

SUSTAINABLE GOALS

世界を変えするための17の目標



- モビリティ：自動運転、空飛タクシー
- 農業：スマートアグリ
- 産業：生産、物流、データC

出典：経団連

- 新しいサービス出現によりエネルギー利用も増大も。
- ゼロエミッション供給が必須。
- 追加のエネルギーインフラ無しでの実現が必要。
- PV-Energy as a service

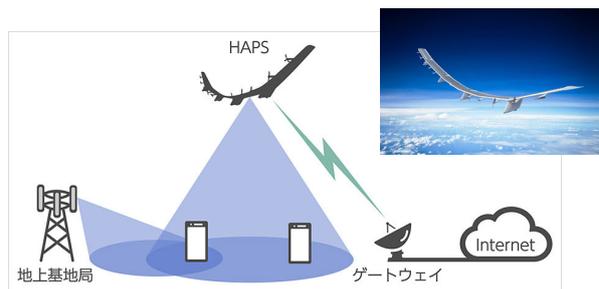
MONETのMaaS

日本の現状

高齢化 65歳以上 4人に1人	買物困難者 65歳以上 820万人	免許返納者数 過去10年間 12倍
赤字バス会社 83%	学校統廃合 過去10年間 5,000校	無医市町村 637地区

出典：MONET

SBの5GのHAPS



出典：SB

PVの主力電源化の実現（質と量、サステナビリティ）

● 長期安定電源化

- NIMBY（Not In My Back Yard：必要性は認めるが、自らの居住地域には建てないでくれ）としてはダメ。
- 安全設計・施工、維持管理、廃棄。
- 未来の世代に自身をもって残せるエネルギーインフラに。



出典：METI

出典：風工学会

● 発電コストダウンと便益向上

- 設備と運用コスト&プライスダウン
- 電源価値：kW、ΔkW、kWh市場創設
- 外部コストの項目を内部コスト化することによる公正な競争環境の整備。インフラ整備（託送制度、特定負担と一般負担）や非化石価値



出典：TEPCO

● ビジネスモデル創出による持続的な導入拡大

- TPO、マーチャント化、エネルギー産業以外との組み合わせによる付加価値化
- 地域活性化につながる資金源に。

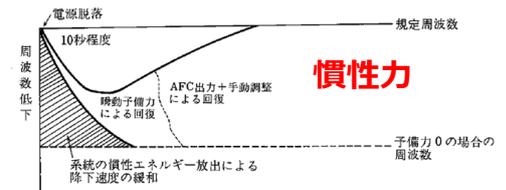


出典：経団連

太陽光発電の方向性

● 自由競争とエネルギー政策の両立

- 電源計画が明確でない中で、導入拡大していくためのビジネスモデルの創出。
- 下限もないが上限もない。ソーラーシグナリティの発生。PV+ストレージによる既存電源の代替の特異点的タイミング。
- エネルギーネットワークへの統合は、短期的には、広域運用と柔軟性の向上（調整力向上や同期化力の確保）。長期的には、電力貯蔵が必須。マクロな Grid formingと分散化。国際的な発展途上国市場にはOff Grid、マイクログリッド



出典：OCCTO

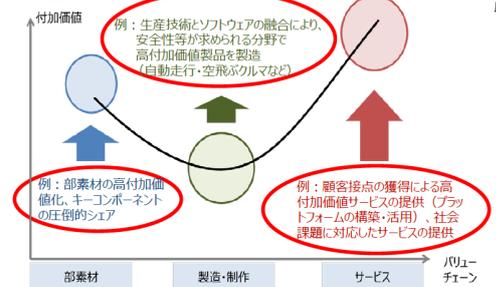
● エネルギーサービスから他のサービス産業との連携

- 国際競争できる強い発電事業者、エネルギー供給サービスの創出
- サービスを可能とする研究、技術開発

● 多様性（設置場所や用途）に対応可能な技術

- 最終のシステムは、標準化からパラメータ化へ。統一性から多様性へ。
- サービスや設置形態が多様化が進むため、マクロのPV市場はのびるが、個別市場規模の縮小。
- 市場を得ている技術の延長にない、新しい技術は大量生産によるコスト低減シナリオを描けるか。

モノづくりだけではもう稼げない？ スマイルカーブ



出典：METI

外観や形状



出典：テスラ

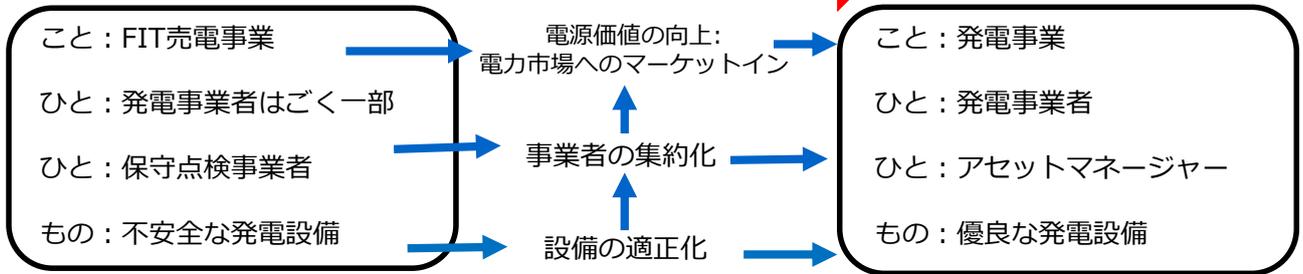
● 突き抜けた技術の実用化とその企業、人の支援

- 研究開発税制、出島とオープンイノベーション、スタートアップとEXIT戦略
- 同じ方向をいかに共有できるか。
- 標準化と規制（サンドボックスなど）の利用。

太陽光発電の主力電源化に向けて

- 将来の主力電源化に向けて、現状の「こと」「ひと」「もの」を変えていく必要がある。設備を適正化することが、好循環を促すスイッチとなり、既設も含めて長期安定電源化を実現する。
- あわせて、REを主とした発電事業者や小売電気事業者の国内企業シェア拡大を目指す。

【現在】



- ①セカンダリーマーケット売買（民間）
- ②FIT法、電事法等による不適切案件の取締り強化（行政）

- ①国内の発電事業者、アセットマネージャーのシェア拡大
- ②電源価値向上、信頼性向上によりFITからの卒業

太陽光システムチーム

- チーム目標：「太陽光発電のシステム利用」の研究と基盤整備
- チーム研究内容概要：太陽光発電を持続可能な電力インフラとするための**安全設計**、**運用の研究**や発電事業に必要な**発電予測・制御の高度化技術**開発。さらなる導入に向けた**利用領域の拡大に関するシステム技術**開発。

太陽光発電の主力電源化に向けた研究

長期安定電源化
発電設備の安全設計、運用に関する研究



持続的な発電事業
発電予測の高精度、高度化に関する研究

気象学

雲タイプと予測誤差分析



積乱雲

分野連携・融合

気象情報



機械学習など

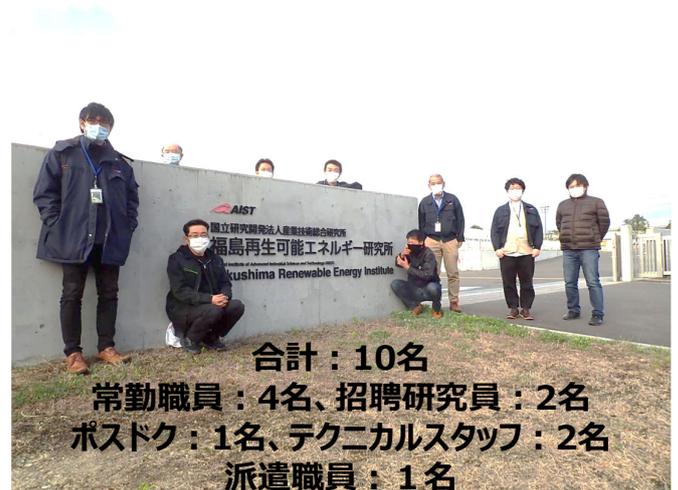
電力工学

電力需給運用へ活用



利用領域の拡大

融雪型の検討、モジュールリサイクル廃ガラスの有効利用
車載等への適用の検討

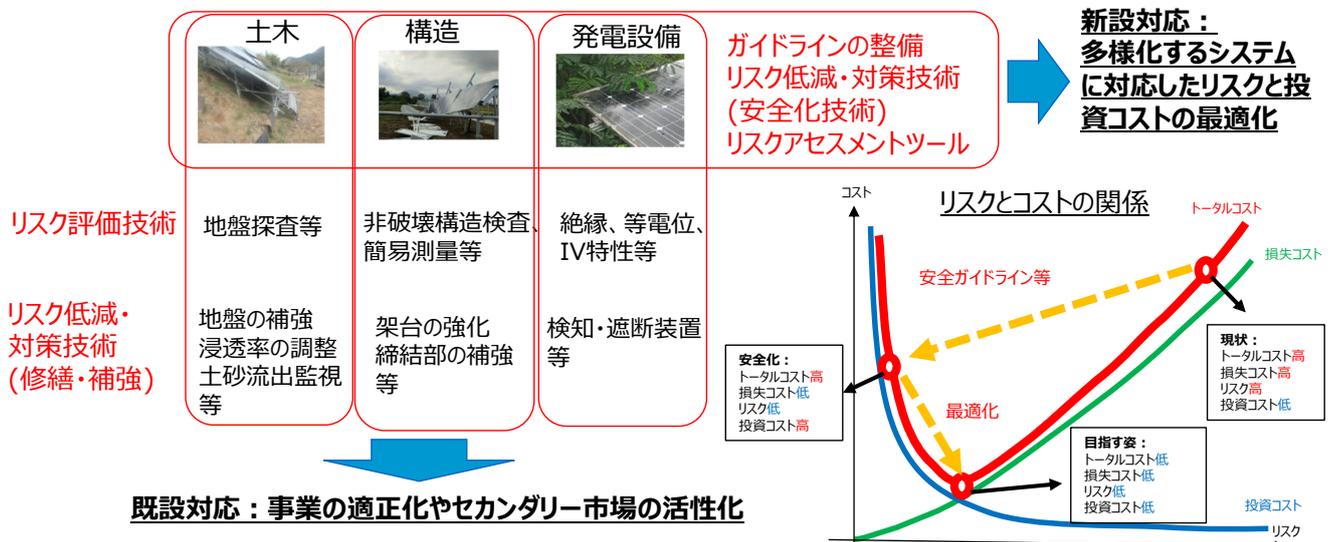


「太陽光発電のシステム利用」の研究開発

- 太陽光発電の長期安定電源化に関する研究
 - 発電設備の安全設計、運用に関する研究
- 太陽光発電の持続的な発電事業に関する研究
 - 発電予測の高精度、高度化に関する研究
- 太陽光発電の利用領域の拡大技術に関する研究
 - シーズ事業化支援事業：融雪型太陽光発電システム
 - シーズ事業化支援事業：太陽電池モジュールリサイクル廃ガラスの有効利用
 - シーズ事業化支援事業：車載太陽光発電

太陽光発電設備の信頼性・安全確保に向けて

- 「営農型」「水上型」「傾斜地型」等の新しい設置形態の安全ガイドライン策定、太陽光発電事業のリスクアセスメントツール作成によりリスクの可視化を行い、リスクと投資コストの最適化による事業コスト低減のための基盤整備が必要。
- 既設の約50GWについては、不適切案件の現地評価手法の低コスト化とリスク低減技術を土木、構造、発電設備に対してそれぞれ開発を行い、事業の適正化やセカンダリー市場の活性化を促すことが重要である。また、これらの評価・運用等技術は、新設の竣工検査、事業終了時価値判断にも利用することにより、適正なPV設備の持続的に増やしていくことが重要である。



太陽光発電設備の安全設計、運用

- 太陽光発電設備の安全設計、運用方法に関する基盤整備
- 2012～2014
 - METI/MRI：直流電気安全に関する基盤整備にて消防隊員へのリスクや火災リスクを整理。
- 2016～2019
 - NEDOプロを中心に実施
 - 直流電気安全（火災、感電防止）に関する設計、運用方法の提案やガイドラインの策定。
 - 現地保守点検手順の策定
 - 太陽光発電からの火災発生メカニズムの解明
- 2020～
 - 特殊な設置形態の太陽光発電設備に関する安全性確保のためのガイドライン策定
 - 太陽光発電の安全性・信頼性評価、回復技術の技術情報基盤整備
- 太陽光発電の事故発生リスク低減に貢献



出典：火災学会

出典：風工学会

図 太陽光発電の事故事例（火災、構造物飛散）



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

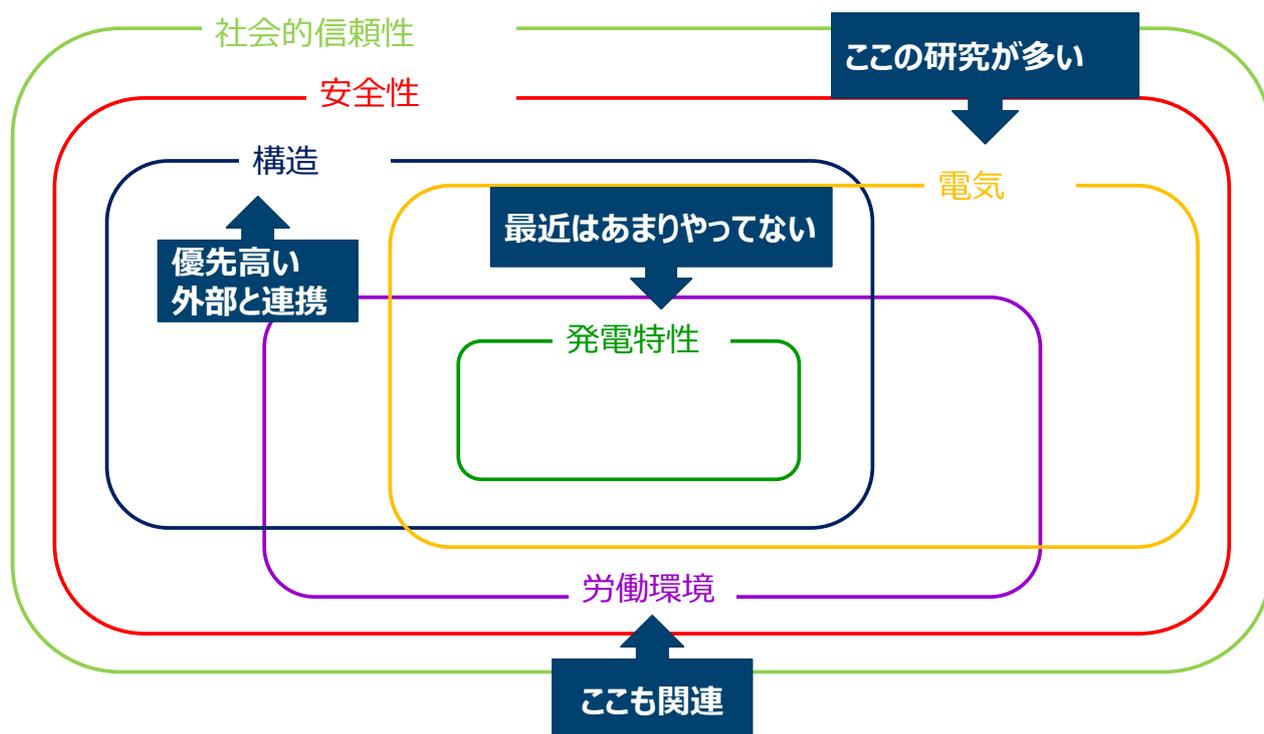
図 太陽光発電の保守点検技術

太陽光発電の直流電気安全のための手引
と技術情報の作成・公開

※METI/ F I T 制度の事業計画策定ガイドラインでも参考資料として引用



信頼性技術の課題



PVのシステム形態の方向性

需給一体型（需要地近接）

住宅、非住宅、データセンターなど



出典:NEDO

出典:NEDO

オフグリッド化

- ・植物工場、データセンター等の立地と電力インフラの更新費用代替

マイクログリッド化

- ・レジリエンス
- ・インフラ更新費用削減

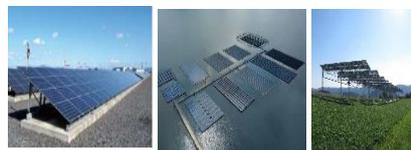
サービスのスマート化との連携

- ・営農やモビリティ
- ・電化機器へのエネルギー供給



エネルギー供給型（需要地遠隔）

地上設置、水上、農地 など



出典:NEDO

出典:WB

出典:Fh ISE

マーチャントプラント化

- ・kWh、ΔkW市場による発電事業化
- ・スポット、時間前、需給調整市場の最適化

※マーチャントプラント:市場で電力を売買する発電所

非化石価値
+ BCなどトラッキング
・計量センサ

自家消費の増加

- ・オンサイト再生電源の自家消費
- ・蓄エネ技術との組合せ
- ・VPPによる余剰電力活用
- ・災害時の活用

太陽光発電予測・制御技術

- ・ 電力エネルギーネットワークとの協調における太陽光発電側の技術開発
- ・ NEDO（2010～2017）、2020～、JST CREST（2012～2019）を中心に実施。
- ・ 次世代インバータ技術に関する研究（NEDO: エネルギーネットワークと連携）
- ・ 調整力創出技術の開発（NEDO）
- ・ 気象学と電力工学の分野融合研究を実施した発電予測
- ・ 衛星データによる発電推定
- ・ 複数予報を利用した予測大外検知
- ・ 太陽光発電導入拡大時の電力需給運用コスト削減に貢献

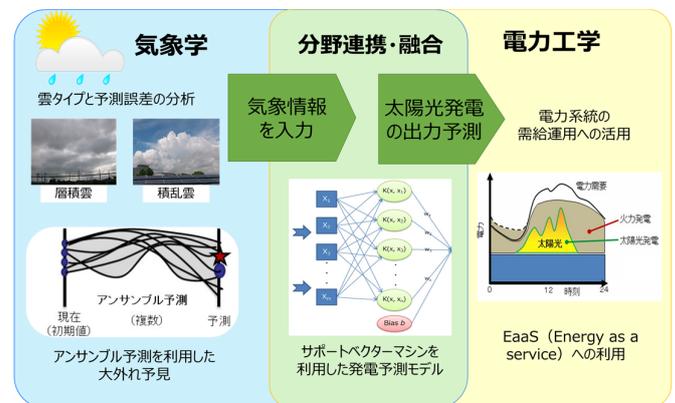


図 発電予測の研究概要

予測手法の分類

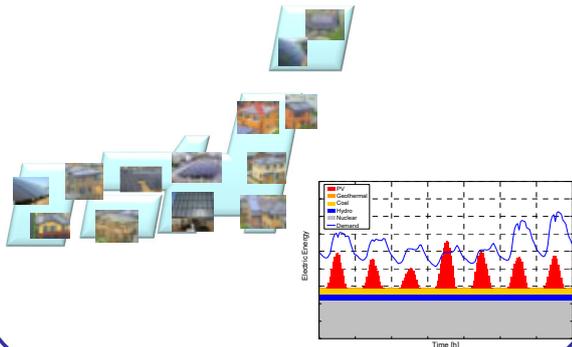
こっちの研究が多い

広域への応用

基本のモデルは同じ

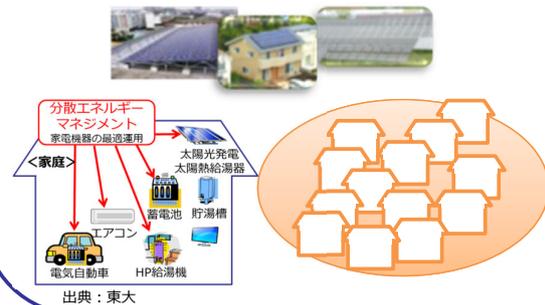
広域予測 (Regional forecast)

- 系統制御エリア
- 電力管区内
- 系統計画/運用



地点予測 (Point forecast)

- 個別住宅、建物
- コミュニティ
- エネルギーマネージメント
- 安定化



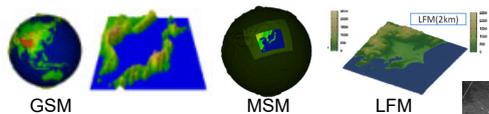
予測手法の分類 (電力系統)

こ子が優先順位高い

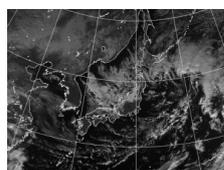
このあたりも少し検討



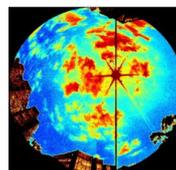
数値予報モデル (NWP: Numerical Weather prediction)



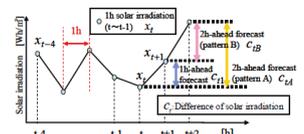
衛星画像等



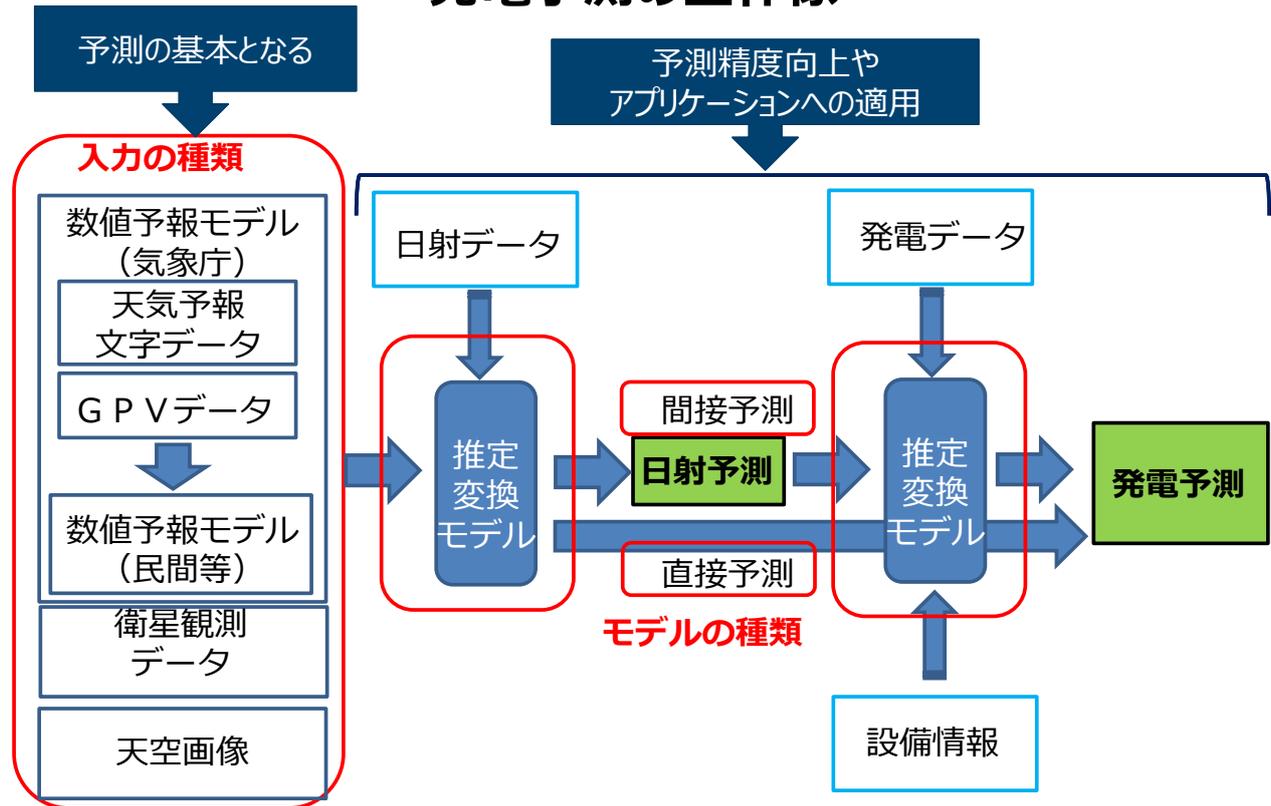
天空画像



実測データ(持続モデル)



発電予測の全体像



PVの有望な導入箇所

現在~2030

64GW~100GW
電力需要の7%~10%

実現重視の直線的取組 (PCCAリサイクル)

①Plan ②Do ③Check ④Act

具体的な行動目標 (Target) (=2030年ミックス)

- 自給率 6%→概25%
- 電力コスト削減
- CO2削減25%削減

住宅: 10GW

非住宅/地上: 65GW

出典: NEDO

2030~2050~

100~1000GW
電力需要の10%~100%

PV-Orientedなシナリオ(RE100%)

多様な選択肢による
複雑シナリオ (OODAサイクル)

野心的なビジョン (Goal)
低炭素を越え、
脱炭素化に挑戦

①Observe ②Orient (方向付け) ③Decide (決定) ④Act

住宅: 124GW
集合住宅: 64GW

屋上: 133GW
側壁: 97GW

出典: NEDO

多様な導入場所に必要システム技術の開発

2050年: 約1TW、太陽電池変換効率: 30%
2030年: 約450GW、太陽電池変換効率: 25%
地上のリプレイス・リパワー (約50GW)

水上: 50.7GW (出典: WB)

耕作地: 37GW (出典: Fh ISE)

駐車場: 84.4GW (出典: WEB)

移動体: 54GW (出典: WEB)

利用領域の拡大

- 発電性能向上や安全性向上、発電性能評価技術の技術開発
- シーズ開発・事業化支援事業

電流

最大出力動作点

独自回路により出力のばらつきを均質化

電圧

電力配分回路

電流

最大出力動作点

電圧

日影のある住宅屋根

建物の壁面

車載・曲面

特許6103595、特許6128684、特許6256915：
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5246866：太陽電池モジュール不具合検出回路
特許6238219：太陽光発電システムの不具合検出回路
特許6061260：太陽光発電システムの感電防止回路

太陽電池のリサイクルから作製したガラスの有効資源化に関する研究 支援課題名「廃棄太陽電池モジュールガラスの有効資源としての利用促進に関する研究開発支援」

総括 経済産業省認可
廃ガラスリサイクル事業協同組合

組合員：株式会社高良、飯岡工業株式会社、株式会社丸東、株式会社環境保全サービス

太陽電池モジュールのリサイクルによる、鋭利な角の無い粒状のガラスカレット

モジュール回収の検討

- リサイクルモジュールの市場性調査

両面受光型の発電効率向上の検証

- 反射材の検討

防草効果の検証

- 実証場所の提供

両面受光型における発電性能評価

- 屋外での反射特性評価
- 両面受光の太陽電池モジュールを利用した屋外発電特性評価
- システム発電電力量の推定

両面受光型

ガラスカレットによる反射光の利用

防草効果の基礎データ収集

- 防草効果が期待される地表面の高温化の測定

廃棄太陽電池モジュールから作製する太陽光発電システムの発電性能を向上させるリサイクルガラス製品の实用化促進

太陽電池を用いた屋根上の融雪装置の開発
 支援課題名「融雪型太陽電池モジュールの事業化支援」



融雪型太陽電池モジュール、システムの開発

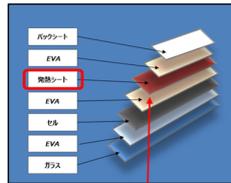
- 従来太陽電池モジュール構造をベースとした低コストプロセス製造



電極、ヒーター部の開発

- 接合部無しの一体型

【製品構造イメージ】



発熱シート作成(大日本印刷)

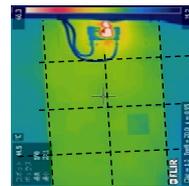


太陽電池モジュールの信頼性評価

- IEC等のモジュール信頼性試験および、絶縁性能の評価。

屋外での融雪機能の実証データ収集

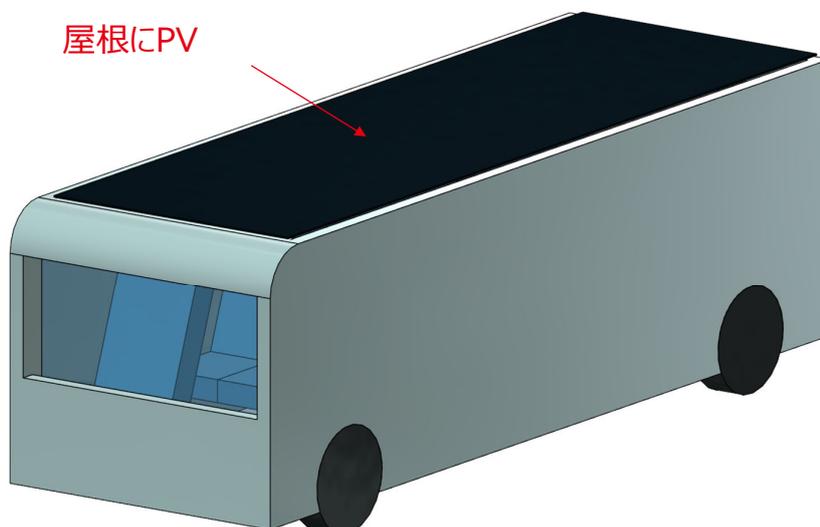
- 札幌、新庄等における屋外での融雪機能の実証データ収集



融雪型太陽電池モジュール、システムの事業化の加速。

太陽光発電搭載のモビリティによるサービスの拡大

- 太陽光チームと連携。



福島交通のバスにおける実験



屋根の上に太陽電池を設置して効果を測定。
配分回路も搭載。

市内を走行するので
ぜひご乗車ください。



まとめ

- PVの主力電源化を実現するために。
- 福島からの発信。
 - 福島県再生可能エネルギー推進ビジョン、福島新エネ社会構想の実現。
 - 2040年頃を目途に、県内エネルギー需要量の 100%以上に相当する量のエネルギーを再生可能エネルギーで生み出す。そして持続可能とする。
- 一緒に実現しましょう。
 - 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
 - 技術コンサル、共同研究、受託研究、設備提供、シーズ支援事業などのプロジェクトの提案 など



国立研究開発法人産業技術総合研究所

福島再生可能エネルギー研究所

FUKUSHIMA RENEWABLE ENERGY INSTITUTE, AIST (FREA)



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

Thank you for your attention.

takashi.oozeki@aist.go.jp