

「次世代送電システムの安全性・信頼性に 係る実証研究」(事後評価)

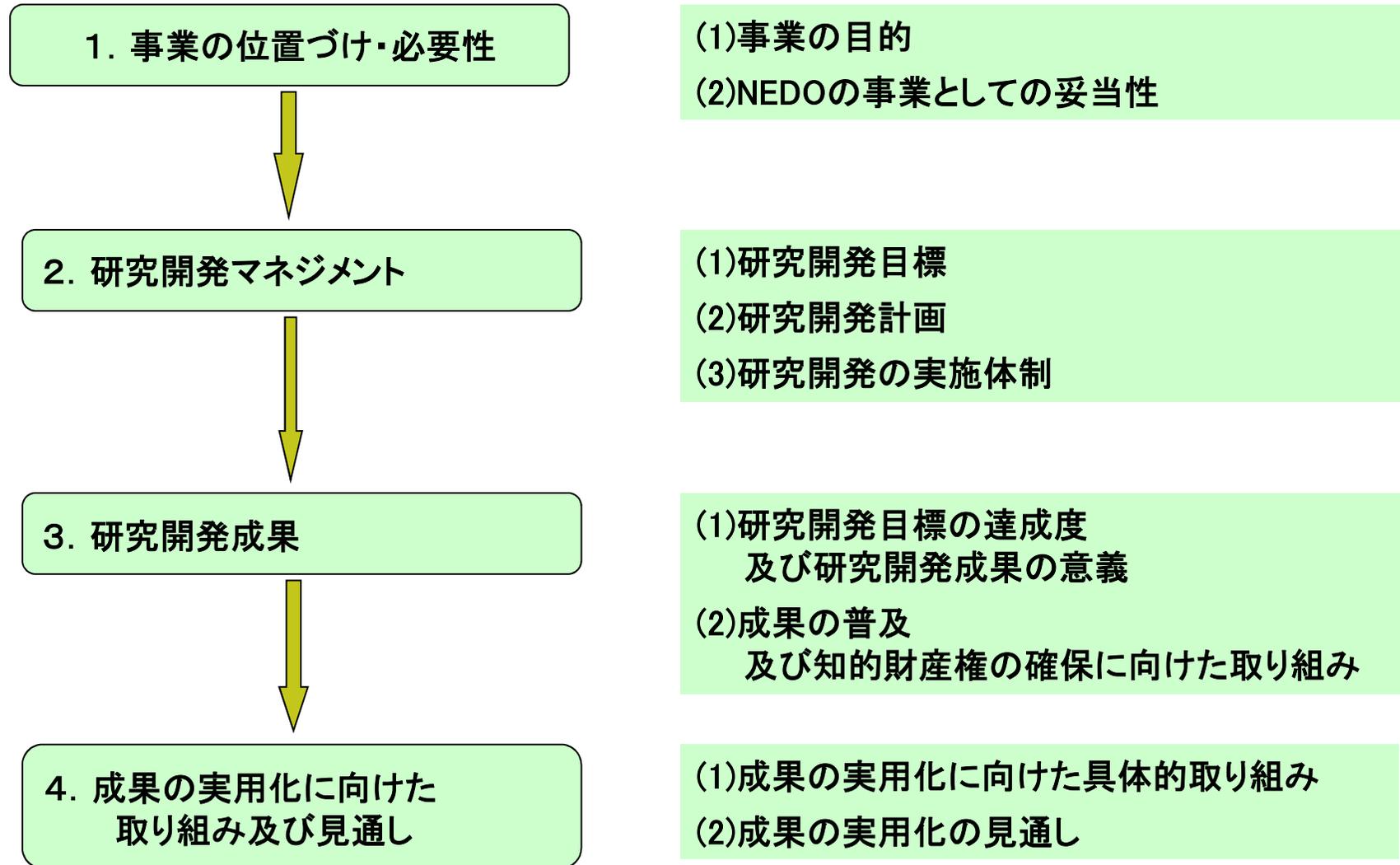
(平成26年度～平成27年度 2年間)

事後評価分科会説明資料 - プロジェクトの概要 - (公開)

平成28年6月30日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
省エネルギー部

発表内容



1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的

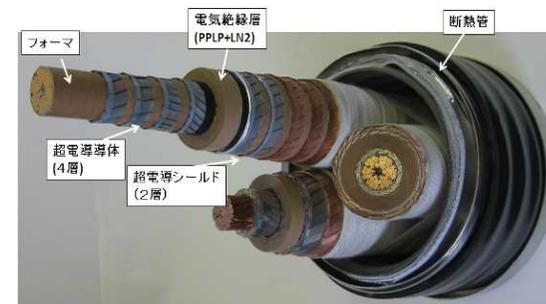
◆ 事業実施の社会的背景

- ・大都市圏での局所的な電力需要の伸び
- ・電力インフラの老朽化置換え

- ・省スペース
- ・送電容量アップ



超電導送電技術
(銅ケーブルの代替)



《プロジェクト開始時点の状況》

高温超電導ケーブル実証プロジェクトにて
旭変電所へ超電導送電システムを実装、
約1年間の系統連系実証試験を実施。

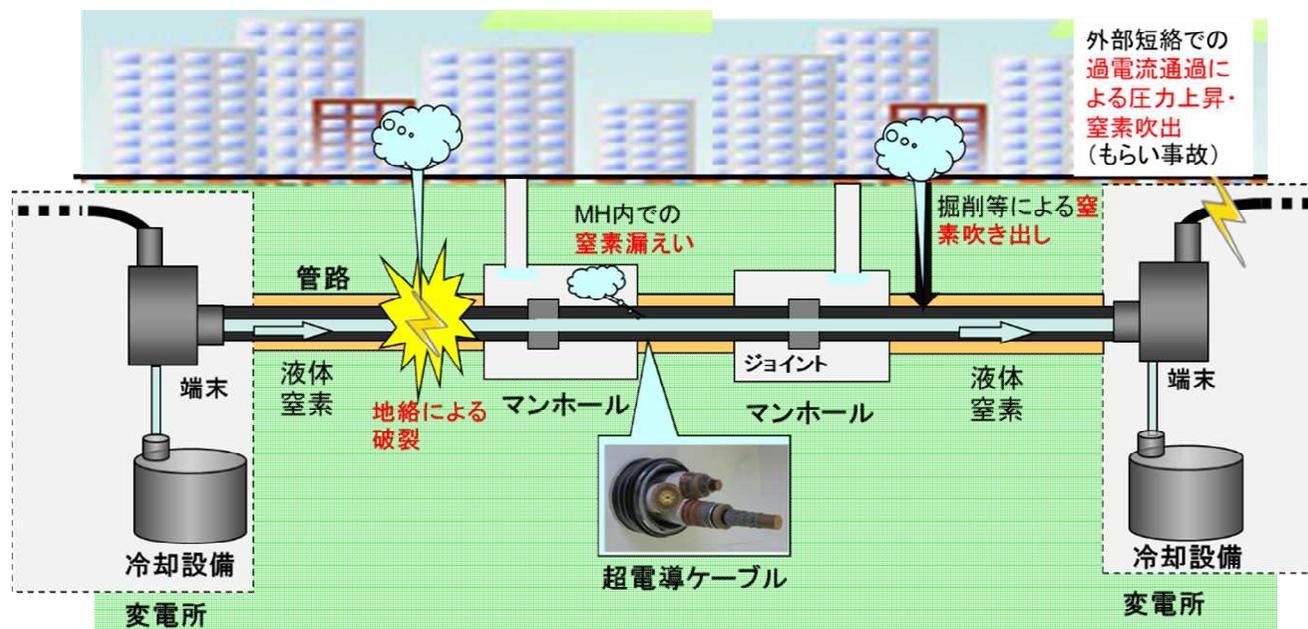


1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的

◆ 事業の目的

超電導送電線の2020年以降の実用化に向け、安全性・信頼性を実用段階にまで高めておくために、**不測の事故**が生じた場合の**超電導ケーブル、冷却システムへのダメージ**を把握する事により、超電導ケーブルシステム全体の脆弱箇所や要求される強靱性について具体的な情報を得る。

その情報を基に、**実用的な安全性、信頼性を担保できる超電導ケーブルの設計法を開発し、次世代送電システムの健全性を検証**することを目的とする。



1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的

◆ 政策的位置づけ

日本再興戦略の中で、我が国の成長戦略の鍵として、**科学技術イノベーション総合戦略の推進**が挙げられている。超電導送電技術は、その科学技術イノベーション総合戦略において取り組むべき課題、スキームの中で「**革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化**」の一つとして位置付けられており、温室効果ガスの排出を極力抑えたクリーンなエネルギー利用を達成した社会の確立に必要な技術とされている。

また、平成26年度科学技術に関する予算等の資源配分の方針の重点的課題においても、「**革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化**」のひとつとして位置づけられており、「**科学技術重要施策アクションプラン**」における成果目標として、**2020年以降の超電導送電の実用化**が挙げられている。



発電設備



冷凍機

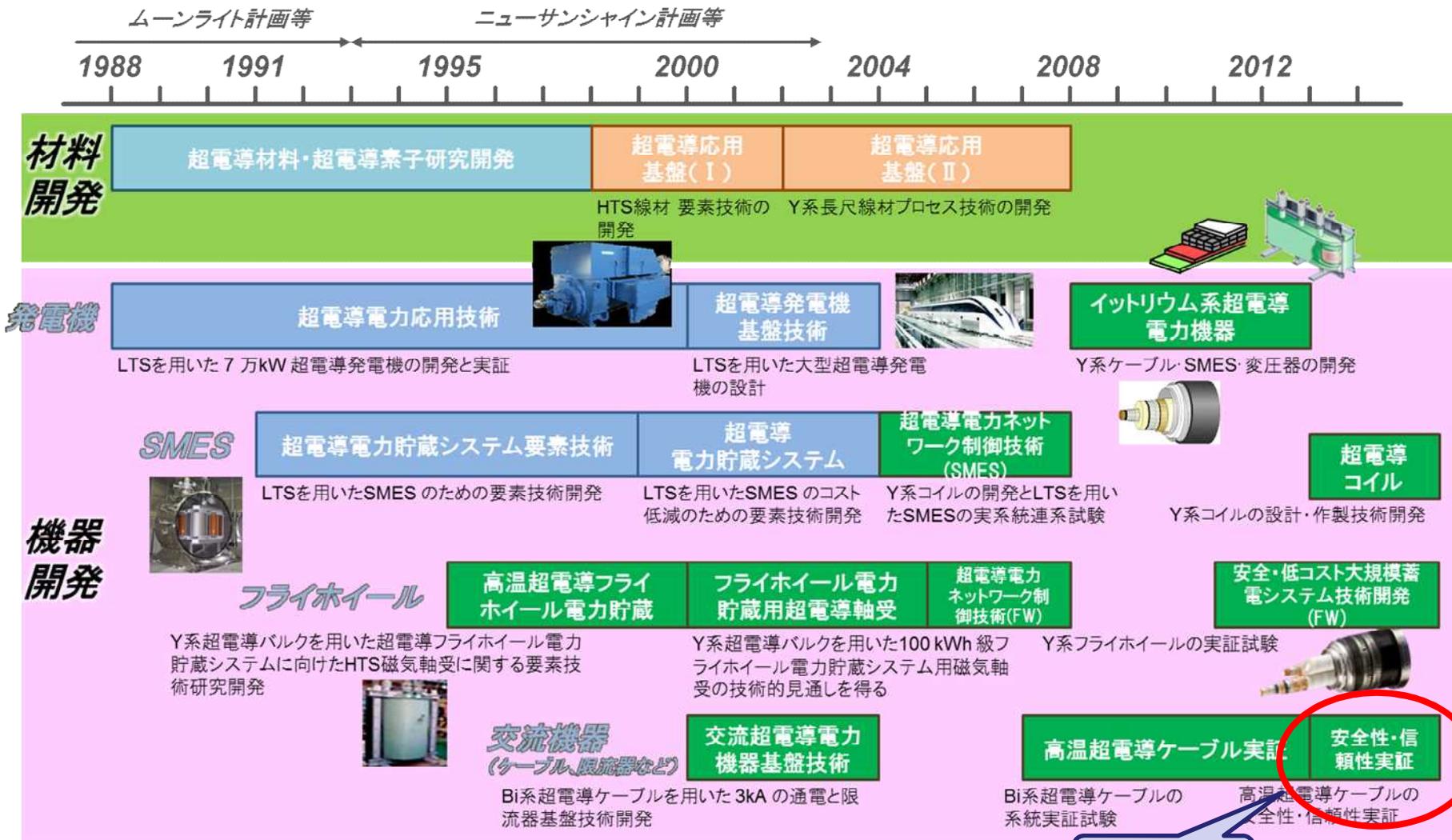
超電導ケーブル



需要サイト (イメージ)

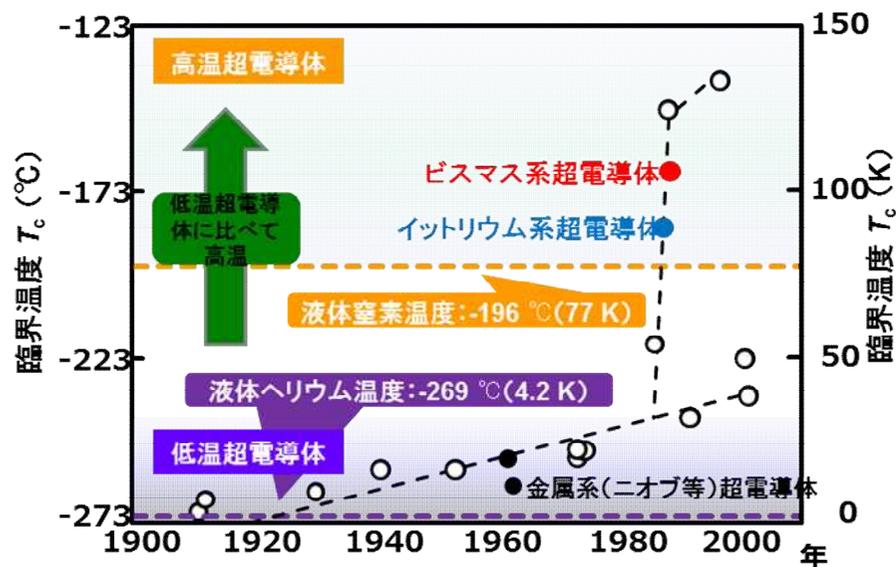
1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的

◆ 技術戦略上の位置付け



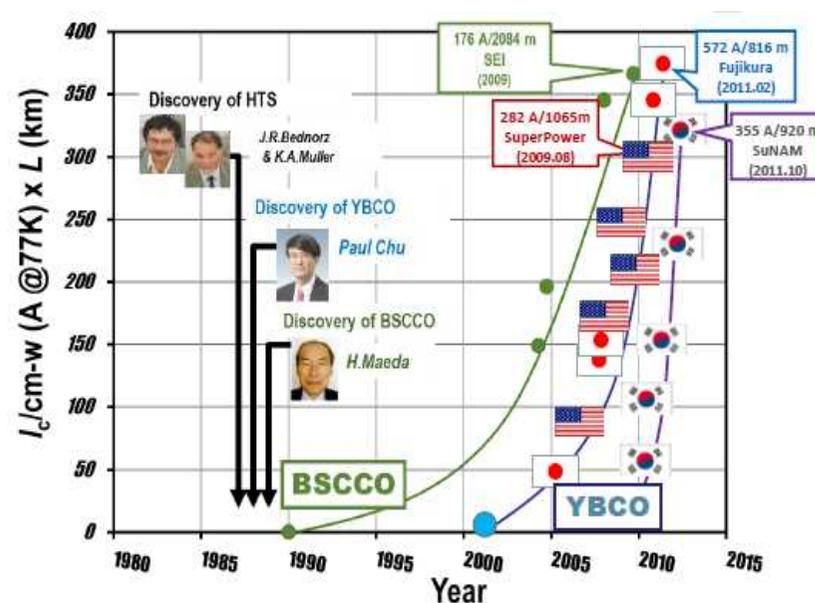
1. 事業の位置付け・必要性 (2) NEDOの事業としての妥当性

◆国内外の研究の動向と比較



超電導材料臨界温度 (Tc) 向上の変遷

- 1980年代に高温超電導材料が発見され、臨界温度 T_c が格段に向上(LN2温度)
- 各国で高温超電導を用いた送電線の実証試験が進められている



高温超電導線材の性能比較

- 各国で高温超電導を用いた送電線の実証試験が進められている
- 機械的強度に優れ高電流密度のY系高温超電導線材の大量生産技術の開発に成功

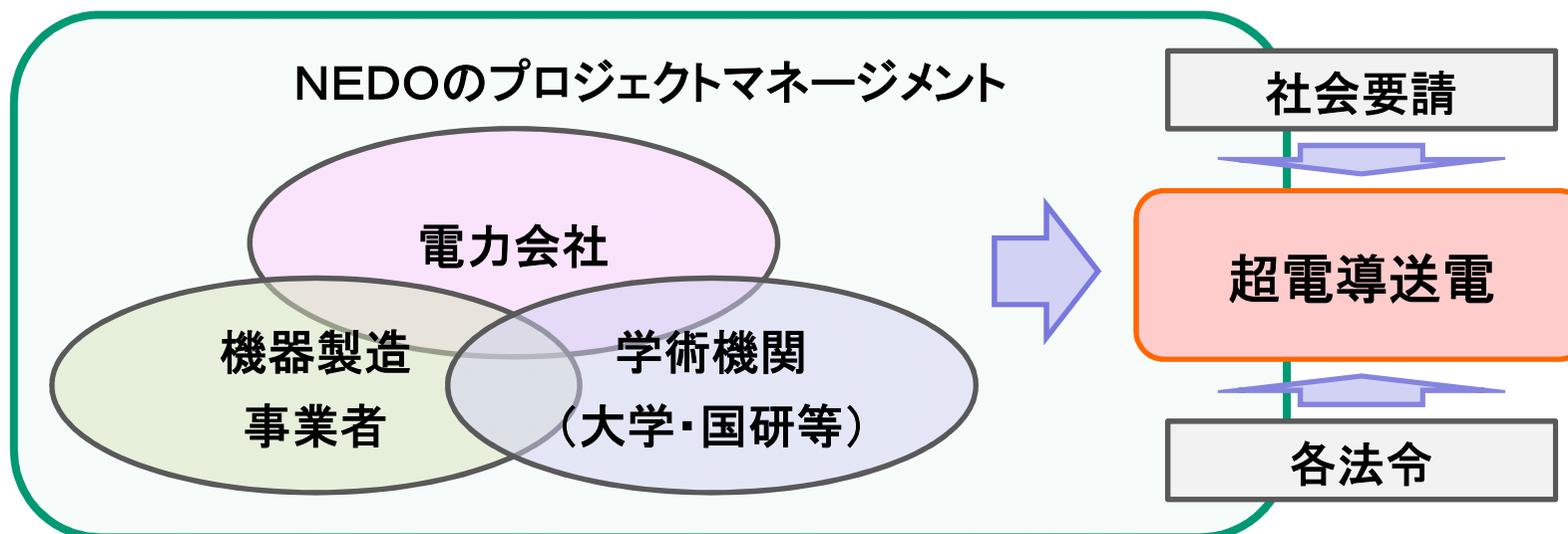
1. 事業の位置付け・必要性 (2) NEDOの事業としての妥当性

◆ NEDOが関与することの意義

- ・安全性、信頼性の検証は個別の企業の活動では達成し得ない
- ・ユーザーである電気事業者や複数の開発者、大学等の英知を集めた研究が不可欠

NEDOのプロジェクトとしてマネジメント

我が国の技術を結集、効率的なプロジェクト推進 ⇒ 確実な成果の創出



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)

■ プロジェクト費用

総額: 7.2億円 (平成26年度 2.8億円)
(平成27年度 4.4億円)

■ 省エネルギー効果

277GWh、CO2換算13.2万t (2026年)

■ 超電導送電システムの市場規模

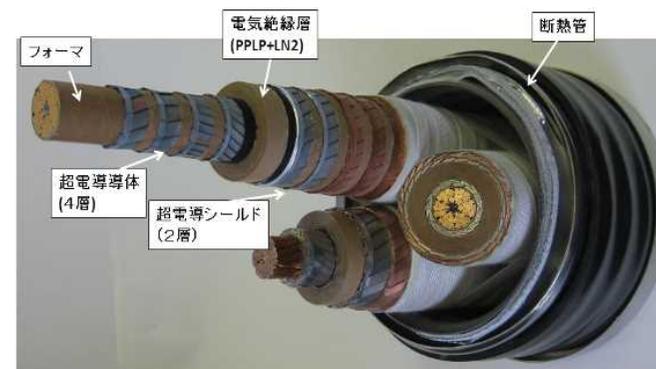
首都圏を中心に260億円/年 (2030年)

■ 送電線新規布設に係るコスト削減効果

2500億円/20年

(首都圏の地中ケーブルの内、3割(360km)の置換えを前提)

※ 全国では、対象のケーブルが3500kmあり、更なるコスト削減が見込まれる



2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標

◆事業の目標(当初計画:28年度末 最終目標)

①「超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」

- 1) 安全性評価のために必要な試験項目・方法を検討し、試験装置を開発する。
- 2) 短絡・地絡および外傷事故の模擬試験を行い、ケーブルの安全性・信頼性の検証を行う。安全対策の指針をとりまとめる。

②「高効率・高耐久冷却システムの開発」

- 1) 冷却システム負荷低減に向けて、断熱管侵入熱の低減(1.8W/m条以下)を図る。
- 2) 大容量・高効率のブレイトン冷凍機を旭変電所に移設し、超電導ケーブルと接続した上で、1年以上の実系統実証運転を行い、長期信頼性の検証を行う。
(目標:COP=0.11、保守・点検間隔 40,000時間以上)
- 3) 多様な現場に対応する冷却システムの設計技術、運転技術について検討する。

③「早期復旧等の実用性向上のための対策検討」

- 1) ①、②の検証結果を受け、リスク低減及び早期復旧に必要な技術要素の見極めと、その反映による実用性の更なる向上を目指す。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標

◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	当初 基本計画 最終目標(H28年度末)	根拠・妥当性
①超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性評価試験方法の作成 ・評価に必要な試験装置を開発、試験実施 ・安全性評価試験方法の国際標準化活動 ・実用的な信頼性のシミュレーション技術完成 	<ul style="list-style-type: none"> ・超電導ケーブルの実用化には安全性の検証が必須。これまで安全性に関する評価は海外でも殆ど実施されていない。
②高効率・高耐久冷却システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・断熱管侵入熱の低減(1.8W/m条以下) 	<ul style="list-style-type: none"> ・旭実証試験での侵入熱約2W/m程度に対し1割以上削減
	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレイトン冷却システムを超電導ケーブルに接続した上で、1年の実システム実証運転を実施 ・COP=0.11、保守・点検間隔40,000時間以上 	<ul style="list-style-type: none"> ・四季を通じた冷凍機の長期性能を検証 ・前プロ*より1割以上向上
③早期復旧等の実用性向上のための対策検討	<ul style="list-style-type: none"> ・復旧方法等の検討結果を、運転管理に係るガイドラインとして完成する 	<ul style="list-style-type: none"> ・事故の早期検知、被害の最小限化に関する対策については海外でも殆ど実施されていない。

※高温超電導ケーブル実証プロジェクト(2007-2013)

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画

◆ 研究開発スケジュール(当初計画)

研究開発項目	H26年度			H27年度				H28年度			
	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①: 超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発											
1) 試験方法の検討及び試験装置の開発	試験項目・方法検討			装置の開発				結果の分析・評価			
2) 安全性評価試験	66kV地絡(基礎試験)			66kV地絡(予備試験)				66kV地絡(本試験)			
	設計	システム製造		22kV短絡		66kV短絡					
	LN ₂ 漏洩(管路)			真空低下				漏洩(MH)			
	線材、ケーブル製造	275kV地絡(予備試験)		275kV地絡(本試験)							
	275kV短絡			真空低下							
事故時の冷却シュミレーション・コード開発・解析											
②: 高効率・高耐久冷却システムの開発											
1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発	設計解析			短尺試験		長尺試作		長尺検証			
	設計			短尺試作		短尺評価		長尺試作		長尺検証	
2) 冷却システムの高効率化技術の開発	設置工事			単体試験		系統連系試験		加速試験		残存試験	
3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化	シミュレーションモデル検討			シミュレーション方法の確立				シミュレーション技術の確立			
③: 早期復旧等の実用性向上のための対策検討											
								設計開発		検証試験	
研究開発費(単位:百万円:総額:1,186)	386			400				400			



2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画

◆ 研究開発スケジュールの見直し

■ プロジェクト実施期間

- ・H26～28年度 + 2年間の延長が必要と判断

■ 見直しの背景:

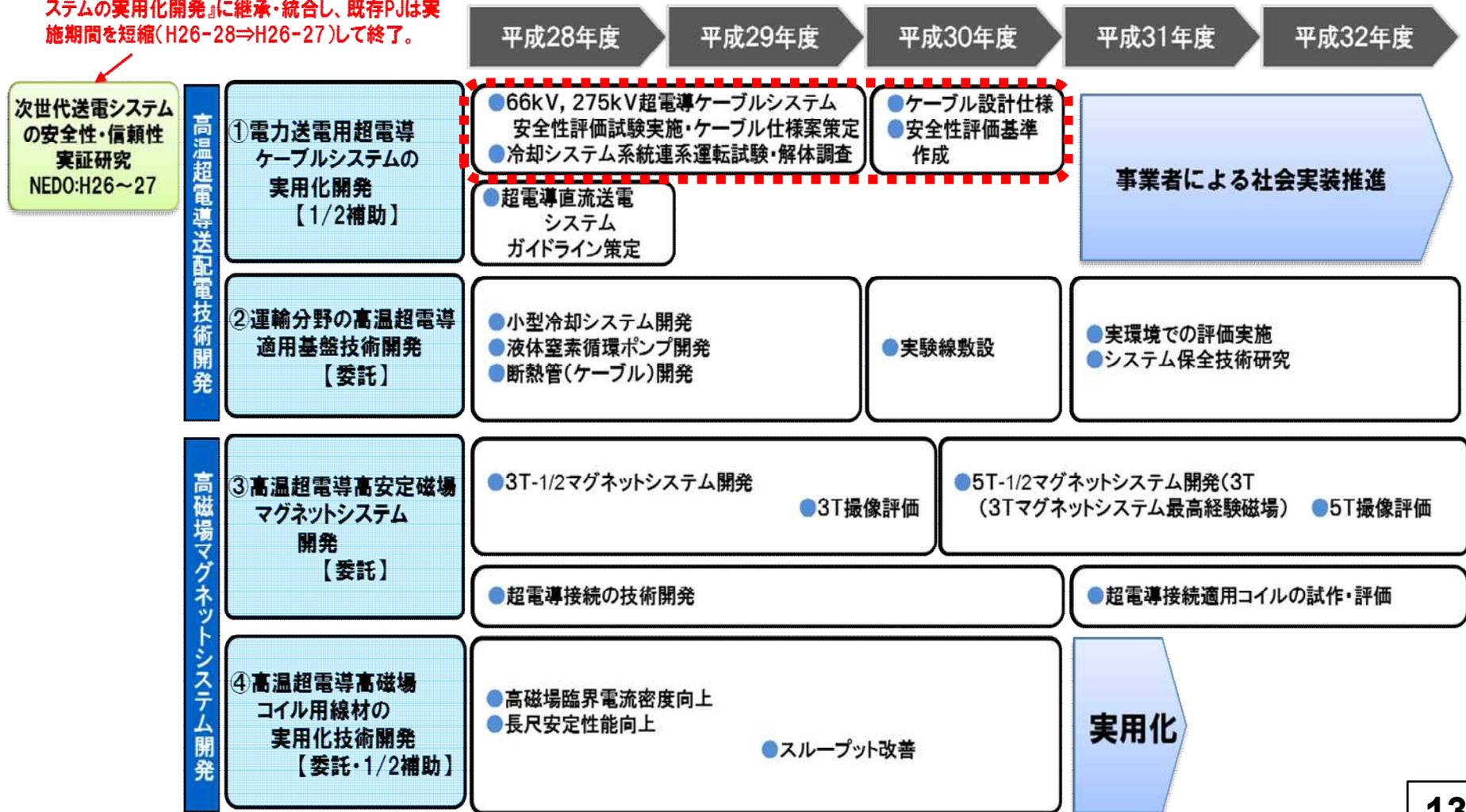
- ・H27年度までに実施した地絡の基礎試験の結果から、**安全防護策について、追加の検証が必要との結論に至り**、H28年度に最終的な安全防護策の効果の確認が困難であることが判明。
- ・H27年度から実施予定であった「旭変電所における高効率・大容量冷凍機の実証試験」において、冷凍機の信頼性に関する課題が発覚し、**その解決を確実に実施することが安全性検証の一環**となる。解決に時間を要することから、1年間の実証運転・残存性能評価を含めた評価項目をH28年度までに終えるのが困難であることが判明。

以上により、本事業を2年間で終了し、次期プロジェクトへの移行を決定。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画

◆ 研究開発スケジュールの見直し (PJ期間短縮と新PJへの移行) 高温超電導実用化促進技術開発プロジェクトへ移行

※『研究開発項目①電力送電用超電導ケーブルシステムの実用化開発』に継承・統合し、既存PJは実施期間を短縮(H26-28⇒H26-27)して終了。

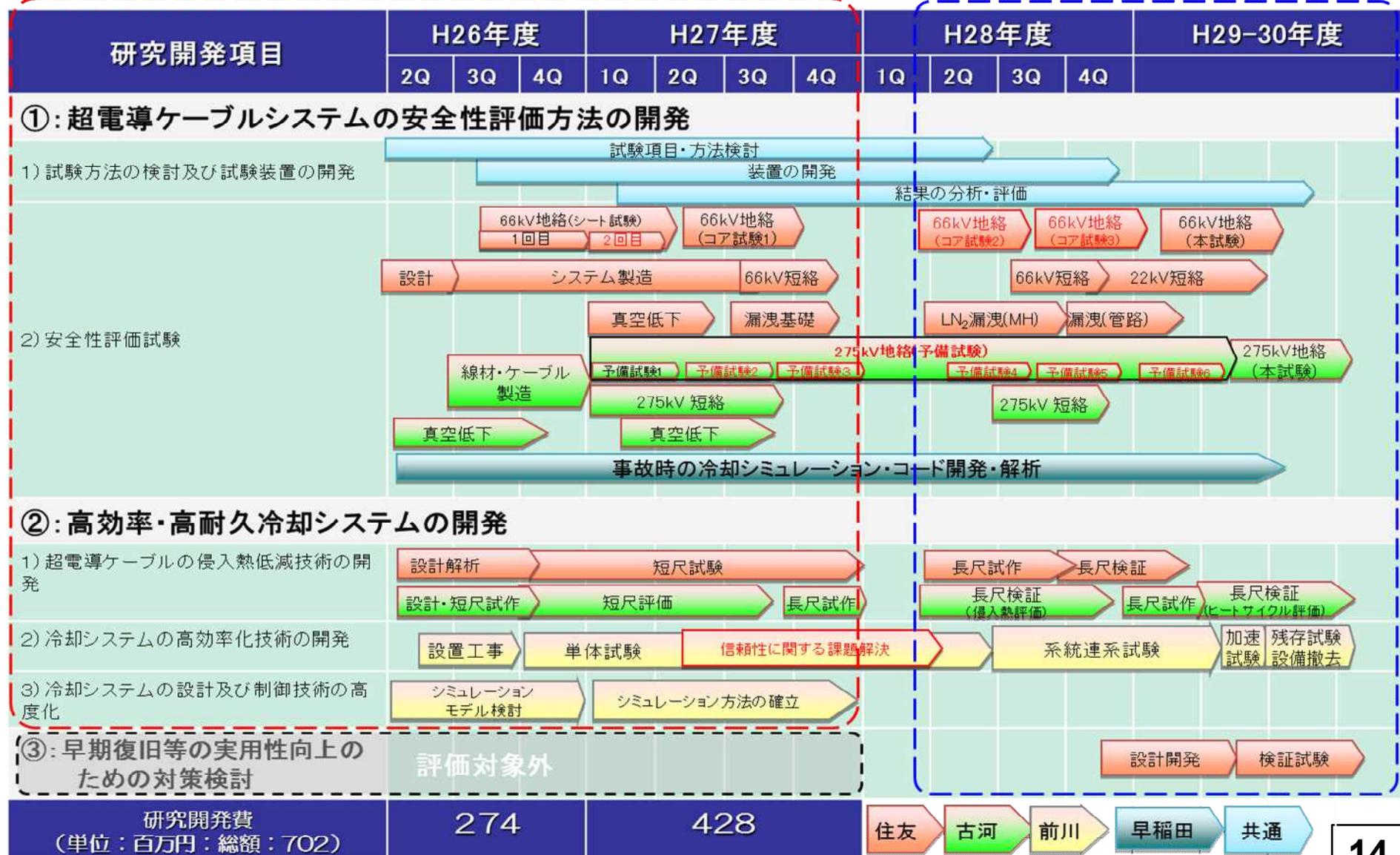


2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画

◆ 研究開発スケジュール(見直し後)

評価対象

次期PJで実施



2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標

◆ 研究開発目標の見直し

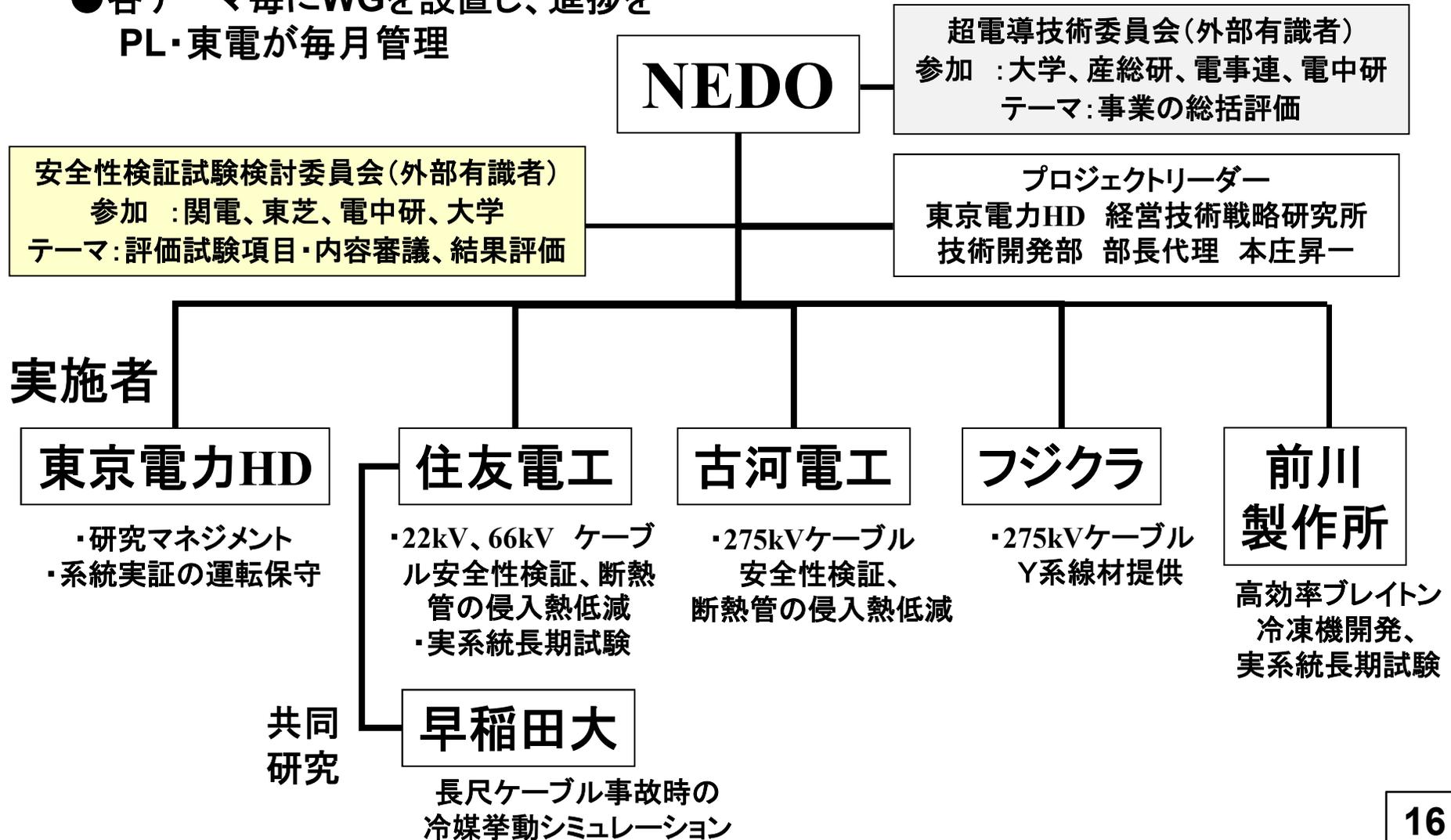
研究開発項目	当初 基本計画 最終目標 (H28年度末)	計画変更後 最終目標 (実施計画H27年度末目標)
①超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性評価のために必要な試験項目・方法検討、試験装置開発 ・短絡・地絡および外傷事故模擬試験実施 ・安全性評価試験方法の国際標準化活動 ・実用的な信頼性のシミュレーション技術完成 	<ul style="list-style-type: none"> ・試験項目・方法検討、試験装置開発 ・短絡、地絡、外傷試験実施 (一部は予備試験) ・国際標準化活動の実施 ・シミュレーション技術開発
②高効率・高耐久冷却システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・断熱管侵入熱の低減 1.8W/m条以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・短尺で断熱管侵入熱 1.8W/m条以下を確認
	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレイトン冷却システムを超電導ケーブルに接続した上で、1年の実系統実証運転を実施 ・COP=0.11、保守・点検間隔40,000時間以上 	<ul style="list-style-type: none"> ・実系統実証運転の開始
③早期復旧等の実用性向上のための対策検討	<ul style="list-style-type: none"> ・復旧方法等の検討結果を、運転管理に係るガイドラインとして完成する 	<p style="text-align: center;">—</p> <p>(H28年度から開始予定だったため)</p>

赤: 主な変更点

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制

◆ 研究開発の実施体制

- 外部有識者委員会を設け進捗を審議
- 各テーマ毎にWGを設置し、進捗を
PL・東電が毎月管理



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

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

①「超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」

- ・地絡事故時のアーク現象やケーブル破損状況等のデータ取得は世界初となる成果である。この成果は、超電導ケーブルの実用化時の我が国の技術優位性を確保するものである。
- ・安全対策の指針策定に必要な検証試験を全て終えていないため、後継プロジェクトにて検証を進める。

②「高効率・高耐久冷却システムの開発」

- ・ブレイトン冷凍機の課題を抽出し、課題発生要因と対策に関する新しい知見が得られた。その結果耐久性をさらに高めた冷却システム構築が可能となった。
- ・上記の対策効果の確認が必要であるため、H27年度に予定していた超電導ケーブルとの接続試験を延期。後継プロジェクトにて、系統連系試験による冷却システムの長期信頼性評価を実施。

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

項目		実施計画 H27年度目標	成果	状況
①「超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」				
試験方法の検討及び 試験装置の開発		<ul style="list-style-type: none"> ・推定事故のリストアップ ・試験方法、評価項目の決定 ・本試験装置の開発 ・安全対策指針の策定 	<ul style="list-style-type: none"> ・リスクマップ、事故進展フロー作成 ・評価項目選定 ・一部本試験装置の開発はH28へ延期 ・安全対策指針はH28以降で策定予定 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ○ × ×
安全性 評価 試験	・ 短絡事故模擬	<ul style="list-style-type: none"> ・試験の実施、結果の分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・循環冷却下での温度・圧力の取得 ・一部短絡試験をH28へ延期 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ×
	・ 地絡事故模擬	<ul style="list-style-type: none"> ・予備試験の実施、結果の分析 ・本試験の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・世界で初めて超電導ケーブルの地絡試験を実施、アーク電圧等の基礎データを取得 ・本試験はH28へ延期 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ×
	・ 外傷事故模擬	<ul style="list-style-type: none"> ・MH漏洩試験の実施 ・真空度低下の影響評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・外傷時の窒素漏洩量把握試験の実施 ・MH漏洩試験はH28へ延期 ・真空度と侵入熱の相関を取得 	<ul style="list-style-type: none"> × ○ ○
	・ 共通	<ul style="list-style-type: none"> ・短絡の冷媒挙動解析コード開発 ・国際学会等での研究成果の啓蒙 	<ul style="list-style-type: none"> ・コード開発、試験との比較、妥当性を検証 ・ISS等での成果の報告 等 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ○
②「高効率・高耐久冷却システムの開発」				
・ 侵入熱低減技術		<ul style="list-style-type: none"> ・断熱管の設計検討、予備試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計検討、短尺での試験実施 	<ul style="list-style-type: none"> ○
・ 冷却システム高効率化		<ul style="list-style-type: none"> ・冷却システム旭変電所移設 ・単体性能試験の実施 ・系統連系試験の開始 	<ul style="list-style-type: none"> ・旭変電所への移設工事完了 ・回転機の信頼性に関する課題を抽出 ・系統連系試験はH28へ延期 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ○ ×
・ 冷却システム設計,制御技術の高度化		<ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーションモデルの作成 	<ul style="list-style-type: none"> ・発電所引出し線のモデルを作成、計算結果の妥当性を評価 	<ul style="list-style-type: none"> ○

詳細は、6.「プロジェクト詳細説明」で報告

達成度：○達成 ×未達
赤：主要な成果、青：未達・次期PJで実施予定

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

項目	残された課題	今後の取組み
①「超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」		
・ 短絡事故模擬	・シミュレーションの妥当性検証 ・長距離ケーブルの事故時冷媒特性の把握	・シミュレーションの妥当性検証のための追加試験実施 ・解析により長距離ケーブルでの冷媒特性把握
・ 地絡事故模擬	・耐アーク防護策の再検討・検証 ・アークの衝撃波による影響の把握	・防護対策の立案、再検証 ・実ケーブル形態に近いモデルでの挙動の把握
・ 外傷事故模擬	・液体窒素の漏洩時における周囲被害の把握	・管路、MHの模擬装置による窒素漏洩の検証試験の実施
・安全指針策定 ・早期復旧方法検討	・安全性指針の策定に必要なデータの不足（アーク防護対策の効果等）	・上記の試験結果を踏まえた、安全指針の策定・設計への反映 ・事故の早期検知、復旧方法検討
②「高効率・高耐久冷却システムの開発」		
・侵入熱低減技術	・長尺断熱管における長期性能の検証	・100m級長尺断熱管を循環冷却システムに接続して検証実施
・冷却システム高効率化	・回転機の信頼性の課題への対策効果の検証	・対策効果の検証 ・冷却システムのケーブル接続、系統連系試験の実施

⇒「高温超電導実用化促進技術開発PJ」にて実施予定

詳細は、6.「プロジェクト詳細説明」で報告

3. 研究開発成果（2）成果の普及及び知的財産権の確保に向けた取り組み

◆成果の普及及び知的財産権の確保に向けた取り組み

	平成26年度	平成27年度	計
論文(査読有)	5	2	7
論文(査読無)	8	18	26
研究発表・講演	16	26	42
新聞・雑誌等への掲載	2	7	9
特許出願(うち外国出願)	3 (0)	1 (1)	4 (1)

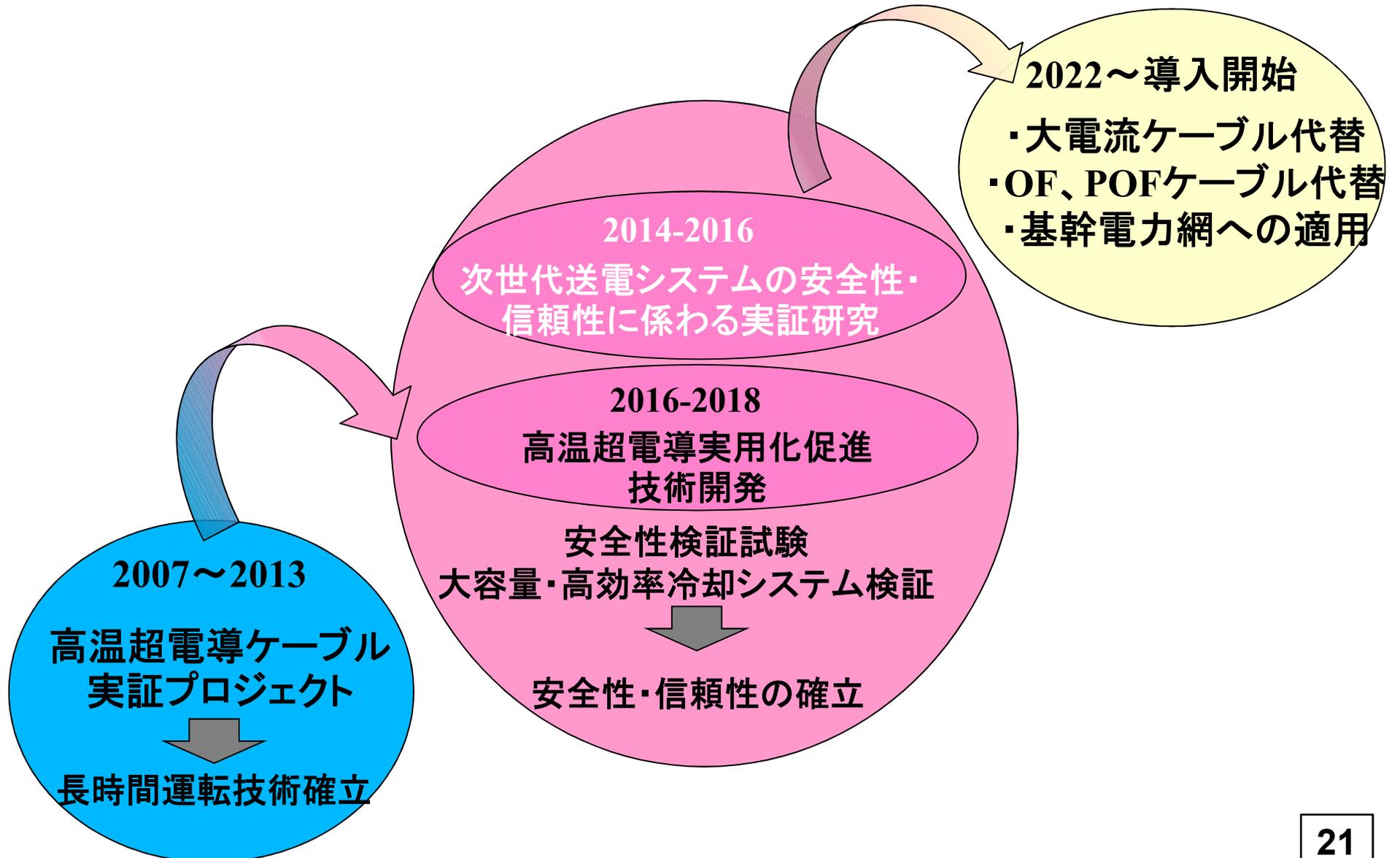
見学対応(旭超電導設備)

件数	見学者数(H26/7~)	参考 前PJ (~H26/6)
総計 34	総数224名	総数 816名
(電力 6)	(25)	(89)
(海外 9)	(37)	(77)

※平成28年度5月31日現在

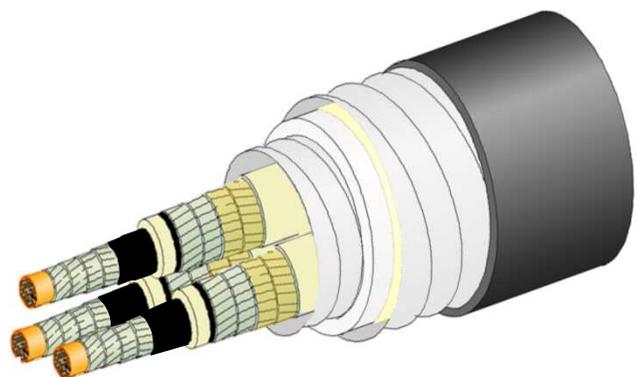
4. 成果の実用化に向けた取組み及び見通し (1) 実用化に向けた具体的取組み

◆ 実用化に向けた取組み



4. 成果の実用化に向けた取組み及び見通し (2) 成果の実用化の見通し

◆波及効果



高温超電導ケーブルシステム

冷却システム

- ✓ 超電導電力機器の冷却技術として幅広く活用可能

海外展開

- ✓ 欧州において、環境意識の高まりから超電導ケーブルの適用技術が注目
- ✓ 海外大都市の地下送電に、コンパクト・大容量の超電導ケーブル適用の可能性あり

直流ケーブル応用

- ✓ 鉄道用き電線の直流送電への適用
- ✓ データセンターなど低電圧大電流の直流配電システムへの適用