# 「日本の電力システムの現状・所来展望と 超電導技術への期待」

公益社団法人 低温工学·超電導学会 会長電力中央研究所 名誉特別顧問

# 秋田 調

低温工学・超電導学会主催 一般公開シンポジウム 「カーボンニュートラル社会創出に向けて 一低温工学・超電導技術の役割を語る一」 2022年6月22日 R 電力中央研究所

# 我が国の電力システムの現状・将来展望と超電導技術への期待 -2050年カーボンニュートラルへ向けての 取り組みと超電導技術の役割一

【低温工学 56巻 5号 PP243-247, 2021年】

# 電気事業の歴史

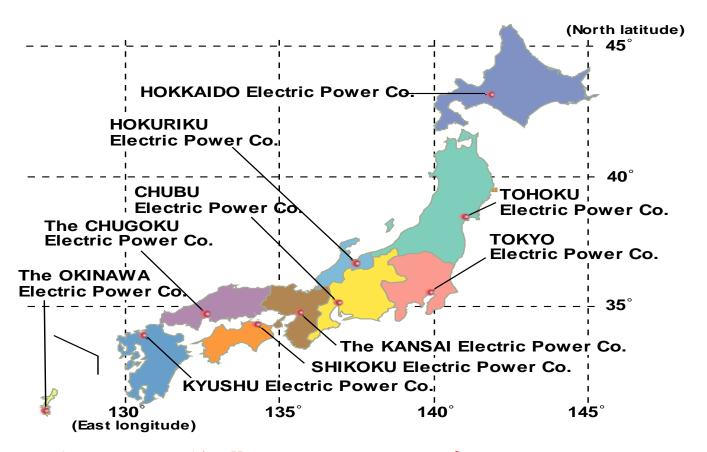
# 歴史: 直流配電と交流配電

- ○直流配電:変圧器では電圧の昇圧/ 降圧ができず、長距離配電に不向き ⇒近距離の同種類の負荷に配電
- 〇交流配電:変圧器で容易に昇圧/降 圧ができ、長距離配電が可能
- ⇒異種の負荷を集め、設備利用率が 向上できる

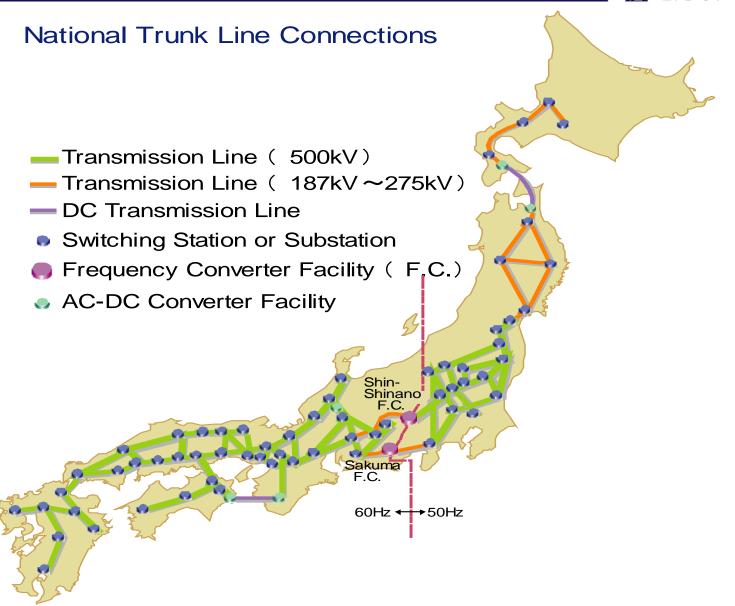
(エジソン(敗)とウエスティングハウス(勝)の戦い)

# 2000年3月までの電気事業

# **Encompassing All of Japan—The Ten Electric Power Companies by Service Areas**



### (電力会社の営業地域は明確に分かれていた)



(電力系統は西と東で以前から一体化している)

# 歴史:電気事業のこれまでのあり方

異種の負荷を集め、日間、年間の設備利用率を向上させ、固定経費を如何に切り詰めるかの事業であった。

例:「冬の製氷業はありがたい」(シカゴの電力会社の創成期)

(設備稼働率が上がると電気料金が下がる)

# 歴史:電気事業の取り組み

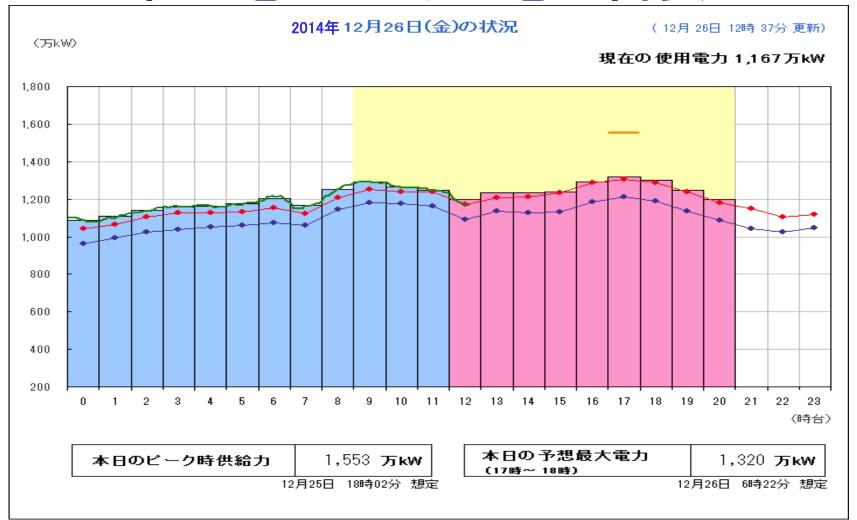
・深夜電力料金の設定

・蓄熱空調方式への補助金

・エコキュートの普及促進

(設備稼働率を上げるための工夫が進められた)

# 東北電力の冬の電力需要



### (工夫が進み昼と夜の電力需要がほとんど同じ)

# 電気事業のいま

# 低炭素社会への挑戦

- ① 低炭素排出電源の利用
- ② 省エネルギー技術の活用

需要側

供給側

高効率な機器



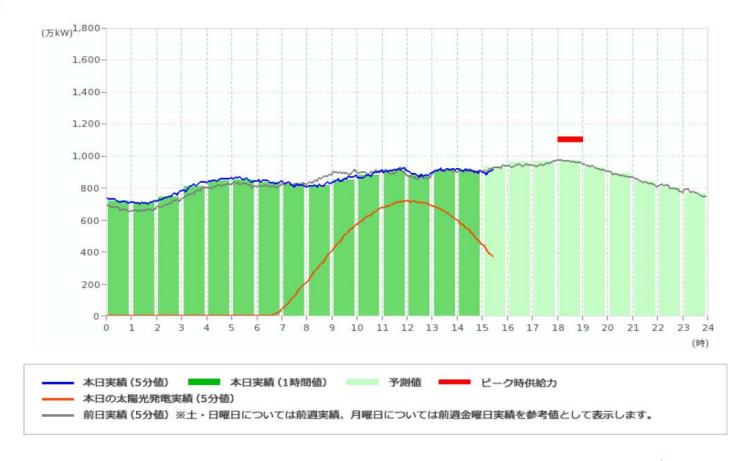
低いCO2原単位

大幅なCO2排出削減

(菅前首相は2050年にカーボンニュートラルと表明)

### 2020年10月20日の九州電力の需給実績

#### 電力使用状況の推移



### (九州電力の太陽光発電導入割合はほぼ世界一)

## 2018年10月21日の九州電力の需給実績

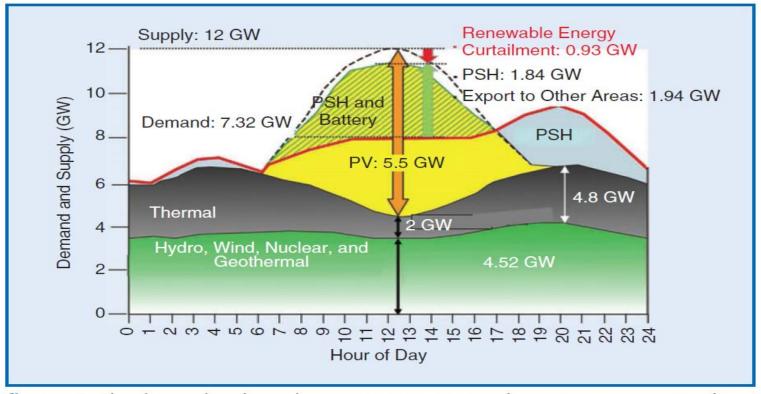


figure 5. The demand and supply operation on 21 October 2018. (Source: Kyushu EPCO; used with permission.) (PSH: pumped-storage hydropower⇒揚水発電)

### (余剰の太陽光発電を揚水で吸収)

"Making Renewables Work", by Kazuhiko Ogimoto and Hiroshi Wani(九州電力) IEEE Power & Energy Magazine November/December 2020 p.51

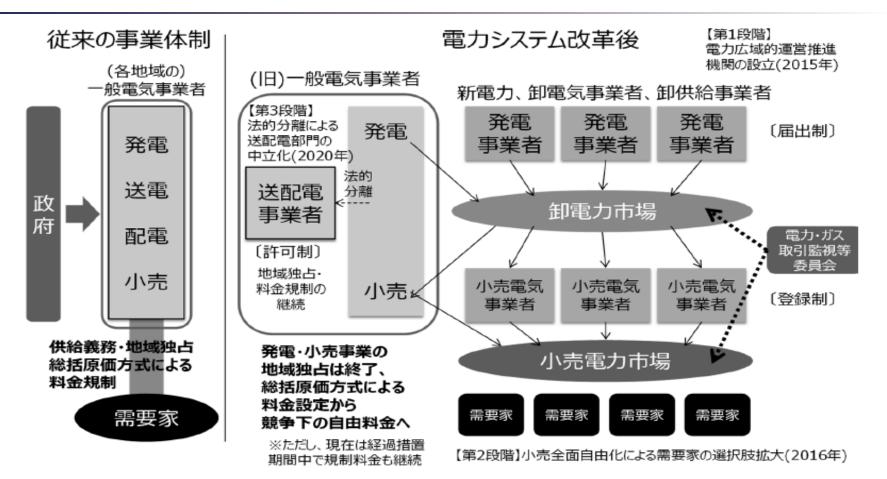
# 電力システム改革の状況

(1) 広域系統運用の拡大(2015年)

(2) 電気の小売業への参入の全面自由化(2016年)

(3) 法的分離方式による送配電部門の中立性の一層の確保、2020年4月)

## 電気事業の自由化



「電力システム改革における新市場創設の意義と課題」電力経済研究No.66(2019.3)

### (一体であった電気事業を分割し市場でつなげる)

# 電気事業に関し開設される市場

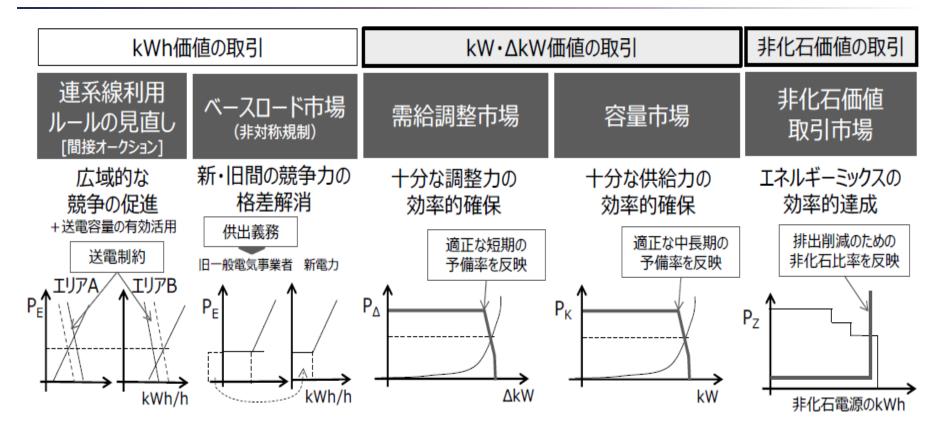


図2 新市場で取引される価値とその目的

「電力システム改革における新市場創設の意義と課題」電力経済研究No.66(2019.3)

### (市場が円滑に機能するかはまだ不明)

## 電気事業に関し開設される市場

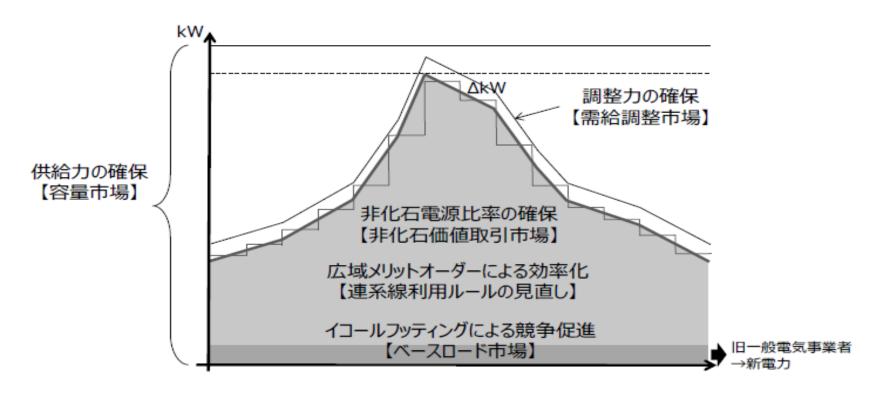


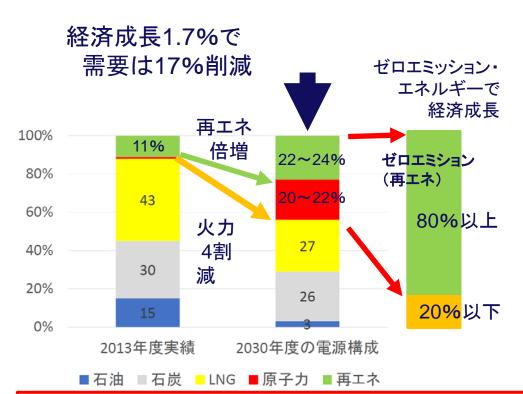
図3 新市場と電力需給の関係

「電力システム改革における新市場創設の意義と課題」電力経済研究No.66(2019.3)

### (市場で取引する価値が複雑に絡み合っている)

# 電気事業の今後

# 2050年低炭素化のこれまでの姿



- ◆ 2050年には80%以上までのゼロ エミッション電源導入
  - ⇒さらにカーボンニュートラルへ
- ◆ 系統安定化技術の高度化が不可欠
- ◆ 国内の太陽光・風力発電だけでは、 容量不足か。
- ◆ 国外からの再エネ輸入? 再エネ由 来エネルギーの水素等の輸入か。
- ◆ 既存のインフラなどのエネルギーシステムの最大限の活用

#### 2050年の80%削減には、

- ✓ ゼロエミッション電源の導入加速。88%必要との 試算結果。
- ✓ 火力発電の高効率化と再エネ由来の水素燃料の 混焼・専焼技術と貯蔵・輸送技術の実用化

# カーボン ⇒ ニュートラルへの 道筋は不明確

# 2050年80%減の社会の姿

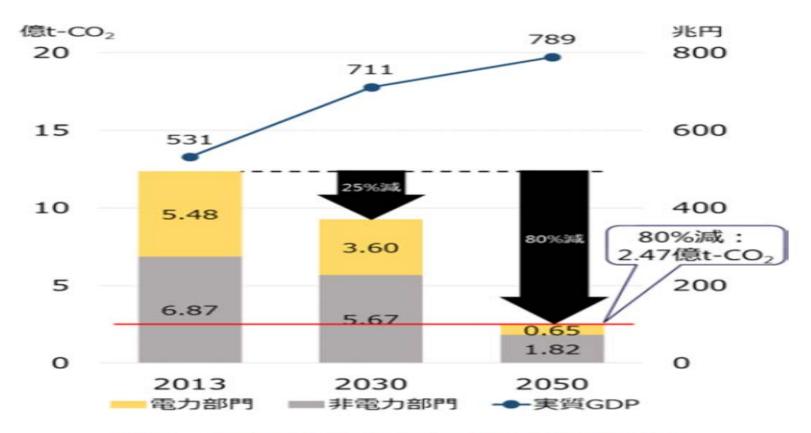


図 1 実質 GDP と CO<sub>2</sub> 排出量の推移 電力中央研究所 研究資料 No. Y19501 (2019年4月)より

⇒電力部門の排出削減は88%

# 2050年80%減の電力供給

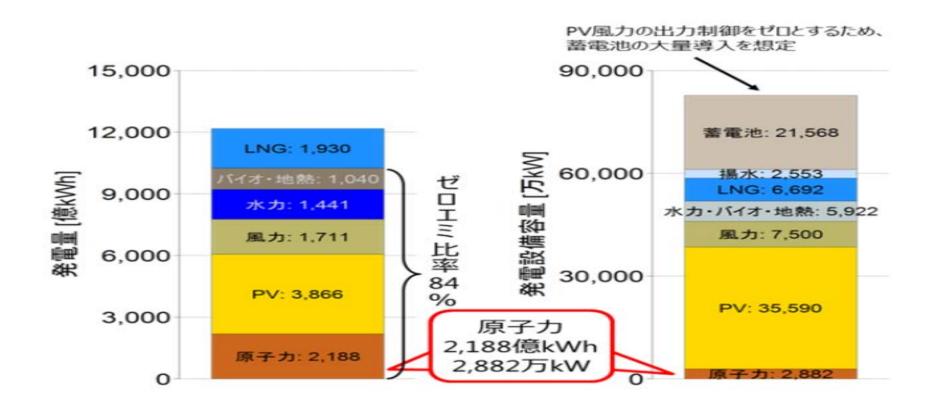
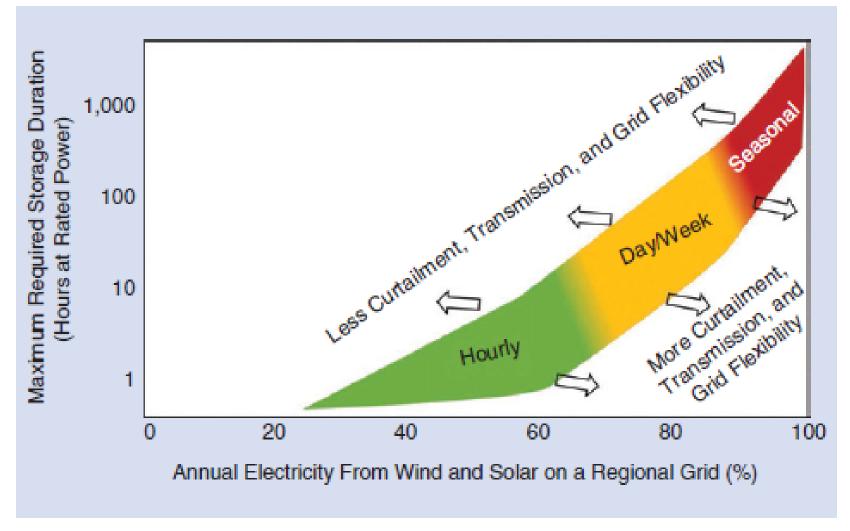


図 2 CO<sub>2</sub>80%減を達成する際の 2050 年の電源構成 電力中央研究所 研究資料 No. Y19501 (2019年4月)より

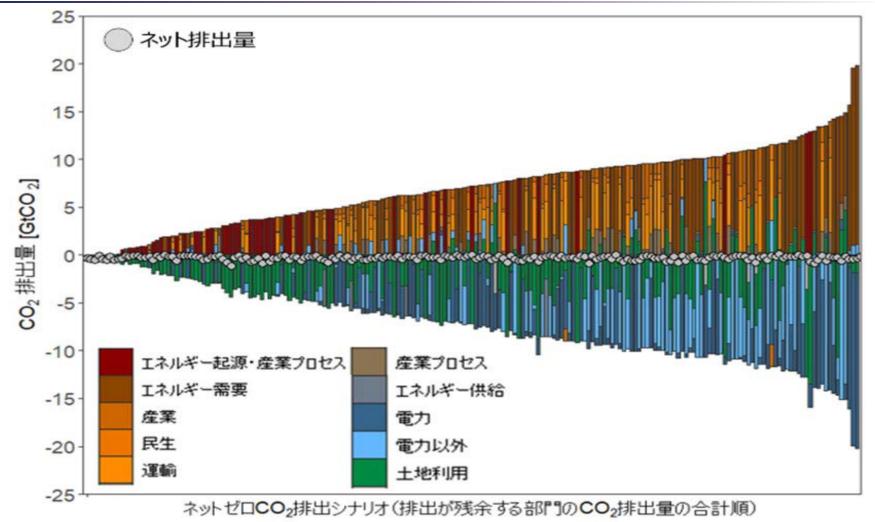
⇒偏在する再生可能エネルギーをどのように需要地に送電するかは未検討

# 風力太陽光大量導入時の電力貯蔵



IEEE Electrification Magazine DECEMBER 2021 p. 6

### IPCC/SR15におけるネットゼロ排出達成時のCO2 排出量



電力中央研究所研究報告Y20001(2020年10月)より

# 2050年頃の電気事業の姿

◆低炭素化(原子力、再生可能エネルギー、 CCUS付火力、ダイレクトキャプチャー(DAC))

(日立東大ラボの試算では、2050年に約1億トンのCCSと約3億トンのDACで我が国のカーボンニュートラルを達成するとしている。)

十

- ◆レジリエンス強化(自然災害対応、サイバー セキュリティ、早い復旧)
- ◆機器の高年化対応(高機能化リプレース、アセットマネジメント、リスクベース)
- ⇒リスクとコストのバランスに対しての社会的合意が不可欠(RIDM)

# 今後必要になる電気事業における研究開発①

- ◆低炭素化
- •原子力:60年を超える長期運転
- •再生可能エネルギー:太陽光、風力に加え地熱も
- ・CCUS付火力:カーボンリサイクルと貯留技術
- ・ダイレクトキャプチャー:技術的に意味がある効率
- ・水素利用技術: 二次エネルギーおよびカーボンリサイクル材料としての活用技術
  - ⇒あらゆる低炭素化技術開発に取り組む 必要がある (グリンイノベーション基金の重点分野では ①洋上風力産業 ②燃料アンモニア産業、③水素産業)

# 水素キャリアの相対評価の一例

◎:他の水素キャリアに比べ優位、○:優劣は中位、△:他の水素キャリアよりも劣位

各水素キャリア間を比較したもので化石燃料との比較で優位性を評価したものではない

	輸送効率 (体積・重量 水素密度)	水素エネルギー 利用割合	経済性(国内 配送50kmを含 むコスト)	取扱い容易性 (輸送/貯蔵 性)・安全性	既存インフラ 技術利用可 能性	特記事項(優 位性、課題な ど)
液化水素 (LH <sub>2</sub> )	・常圧ガスの 1/800 ・7kg/100L (20K,0.1MPa)	・製造時(30%(理 論は10%)相当の エネルギー投入が 必要	·54円/Nm³ (2030年CIF目標 值30円/Nm³)	253°Cの種係 温のため長期間 保存難	・新規インフラ必 要海上輸送・荷 役・貯蔵に技術 開発が必要	- 投入時の冷熱 は国内で利用可 - 長期展望での 有力候補
有機ハイド ライド (MCH)	・常圧ガスの 1/500 ・5kg/100L (常温)	・脱水素時に吸熱 により76元(計算 値)に減少	+SOFI/Nm³	- 95~100℃で液 件でを扱い容易	・既存インフラ利 用可(大量では 新設必要)	・脱水素化時の エネルギー投入 とトルエン回収
アンモニア (g-NH <sub>3</sub> )	·常田ガスの 1/1300 ·12kg/100L (240K,0.1MPa)	・脱水素時に吸熱 により89%(計算 値)に減少するが、 直接性環時は不要	· 48円/Nm³ · 40円/Nm³ (直接燃焼利用 時)	34°Cで液化 -少量で健康被 害	・既存インフラ料 用可(大量では 新設必要)	- 水素から製造 時の高効率化 - 直接燃焼時の NOx低減対策
メタン (g-CH <sub>4</sub> )	・常圧ガスの 1/1100 ・10kg/100L (112k,0.154Pa)	・脱水素時に吸熱 により78%(計算 値)に減少するが、 直接性焼時は不要	+40-53円/Nm <sup>3</sup> (利用時のCO <sub>2</sub> 回 収・固定化価格 に大きく依存)	162℃で液化	・既存やシラ科	・製造時のの。間 進と利用時の国 収、間定化は本 質的な課題
備考 (相対順 位)	・重量では LH <sub>2</sub> >S-OH。 >S-NH <sub>3</sub> >MOH 体積では S-NH <sub>3</sub> >S-OH。 >LH <sub>2</sub> >MOH ・輸送を考慮し て体積で評価	·LH <sub>2</sub> 製造は海外エ ネルギー利用 ·海外輸送の観点 で、国内実用時は LH <sub>2</sub> >g-CH <sub>4</sub> 2g-NH <sub>3</sub> >MCH	・エネ総工研試 算 <sup>(85)</sup> に追加分析 した結果 ・g-CH。利用時の 国内CO。回収・図 定化費用により 単位は大きく変 動	- 取扱い容易性 では、 MCH>g-NH。 >g-CH <sub>s</sub> >LH <sub>3</sub> - 物理的/化学的 安全性は一長一 短あり	・早期実用化の ためのインフラ 整備状況は g-OH <sub>a</sub> >g-NH <sub>a</sub> ≥MOH>LH <sub>a</sub>	・全体的には g-NH <sub>3</sub> のパランス が良い ・長期的にはLH <sub>3</sub> が有望 ・MCHは排熱利 用の限定

電力中央研究所研究報告Q18005(2019年4月)より

# 今後必要になる電気事業における研究開発②

- ◆レジリエンス強化
- •自然災害予測
  - ⇒台風被害の予測、
  - ⇒地震被害の予測
  - ⇒津波被害の予測
- 素早い復旧のための技術
- サイバーセキュリティ
- ⇒電力が社会を支える主たるエネルギー になるためレジリエンスも一層重要になる

# 今後必要になる電気事業における研究開発③

- ◆機器の高年化対応
- •経年劣化の診断技術と寿命予測技術
  - ⇒センサーおよびAIが重要
- •リプレース機器の開発
  - ⇒超電導を含む新しい材料の活用
  - ⇒標準化による低コスト化
  - ⇒ICT技術の活用
    - ⇒電力機器の高経年化は確実に進むが
    - 一斉には更新できない

# 超電導技術への期待

## 2018年10月21日の九州電力の需給実績

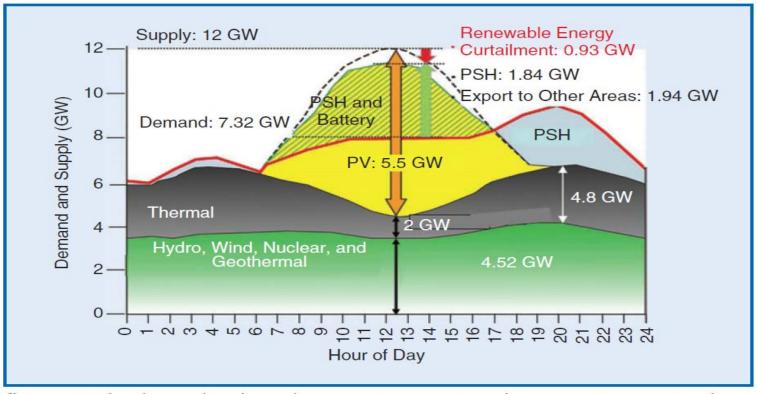


figure 5. The demand and supply operation on 21 October 2018. (Source: Kyushu EPCO; used with permission.) (PSH: pumped-storage hydropower⇒揚水発電)

### (余剰の太陽光発電を揚水で吸収)

"Making Renewables Work", by Kazuhiko Ogimoto and Hiroshi Wani(九州電力) IEEE Power & Energy Magazine November/December 2020 p.51

# 電力の大量輸送技術としての超電導技術

### ■電力の長距離送電技術は不可欠

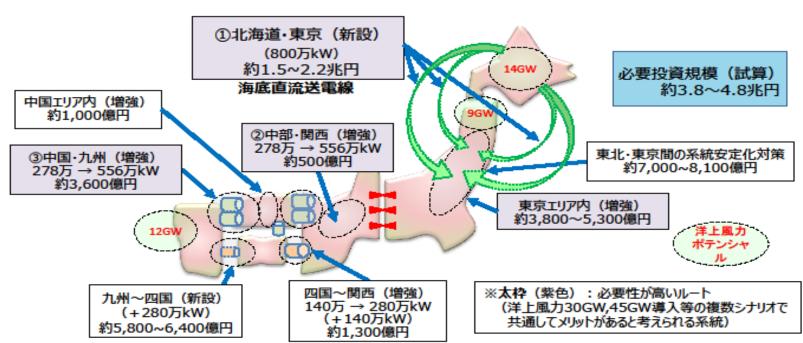
- ・稚内駅から東京駅までは約1100 kmで既存技術で対応可能
- ・北海道から本州への送電では直流海底ケーブルの利用有力視
- ±800 kV、800 万kW 送電で5000 A(超電導化メリット期待大)
- ⇒直流超電導ケーブルでは電圧を下げ電流値を上げる方が適切
- ⇒最適化のためには詳細な設計研究が必要
- ⇒ 1 回線で800 万kW 送電すると送電線故障の影響大
- ⇒カーボンニュートラルは大規模停電の発生リスクと比較衡量が 必要な政策目標
- ⇒大規模停電発生リスクへの対応可能なら導入の可能性あり

# マスタープランにおける電力の大量輸送技術

#### 送電網の増強

- 再エネ主力電源化に向けて、系統制約を克服する取組は重要。
- 再エネポテンシャルへの対応、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ため、マスタープランの中間整理を2021年5月にとりまとめた。新たなエネルギーミックス等をベースに、2022年度中を目途に完成を目指す。
- 北海道と本州を結ぶ海底直流送電等の必要性が高いルートは、順次、具体化を検討。

#### マスタープランの中間整理 (電源偏在シナリオ45GWの例)



出典:広域連系系統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 中間整理

64

# 電力の需給調整技術としての超電導技術(1)

- ■電力需給のkW の整合を取る技術も重要
- •LNG コンバインド発電所を起動する
- •水素を製造する水の電気分解装置を立ち上げる
- ⇒再生可能エネルギーの変動の速さと発電あるいは需要創造 の立ち上げの速さが整合しない
- ⇒LNG コンバインド発電では電池貯蔵装置併設の研究開発も
- ⇒貯蔵電力量よりも発電時/貯蔵時のkW の大きさが重要
- ⇒最もSMES の特徴を発揮しやすい適用先

# 電力の需給調整技術としての超電導技術(2)

### ■無効電力の調整も重要

- ・超電導同期発電機/超電導同期調相機は、同期リアクタンス 小で進み無効電力範囲を含め無効電力の調整範囲が広い
- 電力系統の慣性力を確保できるとのメリットも

⇒再生可能エネルギーのインバーター出力を電動機に入力し同期発電機から出力するM-Gセットを介して電力系統に接続するとの考え方も提案されておりM-G セットの同期発電機を超電導化することも一案

# 周波数が低下した場合の調整力

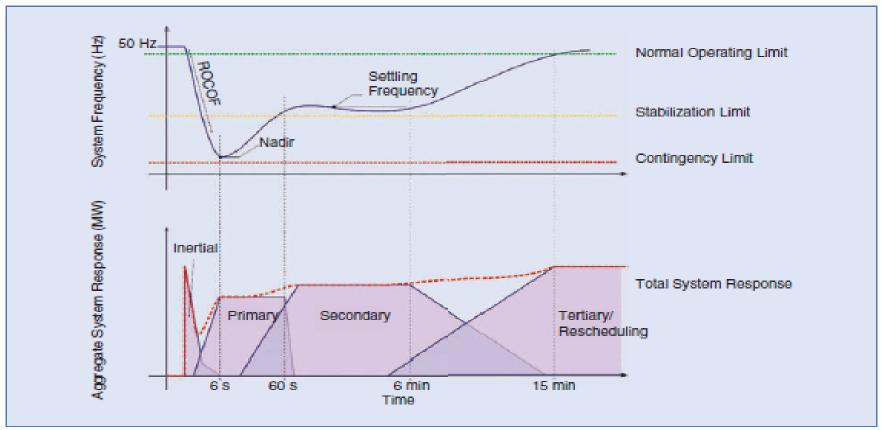


figure 5. (a) The system frequency appropriately managed after a contingency event. (b) Frequency management mechanisms to support the restoration of system frequency following a contingency event. ROCOF: rate of change of frequency.

"Essential System Services Reform"
IEEE Power & Energy Magazine September/October 2021 p.40

# 周波数が低下した場合の発電機出力

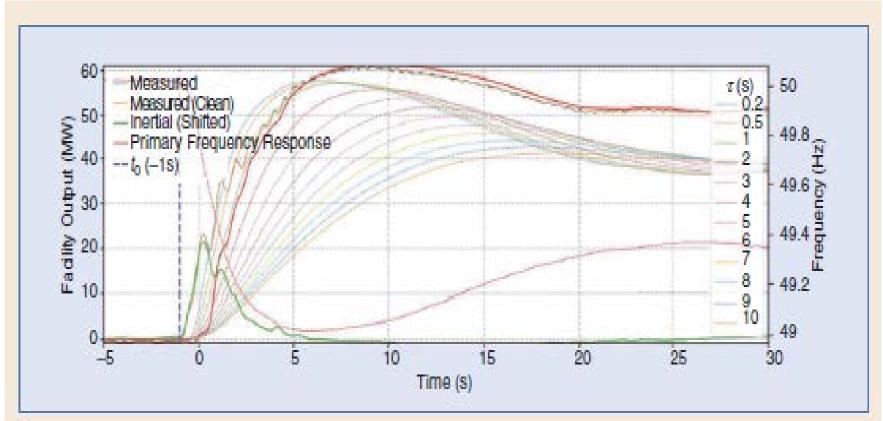


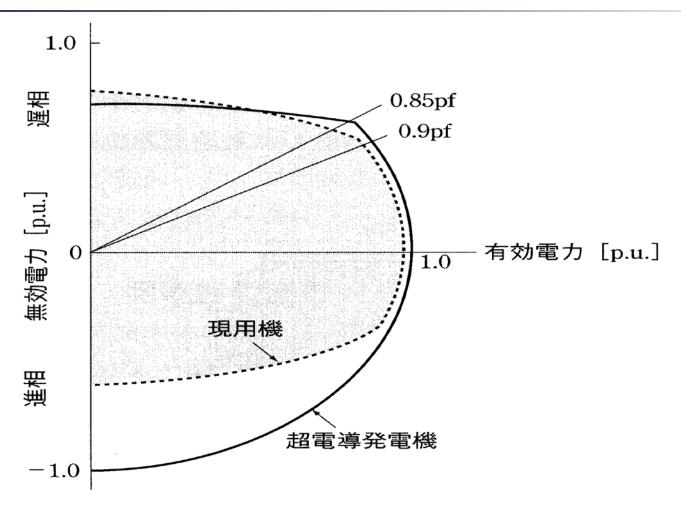
figure S3. The physical response of a gas turbine is measured and compared against an array of hypothetical "perfect exponential" responses of different speeds.

"Essential System Services Reform", IEEE Power & Energy Magazine September/October 2021 p.41(西オーストラリア電力系統は最大電力4GW程度)

# フレキシビリティを高める超電導技術(1)

- ■超電導同期機による無効電力制御
- 界磁磁東密度高で低同期リアクタンス設計可能
- ・ 従来の同期発電機、同期調相機との比較で本質的優位
- ⇒特に、電機子巻線に鉄心を持たないため、従来機に存在する電機子巻線の鉄心端部の過熱による進相無効電力の制限がない進相の無効電力の運転範囲が広い ⇒電力系統全体の電圧が上昇する傾向がある再生可能 エネルギーが大量に導入された電力システムにおいては、 電圧上昇を抑制できる進相運転範囲が広い超電導同期 機の必要性が高まることも

# 超電導同期機による無効電力制御



●図 7.3 超電導発電機の運転領域の拡大

「超電導発電機」上之薗 博 編著 オーム社 p169 (平成16年)

# フレキシビリティを高める超電導技術(2)

- ■超電導ケーブルによる送電ルートのフレキシビリティ向上
  - ケーブル敷設時の重量支持構造が簡略化
  - ・従来ケーブルの敷設が困難箇所への敷設も可能
  - 電源/大容量負荷の立地制約緩和の可能性

⇒今後、電力ケーブル自体の軽量化が開発課題となる 可能性もあり、超電導ケーブルの軽量性が課題解決につ ながる可能性もある。

# フレキシビリティを高める超電導技術(3)

- ■超電導限流器による短絡電流抑制技術
- 新規電源接続時は短絡電流が規定値以下を毎回確認
- •現状の解決策
- ⇒電源の接続点を短絡電流が問題とならない地点に
- ⇒短絡電流の規定値を引き上げ遮断器を更新
- •超電導限流器による解決策
- ⇒新規電源の接続点に超電導限流器を設置し短絡電流を 従来の規定値以下に保つことが出来れば費用対効果は 極めて高い

# フレキシビリティを高める超電導技術(4)

# ■SMES による電力系統の安定度評価と対策

- ・落雷などによる送電線の短絡事故等が起こっても継続的に安定に送電を継続できることをすべて確認した上で運転
- ・再生可能エネルギーによる発電が大量に導入された電力系統では、電源と負荷のバランスと空間的配置が時々刻々変化
- ・事前の電力系統安定度評価がすべての事象をカバーできていない可能性も
- ⇒電力系統の安定度をSMES により電力系統振動の固有値と してリアルタイムで計測する提案
- ⇒ SMES をそのまま電力系統安定化装置として利用可能
- ⇒ SMES は大きな電力kW を短時間電力システムに注入する装置としては理想的

© CRIEPI 2022

# 「超電導技術への期待」に応える

- ■2050 年カーボンニュートラル社会を目指して電力システムがどのように貢献できるかは今後の研究開発が必要となる技術的課題も十分には整理されていない。
- ■我が国の限られた国土でカーボンニュートラル社会を 実現する技術的ハードルは他国と比較して極めて高く、超 電導を含むあらゆる技術を総動員する必要があることは 間違いない。
- ■低温工学および超電導技術が貢献できる技術的課題も 多くあり、継続的に技術開発の状況を注視し、積極的に情 報を発信していくことが重要である。

# 【御清聴ありがとうございました】 「日本の電力システムの現状・所来展望と 超電導技術への期待」

公益社団法人 低温工学·超電導学会 会長電力中央研究所 名誉特別顧問

# 秋田 調

低温工学・超電導学会主催 一般公開シンポジウム 「カーボンニュートラル社会創出に向けて 一低温工学・超電導技術の役割を語る一」 2022年6月22日 R 電力中央研究所 低温工学・超電導学会主催 一般公開シンポジウム(2022年6月22日)
「カーボンニュートラル社会創出に向けて一低温工学・超電導技術の役割を語る一」

# カーボンニュートラルの実現に向けた電気学術・技術の役割と超電導技術への期待

東京大学 大学院新領域創成科学研究科

大崎 博之



# 講演内容

カーボンニュートラルの実現に向けた電気学術・技術の役割と超電導技術への期待

- 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. 電気学術・技術に関わるカーボンニュートラルへの取り組み
- 4. 超電導技術への期待
- 5. 電力分野における研究開発の例
- 6. 運輸分野におけるカーボンニュートラル
- 7. まとめ



# カーボンニュートラル実現へ向けた国内動向

#### 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年目標と整合的で、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

#### 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。



#### 洋上風力・ 太陽光·地熱

- 2040年、3,000~ 4,500万 kWの案件形成ば上風力】
- ・2030年、次世代型で14 円/kWhを視野(太陽光) 1



#### 物流・人流・ 土木インフラ

2050年、カーボンニュー トラルポートによる港湾や、 建設施工等における脱 炭素化を実現



#### 水素・ 燃料アンモニア

- ・2050年、2,000万トン 程度の導入[水素]
- 東南アジアの5,000億 円市場(燃料アンモニア) 2



#### 食料・ 農林水産業

• 2050年、農林水産業 における化石燃料起源 のCO。ゼロエミッション化 を実現



# 熱エネルギー

• 2050年、既存インフラ に合成メタンを90% 注入

航空機

• 2030年以降、電池

段階的に技術搭載

などのコア技術を、



#### 原子力

2030年、高温ガス炉の カーボンフリー水素製造 技術を確立







#### カーボンリサイ クル・マテリアル

- 2050年、人工光合成 プラを既製品並み【CR】
- ゼロカーボンスチールを実 現【マテリアル】



# 自動車・

2035年、乗用車の 新車販売で電動車 100%



#### 住宅·建築物 次世代電力 マネジメント

2030年、新築住宅・建 築物の平均でZEH・ ZEB(住宅·建築物)





#### 2030年、バイオマス プラスチックを約200万ト ン導入

半導体·

情報通信

· 2040年、半導体·

情報通信産業の

カーボンニュートラル化



- 2028年よりも前倒して ゼロエミッション船の商業 運航実現



# ライフスタイル

2050年、カーボンニュー トラル、かつレジリエントで 快適なくらし

14



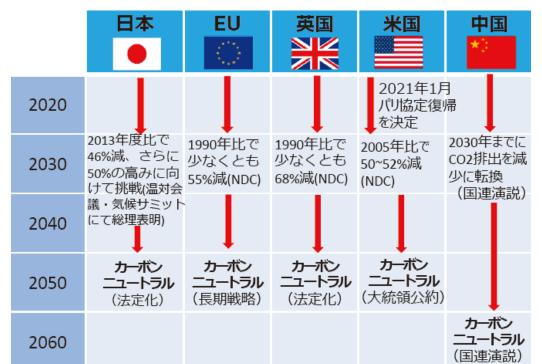
The University of Tokyo, Graduate School of Frontier Sciences

# カーボンニュートラルに関わる動き

#### 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℃より十分下方に保持し、 1.5℃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



#### 2050年までのカーボンニュートラルを表明した国



https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/1-2-2.html



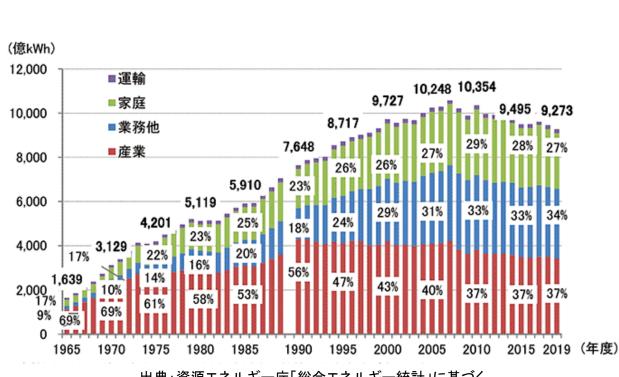
# 国内エネルギー動向

#### 「令和2年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書2021)より

#### 最終エネルギー消費と実質GDPの推移

#### (EJ) (兆円、2015年価格) **GDP** 1973-2019年度 18 600 2.6倍 15 500 12 400 と終エネルギー消 1973-2019年度 1.7倍 300 家庭部門 1.8倍 200 企業 ·事業所 他部門 業務他部門 2.1倍 産業部門 100 0.8倍 1973 975 1995 2000 2005 2010 2015 2019 (年度) 1980 1985 1990

#### 部門別電力最終消費の推移



出典: 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」に基づく

- 2011年度からは東日本大震災以降の節電意識の高まりなどによっ て減少が進行
- 家庭部門・運輸部門ではエネルギー利用機器や自動車などの普及 が進んだことから大きく増加



### 日本の温室効果ガス排出量

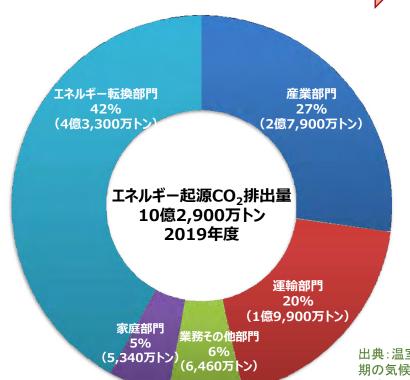
### 日本の温室効果ガス排出量

12億1300万トン(CO<sub>2</sub>換算, 2019年度)のうち, エネルギー起源CO<sub>2</sub>が85%

#### エネルギー転換部門

エネルギー起源CO<sub>2</sub>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

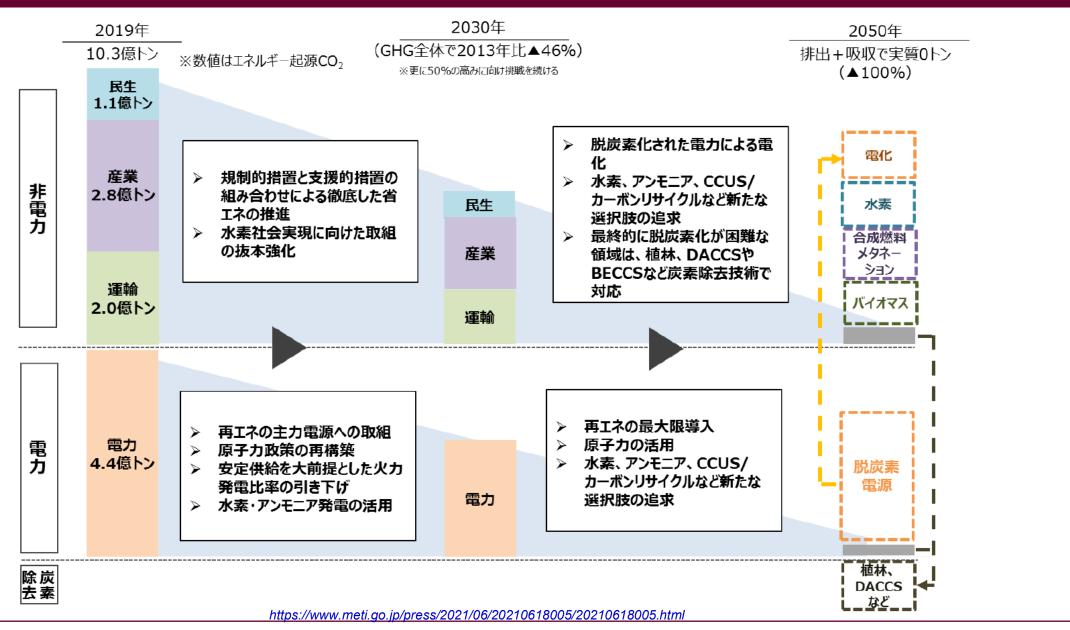
エネルギー貯蔵

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

# 2050年カーボンニュートラルの実現へ向けて



### 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

### 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

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



パワエレ回路 システム領域 デバイスの実動作情報 の提示等 一体的な

研究開発

各デバイスの材料物性 の提示等 パワーデバイス領域

受動素子領域

次々世代·周辺技術領域

### 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



### 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】

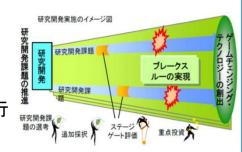
2030年の社会実装を目指し、低炭素社会の実現に貢献する革新的な技術シーズ及び実用化技術の研究開発や、優れた機械的特性をもつ軽量材料の開発、リチウムイオン蓄電池に代わる革新的な次世代蓄電池等の世界に先駆けた革新的低炭素化技術の研究開発を推進。

#### 【事業概要・イメージ】

- 〇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

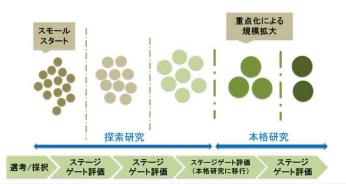
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域

#### 【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】

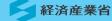
- 少額の課題を多数採択し、途中段階で目標達成度及びCO2排出量大幅削減の可能性の判断に基づく厳しい評価(ステージゲート評価)を経て、評価基準を満たした課題のみ次のフェーズに移行する仕組みを採用。
- また、低炭素社会の実現に向けた開発テーマに関連が深い有望な他事業等の技術シーズを融合する形での研究開発を実施。
- さらに、社会・経済的なインパクトや産業ニーズが大きく、分野共通のボトルネック課題が存在する領域をFAで特定し、連携して支援する仕組みを構築。基礎研究から実用化まで切れ目のない支援により、研究開発を強力に加速。



※ 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。

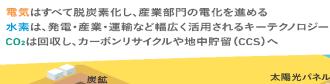


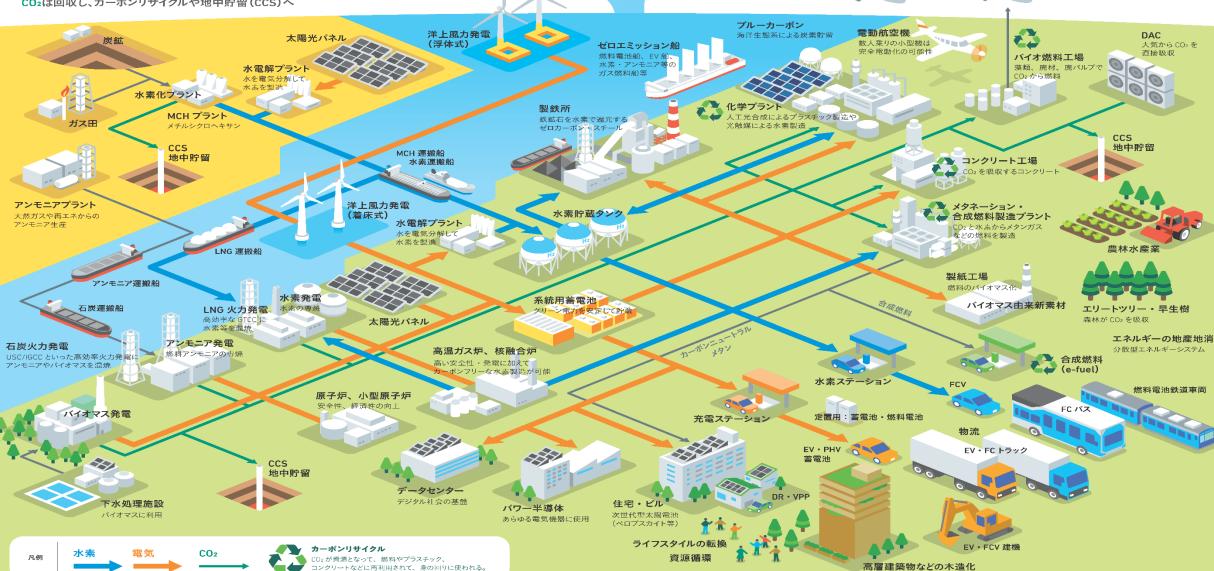
### カーボンニュートラルの産業イメージ



ハイブリッド航空機

推進系の一部に電動技術を用いる



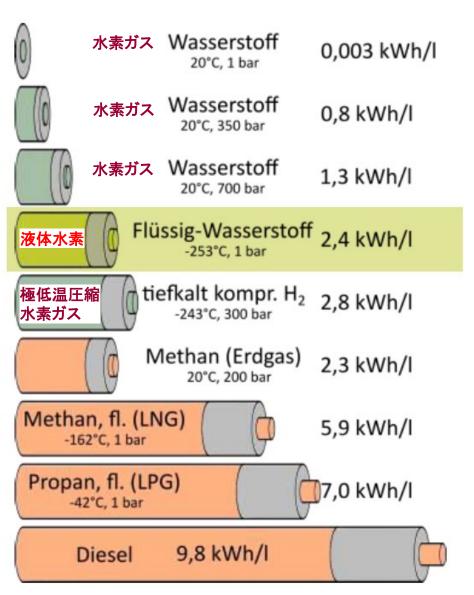


水素航空機

燃料電池を活用

燃料に水素を用いる他

### 液体水素の特徴 - kWh/Iの比較



M. J. Wolf: "AppLHy! – Wasserstoff und Supraleitung," ZIEHL VIII Workshop, April 5, 2022



### エネルギー基本計画

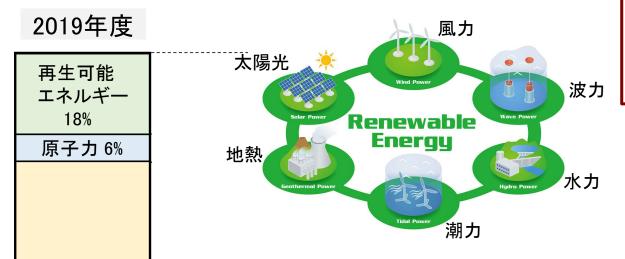
### エネルギー基本計画

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/energykihonkeikaku\_2022.html.html

- エネルギー政策の基本的な方向性を示すために政府が策定するもの
- 内外のエネルギー情勢を鑑みて、少なくとも3年ごとに検討を加え、必要に応じて見直される
- 第6次エネルギー基本計画は2021年10月22日に発表
- ・第5次エネルギー基本計画は2018年に策定
- 世界的に取り組みが加速している気候変動問題への対応
  - ▶「2050年カーボンニュートラル」(2020年10月に表明)
  - ▶「2030年度の温室効果ガス排出46%削減(2013年度比), さらに50%削減の高みを目指す」(2021年4月に表明)
- 日本のエネルギー需給構造が抱える課題の克服
  - ▶気候変動対策を進めながらも 「S+3E(安全性 + エネルギーの安定供給, 経済効率性の向上, 環境への適合)」 という基本方針を前提にした取り組み



### 2019年度電源構成と再生可能エネルギー

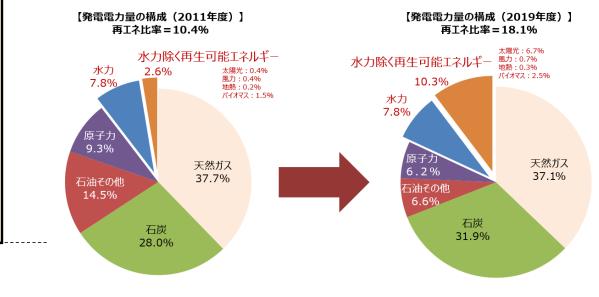


#### 2019年度

- ・電力部門からのCO。排出量は、エネルギー起源CO。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



#### 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

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



火力

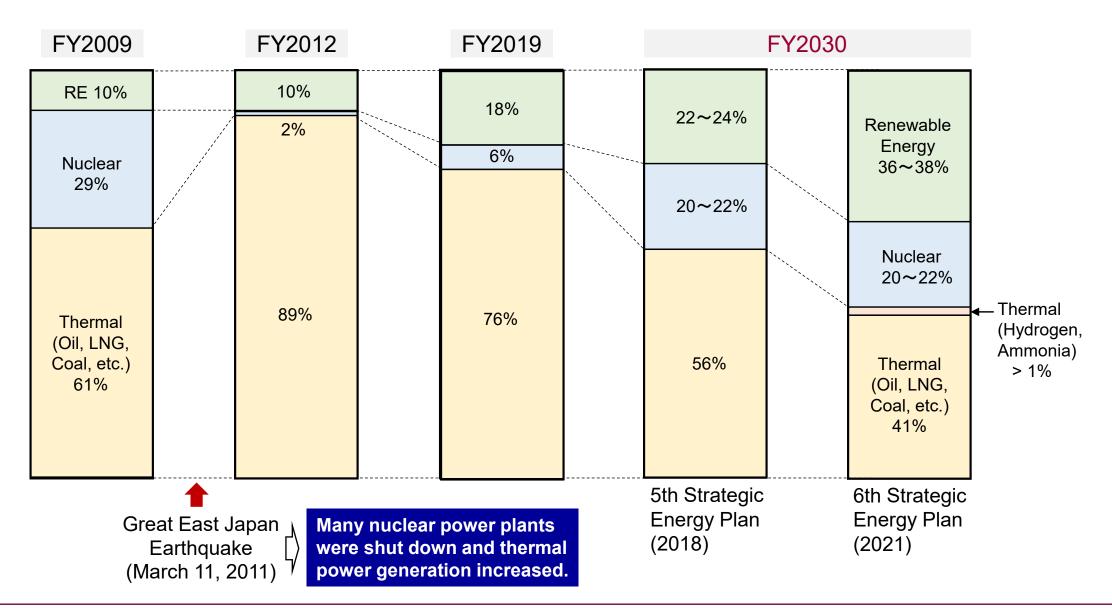
(石油・石炭・

天然ガスなど)

76%

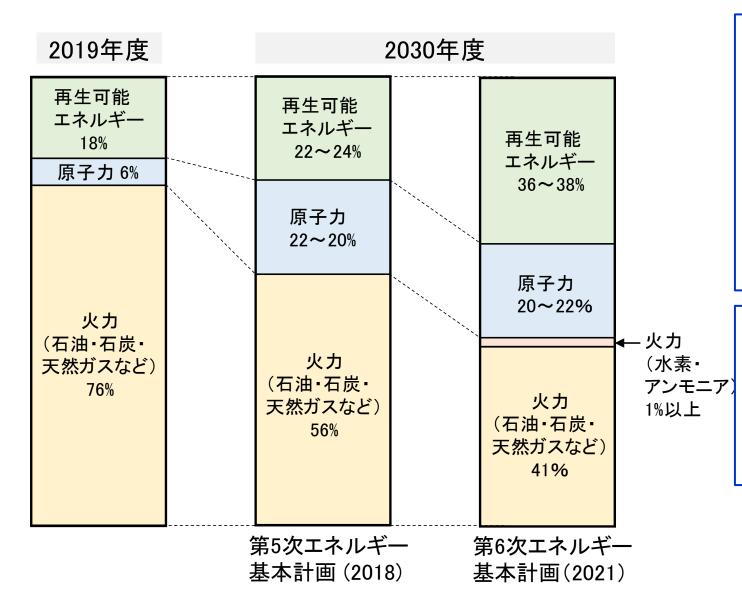
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/

# 電源構成





### 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
- ・ 脱炭素電源の割合を6割程度
- 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系統の整備が必要
  - > 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
- 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

# 電気学術・技術領域(電気学会の領域)

The Institute of Electrical Engineers of Japan

システム 技術

利用技術

産業

スマートファシリティ 高効率エネルギー利用技術 エネルギーマネジメント

運輸

電気自動車(EV), 充電 水素自動車

鉄道,船舶,航空機 民生(家庭,業務)

機器の高効率化、見える化 冷熱(ヒートポンプなど)

電力システム,系統技術 同期化力(仮想同期発電機) マイクログリッド

(エネルギー地産地消) エネルギー貯蔵, 水素利用

V2X, DR, VPP

スマートシティ

発電技術

核融合 原子力(SMR)

原子力(SIMIN 燃料電池

然れませ

水素発電

アンモニア混焼

コジェネレーション

要素技術

機器設計

低消費電力回路

(モータ駆動, 充電器, LED用)

再生可能エネルギー利用 風力発電(陸上, 洋上) 太陽光発電

バイオマス発電マイクロ水力

蓄電池

基礎技術

センシング技術:CO<sub>2</sub>センサー 計測・監視・制御,情報処理技術 超電導

絶縁技術 : 植物由来の絶縁油, オイルレス技術, SF。代替

地域

磁気材料 : マグネティクス モータなどの高効率化, 小型化のための技術

半導体材料:パワーエレクトロニクス材料としてのSiC(シリコンカーバイト), GaN(窒化ガリウム)など

新材料 : ペロブスカイト太陽電池, 有機エネルギー など

LCA

機器の長寿命化、リユース・リサイクル技術、小型化、高効率化

エネルギーの利用

輸送(中間)

発生



### 電気学会 電力・エネルギー部門 『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
- ・強靭なインフラのプラットフォーマーとしての経済の下支え
- ・新たな産業の創出(電化、クリーンエネルギーへの投資、EVインフラ、系統の近代化)
- 自然環境への貢献(クリーンエネルギー、電化)
- ·Quality of Lifeの向上

#### メガ・トレンド

- ・集中から『分散』へ
- ・部分最適と全体最適の両立
- ・重厚長大から軽薄短小へ

#### 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

2030

### インパクト

化石燃料から クリーンエネルギーへ

スマート、強靭なグリッドへ

2050

産業プロセスのクリーン化

車両の電動化

After コロナ

#### 5D(2017年提言)

化

デジタル化

人口減少

『B部門 ビジョン2030』

分散化

自由化

インフラの老朽化

- 労働力の高齢化 ① B部門と他部門・異分野・ 異業種との融合による対象 領域の拡大と『イノベーション の創出』に取り組む
  - ② B部門の活性化を通じて、 「2050年カーボンニュートラルト の実現に貢献

2020

脱炭素化

電

2050年カーボンニュートラル (宣言)





### 電気学会 電力・エネルギー部門(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<mark>技術を</mark> 短期(~2,3年)、中期(5年)、長期(10年)で整理 (下記表は抜粋)

	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	
小項目	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 マネージメント	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)	ポンププリー冷却 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 <sup>®</sup> 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



# 電気学会 産業応用部門のカーボンニュートラルへのアプローチ



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

電気推進用MD 一般社団法人 電気学会



#### トリレンマ ・ 答演・エネル

- 資源・エネルギー・食糧
- 経済発展
- 環境保全

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

# 電力・エネルギー分野におけるカーボンニュートラルとデジタル化

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

# デジタル化が切り拓く2050年カーボンニュートラル

一電力・エネルギー部門の挑戦ー

#### 2021年8月25日

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ーメ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



### パネルディスカッションの概要

### 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

### エネルギー産業の変革ドライバ 5D

De-carbonization 脱炭素化

De-population 人口減少•過疎化

Decentralization 分散化

**Deregulation** 電力市場の自由化

Digitalization デジタル化

- GHGガス46%削減(2030年)
- カーボンニュートラル(2050年)
- ・ 6割以上の地域で人口半減
- ・ 日本の人口:8088万人(2065年)
- ・ 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)
- ・ システム改革(電力・ガス)
- 全ての産業がデータ×AI化
- ・ 産業構造の変革





### 超電導技術への期待

#### 超電導の特徴

- 低損失
- ・高密度
- 高磁場
- .......



### 超電導技術を応用した 機器・システムの特徴

- ・高効率化
- 大出力化
- ・ 軽量・コンパクト化
- ・ 高機能・新機能の実現

### 実用(的)機器・システム

- ・医療用核磁気共鳴イメージング装置MRI
- NMR装置
- ・シリコン単結晶引き上げ装置
- ・重粒子線がん治療装置用回転ガントリー
- 加速器
- ・プラズマ磁気閉じ込め装置
- 超電導リニア技術に基づく中央新幹線

• • • • •

#### 高温超電導機器の課題

- 経済性, 運用性, 保守性, 信頼性
- •コイル化技術や機器設計・製作技術のさらなる向上が必要

回転機 電力ケーブル 限流器 鉄道・航空機 医療 核融合 その他

### 革新的次世代機器・システム 様々な課題を解決する技術として

- ・エネルギー・環境問題の解決 (2050年カーボンニュートラル実現への貢献)
- ・強靱な社会インフラの構築
- ・水素技術の普及拡大へ向けた技術連携
- 先端科学研究設備
- 経済発展. 産業競争力強化
- 高度医療技術, 高齢化社会への対応
- . . . . . . . . . .

低炭素化だけでなく、2050年カーボンニュートラルを実現するのはチャレンジングな課題であり、革新的な技術が必要

⇒ 超電導技術に可能性・期待

#### 導体に関わる重要要素技術の例

REBCO線材を使った大電流導体

- Roebel 導体
- Conductor on Round Core(CORC) 導体
- SCSCケーブル低損失・大電流高密度導体(⇒回転機電機子巻線への適用可能性など)



# 変動性再生可能エネルギー源(VRE)大量連系時の課題

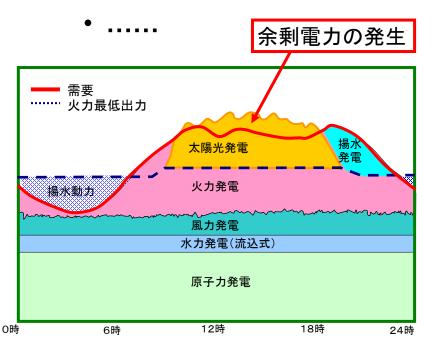
### カーボンニュートラルを目指したエネルギー供給システム

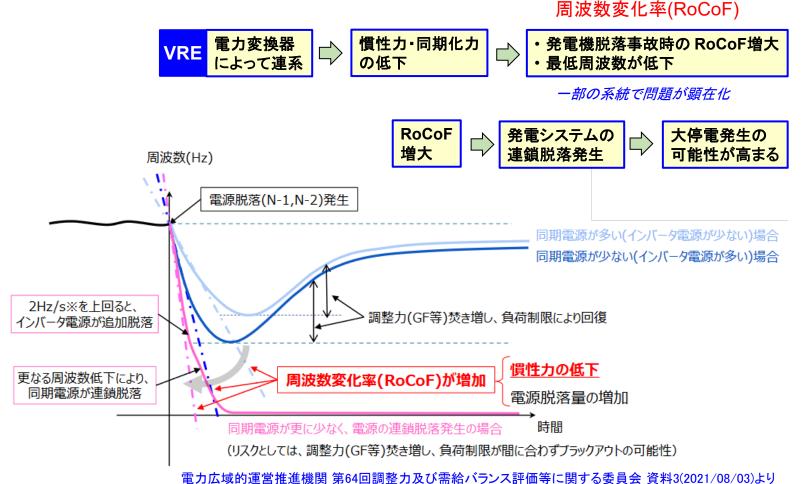
・再生可能エネルギー電源, 特に変動性再生可能エネルギー源 (VRE) の主力電源化

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





### 風力発電の大量導入を支える技術

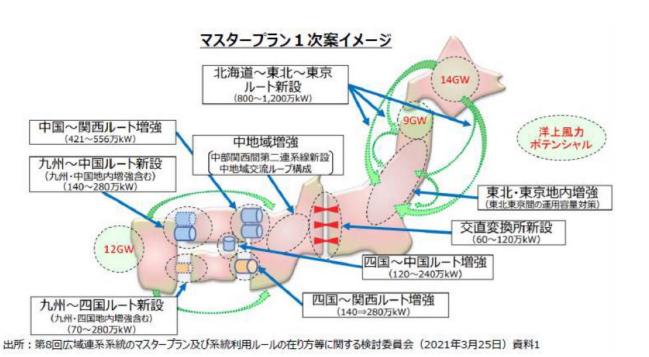
カーボンニュートラルのためには風力発電の大量導入が必要であるが、風力発電の適地は偏在しており、かつ今後は洋上が有望であることから、これを支える技術が必要となる。

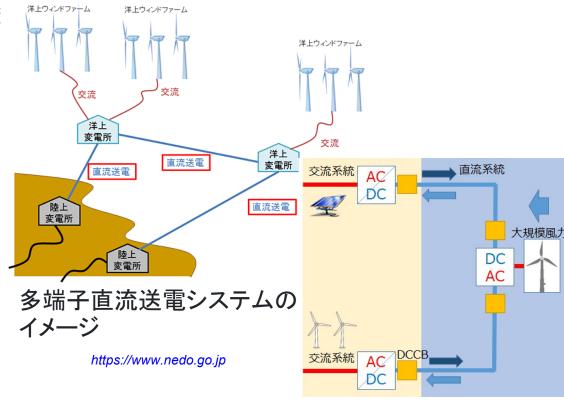
• 機器: 発電機技術(設計技術,磁性材料、絶縁材料などを含む)による小型化・高効率化

・ 設置: 洋上での連系(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

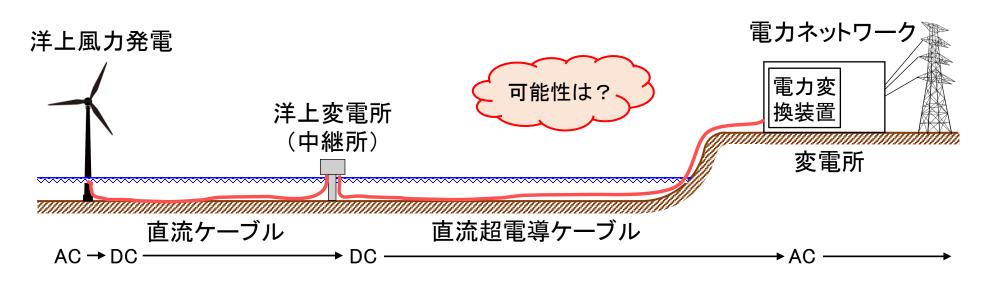




### 洋上風力発電と電力ネットワークを連系する超電導ケーブル

### SuperNode社 (アイルランド)

- 再生可能エネルギー発電設備を電力系統に連系するための超電導ケーブルシステムの技術開発
- 2 GWを超える大電力送電が可能な直流送電システムの実現を目指す。 ▶ 超電導ケーブルによる洋上風力発電所の電力ネットワークへの接続
- ・沖合の複数の風力発電設備からの電力を変電所(中継所)で集め, 直流超電導ケーブルシステムを 使用して電力系統に接続



風力発電設設備で発電した交流電力をその場で直流に変換する場合 洋上変電所は中継所として機能するだけなので小型化が可能



### 超電導ケーブル

### 超電導ケーブルの特徴

- ・大容量化やコンパクト化, 高効率・低損失化など
- ・送電電圧の低電圧化が可能となり、送電電圧階級の統合、変電所設備の削減、送電ルートの多様化

### 商業運転•実証試験

- 韓国電力公社がソウル近郊の22.9 kV電力ネットワークに, 50 MVA, 1 kmの三心一括型の超電導ケーブルを導入し, 2019年に商業運転を開始
- 中国・上海で、2021年12月に35 kV、2.2 kA、1.2 kmの 三心一括型超電導ケーブルの系統連系試験を開始

### その他の応用可能性

- ・ 洋上風力発電と電力系統を連系する超電導ケーブル
- 液体水素冷却高温超電導ケーブル (液体水素輸送+電気エネルギー輸送)
- ・鉄道や電動航空機など

### SuperLinkプロジェクト(ドイツ・ミュンヘン)

- ミュンヘン南部と北部送電系統の間を長さ約12 kmの超電導ケーブルで接続することを検討
- 経済エネルギー省の資金援助を受けて2020年10月に開始(30ヶ月)
- 電力会社, NKT, Linde, THEVAなどが参加
- 110 kV, 500 MVAの電力を直径150 mmの既設管路に敷設した1本の 超電導ケーブルで送電。三心一括型ケーブルで相電流は3 kA以上
- 過冷却液体窒素を冷媒とする密閉型冷却システム。中間冷却ステーションとポンプステーションが必要
- 150 mの超電導試験ケーブルの長期試験が2022年8月から実施予定

### シカゴプロジェクト(米国)

- コモンウェルス・エジソン社(ComEd)が、米国国土安全保障省(DHS) から資金援助を受けて実施
- 近隣変電所を相互に接続することにより余剰電力を共有し、都市部での大きな故障電流を抑制することで、停電の防止に貢献、すなわち、シカゴの電力網の耐障害性(Resiliency)を強化することが目的
- 12 kV, 3 kA, 62 MVA超電導ケーブルをシカゴのノースサイドの常設施設に設置して試運転を実施(2021年9月発表)。1年間の評価試験中。ケーブル: Nexans社, 線材: AMSC社。



# 超電導ケーブル・限流器の実証試験

### AmpaCityプロジェクト

- ドイツのエッセン市の中央駅に近い2つの変電所間約1 kmを, 10 kV, 40 MVA三相同軸型超電導ケーブルで接続し, 2014年4月から2021年3月まで実証試験
- 送電電圧: 従来110 kV ⇒ 10 kV
- 片側の変電所: 液体窒素タンク, サブクーラー, 循環 用ポンプなどを設置
- ケーブルに直列に超電導限流器を挿入
- 中間接続部あり

限流器: 電力系統のレジリエンスを向上させながらも、それによって増大する事故電流を安全に限流する

ロシアではSuperOX社が220 kV, 1200 Aの超電導限流器を開発し、モスクワの変電所に設置した(2019年)

幅12mmのREBCO超電導線材約25 kmを使用 限流器は既設空心リアクトルと並列に接続



# 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(2025年ファーストプラズマ点火予定)
- JT-60SA: 日本・欧州共同実施, プラズマ体積がITERの1/6程度
- ・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
- Commonwealth Fusion Systems (CFS): 高温超電導マグネットと核融合実証炉SPARCの研究開発 (SPARCは、高温超電導マグネットを搭載するトカマク型核融合炉として2025年完工を目指している)

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



## 超電導回転機の可能性

#### 超電導回転機

- ・電力応用:タービン発電機・風力 発電機など
- ・輸送システム応用:船舶・航空機・自動車用など 様々な分野へ
- 産業応用, 他

界磁超電導機 と 全超電導機

の適用可能性

- > 小型軽量化
- ▶ 高効率・低損失化
- ▶ 液体水素冷却

手強い従来機器 従来機器も着実に進歩

#### 国内での研究開発例

京都大学·中村先生(輸送機器用高温超電導誘導同期回転機) 九州大学·岩熊先生(航空機用全超電導回転機) 京都大学·白井先生(液体水素冷却超電導発電機) 企業,東京海洋大学,東京大学,新潟大学,他 ドイツKITの「高温超電導 + 液体水素冷却モータ」の検討例

#### 回転子

- 液体水素冷却
- ・永久磁石界磁を高温超電導コイルに

#### 固定子

1) Honda Accord

• 大きなギャップにより、鉄心の歯がない設計が可能に

conventional e-motor of a passenger car<sup>1)</sup>

Outer diameter: 0.3155 m Rotational speed: 1500 rpm Power: 22 kW Power density: 1.5 kW/kg

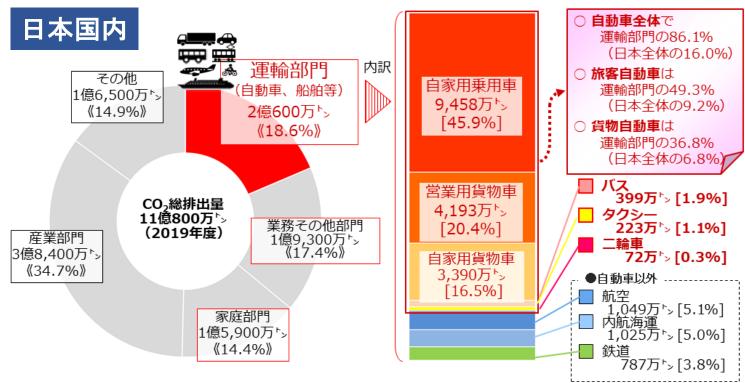
V/kg Power density:

LH<sub>2</sub> & HTS e-Motor

Outer diameter: 0.3155 m Rotational speed: 1500 rpm Power: 202 kW Power density: 15 kW/kg

M. J. Wolf: "AppLHy! – Wasserstoff und Supraleitung," ZIEHL VIII Workshop, April 5, 2022

## 運輸部門における二酸化炭素排出量



国土交通省HP「運輸部門における二酸化炭素排出量」より https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei\_environment\_tk\_000007.html

#### 輸送機関の温室効果ガス排出量の比較

温室効果ガス排出量(g-CO<sub>2</sub>/(人km)) 平均値 (範囲)

#### IEAのデータより

https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/well-to-wheel-wake-wing-ghg-intensity-of-motorised-passenger-transport-modes

自動二輪·三輪車	39	(21-69)
小型·中型自動車	148	(70-220)
大型自動車	211	(85-279)
バス & ミニバス	63	(37-124)
鉄道	19	(6-101)
航空機	123	(98-133)

#### 全世界

(IEAのデータより)

#### 2019年の部門別二酸化炭素排出量

部門	Gt-CO <sub>2</sub>	
運輸部門	8.5	27%
産業部門	12.3	
Buildings	8.7	
その他	1.9	

https://www.iea.org/reports/greenhouse-gas-emissions-from-energy-overview/emissions-by-sector

#### 2018年の輸送機関別二酸化炭素排出量

輸送機関	Gt-CO <sub>2</sub>
乗用車	3.62
航空	0.93
貨物自動車	2.37
鉄道	0.08
船舶	0.86
その他	0.18

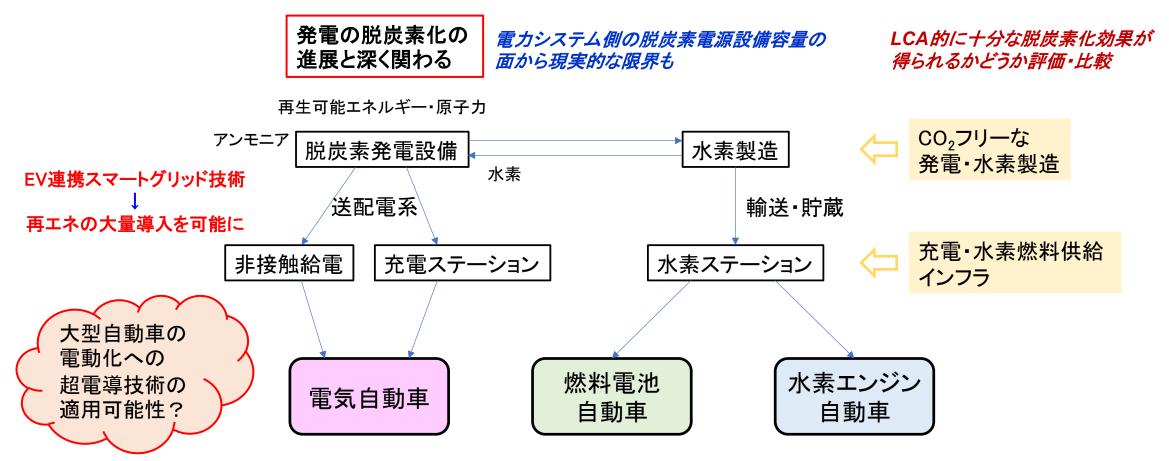
https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/transportsector-co2-emissions-by-mode-in-the-sustainabledevelopment-scenario-2000-2030



## 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





## 鉄道分野のカーボンニュートラル

- ・CO2排出の比較的少ない交通機関であり、モーダルシフトの転換先
- ・鉄道事業者も2050年カーボンニュートラルへ向けた目標を設定
- ・新幹線のような高速鉄道の省エネもさらに進展
- ・車載蓄電池, 定置型蓄電池の利用
- ・燃料電池車両
- ・エネルギー的に高効率な運行
- ・アセットの効果的活用
- ・太陽電池パネルの設置
- 例:JR東日本グループ「ゼロカーボン・チャレンジ2050」 https://www.jreast.co.jp/eco/



ハイブリッド車両(燃料電池)試験車両(JR東日本) HYBARI (HYdrogen-HYBrid Advanced Rail vehicle for Innovation)



ハイブリッド車両(ディーゼル発電+電動モータ駆動) (JR九州)

#### 鉄道分野

2050カーボンニュートラル

鉄道へのモーダルシフト

カーボンフットプリント削減

CO。排出量削減

省エネ

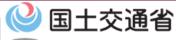
#### 超電導技術

- ・超電導リニア
- 超電導ケーブル
- 超電導エネルギー貯蔵システム



## 鉄道分野のカーボンニュートラルの意義

#### 鉄道の価値



- 鉄道は、基幹的な公益事業として日本の社会経済の発展を支えてきた。同時に、社会経済の活力が鉄道事業の 活力の基盤。
- 環境面でも、大量輸送機関としてエネルギー効率が高く、電化も進んでいる。(鉄道輸送がないと仮定すると、 運輸部門のCO2排出量が22%(4,500万 t=日本全体の4%) 増加)

#### 鉄道脱炭素の方向性

- 鉄道のCO2排出量は1000万トン(日本全体の1%)。
- 鉄道のCO2排出量の9割が電力由来であり、使用電力の4分の3が火力由来であるため、調達電力のあり方を 「自分事」として考えることが前提。
- 取組みの局面と方向性は、以下のとおり。
  - ①使用エネルギーを「減らす」 [省エネ車両、省エネ駅、省エネ運行ダイヤ]
  - ②再生可能エネルギー等を「作る」

「再工ネ発電(鉄道アセット・沿線地域)、余剰回生電力)

③再生可能エネルギー等を「運ぶ」 「送電(地域・広域)、水素輸送(パイプライン・貨物)]

④再生可能エネルギー等を「貯める」 [蓄電(鉄道アセット・沿線地域)、水素貯蔵施設(同左)]

⑤再生可能エネルギー等を「使う」 [電気(鉄道事業・沿線地域)、水素(同左)]

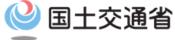
- 取組みの持続可能性の観点から、事業性を確保。
- CNに向けた動きを成長の機会と捉え、研究開発・設備投資を促進。

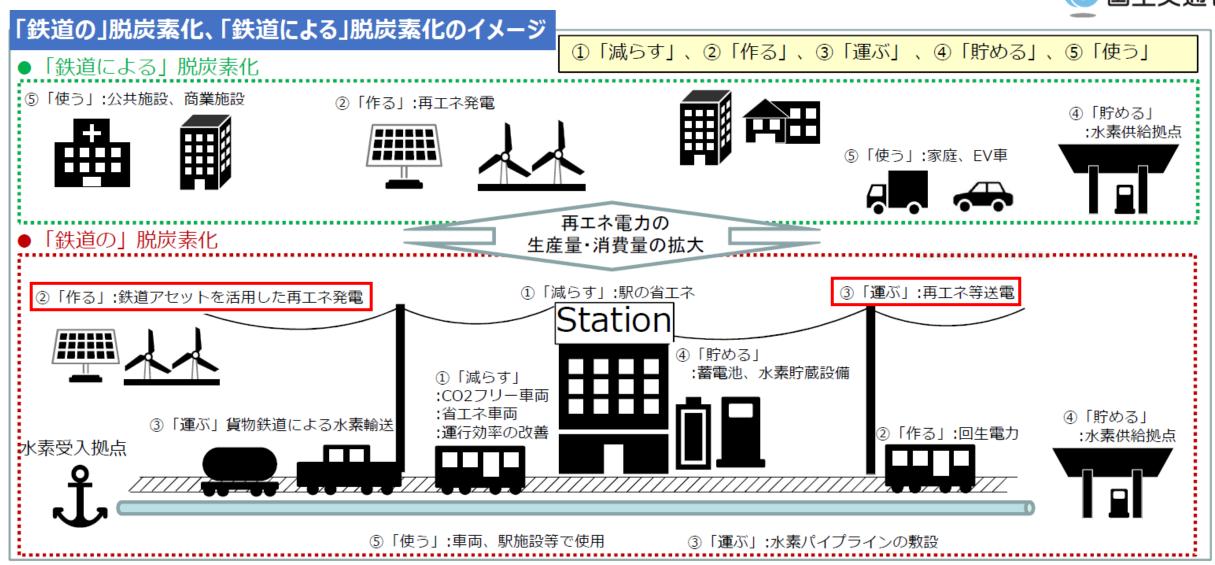
#### 鉄道脱炭素の意義

- 従来の①に加え、②~⑤に取り組むことにより、「鉄道の」脱炭素化に加え、「鉄道による」脱炭素化が可能 に。これらの取組みには、一定の初期投資等が伴うため、当分の間、適切な支援を行うことにより、さらなる拡 大が期待できる。
- 社会全体としては脱炭素化が困難な分野もあることを踏まえ、2050年カーボンニュートラルという「平均 点」ではなく、100%を超えるCO2削減を目指すことも必要。
- これにより、基幹的な公益事業として、また、環境優位性の高い交通モードとして、社会経済の持続可能性を さらに高めるとともに、それを通じて鉄道事業の持続可能性を高める。(鉄道なくして脱炭素なし、脱炭素なく して鉄道なし)

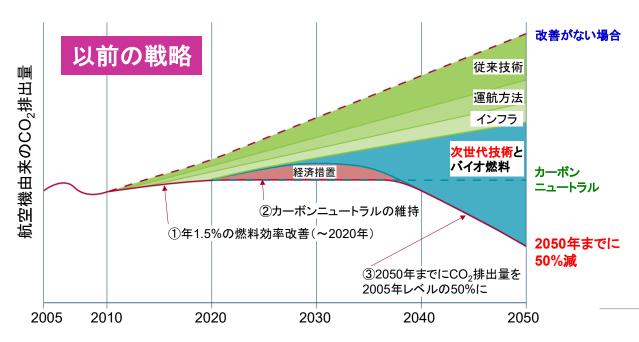


## 鉄道の脱炭素化、鉄道による脱炭素化





## 航空分野のカーボンニュートラル戦略



"REDUCING EMISSIONS FROM AVIATION THROUGH CARBONNEUTRAL GROWTH FROM 2020", Working paper developed for the 38th ICAO Assembly September / OCTOBER 2013.

2050年時点でのCO<sub>2</sub>排出量を2005年比で半減させる 目標を設定した。

IATA Press Release No.5: IATA Welcomes New CO2 Emissions Standard for Aircraft, 9 Feb. 2016

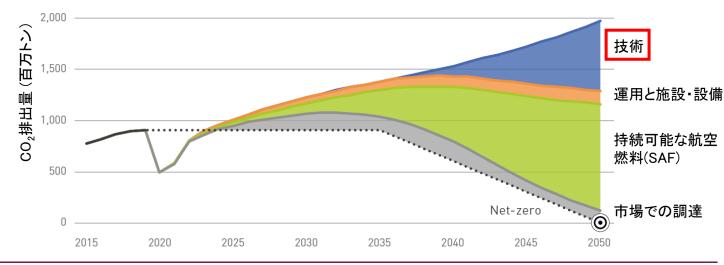
https://www.iata.org/en/pressroom/2016-releases/2016-02-09-01/

#### CO<sub>2</sub>排出をネットゼロ(Net Zero)にする

2021年10月. 航空輸送行動グループATAG(Air Transport Action Group)が、2050年までに国際航空におけるCO<sub>2</sub>排出をネットゼロ (Net Zero)にすることを宣言

ICAOもこの宣言を歓迎し、IATAも総会で2050年ネットゼロを採択参考: ATAGが発行した報告書Waypoint 2050 report

	IATA		ATAG	
		シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
新技術	13%	22%	12%	34%
運用と施設・設備	3%	10%	9%	7%
SAF	65%	61%	71%	53%
市場での調達	19%	7%	8%	6%





## 航空機のCO₂排出ネットゼロへ向けて

- 1. 持続可能な航空燃料(SAF)
- 2. 水素ジェットエンジン
- 3. 推進系の電動化

#### 持続可能な航空燃料 (SAF, Sustainable Aviation Fuel)

#### バイオジェット燃料、合成燃料

- バイオジェット燃料:植物や廃油などから作られる
  - ➤ 原油から作る燃料と比較して, CO2排出量を80%程度減
  - > 実用化がかなり進展
- SAFは燃料全体の重量の最大50%まで
- IATAの2050年CO<sub>2</sub>排出量削減シナリオでは、65%をSAFによって削減する戦略
  - ▶ 2050年, 少なくとも年間4億4,900万キロリットルのSAFが必要と試算
- 国土交通省:2030年までに国内の航空会社が使う航空燃料の 10%をSAFに置き換える目標を設定
- SAFの国産化
- 有志団体「ACT FOR SKY」の設立(2022年3月), 官民協議会の開催(2022年4月)

#### 水素技術(燃料としての水素)

- 水素ジェットエンジン
- 燃料電池⇒電動推進
- ・ 水素タービン発電⇒電動推進

#### 水素航空機(水素ジェットエンジンを中心に)

#### 技術的な課題や経済性の問題

- ・ 体積エネルギー密度がジェット燃料の4分の1程度
- ・ 燃焼温度や燃焼速度が高い
  - ⇒ 燃料タンクやエンジンを含む機体の大幅な設計変更要

#### Airbus社

- ゼロエミッション旅客機ZEROeのコンセプト機発表(2020年9月)
- 2035年までの水素航空機の実用化を目指す
- 地上および上空で試験を実施するデモンストレーションプログラム
- A380を利用した水素エンジンデモンストレーション機を発表(2022年), 2025年までに水素エンジン推進システムの評価を計画

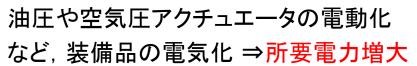
#### 国内

- NEDO: グリーンイノベーション基金事業/次世代航空機の開発 プロジェクト(2021年度から最大10年間)
- 水素航空機向けコア技術開発
- 航空機主要構造部品の複雑形状・飛躍的軽量化開発



## 航空機の電動化

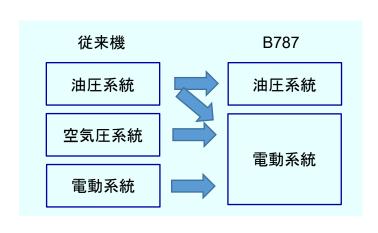
#### More Electric Aircraft (MEA)



- ・ 燃料効率の向上
- ・ 整備性の向上
- ・ 安全性の向上

#### ボーイング787:

1 MW程度の電力を発電・利用





#### ハイブリッド電動推進



#### 全電動ファン推進

#### 推進系の電動化

#### メリット

- ・CO<sub>2</sub>排出量ゼロ/低減
  - ▶ 多発分散化による実バイアス比向上,設計自由度向上による 空気抵抗減など
- 運航費低減
  - ▶ 部品点数削減による整備コスト低減など
- 騒音低減
  - ▶ファンの縮小やエンジン音が小さくなることによる騒音低減

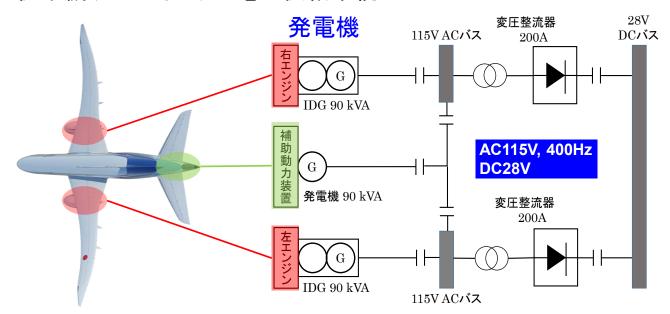
#### 課題

- 小型軽量化(高出力密度化)
- 高効率化
- 信頼性・冗長性の確保



## 航空機の電力供給系統

#### 従来機(B767など)の電力供給系統



90 kVA  $\times$  2 + 90 kVA  $\times$  1 (180 kVA)

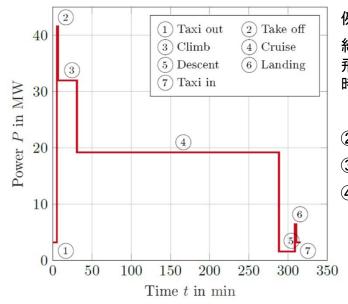
B787の電力供給系統: (MEA)

250 kVA 
$$\times$$
 4 + 225 kVA  $\times$  2

(1000 kVA)

AC235V可変周波数 AC115V可変周波数 DC±270V DC28V

#### 推進に必要な電力



例:220人乗りの航空機

約4,500 kmの距離を5時間で 飛行する場合の推進パワーの 時間変化

- ②離陸(Take Off)時 41 MW
- ③上昇(Climb)時約32 MW
- ④巡航(Cruise)時 約20 MW

M. Boll, et a;. Supercond. Sci. Technol., Vol. 33, No. 4, 044014, 2020

#### 推進系の電動化

さらに高い電圧が必要 (低圧環境での部分放電の問題があり)

電圧	±270V	±500V	±750V	±1000V
電流 (20 MW)	37 kA	20 kA	13 kA	10 kA
電流 (2 MW)	3.7 kA	2 kA	1.3 kA	1 kA

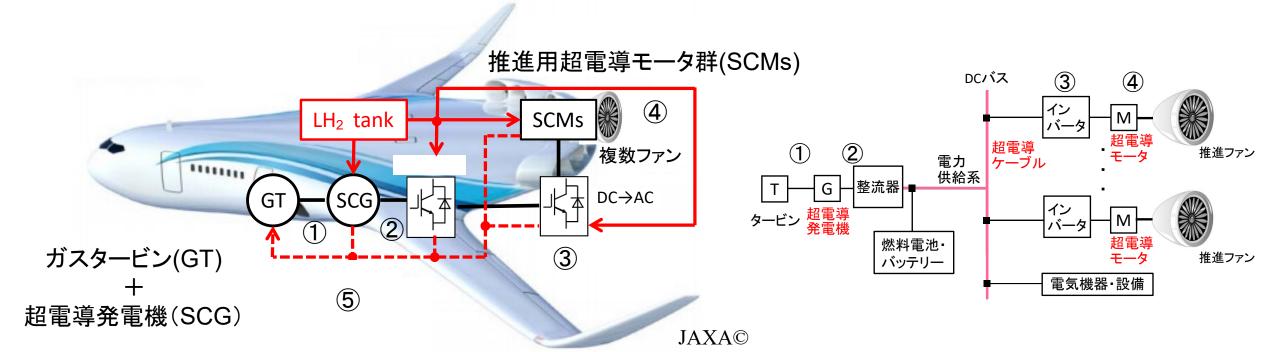


## ハイブリッド電動推進航空機の推進系基本構成の例

Partial Turbo-electric Propulsion 航空機産業の成長戦略「工程表」にも組み込まれている ターボファンエンジン推力 電動機ファン推力 出力の大きな ターボファ ンエンジン 発電機 発電機を搭載 電動機ファン推力 電力変換器  $(AC \Rightarrow DC)$ 電力変換  $(DC \Rightarrow A)$ 電力変換器  $(AC \Rightarrow DC)$ 電力伝送系 (ケーブル) ターボファ ンエンジン 発電機 回転機(発電機,モータ) ・パワーエレクトロニクス ターボファンエンジン推力 電力ケーブル ・バッテリー 開発例, 検討例 • 制御, 計測, センサ • Airbus社のE-FanX ・エネルギーマネージメント NASAØSTARC-ABL ・超電導技術 日本航空機開発協会(JADC)の航空機開発 • 材料, 絶縁技術, 製造技術, ••• Next Stage勉強会



## 全電動ファン推進航空機の推進系基本構成の例(超電導技術導入)



- 水素ガス燃料を燃焼するガスタービンエンジン(GT)によって超電導発電機(SCG)を駆動(①)
- 発電電力を直流に変換(AC→DC)(②)
- ・ 直流電力は機内の電力バス系統へ
- インバータで交流に変換(DC→AC)(③)
- 超電導モータ群(SCMs)でファンを駆動(④)
- 液体水素は、SCGやSCMs及び電力変換器の冷却に使用した後、水素ガスとしてエンジン燃料の一部として使用(⑤)

寺尾悠, 赤坂和紀, 大崎博之, 岡井敬一, 田口秀之: エアギャップ中の希薄ガスによる回転子冷却法を採用した電動航空旅客機推進系用全超電導モータの電磁設計, 2021年電気学会産業応用部門大会 講演論文集, 1-OS1-3, 2021 タービン発電機

AC/DC電力変換器(コンバータ)

電動機用 DC/AC電力変換器(インバータ)

推進ファン駆動用電動機

電力ケーブル

遮断器. 限流器

燃料電池,エネルギー貯蔵装置,制御システム,他

重要な要求事項

小型·軽量化 高効率



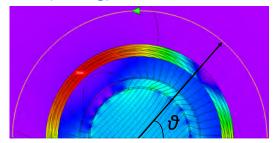
## 航空機電動推進システム用 全超電導回転機

### 高出力密度の全超電導回転機

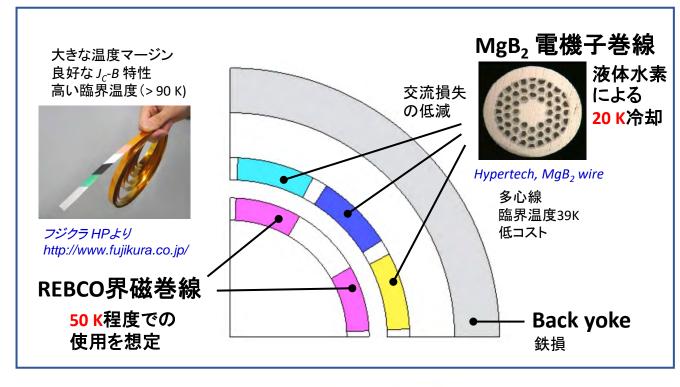
仮定:180人乗りクラス(離陸最大推力 44 MW)

- モータ特性のパラメータ依存性
- 超電導巻線部の交流損失の低減
- 重量低減のための電磁設計

高出力密度(kW/kg), 低損失化

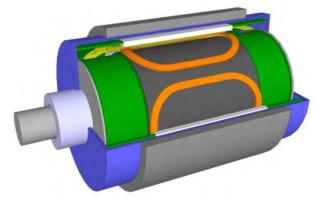


20 kW/kgを超える 出力密度が可能



#### さらに,

- 推進ファンシステム(推進ファン+駆動モータ)としての設計
- 冷却システムの検討
  - ▶ 希薄ガスによる回転子冷却の可能性検討
- その他





## カーボンニュートラルの実現へ向けて

- ・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

- 様々なステークホルダーが関わる⇒ 協力・連携が必要
- 産学官民の連携の重要性
- 革新的技術の開発
- システムの社会実装

長期的な視点と柔軟な計画のもと、持続可能な社会の基幹を担うエネルギーシステム の構築へ向けた研究開発と実用化の推進を期待

## カーボンニュートラルの実現に向けた超電導技術への期待

エネルギー供給側		超電導技術等	
再生可能エネルギーの大	出力変動補償	エネルギー貯蔵,他	
量導入·主力電源化 	需要エリアへの送電	電力ケーブル、他 どの機器が	
	洋上風力発電のグリッドへの連系	電力ケーブル、他効果的に適用	
	短絡電流対策	限流器,他 できるのか?	
グリッドの強化	送電容量の増強	電力ケーブル, 新規送電ルート, 他	0
	安定性の確保	エネルギー貯蔵、発電機、限流器、他	
水素発電システム		回転機	
高効率・低損失化		機器全般	
核融合炉の早期実現		マグネット, 他	
エネルギー利用側			水素
脱炭素エネルギー源の利用		電力ケーブル、限流器、エネルギー貯蔵、他	
省エネ	機器の高効率・低損失化	回転機、電力ケーブル、他	0
	利用法の最適化	(エネルギーマネージメント、制御), 他	
輸送システムの電動化	自動車・船舶・航空機・鉄道	回転機,電力ケーブル,限流器,エネルギー貯蔵,他	0
機器・設備の有効利用(⇒省エネ)		電カケーブル, エネルギー貯蔵, 限流器, 他	



## カーボンニュートラルの実現に向けた超電導技術への期待

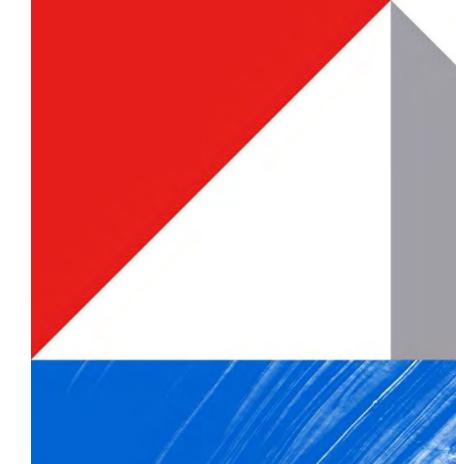
- ・カーボンニュートラル, レジリエンス向上, 水素社会実現など, グローバルな重要課題の解決, 貢献へ
- ・技術開発やシステム実証には迅速性が求められる(競合技術も日々進歩)
- ・低炭素化だけでなく、2050年カーボンニュートラルを実現するのは、難易度の高い課題であり、革新的な技術が必要 ⇒ 超電導技術に可能性
- ・実用化には新機能の実現や、大幅な性能向上、高い価格競争力などが必要
- ・実系統連系などの条件下で長期運転試験を行って、性能や運転制御性、信頼性、保守性 などを実証し、十分な実用性をもつことを示すことが必要
- ・戦略的な研究開発と、高温超電導線材適用による応用機器の拡がりと展開を期待

### **TOSHIBA**

(公社)低温工学・超電導学会 一般公開シンポジウム「カーボンニュートラル社会創出に向けて」

## カーボンニュートラルに向けた水素の役割とその実現に向けた東芝の取組み

2022年6月22日 東芝エネルギーシステムズ株式会社 佐藤 純一



#### **CONTENTS**

- 01 カーボンニュートラルの潮流と カーボンニュートラルに向けた水素の役割
- 02 東芝の水素ソリューション
- **03** Power to Gasソリューション
- 04 燃料電池ソリューション
- **05** Power to Chemicalsソリューション
- 06 さいごに

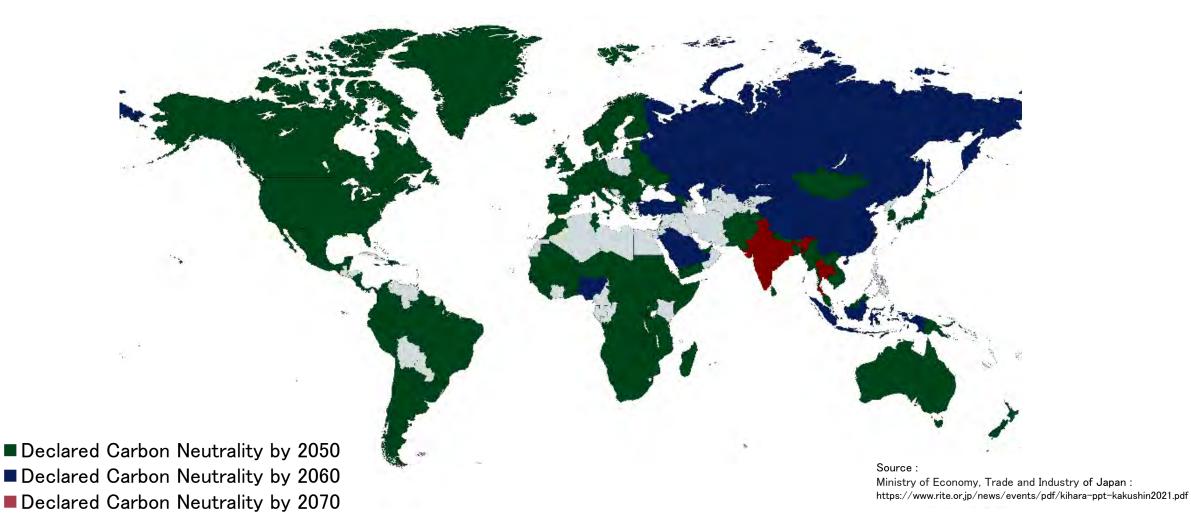
## 01

カーボンニュートラルの潮流と カーボンニュートラルに向けた水素の役割



## カーボンニュートラルの潮流

## 150ヵ国以上がカーボンニュートラルを宣言



## 国内のカーボンニュートラルの潮流

- ✓ 2050年カーボンニュートラル宣言(20年10月)
- ✓ グリーン成長戦略を策定(20年12月)
- ✓ 第6次エネルギー基本計画が閣議決定(21年10月)
- ✓ クリーンエネルギー戦略の策定表明(21年11月)



**菅総理** 所信表明演説

出典:首相官邸ホームページ

- ✓ クリーンエネルギー戦略に関する有識者懇談会初会合(22年1月)
  - 水素、アンモニアは、**カーボンニュートラルに不可欠**なエネルギー
  - ウクライナ情勢等を踏まえ、エネルギー安全保障の確保が更に強く求められる中、 エネルギーの安定供給と脱炭素化を両立できる水素、アンモニアの社会実装の 加速が一層重要
  - 現時点では既存の化石燃料に比べ**割高な燃料**であることも事実であり、**商用化 に向けて需要の拡大と効率的な供給インフラの整備**を通じて価格低減を図ることが必要 22年3月18日 経済産業大臣発言 要約



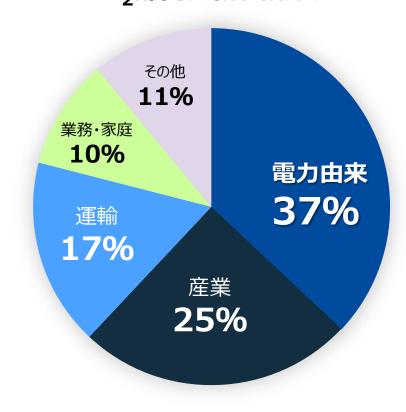
**阜田総理 所信表明演説** 

出典:首相官邸ホームページ

## 2050カーボンニュートラル実現に向けて

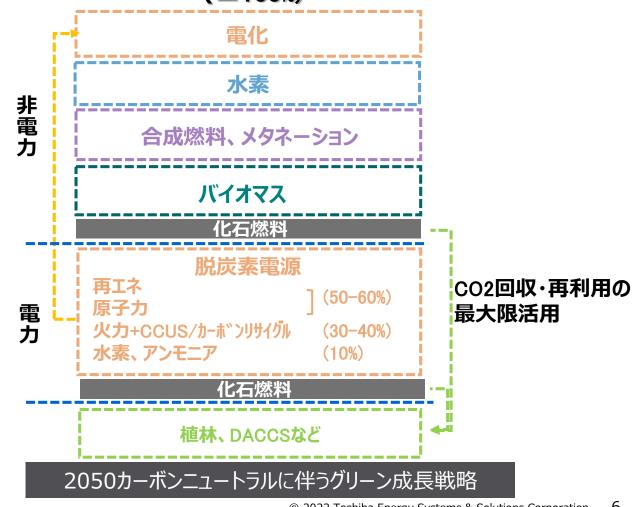
#### 2050年CNに向けた戦略

## CO。部門別排出割合

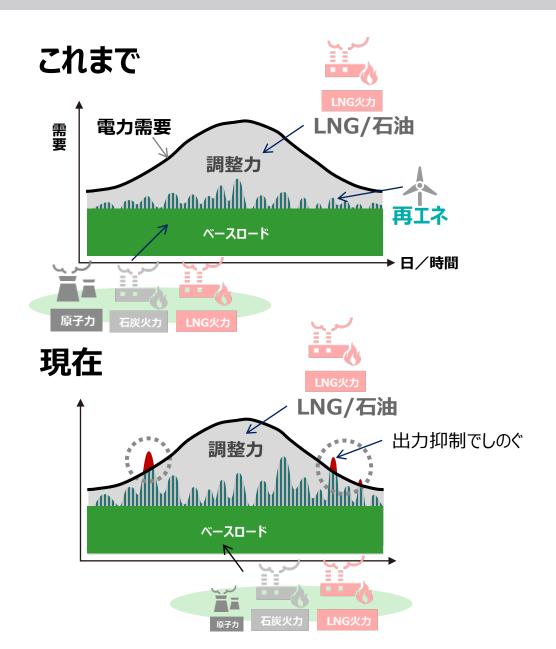


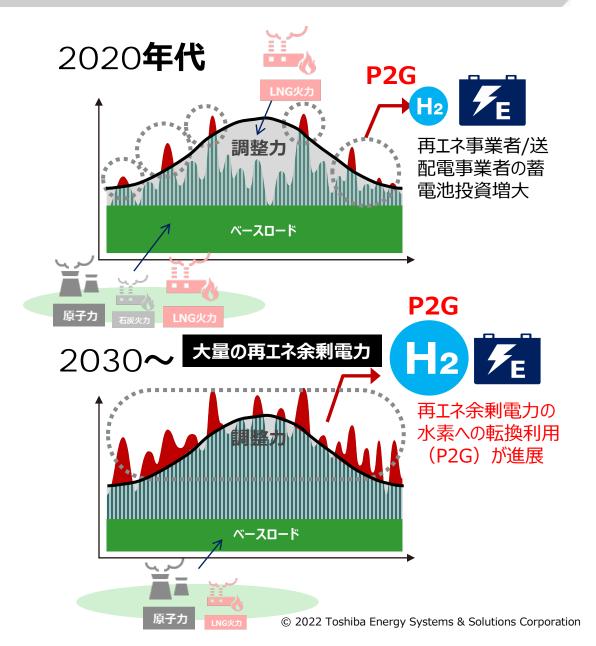
出典:経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 を基に再作図

#### 2050年 排出+吸収で実質0トン **( \( \Lambda\)** 100%)

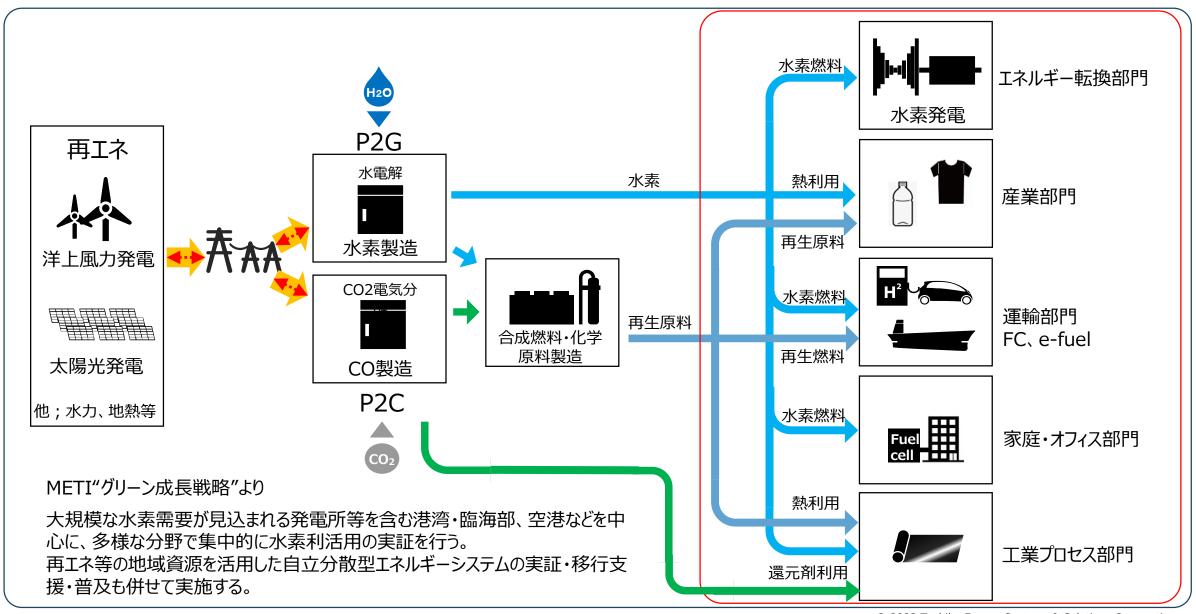


## 再エネ導入拡大のイメージ

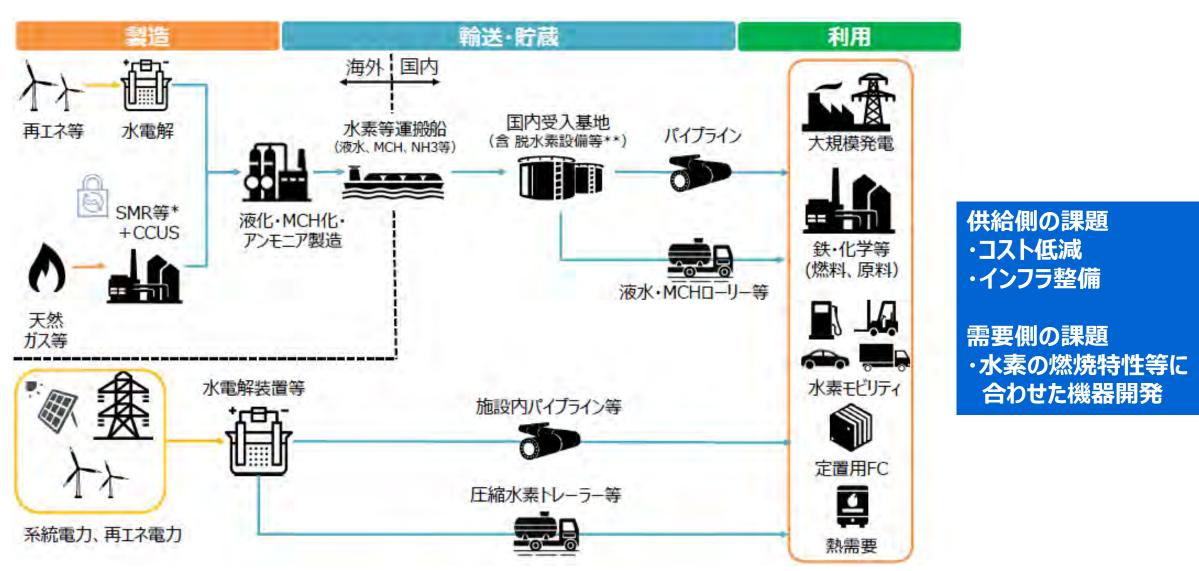




## 水素を活用したCarbon Neutralへの貢献



## 水素サプライチェーン構築と需要創出



\*SMR:水蒸気改質、\*\*脱水素は利用地で行う場合も有り。等は圧縮工程などを含む

出典:経済産業省「水素・アンモニアを取り巻く現状と今後の検討の方向性」(2022/3/29)より引用

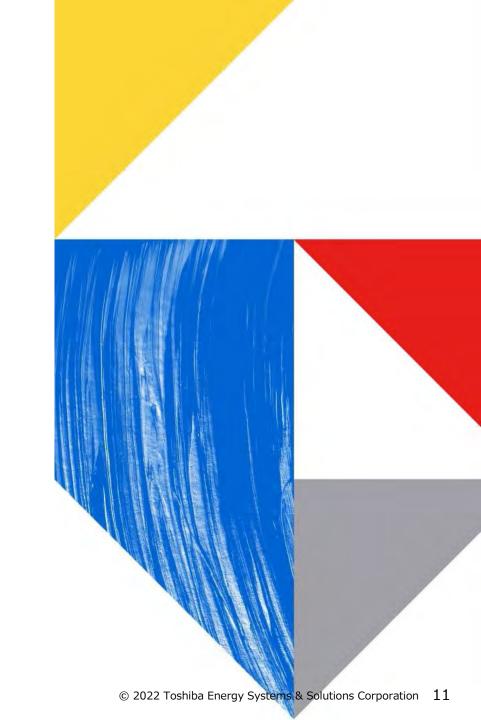
## 水素キャリアの特徴と課題

キャリア	液化水素	MCH	アンモニア	メタネーション
体積 (対常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
液体となる条件 毒性	-253℃、常圧 毒性なし	常温常圧 トルエンは毒性有	-33℃、常圧等 毒性、腐食性有	-162℃、常圧 毒性なし
直接利用の可否	N.A.	現状不可	可 (石炭火力混焼等)	可 (都市ガス代替)
高純度化のための 追加設備	不要		必要(脱水素時)	
特性変化などの エネルギーロス	現在:25%-35% 将来:18%	現在:35%-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下	現在:-32%
既存インフラ活用 活用可否	国際輸送は新設要 国内配送は可	可 (ケミカルタンカー等)	可 (ケミカルタンカー等)	可(LNGタンカー、都市 ガス管等)
技術的課題等	大型海上輸送技術 (大型液化器、運搬船 など) の開発が必要	エネルギーロスの更なる 削減が必要	直接利用先拡大のため の技術開発、脱水素設 備の技術開発が必要	製造地における継承的 な再エネ由来水素、 CO2供給が不可欠

出典:経済産業省「水素・アンモニアを取り巻く現状と今後の検討の方向性」(2022/3/29)を基に再作成

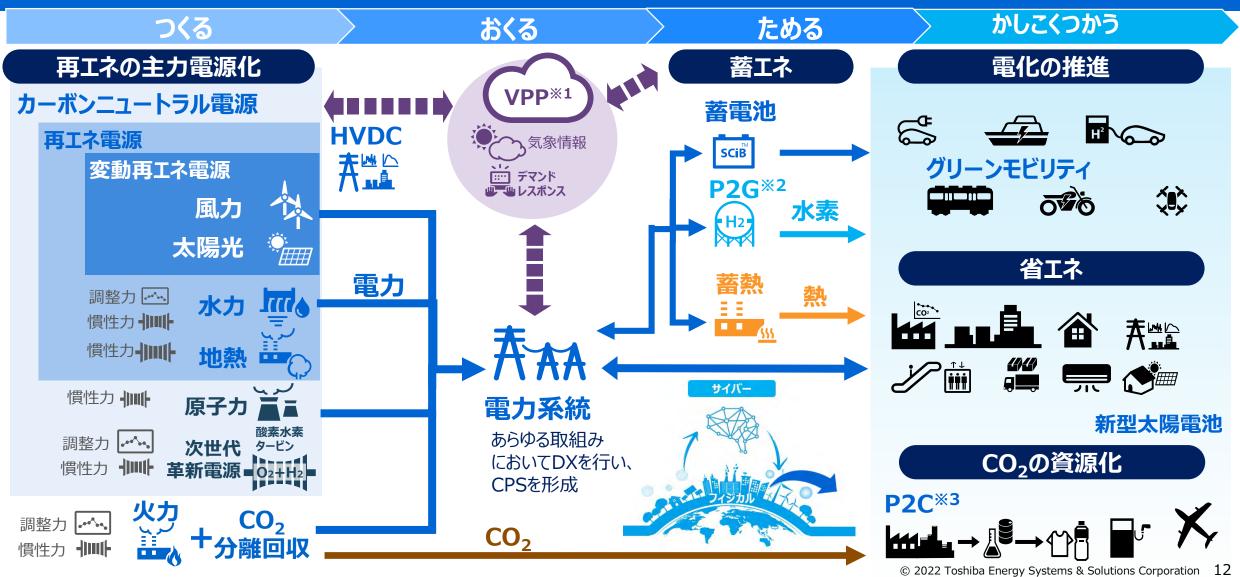
## 02

東芝の水素ソリューション



## 東芝グループのエネルギーソリューションの全体像

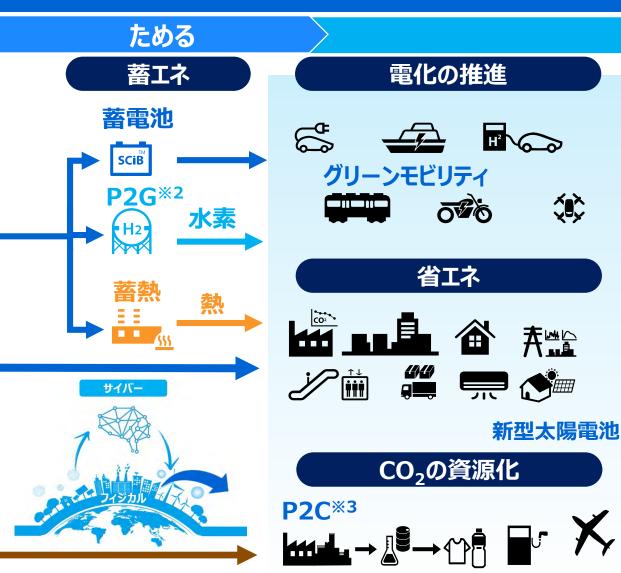
## エネルギーのありかたをデザインし、社会に貢献する



※3 : Power to Chemicals ※1: Virtual Power Plant ※2 : Power to Gas

## 東芝グループのエネルギーソリューションと超電導技術

## 電化の推進/省エネに貢献する超電導技術

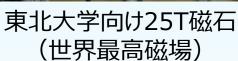


#### かしこくつかう

#### 超電導技術

伝導冷却によるHeレス冷却技術※4で 世界最高性能の磁石コイルを実現







小型超電導回転電機

※4:市村産業賞貢献賞(2019)、文部科学大臣表彰科学技術賞(2020)

東芝IR Day 2022年2月8日 インフラサービスCo.事業戦略プレゼンテーション資料より抜粋 https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/irAssets/abo ut/ir/jp/pr/pdf/tpr20220208 1.pdf

## 東芝グループの水素エネルギーソリューション

## 水素エネルギーソリューションでカーボンニュートラル社会に貢献

CO<sub>2</sub> フリー 水素



余剰·不安定電力





#### P2Gソリューション



系統安定化 エネルギー転換

P2G: Power to Gas P2C: Power to Chemicals

#### かしこくつかう

水素発電 (タービン)

水素発電 (燃料電池)

**建工人 産業** 還元剤、熱需要

#### 燃料電池システム



FCの多用途利用 分散電源

#### P2Cソリューション



 $CO_2$ 資源化



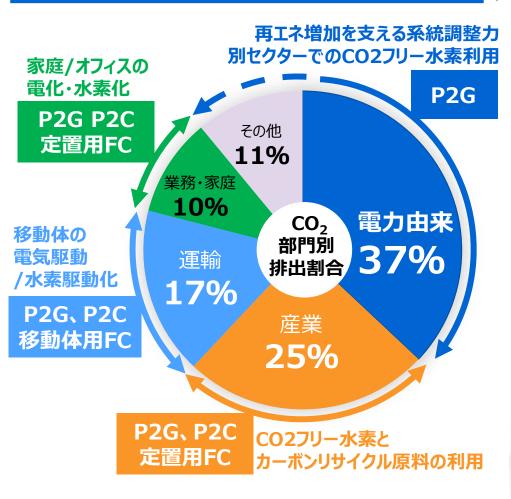


#### 水素の多様な用途

## 東芝の水素エネルギーソリューション

#### 水素はカーボンニュートラルのキーテクノロジー

#### 2050年に向けた東芝の考え方



出典: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 を基に再作図

#### 東芝が貢献できる水素エネルギーソリューション



世界最大級のP2G施設。系統調整力利用の他に、製造した水素を配送し必要な場所で利用。 2020年3月より実証開始。

#### SOEC 高温水蒸気電解システム

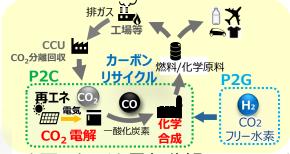


再エネ電力により水を電気分解し、 高効率にCO2フリー水素を製造



短い起動時間と柔軟な出力対応能力を持つコジェネレーションシステムである燃料電池技術を産業用に向け大型化。市場投入済。

## P2C Power to Chemicals



CO2を再エネにより電気分解し、CO2フリー水素と合わせてジェット燃料や化学原料を製造。 2025年に大型実証を計画。

## 2050年カーボンニュートラル社会の実現

## 2050年カーボンニュートラル社会実現に向けた重要な3つの要素



再エネの促進と P2Gの活用

事業開発/社会実装中





CO2回収と水素による P2Cの活用

技術開発中

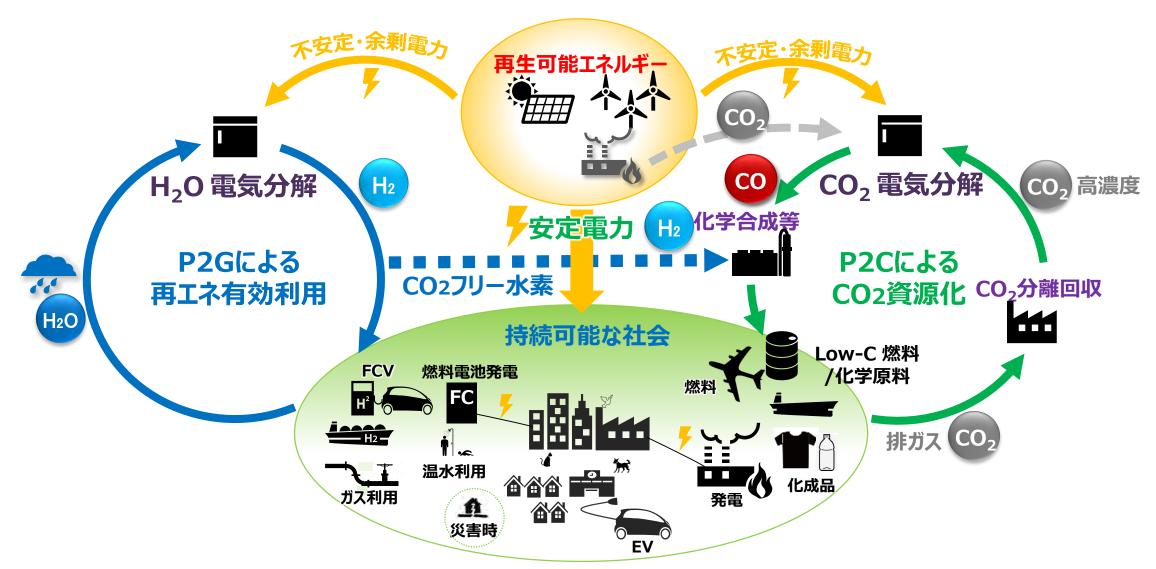




事業開発/社会実装



## 再エネが推進するカーボンニュートラル社会

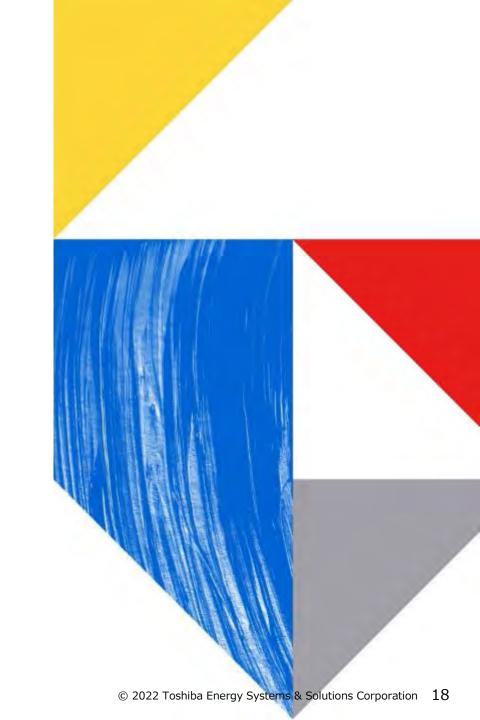


P2G: Power to Gas 再エネによる水素製造

P2C: Power to Chemicals 再エネによるCO2の資源化・リサイクル

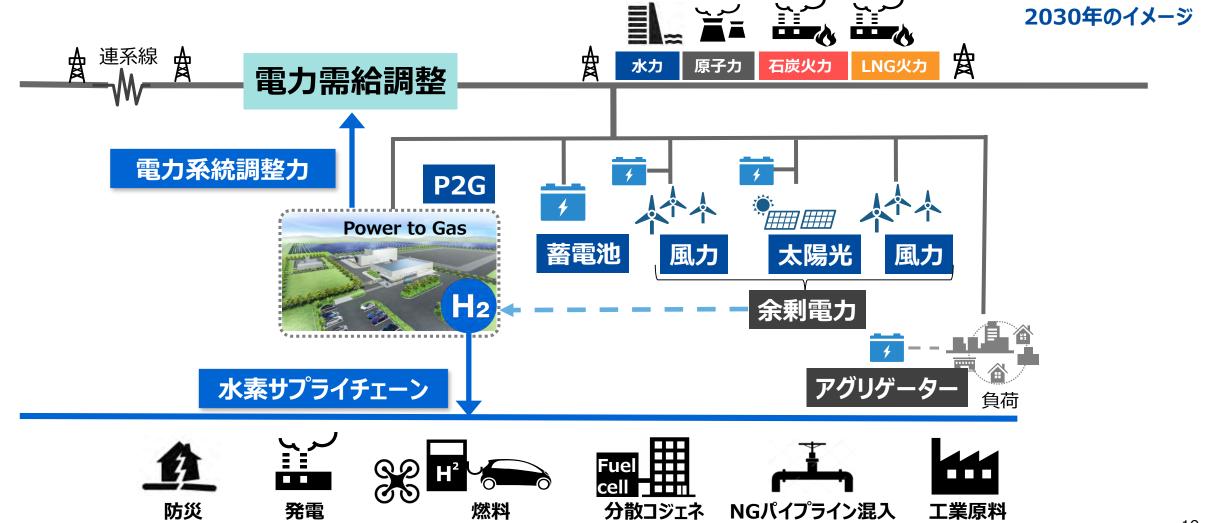
# 03

Power to Gas ソリューション



### 電力市場とつながる安価な水素製造

## P2Gの強力な電力系統調整力により、電力取引、抑制電力マイニング、 水素製造の新しいエネルギー事業の可能性



## 福島水素エネルギー研究フィールド





(2020年7月実証開始)

#### 福島県 浪江町 2020年 3月完成・開所

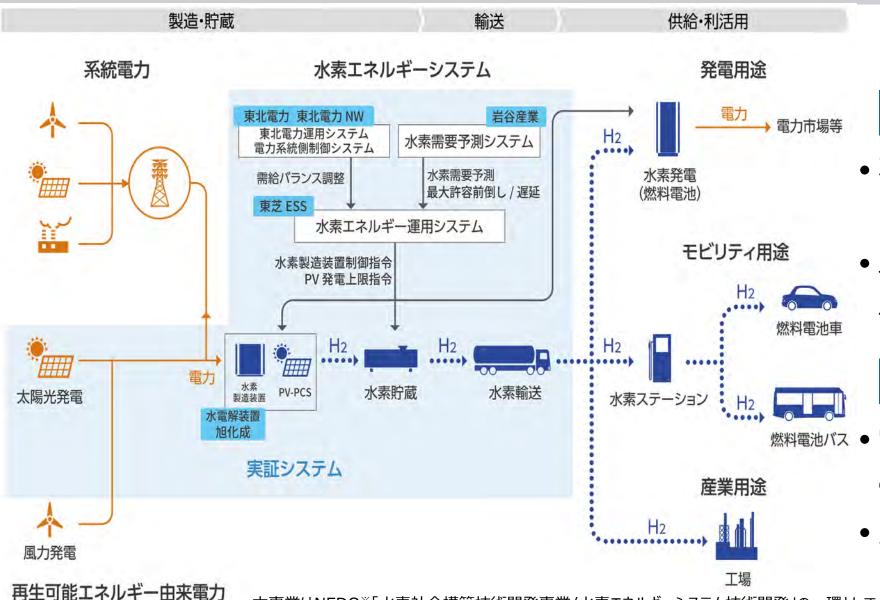
事業実施者:東芝エネルギーシステムズ㈱、岩谷産業㈱、東北電力㈱、

東北電力ネットワーク㈱、旭化成㈱

本事業はNEDO※「水素社会構築技術開発事業/水素エネルギーシステム技術開発」の一環として 実施しています。(※)NEDO:国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

項目	仕様
機能	(1)水素製造・貯蔵・供給 (2)電力系統の需給バランス調整 (上げ・下げDemand Response)
水素 製造能力	900t-H2/年 燃料電池自動車1万台相当 (定格の年間水素製造量)
水素製造装置 入力電力	(最大)10MW (定格)6MW (範囲)1.5MW~10MW

# 福島水素エネルギー研究フィールド概略





#### 提供価値

- 再エネ活用のCO2フリー水素によ り、CO2排出量削減
- 水素製造による電力系統の需給 バランス調整

#### 実証内容

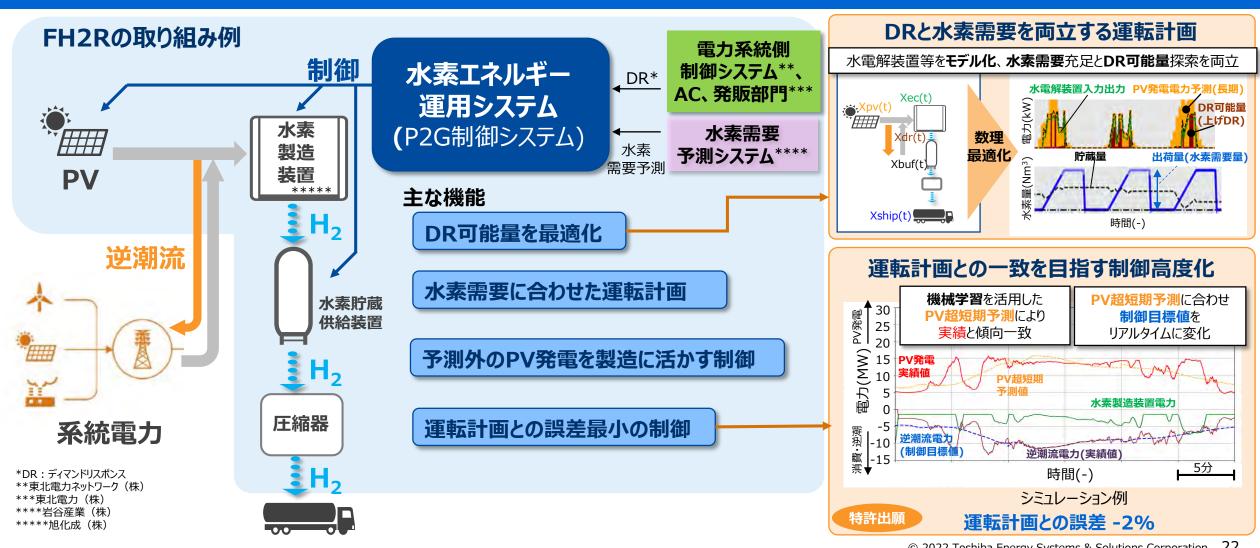
- 電力系統の需給バランス調整のた めの水素活用/事業モデル確立
- 大規模再エネ水素エネルギーマネ ジメントシステムの開発/実用化

本事業はNEDO※「水素社会構築技術開発事業/水素エネルギーシステム技術開発」の一環として 実施しています。(※)NEDO:国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

#### 水素エネルギー運用システムの技術

本事業はNEDO※「水素社会構築技術開発事業/水素エネルギーシステム技術開発」の一環として 実施しています。(※)NEDO:国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

#### 機械学習+数理最適化により、最適で高精度な制御を実現



# P2GのKeyとなる水電解技術の比較

電解種別	アルカリ	PEM	SOEC
特徴	アルカリ溶液(KOH) を活用した水電解	触媒に貴金属を活用した コンパクトな電解装置	約700℃の高温水蒸気を 活用した高温電解
効率 (定常運転時)	スタック: ~4.8kWh/Nm³ システム: ~6.5kWh/Nm³	スタック: ~5.1kWh/Nm³ システム: ~6.5kWh/Nm³	スタック:~3.2kWh/Nm³ システム:~4.0kWh/Nm³
運転温度	動作温度(室温):~80℃	動作温度(室温):~80℃	動作温度:約700℃ ※起動後はシステム内で熱回収するため 外部からの加熱エネルギーは少ない
メリット	技術が最も成熟 大型化が先行	省面積 再エネへの変動対応に優位	高効率(4kWh/Nm3) ※高温水蒸気や排熱利用により 更に高効率化が可能
デメリット	アルカリ溶液の濃度管理 後処理が必要	貴金属の供給量に制限有 貴金属価格高騰	技術開発段階
イメージ	アルカリ溶液  アルカリ形 水電解装置  O  2	PEM 水電解装置 内部に 貴金属を使用	高温 水蒸気 SOEC 水電解装置

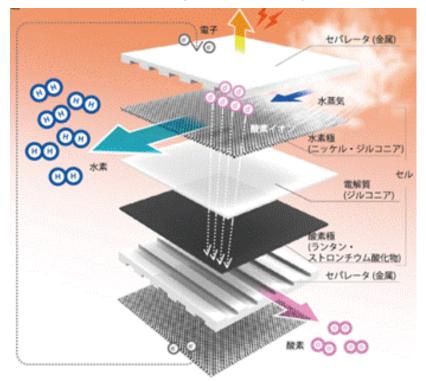
#### SOEC水電解の原理とシステム

#### 約700℃の高温水蒸気を活用した高温電解

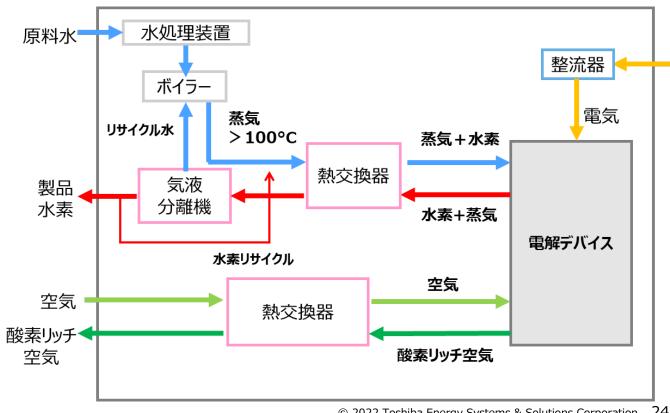
#### 【高温水蒸気電解とは・・・】

- ・高温(約700℃)で水蒸気を電気分解し水素を製造
- ・電解に必要なエネルギーの一部を熱エネルギーで供給可能

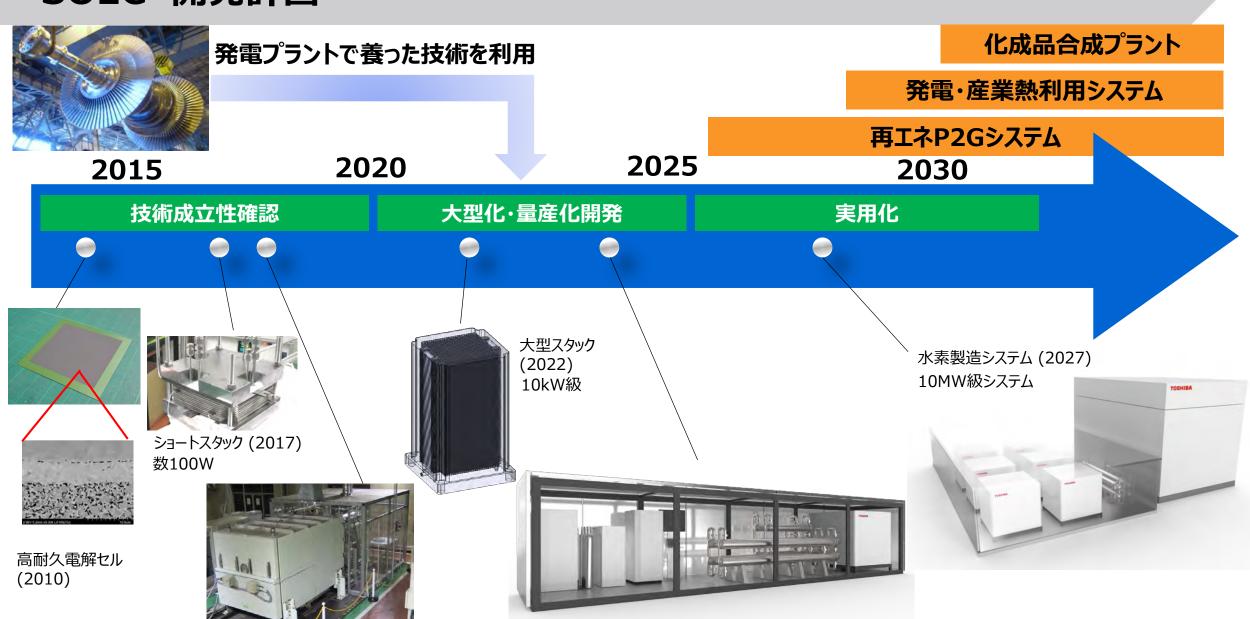
#### 水蒸気電解水素製造の原理概念図



#### システムプロセスフロー概念図

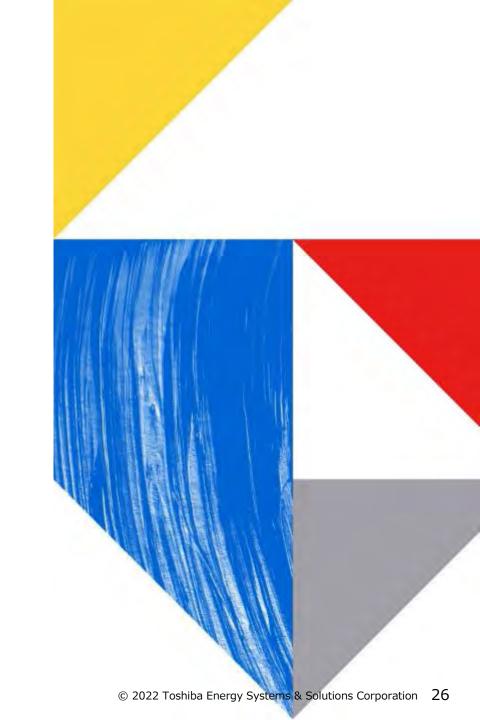


#### SOEC 開発計画



# 04

燃料電池ソリューション



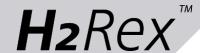
#### 定置用水素燃料電池システム 実証運転例



#### FH2Rで製造された水素を活用し、福島県内の施設で定置用FCの実証運転中



#### 水素燃料電池システム



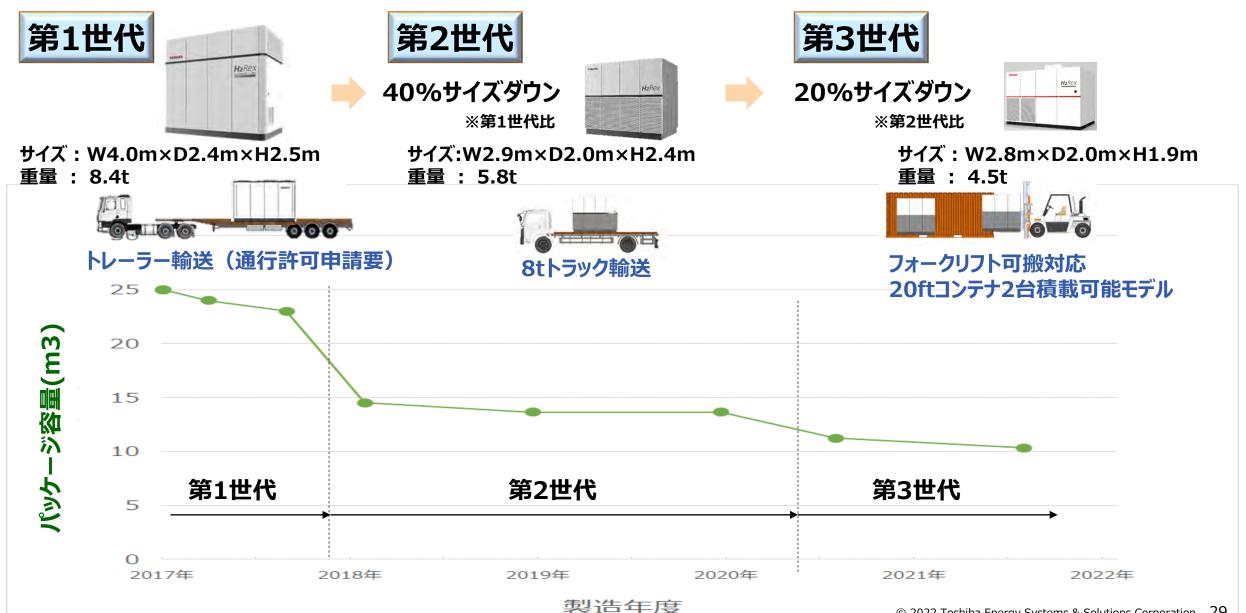
# 産業・業務・家庭部門で、地域のカーボンニュートラル・産業活性化に貢献



特長	備考
長寿命	設計寿命 8万時間
高エネルギー効率	総合効率 95%以上
柔軟なオペレーション	起動時間 5分以内、負荷変動 1分以内
DSS対応	連続発電および日間起動停止(DSS)に対応
コジェネ・モノジェネ デュアル対応	温水利活用の熱交換器を設置し、発電の過程で発 生する熱を有効活用

#### 100kW水素燃料電池システム開発

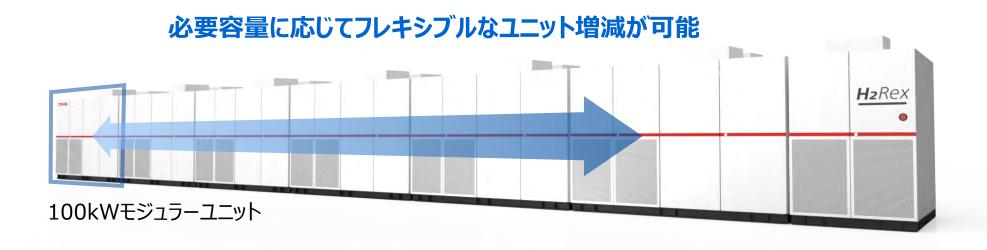




#### MW級 水素燃料電池システム



#### 様々な電力需要に対応するMW級 水素燃料電池システム



### 100kWユニットのモジュール化によるMW級まで柔軟な拡張が可能

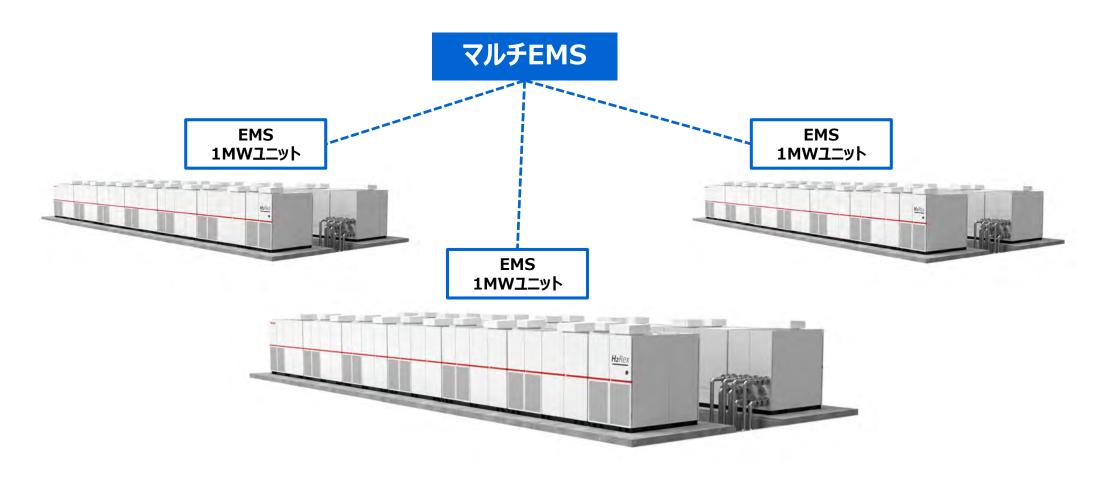
- 100kW単位で設備容量の増減が可能なモジュール構成
- 小規模~中規模~大規模まで様々な規模・用途に対応
- EMSによる各モジュールの個別起動・停止などの運転制御
- 電力需要や熱需要に応じて、高い発電効率・排熱回収効率が得られる最適運転
- 各モジュールの運転時間配分の平準化やメンテナンスの計画的な実施

#### マルチMW級モデル



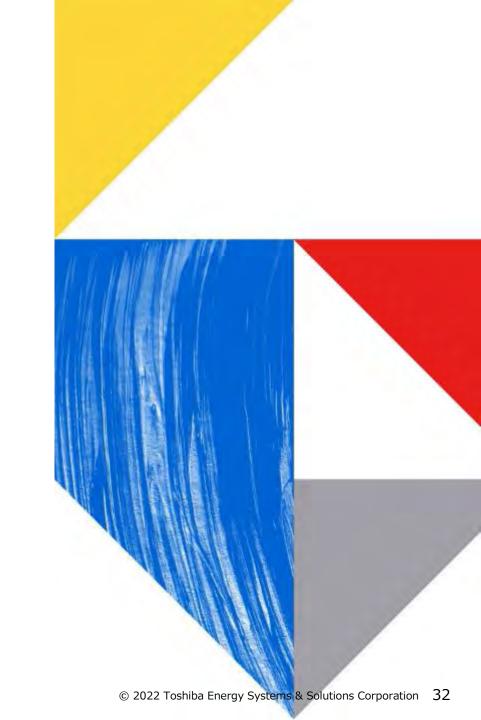
## 様々な電力需要に対応するマルチMW級水素燃料電池システム

1MW機を1ユニットとして複数の1MW機を統合的に運用するマルチMWモデル



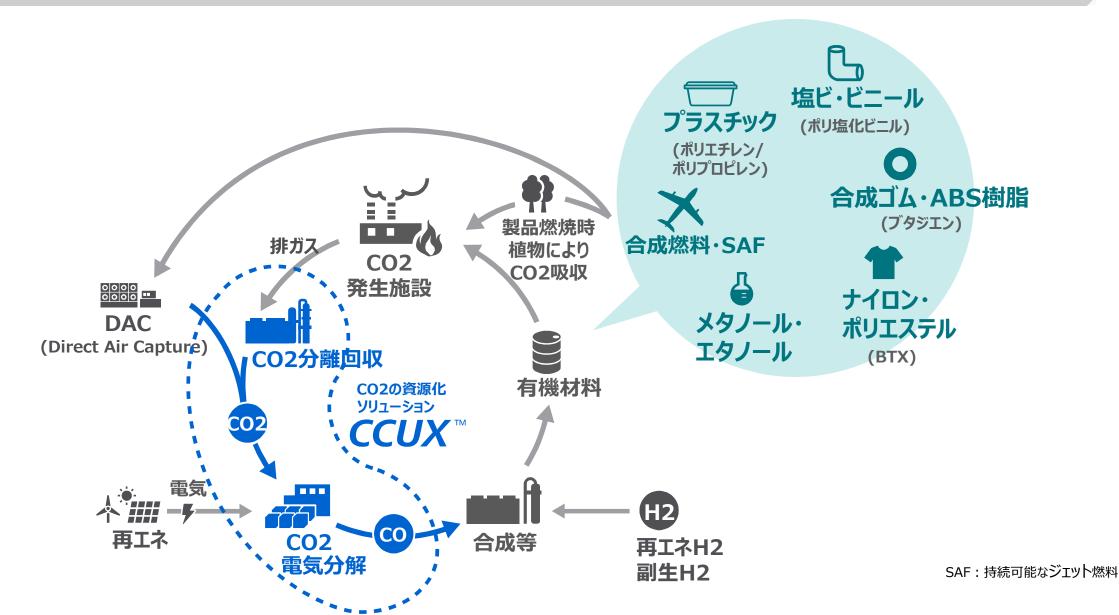
# 05

Power to Chemicals ソリューション



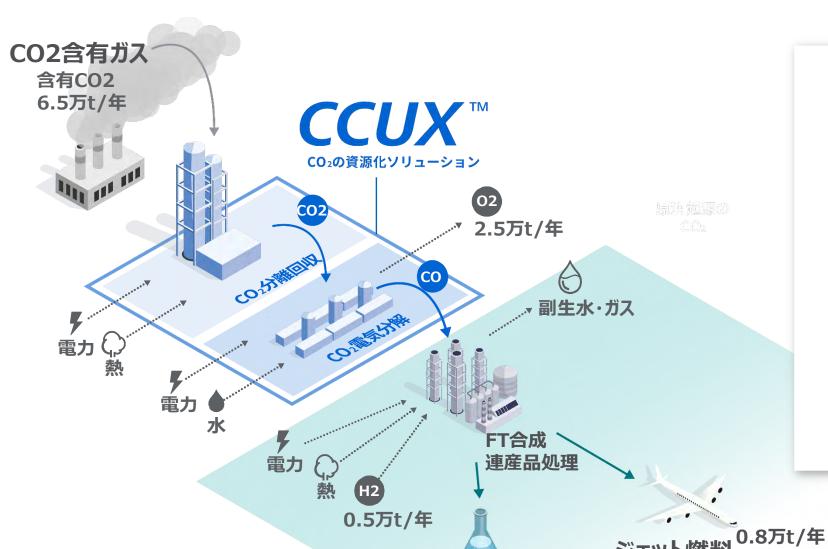
#### CO2の資源化ソリューション





# 合成燃料 (SAF) 製造への適用例







\*検討の進捗により数値は変わることがあります。

(1万kL/年)(170BPD)

#### CO2電解モジュール 開発計画



#### 燃料電池で培った製造技術を利用

#### 合成燃料等大型化学プラント

中小規模化学プラント・冶金産業

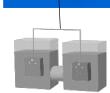
2015 2020 2025

2030

技術成立性確認

大型化·量産化開発

実用化



人工光合成 開発セル(FY2014)

電解電力 < 0.01W

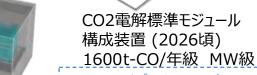


(FY2018) W級



小型電解装置\*(FY2022)

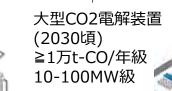
kW級



CO2電解標準モジュール プロトタイプ\*\*(FY2024)

150t-CO/年級 100kW級

環境省国プロプロト機 (化学産業等向けに転用予定)



SAF商用プラント向け (化学産業等向けにも転用予定)

SAFサプライチェーン実証用 (化学産業等向けに転用予定)

\*「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業委託業務」

(多量CO2排出施設における人工光合成技術を用いた地域適合型二酸化炭素資源化モデルの構築実証)(環境省)

\*\*「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業委託業務」(人工光合成技術を用いた電解に よる地域のCO2資源化検討事業)(環境省)

© 2022 Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation 36



固体高分子形電解セル



# 06

さいごに



#### 水素エネルギーによるカーボンニュートラル社会の姿を見据えて

### 水素利用の拡大に向けて水素製造・利活用の両面での社会貢献を目指す



# TOSHIBA