

参考資料

【技術シート】

エネルギー転換・供給部門

重要技術	個別技術	主要要素技術・開発項目等
低炭素化・脱炭素化を実現する発電技術	IGCC、IGFC、アンモニア混焼・専焼、バイオマス混燃	蒸気温度・タービン入口温度の高温化、耐久性向上、スケールアップ、低NOx化、ガス精製技術、脱炭素燃料の混焼化・専焼化、AI/IoT技術の活用による発電所の運用・保守業務の効率化、等
	AHAT、GTCC、GTFC、水素混焼・専焼GT、アンモニアGT	
	GE、GT、SOFC、PEFC	燃焼の最適化（GE、GT）、セルスタック・システムのコンパクト化・軽量化、高耐久化、ロバスト性向上（SOFC、PEFC）、燃料多様化（共通）、等
次世代電力流通技術	高圧直流送電（HVDC）	多用途多端子・保護制御・潮流制御技術・深海ケーブル
	配電技術	変圧器のスターデルタ結線変更、高周波絶縁技術、保護技術等
	超電導技術	超電導ケーブル、冷却システム、中間接続、高磁場コイル、監視システム等
	パワエレ技術	新たな変換方式、新半導体の材料
供給側の調整力	火力発電	微粉炭ミルのインバータ化、ミル1台運転、ガスタービン・スチームタービン間のクラッチ設置による追従性向上、適切なクリティカルパーツの余寿命管理、制御ロジック最適化、熱疲労特性に優れた材料開発、低負荷での燃焼安定性確保、等
	エネルギー貯蔵併用システム	最適なエネルギー貯蔵技術の組み合わせによるシステムの構築、蓄エネルギー設備のコンパクト化
	分散型電源	負荷上昇時の燃焼制御の最適化、再エネ電源の出力予測精度の向上、最適運用・通信・制御技術
需要側の調整力	需要量・再エネ発電量の予測技術	気象予測技術、出力変換予測技術、アンサンブル予測、ナッジ等の行動変容を促す技術
	DR・VPP関連技術	アグリゲーション技術、遠隔操作技術
	DRリソース探索・DRスカウティング	生産プロセスにおけるDRリソースの発掘、製造工程のモデル化
	DR対応機器	ヒートポンプ（HP）給湯機等の家電等
	蓄電池・蓄熱	次世代リチウムイオン電池、非リチウム系電池（フロー電池含む）、蓄エネルギー設備
熱輸送技術	オンライン熱輸送（導管熱輸送）	熱源：ヒートポンプ、コージェネ、再エネ・未利用エネ、熱導管の布設、断熱、搬送動力の省エネ、需給一体制御、ネットワーク化、AI・IoTの活用
	オフライン熱輸送（蓄熱輸送）	潜熱蓄熱、顕熱蓄熱、化学蓄熱等による高温蓄熱、蓄熱密度の向上等、コンテナ高断熱技術
	セクターカップリング	P2H (Power to Heat)、部門間連携を含むEMS
水素等関連技術等	水素製造	アルカリ水電解、固体高分子型水電解、固体酸化物型水蒸気電解、NiMH改良、水蒸気改質、部分酸化、自己熱改質、膜型反応
	水素輸送・貯蔵	圧縮・液化・気化、有機キャリア・吸蔵合金の製造、水素化、メタネーション、船舶・陸上輸送、パイプライン、貯蔵、脱水素
	水素利用	タービン、エンジン、バーナー、水素還元製鉄、燃料電池
	アンモニア関連技術	低温低圧化での製造、直接電解合成、既存燃料用タンク・輸送船・パイプラインの転用技術、タービン、エンジン、バーナー、燃料電池
	合成燃料・合成メタン製造	逆シフト反応+FT合成プロセス、共電解、Direct-FT等、メタネーション

産業部門（1/2）

重要技術	個別技術	主要要素技術・開発項目等
革新的化学品製造技術	選択的加熱	マイクロ波加熱、誘導加熱、赤外線加熱、加熱制御システム
	触媒	高性能触媒、反応プロセスの構築
	高効率蒸留	ヒートポンプ、MVR、HIDiC、デマンド制御技術
	分離	ガス分離膜、MF膜、UF膜、NF膜、RO膜、無機膜、膜分離システム構築、反応プロセスの構築
	原料転換・原料循環	ナフサ分解炉の熱源の転換、ケミカルリサイクル等、反応プロセスの構築
革新的製鉄技術	フェロコークス	新規バインダー製造技術、均一混合技術、高炉装入、高炉内反応モデル、低品位原料活用
	加熱の電化	電気加熱(抵抗加熱、誘導加熱等)
	水素還元製鉄技術	所内水素及び外部水素を活用した高炉水素還元技術、直接水素還元技術
	電炉関連技術	不純物除去技術、大型化
	CO2分離回収・利用技術	CO2分離回収技術、還元剤（合成メタン）への利活用技術、CO2循環型製鉄システム、CO2還元技術等
	バイオマス活用	バイオコークス活用等
	水素・アンモニアによる燃焼技術	詳細は、「革新的熱利用製造技術」の資料を参照
革新的自動車製造技術	軽量材料活用	高強度鋼活用技術、非金属活用技術、樹脂材料活用技術
	マテリアル接合	高強度溶接技術、接着技術、機械的締結技術、Unified Steel Metallurgy Concept
	高度製造	高度プレス・鍛造技術、ロボット加工、3Dプリンタ、自動検査、AI・IoT活用
	高度塗装	アクアテック塗装、一体・同時塗装、オーバースプレーフリー塗装、粉体塗装、電着塗装、インモールド塗装、静電気塗装、低温焼付塗装
	フィルム工法等	フィルム加飾、真空成形、インモールド成形
	省エネ塗装	ヒートポンプ活用、熱マネジメント、高度制御
	高度鋳造	加熱方法最適化、工法最適化、熱マネジメント、燃焼制御
	高度機械加工	セミドライ加工、超音波加工、放電加工、レーザー加工、AI・IoT・デジタルツイン活用技術
	省エネ熱処理	ローラーハース型、回転式、熱マネジメント、システム最適化
	電池材料製造	精鉱・精錬・溶解・析出・焼成
	電池材料リサイクル	燃焼・粉碎分離・溶解・結晶化・焼成
	水素・アンモニアによる燃焼技術	詳細は、「革新的熱利用製造技術」の資料を参照

産業部門 (2/2)

重要技術	個別技術	主要要素技術・開発項目等
革新的半導体製造技術	結晶・基板製造	大口径化技術、ウエハ加工技術(スライシング、レーザー、ダイヤモンド加工)、ポリッシング(各種援用CMP、ドライポリッシング)、低欠陥エピタキシャル技術(Dynamic Aging、Si蒸気圧エッチング、高速回転枚葉式エピタキシャル成長装置、HVPE法酸化ガリウム成膜)
	微細化・積層化	光学技術(液浸露光、EUV露光)、パターンング技術(SADP、SAQP、SAB技術)、立体構造技術(FinFET、GAA-FET、CFET)
	省エネ加工	リソグラフィ(ナノインプリント、マスクレス露光、スクリーン印刷)、ドライブプロセス(常温常圧プラズマCVD、SiC膜高速製造、大気圧プラズマ技術)、ウェットプロセス(バッチ処理、枚葉処理)、3(2.5)次元実装(InFO、CoWoS、SoIC)、接合法(ナノソルダー、レーザー硬化接着剤、低温ダメージレス無接着剤接合、水蒸気プラズマ接合)
	省エネ設備・機器	クリーンルーム(ハイブリッド冷却、ヒートポンプ活用、断熱、静電気除去)、高効率真空ポンプ(高度制御ドライ真空ポンプ、高真空ゲッターポンプ)、高効率除害装置(プラズマ処理)、高効率チラー(ハイブリッド型)等、クリーンルーム(気流解析、排気処理、各種モニター等の総合最適)
革新的セメント製造技術	原料加工	重力式ブレンダー、ボールミル、ローラーミル(外部循環方式、堅型等)、乾式・湿式粉碎、予備粉碎、分級機、フライアッシュ活性化、オイルシール利用、低炭素型新材料、機械搬送、可変速駆動システム(ASD)、高度制御システム
	焼成工程	プレヒーター・プレカルサイナーキルン(NSP等)、流動床キルン、クリンカクーラー(グレート、エアビーム等)、鉄鋼スラグ原料化、鉍化剤、酸素富化燃焼、耐火物・断熱材、シール、水素・アンモニアバーナー、熱回収・コジェネレーション、可変速駆動システム(ASD)、高度制御システム
	仕上工程	予備粉碎(ローラープレス)、分級機(回転式等)、チューブミル、堅型ミル、仕上ミル第2室分級ライナー、スペクトル計測、放射温度計測、クリンカー流量制御、可変速駆動システム(ASD)、高度制御システム
	CO2分離回収・利用技術	CO2分離回収技術、CO2固定化コンクリート、メタネーションによる合成メタンの利活用技術
革新的ガラス製造技術	粉碎工程	遠心ボールミル等
	調合工程	湿潤処理最適化、可変速駆動システム(VSD)
	熔融工程	気中溶解(インフラメントメルティング、高速混合)、サブマージド燃焼炉、セグメント処理(低NOx、Flex melter等)、ガラスカレット高効率加熱、マイクロ波加熱、低NOxバーナー、水素・アンモニアバーナー、熱マネジメント(予熱・断熱・熱回収等)、高度制御
	仕上工程	フォアハース、乾燥(ラジオ波等)、熱処理最適化(冷熱・アニール等)、ラミネート技術(ラジオ波等)、コンプレッサー最適制御
革新的加工技術	切削加工	切削工具(刃)、切削油剤、モーター、インバータ、制御システム、切削条件、センサ、CAD・CAM
	研削加工	研削砥石、研削加工液、モーター、インバータ、制御システム、研削条件、センサ、CAD・CAM
	プレス加工	工具(金型)、プレス、モーター、インバータ、塑性変形接合、制御システム、センサ
	鍛造加工	工具(金型)、プレス、加熱炉、熱間・冷間鍛造用潤滑剤、制御システム、センサ
	鋳造加工	加熱装置、攪拌、制御システム、センサ
	溶接加工	融接(ガス・アーク・エネルギービーム)、圧接(抵抗)、ろう接、制御システム、センサ
	次世代の加工	3Dプリンタ、レーザー加工、生産プロセス管理システム(AI、IoT等の活用)
革新的熱利用製造技術	高効率バーナー	リジエネ・ラジアントチューバーバーナー／ノズル・蓄熱・低NOx技術
	水素・アンモニアによる燃焼技術	水素・アンモニアバーナー
	酸素富化	PSA、TSA、深冷分離法、酸素富化膜法、熱マネジメント
	断熱	詳細は、「熱エネルギーシステム技術の高度化」の資料を参照
	熱回収	HP、熱電変換、排熱発電、熱マネジメント
	高効率冷凍機	オイルフリー圧縮機、超高速圧縮機、インジェクション圧縮機、マイクロチャネル熱交換器、超小型吸収冷凍機
	分野・工程毎独自技術	溶解・熱処理・加熱加工・選択的局所加熱・高効率蒸留等 詳細は、「革新的加工技術」や業種別の「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」、「革新的セメント製造技術」、「革新的ガラス製造技術」等の資料を参照

家庭・業務部門

重要技術	個別技術	主要要素技術・開発項目等
ZEB・ZEH関連技術	ファサード	外皮、自然エネルギー利用、外皮性能可変化、省エネ改修、設計・施工・評価技術、制御・運用最適化
	空調	熱源機、熱媒輸送、外気処理・空調ユニット、ライフサイクル改修、未利用熱利用、遠隔制御・運用最適化、DR対応、外皮連携制御
	給湯	熱源機、ライフサイクル改修技術、太陽熱活用、遠隔制御・運用最適化、DR対応、外皮連携制御
	照明	照明器具、システム効率向上技術、遠隔制御・運用最適化、昼光連携制御
	設計・評価・運用技術、エネルギーマネジメント技術（xEMS）	BIM/シミュレーション/VR、省エネ効果等評価ツール、EMS、統合制御・設計、データ取得・蓄積・解析、発電・DR予測、ナッジ、直流化
	快適性・生産性等と省エネを両立する機器・システム	室内環境センシング、機械学習、ニューラルネットワーク、ディープラーニング、施設内モビリティ制御、空調・照明・気流制御、パーソナル環境制御、ユーザ推定・評価・制御
省エネ型データセンター・ICT機器	ICT機器	高並列プロセッサ、低電力デバイス（ノーマリーオフ）、次世代プロセッサ（ニューロモーフィック、量子コンピューティング）、光ネットワーク（シリコンフォトニクス）
	付帯設備・施設運用	高効率電源（直流電源）、高効率空調、冷却技術（相変化、液浸、熱輸送、外気冷房）、冷却効率を向上させる施設設計、DCIM、AIによる運用最適化（ICT機器、空調）、負荷予測・制御、コンテナ型DC設計・運用
	社会全体でのデータセンターの最適利用	冗長性確保、データセンター-エッジ連携マネジメント技術、ソフトウェア定義技術

運輸部門（1/2）

重要技術	個別技術	主要要素技術・開発項目等
内燃機関/ハイブリッド/プラグインハイブリッド自動車性能向上技術	内燃機関の高効率化技術	燃焼技術、摩擦抵抗低減・信頼性向上、排気処理、車両シミュレーション技術
	走行抵抗低減技術	ドライブトレインの改良、空気抵抗低減、転がり抵抗低減、摩擦抵抗低減、構造材料の軽量化（材料開発：高張力鋼、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、CFRP）、回生エネルギー、マルチマテリアル技術、LCA、リサイクル
	熱マネジメントの高効率化技術	内燃機関の熱マネジメント、車両熱負荷低減、バッテリーヒートマネジメント、HP暖房
電気自動車/プラグインハイブリッド自動車性能向上技術	EV駆動の高効率化技術	トランクションモーター、インバータ、蓄電池、キャパシタの損失低減・高効率化、モーター・蓄電池等のリユース・リサイクル、EMS、BMS
	外部エネルギー・蓄電技術の高度利用	PVパネル搭載技術、走行中給電、交換式バッテリーシステム、V2G技術、EMS
	走行抵抗低減技術	ドライブトレインの改良、空気抵抗低減、転がり抵抗低減、摩擦抵抗低減、構造材料の軽量化（材料開発：高張力鋼、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、CFRP）、回生エネルギー、マルチマテリアル技術、LCA、リサイクル
	熱マネジメントの高効率化技術	車両熱負荷低減、バッテリーヒートマネジメント、HP暖房
燃料電池車（FCV）性能向上技術	水素貯蔵技術・発電技術	水素タンク、燃料電池、水素吸蔵合金
	EV駆動の高効率化技術	トランクションモーター、インバータ、蓄電池、燃料電池、新材料技術（水素脆化特性）、モーター・蓄電池等のリユース・リサイクル、EMS、BMS
	走行抵抗低減技術	ドライブトレインの改良、空気抵抗低減、転がり抵抗低減、摩擦抵抗低減、構造材料の軽量化（材料開発：高張力鋼、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、CFRP）、回生エネルギー、マルチマテリアル技術、LCA、リサイクル
	熱マネジメントの高効率化技術	車両熱負荷低減、バッテリーヒートマネジメント、HP暖房

運輸部門 (2/2)

重要技術	個別技術	主要要素技術・開発項目等
次世代自動車インフラ	充電ステーション	インバータ・コンバータ、充電器、充電コネクタ、その他部材の開発、蓄電池搭載型ST、V2G
	水素ステーション	圧縮機、蓄圧器、冷却装置、ディスプレイ、その他各種部材の開発、様々な水素供給方法に応じたシステム
	走行中給電	安全性保証（人、動物検知等）、給電装置、給電用インフラ
高度道路交通システム（ITS）	移動計画支援システム	交通情報システム（VICS）
	運転支援システム	先進運転支援システム（ADAS）、協調型車間距離維持支援システム（CACC）
	自動走行システム	自動運転システム（協調走行・隊列走行含む）、ECU制御技術の高度化
	交通需要マネジメント（TDM）	IoT活用交通情報収集システム、AI活用交通流制御システム
	交通流制御システム	交通インフラ（信号機、検出器、交通標識等）制御システム
	V2X通信技術	V2P、V2V、V2I、V2N(Network)、V2C(Cloud)
	カーシェア、ライドシェア	無線システム、車両管理システム、遠隔監視システム、予約・決済システム
スマート物流システム	自動化・機械化技術	【保管・荷役】 フォークリフト、ロボット、ウェアラブル端末、AGV(無人搬送車)、省エネコンベア/ソーター/ピッキング 【包装・流通加工】 簡易包装、省エネ加工 【輸送（主な輸送機器以外）】 ラストワンマイル配達（ドローン、自動配送車、貨客混載車、共同集配車、共同宅配ボックス等）
	物流・商流に係るデータプラットフォーム	RFID、ビーコン、温度/空調/画像センシング、AI、需要予測、自動スケジューリング、ブロックチェーン、電子マネー、電子決済、オムニチャンネル、NtoN ロボット制御システム、倉庫管理システム、エネルギー管理システム（EMS）、SCMシステム、ダイナミックプライスシステム、フィジカルインターネット
次世代航空・船舶・鉄道技術	ジェット機の省エネ化	CFRPの利用、ターボファンエンジン、電動機器比率の拡大、UPR（利用者設定経路）、DARP（動的飛行経路変更方式）
	次世代航空	水素貯蔵タンク、新たなエンジン部品の開発、SAF製造技術、合成燃料製造技術、航空機向け電池・モーター等の性能向上等
	船舶の省エネ化	船体抵抗低減技術、軽量化、高効率エンジン、風力推進アシスト装置、最適構造設計技術（シミュレーション）、気象・海象予測モデル、航海シミュレーション、性能推定、自動運航、ウェザー・ルーティング、最適航路計画、自動運航船
	ゼロエミッション船	水素・アンモニア燃料エンジン、燃料タンク、燃料供給システム、水素燃料電池システム、高効率船舶電気推進システム
	次世代燃料利用鉄道車両	水素エンジン、水素・電力関係装置構成の改良、バイオディーゼル燃料での性能検証

部門横断

重要技術	個別技術	主な要素技術・開発項目等
未利用熱の循環利用	熱交換器	新材料の探索、プロセスに適した新形状の熱交換器の作成、伝熱促進や表面処理技術、耐スケール・防汚技術、低品位・ばらつき・変動・汚染媒体からの熱回収、高温用素材（セラミックス等）
	産業用ヒートポンプ（HP）	産業用の高温HP技術、環境負荷が小さく安定供給可能な材料・冷媒技術
	熱電力変換	熱電変換モジュール、熱機関サイクル（スターリング発電、オーガニックランキンサイクル発電）等
	蓄熱・蓄冷	詳細は、「熱エネルギーシステム技術の高度化」の資料を参照
熱エネルギーシステム技術の高度化	断熱	断熱素材、塗装素材、高断熱化、軽薄短小かつ高強度化、経年劣化の抑制・長寿命化
	蓄熱・蓄冷	潜熱蓄熱、顕熱蓄熱、化学蓄熱、高温蓄熱、高密度蓄熱、熱応答性、安全性、繰り返し利用、熱の保存時間、低温蓄冷材
	熱交換器	詳細は、「未利用熱の循環利用」の資料を参照
	熱マネジメント	安価なセンサ技術、ピンチテクノロジー、AI解析技術、数値最適化技術
ヒートポンプ高度化技術	高効率空調ヒートポンプ（HP）	冷媒技術、高効率圧縮機、高性能熱交換器、ZEB・ZEH・LCCM住宅、デマンド制御技術
	高効率給湯ヒートポンプ（HP）	冷媒技術、高効率圧縮機、高性能熱交換器、デマンド制御技術
	高効率プロセス加熱・冷却ヒートポンプ（HP）	冷媒技術、高効率圧縮機、高性能熱交換器、未利用熱利用技術、デマンド制御技術、磁気軸受技術
エネルギーマネジメント技術	センシング	デバイス設計(電気回路・アナログ回路・アンテナ設計)
	HEMS・BESM・FEMS・系統向けEMS	状態を把握するセンサ(IoT等)、対応機器、エネルギーの見える化、機器制御システム(AI等)、DR(Demand Response)、VPP、V2G(Vehicle-to-Grid)、アグリゲーション
	FEMSの高度化(スマート工場)	IoT(膨大な実績データの収集)、AI(ビッグデータ・暗黙知等の組織データ化)、MES、MESとFEMSの統合(スマート工場化)
パワーエレクトロニクス技術	半導体材料	SiC、GaN、Ga ₂ O ₃ 、結晶成長
	デバイス	高耐圧・超低損失パワーデバイス構造
	モジュール	機能集積化技術、熱設計、回路・実装技術、回路制御
	機器回路	機器実装、熱マネジメント、機器制御・設計、システム制御・設計
複合材料・セラミックス製造技術	炭素繊維系複合材料	軽量化、高耐熱化、難燃性化、高熱伝導性化、高強度化、高耐衝撃性化
	合金・金属間化合物系複合材料	軽量化、高強度化、高耐熱化、高延性化、高耐食化、成形技術、接合・接着技術、低コストプロセス技術、信頼性評価技術
	セラミックス系複合材料	軽量化、高耐熱化、高強度化、高靱性化、高耐衝撃性化、Ceramic Matrix Composites(Ox/Ox系、C/SiC系、SiC/SiC系)
	金属セラミックス複合材料	軽量化、高速化、高精度化、放熱性向上、熱変形防止

- 発電部門は、主に石炭や天然ガスを燃焼し、ガスタービンや蒸気タービン等の回転動力等を電力に変換するプロセスを指し、大規模同期発電機（火力発電等）に関する技術と業務・産業用発電技術に大別される
- 2050年カーボンニュートラル実現を見据えた上で、水素・アンモニアの脱炭素燃料の混焼・専焼技術の開発やCCUS等の火力発電からのCO2排出を削減する措置の促進等が重要となる
- また、発電効率の向上により、省エネルギー化に寄与し、高効率発電技術の導入を進めることにより、電力の安定供給を維持した上で、発電効率が低い老朽火力の稼働を抑制し、さらにはそのフェードアウトを促すことで、発電部門全体の省エネルギーにも寄与する
- 大規模同期発電機（火力発電等）に関する技術では、単一タービンによるシングルサイクルとして、高温分空気利用ガスタービン（AHAT）等、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクルとして、石炭ガス化複合発電（IGCC）、超高温ガスタービン複合発電（GTCC）、燃料電池を組み合わせたトリプルコンバインドサイクルとして、石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）、ガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）がある
- 業務・産業用発電技術では、分散型エネルギーリソースの一つとして、経済的に自立可能な高効率発電技術を対象とする。ガスエンジン（GE）やガスタービン（GT）の回転動力を電力に変換する発電技術の他、化学エネルギーを電力に変換する固体酸化物形燃料電池（SOFC）や固体高分子形燃料電池（PEFC）などの燃料電池技術が期待されている
- 火力発電所のカーボンニュートラル化に向けて、発電所の排気ガスからのCO₂を分離・回収するCCS技術の適用が期待されるが、コストの大部分をエネルギー費用が占めることから、回収や圧縮にかかる一次エネルギー消費を抑えていくことが主要な技術開発課題となっている

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
IGCC、IGFC、アンモニア混焼・専焼、バイオマス混焼	石炭火力発電	要素技術	蒸気温度・タービン入口温度の高温化、耐久性向上、スケールアップ、低NOx化、ガス精製技術、脱炭素燃料の混焼化・専焼化、AI/IoT技術の活用による発電所の運用・保守業務の効率化、等
AHAT、GTCC、GTFC、水素混焼・専焼GT、アンモニアGT	LNG火力発電	要素技術	燃焼の最適化（GE、GT）、セルスタック・システムのコンパクト化・軽量化、高耐久性、ロバスト性向上（SOFC、PEFC）、燃料多様化（共通）、等
GE、GT、SOFC、PEFC	業務・産業用発電、コージェネレーションによる排熱の有効利用	要素技術	

技術開発の方向性・技術的課題	課題	
	個別技術	
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	水素・アンモニア・バイオマスの混焼・専焼	<ul style="list-style-type: none"> 従来燃料とは物性や燃焼特性等が異なるため、脱炭素燃料の混焼化・専焼化のためには、それらに適合した技術開発が必要になる他、導入拡大に向けては低コスト化、サプライチェーンの構築と安価な燃料供給に課題がある
	IGCC、IGFC、AHAT、GTCC、GTFC	<ul style="list-style-type: none"> 高温化による発電効率向上、耐熱性・耐久性の高い材料の開発による信頼性の向上、ガス精製などのプロセス最適化等に課題。これら要素技術の確立により、水素発電や、CCUSを前提とした発電技術の効率向上にも寄与する
	GE、GT、SOFC、PEFC	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池における研究開発では、マテリアルズ・インフォマティクス（MI）やプロセス・インフォマティクス（PI）の手法を活用した材料・プロセス探索、現象・機構解明、セル性能・劣化解析やデータベース構築などの研究が進められている
制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> 2050年カーボンニュートラルに向け、調整力としての役割も期待される高効率な次世代低炭素・脱炭素火力発電技術への投資を促し、将来の適正な供給力を確保するための容量市場、長期脱炭素電源オークション制度等の適切な制度設計 水素燃料等に対するインセンティブや移行を促すような市場制度の確立 	

国内	<ul style="list-style-type: none"> 水素、アンモニア利用については、NEDO「水素社会構築技術開発」、「競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業」、グリーンイノベーション基金事業「大規模水素サプライチェーンの構築プロジェクト」、「燃料アンモニアサプライチェーンの構築プロジェクト」等において、燃料多様化に向けた技術開発を実施している また、NEDO「カーボンサイクル・次世代火力発電等技術開発」等において、火力発電の高効率化に向けた技術開発を実施している 業務・産業用発電の燃料電池技術等については、NEDO「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業」等において、高効率化に向けた技術開発を実施している 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国エネルギー省（DOE）では、1700°C級ガスタービン開発を目指す「Advanced Combustion Turbines」などのプロジェクトでガスタービン開発を推進している 三菱重工業は、オランダMagnum発電所（Vattenfall）440MW1ユニットを2027年末に天然ガスから水素炊きに転換するプロジェクトへ参画している 欧州では、主にFCH-JU（Fuel cells and hydrogen-joint undertaking：欧州燃料電池水素共同実施機構）が燃料電池の研究開発や実証事業を行っている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
水素混焼・専焼、水素GT	大規模水素サプライチェーンの構築プロジェクト	NEDO, 2021-2030	水素ガスタービン発電技術（混焼・専焼）の実機実証
アンモニア混焼・専焼	燃料アンモニアサプライチェーンの構築プロジェクト	NEDO, 2021-2030	アンモニアの供給コストの低減に必要な技術の確立。石炭火力発電におけるアンモニアの高混焼化・専焼化の技術開発。ガスタービン実機におけるアンモニア専焼技術開発
水素GT	水素社会構築技術開発事業	NEDO, 2014-2025	発電用大型GTとしては、LNGに水素を30%混ぜて使用することができる燃焼器の開発に成功している。高濃度化（専焼化）に向けた技術開発
	競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業	NEDO, 2023-2027	ガスタービン燃焼器（水素社会構築技術開発事業の後継）や液化水素ポンプの開発
IGCC、IGFC、AHAT、GTCC、GTFC	カーボンサイクル・次世代火力発電等技術開発	NEDO, 2016-2026	各次世代火力発電技術の要素技術開発 大崎クールジェンプロジェクトにおいて、IGFCの実証試験等
SOFC、PEFC	燃料電池等の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業	NEDO, 2020-2024	高耐久、低コストの燃料電池システム及び水電解システムを実現するための基盤技術の開発

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 石炭火力：2030年／電源構成の内、19%程度 LNG火力：2030年／電源構成の内、20%程度 水素・アンモニアによる発電：2030年／電源構成の内、1%程度、2050年の水素発電コストをガス火力以下（20円/Nm3程度以下） バイオマスによる発電：2030年／電源構成の内、5%程度 2030年までにガス火力への30%水素混焼や水素専焼、石炭火力への20%アンモニア混焼の導入・普及 コージェネレーション技術は、2050年のカーボンニュートラルの実現に向け、推進すべき分散型エネルギーリソースの一つとして位置づけられ、脱炭素燃料も利用可能なシステムとして導入拡大に取り組む方針が示された コージェネレーション普及見通し：2030年 / 798億kWh 	第6次エネルギー基本計画, 2030年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）(2021), 資源エネルギー庁	
	<ul style="list-style-type: none"> ベンチマーク目標（達成の目標年度は2030年度）： <ul style="list-style-type: none"> ✓ 火力発電効率A指標：1.00以上（電力供給業） ✓ 火力発電効率B指標：44.3%以上（電力供給業） ✓ 石炭火力発電の効率：43.00%以上（石炭火力電力供給業） 	省エネ法, 資源エネルギー庁	
技術開発目標	アンモニア混焼・専焼	<ul style="list-style-type: none"> 石炭火力発電への50%以上の混焼 	「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2021),経済産業省
	水素混焼・専焼、水素GT	<ul style="list-style-type: none"> 大規模需要を創出する水素ガスタービン発電技術（混焼、専焼）を実現するための技術の確立 	「大規模水素サプライチェーン」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2021), 経済産業省
	SOFC PEFC	<ul style="list-style-type: none"> SOFC：2025年頃/55%LHV以上、2030年頃/60%LHV以上、2040年頃/70%LHV以上 PEFC：2030年頃/60%LHV、2040年頃/65%LHV 	燃料電池・水素技術ロードマップ-定置用燃料電池技術開発ロードマップ-(2023),NEDO

- 電力の流通部門は、発電所で発電した電力を需要家まで届ける、送電・変電・配電・系統運用で構成される部門であり、送配電ロスを低減することが省エネルギーとなる。ただし、送配電ロスは、20年以上も5%前後で推移しており、すでに下げ止まっている状況で、効率化の余地自体は小さい
- 送配電ロスは、電線のロス、変圧器のロス、変換器のロスに大別される
- 電線のロスである銅損は、電圧を高くすることで減少する。超々高圧送電（UHV）や高圧直流送電（HVDC）、配電線の昇圧に関連する技術は、電圧を高めることで電線の銅損を減らす技術と言える。なお、送電距離が長距離になると直流の方が、ロス面でもコスト面でも有利になるが、直流・交流は、効率だけでなく、安定性や制御性、事故時の保護等を総合的に勘案して選択される
- 銅損は、電気抵抗の小さい線材を用いることでも減少する。高温超電導線材の高性能化は、交流損失を低減できるため、省エネに大きく貢献する
- 変圧器は、交流電力の電圧を変換する機器であり、そのロスは、負荷に関係無く発生する無負荷損（鉄損）と、負荷に応じて変化する銅損の合計となる。年代やメーカーの差はあるもの、変換効率は90%台後半であり、技術的には成熟している
- 変換器は、パワーエレクトロニクス（パワエレ）技術を用いて、直流→交流、交流→直流、直流→直流、交流→交流の変換を行う機器である。パワエレ機器のロスは、半導体でのロスと付随する変圧器のロスに分けられる。新しいパワー半導体材料の開発によって、効率値の向上を目指している。年代やメーカーの差はあるもの、効率値は90%台後半で、交流変圧器の変換ロスと大差は無い。新技術を用いた高効率で高度化した機器が多く開発されているが、コストが高いために実装されにくい状況である
- 再エネの大量導入に向けて、高度な系統運用技術が求められる。たとえばパワエレ技術の高度化は、制御や回路の工夫で擬似的に慣性力を生み出すなど、再エネの大量導入にも貢献する。また、洋上風力からの海底ケーブルを使った電力の長距離輸送も重要になる。これらの技術は、再エネを有効活用するために必要という意味で、省エネ技術の一端と考えられる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
高圧直流送電 (HVDC)	高電圧化により送電ロスを低減、長距離・海底の送電に用いられる	要素技術	多用途多端子・保護制御・潮流制御技術・深海ケーブル
配電技術	昇圧による配電ロス低減、再エネ電源の連系容量・電化機器の増加、直流グリッド	要素技術	変圧器のスターデルタ結線変更、高周波絶縁技術、保護技術等
超電導技術	送電ロス低減、高磁場による高エネルギー密度化、大電流の短距離輸送	要素技術	超電導ケーブル、冷却システム、中間接続、高磁場コイル、監視システム等
パワエレ技術	再エネの大量導入、系統安定化、蓄電池の連系	要素技術	新たな変換方式、新半導体の材料

技術開発の方向性・技術的課題

- 超々高圧送電技術は、すでに大半の技術開発は終了している。高圧直流送電技術については、電力広域機関のマスタープランの下、再エネ（主に洋上風力）の大量導入に向けた系統増強に活用すべく、技術的課題の解決や低コスト化など、実装に向けた検討が行われている。今後、製造設備等の投資の効率化のため、IEC-61850等に準拠した標準化が求められている
- 超電導送電技術は、すでに民間プラントでの実証試験が成功しており、引き続き実用化に向けて、取り組みが行われている。さらなる低コスト化も課題である
- パワエレ機器については、すでに高効率なものは開発されているものの、高コストであるため、低コスト化と実装・普及が課題である。変換効率については、既に90%台後半であるところ、さらに数%単位での効率化を民間のメーカーが競っている状況である

	個別技術	課題
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	高圧直流送電 (HVDC)	<ul style="list-style-type: none"> 多用途多端子直流送電システム・多端子直流送電用保護装置の開発 従来レベルのコストでの製造・敷設を可能とする直流深海ケーブルの開発 既存工法より低コストを可能とする防護管取付等の工法開発 日本特有の気象海象条件等に対応した新型ケーブル敷設船等の基盤技術開発
	配電技術	<ul style="list-style-type: none"> 配電線の部分昇圧に関する要素技術の開発は進んでいるため、実証開発が必要。部分昇圧する箇所を選定も必要 既存配電線の昇圧の場合は、高圧受電設備の更新など、多大な費用や手間がかかる 配電用直流グリッドの実現に向けた高周波絶縁技術・保護技術等の開発が必要
	超電導技術	<ul style="list-style-type: none"> 実装・普及に向けた技術開発が必要 低コスト化は進んでいるが、さらなるコスト低減が求められる
	パワエレ技術	<ul style="list-style-type: none"> ブレークスルー的な低コスト化、実装・普及が課題 モデルベースデザインなど、開発環境の近代化 メンテナンス時に便利なインターフェース
制度的課題	-	-

国内	<ul style="list-style-type: none"> 「洋上風力の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップ（2021）」の中で、技術開発項目として高電圧ダイナミックケーブルがリストアップされている 超電導送電については、2021年に世界初の民間プラントでの三相同軸型ケーブルの実証試験を完了、送電損失の95%以上削減を達成。大電力を使用するプラントや発電所の母線、将来的にはスマートシティのインフラ適用をめざす パワーエレクトロニクス技術については、シリコンカーバイド（SiC）、窒化ガリウム（GaN）、酸化ガリウム（Ga2O3）などのパワー半導体材料が注目を集めており、次世代パワー半導体を使った変換器などの損失を50%以上低減、低コスト化などをめざす技術開発が行われている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 欧米では、洋上風力の系統接続をはじめとして、HVDCの実装が各処で進んでいる。従来は、超長距離・海峡連系の送電に使われてきたが、近年では既存の交流系統と並行して、HVDC送電線が建設されるケースもある 諸外国の配電系統の電圧は、一般に日本よりも高い。なお、韓国では、2005年までに100Vから220Vへの昇圧を行っている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
高圧直流送電 (HVDC)	多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発	NEDO, 2020-2025	<ul style="list-style-type: none"> 風力発電等から直流送電線を多端子化して適切に保護制御・潮流制御を行うことで、信頼性が高く効率的な送電を可能とするHVDC送電技術を開発
配電技術	再エネ大量導入を可能にするDCグリッド向け高効率スマートSSTの開発	NEDO, 2022-2024	<ul style="list-style-type: none"> 配電用直流グリッドの適用拡大を想定した、直流グリッドと既存の高圧交流グリッドを電氣的に絶縁して連系するAC/DC変換SST（半導体変圧器）の開発
超電導送電	プラント内利用のための低コスト型三相同軸超電導ケーブルシステムの開発	NEDO, 2017-2021	<ul style="list-style-type: none"> 低コストでコンパクトな三相同軸型超電導ケーブルシステムを工場構内に布設し、約1年間連続的かつ安定的に電力を供給するという実証試験を実施
パワーエレクトロニクス技術	次世代デジタルインフラの構築プロジェクト	NEDO, 2021-2030	<ul style="list-style-type: none"> 次世代パワー半導体(SiC, GaN等)による50%以上の損失低減と社会実装を促進するためのSiパワー半導体と同等のコスト実現に向けた低コスト化に取り組む

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 全国の再生可能エネルギーのポテンシャルを踏まえつつ、電力融通の円滑化によるレジリエンス向上に向けて、全国大での広域連系系統の形成を計画的に進める 	第6次エネルギー基本計画(2021), 資源エネルギー庁	
技術開発目標	高圧直流送電 (HVDC)	<ul style="list-style-type: none"> 中長期（2030年前後）を目標に、日本の技術の強みを活かした高電圧送電ケーブルや、浮体式で必要となる高電圧ダイナミックケーブル、浮体式洋上変電所、次世代洋上直流送電技術等の開発によりコストを低減する 	洋上風力の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップ(2021), NEDO他
	パワーエレクトロニクス技術	<ul style="list-style-type: none"> 超高効率の次世代パワー半導体の実用化に向けて、研究開発を支援し、2030年までには、省エネ50%以上の次世代パワー半導体の実用化・普及拡大を進め、日本企業が世界市場シェア4割（1.7兆円）を獲得することを目指す 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（2021）, 経済産業省

- 再エネ等の自然変動電源は、有効活用すべきエネルギー源であり、今後、さらなる導入拡大が見込まれる。しかし、出力変動が大きい場合、その出力変動を電力系統側電源の出力調整で吸収できない場合、出力抑制がかけられることになる。出力抑制は、それ自体がエネルギーのロスにあたるため、これを低減していくことで、火力発電の化石燃料の使用量低減に寄与する。そのための手段の一つが、供給側における調整力を向上させていくことである
- 火力発電における起動時間短縮、出力変化度向上、最低出力低減につながる技術の開発は、再エネ発電量予測外れへの対応、インバランス解消など電力需給ギャップの解消につながり、出力変動の大きい再エネ電源の導入量を増やすことに貢献する。また、部分負荷効率の向上につながる技術の開発は、直接、燃料消費量削減に有効である
- 蓄電池、蓄熱、空気貯蔵等のエネルギー貯蔵システムを併用することで火力発電の柔軟性を高める技術が検討されている
- 分散型電源である業務・産業用の発電技術（コージェネレーション技術）では、ガスエンジン方式による発電が、負荷追従性、部分負荷性能が高く、短時間起動が可能とされる
- 火力発電以外では、揚水式水力発電も高い調整力を持つ電源である。さらなる調整力の確保のため、系統用蓄電池の導入促進や、水電解装置による水素製造技術の活用も検討されている
- 我が国では、2021年度から需給調整市場が順次開設され、これらの調整力は同市場を通してシステムに統合化される

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
火力発電	石炭火力発電による調整力の供給	要素技術	微粉炭ミルのインバータ化、ミル1台運転、等
	LNG火力発電による調整力の供給		ガスタービン・スチームタービン間のクラッチ設置による追従性向上、等
	共通		適切なクリティカルパーツの余寿命管理、制御ロジック最適化、熱疲労特性に優れた材料開発、低負荷での燃焼安定性確保
エネルギー貯蔵併用システム	蓄電池・蓄熱等のエネルギー貯蔵技術を併用した調整力の提供	要素技術	最適なエネルギー貯蔵技術の組み合わせによるシステムの構築、蓄エネルギー設備のコンパクト化
分散型電源	ガスエンジン等による調整力の供給、太陽光・風力発電自らによる調整力創出	要素技術	負荷上昇時の燃焼制御の最適化、再エネ電源の出力予測精度の向上、最適運用・通信・制御技術

技術開発の方向性・技術的課題	課題	
	個別技術	課題
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	火力発電	<ul style="list-style-type: none"> 起動停止や急激な出力変化機会の増加は、熱応力の発生頻度を上げ、プラントの疲労劣化を助長するため、熱疲労特性に優れた材料開発、プラント状態の合理的な管理技術開発等が必要である
	エネルギー貯蔵併用システム	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電池の併用システムは、蓄電池そのもののコスト、寿命等に課題がある。また、蓄電池そのものの発火リスクの低減、サプライチェーンリスクの低減も課題である 蓄熱材料として、熱伝導率の高い金属PCM（相変化の潜熱を利用した蓄熱材）が期待されるが、侵食性が高いことが課題である
	分散型電源	<ul style="list-style-type: none"> 調整力の提供には、様々な分散型電源を組み合わせた最適運用・通信・制御技術が不可欠である
	制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> 将来にわたって、電源の調整力を確保するための需給調整市場等の適切な制度設計（需給調整市場等からの収入だけでは採算がとれないと判断されると、投資が進まない可能性） 部分負荷運用機会が増加すると、発電効率が低下し、省エネ法等の規制面に影響

国内	<ul style="list-style-type: none"> 超高温ガスタービン複合発電（GTCC）における調整力向上技術については、NEDO「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発／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」（2018-2021）等において技術開発が行われていた 石炭火力における調整力向上技術については、NEDO「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発／石炭火力の負荷変動対応技術開発」（2020-2023）等において技術開発が行われていた 業務・産業用ガスエンジンは、メーカにより、柔軟性に優れた製品開発を適宜実施されている。最新機種では、起動指令から5分以内の定格負荷到達が可能である 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> EUプロジェクト「FP7」、「Horizon 2020」の中で、先進タービン技術によるフレキシブル火力発電の研究開発が行われ、運転出力範囲の拡大や柔軟性向上のための研究開発が行われた。2021年からは新プロジェクト「Horizon Europe」が開始している ガスタービンと蓄電池を組み合わせることで、ガスタービンの柔軟性を高める技術が開発されている。米GE社では、LM6000ガスタービンと蓄電池を組み合わせたLM6000 Hybrid Eガスタービンを製品化している。独Siemens社はコンバインドサイクルと蓄電池のハイブリッドシステムとしてSIESTARTを提案している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
火力発電	カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発	NEDO, 2018-2021 2023-2026	<ul style="list-style-type: none"> 機動性に優れた広負荷帯高効率GTCCの技術開発及び実証研究。急速起動・出力変動時のGTCCの安定運転向け、要素研究にて確立した燃焼技術、制御技術、数値解析技術等を中心とした要素研究の成果を、発電事業者の設備投資コストをできるだけ抑えた形での実用化検討、最低負荷引き下げ、出力変化速度改善の検証等実施
		NEDO, 2017-2024 2024-2026	<ul style="list-style-type: none"> 石炭火力の負荷変動対応技術開発及び実証研究。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に、機動性に優れた高負荷帯高効率発電用ボイラに関する技術開発・実証研究の実施
		NEDO, 2020-2023	<ul style="list-style-type: none"> 蓄熱システムの概念設計とコスト試算、金属PCMの基礎データ取得を完了
エネルギー貯蔵併用システム			

	目標	出典,発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 脱炭素化に向けて、調整力としての柔軟な運転が求められ、運用の高度化に係る取組を強化する必要がある。このため、運転・保守の効率化によるコスト削減やより柔軟な運用等に向けて、AI/IoTを活用した火力発電の運用の最適化・自動化、負荷変動対応や機動性に優れた火力技術開発等の取組を促進すると明記されている コージェネレーション技術は、分散型エネルギーリソース（DER）の一つとして位置づけられ、DERの供給力や調整力としての価値や環境価値を取引できる各種市場の市場整備を含めた制度的対応や各種の支援措置を通じた後押しも含め、取組を推進すると明記されている 	第6次エネルギー基本計画(2021), 資源エネルギー庁
	<p>機動性に優れた広負荷帯高効率GTCC [変化速度／最低出力／起動時間]</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 現状性能（2015年以前）：5%min／45%程度／60分 ✓ 開発目標（2030年）：20%/min／10%（1軸式）／10分 <p>（要素技術は確立済み。市場ニーズを捉えた実機への技術の適用と、実証研究が今後の課題となっている）</p>	再生可能エネルギー大量導入時代の系統安定化対応先進ガスタービン発電設備の研究開発（2016）,NEDO
技術開発目標	<p>火力発電</p> <ul style="list-style-type: none"> 石炭火力発電システムの運用性向上技術開発におけるアウトカム目標 ✓ 負荷変化率向上と最低負荷引き下げ（蓄熱システムは具備せず）による再エネ受入量の拡大 ✓ 送電端出力0MW等の極低負荷運転（蓄熱システムを具備）による更なる再エネ受入量の拡大 	カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発／石炭火力の負荷変動対応技術開発 事業原簿（2023）,NEDO

- 出力変動の大きい再エネの導入量が増えるにつれて、系統安定化のための再エネの出力抑制量が増加している。出力抑制の低減、つまり再エネ余剰時の需給を一致させるためには、供給側の柔軟性確保や系統の連系強化のみならず、需要側の持つ調整力を活用していくことが重要になる。出力抑制は、それ自体がエネルギーのロスに当たり、これを低減することは省エネにつながる。また、蓄電池等の活用により需要のタイムシフトを行えば、供給過剰時の需要創出分（上げDR）を需要過剰時（下げDR）に利用することにより、需要過剰時の調整電源である火力発電の化石燃料の使用量低減に寄与する可能性がある
- 需要側の調整力としては、需要家側のエネルギーリソース（DSR）を制御することで、需要パターンを変化させるDemand Response（DR）及びDSRに加えて電力系統に直接接続されている発電設備・蓄電設備等も制御することで逆潮流も含む発電所と同等の機能を提供することができるVirtual Power Plant（VPP）が存在する。いずれも調整力を需給調整市場等に供出することで系統の負荷抑制技術として期待されている
- DRやVPPにおいて蓄電池はキーデバイスとして重要な役割を担う。従来、電力需給の同時同量は発電による供給量と需要量の一致を意味したが、蓄電池の利用によって、発電量と需要量のギャップを埋めることができる
- DRやVPPによって需要側の調整力を活用するためには、アグリゲーターが各需要家の電気製品の稼働を制御できる必要があり、こうしたDR対応機器普及に向けたDRreadyの検討が行われている
- 需要側の調整力に関わる技術は、需給の高度化を通じて省エネを図るエネルギーマネジメント（EMS）技術と共通するものも多い。しかし、DRは基本的には系統の負担を抑制する技術であり、必ずしもエネルギーの減少を伴わない場合もある。産業部門における電力加熱プロセスを制御対象とした場合には、連続した工程を分断することによって再加熱の必要性が生じ、エネルギー消費を増加させることもある

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
需要量・再エネ発電量の予測技術	需要量・発電量の予測精度を高めることによって、再エネ電源の制御量を減少させる	システム化技術	気象予測技術、出力変換予測技術、アンサンブル予測、ナッジ等の行動変容を促す技術
DR・VPP関連技術	分散しているDSRを集め、制御する技術	システム化技術	アグリゲーション技術、遠隔操作技術
DRリソース探索・DRスカウティング	低圧リソースのDRポテンシャル発掘、DRに参加してもらう環境の確立	システム化技術	生産プロセスにおけるDRリソースの発掘、製造工程のモデル化
DR対応機器	民生用機器や各種産業用設備のDR対応	要素技術	ヒートポンプ（HP）給湯機等の家電等
蓄電池・蓄熱	需要側に蓄電池・蓄熱等を導入することによって需給のタイムシフトによる需給バランスを図る	要素技術	次世代リチウムイオン電池、非リチウム系電池（フロー電池含む）、蓄エネルギー設備

技術開発の方向性・技術的課題

- 需要量・再エネ発電量の予測技術は、DR・VPP関連技術、DRリソースの探索等にも関連する基礎的な技術となる。再エネ発電量の予測精度に関する技術としては、複数の気象モデルの活用やアンサンブル予報の活用、日射量に特化した気象モデルの開発、地理的粒度の適正化等が取り組まれている
- DR・VPP関連技術は、異なるDR対応機器を利用するためのインターフェースの開発が課題のひとつである。また、VPPは大規模電源よりも電源調達費用が高くなる傾向があるため、アグリゲーション費用の低減が利用促進に向けての課題である
- DRリソースの探索・スカウティング技術については、需要家のリソース利用が前提となるため、需要家がDR供給のメリットを十分に認識し、DR供出にインセンティブを持てるような仕組みや技術についての開発が必要である
- DR対応機器の開発については、EMS、通信機能の費用低下が課題である
- 蓄電池については、電池の基本的なスペックを上げながら費用を大きく下げることが課題である

導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

個別技術	課題
需要量・再エネ発電量の予測技術	需給の予測技術について、気象予測の精度向上が鍵となる。また、予測エリアの細分化も調整力の予測には必要な技術となる
DRリソース探索・DRスカウティング	需要家がDRを供出するメリットを享受できる環境づくりが重要であり、特に、需給調整市場やローカルフレキシビリティ市場等の調整力の市場整備の影響は大きい。産業部門では、製品品質を保持しながら電力需要等のタイムシフトを実現することが重要である
蓄電池・蓄熱	「エンドユーザー価格の高止まり」と「ユーザーのメリットが最大化されていない」ことが課題である。前者については、市場拡大支援を通じた規模の経済による費用低減や中古電池の活用、後者については、蓄電システムの性能・品質に関する評価方法の統一・規格化、マルチユースの促進による収益機会の拡大等が対応策として検討されている
制度的課題	-

国内	<ul style="list-style-type: none"> 低圧リソースのアグリゲーションは、大規模電源よりもリソースの活用に費用が掛かることから、システム、インターフェース等の技術の高度化とコストダウンが課題となっており、収益性の検証を含めた実証研究が行われている 蓄電池についても費用面が実用化の最大の課題になっていることから、マルチユースにより収益性を高める実証実験も進められている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国では、「Energy Storage Grand Challenge Roadmap」(米国エネルギー省、2020)を発表し、ラボから市場への技術移転を加速させ、米国内での製造を可能にする安全なサプライチェーンの確保するためのロードマップが示されている。2030年までに米国市場のすべての需要を満たすことができるエネルギー貯蔵技術の開発・国内製造するという、目標が定められている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
DR・VPP関連技術	分散型エネルギーリソース(DER)の更なる活用実証事業	資源エネルギー庁, 2023	<ul style="list-style-type: none"> 需給調整市場や容量市場等において、より高度化が求められるDER制御技術の実証を行う。DERの活用拡大と再エネ有効活用の環境を整備し、アグリゲーション関連ビジネスの発展に寄与する
	戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第3期/スマートエネルギーマネジメントシステムの構築	内閣府, 2023-2027	<ul style="list-style-type: none"> AIやリアルタイムデータなどを活用し、セクターカップリングなどの広域のエネマネを行う技術の開発。EVを利用したVPPの事業性評価、再エネ、未利用熱を利用した農村型VPPの構築等
	電源の統合コスト低減に向けた電力システムの柔軟性確保・最適化のための技術開発事業	NEDO, 2024-2028	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電池などの分散型エネルギーリソース(DER)をフレキシビリティ(ΔkWh、kWh、電圧調整など)として活用し、電源の出力制御量の低減等に貢献することが可能なシステムの開発

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> DRを利用して再エネの出力制御の回避や系統混雑緩和を図る取組を進めることが明記されている 蓄電池の普及拡大に向けて2030年度までに家庭用7万円/kWh、業務・産業用6万円/kWhという価格目標を要件化した導入促進や車載用蓄電池の定置用蓄電池への再利用を促進する。また、需給調整市場を始めとする蓄電池の市場活用のための環境整備等、各種制度の課題についての対応を進める 	第6次エネルギー基本計画(2021), 資源エネルギー庁	
	<ul style="list-style-type: none"> 国内でも中長期的には余剰再エネが増大することなどを見越し、上げDRを適切に評価し、安価な電力の積極的な活用促進策も併せて検討する DERの価値を各種市場において適切に取引できるよう、海外先行事例も参考にしつつ検討を進めること等により、アグリゲーションビジネスの活性化を促す 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省	
	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電池や制御システムの導入支援、省エネ法による実績評価を通じて、DRの拡大を図ることが明記されている。蓄電池については、2030年目標である150GWhの国内製造基盤の実現に向けて、生産拠点への集中投資やDX・GXによる先端的な製造技術の確立・強化を支援する 	GX実現に向けた基本方針(2023), 内閣府	
技術開発目標	DR・VPP関連技術	<ul style="list-style-type: none"> 実証試験等を通じて、平常時の混雑緩和や出力制御量の低減ないし事故時の安定度確保等に資する新たなDER等の活用手法の基盤技術及びシステムの標準仕様を確立 	次世代の分散型電力システムに関する検討会 中間とりまとめ(2023), 資源エネルギー庁

- 一般的に、産業用の排熱は、事業者間で生産工程の都合があるため、互いに融通されにくいと指摘される。これに対し、地域熱供給は、熱を互いに融通することを前提とした供給システムであることから、より効率的に排熱利用が進み、省エネに貢献すると考えられる
- 導管を用いて水蒸気や温水を送る熱輸送（オンライン熱輸送）は、欧州の一部の国々では一般的で、家庭用の消費者にまで供給網が行き渡っている。ロシア、中国等でも市場規模が大きい。一方で、我が国では、産業用コンビナートや新規開発されたニュータウン、一部の近隣の建物間等、限られた地域において既に実装されている。導管の長さに応じてエネルギーロスが発生するため、効率的に供給できる範囲での活用が主流である
- 熱輸送については、蓄熱媒体をトラック等を通じて輸送する形態もあり（オフライン熱輸送）、国内において実証試験が行われている。排熱を有効活用できる点や、熱導管網の新規敷設が必要ないため初期投資が抑えられる点等に優れるが、配送にかかる人件費や燃料費、手間等の問題があり、効果的に機能させるには、蓄熱材の蓄熱密度のさらなる向上が必要と指摘される
- エネルギーの面的利用に関して、地域内の電力・熱・交通等複数部門が連携してエネルギーの有効利用を図るセクターカップリングも注目される。再エネを有効利用するPower to Heat (P2H) や、熱・電力等が連携したエネルギーマネジメントシステム (EMS) が必要となる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
オンライン熱輸送 (導管熱輸送)	冷水、温水、蒸気等を導管を通じて、複数の建物・需要家に熱を面的・効率的に供給し、有効利用	要素技術	熱源：ヒートポンプ、コージェネ、再エネ・未利用エネ 熱導管の布設、断熱 搬送動力の省エネ
		システム化技術	需給一体制御、ネットワーク化、AI・IoTの活用
オフライン熱輸送 (蓄熱輸送)	蓄熱媒体をトラック等を通じて輸送し、特定地域における熱の面的な供給	要素技術	潜熱蓄熱、顕熱蓄熱、化学蓄熱等による高温蓄熱、蓄熱密度の向上等 コンテナ高断熱技術
セクターカップリング	熱・電力・交通等の異なる部門の垣根を越えたエネルギーの利用最適化	システム化技術	P2H (Power to Heat)、部門間連携を含むEMS

技術開発の方向性・技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> 化石燃料利用による熱供給システムに対し、カーボンニュートラルコンビナートの実現に向けて、さらなる蒸気・排熱を活用するため、蒸気搬送設備やヒートポンプ等の整備が必要とされている 熱需要は季節によって大きく異なるため設備の負荷率が変動し、特に需要の少ない時期においては、熱媒体の搬送エネルギーや需要に占める熱損失の割合が大きくなり、総合熱効率が低下することが課題と指摘される 民生用の地域熱供給では、日本熱供給事業協会が、2020年「地域熱供給の長期ビジョン」を発表し、電力・熱負荷の平準化、高効率大型コージェネ・熱源機、ネットワーク拡大（スパイラルアップ効果）、蓄熱システム、未利用エネルギー最少化、需要家との連携制御システムの導入、電力需給調整、熱・電気的最適制御等、熱供給の効率化やセクターカップリングに関する技術の開発・導入を通じて、地域熱供給の役割の進化を掲げている オフライン熱輸送に関しては、蓄熱密度（体積、重量）、伝熱速度、耐久性の向上、各種の温度帯（低温から高温）や自然放熱、人件費や燃料費等の配送費抑制等への対応が課題と指摘される セクターカップリングに向けて、P2H等の電気と熱の連携を含めたEMSの構築・実証も進められている IEAは、熱源として化石燃料ではなく再エネや排熱の利用が必要と指摘している。また、第5世代地域熱供給として電力と熱のシステムを統合するコンセプトが提示されている 								
	導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	<table border="1"> <thead> <tr> <th>個別技術</th> <th>課題</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>オンライン熱輸送</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー熱利用におけるトータルコストの低減 非常時にエネルギー供給の確保や地方創生への貢献 </td> </tr> <tr> <td>オフライン熱輸送</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 蓄熱密度等の向上、実用的な輸送距離の検討 経済的に優位性のあるビジネスモデルの確立や対象地域の選定 </td> </tr> <tr> <td>セクターカップリング</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 地域住民や行政等のステークホルダーの理解、個人情報に配慮した各種のエネルギーデータの連携 利便性やレジリエンスの向上等、地域の価値を高めるまちづくりとの連携 </td> </tr> </tbody> </table>	個別技術	課題	オンライン熱輸送	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー熱利用におけるトータルコストの低減 非常時にエネルギー供給の確保や地方創生への貢献 	オフライン熱輸送	<ul style="list-style-type: none"> 蓄熱密度等の向上、実用的な輸送距離の検討 経済的に優位性のあるビジネスモデルの確立や対象地域の選定 	セクターカップリング
個別技術	課題								
オンライン熱輸送	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー熱利用におけるトータルコストの低減 非常時にエネルギー供給の確保や地方創生への貢献 								
オフライン熱輸送	<ul style="list-style-type: none"> 蓄熱密度等の向上、実用的な輸送距離の検討 経済的に優位性のあるビジネスモデルの確立や対象地域の選定 								
セクターカップリング	<ul style="list-style-type: none"> 地域住民や行政等のステークホルダーの理解、個人情報に配慮した各種のエネルギーデータの連携 利便性やレジリエンスの向上等、地域の価値を高めるまちづくりとの連携 								
制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> EMS等の技術導入に必要な制度設計や規制緩和、事業者の参入を促す仕組み、国際標準化 								

国内	<ul style="list-style-type: none"> オンライン熱輸送に関しては、地域熱供給への利用等を念頭に再生可能エネルギー熱利用のコスト低減に資する技術開発が行われている オフライン熱輸送に関しては、ゼオライト等を用いた蓄熱輸送や出熱装置の実証が行われているが、広く普及するには至っていない セクターカップリングに関しては、熱を含むEMSの構築を目指すプロジェクトが開始されている。機器やセンサ等のハードウェアの連携も可能とするEMSの構築が目標とされている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> IEAによれば、再エネ・排熱利用、既存ネットワークの改修、セクターカップリング等、複数の技術開発の方向性が見られる 第5世代地域熱供給として、ロンドン・サウスバンク大学のバランスエネルギーネットワーク、プリストルのオーウェンスクエア地域冷暖房等の事例がある EU Horizon 2020プログラムのSO WHAT (Supporting new Opportunities for Waste Heat And cold valorisation Towards EU decarbonization) プロジェクトにおいて、11のデモサイトを対象に、再エネ・産業排熱の統合、支援ツール開発、需要・賦存量の可視化が行われた 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
オンライン熱輸送	再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発	NEDO, 2019-2023	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に向けて、コスト低減に資する研究開発 地中熱や太陽熱等の技術開発とともに、評価・設計等の共通基盤技術開発
オフライン熱輸送	廃棄物処理における未利用熱を近隣産業で回生する蓄熱輸送技術の出熱過程実証	環境省, 2021-2024	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物処理施設の未利用熱とゼオライトの水蒸気吸脱着サイクルを用いた蓄熱輸送システムにおいて、産業用の加圧蒸気の連続生成を実現する出熱装置の実証実験
セクターカップリング	戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第3期 / スマートエネルギーマネジメントシステムの構築	内閣府, 2023-2028	<ul style="list-style-type: none"> 電気・熱・水素・合成燃料を含めた様々なエネルギーを含むスマートEMSを構築

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> コージェネや排熱等のエネルギーの面的利用を推進する 	第6次エネルギー基本計画(2021), 資源エネルギー庁	
	<ul style="list-style-type: none"> 石油化学コンビナート内の熱融通等の企業間連携による脱炭素化 排熱利用型の地域熱供給、オフライン熱輸送の効率向上等 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省	
	省エネの投資促進に係る取組 <ul style="list-style-type: none"> 事業者間連携の強化、エネルギーの面的利用の推進 	クリーンエネルギー戦略 中間整理 (2022), 資源エネルギー庁	
技術開発目標	オンライン熱輸送	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー熱利用に関して、2030年までにトータルコスト30%以上低減 (投資回収年数8年以下) 	「再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発」基本計画(2019), NEDO
	オフライン熱輸送	<ul style="list-style-type: none"> 産業用途に耐えうる加圧蒸気の連続生成を実現。これにより既設ボイラにおける化石燃料の消費を削減 LCAによる環境影響評価、域内経済循環の分析 	廃棄物処理における未利用熱を近隣産業で回生する蓄熱輸送技術の出熱過程実証(2021), 環境省
	セクターカップリング	<ul style="list-style-type: none"> 熱を含むEMSでは、機器やセンサ等のハードウェアの連携も可能とするEMSプラットフォームを構築し、スマート熱グリッドの実現を目指す 	戦略的イノベーション創造プログラム第3期「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」社会実装に向けた戦略及び研究開発計画(2023), 内閣府

- 水素は燃焼に伴いCO2を排出しない燃料であり、化石燃料の代替技術、特に再エネ由来の電気やCCSを組み合わせることでCO2フリー燃料となる点で着目されている
- 水電解により水素製造を行うことで、再エネの余剰電力のエネルギー貯留が可能となる
- アンモニアは、水素の輸送キャリアであるのみでなく、直接燃焼が可能であることから燃料としての利用が期待される。なお、アンモニアは既に製造・運搬の技術が確立されており、実用面で水素よりメリットが大きい
- 水素、アンモニア共に燃料を想定すると現在よりも取扱量の増大、輸送の長距離化等が見込まれることから、製造、利用技術のみならず輸送・貯蔵に関する技術開発も必要となる
- 発電部門におけるゼロエミッション化を実現するため、水素、アンモニア等のCO2フリー燃料の混焼・専焼発電技術の開発が進められている（重要技術「低炭素化・脱炭素化を実現する発電技術」参照）
- なお、水素・アンモニアなどは当面、海外から調達することとなるため、これらを含む非化石エネルギーの使用も合理化することで、2050年カーボンニュートラルの実現だけでなく、エネルギーの安定供給の確保や経済性の向上にもつながる
- また、水素・燃料アンモニア以外の脱炭素燃料として、液体燃料としての合成燃料や気体燃料としての合成メタン等の社会実装に向けた技術開発も必要となる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
水素製造	水の電気分解、既存燃料やバイオマス、廃プラスチック等から水素を製造する技術	要素技術	アルカリ水電解、固体高分子型水電解、固体酸化物型水蒸気電解、NiMH改良、水蒸気改質、部分酸化、自己熱改質、膜型反応
水素輸送・貯蔵	気体水素の圧縮、液化、有機キャリア、無機キャリア、メタネーションや吸蔵合金などによる輸送、貯蔵	要素技術	圧縮・液化・冷却・気化、有機キャリア・吸蔵合金の製造、水素化、メタネーション、船舶・陸上輸送、パイプライン、貯蔵、脱水素
水素利用	燃焼技術、還元剤としての利用、燃料電池	要素技術	タービン、エンジン、バーナー、水素還元製鉄、燃料電池
アンモニア関連技術	水素キャリア、燃料としてのアンモニアの製造、輸送、貯蔵、利用	要素技術	低温低圧化での製造、直接電解合成、既存燃料用タンク・輸送船・パイプラインの転用技術、タービン、エンジン、バーナー、燃料電池
合成燃料・合成メタン製造	合成燃料、合成メタン製造に関する技術	要素技術	逆シフト反応+FT合成プロセス、共電解、Direct-FT等、メタネーション

技術開発の方向性・技術的課題

- 水素・アンモニア関連技術の共通課題として、設備・運用のコスト低減、水素やアンモニアの製造、キャリアの水素化・脱水素、利用時における反応効率の向上が挙げられる
- 水素輸送・貯蔵
 - ✓ 輸送効率の向上が必要
 - ✓ 既存インフラの転用が可能と考えられるが、実用化に向けては大型化のための技術開発や実証による課題の洗出しが必要
 - ✓ 脱水素工程には国内でのエネルギー投入が必要なことから効率向上が必要
- 水素利用、アンモニア関連技術
 - ✓ 既存燃料に対する混焼率の向上、専焼技術の開発が必要
- アンモニア関連技術
 - ✓ 燃焼に伴う窒素酸化物等の低減が必要
- 合成燃料・合成メタン製造
 - ✓ 合成燃料・合成メタンともに、実用化・低コスト化に向けた設備の大型化、高効率化が必要。また、合成燃料については革新的な新規技術・プロセス開発が必要

導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

技術	課題
共通	<ul style="list-style-type: none"> 水素、アンモニアともに安全性の観点での社会受容性向上 サプライチェーン構築と製造・運搬にかかるコスト低減 安定調達に向けたグローバルな供給網の構築 需要喚起
水素製造、アンモニア関連技術	<ul style="list-style-type: none"> 低炭素水素等の製造に用いる再エネ電力を安価で大量に調達する必要がある
制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> 水素、アンモニア共に燃料としての大量取扱いを想定した保安関連法規が整っておらず、過剰な保安対応を求められる可能性がある

国内	<ul style="list-style-type: none"> 2020年以前より戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「エネルギーキャリア」において水素、アンモニア、有機ハイドライド関連の技術開発が行われてきた他、燃料電池や水素発電等幅広い分野にて技術開発が行われている 2021年よりグリーンイノベーション基金事業において、水素の製造・輸送・貯蔵・利用、アンモニア製造、利用及び合成燃料・合成メタン等製造に関する技術開発が行われている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国では、グリーン水素の年間生産を2030年までに1,000万トン、2040年までに2,000万トン、2050年までに5,000万トンへ拡大する目標を掲げている。2020年にDOEがH2@Scaleにおいて研究開発や実証を支援している。また、グリーン水素の製造コスト削減を目的としたHydrogen Shotや水素ハブにおいて、実証等を支援している 欧州では、2030年までに最低でも100GW相当のグリーン水素の電解槽を設置し、年間1,000万トンのグリーン水素の域内生産を掲げている。Important Project of Common European Interest（IPCEI）にて、2022年にHy2TechとHy2Useの2つの公募を通じて、水素製造、燃料電池、貯留・流通、エンドユーザー技術、水素インフラ、水素の産業分野における利用技術に関するプロジェクトへの支援を実施している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
水素製造、水素輸送・貯蔵、水素利用	大規模水素サプライチェーンの構築プロジェクト	NEDO, 2021-2030	<ul style="list-style-type: none"> 複数の水素キャリア（液化水素、MCH）で、輸送設備の大型化等の技術開発・大規模水素輸送実証、水素発電における実機での水素の燃焼安定性に関する実証
	再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造プロジェクト		<ul style="list-style-type: none"> 余剰再エネ等を活用した国内水素製造基盤の確立、複数タイプの水電解装置の大型化技術等の開発、Power-to-X大規模実証、水電解装置の性能評価技術の確立
アンモニア関連技術	燃料アンモニアサプライチェーンの構築プロジェクト	NEDO, 2021-2030	<ul style="list-style-type: none"> アンモニア供給コストの低減、アンモニアの発電利用における高混焼化・専焼化に係る技術開発
合成燃料 合成メタン製造	CO2等を用いた燃料製造技術開発プロジェクト	NEDO, 2022-2030	<ul style="list-style-type: none"> 合成燃料の製造収率、利用技術向上に係る技術開発、合成メタン製造に係る革新的技術開発等

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 水素供給コストを2030年に30円/Nm3、2050年に20円/Nm3以下 アンモニア供給コストを2030年に10円台後半/Nm3 水素導入目標として、2030年に300万t/年（アンモニア含む）、2040年に1,200万t/年（アンモニア含む）、2050年に2,000万t/年程度利用 2030年までに国内外における日本関連企業（部素材メーカーを含む）の水電解装置の導入目標15GW程度 発電では、2030年に水素・アンモニア合わせて電源構成の1%程度を見込む 	<p>第6次エネルギー基本計画(2021), 閣議決定</p> <p>2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021), 資源エネルギー庁</p> <p>水素基本戦略(2023), 閣議決定</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> 合成メタンを2030年に既存インフラへ1%注入、2050までに90%注入。2050年までに合成メタン2,500万t供給、合成メタンの価格を現在のLNG価格（40-50円/Nm3）と同水準 合成燃料を2040年までに自立商用化、2050年にガソリン価格以下のコスト実現 	<p>第6次エネルギー基本計画(2021),閣議決定</p> <p>2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（2021）,経済産省</p>	
技術開発目標	水素製造	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までに水電解装置の設備コストをアルカリ型5.2万円/kW、PEM型6.5万円/kWを見通せる技術の確立 	「再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2023), 経済産業省
	水素輸送・貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> 水素供給コストを2030年に30円/Nm3、2050年に20円/Nm3以下とする海上輸送技術、基盤整備、革新的水素輸送技術の確立 	「大規模水素サプライチェーン」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2021), 経済産業省
	アンモニア関連技術	<ul style="list-style-type: none"> アンモニア供給コストを2030年に10円台後半/Nm3 石炭火力発電への50%以上の混焼 	「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画（2021）,経済産業省

- 我が国の化学工業のエネルギー消費量(2020年度)は、製造業全体の約21%を占め、その中でも石油化学が約79%を占める
- 石油化学のプロセスでは、蒸留(分留)、ナフサ熱分解の消費が多い。省エネ技術としては、選択的加熱、触媒、高効率蒸留、分離の技術、原料転換等があり、積極的に開発が進められている
- 低炭素化・脱炭素化に向けては、ナフサ分解炉の燃料転換(天然ガス、アンモニア、水素等)や原料転換、ケミカルリサイクル等の技術の開発も重要となる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
選択的加熱	ナフサ熱分解や高温吸熱反応にて、局所的に加熱することにより、従来技術に比べて省エネで対象を加熱する技術	要素技術	マイクロ波加熱、誘導加熱、赤外線加熱
		システム化技術	加熱制御システム
触媒	ナフサ熱分解や高温吸熱反応にて、高性能な触媒を用いた化学反応により、反応温度の低温化や効率的に接触分解、接触改質、水素化精製等を行う技術	要素技術	高性能触媒
		システム化技術	反応プロセスの構築
高効率蒸留	蒸留(分留)工程にて、ヒートポンプやMVRを用いて排熱を再利用することにより、蒸留プロセスの消費エネルギーを削減する技術	要素技術	ヒートポンプ、MVR、HIDiC
		システム化技術	デマンド制御技術
分離	膜を用いて特定の物質を分離する技術。高温吸熱反応にて、反応と分離を同時に行えるなど反応等を効率的に行う技術	要素技術	ガス分離膜、MF膜、UF膜、NF膜、RO膜、無機膜
		システム化技術	膜分離システム構築 反応プロセスの構築
原料転換・原料循環	化学品製造の原料を石油から、非化石原料に転換する技術。廃プラスチックを資源としてリサイクルさせる技術	要素技術	ナフサ分解炉の熱源の転換、ケミカルリサイクル等
		システム化技術	反応プロセスの構築

技術開発の方向性・技術的課題	個別技術	課題
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	選択的加熱	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーの反射・吸収・透過を考慮した大型リアクターの開発 加熱対象物質ごとの最適な周波数や位相の設定技術の高度化
	触媒	<ul style="list-style-type: none"> 高活性・高選択性を示す触媒の開発 触媒の耐久性の向上
	高効率蒸留	<ul style="list-style-type: none"> インシヤルコスト(設備費)の低減 ランニングコストの低減(更なる効率の向上)
	分離	<ul style="list-style-type: none"> 分離させるべき物質や使用環境等(耐熱性や耐溶剤性等)に応じた最適な分離膜の開発 膜分離の大規模化によるコスト削減 製造プロセスの全体最適化 効果的な分離を行える反応分離膜の開発 触媒や膜の配置に配慮した最適な反応器形状の開発 長寿命化するための、耐久性の高い触媒や膜の開発
	原料転換・原料循環	<ul style="list-style-type: none"> バイオマス原料から化学品原料を製造する技術の開発 廃プラスチックから、ケミカルリサイクルによりオレフィンを生産する技術の開発。また、廃プラスチックからプラスチック製品を生産するマテリアルリサイクル技術の開発
制度的課題	-	

国内	<ul style="list-style-type: none"> NEDOのプログラムにより、選択的加熱、触媒、膜分離、反応分離に関する開発が進められている。選択的加熱は、化学産業分野向けのマイクロ波加熱装置が開発されており、2014年に世界初のマイクロ波による化学品量産プラントが完成した。触媒は、製造プロセスの省エネ化を目指して開発が行われている。膜分離は、蒸留工程の代替プロセスとしての開発が行われている。反応分離は、高効率で省エネな水素製造技術に向けた膜反応器が開発されている。また、グリーンイノベーション基金事業では、ナフサ分解炉の熱源をアンモニア等に転換する技術開発が進められている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 欧州Horizon2020は、欧州のバイオエコノミーの実現と進展を目的としたプログラムや、C1～C4化合物又はCO2を利用した触媒分離膜反応によるプロジェクトを実施している 独国の化学メーカーBASF社では、電気加熱式蒸気クラッカーによる基礎化学品製造、水電解法・メタン熱分解法によるCO2フリーな水素製造の取り組みを進めている。2022年から実証プラントの建設を開始しており、2024年から実証を開始している 廃プラスチック・廃ゴムのケミカルリサイクルについては、LyondellBasell社やPyrum Innovations社等において熱分解プラント等の実証が開始されている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
選択的加熱	マイクロ波加熱を利用した革新的ナフサクラッキング技術の開発	NEDO, 2023-2024	燃料バーナー、反応管を用いた従来のナフサクラッキングをマイクロ波プロセスに転換する技術の開発
触媒	戦略的省エネルギー技術革新プログラム高付加価値オレフィン製造プロセスの開発	NEDO, 2015-2018	既存のオレフィン製造技術である熱分解法に代わる接触分解法を用いた新しい製造プロセスの構築
膜分離	有機溶剤回収の省エネルギー化を目指した耐溶剤性分離膜プロセスの開発	NEDO, 2018-2023	溶剤系で使用できる耐溶剤性NF膜の基本的な製膜技術、モジュール化技術、実用化に向けた開発
分離	膜反応器を用いたメタン直接分解によるCO2フリー水素製造技術	RITE, 2019-2020	膜反応器を用いた高効率で省エネな水素製造技術の開発
原料転換・原料循環	CO2等を用いたプラスチック原料製造技術開発プロジェクト	NEDO, 2022-2030	アンモニアや水素等を熱源としてナフサを熱分解する分解炉およびバーナーの開発

	目標	出典,発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 化学工業における2030年度までの目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 化学の省エネルギープロセス技術の導入（排出エネルギーの回収技術、設備・機器効率の改善、プロセス合理化等）：省エネ量144.1万kL ✓ 二酸化炭素原料化技術の導入：省エネ量6.4万kL（見通し1基） ✓ バイオ由来製品の導入促進：省エネ量38.7万kL 	地球温暖化対策計画(2021),閣議決定 2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021),資源エネルギー庁
	<ul style="list-style-type: none"> 石油化学系基礎製品製造業・ソーダ工業の非化石エネ転換の定量目標の目安（2030年度） <ul style="list-style-type: none"> ✓ 2013年度比の石炭使用量を30%以上削減（主燃料を石炭とするボイラーを有する事業者） ✓ 外部調達電気の非化石比率59%以上（その他の事業者） 	工場等における非化石エネルギーへの転換に関する事業者の判断の基準(2023),経済産業省
技術開発目標	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ設備の更新・導入等、既存設備や関連機器の有効活用、脱炭素化に向けた革新的技術の研究開発・実装 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ナフサ分解：プロセス合理化、設備・機器効率改善、エネルギー回収、運転方法改善 ✓ 最終製品：加工成型省エネ・高効率化、フロー法、軽量強化部材 ✓ 苛性ソーダ：電解槽省エネ・高効率化、高度制御、濃縮熱回収 ✓ 産業ガス：省エネ・高効率化、深冷分離、インバータ化 ✓ 用役(蒸気・電力)：省エネ蒸留、コージェネ、ヒートポンプ、高度制御 ✓ リサイクル：廃プラマテリアル/廃プラ・廃ゴムケミカルリサイクル ✓ 低炭素・脱炭素技術の高効率化：バイオマス活用、アンモニア・水素製造、水素・CO2からのメタノール生成、MTO・ETO、CO2回収、CO2からの化学品製造 	「トランジションファイナンス」に関する化学分野における技術ロードマップ(2021),経済産業省
	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までに、アンモニア(水素)等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し、エチレン、プロピレン等基礎化学品の収率や製造時の消費エネルギーを現行のナフサ分解炉と同程度にする技術を実現。数万トン/年スケール試験炉で現行と同程度の製造コストの実現を見通す 	「CO2等を用いたプラスチック原料製造技術開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2021),経済産業省

- 我が国の鉄鋼業のエネルギー消費量(2020年度)は、製造業全体のエネルギー消費の約26%を占めている
- 製鉄法は大別すると高炉法・電炉法に分かれ、我が国においては高炉法の割合が高い。CO2排出量が少ない電炉法への転換も進められているが、高級鋼の品質担保やグリーン電力調達が困難等の理由により、今後も一定量は高炉法により製鉄が行われると考えられる
- 高炉法の省エネ技術としては、高炉内で起こっている鉄鉱石還元反応の効率を改善するフェロコクス技術がある
- 製鉄工程のうち圧延プロセスにおける燃料を化石燃料から電気に代替することで省エネを図ることも検討されている
- CO2削減技術として、所内及び外部水素を活用した高炉による鉄鉱石の還元技術、直接還元炉を用いた水素還元技術の開発、また電炉における不純物除去・大型化に関する技術開発が進められており、日本鉄鋼連盟では、革新的技術等の開発に加え、製造プロセス、最終製品、技術移転・普及等により2050年の「ゼロカーボン・スチール」実現を目指すとしている

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
フェロコクス	フェロコクス(革新的塊成物)により、高炉内で起こっている鉄鉱石還元反応の効率を改善し、投入コクス量を削減する技術	要素技術	新規バインダー製造技術、均一混合技術、高炉装入、高炉内反応モデル、低品位原料活用
加熱の電化	圧延時の再加熱プロセスのCO2排出量を削減するための加熱の電化技術	要素技術	電気加熱(抵抗加熱、誘導加熱等)
水素還元製鉄技術	高炉水素還元技術、直接水素還元技術	要素技術	所内水素及び外部水素を活用した高炉水素還元技術、直接水素還元技術
電炉関連技術	電炉における不純物除去・大量生産に向けた大型化技術	要素技術	不純物除去技術、大型化
CO2分離回収・利用技術	製鉄所内の未利用排熱を活用したCO2分離回収技術、還元剤(合成メタン)への利活用技術等	要素技術	CO2分離回収技術、還元剤(合成メタン)への利活用技術、CO2循環型製鉄システム、CO2還元技術等
バイオマス活用	高炉におけるコクス代替としてのバイオマス(バイオコクス及び廃タイヤ等)活用技術	要素技術	バイオコクス活用等
水素・アンモニアによる燃焼技術	詳細は、「革新的熱利用製造技術」の資料を参照		

技術開発の方向性・技術的課題	課題	
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	個別技術	
	フェロコクス	<ul style="list-style-type: none"> フェロコクス生成のために必要な新規バインダー製造において生じる、大量のタールの有効利用
	加熱の電化	<ul style="list-style-type: none"> 圧延工程に利用するための1,000°C程度の高温加熱の技術の開発 設備規模が大きいと、投資コストが高い 既存の排熱・排ガスの再利用設備への影響を考慮した経済性や脱炭素評価等の検討
	水素還元製鉄技術	<ul style="list-style-type: none"> 水素バリューチェーンやCCUS技術などのプロジェクトと連携した社会インフラ整備 鉄鉱石輸入国等も含めたサプライチェーン全体、更にはコンビナート等における他産業とも連携してトータルコストの低廉化 製鉄コストが上昇した場合においても、グリーンスチールの環境価値が適切に評価され、社会全体でコストを負担していく仕組み構築
制度的課題	-	

- 従来の製鉄プロセスを抜本的に転換する革新的製鉄の技術開発には、長期の研究開発期間と膨大な研究開発費用を要する上、水素の価格、供給量等不確実な将来動向を見極めながら進める必要がある
- フェロコクス技術については、既に実証段階に到達しており、今後は300t/日の中規模設備を建設し、製造技術を確認するとともに、中規模設備で製造したフェロコクスを溶銑製造量10,000t/日の実高炉に装入した際の影響を確認し、省エネ技術の確立を目指している
- 圧延工程の電化については、1,000°C程度の高温帯に対応する実装のための技術開発が必要である
- 「ゼロカーボン・スチール」の実現に向けては、水素還元製鉄技術の確立が必要である

国内	<ul style="list-style-type: none"> 2008年より実施されている高炉による水素還元技術の開発を目的としたCOURSE50プロジェクトでは、CO2排出量の約3割を削減する技術を開発し、2030年までに実用化することを目指している。当プロジェクトでは、2013年度から試験高炉(12m³、実機の約1/400)での取り組みを開始し、還元工程のCO2排出量10%削減が達成可能であることを世界で初めて検証した。また、製鉄所内の未利用排熱を利用することで、CO2の分離・回収に必要な外部エネルギーを軽減する技術を確立している。さらに、グリーンイノベーション基金事業では、2021～2030年度にかけ、所内水素を活用した水素還元技術の実高炉(5000m³級)及び外部水素を活用した中規模試験高炉(500m³級以上)での検証試験、並びに直接水素還元技術の開発・実証を行う予定である フェロコークス技術については、国家プロジェクトとして2017～2022年の期間で300t/日の中規模設備での製造技術実証が行われた 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> フランスの鉄鋼大手であるArcelorMittal社は、直接水素還元の実証プラントを独・ハンブルク製鉄所に建設し、2025年末までに操業を開始する予定である スウェーデンの鉄鋼メーカーSSAB社は、鉄鋼石生産会社LKAB社、電力会社Vattenfall社とともに共同イニシアチブ「HYBRIT」を立ち上げ、直接水素還元技術の開発に取り組み、2026年には商業生産開始を目指している アルセロール・ミッタル社は、高炉法・直接還元法の2つのアプローチを追及しており、直接還元法については、2025年末までに実証プラントを操業開始予定である ドイツのティッセン・クルップ社は、高炉法から直接還元法への転換を追及しており、直接還元プラントと電気溶融炉を組み合わせ、2027年以降の100%水素直接還元を目指している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
フェロコークス	環境調和型プロセス技術の開発	NEDO, 2017-2022	<ul style="list-style-type: none"> フェロコークス技術を適用する、中規模設備(300t/日)を建設し、フェロコークス製造技術を確立 中規模な実高炉にフェロコークスを連続的に長期装入した際の、還元材比や操業安定性に及ぼす影響を確認し、製鉄プロセスの省エネ技術を確立
水素還元製鉄、電炉関連技術、CO2分離回収・利用技術、バイオマス活用	製鉄プロセスにおける水素活用プロジェクト	NEDO, 2022-2030	<ul style="list-style-type: none"> 大規模な高炉水素還元技術、高炉排ガスに含まれるCO2の還元剤等への利活用技術、直接水素還元炉の技術開発、電炉における不純物濃度を高炉法並みに制御する技術開発等

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 2030年度までの目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ フェロコークス技術導入見通し：5基(省エネ量19.4万kL) ✓ 環境調和型製鉄プロセス(COURSE50)導入見通し：1基(省エネ量5.4万kL) 	2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021), 資源エネルギー庁 地球温暖化対策計画(2021), 閣議決定	
	<ul style="list-style-type: none"> 非化石エネルギーへの転換の定量目標の目安(2030年度) <ul style="list-style-type: none"> ✓ (高炉) 水素、廃プラスチック、バイオマスの導入等の非化石エネルギー転換に向けた取組により、粗鋼トンあたり石炭使用量原単位を、2013年度比2.0%以上削減 ✓ (電炉) 使用電気全体に占める非化石電気の割合を59%以上(外部調達分と自家発電分を合わせた数字) 	工場等における非化石エネルギーへの転換に関する事業者の判断の基準(2023), 経済産業省	
技術開発目標	フェロコークス	<ul style="list-style-type: none"> 2023年頃までに、エネルギー消費量を10%削減する技術の確立を目指す 中規模設備での製造技術の実証後、2030年頃の実用化を目指す 	「環境調和型プロセス技術の開発」基本計画(2021), NEDO
	加熱の電化	<ul style="list-style-type: none"> 圧延工程における電気加熱を2020年代後半に導入 	「トランジションファイナンス」に関する鉄鋼分野における技術ロードマップ(2021), 経済産業省
	水素還元製鉄	<ul style="list-style-type: none"> CO2排出を50%以上削減する高炉水素還元技術、直接水素還元技術の確立(2030年までに中規模試験高炉、中規模直接還元炉で技術を実証等) 	「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2023), 経済産業省
	共通	<ul style="list-style-type: none"> 革新的技術の導入により、2030年度のエネルギー起源CO2排出量(総量)を2013年度比260万t-CO2削減 	カーボンニュートラル行動計画(2022), 日本鉄鋼連盟

- 自動車産業は、基幹産業として欧米や日本等の工業国の経済で重要な位置を占めている。関連産業の裾野が広く経済波及効果が大いのも特徴であり、エネルギー消費量(2020年度)は製造業全体の約3%を占める
- 製造工程は、加工(鋳造、鍛造、プレス)、洗浄・塗装、組立等多岐にわたるが、エネルギー消費の観点では、鋳造、切削加工、そして塗装工程の比率が大いのが特徴である

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
軽量材料活用	軽量素材活用や異素材の接合等のボディ製造に関する技術	要素技術	高強度鋼活用技術、非金属活用技術、樹脂材料活用技術
マテリアル接合		要素技術	高強度溶接技術、接着技術、機械的締結技術、Unified Steel Metallurgy Concept
高度製造		要素技術	高度プレス・鍛造技術、ロボット加工、3Dプリンタ、自動検査
		システム化	AI・IoT活用
高度塗装	車体保護や装飾のための塗装技術	要素技術	アクアテック塗装、一体・同時塗装、オーバースプレーフリー塗装、粉体塗装、電着塗装、インモールド塗装、静電気塗装、低温焼付塗装
フィルム工法等		要素技術	フィルム加飾、真空成形、インモールド成形
省エネ塗装		要素技術	ヒートポンプ活用
		システム化	熱マネジメント、高度制御
高度鋳造	鋳造や部材加工等のパワートレイン製造技術	要素技術	加熱方法最適化、工法最適化
		システム化技術	熱マネジメント、燃焼制御
高度機械加工		要素技術	セミドライ加工、超音波加工、放電加工、レーザー加工
		システム化	AI・IoT・デジタルツイン活用技術
省エネ熱処理	バッテリー製造技術	要素技術	ローラーハース型、回転式
電池材料製造		システム化	熱マネジメント、システム最適化
電池材料リサイクル		要素技術	精鉱・精錬・溶解・析出・焼成
		要素技術	燃焼・粉碎分離・溶解・結晶化・焼成
水素・アンモニアによる燃焼技術	詳細は、「革新的熱利用製造技術」の資料を参照		

技術開発の方向性・技術的課題

- 自動車産業は厳しい国際競争環境下にあり、熾烈に高性能化(軽量化・低燃費化、電動化、安全・自動運転等)を競い合っているが、これらを実現する技術はそれ自体が省エネとなることも多い
- 革新技術(合金・樹脂加工、異種材料接合、新規塗装・フィルム工法、3Dプリンタ等)と地道な省エネ技術(高効率熱処理・加工、システム化(自動・ロボット化、AI・IoT活用)・熱マネジメント等)の最適な組み合わせを追求することにより、最大限の省エネ効果を実現する

導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

個別技術	課題
軽量材料活用	軽量化・高強度化を中心とした新素材(特殊金属、セラミックス、樹脂等)の用途拡大
マテリアル接合	新素材活用のための新規接合・組立技術(溶接、接着、締結、材料高機能化等)
高度製造	ロボット化 3Dプリンタ活用 高度制御
高度塗装	新規塗装技術の用途拡大
フィルム工法等	フィルム工法の用途拡大
省エネ塗装	ヒートポンプ活用 熱マネジメントや高度制御
高度鋳造	鋳造・熱処理工程の高度化
高度機械加工	新規加工技術の用途拡大
省エネ熱処理	熱マネジメント、高度制御、AI・IoT化
電池材料製造	Ni・Co・Li等：電池製造向け最適化、低GHG排出量生産技術
電池材料リサイクル	廃材・廃電池等からの回収・処理・精錬等
制度的課題	-

国内	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー消費量の多い塗装・鋳造プロセスに対し、日本自動車工業会等の会員が「鋳造工場における赤外線ヒーター式金型加熱器の導入による省エネ・省力化」や、「エアレス塗装機の開発・導入」、「ボディ&バンパー 一体塗装・焼き付け技術開発・導入」等の省エネ技術の開発に取り組んでいる 電気自動車普及に向けた課題の1つは、内燃機関自動車に比べて大きい、製造時のエネルギー消費量の抑制である。NEDOは、その中でも特にエネルギー消費量が大きい蓄電池の製造技術開発のために、グリーンイノベーション基金事業「次世代蓄電池／次世代モーターの開発」プロジェクト等を実施している 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 独国の完成車メーカーMercedes-Benz社では、先進的な生産拠点を2020年に新設し、種々の自動車を同一のラインで生産可能な柔軟な組立システム等により、製造に要するエネルギー消費量を25%削減している。また、独国の完成車メーカーVolkswagen社では、2025年までに車両1台当たりの生産におけるCO2排出量を2015年比で50%削減するとの目標を設定し、効率的にパーツを組み込む独自のプラットフォームを開発している 米国の化学メーカー3M Company社の自動車の塗装代替フィルム事業では、完成車メーカーに対して、貼り付けプロセスに関するソリューションの提供や技術者教育等を実施している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
高度製造	次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業	NEDO, 2016-2019	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー消費量の多い金属材料の製造・加工を代替する3Dプリンタの開発
高度塗装	低炭素コーティング材料の開発	NEDO, 2018-2021	<ul style="list-style-type: none"> 塗装工程におけるエネルギー消費量を削減するための塗装材料の開発
高度機械加工	人と共に進化する次世代人工知能に関する技術開発事業	NEDO, 2020-2024	<ul style="list-style-type: none"> 仮想空間に現実の作業環境を再現することで、人とロボットが協調して作業を行える環境を整え、工場の生産性や安全性等を向上させるシステムの開発

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 自動車及び自動車部品を製造する事業所に事務所・研究所等も加え、2030年度に下記を目指す <ul style="list-style-type: none"> ✓ 排出されるCO2の2013年度比38% (284万t-CO2) 削減 	自動車製造業における地球温暖化対策の取り組み(2022), 日本自動車工業会、日本自動車車体工業会	
	<ul style="list-style-type: none"> 自動車製造業における非化石エネルギーへの転換の定量目標の目安 (2030年度) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 外部調達する電気及び自家発電による電気の使用に占める非化石電気の割合59%以上 	工場等における非化石エネルギーへの転換に関する事業者の判断の基準(2023), 経済産業省	
	<ul style="list-style-type: none"> 2050年自動車の生産を通じたCO2ゼロを目指す 	2050年カーボンニュートラルに向けた課題と取り組み(2021), 日本自動車工業会	
技術開発目標	共通	<ul style="list-style-type: none"> 革新的な技術度開発・導入 <ul style="list-style-type: none"> ・ 熱処理(アニーリング)廃止 ・ 鋳造工程ダウンサイジング ・ 塗装ブースコンパクト化 	日本自動車部品工業会における地球温暖化対策の取組(2022), 日本自動車部品工業会(産業構造審議会資料)
		<ul style="list-style-type: none"> BATによる削減 <ul style="list-style-type: none"> ・ モーター・ボイラー・コンプレッサーの高効率化 ・ コジエネ導入・断熱・廃熱利用 ・ エア・油圧機器から電動機器への転換 ・ 空調高効率化・照明LED化 ・ エネルギー管理強化 	
		<ul style="list-style-type: none"> 革新的技術の開発・導入 <ul style="list-style-type: none"> ・ Wet on Wet塗装 ・ アルミ鋳造のホットメタル化 ・ ヒートポンプの活用(未利用熱活用) 	カーボンニュートラル行動計画(2022), 日本経済団体連合会

- 半導体製造業は、製造業、サービス業、農業、医療等も含めた全ての産業、社会経済システムを支える基幹産業である。5G・ビッグデータ・AI・IoT・自動運転・ロボティクス・スマートシティ・DX等のデジタル社会を導くとともに、安全保障にも直結する死活的に重要な戦略技術とされている。エネルギー消費量(2020年度)は製造業全体の約2%を占める
- 製造工程は、電子回路をウエハ表面に形成する前工程とチップに切り取ってパッケージとして実装する後工程に大別される。前者では結晶成長、ウエハ加工、ドライ・ウェットプロセス、後者では熱処理プロセス等が省エネの主対象となる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
結晶・基板製造	ウエハを高スループット化、高歩留まり化する技術	要素技術	大口径化技術、ウエハ加工技術(スライシング、レーザー、ダイヤモンド加工)、ポリッシング(各種援用CMP、ドライポリッシング)、低欠陥エピタキシャル技術(Dynamic AGE-ing、Si蒸気圧エッチング、高速回転枚葉式エピタキシャル成長装置、HVPE法酸化ガリウム成膜)
微細化・積層化	ウエハの回路を微細化・高積層化する技術	要素技術	光学技術(液浸露光、EUV露光)、パターンング技術(SADP、SAQP、SAB技術)、立体構造技術(FinFET、GAA-FET、CFET)
省エネ加工	ウエハに回路を生成する、ウエハプロセスの技術	要素技術	リソグラフィ(ナノインプリント、マスクレス露光、スクリーン印刷)、ドライプロセス(常温常圧プラズマCVD、SiC膜高速製造、大気圧プラズマ技術)、ウェットプロセス(バッチ処理、枚葉処理)
	ウエハの接着等を行う、実装プロセスの技術	要素技術	3(2.5)次元実装(InFO、CoWoS、SoIC)、接合工法(ナノソルダー、レーザー硬化接着剤、低温ダメージレス無接着剤接合、水蒸気プラズマ接合)
省エネ設備・機器	クリーンルーム等の半導体の製造全般に係る設備・機器の技術	要素技術	クリーンルーム(ハイブリッド冷却、ヒートポンプ活用、断熱、静電気除去)、高効率真空ポンプ(高度制御ドライ真空ポンプ、高真空ゲッターポンプ)、高効率除害装置(プラズマ処理)、高効率チラー(ハイブリッド型)等
		システム化技術	クリーンルーム(気流解析、排気処理、各種モニター等の総合最適)

技術開発の方向性・技術的課題

- 半導体産業は先進国を中心とした厳しい競争環境下にあり、熾烈に高性能化(高速化、多機能化、小型化、低消費電力化等)を競い合っているが、これらを実現する技術はそれ自身が省エネとなることも多い
- 革新技術(大口径化、微細化、低欠陥化、新構造等)と地道な省エネ技術(プロセス効率化、設備・機器効率化)の最適な組み合わせを追求することにより、最大限の省エネ効果を実現する

導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

個別技術	課題
結晶・基盤製造	<ul style="list-style-type: none"> 大口径化による素子当たりの製造エネルギー削減 ウエハ加工技術、エピタキシャル技術による製造エネルギー削減
微細化・積層化	<ul style="list-style-type: none"> 微細化・高集積化による素子当たりの製造エネルギー削減
省エネ加工	<ul style="list-style-type: none"> 革新的リソグラフィ技術の開発 高効率ドライプロセス・ウェットプロセス技術の開発 高度実装・省エネ接合技術の開発
省エネ設備・機器	<ul style="list-style-type: none"> クリーンルームの高度制御によるエネルギーの効率化 高効率ユーティリティ機器(真空ポンプ、チラー、除外装置等)
制度的課題	-

国内	<ul style="list-style-type: none"> ダイヤモンドを用いたパワー半導体製造には、真空状態を作り、1,000度を超える熱処理を行うプロセスがある。NEDOは、真空状態を作らず200度程度の熱処理でこのプロセスを行うための新たな製造技術の開発を進めている 我が国の複数企業は、2025年の実用化を目指し、ウェハ上に塗布された樹脂に、型を押し付けて回路を形成するナノインプリントリソグラフィ技術の共同開発を進めている。この技術は、既存の技術に比べ消費電力を90%削減が見込まれている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国の大手半導体製造メーカーIntel社の新工場では、2,000以上の省エネプロジェクトが実施されており、2030年までに40億kWhの省エネを目指している 米国の半導体装置メーカーAMAT社では、ポンプやダクト等からデータを収集し、エネルギー利用等の効率化をするソフトウェアを開発している オランダの半導体装置メーカーASML社は、次世代光源EUV装置の省エネ化を進め、2025年までに10%の消費電力削減を目指している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
結晶・基板製造	次世代デジタルインフラの構築プロジェクト	NEDO, 2021-2030	2030年を目標に、大口径かつ低欠陥の高品質8インチSiCウェハを開発し、製造工程の効率化を目指す
省エネ加工、省エネ設備・機器	ナノソルダー実用化による製造プロセス省エネ化技術の開発	NEDO, 2018-2022	従来よりも低い温度で電子部品の接合が可能で、製造工程の省エネにも貢献するナノソルダーの開発
	多品種少量生産に適した半導体デバイス製造ファブの実現	NEDO, 2019-2022	クリーンルームが不要な小型半導体製造装置であるミニマルファブの開発
	減圧プラズマによる高効率除害装置の開発	JST, 2017-2020	半導体製造時に発生する可燃性のガスの無害化する省エネ型除害装置の開発

	目標	出典,発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 2030年パワー半導体の省エネ（50%以上達成） 2030年全ての新設データセンターを30%省エネ化 2030年Beyond 5G 実用化 (現在よりも大幅な省エネの実現(100分の1の消費電力)) 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省関係省庁
技術開発目標	<ul style="list-style-type: none"> 新世代パワー半導体の実用化可能であることを実証する 特定用途向け半導体製造装置が実用化可能なレベルであることを実証する 	省エネエレクトロニクスの製造基盤強化に向けた技術開発事業 基本計画(2021),NEDO
	共通	電機・電子業界のカーボンニュートラル行動計画フェーズII 目標(2022), 日本経済団体連合会
	<ul style="list-style-type: none"> 2030年度に17.7万kLの省エネを見込む（生産プロセス/品質改善） <ul style="list-style-type: none"> ✓ 回路線幅の微細化・ウェハ大口径化 ✓ 最新製造装置の導入/更新 ✓ 革新的印刷技術による省エネ型電子デバイス製造プロセス開発 等 2030年度に33.1万kLの省エネを見込む（管理強化・制御方法改善） <ul style="list-style-type: none"> ✓ ポンプのインバータ採用による流量制御 ✓ FEMS/BEMS導入 等 2030年度に14.7万kLの省エネを見込む（高効率機器の導入） <ul style="list-style-type: none"> ✓ LED高効率照明機器の導入/設備更新 ✓ ファンインバータ採用 等 	

- セメント産業は、道路や住宅等の建設に必要であり、建設業のサプライチェーンの上流で我が国のインフラを支える産業である。エネルギー消費量(2020年度)は製造業の約5%を占める
- セメントの製造工程は、大別して、原料加工工程・焼成工程・仕上工程から成り、特に焼成工程のエネルギー消費は約79%を占める。高効率な機器の導入等による努力が継続的に進められている
- 脱炭素化に向けては、焼成工程の燃料転換に加えてセメントの原料である石灰石の燃焼時に生じる脱炭酸反応により排出される大量のCO2への対処が重要となる。工場外に排出される排ガス等やセメント製造プロセス由来のCO2を分離・回収し、セメント原料等で利用する技術やメタネーションによる合成メタンとして燃料利用を行う技術の開発も重要となる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
原料加工	原料加工工程にて、原料の乾燥・粉碎・調合を行う技術	要素技術	重力式ブレンダー、ボールミル、ローラーミル(外部循環方式、堅型等)、乾式・湿式粉碎、予備粉碎、分級機、フライアッシュ活性化、オイルシール利用、低炭素型新材料
		システム化技術	機械搬送、可変速駆動システム(ASD)、高度制御システム
焼成工程	焼成工程にて、原料から中間製品のクリンカを焼成する技術	要素技術	プレヒーター・プレカルサイナーキルン(NSP等)、流動床キルン、クリンカクーラー(グレート、エアビーム等)、鉄鋼スラグ原料化、鉍化剤、酸素富化燃焼、耐火物・断熱材、シール、水素・アンモニアバーナー
		システム化技術	熱回収・コージェネレーション、可変速駆動システム(ASD)、高度制御システム
仕上工程	仕上工程にてクリンカに石こうを加え、粉碎しセメントに仕上げる技術	要素技術	予備粉碎(ローラープレス)、分級機(回転式等)、チューブミル、堅型ミル、仕上ミル第2室分級ライナー、スペクトル計測、放射温度計測
		システム化技術	クリンカー流量制御、可変速駆動システム(ASD)、高度制御システム
CO2分離回収・利用技術	工場外に排出される排ガス等やセメント製造プロセス由来のCO2を分離回収、炭酸塩としての固定やCO2を還元してメタンとしての燃料利用を行う技術	要素技術	CO2分離回収技術、CO2固定化コンクリート、メタネーションによる合成メタンの活用技術等

技術開発の方向性・技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> セメント産業は日本の他の産業と同様着実な努力を重ねており、そのような状況の中でも粉碎・焼成等を対象とした最先端の機器・プロセスはまだ着実な進化を見せている 革新的機器(キルン・粉碎機・分級機等)・プロセス(処理方式・原料・添加剤・燃焼法等)と地道な省エネ技術(プロセス効率化、設備・機器効率化)の両面から、最大限の省エネ効果を実現する また、脱炭素化に向けては、セメント製造プロセスにおいて化学吸収法で大量のCO2を回収することが必要なため、CO2の効率的な回収と多様な原料の再生利用や合成メタンの生成・利用に適応した革新的技術の開発が重要となる 	
	個別技術	課題
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	原料加工	<ul style="list-style-type: none"> 高効率機器の導入(実績の蓄積、低コスト化等) 更なる高効率機器・プロセスの開発(原料、混合、粉碎、分級等) 汎用省エネ技術の適用(駆動・搬送システム、高度制御等) 低炭素型新材料・CO2固定化コンクリートの実用化
	焼成工程	<ul style="list-style-type: none"> 高効率機器の導入(実績の蓄積、低コスト化等) 更なる高効率機器・プロセスの開発(キルン、クーラー、原料、添加剤等) 水素・アンモニアバーナーの実用化(「革新的熱利用製造技術」参照) 汎用省エネ技術の適用(燃焼、断熱、コージェネ、駆動システム、高度制御等)
	仕上工程	<ul style="list-style-type: none"> 高効率機器の導入(実績の蓄積、低コスト化等) 更なる高効率機器・プロセスの開発(粉碎、分級、高精度計測等) 汎用省エネ技術の適用(駆動・搬送システム、高度制御等)
制度的課題	-	

国内	<ul style="list-style-type: none"> NEDOのプロジェクトとして、2010年代に焼成工程における焼成温度の低下や焼成時間の短縮を目指した技術開発が行われた 我が国の複数の主要なセメント会社ではCO2排出削減に向け、CO2の分離・回収する技術を中心に開発を行っている。また、グリーンイノベーション基金事業において、セメント製造プロセスのCO2分離・回収、回収したCO2のセメント原料化等に焦点を当てた技術開発が行われている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国エネルギー省(DOE)は、セメント、化学、鉄鋼産業等の脱炭素化に向けて2022年に「産業部門の脱炭素化に向けたロードマップ」の発表と併せて、1億400万ドルの投資を発表している 欧州連合は、2021年よりセメント、化学、鉄鋼、石油産業等の脱炭素化に向けた革新的なプロジェクトに11億ユーロ以上を投資している コンクリート建材にCO2を注入するカーボンリサイクル技術を有するカナダのコンクリート会社と我が国の商社及びコンクリート会社は、2020年に契約を締結し、低炭素コンクリートの生産を国内にて開始している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
CO2分離回収・利用技術	CO2を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト	NEDO, 2021-2030	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート分野におけるCO2排出削減・固定量の増大とコスト低減の両立に向けた技術の開発、セメント分野における製造過程の効率的なCO2分離・回収技術の確立及び回収したCO2のセメント原料化に向けた技術の開発
	炭素循環型セメント製造プロセス技術開発	NEDO, 2020-2021	<ul style="list-style-type: none"> セメント工場及びその近隣地域において、セメント製造工程のCO2を再資源化し、セメント原料や土木資材として再利用する技術の開発
焼成工程	革新的セメント製造プロセス基盤技術開発	NEDO, 2010-2014	<ul style="list-style-type: none"> クリンカ焼成工程の焼成温度の低下、または焼成時間の短縮を主とする革新的なセメント製造プロセスの基盤技術の開発

	目標	出典,発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 従来型省エネ技術(排熱発電、スラグ用堅型ミル、石炭用堅型ミル、高効率クーラー)技術による、2030年度の目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 省エネ見込量：2.4万kL ✓ 排出削減見込量：6.4万t-CO2 低温焼成関連技術による2030年度の目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 省エネ見込量：15.1万kL ✓ 排出削減見込量：40.8万t-CO2 	地球温暖化対策計画(2021), 閣議決定
	<ul style="list-style-type: none"> セメント製造業における非化石エネ転換の定量目標の目安(2030年度) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 焼成工程(原料を高温で焼成し中間製品であるクリンカーを製造する工程)における燃料の非化石比率28%以上 	工場等における非化石エネルギーへの転換に関する事業者の判断の基準(2023), 経済産業省
	<ul style="list-style-type: none"> 2030年度に革新的セメント製造プロセスによって約15万kLの削減を見込む 	カーボンニュートラル行動計画(2022), 日本経済団体連合会
	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ・高効率技術(排熱発電、クリンカクーラーの高効率化、堅型石炭ミルの導入、高炉スラグミルの堅型化、NSPキルン、IoTや自動運転の導入)及び触媒剤の利用による燃焼温度の低下技術を導入することで、2030年にて2019年比エネルギー原単位約5.7%削減を見込む 	「トランジションファイナンス」に関するセメント分野における技術ロードマップ(2022), 経済産業省
技術開発目標	<ul style="list-style-type: none"> 短期的(～2030年)には、国内セメント工場で大量のCO2回収を実現する技術の確立を目標とする。そのため、既存製造工程を基に、石灰石からの排出CO2を100%近く回収するプラントの開発を行う 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省関係省庁
	CO2分離回収・利用技術	<ul style="list-style-type: none"> 「プレヒーター内で発生するCO2を80%以上回収」、「現在標準的に行われている化学吸収法(アミン法)より低コスト化」の水準を満たすCO2回収型セメント製造プロセスの確立 回収したCO2から炭酸塩を製造し、炭酸塩をセメント原料等に利用するため「廃棄物から10%以上の酸化カルシウムを抽出し、炭酸塩1トンあたり1トンに固定化するCO2固定量が400kg以上」、「回収したCO2から製造した炭酸塩の生成コストが、従来の石灰石の市価の5倍程度」の水準を満たす技術の確立

- ガラス製造業は、板ガラス・びんガラス・ガラス繊維等多岐にわたる製品を手掛け、建築・自動車を始めとする産業分野から幅広く民生部門まで支える基幹産業である。窯業・土木製品のエネルギー消費(2020年)は、製造業全体の約7%を占め、うちガラス製造業が約9%を占める
- ガラス製造プロセスは、調合工程、溶融工程、仕上工程に分けられるが、エネルギー消費の約7割が約1,500度の高温を要する溶融工程である。溶融工程における省エネ技術としては、気中溶解等が積極的に検討されている
- 脱炭素化に向けては、燃焼時にCO2を排出しない燃料アンモニア等の工業炉（ガラス溶融炉）での利用も有効な手段として期待されている

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
粉碎工程	粉碎工程において、原料となるガラスを粉碎する技術	要素技術	遠心ボールミル等
調合工程	調合工程において、様々な原料を混合・調合する技術	要素技術	湿潤処理最適化
		システム化技術	可変速駆動システム(VSD)
溶融工程	溶融工程において、ガラス等を溶解させる技術	要素技術	気中溶解(インフラメントメルティング、高速混合)、サブマージド燃焼炉、セグメント処理(低NOx、Flex melter等)、ガラスカレット高効率加熱、マイクロ波加熱、低NOxバーナー、水素・アンモニアバーナー
		システム化技術	熱マネジメント(予熱・断熱・熱回収等)、高度制御
仕上工程	仕上工程において、ガラスの熱処理やラミネート等を行う技術	要素技術	フォアハース、乾燥(ラジオ波等)、熱処理最適化(冷熱・アニール等)、ラミネート技術(ラジオ波等)
		システム化技術	コンプレッサー最適制御

技術開発の方向性・技術的課題	課題	
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	個別技術	
	粉碎工程	<ul style="list-style-type: none"> 粉碎機の最適化技術の開発による工程の高効率化
	調合工程	<ul style="list-style-type: none"> 湿潤処理等の最適化技術の開発による工程の高効率化
	溶融工程	<ul style="list-style-type: none"> 気中溶解技術において、ガラス融液内に発生する気泡や気泡内部ガスの排除対策、及びそのための技術開発 燃焼技術や熱マネジメント技術等の開発による溶融工程の高効率化 代替燃料(バイオ燃料や水素、燃料アンモニア)による燃焼技術開発、コスト低減及び代替燃料の供給制約、電気溶融技術の開発
	仕上工程	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥機や熱処理最適化、コンプレッサー最適制御技術の開発による仕上げ工程の高効率化
制度的課題	-	

国内	<ul style="list-style-type: none"> NEDOのプロジェクトとして、2008年からガラス溶融プロセスの革新技術開発によるエネルギー消費量の削減を目指して、瞬時に原料からガラス融液の製造を実現する気中溶解技術の開発をしている。また、2021年度からアンモニアを工業炉の燃料として活用する技術開発を実施し、アンモニア-酸素バーナーの開発を行うとともに、輻射伝熱の強化とNOx低減技術の技術検証のためにガラス溶融炉で実証実験を予定している 板硝子業界では、ガラス溶融工程に必要な熱エネルギーを化石燃料からアンモニアもしくは水素に転換することでCO2を低減する技術開発を2035年に完了し、2050年に導入完了を目指しており、国内のガラスメーカーにおいて、代替燃料(バイオ燃料や水素、アンモニア燃料)による燃焼技術開発・実証実験が進められている。また、電気溶融に関するプロジェクトも計画されている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 仏国の建築資材メーカー-Saint-Gobain社では、板ガラス製造時のCO2排出量削減を目的として、天然ガスの空気燃焼を熱源とする板ガラスの製造方式を電力50%、天然ガスの酸素燃焼50%に転換する技術の共同開発を我が国のガラスメーカーと実施し、2024年に実証実験を開始する予定である 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
溶融工程	革新的ガラス溶融プロセス技術開発	NEDO, 2008-2012	<ul style="list-style-type: none"> 気中溶解(インフライトメルティング)法を用いて、短時間でのガラス原料溶解を実現する技術、高速で高効率にカレットを加熱する技術、及び気中溶解により生成したガラス融液とカレット融液とを高速で攪拌し均質なガラス融液とする技術の開発
溶融工程	燃料アンモニア利用・生産技術開発	NEDO, 2021-2025	<ul style="list-style-type: none"> 工業炉(ガラス溶解炉)における燃料アンモニア燃焼技術開発等

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> ガラス溶融プロセス技術の開発及び実用化・導入に対する支援を通じて、2030年度に3.0万kLの省エネを目指す 	地球温暖化対策計画(2021), 閣議決定	
	<ul style="list-style-type: none"> 板硝子業界として、2030年度CO2排出量目標86.9万t-CO2(2013年度比25.8%削減)を目指す 	カーボンニュートラル行動計画2021年度実績報告(2022), 板硝子協会	
	<ul style="list-style-type: none"> 我が国では、2030年度に以下の実現を目標としている <ul style="list-style-type: none"> ✓ プラズマ等による高温を利用し、瞬時にガラス原料をガラス化することで効率的にガラスを気中で溶融し、省エネを図るガラス溶融プロセスの3.75%の導入と、3.0万kLの省エネ 	2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021), 資源エネルギー庁	
技術開発目標	溶融工程	<ul style="list-style-type: none"> 水素等の燃焼特性に合わせた大型ボイラー、コージェネレーション、ナフサ分解炉などの工業炉、セメントキルン、ガラス溶融炉、セラミックス焼成炉及び紙パルプ乾燥工程等の技術開発を行っていく 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省関係省庁
		<ul style="list-style-type: none"> 2035年までに水素やアンモニア等非化石エネルギーによる燃焼といった技術を開発し、ガラス溶融窯の定期修繕時に順次導入する 	カーボンニュートラル行動計画(2022), 日本経済団体連合会

- 多くの産業分野において、加工用工作機械が利用されている。加工技術には、切削や研削等の素材から不要なものを取り除く除去加工、プレスや鍛造・鋳造等の素材を変形する成形加工、溶接等の素材と素材を付ける付加工があり、加工技術の省エネ化を進めていくことで、産業分野全体の省エネが進む
- 新たな加工技術として、3Dプリンタによる積層造形や高出力なレーザー加工等が挙げられる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
切削加工	旋削加工、フライス加工、穴あけ加工等、刃物を用いて金属等を削ったり、穴を開けたりする技術	要素技術	切削工具(刃)、切削油剤、モーター、インバータ
		システム化技術	制御システム、切削条件、センサ、CAD・CAM
研削加工	高速で回転する研削砥石を用いて金属等を削る技術。超合金等の高硬度素材の加工や高精度な表面加工等で利用される	要素技術	研削砥石、研削加工液、モーター、インバータ
		システム化技術	制御システム、研削条件、センサ、CAD・CAM
プレス加工	せん断加工、曲げ加工、絞り加工等、圧力を加えることで加工対象を変形させる技術。自動車の駆体成型等に利用される。締結(カシメ)への応用も重要	要素技術	工具(金型)、プレス、モーター、インバータ、塑性変形接合
		システム化技術	制御システム、センサ
鍛造加工	加圧により、内部の空隙を減らし、強度や靱性を高めながら、金属を成形する技術。航空機の部品等で利用される	要素技術	工具(金型)、プレス、加熱炉、熱間・冷間鍛造用潤滑剤
		システム化技術	制御システム、センサ
鋳造加工	鋳型に溶けた金属を流し込み目的の形状に固める技術。自動車のエンジン等、複雑な形状を大量に製造する加工で利用される	要素技術	加熱装置、攪拌
		システム化技術	制御システム、センサ
溶接加工	2つ以上の部材に熱や圧力を加えて接合し一体化させる加工方法。金属構造物等で広く利用される	要素技術	融接(ガス・アーク・エネルギービーム)、圧接(抵抗)、ろう接
		システム化技術	制御システム、センサ
次世代の加工	3Dプリンタによる積層造形や高出力・高ビーム品質かつ高効率なレーザー加工等、新たな技術を活用した次世代の加工技術	要素技術	3Dプリンタ、レーザー加工
		システム化技術	生産プロセス管理システム(AI、IoT等の活用)

技術開発の方向性・技術的課題

- 加工用工作機械の省エネの方向性には、加工時の消費エネルギーの削減や、待機時の消費エネルギーの削減、他の加工技術へ置き換え等がある
- 加工時の消費エネルギーの削減としては、工作機械の可動部の軽量化、加熱の効率化、多軸加工条件の最適化等が挙げられる

	個別技術	課題
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	切削加工	<ul style="list-style-type: none"> 工作機械の高効率化(5軸加工、可動部の軽量化、モーターの省電力化、待機時の省電力化、AIの活用等) 材料、切削速度、多軸傾斜角度等の切削条件の最適化
	研削加工	<ul style="list-style-type: none"> 工作機械の高効率化(5軸加工、可動部の軽量化、モーターの省電力化、待機時の省電力化、AIの活用等) 材料、研削加工液等の研削条件の最適化
	プレス加工	<ul style="list-style-type: none"> サーボプレスの開発・導入(AI、IoTの活用等) 油圧システムの高効率化 荷重振動鋳造技術の開発、塑性変形接合への応用
	鍛造加工	<ul style="list-style-type: none"> サーボプレスの開発・導入(AI、IoTの活用等) 油圧システムの高効率化 材料選定・開発等による温間・冷間鍛造の利用拡大
	鋳造加工	<ul style="list-style-type: none"> アーク加熱、赤外線加熱、誘導加熱の導入 非接触攪拌技術の開発・導入 高速かつ高冷却能力を持つロールキャスターの開発・導入
	溶接加工	<ul style="list-style-type: none"> 各接合法(融接(ガス・アーク・エネルギービーム(電子・レーザー))・圧接(抵抗)・ろう接)等の高効率化・高精度化 自動化(センシング・システム化・ロボット化・AI・IoT活用)
	次世代の加工	<ul style="list-style-type: none"> 3Dプリンタにおいては、造形速度や精度の向上、粉末材料の品質・ビームの強さ・速度等の造形条件の最適化 レーザー加工においては、レーザー波長・輝度の改善による出力やビーム品質の向上等 複合材(CFRP等)を用いた複雑形状部品の成形技術の開発
制度的課題	-	

国内	<ul style="list-style-type: none"> NEDOのプロジェクトとして、切削加工や研削加工用の工作機械の省エネ技術の開発、及び3Dプリンタやレーザー加工技術の開発が推進されている。工作機械の省エネ化では、新素材(CFRP、CFRP複合材等)を使用した省エネ型工作機械の開発が行われている。3Dプリンタについては、金属3Dプリンタ装置の開発や大型鋳造用砂型3Dプリンタの開発が行われている。また、レーザー加工として、ファイバーレーザーや半導体レーザー、及びこれらの技術を応用した加工技術の開発が行われている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 3Dプリンタに関しては、欧州、米国が装置性能・シェアで世界をリードしており、利用者から装置メーカーへフィードバックが繰り返され、装置の改良と新たな製品の開発が進められている レーザー加工に関して、米国とともに世界をけん引する独国では、「Photonik Forschung Deutschland」(2002～2011年)にて、8億ユーロを光技術分野の研究開発に投じている。また、独国では2016年から2022年まで効率的な高出力レーザー光源(EffiLAS)に関する研究支援プログラムを実施している モーターに関して、欧州では、2021年6月に公募が開始されたHorizon 2020にて2千万ユーロをモーター等の開発に投じている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
切削加工、研削加工	新構造材料適用省エネ型工作機械の研究開発	NEDO, 2016-2018	<ul style="list-style-type: none"> 工作機械の主要構造にCFRPを採用し、軽量化を図った革新的省エネ型工作機械の開発
次世代の加工	次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業	NEDO, 2017-2018	<ul style="list-style-type: none"> 高付加価値な製品の製造に適した、金属用の3Dプリンタ技術の基盤・装置・材料の開発、及び鋳造用砂型3Dプリンタ技術の装置・材料の開発
	高輝度・高効率次世代レーザー技術開発	NEDO, 2016-2021	<ul style="list-style-type: none"> 高出力・高ビーム品質かつ高効率なレーザー技術の開発、及びそれらを活用した高付加価値製品の加工システムの導入拡大

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> トップランナー制度等によって産業用モーター・インバータの導入を促進し、2030年度に高効率モーターの累積導入台数2,756万台、インバータの累積導入台数3,811万台、282.6万kLの省エネを目指す 	地球温暖化対策計画(2021), 閣議決定	
技術開発目標	機械加工	<ul style="list-style-type: none"> 工作機械の省エネ化(高効率機・最適運転・工程集約(5軸・複合化)・油圧レス化等)・革新的技術(高効率モーター・インバータ制御・軽量高剛性材料・長寿命化・新加工法等)により、2030年度において13.8万t-CO2(原油換算5.2万kL)の削減を目指す 	工作機械業界のカーボンニュートラル行動計画フェーズII目標(2022)
	次世代の加工	<ul style="list-style-type: none"> 3Dプリンタにおいて省エネ型の製造プロセスの実現に必要な三次元積層造形技術や関連技術を確立 高輝度・高効率なレーザー装置(青～深紫外域の短波長レーザーや超短パルスレーザー、高パルスエネルギーレーザー等)、及びそれらを用いた実用的なレーザー加工技術を開発 	次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業基本計画(2016)、NEDO 高輝度・高効率次世代レーザー技術開発基本計画(2021), NEDO

- 我が国のエネルギー消費量のうち約40%が熱として利用されている。加熱手段としては燃焼加熱・電気加熱・蒸気加熱等が挙げられ、用途に適した効率的な活用が重要である
- 熱を利用した製造プロセスには、金属・セラミックス等処理する溶解・加熱加工や、化学品製造時の反応・分離・精製等がある。一般に、高温領域では燃焼加熱、中低温領域では蒸気加熱が広く使用されている
- 燃料等のエネルギーを直接利用する設備の省エネ技術として、高効率バーナーや酸素富化、断熱技術が挙げられる。カーボンニュートラルに向けては、電化や脱炭素燃料(水素・アンモニア等)の利用も前提として考える必要がある。選択的局所加熱に関しては、電気加熱(マイクロ波・赤外線等)が期待される。排熱を再利用する省エネ技術としてはヒートポンプ(HP)や熱電変換等による熱回収技術も挙げられる。ヒートポンプ(HP)は、空調機や冷却・冷凍機器などの冷熱製造にも利用されている

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
高効率バーナー	燃料に空気を適量混合し、燃焼させる技術。広範囲な温度帯をカバーできる。工業炉等で利用されている	要素技術	リジエネ・ラジアントチューブバーナー/ノズル・蓄熱・低NOx技術
水素・アンモニアによる燃焼技術	脱炭素燃料(水素・アンモニア等)を利用する技術	要素技術	水素・アンモニアバーナー
酸素富化	酸素を加え、空気中の酸素濃度を向上させる技術。燃焼効率を高めるために利用されている	要素技術	PSA、TSA、深冷分離法、酸素富化膜法
		システム化技術	熱マネジメント
断熱	詳細は、「熱エネルギーシステム技術の高度化」の資料を参照		
熱回収	「未利用熱の循環利用」(熱交換器、産業用HP、熱電力変換)、「熱エネルギーシステム技術の高度化」(熱マネジメント)参照	要素技術	HP、熱電変換、排熱発電
		システム化技術	熱マネジメント
高効率冷凍機	空調機や冷却・冷凍機器などとして適用	要素技術	オイルフリー圧縮機、超高速圧縮機、インジェクション圧縮機、マイクロチャネル熱交換器、超小型吸収冷凍機
分野・工程毎独自技術	溶解・熱処理・加熱加工・選択的局所加熱・高効率蒸留等 詳細は、「革新的加工技術」や業界別の「革新的化学品製造技術」、「革新的製鉄技術」、「革新的自動車製造技術」、「革新的半導体製造技術」、「革新的セメント製造技術」、「革新的ガラス製造技術」等の資料を参照		

技術開発の方向性・技術的課題

- 我が国のエネルギー消費量の約18%が工業炉で消費されており、高効率バーナーや断熱材による省エネ化が検討されている。工業炉等に利用される高効率バーナー技術として、加熱時の熱を有効活用することで省エネを実現するリジエネバーナーが注目されている。また、TSA (Temperature Swing Adsorption)等を利用した酸素富化燃焼によって省エネ化を図る技術の開発が進められている
- 水素バーナーでは、熱効率の低下回避(潜熱回収等)も重要である。アンモニア燃焼では、NOxの抑制技術、発電に必要な熱量を確保するための収熱技術が必要である。電気加熱は、単なる再エネ転換ではなく、選択的局所加熱や急速昇降温による効率化も期待される
- 工業炉等に利用される断熱素材として、耐熱性の高い素材や塗料の開発が進められている。未利用排熱を有効活用するための熱回収技術として、HPや熱電変換技術・排熱発電技術の開発が進められている
- 冷凍機は、磁気軸受技術や高速ビルトインモータの開発、吐出温度の低減、熱交換器の小型化と省冷媒、小型軽量化、新規構造の開発等が求められる
- その他、工場等判断基準WGにおける定性目標の目安に記載された事項に対応していくことも重要である

導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

個別技術	課題
高効率バーナー	リジエネ(レイティブ)バーナー・ラジアントチューブバーナーの低コスト化・低NOx化・高耐久化等と導入
水素・アンモニアによる燃焼技術	水素・アンモニア燃焼の混焼・専焼技術の確立 (NOx排出量抑制、燃焼安定性・制御精度、長期運転安定性等)、低コスト化、燃料サプライチェーンの構築・安価な燃料供給
酸素富化	酸素吸着材の高性能化(TSA) 酸素富化用バーナーの高効率化
断熱	「熱エネルギーシステム技術の高度化」参照
熱回収	「未利用熱の循環利用」(熱交換器、産業用HP、熱電力変換)、「熱エネルギーシステム技術の高度化」(熱マネジメント)参照
分野・工程毎独自技術の効率化	【金属・セラミックス系】
	<ul style="list-style-type: none"> • 溶解・溶融(精錬・精製) • 熱処理(焼入・焼鈍・焼結・焼成) • 加熱加工(塑性加工(圧延・鍛造)・ casting) • 表面処理(コーティング・塗装・焼付)・乾燥
	【化学系】
	<ul style="list-style-type: none"> • 反応(合成・分解・精製・加硫) • 分離・精製(蒸留・蒸発・抽出・濃縮) • 乾燥・殺菌
制度的課題	-

国内	<ul style="list-style-type: none"> 持続的成長とエネルギー・環境問題の同時解決を目的として1993～2000年に行われた「ニューサンシャイン計画」の一環とし、未利用熱エネルギーの有効活用に関する技術開発を行う「広域エネルギー利用ネットワークシステムプロジェクト」が実施された 現在はNEDO等において提案公募型の事業等を通じて研究開発支援が実施されている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国国防高等研究計画局(DARPA)、NASA JPLでは、排熱利用の技術の1つである熱電変換材料の開発を実施している 欧州委員会 Horizon 2020では、2014～2020年のプログラムにおいて、排熱利用等の熱マネジメント技術関連の公募が行われる等、蓄熱や熱電変換等の未利用熱の活用に関する研究開発が実施されている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
高効率バーナー	未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発	NEDO, 2015-2022	<ul style="list-style-type: none"> バーナーの燃焼効率を向上させるためのリジエバーナー用の蓄熱体の開発
水素・アンモニアによる燃焼技術	製造分野における熱プロセスの脱炭素化プロジェクト	NEDO, 2023-2031	<ul style="list-style-type: none"> CN対応型の工業炉に必要な燃焼技術・水素燃焼工業炉の技術確立
	燃料アンモニアサブライゼーションの構築プロジェクト	NEDO, 2021-2030	<ul style="list-style-type: none"> 燃料アンモニアの発電利用時に高混焼・専焼化を可能にするバーナー等の開発
酸素富化	革新的酸素富化TSAによる低環境負荷燃焼技術	NEDO, 2020-2021	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼装置の排熱を主駆動源として、オンサイトで適切な酸素濃度と量の酸素富化空気を製造できるハニカムロータリー式の酸素富化TSAの開発
断熱	未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発	NEDO, 2015-2022	<ul style="list-style-type: none"> ファイバー系断熱材料の熱伝導率と耐火断熱れんがの強度を備えた素材の開発
熱回収			<ul style="list-style-type: none"> 高効率熱電モジュールの開発 中規模工場向けの小型排熱発電関連技術及び装置の開発
産業用ヒートポンプ (HP)、高効率冷凍機			<ul style="list-style-type: none"> 最高200°C加熱を実現する産業用高効率高温ヒートポンプの開発（熱利用設備の近傍設置について言及 低温排熱の下限レベルである60°C排熱で駆動できる高効率冷凍機の開発

	目標	出典,発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 我が国の2030年度の導入・省エネ量目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 低炭素工業炉(誘導加熱型、金属溶解型、断熱強化型、廃熱回収型、原材料予熱型等)：19.1千基、374万kL削減 ✓ 産業用HPの累積導入設備容量:1,673千kW、 ✓ 産業用HPの省エネ量:87.9万kL 熱利用の高効率化・脱炭素化 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 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HPの導入加速 	地球温暖化対策計画(2021),閣議決定 2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021),資源エネルギー庁 クリーンエネルギー戦略 中間整理(2022),資源エネルギー庁
	技術開発目標	<ul style="list-style-type: none"> 2031年度までに、天然ガス等の既存燃料とアンモニアとの50%混焼工業炉、水素との50%混焼工業炉を確立 2031年度までにアンモニア100%専焼技術、水素100%専焼技術についてTRL6以上を実現 石炭火力発電の実機における50%以上のアンモニア混焼技術の確立
	断熱 (特性) <ul style="list-style-type: none"> 熱伝導率0.20W/m・K、1,500°C以上使用、ファイバーレス断熱材、圧縮強度15MPa以上 	「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」基本計画(2015), NEDO
	蓄熱 (特性) <ul style="list-style-type: none"> 蓄熱密度0.55MJ/L以上、熱伝導率2W/m・K以上の複合蓄熱体 120°C以下で蓄熱密度1MJ/kgを有する固液相変化等を利用した蓄熱材 -20°C～25°C環境下で24h以上の保持期間を実現する蓄熱材 	
	熱電変換材料・デバイス <ul style="list-style-type: none"> 200～600°Cで使用可能、かつ発電効率15%以上のモジュールの開発 出力200Wの発電ユニットの開発 未利用熱を有効活用できるシステムの確立による更なる省エネ化 	
	産業部門における温度帯別熱需要を踏まえた今後の対応 <ul style="list-style-type: none"> 200°C以下(蒸気):ヒートポンプ普及支援・技術開発(足下～) 100～1500°C：電源の脱炭素化+電化(2030年以降)、水素・アンモニア・合成メタン・バイオマス燃料等非化石燃料の活用(足下～2030年以降) 2000°C付近：技術革新(水素還元製鉄等)(2030年以降) 	クリーンエネルギー戦略 中間整理(2022),資源エネルギー庁

- 我が国のエネルギー消費（2020年度）は、家庭部門が14.5%、業務部門が19.8%を占めている
- 建物・住宅の省エネ・脱炭素化に向けては、ZEB・ZEH・LCCM（ライフ・サイクル・カーボン・マイナス）住宅の実現・普及が重要となる
- ZEB・ZEH・LCCM住宅を実現し、更なる省エネルギー化を進めるためには、ファサード、空調、給湯、照明技術などの効率向上とシステムとしての効率向上が求められる。また、ZEB・ZEH・LCCM住宅の各構成要素を統合的にマネジメントするEMSやQOL向上の観点での制御技術やその設計、評価に係る技術も重要となる
- 上記に掲げる機器単位やシステムとしての効率向上等に係る技術開発の取組に加えて、ZEB・ZEH・LCCM住宅の普及拡大に向けた取組も重要となる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
ファサード	外皮性能の向上、空調負荷低減、自然エネルギー利用、外皮性能の可変性、省エネ改修、これらの設計・施工・評価、制御・運用最適化	要素技術	外皮、自然エネルギー利用、外皮性能可変性、省エネ改修、設計・施工・評価技術
		システム化技術	制御・運用最適化
空調	冷暖房の高効率化、高断熱住宅に対応した低容量化・換気用全熱交換器、熱源機、熱媒輸送、外気処理技術、改修、未利用熱利用、制御・運用、設計	要素技術	熱源機、熱媒輸送、外気処理・空調ユニット、ライフサイクル改修、未利用熱利用
		システム化技術	遠隔制御・運用最適化、DR対応、外皮連携制御
給湯	給湯の高効率化、熱源機改修、改修、未利用熱利用、制御・運用、設計	要素技術	熱源機、ライフサイクル改修技術、太陽熱活用
		システム化技術	遠隔制御・運用最適化、DR対応、外皮連携制御
照明	照明器具、照明活用システムの効率向上	要素技術	照明器具、システム効率向上技術
		システム化技術	遠隔制御・運用最適化、昼光連携制御
設計・評価・運用技術、エネルギーマネジメント技術（xEMS）	ZEB・ZEH・LCCM住宅の設計時・仕様変更時等の評価、EMS	要素技術	BIM/シミュレーション/VR、省エネ効果等評価ツール
		システム化技術	EMS、統合制御・設計、データ取得・蓄積・解析、発電・DR予測、ナッジ、直流化
快適性・生産性等と省エネを両立する機器・システム	QOLの向上や評価技術、環境・人的データの取得・分析	要素技術	室内環境センシング、機械学習、ニューラルネットワーク、ディープラーニング、施設内モビリティ制御
		システム化技術	空調・照明・気流制御、パーソナル環境制御、ユーザ推定・評価・制御

技術開発の方向性・技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> ZEB・ZEH・LCCM住宅については更なる効率向上、低コスト化が求められている。特に、ハードウェア・ソフトウェアの効率向上に加えて、利用者の快適性・生産性等を維持・向上させつつZEB・ZEHを達成する技術が重要となる。各技術における技術開発の方向性・技術的課題は以下の通り ファサード <ul style="list-style-type: none"> 2050年にも一定程度残存する既築住宅・建築物の改修技術の開発 省エネルギー性能と防災等他機能の同時実現 給湯・空調 <ul style="list-style-type: none"> ヒートポンプ（HP）の寒冷地や冷媒規制に対応した技術開発 DR機器としての系統安定化に寄与するシステム技術開発 未利用熱活用 給湯 <ul style="list-style-type: none"> 既築物件の設置スペース、配管制約に対応するための貯湯層の小型化 空調 <ul style="list-style-type: none"> 外皮との連携、高断熱化に対応した低容量化や全熱交換器の開発 放射暖房の熱源のヒートポンプへの転換 低温度差での除湿技術の開発 設計・評価・運用技術、エネルギーマネジメント技術（xEMS） <ul style="list-style-type: none"> 見える化にとどまらない最適化技術、より広範囲での制御技術の開発 効果的なナッジ手法の確立 快適性・生産性等と省エネを両立する機器・システム <ul style="list-style-type: none"> 職場内の多様性に配慮した個人の感覚差や時間変化に柔軟に対応する機器・システムの開発 	
	個別技術	課題
導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	共通	<ul style="list-style-type: none"> 賃貸物件や中古物件の増改築・改修に対するZEB/ZEH導入インセンティブ 賃貸物件等の投資者と受益者が異なる場合の投資者に対するインセンティブ
	ファサード	<ul style="list-style-type: none"> 仕様が共通化されておらず、改修時の施工性が低い
制度的課題	xEMS、快適性・生産性等を省エネを両立する機器・システム	<ul style="list-style-type: none"> 情報処理人材不足、サイバーセキュリティリスク、機器・システム導入による電力消費の増大、ネットワーク負荷の増大、データ品質の確保、トラブル時の責任所在の不明瞭さ
	EMS等にて取得した生活者データのプライバシー管理	<ul style="list-style-type: none"> 快適性等と省エネを両立するシステム普及に向けたデータやプロトコルの標準化や評価方法の確立

国内	<ul style="list-style-type: none"> ZEB・ZEH等に係る技術については実証段階となっており、政府の補助金制度を通じた実証事業支援が中心となっている なお、国家プロジェクトとして、再生可能エネルギー熱を利用した給湯・空調システム、グリーン冷媒をはじめとする次世代冷媒・次世代冷媒を適用した冷凍空調機器に関する技術開発が行われている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 欧州では、Horizon Europeにおいて、建築物のライフサイクル全体での省エネ・CO2削減、断熱材（シリカエアロゲル）やスマートウィンドウ、地熱エネルギー利用等の普及支援やヒートポンプ、有機ELに関する技術開発が行われている 米国では、DOEのBuilding Technologies Officeにおいて継続的に給湯、設計及びセンシング・制御、系統連系に関する技術開発が行われている。また、DOEのARPA-Eにおいて、ヒートポンプ、ローカル熱マネジメント、センサに関する技術開発が行われている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
空調、給湯	再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発	NEDO, 2019-2023	<ul style="list-style-type: none"> ZEB等への適用も視野において、地中熱、太陽熱等の再生可能エネルギー熱（再エネ熱）利用の普及拡大に向けて、再エネ熱システムのトータルコスト低減に資する研究開発
空調	次世代低GWP冷媒の実用化に向けた高効率冷凍空調技術の開発	NEDO, 2023-2027	<ul style="list-style-type: none"> 家庭用空調機器等に適した低GWP混合冷媒の開発及び評価、低GWP冷媒の対応機器（家庭用/業務用エアコン、冷蔵・冷凍ショーケース等）の開発
給湯	DOE Building Technologies Office Project (Gas-Fired Binary-Fluid Sorption-Assisted Ejector Heat Pump)	DOE, 2020~2023	<ul style="list-style-type: none"> エジェクタを用いた給湯用ヒートポンプの開発により、市販給湯機の倍の効率を目指し、天然ガス消費量、燃料費の削減に資する研究開発

	目標	出典,発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> ファサード <ul style="list-style-type: none"> ✓ 2030年度：新築住宅はZEH水準100%、省エネ基準適合割合をストック30%。中大規模の新築建築物のZEB水準100%、省エネ基準適合割合をストック57% ✓ 2050年：家庭業務のストック平均でZEH・ZEB水準の性能を確保 給湯 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 2030年度：家庭用HP給湯機1,590万台、家庭用潜熱回収型給湯機3,050万台、家庭用燃料電池300万台、業務用HP給湯機14万台、業務用潜熱回収型給湯機110万台 空調 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 2030年度：適切な冷媒管理技術の普及率100% 照明 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 2030年度：家庭、業務に高効率照明をほぼ100%導入。累積導入台数は家庭で4.6億台、業務その他で3.2億台 EMS <ul style="list-style-type: none"> ✓ 2030年度：BEMSを47%、HEMS・スマートホームデバイスを85%導入、省エネ情報提供を80%実施 	<p>2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021), 資源エネルギー庁</p> <p>地球温暖化対策計画(2021), 閣議決定</p>
技術開発目標	<p>ファサード、空調、給湯、照明</p> <ul style="list-style-type: none"> トップランナー基準を設定（サッシ、複層ガラス、グラスウール、ポリスチレンフォーム、ヒートポンプ給湯機、ガス温水機器、石油温水機器、温水機器全体、家庭用エアコンディショナー、照明器具、電球） 	<p>省エネ法トップランナー制度, 資源エネルギー庁</p>

- 我が国のデータセンターの消費電力量（2018年）は約140億kWhとの推計もあり、我が国全体の消費電力量の約1.4%を占めており、今後も増加が見込まれている。我が国のデータセンター・半導体工場の新増設に伴う需要電力量は、OCCTO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
- 省エネ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、ネットワーク機器等）の開発が求められている
- 省エネルギー技術としては、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）、施設運用の最適化技術の開発が挙げられる。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が挙げられる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
ICT機器	データセンターを構成するサーバーやストレージ、ネットワーク機器等、データセンター以外の民生用機器向け技術	要素技術	高並列プロセッサ、低電力デバイス（ノーマリーオフ）、次世代プロセッサ（ニューロモフィック、量子コンピューティング）、光ネットワーク（シリコンフォトニクス）
付帯設備・施設運用	電力供給等付帯設備の高効率化技術 高効率な空調、冷却技術、冷却を高効率に行うための施設設計、データセンター内の機器や外部負荷の予測による運用の高効率化技術	要素技術	高効率電源(直流電源)、高効率空調、冷却技術（相変化、液浸、熱輸送、外気冷房）
		システム化技術	冷却効率を向上させる施設設計、DCIM、AIによる運用最適化（ICT機器、空調）、負荷予測・制御、コンテナ型DC設計・運用
社会全体でのデータセンターの最適運用	複数のデータセンター等を統合した負荷の管理等による社会全体での運用の高効率化技術	システム化技術	冗長性確保、データセンター-エッジ連携マネジメント技術、ソフトウェア定義技術

技術開発の方向性・技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ型データセンターやICT機器においては、機器・設備の高効率化・低価格化、また、処理の高速化・高効率化に向けた従来技術の延長のみでない、抜本的に性能向上できる次世代処理技術の開発が求められている <ul style="list-style-type: none"> ✓ 光配線技術の開発 ✓ ディスアグリゲーション技術の開発 その他、各技術における技術開発の方向性・技術的課題は以下の通り 付帯設備・設備運用 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ICT機器の液浸冷却専用の冷媒の開発 ✓ 日本固有の気象条件に合わせた外気冷房、外気の清浄化技術の開発 社会全体でのデータセンターの最適運用 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 新規技術の開発や開発した技術による省エネ効果の評価 				
	導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	<table border="1"> <thead> <tr> <th>技術</th> <th>課題</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>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</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> データセンター施設は建築物であるため寿命が長く、建設後に開発された新たな省エネ技術の導入が難しい ICT技術に長けた事業者が運営することが多く、建築物や空調運用の省エネ技術に必ずしも明るくないことがある 事業者単位では年間のデータセンター建設数は限られており、空調や冷却設備の知見を蓄積する機会が限られる </td> </tr> </tbody> </table>	技術	課題	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
技術	課題				
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	<ul style="list-style-type: none"> データセンター施設は建築物であるため寿命が長く、建設後に開発された新たな省エネ技術の導入が難しい ICT技術に長けた事業者が運営することが多く、建築物や空調運用の省エネ技術に必ずしも明るくないことがある 事業者単位では年間のデータセンター建設数は限られており、空調や冷却設備の知見を蓄積する機会が限られる 				
制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> ICT機器は、減価償却期間と比べてエネルギー消費効率の向上サイクルが早く、会計制度に合わせた更新を行うと省エネ機器の導入が遅れる 				

国内	<ul style="list-style-type: none"> CPU等の既存技術の高効率化は民間企業により進められている一方で、環境省やNEDOにより、施設運用や次世代技術を中心とした技術開発が行われてきた。現在は、グリーンイノベーション基金事業の次世代デジタルインフラの構築プロジェクトにおいて、次世代グリーンパワー半導体や次世代グリーンデータセンターの技術開発、IoTセンシングプラットフォームの構築が実施されている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国では、エネルギー省（DOE）のARPA-EのCOOLERCHIPSプログラムにおいて、PUE=1.05を実現するため、「次世代高電力密度サーバー向け高効率冷却技術」、「場所を選ばず設置／運用できる高電力密度のモジュール型データセンター」、「消費エネルギー、CO2フットプリント、信頼性、コストの最適設計ソフトウェア」、「開発技術の効率的な評価と実証」を実施している EUでは、HORIZON EUROPEのWaste heat reutilisation from data centresプログラムにおいて、データセンターの排熱利用技術の開発を実施している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
ICT機器、付帯設備・施設運用	次世代デジタルインフラの構築プロジェクト	NEDO, 2021-2030	<ul style="list-style-type: none"> 光エレクトロニクス技術、光に適合したチップ等の高性能化・省エネ化技術、ディスプレイアグリゲーション技術の開発
ICT機器 社会全体での運用	高効率・高速処理を可能とするAIチップ・次世代コンピューティングの技術開発事業	NEDO, 2018-2027	<ul style="list-style-type: none"> 革新的AIエッジコンピューティング技術、次世代コンピューティング技術、高度なIoT社会を実現する横断的技術、AIエッジコンピューティングの産業応用加速のための技術の開発
付帯設備・施設運用	COOLERCHIPS funding program	DOE ARPA-E, 2022-※	<ul style="list-style-type: none"> 次世代高エネルギー密度サーバ向け高効率冷却設備、高効率での運用が可能な高エネルギー密度のモジュール式データセンター、データセンターのエネルギー消費、CO2フットプリント、信頼性、コストを最適化・設計のためのソフトウェアおよびモデル、プログラム下で開発した技術の評価・デモンストレーションのための設備、及びベストプラクティスの開発

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までにすべての新設データセンターのエネルギー消費を30%以上の省エネ化 エッジコンピューティングによりクラウドへの送信やクラウドでの処理データ量を最小限化して情報通信インフラの30%以上の省エネ化 2040年までにデータセンターのカーボンニュートラル化 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省 関係省庁	
技術開発目標	共通	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までに、研究開発開始時点（2021年）で普及しているデータセンターと比較して40%以上の省エネ化を実現 	「次世代デジタルインフラの構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2023), 経済産業省
	ICT機器、付帯設備・施設運用	<ul style="list-style-type: none"> トップランナー基準を設定（電子計算機、磁気ディスク装置、ルーティング機器、スイッチング機器） 	トップランナー制度, 資源エネルギー庁

※未詳。現行プロジェクトの期間はファンド上限の金額が消費されるまで

- 我が国の運輸部門のエネルギー消費量の9割以上は化石燃料由来であり、2030年時点でも一定割合の内燃機関を搭載する自動車が存在する。GHG排出量削減に向けて、内燃機関の熱効率向上や軽量化によるエネルギー消費量の削減が有効である
- 内燃機関を搭載するハイブリッド車とプラグインハイブリッド車については、内燃機関の熱効率向上や軽量化による燃費向上に資する技術がある
- 内燃機関を搭載する自動車(乗用車・重量車)については、排出ガスに含まれる窒素酸化物(NOx)などを一層低減する技術の開発も挙げられる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
内燃機関の高効率化技術	内燃機関の熱効率と動力の伝達効率向上に資する技術	要素技術	燃焼技術、摩擦抵抗低減・信頼性向上、排気処理
		システム化技術	車両シミュレーション技術
走行抵抗低減技術	自動車の空気抵抗、転がり抵抗、摩擦抵抗等の低減に資する技術、車体の軽量化によるエネルギー消費量の低減に資する技術	要素技術	ドライブトレインの改良、空気抵抗低減、転がり抵抗低減、摩擦抵抗低減、構造材料の軽量化 (材料開発：高張力鋼、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、CFRP)、回生エネルギー
		システム化技術	マルチマテリアル技術、LCA、リサイクル
熱マネジメントの高効率化技術	自動車の内燃機関の熱効率向上、車両の熱負荷低減、バッテリー、ヒートポンプ(HP)暖房の効率向上に資する技術	要素技術	内燃機関の熱マネジメント、車両熱負荷低減、バッテリーヒートマネジメント、HP暖房

技術開発の方向性・技術的課題

- 運輸部門のエネルギー消費量の9割以上は化石燃料由来であり、2030年時点でも一定割合のICV、HEV、PHEVが存在する。GHG排出量削減に向けて運輸部門の大部分を占める自動車の抜本的な化石燃料使用量削減が求められる
- トップランナー制度による燃費規制もあり、ICV、HEV、PHEVも更なる燃費向上に向け、車体の軽量化、エンジン熱損失の低減、ドライブトレインの効率向上、空気抵抗やタイヤの転がり抵抗低減、排熱利用等全方位の改善が必要となる
- 軽量化材料として高張力鋼、アルミニウム材、マグネシウム材、CFRPなどが挙げられており、これらの材料が既存の材料に求められる機能を代替できるような技術開発が必要になる。また、マルチマテリアル化が進むため新たな接合技術と同時にリサイクル性を確保する高解体性車体構造が望まれる。更に、資源投入からリサイクルまで評価できるLCA評価基準の確立が求められる
- 内燃機関における水素・合成燃料等のカーボンニュートラル燃料の利用促進に関し、内燃機関の合成燃料使用への適用等に関する研究開発が行われている

導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

個別技術	課題
内燃機関の高効率化技術、走行抵抗低減技術	<ul style="list-style-type: none"> 燃料分子構造と燃焼特性のメカニズム解明、燃焼制御、壁面熱伝達と燃焼・壁相互作用の機構解明 機械摩擦低減に寄与する表面技術の創出 オイル消費及び微粒子生成機構の解明
走行抵抗低減技術	<ul style="list-style-type: none"> 異種材料を定材適所に配置したトポロジー最適化手法の開発 異種材料接合技術の継手性能の向上、生産性の向上、コスト低減

制度的課題

- 燃費向上に資する省エネ規制・GHG排出目標の強化
- 車両単体のライフサイクルでCO2排出量を評価する手法の確立

国内	<ul style="list-style-type: none"> 内燃機関の熱効率を大幅に高め、早期に低CO2化を実現し、カーボンニュートラルな社会へのスムーズな橋渡しを目指し、内燃機関の効率を大幅に高めるための要素技術開発が行われている 車両軽量化のため、軽量材料のマルチマテリアル化が進められており、その鍵となる異種材料接合などの接合技術開発や、鋼材、アルミニウム材、チタン材、マグネシウム材、炭素繊維や炭素繊維強化樹脂（CFRP）等の構造材料の高性能化にかかわる技術開発を推進している 内燃機関における水素・合成燃料等のカーボンニュートラル燃料の利用促進に関し、内燃機関の合成燃料使用への適用や水素エンジンの開発(高効率化等)の取り組みも着手されている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> EUではHorizon Europeにより内燃機関の燃焼効率の向上、軽量材料の研究開発が行われている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
内燃機関の高効率化技術	将来の燃料の脱炭素化の導入を見据えた内燃機関高効率化の更なる追及に向けた要素技術開発	NEDO, 2021-2022	<ul style="list-style-type: none"> 内燃機関を搭載した電動化車両（xEV）のエンジン効率向上に資する要素技術開発を実施
	CO2等を用いた燃料製造技術開発プロジェクト	NEDO, 2022-2027	<ul style="list-style-type: none"> 合成燃料の普及を見越し、更なる熱効率の向上と排ガス低減との両立、また合成燃料との適合性の研究開発を実施
走行抵抗低減技術	アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業	経済産業省, 2011-2025	<ul style="list-style-type: none"> 製造時の温室効果ガス排出量を削減するためのリサイクル技術開発を実施
	革新的新構造材料等研究開発	NEDO, 2014-2022	<ul style="list-style-type: none"> 輸送機器（自動車、鉄道車両等）の抜本的な軽量化に向けて、革新的構造材料技術や革新的接合技術及びマルチマテリアル技術の開発を実施

	目標	出典,発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 内燃機関自動車に関してはトップランナー制度による燃費基準が設けられている <ul style="list-style-type: none"> ✓ 乗用車：25.4km/l（2030年度） ✓ トラック：7.63km/l（2025年度） ✓ バス：6.52km/l（2025年度） 今後は内燃機関自動車からxEVへの転換がもたらされている <ul style="list-style-type: none"> ✓ 「グリーン成長戦略」（2021年）では、乗用車新車販売におけるxEVの割合を2035年までに100%が示されている ✓ 「2030年度におけるエネルギー需給の見通し」（2021年）では、2030年時点普及見通しとして、HEV 29%、BEV/PHEV 16%が示されている 	<p>国土交通省</p> <p>2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021), 資源エネルギー庁</p> <p>2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省, 関係省庁</p>
	技術開発目標	<p>内燃機関の高効率化技術</p> <ul style="list-style-type: none"> エンジンの熱効率、CO2排出量削減目標は以下の通り <ul style="list-style-type: none"> ✓ 最大熱効率：50% ✓ CO2排出：30%削減(2011年比) 乗用車の燃料利用段階のCO2排出量を現在（110kg-CO2/km）から半減するための基盤的技術及び内燃機関（重量車）の正味熱効率（最高点）55%以上を実現するための基盤的技術を2027年までに確立
<p>走行抵抗低減技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 自動車車体の50%軽量化 		<p>「革新的新構造材料等研究開発」基本計画(2014), NEDO</p>

- 乗用車のうち、外部電力で充電しモーターを動力源とする電気自動車（BEV）の燃費向上に資する技術。走行可能距離を確保するために充電用の内燃機関（レンジエクステンダー）を搭載した車両も含まれる。また、外部電力で充電することが可能なプラグインハイブリッド車（PHEV）の電気利用走行時もBEVと同じ機能となる
- BEVは小型車では普及が進みつつあるが、トラック、バスについては一日の走行距離が少ない業務用車両、宅配車などの商用車及び路線バス等の普及が始まったばかりの段階である
- BEVの最大の課題は充電時間の長さ、航続距離の短さ、価格の高さである、その要因である蓄電池技術はキーテクノロジーであり、この高性能化に向けて、技術開発が進められている

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
EV駆動の高効率化技術	BEV駆動にかかるエネルギー損失の低減に資する技術	要素技術	トランクションモーター、インバータ、蓄電池、キャパシタの損失低減・高効率化
		システム化技術	モーター・蓄電池等のリユース・リサイクル、EMS、BMS
外部エネルギー・蓄電技術の高度利用	搭載した太陽光パネルや、住宅や系統との電力のやりとりによりBEVの電力消費を削減する技術	要素技術	PVパネル搭載技術
		システム化技術	走行中給電、交換式バッテリーシステム、V2G技術、EMS
走行抵抗低減技術	自動車の空気抵抗、転がり抵抗、摩擦抵抗等の低減に資する技術、車体の軽量化によるエネルギー消費量の低減に資する技術	要素技術	ドライブトレインの改良、空気抵抗低減、転がり抵抗低減、摩擦抵抗低減、構造材料の軽量化（材料開発：高張力鋼、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、CFRP）、回生エネルギー
		システム化技術	マルチマテリアル技術、LCA、リサイクル
熱マネジメントの高効率化技術	車両の熱負荷低減、バッテリー、ヒートポンプ（HP）暖房の効率向上に資する技術	要素技術	車両熱負荷低減、バッテリーヒートマネジメント、HP暖房

技術開発の方向性・技術的課題

- GHG排出量削減に向けて、運輸部門の大部分を占める自動車の抜本的な化石燃料使用量削減が求められる。トップランナー制度による燃費規制に加え、EU、米国加州、中国等の燃費規制・CO2排出規制が大幅に強化される中、低コスト・高効率なBEV/PHEVの開発が急務となる。また、再エネ等の電力を用いて、Well to WheelでのGHG排出ゼロ実現も期待される
- BEVは充電時間短縮、航続距離延長及びコスト削減が課題であり、省エネ視点からもLiイオン電池のエネルギー密度向上、全固体電池をはじめとした次世代蓄電池の開発が急務である。また、これら蓄電池の問題回避として、走行中給電による搭載蓄電池の容量削減による省エネ化も有望であり、スーパーキャパシタ+バッテリー等の技術開発も求められる
- エンジンの排熱が利用できないBEV用の空調のため、氷点下から機能するヒートポンプや断熱材などの開発が必要となる。一人あたりの消費エネルギー削減のためには、パーソナルモビリティなど新たな車両開発も重要となる
- V2G/V2B/V2Hの実現に向けては車両側制御システム開発、スマートグリッドに係る標準化（通信方式、制御方式、データ等）も求められる
- PHEV/BEVの大幅普及に伴い、蓄電池やモーター等に使用するCoやモーター用のレアアース資源の枯渇問題対策の取組が必要となる
- BEVの普及拡大に伴い、ライフサイクルでの資源有効利用、省エネ、CO2削減の観点から、モーター、蓄電池のリユース・リサイクルの取組も重要となる

導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

個別技術	課題
EV駆動の高効率化技術	<ul style="list-style-type: none"> モーター、インバータの高出力・高効率と小型化・軽量化・低騒音化の両立 モーター用レアアース資源の削減・リサイクル XMS、走行中給電、V2X及び統合マネジメント技術
外部エネルギー・蓄電技術の高度利用	<ul style="list-style-type: none"> 大容量・高出力の蓄電池の開発、低コスト化 大出力・高効率のキャパシタの開発 蓄電池用レアアース資源の削減、リユース・リサイクル、爆発・火災等に対する安全性の向上

制度的課題

- EV導入促進に資する省エネ規制・GHG排出目標の強化
- 走行中給電、V2H/V2Gにかかる標準化
- リユース・リサイクルにかかる標準化

技術開発動向

国内	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電池やモーター、インバータ（冷却システムレス・高耐熱電子電気部材等）については、民間企業でも研究開発が進められているが、電動車両のキーテクノロジーである蓄電池技術は、高性能蓄電池開発にグリーンイノベーション基金事業など国家レベルの支援を受け、技術開発が活発化している 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> EUでは2035年新車ゼロ排出の法案を可決しており、これを実現すべくHorizon Europeを代表とする国家プロジェクトが立ち上がっている 米国では、エネルギー省（DOE）のARPA-Eにおいて米国内のEV普及に資する車載用蓄電池の技術開発を行っている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
EV駆動の高効率化技術	次世代蓄電池・次世代モーターの開発プロジェクト	NEDO, 2022-2030	<ul style="list-style-type: none"> 電動車の普及に向け、高性能蓄電池・材料の研究開発、蓄電池のリサイクル関連技術開発、モビリティ向けモーターシステムの高効率化・高出力密度化技術開発
	スマートモビリティ社会の構築プロジェクト	NEDO, 2022-2030	<ul style="list-style-type: none"> 商用電動車の普及拡大に資する社会システム全体としてのコストの最適化を図るため、充電・充填インフラの最適配置やエネルギー利用・運行管理・GHG排出量削減等の社会全体での最適化に関するシミュレーションシステムの構築 BEV/FCVを運用し、運行・車両・エネルギー利用に関するデータを取得するとともに、運行管理と一体的にエネルギーマネジメントを行うシステムの構築
	Climate, Energy & Mobility (HORIZON EUROPE)	欧州委員会, 2023-2024	<ul style="list-style-type: none"> ゼロエミッション車実現に向けたロードマップ作成と技術開発を実施。次世代BEV、全固体/Liイオン電池開発等
外部エネルギー・蓄電技術の高度利用	EVs4ALL	DOE ARPA-E, 2022-	<ul style="list-style-type: none"> 急速充電、高性能・航続距離、低温作動の蓄電池の開発

政策目標・技術開発目標

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 2030年時点普及見通しとして、BEV/PHEV 16% 	2030年度におけるエネルギー需給の見通し,(2021) 資源エネルギー庁	
	<ul style="list-style-type: none"> 乗用車は新車販売で2035年までに電動車100%、商用車は小型車（8t以下）について新車販売で2030年電動車20～30%、2040年電動車と合成燃料の脱炭素燃料車合わせて100%、大型車について2020年代に5,000台、また2030年までに2040年の普及目標を設定する 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省 関係省庁	
技術開発目標	EV駆動の高効率化技術	<p>高性能蓄電池・材料の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 航続距離などに影響するエネルギー密度を、現在の2倍以上（700～800Wh/L以上）に引き上げる高容量系蓄電池やその材料を開発 コバルトや黒鉛など、特定の国や地域に対する供給依存度が高い材料の使用量低減を可能とする省資源材料を開発 材料の低炭素製造プロセスなどを開発 <p>高性能モーターの研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 平均のモーターシステム効率として85%以上の目標を設定 小型軽量高出力化の目標として、モーター単体で8.0kW/kg、モーターシステムとして3.0kW/kgの出力密度を設定 	「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2021), 経済産業省
		<p>蓄電池のリサイクル関連技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 蓄電池材料として再利用可能な品質、かつ競争力のあるコストで、リチウム70%、ニッケル95%、コバルト95%以上を回収可能なリサイクル技術を開発 	

燃料電池車(FCV)性能向上技術

- 燃料電池車（FCV）の燃料である水素は様々なエネルギー源から製造でき、エネルギーセキュリティ向上に資する。また、FCVは、ガソリン車よりもエネルギー効率が低い。走行時の排出は水のみであり、CO2フリーな水素製造方法が可能となれば運輸部門のゼロエミッション化が可能
- 水素を燃料として、燃料電池で発電し、モーターを動力源とするFCVについて、その燃費向上に資する技術である
- FCVは、水素タンクから供給される水素と、外気から供給される酸素を燃料電池において化学反応させて、そこから得られた電気を用いる。FCVは水素貯蔵装置、燃料電池を持つため、外部から得た水素の貯蔵時や、燃料電池での発電時にエネルギーロスを生じる。このエネルギーロスをいかに減らすかが大きな課題となる

技術概要・技術の適用先

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
水素貯蔵技術・発電技術	水素貯蔵・燃料電池による発電にかかるエネルギー損失の低減に資する技術	要素技術	水素タンク、燃料電池、水素吸蔵合金
EV駆動の高効率化技術	FCV駆動にかかるエネルギー損失の低減に資する技術	要素技術	トランクションモーター、インバータ、蓄電池、燃料電池、新材料技術（水素脆化特性）
		システム化技術	モーター・蓄電池等のリユース・リサイクル、EMS、BMS
走行抵抗低減技術	自動車の空気抵抗、転がり抵抗、摩擦抵抗等の低減に資する技術、車体の軽量化によるエネルギー消費量の低減に資する技術	要素技術	ドライブトレインの改良、空気抵抗低減、転がり抵抗低減、摩擦抵抗低減、構造材料の軽量化（材料開発：高張力鋼、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、CFRP）、回生エネルギー
		システム化技術	マルチマテリアル技術、LCA、リサイクル
熱マネジメントの高効率化技術	車両の熱負荷低減、バッテリー、ヒートポンプ（HP）暖房の効率向上に資する技術	要素技術	車両熱負荷低減、バッテリーヒートマネジメント、HP暖房

技術開発の方向性・社会実装に向けた課題

技術開発の方向性・技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> GHG排出量削減に向けて、運輸部門の大部分を占める自動車の抜本的な化石燃料使用量削減が求められる。トップランナー制度による燃費規制に加え、EUや米国加州、中国等において燃費規制・CO2排出規制が大幅に強化されている中、PHEV/BEVとともにFCVの普及も期待されている。再生可能エネルギー等の電力により生成した水素を用いた、Well to WheelでのGHG排出ゼロ実現も期待される Well to Wheelにおいては、水素タンクによる水素貯蔵、燃料電池による発電における貯蔵時の電力損失・水素損失、発電時のエネルギー損失があり、これらの損失の低減による効率向上が望まれる。また、発電においては、BEVと同様の効率向上が望まれる FCV普及に向けて、従来車やEVと比較して高い車両価格やその要因である水素タンク・燃料電池の低コスト化に加え、燃料価格の低コスト化も望まれる。また水素ステーションなどの水素供給インフラの整備も必須となる 	
導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	個別技術	課題
	水素貯蔵技術・発電技術	<ul style="list-style-type: none"> 水素製造コスト低減 水素タンクの大容量化 燃料電池の高効率化
制度的課題	EV駆動の高効率化技術（BEV同様）	<ul style="list-style-type: none"> モーター、インバータの高出力・高効率と小型化・軽量化・低騒音化の両立 モーター用レアアース資源の削減・リサイクル
	制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> GTR13（世界技術規則）やUNR134（相互承認）への対応等（規制適正化等）

燃料電池車(FCV)性能向上技術

技術開発動向

国内	<ul style="list-style-type: none"> 日本では複数の自動車メーカーがFCVの乗用車を市販化している。本格的普及に向け、水素ステーションの整備とあわせ、燃料電池スタック・システムの軽量化・小型化、高性能・高耐久化、コスト削減等の取組が進行中。我が国が技術の優位性を保持している 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 欧州HyTrucksプロジェクトにおいて、2025年までに、合計で1000台のFCトラックを導入し、ベルギー、オランダ、ドイツに渡って20基以上のステーションを含む水素インフラを構築することを目指している 米国クリーン水素ハブ構想において、クリーン水素の大規模な生産インフラと、商用車をはじめとした多様な分野の最終需要家が同じ地域に位置することで、大量かつ低コストの水素展開を目指している 中国水素エネルギー産業発展中長期計画において、2025年までに、FCVの保有台数を約5万台にし、35年に交通・エネルギー貯蔵・工業などの分野をカバーする多元的な水素エネルギー産業体制を形成することを目指している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
水素貯蔵技術・発電技術	燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業	NEDO, 2020-2024	<ul style="list-style-type: none"> 高効率、高耐久、低コストの燃料電池システム（水素貯蔵タンク等を含む）を実現するための基盤技術、別用途展開技術、大量生産技術等の開発
共通	スマートモビリティ社会の構築プロジェクト	NEDO, 2022-2030	<ul style="list-style-type: none"> 商用電動車の普及拡大に資する社会システム全体としてのコストの最適化を図るため、充電・充填インフラの最適配置やエネルギー利用・運行管理・GHG排出量削減等の社会全体での最適化に関するシミュレーションシステムの構築 BEV/FCVを運用し、運行・車両・エネルギー利用に関するデータを取得するとともに、運行管理と一体的にエネルギーマネジメントを行うシステムの構築
	燃料電池車実証クラスター	中国政府, 2021-	<ul style="list-style-type: none"> 北京-天津-河北ゾーン、上海、広東、河北、河南の5つにおいて、燃料電池車実証クラスターを構成

政策目標・技術開発目標

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 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）の普及を目指す 	水素基本戦略(2023), 経済産業省	
	<ul style="list-style-type: none"> 乗用車は新車販売で2035年までに電動車100%、商用車は小型車（8t以下）について新車販売で2030年電動車20～30%、2040年電動車と合成燃料の脱炭素燃料車合わせて100%、大型車について2020年代に5,000台、また2030年までに2040年の普及目標を設定する 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省 関係省庁	
技術開発目標	FCV	2030年ターゲット： スパック 航続距離 800km 最大出力密度 6.0kW/L 耐久性 乗用車 15年以上 商用車 15年以上 貴金属使用量 0.1g/kW コスト FCシステム <0.4万円/kW （内、スタック <0.2万円/kW） 水素貯蔵システム10～20万円	水素・燃料電池技術開発戦略(2019), 資源エネルギー庁 水素・燃料電池戦略協議会
		2025年ターゲット： FCVとHVの価格差 300万円→70万円 FCV主要システムのコスト： 燃料電池 約2万円→0.5万円/kW 水素貯蔵 約70万円→30万円	燃料電池・水素技術開発ロードマップ(2019), 資源エネルギー庁 水素・燃料電池戦略協議会

- 政府は、2030年までに、公共用急速充電器3万口を含む30万口の充電インフラを整備することを目標としており、水素ステーションについても、2030年までに1,000基程度を整備する目標を掲げており、電動化社会の実現に向けて、電動車の普及とインフラ整備を、車の両輪として推進している
- また、BEVの搭載電池容量低減に向けた技術として、走行中給電（架線給電及びワイヤレス給電）等も挙げられる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
充電ステーション	BEVへの充電	要素技術	インバータ・コンバータ、充電器、充電コネクタ、その他部材の開発
		システム化技術	蓄電池搭載型ST、V2G
水素ステーション	FCVへの水素充填	要素技術	圧縮機、蓄圧器、冷却装置、ディスペンサー、その他各種部材の開発
		システム化技術	様々な水素供給方法に応じたシステム
走行中給電	道路上給電	要素技術	安全性保証（人、動物検知等）、給電装置
		システム化技術	給電用インフラ

技術開発の方向性・技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> • GHG排出量削減に向けて、次世代自動車普及が求められる • PHEV/BEV向け充電ステーションは、充電時間短縮が課題である。FCV向け水素ステーションは、ガソリンステーションの5倍といわれるコストの低減が大きな課題となっている • 次世代自動車インフラは、従来の自動車向けインフラとは異なるため、技術開発とともに、ステーションや架線などの導入・運営コスト低減（技術開発のほか補助金、調達、税制優遇）、規制緩和（高圧ガス保安法等）、標準化（充電システム等）等の施策が求められる 	
導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	個別技術	課題
	充電ステーション	<ul style="list-style-type: none"> • BEVの航続距離がガソリン車よりも短い現状においては、充電ステーションの面的な整備、充電時間短縮のための急速充電技術、充電の集中に伴う系統電力への負荷変動抑制策としてのコネクト&マネージ、ピークシフト、蓄電池連携、充電規格の統一
	水素ステーション	<ul style="list-style-type: none"> • 地域特性や状況変化等に合わせた水素ステーションの整備、水素ステーションの設置・運営コストの低減、水素のCO2フリー化、エネルギー安全保障も考慮した水素の安定調達
	走行中給電	<ul style="list-style-type: none"> • 車両側にパンタグラフ・給電ロッドの設置による高コスト • 歩行者、二輪車、乗用車等への対策 • 低漏洩磁界で高出力化、浅層埋設工法、路上の金属異物検出
制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> • 水素ステーションの低コスト化と利便性向上のための規制改革 • 走行中給電（非接触式）は、制度整備（電波・漏洩電磁界、電気事業法）が必要 	

技術開発動向

国内	<ul style="list-style-type: none"> PHEV/BEV向け充電ステーションについては、ステーション側に特殊な電池を装備する超急速充電などの技術開発が行われている FCV向けインフラについては、特に高コストである圧縮器や蓄圧器、高圧水素用ホースの低コスト化や耐久性向上、水素ステーションパッケージ化などの技術開発が行われ、水素供給ビジネスを含めた多様なプレーヤーが参入しつつある ワイヤレス給電については電磁誘導方式・磁界共鳴方式を中心に技術開発が進められており、またインホイールモーターと組み合わせた技術開発も行われている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 欧州では、EUによるHorizon Europeや各国によりxEVの普及に向けて、充電インフラや水素供給インフラ、利用などに関する技術開発や実証が行われている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
水素ステーション	競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業	NEDO, 2023-2027	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発項目のうち1つとして、水素ステーションの低コスト化・高度化等に資する設備や機器、システム等に関する技術開発及び国際標準・基準に関する活動の実施
	超高圧水素インフラ本格普及技術研究開発事業	NEDO, 2018-2022	<ul style="list-style-type: none"> 水素ステーションに係る超高圧水素技術等に関して、国内規制適正化に関わる技術開発、水素ステーションのコスト低減等に関連する技術開発、国際展開・国際標準化等に関する研究開発
走行中給電	EV走行中給電システムを活用した都市とモビリティのエネルギーに関する革新的な技術開発	NEDO, 2021-2023	<ul style="list-style-type: none"> EVの走行中に充電できる非接触給電システムおよび道路埋設技術の開発

政策目標・技術開発目標

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までに公共用の急速充電器 3 万口を含む充電インフラを30万口の設置 2030年に向けて、急速充電の平均出力を現在の約40kWから80kWまで倍増させることを通じ、充電器全体の総出力について、現在の約39万kWから10倍に相当する約400万kWを確保 	充電インフラ整備促進に向けた指針 (2023), 経済産業省	
	<ul style="list-style-type: none"> 水素ステーションを整備目標として2030年までに1,000基程度 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省 関係省庁	
技術開発目標	水素ステーション	<ul style="list-style-type: none"> 再生エネ水素製造におけるエネルギー消費量：4.3kWh/Nm³ 水素ステーション用個別機器のコスト (2025年頃の目標)：圧縮機：0.5億円、蓄圧器：0.1億円 	燃料電池・水素技術開発ロードマップ (2019), 資源エネルギー庁 水素・燃料電池戦略協議会
	走行中給電	ワイヤレス電力伝送 (WPT) システム <ul style="list-style-type: none"> BEV 走行中給電：時速60km・給電効率 90% 屋外給電：伝送距離 10m・受電効率 70% 屋内給電：最大20W送電可能な時間率50%以上 	戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム」 (2022), 内閣府

- ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) は、IT、電子制御を活用して道路交通を高度化させるシステムを指す
- 従来から普及している先進運転支援システム (ADAS) や交通情報システム (VICS) から発展し、自動運転システム、車と他者との相互連携システム (V2X、X:車、歩行者、道路等) など、クルマ単体で動作したり一方向に情報を授受するだけでなく、相互連携するシステムが構築されることで事故・渋滞の低減が実現できれば、省エネにも繋がる
- 個々のシステムを構成している要素技術は成熟しているものが多く、社会実装に向けては無線通信を経由してデータの送受信を行うOTA(Over The Air) の導入、安全性の課題、制度的課題等が主な課題となる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
移動計画支援システム	目的地への最適な移動を支援する	システム化技術	交通情報システム (VICS)
運転支援システム	ドライバーの安全・快適な運転を支援する	システム化技術	先進運転支援システム (ADAS)、協調型車間距離維持支援システム (CACC)
自動走行システム	ドライバーの運転の一部または全部を機械が行う	システム化技術	自動運転システム (協調走行・隊列走行含む)、ECU制御技術の高度化
交通需要マネジメント (TDM)	利用者に車の効率的利用や公共交通転換を促す	システム化技術	IoT活用交通情報収集システム、AI活用交通流制御システム
交通流制御システム	道路状況の把握・予測により交通インフラを制御、渋滞緩和・安全性向上を実現する	システム化技術	交通インフラ (信号機、検出器、交通標識等) 制御システム
V2X通信技術	ITによる自動車と他者の連携により、渋滞緩和・安全性向上を実現する	システム化技術	V2P,V2V,V2I,V2N(Network),V2C(Cloud)
カーシェア、ライドシェア	車の共同利用を促進し、移動の低コスト化、省エネ化を実現する	システム化技術	無線システム、車両管理システム、遠隔監視システム、予約・決済システム

技術開発の方向性・技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> 鉄道・バス・乗用車の連携、シェアリングの活用による利便性向上 (MaaS) が進展、高齢化に伴う移動需要が都市部・地方ともに増加することが予想される中、顧客ニーズを満ち、安全運転により交通事故ゼロ/渋滞ゼロで、誰でもどこでも快適かつ効率よく移動できるシステムの実現が求められる プローブシステムの共通基盤化、車車間通信、路車間通信を普及させ、経路情報等の提供による道路の有効活用、交通流、信号の制御利用によるボトルネック解消、さらに車群としての協調走行、自動運転の普及によって、省エネルギー走行 (サグ渋滞回避、交差点停止後同時発進等) の実現が期待される 自動走行システムは、センシング (歩行者等についてもセンシングできる技術等)、知能技術・駆動技術 (高度な画像認識技術と迅速な駆動等)、通信技術、データ活用技術、セキュリティ技術、人間工学 (HMI) 等に係るハード面・ソフト面両面に及ぶ研究開発等が必要となる。同時に、性能を担保しながら、徹底した省エネ化を進めるための研究開発が必要となる それぞれ、個々の技術を組み合わせたネットワーク化、システム高度化に向けた開発が求められる。一方、通信量増大の可能性があり、サーバー側のデータ処理効率化・消費電力削減など、データ処理側の対応策も必須となる インフラ・自動車・ICT機器の使用期間や寿命が異なるためにモデルが混在することで、ITS関連のシステムやサービスの更新が困難であることへの対応が必要となる 						
	導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	<table border="1"> <thead> <tr> <th>個別技術</th> <th>課題</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>共通</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 自動車自身のIT利用にかかる電力消費、自動車と外部との通信によるサーバー側の電力消費の削減 </td> </tr> <tr> <td>自動走行システム、交通流制御システム</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 自動運転システムの安全性、交通流制御システム等における従来の交通システム以上の安全性の確保 </td> </tr> </tbody> </table>	個別技術	課題	共通	<ul style="list-style-type: none"> 自動車自身のIT利用にかかる電力消費、自動車と外部との通信によるサーバー側の電力消費の削減 	自動走行システム、交通流制御システム
個別技術	課題						
共通	<ul style="list-style-type: none"> 自動車自身のIT利用にかかる電力消費、自動車と外部との通信によるサーバー側の電力消費の削減 						
自動走行システム、交通流制御システム	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転システムの安全性、交通流制御システム等における従来の交通システム以上の安全性の確保 						
制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転車の事故責任に関する法整備 車両データの共有化と個人情報保護への制度的対応 各種システムの国際標準化、知財戦略 						

国内	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転システムは制御アルゴリズムや自動運転用ソフトウェア、車両位置の取得・測定及び情報通信等に関わる要素技術の開発やそれらの実証実験等に関する研究開発が精力的に進められている。さらに、より高度なシステムの開発や公道等を利用した実証実験について、政府支援のプロジェクトが推進されている 将来の交通事故、交通渋滞、エネルギー消費などの抜本的改善に向け、路車間通信、車車間通信などの通信を通し、APTS（高度公共交通システム）、通信技術と自動走行システムなどを組み合わせたART（次世代都市交通システム）などの開発、実証が省庁あるいは地方自治体（東京都、福井県、愛知県、仙台市、横浜市、藤沢市等）で進められている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 欧州では、Horizon Europe「Climate, Energy & Mobility」において自動運転、スマートなモビリティのためのデータ活用・AIのプロジェクトが進められている 米国では、運輸省がITS Strategic Plan 2015-2019に基づき安全性やモビリティシステムの効率化といった戦略テーマと実行プログラムを実施。またエネルギー省のARPA-Eにおいても、コネクティビティと自動化に係るプロジェクト等が行われている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
自動走行システム	自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト(RoAD to the L4)	経産省, 国交省, 2021-	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転レベル4等の先進モビリティサービスの実現・普及に向けて、研究開発から、実証実験、社会実装まで一貫した取組を実施
自動走行システム	電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発プロジェクト	NEDO, 2021-2030	<ul style="list-style-type: none"> 徹底した車載コンピューティングの省エネ化のため、自動運転ソフトウェア・センサーシステムの省エネ化、電動車全体の標準的シミュレーション・モデルの開発
共通	戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 第3期 / スマートモビリティプラットフォームの構築	内閣府, 2023-2027	<ul style="list-style-type: none"> 移動手段、交通環境のハード、ソフトとまち・地域をダイナミックに一体化し、安全で環境に優しくシームレスな移動を実現するプラットフォームを構築

	目標	出典,発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 2030年に国民の豊かな暮らしを支える安全で利便性の高いデジタル交通社会を世界に先駆け実現する目的のため、新たなモビリティ社会の実現に向けたデジタルプラットフォームの構築、自動運転等の一層の進展、多様なモビリティの普及・活用を進める。自動運転については、2022年度目途で限定地域における遠隔監視のみ（レベル4）の無人自動運転移動サービスを実現、2025年度頃の混在空間でのレベル4自動運転サービス実現、2025年度頃の高速度道路でのレベル4自動運転トラックを実現 	官民ITS構想ロードマップ(2021), 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議
	<ul style="list-style-type: none"> 小型モビリティ、BRT、バス、トラック幹線輸送などで、2025年までに遠隔監視のみ等の自動運転サービスが普及 	無人自動運転サービスの実現及び普及に向けたロードマップ(2020), 経済産業省
技術開発目標	<ul style="list-style-type: none"> 無人自動運転サービスの実現及び普及 ✓ 2025年度までに多様なエリア、多様な車両に拡大し、40力以上に展開 	「RoAD to the L4」研究開発・社会実装計画(2021), 経済産業省
	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までに以下を開発 ✓ 現行技術比で70%以上の消費電力削減に寄与する、高性能・低消費電力なオープン型自動運転基盤ソフトウェアの研究開発 ✓ 現行技術比で70%以上の消費電力削減に寄与する、高性能・低消費電力な自動運転センサーシステムの研究開発 ✓ デジタル・ツインでの電動車両全体の精度90%以上によるシミュレーション・モデルを、実機を用いた性能検証期間の半減を実現できるレベルで構築するための手法確立 	「電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2022), 経済産業省

- 物流システムはサプライチェーンマネジメント（SCM）の役割の一部を担うシステムで、その役割に応じ計画系システム（SCP）、実行系システム（SCE）、管理系システム（ERP）⁽¹⁾などに分類される
- スマート物流システムは、上記役割を含め、荷物情報と輸送機関・物流結節点等における荷役設備・倉庫などの保管設備等の情報を通信技術により総合的に連携・制御するシステムである。またシステムとともに、各物流機能⁽²⁾において省エネを実現する機器等（自動化、省力化、集約化に対し、AI、IoT、ロボット）に係る技術もスマート物流システムの対象となる

- (1) 計画系システム(SCP)：需要予測、調達・生産計画、補充計画、輸送計画
 実行系システム(SCE)：発注・入荷処理、受注・出荷処理、倉庫業務、輸配送業務
 管理系システム(ERP)：調達管理、在庫管理、物流管理、販売管理
- (2) 包装、輸送、保管、荷役、流通加工及びそれらに関連する情報（JISによる物流等の定義より）

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等
自動化・機械化技術	各物流機能における自動化、省力化、集約化を実現する機器	要素技術 【保管・荷役】 フォークリフト、ロボット、ウェアラブル端末、AGV(無人搬送車)、省エネコンベア/ソーター/ピッキング 【包装・流通加工】 簡易包装、省エネ加工 【輸送（主な輸送機器以外）】 ラストワンマイル配達（ドローン、自動配達車、貨客混載車、共同集配車、共同宅配ボックス等）
物流・商流に係るデータプラットフォーム	個別の物流機能における自動化、省力化、集約化を実現するソフトウェア技術や、ハードウェア間、複数の物流機能間を繋ぎ最適化するシステム	要素技術 RFID、ビーコン、温度/空調/画像センシング、AI、需要予測、自動スケジューリング、ブロックチェーン、電子マネー、電子決済、オムニチャンネル
		システム化技術 NtoNロボット制御システム、倉庫管理システム、エネルギー管理システム（EMS）、SCMシステム、ダイナミックプライスシステム、フィジカルインターネット

技術開発の方向性・技術的課題	個別技術	課題
	導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	共通
制度的課題		<ul style="list-style-type: none"> 物流事業者の商慣行が大きなボトルネックとなっている中、これを変える法的対応（物効法、省エネ法、温対法等） サプライチェーン全体のステークホルダーの連携においては、海外も含めたルール化・標準化（各種GS1標準、流通BMSなど）

国内	<ul style="list-style-type: none"> 経済産業省においてIoT等を活用したサプライチェーンのスマート化にかかるプロジェクトを過去複数年実施しているほか、サプライチェーン全体のデータプラットフォームの構築について、内閣府第2期SIP「スマート物流サービス」で実施された。また、物流MaaSにおいて、物流データ連携の取組が実施されている。加えて、第3期SIP「スマートモビリティプラットフォームの構築」において、物流MaaS・物流システムの強化のための戦略検討が行われている 2050年カーボンニュートラル宣言を受け、国交省、環境省による先進技術導入支援が開始されている フィジカルインターネットの実現に向けて、経済産業省においてロードマップが策定された 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 大規模ロジスティクス事業者が個別にロジスティクス改革に取り組んでおり、AMAZONのClimate Pledge Fund（20億ドル、2020年～）、ドイツポスト（DHL）の気候中立ロジスティクスへの投資（70億ユーロ、2021年～）などの動きが目立っている ヨーロッパでは、EUを中心に複数事業者の参加によるDXを推進しており、特にフィジカルインターネットの実現を目指し複数企業が参画する技術プラットフォームAliceは、Horizon Europeへの支援をはじめとした活動を活発化している 		
個別技術	PJ名	主体・期間	概要
物流・商流に係るデータプラットフォーム	戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／スマート物流サービス	内閣府、2018-2022	<ul style="list-style-type: none"> サプライチェーン全体の最適化等を目的として、物流・商流データ基盤に関する技術、省力化・自動化に資する自動データ収集技術の研究開発を実施
共通	社会変革と物流脱炭素化を同時実現する先進技術導入促進事業	国交省・環境省、2020-2025	<ul style="list-style-type: none"> 物流の脱炭素化・低炭素化に資する先進的な設備導入を支援する目的で、①自立型ゼロエネルギー倉庫モデル促進事業、②過疎地域等における無人航空機を活用した物流実用化事業、③LNG燃料システム等導入促進事業を実施
	Horizon Europe内の物流関連プロジェクト	欧州委員会、2021-2027	<ul style="list-style-type: none"> Horizon Europe内で複数の物流関連プロジェクトを立ち上げ。EUでフィジカルインターネットの実現を目指すAliceが支援

	目標	出典、発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 第2次交通政策基本計画において、目標の1つに「運輸部門における脱炭素化等の加速」が掲げられており、その1つとしてグリーン物流（更なるモーダルシフトの推進や輸送の省エネ化・脱炭素化など）の推進が示されている 	第2次交通政策基本計画(2021), 閣議決定
	<ul style="list-style-type: none"> 総合物流施策大綱(2021～2025年度)では、「地球環境の持続可能性を確保するための物流ネットワークの構築」が掲げられており、省エネ・低炭素関係ではモーダルシフトのさらなる推進、荷主連携による物流の効率化が示されている 	「総合物流施策大綱(2021-2025年度)」(2021), 閣議決定
技術開発目標	<p>フィジカルインターネットの完成期（2036～240年）に向けて業界横断的に行うべき取り組み</p> <ul style="list-style-type: none"> 物流・商流を越えた多様なデータの業種横断プラットフォーム 企業・業種の壁を越えた物流機能・データのシェアリング デマンドウェブ（BtoB/BtoC）：消費者情報・需要予測を起点に、製造拠点の配置も含め、サプライチェーン全体を最適化 物流拠点の完全自動化 自動運転トラックの社会実装 限定地域での無人自動運転サービス 自動配送ロボットによる配送の実現 ドローン物流の社会実装の推進 	<p>フィジカルインターネット・ロードマップ(2022), フィジカルインターネット実現会議</p> <p>官民ITS 構想・ロードマップ(2021), 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議</p>

- 我が国の航空、船舶、鉄道は、それぞれ運輸部門全体のエネルギー消費量（2020年度）の約2.9%、約5.2%、約2.5%を占め、運輸部門全体のCO2排出量（2020年度）の約2.8%、約5.3%、約4.2%を占める
- 航空機（ジェット機）は、機体の軽量化・機内装備の電動化・低環境負荷（騒音等）を進めるとともに、消費エネルギーのほぼ100%を占めるジェット燃料の脱炭素化としてSAF（持続可能な航空燃料）の開発が活発化している。長期的には再生エネルギー由来の合成燃料が普及する可能性もある。また、小型航空機では、電動化、水素燃料化などの開発も進められている。電動化のメリットを生かし、“空飛ぶクルマ”の一種でヘリコプターに代わり垂直離着陸等が行えるVTOL（垂直離着陸機）も、開発・実用化が進んでいる
- 船舶は、従来は省エネ船型や高効率エンジンなどハード面の取組みが主流であったが、近年は最適経路を選定するウェザー・ルーティングなどを活用した運航面での取組みも増えている。船体自体の効率化については、抵抗低減技術、高効率エンジン、排熱回収、高効率プロペラ等、運航についてはウェザー・ルーティング等最適経路選定手法、また、燃料転換については水素・アンモニア利用、電化、LNG・メタノール利用等が挙げられる。従来から利用されてきた風力利用を高度化し、軽量・強靱な帆材と自動制御・情報解析技術によりさらに省エネを実現する技術も開発されている。さらに、IoT/ビッグデータ解析の活用による、自動運航船など船舶の技術開発も進んでいる
- 鉄道は、運輸部門で最も電化が進んでいる。次世代技術として、燃料電池鉄道車両やバイオディーゼル燃料を動力源として非電化区間を走行する気動車等の導入に向けた取組が進められている

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
ジェット機の省エネ化	機体の軽量化、エンジンの高度化、航空機・装備品等の電動化、航空経路の最適化	要素技術	CFRPの利用、ターボファンエンジン、電動機器比率の拡大
		システム化技術	UPR（利用者設定経路） DARP（動的飛行経路変更方式） 水素貯蔵タンク、新たなエンジン部品の開発、SAF製造技術、合成燃料製造技術、航空機向け電池・モーター等の性能向上等
次世代航空	水素航空機、SAF・合成燃料、電動航空機	要素技術	船体抵抗低減技術、軽量化、高効率エンジン、風力推進アシスト装置
		システム化技術	最適構造設計技術（シミュレーション）
船舶の省エネ化	船体の省エネ技術の高度化	要素技術	気象・海象予測モデル、航海シミュレーション、性能推定、自動運航
		システム化技術	ウェザー・ルーティング、最適航路計画、自動運航船
	運航の省エネ化	要素技術	水素・アンモニア燃料エンジン、燃料タンク、燃料供給システム、水素燃料電池システム、高効率船舶電気推進システム
ゼロエミッション船	水素・アンモニア燃料エンジン、水素燃料電池船、バッテリー船	要素技術	水素エンジン、水素・電力関係装置構成の改良、バイオディーゼル燃料での性能検証
次世代燃料利用鉄道車両	水素燃料電池鉄道車両等、バイオディーゼル燃料	要素技術	

技術開発の方向性・技術的課題

- ジェット機においては、短期的にはCFRP等の活用による軽量化、可能な限りの機内装備の電動化が進められる。中長期的には、代替燃料（SAF、合成燃料）の導入が期待されるが、低コスト化が大きな課題となる
- 小型旅客機においては、従来の小型機（小型ジェット機、小型プロペラ機、ヘリコプター、ドローン）に代わり、電動航空機、水素航空機が開発が進められている。重量あたりのエネルギー消費が大きいヘリコプターのエネルギー消費大幅削減としてVTOL（垂直離着陸機）の開発、その電動化としてeVTOLの開発が望まれる。また、輸送困難地（島しょ、過疎地）などでの輸送手段の代替としてのドローン導入拡大を見据えた物流の省エネ化、電動化の開発も期待される
- 船舶の省エネ化は、従来より主に船体のハード面の改良が進められてきたが、一層の省エネ化/脱炭素化の実現に向けて、船体の更なる省エネ化に加え、IoT/ビッグデータを駆使した自動運航等、また、水素/アンモニア/電気利用など燃料転換による脱炭素化が望まれる
- 水素燃料電池鉄道車両については、既に実証試験等が実施されており、技術開発においては、航続距離延伸、高出力化、小型化などが課題となる

導入・利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

個別技術	課題
船舶の省エネ化、ゼロエミッション船	<ul style="list-style-type: none"> ゼロエミッション船については、様々な種類の船舶の安価かつ省エネ・低炭素技術の開発 燃料サプライチェーンの構築 自動運航技術の安全性の確立
ジェット機の省エネ化、次世代航空	<ul style="list-style-type: none"> コスト障壁が最も大きな課題 軽量化、機内装備電動化に向けた、より高性能化を目指した材料等の高機能化等
次世代燃料利用鉄道車両等	<ul style="list-style-type: none"> 次世代小型旅客機（電動航空機、水素航空機）の導入拡大に向けた低コスト化、低環境負荷（騒音等）、大容量化、軽量化 水素燃料電池鉄道車両等の社会実装の導入拡大に向けた量産化及びコスト低減の実現

制度的課題

- VTOL（垂直離着陸機）は、普及拡大に向けた国際標準化への寄与が重要
- 船舶については、国際海事機関中心に規制やインセンティブ等で検討中
- 自動運航等、従来にはない運航技術に係るセキュリティ確保等の基準・制度等の整備
- 水素燃料電池鉄道車両に係る技術基準等の整備

国内	<ul style="list-style-type: none"> ジェット機は海外メーカーが主流ということもあり、国内では一部ジェット機国産化の動きもあったものの、現在は個別要素技術（軽量化、低環境負荷、電動化等）に関する国家プロジェクトが中心に進められている。一方で、次世代航空機（電動航空機、水素燃料電池航空機）や、ドローン等の小型航空機は国内でも国家プロジェクトを中心に盛んに技術開発が進められている 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アンモニア・水素・LNG燃料など従来とは異なる低炭素・脱炭素燃料を用いた船舶の技術開発を進めている。また、内航船の運航効率実証事業において、内航船の革新的省エネルギー技術の実証も実施されている 鉄道については、バイオディーゼル燃料や水素燃料の活用など次世代燃料利用鉄道車両の実証試験等が実施されている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 主力ジェット機メーカーが限られていることから、メーカー主導での技術開発が進められてきたが、低炭素/脱炭素の流れを受け、従来の航空機技術では実現できない低炭素/脱炭素化を目指した技術開発が国レベルで進められている EU「Clean Sky 2」では、2025年以降の次世代航空機への開発技術の搭載を目指している。また、エアバス社は2035年に水素燃料および燃料電池を活用した「カーボンニュートラル航空機」を市場投入すると発表している 船舶については、EUではHorizon Europeにおいて、既存船舶の省エネ、改修、電化の取組みが進められているほか、水素・アンモニア燃料エンジンの開発や水素燃料電池システムの研究開発も進められている 鉄道については、ドイツの他オランダやオーストリアで試験運行が行われ、2023年夏にはカナダでも実証運行が開始されるなど、各地で燃料電池ハイブリッド電車の導入に向けた動きがみられる 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
ジェット機の省エネ化	次世代複合材創製・成形技術開発	NEDO, 2020-2024	航空機構造部材及び軽量・耐熱のエンジン部材を開発
次世代航空	次世代航空機の開発プロジェクト	NEDO, 2021-2030	水素航空機のコア技術開発や、次世代航空機に必要とされる航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化開発
ゼロエミッション船	次世代船舶の開発プロジェクト	NEDO, 2021-2030	水素燃料船の開発、アンモニア燃料船の開発、LNG燃料船のメタンスリップ対策の実施

	目標	出典,発行者
政策目標等	航空 <ul style="list-style-type: none"> 機材・装備品等への新技術導入・管制の高度化等で74万kL 航空機の単位輸送量当たりのCO2排出量を2013年度1.3977kg-CO2/トンキロに対し、2030年度1.1693 g-CO2/トンキロ 機材・装備品等への新技術導入、管制の高度化による運航方式の改善、持続可能な航空燃料(SAF)の導入促進、空港施設・空港車両のCO2排出削減等の取組推進、空港をエネ拠点化する方策の検討・始動、官民連携の取組推進により2030年度のCO2排出削減見込量を202.4万t-CO2 (2013年度比) 船舶 <ul style="list-style-type: none"> 2030年度において、省エネに資する船舶（省エネ船、連携型省エネ船、運航改善）の普及隻数を1,080隻、省エネ見込量を62万kL、CO2排出削減見込量を181万t-CO2 (2013年度比) 鉄道 <ul style="list-style-type: none"> エネルギーの使用に係る原単位の改善率を、2013年度を100として2030年度84.294、省エネ見込量を74.5万kL、CO2排出削減見込量を260.0万t-CO2 	2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021), 資源エネルギー庁 地球温暖化対策計画(2021), 閣議決定
	航空 <ul style="list-style-type: none"> 電動化・ハイブリッド電動化、水素等の代替燃料、機体向け炭素繊維複合材など、技術的優位性の確立を目指す 2030年以降の電動化技術の拡大、2035年以降の水素航空機等に必要なコア技術の確立を目指す 船舶 <ul style="list-style-type: none"> 2025年までにゼロエミッション船の実証事業を開始し、従来の目標である2028年よりも前倒しでの商業運航を実現するとともに、2030年には更なる普及を目指す。また、2050年において、船舶分野における水素・燃料アンモニア等の代替燃料への転換を目指す 鉄道 <ul style="list-style-type: none"> 燃料電池鉄道車両の社会実装に向け、営業路線での実証試験等を踏まえた関連基準・規制の見直しや、公共交通結節点である駅周辺における、鉄道のみならず乗用車・バス・トラック等も利用可能な総合水素ステーションの設置等、必要な環境整備について検討を行う 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省 関係省庁
技術開発目標	<ul style="list-style-type: none"> 水素燃料エンジン、燃料タンク・燃料供給システムを開発し、2030年までに水素燃料船の実証運航を完了 アンモニア燃料エンジン、燃料タンク・燃料供給システムの開発及び船用アンモニア燃料供給体制の構築により、2028年までできるだけ早期に商業運航を実現 2026年までにLNG燃料船のメタンスリップ削減率60%以上を実現 	「次世代船舶の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2023), 国土交通省、海事局
	<ul style="list-style-type: none"> 水素航空機の成立に不可欠なコア技術TRL6以上 中小型航空機の主翼等の重要構造部材（TRL6以上） <ul style="list-style-type: none"> ✓ 既存の部材（金属合金）から約30%の軽量化 ✓ 複雑形状・一体成形に対応するための強度向上：設計許容値を1.1倍～1.2倍 液体水素を用いた4MW級の燃料電池電動推進TRL6以上 水素燃料電池コア技術高出力密度化（3～4kW/kg） 電力制御及び熱・エアマネジメントシステムにおけるコア技術、航空機の電動化率向上技術TRL6以上 	「次世代航空機の開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2023), 経済産業省

- 熱利用の基本（熱の3R：Reduce、Reuse、Recycle）は熱を使い尽すことであり、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し、省エネルギーを実現する（未利用熱の循環利用）
- 未利用熱の循環利用に関連する省エネ技術には、「熱交換」、「ヒートポンプ」、「熱電力変換」、「蓄熱・蓄冷」技術等が挙げられる
- 熱交換器は、熱利用のあらゆる場面で使われる重要技術であり、様々な熱源に対する伝熱抵抗を低減し、効率良く熱を移動する技術開発が重要となる。また、費用対効果を高めて社会実装することが必要である
- 産業用ヒートポンプ(HP)は、高効率な熱製造技術であることに加え、排熱を再利用するという面でも、省エネルギーに大きく貢献する
- 熱電力変換は、未利用熱を直接電力に変換・利用する技術であり、様々なプロセスでの利用することにより省エネルギーが期待される
- 蓄熱・蓄冷については、「熱エネルギーシステム技術の高度化」に詳細を記載する

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
熱交換器	未利用熱を再利用する	要素技術	新材料の探索、プロセスに適合した新形状の熱交換器の作成、伝熱促進や表面処理技術、耐スケール・防汚技術、低品位・ばらつき・変動・汚染媒体からの熱回収、高温用素材（セラミックス等）
産業用ヒートポンプ (HP)	未利用熱を再利用する	要素技術	産業用の高温HP技術、環境負荷が小さく安定供給可能な材料・冷媒技術
熱電力変換	未利用熱を電力として再利用する	要素技術	熱電変換モジュール、熱機関サイクル（スターリング発電、オーガニックランキンサイクル発電）等
蓄熱・蓄冷	詳細は、「熱エネルギーシステム技術の高度化」の資料参照		

技術開発の方向性・技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> 未利用熱の循環利用においては、200℃以下の低温未利用熱から1,000℃までの中高温未利用熱を対象とした各種熱電変換材料およびデバイスの開発により、広い温度域の未利用熱を有効利用する必要がある 熱交換器は、基本技術の成熟度は高く、新材料・形状工夫等により一層の効率向上が重要であり、産業プロセス毎に最適な技術の組合せを実証開発していくことで省エネルギーを図る必要がある 産業用HPは商用化初期段階（TRL9）とされ、100℃以上の高温HPについては、TRL5～8とされている。今後は、安定的なシェア拡大に向けた段階である さらなる高温排熱（200℃以上）を利用でき、かつ安価でコンパクトな、熱交換器、コンプレッサー、HP、およびそれらを構成する耐熱素材などの開発が課題である 未利用熱の循環利用については、各事業所の熱需要・未利用熱関連データを事業者間で共有することが難しく、セクターカップリング等を含め、企業同士の協力が重要となる 	
	個別技術	課題
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> 新しい形状の熱交換器の実装 導入コストの低減、信頼性の向上
	産業用ヒートポンプ (HP)	<ul style="list-style-type: none"> 導入コストが高く、投資回収期間が長い。また、運用コスト面でも、電気料金が高いなどの懸念 既設工場の場合、設置スペースが取れない エンジニアリング関連の導入障壁（人材不足、設備変更の不安）
	熱電力変換	<ul style="list-style-type: none"> 熱電変換モジュールの高性能化（小型化、高出力、高効率化）、低コスト化 国際優位性確保に向けた、熱電変換モジュールの評価技術の国際標準化 未利用熱によるORC発電、スターリングサイクル発電の高効率化、地中熱等への実装
制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> 信頼性の向上とエンジニアリング力向上のための実証事業、普及展開事業の支援 産業用HPの性能評価方法に関する試験規格整備 	

国内	<ul style="list-style-type: none"> 産業用HPについては、NEDO事業「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究」(2015~2022)において、80°Cの排熱を200°Cレベルまで加熱する産業用高効率HPを開発、目標値のCOP3.5を達成できる見通しが立っている 熱電変換デバイスの各温度レベルへの対応、高耐久性、耐環境性に優れた新材料・形状・製造技術、耐久性等評価技術の研究開発が進められている 蓄熱技術については、低~高温の各種熱源を対象に、高密度・長期蓄熱・高応答性等を実現する様々な蓄熱材料・方式の開発が進められている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 欧州では、Horizon Europeの枠組みの中で、排熱の再利用と商用化のための新しい高効率熱交換器・蓄熱技術開発 (SUSPIRE)、高熱を回収・貯蔵できる相変化材料の開発 (VULKANO) 等を実施し、2021年から熱電変換技術 (TRANSLATE) の開発を開始している 産業用HPに関しても、EDF (フランス電力)、AIT (オーストリア技術研究所)、SINTEF (ノルウェー産業技術研究所)、DTI (デンマーク技術研究所) 等の欧州の主要研究機関での開発が進められている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
熱交換器	表面・構造機能化による新概念熱物質交換器開発	NEDO 2021	<ul style="list-style-type: none"> 複雑な3次元形状を有する工業炉用高温セラミックス熱交換器の製造技術開発
	固相生成制御型回転式高耐久・高速熱交換器	NEDO 2019-2021	<ul style="list-style-type: none"> 固相生成制御型回転式高耐久・高速熱交換器の研究開発 温泉水でも安定した熱交換が可能な熱交換器の開発
産業用ヒートポンプ(HP)	未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究	NEDO 2015-2022	<ul style="list-style-type: none"> 最高200°C加熱を実現する産業用高効率高温HP開発 環境負荷の低い冷媒を使用した高温熱供給HPシステムの開発
熱電力変換			<ul style="list-style-type: none"> 熱電変換デバイスの高耐久性・低~高温排熱対応・環境性に優れた新材料・形状・製造技術に関する開発、開発した熱電変換モジュールの高精度評価技術、耐久性評価技術の開発

	目標	出典,発行者
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 我が国の2030年度の導入目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 産業用HPの累積導入設備容量:1,673千kW、 ✓ 産業用HPの省エネ量:87.9万kL 	地球温暖化対策計画(2021), 閣議決定 2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021), 資源エネルギー庁
	産業分野 <ul style="list-style-type: none"> 省エネルギーポテンシャルの高い新たな省エネルギー技術の開発や導入、工場排熱等の未利用エネルギーの活用に向けた取組強化等が必要 電力需要のピークカットに貢献できるガスHP等の利用拡大 	第6次エネルギー基本計画(2021)、同計画の概要 (2021), 資源エネルギー庁
	熱利用の高効率化・脱炭素化 <ul style="list-style-type: none"> 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HPの導入加速 	クリーンエネルギー戦略 中間整理 (2022), 資源エネルギー庁
技術開発目標	産業用ヒートポンプ (HP) <ul style="list-style-type: none"> 200°C以下 (蒸気) 用HPの普及支援・技術開発 HFC規制 (モントリオール議定書ガリ改正) に対応する新冷媒の開発 	クリーンエネルギー戦略 中間整理 (2022), 資源エネルギー庁他
	熱電変換材料・デバイス <ul style="list-style-type: none"> 200~600°Cで使用可能、かつ発電効率15%以上のモジュールの開発 出力200Wの発電ユニットの開発 未利用熱を有効活用できるシステムの確立による更なる省エネ化 	「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」基本計画(2015), NEDO

- 熱供給に関わるあらゆる場面で使われる技術として、断熱・蓄熱・熱マネジメントの技術が挙げられる
- 断熱技術については、ボイラーや熱輸送配管など、様々な関連機器におけるロスを最小限にするための技術であり、省エネルギーに貢献しうる
- 蓄熱技術は、熱供給と熱利用の時間的・空間的ギャップを埋める事ができる技術であり、非定常なバッチ処理などにも対応し、生産プロセスの最適化にも貢献する。排熱の有効利用にも繋がり、様々な場面で省エネルギーに貢献しうる。また、蓄電池よりもかなり安価であり、リチウムのような経済安全保障上の問題もない。再エネの余剰電力を吸収する調整力として、蓄電池に代わる安価な国産オプションとなりうる
- 熱マネジメント技術は、個々のプロセスのみならず、熱利用の全体最適化を通じて、省エネルギーに貢献しうる
- そのほか、熱交換技術も、共通的で重要な基盤技術であるが、熱交換技術については「未利用熱の循環利用」で扱う

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
断熱	配管やボイラー等に適用し、無駄な熱の放出をおさえる	要素技術	断熱素材、塗装素材、高断熱化、軽薄短小かつ高強度化、経年劣化の抑制・長寿命化
蓄熱・蓄冷	熱供給と熱利用の時間的・空間的ギャップをうめる コールドチェーン（低温物流）等での蓄冷材として適用	要素技術	潜熱蓄熱、顕熱蓄熱、化学蓄熱、高温蓄熱、高密度蓄熱、熱応答性、安全性、繰り返し利用、熱の保存時間、低温蓄冷材
熱交換器	詳細は、「未利用熱の循環利用」の資料を参照		
熱マネジメント	熱利用について、システム全体の最適化を図る	システム化技術	安価なセンサ技術、ピンチテクノロジー、AI解析技術、数理最適化技術

技術開発の方向性・技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> 断熱については、技術成熟度は高く、技術開発余地は小さいと見られている。一方で、コストの問題等から、事業者によって実装が進まないことが課題である 蓄熱材については、様々な材料が開発されており、温度帯も低温から高温まで様々存在し、産業用では500°Cの蓄熱の実証も行われている。蓄熱材を使った蓄熱発電については、再エネ大量導入下の調整力としても期待される 熱マネジメント技術の研究開発については、主に電動車を対象にしているものが多く、①熱流れ計測解析技術、②実機計測技術、③熱流れ解析モデルの構築により、高精度な熱マネジメント技術の開発が進められている 各事業所での熱供給・熱需要データは公開されておらず、特に未利用熱関連データは事業者間での共有が難しく、熱融通による省エネ等について評価することが困難である。また、温度を測定することは難しくないが、流量を測定することが困難であることが、エネルギーマネジメントの妨げになっている。今後はセンシングやAI/IoTの活用が期待される 	
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	個別技術	課題
	断熱	<ul style="list-style-type: none"> 断熱材は経年劣化すると、断熱性能が低下し、大きなエネルギーロスをもたらす。特に、屋外配管は200°Cくらいで、総延長も長いケースが多く、ロスも大きくなるため、断熱材の耐久性向上が必要である 熱のロスは常時モニタリングされていないことが多く、熱損失の検出や省エネルギー診断等が必要である。また、熱のロスが生じていても、工場等において生産活動を続ける必要があり、短期間・低コストで断熱材等の設備更新する技術が求められる
	蓄熱・蓄冷	<ul style="list-style-type: none"> 用途に応じた高効率蓄熱材・蓄冷材の開発と低コスト化
	熱マネジメント	<ul style="list-style-type: none"> 熱需要、排熱等に関するデータについて、需要家側で計測されていない場合が多く、計測されていても、外部に提供されない。その結果、データ整備が進まず、熱の有効活用に繋がられない 熱需要、排熱を計測するためのセンサ取り付けに費用がかかる
制度的課題	<ul style="list-style-type: none"> 排熱の価値を向上する施策 熱需要・排熱に関するデータの整備やセンサ取り付けに対する支援 	

国内	<ul style="list-style-type: none"> NEDO事業「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究」（2015年～2022年）において、熱の3R技術の一つとして、熱の使用量を減らす技術 Reduce を掲げており、そこに断熱・蓄熱が位置づけられている。また、熱の3Rを統合的に進めるための技術として、熱マネジメントを位置づけている。主に、自動車産業における熱マネジメントが中心となっている。同プロジェクトでは、15業種の工場設備の排熱実態調査も行っており、200°C未満の排熱を中心に、未利用熱が大量に排出されていることを明らかにしている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 英国でも、脱炭素化の流れの中で、排熱回収、貯蔵、利用に関する技術革新や、産業用のエネルギー効率向上にむけた戦略がとられている。産業用の低温排熱回収（250°Cまで）にむけた研究開発への関心が高まっているが、その潜在量は不明であり、英国工学・物理科学研究会議(EPSCR) 研究の助成の下で、その潜在量の推計や、最適利用に向けたモデル開発が行われている(2022年～2024年) 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
断熱	未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発	NEDO, 2015-2022	<ul style="list-style-type: none"> 高強度高断熱性多孔質セラミックスを用いた省エネルギー炉の研究開発
蓄熱・蓄冷	P2H2P向けケミカルヒートポンプ	JST, 2021-2025	<ul style="list-style-type: none"> ケミカルヒートポンプの実証研究の中で、繰り返し耐久性と高伝熱性を備えた複合材料を開発し、従来困難であった500°Cの蓄熱を実現
熱マネジメント	戦略的イノベーション創造プログラム第3期, スマートエネルギーマネジメントシステムの構築	内閣府, 2023-2028	<ul style="list-style-type: none"> 熱エネルギーマネジメントシステム(EMS)の基盤技術開発と共通化 ソフトウェアだけでなく、ハードウェアとして機器やセンサも含めた、異業種・異システムが連携可能な熱EMSプラットフォームの構築

	目標	出典,発行者
政策目標等	断熱 <ul style="list-style-type: none"> 住宅・建築物そのものの断熱性能の強化や、高効率機器・設備の導入も必要となる 蓄熱 <ul style="list-style-type: none"> 遠方の利用施設に熱供給を行うための技術として、技術向上・コスト低減の促進 熱マネジメント <ul style="list-style-type: none"> 次世代熱エネルギー産業：需要サイドのニーズを踏まえ、デジタルを活用しながら地域での最適なエネルギーの供給・マネジメント等を総合的なサービスとして提供 	第6次エネルギー基本計画(2021), 資源エネルギー庁
	熱利用の高効率化・脱炭素化 <ul style="list-style-type: none"> 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 	クリーンエネルギー戦略 中間整理(2022), 資源エネルギー庁
技術開発目標	断熱 <ul style="list-style-type: none"> 農村型バーチャルパワープラント用高性能保温/断熱技術 	戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 第3期「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」社会実装に向けた戦略及び研究開発計画(2023), 内閣府
	蓄熱・蓄冷 <ul style="list-style-type: none"> 顕熱・潜熱・化学蓄熱材料等用途に応じた開発と蓄熱密度の向上、使用材料の削減、低コスト材料の採用等による蓄熱運用の低コスト化 	
	熱マネジメント <ul style="list-style-type: none"> 熱エネルギーマネジメントシステムについて、2027年までにEMSと機器との連成運転を確認、EMSとシミュレータによるデジタルツインの動作確認、フィールドでのEMS連成運転、デジタルツインの動作を確認 	

- ヒートポンプ(HP)技術は、部門横断的な省エネ技術として世界的な普及が期待されている技術である。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)に対応する技術である
- 低温部から高温部分へ熱を移動させ、投入したエネルギーの何倍もの熱エネルギーが得られるHP技術は、電化だけでなく熱回収の技術でもあり、地中熱・河川熱・下水熱・工場排熱等の未利用熱を回収することにより大きな省エネ効果が得られる
- 本技術が関連する省エネ技術としては、「高効率空調技術」、「高効率給湯技術」、「高効率加熱」等がある

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
高効率空調ヒートポンプ (HP)	家庭用や産業用のエアコン等の空調機器へ使用されるHP技術	要素技術	冷媒技術、高効率圧縮機、高性能熱交換器
		システム化技術	ZEB・ZEH・LCCM住宅、デマンド制御技術
高効率給湯ヒートポンプ (HP)	家庭用や業務用の給湯機器へ使用されるHP技術	要素技術	冷媒技術、高効率圧縮機、高性能熱交換器
		システム化技術	デマンド制御技術
高効率プロセス加熱・冷却ヒートポンプ (HP)	主に産業のプロセスにおける乾燥・蒸留や、未利用熱を利用した加熱・冷却、冷凍・冷却機器へ使用されるHP技術	要素技術	冷媒技術、高効率圧縮機、高性能熱交換器、未利用熱利用技術
		システム化技術	デマンド制御技術、磁気軸受技術

技術開発の方向性・技術的課題	課題	
	個別技術	
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	高効率空調ヒートポンプ (HP)	<ul style="list-style-type: none"> 寒冷地における効率の改善 デフロスト運転時の暖房停止への対応 低GWP冷媒の開発 更なる高効率化
	高効率給湯ヒートポンプ (HP)	<ul style="list-style-type: none"> 設置性向上のための小型化及び静音化 DR機器としての系統安定化に寄与するシステム技術開発
	高効率プロセス加熱・冷却ヒートポンプ (HP)	<ul style="list-style-type: none"> 一般的な熱需要の200°C(ボイラー-蒸気条件等)への対応(現在の省エネ効果の高い機器の出力温度は120°C程度) 機器の大容量化への対応 エンジニアリング(あるいはシステム設計)、設置工事費用の低減
制度的課題	-	

国内	<ul style="list-style-type: none"> 我が国は、世界トップレベルの高効率HP技術で世界をリードしており、民間においてもメーカー各社より給湯用HPや空調用HP、産業用HP(加熱・乾燥用途)が展開されている 未利用熱エネルギー活用、高温HP等の次世代HP、低GWP冷媒・機器技術については、主に国家プロジェクトでの技術開発が進められている 現在、未利用熱エネルギー活用を目指したプロジェクトでは、200℃までの供給温度範囲に対応し、熱源水温度80℃、加熱器出口温度180℃の条件でCOP3.5以上を達成するHPシステムの開発が進められている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国連邦政府は、2050年までのGHG排出ネットゼロに向けた長期戦略の中で、建築物のエネルギー効率を飛躍的に向上させ、HP空調、HP給湯機等の電気製品の販売シェアを拡大することが重要と明記している 欧州委員会は、ウクライナ情勢を踏まえて2022年に提案したリパワーEU計画(REPowerEU)の中で、今後5年間で、HPの導入ペースを2倍、向こう5年間で1,000万台導入という数値目標を示している ヒートポンプ等に使用される冷媒について、温室効果抑制の観点から、特定の機器におけるHFC（ハイドロフルオロカーボン）だけでなく、GWPによらず一律にフッ素系冷媒の使用を2035年までに禁止するというFガス規制改正案が2023年10月に欧州議会/理事会/委員会により妥結されている 欧州では自然冷媒（アンモニア、CO2、炭化水素）を採用したHPの研究開発ならびに実用化が活発に行われている 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
高効率空調 ヒートポンプ (HP)、 高効率給湯 ヒートポンプ (HP)、 高効率プロセス 加熱・冷却 ヒートポンプ (HP)	未利用熱エネルギー の革新的な活用 技術研究開発	NEDO, 2015-2022	<ul style="list-style-type: none"> 未利用エネルギーに着目し、産業用高効率高温ヒートポンプや断熱・遮熱・蓄熱技術、熱電変換・排熱発電技術、熱マネジメント技術等、熱の3R(Reduce、Reuse、Recycle)技術や3Rの統合をする熱マネジメント技術を開発し、社会実装を目指す
	次世代低GWP冷媒 の実用化に向けた 高効率冷凍空調 技術の開発	NEDO, 2023-2027	<ul style="list-style-type: none"> 家庭用空調機器等に適した低GWP混合冷媒の開発及び評価、低GWP冷媒の対応機器（家庭用/業務用エアコン、冷蔵・冷凍ショーケース等）の開発

	目標	出典,発行者
政策目標 等	<ul style="list-style-type: none"> 我が国の2030年度の導入目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 産業用HPの累積導入設備容量:1,673千kW、 ✓ 産業用HPの省エネ量:87.9万kL ✓ 高効率空調の省エネ量:29万kL ✓ 家庭用HP給湯機の累積導入台数:1,590万台 ✓ 業務用HP給湯機の累積導入台数:14万台 	<p>地球温暖化対策計画(2021),閣議決定</p> <p>2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021),資源エネルギー庁</p> <p>クリーンエネルギー戦略 中間整理(2022),資源エネルギー庁</p>
技術開発 目標	<p>高効率 プロセス加熱・ 冷却ヒートポン プ (HP)</p> <ul style="list-style-type: none"> 200℃以下（蒸気）用HPの普及支援・技術開発 HFC規制（モントリオール議定書キガリ改正）に対応する新冷媒の開発 	<p>クリーンエネルギー戦略 中間整理 (2022), 資源エネルギー庁、他</p>
	<ul style="list-style-type: none"> 2022年度末に産業用高効率高温HPの試作機で技術確立し、その後、実証開発等を行い、2025年頃の実用化を目指す 	<p>「未利用熱エネルギーの革新的な活用技術研究開発」基本計画(2015), NEDO</p>

- 我が国のエネルギー消費(2020年度)は、産業部門で7,488PJ(62%)、業務部門で1,993PJ(16%)、家庭部門で1,907PJ(16%)を占め、更なる省エネ化が求められる。その実現に向け、個別機器の省エネ化とともに、建物レベル、工場レベル、地域レベルで熱・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化を進める必要がある
- エネルギーマネジメントシステムは、機器を活用し、需要側・系統側・地域の全体統合、最適化制御するための技術で、一般的にxEMSと総称される。需要側では、HEMS(Home Energy Management System)、BEMS(Building EMS)、FEMS(Factory EMS)等がある。系統側では電力の需給調整用途等の系統運用向けEMSとしてVPP(Virtual Power Plant)、地域マイクログリッド(MG-EMS)等を実現するためのEMSがある
- FEMSにおいては、IoT・AI活用製造プロセス(工場内の工作機械や生産ライン等をネットワークで相互接続し、製造工程の情報をリアルタイムに取得、AIを駆使して分析し、MES(Manufacturing Execution System)等と連携により最適化制御を行う)との統合によるスマート工場として更なる発展が期待される

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
センシング	IoTデバイスの稼働状況やエネルギー利用状況等様々な情報をデータ化する技術。収集したデータ等をxEMSで処理し、エネルギー利用を最適化する	要素技術	デバイス設計(電気回路・アナログ回路・アンテナ設計)
HEMS・BEMS・FEMS・系統向けEMS	住宅、ビル、工場、地域等の全体の省エネのため、使用するエネルギーや稼働状況を把握・制御し、エネルギー利用の最適化を図るエネルギー管理システム 系統運用向けEMSは、需要課側エネルギーリソースの保有者もしくは第三者が、そのエネルギーリソースを制御(逆潮流も含む)する技術であり、需要家のエネルギー使用量を制御するDR(Demand Response)等で利用される	要素技術	状態を把握するセンサ(IoT等)、対応機器
		システム化技術	エネルギーの見える化、機器制御システム(AI等)、DR(Demand Response)、VPP、V2G(Vehicle-to-Grid)、アグリゲーション
FEMSの高度化(スマート工場)	工場においてIoT(データ収集)・AI(予防保全・品質・歩留・稼働率向上)を活用したMES(製造実行システム)との統合に基づいた生産工程の更なる高度化・省エネを実現	要素技術	IoT(膨大な実績データの収集)、AI(ビッグデータ・暗黙知等の組織データ化)、MES
		システム化技術	MESとFEMSの統合(スマート工場化)

技術概要・技術の適用先

技術開発の方向性・社会実装に向けた課題

技術開発の方向性・技術的課題

- エネルギーマネジメントシステム導入に向けて、xEMSのシステム開発とともに、創エネ・畜エネ機器の開発・導入も合わせて実施する必要がある
- xEMSにおいては、再生可能エネルギーの出力の高精度予測技術や、各環境を適切に把握するためのセンシング・通信を含めたIoT技術等、リアルタイムでシステム全体の最適解を得るアルゴリズム・AI技術等の開発が必要である
- 導入課題として、機器間の通信規格の相違、エネルギー・ビッグデータの整備、高度な統合制御技術の確立、継続的な最適化運用、セキュリティの確保、導入・運用コスト(センサ機器、通信回線、サーバー、保守等)の削減等が挙げられる

導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

個別技術	課題
センシング	<ul style="list-style-type: none"> 行動把握・ビル内テナント利用状況・工場内環境・製造ライン等を把握するセンシング技術(高圧・高温等過酷環境下での動作の信頼性等)の開発 微小振動等の超微量の検知精度の開発 機器間の通信規格の相違
HEMS・BEMS・FEMS・系統向けEMS	<ul style="list-style-type: none"> センシング技術・通信技術・システム全体の最適化技術 機器とシステムとの連携及びその規格 導入・運用に係るコスト削減・インセンティブ サイバーセキュリティ対策 より高度な統合制御技術の確立(周波数調整等) EV充放電器等の環境整備、V2G技術の構築及び経済的インセンティブ
FEMSの高度化(スマート工場)	IoT：通信負荷・情報処理能力・信頼性・セキュリティ・電力AI：データ品質・ブラックボックス化・セキュリティ・人材育成システム：MES(製造実行システム)確立、スマート工場化(MESとFEMSの統合)各項目の規格化・標準化

制度的課題

- エネルギー利用の最適化に向けた様々なステークホルダー間(供給側・需要側を含む)の連携・協働
- データ利活用が容易になるような制度や仕組みの導入

国内	<ul style="list-style-type: none"> xEMSの技術の開発では、政府による実証事業が積極的に進められている。電機メーカーでは家電とエネルギー機器・システムの両面からHEMSの強化、制御・自動化機器メーカーではBEMSの利用拡大に注力している 第3期SIPの研究開発テーマとして、電力に加えて、熱、水素・アンモニア等もエネルギー需給調整対象としたエネルギーマネジメントの開発が検討されている ドイツのインダストリー4.0の動きを受けて経済産業省もConnected Industriesを提唱し、スマート工場の環境整備を進めている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国DOEでは、Grid Modernization Initiativeとして国研をまたいで「研究所グリッド統合設備ネットワーク」を作り進めている 欧州では、2050年に向けて欧州全体で再生可能エネルギーネットワークを構築するe-Highway2050構想の検討を行っている。また、Industry5.0xデータ共有ネットワーク(GAIA-X等)により、産業競争力強化の動きを更に加速している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
センシング	IoT社会実現のための革新的センシング技術開発	NEDO, 2019-2024	<ul style="list-style-type: none"> 超微量の検出や過酷環境下での動作、非接触・非破壊での測定等を可能とする革新的センシングデバイスを開発
HEMS・BEMS・FEMS・システム運用向けEMS、スマート工場	分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開	内閣府, 2012-2019	<ul style="list-style-type: none"> 多様なエネルギー源と様々な利用者をつなぐエネルギー管理システムにおいて、エネルギー需給を最適制御するための理論、数値モデル、及び基盤技術を創出
	蓄電池等の分散型エネルギーリソースを活用した次世代技術構築実証事業	資源エネルギー庁, 2021-2023	<ul style="list-style-type: none"> 分散型エネルギーシステムの確立、制御技術の高度化、電動車等の電力需要シフト、ローカルフレキシビリティ実現技術等の開発・実証
	需要家側エネルギーリソースを活用したバーチャルプラント構築実証事業	資源エネルギー庁, 2016-2020	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電池・電動車・発電設備等の需給バランス調整に活用するVPPの実証及び時間帯別料金設定による電動車充電ピークシフトの実証
	Connected Industries推進のための協調領域データ共有・AIシステム開発促進事業	NEDO, 2019-2021	<ul style="list-style-type: none"> 重点分野(ものづくり・ロボティクス、プラント・インフラ保安等)における業界横断型AIシステムの開発と業界共有データ基盤の開発

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 2030年度までの導入目標 ✓ FEMSのカバー率(事務所ベースでの普及率×事業所内での導入率)24% ✓ 省エネ量74万KL 	地球温暖化対策計画(2021), 閣議決定	
	<ul style="list-style-type: none"> 2030年度までの導入目標 ✓ HEMS: 導入率・普及率85%、導入世帯数5,468万世帯、省エネ量216.0万KL ✓ BEMS: 導入率・普及率47%、省エネ量238.5万KL ✓ FEMS: 導入率・普及率24%、省エネ量74.0万KL 	2030年度におけるエネルギー需給の見通し(2021), 資源エネルギー庁	
技術開発目標	センシング	<ul style="list-style-type: none"> 超微量を検出(従来の測定限界の1/1,000以下)するセンシング技術の開発 過酷環境化での動作を可能とするセンシングデバイスの開発 	IoT社会実現のための革新的センシング技術開発(2022), NEDO
	システム運用向けEMS	<ul style="list-style-type: none"> 2016年度から2020年度までの5年間の事業を通じて、50MW以上の電動車や蓄電池を含むエネルギーリソースをVPPとして制御する技術の確立を目指す 	需要家側エネルギーリソースを活用したバーチャルプラント構築実証事業費補助金(2016), 資源エネルギー庁
	スマート工場	<ul style="list-style-type: none"> 超低消費電力IoTチップと革新的なセンサ技術を実現し、センサ近傍処理に必要な電力を1/5以下に削減する 2025年までに企業のIoTソリューション導入率を90%以上に引き上げる 	5G等の活用による製造業のダイナミック・ケイパビリティ強化に向けた研究開発事業(2023),NEDO フィジカル空間デジタルデータ処理基盤(2018)、内閣府

- パワーエレクトロニクスとは、電気の周波数や電圧、交流・直流の変換等を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される情報機器の高効率化・小型化、運輸分野でのBEV等の電気電子機器の高効率化への要求が加速しているとともに、電力需給ではインバータ・コンバータ等再生可能エネルギー導入への対応が求められており、高効率で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期待されている
- SiC(シリコンカーバイド)は、高電圧・大電流での利用が可能であるため、鉄道、発電システム、EVへの用途で利用される。GaN(窒化ガリウム)は、SiCより高いスイッチング速度を有するが低電圧での利用に限られるため、スマホ等の端末・充電器に利用されている

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
半導体材料	電気を通しやすい導体と電気を通さない絶縁体の両方の特性を持つ材料。集積回路等で利用される	要素技術	SiC、GaN、Ga ₂ O ₃ 、結晶成長
デバイス	特性に応じて電圧や周波数、直流・交流を変える技術。ディスクリット(ダイオード、トランジスタ)や光半導体、センサ、集積回路等を指す	要素技術	高耐圧・超低損失パワーデバイス構造
モジュール	半導体等のデバイスやコンデンサ等の受動素子を組み合わせる電気変換を最適な回路として設計する技術	要素技術	機能集積化技術、熱設計、回路・実装技術
		システム化技術	回路制御
機器回路	モジュールが組み込まれた製品の回路。EV用のインホイールモーター、トランスレス変換器等で利用される	要素技術	機器実装、熱マネジメント、機器制御・設計
		システム化技術	システム制御・設計

技術開発の方向性・技術的課題	課題	
	個別技術	課題
導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題	半導体材料	<ul style="list-style-type: none"> • 高電流密度、高耐熱、高耐圧への対応 • ウェハの更なる高品質化・低コスト化・大口径化 • SiCは、高品質な8インチウェハの製造に向けた再結合促進層技術、低BPD欠陥エピタキシャル技術、低オン抵抗化技術等の開発 • GaNは、高品質な4インチウェハの製造、及び縦型パワーデバイス実現に必要なエピタキシャル技術やイオン注入技術等の開発
	デバイス	<ul style="list-style-type: none"> • ゲートしきい値電圧の高電圧化と安定化 • ボディーダイオードの通電劣化を防止する技術の開発 • 安定した高電流密度動作を実現する技術の開発 • 低コスト化
	モジュール	<ul style="list-style-type: none"> • 高電力変換効率 • 高密度化、モジュールの小型化、耐熱モジュールの実現 • 同期整流できる技術の開発 • 信頼性評価(サージ電圧やノイズ抑制等) • AIを活用した回路システムのデジタル制御
	機器回路	<ul style="list-style-type: none"> • 次世代パワエレの普及・拡大に向けた各種機器(自動車分野、電力機器分野等)への実装・プロトタイプ・動作検証等
	制度的課題	-

国内	<ul style="list-style-type: none"> 次世代パワー半導体の中で、これまでの技術開発の進展からSiCの実用化が進展している。現在、既存製品の特性改善・低コスト化が進められるとともに、より高耐圧化に向けた開発が進められている。また、SiCよりも優れた材料特性を持つGaN、Ga₂O₃、ダイヤモンドについてはデバイス化に向けた材料制御技術開発が進展している 我が国の次世代パワー半導体の技術開発レベルは世界的に優位にある 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> 米国では2017年からエネルギー省(DOE)による「CIRCUITS」のプロジェクトが実施されており、これまでにない機能性、効率性、信頼性、小型化を実現する先進的なパワーエレクトロニクスの開発に向けて22のプロジェクトが推進されている 欧州では2022年に「The European Chips Act」が提案され、2030年までに430億ユーロを半導体の技術開発等に投資する予定である 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
半導体材料、デバイス、モジュール、機器回路	次世代デジタルインフラの構築プロジェクト	NEDO, 2021-2030	次世代パワー半導体(SiC、GaN等)による50%以上の損失低減と社会実装を促進するためのSiパワー半導体と同等のコスト実現に向けた低コスト化に係る開発
	省エネエレクトロニクスの製造基盤強化に向けた技術開発事業	NEDO, 2021-2025	我が国が保有する高水準の要素技術等を活用し、エレクトロニクス製品のより高性能な省エネ化の実現
	低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト	NEDO, 2009-2019	パワーエレクトロニクス技術の高度化により、省エネ技術の国際的牽引、及び我が国の産業競争力強化を図る
	戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) / 次世代パワーエレクトロニクス	内閣府, 2013-2018	次世代パワーエレクトロニクス技術の更なる適用領域の拡大や普及促進

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 2025年に次世代パワー半導体等を用いた機器の実証、パワー半導体の省エネ(50%以上達成) 2050年までに既存の半導体、機器の置き換え終了 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省 関係省庁	
技術開発目標	半導体材料、デバイス	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までの目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 量産時に従来のSiパワー半導体と同等のコスト ✓ 8インチ(200mm)SiCウェハにおける欠陥密度1桁以上の削減及びコスト低減 ✓ 次世代パワー半導体を使った変換器等の損失を50%以上低減 	「次世代デジタルインフラの構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(2023), 経済産業省
	モジュール、機器回路	<ul style="list-style-type: none"> 2025年までの目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Siパワー半導体・次世代半導体(GaN等)の成果を用いて、現時点から応用可能な用途(電動車・データセンター電源・LED等)に係る技術の実証・実装・高度化 2030年までの目標 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 次世代パワーエレクトロニクス技術(高効率制御等)の研究開発 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省 関係省庁

- 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
- 省エネ効果の観点では、特に輸送機器の燃費改善が重要と考えられ、炭素繊維系、合金・金属間化合物系複、セラミックス系、金属セラミックスの各複合材料の本格的な実装が求められる

個別技術	技術の用途	要素技術・開発項目等	
炭素繊維系複合材料	軽量で強度と剛性が高い特性から、自動車、航空機、船舶の構造材等に利用されることにより、軽量化による省エネ効果が期待されている	要素技術	軽量化、高耐熱化、難燃性化、高熱伝導性化、高強度化、高耐衝撃性化
合金・金属間化合物系複合材料	成分元素と異なる特有の物理的・化学的性質を発現させることが可能であり、特に高強度・耐熱・軽量等の面から大型車両やタービン・エンジンの構造材等への適用による省エネ効果が期待されている	要素技術	軽量化、高強度化、高耐熱化、高延性化、高耐食化、成形技術、接合・接着技術、低コストプロセス技術、信頼性評価技術
セラミックス系複合材料	軽量で耐熱性が高い特性から、自動車やタービン・エンジンの構造材等に利用されることにより、エンジン推進の向上や軽量化による省エネ効果が期待されている	要素技術	軽量化、高耐熱化、高強度化、高靱性化、高耐衝撃性化、Ceramic Matrix Composites(Ox/Ox系、C/SiC系、SiC/SiC系)
金属セラミックス複合材料	大型工作機械や精密可動ステージの構造材等に利用されることにより、加工の高速・高精度化や機械部材の軽量化による省エネ効果が期待されている	要素技術	軽量化、高速化、高精度化、放熱性向上、熱変形防止

技術開発の方向性・技術的課題

- 複合材料・セラミックスの開発は、投資規模が大きく、業界横断的な取り組みが必要となるため、国家プロジェクトとして推進していくことが重要である
- 炭素繊維系複合材料は、需要に対する製造能力が伴っておらず、生産性向上と低コスト化を実現する製造技術が求められている
- セラミックス系複合材料は、軽量化と耐久性の両立のために、破壊靱性ではなく、損傷許容性の向上が求められている
- 合金・金属間化合物系複合材料、金属セラミックス複合材料については、接合・接着技術の確立が求められている

導入/利用に向けた課題/障壁・社会実装に向けた課題

個別技術	課題
炭素繊維系複合材料	<ul style="list-style-type: none"> • 異種材料との協調・連携(高強度高速接合等) • 成形方法最適化・生産性向上(高速キュア等)・低コスト化 • 廃棄物対策・リサイクル化
合金・金属間化合物系複合材料	<ul style="list-style-type: none"> • マルチマテリアル最適構造設計・信頼性設計技術の確立 • 接合・接着技術の確立 • 計測・評価技術の確立
セラミックス系複合材料	<ul style="list-style-type: none"> • 連続繊維複合化による損傷許容性向上 • 複合材を用いた部材の低コストな成形組立技術の実現
金属セラミックス複合材料	<ul style="list-style-type: none"> • セラミックス含有率の向上 • 接合・接着技術の確立

制度的課題

	-
--	---

国内	<ul style="list-style-type: none"> 炭素繊維系複合材料、セラミックス系複合材料等の複合材料製造技術は、いずれも我が国が技術的優位にあり、主に国家プロジェクトとして研究開発が実施されている 炭素繊維系複合材料は、航空機、自動車等の部素材、さらにはエレクトロニクス、医療材料やヘルスケア分野等への適用を目指した研究開発が実施されている セラミックス系複合材料製造技術については、軽量・耐熱の基盤技術の開発が実施され、更なる高性能化に向けた材料開発が実施されている 		
欧米	<ul style="list-style-type: none"> セラミックス系複合材料については、米国の航空機エンジンメーカーGE Aviation社と仏国の航空機エンジンメーカーSafran社が2021年、現在のエンジンと比較して燃料消費量とCO2排出量を20%以上削減することを目標とした技術開発プログラムを開始している 		
個別技術	PJ名	主体,期間	概要
炭素繊維系複合材料、合金・金属間化合物系複合材料	革新的新構造材料等研究開発	NEDO, 2014-2022	<ul style="list-style-type: none"> 輸送機器(自動車等)の抜本的な軽量化に繋がる技術を開発
セラミックス系複合材料	次世代複合材創製・成形技術開発	NEDO, 2020-2024	<ul style="list-style-type: none"> 航空機構造部材及び軽量・耐熱のエンジン部材を開発

	目標	出典,発行者	
政策目標等	<ul style="list-style-type: none"> 革新的な手法で製造された材料は、いずれも軽量化や強靱化により川下段階での省資源・省エネ化に貢献できるものであるとともに、幅広い用途での需要拡大が見込まれる。具体的には、炭素繊維（航空機や風力タービン）、ファインセラミックス・カーボンナノチューブ（革新的蓄電池、革新的太陽光発電、次世代半導体等の部素材）、セルロースナノファイバー（自然由来で様々な部素材の性能向上に寄与）等については、川下分野の戦略等を踏まえた開発を進め、環境性能の高い材料の普及拡大、市場の取り込みを目指す 	2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021), 経済産業省 関係省庁	
	<ul style="list-style-type: none"> 2030年に向けた取組 <ul style="list-style-type: none"> ✓ セルロースナノファイバー等の革新的な製造技術及び製品化技術の開発、社会実装 	技術ロードマップ(2023), カーボンサイクルロードマップ検討会	
技術開発目標	炭素繊維系複合材料、合金・金属間化合物系複合材料	輸送機器（自動車等）の抜本的な軽量化 <ul style="list-style-type: none"> マルチ材料技術開発 接合技術開発 革新的チタン材の開発 革新的アルミニウム材の開発 革新的マグネシウム材の開発 革新鋼板の開発 熱可塑性CFRPの開発 革新炭素繊維基盤技術開発 	革新的新構造材料等研究開発基本計画(2014),NEDO
	セラミックス系複合材料	航空機構造部材及び軽量・耐熱エンジン部材の開発 <ul style="list-style-type: none"> 機体設計技術の開発 熱可塑性CFRPを活用した航空機用軽量機体部材の成形技術 複合部材間および他材料間の高強度高速接合組立技術 SiC繊維の品質安定性向上 1400°C級CMC材料の実用化 低コストCMC材料及びプロセス開発 	次世代複合材創製・成形技術開発基本計画(2020),NEDO