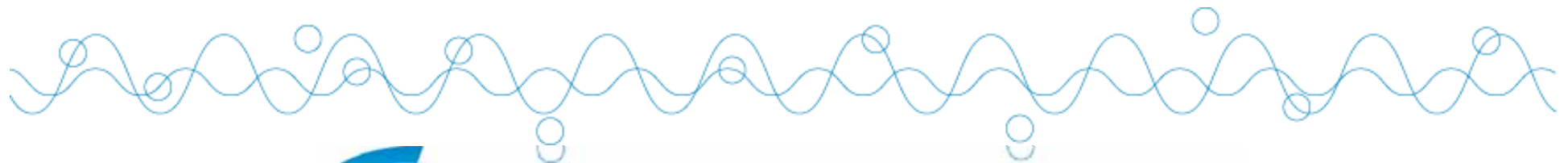


# (別紙) エネルギー分野の研究開発の俯瞰2017 研究開発のトレンドと国際ベンチマーク

平成29年3月

JST研究開発戦略センター (CRDS)

環境・エネルギーユニット



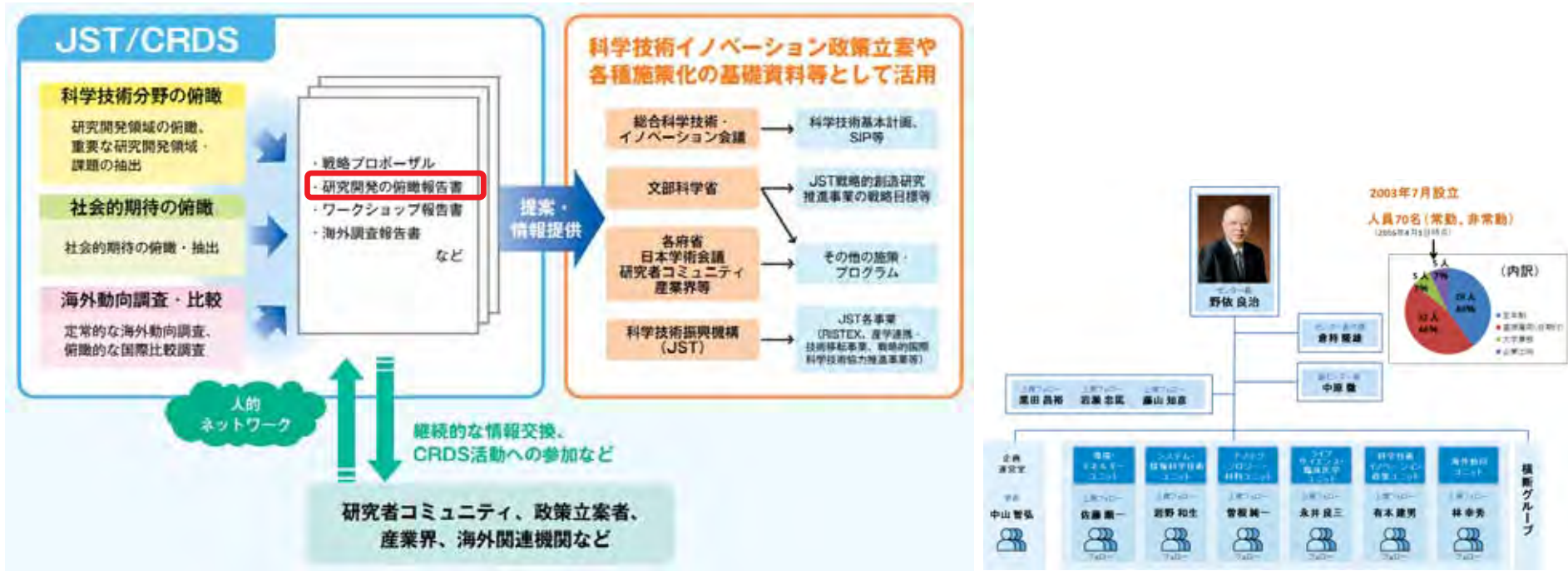
国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

# CRDSにおける研究開発戦略の立案プロセスと俯瞰の位置付け



## CRDSのあるべき姿

CRDSは我が国社会経済の持続的発展のため、科学技術イノベーション創出の先導役となるシンクタンクを目指します。



- ※ 「俯瞰報告書」は、研究開発戦略立案の基礎として、各科学技術分野における研究開発の現状の全体像、国際的な潮流を把握し、分野ごとに今後のあるべき方向性を展望するもの。
- ※ 「戦略プロポーザル」は、今後国として重点的に取り組むべき研究開発の戦略や、科学技術イノベーション政策上の重要課題についての提議をまとめたもの。

俯瞰報告書は各府省の政策立案の基礎資料として活用されることを想定。また俯瞰の結果に基づき、今後国として推進すべき特定テーマを抽出し、調査の結果を戦略プロポーザルとして発刊。モノによって適切なステークホルダーに提言。

# エネルギー分野 研究開発の俯瞰報告書 目次

## 1章 CRDSの基本的な考え方

## 2章 分野の全体像（国際的な潮流・トレンド）

### 2-1俯瞰の範囲と構造（基本的枠組み・視座）

### 2-2分野における研究開発の歴史・変遷

### 2-3分野の研究開発を取り巻く現状（国際的な潮流・トレンド）

#### 1) 社会・経済の動向

#### 2) 主要国の研究開発（科学技術）政策の動向

#### 3) 研究開発（科学技術）の動向

#### 4) アカデミア・コミュニティの動向

### 2-4総括及び分野の今後の方向性

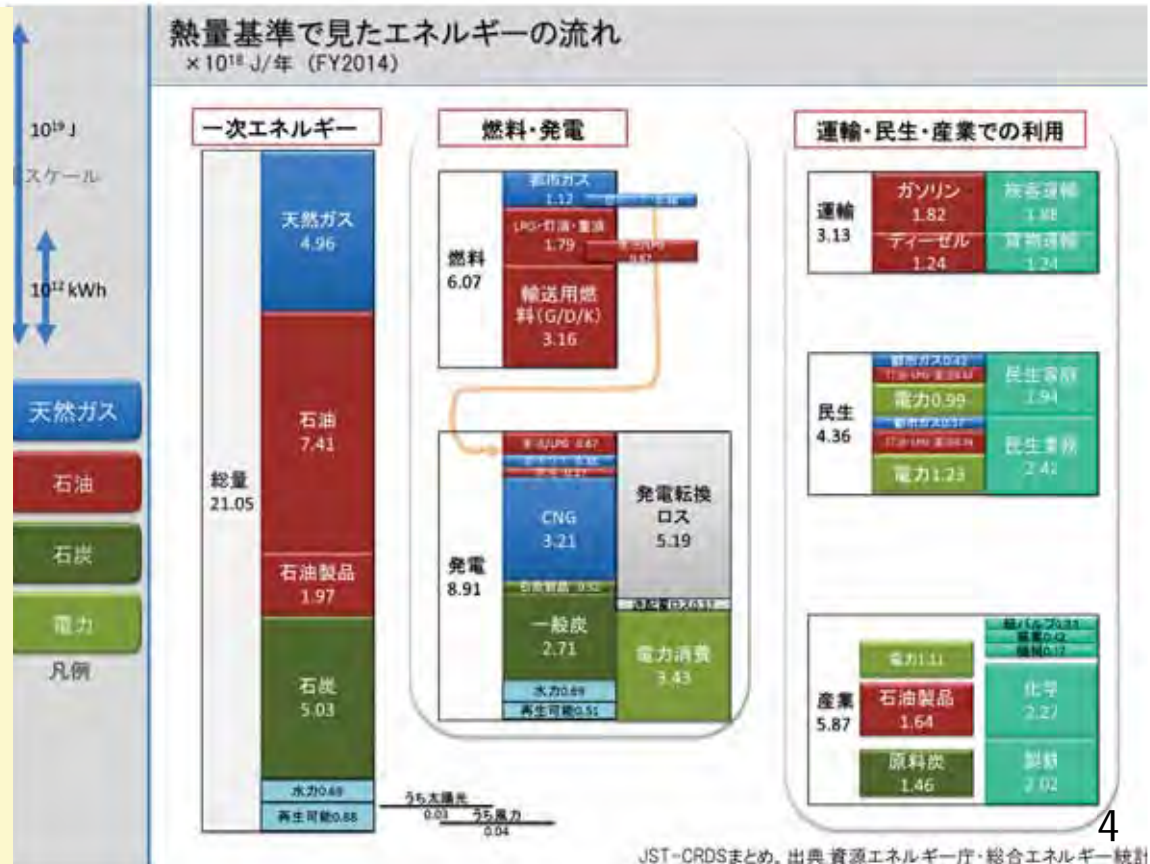
## 3章 研究開発領域の動向

# エネルギー分野の特徴と俯瞰の基本方針

- 持続可能な社会の実現（社会的期待）に向けて、3E+S の同時克服を目指した研究開発が必要  
3E+S：安全性（Safety），エネルギーの安定供給(Energy security), 経済効率性の向上 (Economic efficiency), 環境への適合(Environment)
- エネルギー分野は社会課題解決に向けた総合工学分野であり、関係する科学技術（構成要素）は広範に亘る（機械工学、電気工学、化学工学をはじめ、ナノテク・材料、ICT、バイオすべてを包含）。

## 社会課題

1. カントリーリスクを抑えた資源確保
2. 電力転換、送配電の効率向上
3. 石油からの物質変換のエネルギーロスの削減
4. 原子力問題の解決
5. 再生可能エネルギーの効率向上と利用拡大
6. 運輸（特に自動車）の高効率化
7. ビルや家庭のエネルギー利用効率向上
8. 鉄鋼・化学等産業の高効率化
9. 低位熱の有効利用



# [参考] 近年、社会に広がるエネルギー関連システム



## 火力発電IGCC

(常磐共同火力HPより)

石炭をガス化することで蒸気タービンにガスタービンを組み合わせた発電。500MW、48~50%の発電効率を実証中。



## 太陽光発電

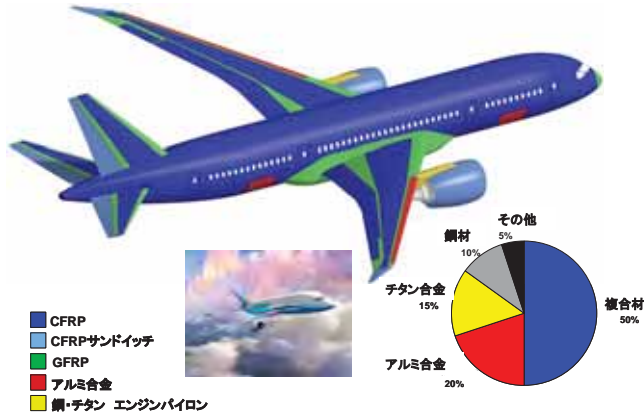
(PanasonicHPより)



**LEAF**  
電気自動車  
(日産自動車HPより)



**MIRAI**  
燃料電池自動車  
(トヨタ自動車HPより)  
【車両効率60%超】



## 高強度軽量材料CFRP

ボーイング787の機体構造重量の35%が日本メーカー



**BMW i3**



## エネファーム 家庭用燃料電池

(アイシン精機HPより)

【家庭で50%超の発電効率実現】



**LED照明**

## ガラス自身で太陽光をコントロールできる窓ガラス

2012年頃から商品化

ボーイング787



SAGE  
Electrochromics  
(アメリカのベンチャー)

**調光窓**

# エネルギー分野の研究開発の俯瞰図

定義

「安定供給」、「経済効率性の向上」による低コストでのエネルギー供給および需給バランス調整を実現し、同時に「環境への適合」を図る、いわゆる「3E+S」を同時に克服するための研究開発

構成技術

## エネルギー供給 (資源開発/エネルギー・物質変換)

<b>化石</b> <b>高効率火力発電</b> ・全負荷帯高効率化 ・高温材料 <b>燃料電池発電</b> ・SOFC耐久性/効率向上 ・IGFC発電 <b>低品位炭改質</b> ・乾燥/脱水 ・改質 <b>CCUS</b> ・CO2分離・貯留 ・CO2利用技術	<b>原子力</b> <b>安全技術</b> <b>原子炉技術</b> ・新型原子炉 <b>燃料管理・処分技術</b> ・バックエンド <b>資源開発</b> ・海底資源探鉱/採掘 ・メタンハイドレイド	<b>再生可能</b> <b>太陽光</b> ・光電池材料 ・集光型 ・人工光合成 <b>風力</b> ・洋上発電 ・調整力向上技術 <b>地熱</b> ・バイナリ発電 ・EGS発電 <b>水力</b> <b>海洋エネルギー</b> <b>バイオマス</b> ・藻類バイオマス燃料 ・バイオリファイナリー
---	---	---

## エネルギー利用 (高効率利用/高度利用)

<b>産業</b> <b>新規プロセス技術</b> ・中低温作動電解質反応 ・高付加価値化 <b>天然ガスの高効率利用</b> ・トリジェネレーション ・LNG冷熱利用 <b>石油の高度利用</b> ・重油の化学品利用 ・バイオ混合利用 <b>製鉄技術</b> ・水素利用 ・省エネ技術	<b>運輸</b> <b>次世代自動車</b> ・パワートレイン ・軽量化 ・蓄電池 ・燃料電池 <b>次世代輸送機器 (自動車以外)</b> ・軽量化 ・排気対応 (航空機/船舶) <b>次世代交通運輸システム</b> ・自動運転(自動車) ・高度地図情報 ・ITS	<b>民生</b> <b>熱利用機器</b> ・コージェネ：燃料電池 ・ヒートポンプ ・空調 ・太陽熱/地中熱利用 ・蓄熱技術 <b>断熱・遮熱・調光技術</b> ・断熱技術 ・調光窓 ・固体照明 <b>建物・地域の統合的高効率化</b> ・HEMS/BEMS/CEMS ・ZEH/ZEB ・センシング
---	---	---

電気

## エネルギーネットワーク (発電電・エネルギー配送/配電・熱供給/需要家内)

<b>出力調整技術</b> ・在来型電源の出力調整 ・変動電源の出力調整 <b>電力系統運用技術</b> ・最適運用モデル ・PV/風力発電予測技術	<b>送配電</b> ・高圧直流送電 ・超伝導ケーブル ・潮流安定化技術 (FACTS) <b>広域監視・制御技術</b>	<b>配電/家屋内</b> ・直流化 ・デジタル化、パケット化 <b>パワエレ・応用機器</b> ・PCS ・FACTS	<b>蓄エネルギー</b> ・蓄電池 (キャパシタ含む) ・蓄電(蓄電池以外) CAES/フライホイール/揚水 ・蓄熱	<b>熱・燃料キャリア</b> <b>エネルギーキャリア</b> ・水素 ・アンモニア ・有機ハイドライド	<b>分散協調型EMS</b> ・デマンドレスポンス ・EVとの連携 ・階層的システム制御 <b>エネルギーシステム予測・評価</b> ・最適化モデル ・需要予測モデル
---	---	--	---	--	--

社会技術

・評価法 (コベネフィットなど)、制度設計、方法論 (トラジションマネジメントなど)、行動科学など

共通要素技術

基盤技術：製造(鍛造・鋳造、冶金、粉体、接合、精密加工等)、材料、構造・強度、機械、燃焼、伝熱、流体、振動、化学、電気など

<b>エネルギー材料 (ナノ材料)</b> ・光電池 ・固体イオニクス材料 ・蓄電材料・パワー半導体材料 ・調光素子 ・超伝導材料 ・固体照明素子 ・断熱材料 ・軽量材料 ・耐熱材料 ・分離膜	<b>反応制御技術</b> ・光反応触媒 ・固体触媒 ・電気化学触媒 ・反応速度解析/熱力学解析 <b>計算科学</b> ・第一原理計算 ・分子動力学法	<b>製造プロセス技術</b> ・ナノ材料製造技術 ・デバイス製造技術 <b>計測技術</b> ・In-Situ分析 ・衛星観測	<b>数理モデル</b> ・流体拡散/反応シミュレーション ・構造解析シミュレーション ・複雑系ネットワーク理論 ・最適化 ・制御理論	<b>ICT/ビッグデータ活用</b> ・センシングデータ処理技術 ・大規模データ解析技術 ・サイバーセキュリティ	<b>システム技術</b> ・システム設計 ・システム制御技術 ・建物/都市システム設計 ・システム最適化評価 ・エンジニアリング
--	---	---	--	--	--

学術研究

【社会科学】社会学、政治学 (政策論、国際関係論)、エネルギー経済学、環境経済学 等  
 【応用科学】熱機関工学、機械工学、化学工学、プラント工学、材料工学、原子力工学、資源工学、電気電子工学、土木工学、建築工学、環境学 等  
 【基礎科学】熱力学、燃焼学、伝熱学、流体力学、電磁気学、電気化学、触媒化学、原子核物理学、地球物理学、生態学 等  
 【基礎】物理学、統計学、化学、生物学、情報学、計算科学 等

エネルギー分野の研究開発領域（俯瞰報告書）

領域	適用場面
1 資源開発技術	供給
2 火力発電	供給
3 CCUS	供給・利用
4 新型原子炉	供給
5 核融合炉	
6 原子力安全	
7 燃料等の処分・廃止措置	供給
8 風力発電	供給
9 地熱発電	供給
10 太陽光	供給・利用
11 バイオマス	供給・利用

領域	適用場面
12 エネルギーシステム評価	供給・NW・利用
13 分散協調型EMS	NW・利用
14 直流送配電・超電導送配電	NW・利用
15 パワーエレクトロニクス	NW・利用
16 蓄電技術	NW・利用
17 蓄熱技術	NW・利用
18 エネルギーキャリア	供給・NW・利用
19 燃料電池	供給・NW・利用
20 モーター・トランス磁石材料	NW・利用
21 スマートビル・ハウス	利用
22 断熱・遮熱・調光	利用
23 照明・ディスプレイ	利用
24 熱再生・利用技術	利用
25 触媒	供給・利用
26 分離	利用
27 燃焼(全般)	供給・利用
28 エンジン燃焼(自動車)	利用
29 トライボロジー	供給・利用
30 耐熱材料	供給・利用
31 高強度軽量材料	利用

■俯瞰報告書には、31の研究開発領域について、下記をまとめた

- ①研究開発（科学技術）トレンドとトピックス
- ②現在の研究開発（科学技術）のボトルネック
- ③国際ベンチマーク

産学から計88名の有識者の協力

# 環境・エネルギー分野の俯瞰活動 ワークショップの開催

- **社会課題対応俯瞰テーマ**: 今後の社会的課題として重要な特定テーマの俯瞰活動を通じて、中長期的な視点から、今後国として推進すべき研究開発テーマを抽出

平成27年度

## エネルギー・ネットワークシステム

電力・ガス自由化、再生可能エネルギー導入促進、IoTによる社会インフラのスマート化などにより、今後エネルギー供給・利用の形が変化することに対応する活動

学10名、産2名

## 植物資源環境(フューチャーグリーン)

H28,12/12

・温暖化対策への対応(緩和・適応)  
・食料問題、少子高齢化と農業・林業の後継者不足、耕作放棄地の増加などに対応する活動

学8名

## ■ 研究テーマ抽出活動(学協会連携)

- 3つの活動を通じて、中長期的な視点から、今後国として推進すべき研究開発テーマを抽出
- 各活動とも賛同いただける学協会の協力の下、若手・中堅の研究者の参加を得て、ワークショップを開催

### ①エネルギー社会の未来像

H28, 10/8,  
11/4

学19名、産2名

2050年あるいはそれ以降を想定し、既存の概念を超えたエネルギー社会(システム)の未来像を検討

H28, 12/3  
及び12/23

学23名、産7名

### ②エネルギー・低炭素未来科学技術

2050年頃に実用化(社会実装)が期待されるエネルギー技術(理論・現象、反応、材料、デバイス、およびそれらに基づくシステムなど)について検討

H28,  
11/25-26

学20名、産19名

### ③エネルギー基盤技術(工学)

未来社会に対応する新しい視点でのエネルギー分野の基盤技術を検討

基盤技術:製造、材料、構造・強度、機械、燃焼、伝熱、流体、振動、化学、電気、計測制御などの科学技術群

## ■ 最新の科学技術(研究開発動向)の把握

平成27年度

- 環境分野、エネルギー分野のアカデミアにおける最新の研究開発動向を把握し、今後の方向性を議論
- 若手・中堅の研究者による発表

### エネルギー科学技術

学33名

物理編、化学編、バイオ編の全3回

### 俯瞰セミナー

学8名

気候変動編、生物多様性編、環境汚染・健康編、循環型社会の全4回

### 環境科学技術

学29名

観測・計測技術編、予測技術編、対策技術編の全3回

この2年で、産学から約140名の参加



# 協力いただいた有識者（執筆協力者）

※五十音順、敬称略、所属・役職は本報告書作成にご協力いただいた時点

赤木 泰文 東京工業大学 大学院理工学研究科 教授  
 浅野 浩志 電力中央研究所 社会経済研究所 副研究参事  
 Aziz Muhammad 東京工業大学 科学技術創成研究院 特任准教授  
 荒井 政大 名古屋大学 大学院工学研究科 教授  
 梶岐 英 JXエネルギー株式会社 中央技術研究所 プリンシパルリサーチャー  
 井口 幸弘 福井大学 附属国際原子力工学研究所 客員教授  
 磯貝 明 東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授  
 一ノ瀬 泉 物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 副拠点長  
 伊藤 浩吉 日本エネルギー経済研究所 研究顧問  
 稲富 健一 地球環境産業技術研究機構 バイオ研究グループ 副主席研究員  
 稲葉 稔 同志社大学 理工学部 教授  
 乾 将行 地球環境産業技術研究機構 バイオ研究グループ グループリーダー  
 伊原 賢 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 調査部 上席研究員  
 今城 靖雄 日清紡ホールディングス株式会社 中央研究所 所長  
 岩船 由美子 東京大学 生産技術研究所 特任教授  
 上田 悦紀 日本風力発電協会 国際・広報部 部長  
 植村 豪 東京工業大学 工学院機械系 特任准教授  
 宇田 哲也 京都大学 大学院工学研究科 教授  
 内田 登 株式会社新エィシーイー 研究部 常務取締役研究部長  
 江口 浩一 京都大学 大学院工学研究科 教授  
 遠藤 尚樹 産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門 主任研究員  
 尾崎 純一 群馬大学 元素科学国際教育研究センター 教授  
 小尾 直紀 京都大学 生存圏研究所 ナノセルロース産学官連携マネージャー  
 小俣 孝久 東北大学 多元物質科学研究所 教授  
 垣内田 洋 産業技術総合研究所 構造材料研究部門 主任研究員  
 金子 祥三 東京大学 生産技術研究所 シニア協力員  
 川崎 大介 福井大学 学術研究院工学系部門 講師  
 甘蔗 寂樹 東京大学 生産技術研究所 准教授  
 草鹿 仁 早稲田大学 創造理工学部 教授  
 久保田 純 福岡大学 工学部 教授  
 熊井 真次 東京工業大学 物質理工学院 教授  
 栗原 和枝 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 教授  
 小宮山 涼一 東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
 孤田 卓哉 山形大学 COI研究推進機構 産学連携教授  
 斉藤 拓巳 東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
 齋藤 潔 早稲田大学 理工学術院 教授  
 佐々木 信也 東京理科大学 工学部 教授  
 鹿園 直毅 東京大学 生産技術研究所 教授  
 穴戸 哲也 首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 教授  
 庄司 一夫 日本CCS調査株式会社 技術企画部 担当部長  
 杉浦 隆次 日本大学 工学部 准教授  
 杉本 純 東京工業大学 大学院グローバル原子力安全・セキュリティ・エージェント 教育院 特任教授  
 杉本 涉 信州大学 繊維学部 教授  
 杉山 正和 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

但馬 敬介  
 田辺 新一  
 田淵 正明  
 田村 淳二  
 津島 将司  
 所 千晴  
 飛田 健次

富重 圭一  
 長野 方星  
 中村 寿  
 能村 貴之  
 乗松 孝好  
 橋本 望  
 長谷川 卓  
 林 潤一郎  
 林 泰弘  
 林 潤  
 廣澤 哲  
 藤井 康正  
 藤岡 祐一  
 藤田 修  
 本田 明弘  
 牧野 彰宏  
 松田 圭悟  
 松田 健二  
 松本 明善  
 圓山 重直  
 三俣 千春  
 峯元 高志  
 三原 雄司  
 矢加部 久孝  
 柳澤 教雄  
 柳原 敏  
 矢野 浩之  
 山口 彰  
 山口 作太郎  
 山口 猛央  
 山崎 由大  
 山野 秀将  
 山本 章夫  
 吉見 享祐  
 吉村 和記  
 劉 醇一  
 渡邊 裕章

理化学研究所 創発物性科学研究センター チームリーダー  
 早稲田大学 創造理工学部 教授  
 物質・材料研究機構 材料信頼性評価ユニット グループリーダー  
 北見工業大学 理事・副学長  
 大阪大学 大学院工学研究科 教授  
 早稲田大学 創造理工学部 教授  
 量子科学技術研究開発機構 核融合エネルギー研究開発部門  
 核融合炉システム 研究開発部長  
 東北大学 大学院工学研究科 教授  
 名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
 東北大学 流体科学研究所 准教授  
 北海道大学 エネルギー・マテリアル融合領域研究センター 准教授  
 大阪大学 レーザーエネルギー学研究中心 教授  
 北海道大学 大学院工学院 准教授  
 川崎重工株式会社 技術開発本部 水素チェーン開発センター  
 九州大学 先導物質化学研究所 教授  
 早稲田大学 先進理工学研究科 教授  
 大阪大学 大学院工学研究科 講師  
 物質・材料研究機構 元素戦略磁性材料研究拠点 代表研究者  
 東京大学 大学院工学系研究科 教授  
 福岡女子大学 国際文理学部 教授  
 北海道大学 大学院工学研究院 教授  
 弘前大学 北日本新エネルギー研究所 教授  
 東北大学 金属材料研究所 教授  
 山形大学 大学院理工学研究科 准教授  
 富山大学 大学院理工学研究部 教授  
 物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 主幹研究員  
 東北大学 大学院工学研究科 教授  
 物質・材料研究機構 元素戦略磁性材料研究拠点 企画マネージャー  
 立命館大学 理工学部 教授  
 東京都市大学 工学部 教授  
 東京ガス株式会社 リビング本部 燃料電池開発グループマネージャー  
 産業技術総合研究所 地球資源環境研究部門 主任研究員  
 福井大学 大学院工学研究科 特命教授  
 京都大学 生存圏研究所 教授  
 東京大学 大学院工学系研究科 教授  
 中部大学 超伝導・持続可能エネルギー研究センター 教授  
 東京工業大学 科学技術創成院 教授  
 東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
 日本原子力研究開発機構 高速炉研究開発部門 主任研究員  
 名古屋大学 大学院工学研究科 教授  
 東北大学 大学院工学研究科 教授  
 産業技術総合研究所 構造材料研究部門 首席研究員  
 千葉大学 大学院工学研究科 准教授  
 九州大学 大学院工学研究院 准教授

## ● エネルギー科学技術分野最新研究開発動向

### 物理・応用物理編

神原 陽一 慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科 准教授  
 齊藤 英治 東北大学 金属材料研究所 教授  
 沙川 貴大 東京大学 大学院工学系研究科 物理工学専攻 准教授  
 下谷 秀和 東北大学 大学院理学研究科 物理学専攻 准教授  
 竹延 大志 早稲田大学 先進理工学部 応用物理学科 教授  
 中村 優男 理化学研究所 創発物性科学研究センター 上級研究員  
 野崎 智洋 東京工業大学 大学院理工学研究科 機械物理工学専攻 教授  
 藤田 麻哉 産業技術総合研究所 機能磁性材料グループ グループ長  
 八井 崇 東京大学 大学院工学系研究科 電子工学専攻 准教授

### 化学・材料編

伊田 進太郎 九州大学 大学院工学研究院応用化学部門 准教授  
 宇田 哲也 京都大学 大学院工学研究科材料工学専攻 教授  
 折茂 慎一 東北大学 金属材料研究所 教授  
 陰山 洋 京都大学 大学院工学研究科物質エネルギー化学専攻 教授  
 兒玉 竜也 新潟大学 工学部 化学システム工学科 教授  
 清水 研一 北海道大学 触媒化学研究センター 教授  
 杉本 渉 信州大学 繊維学部化学・材料系 教授  
 鈴木 康介 東京大学 大学院工学系研究科応用化学専攻 助教  
 但馬 敬介 理化学研究所 創発物性科学研究センター創発機能高分子研究チーム チームリーダー

林 潤一郎 九州大学 先導物質化学研究所 教授  
 松尾 豊 東京大学 大学院理学系研究科 教授  
 山内 悠輔 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) MANA独立研究者  
 吉田 寿雄 京都大学 大学院人間・環境学研究科相関環境学専攻 教授  
 吉村 和記 産業技術総合研究所 構造材料研究部門 首席研究員

### 生物・バイオ編

天尾 豊 大阪市立大学 複合先端研究機構 教授  
 稲垣 史生 海洋研究開発機構 高知コア研究所 所長代理  
 梅津 光央 東北大学 大学院工学研究科 バイオ工学専攻 教授  
 金子 達雄 北陸先端科学技術大学院大学 マテリアルサイエンス研究科 准教授  
 蒲池 利章 東京工業大学 大学院生命理工学研究科 教授  
 佐塚 隆志 名古屋大学 生物機能開発利用研究センター 准教授  
 出村 拓 奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 教授  
 蓮沼 誠久 神戸大学 大学院工学研究科 応用化学専攻 教授  
 花井 泰三 九州大学 大学院農学研究院 生物機能科学部門 教授  
 森田 友岳 産業技術総合研究所 機能化学研究部門 バイオケミカルグループ 主任研究員

## ● エネルギーネットワーク・統合システム（EMS、スマートグリッド）

浅野 浩志 電力中央研究所 社会経済研究所 副研究参事  
 阿部 力也 東京大学 大学院工学系研究科 特任教授  
 岡本 浩 東京電力 常務執行役・経営技術戦略研究所 所長  
 江崎 浩 東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授  
 是久 洋一 九州大学 共進化社会システム創成拠点 拠点長  
 林 泰弘 早稲田大学 先進理工学研究科 教授  
 藤井 康正 東京大学 大学院工学系研究科 教授  
 藤田 政之 東京工業大学 大学院理工学研究科 教授  
 松山 隆司 京都大学 大学院情報科学研究科 教授  
 湊 真一 北海道大学 大学院情報科学研究科 教授  
 矢部 彰 NEDO技術戦略センター ユニット長  
 森川 博之 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

## ● 未来のエネルギー社会のビジョン検討

阿部 竜 京都大学 大学院工学研究科 教授  
 天野 博之 電力中央研究所 システム技術研究所 上席研究員  
 石井 秀明 東京工業大学 情報理工学院 准教授  
 石崎 孝幸 東京工業大学 工学院 システム制御系 助教  
 木村 誠一郎 公益財団法人 松下政経塾  
 小寺 哲夫 東京工業大学 工学院 電気電子系 准教授  
 小宮山 涼一 東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
 古山 通久 九州大学 稲盛フロンティア研究センター次世代エネルギー研究部門 教授  
 鹿園 直毅 東京大学 生産技術研究所 エネルギー工学連携研究センター 教授  
 島崎 洋一 山梨大学 生命環境学部 准教授  
 杉山 正和 東京大学 工学系研究科 准教授  
 中垣 隆雄 早稲田大学 大学院環境・エネルギー研究科 教授  
 中田 俊彦 東北大学 大学院工学研究科 教授  
 長谷川 浩 名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
 馬場 旬平 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 准教授  
 秀野 晃大 愛媛大学 社会連携推進機構 助教  
 細貝 聡 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域創エネルギー研究部門 研究員  
 松澤 幸一 横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授  
 三田 裕一 電力中央研究所 材料科学研究所 上席研究員  
 山口 容平 大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
 山本 章夫 名古屋大学 工学研究科 教授

## ● エネルギー基盤技術(工学)

伊藤 裕史 東亜合成株式会社 R & D総合センター 製品研究所 主査  
 阿部 浩幸 宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 主任研究開発員  
 磯部 展宏 三菱日立パワーシステムズ株式会社 タービン技術本部 主席技師  
 石本 興史 株式会社IHI 技術開発本部基盤技術研究所 主任研究員  
 伊東 淳一 長岡科学技術大学 電気電子情報工学課程・専攻 准教授  
 伊澤 精一郎 東北大学 大学院 工学研究科 准教授  
 磯 良行 株式会社IHI 技術開発本部 基盤技術研究所 流体グループ長  
 今川 健一 千代田化工建設株式会社 研究開発センター グループリーダー  
 市川 貴之 広島大学 大学院総合科学研究科 准教授  
 大畑 充 大阪大学大学院 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授  
 大見 敏仁 湘南工科大学 講師  
 小川 慧 株式会社東芝 電力・社会システム技術開発センター 主事  
 大竹 宏明 株式会社東芝 電力・社会システム技術開発センター 主事  
 岡崎 輝幸 三菱日立パワーシステムズ株式会社 火力システム研究部 燃焼研究グループ長  
 小熊光晴 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 研究グループ長  
 大友 順一郎 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム専攻 准教授  
 國枝 稔 岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 教授  
 小谷 和也 株式会社東芝 電力・社会システム技術開発センター 主査  
 小林 大輔 中部電力株式会社 技術開発本部 電力技術研究所 研究員  
 佐竹 正哲 電力中央研究所 原子力技術研究所 主任研究員  
 佐藤 航 株式会社日立製作所 研究開発グループ 研究員  
 重清 秀雄 日本エアープロダクツ株式会社 産業ガス事業部 部長  
 柴田 知宏 オークマ株式会社 F A開発部 サーボ制御開発課 課長  
 新保 洋一郎 福田金属箔粉工業株式会社 研究開発部 グループマネージャー  
 白石 俊彦 横浜国立大学 大学院環境情報研究院 准教授  
 田中 敬二 九州大学 未来化学創造センター センター長・教授  
 高橋 哲 東京大学 先端科学技術研究センター 光製造科学分野 教授  
 津島 将司 大阪大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授  
 傳田 知広 JFEエンジニアリング株式会社 技術本部総合研究所 主任研究員  
 滑川 徹 慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科 教授  
 中村 寿 東北大学 流体科学研究所 准教授  
 中本 圭一 東京農工大学大学院 工学研究科 先端機械システム部門 准教授  
 朴 炫九 ヤマザキマザック株式会社 技術本部ソリューション開発部 グループ員  
 藤本 悠 早稲田大学 スマート社会技術融合研究機構 准教授  
 山岡 弘人 株式会社IHI 技術開発本部 生産技術センター 副所長  
 (兼)溶接技術部 部長  
 山末 英嗣 立命館大学 理工学部機械工学科 准教授  
 八木 和行 九州大学 大学院 工学研究科 機械工学部門 准教授  
 矢部 一明 東洋エンジニアリング株式会社 エンジニアリング技術部 テクニカルエキスパート  
 横森 剛 慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 准教授

## ● エネルギー・低炭素未来科学技術

阿部 竜 京都大学 大学院工学研究科 物質エネルギー化学専攻 教授  
 天尾 豊 大阪市立大学 複合先端研究機構大学院理学研究科物質分子系専攻 教授  
 岩井 裕 京都大学 大学院工学研究科 准教授  
 上野 和英 山口大学 大学院創成科学研究科 工学系学域応用化学分野 助教  
 宇根本 篤 日立製作所 研究開発グループ 研究員  
 加藤 壮一郎 株式会社IHI 技術開発本部 基盤技術研究所 主査  
 川原 潤 三井化学株式会社 生産技術研究所 プロセス基盤技術G 主任研究員  
 北川 尚美 東北大学 大学院工学研究科化学工学専攻 准教授  
 塩見 淳一郎 東京大学 大学院工学系研究科 准教授  
 穴戸 哲也 首都大学東京 大学 都市環境科学研究科 分子応用化学 教授  
 澁谷 忠弘 横浜国立大学 リスク共生社会創造センター 准教授  
 須田 淳 京都大学 大学院 工学研究科 電子工学専攻 准教授  
 白土 優 大阪大学 大学院工学研究科 准教授  
 高橋 康史 金沢大学 自然科学研究科 理工研究域電子情報学系 准教授  
 忠永 清治 北海道大学 大学院工学研究院 応用化学部門 教授  
 辻 悦司 鳥取大学 大学院工学研究科化学・生物応用工学専攻 講師  
 中島 清隆 北海道大学 触媒科学研究所 物質変換研究部門 准教授  
 橋本 望 北海道大学 大学院工学研究院 准教授  
 藤原 忍 慶應義塾大学 理工学部応用化学科 教授  
 満留 敬人 大阪大学 大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 准教授  
 三木 則尚 慶應義塾大学 理工学部 機械工学科 准教授  
 屋口 正次 電力中央研究所 材料科学研究所 構造材料領域 上席研究員  
 矢代 茂樹 静岡大学 工学部 准教授  
 八馬 弘邦 KELK 常務取締役 熱電発電事業推進室長  
 山口 晃司 東レ株式会社 A C M技術部 産業・スポーツ技術室  
 山田 容子 奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 教授  
 渡邊 嘉之 日揮株式会社技術イノベーション本部技術イノベーションセンター プロジェクトマネージャー

# 研究開発動向

# エネルギー分野の国際ベンチマーク

## エネルギー供給(製造・転換)

		資源開発		火力発電		CCUS		新型原子炉		核融合炉		原子力安全		燃料等の処分・廃止措置		風力発電		地熱発電		太陽光発電						バイオマス					
		現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向				
日本	基礎	○	→	◎	↗	○	→	△	→	○	→	○	↗	○	→	○	→	◎	↗	○	↘	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	→		
	応用	◎	→	◎	↗	◎	→	△	↘	◎	→	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	△	→	○	↗	○	→
米国	基礎	◎	→	◎	→	○	→	△	→	○	↘	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→	○	→	◎	↗		
	応用	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	○	↘	△	→	○	→	○	→
欧州	基礎	◎	→	◎	→	○	→	○	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	→		
	応用	◎	→	◎	→	△	↘	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→	△	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	→
中国	基礎	○	→	○	→	○	→	△	→	○	↗	○	↗	○	↗	△	→	△	→	△	↗	△	→	○	↗	×	→	○	↗	—	→
	応用	○	→	◎	↗	○	→	○	↗	◎	↗	○	↗	△	→	△	→	△	→	○	↗	△	→	△	→	△	→	—	→	△	→
韓国	基礎	△	→	○	→	△	→	△	→	○	→	○	→	○	→	△	↘	△	→	△	↘	△	→	○	→	×	→	◎	↗	—	→
	応用	△	→	○	→	△	→	△	→	○	→	○	↗	○	↗	△	↘	△	→	○	↘	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→

※1つの研究開発領域について3名程度の専門家による主観評価をCRDSにて取りまとめたもの。根拠となる情報は報告書の国際比較表に記載。

■基礎・応用 基礎：大学・国研などでの基礎研究レベル 応用：技術開発(プロトタイプの開発含む)・量産技術のレベル

■現状 (日本の現状を基準にした相対評価ではなく絶対評価)

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている ○：ある程度の活動・成果が見えている  
 △：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない ×：特筆すべき活動・成果が見えていない

■動向 直近2年程度の取り組み状況。↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

# エネルギー分野の国際ベンチマーク

## エネルギーネットワーク (貯蔵・輸送)

## エネルギー利用 (省エネ)

		エネルギーシステム		分散協調型EMS		直流・超電送配電		パワエレ		蓄電						蓄熱	エネキャリ	燃料電池		モータ・トランス磁石		スマートビルハウス		断熱・遮熱・調光				照明・ディスプレイ					
		現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	リチウムイオン		フロー電池				キャパシタ		現状	動向	現状	動向	現状	動向	断熱・遮熱		調光		有機EL		量子ドット	
												現状	動向	現状	動向			現状	動向							現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向
日本	基礎	○	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↗	○	→	○	↗	◎	↗	○	↗	○	→	△	→	◎	↗	◎	↗	◎	↘				
	応用	○	→	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	△	↘	◎	↗	×	→	△	↘	△	→		
米国	基礎	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	→	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	↗	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	→	◎	→				
	応用	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	→	△	↗	◎	↗	○	→	○	→	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	→				
欧州	基礎	◎	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	○	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	○	→	○	↘				
	応用	◎	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	△	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	◎	↗	◎	↗	△	↘	◎	↗	○	↗	○	↗	◎	↗		
中国	基礎	○	↗	○	↗	○	↗	○	→	○	↗	△	↗	◎	↗	○	↗	△	→	△	↗	○	↗	○	↗	×	→	○	↗				
	応用	○	↗	○	→	○	↗	△	↗	○	↗	○	↗	◎	↗	○	→	△	→	△	↗	○	↗	◎	↗	○	↗	△	↗	×	→		
韓国	基礎	○	→	△	→	○	↗	△	→	○	↗	△	→	△	↘	○	→	△	→	△	→	△	→	○	↗	○	→	○	↗	◎	↗		
	応用	○	→	△	→	◎	↗	△	→	◎	↗	△	→	△	↘	○	↗	△	→	○	↗	△	↗	○	↗	○	→	×	→	◎	↗	○	→

# エネルギー分野の国際ベンチマーク

## エネルギー利用(省エネ)

		熱再生利用				触媒		分離						燃焼 (全般)	エンジン 燃焼		トラ イボ ロ ジ		耐熱材料				高強度軽量材料						
		理論		ヒート ポンプ				CO <sub>2</sub>		随伴水		希少金 属							新材料 開発技 術		材料損 傷・劣 化評価 技術		炭素織 維複合 材料 (CF RP) 等		アルミ ニウム 合金		セル ロース ナノ ファイ バー		
		現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向	現 状	動 向		
日本	基礎	◎	→	◎	→	◎	↗	○	→	○	↘	○	→	◎	→	○	↗	○	↗	◎	→	◎	↗	○	→	○	↘	◎	↗
	応用	△	↘	◎	→	○	↗	◎	→	○	↗	○	→	◎	→	○	→	○	→	◎	→	○	↗	◎	↗	○	↗	◎	↗
米国	基礎	○	↗	◎	→	○	→	○	→	◎	→	△	↘	◎	→	○	↗	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	△	↘	◎	↗
	応用	△	→	○	→	○	→	◎	→	◎	↗	○	→	◎	→	◎	↗	◎	→	◎	↗	○	→	○	→	◎	↗	◎	↗
欧州	基礎	○	→	◎	↗	◎	→	○	→	○	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	△	→	◎	↗
	応用	○	↗	◎	↗	◎	→	△	↘	◎	↗	◎	↗	◎	→	○	→	◎	↗	◎	↗	○	→	◎	↗	◎	↗	◎	↗
中国	基礎	○	→	△	→	○	↗	○	→	○	→	○	↗	○	↗	△	↗	○	↗	△	↗	○	↗	○	→	○	↘	◎	↗
	応用	◎	↗	△	↗	○	↗	○	→	○	→	◎	↗	△	↗	△	→	△	↗	△	↗	—	—	○	→	○	↗	○	↗
韓国	基礎	△	→	×	→	△	→	△	→	△	↘	△	→	○	→	△	→	△	→	△	↘	○	→	△	→	○	↘	△	↗
	応用	△	→	○	→	△	→	△	→	○	→	△	↘	△	→	△	→	△	→	△	→	—	—	○	→	○	↗	△	↗

# エネルギー分野の国別強み・特徴

国名	強み・特徴
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎研究、応用開発を総合的に考えた際に、世界をリードしている研究領域としては、火力発電、蓄電池、燃料電池、磁石、耐熱材料。</li> <li>世界トップクラスにあるものとしては、CCUS、太陽光発電、地熱発電、分散協調型EMS、パワエレ、蓄熱、ヒートポンプ、触媒、燃焼などが該当。</li> <li>逆に欧米に比して、日本が弱い領域として、新型原子炉、エネルギーシステム評価（モデル）、スマートビル・ハウス（ZEB/ZEH）などが該当。</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>高いレベルにある領域は、シェール開発に代表される採掘技術、CCUSにおける燃焼前CO2回収技術、それに関連する分離技術、地熱発電、原子力安全、燃焼やトライボロジーなど。またICT活用という点で分散協調型EMS、スマートビル・ハウスなどにも優位性。</li> <li>デバイス等の要素技術については、必ずしも多くないが、遮熱、調光、有機ELに強み。またパワエレのように多数の大学に研究センターが設立され、研究開発に企業も巻き込んで活発に展開。</li> </ul>
中国	<ul style="list-style-type: none"> <li>火力発電領域では、A-USC、IGCC、国産ガス化炉の技術開発に積極的。核融合炉領域では、核融合工学試験炉の建設を中国政府に提案中。</li> <li>キャパシタ技術に関して、車載用蓄電池の研究に強み。</li> <li>真空断熱材の長寿命・低コスト化、高性能低放射ガラス等の安定生産と大規模化、希少金属の分離技術の選鉱プロセス開発などに積極的。</li> </ul>
韓国	<ul style="list-style-type: none"> <li>ペロブスカイト太陽電池の研究開発では世界のトップレベル。</li> <li>核融合原型炉K-DEMOの設計が開始されている点が特徴。</li> <li>リチウムイオン電池についてサムソン、LGを中心に応用開発に関する実力は非常に高い。政府として電池材料の国産化にも注力。また超電導においても2016年に入りY系線材の価格が、Bi系と同等かそれ以下を実現したとの報道もある。より長いケーブルプロジェクトの検討も進む。</li> <li>有機EL材料や有機ELディスプレイ、量子ドットディスプレイについてもサムソンやLGが国内外の大学に資金を出し、精力的に研究開発に取り組んでおり、世界でトップ。</li> </ul>



# エネルギー分野の国別強み・特徴

	強み・特徴
欧州	<ul style="list-style-type: none"> <li>世界トップクラスにある技術として、資源開発、核融合、原子力安全と使用済燃料処理、結晶Si系の太陽光発電、洋上風力、地熱、バイオマスの燃焼とガス化、エネルギーシステム評価技術、分散協調型EMS、直流送配電等、パワエレ、蓄電、蓄熱、エネキャリ、ZEB、断熱・遮熱、高温ヒートポンプ、触媒、随伴水・汚染水、希少金属の分離、エンジン燃焼、燃焼技術、トライボロジー、耐熱材料、CFRP、セルロースファイバーなどの高強度軽量材料。</li> <li>これらの技術優位性に貢献する国は、主に英仏独であるが、それ以外では、アイスランド、イタリアなどでの地熱発電、オランダ、ベルギー、ノルウェイが太陽光発電、ヒートポンプ技術では、デンマークが貢献。高強度軽量材料のセルロースナノファイバーでは森林国のフィンランド、スウェーデンが積極的に研究を進める。</li> </ul>
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> <li>高い研究開発レベルを維持している領域は、太陽光発電、風力発電、直流・超電導送配電、パワエレ、蓄電デバイス、蓄熱、照明・ディスプレイ、熱再生利用、触媒、エンジン燃焼など幅広い。</li> <li>太陽光発電では、フラウンホーファー研究所を中核に、結晶Si系の要素技術やCIS太陽電池、ペロブスカイト太陽電池等の基礎研究や集光型太陽電池モジュール開発など、非常に高い研究水準を維持。</li> <li>風力発電では、将来的な風車設計技術確立に向けた風車後流や乱流に関する研究などフレームワーク計画の多様な研究開発プロジェクトを分担実施しつつ、積極的に洋上風力の研究開発も進め、シーメンスなどの有力なプレーヤが実用化につなぐ。</li> </ul>
英国	<ul style="list-style-type: none"> <li>風力発電では、風車・タービン設計や風洞試験などの基礎研究、ケーブル敷設、発電量予測評価、浮体式洋上風力発電の実証プロジェクトなど、各成熟段階において先駆的な位置づけにある。</li> <li>ケンブリッジ大学やリーズ大学など複数の大学がリードするトライボロジー研究開発。</li> </ul>
フランス	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力全般（新型原子炉、核融合炉、原子力安全）において世界の研究開発をリード。特に新型原子炉では、ナトリウム冷却高速炉ASTRIDプロジェクトや欧州を中心に進められているガス冷却高速炉ALLEGROの研究開発を推進。</li> <li>結晶Si太陽電池、スーパーキャパシタ、PtCo合金およびカーボンアロイ触媒など燃料電池、磁石などの材料・デバイス開発に強み。</li> </ul>

## 注目動向（科学技術トピックス）

- **[火力]** 高温化に向けた耐熱材料技術や低コスト化技術、燃料電池との組み合わせによる高効率化技術、再生可能エネルギーとの協調制御型火力発電技術等の研究開発が要注目(日本、ドイツ)
- **[CCSU]** CO2回収プロセスでは膜法などの分離回収手法研究が、CO2地中隔離プロセスではCO2注入後のモニタリングやCO2漏洩検知に関する研究が、CO2有効利用については人工光合成などの研究が要注目。
- **[風力]** 出力10MW 以上の大型洋上風力発電システム開発で低速・大トルク・大型のダイレクトドライブ同期型の超電導発電機の導入可能性が検討。電力システムとの連系対応技術の開発も要注目。新規概念風車としての**空中風車技術**(米国)。[Googleが買収したMakani Power 社はグライダー式の600kW機を米国で、日本のSoft bankなどが出資したAltaeros社は気球式の30kW風車をアラスカで試験中。]
- **[太陽]** **ペロブスカイト太陽電池**について、20%を超える光電変換特性が再現よく得られるペロブスカイト薄膜結晶成膜技術を京都大学が確立。韓国化学技術研究所やスイスローザンヌ工科大学でも20%超変換効率を達成(韓国、スイス、日本)
- **[バイオマス]** バイオマス由来の糖や低級有機酸等を起点とする化成品製造に関する基礎、プロセスなどバイオマス燃料、バイオリファイナリー研究が要注目。
- **[エネモデル]** エネルギー需要のビックデータからの**消費者行動のモデル化**の可能性がある。
- **[分散EMS]** 産官学の連携による**バーチャルパワープラント**実証を各地で多数実施。欧州は政策目標実現を視野にした系統安定化技術で世界をリード（米国）。
- **[送配電]** 2016年にイットリウム系線材の価格が安価になり、ビスマス系と同等かそれ以下になったとの報道（韓国）。今後再生可能エネルギーの普及と相まって、直流送電への投資が急速に増大する可能性有り。

## 注目動向（科学技術トピックス）

- **[パワエレ]**自動車・鉄道その他、直流送電や大規模太陽光・風力発電への需要が高い。
- **[蓄電]**全固体電池やイオン液体等の電解質が盛ん。日本は自動車用途がメインだが、欧米は再生可能電力の大量導入を見据えレドックスフロー電池をはじめ電力用途のエネルギー貯蔵技術に注力。
- **[蓄熱]**欧米中は、太陽熱発電プラントに併設する化学蓄熱技術を開発。
  - 硝酸塩系潜熱蓄熱材（融点306℃）を使用したCSP向けの中温潜熱蓄熱システムの開発（ドイツ）
  - 化学反応を利用して太陽エネルギーを熱として放出できる蓄熱材を用いて太陽熱の長期間の保存を確保し貯蔵安定性を実現（米国）
- **[FC]**発電のみならず、化学品合成に電解セル（特に中温域）を用いる動き。
- **[遮熱]**高分子系の波長選択型の遮熱塗装技術の開発（米国）
- **[断熱]**Ag/SiO<sub>2</sub>コアシェル型ナノ微粒子を用いたプラズモン吸収による波長選択型の遮熱膜の作製（欧州）
- **[断熱]**フュームドシリカを利用した長寿命断熱材に関する研究（欧州）
- **[調光]**日本は調光ミラー薄膜、米国はプラズモン調光材料の開発や有機エレクトロクロミック材料の開発
- **[熱再生]**自然系冷媒のイソブタンを用いた単段・高温ヒートポンプもしくはイソブタンを高温側にR134aを低温側に用いたカスケードヒートポンプの開発（ドイツ）
- **[熱再生]**日本のメーカーが冷媒充填量を低下できる技術を開発
- **[燃焼]**新しい燃焼方式の**ケミカルループ燃焼**（金属酸化物を酸化剤として媒介利用）を用いて、CO<sub>2</sub>分離回収の研究開発が活発化（欧米。アイデアは日本発）
- **[燃焼]**超高効率化を目的とした研究がトレンドであり、新しい燃焼方式を含めて研究が進んでいる。
- **[トライボ]**複合領域であるトライボロジについては、拠点型の研究開発（欧米）
- **[耐熱材]**Mo-Si-B基合金、SiC/SiC複合材料（通称CMC）、**高エントロピー合金**（High Entropy Alloys; HEAs）などが要注目。
- **[軽量材]**航空機向けの先進真空樹脂含浸成形法(Advanced VaRTM)というCFRP成形法

# 日本の大学等の強み

- **[核融合]**レーザー核融合については、**大阪大学**の提案する高速点火方式が最終段階。この高速点火方式は流体力学的不安定性の影響が少なく注目すべき方法。
- **[CCU]**NEDOプロで、世界最高水準となる3%の太陽光エネルギー変換効率を達成。堂免（東大）ら等、**光触媒コミュニティ**の論文が世界的に引用。
- **[太陽電池]**JST-CRESTで京都大学が20%を超える光電変換特性を再現よく得られるペロブスカイト薄膜結晶成膜技術を確立
- **[バイオリファイナー]****神戸大学**が、細胞内の数百種類の化合物を網羅的に測定する技術を活用して、セルロース系バイオマスから多様な物質を高効率に作り出すための基盤技術を確立。
- **[パワエレ]**JSTのスーパークラスター、FIRSTの革新パワーエレクトロニクス等により、**京大と名大に拠点**が形成。京大はSiC、名大はGaNに強み。SIP次世代パワエレにより、大学研究者の裾野や交流も広がっている。
- **[蓄電池]**NEDO-RISING、ALCA「次世代蓄電池」、「元素戦略（触媒・電池拠点）」により、オールジャパンで推進。世界から注目が集まっている。
- **[蓄熱]**近年、いくつかのトピックスが出ている。
  - ✓ 蓄熱した熱を、圧力を加えることで自在に取り出すことができる新セラミックス蓄熱材を東京大学と筑波大学が共同で開発。
  - ✓ 産総研らの研究グループは、分子動力学計算から糖アルコール類が高い潜熱量を持つ要因を突き止め、より高蓄熱密度の糖アルコール系潜熱蓄熱材の設計コンセプトを抽出。計算科学からの材料設計は、潜熱蓄熱材の分野では例がなかった。
  - ✓ 理研は二酸化バナジウムの一部を他の金属で置換した物質に、大きな蓄熱特性を持つことを発見し、固固相転移利用型潜熱蓄熱材を開発。
- **[エネキャリア]**産総研では、二酸化炭素と水素、ギ酸を行ったり来たりさせる技術（エネキャリアとしてギ酸を用いる技術）を開発。SIPにより、いくつかのシーズが生まれている。

# 日本の大学等の強み

- **[燃料電池]**PEFCの触媒については低白金化、非白金化の研究開発が進められており、日本がリード。コアシェル触媒で同志社大、合金触媒で山梨大、東工大、カーボン系触媒で群馬大、東工大、金属酸窒化物で横浜国大が検討。研究拠点として九州大(水素含む)、山梨大。
- **[磁石]**「元素戦略(磁性材料拠点)」や「東北発素材技術先導プロジェクト」により、**NIMSおよび東北大に拠点**が形成。NIMSは評価技術、東北大は材料技術に強み。JST産学共創プログラムにより、研究者の裾野を維持。
- **[熱再生]**未利用エネルギー革新的活用技術研究組合(TherMAT)は1300℃の耐高温性能を有し、産業/工業炉からの排熱を従来比3倍の性能で回収する高温用高効率熱交換器を開発。
- **[調光]**産総研がガスクロミック方式を用いた調光ミラーシートやプルシアンブルーを用いた調光材料の開発、千葉大学が銀の電解析出を用いた調光材料の開発、NIMSが金属錯体を用いた調光材料の開発。
- **[照明・ディスプレイ]**有機ELについて、JST「地域卓越結集プログラム」やCOIにより、**山形大**に、FIRSTやERATOにより、**九大に拠点**が形成。山形大はデバイス技術に、九大は材料技術に強み。
- **[ヒートポンプ]**九大による冷媒の熱力学的物性や輸送物性の測定評価は世界のトップクラスを保持しており、測定結果は世界標準である冷媒物性計算ソフト“refprop(米国NIST)”にも採用。
- **[CO<sub>2</sub>分離膜]**産総研は、安価な材料(ポリフェニレンオキシド)から優れた分離性能と柔軟性を持つ新規中空糸炭素膜を開発し、低コストで破損しにくい膜モジュールの開発に世界で初めて成功。
- **[耐熱材料]**Ni基超合金、Ti-Al合金、Mo-Si-B基合金に関しては、国際的にも見ても優位な研究拠点が、各々、**NIMS、東京工大、東北大学**に形成。
- **[セルロースナノファイバー]**京大は企業と共同で、京都プロセスと呼ばれる低コストのセルロースナノファイバー新製造方法を開発。**東大**は、触媒を用いてセルロース解繊(分離)を促進させ、効率よく製造する技術を確立し、自動車部品への実用化研究を推進。

# 研究開発(科学技術)政策

# 主要国のエネルギー政策（研究開発含む）

国・地域	エネルギー政策	科学技術・イノベーション政策	エネルギー研究開発・科学技術計画	注目ファンディング
日本	第4次エネルギー基本計画（2014）	・第5期科学技術基本計画(2016-2020年度) ・科学技術イノベーション総合戦略	環境エネルギー技術革新計画（平成25年） 「エネルギー・環境イノベーション戦略」（平成28年）	・SIP, ImPACT ・文科省・経産省合同検討会対象施策
米国	未来の安定したエネルギーを確保するための構想（Blueprint for a Secure Energy Future）（2011）	総合的な計画は無。（大統領府が方向性と優先付を行い、各省庁等が個別に策定）	DOE Strategic Plan 2014-2018	・エネルギーフロンティア研究センター（EFRC） ・エネルギーイノベーション・ハブ ・ARPA-E ・各プログラム部局が幅広い分野(車両技術、再生可能、電力グリッド近代化、ビル効率化など)に研究開発支援
EU	・エネルギー・気候変動政策パッケージ（2007） ・Energy 2020（2010） ・2030年の気候変動・エネルギー政策目標（2014）	Horizon 2020（2014-）	欧州戦略的エネルギー技術計画（SET-PLAN、2007年） （新SET-PLAN、2015年）	・Horizon 2020：エネルギー分野は、「社会的課題への取り組み」 ・Euratom：原子力の研究開発プログラム。 ・JTI（Joint Technology Initiative）：産業界が研究プロジェクトの資金の50%以上を拠出。Fuel Cells and Hydrogen
ドイツ	10のエネルギーアジェンダ（2014-）	新ハイテク戦略（2014-）	第6次連邦政府エネルギー研究プログラム（2011-2014）	・エネルギー転換に関するコペルニクス・プロジェクト（2016年4月、連邦教育研究省）
英国	・2050年までの展望（2050 Pathways Analysis）（2010） ・「低炭素移行計画（LCTP）」（2009-） ・「UK再生可能エネルギー戦略」	成長計画：科学とイノベーション（Our plan for growth: science and innovation）（2014-）	エネルギーに特化した技術計画は無	・カタパルトプログラム エネルギー関連では、海上再生可能エネルギー、エネルギーシステム、未来都市、輸送システムの4つ。
フランス	2050年のエネルギー構想（Energies 2050）（2012）	・France Europe 2020（2015-） ・イノベーションのための原則と7の大志（2013-）	2016年12月に策定・公開予定	・「未来への投資」（PIA） 第一期と第二期でクリーンエネルギー、第三期でエネルギー転換。
中国	エネルギー発展『第13次5カ年』計画（2016）	・中長期科学技術発展計画（2006-2020） ・第13次5カ年科学技術イノベーション発展計画	「エネルギー技術『第13次5カ年』計画」 「エネルギー技術革命イノベーション行動計画」（2016-2030年）	・国家重点基礎研究発展計画 ・国家ハイテク研究開発発展計画 ・国家科学技術支援計画
韓国	第二次国家エネルギー基本計画（2013~2035年）	第3次科学技術基本計画（2013-2017）	第3次エネルギー技術開発計画（2014-2023）	韓国エネルギー技術評価・企画院(KETEP)がエネルギー分野のファンディングの中心

# エネルギー分野の科学技術（研究開発）政策

国名	注力分野
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>科学技術・イノベーション戦略で「エネルギーバリューチェーンの最適化」において、エネルギープラットフォームの構築、およびクリーンなエネルギー供給の安定化と低コスト化、水素社会の実現に向けた新規技術や蓄電池の活用等によるエネルギー利用の安定化、新規技術によるエネルギー利用効率の向上と消費の削減、革新的な材料・デバイス等の幅広い分野への適用、が挙げられている。</li> <li>「エネルギー・環境イノベーション戦略」において、エネルギーシステム統合技術、パワエレ、センサー、超電導、革新的生産プロセス、超軽量・耐熱構造材料、蓄電池、水素等製造・貯蔵・利用、太陽光発電、地熱発電、CO2固定化・有効利用を革新技術として指定。</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎における重点分野は、水素、太陽エネルギー利用、超伝導体、固体発光素子、核エネルギー、輸送燃料のクリーン高効率燃焼、ジオサイエンス、蓄電、材料、炭素回収などである。研究アプローチの方法としては計算材料科学などシミュレーションを基盤とする技術やナノ・ミクロからマクロをつなぐメソスケール科学の視点が重視。</li> <li>応用分野では車両技術、バイオエネルギー技術、水素・燃料電池技術、太陽光・風力・水力・地熱による発電技術、家庭・ビル・産業での効率向上として先進製造、ビルディング技術、CCS技術、電力グリッド近代化、燃料サイクルなど幅広い分野にまたがる。</li> <li>最近の注目動向としてもものづくり回帰の傾向があり、先進製造技術（パワエレや構造材料など）に対してDOEがファンディング</li> </ul>
中国	<ul style="list-style-type: none"> <li>2016年12月に制定の「エネルギー発展『第13次5カ年』計画」では、2020年までに「総エネルギー消費量」、「エネルギー安全保障」、「エネルギー供給能力」、「エネルギー消費構造」、「エネルギー効率」、「低炭素目標」、「エネルギーサービス」の関する7つのミッションを重点的に推進。</li> <li>「エネルギー技術革命イノベーション行動計画（2016-2030年）」及び「エネルギー技術革命重点イノベーション行動ロードマップ」を発表し、水素エネルギー及び燃料電池技術イノベーション、先端エネルギー貯蔵技術イノベーションなど15の重点イノベーション任務を提示している。</li> </ul>
韓国	<ul style="list-style-type: none"> <li>「第3次エネルギー技術開発計画（'14～'23年）」のエネルギー革新技術プログラムの推進の方向性として、分散化、クリーン化、効率化、安全、知能化。17の技術プログラムを指定：1.次世代戦略資源開発、2.高効率クリーン火力発電、3.国民安心原子力発電、4.再生可能エネルギーのハイブリッドシステム、5.次世代クリーン燃料、6.次世代送配電、7.スマートホーム・ビル、8.スマートFEMS、9.スマートマイクログリッド、10.エネルギーネガワットシステム、11.需要対応型ESS（エネルギー貯蔵システム）、12.CCUS（CO2捕集/活用/保存）、13.未来のエネルギー発電、14.ワイヤレス電力送受信、15.未来高効率エネルギー変換/保存、16.3Dプリンティングベース最新の製造プロセス技術、17.エネルギーIoT +ビッグデータプラットフォーム</li> </ul>



# エネルギー分野の科学技術（研究開発）政策

	注力分野
欧州	<ul style="list-style-type: none"> <li>2015年新SETプラン（Integrated Strategic Energy Technology [SET] plan）を採択。この焦点分野は、再生可能エネルギー、消費者向けスマートエネルギーシステム、エネルギー効率向上、持続可能な輸送技術、そして特にCCSと原子力の安全強化。</li> <li>Horizon 2020：3本柱（卓越した科学、産業界のリーダーシップ確保、社会的課題への取り組み）で構成。エネルギー分野は、「社会的課題への取り組み」に属し、ゼロ・エミッションに近い建物、低価格かつ低環境影響の電力供給、分散された再生可能エネルギー源をつなぐ欧州レベルでの送電網といったテーマが挙げられている。予算額は59億€（7年間分）。</li> <li>Euratom：原子力の研究開発プログラム。年間0.6億€程度。</li> <li>JTI（Joint Technology Initiative）：産業界が研究プロジェクトの資金の50%以上を拠出。総額は30億€超。6テーマの内、エネルギー関連は、燃料電池と水素。</li> </ul>
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> <li>2014年発表「10のエネルギーアジェンダ」のエネルギー研究（2011年「第6次エネルギー研究プログラム」の継続）にて、①エネルギー貯蔵、②未来の発送電ネットワーク、③高効率エネルギーを利用したスマートシティの重点分野の研究開発を推進。</li> <li>その他のエネルギーアジェンダは以下の通り。グリーンエコノミー、バイオエコノミー、持続可能な農業生産、資源の確保、都市のエネルギー消費効率化、エネルギー高効率な建築、持続可能な消費</li> <li>2016年4月に、連邦教育研究省が、4つの「エネルギー転換に関するコペルニクス・プロジェクト」を発表。プロジェクトは、マックスプランク研究所により発案され、新ネットワーク構造、余剰電力の貯蔵“Power-to-X”、社会的受容も含めた産業化プロセス、エネルギーシステム・インテグレーションの4つの領域。今後10年間、アーヘン工科大などのアカデミア、シーメンス社などの産業界、市民社会が連携してエネルギーシステムの転換に必要な技術的、経済的解決策を生み出していく。研究参加者の1割は社会学者。</li> </ul>
英国	<ul style="list-style-type: none"> <li>成長計画で今後投資すべき八大技術（Eight Great Technologies）の一つとして、エネルギー貯蔵</li> <li>地理的・気候的特徴を生かした海洋エネルギーを重要な位置付け、特に洋上風力の開発推進後押し</li> <li>産学協同の研究開発拠点であるカタパルトセンターが、主要企業や大学等と分野横断的な産業クラスターを形成し、研究成果とイノベーションの架け橋として機能。エネルギー関連では、海上再生可能エネルギー、エネルギーシステム、未来都市、輸送システムの4つ。</li> </ul>
フランス	<ul style="list-style-type: none"> <li>「国家研究戦略」（France Europe 2020 SNR）の10の社会的課題のうち、①持続可能な資源開発と気候変動への適応、②安全・クリーン・効率的なエネルギー、③交通と持続可能な都市システムがエネルギー関連。</li> <li>「イノベーションのための原則と7の大志」の7つの戦略分野：エネルギーの貯蔵</li> <li>公的研究機関と民間企業の連携を進め、基礎研究成果の産業活用を目的とした「カルノー機関」であるÉnergies du Futurが、再生エネルギー供給、水素システム、送配電、蓄電、CO2貯蔵、材料開発等のエネルギー新技術開発に取り組む。</li> </ul>

## 今後の展望・方向性

## 世界の研究開発（科学技術）政策、および研究開発動向から判断

- 低炭素化（エネ高効率化・省エネ化）への対応
  - 火力、CCS（二酸化炭素の回収・貯蔵）
  - 原子力、核融合
  - 太陽光、風力、地熱
  - 熱再生利用、蓄熱、断熱・遮熱
  - 燃烧、トライボロジー
  - 耐熱材料、高強度軽量材料
  - BEMS/HEMS, ZEB/ZEH
- 再生可能エネルギーの大量導入時（負荷変動、分散、直流など）への対応
  - 調整力付火力
  - 分散型EMS
  - 直流送電（超電導含む）
  - エネルギー貯蔵、パワーエレクトロニクス、磁石
- エネルギー資源（石炭、石油から天然ガス、バイオマス資源、再生可能E由来電力）変遷への対応
  - エネルギーキャリア、燃料電池
  - CCU（二酸化炭素の有効活用）、バイオマス、触媒
- 原子力の安全性や廃炉などへの対応

世界のエネルギー分野の研究開発の特徴は、“all of the above”である。  
日本も2030年までを見越した研究開発は一通り取組まれている。

# 未来に向けた日本の大学等による挑戦課題（グランドチャレンジ）

俯瞰の結果を踏まえ、重点的に大学・国研に核（拠点あるいはネットワーク）を構築しておくべき領域として右図の領域をリストアップ

## ■ 再生可能エネルギー大量導入時代（2040~2050年）を見据えた研究

### □ 新しいエネルギーネットワーク

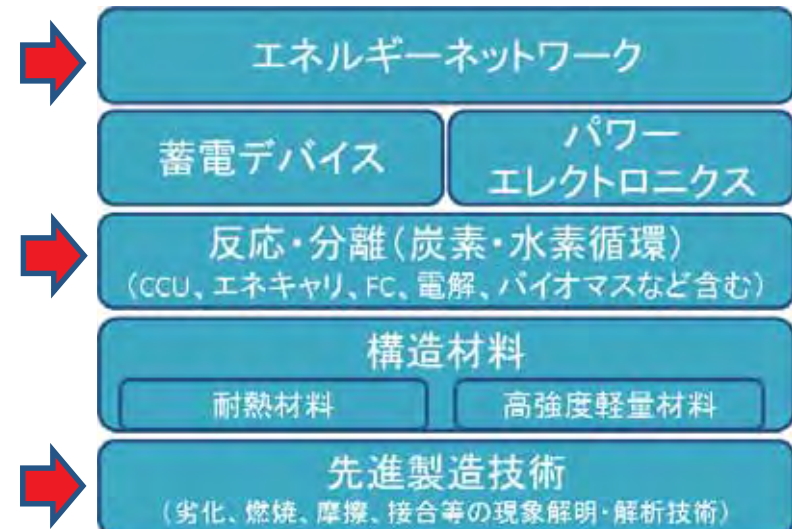
1. ICTを利用した分散管理型の電力潮流制御方法
2. 電力の市場取引メカニズム
3. 将来のエネルギー需給構造変化に呼応したモデル開発と評価
4. エネルギーと熱の総合利用
5. エネルギー利用に関わる人間の行動科学

### □ 高度炭素・水素循環利用

（電力・基幹物質コプロダクション）

のための革新的反応・分離

1. CO<sub>2</sub>分離・回収技術
2. CO<sub>2</sub>変換技術
3. 水素製造（水分解）・貯蔵技術（エネルギーキャリア）
4. 燃料電池（中温作動電解質、水素以外の燃料等）
5. メタン等変換技術
6. バイオリファイナリ（ホワイトバイオ）



なお、今後の再生可能E大量導入を見据え、エネルギー貯蔵やパワエレをはじめその他の領域も当然重要であり、現在内閣府、経済産業省、文部科学省で取組まれているプログラム、及びその深化が必要

## ■ エネルギーの高効率利用（低炭素化）に資する先進製造基盤研究

大学等に基礎学理構築から技術移転フェーズまでの持続可能なプラットフォーム（拠点&ネットワーク）を構築

1. 材料技術の耐熱性・耐衝撃性向上、高強度軽量化、マルチマテリアル化
2. 加工技術、トライボロジー技術、振動抑制技術の高機能化、高精度化
3. 大規模構造体連成解析技術（熱流体、燃焼、構造強度、振動、潤滑、材料、電磁気、化学等要素技術の統合化）

CRDSとしては、今後少なくとも上記3点については、優先的に調査・提言をしていきたい

## 日本の大学等による挑戦課題（グランドチャレンジ）にむけた体制

- エネルギー分野は社会課題解決に向けた総合工学分野である。現在の縦割り、細分化された教育、研究体系ではイノベーションは創出されにくい。関連して、本来の工学が弱体化している。大学における工学のあり方を検討する必要がある。
- 教育と研究の連携、基礎研究と応用研究・開発の一層の連携（府省の連携）が求められる。
- ファundingが先端応用研究に偏重している傾向がある。府省におけるファundingプログラムや大学等における研究プロジェクトの設計において、先端研究と同時に基盤研究にも取組めるような仕組み（体制）づくりが肝要となる。