

# 研究開発の俯瞰報告書概要

# エネルギー分野 (2017年)

JST研究開発戦略センター  
環境・エネルギーユニット

## ① 分野の範囲と構造

### ■ 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
- エネルギー分野は社会課題解決に向けた総合的分野であり、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、バイオすべてを含む)



### ■ 31 研究開発領域を設定し俯瞰分析

- 資源開発技術
- 火力発電
- CCUS
- 原子力炉
- 核融合炉
- 原子力安全
- 燃料管理・処分
- 太陽光
- 風力発電
- 地熱発電
- バイオマス
- エネルギーシステム評価
- 分散協調型EMS
- スマートビル・ハウス
- 断熱・遮熱・調光
- 蓄電技術
- 蓄熱技術
- 熱再生・利用技術
- エネルギーキャリア
- 燃料電池
- パワーエレクトロニクス
- 直流送電・超電導送電
- モーター・トランス磁石材料
- 照明・ディスプレイ
- 触媒
- 分離
- 燃焼 (全般)
- エンジン燃焼 (自動車)
- トライボロジー
- 耐熱材料
- 高強度軽量材料

## ③ 科学技術トピックス

これまでの歴史を見ても、時間をかけて効率を上げていくという側面が強い分野。その中でも世界で新しい、あるいは注目を集めているものは下記の通り。

- 空中風車：空中に浮遊させる形の風力発電
- バーチャルパワープラント (VPP)：多数の小規模な発電所や、電力の需要抑制システムを一つの発電所のようにまとめて制御を行うシステム
- ペロブスカイト太陽電池：ハロゲン化鉛系ペロブスカイトを利用した太陽電池。変換効率は2009年の3.9%から2016年には最大21.0%に著しく性能向上
- 全固体電池：ポストリチウムイオン電池。硫化物系、イオン液体、濃厚電解液系などの電解質
- 太陽熱発電プラントに併設する化学蓄熱：溶融塩や化学反応を利用した中温潜熱蓄熱システム
- 調光窓 (ガラス)：スイッチで太陽光・熱を効果的に遮って冷暖房負荷を低減する省エネルギー型ガラス
- 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し、CO2分離回収
- 高エントロピー合金：多種類の元素をほぼ等原子量含む合金。優れた高温強度、拡散速度などの物理特性を有する。
- セルロースナノファイバー：植物由来の素材で、鋼鉄より軽く、数倍の強度等の特性を有する。

## ② 研究開発動向・研究開発 (科学技術) 政策

国	研究開発	政策
日本	基礎研究、応用開発を総合的に考えた際に、世界を先導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 (モーター・トランス)、耐熱材料。	「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、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。
米国	高いレベルにある領域は、シェール開発に代表される探掘技術、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。遮熱、調光、有機ELに強み。	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。最近の注目動向としてものづくり回帰の傾向、先進製造技術 (パワエレや構造材料など) も注力
欧州	全領域で研究開発レベルが高く活発。技術優位性に貢献する国は、主に独、次いで仏英。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、ノルウェーが太陽光発電、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推進	2015年新SETプラン上の焦点分野は、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
ドイツ	「10のエネルギーアジェンダ」にて、①エネルギー貯蔵、②未来の送電ネットワーク、③スマートシティの重点分野の研究開発を推進。2016年、BMBWFが「エネルギー転換に関するコベルニクス・プロジェクト」を発表。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。	何れの区分も研究開発レベルが高く、注目すべき活動を多数展開。
英国	「成長計画」で今後投資すべき「八大技術」の一つとして、エネルギー貯蔵。産学協同の研究開発拠点である「カタリットセンター」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	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。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	2016年「国家エネルギー研究戦略」を策定
中国	火力発電、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政府に提案中。キャパシタ技術に関して、車載用蓄電池の研究に強み	「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、15項目の重点イノベーション領域を提示
韓国	ペロブスカイト太陽電池、リチウムイオン電池、超電導、有機EL材料や有機ELディスプレイに強み	「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

## ④ 日本の大学等の強み

- [核融合]レーザー核融合については阪大が国内で唯一取組み
- [CCU] 光触媒コミュニティの論文が世界的に引用
- [バイオマス] バイオリファイナリに関して神戸大学に拠点が形成
- [パワエレ] パワー半導体について京大と名大に拠点が形成。京大はSiC、名大はGaNに強み。
- [蓄電池]ポストLIBについて、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。
- [燃料電池]PEFCの触媒について低 (非) 白金化の研究開発が盛ん。同志社大、山梨大、東工大、群馬大、横浜国大、九大が優位。
- [磁石] 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。
- [調光]産総研がガスクロミック方式調光ミラーシートやブルシアンプルーを用いた調光材料、千葉大学が銀の電解析出を用いた調光材料、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、山形大および九大に拠点が形成。山形大はデバイス技術に、九大は材料技術に強み。
- [耐熱材料]Ni基超合金、Ti-Al合金、Mo-Si-B合金に関して、各々国際的にも見ても優位な研究拠点が、NIMS、東工大、東北大に形成。
- [高強度軽量材]京大は低コストのセルロースナノファイバー新製造方法。東大は、触媒を用いてセルロース解糖を促進、効率よく製造する技術を確立。

## ⑤ 世界の技術革新の潮流

研究開発の特徴は、“all of the above”

- 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
  - ・ 燃焼、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 (モーター)
- 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

## ⑥ 日本の挑戦課題

- 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
    - ・ ICTを利用した分散管理型の電力潮流制御方法
    - ・ 電力の市場取引メカニズム
    - ・ 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
    - ・ エネルギーと熱の総合利用
    - ・ エネルギー利用に関わる人間の行動科学
  - 高度炭素・水素循環利用のための革新的反応・分離
    - ・ CO2分離・回収技術
    - ・ CO2変換技術
    - ・ 水素製造 (水分解)・貯蔵技術 (エネルギーキャリア)
    - ・ 燃料電池 (中温作動電解質、水素以外の燃料等)
    - ・ メタン等変換技術
    - ・ バイオリファイナリ (ホワイトバイオ)
  - 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
    - ・ 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
    - ・ 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
    - ・ 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)
- 体制面の課題
  - ◆ 縦割り、細分化された教育、研究体系
  - ◆ 大学における工学のあり方
  - ◆ ファンディングが先端応用研究に偏重
    - ✓ 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
  - ◆ 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)

## 2.1 エネルギー分野の概要

エネルギーは人類が社会・経済活動を営む上で必要不可欠なものである。持続可能な社会の実現に向けて、3E+Sの同時克服を目指した研究開発が必要となる。

※ 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）。

ここでは、「エネルギー供給」、「エネルギー利用」、「エネルギーネットワーク」の3区分を勘案して俯瞰調査を行った。今後も定期的に動向を把握すべき主要な31の研究開発領域を抽出し、研究開発の動向やトピックス、研究課題、国際ベンチマークを整理した。



図2-1 エネルギー分野の俯瞰図

日本、米国、欧州、ドイツ、英国、フランス、中国、韓国の1地域・7国において、31の研究開発領域を中心に研究開発動向（直近2-3年程度）と現在の研究開発（科学技術）政策をまとめたものが次の表となる。

国・地域	概 要	
日 本	研究開発動向	<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）、HEMS/BEMS (ZEB/ZEH) などが該当。</li> </ul>
	研究開発・科学技術政策	<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、CO<sub>2</sub> 固定化・有効利用が革新技術として指定。</li> </ul>
米 国	研究開発動向	<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 CO<sub>2</sub> 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>
	研究開発・科学技術政策	<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・マイクロからマクロをつなぐメソスケール科学の視点を重視。</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（エネルギー省）等がファンディング</li> </ul>
欧 州	研究開発動向	<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、ノルウェーが太陽光発電、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>
	研究開発・科学技術政策	<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。</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <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	研究開発動向	<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>
	研究開発・科学技術政策	<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	研究開発動向	<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があり、グリーン・トライボロジーは、今後の研究開発動向に注目</li> </ul>
	研究開発・科学技術政策	<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	研究開発動向	<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>
	研究開発・科学技術政策	<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>

中 国	研究開発動向	<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>
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>『第13次5ヵ年』科学技術発展計画(2016-2022年)における「国家重点研究開発プログラム」では、「新エネルギー自動車」が掲げられる。また、「第13次5ヵ年科学技術イノベーション計画(2016-2020年)」では、イノベーション重点プロジェクトとして「航空機エンジンおよび内燃タービン」が、イノベーション重点事業として「石炭のグリーン化・高効率利用」の研究開発が掲げられる。</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)」などを発表し、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の15項目の重点イノベーションを提示。</li> </ul>
韓 国	研究開発動向	<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。また、核融合原型炉K-DEMOの設計が開始されている点の特徴。</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>
	研究開発・科学技術政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー革新技術プログラム“Energy Innovation Architecture 2025”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>

以上、世界の研究開発(科学技術)政策、および研究開発動向から総合的に判断するとエネルギー分野における世界の研究開発の主な潮流は下記の4点に集約されるといえる。

1. 低炭素化(エネルギー高効率利用・省エネルギー)への対応
2. 再生可能エネルギーの大量導入時への対応
3. エネルギー資源(石炭、石油から天然ガス、バイオ資源、再生可能エネルギー由来電力)変遷への対応
4. 原子力の安全性や廃炉などへの対応

1. は、火力、CCS、原子力、核融合、太陽光、風力、地熱、熱再生利用、蓄熱、燃焼、トライボロジー、耐熱材料、高強度軽量材料、BEMS/HEMSといった研究開発領域が、2. は、調整力付火力、分散協調型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(モータ・トランス)が、3. は、エネルギーキャリア、燃料電池、CCU、バイオマス、触媒といった領域が該当する。4は福島事故を受けて、世界的に取り組みが実施されている。

上記及び、社会・経済の動向や現在の国のエネルギー分野の研究開発ファンディングの状況、CRDSで開催したワークショップの結果も踏まえ、日本がこの2～3年の間に国として重点的に大学・国研等を中心とした取組みを検討すべきエネルギー分野の研究開発テーマは下記の通りとした。

1. 再生可能エネルギー大量導入時代に向けた

- ・新しいエネルギーネットワーク（システム）
- ・高度炭素・水素循環利用（電力・基幹物資コプロダクション）のための革新的反応・分離

2. 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技術

2. の例としては、「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」、「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」、および「大規模構造体連成解析技術」等が挙げられる。

なお、今後の再生可能エネルギー大量導入を見据え、エネルギー貯蔵、パワーエレクトロニクスなどが、また省エネルギーに向け、構造材料をはじめその他の領域も重要であり、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やその発展・深化が必要である。

国際比較表まとめ (エネルギー分野)

【エネルギー供給(製造・転換)】

国	フェーズ	エネルギー資源開発技術		火力発電		CCUS(Carbon Capture Utilization and Strage)		新型原子力炉		核融合炉		原子力安全		使用済燃料等の処理処分・廃止措置		風力発電		地熱発電	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	○	→	◎	↑	○	→	△	→	○	→	○	↑	○	→	○	→	◎	↑
	応用・開発	◎	→	◎	↑	◎	→	△	↓	◎	→	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑
米国	基礎	◎	→	◎	→	○	→	△	→	○	↓	◎	→	○	→	◎	↑	◎	↑
	応用・開発	◎	→	◎	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	○	↑	○	↑	◎	↑
欧州	基礎	◎	→	◎	→	○	→	○	→	○	→	◎	→	○	→	◎	→	○	→
	応用・開発	◎	→	◎	→	△	↓	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	↑
中国	基礎	○	→	○	→	○	→	△	→	○	↑	○	↑	○	↑	△	→	△	→
	応用・開発	○	→	◎	↑	○	→	○	↑	◎	↑	○	↑	△	→	△	→	△	→
韓国	基礎	△	→	○	→	△	→	△	→	○	→	○	→	○	→	△	↓	△	→
	応用・開発	△	→	○	→	△	→	△	→	○	→	○	↑	○	↑	△	↓	△	→

国	フェーズ	太陽光発電												バイオマス	
		結晶Si太陽電池		化合物薄膜太陽電池		有機薄膜型太陽電池		超高効率集光型		ペロブスカイト太陽電池		太陽光発電システム		現状	トレンド
日本	基礎	○	↑	◎	↑	○	↓	◎	↑	○	↑	○	↑	◎	→
	応用・開発	◎	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	△	→	○	↑	○	→
米国	基礎	○	→	◎	↑	◎	→	◎	↑	○	→	○	→	◎	↑
	応用・開発	○	↑	◎	↑	○	→	○	↓	△	→	○	→	○	→
欧州	基礎	◎	→	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	↑	○	↑	◎	→
	応用・開発	◎	→	△	→	◎	→	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	→
中国	基礎	△	↑	△	→	○	↑	×	→	○	↑	—	—	○	↑
	応用・開発	○	↑	△	→	△	→	△	→	—	—	△	→	○	↑
韓国	基礎	△	↓	△	→	○	→	×	→	◎	↑	—	—	○	→
	応用・開発	○	↓	×	→	△	→	×	→	△	→	△	→	△	→

【エネルギーネットワーク(貯蔵・輸送)】

国	フェーズ	エネルギーシステム評価		分散協調型エネルギーマネジメントシステム		直流送配電・超電導送配電		パワーエレクトロニクス		蓄電デバイス						蓄熱技術		エネルギーキャリア	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	リチウムイオン		フロー電池		キャパシタ		現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	○	→	◎	→	○	→	◎	→	◎	↑	○	→	○	↑	◎	↑	○	↑
	応用・開発	○	→	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	→	◎	→	○	→	◎	↑	◎	↑
米国	基礎	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	→	◎	↑	◎	↑	○	↑	○	↑	○	↑
	応用・開発	◎	↑	◎	↑	○	→	◎	→	△	↑	◎	↑	○	→	○	→	○	↑
欧州	基礎	◎	↑	◎	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	○	↑
	応用・開発	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	△	↑	○	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑
中国	基礎	○	↑	○	↑	○	↑	○	→	○	↑	△	↑	◎	↑	○	↑	△	→
	応用・開発	○	↑	○	→	○	↑	△	↑	○	↑	○	↑	◎	↑	○	→	△	→
韓国	基礎	○	→	△	→	○	↑	△	→	○	↑	△	→	△	↓	○	→	△	→
	応用・開発	○	→	△	→	◎	↑	△	→	◎	↑	△	→	△	↓	○	↑	△	→

【エネルギー利用(省エネ)】

国	フェーズ	燃料電池		モーター・トランス磁石材料		スマートビル・ハウス		断熱・遮熱・調光				照明・ディスプレイ				熱再生利用技術			
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	断熱・遮熱		調光		有機EL		量子ドットLED等		理論		ヒートポンプ	
								現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	○	→	◎	→	○	→	△	→	◎	↑	◎	↑	◎	↓	◎	→	◎	→
	応用・開発	◎	↑	○	→	△	↓	◎	↑	×	→	△	↓	△	→	△	↓	◎	→
米国	基礎	○	→	○	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	◎	→	○	↑	◎	→
	応用・開発	○	→	○	↓	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	↑	◎	→	△	→	○	→
欧州	基礎	○	→	○	→	◎	↑	◎	↑	○	↑	○	→	○	↓	○	→	◎	↑
	応用・開発	○	→	△	↓	◎	↑	◎	↑	○	↑	○	↑	◎	↑	○	↑	◎	↑
中国	基礎	△	↑	○	↑	○	→	△	↑	○	↑	×	→	○	↑	○	→	△	→
	応用・開発	△	↑	○	↑	◎	↑	◎	↑	○	↑	△	↑	×	→	◎	↑	△	↑
韓国	基礎	△	→	△	→	○	→	○	↑	○	→	○	↑	◎	↑	△	→	×	→
	応用・開発	○	↑	△	↑	○	↑	○	→	×	→	◎	↑	○	→	△	→	○	→

国	フェーズ	触媒		分離技術						燃焼(全般)		エンジン燃焼(自動車)		トライボロジー	
		現状	トレンド	CO <sup>2</sup>		随伴水		希少金属		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
				現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド						
日本	基礎	◎	↑	○	→	○	↓	○	→	◎	→	○	↑	○	↑
	応用・開発	○	↑	◎	→	○	↑	○	→	◎	→	○	→	○	→
米国	基礎	○	→	○	→	◎	→	△	↓	◎	→	○	↑	◎	→
	応用・開発	○	→	◎	→	◎	↑	○	→	◎	→	◎	↑	◎	→
欧州	基礎	◎	→	○	→	○	→	○	→	◎	→	◎	→	◎	→
	応用・開発	◎	→	△	↓	◎	↑	◎	↑	◎	→	○	→	◎	↑
中国	基礎	○	↑	○	→	○	→	○	↑	○	↑	△	↑	○	↑
	応用・開発	○	↑	○	→	○	→	◎	↑	△	↑	△	→	△	↑
韓国	基礎	△	→	△	→	△	↓	△	→	○	→	△	→	△	→
	応用・開発	△	→	△	→	○	→	△	↓	△	→	△	→	△	→

国	フェーズ	耐熱材料				高強度軽量材料					
		新材料開発技術		材料損傷・劣化評価技術		炭素繊維複合材料(CFRP)等		アルミニウム合金		セルロースナノファイバー	
		現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド	現状	トレンド
日本	基礎	◎	→	◎	↑	○	→	○	↓	◎	↑
	応用・開発	◎	→	○	↑	◎	↑	○	↑	◎	↑
米国	基礎	○	→	◎	↑	◎	↑	△	↓	◎	↑
	応用・開発	◎	↑	○	→	○	→	◎	↑	◎	↑
欧州	基礎	○	→	◎	↑	◎	↑	△	→	◎	↑
	応用・開発	◎	↑	○	→	◎	↑	◎	↑	◎	↑
中国	基礎	△	↑	○	↑	○	→	○	↓	◎	↑
	応用・開発	△	↑	—	—	○	→	○	↑	○	↑
韓国	基礎	△	↓	○	→	△	→	○	↓	△	↑
	応用・開発	△	→	—	—	○	→	○	↑	△	↑

(註1) フェーズ  
 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  
 (註2) 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  
 (註3) トレンド：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

エネルギー分野の概要