

「次世代洋上直流送電システム開発事業」

(中間評価)

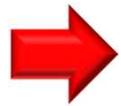
(平成27年度～平成31年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

平成29年10月10日

NEDO

スマートコミュニティ部



I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

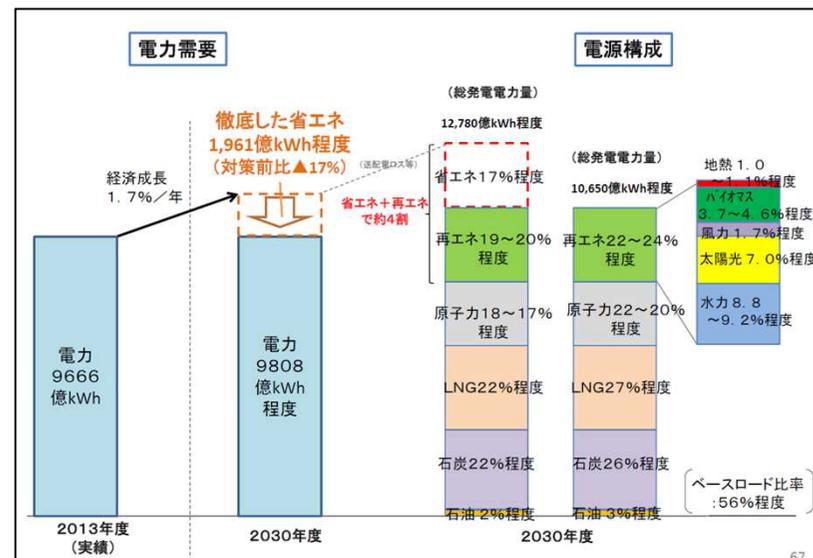
- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆ 事業の背景



2030年度の電力の需給構造



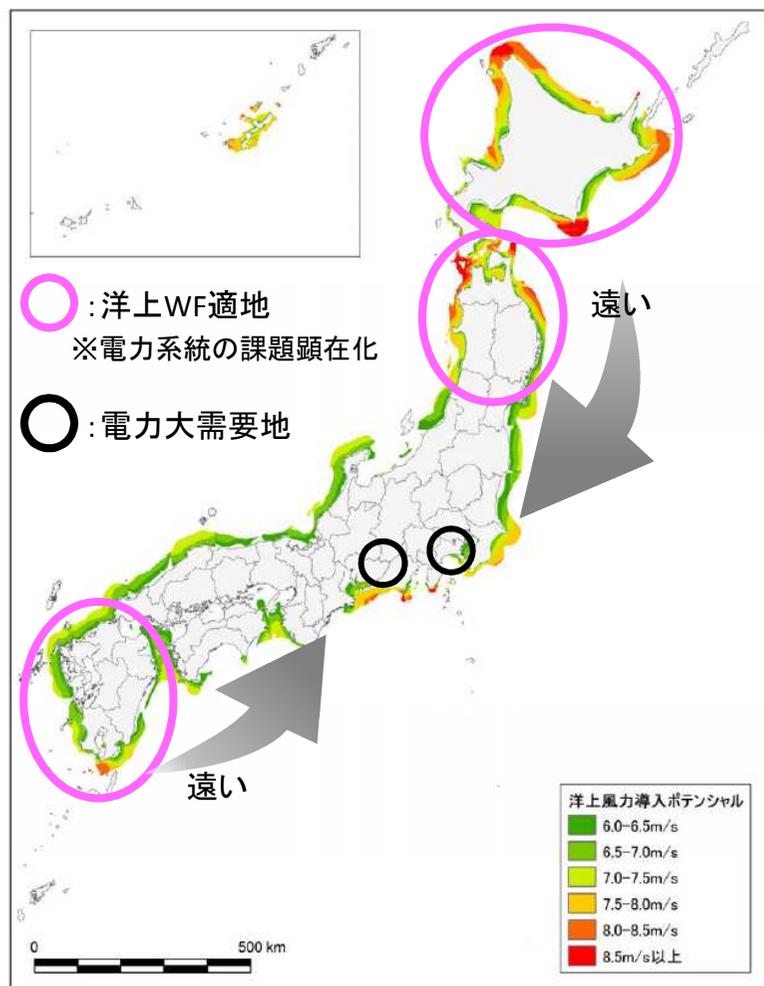
出典:「長期エネルギー需給見通し」、経済産業省、2015年7月

- エネルギーの安定的な確保と温室効果ガス削減に向けて、再生可能エネルギー(再エネ)の導入拡大は重要
- 長期エネルギー需給見通しの早期実現のみならず、2030年以降も再エネを導入し続けることが重要
- 風力発電は大規模に開発できれば経済性を確保できる可能性があるエネルギーであり世界では導入が加速
- 陸上風力の導入可能な適地が限定的な我が国において**洋上風力発電の導入拡大は不可欠**

洋上風力発電の優良なポテンシャルを有効活用した
大規模な洋上ウィンドファーム(WF)導入が必要

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆洋上風力発電の導入ポテンシャル



- 開発不可条件を控除した洋上風力のポテンシャルは約1,380百万kWと推計
- 離岸距離が大きくなると水深が大きくなるため沿岸に帯状に分布
- 電力大需要地から遠方に多くのポテンシャルが存在(北海道・東北・九州で全体の70%)

ポテンシャル推計における開発不可条件

区分	項目	開発不可条件
自然条件	風速区分	6.5m/s未満
	離岸距離	陸地から30km以上
	水深	200m以上

出典:「平成25年度 再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書」(環境省、2014年8月)にNEDO追記

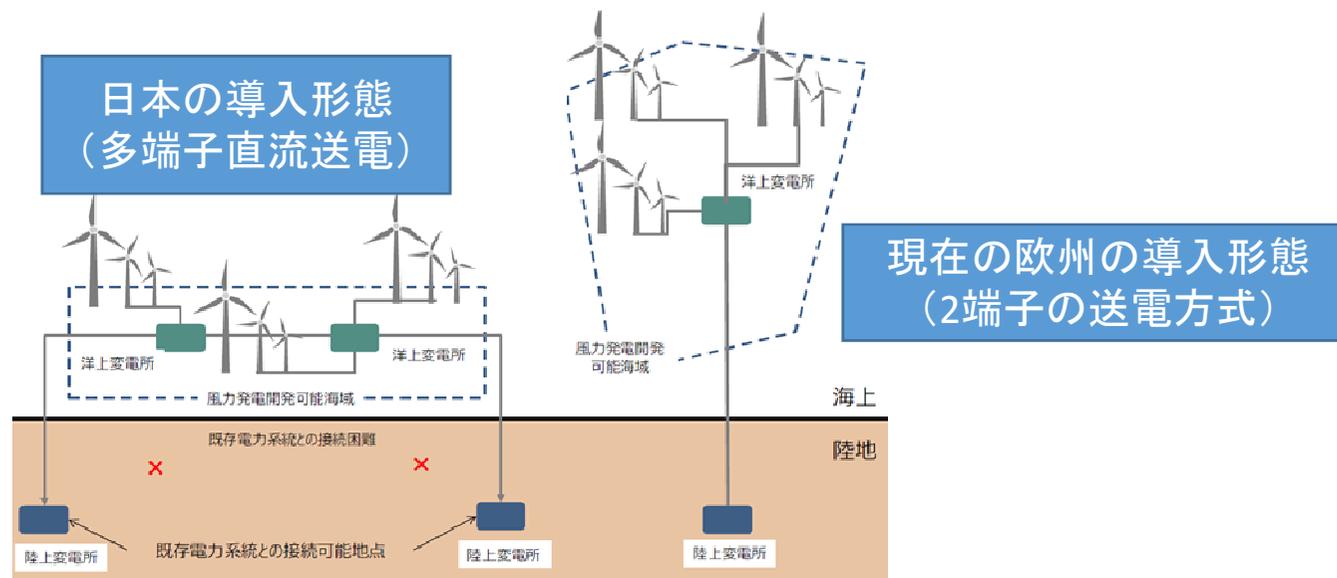
1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆多端子直流送電システムの必要性

- 北海道、東北、九州において系統の空き容量不足および周波数変動の課題が顕在化し、系統の送電容量の増加、発電事業者側の出力制御や調整力の確保など課題
- 大規模洋上WFを設置する場合、**現在の**欧州のように遠浅な海域に面的に、かつ遠方に拡大する形態ではなく、沿岸に帯状に洋上WFが順次導入されていくと想定



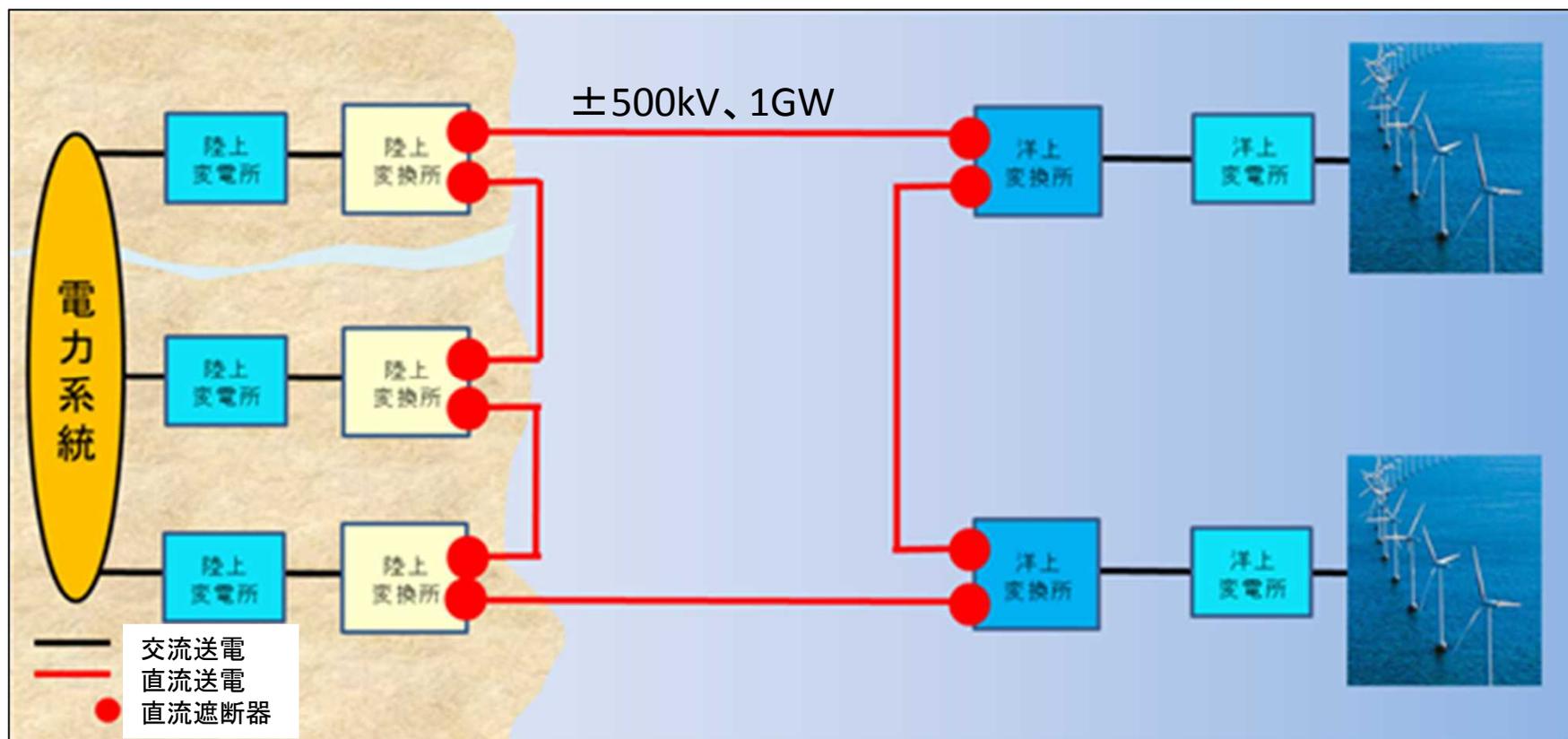
- **複数の洋上WFと既存の比較的大きな電力系統や需要地とを多端子で接続し、効率的に送電することが可能な多端子洋上直流送電システムが大規模洋上WFの導入拡大に必要**
- 多端子洋上直流送電システムの導入形態は、順次拡張しながら導入すると想定。従って、複数のメーカーが参入してシステム構築する可能性が高く、**マルチベンダ化**に向けた取組みが必要
- 洋上風力の導入拡大を目指す欧州も多端子直流送電システムの実用化に向けた取組みを進行中



1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆事業の目的

- 高い信頼性を備え、かつ低コストで実現する世界トップクラスの送電容量(電圧 $\pm 500\text{kV}$ 、容量 1GW)を有し、マルチベンダ化にも対応した多端子直流送電システムと必要な要素技術を開発
- 今後の大規模洋上風力の連系拡大・導入拡大・加速に向けた基盤技術の確立が目的



1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

- 陸上風力の導入可能な適地が限定的な我が国において**洋上風力発電の導入拡大は不可欠**
- 洋上風力発電の導入拡大に向けての技術開発、インフラ整備などの推進が必要
- 大容量を長距離送電可能な送電システムを開発する本事業の果たす意義大

エネルギー基本計画(2014年4月)

再生可能エネルギーを受け入れるための地域内送電線や地域間連系線が必要となることから、まず、風力発電事業者からの送電線利用料による地域内送電線整備に係る投資回収を目指す特別目的会社の育成を図っていく。また、出力変動のある再生可能エネルギーの導入拡大に対応するため、電力システム改革において新たに広域的運営推進機関を設置し、周波数変動を広域で調整する仕組みを導入するとともに、同機関が中心となって地域間連系線の整備等に取り組む。

中長期的には、陸上風力の導入可能な適地が限定的な我が国において、洋上風力発電の導入拡大は不可欠である。

また、浮体式洋上風力についても、世界初の本格的な事業化を目指し、福島沖や長崎沖で実施している実証研究を進め、2018年頃までにできるだけ早く商業化を目指しつつ、技術開発や安全性・信頼性・経済性の評価、環境アセスメント手法の確立を行う。

地球温暖化対策計画(2016年5月)

北海道や東北北部の風力適地では、必ずしも十分な系統調整力がないことから、地域間連系線などの系統整備や系統運用の高度化等に向けた技術開発に取り組む。

中長期的には、陸上風力の導入可能な適地が限定的な我が国において、洋上風力発電の導入拡大は不可欠であり、港湾区域等において着床式洋上風力の導入を促進するとともに、浮体式洋上風力発電についても、世界初の本格的な事業化に向けた実証研究などの取組を進める。

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

海洋基本計画(2013年4月)

第2部 海洋に関する施策に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策

1 海洋資源の開発及び利用の推進

(2) 海洋再生可能エネルギーの利用促進

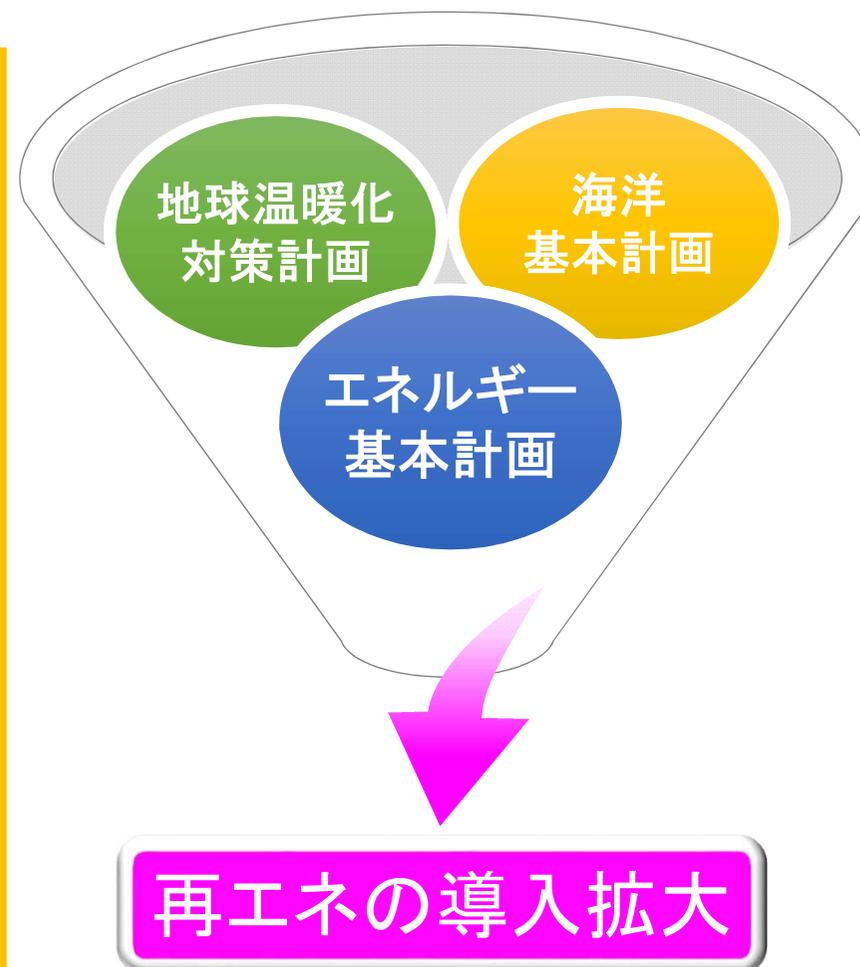
- 銚子沖及び北九州沖で着床式洋上風力発電システムの実証研究を実施
- 長崎県沖で浮体式洋上風力発電システムの実証研究を実施
- 福島県沖で浮体式洋上ウインドファームの実証研究を実施
- 浮体式洋上風力発電施設について、平成25年までに安全ガイドラインを策定するとともに国際標準化策定を主導

7 海洋科学技術に関する研究開発の推進等

(1) 国として取り組むべき重要課題に対する研究開発の推進

エ 海洋再生可能エネルギーの開発に関する研究開発

洋上風力発電の実用化と導入拡大のため、技術開発及び実証を推進する。また、専用船等のインフラや、基盤情報など、洋上風力発電の普及のための基盤整備を推進する。



エネルギー基本計画を始めとした上位政策の
目標達成に本事業は大きく寄与

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆他の洋上風力事業との関連性

- NEDOでは、洋上風力発電の実用化に向けた様々な技術開発を行っており、着床式洋上風力発電については実証事業を実施
- 並行して洋上風力の大規模導入に向けた我が国へ適用可能な最適な送電技術を開発することも必要であり本事業がその位置づけ

年度	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度
調査	FS調査											
実証研究		洋上風況観測システム実証研究(銚子・北九州)										
		洋上風力発電システム実証研究(銚子・北九州)										
		風車大型化						次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究				
研究開発			超大型風力発電システム技術研究開発									
								洋上風況観測システム実証研究(洋上風況マップ)				
								洋上風力発電システム実証研究(低コスト施工)				
							洋上風況観測技術研究開発					
導入支援			洋上ウインドファームFS		着床式洋上ウインドファーム開発支援事業							
						地域共存型洋上ウインドファーム基礎調査						
系統技術								次世代洋上直流送電システム開発事業				

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較(1)

- 大容量(±500kV、1GW)のマルチベンダ・多端子直流送電システムは国内外で導入例がなく、欧州においても更なる再エネ導入を進めるため、多端子直流送電システムの実用化に向けた国家プロジェクトが2件進行中
- 直流送電システムに関する特許出願は、欧州メーカーによる件数が最も多く、2013年より件数が大きく伸長

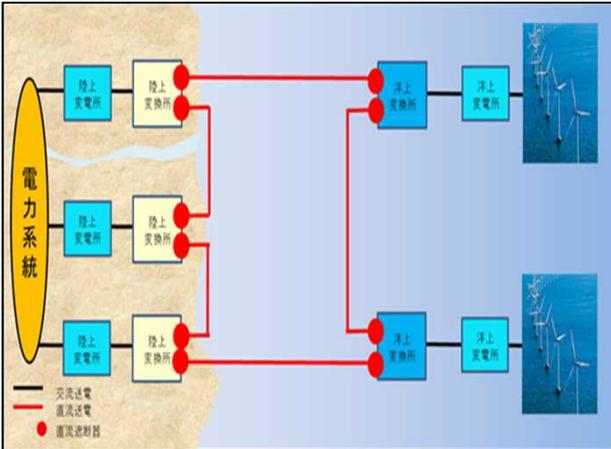
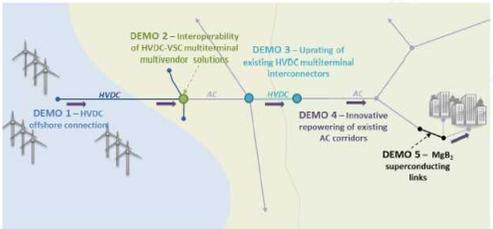
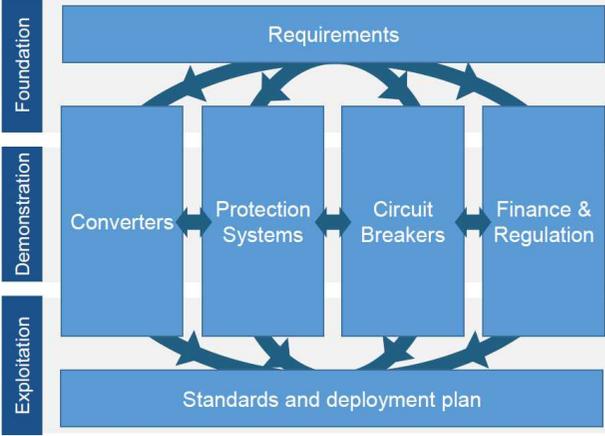
直流送電技術の国際競争力を確保していくためにも本事業が必要

	プロジェクト名	2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (H31)	2020 (H32)
EU	Best Paths 予算総額:62.8M€=約81億円							
EU	PROMOTioN 予算総額:51.7M€=約67億円							
日本	次世代洋上直流送電システム 開発事業 予算総額:約48億円(予定)							

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較(2)

※比較表の赤字は共通項目

次世代洋上直流送電システム開発事業	Best Paths	PROMOTioN
 <p>電力系統</p> <p>交流送電 直流送電 直流変換器</p>	<p>LARGE SCALE DEMONSTRATIONS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. HVDC in offshore wind farms and offshore interconnections 2. HVDC-VSC multivendor interoperability 3. Upgrading multiterminal HVDC links 4. Innovative repowering of AC corridors 5. DC Superconducting cable 	
<ul style="list-style-type: none"> 多端子洋上直流システムの計画、設計、経済性評価、事業性評価手法の開発、国内の洋上WF導入に向けた制度・ルールの整理 マルチベンダを適用した、システム制御手法、保護方式の開発、事故検出方法の検討 マルチベンダ化に向けた自励式交直変換器のインターフェイス仕様など開発。 直流遮断器の実用化に向けた開発 DC525kVに対応した海底ケーブル、及び中間ジョイント、異径ジョイント、異社間連系分岐ジョイントの開発 海底ケーブル敷設工法の高速度開発 大水深に適用可能な洋上PF基礎(スカートサクソン工法)の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 洋上WF接続したマルチベンダ、多端子HVDCシステムにおける潮流制御などをアナログモデルを用いて検討。4端子DC gridを60kVAのMMC-VSC実機で構築して試験 マルチベンダHVDC-VSCシステムにおける相互運用に向けた取組。ABB, siemens, GE (ALSTOM)が参加。モデル解析(リアルタイム解析含む)を通して、自励式HVDCシステムのインターフェイス仕様を開発(標準化) イタリアのSACOI: 3端子HVDC(LCC3端子)からVSC-MMCへのアップグレードを見越した実証。再エネの拡大、系統安定化に貢献 	<ul style="list-style-type: none"> メッシュ洋上系統のシステム要求事項の検討 DR(Diode Rectifiers)とVSC及び洋上風車との相互運用の検証 直流系統の保護手法の開発(異メーカー連系、直流遮断器含む) 直流遮断器、試験方法の開発 国際連系、洋上送電系統 HVDCシステム、HVDCシステムが接続された洋上風力発電設備の標準化 将来の欧州の洋上系統の配備計画の立案

本事業は、多端子直流送電システムの実用化に必要なシステム開発、要素技術開発のみならず、国内への導入に必要な設備仕様の検討や要素技術開発も行っていること、低コスト化に向けた様々な技術開発を実施している点が強みであり、将来、国内市場への参入を優位に進められると期待。

1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

◆NEDOが関与する意義

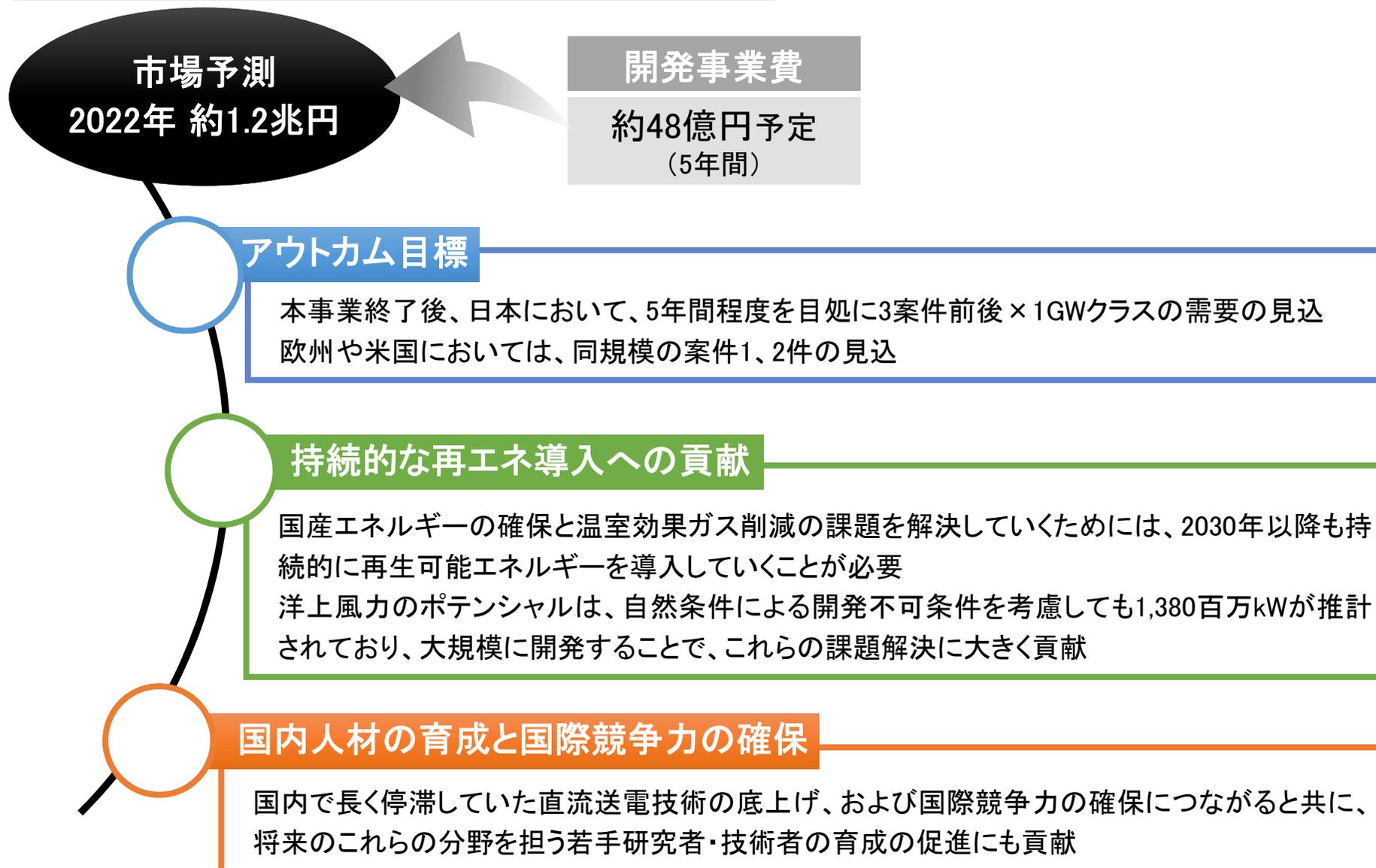


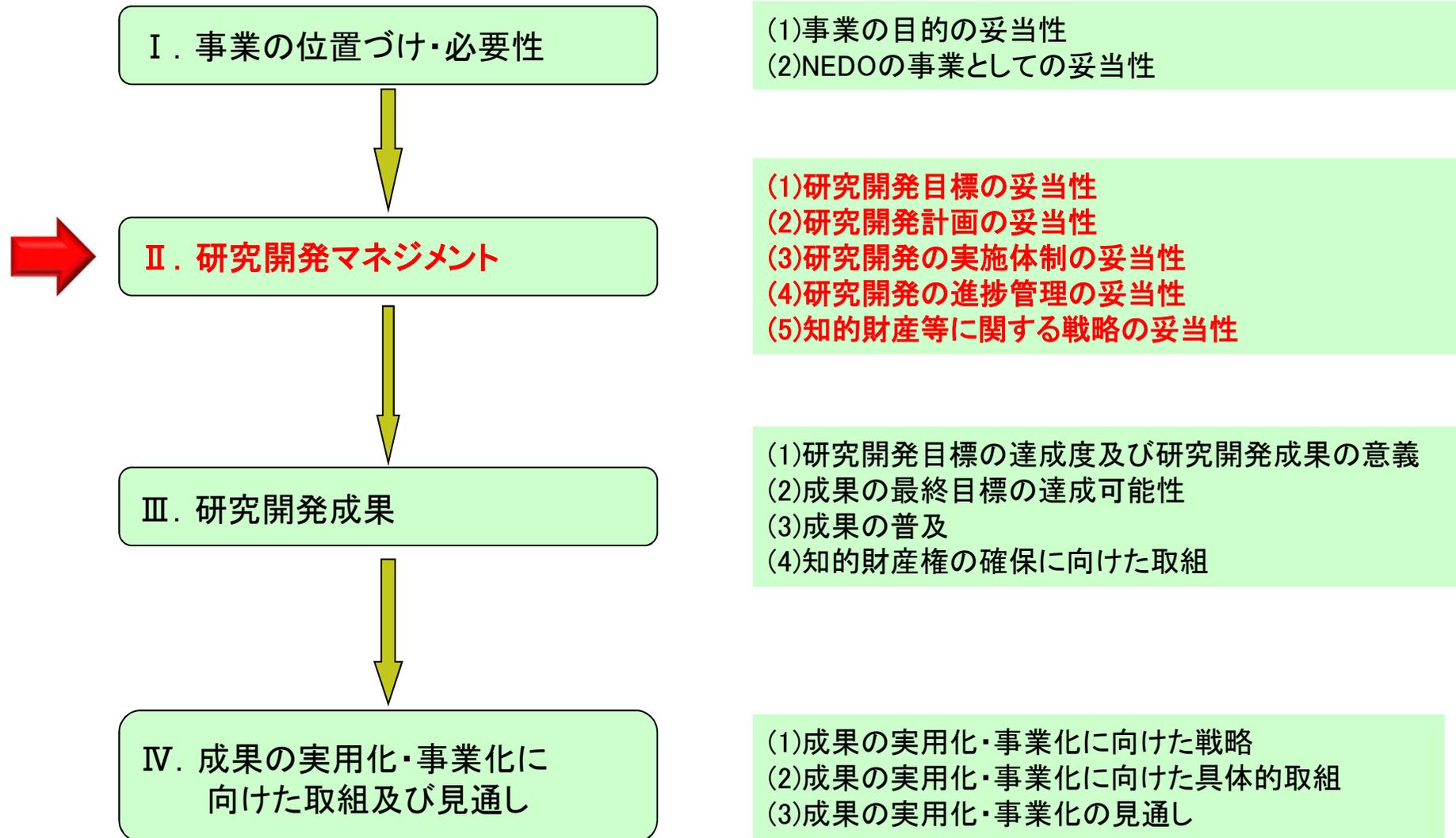
- 世界で実用化されていない世界トップレベルの送電容量(±500kV、1GW)となる多端子洋上直流送電システムの実用化にはシステム開発と要素技術開発を協調して取り組むことが必要
- マルチベンダ化に向けた取組みには競合企業の参画が必要
- 再生可能エネルギーの持続的な導入推進のためには、国家主導で競合企業も含めた産学連携での開発体制が必要

NEDOが持つマネジメント実績を活かして、産学官体制で推進すべき事業

1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

◆実施の効果(費用対効果)





2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆事業の目標

研究開発項目Ⅰ.システム開発

●中間目標

システム開発として多端子洋上直流送電システムの設計・調達・建設(EPC)と運転・保守(O&M)等を検討した結果を使い、また、多端子洋上直流送電システム向けに要素技術開発するコンポーネントの特性を使い、モデルケースの可能性検討を行い、既存の交流送電システムに対して、コスト削減割合20%を得る。

●最終目標

多端子洋上直流送電システムのモデルケースから、導入を想定した1~3ケースを選択・システム設計し、また、要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプにおいて試験された信頼性データと、それらコンポーネントを選択したモデルケース向けに設計した特性を用いて、**既存の交流送電システムに対して、平均稼働率(信頼性)等を含めたコスト削減割合20%以上の導入モデルケースを完成する。**

研究開発項目Ⅱ.要素技術開発

●中間目標

多端子洋上直流送電システム向けに新たに必要となるコンポーネントのプロトタイプ設計と試作、性能試験を行い、モデルケースから要求される特性を得る。あわせて、既存の交流送電システムに対して、モデルケースのコスト削減割合20%へ貢献する。

●最終目標

要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプの信頼性試験を行い、また、選択されたモデルケースに向けた設計と特性検討、あるいは、設計と試作、性能試験を行い、それらコンポーネントの仕様を完成する。あわせて、既存の交流送電システムに対して、そのモデルケースの平均稼働率(信頼性)等を含めたコスト削減割合20%以上へ貢献する。

•2. 研究開発マネジメント (2)研究開発計画の妥当性

◆研究開発項目 I . システム開発の概要

【開発内容】

システム開発では、日本海域の洋上風力適地へ大規模洋上WFを複数地点導入することを仮定し、経済性を考慮した洋上WFの集電系統と送電系統の計画・設計などを行う。また、多端子直流送電システムの解析モデルを開発し、自励式直流送電システムの制御・保護方式などの確立に向けたモデル解析を行う。さらに、マルチベンダー化に向けては、多端子直流送電システムの制御において特に重要となる、自励式交直変換器の異メーカーでの相互連携を可能とする標準仕様書の検討を行う。

【具体的な研究開発内容】

3.1 国内への洋上WF導入における前提条件の整理

我が国の自然条件や社会条件などの洋上WF設置における絞り込み条件を設定し、洋上風力のポテンシャルの高い地域を整理する。

3.2 洋上集電系統/500kV直流系統の計画・設計

複数の大規模洋上WFからの電力を効率的に集電し、需要地へ送電するための、我が国への導入ケースを具体的に検討することを目的として、①効率的な集電方式の計画、設計、②送電系統の計画と設計を行う。

3.3 多端子直流送電システムの制御・保護方式の開発、設備の要求仕様の検討

異メーカー間の連系を前提とした制御・保護方式、標準仕様を検討することを目的とし、洋上WFと交流系統とを結ぶ多端子直流送電システムにおいて、自励式交直変換器の制御・保護方式および標準仕様を明らかにする。さらに、我が国への導入を前提とした設備が有すべき耐電圧、電流レベルなどの仕様を明らかにする。

・2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発項目Ⅱ. 要素技術開発の概要

【開発内容】

要素技術開発では、低コストで高信頼性を兼ね備えた多端子洋上直流送電システムを実現する上で必要となる直流遮断器、そして、従来技術よりコスト低減が見込めるケーブルジョイントや敷設工法、洋上プラットフォーム基礎などの新技術を開発する。

【具体的な研究開発内容】

3.4 直流遮断器の開発

通常に通電時の損失が低く、高速に遮断が可能となる、ハイブリッド遮断器の開発を行う。

3.5 海底ケーブル関連技術開発

海底ケーブル敷設・防護管取付けの自動化・高速化の開発、拡張時のケーブル接続を容易にするなどの特徴をもつケーブルジョイントや接続工法、ダイナミックレイティング技術を用いたケーブル設計技術を開発する。

3.6 洋上プラットフォーム新形式基礎の基盤技術開発

我が国の海底地質に適し、短工期と低コスト化および撤去の容易さを兼ね備えた新型の洋上プラットフォーム基礎の開発を行う。

3.7 洋上プラットフォーム小型化の検討

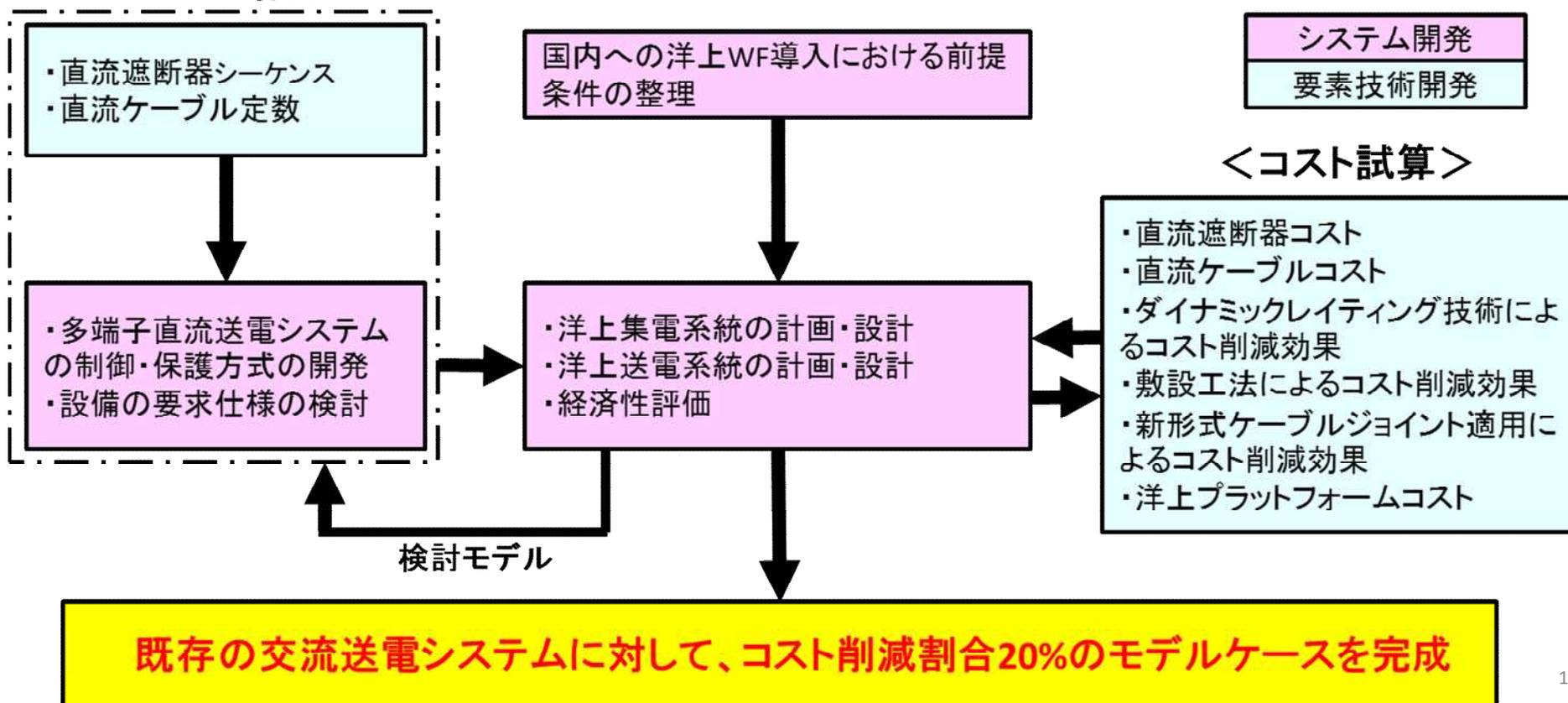
次世代の技術として洋上設備の低コスト化への貢献が期待できる、高周波変圧器を用いた自励式変換モジュールの小型軽量化の基盤技術開発、洋上風力発電の直列接続方式の開発などを行う。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 目標達成までの開発フロー

1. 国内の海域に大規模洋上WFを2～3地点設置した場合を想定した洋上集電系統と洋上送電系統の計画と設計を実施
2. 要素技術開発からのコスト情報を盛り込んだ洋上直流系統モデルにて経済性評価を実施
3. 必要に応じて、事業目標達成に必要な要素技術開発に対する要求仕様をフィードバック
4. 開発した解析モデルを用いて、洋上直流系統モデルの電力品質を評価して妥当性を確認

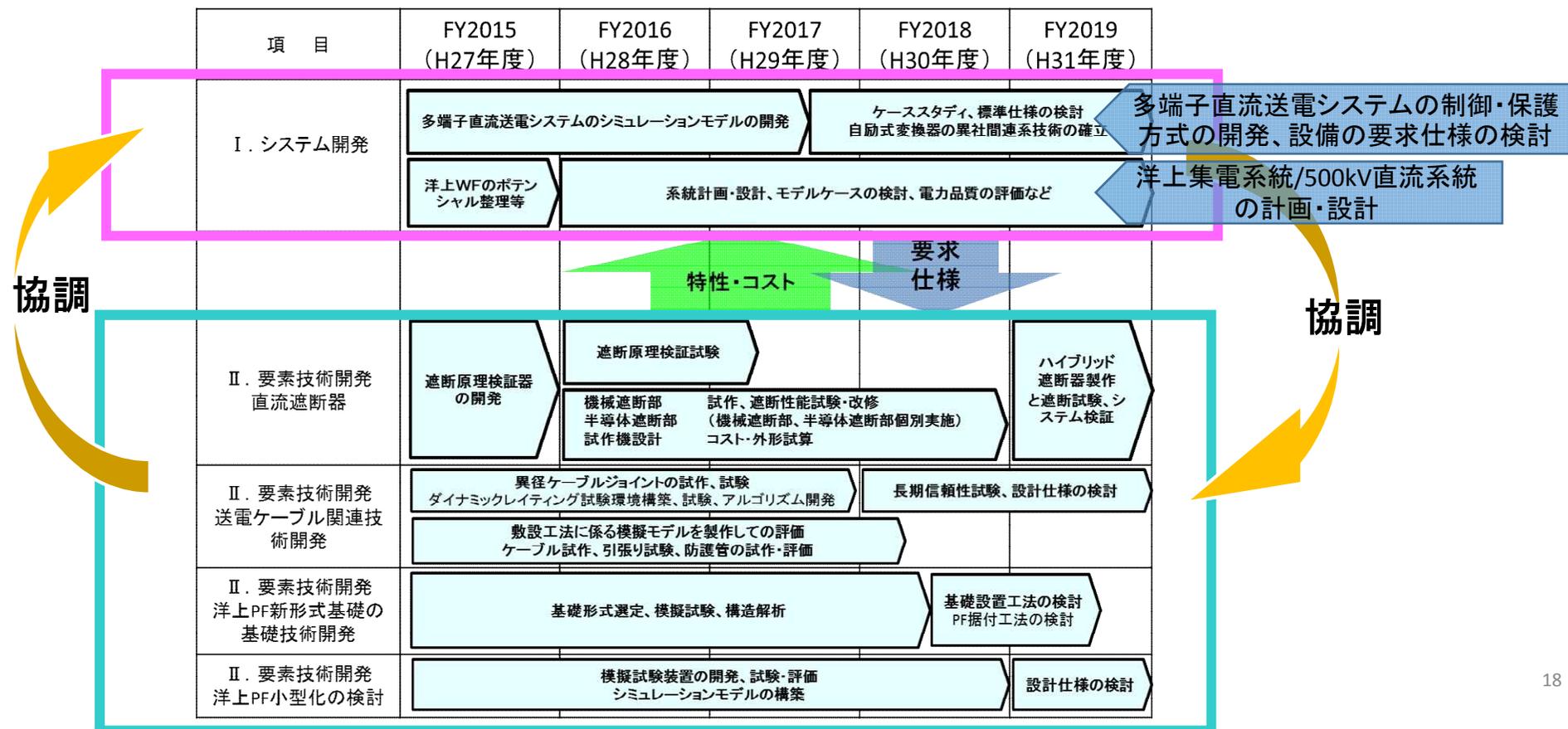
<モデル解析>



2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュール

- システム開発は、4年目までに洋上風車の集電システムの計画と設計、複数の洋上WFの送電システムの計画と設計と経済性評価を実施。システム制御・保護方式の開発では、解析モデルと異社間連系に対応したシステム標準仕様を開発
- その後、モデルシステムの最適化を図りつつ経済性あるモデルケースの完成、システム制御・保護技術の確立、システム標準仕様書の完成、要素技術開発への要求仕様のフィードバックを実施
- 要素技術開発は、3年で要素技術開発の試作・評価試験を完了
- 直流遮断器は、29年度と30年度に各遮断部の数十kV器を開発し、31年度初旬にハイブリッド遮断器として完成
- その後、長期信頼性試験や設計指針・仕様(システム開発からの要求仕様を踏まえて)検討などを実施



2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

- 平成27～29年度の前半3年間の予算総額は約34億円
- 5年間の総予算額は約48億円の見込

研究開発項目ごとの費用(NEDO負担額)

単位:百万円

年度	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (H31)
研究開発項目(I) システム開発	449	253	(101)※	－	－
研究開発項目(II) 要素技術開発	592	1,229	(841)※	－	－
合計	1,041	1,482	(942)※	(800)※	(500)※

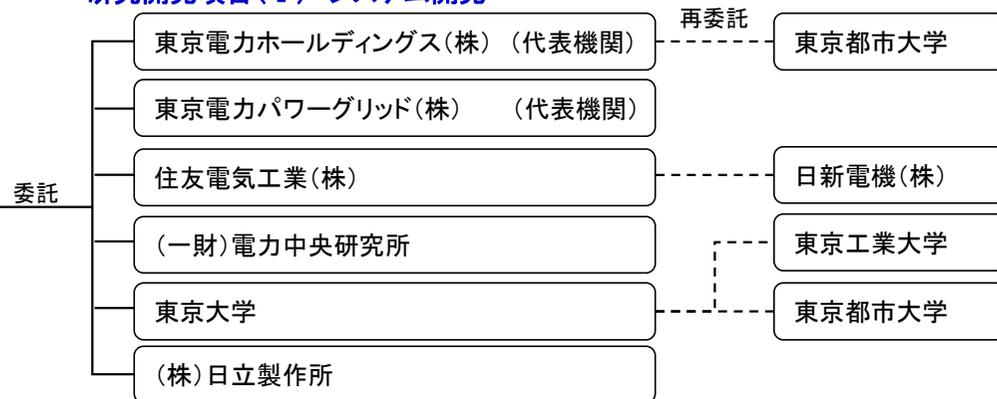
※()内予定

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

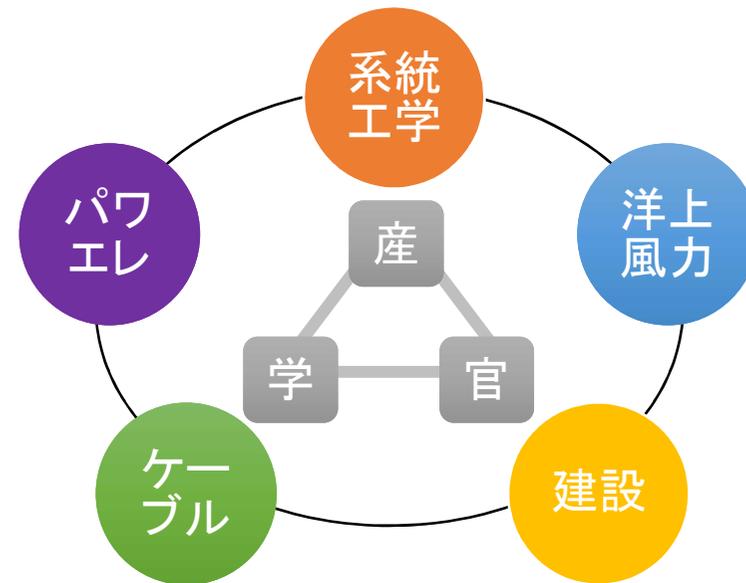
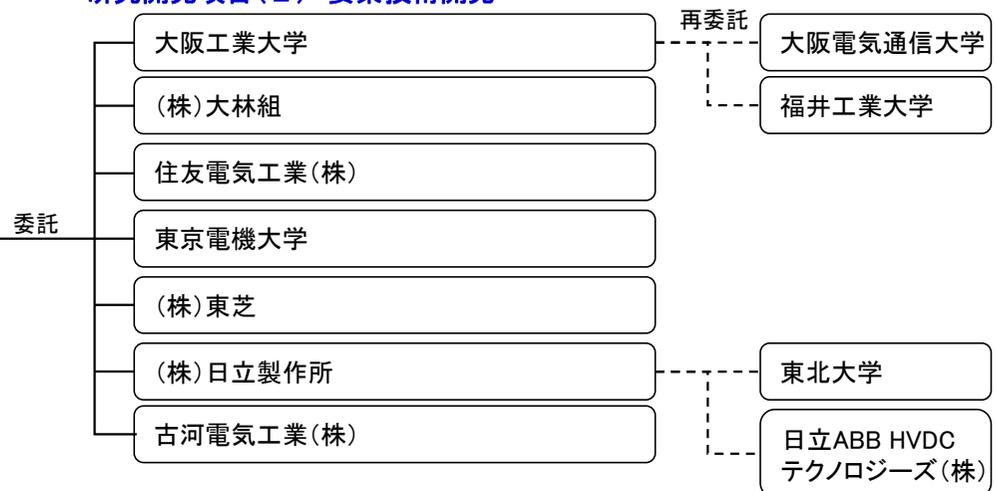
◆ 研究開発の実施体制

NEDO

研究開発項目(I) システム開発



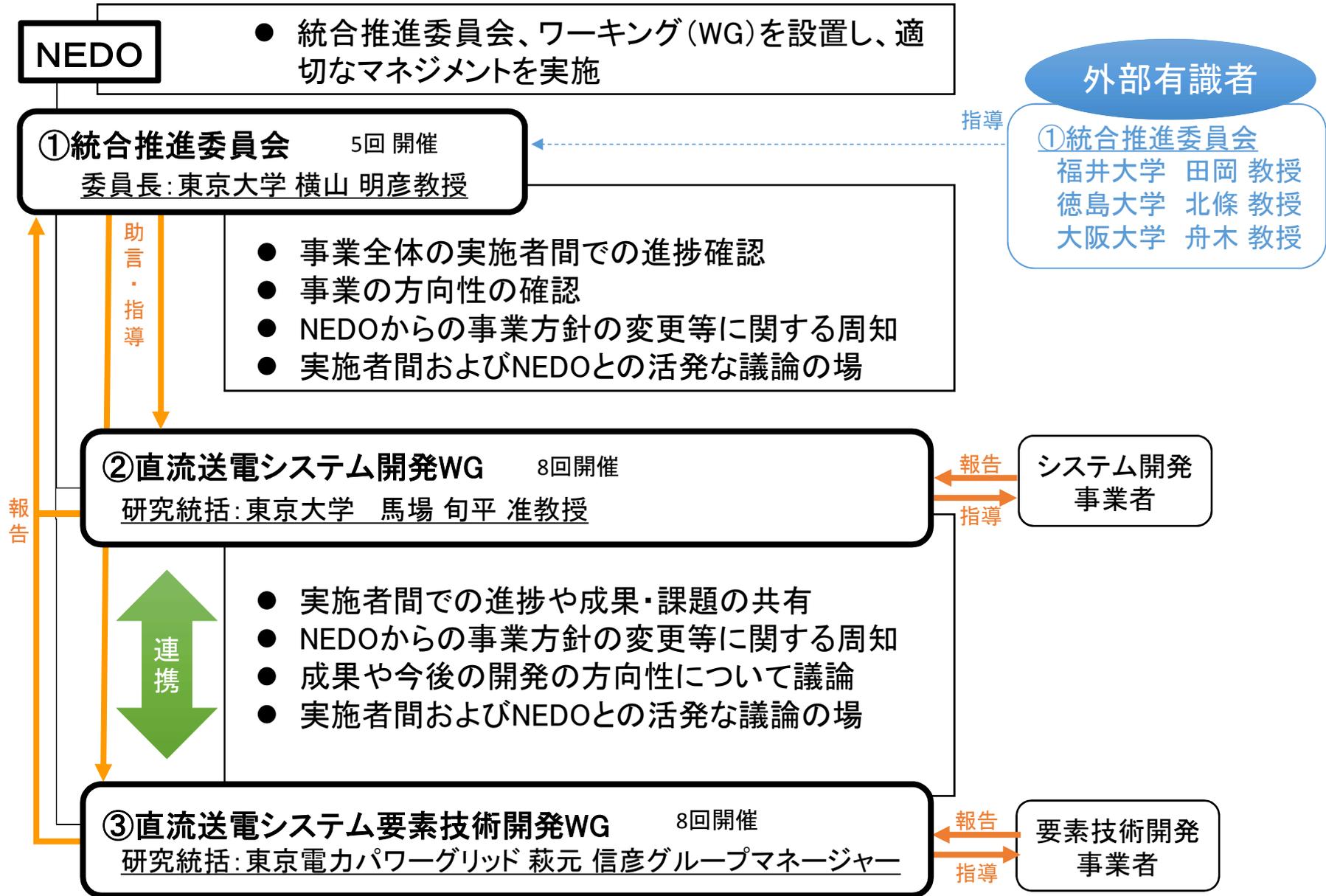
研究開発項目(II) 要素技術開発



- 関連分野に精通した、競合企業を含む事業者が参加し、システム開発と要素技術開発が協調して開発を推進
- 多端子洋上直流送電システムのユーザ目線での開発を重視するために東京電力を代表機関に選任

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

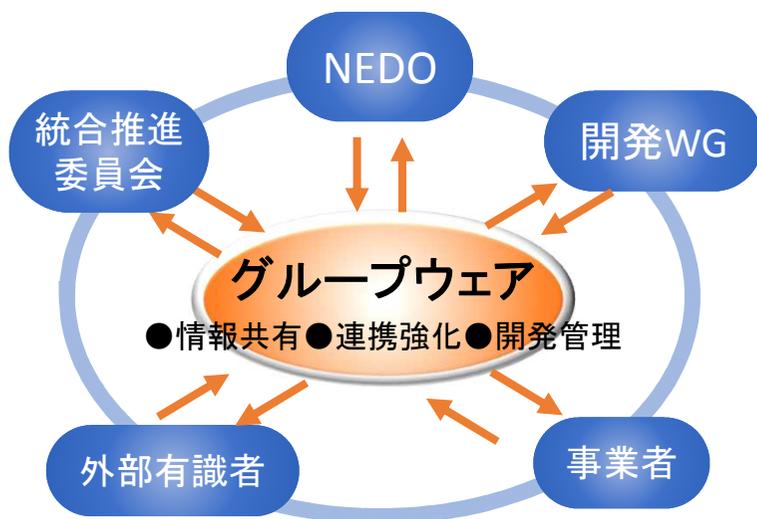
◆ 研究開発の運営管理 1/2



2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 研究開発の運営管理 2/2

項目	実施回数	主な内容
統合推進新委員会	5回	事業方針の周知、事業全体の方向性確認など
システム開発WG	8回	事業方針の周知、開発テーマの進捗確認、事業全体の方向性確認など
要素技術開発WG	8回	事業方針の周知、開発テーマの進捗確認、事業全体の方向性確認など
委員長、研究統括との 代表者会議	17回	事業方針、事業者からの実施計画変更の申し出等に対する議論と意思決定
事業者との検討会	28回	事業方針、計画等の周知徹底、実施計画の変更や今後の進め方などに関する摺合せ
現地調査(実施者)	6回	試作、試験の状況確認など



- NEDOは中立的な立場から、速やかな意思決定を行うとともに、委員会やWGなどにより事業全体の方向性を把握しつつ円滑な事業推進に向けた取組を実施
- 技術開発の効率化、実施者間の連携強化を目的としてグループウェアを導入し、情報共有、スケジュール管理などに活用

2. 研究開発マネジメント

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 動向・情勢の把握と対応

- 将来の我が国への大規模洋上風力の導入拡大に貢献する多端子洋上直流送電システムを開発する本事業は、近々の社会・経済の情勢変化に対する影響は軽微
- 風力発電の導入が進んでいる国々の情勢や具体的な取組の把握、中長期的な視点で我が国の広域系統方針を検討している広域機関の情報収集により、本事業との方向性と照し合せながら推進

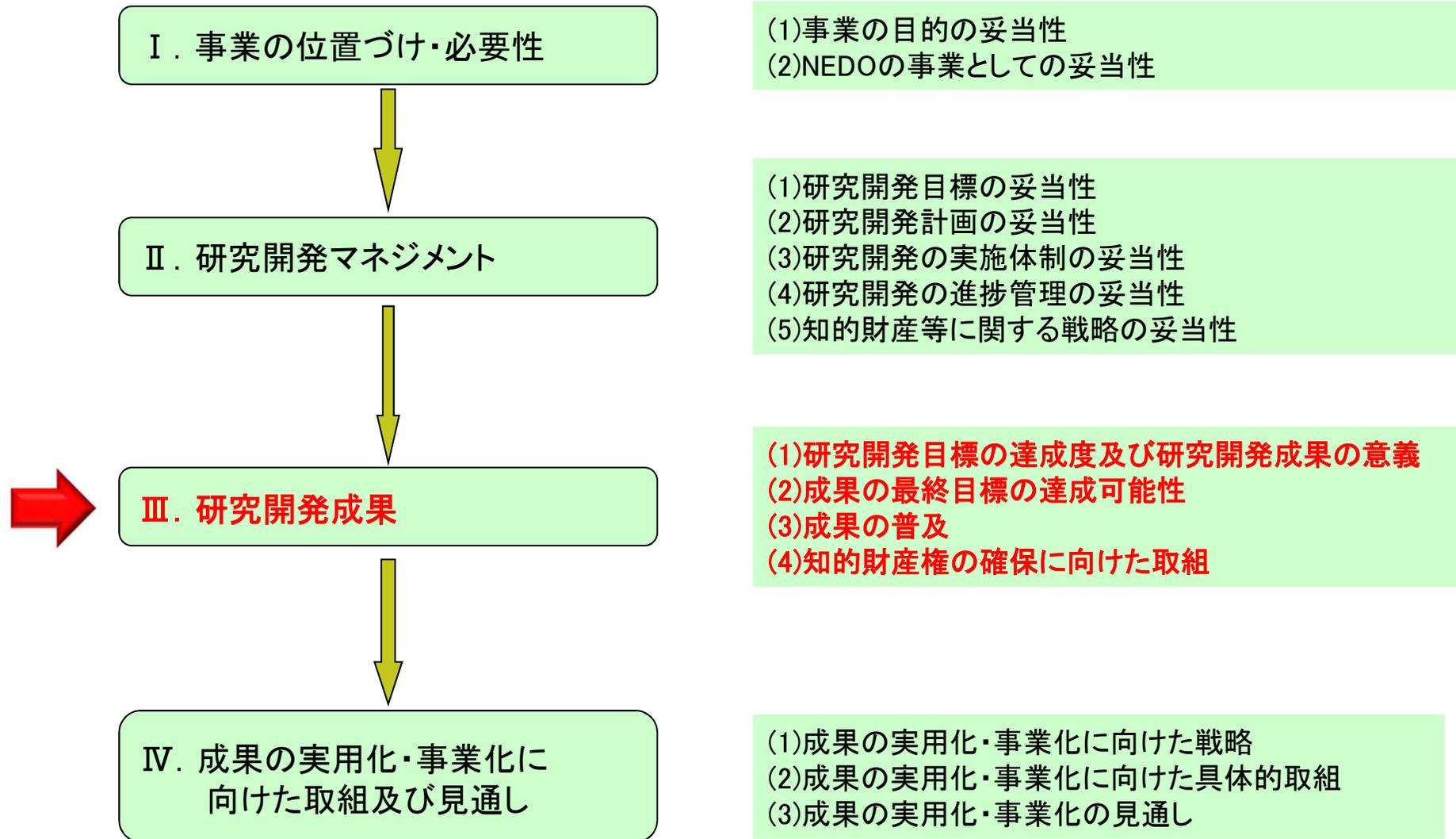
(5) 知的財産権等に関する戦略の妥当性

◆ 知的財産権等に関する戦略

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に基づき

- 知財合意書を再委託先を含む全18事業者間にて取り交わし、特許を受ける権利の帰属、大学等と企業の共有特許、事業内での実施許諾、等を規定
- 知財運営委員会を組織し、特許申請について審議・認定を実施(現在まで計6回開催)

市場でのシェア獲得に向けて、特許とすべきものは特許化し、特許化が得策ではないものはノウハウとする等、戦略的に出願するよう、各社の事業化に向けた戦略を尊重しつつ、指導を実施



3. 1. 事業全体の成果

3. 研究開発の内容(4)

◆研究開発成果の概要

中間目標は29年度末までに達成見込

①

- ・洋上WF設置における絞り込み条件を設定
- ・洋上風力のポテンシャルの高い地域を整理

<モデル解析>

- ・直流遮断器シーケンス
- ・直流ケーブル定数

- ・多端子直流送電システムの制御・保護方式の開発
- ・設備の要求仕様の検討

国内への洋上WF導入における前提条件の整理

- ・洋上集電システムの計画・設計
- ・洋上送電システムの計画・設計
- ・経済性評価

システム開発
要素技術開発

<コスト試算>

- ・直流遮断器コスト
- ・直流ケーブルコスト
- ・ダイナミックレイティング技術によるコスト削減効果
- ・敷設工法によるコスト削減効果
- ・新形式ケーブルジョイント適用によるコスト削減効果
- ・洋上プラットフォームコスト

検討モデル

・異社の変換器モデルを含む解析モデルを開発、異社間接続を念頭に置いたシステム標準仕様を作成

・3端子モデルを開発・検証、現在、異社間連系を反映した解析モデルを開発中

・今後、モデル解析より制御・保護方式の確立、仕様書の検証など

直流遮断器の開発について

- ・原理検証器において10kV-8kAの遮断成功、制御アルゴリズムの確立、遮断試験方法の妥当性を確認
- ・今後、数十kV器の開発、性能評価、長期信頼性評価、遮断試験方法の検証など

他、要素技術開発について

- ・試作・性能評価を実施し良好な結果を取得
- ・今後、既存技術に対するコスト削減効果を試算(一部済)、長期信頼性評価、設計仕様の検討など

- ・①の結果を参考に、洋上WF地点を3か所設定
- ・系統構成と流通設備容量の異なる4通りのケースを交流/直流送電方式について検討、経済性評価を実施
- ・モデル系統のコスト削減に向けた着眼点を抽出
- ・送電ルートを最適とする系統最適化手法の基礎検討
- ・今後、モデル系統の最適化、洋上設備の建設コストの推定方法の改善、洋上集電系統の具体化、経済性が20%以上優位となる条件の整理など

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
システム開発	システム開発として多端子洋上直流送電システムの設計・調達・建設(EPC)と運転・保守(O&M)等を検討した結果を使い、また、多端子洋上直流送電システム向けに要素技術開発するコンポーネントの特性を使い、モデルケースの可能性検討を行い、既存の交流送電システムに対して、コスト削減割合20%を得る。	<ul style="list-style-type: none"> ・洋上WF地点を3か所仮設定し、既存技術を用いた交流送電と直流送電の多端子送電システムの計画、設計、経済性評価を試算した結果、交流送電システムがコスト的に優位との結果となった ・今後、洋上PF数や送電ルートなどの最適化設計、そして要素技術からのコスト削減効果を盛り込んで経済性評価を行い、コスト削減割合20%のモデルを得る見込み 	○
要素技術開発	多端子洋上直流送電システム向けに新たに必要となるコンポーネントのプロトタイプ設計と試作、性能試験を行い、モデルケースから要求される特性を得る。あわせて、既存の交流送電システムに対して、モデルケースのコスト削減割合20%へ貢献する。	<ul style="list-style-type: none"> ・直流遮断器は、原理検証器を開発し、低損失で高速遮断を実現する主回路方式を確立した。現在は、数十kV器の開発を進めている ・他の要素技術開発は、試作を完了し、評価試験を行った。今後、要素技術のコスト情報、および評価試験等により得られた特性値をシステム開発へフィードバックする 	○

●達成度の基準

- ◎大幅達成 2017年7月末時点で中間／最終目標を達成した場合
- 達成 2018年3月末時点で中間／最終目標を達成する見込みの場合
- △一部未達 2018年3月末時点で中間／最終目標が一部未達の見込みの場合
- ×未達 2018年3月末時点で中間目標の達成が見込めない場合

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

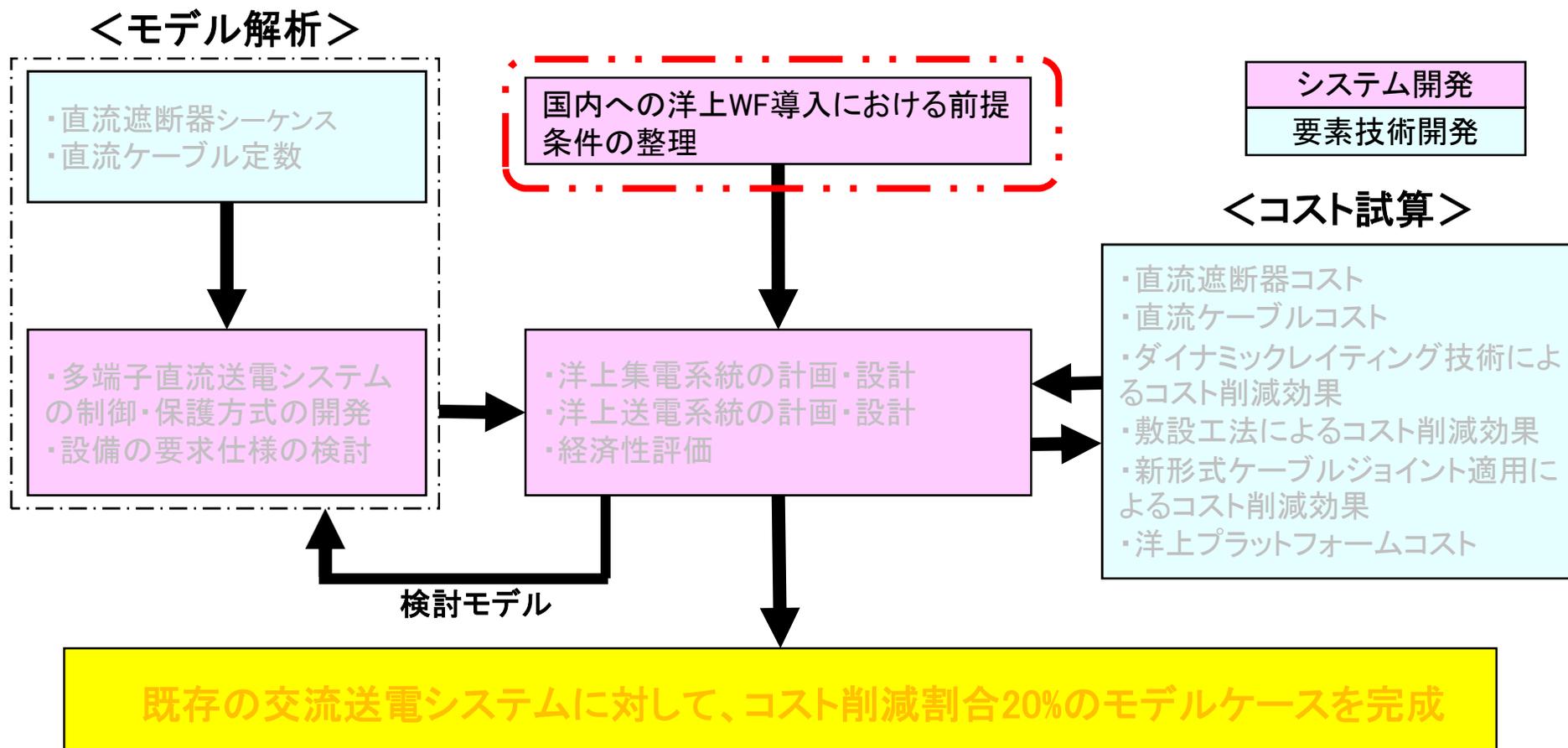
今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
システム開発	多端子洋上直流送電システムのモデルケースから、導入を想定した1~3ケースを選択・システム設計し、また、要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプにおいて試験された信頼性データと、それらコンポーネントを選択したモデルケース向けに設計した特性を用いて、既存の交流送電システムに対して、平均稼働率(信頼性)等を含めたコスト削減割合20%以上の導入モデルケースを完成する。	平均稼働率(信頼性)等を含めた多端子洋上直流送電システムのモデルケースを完成すること	要素技術開発からの評価試験や長期信頼性試験から得られる設備の信頼性等をモデルケースへ反映することで達成出来る見通しである
要素技術開発	要素技術開発されたコンポーネントのプロトタイプの信頼性試験を行い、また、選択されたモデルケースに向けた設計と特性検討、あるいは、設計と試作、性能試験を行い、それらコンポーネントの仕様を完成する。あわせて、既存の交流送電システムに対して、そのモデルケースの平均稼働率(信頼性)等を含めたコスト削減割合20%以上へ貢献する。	<ul style="list-style-type: none"> ・試作・試験より得られた結果をもとに、機器仕様を完成すること。設計指針を策定すること ・試作、試験より得られた特性値、信頼性データをシステム開発へフィードバックする 	<ul style="list-style-type: none"> ・現行の実施計画を着実に実行すれば目標は達成可能である ・進捗管理とシステム開発との密な連携を行いつつ開発を推進していく

3. 2. 研究開発テーマの成果

(I) システム開発

3. 研究開発の内容(4)



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目 I システム開発

3. 1 国内への洋上WF導入における前提条件の整理(日立製作所)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
我が国の洋上風力ポテンシャルの整理	自然条件や社会条件などの洋上WF設置における絞り込み条件を設定し、洋上風力のポテンシャルの高い地域を整理した	各種集計データを整備し、絞り込み条件を満たすポテンシャルの高い地域を抽出した	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

○我が国の洋上風力ポテンシャルの整理

検討フロー

洋上風力ポテンシャルの調査

①風況データ等の収集・整備(表3-1)

②絞り込み条件等の設定(表3-2)

③洋上風力ポテンシャルが高い地域の抽出・集計

北海道周辺に優良ポテンシャル(風速8.5m/s以上)、ほかに、東北地域、九十九里、伊豆大島周辺、静岡、和歌山、徳島周辺、九州地域、沖縄周辺に7.0m/s以上の良好な風速分布の存在を確認(図3-1)

表3-1 整備データ一覧

No	カテゴリ	情報名	出典
1	①風況	NEDO局所風況マップ	NEDO作成の風況マップ
2		環境省風況マップ	平成25年度再生可能エネルギー導入拡大に向けた系統整備等調査事業委託業務成果
3	②自然環境	水深(500mメッシュ)	J-EGG500水深データ(日本海洋データセンター)
4	③社会条件	離岸距離	国土数値情報海岸線
5	④法制度等	自然公園地域	国土数値情報H23、生物多様性センター(国立公園)H27
6		自然環境保全地域	国土数値情報H23
7	⑤電気設備 関連	発電所	平成25年度再生可能エネルギー導入拡大に向けた系統整備等調査事業委託業務成果
8		変電所	
9		開閉所	
10	⑥その他	県別海域境界	本業務で作成

表3-2 洋上風力ポテンシャルの絞り込み条件

区分	項目	絞り込み条件
自然条件	速度区分	着床式:7.0m/s以上 浮体式:7.5m/s以上
	離岸距離	考慮しない
	水深	200m未満
社会条件	法規制区分	国立・国定公園(海域公園)以外
その他	島嶼部の扱い	含める

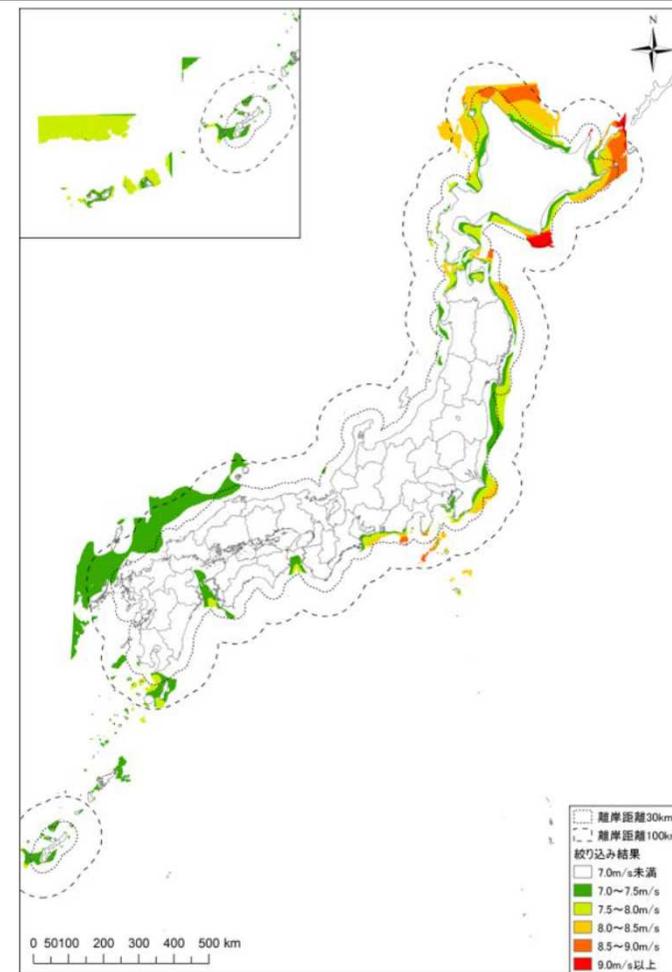
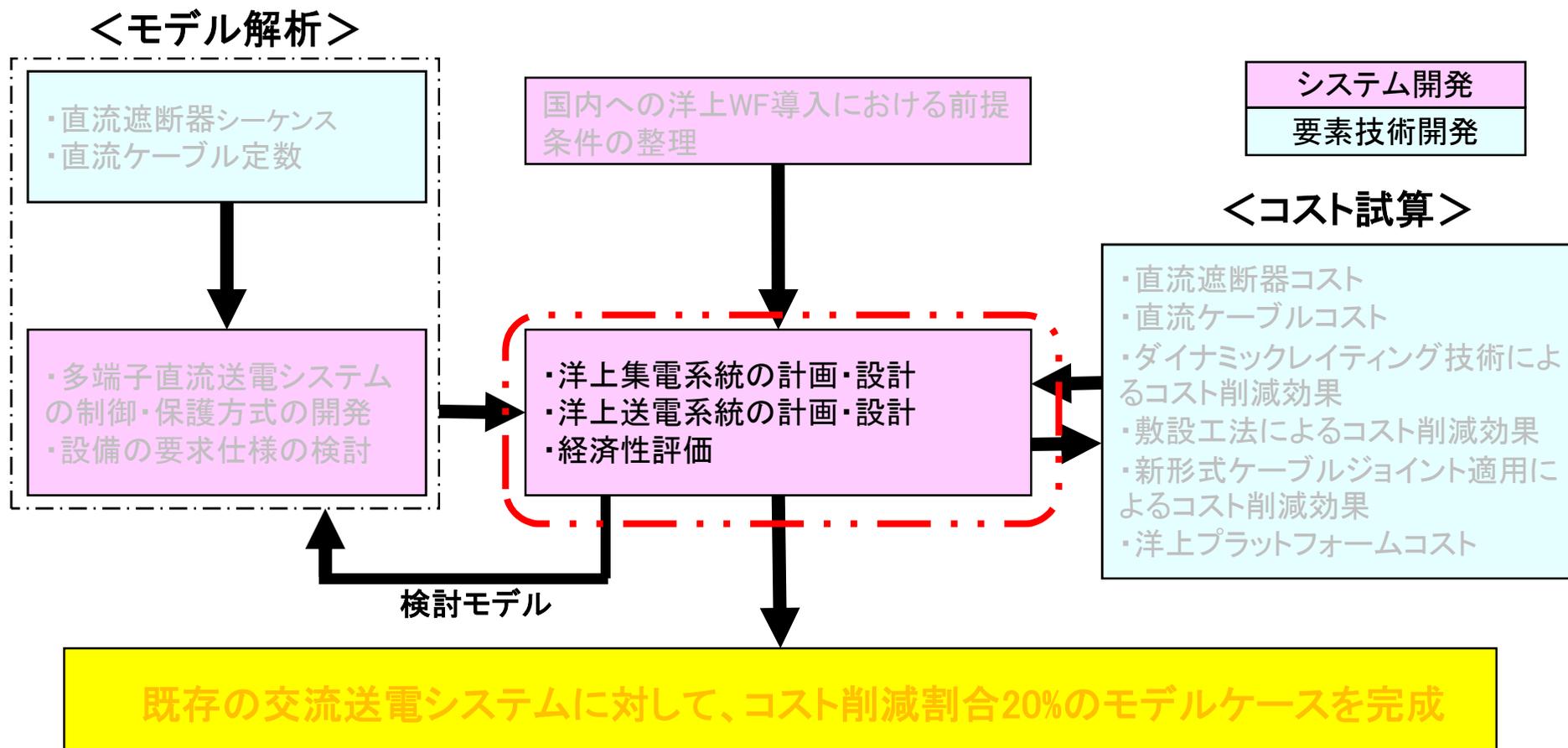


図3-1 ポテンシャルの高い地域の抽出結果

3. 研究開発の内容(4)



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.2 洋上集電系統/洋上送電系統の計画・設計

(1) 洋上送電系統の計画と設計(東京電力パワーグリッド、東京大学)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
<ul style="list-style-type: none"> ・信頼度と経済性の評価に基づく洋上送電系統の計画と設計 ・本事業で開発を行う洋上送電システムの主要構成要素に関わるコスト試算を行うために必要となる各種前提条件や、先行事例におけるコスト試算の方法論について調査検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・洋上系統のコスト要因を抽出し、モデル系統を設計する ・洋上系統の経済性評価指標を選定する ・洋上送電システムの事業性評価を行うためのフレームを構築する ・さらに、同フレームに基づく洋上送電システムの事業性を確保可能となるコスト水準などについても試算可能なコスト情報を収集し、モデル系統の経済性評価を行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・先行事例調査を通じ、コスト要因を把握するとともに、陸上交流系統の状況を鑑み、陸上連系エリアを具体化し、モデル系統を設計した ・文献調査等から、モデル系統の経済性評価の指標を選定した ・先行して洋上送電システムの開発が進む欧州における事業性評価手法の調査と、同評価で用いられるコスト情報の収集を実施するとともに、事業性評価を行うためのコスト試算方法を検討し、モデル系統の経済性評価を行った 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.2 洋上集電系統/洋上送電系統の計画・設計

(2) 国内導入における社会受容性・制度・ルール of 検討(東京電力パワーグリッド、東京電力ホールディングス)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
①社会受容性 洋上風力発電を含む洋上送電システムが確保しておくべき社会受容性に関して、先行事例調査などを通じて多面的に検証し、洋上送電設備が獲得すべき社会受容性の整理	洋上送電システムの社会受容性に関わる検討フレームワークを構築するために必要となる先行して洋上送電システムが設置される国における環境アセスメント等のフレームワークを整理する	先行して洋上送電システムの開発が進む欧州(主にイギリス及びドイツ)における社会受容性を評価するフレームワークについてその内容を明らかにするとともに、わが国における現状との差異についても検討を行った	◎
②制度・ルール検討 我が国において整備しておく必要のある制度・ルールのあり方に関わる参考とするために、先行して洋上風力発電の開発が進む欧米諸国における、洋上送電設備に関連する制度・ルールの先行事例調査	先行して洋上送電システムの開発が進む欧米諸国における制度・ルールの調査を通じて得られた知見に基づき、日本国内における洋上送電システムの整備・運用に関わる、制度・ルールのあり方を策定のための基礎情報収集する	先行して洋上送電システムの開発が進む欧州(主にイギリス及びドイツ)における洋上送電に関わる制度・ルール(投資回収の方法論を含む)について整理を行った	◎

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.2 洋上集電系統/洋上送電系統の計画・設計

(3) 系統最適化手法の開発

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
直流/交流システム構成のコスト最小となる評価の実現	洋上WFと陸上連系点とを連系する送電ネットワークの接続方法を導き出す系統最適化手法を開発する	洋上WF1地点と陸上連系点1地点とを連系するモデルに対して、直流送電システムと交流送電システムとのそれぞれについてコスト最小となるシステム構成の評価を可能とした	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(洋上集電系統/500kV直流系統の計画と設計)

- ✓ 洋上のモデル系統設計における基本的な考え方
 - 系統構成や設備容量を選定する基本的な考え方を整理
- ✓ 洋上系統の具体化(図3-2、3-3)
- ✓ 経済性評価のための指標選定
 - 設備経費、送変電損失、発電機会損失を合計した年間経費を指標に選定



図3-2 洋上系統の概念図

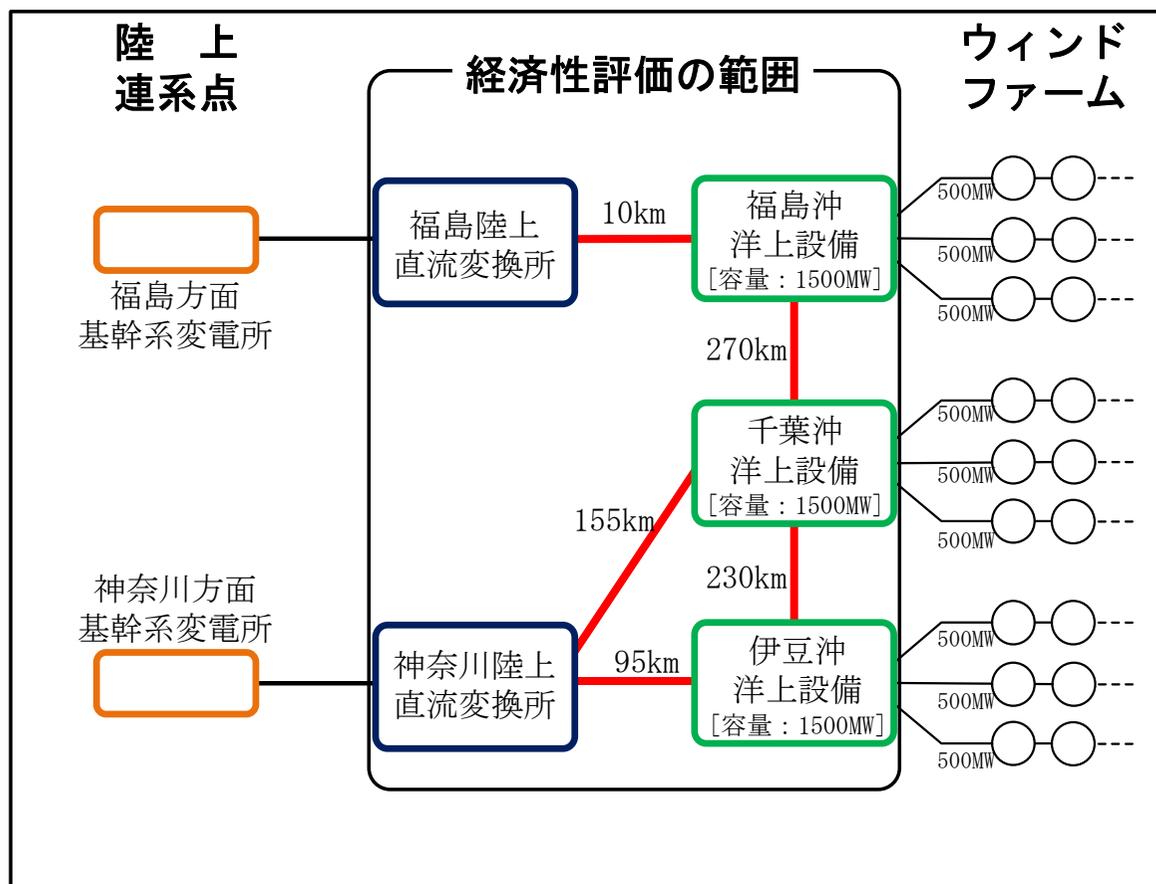


図3-3 経済性評価の範囲(直流連系)

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ✓ モデル系統の設計 (図3-4、図3-5)
 - ✓ モデル系統の経済性を暫定評価 (建設コストは先行事例等より類推) (図3-6~図3-8)
 - コスト低減に向けた、現時点の着眼点を抽出
 - 今後の課題を整理
 - 洋上設備のコスト推定精度向上
 - 洋上集電系統の具体化
- <コスト低減に向けた着眼点>
- ✓ 洋上PF建設コスト試算の適正化
 - ✓ 系統設計の最適化
 - ✓ 洋上集電系統の具体化
 - ✓ 要素技術からのコスト削減情報を盛り込んだ経済性評価

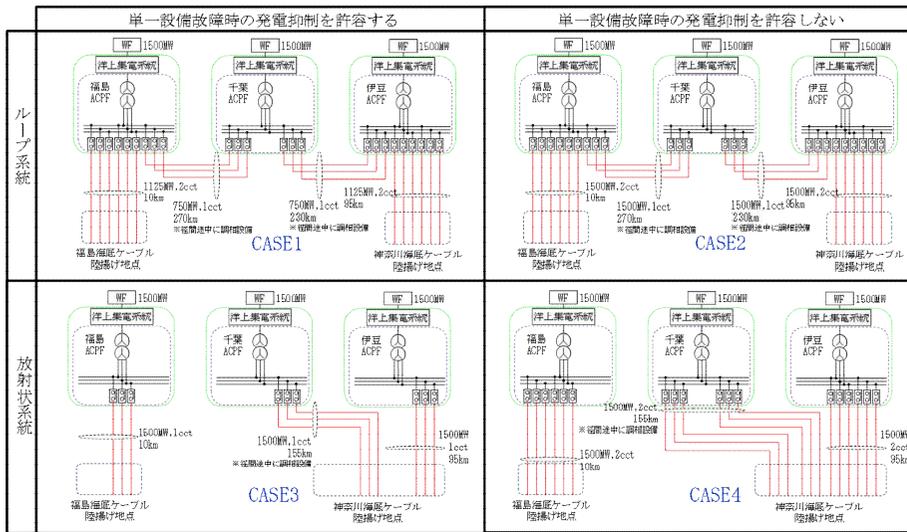


図3-4 交流連系のモデル系統

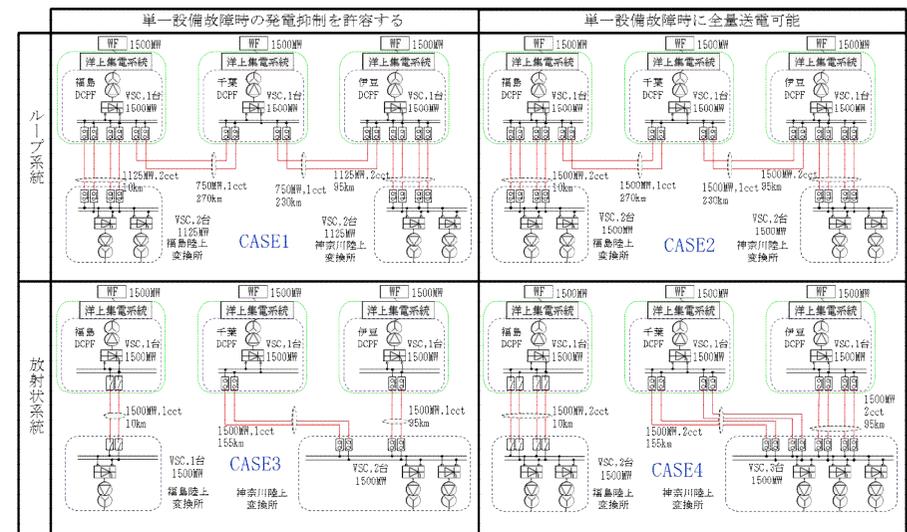


図3-5 直流連系のモデル系統

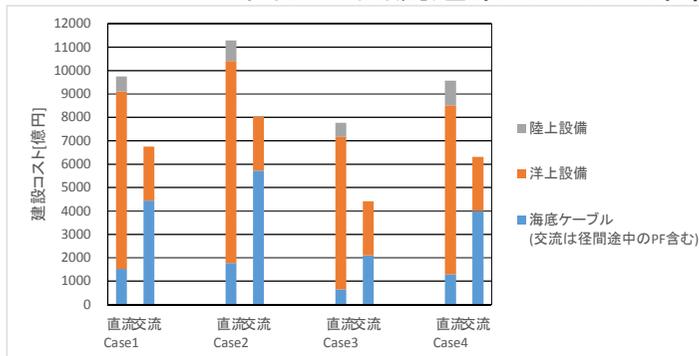


図3-6 設備経費の比較 (暫定)

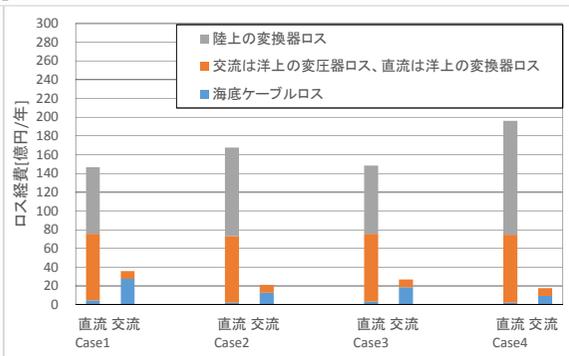


図3-7 送変電損失の比較 (暫定)

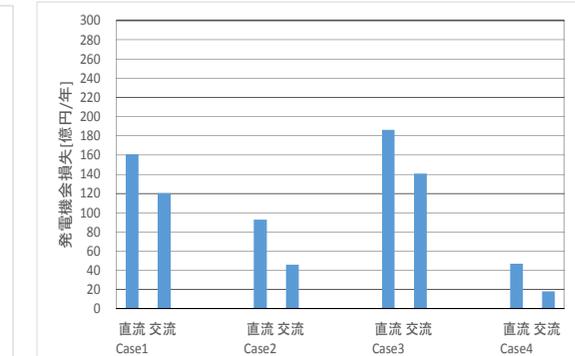


図3-8 発電機会損失の比較 (暫定)

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(系統最適化手法の開発)

目標: 複数の洋上WFと複数の陸上連系点とを連系する送電ネットワークにおいて、最適なケーブルルートを考慮した送電ネットワーク構成の経済性を含めた評価手法の確立

- ✓ 最適化手法の選定
 - 組合せ最適化問題として定式化しメタヒューリスティクスを用いて解く方法を採用
 - メタヒューリスティクスは遺伝的アルゴリズムを選択
- ✓ モデルの選定
 - 第一段階として洋上WF1地点と陸上連系点1地点とを連系するモデルで評価(AC/DC)
 - 送電方式はSymmetric monopole
- ✓ 最適化の内容
 - 設備費と送電ロスを考慮し、コスト最小となるシステム構成(出力一定)を評価
 - 洋上WFと陸上連系点との距離(送電距離)、洋上WFの設備利用率を考慮した、交流送電システムと直流送電システムの損益分岐点を評価(表3-4、図3-9)
- ✓ 成果
 - 第一段階における交直損益分岐点の評価が可能であることを確認

表3-4 最適化結果の例

電圧種類		直流電圧			
送電距離(km)		10	50	100	150
最適化結果	定格電圧(kV)	525	525	525	525
	導体サイズ(mm ²)	800	800	800	800
	回線数	1	1	1	1
	総コスト(百万円)	2770	3515	4446	5377
電圧種類		交流電圧			
送電距離(km)		10	50	100	150
最適化結果	定格電圧(kV)	275	275	275	275
	導体サイズ(mm ²)	800	800	1200	1200
	回線数	2	2	2	2
	総コスト(百万円)	671	3391	7594	11957

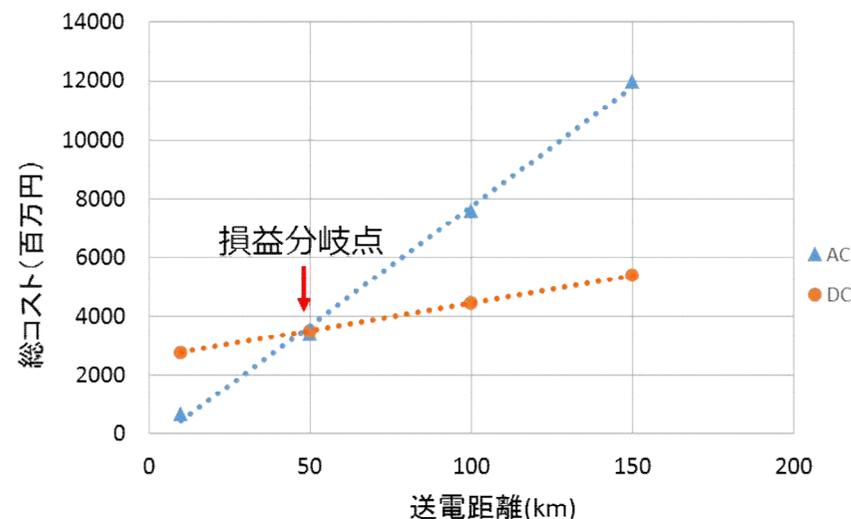


図3-9 年経費（総コスト）と送電距離の関係⁴⁰

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(国内導入における社会受容性、制度・ルールの検討)

- ✓ 社会受容性について国内外の取り組みを整理(表3-3)
 - 欧州諸国の代表として英国、独国の現状を調査
 - 日本の洋上風力発電事業開発のプロセスを調査、関連する法令を整備
- ✓ 洋上風力発電開発において整備必要な制度・ルールについて、先行する海外事例を調査
 - 英国のOFTOの制度・ルールの調査
 - 独国の送電設備形成に関わる制度を調査

表3-3 洋上風力発電開発に関わる各国の比較

	洋上風力開発計画の概要	政府の関与	海域利用に係るルール	制度・ルール
英国	<p><導入目標> 2020年までの導入目標：18GW</p> <p><開発計画> 2000年より、複数ラウンドに分けて英国海域における商用リースを開始し、計約54GWを開発予定</p>	<p><海域指定> ラウンド3では以下の手順により海域を指定</p> <ol style="list-style-type: none"> ① DECCが戦略的環境アセスメントを実施 ② Crown Estateが自然保護区域等に該当しない9つのエリアを指定 <p><事業者入札> Crown Estateによる競争入札</p>	<p><許認可機関></p> <ul style="list-style-type: none"> ・1~100MW：MMO ・100MW以上：PINS <p><主な許認可プロセス></p> <ul style="list-style-type: none"> ・1~100MW：MMOによるMarine License（朔望平均満潮面以下、あるいは感潮河川に係る許認可）と発電事業間を付与 ・100MW以上：PINSによる国家重要インフラプロジェクトの開発に係る許認可 ・陸域活動に係る許認可 	<p><OFTO制度></p> <ul style="list-style-type: none"> ・OFTO（Offshore Transmission Owner） ・洋上風力発電事業者が発電設備と海底送電設備を一括で建設し、送電設備部分をOFTOに入札移管する形態（他形態も議論中） ・ofgemが入札でOFTOを選定しライセンス（20年以内で行われる活動に係る許認可）と発電事業間を付与 ・同制度における事業リスク（建設リスク、運用リスク）に対してその割り当てが明確化
ドイツ	<p><導入目標> 2030年までの導入目標：25GW</p> <p><開発計画> 75以上のプロジェクト申請があり、2030年までに約30のプロジェクトで稼働予定</p>	<p><海域指定> 連邦政府が環境保護区域等に該当しないエリアを指定（※環境アセスメントは実施しない）</p> <p><事業者入札> 入札制度はなし（先着順で申請が受理される）</p>	<p><許認可機関> BSH（※領海（12海里内）は沿岸州当局）</p> <p><必要となる主な許認可></p> <ul style="list-style-type: none"> ・洋上風力発電の建設許可 ・送電ケーブルの建設許可 	<p><送電設備形成に関わる制度></p> <ul style="list-style-type: none"> ・送電システム負担：TSO負担（シャロークスト） ・レベニューキャップ規制：必然性のある新規設備投資は対象外となることも→投資インセンティブ
日本	<p><導入目標> 2030年までの導入目標：9.6GW（風発協） ※2030年までの導入見込：0.8GW（長期エネルギー需給見通し）</p> <p><開発計画> 港湾区域で0.78GW、一般海域で0.61GWが計画中であり、2025年までには運転開始予定</p>	<p><海域指定> 政府による指定海域はなく、事業者自身で、風況調査や環境アセス、ステークホルダーとの調整を実施</p>	<p><許認可機関></p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境省 ・経済産業省 <p><主な関連する法律></p> <ul style="list-style-type: none"> ・自然環境保全法 ・港湾法 ・港則法 	-

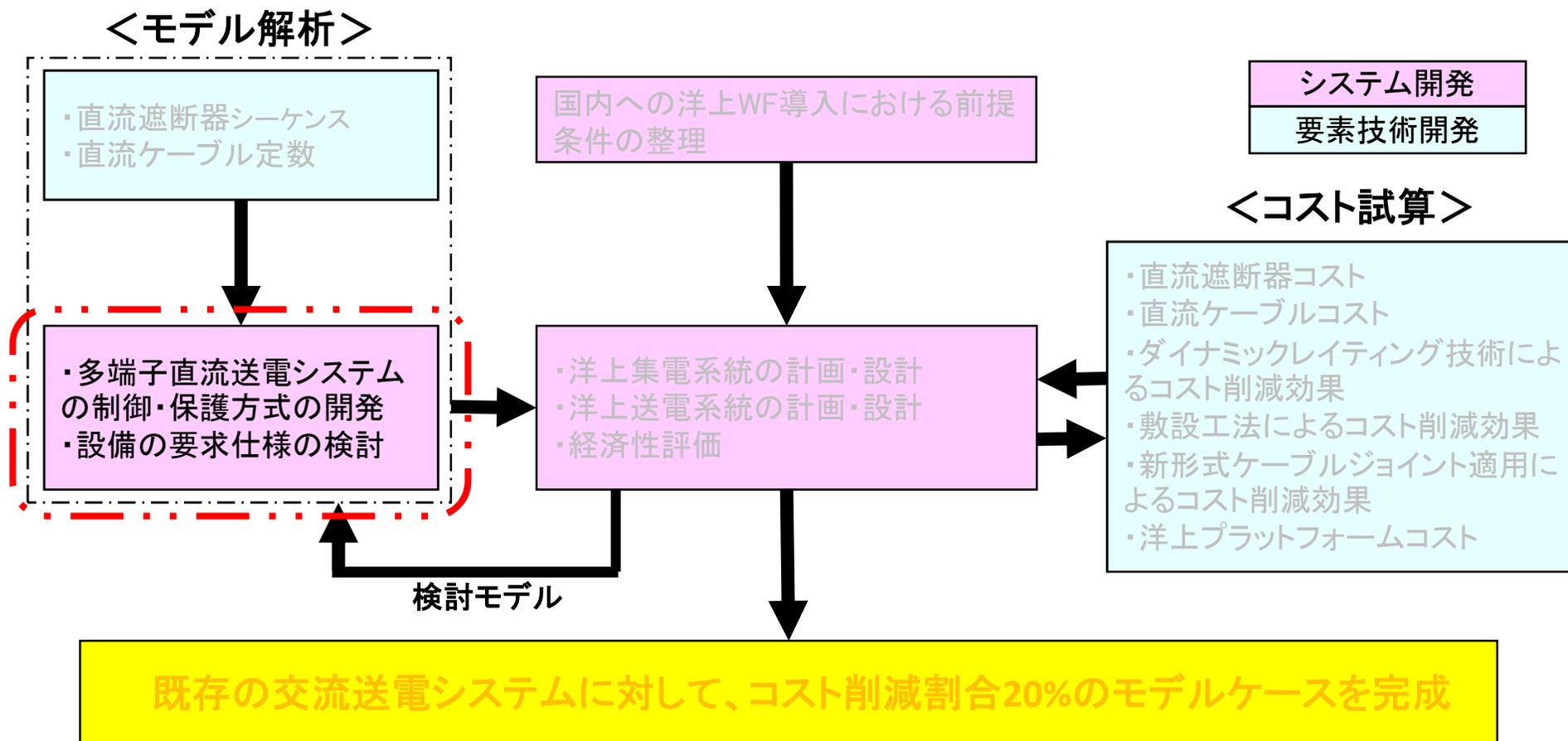
3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

3.2 洋上集電系統／洋上送電系統の計画・設計

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
洋上送電系統の計画と設計 ・信頼度と経済性の評価に基づく洋上集電系統の計画と設計 ・信頼度と経済性の評価に基づく500kV直流系統の計画と設計 ・欧州と異なる開発環境(水深等)におけるコスト情報の収集	多端子直流送電システムのモデル系統が既存の交流連系システムと比較して、経済性が20%以上優位となる条件を整理する	・本事業における洋上設備の建設コストの推定を改善する ・洋上集電系統を具体化する ・多端子直流送電システムのコストを削減したモデルを完成させる	・洋上設備の概念設計を欧州のメーカーに委託し、コスト推定精度を高め、また、コスト感度分析を通じ、安価な洋上系統の設計が可能になると見込んでいる ・モデル系統の経済性を評価、コスト削減に向けた着眼点を抽出することで目標達成が可能と見込んでいる
系統最適化手法の開発	複数の洋上WFと複数の陸上連系点とを連系する送電ネットワークの接続方法を導出する最適化手法を開発する	洋上WF1地点と陸上連系点1地点とを連系するモデルで開発した手法を、複数の洋上WFと複数の陸上連系点とを連系するモデルに拡大適用する	数理最適化技術のひとつであるメタヒューリスティクス手法を用いることで、適用拡大が可能であり、目標達成が出来ると見込んでいる

3. 研究開発の内容(4)



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.3 多端子直流送電システムの制御・保護方式の開発、設備の要求仕様の検討

(1) 自励式交直変換器の制御・保護方式への要求仕様の作成(東京電力ホールディングス、東芝、日立製作所)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
異社間接続が可能な洋上多端子直流送電システムの標準仕様書案の作成	洋上2端子、陸上3端子の洋上多端子直流送電システムにおける標準仕様書案を作成する	定常状態と運転シーケンスの整理、各種想定事故の洗い出しとその時の構成要素の応動様相を整理した、異社間接続を可能にする標準仕様書案を作成した	○

(2) 異メーカーの自励式交直変換器の相互連系を可能にする標準仕様の検証(東京電力ホールディングス、東芝、日立製作所)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
異メーカー間で構築された洋上多端子直流送電システムの標準仕様の解析検証	多端子の最小単位である3端子システムでの異メーカー接続モデルを作成する	2端子システムでのモデル作成を行った後、3端子システムでの組み合わせ検証が可能な状態となった	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.3 多端子直流送電システムの制御・保護方式の開発、設備の要求仕様の検討 (3) 設備の要求仕様の検討(電力中央研究所)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
直流送電システム関連仕様開発(500 kV MMC型多端子直流送電設備の仕様検討)	想定する各種過電圧および異常現象の解析を行い、500 kV多端子直流送電システムの設備に要求される耐電圧レベルなどの仕様を明らかとする	ベースとなる解析ケースの仕様策定と電力系統瞬時値解析プログラムXTAP上での実際のケース作成を完了した。本項目は、2017年度1年間で実施するものであり、また、この種の解析では、解析そのものよりもベース解析ケースの作成に時間を要することを考えると順調に進捗している	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

✓ 具体的な実施状況

- 複数の洋上ウィンドファームと多端子直流送電システムの導入について、異メーカー間の連系を前提とした制御保護方式および標準仕様を検討し、その要求仕様を検証を通じて、明確にすることを目的とする。

✓ 自励式交直変換器の制御保護方式への要求仕様の作成

- 関連事業者（東電HD・東電PG・東芝・日立・東京都市大）で、これまで18回の定期打合せを実施した。
- 検証のための解析モデルを検討し、最大、洋上2端子、陸上3端子とした。
- 異メーカー間接続が可能な洋上多端子直流送電の開発・検証を念頭に置き、「多端子標準仕様書案」としてまとめた(図3-10)。
- 検証ツールとして、PSCAD/EMTDCとRTDSを採用し、解析環境整備を行った。
- 多端子化の最初の検討として、非対称単極3端子(陸上2端子、洋上1端子)、直流送電線Δ構成のシステムモデルでの課題の整理を進めている。

多端子HVDCの制御・保護の標準仕様書(案)

目次	
1	目的
2	多端子HVDCシステムの構成要素と主な機能
2.1	システム全体
2.2	洋上ウィンドファーム、洋上変電所、集電系統
2.3	変換所(端子)
2.4	交直変換器(極)
2.5	上位制御系
3	定常状態における制御の案
3.1	多端子HVDCシステムの制御の基本的な考え方
3.2	MMCの制御ブロック線図の概略
3.3	直流系統側のローカル制御特性(PDC-VDC特性)
3.4	各変換所の協調
3.5	上位制御系
4	多端子HVDCシステムの運転状態とシーケンス
4.1	回線休止状態
4.2	停止状態
4.3	陸上変換所・直流系統立ち上げ状態
4.4	洋上変換所・洋上ウィンドファーム立ち上げ状態
4.5	通常運転状態
4.6	洋上変換所・洋上ウィンドファーム立ち下げ状態
4.7	陸上変換所・直流系統立ち下げ状態
4.8	運転中故障状態
4.9	起動停止中故障状態
4.10	縮退運転状態
4.11	縮退運転状態の具体例(5端子HVDCシステム)
4.12	再連系
5	多端子HVDCシステムにおける想定事故と構成機器の事故時応動

図3-10 標準仕様書の一例

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ✓ 異メーカーの自励式交直変換器の相互連系を可能にする標準仕様の検証
 - 統一したインターフェースに従い、ノウハウ部分をブラックボックス化したモデルをメーカー内で作成・検証した。基本動作確認後、東電HDにて組み合わせ検証を行った(図3-11、図3-12)。
 - H27年度にPSCADによる検証を、H28年度には、FRT特性とブレーキングチョッパを追加したPSCADによる追加検証とRTDSによる検証を行った。
 - メーカー作成モデルの修正と標準仕様の更新をしながら、単極2端子の異メーカー接続検証は問題なく終了した。
 - H29年度からは、上位制御を含めた多端子での検討を開始し、3端子システムモデルを作成している。

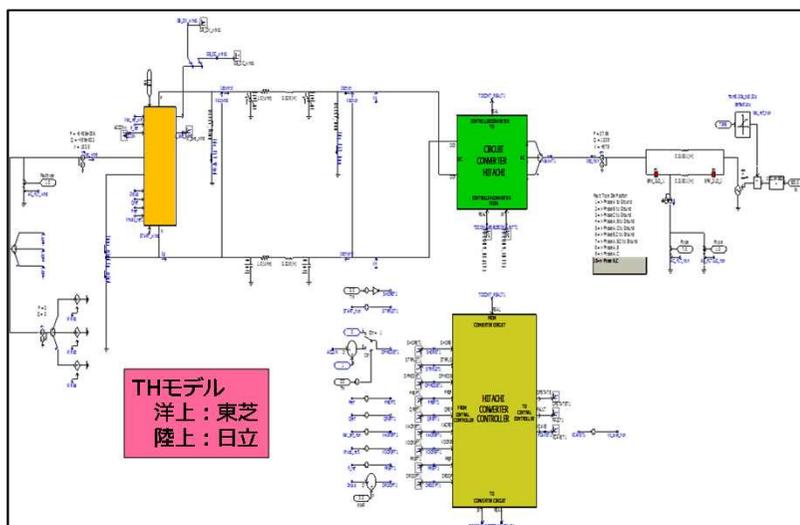


図3-11 単極2端子の組み合わせモデル(PSCAD)

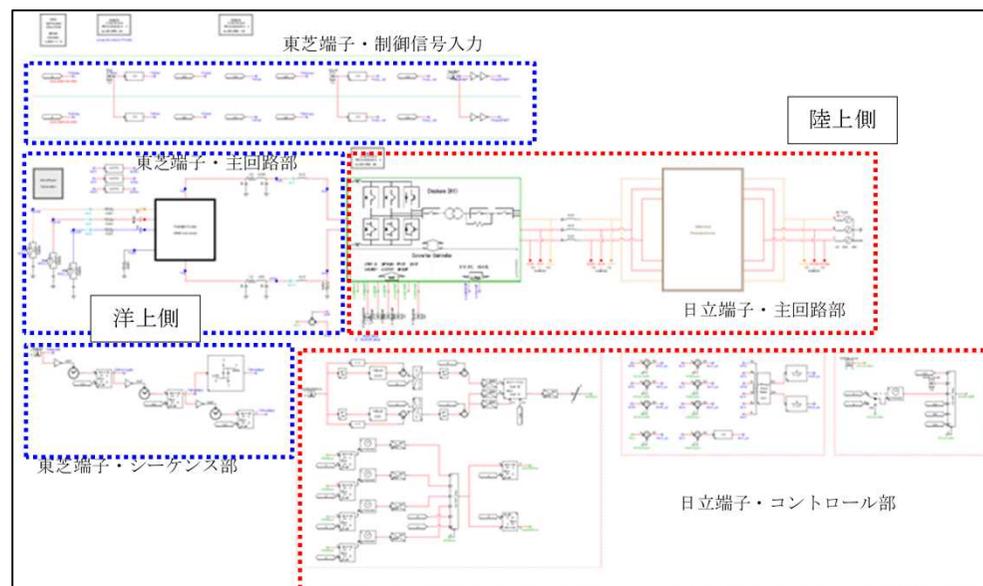


図3-12 単極2端子の組み合わせモデル(RTDS)

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(設備の要求仕様の検討)

<実施計画>

500 kV多端子直流送電システムの設備に要求される仕様(耐電圧レベルや避雷器のエネルギー処理責務など)を明らかとするため、電力系統瞬時値解析プログラムXTAPを用いて以下に示す各種過電圧および異常現象の解析を行う。

<実施工程>

2017年度 第1四半期	<ul style="list-style-type: none"> ベース解析ケースの仕様策定とXTAP上でのケース作成
2017年度 第2四半期	<ul style="list-style-type: none"> 直流送電線地絡時に生じるサージ性過電圧 直流遮断器投入時に生じるサージ・振動性過電圧
2017年度 第3四半期	<ul style="list-style-type: none"> 交流側から移行するサージ性過電圧 直流送電線地絡時に交流側に回り込む電流
2017年度 第4四半期	<ul style="list-style-type: none"> 検討および総括

XTAP解析ケース(帰線あり双極)の例 →

<研究成果>

「標準仕様書」に基づき、各種過電圧および異常現象の解析に適した解析ケースの仕様を策定し、XTAPケースを作成した(図3-13)。

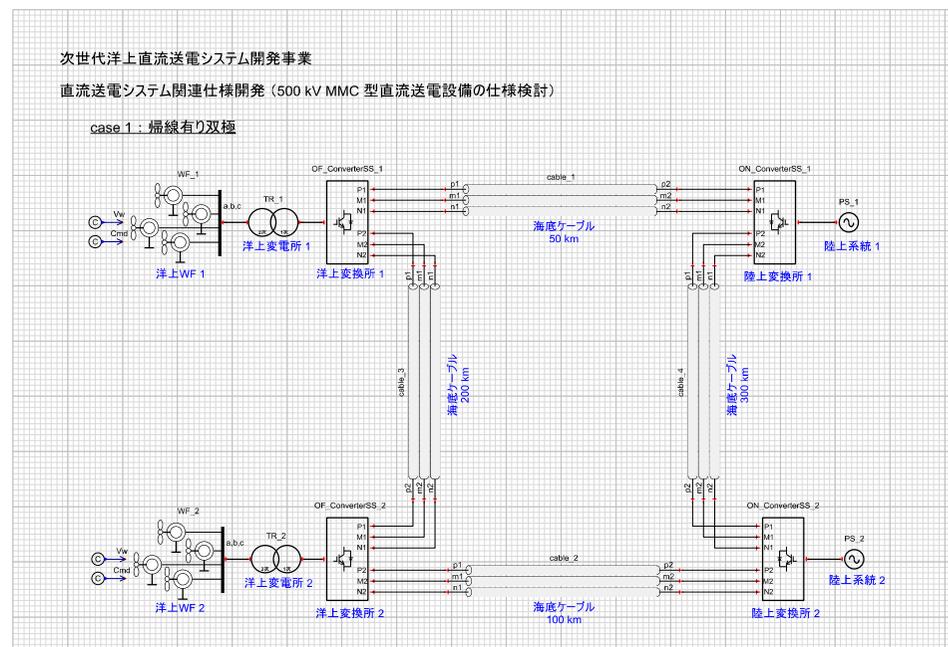


図3-13 XTAPで作成した双極ケース(帰線有)

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

3.3 多端子直流送電システムの制御・保護方式の開発、設備の要求仕様の検討

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
異社間接続が可能な洋上多端子直流送電システムの標準仕様書案の作成	異メーカーの方式相違によらない洋上多端子直流送電システムの解析に裏打ちされた標準仕様書を完成する	3端子以上の多端子システムの検証では、定常時および過渡時の運用のあり方を反映した上位制御を組み込む必要がある	運用のあり方の整理とそれを反映した上位制御の検証を相互に連携することで課題の解決は可能である
異メーカー間で構築された洋上多端子直流送電システムの標準仕様の解析検証	異メーカーの洋上多端子直流送電システムの解析技術を確立し、多端子標準仕様書案の最終検証を行う	多端子化での検証を進めるためのツールの使い分けの検討が必要である	検証項目の整理と並行し、ツールの特性を考慮しながら検証案を作成することで、課題の達成は可能である

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

3.3 多端子直流送電システムの制御・保護方式の開発、設備の要求仕様の検討

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
直流送電システム関連仕様開発(500 kV MMC型多端子直流送電設備の仕様検討)	想定する各種過電圧および異常現象に加えて、近年、先行する欧州等から報告されている異常現象の解析を行い、500 kV多端子直流送電システムの設備に要求される耐電圧レベルなどの仕様を明らかとする	先行する欧州等の洋上直流送電システムについて調査を行い、開発する500 kV多端子直流送電システムに生じうる各種異常現象を整理し、解析を行う	学会調査や現地調査を着実にを行い、各種異常現象を整理、解析することで可能と考える

(Ⅱ)要素技術開発

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究開発項目Ⅱ 要素技術開発

3.4 直流遮断器の開発(東芝)

(1) 機械遮断部(断路部)の開発

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
高速駆動機構と断路部接点の開発	数msで所定の変位を達成する操作機構の開発と所定の断路性能を満足する接点を開発する	<ul style="list-style-type: none"> ・電磁反発操作機構を開発した ・アーク消弧後の絶縁ガスの耐電圧特性を取得し、ガス接点を開発し、所定の断路性能を達成した ・真空バルブを適用した断路部の実施も実施し、所定の断路性能を達成した 	○

(2) 機械遮断部(遮断部)の開発

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
高速駆動機構と真空バルブの開発	数msで所定の変位を達成する操作機構の開発と所定の遮断性能を満足する真空バルブを開発する	<ul style="list-style-type: none"> ・電磁反発操作機構を開発した ・転流用に適した真空バルブを開発し、所定の遮断性能を達成した 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.4 直流遮断器の開発
(3) 半導体遮断部の開発

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
半導体遮断部の遮断性能向上の開発	半導体遮断部10kVモデルによる8kA遮断実証を行う	半導体遮断部が8kA以上の遮断性能を有することを実証した	○

(4) ハイブリッド遮断器の開発

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
ハイブリッド遮断器(機械遮断部+半導体遮断部+転流回路部)の制御アルゴリズムの開発	ハイブリッド遮断器(10kVモデル)における制御アルゴリズムの実証を行う	ハイブリッド遮断器の原理検証器(10kVモデル)を試作し、本器による試験において10kV-8kAの遮断に成功し、制御アルゴリズムが正しく動作することを確認した	○
500kV器対応検討とコスト試算	500kV器に向けた仕様検討とコスト試算を行う	DC500kVへの適用を想定した各遮断部の開発を行い、高電圧への対応(多重化接続)を実現するためのコンポーネント設計を進めるとともに、コストを試算した	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.4 直流遮断器の開発 (4) 遮断試験方法の開発

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
直流遮断器の遮断試験方法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・遮断試験での条件を調査し、遮断試験方法を開発する ・その後、原理検証モデルで試験方法の評価試験を実施する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハイブリッド直流遮断器の遮断シーケンスのシミュレーション結果をもとに、電流電圧の条件を設定した ・電流と電圧の供給源を分けた試験方法を開発し、原理検証モデルを用いて試験を実施した ・開発した試験方法の妥当性を評価した 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況

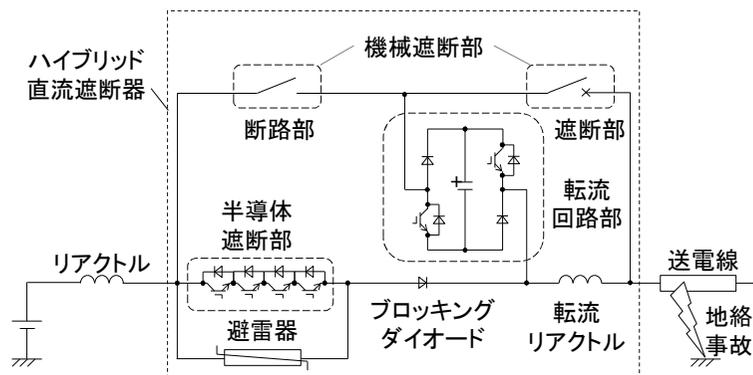


図3-1 ハイブリッド直流遮断器の構成

【機械遮断部】

- ✓ 断路部の接点性能検証器を製作。(図3-14)
- ✓ 高速駆動と接点部の耐電圧性能を検証。
- ✓ 遮断部の遮断性能検証器を製作。(図3-15)
- ✓ 高速駆動と接点部の遮断性能を検証。

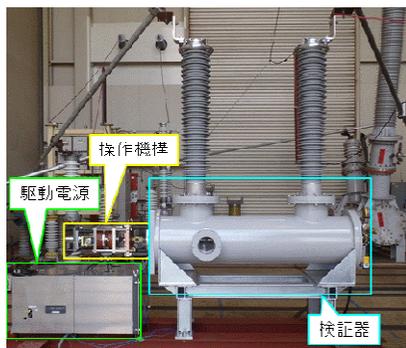


図3-14 断路部性能検証



図3-15 遮断部検証器

【転流回路部】

- ✓ アルゴリズムの開発
システム故障電流を検出して、電流ゼロ点を生成する時間を予測するアルゴリズム。
- ✓ 開発アルゴリズムの動作確認
10kVモデルによる組み合わせ試験にて、正しく動作することを確認。

【半導体遮断部】

- ✓ 自励式半導体素子の遮断性能向上の開発。
スナバ回路を適用。
- ✓ 自励式半導体素子の遮断性能確認。
組み合わせ試験で、8kA以上の遮断性能確認。

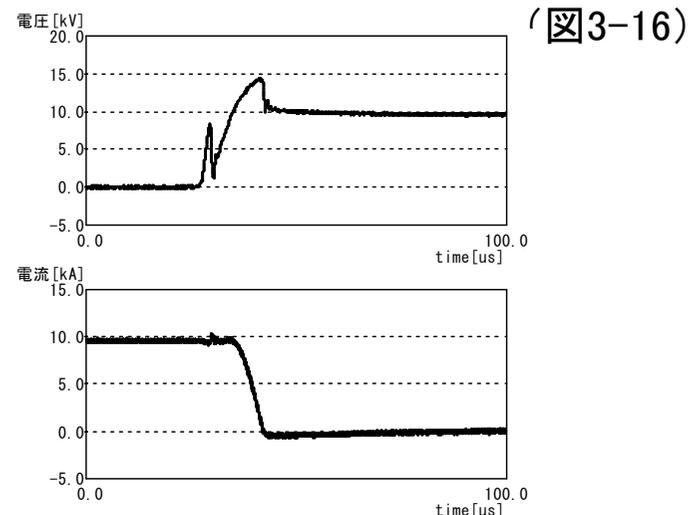


図3-16 半導体遮断部遮断波形

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況

【ハイブリッド直流遮断器】

- ✓ 10kVモデル(図3-17)を製作し、試験法案の立案および原理検証を実施。
 - 電流・電圧の供給が可能な試験方法として、試験回路(図3-18)による合成試験法を開発。
 - 機械遮断部・半導体遮断部・転流回路部がシステムとして正しく動作し、遮断電流の目標値とする8kAの遮断を実証。(図3-19)

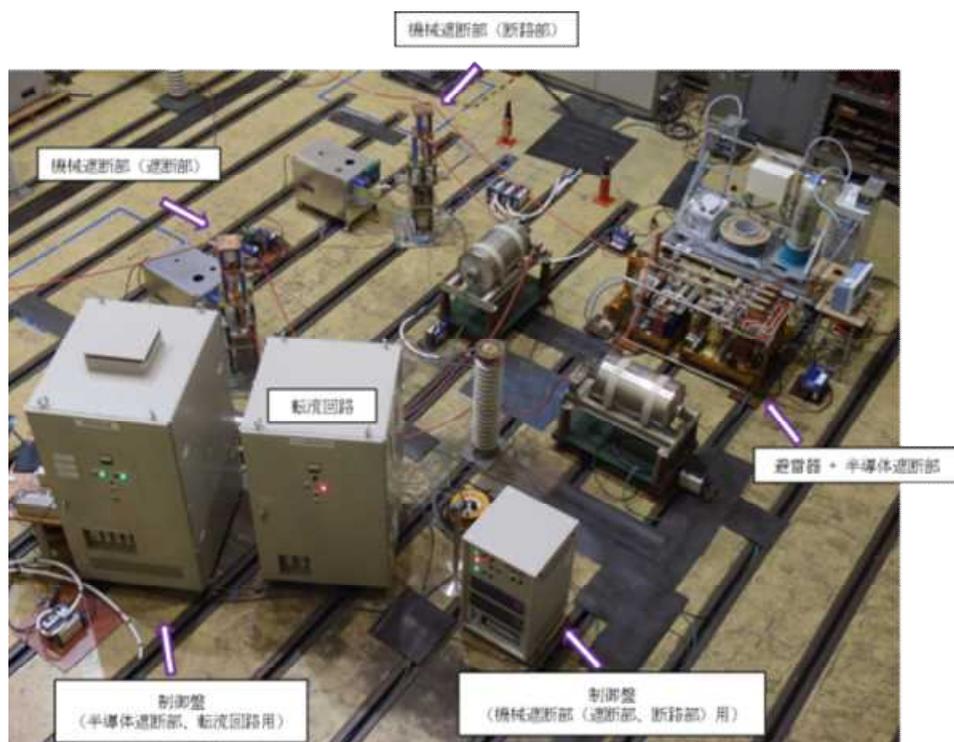


図3-17 ハイブリッド直流遮断器10kVモデル

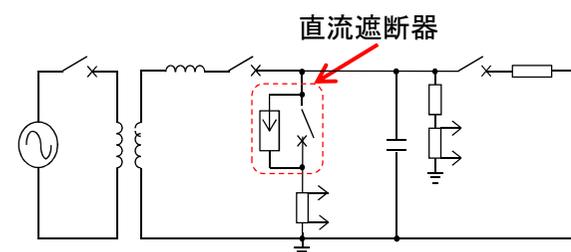


図3-18 試験回路

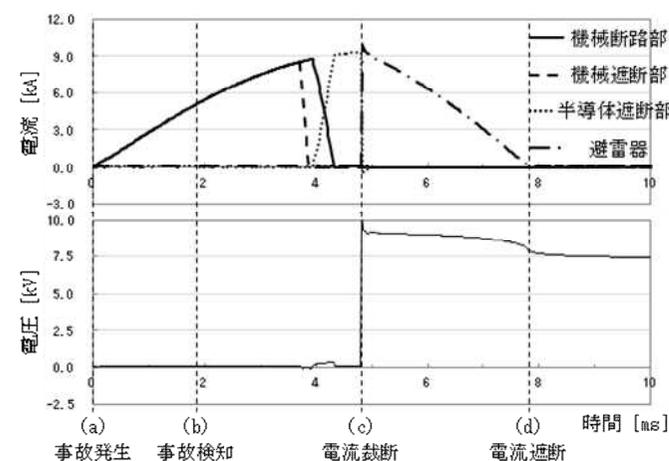


図3-19 遮断試験結果波形

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

3.4 直流遮断器の開発

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
機械遮断部(断路部)の開発 ・機械的・電氣的信頼性の検証 ・高電圧化への対応	長期信頼性の高い断路部を開発する 数百kVに対応できる基礎技術を開発する	機器の耐久性、特性変化および電氣的劣化を評価する	連続開閉試験、長期課電試験を実施して機器の信頼性を向上させる
機械遮断部(遮断部)の開発 ・機械的・電氣的信頼性の検証 ・高電圧化への対応	長期信頼性の高い断路部の開発 数百kVに対応できる基礎技術の開発	機器の耐久性、特性変化および電氣的劣化を評価する	連続開閉試験、長期課電試験を実施して機器の信頼性を向上させる。
半導体遮断部の開発 半導体遮断部と転流回路部による遮断性能向上に向けた開発	半導体遮断部と転流回路部(数10kVモデル)による遮断実証を行う	半導体遮断部と転流回路部の高電圧化、および適用するスナバ回路の最適化と半導体遮断部の駆動電源の供給方法を開発する	避雷器を含めた高電圧検討と、半導体遮断部と転流回路部の定数検討により達成可能である

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

3.4 直流遮断器の開発

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
ハイブリッド遮断器の開発 数10kVハイブリッド遮断器の製作・試験検証と高電圧化対応	数10kVハイブリッド遮断器による開発仕様の達成と、500kV対応器を試設計する	数10kV組合せシステムにおける遮断性能を達成する	機械遮断部および半導体遮断部における課題達成にて対応する
遮断試験方法の開発 直流遮断器の遮断試験方法の開発	数10kVハイブリッド直流遮断器の遮断試験を実施し、試験方法の確立	スケールモデルでの試験より得られた結果をもとに、数10kVでの試験回路へ反映すること	スケールモデルでの試験方法の妥当性は確認しているため、現状の方法をベースにすれば目標は達成可能と見込んでいる

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.5 海底ケーブル関連技術開発(住友電気工業、古河電気工業)

(1) ダイナミックレイティング技術を用いた海底ケーブル最適化設計技術の開発 (古河電気工業)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
ダイナミックレイティングアルゴリズム開発と検証	コスト削減20%のシミュレーションベースでの検証と実現に向けた課題を整理する(異径ケーブル接続を含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイナミックレイティングの導入により、ケーブルの導体断面積を削減し、そのコストを20%削減できることを示した ・また、その断面積で所定の電力を送電できることを示した 	○

(2) 異径ケーブル接続部の開発(古河電気工業)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
導体断面積の異なるケーブルの接続技術の確立	導体断面積2000mm ² と1800mm ² のケーブル接続の要素技術を確立し、長期信頼性試験を開始する	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルを構成する各材料の接続方法を決定し、要素技術を確立した ・本年度内に予定通り長期信頼性試験を開始する 	○

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.5 海底ケーブル関連技術開発(住友電気工業、古河電気工業)

(3) 最適工法およびコスト削減を目指したケーブルジョイントと工法の開発(住友電気工業)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
異社間分岐ジョイントの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・直流525kV級EB-Gの試作、並びに性能評価を行う ・従来技術に対するコスト削減効果を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・直流525kV級EB-Gを試作し、CIGRE TB 496に準拠した型式試験を実施した。その結果、十分な基本性能を有していることを確認した ・今後、従来工法に対するコスト削減効果を試算する 	○
525kV海底ケーブル向け工場ジョイント工法(テープ巻モールド方式)の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・直流525kV級工場ジョイントの試作、性能評価を行う ・従来技術に対するコスト削減効果を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・直流525kV級工場ジョイント(テープ巻モールド方式)の試作を完了した。今後、基本性能評価を行い、2017年度中に完了予定である ・今後、従来工法に対するコスト削減効果を試算する 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.5 海底ケーブル関連技術開発(住友電気工業、古河電気工業)

(4) 洋上風力用に最適化された工事工法と設備の開発(住友電気工業)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
洋上風車向けケーブル引き込み工法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイバーレス工法を可能とするケーブル防護材の検討と施工性を確認する ・従来技術に対するコスト削減効果を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイバーレス工法を可能とするケーブル防護材(CPS)を調査・選定した。また、実際のCPSを入手しその施工性を確認した結果、風車引込作業に問題はないことを確認した ・コストを試算した結果、従来工法よりコスト削減出来る見込みとなった 	○
バンドル敷設工法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・バンドル敷設工法の敷設船艙装要領の提案、並びに技術課題を検討する ・従来技術に対するコスト削減効果を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・敷設船上で海底ケーブル2~3条をバンドルし同時敷設する工法について検討し、敷設船艙装要領を提案した。また、敷設時に海底ケーブル加わる側圧が技術課題であることを示した ・今後、側圧試験を実施し、本工法適用の場合のケーブルへの影響評価を行い、結果を反映したケーブル設計仕様を完成させる ・従来工法に対するコスト削減効果を試算する 	○
防護管の自動取付工法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・船上防護管取付工法の検討、並びに実機防護管の設計・試作を行う ・従来技術に対するコスト削減効果を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ・船上での高速防護管取付を可能とする船上設備について1/10モデル(3Dプリンタ模型)を作製し自動供給性などを確認した。また、実機防護管を設計・試作した ・今後、防護管の性能評価試験を行い、その結果を防護管の設計仕様および工法へ反映する ・従来工法に対するコスト削減効果を試算する 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(ダイナミックレイティング技術を用いた海底ケーブル最適化設計技術の開発)

	設計	許容電流推定	実スケール試験
検討過程	ケーブルシステム設計 ダイナミックレイティング設計 (図3-20)	電流-温度の伝達関数作成 デジタルフィルタの適用	試験用ケーブル布設設計 ケーブル温度計測系の開発
成果	コスト20%削減が可能	良好な導体温度推定 (図3-21)	試験フィールド完成 現在運用中(予定通り)
今後		両者を合わせ、フィールドでの温度推定の精度を向上させる	

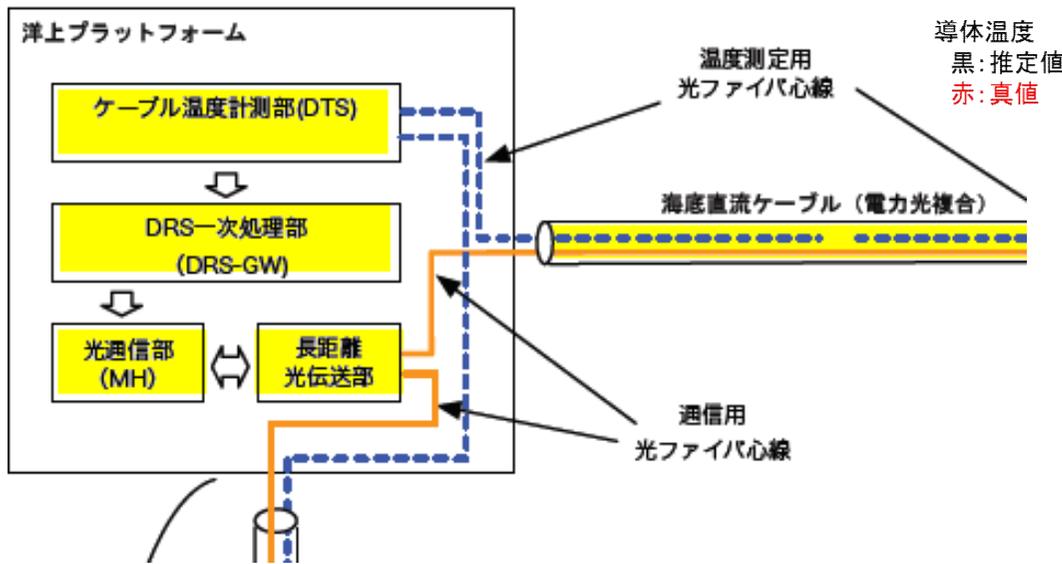


図3-20 プラットフォーム間のダイナミックレイティングシステム

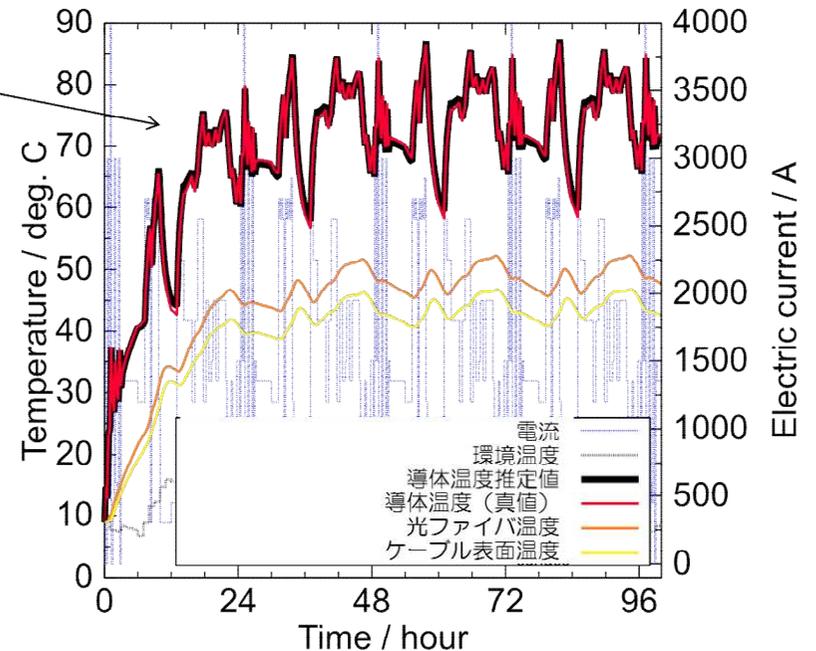


図3-21 開発した導体温度推定アルゴリズムの結果の一例

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(導体断面積の異なるケーブルの接続技術の確立)

	接続部設計	要素技術開発	長期信頼性試験
検討過程	接続工法のFSを実施 2000mm ² ⇒1000mm ² 接続	導体、絶縁体など個別部材の 接続工法の開発	事前の機械試験など実施 試験装置の設計
成果	<u>実用化時のニーズを踏まえ、 200mm²ずつ異なる接続</u>	良好な部材接続を実現 機械試験、温度試験をパス	試験装置の設置(予定)
今後		長期信頼性試験を実施し、接続部の健全性を示す	

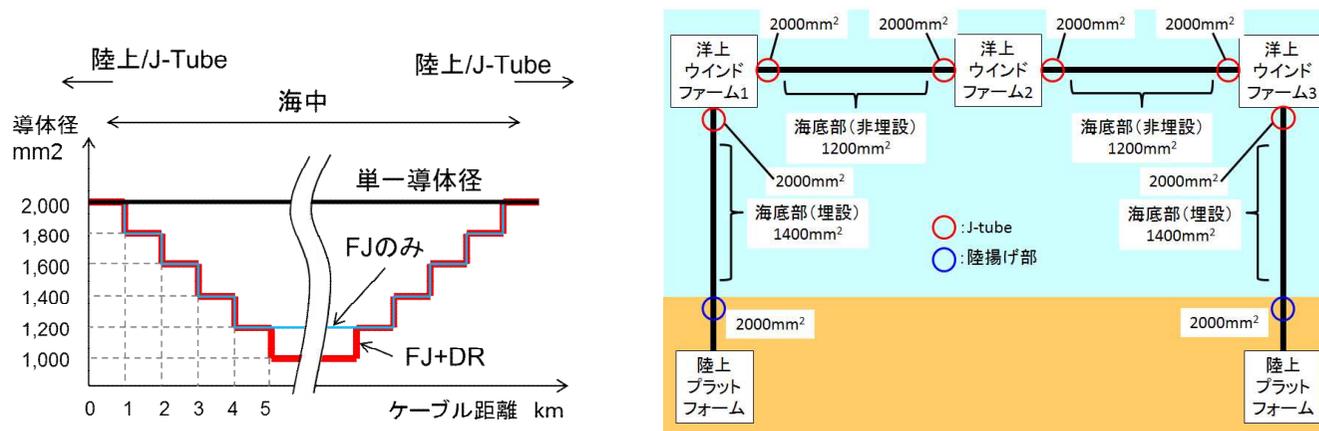


図3-22 異なる導体断面積のケーブルで構成する洋上直流送電システムの一例

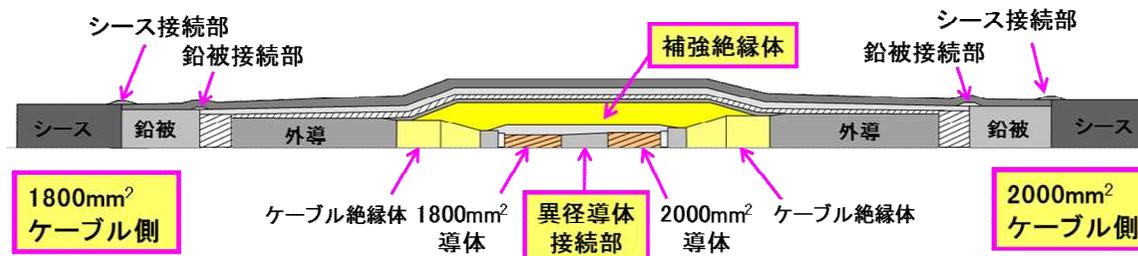


図3-23 異径ケーブルの工場接続部断面図

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(最適工法およびコスト削減を目指したケーブルジョイントと工法の開発)

✓ 異社間分岐ジョイントの開発

複数の洋上WFを直流多端子で接続するシステムにおいて、洋上WFを追加増設する場合に、異社間分岐ジョイントを用いることで、その増設コストを低減する方法提案した。

異社間分岐ジョイントを可能とする直流525kV級ケーブル用のガス終端接続箱(EB-G)を試作し、その基本性能をCIGRE TB 496に推奨されている30日間の長期課通電試験(Type試験)に供試して評価した。試験の状況を図3-24に示す。

✓ 直流525kV海底ケーブル向け工場ジョイント(テープ巻モールド方式)の開発

ケーブル製造コスト低減を可能とする、テープ巻モールド(TMJ)方式による工場ジョイントを直流525kV海底ケーブル向けに試作した。本工場ジョイントの基本性能を今後確認予定である。



試験回路外観



EB-G外観



ケーブル外観

図3-24 EB-G性能評価試験実施状況

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(洋上風力用に最適化された工事工法と設備の開発)

✓ 洋上風車向けケーブル引き込み工法の開発

風車へ引き込み接続する風車立上ケーブルの防護工法をダイバーレス作業で実施可能となれば、多数の風車へのケーブル引込作業の時間短縮に繋がり低コスト化が可能となる。そこで、ダイバーレス取付作業を可能とするケーブル防護システム(CPS)について調査を実施した。調査した海外メーカの中から3社を選定し、実際にCPSを購入(またはレンタル)し、その施工作業性確認試験を実施し、風車引込作業に問題はないことを確認した。

✓ 多条同時敷設工法の開発

長距離での海底ケーブル敷設では、多条(2~3条)を同時に敷設する工法(多条バンドル)の方が敷設コストを低減することができる。多条同時敷設工法の課題は、1条毎にケーブルを敷設する場合に比べ、ケーブルに高い側圧が加わる可能性が挙げられる。今後、高側圧を考慮した本工法の適用可能性について検討を実施する。

✓ 防護管の自動取付工法の開発

岩盤部に敷設する海底ケーブルを防御する方法として、船上での防護管取付け、より高速でケーブル敷設を可能とする工法の検討を実施した。3Dプリンタ模型による1/10モデルを作製し、船上で自動的に防護管を供給する方法と連続的に嵌合する方法を検討した。図3-25に作製した1/10モデルの外観を示す。今後、防護管の機械強度について検討を進める。



図3-25 高速船上防護管取付工法パ斯拉インの1/10モデル(3Dプリンタ模型)

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

3.5 海底ケーブル関連技術開発

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
ダイナミックレイティング技術を用いた海底ケーブル最適化設計技術の開発 ダイナミックレイティングアルゴリズム開発と検証	ケーブルコスト削減20%を実験的に示す (異径ケーブル接続を含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・気温など周囲環境に依存した技術となるため年間を通じた検証が必要である ・周囲環境の異なる状態に対して、ケーブル温度の推定を行い、その誤差が大きかった場合、根本的なパラメータの変更である可能性があり、その要否を見極める 	シミュレーション上は実現できる見通しである。また、左記の根本的なパラメータの変更が不要であれば予定より早く結論付けられると考えている
異径ケーブル接続部の開発 導体断面積の異なるケーブルの接続技術の確立	接続部の認証試験を終了し、長期的な信頼性を確認する	長期課通電試験を継続し、不具合(課通電時の地絡、接続部での温度、電圧上昇など)がないことを検証し、残存寿命を評価し、解体試験により不具合材料がないか確認する	本年度に実施する初期試験に不具合が無ければ、これまでの経験上問題ないと考えている

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.6 洋上プラットフォーム新形式基礎の基盤技術開発(大林組)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
海外事例および日本の海象・地象条件調査と各種基礎形式の適用条件の比較検討	我が国の海底地質、地形などの自然環境に最適でかつコストダウン可能な基礎形式を調査する	日本沿岸域では、砂地盤が主体であること、地震による水平荷重が卓越することより、サクシヨン基礎がモノパイルなどの従来基礎形式に比べコストダウンの可能性があることが分かった	◎
遠心力模型実験によるサクシヨン基礎の水平載荷実験	サクシヨン基礎の水平支持性能において、外力の載荷速度に依存する受働サクシヨン効果の影響を把握する	実験の結果、地震や波浪など載荷速度が速い荷重が作用した場合に、スカート内にサクシヨンが発生することにより静的な水平抵抗の2～5割増の抵抗力を発揮することが分かった	◎
土/水連成3次元弾塑性FEM解析による模型実験のシミュレーション	模型実験の再現解析を実施することにより、解析手法の妥当性を評価し、設計手法を確立する	解析によって模型実験をシミュレーションしたところ、入力定数を適切に設定することで、実験結果を再現でき、解析手法の妥当性を検証できた	○
試設計および既往基礎形式との概略コスト比較	サクシヨン基礎および既往基礎の概略設計を実施し、コスト比較を行う	想定適用地域において、サクシヨン基礎の概略設計を実施し、概略コスト比較のための基礎資料を作成した	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況

✓ 海外事例調査と各種基礎形式と比較検討

サクシヨン基礎(図3-26)は、

- 排水による水圧差で構造体を海底に貫入
- 受働サクシヨンを見込むことで基礎の物量減
- 海上作業を短くできるという施工上のメリット
→ 従来基礎に比べコストダウンとなる可能性大

✓ 遠心力模型実験による水平載荷実験

実験目的: 水平支持力性能におけるサクシヨンの影響評価

実験パラメータ: スカート構造(単独型/分離型)、載荷速度

実験結果(図3-27):

- 載荷速度が速いほど大きなサクシヨンが発生
- 地震や波浪など速い外力では静的抵抗に比べ2~5割増

✓ 塑性FEM解析による模型実験のシミュレーション(図3-28)

解析値は実験値とよい対応 → 解析手法の妥当性を検証

✓ 試設計(図3-29)および既往基礎形式との概略コスト比較

想定適用地域におけるサクシヨン基礎の概略設計を実施

→ コスト比較のための基礎資料

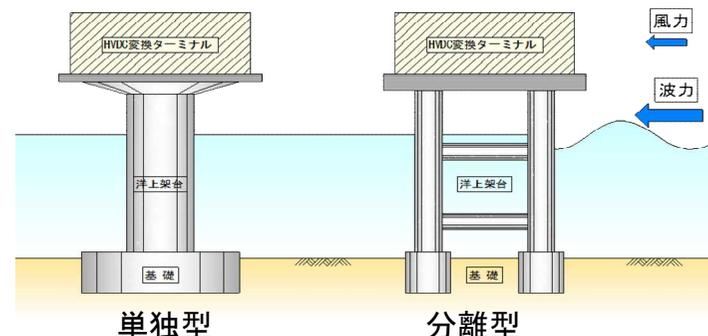


図3-26 洋上PFにサクシヨン基礎を適用したイメージ図

実験模型



載荷速度と抵抗モーメント

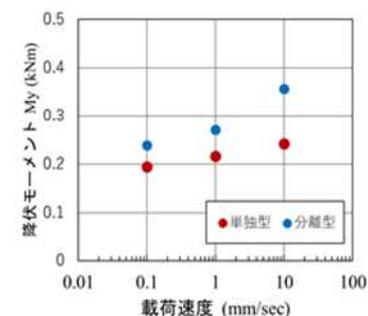


図3-27 遠心力模型実験結果

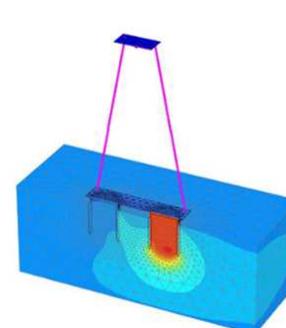


図3-28 再現解析結果

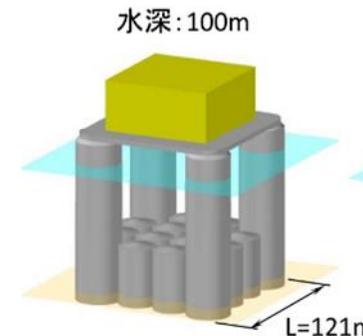


図3-29 概略設計事例

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

3.6 洋上プラットフォーム新形式基礎の基盤技術開発

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
遠心力模型実験による繰返し力に対するサクシヨン基礎の性能評価	繰返し波浪や地震時の液状化の影響、それらが受働サクシヨンに及ぼす影響を把握して実現に向けた詳細な設計法を確立する	限られた実験ケースで、目標とする繰返し力の影響把握を確実に行うこと	想定地域における波浪条件、地震条件、地盤条件を調査し、適切な実験条件を設定することで、目標達成は可能と見込まれる
サクシヨン基礎の施工法の検討	基礎構造の構築、現地運搬、海中設置から撤去までの施工プロセスを詳細に検討し、施工法を確立する	<ul style="list-style-type: none"> ・コストミニマムとなる構造・材料を検討すること ・施工船、基地港、現地海域気象条件など施工条件を詳細に設定すること 	いくつか不確実な条件はあるものの、現段階での最適な施工法を選択できると思われる。目標の達成は可能と見込まれる
想定適用事例における既往基礎形式とサクシヨン基礎の詳細コスト比較	既往基礎形式と比較して、コスト削減割合20%となる新形式基礎の仕様を策定する	<ul style="list-style-type: none"> ・既往基礎の設計法および施工法と同レベルの詳細な検討を実施してコスト比較を行うこと ・削減割合目標に達しない場合に、基礎の軽量化などのコストダウン策の検討を行うこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・上記二つの課題がクリアできれば既往基礎と同レベルの比較検討は可能と見込まれる ・コストダウン策については設計施工の両面から具体的なアイデアを抽出し、仕様策定を行う

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.7 洋上プラットフォーム小型化の検討

(1) 洋上風車の直列接続方式の開発(東京電機大学)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
風力発電の集電システムの国内外の動向調査	洋上風力発電の集電システムの国内外の適用事例を調査し、風力発電の直列接続方式の適用による有効性を確認する	特許・実用新案、論文等について文献調査を実施し、洋上PFの不要となる直列接続方式が並列接続方式と共に有望視されていることを確認した	◎
風力発電の直列接続方式の実現可能性の検討	風力発電の直列接続の簡易的なモデルを用いてシミュレーションを行い、本方式を実現可能な方法を検討する	<ul style="list-style-type: none"> ・風車（同期発電機、5MW）を50台直列接続した洋上WFのシミュレーションモデルを構築し、システムの基本特性を検討するとともに、他励式サイリスタインバータ-HVDCシステム全体の基本的な動作特性を検討した ・簡易モデルを用いたシミュレーションにより本方式が実現可能であることを確認した 	○
永久磁石式同期発電機を用いた直列接続風力発電模擬試験装置の開発と模擬実験の実施	<ul style="list-style-type: none"> ・風力発電機を模擬した直列接続方式の試験装置を開発する ・種々の実験を実施し、装置各部の電圧電流波形並びに入出力特性などを計測して本方式の有用性を検証する 	<ul style="list-style-type: none"> ・2台の風力発電機を模擬した直列接続方式の試験装置（永久磁石式、装置出力 4kW、3相、200V、50Hz）を開発した ・本装置を用いて、系統連系運転並びに単独負荷運転それぞれの場合に対する実験を実施し、本研究の直列接続システムが実用可能であることを明らかにした 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.7 洋上プラットフォーム小型化の検討

(2) Solid State Transformer技術を応用したHVDC変換設備の基礎技術開発(大阪工業大学)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
高周波変圧器の小型軽量化の指針取得	高周波変圧器による従来型変圧器からの大幅な小型化を実現する	高周波での安定運転を確認、今後、制御性能向上で変圧器・リアクトル・キャパシタを小型化可能なことを検証した	○
リアルタイムシミュレータモデル構築	系統相互作用を検証できるモデルを構築する	1kHzでのゲート信号発生を行い、外付け変換器での正常動作を検証した	○
冷却系の最適化による小型軽量化	小型化による温度上昇を抑制する冷却系の設計手法を確立する	基本実験と逆解析により、熱流解析による最適冷却系の選定可能なことを確認した	○

(3) 高周波変圧器の開発(日立製作所)

開発成果と達成度			
主な内容	中間目標	成果	達成度
高周波変圧器の様検討、および試作・評価	高周波変圧器の小規模試作を通じて、集電昇圧用変換器の小型化に関する設計・製造の課題を抽出する	<ul style="list-style-type: none"> 高周波変圧器の漏れ磁束を低減する1層毎交互巻を検討し、5kVA、500kVA試作器を用いた実験と解析で巻線損失の低減効果(500kVA試作器で損失約30%低減)を実証した。また、実規模の500kVA試作器にて製作可能なことを示した シミュレーションにより、提案する1層毎交互巻高周波変圧器を搭載したDC-DC変換器の動作を確認した 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

3.7 洋上プラットフォーム小型化の検討

(4) ガス絶縁変圧器の洋上変電所への適用検討(東芝)

開発成果と達成度			
主な内容	最終目標	成果	達成度
電界解析による検討	変換用変圧器のガス絶縁化の基礎検討を行う	<ul style="list-style-type: none"> 基本仕様に基づく概略寸法・重量を評価するとともに、電界解析を実施した 解析結果をもとに、ガス絶縁変圧器(GIT)を洋上変電所に適用する場合の仕様条件と課題を明確にした 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(洋上風車の直列接続方式の開発)

- ✓ 直列接続の優位性調査
- 並列接続に対し洋上PFが不要、単純化が可能
- 提案の直列接続方式より、1)構成が簡単、2)信頼性が高く、かつ大容量化が容易、3)交流出力側フィルタが不要 のメリット

- ✓ 基本モデル開発とシミュレーションの実施による特性検討
- 現行風車構造で4MW×25台まで接続の可能性
- 5MW×50基のWFについて風速が異なる場合に対する各部の電圧・電流の瞬時値特性などを検討

- ✓ 直列接続システムの有用性検証のため模擬試験装置開発と模擬実験を実施(系統連系・単独負荷運転)
- システムの安定動作を確認
- フィルタ不要で歪み率5%以下の出力波形を実現
- 出力力率1の条件で有効性を確認

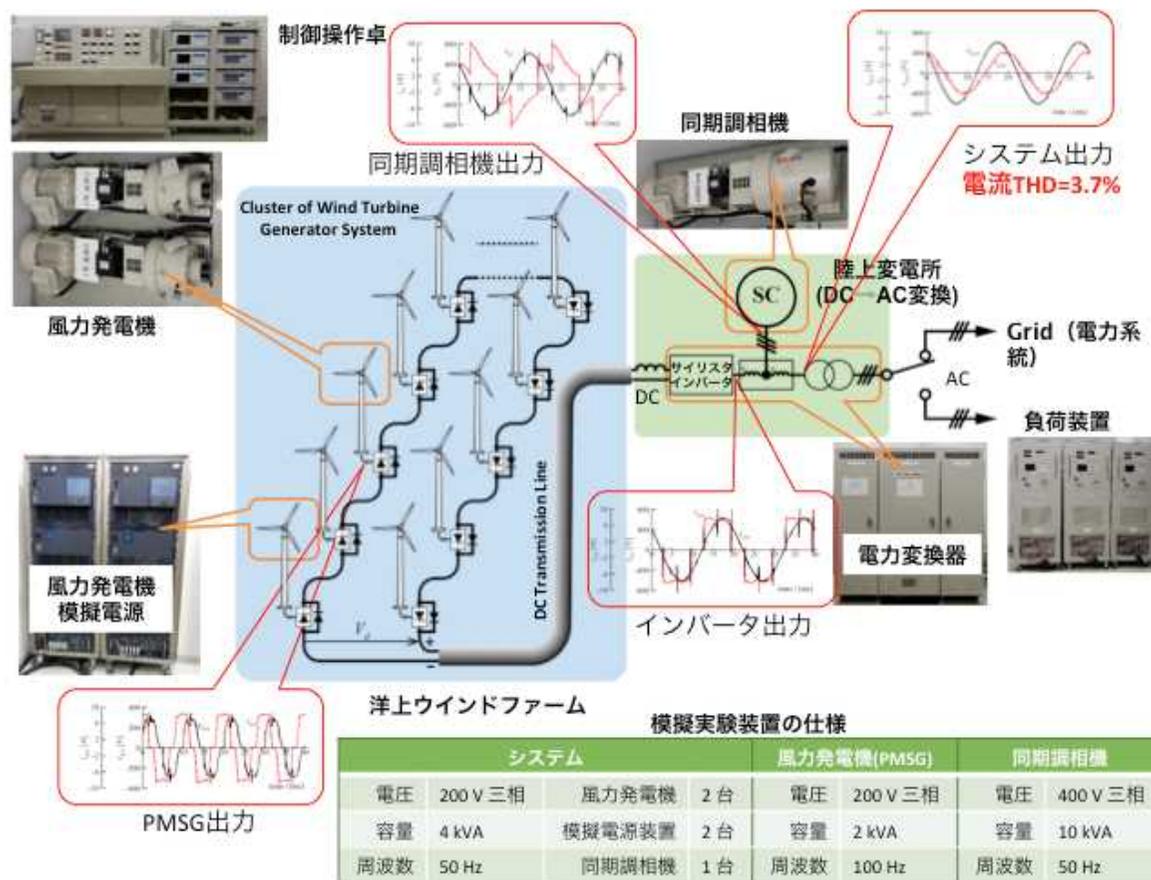


図3-30 直列接続方式風力発電システムの構成と模擬実験装置 (実験結果は系統連系運転出力2.7kW時の電流(Red),電圧(Black)の波形例)

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況 (Solid State Transformer技術を応用したHVDC変換設備の基礎技術開発)

実験システムに400Hz安定動作を確認し、リアルタイムシミュレータで同等の動作を確認、変圧器のコア材料の周波数特性を取得し、冷却系の特性解析を実施した。

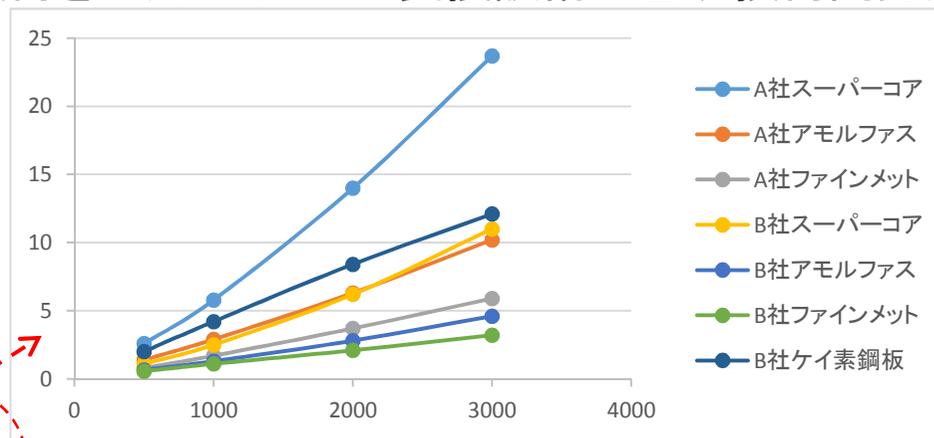


図3-32 コア材料の周波数特性

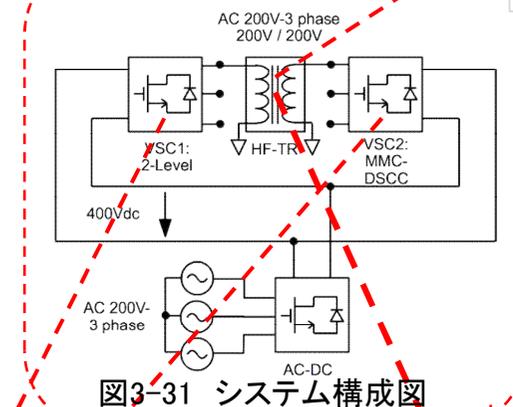


図3-31 システム構成図

水冷変圧器

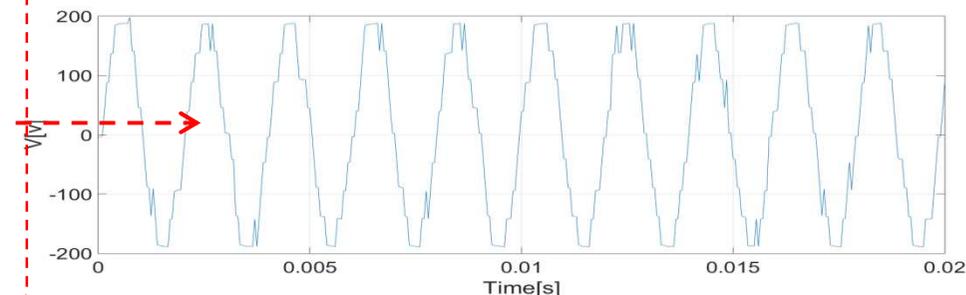


図3-33 リアルタイムシミュレータMMC変換器出力波形

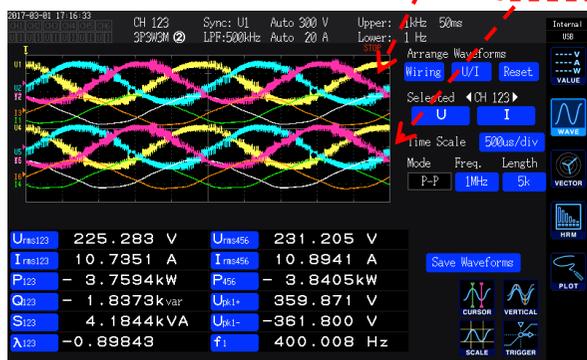


図3-34 高周波変圧器・実験結果



冷却特性

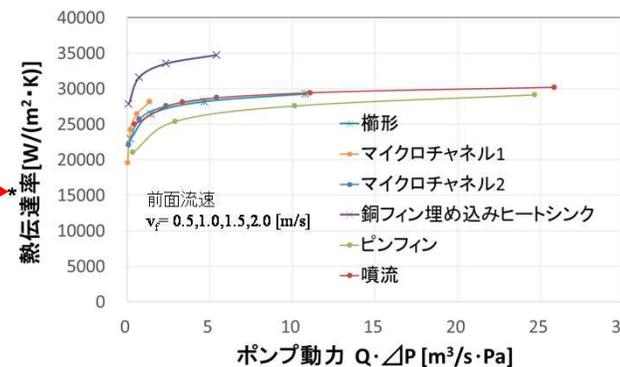


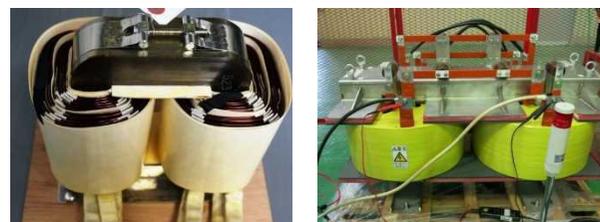
図3-35 水冷高周波変圧器と熱流解析結果

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

具体的な実施状況(高周波変圧器の開発)

✓ 検討過程

高周波巻線損失の低減が期待される巻線構成(1層毎交互巻)と、比較用の一般的な巻線構成(単純重ね巻)について、5kVA、500kVAの高周波変圧器を試作(図3-36)し、実験と解析の両面から検討した。



5 kVA 試作器 500 kVA 試作器
図3-36 試作した高周波変圧器

✓ 成果

- 実験(図3-37)と解析(図3-38、図3-39)から、1層毎交互巻の巻線抵抗および巻線損失の低減を実証した。
- 単純重ね巻と比べ1層毎交互巻の全損失は約30%低減(図3-40)
- 実測から得られた高周波変圧器パラメータをDC-DC変換器シミュレーションモデルに適用し、良好に動作することを確認した。

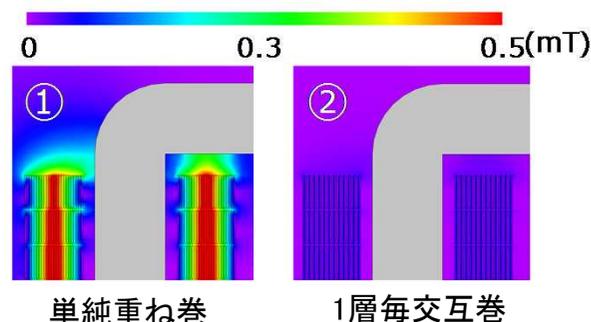


図3-38 漏れ磁束の計算結果(コンター図)

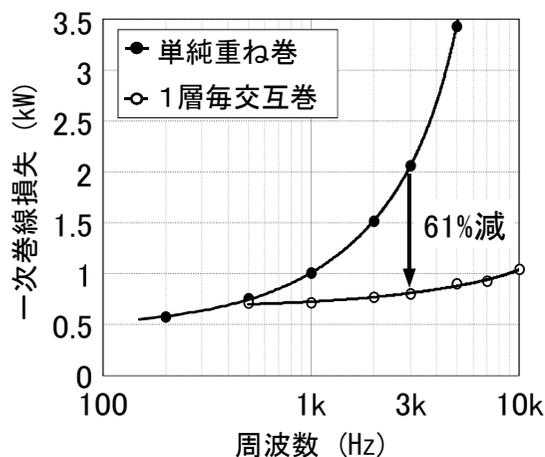


図3-37 1次巻線損失の周波数特性(500kVA)

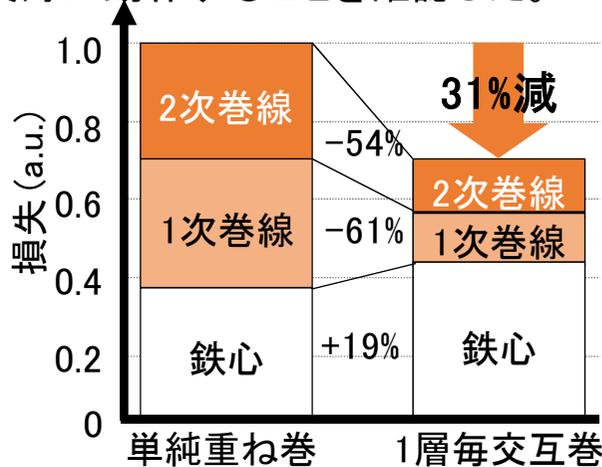


図3-40 全損失比較(500kVA)

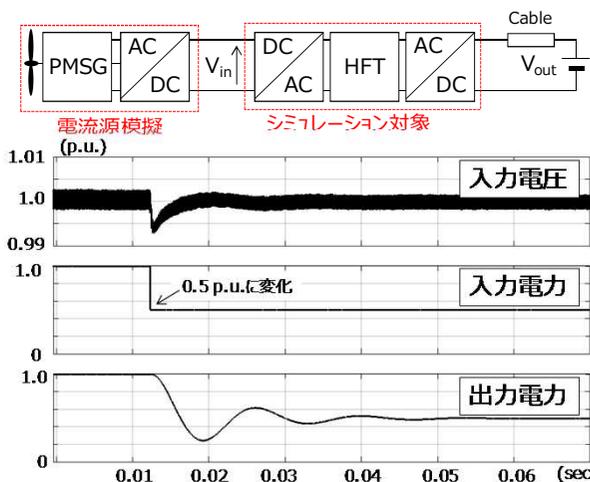


図3-39 DC-DC変換器のシミュレーション検討

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

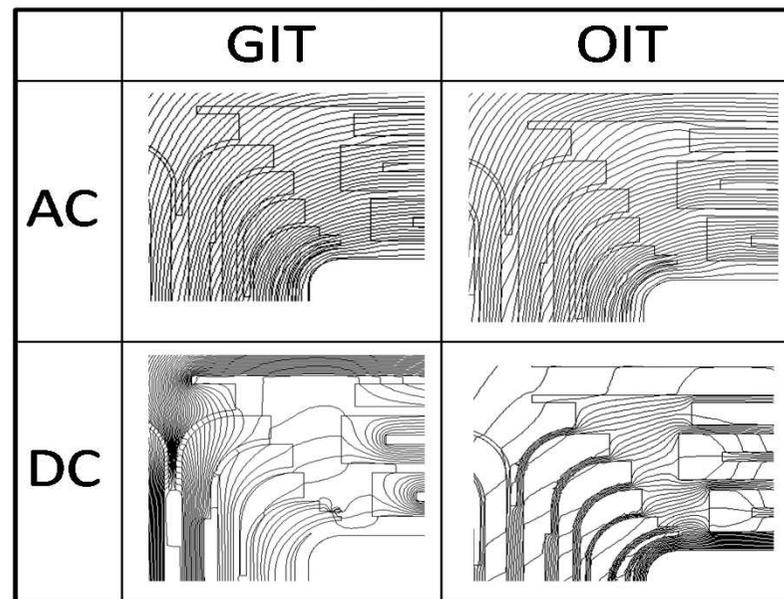
具体的な実施状況(ガス絶縁変圧器の洋上変電所への適用検討)

- ✓ 変圧器の絶縁設計～電界解析による検討～
- ガス絶縁変圧器(以下、GIT)について、過去に実績のある直流送電用の油入変圧器(以下、OIT)と同等の絶縁構成にて双方の電界解析を実施した。
- 実施した電界解析より、直流送電用のGITの課題の抽出を行った。

- ✓ 電界解析結果(表3-4)
- 印加電圧がDCの場合、OITでは絶縁紙・プレスボードに、GITではSF₆ガスに電圧が多く分担する分布となった。
- 絶縁耐力は固体絶縁物である絶縁紙・プレスボードに比べ、SF₆ガスの方が低いことから、高いDC電界下における絶縁設計はOITよりもGITの方が厳しくなると考えられる。
- GITでOITと同程度の絶縁裕度を確保する場合、変圧器寸法・重量がOITに対して増大し、変圧器コストの増加が懸念される。

- ✓ まとめ
- 現行の直流送電用のOITの絶縁構成でも、変圧器に印加される電圧がACのみであればガス化できると推測される。
- GITを適用する場合、OITに対して寸法・重量・コストの増加が懸念される。
- これらをふまえ、環境面などを含め、多方面からGITの適用によるメリットを評価する必要がある。

表3-4: 等電位線図の比較



3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

3.7 洋上プラットフォーム小型化の検討

(1) 洋上風車の直列接続方式の開発

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
模擬実験システムを利用した各種実験の実施	直列接続方式の実用性を検証するとともに、システムの設計指針を明らかにする	<ul style="list-style-type: none"> ・風速が大幅に変動する場合等を含めた実験的検討を実施する ・システムの要求する有効電力、無効電力をある範囲で自在に送出可能なシステムを開発し、その有用性を実験的に検証する 	模擬実験システムの改良と試験、および試験結果とシミュレーションの高度化により達成の見通し

(2) Solid State Transformer技術を応用したHVDC変換設備の基礎技術開発

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
フィルタを含めインダクタ・キャパシタの最小化	高速制御を用いて、従来のフィルタLCの値を半分以下とする	FPGAを用いて制御系の最適化を行う	現在のDSP制御系が安定に動作する範囲を超えるが、原理的には十分可能である
高周波変圧器のコア材質の選定と周波数の選定に資するデータの蓄積	コア材の選定に資するデータを蓄積する	コアデータを効率・コスト・体積・重量の点から選定できるデータを蓄積する	パッシブ素子の値を変えてデータを蓄積する必要があるが、1年程度の実験期間があれば達成可能である

3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

3.7 洋上プラットフォーム小型化の検討

(2) Solid State Transformer技術を応用したHVDC変換設備の基礎技術開発

今後の課題と課題解決の見通し

開発項目	最終目標	今後の課題	課題達成の見通し
冷却系の熱流解析を拡張して温度分布を均一化する熱流構造の構築	大容量化した場合にも適用できる高周波変圧器の冷却系の設計データを蓄積する	3次元構造における熱流の測定方法と同定のための解析技術を確立する	逆解析手法による同定に一定の成果が出ており、測定方法が順調に確立できれば、1年程度で達成可能である
<ul style="list-style-type: none"> ・試験結果などを集約し、変換器システムについて従来比1/20を実現するための指針の完成 ・変換器においては周波数の選定、共振(イミタンス変換)利用の得失明確化 ・受動素子の材質と構造の比較 ・冷却系の温度分布推定方法を精密化し冷却系の最適化手法の確立 ・これらの成果を設計データとして集約 	<ul style="list-style-type: none"> ・高周波変圧器を適用した変換器システムにおいて、体積比で従来比1/20を実現する設計法を確立する ・制御性能の向上で半導体素子を除く受動素子の小型化を行い変換器自体の小型化手法を確立する ・構造的に密度を増大させるために冷却系の最適化手法を確立する 	<ul style="list-style-type: none"> 変換器システムの高周波運転、高周波変圧器の材質と構造の最適化、冷却系の最適化の成果を用いて、シミュレーションや試作などにより各構成要素の小型化比率を試算し、それを元に変換器システムの小型化設計を行う 	それぞれの開発は順調に推移しており、今後行うデータ集約、設計手法の確立、シミュレーションによる確認手法とも計画には問題ないため目標達成出来る見込みである

3. 研究開発成果 (3) 成果の普及

◆ 成果の普及

学会発表等については、特許の想定や機密性の高い情報の取り扱い等を考慮しつつ、成果普及の観点から情報発信を実施。

また、特許出願については、実用化・事業化を想定し、戦略的に特許化が必要と判断したものは出願するとともに、国内出願、海外出願についても、市場動向や費用対効果等を踏まえつつ選択。

	27年度	28年度	29年度	計
特許出願 (海外)	—	9 (2)	2 (1)	11 (3)
学会発表、論文 (査読付)	1 (1)	13 (3)	5 (3)	19 (7)
講演、その他	5	—	—	5

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

II. 研究開発マネジメント

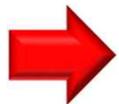
- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の最終目標の達成可能性
- (3)成果の普及
- (4)知的財産権の確保に向けた取組

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し



4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し

(I) システム開発

◆ 実用化・事業化の定義

本事業で開発された、多端子直流送電システムの計画・設計、システム制御技術などの設計・解析手法の一般化を行い、広く利用可能な技術として確立させること。

< 成果の狙い >

- 系統計画・設計や制御・保護等の設計・解析手法の確立が主たる目的
- 成果の狙いは、多端子直流送電システムの導入促進、設備の効率的な構成・設計による社会コストの低減
- 大規模洋上WFの設備が効率的な構成・設計となり風力事業者の事業性向上も期待

< 成果の実用化・事業化可能性 >

- 多端子直流送電システムの計画・設計、システム制御技術などの設計・解析手法は事業終了時に技術確立、事業性評価手法として一般化(成果報告書、標準仕様書など)
- 着床式の大規模洋上WFは、水深により海岸線に沿う形で計画される可能性有
- 送電方式は、陸上の送電システムの一部を代替する洋上直流送電システムに、複数地点において多端子で分岐する形で洋上WFを接続することが最も経済的となる高い可能性
- 大規模洋上WFの計画に合わせて多端子直流送電システムが計画され、そこへ「システム開発」で確立した技術を活用可能
- 欧州では北海の直流グリッドの構築、直流グリッドへの洋上WFの接続を目的に、多端子直流送電システムに関する技術開発が進行中、国内勢のナショプロ参画に本事業で確立された技術が活用可能

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

(I) システム開発

< 事業化までのシナリオ >

- 本事業の成果が、大規模洋上WFの計画に活用されるためには、日本において、大規模洋上WFが複数計画されることが必要
- 案件化に向けて広域連系系統の長期方針などに携わる広域機関などに対して再エネ導入拡大における多端子直流送電システムの重要性・有効性を認知させるため広く成果を発信
- ユーザーとなりうる電力会社(送配電事業者)に対しても広く成果を発信、再エネ導入拡大のための多端子直流送電システム導入の案件化に向けた働きかけを実施
- シンポジウムなどを開催して成果を広く発信し、国内での案件形成に貢献

事業終了

項 目	FY2019 (H31)	FY2020 (H32)	FY2021 (H33)	FY2022 (H34)	FY2023 (H35)
研究開発項目 I システム開発	技術確立 ★	技術の一般化 成果の周知 シンポジウムの開催		導入可能性評価 (事業性、系統解析) 案件化に向けた 関係者との協議	

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し

(Ⅱ) 要素技術開発

◆ 実用化・事業化の定義

本事業で開発された多端子直流送電システムの実現に必要な新規コンポーネントが、関連する業界や企業等で活用される、または企業活動(売上等)に貢献すること。

< 成果の狙い >

- 要素技術開発は、多端子洋上直流送電システムの実用化に必要な新規要素技術の開発が目的
- 得られた成果は国際競争を優位に進め、実用化後の国際市場への参入を可能にしつつ、将来、我が国で実案件化した際には低コストで高信頼性を有するオールジャパンのシステムの導入へ繋げることが狙い

< 成果の実用化可能性 >

- 要素技術開発を通してシステム開発へ提供するコスト情報、特性値を得るだけでなく、事業期間において実用化に向けた基盤技術を確立する計画
- 各要素技術において、試作、評価試験を行い、一部開発テーマにおいては、長期信頼性試験を実施
- 長期信頼性試験を実施しない要素技術についても、規格に則った試験環境、基準での型式試験の実施など、事業期間で実用化へ向けた準備を完了
- 従って、事業終了後の実用化は十分可能

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し (1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

(I) 要素技術開発

＜事業化までのシナリオ＞

- 各実施者とも、本事業終了後3年を目途に事業化する計画
- 要素技術開発により事業化計画は異なるが、製品化に向けた作りこみを継続して実施し、必要な設備投資をしたうえで海外案件への参入を含めた活動を開始する計画
- 要素技術開発毎に市場があるため、早期の参入により知見・経験を積み、実際に我が国の案件が生じた場合でも海外企業に対してより競争力を持つと期待

事業終了

項 目	FY2019 (H31)	FY2020 (H32)	FY2021 (H33)	FY2022 (H34)	FY2023 (H35)
研究開発項目Ⅱ 要素技術開発			製品化 設備投資 受注活動		生産開始