



# 再生可能エネルギー 研究センター

Renewable Energy Research Center (RENRC)



国立研究開発法人  
産業技術総合研究所



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 (FREIA)



# 再生可能エネルギー研究センターの概要



再生可能エネルギー研究センター  
研究センター長

仁木 栄

東日本大震災以後日本のエネルギー自給率は6%程度まで低下し、エネルギー起源の二酸化炭素の排出量も過去最大となっています。このような状況の中エネルギーミックスの議論が進められ、エネルギー自給率の向上、発電コストの低減、温室効果ガス排出量の大幅な削減を目指した日本の新しいエネルギー政策が決定されました。再生可能エネルギーについては最大限の導入拡大と国民負担の軽減が求められています。

再生可能エネルギーは、エネルギー自給率の向上に寄与するだけでなく、CO<sub>2</sub>排出削減の効果も期待できます。現時点では、日本の総電力量に占める再生可能エネルギーの割合は10.7%（うち水力8.5%）ですが、2030年には再生可能エネルギーの割合を22-24%程度まで最大限に導入する方針が示されています。再生可能エネルギーの最大の欠点はコストが高い点です。また、自然条件によって出力が大きく変動することも再生可能エネルギーの大量導入を困難にしています。再生可能エネルギーの大量導入のためには、発電コストの大幅な低減、低コストな電力貯蔵、電力需要管理技術等が必要になります。

福島再生可能エネルギー研究所（Fukushima Renewable Energy Institute, AIST）は、「再生可能エネルギーの研究開発で日本を主導」「新産業の集積を通じた復興への貢献」を目標に掲げ、福島県郡山市で2014年4月1日に活動を開始しました。

再生可能エネルギー研究センター（Renewable Energy Research Center: RENRC）は、福島再生可能エネルギー研究所の中で研究開発を担う組織です。常勤職員37名（2016年4月現在）、研究予算約29億円（2015年度実績）で、太陽光、風力、水素キャリア、地熱、地中熱、エネルギーネットワークの6つの研究チームから構成されています。再生可能エネルギー研究センターでは、再生可能エネルギーの大量導入や持続的発展を目指して以下の研究開発を実施しています。

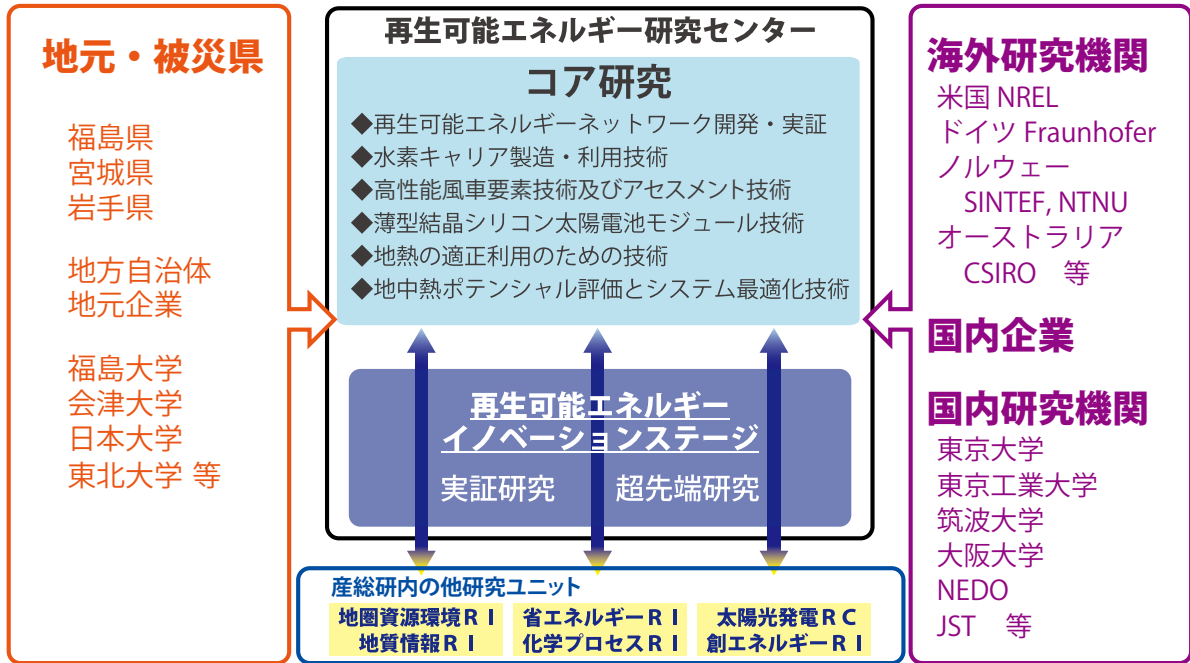
- 再生可能エネルギーの大量導入のための中核的要素技術と新システム統合技術
- 太陽光発電の高効率化・低コスト化、利用効率向上による発電コストの大幅な低減
- 地熱、地中熱の適正開発・利用技術

自立性・協調性・コスト競争力に優れた再生可能エネルギー技術の確立を目指しています。

昨年度は、産総研つくばセンター等からの兼務者（計59名）を追加してオール産総研体制を構築し、さらにクロスアポイントメント制度を利用して優れた大学教員を併任させるなど積極的に人材強化を図りました。

再生可能エネルギーの世界のイノベーションハブとして、国内外研究機関との連携を図り、福島発の革新的な再生可能エネルギー技術を発信するとともに、企業集積や人材育成によって福島県等の東北被災県の復興に貢献していきます。

# 再生可能エネルギー研究戦略 Renewable Energy Research Initiative



RI : Research Institute (研究部門), RC : Research Center (研究センター)

## 再生可能エネルギー研究センター組織図



# エネルギーネットワークチーム



## —再生可能エネルギーネットワーク開発・実証—

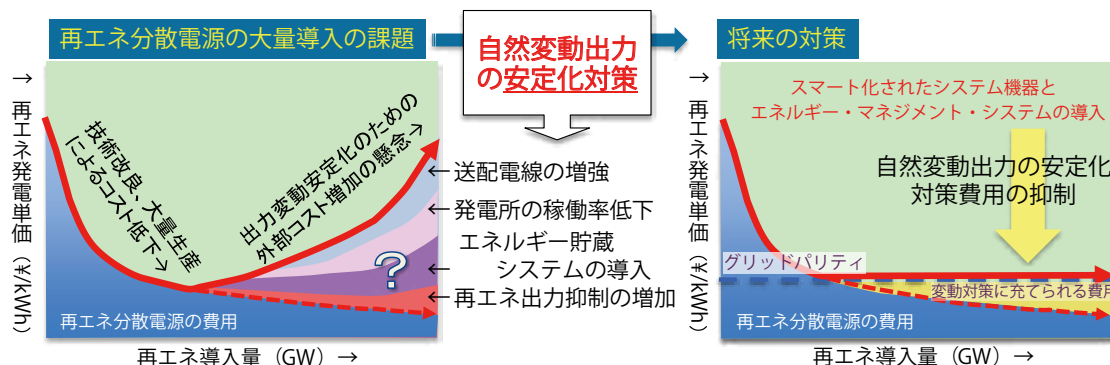
再生可能エネルギーは自然と共に変化するため、電力供給を安定化するためには、既存発電所や電力貯蔵、利用者による需給調整が必要です。また、再生可能エネルギーは場所による偏在もあり、それぞれの場所に適した再生可能エネルギーを選択し、様々な組み合わせを検討する必要があります。

## 研究目標

当チームでは、再生可能エネルギーの積極利用によって枯渇性エネルギー資源（化石燃料等）の消費低減とCO<sub>2</sub>排出削減を行うため、既存のエネルギーネットワークに再生可能エネルギーを無理なく健全に導入するための再生可能エネルギーネットワークを開発します。特に、自然変動電源（太陽光発電と風力発電）を既存の電力ネットワークに導入する際に、自然変動電源の出力安定化と発電量最大化を両立する技術として、パワーコンディショナのスマート制御、水素・蓄電池によるエネルギー貯蔵システムの活用、複数の分散電源のシステム統合化技術を研究しています。

大規模な太陽光発電（PV）と風力発電に水素と蓄電池による電力貯蔵を組み合わせた再生可能エネルギーネットワークを構築し、柔軟に対応できる実証設備と試験環境によって、電気利用者の目線に立つ新しいエネルギー供給モデルを提案します。

- パワーコンディショナ（PCS）等のシステム機器の高機能化によって、太陽光・風力発電、蓄電システム等の分散電源をスマート化
- 情報通信技術（ICT）と気象データの組み合わせによるシステム全体の最適化
- 再生可能エネルギーからの水素製造と関連技術開発



再生可能エネルギーの大量導入に向けた安定化と対策費用の課題解決

## 研究内容

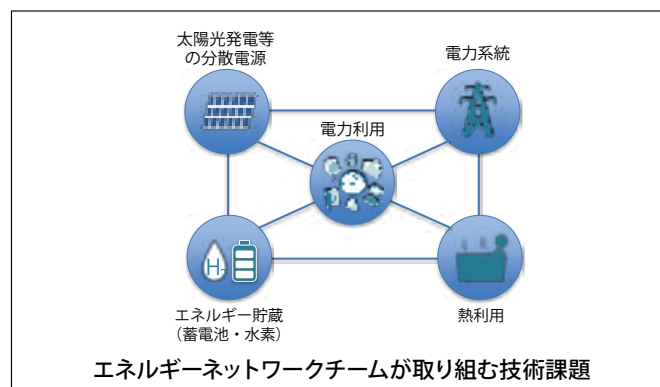
再生可能エネルギーネットワークの実現に向けて、分散電源・蓄電装置・需要家機器等の要素技術の性能試験法・制御技術を開発し、蓄電システムや熱利用技術を組み合わせた再生可能エネルギー統合利用技術を開発しています。これにより、再生可能エネルギーの電源価値・経済価値を向上させ、再生可能エネルギー 100%といった電力自立などの様々な導入計画を促進します。

主に以下の研究開発テーマに取り組んでいます。

- 太陽光発電システムの総合評価：各種太陽電池の年間発電量の予測、パワーコンディショナの性能試験、メガソーラの現地故障診断など。
- 再生可能エネルギーによる水素製造・貯蔵・利用：太陽電池からの直接電解技術（固体高分子型水電解槽、燃料電池機能付）、水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵、圧縮技術、水素分離膜、太陽熱利用技術、蓄熱技術など。
- 分散電源の系統協調と高度化技術：分散電源の性能試験とこれ

らを統合するエネルギーマネジメントシステムの性能検証を実規模で実施するためのユーザーファシリティを構築。

- 国際標準化：海外研究機関等との連携により、上記テーマの開発成果の速やかな国際標準化を目指す。





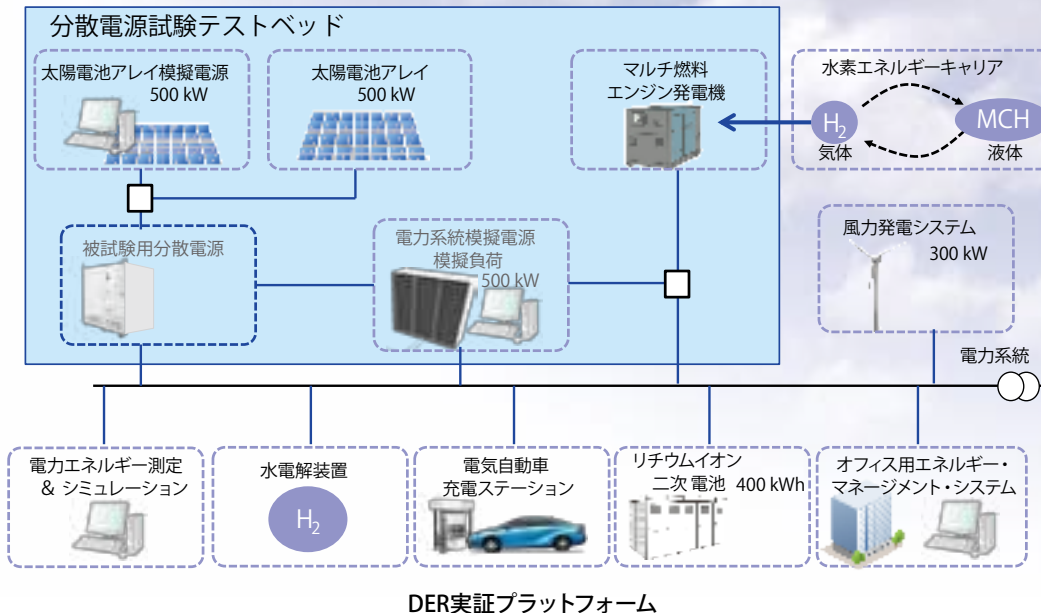
# 主な研究設備

## ●DER実証プラットフォーム（下図）

本プラットフォームでは、自在に接続可能な太陽光発電システム（国内10社等のPVシステム）と大型DC・AC模擬電源設備（500kW級PCSの実証試験設備）等により、様々なエネルギーマネジメントシステム（EMS）の開発・実証が可能です。さらに水素社会を見

据えた再生可能エネルギーによる水素製造技術、電気自動車を代表する分散配置された蓄電池の研究開発設備や日射量や風況等の予測技術と連携したEMS評価が可能なプラットフォームです（EV実証設備、20kW級PV+水電解実証設備等）。

※DER: Distributed Energy Resources（分散型再生可能エネルギー）の略



# 主な研究成果

## ①システム統合技術とエネルギーマネジメント

太陽電池モジュール10種以上、パワーコンディショナ3機種22台で構成された太陽光発電システム、固体高分子型水電解システム（燃料電池機能付）、水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵システム等の個別要素技術の性能分析を行い、これを基盤とする多くの共同研究を実施しました。今後、模擬電力システムを介したシステム統合の実証やシミュレーション技術、変動する再生可能エネルギーによる水素製造と電気自動車を活用した平滑化実証等のシステム研究を推進します。

## ②再生可能エネルギー資源の高度モニタリング

福島県再生可能エネルギー一次世代技術開発事業（平成25～26年度）を通じて、福島県内に太陽光発電と風力発電が大量導入された場合の、発電電力の時間的・空間的変動を把握するための再生可能エネルギー発電観測システム（図1）を開発しました。福島県全域の発電量（太陽光・風力）を1時間単位/2kmメッシュで推定が可能であり、また、同じ計算モデルで数時間先の発電予測も可能です。今後、更に精度を上げて本システムの全国展開を検討しています。

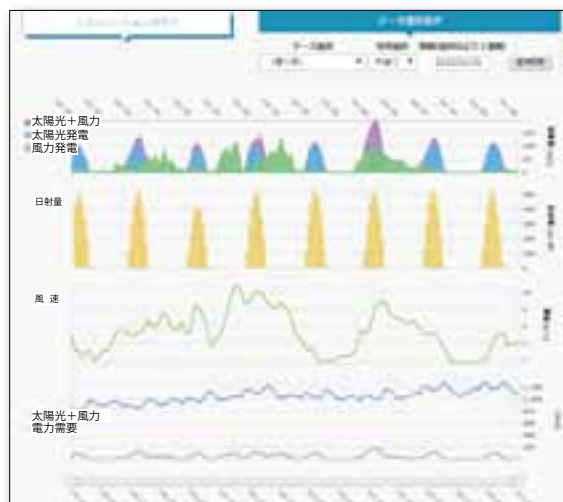


図1 再生可能エネルギー発電観測システム  
(<http://www.solar.fukushima.jp>)

## ③再生可能エネルギーによる水素製造・貯蔵・利用システム

太陽電池を固体高分子型水電解装置に直結し、最適な運転ポイントで水素を製造する運転手法と水電解装置（図2）を開発しました。今後、再生可能エネルギーによる水素製造コストの低減へ向けた技術開発を進めていきます。関連技術開発を行いFCV普及と水素エネルギー社会実現を目指していきます。



図2 水電解装置（燃料電池機能付）

# 水素キャリアチーム



## －水素キャリア製造・利用技術－

太陽光、風力などの再生可能エネルギーは、資源に乏しい我が国にとって貴重な国産エネルギー資源ですが、日照や風況の適地は偏在し、得られる発電電力も変動します。水素キャリア製造技術は、再生可能エネルギーを利用して水素を製造し、その水素を大量、長期、安全に、安く貯めるように触媒等を使って化学変換する技術であり、偏在し変動する再生可能エネルギーを大量に導入するために必要不可欠な技術です。

## 研究目標

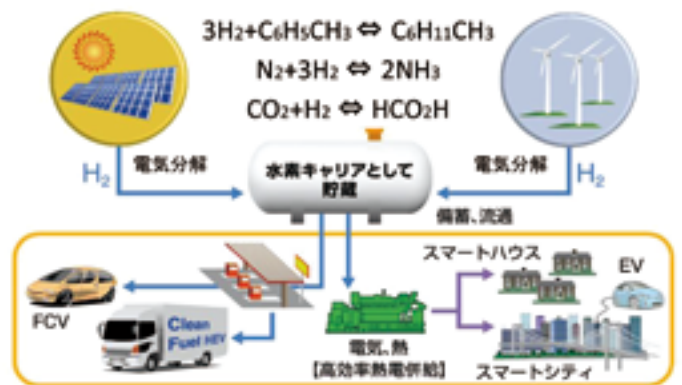
当チームでは、我が国が直面するエネルギー問題の解決に貢献するため、再生可能エネルギーの大量導入を支えるエネルギー貯蔵・利用技術を開発しています。再生可能エネルギーを化学変換して水素や水素キャリアとし、電気、熱、水素など様々な形でエネルギーを供給・利用するための技術開発を行っています。この技術は、自

然状況により左右されて変動する再生可能エネルギー発電電力の吸収あるいは電力系統の調整力としても応用できます。また、大量の再生可能エネルギーを、季節や場所を問わず効率的に利用できるようになります。

## 研究内容

当チームでは、変動電力を使う水素製造から触媒を使う水素キャリアへの化学変換、及び熱機関での利用までの一連の技術を開発しています。水素キャリア製造・利用触媒や水素エンジン制御などの要素技術は大型実証機等へ応用し、実証機等から得た知見は要素技術の見直しや新たなブレークスルーへと導きます。

- 水素キャリア（有機ハイドライド、アンモニア、ギ酸等）の高効率製造技術：高効率（省エネルギー）な触媒合成技術の確立
  - ※メチルシクロヘキサン（MCH）：6重量パーセントの水素を有する常温常圧で液体の有機物。1%のMCHで500%の水素ガスを貯蔵。
  - ※アンモニア：17重量パーセントの水素を有する窒化物。1%のアンモニアで1,300%の水素ガスを貯蔵。
  - ※ギ酸：4重量パーセントの水素を有する常温常圧で液体の有機物。二酸化炭素と水素を合成して製造。1%のギ酸で600%の水素ガスを貯蔵。
- 水素利用拡大のためのコジェネエンジン技術：コジェネエンジンやガスタービンによる利用技術の確立
- 水素キャリア製造・利用統合システム実証：再生可能エネルギー発電の貯蔵・利用最適化システムの提案



再生可能エネルギーからの水素キャリア製造・利用

## 主な研究設備



### 水素着脱反応触媒評価装置

水素化・脱水素の触媒反応をオンラインガスクロマトグラフにより分析する装置です。再生可能エネルギー由来を模擬した変動水素も供給可能です。

### 次世代コジェネエンジン実験装置

4気筒ディーゼルエンジン（排気量：5.2L）を用いて、水素や軽油等の複数燃料の混焼実験や過渡運転実験が可能です。







大型アルカリ水電解



大型貯蔵タンク



次世代コジェネエンジン

水素キャリア製造・利用統合システム

大型アルカリ水電解、水素化触媒塔、大型貯蔵タンク、次世代コジェネエンジンを統合した、世界最大級のMCH製造・利用の実証機です。

[概要・特徴]

- アルカリ水電解による水素生成能力：34Nm<sup>3</sup>/h
- トルエンへの水素付加能力：70L/h (MCH製造能力)
- MCH貯蔵能力：容量20kL (発電換算：約10MWh)
- 水素コジェネ出力 (電力・熱)：電力60kW・熱35kW

# 主な研究成果

## ①有機ハイドライドの触媒性能評価 (図1)

水素着脱反応触媒評価装置及びオンラインガスクロマトグラフを活用し、生成物種及びその濃度を定量的に測定しました。有機ハイドライドの製造プロセスへの設計指針を構築するとともに、流通時の規格・標準化へのバックデータを取得しました。現在、水素化・脱水化プロセスの繰り返し回数を増し、水素着脱反応による生成物の質及び量の推移を調べています。

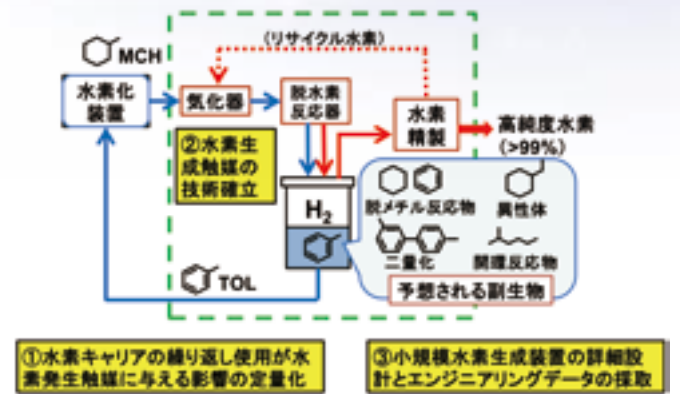


図1 MCHの水素化・脱水素循環

## ②水素キャリア製造・利用統合システム実証

大型アルカリ水電解、水素化触媒塔、大型貯蔵タンク、脱水素触媒搭載型コジェネエンジンを統合した世界最大級の水素キャリア製造・利用統合システム実証機を稼働しました。約1年間で10MWhの電力 (一般家庭1000軒日分) を水素あるいはMCHとして貯蔵しました。今後は、FREAのエネルギーネットワークに組み込み、電力貯蔵・利用方法を提案します。

## ③MCHを用いた次世代コジェネエンジン技術 (図2)

MCHを用いた次世代コジェネエンジンにおいて、エンジン排熱エネルギーをMCHの脱水素に活用する熱回収技術および水素のエンジン燃焼技術を研究開発しています。エンジン排熱の高温化等の熱回収を強化することで、世界トップ水準のMCHからの水素発生を実現しています。また、水素のエンジン燃焼技術において、熱効率40%超の高効率かつ高排気温を実現しました (通常、高効率にすると排気温度が下がりますが、高排気温度の維持によってMCHの分解が可能になりました)。

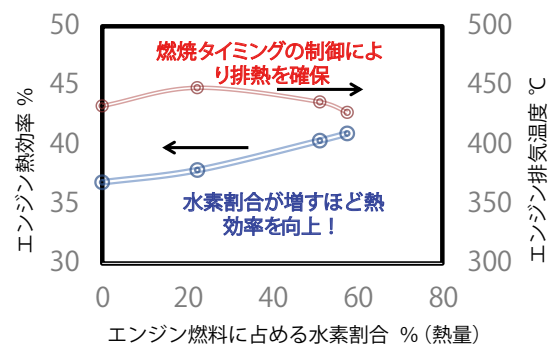


図2 次世代コジェネエンジンの水素割合と性能特性の関係

## ④アンモニア内燃機関の技術開発 (図3)

東北大学と共同でアンモニアの直接燃焼利用技術を研究開発しています。小型ガスタービン (50kW定格) での燃焼利用に挑戦し、メタンとアンモニアの混合ガスを用いた混焼により、41.8 kWの発電に成功しました。さらに、100%のアンモニアの専焼により、41.8 kWの発電にも成功しました。これらは世界初の研究成果です。

※本研究開発は、内閣府SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「エネルギーキャリア」 (管理人: JST) によって実施しています。



図3 アンモニアガスタービン

# 風力エネルギーチーム



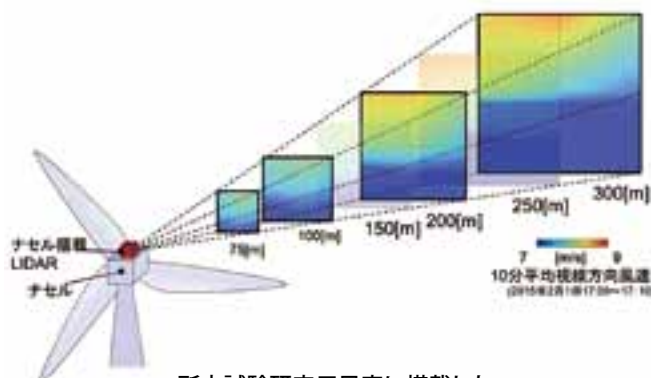
## －高性能風車要素技術およびアセスメント技術－

風力発電は実用化が進んでいますが、より一層の普及とグリッドパリティ実現に向け、更なる発電コストの低減が必要です。そのためには、風車本体のハード的な高性能化に加え、事前の適地選定・発電電力量評価、運転時の発電電力量予報技術といったソフト的な高度化が必要です。

## 研究目標

当チームは、さらなる発電コストの低減に向け、高性能風車要素技術及びアセスメント技術の確立を目指すとともに、そうした優れた技術を国内の風力発電産業界とともに実用化につなげることにより、健全な国内導入量の発展と日本の風力発電産業界の国際競争力向上に貢献します。

- ①風車単体・ウィンドファーム全体を高性能化（高出力化・長寿命化）する要素技術を開発・実証することにより、発電電力量+5%以上、風車寿命+5～10%以上の向上の目標を掲げています。
- ②風力発電アセスメント技術の高度化を達成することにより、誤差±5%以下、計測・評価コスト20～30%削減の目標を掲げています。

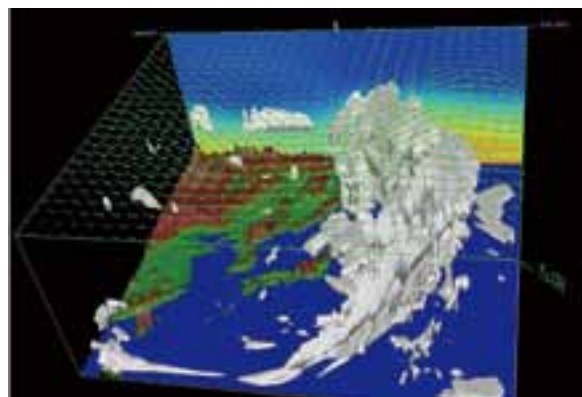


所内試験研究用風車に搭載した  
ナセル搭載LIDARの計測事例（視線方向風速分布）  
※LIDAR: Light Detection and Ranging  
（レーザ光によって風向・風速をリモート計測する装置）の略

## 研究内容

### ①高性能風車要素技術

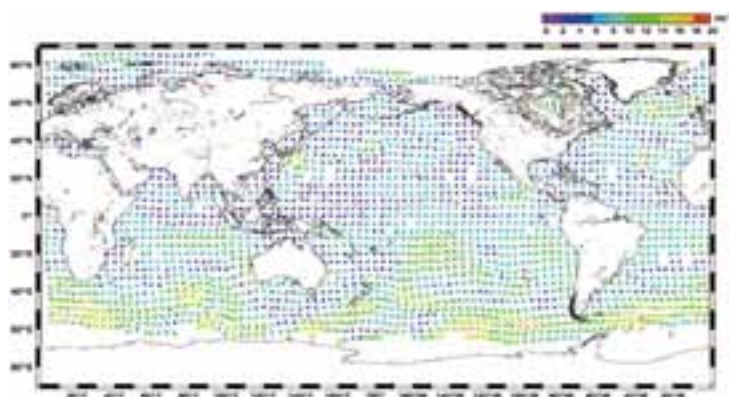
風車の上流側の風速・風向を把握できる新しい技術としてナセル搭載LIDARに着目し、高性能なナセル搭載LIDARプロトタイプ機を開発・実証します。ナセル搭載LIDARによって得られる風車上流側の風速情報に基づき、風車の予見制御（ヨー制御、ピッチ制御）を行うことにより、風車の出力を改善するとともに、風車翼への荷重を減少させ風車の信頼性・寿命を改善することが可能であり、基礎研究、実証研究を進めています。



数値気象モデル

### ②風力発電アセスメント技術の高度化

洋上でのマストによる現場風況観測は、実証研究を除き、経済的に極めて困難であることが挙げられます。高コストな洋上での現場観測に代わる新技術として、衛星リモートセンシング及び数値気象モデルを援用した洋上風況推定技術を開発しています。数値気象モデル及び衛星リモートセンシングの活用により、低コスト化（数億円（1/5～1/10）以下）が期待されています。



衛星リモートセンシング



# 主な研究設備



**国内メーカー製のナセル搭載LIDARプロトタイプ機**  
 (ナセル上の運転状況監視カメラによる撮影)  
 風車前方(9方向)にレーザー光を照射し、風車上流側の風速・風向を計測・評価できる装置です。

## 試験研究用風車

駒井ハルテックKWT300  
 定格出力：300kW、風車直径：33m、ハブ高さ：41.5m  
 日本の厳しい外的条件(複雑地形起因高乱流、等)に耐えるように設計された風車です。産総研もその設計段階において共同研究を通じて協力・貢献しています。



## 地上設置LIDAR

地上高さ50～200m上空の風速を、地上からリモートで計測する装置です。



## 衛星・気象データ処理システム

大規模な人工衛星データや気象データを保存する約1PB(ペタバイト)のストレージとデータ処理を行う計算機システムです。



## 音源探査装置

30個の音響センサで構成され、音の発信源(音源)を探査できる計測システムです。

# 主な研究成果

## ①ナセル搭載LIDARのフィールド実証結果(図1)

高性能なナセル搭載LIDARにより、風車上流側の風速分布をリモート計測することに成功し、ナセル搭載LIDARによって得られる風車前方の風向情報を基に、 $\pm 10^\circ$ 以上のヨーエラーの出現率を改善することで、最大で6%程度、風力エネルギーを多く得ることが可能であることを見出しました。

## ②アセスメント技術の高度化(数値気象モデル)(図2)

経産省ASTERデータを用いることにより、数値気象モデルの空間解像度を高解像度化するシミュレーション環境を整備しました。海上風シミュレーションに特化した高解像度海面水温データセットMOSST(Shimada 2015)を開発し、海面付近における大気安定度の再現性を大幅に改善しました。

## ③アセスメント技術の高度化(衛星リモートセンシング)(図3)

大気安定度を考慮したSAR(合成開口レーダ)による風速推定の補正手法を開発し、SAR風速推定における風向の依存性の課題(陸風の場合、SAR風速値は、実測値よりも過小評価傾向)を抽出しました。

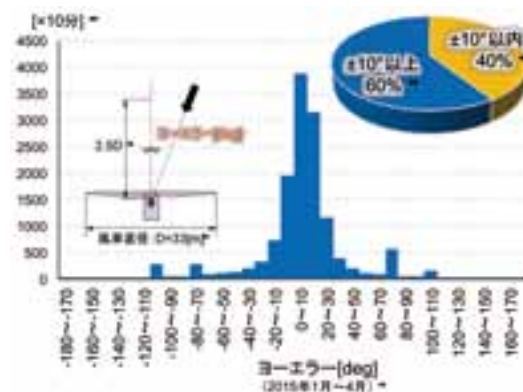


図1 ユーエラー(流入風向に対する風車の向きの誤差)の頻度分布

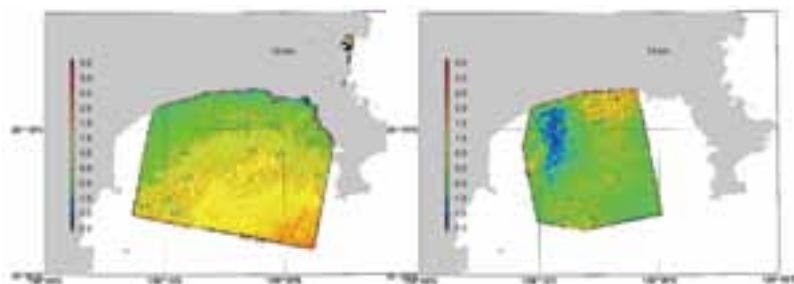


図3 洋上観測鉄塔(沖合1km)の実測値とSAR推定風速の差(平塚)

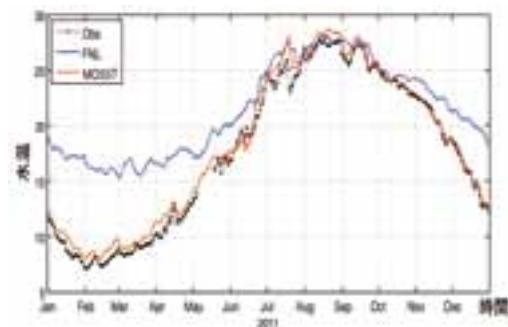


図2 海面温度の各種データセットと観測データとの比較(大阪湾)

# 太陽光チーム



## — 薄型結晶シリコン太陽電池モジュール技術 —

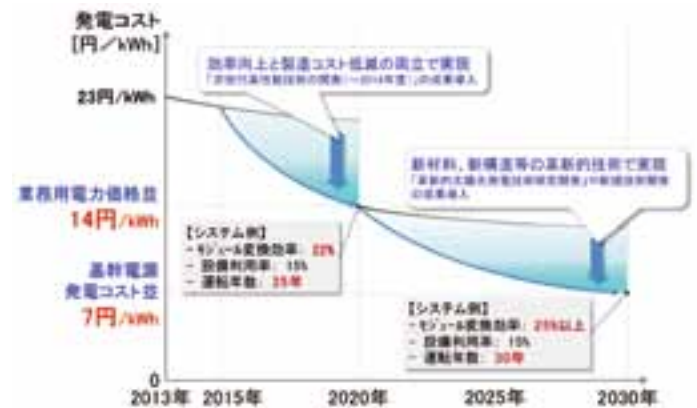
太陽光発電は、2012年7月から開始した固定価格買取制度のもと、急速に導入量が増加してきました。それまでの住宅の屋根への設置に加えて、メガソーラと呼ばれる大規模発電所が各地に設置されるようになってきました。このように太陽光発電の普及が進む一方、再エネ賦課金による国民負担も増加しています。このため、太陽光発電のコスト低減は、最も重要な課題となっています。

## 研究目標

当チームでは、高効率・高信頼性モジュール（変換効率目標22%）を低コストで作製するための技術開発として、以下の課題に取り組んでいます。

- シリコンインゴット高精度スライス技術（薄型ウェハの作製）
- 高効率セル作製技術（PERC型セル、バックコンタクト型セルなど）
- モジュールの高効率化・高信頼性化技術（新規評価技術や部材などの開発）

また、次々世代の高効率（セル変換効率30%以上）太陽電池の開発として、スマートスタック技術の研究にも取り組んでいます。これらの課題に取り組むことにより、2020年に14円/kWh、2030年に7円/kWhの発電コスト目標を先導するための技術開発を実施しています。



太陽光発電開発戦略 (NEDO PV Challenges)

## 研究内容

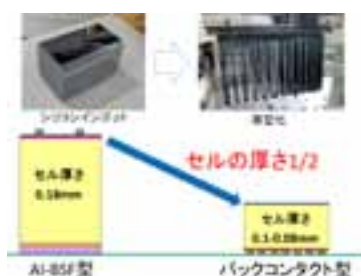
太陽光発電の将来にわたる持続的な普及・発展には、その中心となる結晶シリコン太陽電池セル・モジュールの一層の高効率化・低コスト化が必要です。当チームでは、結晶シリコンインゴットのスライスからセル・モジュールまでの一貫試作施設を構築し、ウェハ・セル・モジュールを一体とした研究開発を進めています。

以下に主要な研究開発課題を示します。

### ●薄型ウェハの作製技術

ダイヤモンドワイヤーを用いたスライス技術を開発しています。現在のウェハ厚さ(0.2mm)から0.12-0.1mmへの薄型化を目指しています(セルの厚さ0.18mmから0.1-0.08mm)。

また、クラックや亀裂とウェハ強度低下の関係を解明することにより、薄くても割れにくいウェハの開発や、ウェハ洗浄工程などにおける歩留り向上を図っています。



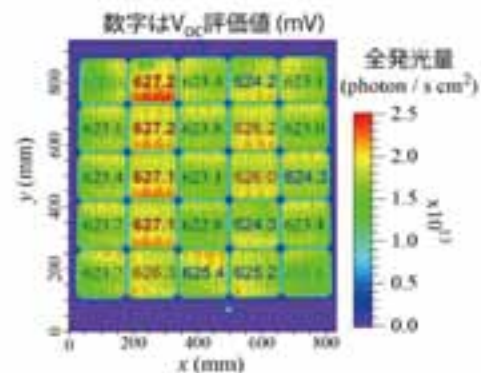
ウェハ(セル)の薄型化

### ●新しいセル作製プロセスの開発

熱拡散技術だけではなくイオン注入技術を用いたセル作製プロセスの開発に取り組んでいます。このイオン注入技術を有効に用いることでバックコンタクトセル作製のための工程数を大幅に削減することを目指しています。

### ●モジュールの信頼性向上・新規評価方法の開発

絶対EL (Electroluminescence) 法による電圧マッピングによる新しいモジュールの評価方法を開発しています。絶対EL法では、太陽電池に順バイアスをかけ、セルからの発光強度から個々のセルの電圧を破壊することなく評価が可能です。



絶対EL (Electroluminescence) 法による電圧マッピング



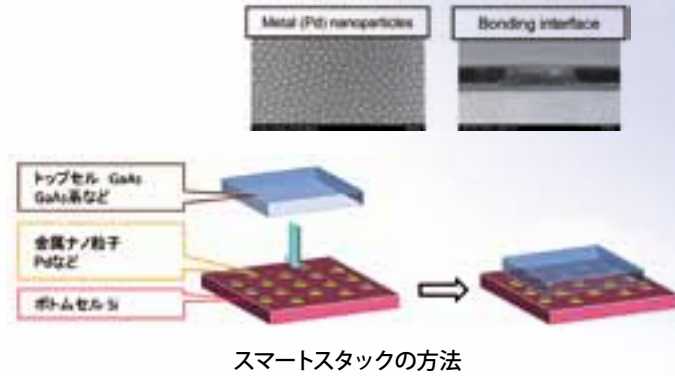
## ●次世代多接合太陽電池「スマートスタック技術」

バンドギャップの異なる様々な材料を接合する手段として、金属ナノ粒子配列を接合媒体として用いる技術「スマートスタックテクノロジー」を開発しました。金属ナノ粒子配列を用いた世界で初めての高効率タンデム太陽電池であり、格子定数に関係なく様々な太陽電池の接合が簡単に可能になります。

これまでにGaAs/InP系4接合太陽電池で変換効率31.6%、GaAs/CIGS系3接合太陽電池で24.2%を達成しています（産総研つくばセン

ターとの共同成果）。量産性にも優れた実用的手法として、対象を拡大しています。

また、ボトムセルに薄型結晶シリコンを用いれば高効率・低コストを同時達成可能になります。FREAの結晶シリコン太陽電池技術とスマートスタックテクノロジーを融合し、理論限界効率を超える「結晶シリコンスマートスタックセル」の開発を進めています。試作セル（GaAs/Si系3接合）において、変換効率24.7%を達成しています。



GaAs/Si系3接合スマートスタックセル

## 主な研究設備



**電極焼成炉**  
電極に用いる銀ペーストと拡散層とのコンタクトやアルミBSF層を形成するための装置です。



**スピネッチング装置**  
ウェハを回転させながら片面をエッチングする装置です。保護膜なしで片面のみをエッチングできます。



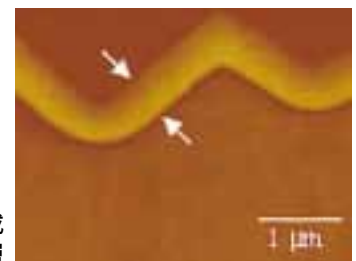
**イオン注入装置**  
リンやボロンのイオンを加速して基板に打ち込むための装置です。精密な拡散の制御が可能です。

## 主な研究成果

- ①FREAにおける新規導入装置の立ち上げを行い、FREA標準セル作製プロセス（Al-BSF構造で、メーカの量産品と同等以上の、セル平均効率約19.3%の量産化試作施設）を確立しました。
- ②シリコンインゴットのダイヤモンドワイヤーを用いたスライスによる薄型ウェハ（厚さ0.12mm）の作製技術を確立しました。厚さ0.12mmウェハの量産に近い加工条件を確立し、歩留まり99.8%を達成しました。
- ③結晶シリコンスマートスタック技術を、GaAs/Si系の3接合セルに適用し、変換効率24.7%を達成しました。
- ④厚さ0.1mmの両面受光型太陽電池セルの試作を行いました。
- ⑤イオン注入技術により、ピラミッド状の表面においても深さが均一な拡散層の形成に成功し、イオン注入技術によりセルの変換効率19.1%を達成しました。
- ⑥モジュールの新しい評価技術（絶対EL法、in-situ ACインピーダンス測定法）を開発しました。故障箇所を非破壊で同定可能であり、モジュール内の各セルの電圧を個別に評価することが初めて可能になりました。



FREA製結晶シリコンセル



イオン注入により形成されたリン拡散層

# 地熱チーム

## —地熱の適正利用のための技術—

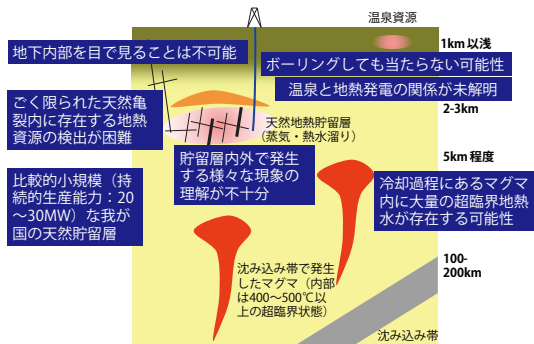


火山国である我が国には膨大な地熱エネルギーが存在しています。地熱エネルギーは気象条件等に依存せず安定しているため、再生可能エネルギーの中ではベースロードを賄う役割が期待されています。

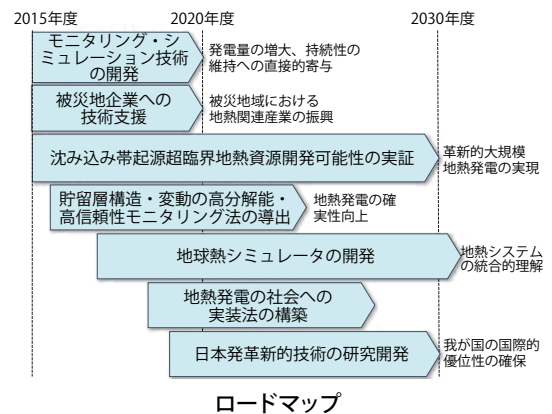
## 研究目標

当チームでは「地熱の適正利用」をキーワードに、地熱エネルギーを地下や社会の状態に合わせて適正な規模および形態で持続的に利用するための研究開発を実施しています。短期的には、温泉と共生した地熱発電のためのモニタリング機器の開発や貯留層変動の高度モニタリング等により、持続的な発電と発電量の増大に直接的に

寄与することを目指しています。また、長期的には沈み込み帯に起源を有する超臨界地熱資源を利用した革新的発電法の開発や、地熱エネルギーの社会実装法の導出等により、ベースロード電源として地熱エネルギーを大規模に利用可能にします。



地熱研究開発の必要性



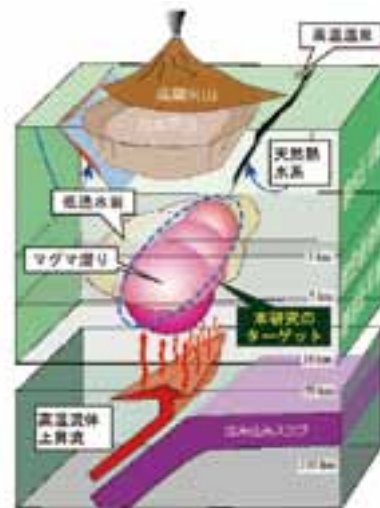
## 研究内容

現在、当チームでは、地熱の適正利用を実現するために、国や民間企業等からの委託を受け、様々なプロジェクトを実施しています。それとともに、地熱システムの科学的理解の深化へ向け、地球科学に関連した様々な基礎研究も実施しています。地下は不可視であり、また、地熱資源の特性は地域に大きく依存するため、地熱研究では、フィールドで実データの取得を行ない、それをベースに研究を行うことが非常に重要です。このため、東北地方を中心とした多数のフィールドで、野外実験、モニタリング、機器テスト等を実施しています。

- 当チームでは主に以下の目標達成を目指しています。
- MEMS、光ファイバ等を利用した地熱モニタリング用センシングシステムの開発、多元非正常信号処理、統合解釈法等の高度解析技術の導出により貯留層内で生じている現象の理解と可視化を目指しています。
  - 産総研が有する膨大な地熱資源情報を高度データベース化するとともに地球熱シミュレータの開発を通じて最適な開発手法の提示や温泉との共生を実現します。
  - 水圧刺激や注水による貯留層の最適作成・制御技術を開発します。これにより地域に依存しない開発・利用方法を導出します。
  - 沈み込み帯に起源を有する超臨界地熱資源の開発可能性を探索

し、2040年に大規模ベースロード発電のために利用可能にすることを目指します。

沈み込み帯に起源を有する超臨界地熱資源の開発による、数10GW～数100GWの発電可能性を提唱しました。現在、2040年にベースロード電源として利用可能にするための研究企画の立案を進めています。



超臨界地熱システム概念

地震波解析等の結果は、古カルデラ下部(4～5km)に1%程度の超臨界水を含むマグマ起源火山岩体の存在を示唆しています。東北地方で50以上の古カルデラが存在します。



古カルデラの分布 (Oyagi, 2003)



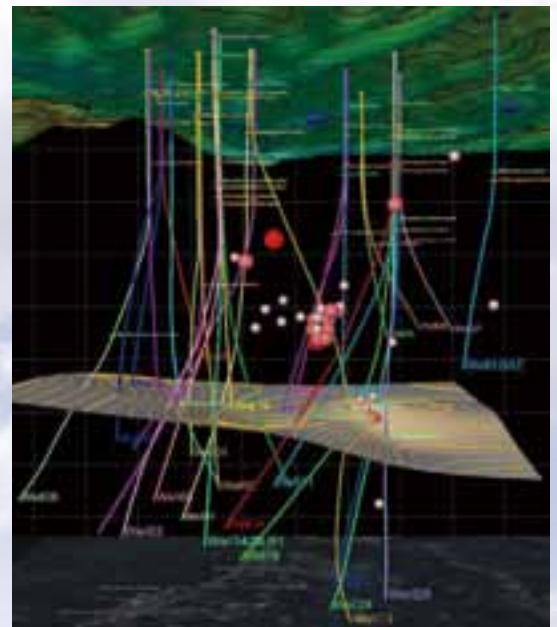


柳津西山地熱発電所  
(出典：東北電力株式会社)



地表設置型  
3成分地震計の設置状況

2015年度から、福島県柳津西山地熱発電所で蒸気生産量減衰防止・生産量回復のための涵養注水試験が実施されています。地熱チームでは本地域に小型坑井内3成分弾性波検出器等を使用した高精度微小地震遠隔モニタリングネットワークを設置し、運用を開始しました。これにより、FREAでの微小地震活動のリアルタイムモニタリング、高度統合解析を行うことが可能になり、適切な注水による生産量の回復に寄与する計画です。



微小地震情報統合可視化システム  
(注水した水の挙動のモニタリング)

## 主な研究設備



温泉システム模擬装置

温泉の配管系を室内で模擬することが可能です。温泉モニタリング用センサの評価や、温泉発電装置の実験等に使用します。



小型坑井内3成分弾性波検出器

産総研が開発した地熱貯留層内外で発生する非常に微小な地震動を坑井内で高感度に検出可能な装置です。



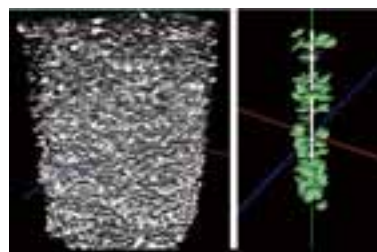
光MEMSセンサ多重化計測装置

一本の光ファイバに多数の光MEMSセンサを取り付け、多点での地震動計測を可能にする装置を開発しました。

## 主な研究成果

### ①地熱井への加圧注水シミュレータの開発

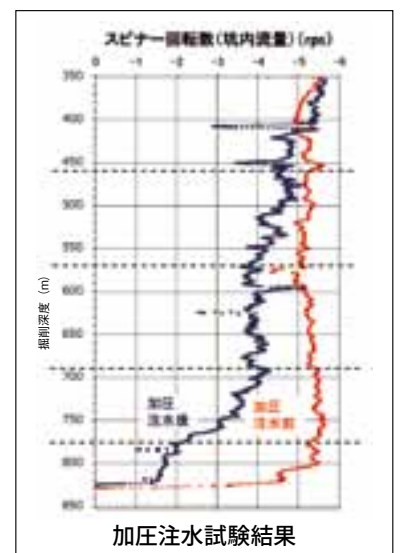
坑井を介した貯留層への加圧注水により地熱貯留層の能力改善を試みる場合があります。地熱チームは欧米の研究者と連携して加圧注水に対する亀裂の応答を模擬するシミュレータを開発しました。東北地方の地熱フィールドで還元能力が低下した坑井を対象に実証試験を行った結果、事前シミュレーションで予測した通りに能力改善を実現し、発電量を増大(約1.1MW) させることに成功しました。



地下亀裂のシミュレーション

### ②温泉泉質の遠隔連続モニタリングシステムの開発

地熱発電と温泉との関連を科学的に説明可能にするために、温泉の泉質(温度、流量、電気伝導度)を計測できるシステムの開発を開始し、プロトタイプを製作しました。このシステムは自立型計測を可能とし、インターネットを通じて、連続的に取得したデータをサーバへ転送します。室内実験による性能評価やフィールド実証試験を重ね、2017年度末の実用化を目指しています。



加圧注水試験結果

# 地中熱チーム



## —地中熱ポテンシャル評価とシステム最適化技術—

地中熱利用システムは、もともと世界オイルショックを契機として1980年代から欧米諸国で広まった技術です。技術的には新しいものではないものの、日本においては2000年頃までほとんど知られていなかったことや、大都市における地下水の汲み上げ規制などの理由により、その普及が遅れています。日本における地中熱利用では、地下水の存在が熱交換量に大きく影響するため、地下水の水位や流量の把握が重要です。

## 研究目標

当チームでは、一般的なエアコンや融雪システムよりも高効率（高いCOP）、省エネルギーである地中熱利用システムの普及促進に向けた研究を行っています。地下水流動・地質特性に応じたシステムの高性能化・低コスト化を目指しています。

地中熱利用には、地下に埋設した管に不凍液や水を循環させて熱交換するクローズドループと、地下水を汲み上げて熱交換するオープンループの2種類があります。日本においては、いずれの場合も地下水の存在が熱交換量に大きく影響するため、地下水の水位や流量の把握が重要です。また、地下水を考慮した日本式の地中熱

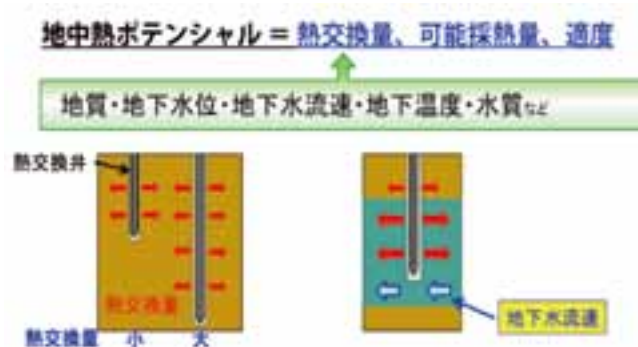
研究は、東南アジア諸国に対しても大きく役立ちます。このため、当チームでは、地域の地質や地下水流動の特性に適応した地中熱システムの開発を目指して、以下の研究目標に取り組んでいます。

- 地中熱ポテンシャルマップ作成に必要な現地データ収集・概要モデルの構築
- 地中熱システムの最適化技術の概念設計
- 東南アジアにおける地中熱研究の展開 等

※COP: Coefficient of Performance (成績係数) の略



地中熱利用システムの概要



地中熱利用のためのポテンシャル評価技術  
地下水を考慮した地中熱ポテンシャルマップは  
世界初・産総研初のアイデアです。

## 研究内容

地中熱を利用するには、地下の地質や地下水流動の状態を知ることが大切です。そのため、当チームでは、ボーリング（掘削）による地質調査や深度別の地下水温度の調査、広域地下水流動熱輸送シミュレーションなどを行い、地域の地下環境に応じた地中熱の利用可能性（地中熱ポテンシャル）を調べる研究を行っています。

そして、様々な地下環境に応じた地中熱利用方法を開発する研究も行っています。FREAの地中熱システム実証試験場では、浅部・深部の地下を利用する2種類の熱交換器を組み合わせた実験を行っています。また、同様のシステムを茨城県つくば市の産総研・地質標本館にも導入しており、地質や地下水の流れの異なる地域での採熱量・最適な運転方法の違いを調べています。

主に以下の研究開発テーマに取り組んでいます。

### ●地中熱ポテンシャル評価の研究

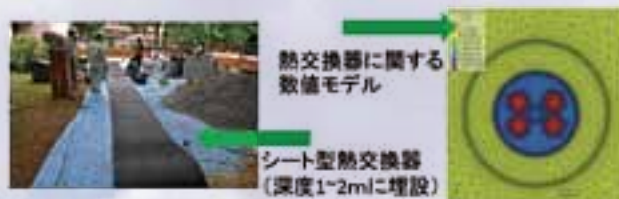
地中熱利用の対象となる地下数m～100m付近には、地下水が豊富に存在している地域が多く、その流動性に応じた地中熱の利用が有効と考えられます。当チームでは、適切な地中熱利用の普及促進ため、地質・地下水環境や地下熱環境について、産総研・地質調査総合センターと協力し、調査・研究を行っています。また、現地調査や数値解析による地中熱のポテンシャル評価手法の開発を進めています。



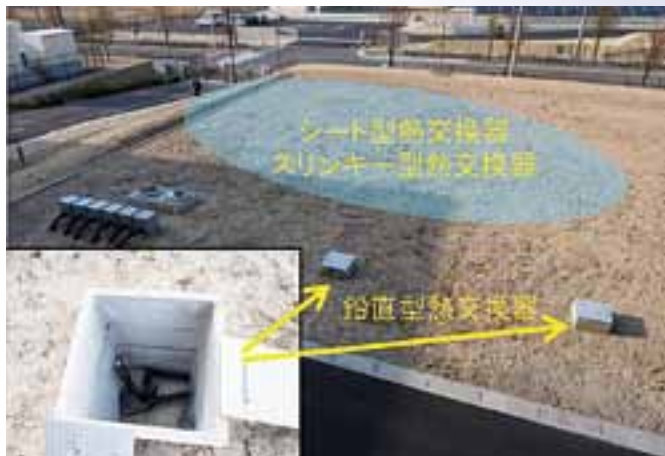
## ●地中熱利用最適化技術開発

浅層（深度1~2m）と深層（深度~100m程度）の地下を効率的に活用できる地中熱利用システムの運転方法最適化評価や水文地質を活用したより効率的な熱交換器の開発を行っています。FREA地中熱実験圃場および茨城県つくば市の産総研・地質標本館では、様々なタイプの水平型熱交換器と従来の熱交換器を組み合わせた地中熱利用システムを導入し、水文地質環境の異なる地域での運転方法や効率の違いについて、長期計測や数値シミュレーションを用いて検討・評価しています。また、リアルタイム稼働状況のモニ

タ表示や熱交換井部分の「見える化」により、地中熱利用システムの普及促進を目指します。



## 主な研究設備



FREA地中熱利用システム実証試験場

深度1~2mの地下に設置するシート型熱交換器とスリンキー型熱交換器および深さ約40mの鉛直型(ボアホール型)の熱交換器を利用した地中熱システムです。



タイ・チュラロンコン大学に設置したGSHPシステム

タイ・チュラロンコン大学の施設を利用して、バンコクでも地中熱システムによる冷房運転の可能性を実証しました。

※GSHP: Ground Source Heat Pump (地中熱ヒートポンプ) の略

## 主な研究成果

### ①津軽平野の地中熱ポテンシャル評価

熱応答試験 (TRT) 結果を組み入れた地下水流動・熱輸送モデル【図1】を構築し、流動解析結果とTRT結果を基に有効熱伝導率の分布を推定するとともに、有効熱伝導率と地下温度分布図をGISで重ね合わせ、全く新しいポテンシャルマップ (暖房利用)【図2】を作成しました。既存の観測井データとTRT結果を組み合わせて (産総研オリジナル技術)、少数の観測井でも高精度のマップが作成可能になりました。

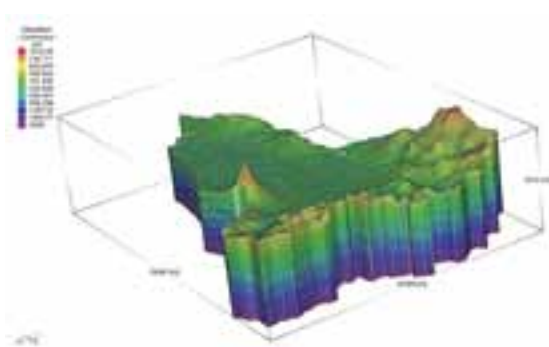


図1 津軽平野3次元地下水流動・熱輸送モデル



図2 新しいポテンシャルマップ

### ②会津盆地の水利地質構造の解明

福島大学との共同研究を通じて、福島県会津地域における第四紀地質構造解析と水利構造 (地下温度構造など) 解析を行い、地中熱ポテンシャル評価の基盤データを構築しました。

### ③自噴井を利用したクローズドループ地中熱ヒートポンプ冷暖房システムの性能評価

被災地企業のシーズ支援プログラムを活用して、日本地下水開発 (株) との共同研究により、自噴井を利用した地中熱システムを構築しました。システムを高度化させ、自噴を井戸内温度によって制御するシステムを構築しました。本共同研究では、井戸内温度連続観測および井戸内微流速測定により、冷暖房時における井戸内の温度挙動と自噴湧出メカニズムを把握しました。運転方法にもよりますが、冷房運転ではCOP7以上、暖房運転ではCOP5以上を確認しました。

# 主要な実証設備

## 薄型結晶シリコン太陽電池の一貫製造ライン

福島再生可能エネルギー研究所実験棟内に薄型結晶シリコン太陽電池の一貫製造ラインを整備し、高効率・低コスト・高信頼性を兼ね備えた太陽電池モジュールの量産化技術を開発しています。本ラインでは、メーカーの量産品と同程度以上の変換効率を有するセルを作製することが可能です。



一貫製造ラインのレイアウト図

### ①インゴットのスライス (ウェハの作製)



マルチワイヤーソー

### ②テクスチャの形成



テクスチャー形成装置

### ③接合の形成



熱拡散装置

イオン注入装置

### ④反射防止膜の形成



プラズマCVD装置

### ⑤電極の形成



セル電極形成装置

### ⑥モジュールの作製と信頼性評価



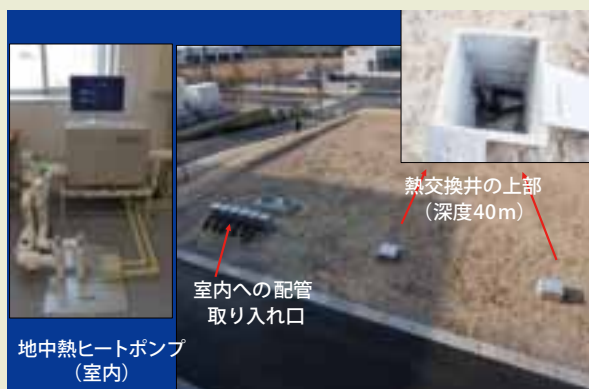
大型真空ラミネーター

信頼性試験装置

## 地中熱利用システム実証試験場

福島再生可能エネルギー研究所の地中熱利用システム実証試験場では、深度1～2mの地下に設置するシート型熱交換器・スリンキー型熱交換器と、深さ約40mの鉛直型（ボアホール型）の熱交換器を利用した地中熱システムを設置しています。これらのシステムを比較すると共に、両者を組み合わせた運転方法の最適化技術開発を行っています。

また、リアルタイムモニターを設置し、地中の温度やシステムのCOP（性能を示す指標）、室内温度等がリアルタイムで表示されます。リアルタイムでの稼働状況や熱交換井部分の「見える化」により、地中熱利用システムの普及促進を目指しています。



地中熱利用システム実証試験場の概観



地下の熱交換器の設置状況



# 再生可能エネルギー統合実証フィールド



再生可能エネルギー統合実証フィールドの全体写真

## ①エネルギー管理棟

大規模な太陽光発電と風力発電に水素と蓄電池による電力貯蔵を組み合わせた再生可能エネルギーネットワークの研究を実施しています。

### 【特徴】

- 系統模擬電源 (ACシミュレータ; 500kVA)
- 太陽電池模擬電源 (600kW)
- 模擬負荷 (250kVA)
- 試験用パワーコンディショナ (3機種、各1台)
- 太陽電池モジュール用ソーラシミュレータ (擬似太陽光源)
- 太陽電池モジュール用I-V特性測定装置
- 太陽電池モジュール用EL検査装置
- エネルギーマネジメントシステム (EMS)
- 太陽光発電・風力発電計測システム

## ②MCH実験棟

大型アルカリ水電解、水素化触媒塔、大型貯蔵タンク、脱水素触媒搭載型コジェネエンジンを統合した、世界最大級のMCH製造・利用の実証機を稼働させ、水素キャリア製造・利用統合システムの実証を行っています。

### 【特徴】

- アルカリ水電解による水素生成能力: 34Nm<sup>3</sup>/h
- トルエンへの水素付加能力: 70L/h (MCH製造能力)
- MCH貯蔵能力: 容量20kL (発電換算: 約10MWh)
- 水素コジェネ出力(電力・熱): 電力60kW・熱35kW

## ③純水素実験棟

水素エネルギーシステム、熱エネルギーの貯蔵・利用の研究を実施しています。

### 【特徴】

- 固体高分子型水電解槽 (燃料電池機能付)
- 水素用除湿機、太陽熱蒸気発生装置
- 水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵
- 電気自動車用急速充電器
- 電気自動車用充放電設備 (V to Home)

## ④太陽光発電システム実証エリア

太陽光発電システムの性能評価とパワーコンディショナの制御技術を開発・実証しています。

### 【特徴】

- 定格出力: 500kW
- 太陽電池モジュールは計11種類
- 太陽電池モジュールの枚数は計2,500枚
- 太陽光発電用パワーコンディショナ (3機種、22台)
- 太陽光発電システム実証エリアの面積は約8,000m<sup>2</sup>

## ⑤風力発電設備

日本型風車設計基準の検証と風車制御技術の高度化に関する実証研究を実施しています。ナセル搭載LIDARにより、風車上流側の風速・風向をナセル上からリモートに計測する技術・装置を開発・評価しています。また、音源探査装置等により風車音を計測・評価し、騒音特性を明らかにするとともに、静音化に向けた研究も進めています。

### 【特徴】

- (株) 駒井ハルテック製 KWT300
- 定格出力: 300kW
- 耐風性、耐雷性、耐震性、輸送・施工性に優れた仕様
- 直径33m、翼長16m、ハブ高さ41.5m (最高到達点58m)
- 定格風速: 11.5 m/s
- カットイン風速: 3.0 m/s、カットアウト風速: 25 m/s
- 耐風速: 70 m/s

## ⑥アンモニア直接燃焼ガスタービン実証設備

水素キャリアであるアンモニアを、燃料として直接燃焼利用するガスタービン発電技術の研究開発を行っています。

### 【特徴】

- マイクロガスタービン発電装置 (定格出力: 50kW (灯油運転時))
- 燃料としてアンモニアガス、メタンガス、灯油の利用が可能
- メタンとアンモニアの混合ガスを用いた混焼により、41.8kWの発電に成功。さらに、100%のアンモニアの専焼により、41.8kWの発電にも成功 (世界初)
- 脱硝装置により排出される窒素酸化物濃度は、環境基準に十分適合

# 大型パワーコンディショナの 先端的研究開発・認証拠点(スマートシステム研究棟)

再生可能エネルギーの導入に不可欠な、大型パワーコンディショナ (PCS) 等の先端のパワーエレクトロニクス機器の世界トップレベル (3MWまで) の先端的研究開発・認証拠点(スマートシステム研究棟)を開所しました。

分散電源の性能試験と、これらを統合するエネルギーマネジメントシステムの実規模での性能検証のためのユーザーファシリティとなります。

海外研究機関等との連携により、研究成果の速やかな国際標準化を目指し、製品の海外認証を支援します。

本施設では以下の4つの試験設備を設置しています。



スマートシステム研究棟 (2016年4月オープン)

## 1. 系統連系試験設備

20ftコンテナを収容可能な国内最大の系統連系試験室です。  
3MWまでの系統連系試験、模擬配電線路をご利用頂けます。

## 2. 安全性試験設備 (恒温槽等)

砂漠地、高温湿潤地、極寒地での使用を想定した温湿度サイクル等の環境試験が可能な大型の恒温恒湿実験室です。温度範囲はマイナス40℃～プラス80℃、湿度範囲は30～90% RHに対応できます。

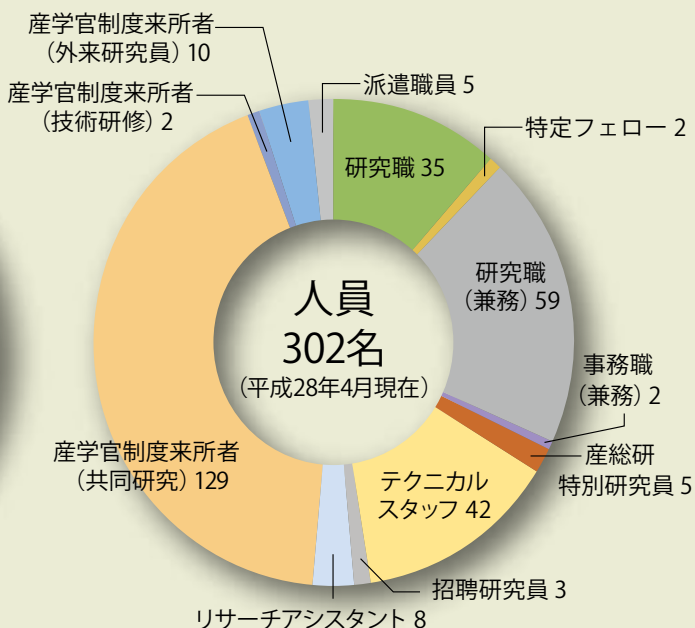
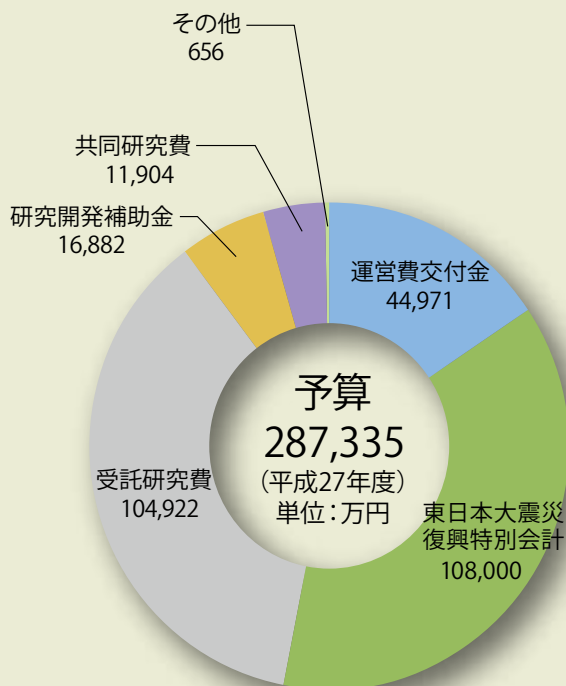
## 3. 電磁環境試験設備 (電波暗室)

スマートシステムに不可欠なパワーエレクトロニクス機器、ICT機器のEMC (電磁両立性) 試験にご利用頂けます。国内最大の電磁暗室はテニスコート約5面分の広さです。

## 4. システム性能試験設備

分散電源 (太陽光発電、蓄電池等) とPCSを一つのシステムとして各種性能 (天候に応じて発電出力を最大化する自動制御性能等) を評価する設備です。

## 予算・人員





# 産学官連携活動

産総研は、日本最大級の公的研究機関として、多様な研究人材、先端的な研究インフラ、研究成果、技術融合や人材育成の仕組み、地域拠点とそのネットワークなどを活用・発展させ、世界のイノベーションハブとして、産学官との連携の中核的な役割を担っています。以下に被災地企業や地元大学等との連携活動の例をご紹介します。

## ●被災地企業のシーズ支援プログラム

産総研では、平成25年度より、東日本大震災において甚大な被害を受けた被災地（福島県、宮城県、岩手県の3県）の企業が開発した再生可能エネルギーに関連するシーズを、当所が技術支援する事業として「被災地企業のシーズ支援プログラム」を実施しています。これまでに、延べ82件（計38社）を支援し、うち3件（右図「太陽電池ストリング監視システム」、「バイパスダイオードチェッカー」及び「太陽電池モジュール封止材用架橋材料」）が新規事業として実用化に成功し、この他数件が実用化間近といった具体的な成果が出始めています。

### 共同研究（平成27年度実績）

●被災地企業のシーズ支援プログラム	25件
●地元大学との共同研究	16件
●企業との共同研究	43件
●その他の共同研究	11件
	計95件

### 主な育成人材（平成27年度実績）

●産総研特別研究員（ポスドク）	5名
●リサーチアシスタント	15名
●テクニカルスタッフ	23名
●技術研修（学生・院生）	21名
	計64名

## ●再生可能エネルギー分野の産業人材育成事業

平成26年度より、地元の大学等（日本大学工学部、福島大学、会津大学、東北大学等）から学生を受け入れ、当所との共同研究を通じて、再生可能エネルギー分野に係る産業人材の育成事業を実施しています。



**太陽電池ストリング監視システム**  
太陽電池モジュールの電流・電圧を測定する装置です。太陽光発電用のモニタリングおよび発電量回復デバイスとして、産総研の技術的支援を受けて製品化されました。



**バイパスダイオードチェッカー**  
太陽電池モジュール内バイパスダイオードのオープン故障を点検できる装置として、産総研の技術的支援を受けて製品化されました。発電量に影響が無い夜間にバイパス回路の動作を点検し、太陽光発電システムの健全性や安全性を高めることができます。



**太陽電池モジュール封止材用架橋材料**  
太陽電池モジュールで使用される封止材（EVA：エチレン酢酸ビニル共重合樹脂）の信頼性を高めるための添加剤（架橋助剤）として、産総研の技術的支援を受けて製品化されました。この添加剤を用いることで、製造プロセスの変更や製造コストの上昇を伴わずに、太陽電池モジュールの信頼性を高めることができます。

# アクセス



## 連携案内

産総研では、企業、大学、地域との連携を強化することにより、お互いの研究ポテンシャルを融合・発展させ、新しい産業を産み出すことを目的とした活動を行っています。

また、研究の結果得られた成果を知的財産化し、その知的財産を用いて社会に技術移転することをミッションの一つとしております。

研究開発や技術相談などでお困りの点がございましたら、下記をご参照いただき、お気軽にご利用ください。

共同研究・知財・技術相談等の窓口

[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/collab/](http://www.aist.go.jp/aist_j/collab/)



国立研究開発法人  
産業技術総合研究所

再生可能エネルギー研究センター  
Renewable Energy Research Center (RENRC)

〒963-0298 福島県郡山市待池台2-2-9

TEL: 024-963-0827 FAX: 024-963-0828

E-mail: [renrc-info@aist.go.jp](mailto:renrc-info@aist.go.jp)

<http://www.aist.go.jp/fukushima/ja/unit/>

2016.5