広域系統整備に関する検討について

2022年6月3日
広域系統整備委員会事務局

目次

1．東地域の広域系統整備について
2．中西地域の広域系統整備について
3．今後の進め方

１．東地域の広域系統整備について
前回の振り返りと論点

- 第38回再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会において、北海道～本州間ルート新設の検討を加速することとされた。その全体の検討を加速化して進めるためには、国の検討と並行して本委員会においても検討可能な事項をご議論いただき、ここでの検討結果を国の調査などにフィードバックして連携する対応にて進めることとした。
- 今後、東地域の広域系統整備を検討していく上では、まず当面、多くの新設が期待される洋上風力など、再生可能エネルギーがどのエリアでどの程度導入が進むか、将来のレジリエンスや安定供給を考えた場合にどのような系統構成が必要か、コスト面や工期面では何が優位か、といった点で総合的に比較考慮し検討を進めていく必要がある。
- 現時点でどのような系統構成の選択肢があるか整理し、国と連携し計画策定プロセスの開始につなげたい。
- なお、海底直流送電の検討の加速化については、国における海域の実地調査結果やケーブルの敷設方法等の検討結果、更には一般送配電事業者における既存系統への影響評価等の検討結果などを踏まえて、広域機関における検討を実施するとしている。（スライド５参照）
- 計画策定プロセスの開始に先行して広域機関としても検討を進めるが、こうした検討結果が揃うことで計画策定プロセスにおける具体的な検討が可能となり、同時に、広域系統整備計画の策定に向けては国における事業実施主体等の検討も必要である。

第38回　再生可能エネルギー大量導入・次世代ネットワーク小委員会（2021年12月24日）資料1

系統増強に関する検討の加速について

- エネルギー基本計画における再エネ目標の大幅な引上げを実現するため、系統制約への対応はますます重要。足元は系統接続・利用ルールの見直しを行いつつ、中長期的には系統増強が不可欠。
- 2030年再エネ目標の達成等に向けて、系統制約への対応等が急がれる中で、既にマスタープランの中間整理において将来においてもメリットがあると考えられる**①北海道～東京／東北ルート新設、②九州～中国ルート増強、③中地域増強については、できる限り早期の計画策定プロセス開始に向けて検討を加速する**こととしてはどうか。
- 例えば、広範囲に及び大容量・長距離である等の理由から、既存系統への影響が大きく、関係者が広範にわたると見込まれる**①北海道～東京／東北ルート新設については、工事概要や概略ルート等の技術的な検討を更に深めるとともに、地内系統への影響評価等の検討を進め、系統整備に向けた事業実施主体に関する課題検討を直ちに始める**こととしてはどうか。

第39回 再生可能エネルギー大量導入・次世代ネットワーク小委員会（2022年2月14日）資料3

論点① 海底直流送電に関する検討課題と今後の進め方

- 2021年12月の本小委員会において、海底直流送電等については、できる限り早期の計画策定プロセス開始に向けて検討を加速するとされた。
- 今後、検討を加速化するため、以下の役割分担の下、検討を進めることとし、その進捗状況について、春頃を目途に報告することとしてはどうか。

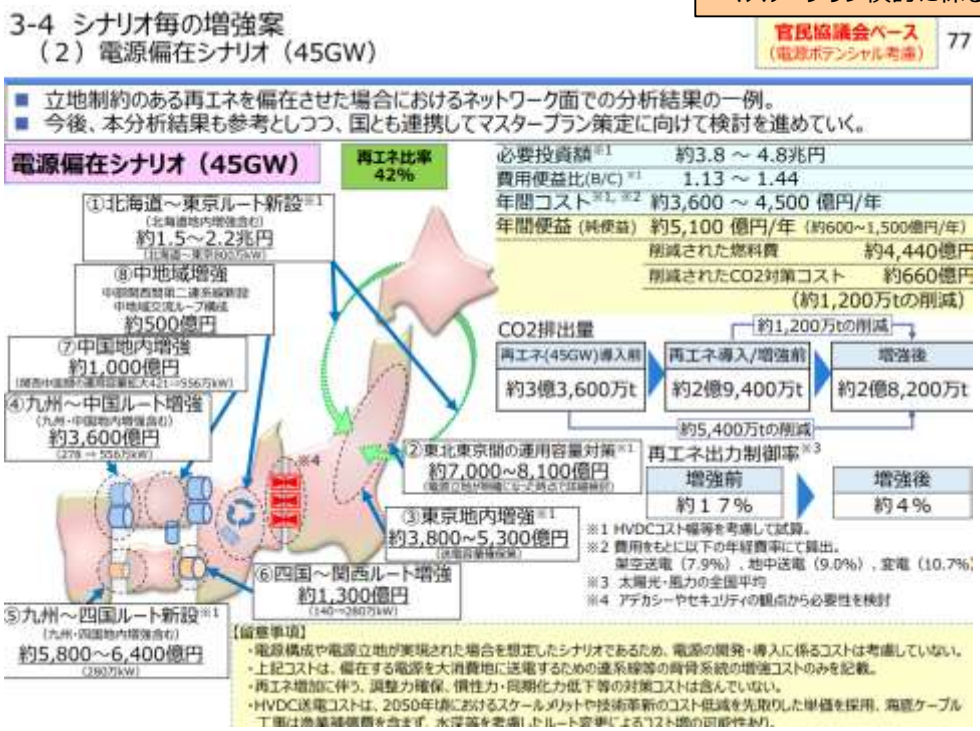
主な課題 ※1	主な検討事項	当面の検討 ※2
①事業実施主体等	・実施主体の組成 ・ファイナンス、費用回収	エネ庁
②先行利用者との関係等	・先行利用者等の特定 ・海域の実地調査等	エネ庁
③ケーブルの敷設方法等	・ケーブルの敷設方法等 ・メンテナンス手法の検討等	エネ庁
④既存系統への影響評価等	・地内系統への影響 ・地内発電機への影響等	一般送配電事業者 ※3
⑤敷設ルート・設備構成等	・②、③等を踏まえたコスト等の検討 ・再エネポテンシャルの整理（※） ・費用便益評価等	電力広域機関 （※）エネ庁とも連携

※１：主な課題を例示。他に追加的な課題があればあわせて検討を行う。
※２：計画策定プロセス開始後は、電力広域機関（広域系統整備委員会）を中心に検討
※３：エネ庁等から示す一定の前提条件を踏まえて検討

1．東地域の広域系統整備について
北海道～東京ルート新設の選択肢

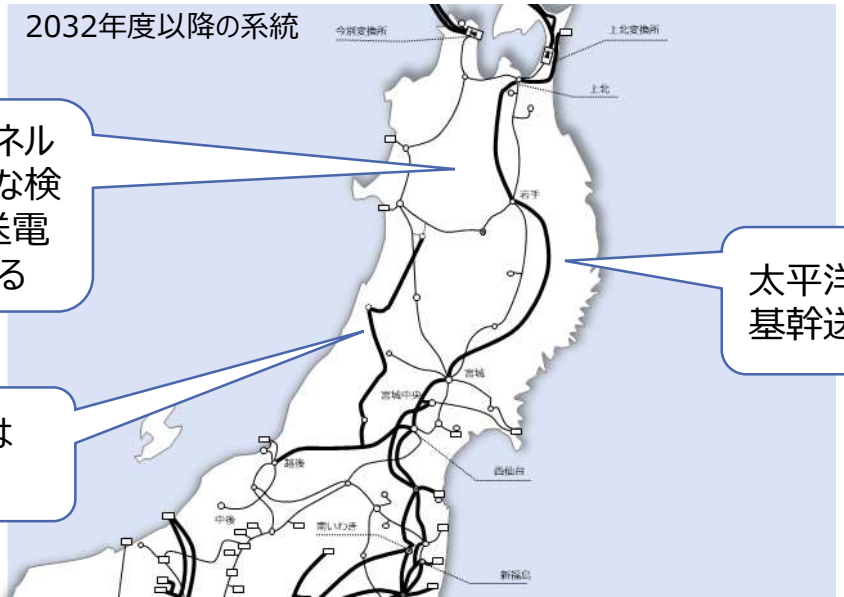
- 東地域の広域系統整備について、マスタープランの中間整理では最大800万kWの北海道～東京ルートの新設、東北東京間の運用容量対策、東京地内の増強などが示されている。
- 今後、マスタープランの最終とりまとめを踏まえ検討を行う必要があるが、現時点では北海道～東京ルート新設に対し、以下の選択肢について考え方を整理していくこととしたい。
  - ルート：日本海側ルート／太平洋側ルート
  - 接続エリア・工事ステップ：北海道-東京／北海道-東北-東京
  - 容量：1GW／2GW／4GW
  - 設備構成：双極（１ルート）／単極（２ルート）

マスタープラン検討に係る中間整理（2021年5月20日）



1．東地域の広域系統整備について
HVDCの系統構成 【海底ケーブルのルート：日本海側ルート／太平洋側ルート】

- 東北エリアの500kV基幹送電線は太平洋側を縦断しているが、日本海側は275kV系統となっている。今後、秋田までの500kV基幹送電線の増強計画があるものの、更なる再生可能エネルギーの導入拡大では東北東京間の同期安定性が低下し、再生可能エネルギーの抑制も多くなることが想定される。再生可能エネルギーの導入拡大には、東北エリア全体での500kV基幹送電線のループ化が有効と考えられる。
- 特に今後の洋上風力の導入見込みに対しては、地内系統とHVDCの両方を考えつつ、効率的な接続を考える必要がある。
- 後述のHVDCの多端子化の整理にもよるが、北海道日本海側に洋上風力の大規模な導入見込みがあること、北海道の既設地内系統の規模などを踏まえると、HVDCと北海道系統との接続点は日本海側が優位となる。
- また、東日本大震災では設備被害が少なかった日本海側の送電ルートから復旧した観点を踏まえると、地震・津波による設備損壊リスク等を考慮して日本海側ルートとする方が、レジリエンス上は優位である。
- 一方、太平洋側ルートは海底ケーブルの敷設距離及び工期が短くなるが、地内系統の増強などを含めた工期やコストを想定した場合、特に北海道地内の系統増強規模が大きくなる可能性がある。



地内系統に接続する再生可能エネルギーの導入拡大には今後一体的な検討が必要となるが、500kV基幹送電線のループ化には更に時間が掛かる

太平洋側に500kVの基幹送電線

日本海側の500kV基幹送電線は2032年度に秋田まで延伸予定

1．東地域の広域系統整備について
HVDCの系統構成 【海底ケーブルのルート：日本海側ルート／太平洋側ルート】

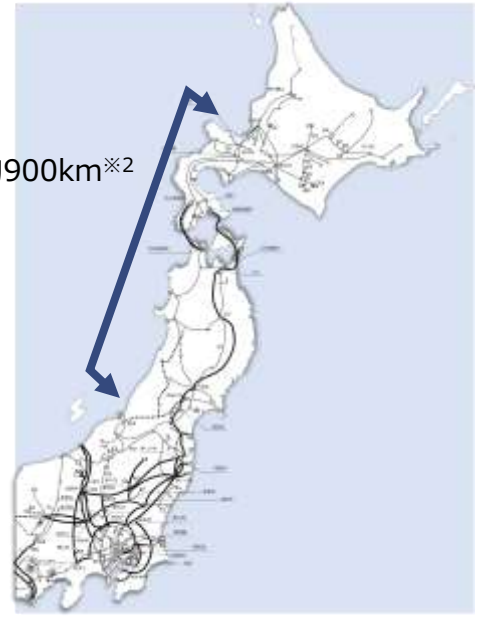
- 将来的な増強に向けては、日本海側ルートと太平洋側ルートは分散させていくことが想定されるが、最初の増強として、現時点での定性的な評価では、日本海側ルートに優位な点が多い。
- 特に今回の広域系統整備が再生可能エネルギーの導入を期待するものと考えれば、日本海側ルートの検討が急がれるのではないか。
- ただし、日本海側ルートについても国の海域実地調査を踏まえて有効な海底ルートがあることが前提※1であり、加えて、将来的な再生可能エネルギー導入に向けたエネルギー政策の方向性を加味する必要があれば、国での議論も必要になると考える。

※１　現在、国において詳細な海域実地調査を実施中であり、これらの結果を踏まえて施工方法などを決定することになる（9スライド参照）。

太平洋側ルート

再生可能エネルギー拡大
レジリエンス
の優位性
≪

日本海側ルート



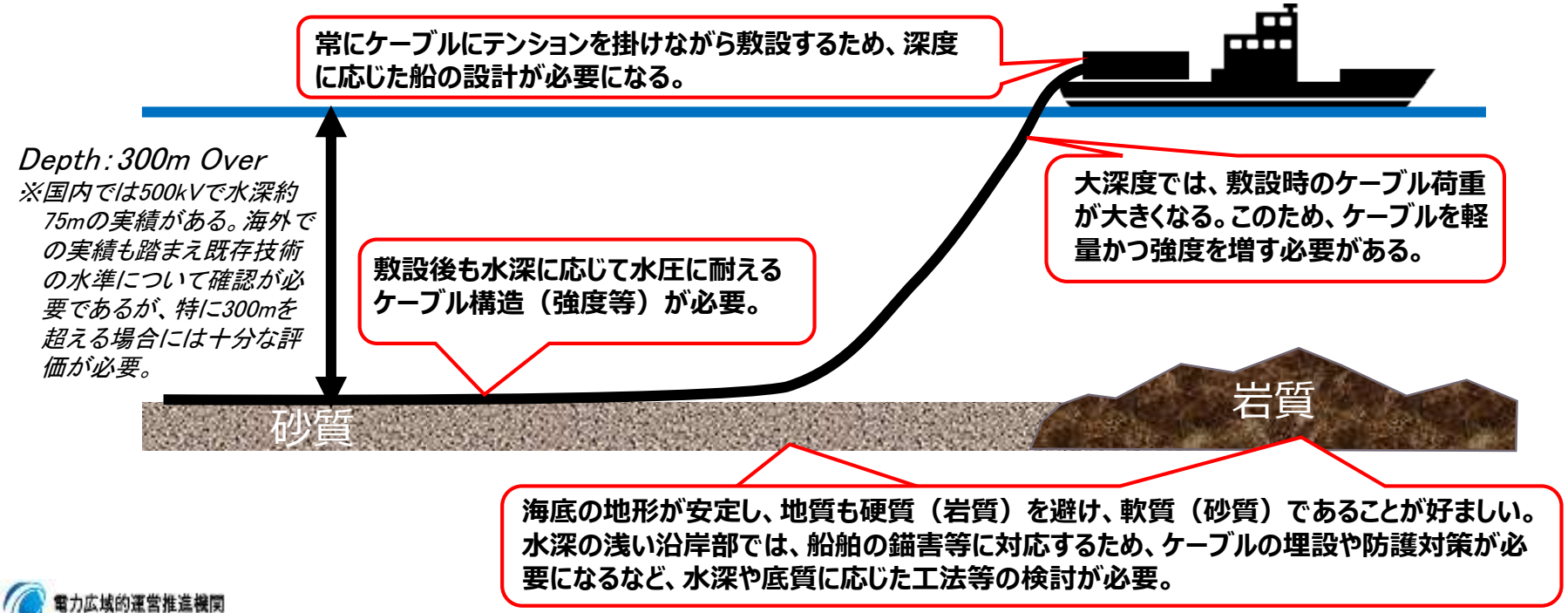
※2　2022年4月22日　第6回 長距離海底直流送電の整備に向けた検討会
資料4 「NEDO調査事業洋上風力等からの高圧直流送電システムの構築・運用に関する調査概要報告」より

（参考）ルート調査の重要性

第60回広域系統整備委員会資料を再構成

- 世界にも類を見ない長距離の海底ケーブルの工事については、まずはその技術的課題を明確にし、実現可能な工事とするため、しっかりとした海域実地調査を行う必要がある。
- 実現可能性に関して、以下の点について評価を行うことが重要。
  - (1) 敷設工事中にケーブルに損傷を与えることなく、無事に**工事を完遂できる敷設工法の目途**があること
  - (2) ケーブルが**敷設後に長期にわたって損傷なく信頼度を維持できる**こと
  - (3) 万一のケーブル損傷時にも、**適切な復旧措置を行うことができる目途**があること
- これらの評価により海底ケーブルの敷設が可能かつ、長期信頼性を維持できると見込めるルートを選定することが不可欠となる。

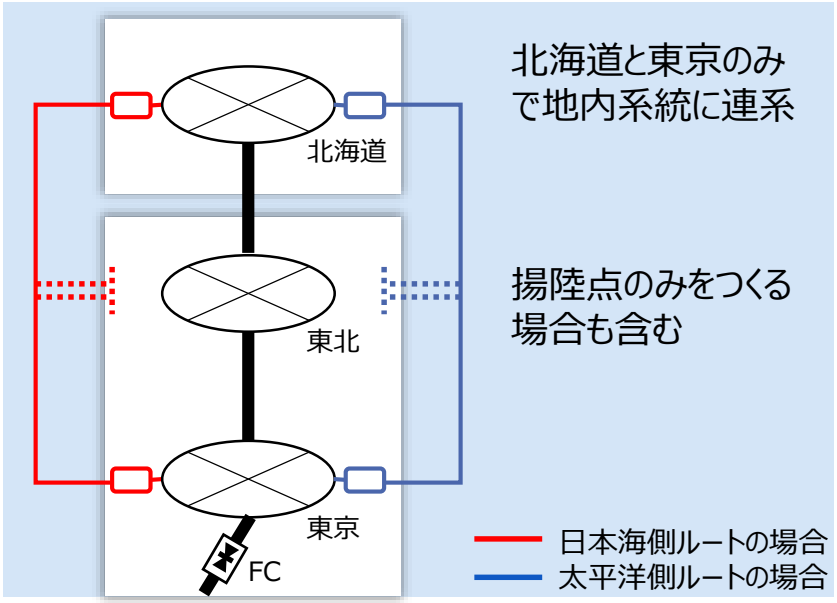
ルート選定における技術的評価のポイント

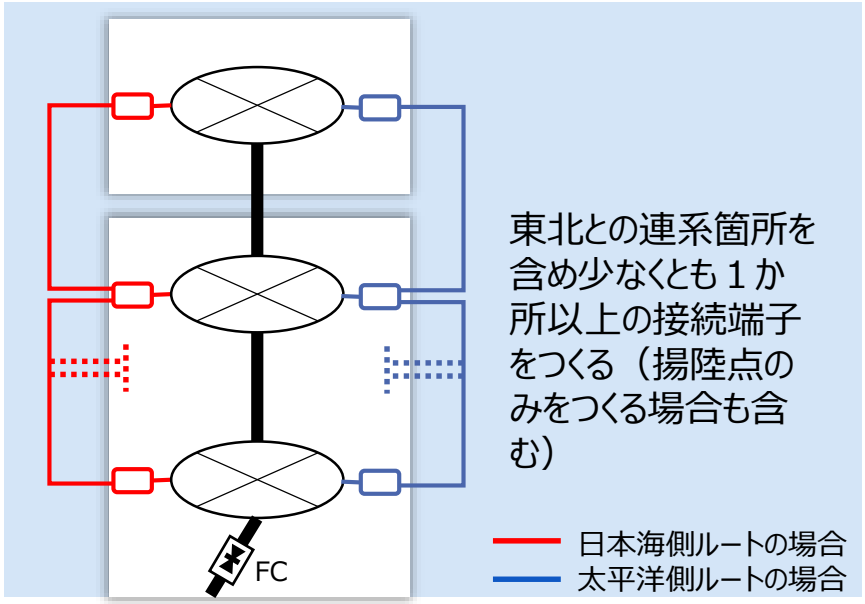


1．東地域の広域系統整備について
HVDCの系統構成【HVDCの接続エリア・工事ステップ】

- 北海道～東京間の増強に関して、東北エリアとの接続をすべきか（または将来接続することを想定しておくべきか）という点も論点である。
- HVDCのルートを検討する上での東北の地内系統との接続要否は、地内系統の増強や再生可能エネルギーの抑制率のバランスも考えて検討を行う必要がある。
- 特に接続エリアの多端子化を想定する場合には、当初の計画時点で端子（交直変換所）数や地点など、一定程度事前に決める必要がある。

【HVDCの接続エリア】



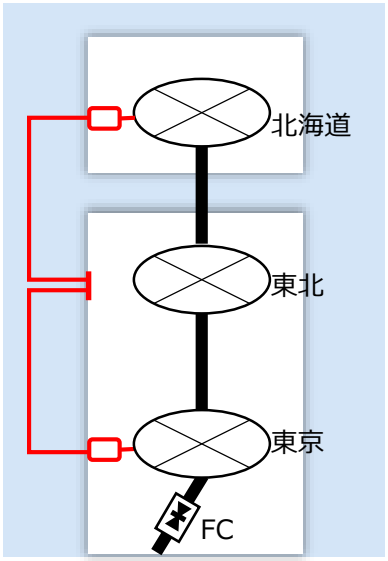


1．東地域の広域系統整備について
HVDCの系統構成【HVDCの接続エリア・工事ステップ】

- 早期に運開させていくことを考える場合、接続エリアや多端子化を検討する上で、これらを段階的に増強していくことも考えられるが、場所によってケーブルの揚陸点のみやHVDC端子と地内系統との連系を使い分けていくことで複数のステップが想定される。
- 今後、段階的な増強によって得られる効果（再生可能エネルギーの出力制御の低減効果など）、コスト、工事リスクなど様々な観点から、段階的に工事を実施していくことの得失を評価・検討することとしたい。

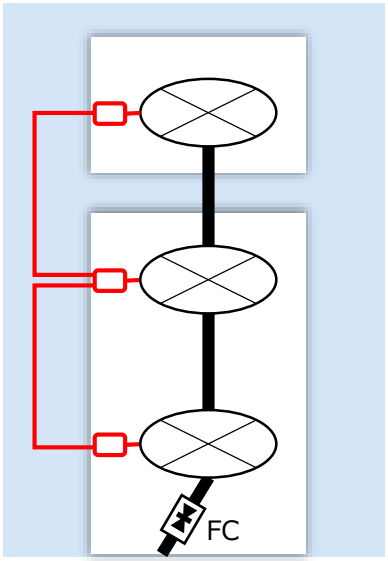
【段階的に進める例①】

（第一段階）



ケーブルの揚陸のみ

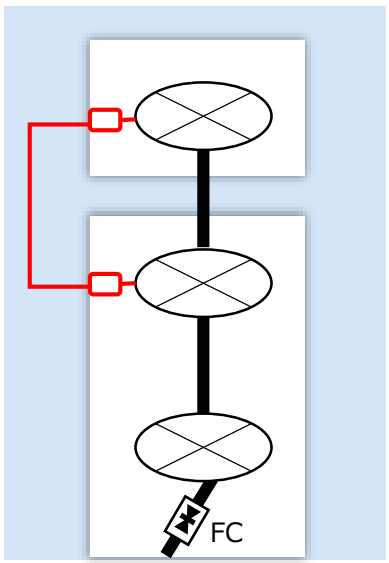
（第二段階）



東北エリアと接続

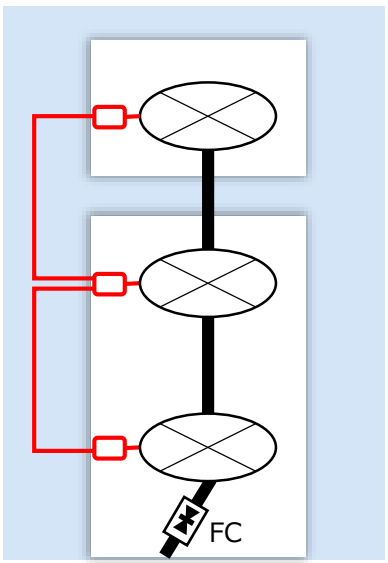
【段階的に進める例②】

（第一段階）



北海道-東北間を接続
（東北-東京間を先に接続する場合も含む）

（第二段階）

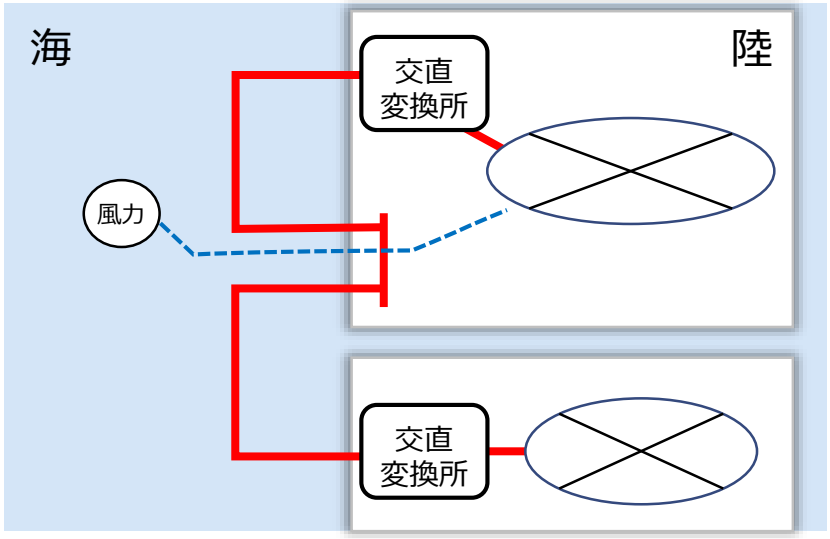


東北-東京間を接続

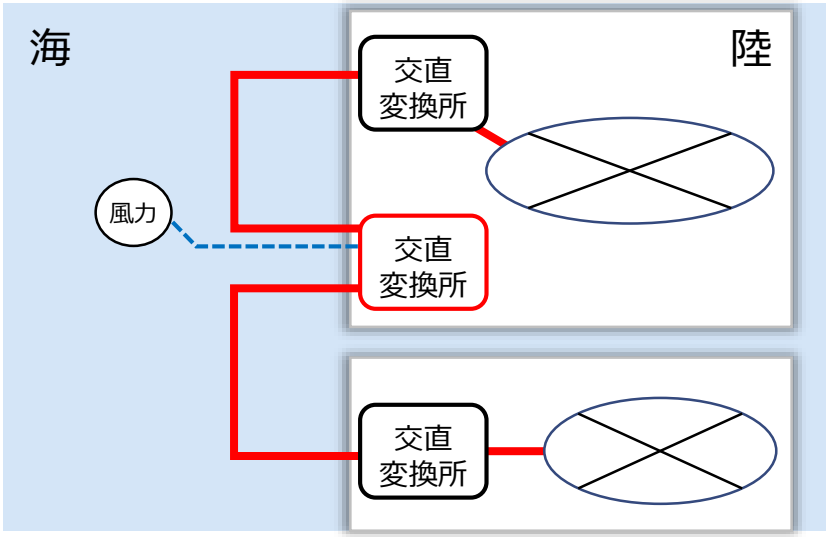
1．東地域の広域系統整備について
HVDCの系統構成【HVDCの接続エリア・工事ステップ（多端子化）】

- 海底ケーブルの敷設にあたり、前回ご議論いただいた「洋上風力をHVDC接続することによる多端子化」の論点がある。この多端子化に向けた議論は重要ではあるものの、多端子化によるコストの増加や、技術開発段階の検討でもあることには十分留意すべきである。
- そのように考えると、計画時点では、将来的な多端子化を想定したケーブルの回路構成として揚陸地点を選定するという選択肢もある。
- その結果、ケーブルを揚陸することによるコスト増は生じるものの、洋上風力の開発動向を踏まえた対応が可能となり、例えば、地内の交流系統に接続できる余地があれば、海底においてケーブルを交差させるのではなく、揚陸点でケーブルを交差することで補修のリスクを避けつつ、地内系統に接続することができる。
- 一方、洋上風力を地内交流系統に接続することが難しい場合には、揚陸地点に端子（交直変換所）を増設した上で洋上風力をHVDCに接続するということも可能となる。

多端子での構成イメージ
（ケーブルの揚陸のみの場合）



多端子での構成イメージ
（交直変換所を増設する場合）

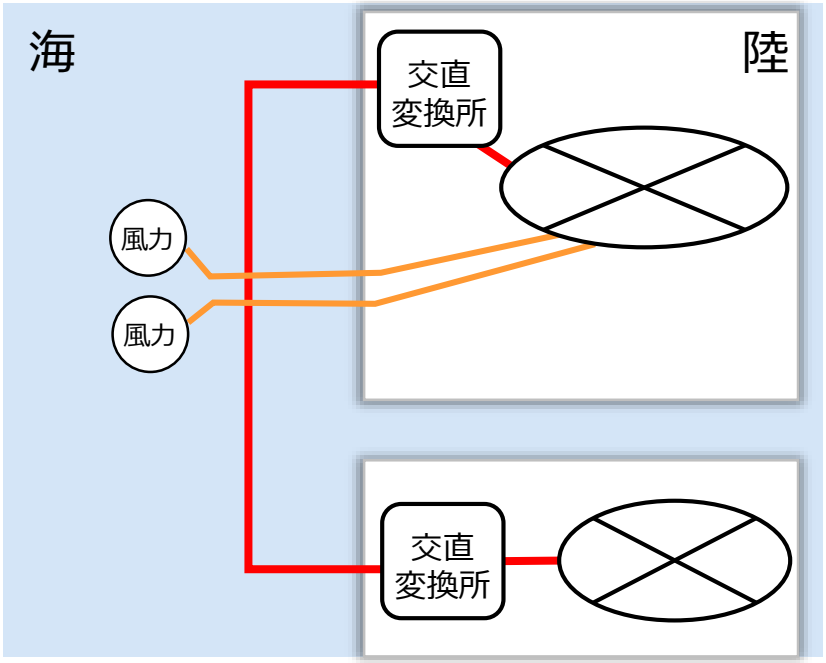


（参考）HVDCの多端子化

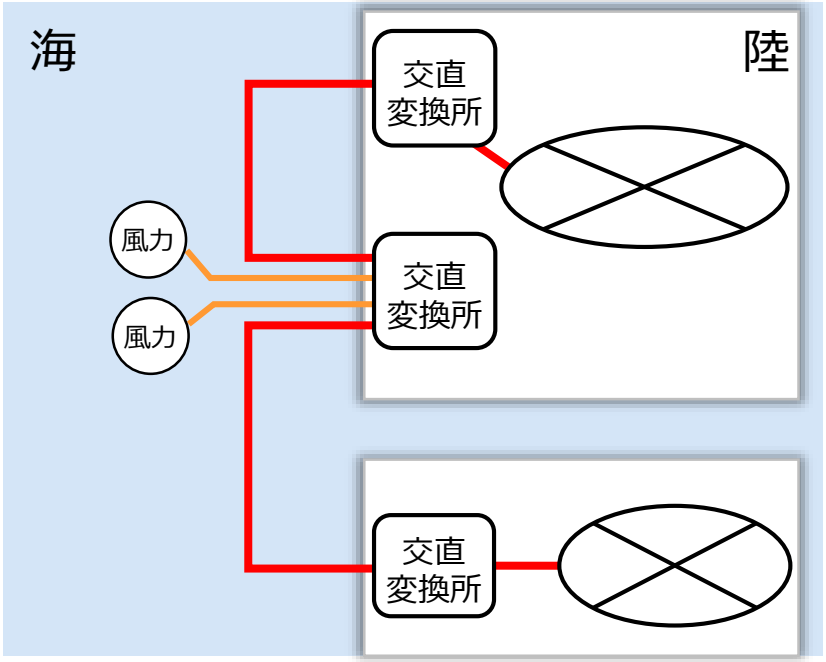
第60回広域系統整備委員会資料を再構成

- 多端子の直流送電システムは長距離ケーブルに複数箇所の接続点を設けることで、ケーブル事故時等における故障個所の特定や長期設備停止リスクの低減も期待できる。
- HVDC送電ルートが洋上風力の区域より沿岸側となる場合には、洋上風力のアクセス線が海底において交差することになり、ケーブル損傷事故等の補修を考慮すると、洋上風力のアクセス線とHVDCルートの交差を回避することも検討する必要があるか。
- 一方、NEDO研究開発事業の多用途多端子直流送電システムは新技術であり、基盤的な技術開発として一部実機を組み込んだシミュレーションを実施している段階である。実プロジェクトへの適用には、基盤的な技術開発を終えた後にも実際の回路構成に応じた開発やDCグリッドコードの整備などの課題があり、NEDO研究開発事業の完了する23年度までに実装できる目途がなければ、直ちに着工することも難しくなる。

マスタープランの中間整理の構成イメージ



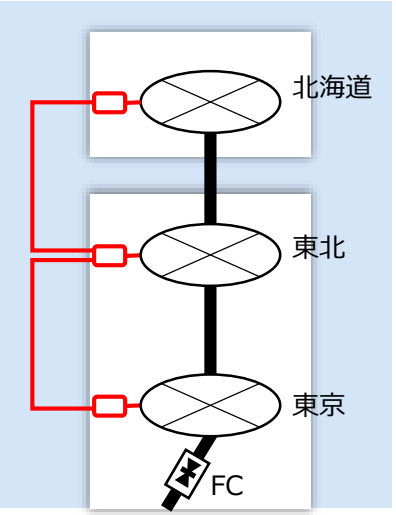
多端子での構成イメージ
（交直変換所を陸上に設置する場合）



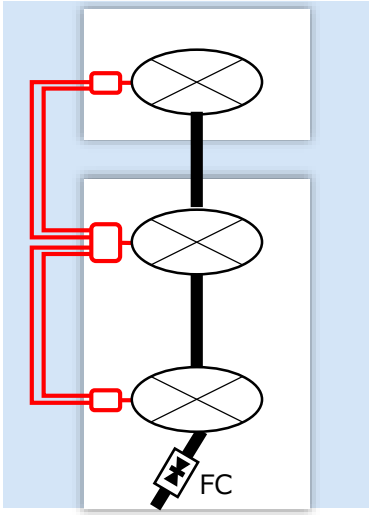
1．東地域の広域系統整備について
HVDCの系統構成【直流送電の設備構成：双極（１ルート）／単極（２ルート）】

- 直流送電の設備構成では、本線２本と帰線１本で構成する双極と、本線２本で構成する単極が想定される。
- 例えば、HVDCの容量を２GWとする場合、双極２GW×１ルート、単極１GW×２ルートのコスト、施工面などの比較検討を行い選択することとなる。
- また、現在行われている多端子の技術開発は単極を想定して実施されており、双極多端子に洋上風力を接続するには技術開発が必要となることから、多端子の実現性も考慮する必要がある。

【直流送電の設備構成】

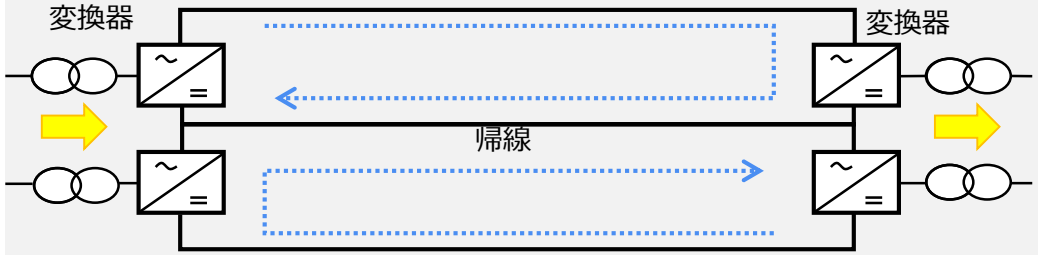


双極（１ルート）
［本線２本、帰線１本］

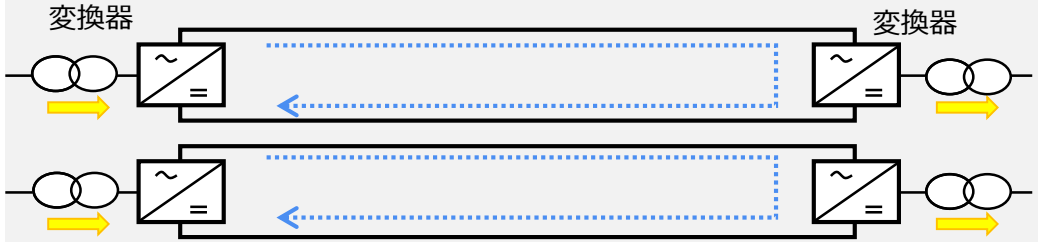


単極（２ルート）
［本線２本×２］

⑥双極(1ルート) (本線２本、帰線１本)

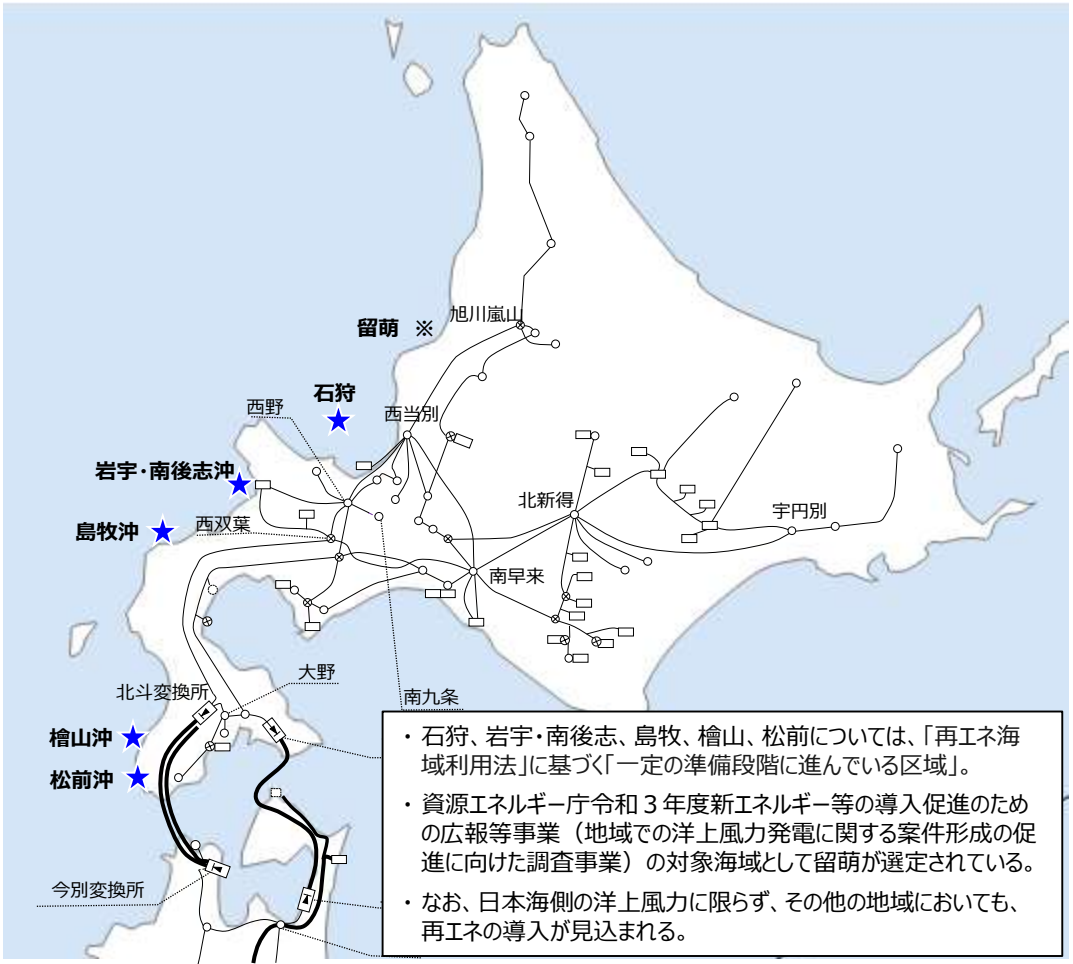


⑦単極(2ルート) (本線２本×２)



1．東地域の広域系統整備について
HVDCの系統構成

- 北海道エリアの日本海側の規模が大きい洋上風力の導入見込みを踏まえた系統構成については、地内系統への影響、用地確保面やコスト面等を踏まえ、洋上風力を地内系統への接続するケースと多端子でHVDCに接続するケースについて比較検討していきたい。
- 洋上風力の規模が大きいことから、北海道全体の風況ではなく、個別地点の風況を考慮した評価を行うことも検討したい。

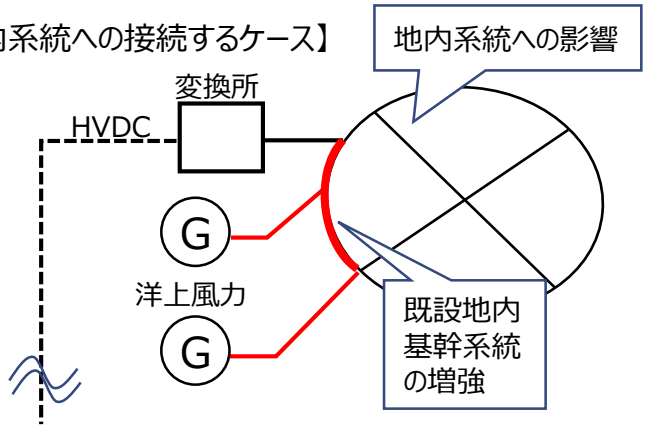


・石狩、岩宇・南後志、島牧、檜山、松前については、「再エネ海域利用法」に基づく「一定の準備段階に進んでいる区域」。

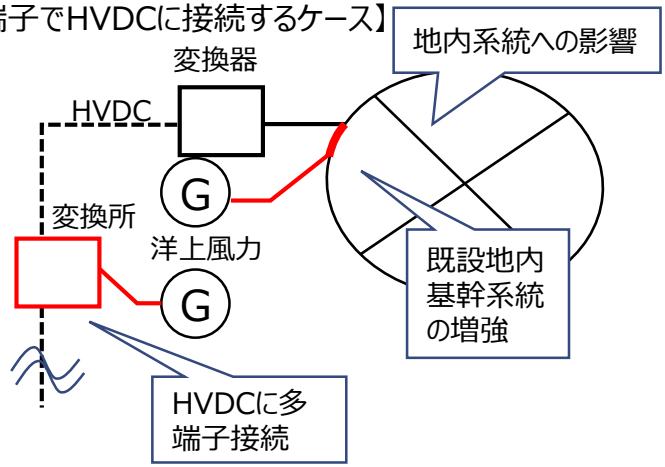
・資源エネルギー庁令和３年度新エネルギー等の導入促進のための広報等事業（地域での洋上風力発電に関する案件形成の促進に向けた調査事業）の対象海域として留萌が選定されている。

・なお、日本海側の洋上風力に限らず、その他の地域においても、再エネの導入が見込まれる。

【地内系統への接続するケース】



【多端子でHVDCに接続するケース】



目次

1．東地域の広域系統整備について
2．中西地域の広域系統整備について
3．今後の進め方

2．中西地域の広域系統整備について

- 関門連系線の増強については交流設備とする案、直流設備とする案、および九州四国間を直流設備でつなぐ案があると考えられるが、今回、連系線を直流設備とした場合の事故時運転継続維持能力に対して確認を行った。
- 交流系統事故時のルート断となるリスクを確認した結果、自励式変換設備を採用すれば、転流失敗リスクや再起動失敗リスクが原理的にないことを確認した。

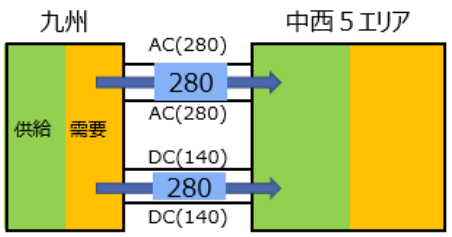
第60回　広域系統整備委員会（2022年4月8日）資料１-1

3．中西地域の広域系統整備について
九州～中国ルートの直流送電の検討について

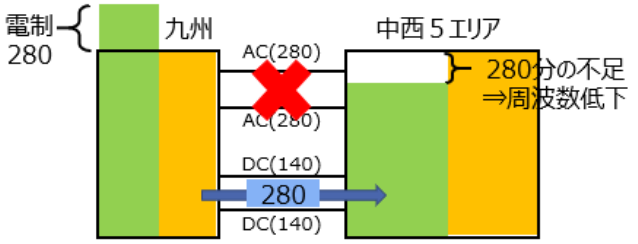
- まずは、500kV交流海底ケーブルの製造上の困難さについて確認が必要と考えられる。また、製造可能な場合でも、海底のルート調査を実施した上で、ルートの再検討を行う必要があるが、仮に交流送電でケーブルの亘長が50kmを超える場合、充電電流の影響を大きく受けるため、直流送電も検討対象になると考えている。
- その直流送電を既存の交流連系線近傍に設置した場合、交流連系線の事故の影響を受けて直流送電も停止し、ルート断となるリスクがある。そのため近年導入が進められている自励式直流送電設備の運転継続維持能力などについても、有効性について今後確認を行う。また、既設の交流連系線との距離をとることで対策となり得る可能性もあり、その場合、マスタープランの検討で示していた九州~四国ルートについても選択肢となる。
- また、新たに設置する連系線を直流設備とした場合、交流ルート断時に関門以東での周波数低下となる可能性が解消されないことから、これらの影響についても更なる技術検討を行いたい。

○関門第二連系線を直流設備とした場合

【平常時】



【交流ルート断事故時】



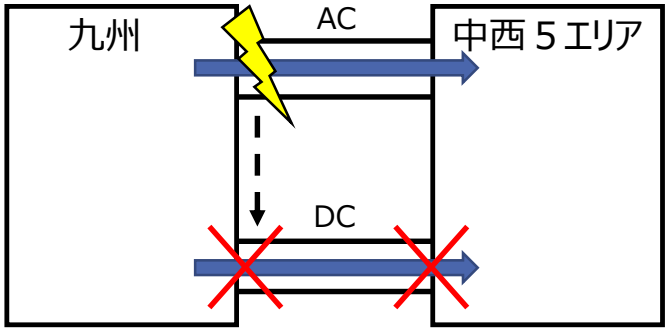
( )は1回線あたりの設備容量　単位[万kW]

直流には回り込みがないため余剰分の電制が必要

需要によっては50Hz側からの緊急融通を受けても周波数低下に至る可能性あり
⇒事前に交流送電線に流せる容量を制限

（参考）自励式変換設備の運転継続性

○交流連系線の事故の影響について

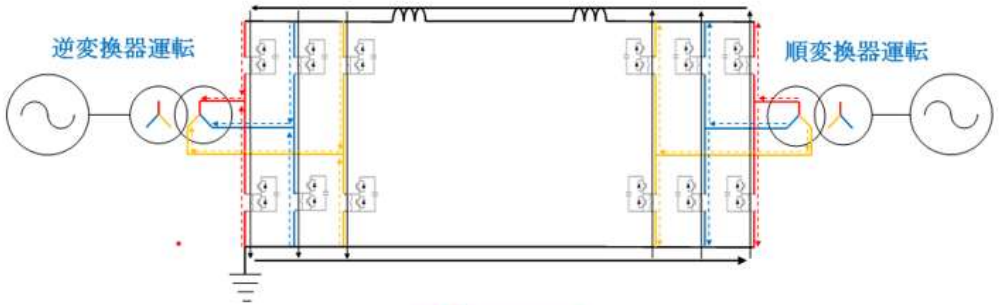


交流側の事故の影響(電圧低下)により万一、再起動が失敗した場合、中西5エリア側の大幅な周波数低下を招く可能性がある。
⇒自励式変換設備の運転維持機能により、再起動の失敗は原理的に回避可能

メーカー提示資料

1. 自励式変換装置の運転原理

- 自励式変換器の運転制御は、直流回路と交流回路が独立して行われる。
- 融通電力の授受は、送電端の順変換と受電端の逆変換器の電圧差で流れる直流電流を制御し直流回路のみで行われ、一旦逆変換器に充電される。
- 逆変換器は、その充電された電力を使って、交流側に電力を融通する。
- 自励式変換器では、変換器自身でオン、オフを行うため、交流電圧が低下しても、その間も変換器は安定運転が可能である。
- 両端の変換器共、有効電力の融通と同時に交流系統の電圧制御が可能である。



（参考）自励式変換設備の運転継続性

- 事故時の自励式変換設備の運転継続性について国内メーカー２社に確認したところ、ゲートブロックをした場合でも、事故除去後は速やかに既定の送電が可能（数十ms後）となるため、交流連系線事故時において直流設備のルート停止は生じない見解であった。
- 連系線を直流とする選択肢も採り得ることが確認されたため、交流案も含め費用便益面で有利となる案を見定めていく。

主な確認内容

Q1．至近の交流系統事故により電圧が低下している際、運転継続は可能なのか。
A1．事故除去までの70ms程度のオーダーであれば、自装置で電圧を確立しているため他励式のように転流失敗というものがなく、原理的には可能。
ただし予期せぬ異常電圧等によるCBトリップ（運転停止）を避けるため、事故中はゲートブロックを行うようにしている※。
※ 詳細な事前解析により、ゲートブロックも不要とできる可能性あり

Q2．ゲートブロック後に再起動に要する時間はどの程度か。また、再起動失敗という可能性はあるのか。
A2．変換設備としては、事故除去後3サイクル以内で既定の電力の送電が可能。また、再起動失敗は、事故除去がなされた上では可能性はない。

目次

１．東地域の広域系統整備について
２．中西地域の広域系統整備について
３．今後の進め方

【東地域】

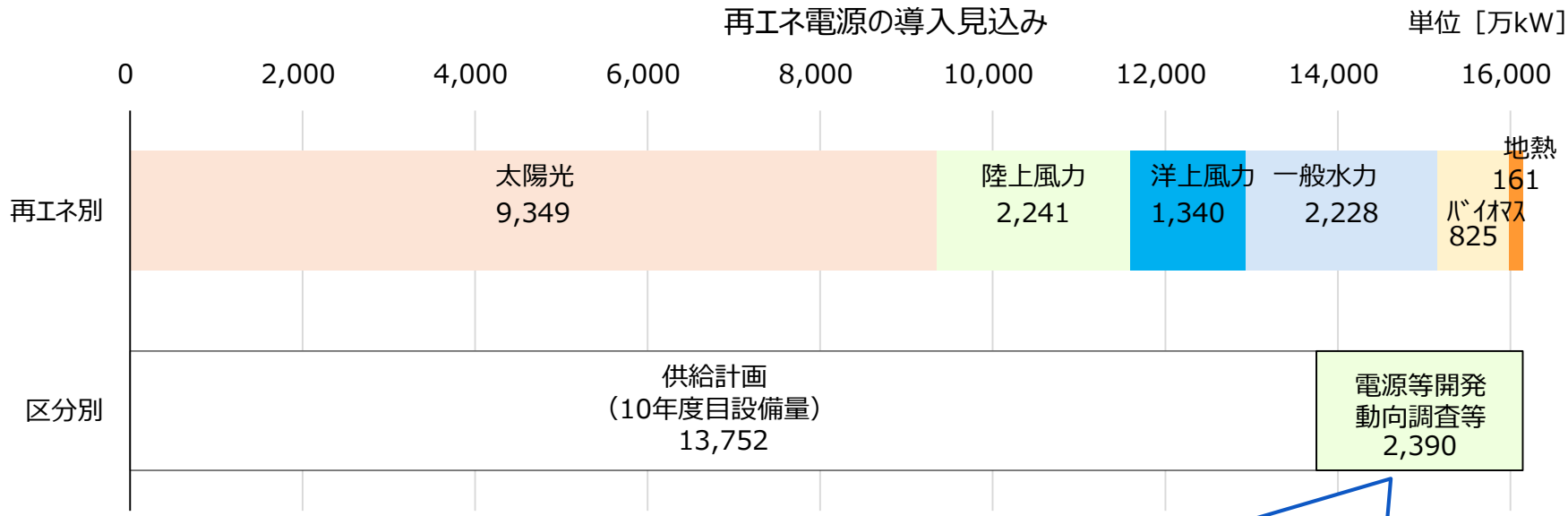
- 今回のHVDCプロジェクトの事業実施主体となり得る事業者には、設備規模（投資額等）、調査・研究要素なども踏まえれば、高度な経営判断が求められることになる。そのため、国において海域実地調査を始め、プロジェクトの組成に向けた検討を進めているところである。
- 計画策定プロセスにおいては、こうした検討の状況を踏まえて、具体的な計画に落とし込み、基本要件や事業実施主体などを決定する必要がある。
- 一方で、HVDCプロジェクト全体の検討を加速する観点から、広域機関としても検討可能なものについては国の検討状況に合わせて進めていくこととしたい。
- HVDCの系統構成や設備構成は、様々な案が考えられるが、国のエネルギー政策における再生可能エネルギーの導入、レジリエンスを踏まえた構成とする必要があり、今回の整理を踏まえ、国と連携し検討を進めていくこととしたい。
- また、一般送配電事業者の協力を得ながら、HVDCを接続することによる地内系統への影響（周波数や安定度面など）や当該影響等を踏まえた効率的な設備形成について検討を進めることとしたい。

【中西地域】

- 引き続き、連系線の交流/直流、中国-九州間/四国-九州間など系統構成や技術的課題等について、検討を進めることとしたい。

（参考）再エネ電源の導入見込み

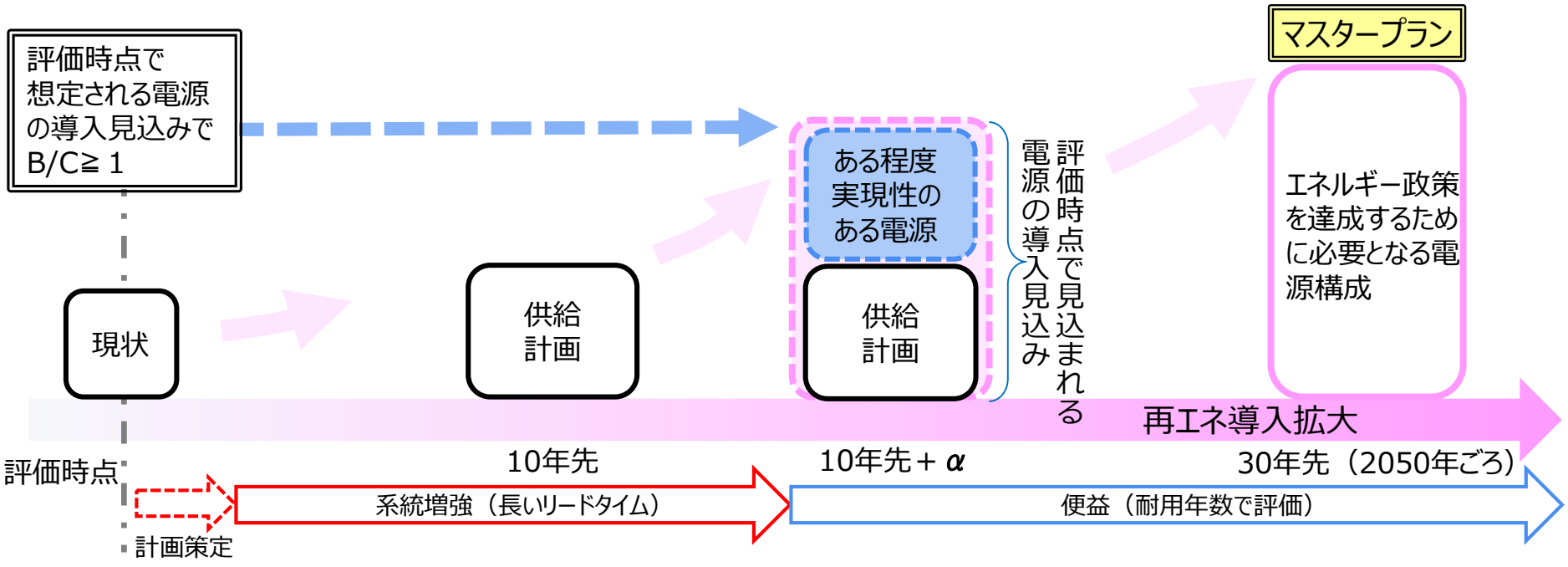
■ 費用便益評価においては、供給計画（10年度目の設備量）と電源等開発動向調査等より積み上げた電源の導入見込みを用いることとする。

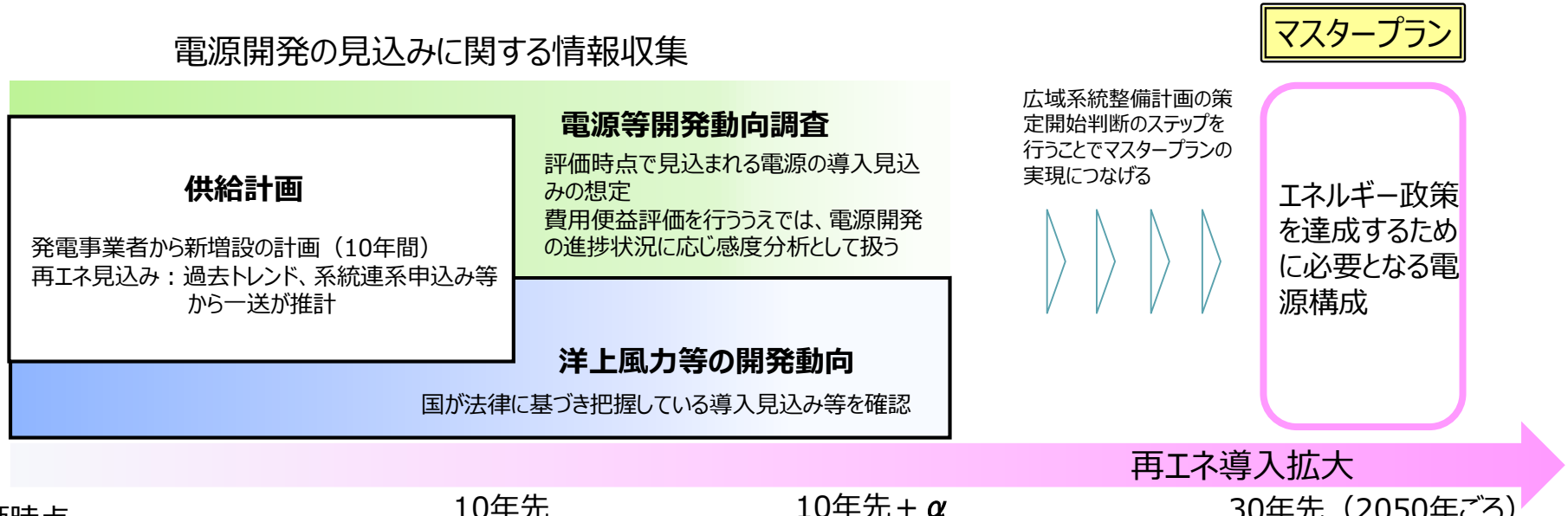


- 電源等開発動向調査等により、洋上風力・陸上風力を中心に、供給計画（10年度目設備量）に約24GWの再エネ電源が積み増された。
- なお、電源等開発動向調査等の電源の導入見込み量には、回答がなかったもののエネ庁や一般送配電事業者によって把握している電源を追加している。
- また、供給計画との重複している案件を排除するとともに、地点が重複していると思われる案件についても、重複を排除している。

（参考）電源の導入見込み（考え方）

- マスタープラン（長期展望）で示す広域連系系統のあるべき姿は、電源の導入見込みとの協調を図った合理的な設備形成（プッシュ型）にて実現する必要があり、具体的な整備計画として進める際には、如何にして将来の系統混雑を想定し増強判断を見極めていくかが重要な視点となる。
- マスタープランの電源の導入見込みには電源開発の実態がまだないものも含まれている。このため、整備計画の具体化の判断時点の費用便益評価は、系統増強に必要な期間も勘案して10年より先を見越して、政策実現の観点も踏まえつつ、ある程度実現性がある電源の導入見込みを想定したうえで実施し、整備計画の具体化を進めていく必要がある。



（参考）電源の導入見込み

- 広域系統整備計画の策定開始判断に必要な情報として重要になるのは、将来の電源開発がどの程度の実現性を持って見込まれるかという点である。
- 広域機関は、供給計画により1,000kW以上の発電所の新増設の計画（10年間）を把握している。これは当然変更があり得るものであるが、電気事業法に基づく届出であり、一定の信頼性をもった情報といえる。
- また、洋上風力の開発動向は、再エネ海域利用法に基づき国が把握する区域での発電事業の蓋然性を判断しており、一定の信頼性をもった情報といえる。
- これらの電源開発の情報を基礎に置きつつ、 足元の1,000kW未満の電源や、10年超の開発を検討している電源に対しても電源等開発動向調査を実施することで、情報を補完する。