

# 「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」

## 事後評価報告書（案）概要

### 目 次

分科会委員名簿 .....	1
評価概要（案） .....	2
評点結果 .....	5

## はじめに

本書は、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき研究評価委員会において設置された「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）の研究評価委員会分科会（平成28年6月30日）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、第49回研究評価委員会（平成28年12月5日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成28年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」  
分科会  
（事後評価）

分科会長 伊瀬 敏史

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会  
「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)

分科会委員名簿

(平成28年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	いせ としふみ 伊瀬 敏史	大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻 教授
分科 会長 代理	しもやま じゅんいち 下山 淳一	青山学院大学 理工学部 物理・数理学科 教授
委員	いちかわ みちはる 市川 路晴	一般財団法人電力中央研究所 電力技術研究所 電力応用 領域 領域リーダー/上席研究員
	うちだ ときお 内田 時雄	電気事業連合会 技術開発部 副部長
	なかごめ ひでき 中込 秀樹	元 千葉大学大学院工学研究科 都市環境システムコース 専攻 教授
	ばば じゅんぺい 馬場 旬平	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 先端エネルギー 工学専攻 准教授
	はるやま とみよし 春山 富義	東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 特任教授

敬称略、五十音順

# 「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）

## 評価概要（案）

### 1. 総合評価

次世代送電システムの安全性評価試験法の開発は、超電導送電システムの電力系統への適用に当たって最も重要な要素である。今回、超電導送電線の実用化をめざし、超電導ケーブルシステムの安全性・信頼性評価に関する技術開発に、世界に先んじて取り組んだ。プロジェクトが 1 年前倒しで終了となったが、今回の実証研究により今後の実証試験に向けての重要な知見が得られている。

一方、2020 年での実用化を目標として、適用対象線路 を抽出して具体的な導入シミュレーションを示すなど、具体性のある導入モデルケースを今後明示していくべきである。当初の 3 年間で成果を出す計画が、技術的諸問題により 2 年間で一旦まとめ、積み残しを含めて次の 3 年間のプロジェクトに移行することになったが、技術的諸問題はある程度想定されたことではないかとも考えられ、最初の計画に対する甘さが感じられる。

安全対策は必要不可欠な技術であるが、完全な安全を追求することにより過剰設計となり、超電導ケーブル本来の利点が損なわれるのであれば本末転倒である。効果とコストのバランスがとれた安全対策の検討を進めてほしい。また、要素技術研究と、実用化に向けたプロジェクトマネジメントは別物であり、システム全体として最適な経路、ファクターを模索することが重要である。その意味から、プロジェクトリーダーのマネジメント能力発揮と、各メンバーが自分の領域を越えた協力体制を構築することが、今後望まれる。次の 3 年間のプロジェクトでは、この 2 年間の具体的成果を十分にふまえ、実用化に向けた確実な成果につなげていただくことを期待する。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

超電導送電技術は、CO<sub>2</sub>の抑制、エネルギーセキュリティの確保の観点から、国として戦略的に推進していくべき技術である。その実用化に向けて、実証研究により安全性・信頼性を評価しておくことは必須であり、事業の目的は妥当なものである。また、安全性、信頼性の改善には、システムに関わる各企業の協力が必要であり、NEDO の事業でなければ実施できないものである。

一方、東日本大震災発生後、国内の電力消費が低下している状況から、都市部における需要増大と言う想定が果たして妥当なのか再度検討が必要である。

今後、実用化に向けて超電導ケーブルと低温冷却システムの安全性・信頼性に関する実証を進めるとともに、法的規制の緩和などについて NEDO が実証研究の成果を以て関係各所への働きかけを加速することが必要になると思われる。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

超電導ケーブルの安全性および信頼性の評価はこれまで国内外で行われておらず、今回の研究開発においてケーブルに起こりうる重要かつ主要なトラブル事案を想定して、適切な目標を設定したと考えられる。また今回の事業では、想定外の事象発生を受けて、速やかに計画を見直して3年の計画を一旦2年で終了し、新たに3年のプロジェクトを立ち上げて仕切り直したことは、正しい判断であったと思われる。

ただ、信頼性について実証試験を通じて示すには、当初設定されたプロジェクト期間が短く、全てが順調に進むことを前提に研究開発計画が立てられていた印象を受けた。予定された28年度終了であった場合、すべての目標達成は困難であったと思われる。また、超電導ケーブルに関しては、実施者も十分な経験と知識を有して的確に進められているが、冷凍、冷却系に関しては、専門的な知見を持つメンバーが少ないように感じられた。

今後は、長期信頼性の観点からの研究開発が必要である。例えば冷却システムについては、長期にわたって断熱層の真空度が劣化した際の安定稼働方法の探索などが必要である。また、超電導ケーブルおよび断熱管の性能、ブレイトン冷却システム、冷却システムの設計、制御の技術開発を、今後3年間で実用化段階に到達するためには、今回の事業で生じたスケジュールの不具合等に付いて検証し、常にマネジメントの視点から軌道修正、注力ポイントの明確化などについてフィードバックがかかるようにするべきである。

## 2. 3 研究開発成果について

プロジェクト期間が短縮されたが、安全性・信頼性の評価について2年目までの目標については概ね妥当な結果を出しており、世界初となる成果も得られていると考えられる。特に地絡試験の結果は、地絡時のアーク挙動を推定するのに貴重な結果であり、安全対策を検討する上で重要なデータが得られている。また、高効率・高耐久冷却システムの開発についてケーブル侵入熱の評価については、コルゲート管の直線形状では1.8W/mは達成できる見通しが得られ、冷却システムのシミュレーションについてモデルを作成したことも評価できる。成果を学会などで報告し、新規技術の特許を出願したほか、旭変電所で多くの来客を受け入れるなど、情報発信、知財活動、情報提供も適切であったといえる。

一方、今回の成果は単発的なものが多く、実験事実だけが残ったという印象が強い。条件が少し変わった場合などに起こりうる事象の予測を行うべくシミュレーション検討をしているが、まだ十分な検討ができておらず、今後の実施が望まれる。また、要素研究の成果に対して、システム全体としてどのようにその成果をフィードバックしていくかという点が見えない。要素研究によりその技術の課題や問題点が明確になった場合に、さらに困難や問題点を解決していくのか、あるいは別のアプローチへと移行するかの判断、決断が重要となる。

次期プロジェクトでは個別の実証試験を統合して、日本の超伝導送電システムの優位性、安全性、信頼性を社会にまた海外にも発信できるような成果の獲得とそのまとめ方に期待する。冷凍機の信頼性については、長期連続運転を実際に行うことでしか数値化できない。次期プロジェクトでは、ケーブルシステムに組み込んで低温送液ポンプなどと共に1年程度の連続運転を行うことが計画されているが是非実施していただきたい。

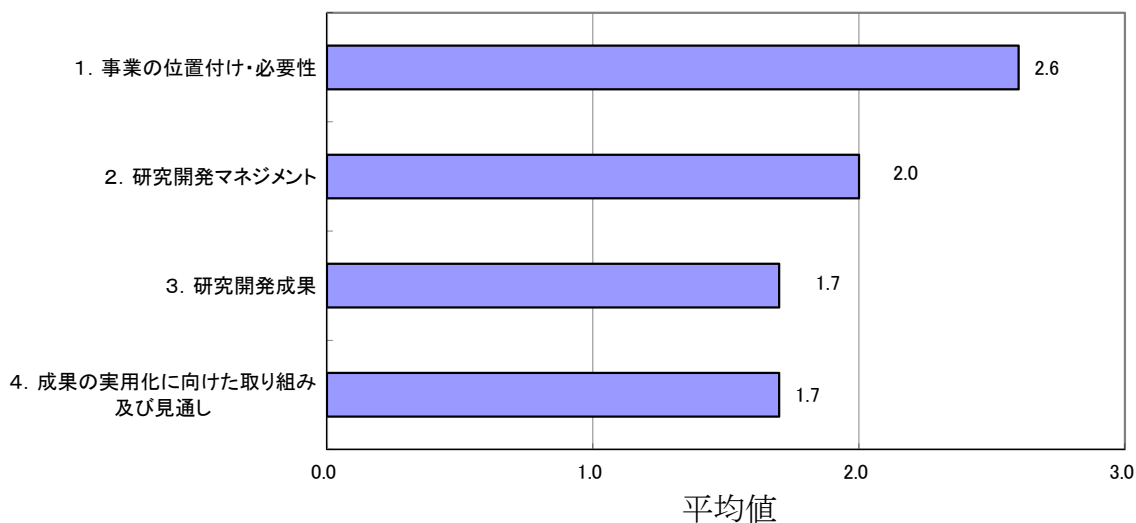
## 2. 4 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

実用化に向け、安全性能の確保や、事故・障害発生時の復旧方法策定、冷却システムの効率と耐久性向上などの課題が把握され、引き続き次期プロジェクトで取り組む計画となっており、取り組みは適切と評価できる。

一方、本プロジェクト期間内には冷却システムに関して実用化に向け信頼性の課題の対策は行なったが、大きな進捗は見られなかった。次期プロジェクトではこの遅れを取り戻すべく積極的な取り組みが必要である。ケーブルについては起こりうるトラブル事象について、事象が起こった後の復旧も含めてさらに検討を重ねることが必要である。特に液体窒素の漏洩による地下ケーブル空間への影響と具体的対策の検討は必須の事項である。また、安全性に比べて信頼性という観点の整理が弱い感じがする。

実用化を想定すれば、コスト・信頼性も含め新たに検討すべき課題は数多く出てくると思われる。なかでもユーザーとなる送配電事業者が超電導ケーブルを導入するか否か判断する際に重視する項目を調査・整理し、超電導ケーブルの早期実用化に必要な検討項目を明確化し、最終的に自発的な導入が進むように、次期プロジェクトに取り組むべきであろう。

## 評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	B	B	A	B	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.6	A	A	B	B	A	B	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.0	B	B	A	C	B	B	B	
3. 研究開発成果について	1.7	B	C	B	B	B	B	C	
4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて	1.7	B	B	B	C	A	C	C	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- |                    |                            |
|--------------------|----------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について              |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A                  |
| ・重要 →B             | ・よい →B                     |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C                   |
| ・妥当性がない、又は失われた →D  | ・妥当とはいえない →D               |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 4. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて |
| ・非常によい →A          | ・明確 →A                     |
| ・よい →B             | ・妥当 →B                     |
| ・概ね適切 →C           | ・概ね妥当 →C                   |
| ・適切とはいえない →D       | ・見通しが不明 →D                 |

研究評価委員会  
「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) 分科会

日 時 : 平成 28 年 6 月 30 日 (木) 11:00~16:15  
場 所 : WTC コンファレンスセンター Room B  
〒105-6103 東京都港区浜松町 2-4-1 世界貿易センタービル 3F

議事次第

【公開セッション】

- |                                  |                   |
|----------------------------------|-------------------|
| 1. 開会、資料の確認                      | 11:00~11:05 (5分)  |
| 2. 分科会の設置について                    | 11:05~11:10 (5分)  |
| 3. 分科会の公開について                    | 11:10~11:15 (5分)  |
| 4. 評価の実施方法                       | 11:15~11:30 (15分) |
| 5. プロジェクトの概要説明                   | 11:30~11:50 (20分) |
| 5.1 「事業の位置づけ・必要性」及び「研究開発マネジメント」  |                   |
| 5.2 「研究開発成果」及び「実用化に向けた取り組み及び見通し」 |                   |
| 5.3 質疑                           | 11:50~12:00 (10分) |

(昼食・休憩 45分)

【非公開セッション】

- |                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| 6. プロジェクトの詳細説明                  |                      |
| 6.1 超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発      | 12:45~14:15 (90分)    |
| 6.1.1 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発 | (説明 60分)             |
| 6.1.2 安全性評価試験による影響検証            |                      |
| 質疑                              | (質疑 30分)             |
| 6.2 高効率・高耐久冷却システムの開発            | 14:15~15:10 (55分)    |
| 6.2.1 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発        | (説明 35分)             |
| 6.2.2 冷却システムの高効率化技術の開発          |                      |
| 6.2.3 冷却システムの設計及び制御技術の高度化       |                      |
| 質疑                              | (質疑 20分)             |
|                                 | (休憩 10分)             |
| 6.3 まとめと課題                      | 15:20~15:30 (説明 10分) |
| 7. 全体を通しての質疑                    | 15:30~15:50 (質疑 20分) |

(入替・休憩 5分)

【公開セッション】

- |              |                   |
|--------------|-------------------|
| 8. まとめ・講評    | 15:55~16:10 (15分) |
| 9. 今後の予定、その他 | 16:10~16:15 (5分)  |
| 10. 閉会       | 16:15             |



## 概 要

		最終更新日	平成28年6月30日
プログラム (又は施策)名			
プロジェクト名	次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究	プロジェクト番号	P14001
担当推進部/ PMまたは担当者	省エネルギー部/楠瀬 暢彦(平成26年4月~平成27年3月) 省エネルギー部/菱谷 清(平成27年4月~平成28年3月)		
0. 事業の概要	本プロジェクトでは、超電導ケーブルを実際の電力系統へ導入するために、通常時の安定性に加えて、不測の事故を想定した地絡・短絡事故試験等により、事故時に発生する現象の把握と冷却システム等への影響を検証する。また、その結果を踏まえて安全性、信頼性に関して最終的な検証試験を実施し、適切な試験方法を確立する。さらに、実際の電力系統で要求される高い信頼性を確保するために、冷却システムのさらなる高性能化、高耐久化開発を行い、実用化を加速する。		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	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。		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>研究開発項目①「高温超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」</p> <p>超電導ケーブルシステムの安全性評価方法を確立するために、以下を開発目標とする。</p> <p>(1) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超電導ケーブルシステムの安全性評価試験方法を作成する。</li> <li>・安全性評価試験を実施するために必要な評価試験装置を開発する。</li> <li>・作成した安全性評価試験方法を、国際標準化活動に反映させる。</li> </ul> <p>(2) 安全性評価試験による影響検証に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・安全性評価の対象とする事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を完成する。</li> </ul> <p>研究開発項目②「高効率・高耐久冷却システムの開発」</p> <p>高効率・高耐久な冷却システムを実現するために、以下を開発目標とする。</p> <p>(1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実運用を想定した条件で、直線部でのケーブル長さ当たりの熱侵入量が 1. 8W/m/条 以下となること</li> </ul> <p>(2) 冷却システムの高効率化技術の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実運用を想定した条件で、冷却システム全体のCOPが0.11以上となること、並びに、冷凍機本体及び主な冷却システム構成機器の保守・点検間隔を40,000時間以上とすることが可能なこと</li> </ul> <p>(3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化に係る最終目標</p>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>多様な現場に対応して、実用的なコストの冷却システムを設計する技術の確立</li> <li>多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率に運転する制御技術の確立</li> <li>多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体のエネルギー収支を実用的な精度でシミュレーションする技術の確立</li> </ul> <p>研究開発項目③「早期復旧等の実用性向上のための対策検討」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>リスク低減及び早期復旧の観点から、超電導ケーブル及び冷却システムに付加するべき要素を定める。</li> <li>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。</li> </ul>				
事業の計画内容	主な実施事項		H26 年度	H27 年度	H28 年度
	高温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 ・試験装置の開発	試験項目・方法検討	装置の開発	結果分析・評価
		安全性評価試験	66kV 地絡 設計 システム製造 22kV 短絡 66kV 短絡 LN2 漏洩 真空低下 漏洩MH 線材、ケーブル製造 275kV 地絡 短絡 地絡 275kV 真空低下 事故時の冷却シミュレーション		
	高効率・高耐久冷却システムの開発	超電導ケーブルの侵入熱低減技術開発	設計 短尺試作	短尺評価 長尺試作	長尺評価
		冷却システムの高効率化技術の開発	設置工事 単体試験	系統連携試験	加速試験 残存試験
冷却システム設計・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確立	シミュレーション技術確立	
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	
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H26 年度	H27 年度	総額	
	一般会計	—	—	—	
	特別会計 (電源)	139	218.5	357.5	
	開発成果促進財源	—	—	—	
	総予算額	139	218.5	357.5	
	(委託)	—	—	—	
	(助成) : 助成率 1/2	139	218.5	357.5	
(共同研究) : 負担率 △/□	—	—	—		
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 非鉄金属課			

	プロジェクト リーダー	本庄 昇一 (東京電力株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部 部長代理)
	委託先 (委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	【助成先】 ・東京電力株式会社 ・住友電気工業株式会社 (共同研究：早稲田大学) ・古河電気工業株式会社 ・株式会社フジクラ ・株式会社前川製作所
情勢変化への 対応	<p>平成 27 年度までに行った超電導ケーブルの地絡に関する基礎試験、予備試験の結果から、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 年度に最終目標である最終的な安全防護策の効果を確認するのが困難となった。</p> <p>また、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、冷凍機のトラブルが発生しており、その解明に時間を要していることから、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した。</p> <p>以上の理由を背景に、プロジェクトの実施期間の延長が必要であるとの結論に至り、H28 年度末に終了予定であった「次世代送電システムの安全性・信頼性に係る実証研究」を H27 年度末に終了させると共に、当初計画にて H28 年度以降に実施予定であった研究開発項目を、H28-H30 年度に実施する新プロジェクト「高温超電導実用化促進技術開発」に移行することとした。そのため、プロジェクト基本計画における事業期間と計画および最終目標の変更を行った</p> <p>研究開発項目①「超電導ケーブルシステムの安全性評価方法の開発」</p> <p>(1) 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超電導ケーブルシステムの安全性評価試験方法を作成する。</li> <li>・安全性評価試験を実施するために必要な評価試験装置を開発する。</li> <li>・作成した安全性評価試験方法を、国際標準化活動に反映させる。</li> </ul> <p>(2) 安全性評価試験による影響検証に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・安全性評価の対象となる事象による超電導ケーブルシステムへの影響を、実用的な信頼性で評価するシミュレーション技術を開発する。</li> </ul> <p>研究開発項目②「高効率・高耐久冷却システムの開発」</p> <p>(1) 超電導ケーブルの侵入熱低減技術の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実運用を想定した条件で、直線部でのケーブル長さ当たりの熱侵入量が 1.8 W/m/条以下となること。</li> </ul> <p>(2) 冷却システムの高効率化技術の開発に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実運用を想定した条件で、冷却システム全体の COP が 0.11 以上となること。</li> </ul> <p>(3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化に係る最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・多様な現場に対応して、実用的なコストの冷却システムを設計する技術の検討を行う。</li> <li>・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体を高効率に運転する制御技術の検討を行う。</li> <li>・多様な冷却システムに対応して、冷却システム全体のエネルギー収支を実用的な精度でシミュレーションする技術の検討を行う。</li> </ul> <p>研究開発項目③「早期復旧等の実用性向上のための対策検討」</p>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リスク低減及び早期復旧の観点から、超電導ケーブル及び冷却システムに付加するべき要素を検討する。</li> </ul>	
中間評価結果への対応	当初計画から中間評価の実施予定なし	
評価に関する事項	事前評価	平成26年に実施済（産業構造審議会産業技術環境分科会）
	中間評価	当初計画から実施予定なし
	事後評価	平成28年に実施予定
3. 研究開発成果について	<p><b>1. 安全性評価のための試験方法の確立及び試験装置の開発</b></p> <p><b>(1) 計画立案と試験結果の分析</b></p> <p>超電導ケーブルシステムの安全性・信頼性を検証するにあたり、想定される事故・故障を抽出すると共に、それらの人的被害、設備被害のレベルを考慮したリスクマップを作成し、安全性・信頼性に対する残された課題を抽出した。選定した事故時（短絡・地絡・外傷事故）に想定されるケーブル内の進展過程を細分化し、防護指針案を策定すると共に、試験における評価項目を明確化した。また、必要な評価を実施するための試験計画を立案した。</p> <p><b>(2) 短絡事故評価装置の開発</b></p> <p>66 kV級の超電導ケーブルでは、短絡試験評価装置システムの仕様・構成を確定し、評価用ケーブル及び端末等の製造を行った。評価用ケーブルコアの臨界電流値が所定の性能（4.5～5kA）であることを確認した。また、評価用ケーブル及び端末、課電・通電システム、循環冷却システムと組合せ、評価装置システムとして住友電工の試験場内に完成させた。</p> <p>22 kV級の超電導ケーブルでは、評価用のケーブルを製造し、臨界電流値（20kA）、交流損失（5W/m@12kA）が所定の性能であることを確認した。また、63kA/0.6secと発生エネルギーが等価となるDC40kA/3secでの予備試験を行い、温度上昇が計算通りであることを確認した。</p> <p>275 kV級の超電導ケーブルでは、評価装置システムの仕様・構成を確定し、評価用ケーブル及び断熱管並びにそのフランジ部の製造を完了させた。通電に関しては、大電流の等価試験として、直流通電試験準備を行い、瀋陽古河の試験場内に構築した。</p> <p><b>(3) 地絡事故模擬評価装置の開発</b></p> <p>66 kV級の超電導ケーブルでは、超電導ケーブルでの地絡試験は過去に例がないため、有識者とも協議し、検証フローを策定した。続いて、シートによる基礎試験、ケーブルコアによる予備試験を実施した。シートによる基礎試験にて、断熱管を貫通しない保護層構造を確認した。また、電流値によるアークエネルギー量を実測し、従来ケーブルと同レベルであることが判り、シミュレーションする際のパラメータとして活用する予定。ケーブルコアによる予備試験を実施したが、断熱管を貫通する結果となった。</p> <p>今後の課題として、以下を実施する予定。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・シート試験とケーブルコア試験の相違を考慮し、保護層の改善を行う。</li> <li>・ケーブルのコンパクト性を失わない、地絡電流レベルの確認を行っていく。</li> <li>・地絡事故が他相に影響し短絡事故に移行しないかの確認とその場合の対策検討を行う。</li> </ul> <p>275 kV級の超電導ケーブルでは地絡事故模擬試験およびその予備試験の条件を策定した。予備試験用の評価装置システムの仕様・構成を確定し、端末、冷媒容器および評価用ケーブルの製造を完了。評価用ケーブル及び端末、冷媒容器等と組み合わせ、評価装置システムとして完成させた。</p>	

#### (4) ケーブル外傷事故時の評価装置の開発

66 kV 級の超電導ケーブルでは、真空度低下試験により短尺断熱管における真空度と侵入熱の相関を明らかにした。真空度が喪失すると、約 140W/m に侵入熱は増加する。40m 級断熱管と液体窒素循環システムを組合せた評価装置を構築した。

275 kV 級の超電導ケーブルでは、既存設備を活用して、真空度低下の評価システムを完成させた。

液体窒素漏えい試験では、基礎試験として液体窒素循環中にバルブをあげ、漏えい量の計測を行い、シミュレーション結果と一致することを確認した。

#### (5) シミュレーション技術の開発

超電導ケーブルに、短絡電流が流れた場合の冷媒の温度、圧力の変化をシミュレーションでできる計算コードを構築し、66kV 試験での温度、圧力の挙動をシミュレーションし短絡試験結果と計算結果の比較検討を行った。

#### (6) 国際標準化に向けた活動

イタリア RSE と情報交換を実施。ISS, EUCAS 等の国際学会で報告を実施。CIGRE D1.64, 2016 の Working group が 2016 年発足予定である。委員として超電導ケーブルの安全性・信頼性に係る試験項目、試験内容を報告する機会を得た。なお、国内では電気学会「極低温環境下の電気絶縁技術」調査専門委員会が 2015 年 10 月より発足し、研究成果を報告する機会を得ている。

### 2. 安全性評価試験による影響検証

#### (1) 短絡事故模擬試験

66 kV 級の超電導ケーブルでは、評価システムを用いて、液体窒素を循環したケーブルに、最大 28.5kA/0.6sec までの短絡電流流し、温度・圧力の変化を測定した。温度上昇の最大は 2K、圧力上昇は約 20kPa であった。温度上昇については、シミュレーションとよく一致することを確認した。圧力変化については瞬間的であり、フォーマ内部に入り込んだ液体窒素が蒸発することにより圧力上昇したと推定する。その後の変化については、シミュレーションと一致している。

22kV 級では、10m 級の短絡事故評価装置を完成させ、試験を実施する。

275 kV 級の超電導ケーブルでは短絡を模擬した実験データの収集・解析を行った。シミュレーション結果を導出し、対比が可能な状態とした。

これらの試験結果をシミュレーションへフィードバックさせるとともに、実規模レベルの長尺ケーブルでの短絡電流通過時の挙動を計算し、対策等を検討する。

#### (2) 地絡事故模擬試験

66kV 級の超電導ケーブル地絡事故模擬試験の結果については 1. (3) に記載。

275 kV 級の超電導ケーブルでは、短絡発電機を有している試験所で 275kV 級ケーブル地絡事故予備試験の実施、評価項目の測定、試験結果の分析を行った。現時点で、20kA 3 サイクルまでの地絡電流で液体窒素が噴出ししない条件まで導出した。

#### (3) ケーブル外傷事故時の影響検討

66 kV 級の超電導ケーブルでは、断熱管の真空度低下試験を構築した試験装置を用いて実施した。断熱管の真空度を喪失させ、温度、圧力の変化を計測し、シミュレーションと一致する

ことを確認した。温度、圧力の変化は急激なものではないが、安全弁動作などを引き起こす可能性があり、今後対応を検討する必要がある。

275 kV級の超電導ケーブルでは、サブクール窒素を循環中に真空断熱管の真空度を下げて、液体窒素の循環の変化を把握した。20mであればサブクール循環は可能であった。さらに、冷却循環故障模擬として、真空度が10Pa程度と悪化させた状態と真空が完全に壊れた場合に63kA-0.6secのエネルギーを投入した。その結果、サブクール状態を維持したため温度変化、圧力変化の大きさは高真空時と変わらなかった。

### 3. 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

66 kV級の超電導ケーブルでは、短尺での断熱管を試作し、断熱層部分の温度分布を測定し、熱伝導から熱輻射が支配的になるように、使用する断熱材の種類や積層枚数を変更した。改良後の断熱構造で40m級の断熱管を製造し、侵入熱を評価した。ケーブルコアがない状態ではあるが、実測値は1.1~1.5 W/mであり、目標以下となる目途を得ることができた。

275 kV級の超電導ケーブルでは、真空断熱管を作製し、液体窒素の蒸発量により侵入熱を評価する。まず、長さ5mの真空断熱管を作製し、真空部の断熱材の材料を変えることができ、液体窒素を封入して、その蒸発量により侵入熱を評価できるシステムを完成した。

#### (2) 冷却システムの高効率化技術の開発

ブレイトン冷却システムを旭変電所に移設し冷却システムの単体試験を行い、健全性を確認すると共に冷却能力が工場試験と同等(5kW以上)であることを確認した。

主要機器の故障模擬切り替えを行い、主要機器が故障しても循環運転が継続できることを確認した。また、停電模擬で60分以内の停電は、再起動可能であることを確認した。冷凍機故障模擬試験では、自動でサブクーラによるバックアップが可能であることを確認した。

回転機の周辺機器の信頼性に関する新たな課題の対策を行い、信頼性向上を図った。本対策を実施したことで、実証開始に遅れが生じた(プロジェクト終了後に別途計画)。

残された課題としては、超電導ケーブルとの組合せ試験を経て、長期間の実系統実証試験の実施および、実証試験後、限界性能(COP評価)・信頼性(40000時間)確認を行なうことである。

#### (3) 冷却システムの設計及び制御技術の高度化

発電所引出し線の冷却システムの課題を抽出し、シミュレーションモデルを作成した。開発したモデルにて、超電導ケーブルの圧力損失や各部温度がケーブル設計と一致することを確認した。

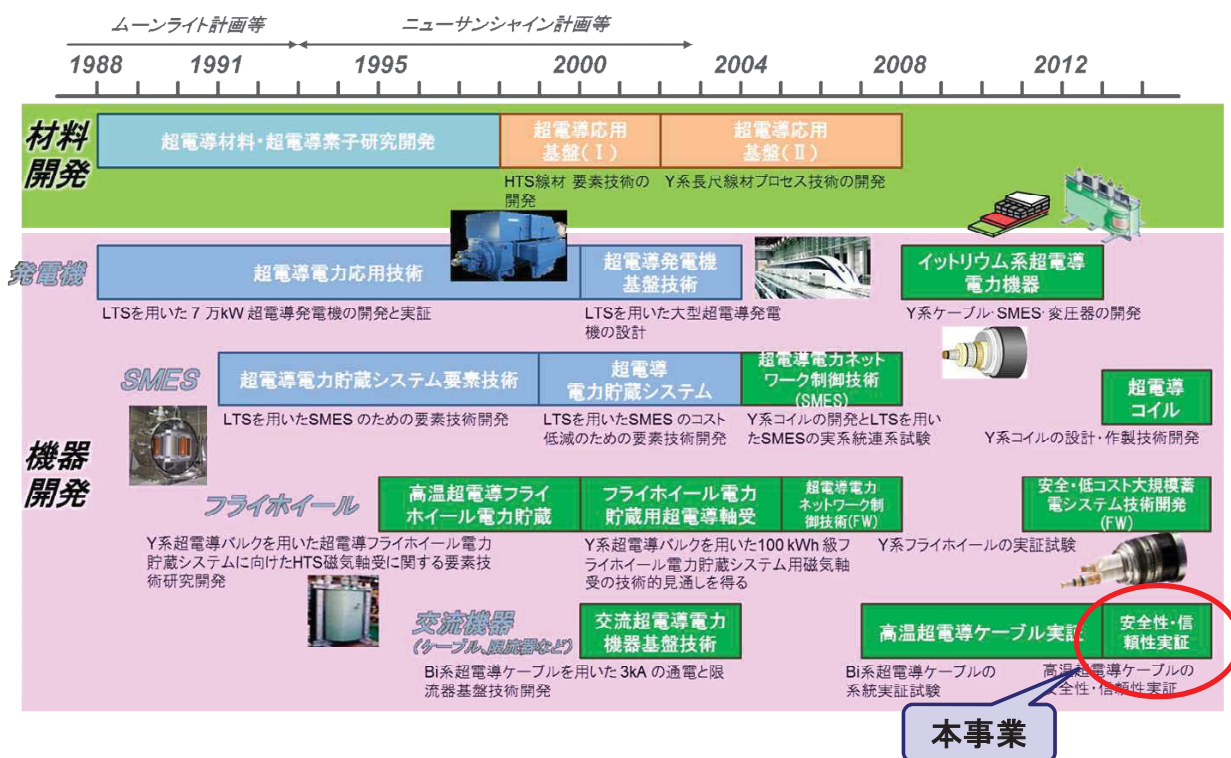
今後、開発したモデルを用いて、間欠かつ過渡的な熱負荷における蓄熱槽の蓄熱効果や短絡時の影響を検討する必要がある。

投稿論文	「査読付き」8件、「その他」18件
特 許	「出願済」3件、「登録」0件、「実施」0件(うち国際出願1件)
その他の外部発表 (プレス発表等)	超電導 Web21、電気評論、重化学工業通信社 新エネルギー新報、日経産業新聞、日経BP社 等 全8件

<p>4. 実用化の見通しについて</p>	<p>超電導ケーブルの最も有効な適用例は、現在 275kV の地中ケーブルで構成される基幹系の電力送電網への導入である。(以降、代表的な呼び名として「都内導入系統」と表記する。) 電力需要の増加に伴い遠方大規模電源を増強する際には、それに合わせて 275kV 系の都内導入系統も拡充する事となる。これを既存の 275kV ケーブルで構築しようとする、新たに洞道(最低でも内径 2.1m)の建設が必要である。しかしながら、特に都内においては地下空間に他の公共インフラ等が集中しており、新たな洞道を建設することが非常に困難になっている。これに対して超電導ケーブル技術を適用すると、既存 275kV ケーブルと同容量の電力を内径 150mm の既設管路に収容可能な 66kV 超電導ケーブルで構築可能である。従って、超電導ケーブルを適用することで洞道新設が不要となり、また既設管路の有効活用も可能なため、建設コストを大幅に低減できる。また超電導ケーブルは非常に低損失であるため冷却に必要な電力を考慮しても、送電ロスを半分程度まで低減でき、CO<sub>2</sub>削減が可能となる。</p> <p>別の適用例は経年化した既存 OF ケーブルの代替である。既存の 154kV 変電所・地中送電線は、今後老朽化対策および増容量対策が必要となるが、CV ケーブルで対応する場合にはケーブル容量の制約から既存 OF ケーブルより大径化するので、既設ケーブルを収容している管路の活用はできず、新たな洞道建設が必要となる。これに対して超電導ケーブル技術を活用すると、66kV 超電導ケーブルで大容量化に対応できるうえに既設管路の再利用も可能で、大幅なコストダウンと CO<sub>2</sub>削減が可能である。</p> <p>経年化した 154kV および 275kV の POF ケーブルの取替策として、CV ケーブルでの代替が検討されているが、CV ケーブルは POF ケーブルに比べて容量が小さいため、CV ケーブルを用いる場合には回線数を増加させる必要がある。この場合、既存洞道が回線増に対応可能かどうかなど様々な課題をクリアする必要がある。大容量送電が可能な 275kV 用の超電導ケーブルを活用すれば、既設 POF ケーブルと同容量の電力を、回線数を増やすことなく、単純にリプレースとして更新できる。さらに POF ケーブルは送電容量確保のために油循環冷却システムと冷却ステーションを備えており、この冷却ステーションのスペースを有効利用して超電導ケーブル用冷却システムを構築可能である。</p> <p>上記の他、発電所の引出口(発電機～変圧器間)などの大電流が流れる部分には、内部水冷ケーブルや GIL(ガス絶縁式送電ライン)などの大容量ケーブルが用いられている。これらは大容量であるために既存 CV ケーブルでの置き換えが困難で、経年後の代替策に苦慮しているのが実態である。コンパクトで大容量送電が可能な超電導ケーブルは、これら既設大容量ケーブルの代替策として早期の実用化が要望されている。</p>	
<p>5. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>平成 26 年 1 月 作成</p> <p>平成 28 年 3 月 改定        &lt;変更内容&gt;        平成 26 年から 28 年の 3 年事業として進めていたが、ケーブルシステムの不測の事故を想定した評価において、予想を超える課題が確認されたこと及び冷凍機の不具合対応に多大な時間を要したことにより本事業を 2 年間で一端終了し、成果、課題をまとめ、改めて次期プロジェクトで仕切り直しを図ることに決定した。</p>

# 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



## 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。

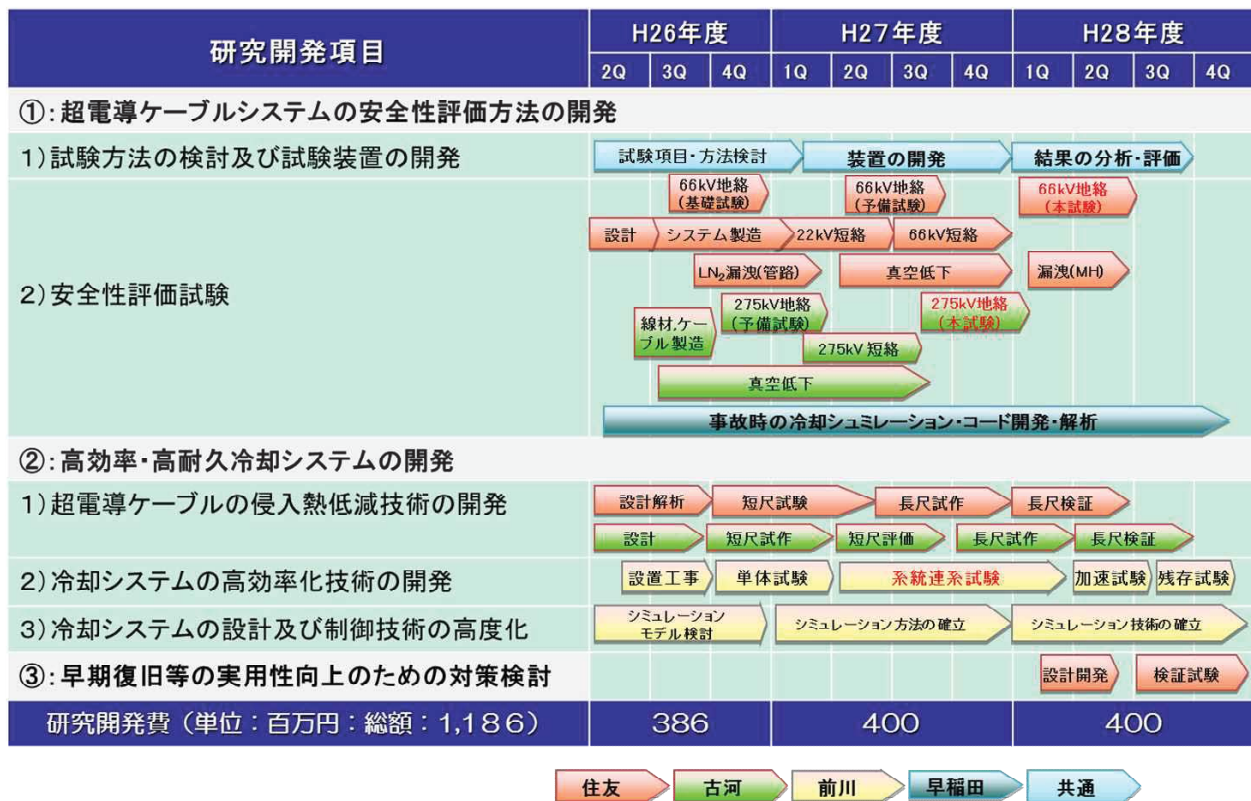
#### ③「早期復旧等の実用性向上のための対策検討」

- 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 (2) 研究開発計画

### ◆研究開発スケジュール(当初計画)



## 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:

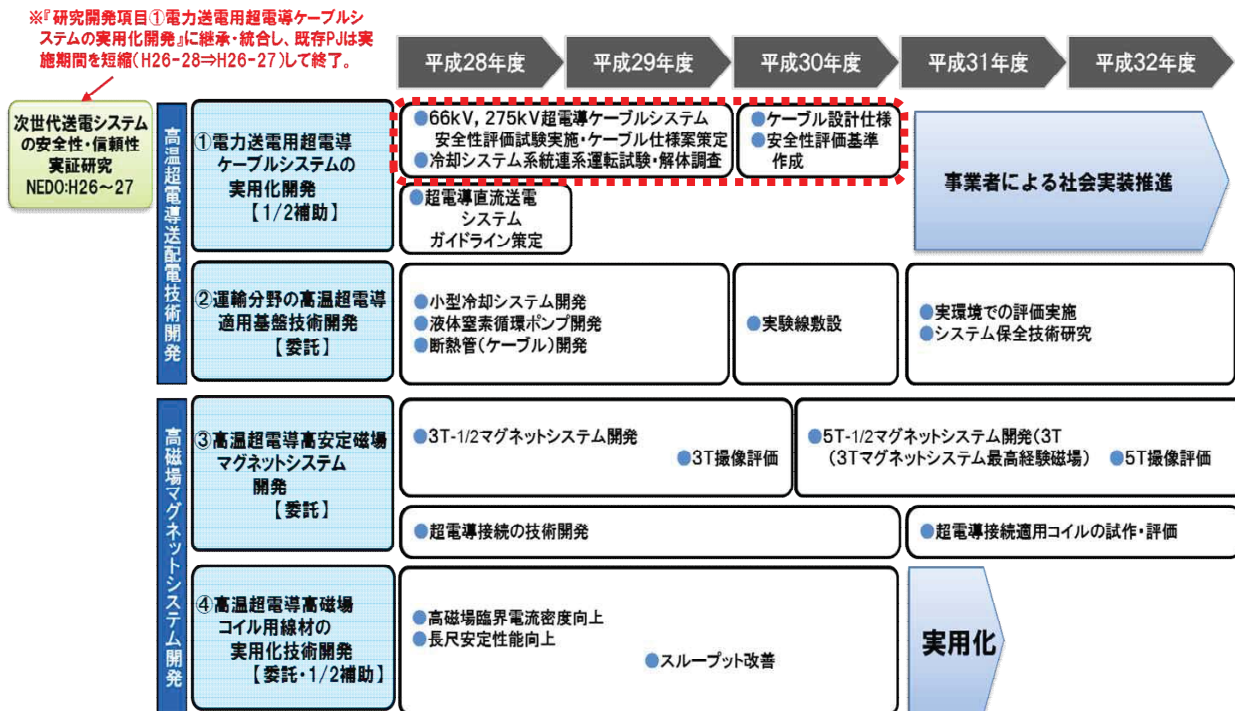
・H27年度までに実施した地絡の基礎試験の結果から、**安全防護策について、追加の検証が必要との結論に至り**、H28年度に最終的な安全防護策の効果の確認が困難であることが判明。

・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年度までに終わ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



## 2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標

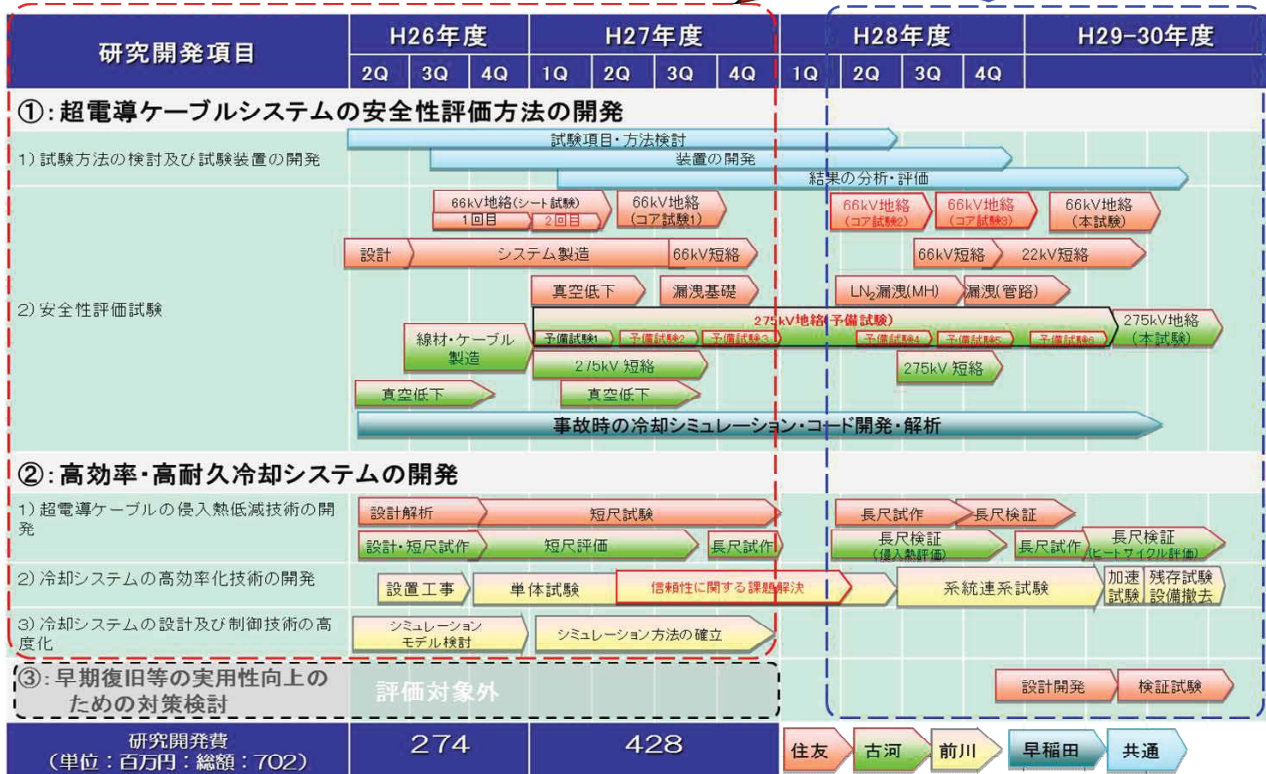
### ◆ 研究開発目標の見直し

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"> <li>・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</li> <li>・短絡・地絡および外傷事故模擬試験実施</li> <li>・安全性評価試験方法の国際標準化活動</li> <li>・実用的な信頼性のシミュレーション技術完成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験項目・方法検討、試験装置開発</li> <li>・短絡、地絡、外傷試験実施 (一部は予備試験)</li> <li>・国際標準化活動の実施</li> <li>・シミュレーション技術開発</li> </ul>
② 高効率・高耐久冷却システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断熱管侵入熱の低減 1.8W/m条以下</li> <li>・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</li> <li>・COP=0.11、保守・点検間隔40,000時間以上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短尺で断熱管侵入熱 1.8W/m条以下を確認</li> <li>・実系統実証運転の開始</li> </ul>
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"> <li>・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</li> </ul>	<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 (2) 研究開発計画

### ◆ 研究開発スケジュール(見直し後)



## 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

