

講演番号 3.2

JEMA「2050 CN実現へのロードマップ」セミナー
2022年7月25日（月）イイノホール

水力発電、火力発電と基幹系統

一般社団法人 日本電機工業会
電力・エネルギー部 香山 治彦



0. 目次

1. 水力発電

1.1 未利用水力ポテンシャルの活用

1.2 揚水発電による調整力の確保

2. 火力発電

2.1 電力システムにおける火力発電の必要性と課題

2.2 CO₂分離・回収・貯留技術の展望

2.3 燃料の脱炭素トランジション

2.4 水素・アンモニア・CO₂サプライチェーンの整備

3. 基幹電力系統

3.1 電力系統の課題と展望

3.2 大電力・長距離送電

3.3 系統用蓄電池による調整力確保

3.4 IoT・AI技術によるシステム運用の高度化

3.5 送変電機器のSF₆ガス代替技術への移行

1.1 未利用水力ポテンシャルの活用(1)

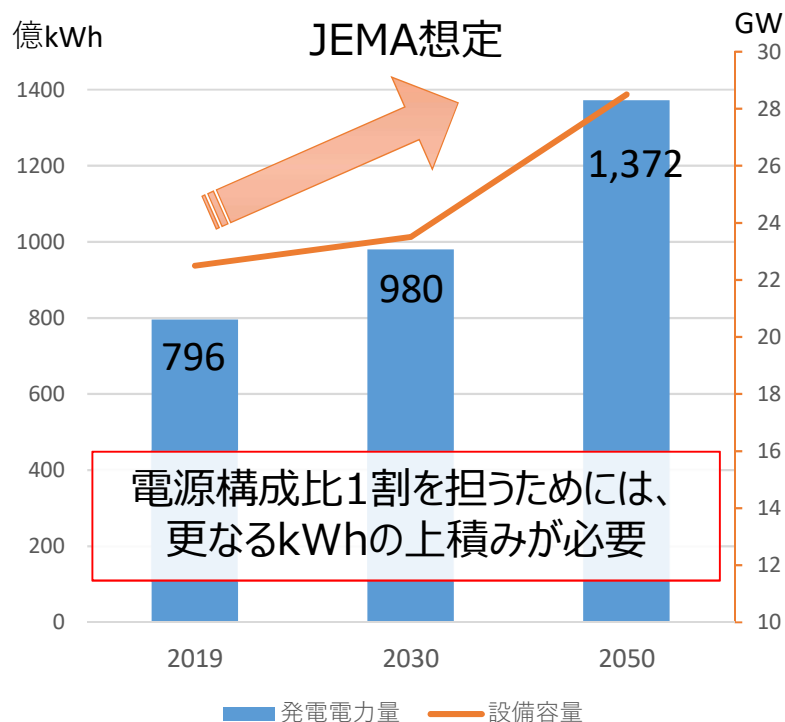
JEMAが考える2050年における水力発電の姿

- 水力発電は持続可能で出力の安定した再生可能エネルギー
- 2050年においても電源構成比率の約1割を担う電源として活用

＜JEMA想定＞ 発電電力量 2030年 980億kWh → 2050年 1,372億kWh
設備容量 2030年 23.5GW → 2050年 28.5GW

- 従来の枠組みにとらわれない水力エネルギー活用策で、kW・kWhの最大限化を目指す

＜一般水力発電の設備容量・発電量＞



水力発電の最大化に向けて

- 水力の開発適地が小規模化・奥地化
- 既存権益との調整等に課題⇒開発長期化

FIT制度により、中小水力の新規開発・リプレースの機運は高まるが、未だ0.2GWの増加と限定的

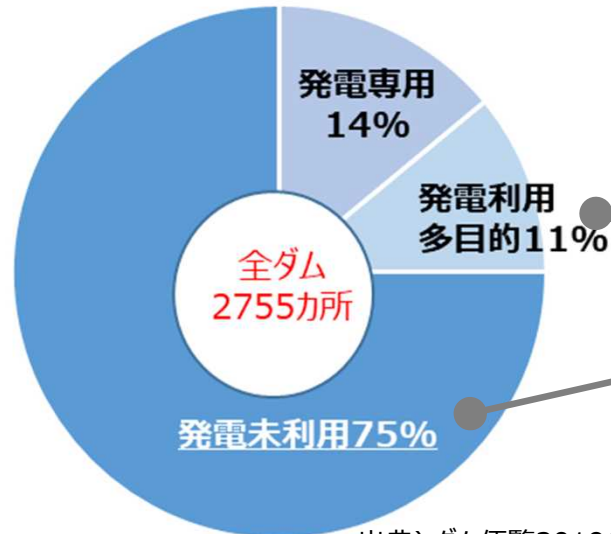
水力発電電力量の最大化を図るためには、

- 1) 発電未利用の水力エネルギーの活用
- 2) 既存設備の有効活用
- 3) 水力エネルギーの有効利用を促進する法整備

の側面での活動が重要

1.1 未利用水力ポテンシャルの活用(2)

<既存ダムの内訳>



出典) ダム便覧2019年度より作成

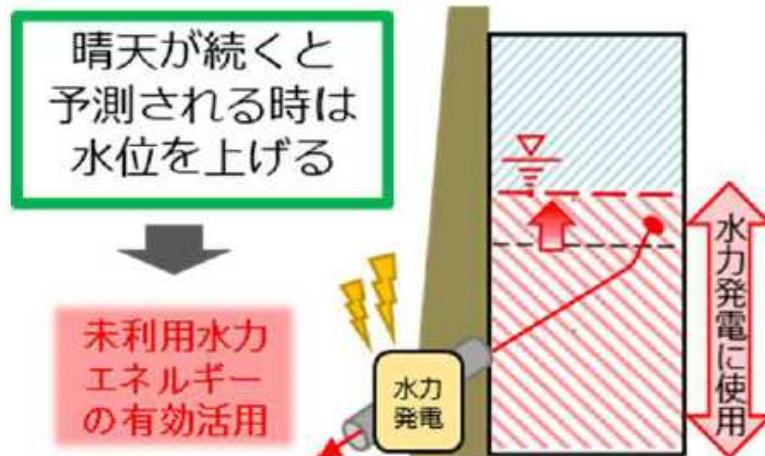
1) 発電未利用の水力エネルギーの活用

未利用水力エネルギーの新規開発には、まずは、従来の規制や制度を前提としない、**ポテンシャルの明確化**が必要

- 多目的ダムの流量の発電未利用ポテンシャル
- 発電未利用ダムの発電利用ポテンシャル

導入拡大のターゲット（地点・容量帯）を踏まえた活用策を講じることが効果的

<ダム運用水位の引上げ>



※洪水調節容量内に貯留した水を発電に活用

<想定される対応>

- 発電未利用水の発電活用
 - ・非洪水期における治水容量の弾力運用
 - ・最新の気象予測技術、AIを活用したダム流量予測
- 効果的な容量帯に絞った、機器／設置工事の標準化によるコスト低減の可能性検討

1.1 未利用水力ポテンシャルの活用(3)

2) 既存設備の有効活用

- 水力発電設備は、50年を超える長期稼働が可能な設備
- **既存設備の有効活用**により、kWhの最大化を目指す

＜想定される対応＞

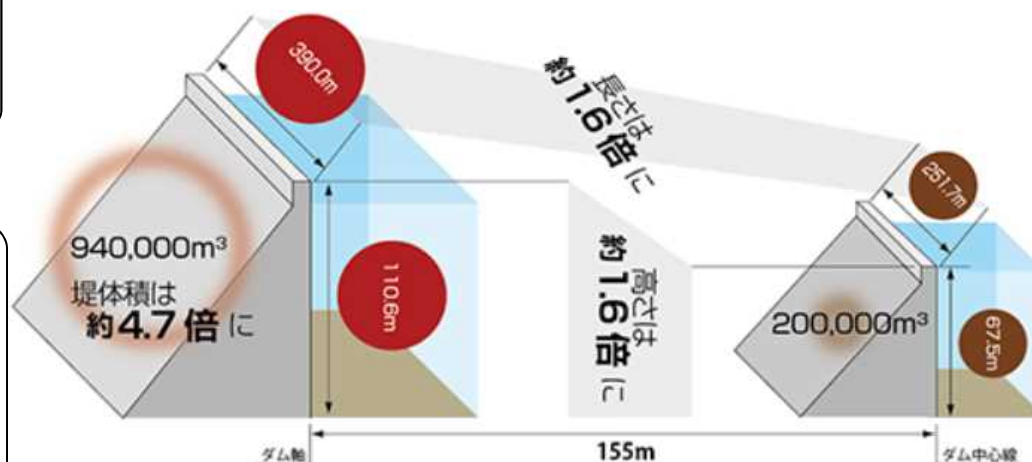
- ダム嵩上げによる取水水量の引上げ
- 既存設備のリプレイスによる出力増・発電電力量増

- ダム嵩上げによる取水水量の引上げ
- 既存設備のリプレイスによる出力増・発電電力量増

＜ダムの嵩上げ例＞

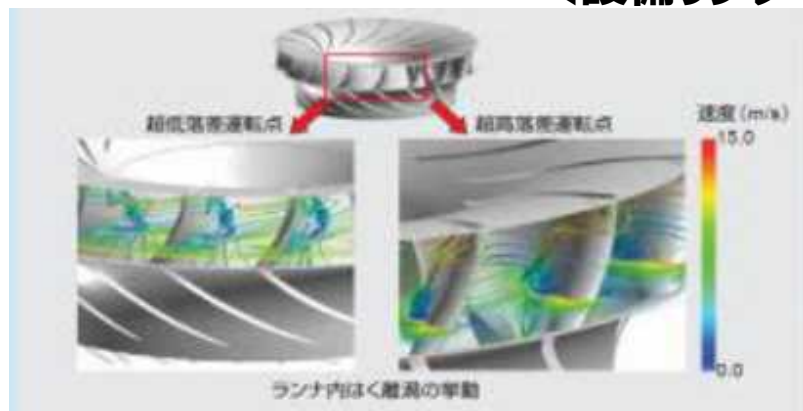
夕張シューパロダム(2014年) :

- 堤体を嵩上げし定格出力を増加
- 最大出力 28,470kW (←14,700kW)



出典) 第9回再エネに関する規制等の総点検タスクフォース資料4-1

＜設備リブレースと合わせた出力増強例＞



出典) METI 令和4年度水力発電の導入加速化補助金資料



最新の解析技術（CFD）を用い、水車・発電機を更新することにより、最大出力アップ及び発電電力の最大化を実現

写真引用) 北海道電力ウェブサイト

1.2 揚水発電による調整力の確保(1)

揚水発電の現状

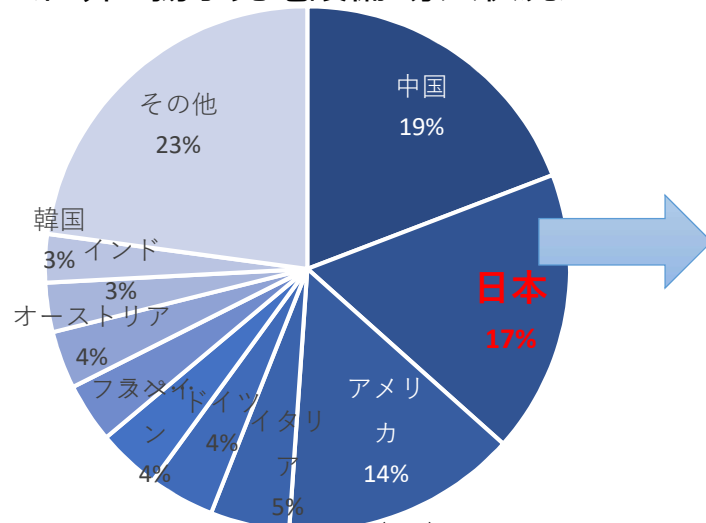
- 再エネの導入拡大を進めるためには、調整力の確保が不可欠。
- 世界第2位の設備容量（27.5GW）を有する揚水発電は、電力貯蔵設備としてだけでなく、同期化力・慣性力・電圧維持機能などの系統安定化機能を提供可能。
- 一方、海外主要国と比べても、設備利用率は低い。
 - 太陽光発電の導入が進む地域では7%前後の利用率となっているが、全国平均では4.6%。
 - 欧州では、現状でも月別平均利用率10%前後で活用※されている。

⇒CNに向けては、まずは既存設備の利用率を向上させ、社会コストを最小化。

※オーストリア、フランス、ドイツ、イタリア、ポルトガル、スペイン、スイスの2019 年の利用率平均値（月別）

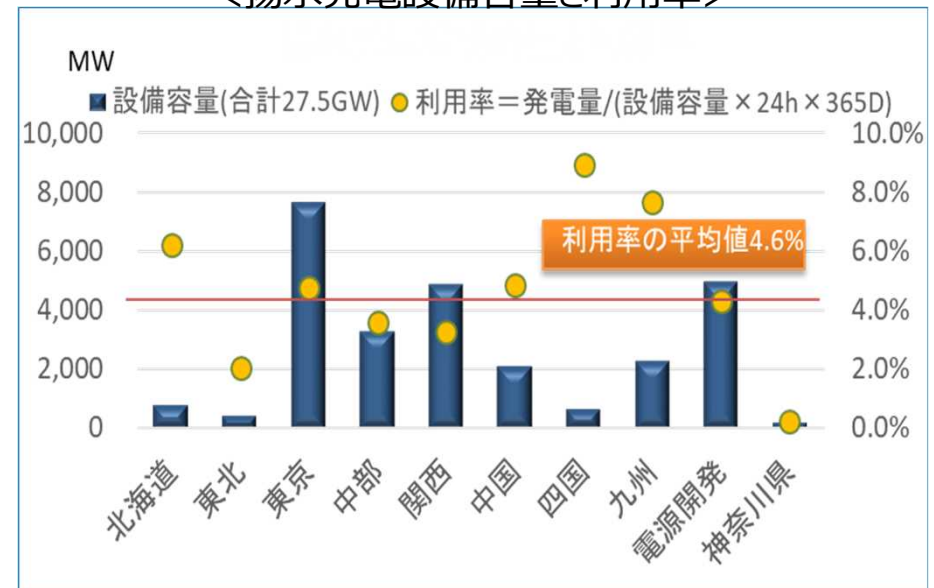
出典) IEA Hydropower Special Market Report

＜世界の揚水発電設備 導入状況＞



出典)
International Hydropower Association (IHA) ; 2020
Hydropower Status Report,
<https://www.hydropower.org/publications/2020-hydropower-status/>

＜揚水発電設備容量と利用率＞

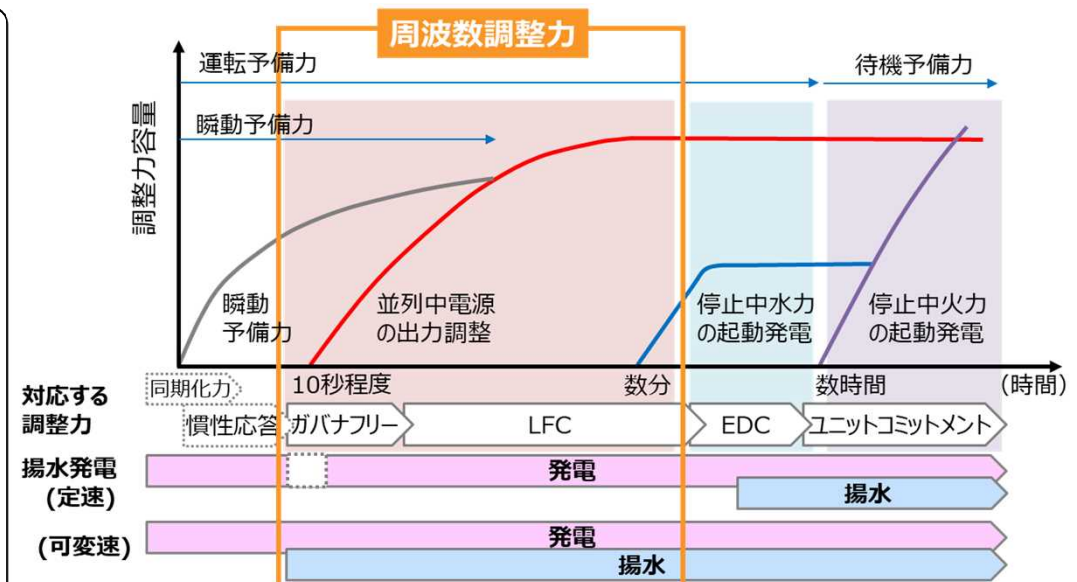


出典) 資源エネルギー庁ホームページ統計表一覧2020年度データより作成

1.2 揚水発電による調整力の確保(2)

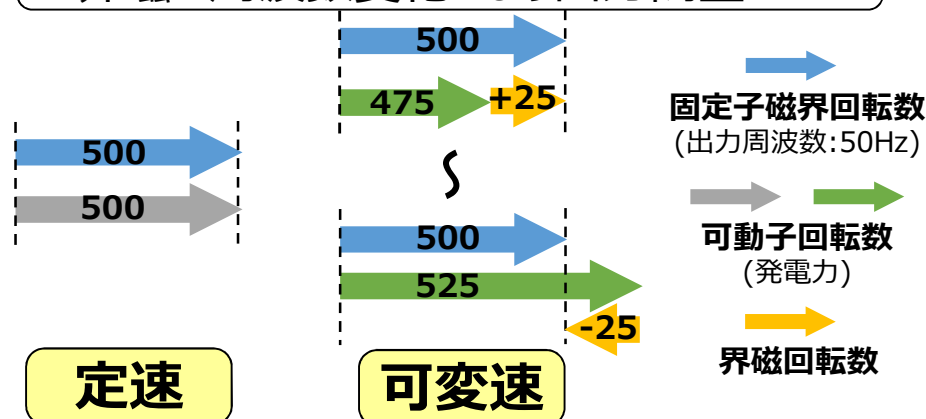
揚水発電の活用に向けた対応

- アンシラリーサービス機能の価値評価
 - 変動性再エネに対する調整力
 - 地域間連系線を活用した広域運用
- 揚水発電設備の高機能化
 - 高速起動・高速運転切替
 - ・ 需給変動に対する機動性の向上
 - 可変速化による調整力・即応性向上
 - ・ 下げ調整力機能の獲得
 - ・ 上げ調整力の幅拡大
 - ・ 調整速度の高速化



揚水の可変速技術

- 電動発電機の直流界磁 ⇒ 交流界磁
- 界磁の周波数変化により出力調整



		定速	可変速
発電	LFC	○	○
	ガバナフリー(数秒～)	○	○
	ガバナフリー(～数秒)	×	○
揚水	LFC	×	○
	ガバナフリー(数秒～)	×	○
	ガバナフリー(～数秒)	×	○

0. 目次

1. 水力発電

- 1.1 未利用水力ポテンシャルの活用
- 1.2 揚水発電による調整力の確保

2. 火力発電

- 2.1 電力システムにおける火力発電の必要性と課題**
- 2.2 CO₂分離・回収・貯留技術の展望**
- 2.3 燃料の脱炭素トランジション**
- 2.4 水素・アンモニア・CO₂サプライチェーンの整備**

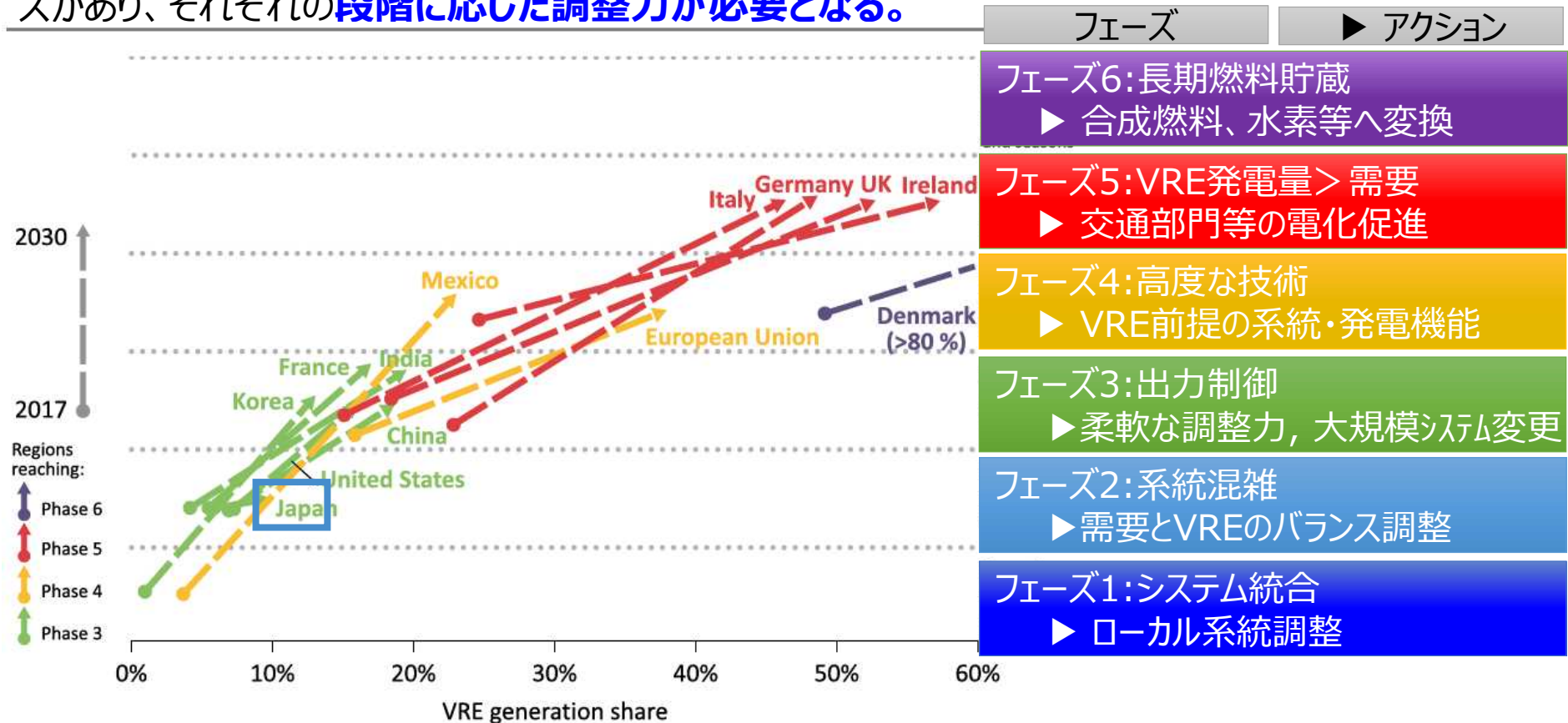
3. 基幹電力系統

- 3.1 電力系統の課題と展望
- 3.2 大電力・長距離送電
- 3.3 系統用蓄電池による調整力確保
- 3.4 IoT・AI技術によるシステム運用の高度化
- 3.5 送変電機器のSF₆ガス代替技術への移行

2.1 電力システムにおける火力発電の必要性和課題(1)

自然変動再エネの導入拡大とそれに応じた運用上の課題

国際エネルギー機関(IEA)によると、変動再エネの導入率や電力システムの進展により6つのフェーズがあり、それぞれの**段階に応じた調整力が必要となる**。



The need for extra flexibility in power systems rises substantially as new wind and solar PV resources are added

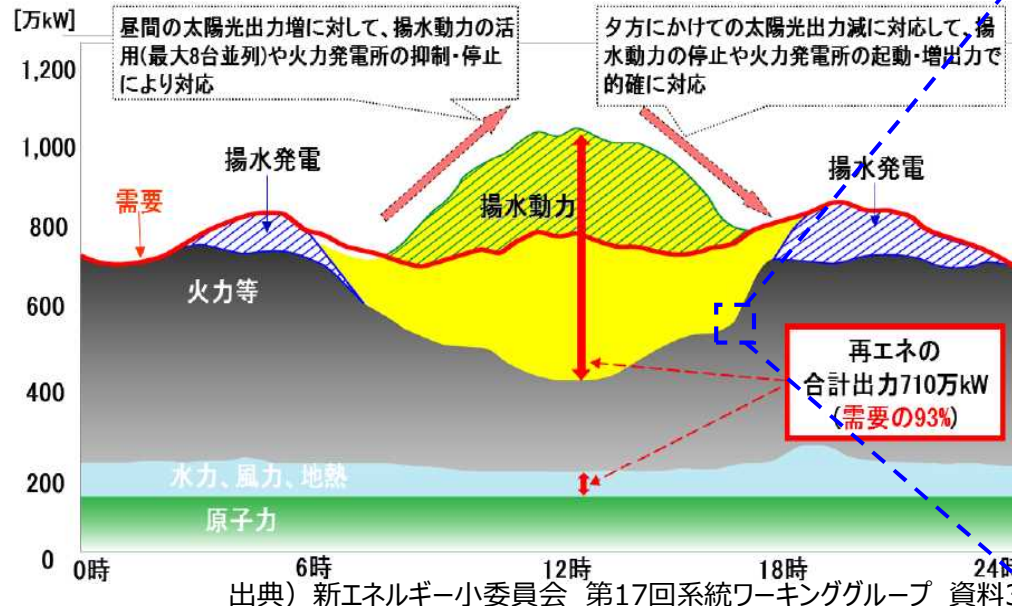
Note: VRE = variable renewable energy sources.

出典) IEA, World Energy Outlook 2018

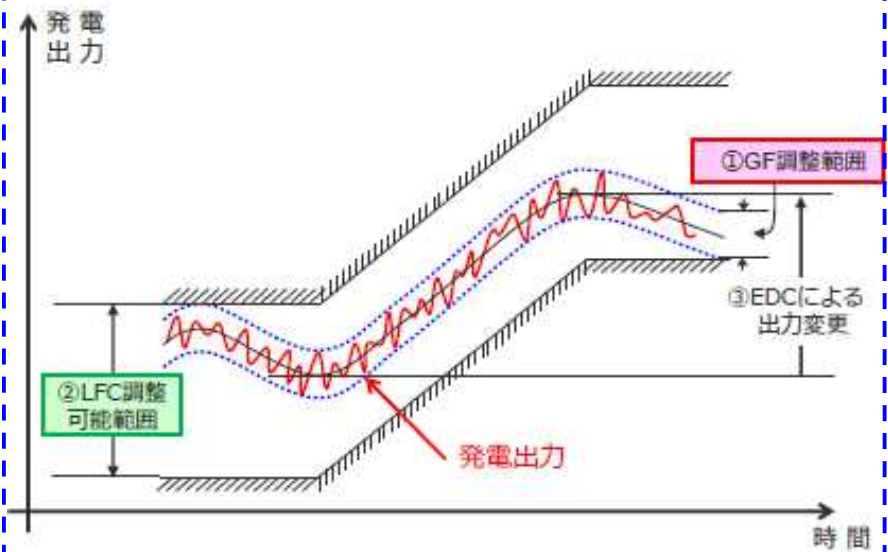
2.1 電力システムにおける火力発電の必要性と課題(2)

再エネ大量導入に伴う火力発電の運用(出力調整)

＜2018年5月3日の九州の電力需給実績＞



火力発電の出力調整機能



出力調整の種類

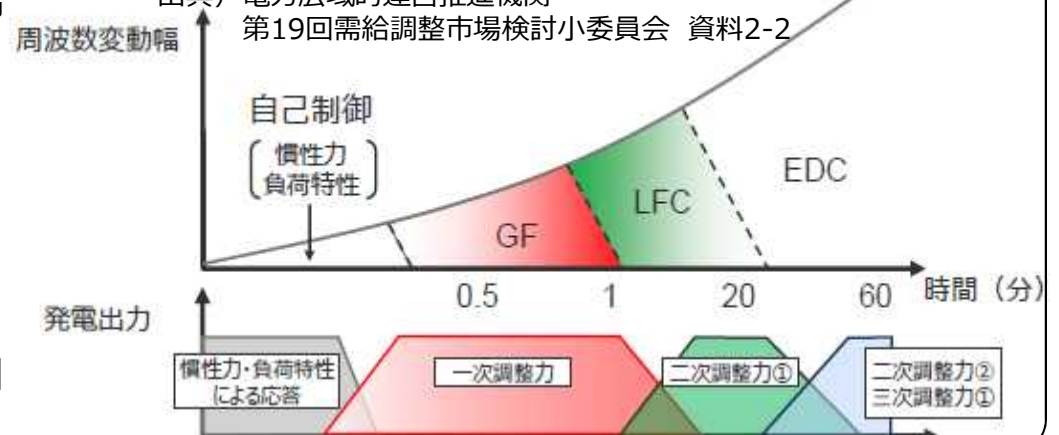
- ①**GF**：LFCで追従できない負荷変動(数秒から数分程度の周期)や需給ミスマッチ対応
- ②**LFC**：需要予測が困難な負荷変動(数分～十数分程度の周期)や需給ミスマッチ対応

- ③**EDC**：中央給電指令で需要予測に合わせ先行的に出力を制御

※その他調整力

- ・**慣性力**：回転機の慣性力により、周波数低下を抑制する力
- ・**同期化力**：供給電力の周波数を系統周波数に合わせる力

出典) 電力広域的運営推進機関 第19回需給調整市場検討小委員会 資料2-2



2.1 電力システムにおける火力発電の必要性と課題(3)

火力発電の課題

1. CO₂排出量の多い火力発電は脱炭素化が求められる
 - CO₂分離・回収・貯留(CCS)
 - 非化石燃料(H₂・NH₃)に転換
2. 変動性再エネを最大限活用するために柔軟な調整電源が必要
負荷変動大に伴う発電効率・設備利用率低下 ⇒ 経済性向上の取組が必要
 - 発電効率・運用性向上への取組
 - 電力システムにおける「調整力」への適切な評価

**コストミニマムな環境
負荷低減への取組
⇒ (次頁以降)**

発電効率・運用性向上の取組

- IGCC, IGFCで培ったガス化炉技術を活用し、既設火力と組み合わせ効率・調整力向上
- 蓄電池を組み合わせた調整力向上
- 排熱を活用した蓄熱発電などの新技術開発
- IoT, AI技術を利用した燃焼効率向上、機器予防保全(故障診断)高度化
- 最低負荷運転調整、運用改善
- 遊休資産の活用(フライホイール利用) など

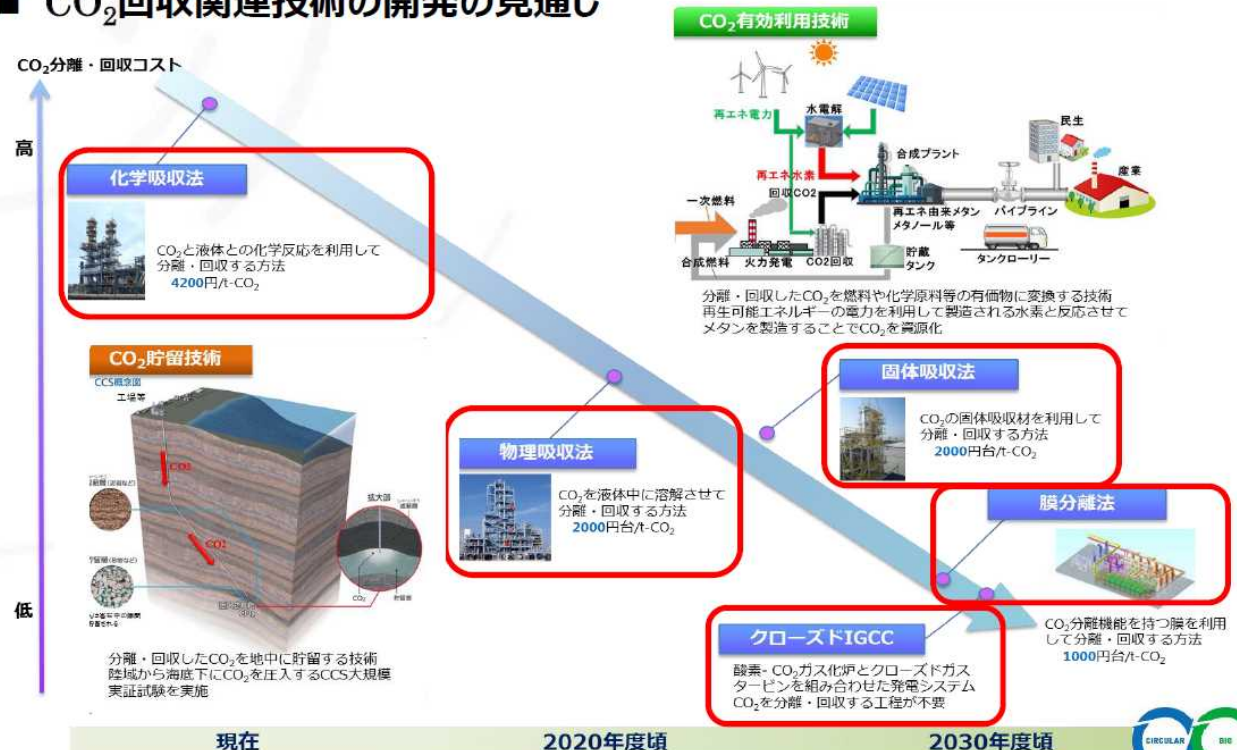
2.1 電力システムにおける火力発電の必要性と課題(4)

火力発電の課題

コストミニマムな環境負荷低減への取組

- 水素・アンモニア燃焼に関する技術開発は進み、2030年を前に開発完了見込み
(燃焼器交換により既設活用しつつ効率を下げることなく低・脱炭素電源化が可能)
- 水素・アンモニアが発電に十分な量を供給するため、サプライチェーンの整備・構築が必要
- S+3Eを堅持しながら容量および調整力を維持するには、化石燃料を使用しつつ、CO₂を大気放出しないCCS技術も重要
- 回収したCO₂は貯留のみでなく、カーボンリサイクル等で活用で経済性を向上

CO₂回収関連技術の開発の見通し



出典) NEDO
CO₂分離・回収技術の概要

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

※ 図中のコストは様々な仮定に基づき試算したもの。
(経済産業省「次世代火力発電に係る技術ロードマップ/技術参考資料集」を基にNEDO作成)

2.2 CO₂分離・回収・貯留技術の技術展望(1)

代表的なCO₂分離・回収技術

出典) 第2回 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 資料2-3に基づきJEMAにて作成

発生源	分離回収法	駆動力	技術開発の状況
燃焼前回収	化学吸収法	温度差	<EAGLE PJで検証> 汎用のアミン溶液では、物理吸収法の方が効率が良いとの報告。
	物理吸収法	分圧差(濃度差) 温度差	<EAGLE PJで検証> 高压条件下では、化学吸収法よりエネルギー的に優位との報告。OCG実証検討準備中。
	膜分離法	分圧差	ガス圧利用のため、吸収法に比し省エネ、低コストが期待され、実用化検討段階。発電では、H ₂ 圧力維持のためCO ₂ 選択透過膜が望ましく、プロセス効率の向上を見込む。
燃焼後回収	化学吸収法	温度差	実証、実用化段階。一部、高炉ガス向け商業運転。エネルギー、コスト等、低減検討中。
	固体吸収法	分圧差(濃度差) 温度差	原理は吸収法と同じ。実用化検討段階。吸収材、プロセスの開発中。CO ₂ との反応性等の改善で、吸収法よりも優位となる見込み。
	深冷分離法	温度差(相変化)	混合ガスの冷却液化で上流・部分凝縮により分離する。酸素燃焼との組合せでは、コスト面からO ₂ 分離技術開発が必要。

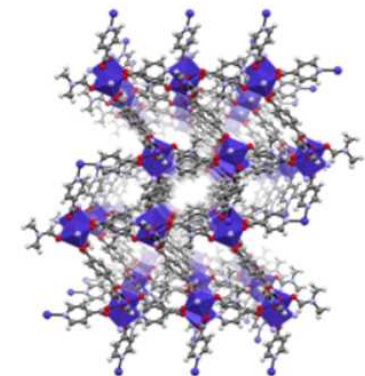
化学吸収法

- 設備の大型化が容易であり大量の分離回収向き。
- 回収エネルギーが大きく新規吸収剤の開発が必要。



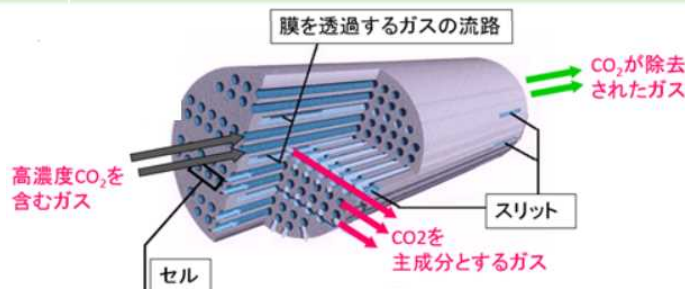
物理吸着法

- 回収エネルギーが小さくコンパクトな設計が可能。
- 水分による吸着阻害や寿命が短いことが課題。



膜分離法

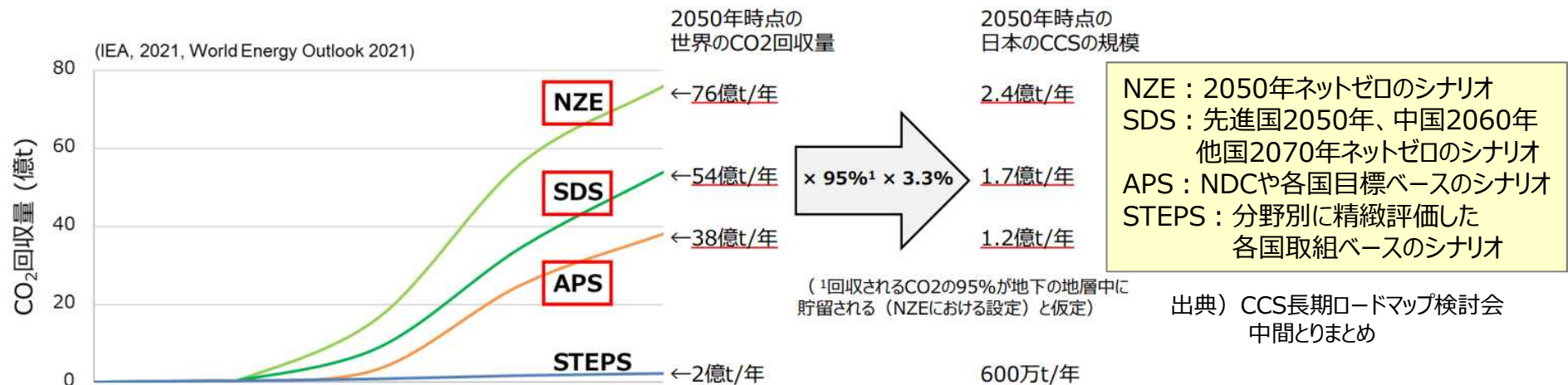
- CO₂の選択分離が可能。
- 分離性能や不純物に対する安定性の向上が課題。



2.2 CO₂分離・回収・貯留技術の技術展望(2)

CO₂貯留量推計とポテンシャル

IEA試算においては、シナリオ毎に年間36～72億tのCCSが必要。この試算に、日本のCO₂排出割合(3.3%)をかけると、年間約1.2～2.4億tのCCSが必要と推計。

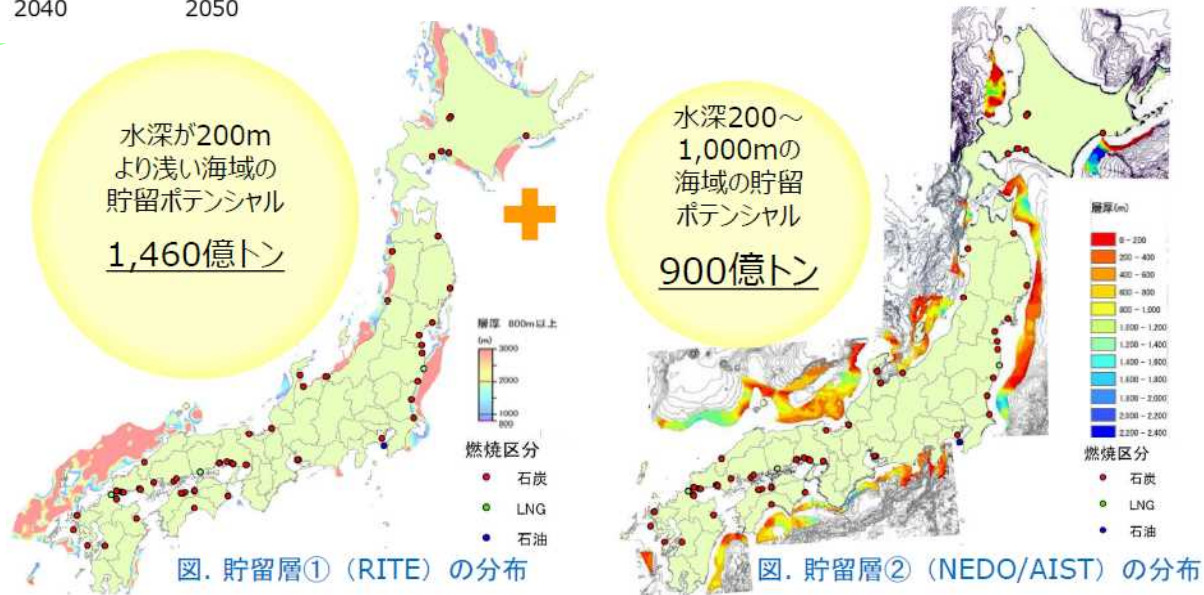


100～200年分相当の
貯留ポテンシャルあり

水深が200m
より浅い海域の
貯留ポテンシャル
1,460億トン

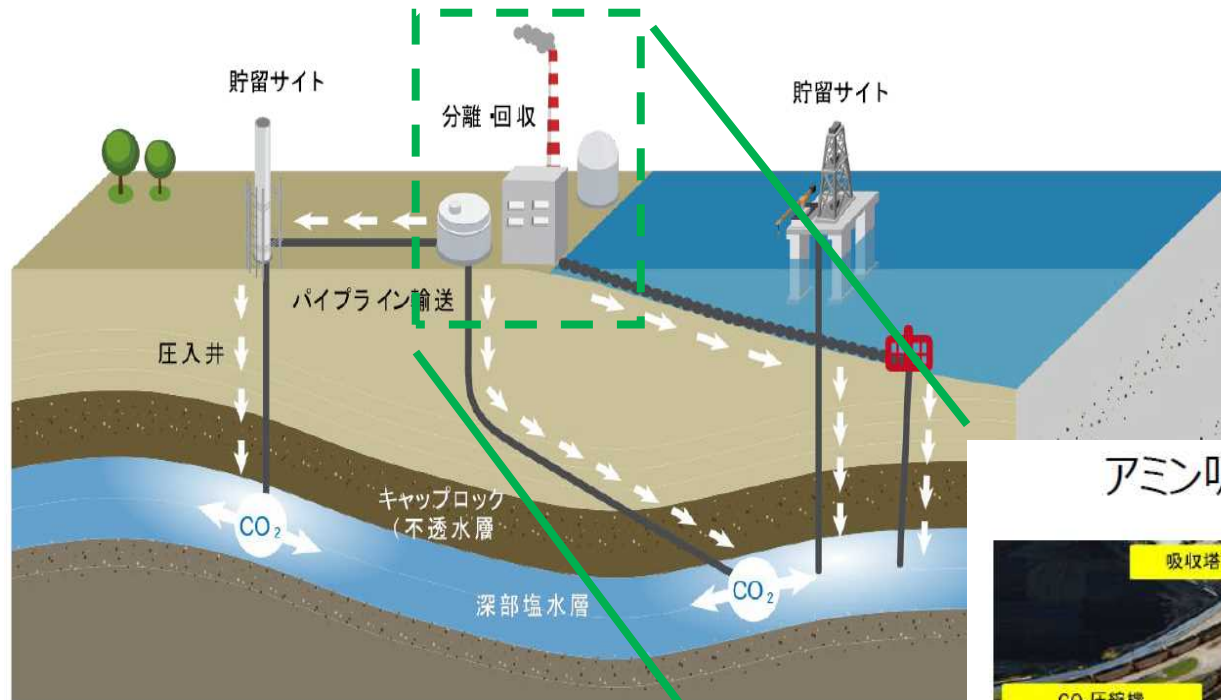
水深200～
1,000mの
海域の貯留
ポテンシャル
900億トン

出典) 第2 回CCUS の早期社会実装会議
資料3-3



2.2 CO₂分離・回収・貯留技術の技術展望(3)

CO₂分離・回収設備



出典) 二酸化炭素地中貯留技術研究組合
「CO₂ 地中貯留技術事例集」

- 現在の最大設備容量でも70-150基必要
- 240-480本もの圧入井も必要

海外との協調が必要

三菱重工エンジニアリング Petra Nova
出典：三菱重工技報 Vol.55

- ・世界最大の石炭火力排ガス処理プラント (4776t/d)
- ・独自のアミン吸収液 KS-1™
- ・蒸気/電気統合による省エネ設計

アミン吸収法の商用例



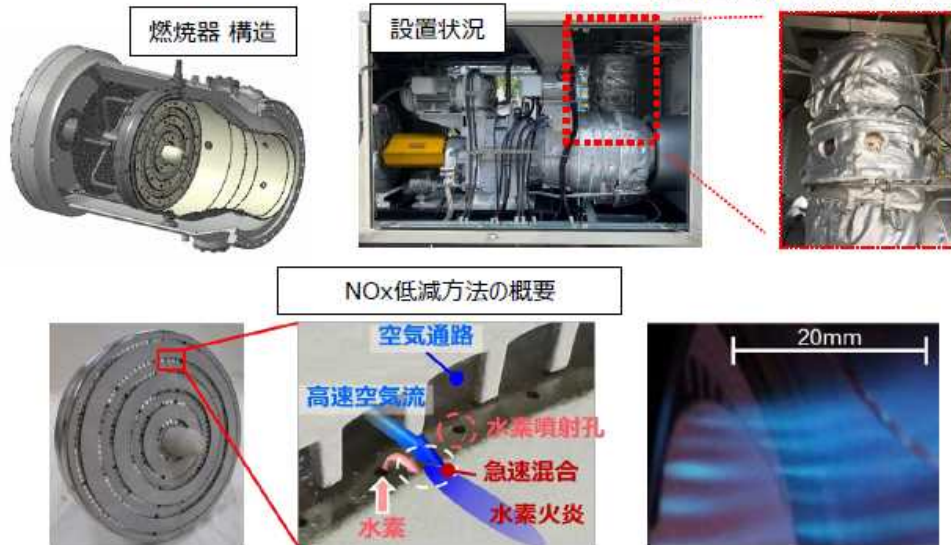
出典) 第8回エネルギー構造転換分野ワーキンググループ 資料3

2.3 燃料の脱炭素トランジション

代表的な水素・アンモニア燃焼技術

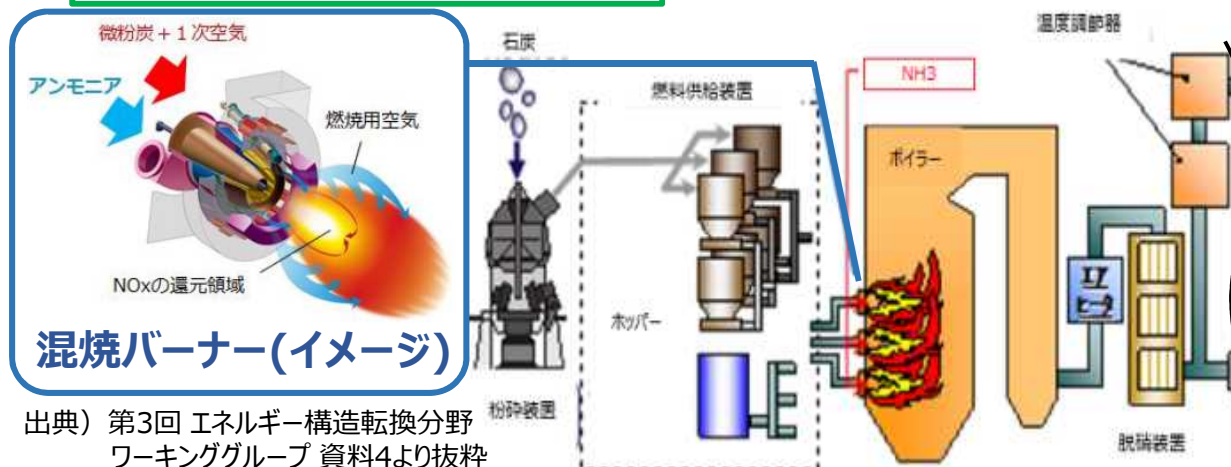
ドライ水素専焼燃焼器の概要

写真・図(6枚)の提供元：川崎重工



アンモニア混焼石炭火力の概要

出典) 第27回水素・燃料電池協議会資料1



出典) 第3回 エネルギー構造転換分野
ワーキンググループ 資料4より抜粋

最小限の設備投資でCO₂を減らす

- 水素・アンモニアとも燃焼器の開発が課題
- 技術課題はほぼクリアし、小型は実証中
- 2030年までに大型含め専焼GT開発完了し、商用運転見込み
- ガスタービンは燃焼器交換で既設活用可
- 石炭焚きに、アンモニアを混焼する事で、CO₂排出量低減を実現

既存設備の有効活用が可能

サプライチェーンの 早期整備が重要

- 2050年に向け、水素・アンモニアとも大幅に消費量増大
- 混焼技術の早期実装で、需要量増大⇒コスト低減の好循環に創出
→ 特に水素は高純度のものは不要

2.4 水素・アンモニア・CO₂サプライチェーンの整備(1)

水素・アンモニア・CO₂サプライチェーンの重要性

- 現状の流通量に対し10倍となる年間2000万tonという大量の水素需要を想定
- デマンドレスポンス、エネルギー貯蔵、エネルギー輸送の各観点で電力システムとして有用
- 回収したCO₂についても貯留、資源活用の両面で安定した流通システムが不可欠

水素製造、CO₂回収装置の効率向上により社会実装を加速

＜水素サプライチェーンの整備＞

～2021年
パイロット実証

～2022年
大型化技術開発

～2030年
商用化実証

2030年～
商用化

水素供給量： 200万 t /年 300万 t /年 2000万 t /年

水素コスト： ～100円/Nm³ ～30円/Nm³ ～20円/Nm³

年	2021	2022	2023	2024	2025	～2030	～2040	～2050
①パイロット実証	→							
②大型化技術開発	→	→						
③商用化実証	→	→	→	→	→	→		
④商用化						→	→	→

＜再エネ由来水素製造例＞

福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)における実証
(東芝・旭化成等)

- ・ 商用化に向けた水素製造効率の向上
- ・ 低コスト化に向けた研究開発
- ・ 電力、水素の需給に対応する運用システムの確立



外観
(出典) 東芝エネルギーシステムズ(株)



10MWの水電解装置
(出典) 旭化成(株)

＜水素・アンモニア需要例＞

大規模発電利用型

- 大規模なガス/石炭火力発電所が存在。
- 水素・アンモニア発電を中心に導入。
(碧南の例)



出典) 第3回 省エネルギー・新エネルギー分科会 水素政策小委員会/資源・燃料分科会 アンモニア等脱炭素燃料政策小委員会 合同会議 資料3

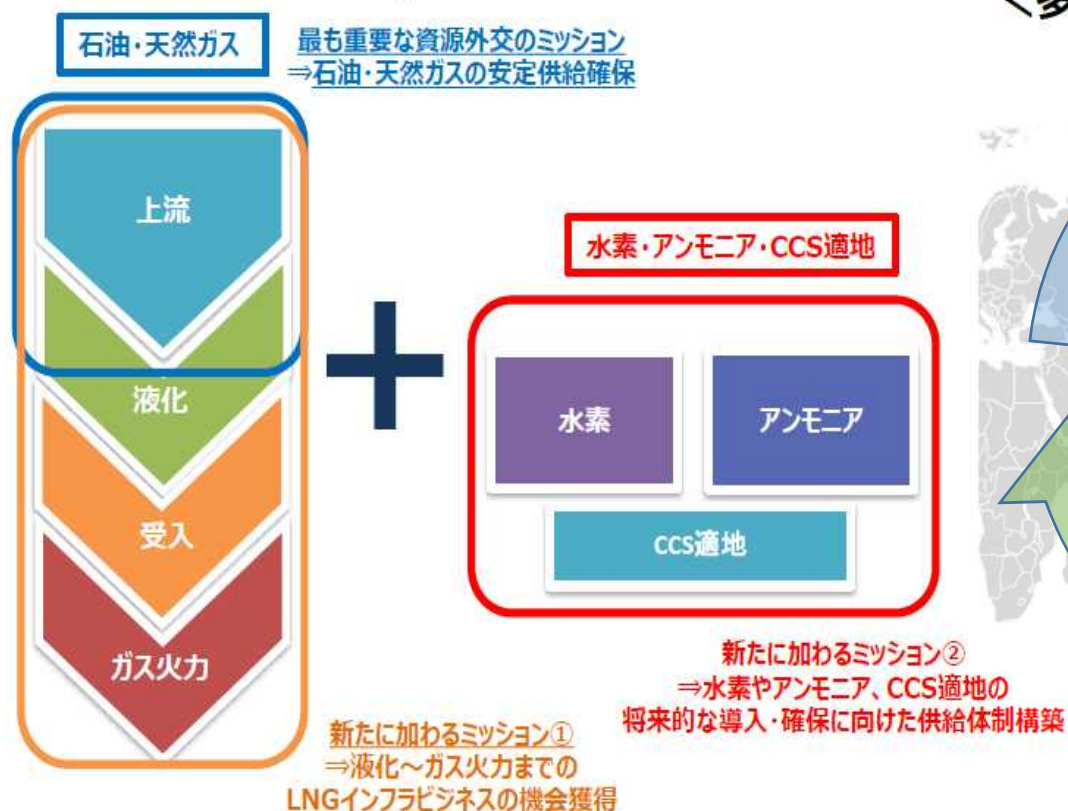
2.4 水素・アンモニア・CO₂サプライチェーンの整備(2)

水素・アンモニア・CCS適地を含めた海外との協調

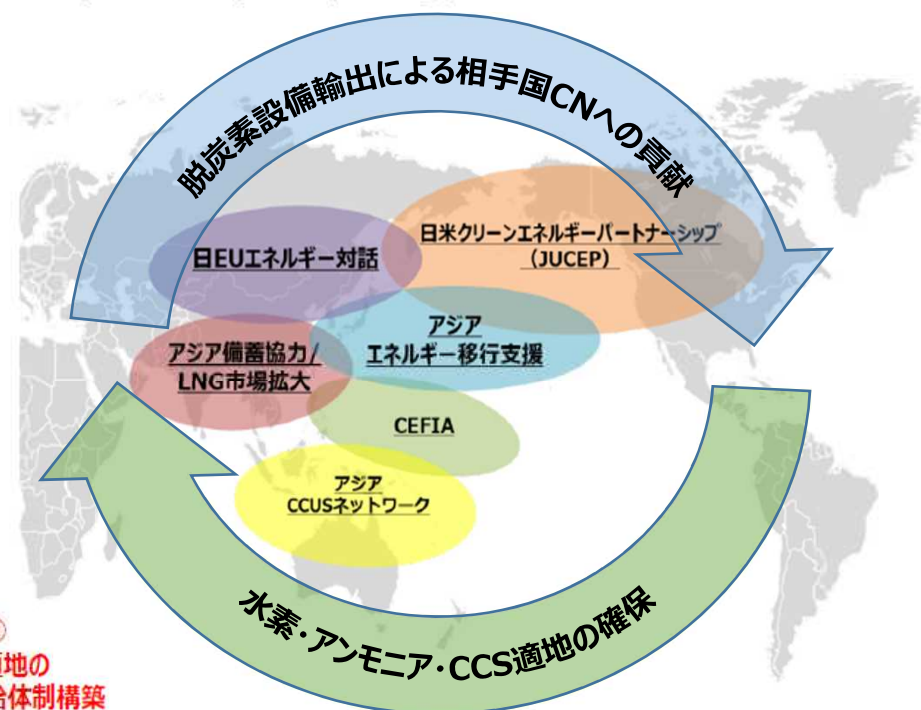
脱炭素火力の導入拡大に向けた水素・アンモニアサプライチェーン、およびCCSネットワークの構築では、これらを**新資源として安定的・経済的に導入・確保できる国との関係構築**は不可欠

至近の非化石燃料化が困難な国々に対し、**我が国の脱炭素電源設備を輸出促進することで、相手国のカーボンニュートラルへ貢献**し、Win-Winの互惠関係構築に資する

<資源外交のミッション拡大>



<多国間の枠組みを通じた資源外交のイメージ>



出典) 第15回石油天然ガス小委員会 資料3に基づきJEMAにて編集

0. 目次

1. 水力発電

1.1 未利用水力ポテンシャルの活用

1.2 揚水発電による調整力の確保

2. 火力発電

2.1 電力システムにおける火力発電の必要性と課題

2.2 CO₂分離・回収・貯留技術の展望

2.3 燃料の脱炭素トランジション

2.4 水素・アンモニア・CO₂サプライチェーンの整備

3. 基幹電力系統

3.1 電力系統の課題と展望

3.2 大電力・長距離送電

3.3 系統用蓄電池による調整力確保

3.4 IoT・AI技術によるシステム運用の高度化

3.5 送変電機器のSF₆ガス代替技術への移行

3.1 電力システムの課題と展望(1)

2050年カーボンニュートラルに向けた電力・エネルギー分野の目指す絵姿

2050年の電力システムは、自律・分散で運用される**需要地系統(地域分散グリッド)**および大規模電源などのエネルギーユニット群を有機的に結合してより広域化する**基幹系統**で構成される。

基幹系統

絵姿Ⅰ

- 再生可能エネルギーの適地から大規模な電力輸送を可能とするHVDC等で構成され、大規模電源、分散グリッド、揚水発電設備等の自律運転可能なエネルギーユニットが相補的に連携し、電力供給の安定化を実現する。

需要地系統(地域分散グリッド)

絵姿Ⅱ

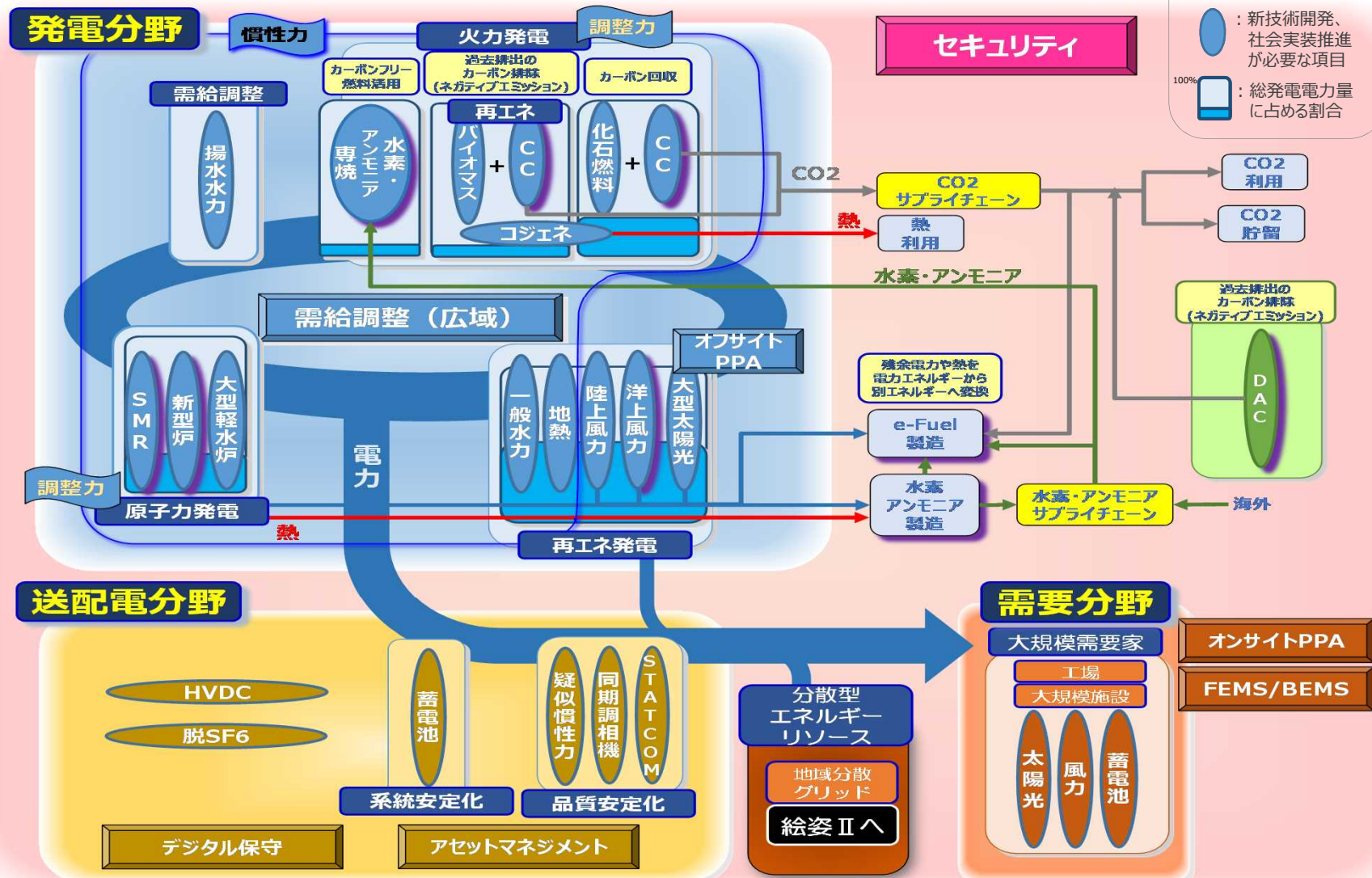
- 再生可能エネルギーの主力電源化に伴い、地域毎に電力システムの分散化が加速。需要家をもつ分散電源(PCS/蓄電池等)を活用し、DRやDERMSで域内の需給調整を実現すると同時に、災害などにおける地域のエネルギー供給の継続によるレジリエンスを確保し、需給一体と基幹系統との接続を実現する。

3.1 電力システムの課題と展望(2)

2050年カーボンニュートラルに向けた電力・エネルギー分野の目指す絵姿

絵姿 I

基幹系統

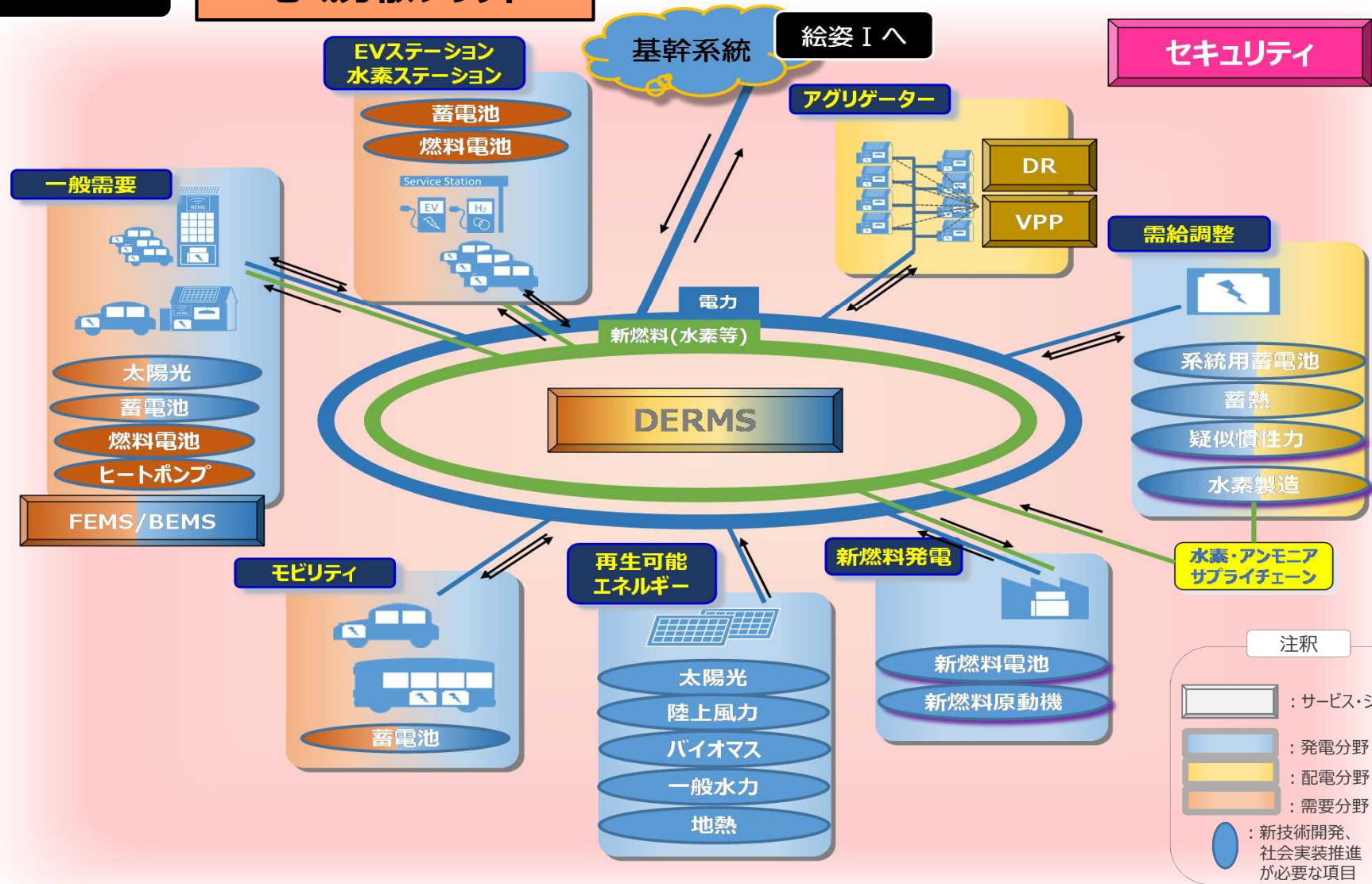


3.1 電力システムの課題と展望(3)

2050年カーボンニュートラルに向けた電力・エネルギー分野の目指す絵姿

絵姿Ⅱ

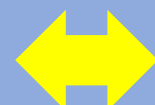
地域分散グリッド



3.2 大電力・長距離送電(1)

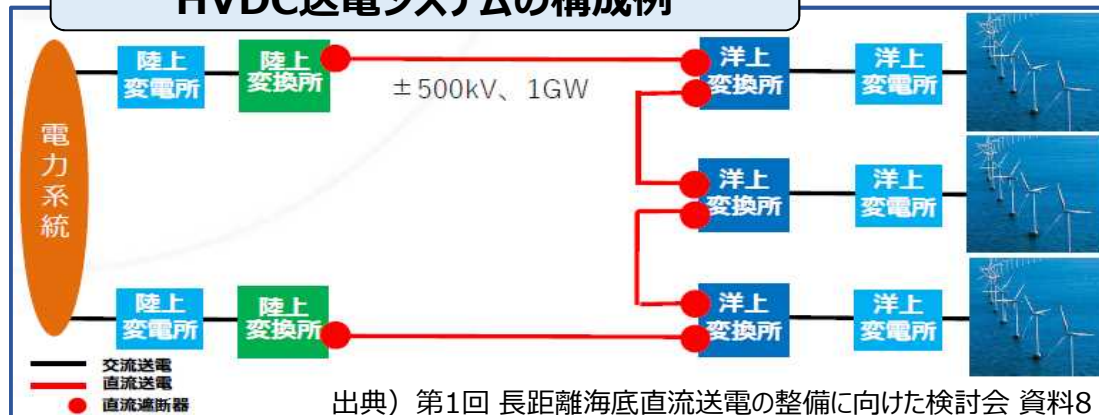
再生可能エネルギーの導入ポテンシャルは
電力の大消費地に対し遠隔地において高い

長距離・大電力輸送には
HVDCが効率面で優



経済合理性のある
送電システムが必要

HVDC送電システムの構成例



広域機関におけるHVDC導入検討例

出典) 電力広域的運営機関(OCCTO)
「マスタープラン検討に係る中間整理」

HVDC容量(30GW)

北海道の太陽光・風力
ポテンシャル

風力:1,104
太陽光:234
計:1,338万kW

HVDC容量
【400万kW】

➤ 電源の立地状況に
より日本海または、
太平洋側ルートでの
選択可能

【案①】
揚陸点
東北地内

【案②】
揚陸点
東京地内

費用便益比(B/C)



出力抑制率



3.2 大電力・長距離送電(2)

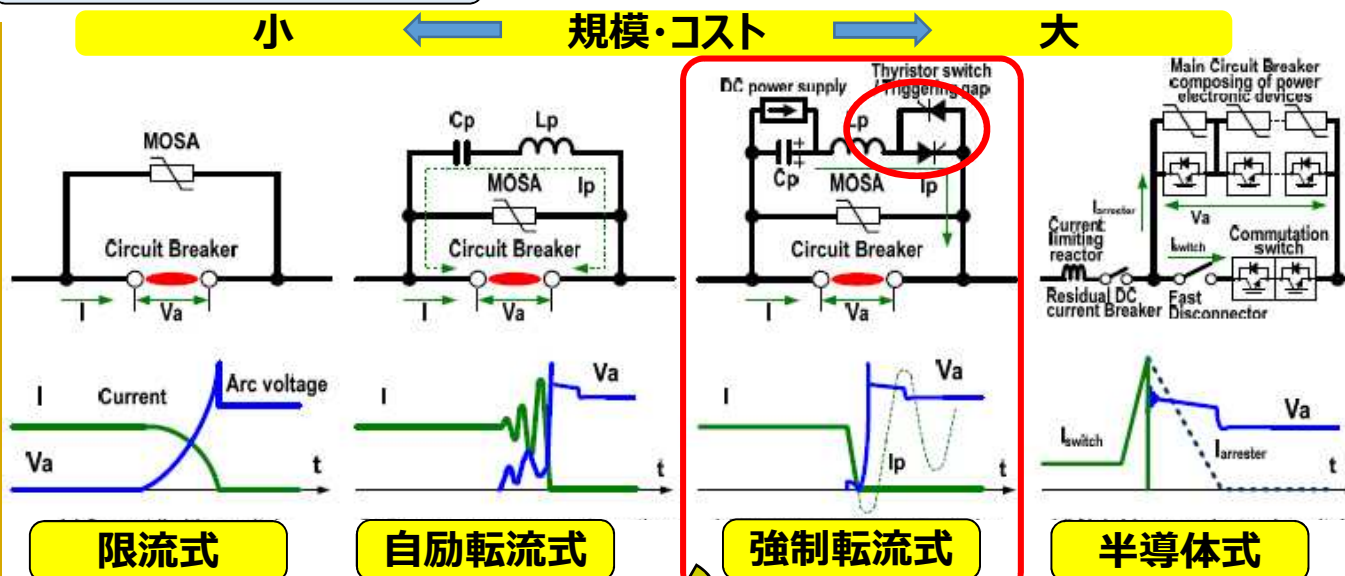
DC遮断器の電流遮断原理

多端子送電網(グリッド)
の構成には、系統保護の
ため遮断器が不可欠

遮断器のコスト抑制

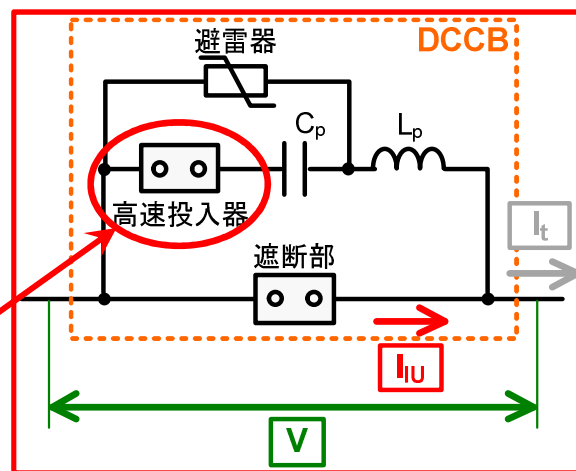
II

送電システムの
経済合理向上

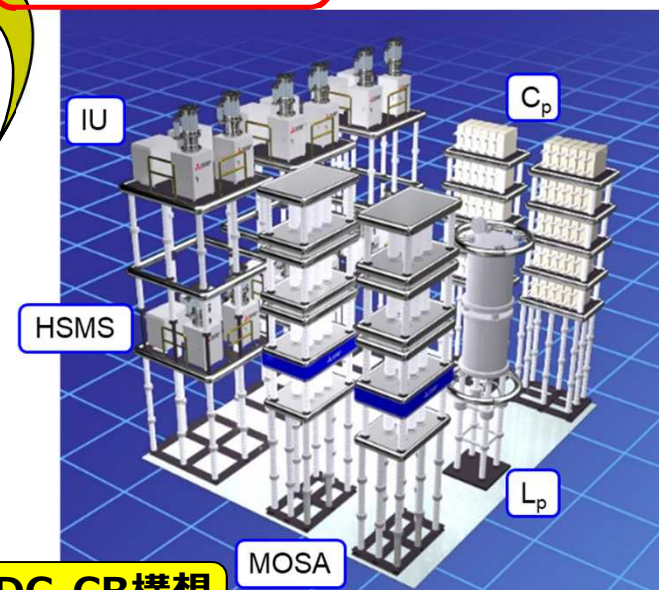


HVDC遮断器の 具体的構造例

機械式
投入スイッチ
を採用



500kV級 機械式HVDC-CB構想



3.3 系統用蓄電池による調整力確保(1)

電力システムにおける大型蓄電池の活用形態

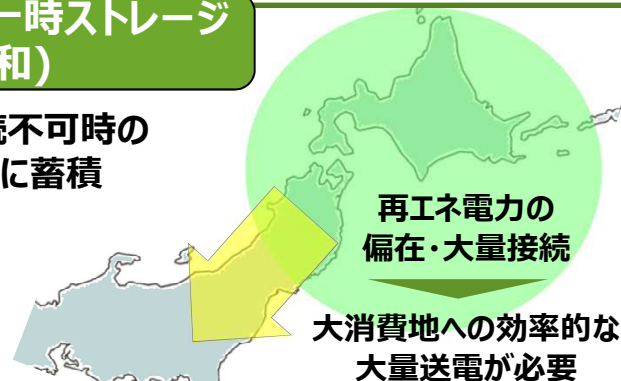
- A) ピーク電力の一時ストレージ(需給調整)
- B) " (系統混雑緩和)
- C) レジリエンス電源
- D) 調整力(Δ kW)

B) ピーク電力の一時ストレージ (系統混雑緩和)

- 系統混雑に伴う接続不可時の再エネ電力を一時的に蓄積

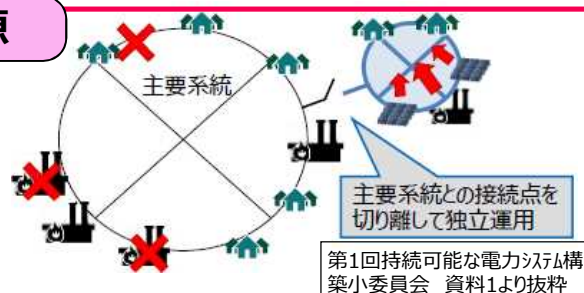
- 地域内系統混雑時
- 域間送電容量不足時

- 系統閑散時に送電
- 送変電設備容量の合理化にも寄与(ピーク負荷対応 > 平均負荷対応)



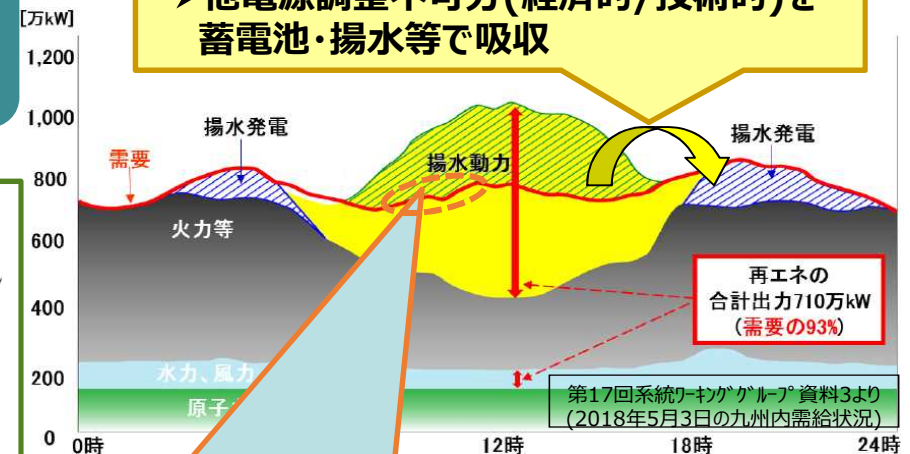
C) レジリエンス電源

- 基幹系統故障時の自立電源
- 域内再エネ電源の不足分への対応
- 再エネ電力の平準化



A) ピーク電力の一時ストレージ (需給調整)

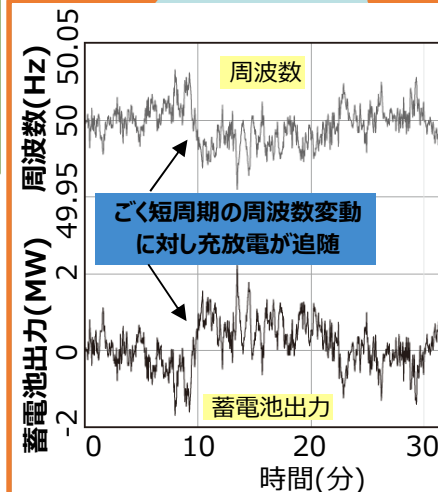
- 変動性再エネの出力平準化
- 他電源調整不可分(経済的/技術的)を蓄電池・揚水等で吸収



D) 調整力(Δ kW)

- 必要な電池特性

- 瞬発力に富む充放電特性
- 多数回の充放電が可能



高度な制御技術と組み合わせ、
基幹電力システムにおける調整力としての価値を創出

「リドックスフロー電池の開発及び実証状況」
SEIテクノロジー(2017年1月)より抜粋

3.3 系統用蓄電池による調整力確保(2)

カーボンニュートラルに向けた電力システムの課題

調整力の確保

- 太陽光発電設備容量を300GW、風力発電設備容量を42GWと想定
- 太陽光発電出力の10%および風力発電設備容量の15%に相当するLFC調整力が必要 ($300 \times 10\% + 42 \times 15\% = \text{約}36\text{GW}$)
- 火力発電が3GW(設備容量の5%相当)、揚水発電が6GW(設備容量の20%相当)がLFC調整力を供給可能 ($36\text{GW} - 9\text{GW} = \text{約}27\text{GW}$)
- 蓄電池容量の20%をLFC調整力として活用と想定

必要となる蓄電池容量は概算で135GW ($27 \times 100\% / 20\% = 135\text{GW}$)

電力系統の地域特性に応じた大型蓄電池と、分散配置される小規模蓄電池の統合制御により必要な調整力を確保

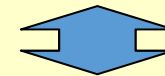
EMSの高度化

発電量の変動に対応するエネルギーリソースの最適運用

- 短周期/長周期の系統安定化制御および電圧制御
- 指令値最適配分/再エネ出力抑制
- 需要予測/発電量予測とスケジュール運転
- 蓄電池SOC(State of Charge)目標値管理とSOC保護
- デマンドレスポンスによるネガワット確保
- 設備モニタリングと警報発報
- 卸/調整力/容量等の各電力市場との有機的連携

EMS(Energy Management System)
: エネルギーリソースの統合管理・制御システム

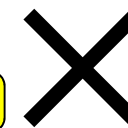
**現時点で150(+240)MW
程度の導入に留まる**



**調整力の価値化が進む英国、
米・加州等はGW超を導入済**

電池技術

**調整力の提供に適した
蓄電池特性**



システム技術

**豊富な経験に基づく
高いEMS技術**

**電力システムのカーボン
ニュートラル化に貢献**

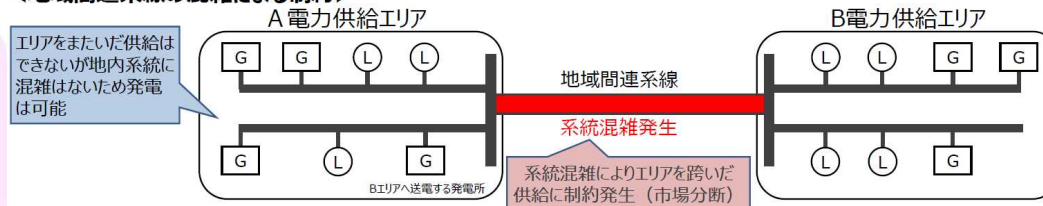
3.4 IoT・AI技術によるシステム運用の高度化

「カーボンニュートラルに向けた再エネ大量導入」と「電力ネットワークの強靱化」の実現

系統混雑を前提とした混雑管理の方向性

OCCTO「地域系統の混雑管理に関する勉強会」より

＜地域間連系線の混雑による制約＞



設備形成面

維持・運用面

個別の
広域系統
整備計画

費用便益評価に
基づく整備計画

系統利用ルール

設備維持の
ガイドライン

マスタープランを支える仕組み

・足元の電源ポテンシャルを踏まえた整備計画の具体化
⇒ 広域系統整備計画の計画策定プロセスを開始する増設計画をスクリーニングすることによる「プッシュ型」の系統形成

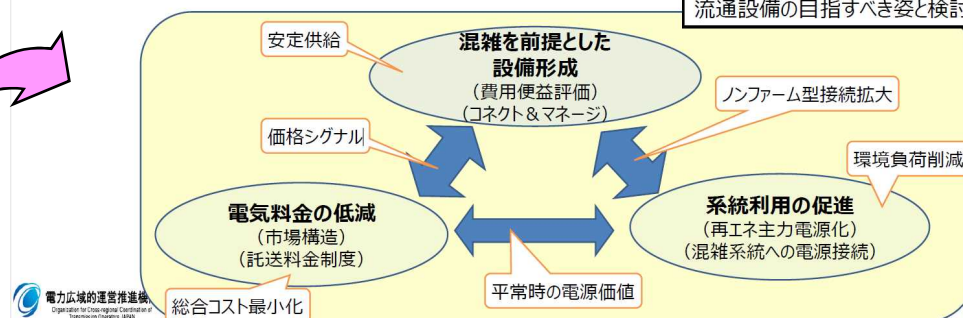
・系統混雑を前提とした系統利用の在り方

⇒ 先着優先からメルिटオーダーへ移行

・高経年設備の更新の在り方

⇒ 高経年化ガイドラインによる計画的かつ効率的な設備更新

流通設備の目指すべき姿と検討課題



設備更新計画の検討に用いる指標

OCCTO「高経年化設備更新ガイドライン」より

【故障確率の算出手順】

手順	算出式
手順① 場所や使い方を考慮した「期待年数」の算出	期待年数 = $\frac{\text{標準期待年数}}{\text{場所係数} \times \text{使い方係数}}$
手順② 経年を考慮した「標準ヘルススコア」の算出	標準ヘルススコア = $0.5 \exp\left[\ln\left(\frac{5.5}{0.5}\right)\right]$
手順③ 点検、測定等の結果を考慮した「現在ヘルススコア（将来ヘルススコア）」の算出	現在ヘルススコア (H) = 標準ヘルススコア × ヘルススコア係数
手順④ 現在ヘルススコア（将来ヘルススコア）を用いた「故障確率」の算出	故障確率 (%) = $K \times \left[1 + \frac{C \times H}{1!} + \dots\right]$

設備状況に応じた
送電容量の決定
(ダイナミック・レーティング)

参考：各設備のヘルススコア係数（点検、測定結果等）の設備別

設備区分	設備種別 大分類（品目）	点検、測定結果等の項目例		ヘルススコア係数	
工務設備	鉄塔	点検結果	外観等：腐食等の劣化	設備種別（品目）毎に1.0を基準とした値を設定 （項目が複数ある場合は総合的に勘案し、一つの値に決定して適用）	
		電線	点検結果		外観等：腐食等の劣化
		ケーブル	測定結果		絶縁劣化
	変圧器	点検結果	外観等：腐食等の劣化		
		測定結果	部分放電		
			流動帯電		
			絶縁油：水分含有量、酸性度等		
			絶縁油：溶解ガス（DGA）		
	遮断器		点検結果		絶縁紙：FFA
		外観等：腐食等の劣化			
		ガス圧力			
		測定結果	部分放電		
			接触抵抗		
			絶縁抵抗		
			ガス分析：水分量、分解ガス		
			開閉時間		
電柱	点検結果	累積遮断回数			
		動作回数			
		外観等：腐食等の劣化			

更新
保守

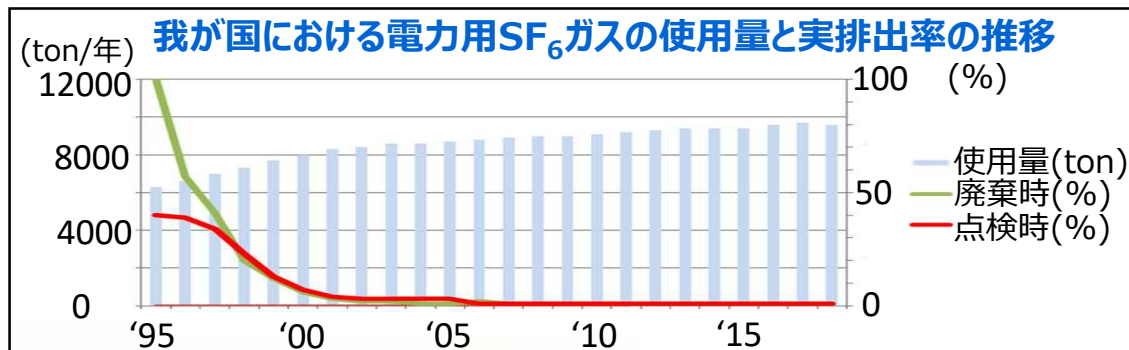
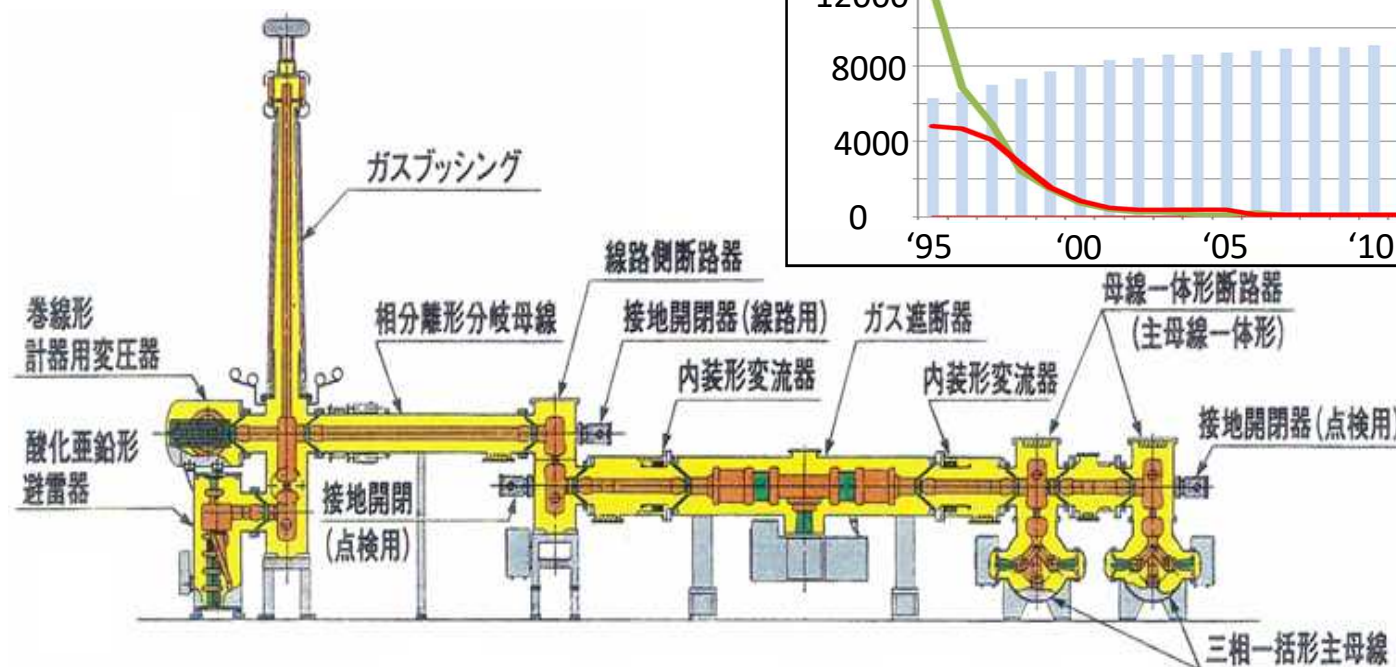
更新計画の合理化・
保守業務の省人化

IoT/AI技術を応用した機器
状態監視による運用管理の高度化

3.5 送変電機器のSF₆ガス代替技術への移行(1)

変電機器におけるSF₆ガスの位置付け

- 絶縁、消弧媒体として卓越した性能
 - ガス絶縁開閉装置：小形化、信頼性向上
 - ガス絶縁変圧器：不燃化
 - 1950年代から代替ガス研究が始まるも、現時点で比肩するものなし
- 大きな温暖化係数(CO₂の25,200倍)
 - 温暖化ガスとして京都会議でリストアップ
 - 代替技術なくCIGRE他で使用継続の活動
 - 日本ではクローズドサイクル化/厳格な排出量管理
- 「2050年 カーボン・ニュートラル (CN)」目標へ向け、世界的な取組みが急加速
 - 欧州および北米を中心として、電力用SF₆ガスの環境規制が具体化
 - 欧州メーカーを中心としたSF₆代替ガス機器の開発が加速、各種パイロットPJが急速に進展
- 国内においても議論が進展
 - 「SF₆代替ガス検討会」の発足と基礎データの評価
 - 社会実装に向けた「7つの要件」の設定



7つの要件【視点】

1. 環境・労働安全衛生
2. 使用環境条件
3. 供給安定性
4. 取扱い性
5. トータルコスト
6. 体格(大きさ)
7. 適用範囲

3.5 送変電機器のSF₆ガス代替技術への移行(2)

SF₆ガス代替技術への移行に向けたJEMAロードマップ[°]

※製品リリース＝形式試験完了・販売開始時期（製造リードタイムは不含）

年度 (4月始まり)	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
遮断器	72/84kV 製品リリース											
			120/168/204kV 製品リリース									
					240/300kV 製品リリース							
							550kV 製品リリース					
GIS	72/84kV 製品リリース											
				120/168/204kV 製品リリース								
						240/300kV 製品リリース						
								550kV 製品リリース				

※注1 国内 84～204kV 更新需要立上り見込み

国内 300～550kV 更新需要立上り見込み

※注2 ※欧州 52<Um≤145kV 製品拡大・パイロット評価期間

★ 新規SF₆機器の導入禁止
(EU517改定ドラフト)

※欧州 145<Um≤420kV 製品拡大・パイロット評価期間

★ 新規SF₆機器の導入禁止
(EU517改定ドラフト)

※注1： 経年40年を想定した既設機器の更新時期見込み、JEMA調べ。下記文献を参考とした。

- ・塚尾,「SF₆ガス代替技術の動向と要件」, 電気評論 (2020年)
- ・武田,「国際的なSF₆ガス代替技術の動向を踏まえた国内の状況と対応について」, 電気学会全国大会シンポジウム (2021年))

※注2： 下記共同ポジションペーパー、および Regulation (EU) No 517/2014改定ドラフトによる。Umは定格電圧。

- ・ENTSO-E and T&D Europe “Transition Times from SF₆ to alternative technologies for HV and EHV applications”(2021年10月)
- ・Proposal for Repealing Regulation (EU) No 517/2014 (2022年4月5日)

ご清聴ありがとうございました。

