

# 電力・エネルギー技術の未来を語る ービジョン2030 ビヨンドの実現に向けー 問題提起 2 (ハード)

令和6年電力・エネルギー部門大会  
特別企画 パネルディスカッション  
令和6年9月5日 大阪公立大学  
15 : 10 ~ 17 : 15

静止器技術委員会 副委員長  
脇本 聖 (明電舎)

# はじめに

## B部門大会特別企画

### 電力・エネルギー技術の未来を語る ービジョン2030 ビヨンドの実現に向けー

#### 問題提起 2 (ハード)

- **静止器技術委員会**は、1974年に設置された、電気学会 電力・エネルギー部門の中で最も古くからある技術委員会です。歴史の古い分野から最近話題の分野まで、広く静止器に関連する分野の研究調査活動を行っています。
- 当委員会の傘下では、現在、**変圧器**、**コンデンサ**、**大電流**、**電磁界解析**の、4つの調査専門委員会が活動しています。
- 当委員会では、毎年各地で、「日本のライフラインを支える電力設備」シンポジウムを開催しています。今年は第20回で10月16日に沖縄で開催します。奮ってご参加ください。
- 今回のパネルディスカッションでは、**ハード代表**として参加します。

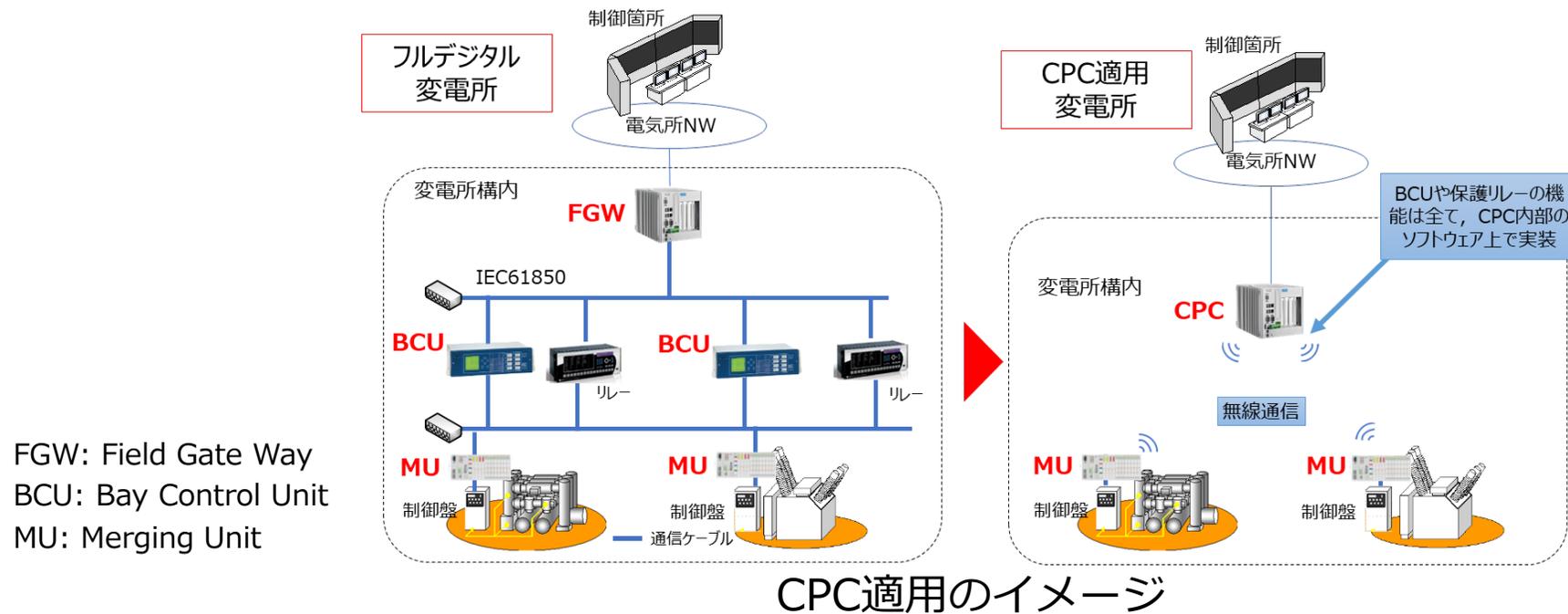
# 静止器技術委員会のロードマップ に基づく問題提起

# 静止器技術委員会ロードマップ1/6

大/小項目	2025	2030	2040	2050
デジタル化/ 変圧器	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存設備の機能強化</li> <li>IoT（オンライン<b>監視</b>）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デジタルツイン技術を活用した機器<b>監視</b>技術確立のための基礎研究</li> <li><b>国際</b>的な技術の導入</li> <li><b>CBM</b>基準の状態<b>監視</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AI技術を取り込んだ機器<b>監視</b>用デジタルツイン技術の検証</li> <li><b>国際</b>規格の導入</li> <li>総合的な状態<b>監視</b>システム</li> <li><b>集中型保護制御</b> （Centralized Protection and Control: CPC）の実現による設備最適化</li> </ul>	<p>お客さまである地域産業や電気の利用者を最上流として、安定供給、脱炭素を成し遂げるために、既存ネットワークを最先端の静止器技術の活用により、次世代のエネルギー供給ネットワークに変革</p>
デジタル化/ コンデンサ			<ul style="list-style-type: none"> <li>デジタル技術を活用した状態によるコンデンサ<b>劣化</b><b>診断</b>技術</li> </ul>	
デジタル化/ 大電流	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートメータ</li> <li>センサ技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマート<b>メンテナンス</b></li> <li>広域<b>電動モビリティ</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デジタル技術を駆使した次世代送配電ネットワーク</li> </ul>	

# 集中型保護制御(CPC)システムによる設備最適化

- IEC 61850規格に対応したステーションバスやプロセスバスを導入した**デジタル変電所**の検討が進んでいる。
- しかしながら、従来システムと同様の考え方で、回線単位や保護機能単位で装置を設置したのでは、**通信機能を備える設備が増加し**、コストアップにつながる懸念がある。
- システム全体の最適化を指向し、最小限のハードウェアでの構成を可能とする集中型保護制御(CPC: Centralized Protection and Control)システムを構築する。**無線技術採用によるさらなるケーブルレス**を推進する。
- 電源ケーブル以外の要素を伝送化することが可能となれば、**現在の各配電盤が有する機能・役割をソフトウェア上で実現することが可能**となり、最終目標として監視制御装置にCPCを適用し配電盤レスとなるシステム構成を目指す。



デジタル化・DXの進展

設備・インフラの最適化

アセットマネジメント・  
設備保守の高度化

# 静止器技術委員会ロードマップ<sup>o</sup>2/6

大/小項目	2025	2030	2040	2050
脱炭素/ 変圧器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・寿命診断技術の再構築</li> <li>・植物由来絶縁油診断技術</li> <li>・レトロフィル技術検討</li> <li>・中容量植物油変圧器の開発・適用</li> <li>・小容量SF6代替ガス絶縁変圧器および代替ガスLTCの開発・適用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・更新技術,規格の柔軟化</li> <li>・診断技術の統一化</li> <li>・レトロフィル技術の適用</li> <li>・絶縁油再利用技術</li> <li>・標準化による部分更新の実現</li> <li>・高電圧・大容量植物油変圧器の開発・適用</li> <li>・中容量SF6代替ガス絶縁変圧器および代替ガスLTCの開発・適用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レトロフィル技術の確立</li> <li>・高電圧・大容量SF6代替ガス絶縁変圧器および代替ガスLTCの開発・適用</li> </ul>	<p>お客さまである地域産業や電気の利用者を最上流として, 安定供給, 脱炭素を成し遂げるために, 既存ネットワークを最先端の静止器技術の活用により, 次世代のエネルギー供給ネットワークに変革</p>
脱炭素/ コンデンサ		<ul style="list-style-type: none"> <li>・再E導入による系統変化に対応したSTATCOM拡大</li> <li>・風力発電進展に伴うコンデンサの性能向上</li> </ul>	<p>【→ 次頁※1より】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・インバータ容量拡大に向けた直流コンデンサの高電圧化</li> </ul>	
脱炭素/ 大電流	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄物処理</li> <li>・温暖化ガス削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大規模空気浄化システム</li> <li>・リサイクルシステムへの大電力応用</li> </ul>		

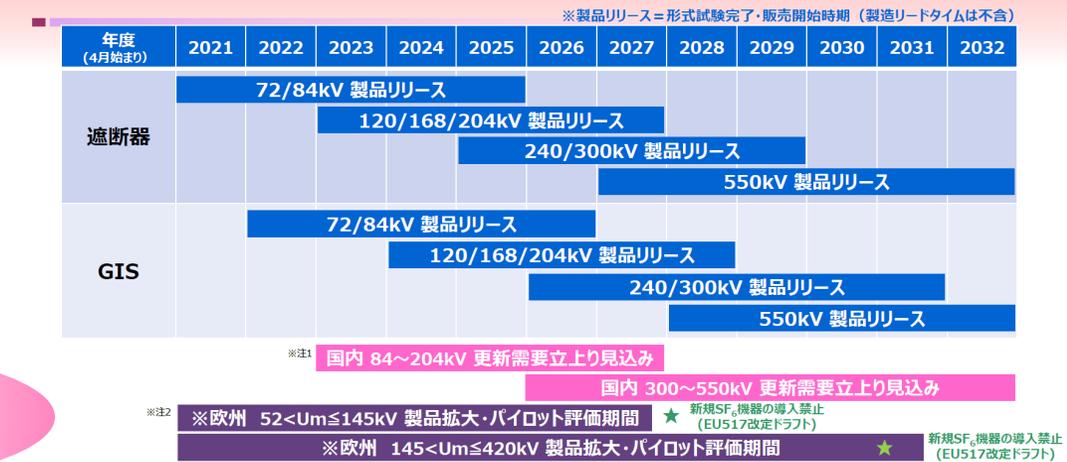
# SF6ガス代替技術への移行に向けたロードマップ

- 「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 (SF6ガスは温暖化係数が大 → 脱SF6の動き)
- 欧州・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
- 国内機器メーカーとしても、環境負荷低減への貢献、海外事業展開の維持・拡大の両面から、実現性のあるロードマップを作成し、「7つの要件」\*に完全適合する着実な技術開発が必要
- 環境・社会への取組みを価値として認める評価制度のあり方について、業界一体となった議論が必要
- 送変電システムCN化へ向けて、実効性のあるタイミングや順序の明確化が必要
- 国内開閉機器メーカー7社共同で、送変電領域における国内向けSF6代替ガス開閉機器の開発スケジュールを明示

## SF6代替ガス検討会提案の「7つの要件」\*

No.	カテゴリ	要件
(1)	EHS	分解ガス・分解生成物を含め毒性に対する取り扱いがSF <sub>6</sub> と同等である
(2)	Service Condition	規格に定める常規使用状態で使用可能である
(3)	Stable Supply	代替ガスは将来に亘り安定供給が可能であること、ガスは複数社にて供給できることが望ましい
(4)	Gas Handling	SF <sub>6</sub> 代替ガスのハンドリングがシンプルであることが望ましい
(5)	Life Cycle Cost	トータルコスト(機器・付帯工事費用、運転保守費用など)がSF <sub>6</sub> ガス機器と同等あるいは合理性があることが望ましい
(6)	Footprint	屋内・地下変電所等の据付空間に制限のある場所でのリプレースが可能であることが望ましい
(7)	Voltage Coverage	将来的には、系統の最高使用電圧 550 kV まで対応可能とすることが望ましい

## SF<sub>6</sub>ガス代替技術への移行に向けたJEMAロードマップ



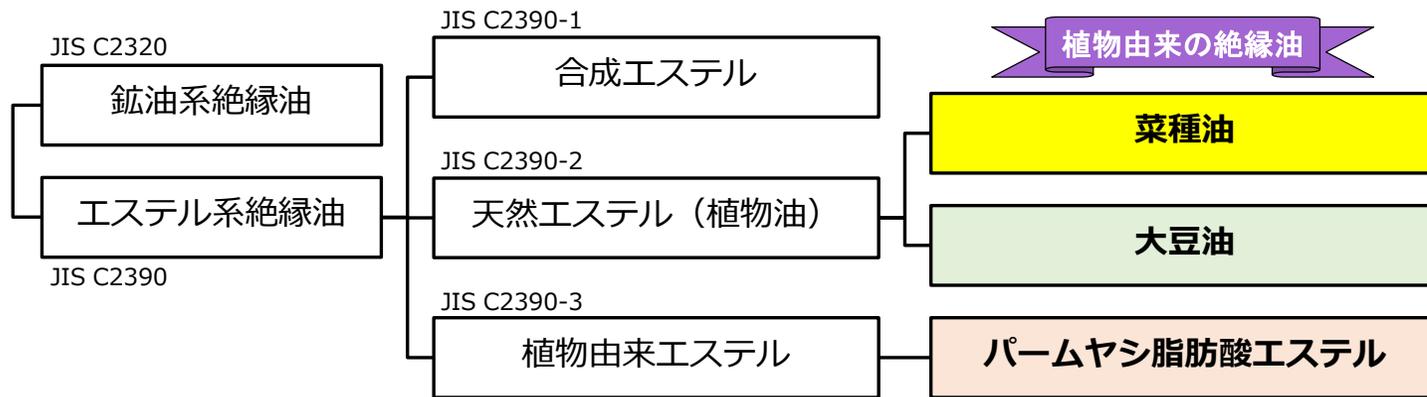
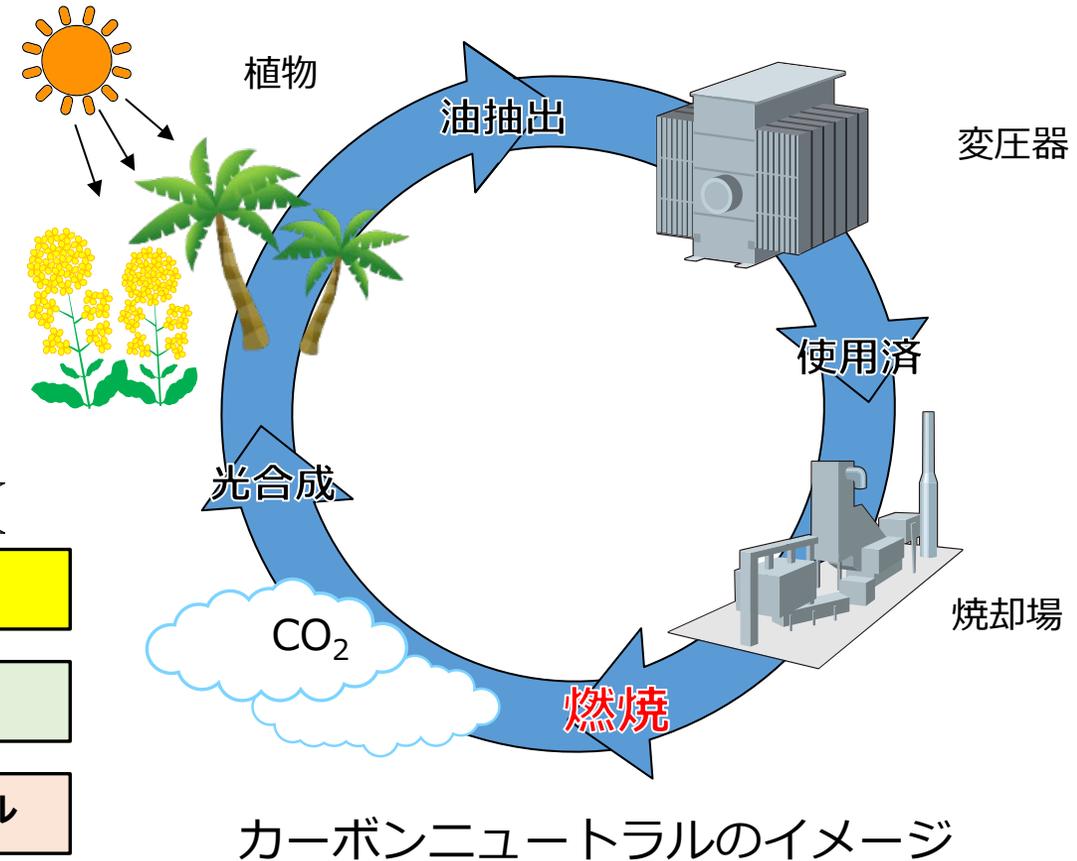
※注1: 経年40年を想定した既設機器の更新時期見込み、JEMA調べ。  
(参考文献: 塚尾, 「SF<sub>6</sub>ガス代替技術の動向と要件」, 電気評論 (2020年); 武田, 「国際的なSF<sub>6</sub>ガス代替技術の動向を踏まえた国内の状況と対応について」, 電気学会全国大会シンポジウム (2021年)。  
※注2: 下記共同ホワイトペーパー、および Regulation (EU) No 517/2014改定ドラフトによる。Umは定格電圧。  
ENTSO-E and T&D Europe "Transition Times from SF<sub>6</sub> to alternative technologies for HV and EHV applications", <https://www.tdeurope.eu/publications/position-papers.html> (2021年10月)  
Proposal for Repealing Regulation (EU) No 517/2014 <https://ec.europa.eu/clima/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/eu-legislation-control-f-gases\_en> (2022年4月5日)

(\*11電力会社, 7メーカー, 7大学・研究機関から構成される「代替ガス検討会」の場で議論し、日本におけるSF6代替ガスの基本的要件を7つの視点でまとめたもの)



# 変圧器の絶縁油を鉱油から植物由来のエステル油へ

- 従来より、絶縁・冷却特性に優れ、安価な**鉱油**が、変圧器の絶縁油として使われてきた
- 鉱油は化石資源であり、使用後焼却廃棄するとCO2排出量が増え、また、漏油時の環境汚染リスクがある
- 近年、鉱油に代わり、**生分解性**や巻線絶縁紙の**寿命延伸**効果のある**植物由来のエステル油**が増加
- 上記以外の訴求効果は二つに大別される
  - 天然エステル(菜種・大豆油)：引火点及び燃焼点が高いため、**火災に対する安全性**が重視される場所に設置される変圧器に適している
  - 植物由来エステル(パームヤシ脂肪酸エステル)：冷却特性に優れるため、**コンパクト性**が重視される変圧器に適している



# 静止器技術委員会ロードマップ<sup>o</sup>3/6

大/小項目	2025	2030	2040	2050
エネルギー効率最適化/変圧器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新素材, 新技術の開発</li> <li>・解析技術による高度設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低損失技術の推進</li> <li>・電力系統の負荷率計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・AIの導入によるシステム最適化</li> <li>・電力系統の力率改善</li> </ul>	<p>お客さまである地域産業や電気の利用者を最上流として, 安定供給, 脱炭素を成し遂げるために, 既存ネットワークを最先端の静止器技術の活用により, 次世代のエネルギー供給ネットワークに変革</p>
エネルギー効率最適化/コンデンサ		<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンデンサ低損失化の推進</li> <li>・電力系統用コンデンサの大容量化</li> <li>・<b>直流</b>用コンデンサの高機能化 (交流リップル耐量向上) 【→ 前頁※1へ】</li> </ul>		
エネルギー効率最適化/大電流		<ul style="list-style-type: none"> <li>・新機能性材料開発</li> <li>・放電応用加工技術の高度化</li> <li>・医療への超電導、強磁界の応用</li> <li>・大容量データセンター向け<b>直流</b>配電システム</li> </ul>		

# 静止器技術委員会ロードマップ4/6

大/小項目	2025	2030	2040	2050
分散化/ 変圧器	<ul style="list-style-type: none"> <li>分散電源<b>連系</b>下の事故・断線検出</li> <li>分散電源導入下のシステム制御</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>可変容量リアクトルの開発・適用</li> <li>突入電流抑制技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>系統短絡容量への対応</li> </ul>	<p>お客さまである地域産業や電気の利用者を最上流として、安定供給、脱炭素を成し遂げるために、既存ネットワークを最先端の静止器技術の活用により、次世代のエネルギー供給ネットワークに変革</p>
分散化/ コンデンサ	<ul style="list-style-type: none"> <li>分散電源ケーブル<b>連系</b>に伴う系統高調波などの電力品質分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分散電源ケーブル<b>連系</b>に伴う系統高調波などの電力品質向上技術</li> </ul>		
分散化/ 大電流	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋上<b>PV</b></li> <li><b>ウィンドファーム</b></li> <li>系統<b>連系</b>技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>プラグインEV</b>の電力系統との<b>連系</b>技術</li> <li>大規模電力系統最適運用技術</li> <li>高度パワーエレ技術</li> <li>大容量<b>蓄電池</b>を活用した潮流制御技術検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>交通</b>用大規模非接触給電技術</li> <li>国際間電力<b>連系</b>（大規模な分散化電源、分散過負荷）</li> <li>大容量<b>蓄電池</b>を活用した潮流制御技術確立</li> </ul>	

# 静止器技術委員会ロードマップ<sup>o</sup>5/6

大/小項目	2025	2030	2040	2050
持続可能性/ 変圧器		・音響メタマテリアルによる騒音遮蔽技術の実用化		お客さまである地域産業や電気の利用者を最上流として、安定供給、脱炭素を成し遂げるために、既存ネットワークを最先端の静止器技術の活用により、次世代のエネルギー供給ネットワークに変革
持続可能性/ コンデンサ		・ <b>生分解性</b> 等の新たな絶縁媒体を用いたコンデンサの開発	・高調波成分を含んだコンデンサ騒音低減技術の実用化 ・ <b>生分解性</b> 等の新たな絶縁媒体を用いたコンデンサの実用化	
持続可能性/ 大電流	・プラズマ排ガス処理 ・プラズマ水処理 ・ <b>メガソーラ</b> の拡大, 普及	・プラズマ農業応用 ・プラズマ大気処理 ・大規模洋上 <b>風力</b> と <b>直流</b> による配電 ・MHD発電の新展開 ・ITERのファーストプラズマ	・宇宙 <b>PV</b> との <b>連系</b> ・大規模マイクロ波送電 ・核融合発電の開始, 関連技術の充実	

# 再エネ大量導入における技術的課題

- 「2050年カーボンニュートラル(CN)」実現のためには、エネルギーの供給と需要の双方で、新しいエネルギーシステムへの抜本的な変革が求められる。

- 再エネ主力電源化に向けて

- FIT導入により太陽光発電が拡大するも2050年CNには不十分
- 山林が多く国土の狭い日本では、メガソーラーの開発は適地を一巡し、設備導入量は鈍化
- 今後は洋上風力発電の大量導入が期待される（電源の変動・偏在への対応が必要）

## レジリエンスの向上

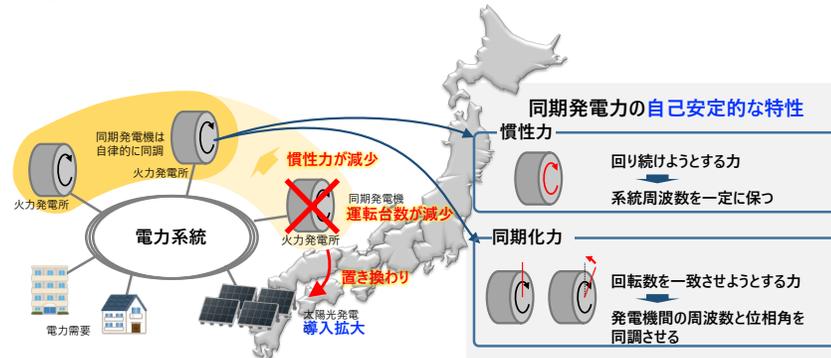
DC/AC, 分散化, マイクログリッド

- 再エネ大量導入における技術課題

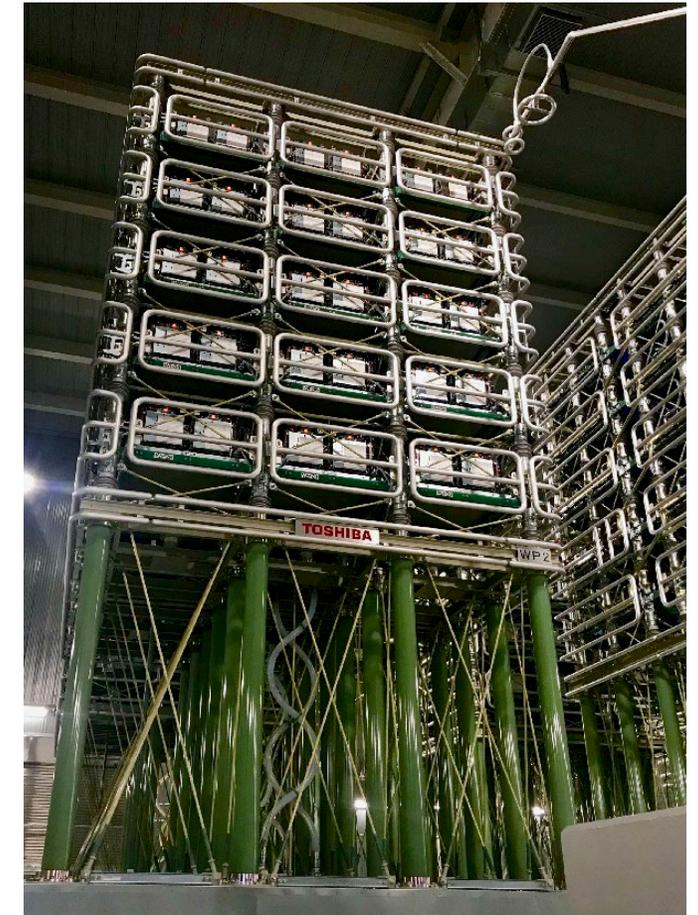
- 送電容量不足：風力発電の適地（北海道など）から遠く離れた大規模需要地（東京など）へ再エネ電力を運ぶ際に送電容量が不足 → 広域連系システムのマスタープラン：海底直流送電など
- 調整力不足：自然条件によって出力変動するため、需要と供給を一致させる調整力が必要 → 一定量の火力電源の維持と水素・アンモニア利用による低・脱炭素化、蓄電池・EVなどの活用
- 慣性力不足：インバータ電源は慣性力がないため、その割合が増加すると、システムの慣性力が低下（事故の際にシステムの安定性維持が困難） → インバータ電源への疑似慣性機能導入など

- 需要側エネルギー資源の活用

- DERの調整力としての活用
- 再エネ熱資源：ヒートポンプ技術



慣性低下対策（GFM方式VSGインバータ等）



直流送電のための自励式変換器の例

出典：北海道電力ネットワーク（株）  
 新北本連系設備（2019年3月運転開始）  
 北斗変換所（北海道側）バルブホール建屋内の変換器

# 静止器技術委員会ロードマップ6/6

大/小項目	2025	2030	2040	2050
持続可能性/ 電磁界解析		<ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁界から発生する振動・騒音高度解析技術の基礎研究</li> <li>・電力設備に対する高高度電磁パルス（High Altitude Electromagnetic Pulse: HEMP）の影響評価による電力システムのレジリエンス強化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁界から発生する振動・騒音高度解析技術の実用化</li> </ul>	<p>お客さまである地域産業や電気の利用者を最上流として、安定供給，脱炭素を成し遂げるために、既存ネットワークを最先端の静止器技術の活用により、次世代のエネルギー供給ネットワークに変革</p>
電磁界解析/ 電磁界解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁界の大規模高速高精度解析技術，パワー用電磁界解析技術，及び多目的最適化やトポロジー最適化などの最適設計技術が開発され，各種電気機器，パワー用磁氣的受動部品の開発支援が行われている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁界の大規模高速高精度解析技術，パワー用電磁界解析技術，及び多目的最適化やトポロジー最適化などの最適設計技術をさらに高度化し，各種電気機器パワー用磁氣的受動部品の開発支援を行う</li> </ul>		

# カーボンニュートラル実現に向けた開発の課題

- 様々な課題を解決するために、多様な分野の人材と連携したR&Dの推進が必要
- 機器や装置の開発
  - 従来はAC中心 → DC/AC併用
  - 次世代のエネルギー供給ネットワークの変革：ハードも変革（供給側/需要側）
  - 「単に需要と供給を連系/つなぐ」機能から「電気・熱エネルギーをプールして配付する」機能へ
- 材料の評価・活用
  - 従来の材料 → 新しい材料（技術開発）
  - 材料評価だけでなく環境価値(CO2排出削減)も評価、サーキュラーエコノミー実現のための材料技術など
  - 脱SF6(代替ガス), 脱鉱油(植物油), …
- 様々な課題解決に向けて
  - 産官学連携、関連学会連携、ハイブリッド人材、オールジャパンでの協力（人をつなぐ役割：学会など）
  - 次世代のエネルギー供給ネットワークの変革を担う人的ネットワークの構築
  - カーボンニュートラル実現に向けた開発：様々な活躍の場，協創の場，成長の場，…

ご清聴ありがとうございました