

省エネルギー・非化石エネルギー転換 技術戦略 2024

令和6年5月

資源エネルギー庁

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

目次

1. 省エネルギー・非化石エネルギー転換技術戦略策定の背景.....	1
2. 省エネルギー・非化石エネルギー転換技術戦略の策定.....	2
3. 各部門における省エネルギー重要技術.....	2
3. 1 エネルギー転換・供給部門.....	2
3. 1. 1 エネルギー転換・供給部門の個別技術開発の方向性.....	2
3. 1. 2 重要技術.....	3
3. 2 産業部門.....	4
3. 2. 1 産業部門の個別技術開発の方向性.....	4
3. 2. 2 重要技術.....	5
3. 3 家庭・業務部門.....	5
3. 3. 1 家庭・業務部門の個別技術開発の方向性.....	5
3. 3. 2 重要技術.....	6
3. 4 運輸部門.....	6
3. 4. 1 運輸部門の個別技術開発の方向性.....	6
3. 4. 2 重要技術.....	7
3. 5 部門横断.....	8
3. 5. 1 部門横断的な個別技術開発の方向性.....	8
3. 5. 2 重要技術.....	9
3. 6 省エネルギー政策の観点から特に意義の大きい技術.....	9
3. 6. 1 家庭の熱需要の省エネルギーに資する技術.....	10
3. 6. 2 熱の有効利用による省エネルギー技術.....	10
3. 6. 3 データ処理の高効率化関連技術.....	11
3. 6. 4 自動車のエネルギー消費効率等向上に資する技術.....	11
4. 非化石エネルギー転換に係る技術.....	12
4. 1 非化石エネルギー転換に係る技術の方向性.....	12
4. 2 非化石エネルギーを需要家に対して利用可能な状態にするための技術.....	12
4. 3 個別産業部門に関連した非化石エネルギー転換技術.....	13
4. 4 産業部門に横断的な非化石エネルギー転換技術.....	14
4. 5 運輸部門の非化石エネルギー転換技術.....	15
5. デイマンドリスポンス（DR）に関連する技術.....	16
6. 今後の省エネルギー・非化石エネルギー転換技術の展開.....	17

1. 省エネルギー・非化石エネルギー転換技術戦略策定の背景

エネルギー資源の大部分を海外に頼る我が国では、常にその有効な利用が求められてきた。加えて、2030年度の温室効果ガス46%削減（2013年度比）、2050年カーボンニュートラルの実現という国際公約の達成を目指し、我が国は気候変動問題に対して国を挙げて対応することを表明している。ロシアによるウクライナ侵略などによる世界規模のエネルギー安定供給への不確実性の高まりや、原油をはじめとするエネルギーの国際価格の上昇による国内の経済活動への影響などを踏まえれば、更なる省エネルギーに向けた取組の重要性は論を俟たない。近年、我が国の最終エネルギー消費量は減少傾向にあるものの、オイルショック以降、エネルギー消費量が大幅に増加した業務・家庭部門をはじめとして、運輸、産業部門それぞれにおける更なる省エネルギーの取組の進展が重要である。

我が国では、石油危機を契機に「エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律（昭和54年法律第49号）」（以下、「省エネ法」という。）が1979年に制定され、規制措置と予算や税制の支援措置の両面で徹底した省エネルギーの取組を推進してきた。2023年4月に発表されたG7気候・エネルギー・環境大臣会合コミュニケ、及び2023年5月に発表されたG7広島首脳コミュニケでは、カーボンニュートラルの実現に向けた「第一の燃料」として省エネルギーの役割が強調された。さらに、COP28で初めて行われたグローバル・ストックテイクでは、その成果として採択された決定文書に、2030年までにエネルギー効率改善率を世界平均で2倍にすることが盛り込まれ、国際的にも省エネルギーの推進が重視されている。

省エネルギーの推進、中でも新たな省エネルギー技術の開発と導入普及は、エネルギーを取り巻く厳しい国際環境への対応に加え、地球温暖化問題の解決に向けた内外の要請への対応、さらに経済成長をエネルギー・環境の側面から牽引する取組として、関係者が一丸となって取り組むべき重要な課題である。他方、石油危機以降省エネ努力を積み重ねてきた我が国が、2050年カーボンニュートラルに向けて更に大きな省エネルギーを実現するためには、既存の技術の延長線上の取組だけではなく、イノベーションによる非連続的な技術革新とその社会実装が必要である。これは日本企業の技術・製品の国際競争力の底上げにもつながり、こうした技術開発・イノベーションを国として推進することが必要である。

省エネルギー技術戦略は、2006年に決定された「新・国家エネルギー戦略」に掲げられた省エネルギー目標を踏まえて、2007年4月に初めて策定された。その後、社会情勢の変化等を踏まえて随時改定が行われてきたが、今回、2021年10月に策定された第6次エネルギー基本計画において、2030年度の温室効果ガス排出目標の実現に向けて、徹底した省エネルギーを進めることが必要とされたことに加え、「これまでの延長線上にない抜本的な省エネルギーを実現するため、革新的な省エネルギー技術の開発・実用化が重要である。このため、2030年度目標を踏まえた省エネルギーポテンシャルの更なる深掘りを目指すため、経済産業省及びNEDOで策定している「省エネルギー技術戦略2016」（2016年9月）を改定し、省エネルギー技術開発のロードマップとして位置づけながら、工場廃熱等の未利用エネルギー

の更なる活用を含め、先進的な技術開発・実用化支援・普及拡大に取り組んでいく」とされたことも踏まえ、改定を行うものである。

2022 年に改正された省エネ法では、従来の省エネルギーに関する措置に加えて、非化石エネルギーへの転換に関する措置が新設された。2050 年カーボンニュートラル目標や 2030 年度の温室効果ガス 46%削減（2013 年度比）の達成に向けて、脱炭素につながる非化石エネルギーへの転換については、関連する技術の開発や実証等が重要であることを踏まえ、今回より、本戦略の名称を「省エネルギー・非化石エネルギー転換技術戦略」として、非化石エネルギー転換に係る技術についても記載をすることとする。なお、本戦略においては、個々の技術を、省エネルギー技術、非化石エネルギー転換技術に大別し、双方に該当する場合には、主に関連すると考えられるいずれかの技術に分類している。

2. 省エネルギー・非化石エネルギー転換技術戦略の策定

これまでの省エネルギー技術戦略は、前述のとおり、2030 年に向けた大幅なエネルギー消費効率の改善を目指した「新・国家エネルギー戦略」（2006 年 5 月）に基づき、長期的視点に立った革新的な省エネルギー技術開発の推進を図るため 2007 年に策定され、随時改定を行ってきた。

我が国では、脱炭素関連技術に関する研究開発が従来から盛んであり、日本企業が技術的な強みを有する分野も多い。こうした民間に蓄積された知見を活用し、省エネルギー・非化石エネルギー転換を加速させることは、エネルギーの安定供給につながるとともに、脱炭素分野で新たな需要・市場を創出し、日本の産業競争力を再び強化することにつながるものである。他方で、革新的な省エネルギー・非化石エネルギー転換技術の開発・実用化には多額の資金が必要になるものも多く、投資から回収までは長期の時間が必要になる。企業のこうした技術開発を後押しするため、国等による支援が重要である。

本戦略では、将来に向けて重要な技術分野を特定することで、2030 年度におけるエネルギー消費量の削減、2050 年カーボンニュートラル実現に向けて、省エネルギー・非化石エネルギー転換技術の開発と、それらの技術の着実な実用化を推進し、更なる省エネルギー・非化石エネルギー社会の実現を目指す。

3. 各部門における省エネルギー重要技術

3. 1 エネルギー転換・供給部門

3. 1. 1 エネルギー転換・供給部門の個別技術開発の方向性

2050 年カーボンニュートラルが実現した社会では、産業・業務・家庭・運輸部門における電化の進展により、電力需要が一定程度増加することが予想される。この電力需要に対応するにあたり、全ての電力需要を 100%単一種類のエネルギー源で賄うことは困難であり、現時点で実用段階にある脱炭素技術に限らず、水素・アンモニア発電や CCUS（二酸化炭素回

収・利用・貯留)を前提とした火力発電といったイノベーションを必要とする新たな選択肢を追求すべきである。

火力発電については、太陽光や風力の出力変動を吸収し、需給バランス調整を行う調整力や、急な電源脱落などによる周波数の急減を緩和し、ブラックアウトの可能性を低減する慣性力といった機能により、電力の安定供給に貢献しており、再生可能エネルギーの更なる導入拡大が進む中で、再生可能エネルギーの変動性を補う調整力・供給力として、当面必要である。2050 年カーボンニュートラル実現を見据えた上で、非効率石炭火力のフェードアウトや、よりクリーンな天然ガスへの転換を進めるとともに、次世代化・高効率化を推進しつつ、水素・アンモニアの脱炭素燃料の混焼や CCUS 等の火力発電からの CO2 排出を削減する措置の促進、火力運用の効率化・高度化のための技術開発、コージェネレーションの導入促進等が重要となる。

また、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、系統安定化のための再生可能エネルギーの出力制御量が増加し、全国的に行われるようになっていく。今後、太陽光発電等の変動性再生可能エネルギーの更なる導入拡大が見込まれる中で、電力系統を安定させるため、供給側の柔軟性確保や系統の連系強化のみならず、出力制御時に電力需要を上げる「上げ DR」等需要側の対応も重要となる。(DR については後述。)

上記のことから、電力分野の技術として、「低炭素化・脱炭素化を実現する発電技術」、「次世代電力流通技術」、再生可能エネルギーの有効利用に資する技術として「供給側の調整力」、「需要側の調整力」、また、熱・燃料分野のエネルギーインフラに関する技術として「熱輸送技術」が重要である。

3. 1. 2 重要技術

重要技術	省エネルギー個別技術例
低炭素化・脱炭素化を実現する発電技術	水素混焼・専焼 GT、アンモニア混焼・専焼、バイオマス混焼・専焼、アンモニア GT、CCUS 等火力発電の低炭素化・脱炭素化技術、SOFC、PEFC、高効率 GT・GE
次世代電力流通技術	高圧直流送電、配電技術、超電導技術、パワーエレクトロニクス技術
供給側の調整力	系統用火力発電、エネルギー貯蔵併用システム、コージェネレーション等分散型電源
需要側の調整力	需要量・再エネ発電量の予測技術、DR・VPP 関連技術、DR リソース探索、DR 対応機器、蓄電池、蓄熱等
熱輸送技術	オンライン熱輸送(導管熱輸送)、オフライン熱輸送(蓄熱輸送)、熱利用の最適化技術

3. 2 産業部門

3. 2. 1 産業部門の個別技術開発の方向性

製造業では、1973 年の第一次石油危機以降、積極的な省エネルギーの取組の結果、エネルギー消費効率の大幅な改善が見られてきた。1973 年度と 2021 年度を比較すると、製造業の生産額は約 1.5 倍に増加する一方、エネルギー消費は約 0.8 倍まで低下した。ただし、製造業のエネルギー消費量は現在でも最終エネルギー消費全体の 4 割ほどを占めていることもあり、さらにエネルギー効率を高めることが期待される。

製造業は、素材系産業と非素材（加工組立型）系産業に大別できる。前者は、鉄鋼、化学、窯業土石（セメント等）及び紙パルプの素材物資を生産する産業を、後者は、食品、煙草、繊維、金属、機械、その他の製造業（プラスチック製造業等）を指す。製造業全体のエネルギー消費（2021 年度）で見ると、鉄鋼が約 28%、化学が約 40%を占めており、引き続き革新的な製造プロセス導入に向けた取組が求められる。鉄鋼は、人々の生活を支える様々な製品で用いられており、自動車向けの電磁鋼板や洋上風力のモノパイル等にも利用されるなど、脱炭素化に必要不可欠な素材の一つであるが、製造過程で CO₂ を多く排出することが課題となっている。そのため、製造時の CO₂ 排出量を削減するべく、高炉による製鉄プロセスにおいて鉄鉱石還元反応の効率を改善するフェロコックス技術の活用や、圧延時の再加熱プロセスの電化などが進められている。（水素還元製鉄等の非化石エネルギー転換に関しては後述。）化学業においても、製造工程で大量の電力及び熱が必要であり、製造工程の省エネルギー化は大きな課題となっている。石油化学においては、エネルギー消費量の多いナフサ分解炉の熱源を局所的な電気加熱技術（選択的加熱技術）等によりエネルギー使用量を削減する技術開発等が進められている。また、鉄鋼、化学の次にエネルギー消費量の多い機械製造業のうち、その過半を占め、我が国の基幹産業として重要な位置を占める自動車製造と、エネルギー消費量の増加が見込まれる情報通信技術に利用される半導体製造についても、革新的な製造プロセス導入と地道な省エネルギー技術の最適な組み合わせによる省エネルギー化を促進することが重要である。セメント製造においては特に焼成工程、ガラス製造においては特に熔融工程で、多くのエネルギーを使用していることから、これらの工程の省エネルギー技術が重要である。

他には、多くの産業部門において利用されている共通基盤技術である部材加工や動力技術等の加工技術、バーナー等の熱を効率的に利用することで、製造プロセスを省エネルギー化する技術、AI/IoT を活用した製造プロセスの最適化・省エネルギー化に向けた取組も重要となる。

上記のことから、産業部門におけるエネルギー消費量の上位を占める、鉄鋼・非鉄・金属製品製造業、化学工業、機械製造業に係る製造プロセスの一層の省エネルギー化を促進するため、「革新的製鉄技術」、「革新的化学品製造技術」、「革新的自動車製造技術」、「革新的半導体製造技術」、また、燃料、電力といった産業部門共通で利用されるエネルギー源毎の省エネルギー化を促進するため、「革新的加工技術」、「革新的熱利用製造技術」が重要となる。なお、デジタルツイン等を含む AI/IoT を活用した製造プロセスの最適化・省エネルギー化も、産業プロセスの省エネルギーを促進する上で重要である。

3. 2. 2 重要技術

重要技術	省エネルギー個別技術例
革新的製鉄技術	フェロコックス、加熱の電化等
革新的化学品製造技術	選択的加熱、触媒、高効率蒸留、分離
革新的自動車製造技術	ボディ製造技術（軽量化材料活用等）、塗装技術（省エネ塗装等）、パワートレイン製造技術（高度鋳造等）
革新的半導体製造技術	結晶・基盤製造、微細化・積層化、省エネ加工、省エネ設備・機器
革新的セメント製造技術	高効率設備（クリンカクーラー、キルン等）、熱プロセスの高効率化（廃熱発電等）
革新的ガラス製造技術	高効率設備（ミル等）、調合・熔融工程の高効率化
革新的加工技術	高効率加工技術（切削、研削、プレス、鍛造、鋳造、粉末冶金等）、次世代加工技術（積層造形等）
革新的熱利用製造技術	高効率バーナー、酸素富化、断熱、熱回収、分野・工程毎独自技術（溶解・熱処理・選択的局所加熱・高効率蒸留等）、高効率冷凍機

3. 3 家庭・業務部門

3. 3. 1 家庭・業務部門の個別技術開発の方向性

我が国の家庭・業務部門の最終エネルギー消費は、家庭部門が全体の約 15%、業務部門が約 20%を占めている。家庭・業務部門において高い省エネルギー効果が期待されるのは、建築物・住宅の省エネルギーであり、ZEB (Net Zero Energy Building)・ZEH (Net Zero Energy House)・LCCM (Life Cycle Carbon Minus) 住宅の普及拡大が必要である。

ZEB・ZEH・LCCM 住宅を普及させ、さらなる省エネルギー化を実現するためには、ZEB・ZEH・LCCM 住宅を構成する空調、給湯、照明などのエネルギー消費機器の個々の性能向上に加え、システムとしての効率向上が求められる。また、需要家側のエネルギー利用の最適化につながるエネルギーマネジメントシステムや、エネルギー消費の効率向上を図りつつ快適性や生産性を両立させる観点で、エネルギー消費機器を制御する技術やその評価技術が重要となる。

グリーントランスフォーメーション実現に向けて、既築住宅における断熱窓への改修や高効率給湯器（ヒートポンプ給湯機、ハイブリッド給湯機、家庭用燃料電池）の導入に対する支援等が行われているものの、極寒地では、ヒートポンプ給湯機が十分に性能を発揮できないことや、集合住宅や都市部の戸建狭小住宅では貯湯槽等の設置に必要な空間の制約が大きいことから、ヒートポンプや家庭用燃料電池の導入が限定的となっているなどの課題も存在し、課題克服に向けた新技術の創出・実用化が望まれる。

また、デジタル化の進展により、データ流通量、計算量は急激に増加することが見込まれ、デジタル機器・デジタルインフラのエネルギー消費量が大幅に増加する可能性が指摘されている。我が国のデータセンター・半導体工場の新增設に伴う需要電力量は、OCCTO（電力広域的運営推進機関）の需要想定によると、2024 年度予測で 37 億 kWh、2033 年度予測では 407 億 kWh へと今後大幅な増加が見込まれている。この急激なエネルギー増加を抑えるため、省エネルギー型データセンターやその他民生用機器に利用される ICT 機器（サーバー、ストレージ、ネットワーク等）の消費エネルギーの抑制、高性能化を進めていくことが必要である。データセンターに関しては、単独のデータセンター施設内でのエネルギー消費効率の向上のための付帯設備（空調機器、電源等）の高効率化に関する技術の開発のみならず、施設運用の最適化技術の開発が重要となる。また、複数施設を統合した管理等、社会全体でのデータセンター網のエネルギー消費の最適化技術の開発も重要となる。グリーンイノベーション基金事業を通じて、電力消費の大幅な削減が期待される光電融合技術などの革新的省エネルギー技術の開発等も進められており、こうした新たな技術の開発、活用を拡大することで、データセンターやサーバー、各種 IT インフラ、通信機器、半導体等の消費エネルギーの抑制、高性能化を進めていくことが必要である。

上記のことから、家庭・業務部門のエネルギー消費削減を加速させるために、「ZEB・ZEH 関連技術」、また、デジタル機器・デジタルインフラのエネルギー消費削減のために「省エネ型データセンター・ICT 機器」に関する技術が重要である。

3. 3. 2 重要技術

重要技術	省エネルギー個別技術例
ZEB・ZEH 関連技術	ファサード、空調、給湯、照明、設計・評価・運用技術、エネルギーマネジメント技術（xEMS）、快適性・生産性等と省エネルギーを両立する機器・システム
省エネ型データセンター・ICT 機器	ICT 機器、付帯設備・施設運用、社会全体でのデータセンターの最適運用

3. 4 運輸部門

3. 4. 1 運輸部門の個別技術開発の方向性

運輸部門は、最終エネルギー消費の約 2 割を占めている。運輸部門については、エネルギー消費の大部分を占めている自動車の省エネルギー化や燃料・エネルギーの脱炭素化が重要であり、カーボンニュートラル実現に向けて多様な選択肢を追求するとともに、電動車・インフラの導入拡大、電池等の電動車関連技術・サプライチェーン・バリューチェーンの強化等が重要となる。同時に、自動車以外の分野も含めて、物流分野におけるデジタル化の促進や、データ連携による AI/IoT 等の技術を活用したサプライチェーン全体での大規模な物流効率化、省力化を通じたエネルギー効率向上も進めることが必要である。

電動車や自動運転の省エネルギー化に向けては、グリーンイノベーション基金事業において、商用車の運行管理のためのシミュレーションシステムの構築・検証や、これらと一体的に最適化するためのシミュレーションシステムの構築・検証、車載コンピューティングの省エネルギー化、自動化に対応した電動車両シミュレーションモデルの開発が行われている。運輸部門におけるグリーントランスフォーメーションとして、電動車の開発・性能向上への投資促進と市場拡大を一体的に実施し、開発・生産をリードする拠点として成長することを目指す。

次世代自動車（乗用車・重量車）の省エネルギー化に資する技術として、「次世代自動車等（電気自動車、燃料電池自動車、プラグインハイブリッド自動車、ハイブリッド自動車）」が重要である。また、充電・充填インフラ整備に関する技術として「次世代自動車インフラ」、ITSの実現に資する技術として、「高度道路交通システム（ITS）」が省エネルギーに資する技術として重要である。

また、2030年度のエネルギーミックスにおける省エネルギーの見通しを確実なものとするためには、乗用車やトラック等の輸送機器単体のエネルギー消費効率の改善を進めるとともに、貨物輸送事業者や荷主事業者等がAI/IoT等の技術を活用して連携し、省エネルギーを推進していく必要がある。物流の省エネルギー化のためには、サプライチェーン全体の効率化を実現することも重要であることから、「スマート物流システム」による省エネルギー化が重要である。また、航空、船舶におけるエネルギー消費量の更なる削減に向けて、「次世代航空・船舶技術」に関する技術が重要である。

3. 4. 2 重要技術

重要技術	省エネルギー個別技術例
次世代自動車等（電気自動車、燃料電池自動車、プラグインハイブリッド自動車、ハイブリッド自動車）	①共通要素 走行抵抗低減、熱マネジメントの高効率化 ②電気自動車及びプラグインハイブリッド自動車 蓄電池・モーターの性能向上 ③燃料電池自動車 燃料電池の高効率化、水素貯蔵性能の向上 ④ハイブリッド自動車及びプラグインハイブリッド自動車 内燃機関の高効率化
次世代自動車インフラ	充電ステーション、水素ステーション、走行中給電、交換式バッテリー
高度道路交通システム（ITS）等	移動計画システム、運転支援システム、自動走行システム、交通需要マネジメント（TDM）、交通流制御システム、V2X 通信技術
スマート物流システム	自動化・機械化技術

3. 5 部門横断

3. 5. 1 部門横断的な個別技術開発の方向性

産業部門、家庭・業務部門、運輸部門等個々の部門を越えて、幅広く用いられている技術については、部門の枠にとらわれず横断的に開発に取り組むことにより、大きな省エネルギー効果が期待できる。

エネルギーマネジメントシステムについては、給湯、空調、照明、EV・蓄電池、太陽光発電、コージェネレーション設備、燃料電池等の需要家側の機器について、系統の状況に応じ、快適性を損なわず、最適制御を自動的に行うシステムの開発や実証・実用化が行われている。再生可能エネルギー大量導入に伴う系統安定化や需要側エネルギーマネジメントへのニーズは高まっており、建物レベル、工場レベルのエネルギーマネジメントに加えて、地域レベルの熱・電気のエネルギー需給を最適化することにより、更なる省エネルギー化を進めることが重要となる。

パワーエレクトロニクスは、電気の周波数や電圧、交流・直流の交換等に半導体を用いて高効率に行う技術であり、太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーの普及や発電効率の向上、家電や産業機器、次世代自動車等のエネルギー、産業、運輸部門等に共通する基盤となる技術である。電力制御機器やデータセンターで使用する情報機器の高効率化・小型化、運輸部門での電気自動車等の電気電子機器の高効率化への要求が加速しており、また、電力需給では電力変換可能なパワーエレクトロニクスの更なる高度化が重要となる。

ヒートポンプ技術は、産業部門では空調、給湯、冷却、プロセス加熱、家庭・業務部門では、空調、給湯、運輸部門では電動車両の空調（特に暖房）等に利用されており、世界的な普及が期待されている技術である。ヒートポンプ機器の効率は既に非常に高いが、必要に応じて燃焼式ボイラー等と組み合わせることも含めて、様々な業種や場所、環境における利用を実現する技術開発が引き続き重要となる。

複合材料・セラミックスは、部門横断的に利用される素材である。高強度かつ軽量であることから、自動車や航空機への適用が拡大している。特に輸送機器の燃費改善が省エネルギー化に向けては重要であり、各種複合材料（炭素繊維系、合金・金属間化合物系、セラミックス系、金属セラミックス）の本格的な実装が求められる。

また、我が国では最終エネルギー消費のうち約4割が熱として利用されていることから、熱利用の高度化に向けた取組も重要である。熱利用の高度化に向けて、燃料や電気等を使って熱を作り出すプロセスである熱製造技術（燃焼加熱、電気加熱、蒸気過熱等）の高効率化、未利用熱を回収・再利用して材料やプロセス流体を予熱・予冷することにより、投入するエネルギーを削減する技術、さらには工場の排熱等様々な部門で未利用熱を電気に変換する熱電力変換技術等、未利用熱の循環利用が重要である。さらに熱供給に関わるあらゆる場面で使われる断熱・蓄熱・熱マネジメントといった熱システムの基盤となる技術の開発も重要となる。

上記で取り上げた技術以外にも、エネルギー転換・供給部門、産業部門、家庭・業務部門、運輸部門等で培われた技術が他の部門に転用されることで省エネルギー効果を発揮することが期待される。また、AI/IoT といったデジタル技術は、デジタルツインによるシミュレーションを活用した新技術の効果検証や製造プロセスの最適化等をはじめ、あらゆる産業部門において共通に活用される技術であり、こうした技術も活用しつつ、エネルギー消費効率を向上させることが重要である。

上記のことから、各部門に幅広く用いられている熱の利用高度化に関する技術として、「未利用熱の循環利用」、「熱エネルギーシステム技術の高度化」、「ヒートポンプ高度化技術」、また、産業部門、家庭・業務部門、運輸部門等に幅広く用いられている技術として、「エネルギーマネジメント技術」、「パワーエレクトロニクス技術」、「複合材料・セラミックス製造技術」が、省エネルギー促進のために重要である。

3. 5. 2 重要技術

重要技術	省エネルギー個別技術例
未利用熱の循環利用	熱交換器、産業用ヒートポンプ、熱電力変換、蓄熱・蓄冷
熱エネルギーシステム技術の高度化	断熱、蓄熱・蓄冷（再掲）、熱交換器（再掲）、空調、熱マネジメント
ヒートポンプ高度化技術	高効率空調ヒートポンプ、高効率給湯ヒートポンプ、高効率プロセス加熱・冷却ヒートポンプ、ケミカルヒートポンプ、次世代冷媒
エネルギーマネジメント技術	センシング、HEMS・BEMS・FEMS・系統運用向け EMS、FEMS の高度化（スマート工場）
パワーエレクトロニクス技術	半導体材料、デバイス、モジュール、機器回路
複合材料・セラミックス製造技術	炭素繊維系複合材料、合金・金属間化合物系複合材料、セラミックス系複合材料、金属セラミックス複合材料

3. 6 省エネルギー政策の観点から特に意義の大きい技術

省エネルギー政策の観点から、特に意義の大きい技術について、以下に記載を行う。

加えて、AI/IoT 等のデジタル化技術の利活用は、工場等の生産現場の効率向上のみならず、運輸部門等を含めた各種プロセスの最適化や高効率化のために有効であり、大きな省エネルギーにもつながり得る取組として重要である。

3. 6. 1 家庭の熱需要の省エネルギーに資する技術

家庭部門は、最終エネルギー消費全体の約 15%を占めている。そのうち、家庭部門の現在のエネルギー消費及び CO2 排出の約 3 割が給湯に起因しており、2030 年の省エネルギー目標においても給湯が家庭部門のうち 22%と最大である。

カーボンニュートラルに向けた動きの中、我が国の主な給湯器メーカーは、省エネルギー型の給湯器の開発・販売に加え、ヒートポンプ給湯機や家庭用燃料電池、ハイブリッド給湯機、水素燃焼型給湯器等の開発・販売を通じた「トランジション」に取り組んでいる。

省エネルギー小委員会では、「需要側の省エネ機器/設備の導入促進と、供給側の性能向上に向けた規制・制度」に資する取組として、既築の家庭部門においては断熱窓や高効率給湯器、業務部門においては断熱窓や断熱材等の需要拡大が、取組の方向性として示された。需要拡大に向けて導入支援が行われているが、我が国の家庭の熱需要は地域の気候や住居の形態によって大きく異なるため、導入に向けては課題が存在する。例えば、寒冷地では、エネルギー消費効率が低下するヒートポンプ給湯機の普及率が低い。また、集合住宅や都市部の戸建狭小住宅では貯湯槽等の設置に必要な空間の制約が大きいことから、ヒートポンプ給湯機や家庭用燃料電池の導入が限定的となっている。さらに、今後、世帯人数の減少が見込まれる中、世帯当たりの給湯需要が低い世帯における高性能給湯器への投資が経済的に難しくなる点も課題としてあり、小型化、高効率化を含め、課題を克服する新技術の創出・実用化が望まれる。

3. 6. 2 熱の有効利用による省エネルギー技術

我が国における最終エネルギー消費のうち、約 4 割が熱として利用されており、熱の効率的な活用によるエネルギー消費量の削減が省エネルギーに有効である。産業用では、未利用の排熱が投入熱量の 8%程度あるとされ、さらに多くの熱が捨てられている可能性も指摘されている。NEDO では、2015 年度から 2022 年度に「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」として未利用熱エネルギーを効果的に削減、再利用、変換利用するための技術開発と、これらを一体的にマネジメントする技術の開発を行ってきており、熱の有効利用による省エネルギー量は引き続き大きいことが見込まれる。

「クリーンエネルギー戦略（中間整理）」では、省エネルギー・燃料転換分野における政策の方向性として「熱利用の高効率化・脱炭素化」を掲げ、未利用熱の活用に向けた高性能断熱材や熱回収技術等の開発・実証の加速、低温熱源の脱炭素化に向けた産業用ヒートポンプの導入加速、熱分野の脱炭素化の促進（中高温領域の脱炭素燃料転換に向けた開発・実証・導入支援）が必要とされている。

熱を利用する製造プロセスには、金属やセラミックス等の溶解・加熱加工、化学品や食品の濃縮・蒸留・殺菌、電子部品や自動車の乾燥等がある。これらの分野では、高効率な加熱に資するプロセスに適した電気加熱、部分加熱技術、高効率バーナー、高性能断熱材等の普及促進に向けた技術や、未利用熱の循環利用を促進するための熱交換技術、ヒートポンプ、熱電変換、排熱発電等の技術、デジタルツイン等の活用を含め、これらを最適設計・運用するための熱マネジメント技術の開発が課題となっている。これらの開発においては、新材料、

新形状、伝熱促進、防汚技術、高温用素材、冷媒技術、熱電変換モジュール等、多岐に渡る要素技術の開発と組み合わせることが必要となる。また、これらの技術が、エネルギー効率、導入を含むコスト、製品品質及び従来の設備と変わらない安定的な稼働を実現できることを実証する必要がある。

3. 6. 3 データ処理の高効率化関連技術

データセンターの消費電力の増加は、半導体の省電力化や従来型データセンターが効率の良い大規模データセンターへ置き換わることで、比較的抑制されてきた。しかしながら、社会生活のデジタル化の更なる進展に加え、生成 AI の利用拡大等により、データ処理量の増加は加速すると予想され、従来の半導体製造技術（微細化）による省電力化が頭打ちとなる中、新しいアプローチをとることが喫緊の課題である。

現在、部品、製品レベルでの技術開発としては、光電融合技術を中心としたデータセンター内情報通信に係る省電力化や、CPU/GPU の新たな熱対策（液浸冷却技術、熱輸送技術等）による電力使用効率の改善策等の取組も進められている。そうした取組に加えて、データセンターの実運用環境における最適化技術によって消費エネルギーの削減を実現する研究が始まっている。例えば、ディスクアグリゲーション技術は、前記の光電融合技術の上で、アプリケーションが要求するデータ処理に必要なコンピューティングリソース（サーバーの構成要素である CPU、メモリ、ストレージに加え、専用プロセッサやマイクロサービス等）の最適配備を実現するもので、高度な運用技術の実装と合わせて、電力効率を向上できる仕組みとして期待される。

設計時に組み込まれた部品、製品の省エネ性能だけではなく、このような社会実装時の実運用環境における最適化技術は、事業主体が保有、利用するコンピューティングシステムの様々な運用環境（提供サービス、システム／ユーザのロケーション、システム構成品の電力消費特性等）において適用可能であり、部品、製品の省エネ性能を最大限に引き出すために適用を推進する必要がある。

コンピューティングシステムについては、その大規模化と同時に、自動運転等、サービスの応答性能要求等から、エッジコンピューティングと呼ばれる物理的な分散配備も進展している。例として、面的に広がるコンピューティングシステムトータルでの消費電力を最小化するために、個々のコンピューティングシステムの応答性能や消費電力特性から、データ処理要求先を最適化する高度な運用管理技術が検討されている。

データ処理を中心とした社会システムについて、複数の事業者が連携して運用できるような技術開発が望まれる。

3. 6. 4 自動車のエネルギー消費効率等向上に資する技術

我が国における CO2 排出量に占める運輸部門の割合は約 18%（うち、自動車からの排出量は約 16%）を占めており、温暖化対策として、世界的に自動車の電動化の動きが加速している。欧州や中国では、電気自動車・プラグインハイブリッド自動車の普及を戦略的に進めており、急速に普及が拡大している。

そうした中、2021 年 6 月に策定されたグリーン成長戦略において、「2035 年までに、乗用車新車販売で電動車 100%を実現できるよう、包括的な措置を講じる。商用車については、8 トン以下の小型の車について、2030 年までに、新車販売で電動車 20～30%、2040 年までに新車販売で、電動車と合成燃料等の脱炭素燃料の利用に適した車両で合わせて 100%を目指し、車両の導入やインフラ整備の促進等の包括的な措置を講じる。8 トン超の大型の車については、貨物・旅客事業等の商用用途に適する電動車の開発・利用促進に向けた技術実証を進めつつ、2020 年代に 5,000 台の先行導入を目指すとともに、水素や合成燃料等の価格低減に向けた技術開発・普及の取組の進捗も踏まえ、2030 年までに、2040 年の電動車の普及目標を設定する」との方針が示された。

「第 6 次エネルギー基本計画」では運輸部門が最も大きい省エネルギー量を見込んでおり、2030 年度のエネルギーミックスにおける省エネルギーの見通しを確実なものとし、更なる省エネルギーを進めるためには、乗用車やトラック等の輸送機器単体のエネルギー消費効率の改善を進めるとともに、貨物輸送事業者や貨物を貨物輸送事業者に輸送させる者等が AI/IoT 等の技術を活用して連携する必要がある。

自動車電動化される中で、自動車の消費エネルギー効率向上を進めるため、蓄電池やモーターの性能向上、燃料電池の高効率化や水素の貯蔵性の向上、内燃機関の高効率化等の技術開発を行う必要がある。また、電動車・インフラの導入拡大、電池等の電動車関連技術・サプライチェーン・バリューチェーンの強化等の包括的な措置も講じる必要がある。

4. 非化石エネルギー転換に係る技術

4. 1 非化石エネルギー転換に係る技術の方向性

2050 年カーボンニュートラル目標や 2030 年度の野心的な温室効果ガス 46%削減（2013 年度比）の達成に向けて、非化石エネルギー転換技術の導入を進めることが必要である。2023 年 4 月に施行された改正省エネ法では、「エネルギー」の定義が見直され、非化石エネルギーを含む全てのエネルギーの使用が合理化の対象となり、総合的なエネルギー消費効率の向上のみならず、非化石エネルギーへの転換のための措置が追加された。

水素等（アンモニア・合成メタン・合成燃料を含む。以下同じ。）の非化石エネルギーへの転換を推進するため、水素等非化石エネルギーを需要家が利用可能な状態にするための技術開発・実用化に向けた取組、将来的には、水素等の製造に伴って排出される CO₂ の量が低い水素等の導入拡大に資する取組が重要となる。個別の産業や運輸部門では、非化石エネルギーを活用する技術を積極的に開発・実装することが必要である。

4. 2 非化石エネルギーを需要家に対して利用可能な状態にするための技術

省エネ法では、非化石エネルギーへの転換を進めるため、エネルギーの需要家に対して非化石エネルギーへの転換の目標に関する中長期計画の作成及び非化石エネルギーの使用状況等の定期報告を求めている。需要家側でできる非化石エネルギー化の取組としては、水素等の非化石燃料への転換や非化石電力の利用割合の向上等が挙げられる。水素等の製造や輸

送等に関する技術の開発、導入、普及の進展により、需要家が水素等を経済合理的に十分に利用できるようにすることが、非化石エネルギー転換に重要である。

また、使用する電力の非化石電力割合の向上には、再エネ電力の利用が重要である。特に、次世代型太陽電池については、日本の技術は世界最高水準にあり、製品化に必要な大型化や耐久性の分野で世界をリードしている。また、軽量・柔軟等の特徴を兼ね備えるため、既存の技術では設置が困難だった耐荷重の小さい工場の屋根やビル壁面にも設置が可能になるなど、太陽光の導入拡大に向けて立地制約の克服にもつながる。浮体式等洋上風力は、導入拡大の可能性やコスト競争力のある電源として、また、経済波及効果の大きい電源としての期待もあることから、浮体式等次世代風車及び設置・維持管理に必要な船舶の開発、導入、普及を進め、エネルギー政策と産業政策の両面から取組を推進していくことが重要である。

重要技術	非化石エネルギー転換個別技術例
水素等関連技術等	水電解装置、メタン熱分解技術、製造技術（アンモニア、合成メタン、合成燃料、グリーン LP ガス、SAF 等）、輸送・貯蔵関連技術
再生可能エネルギー関連技術	次世代型太陽電池（大型化、性能向上等）、浮体式等次世代風車、次世代地熱発電技術、バイオマス

4. 3 個別産業部門に関連した非化石エネルギー転換技術

産業部門に係る非化石エネルギー転換技術としては、鉄鋼業における水素利活用技術や、石油化学産業におけるアンモニア等の熱源でナフサを分解するバーナー・炉の技術などがある。

鉄鋼業は、世界的に CO2 多排出とされる産業であり、国内でも産業部門の CO2 排出のうちおよそ 4 割を占めるなど、CO2 排出量の削減は喫緊の課題となっている。現在、製鉄プロセスにおける脱炭素化のため、鉄鉱石の還元の水素を用いる水素還元製鉄の研究が各国で進められているが、未だ実用化の例はない。我が国では、2040 年頃の CO2 排出を 50%削減する水素還元技術の確立に向けて、グリーンイノベーション基金事業において支援を行っている。水素還元製鉄設備の導入を目指し研究開発及び実証実験を進め、いち早く実用化することが重要である。

化学産業では、基礎化学品の製造に利用されるナフサ分解炉において年間 3,100 万トンの CO2 が排出されており、抜本的な対策が必要となっている。このため、ナフサ分解炉の熱源として、アンモニアや水素等のカーボンフリー燃料に着目し、熱源転換により CO2 排出量を削減することが重要である。そのため我が国では、2030 年までに、アンモニアを活用した CO2 フリー熱源でナフサを熱分解するバーナー及び炉を開発することを目指し、グリーンイノベーション基金事業において支援を行っている。省エネ法においても、化学産業について、非化石エネルギー転換の目安として、ナフサ分解炉におけるアンモニア等の非化石燃料の使用割合を向上することを求めている。

他の個別の産業部門に係る非化石エネルギー転換技術として、セメント製造業のキルンの燃料転換技術（水素等に加え、バイオマス廃プラ等）や、紙パルプ製造業の蒸発・乾燥ボイラーの燃料転換技術（水素等に加え、バイオマス・黒液・廃プラ等）がある。セメント製造業では、焼成工程で多くの熱エネルギーを消費していることから、セメントキルンに利用する燃料を水素等の非化石エネルギーへ転換していく技術開発・実証も必要である。省エネ法では、セメント業について 2030 年度に焼成工程の非化石比率 28%を定量目標の目安としており、それに向けた非化石エネルギー転換技術の活用が必要である。紙パルプの製造工程では、蒸解・乾燥等の工程で多くの熱を利用している。製造工程の省エネルギー・高効率化と併せて、ボイラーの燃料転換、製造工程で発生する黒液を効率的に利用するための技術開発等が必要である。紙パルプ製造業も省エネ法において非化石エネルギー転換目標が目安として定められており、新たな技術の研究開発・実証が期待される。

重要技術	非化石エネルギー転換個別技術例
革新的製鉄技術	【高炉法】 COURSE50、SuperCOURSE50、製造工程で生じる CO ₂ からメタン（CH ₄ ）を製造し利活用 【電炉法】 高級鋼材製造に対応した大型電炉、バイオコークス及び廃タイヤ等非化石燃料の使用、水素・アンモニアバーナー、電気溶融炉による還元鉄の高効率溶解 【直接還元法】 直接水素還元製鉄
革新的化学品製造技術	【基礎化学】 ナフサ分解炉の熱源の燃料転換（アンモニア等）、ナフサ分解炉の熱源の電化 【ソーダ工業】 製造工程で生じる水素の利活用
革新的自動車製造技術	水素・アンモニアによる燃焼技術
革新的セメント製造技術	焼成工程（キルン）の燃転、製造工程で生じる CO ₂ から合成メタン等を製造し利活用
革新的ガラス製造技術	水素・アンモニアによる燃焼技術（ガラス溶融プロセス）

4. 4 産業部門に横断的な非化石エネルギー転換技術

産業部門に横断的な利用が想定される技術としては、エネルギー多消費産業におけるコージェネレーション等分散型電源の水素・アンモニア混焼・専焼技術や、カーボンニュートラル工業炉（水素燃焼工業炉、アンモニア燃焼工業炉、高効率電気炉）等に関する技術がある。製造業の最終エネルギー消費は全体の約 4 割を占めており、こうした熱プロセスへの水素等の活用は脱炭素を進展させる上で重要である。グリーンイノベーション基金事業では、アンモニアの合成コストの低減によるサプライチェーンの構築、ボイラーやタービンでのアンモニアの混焼・専焼バーナーの開発、金属加工に用いるカーボンニュートラル工業炉の実現に向けた技術開発、CO₂ 等を用いた燃料製造技術開発など、産業部門における非化石エネルギー転換に向けた取組が進められている。個別技術としては、水素・アンモニア等に対応した燃焼炉や水素貫流ボイラー、バーナーの開発や効率の向上、燃焼・

制御技術、転換やオペレーションを容易にするデジタル技術等の技術開発が重要である。こうした技術開発により、産業部門の省エネルギー化・脱炭素化を進展させるとともに、製品としての付加価値の向上を目指す。

重要技術	非化石エネルギー転換個別技術例
革新的熱利用製造技術	【製紙】 黒液回収ボイラー、バイオマスボイラー、ホワイトペレット・ブラックペレット 水素・アンモニアの混焼・専焼技術、水素・アンモニア 燃焼工業炉、水素燃料小型貫流ボイラー （再掲）水素・アンモニアバーナー

4. 5 運輸部門の非化石エネルギー転換技術

運輸部門においては、水素航空機技術や船舶・鉄道における水素燃料エンジンやアンモニア燃料エンジンの技術、自動車の電動化技術や水素燃料エンジンなどが非化石エネルギー転換技術として考えられる。国内の最終エネルギー消費の構成比では運輸部門は22%を占めており、機関別エネルギー消費のうちおよそ1割を占める航空・船舶・鉄道における非化石エネルギー転換技術の確立は重要である。

自動車については、グリーンイノベーション基金事業において、電気自動車及びプラグインハイブリッド自動車に搭載される次世代蓄電池や次世代モーターの技術開発が支援されている。また、化石燃料（ガソリン、軽油等）をエネルギー源とするプラグインハイブリッド自動車やハイブリッド自動車については、合成燃料やバイオ燃料といった非化石燃料を利用することが求められ、既存の内燃機関技術を活かした水素燃料エンジンの確立も重要である。また、水素基本戦略において自動車分野における燃料電池自動車の普及目標として、2030年までに乗用車換算で80万台程度（水素消費量8万トン/年程度）の普及を目指しているところ、電気自動車と比べて航続距離が長く、充電時間が短いなど燃料電池自動車の技術特性を活かせる商用車へ支援を重点化することを通じて、重要技術である燃料電池ビジネスの産業化、サポーターイングインダストリー支援等を進めていく。

次世代航空機については、グリーンイノベーション基金事業において、水素航空機のコアとなる技術等の開発を強力に後押ししている。技術的課題として、エンジン燃焼器、水素燃料貯蔵タンク、水素燃料電池コア技術、電動化率向上技術、軽量化・効率化技術等が挙げられる。より大きな機体サイズへの導入に向けた取組が加速している水素燃焼、電動化率の向上に関する技術の社会実装を目指している。導入時期の早い水素燃料電池電動推進システムの開発実証に取り組むことも重要であり、極めて高い安全性を求められる航空機における水素の活用や大電力の管理・制御等に関する技術的知見と実績の獲得を通じた水素燃焼、電動化率の向上を目指す。

次世代船舶については、グリーンイノベーション基金事業において、水素燃料船の開発、アンモニア燃料船の開発等を支援している。将来のゼロエミッション船の燃料としては、水素・アンモニア・カーボンリサイクルメタンが候補となるが、長期的にどれが主要な燃料と

なるかは、燃料価格や供給インフラの整備状況等に依存するため、現時点での見極めは困難な状況にある。そのため、ゼロエミッション船の候補となる複数の選択肢それぞれの開発を進める必要がある。次世代船舶の実現には、船舶のコア技術となるエンジン、燃料タンク・燃料供給システム等の関連機器の開発・実証を行うとともに、アンモニアや水素のバンカリング技術の開発を含む船用脱炭素燃料の供給体制の構築が重要である。

鉄道については、水素燃料電池鉄道車両等の導入により、非電化区間において温室効果ガス排出量が削減されるのみならず、電化区間においても、架線や変電所設備に係る維持管理コストが不要となるため、人流及び物流における水素利用の拡大が可能となる。また、世界で水素燃料電池鉄道車両の開発や実証が各地で進められているが、我が国のように諸条件（車両の規格、路線状況等）が厳しい路線に適用可能なものはまだ開発されていない。水素燃料電池鉄道車両等について、航続距離延伸、高出力化、小型化に向けた技術課題の解決及び社会実装に向けた量産化・コスト低減のための開発を推進するとともに、研究開発や実証により得られた成果をいち早く国内外に展開することにより、我が国の車両メーカーの海外展開等も促進する。

重要技術	非化石エネルギー転換個別技術例
次世代自動車等（電気自動車、燃料電池自動車、プラグインハイブリッド自動車、ハイブリッド自動車）	自動車の電動化、水素燃料エンジン
次世代航空・船舶・鉄道技術	【航空機】次世代航空機における水素利用・電動化（推進系・装備品等）、軽量化・効率化 【船舶】水素燃料エンジン、アンモニア燃料エンジン、水素燃料電池船、バッテリー船 【鉄道】水素燃料電池鉄道車両等

5. ディマンドリスポンス（DR）に関連する技術

出力変動の大きい再生可能エネルギーの導入量が増えるにつれて、系統安定化のための再生可能エネルギーの出力制御量が増加している。再生可能エネルギーの出力制御は、これまで九州エリアで実施されてきたが、昨今の太陽光発電等の導入量の増加に伴いエリアが拡大している。再生可能エネルギーの出力制御は、電力の安定供給を維持するために必要な措置であるが、再生可能エネルギーの更なる導入拡大に向けて制御量の抑制を図ることが求められる。そのためには、供給側の柔軟性確保や系統の連系強化のみならず、需要側の対応も重要となる。例えば、出力制御時に電力需要を上げる「上げDR」等により、変動する電力供給に柔軟に合わせていくことが考えられる。

産業部門のみならず家庭部門における電気需要最適化の求めも高まっており、各種産業用設備（自家発電設備、生産設備等）に加え民生用機器等（給湯器、空調機器、蓄電池、EV/EV充放電器等）を DR に対応できるようにするための技術、大量の機器を正確に制御する技術等の開発・普及が重要である。

6. 今後の省エネルギー・非化石エネルギー転換技術の展開

省エネルギー技術は、エネルギーを巡る環境がいかに変化しようとも、持続可能なエネルギー需給構造の確立はもとより、我が国企業の競争力強化のため、その重要性は変わるものではない。引き続き強力にその開発を進め、我が国の卓越した省エネルギー技術を国内外において展開させることに加えて、潜在的な省エネルギー技術の発掘と実用化を不断に追求することが必要である。また、2050 年カーボンニュートラル目標の達成に向けて、非化石エネルギーの導入・普及を進める取組も不可欠である。技術開発を担う産学官の関係者のみならず、国民が広く協力し、新たな社会システムを構築していくことが、今後の省エネルギー・非化石エネルギー転換の推進につながるものと考えられる。

本戦略が広く共有・活用され、省エネルギー・非化石エネルギー転換技術の開発・導入・普及が一層促進されることによって、世界最高水準の省エネルギー国家として、脱炭素社会の実現に貢献しつつ、経済成長を続けることを期待する。