

諮問第7号「エネルギー・環境イノベーション
戦略について」に対する答申

平成28年4月19日

総合科学技術・イノベーション会議



エネルギー・環境イノベーション戦略

National Energy and Environment Strategy for Technological Innovation towards 2050

平成 28 年 4 月 1 9 日

総合科学技術・イノベーション会議

目次

1. 背景	1
2. 「エネルギー・環境イノベーション戦略」(NESTI 2050)の策定	2
(1) 策定の経緯	2
(2) 本戦略の位置付け	2
3. 本戦略が目指す将来のエネルギー・環境システムの方向	3
4. 対象技術分野の特定	4
(1) 革新技术分野の特定に際しての評価軸	4
(2) 本戦略の対象とすべき革新技术分野	5
5. 研究開発の推進体制	26
(1) 政府が一体となった研究開発体制の構築	26
(2) 新たな革新技术シーズの創出と柔軟な位置付け	26
(3) 産業界の研究開発投資を誘発する仕組み	27
(4) 国際連携・国際共同開発の推進	28
6. 結言	29
参考資料 1	
エネルギー・環境イノベーション戦略策定ワーキンググループ 構成員名簿	30
参考資料 2	
「エネルギー・環境イノベーション戦略策定ワーキンググループ」における議論の経過	31

1. 背景

2015 年末に開催された気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）では、地球温暖化問題の主要因である人為的な温室効果ガス排出（※）の大幅な削減を目指し、2020 年以降の新たな国際枠組みであるパリ協定が採択された。同協定には、世界共通の長期目標として、産業革命以前の水準と比べて世界全体の平均気温の上昇を 2℃より十分低く保つこと、加えて同気温上昇を 1.5℃に抑える努力を追求すること、可及的速やかな排出のピークアウト、今世紀後半における排出と吸収の均衡達成への取組に言及している。

国連気候変動枠組条約事務局が 2015 年 10 月に発表した、約束草案の効果の総計に関する統合報告書によれば、COP21 に先立って各国が提出した約束草案に基づいて、世界全体の温室効果ガスの排出削減目標を集計すると、2030 年の世界全体の排出総量は約 570 億トンと見込まれている。一方で、2℃目標と統合的なシナリオに戻すには、2050 年までに排出量を 240 億トン程度の水準にする必要があり、約 300 億トン超の追加的削減が必要となることが示されている。

このことは、現状の削減努力の延長上だけでなく、これまでの削減技術とは非連続的な技術も含めて、世界全体での排出量の抜本的な削減を実現するイノベーションを創出することが不可欠であることを示している。

1970 年代以降、高度経済成長期にあった我が国を石油危機が襲い、石油価格が約 4 倍も高騰して日本経済に大きな衝撃を与えた。これを受け、我が国では 1974 年に「サンシャイン計画」、1978 年に「ムーンライト計画」という国家戦略プログラムをそれぞれ創設し、太陽電池やヒートポンプ、燃料電池といった最先端分野の研究開発を、長期にわたり政府主導で推進してきた。この長期戦略に基づく研究開発が、日本が世界に先駆けて高効率太陽光発電やヒートポンプの大規模な普及、家庭用燃料電池や燃料電池自動車の市場投入といった画期的なイノベーションの創出を実現することにつながったといえる。こうした取組によって、我が国は石油危機後の 20 年間で、35%ものエネルギー消費効率の改善を達成し石油危機を乗り越えただけでなく、その後もエネルギー・環境分野の技術開発を推進した結果、今日ではエネルギー・環境分野における公的な研究開発投資の水準は、対 GDP 比で主要先進国中第 1 位となっている。

そして今、地球温暖化問題という世界全体の最重要課題の解決のため、温室効果ガス、とりわけ CO₂ の抜本的な大規模削減に資する革新技术の出現が期待されている。エ

エネルギー・環境分野で世界の最先端にある我が国が果たすべき役割は、今、改めて長期的視野に立って、CO₂排出削減のイノベーションを実現するための中長期的なエネルギー・環境分野の研究開発を、産学官の英知を結集して強力に推進し、その成果を世界に展開していくことである。

(※)気候変動に関する政府間パネル（IPCC）において取りまとめられた第5次評価報告書によると、人為起源の温室効果ガスの排出が、20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高いとされている。同報告書の取りまとめに当たっては、我が国の気候変動予測技術等の知見が活用されている。

2. 「エネルギー・環境イノベーション戦略」（NESTI 2050）の策定

（1）策定の経緯

上記の背景を踏まえ、地球温暖化対策推進本部（平成27年11月26日）及びCOP21（同年11月30日）において、安倍総理が、今春までに「エネルギー・環境イノベーション戦略」を取りまとめる旨を表明した。そして、研究開発を集中的に強化すべき有望な革新技术分野を特定し、そのインパクトや実用化、普及のための開発課題を整理すると総理指示に基づいて、平成27年12月に、内閣府総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）の下に「エネルギー・環境イノベーション戦略策定ワーキンググループ」を設置し、構成員が4回にわたって集中的な議論・検討を行い、「エネルギー・環境イノベーション戦略」(NESTI 2050)を取りまとめた。

（2）本戦略の位置付け

総合科学技術会議（現：CSTI）では、「環境エネルギー技術革新計画」を平成20年4月に策定した後、平成25年9月に改訂した。同計画では、短中期（2030年頃まで）で実用化が見込まれる技術と、中長期（2030年頃以降）で実用化・普及が見込まれる技術を合わせた37分野（※）を対象とし、それぞれの技術のロードマップ策定や国内外への展開・普及に必要な方策等を示した。

(※) 環境エネルギー技術革新計画で掲げられた37分野

高効率石炭火力発電、高効率天然ガス発電、風力発電、太陽エネルギー利用（太陽光）、太陽エネルギー利用（太陽熱）、海洋エネルギー（波力、潮力、海流）、地熱発電、バイオマス利活用、原子力発電、二酸化炭素回収・貯留（CCS）、人工光合成、次世代自動車（HV、PHV、EV、クリーンディーゼル等）、次世代自動車（燃料電池自動車）、航空機・船舶・鉄道（航空機）、航空機・船舶・鉄道（船舶）、航空機・船舶・鉄道（鉄道）、高度道

路交通システム、革新的デバイス（情報機器、照明、ディスプレイ）、革新的デバイス（パワエレ）、革新的デバイス（テレワーク）、革新的構造材料、エネルギー・マネジメント・システム、省エネ住宅・ビル、高効率エネルギー産業利用、高効率ヒートポンプ、環境調和型製鉄プロセス、革新的製造プロセス、水素製造・輸送・貯蔵（製造）、水素製造・輸送・貯蔵（輸送・貯蔵）、燃料電池、高性能電力貯蔵、蓄熱・断熱等技術、超電導送電、植生による固定、その他（メタン等）温室効果ガス削減技術、温暖化適応技術、地球観測・気候変動予測

これらの技術分野のうち、例えばテレワーク、省エネ住宅・ビル、風力発電、高効率火力発電、原子力発電、バイオマス利活用のように、既に推進体制が構築され、実証段階・実用化段階にある技術、あるいは短中期的に実用化が見込まれる開発段階にある等の技術については、実用化まで長期間を要しリスクの高い革新技术の研究開発を強化する本戦略の対象技術とはならないが、いずれも重要な技術であり、今後も着実に取組を継続し、所要の成果を示していく。

一方、今回策定した本戦略は、2050年頃という長期的視点に立って、世界全体で温室効果ガスの抜本的な排出削減を実現するイノベーション創出をターゲットとしている。研究開発をより重点的・集中的に進めていくべき技術を特定して、それぞれの克服すべき技術課題を明らかにし、研究開発の推進体制の在り方を示すとともに、世界に向けて我が国が貢献する方策を示す戦略と位置付けている。

3. 本戦略が目指す将来のエネルギー・環境システムの方向

2050年という中長期を見据えた社会・産業の構造変革の大きな潮流として、平成28年1月に閣議決定された「第5期科学技術基本計画」でも示された通り、近い将来、Internet of Things（IoT）、人工知能（AI）、ビッグデータ解析技術、情報通信技術（ICT）等の急速な発展とその社会実装が進展する。個別の製品や技術、更には複数の異なるシステム同士が容易に連携協調できるようになり、そこで作り出される様々なバリューチェーンを通じて、社会に対して新たな付加価値が提供され、人々に豊かさをもたらす「Society 5.0」（超スマート社会）の実現に繋がるものと期待されている。

エネルギー・環境分野においても、排出削減技術を個別に開発・導入するだけでなく、エネルギー関連の装置や設備をネットワーク化し、また、個別の機器・設備等をそれぞれ制御するだけでなく、エネルギー・システムとして統括的に捉え、システム全体として最適化を図る。異なる地域、事業やシステム間でも電気・熱等の形態を問わずエネルギーの融通等を行う技術が開発・導入され、需要的確に対応して必要な時に必要なだけエネルギーが供給されることにより、エネルギーの徹底的な有効利用が実現し、世界全体のエネル

ギー消費量・CO₂排出量が最小化される。

世界の CO₂ 排出量の部門別比率を見ると、エネルギー転換部門、産業部門、運輸部門が主要排出源となっており、抜本的な排出削減を目指すには、まずこれら3部門の排出削減に戦略上の重点を置く必要がある。エネルギー転換部門では、既に世界各国において開発・実証・導入が進められている高効率火力発電、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、原子力発電等の発電システムがそれぞれ世界的に普及していくことに加え、本戦略の対象となる中長期的な開発を要する革新技術も実用化を進め、非化石エネルギー等への転換を最大限進めていく。再生可能エネルギーのうち太陽光発電等の自然変動型エネルギーの開発・導入による出力変動の増加に対応するため、高効率な非化石エネルギーの貯蔵・輸送・利用技術を開発する。

エネルギー消費側においては、各分野に次世代パワーエレクトロニクス等超高効率・省エネルギーのコンポーネントが開発・導入される。産業部門においては、特に素材産業において、従来のエネルギー多消費型の生産プロセスとは全く異なる生産プロセス技術が開発されることにより、製造時の CO₂ 排出量が大幅に削減される。運輸部門では、電気自動車・燃料電池自動車等の次世代自動車が世界全体で大幅に普及する。

4. 対象技術分野の特定

(1) 革新技術分野の特定に際しての評価軸

① 非連続性が高く、インパクトの大きい革新的な技術

既存技術あるいは既に実用目前の開発・実証段階の技術またはその延長上ではなく、全く新しい材料や構造、システムを適用することにより、効率や性能が大幅に向上する等、非連続的で大きなインパクトを持つ革新技術であること。

② 大規模に導入することが可能で、排出削減ポテンシャルが十分大きい技術

技術課題を解決して実用可能なレベルまで開発が成功すれば、経済性も成立し、将来のエネルギー・システムに大規模に導入が可能な技術であること。国内だけでなく海外にも適用可能で、世界の温室効果ガスの削減ポテンシャルが十分大きいと考えられる技術であること。

③ 実用化まで中長期を要し、開発リスクが高く産学官の総力を結集すべき技術

現在は基礎研究あるいは初期の開発段階で、実証や実用化には未だ困難な技術課題が存在する開発リスクの大きな技術であって、産学官の総力を結集しなければ

ば解決できないと考えられる技術であること。

④ 日本が先導し得る技術、日本が優位性を発揮し得る技術

研究段階で日本が世界を先導しており、本格的な開発段階でも世界を先導し得る技術。あるいは、現時点では日本に技術的優位性は無くとも、日本の地理的特性、自然条件等から、日本で導入すればCO₂排出量の削減効果が大きく、優位性を発揮し得る技術であること。

(2) 本戦略の対象とすべき革新技术分野

上記(1)の評価軸に基づいて、以下の革新技术分野を、政府として特に重点的に開発すべき技術分野として特定した。これらの革新技术分野は、世界全体に普及していけば大規模なCO₂削減ポテンシャルが想定される。なお、IEAのETP2012によると、2℃シナリオに整合するCO₂削減目標を、最も経済的に達成する場合の技術分野ごとのCO₂削減量を試算しており、本戦略で選定した技術分野のCO₂削減量を合計すると50億トン以上となることから、これらの技術開発が成功して世界全体に適用していけば、選定した技術分野において既に開発・実証が進んでいる技術の適用と合わせ、2050年頃には、世界全体で同程度以上（数10億トンから100億トン規模）の削減ポテンシャルが期待される。

[1] エネルギー・システム統合技術

近年のICTの発展により、発電側と家庭・オフィス等の需要側を送電網と情報通信網で双方向連携させてエネルギー・システムの需給バランスを最適化する技術が確立しつつある。また、スマートグリッドやスマートコミュニティ関連技術、HEMS/BEMS/FEMS/CEMS等のエネルギー・マネジメント・システム(EMS)技術の開発も進められており、これらの技術によりエネルギー消費を「見える化」し、エネルギーの効率的利用を促す仕組みが、国内外で開発・実証段階、あるいは一部実用段階にある。

また、翌日の天候情報等から予測した電力需給に基づき、電力価格を時間帯によって変化させる等により、節電行動や消費時間帯のシフトを促して電力消費量を変化させる「デマンドレスポンス(DR)」システムの開発・導入も進められている。

一方、再生可能エネルギーの導入拡大に対応すべく、次世代蓄電池や水素等エネルギーキャリアによる様々な電力貯蔵・輸送システムや変動する周波数、電圧等に対す

る調整力と、エネルギー・システムの最適化技術の革新が求められるようになる。また、需要サイドに対しては、高効率・省エネルギーの機器・設備を導入するにとどまらず、国・地域、年齢等の違いによる様々な消費者ニーズにきめ細かく対応できるエネルギーサービスの構築が求められる。エネルギー消費は、気象環境、ライフスタイル、個人的嗜好等、様々な要因により影響を受ける。ビッグデータ解析技術やエネルギー消費の予測技術等を活用することにより、あらゆる消費者が適切なサービスを受けることが可能となり、質の高い生活とエネルギー消費の最小化が両立する。

本戦略では、現在開発・実証・実用中のスマートグリッド等の技術を踏まえつつ、IoT、AI、ビッグデータ解析技術、ICT 等を最大限に活用し、システム全体を統合・制御することによりエネルギー消費効率を最大化し、CO₂ 排出量を最小化するシステム統合技術及びそのコア技術を開発する。また、複数の EMS 設備やアセットを統合管理するだけでなく、より広範囲なエネルギー・システムにおいて需給予測と需給バランスの最適化、エネルギー貯蔵等の最適選択等を可能とする技術を確立する。こうした技術の開発によってシステム全体が統合されれば、交通手段や家庭における人々の生活にも劇的な変化をもたらす可能性がある。

以下に、エネルギー消費効率を最大化するための統合システム技術・CO₂ 最小化シミュレーション技術及びそのコア技術の具体例を記載する。

① 統合システム技術・CO₂ 最小化シミュレーション技術

(技術インパクト)

- ・ 出力が自然変動する太陽光等の再生可能エネルギーや蓄電池、水素等のエネルギーキャリアを活用する技術等、本戦略で対象とする革新技術の導入が進んだ社会において、エネルギー・システム全体を最適化し、エネルギー供給効率最大化、CO₂ 排出量最小化を実現する。

(技術概要)

再生可能エネルギーの導入を各国が強化し、中長期的に 1 次エネルギーに占める比率が例えば 20～30%以上の高比率（現在、日本は 8 %以下）になり、変動性の高い太陽光発電等の導入割合が増加すると、出力変動の幅が現在よりも高い水準となり、必要な需給調整・制御の手法も複雑になることが見込まれる。エネルギーの貯蔵・輸送形態も、揚水発電だけでなく、蓄電、水素等への変換といった選択肢、すなわち最適制御を行う際のシステム内の変数が大幅に増加することが予測さ

れる。

このため、現段階から、多様な電源が多数広域に大きく分散するエネルギー・システムを想定し、本戦略で対象とする革新技术が実現した場合に、エネルギー・システム全体の最適化を可能にする技術の開発を行う。

また、途上国等、大規模な電力インフラが未整備の地域や離島への電力供給も視野に入れ、地域分散型の発電システムが大幅に導入されることにより、既存の電力システムでなく再生可能エネルギー等が主体で構成される地域完結型のシステムが普及する可能性も視野に入れ、必要な統合技術を併せて開発する。

(技術課題)

- ・ 小規模電源が地域にも数多く分散し、高度化された創エネルギー・省エネルギー・蓄エネルギー技術が存在する未来において、再生可能エネルギーの出力を高精度に予測する技術や、DR、エネルギー貯蔵、広域需給運用、集中電源（火力・水力発電等）の調整力活用、分散型電源等を最適配分で行うエネルギー・システムのモデリングとシミュレーション、さらに、短時間でシステム全体の最適解を得るソフトウェア技術等、IoT、AI、ビッグデータ解析技術、ICT等を最大限に活用し、システム全体を統合・制御することによりエネルギー消費効率を最大化し、CO₂排出量を最小化するシステム統合技術の開発が必要である。併せて、システム統合技術自体の省エネルギー化・高度化を図るべく、ノーマリーオフコンピューティング、大規模計算を可能とする量子情報処理等の革新技术の開発も必要である。
- ・ 再生可能エネルギーの出力変動に対応して、負荷変動追従性を重視し、過渡応答性に優れ、繰返し負荷に耐える、系統安定化対応のガスタービン発電の開発が必要である。再生可能エネルギーの出力変動に対応して、エネルギー・システムの安定供給を実現する周波数調整、電圧調整技術の開発が必要である。

② システムを構成するコア技術

<次世代パワーエレクトロニクス>

(技術インパクト)

- ・ システムを構成するコンポーネントの高度化・省エネルギー化に不可欠な、次世代パワーエレクトロニクス技術を開発する。小型・高パワー密度・集積化パワーエレクトロニクスを実現することにより、電力変換器の電力損失を半減させ、装置の体積を現行の1/4以下に小型化する。また、制御機能や通信機能等の新たな価値を

有した高機能デバイスが開発されると、これまでにないシステムの創出に繋がる。これにより、システムネットワーク内の、より様々な部位にパワーエレクトロニクス装置の導入が可能になる。

(技術概要)

現在、パワーエレクトロニクスによって発電・送電・配電・消費の各段階で最適な電圧・電流・周波数に変換されている。変換の際の電力損失を極力低減するため、パワーエレクトロニクス機器の小型化・集積化、高効率化を図ることが重要である。

既に、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の「次世代パワーエレクトロニクス」プロジェクトが進められている。パワーデバイスについては、2020～2030 年に向けて既存の Si より性能が優れた SiC、GaN 等を材料としたパワーデバイスの研究開発が進められている。本戦略では、その先の 2050 年頃を見据え、制御機能や通信機能等、新たな価値を付加する集積化技術、冷却機構の簡素化が可能で、電力損失を大幅に低減する高機能パワーモジュールとその特性を活かす周辺材料技術や、実装技術、回路設計技術、制御技術及びそれらのシステム化技術の開発を対象とする。パワーデバイスについては、最近、最も高い熱伝導率を持ち、優れた絶縁耐力も併せ持つとして注目されているダイヤモンド等の次々世代半導体材料を用いたデバイスの実現に向けた研究開発を進める。

本分野は、現在、日米欧で熾烈な研究開発競争が行われている。我が国の半導体分野のプロセス、デバイス、実装技術は世界的にもトップレベルにあるが、パワーエレクトロニクス分野で国際競争力を獲得するには、こうした技術的な優位性を活かしつつ、デバイスだけでなく周辺装置も含めたシステムとしてのパワーエレクトロニクスを、コンソーシアム方式で効率的に研究開発資源を投入し、関係者をネットワーク化しながら研究開発を推進することが必要である。

(技術課題)

- ・ 高耐熱周辺部材、高温/高速/高電圧/高電流密度デバイス・モジュールの実装技術が未確立であり、材料・デバイス開発のみならず、パワーエレクトロニクスを装置・システムとして確立する必要がある。
- ・ 経済性を成立させるため、大面積で高品質な、パワーデバイス用半導体ウエハの作成技術の開発が必要である。
- ・ 制御機能や通信機能等、パワーデバイスに新たな価値を付加する集積化技術の

開発が必要である。

<エネルギー・システム対応センシング技術>

(技術インパクト)

- ・ IoT 時代に求められる低価格・超小型・大量生産可能で、耐環境性の高い MEMS センサー技術を開発する。極微量の環境変化を感知する高感度のセンサーで、数年以上メンテナンスフリーで使用可能なセンサーを実現する。
- ・ 自然環境の微弱振動や風の動き、熱等で極めて微弱な発電を行い、超低電力でセンサーを駆動する無給電センサーについて、新しいエネルギー変換の原理も導入しつつ開発する。これにより、センサーへの配線や電池寿命の制約を解消し、自由な位置にセンサーが設置可能になる。
- ・ 300～400℃以上の高温環境や強酸性環境でも長期間安定して稼働できる、耐環境センサーを開発する。

(技術概要)

既に 2014 年の世界全体のセンサー出荷数は 250 億個を超えており、IoT 時代が到来すれば、センサーの個数は数千億個以上に達する可能性もある。エネルギー・システムにも様々なセンサーが多数実装されることが予想され、エネルギー消費を抑制する観点から、超低電力で作動し無給電で駆動するセンサーが求められる。また、その際、通常の世界環境で用いられるセンサーの要求性能だけでなく、発電タービン等の高温・高圧環境下でも設置可能で、かつ長期間メンテナンスせずに使用できるワイヤレスセンサーが実現できれば、例えばタービンの状態を常に把握したうえでの最適な運転が可能となり、エネルギーの効率的な利用につながる。センサーの使用用途によっては、耐熱性、耐食性、急激な温度変化への耐性、耐圧性、耐加速度性、耐振動性、耐摩耗性、耐磁力性等が必要になるため、様々な極限環境にも対応可能で、小型・軽量かつ低価格で信頼性の高いセンサーを開発する。

(技術課題)

- ・ 超低電力で作動し無給電で駆動する半導体センサーは、大学等の基礎研究段階であり、高効率なエネルギー変換技術の創出のために必要な基盤的解析・設計技術の構築が必要であるとともに、小型化や量産に向けた研究開発は未着手の状況である。

- ・ 発電プラントのタービン等の挙動を把握するセンサーや、地熱発電の高温地熱貯留層の状態計測等で用いられるセンサーには、300～400℃以上の耐熱性、耐食性、急激な温度変化への耐性、耐圧性といった様々な耐性が求められるが、こうした条件を全て満たす材料は未だ開発されておらず、セラミックス等非金属材料の可能性も含めて評価・開発する必要がある。

<超電導応用>

(技術インパクト)

- ・ 高効率化、高機能化、低コスト化、信頼性向上、冷媒ポンプ一体型冷却システムの小型化（現在の1/10以下）を実現する。
- ・ 送電やモーター、発電機等の機器に用いられるコイル（マグネット）への適用や普及を加速させるため、機器の圧倒的な小径化・小型化・省スペース化を実現する。
- ・ コイル用線材の製造歩留り90%以上を実現する。

(技術概要)

超電導とは、電気抵抗がゼロになる現象であり、送電による損失が大幅に抑えられるため、低電圧で大電流が通電可能であること、電流密度が高く極めて強力な磁場を発生可能であること等から、超電導送電システム、超電導モーター、電力貯蔵システム、変圧器、高磁場コイル等の開発が進められ、性能実証段階の分野もある。

特に送電やモーター等の分野は、超電導を適用することで潜在的には大幅な省エネルギー化が期待できるが、超電導現象を発現させて必要な性能を得るためには液体ヘリウム温度以下（高温超電導では液体窒素温度以下）の極低温まで冷却しなければならず、超電導の応用にはいずれも大型の冷凍機システムを必要とするため、物理的・経済的に本格的な実用化の制約となっている。

一方、超電導材料の遷移温度については、近年、硫化水素に超高圧（150万気圧）をかけるとセ氏零下70度で超電導状態になることをドイツのマックスプランク研究所が発見する等、新たな動きが注目を集めている。

こうした新しい超電導材料の更なる研究や生産技術開発を行うとともに、線材の低コスト化、冷却システムの革新的な小型化・コンパクト化・軽量化・低コスト化を実現する研究開発を強力に推進し、送電線や産業用モーター、発電機等への適用が

可能となる技術を確立することで、抜本的なエネルギー消費効率の向上や、それを統合する新たなエネルギー・システムの創出につなげる。

日本は、約 30 年にわたり、超電導の線材とりわけビスマス系高温超電導線材及び超電導ケーブルについて世界の開発をリードしており、冷凍機、ケーブル化をはじめとした基盤技術において、世界最高水準の技術力を維持している。特に、長距離冷却が可能なスペックの冷却システムは日本企業だけが構築可能な状況にある。今後も、超電導分野で日本がリーダーシップを発揮していく。

(技術課題)

- ・ 冷却可能距離を、現在の 1km から数 km 以上に延伸し、高効率、長寿命、省メンテナンスな長距離の冷却システムを可能とする技術を開発する。
- ・ 冷却システムの小型化と高効率化を両立する。
- ・ 線材コスト及び冷却コスト低減により、超電導モーター・発電機等を実現する。
- ・ 液体窒素冷却温度域（おおむね 77 K）以上で、実用的な超電導線材の探索や生産技術の開発等を行い、超電導特性が劣化せず正常に動作する超電導磁石や送電技術等を開発する。

[2] 省エネルギー分野

創エネルギー技術によって生み出されたエネルギーを、社会の様々な局面に利用していく過程でのエネルギーロスを縮小する省エネルギー技術を開発する。

① 革新的生産プロセス

様々な製品の原料等となる基礎化学品の製造における分離精製プロセスは、蒸留分離プロセスに依存している。これは、沸点の差を分離に利用するプロセスであり、連続処理である利点はあるものの、加熱・冷却プロセスを数十回繰り返すためにエネルギーを大量に消費している。このため、基礎化学品の製造コストの 50%をエネルギーコストが占めている。低炭素社会の実現に向けて、各化学品製造プロセスを、こうした従来型のエネルギー多消費型から脱却させる、例えば膜分離プロセスや触媒技術、プラズマ反応、バイオプロセス利用等の先端技術を駆使し、従来と異なる生産プロセス・イノベーションを創出する。これにより、大幅な省エネルギー及び CO₂ 排出削減と経済性向上を実現する。

日本は膜分離に関する材料開発・応用、触媒技術、プラズマ技術等で世界をリードしている。また、ナノテクノロジー等の進歩により、反応プロセスのキーとなる触媒技術の革新が期待されている。

以下に、革新的生産プロセスの具体例を記載する。

<膜分離技術>

(技術インパクト)

- ・ 現状の蒸留塔を用いた生産プロセスと同等の純度や回収率を得つつ、蒸留塔プロセスと比較して 50%以上のエネルギー消費効率の向上を実現する。

(技術概要)

膜材料の緻密な細孔制御等によって化学物質を分離する技術で、連続で大量の基質を処理できるため、非平衡で分離できれば大幅な省エネルギーが実現可能となる。近年、無機膜や支持体等の技術が発達し、液体-液体、液体-気体、気体-気体等の様々な分離プロセスで膜分離技術が使用可能となっており、分離プロセスの革新が期待されている。

(技術課題)

- ・ 膜分離プロセスでは、分離膜の材質、形態、分離対象の物質のサイズ等様々な因子が影響するため、蒸留プロセスのように対象物の沸点や蒸気圧等の対象物質固有の物性値から分離性能を予測することができない。実績が豊富な系以外は、基礎的なデータや類似事例から分離性能等を推測せざるを得ないが、十分なデータ、情報は揃っていない。
- ・ 分離対象に応じた輸送・膜透過特性の解明と、長期に安定し、長寿命な膜材料の開発及び生成物の系外輸送と副生反応抑制を両立させる膜－反応場システムの開発が必要となる。

<革新触媒利用生産プロセス技術>

(技術インパクト)

- ・ コモンメタル等を用い、高い反応選択性、低い活性化エネルギーを実現し得る新規触媒の開発を目指す。
- ・ メタンの直接酸化による含酸素化合物合成、メタン脱水素カップリング等による低級オレフィン及び芳香族化合物の合成収率 20%以上の高効率化を図る。

(技術概要)

付加価値の高い化学品を生産するプロセスにおいて、新触媒を利用したプロセス技術に関する研究開発を行う。例えば、安価なメタンを空気によって単純に酸化すると CO₂ となってしまうため、基礎化学品である生成物を選択的に合成する触媒開発と並行して、生成物を選択的に分離・回収できる新プロセスの開発を行う。

触媒の性能に期待されることは、反応選択性の向上と反応活性の向上、長寿命化である。活性化エネルギーを 10 kJ/mol 下げられれば、400℃の反応の場合、生産性が 6 倍向上し、30 kJ/mol 下げられれば、400℃の反応が 200℃（排熱利用温度域）で実現可能になる。反応温度を下げられれば、酸化反応の場合は気相での自動酸化を抑えて生成物への選択性を向上できる。新触媒の開発により各種化学品生産プロセスの活性・選択性・安定性の大幅な上昇を狙う。

触媒開発と膜分離と触媒とのハイブリッド化により、プロセス変更や原単位の大幅削減を実現し、反応プロセスを大幅に省エネルギー化する。実現すれば CO₂ 削減効果が高く産業へのインパクトも大きいですが、技術的難易度が高く長期の開発期間を要する。

新触媒の研究開発においては、従来の触媒開発のように触媒調製を行ってそれを表面科学的な手法で解析するのではなく、速度論的または分子動力的なシミュレーションと合わせた、AI やビッグデータ解析も駆使した計算科学の手法を用いて研究開発し、試行錯誤による膨大な労力と時間を軽減させる。

(技術課題)

- ・ 計算科学による触媒開発は実績が少なく、現時点では既存触媒の改良程度に限定されている。
- ・ 超高効率触媒設計手法や高難度触媒反応等、現時点では技術的に未解決な課題が多い。
- ・ 触媒表面の修飾による活性点の保護技術による長寿命化や副反応制御、触媒と分離膜を組み合わせた副反応の抑制技術、触媒の異種活性点の複合化によるマルチステップ反応の効率化技術等の基礎基盤研究が必要である。

② 超軽量・超耐熱構造材料

(技術インパクト)

- ・ 革新的な構造材料（例えば引張強度 1.5GPa・伸び 20%中高炭素鋼）や接合技術（例えば接合部の引張せん断強度 10MPa 以上の異種材料接着技術）等の開発により、自動車の重量を 50%以上削減する等、輸送機器の抜本的な軽量化を実現する。
- ・ 1800℃以上に安定して適用でき、効率 60%以上を可能とするガスタービン等の耐熱材料を開発する。

(技術概要)

エネルギー消費効率の向上には、材料の軽量化・耐熱化は大きな影響を与える。例えば、タービンは燃焼温度を高温にするほど高効率化が進み、輸送機器では軽量であるほど燃費は向上する。現在、SIP において「革新的構造材料」プロジェクトが展開されており、2020 年までに軽量で耐熱・耐環境性に優れた材料開発、強度・破壊・寿命等のデータベース、計算科学等を融合したシステムの構築による材料開発期間の短縮を目指した研究開発が進められている。本戦略では、更にその先の中長期を見据え、セラミック基複合材料（CMC）、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）、グラフェン等の軽量で優れた比強度、耐熱性を有する新素材を構造材料に用いるための研究開発も進める。

新材料を構造材料に用いる際は、使用実績のデータが十分無いことから、材料の性能が優れていても信頼性が十分得られず安全係数が高くなり、材料本来の持つ性能を最大限引き出して利用することができない。このため、各部位にセンサーを搭載することで各部材の状態をリアルタイムにモニタリングし、破壊や変形前に部材自らが発信する歪みや損傷の情報を AI 等で解析することで、破壊・変形までの時間を予測することを可能にする。これにより、構造材料の特性を従来以上に活用できる。例えば、革新的な中高炭素鋼、耐熱性が極めて高い可塑性セラミックス、CMC やグラフェンの構造材料への適用等、新たな軽量・耐熱材料の研究開発に着手する。

軽量で高強度な材料である炭素繊維については、現在、日本メーカーが世界市場で圧倒的シェアを有している。同様に軽量で高強度な革新鋼板についても日本企業は高い技術力を有しているが、今後は低コスト化や更なる高強度・高延性化に向けた競争が一段と加速すると見られる。また、金属系では、難燃性のマグネシウム合金が開発され、本格的な実用化が期待されている。

耐熱材料については、世界最高水準にある Ni 基単結晶超合金や Ni-Co 基鍛

造合金耐熱材料は日本が最先端の技術を有している。こうした合金系に加え、セラミックス等の非金属系も含め、本分野で日本が世界をリードしていく。耐熱材料の開発には高度な結晶制御技術が必要であり、そこで得られた基礎的知見は、超臨界地熱発電やガスタービン用途に限らない極環境材料開発の基盤となる。

(技術課題)

- ・ 材質が大きく異なる材料間の接合や、接合部の性能評価技術等、異種材料接合技術が開発途上であり、材料の自由な組み合わせが可能となるまでの技術は確立されていない。
- ・ 1800℃級のガスタービンに適用する材料は、金属系材料の場合は延性・靱性を確保するために固溶体相を含ませると高温強度が不十分となり、耐熱性向上の技術開発が困難になりつつあり、高度な結晶制御技術の確立が求められる。
- ・ セラミックス等非金属材料の可能性を追求する必要があるが、セラミックス自体は非常に脆く、金属材料と同等の靱性・可塑性を持たせるため、CMC が期待されるが、未だ極環境（高温、高酸化雰囲気）への耐久性が基礎研究段階にある。

[3] 蓄エネルギー分野

今後導入拡大が見込まれる太陽光発電、風力発電は、天候等による出力変動が大きく、低電力需要期に発電出力が電力需要を上回り、余剰電力が発生することも想定される。このため、電力を効率的に貯蔵する技術の研究開発を行うことが必要である。電力を蓄電池あるいは水素等のエネルギーキャリアへ大規模かつ効率的に貯蔵し、輸送・利用を可能とする技術を確立する。

日本は、電気自動車用リチウムイオン二次電池等の蓄電池分野で高い技術力を背景に世界市場で大きなシェアを獲得している。また、水素サプライチェーンの研究開発で世界をリードしている。両分野で引き続き世界をリードすることで、地球温暖化対策と経済成長を両立させていく。

蓄電池への電力貯蔵については既に世界中で導入が開始されてきている。一方、電力の直接利用または蓄電池への貯蔵と比べて、水素等エネルギーキャリアへの変換はエネルギー損失が大きい。蓄電池が時間単位から数日単位の中小規模のエネルギー貯蔵に適するのに対し、エネルギーキャリアに変換すれば月単位から季節間の長期サイクル・大規模貯蔵に適するというメリットがある。両者の技術をそれぞれ研究開発することで、

再生可能エネルギーの最大限の有効活用につなげていく。

① 次世代蓄電池

(技術インパクト)

- ・ 現在の 10 分の 1 以下のコストで 7 倍以上のエネルギー密度を実現し、一般的な大きさ・重量の乗用車であれば 1 回の充電で走行距離 700km 以上を可能とする蓄電池を開発する。
- ・ 低コストで安全性の高い定置用蓄電池地を実現し、再生可能エネルギーの導入拡大を促進する。開発にあたっては、多頻度の急速充放電等、電池に大きな負荷のかかる使用が想定され、スペース・重量の点でも制約のある車載電池用に開発した技術を応用する可能性も視野に入れる。

(技術概要)

現在の主流であるリチウムイオン電池等の限界を超える次世代の技術を開発する。例えば、電気自動車の主動力源用の電池には一般的な民生用に比べて格段に厳しい使用環境及び性能が求められる。具体的には、エネルギー密度とトレードオフの関係にある出力や安全性・耐久性等の性能を高いレベルで両立することが求められる。

長距離の走行に対応できるよう、蓄電時間を飛躍的に短縮することを念頭におき、蓄電システム全体としての高度化をはかることも求められる。

また、定置用蓄電池地等の開発にあたっては、車載用として高いレベルの性能が達成された蓄電池技術を活用する可能性も視野に研究開発を進めることが求められる。

次世代蓄電池の研究開発においては、従来のように経験と試行錯誤で正極・負極・電解質の研究開発を個別に進める方法ではなく、AI やビッグデータ解析、シミュレーション等の計算科学的手法を用いて蓄電池システムとして最適となるよう研究開発を進める。

以下に、次世代蓄電池の具体例を記載する。

<金属-空気電池>

負極活物質に各種金属（アルミニウム、マグネシウム、リチウム等）と正極活物質として空気を用いる次世代の蓄電池。正極活物質として空気中の酸素を利用するため理論的に高エネルギー密度が可能である。

<全固体電池>

蓄電池の電解質に、液体電解質でなく固体電解質を用いることで、構成材料を全て固体にした電池。電池系にも依るが、安全性や長寿命性を両立させることができる利点がある。

(技術課題)

- ・ 電池の性能を最大限に引き出す材料開発・新設計、寿命向上等が課題となる。

② 水素等エネルギーキャリアの製造、輸送・貯蔵、利用

(技術インパクト)

- ・ 水素等エネルギーキャリアの大規模なサプライチェーン構築と発電等への本格導入により、水素エネルギー利用が大きく拡大する。その結果、エネルギー供給システムの柔軟性の向上、エネルギーセキュリティの確保、CO₂ の大幅削減につながり得る。

(技術概要)

水素は、利用の際に CO₂ を排出しないため、化石燃料に代わるクリーンエネルギーとしての期待が高い。水素を本格的に利活用する「水素社会」の構築に向けて既に様々な実証事業が展開され、燃料電池自動車の普及等に不可欠な水素ステーションの整備も進んでいる。2014 年 4 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においても、「水素の利用技術について、技術開発を含めて戦略的な取組を今から着実に進めていく。」と記されている。

SIP 等の「エネルギーキャリア」プロジェクトにおいて、エネルギー密度や取扱いの容易さ、既存設備の活用等の観点から、水素（液体水素を含む）以外にアンモニア、有機ハイドライド等を用いた高効率・低コストのエネルギーキャリア技術の研究開発を行っている。また、近年は、マグネシウムエネルギーキャリアへの利用可能性も、国内大学等で研究開発が進められている。

これらのエネルギーキャリア候補を、化石燃料を本格的に代替するエネルギーキャリアとして位置付けるためには、輸送・貯蔵技術はもとより、社会に大量に供給する、環境負荷の少ない生産技術が不可欠である。例えば、褐炭から水素を生産する技術の研究開発が進んでいるが、水素生成時に CO₂ が排出されるため、CO₂ フリー水素とするためには、CCS 技術等との併用が必要である。また、ハーバー・ボッシュ法により工業化に成功したアンモニアを製造するプロセスにおいても、原料の水素を化石燃料

から製造する等、エネルギーを大量に消費し、CO₂を排出している。本戦略では、これらのエネルギーキャリアを、従来とは抜本的に異なる製法で、再生可能エネルギーを用いてCO₂を排出せず経済的に大量生産する技術を研究開発する。一部、既に大学や公的研究開発機関等で基礎研究が進められており、例えば、プラズマ技術を用いて紫外線と水・空気から直接アンモニアを合成する革新技術等が注目を浴びている。経済的な量産可能性を早期に評価した上で、実用化に向けた研究開発を本格化する必要がある。また、高温熱を用いた水の熱分解による水素製造技術にも期待されている。

また、エネルギーキャリアである有機ハイドライドやアンモニア等から効率的に脱水素し、高純度水素を精製する技術の開発も重要である。脱水素プロセスを高効率かつ経済的、更に小型化できれば、水素ステーションや業務用ビル等の中小規模の水素利用施設等への応用展開が期待される。

更に、水素等のエネルギーキャリアを直接燃焼してエネルギーを取り出す技術（水素専焼発電技術等）や、全く新しい電解質・電極等により構成される革新的な次世代型の燃料電池を開発する。

（技術課題）

- ・ 再生可能エネルギーを用いた水の電気分解、高温熱を用いた水の熱分解または二酸化炭素排出抑制技術を併用した化石燃料源からの水素等のエネルギーキャリアの製造、輸送・貯蔵において、従来燃料並み、またはそれ以下のコストを実現するための技術を確立する必要がある。
- ・ 化石燃料と比べて水素の燃焼は高温かつ高速であるため、水素ガスタービン発電の開発に当たっては、水素の性質に対応したサイクルシステム等の燃焼制御技術の確立と共に、1700℃以上で安定的な耐性を持つタービンプレード用の超耐熱・軽量材料の開発等が不可欠である。
- ・ エネルギーキャリアの一つであるアンモニアは燃料として発電分野や産業分野での利用が可能であり燃焼時にCO₂を排出しない特徴を有している。ただし、化石燃料と比べてアンモニアは着火しにくく、燃焼速度が遅く、フューエルNO_xの排出も懸念されることから、その発生を抑え安定的な燃焼が可能となる燃焼制御技術等を確立し、炭化水素燃焼と同程度の効率を実現する必要がある。加えて、アンモニアを安全に利用する技術を実現する必要がある。

- ・ 新しいコンセプトに基づき、全く新しい電解質・電極等により構成される次世代型の燃料電池及びそれを支える基盤的技術の研究開発が必要である。

[4] 創エネルギー分野

再生可能エネルギーの利用拡大を加速化する技術、あるいは革新的な効率向上・低コスト化を可能にする技術を開発する。

① 次世代太陽光発電

(技術インパクト)

- ・ 現在普及している太陽光発電の2倍以上の変換効率を実現する。
- ・ 製造・設置コストの低減、発電効率等の大幅な向上により、基幹電源並みの発電コスト（7円/kWh）以下を実現する。

(技術概要)

現在、世界中で導入が進んでいる結晶シリコン太陽電池は、発明後約60年が経過しているが、現時点でも、火力発電等の基幹電源と比較して発電コストが高く、大規模な普及のためには、発電コストを抜本的に削減するイノベーションが必要である。このため、現在の太陽電池とは全く異なる新構造・新材料（量子ドット、ペロブスカイト等）を利用した、次世代の太陽電池を開発する。国内では大学、国立研究開発法人等が研究を進めており、欧米、韓国でも大学を中心に開発が加速されている。太陽電池モジュール開発は長年日本がリードしてきた分野であり、次世代太陽光発電においても日本発技術であるペロブスカイト等、優位性を持つ技術がある。

太陽光はエネルギー密度が低いいため、変換効率を大幅に向上させても、太陽電池で火力発電と同程度の出力を得るには、広大な面積を要する。また、夜間の発電が不可能であり日中も出力変動が大きいことから、大規模な導入には、効率的な電力貯蔵技術を並行して開発することも不可欠である。日照時間の多い地域に太陽電池を設置し、得た電力を貯蔵して、需要地に供給する方法も考えられ、蓄電池または水素等のエネルギーキャリアへの変換技術の開発も並行して行うとともに、輸送コストやエネルギー損失分を含めた上での実用性評価も必要となる。

以下に、次世代太陽光発電の具体例を記載する。

<ペロブスカイト太陽電池>

有機薄膜、色素増感太陽電池の開発から生まれた太陽電池で、特殊な結晶構造（ペロブスカイト構造）の原材料を利用した有機無機ハイブリッド型太陽電池等の高効率な新構造太陽電池を開発する。また、基幹電源並みの発電コスト以下を実現するために、低コスト材料・プロセス技術を開発する。従来にない軽量・フレキシブルな太陽電池製作技術が確立されれば、設置コストの面からも低コスト化を実現できる。

<量子ドット太陽電池等>

量子ドット等のナノ構造は、半導体の中に人工的につくられた極小（10億分の1m）の微細構造である。半導体中に電子を閉じ込めると、量子化と呼ばれる現象が発生し、様々なエネルギーの光を吸収することが可能になる。また、電子の移動方向を制限でき、効率よく電子を取り出すことができる。この技術を利用した高効率な太陽電池の開発が必要である。

例えば、化合物半導体量子ドットが形成する半導体中のエネルギー準位（中間バンド）を利用する中間バンド型太陽電池では、一つの太陽電池によって従来よりも広い範囲の太陽光スペクトルを吸収することが予測されている。これにより理論的には集光下で60%以上の変換効率が示唆されており、従来の太陽電池の常識を打ち破る革新的な技術として注目されている。また、半導体量子ドットのサイズを変えることで母材が吸収する光の波長（バンドギャップ）を制御可能であることを利用して、サイズの異なる量子ドットによる太陽電池を組み合わせた量子ドット多接合太陽電池も高効率太陽電池として期待されている。

(技術課題)

- ・ ペロブスカイトを利用した有機無機ハイブリッド型太陽電池については、現在比較的高い効率を達成したと報告されているが、材料に鉛を含有しており、また、材料の劣化が早期に進みやすいため、無害で耐久性の高い材料開発が必要である。
- ・ ペロブスカイト太陽電池の高耐久化に向けた封止技術の開発が必要となる。
- ・ 量子効果を利用する太陽電池については、発電効率を上げるため、高密度で均一な量子構造を、3次元的に規則正しく設計通りに整列させる結晶成長技術やパターン形成技術の開発が必要である。
- ・ 効率30-40%、7円/kWhのコスト目標達成には太陽光の全スペクトルを有効

に使う高効率化技術（フルスペクトル太陽電池技術）、例えば高性能多接合太陽電池技術の開発が必要である。

② 次世代地熱発電

地熱資源はマグマが比較的浅部に存在する火山国に多く、活火山数が世界第3位の火山大国である日本は、世界でもトップレベルの地熱資源ポテンシャルを有している。天候や時間帯に左右されずに出力が安定しており、水力と同様、ベースロード電源として位置付けられる数少ない再生可能エネルギーであり、その有効利用が期待されている。

しかし、現在の地熱発電は、地下1～3km程度に存在する地熱貯留層の位置を正確に特定することが難しく、地熱発電所を建設するためには地質調査・物理探査等に長期間を要し経済的リスクが高い等の課題がある。このため、世界全体でも、地熱発電は全発電電力量の1%未満に留まっている状況にある。

こうした地熱発電の持つ様々な課題を克服でき、既存の発電方式では活用困難な地熱資源を用いた、新世代の地熱発電システムを開発する。日本は他国と比較して浅部（4～5km）に高温地熱資源がある可能性があり、優位な立場にある。

以下に、次世代地熱発電の具体例を記載する。

<高温岩体発電>

(技術インパクト)

- ・ 従来の地熱発電は天然貯留層が存在するところに限定されていたが、高温岩体発電では、技術的にはより広範な地域（天然貯留層がない地域）で適用可能となり、地熱発電の導入可能性を飛躍的に高める。国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の資源調査では、日本国内で、地熱発電の導入ポテンシャルが2倍以上になる可能性が示されている。

(技術概要)

既存の地熱発電では、貯留層の規模や持続可能な発電出力を予測する技術が確立されていなかったため、蒸気・熱水の量が減衰してしまうことが課題となっている。これに対して、高温岩体発電は、地下の高温となっている岩石を人工的に破碎（水圧破碎等）し、岩体内部につくった亀裂に大量の水を溜めることを可能にし、人工的な地熱貯留層を造成する。そこに地上から水を圧入し、地熱貯留層から蒸気を地上

に取り出し発電する技術であり、注入する水量等を調整することで、安定的な電源として利用可能になる。

日本、米国、フランス、ドイツ、スイス、オーストラリア、韓国等が、高温岩体発電の可能性に対して研究開発に取り組んできた。本技術に関連し、日本には、地下の貯留層への加圧注水シミュレータ、貯留層センシングシステム開発等の実績がある。これらの技術基盤を基に、今後、米国等世界と連携して各国が持つ地下貯留層に関するデータの共有を進めるとともに、相互補完的に技術開発を進めていく。

(技術課題)

- ・ 地下の状況把握が正確にできず、多くの開発リスクが存在する。シミュレーション技術により地下の亀裂や地下水の挙動を正確に把握する技術の確立が必要である。
- ・ 現状技術では、経済性が低く、一地点での発電量が少ないため実用化が困難である。
- ・ 低コストかつ短期間に掘削を行う技術の開発が必要である。
- ・ 人工的な地熱貯留層内での水の流れを制御する技術の開発が必要である。

<超臨界地熱発電>

(技術インパクト)

- ・ 従来の地熱発電に比べ、高温・高圧の地熱資源を活用するため、発電所一箇所あたりの発電容量増大が見込まれる。国立研究開発法人産業技術総合研究所の試算によれば、地熱井は従来の5倍程度の生産能力があり、国内の地熱発電容量を現在の数十倍以上にできるポテンシャル（数十～数百GW）がある。

(技術概要)

海洋プレートの沈む込みにより地下に引き込まれた海水起因の地下深部の超臨界状態の高温・高圧水（超臨界水）の貯留層を利用した、新世代の地熱発電である。

現在、地下の超臨界水は、世界的にも未だその存在を直接確認した例は無いが、地震波解析結果の解釈によれば、東北地方に50以上存在する古火山・古カルデラ下部（4～5km）に単位体積当たり1%程度の超臨界水を含むマグマ起源火山

岩体の存在可能性が示されている。開発が実現すれば大量の発電が可能な全く新しい地熱資源となり、我が国では、温室効果ガス排出量の大幅削減に加えエネルギー自給率の大幅な向上に貢献する。

(技術課題)

- ・ 超臨界水の存在確認と発電への利用可能性実証は、世界的にも例が無い。
- ・ 地下の超臨界水の位置・規模・状態等を計測して正確に把握、予測する技術が未だ確立されていない。
- ・ 開発時に超臨界岩体内で発生する現象は現在の地熱開発におけるものと大きく異なることが示唆されている。模擬装置を使った室内試験や試掘を通して現象の科学的理解とその予測、モデル化を進めていく必要がある。また、得られた知見に基づき、長期的な環境等に対する影響評価の実施も必要である。
- ・ マグマ周辺に賦存していると考えられる超臨界水は、海水起源のため塩素等を多く含み、強酸性となっている可能性が高いと考えられている。高温・高圧・高腐食といった過酷環境条件に長期間（少なくとも 20~30 年程度）耐え得る、材料開発、機器開発が不可欠である。
- ・ 地熱貯留層から長期間にわたり効率よく熱を抽出するための亀裂設計・造成・制御技術が必要となる。

<耐極限環境対応センサー>

(技術概要)

高温地熱資源を用いた発電では、水や水蒸気の挙動を把握するセンサーに 300~400℃以上の耐熱性、水に塩分や硫黄等が溶け込んでいることによる耐食性、急激な温度変化への耐性、耐圧性も求められる。様々な極限環境に対応可能で、小型・軽量かつ低価格で高信頼性を持つセンサーを開発する。

(技術課題)

- ・ 既存の電子回路のうち 300~400℃で動作可能なものはほとんどない。光ファイバーも長期にわたり高温環境下で性能維持が可能なものはほとんどなく、耐熱性の向上が必要である。
- ・ センサーや電子回路を外界から保護するための高温用耐食性シール材の開発が必要である。また、地熱流体に直接センサーが接触する場合、高い耐食性、耐ス

ケール性が要求されるが、これを満たす材料はほとんどなく、非金属材料を含めて開発する必要がある。

[5] 二酸化炭素固定化・有効利用

地球温暖化の原因となる人為起源の二酸化炭素を分離・固定化、資源としての有効活用を行うことで、気候変動の緩和及び炭素の循環利用を実現する。

CO₂の大規模排出源の排ガス等からCO₂を分離・回収し、そのCO₂を固定化・有効利用（CCU）する技術として、具体的にはCO₂を原料にして化学原料等となる炭素化合物を製造する人工光合成技術や、バイオマスを炭化水素燃料や化学品原料、その他の有価物等に転換・利用する技術、環境配慮型コンクリート生産技術等があるが、CO₂分離・回収コストの低減や、固定化・有効利用できる量や効率の格段の向上が課題である。

CO₂の分離方法としては、化学吸収法、物理吸収法、固体吸収法、膜分離法等がある。化学吸収法は、現在主流の技術であり、商用レベルで実用化されている。また、物理吸収法についても一部商用レベルで実用化されている。CO₂分離・回収技術の中で、特に化学吸収法、固体吸収法、膜分離法については、それぞれにおいてより高効率で経済性の高いCO₂分離・回収技術の研究開発が、産業界等の協力の下で進められている。本戦略におけるCO₂分離・回収コストの低減に向けた取組としては、研究開発を加速し、複数の分離法の組み合わせも含め、最も効率の高いCO₂分離・回収技術を追求める。本技術は、CO₂の大量処理が可能である二酸化炭素分離回収貯留（CCS）技術のコスト低減にも大きく寄与するものである。

また、CO₂をどう削減していくかという観点からは、現状の技術水準と比べて、CCUによるCO₂削減量や効率の格段の向上を実現する必要があるため、技術開発を行っていく。

以下に、二酸化炭素固定化・有効利用の具体例を記載する。

<CO₂革新的分離・回収技術>

（技術インパクト）

- ・ 分離・回収エネルギーを現在より半減させる（1.5 GJ/t-CO₂）。

（技術概要）

化学吸収法では、分離・回収エネルギーが少なく吸収液からの CO₂ 回収温度を低温化する革新的な高性能化学吸収液を開発する。製鉄プロセス等の CO₂ を高濃度に含む高圧ガスから CO₂ を分離する場合に、処理ガスの持つ高圧のエネルギーを CO₂ 分離・回収及び圧縮プロセスに有効活用することで、CO₂ の分離・回収プロセスのエネルギーを大幅に低減可能とする高圧再生型化学吸収液を開発する。

また、固体吸収法では、化学吸収法で蓄積した研究をベースに、化学吸収液を多孔質支持体に担持させることで、化学吸収液と同等の CO₂ 吸収特性を持ちながら再生工程で顕熱や蒸発潜熱に消費されるエネルギーを大幅に低減可能にする。

膜分離法は、ガス圧を利用して CO₂ を分離回収することから、実用化技術が開発されれば、他の吸収法と比較して、省エネルギー、低コスト化が期待されている。

(技術課題)

- ・ 化学吸収法では、現在の回収温度は約 120℃であるが、100℃以下の回収温度で長時間安定的に回収可能な吸収液が必要である。
- ・ 固体吸収法では、低温で離脱性能の高い革新的な固体吸収材が必要である。

<CO₂ 有効利用技術>

(技術インパクト)

- ・ 現状の技術と比べ、CO₂ 削減量や効率の格段の向上が見込まれる CCU 技術を確立する。

(技術概要)

例えば、日本が国際的に優位性の高い触媒技術等を活用し、分離回収した CO₂ を原料として化学品原料を生産する人工光合成等の技術を開発する。また、CO₂ を固定したバイオマスを炭化水素燃料や化学品原料、その他の有価物等に転換・利用する革新的なブレークスルーにつながる研究開発を推進するとともに、現状の技術と比べて CO₂ 削減量や効率の格段の向上が見込まれる革新的な CCU 技術の研究開発を行っていく。

(技術課題)

- ・ 既存の化学品等と同水準の製造コストを実現する量産技術、高効率な生産技術の確立が不可欠である。
- ・ さらに、CO₂ 削減量を格段に向上させていく観点から、従来のオレフィン等の基礎

化学品等だけでなく、大量利用される新たな有価物等を高効率に合成できる革新的な技術が必要である。

5. 研究開発の推進体制

(1) 政府が一体となった研究開発体制の構築

- ・ 実現に中長期を要する革新技术は、実現すれば社会的便益は大きいが開発リスクが高いことから、政府が先導し、中長期を見据えたプロジェクトとして推進する体制を構築する。具体的には、CSTI が司令塔となり、関係省庁の協力を得て本戦略推進を担当する体制を強化し、政府一体となって推進する。
- ・ CSTI の全体統括の下、関係省庁が各々の役割を果たしつつ、情報を共有し成果を相互にフィードバックする研究開発体制を構築する。各関係省庁及び関係研究機関の下にも、既存の技術の延長線上でなく、本戦略で特定した次世代の有望技術分野に関する具体的なプロジェクトの企画・立案に向けた詳細調査・研究開発を促進するための組織の創設・機能の強化等を行い、連携を図る。
- ・ CSTI は、SIP や科学技術イノベーション総合戦略等の司令塔機能を活用し、自らが主導的役割を担う。その際、既に推進されている SIP の「パワーエレクトロニクス」、「革新的構造材料」、「エネルギーキャリア」の各プロジェクトは本戦略の先導役と位置付けられる。
- ・ 本戦略に基づいて実効性のある研究開発体制を構築するために、有望技術分野毎に研究開発に関する見通しや 2050 年頃を見据えた将来ビジョンを作成するとともに、ロードマップを作成し研究開発進捗に応じて不断に見直し詳細化していく。
- ・ また、中長期的な取組を進めていく上で、それぞれの要素技術・システム化・実装に必要な研究者及び現場を知る研究マネジメント人材を、持続的に確保・維持・育成する。

(2) 新たな革新技术シーズの創出と柔軟な位置付け

- ・ 本戦略で想定している技術以外の技術を含め、新たな発想に基づく非連続型の温室効果ガス排出削減技術を持続的に創出するため、大学や国立研究開発法人等における基礎研究・応用研究等を活性化する。また、海外の大学等の研究機関あるいはベンチャー企業を含む様々な企業の技術を発掘する。

- ・ 内閣府及び関係省庁におけるエネルギー・環境分野の先導研究、各大学や研究機関で行われている基礎研究の内容と開発状況に関する情報を相互に共有し、政府一体となって有望な技術シーズの発掘を行う。その上で、研究者や産業界の協力も得て、出口を見据えた可能性調査を行い、高い削減ポテンシャルがあると認められる場合には本戦略に積極的に位置付ける。
- ・ 技術シーズの位置付けを柔軟に見直すとともに、本戦略の推進に当たっては、分野毎に適切なステージゲートを設けて、研究開発の進捗や社会情勢に応じて適切な間隔（数年程度）で研究開発プロジェクトを適正化しつつ、戦略的に推進していく。
- ・ なお、本戦略が対象としている 2050 年頃という時期を超えて、超長期的に開発が見込まれる核融合発電や宇宙太陽光発電等については着実に推進する。

（３）産業界の研究開発投資を誘発する仕組み

- ・ 近年、企業の研究開発投資は短期的案件にシフトしている。本戦略が対象とする、研究開発から実用化まで長期を要する技術分野に対して産業界の研究開発投資を誘発するために、政府の長期的なコミットメントや開発重点化の枠組みを示した上で、技術進展の見通しや 2050 年頃を見据えた将来ビジョンを産学官で共有する。
- ・ プロジェクトには、産業界の積極的な参加を促す。公募だけではなく、プロジェクト遂行に必要な国内外の大学・企業・研究機関に対して政府側からアプローチして参加要請することも含めて、最適な研究開発体制を構築する仕組みを検討する。
- ・ 技術開発目標の途中段階であっても、国や参加企業等がその時点で得られている研究開発成果を切り出して事業展開をできるようにする等、産業界による事業化への流れを支援する。
- ・ 温室効果ガス排出削減技術は、世界全体に普及させることが重要である。研究開発の初期段階から、国際標準化の内容と時期や知的財産の扱いについて産学官が協力して検討する。政府、研究開発機関の支援の下で国際標準原案を策定し、世界に先駆けて早期に国際標準化機関に提案することで、国際市場獲得の道筋を明らかにし、民間投資を誘発する。
- ・ 国際標準化と車の両輪である認証についても、各プロジェクトの初期の段階から研究開発と並行して産学官による検討を行い、対象技術の性能・安全性等を評価・認証する体制を整備・強化する。

(4) 国際連携・国際共同開発の推進

- ・ 温室効果ガス排出削減は世界各国の共通課題であり、既に各国政府、研究開発機関や産業界において、様々な研究開発が進められている。世界の英知を結集し、地球全体の課題を解決する観点から、各国との国際連携や国際共同開発を推進することは有意義である。
- ・ 協調領域、競争領域を明確化し、協調領域の国際共同開発を積極的に進めるべく、来る G7 関連会合や世界の産学官のリーダーが議論する国際カンファレンス“ Innovation for Cool Earth Forum”(ICEF)等において、本戦略の内容を紹介するとともに、関連した分野に関する国際共同研究の可能性を日本から呼びかける。その際、世界各国の研究開発・技術実証等の取組状況の情報交換を行うため、それぞれの分野専門家による国際ワークショップ等の開催を働きかけ、情報を共有していく。
- ・ 国内関係者間で、国際的な協調領域・競争領域を議論し、その後諸外国と調整を進めていく。ただし、国際共同研究の場合は、その成果である特許等の扱いに過剰な制約が掛からないよう、留意する。
- ・ 日本と比較して海外では高い削減効果が期待される技術（例えば、太陽熱利用、バイオマス、植生による固定等）であって、日本の技術が貢献し得る場合には、国際共同開発に積極的に参加することも重要である。
- ・ 再生可能エネルギーの導入拡大が進んだエネルギー・システムは、既存の成熟した化石燃料主体のエネルギー・システムが確立されている先進国より、むしろエネルギー・インフラの本格整備をこれから推進する途上国、新興国の方が導入し易い場合もある。技術・システムの性能評価手法に関する国際標準化等を共同で進めることを模索する。その際、導入国それぞれの国情に適応したエネルギー・システムの構築や、人材育成等の国際貢献の視点も必要である。

6. 結言

エネルギー・環境分野の革新技术開発の強化は、地球温暖化問題の解決にのみ留まるものではない。中長期的視点にたった経済・外交戦略でもある。我が国は、2050 年を見据え、本戦略に基づいていち早く研究開発の強化に着手し、気候変動対策と経済成長を両立させるべく次世代のイノベーションで世界をリードする責任を果たしていく。

(以上)

エネルギー・環境イノベーション戦略策定ワーキンググループ 構成員名簿

	岡島 博司	トヨタ自動車株式会社 技術統括部 主査・担当部長
座長	柏木 孝夫	東京工業大学 特命教授
	小林 哲彦	国立研究開発法人産業技術総合研究所 理事、 エネルギー・環境領域 領域長
	須藤 亮	産業競争力懇談会（COCN）実行委員長、 株式会社東芝 常任顧問
	住 明正	国立研究開発法人 国立環境研究所 理事長
	田中 加奈子	国立研究開発法人 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 主任研究員
	平井 秀一郎	東京工業大学大学院 理工学研究科 教授
	森口 祐一	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	矢部 彰	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター ユニット長
	山地 憲治	公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長

(五十音順)

「エネルギー・環境イノベーション戦略策定ワーキンググループ」における議論の経過

第1回 平成27年12月15日

- ・ エネルギー・環境イノベーション戦略策定ワーキンググループの設置について
- ・ 対象となる排出削減分野の特定と戦略具体化に向けての留意点について

第2回 平成28年1月26日

- ・ 温室効果ガスの抜本的削減を実現する革新技术について
- ・ エネルギー・環境イノベーション戦略の具体化について

第3回 平成28年2月16日

- ・ 有望分野の整理と開発推進に向けた対応策
- ・ エネルギー・環境イノベーション戦略の骨子（案）

第4回 平成28年3月24日

- ・ エネルギー・環境イノベーション戦略のとりまとめ案について