



カーボンニュートラル達成へのアプローチ ～アカデミアの視点から～



東京大学 大学院新領域創成科学研究科

大崎 博之

カーボンニュートラル達成へのアプローチ ～アカデミアの視点から～

1. カーボンニュートラルに関わる動き
2. 電源構成と再生可能エネルギー
3. 電気学会におけるカーボンニュートラルへの取り組み
4. 電力分野における研究開発の例
5. 運輸分野におけるカーボンニュートラル
6. その他
7. まとめ

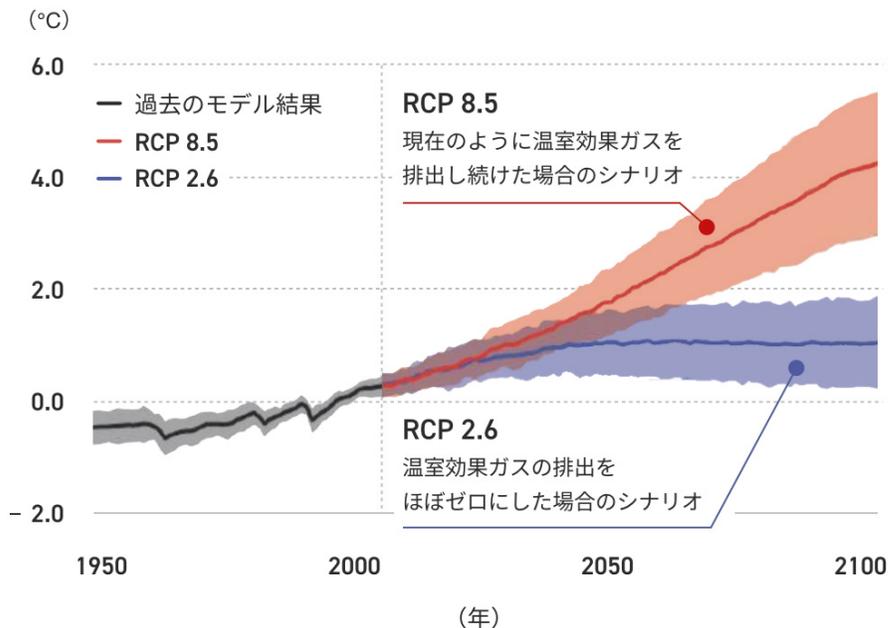
カーボンニュートラルに関わる動き：パリ協定

パリ協定(地球温暖化対策の国際的枠組み)

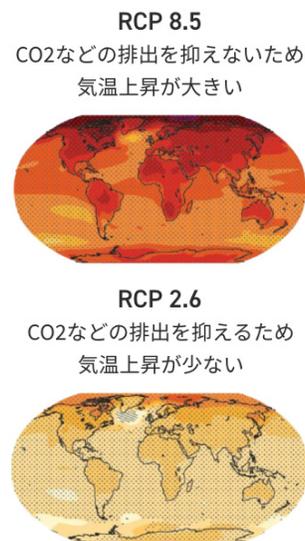
産業革命前からの平均気温の上昇を 2°C より十分下方に保持し、 1.5°C に抑える努力を追及するという目標を掲げている

- パリ協定の目標を達成するために、日本、米国、英国やEUは2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを表明。
- 温室効果ガス削減の2030年目標

1986 - 2005年平均に対する世界平均地上気温の変化



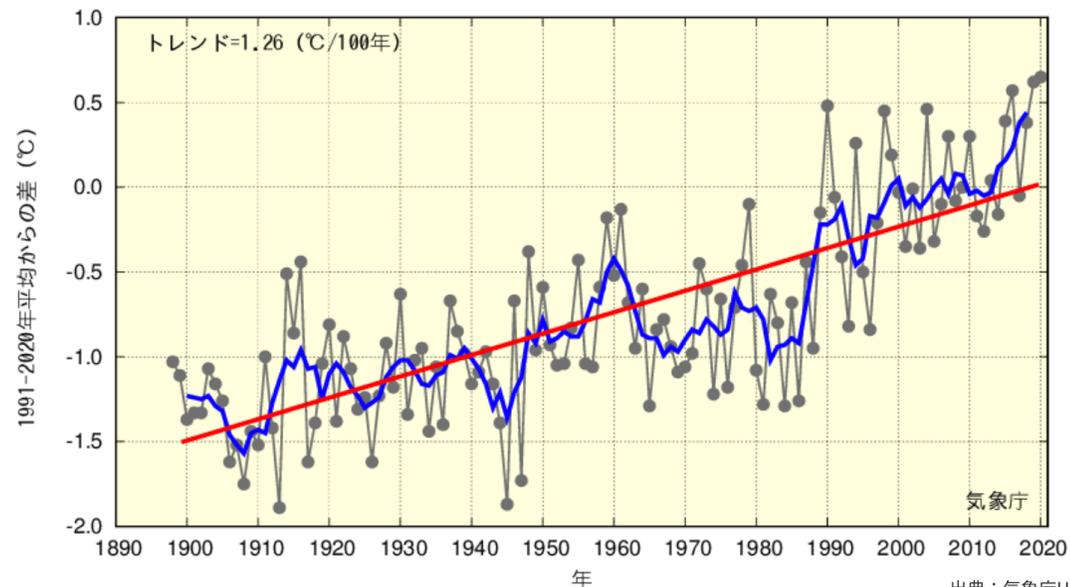
年平均地上気温の変化



出典：IPCC AR5 WG I SPM Fig. SPM.8(a)

https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/

日本の年平均気温偏差



出典：気象庁HP

カーボンニュートラル実現に向けた国内動向

菅総理所信表明演説(令和2年10月26日)

我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち**2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す**ことを、ここに宣言いたします。
もはや、温暖化への対応は経済成長の制約ではありません。積極的に温暖化対策を行うことが、産業構造や経済社会の変革をもたらし、**大きな成長につながるという発想の転換**が必要です。

地球温暖化対策推進本部(令和3年4月22日)

2050年目標と統合的で、野心的な目標として、**2030年度に、温室効果ガスを2013年度から46%削減**することを目指します。さらに、**50%の高み**に向けて、挑戦を続けてまいります。

地球温暖化対策の推進に関する法律(令和3年6月2日一部改正)

地球温暖化対策の推進は、(略)環境の保全と経済及び社会の発展を統合的に推進しつつ、我が国における**二千五十年までの脱炭素社会(略)の実現を旨として**、国民並びに国、地方公共団体、事業者及び民間の団体等の密接な連携の下に行われなければならない。

岸田総理所信表明演説(令和3年12月6日)

人類共通の課題である気候変動問題。この社会問題を、**新たな市場を生む成長分野**へと大きく展開していきます。
2050年カーボンニュートラル及び2030年度の46%排出削減の実現に向け、再エネ最大限導入のための規制の見直し、及び、クリーンエネルギー分野への大胆な投資を進めます。

2050年CNに伴う
グリーン成長戦略
(2021.6)

地域脱炭素
ロードマップ
(2021.6)

温対法改正
(2021.6)

地球温暖化対策計画
(2021.10)

- 2030年度の野心的な目標
→ 46%削減、
さらに50%に挑戦
- 部門別削減目標及び対策を強化

エネルギー基本計画
(2021.10)

- 2030年のエネルギーミックス:
再エネ 36~38%
原子力 22~20%
火力全体 41%
水素・アンモニア 1%

パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略
(2021.10)

- 2050年カーボンニュートラルに向けた基本的考え方、分野別のビジョン等

COP26にNDC(国が決定する貢献)提出
(2021.11)

- 2050年カーボンニュートラルに向けた基本的考え方、分野別のビジョン等

グリーン成長戦略

- 温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、「成長の機会」と捉える時代に突入している。
- 実際に、研究開発方針や経営方針の転換など、「ゲームチェンジ」が始まっている。この流れを加速すべく、グリーン成長戦略を推進する。
- 「イノベーション」を実現し、革新的技術を「社会実装」する。これを通じ、2050年カーボンニュートラルだけでなく、CO2排出削減にとどまらない「国民生活のメリット」も実現する。

2050年に向けて成長が期待される、14の重点分野を選定。

・ 高い目標を掲げ、技術のフェーズに応じて、実行計画を着実に実施し、国際競争力を強化。 ・ 2050年の経済効果は約290兆円、雇用効果は約1,800万人と試算。



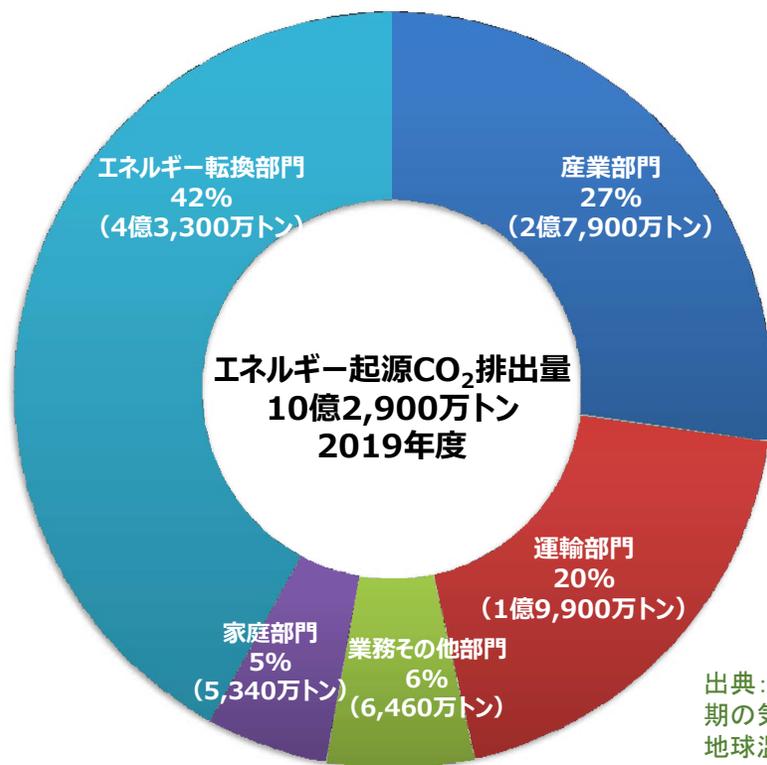
日本の温室効果ガス排出量

日本の温室効果ガス排出量

12億1300万トン(CO₂換算, 2019年度)のうち,
エネルギー起源CO₂が85%

エネルギー転換部門

エネルギー起源CO₂排出量の42%



脱炭素電源の導入推進

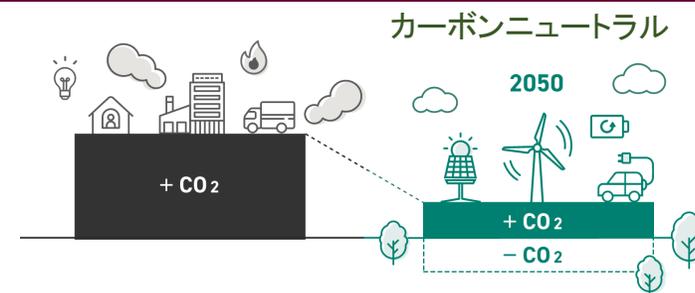
- ・再生可能エネルギーの主力電源化
- ・次世代電力ネットワークの構築

電化とデジタル化による省エネ

エネルギー貯蔵

脱炭素燃料・電源

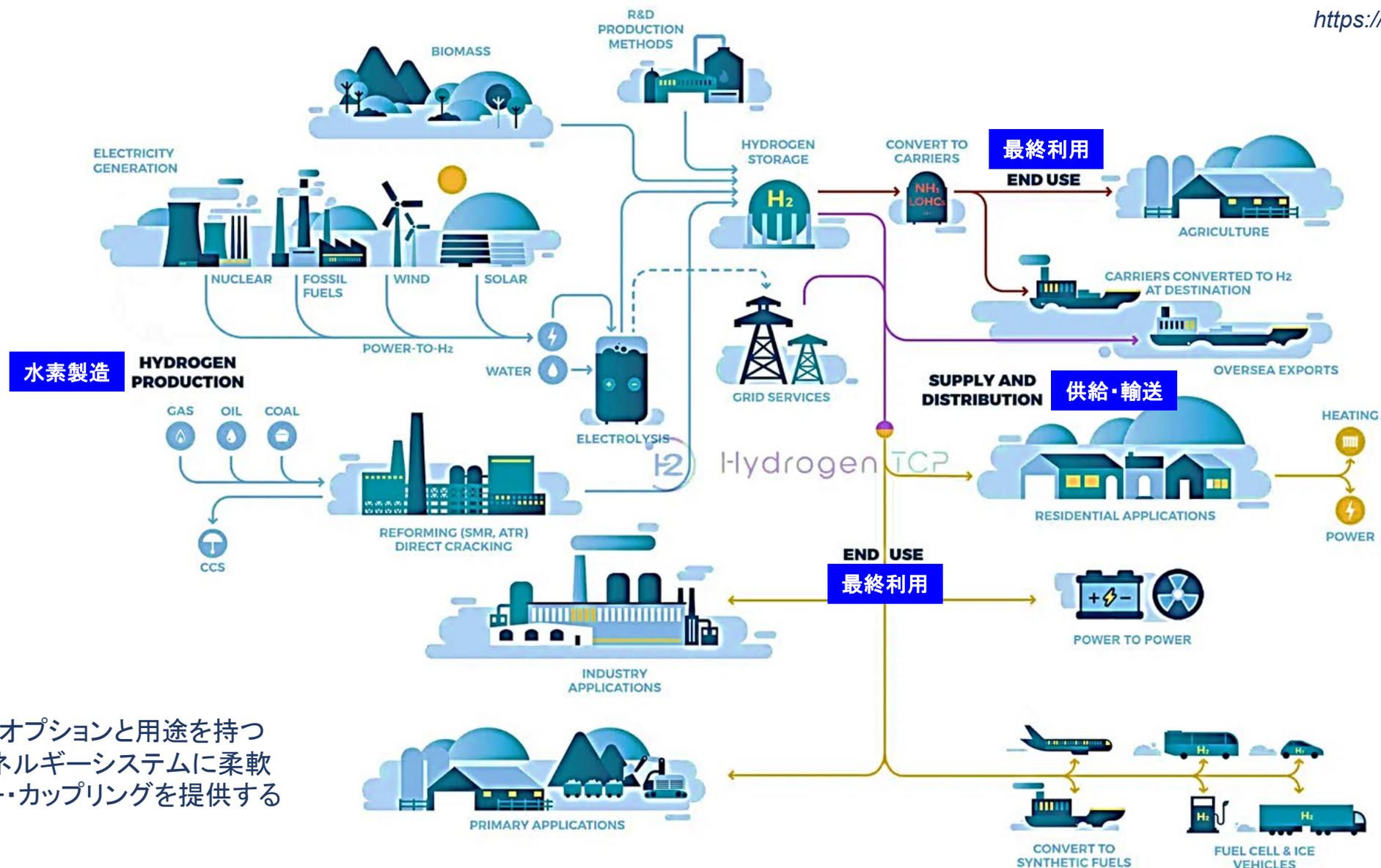
水素・アンモニア・etc.



出典: 温室効果ガス排出の現状等, 経済産業省 第3回中央環境審議会地球環境部会 中長期の気候変動対策検討小委員会 産業構造審議会産業技術環境分科会 地球環境小委員会 地球温暖化対策検討ワーキンググループ 合同会合, 2021年2月26日

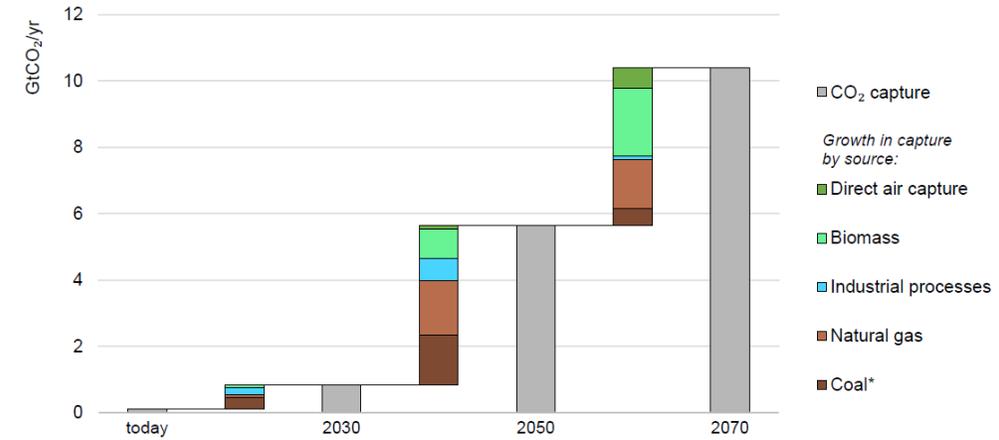
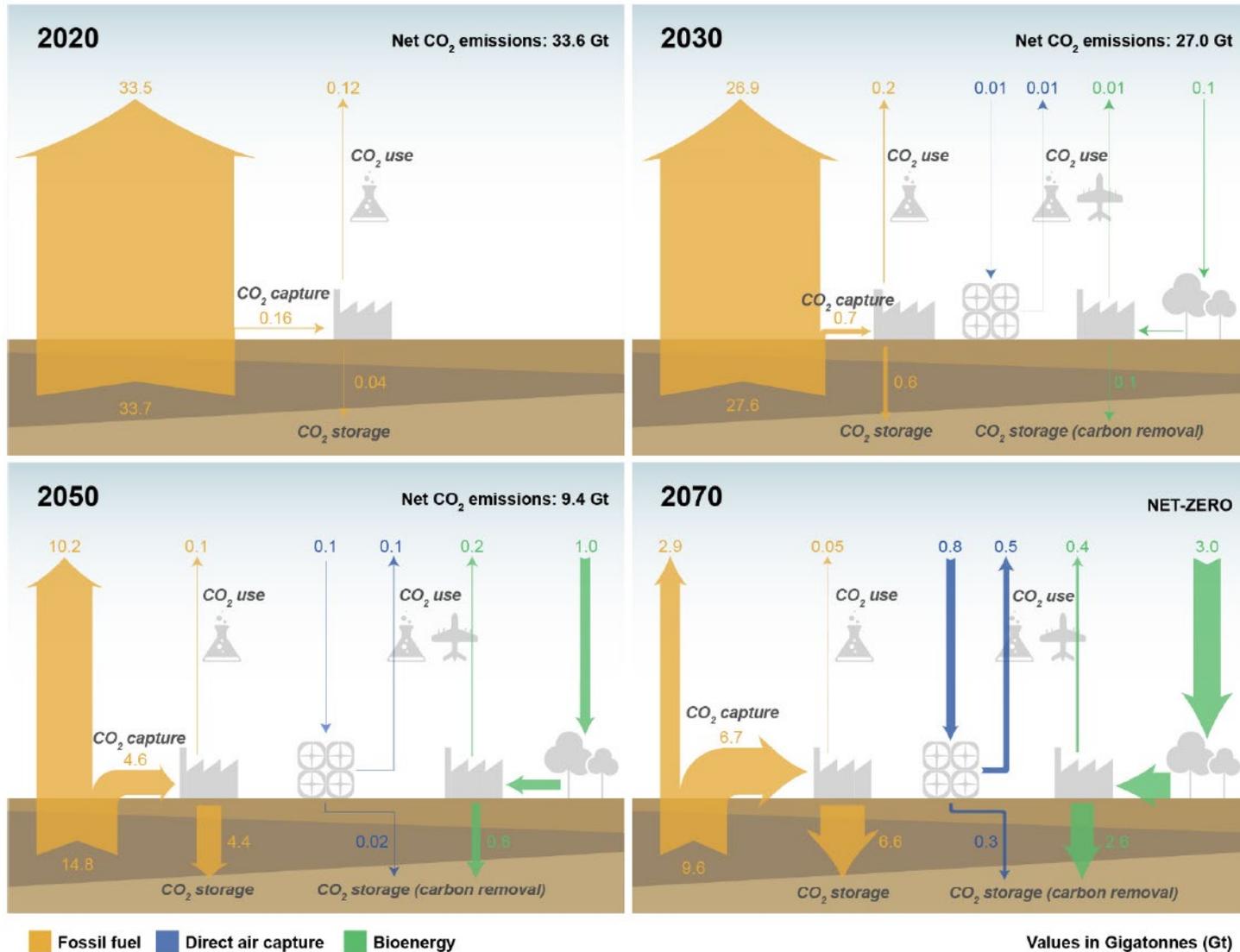
水素バリューチェーン (IEA Hydrogen TCPより)

<https://www.ieahydrogen.org/>



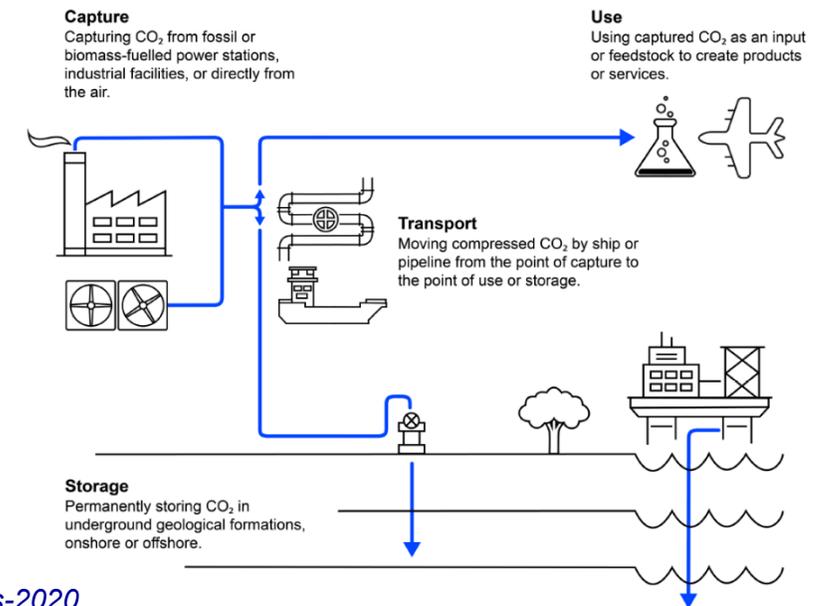
複数の製造オプションと用途を持つ水素は、エネルギーシステムに柔軟性とセクター・カップリングを提供する

CCUSについて (IEA Energy Technology Perspectives 2020より)



IEA 2020. All rights reserved.

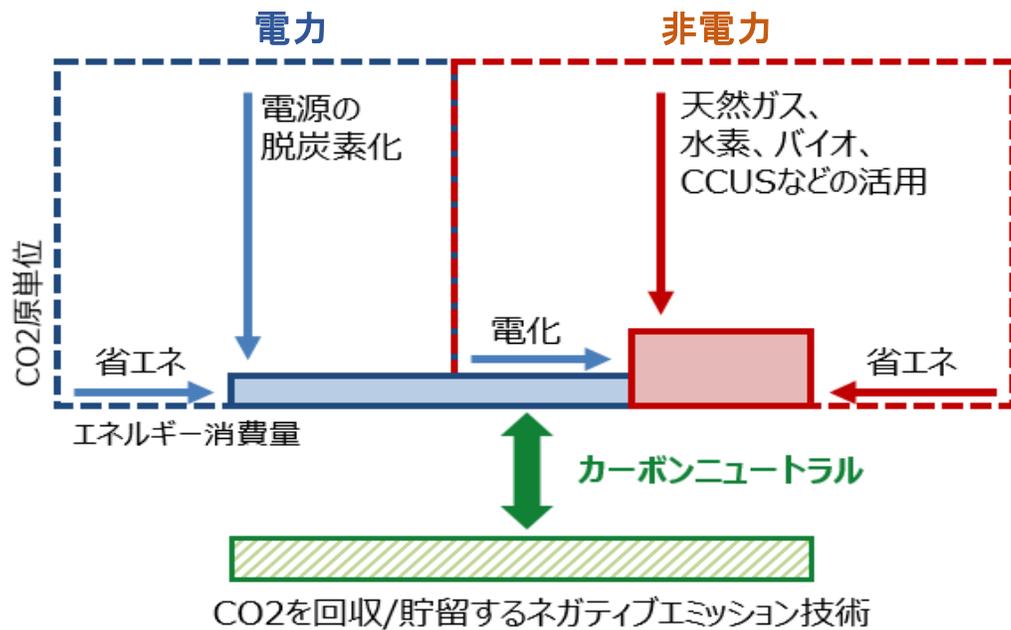
* Including from the use of oil, which represents 2% of total capture to 2070.



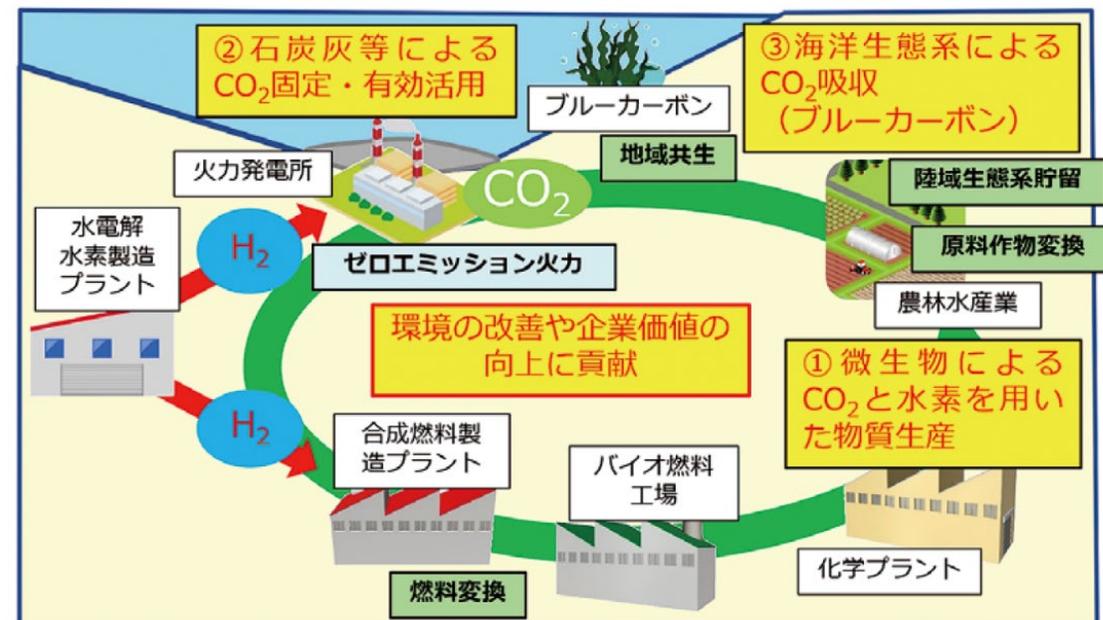
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>

カーボンニュートラルに関わる事項

CO₂排出量削減のイメージ



カーボンリサイクル



出典: 第3回グリーンイノベーション戦略推進会議資料

犬丸淳氏 第34回鉄道総研講演会資料より

カーボンニュートラルに関わる事項

S+3E(エネルギー政策の基本)

Safety: 安全性

前提

Energy Security: エネルギー安定供給

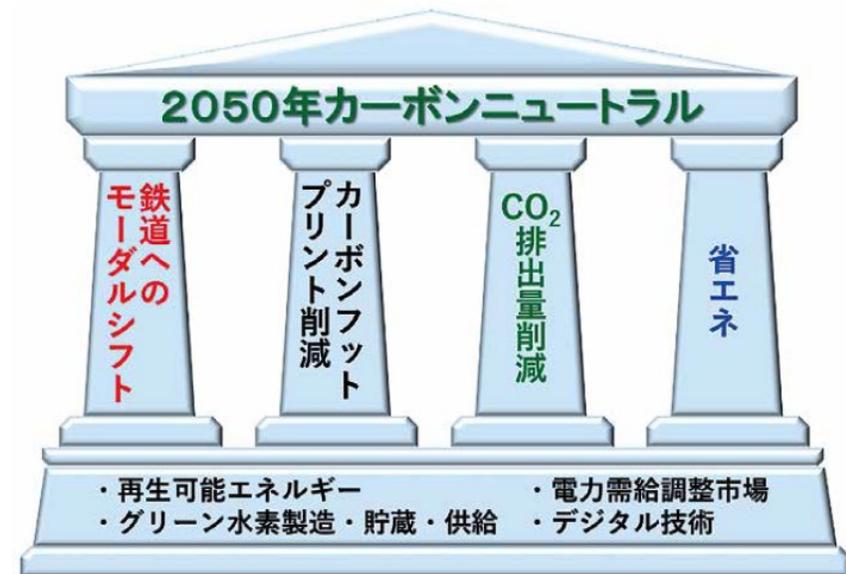
重視

Economic Efficiency: 経済効率性の向上

目指す

Environment: 環境への適合

鉄道におけるカーボンニュートラル



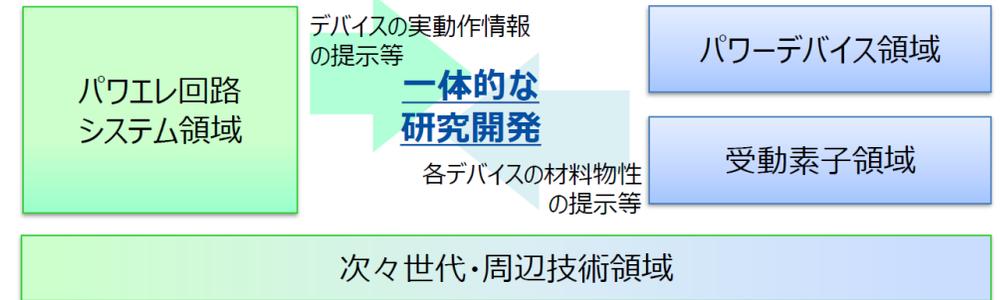
古川敦氏 第34回鉄道総研講演会資料より

文部科学省：カーボンニュートラルの実現に貢献する研究開発

カーボンニュートラル実現に貢献する革新的な脱炭素技術等の研究開発力強化

- 革新的な脱炭素化技術の基礎・基盤研究の推進
 - ✓JST未来社会創造事業「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域
 - ✓JST戦略的創造研究推進事業先端的低炭素化技術開発(ALCA)
- デジタル化時代を支える徹底した省エネルギーの推進
 - ✓革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業
 - ✓次世代X-nics半導体創生拠点形成事業
- 次世代蓄電池の研究開発の推進
- 地域の脱炭素化加速のための基盤研究の推進

GaN等の次世代半導体の特性を最大限生かし、パワーデバイス等のトータルシステムとしての一体的な研究開発を推進



長期的視点で環境エネルギー問題を根本的に解決

- ITER(国際熱核融合実験炉)計画等の実施
- 大型ヘリカル装置(LHD)計画

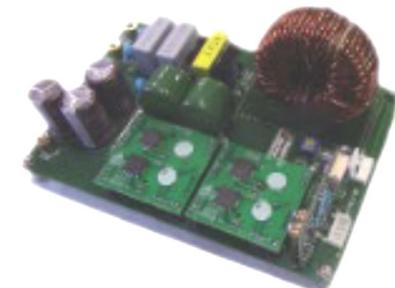
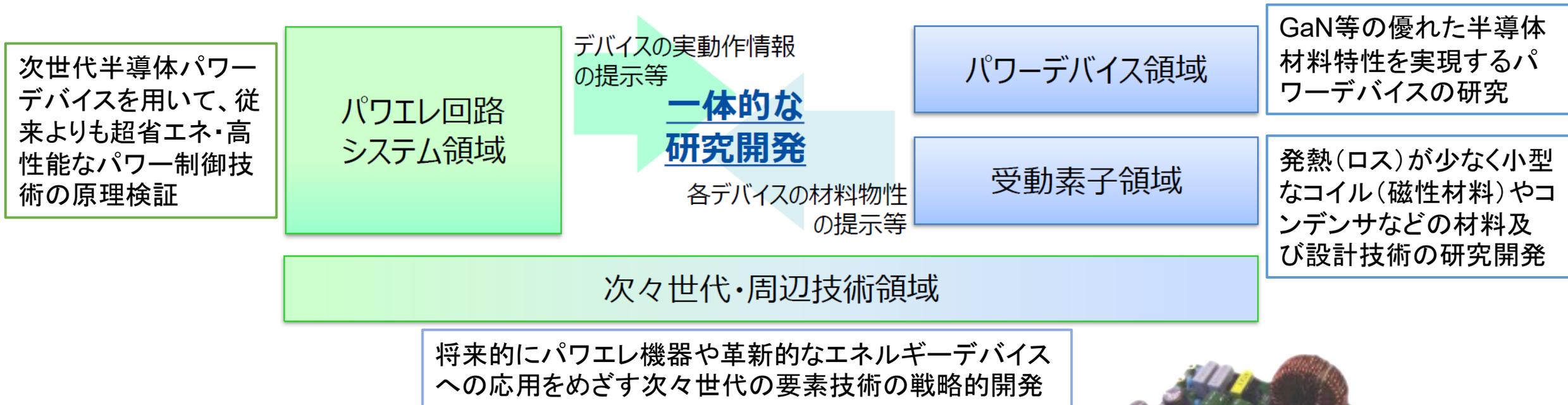
気候変動対策の基盤となる高精度な気候変動予測データの創出と利活用の強化

- 気候変動適応戦略イニシアチブ

令和4年度概算要求のポイント(科学技術関係)(文部科学省科学技術・学術政策局) 第66回科学技術・学術審議会総会資料より

革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業

学理究明も含めた基礎基盤研究の推進により、GaN等の次世代半導体の優れた材料特性を実現できるパワーデバイスやその特性を最大限活かすことのできるパワエレ回路システム、その回路動作に対応できる受動素子等を創出し、超省エネ・高性能なパワエレ技術の創出を実現する。これにより、世界に先駆けた超省エネ・高性能なパワエレ機器の早期創出に貢献し、2050年カーボンニュートラルの実現と世界市場獲得を目指す。



採択課題： 令和3年度12+2件

JSTにおける低炭素社会実現のための事業

戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発 (ALCA)

【事業の目的・目標】

2030年の社会実装を目指し、低炭素社会の実現に貢献する革新的な技術シーズ及び実用化技術の研究開発や、優れた機械的特性をもつ軽量材料の開発、リチウムイオン蓄電池に代わる革新的な次世代蓄電池等の世界に先駆けた革新的低炭素化技術の研究開発を推進。

【事業概要・イメージ】

○ 実用技術化プロジェクト

- 2030年の社会実装を目指し、温室効果ガス削減に大きな可能性を有する世界に先駆けた革新的な技術シーズを発掘。
- 要素技術開発を統合しつつ実用技術化の研究開発を加速。

○ 特別重点プロジェクト

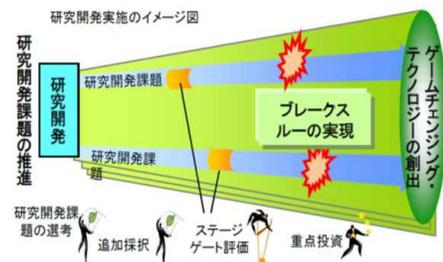
- 2030年の社会実装を目指して取り組むべきテーマについて、文部科学省と経済産業省が合同検討会を開催して設定し、産学官の多様な関係者が参画して共同研究開発を実施(「次世代蓄電池研究加速プロジェクト」を実施中)。

【事業スキーム】

支援対象機関: 大学、国立研究開発法人等

事業期間: 平成22～令和4年度

研究期間は原則5年間とし、**ステージゲート評価**を経て「実用技術化プロジェクト」へ移行(さらに最長5年間)



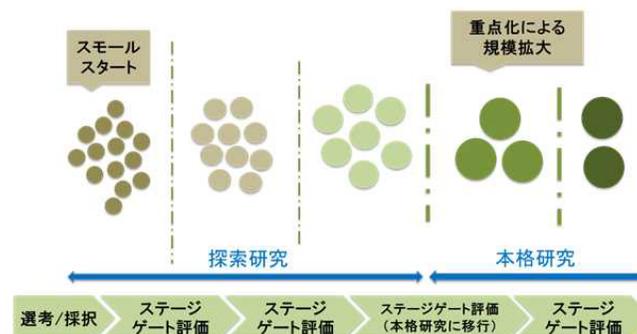
未来社会創造事業 「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域

【事業の目的・目標】

2050年の社会実装を目指し、エネルギー・環境イノベーション戦略等を踏まえ、温室効果ガス大幅削減というゴールに資する、従来技術の延長線上にない**革新的エネルギー科学技術の研究開発**を強力に推進。

【事業概要・イメージ】

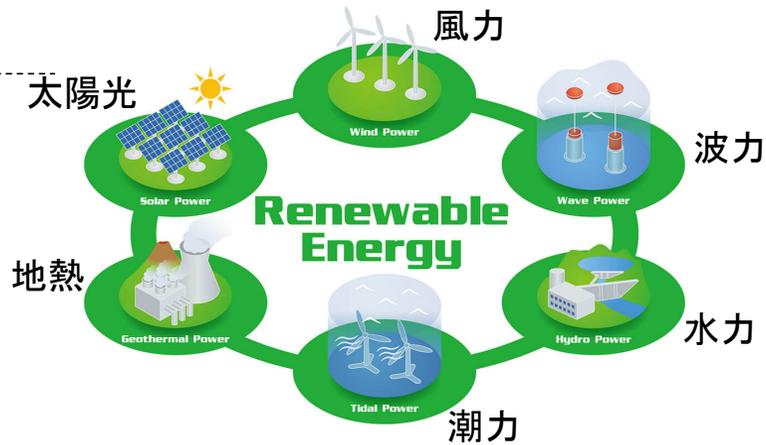
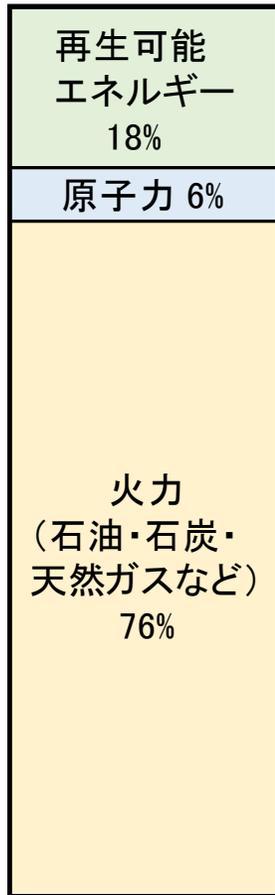
- 少額の課題を多数採択し、途中段階で目標達成度及びCO2排出量大幅削減の可能性の判断に基づく厳しい評価(**ステージゲート評価**)を経て、評価基準を満たした課題のみ次のフェーズに移行する仕組みを採用。
- また、低炭素社会の実現に向けた開発テーマに関連が深い有望な他事業等の技術シーズを融合する形での研究開発を実施。
- さらに、社会・経済的なインパクトや産業ニーズが大きく、分野共通のボトルネック課題が存在する領域をFAで特定し、連携して支援する仕組みを構築。基礎研究から実用化まで切れ目のない支援により、研究開発を強力に加速。



※ 先端的低炭素化技術開発 (ALCA) 事業の仕組みを発展させ、2050年の温室効果ガス削減に向けた研究開発を未来社会創造事業「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域として推進。

2019年度電源構成と再生可能エネルギー

2019年度



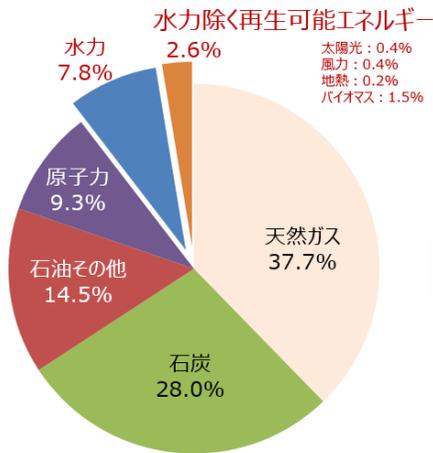
2019年度

- 電力部門からのCO₂排出量は、エネルギー起源CO₂排出量の約4割
- 2011年東日本大震災以降は多くの原子力発電所が停止し、火力発電が増大

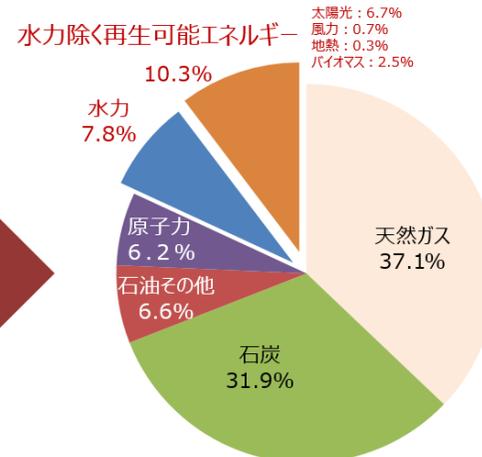
再生可能エネルギー

- 温室効果ガスを排出しない
- 国内で生産可能⇒エネルギー安全保障
- 世界的に発電コストが急速に低減し、他の電源と比較してもコスト競争力のある電源として導入量が急増

【発電電力量の構成 (2011年度)】
再エネ比率 = 10.4%



【発電電力量の構成 (2019年度)】
再エネ比率 = 18.1%



日本

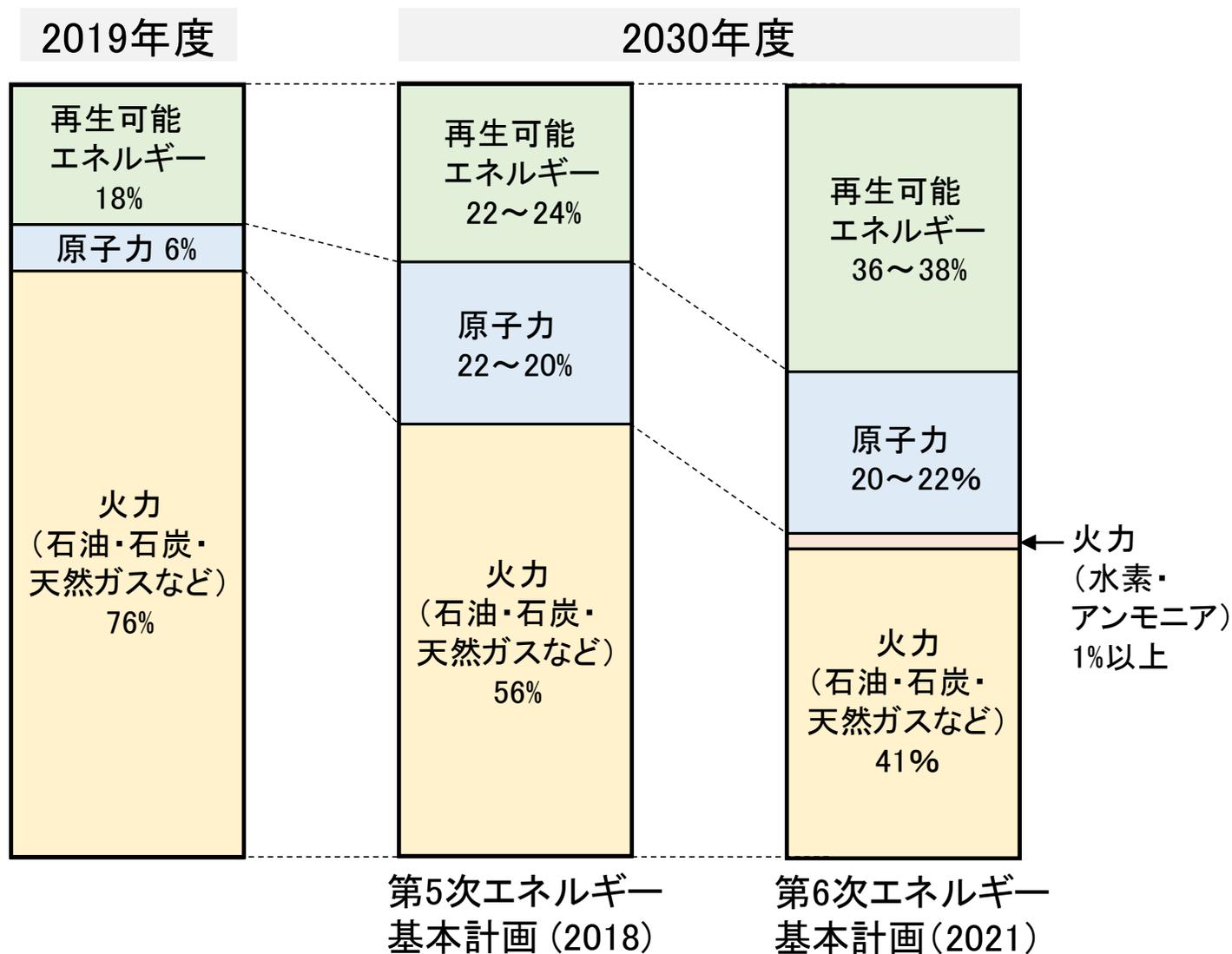
- 2012年7月にFIT制度 (固定価格買取制度) 導入
- 10%程度だった再エネ比率が2019年度には18%まで拡大
- 国土面積当たり・平地面積当たりの太陽光発電の導入量は主要国の中でも最大

再生可能エネルギーの主力電源化, 導入拡大への課題

- コストの低減とFIT制度からの自立化
- 地域との共生・事業規律の強化
- 系統制約の克服に向けた取り組み
- 電源別の特徴を踏まえた取り組み

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/>

エネルギー基本計画



2030年度の電源構成

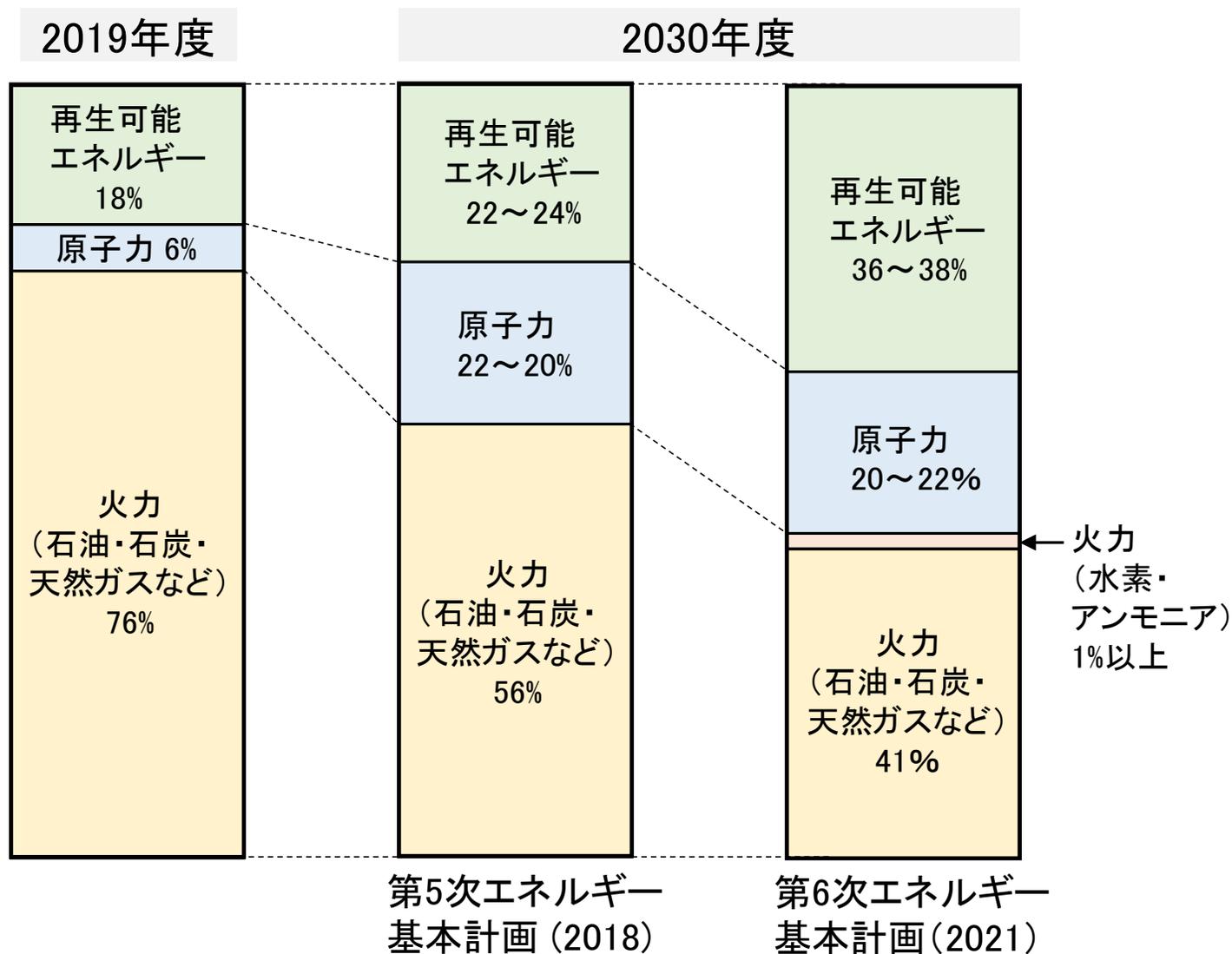
第5次エネルギー基本計画 (2018年)

- 再生可能エネルギー: 22~24%
- 原子力: 20~22%
- 化石燃料を使う火力発電: 56%

第6次エネルギー基本計画 (2021年)

- 原子力: 第5次計画と同程度
- 再生可能エネルギー: 36~38%程度に拡大
- 水素やアンモニアを燃料とする火力: 1%以上導入
- 脱炭素電源(発電時にCO2を排出しない電源)の割合を6割程度

エネルギー基本計画



- 再生可能エネルギー
洋上風力
 - グリーン成長戦略における重要分野の一つ
 - 発電電力を需要地に輸送する送電システムの整備が必要
 - 高圧直流送電システムの構築と運用のための研究開発
- 大容量蓄電池
- 発電時にCO2を排出しないアンモニアや水素を燃料として用いる火力発電



2050年のカーボンニュートラルおよび2030年の温室効果ガス排出削減目標の達成へ向けて、研究開発の加速

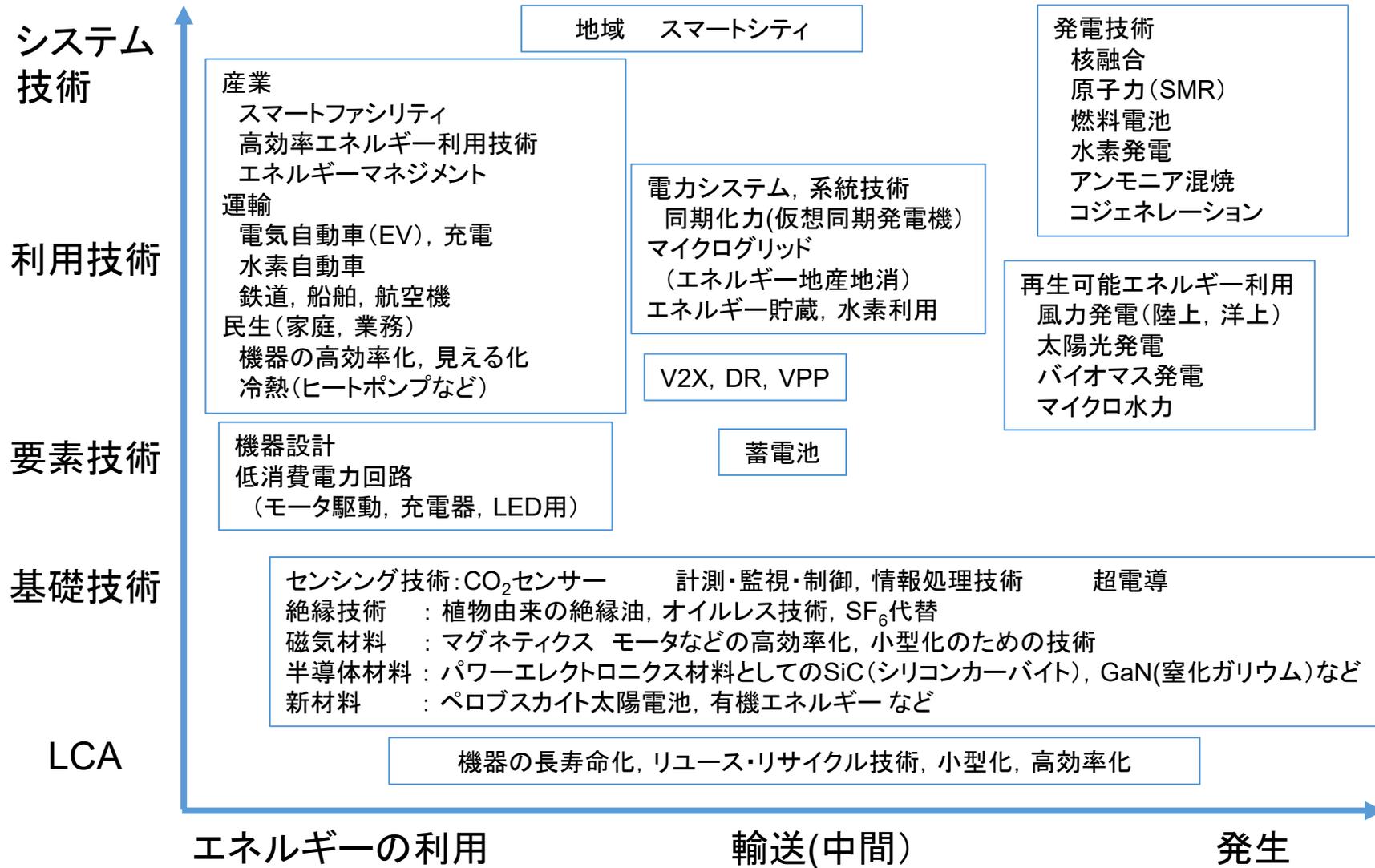
電気学会におけるカーボンニュートラルへの取り組み

電気学会がカバーする技術分野

部門	略称	分野
基礎・材料・共通	A部門	教育・研究, 応用数学, 電気理論, 計測, 照明光応用, 視覚, 電気技術史, 電磁界理論, 音響, 回路理論, 電気物理, 放電, プラズマ, 金属・セラミックス, 環境電磁工学, 磁気応用, 生体磁気, マイクロ磁気, 絶縁体・誘電体材料, 半導体材料, 導電体材料, 超電導材料, 磁性体材料, 機能性有機材料, 材料作製・評価法
電力・エネルギー	B部門	電力系統計画・運用, 電力系統制御, 系統解析・シミュレーション, 系統保護, 系統監視・制御システム, エネルギーシステム, 送配電線・電力ケーブル, 送配電機器, 開閉保護装置, 変電機器, 高電圧・雷・サージ, エネルギー変換・貯蔵装置, その他電力用機器
電子・情報・システム	C部門	電子材料, 電子デバイス, 電子・集積回路, 光・量子エレクトロニクス, 生体・医用電子, 電子応用, バイオニクス, 通信・ネットワーク, マルチメディア, 信号・画像処理, パターン認識, 制御・計測, ロボティクス, ニューロ・ファジー・カオス, システム, ソフトウェア・情報処理, エレクトロニックコマース, バーチャルリアリティ, ソフトコンピューティング, 人工知能, 知能・知識情報処理, 人工生命・創発システム, 最適化, インテリジェントロボット・オートメーション, 福祉応用, 環境管理
産業応用	D部門	回転機, 回転機制御, リニアドライブ, 磁気浮上, モーションコントロール, 静止器, 超電導応用, パワーエレクトロニクス, 電力用半導体素子応用, 交通・電気鉄道, 産業電力電気応用, メカトロニクス, 産業計測制御, ロボティクス, 金属産業, 産業応用一般(一般産業), 産業情報システム(産業システム情報化), 生産設備管理, 道路交通・ITS, 自動車・電気自動車, 公共施設
センサ・マイクロマシン	E部門	センサ応用, センサシステム, 化学センサ, 機械量センサ, センサ新手法, マイクロ計測システム, マイクロロボット, マイクロマシン応用, センサ・アクチュエータ新材料, マイクロアクチュエータ, マイクロマシーニング

電気学会におけるカーボンニュートラルへの取り組み

The Institute of Electrical Engineers of Japan

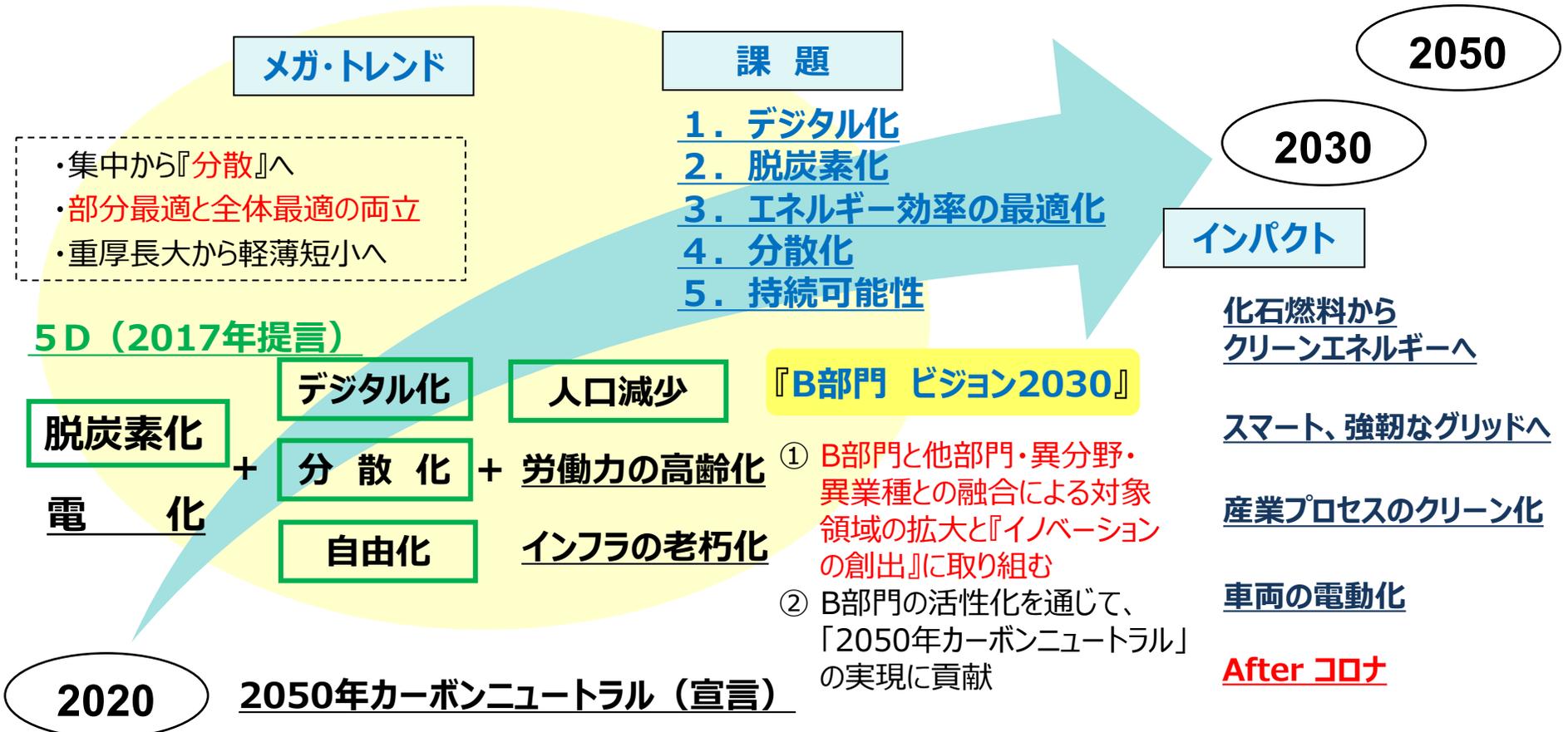


電気学会 B部門 『2050年カーボンニュートラル』達成に向けて

B部門が描く新たな電力の役割

チャレンジャーとしての 電力・エネルギー

- ・低廉かつ低炭素で安定な電気の供給
- ・強靱なインフラのプラットフォームとしての経済の下支え
- ・新たな産業の創出（電化、グリーンエネルギーへの投資、EVインフラ、システムの近代化）
- ・自然環境への貢献（グリーンエネルギー、電化）
- ・Quality of Lifeの向上



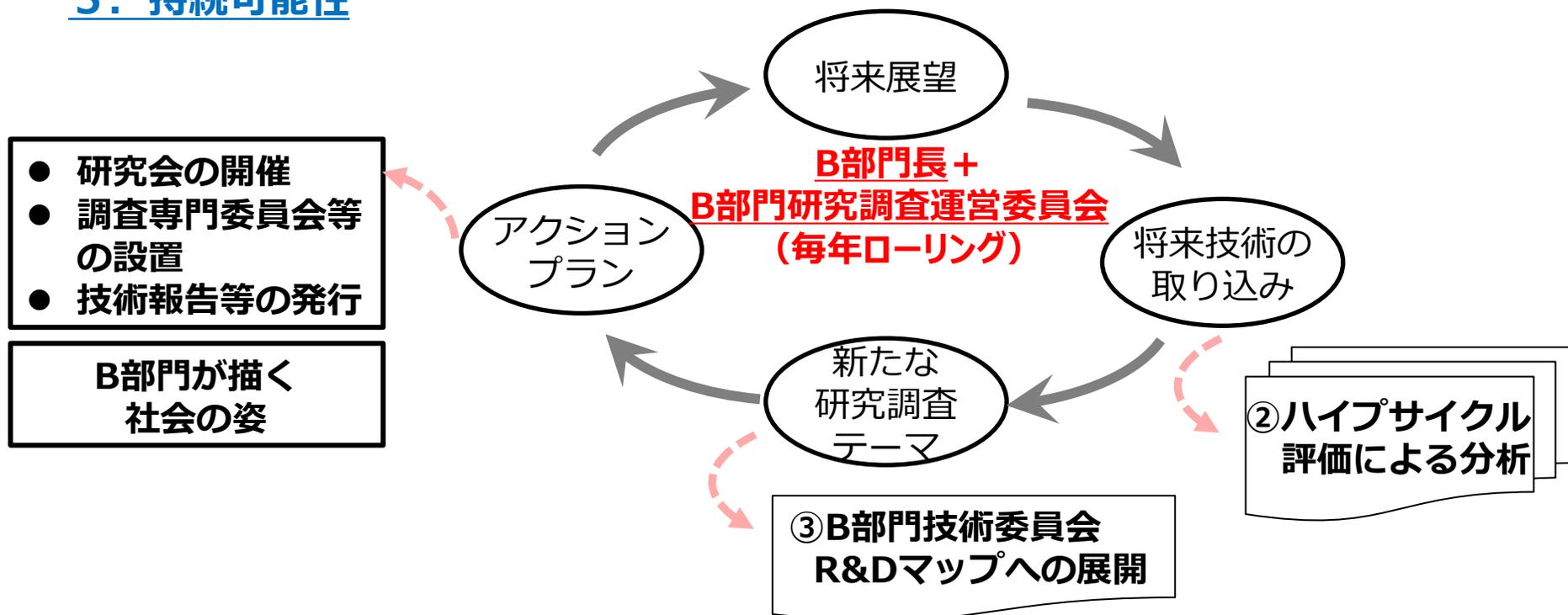
『B部門 ビジョン2030』のサイクル

2050年カーボンニュートラルの
達成に向けた課題

1. デジタル化
2. 脱炭素化
3. エネルギー効率の最適化
4. 分散化
5. 持続可能性

① B部門関連技術
の中長期展望

短期（～2,3年）、中期（5年）、長期（10年）



電気学会B部門関連技術の中長期展望

・2050年カーボンニュートラルの達成に向けた課題毎に、2030年頃までに必要とされる**技術**を短期（～2,3年）、中期（5年）、長期（10年）で整理（下記表は抜粋）

小項目	デジタル化		脱炭素化		エネルギー効率の最適化		分散化		持続可能性	
	人の支援技術	モノの製造生産	再エネ・エネシス	電化の促進	送配電	サーマルマネジメント	マイクログリッド	VPP	3R	レジリエント
短期	AR,VR	アジャイル産業ロボット	大規模洋上風力	EV, HPシフト	需給予測	長距離熱輸送	スマートPCS	電力取引のための監視制御	メタルリサイクル推進	被害把握のための衛星画像解析
	行動分析・予測	アナリティクス	災害時の再エネ自立運転		直流送配電(遮断器等)	ポンプ・フリー冷却デバイスの高機能化	離島における再エネ活用	需要家機器のVPP制御	3Rビジネスモデル	早期復旧システムの構築
中期	AI・ビッグデータ活用	AI活用製造	スマートインバータ	V2G	多端子自励式直流送電	低熱源の有効利用	自立運転可能なマイクログリッド	蓄電池群としての調整力活用	生分解性材料の部分適用	電線の無電柱化推進
	自動運転	インフォマティクス	再エネ出力の予測精度向上	船舶の電動化	超電導回転機システムの要素技術	生活空間の温度能動制御	地産地消のエネルギー活用	電力のP2P取引	太陽光パネル等の再利用	台風等被害予測技術の高精度化
長期	自動故障復帰	高度SCMシステム	次世代太陽光発電	航空機の電動化	直流海底ケーブルによる地域間連系	極限環境適応型の長距離熱輸送	マイクログリッド間の連系	VPPの普及	リチウムイオン電池のリサイクル	非接触地中線給電
	全自動運転		蓄エネ,創エネ(水素)	完全自動運転EV	マルチホップ型ワイヤレス送電	高熱源の冷却技術の確立	DERMS	VPP取引監視のビジネス化	資源循環型電力機器	災害復旧用移動式変電所

産業応用部門のカーボンニュートラルへのアプローチ

産業応用部門では、サステナブルな社会の構築に貢献する電気技術の情報収集・発信の場として、**電気機器・パワーエレクトロニクス・制御等の基礎技術**から**産業・交通運輸・社会システム・家電等の広い応用分野**を網羅した活動が**14の技術委員会**を中心に行われている。従前より、「資源・エネルギー・食糧」、「経済発展」、「環境保全」の社会三大要素については、個々の最適化をはかって社会全体の最適化を行うことはできないという、「トリレンマ」の問題として議論されているが、これらに関連し各技術委員会の主要分野で、SDGsやカーボンニュートラルに関連する技術分野に取り組んでいる。特に、**アカデミアが担う重要な役割**は、**現状調査と問題点の洗い出し**、さらには**問題点の改善に必要となる要素技術開発や社会実装の推進**と考えている。

現状調査例

委員会	調査目的
高速道路交通管制における画像情報の利活用に関する調査専門委員会	SDGsに資する画像情報応用技術の調査
上下水道におけるエネルギー活用技術調査専門委員会	SDGsやカーボンニュートラルなどに関連した技術や製品の調査
スマートグリッドの電気事業者・需要家間エネルギーサービス技術調査専門委員会	地球環境保全と電力安定供給による持続可能な社会(カーボンニュートラルな社会)の実現を目的に、需要家の需要設備を電力需給調整のための電力(調整力、供給力などを含む柔軟性)を創出する電力資源として、その電力の流通(市場/相対取引ほか)の実現と活性化を図るためのシステム、サービスを調査
鉄道地上設備におけるパワーエレクトロニクス応用調査専門委員会	鉄道事業者の自然な運営努力・技術はすべて「カーボンニュートラル」に貢献しており、その現状を調査
ものづくり技術委員会	鉄鋼及び一般産業におけるカーボンニュートラル等に関連した技術の調査

産業応用部門のカーボンニュートラルへのアプローチ(未来デザイン)



半導体電力変換技術委員会
電力変換技術の進化方向：高効率、高パワー密度、長寿命化、高性能化
=カーボンニュートラル

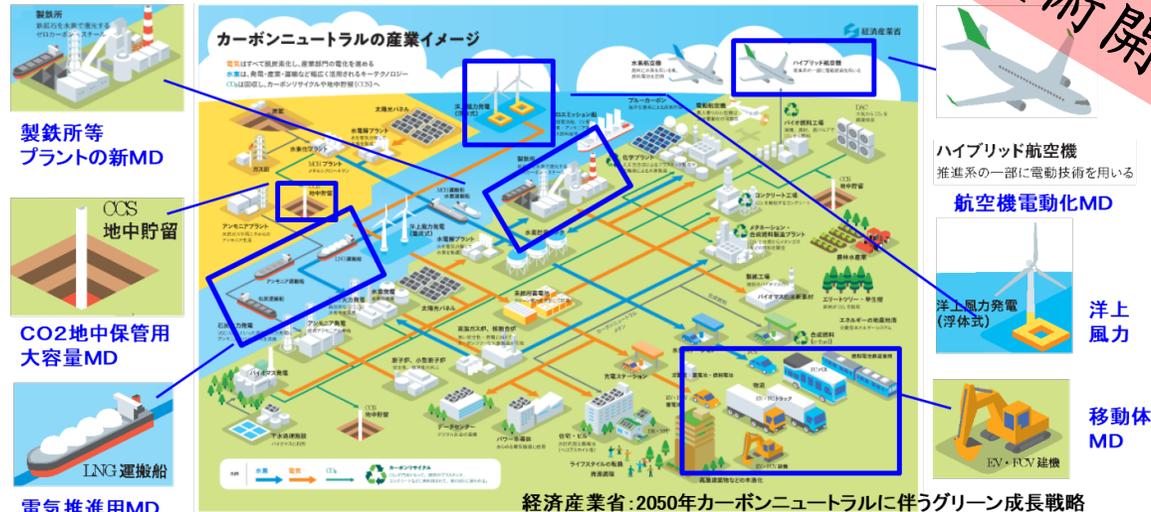
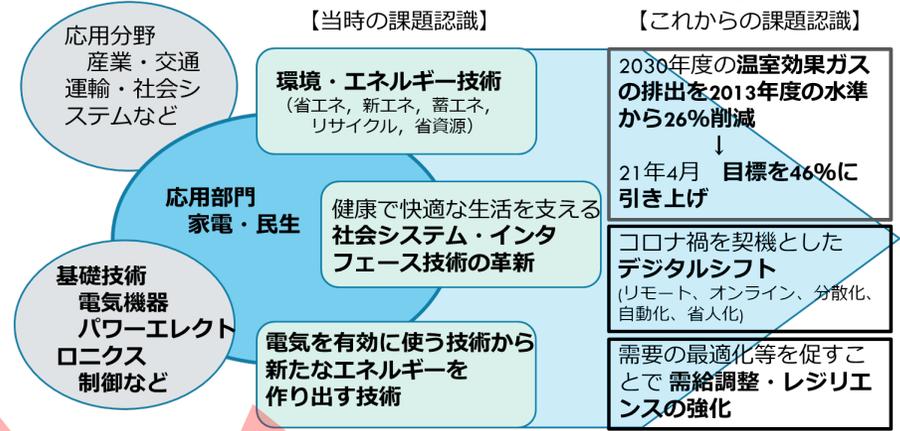
具体的な技術例)

1. 電動車両(xEV)普及拡大
インバータ
バッテリー充電器
補機電源
2. 蓄電技術の開発
バッテリー充放電回路
3. 産業用電源システムの高効率化
プラント用電源システム
4. 再生可能エネルギー普及拡大
太陽光発電用パワーコンディショナ
風力発電用パワーコンディショナ



2011年 2021年

当時の電気学会産業応用部門



経済産業省: 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>

要素技術開発

社会実装

現状調査

社会実装

産業応用部門



2021年8月25日(水)

令和3年 電気学会電力・エネルギー部門大会
パネルディスカッション

コーディネーター 早稲田大学 林 泰弘

デジタル化が切り拓く2050年カーボンニュートラル

－ 電力・エネルギー部門の挑戦 －

カーボンニュートラルの達成に向け、電力以外のあらゆる部門とのセクターカップリングとそれらを繋ぐデジタル化が必要との認識のもと、政府、学識者、送配電事業者、メーカ、電力データ事業者それぞれの立場から、電力のデジタルフォर्मーションに向けた将来の課題と取り組みについて、討論

論点1 2030年の課題と取り組み
(2050年の達成に向けた段階的な取り組み)

論点2 電力デジタルトランスフォーメーションに向けて



講演概要

<p>下村 貴裕 経済産業省</p>	<p>「次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの実現に向けて」</p> <p>エネルギー基本計画の検討状況、スマートメータの必要性、電力以外のデータとの掛け合わせによる新たなソリューションの提供、電力プラットフォームの将来像（広域化するTSO・分散化するDSO）</p>
<p>横山 明彦 東京大学</p>	<p>「電力システムの運用・制御における2050年へ向けた課題と電力DXによる取り組み」</p> <p>2050年の空間的ミスマッチ・時間的ミスマッチの解消の必要性、2030年までに次世代プラットフォームの形成、系統安定性の確保に向けたローカルレジリエンスの利用、デジタル技術の活用（多数台制御；5G・6G、デジタルツイン）、アンソリ-費用負担</p>
<p>竹内 純子 国際環境経済研究所</p>	<p>「デジタル化が切り拓く2050年カーボンニュートラル」</p> <p>エネルギー産業の変革ドライバー（5D）、エネルギーインフラの大変革期、ビジネスモデルの構造的な転換、政策を実現する担い手の育成、スタートアップのコミュニティ化支援</p>
<p>岡本 浩 東京電力 PG</p>	<p>「一般送配電事業者としての視点と取り組み」</p> <p>5Dがもたらすエネルギー・トランスフォーメーション、カーボン・ニュートラルでレジリエントなSociety 5.0、ネットワーク・インフラの融合（電力×IT×レジリエンス）、人口減少で進むインフラ間の統合、ネットワークの広域化と分散化の同時進展、設備・データ・電力技術者のプラットフォーム化による地域課題解決（グリッドデータバンク・ラボ等）</p>

講演概要（続）

森田 歩 日立製作所	「カーボンニュートラルの実現に向けた日立の取り組み」 CN達成の4つの柱（省エネ、再エネ導入、系統の安定化、電動化（鉄道、自動車、水素燃料の活用））、デジタル化を使って提供、2050年のエネルギーシステム（貯蔵とデータ）、データはTrust（信頼）、Trustの可視化の取り組み
青柳 亮子 シュナイダー エレクトリック	「シュナイダーエレクトリック サステナビリティへの取り組み」 IoTプラットフォーム機器のセット・パフォーマンス・マネジメント、停電マネジメントシステム（ENEL、Meralco）、マイクログリッド、サイバーセキュリティ
平井 崇夫 グリッドデータ バンク・ラボ	「グリッドデータバンク・ラボが描く電力データ活用検討の最新動向」 スマートメータデータの活用の可能性、データの高価値化（UIとDATAの融合）、ユースケース（発電量の想定、IoT推進活動への電力データの提供、災害対策）、電力データの利用促進（データの標準化、APIの連携・ルール）

- ・5Dをきっかけにエネルギー・トランスフォーメーションが進展
- ・データを起点として、サイバー空間上で様々な産業が垣根を越えて繋がることで、今までにない共創・連携が創出 （東京電力PG 岡本 浩）

（出典）B部門大会パネルディスカッション プレゼンテーション資料をもとに作成

エネルギー産業の変革ドライバ 5D

De-carbonization

脱炭素化

- ・ GHGガス46%削減（2030年）
- ・ カーボンニュートラル（2050年）

De-population

人口減少・過疎化

- ・ 6割以上の地域で人口半減
- ・ 日本の人口：8088万人（2065年）

Decentralization

分散化

- ・ 分散化電源の普及
- ・ 蓄エネルギー技術の普及（EV、HP給湯器等）

Deregulation

電力市場の自由化

- ・ システム改革（電力・ガス）

Digitalization

デジタル化

- ・ 全ての産業がデータ×AI化
- ・ 産業構造の変革

（出典）B部門大会パネルディスカッション プレゼンテーション資料をもとに作成

次世代電力システムとパワーエレクトロニクス技術

• パワーエレクトロニクス技術

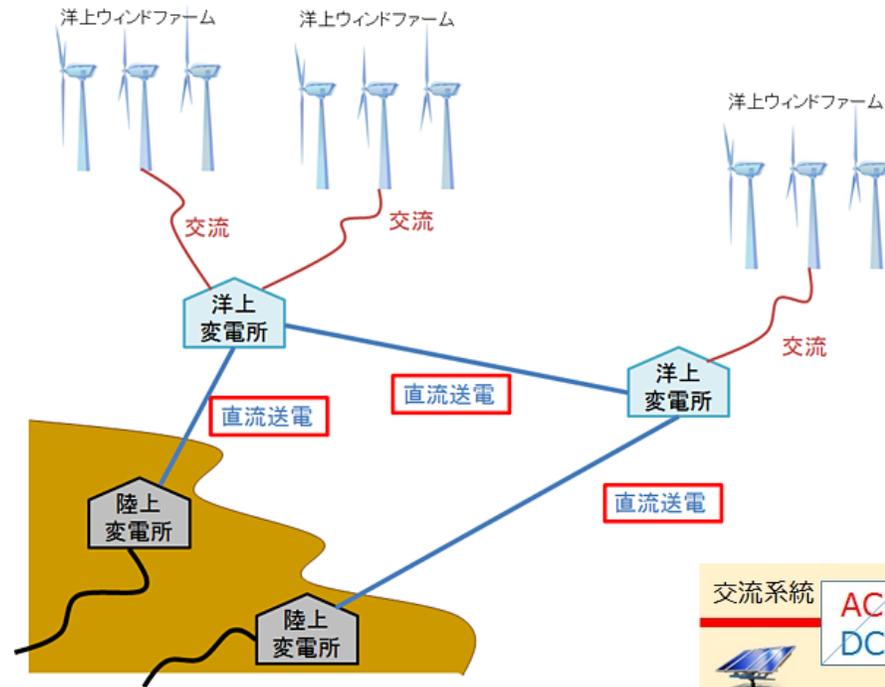
➤ パワーデバイス (SiC, GaN, etc.)

	Si	SiC	GaN
バンドギャップ (eV)	1.1	3.3	3.4
電子移動度 (cm ² /Vs)	1350	700	1500
破壊電界 (mV/cm)	0.3	3.0	3.3
性能指数	1	440	1130

高耐圧, 高耐熱, 小型化, 高速
10倍 1000°C 1/1000 100MHz

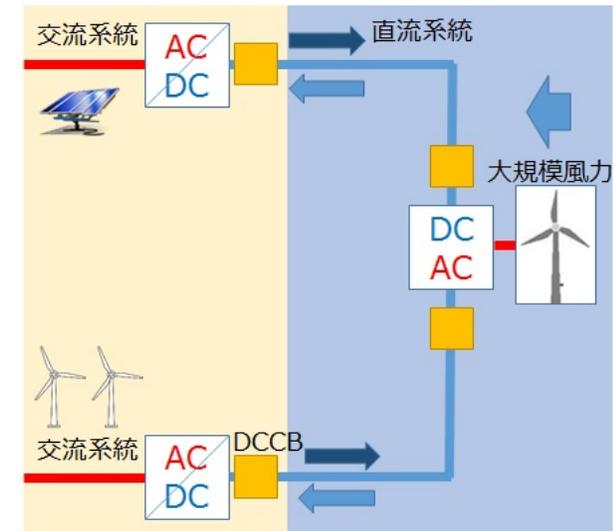
➤ 電力変換回路・制御

- 直流技術
- 多端子直流システム
- デジタル技術・通信技術



多端子直流送電システムのイメージ

<https://www.nedo.go.jp>



変動性再生可能エネルギー源(VRE)大量連系時の課題

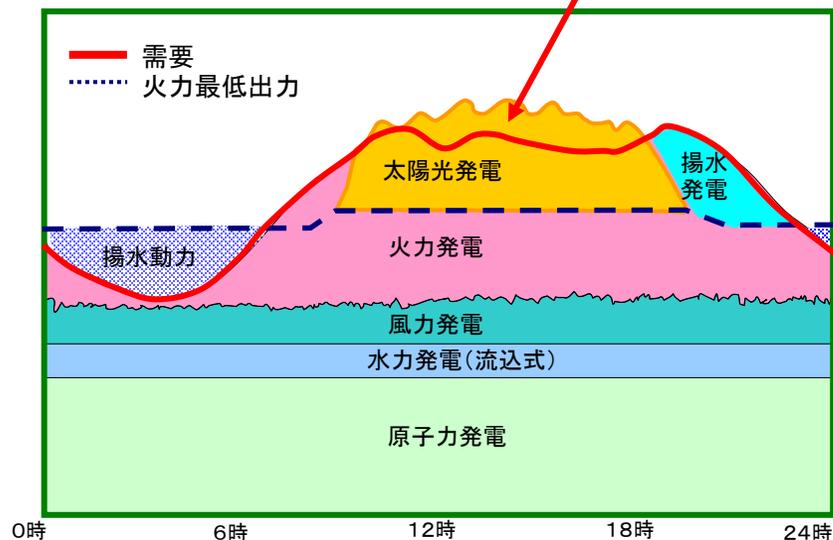
カーボンニュートラルを目指したエネルギー供給システム

- 再生可能エネルギー電源, 特に **変動性再生可能エネルギー源 (VRE)** の主力電源化
太陽光発電, 風力発電, etc.

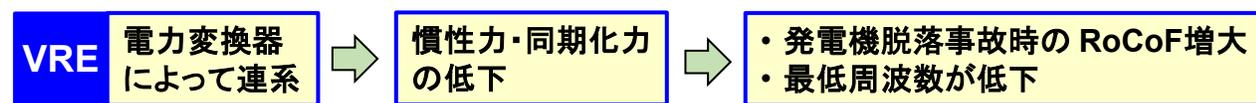
VRE大量連系時の課題

- 周波数・電圧調整力の確保
- 慣性力・同期化力の確保
- 送電容量の確保
-

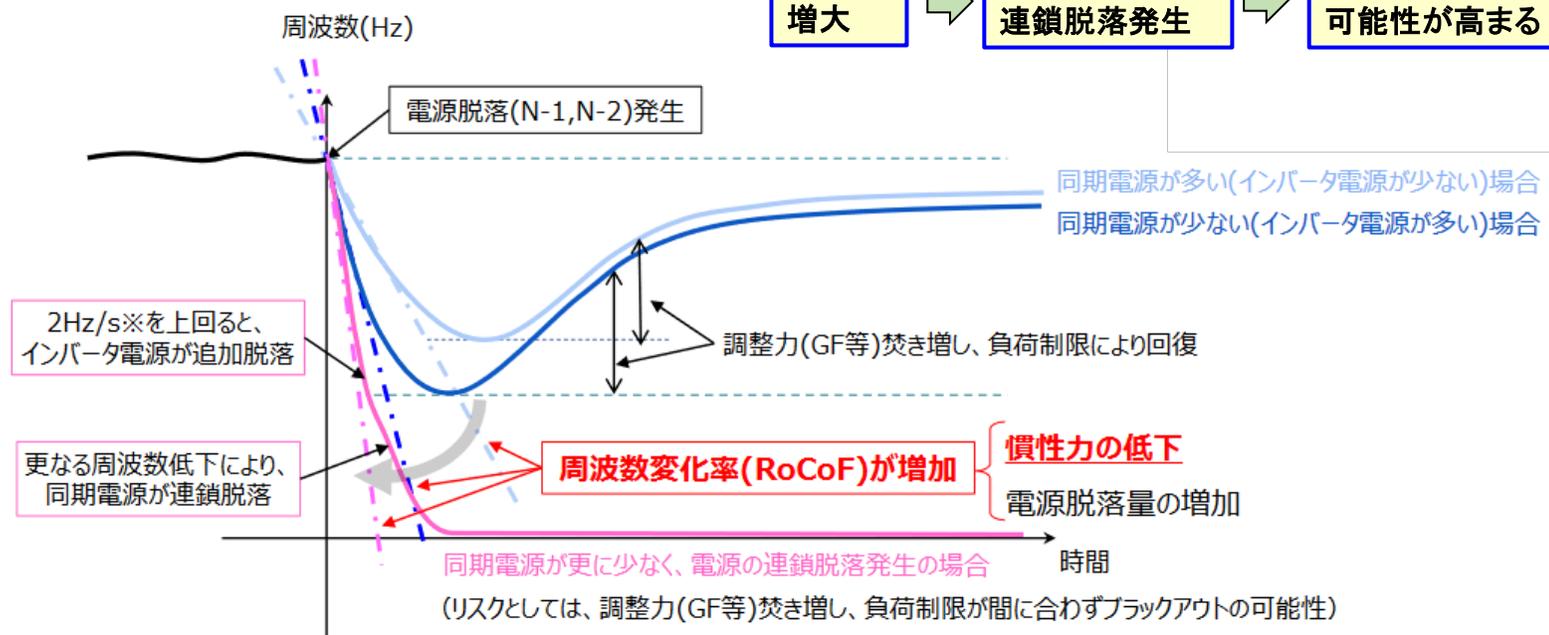
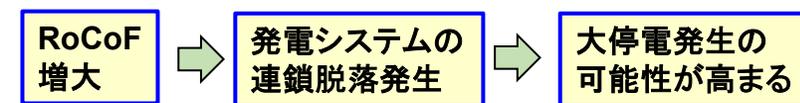
余剰電力の発生



周波数変化率(RoCoF)



一部の系統で問題が顕在化



次世代電力システムの研究例

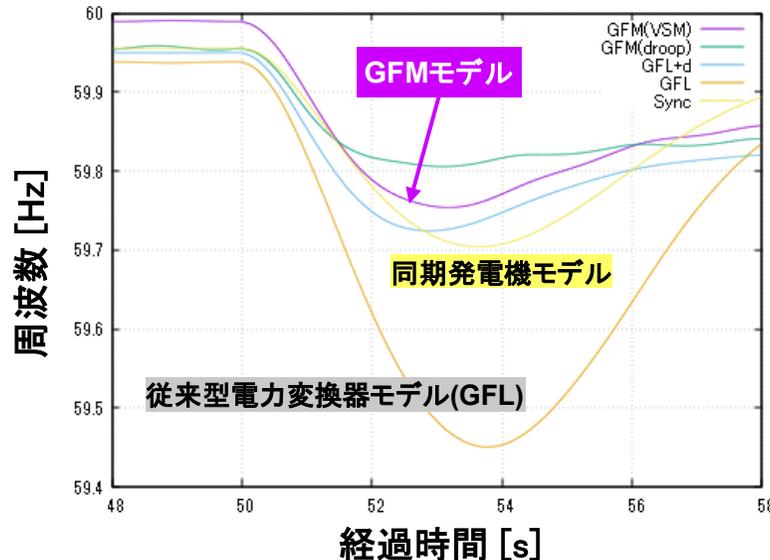
系統慣性低下問題への対応するための研究例

グリッドフォーミング(GFM)コンバータの研究

- 電力変換器による慣性力・同期化力の供給
 - 回転型発電機への依存を低減
 - 汽力発電減少に対応可能

太陽光発電システムによる調整力供給の研究

- 部分出力運転時の最大発電可能電力の把握



東京大学・馬場旬平教授らの研究グループの資料より

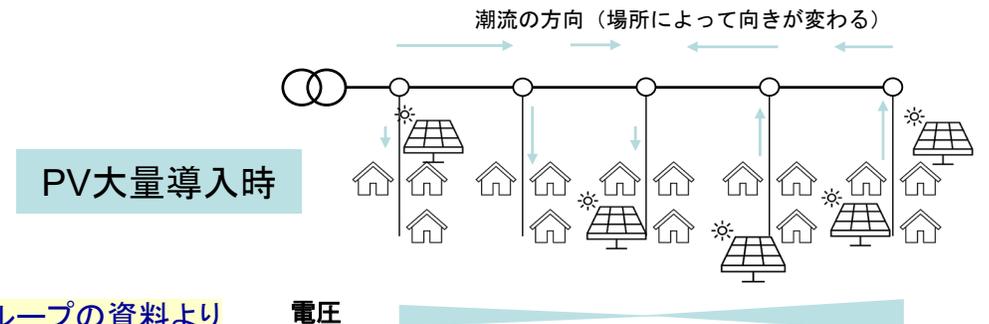
分散エネルギーリソース活用の研究例

配電系統電圧制御への適用例

- 太陽光発電などによる逆潮流に起因する電圧上昇
- 分散エネルギーリソースを用いて調整
 - ⇒ 出力制御・系統側対策費の抑制

効率的な分散エネルギーリソースの配置

- 同じ容量でもVRE導入効果が高い電池・EV充電器配置討
- 需要家側機器の活用
 - 可制御な有効・無効電力源としての活用法
 - ヒートポンプ給湯器の運用, Active Filter による電圧制御

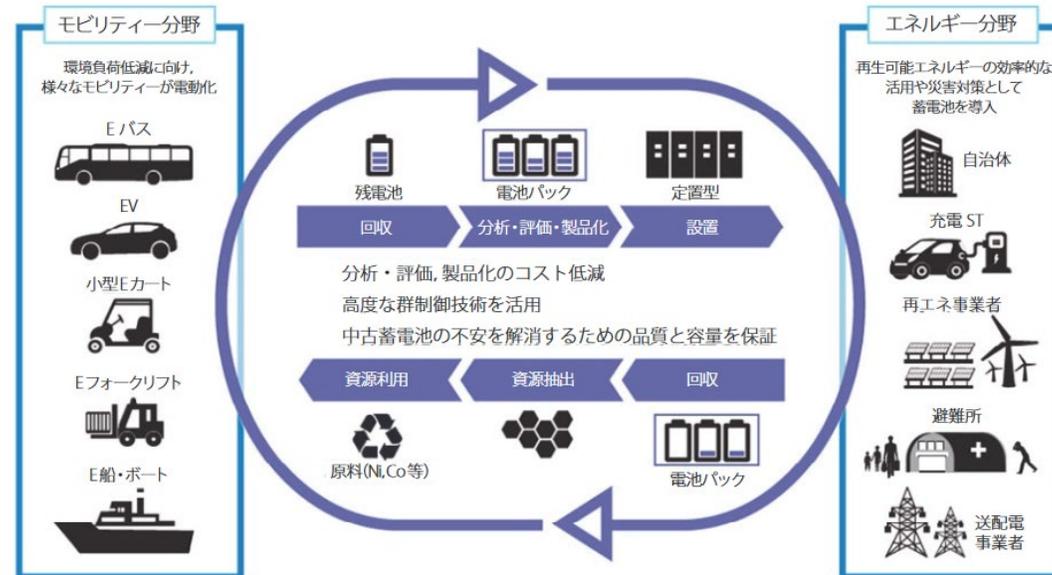
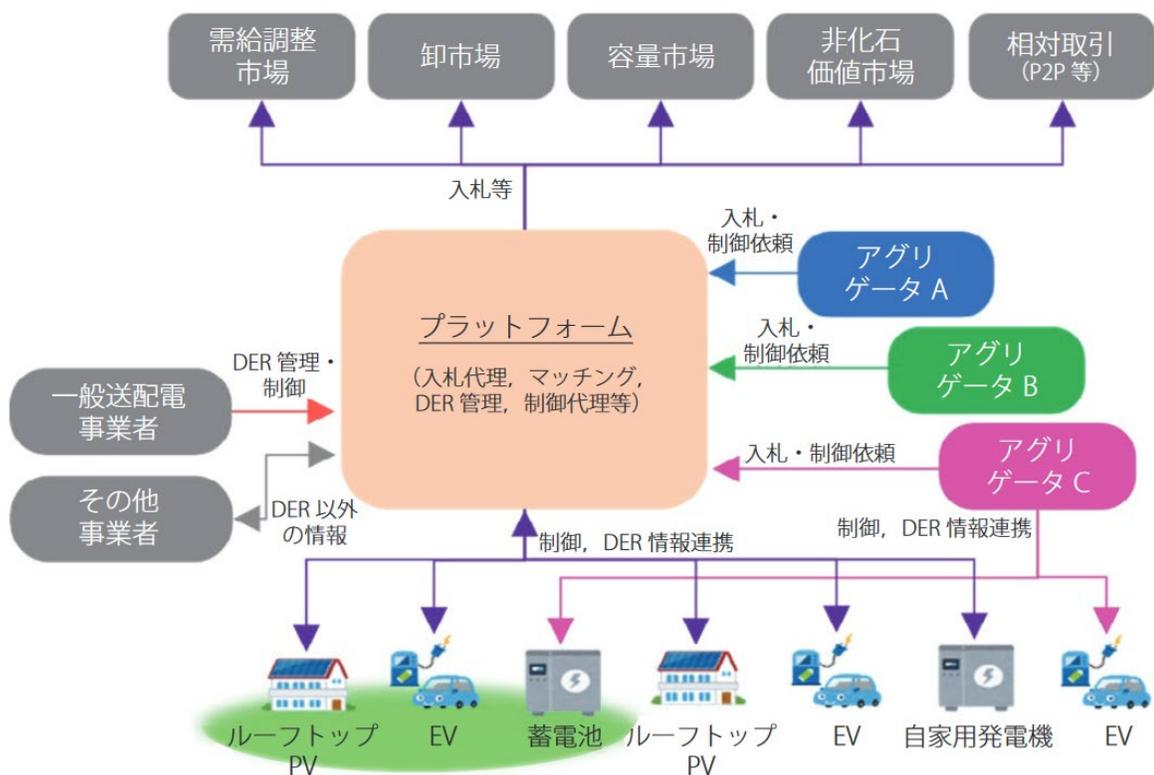


事例：再生可能エネルギーの利用，蓄電池のLCA

The Institute of Electrical Engineers of Japan



- 電源の脱炭素化とともに，自動車の電動化などエネルギー需要の電化が進展
- 再生可能エネルギーに加え蓄電池などのDER(分散型エネルギーリソース)の利用が不可欠
- デジタルプラットフォームによる透明性のある情報やデータ(エネルギー需給)を基に地域サービスを展開
- 蓄電池のライフサイクルマネジメントも進展



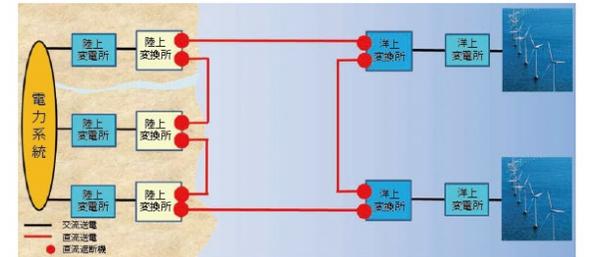
蓄電池のライフサイクルマネジメント

岡本浩, 今田博己:カーボンニュートラル・レジリエンス向上を見据えた電力システムの将来像とスマートレジリエンスネットワークの社会共創活動, IEEJ Journal, Vol.142 No.1, 2022 pp16-19

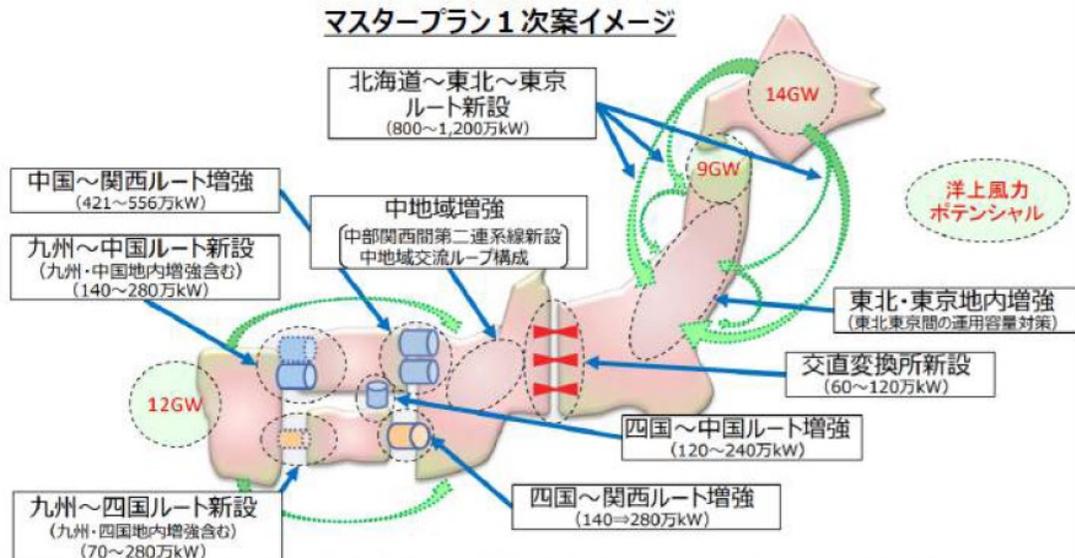
事例：風力発電の大量導入を支える技術

カーボンニュートラルのためには風力発電の大量導入が必要であるが、風力発電の適地は偏在しており、かつ今後は洋上が有望であることから、これを支える技術が必要となる。

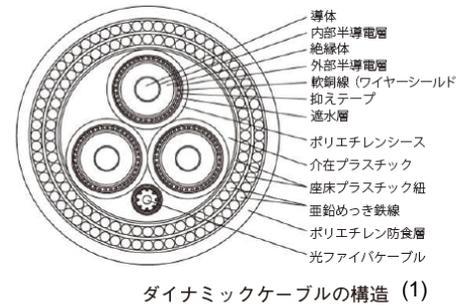
- ・ 機器：発電機技術(設計技術, 磁性材料、絶縁材料などを含む)による小型化・高効率化
- ・ 設置：洋上での連携(直流多端子、海洋変電所), 海底ケーブル技術・敷設技術
- ・ 電力輸送：長距離輸送, 系統接続
- ・ 運転、保守、メンテナンス：出力予測, 遠隔監視・制御, 落雷対策



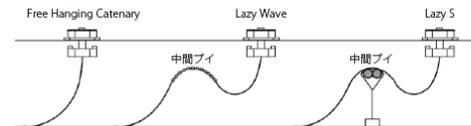
多端子洋上直流送電システムイメージ(3)



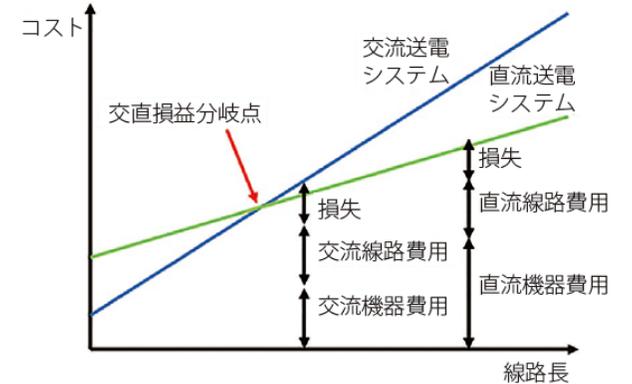
出所：第8回広域連系システムのマスタープラン及び系統利用ルールの在り方等に関する検討委員会（2021年3月25日）資料1



ダイナミックケーブルの構造 (1)



ダイナミックケーブルシステム (1)



直交直損益分岐点の概念図(2)

(1)越後雅邦、籠浦徹、有川裕貴：洋上風力向け海底ケーブル技術 IEEJ Journal, Vol.141 No.11, 2021

(2)「直流送電の現状と適用技術」電気学会技術報告(Ⅱ)部第346号, p8(1990)

(3)「次世代洋上直流送電システム開発事業(1/2)」NEDO, P24(2020)

事例：植物由来の絶縁油研究

The Institute of Electrical Engineers of Japan



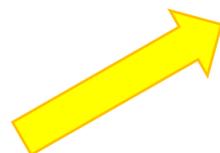
- 電力システムにおいて機器の絶縁油は重要な要素技術である。この絶縁油は従来主に鉱油を用いている。こうした油は漏洩した場合に自然環境に影響を与える可能性がある。
- 植物由来の絶縁油を開発することにより、自然環境への影響を低く(特に洋上風力発電など)するとともに、絶縁油の生産から廃棄までの過程でカーボンニュートラルを目指す。



絶縁油



北芝電機HPより



植物由来
(菜種, 大豆)
の絶縁油
の特性試験



洋上風力発電(将来イメージ)
<https://www.nedo.go.jp/>

運輸部門におけるカーボンニュートラル

日本の温室効果ガス排出量

12億1300万トン(CO₂換算, 2019年度)
のうち, エネルギー起源CO₂が85%

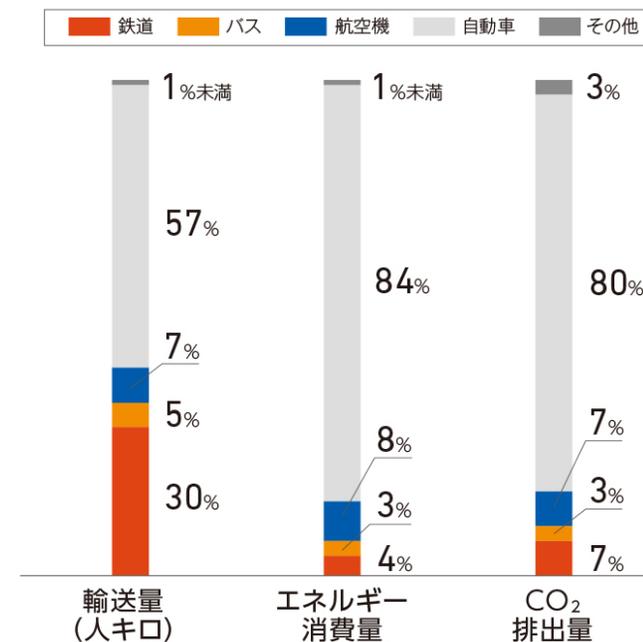
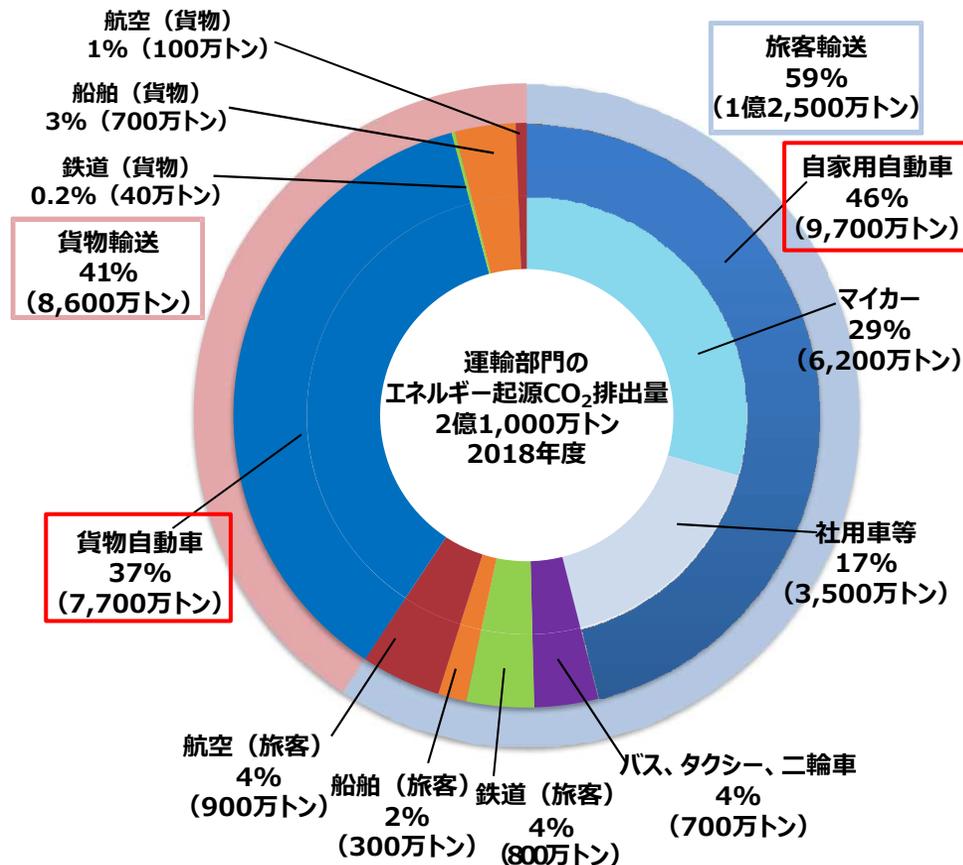
運輸部門

エネルギー起源CO₂排出量の20%

その83%が自動車

⇒ 自動車の脱炭素化が重要

- ・電気自動車の導入促進
- ・電力ネットワークとの効果的連系



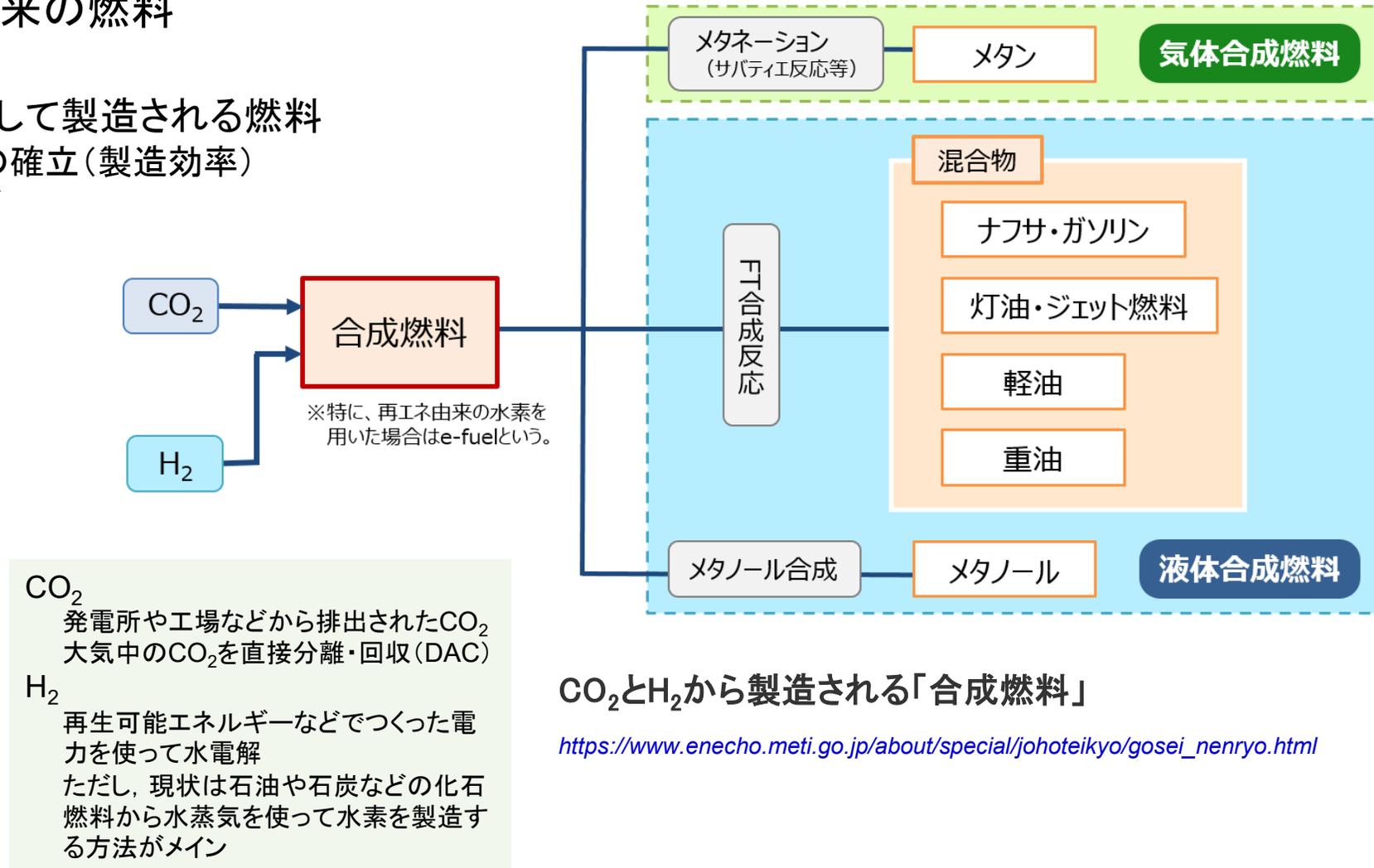
出典: 温室効果ガス排出の現状等, 経済産業省 第3回中央環境審議会地球環境部会 中長期の気候変動対策検討小委員会 産業構造審議会産業技術環境分科会 地球環境小委員会 地球温暖化対策検討ワーキンググループ 合同会合, 2021年2月26日

<https://company.jr-central.co.jp/company/esg/environment/contribution.html>

運輸部門におけるカーボンニュートラル

バイオ燃料: バイオマス由来の燃料

合成燃料: CO_2 と H_2 を合成して製造される燃料
課題・製造技術の確立(製造効率)
・コスト, など



運輸部門におけるカーボンニュートラル

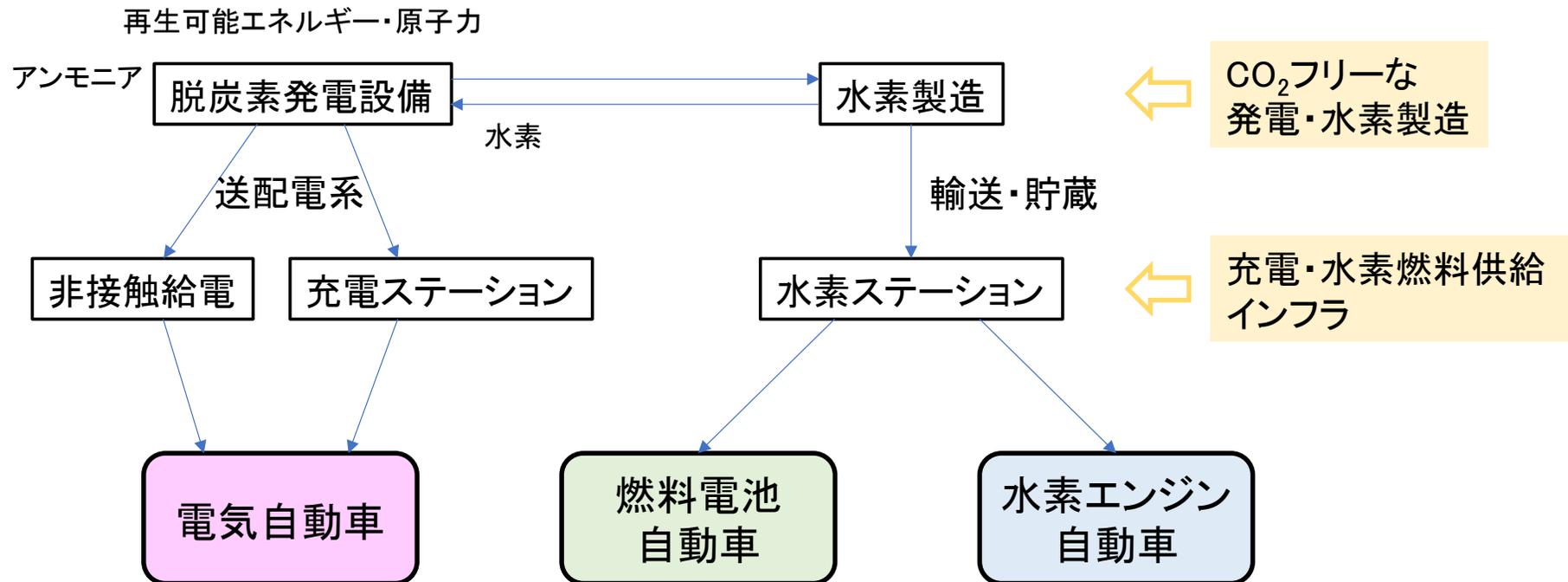
自動車

電気自動車, エンジンの高効率化, 水素などの代替燃料の導入等

発電の脱炭素化の
進展と深く関わる

電力システム側の脱炭素電源設備容量の
面から現実的な限界も

LCA的に十分な脱炭素化効果が
得られるかどうか評価・比較



事例： 電動自動車の高性能化

The Institute of Electrical Engineers of Japan



電気自動車の高性能化にかかわる過去の技術

		第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
写真	写真				
トランスアクスル	ギヤトレン モータ配置	チェーン式		リダクション式	
	構造	同軸配置			複軸配置
モータ	最高出力 コア体積	30kw 5.1 ^l	50kw 4.7 ^l	60kw 2.7 ^l	53kw 2.2 ^l
	ステータ /ロータ	コイル：丸線		コイル：平角線	
	最高回転数	5,600 ^{rpm}	6,000 ^{rpm}	13,500 ^{rpm}	17,000 ^{rpm}
ロータ断面	磁石と鉄心の 磁極断面形状	リラクティブ磁石トルク 起因磁束			
		磁石 鉄心			

技術開発の変遷

小型高出力化・高トルク化

- 銅損低減, 冷却性能向上
- 高電圧化
- 高絶縁耐圧化

高効率化

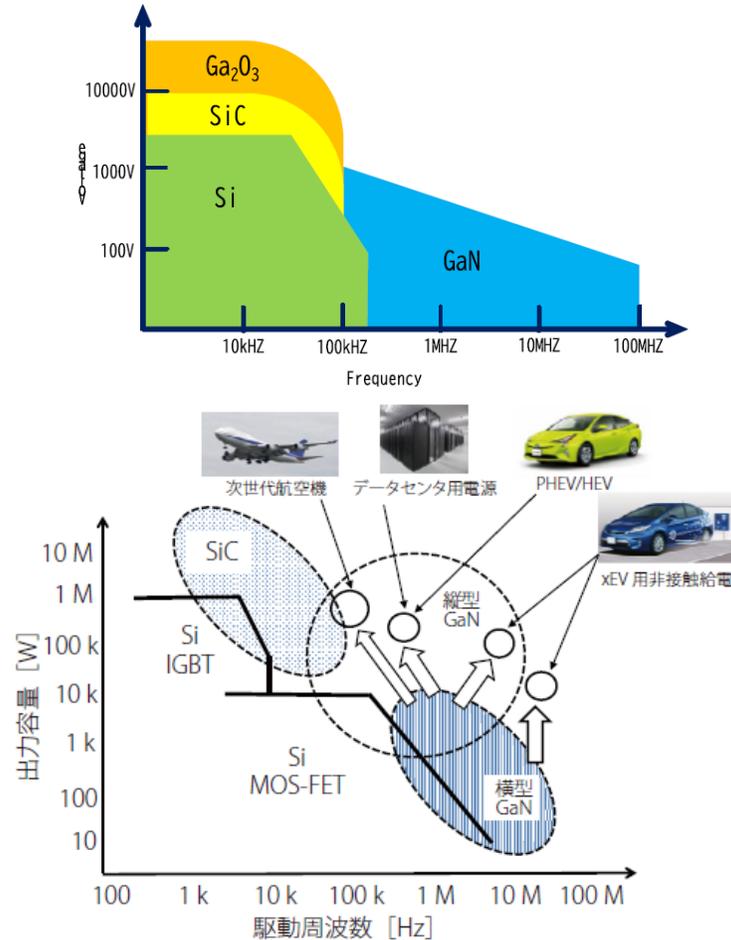
- 渦電流損低減
- 磁石設計
- トポロジー最適化
- セグメントコイル方式

低コスト化

水谷良治: ハイブリッド自動車用モータの技術変遷,
IEEJ Journal, Vol.138 No.5, 2018 pp288-291

事例： 電動自動車の高性能化(さらなる高性能化)

パワーエレクトロニクス素子の高性能化(耐圧, 周波数)



磁性材料の高機能化, コンデンサ(フィルム)の高度化

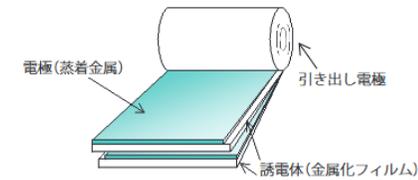
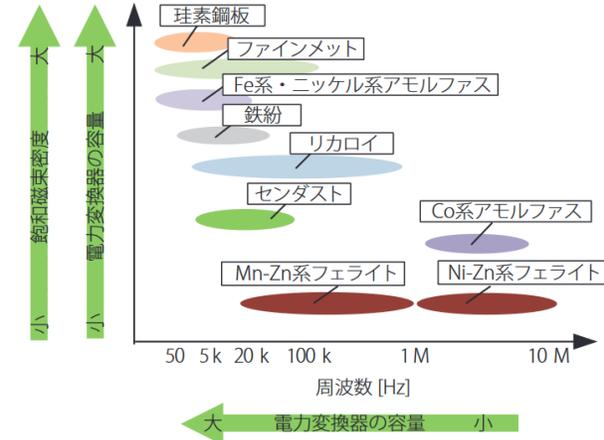


図1 SHコンデンサ素子の構造例⁽¹⁾



左: 引出し電極形成前 右: 引出し電極形成後

図2 SHコンデンサ素子

上 「次世代自動車用車載・インフラ電源システム」電気学会技術報告,第1517号,p24
 下 山本真義:「総論:GaNパワー半導体応用ロードマップ」, IEEJ Journal,Vol.139 No.2,2019,pp76

上 松盛裕明, 清水敏久:「パワーコンバータ用磁性材料」, IEEJ Journal, Vol.141 No.10, 2021,pp621
 下 平上 克之, 前畑 安志:「パワーコンバータ用フィルムコンデンサ」, IEEJ Journal, Vol.141 No.10, 2021,pp633

航空機：カーボンニュートラルを目指して

脱炭素化のための新しい技術

- ▶ バイオ燃料, 水素, 合成燃料への転換
持続可能な航空燃料 (Sustainable Aviation Fuel, SAF)
- ▶ 電動化の促進

B787, B777X
A350
2021年

バイオジェット燃料

水素航空機
Airbus ZEROe

水素燃料
水素エンジン
燃料電池

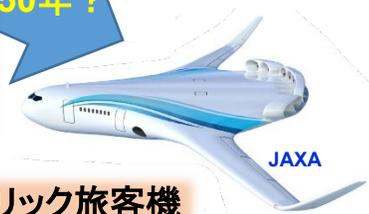
2035年



ハイブリッド推進旅客機
(ターボファンエンジン+電動ファン)



2050年?



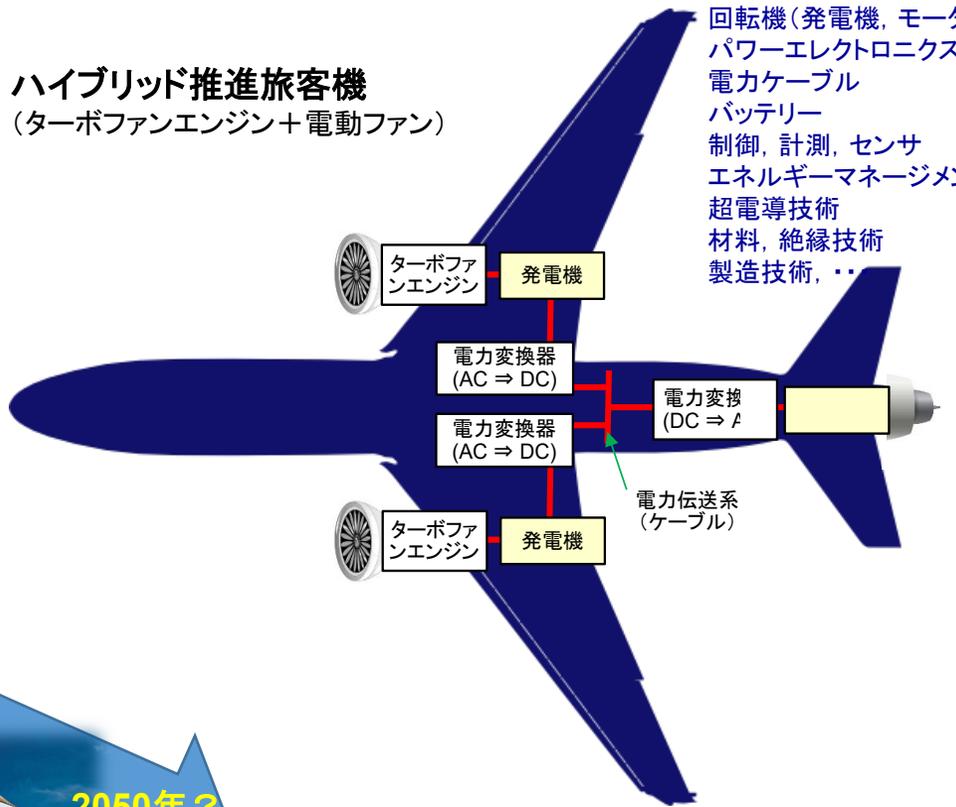
ターボエレクトリック旅客機

(分散電動ファン推進)

Airbus A320クラスで
最大推力40 MW程度

ハイブリッド推進旅客機
(ターボファンエンジン+電動ファン)

回転機(発電機, モータ)
パワーエレクトロニクス
電力ケーブル
バッテリー
制御, 計測, センサ
エネルギーマネージメント
超電導技術
材料, 絶縁技術
製造技術, ...



More Electric Aircraft: 油圧や
空気圧アクチュエータの電動
化など, 装備品の電氣化

- ▶ ボーイング787: 1 MW程度の
電力を発電, 利用

電圧: B787でAC235V, DC±270V

油圧機器等の
さらなる電動化

⇒ 所要電力の増大

燃料効率, 整備性, 安全性などの向上

将来へ向けて
電動推進化

ターボファンエンジン → モータ+電動ファン

電動推進化のメリット

- ▶ 騒音低減
- ▶ 運航費低減
- ▶ CO₂排出量ゼロ/低減

電動推進化の課題

- ▶ 高電圧化
- ▶ 小型軽量化(高出力密度化)
- ▶ 高効率化
- ▶ 信頼性・冗長性の確保

将来のための核融合への期待

- 現在、核融合実験炉ITERが国際協力で建設中
- 英国にある核融合炉JETで最近、過去の2倍を超えるエネルギーを取り出すことに成功したことの報告
- ベンチャー企業の参入や巨額の民間資金の流入など、核融合炉の商用化へ向けた動きが世界的に活発化
- 英国の核融合ベンチャー、トカマク・エナジーが、球状トカマク型のST40実験装置で、プラズマ温度 1億度達成の報告

(参考)英国のエネルギー計画

電力部門で洋上風力とともに原子力を重視する姿勢が打ち出されていて、大型炉建設やSMR, AMRの開発に加えて、核融合技術開発への支援が明確に位置付けられている。

将来、我が国のエネルギー基本計画にも電源として位置付けられて、再生可能エネルギーと共に22世紀の基幹電源として確立されることを期待

将来のエネルギーシステムとカーボンニュートラル実現へ向けて

- エネルギーシステム
 - 安全性
 - 供給安定性
 - エネルギー安全保障
 - カーボンニュートラル
 - グローバル化・世界情勢
- 電動化と電源
- 水素(燃料・キャリア・貯蔵・冷媒・原料)
 - グリーン水素・ブルー水素・.....
- SAF・合成燃料
- 核融合発電
- 標準化, 資源, リサイクル, etc.
- 経済, 社会受容性, 諸制度, 政策, etc.

電力分野

運輸分野

産業分野

民生分野

将来のエネルギー計画

- 我が国の将来の安定なエネルギー供給(2050年以降, 22世紀)
- 長期的な技術開発・実用化ロードマップを策定, 実行の必要性

カーボンニュートラル

回転機, パワーデバイスを含むパワーエレクトロニクス, モータドライブシステム, LED, 家電製品, 材料, 制御, 等々, 一層の省エネ化のための技術開発
スマートシティなども含めてシステムの検討

カーボンニュートラル達成へのアプローチ ～アカデミアの視点から～

- カーボンニュートラルには様々なステークホルダーが関わるので、協力・連携していくことが必要

電気学会として

- 学術的, 技術的に正確な情報の提供, 発信をする
- 講演会やシンポジウムなど, 正しい情報等に基づく議論の場を提供する

カーボンニュートラル実現へ向けて

- 革新的技術やシステムの社会実装
- その過程で遭遇する様々な課題の解決へのアカデミアの貢献
- 学会間はもちろん、産学官民の連携によって、カーボンニュートラルなどのグローバルな課題に取り組む