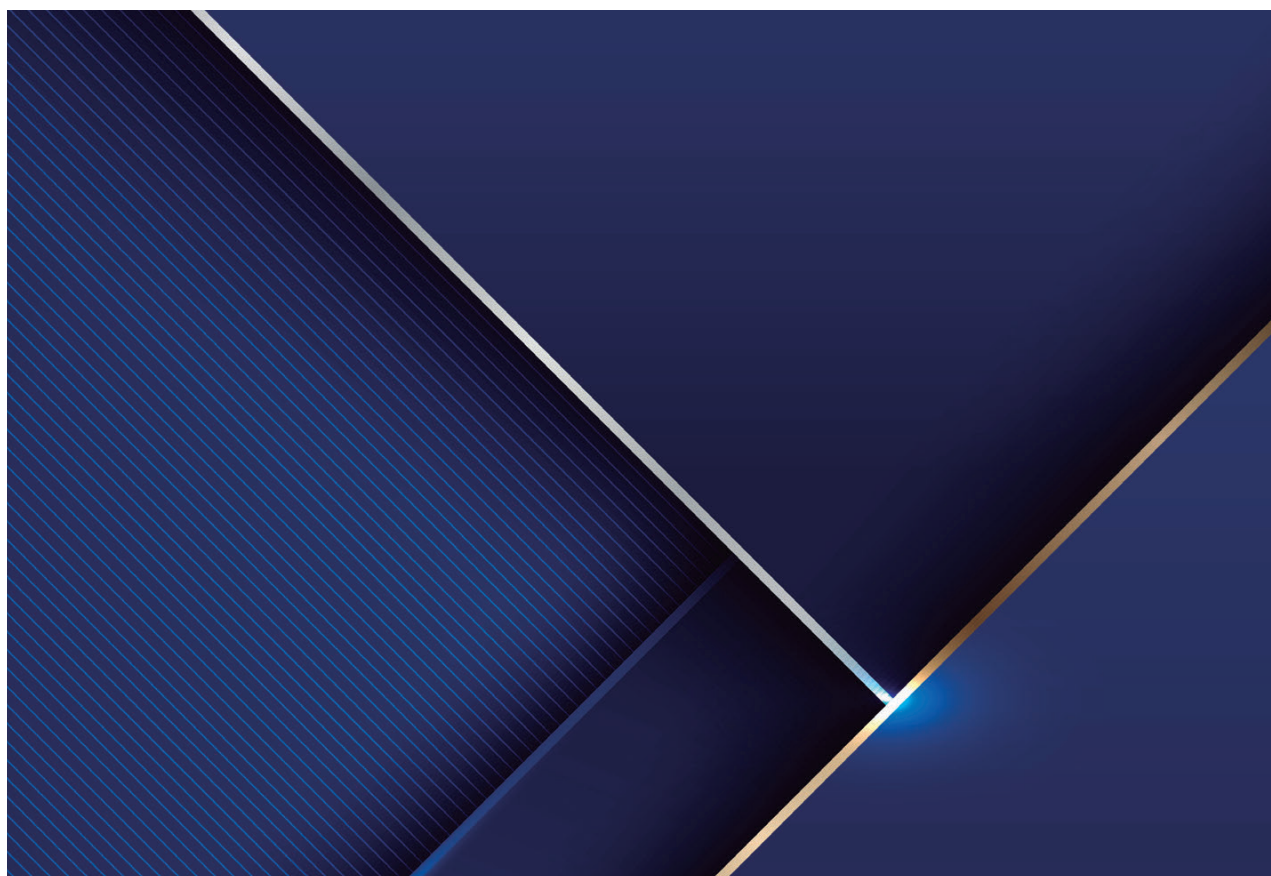


2. 技術開発・実証

2-2. 省エネルギー・環境分野

2-2-1. 省エネルギー技術

2-2-2. 環境・省資源技術



2-2-1. 省エネルギー技術

革新的省エネルギー技術



歴史と背景

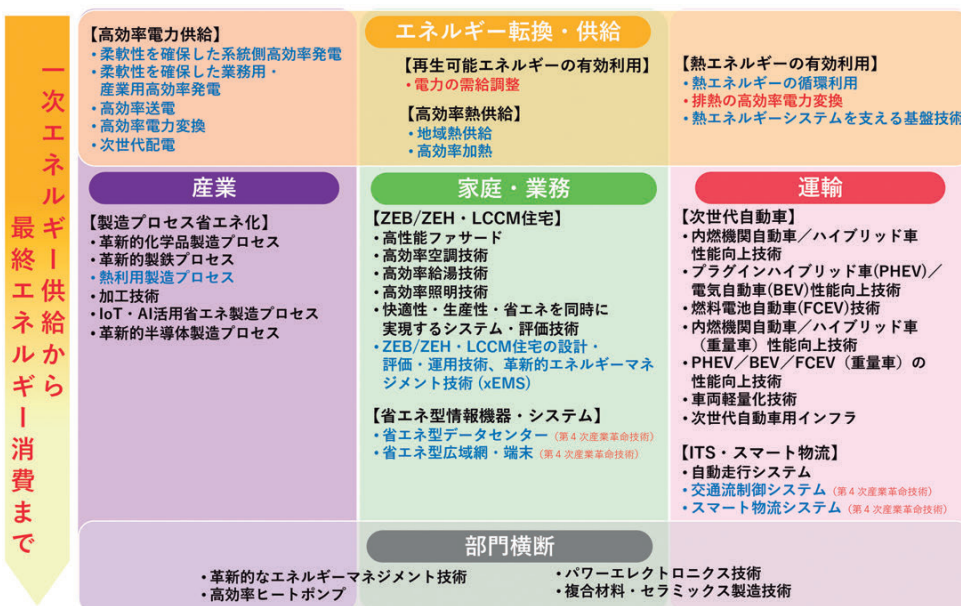
省エネルギー社会に向けた技術開発を支援

経済産業省は2006年5月、「新・国家エネルギー戦略」の「省エネルギーフロントランナー計画」を発表し、「技術革新と社会システム変革の好循環を確立させることにより、2030年までに更に少なくとも30%のエネルギー消費効率改善を目指す」という目標を掲げ、その具体的な技術戦略として2007年に「省エネルギー技術戦略2007」を取りまとめました。

NEDOはこうした政策を具体化するため、産業・民生・運輸の各部門における省エネルギー対策に寄与する革新的な技術開発を支援する目的で、2009年度から省エネルギー革新技術開発事業を開始しました。これは、将来の日本における燃料資源の有効活用によるエネルギー安全保障の強化、製造コストなどの削減による産業競争力の強化、エネルギー消費に基づく環境への負荷低減などを指すものでした。

その後、2010年6月に閣議決定された「第3次エネルギー基本計画」において、総合的なエネルギー安全保障の強化、地球温暖化対策の強化、エネルギーを基軸とした経済成長の実現が示されました。それを受け、経済産業省とNEDOは、「省エ

図1 ● 省エネルギー技術戦略に定める重要技術



エネルギー技術戦略2011」を策定し、注力して技術開発を進めていくべき「重要技術」を選定しました。これら重要技術の開発を推進すべく、NEDOは2012年度から「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」を開始し、「省エネルギー革新技術開発事業」に引き続いて、省エネルギー技術開発の支援をしています。また、「省エネルギー技術戦略」は技術動向の変化に対応するため、定期的に見直しており、2019年7月にも重要技術を改訂しました。

最近10年の主なプロジェクト

❖ 省エネルギー革新技術開発事業 [2009～2013年度]

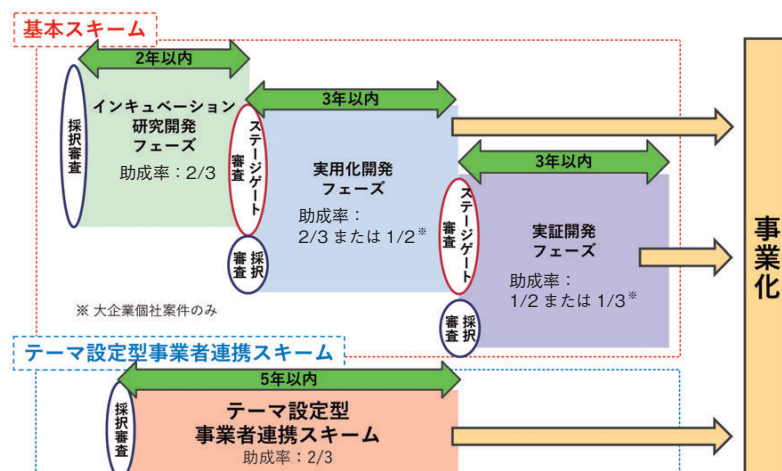
大幅な省エネルギー効果を発揮する革新的な技術の開発により、経済産業省が2008年3月にとりまとめた「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」に貢献することを目的に、挑戦研究、先導研究、実用化開発、実証研究の4つの研究フェーズを設け、幅広い研究開発テーマの技術開発を支援しました。

❖ 戦略的省エネルギー技術革新プログラム [2012～2022年度]

「省エネルギー技術戦略」に掲げる産業・民生・運輸部門などの省エネルギーに寄与する重要技術に関する分野を中心に、基本スキームとテーマ設定型事業者連携スキームを通じて省エネルギー技術開発を支援しています。

基本スキームでは、技術ごとにその開発リスクや開発段階は異なることを考慮して、インキュベーション研究開発、実用化開発、実証開発の3つのフェーズに分けた支援を行っています。また、テーマ設定型事業者連携スキームでは、業界の共通課題と異業種にまたがる課題の解決につなげる革新的な技術開発や新技術に関する統一的な評価手法の開発、複数の事業者が相互に連携・協力して取り組むべきテーマを支援しています。

図2 ● 「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」スキーム



[成果事例 ①] All SiCデバイスを用いた高効率小型電力変換器システムの開発 [2012～2013年度]

一般的な鉄道車両で消費する電力量の約4割は補助電源システムで費やされ、その大部分は空調装置によるものです。そこで東芝インフラシステムズ株式会社

は、高耐圧 All-SiC デバイスを開発し、補助電源を高効率・小型の高周波絶縁 DC/DC コンバータに代え、車内配電を交流から直流に変更しました。空調装置のインバータにも All-SiC デバイスを適用することで高効率・小型化を図りました。開発した All-SiC デバイスなどは、モータを制御する VVVF インバータ装置に適用され、2018 年度に東京メトロ丸ノ内線の 2000 系新造車両に導入されました。2019 年 2 月の営業開始以来、現行の丸ノ内線 02 系 PMSM 車両と比較し、27% の消費電力量削減を実現しています。なお、本事業で開発したシステムは、2019 年度省エネ大賞の経済産業大臣賞を受賞しました。

図3 ● 東京メトロ丸ノ内線 2000 系新型車両



[成果事例 ②] 超高輝度・大光量 LED 照明の開発 [2012~2013 年度]

高天井照明や投光器として高輝度・大容量照明の高圧水銀ランプなどの高輝度放電ランプ照明が多く使用されていますが、一層の省エネルギー化や水銀条約による高圧水銀ランプの使用制限を背景に、LED 化が急務となっていました。しかし、LED 化にあたっては、LED 照明の高輝度化について、発光部が高温になり寿命の低下や発光効率の低下を招くことが課題となっていました。そこで四国計測工業株式会社は、その課題を克服する高演色型の超高輝度・大光量の LED 照明を開発しました。開発した LED 照明は、単一面光源による照明としては、定格光束 63,200~68,000lm で世界最高クラスを実現し、LED の集積率を高めるとともに放熱を強化して大光量・長寿命と省エネルギーを同時に達成しました。

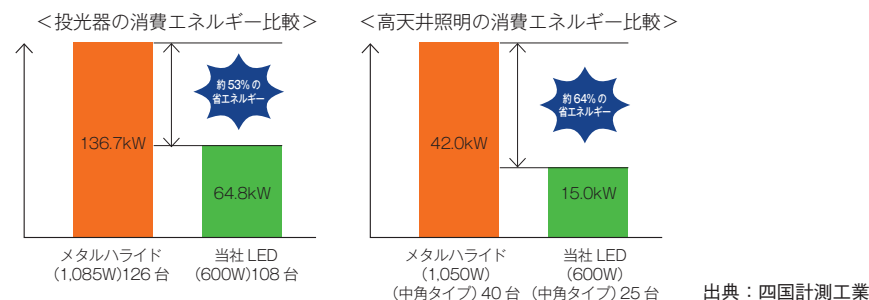
なお、本事業で開発した成果は、2017 年度省エネ大賞の省エネルギーセンター会長賞を受賞しました。

図4 ● 開発した LED 照明とチップオンボード (COB) モジュール



出典：四国計測工業

図5 ● 消費エネルギー比較 (左図：投光器、右図：高天井照明における同等照度を得る条件下)

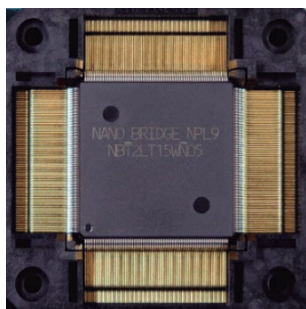


出典：四国計測工業

[成果事例 ③] 100 万 LUT 規模原子スイッチ FPGA の開発 [2016~2018 年度]

画像など大容量データの高速処理ニーズの高まりや IoT 化の加速を背景に、高い電力効率と処理性能を両立できる半導体チップとして、ユーザーが電子回路を書き換え可能な FPGA の採用が広がっています。FPGA は、電気信号を切り替えるためのトランジスタの素子サイズを微細化することで、チップに搭載する回路

図6 ● NanoBridge-FPGA
(縦：28mm×横：28mm)



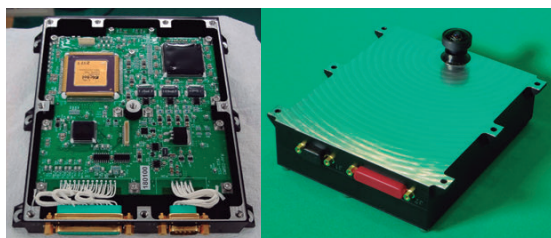
出典：日本電気

規模を大きくしていますが、微細化するほどトランジスタのリーク（漏れ）電流が増え、それによる消費電力の増加が課題となっていました。

そこで、日本電気株式会社（NEC）は、信号切り替えに独自の金属原子移動型スイッチ「NanoBridge」を用いることで、省電力と小型化を実現した日本独自の動作原理（原子スイッチ）に基づく革新的なFPGA「NanoBridge-FPGA（NB-FPGA）」を開発しました。

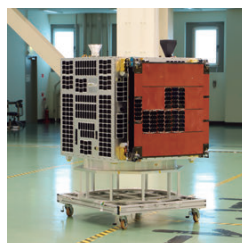
開発したFPGAを実装したカメラモジュールは、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）が2019年に革新的衛星技術実証1号機の一部として打ち上げた「小型実証衛星1号機（RAPIS-1）」に搭載されました。これは、「革新的FPGAの耐宇宙環境性能軌道上評価」というテーマで実証されたもので、運用期間中一度もソフトエラーは発生せず、書き換え実験にも成功し、宇宙環境で期待通りの性能を確認しました。

図7 ● 「NanoBridge-FPGA」を実装したカメラモジュール。JAXAが開発



出典：JAXA

図8 ● 小型実証衛星1号機（RAPIS-1）



出典：JAXA

図9 ● 革新的衛星技術実証1号機への搭載イメージ



出典：JAXA

[成果事例 ④] 革新省エネルギー軟包装印刷システムの開発 [2016～2018年度]

軟包装材は、フィルムを使った包装材で、食品やシャンプー・洗剤の詰め替え品など、生活に身近な幅広い商品の包装に使われています。この軟包装に関する印刷市場は、世界的な人口増加に伴い、今後も年率5～7%の拡大が予測されています。一方で、軟包装用印刷には、現行印刷方式では有機溶剤を含むインキを大量に使うため、環境汚染の原因となる揮発性有機化合物（VOC）を多く排出することに加え、溶剤の加熱乾燥や排気燃焼処理に膨大な電力を使うことが問題となっています。

このような背景の下、東レ株式会社は、VOCフリー化や省電力化を実現できる環境性能の高い軟包装用水なしオフセット印刷システムの開発を進めました。印

図10 ● 軟包装用水なしオフセット印刷機



出典：東レ

図11 ● 軟包装用水なしオフセット印刷機で印刷した軟包装印刷物（フィルムロール）



出典：東レ

刷機メーカーの株式会社ミヤコシ、印刷用インキメーカーの株式会社T&K TOKA、印刷システムのユーザーである光村印刷株式会社と共同で、システムの中核となる世界初の軟包装用水なしオフセット印刷機と、フィルムへの印刷に適した専用の水溶性インキおよび水なし平版を開発し、本システムによる印刷実証を行いました。



現状と課題

原油換算 1,000 万 kL の削減目標を達成へ

戦略的省エネルギー技術革新事業において、2030年時点のエネルギー消費量の削減に向け、2012年度から継続して各技術開発テーマを支援するとともに、事業終了後の実用化の状況や省エネルギー効果の見込みについて追跡調査を実施しています。2019年度までの調査において、事業終了後の実用化率は47%となっており、省エネルギー効果の見込み量は、原油換算で353万kL/年となっています。

しかし、事業終了後に技術が実用化され、実際に製品やシステムとして社会に普及しなければ、省エネルギー効果は生まれません。そのため、今後は、技術開発終了後の社会実装を積極的に推進し、実用化率を高めることで省エネルギーを着実に推進していく必要があります。

また、2030年を節目として技術開発を支援してきましたが、その節目が近付いてきたことから、さらにその先の将来に向けた技術開発も必要になってきています。



今後と展望

2050年に向けた社会実装の推進へ

2018年7月に閣議決定された「第5次エネルギー基本計画」や2019年6月に閣議決定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」においては、2050年までに温室効果ガスの排出を80%削減することを目指して、エネルギー転換・脱炭素化への挑戦を進めていきます。そのために、脱炭素化エネルギーシステムに関するあらゆる選択肢について技術を強化する必要があります。また、2020年1月に決定された「革新的環境イノベーション戦略」では、世界のカーボンニュートラルを可能とする革新的技術の確立に向け、それに貢献する技術開発テーマの一つとして、「分野間の連携による横断的省エネ技術の開発・利用拡大」が示されています。

日本の温室効果ガス排出量の約9割を占めるエネルギー部門における対応は、年々重要性を増しています。そうした状況下で、前述のように、継続した革新的な省エネルギー技術を開発支援するためのシーズの発掘や、開発成果の社会実装をこれまで以上に積極的に推進することが求められています。それによって、エネルギー消費量の削減だけでなく、温室効果ガスの削減にも貢献し、経済成長と両立する持続可能な省エネルギー社会を実現することがNEDOの責務です。

高温超電導



歴史と背景

画期的な省エネルギーの実現に向けて

超電導とは非常に低い温度で電気抵抗がゼロとなる現象です。極低温（-269℃／液体ヘリウムで冷却）付近で超電導状態となるものを低温超電導、液体ヘリウム温度より高温で超電導状態となるものを高温超電導と定義しています。超電導状態になると、低い電圧でも大容量の電気が流せ、大きな磁場を発生させることができます。

「エネルギー・環境イノベーション戦略 (NESTI 2050)」(2016年4月19日総合科学技術・イノベーション会議決定)では、2050年の低炭素化を見据え、超電導技術の有用性や技術開発を加速することの必要性などが記載されています。

最近10年の主なプロジェクト

❖ イットリウム系超電導電力機器技術開発 [2008～2013年度]

「超電導応用基盤技術研究開発 (第Ⅱ期)」と「超電導電力ネットワーク制御技術開発」によって得られた開発成果を踏まえて、実用レベルに達したコンパクトで大容量の電力供給が期待できるイットリウムに代表されるレアアース系酸化物高温超電導線材を活用する研究開発を実施しました。用途としては、次世代電力機器として「第3期科学技術基本計画」のエネルギー分野の重点科学技術である「送電技術」「電力系統制御技術」「電力貯蔵技術」に位置付けられている、①超電導電力ケーブル、②超電導変圧器、③超電導電力貯蔵システム (SMES) の実用化にめどを付けることを目的としました。さらに、それら超電導電力機器に最も適応した、④超電導電力機器用線材の研究開発、⑤超電導電力機器の適用技術標準化に向けた取り組みも併せて行いました。

図12 ● 開発項目と担当事業者

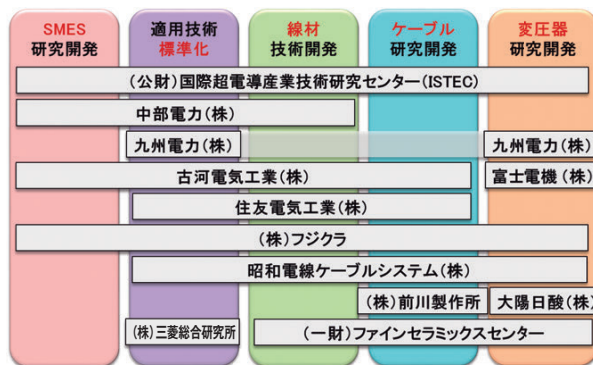
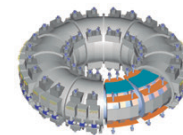


図13 ● 超電導変圧器システム



図14 ● 超電導電力貯蔵システム (SMES)



❖ 高温超電導ケーブル実証プロジェクト [2007～2013年度]

東京電力株式会社(現・東京電力ホールディングス株式会社)、住友電気工業株式会社、株式会社前川製作所により、高温超電導ケーブルを社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するために、高温超電導ケーブルや冷却技術などを

統合するビスマス系高温超電導ケーブルシステムを構築しました。ここでは高温超電導ケーブル単体だけではなく、敷設、運転、保守を含めたトータルシステムの信頼性を実証するために、実系統に連系した実証試験を実施しました。これにより、高温超電導ケーブルのトータルシステムとしての総合的な信頼性を実証するとともに、革新的な高効率送電技術の開発・検証を行いました。

図15 ● 三心一括型超電導ケーブル

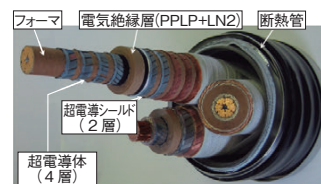
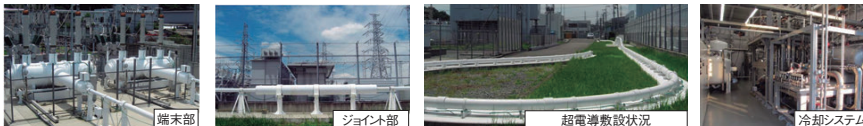


図16 ● 超電導ケーブルの敷設状況（旭変電所）



！ 現状と課題

実用化に向け計画的に成果を創出

2016～2020年度には「高温超電導実用化促進技術開発」を立ち上げ、送配電ケーブルと高磁場マグネットシステムを対象に高温超電導技術の実用化に向けた開発を行いました。送配電ケーブルでは、「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」で開発したケーブルシステムの安全性の確保や冷却システムの高効率化技術の開発を行いました。

また、超電導ケーブルを鉄道き電線へ適用すると、過密路線での回生率の向上と変電所の負荷平準化が期待できます。本プロジェクトでは要素技術である長距離冷却システムの開発を行い、宮崎にあるリニア実験線の跡地にキロメートル級のケーブルを敷設し、冷却性能の確認を行っています。

高磁場マグネットシステムの開発では、ヘリウム供給リスクへ対応しつつ小型高性能化により大きな市場創出などが期待される核磁気共鳴画像法(MRI)用高磁場マグネットの開発を行い、1/2サイズの3 T高温超電導コイルを製作し、性能確認を実施しています。さらにそれを実現するための超電導線材の磁場特性の改善と生産性の向上、加えて超電導接続技術についても並行して開発を行っています。

▶ 今後と展望

省エネルギー加速のため低コスト化が急務

送配電ケーブルについては、製品化可能な技術レベルを確立しました。公共インフラに適用すると大幅な省エネルギーが見込めますが、巨額の投資が必要となるため、現時点では具体的な適用先は明確になっていません。一方で、昭和電線ケーブルシステム株式会社が開発した低コスト型ケーブルシステムは、民間工場などへの適用が期待されます。鉄道き電線については、現在実施中のプロジェクトで長距離冷却システムの技術が確立されると、過密路線への早期採用による省エネルギー効果が期待されます。MRIなどに用いられる超電導マグネットについては、高温超電導技術を適用することにより省エネルギーと高精細な撮像による高精度な解析が実現できることから、医療現場への普及が期待されます。

いずれの製品についても普及や競争力向上に向け、超電導線材や冷凍機の低コスト化が求められていることから、さらなる技術開発が必要です。

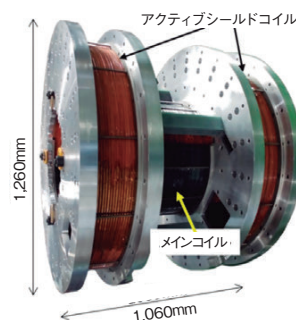
図17 ● ケーブル端末（手前）と小型冷凍システム（後方）



図18 ● ケーブル敷設状況（宮崎リニア実験線跡地）



図19 ● 1/2サイズ3T高温超電導コイル



未利用熱エネルギー



歴史と背景

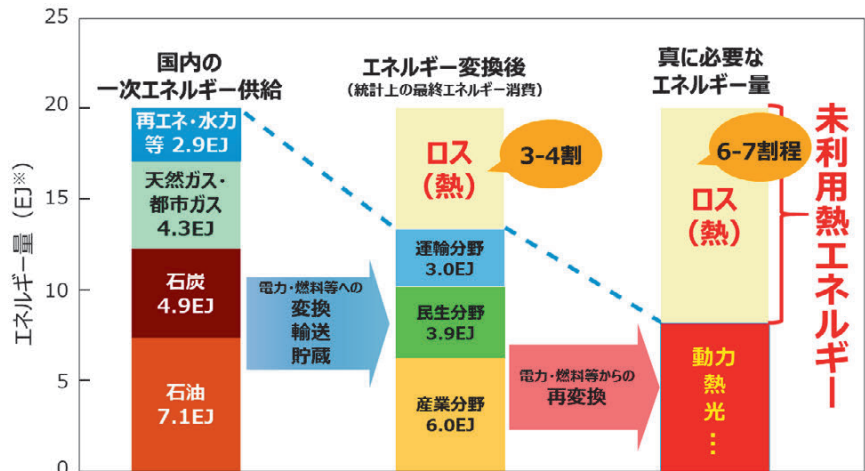
古くて新しい未利用熱エネルギー

日本では、石油、石炭、天然ガスといった化石燃料を中心とする一次エネルギーから電力・燃料などに変換・輸送・貯蔵する段階で、その3～4割が有効利用できずにエネルギー・ロス(熱)として失われています。さらに、消費者が最終的に活用する、真に必要なエネルギーに再変換する段階においてもエネルギー・ロスが発生するため、一次エネルギーの6～7割が熱として失われています。一次エネルギーの9割を輸入に頼り、その金額が16兆円(2019年度)にも上る日本にとって、これはとても大きな損失です。

また、化石燃料は、燃焼して必要なエネルギーに変換するまでに二酸化炭素(CO₂)を排出するため、いかにエネルギー・ロスを大幅に減らすかが、日本が2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す上でも重要な課題になります。NEDOは、このような利用されずに捨てられる熱、一般には排熱や廃熱と呼ばれるものを「未利用熱エネルギー」(未利用熱)^{注1)}と呼び、着目してきました。

注1) 一次エネルギーの中で再生可能エネルギーにあたる地中熱や河川熱なども未利用熱と呼ばれることがある。本書では、エネルギー変換や再変換に伴って発生するものを未利用熱の対象とする

図20 ● 日本における一次エネルギー供給から最終活用に至るエネルギーフロー



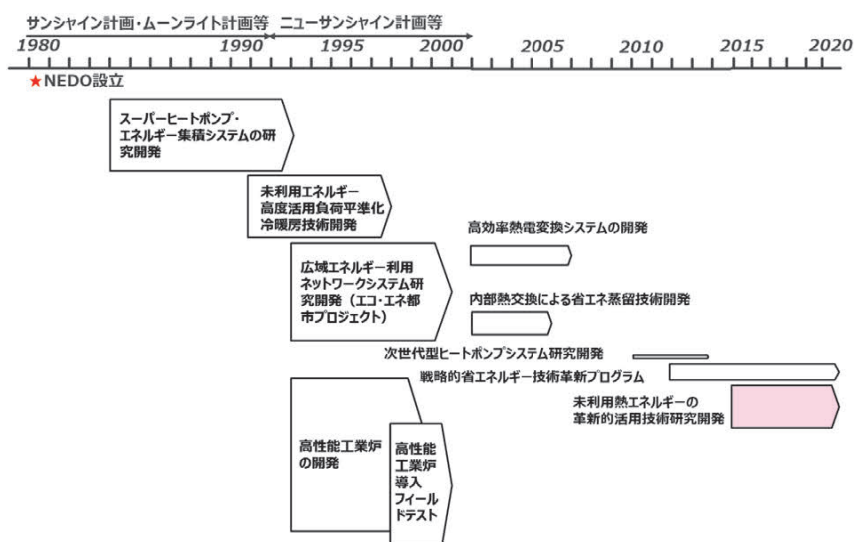
出典：資源エネルギー庁 令和元年度(2019年度)エネルギー需給実績(速報)を基にNEDO作成

「未利用熱エネルギー」あるいは「未利用熱」という言葉自体は、1973年の第1次オイルショックをうけて社会的にも省エネルギーの必要性が認識された時期に使われ始めたもので、まずは、製鉄所などで高温・大量に存在するものの利用されていない熱を「未利用熱」と呼び、その活用を検討してきました。

NEDOが進める未利用熱の活用に関する研究開発は、80年代にムーンライト計画の一環として実施された「スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムの研究開発」から始まりました。1990年代に入ってから、「ニューサンシャイン計画」の下で規模を拡大し、石油代替と省エネルギー化という命題の下で「未利用エネルギー高度活用負荷平準化冷暖房技術開発」「広域エネルギー利用ネットワ

ークシステム研究開発(エコ・エネ都市プロジェクト)」「高性能工業炉の開発」など産学官の英知を結集し、複数の大規模な研究開発プロジェクトを並行して実施しました。これらのプロジェクトが、2000年頃まで続けられた結果、今日においてはリジェネレイティブバーナー、吸収式/圧縮式ヒートポンプ・冷凍機、水和物スラリー蓄熱、後述する熱利用機器などが実用化・普及しており、省エネルギー先進国としての地位を築き上げることに貢献してきました。

図21 ● NEDOにおける未利用熱の活用に関する主な研究開発プロジェクト



最近では、比較的利用しやすい高温の未利用熱だけではなく、経済的あるいは技術的な理由から利用しにくい、低温域や小規模の未利用熱にまで注目が集まっています。

現在は、未利用熱の活用による徹底した省エネルギー・低炭素化を実現するために、「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」や、省エネルギー技術の早期の実用化・導入につなげることを目指した「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」など、技術シーズの探索から研究開発、実用化開発、実証まで幅広くシームレスな研究開発を行っています。

最近10年の主なプロジェクト

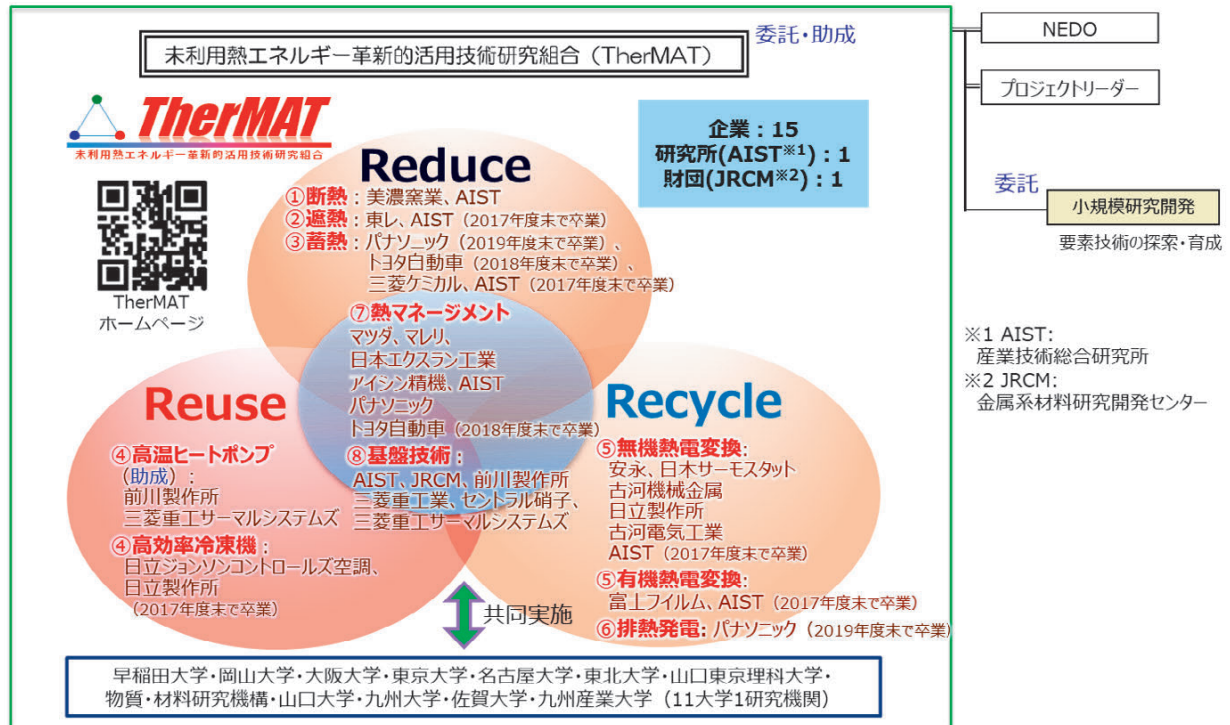
❖ 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発〔2015～2022年度〕

近年、企業が実施する熱利用分野における研究開発において、研究期間の短い改良型のテーマが多くなっており、抜本的なイノベーションを生み出す可能性を秘めた中長期的研究への投資が、少なくなっているといわれています。そのような中、未利用熱を活用するための技術を2030年頃から事業化し世界に貢献することを目指すためには、国家プロジェクトとして、中長期的研究開発を重点的に行うべきとの認識の下、「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」を開始しました。

本プロジェクトでは、産業・運輸・民生分野から発生する未利用熱を効果的に削減・利用するために、熱の3R技術に着目しています。熱の3R技術とは、熱の発生を削減(Reduce:断熱、遮熱、蓄熱など)、熱を熱のまま再利用(Reuse:ヒートポンプ

など)、熱を使いやすい形態に変換して利用(Recycle:熱電変換、排熱発電など)するための技術のことです。本プロジェクトでは、熱の3R技術の開発とこれらを横断的に扱う熱マネジメント技術、さらに熱の評価・計測などの基盤技術を開発しています。本プロジェクトは、得られる成果の実用化・普及を通じて、2030年に原油換算で600万kL/年以上の省エネルギー効果と1,700万t-CO₂/年以上のCO₂排出削減効果を目指しています。

図22 ● 「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」の実施体制



！ 現状と課題 未利用熱の排出実態と、その活用のために

環境中に排出される膨大な未利用熱の3Rと熱マネジメントを進めることは、「エネルギー基本計画」で示される「徹底した省エネルギー」を実現する鍵であり、結果的に事業者の経済的なメリットに直結します。一方、産業分野の場合、未利用熱の温度や熱量が様々で定型化しにくいことから、事業所ごとに個別の検討が必要となります。これが、産業分野における未利用熱の3Rと熱マネジメントの推進にとって大きな障害になっており、まずは未利用熱の実態を明らかにすることが必要です。

そこで、未利用熱の実態を把握しその活用を推進する際の基礎情報とするため、「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」の中で、産業分野での排熱実態調査を実施しました。本調査の結果、熱利用量の多い15業種について業種別、温度帯別、設備別の未利用熱の排出・活用に関する実態が整理され、200℃未満の未利用熱量(排ガス熱量)が排ガス熱量合計の76%を占めていることなどが明らかになりました。また、2000年度の排ガス熱量と比較すると14%低減しており、2015年までの15年間に1割の省エネルギー化が達成されていることが推測され

ました。

これらの取り組みを通じて未利用熱の排出実態や熱の利用実態が徐々に明らかとなってきたため、今後はこうした実態に対応できるような未利用熱の活用技術を開発、導入していくことが求められています。

図23 ● 産業分野における業種別・温度帯別の未利用熱量(排ガス熱量)の全国推定値(化学、電力は右軸)

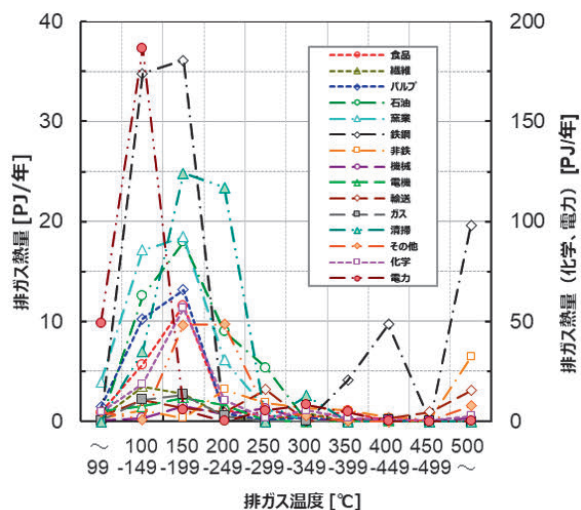
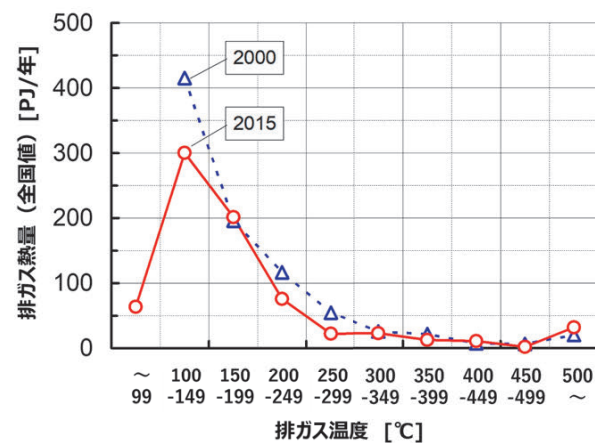


図24 ● 産業分野における排ガス熱量の2000年推定値と2015年推定値の比較



▶ 今後と展望 今後の未利用熱の活用に向けて

「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」では、工場設備の排熱実態調査のほか、未利用熱の活用に向けた様々な研究開発を行っており、すでに数件の成果が実用化・事業化しています。例えば、本プロジェクトの中で、従来の吸収冷凍機の約2倍の性能を実現する「一重効用ダブルリフト吸収冷凍機」を開発し、後に、日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社が、本開発技術を適用した吸収冷凍機「DXS」として製品化し、ビルや工場に導入しています。さらに、同社は、産業部門における低温冷熱の需要に対応するため、本プロジェクトで開発した技術に、前述の1990年代のエコ・エネ都市プロジェクトにて開発した低温発生技術を組み合わせ、0℃プライン取り出しに対応した大温度差熱回収・中低温発生吸収冷凍機「DXSL」を製品化しました。吸収冷凍機の技術は、市場環境の理由により一時は普及にブレーキがかかったものの、関係者の不断の努力によりこの状況を乗り越えて、長期的なエネルギー転換・低炭素化という世界共通の課題に対応する形で、新しい技術と融合して世に出ていくこととなりました。

パリ協定の採択以降、2050年までの温室効果ガスの大幅な排出削減に向けて、各国では未利用熱を活用する取り組みが活発に推進されています。NEDOは、国内の3E+S、さらに全世界でのクリーンエネルギーへの移行という大きな流れの中で、日本の未利用熱の活用技術が諸問題の解決に大きく貢献できると考えています。古くから研究開発の行われている本分野の技術が、未来の省エネルギーに向けたフロンティアとして、さらに革新することを大いに期待しています。

図25 ● 製品化につながった一重効用ダブルリフト吸収冷凍機



2-2-2. 環境・省資源技術

高効率火力発電

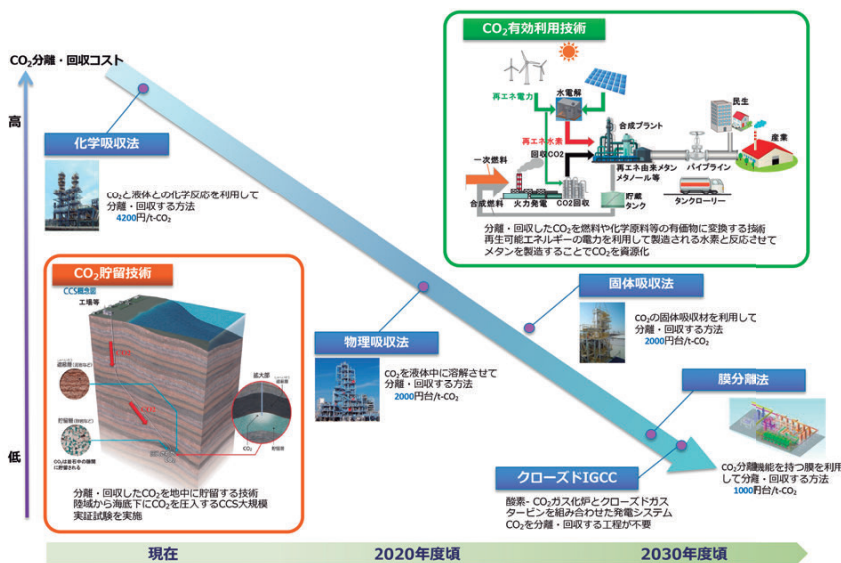


歴史と背景

火力発電におけるCO₂排出量削減への道のり

火力発電は他の電源と比べて安定供給性、経済性の観点から優れており、エネルギーミックス達成のための重要な位置付けにあると言えます。「第5次エネルギー

図1 ● 次世代火力発電に係る技術ロードマップ (2016年6月経済産業省策定)



※ 図中のコストは様々な仮定に基づき試算したもの

出典: ロードマップを基に NEDO が作成

「基本計画」(2018年7月閣議決定)では、石炭やLNGの高効率火力発電実現のための技術開発を促進するとともに、二酸化炭素(CO₂)排出量削減のためにCO₂分離・回収、貯留技術の実用化を目指した研究開発を行うとしています。

また、「次世代火力発電に係る技術ロードマップ(2016年6月)」では、石炭とLNG火力発電の高効率化やCO₂分離・回収技術の見通しが示され、エネルギーミックス実現とCO₂排出量削減の目標達成に向け、これらの技術開発を連携して進めていくことの重要性について強調されています。

最近10年の主なプロジェクト >> 火力発電の高効率化

❖ 多目的石炭ガス化製造技術開発 [1998～2009年度]

NEDOは、電源開発株式会社と共同で、石炭ガス化複合発電(IGCC: Integrated Coal Gasification Combined Cycle)技術について、石炭処理量150t/日のEAGLE(Coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity)パイロット試験設備の設計、建設を行い、2002～2006年度まで運転研究を実施し、1,000時間以上の連続運転に成功するとともに、高効率なガス化性能やガス精製性能の確認などの成果を得ました。

❖ 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 [2016年度～]

EAGLEの成果を基に、石炭火力発電から排出されるCO₂を大幅に削減させるべく、究極の高効率石炭火力発電技術である石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC: Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle)とCO₂分離・回収を組み合わせた実証試験(石炭処理量1,180t/日)を大崎クールジェン株式会社と実施し、革新的低炭素石炭火力発電の実現に取り組んでいます。

第1段階の酸素吹IGCC実証は、2016～2018年度にかけて実証試験を実施し、目標を達成しました。第2段階のCO₂分離・回収型酸素吹IGCC実証では、2019年12月から実証試験を実施しています。第3段階のCO₂分離・回収型IGFC実証は2019年3月から事業を開始し、2021年度末からの実証試験に向けて準備を行っています。

石炭火力を取り巻く状況が年々厳しくなる中、高効率発電技術とCO₂分離・回収技術の組み合わせにより、石炭火力からのCO₂排出量をゼロに近づけることのできる本事業の重要性は高まっています。

図2 ● EAGLEパイロット試験設備、電源開発
(北九州市) 石炭処理量 150t/日



出典：電源開発

図3 ● 大崎クールジェンデモンストレーションプラント、大崎クールジェン(広島県大崎上島町) 石炭処理量 1,180t/日



出典：大崎クールジェン

❖ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 [2016年度～]

石炭火力発電のさらなる効率向上を目指した先進超々臨界圧火力発電(A-USC:Advanced-Ultra Super Critical)の技術開発を実施しています。2016年度にはA-USCシステムの要素技術開発が完了し、2017年度からは開発した材料のさらなる信頼性向上に取り組むなど、A-USCの早期実用化に向けて進めています。

❖ 高効率ガスタービン技術実証事業／1,700℃級ガスタービン [2016年度～]

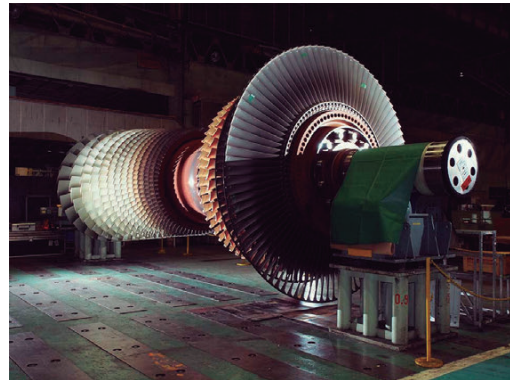
LNG火力発電の高効率化に向けた研究開発として、1,700℃級ガスタービンの実用化に必要な先端要素技術の開発を実施しており、実機開発と製造・試運転に向けて取り組んでいます。

図4 ● A-USC 実証試験装置



出典：高効率発電システム研究所

図5 ● 既に実用化されている1,500℃級ガスタービンのローター



出典：三菱重工業

最近10年の主なプロジェクト >> さらなるCO₂排出量削減に向けて

❖ 革新的CO₂回収型石炭ガス化技術開発事業 [2010～2014年度]

火力発電の高効率化技術に加え、排出されるCO₂を分離・回収する技術開発を実施しています。具体的には、EAGLEパイロット試験設備において、化学吸収法と物理吸収法の二方式について取り組み、化学吸収法では約30%のエネルギー削減を達成するとともに、物理吸収法では化学吸収法と比較して相対比10%の改善が可能であることを明らかにしました。

❖ 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発 [2018～2019年度]

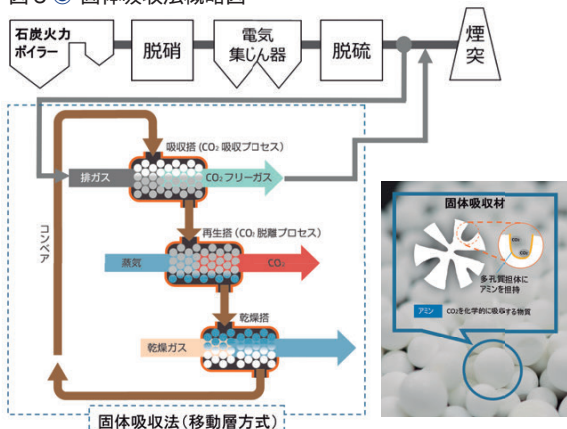
❖ 先進的二酸化炭素固体吸収材の石炭燃焼排ガス適用性研究 [2020年度～]

❖ 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発 [2018年度～]

革新的な省エネルギー型CO₂分離・回収技術として、2018年度から固体吸収法と膜分離法の研究開発を行っています。燃焼後にCO₂分離・回収を行うための固体吸収法は、固体吸収材の大量合成手法の開発と、移動層システムによるベンチスケール試験を実施し、2020年度から石炭火力発電所におけるスケールアップ試験に取り組んでいます。燃焼前にCO₂分離・回収を行うための膜分離法については、

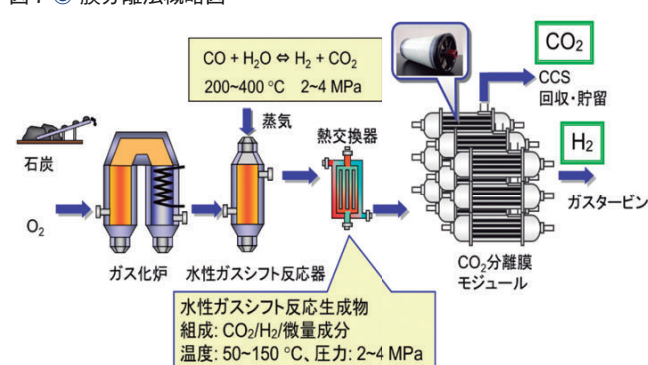
連続的に分離膜を製造する技術を利用した膜エレメントを開発し、2020年度からIGCCへの適用を想定した評価試験を実施しています。

図6 ● 固体吸収法概略図



出典：川崎重工業

図7 ● 膜分離法概略図



出典：次世代型膜モジュール技術研究組合

❖ CO₂回収型次世代IGCC技術開発 [2008年度～]

CO₂を回収しても高い発電効率を期待できるCO₂回収型次世代IGCCの開発を2008年度から実施しています。本システムでは、CO₂を主成分とするガスタービン排ガスの一部を循環利用することで、CO₂分離・回収工程が不要となる上、系外に取り出すガスタービン排ガスの量が少なく熱損失が抑えられる特長があります。

最近10年の主なプロジェクト >> 火力発電の負荷変動対応技術開発

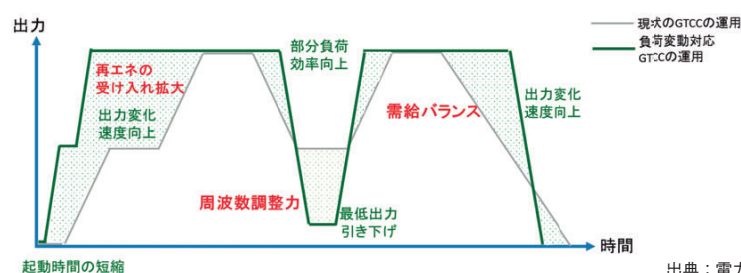
❖ 機動性に優れた高負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究 [2018年度～]

再生可能エネルギー大量導入時においても電源系統安定化とCO₂排出量削減の両立を狙い、負荷応答性に優れ、低負荷での発電効率の低下が少ないGTCC (Gas Turbine Combined Cycle)の要素技術開発を実施しています。

❖ 石炭火力の負荷変動対応技術開発 [2017年度～]

石炭火力発電による調整力の一層の確保と信頼性・運用性を向上させるため、非定常運転などの負荷変動対応に伴う事故リスク低減や保守費用削減に必要な技術開発にも取り組んでいます。

図8 ● ガスタービンの機動性の向上の運用イメージ



出典：電力中央研究所

❖ 石炭高効率利用システム案件等形成調査事業 [2011～2017年度]

「第3次エネルギー基本計画」(2010年6月閣議決定)において、エネルギー政策の基本である3Eに加えて新成長戦略の「環境・エネルギー大国」の実現が追加されました。これにより、競争力のある日本のエネルギー産業や省エネルギー技術の海外展開の加速化を図ることで、日本の経済成長と世界のCO₂削減の同時達成を図ることが必要とされました。

そのため、2011年度から日本の高効率発電技術をはじめ、未利用炭利用技術、運転管理技術、CO₂分離・回収技術などを日本企業が海外に展開するための実現可能性調査(FS)を実施しました。

本事業の特徴は、①民間だけではプロジェクト形成が困難な案件に対し、②相手国の石炭性状などに合わせた日本の技術の適用可能性を検証するための試験なども含めたFSを行い、③その成果を国際的なイベントや政府間での対話などを通じて相手国政府や相手先企業に報告し、日本の技術の高さ・有効性について理解・協力を得る活動を実施しました。

日本の高効率で、環境負荷の少ない技術を普及させ、地球環境のみならず、相手国にとっても日本にとっても最適な案件を形成することが狙いでした。

図9 ● 石炭FS実績分布図

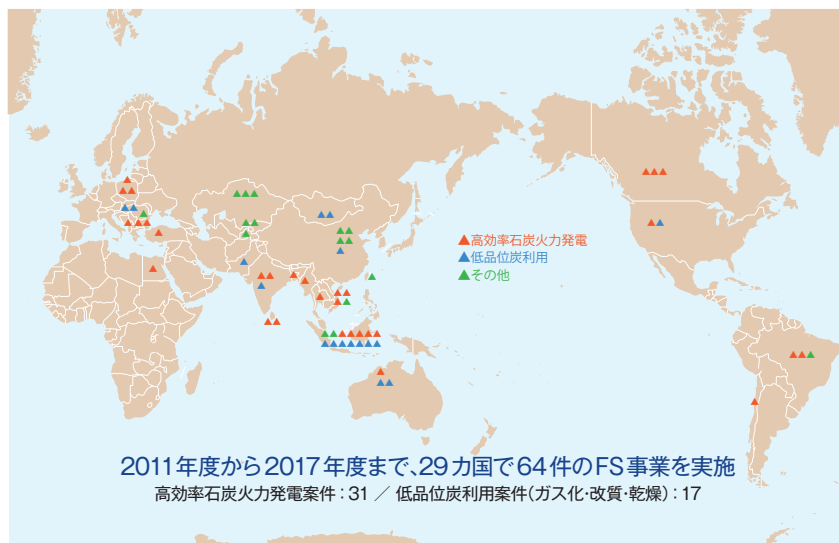


図10 ● 褐炭 CWM 製造 / 発電実証設備(インドネシア)



出典：日揮

図11 ● インドネシアCCTセミナー



図12 ● インド発電関係者招聘プログラム



❖ 低品位炭利用促進事業 [2013～2017年度]

石炭の安定供給について、中長期的に安価で安定的な石炭供給を確保していくために、これまで未活用だった低品位炭の活用が必要となってきました。

そこで、石炭の効率的利用を目的として、2013年度から、付加価値が高い化学製品や改質炭などの鉱山元での製造を目指す事業を対象にビジネスモデルの検討を行い、その実現に向けて、調査5件、技術開発5件、技術実証2件を実施しました。CO₂排出の削減効果のあるCO₂フリー水素やバイオマスガス化は、今後、事業化が期待されます。

❖ カーボンリサイクル・先進的な火力発電技術等に係る導入促進事業 [2017～2021年度]

「第5次エネルギー基本計画」(2018年7月閣議決定)では、石炭火力の重要なベースロード電源としての位置付けや再生可能エネルギーの導入拡大に伴う適切な出力調整の必要性の高まりについて言及されています。また、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2019年6月閣議決定)においては、脱炭素社会の構築に向けた二酸化炭素回収・有効利用・貯留(CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) / カーボンリサイクルなどのイノベーションの実現が不可欠であること、そのための技術の普及、知見の共有などを行っていくことが明記されています。

こうした背景から、NEDOは2017年度以降、有識者やステークホルダーの招聘・派遣、オペレーション&メンテナンスの技術移転、情報収集・発信などを行い、ユーザー国に対して、包括的に技術の環境優位性などについての理解促進を図っています。また、2019年度からは、脱炭素化技術の導入促進のため、カーボンリサイクル技術について、相手国政府関係者の招聘や日本の専門家の派遣、国際会議の開催といった活動などを通じて当該技術の理解促進を図り、海外への普及・展開を行っています。

図13 ● 第1回カーボンリサイクル産学官国際会議



! 現状と課題 ゼロエミッションへ向けた取り組み

火力発電は再生可能エネルギー導入拡大に伴い、負荷変動対応電力としての役割が求められており、エネルギーミックスを実現する上で重要な電源と言えます。一方で、化石燃料の燃焼に伴いCO₂が生成することから、脱炭素社会の実現のためにはその排出量の削減に向けた取り組みが必要です。火力発電の高効率化により大幅なCO₂排出量の低減が見込まれますが、ゼロエミッションに向けたさらなるCO₂削減には、火力発電所からCO₂を分離・回収する技術、資源として有効利用する技術、地中に貯留する技術であるCCUSとの組み合わせが期待されます。

▶ 今後と展望 非連続なイノベーションを創出する革新技術の開発

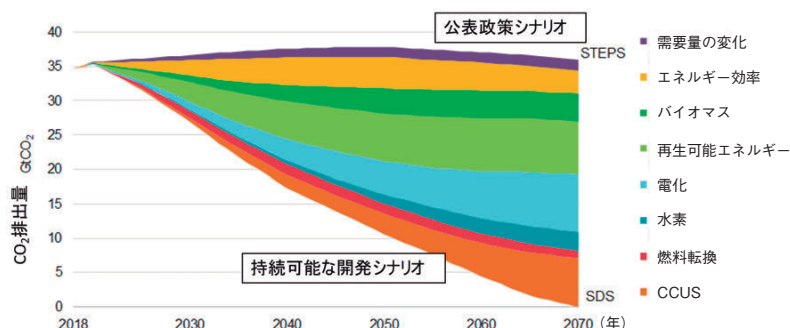
日本のエネルギー政策の基本的視点として、安全性(Safety)を前提とした上で、エネルギーの安定供給(Energy Security)を第一とし、経済効率性(Economic Efficiency)の向上による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に、環境への適合(Environment)を図るための最大限の取り組みを行う3E+Sが掲げられています。この3E+Sの原則の下で、NEDOは、非連続なイノベーションを創出する革新技術の開発を着実に実施します。

CO₂回収・有効利用・貯留

歴史と背景

CCUS技術の実用化に注力

2015年の「パリ協定」は、産業革命後の世界の平均気温上昇を2℃以内に抑えるとともに、1.5℃に抑える努力を継続するとしています。この実現に向けて大気中のCO₂を増加させないための技術として、省エネルギーや再生可能エネルギー利用、燃料転換などに加え、エネルギーシステムから排出されたCO₂を分離・回収し(Capture)、貯留(Storage)して隔離する技術(CCS)、さらにCO₂を有効利用(Utilization)し、CCSとあわせて取り組んでいく技術(CCUS)が重要と考えられます。

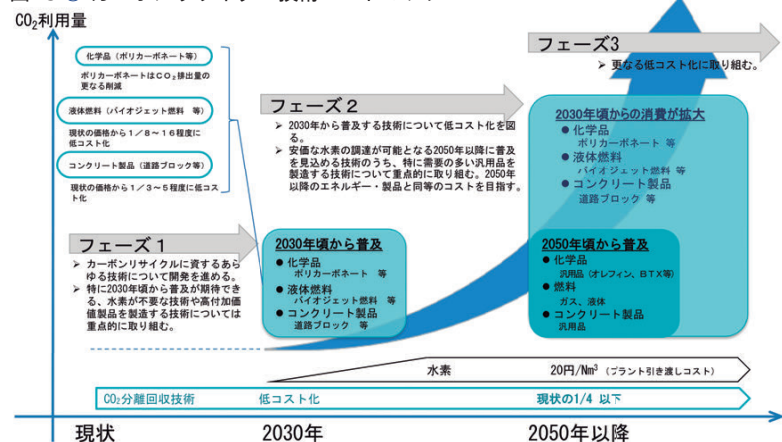
図14 ● CO₂削減に関する取り組みとその貢献

出典：IEA “Energy Technology Perspectives 2020” を基にNEDO加筆

日本は、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、「エネルギー基本計画」において、国内における回収・輸送・圧入・貯留の一連のCCSのプロセスの実証と貯留適地調査などを着実に進めるほか、CCUS技術の実用化を目指した研究開発を推進するとしています。

さらに、CO₂を資源と捉えて素材や燃料に再利用する考え方(カーボンリサイクル)

図15 ● カーボンリサイクル技術ロードマップ



<見直し>カーボンリサイクル産学官国際会議などを通じて得られた国際的な技術の状況や新しい提案を踏まえて柔軟に技術の追加を行うとともに、5年を目安として、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の改訂等の動きを見つつ、必要に応じて見直す。

出典：経済産業省、2019年

ル)が、回収したCO₂を有効利用するCCUと合わせてますます注目されるようになってきました。2019年に経済産業省で策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」では、カーボンリサイクルを通じた大気中へのCO₂排出を抑制していく方針が示されています。さらに同年の「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」は化石燃料の脱炭素化のために不可欠なイノベーションの実現の一つとしてCCUとカーボンリサイクルを明記しています。加えて、長期戦略に基づいて2020年に策定された「革新的環境イノベーション戦略」は、CO₂の炭素資源としての再利用や化石燃料とCO₂の回収・貯留の組み合わせは大きな削減効果が見込まれるとして、カーボンリサイクルとCCUS技術を重点領域の一つと位置付けています。

こうした状況から、CCUSおよびカーボンリサイクルの技術についての社会ニーズは高まっており、その実現に向けた取り組みは非常に重要であることが分かります。そして、それに応えるため、CCUSおよびカーボンリサイクルに関するNEDOの技術開発マネジメントの役割は、ますます重要になっていると言えます。

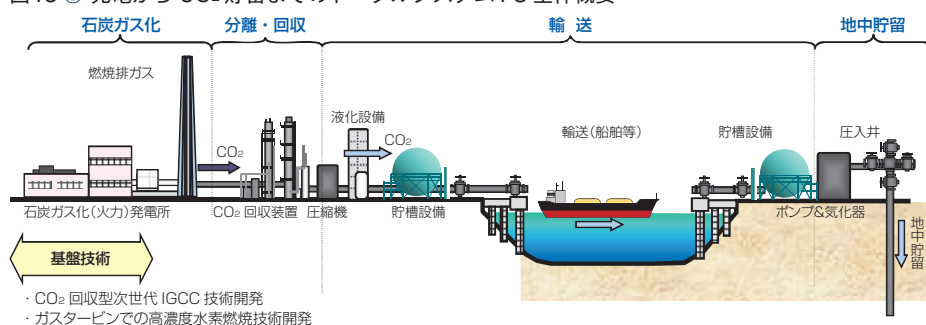
最近10年の主なプロジェクト >> CCSの実現可能性調査(FS)

❖ 発電からCO₂貯留までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー [2008～2012年度]

❖ 高効率石炭火力実現のための経済性評価 [2017年度]

CCSの各要素技術であるCO₂分離・回収・貯留に関する開発を個々に進めるだけでなく、日本に適したCO₂分離・回収・貯留の一貫プロセスを構築することが必要です。CO₂回収地とCO₂貯留層の場所が離れていることが想定されるため、分離・回収後のCO₂を回収規模に見合う貯留層の場所まで輸送することが求められます。そこでCO₂輸送を含めたCCSのFSとコスト評価を実施しました。

図16 ● 発電からCO₂貯留までのトータルシステムFS全体概要

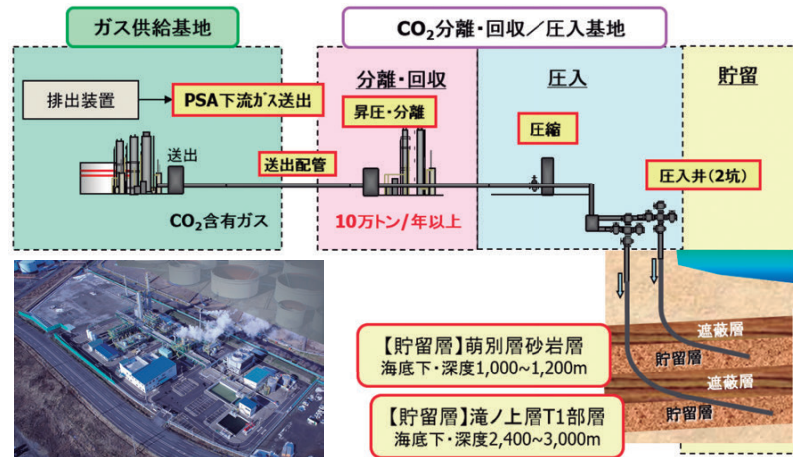


最近10年の主なプロジェクト >> CCUS研究開発・実証関連事業

❖ 苫小牧におけるCCS大規模実証試験 [2018～2020年度]

NEDOは、温室効果ガスの大幅削減に貢献するため、大規模CO₂排出源からのCO₂を低コストで分離・回収し、海底下の地中へ貯留する大規模な実証試験を行っています。年間10万t規模でのCO₂分離・回収から地中へ圧入貯留する一貫システムとして実証運転を実施し、2019年11月にCO₂累計圧入量30万tを達成しました。さらに、貯留したCO₂のモニタリングや周辺海域への影響を確認する海洋環境調査、国内外の社会的受容性の醸成に向けた情報発信・収集活動も行っています。

図17 ● 苫小牧における CCS 大規模実証試験の概要 イメージ図



出典：日本 CCS 調査

❖ 安全な CCS 実施のための CO₂ 貯留技術の研究開発 [2018~2020年度]

大規模 CO₂ 圧入・貯留の安全管理技術の確立に向け、CO₂ 長期挙動予測シミュレーション技術、光ファイバーによる健全性監視システム、マイクロバブルを用いた CO₂ 浸透挙動メカニズム解明などの技術開発を進めています。

最近 10 年の主なプロジェクト >> CO₂ の有効利用

❖ CO₂ 有効利用技術開発 [2017~2020年度]

メタンは天然ガスの主成分で、エネルギーキャリアとして高いポテンシャルを持つほか、天然ガス（都市ガス）で使われているパイプラインなどの既存インフラが利用でき、新たなインフラ整備が不要という大きな利点があります。こうした背景から、CO₂ を原料にメタンを生成する「メタネーション」と呼ばれる技術の実用化が期待されています。そこで、2017年度からメタネーション技術開発を実施し、2019年度にはベンチスケールの試験設備を完成させ、試験を開始しています。

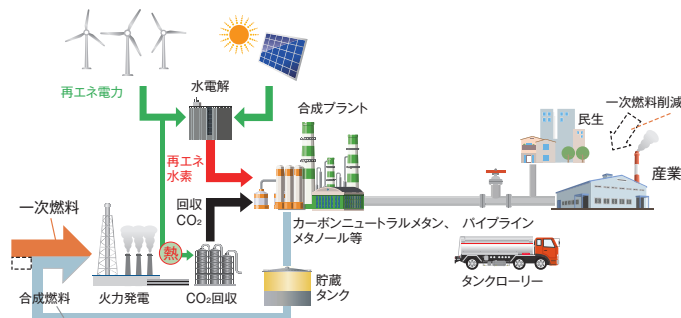
図18 ● 将来の CO₂ 有効利用システムの全体フロー再エネ由来メタンによって同量の天然ガスを代替することでCO₂を削減

図19 ● メタネーション試験設備



出典：国際石油開発帝石 長岡鉱場

❖ CO₂ 有効利用拠点における技術開発 [2020年度~]

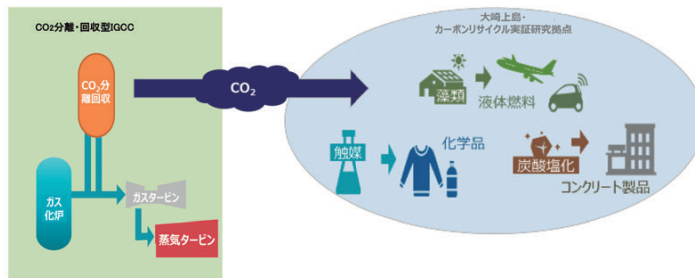
NEDO は、CO₂ を資源として有効利用するカーボンリサイクル技術の早期実用化に向け、様々な研究や技術開発を集中・横断的に取り組む実証研究拠点を広島県の大崎上島に整備し、カーボンリサイクル技術の研究を実施します。世界最先端

の技術や近く実用化が見込める技術を一元的に研究・開発する環境を整えることで、カーボンリサイクル技術の確立を通じたCO₂削減に貢献します。

図20 ● カーボンリサイクル実証研究拠点予定地（広島県大崎上島町）



図21 ● カーボンリサイクル実証研究拠点のイメージ



出典：「革新的環境イノベーション戦略」（2020年1月に統合イノベーション戦略推進会議決定）を基に NEDO が作成

！ 現状と課題

CCUS技術をCO₂削減のコアに

世界では大規模なCCSの事業化が進められており、CCUについても、欧米を中心にメタネーションやメタノール生産などの実証・商業プラントが稼働し始めています。日本でもエネルギー基本計画やカーボンリサイクル技術ロードマップに沿ったCCUS技術の実用化に向けた取り組みが進められています。

CCSの実用化には、CO₂分離・回収のさらなるコスト低減のほか、十分なポテンシャルを有する貯留適地や輸送手段の確保、安全・安心の確保や情報提供などを通じたCCSに対する社会的受容性の醸成といった課題があります。また、カーボンリサイクルにおいては、化学的に安定でエネルギーレベルの低い物質であるCO₂から化学品や燃料を合成するためには、水素が必要となることに留意が必要です。

他方、カーボンリサイクルの過程で水素を伴わない鉱物・炭酸塩の利用技術の開発を進めるほか、様々なCCUの選択肢を実証していくことが重要です。これらについて、個々の化学反応に伴う熱のバランスを考慮したプロセス改善や分離技術のレベルアップなどを通じ、必要な投入エネルギーを大幅に削減し、ライフサイクル全体でのCO₂排出削減を図っていくことが重要と言えます。

▶ 今後と展望

世界全体のCO₂の排出削減に貢献

国の長期戦略やロードマップに沿ったNEDOのCCUSの技術開発事業の成果として、CO₂分離・回収コストのさらなる低減を実現する技術やCO₂を安全に安心して貯留する技術、さらにCO₂を素材や燃料へ有効利用する技術の実用化が期待できます。NEDOは優れたCCUSの先進技術を確認し、その実用化した技術を国内外に展開することで、世界全体のCO₂の排出削減に貢献します。

環境調和型プロセス



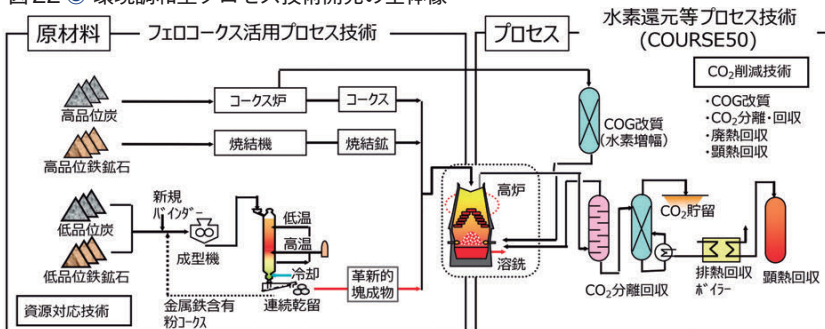
歴史と背景

低炭素社会の実現を目指して

日本の鉄鋼業は、日本経済とものづくりを支える重要な基盤産業であり、国全体のCO₂排出量の約13%を占めています。主要な製鉄プロセスである高炉法は、特にCO₂排出量が多く、地球温暖化対策として抜本的なCO₂排出量の削減が要求されています。しかし、日本の製鉄技術は、排熱と副生ガスの利用による省エネルギーで、既に世界最先端の水準にあり、極限に達しています。そのため、現状の技術の延長では、大幅なCO₂削減、省エネルギー化は困難であり、産学官が一体となった革新的な技術開発が求められています。「エネルギー基本計画」においては、資源エネルギー安定供給の強化と地球温暖化問題解決に向けた取り組みとして、革新的な製鉄プロセス技術の実用化が挙げられています。

NEDOは、2008年度から環境調和型製鉄プロセス技術の開発事業を推進し、製鉄プロセス全体でCO₂削減量最大化を目指し、革新的塊物活用（フェロコークス活用技術）とプロセス（水素還元等プロセス技術）の両面から技術開発に取り組んでいます。

図22 ● 環境調和型プロセス技術開発の全体像



最近10年の主なプロジェクト >> 製鉄プロセスにおけるCO₂排出量削減技術

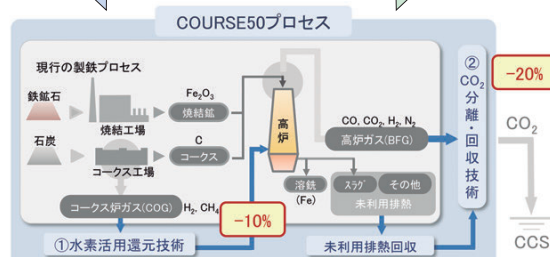
❖ 水素還元等プロセス技術の開発 [2008年度~]

「革新的技術開発」の一つとして、水素還元等プロセス技術の開発(COURSE50)が2008年度から開始され、現在も進められています。COURSE50では、鉄鉱石選

図23 ● COURSE50プロセス

(1) CO₂ 排出量削減技術開発
水素をコークスの一部代替として鉄鉱石を還元し、CO₂を10%削減

(2) CO₂ 分離・回収技術開発
高炉ガスからCO₂を分離・回収し、CO₂を20%削減



元剤であるコークスの一部を水素に代えることにより高炉からのCO₂排出量を減少させる技術開発と、製鉄プロセスの未利用排熱を有効活用し発生したCO₂を高効率で分離・回収する技術開発を推進しています。これまで、水素による鉄鉱石還元と高炉ガスからのCO₂分離・回収などの要素技術開発(2008～2012年度)に基づき、12m³の試験高炉を主体とした水素還元とCO₂分離・回収を統合したパイロットレベルの総合技術開発(2013～2017年度)を実施しました。

試験高炉は、高炉内の3次元的な流動、反応、伝熱現象を効率良く把握することが可能であり、試験高炉を活用し、高炉内の水素還元原理などの検証を進め、高炉のCO₂排出量を10%削減可能であることを実証しました。さらに、試験高炉とCO₂分離・回収設備(アルカリ反応液を使用した化学吸収法)との連動試験により、水素を活用した高炉のCO₂排出削減操業が可能であることを明らかにしました。また、CO₂分離・回収技術開発では、熱エネルギー消費量を大幅に低減させるとともに、吸収液の加熱温度を100℃以下に下げることにも成功しました。開発したプロセスは、日鉄エンジニアリング株式会社の省エネ型二酸化炭素回収設備ESCAP[®]として、2012年に商用化されました。

2018年度からは、試験高炉を活用し、操業条件の最適化によりCO₂排出削減効果を最大化する取り組みを実施しています。

最近10年の主なプロジェクト >> フェロコークス技術の開発

❖ 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス要素技術開発事業

[2009～2010年度]

「革新的製鉄プロセスの先導的研究」(2006～2008年度)において、革新的塊成物(フェロコークス)の原理検証とプロセス検討を行い、その成果を踏まえ、資源対応力強化と革新的省エネルギー技術の確立を目的とし、フェロコークスの組成、構造条件の探索、フェロコークスの製造プロセスの開発およびフェロコークスによる高炉操業プロセスの開発を行いました。

本プロジェクトではフェロコークス生産規模30t/日のパイロットプラント(原料設備、混練・成型設備、乾留設備)をJFEスチール株式会社東日本製鉄所京浜地区へ設置しました。フェロコークスの連続製造とともに、高炉へ装入し、高炉シミュレーションモデルも活用することで、10%の省エネルギーポテンシャルを検証しました。

❖ フェロコークス技術の開発(旧:フェロコークス活用製鉄プロセス技術開発) [2017年度～]

資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス要素技術の開発の成果を受けて、パイロットプラントの10倍規模である生産規模300t/日(実機の1/5規模)の実証設備(粉碎・乾燥設備、混練・成型設備、乾留設備)をJFEスチール西日本製鉄所(広島県福山市)へ設置します。この実証設備ではフェロコークスの連続製造と高炉への装入により、10%の省エネルギー効果を検証します。その検証結果を基に、2023～2030年度において、実機最大5基程度へ本技術を展開します。本技術の導入効果としては、省エネルギー効果量19万kL(原油換算)、CO₂削減量82万t-CO₂、コークス用石炭使用量の削減により約280億円の経済効果が期待されます。

図24 ● 試験高炉の外観(東日本製鉄所君津地区)



出典：日本製鉄

図25 ● 日本製鉄 室蘭製鉄所(120t-CO₂/日)



出典：日本製鉄

図26 ● 住友共同電力 新居浜西火力発電所(143t-CO₂/日)



出典：日本製鉄

図27 ● フェロコークス外観

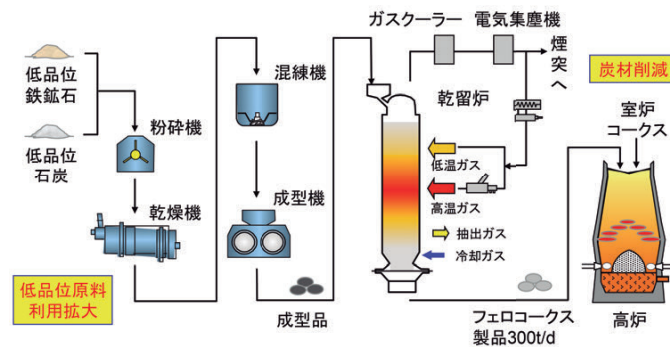


出典：JFEスチール

図28 ● フェロコークス300t/d
実証設備

出典：JFEスチール

図29 ● フェロコークス製造プロセス図



出典：JFEスチール



現状と課題

さらなるCO₂削減と環境調和型プロセスの実用化へ

COURSE50では、すでに製鉄所からのCO₂排出量約30%削減の技術的な見通しは得られているものの、実用化に向けては、実高炉へのスケールアップ、CO₂排出削減効果を最大にする実高炉の操業条件の確立などの課題があります。2050年の普及へ向けて、COURSE50プロセスの実現可能性を高めるための課題を克服し、最終的には、従来の高炉法より30%のCO₂排出量を削減する技術を、2030年度までに実用化し、2050年までに日本の全高炉へ普及することを目指しています。

フェロコークス技術については、すでに実機の1/5規模の実証設備が設置されており、フェロコークスの製造と高炉への連続装入試験を実施する段階です。操業試験を通して、高炉での還元材比の削減効果、通気性の変化の見積もりや物質・エネルギー収支など高炉への影響評価を行い、操業にかかるコストの評価を進めます。その上で、2030年頃までに実機最大5基を導入することを目指しています。



今後と展望

環境調和型プロセスによる地球温暖化防止への貢献

日本の鉄鋼業は、省エネルギー努力により世界最高水準のエネルギー効率を達成し、地球温暖化対策としてのCO₂削減に貢献してきました。国内の全高炉へのCOURSE50の技術適用が実現すれば、日本のCO₂排出量を約4%削減可能であり、大きなCO₂削減効果が得られます。これは、日本にとって大きな利益となります。

鉄鋼業からのさらなるCO₂削減を推進するため、2100年の鉄鋼プロセスの脱炭素化達成を目指した取り組みも開始したところです。環境調和型プロセス技術の開発では、現行の高炉法による低炭素化について取り組んでいますが、環境調和型プロセス技術の開発で得られる知見を足掛かりとして、高炉を用いない水素還元といった超革新技術の2050年以降の早期実用化を目指しています。フェロコークスは一般炭や低品位鉄鉱石を活用することから、投入する炭材削減効果とともに原料炭と鉄鉱石の調達リスクの低減が期待されます。フェロコークス技術は2023年以降、国内高炉への展開を図るとともに、省エネルギー、CO₂削減技術として海外展開も期待される技術です。

NEDOは、環境調和型プロセスの実用化と普及に取り組むことにより地球温暖化防止に寄与すべく、挑戦していきます。

3R分野

歴史と背景

3R分野の技術開発の動向

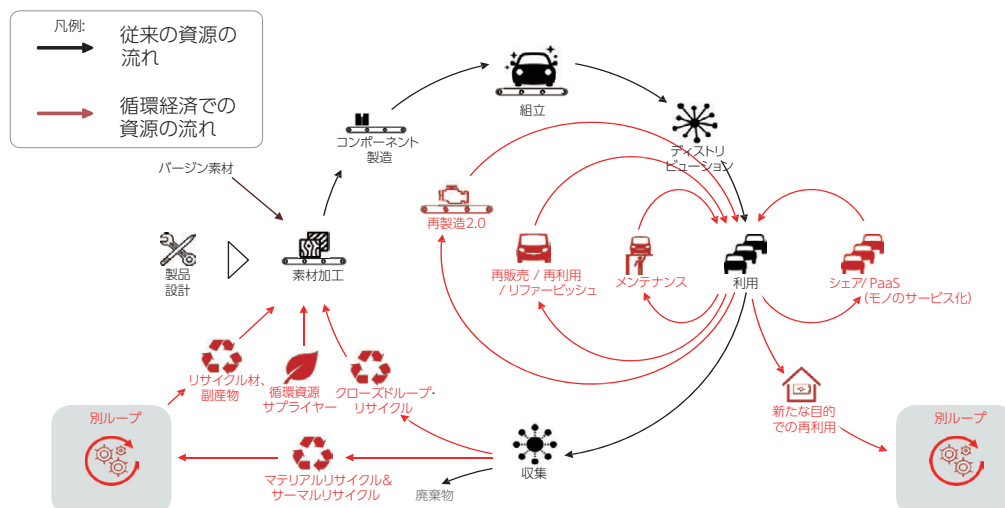
日本は、持続可能な開発、資源循環型社会の構築を目指して、「環境基本法」(1993年施行)の下、循環型社会形成に向けた基本的な理念や考え方を定めた「循環型社会形成推進基本法」(2001年施行)、廃棄物の排出抑制や生活環境の保全などを旨とした「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(1970年施行)、資源の再生利用の推進を目指した「資源有効利用促進法」(2001年施行)が定められるとともに、「特定家庭用機器再商品化法」(2001年施行)や「自動車リサイクル法」(2005年施行)など個別の物品の特性に応じてリサイクル法が定められています。

このようにきめ細かく体系的に法が整備される中、日本は、世界に先駆けて3R (Reduce, Reuse, Recycle)に取り組み、廃棄物の最終処分量の削減やリサイクル率の向上などの着実な成果を上げてきました。さらに、これまでの廃棄物・環境対策としての3Rではなく、循環性の高いビジネスモデルへの転換を図ることが重要となり、日本企業がこれまでの3Rの取り組みの中で培ってきた強みをグローバル市場で発揮し、中長期的な産業競争力強化につなげるべく「循環経済ビジョン2020」が策定されました。

自動車やIT製品といった日本の主要製造業において、金属資源はその高性能化に必須の素材であり、日本の産業競争力に必要不可欠となっています。金属資源の大半を輸入に依存している日本では、その安定的な確保が重要な課題であり、金属資源のリサイクルが解決の鍵となります。

また、プラスチックは、廃棄時に燃やすと大量のCO₂を発生し、地球温暖化につながります。近年では海洋プラスチックごみ問題やアジア諸国での廃プラスチック輸入規制などを発端として、廃プラスチックの適正処理に対する重要性が高まっています。すなわち、資源の効率的・循環的な利用を図りつつ、付加価値の最大

図30 ● 循環経済における資源の流れ



出典：循環経済ビジョン2020(経済産業省)における「循環経済とは」を基に NEDO 作成

化を図る循環経済社会の実現が重要となってきています。

NEDOは、2010年頃から都市鉱山を活用したレアメタルなどの有用金属のリサイクルシステムの構築、廃プラスチックに関するリサイクル技術の開発、さらに、開発した技術などの海外展開促進を目指してきました。

最近10年の主なプロジェクト

❖ 省資源型・環境調和型資源循環プロジェクト [2010～2011年度]

近年、先進国・新興国による資源争奪戦が激化しており、多くの資源を輸入している日本にとって、資源節約に向けた「省資源」対策の推進は最重要課題の一つです。

本プロジェクトは、廃プラスチック、レアメタル、食品残渣、使用済み繊維など、枯渇性資源のリサイクルを通じて資源制約を克服するとともに、新規資源の投入抑制や廃棄物の減量によって、焼却などに伴い発生する大量のCO₂の排出抑制を進めることで、環境制約の克服を目指しました。

また、アジアでは、各国の経済発展や国際的資源循環の活性化などに伴い、技術・制度が未成熟な地域において廃棄物の発生による環境負荷が増大しており、公害問題や廃棄物などの地域の環境問題が顕在化しています。こうした問題は、アジア諸国の持続的経済発展、アジアにおける資源循環システム構築の阻害要因となります。そのため、日本企業が有する高い技術・システムをアジア諸国に移転していくことを通じて、新たな外需拡大を目指していくことが必要です。

このような背景の下、10件の地域と業界が一体となった体制の国内事業と1件の海外実証を推進しました。

❖ 環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト／ アジアにおける先進的資源循環システム国際研究開発及び実証 [2011～2016年度]

本実証プロジェクトの中で、NEDOと中国国家発展改革委員会との連携により、豊田通商株式会社に委託して「先進的自動車リサイクルシステム」を実施しました。北京市内で、前処理からフロン破壊などの有害物処理、車体細断や廃タイヤの破碎までトータルで解体とリサイクルを行う大規模集約型のリサイクルシステムの実証プロジェクトを実施しました。これは、工場単独の自動車解体としては日中両国で前例のない事例です。解体に伴う環境負荷を低減し、約90%という日本国内以上のリサイクル率を維持しつつ、年間1万台以上の使用済み自動車の処理が可能となりました。

この処理能力は、北京市内で解体・リサイクル処理されている使用済み自動車の約13%に相当します。今回のプロジェクト成果を基に、豊田通商は日本企業として初めて中国国内で自動車解体リサイクル事業に参入しており、日本発の自動車リサイクル技術の普及につながることを期待されます。

図31 ● プロジェクトで構築された中国の自動車リサイクル工場の様子



上は廃液の回収工程、中央は切断機による車体の解体工程、下は廃タイヤの破碎工程

❖ 高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業 [2017～2022年度]

本プロジェクトは日本の都市鉱山を有効活用することを目的に、産業技術総合研究所(産総研)が、廃製品に含まれる金属資源の自動選別システムの試験装置群を導入した集中研究施設「CEDEST」を産総研つくばセンター内に開設しました。産総研を中心とする企業・大学・研究機関と共に、小型家電などの廃製品に含まれるレアメタルなどの金属資源の有効活用に向けて、低コストで高効率なりサイクルを可能にする革新的な基盤技術の開発を推進しています。このCEDESTの開設により、金属リサイクルの高度化と省人化を両立する世界初の自動・自律型のリサイクルプラントの開発・構築に向けた本格的な装置開発に着手します。

今後、従来の手作業による廃製品の解体・選別プロセスの10倍以上の処理速度と、廃部品を分離効率80%以上で選別する性能を実現し、さらにこれらを無人で一貫制御する選別システムを確立することで、都市鉱山の有効活用を目指します。

図32 ● 集中研究施設「CEDEST」の外観と同施設で開発する技術



現状と課題

資源循環型システムの拡充

レアメタルや有用金属などのように資源価値の高価なものはリサイクルすることで、経済的な観点でもメリットがあるため、比較的リサイクル技術開発が進んできました。しかし、プラスチックなどのように安価な材料の場合、分別、回収、リサイクルする際のコストが見合わないものは、その大部分がこれまで単純焼却や埋め立て、アジア諸国へ輸出されていました。

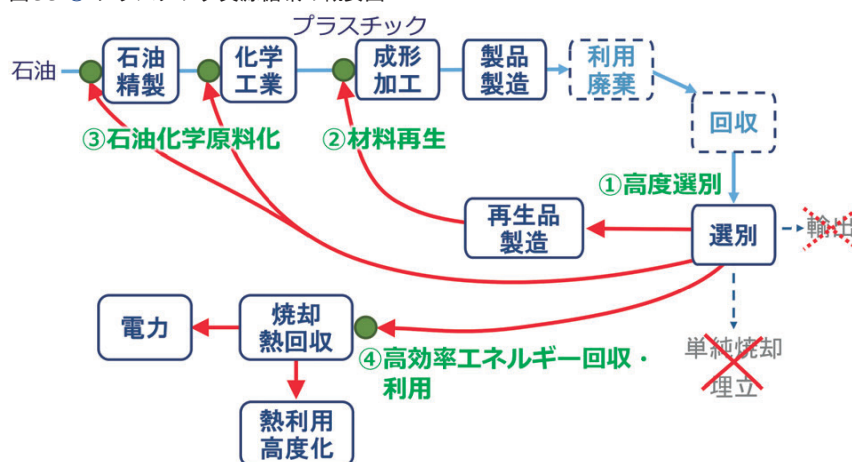
先進諸国のプラスチックごみを受け入れてきたアジア諸国では近年、廃プラスチックが適切に処理できないとして輸入規制が強化されました。また、陸域から流出した廃プラスチックが、海洋プラスチックごみ問題として世界的な課題となっています。こうした中、日本では「海洋プラスチックごみ対策アクションプラン」(2019年5月31日策定)や「プラスチック資源循環戦略」(2019年5月31日策定)が策定され、2035年までにリユース・リサイクルなどにより、すべての使用済みプラスチックを有効利用することなどのマイルストーンが提示され、対応を進めています。その中でも「革新的リサイクル技術の開発」が重点戦略の一つとして掲げ

られました。

こうした背景から、NEDOは、廃プラスチックを適正に処理し、資源として循環させるための「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」(2020～2024年度)に着手します。本事業は、廃棄されたプラスチックについて、①最適な処理方法に振り分けるための選別技術、②元のプラスチック材料と同等な材料に再生する技術、③分解して石油化学原料に転換する技術、④材料や原料への再生が困難な廃プラスチックを焼却し高効率にエネルギーを回収・利用する技術の開発を連携して行います。

この技術の適用により、2030年度までに、これまで国内で再資源化されていなかった廃プラスチックのうち、約300万t/年の資源循環を目指します。

図33 ● プラスチック資源循環の概要図



今後と展望 動静脈産業一体型の資源循環システム構築

世界規模で資源制約が強まる中で、日本においても天然資源の消費のさらなる抑制が求められていることや、廃棄物などから有用資源をリサイクルする仕組みが十分に整備されていないことなど課題が依然として存在しています。また、アジアを中心とした新興国では、急激な経済成長に伴う廃棄物の増加という深刻な問題に直面しており、経済成長と環境が調和した資源循環型社会の構築が急務となっています。

単に、リサイクル技術開発を推し進めるだけでは限界があり、製品を製造する動脈産業と、使用済み製品を回収・分別し適切にリサイクルする静脈産業とが一体となり、より効率的に資源を循環できる製品デザイン、使われている素材や解体方法などの情報などを連携する仕組みづくりが、今後、重要になっていきます。NEDOは、「高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業」(2017～2022年度)などの中で、そのような難しい課題にも挑戦し、制度や規格づくりも見据えた技術開発を進めていきます。

フロン対策



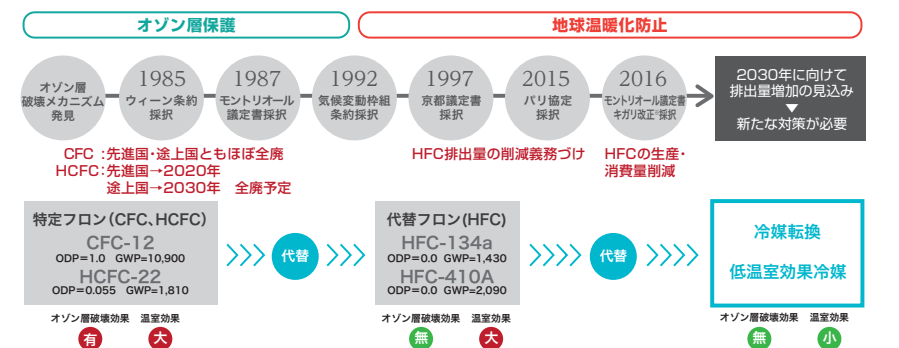
歴史と背景

ノンフロン化技術開発の歩み

特定フロンやその代替として開発された代替フロンは「熱に強い」「化学的に安定している」といった優れた特性から、冷蔵庫やエアコンなどの冷媒、産業用洗浄剤、発泡剤、半導体・液晶製造分野など幅広い分野で利用されてきました。このうち、特定フロン(CFC、HCFC)はオゾン層破壊効果を有することが分かり、モントリオール議定書(1987年採択)による規制の対象となりました。これにより、近年、特定フロンから代替フロンであるハイドロフルオロカーボン(HFC)への切り替えが進み、特定フロンがオゾン層へ及ぼす影響は小さくなってきました。しかし、代替フロンはオゾン層破壊への影響が少ないものの、少量の排出であってもCO₂の数百倍から数万倍の温室効果を持つことが明らかとなり、地球温暖化防止の観点から、温室効果の低い物質への転換が求められています。代替フロンはその温室効果の高さから、気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書(1997年採択)、パリ協定(2015年採択)における削減対象となりました。さらに、2016年にはモントリオール議定書のHFCの生産及び消費量の段階的削減義務等を定める議定書の改正(キガリ改正)が行われ、先進国は2019年以降、2036年までにHFCの生産・消費量を段階的に85%削減することが義務付けられることとなりました。

NEDOは、2005年度からの「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発」、2007年度からの「革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト」といった、温室効果が高い代替フロンを使用しないノンフロン化技術の研究開発を進めてきました。2011年度以降は、冷凍・空調分野(冷媒)などにおいて、地球温暖化への影響が少ない低温室効果な冷媒やその適用機器の技術開発にも着手しています。代替フロンの主たる用途である冷媒において低温室効果冷媒の普及が進めば、地球温暖化防止へ大きな効果が期待できます。

図34 ● フロン類を巡る規制と対策の流れ



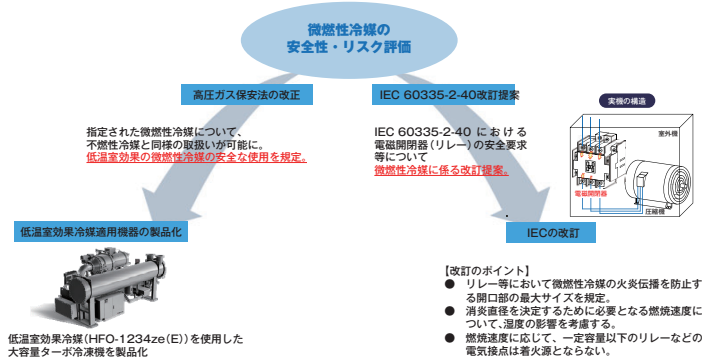
ODP:オゾン層破壊係数。CFC-11を1.0として、オゾン層に与える破壊効果の強さを表す。 GWP:地球温暖化係数。CO₂を1として、温暖化影響の強さを表す。
※キガリとは、ルワンダの首都キガリのことで、モントリオール議定書第28回締約国会合(MOP28)開催地。その会合でモントリオール議定書改正が採択されたことに因んで、その改正は「キガリ改正」と呼ばれる。

最近10年の主なプロジェクト

❖ 高効率ノンフロン型空調機器技術の開発 [2011~2015年度]

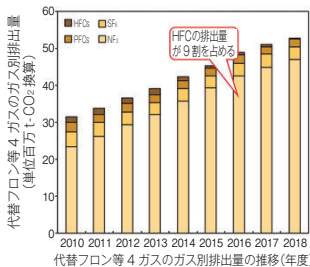
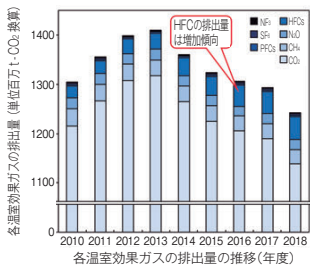
温室効果ガスの削減ポテンシャルの大きい業務用空調機器分野について、低温室効果ガスを用いて高効率化を実現するために、新冷媒開発、圧縮機・熱交換器などの要素機器開発により、低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン品と同等以上の性能を実現する基盤技術の開発を行いました。この結果、要素機器開発において、従来のフロン冷媒使用時と同等レベルの性能を達成できる見込みが確認されたほか、従来冷媒と同等の冷媒性能を維持し、温室効果を大幅に低減できる冷媒の開発に成功しました。さらに、冷媒は低温室効果のトレードオフとしてかすかな燃焼性(微燃性)が生じることから、産学官連携の「微燃性冷媒リスク評価研究会」を立ち上げ、各種微燃性冷媒に対する安全性・リスク評価を行い、使用条件などに応じた安全性やリスクに関する規格策定などにつなげる取り組みを実施しました。この研究会のレポートが高圧ガス保安法の改正(2016年11月)に寄与し、低温室効果の微燃性冷媒の使用が新たに規定されました。これにより、低温室効果冷媒を使用した大容量ターボ冷凍機の製品化が実現しました。

図35 ● 微燃性冷媒の安全性・リスク評価の成果



注1) オゾン層破壊効果を有する物質である特定フロンを代替する4種のガス。ハイドロフルオロカーボン(HFC)、パーフルオロカーボン(PFC)、六フッ化硫黄(SF₆)、三フッ化窒素(NF₃)を指す

図36 ● 日本のHFC排出量の推移



出典: 2018年度(平成30年度)の温室効果ガス排出量(確報値)について(環境省)より NEDO 作成

! 現状と課題 HFC排出量削減に向けた次世代冷媒適用技術の推進

日本における2018年度の温室効果ガス総排出量は12億4,000万tであり、温室効果ガス総排出量は2013年度(14億1,000万t)をピークに減少傾向にあります。この中で、代替フロン等4ガス^{注1)}の排出量は、2004年度までに大きく減少しましたが、その後は増加傾向にあります。さらに、代替フロン等4ガスの排出量内訳としてはHFCが最も大きく、全体の約90%を占めることが分かっています。これは、冷凍空調分野における特定フロンからHFCへの冷媒転換が進んだことに起因します。従って、冷凍空調機器に使用される冷媒をより温室効果が低い冷媒(次世代冷媒)へ転換することが、フロン類に関する地球温暖化防止対策として極めて重要になります。

このような背景の中、現在の次世代冷媒の候補はいずれも従来のHFC冷媒適用機器以上の効率性(省エネルギー性)を維持するための技術的ハードルが高く、さらに安全性においても課題があることから、世界的に十分な普及に至っていません。NEDOは「省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷媒・冷凍空調技術及び

評価手法の開発」(2018～2022年度)において、冷凍空調機器に使用する次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発に取り組むとともに、次世代冷媒とその適用機器の開発を実施しています。



今後と展望

HFC排出削減目標達成に向けて

HFCが使用されている冷凍空調機器はいったん市場に出荷されると、その後十数年にわたり排出源として温暖化に悪影響を及ぼします。このため、早期に次世代冷媒への転換技術を開発し、市場に投入することが不可欠です。

省エネルギー性や安全性などが担保された次世代冷媒適用技術を開発できれば、冷媒転換への決定打を見いだせていない世界の市場に対して最適な解決策を提供することができます。NEDOは今後、低GWP化が進んでいない冷凍空調機器を対象として、グリーン冷媒をはじめとする次世代冷媒およびその適用技術の開発を推進していきます。これにより、モントリオール議定書キガリ改正における日本のHFC生産・消費削減目標やパリ協定における日本のHFC排出削減目標の達成に貢献します。

水循環



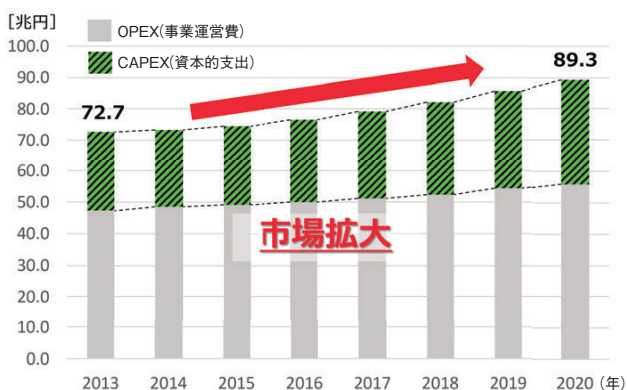
歴史と背景

世界的に増大する水需要

人口増加や都市化・工業発展、地球規模での温暖化や干ばつの進行などにより、世界の水需要は増大を続けています。加えて、水環境・衛生環境の悪化や、高度な産業の確立に不可欠である良質な工業用水の不足など、水質に対する需要も増大しています。水需要の増大に伴い、2013年には約73兆円だった「世界の水ビジネス」市場が、2020年には89兆円にまで拡大するとの見通しも示されています。

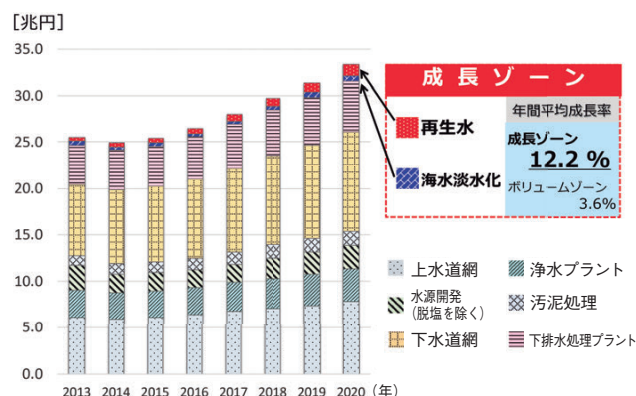
このような状況の下、世界では水メジャーと呼ばれる水関連企業に加え、新規企業の参入によって国際競争は激しさを増しています。政府が「新成長戦略」におい

図37 世界の水ビジネス市場の推移



出典：Global Water Market 2017 (1\$=110円換算)を基に、NEDO作成

図38 世界の水ビジネス市場における設備投資額の内訳



出典：Global Water Market 2017 (1\$=110円換算)、「再生水」についてはGlobal Water Market 2014を基に、一部NEDO試算

てインフラ分野の海外展開を後押ししている中、日本企業がいかに世界の水ビジネスに参入していくかが重要な課題となっています。

伝統的な上下水道事業は「ボリュームゾーン」と位置付けられ、市場の年平均成長率は2013～2020年にかけて3.6%にとどまっています。一方、近年、再生利用や海水淡水化など市場化されてきた分野は「成長ゾーン」と呼ばれ、同期間で12.2%と高い市場の年平均成長率が見込まれています。このため、NEDOはこの成長ゾーンの分野をプロジェクトのターゲットとしています。世界市場への展開を行うために、日本独自の高度な水処理技術を開発し、大幅な省エネルギー効果やコストダウンを実現させ、さらには環境負荷へも配慮することで、国際競争力を持ったビジネス展開を目指しています。

最近10年の主なプロジェクト

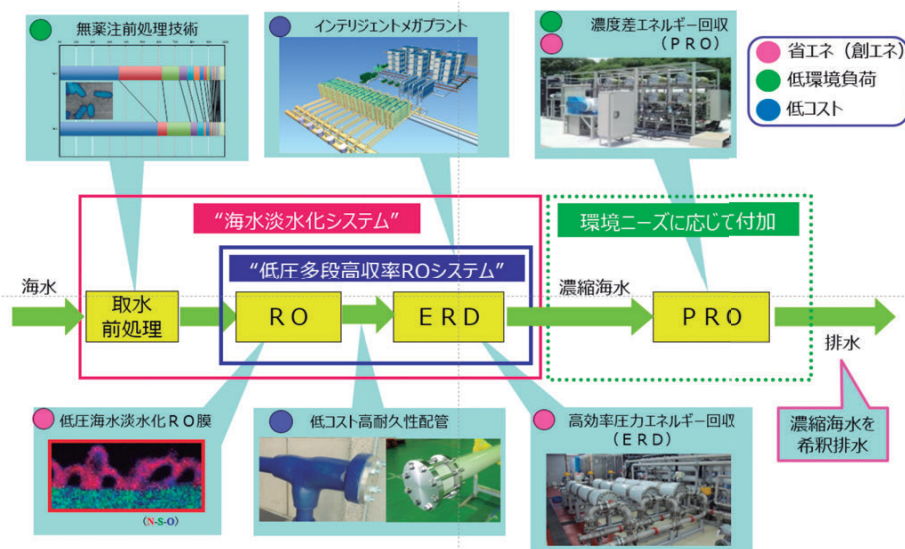
❖ Mega-ton Water System(メガトンウォーターシステム)

[2009～2013年度]

近年、人口の増加や経済成長、異常気象などによって、地球規模で水環境の破壊が進み、水不足はますます深刻化しています。そうした状況の中、生活を支えるのに十分な水量と水質を確保できる新たな水処理技術が求められています。

その要求に応えるべく、海水淡水化処理において、高効率大型分離膜(省エネルギー)、無薬注海水淡水化システム(低環境負荷)といった要素技術、さらには100万 m^3 /日規模の大型プラント構成を最適化したシステム技術を開発し、設備コスト・造水コストを半減するとともに、消費エネルギーの20%削減を達成しました。また、海水淡水化施設から排出される濃縮海水と下水処理排水を活用し、両者の濃度差エネルギー回収の基本技術も確立しました。

図39 ● 「メガトンウォーターシステム」フローの概要



出典：「最先端研究開発支援プログラム(FIRST) 追跡評価報告書 概要」から引用



現状と課題

ニーズを踏まえたシステム提案

日本の水関連産業は、部材・部品・機器製造、装置設計・組み立て・建設、運営・保守・管理という各分野で、多数の企業が存在し、個別に事業を展開しています。そのため、分野の垣根を越えて、横断的に事業を展開する企業は多くありません。一方、海外の水メジャーは、装置設計・組み立て・建設から運営・管理までを自社単独で一貫して元請けするサービスを提供しています。こうした水メジャーは、自国における水事業の運営・管理を通じ、安定した財政基盤を有しており、プライム・コントラクターとなって事業権を獲得しています。それに対し日本企業は、部材・部品・機器の納入や装置設計・組み立て・建設といったサブ・コントラクターとしての参画にとどまっているケースがほとんどです。

海外市場において水ビジネスを展開するためには、相手国が求めるニーズを踏まえた提案力、水源から蛇口までの各プロセスの機器やシステムをトータルコーディネートし、マネージする力が求められます。そのため、日本の強みである膜などの要素技術をさらに伸ばすとともに、事業の運営・管理を行うことが求められています。



今後と展望

水問題の解決、資源循環利用社会の実現に貢献

地球規模での人口の増加や経済発展、工業化の進展によって水需給が逼迫し、世界の水ビジネス市場は、今後さらに拡大していくと予想されています。市場が伸びる理由としては、中国、インド、中東、アフリカなどの深刻な水不足や水質汚濁問題があります。将来的にはこのような国々で、生活排水を再生水として工業や灌漑に用いることを目指しており、高度な水処理技術の需要はさらに増えると予想されます。それに伴い、省エネルギー化が重要になることから、NEDOとしては現在実施している「エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業」に一層力を注ぐとともに、国内外の他機関との連携を強化し、世界の水ビジネス市場への日本企業進出を支援して、世界的な水問題の解決に貢献していきます。

また、廃水や排ガスに含まれるNO_xなどの窒素化合物を省エネルギーで有用物質へと変換・資源化できれば、窒素系有害物処理分野におけるゲームチェンジが起こるものと期待されています。NEDOは、窒素資源循環利用社会を目指した研究開発にも取り組んでいきます。