

## エグゼクティブサマリー

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。

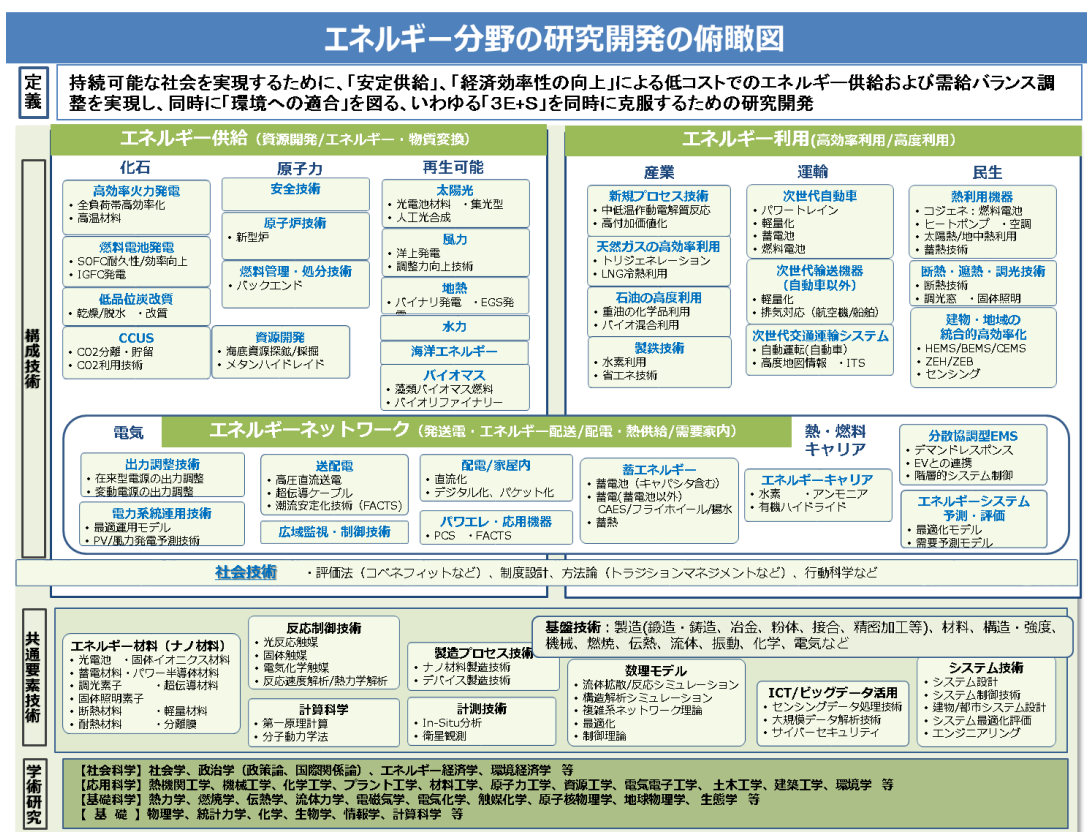


図 エネルギー分野の研究開発の俯瞰図

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>
	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</li> </ul>

		<p>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。</p> <p>・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。</p>
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ーが実用化につなぐ。</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	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	<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</li> </ul>

	政策	<p>交通と持続可能な都市システムがエネルギー関連。</p> <ul style="list-style-type: none"> <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 <i>Énergies du Futur</i> が、再生エネルギー供給、水素システム、送配電、蓄電、CO<sub>2</sub>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（CO<sub>2</sub>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。

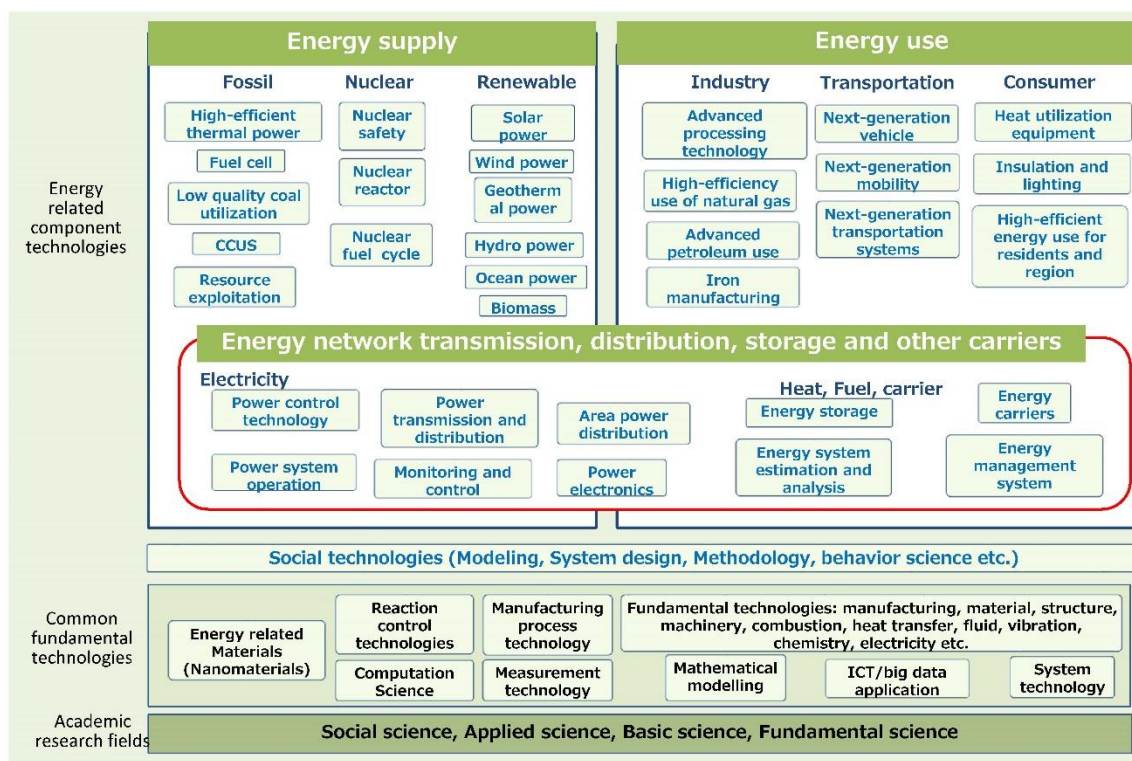
## Executive Summary

Energy is indispensable for mankind to carry out social and economic activities. In order to realize a sustainable society, research and development aimed at concurrently overcoming 3E+S(Energy Security, Economic efficiency, Environment and Safety) is necessary.

The energy field is described as an integrated engineering and made up of various engineering sectors in order to solve social problems. Related science and technologies (constituent elements) covers a wide range, including mechanical engineering, electrical engineering, chemical engineering, nanotechnology and materials, ICT, biotechnology etc.

This report conducted a panoramic view study taking into consideration the three categories "Energy supply", "Energy use", and "Energy network". For this study, 31 R&D key areas were selected, as shown in the figure below, that should continue to keep track of the trends, and in each individual area. Regarding individual areas, trends and topics of R&D, research themes and international benchmarks were organized.

Figure Panoramic view of energy R&D



R&D trend and science and technology policy in 31 areas (the most recent two to three years) of one region and seven countries: Japan, the United States, Europe, Germany, UK, France, China and South Korea are shown in the following table.

Table R&D areas overview in the energy field

Japan	R&D Trend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The research fields that lead the world in both basic and applied research are thermal power generation, storage batteries, fuel cells, magnets and heat resistant materials.</li> <li>• R&amp;D of CCUS, photovoltaic power generation, geothermal power generation, EMS, power electronics, heat storage, heat pump, catalyst, combustion are regarded the best in the world.</li> <li>• R&amp;D of advanced nuclear reactors, energy system evaluation and its model, ZEB/ZEH are weaker than those in Europe and the United States.</li> </ul>
	Science and Technology Policy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The chapter of "optimization of energy value chain" in science technology and innovation strategy mentioned energy platform construction, stabilization and cost-reduction of clean energy supply, stabilization of energy use by new technologies and storage batteries to realize hydrogen society, improvement of energy utilization efficiency and energy saving by new technologies, application of innovative materials and devices to a wide range of fields.</li> <li>• The National Energy &amp; Environment Strategy for Technological Innovation towards 2050 (NESTI 2050) designated following technologies as innovative technology: energy system integration technology, power electronics, innovative sensors, superconductivity, innovative production process, Ultra-light and super heat-resistant structural material, storage battery, hydrogen production, storage and use, photovoltaic, geothermal and CCUS.</li> </ul>
USA	R&D Trend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologies of mining typified by shale development, pre-combustion CO<sub>2</sub> recovery technology of CCUS and related separation technology, geothermal power generation, nuclear safety, combustion and tribology are positioned at a high level. In terms of ICT, Energy Management System (EMS), HEMS/BEMS are ranked as the best in individual energy fields.</li> <li>• Elemental technologies such as thermal insulation, dimming, organic EL, is strong. Research centers represented by power electronics field have been established in many universities. R&amp;D has actively developed in cooperation with private companies.</li> </ul>
	Science and Technology Policy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As fundamental research, hydrogen, photovoltaic, superconductors, solid-state light-emitting elements, nuclear energy, clean high-efficiency combustion for transportation, geosciences, power storage, materials, carbon recovery are prioritized. As a research methodology, simulation-based technologies such as computational material science and mesoscale science connecting macros with nano-micro are emphasized.</li> <li>• Applied research covers a wide range of technology: vehicle, bio energy, hydrogen and fuel cell, power generation of solar, wind, hydro, geothermal, advancing manufacturing for home and industry energy saving, building, CCS, power grid modernization and fuel reprocessing.</li> <li>• Recent trend is "returning to manufacturing". DOE funds to advanced manufacturing technology (power electronics, structural materials, etc.)</li> </ul>
Europe	R&D Trend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologies of resources development, nuclear fusion, nuclear safety and fuel reprocessing, crystalline silicon photovoltaic system, offshore wind</li> </ul>

		<p>power, geothermal power, gasification of biomass, energy system evaluation, EMS, DC transmission and distribution, power electronics, battery storage, heat storage, energy career, ZEB, thermal insulation, high temperature heat pump, catalyst, associated and contaminated water, separation of rare metals, engine combustion, combustion, tribology, heat-resistant material, CFRP and high strength lightweight material such as cellulose fiber are world top class.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The UK, France and Germany mainly contribute to overall technological advantages. Iceland and Italy for geothermal power generation, Netherlands, Belgium and Norway for solar power generation, Denmark for heat pump technology, Finland and Sweden of forestry countries for cellulose nanofibers of high-strength lightweight material, have contribute to advance research, individually.</li> </ul>
	Science and Technology Policy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• New Integrated Strategic Energy Technology (SET) Plan, adopted in 2015, focuses on renewable energy, smart energy systems for consumers, energy efficiency improvement, sustainable transport technology, and in particular CCS and nuclear safety.</li> <li>• Horizon 2020 puts an emphasis on excellent science, industrial leadership and tackling societal challenges. As related energy fields, nearly zero emissions house, power supply of low price and low environmental impact, and the transmission network connecting distributed renewable energy sources in Europe are listed.</li> <li>• Under the Joint Technology Initiative (JTI), industry contributed over 50% of research project funds. The total fund amount is over 3 billion euros. Among six of JTI themes, there are two themes for energy (fuel cell and hydrogen).</li> </ul>
Germany	R&D Trend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In a wide range of fields, R&amp;D maintains excellent levels such as photovoltaic power generation, wind power generation, direct current/superconducting transmission/distribution, power electronics, power storage device, heat storage, lighting/display, thermal recycling, catalyst and engine combustion.</li> <li>• In photovoltaic power generation, the Fraunhofer Institute plays a main role and maintains extremely high research standards such as fundamental research of crystalline silicon element technology, CIS solar cell, perovskite solar cell and concentrating photovoltaic module development.</li> <li>• In wind power generation, various R&amp;D projects under the framework plan are promoting studies on wake and turbulent flow applied for offshore wind power to establish future wind turbine design with the collaboration with leading players such as Siemens.</li> </ul>
	Science and Technology Policy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• According to "10 Energy Agenda" announced in 2014, a document to continue 6<sup>th</sup> energy research program in 2011, energy storage, future transmission and distribution power network, smart city using high-efficiency energy were set for priority fields. (Other fields are green economy, bio economy, sustainable agricultural production, securing resources, urban energy efficiency improvement, energy efficient construction and sustainable consumption)</li> <li>• Federal Ministry of Education and Research (BMBF) announced four Copernicus projects on energy conversion devised by Max Planck Institute. The projects cover four areas: new network structure, storage of surplus electric power "Power-to-X", industrialization process including social acceptance and energy system integration. For the next 10 years,</li> </ul>



		<p>academia such as Aachen Technical University, industries such as Siemens and citizens will cooperate to create technological and economic solutions necessary for the conversion of energy systems. About 10% of the participants in the research are sociologists.</p>
UK	R&D Trend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic research for windmill turbine design, wind tunnel testing, and demonstration projects for cable laying, power generation forecasting and floating offshore stations, are in a pioneering position.</li> <li>• R&amp;D of tribology and its innovative study of "Green Tribology" led by several universities such as Cambridge and Leeds should be noticed.</li> </ul>
	Science and Technology Policy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "Energy and its storage" was selected as one of the Eight Great Technologies to be invested in future growth plans.</li> <li>• Ocean power generation is positioned as an important energy that takes advantage geographically and climatically. In this area, offshore wind power is strongly developing.</li> <li>• "The Catapult Programme", an industry-academia collaborative R&amp;D base, forms a cross-sectorial industrial cluster with key enterprises and universities, and functions to bring research results to innovation. There are four programs: offshore renewable energy, energy systems, future cities and transport systems for energy fields.</li> </ul>
France	R&D Trend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• France plays a world leading role of nuclear power R&amp;D (new reactor, nuclear fusion reactor, nuclear safety). For the most modern reactors, the sodium-cooled fast reactor ASTRID project and the gas-cooled fast reactor ALLEGRO are being promoted.</li> <li>• Developing of material and device for fuel cells and magnets, such as crystal silicon solar cells, super capacitors, PtCo alloys, carbon alloy catalysts, etc. have advantages.</li> </ul>
	Science and Technology Policy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Among the 10 issues of the "National Research Strategy" (France Europe 2020 SNR), "sustainable resource development and adaptation to climate change", "safe, clean and efficient energy" and "transport and sustainable urban system" are classified as energy related issues.</li> <li>• One of the seven strategic fields of "A principle and the seven ambitions for innovation" is energy storage.</li> <li>• "Energies du Futur", one of the Carnot Institutes, aiming at collaboration between public research institutes and private companies to promote industrial utilization of basic research results, is engaged in developing renewable energy supply, hydrogen system, power distribution, power storage, CO2 storage and materials development.</li> </ul>
China	R&D Trend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• For thermal power generation, R&amp;D of A-USC, IGCC and domestic gasification furnace are actively promoted. For nuclear fusion, the construction of a nuclear fusion engineering test reactor is being proposed to the Chinese government.</li> <li>• Research on automotive storage batteries is strong for capacitor technology.</li> <li>• Life extension and cost reduction of vacuum insulation materials, stable production and scale enlargement of high-performance low radiation glass and process development for the rare metal separation are actively promoted.</li> </ul>
	Science and Technology Policy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "13th National Priority Research and Development Program" of Science and Technology Development Plan listed new type of energy vehicle. "13th Five Years Science and Technology Innovation Plan" nominated aircraft engines and internal combustion turbines as priority innovation projects and raised research on greening and highly efficient use of coal as a prior</li> </ul>

		<p>innovation business.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• In "Energy Technology Revolution Innovation Action Plan", 15 preferential innovations, such as hydrogen energy, fuel cells and advanced energy storage technology are designated.</li> </ul>
South Korea	R&D Trend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• R&amp;D of perovskite solar cell is the world's top level. The design of the nuclear fusion prototype reactor K-DEMO has been started.</li> <li>• Samsung and LG have high level technologies of lithium ion battery. The government supports domestic production of battery materials. For superconductivity, the price of yttrium type wire rods has been reported to reach the same level as that of bismuth system. Longer distance cable projects are under planning.</li> <li>• For organic EL materials, organic EL displays and quantum dot displays, Samsung and LG fund domestic and overseas universities to actively engage in R&amp;D and lead the world.</li> </ul>
	Science and Technology Policy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decentralization, cleaning, efficient, safety, intelligent are determined as the direction of energy innovation technology program "Energy Innovation Architecture 2025". 17 technical programs designated : next-generation strategic resource development, high efficiency clean thermal power generation, safe nuclear power generation, renewable energy hybrid system, next generation clean fuel, next generation transmission and distribution, smart home and building, smart FEMS, smart micro grid, energy nega-watt system, demand-responded energy storage system, CCUS, future power generation, wireless power transmission, efficient power conversion/storage, manufacturing process based on 3D printing technology and energy IoT + big data platform.</li> </ul>

Based on these surveys, the main trends of world R&D in the energy field are summarized in the following four items.

1. Technical improvement for low carbonization (energy efficient use and energy conservation)
2. Measures to cope with massive amount of renewable energy introduction
3. Responding to energy resources transformation (from fossil fuels to renewable energy)
4. Safety of nuclear power and preparation to radioactive waste and dismantling

Item1 consists of thermal power, CCS, nuclear power, nuclear fusion, solar power, wind power, geothermal, thermal recycling, thermal storage, combustion, tribology, heat resistant materials, highly lightweight materials and BEMS/HEMS. Item2 consists of coordinated power, EMS, direct current transmission (including superconductivity), energy storage, power electronics and magnets (motor and transformer). Item3 consists of energy carrier, fuel cell, CCU, biomass and catalysts. According to item4, in response to the Fukushima accident, global efforts are being implemented for these issues.

Based on the above issues as well as social and economic trends, the R&D items in the energy field that Japan should currently challenge as a nation, mainly with universities and other related sectors, are as follows.

1. Development of novel type of energy network system, utilization of advanced carbon and hydrogen circulation, and electric power/fundamental material coproduction (advanced reaction and separation) in response to massive amount of renewable energy introduction
2. Establishment of advanced manufacturing base (element technology) contributing to energy high efficient use (low carbonization) : heat and impact resistance technology for materials, high-strength and light-weight technology, multi-materialization, processing technology, tribology technology, high-functioned and high-accurate vibration suppression technology, and coupled analysis for large scale structure