

「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」  
中間評価報告書

平成22年2月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

平成22年2月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 村田 成二 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、別添のとおり  
評価結果について報告します。

## 目次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-16
2. 1 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 (①高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証)	
2. 2 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 (②トータルシステム等の開発、③送電システム運転 技術の開発、④実システムにおける総合的な信頼性の実証)	
2. 3 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究	
3. 評点結果	1-30
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1

## はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」の中間評価報告書であり、第18回研究評価委員会において設置された「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」（中間評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第24回研究評価委員会（平成22年2月5日）に諮り、確定されたものである。

平成22年2月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会



「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」

中間評価分科会委員名簿

(平成21年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	いわもと じんいち 岩本 伸一	早稲田大学 理工学術院 先進理工学部 電気・情報生命工学科 教授
分科会長 代理	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
委員	あきた しらべ 秋田 調	財団法人電力中央研究所 企画グループマネージャー
	かとう まさつね 加藤 雅恒	東北大学 大学院 工学研究科 応用物理学専攻 准教授
	しらい やすゆき 白井 康之	京都大学 大学院 エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻 教授
	まえかわ おさむ 前川 治	株式会社東芝 電力システム社 統括技師長
	やまぐち ひろし 山口 浩	独立行政法人産業技術総合研究所 つくば中央第二事業所 エネルギー半導体エレクトロニクス研究ラボ 副研究ラボ長

敬称略、五十音順

## 審議経過

- 第1回 分科会（平成21年11月25日）

- 公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法・評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明
5. プロジェクトの詳細説明
6. 全体を通しての質疑
7. まとめ・講評
8. 今後の予定、その他、閉会

- 現地調査会（平成21年11月4日）

- 住友電気ファインポリマー株式会社内住友電気超電導ケーブル実験場  
（大阪府泉南郡熊取町）

- 第24回研究評価委員会（平成22年2月5日）

## 評価概要

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

本プロジェクトで開発が期待されているビスマス系高温超電導線材を用いた3相一括型の低損失でコンパクトな高温超電導ケーブルは、現状では世界の他の国では開発が難しい技術であり、電力技術において我が国が極めて優位に立てる技術の一つとなるものと期待できる。全般的に良く計画されたプロジェクトであり、中間目標もおおむね達成されている。未達成の部分についても達成への道筋が示されている。特に、これまで我が国の高温超電導ケーブル開発プロジェクトでは開発されたことが無い中間接続部の開発も順調に進められている。

一方、超電導ケーブルの実用化に向けたコスト削減、送電ロスさらなる低減には、冷却システムの効率・能力の向上が重要なポイントである。冷却システムの評価や技術課題の明確化についての体制の強化が望まれる。また、単なる規格基準の国際標準化だけを目指すのではなく、技術そのものを世界標準とするための活動が望まれる。

#### 2) 今後に対する提言

実用化に向けて冷却システムの効率向上方策について具体的な検討を行うことを望む。冷却システムの性能をあげる研究開発は、本プロジェクトのみならず、並行してすすんでいるリットリウム系ケーブルのプロジェクトにも共通するため、非常に重要である。また、将来的に発電所への設置を考える場合は、その環境に適した試験も必要である。さらに、世界的なデファクトスタンダード技術とするためには、世界に対するアピールが極めて重要であり、我が国の高温超電導ケーブル技術の世界への周知を図るべきである。研究開発成果を国内外に広く紹介するための国際シンポジウムまたはワークショップなどの開催を期待したい。

本件は、社会性が極めて高い技術開発である事と、通常機器とは比較にならない非常に高いレベルの信頼性を要求される分野である事から、中長期的な信頼性の検証をどの様に行うかなど、本プロジェクト終了後の活動についても是非考えて頂きたい。研究開発成果を我が国の電力技術において世界を牽引する技術の一つとするために、国およびNEDOとして、研究開発成果の世界的な実用化さらに事業化戦略を持っておくべきである。

### 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

高温超電導ケーブルは超電導電力応用で実用化が最も期待される分野であり、我が国の重要インフラである地中送電網の維持発展のために不可欠な技術開発である。本技術の開発・蓄積はわが国のエネルギーセキュリティ確保の観点からも国家戦略につながる重要な課題であり、NEDO プロジェクトとして適切である。

一方、本格的な実用化に向けての課題として、長期に渡る信頼性など、本事業でカバーしきれない部分が残る。本事業終了後の実用化に向けた課題解決の方向性を本事業の期間中に明確にしておく必要がある。

また、今後の地球環境問題を考える際に、高温超電導ケーブルの低損失性が寄与できるのは、国内よりも東アジア諸国を中心とする海外電力網である可能性が高い。世界への貢献といった観点からも、プロジェクトの位置づけを見直すことも必要である。

### 2) 研究開発マネジメントについて

研究開発推進にあたっては国内外の超電導ケーブル開発状況についての調査が行われており、内外の技術動向を踏まえた目標設定が成されている。さらに、目標設定が明確かつ具体的で定量化されており、十分な研究開発マネジメントが行われていると評価される。また、プロジェクトリーダーの途中交代を含め、実変電所構内での超電導ケーブル性能の実証試験とのプロジェクトの目的に相応しいプロジェクト推進体制を構築しており、効率的かつ漏れのない研究開発計画となっている。情勢変化への対応等も適切である。

しかしながら、冷却システムに関して比重が軽いように感じる。可動部分を有するなど、信頼性を考える上では重要な部分である。冷却システムの評価や技術課題の明確化についての体制を強化できないか。また、技術開発目標が国内の地中送電網への適用を目指した仕様となっている。開発される高温超電導ケーブル技術は世界的にも貢献が大きい技術であることを鑑みると、送電電圧階級毎の適応性などの設計研究では世界的なニーズも踏まえた検討を今のうちから行っておくことも必要である。

### 3) 研究開発成果について

設定されている研究開発目標に対し、中間段階として極めて順調な研究開発成果を上げている。ほとんど全ての項目で中間目標値をクリアしており、最終目標も十分に達成可能と評価される。中間時点で達成された内容は世界最高レベルであり、建設コストも1/3に低減できる目途付けがされるなど、十分な成果が挙げられている。超電導ケーブルシステムのコンパクト化により、世界

最高のエネルギー密度を達成でき、さらに既存管路に収容可能となったため大幅なコスト削減につながったことは大きな成果である。また、知的財産権の申請および論文の発表も適切に行われている。

しかしながら、今回は検証用として30m長のケーブルが製造されたが、30mの妥当性と製造技術の観点からの十分性への言及が若干弱かったように感じられた。これらの指標の妥当性についても示してほしい。また、世界的なデファクトスタンダード技術とするためには、世界に対するアピールが極めて重要であり、我が国の高温超電導ケーブル技術の世界への周知を図るべきである。研究開発成果の発表先を見ると国内が中心であるが、むしろ海外を中心に発表することも検討してほしい。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

実用化への技術的な課題は明確に示され、それに向けた方針も明確である。実証試験が実変電所に適用して実施されることを含め、実用化を十分に意識したプロジェクト計画となっており、またそれに向けた課題の抽出とその解決に向けた対応方針が明確になっている。本プロジェクトの適用により、建設コストが1/3に低減できるとの評価も得られており、十分な経済性が期待できると考えられる。本技術が、我が国の電力技術において世界を牽引する技術の一つとなる可能性は極めて高い。さらに、超電導応用技術の研究開発や人材育成にも大きな波及効果が期待できる。

一方、実用化には、冷却システムの高効率化、低コスト化が実現できるかが大きなポイントである。特に、事業化までには、冷却システムの電力使用量の低減の問題を解決しなければならない。

成熟した日本の電力系統では導入へのハードルが高い場合も、国際的にはそうでないことは多くある。日本での導入を前提にした規格化、標準化にこだわらず、柔軟な対応が必要である。国際標準化に関しては、データの提供にとどまることなく、最大限標準化そのものをリードすることが望まれる。

## 研究評価委員会におけるコメント

第24回研究評価委員会（平成22年2月5日開催）に諮り、了承された。  
研究評価委員会からのコメントは特になし。

## 研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所 属、役 職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 (科学技術ジャーナリスト養成プログラム) 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	オリンパス株式会社 新規中核事業企画本部 ヘルスケア事業開発部 企画グループ コーディネーター
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	日本大学 法学部 教授
	大西 優	株式会社カネカ 顧問
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 取締役社長
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	小柳 光正	国立大学法人東北大学大学院 工学研究科 バイオロボティクス専攻 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学 精密機械工学専攻 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	富田 房男	放送大学 北海道学習センター 所長
	架谷 昌信	愛知工業大学 工学機械学科 教授・総合技術研究所所長
宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授	

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。



## 1. プロジェクト全体に関する評価結果

### 1. 1 総論

#### 1) 総合評価

本プロジェクトで開発が期待されているビスマス系高温超電導線材を用いた3相一括型の低損失でコンパクトな高温超電導ケーブルは、現状では世界の他の国では開発が難しい技術であり、電力技術において我が国が極めて優位に立てる技術の一つとなるものと期待できる。全般的に良く計画されたプロジェクトであり、中間目標もおおむね達成されている。未達成の部分についても達成への道筋が示されている。特に、これまで我が国の高温超電導ケーブル開発プロジェクトでは開発されたことが無い中間接続部の開発も順調に進められている。

一方、超電導ケーブルの実用化に向けたコスト削減、送電ロスのさらなる低減には、冷却システムの効率・能力の向上が重要なポイントである。冷却システムの評価や技術課題の明確化についての体制の強化が望まれる。また、単なる規格基準の国際標準化だけを目指すのではなく、技術そのものを世界標準とするための活動が望まれる。

#### 〈肯定的意見〉

- ロードマップとの関係が明確であるとともに、社会的な要請も大きな課題である。研究開発も順調に進んでおり、関係者の努力とともに、マネジメントが良好である結果と思う。
- 世界一の技術としてきちんと研究が遂行されており、予定通り推進すべき。
- プロジェクトの計画に従い、極めて順調に研究開発が進められており、プロジェクトの目標である、実際の変電所である東京電力旭変電所構内での実証試験も成功裏に行われることを予見させる研究開発成果が得られている。特に、これまで我が国の高温超電導ケーブル開発プロジェクトでは開発されたことが無い中間接続部の開発も順調に進められている。また、実際の電力系統内での性能検証試験を想定した試験条件の設定のための検討もきめ細やかに行われている。
- ①高温超電導ケーブルの総合的な信頼性評価を行うためのロードマップが明確にされ、困難なゴールであるにもかかわらず、各開発目標が設定根拠を含め中間目標、最終目標の形で定量化されていたこと、  
②これら設定した目標値（今回は中間目標値）に対して成果がどうであったかが定量的に評価されていたこと、  
③結果として中間目標のほぼ全件を達成したこと、  
が高く評価される。また、プロジェクト管理も上記目標実現に向けて実施されていた。

- ・着実に課題がクリアされ、中間目標が達成されている。このまま最終目標をクリアしてほしい。
  - ・超電導ケーブルの実用化に着実に近づいていると思われる。ぜひとも実用化につなげてほしい。
  - ・開発した超電導ケーブルは世界最高水準にあると思われる。
- ケーブル特有の技術ポイントもあるが、全般として他の超電導応用技術開発への波及効果が大きい基本プロジェクトであると考え。線材開発から、電力システム導入までの広範囲な局面（設計・試験法・導入の国際標準化まで）でのブレイクスルーを期待する。
- 全般的に良く計画されたプロジェクトであり、中間目標もおおむね達成されている。未達成の部分についても達成への道筋が示されている。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 冷却系の効率について、0.1 を仮定しているが、その達成についての道筋が明らかではない。今回のプロジェクトの範囲外と思われるが、重要な前提条件である。
- ①中間報告では、検証データが当初目標を達成したことを示すためデータベースの報告が主体となっていた。これは決して問題とするべきものではないが、一方で平行して実施されていたであろう各種解析評価からのアプローチとその結果、ならびに解析結果と実験値との差異評価などへの言及があったほうが更に良かった。
- ②数多くのデータが採取され、十分な特性を示す結果となっているが、これらがチャンピオンデータでなく、十分な再現性を有したデータであることを是非言及して頂きたい。
- 超電導ケーブルの実用化に向け、コスト削減、送電ロスのさらなる低減には、冷凍機の効率・能力の向上が重要なポイントである。
- 本プロジェクトで開発が期待されている Bi 系高温超電導線材を用いた 3 相一括型の低損失でコンパクトな高温超電導ケーブルは、現状では世界の他の国では開発が難しい技術であり、電力技術において我が国が極めて優位に立てる技術の一つとなるものと期待できる。このような観点から、単なる規格基準の国際標準化だけを目指すのではなく、技術そのものを世界標準とするための活動が望まれる。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 国および NEDO 等による本プロジェクトの研究開発成果を、地球環境問

題対応におけるわが国の切り札となる技術と位置付けるための政策展開が望まれる。

- 成果の一般への **PR** についても今後積極的に行われることを望む。なお、「世界最高のエネルギー密度」は正確には「世界最高の電力密度」である。
- 国内向けに特化した技術でなく、世界に通用する技術となるよう、技術的な検証は、国際的に通用するものとして行われる事を期待します。また、世界へ向けた情報の発信も期待します。

## 2) 今後に対する提言

実用化に向けて冷却システムの効率向上方策について具体的な検討を行うことを望む。冷却システムの性能をあげる研究開発は、本プロジェクトのみならず、並行してすすんでいるイットリウム系ケーブルのプロジェクトにも共通するため、非常に重要である。また、将来的に発電所への設置を考える場合は、その環境に適した試験も必要である。さらに、世界的なデファクトスタンダード技術とするためには、世界に対するアピールが極めて重要であり、我が国の高温超電導ケーブル技術の世界への周知を図るべきである。研究開発成果を国内外に広く紹介するための国際シンポジウムまたはワークショップなどの開催を期待したい。

本件は、社会性が極めて高い技術開発である事と、通常機器とは比較にならない非常に高いレベルの信頼性を要求される分野である事から、中長期的な信頼性の検証をどの様に行うかなど、本プロジェクト終了後の活動についても是非考えて頂きたい。研究開発成果を我が国の電力技術において世界を牽引する技術の一つとするために、国および NEDO として、研究開発成果の世界的な実用化さらに事業化戦略を持っておくべきである。

### 〈今後に対する提言〉

- ・ 変電所への設置に関しては問題ないと思われるが、将来的に発電所への設置を考えるなら、その環境に適した試験も必要であろう。
- ・ 実証試験の試験条件の必要十分性の確認を再度実施されることを推奨します。実変電所を使用した実証試験であり、今後の成果の拡大適用も極力考慮した試験条件となっていることを確認されることを推奨します。

特に冷却器系などは、通常状態、過渡状態、異常状態といった発生頻度に基づく運転状態を設定し、それぞれに対して過渡条件やそれに対する判定基準を設定するなどの検討をされるのも一つの考え方かと思えます。参考にしてください。
- ・ 研究開発成果を国内外に広く紹介するための国際シンポジウムまたはワークショップなどの開催を期待したい。
- ・ 高温超電導といっても約マイナス 200℃もの冷却が必要であることがネックにある。冷凍機の性能を上げることは容易ではないだろうから、とりあえずは現状の冷凍機で進めていけばよいが、冷凍機の性能をあげる研究開発は、本プロジェクトのみならず、並行してすすんでいる Y 系ケーブルのプロジェクトにも共通するため、非常に重要である。
- ・ 実電力系統の本格導入につながる、特に供給信頼性を十分担保できる道筋をつけられるかが重要となる。

- 本件は、社会性が極めて高い技術開発である事と、通常機器とは比較にならない非常に高いレベルの信頼性を要求される分野である事から、中長期的な信頼性の検証をどの様に行うかなど、本プロジェクト終了後の活動についても是非考えて頂きたい。
- 実用化に向けて冷却系の効率向上方策について具体的な検討を行うことを望む。また、実用時に望ましい冷却方式としての間接冷却方式についても具体的な検討を行うことを望む。

〈その他の意見〉

- 高温超電導ケーブルシステムで CO<sub>2</sub> を削減するのは理解できるが、冷却システムに用いられる電力量も低減しなければならない。それを将来やる必要があるだろう。
- 冷凍機を使用しなくてもよいような、より高い超電導転移温度を有する新しい超電導物質の開発研究も不可欠である。

## 1. 2 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

高温超電導ケーブルは超電導電力応用で実用化が最も期待される分野であり、我が国の重要インフラである地中送電網の維持発展のために不可欠な技術開発である。本技術の開発・蓄積はわが国のエネルギーセキュリティ確保の観点からも国家戦略につながる重要な課題であり、NEDO プロジェクトとして適切である。

一方、本格的な実用化に向けての課題として、長期に渡る信頼性など、本事業でカバーしきれない部分が残る。本事業終了後の実用化に向けた課題解決の方向性を本事業の期間中に明確にしておく必要がある。

また、今後の地球環境問題を考える際に、高温超電導ケーブルの低損失性が寄与できるのは、国内よりも東アジア諸国を中心とする海外電力網である可能性が高い。世界への貢献といった観点からも、プロジェクトの位置づけを見直すことも必要である。

#### 〈肯定的意見〉

- NEDO の事業としての妥当性は有る。また事業目的の妥当性もある。
- 今後、経年化が進んでいく国内の地中送電線を更新する際の技術オプションとすべく、従来の POF ケーブル、OF ケーブル、CV ケーブルを代替できるコンパクト低損失地中送電方式として、3 相一括型高温超電導ケーブル技術を開発しようとするものであり、我が国の重要インフラである地中送電網の維持発展のために不可欠な技術開発である。
- 高温超電導ケーブルは超電導電力応用で実用化が最も期待される分野であるが多額の開発費用を必要とし、他の電力機器への波及効果も期待できるため NEDO プロジェクトとして適切である。アメリカ合衆国などで積極的な研究開発が行われており、この分野で日本が世界をリードするべく送電損失を大幅に低減する本事業の目的は妥当である。
- エネルギーインフラに関するプロジェクトであり、技術の開発・蓄積は国家戦略につながる。市場原理に任せる問題ではなく、積極的な戦略性を持った開発が必要と考えるので、NEDO の関与は必要である。
- 超電導が有する特性を活用した革新的高効率送電技術の開発であり、エネルギーイノベーションプログラムの本質を成す技術の一つと評価できる。わが国のエネルギーセキュリティ確保の観点からも重要な開発課題である。
- 社会ニーズに即した技術開発であり、事業は妥当なものと考えられる。また、目的も妥当なものであると考えられる。

- ・高温超電導ケーブルを使用すると送電ロスが既存のケーブルの 1/2 以下となることが期待されるように、革新的な技術開発といえる。
- ・送電ケーブルは公共性が極めて高いものであり N E D O の関与は不可欠である。
- ・本プロジェクトは、高温超電導ケーブルの実用化の目途をつけるための重要なプロジェクトである。

〈問題点・改善すべき点〉

- 今後の地球環境問題を考える際に、高温超電導ケーブルの低損失性が寄与できるのは、国内よりも東アジア諸国を中心とする海外電力網である可能性が高い。Bi 系高温超電導線材を用いた 3 相一括型高温超電導ケーブル技術を保有するのは、今のところ世界的にわが国だけであり、世界への貢献といった観点からも、プロジェクトの位置づけを見直してはどうか。

〈その他の意見〉

- ・ 本格的な実用化に向けての課題として、長期に渡る信頼性など、本事業でカバーしきれない部分が残るように思われる。こうした部分を本事業終了後にどの様にして解決すべきかは、本事業の期間中に明確にしておく必要があると思われる。

## 2) 研究開発マネジメントについて

研究開発推進にあたっては国内外の超電導ケーブル開発状況についての調査が行われており、内外の技術動向を踏まえた目標設定が成されている。さらに、目標設定が明確かつ具体的で定量化されており、十分な研究開発マネジメントが行われていると評価される。また、プロジェクトリーダーの途中交代を含め、実変電所構内での超電導ケーブル性能の実証試験とのプロジェクトの目的に相応しいプロジェクト推進体制を構築しており、効率的かつ漏れのない研究開発計画となっている。情勢変化への対応等も適切である。

しかしながら、冷却システムに関して比重が軽いように感じる。可動部分を有するなど、信頼性を考える上では重要な部分である。冷却システムの評価や技術課題の明確化についての体制を強化できないか。また、技術開発目標が国内の地中送電網への適用を目指した仕様となっている。開発される高温超電導ケーブル技術は世界的にも貢献が大きい技術であることを鑑みると、送電電圧階級毎の適応性などの設計研究では世界的なニーズも踏まえた検討を今のうちから行っておくことも必要である。

### 〈肯定的意見〉

- 開発目標は、世界的に見て妥当な点を目指している。開発計画、事業体制も適切なチーム構成で進められていると判断する。
- プロジェクトリーダーの途中交代を含め、実変電所構内での超電導ケーブル性能の実証試験とのプロジェクトの目的に相応しいプロジェクト推進体制を構築している。特に、これまでの関連の民間プロジェクトおよび国内外の国家プロジェクトの研究開発成果を十二分に取り込んだ研究開発を実施しており、効率的かつ漏れのない研究開発計画となっている。
- ・将来の送電システムを想定し、66kV、200MVA、150mmφ管路収容可能な高温超電導ケーブルシステムを開発するとし、明確な目標設定がなされている。また、従来ケーブルと超電導ケーブルの経済性と送電損失を試算して比較し、交流損失、接続損失等の具体的な目標を設定している。  
・事業がケーブルの開発からトータルシステムへと進行したことに伴い、プロジェクトリーダーを交代したことは妥当である。
- 研究開発推進にあたっては国内外の超電導ケーブル開発状況についての調査が行われており、内外の技術動向を踏まえた目標設定が成されている。  
開発目標についても開発ロードマップが明確にされ、中間時である今年度までの目標設定が定量化されており、十分な研究開発マネジメントが行われていると評価される。

開発体制についても、プロジェクトリーダーが全体を把握する中で、各



開発担当部門の特性を活かした開発分担がなされており、適切な分担となっていると評価される。

また、新政府の環境対応方針動向に合わせ、目的についても再評価がなされており、適切な対応がとられているといえる。

- 目標、計画とも妥当なものになっていると考えられる。プロジェクトリーダーの変更も含め、事業体制も適切と考えられる。
- 適切な目標のもとに研究開発計画が良く練られている。プロジェクト実施体制も適切である。
- 研究開発目標の妥当性は有る。研究開発計画の妥当性は有る。情勢変化への対応等も適切である。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 研究開発計画の技術開発目標が国内の地中送電網への適用を目指した仕様となっている。送電技術の実証プロジェクトの成功のためには、研究開発仕様の絞り込みは不可欠であるが、開発される高温超電導ケーブル技術は世界的にも貢献が大きい技術であることを鑑みると、送電電圧階級毎の適応性などの設計研究では世界的なニーズも踏まえた検討を今のうちから行っておくことも必要ではないか。
- ユーザーとしての電力会社の事業戦略技術となるためのハードルの明確化。リプレイスだけの予想導入規模だけで継続的な事業化につながるのか。
- 今回は検証用として30m長のケーブルが製造されたが、これについても30mの妥当性と製造技術の観点からの十分性への言及が若干弱かったように感じられた。これらの指標についての妥当性についても示されるとなお良い。
- 冷却システムに関して比重が軽いように感じる。可動部分を有するなど、信頼性を考える上では重要な部分であると思うので、冷却システムの評価や技術課題の明確化についての体制を強化できないか。

### 3) 研究開発成果について

設定されている研究開発目標に対し、中間段階として極めて順調な研究開発成果を上げている。ほとんど全ての項目で中間目標値をクリアしており、最終目標も十分に達成可能と評価される。中間時点で達成された内容は世界最高レベルであり、建設コストも1/3に低減できる目途付けがされるなど、十分な成果が挙げられている。超電導ケーブルシステムのコンパクト化により、世界最高のエネルギー密度を達成でき、さらに既存管路に収容可能となったため大幅なコスト削減につながったことは大きな成果である。また、知的財産権の申請および論文の発表も適切に行われている。

しかしながら、今回は検証用として30m長のケーブルが製造されたが、30mの妥当性と製造技術の観点からの十分性への言及が若干弱かったように感じられた。これらの指標の妥当性についても示してほしい。また、世界的なデファクトスタンダード技術とするためには、世界に対するアピールが極めて重要であり、我が国の高温超電導ケーブル技術の世界への周知を図るべきである。研究開発成果の発表先を見ると国内が中心であるが、むしろ海外を中心に発表することも検討してほしい。

#### 〈肯定的意見〉

- 設定されている研究開発目標に対し、中間段階として極めて順調な研究開発成果を上げている。特に、中間接続部の開発はわが国のプロジェクトとしては初めての技術開発であるにもかかわらず、これまでの研究開発実施者の技術開発蓄積を發揮し、極めてスムーズに開発を進めている。また、特許出願を中心とする知的財産の確保も考慮されているように見受けられる。
- ・中間目標はほぼ達成され、今年度中にはすべて達成される見込みで、順調である。
  - ・超電導ケーブルシステムのコンパクト化により、世界最高のエネルギー密度を達成でき、さらに既存管路に収容可能となったため大幅なコスト削減につながったことは大きな成果である。そして、まだ30mではあるが問題なく運転できていることは評価できる。
- 成果は目標値をクリアしている。成果は世界最高水準である。知的財産等の取得及び標準化の取組みは適切に行われている。成果の普及も適切に行われている。最終目標を達成できる見込みはある。
- 成果はおおむね目標を達しており、今後のものも目標達成の道筋が示されている。また、成果のレベルも世界最高水準のものである。知的財産権の申請および論文の発表も適切に行われている。

- 中間目標としては、概ね達成していると評価できる。技術的に、他の超電導応用機器への波及効果は大きい。特に、高い信頼性を要求される他の超電導応用電力機器の実システム導入に対してそのハードルを低くする成果を期待する。
- 個別開発項目毎に要求仕様と到達レベルが定量比較されており、十分なレベルで中間目標を達成したと評価できる。

本超電導ケーブルの開発により、ケーブルの高経年化対策が可能となり、ひいては環境負荷低減につながる技術であり、新規市場が期待できる。

中間時点で達成された内容は世界最高レベルであり、建設コストも1/3に低減できる目途付けがされるなど、十分な成果が挙げられている。

知的財産、研究発表についても十分な件数が発表されており、必要に応じた提案、発表になっていると評価される。

最終目標の達成についても、これまでの計画的なプロジェクト進行を元に評価すれば十分に達成可能と評価される。
- 成果は目標を達成しており、高く評価できる。また、意義深い成果が得られていると感じる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- ほとんど全ての項目で中間目標値をクリアしているせいもあると思われるが、達成した中においてもその過程等で見出された細かい留意点や課題等の抽出が検討されておればさらに良かったと考えられる。
- 技術開発内容としては、プロジェクトの研究開発成果を実用化する際の鍵となる、低交流損失 Bi 系高温超電導線の開発と高効率で超電導ケーブルシステム冷却に相応しい容量の冷凍機開発がプロジェクト外の民間を中心とする技術開発成果に依存している。本プロジェクトの研究開発成果を確実に実用化するためにも、継続的に上記のような関連技術の必要性および重要性を発信し、プロジェクト外の研究者による提案公募型の研究費獲得も含め、関連の技術開発プロジェクトの立ち上げを促進してはどうか。

また、研究開発成果に関し規格基準などを含めて世界的なデファクトスタンダード技術とするためには、特許の取得だけではなく、その技術開発内容をなるべく早く世界中に知らしめておくことが極めて重要である。研究開発成果の発表先を見ると国内が中心であるが、むしろ海外を中心に発表してはどうか。また、今後は、実証試験期間中を中心に内外の高温超電導ケーブル研究開発の関係研究者および技術者が参加する国際的なシンポジウムまたはワークショップなどの開催を国内で企画し、現地の視察も含め、我が国の高温超電導ケーブル技術の世界への周知を図るべきではな

いか。ともすると国際標準化活動は規格基準作りが中心となりがちであるが、事前の開発された技術の国際展開活動が、標準化の成否を決めるものと考えられる。

- 国際標準化に関する取り組みについては試験方法の有効性について今後世界にアピールしてゆくことが望まれる。
- 目標達成のために、ケーブル設計としては結果的にオーバースペックになっている部分があると考えられる。この点は、詳細に検討してフィードバックされることを望む。

〈その他の意見〉

- ・ 得られた知見が汎用性の高いものであることを積極的に情報発信し、世界に対してアピールして欲しい。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

実用化への技術的な課題は明確に示され、それに向けた方針も明確である。実証試験が実変電所に適用して実施されることを含め、実用化を十分に意識したプロジェクト計画となっており、またそれに向けた課題の抽出とその解決に向けた対応方針が明確になっている。本プロジェクトの適用により、建設コストが1/3に低減できるとの評価も得られており、十分な経済性が期待できると考えられる。本技術が、我が国の電力技術において世界を牽引する技術の一つとなる可能性は極めて高い。さらに、超電導応用技術の研究開発や人材育成にも大きな波及効果が期待できる。

一方、実用化には、冷却システムの高効率化、低コスト化が実現できるかが大きなポイントである。特に、事業化までには、冷却システムの電力使用量の低減の問題を解決しなければならない。

成熟した日本の電力系統では導入へのハードルが高い場合も、国際的にはそうでないことは多くある。日本での導入を前提にした規格化、標準化にこだわらず、柔軟な対応が必要である。国際標準化に関しては、データの提供にとどまることなく、最大限標準化そのものをリードすることが望まれる。

#### 〈肯定的意見〉

- これまでの新しい地中送電技術の技術開発手順に則った、高温超電導ケーブルの技術開発が進められている。新しい電力技術の導入の時定数は10年を単位として進むなどと長いため、新しい通信技術の導入のように数年で一気に実用化されることは難しいが、最初に高温超電導ケーブルの技術的特徴が最も発揮される発電所の引き出し線に適用されるなど、国内においても着実な技術導入が見込まれる。国外も含めて考えると、我が国の電力技術において世界を牽引する技術の一つとなる可能性は極めて高い。
- 実用化の可能性は、ケーブルとしては有る。関連分野への波及効果も有る。
- 実用化に向けての課題整理は、概ね上手くいっていると思われる。
- ・超電導ケーブルは、まず水力発電所等の発電端から始め、都内導入系統への拡充、および既存OFケーブルの代替に用いるとしているように、適用先は明確である。
  - ・実用化への課題は、線材コストの低減、冷却システムの高効率化とコスト低減であると、明確である。
- 実用化への技術的な課題は、明確に示されそれに向けた方針も明確である。超電導技術のエネルギー応用の先陣をきるという意味で、超電導応用技術の研究開発や人材育成には大きな波及効果が期待できる。
- ・実証試験が実変電所に適用して実施されることを含め、実用化を十分に

意識したプロジェクト計画となっており、またそれに向けた課題の抽出とその解決に向けた対応方針が明確になっている。

・国際標準化に向け、実証試験データをまとめた上で標準化推進が謳われている。

・本プロジェクトの適用により、建設コストが1／3に低減できるとの評価も得られており、十分な経済性が期待できると考えられる。

・研究成果の波及効果については、開発ベースの交流大容量システムをベースに直流ケーブルへの応用等が想定されており、広範囲な波及効果が期待できる。

- ケーブルの技術的な側面については実用化に向けての課題がほぼ明確になっている。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 電力インフラに関する技術は、本来地域(国)の条件に依存する事が多い。特に日本は、海外連系もなく独自の路線で発展してきた歴史がある。成熟した日本の電力系統では導入へのハードルが高い場合も、国際的にはそうでないことは多くある。日本での導入を前提にした規格化、標準化にこだわらず、柔軟な対応が必要であると考えられる。
- 実用化には、冷却システムの高効率化、低コスト化が実現できるかが大きなポイントであると思われる。
- 国際標準化に関しては、データの提供にとどまることなく、最大限標準化そのものをリードすることが期待されるとともに、望まれる。
- 事業化までには、冷却システムの電力使用量の問題を解決しなければならないと思う。
- コストダウンおよび冷凍機の効率向上に関して今後の検討が望まれる。
- 国際標準化に関しては、「急がば回れ」で、まずは研究開発成果の国内外への周知を図ってはどうか。これにより、関係の研究が自発的に立ち上がるなど、研究開発成果の波及効果も期待できる。
- 冷凍システムの技術要件(冷凍機容量など)については、実用化に向けての開発要素・開発課題があるように感じられる。体制強化が必要なものがある場合には、早期に技術課題の明確化を図った方が良いと思われる。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 日本の電力業界は、高い信頼性を要求するため基本的に現状維持の意識が強い。適用可能性が示されても、どうしても超電導でなくてはならないかという問に対して、新たな技術を導入するリスクに見合う大きなコスト低

減を提示するのは難しいのではないか。逆にいうと、その日本で導入実績ができれば、その信頼性を糧に海外への展開も容易になり、他の民生応用も活発になって波及効果は大きなものとなる。電力会社に一步を踏み出してもらえる、コストだけではない何か魅力あるいは戦略を示すことが必要である。

- プロジェクトの計画外とは考えられるが、研究開発成果を我が国の電力技術において世界を牽引する技術の一つとするために、国および **NEDO** として、研究開発成果の世界的な実用化さらに事業化戦略を持つておくべきである。

## 2. 個別テーマに関する評価結果

### 2. 1 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究

#### (①高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証)

##### 1) 成果に関する評価

要素技術開発、システムそれぞれに定量的目標値が設定されており、開発目標は非常に明確である。また、各開発目標値に対する達成度も定量化されており、また十分に中間目標値をクリアする成果が得られている。成果内容は世界をリードする内容である。成果の公表も適切に行われており、最終目標の達成も十分期待される。特に交流損失を 1/3 にまで低減した線材を開発することに成功し、2つのタイプの線材を組み合わせて、超電導ケーブルとしての交流損失の中間目標値をクリアした。これらの点は高く評価できる。

しかし、最終目標の実現に向けて残された課題が何で、それを解決するためにどのような方策をとるのかを明確にすることが望まれる。また、今後、可能な限り研究開発成果を論文等で発表し、プロジェクト外での自主的な研究も含めて、国内外の叡智を集めた検討が進む研究開発体制を構築することを期待する。

##### 〈肯定的意見〉

- 研究開発成果についての評価は満点に等しい。
- 目標が明確であり、進捗も順調であるなど、非常に良い。
- 30m 長の検証システムを活用し、中間接続部、終端接続部など、送電ケーブルをシステムとして構築する際の鍵となる技術に関しても着実な技術開発がすすめられている。また、中間接続部を含めた耐電圧および短絡電流への対応能力を既に確認出来ており、実際の電力システムでの技術実証をすとのプロジェクトの目標から見ても順調な技術開発成果である。
- ケーブルの開発に関しては、低交流損失線材の開発から構造の工夫まで綿密に実施され、中間目標を十分クリアされている。成果内容は世界をリードする内容である。成果の公表も適切に行われており、最終目標の達成も十分期待される。
- ①要素技術開発、システムそれぞれに定量的目標値が設定されており、開発目標は非常に明確である。  
②各開発目標値に対する達成度も定量化されており、また十分に中間目標値をクリアする成果が得られている。
- 中間目標はほぼクリアできており、現状では大きな問題点も存在しない。最終目標もクリアされるものと思われる。特に交流損失を 1/3 にまで低減した線材を開発することに成功し、2つのタイプの線材を組み合わせて、



超電導ケーブルとしての交流損失の中間目標値をクリアした。これらの点は高く評価できる。これらの成果は、並行して進んでいる Y 系ケーブルの開発にも活用できる。

- 中間目標がおおむね達成されており、成果の知的財産の申請や発表も適切に行われている。交流損失の最終目標の達成に向けてもその道筋がおおむね示されている。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 交流損失の最終目標の達成の可能性は明らかではない。報告書でも述べられているが短絡試験において、オープンバスの容器内ではなく実冷却条件下での特性を明らかにすることを望む。
- ①中間目標値と最終目標の相関が必ずしも明確でない面があった。即ち、中間目標を成したところで、最終目標の実現に向けて残された課題が何で、それを解決するためにどういう方策をとるのが明確にされていることが望まれる。  
②30mの製造技術が確立されることが今後の市場拡大を想定した場合であっても必要十分であることについての検討をお願いしたい。
- 導体の交流通電損失を含む高温超電導ケーブルシステム全体としての通電損失は、プロジェクトの目的である実際の発電所構内での技術実証の成否を決定付ける技術目標ではないが、その後の実用化を考えると極めて重要な技術開発項目である。特に、高温超電導ケーブルを地球環境問題対応の低損失送電技術として位置付ける場合は、プロジェクトの開発目標を下回る通電損失さえも期待したいところである。このような観点から見ると、現時点での技術開発成果は中間目標を満たしてはいるが、最終目標の達成見込みは必ずしも見通されているわけではない。今後、可能な限り研究開発成果を論文等で発表し、プロジェクト外での自主的な研究も含めて、国内外の叡智を集めた検討が進む研究開発体制を検討してはどうか。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 今後、世界に向けた情報発信を期待します。

## 2) 実用化、事業化の見通しに関する評価

高電圧 CV ケーブルなど、これまでの新しい送電ケーブル技術開発手順に則した技術開発が進められており、研究開発成果の実用化の見通しは良好である。

実用化に必要な中間接続部の検証、終端部の検証も確実に実施されており、十分な実用性を有するに至っていると評価される。本ケーブルは、コンパクトでありながら、大容量、高電圧化に成功し、66kV 級実系統に接続可能なレベルに達している。また、実用化に向けてのシナリオが明確であり、他の超電導応用機器への波及効果も期待できる。

一方、事業化に関しては、世界的な市場を対象とした事業化計画の立案が必要であり、今後は、コストダウンについての検討が望まれる。

### 〈肯定的意見〉

- ①実用化に必要な中間接続部の検証、終端部の検証も確実に実施されており、十分な実用性を有するに至っていると評価される。
  - ②国際標準化に向け、実証試験データをまとめた上で標準化推進が謳われており、標準化を進めるに必要な方策が採られている。
- 本ケーブルは、コンパクトでありながら、大容量、高電圧化に成功し、66kV 級実系統に接続可能なレベルに達している。実用化の最初のステップをクリアできたといえる。このケーブル技術は、他国の超電導ケーブル導入プロジェクトでの採用も期待できる。
- 線材の開発成果は、他の超電導応用機器への波及効果は大きいといえる。実用化への技術目標は明確である。標準化に向けた仕様・試験項目なども妥当である。
- 高電圧 CV ケーブルなど、これまでの新しい送電ケーブル技術開発手順に則した技術開発が進められており、研究開発成果の実用化見通しは良好である。
- 実用化に向けてのシナリオが明確であり、成果の波及効果も期待できる。
- ケーブルだけについて言えば、実用化・事業化の見通しは有る。

### 〈問題点・改善すべき点〉

- コストダウンについての検討が今後望まれる。
- 国際標準化に関しては、データの提供にとどまることなく、最大限標準化そのものをリードすることが期待されるとともに、望まれる。

### 〈その他の意見〉

- ・ 事業化に関しては、今回のプロジェクトの目的を越えてはいるが、世界的

な市場を対象とした事業化計画を立案しない限り、その評価は難しい。

### 3) 今後に対する提言

将来的には、冷却システムの効率改善（電力使用量の削減）を行い、高温超電導ケーブルシステムによる CO<sub>2</sub> 削減が実質的に前面に現れる必要がある。実証試験の試験条件の必要十分性の確認を再度実施されることを推奨する。また、実変電所を使用した実証試験であり、今後の成果の拡大適用も極力考慮した試験条件となっていることを確認することを推奨する。さらに、本事業では実施できない長期信頼性や真空破壊等のケーブル損傷などについては、実用化前に検証・試験する機会を確保する必要がある。

また、国際的な技術標準の獲得、当該分野の研究開発や人材育成等の促進などのために、積極的な国内外への論文等による研究開発成果の発信をお願いしたい。

#### 〈今後に対する提言〉

- ・ 今回のプロジェクトの項目には入っていないが、冷却システムの効率改善（電力使用量の削減）を将来的には行い、高温超電導ケーブルシステムによる CO<sub>2</sub> 削減が実質的に前に出てこれないといけないと思う。
- ・ 実証試験の試験条件の必要十分性の確認を再度実施されることを推奨します。実変電所を使用した実証試験であり、今後の成果の拡大適用も極力考慮した試験条件となっていることを確認されることを推奨します。
- ・ 事業期間や予算の制約などで実施しきれない幾つかの項目（長期信頼性や真空破壊等のケーブル損傷など）については、実用化前に検証・試験する機会を確保する必要があるように思える。こうした部分を本事業終了後にどの様にして解決すべきかは、本事業の期間中に明確にしておく必要があると思われる。
- ・ 国際的な技術標準の獲得、当該分野の研究開発や人材育成等の促進などのために、積極的な国内外への論文等による研究開発成果の発信をお願いしたい。このような活動により、導体の交流電損失低減のような極めて難しい技術開発課題に関しても有益な外部の研究活動さらには人材の育成が期待できる。
- ・ 目標達成のためにオーバースペックになっている部分があれば、是非検討されたい。例えば、各素線の分流状況（部分負荷の時、事故電流の時（常電導フォーマ、シールドとの分流関係）、温度分布などを検討して、どこに余裕があってどこにないのかなどを明らかにされたい。

限流器などと組み合わせて、ケーブルの対短絡電流の要求仕様を緩和することで別の解が見いだせないのか。

## 2. 2 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究

(②トータルシステム等の開発、③送電システム運転技術の開発、④実系統における総合的な信頼性の実証)

### 1) 成果に関する評価

実証場所が決定され、運転・監視等のシステムの構成、冷却システムの検討がなされ、中間目標はほぼ達成された。研究開発成果については満足の数である。

実際の電力系統に即した総合的な信頼性実証のための研究開発計画の策定と現地での試験計画の立案が進んでいる。雷サージに対する検討など系統に与える影響も吟味されている。冷却システムとその運用に関しても、詳細な事前検討を行っている。複数台による事前検証実験を組み込む計画変更も妥当であり、十分な信頼性を有するシステムが構築されていると評価できる。

一方、交流損失の低減、およびコスト削減のためにも冷却システムの高効率化、能力の向上が大いに望まれる。また、断熱管の真空が破れたときの対応も考慮する必要がある。今回の冷却システムを含めた試験構成と実際の長尺ケーブルの相違点をあげて、問題点を検討して欲しい。超電導ケーブルの管路内への敷設方法、実線路での初期冷却時の熱収縮対策技術などについても並行して検討を進めておくことにより、実証試験以降の技術開発がより円滑になるものと考えられる。

#### 〈肯定的意見〉

- プロジェクトの目標は達成されている。
- 実用時に必要な条件が明確化されるとともに、研究開発に反映されている。
- 研究開発成果については満足の数である。
- ケーブルシステムの実証についての概念設計が完了し、実変電所への適用に際して建設時の施工手順を含めて確立されており、十分な信頼性を有するシステムが構築されていると評価できる。
- 実証場所が決定され、運転・監視等のシステムの構成、冷却システムの検討がなされ、中間目標はほぼ達成された。順調に進んでいるといえる。
- 実証サイトに関しては、要求基本性能が標準的なものであり妥当である。雷サージに対する検討など系統に与える影響も吟味されている。冷却システムとその運用に関しても、詳細な事前検討を行っている。複数台による事前検証実験を組み込む計画変更も妥当であると評価できる。運用における信頼性検証に関しても詳細な試験項目を精査され着実に検討が実施されている。
- 実証試験場所が東京電力の旭変電所と決定されたことにより、実際の電力

系統に即した総合的な信頼性実証のための研究開発計画の策定と現地での試験計画の立案が進んでいる。1カ年の実証運転とのプロジェクト目標は十分に達成可能と予想される。

〈問題点・改善すべき点〉

- 今回の冷却系を含めた試験構成と実際の長尺ケーブルの相違点をあげて、問題点を検討して欲しい。
- ・交流損失の低減、およびコスト削減のためにも冷凍機の改善が望まれる。高効率で適当な能力の冷凍機が無い現状では、冷却システムの高効率化という要求項目には対応できずにいるのは残念である。容易ではないかもしれないが、冷凍機の高効率化、能力の向上が大いに望まれる。
  - ・断熱管の真空が破れたときの対応を考慮する必要がある。

〈その他の意見〉

- ・ 冷却システムについては、今回は安全な運用を重視している。今後、高効率化、省力化・簡素化に関する検討につなげて欲しい。
- ・ 試験サイトの条件に特化した技術開発ではなく、汎用性のある技術開発であることがわかるようなまとめ方で、世界に情報を発信して欲しい。
  - 実証試験を通じての課題が出てきた際には、課題を明確にして、次フェーズの活動に役立つようにして欲しい。
- ・ 旭変電所での実証試験では必要ではないものの、超電導ケーブルの管路内への敷設方法、実線路での初期冷却時の熱収縮対策技術などに関しても並行して検討を進めておくことにより、実証試験以降の技術開発がより円滑になるものと考えられる。

## 2) 実用化、事業化の見通しに関する評価

実用化に向けて必要となる各種試験が計画通り実施され、中間目標値を達成したことが確認された。したがって実用化に向けた見極めが確実に進んでいると評価される。超電導ケーブルのコンパクト化に成功し、既存管路を活用できる点は大幅なコスト削減につながり、実用化に向けて大きく前進したといえる。技術実証試験以降の研究開発も円滑であることが期待できる。

一方では、実用的な間接型冷却方式の検討、保守・メンテナンスの軽減などについて今後検討を行う必要がある。また、実用化にあたっては、将来、冷却システムの革新的改善が必要である。さらに、事業化のためには、本プロジェクトの範囲外ではあるが、世界的な電力ケーブルの運用状況を勘案した高温超電導ケーブルに求められる仕様および試験法の検討が必要である。

### 〈肯定的意見〉

- 実用化、事業化の見通しについては有ると思われる。実用化にあたっては、将来、冷却システムの革新的改善が必要である。
- 超電導ケーブルのコンパクト化に成功し、既存管路を活用できる点は大幅なコスト削減につながり、実用化に向けて大きく前進したといえる。
- 我が国の電力系統内で開発された高温超電導ケーブルを実際に運用することを前提とした技術開発がおこなわれている。このため、技術実証試験以降の研究開発も円滑であることが期待できる。
- 実系統連系運転という点だけでも、実用化に向けて大きな意味を持つと考える。是非、大過なく試験運転を進めていただきたい。試験項目と試験法の精査を期待する。
- 実用に向けての条件が明確化されるとともに、研究計画との対応も取れている。
- 実用化に向けて必要となる各種試験が計画通り実施され、中間目標値を達成したことが確認された。したがって実用化に向けた見極めが確実に進んでいると評価される。

### 〈問題点・改善すべき点〉

- 波及効果を期待するためには、更なる研究開発成果の論文等での発信が求められる。
- 実用的な間接型冷却方式の検討、保守・メンテナンスの軽減などについて今後検討を行う必要があるものと思われる。
- 液体窒素製造用冷却ステーションのスペース、設置間隔を、現在の冷却ステーションのそれらと同程度に出来ることが望まれる。

〈その他の意見〉

- ・ 事業化のためには、本プロジェクトの範囲外ではあるが、世界的な電力ケーブルの運用状況を勘案した高温超電導ケーブルに求められる仕様および試験法の検討が必要である。



### 3) 今後に対する提言

超電導ケーブルシステムで CO<sub>2</sub> を削減するためには、冷却システムに用いられる電力量も低減しなければならない。本プロジェクトの後、または並行して、冷却システムの効率化に取り組むべきである。実用化に際しては、ユーザーにとってできるだけ負担の少ない運転制御、特に冷却システムの運転、事故時の対応運転の見通しの良さが問われる。事業期間や予算の制約などで実施しきれない項目で、実用化前に検証・試験する機会を確保する必要がある項目がある場合には、解決の方針を本事業の期間中に明確にしておく必要がある。世界的に他の高温超電導ケーブル開発計画をも巻き込んだ、技術の相互理解のための活動の立案に期待したい。

#### 〈今後に対する提言〉

- ・ 事業期間や予算の制約などで実施しきれない項目で、実用化前に検証・試験する機会を確保する必要がある項目がある場合には、解決の方針を本事業の期間中に明確にしておく必要があると思われる。
- ・ 世界的に他の高温超電導ケーブル開発計画をも巻き込んだ、技術の相互理解のための活動の立案に期待したい。これにより、国際規格化等、標準整備に向けた見通しも高まるものと予想される。
- ・ ユーザーにとってできるだけ負担の少ない運転制御にしてもらいたい。特に冷却系の運転、事故時の対応運転の見通しの良さが問われると考える。
- ・ 実変電所を使用した実証試験であり、今後の成果の拡大適用も極力考慮した試験条件となっていることを確認されることを推奨します。特に冷却器系などは、通常状態、過渡状態、異常状態といった発生頻度に基づく運転状態を設定し、それぞれに対して過渡条件やそれに対する判定基準を設定するなどの検討をされるのも一つの考え方かと思えます。参考にしてください。
- ・ 超電導ケーブルのエネルギー密度は世界最高であるが、長さも世界最高レベルを目指してほしい。
- ・ 本プロジェクトの後（または並行して）、冷却システムの効率化を図るべきである。

## 2. 3 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究

### 1) 成果に関する評価

開発当初段階から標準化の重要性を意識し、そのために必要となるデータ採取計画が立案されており、標準化に向けた積極的な意図が感じられる。特に高温超電導ケーブルを電気事業法の対象として設置し運転を計画することは初めてであり、貴重な情報の収集が進められている。世界をリードするスペックのケーブルプロジェクトであり、試験成果をもとに国際標準化の議論において発言権を高めてリードしていけると評価する。

国際標準化に関しては、データの提供にとどまることなく、最大限標準化そのものをリードすることが望まれる。今後、提案試験方法の有効性を世界に向けてアピールし、世界的な技術標準を目指しての情報発信が一層望まれる。

#### 〈肯定的意見〉

- 研究開発成果については満足のものである。
- 試験方法の標準化に対してリードするべく努力を行っている様子が分る。
- 世界をリードするスペックのケーブルプロジェクトであり、試験成果をもとに国際標準化の議論において発言権を高めてリードしていけると評価する。
- 開発当初段階から標準化の重要性を意識し、そのために必要となるデータ採取計画が立案されており、標準化に向けた積極的な意図が感じられる。
- 国際標準へ向けた活動が順調に進んでいる。
- プロジェクトの初期の目標設定に対しては十分な対応がなされている。特に高温超電導ケーブルを電気事業法の対象として設置し運転を計画することは初めてであり、貴重な情報の収集が進められている。
- CIGRE 委員会へわが国の情報を提供するなど、国際標準化への貢献が認められる。また、ケーブルの適用技術の評価項目が整理され、関連法規への今後の対応が明確になり、評価できる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 国際標準化も含めて、世界的な技術標準を目指しての情報発信が一層望まれる。
- 今後、提案試験方法の有効性を世界に向けてアピールすることが望まれる。
- 国際標準化に関しては、データの提供にとどまることなく、最大限標準化そのものをリードすることが期待されるとともに、望まれる。

〈その他の意見〉

- ・ 単なるデータ提供に終わらないよう、積極的な情報の発信を期待します。

## 2) 実用化の見通しに関する評価

標準整備は極めて重要な活動である。技術開発成果を標準化および関連法規の整備等に反映させる仕組みは整えられている。また、関連法規への対応が明確化された事の意義は大きい。関連法規への対応は、今後の超電導応用機器開発において大きな意味を持つ。特に冷却設備関係の法規制緩和への提言に期待する。無人運転技術は導入において必須の項目である。

一方、人材育成の促進などの本プロジェクトの波及効果等に関しては、実施者だけではなく、国、NEDO 等プロジェクトの推進者側での検討も重要であると考え。また、関連法規への対応については、関連分野への波及も考え、マニュアル化などを検討して欲しい。

### 〈肯定的意見〉

- 関連法規への対応は、今後の超電導応用機器開発において大きな意味を持つ。特に冷却設備関係の法規制緩和への提言に期待する。無人運転技術は導入において必須の項目である。
- 今後の活動が期待される。
- 標準整備は極めて重要な活動である。また、関連法規への対応が明確化された事の意義は大きい。
- プロジェクトは順調に進んでおり、成果の実用化の可能性はある。関連分野への波及効果も期待できる。
- 技術開発成果を標準化および関連法規の整備等に反映させる仕組みは整えられている。

### 〈問題点・改善すべき点〉

- 人材育成の促進などの本プロジェクトの波及効果等に関しては、実施者だけではなく、国、NEDO 等プロジェクトの推進者側での検討も重要であると考え。

### 〈その他の意見〉

- ・ 単なるデータ提供に終わらないよう、積極的な情報の発信を期待します。また、関連法規への対応については、関連分野への波及も考え、マニュアル化などを検討して欲しい。

### 3) 今後に対する提言

概して国際標準化活動は日本サイドはあまり強いとはいえない領域であり、重要テーマである本件は、関係各方面からの支援を含め、世界をリードする形での標準化が期待される。

国際標準化を含め、本プロジェクトの研究開発成果を核とした国際的なシンポジウムまたはワークショップの開催など、単発の研究開発事業として終わることなく、我が国の電力技術の核の一つとなる技術の確立との視点からの取り組みも期待したい。このためには、研究開発の実施者だけではなく、国、NEDO、関係の学協会までをも取り込んだ活動が必要であると考えます。

#### 〈今後に対する提言〉

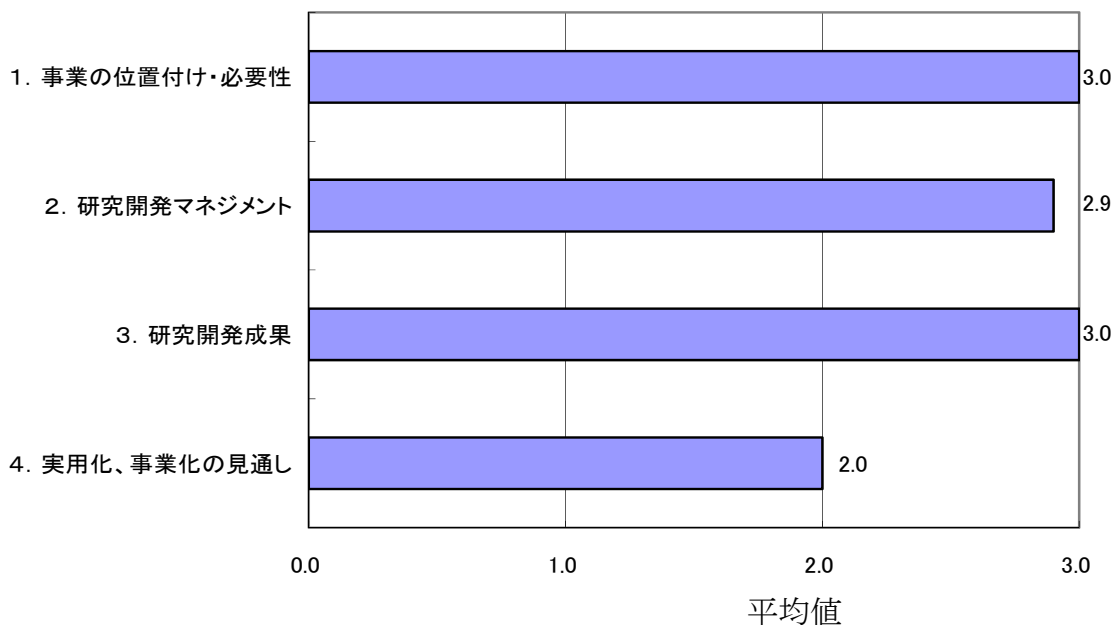
- ・ 導入シナリオについては、良いとこ取りではなく是非現実的なものにしていただきたい。
- ・ 国際標準化を含め、本プロジェクトの研究開発成果を核とした国際的なシンポジウムまたはワークショップの開催など、単発の研究開発事業として終わることなく、我が国の電力技術の核の一つとなる技術の確立との視点からの取り組みも期待したい。このためには、研究開発の実施者だけではなく、国、NEDO、関係の学協会までをも取り込んだ活動が必要であると考えます。
- ・ 本プロジェクトに限定した話ではないが、概して国際標準化活動は日本サイドはあまり強いとはいえない領域であり、重要テーマである本件は、関係各方面からの支援を含め、世界をリードする形での標準化が期待される。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 単なるデータ提供に終わらないよう、積極的な情報の発信を期待します。

### 3. 評点結果

#### 3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.9	A	A	B	A	A	A	A	A
3. 研究開発成果について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
4. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	B	B	B	B	B	B	B	B

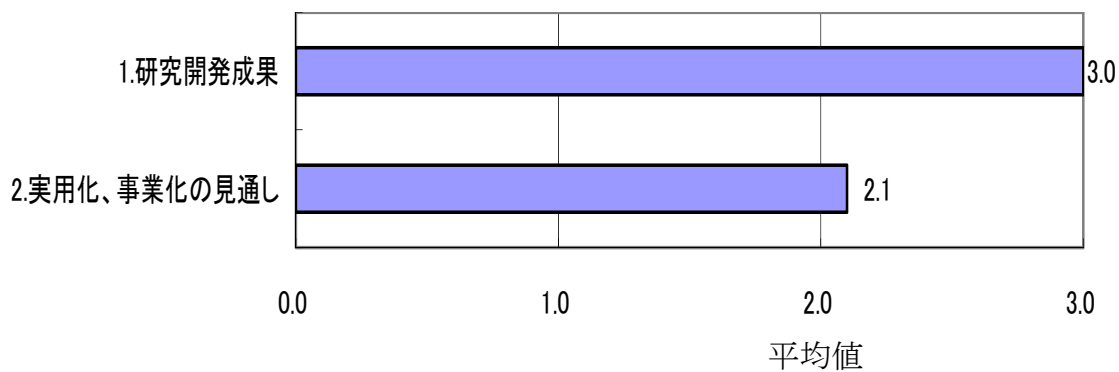
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### 〈判定基準〉

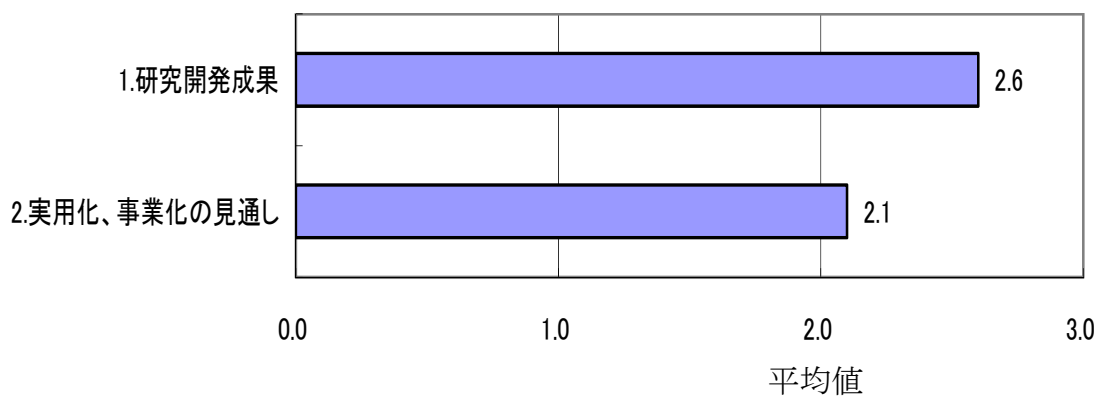
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

### 3. 2 個別テーマ

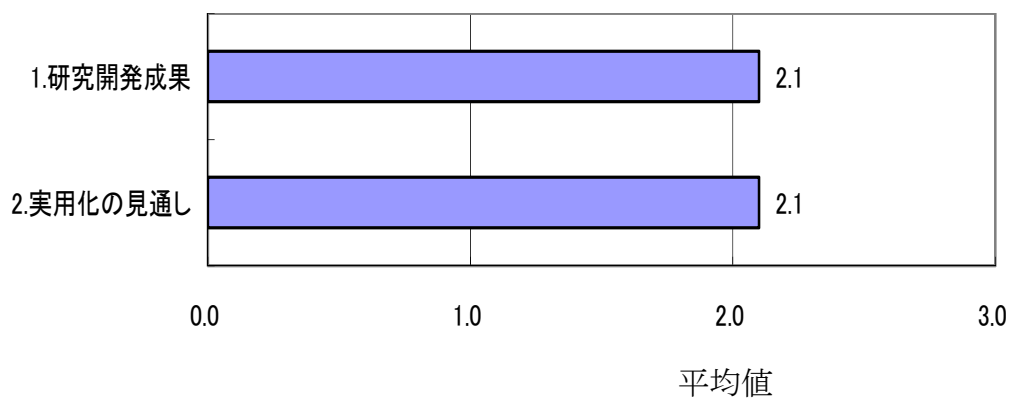
#### 3. 2. 1 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 (①高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証)



#### 3. 2. 2 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 (②トータルシステム等の開発、③送電システム運転技術の開発、 ④実系統における総合的な信頼性の実証)



#### 3. 2. 3 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
3. 2. 1 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 (①高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証)									
1. 研究開発成果について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	B	B	B	A	B	B	B	B
3. 2. 2 高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究 (②トータルシステム等の開発、③送電システム運転技術の開発、 ④実系統における総合的な信頼性の実証)									
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	B	B	A	A	B	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.1	B	B	B	B	A	B	B	B
3. 2. 3 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究									
1. 研究開発成果について	2.1	B	B	B	B	B	A	B	B
2. 実用化の見通しについて	2.1	B	B	B	B	B	A	B	B

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

2. 実用化、事業化の見通しについて

・非常によい

→A ・明確

→A

・よい

→B ・妥当

→B

・概ね適切

→C ・概ね妥当であるが、課題あり

→C

・適切とはいえない

→D ・見通しが不明

→D



## 第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

# 「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」

## 事業原簿【公開】

担当部室	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー技術開発部
------	--

# 高温超電導ケーブル実証プロジェクト事業原簿

## ～目次～

事業原簿概要

用語集

### I. 事業の位置づけ・必要性について

- 1. N E D O の関与の必要性・制度への適合性 I -1
  - 1.1 N E D O が関与する事の意義 I -1
  - 1.2 実施の効果 I -2
- 2. 事業の背景・目的・位置づけ I -4

### II. 研究開発マネジメントについて

- 1. 事業の目標 II -1
  - 1.1 研究開発目標 II -1
  - 1.2 研究項目毎の目標 II -2
- 2. 事業の計画内容 II -7
  - 2.1 研究開発の計画内容 II -7
  - 2.2 研究開発スケジュールと予算 II -17
  - 2.3 研究開発の実施体制 II -18
  - 2.4 研究の運営管理 II -20
- 3. 情勢変化への対応 II -22
- 4. 海外における高温超電導ケーブルの開発動向 II -24

### III. 研究開発成果について

- 1. 事業全体の成果 III -1
  - 1.1 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証 III -1
  - 1.2 トータルシステム等の開発 III -5
  - 1.3 送電システム運転技術の開発 III -6
  - 1.4 実系統における総合的な信頼性の検証 III -7
  - 1.5 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究 III -8
- 2. 研究開発項目毎の成果 III -12
  - 2.1 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証 III -12
    - 2.1.1 低交流損失超電導導体の性能検証 III -12
    - 2.1.2 短絡電流に対する応超電導導体の性能検証 III -27
    - 2.1.3 中間接続部の検討 III -38

2.1.4	終端接続部の検討	Ⅲ-53
2.1.5	検証用ケーブルシステムの構築と評価	Ⅲ-70
2.2	トータルシステム等の開発	Ⅲ-103
2.2.1	実証ケーブルシステムの基本構成と仕様の検討	Ⅲ-103
2.2.2	実証ケーブルシステムの付帯機器の検討	Ⅲ-110
2.2.3	冷却システムの設計検討	Ⅲ-116
2.2.4	実証ケーブルシステムの建設方法の検討	Ⅲ-126
2.2.5	まとめ	Ⅲ-129
2.3	送電システム運転技術の開発	Ⅲ-130
2.3.1	実証場所での系統特性調査	Ⅲ-130
2.3.2	平常時の運転技術開発	Ⅲ-153
2.3.3	事故時の運転技術開発	Ⅲ-161
2.3.4	保守・メンテナンス技術の開発	Ⅲ-169
2.3.5	まとめ	Ⅲ-172
2.4	実システムにおける総合的な信頼性の検証	Ⅲ-174
2.4.1	信頼性検証のための試験計画の立案	Ⅲ-174
2.5	超電導ケーブルの適用技術標準化の研究	Ⅲ-178
2.5.1	高温超電導ケーブルの標準化の研究	Ⅲ-178
2.5.2	高温超電導ケーブルの適用技術研究	Ⅲ-183
2.5.3	関連法規への対応	Ⅲ-185

<b>IV.</b>	<b>実用化・事業化の見通しについて</b>	<b>IV-1</b>
1.	実用化・事業化の見通し	IV-1
2.	今後の展開	IV-4

#### 付録資料

付録資料 1	イノベーションプログラム基本計画
付録資料 2	プロジェクト基本計画
付録資料 3	技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）
付録資料 4	事前評価関連資料 （事前評価書、パブリックコメント募集の結果）
付録資料 5	特許リスト
付録資料 6	発表・論文リスト

事業原簿概要

		作成日	平成 21 年 11 月 12 日
プログラム(又は施策)名	エネルギーイノベーションプログラム、ナノテク・部材イノベーションプログラム		
プロジェクト名	高温超電導ケーブル実証プロジェクト	プロジェクト番号	P07014
担当推進部/担当者	新エネルギー技術開発部/ 山下 恒友		
0. 事業の概要	<p>本プロジェクトでは、高温超電導ケーブルを社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するために、「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」(平成 12 年度～16 年度)によって得られた高温超電導ケーブルの開発成果などを踏まえ、高温超電導ケーブルや冷却技術などを統合する高温超電導ケーブルシステムを構築して、高温超電導ケーブル単体だけではなく、線路建設、運転、保守を含めたトータルシステムの信頼性を実証するために、実系統に連系した実証試験を実施する。このことによって、高温超電導ケーブルのトータルシステムとしての総合的な信頼性を実証するとともに、革新的な高効率送電技術の開発・検証を行うことを目的とする。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>[事業の背景・目的・位置付け]</p> <p>エネルギー利用の効率化の促進、地球環境問題への対策の観点から省エネルギーや環境負荷低減に配慮したエネルギー利用が求められている。これを反映して、新・国家エネルギー戦略(2006 年 5 月経済産業省)では、省エネルギーとして 2030 年までに少なくとも 30%の効率改善を目指すことを目標として掲げている。また、新エネルギーイノベーション計画では、新たなエネルギーの貯蔵・輸送技術など、「革新的なエネルギー高度利用技術」の開発と利用を強化すると掲げている。さらに、エネルギー・環境施策の「原子力の推進・電力基盤の高度化」では、発電された電力を安定的かつ効率的に需要家へ届けるため送配電分野においては、電力供給を安定化させる技術や、発電電力を無駄なく輸送するための技術開発などにより、現状以上の供給信頼度性を実現することを掲げている。さらに新政府は、CO<sub>2</sub> 排出量を 1990 年度比 25%削減することを国際的に約束している。</p> <p>このような状況においては、十分な安全確保を前提に、需要に見合った信頼性の高い安定で効率的なエネルギー供給システムを構築することが重要である。効率的なエネルギー供給システムに資する技術として、高機能部材である超電導線材を利用し、大容量送電が可能となり送電損失を大幅に低減することが可能な高温超電導ケーブルシステムの技術を開発し、産業利用の早期実現を図ることは、エネルギー安全保障(セキュリティ)に貢献するとともに、社会や経済の安定した発展に大きく貢献すると考えられている。</p> <p>[NEDO が関与する意義]</p> <p>電気抵抗がゼロなどの特性をもつ超電導技術は、電力事業、情報通信、運輸、医療福祉等の幅広い分野で、様々な機器の飛躍的な性能向上・技術革新が可能である。その中でも、高温超電導ケーブル技術は、電力エネルギーの高効率な送電に貢献することができ、エネルギーの効率的な活用及び地球環境問題に対応し、CO<sub>2</sub> 排出量を削減する効果があると期待され、その公共性は高い。</p> <p>一方、従来ケーブルの更新需要は 2016 年頃から始まり、早期の実用化が望まれているが、その超電導ケーブルの実用化には、本プロジェクトにて提案する実用規模での実系統での実証試験が必須である。そのために必要な実証システムの構築、運転・メンテナンス・保守技術の開発には、量産開発の途中である高温超電導線材の使用、液体窒素温度で適用できるケーブル及びケーブル付属品(端末、ジョイント)の開発、液体窒素を循環冷却する冷却システムの構築など、これまで汎用されていない高価な材料、機器が必要であり、多額の費用がかかるのが実情である。</p> <p>従って、十分に公共性が高く、その実用化が急務であるが、開発には多額の費用がかかることから、国および NEDO が関与する必要があると考えられる。</p> <p>[実施の効果]</p> <p>2015 年頃からその実用化が始まると期待されており、2030 年断面において国内では 1000 億円をこえる市場が期待できる。また本技術は海外への転用も可能であり、米国では、送電系統の老朽化に伴うエネルギーセキュリティの観点から基幹送電系の強化(GRID2030)が計画されており、また中国では、国内経済の急成長に伴って、送電線の増設に対する需要が高まっていることなどから、海外における超電導ケーブルの需要は、国内需要の数十倍から数百倍になると推定されている。</p> <p>一方、超電導ケーブル導入による地球環境対策としての CO<sub>2</sub> 量削減の効果も期待できる。試算の結果、2030 年の省エネ効果は 279CWh/年となり、CO<sub>2</sub> 削減効果は 95kton-CO<sub>2</sub>/年になると推計されている。尚、この推定は前述したように国内の 66kV 以上ケーブルへの適用を考えた場合であり、全世界で考えれば、数十倍～数百倍の効果も期待できる。</p>		

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標

高温超電導ケーブルや冷却技術などを統合する高温超電導ケーブルシステムを構築して、高温超電導ケーブル単体だけではなく、線路建設、運転、保守を含めたトータルシステムの信頼性を実証するために、実システムに連系した実証試験を実施する。このことによって、高温超電導ケーブルのトータルシステムとしての総合的な信頼性を実証するとともに、革新的な高効率送電技術の開発・検証を行うことを目的とする。

具体的には、将来の送電システムを想定した、66kV、200MVA級の高温超電導ケーブルシステムの開発を行う。そのためには、高温超電導ケーブルの重要要素（ケーブル、中間接続部、冷却システム等）に関して、実システムに適用し得る所定の性能、機能を有することを、モデルシステムによって検証する。その後、中間接続部を有する三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66kV実システムに接続し、長期連系試験を行う。これにより、高温超電導ケーブルシステムの信頼性・安定性の実証、実システムにおける運転方法・メンテナンス方法の検討、課題の抽出を行う。

高温超電導ケーブルを適用する電力ネットワークの形態や規模などを考慮し、高温超電導ケーブルの適用技術を評価するとともに、冷却設備の安全性、運用性を考慮した法規制のあり方を検討する。また、実証試験を通じて、運転管理や評価・計測技術等の超電導送電システムの国際規格化を進めるために、標準化項目を整理して必要なデータ収集を行い、適用技術標準化の検討を行う。

事業の計画内容

主な実施事項	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度
(1) 高温超電導ケーブルの重要要素の研究	← 交流損失 1W/m/ph @ 2kA 開発 ← 短絡電流対応検討 ← 接続部の検討 1μΩ@2kA	← 検証用ケーブルの製造、評価		← 交流損失 1W/m/ph @ 3kA 開発 ← 短絡電流長尺シミュレーション ← 接続部の検討 1μΩ@3kA		
(2) トータルシステム等の開発	← 基本仕様の検討	← 建設方法の検討 ← 付帯機器の検討		← 冷却システムの設計検討		
(3) 送電システム運転技術の開発	← 系統調査	← 平常時の運転技術開発 ← 事故時の運転技術開発		← メンテナンス方法の検討		
(4) 実システムにおける総合的な信頼性の検証		← 試験計画の立案	← 実証用ケーブルシステムの製造・建設	← 冷却システムの構築	← 運転・評価	← 残存性能評価
(5) 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究		← 高温超電導ケーブルの標準化の研究 ← 高温超電導ケーブルの適用技術研究	← 関連法規への対応			

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						
一般会計						
特別会計	100	160	923			
加速予算		80				
総予算額	100	240	923	(650)	(400)	(380)

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	H19～H20年度 畑 良輔（住友電気工業株式会社 執行役員） H21年度 原 築志（東京電力株式会社 技術開発研究所長）
	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載）	住友電気工業株式会社
情勢変化への対応	<p>(1) 実施計画の見直し 平成19年度～20年度の研究成果を、実証プロジェクト推進委員会・WG検討会、NEDO主催の超電導技術委員会にて報告し、研究内容の評価、今後の指針への指導などを頂いている。その中で、冷却システムの特性把握が超電導ケーブル運転上重要な課題であることから、冷却システムの模擬試験、熱機械繰り返し試験などを追加すべきとの提言があった。 実施者側で計画を見直し、30mケーブル検証試験において、超電導ケーブルが室温から液体窒素温度に冷却される際に発生する引張力、圧縮力による、超電導ケーブルの特性への影響の評価を検証試験に追加する。また、冷凍機が故障した際のシステムの挙動、短絡電流のような定格電流を超えた過電流が流れた際のシステムの挙動、保護方法の検討なども実施するようにする。このように、30mケーブル検証試験の計画を変更し、試験内容を充実させることとした。このため、30mケーブル検証試験の試験期間については、冷熱サイクル試験（2ヶ月）、限界性能試験（4ヶ月）を追加し、6ヶ月延長する。</p> <p>(2) 事業期間の変更 上記の実施内容の変更を反映すべく、全体の計画見直しを行った。この際、実証場所では負荷が大きな夏場、あるいは冬場は、系統が重負荷となる場合もあり、特に電力設備の停止を伴うような工事を実施することが困難である。ある程度の期間の設備停止が可能な時期としては、5月あるいは11月が適していることから、これを考慮した結果、超電導ケーブルと系統との接続はH23年11月頃となり、事業期間を当初の5年から1年延長し、6年とするようにした。この計画変更については、H21年2月に開催されたNEDO主催の超電導技術委員会にて審議され了承頂き、その後NEDO内の手続きを経て契約変更を行っている。</p> <p>(3) プロジェクトリーダーの交代 事業開始時は、住友電工の畑執行役員（当時）がプロジェクトリーダーに任命され、その役務に就いていた。事業の最初の2年間は、ケーブルの低損失化、短絡電流対応といった、ケーブルの要素開発を中心とする開発内容であり、ケーブル技術、超電導技術の専門家である畑執行役員が務めていた。事業の3年目以降は、実証ケーブルシステムの構成、実証場所での運転などを検討し、実際に実証場所での工事、系統接続運転を行うことになることから、プロジェクトリーダーを系統技術・運転に詳しい東京電力の原技術開発研究所長に交代した。</p>	
中間評価結果への対応		
評価に関する事項	事前評価	平成18年 2月に実施済み
	中間評価	平成21年 11月に実施予定
	事後評価	平成25年度に実施予定



Ⅲ. 研究開発成果  
について

- 1 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証
  - 低交流損失型 TypeAC 線材を開発し、これを超電導ケーブル導体に適用した結果、交流損失 0.8 W/m/ph @ 2kA となり、中間目標 (1 W/m/ph 以下) を達成した。
  - ケーブル構造として、140mm<sup>2</sup> のフォーマ、77mm<sup>2</sup> の銅シールドをもつ構造とし、最大 31.5kA、2 秒の短絡電流が通過してもケーブルにダメージがないことを確認した。また、もらい事故模擬試験を実施し、10kA、2 秒の短絡電流通過直後に 1.75kA の通電、及び対地定格 38kV の課電が可能であることを確認した。以上の結果、中間目標を達成した。
  - 中間接続部の接続抵抗部を開発し、導体部は 6.7nΩ/相@3kA、シールド部は 2.5nΩ/相@3kA であることを実証し、中間目標を達成した。また、ケーブルシステムに必要な中間接続部、終端接続部の設計を終えた。
  - 30m ケーブル検証システムとして、30m 級三心一括型超電導ケーブル、中間接続部、終端接続部、液体窒素循環冷却システムを製作し、システム構築を行った。構築時、中間接続部、終端接続部のケーブルとの組合せ施工手順を確認し、管理項目を把握した。
  - 本システムを用いて、①システムでの電氣的、機械的、熱的評価の実施、②冷却・昇温のヒートサイクル試験、③限界性能試験 (短絡電流模擬、冷凍機故障など) を実施する計画。既に①は実施済みで、ケーブルが所定の性能を有することを確認した。さらに電圧対地 51kV、電流 2kA (8 時間 ON、16 時間 OFF) の条件で、1 ヶ月の連続課通電試験に成功した。尚、この条件は 30 年間の加速試験に相当するものである。
- 2 トータルシステム等の開発
  - 実証ケーブルの基本構成を検討し、実証場所を東京電力管内の旭変電所 (横浜市) に決定した。また、実証場所での超電導ケーブルと既存設備との接続形態について検討し、遮断器、断路器等と組み合わせた接続方法を決定した。さらに実証場所での系統条件 (短絡電流条件、雷インパルス条件等) を踏まえ、超電導ケーブルへの基本仕様をまとめた。
  - 冷却システムのコンセプトについてまとめ、送電を停止しないシステム、負荷に追従可能なシステムを目指すこととした。冷却方式については、間接冷却と直接冷却から直接冷却方式を選択した。実証場所での電力負荷を想定し、冷却システムの必要冷凍容量を試算、1kW 級冷凍機の台数を 6 台に決定した。また、冷凍機、ポンプの構成を検討し、冷凍機については 2 台×3 並列の並列接続とすることとした。
- 3 送電システム運転技術の開発
  - 実証場所である旭変電所で予想される短絡電流および継続時間をシミュレーション及び規格から検討し、事故直後の課電通電が「無」となる最大電流は、31.5 kA-2 秒、課電通電が「有」となる最大電流は 10 kA-2 秒であることを確認し、これを超電導ケーブル設計にフィードバックした。
  - 実証場所でのサージ電圧は、EMTP 解析の結果、200kV 程度であり、66kV 系統での LIWV (雷インパルス耐電圧) : 350 kV よりも小さいことが判明した。
  - 常時運転については、冷却システムで超電導ケーブルの温度、圧力、流量を制御することが重要で、それぞれの制御指針を示した。温度制御については、冷凍機の ON/OFF 運転を試行しており、ケーブル入口温度±1K 程度で制御できることをシミュレーションにて示した。圧力制御については、ヒータを用いた制御方法を志向しており、さらに実験を続けていく。
  - 異常時の運転においては、まずは超電導ケーブルシステムに異常が起こった場合に想定される故障モードについて整理を行い、対応案について検討した。警報については、各故障モードについて超電導ケーブルの系統からの切り離しの要否を検討した上で、重大故障と軽故障に分類した。
- 4 実系統における総合的な信頼性の検証
  - 現在使用されている CV ケーブルや OF ケーブルの試験法を参考に、超電導ケーブルが実系統での長期使用に耐える特性を持つことを確認するための試験項目およびそれらの実施時期や実施方法などの試験計画について検討した。
- 5 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究
  - CIGRE B1 にて超電導ケーブルの試験法に関するワーキンググループ (WG) を設立するかどうかを検討するタスクフォース (TF) に、本プロジェクトでの検討結果を日本の例として情報提供した。この結果、TF において超電導ケーブルの WG が設立されることが決定し、今後 3 年間、超電導ケーブル試験項目とその内容について議論される。
  - 旭変電所での超電導ケーブルシステムの搬入・据付・長期の実系統試験の全試験工程を対象とした時に、対応が必要となる関連法規を調査し、関係省庁と協議の結果、冷却システムを含む超電導ケーブルシステム全体は電気工作物として電気事業法が適用となる事を確認した。

	投稿論文	[査読付き] 6 件、[その他] 26 件
	特許	出願済み 25 件 (※本 PJ 推進のために、受託者費用で実施した関連研究に基づく特許出願を含む)
	その他の外部発表	新聞、テレビ報道件数 7 件
IV. 実用化・事業化の見通しについて	<p>(1) 超電導ケーブルの適用例と適用効果</p> <p>超電導ケーブルの有効な適用例としては、①基幹系の電力送電網への導入において、既存 275kV ケーブルと同容量の電力を 66kV 超電導ケーブルで送電する場合、②経年化した 154kV の OF ケーブルの取替策としての適用、③発電所の引出口（発電機端～変圧器間）などの大電流が流れる部分への適用や、経年化した大容量 POF ケーブルの取替策、が考えられる。超電導ケーブルの適用により、大幅なコスト低減が期待できるとともに、送電ロスを半分程度まで低減でき、CO<sub>2</sub>削減が期待できる。</p> <p>(2) 波及効果</p> <p>諸外国においても交流超電導ケーブルの実証プロジェクトが進行中である。特に米国においては老朽化した送電ネットワークの近代化を目指したスマートグリッド構想が進行中で、超電導ケーブル技術もこの対策の一環として取り上げられている。本技術開発を早期に確立することで、諸外国の超電導ケーブル導入プロジェクトでの本技術の採用など、海外への波及効果も期待できる。</p> <p>地球温暖化対策として今後加速的に導入量が増加すると予想されている太陽光発電や風力発電などは、いずれも発電端は直流であり、ウィンドファームのように大規模集積化が進むと直流での直接送電のニーズが高まると予想される。また、データセンターなどでの電力消費は直流であり、低電圧大電流の直流配電システムへのニーズも高い。このような直流送電システムに対しても、本技術開発で培った超電導ケーブル技術の展開が可能で、これにより送電ロスはさらに大幅に低減でき、より大きな省エネルギー効果と CO<sub>2</sub>削減効果をもたらすことができる。</p> <p>さらに本技術開発により、加圧液体窒素を用いた冷却システムの長期安定運転技術が確立されると、その冷却技術は超電導変圧器、超電導限流器、SMES（超電導電力貯蔵装置）など、その他の超電導電力機器の冷却技術として幅広く展開していくことが可能である。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 19 年 3 月 策定
	変更履歴	平成 21 年 3 月 研究開発期間の変更

## 用語集

索引	項目	解説
B	Bean モデル	超電導の振る舞いを記述するモデル。簡易的に臨界電流密度が磁場によらず一定であると仮定する。
	Bi2223 銀シース線材	Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10+d</sub> を用いた超電導線材。母材として銀を用いている。超電導臨界温度は-163℃ (110K)。
C	CIGRE	国際電力大会議
	CO <sub>2</sub> 排出係数	1kWh 当たりの電力量を発電するのに、CO <sub>2</sub> 排出量がどの程度となるかを示す係数。単位は、kg-Co <sub>2</sub> /kWh が多く用いられる。
	COP	成績件数 (Coefficient Of Performance) とは冷凍量/所要動力で表される。
	CV ケーブル	Cross linked polyethylene Vinyl cable。架橋ポリエチレンを絶縁体とし、外側に遮蔽層と防食層を設けた乾式ケーブル。
E	Ellipse モデル	Norris によって提唱された、超電導線材の通電損失を記述するモデルであり、主に低アスペクト比の楕円形状の線材の特性を良く記述する。
	EMTP	Electro-Magnetic Transients Program。電力系統での回路素子情報をコンダクタンスと電流源に等価変換し過渡現象解析する汎用デジタル計算。電力設備の耐雷、絶縁設計に使用されている。
F	FMEA (Failure Mode Effect Analysis)	故障・不具合の防止を目的とした、潜在的な故障・不具合の体系的なボトムアップによる分析方法。製品設計段階における設計 FMEA と、製造工程設計段階における工程 FMEA に分けられる。
	FTA (Fault Tree Analysis)	発生原因の潜在危険を論理的にたどって発生頻度を分析し、それぞれの発生確率を加算する故障・事故分析手法。望ましくない事象に対し、その要因を探るトップダウンの解析手法を特徴とする。これは、類似の故障モード影響解析の手法 FMEA とは逆の取り組みである。
G	GIS	Gas Insulated Switch。絶縁性能の高い六フッ化硫黄ガスを使用したガス遮断器。空気絶縁の場合に比べ、用地面積は少なく済むが、工事費は高くなる。
	GM 型パルス管	パルス管冷凍機のうち、常温部に設置する圧力波発信源として圧縮機を別置きとし、圧力変動を弁の切替で行う冷凍機。
I	IEC	国際電気規格
J	JIS 圧力容器規格	強制法規における技術基準として制定され、JIS B8265m JIS B8266 を中心に整備された J I S 圧力容器規格体系のことをいう。
L	LCR メータ	LCR メータは L (インダクタンス)、C (キャパシタンス)、R (レジスタンス)、Z (インピーダンス) などのパラメータを交流で測定する装置である。発振器の信号を試料に加え、試料両端の電圧と、試料を流れる電流を求めて、両者の値からベクトル演算によってこれらパラメータを求める。
	LIWV	→雷インパルス耐電圧値。
M	ML-UCD モデル	多層超電導導体の交流損失を記述するモデル。各層に流れる電流が均流化されているという仮定のもとで、Bean モデルに基づいて交流損失を計算する。
N	n 値	超電導線材の電流-電圧特性を、電流を横軸として両対数グラフ化した場合の傾き。n 値が大きいほど、電流の増加に伴う電圧の発生が急激に起こる。
O	OF ケーブル	Oil-Filled cable。導体上に絶縁紙を巻き、外側に金属シースと防食層を設けたケーブル。金属シース内部に低粘度の絶縁油を脱気脱湿状態で充填して使用する。
P	PAS	IEC における公開仕様書

索引	項目	解説
P	PID 制御	フィードバック制御のひとつ。目標値と制御量の差を偏差値とし、偏差値の大きさに比例 (proportional) した動作 (P 動作)、偏差値の積分(integral)に比例した動作 (I 動作)、偏差の変化量 (differential)に比例した動作を組み合わせる制御。
	P I D制御用コントローラ	制御目標値と制御量の差である制御偏差を打ち消すために行なう動作を制御動作と言い、その基本動作にPID動作がある。Pは比例動作、Iは積分動作、Dは微分動作を表す。これらの制御を行なう機器をPID制御用コントローラと呼ぶ。
	PLC	プログラマブルコントローラの略。リレー回路の代替装置として開発された制御装置であり、工場などの自動機械の制御に使われるほか、エレベーター・自動ドなど身近な機械の制御にも幅広く使用されている。
	P O F ケーブル	パイプタイプOFケーブル。一般的に鋼管などのパイプにOFケーブルを引き込み、絶縁油を充填、循環させる電力ケーブル
	P P L P	熔融押出PPフィルムの両側をクラフト紙でサンドイッチ下構造をしている。その優れた絶縁破壊特性と低誘電率、低 $\tan \delta$ により低誘電損失特性を有し、数多くの AC および DC 超高压ケーブル用絶縁材料として採用されている。
	PV 値	PV 値 (Process Value) とはフィードバック制御における制御対象となる値を指す。温度制御ならば対象となる場所の温度となる。
S	Strip モデル	Norris によって提唱された、超電導線材の通電損失を記述するモデルであり、主に高アスペクト比の薄膜形状の線材の特性を良く記述する。
T	$\tan \delta$	電気機器に使用する絶縁物に交流電圧を印可すると、絶縁体の漏れ電流による損失、誘電分極にもとづく損失及び部分放電にもとづく損失などが生ずる。このような損失分の電流位相は、理想的な絶縁物に流れる無損失電流より遅れます。その遅れ角 $\delta$ の正接を $\tan \delta$ (誘電正接) とよぶ。 $\tan \delta$ 値は絶縁物の寸法や、形状に無関係の誘電体損失の大小を表す指標として、絶縁物の吸湿、乾燥、汚損、ボイドの状態などの絶縁の性状、あるいは劣化の程度を判断する値として使用されており、 $\tan \delta$ 試験は絶縁材料、特に電力機器の絶縁試験の重要な試験項目である。
	Technical Committee 20	国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission) 内に設置される CV ケーブルなどの既存ケーブルの標準化を議論する委員会。TC20。超電導関連の標準化委員会は TC90。
	TS	IEC における技術仕様書
	TypeACT 線材	住友電工製の Bi2223 線材の呼称。超電導フィラメントに撚りが加えられているツイスト線材であり、銀シース線材の両面が金属テープにより補強されている。
	TypeHT 線材	住友電工製の Bi2223 線材の呼称。超電導フィラメントに撚りが加えられていない線材であり、銀シース線材の両面が金属テープにより補強されている。
U	UPS	Uninterruptible Power Supply。入力電源に停電などの異常が発生しても、一定時間は停電することなく電力を供給し続ける電源装置。無停電電源装置。
あ	アンカーボルト	構造部材(木材や鋼材)もしくは設備機器などを固定するために、コンクリートに埋め込んで使用するボルトのことを指す。アンカーボルトは、引張りやせん断に抵抗することによって、コンクリートに取り付けられた構造部材(木材や鋼材)もしくは設備機器が、分離・浮遊・移動・転倒することを防ぐ役割をもつ。

索引	項目	解説
あ	安全弁	ガスや蒸気などの配管や容器において爆発を防ぐための安全機構を有する弁。密閉した容器などで内圧が上がりそのまま圧力上昇すると内圧のため容器が破損する。このような爆発をさけるために安全弁が使用され、容器の内圧が上がり過ぎないようにする治具。
い	イットリウム線材	YBCO あるいは ReBCO (Re: 希土類元素) の超電導材料で作られた線材。一般的に、テープ状であり、超電導部分は薄膜形状になっており、薄膜線材ともいわれている。
	インピーダンス	直流におけるオームの法則の電気抵抗の概念を複素数に拡張し、交流に適用したもの。インピーダンスにおいて、その実部 (Re) をレジスタンス (resistance) または抵抗成分、虚部 (Im) をリアクタンス (reactance) と呼ぶ。
	受入試験	出荷製品が「形式試験供試品と同等の製造・品質管理状態であることを確認」するために行うもの。出荷試験と同義。ここで形式試験とは、ある形式製品の設計・製造および施工方法を「認定」するために行うものである。
う	渦電流損失	電磁誘導により発生する渦電流によって生じるジュール損失。
え	液体窒素循環ポンプ	超電導ケーブルシステムへ、冷却された液体窒素を供給するためのポンプ。
	液体窒素循環冷却	被冷却体を冷却する 1 手法。冷凍機などで冷却された液体窒素を循環ポンプにより被冷却体に圧送し、液体窒素と被冷却体で熱交換を行うことにより冷却を行う。熱交換により温度の上昇した液体窒素は再び冷凍機などに圧送され、その温度は再び低下する。この循環サイクル回路を形成することにより、冷媒は蒸発することなく閉ループ循環を続けることができ、液の補給が不要であるという特徴を有する。
	エコキュート	ヒートポンプ技術を利用し空気の熱で湯を沸かすことができる電気給湯機のうち、冷媒として、フロンではなく二酸化炭素を使用している機種総称。
	塩害	塩じんによる汚損のため、がい管の商用周波フラッシュオーバー電圧が低下すること。塩分付着密度および海岸からの距離の 2 つの条件をもとに区分されている。
お	オフセット	一般的には基準となるある点からの相対的な位置のことである。この場合ケーブル 3 心よりの状態と 3 芯に相関距離を設けた状態の位置関係をさす。
か	碍子	電線とその支持物とのあいだを絶縁するために用いる治具。
	回線	電力輸送を行う単位となる導体または導体系。例えば、三相交流では、3 つの導体を 1 回線という
	回線延長	回線ごとの起点から終点までの長さ合計
	開発試験	開発品の設計・製造および施工方法が、「実用可能であることを実証する」ために行うものである。
	開閉サージ	電源、開閉器、ケーブルおよび架空線が種々組み合わさった線路に電源、負荷の開閉によって発生し進行する異常電圧または電流。
	架空線	主に空気を絶縁体とした送電線路で、雷撃により雷サージの発生する可能性のある線路。
	過電圧	常規商用周波運転電圧を超えて発生する電圧。雷過電圧と開閉過電圧がある。
	可とうシールド管	液体窒素中で編素線部にシールドを取り付ける必要がある、熱収縮によりシールド部分に機械力が働くことを考慮して伸縮構造を持つフレキシ管をシールドとしたもの。
	過負荷	定格量を超えた負荷。

索引	項目	解説
か	(変圧器) 過負荷運転	変圧器の定格容量以上の負荷送電を行なう運転の事。
	過負荷電流	定格電流を超えた電流。
	過冷却	過冷却 (sub-cool) とは沸点と凝固点の間の液体の状態を指す。液体窒素では大気圧下で 77K から 63K の間となる。
	間接冷却方式	冷却システムにおいて、冷媒がブラインと呼ばれる不凍液を冷却し、これを介して目的物を冷却する方式。
	管路	主に地中に埋設されて活用される、ケーブルを収容するための管状の部材。ケーブルの引き入れや引き抜きを容易にし、布設後は外傷防止の役目を果たす。
き	逆フラッシュオーバー	鉄塔または架空地線が雷撃を受け、鉄塔の電位が著しく上昇して、鉄塔から電力線へフラッシュオーバーすること。
	距離リレー	電圧および電流を入力量として、電圧と電流の比の関数が所定値以下となったとき動作するリレー。この比は、継電器のみるインピーダンスと呼ばれ、インピーダンスは送電線の距離の電氣的尺度であるので、距離継電器と呼ばれる。
	銀安定化層	超電導線材において超電導状態が維持できなくなった際の電流分流の役割を担う。また、超電導体そのものを機械的に保護する役目をもつ。
く	鞍型ピックアップコイル法	超電導線材の磁化損失測定に用いられるピックアップコイルの一種。線材面に平行な磁場に対する測定に用いられる。テープの一部分を囲む直方体面上にピックアップコイルを巻き、その面上での電界を測定することにより、マグネット磁界と合わせてポインティングベクトルを求めて、損失を算出する。
	クラフト紙	OF ケーブルの主絶縁材料として通常は絶縁油を含浸して使用する電気絶縁強度の高い絶縁紙。超電導ケーブルにおいて液体窒素含浸条件下で使用しても高い絶縁強度を有する。
け	軽故障	重故障には満たないが、想定し得る運転状況からの逸脱を検知して発信される故障情報。
	系統事故	地絡事故、短絡事故、断線、またはそれらが複合したことにより、線路または機器が送電不能に陥ること。通常、事故区間が遮断され系統全体は保護される。
	ケーブルコア	超電導ケーブル断熱管内に挿入されるコア。主に、導体層、絶縁層、シールド層から構成される。
	ケーブルドラム	運搬及び保管のためケーブルを巻き取る装置。巻わく。
こ	高温超電導体	1986 年以降に発見された酸化物を中心とした超電導材料の総称。それ以前の超電導体の使用が液体ヘリウム温度で行われていたことに対して、高温超電導材料は液体窒素にて超電導特性を示すことから、相対的な意味で「高温」と名づけられた。
	更新需要	電力ケーブルなどにおいて、その寿命が近づいてきたことにより、新規ケーブルと代替する必要がある。その需要をさす。
	後備保護リレー	何らかの原因により主保護継電器で事故線路の遮断ができなかった場合に動作する保護継電器。事故による停電範囲は主保護よりも拡大するので、動作時間は主保護よりも遅れるように整定される。
	後備リレー	→後備保護リレー
	交流損失	超電導線材・導体に発生する損失。直流通電のみであれば超電導状態であれば抵抗がゼロであるため、損失は発生しないが、交流通電（交流磁界）を行なった場合には、ヒステリシス損失、渦電流損失、結合損失などの損失が発生する。これらの損失をまとめて交流損失と呼んでいる。

索引	項目	解説
こ	故障モード	超電導ケーブル、冷却システムに発生する故障、トラブルの進展状況により分類した形態。
さ	サージ	電線路あるいは、電気所母線を進行する電圧または電流。過渡的な過電圧や過電流全般。
	サージインピーダンス	雷サージや開閉サージなどの電流、電圧を関係づけるインピーダンス。系統のインダクタンス、静電容量をそれぞれL,Cとすると $\sqrt{L/C}$ で表される。
	サージインピーダンスローディング(SIL)	送電線内での無効電力の発生と消費がバランスする送電電力のこと。
	最高使用電圧	運用時にケーブルにかけられる電圧の最大値。
	再送電	短絡あるいは地絡事故が発生した際に、事故点を遮断した後に再び送電を開始すること。
	三心一括型	3つのケーブルコア(導体、絶縁体、シールド等からなる)が一つの断熱管の中に収納された超電導ケーブルの構造
	三相同軸型	3つの導体が同軸上に形成されたもので、各導体間には電気絶縁層が介在する。この導体が一つの断熱管の中に収納された超電導ケーブルの構造。
	残存性能	長期試験などを経験したケーブルが最終的に示す性能。初期との性能比較で、経年による劣化の有無を確認する。
	残留磁束	物質が対象かつ周期的に磁化された状態にあるとき、磁化力がゼロとなる磁束密度。
し	シーケンス	機器を自動制御する際の、あらかじめ設定しておく動作の順序。
	シールド	導体層に通電した際に発生する磁場を外部に漏らさないように、導体層と逆位相の電流を誘起させる層のこと。
	磁化損失	超電導線材に交流外部磁界を印加したときに生じる損失。
	軸方向磁場	超電導ケーブルの長手方向に発生する磁場。超電導層を形成する際に、超電導線材を芯材に対してスパイラル形状に巻付けるため、通電時に径方向だけでなく軸方向にも磁場が発生する。
	試験法	ケーブルなどの製品や部品の品質を確認するための試験の方法。
	事故点	線路に発生した絶縁破壊点、もしくはその点を含む切り離し可能な線路区間。早期の事故復旧に関わるものは後者である。
	事故電流	系統事故に伴って流れる異常電流。短絡電流と地絡電流に大別される。
	実系統	実際に電力が送電されている電力系統
	遮断失敗	遮断器が何らかの原因により遮断できなくなる現象。
	重故障	超電導ケーブル運転に重大な影響を及ぼす異常を検知して発信される故障情報。
	終端接続部	ケーブルの端が気中リード線と接続できるように接続端子を備えた接続箱。ケーブルヘッド。CH。超電導分野での通称は、「端末」。ただし、「端末」はケーブルの切断面に施す防水キャップの意で使用されることもあるので注意が必要。
	重潮流	定格電力に近い電力の流れ。
	従来ケーブル	既に実用化されている電力ケーブル。CVケーブル、OFケーブル、POFケーブルなどがある。
	ジュール損失	電気抵抗×(電流の2乗)であらわされる発熱量
	需給運用	時々刻々変動する需要に対し、常に供給力を確保して需要と供給力の均衡を図り、火力発電、原子力発電などの供給力を総合的に組み合わせ信頼性および経済性の高い運用を行う一連の業務。
	出荷試験	→受入試験

索引	項目	解説
し	主保護リレー	電力系統は何重にも組み合わせた保護継電器（リレー）によって保護されている。主保護継電器は、ある保護区間内に発生した事故に対し、一番目に動作するよう整定された保護継電器。
	寿命指数	課電電圧に対する長期劣化特性を評価できる、ケーブル構造に依存する指標。CV ケーブルや OF ケーブルに代表される従来のケーブルの長期破壊特性は、課電電界 (kV/mm) の n 乗と課電時間 (H) の積が一定になる特徴がある。ここでの n が寿命指数と定義される。
	竣工試験	出荷試験に合格した製品が現地布設されるまでの間に、外傷や過度のわん曲などが原因で、設備が備えるべき性能を損なっていないか確認する試験。電気設備技術基準の解釈に基づいて行う電気試験も含む。
	ジョイント	中間接続部と同意
	常温絶縁タイプ	超電導ケーブルの構造で、冷媒で冷却される部分が導体部だけであり、その上に断熱層、次に電気絶縁層、遮蔽層が形成されるケーブル。電気絶縁層は断熱層の外側にあるので、常温に置かれている。
	冗長	機器の信頼性を高める方策のひとつ。冗長とは複数の機器を用意しておくことで、待機冗長と切り替え冗長がある。待機冗長は機器が故障した際に予備機を稼動し、この間に故障機を整備する方式。切り替え冗長は定期的に機器を切り替え停止機を整備しておく方式。
	常電導	通常の金属など、有限の抵抗をもつ導体。超電導が電気抵抗ゼロであることに対する単語。
	常電導シールド層	銅などの常電導材料を用いて超電導シールド層に対して並列に設けられる層。事故電流が流れた際のバイパス回路の役割を担う。
	浸漬冷却	液体窒素等の冷媒中に冷却対象物をそのまま浸して冷却すること。
	侵入熱	超電導ケーブルの断熱管外部（室温部）から内部に侵入する熱。超電導ケーブルでは侵入熱を抑えるため、二重の SUS コルゲート管の間を真空引きし、伝熱を抑えるとともに、スーパーインシュレーションと呼ばれる熱絶縁体を巻き付けて、輻射に伴う侵入熱の低減を行なう。
す	スターリングパルス管	パルス管冷凍機のうち、常温部に設置する圧力波発信源としてスターリング冷凍機の圧縮用ピストンを用いる冷凍機。
	スターリング冷凍機	冷凍機の種類。空間の常温側端に断熱圧縮を行うピストン、中間に蓄熱器、他端の低温側に断熱膨脹を行うピストンを有する。両端のピストンが位相をずらして駆動されることで冷凍サイクルを構成する。理論的な効率理想サイクルといわれるカルノーサイクルと等しく高効率であり、小型化が容易である。
	ストレスコーン	高圧ケーブルの終端接続部において電界の集中を緩和させ、絶縁耐力を維持するために、遮へい層をコーン状にした部分。
せ	整定値	保護リレーを動作させるためのしきい値。電圧、電流、抵抗、タイマー等の数値をリレーに設定する。
	整定変更	電力系統構成の変更に伴って、リレー等の整定値を変更すること。
	接続抵抗	ケーブル超電導線材と中間接続部の縦添え超電導線材との接続は半田を使用している。その接続に伴う常電導抵抗を示す。
	線材の負荷率	超電導線材の臨界電流 ( $I_c$ ) と通電電流 ( $I_t$ ) の比 ( $I_t/I_c$ ) によって定義される値。交流通電時には、電流のピーク値 ( $I_p$ ) を用いて、 $I_p/I_c$ で定義される。
そ	送電損失	電力ケーブルが電力を輸送する際に発生する損失。超電導ケーブルの場合、ケーブルの交流損失、絶縁体の誘電損失、断熱管の侵入熱などが上げられる。また、それらの損失は極低温で発生するが、それを冷却するための動力が必要。一般に、その損失を COP で割った値を送電損失としている。



索引	項目	解説	
そ	送電容量	ケーブルが送電する電力 (MVA)。三相交流の場合、相間電圧×電流× $\sqrt{3}$ で表される。	
	素線絶縁銅撚り線	通常の銅撚り線に対して、素線 (銅線) 一本一本に絶縁を施したうえで撚った銅線のこと。	
た	耐圧特性	耐圧力特性。容器、ケーブルなどが、内部圧力に対して示す特性。	
	対地定格電圧	接地式線路において、高圧部と大地 (アース) 間の電圧を対地電圧、線路の定格送電時に印加される電圧を対地定格電圧という。	
	たけのこ処理	タケノコの皮をはがすように超電導ケーブル終端を段々に処理していく方法。	
	単心型	超電導ケーブルの構造において、一つのケーブルコアが、一つの断熱管の中に収納されているもの。	
	断熱管	ケーブル外部から液体窒素槽への熱侵入を防ぐ役割を担う。一般に、金属製の二重管の間にスーパーインシュレーションなどを用いた断熱層を設け、さらに高真空に保つことで熱侵入を低減する。	
	端末	終端接続部と同意	
	端末容器	液体窒素を内蔵する容器と、液体窒素を内蔵した容器を真空断熱するために密封する構造を有した容器からなる2重容器のこと。	
	短絡事故	交流送電の3相の内、2相が導通して起こる電気事故。	
	短絡電流	電力系統の任意の地点において短絡事故が発生した場合に流れる事故電流。	
	短絡発電機	短絡事故を模擬した大電流を発生するための試験設備。	
	ち	窒素	分子量 28 の 2 原子分子。大気の 8 割を占め、空気中から分離採取される。沸点 77K、凝固点 63K であり、高温超電導体の冷却に広く用いられる。
		窒素循環ポンプ	冷却に用いる液体窒素は冷凍機を出て超電導ケーブル内を通過して冷凍機に戻り、再び系内を循環する。このためのポンプを窒素循環ポンプと称する。脈動を防ぐため遠心式ポンプが用いられ、駆動のためのモータは熱侵入を低減するため長軸でポンプ本体と接続される。
中間接続部		電力送電線路として長尺のケーブルシステムでは製造面・輸送面よりケーブル長に制約がある場合が多くそこで数百mおきにケーブルを接続する必要がある。そのために必要となる超電導ケーブル同士をマンホール内にて接続するための機器。	
調相設備		無効電力の調整で送電線の力率を改善し受電側での電圧制御を行うための設備。	
超電導シールド層		導体層が発生する磁場を遮蔽するために、主に絶縁層の外側に超電導線材を用いて設けられる層。両端末で三相を短絡することにより、導体層に対して位相が反転した電流が誘導され、磁気遮蔽を可能とする。	
超電導導体		ある条件の下で電気抵抗がゼロとなる物質。ある条件とは臨界温度、臨界磁場、臨界電流密度を超えない範囲を指す。超電導体は、完全導電性、完全反磁性 (マイスナー効果)、磁束の量子化、ジョセフソン効果などの他に類を見ない特性を示すため、省エネルギー技術など様々な応用が期待されている。また、高温超電導は 25 K (ケルビンは絶対温度の単位で、0K=-273℃) 以上に臨界温度をもつ物質で、主に銅酸化物系材料である。	
潮流		電力の流れ。	
直接冷却方式		冷却システムにおいて、冷媒が直接被冷却物を冷やす方式。	
地絡事故		送電中の充電部とアース部が導通して起こる電気事故。一般に、短絡電流より電流値は小さい。	

索引	項目	解説
つ	ツイスト線材	Bi2223 線材において、超電導フィラメントに撚りが加えられている線材。
	通電損失	超電導線材に交流通電電流を流したときに発生する損失。
	通電用 CT	電力機器に通電を実施する際に用いられる変流器
て	低温脆性	室温付近又はそれ以下の低温で、鉄鋼の衝撃値が急激に低下して、もろくなる性質。
	定格電流	設計で定められた規定条件下で作動する機器、装置等の電流範囲。
	鉄心	変圧器において、一次回路と二次回路を相互インダクタンスで結合する磁気回路。
	電圧安定性	電力系統の電圧は、発電機の出力、電圧、運転力率、負荷の消費電力、力率および系統の構成形態や変圧器の電圧調整器、シャントリアクトルや電力用コンデンサなどの調相設備などの運転状態により決定される。電力系統に何らかのじょう乱があったときに、電圧が新たな平衡点に落ち着く系統の能力または関連した性質のこと。
	電圧降下	電気回路に電流を流したとき、回路中に存在する電気抵抗の両端に電位差が生ずる現象のこと。
	電圧タップ	電气的四端子法により2点間の電位差を測定する際に使用する電位測定線。
	電气的四端子法	資料に対して電流を流した際に、ある区間に発生する電位差を測定する方法。電流リードと電圧リードに別々の線を用いる方法。一般に、二端子法と四端子法があるが、低抵抗の資料の測定に際しては精度の高い四端子法が用いられる。
	電磁力	アンペアが右ネジの法則に関連して電流の流れている2導線間に働く力について、両導線に流れる電流の積に比例し、両導線の間隔に反比例する力が働くことを発見した。両導線に流れる電流の向きが同方向のときは吸引力に反対方向のときは反発力になる。
	電流密度	電気導体に電界が与えられたときに、単位面積に垂直な方向に単位時間に流れる電気量（電荷）のこと。
	電流リード	電流を導入する役割をもつ導体（金属等）
電力ネットワーク	電力系統と同義語。	
と	導体接続金具	終端接続部において超電導導体に対して半田で電气的に接続し、フォーマーに対して圧縮することにより機械的および電气的に接続するための金具。
	導体接続スリーブ	両側ケーブルコア中心に位置する銅より線フォーマを機械的な圧縮力で接続するための部材。
	導体接続損失	導体が中間接続部、終端接続部などで、常電導導体と接続される際に、接続部に電気抵抗が発生するが、これに起因する損失。
	洞道	地中に構築する暗きょ（トンネル）。床上あるいは棚上にケーブルを布設することになる。
に	トリップ	事故電流を遮断するための遮断器開放動作。
	二重故障	機器の単一故障ではなく、同時に関連性の低い2箇所（以上）の機器で故障、トラブルが発生する事。
	熱侵入	低温容器内に室温領域から熱伝導、熱輻射などで侵入してくる熱量。熱侵入とも表記する。
ね	熱損失	超電導ケーブルシステムにおいて発生するジュール損や交流損失に伴う熱や侵入熱に伴う損失。これら損失に伴う熱により、冷媒の温度が上昇するため、必要な温度に冷却する必要がある。
	熱電対	異種金属の2接点間の温度差によって熱起電力が生じる現象（ゼーベック効果）を利用した温度センサ。

索引	項目	解説
ね	熱輻射シールド	熱輻射は熱放射とも言い、物体から熱エネルギーが電磁波（波長により赤外線、可視光線、紫外線、x線、γ線）として放出される現象のこと。その電磁波を遮る部材を示す。
	熱物性値	熱伝導率、熱容量、熱収縮率等の温度依存性を有する物性値。
の	ノンツイスト線材	Bi2223 線材において、超電導フィラメントに撚りが加えられていない線材。
は	バーンアウト信号	PID 制御コントローラで入力値の参照ができなくなった場合に、ある一定の制御を行なうため、外部へ出力する制御信号。例えば温度を一定に保持する制御を行なっている途中で、温度が参照できなくなった場合に、温度を下げるようなバーンアウト信号（制御信号）を出す。
	バイパス回路	信頼性の不確かな回路や実験的な回路等と並行に設置した回路で、前者を切り離した場合に運用し、信頼度を確保するもの。本プロジェクトでは、CV ケーブルによる線路がこれに該当する。
	ハイブリッド超電導導体	異なる種類の線材を用いて構成される超電導導体。
	バックアップ	信頼性から、ある機器が故障してもシステムの的にその機能を支えてシステムの運転に支障が及ばないようにすること。該当する機器を複数用意しておく場合は冗長化と証する。
	パルス管冷凍機	1961 年ギフォードとロングスワースによって考案された、パルス音響理論に基づく冷凍機。低温部に可動部がなく信頼性が高く小型の冷凍サイクルを構築することが可能である。音波の山の部分では断熱圧縮することから温度が上がり、谷の部分では断熱膨張により温度が下がることを応用している。
	半割れ銅管	両側超電導ケーブルのシールド同士を接続する必要がある。中間接続部においては補強絶縁部を避けた形状でシールド超電導線材を積層し半田接続する必要があるため予め両側を絞り込んだ形状でかつ上下半割れ構造とした銅管を示す。
ひ	引き止め治具	端末容器本体に直接 3 心ケーブルを引き止める為に絶縁材料である FRP の両端に SUS がついた治具を使用している。
	ヒステリシス損失	鉄心の磁区が交番磁界によって磁界の向きを変えるとききの損失。鉄損。
	ビスマス線材	主に Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10+d</sub> を用いた超電導線材。超電導臨界温度は -163℃ (110K)。
	歪ゲージ	機械的な寸法の微小な変化（ひずみ）を電気信号として検出するセンサで、材料や構造物の表面に接着してひずみを測定すれば、材料や構造体に加わった応力を推測することができる。
	標準化	ケーブルなどの製品や部品の品質、形状、寸法、施工手順、試験方法などを標準に従って統一すること。これに伴って効率化・合理化ができ、互換性も高まる。
	比率差動継電器	保護区間に入出力する電流のベクトル差が予定値を超えた場合、かつ、差動回路部分の動作コイルの電流と抑制コイルの電流の比が予定値を超えた場合に動作する継電器。RDFR。前者の条件のみで動作するのは差動継電器（DFR）という。差動、比率継電器は変圧器、発電機、母線の保護に用いられる。
ふ	フィードバック制御	制御量（PV 値）が目標値（SV 値）になるよう、両者を比較を行いながら制御対象への操作量（MV 値）を変化させていく制御方法。
	フィラメント	Bi2223 銀シース線材の内部構造において、Bi2223 で構成される細い糸状の箇所をさす。

索引	項目	解説	
ふ	フィラメント間の結合	変動磁界下において、超電導フィラメント同時の間にマトリックスを介して遮蔽電流が還流する現象を結合といい、これにより生じるいわゆるジュール損失を結合損失と呼ぶ。	
	フェラランチ現象	大きな容量を持つ送電線線路の受電側で負荷を切り離したり、使われていなかった線路に負荷を繋いだりしたときに、線路のキャパシタンスに応じた充電電流が流れることが原因で、送電線路に電圧上昇が発生すること。	
	フォーマ	超電導線材を用いて超電導層を形成する際の芯材。主に銅線を寄り合わせることで構成され、機械的な芯としての役割を担うとともに、短絡電流通過時のバイパス回路にもなる。	
	負荷状況	電力系統において、最大許容電力に対して、実際に使用されている電力の割合の状況	
	複合絶縁方式	2つ以上の絶縁体を併用した絶縁方式。本プロジェクトでは、絶縁紙 PPLP に液体窒素を含浸させた絶縁となっている。	
	ブッシング	端末容器を貫通する電流リードを通す通路をもち、容器から電流リードを絶縁するために用いる。	
	部分放電	電極間に電圧を加えたとき、その間の絶縁物中で部分的に発生する放電をいい、電極間を完全に橋絡する放電は含まない状態。	
	ブレイトンサイクル	動作ガス（一般的にはヘリウム）の圧力を高める圧縮機、高圧ガスと低圧ガスの間で熱交換を行う熱交換器、高圧ガスを断熱膨張させて低圧低温のガスを生成する膨張機などで構成される冷凍機。大型の冷凍機に適す。	
	分割集合フォーマ	複数の銅線を撚り合わせた導体を扇形の断面形状を有するセグメントに圧縮成型し、複数のセグメントを一体化することで形成した円形フォーマ。	
	へ	ヘリウム	分子量 2 の単原子分子。極めて安定であり他の物質と化学反応を起こすことはない。沸点が 4.2K とあらゆる物質中で最も低く、極低温冷凍機の動作ガスとして用いられる。天然ガス中から分離採取されるが日本は全量を米国から輸入している。
変圧器の充電（ステップアップ）		電力系統中の変圧器は発電所出口端のものを除き、1次側（電源側）が高電圧、2次側（負荷側）が低電圧となっている。ステップアップは変圧器の2次側から充電を行なうこと。	
変圧器容量		変圧器の定格電圧、定格電流により求められる量。相電圧の $\sqrt{3}$ 倍（線間電圧）と定格電流の積で求められる。	
編素線		可とう性（柔軟性）を必要とする電気用導体として、軟銅線、スズメッキ軟銅線およびその他の素線を集束（集めて束により合わせる）したものを編組し、成型したもの。	
変電所バンク		変電所に設置された変圧器を指す。	
ほ		防水テープ	中間接続部は水没する可能性の高いマンホール内に設置されることが多い。そこで中間接続部外容器の外表面にはすぐれた絶縁性を保持すると共に、高い気密性が求められる。そのために使用する絶縁性を有するテープを示す。
		保護カバー	三相一括のジョイント接続部を一括で覆う上下半割れ形状の銅管で、ケーブルの熱収縮による窒素容器内での中間接続部の動きに対応し可動できる仕様となっている。
		保護協調	異常発生時において、電力系統の電流や電圧をもとに故障区間を判別および除去し、事故の拡大防止や系統への波及を防止すること。
		保護リレー	継電器の一種で、電流や電圧の急激な変化から電気回路を保護するための装置。
		母線	発電所や変電所で、電源から全電流を受け、外線に供給する幹線。ブス。

索引	項目	解説
ま	母線連絡	2つ以上の母線を電氣的に連系可能にする線路、また連系すること。ブスタイ。
	埋設物	広義では、地中に埋設されているもの全てを示すが、それらは撤去可能や撤去困難なもの等さまざまである。本文中の既設埋設物とは、一般に実運用中の設備であり、撤去不可能かつ移設困難な設備を示している。
も	もらい事故	保護リレーによる保護区間外で短絡事故が起きた場合で、短絡事故電流が流れた直後も課通電のある場合の系統事故。
ゆ	誘電損失	ケーブルの絶縁物（誘電体）に電圧をかけた際に発生する損失。
よ	要素試験	設備の開発にあたり、比較的少量のサンプル等を用いて要求される性能毎に試験を行うこと。
ら	雷インパルス耐電圧値（LIWV）	雷撃に対して、避雷器を含まない線路が備える絶縁強度の標準値。避雷器の制限電圧はこれより低く設定され、これと組み合わせることで線路の絶縁協調が図られている。
	雷撃	異常電圧を生じる送電線路への落雷。雷撃箇所、侵入経路、波形および電流が、雷サージ解析の解析条件となる。
	雷サージ	雷撃に起因して線路に発生し進行する、異常電圧または異常電流。
り	リーク	配管や機器のシール部や溶接部から何らかの不具合により冷媒（液体窒素）が漏れること。真空層の場合には真空リークと言う。
	リザーバタンク	液体窒素は系内への不純物侵入を防ぐため閉サイクルで用いられる。しかし窒素温度が 77 K から 63 K まで変化すると液体の膨張・収縮が 7%程度生じる。この膨張・収縮変化を吸収するのがリザーバタンクと呼ばれる真空断熱容器である。さらにリザーバタンクを窒素圧力が最も低くなる窒素循環ポンプ吸入側に設置することで、その最低圧力を保持する圧力制御機能を持たせることで超電導ケーブル内での気泡の発生を防止し部分放電を防ぐ機能を付加している。
	臨界温度	温度上昇に伴い超電導状態（電気抵抗ゼロ）から常電導状態（電気抵抗を生じる）へと相転移する温度のこと。
	臨界電流	超電導材料に直流電流を流す場合、電気抵抗がゼロであるので、発生電圧もゼロであるが、通電電流が大きくなると、許容値を超え、超電導状態から常電導状態に転移し、電圧が発生する。ここでは、 $1 \mu\text{V/cm}$ の電圧が発生する直流電流を臨界電流（値）と定めている。
れ	励磁突入電流	変圧器に電流を印加したときに生じる電流。
	冷凍機	対象となる物質から熱を奪い、それを水や空気などに移送する機械または装置の総称。対象物の温度を下げる働きをする。熱の輸送に使用される冷媒の種類、それを圧縮する方法、膨張により吸熱作用を発生させる工程などによっていくつかの冷凍方式に分類される。液体窒素温度冷却においては、スターリング方式、GM 方式がよく用いられる。
	冷凍機コールドヘッド	冷凍機の熱交換部。実証試験で使用予定であるスターリング型冷凍機では冷凍機内部のヘリウムガスと超電導ケーブルの冷媒である液体窒素をコールドヘッド（銅の熱交換部）を介して熱交換する。
	冷凍機の効率	動作温度において発熱量 $Q[\text{W}]$ を汲出すに必要な冷凍機の効率で、冷凍機所要動力 $W[\text{W}]$ とすると $\text{COP}=Q/W$ で表される。COP (Coefficient of Performance) とも表記する。
	冷凍能力	被冷却体の熱損失と定常的に温度バランスしているときの冷凍システムの能力で定義される。
	冷熱サイクル	ここでは、超電導ケーブルが室温と液体窒素温度を繰り返し経験するサイクルをさす。

索引	項目	解説
ろ	ロードセル	力（質量、トルク）を検出するセンサーのことで、これらの力を電気信号に変換するというものであり、荷重変換器とも呼ばれる。一般に変換器にはひずみゲージ式がよく用いられる。
	ロゴスキーコイル	ドイツの電気工学者であるロゴスキー（Rogowski）によって考案された電流検知センサ。被測定導体の周辺にロゴスキーコイルを設置すると、導体電流に対応した電圧がコイルの両端に誘起する。この電圧は導体電流の微分波形で、積分器を通すことで導体電流波形を再現できる。

## I. 事業の位置づけ・必要性について

### 1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

#### 1.1 NEDOが関与する事の意義

電気抵抗がゼロなどの特性をもつ超電導技術は、電力事業、情報通信、運輸、医療福祉等の幅広い分野で、様々な機器の飛躍的な性能向上・技術革新が可能である。その中でも、電力事業における高温超電導ケーブル技術は、電力エネルギーの高効率な送電に貢献することができ、エネルギーの効率的な活用及び地球環境問題にも対応することができるかと期待されている。

一方、発電設備および送配電設備は、将来の需要予測に基づいて着実に整備していく必要がある。エコキュートに代表される家庭用・産業用の高効率電力機器への熱源転換の進展や、電気自動車の普及拡大などにより、今後の電力需要は年率で1%程度の伸びが予測されている。このため、この需要増加に対応した送電線網をエネルギー利用の効率を考えながら整備していく必要がある。また、戦後構築された電力送電設備には寿命を迎えているものもあり、特にOFケーブル、POFケーブルの更新は、2016年頃から本格化するものと考えられており、早期実用化、早期導入普及が求められており、この公共性の高さからも国及びNEDOの関与が必要と考えられた。

高温超電導ケーブル技術は、大容量の電力をコンパクトな形状で低損失に送電することができる技術であり、上記の送電網整備あるいは既存ケーブルの更新需要に適用できれば、より早期にエネルギー効率活用、地球環境への負荷低減に貢献できるものと考えられ、その開発が急務である。

超電導ケーブルの実用化には、本プロジェクトにて提案する実用規模での実系統実証試験を行うことにより、高温超電導ケーブルを含むトータルシステムの信頼性の検証が必須である。そのために必要な実証システムの構築、運転・メンテナンス技術の開発には、量産開発の途中である高温超電導線材の使用、液体窒素温度で適用できるケーブル及びケーブル付属品（端末、ジョイント）の開発、液体窒素を循環冷却する冷却システムの構築など、これまで汎用化されていない高価な材料、機器が必要である。

また、高温超電導ケーブルで実用化に目処をつけることが出来れば、他の電力機器（超電導変圧器、超電導限流器、超電導電力貯蔵装置（SMES）など）への波及についても大きな成果が期待できる。

一方、上記の通り、汎用化されていない技術の適用、高価な材料、機器の購入、実系統連係を行うための法令解釈、整備など、民間企業のみでは十分な研究開発が実施され得ず、国及びNEDOの関与が必要と考えられる。さらに、エネルギーの効率活用、地球環境負荷低減などに貢献できることから国およびNEDOの関与は適切であった。

## 1.2 実施の効果

本プロジェクトの実施により、高温超電導ケーブルの早期の実用化が期待される。経済産業省及びNEDOが作成したロードマップによると、2015年頃からその実用化が始まると期待されており、それ以降の高温超電導ケーブルの市場規模は表1.2-1のように試算されている<sup>1)</sup>。この試算は1989年～2005年までの「66kV以上の地中電力ケーブルの回線延長」から推定した今後のケーブル導入量の約10%が超電導ケーブルに置き換わったと仮定した場合の予測である。このように、2030年には国内で1000億円をこえる市場が期待できる。

また本技術は海外への転用も可能であり、米国では、送電システムの老朽化に伴うエネルギーセキュリティの観点から基幹送電系の強化（GRID2030）が計画されており、また中国では、国内経済の急成長に伴って、送電線の増設に対する需要が高まっていることなどから、海外における超電導ケーブルの需要は、国内需要の数十倍から数百倍になると推定されている。

ここでは、地中線66kV以上の地中電力ケーブルの超電導化について市場規模を推計したが、そのほかに、架空線の置き換え、直流配電システムへの超電導電力ケーブルの展開、海外市場への展開などが考えられるため、さらに大きな市場が期待できる。

表 1.2-1 予想される超電導ケーブルの市場規模

	超電導ケーブル線路 (累積) (km・回線)	金額 (億円)
2015年	30	60
2020年	190	380
2025年	400	800
2030年	650	1300

超電導ケーブルのコストは200千円/mと仮定

一方、超電導ケーブル導入による地球環境対策としてのCO<sub>2</sub>量削減の効果も期待できる。上記の超電導ケーブル導入量をベースにCO<sub>2</sub>削減量を計算すると、表1.2-2のように試算される。

2030年の省エネ効果は279GWh/年となり、CO<sub>2</sub>削減効果は95千t-CO<sub>2</sub>/年になると推計した。公開データによると2004年度の1世帯当たりの電力消費量は、年間で約3,620kWh（出典：「原子力・エネルギー」図面集2005-2006）であることから、省エネ効果は、およそ8万世帯が1年間に消費する電力量が期待できる。

尚、この推定は前述したように国内の66kV以上ケーブルへの適用を考えた場合であり、全世界で考えれば、数十倍～数百倍の効果が期待できる。



表 1.2-2 予想される省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減量

年	超電導化による 損失低減量 (Lf=1.0)	累積 導入量	損失率 (Lf)	1年間の低減電力量 A×B×C×(24×365)	1年間の CO <sub>2</sub> 削減量
単位	kW/km	km		GWh/年	千 t-CO <sub>2</sub> /年
	A	B	C	D	E
2015年	50	30	0.7	10	3.5
2020年	70	190	0.7	82	28
2025年	70	400	0.7	172	58
2030年	70	650	0.7	279	95

(注) 常電導ケーブルの損失量は 100kW/km、超電導ケーブルの損失量は 50kW/km@2015 年、30kW/km@2020 年以降と考え、その差が表中 A の損失低減量にあたる。

・CO<sub>2</sub> の排出係数は、2015 年において 0.35 (kg-CO<sub>2</sub>/kWh)、2020 年以降は 0.34 (kg-CO<sub>2</sub>/kWh) とした

#### 参考文献

- 1) 「高温超電導電力応用機器の市場調査研究報告書」ISTEC、H19 年

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

エネルギー利用の効率化の促進、地球環境問題への対策の観点から省エネルギーや環境負荷低減に配慮したエネルギー利用が求められている。これを反映して、新・国家エネルギー戦略（2006年5月経済産業省）では、省エネルギーとして2030年までに少なくとも30%の効率改善を目指すことを目標として掲げている。また、新エネルギーイノベーション計画では、新たなエネルギーの貯蔵・輸送技術など、「革新的なエネルギー高度利用技術」の開発と利用を強化すると掲げている。さらに、エネルギー・環境施策の「原子力の推進・電力基盤の高度化」では、発電された電力を安定的かつ効率的に需要家へ届けるため送配電分野においては、電力供給を安定化させる技術や、発電電力を無駄なく輸送するための技術開発などにより、現状以上の高供給信頼性を実現することを掲げている。

平成20年3月に経済産業省が制定した「Cool earth - エネルギー革新技術計画」においては、エネルギー分野において、世界をリードできる技術分野に研究開発資源を重点化し、技術開発を加速・推進することにより、我が国の競争力を強化・維持しつつ、技術は我が国の貴重な資源であるとの認識に立って、重点的に取り組むべき21のエネルギー革新技術が選定されたが、超電導を用いた高効率送電技術は、この内の一つの技術として取り上げられている。

このような状況においては、十分な安全性確保を前提に、需要に見合った信頼性の高い安定で効率的なエネルギー供給システムを構築することが重要である。効率的なエネルギー供給システムに資する技術として、高機能部材である超電導線材を利用し、送電損失を大幅に低減することが可能な高温超電導ケーブルシステムの技術を開発し、産業利用の早期実現を図ることは、エネルギー安全保障（セキュリティ）に貢献するとともに、社会や経済の安定した発展に大きく貢献すると考えられている。

本技術は、超電導技術分野技術戦略マップのエネルギー・電力分野機器開発のうち「環境・エネルギー調和型社会の構築」、「送変配電」、「電力ケーブル」および、第3期科学技術基本計画のエネルギー分野の重点科学技術「電力供給システム」、「送電技術」に位置付けられており、その技術開発が大いに期待されている。

本プロジェクトでは、その高温超電導ケーブルを、社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するために、「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」（平成12年度～16年度）によって得られた高温超電導ケーブルの開発成果などを踏まえ、高温超電導ケーブルや冷却技術などを統合する高温超電導ケーブルシステムを構築して、高温超電導ケーブル単体だけではなく、線路建設、運転、保守を含めたトータルシステムの信頼性を実証するために、実系統に連系した実証試験を実施する。このことによって、高温超電導ケーブルのトータルシステムとしての総合的な信頼性を実証するとともに、革新的な高効率送電技術の開発・検証を行うことを目

的とする。

これにより、安定的かつ高効率な電力供給に資する技術開発を行うとともに、高温超電導ケーブルの初期市場形成と新規産業の創出に貢献する。

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### 1.1 研究開発目標

高温超電導ケーブルや冷却技術などを統合する高温超電導ケーブルシステムを構築して、高温超電導ケーブル単体だけではなく、線路建設、運転、保守を含めたトータルシステムの信頼性を実証するために、実系統に連系した実証試験を実施する。このことによって、高温超電導ケーブルのトータルシステムとしての総合的な信頼性を実証するとともに、革新的な高効率送電技術の開発・検証を行うことを目的とする。

具体的には、将来の送電システムを想定した、66kV、200MVA 級の高温超電導ケーブルシステムの開発を行う。そのためには、高温超電導ケーブルの重要要素（ケーブル、中間接続部、冷却システム等）に関して、三心一括型超電導ケーブル（図 1.1-1）が実系統に適用し得る所定の性能、機能を有することを、モデルシステムによって検証する。その後、中間接続部を有する高温超電導ケーブルシステムを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに 66kV 実系統に接続し、長期連系試験を行う。これにより、高温超電導ケーブルシステムの信頼性・安定性の実証、実系統における運転方法・メンテナンス方法の検討、課題の抽出を行う。

高温超電導ケーブルを適用する電力ネットワークの形態や規模などを考慮し、高温超電導ケーブルの適用技術を評価するとともに、冷却設備の安全性、運用性を考慮した法規制のあり方を検討する。また、実証試験を通じて、運転管理や評価・計測技術等の超電導送電システムの国際規格化を進めるために、標準化項目を整理して必要なデータ収集を行い、適用技術標準化の検討を行う。

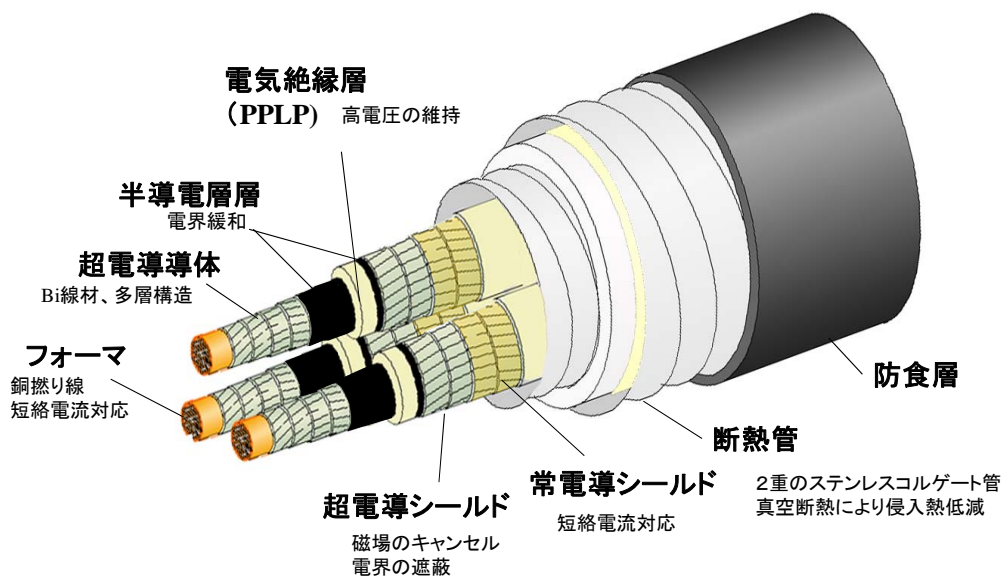


図 1.1-1 三心一括型高温超電導ケーブル

## 1.2 研究項目毎の目標

### 1.2.1 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証

#### (1) 研究開発の必要性

実系統連系試験に適用する高温超電導ケーブルシステムの重要要素（ケーブル、中間接続部、冷却システム等）に関して、実系統に適用し得る所定の性能、機能を有し送電システムが構築できることを模擬システムにより事前に検証する必要がある。

#### (2) 研究開発の具体的な内容

66kV、200MVA 級 3 心一括型高温超電導ケーブル等の重要要素技術が、実系統連系試験に適用可能であることを検証する。

#### (3) 達成目標

##### ● 中間目標（平成 21 年度中）

重要要素技術が、実系統連系に適用し得る次の性能、機能を有することを模擬システムにて検証する。

- ・ 交流損失：1W/m/1 相（3 心一括型高温超電導ケーブル（66kV、2kA）、150mm φ 管路収容）

- ・ 短絡電流：31.5kA-2 秒の短絡電流

- ・ 中間接続部の導体接続損失：2kA 通電相当で  $1\mu\Omega$  / 相以下

##### ● 最終目標（平成 24 年度中）

- ・ 交流損失：1W/m/1 相（3 心一括型高温超電導ケーブル（66kV、3kA）、150mm φ 管路収容）

- ・ 中間接続部の導体接続損失：3kA 通電相当で  $1\mu\Omega$  / 相以下

#### (4) 目標設定の根拠

高温超電導ケーブルの実用化時のターゲットの一つに送電ケーブルへの適用が考えられている。東京電力と住友電工では、1500MVA 級の送電ルートを考えて場合の従来ケーブルと超電導ケーブルの経済性比較を実施している。これによると、従来ケーブルでは、275kV 単心 CV ケーブルが 3 回線 9 条必要で、洞道内にケーブルを布設する必要がある。これに対し、超電導ケーブルは φ 150mm 管路に収納できれば、土木費も含めた建設コストを大幅に削減できるので、超電導ケーブル適用にメリットがあるというもの。

また、送電損失の試算によると、上記 CV ケーブルの送電損失は、100W/m/回線となる。超電導ケーブルの場合、交流損失 1W/m/ph @ 3kA、侵入熱を 2W/m、冷却システムの効率を 0.1 とすると、超電導ケーブルの損失は、 $(1 \times 3 + 2) / 0.1 = 50\text{W/m/回線}$  となり、CV ケーブルの 1/2 に低減することができる。

以上のように、ターゲットは 66kV/3kA 級、損失 1W/m/ph @ 3kA、φ 150mm 管路へ

の適用を目標とした。

### 1.2.2 トータルシステム等の開発

#### (1) 研究開発の必要性

高温超電導ケーブルシステムが、市場に導入されるためには、線路建設、運転監視、運用・保守方法などのトータルシステムとしての技術を確立する必要がある。

#### (2) 研究開発の具体的な内容

高温超電導ケーブルシステムの線路建設、運転監視、運用・保守方法等のトータルシステムとしてのシステム基本設計を確立するとともに、実運用を行う際の安全性や信頼性、経済性、環境面の評価を行う。

#### (3) 達成目標

##### ●中間目標（平成21年度中）

高温超電導ケーブルシステムの線路建設、運転監視、運用・保守等を検討し、トータルシステム構築要領を作成する。

##### ●最終目標（平成24年度中）

高温超電導ケーブルシステムの線路建設、運転監視、運用・保守方法等のトータルシステムとしてのシステム基本指針を作成する。また、既存ケーブルの送電損失に比べて1/2以下の高効率送電システムの設計技術を確立する。

#### (4) 目標設定の根拠

超電導ケーブルのケーブル・接続部については、1.2.1の目標にあるものが開発されるが、送電システムとしては、それに付属したシステム（冷却システム、計測・監視システム、保護・遮断システム等）と組み合わせられて初めて運用されるものと考えられる。それらの仕様、設計技術については、超電導ケーブルとしてはまだ確立されておらず、本プロジェクトで基本構成、設計指針の確立を目指す。

### 1.2.3 送電システム運転技術の開発

#### (1) 研究開発の必要性

送電システムの負荷や電流の変動などの系統変化や系統事故などに対応した平常時運用や事故時運用、および高温超電導送電システムの一部設備の障害時における復旧方法などの高温超電導ケーブルシステムの運転技術が、既存送電システムの運転と整合のとれた運用ができることは重要であり、そのための運転技術を開発することは必要である。

#### (2) 研究開発の具体的な内容

高温超電導ケーブルを用いた送電システムが、負荷や電圧の変動などの系統変化

や系統事故などに対応した系統運用において、自動的に追従した運転（冷却含む）や、送電システムの一部設備の障害時における復旧方法など送電システムの運転技術を開発する。また、その運転技術を実系統連系試験において検証する。

### (3) 達成目標

#### ●中間目標（平成21年度中）

高温超電導ケーブルの運転技術が、既存送電システムの運転技術と整合するための課題を整理する。

#### ●最終目標（平成24年度中）

既存送電システムの運転技術と整合のとれた平常時/事故時および障害復旧時等の高温超電導送電システムの運転技術指針を作成する。

### (4) 設定の根拠

超電導ケーブルを実系統にて運転するためには、既存システムに接続する必要がある。超電導ケーブル特有の抵抗が非常に小さいことが、従来システムにどのような影響を与えるかなど、従来システムに接続した際の課題を検討する。また、超電導ケーブルは従来ケーブルと違い、冷却を維持する必要があるため、平常時、事故時に行うべき制御、管理項目をまとめておく必要がある。

## 1.2.4 実系統における総合的な信頼性の実証

### (1) 研究開発の必要性

高温超電導ケーブルを社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するためには、実系統に連系した実負荷での実証試験は不可欠であり、トータルシステムとしての安全性や信頼性の知見を得るための研究が必要である。

### (2) 研究開発の具体的な内容

実系統連系試験のためのサイト選定や試験方法などの基本事項を検討する。その上で、実証試験の目的に沿った高温超電導ケーブルシステムの構築を行い、中間接続部を有する高温超電導ケーブルを実系統に連系して、12ヶ月以上の長期試験により総合的な信頼性の検証を行う。このことによって、高温超電導ケーブルのトータルシステムとしての安全性や信頼性を実証する。

### (3) 達成目標

#### ●中間目標（平成21年度中）

実系統連系試験サイトを決定するとともに、実系統連系試験基本計画書を作成する。

#### ●最終目標（平成24年度中）

実系統に連系した12ヶ月以上の長期試験による総合的な信頼性の評価指針を

作成する。

高温超電導ケーブルは次の要求仕様を達成するものとする。

- ・送電容量：200MVA 級（66kV、3心一括型高温超電導ケーブル、150mmφ管路収容可能）

#### (4) 設定根拠

運転期間として12か月を選んだ理由は、日本特有の環境として、①季節により気候が変化するが、その四季を経験させる最小の期間であること、②従来ケーブルにおける開発試験の期間が、通常は約半年～1年に設定されていること、③冷却システムのメンテナンス間隔として約1年が設定されているが、それを経験させる最短の期間であること、の3点である。

### 1.2.5 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究

#### (1) 研究開発の必要性

超電導ケーブルは、効率的なエネルギー供給システムになくてはならないものであり、エネルギーの高効率な輸送だけでなく、系統安定化にも大きな効果が期待される。その早期の市場導入や実用化を円滑に進めるためには、冷却設備における規制緩和や運転管理などを考慮した既存電力ネットワークとの整合を取るための適用技術を標準化することが必要である。

#### (2) 研究開発の具体的な内容

超電導ケーブルを適用する電力ネットワークの形態や規模などから、超電導ケーブルの適用技術を評価するとともに、冷却設備の安全性、運用性を考慮した法規制のあり方を研究する。また、実証試験を通じて、運転管理や評価・計測技術等の超電導送電システムの国際規格化を進めるために、標準化項目を整理して必要なデータ収集を行い、適用技術標準化の研究を行う。

#### (3) 達成目標

##### ●中間目標（平成21年度中）

・超電導ケーブルの適用技術の評価項目や冷却設備の法規制あり方の概要を取りまとめるとともに、超電導送電システムの国際規格化を進めるための標準化項目を作成する。

##### ●最終目標（平成24年度中）

・電力ネットワークの形態や規模に応じた構成、機能、経済性、環境面などの適用技術や導入効果を評価して超電導ケーブルの導入シナリオを定める。

・冷却設備における規制緩和に向けた技術基準を研究し、規制緩和の提案資料を作成する。

・超電導送電システムの運転管理や評価・計測法等の国際規格化を進めるため PAS



(公開仕様書) や TS (技術仕様書) 策定に資するデータ整理を行い、規格の提案を目指す。

#### (4) 設定根拠

米国、ヨーロッパ、アジアと超電導ケーブルの開発が盛んになっており、その国際標準化が急務の課題となっている。日本はこの分野において、トップレベルの技術を持っており、これまで、及び本プロジェクトの成果を、国際標準化に向けて役立たせ、貢献する。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の計画内容

#### 2.1.1 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証

高温超電導ケーブルを実線路に適用するために、ケーブル、中間接続部、冷却システム等の重要要素に関して、実システムに適用し得る所定の性能、機能を有し送電システムが構築できることを検証する。

##### (1) 低交流損失超電導導体の性能検証

超電導体は臨界温度以下で電気抵抗がゼロになるので、ジュール損失はゼロであるが、交流電流を通電した場合、発生する変動磁場の影響で超電導体は交流損失(主にヒステリシス損失)を発生する。この損失は高温超電導ケーブルを冷却する冷却システムの容量を増加させる要因となるため、この損失を極力低減させる必要がある。ここでは自主開発した低交流損失型のビスマス線材を用いて、ケーブルの交流損失が  $1\text{W/m/ph}$  @  $2\text{kA}$  以下であることを、短尺ケーブルにて検証する。

平成 19 年度は、自主開発した低交流損失型ビスマス線材を用いて、短尺のケーブル導体を製作し、交流損失の評価を行い、中間目標である  $1\text{W/m/ph}$ @ $2\text{kA}$  を検証する。

平成 20 年度は、長尺ケーブルの検証として、30m 級ケーブルを製造し、その製造余長から短尺のケーブル導体を切り取り、導体・シールドの臨界電流特性、交流損失特性、機械特性(曲げ、引張り)を評価し、所定の性能を有していることを検証する。

平成 21 年度は、上記 30m 級ケーブルを端末、ジョイントなどの付属機器と組み合わせ、冷却試験を実施し、交流損失の評価を行う。

平成 22~24 年度においては、最終目標である  $1\text{W/m/ph}$  @  $3\text{kA}$  を達成すべく要素技術開発を実施する。中間目標までに達成した低交流損失線材の技術を発展させ、モデルケーブルで損失の検証を実施する。

##### (2) 短絡事故時対応超電導導体の性能検証

電力システムにおいてケーブルの相間短絡事故が起こった場合、定格電流に比べて非常に大きな短絡電流が流れる。実証ケーブルのターゲットである 66kV システムにおいては、電力システムの運用に最大 31.5kA、2 秒流れると規定されているので、この短絡電流が流れてもケーブルが健全であることを検証する。また、この時に発生する電磁力の影響を検証する。

また、短絡電流が通過した際に発生する発熱によって、液体窒素がガス化した場合でも、電気絶縁性能面への影響がないことを検証するため、短尺ケーブル導体を用いて、短絡電流通過後の発熱状況を模擬し、その時に電圧を印加する試験を実施することによって、短絡事故が起こった場合の電気絶縁特性への影響を検証する。

平成 19 年度は、短尺のケーブル導体に 31.5kA、2sec の電流を流し、ケーブル導体に影響がないことを、超電導導体の臨界電流の評価、解体後の超電導線材、電気絶縁材を目視等によって検証する。

平成 20 年度は、短尺ケーブル導体にて、短絡電流が通過したのちも所定の電流、電圧が運転できることを確認するための、検証試験を実施する。尚、実際の運転に際して、短絡電流通過後に再送電する条件については、以降の送電システムの運転技術の項で検討することになっており、その条件にて試験を行うこととする。

平成 21 年度は、長尺ケーブルを想定した場合の短絡電流通過後の冷媒挙動について、シミュレーションを行う。また、30m 検証システムを用いて、短絡電流を模擬した電流を通過させ、循環冷却されている冷媒の、短絡電流通過後の冷媒挙動を実測する。その実測データをシミュレーション結果にフィードバックさせる。

平成 22～24 年度は、開発したシミュレーションコードを用いて、実証ケーブルでの短絡電流通過後の冷媒挙動、さらには実用化時を想定した長尺ケーブルでの冷媒挙動についてシミュレーションを行い、ケーブルシステム運用での課題の抽出を行う。

### (3) 大電流接続部の性能・機能検証

高温超電導ケーブル線路は、ケーブルならびに大電流接続部である常電導機器と接続する終端接続部、高温超電導ケーブル同士を接続する中間接続部で構成される。これらの機器においては、超電導部－常電導部、あるいは超電導部－超電導部を接続する技術開発が必要である。

実証ケーブルにおいて、終端接続部と中間接続部に要求される接続部の特性（電気抵抗、通電特性、機械的特性（引張り、圧縮））を、単心模擬接続部を作製し検証する。特に接続部の電気抵抗特性については、中間目標である  $1\mu\Omega/\text{箇所}@2\text{kA}$  以下を検証する。

その結果をもとに、実証ケーブル線路の建設場所を考慮し、その組立て工法の検討から実用に供することが可能なサイズとなるように、66kV 級中間接続部、66kV 級終端接続部を設計する。

平成 19 年度は、本プロジェクトの実証ケーブルにおいて、それぞれの大電流接続部に要求される特性として、電気抵抗、通電特性、機械的特性（引張り、圧縮）を確認する。特に大電流接続部の電気抵抗特性については、中間目標である、 $1\mu\Omega/\text{箇所}@2\text{kA}$  以下を検証する。

さらに上記の大電流接続部の試験結果を反映させ、実証ケーブル線路の建設場所を考慮し、実用に供することが可能なサイズとなるように、66kV 級中間接続部、66kV 級終端接続部を設計し、その組立て工法を検討する。

平成 20 年度は、平成 19 年度の結果をもとに、三心一括型の中間接続部（窒素、真空容器を除く）を構築し、通電特性、接続抵抗、機械特性の評価を行う。終端接

続部についても構築し、単体性能評価として、耐圧特性、侵入熱測定、真空特性等  
を評価する。

平成 21 年度は、検証用 30m ケーブルと開発した中間接続部、終端接続部と組み  
合わせ、冷却時の熱機械的な特性、電気的特性、熱損失等の評価を行う。

平成 22～24 年度は、最終目標である  $1\mu\Omega @ 3kA$  の接続抵抗の実証を行う。

#### (4) 検証用ケーブルシステムの設計・構築

検証用高温超電導ケーブル(30m)、中間接続部、終端接続部、冷却システムを組  
み合わせ、検証用ケーブルシステムを構築し、課電試験・通電試験等を実施するこ  
とによって、検証用ケーブルシステムが実証試験線路に要求される所定性能を有す  
ることを検証する。

平成 19 年度は、30m 級ケーブルシステムを工場に構築する計画を立案し、シス  
テム設計を実施する。

平成 20 年度は、 $\phi 150mm$  管路への布設検証、実証ケーブル場所を想定した模擬  
組立て検証を行い、線路建設の手順、組立て性、安全性等の評価・確認を行う。

平成 21 年度には、平成 20 年度に製造した 30m 級ケーブル検証システムを用いて、  
液体窒素にて冷却し、次の試験を行い、ケーブル、ジョイント、端末の各性能の評  
価を行う。

##### ① 定格性能試験

超電導性能の確認（臨界電流測定、交流損失測定）

定格課通電の確認

長期課電試験（約 1 ヶ月）

##### ② 冷熱サイクル試験（室温－液体窒素温度の繰り返し試験）

上記超電導性能、定格課通電性能の再確認

##### ③ 限界性能試験

冷凍機故障模擬試験、過電流試験

##### ④ 残存性能試験

## 2.1.2 トータルシステム等の開発

### (1) 実証ケーブルシステムの基本仕様

実証場所の選定及び、実証場所に構築する高温超電導ケーブルシステムの概念設計を行う。

平成 19 年度は、高温超電導ケーブルシステムの接続が可能な 66kV 級実系統の候補地から、電流容量、負荷状況、システム構築の実現性等を考慮し、実証場所を決定する。実証場所での環境、系統条件と、実用時の高温超電導ケーブルシステムの検討課題を考慮し、実証ケーブルシステムの構成機器毎に基本仕様を整理し、本実証線路のコンセプトとしてまとめる。

### (2) 実証ケーブルシステムの付帯機器の検討

超電導ケーブルシステムとして必要な付帯機器を検討し、システムの基本構成を設計する。

必要な付帯機器としては、ケーブルシステムの健全性、信頼性ならびに所定の性能、機能、損失、効率等を評価するために必要な運転・監視システム、超電導ケーブルシステムと既存系統との接続に必要な保護・遮断システムなどが考えられる。

運転・監視システムでは、必要な測定装置、センサーについて、要求される機能・性能を明確にし、それらの情報から運転・監視システムシステムを取りまとめる。さらに、ケーブル、機器等の異常モードを検出し、各異常レベルに応じた警報を発することができるなど、総合的な運転・監視システムの構築を行う。

保護・遮断システムでは、超電導ケーブルシステムと既存系統との接続・切離しにより既存系統の信頼性を損なわない様にするもので、ここでは、「送電システムの運転技術の開発」で検討されるシステム異常時の対応方法に基づいて、システムを検討する。

平成 19 年度は、運転監視システムに関しては、測定装置、センサーについて、要求される機能・性能を明確にする。また、高温超電導ケーブルシステムの故障を想定した保護・遮断システムの基本概念を検討する。

平成 20～21 年度においては、運転・監視システムの基本設計を行い、検証用ケーブルシステムの運転・監視システムの製作を行う。保護・遮断システムについては、基本設計を行い、検証用ケーブルシステムに用いて、その基本機能を評価する。

### (3) 冷却システムの設計

実証ケーブルシステムの冷却システム設計を行う。高温超電導ケーブルの実用化時の形態をイメージし、実証場所に応じたバックアップシステムを含めたシステムの設計を行う。

平成 19 年度は、冷却システムに必要な基本特性・構成を検討するとともに、(1) 項「実証ケーブルシステムの基本仕様作成」の概念設計をもとに、実証ケーブル用冷却システムの概念設計を行う。使用する冷凍機については、実績のあるスターリング型のほかに、ブレイトン型、パルスチューブ型などが候補に挙げられることから、これらの冷凍機の特性を比較検討し、実証用冷却システムに適用する冷却システムを検討する。

平成 20～21 年度は、(1) 項の高温超電導ケーブルシステムの基本構成の検討結果を反映させ、実証ケーブルで使用する冷却システムの設計検討を行う。

#### (4) 超電導ケーブルの建設手法の検討

高温超電導ケーブルの実用化を考慮し、実証場所での線路建設手法の検討、施工基本計画の作成を行う。

ケーブルシステムは線路毎に線路固有の条件（布設レイアウトや周囲の条件に伴う熱機械的事項、系統条件など）があり、その条件によって線路建設の仕様、工法を検討する。ここでは、高温超電導ケーブルの一般的工法の検証を踏まえ、実証場所固有の条件を考慮し、ケーブル布設、中継接続部組立て、終端接続部組立て、冷却システム構築、周辺機器の構築に対する施工方法について検討する。

平成 20～21 年度は実証場所での施工基本計画を立案する。その計画に準じて、「検証用ケーブルシステム」の建設を行い、その施工方法の評価を行う。

### 2.1.3 送電システム運転技術の開発

#### (1) 実証場所での系統特性調査

実系統では、負荷が刻々と変化し、それに対応した需給運用がなされており、高温超電導ケーブルシステムについても負荷の変動に対応した運転が必要になる。また、種々の電圧サージ（スイッチング、雷、他）、事故時の異常電流が発生する。高温超電導ケーブルシステムは従来ケーブルと比べて、低損失、低インピーダンスである特徴を有していることから、系統システム側へ及ぼす影響をシミュレーションによって調査する。

平成 19 年度は、実証場所での系統条件として、以下の項目を対象に影響の大きい事項を抽出し検討するとともに、「実証ケーブルシステムの概念設計」にフィードバックさせる。

- ・ 系統事故時に通過する短絡電流の調査
- ・ 系統事故時の保護リレー動作条件の調査
- ・ サージに関する条件の調査
- ・ 系統負荷状態，潮流状況の調査
- ・ 過負荷許容条件の調査
- ・ その他系統運用上の制約事項の調査

平成 20 年度は、実証場所での高温超電導ケーブルシステムの系統側への影響について調査を行い、その影響度合いに応じて対策を検討する。「高温超電導ケーブル導体の性能・機能検証」のケーブル導体評価結果をもとに、実証ケーブルのインダクタンス、キャパシタンス、交流損失による交流抵抗を算出する。これらから高温超電導ケーブルシステムのインピーダンスを求め、このシステムが系統側に接続された場合の以下の系統側への影響について調査する。

- ・ 高温超電導ケーブルシステム接続時の短絡電流への影響検討
- ・ 高温超電導ケーブルシステム接続時の系統インピーダンスの変化およびその影響検討
- ・ その他高温超電導ケーブルシステム接続に伴う系統運用上の制約事項の検討

#### (2) 平常時の運転技術開発

高温超電導ケーブルの常時運転時に、高温超電導ケーブルの運用最適化に資する諸データ及び実績を得るための、制御パラメータ、監視パラメータについて検討し整理する。制御パラメータとしては、冷却用液体窒素の温度、圧力、流量等を挙げ、負荷変動に対する制御方法やその実現方法（自動、遠隔操作等）、気温等の環境変化に対する対応などについて検討する。

平成 19 年度は、高温超電導ケーブルシステムが正常に運用されていることを監

視するために必要な計測データの種類と、それらの計測方法について概念検討を行う。次に、高温超電導ケーブルシステムを正常に運用するために制御すべき機器の検討と、その制御方法や制御状態の確認方法について概念設計を行う。

平成 20 年度は、高温超電導ケーブルシステム実証試験箇所における、布設スペース等の物理的制約や、騒音など環境面での制約も考慮しつつ、平成 19 年度に検討した監視用の計測データについて、それらの計測手段、計測箇所の詳細設計を行うとともに、計測機器の仕様を検討する。次に、高温超電導ケーブルシステムを正常に運用するために制御すべき機器について、その運転・制御方法を詳細検討し、指針を策定する。

平成 21～22 年度は、平成 20 年度の指針に従い、超電導ケーブルシステムの平時の運転手法について、温度制御方法、圧力制御方法の手法をまとめ、30m ケーブル検証試験の試験結果とあわせて、冷却システムの詳細設計にフィードバックさせる。

### (3) 事故時の運転技術開発

高温超電導ケーブルシステム及び系統に異常が起こった場合の想定される故障モードについて整理し、それぞれの故障モードに応じて運転技術を検討する。

平成 19 年度は、高温超電導ケーブルシステムに生じ得る異常事象や、実証場所において想定される短絡・地絡時の電流やサージ電圧、一連の系統保護システムから規定される異常電圧、電流の継続時間等について整理し、それらの異常について、運転・監視方法をまとめ、高温超電導ケーブルシステムの警報動作条件の検討および警報動作時の対応方針の概念設計を行う。

平成 20 年度は、検討した運転・監視方法の詳細設計、警報動作条件および警報動作時の対応方針の詳細検討を行い、対応指針を策定する。次に、この対応指針を実現するために必要な保護リレーの種別と動作条件を検討するとともに、保護リレー動作時の高温超電導ケーブルシステムの運用指針を策定する。

平成 21～22 年度は、実証用超電導ケーブルシステムで起こりうる想定事故について、その要因と対策をまとめ、警報設計やその後の運用マニュアルにフィードバックさせる。また、事故後の超電導ケーブルシステム復帰の条件、手法について検討を行う。

### (4) 保守・メンテナンスの基本計画作成

高温超電導ケーブルシステムの長期信頼性を評価・検証するにあたって必要な保守項目を整理し、その検証手法について検討する。特に冷却システムについては、



回転機が使用される部位については定期的なメンテナンスが必要であることから送電を維持した状態での保守・メンテナンスの手法やシステム構成を検討し、実証ケーブルシステムに反映させる。

平成 20～22 年度は、実証ケーブルの保守・メンテナンスの基本計画について策定する。

#### 2.1.4 実システムにおける総合的な信頼性の検証

##### (1) 総合的な信頼性検証のための試験計画立案

高温超電導ケーブルを適用する電力ネットワークの形態や規模などを考慮し、高温超電導ケーブルの適用技術を評価するために、66kV、200MVA 級の高温超電導ケーブルシステムをターゲットに、中間接続部、冷却システム、保護システムなどの付帯設備を含む高温超電導ケーブルシステムを構築し、長期連系試験を行う。これにより、高温超電導ケーブルシステムの信頼性・安定性の実証、実システムにおける運転方法・メンテナンス方法の検討、課題の抽出を行う。

平成 20 年度は、実システムへの接続前の確認試験（課電試験、熱損失測定、遮断・保護確認試験など）について項目を整理し、基本試験計画について立案する。

平成 21 年度は、これまでの検討結果及び、30m ケーブル検証試験の成果を反映させ、実証用ケーブルシステムの詳細設計を行う。具体的には、実証場所の現地レイアウトの設計、実証用ケーブル、ジョイント、端末などの機器設計、冷却システムの構成・現地レイアウト詳細設計、警報システムの設計を行う。

##### (2) 実証用ケーブルシステムの製造

(1) で設計を行った、66kV、200MVA 級の三心一括型高温超電導ケーブルの製造及びジョイント、端末の製造及び、それらを冷却する液体窒素循環型の冷却システムを製造する。また、それらのケーブル、機器を、平成 19 年度に選定した実証場所に布設し組立てを行う。尚、現地に建設する前に必要な、単体での性能評価を事前に行う。

平成 21 年度は、実証用ケーブルに必要な超電導線材、フォーマなどの必要部材の製作、ジョイント、端末、冷却システムなどの部材の一部の調達を行う。

平成 22 年度には、ケーブル、ジョイント、端末などの必要機器の製造、平成 23 年度には現地布設、組立てを行い、実証運転を平成 24 年度にかけて実施する。尚、試験後、ケーブルの経年変化を確認するための残存性能試験を実施する。

## 2.1.5 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究

### (1) 高温超電導ケーブルの標準化研究

高温超電導ケーブルの目的用途を体系的に整理し、実用化の促進・円滑化に資する高温超電導ケーブルの規格化・標準化の範囲の設定や項目検討等の技術調査を行う。さらに、国際標準化活動との連携（IEC TC90/TC20）を視野に入れ、実用化促進や産業競争力向上にも寄与するため、高温超電導ケーブルシステム自体や構成機器の設計要求、試験・評価方案について、海外の技術開発動向も踏まえつつ、PAS（公開仕様書）やTS（技術仕様書）策定に資するデータ（仕様、試験法）を整理する。

平成19年度は、標準化を行うべき項目について調査するとともに抽出を行う。

平成20年度は、抽出した項目を踏まえ、超電導送電システムの国際規格化を進めるための標準化項目を作成する。

平成21年度は、30m 検証用ケーブルシステムの評価が進むので、その解析、まとめを行い、国際標準化のデータ収集を行う。

平成22～24年度にかけては、実証ケーブルの出荷試験、竣工試験、実証運転などの結果から、国際標準化のために必要なデータを収集する。

### (2) 高温超電導ケーブルの適用技術研究

電力ネットワークの形態や規模に応じた構成、機能、経済性、環境面などの適用技術や導入効果の評価項目を整理し、高温超電導ケーブルシステムの適用効果、導入効果の評価を実施する。

平成19～22年度は、高温超電導ケーブルシステム構成機器（ケーブル、終端接続部、中間接続部、冷却システム、運転・監視システム、保護・遮断システム等）に関して、高温超電導ケーブルの固有の事象について整理し、これまでの開発で検証できているもの、今後検証が必要なものに分類する。また、高温超電導ケーブルシステムの適用効果、導入効果の評価項目を整理する。

平成22～24年度にかけては、超電導ケーブルの導入効果について、得られた試験結果をもとに検討する。

### (3) 関連法規への対応

高温超電導ケーブルシステムは加圧された液体窒素で冷却されることから、高圧ガス保安法への対応が現状求められる。一方、実系統に接続される電気設備であるため、電気事業法の管理下で運用されるのが好ましい。このため、冷却設備における規制緩和に向けた技術基準を研究するとともに、電気事業法での適用に向けた検証データ、資料等を作成し、規制緩和に向けた活動計画を作成し関係官庁、団体と調整する。

平成 19 年度は、実証ケーブルの概念設計をもとに、関係官庁・団体と協議を行い、高圧ガス保安法及び電気事業法への対応の基本方針をまとめる。

平成 20 年度は関連法規適用に必要な検証データ、資料等を準備し、関連法規への対応プロセスを取りまとめる。

平成 21 年度は、平成 20 年度に引き続き関連法規適用に必要な検証データ、資料などの準備を行う。また、関連法規への最終的な対応プロセスを取りまとめる。

平成 22～24 年度は、冷却設備における規制緩和に向けた技術基準を研究するとともに、電気事業法での適用に向けた検証データ、資料等を作成し、規制緩和に向けた活動計画を作成する。

## 2.2 研究開発スケジュールと予算

	H19 年度	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度
(1) 高温超電導ケーブルの重要要素の研究	<p>交流損失 1W/m/ph @ 2kA 開発</p> <p>短絡電流対応検討</p> <p>接続部の検討 1<math>\mu</math>Ω@2kA</p>	<p>検証用ケーブルの製造、評価</p>		<p>交流損失 1W/m/ph @ 3kA 開発</p> <p>短絡電流長尺シミュレーション</p> <p>接続部の検討 1<math>\mu</math>Ω@3kA</p>		
(2) トータルシステム等の開発	<p>基本仕様の検討</p>	<p>建設方法の検討</p> <p>付帯機器の検討</p> <p>冷却システム的设计検討</p>				
(3) 送電システム運転技術の開発	<p>系統調査</p>	<p>平常時の運転技術開発</p> <p>事故時の運転技術開発</p> <p>メンテナンス方法の検討</p>				
(4) 実システムにおける総合的な信頼性の検証		<p>試験計画の立案</p>	<p>実証用ケーブルシステムの製造・建設</p> <p>冷却システムの構築</p>		<p>運転・評価</p>	<p>残存性能評価</p>
(5) 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究		<p>高温超電導ケーブルの標準化の研究</p> <p>高温超電導ケーブルの適用技術研究</p>	<p>関連法規への対応</p>			
予算* (百万円)	100	240	923	(650)	(400)	(380)

\* 予算の( )は、未確定。

### 2.3 研究開発の実施体制

本プロジェクトは、NEDO のプロジェクト公募に、住友電工及び東京電力、前川製作所のチームが応募し、これに採択された。具体的体制としては、実施者NEDOから住友電工が委託を受け、さらに開発を分担し、東京電力、前川製作所が再委託を受けている。

また、NEDOは研究体を統括するためにH19～H20年度は、畑 良輔 住友電工 執行役員（現在は退職）、H21年度は、原 築志 東京電力 技術開発研究所長をプロジェクトリーダー（PL）とし、PL との間で密接な連携をとりながらプロジェクトの舵取りを行っている。

さらに、NEDO 内に産官学の有識者からなる委員会（超電導技術委員会）を設け委託研究開発に関する研究方針審議、個別成果のレビュー、問題解決のための方策の検討、NEDO 超電導研究開発プロジェクト間における技術情報の共有化を進め、研究開発の効率的、効果的实施を図っている。

具体的な研究体制を図 2.3-1 に示す。

研究の実施場所については、各社にて実施するが、高温超電導ケーブルの重要要素技術の開発に関しては、住友電工の大阪製作所にて実施している。また事前の検証用システムについては、住友電工の熊取・超電導ケーブル実験場にて構築し、試験を実施している。

東京電力では、実証場所が横浜市の旭変電所に選定されたが、その変電所を統括する神奈川支店、鶴見支社等と連携をとりながら、超電導ケーブルの試験法、実証システムの構成、運用方法等について検討を行っている。

前川製作所では、冷却システムの検討を実施しているが、検証用ケーブルシステムの冷却システムの構築、運用については住友電工の熊取・超電導ケーブル実験場にて住友電工と共同で実施している。また、今後予定している複数の冷凍機、液体窒素循環ポンプでのシステム検証試験では、前川製作所の工場内にシステムを構築し、検証を行う計画である。

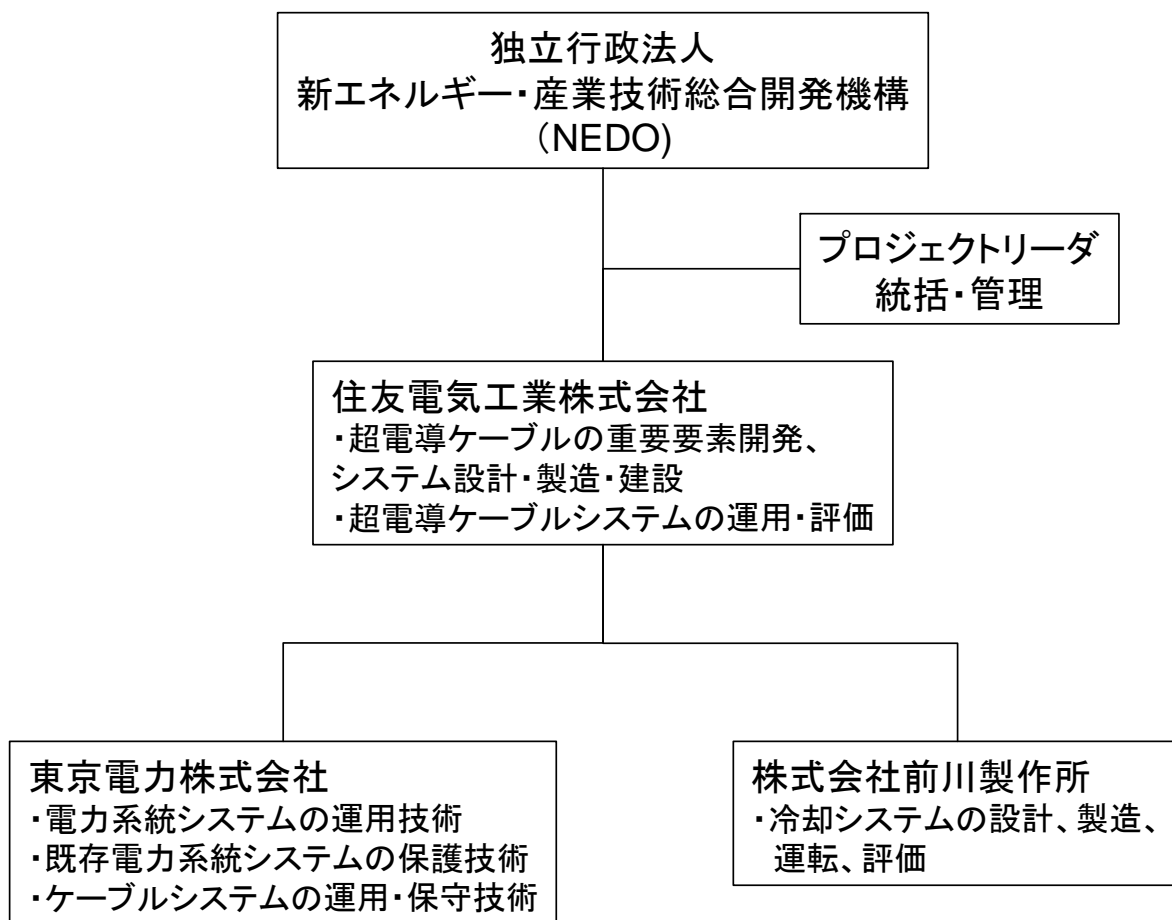


図 2.3-1 研究開発体制

## 2.4 研究の運営管理

プロジェクトの成果について評価をいただくために、NEDO が主催する超電導技術委員会に定期的に進捗を報告し、その方向性の修正、課題解決のための助言、開発加速のための協議等を実施いただいている。

また、プロジェクト内では、研究を効率的かつ機動的に運用するために、推進委員会及びワーキンググループを設け、実施者以外の有識者から意見を頂く形をとっている。

### (1) 超電導技術委員会

NEDO 内には産官学の有識者を集めて超電導技術委員会（平成 21 年度から委員長：大久保 仁 名古屋大学教授）を設け、NEDO の個々の超電導技術開発及び全体に関する研究方針審議、成果のレビュー、問題解決のための方策の検討、並びに技術情報の共有化を進めており、そこで得られた助言等をもとに NEDO 超電導技術開発の効率的、効果的運営を図っている。本プロジェクトも定期的な研究方針審議と成果のレビューは言うに及ばず、NEDO が行った基本計画見直しに対する大所高所からの審議、並行して進んでいる「イットリウム系超電導電力機器技術開発」の超電導ケーブルの技術開発とのすり合わせを行う等、研究開発の効率的かつ効果的な実施に結びついている。

### (2) 推進委員会

プロジェクト内に設置した推進委員会は推進委員長のもと、この事業目標（基本計画目標値）を達成するためプロジェクトを強力かつ効果的に推進することを目的としており、本プロジェクトの計画や進捗状況について、関係機関の上級管理者及び外部有識者により、俯瞰的、総合的に評価・審議いただいている。原則、2回/年開催。

推進委員会のメンバーリストを表 2.4-1 に示す。

表 2.4-1 推進委員会メンバーリスト

	氏名	所属機関	専門分野
委員長	原 築志	東京電力 技術開発研究所長	電力システム
委員	雨宮 尚之	京都大学 教授	超電導材料、交流損失
委員	荒木 智勇	福井工業大学 教授	電力ケーブル
委員	大久保 仁	名古屋大学 教授	電力システム、電気絶縁
委員	日高 邦彦	東京大学 教授	電力システム、電気絶縁
委員	淵野 修一郎	産業総合技術研究所 主任研究員	冷却システム、低温技術
委員	横山 明彦	東京大学 教授	電力システム、電力系統
委員	岡本 達希	電力中央研究所 研究参事	電力システム、電力系統
委員	大田 龍夫	関西電力 研究開発室長	電力システム
委員	佐藤 謙一	住友電工 技師長	超電導材料、低温技術
委員	川村 邦明	前川製作所 常務取締役	冷却システム、低温技術

(3) ワーキンググループ (WG)

推進委員会よりもさらに個別で、詳細な内容について審議、協議するために、プロジェクトの内容を3つに分け、3つのワーキンググループを設けている。それぞれのワーキンググループには、電力中央研究所と関西電力株式会社から委員を募り、実施者側と忌憚ない意見交換を実施し、プロジェクトの進捗、内容について、協議している。表 2.4-2 にワーキンググループのタスク内容と参加社表を示す。

表 2.4-2 ワーキンググループタスク内容と参加社

WG	タスク内容	東電	関電	電中研	住電	前川
WG-1 (システム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・系統連係形態の仕様検討</li> <li>・実系統試験内容の検討</li> <li>・常時・非常時の運用方法の検討</li> </ul>	◎	○	○	○	—
WG-2 (ケーブル)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーブルシステムの仕様検討</li> <li>・ケーブル重要要素技術の基礎試験の検討・評価</li> <li>・ケーブルの信頼性・メンテナンス検討</li> </ul>	○	○	○	◎	○
WG-3 (冷却システム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却システムの仕様検討</li> <li>・冷却システムの信頼性検討</li> <li>・高圧ガス法規等の対応検討</li> <li>・保守、メンテナンスの検討</li> </ul>	○	○	○	◎	○



### 3. 情勢変化への対応

#### (1) 実施計画の見直し

平成19年度～20年度の研究成果を、実証プロジェクト推進委員会・WG検討会、NEDO主催の超電導技術委員会にて報告し、研究内容の評価、今後の指針への指導などを頂いている。その中で、冷却システムの特性把握が超電導ケーブル運転上重要な課題であることから、冷却システムの模擬試験、熱機械繰り返し試験などを追加すべきとの提言があった。

冷却システムについては、30mケーブル検証試験にて冷却システムの基本動作の確認を実施した後、実証場所での冷却システムを構築する計画であったが、実証用ケーブルの冷却システムは、構成要素である冷凍機、液体窒素ポンプが複数台必要でかつそれらの組合せ運転を実施する必要があるが、事前にその組合せ動作、運転制御方法などを十分に検討すべきとの意見であった。実施者側で計画を見直し、冷凍機、液体窒素ポンプの組合せ運転に関する、動作確認試験を実施するため、「システム検証試験」を実証ケーブル用冷却システムの構築前に、前川製作所にて、約6カ月間（組立、試験、撤去を含む）、実施することとした。

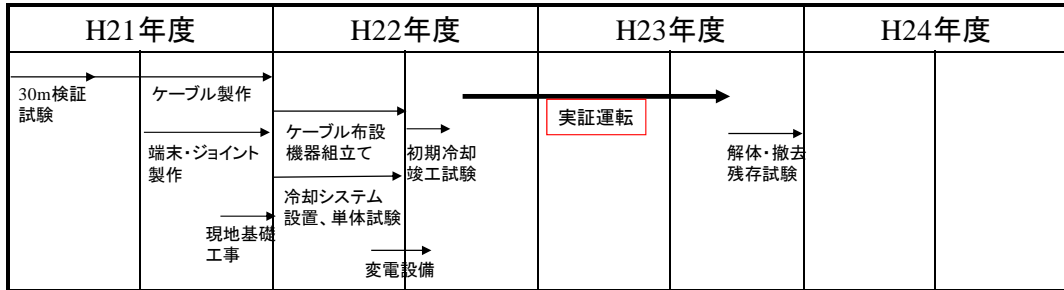
30mケーブル検証試験の試験内容についても、ケーブル、ジョイント、端末を組合わせた、電氣的、機械的な特性を確認する計画にはなっているが、冷却試験が1回しか計画されておらず、試験期間も4カ月と短いものであり、検証内容を充実すべきとの意見を頂いた。実施者側で計画を見直し、超電導ケーブルが室温から液体窒素温度に冷却される際に発生する引張力、圧縮力による、超電導ケーブルの特性への影響の評価を検証試験に追加する。また、冷凍機が故障した際のシステムの挙動、短絡電流のような定格電流を超えた過電流が流れた際のシステムの挙動、保護方法の検討なども実施するようにする。このように、30mケーブル検証試験の計画を変更し、試験内容を充実させることとした。このため、30mケーブル検証試験の試験期間については、冷熱サイクル試験（2ヶ月）、限界性能試験（4ヶ月）を追加し、6カ月延長する。

#### (2) 事業期間の変更

上記の実施内容の変更を反映すべく、全体の計画見直しを行った。全体計画の中で重要となるのは、実証場所での実システムへの連系開始のタイミングである。超電導ケーブルシステムを従来のシステムに接続するためには、ある程度の接続工事期間が必要で、またその一部の期間は実際に送電を停止する必要がある。実証場所の変電所は実際に大電力を変電・送電している変電所であり、負荷が大きな夏場、あるいは冬場は、システムが重負荷となる場合もあり、特に電力設備の停止を伴うような工事を実施することは不可能である。この時期を避け、ある程度の期間の設備停止が可能な時期としては、5月あるいは11月が適している。この接続のタイミングと、上記実施内容の変更に伴う、期間の延長を考慮した結果、事業期間を当初の5年から1年延長し、6年とするようにした。当初の計画と変更計画を図3-1に示す。

この計画変更については、H21年2月開催のNEDO主催の超電導技術委員会にて審議され了承頂き、その後NEDOとの契約変更を行っている。

●当初計画



●変更計画

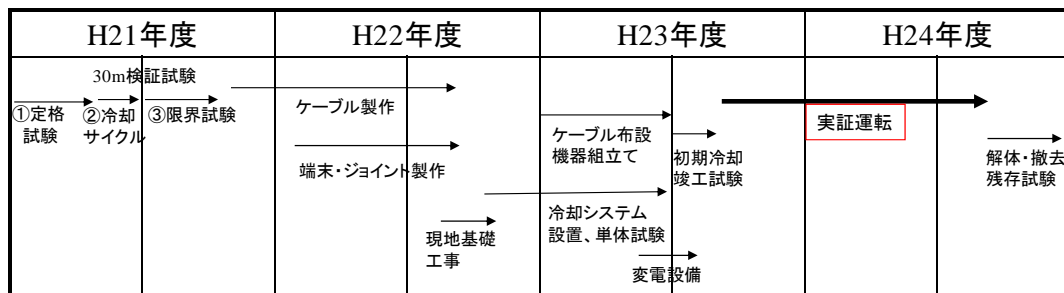


図 3-1 平成 22 年度以降の当初計画と変更計画

(3) プロジェクトリーダーの交代

事業開始時は、住友電工の畑執行役員（当時）がプロジェクトリーダーに任命され、その役務に就いていた。事業の最初の2年間は、ケーブルの低損失化、短絡電流対応といった、ケーブルの要素開発を中心とする開発内容であり、ケーブル技術、超電導技術の専門家である畑執行役員が務めていた。事業の3年目以降は、実証ケーブルシステムの構成、実証場所での運転などを検討し、実際に実証場所での工事、系統接続運転を行うことになることから、プロジェクトリーダーを系統技術・運転に詳しい東京電力の原技術開発研究所長に交代した。

## 4. 海外における高温超電導ケーブルの開発動向

### 4.1 米国の超電導ケーブルプロジェクト

#### (1) Albany プロジェクト<sup>1)</sup>

米国 Albany での超電導ケーブルデモプロジェクト。参加企業は、SuperPower (メインコントラクター、線材)、住友電工 (線材、ケーブル)、BOC (冷却)、National Grid (電力) であり、DOE (Department of Energy, エネルギー省)、NY 州から資金援助を受けている。第一期は、34.5kV/800A/350m のケーブルを住友電工製のビスマス線材で三心一括型超電導ケーブルを製造し、Albany 市内の2つの変電所を結ぶ線路の一部に布設し、実系統へ接続して2006/7～2007/3まで運転。その後、第2期として、上記のうち30m部分をSuperPower社製のイットリウム線材を用いた超電導ケーブルに置き換え、再運転を2008/1～2008/4まで実施。それぞれ、問題なく運転が実施することができ、プロジェクトは終了した。

#### (2) LIPA プロジェクト<sup>2)3)</sup>

Long Island での超電導ケーブルデモプロジェクト。参加企業は、AMSC (線材、メインコントラクター)、NEXANS (ケーブル)、Air Liquid (冷却)、LIPA (電力) であり、DOE から資金援助を受けている。定格は、138kV/2.4kA/600m であり、AMSC 社製のビスマス線材で単芯型超電導ケーブル×3相を製造し、Long Island の変電所と発電所間を結ぶ線路に布設し、2008/4 から実系統へ接続しての運転を開始。現在も稼動中である。その後、第2期の計画として、三相のうち1相のみをイットリウム線材を用いた超電導ケーブルに変更するとのことで、開発を進行中。

#### (3) Columbus プロジェクト<sup>4),5)</sup>

Ohio 州での超電導ケーブルデモプロジェクト。参加企業は、Southwire (メインコントラクター、ケーブル)、AMSC (線材)、Plaxair (冷却)、AEP (電力) であり、DOE から資金援助を受けている。定格は、13.8kV/2.5kA/200m であり、AMSC 社製のビスマス線材で三相同軸型超電導ケーブルを製造し、AEP 社の変電所構内に布設し、2006/9 から実系統へ接続しての運転を開始。現在も稼動中である。

#### (4) New Orleans プロジェクト (米)<sup>6)</sup>

New Orleans 州に13.2kV/2.5kA/2400mの超電導ケーブルを建設し、実系統での運転を行う。当該地区の増容量を行うのに、従来ケーブルでは変電所を増設する必要があるが、低電圧・大容量の超電導ケーブルで電力を導入すれば、変電所を省略することができる。DOEからの資金援助はあるが、超電導ケーブルのメリットを活かすプロジェクトになる。

2008年にスタート、2011年の運転開始を目指している。

#### (5) Hydra プロジェクト<sup>7)</sup>

New York 州での超電導ケーブルデモプロジェクト。参加企業は、AMSC 社（メインコントラクター、線材）、Southwire 社（ケーブル）、ConEdison（電力）等であり、DHS (Department of Homeland and Security) から資金援助を受けている。定格は、13.8kV/4kA/300m であり、AMSC 社製のイットリウム線材で三相同軸型超電導ケーブルを開発する予定である。プロジェクトは 2008 年にスタート。2010 年の ConEdison 社ネットワークでの運転開始を目指している。

### 4.2 欧州の超電導ケーブルプロジェクト

#### (1) Neuron プロジェクト<sup>8)</sup>

オランダアムステルダム市内に 50kV/3000A/250MVA、長さ 6km の超電導ケーブルを適用する計画を検討中。アムステルダムを市外の一次変電所から市内の配電変電所への導入線。現在、50kV/100MVA/3 回線の POF ケーブルが使われている。そのうちの 1 回線を超電導ケーブルに増容量して置き換える。計画がうまく立ち上がれば、2012 年に運転開始を目指している。

### 4.3 アジアの超電導ケーブルプロジェクト

#### (1) DAPAS プロジェクト<sup>9),10)</sup>

DAPAS プロジェクトは、2001 年にスタートし、2003 年には 22.9kV、1260A、30m 単心ケーブルが開発されている。このプロジェクトは、KERI (Korean Electrotechnology Research Institute)、LS Cable（前 LG ケーブル）、KIMM (Korea Institute of Machinery and Materials) らが、協同で開発に取り組んでいる。

本プロジェクトでは、2004 年には 30m 単心ケーブルが開発・評価されたのち、2004 年に 30m 三心ケーブルが開発され、その後韓国電力のコチャン試験所に設置され、各種試験が実施されている。

最近では、154kV 級超電導ケーブルの開発に取り組んでおり、上述のコチャン試験所に電力を供給する送電系統に布設して、系統試験を実施する計画になっている。

#### (2) KEPCO 500m ケーブル

韓国電力 (KEPCO) 管内の変電所構内に 22.9kV/1250A/500m の三心一括型超電導ケーブルを建設し、実系統での運転を行う計画。参加者は、LS ケーブル（ケーブル）、韓国電力、他である。2008 年度にスタートし、2010 年の運転開始を目指す。

#### (3) 雲南プロジェクト<sup>11)</sup>

中国雲南地区の Fuji 変電所構内に、35kV、2kA、33.5m の超電導ケーブルが布設され、2004 年 3 月に運転が始まっている。プロジェクトの主管、ケーブルの設計は、Innopower Superconductor Cable 社が行った。その他に雲南電力会社（竣工試験、メンテナンス等）、プラズマ物理研究所（端末開発）、での協力を実施、Innova

Superconductor Technology 社（線材供給）、Tsinghua 大学、China Electronics Technology Corporation（冷却システム）、上海ケーブル（ケーブル製作）、NEXANS（断熱管）が参加している。

ケーブル構造は、単心×3相、常温絶縁タイプ、直径112mmである。線材はBi2223超電導線材を用い、4層構造である。断熱管はSUSコルゲートで作られている。絶縁は常温タイプのXLPEを使用している。

ケーブル試験では、部分放電テスト at 39kV（感度1pC）、AC耐圧104kV、インパルステスト±250kV（10回）を行い、竣工試験では55kV for 5minの試験が行われた。冷却システムは、2kWの容量があり、GM冷凍機7setで構成されている。超電導ケーブルは、実際のグリッドに接続され、10万人のユーザに電力を供給している。

#### (4) 蘭州プロジェクト<sup>12)</sup>

中国蘭州地区に、6.6kV、1600A、75mの超電導ケーブルが布設され運転されている。このプロジェクトには、電気技術研究所（IEE）、中国科学院（CAS）、物理化学技術研究所（TIPC）、Changtong電力ケーブル会社が参加している。

事前のテストで、電圧10.5kV、1600Aの運転を確認した。また、臨界電流値はDC5300Aであった。

実際に運転を実施したのち、プロジェクトは終了した。

#### 4.4 研究開発目標の世界比較

上記のとおり世界各国で超電導ケーブル開発が進められている中で、本プロジェクトの研究開発目標の特徴は、コンパクトな三心一括型構造の超電導ケーブル開発を志向している点である。三心一括型超電導ケーブルは、単相超電導ケーブルや三相同軸超電導ケーブルなどの国外の研究開発目標と比較して、大容量化・コンパクト化・低損失化をバランス良く実現することができる。図4.4-1は国内外の主要な超電導ケーブルプロジェクトにおけるケーブル容量とエネルギー密度を比較したものである。この図から明らかなように、本プロジェクトでの開発目標である、150mmφ管路収容可能なサイズで66kV/2kA～3kA級の超電導ケーブルは、世界最高のエネルギー密度を実現するものである。人口密度が高く、地下空間の稠密度化が進んでいる我が国や、海外の大都市向けとして最も高い効果が期待できる研究開発目標となっているといえる。

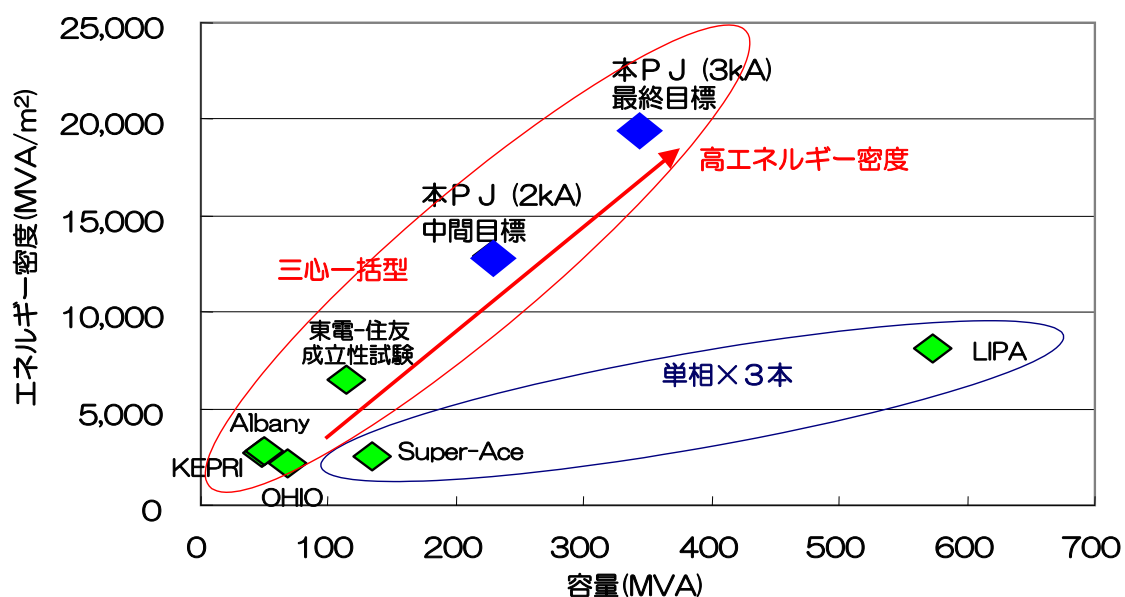


図 4.4-1 国内外の主要な超電導ケーブルのエネルギー密度比較

#### 参考文献リスト

- (1) T. Masuda et. al., "Fabrication and Installation Results for Albany HTS cable", IEEE Trans. Appl. Super. Vol 17, No.2, (2007)
- (2) News release by AMSC on April 22, 2008
- (3) 米国NY州ロングアイランドにおける高温超電導送電プロジェクトの概要  
海外電力 第50巻 No.9 (2008/9)
- (4) "Columbus Project Profile", Southwire Home page
- (5) D. Lindsay, et. al., "Operating of 13.2 kV Superconducting Cable System at AEP Bixby Station", B1-107, CIGRE 2008
- (6) "New Orleans Project Profile", Southwire Home page
- (7) "Manhattan Project Profile", Southwire Home page
- (8) A. Geschiere, et. al., "Optimizing Cable Layout for Long Length High Temperature Superconducting Cable Systems", B1-307, CIGRE 2008
- (9) "Development of a single-phase 30 m HTS power cable", ACASC(2005)
- (10) "Development of the 22.9-kV Class HTS Power Cable in LG Cable", IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 15, NO. 2, (2005)
- (11) "Introduction of China's First Live Grid Installed HTS Power Cable System", IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 15, No. 2, (2005)
- (12) AMSC news release, 2005/4/11

### Ⅲ 研究開発成果について

#### 1 事業全体の成果

##### 1.1 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証

###### (1) 低交流損失超電導導体の性能検証

高温超電導ケーブルは、電気抵抗がゼロであるためジュール損失が発生せず、送電損失が非常に小さいことが期待される。しかしながら、実際は超電導体に交流磁場が印加されると、主にそのヒステレシスによる磁化損失が発生する。従来のBi2223線材(TypeHT線材)を用いて構成した超電導ケーブル導体の交流損失計算値は5.5W/m/ph @ 3kArmsとなり、本プロジェクトの目標値である1W/m/ph @ 3kArmsを達成するためには、超電導線材の大幅な低損失化が不可欠である。住友電工では、超電導フィラメントにツイストを施した低損失型 TypeACT 線材を自主開発しており、従来のノンツイスト線材に比べて1/3の低損失化に成功した。

しかしながら、全て TypeACT 線材を用いて構成した超電導ケーブル導体は、大電流化のためには、臨界電流(Ic)特性の向上が必要であった。従って、大電流化の観点から、TypeACT 線材と TypeHT 線材を適材適所で組み合わせたハイブリッド超電導導体の設計を検討した。

さらに、超電導線材の低損失化だけでなく、フォーマ内に発生する渦電流損失を0.1W/m/ph @ 3kArms以下に低減するため、φ0.8mmの素線絶縁銅線を用いた低損失型分割集合フォーマの開発を行った。

これらの低損失型分割集合フォーマ、TypeACT 及び TypeHT 線材を用いた超電導ケーブル導体を開発し、交流損失特性を評価した結果、2kArms 通電時の損失は0.8W/m/phであり、中間目標1W/m/ph以下の低損失化を達成した。さらに、高Ic型のTypeHT線材を組み合わせた設計により、3kArmsの大電流通電にも成功した。

###### (2) 短絡事故時対応超電導導体の性能検証

実系統では、定格の電流以外に事故電流と呼ばれる大電流が発生する。特に短絡事故時に発生する電流は大きく、66kV級の系統での最大短絡電流は、31.5kA、2秒と規定されている。一方、実証場所である旭変電所において事故のシミュレーションを行った結果、事故直後の再送電有の場合は、最大10kA、2秒、再送電無では、20kA、2秒であることがわかった。

このプロジェクトでは、①再送電無の場合は規定されている31.5kA、2秒、②再送電有の場合は10kA、2秒(もらい事故)、の2ケースについて対応を考えることにし、①の場合は、短絡電流通過後もケーブル健全性が保たれることを確認すること、②の場合は、短絡電流通過直後に定格電流、電圧が印加できることの確認を行うことを目標とした。

ケーブル構造の設計の結果、短絡電流が流れてもケーブルの健全性が保たれるような温度上昇を抑えるため、短絡電流を分流させる常電導保護層を付加するケーブ

ル設計を、ケーブル外径制約下で実施した。その結果、フォーマとして  $140\text{mm}^2$  の銅撚り線構造を採用し、またシールド部にはトータル  $77\text{mm}^2$  の断面積をもつ、銅テープ線を超電導シールドの外側に巻きつけることとした。

この構造をもつ、短尺の試験サンプルを作製して、最大  $31.5\text{kA}$ 、2 秒の短絡電流試験を実施した結果、超電導導体層及び超電導シールド層の温度上昇 $\Delta T$  はそれぞれ  $120\text{K}$  及び  $110\text{K}$  であり、シミュレーション結果の予想範囲内であった。また、試験前後で試験サンプルに臨界電流特性の劣化はなく、要求される耐過電流特性を有することを確認した。

もらい事故模擬試験を実施した結果、 $10\text{kA}$ 、2 秒の短絡電流通過直後に  $1.75\text{kA}$  の通電、及び対地定格  $38\text{kV}$  の課電が可能なことを確認し、実証試験が実施される旭変電所線路で要求される特性を満足することを確認した。

以上の結果、プロジェクトの目標を達成した。

### (3) 中間接続部の検討

中間接続部は、長尺のケーブルシステムには必要不可欠なものであり、ケーブル同士をマンホール内等にて接続している箇所を称する。本プロジェクトでは、 $66\text{kV}$ 、 $3\text{kA}$  級中間接続部の開発を実施している。

$66\text{kV}$  級中間接続部に必要な特性を検討し、仕様としてまとめた。また、構造について検討し設計を行った。

接続抵抗については、ジョイントモデルを作成し、導体部は  $6.7\text{n}\Omega/\text{相}@3\text{kA}$ 、シールド部は  $2.5\text{n}\Omega/\text{相}@3\text{kA}$  であることを検証し、目標値の  $1\mu\Omega/\text{箇所}@3\text{kA}$  以下を達成した。

通電試験では、 $3\text{kArms}$  12 時間連続安定通電を検証した。また、短絡電流試験では短絡電流試験の前後において、サンプルの  $I_c$  値に変化はなく、 $10\text{kA}-2\text{sec}$  後の  $1.75\text{kA}$  連続通電試験および  $31.5\text{kA}-2\text{sec}$  の過電流に対して中間接続部の導体・シールド超電導線にダメージが発生しないことを確認した。

電気絶縁試験では、 $\text{AC}130\text{kV}\cdot 3\text{h}$ 、 $\text{Imp}\pm 385\text{kV}/3$  回の所要性能を満足することを検証した。

機械特性試験では、三心一括の中間接続部試験サンプルを組立て、液体窒素の冷却条件下において、要求性能  $3\text{ton}/\text{三相}$  の引張試験および  $0.5\text{ton}/\text{三相}$  の圧縮試験を実施し、試験前後で  $I_c$  値に劣化がなく中間接続部の機械設計の妥当性を検証した。

熱損失では、三心一括の中間接続部における  $3\text{kA}$  通電時の全体ロスが  $72\text{W}$  程度であると試算した。

これらの結果から、検討している構造は、中間接続部の所要性能である「耐熱機械力」「電流容量」「耐電圧」「圧力設計」に十分に満足するものであった。



#### (4) 終端接続部の検討

66kV/3kA 級の三相一括型端末の構造検討を行い、要求仕様に対して各種モデル試験を実施し、設計データを収集した。

通電試験では、3kArms、8時間以上の連続通電を行い、特に異常なく運転できることを実証した。

短絡電流試験では短絡電流試験の前後において、接続サンプルの  $I_c$  値に変化はなく、10 kA-2sec 後の 1.75 kA 連続通電試験および 31.5kA-2sec の過電流に対してダメージが発生しないことを確認した。

電気絶縁試験では、AC90 kV@3 時間、 $Imp \pm 385$  kV/3 回の所要性能を満足することを検証した。

機械特性試験では、ケーブルコアのオフセット部を模擬したサンプルを組立て、液体窒素の冷却条件下において、要求性能 3ton/三相の引張試験および 0.5ton/三相の圧縮試験を実施し、試験前後で  $I_c$  値に劣化がなく中間接続部の機械設計の妥当性を検証した。また、ケーブルコアの応力を引きとめる治具を製作し、十分な機械特性を有していることを確認した。

3kA 級電流リードの設計では 2500mm<sup>2</sup> 撚線構造を選び、試作評価した結果、損失は計算値とよく一致し、170W@3kA であった。端末部の熱損失を算出し、無負荷時 415W、通電時 635W と推定した。

短絡時に流れる電流により、三相分岐部分に発生する電磁力を測定し、約 230kgf であることがわかった。また、ケーブルコアにダメージがないことも確認した。

これらの結果から、検討している構造は、終端接続部の所要性能である「耐熱機械力」「電流容量」「耐電圧」「圧力設計」に十分に満足するものであった。

#### (5) 検証用ケーブルシステムの構築と評価

超電導ケーブル、ジョイント、端末について、各部の設計検討、要素技術検証を実施したが、使用における最終形態であるケーブルシステムとして、ケーブルと各機器とを接続した形で、各種試験を実施し特性の評価を行うため、検証用ケーブルシステムを構築し、その特性を評価した。

検証用システムは、30m 級三心一括型超電導ケーブル、中間接続部、終端接続部、液体窒素循環冷却システムからなる。

30m ケーブルはこれまでの要素試験結果をもとに設計したもので、導体 4 層、シールド 2 層、電気絶縁は 7mm 厚 PPLP で構成されている。30m ケーブル製造後、短尺を切り出し、出荷試験に相等するサンプル試験を実施、臨界電流 ( $I_c$ )、交流損失測定、課電試験、曲げ試験等を実施し、仕様を満足することを確認した。

中間接続部、終端接続部については、施工手順を確認し、管理項目を把握した。

システム構築後、初期冷却試験を実施。システムは片側から低温窒素ガス、液体窒素を注入し、徐々に冷却した。冷却時にケーブルの静電容量を測定し、液体窒素が絶縁体に含浸していく状況を確認した。また、冷却時に超電導ケーブルが熱収縮

によって発生する引張り力は2.4～2.7tonであった。これは、ケーブル要素試験から予想される値とよく一致することを確認した。

冷却後、各種電気試験を実施した。導体の臨界電流測定を行い、 $I_c$  DC5.4kA @ 77.4Kを得た。通電試験においては、AC2kAを24時間以上連続通電し、異常がないことを確認した。尚、超電導シールド側に流れる電流は、約AC1.8kAであった。

従来ケーブルの竣工試験と同様に、定格電圧（66kVの対地電圧38kV）の2倍であるAC76kV @ 10分間を課電し、良好であった。また、電圧対地51kV、電流2kA 8時間ON, 16時間OFFの条件で、1ヶ月の連続試験に成功した。この試験は30年間の加速試験に相当する。

今後、ヒートサイクル試験、限界性能試験を実施していく。

## 1.2 トータルシステム等の開発

実証ケーブルの基本構成を検討し、実証場所を選定。東京電力管内の旭変電所(横浜市)に決定した。また、実証場所での超電導ケーブルと既存設備との接続形態について検討し、遮断器、断路器等と組み合わせた接続方法を決定した。さらに実証場所での条件(短絡電流条件、雷インパルス条件等)を踏まえ、超電導ケーブルへの基本仕様をまとめた。

高温超電導ケーブルシステムと既存系統との接続において、高温超電導ケーブルシステムの故障を想定した運転・監視、保護・遮断システムなどの付帯機器を検討を行なった。

保護・遮断システムについては、超電導ケーブルにおいて電氣的な事故が発生した場合においても、既設の変圧器保護リレーにより保護可能であることを確認した。

冷却システムのコンセプトについてまとめ、送電を停止しないシステム、負荷に追従可能なシステムを目指すこととした。冷却方式については、間接冷却と直接冷却から直接冷却方式を選択した。実証場所での電力負荷を想定し、冷却システムの必要冷凍容量を試算、1kW級冷凍機の台数を6台に決定した。また、冷凍機、ポンプの構成を検討し、冷凍機については2台×3並列の並列接続することとした。ポンプについては、2台を交互運転するとした。

冷凍機とポンプはパスを切り離し、それぞれが故障しても独立に対応できるようにした。尚、流量の分岐については、長期信頼性などを今後調査するが、安定性に問題があるようであれば、並列パス毎にポンプを設け、流量を調整できるようにする。

冷却システムの開発ステップとして、30m検証ケーブルでの基本構成検討、システム検証での冷凍機、ポンプの複数台制御検討、実証システムでの最終確認試験の三段階で行うこととする。

実証ケーブルの建設については、現在、東京電力内の関係箇所と工程調整を進めている。

建設手順について確認し、平成23年11月からの実系統連系試験に向けて、平成21年度より変電関係、土木関連、建築建屋関連の設計の実施、平成22年度から現地での整地・基礎工事、各種建屋の建設、電源盤、冷却システム、開閉器等の据付、平成22年度末から超電導ケーブル用管路の据付け、超電導ケーブルの布設、端末、中間接続部などの組立、初期冷却や警報システムの構築等を行い、実系統連系試験を迎える予定である。

### 1.3 送電システム運転技術の開発

超電導ケーブルと従来ケーブルとの電気的特性の相違として、電気抵抗ゼロがあるが、これにより超電導ケーブルのインピーダンスは従来ケーブルよりも小さくなり、系統安定度向上に寄与できること、サージインピーダンスローディングが大きく大電流送電に適する、などを確認した。

超電導ケーブル接続時の短絡電流が流れた場合の超電導ケーブルシステムへの影響を検討するために、まず実証場所である旭変電所で予想される短絡電流および継続時間は、事故直後の課電通電が「無」となる場合は0～31.5 kA-2 sec および0～10 kA-3 sec、課電通電が「有」となる短絡事故は0～10 kA-2 sec の範囲であることが計算により判明し、それらを超電導ケーブルシステムの仕様として、ケーブル設計にフィードバックした。

実証場所でのサージ電圧は、EMTP 解析の結果、200kV 程度であり、66kV 系統での LIWV (雷インパルス耐電圧) : 350 kV よりも小さいことが判明した。その結果、ケーブルの試験電圧に反映した。

常時運転については、冷却システムで超電導ケーブルの温度、圧力、流量を制御することが重要で、それぞれの制御指針を示した。温度制御については、冷凍機の ON/OFF 運転を志向しており、ケーブル入口温度±1K 程度で制御できることをシミュレーションにて示した。圧力制御については、ヒータを用いた制御方法を試行しており、さらに実験を続けていく。

異常時の運転においては、まずは超電導ケーブルシステムに異常が起こった場合の想定される故障モードについて整理を行い、対応案について検討した。警報については重故障と軽故障に分類し、重故障の場合は送電を常電導ルートに切り替えることとする。

保守・メンテナンスについては、超電導ケーブルの各部でメンテナンスに必要な項目を整理した。冷却システムについては、冷凍機、循環ポンプ、冷却水の冷却塔が定期的にメンテナンスが必要である。

#### 1.4 実系統における総合的な信頼性の検証

これまでの成果として、実系統連系試験サイトを決定するとともに、実系統連系試験基本指針を検討した。

現在使用されている CV ケーブルなどの従来ケーブルは、それらが実系統での長期使用に耐える特性を有しているかを検証・確認することを目的として、開発段階で実施される開発試験、ケーブル出荷段階で実施される出荷・受入試験、ケーブル布設後の最終確認として実施される竣工試験が行われ、すべてに合格することが求められる。超電導ケーブルは従来ケーブルと同等の機能を有することが求められることに加え、超電導ケーブル特有の機能の健全性を確認することも必要となる。

そこで、超電導ケーブルが実系統での長期使用に耐える特性を持つことを確認するための試験項目およびそれらの実施時期や実施方法などの試験計画について検討した。

さらにこれらの試験法を今回の実証試験のいずれの段階で実施するかを試験計画を策定した。この試験計画に基づいて各種要素試験や 30m ケーブルを用いた事前検証試験を推進している。

H22 年度には、旭変電所に布設する実証用ケーブル製造、基礎工事を実施し、H23 年度には現地にて実証ケーブルシステムの構築し、実証試験を開始する予定である。

## 1.5 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究

### (1) 高温超電導ケーブルの標準化の研究

超電導ケーブルは新しい技術であり、まだその規格は確立していない。しかしながら、米国、ヨーロッパ、中国、韓国などで開発が進んでおり、実用化に向けての規格化、標準化が望まれている。本プロジェクトでは、国際電気規格（IEC）や国際大電力システム会議（CIGRE）にて進めようとしている超電導ケーブルの試験法に関して、実施する試験内容や結果、検討内容等必要な情報を提供する予定である。

これまでの成果として、CIGRE B1にて超電導ケーブルの試験法を検討するワーキンググループ（WG）を設立するかどうか検討する、タスクフォース（TF）に日本の代表として住友電工の磯嶋氏がメンバーとなり参加、磯嶋氏のサポートを行った。TFとしては、超電導ケーブルのWGが設立されることが決定し、今後3年間、超電導ケーブル試験項目とその内容について議論される。予想される動きとしては、その議論内容がCIGREのrecommendationとしてIECに提案され、その後IECにて試験法の規格が議論されることが考えられる。

### (2) 高温超電導ケーブルの適用技術研究

超電導ケーブルのメリットを評価する際に必要な、コスト計算時の考慮すべき項目について整理した。今後、各部の開発状況、最新の情報を収集し、超電導ケーブル適用についてFSを実施し、経済性の比較を検討していく。

### (3) 関連法規への対応

旭変電所での超電導ケーブルシステムの搬入・据付・長期の実系統試験の全試験工程を対象とした時に、対応が必要となる関連法規を調査するとともに、それらの対応等を検討した。関係省庁と協議の結果、冷却システムを含む超電導ケーブルシステム全体は電気工作物として電気事業法が適用となる事を確認した。

表 1-1 に事業全体の成果のまとめについて記す。

表 1-1 高温超電導ケーブルシステムの成果全体まとめ

項目	目標 (H21 年度達成)	これまでの成果	達成度
<b>1. 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証</b>			
(1) 低交流損失超電導導体の性能検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>交流損失：1W/m/相 @2kA の短尺での検証</li> <li>30m ケーブルの交流損失の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低交流損失型超電導線材を用いて、短尺ケーブルにて、0.83W/m/相 @ 2kA を達成</li> <li>30m 検証ケーブルでの損失評価中</li> </ul>	達成 達成見込み (H22/3)
(2) 短絡事故時対応超電導導体の性能検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>短絡電流：31.5kA-2 秒の短絡電流対応</li> <li>もらい事故時(10kA-2 秒)後も定格の電流、電圧が印加できることの確認</li> <li>長尺ケーブルを想定した場合の短絡電流通過後の冷媒挙動について、シミュレーションにて把握。</li> <li>30m 検証システムを用いて、短絡電流を模擬試験を行い、対応方法の検討を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ケーブルフォーマ、Cu シールドをケーブル構造に採用し、31.5kA-2 秒において、短尺ケーブルが健全であることを確認した。</li> <li>10kA-2sec 後に、定格電圧、電流が印加できることを確認した。</li> <li>長尺ケーブルでの冷媒挙動についてシミュレーションを検討中</li> <li>H21 年下期に実施予定</li> </ul>	達成 達成 達成見込み (H22/3) 達成見込み (H22/3)
(3) 中間接続部の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>中間接続部の導体接続損失：2kA 通電相当で <math>1\mu\Omega</math> /相以下</li> <li>66kV 級中間接続部の設計完了</li> <li>その設計の妥当性について検証試験を実施すること。</li> <li>30m 検証ケーブルにて組立て施工</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>66kV 級中間接続部を設計</li> <li>要素試験において、接続抵抗が、導体部は <math>6.7n\Omega</math> /相@3kA、シールド部は <math>2.5n\Omega</math> /相@3kA であることを検証し、最終目標値の <math>1\mu\Omega</math> /箇所 @ 3kA 以下を達成した。</li> <li>設計した中間接続部において、通電試験、短絡電流試験、電気絶縁試験、機械特性試験を実施し良好な結果を得た。</li> <li>30m 検証システムで組立て工法を確認した。</li> </ul>	達成
(4) 終端接続部の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>66kV 級終端接続部の設計完了</li> <li>その設計の妥当性について検証試験を実施すること。</li> <li>30m 検証ケーブルにて組立て施工</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>66kV 級終端接続部を設計</li> <li>設計した終端接続部において、通電試験、短絡電流試験、電気絶縁試験、機械特性試験を実施し良好な結果を得た。</li> <li>30m 検証システムで組立て工法を確認した。</li> </ul>	達成
(5) 検証用ケーブルシステムの構築と評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>30m ケーブル、中間接続部、終端接続部を備えたケーブルシステムを構築する。</li> <li>本システムで以下の試験を行う。</li> <li>①定格性能試験 超電導性能の確認（臨界電流測定、交流損失測定）、定格課通電の確認、長期課電試験（約1ヶ月）</li> <li>②冷熱サイクル試験（室温-液体窒素温度の繰り返し試験）</li> <li>③限界性能試験 冷凍機故障模擬試験、過電流試験</li> <li>④残存性能試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>30m ケーブルの製造を行い、所定の性能をもつことをサンプル試験にて確認した。</li> <li>30m ケーブルを中間接続部、終端接続部と組み合わせ、ケーブルシステムを構築した。</li> <li>定格性能試験では、臨界電流測定、定格課通電試験、長期課電試験を実施し、いずれも良好な結果を得た。</li> <li>H21/下期に、②③④を実施する。</li> </ul>	達成 達成 達成 達成見込み (H22/3)

項目	目標 (H21 年度達成)	これまでの成果	達成度
<b>2. トータルシステム等の開発</b>			
(1) 実証ケーブルシステムの基本仕様	実証場所の選定及び、実証場所に構築する高温超電導ケーブルシステムの概念設計を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証場所を旭変電所に決定</li> <li>・実証システムの基本構成、仕様についてまとめた。</li> </ul>	達成
(2) 実証ケーブルシステムの付帯機器の検討	超電導ケーブルシステムに必要な、運転・監視システム、保護・遮断システムなどの付帯機器の仕様について検討する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運転・監視については、必要な機能とシーケンスについて検討。</li> <li>・保護・遮断システムについては、超電導ケーブルでも、既設の変圧器保護リレーにより保護可能であることを確認した。</li> </ul>	達成 達成
(3) 冷却システムの検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却システムの基本コンセプトの検討</li> <li>・実証ケーブル用冷却システムに設計検討の実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却システムのコンセプトについてまとめ、送電を継続し、負荷に応じた対応ができるシステムを目指す。</li> <li>・実証用冷却システムの構成を決定。詳細設計中。</li> </ul>	達成 達成見込み (H22/3)
(4) 超電導ケーブルの建設手法の検討	・実証場所での施工基本計画の作成	・実証場所を管轄する東京電力担当部署内で施工方法を検討し、計画を作成した。	達成
<b>3. 送電システム運転技術の開発</b>			
(1) 実証場所での系統特性調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証場所での系統条件を調査・検討</li> <li>・超電導ケーブルシステムのインピーダンスを求め、系統接続時の影響を検討する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証場所での短絡電流条件は、事故直後の再送電無の場合は、0～31.5 kA-2 sec、再送電有の場合は、0～10 kA-2 sec の範囲であることを計算により求めた。サージ電圧は、EMTP 解析の結果、200kV 程度と判明。それらを超電導ケーブルシステムの仕様として、ケーブル設計にフィードバックした。</li> <li>・超電導ケーブルのインピーダンスは従来ケーブルよりも小さくなり、系統安定度向上に寄与できること、サージインピーダンスローディングが大きく大電流送電に適する、などを確認した</li> </ul>	達成
(2) 平常時の運転技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高温超電導ケーブルシステムを正常に運用するために制御すべき機器の検討</li> <li>・その制御方法や制御状態の確認方法について概念設計の実施</li> <li>・30m ケーブル検証試験にて基本動作の確認。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却システムで超電導ケーブルの温度、圧力、流量を制御することが重要で、その制御方法について絞って検討し、それぞれの制御指針を示した。</li> <li>・温度制御については、冷凍機の ON/OFF 運転を志向しており、ケーブル入口温度 ±1K 程度で制御できることをシミュレーションにて示した。</li> <li>・圧力制御については、ヒータを用いた制御方法を試行しており、さらに実験を続けていく。</li> </ul>	達成 達成 達成見込み (H22/3)
(3) 事故時の運転技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高温超電導ケーブルシステムの警報動作条件の検討および警報動作時の対応方針の概念設計</li> <li>・保護リレー動作時の高温超電導ケーブルシステムの運用指針</li> <li>・起こりうる想定事故について、その要因と対策のまとめ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超電導ケーブルシステムに異常が起こった場合の想定される故障モードについて整理し、指針をまとめた。</li> <li>・警報については重故障と軽故障に分類し、重故障の場合の対応案をまとめた。</li> <li>・事故後のケーブル復帰条件については検討中</li> </ul>	達成 達成 達成見込み (H22/3)
(4) 保守・メンテナンスの基本計画作成	・実証ケーブルの保守・メンテナンスの基本計画	冷却システムのメンテナンス条件について調査した。具体的なメンテナンス方法については、冷却システム詳細設計と進める。	達成見込み (H22/3)



項目	目標 (H21 年度達成)	これまでの成果	達成度
4. 実系統における総合的な信頼性の検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実系統への接続前の確認試験について項目を整理</li> <li>・実証用ケーブルシステムの詳細設計の実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験項目、内容について整理し、要素試験、30m ケーブル試験に反映。</li> <li>・実証ケーブルの詳細設計中。</li> </ul>	<p>達成</p> <p>達成見込み (H22/3)</p>
<b>5 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究</b>			
(1) 高温超電導ケーブルの標準化研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超電導送電システムの国際規格化を進めるための標準化項目を作成する。</li> <li>・30m ケーブルにて標準化に必要なデータを収集する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CIGRE 超電導ケーブルの試験法についての標準化検討をサポート。日本における試験法を整理し情報提供</li> <li>・30m ケーブルの情報を提供する予定</li> </ul>	<p>達成</p> <p>達成見込み (H22/3)</p>
(2) 高温超電導ケーブルの適用技術研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超電導ケーブルシステムの適用効果、導入効果の評価項目を整理する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超電導ケーブルのメリットを評価する際に必要な項目についてまとめた。</li> </ul>	達成
(3) 関連法規への対応	<p>高圧ガス保安法及び電気事業法等の関連法規への対応プロセスをまとめる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・関係各所と協議し、実証ケーブルは電気事業法にて取り扱うことを確認。その他、遵守すべき法についてまとめ対応指針を決めた。</li> </ul>	達成

## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証

#### 2.1.1 低交流損失超電導導体の性能検証

##### (1) 開発目標

超電導体は臨界温度以下で電気抵抗がゼロになり、直流通電時のジュール損失はゼロである。しかしながら、交流電流を通電した場合には、発生する変動磁場の影響で超電導体は交流損失を発生する。この損失は高温超電導ケーブルを冷却する冷却システムの冷却容量を増加させる要因となるため、この損失を極力低減させる必要がある。

本プロジェクトの開発目標である 66kV・3kA 級の超電導ケーブルと同容量をもつ 275kV 級の CV ケーブルとの損失比較を考える。CV ケーブルはおおよそ 100W/m もの損失を発生する。この損失の 1/2 となるように、66kV 級の超電導ケーブルの損失を低減することを目標とする。超電導ケーブルの損失の主要因は、ケーブル導体の交流損失と断熱管の熱侵入である。また、冷凍機の効率も考慮する必要がある。これまでの実績から推定される期待値は、断熱管の熱侵入熱は 2W/m、冷凍機の効率は 0.1 程度と考えられる。これから、超電導ケーブルの交流損失を 1W/m/ph @ 3kA とすると、次式より超電導ケーブルの損失は CV ケーブルの損失の 1/2 になることが判る。

$$(\text{交流損失:1W/m/ph} \times 3 \text{ 相} + \text{侵入熱:2W/m}) / (\text{効率:0.1}) = 50\text{W/m}$$

従って、本プロジェクトの交流損失の目標値を 1W/m/ph @ 3kA とする。尚、H21 年度中に達成する中間目標値は、1W/m/ph @ 2kA とする。

本節では、住友電工にて自主開発した低交流損失型のビスマス線材を用いて製作した短尺超電導導体の低損失化を検証する。

##### (2) 超電導ケーブルの交流損失

従来の Bi2223 銀シース線材はフィラメント同士の結合が切れていないため、同線材をスパイラル巻きして構成した多層超電導ケーブルの交流損失は、Bean モデル<sup>(1)</sup>に基づいた多層均流化モデル (ML-UCD モデル) によって良く記述することができる。ML-UCD モデルは、各層のスパイラルピッチを調整することにより、各層の電流が均一化されている条件下において、着目する層を流れる電流と、他層を流れる電流とが作る磁場を考慮して各層の損失を算出することにより、多層導体の損失を導くことができる。厚さ  $2d$  の超電導平板に、ピーク値  $H_m$  の平行交流磁界が印加された場合の損失  $P$  は以下の式で記述される。

$$P = \frac{2\mu_0}{3} \cdot \frac{H_m^3}{J_c d} \quad (H_m < H_p)$$

$$P = 2d\mu_0 J_c H_m \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{J_c d}{H_m}\right) \quad (H_m > H_p) \cdots (2.1.1-1)$$

ここで、 $H_p$  は磁界がちょうど平板の中心に達したときの導体表面における磁界である。

ML-UCD モデルを用いて、表 2.1.1-1 に示す諸元を有する多層導体（導体 4 層、シールド 2 層）の交流損失を計算した結果を図 2.1.1-1 に示す。なお、線材は超電導フィラメントがツイストされていない従来の Bi2223 線材（幅 4.1mm、厚さ 0.23mm、臨界電流  $I_c=150A$ ）を想定し、導体層及びシールド層の  $I_c$  はそれぞれ 5300A 及び 5100A として計算を行っている。2kArms 通電時の損失は、導体層が 1.8W/m、シールド層が 0.7W/m、合計で 2.5W/m となる。さらに、3kArms 通電時の損失は、導体層が 3.8W/m、シールド層が 1.7W/m、合計で 5.5W/m となる。この計算から、本プロジェクトの目標である 1W/m/ph @ 3kA を達成するには、大幅な損失低減が必要である。そのためには、超電導線材の平行磁場に対する交流損失、つまり磁化損失の低減が不可欠である。

表 2.1.1-1 計算モデルの諸元

線材幅	4.1 mm
線材厚	0.23 mm
線材 $I_c$	150 A
n 値	20

導体構造	仕様	外径 (mm)
フォーマ		18.0
HTS 導体 1 層目	12 本	19.2
HTS 導体 2 層目	13 本	20.4
HTS 導体 3 層目	14 本	21.6
HTS 導体 4 層目	14 本	22.8
絶縁層		38.1
HTS シールド 1 層目	25 本	39.0
HTS シールド 2 層目	26 本	40.2

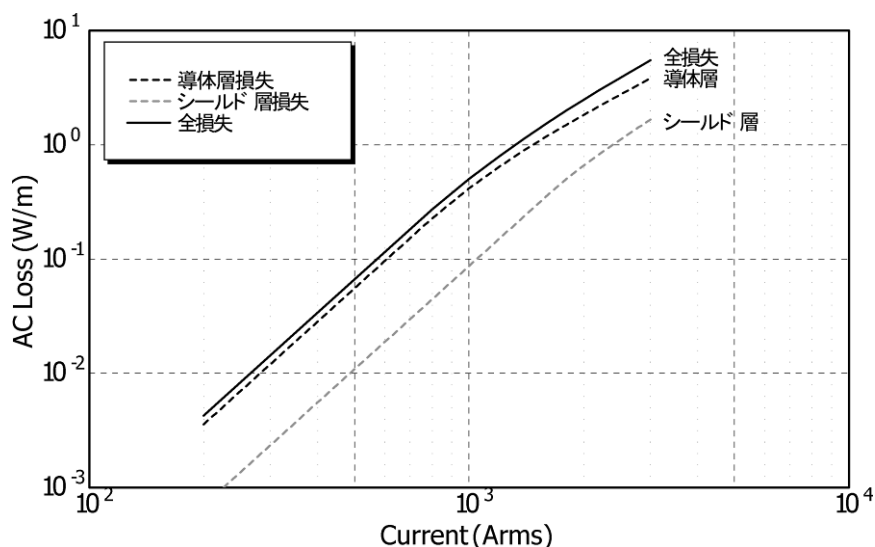


図 2.1.1-1 ML-UCD モデルを用いた超電導導体の交流損失計算結果

### (3) 低交流損失型のビスマス線材の開発

超電導多芯線の交流損失低減には、フィラメントサイズを小さくする、ツイストピッチを短くする、母材の比抵抗を大きくすることが有効であると知られている。これまでの Bi2223 銀シース線材では、フィラメント間の結合が強く、単芯線のような特徴を示すことが多かった。このため、住友電工では、従来のノンツイスト線材 (TypeH : 4.1mm<sup>w</sup>、0.23mm<sup>t</sup>) に対して、フィラメントをツイストした線材 (TypeAC : 2.4mm<sup>w</sup>、0.18mm<sup>t</sup>) を開発し、交流損失 (平行磁場に対する磁化損失) の低減に成功している<sup>(2)</sup>。TypeAC 及び TypeH 線材の断面写真を図 2.1.1-2 に示す。図 2.1.1-3 は、700Gauss の平行磁場中における線材の磁化損失測定結果を示しており、従来の TypeH 線材に比べて、平行磁場に対する磁化損失が 1/3 程度に低減されていることが分かる。なお、磁化損失測定は、鞍型ピックアップコイル法<sup>(2)</sup>により液体窒素中で測定した。

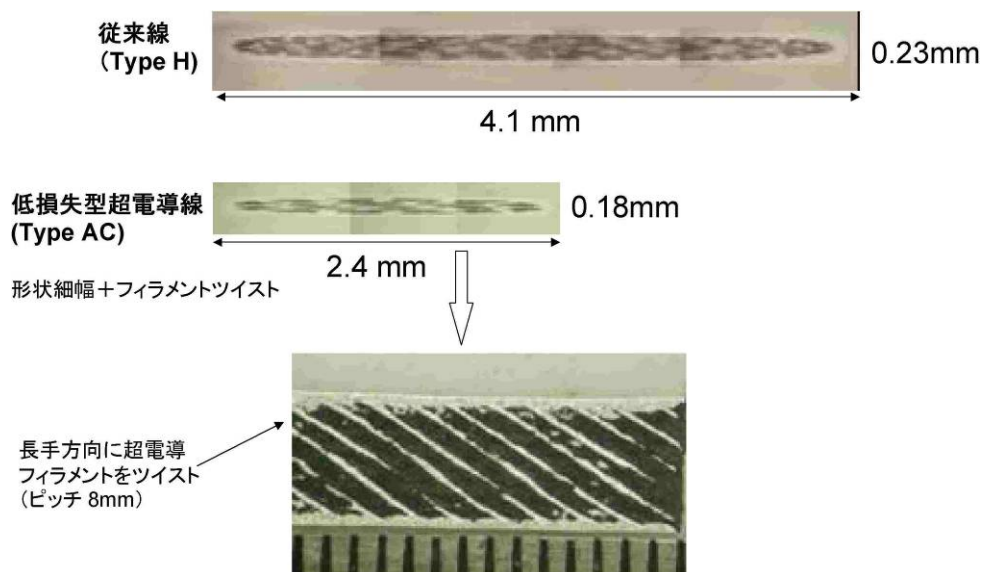


図 2. 1. 1-2 TypeH 線材と TypeAC 線材

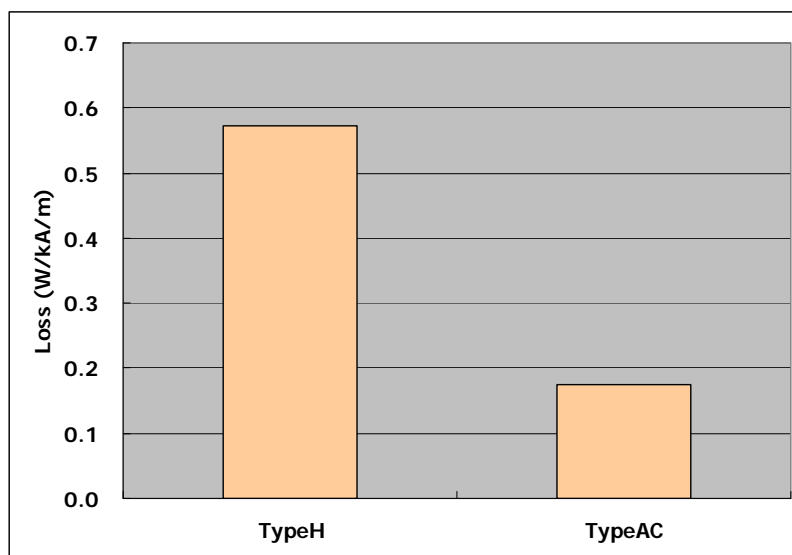


図 2. 1. 1-3 線材磁化損失測定結果 (平行磁場 700Gauss 中)

#### (4) 低交流損失型線材を用いた超電導導体の検証

開発した低損失型 TypeAC 線材を用いて構成した超電導導体の低損失化を検証するために、表 2. 1. 1-2 に示す諸元を有する 1m の導体サンプルを作製し、交流損失測定を行った。なお、超電導線には、機械的な強度を確保するために、両面に厚さ  $50\mu\text{m}$  の銅板が半田付けされている (以下、補強されている線材は末尾に T を付け、TypeACT あるいは TypeHT と表記する)。 $1\mu\text{V}/\text{cm}$  で定義した導体層の  $I_c$  は 4900A、シールド層の  $I_c$  は 3600A であり、使用した線材の  $I_c$  レベルの総和と同等であり、劣化なく導体作製が完了した。

交流損失測定は、図 2.1.1-4 に示すように、導体層とシールド層に往復通電を行い、導体層及びシールド層の直上に埋め込んだ電圧タップを用いた電气的四端子法により実施した。なお、交流損失測定は 60Hz で実施したが、以下の議論では、測定した損失の値を 5/6 倍した 50Hz 換算値を用いる。導体サンプルの交流損失測定結果を図 2.1.1-5 に示す。2kArms 通電時の交流損失は、導体層とシールド層の損失の合計で 0.85W/m となる。同図中には、ML-UCD モデルにより計算したノンツイスト線材を用いた導体の交流損失（図 2.1.1-1 に示した計算結果）も示してある。TypeACT 線材を用いて製作した導体の交流損失は、ノンツイスト線材により構成された導体に対して 1/3 程度に低減されており、TypeAC 線材を用いた超電導導体の低損失化が実証された。

表 2.1.1-2 超電導導体の諸元

導体構造	仕様	外径 (mm)
フォーマ	分割集合フォーマ	17.5
HTS 導体 1 層目	TypeACT、19 本	21.4
HTS 導体 2 層目	TypeACT、21 本	
HTS 導体 3 層目	TypeACT、22 本	
HTS 導体 4 層目	TypeACT、22 本	
絶縁層	PPLP、6mm 厚	34.3
HTS シールド 1 層目	TypeACT、36 本	36.6
HTS シールド 2 層目	TypeACT、38 本	
保護層	銅テープ、絶縁紙及び不織布	43.5
導体層 $I_c$	4900 A	
シールド層 $I_c$	3600 A	

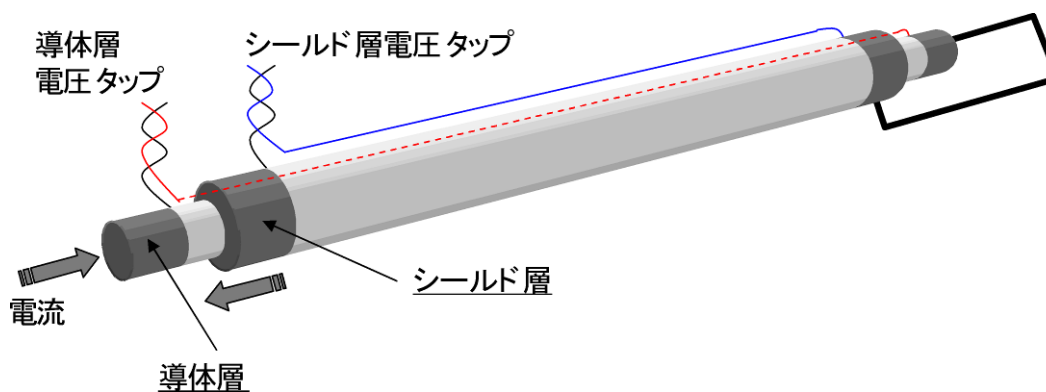


図 2.1.1-4 超電導導体サンプル概要

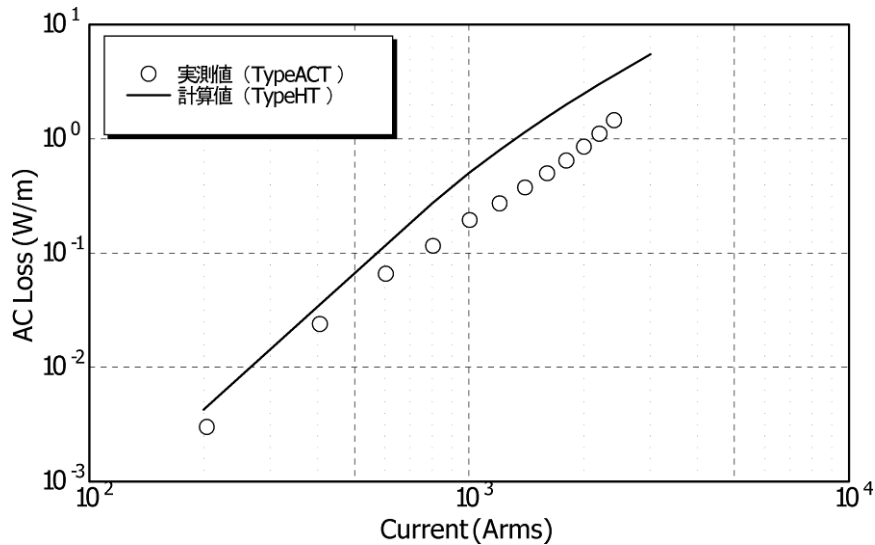


図 2.1.1-5 超電導導体の交流損失測定結果

#### (5) 超電導導体の交流損失解析モデルに関する検討

低損失型 TypeACT 線材を用いたケーブルコアを作製して、中間目標である 1W/m/ph@2kArms 以下の低損失化を実証した。一方で、大容量化の観点からは、フィラメントにツイストを施していない高  $I_c$  型 TypeHT 線材を用いる方が有利と言える。このため、以下では、TypeACT 線材と TypeHT 線材を組み合わせたハイブリッド超電導導体の構造最適化について検討を行った。

ハイブリッド超電導導体の構造最適化を行ううえで、導体の交流損失解析モデルの確立は不可欠であるが、フィラメントにツイストを施すことによって、フィラメント間の結合を切ることに成功した TypeACT 線材に対して、等価厚さ  $2d$  や中心到達磁界  $H_p$  を理論的に求めるのは非常に難しい。このため、線材単体の交流損失測定結果を組み込んだ解析モデルを提案した。

平行交流磁界中にある超電導線材に対して交流通電を行った場合に発生する損失には、外部磁界によって生じる磁化損失と、通電電流によって生じる通電損失がある。一般に、ツイストが施されていない Bi2223 線材では、全損失はほぼ磁化損失によって支配されるが、ツイストが施された Bi2223 線材では、ゼロ磁界下における通電損失と、ゼロ通電時における磁化損失の和によって全損失がよく記述されることが報告されている<sup>(3)</sup>。

図 2.1.1-6 は鞍型ピックアップコイル法<sup>(2)</sup>によって測定した TypeACT 及び TypeHT 線材の外部変動磁界での磁化損失測定結果を示している。200Gauss 以上の高磁界領域において、TypeHT 線材に比べて TypeACT 線材の損失が小さくなっており、ツイストによる損失低減効果が顕著となる。

通電損失は、Bean モデルに基づいて解析した下記の理論式が Norris によって

求められており<sup>(4)</sup>、Bi2223 線材のように導体幅と厚さとの比（アスペクト比）が小さい場合には、線材断面を楕円形状として計算している Ellipse モデル（式 2.1）により良く記述されることが知られている（式中、 $z = I_p / I_c$ ）。

$$W_{N, Ellipse} = \frac{\mu_0 f I_c^2}{\pi} \left\{ (1-z) \cdot \ln(1-z) + z - z^2 / 2 \right\} \dots (2.1.1-2)$$

$$W_{N, Strip} = \frac{\mu_0 f I_c^2}{\pi} \left\{ (1-z) \cdot \ln(1-z) + (1+z) \cdot \ln(1+z) - z^2 \right\} \dots (2.1.1-3)$$

一方で、通電損失は線材形状、n 値及び Jc の均一性等に依存することが報告されていることから<sup>(5)</sup>、本報では実際に線材の通電損失を測定した実測値を用いる。図 2.1.1-7 に TypeACT 及び TypeHT 線材の通電損失測定結果を示す。TypeHT 線材が負荷率 0.3 以上の領域で Ellipse モデルとよく一致しているのに対して、TypeACT 線材は負荷率 0.7 以上の高負荷領域でのみ Ellipse モデルとよく一致しており、低負荷領域ではむしろ Strip モデルに近い。

図 2.1.1-6 及び図 2.1.1-7 の実測データを用いて、表 2.1.1-2 に諸元を示す超電導導体の交流損失を計算した結果を図 2.1.1-8 に示す。計算方法としては、各層均流化を前提として、各線材の負荷率及び印加される平行磁場を計算する。平行磁場に対する磁化損失を図 2.1.1-6 のデータより求め、負荷率に対する線材の通電損失を図 2.1.1-7 のデータより求め、線材磁化損失の総和（緑線）と通電損失の総和（青線）の合計によってケーブルコアの交流損失（赤線）を求めた。計算結果は実測されたケーブルコアの交流損失特性をよく記述していることから、本章ではこの解析モデルを用いてケーブル構造の最適化について検討を行った。

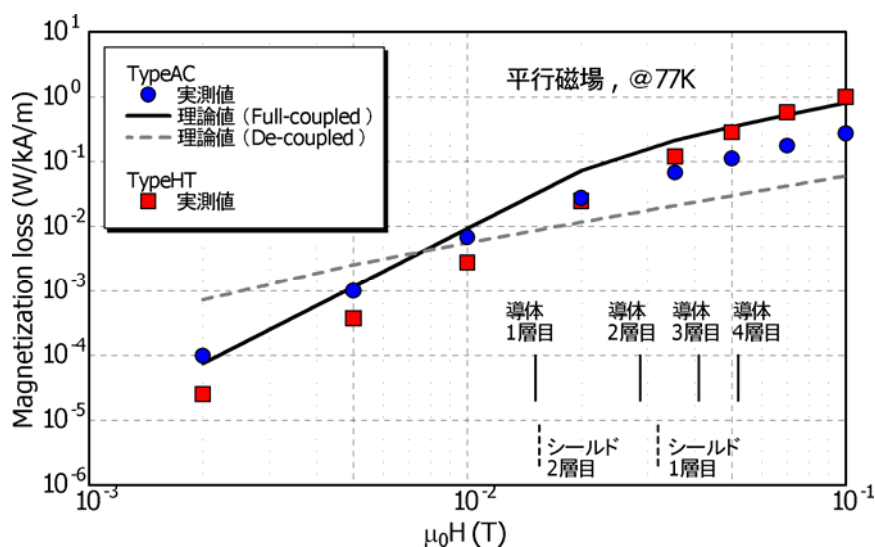


図 2.1.1-6 線材の磁化損失測定結果



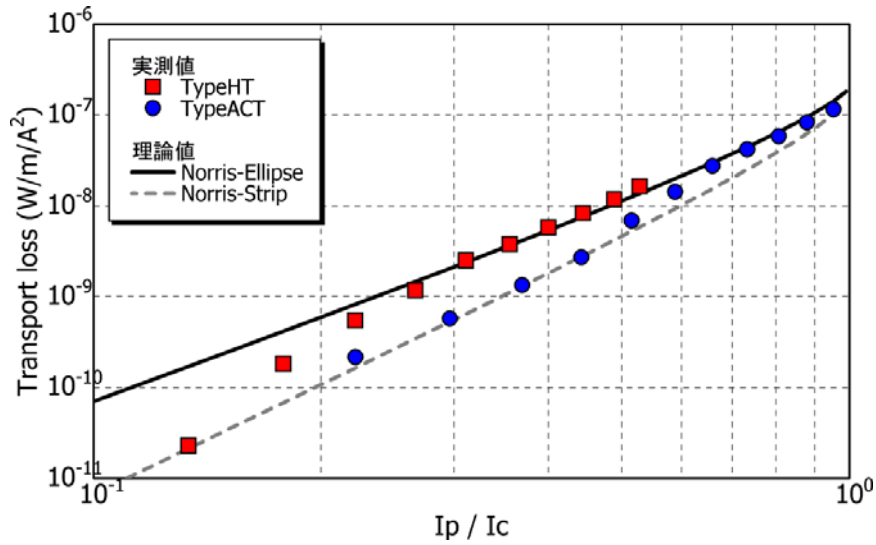


図 2.1.1-7 線材の通電損失測定結果

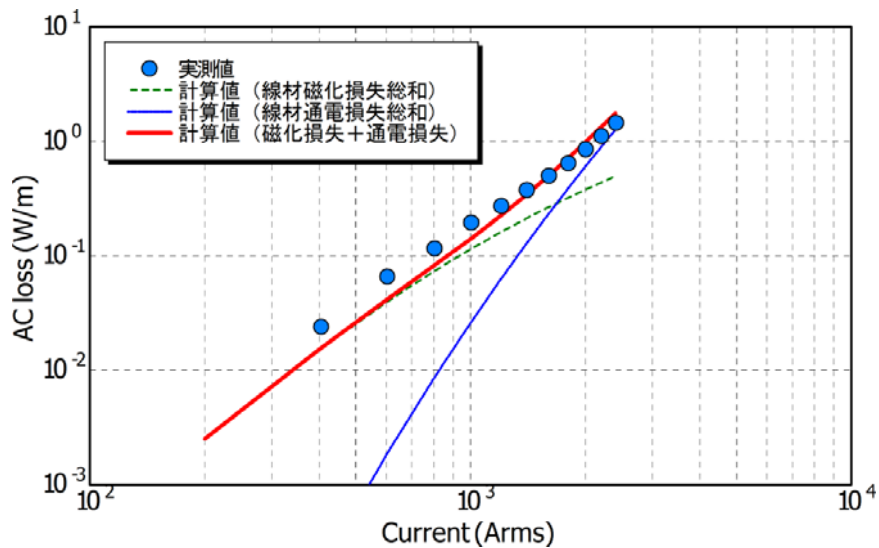


図 2.1.1-8 超電導導体の交流損失測定結果と解析モデルとの比較

### (6) ハイブリッド超電導導体の構造最適化

まず、解析の前提となるケーブル構造について検討を行った。表 2.1.1-3 は、導体層及びシールド層の層数に対するケーブル外径計算値をまとめた結果を示している。上段が 7mm 厚絶縁の場合の外径を、下段の ( ) 内が 6mm 厚絶縁の場合の外径を示している。一例として、導体 4 層、シールド 2 層、6mm 厚絶縁の場合のケーブル構成を表 2.1.1-4 に示す。なお、線材は表 2.1.1-5 に諸元を示す TypeACT 線を用いており、フォーマ外径は 18mm としている。実証プロジェクトでは、電気絶縁設計として、長期課電特性に関する実績を有する 7mm 厚絶縁を

採用する。このため、ケーブル外径を 150mm 以下とするためには、表 2.1.1-3 に示すように、導体 4 層、シールド 2 層が許容最大層数となる。また、導体 2 層、シールド 1 層構造では、高  $I_c$  型の TypeHT 線を用いたとしても 3kA 級の容量を確保することは困難であり、以下の検討では、導体 4 層、シールド 2 層構造を前提としてケーブル構造の最適化を行う。

前節で提案した解析モデルを用いて、TypeACT 及び TypeHT 線材に対する各層の交流損失計算を行った結果を図 2.1.1-9 に示す。通電電流は 2kArms であり、このとき各層に印加される平行磁場の最大値は、導体 1 層目が 0.015T、導体 2 層目が 0.029T、導体 3 層目が 0.041T、導体 4 層目が 0.052T、シールド 1 層目が 0.032T、シールド 2 層目が 0.016T であり、これの値は図 2.1.1-6 に示している。解析に用いた線材の諸元を表 2.1.1-5 に、ケーブルコアの諸元を表 2.1.1-6 に示す。図 2.1.1-9 に示した解析の結果の要点を以下にまとめる。

- ・ 磁場の小さい導体 1 層目及びシールド 2 層目については、TypeACT 線材を用いるよりも TypeHT 線材を用いる方が低損失となる。
- ・ 磁場の大きい導体 3、4 層目については、TypeHT 線材を用いるよりも TypeACT 線材を用いる方が低損失となる。
- ・ 導体 2 層目及びシールド 1 層目については、TypeACT 線材を用いた方が低損失となるが、TypeHT 線材を用いた場合との差は小さい。

ケーブル大容量化の観点から考えると、TypeHT 線材を用いる層を増やした方がケーブルの  $I_c$  が高くなるため、導体 3 層目及び 4 層目に TypeACT 線材を用い、他層には TypeHT 線材を用いたハイブリッドケーブル構造を設計案とし、1W/m/ph@2kArms 以下の交流損失を達成できるか検証を行うこととした。

表 2.1.1-3 コア構造とケーブル外径計算値

	導体 2 層 シールド 1 層	導体 4 層 シールド 2 層	導体 6 層 シールド 3 層	導体 8 層 シールド 4 層
コア外径	42.2 (40.2)	45.3 (43.3)	48.3 (46.3)	51.4 (49.4)
ケーブル外径	137.0 (132.7)	143.6 (139.3)	150.1 (145.8)	156.7 (152.4)

※上段が 7mm 厚絶縁、下段の ( ) 内が 6mm 厚絶縁の場合の外径

表 2.1.1-4 導体 4 層、シールド 2 層、6mm 絶縁の場合のケーブル構造

	導体構造	外径 (mm)
コア	フォーマ	18.0
	HTS 導体層	21.8
	絶縁層 (半導電層込み)	35.2
	HTS シールド層	37.2
	PPLP 押さえ巻き層	38.4
	銅シールド層	40.6
	保護層	43.3
ケーブル	三心コア	93.3
	SUS コルゲート内管	108.3
	SUS コルゲート外管	132.3
	防食層	139.3

表 2.1.1-5 解析に用いた線材の諸元

	TypeACT	TypeHT
線材幅	2.7 mm	4.5 mm
線材厚	0.33 mm	0.35 mm
ツイストピッチ	8 mm	—
補強	銅合金 (50・m <sup>t</sup> , 両面)	銅合金 (50・m <sup>t</sup> , 両面)
I <sub>c</sub>	50 A	160 A

表 2.1.1-6 解析に用いたケーブルコアの諸元

導体構造	線材本数 (TypeACT)	線材本数 (TypeHT)	内径 (mm)
HTS 導体 1 層目	19 本	11 本	18.0
HTS 導体 2 層目	21 本	12 本	19.0
HTS 導体 3 層目	22 本	13 本	20.0
HTS 導体 4 層目	22 本	13 本	21.0
HTS シールド 1 層目	37 本	22 本	35.5
HTS シールド 2 層目	39 本	23 本	36.5
導体 I <sub>c</sub>	4200A	7840A	—
シールド I <sub>c</sub>	3800A	7200A	—

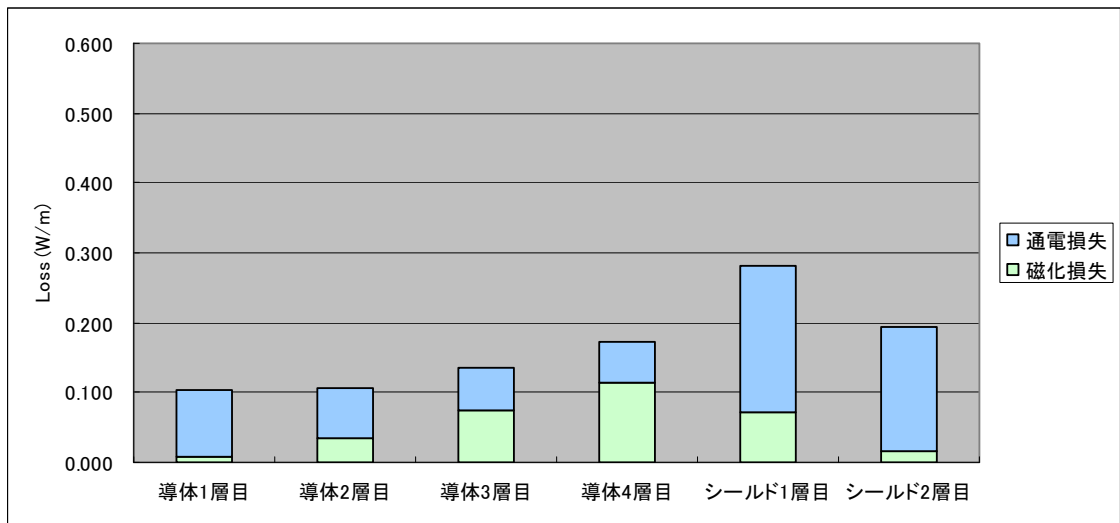


図 2. 1. 1-9 (a) TypeACT 線材を用いたケーブルコアの交流損失解析結果

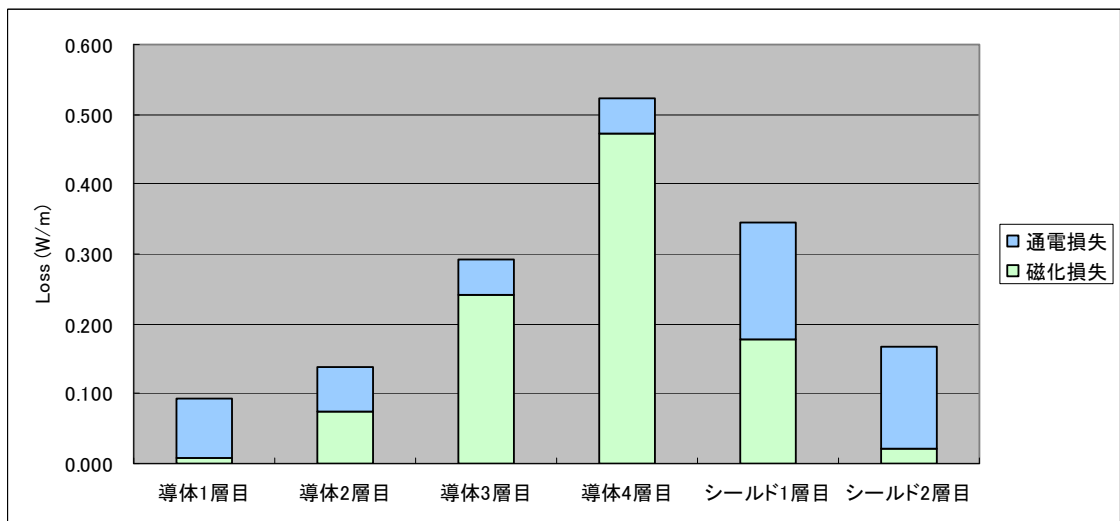


図 2. 1. 1-9 (b) TypeHT 線材を用いたケーブルコアの交流損失解析結果

### (7) 低損失フォーマの開発

これまで、超電導線材内に発生する損失について議論してきたが、線材を巻き付けるために必要なフォーマ部分に発生する損失についても考慮する必要がある。各層の電流を均一化するために、線材の巻付けピッチを調整した均流化導体では軸方向の磁場が発生し、この軸方向磁場に起因して銅撚り線フォーマ内に渦電流損失が発生する。図 2. 1. 1-10 は、断面積  $140\text{mm}^2$  のフォーマについて、フォーマを構成する銅素線の直径に対して発生する渦電流損失を計算した結果を示している。なお、素線は全て絶縁が施されていることを計算の前提としている。導体の巻付けピッチの構成にも依るが、3kArms 通電時の軸方向磁場は

0.015~0.02T 程度となり、このときのフォーマの渦電流損失を交流損失目標値 1W/m/ph の 1 割程度 (0.1W/m/ph) に抑えるためには、フォーマを構成する銅素線の直径を 1mm 以下にする必要がある。

このため、 $\phi 0.8$ mm の素線絶縁銅素線を用いた低損失型銅撚り線フォーマの開発を実施した。表 2.1.1-7 にフォーマの諸元を、図 2.1.1-11 にフォーマの写真を示す。従来のフォーマが同心撚りされているのに対して、低損失型フォーマは多重撚りの分割集合の形態を採用している。このような形態をとることにより、交流通電時の偏流を抑制することで交流抵抗を小さくし、短絡電流が流れた際の発熱を抑制するとともに、細線を使用した際の機械的な強度を保つことに成功した。

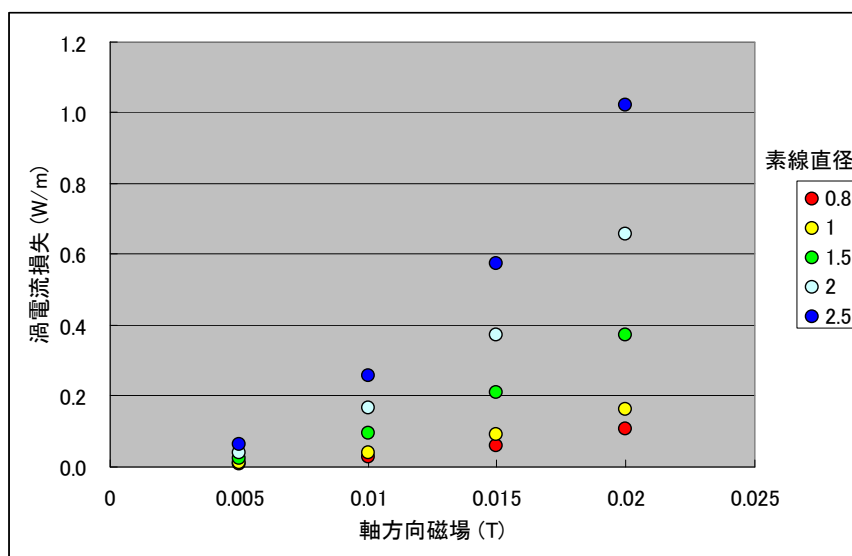


図 2.1.1-10 フォーマ素線径と渦電流損失計算値



図 2.1.1-11 低損失型分割集合フォーマと従来の同心撚りフォーマ

表 2.1.1-7 低損失型分割集合フォーマと従来の同心撚りフォーマの諸元

	分割集合フォーマ	同心撚りフォーマ
素線直径	0.8 mm	2.6 mm、1.5 mm
撚り線構成	分割集合型 (7×7)×6 分割集合	同心撚り型 φ 2.6×19, φ 1.5×30
断面積	140mm <sup>2</sup>	140mm <sup>2</sup>

### (8) ハイブリッド超電導導体の交流損失検証

TypeACT 及び TypeHT 線材を組み合わせたハイブリッド超電導導体を作製し、交流損失を測定した。使用した線材の諸元を表 2.1.1-8 に、ケーブルコアの諸元を表 2.1.1-9 に示す。また、ケーブルコア構造図を図 2.1.1-12 に示す。なお、フォーマは開発した分割集合フォーマを使用した。1μV/cm で定義した導体層の I<sub>c</sub> は 6200A、シールド層の I<sub>c</sub> は 7500A であり、高 I<sub>c</sub> 型の TypeHT 線材を組み合わせるにより大容量化に成功、実際に 3kArms 通電可能なことを確認した。

交流損失測定は、図 2.1.1-4 に示すように、導体層とシールド層の往復通電時に、それぞれ導体層及びシールド層直上に這わした電圧タップを用いた電気的四端子法により実施した。測定結果を図 2.1.1-13 に示す。2kArms 通電時の損失は 0.8W/m/ph (導体層 0.5W/m/ph、シールド層 0.3W/m/ph、フォーマ損失込み) であり、中間目標である 1W/m/ph@2kArms 以下の低損失化を達成した。このようなハイブリッド構造により大容量化と低損失化を両立することに成功した。

表 2.1.1-8 ハイブリッドケーブルコアに用いた線材の諸元

	TypeACT	TypeHT
線材幅	2.7 mm	4.5 mm
線材厚	0.33 mm	0.35 mm
ツイストピッチ	8 mm	—
補強	銅合金 (50・m <sup>t</sup> , 両面)	銅合金 (50・m <sup>t</sup> , 両面)
I <sub>c</sub>	50 ~ 60 A	160 A

表 2.1.1-9 ハイブリッドケーブルコアの諸元

導体構造	仕様	外径 (mm)
フォーマ	分割集合フォーマ	17.5
HTS 導体 1 層目	TypeHT、11 本	21.6
HTS 導体 2 層目	TypeHT、12 本	
HTS 導体 3 層目	TypeACT、23 本	
HTS 導体 4 層目	TypeACT、23 本	
絶縁層	PPLP、6mm 厚	34.5
HTS シールド 1 層目	TypeHT、21 本	36.8
HTS シールド 2 層目	TypeHT、23 本	
保護層	銅テープ、絶縁紙及び不織布	43.7
Ic 導体層/シールド層	6200 A / 7500A	

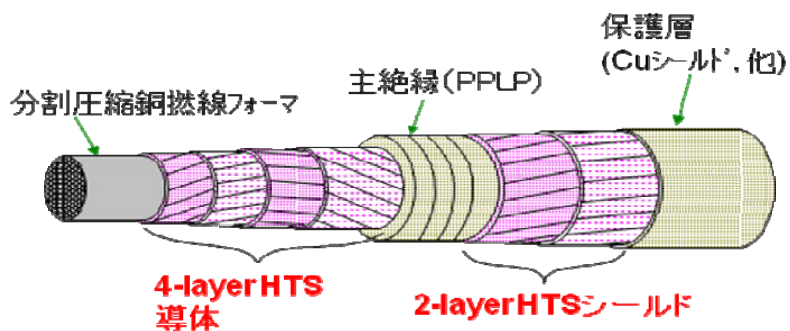


図 2.1.1-12 ハイブリッド型ケーブル構造

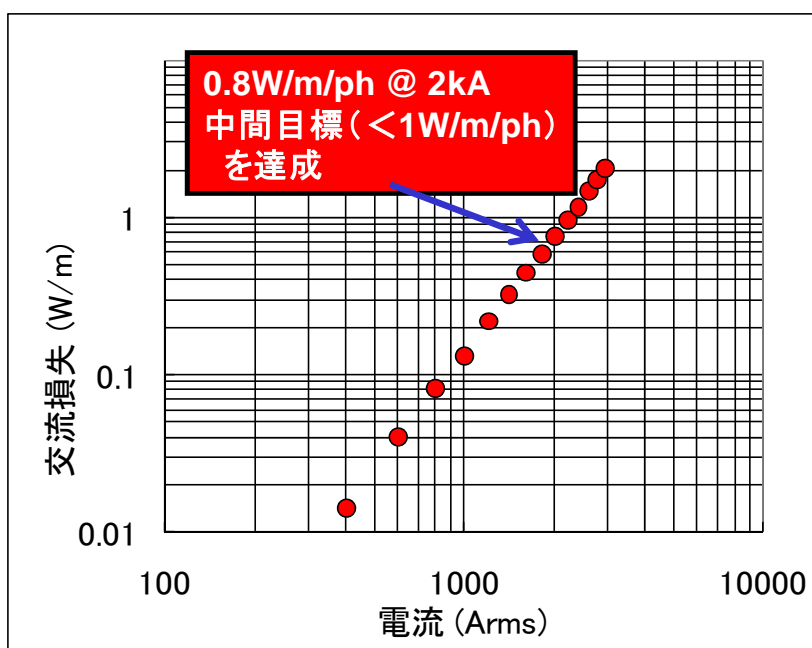


図 2.1.1-13 ハイブリッドケーブル導体の交流損失測定結果

## (9) まとめ

- ・ 従来の Bi2223 線材を用いて構成した超電導導体の交流損失計算値は  $5.5\text{W/m/ph @ }3\text{kArms}$  となり、本プロジェクトの目標値である  $1\text{W/m/ph @ }3\text{kArms}$  を達成するためには、超電導線材の大幅な低損失化が不可欠である。
- ・ 超電導フィラメントにツイストを施した低損失型 TypeACT 線材を自主開発した結果、従来のノンツイスト線材に比べて  $1/3$  の低損失化に成功した。
- ・ TypeACT 線材を用いて作製した超電導導体の交流損失を測定した結果、 $0.85\text{W/m/ph @ }2\text{kArms}$  であり、中間目標  $1\text{W/m/ph @ }2\text{kArms}$  以下の低損失化を達成した。
- ・ 線材単体の磁化損失及び通電損失測定結果を組み込んだ新たな損失解析モデルを開発し、TypeACT 線材を用いて構成した超電導導体の交流損失特性をシミュレーションできるようになった。
- ・ 全て TypeACT 線材を用いて構成した超電導導体は、大容量化にはまだ  $I_c$  を向上させる必要があり、開発した損失解析モデルを用いて、TypeACT 線材と TypeHT 線材を適材適所で組み合わせたハイブリッド超電導導体の設計を検討した。
- ・ 超電導線材の低損失化だけでなく、フォーマ内に発生する渦電流損失を  $0.1\text{W/m/ph @ }3\text{kArms}$  以下に低減するため、 $\phi 0.8\text{mm}$  の素線絶縁銅線を用いた低損失型分割集合フォーマの開発を実施、製造に成功した。
- ・ 低損失型分割集合フォーマ、TypeACT 及び TypeHT 線材を用いたハイブリッド超電導導体を作製し、交流損失特性を評価した結果、 $2\text{kArms}$  通電時の損失は  $0.8\text{W/m/ph}$  であり、中間目標  $1\text{W/m/ph}$  以下の低損失化を達成した。さらに、高  $I_c$  型の TypeHT 線材を組み合わせた設計により、 $3\text{kArms}$  の大電流通電にも成功した。

## (10) 今後の開発指針

本章では、短尺の超電導導体を用いた電氣的な測定法により中間目標  $1\text{W/m/ph @ }2\text{kArms}$  以下の低損失化を実証した。本設計に基づいて検証用  $30\text{m}$  ケーブルを製造、検証システムを組み上げ、長尺ケーブルの交流損失特性をカロリメトリック法により測定することで、短尺導体に対する測定結果との比較検討を行う予定である。

本プロジェクトの最終目標である  $1\text{W/m/ph @ }3\text{kArms}$  を達成するためには、超電導線材のさらなる低損失化が必須である。開発した損失解析モデルを用いて、目標を達成するために要求される線材特性について検討を行い、線材開発にフィードバックを行う。また、線材の低損失化だけでなく、ケーブル設計の改善により低損失化を実現する可能性についても検討を行っていく。



## 2.1.2 短絡電流に対する超電導導体の性能検証

### (1) 開発目標

電力系統においてケーブルの相間短絡事故が起こった場合、定格電流に比べて非常に大きな短絡電流が流れる。例えば、実証ケーブルのターゲットである66kV系統においては、2.3.1節で検討するように、最大「31.5kA、2秒」の短絡電流が流れると規定されている。超電導ケーブルの場合、この電流を超電導状態で流すには、非常に多くの本数の超電導線材が必要で、ケーブルの寿命期間に発生するかもしれない短絡電流のために、定格電流の10倍以上を流すための超電導線材を用いることは非常に不経済であるといえる。本節では、経済性も考慮し、短絡電流が流れた場合は超電導状態から常電導状態に移り抵抗による発熱が発生することを許容する設計指針とし、短絡電流が流れてもケーブルが健全であることを検証する。

また、31.5kAの短絡電流条件は、超電導ケーブル直近で事故が発生した場合であり、短絡電流通過直後に再送電されることはないと考えられる。しかしながら、事故の種類や発生場所によっては、短絡電流通過直後に再送電されるケース（本章ではこのようなケースを「もらい事故」と定義する）がある。2.3.1節で解析するように、実証ケーブルが導入される旭変電所においては、もらい事故の最大電流は「10kA、2秒」であり、本条件に対してケーブルが即時送電復帰可能なことを検証する。

尚、31.5kA、2秒の短絡電流が流れた際のケーブルの健全性を検証することがH21年度までの中間目標である。

### (2) 短絡電流対策の設計

上記のように、短絡電流が流れた場合、超電導状態を維持できないことを許容し、抵抗による発熱が発生しても、ケーブルが健全である設計とする。そのためには、定格電流以上の短絡電流が流れた場合に、超電導線材以外の常電導保護層に電流を分流させ、発熱を小さくすることで、温度上昇を抑制する必要がある。本プロジェクトでは、導体層では超電導線材を巻き付けるフォーマに短絡電流が分流できるように設計する。また、超電導シールドにおいても、短絡電流通過時には同レベルの電流が誘導されると想定され、シールドにも短絡電流を分流する常電導シールド層を設けることとした。

2.1.1節で検討したように、外径18mm（クッション層込み）の分割集合フォーマを用いたケーブルコアにおいて、交流損失を1W/m/ph @ 2kArms以下とし、3kArms通電可能な電流容量を確保するためには、超電導導体4層及び超電導シールド2層の構造が必要となる。7mm厚絶縁を前提として、ケーブル外径を145mm以下に抑えるために許容される銅シールド層の最大層数は3層(77mm<sup>2</sup>)となる。

分割集合フォーマ及び  $77\text{mm}^2$  の銅シールド層が常電導保護層として十分な断面積を有しているかを事前検討するため、 $31.5\text{kA}$ 、 $2$  秒の短絡電流が流れた際のケーブルコア内の過渡温度上昇シミュレーションを実施した結果を図 2.1.2-1 に示す。シミュレーションは、ケーブルコア断面半径方向の一次元モデルに対して、超電導層の過電流特性<sup>(1)</sup>や常電導層の熱物性値の温度依存性を考慮した過渡電流分布解析及び過渡熱伝導解析の連成により実施した。超電導導体層及び超電導シールド層の温度上昇 ( $\Delta T$ ) は、それぞれ  $127\text{K}$  及び  $114\text{K}$  であり、超電導線材にダメージが発生しない範囲内に収まっていると考えられ、上記常電導シールド層を有するケーブルコアに対して短絡電流試験を実施することとした。なお、銅シールド層 2 層 ( $50\text{mm}^2$ ) 構造では、超電導シールド層の  $\Delta T$  が  $220\text{K}$  になると予想され、 $2$  秒間という短時間で常温まで温度上昇が発生するため、急激な熱膨張による機械的なダメージが発生する恐れがある。

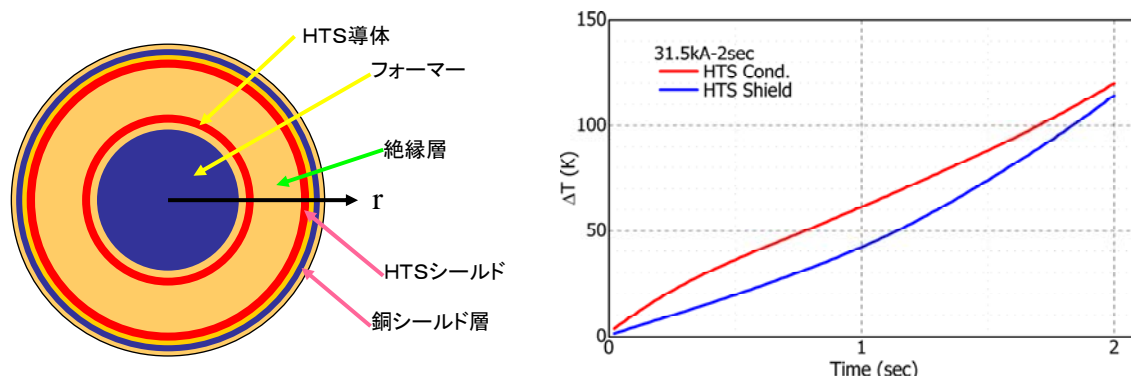


図 2.1.2-1 シミュレーションモデルの概要と解析結果

### (3) 短絡電流試験

超電導ケーブル導体に最大  $31.5\text{kA}$ 、 $2$  秒の過電流が流れても導体が健全であることを確認するため、図 2.1.2-2 に示す短絡発電機を用いた試験設備にて、過電流が流れた際の温度上昇の確認及び、過電流が超電導特性に与える影響について検証した。

短絡試験は、図 2.1.2-3 に示すように、約  $2.7\text{m}$  の 2 本の超電導ケーブルコアを並べ、2 本のコアのシールド層を短絡、閉回路とした状態で導体層に直列往復通電を行うことで、シールド層に遮蔽電流を流す方式とした。試験サンプル及び試験場の写真を図 2.1.2-4 に示す。試験サンプルの諸元は表 2.1.2-1 に示すとおりであり、分割圧縮導体 ( $140\text{mm}^2$ ) をフォーマとして用いた超電導導体 4 層、超電導シールド 2 層、銅シールド層 3 層 ( $77\text{mm}^2$ ) でケーブルコアを構成している。試験サンプルの導体層の臨界電流 ( $I_c$ ) は  $6300\text{A}$  (交流換算で  $4.5\text{kArms}$  相当)、シールド層  $I_c$  は  $7700\text{A}$  (交流換算で  $5.5\text{kArms}$  相当) であり、計測素子と

して、短絡電流印加時のケーブルコア内部温度上昇を計測するための熱電対と、シールド層の誘導電流を計測するためのロゴスキーコイルが取り付けられている。

31.5kA、2秒の短絡電流印加時の導体層及びシールド層の電流波形を図2.1.2-5に示す。シールド層には導体層とほぼ逆位相の電流が誘起されるが、シールド層の温度上昇と共に誘導電流は減衰していく。

過電流印加時の導体の温度上昇を図2.1.2-6に示す。最大31.5kA、2秒印加時の温度上昇は、超電導導体層で約120K、超電導シールド層で約110Kである。同図中には、31.5kA、2秒の短絡電流を印加した場合のシミュレーション結果(図2.1.2-1に示した結果)も示しており、試験結果は解析結果から想定される範囲内である。短絡電流試験後の導体の健全性を確認するために実施した臨界電流測定結果を、試験前の測定結果と合わせて図2.1.2-7に示す。試験前後において、導体層及びシールド層の臨界電流に変化は見られず、最大31.5kA、2秒の過電流に対してケーブルコアにダメージが発生しないことを確認した。

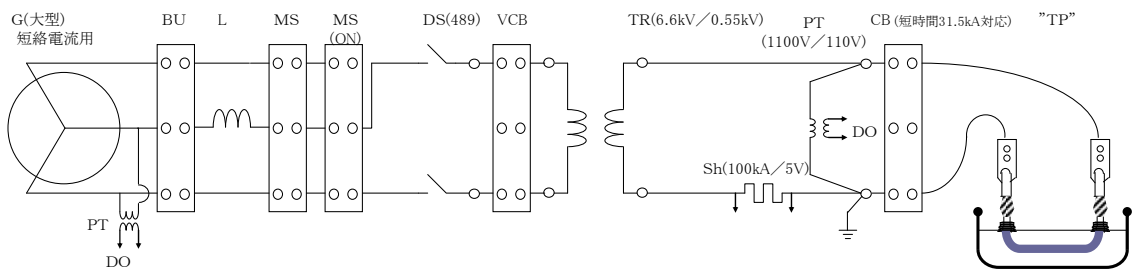


図 2.1.2-2 短絡電流試験回路の概要

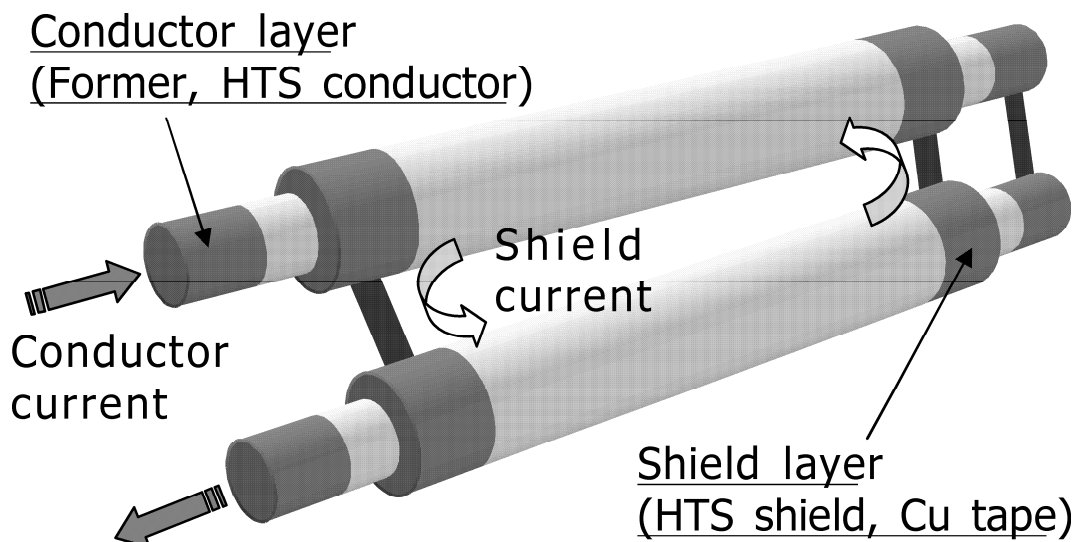


図 2.1.2-3 短絡電流試験サンプルの概要



図 2.1.2-4 試験サンプル及び試験場の写真

表 2.1.2-1 超電導ケーブル導体の諸元

構造	超電導線材	外径 (mm)	備考
フォーマ		18	素絶分割集合フォーマ
HTS 導体層	HT/HT/ACT/ACT	22	4 層、銅合金補強線
主絶縁層		35	PPLP 6 mm 厚
HTS シールド層	HT/HT	37	2 層、銅合金補強線
保護層		43	銅テープ 3 層、他
臨界電流 (1・V/cm 定義、77K)	導体 $I_c=6300$ A (AC : 4.5 kArms 相当) シールド $I_c=7700$ A (AC : 5.5 kArms 相当)		

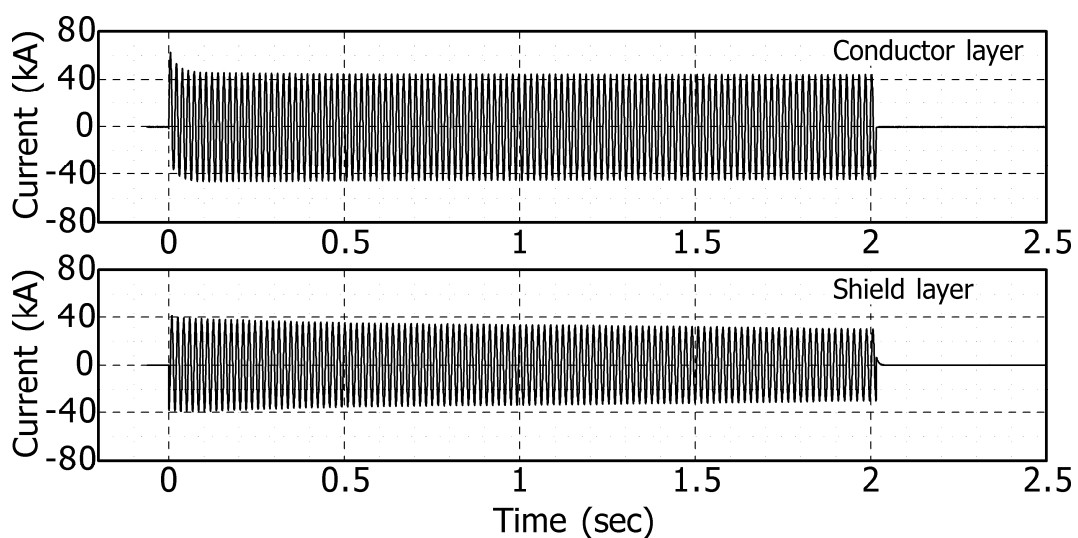


図 2.1.2-5 短絡電流試験時の電流波形

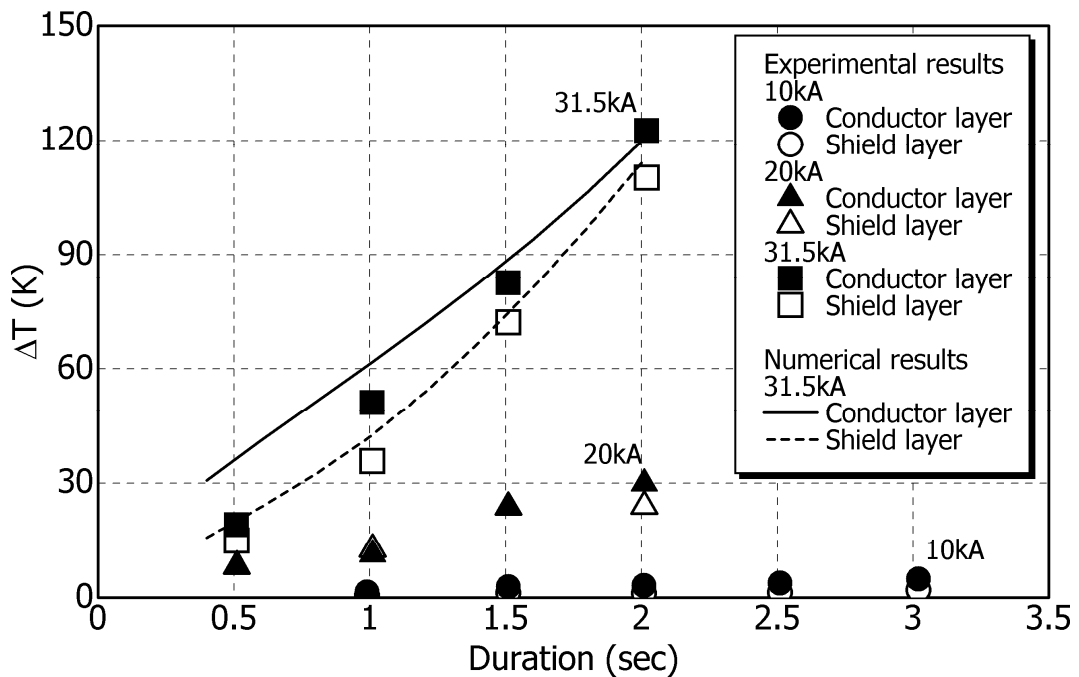


図 2.1.2-6 短絡電流試験時の導体温度上昇

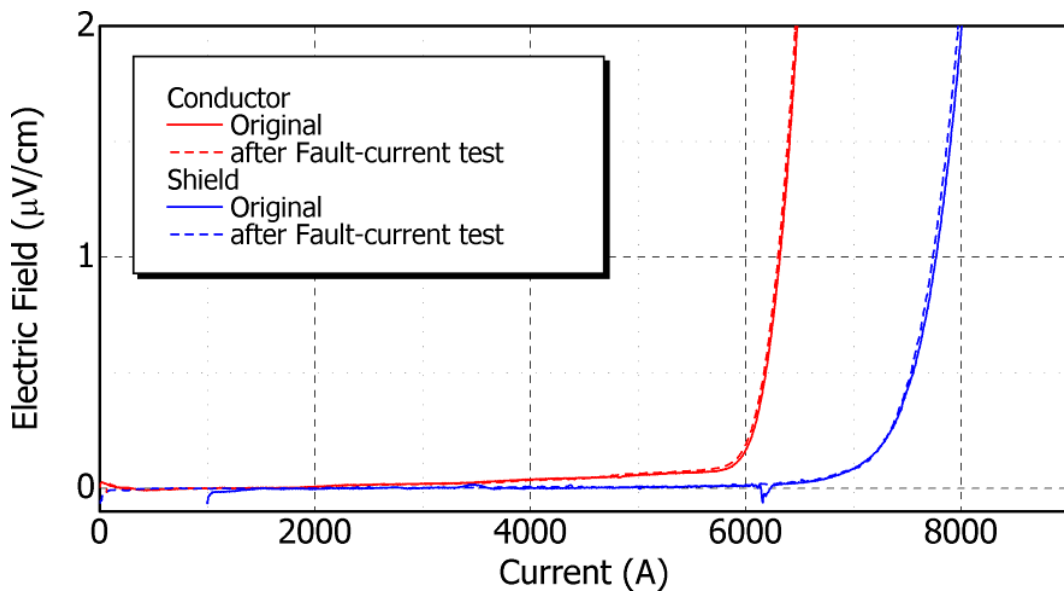


図 2.1.2-7 短絡電流試験前後の臨界電流測定結果

#### (4) もらい事故模擬通電試験

超電導ケーブル導体に 10kA、2 秒の過電流が流れた直後に、実証試験が実施される東京電力の旭変電所変電所バンクの定格電流である「1.75kA」を通電することが可能か検証した。

試験回路の概要は図 2.1.2-8 に示す通りであり、短絡発電機を用いて短絡電

流を印加した直後に通電回路に切り替え、連続通電を実施した。なお、短絡電流印加後に連続通電に切り替える時間は約 50msec である。

試験サンプルは短絡試験に使用したコアのうち 1 本だけを用い、図 2.1.2-9 に示すように、導体層とシールド層に往復通電を行う形式で実施した。もらい事故模擬通電試験時の写真を図 2.1.2-10 に示す。

図 2.1.2-11 は、10kA、2 秒の短絡電流を印加した直後に 1.75kA の連続通電を実施した試験における電流波形を示している。図 2.1.2-12 は、このときの超電導導体層及び超電導シールド層の温度上昇波形を示している。10kA、2 秒の短絡電流を印加することでコアの温度は数 K 程度上昇するが、直後に連続通電を開始してもコアの温度は上昇することなく冷媒である液体窒素温度に復帰し、この後、安定に連続通電できることを確認した。なお、本試験において、10kA、2 秒の過電流を印加した直後に最大 3kA の連続通電も可能なことを確認している。

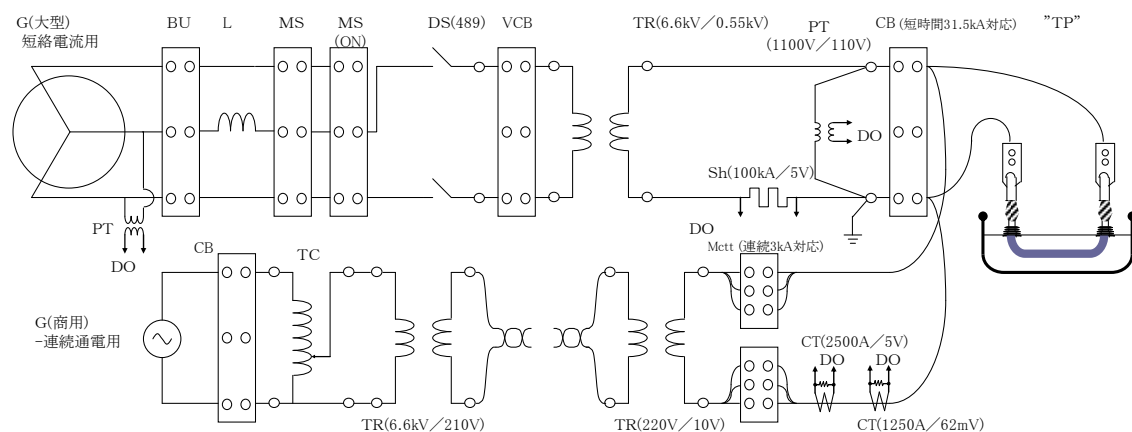


図 2.1.2-8 もらい事故模擬通電試験回路の概要

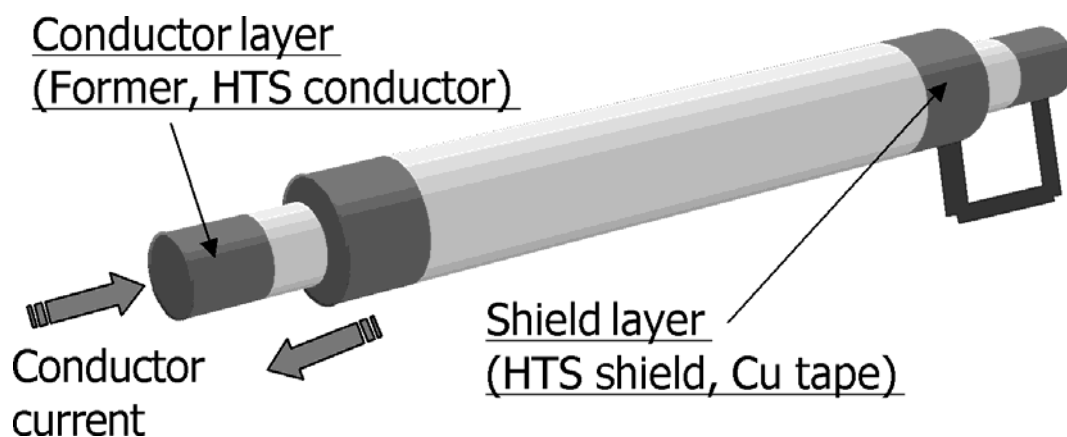


図 2.1.2-9 もらい事故模擬通電試験サンプルの概要





図 2.1.2-10 もらい事故模擬試験時の写真

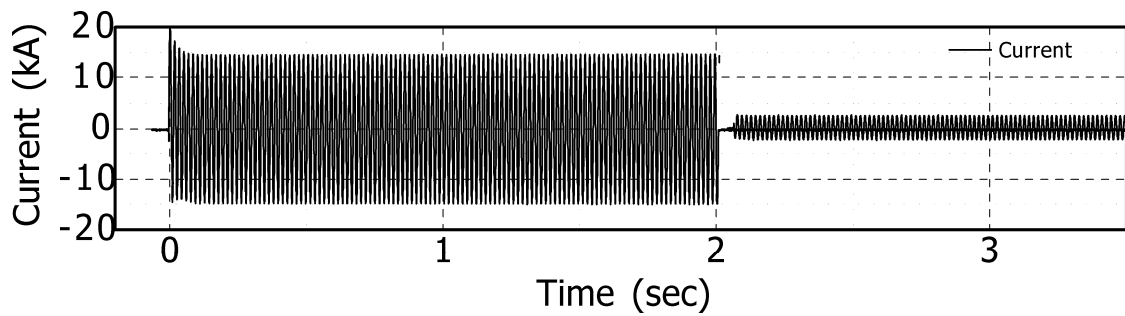


図 2.1.2-11 もらい事故模擬通電試験時の電流波形

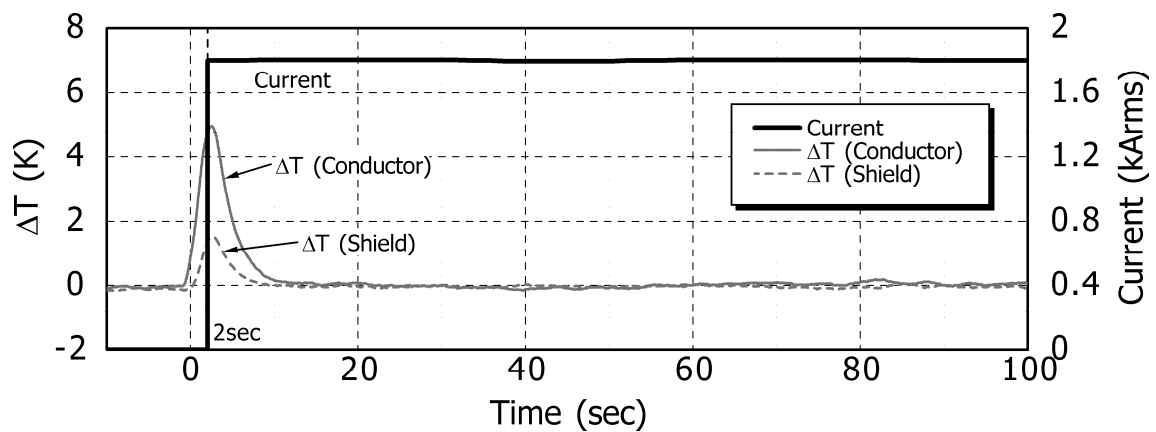


図 2.1.2-12 もらい事故模擬通電試験時の温度及び電流波形

#### (5) もらい事故模擬課電試験

超電導ケーブル導体に 10kA、2 秒の過電流が流れた直後に、対地定格電圧以上の「40kV」が課電可能か検証した。

試験回路の概要は図 2.1.2-13 に示す通りであり、短絡発電機を用いて短絡電流を印加した直後に課電回路に切り替え、連続課電を実施した。短絡電流印加後に連続課電に切り替える時間は約 50msec である。なお、本試験では、シールド層を接地した状態で、短絡電流を導体層のみに印加し、直後に導体層に対して対地 40kV の課電を実施した。

試験サンプルは、図 2.1.2-14 に示すように、中心にジョイント部を、端部にストレスコーンを有する約 4m のケーブルコアである。試験サンプル及び試験場の写真を図 2.1.2-15 に示す。ケーブルコアの諸元は、表 2.1.2-2 に示す通りであり、短絡電流試験と同様に、分割圧縮導体 (140mm<sup>2</sup>) をフォーマとして用いた超電導導体 4 層、超電導シールド 2 層、銅シールド層 3 層 (77mm<sup>2</sup>) でコアを構成している。ただし、使用した線材は全て TypeACT 線であり、導体層の Ic は 4800A である。

図 2.1.2-16 は、導体層に 10kA、2 秒の過電流を印加した直後に、40kV の課電を実施したときの電流及び電圧波形を示している。このとき、図 2.1.2-17 に示すように、試験サンプルは絶縁破壊することなく安定に連続課電できることを確認した。さらに本試験では、最大 31.5kA、2 秒の過電流を印加した直後にも 40kV の課電が可能なことを確認している。

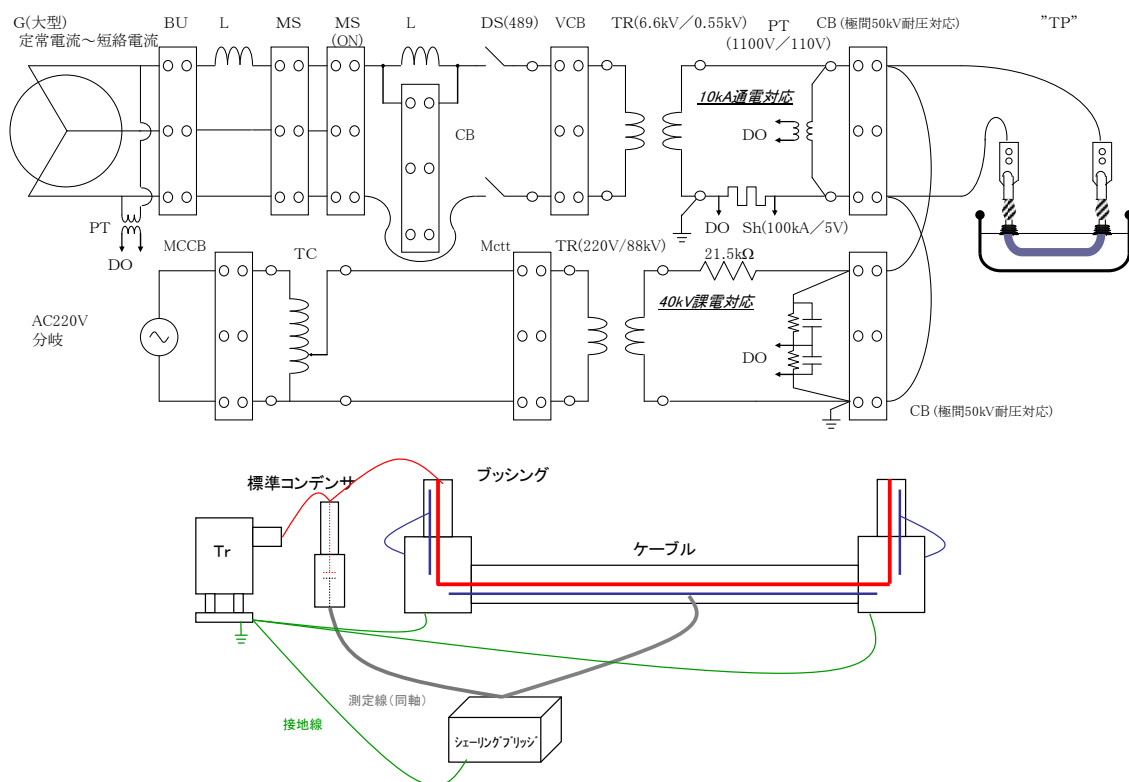


図 2.1.2-13 もらい事故模擬課電試験回路の概要



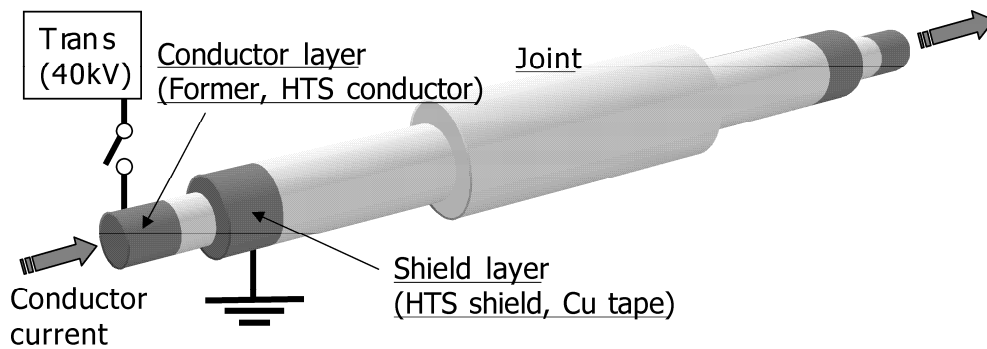


図 2.1.2-14 もらい事故模擬課電試験サンプルの概要

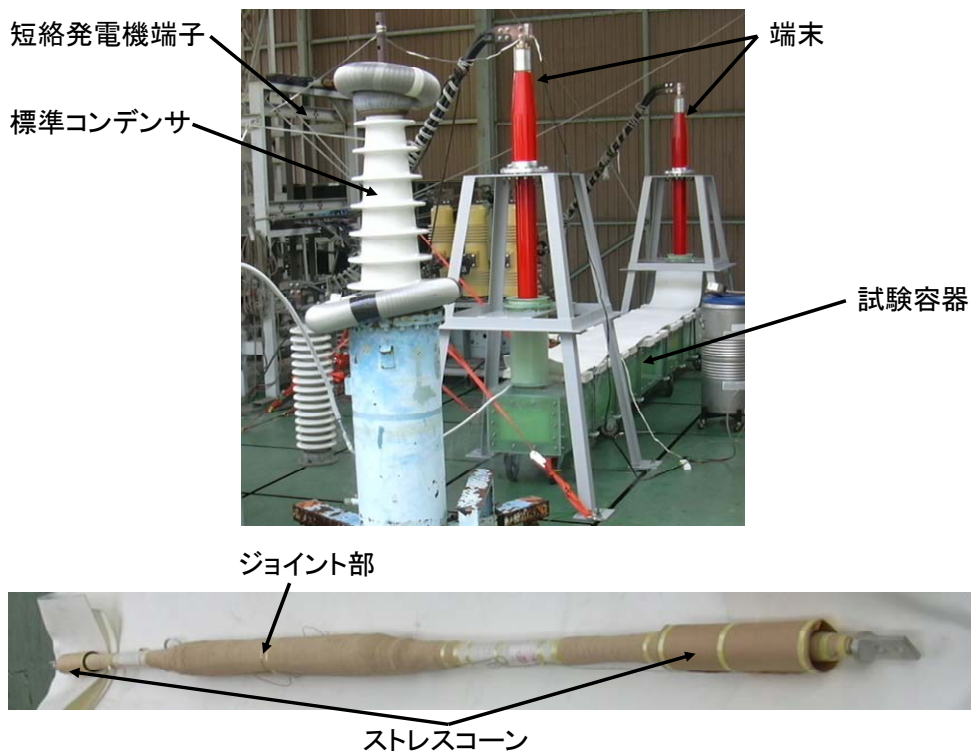


図 2.1.2-15 試験サンプル及び試験場の写真

表 2.1.2-2 超電導ケーブル導体の諸元

構造	超電導線材	外径 (mm)	備考
フォーマ		18	素絶分割集合フォーマ
HTS 導体層	ACT/ACT/ACT/ACT	22	4 層、銅合金補強線
主絶縁層		35	PPLP 6 mm 厚
HTS シールド層	ACT/ACT	37	2 層、銅合金補強線
保護層		43	銅テープ 3 層、他
臨界電流 (1・V/cm 定義、77K)	導体 $I_c = 4800$ A (AC : 3.5 kArms 相当)		

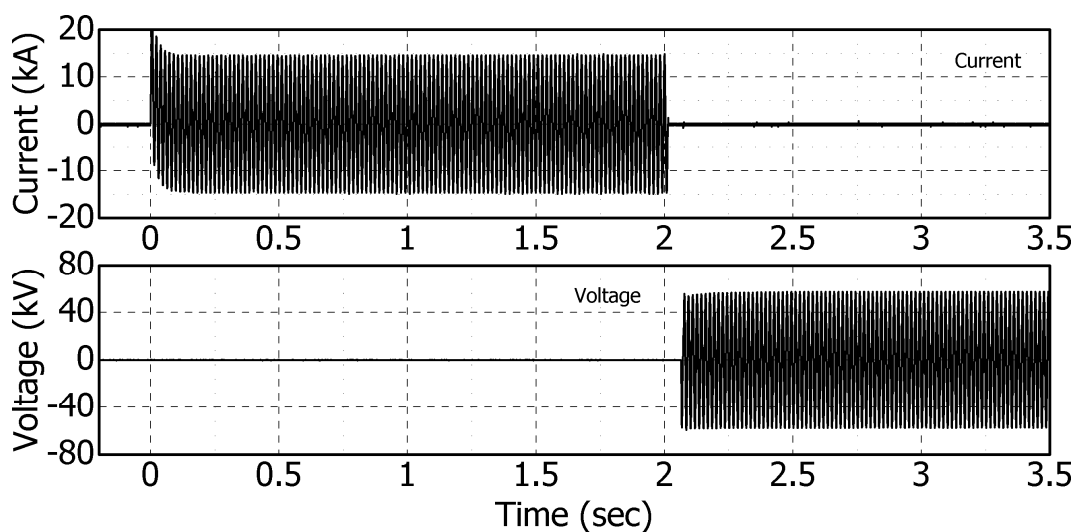


図 2.1.2-16 もらい事故模擬課電試験時の電流・電圧波形

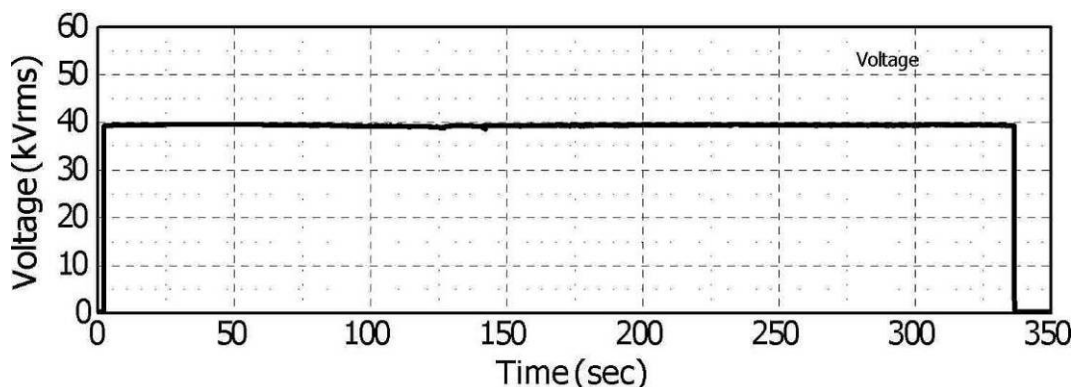


図 2.1.2-17 もらい事故模擬課電試験時の電圧波形

(6) まとめ

- 66kV 級の超電導ケーブルに要求される 31.5kA、2 秒の短絡電流が流れても、ケーブルの健全性が保たれるような温度上昇を抑えるため、短絡電流を分流させる常電導シールド層を付加するケーブル設計を、ケーブル外径制約下で実施した。
- その結果、フォーマとして 140mm<sup>2</sup> の銅撚り線構造を採用し、またシールド部にはトータル 77mm<sup>2</sup> の断面積をもつ、銅テープ線を超電導シールドの外側に巻きつけることとした。
- ケーブル設計に対して事前に短絡電流が流れた際の過渡温度上昇シミュレーションを実施した結果、超電導導体層及び超電導シールド層の温度上昇ΔT は共に 120K 程度であり、超電導線材にダメージが発生しない範囲内に収まっていると判断した。
- 短尺の試験サンプルを作製して、最大 31.5kA、2 秒の短絡電流試験を実施し

た結果、超電導導体層及び超電導シールド層の $\Delta T$ はそれぞれ 120K 及び 110K であり、シミュレーション結果の予想範囲内であった。また、試験前後で試験サンプルに臨界電流特性の劣化はなく、要求される耐過電流特性を有することを確認した。

- ・ もらい事故模擬試験を実施した結果、10kA、2秒の短絡電流通過直後に 1.75kA の通電、及び対地定格 38kV の課電が可能なことを確認し、実証試験が実施される旭変電所線路で要求される特性を満足することを確認した。

#### (7) 今後の計画

短尺の超電導ケーブル導体を用いた短絡試験にて、要求される耐短絡電流特性を満足することを確認した。しかしながら、本試験はオープンバスの容器を用いて飽和液体窒素中で実施しているため、断熱管内の過冷却液体窒素で強制対流冷却される実際のケーブル運転形態とは試験条件が異なる。特に、長尺ケーブル断熱管の限られた空間内で大きな発熱が発生した場合に、圧力上昇等によりダメージが発生することが懸念される。このため、産業総合研究所とともに、短絡電流通過時における断熱管内の冷媒挙動をシミュレートする解析を実施している。本解析により現象解明への目処を立てるとともに、ケーブルシステムへのフィードバックを行う。

### 2.1.3 中間接続部の検討

#### 2.1.3-1 中間接続部の開発目標

中間接続部は、長尺のケーブルシステムには必要不可欠なものである。一般に電力送電線路は、数 km～数 10km と考えられる。その送電線路に供するケーブルを一単長で作製することは、製造能力面からよく検討する必要があるが、単長については輸送の制限で決まってくる場合が多い。そのため、通常はケーブル同士をマンホール内にて接続し、送電線路が形成されている。この接続部を中間接続部（ジョイント）と呼んでいる。

超電導ケーブルにおいても、中間接続部は必須の機器であり、その開発が実施されてきた。<sup>7)</sup> 中間接続部に必要な要件を以下に簡単に示す。

電気的特性：超電導ケーブル同士を接続する際に接続抵抗が発生し、そのため発熱が生じるが、その発熱の影響を考慮し、安定に電流を通電できる必要がある。電圧については、ケーブル部と同等の絶縁性能を有する必要がある。

機械的特性：冷却時、昇温時にはケーブルに張力、圧縮力がかかる。その応力は中間接続部にも印加されることになるので、それらに耐える構造とする必要がある。また、内部に高圧力の液体窒素が流れることから、耐圧力構造である必要がある。

熱的特性：接続抵抗での発熱、外部からの侵入熱については、極力小さくし、冷却システムへの負担を小さくする必要がある。

本プロジェクトにおける 66kV 級三相一括型中間接続部の所要性能を表 2.1.3-1 に示す。

電気的な性能に関しては、超電導ケーブルの特性に合わせて仕様を決定した。

接続抵抗に関しては、 $1\mu\Omega$ /箇所 @ 3kA は、H21 年度までに達成するプロジェクトの目標である。

機械的な特性については、冷却時、昇温時のケーブル張力、圧縮力の要素試験結果からフィードバックした値である。圧力設計については、システム運転最大圧力 0.5MPaG から設定している(2.3.2 節参照)。

また、中間接続部が設置されるマンホールは通常、地表よりも下部に位置しており、雨水が流れ込んで水没する可能性がある。そのために必要な防水処理を施す必要がある。

表 2.1.3-1 本プロジェクトにおける中間接続部の必要特性

No.	項目	必要特性	根拠
1	機械力	引張 3000kgf/3相 圧縮 500kgf/3相	ケーブル要素試験結果による (2.1.5節参照)
2	電流容量	3kArms 連続通電	ケーブル性能に準ずる。
3	短絡電流	・31.5kA@2sec でダメージがないこと ・10kA@2sec で再送電可能なこと	ケーブル性能に準ずる。 (2.3.1節参照)
3	接続抵抗	<1 $\mu\Omega$ /箇所 @ 3kA	プロジェクト目標
4	耐電圧	AC90kV/3h Imp $\pm$ 385kV/3回 DC152kV/10min	ケーブル性能に準ずる。 (2.4.1節参照)
5	圧力設計	0.6MPa $\cdot$ G	システム許容圧力が0.5MPaGであるため。 (2.3.2節参照)
6	耐水性	従来ケーブルと同レベル	

### 2.1.3-2 中間接続部の概略構造

図 2.1.3-1 に超電導ケーブル中間接続部の概略構造図を示す。基本構造は三心一括型の各ケーブルコアをそれぞれ接続し、一つの容器に入れる三心一括型の構造を採用する。尚、本構造は過去に開発を行った中間接続部の構造<sup>7)</sup>が基礎となっている。

ケーブルコア接続方法はまず、両側ケーブルコア中心に位置する銅より線フォーマを従来ケーブルと同様に銅製の導体接続スリーブを用いて機械的な圧縮力で接続する。その導体接続スリーブ上に両側ケーブルの超電導線同士を接続するためケーブルコアとは別に準備した超電導線の渡しを設け、半田を用いて電氣的な接続を行う。

電気絶縁層は補強絶縁紙(クラフト紙)を巻き付け、ストレスコーンを形成する。アース側の電気遮蔽層はメッシュテープ等の巻き付けにより形成する。超電導シールド層は、導体側と同様に超電導線の渡しを設け半田接続する。銅シールド層は、両側ケーブルの銅テープ層に編組銅線を用いて、圧着接続を行う。最後に保護層を巻き付け、各相間の機械的および電氣的接触から保護を行う。ケーブルコア接続の概略図を図 2.1.3-2 に示す。

三相のケーブルコアと窒素槽とは、機械的、電氣的に接続されておらず、内部のケーブルコアは窒素槽に対してフリーな状態になっている。

さらに、このケーブルコアの三相を各相それぞれ接続し、液体窒素が流れる窒素槽、その外側に外部からの侵入熱を低減する真空槽を設ける。これらの槽は耐圧力、耐腐食性を考え、ステンレス材料を選んでおり、現地で組み立て後に溶接を行い形成する。その後、真空槽を真空ポンプにて真空引きし、十分に真空度が良くなった状態で真空ポンプを切り離し、封じ切る構造となっている。

真空槽の外側には従来中間接続部と同様に、防水テープ処理が施され、中間接続部が水没しても機能が損なわれないようにしている。

尚、本プロジェクトでは、中間接続部において、ケーブルコアのシールド（電界遮蔽）層を大地に接地する処理は行わず、ケーブル端部で実施するものとする。

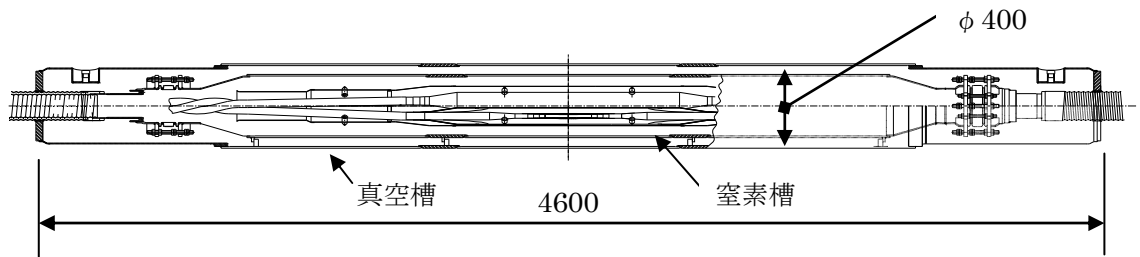


図 2.1.3-1 三心一括型 中間接続部全体構造図

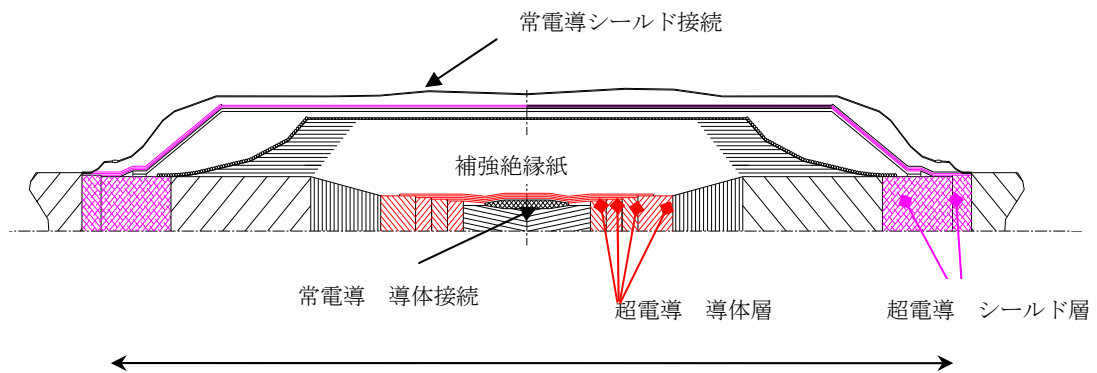


図 2.1.3-2 接続部構造図

## 2.1.3-3 中間接続部の各部設計検討と検証試験

### (1) 導体・シールド接続抵抗測定

導体部の接続は、両側ケーブルコア中心に位置するフォーマを銅製の導体接続スリーブを用いて機械的な圧縮力で接続した後、その導体接続スリーブ上に両側ケーブルの超電導線同士を接続するためケーブルコアとは別に準備した超電導線の渡しを設け、半田を用いて電気的な接続を行う。ケーブル導体部の超電導線4層と、渡し用の超電導線との接続長は各々25mm、渡し用超電導線の本数は、Ic150A級の線材が52本（13本×4層）である。

また、シールド部の接続は、半割れ銅管に予め超電導線材を縦添えしたものを準備し両側ケーブルのシールド層に半田を用いて電気的な接続を行う。ケーブルシールド層の超電導線2層を、渡し用の超電導線との接続長は各々50mm、渡し用超電導線の本数は、Ic150A級の線材が60本（20本×3層）である。

上記導体接続構造およびシールド接続構造をもつ試験サンプル（図2.1.3-3）にて、接続抵抗の測定を行った。サンプルに流した電流と図2.1.3-3中の電圧タップ間距離での発生電圧との関係を図2.1.3-4に示す。これより、導体部の接続抵抗値は $6.7\text{n}\Omega/\text{相}@3\text{kA}$ 、シールド部の接続抵抗値は $2.5\text{n}\Omega/\text{相}@3\text{kA}$ と計算された。これらの値はプロジェクトの目標の $1\mu\Omega/\text{箇所}@3\text{kA}$ よりも十分小さな値であり、本構造で目標を達成できることを確認した。

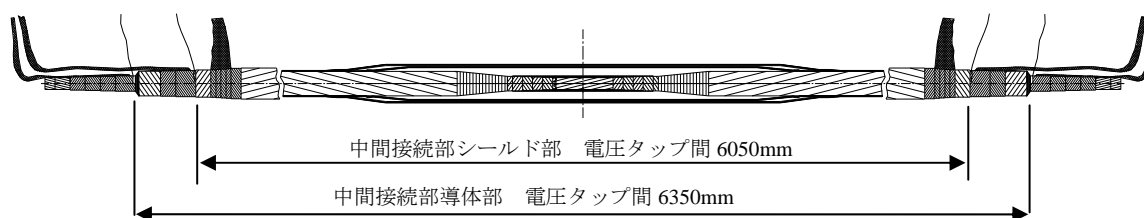


図 2.1.3-3 中間接続部 導体・シールド接続抵抗測定サンプル

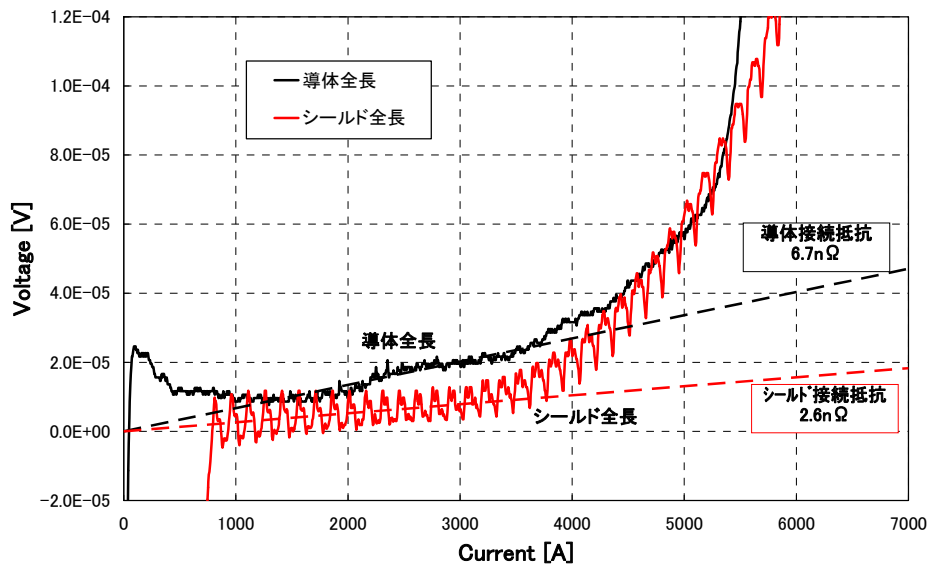


図 2. 1. 3-4 中間接続部 導体・シールド接続抵抗測定結果

## (2) 通電試験

最終構造を有する中間接続部サンプルを組立て、図 2. 1. 3-5 に示す過冷却試験構成にて通電特性検証を行った。試験状況を図 2. 1. 3-6 に示す。試験は、ケーブル入口温度 77.5K、液体窒素圧力 0.2MPa・G、液体窒素流量 20L/min の条件下においてサンプルの導体層とシールド層への Go-Return 通電を行い、3kArms・8h 通電に対し図 2. 1. 3-7 に示す通り、ジョイント内部の温度が定常になること確認し 12h 連続の安定運転に成功した。

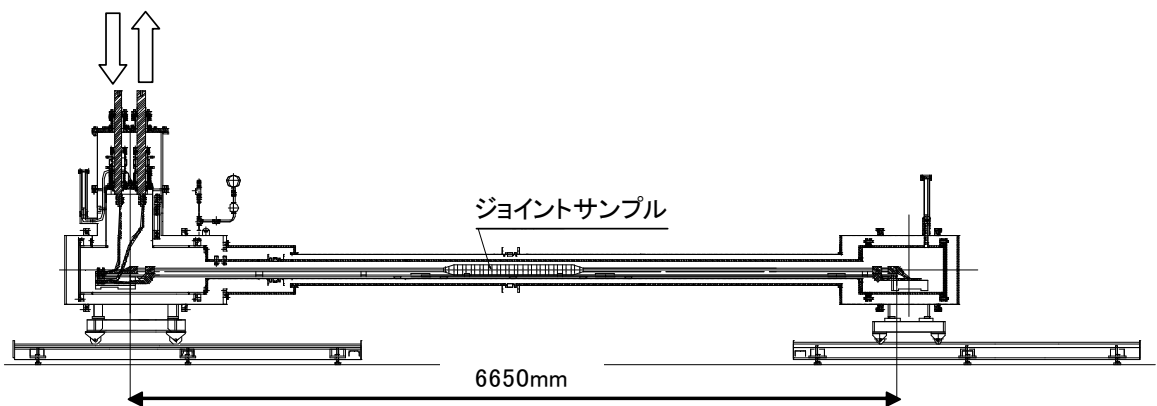


図 2. 1. 3-5 中間接続部 過冷却通電試験構成図





図 2.1.3-6 中間接続部 過冷却通電試験状況

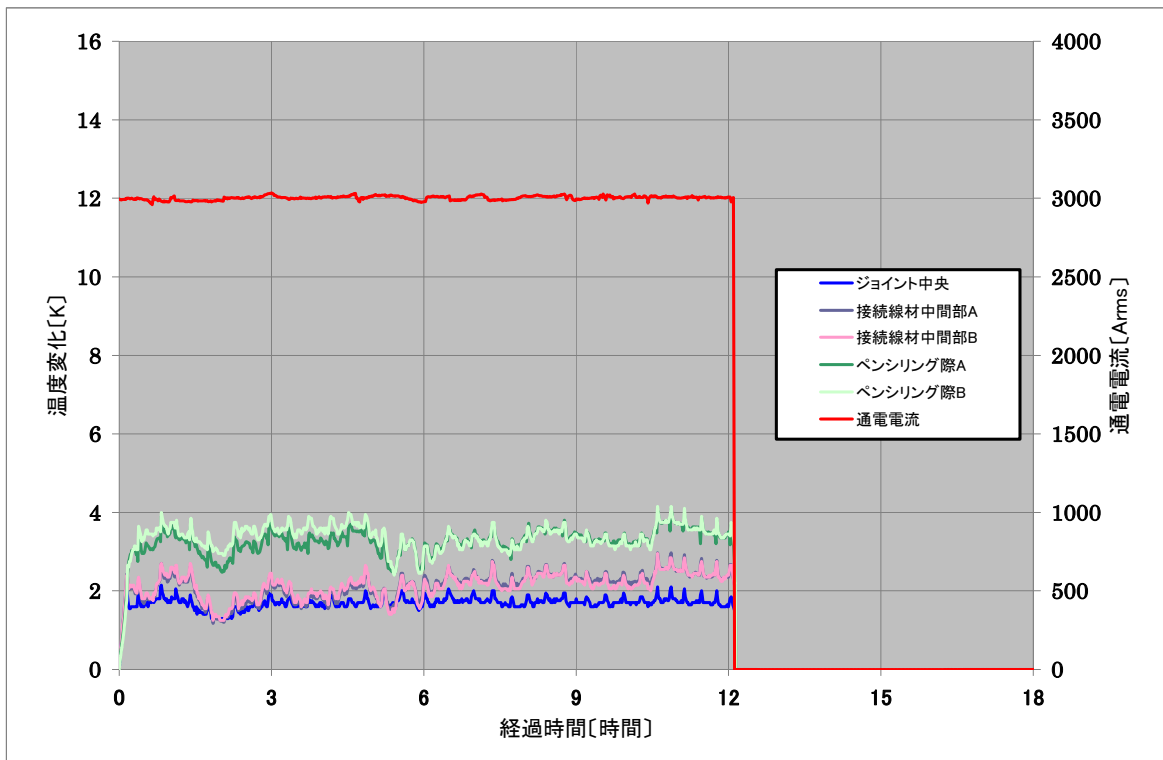


図 2.1.3-7(A) 中間接続部 過冷却通電試験結果

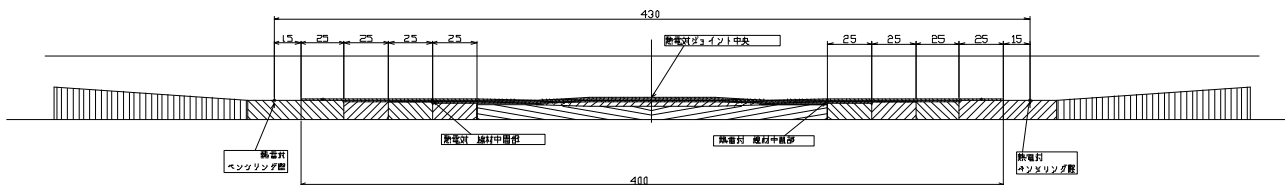


図 2.1.3-7(B) 通電試験における熱電対取り付け位置

### (3) 間接続構造の短絡電流試験

本試験では、ジョイントの接続部が、31.5kA@2sec の短絡電流が流れた場合に健全であるかどうか、また、10 kA@2sec の短絡電流に対して、再送電可能かどうかを検証した。

間接続部を含む試験サンプルの構成図を図 2.1.3-8 に示す。試験は、ケーブルコア 1 本のみを使い、導体層に電流を流し、反対側の端部でシールド層に接続し、シールド層にも電流を流す、Go-return 通電により実施した。

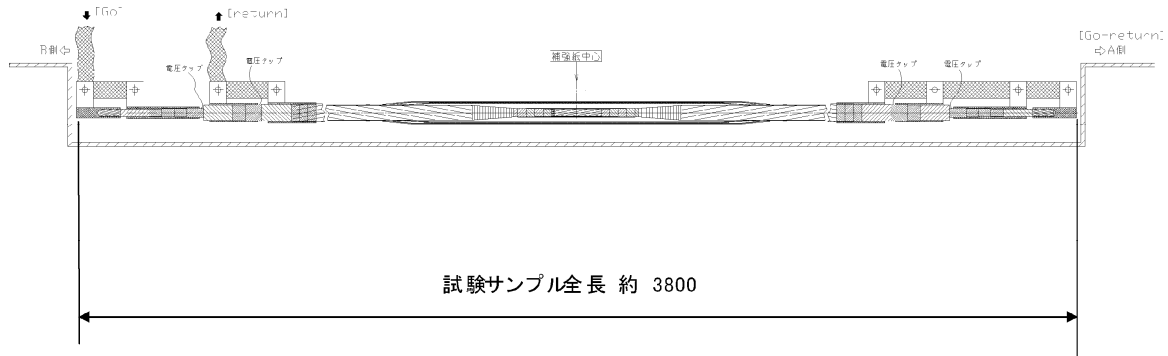
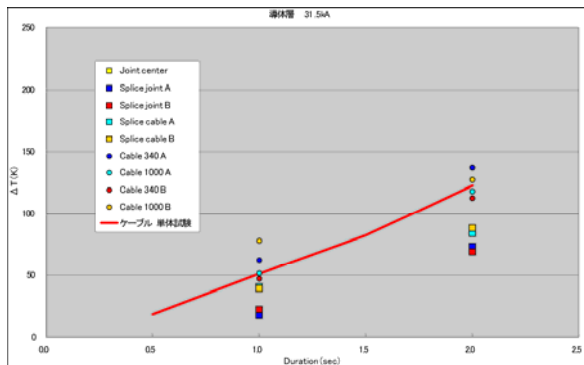
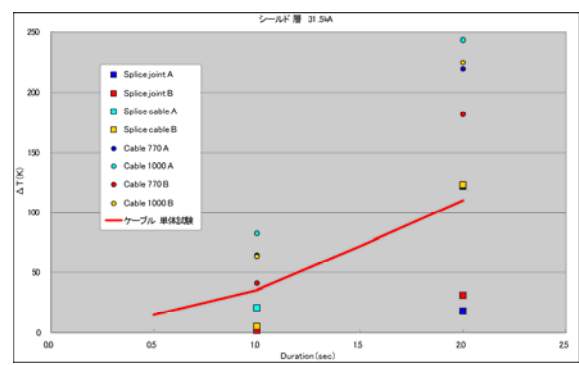


図 2.1.3-8 間接続部サンプルの構成

間接続部サンプルの試験結果を図 2.1.3-9 に示す。31.5kA 時の温度上昇は、間接続部の導体部で 20K、シールド部では 1~2K であり、いずれもケーブル部の温度上昇よりも小さいことが確認された。尚、熱電対の取り付け位置は図 2.1.3-7(B) に示すものと同じである。



(a) ケーブル導体試験結果



(b) シールド部試験結果

図 2.1.3-9 短絡電流試験時の各部の温度上昇

また、10 kA@2sec 通電後 1.75 kA 通電したときの接続部の温度上昇を図 2.1.3-10 に示す。温度上昇は継続せず、短絡電流通過後はすぐに温度は元にもどり、定格通電ができることを確認した。

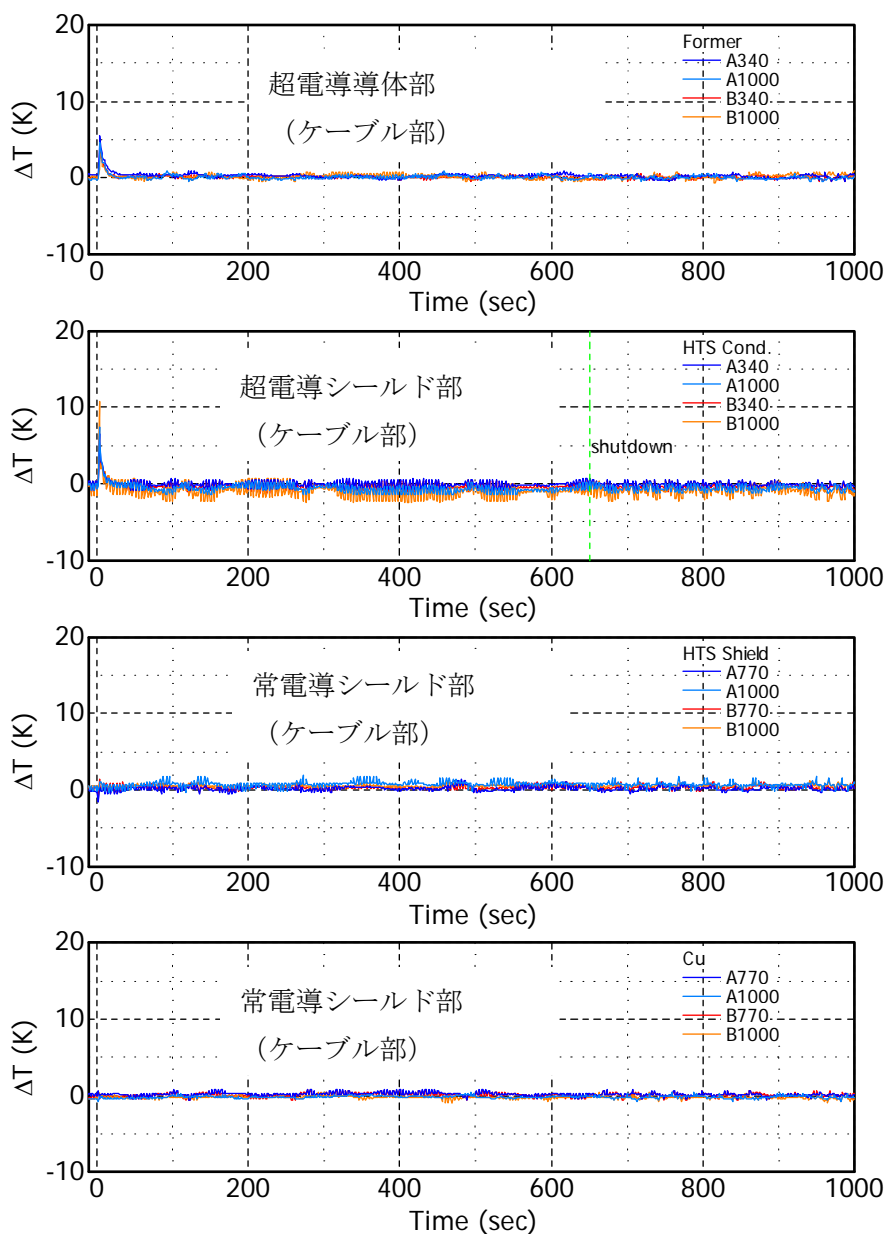


図 2. 1. 3-10 10 k A-2sec→1. 75 k A 通電時の温度上昇結果

図 2. 1. 3-11 に短絡電流試験の前後における試験サンプルの  $I_c$  値比較データを示す。その結果、31.5 k A-2sec の過電流および 10 k A-2sec 後 2 k A 通電電流が印加されても中間接続部の導体・シールド超電導線にダメージが発生しないことを確認した。

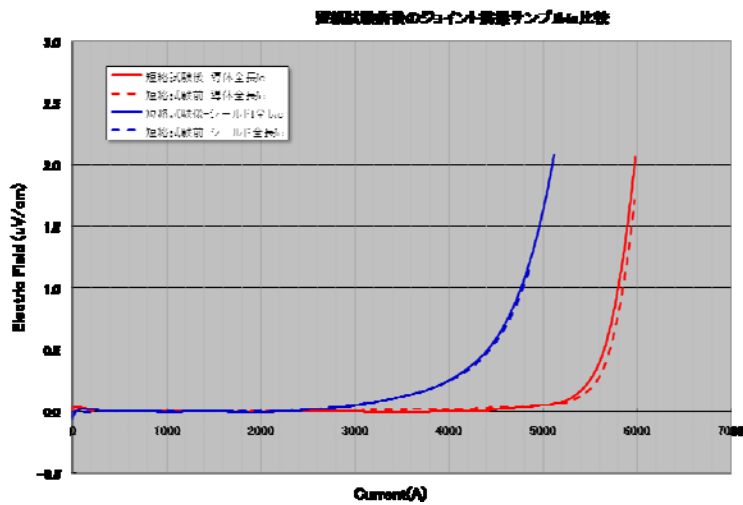


図 2.1.3-11 短絡電流試験後の Ic 値比較

#### (4) 電気絶縁試験

30m実証ケーブルと同じロッドから切り出したケーブルを使用し中央部に单相の中間接続部を組立した試験サンプルを用いてAC課電、DC課電、雷インパルス課電試験を実施した。試験は、図 2.1.3-12 に示す試験容器にて、実験を行った。試験状況写真を図 2.1.3-13 に示す。

試験結果を表 2.1.3-2 に示す。試験の結果、本接続構造は、所要性能を満足することが検証できた。

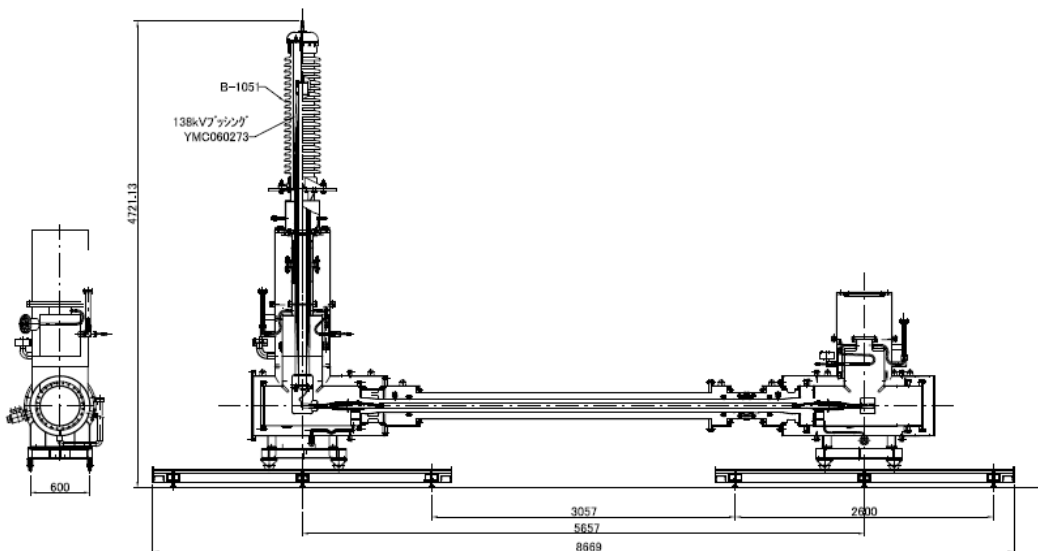


図 2.1.3-12 課電試験システム構成図



図 2. 1. 3-13 課電試験システム外観

表 2. 1. 3-2 課電試験結果

	試験内容	試験結果
1	AC 課電試験	①90kV-3 時間 良好 ②150kV-10 分 良好
2	DC 課電試験	-152kV-10 分間 良好
3	Imp 課電試験	±385 kV 各 3 回 良好

### (5) 機械試験

三心一括ケーブルシステムにおいて、ケーブルシステム完成後の初期冷却時にケーブルコアの熱収縮に伴う引張張力が中間接続部に印加される。またケーブルシステムの昇温時には圧縮力が印加される。中間接続部においては、これらの熱応力が繰り返し印加されてもケーブルと同様に性能が低下しないことが必要である。

ケーブルコアの機械試験の結果（2. 1. 5 節に記載）から、本ケーブル構造においては最大引張力 3000kgf/3 相、最大圧縮力 500kgf/3 相が発生すると予想される。

図 2. 1. 3-14 に示す通り、三心一括の中間接続部試験サンプルを組立て、液体窒素の冷却条件下において以下の条件による引張および圧縮試験を実施し試験前後で  $I_c$  値に劣化がないことを確認した。試験状況の写真を図 2. 1. 3-15 に、 $I_c$  測定結果を図 2. 1. 3-16 に示す。

- ① 両端フリー冷却 → 引張荷重印加 [max3000kgf]
- ② 両端フリー冷却 → 圧縮荷重印加 [max500kgf]
- ③ 両端フリー冷却 → 引張荷重印加 [max3850kgf]

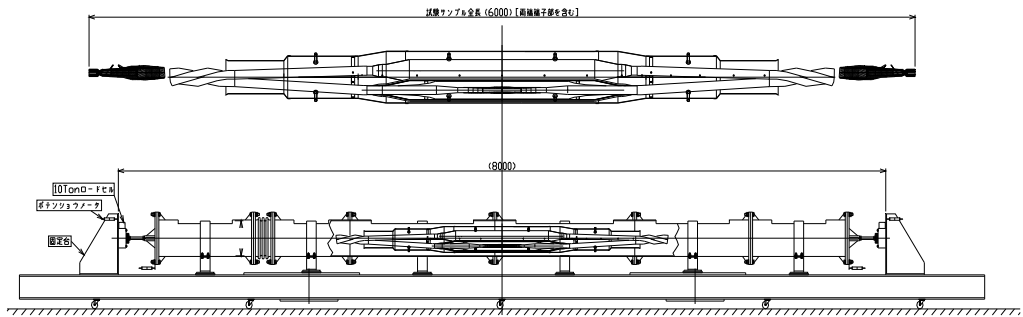


図 2.1.3-14 中間接続部冷却機械試験システム



図 2.1.3-15 中間接続部冷却機械試験状況

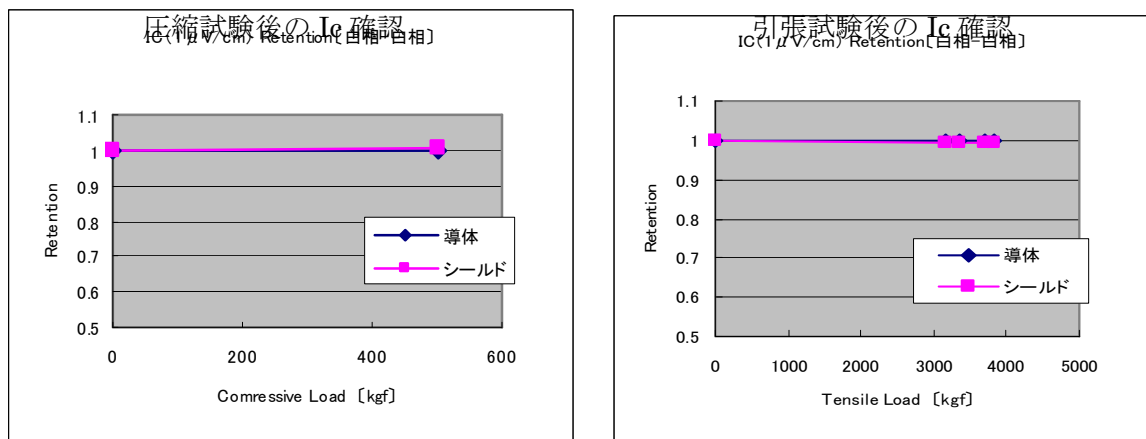


図 2.1.3-16 中間接続部冷却機械試験後の Ic 値比較

## (6) 接続部把持構造

三心の接続部がそれぞれ組立完了した後は、ケーブルコアを中間接続箱両側のケーブル断熱管内に押し戻すことで三心接続部の外径を小さくすることができる。その後「保護カバー」を取り付けて三心を一体化し窒素容器間に半球状に加工したテフロン製支持材で把持する構造とした。この支持材は窒素槽とは固定されておらず、冷却時の熱収縮に伴うケーブルコアの移動をスムーズに行えるようにしている。

三心一括の構造図を図 2.1.3-17 に示す。

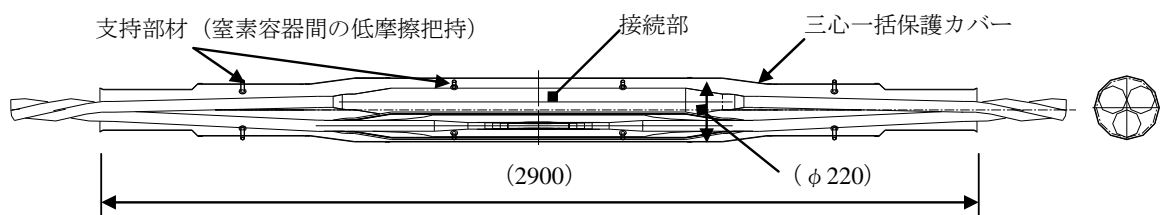


図 2.1.3-17 中間接続部三心一括構造図

## (7) 窒素槽、真空槽の検討

窒素槽は、最大使用圧力が 0.5MPa・G とし JIS の圧力容器規格に準拠した圧力設計を実施した。窒素槽は組立施工性・高真空断熱層の長期信頼性の観点より接合部は溶接接続構造を採用した。使用する材料は、極低温領域まで低温脆性を示さない「オーステナイト系ステンレス鋼」SUS304 を選定した。

真空槽については、ケーブル部と同様に内管（窒素容器）、外管（真空容器）の二重構造としている。三心一括の接続部を収納し液体窒素を充填した空間となる窒素槽の外側に熱輻射シールド用の両面アルミニウム蒸着ポリエステルとポリエステルを交互に重ねた多層断熱層を用いて形成している。接続部の真空断熱層はケーブル部とは分離された構造であり中間接続部の真空槽の真空引きはケーブルと別を実施する。

## (8) 中間接続部の熱損失検討

中間接続部においてもケーブル部と同様に冷却システムコンパクト化の面から侵入熱を極力低減させる必要がある。接続部は真空槽に覆われ、外部からの熱侵入を抑える構造である。内側に配置される窒素槽の支持方法は、侵入熱を極力押さえる観点から低温域において熱伝導率が極めて低く、機械強度が期待できる FRP (Fiber Reinforced Prastic) 材で支持する構造とした。中間接続部への熱侵入量は、低温工学ハンドブックに準拠し、表 2.1.3-3 に示すように算出した。

表 2.1.3-3 中間接続部容器の熱侵入量

	熱侵入量	備考
Q1 [W]	4.8	両側 SUS コルゲートからの伝導
Q2 [W]	47	窒素容器支持材 (FRP) からの伝導
Q3 [W]	0.5	外気温 300[K]から容器への侵入熱

三心一括の接続部構造 (L=4.6m) における AC3000Arms (50Hz) 通電時の損失を [Q<sub>4</sub>] とした場合に単相ジョイント試験サンプルを用いた通電試験による AC 抵抗測定値を用いて以下の通り算出できる。但しケーブル部の損失は導体・シールドともに 1.0W/m/ph@3kA (50Hz) とする。接続部は三心一括構造であるので、単相で算出した通電損失を 3 倍する必要がある。

本接続部における通電損失の測定に関しては、三心一括型接続部の組立検証試験を実施した 6m 長の接続部サンプルのうち 1 相を使用し導体-シールドに go-return の AC 電流を通電してロスを実測した。測定結果を図 2.1.3-18 に示す。ロス測定は 60Hz で実施したが、損失計算では 50Hz 換算値で算出している。測定の結果、3kA 通電時の導体接続部ロスは 5.3W/m、シールド接続部ロスは 6.3W/m の結果が得られた。従って中間接続部の 3kA 通電時の損失は、以下のように計算できる。尚、各部の長さは、図 2.1.3-19 に示す。

$$Q_4 = (Q_5 + Q_6) \times 3 \text{ 相分} = (6.3\text{W} + 12.0\text{W}) \times 3 = 54.9 \text{ [W]}$$

$$\text{導体部} \quad Q_5 = 5.3\text{W/m} \times 0.4\text{m} + 1.0\text{W/m} \times (4.6 - 0.4) = 6.3 \text{ [W]}$$

$$\text{シールド部} \quad Q_6 = 6.3\text{W/m} \times 1.4\text{m} + 1.0\text{W/m} \times (4.6 - 1.4) = 12.0 \text{ [W]}$$

これらの検討から、3kA 通電時におけるジョイント部のトータルの熱損失は、(Q<sub>1</sub>+Q<sub>2</sub>+Q<sub>3</sub>+Q<sub>4</sub>) =107W になる。



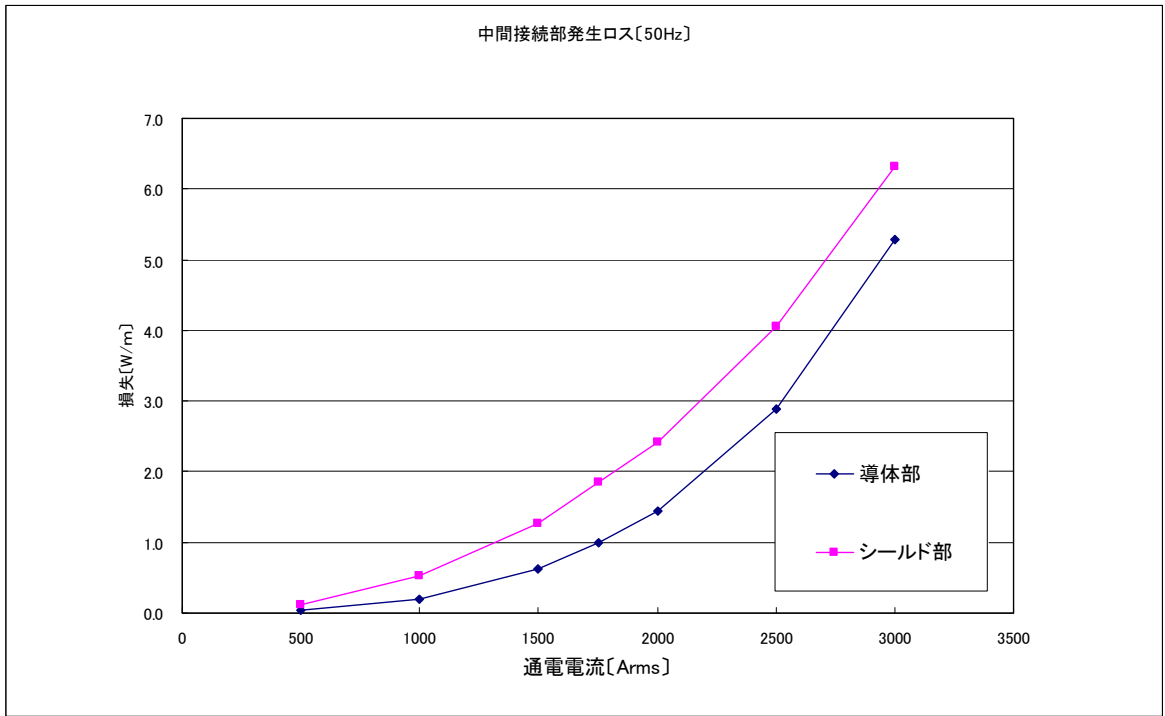


図 2.1.3-18 中間接続部通電ロス測定結果 (50Hz 換算値)

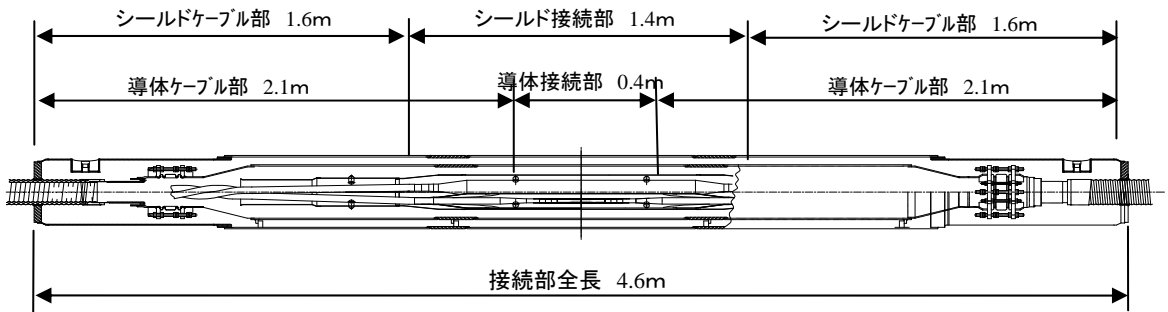


図 2.1.3-19 中間接続部通電試験サンプル構成損失の算出図

### 2.1.3-4 まとめ

- ・接続抵抗については、ジョイントモデルを作成し、本節で検討した導体接続構造、シールド接続構造において、導体部は  $6.7\text{n}\Omega/\text{相}@3\text{kA}$ 、シールド部は  $2.5\text{n}\Omega/\text{相}@3\text{kA}$  であることを検証し、目標値の  $1\mu\Omega/\text{箇所}@3\text{kA}$  以下を達成した。
- ・通電試験では、 $3\text{kArms}$  12 時間連続安定通電を検証した。また、短絡電流試験では短絡電流試験の前後において、サンプルの  $I_c$  値に変化はなく、 $10\text{kA}-2\text{sec}$  後の  $1.75\text{kA}$  連続通電試験および  $31.5\text{kA}-2\text{sec}$  の過電流に対して中間接続部の導体・シールド超電導線にダメージが発生しないことを確認した。
- ・電気絶縁試験では、 $\text{AC}130\text{kV}\cdot 3\text{h}$ 、 $\text{Imp}\pm 385\text{kV}/3$  回の所要性能を満足することを検証した。
- ・機械特性試験では、三心一括の中間接続部試験サンプルを組立て、液体窒素の冷却条件下において、要求性能  $3\text{ton}/\text{三相}$  の引張試験および  $0.5\text{ton}/\text{三相}$  の圧縮試験を実施し、試験前後で  $I_c$  値に劣化がなく中間接続部の機械設計の妥当性を検証した。
- ・熱損失では、三心一括の中間接続部における  $3\text{kA}$  通電時の全体ロスが  $72\text{W}$  程度であると試算した。

これらの結果から、検討している構造は、中間接続部の所要性能である「耐熱機械力」「電流容量」「耐電圧」「圧力設計」に十分に満足するものであった。この設計をもとに検証ケーブルシステムでの中間接続部を組立、冷却試験、各種電気試験等を実施した。その結果はシステム全体の試験結果として 2.1.5 節に記述する。

## 2.1.4 終端接続部の検討

### 2.1.4-1 終端接続部の開発目標

超電導ケーブルシステムの終端接続部は超電導ケーブルと常電導機器（例えば、送電線、遮断器、変圧器など）とを接続する箇所であり、温度的には、極低温部と常温部との接続部である。この終端接続部の特徴をまとめると以下のように記述できる。

「機械的」には超電導ケーブルシステム全体が、室温から液体窒素温度まで冷却されるために起こる熱収縮によりケーブル部に引張力が発生するが、その引張力を引止める構造を有する必要がある。尚、ケーブルの温度が室温に戻る時は圧縮力が働くので、その圧縮力にも耐える構造が必要である。また、冷媒である液体窒素には高い圧力がかけられるが、その圧力に耐える構造も必要となる。

「電氣的」には超電導部と常電導部との電氣的な接続部には、接続抵抗が発生する。この抵抗により、通電時には発熱が起こり、その温度上昇を考慮して安定に通電できる構造とする必要がある。

「熱的」には、接続する常温機器からの侵入熱、上述した接続抵抗による発熱など、ケーブル部と比べて、熱損失が多くなる箇所である。特に極低温部から常温部へ電気を引き出す電流リードからの侵入熱が大きく、その侵入熱の低減が重要であり、熱損失を小さくすることがシステム全体の運転コスト低減につながる。

本プロジェクトにおける 66kV 級終端接続部の所要性能を表 2.1.4-1 に示す。

電氣的な性能に関しては、超電導ケーブルの特性に合わせて仕様を決定した。機械的な特性については、冷却時、昇温時のケーブル張力、圧縮力の要素試験結果からフィードバックした値である。圧力設計については、システム運転最大圧力 0.5MPaG から設定している。(2.3.2 節参照)

地震対応については、従来ケーブルの終端接続部に課せられる仕様に準拠して設計を行うこととする。

表 2.1.4.-1 終端接続部の所要性能

No.	項目	所要性能	根拠	
1	機械力	引張 3000kgf/3相 圧縮 500kgf/3相	ケーブル要素試験結果 (2.1.5節参照)	
2	電流容量	3kArms 連続通電	ケーブル性能に準ずる。	
3	短絡電流	・ 31.5kA@2sec でダメージがないこと ・ 10kA@2sec で再送電可能なこと	ケーブル性能に準ずる。 (2.3.1節参照)	
4	耐電圧	高電圧部	AC90kV/3h Imp±385kV/3回 DC152kV/10min	ケーブル性能に準ずる。 (2.5.1節参照)
		接地端子	DC25kV/10min Imp-50V/3回	ケーブル防食層 (JEC3402) に準ずる。
5	圧力設計	0.6MPa・G	システム許容圧力が 0.5MPaG であるため。(2.3.2節参照)	
6	耐震設計	水平 0.3G、垂直 0.15G	常電導機器の設計に準拠 (東京電力仕様による)	

#### 2.1.4-2 終端接続部の概略構造

図 2.1.4-1、図 2.1.4-2 に超電導ケーブル終端接続部の概略構造図を示す。基本構造は碍子垂直取付構造と、各相のケーブルコアにオフセット部を設けて一つの容器に入れる三相一括型構造とした。

各相のケーブルコアは導体接続金具(スリーブ)で接続され各々容器本体に引止められる。ケーブルコアと導体接続金具の接続方法はまず、超電導線材(導体)を各層接続長分段々になった、たけのこ処理をし、ケーブルコア中心にあるフォーマを導体接続金具に差し込み、圧縮し機械的に接続する。その後、この接続金具の超電導線材(導体)部分に半田を流し込み、電気的な接続を行う。

導体接続金具は FRP (Fiber reinforced plastic) パイプからなる、引止め治具と接続され、その引き止め治具が、容器本体と接続される。容器は別途、大地に固定されるため、ケーブルコア部分が、大地に固定されることになる。

電気絶縁層は、補強絶縁紙を巻き付けてストレスコーンを形成する。超電導シールド層および銅シールド層は、導体層と同様にたけのこ処理を実施しシールド接続金具をセットして半田流し込みにより接続した後に編素線で三相短絡する。

導体接続金具(スリーブ)と電流リードは編素線で電気的に接続され可とうシールド管に覆われて電界的に保護される。また、その編素線は容器本体に FRP パイプからなる支持治具で固定される。電流リードは 2500mm<sup>2</sup>の素線絶縁導体からなり、ブッシングの内部を貫通している。

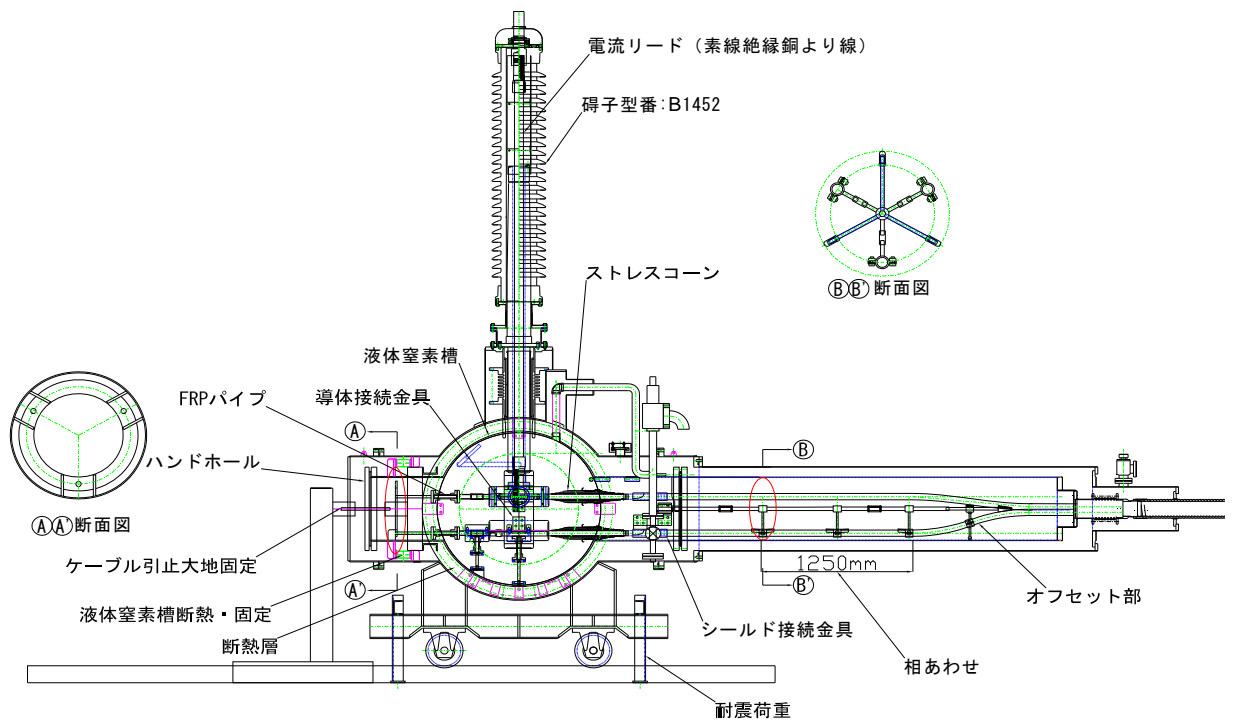


図 2.1.4-1 終端接続部の概略構造図 (側面図)

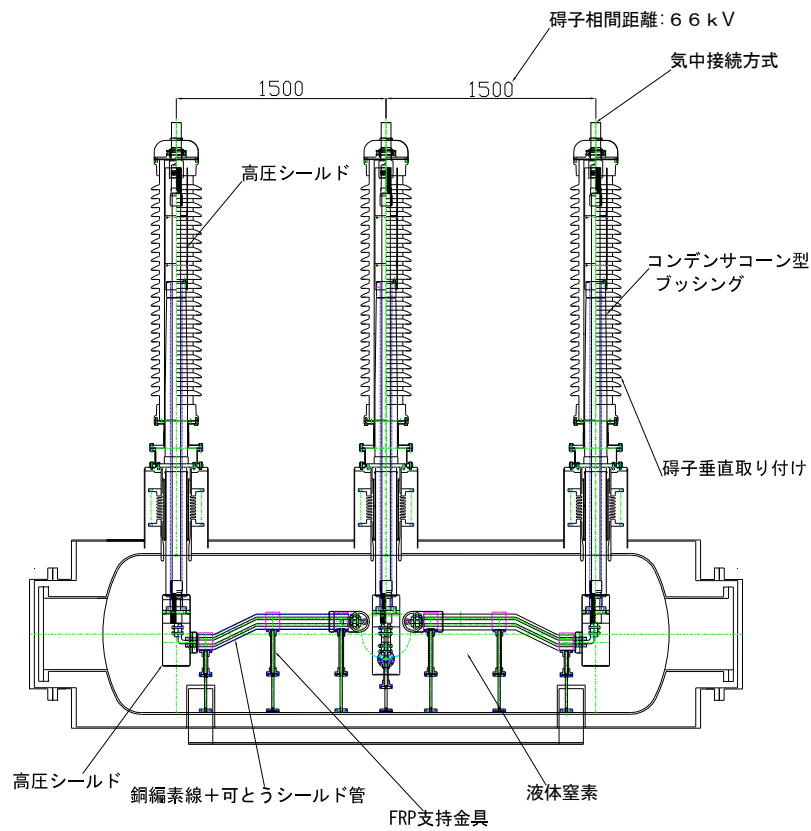


図 2.1.4-2 終端接続部概略構造図 (背面図)

## 2.1.4-3 終端接続部の各部設計検討と要素試験

### (1) 接続抵抗測定

終端接続部では、超電導線と銅製の接続金具とが、半田で接続される。超電導線と接続金具との直流接続抵抗を、接続長さをパラメータとして測定し、有効な接続長を求めた。実験を行った超電導線と接続金具のモデル構造図を図 2.1.4-3 に、測手結果を図 2.1.4-4 に示す。試験の結果、30mm 以上の接続長では接続抵抗の低下は緩やかになり、接続部の大きさをコンパクト化したいことから、ここでは、接続長として、30mm を選んだ。

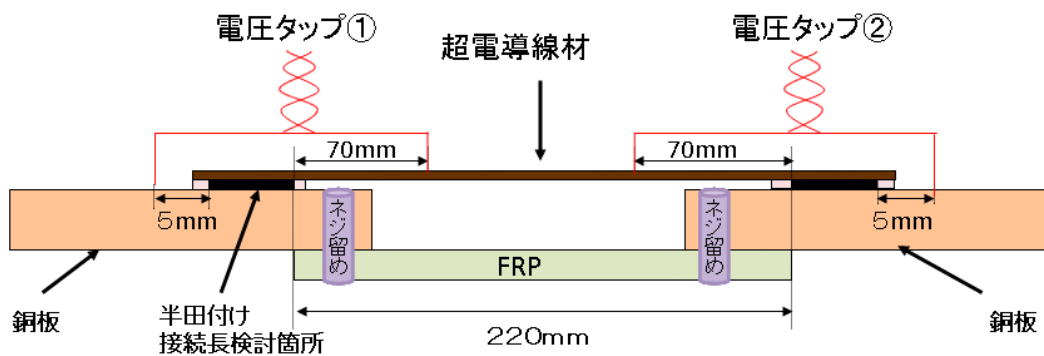


図 2.1.4-3 モデル構造図

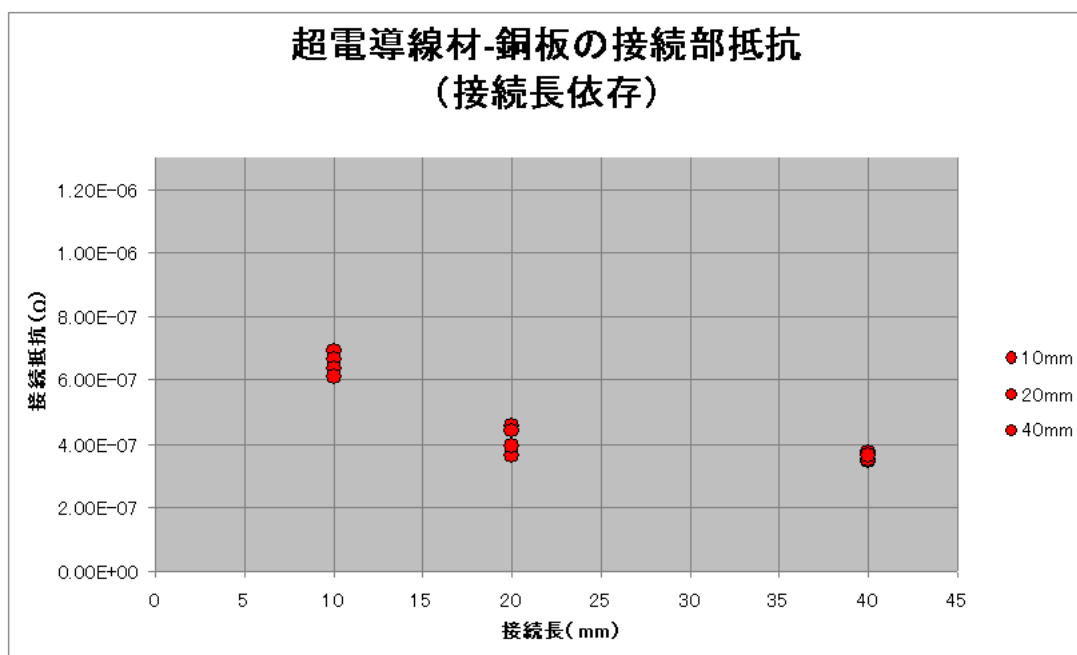


図 2.1.4-4 超電導線材と銅板の接続抵抗

## (2) 通電試験

(1)で求めた接続長をもとに、超電導導体と接続金具、シールド部とシールド接続金具との接続モデルを作成し、接続抵抗の測定と 3kA の通電試験を行った。

導体接続構造を模擬したサンプル構造を図 2.1.4-5 に、試験状況写真を図 2.1.4-6 に示す。サンプルに AC3000Arms を通電して測定した電圧 (図 2.1.4-5 に V で図示) の変化を図 2.1.4-7 に示す。約 8 時間連続で通電を行ったが、測定した電圧は時間経過による変化がなく、特に発熱による接続部の抵抗変化もなく、安定に通電できたと判断される。温度も各測定点において変化ないことを確認した。

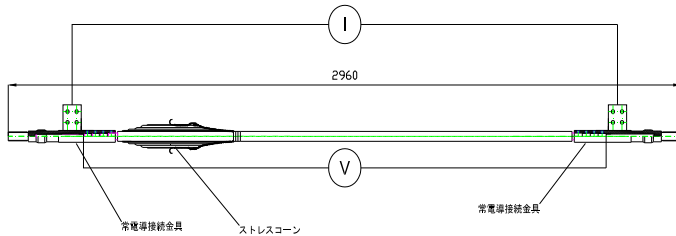


図 2.1.4-5 導体通電試験サンプル図



図 2.1.4-6 試験状況

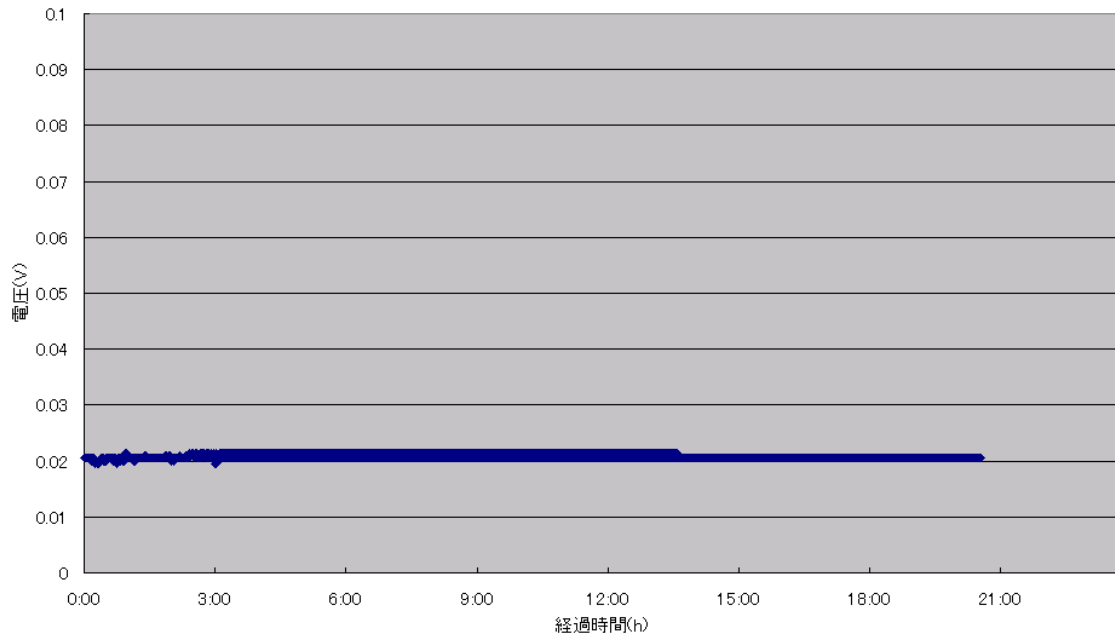


図 2.1.4-7 導体接続サンプルの通電結果

シールド接続部も同様に、その構造を模擬したモデルを作成した。そのモデル構造を図 2.1.4-8 に、試験状況写真を図 2.1.4-9 に示す。このモデルに、AC3000Arms を通電して測定した電圧（図 2.1.4-8 に V として図示）の変化を図 2.1.4-10 に示す。同じく約 8 時間連続で通電を行ったが、測定した電圧に変化はなく、安定に通電できたと判断される。

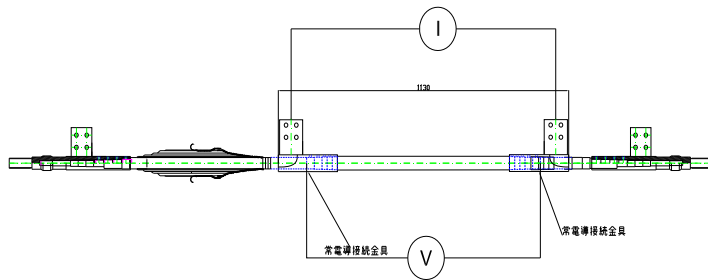


図 2.1.4-8 シールド通電試験サンプル図



図 2.1.4-9 試験状況

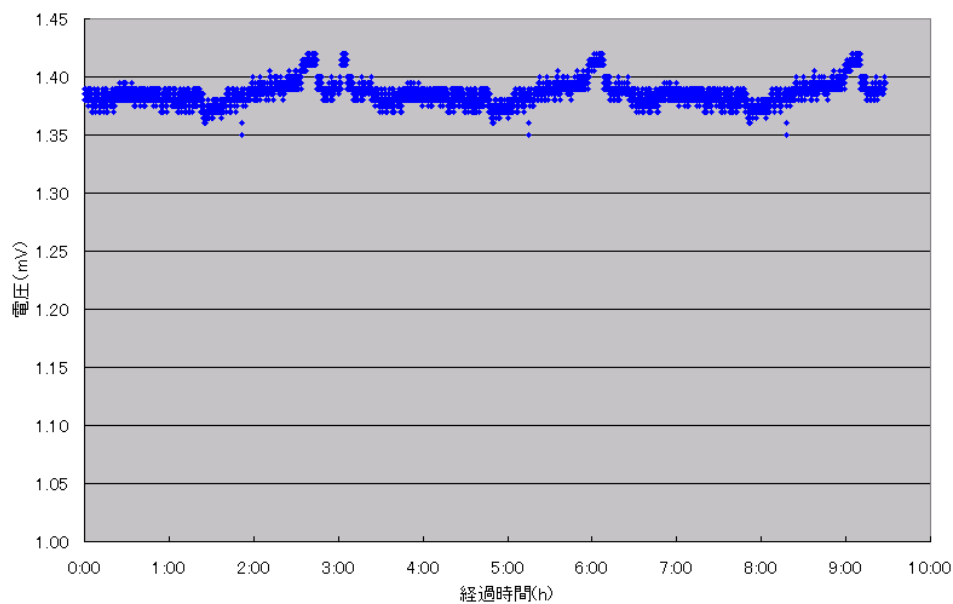


図 2.1.4-10 シールド接続サンプルの通電結果

### (3) 短絡電流試験

超電導ケーブルシステムに要求される耐短絡電流特性は 2.1.4-1 の開発目標に記載したように、最大 31.5kA-2sec の過電流が流れてもケーブルシステムにダメージなきこと (Ic 劣化なきこと)、及び 10kA-2sec の過電流が流れた直後にも送電可能なことを確認する必要がある。

ここでは、ストレスコーン (以下ストコン) 部を有する終端接続部模擬サンプルを作成し、短絡電流試験を行った。サンプルの構成図を図 2.1.4-11 に、諸元を表



2.1.4-2 に示す。サンプルの全長は約 2.6m であり、サンプル片側（図 2.4.1-11 の左側）にストコン部が設けられている。計測素子として、過電流印加時のケーブルコア内部温度を計測するための熱電対と、電流分布を計測するためのログスキーコイルを、図 2.4.1-11 に示す位置に取り付けている。ここで、電流は超電導部とフォーマ部に分流するが、全電流をログスキーコイル①で、超電導部部の電流をログスキーコイル②で測定を行った。

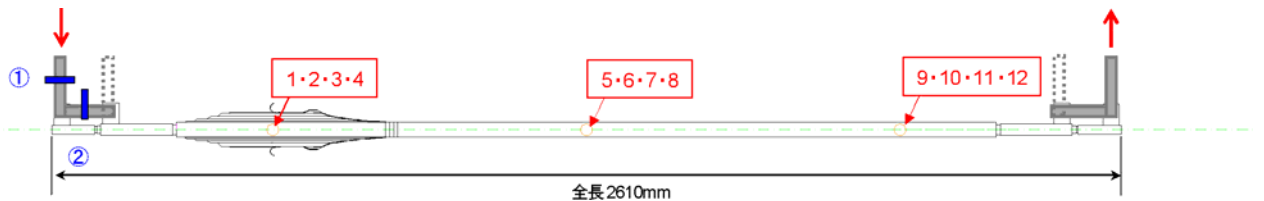


図 2.1.4-11 短絡試験サンプル構成図

①②はログスキーコイル、1～12 は温度測定用熱電対を示し、0°、90°、180°、270° の位置に取り付けている。

表 2.1.4-2 端末模擬サンプルの諸元

構造	超電導線材	外径 (mm)	備考
フォーマ		18	素絶分割集合フォーマ
HTS 導体層	HT/HT/ACT/ACT	22	4 層、銅合金補強線
主絶縁層		37	PPLP 7mm 厚
臨界電流 (1 $\mu$ V/cm 定義、at 77K)	導体 $I_c=5900A_{dc}$ (AC : 4.1kArms 相当)		

端末サンプルの試験結果を表 2.1.4-3 示す。図 2.1.4-12 は 31.5kA における、端末サンプルの温度上昇とケーブルコアの試験結果とを比較したものを示す。これらから、端末サンプルのストコン部とケーブルコア部の温度上昇には差異が無く、どちらもケーブル単体試験結果と同等であった。

また、短絡電流試験後に、サンプルの健全性を確認するために  $I_c$  測定を実施した結果を試験前データとともに図 2.1.4-13 に示す。試験前後において  $I_c$  値に変化はなく、今回の短絡電流試験条件 (最大 31.5kA-2sec) において、サンプルにダメージが無いことを確認した。

表 2.1.4-3 短絡電流試験結果

No.	短絡電流 (kArms)	短絡時間 (sec)	ΔT (K)		
			ストコン部	ケーブル部	
			ストコン部 (3, 4)	ケーブル中央部 (7, 8)	端末側 (11, 12)
1	10	2	6	7	5
2	10	3	12	9	8
3	20	2	38	36	39
4	31.5	1	45	50	47
5	31.5	2	97	94	100

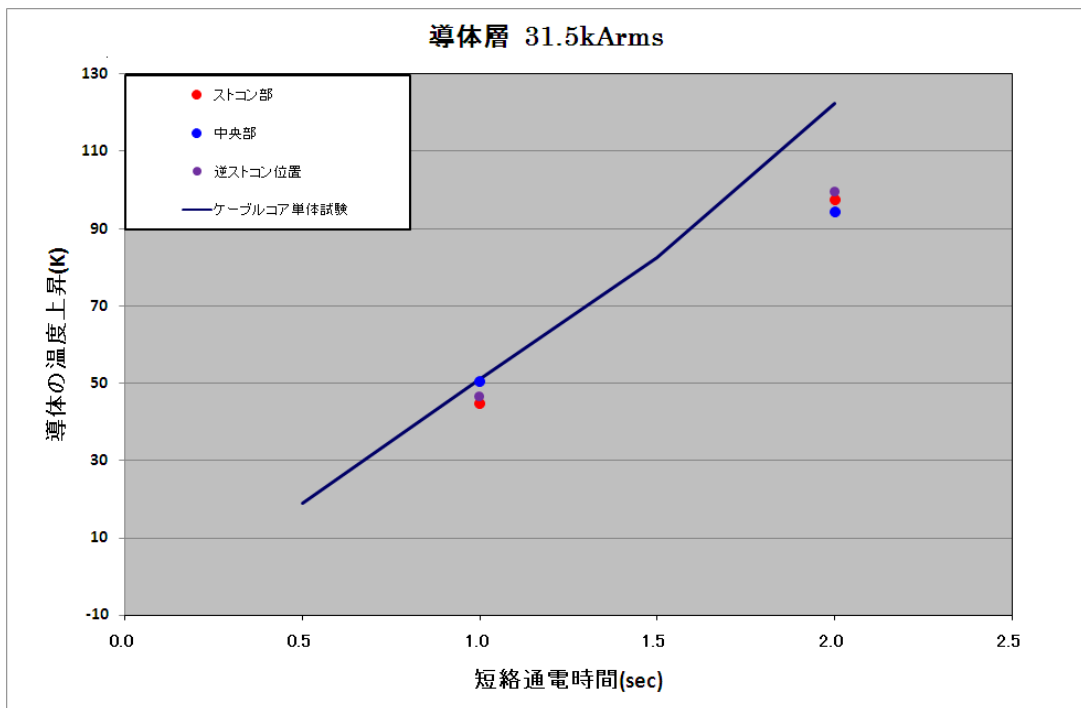


図 2.1.4-12 端末ストコン模擬サンプルとケーブルコア単体の導体温度上昇比較

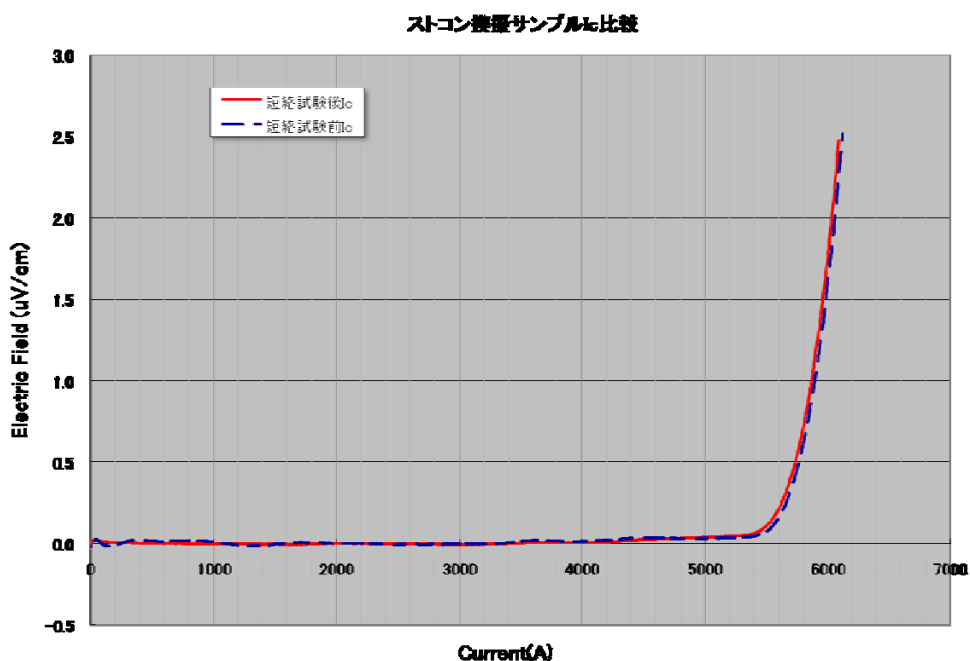


図 2.1.4-13 耐過電流試験前後の  $I_c$  測定結果

10kA 短絡電流後の再送電ケース模擬試験を耐過電流試験と同一サンプルを用いて実施した。使用したケーブルコアの諸元は表 2.1.4-2 に示すとおりである。試験方法としては、10kA-2sec の過電流を印加した直後にサンプルを発電機回路から切り離し、定格 1.75kA の連続通電を実施した。なお、装置の特性上、短絡電流から定常電流に切り替えに要した時間は 50msec であった。試験の結果、問題なく 10kA、2sec の短絡電流通過後に 1.75kA の定格電流を流せることを確認した。

#### (4) 電気絶縁試験

##### (a) ストレスコーン部試験

超電導ケーブルの終端部には、2.1.4-2 で説明したように、電界緩和のためにストレスコーンを設けている。この部分での絶縁強度が十分であることが要求されるが、2.1.5 節で示すように、ケーブルサンプルとストレスコーンとが一体となったサンプルで試験を行い、良好な結果が得られている。試験結果については、2.1.5 節に示した。

##### (b) ブッシングと端末容器の組合試験

端末容器にブッシングを 3 本立て、両端のブッシングを図 2.1.4-14 に示すように窒素槽内部で編素線で接続し、ブッシング及び編素線と容器との絶縁隔離の性能確認、FRP 支持材の絶縁確認を行った。AC 耐電圧 130kV/10 分の確認試験、DC 耐電圧 152kV/10 分の確認試験、Imp 試験 ±385kV/各 3 回の確認試験を実施し全て良好の結果を得た。図 2.1.4-15 に試験状況を示す。

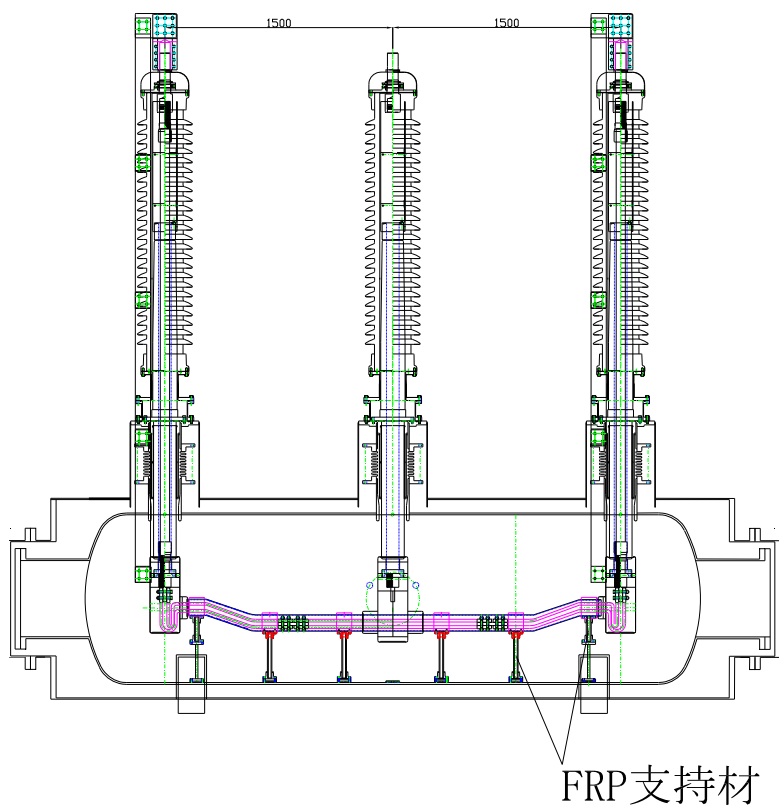


図 2.1.4-14 端末単体試験構成図



図 2.1.4-15 終端接続部単体試験状況

### (5) 機械的特性試験（引張力、圧縮力）

#### (a) オフセット部の機械特性試験

ケーブルコアは断熱管の中では三心よりになっている。終端接続部のケーブル導入部への接続部で三心のよりをほどいてケーブルコアを三分岐する必要があるが、このオフセット部分には、ケーブルが冷却される時に発生する機械力が印加される。本設計では、オフセット半径はケーブルコアの最小曲げ半径 900mm よりも大きい

1000mmとしており、図 2.1.4-16 に示すオフセット機械試験サンプルを作成し、冷却時に発生しうる最大荷重 1000kgf (≒3000kgf/3 相に相当) および、昇温時に発生する圧縮荷重 200kg (≒500kgf/3 相に相当) を 3 回繰り返し印加し、サンプルの  $I_c$  の変化を調べたが、特に  $I_c$  の劣化もなく本オフセット構造で、ケーブルが発生する機械力に耐えられることを検証した。

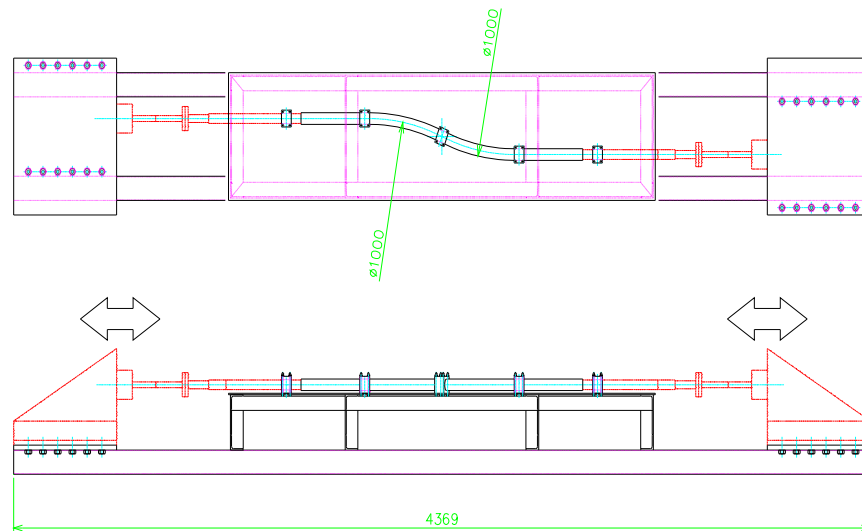


図 2.1.4-16 オフセット機械試験サンプル図

(b) ケーブルコア引き止め治具の機械特性試験

2.4.1-2 の端末構造にて記述したように、ケーブルコアに発生する張力、圧縮力を容器本体に引き止める構造を検討している。そのために必要な、FRP 引き止め治具を試作し、その機械特性を調べた。引き止め治具の写真を図 2.1.4-17 に示す。FRP とステンレスの金具から構成されており、単体試験の結果、引張破壊値 10 ton、圧縮破壊値 9ton、曲げ破壊値 0.49ton であることを確認した。これらの結果から、ケーブルコアを引きとめるには十分な性能を有していると判断される。

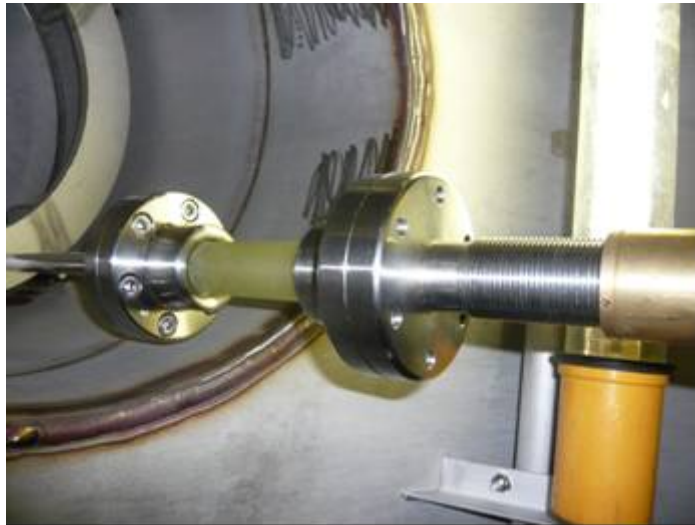


図 2.1.4-17 引き止め治具写真

#### (6) 電流リードの設計と侵入熱測定

電流リードのサイズは、端末容器やブッシング等の端末全体サイズに関わることから、小型化が期待されている。実証プロでは最大通電電流が 3kArms と大電流である事から、施工性に優れている従来の銅パイプ設計ではなく、小型化に適している絶縁被覆を有する細径銅素線を撚り合わせた素線絶縁銅撚線を用いて設計を実施した。また、電流リードの熱損失は端末全体の熱損失において支配的であることから、電流リードの低損失設計が望まれている。電流リードの熱損失は電気抵抗から発生するジュール損失と常温側からの熱伝導による侵入熱が考えられ、この二つの熱損失を最小化するために、電流リード断面積の最適化を実施した。電流リード長さは実証試験場所の旭変電所の碍子サイズから 3.2m と決定し、その長さで電流 3kA における断面積と電流リード単体の熱損失の相関を計算により求めた。その計算結果を図 2.1.4-18 に示す。図から判るように約 2500mm<sup>2</sup> の時に 3kArms 通電時の電流リード熱損失が最小となる。解析の妥当性を確認するため、2500mm<sup>2</sup> 断面積の電流リードを試作し侵入熱測定を実施した。試験状況写真を図 2.1.4-19 に示す。電流リードは FRP ブッシングに貫通される形で挿入され、通電するために 2 本の電流リードを容器に設置している。

電流リードの熱損失の実測値を図 2.1.4-18 内に示すが、実験値と解析値は良く一致する結果が得られた。以上の結果から、電流リードは長さ 3.2m、断面積 2500mm<sup>2</sup> の素線絶縁銅撚線とした。

また、電流リード部の通電電流による熱損失の変化の計算値と実測値の結果を図 2.1.4-20 に示す。0～3000A の範囲で実験結果は計算値とよく一致する結果が得られている。

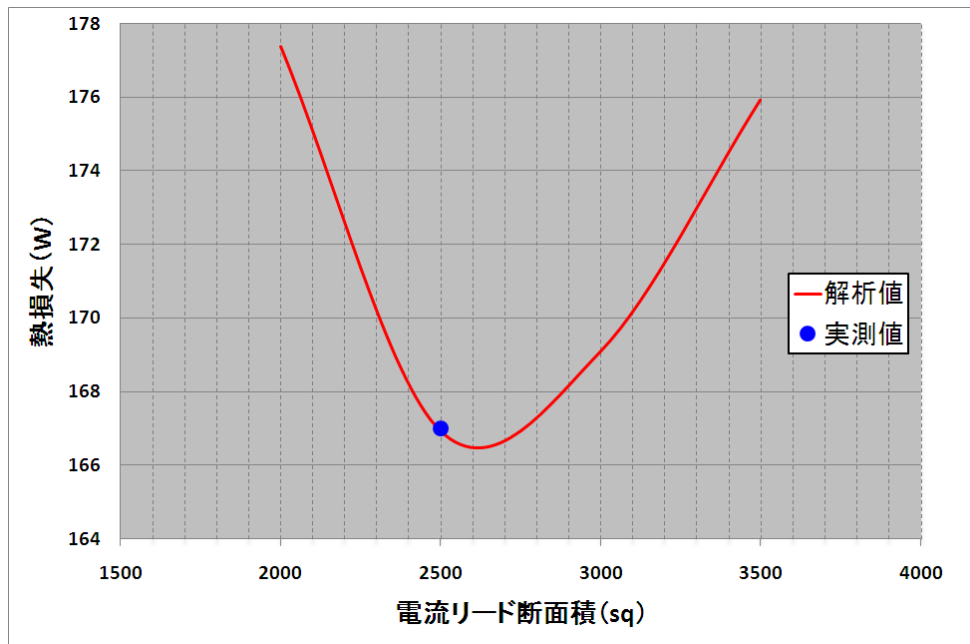


図 2.1.4-18 3kArms 通電時の電流リード断面積と電流リード熱損失の相関関係



図 2.1.4-19 電流リード試験状況



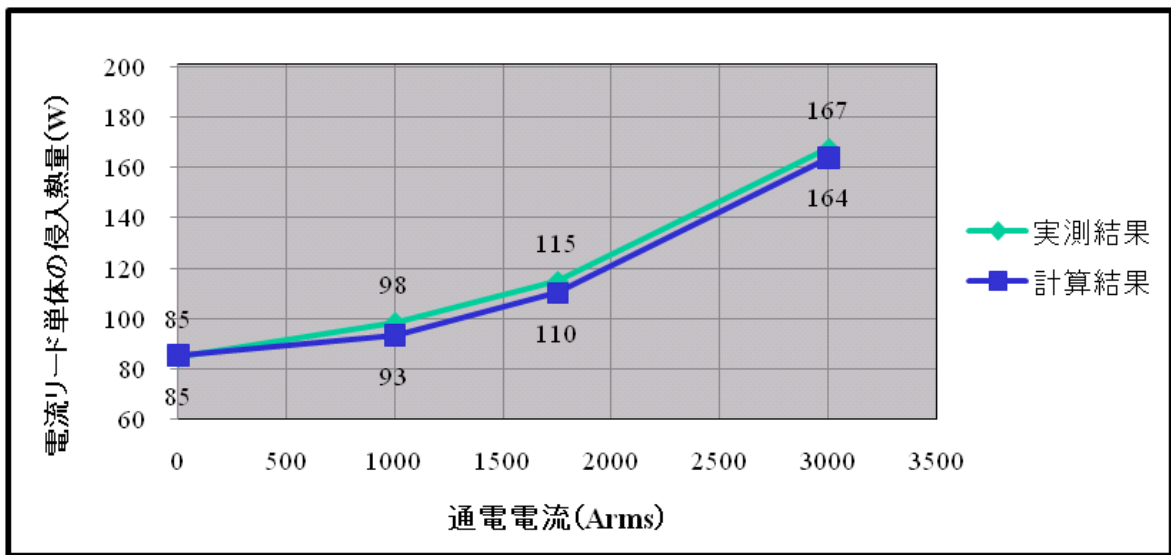


図 2. 1. 4-20 電流リード単体の熱侵入試験結果

#### (7) 終端接続部窒素容器構造

終端接続部の窒素容器は最大使用圧力を  $0.5\text{MPa}\cdot\text{G}$  として JIS 圧力容器規格に準拠した耐圧設計を実施する。窒素容器は高真空断熱層の長期信頼性をたかめる為に接合部は溶接接合構造を採用した。使用する材料は極低温領域まで低温脆性を示さない「オーステナイト系ステンレス鋼」SUS304 を選定した。SUS304 材は極低温領域での機械強度についても優れた特性を持つ。SUS304 の板厚は JIS 圧力容器規格の円筒胴の胴板厚の設計をもとに算出した。また窒素容器には安全弁をもうけて超電導ケーブルシステム全体の圧力上昇時の安全性を確保している。

終端接続部の断熱については、ケーブル部と同様に窒素槽と真空槽からなる二重構造としている。終端接続部の真空断熱層はケーブル部とは分離された構造であり、現地にてケーブルと組み合わせ後に、真空引きを行うようにする。

#### (8) 耐震構造

日本電気技術規格委員会 JEAG5003「変電所等における電気設備の耐震設計指針」をもとに水平方向  $0.3\text{G}$ 、鉛直方向  $0.15\text{G}$  に対して耐震設計を実施する。終端接続部は運転時に液体窒素が充填された場合、総重量は  $11.1\text{t}$  となり鉛直方向には充分安全であるといえる。よって水平方向  $0.3\text{G}$  の地震力に対して転倒しないこと及び真空容器の中で窒素容器が揺れない構造を念頭に耐震設計を実施した。転倒に対しては容器本体から張り出した脚を大地にアンカーボルト固定する構造を採用している。



### (9) 終端接続部侵入熱

設計した終端接続部の侵入熱、発熱の計算値を表 2.1.4-4 にまとめる。今後、30m 検証システムで無負荷時、通電時の熱損失の評価を行い、設計値との比較を行う予定である。

表 2.1.4-4 終端接続部侵入熱設計表

侵入熱発生箇所	熱損失 (W)		備考
	1750A 通電時	無負荷時	
電流リード	330	255	3 本、図 2.1.4-20
端末容器侵入熱	160	160	ブッシング、輻射、FRP 支持材 他
内部発熱部	145	0	5 箇所
トータル	635	415	

### (10) 短絡時の電磁力について

本プロジェクトでは最大で 31.5kA の短絡電流が通過する。超電導ケーブルにおいては、導体とは逆向きにシールドにも電流が誘起されることから、導体部から外部に漏れる磁場は小さく、大きな電磁力は働かないと考えられる。

しかしながら、端末部においては、三相短絡部よりも端末側では、シールド電流は流れないため、導体に短絡電流が流れることで、大きな磁場が発生し、他相との電流と相互作用し、大きな電磁力が働くものと推測される。

本節では、端末部の構造を模擬したモデルを用いて、短絡電流を流し、電磁力を測定し、その電磁力が印加されても端末が健全であることを実証したので、その内容について記述する。

電磁力試験のモデルサンプルを図 2.1.4-21 に示す。ケーブルコア三本を接続金具、FRP 引き止め治具を介して、容器に固定している。ケーブルコアの配置は実際の端末構造と同じにし、図のように断面的には逆三角形配置としている。

このモデルに①三相に 31.5kA 三相通電を実施、② 2 相に 31.5kA 往復電流を通電、の 2 ケースについて実験を行った。尚、電磁力の測定は②のケースについて実施し、ケーブルコア間にサポート部材を取り付け、その部材に歪ゲージを取り付けて、歪を計測し、電磁力への換算を行った。

図 2.4-1-22 に試験状況の写真を示す。試験の結果、②のケースでは電磁力は 230kgf (引力) と計測された。計算値の 200kgf とよく一致する結果であった。①ケースで 31.5kA 三相短絡試験を実施したあと、サンプルの  $I_c$  測定を実施したが、特に電磁力印加前後で  $I_c$  の変化がなく、支持方法に問題ないと考えられる。

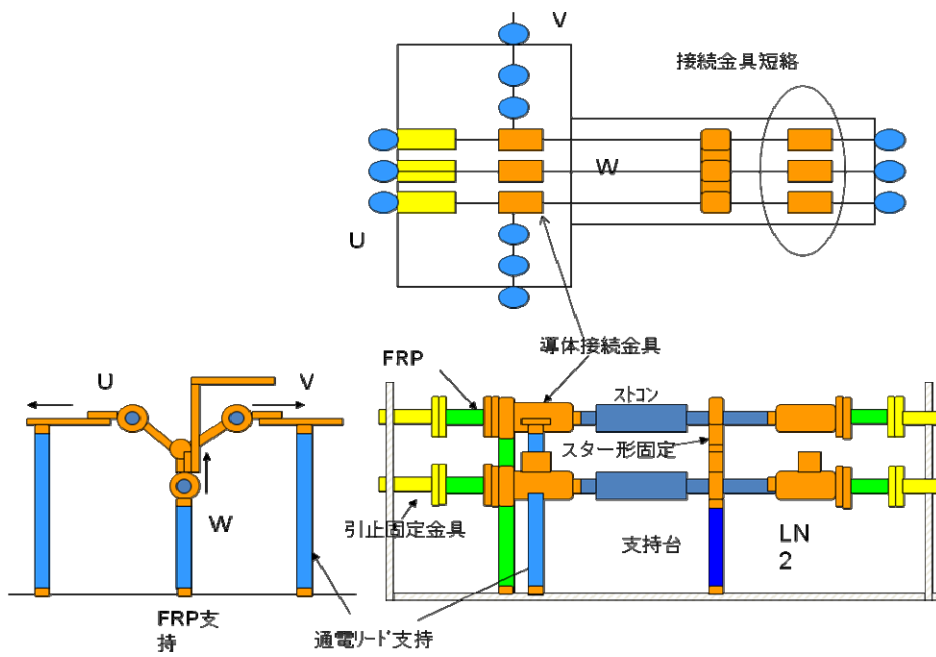


図 2. 1. 4-21 電磁力試験用サンプル

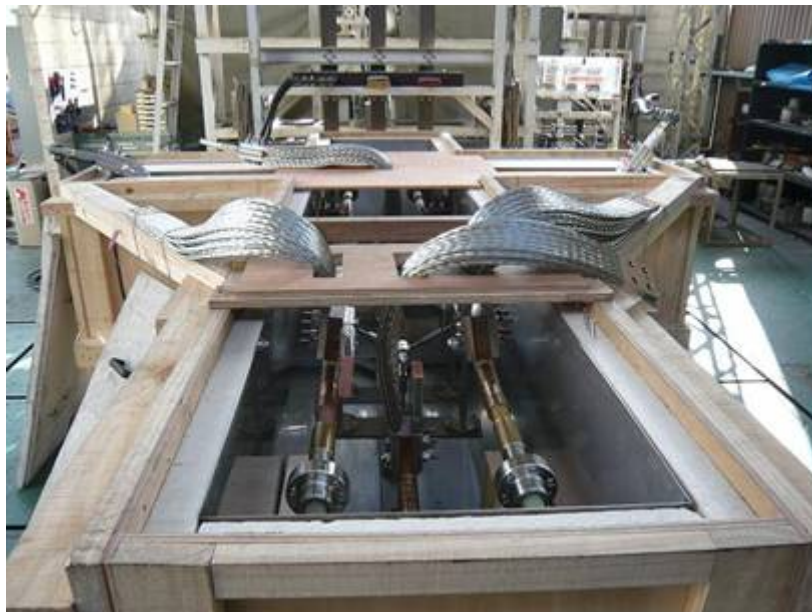


図 2. 1. 4-22 電磁力測定試験状況

#### 2.1.4-4 まとめ

- ・66kV/3kA 級の三相一括型端末の構造検討を行い、要求仕様に対して各種モデル試験を実施し、設計データを収集した。
- ・通電試験では、3kArms、8時間以上の連続通電を行い、特に異常なく運転できることを実証した。
- ・短絡電流試験では短絡電流試験の前後において、接続サンプルの  $I_c$  値に変化はなく、10 kA-2sec 後の 1.75 kA 連続通電試験および 31.5kA-2sec の過電流に対してダメージが発生しないことを確認した。
- ・電気絶縁試験では、AC90 kV@3 時間、 $Imp \pm 385$  kV/3 回の所要性能を満足することを検証した。
- ・機械特性試験では、ケーブルコアのオフセット部を模擬したサンプルを組立て、液体窒素の冷却条件下において、要求性能 3ton/三相の引張試験および 0.5ton/三相の圧縮試験を実施し、試験前後で  $I_c$  値に劣化がなく中間接続部の機械設計の妥当性を検証した。
- ・ケーブルコアの応力を引きとめる治具を製作し、十分な機械特性を有していることを確認した。
- ・3kA 級電流リードの設計では 2500mm<sup>2</sup> 撚線構造を選び、試作評価した結果、損失は計算値とよく一致し、170W@3kA であった。
- ・熱損失では、端末部の損失を算出し、無負荷時 415W、通電時 635W と推定した。
- ・短絡時に流れる電流により、三相分岐部分に発生する電磁力を測定し、約 230kgf であることがわかった。また、ケーブルコアにダメージがないことも確認した。

これらの結果から、検討している構造は、端末の所要性能である「耐熱機械力」「電流容量」「耐電圧」「圧力設計」に十分に満足するものであり、この設計をもとに検証ケーブルシステムでの端末組立、冷却試験、各種電気試験等を実施した。その結果はシステム全体の試験結果として 2.1.5 節に記述する。

## 2.1.5 検証用ケーブルシステムの構築と評価

### 2.1.5-1 検証用ケーブルシステム概要

前節で検討したように、本プロジェクトに適用するために、超電導ケーブル、ジョイント、端末の設計検討、要素技術検証を実施してきた。しかしながら、それらは個別の技術であり、使用における最終形態であるケーブルシステムとしてまとめ、ケーブルと各機器とを接続した形で、各種試験を実施し特性の評価を行う必要がある。本プロジェクトでは、実システムでの実証試験の前に、検証用のケーブルシステムを構築し、その特性を評価することとした。

#### (1) 目的

検証用ケーブルシステム構築と評価の目的を以下に示す。

- ・超電導ケーブルとジョイント、端末を組合せたシステムを構築し、冷却試験、電気試験を行うことで、電氣的、機械的、熱的な特性を評価し、各部設計へのフィードバックを行う。
- ・ジョイントと端末の組立・施工について検討した手法について検証し、管理項目、方法について確認する。
- ・冷却システムでの、温度、圧力の基本制御動作の検証
- ・警報、監視システムの基本動作の確認
- ・事故を模擬した試験（冷凍機故障、短絡電流模擬）を実施し、対応方法、システム設計へ反映する。

#### (2) 検証ケーブルシステム構成

図 2.1.5-1 に検証用ケーブルシステムの構成を示す。ケーブル長さは 30m 程度であり、途中に 90 度曲がり进行を設け、両端に端末、途中でジョイントを設けている。布設形体の曲がりを実証すること、端末、ジョイントとの組合せを考え、最低限必要な長さを 30m とした。曲がり部の曲げ半径は、実際の曲がり部の最小半径が 5m 程度であることから、5m を選んでいる。尚、ケーブルの構造は後述するように三心一括型であるが、3 心のうち 2 心は超電導線を用いたケーブルコアであるが、残り 1 心はダミー線（グレードの低い超電導線を使用）を使用したケーブルコアとしている。このケーブルシステムを冷却システムに接続し、液体窒素を循環させることで冷却を行う。冷却システムは、1kW 級冷凍機 2 台、液体窒素循環ポンプ、リザーバタンクなどからなる。

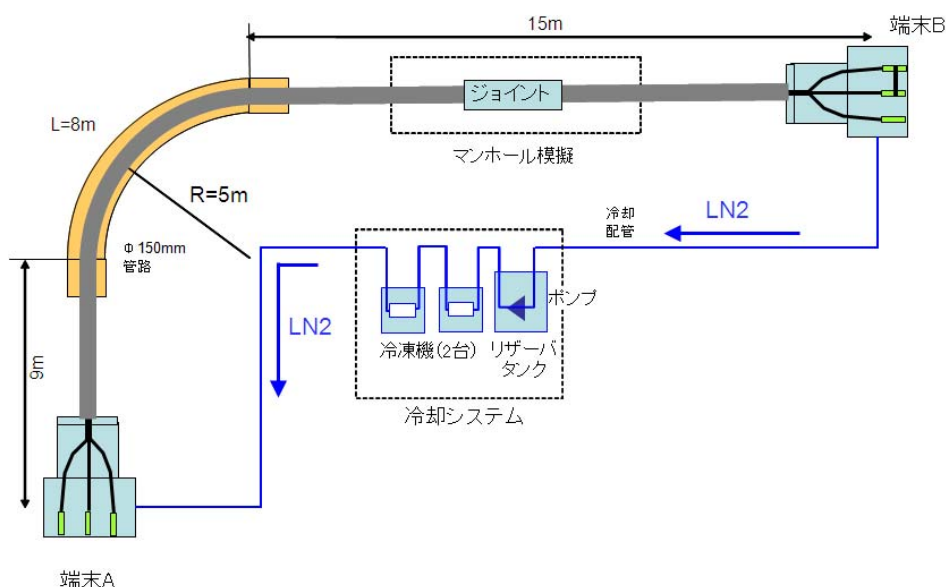


図 2.1.5-1 検証用ケーブルシステム構成図

## 2.1.5-2 検証用ケーブルの設計と製造

### (1) ケーブル設計検討

検証用ケーブルシステムについては、2.1.1 節でケーブルの低交流損失化、2.1.2 節で短絡電流事故対応の検討結果をもとに実施するが、それらの性能以外に、ケーブルの仕様を決めるためには、ケーブルの機械特性、電気絶縁特性について、設計検討・検証を行う必要があり、それらの検証結果について記述する。

#### (a) 電気絶縁特性の検証

これまでの 66kV 級超電導ケーブルの開発 (参考文献) では、電気絶縁材料に PPLP (Polypropylene laminated paper) を用い、液体窒素を含浸させている。この PPLP は薄いテープ状に積層されており、この構造は室温時にはケーブルの曲げなどによる構造の乱れが少なく、また冷却時の熱歪に対してもよい耐性を有している。さらに、低温での  $\tan \delta$  は 0.1% 以下と誘電損失が非常に小さい特性を持っている。このことから、本構造は超電導ケーブルに適した構造であると考えられており、本プロジェクトにおいても、本構造を踏襲する。

その電気性能を確認するために、モデルケーブルを作成し、2.4.1 節で検討した試験条件以上の条件で課電試験を行い、その特性について確認した。

課電試験に供したサンプルは PPLP の絶縁厚 6mm、有効長約 4m のケーブルコアである。今回実施した課電試験における回路の概略図を図 2.1.5-2(a)、(b) にそれぞれ示す。AC 課電においては部分放電を測定するためにケーブル端部に縁切り部を設け、部分放電が発生した場合の信号を両端から取り込み、時間差により発生箇所を特定するようにしている。

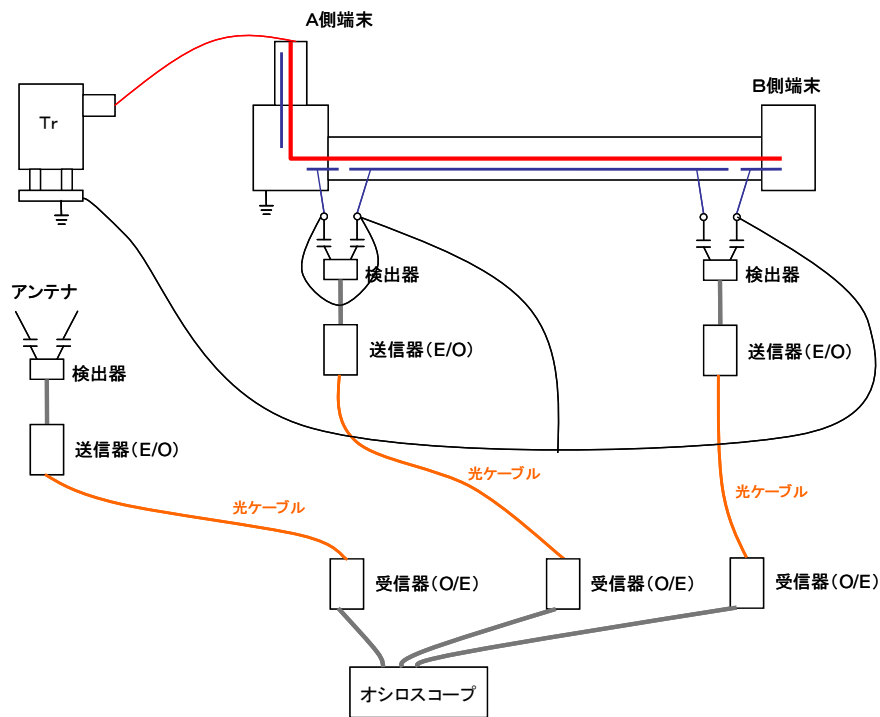


図 2. 1. 5-2 (a) AC 課電回路 (部分放電測定時)

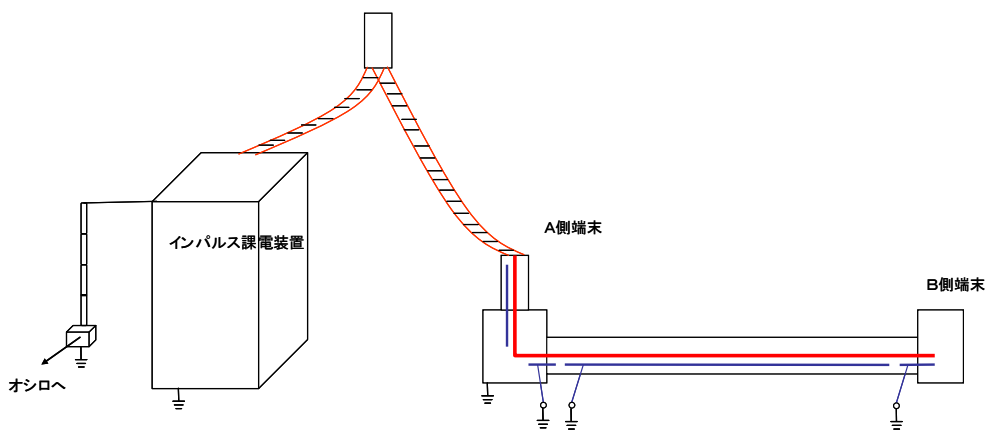


図 2. 1. 5-2 (b) Imp 課電回路

・試験結果

AC 課電試験条件と試験結果を表 2. 1. 5-1 に、雷インパルス試験条件と試験結果を表 2. 1. 5-2 に示す。いずれも試験結果は良好で、与えられた試験条件を満足するものであった。この結果、絶縁厚 6mm でも、十分に試験電圧をクリアすることが確認できた。しかしながら、6mm での実績はまだ十分とは言えず、実施者にて協議の結果、これまで長期試験実績のある絶縁厚 7mm を選定し、以下の検証ケーブルの設計を行う。

表 2.1.5-1 AC 課電試験条件および結果

項目	内容
試験条件	(1) 10kV step/3min で昇圧し、90kV-3 時間ホールド (2) 10kV step/3min で昇圧し、130kV-3 時間ホールド ※試験中は部分放電測定を実施。(2)においては、部分放電が発生した場合試験を中止することとした。
試験結果	(1) 90kV 課電→特に異常なく良好 (PD 発生なし) (2) 130kV 課電→課電開始から 1 時間 50 分後に PD 発生(200pC 連続) ※部分放電感度は 60pC

表 2.1.5-2 インパルス課電試験条件

項目	内容
耐圧試験条件	(1) +/-310 kV 3 回 (2) +/-350kV 3 回 (3) +/-385kV 各 3 回
破壊試験条件	下記の要領でインパルス試験を継続。BD が発生するまで試験を実施するが、上限試験電圧は+/-450kV とする +/-400kV 3 回 +/-425kV 3 回 +/-450kV 3 回

#### (b) ケーブルの機械特性

ケーブルは室温から液体窒素温度に冷却すると、0.3%の熱収縮を起こす。これまでの開発<sup>8)9)</sup>では、三心ケーブルを弛ませて、冷却時の熱収縮を弛みで吸収する方法が検討されてきた。

一方、本プロジェクトでは、φ150mm 管路に適用するケーブルを目指しており、そのコンパクト化が求められている。これまでの設計検討の結果、これまで通り三心を弛ませる構造では、ケーブルサイズをコンパクトにすることが難しく、ここでは、三心を弛ませないことを前提にケーブル設計を進めている。

三心を弛ませず、また端末を固定した状態において、ケーブルを室温から冷却すると、ケーブルコアに熱収縮による引張力が印加される。また、ケーブルを冷却状態から室温まで温度を上昇させる際には、ケーブルが伸びることによる圧縮力が発生する。本節では、これらの引張力、圧縮力をモデルケーブルにより実測し、それらの値を求めた。また、それらの応力が印加された場合のケーブルへの影響について調べた。

試験装置の概略図および概観写真を図 2.1.5-3 および図 2.1.5-4 に示す。三心コ

アサンプルは試験容器両端に固定されており、サンプルを液体窒素中に浸漬し、試験容器を引っ張ることにより試験サンプルの液体窒素中における引張試験を行う。試験容器部には、引張試験時に容器自体が分担する張力を抑制するためにベローズが2箇所挿入されており、0.3%伸びに相当するサンプル引張時に容器が分担する張力は約20kgと、サンプル張力約3tonレベルに比べ無視できるほど小さく抑制できている。なお、試験時の引張り量は、1.5mmピッチのボルトナットの回転数により管理した。試験状況を図2.1.5-5に示す。

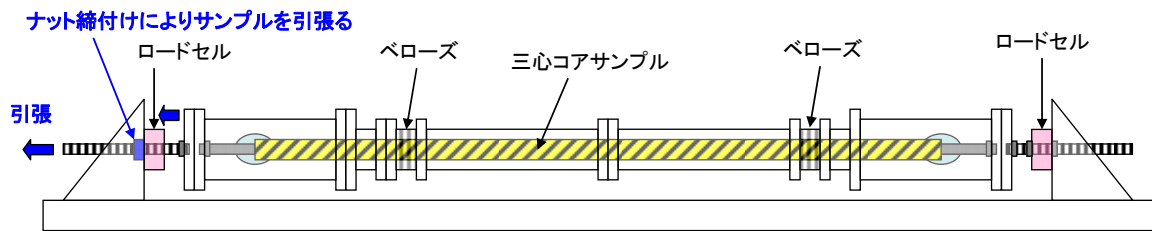


図 2.1.5-3 三心コア引張試験装置の概略図



図 2.1.5-4 三心コア引張試験装置の概観写真

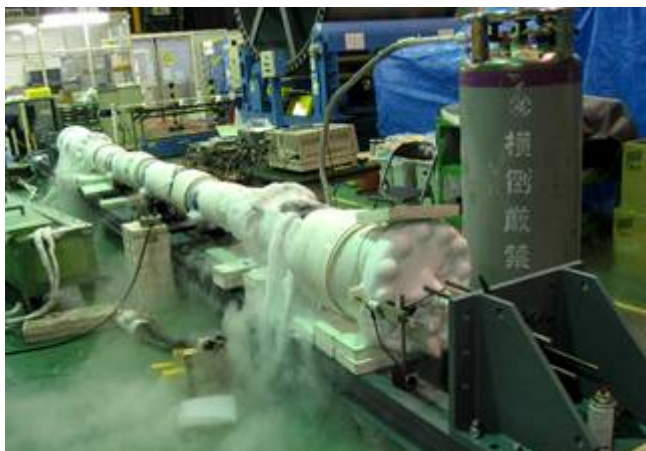


図 2.1.5-5 三心コアサンプルの LN2 中での引張試験状況



液体窒素中での引張試験完了後に、常温における三心ケーブルコア圧縮試験を実施した。試験装置の概略図および外観写真を図 2.1.5-6 および図 2.1.5-7 に示す。5m 長の三心コアサンプルの中間に約 4m の SUS コルゲートパイプ（内径 95mm）が配置し、SUS コルゲートは曲がり等の動きがないように固定されている。なお、SUS コルゲートから露出している三心コア部分についてはバインド処理を行い、圧縮により当該部分で三心ケーブルコアが拡がらないように処置を行った。試験時の圧縮量は、引張試験時と同様に 1.5mm ピッチのボルトナットの回転数により管理した。

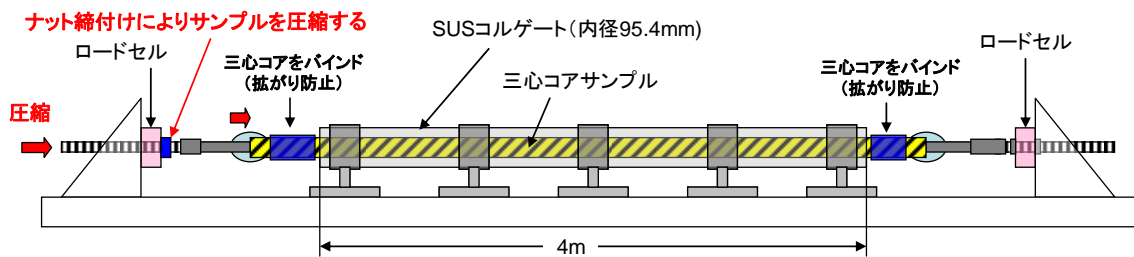


図 2.1.5-6 三心コア圧縮試験装置の概略図



図 2.1.5-7 三心コア圧縮試験装置の概観写真

液体窒素中における引っ張り試験および常温における圧縮試験における  $I_c$  測定結果を図 2.1.5-8 にまとめる。液体窒素中においては最大 0.6%の引っ張り歪み、常温においては最大 0.3%の圧縮歪みを三心コアサンプルに印加したが、導体およびシールド  $I_c$  の低下は見られず健全であることが確認された。

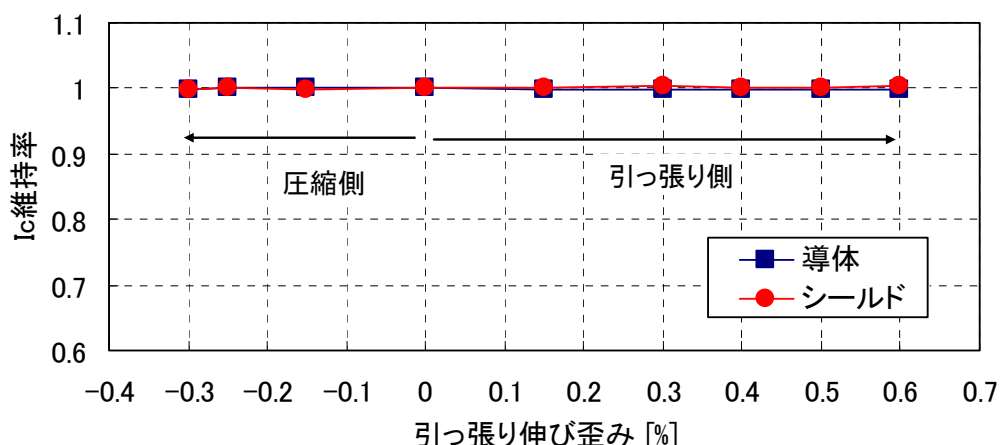


図 2.1.5-8 三心コアサンプルの熱機械試験結果

また、これら熱機械試験の結果、0.3%熱収縮に相当する引張力は約 3t、弛みを形成する圧縮力は 0.5t 発生することが確認された。上記のように、これら応力が印加されてもケーブルコアにダメージがないことを確認することができた。

なお、本測定サンプルで確認した発生応力は短尺・直線状態での値であり、実際の長尺ケーブルでは、曲がり、オフセットなどが存在することから、実際にケーブルに印加される応力は、これら応力よりも小さくなると予想される。

## (2) ケーブル要求スペックと設計

ケーブルに要求されるスペック及び目標を表 2.1.5-3 にまとめる。各種要素試験により決定した検証用ケーブル向け超電導線材の仕様及びケーブル設計を表 2.1.5-4 及び表 2.1.5-5 にまとめる。ケーブルは、2.1.1 節で記述している高臨界電流型の TypeHT 線と、低損失型の TypeACT 線を組み合わせた、導体 4 層、シールド 2 層のハイブリッド構造である。尚、ケーブルコア 3 心のうち、2 心は前述する超電導線を用いた構造であるが、残り 1 心はダミー線（グレードの低い超電導線）を用いており、それぞれ超電導ケーブルコア、ダミーケーブルコアと称す。

主絶縁については、(1) (b) で記述した要素試験において 6mm 厚の PPLP でも要求仕様を満足することを確認しているが、過去の長期試験の実績(参考文献)を考え、絶縁厚は 7mm を採用した。

表 2.1.5-3 超電導ケーブルのスペック

項目	仕様
定格電圧	66 kV (サンプル試験：対地 AC90kV-3h、Imp±385 k C/3 回) (現地竣工試験電圧：対地 DC151.8kV-10min)
定格電流 (最大電流)	1.75kA (2.63kA 1回線事故対応時)
定格容量	200MVA
ケーブルタイプ	三心一括型
コア交流損失	1W/m/ph@2kArms 以下
短絡電流対応	最大 31.5kA、2 秒 (送電遮断) もらい事故 10kA、2 秒 (遮断なし)
外径	150mm φ 管路へ布設可能

表 2.1.5-4 超電導線材の仕様

タイプ	仕様
TypeHT 線	幅 4.5mm、厚み 0.35mm、50μm 厚銅合金両面補強 臨界電流 150A 以上
TypeACT 線	幅 2.7mm、厚み 0.33mm、50μm 厚銅合金両面補強 臨界電流 55A 以上

表 2.1.5-5 超電導ケーブルの設計

大項目	パーツ	構造・条件	外径(mm)
単心 コア (超電 導ケ ブル コア)	フォーマ	材料：0.8mm 絶縁銅線 構造：分割集合撚り線導体 銅断面積：140mm <sup>2</sup>	18
	超電導導体	1層目：TypeHT 線、11 本 2層目：TypeHT 線、12 本 3層目：TypeACT 線、21 本 4層目：TypeACT 線、21 本 相間絶縁あり	22
	絶縁層	内部半導電層 PPLP 絶縁層 7mm 厚 外部半導電層	36
	超電導シールド	1層目：TypeHT 線、22 本 2層目：TypeHT 線、23 本 相間絶縁あり	45
	銅シールド	材料：銅テープ 構造：3層構造 (相間絶縁あり) 銅断面積：80mm <sup>2</sup>	
	保護層	クラフト紙、布テープ	
三心 コア	三心コア	緩みなし三心集合、 中心に計測線収納	
断熱管	内管	ステンレスコルゲート管	137
	真空断熱層	他相断熱材、スペーサ	
	外管	ステンレスコルゲート管	
防食層	防食層	PVC	144

### (3) ケーブル製造

各種要素試験により決定した上記設計及びケーブル試作で確認した製造条件により、30m 検証用ケーブルの製造を実施した。図 2.1.5-9 に製造概略工程と製造時の状況写真を示す。検証用ケーブルは、臨界電流特性が良好な超電導線を用いた絶縁厚 7mm の超電導ケーブルコア 2 本（赤相、青相）と、低臨界電流線材を用いた絶縁厚 6mm のダミーコア 1 本（白相）で構成される。なお、超電導ケーブルコアとダミーケーブルコアは絶縁厚が異なるが、保護層の厚みを調節することで、3 コアともに同じ外径に仕上げている。

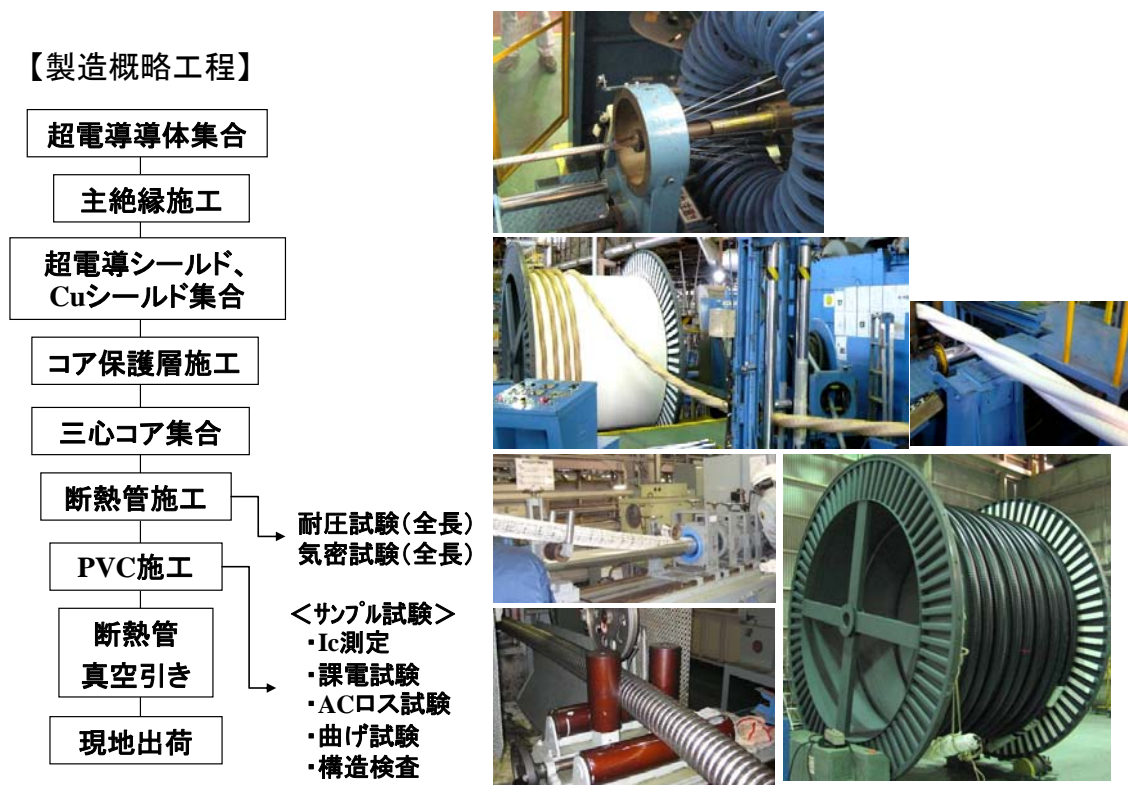


図 2.1.5-9 検証用ケーブル製造の概略工程と製造時の写真

### (4) ケーブル出荷試験

30m 検証ケーブルの全長及び切り出しサンプルを用いた出荷試験結果を表 2.1.5-6 にまとめる。

臨界電流値については、超電導ケーブルコアの導体とシールドについて測定を行った。測定時の I-V カーブを図 2.1.5-10 に示す。試験結果の値は、導体が約 6000A、シールドは約 7000A であり、それぞれ使用した超電導線の特徴と本数から想定される値とよく一致する結果が得られた。

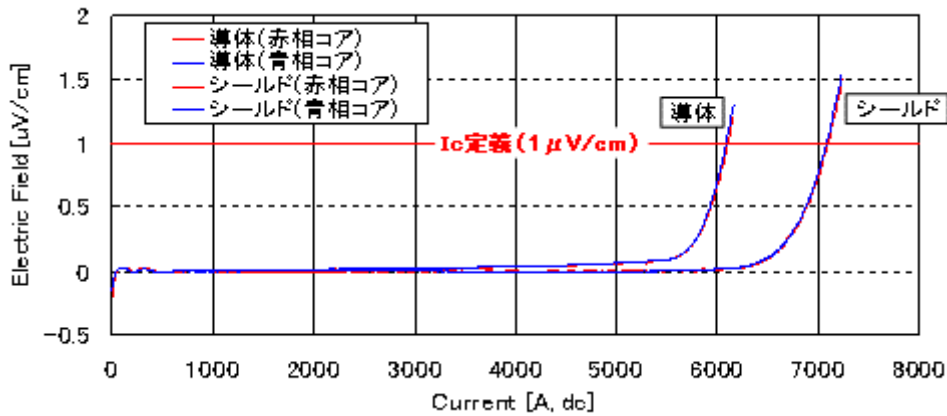


図 2. 1. 5-10 30m ケーブル臨界電流測定結果 (サンプル試験)

交流損失についても、2m 級のケーブルコアにて、電気的手法 (4 端子法) にて損失の測定を行った。その結果を図 2. 1. 5-11 に示す。測定結果は、0. 83W/m/ph @ 2kA となり、設計通りの値が得られている。

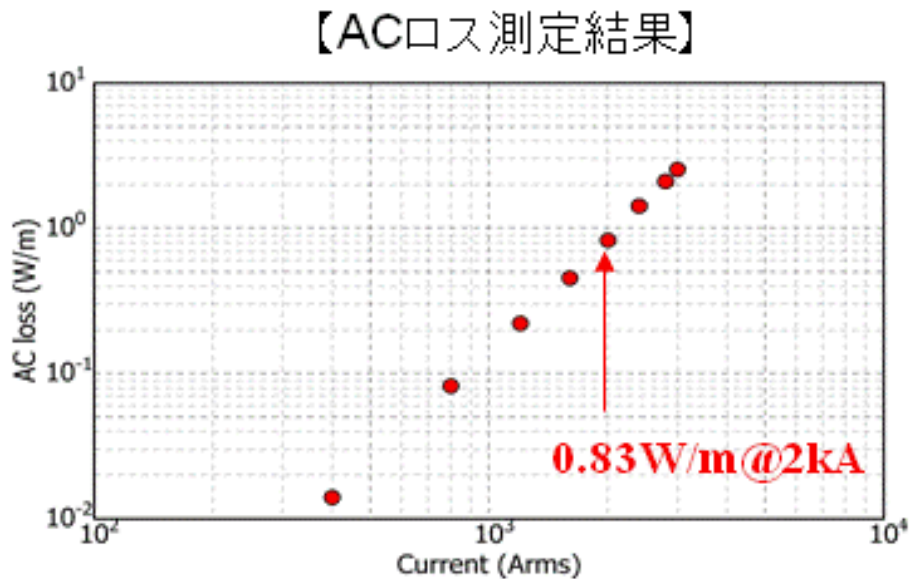


図 2. 1. 5-11 30m ケーブルの交流損失測定結果 (サンプル試験)

曲げ試験時の写真を図 2. 1. 2-5-12 に示す。曲げ試験は曲げ直径  $\phi$  2400mm (16. 7D 相当) に対する 2 往復の曲げを実施した。試験方法は、図に示すように、サンプルの片端を固定治具により固定し、左右 2 枚の  $\phi$  2400mm の円盤にコルゲート管を沿わせた。曲げ試験後の臨界電流測定を実施した結果、臨界電流特性の劣化は認められず良好な結果が得られた。

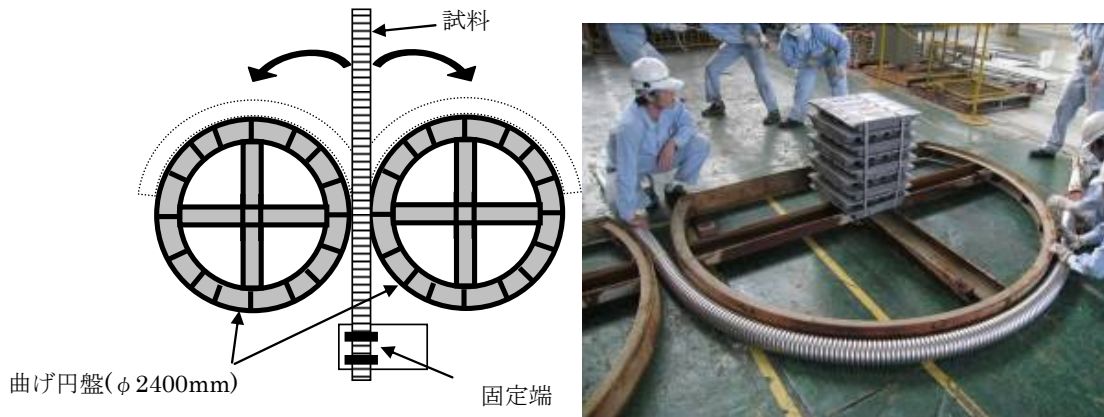


図 2.1.5-12 曲げ試験の概要及び試験時の写真

全ての出荷試験において良好な結果が得られ、製造したケーブルは要求仕様を満足することを確認した。表 2.1.5-6 に検証ケーブルの出荷試験結果をまとめる。

表 2.1.5-6 出荷試験結果

項目 仕様及び設計値	仕様及び設計値	サンプル	結果	
線材	臨界電流 TypeHT 150A 以上 TypeACT 55A 以上	全数	要求臨界電流仕様を満足	
ケーブル	構造・寸法	表 2.5.1-3 参照	1m サンプル	設計値と同等であることを確認
	耐圧力試験	試験圧力 0.75MPa (設計圧力 0.6MPa)	全長	0.75MPa-10min 保持で圧力低下なし
	曲げ試験	18D 相当曲げでダメージなきこと	6m サンプル	直径 2.4m (16.7D) の 2 サイクル曲げで劣化なし 絶縁部他に異常なし
	真空度	$5 \times 10^{-3}$ Torr 以下	全長	出荷前及び布設後も $5 \times 10^{-3}$ Torr 以下
コア	臨界電流		6m サンプル	導体 (赤相) : 6.1kA 導体 (青相) : 6.1kA シールド $\Delta$ (赤相) : 7.1kA シールド (青相) : 7.1kA 使用線材臨界電流の総和とほぼ一致
	交流損失	1W/m/ph@2kArms 以下	2m サンプル	0.83W/m/ph@2kArms
	インダクタンス	設計値 0.12 $\mu$ H/m	2m サンプル	0.12 $\mu$ H/m
	課電特性	AC : 90kV-3h Imp : $\pm 385$ kV/3 回	ジョイントを含む 6m サンプル	全ての課電試験をクリア (6mm 厚絶縁コアもクリア)



## 2.1.5-2 中間接続部と終端接続部の組立施工

検証用ケーブルと 2.1.3 節、2.1.4 節で検討した中間接続部及び終端接続部を組立、施工手順、管理内容について確認した。それぞれの施工内容について記述する。

### (1) 中間接続部の組立施工

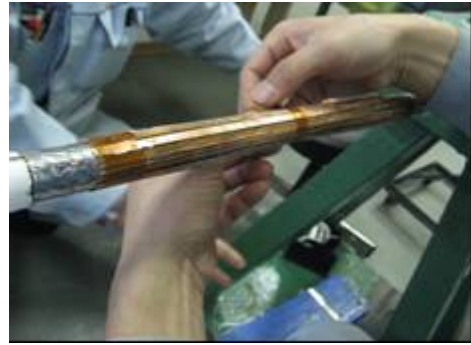
30m 検証ケーブルと中間接続部との組立施工を行った。組立は、開発目標である 7m マンホール内での組立を模擬するために、長さ 7m×幅 2m×高さ 2m の囲いを作り、これを模擬マンホールと見立て、この中で組立を行った。中間接続部の施工手順と管理のポイントを表 2.5.1-7 に、組立中の主な工程の写真を図 2.1.5-13 に示す。

表 2.1.5-7 中間接続部の施工手順と管理ポイント

No	ブロック工程	主な施工内容	管理ポイント
1	組立準備	作業室スペース確認、レール確認	
2	ケーブル端部処理	真空槽等の端部部品挿入	
		3心撚り戻し、コア相合せ	相確認
		切断位置確認～コア切断	切断位置
3	ケーブル導体接続	導体接続スリーブの圧着	圧縮力
		導体ブリッジ HTS 線材取り付け	超電導線取扱い
		加熱（半田モールド）	温度管理
4	補強絶縁紙巻き	補強絶縁紙巻き	形状
5	電界シールド処理	ケーブル部遮蔽処理	
		スロープ部遮蔽処理	
6	ケーブルシールド接続	シールド半割れ銅管ブリッジ HTS 線材取り付け	超電導線取扱
		加熱（半田モールド）	温度管理
		ケーブル銅ダミー層接続処理	
7	3心小径化	3心コア押し戻し	
8	計測線処理	光ファイバ接続、温度計取り付け	位置確認
9	窒素槽組立	窒素槽組立、溶接	溶接管理
		窒素槽気密試験（社内検査）	気密性
10	真空槽組立	真空断熱材取付	
		真空槽組立、溶接	溶接管理
11	容器ベーキング	加熱・真空引き	真空度
12	防食処理	防食巻き付け処理	



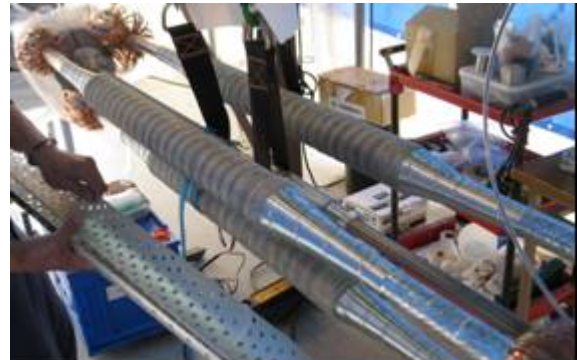
(a) 導体接続スリーブ



(b) 超電導導体ブリッジ接続



(c) 絶縁補強紙巻き



(d) シールド処理



(e) 電界遮蔽処理



(f) 窒素槽組立



(g) 真空層組立



(h) 防食層施工後

図 2.1.5-13 中間接続部組立施工写真



## (2) 終端接続部の組立

30m ケーブル検証試験用システムの終端接続部の組立についての概略工程と管理項目を表 2.1.5-8 に、組立中の主な写真を図 2.1.5-14 に示す。

また、完成した 30m ケーブルシステムを図 2.1.5-15 に示す。

表 2.1.5-8 概略工程

No.	ブロック工程	主な施工内容	管理ポイント
1	事前準備	作業用テント組立、レール布設	
2	ケーブル部組立準備	ケーブル直出し	
		容器・部品の挿入	部品の順番
		ベローズ付きフランジの溶接	
3	三相分岐処理	機材の搬入	
		三心コア撚り戻し、相合わせ	相の確認
		オフセット成型	
4	ケーブルコア切断	位置確認、ケーブルコア切断	切断位置
5	シールド層処理	保護層、Cu シールド層の除去	
		超電導シールド層処理	超電導線取扱い
		シールド接続金具の取付	
6	補強絶縁紙巻き	補強絶縁紙巻き	形状
		遮蔽処理	
7	導体処理	導体層の処理	
		フォーマの切断	切断位置
		導体接続金具の圧縮・取り付け	圧縮力
		半田流し込み	挿入半田量(g)
8	シールド接続金具の接続	位置固定	
		半田流し込み	挿入半田量 (g)
9	導入部組立	サポート金具の取り付け	
		ケーブル引き止め治具組立	
		センサー取り付け	取付け位置
10	ケーブル部・容器組立	容器の据付、ケーブル部との勘合	
11	容器内組立、配線	三相短絡	
		電流リード、高圧シールド組立	
		計測線、接地線取出し	健全性 (導通)
12	液体窒素容器の組立	液体窒素容器の組立・溶接	溶接管理
13	液体窒素容器耐圧試験	液体窒素容器の気密試験	気密性
14	真空容器の組立	真空断熱材の取り付け	
		真空容器の組み立て・溶接	溶接管理
15	容器ベーキング	加熱・真空引き	真空度
16	容器外部の配線接続	計測小屋への配線接続	



(a) 3 芯コアオフセット成型



(b) 保護層、Cu シールド層の除去



(c) 補強絶縁紙巻き



(d) 遮蔽処理



(e) 導体接続金具の圧縮



(f) 容器部分の組立



(g) 分岐部真空層組立

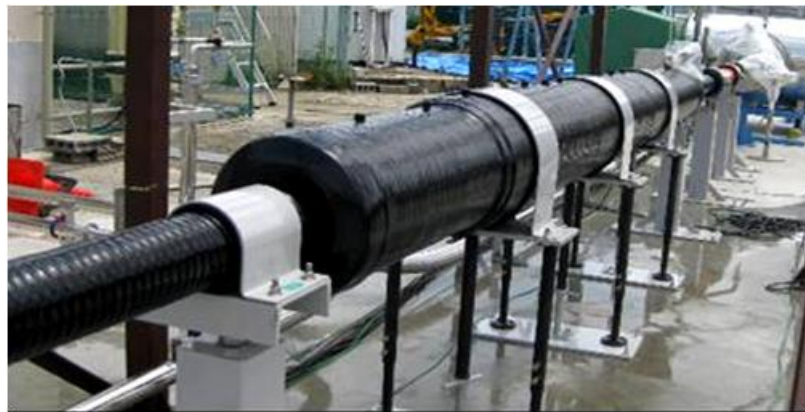


(h) 組立完了

図 2.1.5-14 終端接続部の施工写真



(a) 30m 検証システム全景



(b) ジョイント外観



(c) 端末外観

図 2.1.5-15 検証用 30m ケーブルシステム



### 2.1.5-3 冷却システムの構築と単体性能評価

#### (1) 目的

検証用 30m 長高温超電導ケーブルシステムの特性確認試験用として本冷却システムを構築する。本システムを用いて検証試験を通じ、温度、圧力および流量の制御特性の確認を行うと共に、運転時の実異常モード、模擬異常などを検証し、実証用冷却システム製作に向けての課題等を抽出する。

#### (2) 冷却システム

検証用冷却システムで採用する冷却方式は図 2.1.5-16 に示すように、冷凍機側と超電導ケーブル側の液体窒素パスが同一であり、冷凍機で冷却された液体窒素が直接超電導ケーブルシステムに送られる方式である。これは東京電力・住友電工が電力中央研究所にて実施した「高温超電導ケーブルシステムの成立性検証に関する研究」における 100 m 長超電導ケーブルシステム、超電導発電関連機器・材料技術研究組合 (Super-GM) が実施した「交流超電導電力機器基盤技術の研究」プロジェクトにおける 500 m 長超電導ケーブルシステムの冷却に採用された方式である。これらの液体窒素循環冷却での採用実績に加え、超電導ケーブル入口温度の応答性が良いなどの特徴を有する。表 2.1.5-9 に今回製作した液体窒素循環冷却システムの主な仕様を、製作した冷却システムを図 2.1.5-17 に示す。

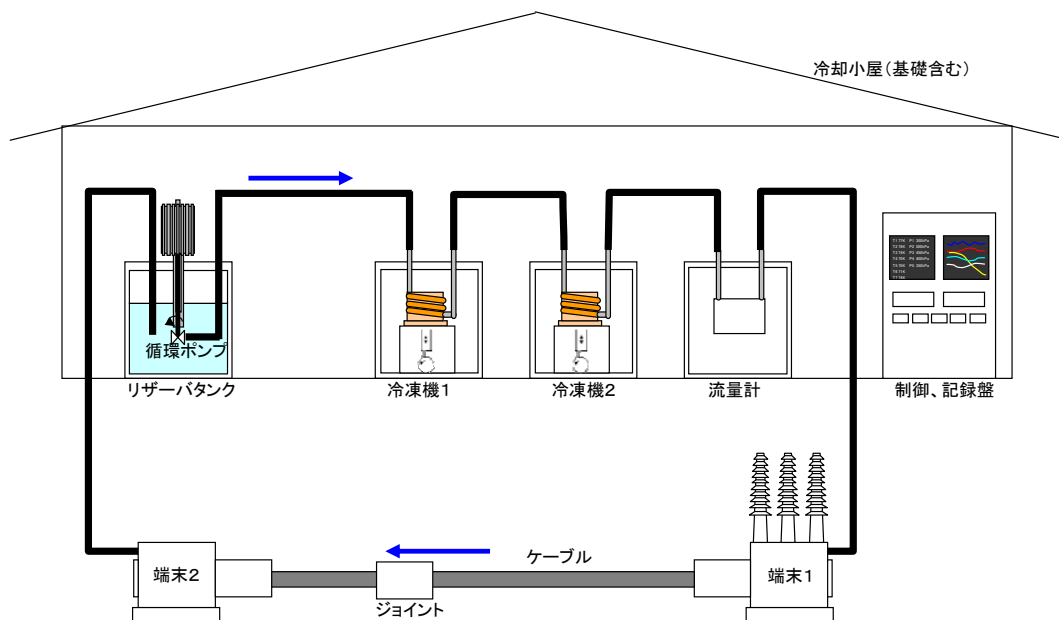


図 2.1.5-16 検証用冷却システムレイアウト図

表 2.1.5-9 検証用液体窒素循環冷却システム主な仕様

項目	仕様
液体窒素温度	67 ～ 77 K
液体窒素圧力	0.2 ～ 0.5 MPaG
液体窒素流量	～ 40 L/min
冷凍機	アイシン精機製スターリング方式 予想冷凍能力 1 kW @77 K または 0.8 kW @67 K 冷凍機1: AC 運転(出力 100 %一定) 冷凍機2: インバータ制御運転(出力 60-100 %可変)
循環ポンプ	バーバーニコルス社製 最大揚程約 180 kPa ×1 台
制御・計測盤	冷凍機および循環ポンプの運転制御。温度・圧力および流量調整機能およびシステムデータ記録機能。
法規対応	高圧ガス保安法 冷凍保安規則(第1種製造設備)



図 2.1.5-17 検証ケーブル用冷却システム

### (3) 計測システム

計測システムの目的は、超電導ケーブルシステムの運転を行う際に各部温度、圧力、流量などの測定・監視を実施しシステムの性能を評価すること、およびシステムの運転を常時自動／手動で監視し、データや機器運転の異常が認められた際には速やかに警報の発令・連絡を実施し、システムを安全に運用管理することである。計測システムについては表 2.1.5-10、図 2.1.5-18 に示す超電導ケーブルシステムの物理量を観測できるようにした。流量、温度情報は主に各部の熱侵入特性や通電時の交流損失評価のためのデータとして用いられる。その他圧力、液面情報などはケーブルシステムの運転が定格の運転条件に見合っていることの確認および、その条件から逸脱した際のシステム状況、警報の条件判断などに用いられる。表 2.1.5-11 には主な計測用センサの仕様を示す。

監視機能に対しては、ネットワーク対応可能とし遠隔データ監視、警報受信が行えること、モジュールコンポーネントの採用によりシステムの増設、故障時等の際の交換が容易であること、実際に電力(変電、送配電)などで使用されている通信手段とのマッチングがあることなどを考慮し、PLC をベースにした監視ハードウェア、ソフトウェアの構築を実施することとした。

表 2.1.5-10 計測項目

記号	測定項目	記号	測定項目	記号	測定項目
Tr 1	リザーバ温度	Pr 1	リザーバ圧力	LM	リザーバ液面
Th	加圧ヒータ温度	Pr 2	LN2ポンプ出口圧力	Q	流量
Tr 2	冷凍機1入口温度	Pr 3	ケーブルシステム	LC1	A端末軸荷重①
Tc 1F	冷凍機1Front温度	Pr4	ケーブルシステム	LC2	A端末軸荷重②
Tc 1R	冷凍機1Rear温度	Ph	加圧圧力	LC3	B端末軸荷重①
Tr 3	冷凍機1出口温度	Hr	圧力制御用ヒータ出	LC4	B端末軸荷重②
Tc 2F	冷凍機2Front温度	Ps 1	A端末圧力	SUT	光ファイバ温度センサ
Tc 2R	冷凍機2Rear温度	Ps 2	B端末圧力	CC1	A端末液面
Tr 4	冷凍機2出口温度	Vt1	A端末真空度	CC2	
Tr 5	ケーブルシステム	Vc1	ケーブル1真空度	CC3	
Tr 6	ケーブルシステム	Vj	ジョイント真空度	CC4	
Ts 1	A端末内部温度①	Vc2	ケーブル2真空度	CC5	
Ts 2	A端末内部温度②	Vt2	B端末真空度	CC6	
Ts 3	ケーブル1入口温度	Is1	シールド電流 U	CC7	
Ts 3'	ケーブル1入口温度	Is2	シールド電流 V	CC8	
Ts 4	ケーブル1出口温度	Is3	シールド電流 W	CC9	
Ts 5	ケーブル2入口温度			CC10	B端末液面
Ts 6	ケーブル2出口温度			CC11	
Ts 6'	ケーブル2出口温度			CC12	
To	外気温			CC13	

表 2.1.5-11 主なセンサーの選定

センサの種類	仕様		精度
温度センサ	Pt(白金測温抵抗)	14-500K	±0.02K
圧力センサ	増幅器内蔵歪ゲージ式	0~1MPa ABS	±2%
ロードセル	歪みゲージ式	+/- 10ton	±0.1% RO

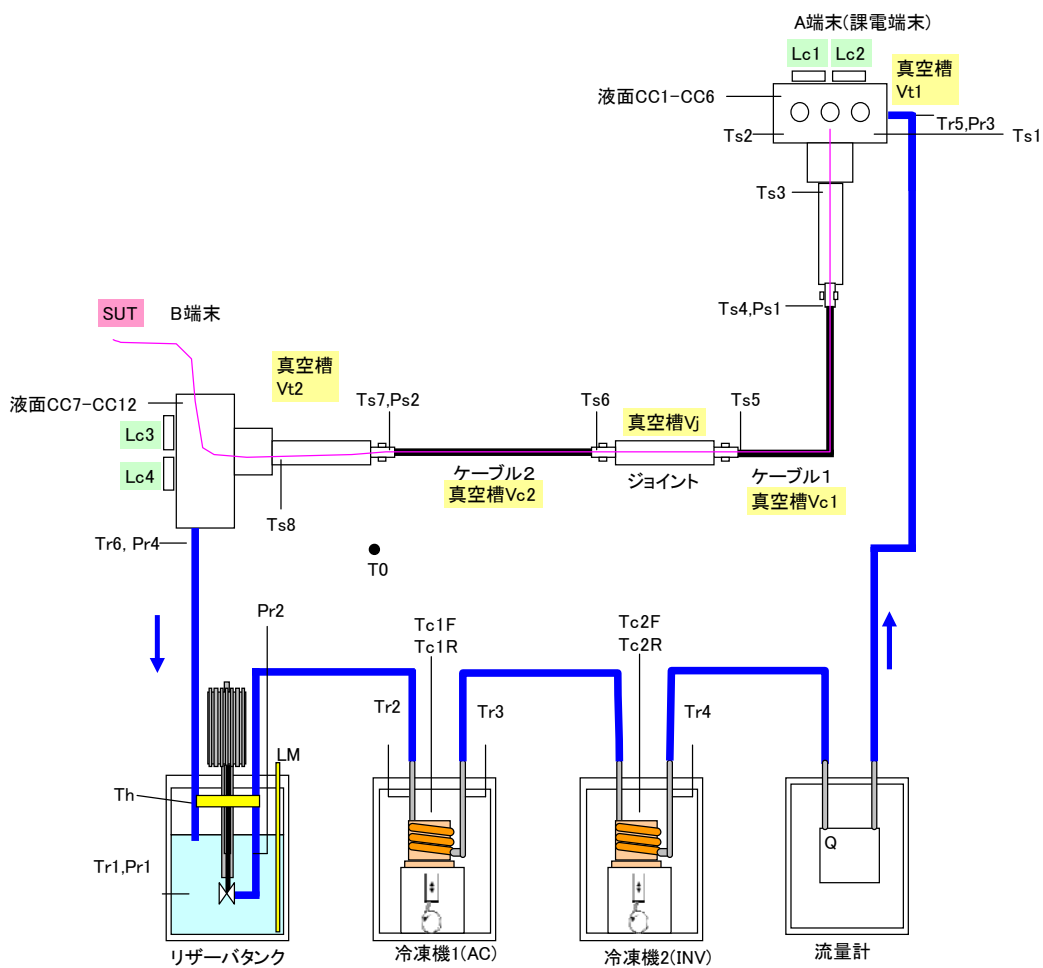


図 2.1.5-18 超電導ケーブルシステム計測データ配置

#### (4) 検証用冷却システム単体性能試験

仕様検討、設計、製作した検証用冷却システムに対し表 2.1.5-12 に示す内容の単体試運転を実施した。この結果、初期冷却特性、冷却能力特性試験などを通じて、設計通りのケーブル冷却能力を得ることができ、その他温度、圧力等の制御性も確認できた。以下で主な試験結果について報告する。

表 2.1.5-12 単体冷却試運転 試験項目一覧

試験内容		試験 No.	目的、概要	試験条件(例)	確認項目
初期冷却	過渡冷却特性	1	冷却システム単体の初期冷却特性、循環特性評価	タンク液面上限まで貯液	冷却時間、循環安定時間
基本性能試験	冷凍能力	3	冷凍機単体冷凍能力および冷却システムの冷凍能力を測定。B:実証システムの設計に反映。	【3-1】 ・タンク圧力= 0.2 MPaG ・流量= 40 L/min ・冷凍機1= On、冷凍機2= On(100%)	・冷凍機最大能力 ・冷凍機Off時の冷凍機熱負荷 ・インバータによる冷凍能力変化
	冷却システム熱損失	4	冷却システムの熱損失を算定。B:実証システムの冷却システム設計に反映。	・ケーブル入口温度= 67.77 K ・タンク圧力= 0.2 MPaG ・流量= 20.40 L/min ・冷凍機1= Off、冷凍機2= On(60%)	全体熱負荷からケーブルシステム熱負荷を差し引いて評価する。予想約400W
	圧力損失	6	ポンプの仕様(揚程等)が仕様通りであるか確認。	・ケーブル入口温度= 67.77 K ・タンク圧力= 0.2 MPaG ・流量= 20-40 L/min, 5 L/min step	流量、揚程を測定してポンプ性能、インバータ周波数との関係を確認する。
	制御特性	【熱負荷変動特性】 リザーバタンクヒータパワーを変化させた場合での温度応答性確認し、B:実証システムでの冷凍機制御設計に生かす。	8	【8-1】 ・ケーブル入口初期温度= 67 K ・タンク圧力= 0.2 MPaG ・流量= 40 L/min ・ヒータ出力= 1200 - 1600 W 【8-2】 ・ケーブル入口初期温度= 67 K ・タンク圧力= 0.2 MPaG ・流量= 40 L/min ・ヒータ出力= 400 - 600 W	負荷変動時における温度の過渡応答特性を確認。
			9	【冷凍機インバータ制御特性】 冷凍機2のインバータ周波数を変化させた場合の温度応答性確認。 【10-1】 ・初期ヒータ= 600W ・初期温度Tr5= 77 K ・圧力Pr1= 0.2 MPaG ・流量= 40 L/min	温度の応答性を確認。
		10	【冷凍機On/Off特性】 冷凍機1のOn/Offを行った場合での温度応答性、安定性を確認。B:実証で採用予定のON/OFF制御特性の把握を行う。	温度の応答性を確認。	
	11	B:実証システムで採用を予定している加圧用ヒータによる圧力制御特性を評価。実証システムでの設計に反映。	・流量 40L/min ・液面 上限近傍、下限近傍 ・Tr5 67K,77K ・圧力Pr1= 0.2, 0.3 MPaG	加圧用ヒータのPID制御特性調査。液面、液温、制御圧力における制御性、安定性の確認。	

(a) 冷却能力確認試験

冷凍機、冷却システムの冷凍能力を評価した。冷凍能力は、リザーバタンクに設けたヒータを用いて、液体窒素の温度が一定となるヒータの熱量と、リザーバタンク、配管への侵入熱等から求めた。冷凍機1の冷凍能力は、約-920 W@77 K、約-780 W@67 K、冷凍機2の冷凍能力は、約-1030 W@77 K、約-870 W@67 Kと実験により確認された。冷凍機1, 2の運転ではリザーバタンクヒータとのバランスから、約 1230 W@67 K、1550 W@77 K の冷却能力を確認し、それぞれ設計値 (1200 W, 1600 W) をほぼ満足した。以上より冷却システム冷冷却能力については液体窒素温度 67 K および 77 K いずれに対しても設計値にたいしてほぼ遜色ないことが確認できた。

(b) ポンプ能力確認試験

ポンプの揚程特性が仕様通りであることを確認した。図 2.1.5-19 の通り流量 40L/min でのポンプ揚程は約 170kPa となり、単体性能通りであることが確認できた。また図 2.1.5-20 の通り流量はインバータ回転数にほぼ比例することも確認された。



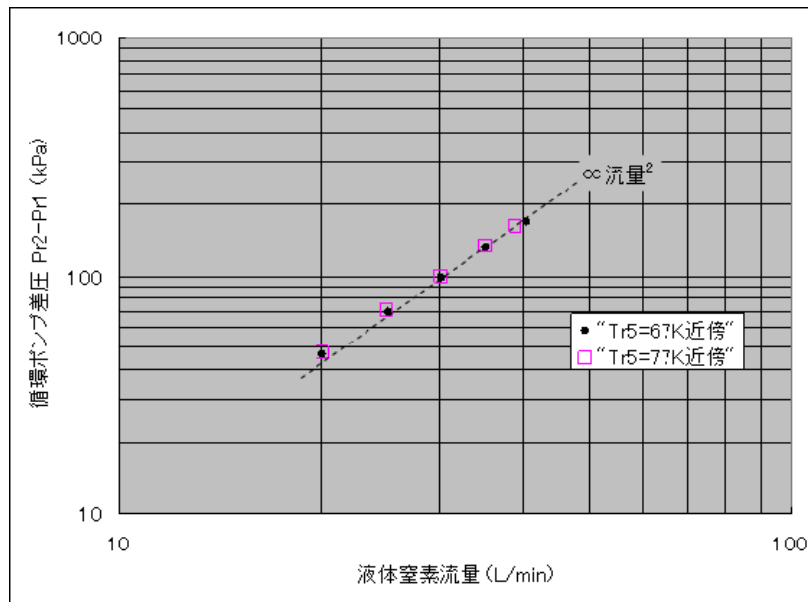


図 2.1.5-19 揚程確認試験 液体窒素流量とポンプ揚程(差圧)の関係

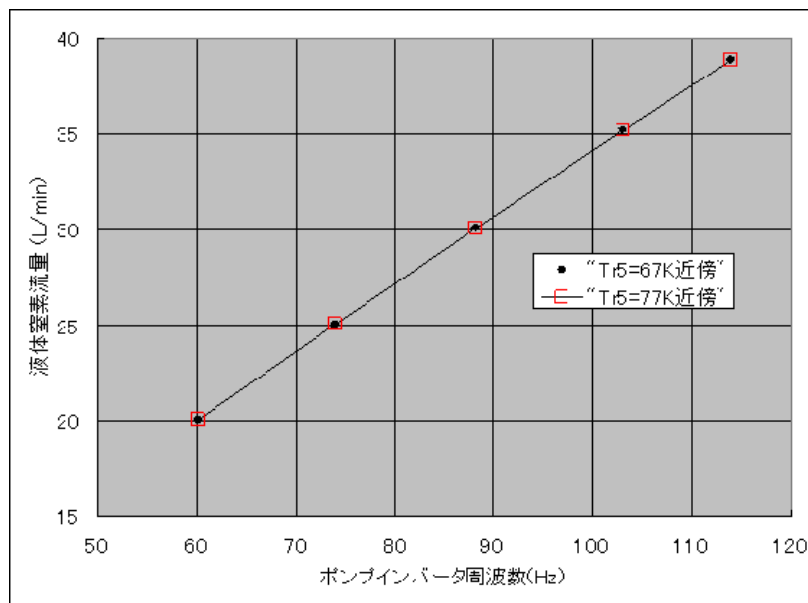


図 2.1.5-20 揚程確認試験 ポンプインバータ周波数と液体窒素循環流量の関係

### (c) 温度過渡応答特性

試験条件は表 2.1.5-13 の通りである。冷却システムをある安定した温度、流量および圧力運転状態に保持した後、ケーブル負荷の模擬として使用しているヒータの電力をステップ状に変化させ、単体冷却システムにおける液体窒素の温度変化並びに流量、圧力の安定性を観測した。例えば冷凍機2台 100%運転で 67⇔77 K となるようヒータ電力を 400 W 増減させた(1200⇔1600 W)場合、温度が安定するまでにはおおよそ 10 時間近くを要することがわかった。試験結果を図 2.1.5-21、22 に示す。これは系の液体窒素量および物性から推定される過渡応答特性とよく一致する。この結果により単体冷却試験での液体窒素量における負荷変動に対する過渡特性がわかり、これを利用して

実証システムにおける負荷変動時の温度変化を予想し、冷凍機構成、運転方法などの設計に生かすこととする。

表 2.1.5-13 温度過渡応答特性試験条件

	試験8-①	試験8-②
冷凍機1、2動作	冷凍機1:ON、冷凍機2:ON (100%)	
流量(L/min)	40	
変化前ヒータ (W)	約 1200	約 1600
Tr5 安定温度(K)	67.3	77.3
変化後ヒータ(W)	約 1600	約 1200
Tr5 予想到達温度(K)	77.0	67.0

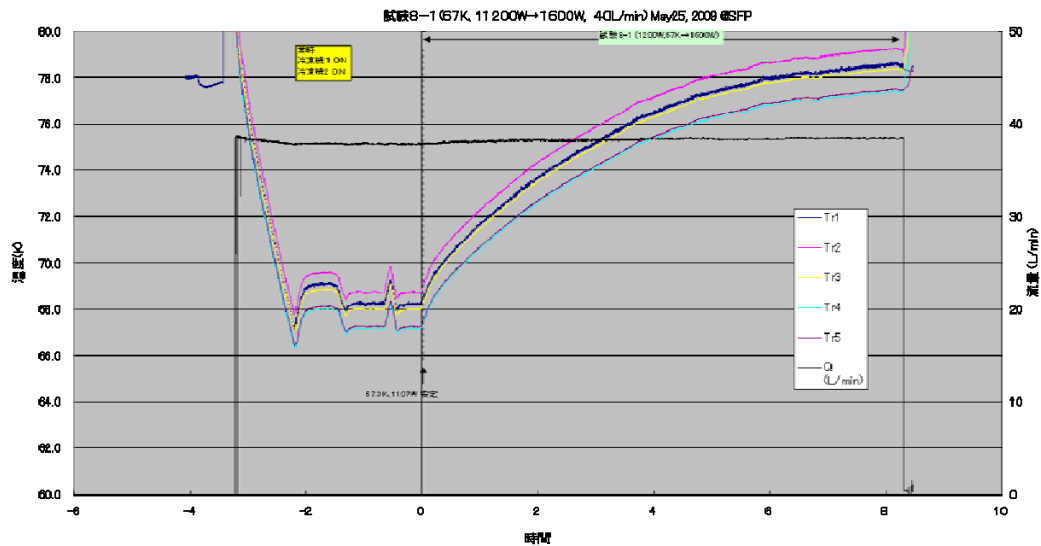


図 2.1.5-21 温度過渡応答試験 (67K, 40L/min ヒータ約 1200W 安定 → ヒータ約 1600W とした場合)

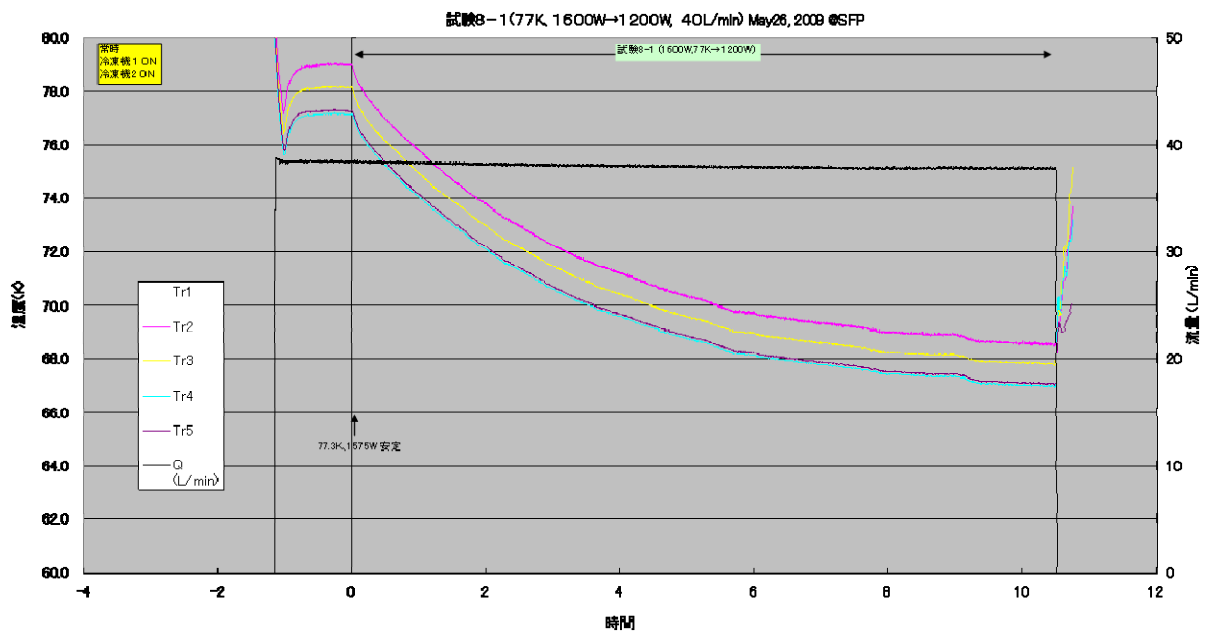


図 2.1.5-22 温度過渡応答試験 (77K, 40L/min ヒータ約 1600W 安定 → ヒータ約 1200W とした時の過渡応答)

また図 2.1.5-21、2.1.5-22 の結果より、冷却システム出口温度(Tr5)の変化について図 2.5.1-23 にまとめた。両者の和の平均を取るとほぼ一定となっており、高温→低温および低温→高温での過渡応答に違いが見られないことを表している。

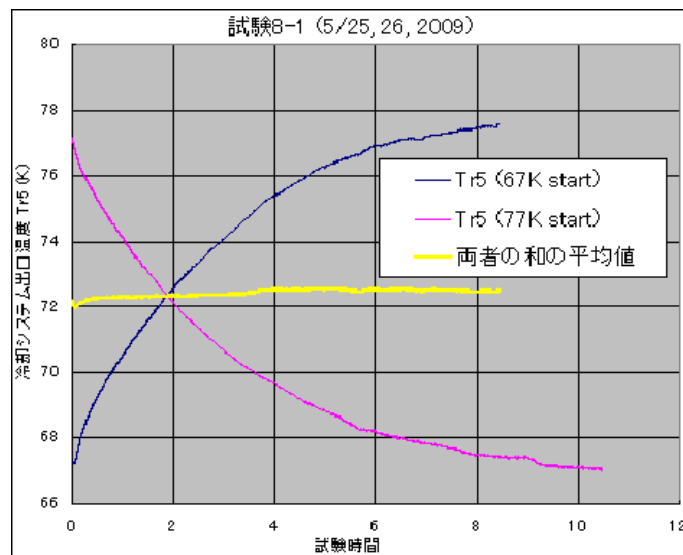


図 2.1.5-23 温度過渡応答試験 過渡応答特性(低温⇔高温での比較)

## 2.1.5-4 検証試験

構築した 30m 検証用システムを冷却し、電気試験、機械試験、熱損失測定等、各種試験を実施する。表 2.1.5-14 に検証試験での試験内容を示す。2009/9/30 時点では、第一回目の定格確認試験が終了したところであり、データを解析中である。本節では、試験の実施状況と、データまとまった試験に関する結果を記述する。

表 2.1.5-14 30m 検証試験計画

試験名	予定	試験項目・内容	
①定格確認試験	H21/7 ~9	電気特性試験	Ic測定(導体部)、シールド誘導電流計測 C・tan δ 特性確認 定格課通電(対地40kV,2kA)
		機械特性試験	冷却時の張力測定 ジョイント部の動き確認(X線)
		熱的特性試験	ACロス測定(2kA) 断熱管侵入熱測定
		長期課通電試験	対地51kV-連続, 通電2kA-8hrON/16hOFF、1ヶ月
②ヒートサイクル試験	H21/10	ヒートサイクル試験	一旦昇温し、再度冷却を行い、上記電氣的、機械的、熱的特性に変化がないことを確認する。
③限界性能確認試験	H21/11 ~H22/1	ヒートサイクル試験	一旦昇温し、再度冷却を行い、上記電氣的、機械的、熱的特性に変化がないことを確認する。
		限界性能試験	短絡電流模擬試験(~10kA)、 過電流通電(~3kA)試験、冷凍機故障模擬試験

### (1) 初期冷却

システムの初期冷却は表 2.1.5-15 に示す手順にて実施した。

表 2.1.5-15 初期冷却手順

項目	内容
①窒素ガス置換	ケーブル、ジョイント、端末の窒素槽を窒素ガスに置換する。ここでは、図 2.1.5-1 のシステム構成図に示す A 端末側から窒素ガスを吹き流した。
②低温窒素ガスでの冷却	A 端末側から低温窒素ガスを流し、ケーブルを一方向に徐々に冷却吸する。
③液体窒素冷却	同じく A 端末から液体窒素を注入し、端末の派出弁から液が噴出するまで注入を行う。
④液体窒素循環歩冷却	リザーバタンクの液量が十分になれば、駅の補給をやめ、ポンプを起動し、循環冷却に切り替える。

冷却時のケーブル長手方向の温度分布の時間変化を図 2.1.5-24 に示す。ケーブルは A 端末側から徐々に冷却され、約 44 時間後に液体窒素温度まで冷却された。

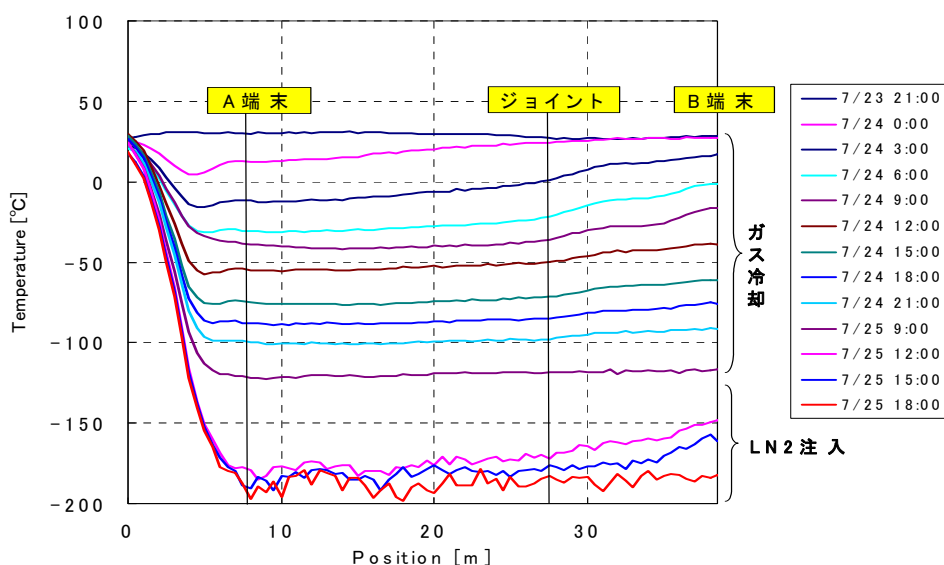


図 2.1.5-24 ケーブルシステム全長温度分布

また、冷却時のケーブルの静電容量を LCR メータにて測定した。静電容量の時間変化を図 2.1.5-25 に示す。ガス冷却が進むにつれ静電容量は減少傾向にあるが、液体窒素貯液後はケーブルコアの絶縁材料である PPLP への液体窒素の含浸が進行し、静電容量が上昇する。含浸が終了し一定となった値は 24.44 nF であり、計算値とよく一致する結果が得られた。

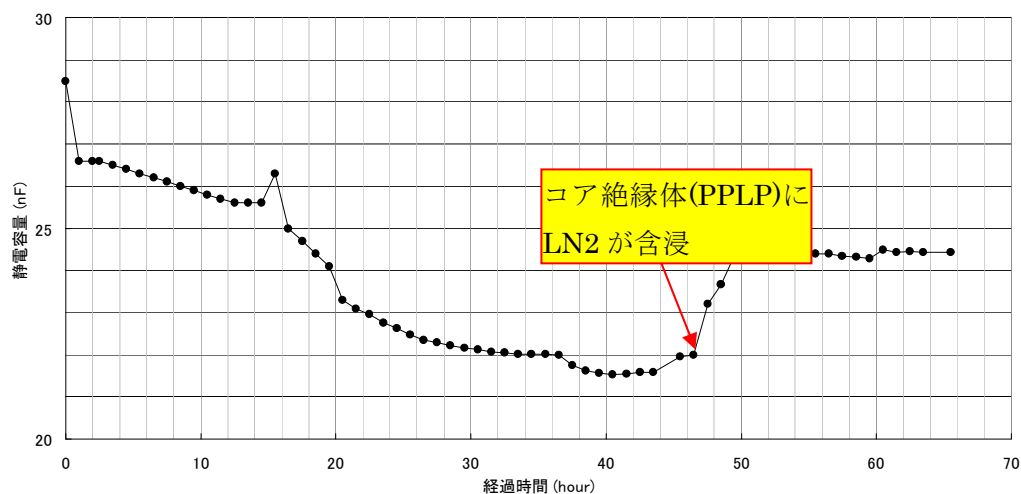


図 2.1.5-25 初期冷却時ケーブル静電容量変化 (LCR メータ計測)

冷却が進展するとケーブルは熱収縮するので、これによりケーブルを固定している端末への荷重が増加する。この荷重をロードセルにて測定を行った結果を図 2.1.5-26 に示す。荷重は、2500~2700kgf/三相であり、2.1.5-1 節にて測定した冷却時のケーブル張力とよく一致する結果が得られている。以上の結果、初期冷却においては、特に異常なく冷却を完了することができた。

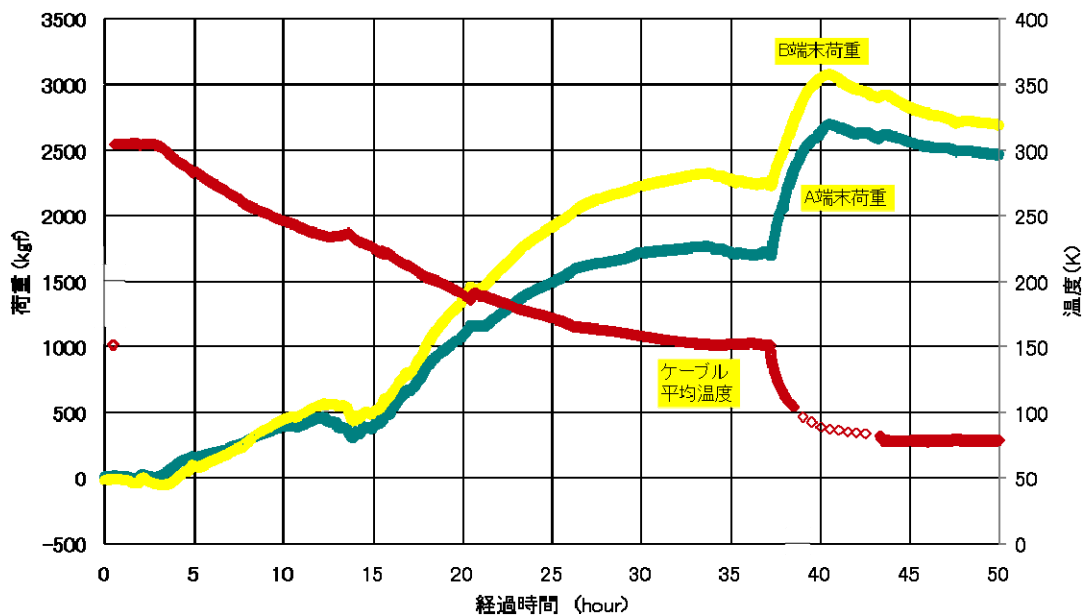


図 2.1.5-26 冷却時の端末荷重測定

## (2) 臨界電流 (Ic) 測定

30m 検証システムの初期冷却終了後に、健全性を確認するため、全長の臨界電流 (Ic) 測定を実施した。測定回路の概要を図 2.1.5-27 に示す。測定は、7200A/10V の直流電源を用いて、30m ケーブルの赤相と青相に往復通電を実施した。この際、電圧タップは端末電流リード上部に取り付けており、電流リード及び接続部の常電導抵抗を含んだ電圧を測定した。このため、図 2.1.5-28 に示すように、測定波形から常電導成分を除去した波形から 30m ケーブルの臨界電流を算出している。なお、臨界電流は  $1 \mu\text{V}/\text{cm}$  の電界にて定義した。

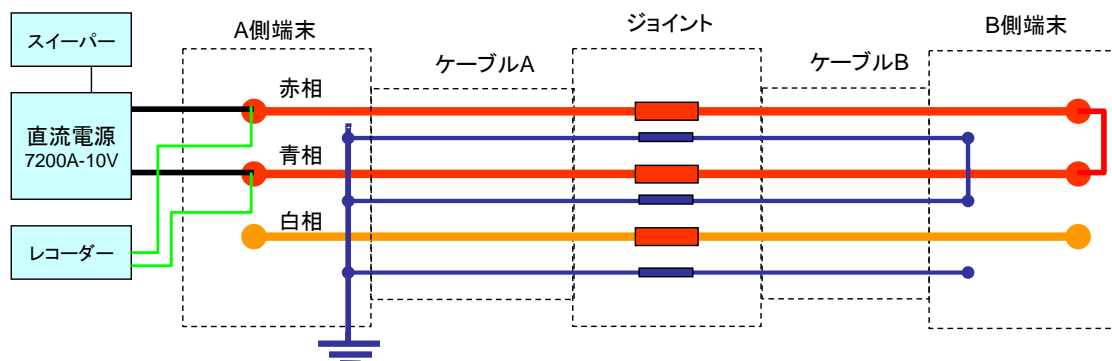


図 2.1.5-27 臨界電流測定回路の概要

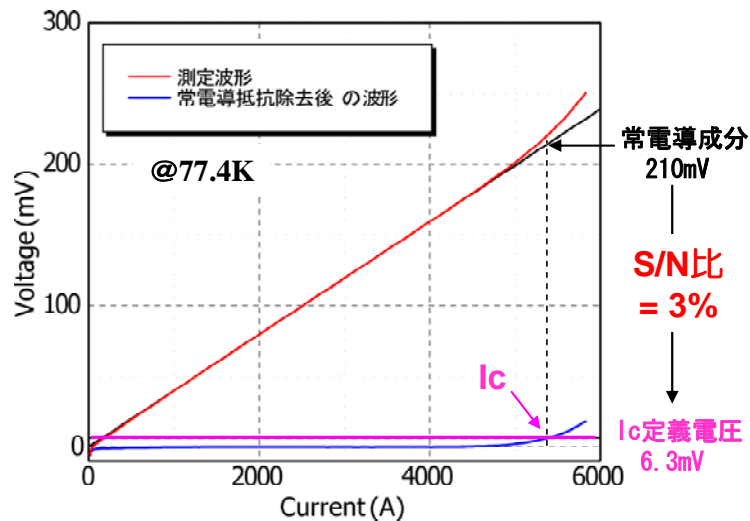


図 2. 1. 5-28 臨界電流測定時の電圧電流波形

$I_c$  測定結果を表 2. 1. 5-15 にまとめる。77. 4K における  $I_c$  測定結果は 5. 4kA であり、出荷試験結果 (6. 1kA) と比較して 1 割程度低い。本原因としては以下の 2 点が考えられる。

- 1) 図 2. 1. 5-1 に示すように、ケーブル長が 30m と短いことに起因して、測定電圧にしめる常電導成分が非常に大きく、正確な測定が実施できていない。
- 2) 5kA 以上の大電流通電を行っているため、2 コア (赤相と青相) の発生磁場による臨界電流低下が発生している。

1)については、今後の試験において、超電導導体直上に電圧タップを取り付け直して正確な  $I_c$  測定を実施することを計画している。2)については、短尺サンプルを用いて磁場の影響を検証することを計画している。

表 2. 1. 5-16  $I_c$  測定結果

温度 (K)	臨界電流 (kA)
77. 4	5. 4
74. 3	6. 3
73. 5	6. 6

### (3) 通電試験

30m 検証システムの健全性を確認するため、交流通電試験を実施した。測定回路の概要を図 2.1.5-29 に示す。通電は、通電用 CT を用いて、30m ケーブルの赤相と青相に往復通電を実施した。この際、各層のシールド層にはそれぞれの導体層と逆位相の電流が誘起されるため、シールド電流を三相短絡部に取り付けたロゴスキーコイルを用いて測定した。定格 2kArms 通電時の電流波形を図 2.1.5-30 に示す。シールド層の誘導電流は 1.8kA 程度（誘導率は 90%程度）であり、これまでの実績<sup>8)</sup>と同等の結果が得られており、30m ケーブルの健全性を確認した。尚、通電は 24 時間連続で行い、異常がないことを確認している。

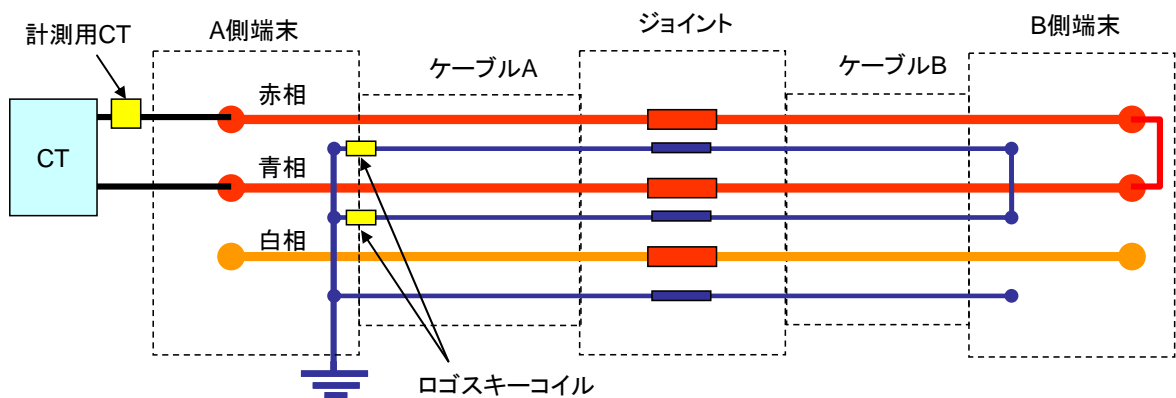


図 2.1.5-29 交流通電試験回路の概要

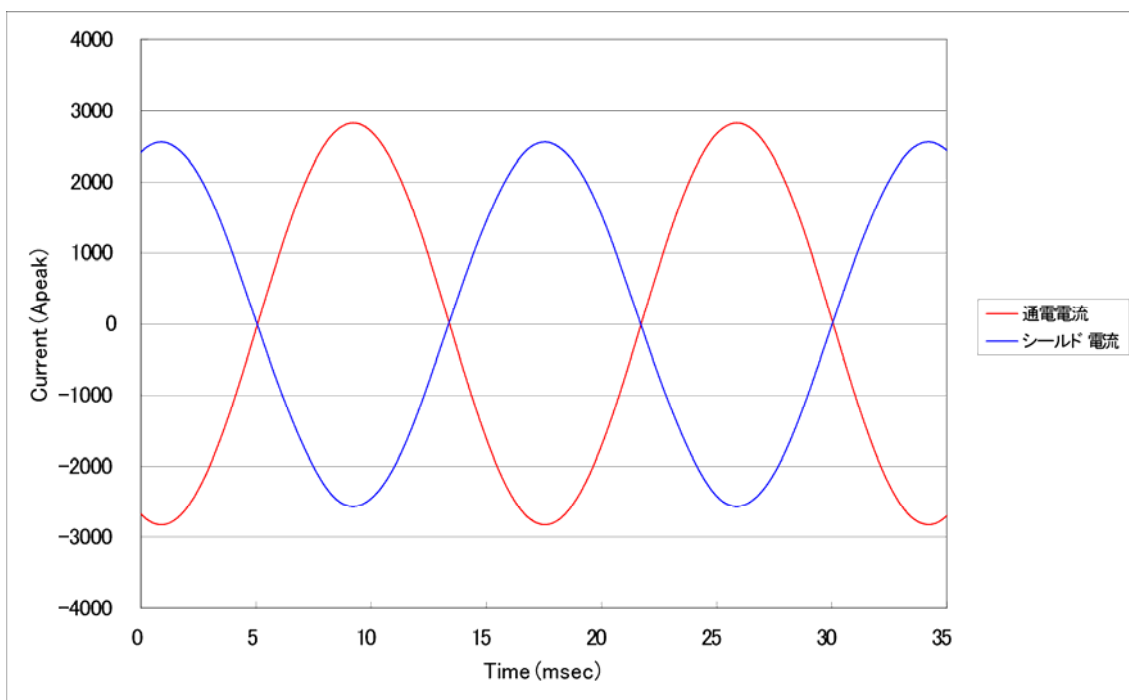


図 2.1.5-30 交流通電時の電流波形



#### (4) 課電試験

66 kV 級電力ケーブルの耐電圧試験として、以下の2項目を実施した。また、検証用ケーブルの静電容量 C 及び誘電正接  $\tan \delta$  を測定した。

- (1) 現地システム竣工耐圧試験 AC76 kV(対地) - 10 分間
- (2) 系統最大電圧(72 kV)相当課電試験 AC42 kV(対地) - 8 時間

課電試験結果を表 2.1.5-17 及び図 2.1.5-31 に示す。課電試験の結果、試験項目(1)、(2)いずれにおいても、感度 100 pC にて PD は検出されなかった。また、C 及び  $\tan \delta$  にも大きな変化はなかった。

表 2.1.5-17 検証用 30m ケーブル課電試験結果

項目		条件	結果
(1)	現地システム竣工耐圧試験	AC 76 kV (対地) - 10 分間	【良好】 ・ PD 検出なし (感度 100 pC) ・ C, $\tan \delta$ に大きな変化なし
(2)	系統最大電圧相当課電試験	AC 42 kV (対地) - 8 時間	【良好】 ・ PD 検出なし (感度 100 pC)

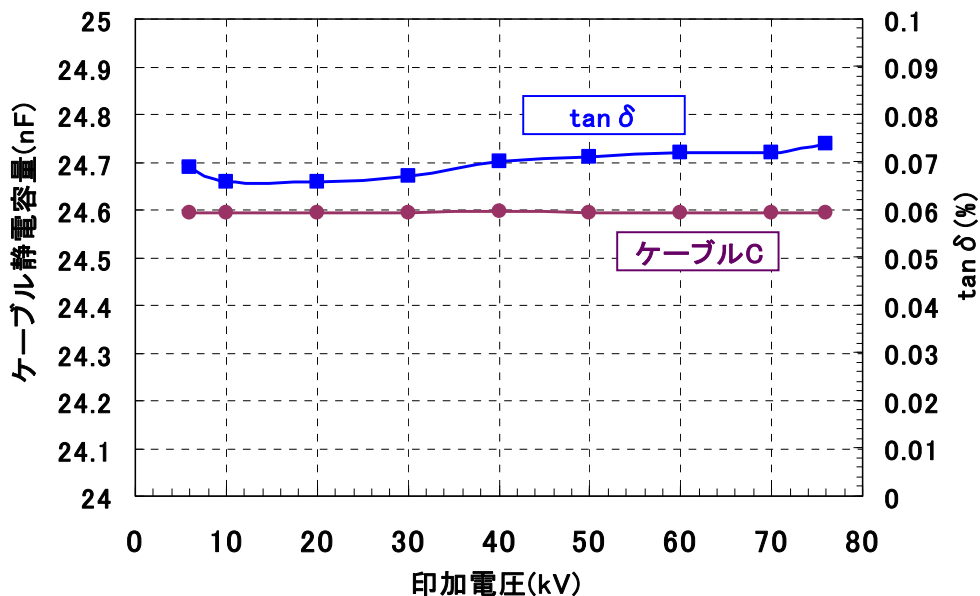


図 2.1.5-31 検証用 30m ケーブルの C 及び  $\tan \delta$  測定結果

### (5) 定格課通電および長期課通電試験結果

30m 検証試験用超電導ケーブルシステムが 30 年にわたり定格課通電を行うことが可能かを検証した。試験期間をスケジュールの関係から 30 日間としたため、試験条件は、ケーブル寿命 30 年に相当する対地間定格電圧 51kVrms を 24 時間連続で課電し、同時に定格通電電流 2kArms を 8 時間 On と 16 時間 off を繰り返し実施した。

試験回路を図 2.1.5-32 に示す。冷却システムの運転条件は、放電防止のためケーブル部最低圧力を 0.2MPaG、LN2 温度はケーブル部出口温度を約 77K、LN2 流量は 40L/min で管理した。

試験期間の 30 日間、問題なく課通電を実施することが出来た。試験結果を図 2.1.5-33 に示す。試験後に実施した部分放電測定において、部分放電は検知されず良好であった。

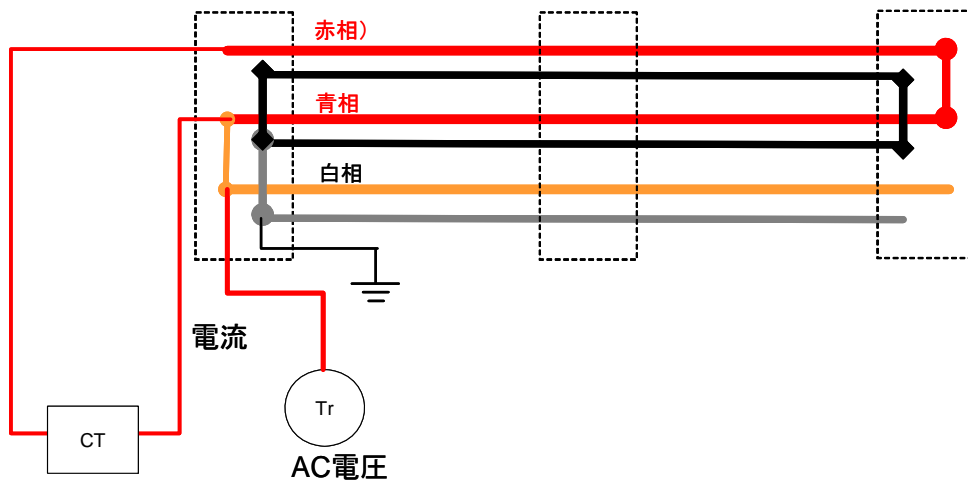


図 2.1.5-32 長期課通電試験回路図

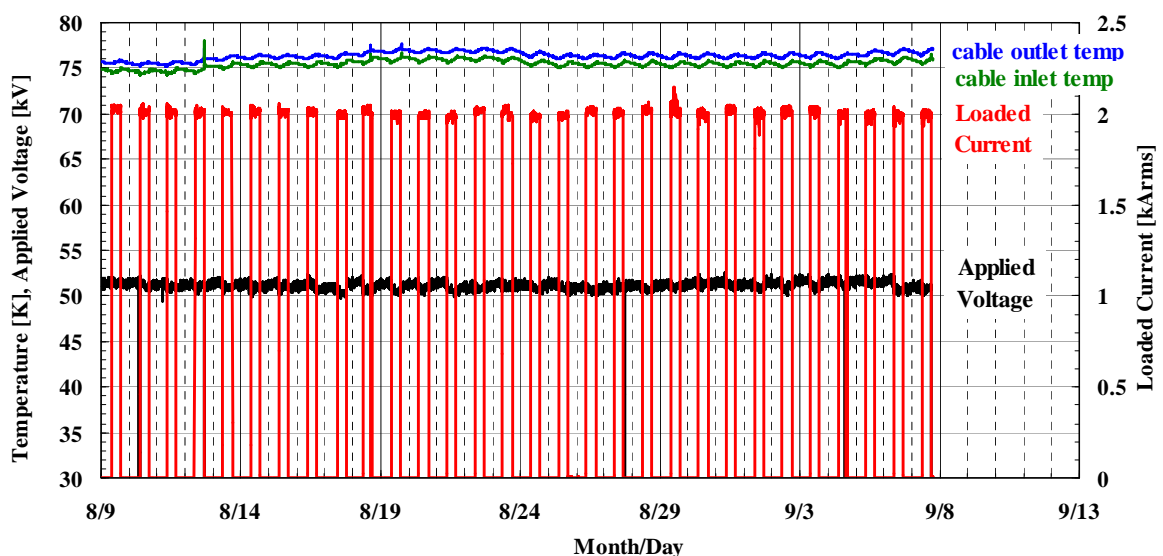


図 2.1.5-33 長期課通電試験結果

## 2.1.5-5 まとめ

- ・ 検証用 30m ケーブルの製作、建設を行った。
  - ・ 30m ケーブルはこれまでの要素試験結果をもとに設計したもので、導体 4 層、シールド 2 層、電気絶縁は 7mm 厚 PPLP で構成されている。
  - ・ 30m ケーブル製造後、短尺を切り出し、出荷試験に相等するサンプル試験を実施、臨界電流 ( $I_c$ )、交流損失測定、課電試験、曲げ試験等を実施し、仕様を満足することを確認した。
- 
- ・ 中間接続部、終端接続部については、施工手順を確認し、管理項目を把握した。
  - ・ システム構築後、初期冷却試験を実施。システムは片側から低温窒素ガス、液体窒素を注入し、徐々に冷却した。
  - ・ 冷却時にケーブルの静電容量を測定し、液体窒素が絶縁体に含浸していく状況を確認した。
  - ・ 冷却時、超電導ケーブルが熱収縮によって発生する引張り力は 2.4~2.7ton であった。これは、ケーブル要素試験から予想される値とよく一致する。
- 
- ・ 冷却後、各種電気試験を実施した。
  - ・ 導体の臨界電流測定を行い、 $I_c$  DC5.4kA @ 77.4K を得た。
  - ・ 通電試験においては、AC2kA を 24 時間以上連続通電し、異常がないことを確認した。尚、超電導シールド側に流れる電流は、約 AC1.8kA であった。
  - ・ 従来ケーブルの竣工試験と同様に、定格電圧 (66kV の対地電圧 38kV) の 2 倍である AC76kV @ 10 分間を課電し、良好であった。
  - ・ 電圧対地 51kV、電流 2kA 8 時間 ON, 16 時間 OFF の条件で、1 ヶ月の連続試験に成功した。尚、この試験が 30 年間の加速試験に相当する。

## 引用論文リスト

(1) 電気学会「超電導工学」

(2) 笹重他：「低交流損失 Bi-2223 超電導線材の開発(3) ー多芯化、高 Je 化、ツイストピッチ低減の効果ー」、2007 年度春期低温工学・超電導学会、1P-p01 (2007)

(3) Z. Jiang, N. Amemiya, N. Ayai and K. Hayashi, “Total AC loss characteristics of untwisted and twisted Bi-2223 multifilamentary tapes and interaction between self and external magnetic fields”, Supercond. Sci. Technol., vol.17, pp.1311-1318 (2004)

(4) W. T. Norris, “Calculation of hysteresis losses in hard superconductors carrying ac: isolated conductors and edges of thin sheets”, J. Phys. D3, pp. 489-507 (1970)

(5) 宮城、塚本：「イットリウム系薄膜導体交流電損失の n 値および導体断面内臨界電流分布依存性」、電気学会 B 部門論文、124 巻 1 号 (2004)

(6) M. Shiotsu, et al., Advances in Cryogenic Engineering, Vol.44, pp.623-629 (1998)

(7) T. Masuda, et. al, “Design and experimental results for Albany HTS cable”, IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol. 15, No.2, (2005)

(8) 増田等、「66kV 級 3 心一括型高温超電導ケーブルの開発」、SEI テクニカルレビュー 第 159 号 (2001)

(9) 湯村等、「高温超電導ケーブルの実系統線路への適用 (米国 A L B A N Y プロジェクト)」、SEI テクニカルレビュー・第 174 号 (2009)

## 2.2 トータルシステム等の開発

高温超電導ケーブルシステムが、市場に導入されるためには、線路建設、運転監視、運用・保守方法などのトータルシステムとしての技術を確立する必要がある。

具体的に本節では、実証ケーブルシステムの基本構成と仕様を検討し、システムとしての構成を検討する。また、超電導ケーブルシステムの必要な付帯機器の検討、超電導ケーブルを極低温に維持するために必要な、冷却システムの設計検討及び、実証ケーブルシステムの建設方法の検討を行う。

### 2.2.1 実証ケーブルシステムの基本構成と仕様の検討

#### (1) 研究開発目的

高温超電導ケーブルシステムの接続が可能な 66kV 級実系統の候補地から、電流容量、負荷状況、システム構築の実現性等を考慮し、以下の目的を満たすように実証ケーブルの実証場所を検討する。

- ・ 電圧：66 kV、容量：200 MVA のケーブルが接続できる回路を有すること
- ・ 実系統に接続し変電所内にて実運転検証ができる十分なスペースを有すること
- ・ 運転監視・保守運用方法の検証が困難でないこと

次に、実証場所の系統構成や系統条件を考慮しつつ、実証場所における高温超電導ケーブルシステムの実系統への接続形態および、その機器構成を検討し、併せて高温超電導ケーブルシステムの基本仕様を検討する。

#### (2) 実証試験場所の選定

電圧：66kV、容量：200MVA のケーブルというターゲットならびに実系統に接続して実運転検証を行う点、また運転監視・保守運用方法の検証が目的となる点を鑑み、実証試験場所は試験のための十分なスペースを有する既存変電所とし、その選定を実施した。具体的な選定のフローを図 2.2.1-1 に示す。

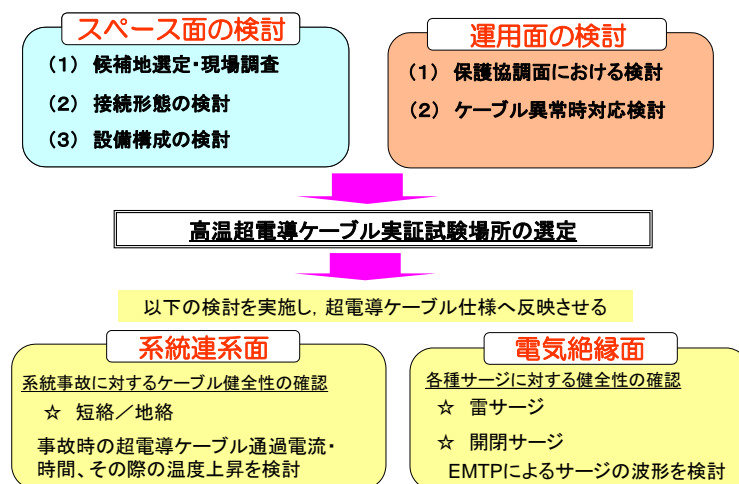


図 2.2.1-1 実証場所選定のフロー

変電所選定にあたっては、以下の条件により絞り込みを実施した。

- ・ 66 kV、200 MVA の変圧器を有すること
- ・ 試験スペース確保が容易な屋外変電所であること

この条件により 30 弱の変電所に絞り込みがなされた。

さらに、以下の条件について各変電所の比較を実施した。

- ・ 66 kV 設備の形態（気中接続／GIS）
- ・ 用途区分（住居地域／工業地域等）
- ・ 騒音区分（第 1～4 種）：冷凍機騒音が約 80 dB 程度発生するため
- ・ 塩害区分（A～F 地区）
- ・ スペースの有無
- ・ 近々の新規工事計画の有無

これらを総合的に比較した結果、特にスペースを有すると考えられる 2 変電所が最良候補地として選択された。そこで、この 2 変電所について現場調査を実施した。その結果について表 2.2.1-1 にまとめる。同表から、塩害区分を除くすべての項目について、旭変電所は試験実施に適していることが判明した。また、塩害区分については、適用するがいし選定に留意する事で試験実施には支障がないことも確認できた。以上の検討結果から旭変電所を最適地として選定した。旭変電所の概要について、その所在地を図 2.2.1-2 に、変電所の特徴を表 2.2.1-2 にまとめる

表 2.2.1-1 変電所比較検討

項目 \ 箇所	X変電所		旭変電所	
66kV設備の形態	GIS、超電導ケーブルでは接続が複雑化	△	気中設備	◎
用途区分	「第1種住居地域」	△	「工業地域」	◎
騒音区分	第1種(昼50,夜45dB以下)	△	第4種(昼70,夜65dB以下)	◎
塩害区分	E地区	△	E地区	△
スペースの有無	空きスペースのほとんどは他用途で確保済み	△	変電所端部の直線構内道路(100m)を試験用に占有可能. まとまった敷地を試験用に確保可能	◎
その他制約	新規工事計画なし 試験設備のみの区画が困難	△	新規工事計画なし 既設設備との区画が容易	◎
総合評価	試験に利用できるスペースに制約あり	△	試験用の空きスペース確保, 区画化が可能	◎

。



図 2.2.1-2 旭変電所の場所

表 2.2.1-2 旭変電所の概要

場所	神奈川県横浜市鶴見区
1次電圧	154kV
2次電圧	66kV
変電所出力	600MVA (200MVA 変圧器：3台)
運転開始	1926年12月
屋内外区分	屋外変電所

### (3) 接続形態の検討

旭変電所における高温超電導ケーブルシステムの接続箇所について、154/66kV 変圧器 2 次側、66kV 母線、66kV 母線連絡、66kV 送電系統の 4 箇所を適用箇所候補として挙げ、それぞれの箇所の得失について比較検討を実施した。

まず、154/66kV 変圧器 2 次側に接続する案について定格容量（電流）の面から検討を実施した。旭変電所の変圧器は 3 台ともに 200MVA の容量であり、定格電流値は 1,750A であることから、変圧器 2 次側（66kV 側）に超電導ケーブルシステムを接続して実証試験を行なうことが可能である。

一方、66kV の母線構成は甲母線・乙母線および 1 母線連絡（ブスタイ）の 2 母線 1 ブスタイ構成であり、このうち母線の一部を超電導ケーブルで置き換えることは系統構成上可能であるが、母線の定格電流は 3,500A 以上であり、超電導ケーブル容量である 200MVA 以上となることから、対応できないことがわかった。また、

母線連絡として超電導ケーブルを接続する系統構成の検討を実施したが、常時の負荷電流値がそれほど大きくない点、系統保護システムが複雑化することなどの点から試験箇所としては適さないことが判明した。

また、66kV 送電系統の一部とする案については、常時の負荷電流値が大きくない点に加え、旭変電所内のスペースの制約により超電導ケーブルの接続は困難であることが判明した。

以上の点を考慮し、旭変電所での超電導ケーブルの接続箇所は変圧器 2 次側とすることとした。接続する変圧器に関しては、旭変電所には変圧器が 3 台設置されている（主変 1B、2B、3B）が、すべて同容量（200MVA）であるため、調相設備接続の有無、所内変圧器接続の有無、施工性等を勘案し、超電導ケーブルを接続する箇所として主変 2 号バンク 2 次側を選定することとした。旭変電所での超電導ケーブルの接続形態（系統構成）を図 2.2.1-3 に示す。

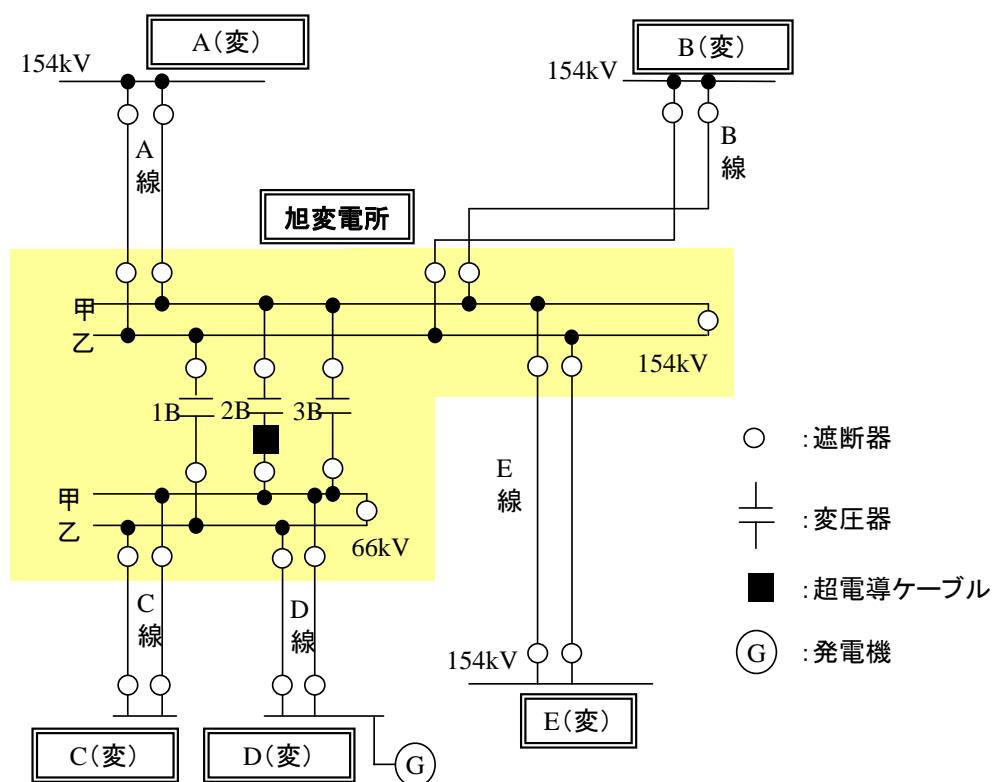


図 2.2.1-3 旭変電所における超電導ケーブルの接続形態（系統構成）

#### (4) 設備構成の検討

154/66kV 変圧器 2 次側に超電導ケーブルを接続する場合の設備形態について検討を実施した。既設設備は、154/66kV 変圧器の 2 次側と遮断器間が CV ケーブルで接続される形態となっている。また、CV ケーブルの端部は終端接続部 (CH) を介して遮断器に接続される。そこで、この 154/66kV 変圧器の二次側の CV ケーブルの CH と、既設変圧器 2 次側遮断器の間にバイパス用の遮断器を設置するとともに、



このCHと既設変圧器2次遮断器との間に超電導ケーブルを接続する形態を検討した。検討結果としての機器配置イメージならびに単線結線図をそれぞれ図2.2.1-4,5に示す。

この設備構成では超電導ケーブルの両側終端部から既設のCH、遮断器に接続する間に、断路器と遮断器を設置する形態となっている。ただし、遮断器や断路器の設置を含めた最終的な設備構成については、次節で述べる運用面での制約等も考慮して決定される。

なお、超電導ケーブルシステムとしては、超電導ケーブル、中間接続部、終端接続部、必要冷却容量に基づく冷凍機、循環ポンプ、液体窒素タンクに加えて、運転監視・警報遮断システム・冷却コントロールシステム等を設置することになるが、これらの検討結果については次節以降に記載する。

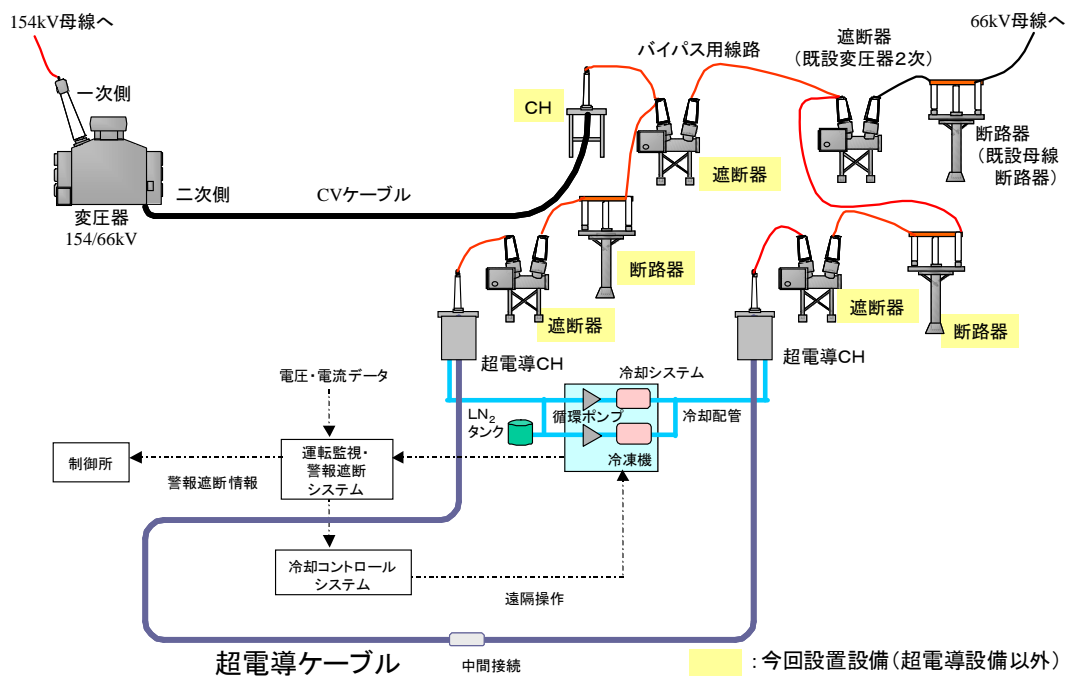


図 2.2.1-4 超電導ケーブル設備構成 (機器配置イメージ)

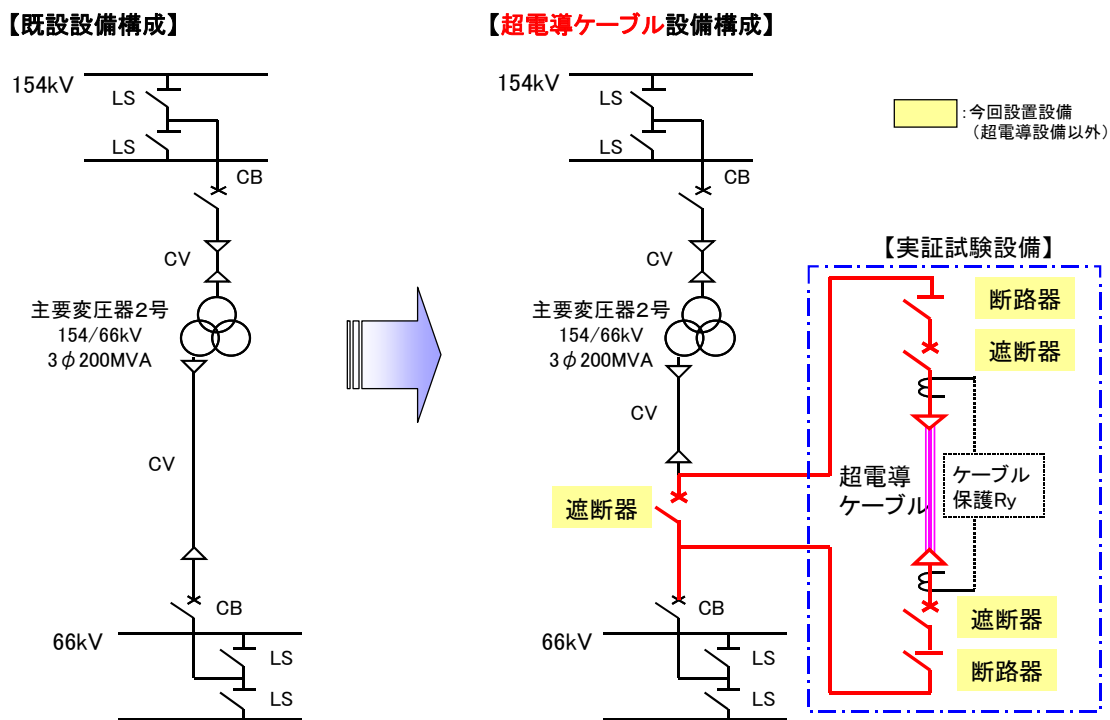


図 2.2.1-5 超電導ケーブル設備構成（単線結線図）

### (5) 基本仕様の検討

超電導ケーブルに要求される基本仕様を、前期接続形態をもとに検討した。超電導ケーブルが接続される 66kV 系統の最高使用電圧は 72kV である。また、変圧器定格容量は 200MVA であり、電流容量に換算すると 1,750A である。従って、超電導ケーブルは 1,750A の連続運転が可能である事が求められる。

次に定格電流を上回る過負荷電流に対する耐量としては、接続する既設変圧器の過負荷耐量条件を満足する必要がある。変圧器の過負荷耐量は過負荷電流値ごとの許容時間を表した過負荷耐量曲線図で表される。その代表的な値は、135%過負荷に対して連続運転可能な事などである。

短絡電流については、接続する箇所ごとにその値が異なることから、慎重な検討が必要である。本検討結果は、2.3.1 節に詳述するが、本検討結果をまとめると、以下のとおりである。まず、短絡電流通過直後の再送電がない条件の場合は、31.5kA-2sec 及び 10kA-3sec の短絡電流に対してケーブルが健全である事が求められる。また、この場合、超電導ケーブル内温度が相当上昇することが予想され、液体窒素温度まで再冷却し、再送電が可能となる時間、すなわち復帰時間を明確化することが重要である。

短絡電流通過直後に再送電される条件に場合は、10kA-2sec 通過後の課・通電が可能である事が求められる。ただし、この条件は旭変電所の想定接続箇所における条件であり、66kV 系統に共通する条件ではない。この為、この許容電流の幅が極

力広い事が、超電導ケーブルの幅広い普及の為に求められると言える。

雷インパルス耐電圧、いわゆる LIWV (Lightning Impulse Withstand Voltage) は 66kV 系統では 350kV であり、本超電導ケーブルもこのインパルス電圧に対して健全であることが求められる。

#### (6)まとめ

高温超電導ケーブルシステムの接続が可能な 66kV 級実系統の候補地から、電流容量、負荷状況、システム構築の実現性等を考慮して、実証場所として旭変電所を選定した。また、接続箇所を 154/66kV 変圧器の 2 次側とし、この場合の接続形態、設備形態を決定した。本実証場所での高温超電導ケーブルシステムの基本仕様となる要求事項について、表 2.2.1-4 にまとめる。

表 2.2.1-4 実証場所における超電導システムに求められる基本仕様

項目	基本仕様
電圧階級	66kV(最高使用電圧72kV)
電流容量	1.75kA連続 (変圧器定格容量200MVA相当)
過負荷電流耐量	既設変圧器の過負荷条件を満足すること (135%過負荷時に連続運転可など)
短絡電流耐量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・31.5kA-2secでケーブルにダメージなし (短絡電流通過後課電通電なし)</li> <li>・10kA-2sec通過後の課電・通電が可能 (短絡電流通過直後の課通電あり)</li> <li>・短絡電流通電後の復帰時間明確化 (短絡電流通過後の課通電あり・なしの双方で)</li> </ul>
雷インパルス耐電圧(LIWV)	±350kV

## 2.2.2 実証ケーブルシステムの付帯機器の検討

### (1) 研究開発目的

高温超電導ケーブルシステムと既存系統との接続において、高温超電導ケーブルシステムの故障までを想定した運転・監視、保護・遮断システムなどの付帯機器の基本設計を検討する。

### (2) 運転・監視システムの基本設計

高温超電導ケーブルシステムと既存系統との接続において、高温超電導ケーブルシステムの故障までを想定した運転・監視システムを検討する。

図 2.2.2-1 に運転・監視システムの概要を示す。運転・監視システムの役割は主に以下の点が挙げられる。

- ・超電導ケーブルシステム、冷却システムの運転制御、状態監視、機器故障時などの警報監視、記録
- ・超電導ケーブル通過電流・電圧の確認、記録
- ・超電導ケーブル用保護リレー（後述）の動作状況の把握
- ・運転箇所（給電所等）への情報発信

まず、1点目の「超電導ケーブルシステム、冷却システムの運転制御、状態監視、記録、機器故障時などの警報監視」については、超電導ケーブルシステムの各部温度や圧力、冷凍機や液体窒素循環ポンプなどの冷却システム機器の運転状態の把握と運転制御を行うものである。さらに機器の状態を常時監視し、異常の程度によってはシステムを安全方向へすみやかに停止するような制御（フェールセーフ機能）や4点目に挙げた「運転箇所（給電所）への情報発信」を行なおうとするものである。運転箇所においては、超電導ケーブルでの送電ができないような状態であることが警報により通知されると、バイパス回路への切替操作を実施し、超電導ケーブルでの送電を停止するといった運用を行なう予定である。2点目の「超電導ケーブル通過電流・電圧の確認」については、通常時に加え、短絡電流などの事故電流が流れた場合や、雷インパルスが侵入した場合の超電導ケーブルシステムの信頼性を評価、検討する為に必要である。3点目の「超電導ケーブル用保護リレーの動作状況の把握」の詳細については（3）保護・遮断システムの基本概念検討にて後述するが、超電導ケーブル内部での事故を判定するための警報発生用として超電導ケーブル保護リレーを設置する予定であり、これにより、事故発生時の事故点の把握を容易にして、早期復旧を目指すものである。

図 2.2.1-4 に示したように、超電導ケーブルの電圧・電流データや、冷却システムの運転情報、さらに超電導ケーブル用保護リレーの動作状況の情報は、運転監視・警報遮断システムに集約される。このシステムにより、超電導ケーブルシステムの運転状態が常時監視され、そのデータが記録される。また、それらの情報や保

護リレーの動作状況などは制御所を介して運転箇所である給電所等に伝送される。さらに、超電導ケーブルに何らかの異常が発生した場合、このシステムがその状態の重要度を判断すると同時に、超電導ケーブルによる送電を停止すべきと判断した場合には、警報信号を制御所へ送信する。また、このシステムは冷却システムの運転状態を常時監視し、冷媒温度・圧力・流量などの制御指令を、冷却コントロールシステムを介して冷却システムに伝送する事で、冷却システムを遠隔自動操作する。なお、この冷却システムの運転・監視については2.2.3節に詳述する。

### (3) 保護・遮断システムの基本概念検討

超電導ケーブルの保護ならびに遮断システムについての検討を実施した。検討結果を図2.2.2-1に示す。

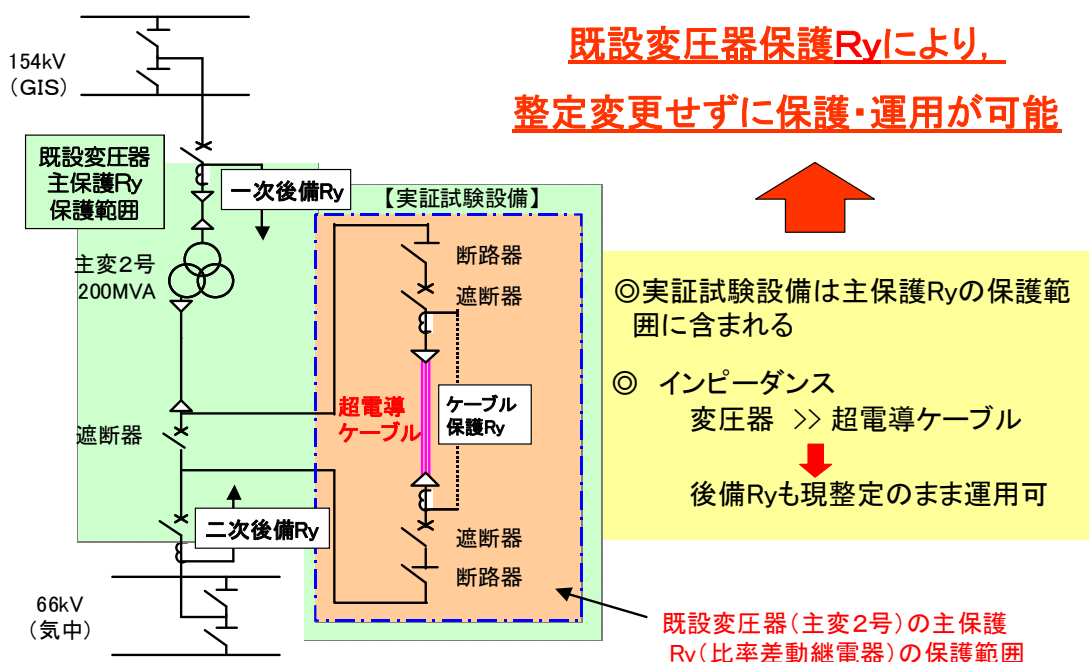


図2.2.2-1 ケーブル保護ならびに遮断システムについての検討

今回検討した154/66kV変圧器の2次側に超電導ケーブルを適用する場合において、超電導ケーブルならびに既設機器の保護という観点から重要となる点は以下のとおりである。

- ・超電導ケーブルは、既設リレーによる保護が可能か、あるいは超電導ケーブルのために新たな保護リレーシステムが必要か、検討する必要がある。
- ・超電導ケーブルを接続することにより、既設の保護リレーの整定変更や仕様の変更は必要か確認する必要がある。

上記の2点について検討を実施したところ、以下の検討結果が得られた。

・超電導ケーブルは既設変圧器の主保護リレー、後備保護リレーの保護範囲に含まれ、変圧器保護リレーによる保護が可能ことから、超電導ケーブルのための新たな保護リレーシステムは不要である。(以下に詳述)

・既設変圧器の主保護リレーは比率差動継電器であり、リレー保護範囲内の短絡・地絡事故時の電流流入に対して、瞬時動作を行う。超電導ケーブル及びその両端に接続される遮断器、断路器、バイパス用遮断器はすべて変圧器主保護範囲内に設置されるため、同リレーにより保護可能である。

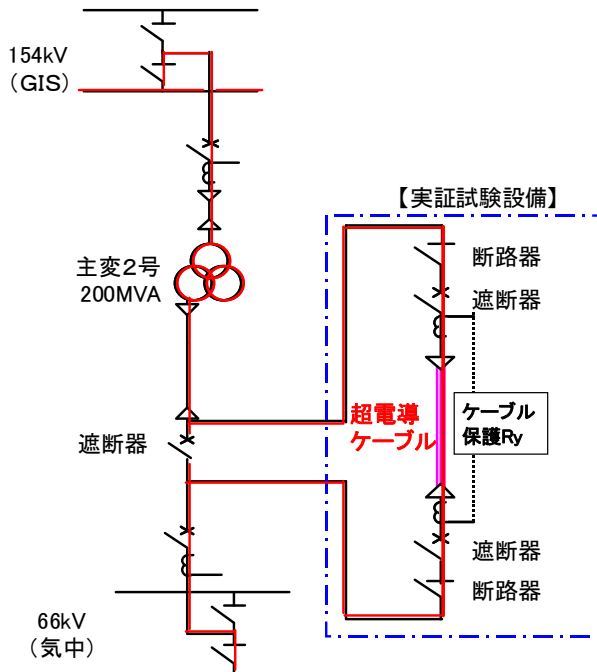
・後備保護リレーは距離継電器であり、事故点までの距離に応じて動作条件が変化する。超電導ケーブルを適用した場合、超電導ケーブル分だけケーブル長が長くなってインピーダンスが増加し、これによって距離継電器の動作範囲が変わることが懸念された。しかし、変圧器のインピーダンスがケーブルに対して非常に大きいため、現整定値のまま変更は不要である(2.3.1節に詳述)。

なお、既設変圧器保護リレーだけを使用した場合には、リレー動作時に事故点が変圧器か超電導ケーブルかを判別することが困難である。これを回避するためには、超電導ケーブルでの事故有無を判別するためのケーブル保護リレーを適用することが有効である。図 2.2.2-1 にはこのケーブル保護リレーの適用例を示している。本リレーはあくまでも超電導ケーブルにおける事故有無の判別を目的として適用するものであり、リレー動作時に遮断器開放シーケンスを組み入れる必要はない。

遮断システム基礎概念の検討のため、上記の接続形態について2種類の事故を想定し、その場合の運用方法について検討を実施した。

まず、通常時の形態については図 2.2.2-2 に示すように、バイパス側の遮断器を開放し、超電導ケーブルにより送電を実施する。

【通常形態】



通常時はバイパス側遮断器を開放し、超電導ケーブルにて負荷送電

図 2. 2. 2-2 超電導ケーブル運転形態（通常時）

次に超電導ケーブルに短絡あるいは地絡事故が発生した場合を想定した動作モードについて図 2. 2. 2-3 にまとめた。すなわち、超電導ケーブル部に短絡・地絡事故が発生した場合、変圧器主保護リレーが瞬時動作し、変圧器両端の遮断器を開放するため、変圧器および超電導ケーブルが系統から切り離される。この際、事故点が超電導ケーブル側であった場合には、ケーブル保護リレーも動作する。ケーブル保護リレーが動作しない場合は超電導ケーブル以外（例えば変圧器）が事故原因であり、変圧器再使用は不可能となる。ケーブル保護リレーが動作した場合は超電導ケーブル自体が事故原因であると判断できる。この場合は超電導ケーブル両端の遮断器を開放することにより実証試験設備を停止すると共に、バイパス用の遮断器を投入して、変圧器を再使用する。以上、動作モードを時系列にまとめると以下のとおりとなる。

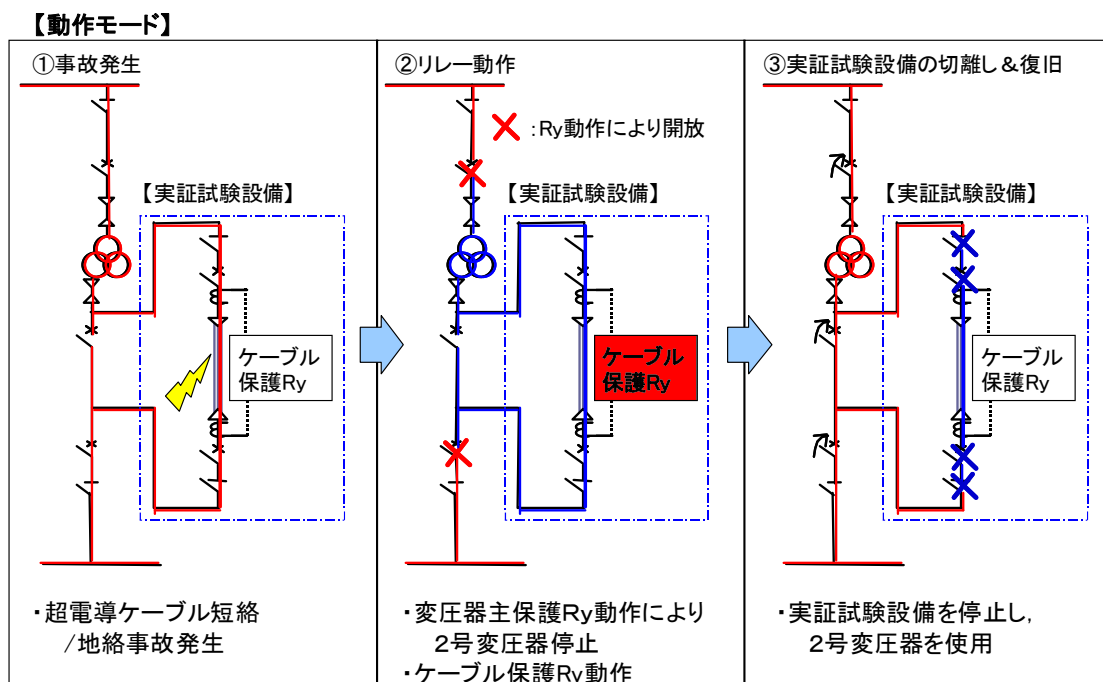


図 2. 2. 2-3 超電導ケーブル運転形態（短絡／地絡事故発生時）

- ・ 超電導ケーブルの短絡／地絡事故発生
- ↓
- ・ 変圧器主保護リレー動作により変圧器停止、超電導ケーブル保護リレー動作
- ↓
- ・ 超電導ケーブル両端遮断器開放により実証試験設備停止
- ↓
- ・ バイパス用の遮断器を投入し、変圧器を使用

さらに超電導ケーブル固有のケースであるが、超電導ケーブル用冷却設備の異常時の動作モードを図 2. 2. 2-4 にまとめた。すなわち超電導ケーブル用冷却設備に異常が発生した場合には、その影響度の大きさによって重故障、軽故障等の警報を発信する。重故障は超電導ケーブル運転に重大な影響を及ぼす異常の場合に相当し、直ちに超電導ケーブルを停止する必要がある。この場合には、まずバイパス用の遮断器を投入してバイパス回路を併用させる。次に超電導ケーブル両端の遮断器を開放して実証試験設備を停止させる。これにより、送電を停止させることなく、超電導ケーブルの系統からの切り離しを行うことができる。以上、動作モードを時系列にまとめると以下のとおりとなる。



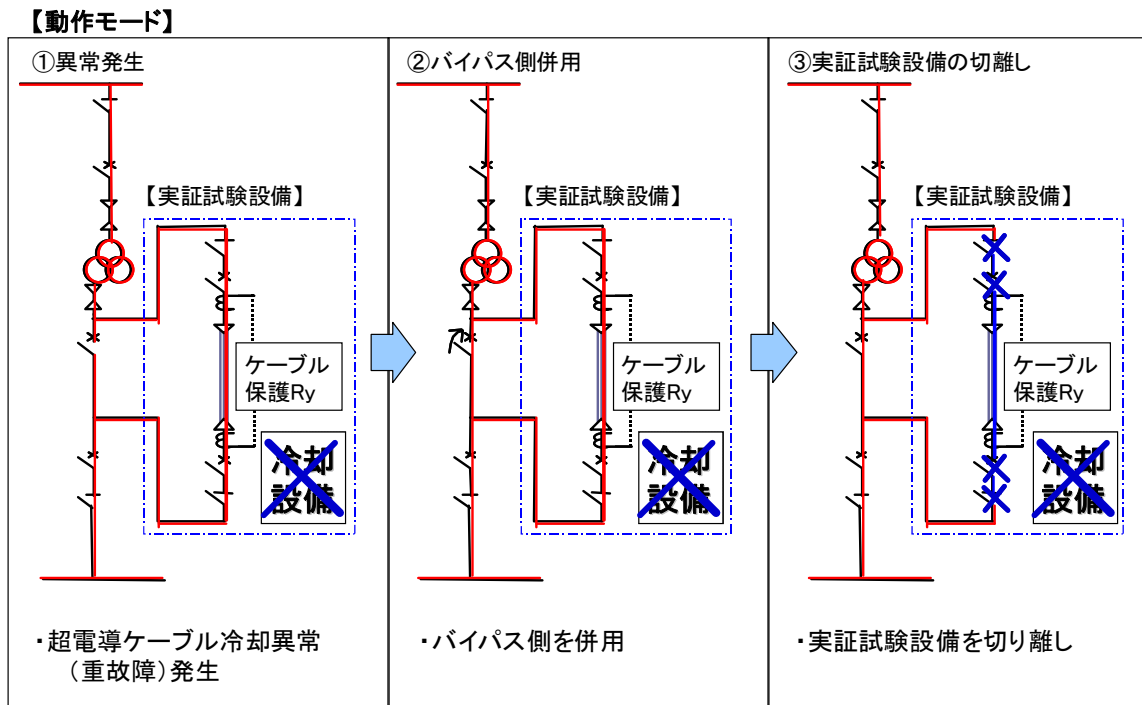


図 2.2.2-4 超電導ケーブル運転形態（冷却設備異常発生時）

- ・超電導ケーブル冷却異常発生
- ↓
- ・バイパス用の遮断器を投入し併用
- ↓
- ・超電導ケーブル両端遮断器開放により実証試験設備停止

**(4)まとめ**

接続形態・設備形態・保護協調・異常時対応に関する検討の結果、旭変電所に超電導ケーブルを設置しての実証試験が可能であることが確認できた。

高温超電導ケーブルシステムと既存システムとの接続において、高温超電導ケーブルシステムの故障を想定した運転・監視、保護・遮断システムなどの付帯機器を検討を行なった。運転監視システムについては「超電導ケーブルシステム、冷却システムの運転制御、状態監視、機器故障時などの警報監視、記録」、「超電導ケーブル通過電流・電圧の確認、記録」、「超電導ケーブル用保護リレーの動作状況の把握」、「運転箇所（給電所等）への情報発信」などの役割を持ち、通常時の運転・監視はもちろん、異常時にも速やかな対応がとれるような構成を検討した。

また、保護・遮断システムについては、超電導ケーブルにおいて電氣的な事故が発生した場合にでも、既設の変圧器保護リレーにより保護可能であることを確認した。また、早期復旧のために警報用リレーを設置する検討を行なった。さらに、冷却システムが故障した場合についても対応ができるように、運転箇所へ冷却システムの異常警報を通知して、無停電で切替が行えるような運転方法の検討を行なった。

## 2.2.3 冷却システムの設計検討

### 2.2.3-1 冷却システムのコンセプト

超電導ケーブルは、超電導線材の臨界温度以下に冷却されないとその機能を発揮しない。超電導ケーブルの冷却システムは、冷却するための液体窒素を供給し、超電導ケーブルシステムを運転可能な状態に維持する役割を担う。

冷却システムの基本構成要素は、冷媒の温度を下げる冷凍機、冷媒を循環させるために必要なポンプ、液体窒素の液貯めとなるリザーバタンク、温度、圧力、流量を計測するためのセンサー・装置、冷媒の通路となる配管やバルブ、温度、圧力などを制御するための制御装置等からなる。図 2.2.3-1 に冷却システムの基本構成例を示す。

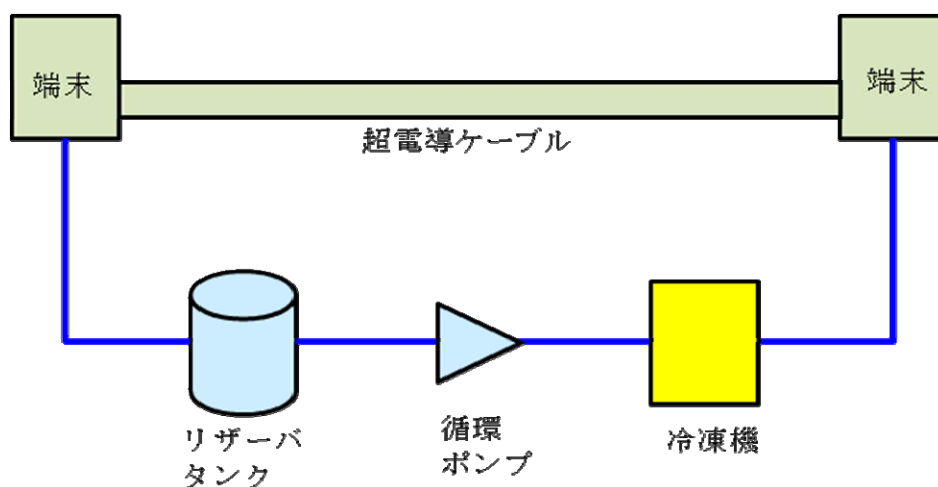


図 2.2.3-1 冷却システムの基本構成例

超電導ケーブルの冷却システムの基本的な運転機能としては、①送電を中断することなく運転でき、②ケーブルの負荷変動にも追随可能であること、があげられる。その基本運転機能を満たしながら、冷却システムに要求される基本特性と本プロジェクトでの対応方針を表 2.2.3-1 に示す。

信頼性については、冷却システムの故障により送電を中断させないことが重要であり、本プロジェクトでは冷凍機やポンプといった重要機器あるいは部品については冗長性をもたせることとし、バックアップ機能を持たせる設計とする。また、ある機器が故障し、バックアップに切り替わる場合も送電を止めないように行うこととする。メンテナンスなどで部品交換をする場合も同じである。

制御、運転については、温度、圧力などを超電導ケーブルが安定運転できる範囲に維持する機能を持ち、範囲を外れるとそれを検知し、警報を発信するシステムを備えていることが必要になる。本プロジェクトにおいても、入口温度の制御、最低圧力の維持などができるシステムとして、各部にセンサーを取り付け、異常を検知し、警報を発信するシステムを構築する。

メンテナンス・保守については、機器毎に保守すべき管理項目を明確にし、メン

メンテナンスが容易であることが望まれる。本プロジェクトでは、保守項目を明確にし、メンテナンス手法の検討を行うこととする。

経済性については、高効率で安価なシステムが望まれる。効率については、冷凍機の高効率化が望まれるが、本プロジェクトにおいては、個別の機器開発は実施しない方針であり、対応しない計画である。システム全体の経済性としては、信頼性をあげるための冗長性とバランスをとり検討していく。

表 2.2.3-1 冷却システムへの要求事項と本プロジェクトでの対応方針

項目	要求事項	本プロジェクトでの対応方針
信頼性	冷却システムの故障によりシステムの運転を止めないこと	冷凍機、ポンプ等主要機器は冗長性を持たせ、連続運転可能とする。 故障機器からの切り替えは自動で行うこととする。
制御・運転	<ul style="list-style-type: none"> <li>・温度・圧力などが長期安定運転が可能なシステムであること。</li> <li>・異常検知、警報発信のシステムを備えていること。</li> </ul>	入口温度を設定値に制御、制御幅は検討 最低圧力以上の維持 警報システムの構築
メンテ・保守	保守すべき管理項目が明確であること、メンテが容易であること	項目の明確化、メンテナンス方法の検討、実証
経済性	高効率、安価であること	冷凍機の高効率化は対応せず。 信頼性とのバランスを考えた設計の実施

### 2.2.3-2 冷却方式の検討

冷却システムの構成、配置を考えるにあたり、過去の超電導ケーブル冷却システムの構成や、既設送電ケーブル用の洞道を冷却している間接水冷システムの構成について調査を行った。

これまでの超電導ケーブル用冷却システムについては、図 2.2.3-1 に示すような構成となっており、基本的には超電導ケーブルと冷凍機とポンプとが一つの冷却パスに並んでおり、冷媒である液体窒素がそれらのパスの中を循環する形式であった。この方式をここでは直接冷却方式と呼ぶこととする。

一方、洞道の間接水冷システムの構成は図 2.2.3-2 のようになっている。洞道を冷却するための冷却水は、送水ポンプにより送りだされ、温度が温まって水槽に戻ってくる。一方、この水槽の水は、チラーポンプにより冷凍機に送られ、水の温度は冷却されて水槽に戻ってくる方式である。洞道から帰ってくる温まった水と、冷凍機から帰ってくる冷却された水とが、水槽の中で混合されて全体に水温を下げている。冷凍機が、洞道に送られた冷却水を間接的に冷却していることから、この方式を間接冷却方式と呼ぶことにする。

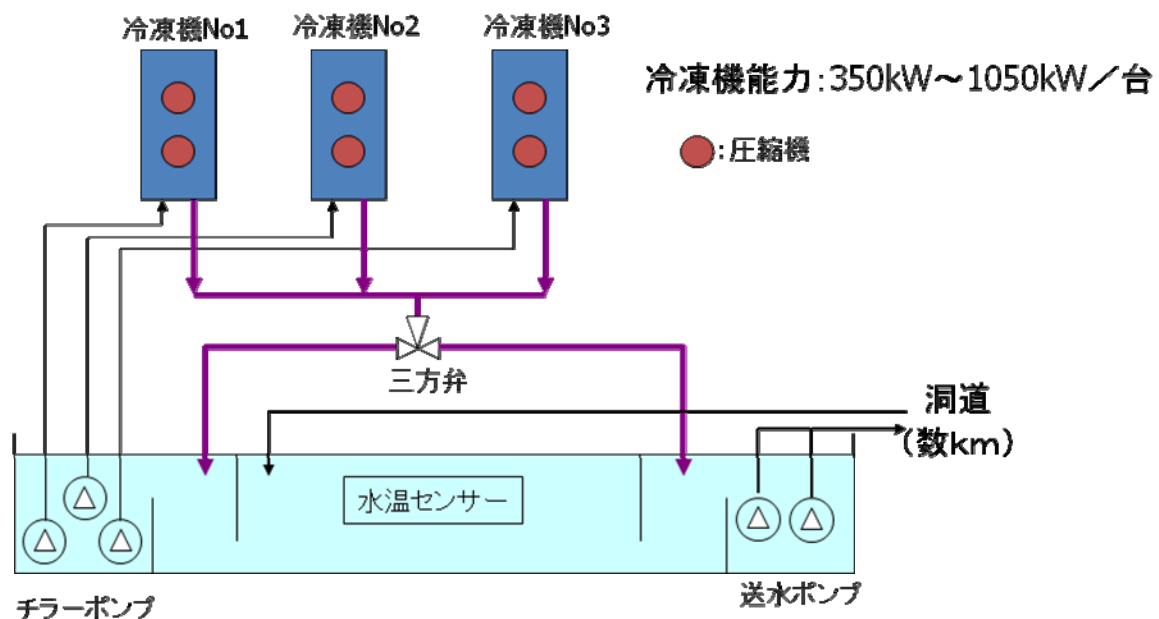


図 2.2.3-2 洞道間接水冷システムの構成例

このように冷却方式には直接冷却方式と間接冷却方式とがあることが解り、両方式について比較検討を行った。両者の比較を表 2.2.3-2 にまとめる。

間接冷却方式の特徴は、①冷凍機が冷却対象（ここでは洞道）と同じパスになっていないので、冷凍機の故障により冷凍機のパスが閉塞されても、冷却対象側に冷媒が遮断される恐れはない。また、②大きな冷媒槽を有しているので、冷凍機が故障してもこの槽に蓄えられた冷水により熱容量的に許容できる時間は冷却対象を冷

却し続けることができる。また、この冷媒槽を負圧にすることで冷媒を冷却する方式も付属することが可能である。③冷凍機の熱交換部分の圧力損失は小さくないが、冷却対象と冷凍機が分かれているので、冷却対象側の圧力損失を直接冷却システムと比べて小さくすることができる。などがあげられる。

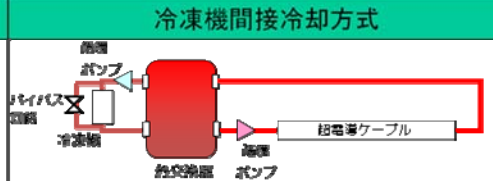
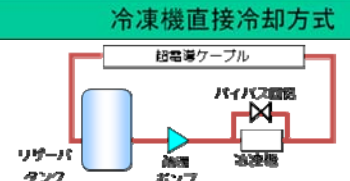
一方、直接冷却方式については、①間接冷却と比べて熱効率がよい。これは、間接冷却が、冷媒対象を冷却する冷媒を、冷凍機側の冷媒で冷却で冷却することから、冷媒同士の熱交換、冷凍機との熱交換とを考慮の必要があることに対し、直接冷却ではケーブルを冷却する冷媒を直接冷凍機で冷却するので、熱交換は一回しか考えないで良いからである。また、②冷凍機の出力調整により、冷媒の温度制御に対する応答性がよい、などが考えられる。

間接冷却システムは圧損を下げる観点から、長距離ケーブルへの冷却に適していると考えられる。一方、直接冷却方式は、応答性の観点から負荷変動の大きいケーブルで比較的短尺ケーブルに適していると思われる。

尚、間接冷却システムの液体窒素同士の熱交換方式については、適用例を調査中であるがまだ確認されておらず、当該熱交換部については開発要素があるものと考えられる。

実用化時の長距離超電導ケーブルにおいては、間接冷却方式が望ましいと思われるが、本プロジェクトにおいては、上記熱交換部分の開発及び信頼性検証に相当な時間がかかると考え、直接冷却方式を選択した。尚、間接冷却方式の熱交換部については引き続き検討を行い、要素技術の検証を進めていく。

表 2.2.3-2 直接冷却方式と間接冷却方式の比較

項目	冷凍機間接冷却方式	冷凍機直接冷却方式
構成		
構成の特徴	超電導ケーブル液体窒素ハスから熱交換器を介し冷凍機を分離	超電導ケーブル液体窒素ハスに冷凍機を挿入
実績	地中用送電ケーブルの間接冷却 (液体窒素冷却は熱交換器等開発要素あり)	東電-SE1100mケーブル、Super-GMケーブル
運用の特徴	1) 冷凍機の故障(閉塞、熱侵入増加等)に際しても超電導ケーブルシステムへの影響が少ない。 2) 熱交換器にLN2減圧装置等を組み合わせ冷凍機故障時のバックアップ運転が可能。 3) 超電導ケーブルシステム側の圧力損失が小さい。	1) 冷却システム全体の熱効率が良い。 2) 超電導ケーブル入口温度の応答性が良い。 (システムの熱負荷測定試験に適する)

## 2.2.3-3 冷凍機配列の検討

### (1) 冷凍機の種類

冷凍機的能力と超電導ケーブルの熱負荷は一致することがなく、冷凍機を組み合わせることで要求仕様を満足させることが必要である。現状の液体窒素温度付近で用いられる各種冷凍機の比較を行った。まとめを表 2.2.3-3 に示す。また、冷凍サイクルの特徴として、図 2.2.3-3 に各冷凍サイクルの 1 台あたりの冷凍能力を示す。

パルス管型冷凍機については、実績に乏しく、信頼性について不明確である。ブレイトン型については多数の実績はあるが、冷却容量が大容量向けであり、将来的には採用の可能性は十分にあるが、本プロジェクトでは、そのような大容量が必要ない。これらのことから、適度な冷凍能力をもち、十分な実績と、良好な効率特性を有する、スターリング冷凍機を選定した。

表 2.2.3-3 冷凍サイクルの比較

項目	スターリング冷凍機	スターリングパルス管	GM型パルス管	ブレイトンサイクル
冷凍容量(kW)	1kW(77K) 低温での容量低下:大	0.3及び1kW(77K) 低温での容量低下:大	1kW(65K) 低温での容量低下:大	10kW以上 低温での容量低下:小
メンテナンス間隔	6000~8000時間 メンテ所要期間 1ヶ月 △	長寿命 ○	長寿命(*1) ○	10,000時間以上 メンテ所要期間 1週間 △
COP(運転効率)	0.067@77K(1kW) ○	0.038@77K(10W) △	0.036@65K(850W) △	0.06@77K ○
ケーブル用実績	有り	無し	無し	無し (He液化機実績多し)
現状レベル	○(カタログ品)	△(評価中)	×(開発中)	○(実用化)
騒音	80dB/台(*3)	50~60dB	50~60dB	88dB
設置スペース(5~10kW)	9m <sup>2</sup> /kW(*4) △	4m <sup>2</sup> /kW ○	2m <sup>2</sup> /kW(*5) ○	8m <sup>2</sup> /kW △
課題	騒音、保守対策 大容量化が必要	信頼性 熱交換器、大容量化	信頼性 圧縮機、大容量化	騒音、小容量化(*6)、 保守対策

(\*1) 常温部ロータリーバルブの寿命は1年。

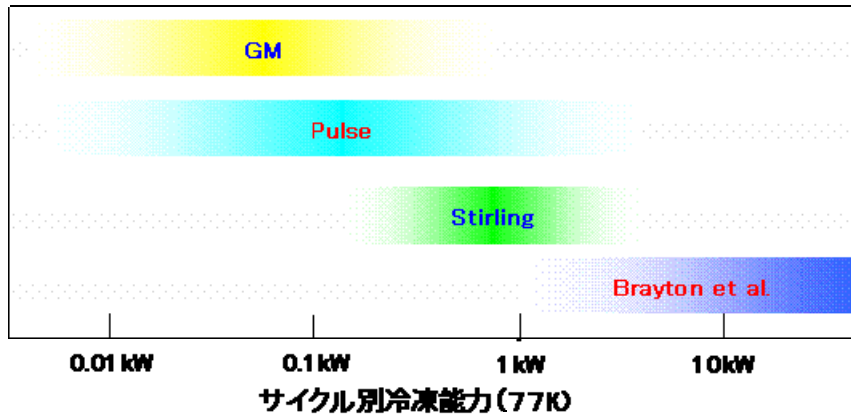
(\*4) メンテナンススペースを含んだ数値。

(\*2) 圧縮機の冗長化、2台とすることで停止時間をゼロにできる。(\*5) 複数のパルス管に対し圧縮機を1台に集約可能。

(\*3) 実際の騒音レベルは80dB×所要台数での騒音となる。

(\*6) ISTECC/大陽日酸が2kW級を開発。

図 2.2.3-3 冷凍サイクルの冷凍能力



(2) 熱負荷の算出

実証運転時の熱負荷を算出するため、超電導ケーブルを接続する東京電力旭変電所の送電電流の実績を調査した。表 2.2.3-4 に冬季、春季、夏季の典型的な不可パターンにおける送電電流の最大値と最小値を示す。この結果より、最大送電電流を 1000A、最小送電電流を 500A と想定することとした。この結果を元に超電導ケーブルの日間負荷平均送電電力量の推定を行った。図 2.2.3-4 に示すように平均的な日間電力の変動を参考に 18 時から 24 時までを中間送電電流の時間帯とし、この間の送電量を 750A と想定することとした。

表 2.2.3-4 旭変電所における月別送電電流

月	送電電流 (Arms)	
	最大	最小
2月	約 800	約 500
4月	約 800	約 500
8月	約 1000	約 600

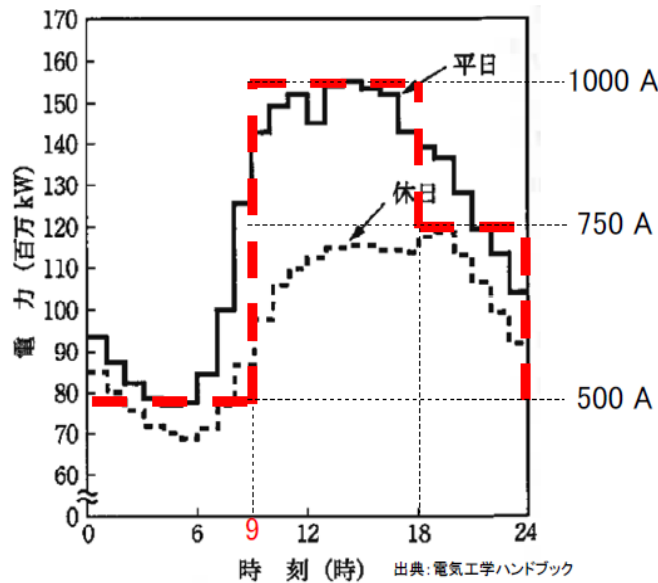


図 2.2.3-4 日間負荷変動の想定



この結果より、必要なスターリング冷凍機の台数の検討を行った。ケーブル熱負荷からケーブル無課通電時 (0A)、最大負荷時 (1kA)、超電導ケーブルの定格電流値 (1.75kA) におけるケーブルの熱負荷を計算し、これに冷凍機側の熱負荷を加え、必要な冷凍機台数を算出した。結果は表 2. 2. 3-5 に示すように最大で 5 台の冷凍機の運転が必要であり、予備機 1 台を加えた 6 台を実証運転に必要な冷凍機台数とした。

表 2. 2. 3-5 冷凍機必要台数

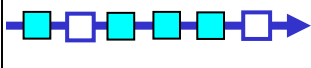
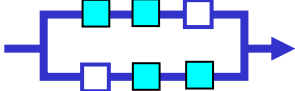
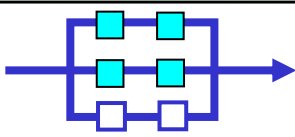
送電量	0kA	1kA	1.75kA
超電導ケーブル熱負荷	1,746	2,112	2,780
冷凍機負荷(圧損)	994		
全負荷	2,740	3,106	3,774
必要冷凍機台数	3.7	4.1	5.0

冷凍機能力 750W@67K

### (3) 配列方法の検討

6 台の冷凍機の配列方法の検討を行った。これまでの超電導ケーブル冷却では、すべての冷凍機を直列に配置した方式であるが、今回は冷凍機が多く、冷凍機内の圧力損失が増えることが懸念された。そこで圧損低減と信頼性向上を考慮して並列配列方式についても検討を行った。検討に際しては将来の実用化 (大容量・ケーブル長距離化) を考慮し、圧損を低減可能でかつローテーションでの運転が容易なシステムとして 3 並列方式を選択した。(表 2. 2. 3-6 参照)

表 2. 2. 3-6 冷凍機の配列による特性比較

	直列	並列	3並列
配置			
流量[l/min]	40	20	13.3
圧損[kPa]	63	13	7
冷凍機故障時の対応	予備機運転、該当機を切離し。	予備機運転、該当機を切離し。	パスごとと予備パスに切替え。
メンテナンス・ローテーション	機器毎の運転時間に留意し実施。	機器毎の運転時間に留意し実施。パスの熱バランスに留意	予めローテーション運転を想定し、パスごとに実施するのでシンプル。
実績	100m、Super-ACE (最大4台直列)	なし	地中線冷却(予備機1セット)
選択	実績多数だが、実用時の大容量システムには圧損が大きく不向き。	冷凍機の台数により流量を変える必要があり、制御が複雑。	パス毎にON/OFFするので流量制御が容易。



### 2.2.3-4 実証用ケーブルの冷却システム構成

これまでの検討を踏まえ、実証用冷却システムの機器の構成については、図 2.2.3-5 に示す構成を考え、詳細検討している。本システム構成の特徴を以下に示す。

- ・冷凍機は予備機を入れて6台とし、2.2.3-3 で検討したように冷凍機は2台×3 並列とする。
- ・ポンプは2台並列運転とする。
- ・冷凍機とポンプが一つの直列のパスに入っていないことから、冷凍機とポンプの故障はそれぞれ独立に扱うことができる。
- ・冷凍機6台のうち、必要な台数だけ ON して運転し、不必要なものは OFF しておく。ただし、OFF 冷凍機は熱負荷となる。
- ・OFF 冷凍機も冷却されていることから、OFF から ON への切り替え時間を非常に短くすることが可能である。
- ・冷凍機が故障した場合は、冷媒はバイパス回路を流れ、冷凍機は切り離し修理することができる。
- ・ポンプについては、交互運転して使用する。
- ・1台のポンプが故障した場合は、他方を運転し、故障ポンプは切り離す。
- ・冷媒はポンプを出たあと、三分岐することになるが、この分岐は配管、バルブの状態によってきまり、能動的な制御はできない。長期の信頼性については、今後検証することとする。
- ・三分岐がうまくいかない場合は、図の点線を追加し、各冷凍機のパスにポンプを直列に入れることで流量を制御するように組み替える。

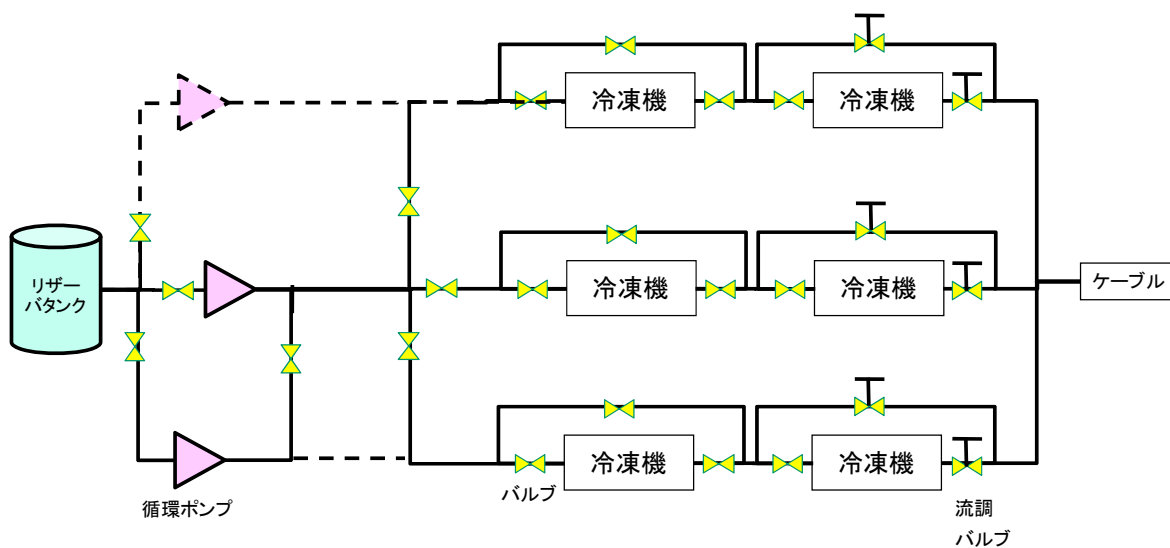


図 2.2.3-5 実証用冷却システムの構成

## 2.2.3-5 開発ステップ

### (1) 開発ステップの検討

本プロジェクトにおいて冷却システムは実証運転において超電導ケーブルを1年間に渡り安定して冷却するだけでなく、将来の実用化を見据え、下記の項目に関し研究を行っている。

- ・冷却方法の検討：運転効率および信頼性を考慮した冷却方式の設計・検討
- ・制御方式の検討：安定した超電導ケーブル冷却のための温度、圧力、流量の制御
- ・高信頼化の検討：機器冗長化、バックアップ方式の検討、構成機器の異常モード検討

これらの研究を効率的に行うために段階的に冷凍システムの構築、検証を3つのステップに分けて行うこととした。

30m 検証試験：30m 実証ケーブル試験用の冷却システム。

システム検証：実証運転の事前検証を兼ね、冷却システムの主要部を構築。

実証運転：変電所における超電導ケーブル実証試験。

このスケジュールを表2.2.3-7に示す。現在30m検証試験を実施中であり、その研究成果も踏まえ、システム検証用の冷却システムの構築を平行して行っている。

表 2.2.3-7 開発ステップのスケジュール

H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度
	30m検証試験	システム検証	実証運転	

### (2) 開発ステップ毎の検証項目

各開発ステップ毎の検証項目を図2.2.3-6に、またそこでの冷却システムの構成を表2.2.3-8に示す。

30m 検証試験では30m 検証ケーブルの冷却に必要な冷却量を冷凍機2台で賄い、これを直列に配置することで実証運転中の冷凍機直列配置の運転状態を検証可能なものとしている。冷凍機内部のシーケンスは実証運転を想定したものとなっているが冷凍システムの運転は手動で行うことで構成機器（冷凍機、窒素循環ポンプ）の基本的な運転方法の確認を行い、問題点の抽出を行なうこととしている。また、

圧力制御に関しては別に記述するヒータ加圧制御とガス加圧制御の比較を実施する。また、窒素循環ポンプ、リザーバタンクは 30m ケーブル検証試験にあわせた能力、大きさとしている。

システム検証ではすべての機器は実証運転と同じものを使用し、実証運転時に必要となるシステムとしての制御性、メンテナンス性、故障時の冗長系への切替え特性、ならびに実証運転時の冷却システムの設置方法などを検証する。冷凍機は 3 並列で設置するが各パスは 1 台ずつで構成する。また超電導ケーブルがないため模擬負荷で代用する。

実証運転では超電導ケーブルの長期冷却運転により、これまでの検討項目を検証するとともに将来の実用化に向け課題の抽出を行なう。

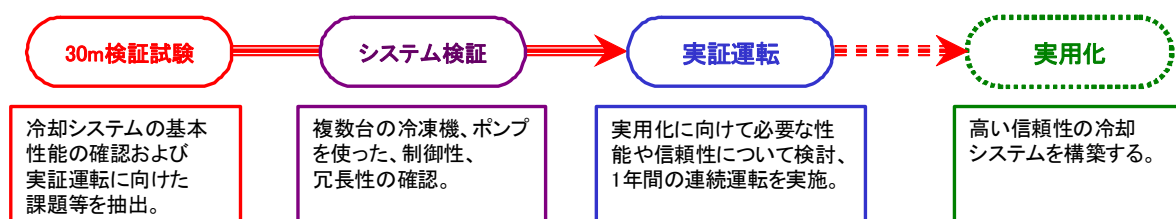


図 2.2.3-6. 冷却システムの開発ステップ毎の検証

表 2.2.3-8. 開発ステップにおける冷却システムの構成

主要機器		30m検証試験	システム検証	実証運転
冷凍機	スターリング冷凍機	2台×1列	1台×3並列(計3台)	2台×3並列(計6台)
循環ポンプ	遠心式ポンプ	30mケーブル用 直列1台	260mケーブル用 並列2台	同左
リザーバタンク	液の膨張代吸収 圧力制御	容積300L 循環ポンプ内臓 ヒータ制御	容積1,000L ポンプ別置き ヒータ制御(冗長付)	同左
制御	温度制御 運転(機器)切り替え	インバータ なし	台数制御 あり	同左 同左
ケーブル		30m級	模擬	260m級
試験場所		住友電工ファインポリマ	前川製作所守谷工場	東京電力旭変電所
装置イメージ図				
塗りつぶし(水色): 設置 塗りつぶし(黄色): 設置(容量が実証時と異なる) 白抜き: 未設置				

## 2.2.4 実証ケーブルシステムの建設方法の検討

### (1) 研究開発目的

選定した旭変電所に目的とする超電導設備が構築できるか、設備構築レイアウトに加えて施工手順も含め詳細検討を行う。

### (2) 設備構築レイアウトの検討

図 2.2.4-1 に超電導ケーブルシステム布設前の既設設備の配置状況を示す。超電導ケーブルシステムの布設・施工工事にあたっては、特に次に掲げる点に留意して検討を進める必要がある。

- ・ 既設埋設物に支障を来さぬよう、関係箇所とよく確認すること。
- ・ 重量物の搬入について、重機の駐車および旋回スペースを確保すること。
- ・ ケーブル引き入れについて、ドラム車両の設置スペースを確保すること。
- ・ ケーブル引き入れについて、引き入れ時の側圧を低減すること。
- ・ 建築物等の関連法規への適切な対応をすること。

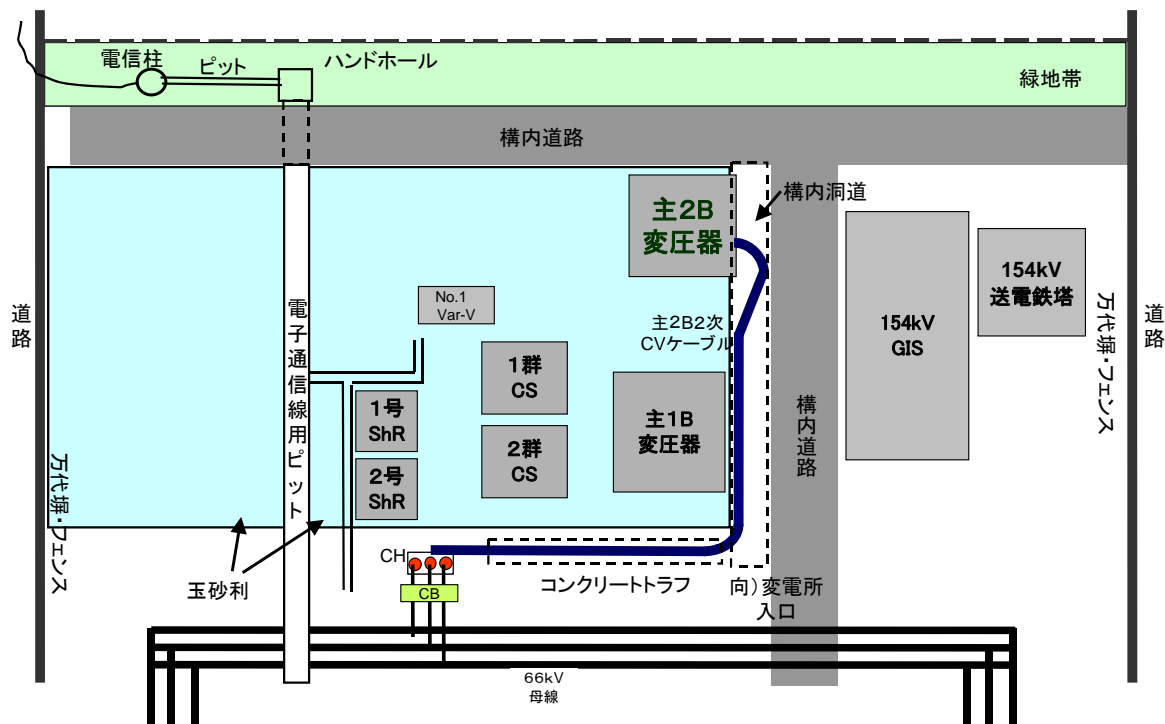


図 2.2.4-1 施工前概略図

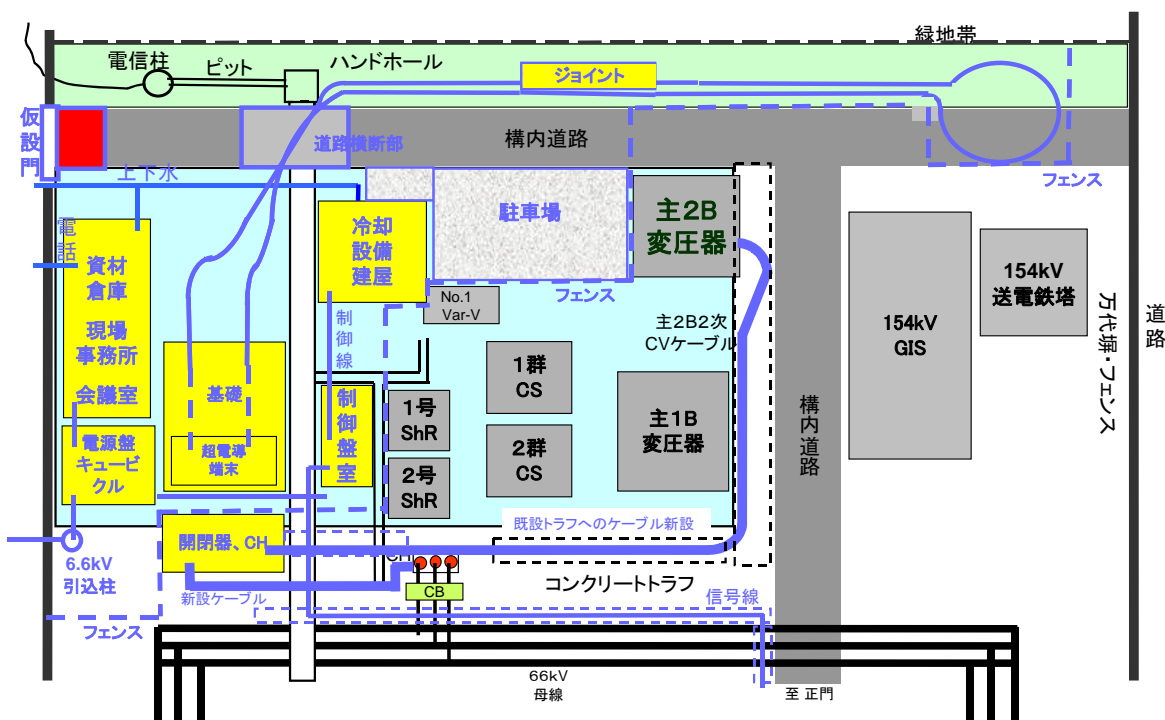


図 2. 2. 4-2 施工後概略図

具体的なレイアウト検討としては旭変電所の空きスペースを活用し、また、既設主変2号変圧器の2次側に超電導ケーブルを接続するという観点、および施工性などを考慮し図2.2.4-2に示すように、まずは開閉器、超電導端末、超電導ケーブルルート、中間接続部などのルートを選定した。次に、試験に必要な冷却設備建屋や制御盤室、電源盤キュービクル、現場事務所等も、空きスペースに効率的にレイアウトを行ない、電源ケーブル、制御ケーブル、冷却水配管などの取り回しが容易となるように考慮した。

### (3)まとめ

設備レイアウトの検討は概ね終了しているが、実際の施工にあたり、どのように関連作業との協調をとり工事を進めていくかに充分留意する必要があるため、現在、東京電力内の関係箇所と工程調整を進めている。

表2.2.4-1に旭変電所における今後の工事予定を以下に示す。平成23年11月からの実系統連系試験に向けて、平成21年度より変電関係、土木関連、建築建屋関連の設計を行なう予定である。平成22年度からは現地での整地・基礎工事を皮切りに各種建屋の建設、電源盤、冷却システム、開閉器等の搬入・据付を行なう予定である。平成22年度末から平成23年度はじめにかけては超電導ケーブル用管路および超電導ケーブルの布設、端末、中間接続部などの組立を開始し、組立後、初期冷却や警報対向確認試験、超電導ケーブル用保護リレーの設置などを経て実系

統連系試験を迎える予定である。試験終了後の平成24年11月以降には超電導ケーブルでの送電を停止し、昇温、解体撤去を予定している。

表 2.2.4-1 旭変電所における今後の工事予定

項目	平成21年度				平成22年度				平成23年度				平成24年度			
	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
設計(建築・土木・変電)	■															
現地整備(整地・基礎・上下水・電話)					■											
冷却建屋・工事事務所建設					■											
開閉器基礎・超電導端末基礎・門扉					■											
電源盤搬入・冷却システム搬入組立・試験					■				■							
開閉器据付・試験									■							
管路布設、超電導ケーブル布設・端末・ジョイント据付施工									■							
超電導ケーブル用リレー設置・試験									■							
ケーブル初期冷却・警報対向試験									■							
既設主変2次ケーブル撤去・新ケーブル布設・CH端末									■							
制御回路切替・シーケンス									■							
給電対向試験・使用前自主検査									■							
<b>実系統連系試験</b>									■				■			
最終試験・冷却システム停止・昇温・撤去													■			
撤去・復旧													■			

## 2.2.5 まとめ

2.2 節におけるまとめを以下に示す。

- ・実証ケーブルの基本構成を検討し、実証場所を選定。東京電力管内の旭変電所（横浜市）に決定した。

- ・実証場所での超電導ケーブルと既存設備との接続形態について検討し、遮断器、断路器等と組み合わせた接続方法を決定した。

- ・実証場所での条件を踏まえ、超電導ケーブルへの基本仕様をまとめた。

- ・高温超電導ケーブルシステムと既存系統との接続において、高温超電導ケーブルシステムの故障を想定した運転・監視、保護・遮断システムなどの付帯機器を検討を行なった。

- ・保護・遮断システムについては、超電導ケーブルにおいて電氣的な事故が発生した場合においても、既設の変圧器保護リレーにより保護可能であることを確認した。

- ・冷却システムのコンセプトについてまとめ、送電を停止しないシステム、負荷に追従可能なシステムを目指すこととした。

- ・冷却方式については、間接冷却と直接冷却から直接冷却方式を選択した。

- ・実証場所での電力負荷を想定し、冷却システムの必要冷凍容量を試算、1kW 級冷凍機の台数を決定した。

- ・冷凍機、ポンプの構成を検討し、冷凍機については2台×3並列の並列接続することとした。ポンプについては、2台を交互運転することとした。

- ・冷凍機とポンプはパスを切り離し、それぞれが故障しても独立に対応できるようにした。尚、流量の分岐については、長期信頼性などを今後調査するが、安定性に問題があるようであれば、並列パス毎にポンプを設け、流量を調整できるようにする。

- ・冷却システムの開発ステップとして、30m 検証ケーブルでの基本構成検討、システム検証での冷凍機、ポンプの複数台制御検討、実証システムでの最終確認試験の三段階で行うこととする。

- ・実証ケーブルの建設については、現在、東京電力内の関係箇所と工程調整を進めている。

- ・建設手順について確認し、平成 23 年 11 月からの実系統連系試験に向けて、平成 21 年度より変電関係、土木関連、建築建屋関連の設計の実施、平成 22 年度から現地での整地・基礎工事、各種建屋の建設、電源盤、冷却システム、開閉器等の据付、平成 22 年度末から超電導ケーブル用管路の据付け、超電導ケーブルの布設、端末、中間接続部などの組立、初期冷却や警報システムの構築等を行い、実系統連系試験を迎える予定である。

## 2.3 送電システム運転技術の開発

送電システムの負荷や電流の変動などの系統変化や系統事故などに対応した平常時運用や事故時運用、および高温超電導送電システムの一部設備の障害時における復旧方法などの高温超電導ケーブルシステムの運転技術が、既存送電システムの運転と整合のとれた運用ができることは重要であり、そのための運転技術を開発することが必要である。

本節では、高温超電導ケーブルの実証場所での系統運転、接続条件を調査し、超電導ケーブルの平常時、異常時の運転手法について検討を行う。また、超電導ケーブルシステムの運転継続を行うための保守、メンテナンス技術の開発を行う。

### 2.3.1 実証場所での系統特性調査

#### (1) 研究開発目的

実系統では負荷が刻々と変化し、それに対応した需給運用がなされており、高温超電導ケーブルシステムについても負荷の変動に対応した運転が必要になる。また、系統で発生しうる種々の電圧サージ（スイッチング、雷、他）による過電圧や短絡電流などの事故電流にも耐えることが必要となる。また、高温超電導ケーブルは従来ケーブルと比べて、低インピーダンスという特徴を有していることから、その効果や影響についての検討が必要である。そこで、超電導ケーブルを実系統に連系して運転した場合の系統側へ及ぼす影響をシミュレーション等によって調査し、その影響度合いに応じた対策を講じることを目的として、以下の項目について調査・検討を実施する。

- ・ 超電導ケーブルと従来ケーブルの電気的特性の比較
- ・ 超電導ケーブルに流れる短絡電流の調査
- ・ 超電導ケーブル接続時の短絡電流への影響検討と保護リレー動作条件の調査
- ・ サージに関する条件の調査と影響検討
- ・ 落雷頻度の調査
- ・ 系統負荷状態、潮流状況の調査、過負荷許容条件の調査
- ・ 励磁突入電流の調査
- ・ その他超電導ケーブル接続に伴う系統運用上の制約事項の検討



## (2) 超電導ケーブルと従来ケーブルの電气的特性的比較

超電導ケーブルと従来ケーブルの電气的特性、系統特性の比較検討を実施した。

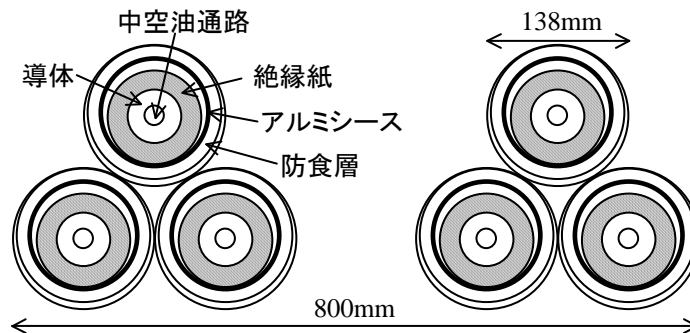


図 2.3.1-1 従来ケーブル (OF ケーブル) (275kV, 1000A, 2 回線)

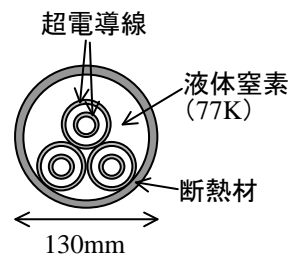


図 2.3.1-2 高温超電導ケーブル (66kV, 9000A, 1 回線)

図 2.3.1-1 は従来ケーブル (CV ケーブル) の断面図、図 2.3.1-2 は超電導ケーブルの断面図である。ともに 1000MW の送電容量を想定した断面構造模式図であり、同容量を送電するにあたり、従来ケーブル (OF ケーブル) では送電容量が発熱により制限されることから 500MW のケーブル 2 回線を洞道に布設することとなる (布設幅約 800mm)。一方、高温超電導ケーブルは導体部分の電流密度が現用ケーブルに比べて 1000 倍以上高くできる可能性があるため、冷却に必要なスペースを考慮してもケーブル外径を小さくすることができ、管路に設置することが期待できるとともに、リプレースなど既設設備の有効利用が可能になり、地中設備形成のコストダウンにつながると期待できる。

高温超電導ケーブルの系統特性上の特徴は、同容量の現用ケーブルと比べて低電圧・大電流であり、メリットとして、抵抗がゼロであることから損失を小さくすることができる、インピーダンスが小さく系統安定度向上に寄与できる、サージインピーダンスローディングが大きく大電流送電に適する、などが挙げられる。

以下、高温超電導ケーブルと現用ケーブルの諸定数と系統特性について検討を行った。一般に、送電線の系統特性はインダクタンスとキャパシタンスで決まる。もちろん、現用の架空線やケーブルには電気抵抗が存在するが、系統特性の議論ではそのインピーダンスへの寄与は無視できる。架空線の場合はキャパシタンスが小さいため、線路に沿った電圧降下はインダクタンスの寄与が大きい。安定に送電で

きる電力量を確保するために、重潮流の送電線ではインダクタンスを補償する対策がとられ、主として変電所において並列コンデンサーを接続する。一方、電力ケーブルの場合には絶縁物（誘電体）が導体外部に存在するため、線路のインピーダンスはキャパシタンスの寄与が相対的に大きい。この場合、系統特性上は問題ないが、軽負荷時には受電端の電圧が上昇することがあり（フェランチ現象）、対策としてシャントリアクトルを設置して、キャパシタンスを補償することが行なわれている。

表 2.3.1-1 に従来ケーブルと高温超電導ケーブルのケーブル定数を示す。

表 2.3.1-1 ケーブル定数

		従来ケーブル		高温超電導ケーブル
		275kV(OF,CV)	66kVCV	
電圧	V(V)	275	66	66
リアクタンス	X( $\Omega$ /km)	0.114	0.159	0.0165
	%X(%/km)	0.151	3.65	0.378
対地アドミタンス	Y( $\Omega^{-1}$ /km)	$1.19 \times 10^{-4}$	$7.54 \times 10^{-5}$	$1.53 \times 10^{-4}$
	%Y(%/km)	$9.02 \times 10^{-1}$	$3.28 \times 10^{-2}$	$6.65 \times 10^{-2}$
サージインピーダンスローディング	SIL(MW)	2444	95	419

(%X,%Yは1000MVAベース)

表 2.3.1-1 中のサージインピーダンスローディング（SIL）は送電線にどの程度の電力を送電できるかの目安となる。SIL から離れた電力を送電する場合には、電力コンデンサーやシャントリアクトルによって、系統定数をコントロールする必要がある。

高温超電導ケーブルの%Xの値は66kVCVケーブルの約1/10となっている。これは、現用ケーブルの場合、インダクタンスの値は各相の導体中心間距離で定まる（図 2.3.1-1 のように三相俵積みの場合）のに対して、高温超電導ケーブルの場合には、図 2.3.1-2 に示すように、導体電流と同じ大きさの逆位相の電流によって磁界を遮蔽するシールド層が存在するという構造のため、導体外径に対するシールド層内径の比がインダクタンスの大きさを決めるためである。

この結果、現用66kVCVケーブルではSIL=95MWであるのに対し、高温超電導ケーブルではSIL=419MWとなり、現用CVケーブルに比べて高温超電導ケーブルは大容量送電に向いていると言える。なお、高温超電導ケーブルで419MW以上の送電には並列コンデンサーなどの調相設備を設置して、負荷端の電圧低下を抑える必要がある。現用の275kVCVケーブルの場合には、電圧が高い分%Xは小さく、%Yは大きくなり、SIL=2444MWとなる。送電容量は約500MWであるから、SILに比べて十分小さく、電圧安定性は良好であるが、軽負荷時にシャントリアクトルを入れて負荷端の電圧上昇を抑える必要がある。

### (3) 超電導ケーブル接続時のインピーダンス変化と影響検討

超電導ケーブルのインピーダンスは電力系統における発電機や変圧器のインピーダンスに比べれば十分小さく、電力系統のインピーダンスの変化はほとんど無視できるレベルである。よって、旭変電所での実証試験時に主変2号変圧器2次に超電導ケーブルを連系した場合でも、変圧器保護後備りレーである距離りレーなどの整定変更の必要はなく、現在の整定のままで超電導ケーブルの保護が可能である。

超電導ケーブルのインピーダンスを以下の通り求めた。結果を表 2.3.1-2 に示す。なお、表 2.3.1-2 には CV ケーブル（旭変電所既設 CV ケーブル 2500 mm<sup>2</sup>）の数値も併記した（CV ケーブルは 100 m 長、超電導ケーブルは 300 m 長として計算）。超電導ケーブルの抵抗値については常時液体窒素で冷却し、超電導状態が保たれていれば 0 Ω とみなすことができる。しかし、ここでは系統への影響を考えるため、超電導ケーブルの超電導状態が壊れ、超電導ケーブルのインピーダンスが大きくなる常電導状態になった場合での検討を実施した。抵抗値を求めるにあたり、銀安定化層は無視してフォーマのみとし、さらに、常温での抵抗率を使用した<sup>(1)</sup>。断面積については東京電力-住友電工が平成 14 年に実施した、100MVA 級で 100m 長の超電導ケーブルを用いた成立性検証試験<sup>(2)</sup>（以下 100 m 試験）のフォーマ断面積を用いた（短絡電流通過時を考慮し、有効断面積を半分とした）。また、超電導ケーブルのインダクタンス、キャパシタンスについても 100 m 試験結果より求めた。

超電導ケーブルを接続する予定である旭変電所の 154/66 kV 主変 2 号変圧器のインピーダンスについて表 2.3.1-3 に示す。インピーダンス Z の添え字 p、s、t はそれぞれ変圧器の 1 次、2 次、3 次を示す。

表 2.3.1-2 CV ケーブルと超電導ケーブルのインピーダンス  
(CV ケーブルは 100 m 長、超電導ケーブルは 300 m 長とした場合)

		CVケーブル	SCケーブル
抵抗	R(Ω)	0.000746	0.066
インダクタンス	L(H)	0.000083	0.0000522
キャパシタンス	C(F)	0.000000069	0.000000072
周波数	f(Hz)	50	50
角周波数	$\omega(=2*\pi*f)(rad/s)$	314	314
分母	$1-2w^2LC+w^4L^2C^2+w^2C^2R^2$	0.999998871	0.999999259
分子(実数部)	$R-2*w^2RLC$	0.000745999	0.065999951
分子(虚数部)	$wL-w^3L^2C+wCR^2$	0.026061985	0.016390892
インピーダンス実数部	R	0.000746	0.066
インピーダンス虚数部	X	0.026062015	0.016390905
インピーダンス	$Z=R+jX$	0.000746+j0.026	0.066+j0.016
インピーダンス	$ Z =\sqrt{(R^2+X^2)}$	0.026072689	0.068004866

表 2.3.1-3 旭変電所主変 2 号変圧器インピーダンス

	Zp-s	Zs-t	Zp-t	Zp	Zs	Zt
%Z	0.805	1.027	2.01	0.894	-0.089	1.116
154kV側から見たΩ値	17.395	22.192	43.434	19.318	-1.923	24.116
66kV側から見たΩ値	3.507	4.474	8.756	3.894	-0.388	4.861

表 2.3.1-2 より超電導ケーブルのインピーダンスは 0.068Ω (常電導状態での値) となることがわかった。一方、表 2.3.1-3 より、変圧器 1 次側のインピーダンス (Zp) は 66kV 側から見たΩ値で 3.894Ω となっており、超電導ケーブルのインピーダンスは超電導状態がこわれた常電導状態の場合でも、主変 2 号変圧器のインピーダンスよりも十分小さく、短絡電流など事故電流への影響はほとんどない。

上記検討では旭変電所の主変 2 号変圧器 1 次側インピーダンスと超電導ケーブルの常電導状態でのインピーダンスを比較したが、実系統においては電源から超電導ケーブルを通して負荷に至るまでに、旭変電所の変圧器以外にも多くの送電線、変電機器が直列に接続されており、これら送電線・変電機器のインピーダンスなどを合わせた系統のインピーダンスと比較して超電導ケーブルのインピーダンスは非常に僅かなものとなる。送電線・変電機器のインピーダンスなどを合わせた系統のインピーダンスは超電導ケーブルに比べて十分大きいことから、超電導ケーブルが超電導状態から常電導状態に至る抵抗値の変化があっても系統には影響を及ぼさない。このため、超電導ケーブルを実系統に連系した場合においても短絡電流などの事故電流へ与える影響はほとんど無視することができる。

#### (4) 超電導ケーブルに流れる短絡電流の調査

実証試験が予定されている時点での系統構成を対象とするとともに、66 kV 側の電源設備構成も考慮して、超電導ケーブルが接続された状態で、超電導ケーブルを流れる短絡電流を検討した。図 2.3.1-3 は旭変電所での超電導ケーブルの接続構成を示しており、超電導ケーブルは 154/66 kV 主変 2 号変圧器の 2 次側に接続される。図 2.3.1-4 は実証試験時の系統構成を示しており、この系統図をもとに短絡電流計算プログラムを用いて短絡電流の計算を実施した。

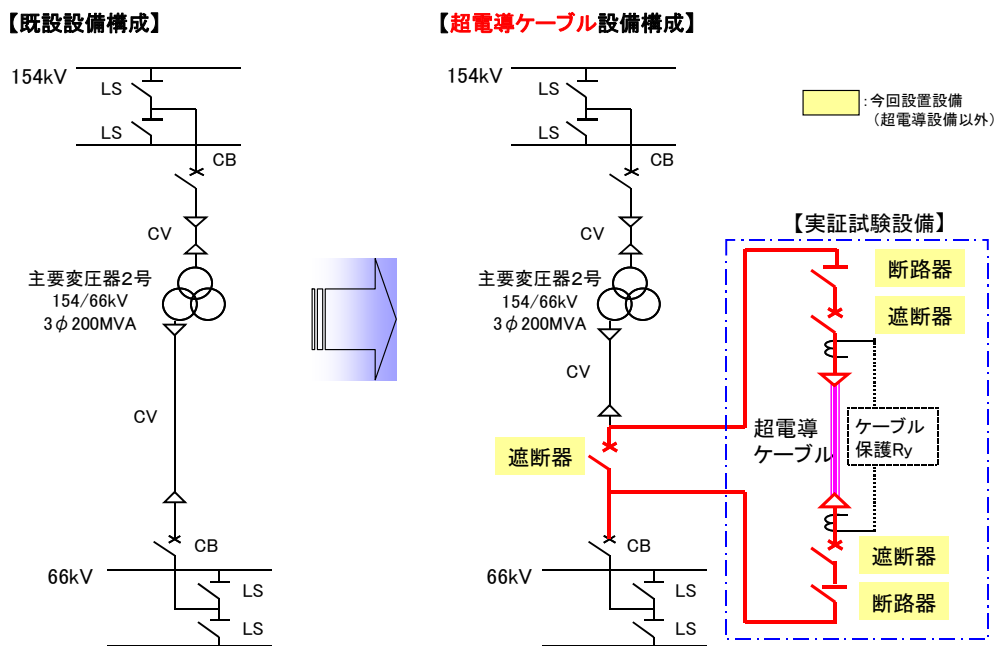


図 2.3.1-3 超電導ケーブル設備構成

短絡電流継続時間については主保護リレー動作時および遮断器の遮断失敗時などの後備保護リレー動作時の保護シーケンスを考慮して算出した。旭変電所における母線構成については供給信頼度、実証試験の継続性等を考慮して、主変1号変圧器を乙母線に、主変2、3号変圧器を甲母線へ接続することを予定している。超電導ケーブルが影響を受ける事故は、その様相から17パターンに集約できる。これらはさらに3つに大別される。図2.3.1-4に示した囲み数字はそれぞれ事故の様相により分類された番号を示している。○囲み数字は超電導ケーブル直近(バンク保護リレー保護範囲内)で事故が発生する場合で、バンク保護リレーが動作し、バンク両端の遮断器がトリップする結果、事故直後の課電通電が「無」となる場合である。一方、□と△の囲み数字はいずれも、バンク保護リレーの保護範囲外で事故が発生する場合で、□は事故除去直後の課電通電が「無」となる場合、△は「有」となる場合である。なお、バンク保護リレーの保護範囲外で事故を「もらい事故」と呼ぶこととする。

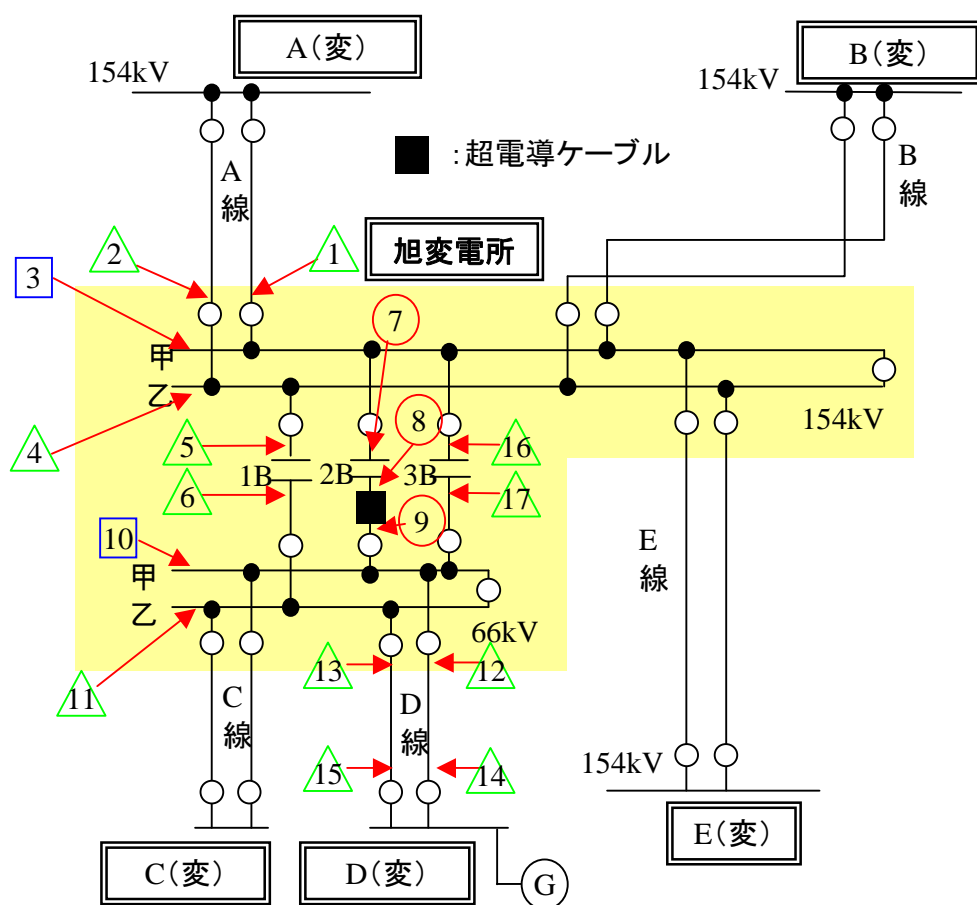


図 2.3.1-4 短絡電流計算に用いた系統図および事故パターン

図 2.3.1-5 に短絡電流および事故継続時間の計算結果を示す。図 2.3.1-5 中には上述した○、□、△のプロットに加え、塗りつぶしたプロット●、■、▲も示してある。塗りつぶしていないプロットについては主保護リレーが動作した場合であり、塗りつぶしたプロットは主保護リレーが不動作もしくは遮断失敗などにより、結果として後備保護リレーが動作して事故除去される場合である。なお、図 2.3.1-5 中には系統機器に求められる短絡電流のスペックである 31.5 kA-2 sec もあわせて掲載した。

図 2.3.1-5 から超電導ケーブルコアに流れる短絡電流条件を求めたところ、事故直後の課電通電が「無」となる短絡事故は 0~31.5 kA-2 sec および 0~10 kA-3 sec の範囲におさまることがわかった。一方、事故直後の課電通電が「有」となる短絡事故は 0~10 kA-2 sec の範囲におさまることが判明した。

	主保護Ry動作	後備保護 Ry動作	備考
超電導ケーブル直近事故 (バンク保護リレー保護範囲内)	○	●	事故直後課電通電「無」
もらい事故(事故電流通過) (バンク保護リレー保護範囲外)	□	■	事故直後課電通電「無」
	△	▲	事故直後課電通電「有」

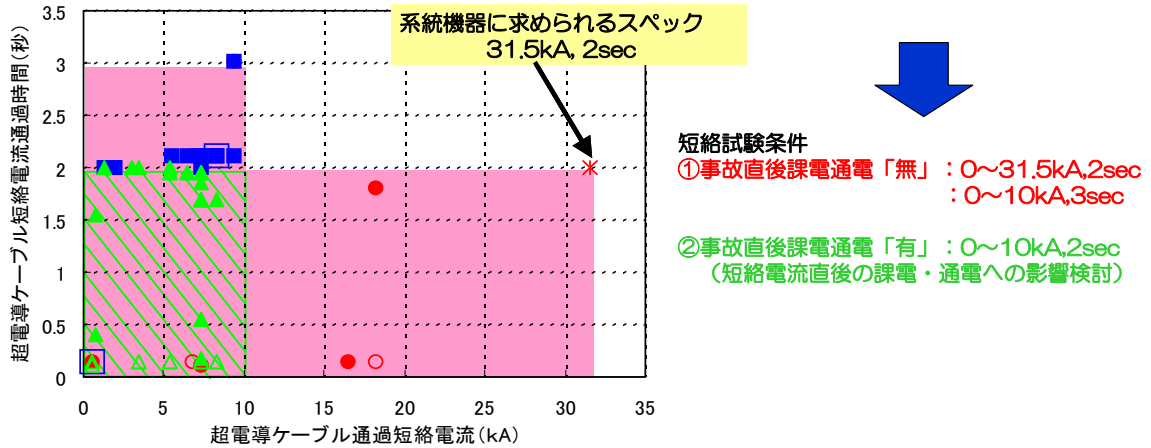
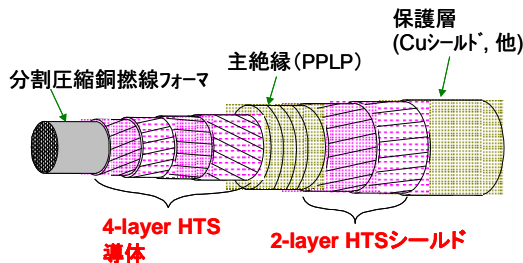


図 2.3.1-5 短絡電流計算結果

短絡電流に対する超電導ケーブルの健全性を検討する為、上記短絡電流試験条件をもとに、図 2.3.1-6 に示すスペックの短尺ケーブルコアを用いて、実際に短絡試験を実施した。



	仕様	外径(mm)
フォーマ	素絶分割集合フォーマ(140mm <sup>2</sup> )	16
HTS導体	4層 使用線材:銅合金補強非ツイスト線材(TypeHT) 銅合金補強ツイスト線材(TypeACT)	21
主絶縁層	PPLP-6mm厚	35
HTS シールド	2層 使用線材:銅合金補強非ツイスト線材(TypeHT)	37
保護層	Cuシールド(77mm <sup>2</sup> )3層,保護紙&布テープ	43
Ic特性	導体:6320A シールド:7770A	

図 2.3.1-6 短絡電流試験に使用したケーブルコア

試験は大気圧液体窒素中に浸漬冷却したケーブルコアを用いて実施した。ケーブルコアは導体層に TypeACT 線材と TypeHT 線材を、シールド層は TypeHT 線材を使用したもので、導体  $I_c$  が 6,320 A、シールド層  $I_c$  が 7,770 A である。

短絡試験結果を図 2.3.1-7 に示す。また、短絡試験結果から求めた  $I^2 \times t$  ( $I$ : 短絡電流値、 $t$ : 継続時間) 対導体層温度上昇  $\Delta T$  の実測値を図 2.3.1-8 に示す(2.1.2 節参照)。図 2.3.1-7 の短絡試験結果から 10 kA の短絡電流の場合は短絡電流通電時間に明確な相関性はなくほぼ一定で、温度上昇  $\Delta T$  は 3~4 K であることがわかった。また、31.5 kA-2 sec では導体層の温度上昇  $\Delta T$  は 120 K 以上であることがわかった。図 2.3.1-8 の短絡試験電流値と通電時間による温度上昇測定結果より温度上昇曲線を算出し、図 2.3.1-5 の計算結果と合わせたものを図 2.3.1-9 に示す。

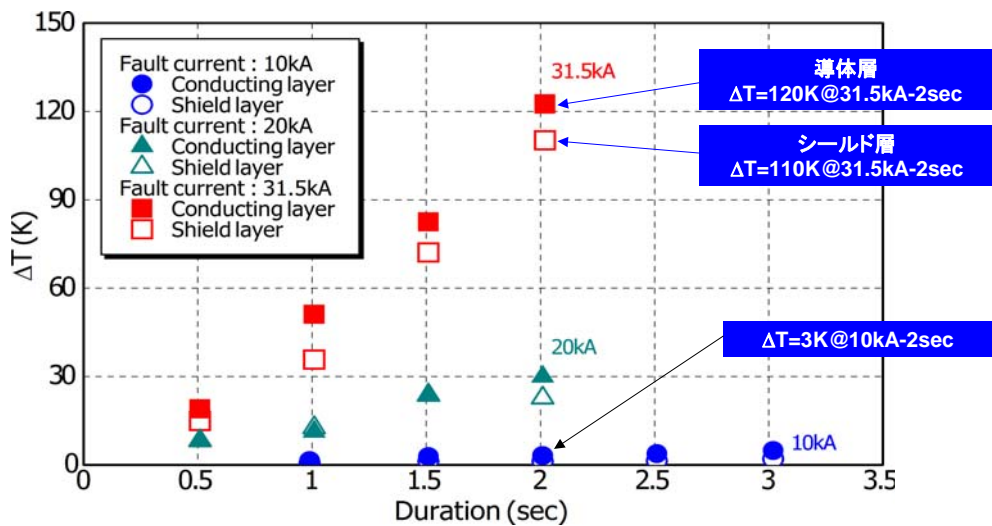


図 2.3.1-7 短絡試験結果



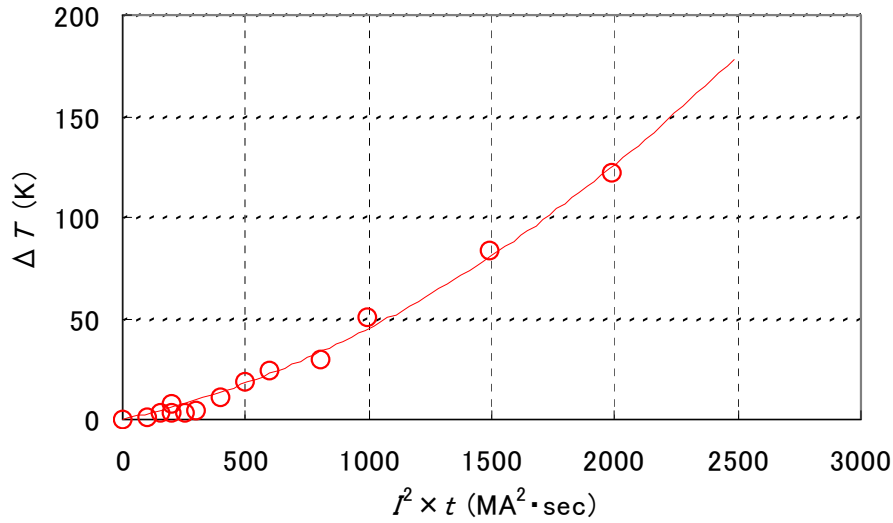


図 2.3.1-8 短絡電流通過時のケーブル温度上昇測定結果

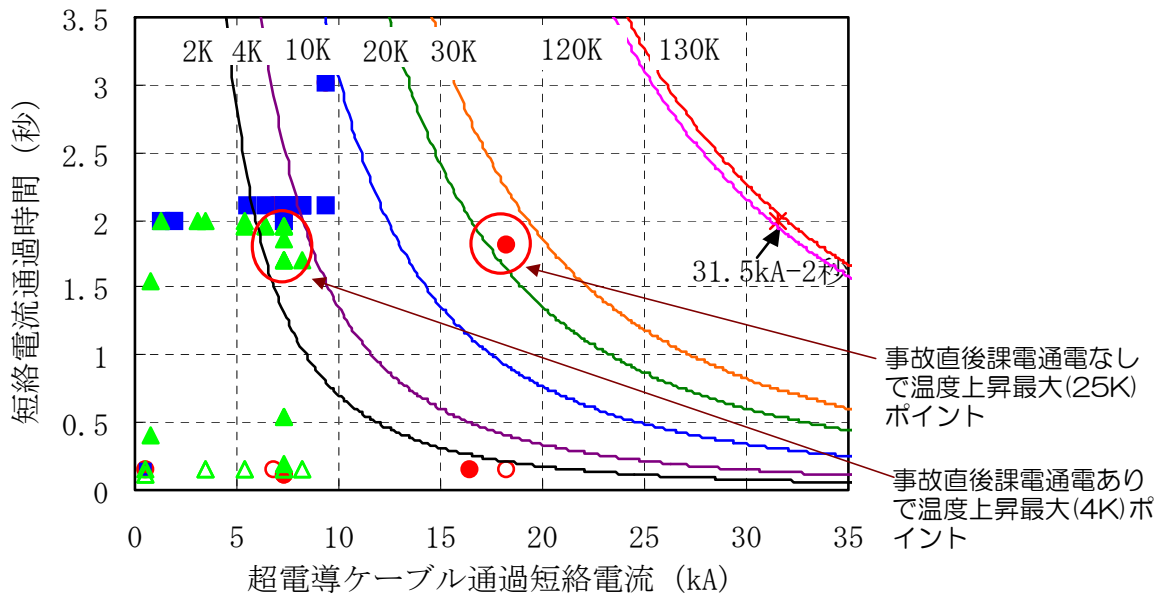


図 2.3.1-9 短絡電流計算結果と温度上昇予想曲線

図 2.3.1-9 から、事故直後通電有りの場合の温度上昇は最大で約 4 K (8.25 kA-1.7 sec)、通電無しの場合の温度上昇は最大で約 25 K (18.22 kA-1.81 sec)、また、31.5 kA-2 sec の場合には温度上昇は最大で 125 K 以下であることがわかった。

2.1.2 節で説明したように、31.5kA-2sec において、特にケーブルにはダメージがないことを検証している。また、10kA-2sec の場合は、すぐに定格電流、電圧を印加し、通電、課電ができることを確認している。

## (5) サージに関する条件の調査と影響検討

### (a) 雷サージ

超電導ケーブルは、同サイズの CV ケーブル等と比較して導体抵抗率、サージインピーダンスが共に小さいことから、超電導ケーブル内でのサージ伝搬特性が、既存送電線と大きく異なる事が懸念される。このため、EMTP による雷サージ伝搬特性の解析を実施した。

EMTP 解析を行うにあたっての条件を表 2.3.1-4 に示す。雷サージ解析は JEC-0102-1994「試験電圧標準」での解析条件を基本とした。解析対象は 154/66kV 変圧器の 2 次側に接続される超電導ケーブルであることから、66kV 側の送電鉄塔への雷撃時について解析した。超電導ケーブルの主要諸元を図 2.3.1-10、CV ケーブル諸元を図 2.3.1-11 に示す。

表 2.3.1-4 超電導ケーブルの雷サージEMTP解析の条件

主たる解析条件	JEC-0102-1994「試験電圧標準」を準拠
解析対象	154/66 kV 2次側送電鉄塔への雷撃
送電線	標準鉄塔、送電線モデル
他送電線状況	雷撃想定線路以外は開放条件（運用系統上最過酷条件）
雷撃	第1鉄塔雷撃の上相への逆フラッシュオーバー 雷撃電流は $30\text{kA} \cdot 1\mu\text{s}$
その他	引き込み部架空地線あり

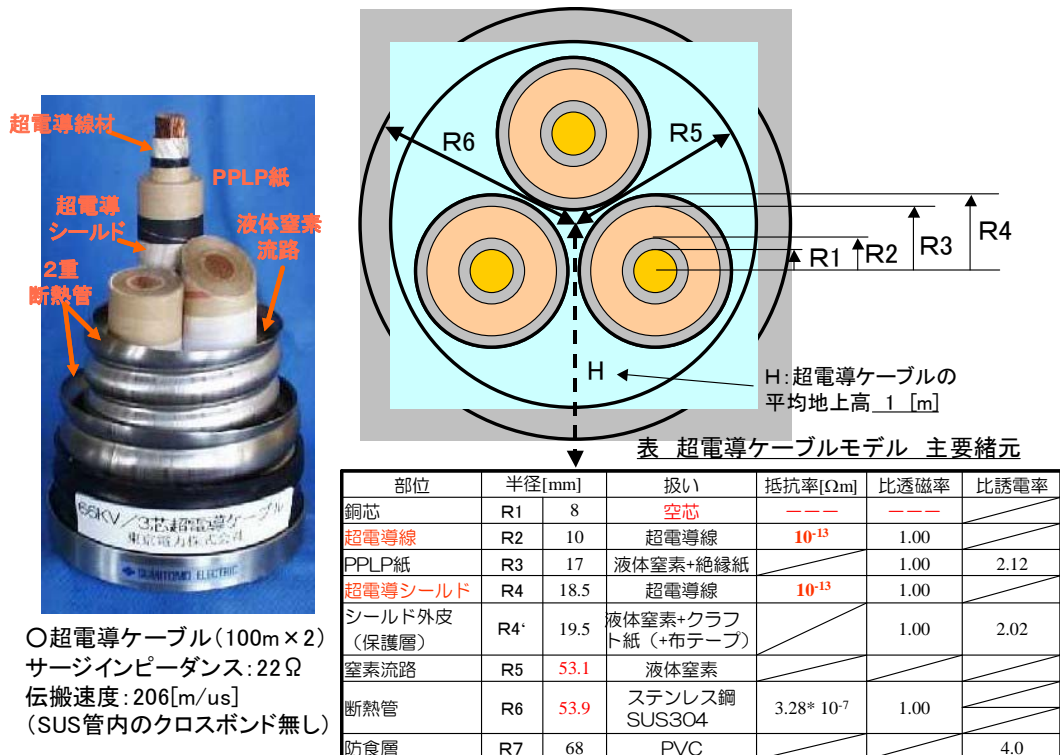


図 2.3.1-10 超電導ケーブルの主要諸元

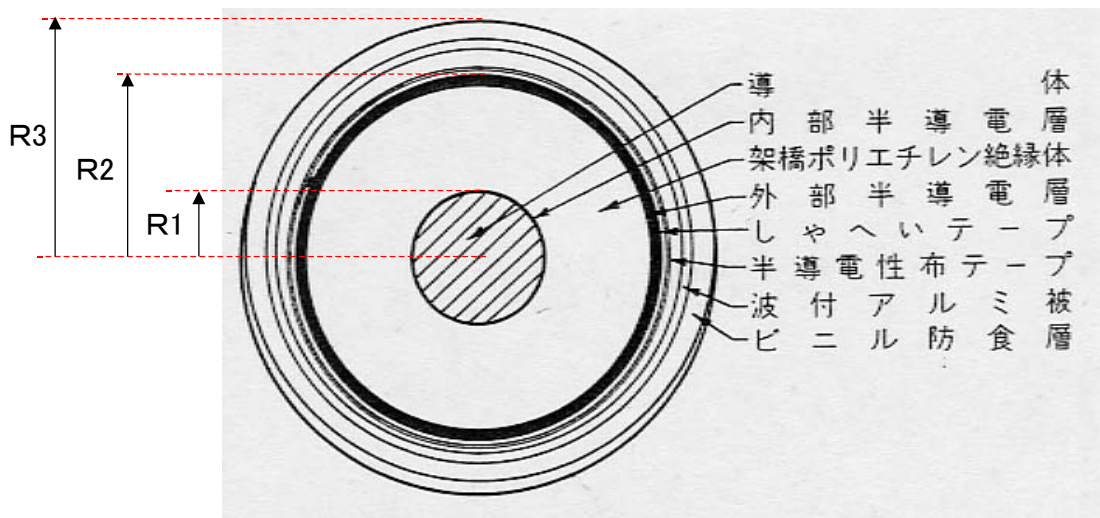


表 CVケーブル 主要諸元

部位	半径[mm]	
導体外径	R1	30.6
絶縁体外径 (外部半導電層含む)	R2	44.6
ケーブル外径	R3	51.6

図 2.3.1-11 66kV 単心CVケーブル (断面積 2500mm<sup>2</sup>) の主要諸元

解析モデルの概要を図 2.3.1-12 に示す。比較対象として、超電導ケーブル部分を CV ケーブルで置き換えた場合の解析についても実施した。解析結果を図 2.3.1-13、図 2.3.1-14、図 2.3.1-15、図 2.3.1-16 に示す。

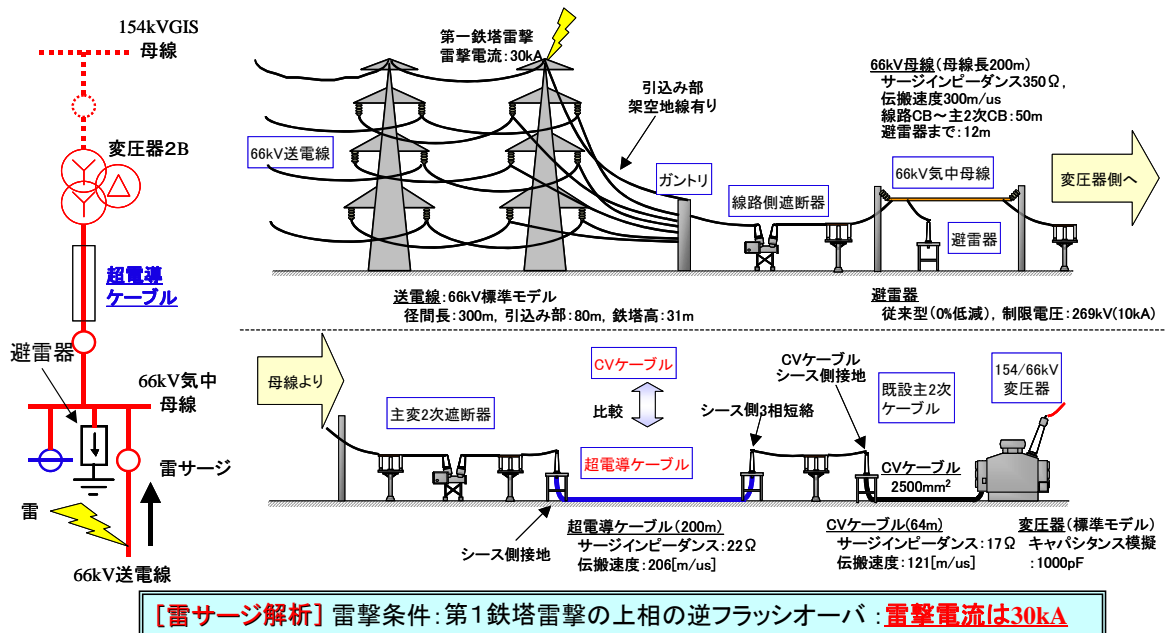


図 2.3.1-12 EMTP による超電導ケーブル雷サージ解析モデル

図 2.3.1-13、図 2.3.1-14 は、超電導ケーブルならびに CV ケーブルの発生過電圧波形の第 1 波を示したものである。それぞれ、変圧器端、導体-シース間（遮断器側、中間接続部、変圧器側）の波形を示しており、導体-シース間電圧の最大値は CV ケーブルで 191 kV、超電導ケーブルで 196 kV という結果が得られた。これは 66kV 系統の雷インパルス耐電圧値 (LIWV) 350 kV より小さく、LIWV 値を用いた雷インパルス試験によりケーブル健全性を確認することで、雷サージ対策は問題ないといえる。

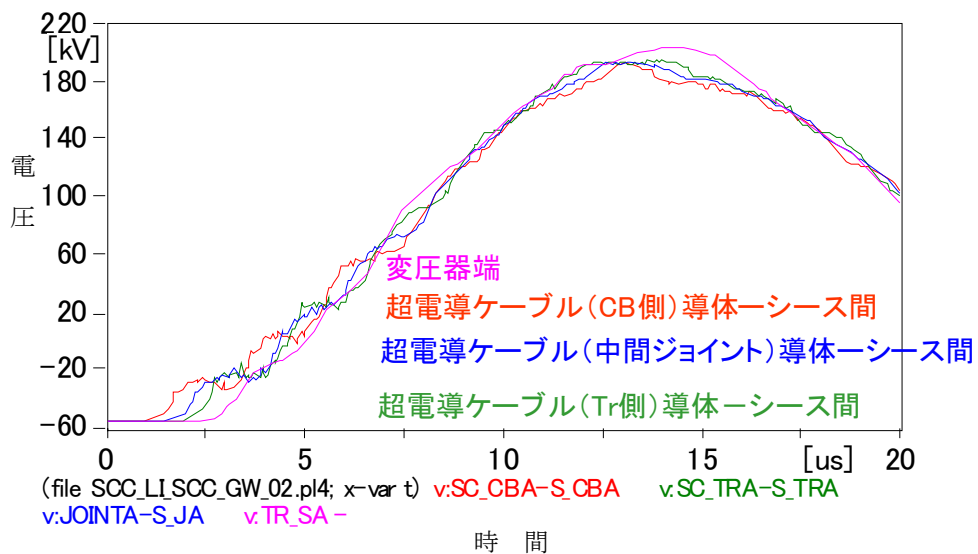


図 2.3.1-13 超電導ケーブルの雷サージ過電圧波形（第 1 波）

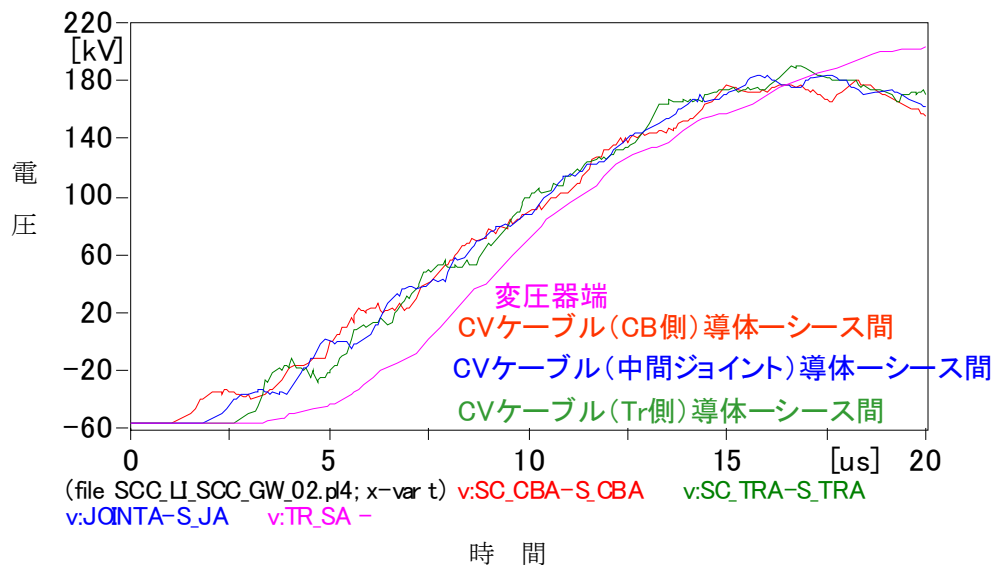


図 2.3.1-14 CV ケーブルの雷サージ過電圧波形（第 1 波）

図 2.3.1-15、図 2.3.1-16 は 300  $\mu$ s までの雷サージ電圧・電流波形のケーブルによる相違を示したものである。超電導ケーブルの電圧波形は雷撃から約 17  $\mu$ s でピークを迎え、その後減衰していく。前述のとおり、超電導ケーブルの発生過電圧は最大 196 kV (超電導ケーブル Tr 側) となり、これは LIWV (雷インパルス耐電圧) : 350 kV よりも小さく、絶縁設計に大きな影響を与えるものではないことがわかった。また、雷サージ伝搬速度は超電導ケーブルの場合 : 206 m/ $\mu$ sec、CV ケーブルの場合 : 121 m/ $\mu$ sec とケーブルの形状 (サイズ) による違いはあるものの、発生過電圧値は超電導ケーブル、CV ケーブルともにほぼ同程度であることから、いわゆる「超電導」による低抵抗特性が雷サージの過電圧値、伝搬特性に大きな影響を与えないことがわかった。また、電流波形については雷撃から約 9  $\mu$ s でピークとなり、その後減衰していく。解析結果から、超電導ケーブルを通過する電流のピーク値は 2.6 kA (超電導ケーブル CB 側) となることが判明した。これは無負荷の場合であり、仮に負荷電流通電時に雷サージ電流が重畳した場合には、ケーブルの臨界電流値を超える可能性がある。ただし、継続時間は数十  $\mu$ sec であり、発熱エネルギーは小さいため、送電には支障がないと考えられる。

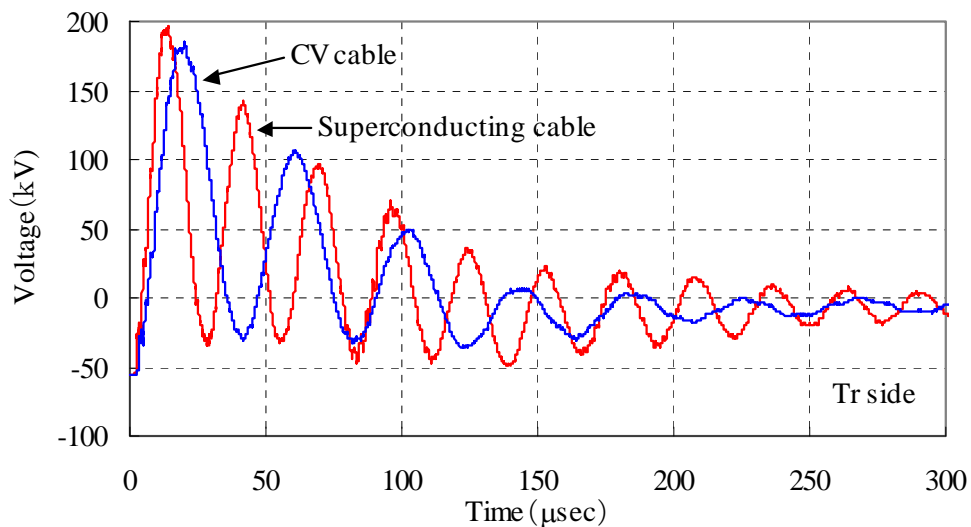


図 2.3.1-15 雷サージ電圧波形のケーブルによる相違

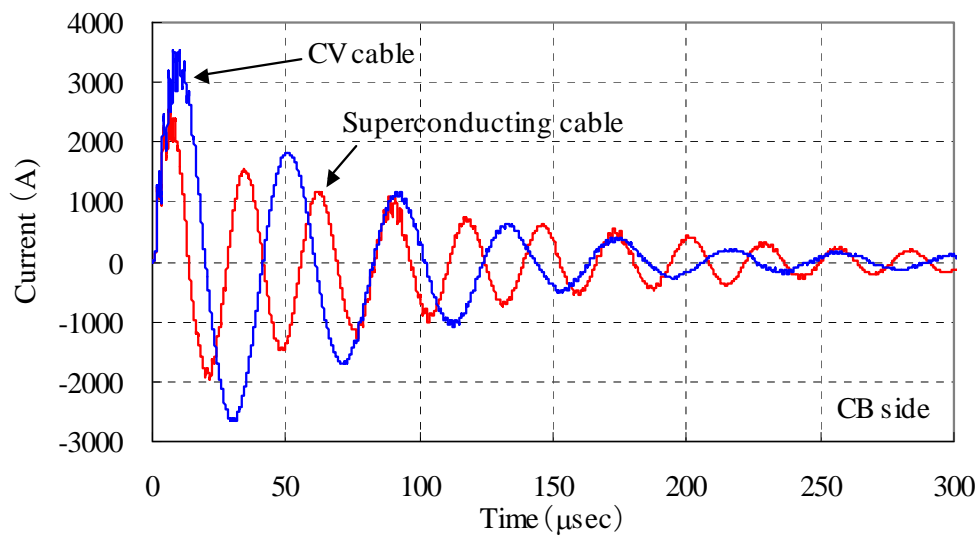


図 2.3.1-16 雷サージ電流波形のケーブルによる相違

(b) 開閉サージ

開閉サージ検討にあたっては、雷サージ同様、EMTP 解析を用いた。EMTP 解析を行うにあたっての解析条件を図 2.3.1-17 に、開閉サージ解析モデルを図 2.3.1-18 に示す。なお、雷サージ解析同様、超電導ケーブルでの解析に加え、超電導ケーブルを CV ケーブルで置き換えた場合の解析も実施した。解析対象は 154/66kV 変圧器 2 次ケーブルであり、条件 A は超電導ケーブル用 CB の開閉サージ、条件 B は変圧器 1 次 CB の開閉サージ (2 次側への移行サージ)、条件 C は変圧器 2 次 CB の開閉サージ (66kV 母線の充電) の条件である。なお、投入位相は A 相が+1PU (A 相の遮断器極間電圧が最大の条件) の条件である。解析に用いた超電導ケーブルおよび CV ケーブルの主要諸元は雷サージ解析と同様である。

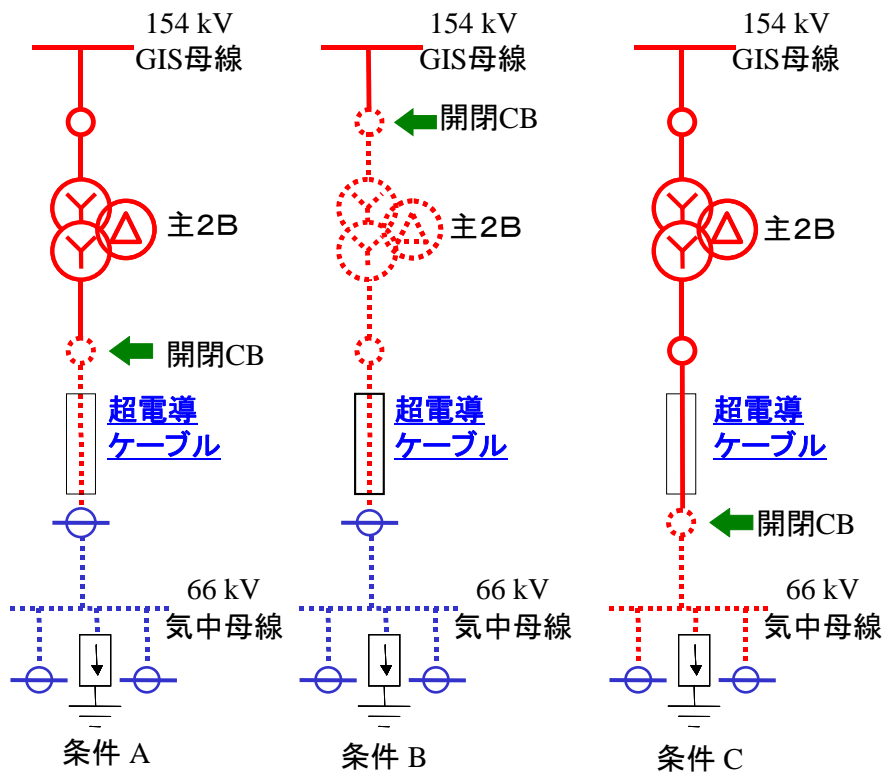


図 2.3.1-17 開閉サージ解析条件

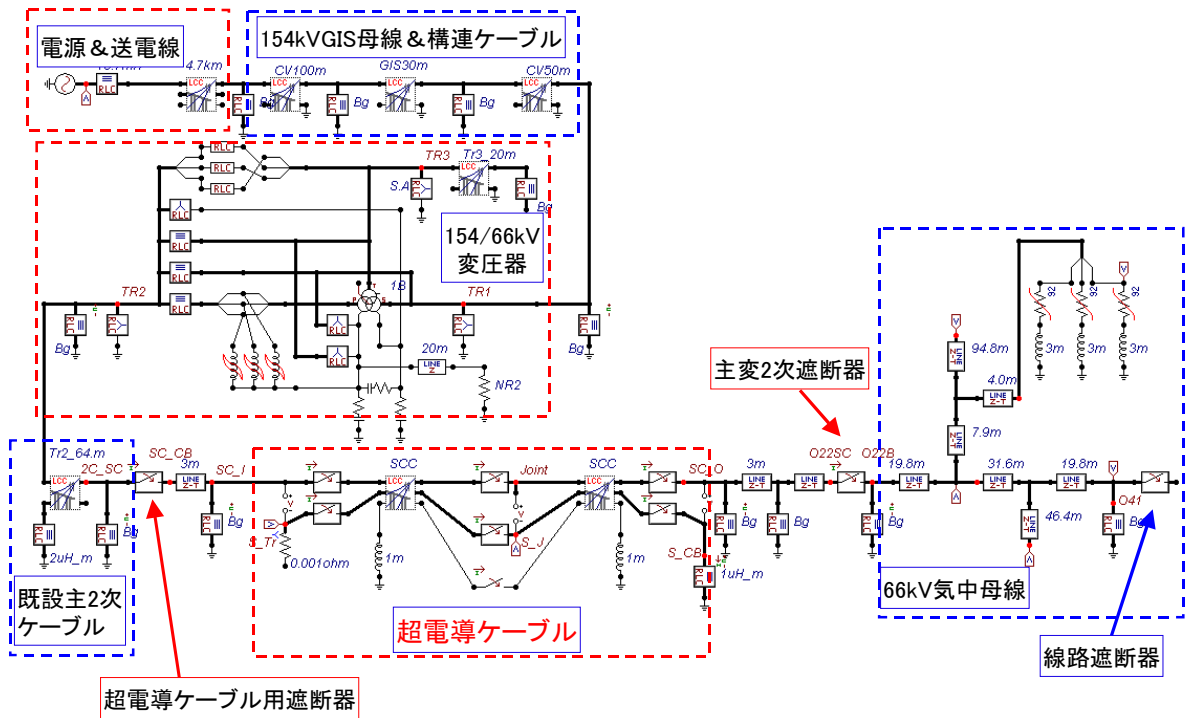


図 2.3.1-18 EMT Pによる超電導ケーブル開閉サージ解析モデル



図 2.3.1-19～24 に開閉サージ解析結果を示す。図 2.3.1-19、図 2.3.1-21、図 2.3.1-23 は、それぞれ条件 A、B、C での超電導ケーブル導体-シース間電圧、図 2.3.1-20、図 2.3.1-22、図 2.3.1-24 は、それぞれ条件 A、B、C での超電導ケーブル導体電流を示している。表 2.3.1-5 は開閉サージ発生過電圧の解析結果を集約したものである。

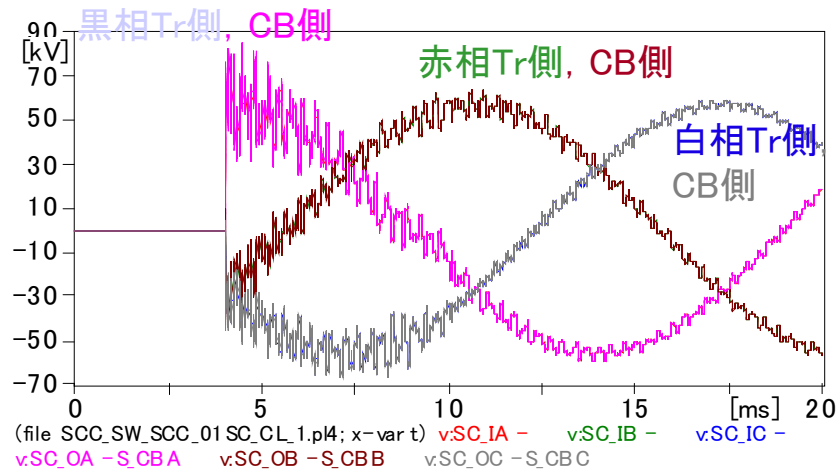


図 2.3.1-19 超電導ケーブル導体-シース間電圧 (条件 A)

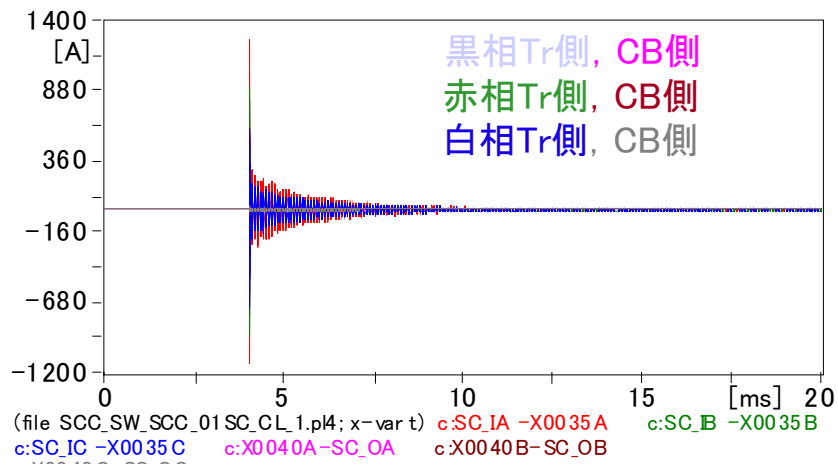


図 2.3.1-20 超電導ケーブル導体電流 (条件 A)

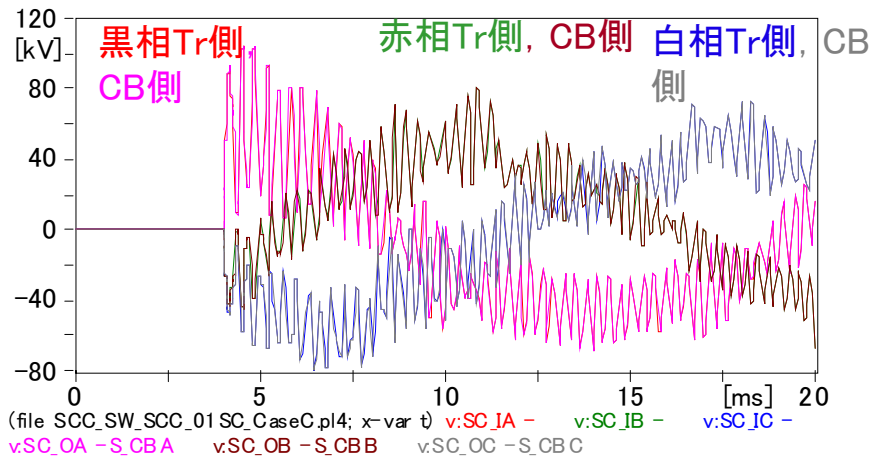


図 2. 3. 1-21 超電導ケーブル導体-シース間電圧 (条件 B)

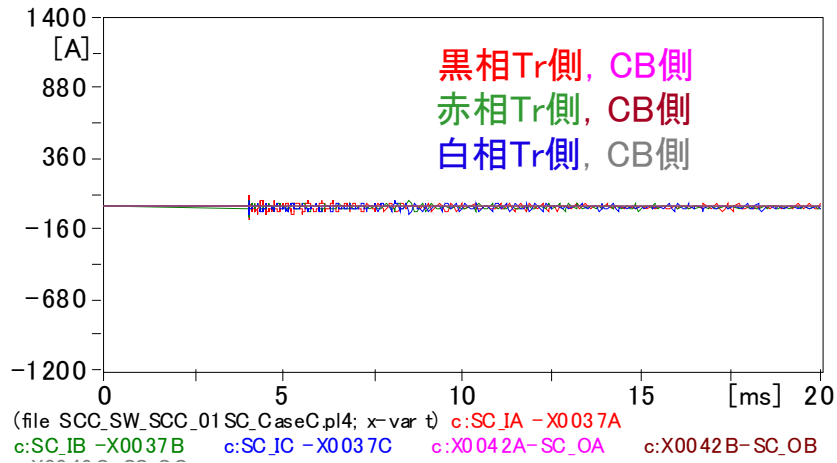


図 2. 3. 1-22 超電導ケーブル導体電流 (条件 B)

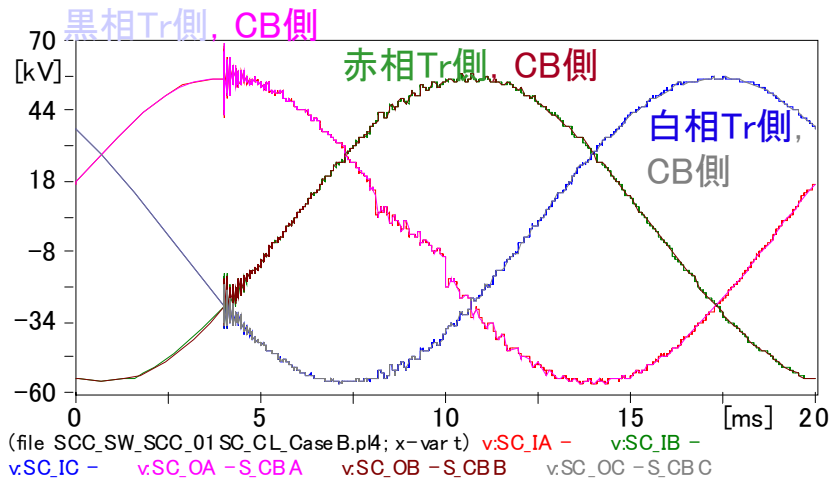


図 2. 3. 1-23 超電導ケーブル導体-シース間電圧 (条件 C)

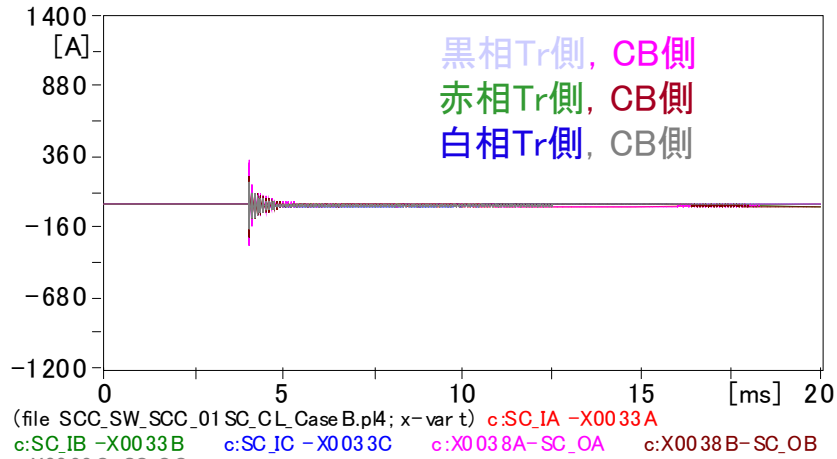


図 2. 3. 1-24 超電導ケーブル導体電流 (条件 C)

表 2. 3. 1-5 開閉サージ発生過電圧解析結果

ケース	条件 (充電対象)	ケーブル	発生過電圧 [kV]							
			変圧器端	ケーブル 導体-シース間			ケーブル シース対地間			主2次CB端 (66kV母線)
				Tr側	中間	CB側	Tr側	中間	CB側	
A	SCケーブル	超電導 ケーブル	80	84	82	86	2	3	3	86
B	変圧器+SC		104	104	104	104	1	1	0	104
C	66kV母線		58	71	61	70	0	6	6	76
A	CVケーブル	CVケーブル	90	86	86	88	46	42	8	87
B	変圧器+CV		100	100	99	100	3	2	1	100
C	66kV母線		58	64	63	63	7	7	9	72

開閉サージの解析結果から、超電導ケーブルに発生する過電圧値は変圧器と超電導ケーブルを充電する条件 B の場合に 100 kV 程度 (1.8 pu) で最大となるが、この値は LIWV 350 kV に対して十分低いことがわかった。また、超電導ケーブルにおける発生過電圧は CV ケーブル (2500 mm<sup>2</sup>) を使用したケースとほぼ同程度の過電圧であり、超電導ケーブルのサージ電流については数 msec で急速に減衰することがわかった。

### (6) 落雷頻度の調査

旭変電所近傍での落雷頻度について調査を実施した。過去の落雷データはメッシュ分割された地図を用いて管理されており、このデータをもとにメッシュ範囲として、28 km×28 km、3 km×3 km、1 km×1 km の 3 つのレベルでのデータの調査を行った。

28 km の範囲でみると、10 年間の平均雷雨日数が 14 日/年であり、強雷地域である栃木・群馬・埼玉の 20～31 日/年に比して雷雨日数が少ない地域であるといえる。

また、2004～2006 年度の 3 カ年での落雷件数調査結果を、3 km 範囲でみると、2004 年度が 5 件、2005 年度が 3 件、2006 年度が 45 件、さらに 1 km 範囲でみると、2004 年度が 3 件、2005 年度が 3 件、2006 年度が 5 件との結果になった。以上より、変電所近辺 1 km 範囲においては、数件/年の落雷頻度であることがわかった。

### (7) 系統負荷状態、潮流状況の調査、過負荷許容条件の調査

旭変電所は 154/66 kV 変圧器 3 台が設置されており、変圧器容量はすべて 200 MVA である。したがって、変圧器 2 次側の定格電流は 1,750 A である。定常時の各変圧器の負荷電流は 700 A 程度であり、平成 19 年夏期最大の実績値は約 1,100 A である。過負荷運転時においては定格電流に対して 150 % 運転に相当する 2,625 A の通電が可能であることが求められる。

表 2.3.1-6 旭変電所の定格電流ならびに負荷実績

箇所	定格電流	負荷実績
変圧器 1B2次	1750A (過負荷運転 150%= 2625A)	約1100A (H19夏期最大: 3バンク併用時), (通常700A程度)
変圧器 2B2次		
変圧器 3B2次		

## (8) 励磁突入電流の調査

変圧器を充電する際、場合によっては全負荷電流の数倍の大きさの励磁突入電流が流入する。励磁突入電流の大きさ、継続時間を支配する要因は多く、鉄心の飽和特性、残留磁束の大きさと極性、充電時の電圧位相、回路のインピーダンス、結線などにより異なる。超電導ケーブルを実系統導入するにあたっては、励磁突入電流の超電導ケーブルへの電氣的ストレスについて検討する必要がある。

旭変電所における変圧器の励磁突入電流に対するリレー整定値を調査した結果、変圧器定格電流の 300 %でリレー動作するものであった。すなわち、300 %を超える励磁突入電流が流入した場合にはリレー動作により変圧器の両端の遮断器がトリップする。

変圧器 2 次側に超電導ケーブルを接続する形態の場合について、励磁突入電流の超電導ケーブルへの影響を 3 つのパターンに分けて検討した。

### ①変圧器 1 次側から変圧器を充電する（154 kV 側遮断器投入）場合

1 次側 154 kV 遮断器を投入して変圧器を充電する場合、変圧器 1 次巻線には励磁突入電流が流入するが、2 次側には直接この影響は現れず、また、ケーブル充電電流も 1 A 以下であるため、超電導ケーブルへの影響はない。

### ②変圧器 2 次側から変圧器を充電する（66 kV 側遮断器投入）場合

2 次側 66 kV 遮断器を投入して変圧器を充電する場合、変圧器 2 次巻線には励磁突入電流が流入するため、超電導ケーブルにも励磁突入電流が流れるが、66 kV 側からの変圧器の充電（ステップアップ）は、系統運用上実施しない。従って超電導ケーブルには励磁突入を流す運用をしないため、ケーブルへの影響はない。

### ③66 kV 送電系統に連系した変電所において変圧器を充電する場合

旭変電所につながる 66 kV 送電系統に連系した変電所において変圧器を充電する場合、その変圧器に流入する励磁突入電流分が、旭変電所の変圧器を通過する。この電流は前記のとおり様々な要因に影響される。対象となる変圧器のうち、最大容量のものは 45 MVA であり、励磁突入電流に対するリレー整定値が 1 次定格電流の 300 %であることから、これを最大値として検討する。変圧器 1 次定格電流は約 394 A であり、この 300 %は 1,182 A と求められる。

旭変電所の変圧器が 1 台停止中で、残り 2 台が 100 %の負荷送電中であるという、最過酷状態を仮定し、このとき、前記励磁突入電流が通過する場合を検討する。この場合、変圧器 2 次定格電流は 1,750 A であり、変圧器 1 台あたりを通過する励磁突入電流は 1,182 A の半分であることから、通過電流は 2,341 A となる。これは、変圧器 2 次定格の 134 %に相当し、過負荷運転電流である 2,625 A よりも少ない。従って、この場合についても励磁突入電流による影響はない。

なお、励磁突入電流の減衰時間については、最大値の 50 %に減衰するまでの時間として、1.2 sec～72 sec 程度であるとの報告がある<sup>(3)</sup>。

## (9)まとめ

「超電導ケーブルと従来ケーブルの電気的特性の比較」では超電導ケーブルと従来ケーブルの電気的特性、系統特性の比較検討を実施し、高温超電導ケーブルの特徴、メリットとして、抵抗がゼロであることから損失を小さくすることができる、インピーダンスが小さく系統安定度向上に寄与できる、サージインピーダンスローディングが大きく大電流送電に適する、などを確認した。

「超電導ケーブル接続時のインピーダンス変化と影響検討」では常温（室温）状態での超電導ケーブルのインピーダンスを求め、系統短絡電流への影響を確認した結果、ほとんど影響がないことを確認した。

「超電導ケーブルに流れる短絡電流の調査」では旭変電所で予想される短絡電流および継続時間から、超電導ケーブルの温度上昇は 125 K で常温（室温）には至らないことが判明した。また、短絡電流による超電導ケーブルのインピーダンス変化の影響は軽微であることがわかった。

「サージに関する条件の調査と影響検討」では EMTP 解析を用いて雷サージおよび開閉サージによる過電圧を求めた。解析の結果、雷サージ・開閉サージによる過電圧は LIWV（雷インパルス耐電圧）：350 kV よりも小さく、絶縁設計に大きな影響を与えるものではないことがわかった。また、発生過電圧値は超電導ケーブル、CV ケーブルともにほぼ同程度であることから、いわゆる「超電導」による低抵抗特性がサージの過電圧値、伝搬特性に影響を与えないことがわかった。

「落雷頻度の調査」では旭変電所近辺での落雷頻度の実績調査を行ない、旭変電所近辺 1 km 範囲においては、数件/年の落雷頻度であることがわかった。

「系統負荷状態、潮流状況の調査、過負荷許容条件の調査」では超電導ケーブルを実系統連系する旭変電所での負荷状態、過負荷許容条件（主変 2 号変圧器）についての調査を行なった。調査の結果、超電導ケーブルを実系統連系する変圧器 2 次側の定格電流は 1,750 A、定常時の各変圧器の負荷電流は 700 A 程度であり、平成 19 年夏期最大の実績値は約 1,100 A であることがわかった。また、過負荷運転時においては定格電流に対して 150 % 運転に相当する 2,625 A の通電が可能であることが求められることがわかった。

「励磁突入電流の調査」では変圧器を充電する際に、場合により全負荷電流の数倍の大きさの電流が流入する励磁突入電流について調査を行なった。超電導ケーブルへの影響を考えるために、3 パターンの励磁条件を検討したが、いずれの条件でも超電導ケーブルへの影響はないことが確認できた。

以上の結果、超電導ケーブルを実証試験場所に実系統に連系した運転においても系統へ与える影響はほとんどないことがわかった。今後、超電導ケーブルを長距離送電ケーブルとして適用した場合の FS を実施していく。

## 2.3.2 平常時の運転技術開発

平常時においては、超電導ケーブルを冷却している液体窒素をある範囲の中に冷却システムが維持している状態にある。この液体窒素の条件を制御する項目としては、温度、圧力、流量がある。本節では、これらの超電導ケーブルを運転するパラメータについて、制御の指針や制御方法について記述する。

### 2.3.2-1 運転範囲の検討

ここで、本プロジェクトにおける温度、圧力の運転範囲とその根拠については以下のように考えている。

#### ●温度範囲：65～77K

最低温度は、液体窒素の固化温度 63.5K に対して裕度を設けて 65K とした。最高温度については、ケーブルの通電電流と臨界電流値との関係を設計する際に用いている温度である 77K とする。尚、この最高温度については、実証ケーブルの設計が完了し臨界電流値が決まった時点で、妥当か否か見直すものとする。

#### ●圧力範囲：0.2MPaG～0.5MPaG

最低圧力については、窒素含浸 PPLP 電気絶縁の絶縁特性が十分に発揮される圧力として、0.2MPaG を選んだ。最大圧力については、本プロジェクトにおけるケーブル長が 250m 級であることから、圧力損失は 0.15MPaG (@流量 40L/min) 程度であり、あまり最大圧力を大きくとる必要がないこと、必要以上に構造設計を強固にせず、経済性を考慮したことから、最大圧力を 0.5MPaG と選んだ。

#### ●流量の選定

現段階での実証ケーブル構造、現地概略レイアウト等から推定した、実証ケーブルシステムの圧力損失と温度差について、流量をパラメータに試算を行った。結果を図 2.3.2-1 に示す。上述した最低圧力 0.2MPa、最大圧力 0.5MPa の制限より、圧力損失は 0.3MPa 以下にしたいことから、流量は 60L/min 以下であることが判る。また、温度についても、運転温度範囲から 10L/min では $\Delta=10K$  程度となり裕度はなく、流量は 10L/min 以上が必要ということが判る。後述するように、流量は一定値にて流すこととするが、上記の範囲の中から、40L/min を選び以後の議論を進めていくこととする。尚、実証ケーブル構造、現地レイアウトの詳細が決まった段階で改めて圧力損失、温度差について計算しなおし、運転範囲の妥当性を確認するものとする。

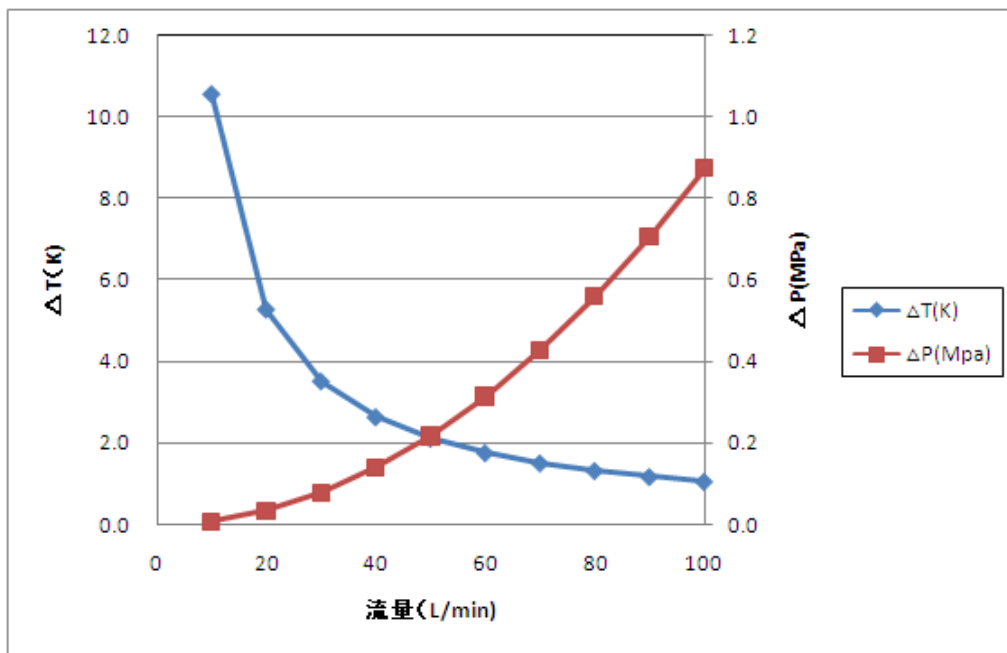


図 2.3.2-1 実証ケーブルの圧力損失と温度差の試算  
(熱損失 3kW、冷凍機 6 台直列の場合)

### 2.3.2-2 流量制御について

ケーブル側で発生する熱損失を液体窒素の熱容量で吸収するため、ケーブルが長尺になる、電流が増えるなどにより、熱負荷が大きくなると、流す流量を増やす必要がある。しかしながら、ケーブルの配管抵抗などで、流量の 2 乗に比例した圧力損失が発生し、流量が大きくなると圧損も大きくなり、構造物の許容圧力により流れる流量は制限される。

一方、ケーブル内に発生する熱負荷、圧損は流量が一定であれば、温度、圧力を測定することで、これらの値を算出することができ、ケーブルシステムの健全性を診断することができる。過去の超電導ケーブル運転の実績<sup>2)</sup>においても、常時は流量を一定に保っていることから、本プロジェクトにおいても流量を一定に維持することを指針とする。

尚、流量を制御するには、循環ポンプの出力を制御することになるが、流量はポンプの出力と相関があり、平常時はケーブルシステムの管内抵抗に大きな変化が起こることはなく、ポンプ出力が一定であれば、流量は一定に保たれる。逆に、流量に変化があれば、ケーブルシステム内の圧損が変化したことをあらわし、異常を検知しやすくなる。このことから、本プロジェクトにおいては、流量については、設定値を一定に保つフィードバック制御はかけずに、初期設定を維持する手法を選択する。尚、必要時は手動にて設定値を変更できるようにする。



## 2.3.2-3 温度制御について

### (1) 制御の目的・方針

温度制御方式については、基本方針にもあるように負荷に応じて追従可能な運転を行うことを目指している。制御する温度は、本来なら通常時にケーブルの最大温度を示すケーブル出口温度が、ある許容値以下であるように、ケーブル出口温度を制御すべきであるが、ケーブル全体に貯められている液体窒素の量は非常に大量であり、冷却パスを考えるとケーブル出口は、温度を制御できる冷凍機からはもっとも離れた位置にあり、時間遅れが甚だしく、制御が困難であると考えられる。

本プロジェクトでは、ケーブル入口温度をある一定の温度に保ち、負荷により変動する出口側の温度をモニターし、許容温度以下であることを常に確認しながら運転するものとする。尚、負荷によりケーブル出口側の液体窒素の温度が変化し、入口側の温度を一定に保つには、冷凍機の出力を出口側の温度に応じて変化させる必要がある。入口側の温度の制御幅の中で、冷凍機の出力を制御する方式としては、表 2.3.2-1 に示すようにインバータ制御方式、冷凍機 ON/OFF 方式、ヒータによる全体の負荷調整方式がある。

ケーブル入口温度を一定にする制御幅を 0.1K 程度に抑える必要がある場合は、インバータ制御や、ヒータ制御が有効であることが判っている。このうち、ヒータ制御は、ケーブル負荷+ヒータ負荷の合計が常に一定となるようにヒータ出力をコントロールするものであるが、ヒータ負荷分だけ余分に熱量を与えることにより、非効率である。

ON/OFF 運転は比較的制御が容易であるが、温度の変動が不可避であるため、温度制御幅を大きくとる必要がある。本プロジェクトでは、運転可能な温度制御幅を検討し、制御の容易な冷凍機 ON/OFF 運転を検討するとともに、インバータでの冷凍機出力調整も行えるようにする。

表 2.3.2-1. 温度制御方法比較

	冷却能力制御		熱負荷制御
	ON-OFF制御	インバータ制御	内臓ヒータ制御
方法	複数の冷凍機の発停により離散的に変更	個々の冷凍機の回転数をインバータで連続的に変更	冷凍機に内蔵されたヒータの出力を連続的に変更
制御幅	冷凍機能力の0%または100%	冷凍機能力の60%~100%	冷凍機能力の0%~100%
特徴	簡単、低コスト 離散的な制御のため温度の振幅不可避 メーカーは1日1回以下の発停を推奨	精度の高い制御可能 複雑、ノイズ対策必要 インバータ効率分の損失が生じる	精度の高い制御可能 効率低下、ヒータの信頼性が低い
実績	なし	あり	あり

### (3) 制御対象の検討

上記の結果を踏まえ計測個所の検討を行った。候補場所として液体窒素の流れに沿って冷凍機出口温度、端末入口温度、ケーブル入口温度、同出口温度、端末出口温度、リザーバタンク内温度、冷凍機入口温度が考えられる。ケーブル熱負荷の変動を一番早く検知できるのはケーブル出口温度であるが、時定数が大きいため、たとえば急激にケーブル出口温度が上昇しても冷凍機出入口温度は変化がなく冷却能力を増加させると窒素の凝固点に近づくため今以上の冷凍能力の増大が難しくなることが予想される。

そのため本システムでは冷凍機の冷却能力変化に敏感な冷凍機出口温度(ケーブル入口温度)を制御対象(PV値)とすることとした。負荷変動に対しては、通常の旭変電所における送電量変動(通電電流0A~1kA)によりケーブル内温度が上昇しても、出口温度が飽和点に達しない温度をPV値として設定し、対応することとした。

### (4) 熱負荷の算出

ケーブル熱負荷の試算を行った。前述のとおり旭変電所における送電電流は最小で0.5kA、最大で1kA、中間で0.75kAである。このときの熱負荷計算結果を表2.3.2-2に示す。ここに記す季節変動熱負荷変数とは、計算の基準が周囲温度300Kであることから、旭変電所にて想定される最高温度が308Kであること、および冷凍機出口温度を最初の想定温度77Kから67Kに変更したことにより、外部からの熱侵入量が $(308-67)/(300-77)=1.08$ 倍に増加するとして加えた係数である。

冷凍機の熱負荷は圧損が原因となるが、3並列で各パスに冷凍機が直列で2台、各パスに液体窒素が均等に流れるとして994Wの熱負荷を見積もった。これらの検討によるシステム全体の熱負荷を表2.3.2-3に示す。

### (5) 温度制御の検討結果

長期連続運転を考慮すると、制御は単純化し、機器の運転は一定負荷で行うことが望ましい。また、冷凍機のON-OFF制御を考えると冷凍機出口温度の変動が避けられないが、そのときの変動幅を狭くするとケーブルの温度は安定する反面、冷凍機の発停回数が増加し、冷凍機の信頼性に影響を及ぼす可能性がある。そこでPV値を67K、その制御変動幅を±1Kとし、冷凍機が各パス毎(2台ずつ)発停することを想定し、夏季の熱負荷が最も大きい時期の簡単なシミュレーションを行った。初期条件として冷凍機出口温度67K、冷凍機は2パス(4台)運転中(冷凍能力>熱負荷)とした。この時、出口温度は徐々に降下し、66Kに達したなら1パス(2台)の冷凍機を停止する。この段階で停止した冷凍機も熱負荷も含め熱負荷が冷凍能力を上回り出口温度は上昇に転ずる。出口温度が68Kに到達したら停止中の1パス(冷凍機2台)を再起動することになる。このシミュレーション結果を図2.3.2-2に示す。この結果、冷凍機の発停は1週間に3回程度であり、メーカーの推

奨発停回数である1日1回以上の間隔を取ることが可能であることを明らかとした。

表 2.3.2-2 超電導ケーブル熱負荷の算出

●熱損失計算条件

ケーブル互長 260 m  
 通電電流 0, 500, 750, 1000 Arms  
 相間電圧 66 kVrms  
 相数 3 相  
 送電周波数 50 Hz  
 循環流量 40 L/min  
 冷凍機台数 6台(予備機2台含む)

①無負荷損失 (0 A, 0 kV)

※季節熱負荷変動係数1.08を考慮した(2009/5/31)

	熱侵入量	数量	小計
①-1 端末容器	160 W/台	2 台	320 W
①-2 端末ブッシング	85 W/本	6 本	510 W
①-3 ジョイント容器	40 W/台	1 台	40 W
①-4 断熱管	2.5 W/m	260 m	650 W
無負荷損失合計①(小計合計×係数1.08を乗じた)			<b>1641.6 W</b>

②液体窒素の圧力損失 @ Q=40 L/min

	圧損		小計 (kPa)
②-1 端末容器	16 kPa/台	2 台	32
②-2 ジョイント容器	-	-	-
②-3 断熱管	0.16 kPa/m	260 m	41.6
圧損合計			73.6

圧損による熱損失 (= dP \* Q / η、ポンプ効率 η=0.47) ②

**104 W**

③通電損失 @ 0.5kA

	熱侵入量	数量	小計
③-1 コア (W/m/3ph)	0.15 W/m/3ph	260 m	39 W
③-2 端末ブッシング (W/台)	2 W/本	6 本	12 W
③-3 端末内SC/NC渡り、接続部	3.94 W/箇所	6 箇所	24 W
③-4 ジョイント接続部 (W/箇所)	0.17 W/箇所	3 箇所	1 W
1kA通電損失合計③			<b>75 W</b>

④通電損失 @ 0.75kA

	熱侵入量	数量	小計
④-1 コア (W/m/3ph)	0.3 W/m/3ph	260 m	78 W
④-2 端末ブッシング (W/台)	5 W/本	6 本	30 W
④-3 端末内SC/NC渡り、接続部	9 W/箇所	6 箇所	53 W
④-4 ジョイント接続部 (W/箇所)	0.39 W/箇所	3 箇所	1 W
1kA通電損失合計④			<b>162 W</b>

④通電損失 @ 1.0kA

	熱侵入量	数量	小計
④-1 コア (W/m/3ph)	0.6 W/m/3ph	260 m	156 W
④-2 端末ブッシング (W/台)	8 W/本	6 本	48 W
④-3 端末内SC/NC渡り、接続部	15 W/箇所	6 箇所	90 W
④-4 ジョイント接続部 (W/箇所)	0.6 W/箇所	3 箇所	2 W
1kA通電損失合計④			<b>296 W</b>

⑥ 誘電損失 @66kV

	熱侵入量	数量	小計
⑥-1 コア (W/m/3ph)	0.27 W/m/3ph	260 m	70 W
⑥-2 端末ブッシング (W/台)	0 W/本	6 本	0 W
⑥-3 端末内SC/NC渡り、接続部	0 W/箇所	6 箇所	0 W
⑥-4 ジョイント接続部 (W/箇所)	0 W/箇所	3 箇所	0 W
誘電損失合計⑤			<b>70.1 W</b>

⑦ケーブルシステム熱損失合計

設計マージン0%を考慮	0A, 0kV ①+②)*1.0	0.5kA, 66kV ①+②+③+	0.75kA, 66kV ①+②+④+	1.0kA, 66kV ①+②+⑤+
⑦ケーブルシステム熱損失合計	<b>1746 W</b>	<b>1891 W</b>	<b>1979 W</b>	<b>2112 W</b>

表 2.3.2-3 システム全体の熱負荷

ケーブル熱負荷				
課通電・電力量	0kA、0kV	0.5kA、66kV	0.75kA、66kV	1kA、66kV
熱負荷合計(W)	1746	1891	1979	2112
冷却システム熱負荷				
2台×3並列(W)	994			
全熱負荷(W)				
	2740	2886	2973	3106

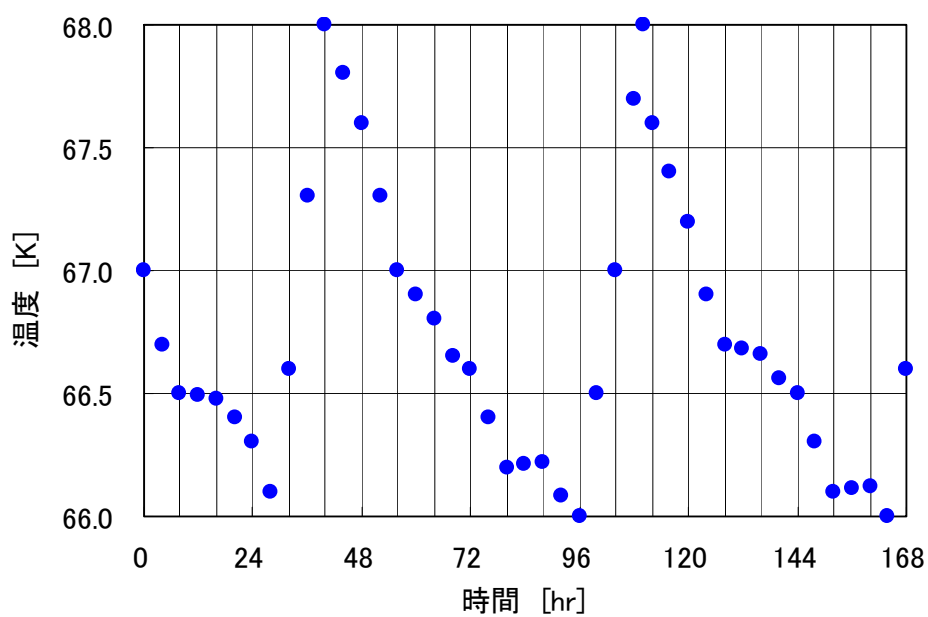


図 2.3.2-2 温度制御中の冷凍機発停回数の検討結果

#### 2.3.2-4 圧力制御について

過去の実績では、ヘリウムガスによる加圧方式、窒素ガスでの加圧方式がとられてきた。ヘリウムガス方式については、ヘリウムが液体窒素に溶解込み、圧力の低い箇所（例えば高所）にて溶解込んだヘリウムガスが出現し、絶縁特性に影響を与える危険性があると指摘されている。

一方、窒素ガスを用いた加圧方式では、過去実績では、窒素ガスが液体窒素と接触する界面で、窒素ガスが液化し、窒素ガスを補給する必要や、液体窒素の液量が多くなり、外部に排出する必要が生じる。従って、窒素ガスの補給設備、液体窒素の排出機能を冷却システムに具備させておく必要がある。

超電導ケーブルシステムの実用化を考えた場合、このような設備、作業の負荷が軽減されるべきと考え、窒素ガスを補給する代わりに、液体窒素のリザーバタンク内に設けたヒータにより、液体窒素表面を加熱しガス圧を維持する方法も考えられる。

本プロジェクトでは、窒素ガスによる加圧方式とヒータ方式の両方を検討し、圧力維持、制御に容易で経済的な手法を検討する。

以下、本節では、ヒータ加圧制御について検討し、30m ケーブル検証試験用の冷却システムにて試験を行ったのでその結果について記載する。

検証用ケーブルの冷却システムの単体試験において、リザーバタンク内圧力 (Pr1) を 200kPa に自動制御することを目標とし、液体窒素循環温度を 67K、で圧力制御の確認を行った。

試験結果を図 2.3.2-3 に示す。圧力は 200kPa を境に +4kPa、-3kPa の範囲で制御できており、その制御の時定数はおよそ 90 分前後であった。運転中は循環する液体窒素の温度も安定しており、液面変化も全くなく、完全密閉系での冷却運転が行え、液の補給も不要であることが確認された。

今後の課題としては、①圧力変化速度がゆっくりであるため、液温変化にどの程度追従できるかの確認が必要、②さらに長時間の確認試験が必要、③実際のケーブルと接続し、液体窒素の量が変わっても変化がないこと、などを確認する。

また冷却システムの熱負荷がガス加圧と比較すると約 100W 増加することが確認され、④その熱負荷を低減することも必要である。

試験11(3) (67.8K, 40L/min) H21.8.4

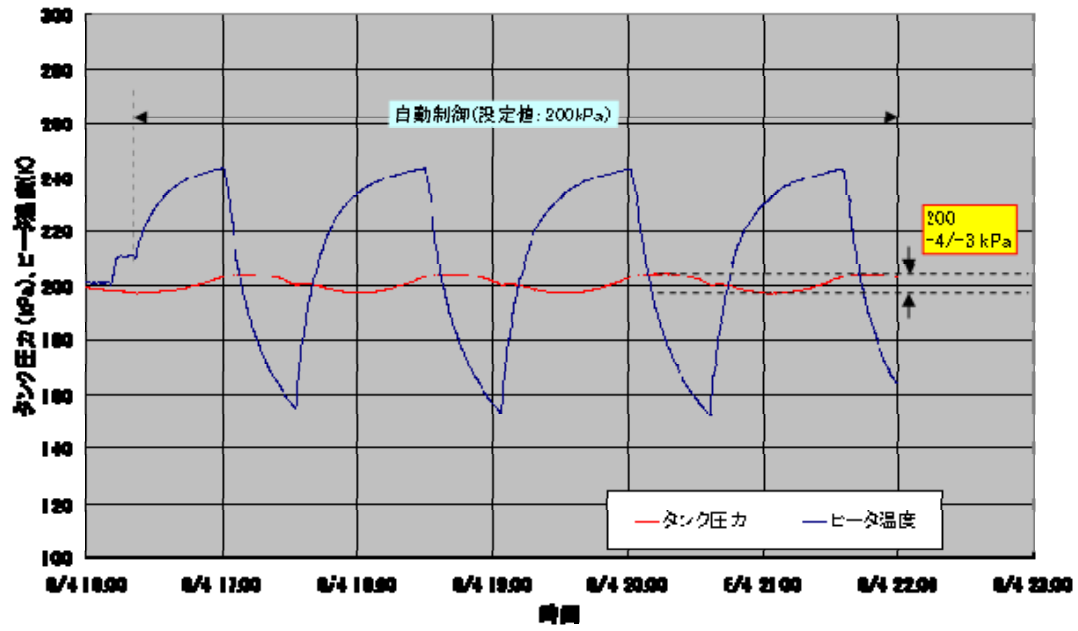


図 2.3.2-3 ヒータ加圧制御試験 (67K、40L/min)

### 2.3.3 事故時の運転技術開発

#### (1) 研究開発目的

超電導ケーブルシステム及び系統に異常が起こった場合の想定される故障モードについて整理し、それぞれの故障モードに応じて運転技術を検討する。

なお、検討項目のうち、実証場所において高温超電導ケーブルに生じ得る電氣的異常事象（想定される事故（短絡）電流やサージ電圧および異常電圧・電流の継続時間）に関しては2.3.1節に記載した。また、電氣的な異常事象の監視方法については2.2.2節に記載した。

ここでは主に冷却システムの運転技術開発に関する以下の検討を実施する。

- ・冷却システムの運転・監視方法の検討
- ・警報動作条件および警報動作時の対応方針の検討
- ・異常（故障）発生時の対応フロー検討

#### (2) 冷却システムの運転・監視方法の検討

今回の実証試験用超電導ケーブルの冷却システムの運転・監視方法を検討するにあたり、図2.3.3-1に示す冷却システムモデルを一例として取り上げ、これを用いて検討した。図2.3.3-1は予想される熱負荷に対して必要な冷凍機台数を超電導ケーブルと直列に配置・接続したものである。この方式はこれまで東京電力と住友電気工業株式会社で電力中央研究所において実施した100m長の超電導ケーブル試験でも実績がある冷却方式である。ただし、この冷却システムモデルはあくまでも冷却システムの運転・監視方法を検討する為に用いるものであり、実証試験で採用すべき冷却システム構成については、2.4.3節にて検討する。

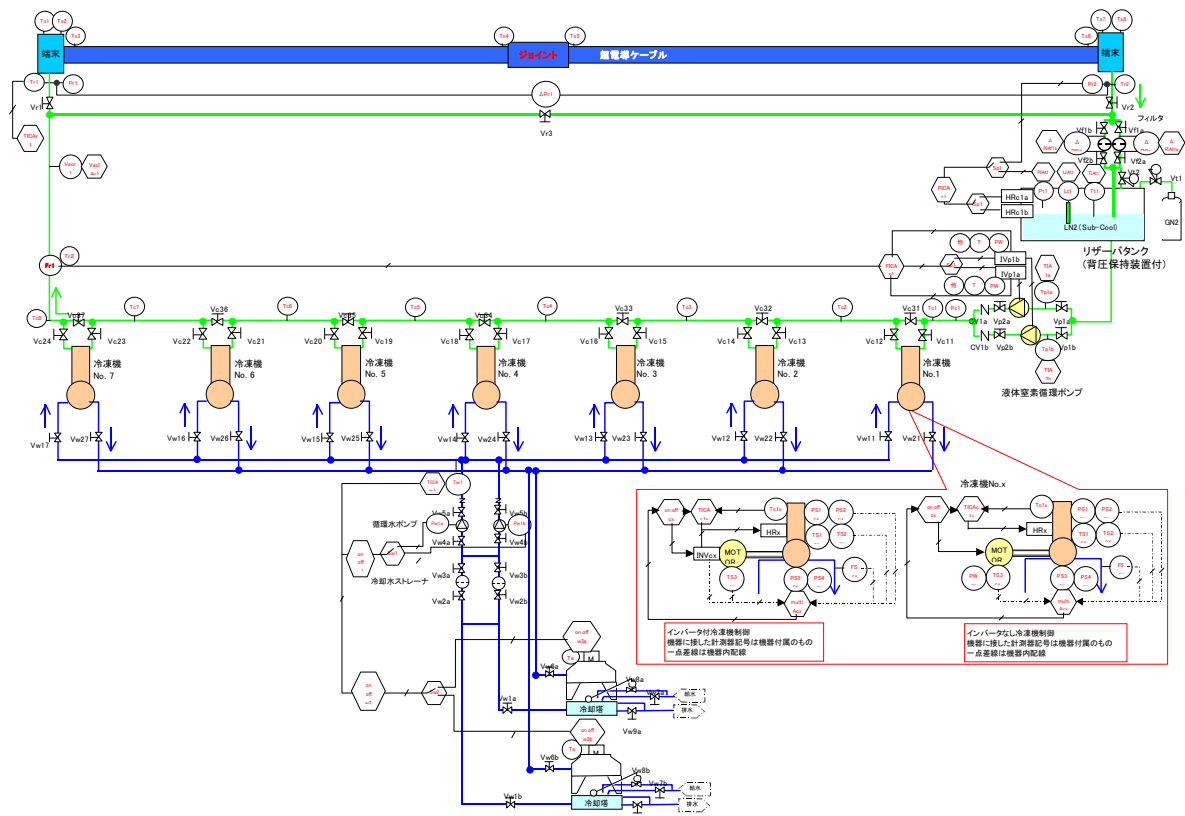


図 2.3.3-1 冷却システムモデル

図 2.3.3-1 の冷却システム概念としては加圧・過冷却状態の液体窒素を循環し、超電導ケーブルでの交流損失や機器・配管からの熱侵入などの熱負荷を冷凍機と液体窒素循環ポンプにより循環冷却するものである。液体窒素循環冷却システムを構成する機器としては、冷凍機、超電導ケーブル用端末、超電導ケーブル、液体窒素リザーバタンク、液体窒素循環ポンプ、極低温バルブなどが挙げられる。なお、液体窒素循環システムの他に、冷凍機を冷却するための、水循環システム（水冷却塔、水循環ポンプ、バルブなど）も備える。

図 2.3.3-2 に冷却システムの監視・制御についての概念図を示す。冷却システムの運転は液体窒素温度、冷却システム圧力、液体窒素循環流量を制御することにより行う。これらの運転・制御や冷却システムの監視を行うために、インバーター、温度計、圧力計、流量計、液面計、PID制御用コントローラー、ヒーターなどの機器を用いる。運転制御・監視・警報システムは各機器から温度、流量、圧力、液面などのデータを取り込んで、冷却システムの制御（運転・停止）や警報発報を行う。なお、運転制御・監視・警報システムには停電時のバックアップとして UPS を設置することを考えている。



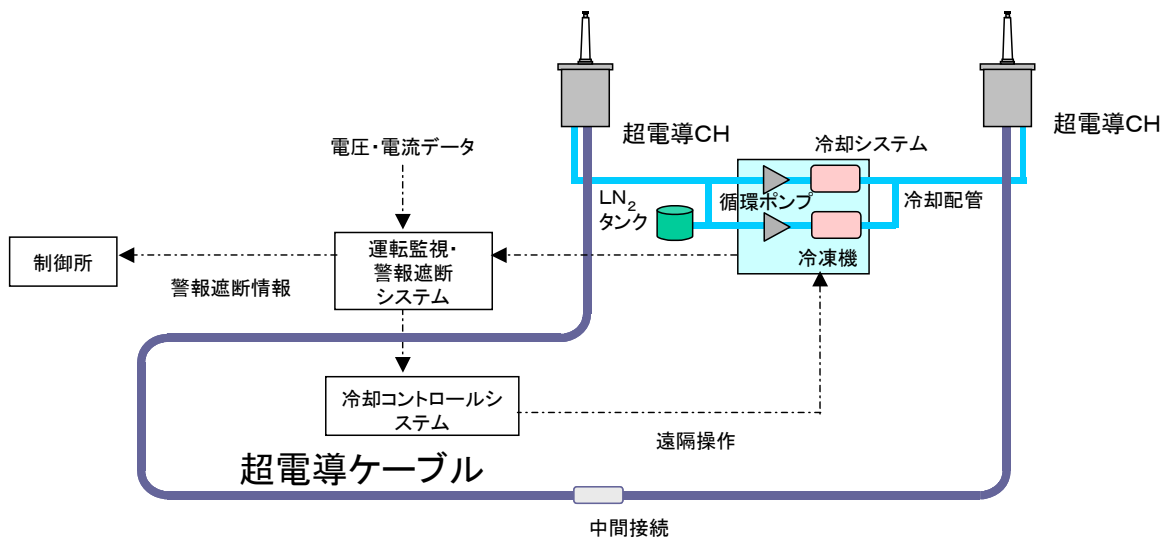


図 2.3.3-2 冷却システム運転監視制御概念図

### (3) 警報動作条件および警報動作時の対応方針の検討

図 2.3.3-1, 2 に示すような冷却システムを構成する機器が故障した場合でも、冷却システムは必要な冷却を継続して行うこと、または、循環冷却が継続できなくおそれがある場合でも、超電導ケーブルからバイパス回路への切替が可能な時間的余裕をもつこと、その上で冷却システムを安全に停止することが求められる。このため、冷却システムを構成する機器が故障した場合に、どのような故障モード(事象)が考えられ、故障の結果が冷却システムにどのような影響を及ぼすか、どのような結果として表れるか、という点を故障影響解析に用いられる FMEA (Failure Mode Effect Analysis) の手法を用いて分析を行った。分析は図 2.3.3-1 のモデル冷却システムにおいて、各機器が故障した場合を想定した。故障モード検討の分析・整理結果を表 2.3.3-1 に示す。

表 2.3.3-1 故障モード分析・整理結果

分類	機器	故障原因例	故障の結果生じる事象
超電導ケーブル	ケーブル断熱管・端末・中間接続部	機械的リーク, 溶接不具合	真空悪化→侵入熱増大→温度上昇, 圧力上昇
機器・配管・容器	冷凍機	コールドヘッド凍結防止用ヒータ異常(断線)	冷凍機停止
	液体窒素循環ポンプ	短絡, 地絡	液体窒素循環ポンプ停止
	極低温バルブ	シール劣化	真空悪化→侵入熱増大→温度上昇, 圧力上昇
	真空断熱配管		
リザーバタンク			
計測器	質量流量計	ピックアップコイル断線	データ表示不能
	圧力計	ひずみゲージ断線	圧力制御不能
	温度計	断線, 温度計素子故障	温度制御不能
	液面計	断線, 変換器故障	液面不明
制御機器(制御盤)	コントローラー(温度, 圧力)	コントローラーCPU・I/O不調	冷凍機停止, 圧力制御不能
	圧力制御用ヒータ	ヒータ断線	圧力制御不能
	リレー(冷凍機ヒータ用)	電源過電流	冷凍機停止
電源関係	UPS	制御系故障	停電時の制御系停止
冷凍機冷却用循環水	冷却塔, 循環水ポンプ	過電流	冷却水温度上昇→冷凍機停止

表中の故障原因は代表的な例を示したものであり、また故障の結果生じる事象については、通常の運転制御機構やバックアップ機能が働いた場合に加え、これらの保護機能では制御しきれないほどに故障が進展した場合なども考慮して記入を行った。例えば、超電導ケーブルのケーブル断熱管に機械的リークや溶接不具合があった場合には、真空層の真空度が悪化し、侵入熱の増大につながる。侵入熱が増大した場合には通常制御により冷凍機の出力を増やすが、冷凍能力を超えるほどの熱侵入となった場合には、最終的に温度上昇および圧力上昇につながるということになる。

表 2.3.3-1 には各機器の代表的な故障原因を挙げたが、実際の作業では表 2.3.3-1 に挙げる機器に関して総計 70 項目にのぼる故障モードを推定し、故障時の事象について検討した。これらの検討の結果、故障時の事象の中には、冷却システムの運転継続に重大な影響を及ぼすもの、あるいは冷却システムが運転停止に至ってしまうものがあることが判明した。そこでこれらの事象に対しては、自動でその機能を維持させるシステム構成、もしくは制御方式とすることで、冷却システムが極力自動運転を継続できるようにする。表 2.3.3-2 はこの考えに沿って、機器の異常事象に対する対応方針をまとめたものである。

表 2.3.3-2 異常事象と対応方針

分類	事象	対応方針
機器	冷凍機異常停止時	予備冷凍機へ自動切替
	液体窒素ポンプ異常停止時	予備液体窒素ポンプへ自動切替 (常用・予備切替運転の場合)
計測器	圧力制御用圧力計不調時	予備圧力計へ自動切替
制御機器	圧力制御用ヒーター不調時	予備ヒーターへ自動切替
	計測線断線時 (温度制御用温度計)	コントローラーは上限または下限値と判断し、バーンアウト信号を発生しシステムを安全方向へ自動制御する
電源	停電時	UPSによる制御・計測系の電源バックアップ

例えば、冷凍機や液体窒素循環ポンプが異常により停止した場合には、予備機を自動起動することにより、冷却能力の低下を防ぐ。なお、液体窒素循環ポンプについては交互運転（常用・予備機運転）を行った場合を想定している。液体窒素循環ポンプ交互運転の場合には運転中のポンプが停止した場合に、予備機側のポンプを起動することとなるが、一方、並列2台同時運転中で、1台異常停止した場合には運転中の健全ポンプにより自動に必要な流量を流すことができる。ただし、循環ポンプ2台を並列同時運転時のポンプ特性についてのデータが不足しており、現時点で、このような運転方法が採用可能かどうかを判断することが困難である。このため、現在実施中の30mケーブルシステムによる事前検証試験に引き続いて冷却システムの特性評価試験を実施し、この中で2台のポンプの最適運転方法について検討する予定である。

計測器・制御機器の故障のうち、圧力制御に関しては、圧力計あるいは圧力制御用ヒーターの故障が考えられる。これらの故障が生じた場合、圧力制御不能となり、冷却システムの圧力低下または圧力上昇につながる可能性があることから、それぞれ予備器への自動切り替えが必要である。なお、温度制御に関しては、温度計が故障（計測線断線）した場合に、コントローラーで上限もしくは下限と判断して、バーンアウト信号を発生し、システムを安全方向へ制御する。安全方向への制御例としては、冷凍機全台運転が考えられる。冷凍機が全台運転すると、冷却能力が、熱負荷を上回ることになるが、その際は、冷凍機コールドヘッドの凍結用防止ヒーター稼働するため、液体窒素の固化に至ることはない。

なお、旭変電所での実証試験時には今後の検討により、自動制御について変更する可能性があるが、それぞれの自動制御について、旭変電所での実証試験までに冷却システムの特性評価試験の中で検証を行い、その制御性・有効性などの確認を行う予定である。

機器に故障や異常が発生した場合には、監視者へ異常を通報する。まず、初期段階として、「軽故障」として設備の異常を知らせることとする。「軽故障」レベルの異常が発生した場合には、通常の冷却システムの制御や上述した自動制御などにより、システムを安定・安全な方向へ制御することを行うが、異常が急激に進展した場合や、自動制御がうまく機能しない二重故障などの場合には、超電導ケーブルでの送電ができないおそれがあることから、最終段階として「重故障」警報を発報することとする。「重故障」レベルを設定する目安は、旭変電所においては超電導ケーブルでの送電をあきらめ、ただちにバイパス回路へ送電を切り替えるような状態を考えている。なお、誤報防止のため、「重故障」警報発報はセンサーを複数用意しておいて、例えば3つのセンサーのうち、2つのセンサーによる測定値が異常レベル設定値を超えた場合に警報を発報するような多数決方式のシーケンスとするのがよいと考えられる。

「重故障」警報を設定する異常状態としては、表 2.3.3-3 に示すような故障モードを想定している。具体的には液体窒素温度上昇、圧力異常上昇、圧力異常低下、UPS容量低下の4つである。

表 2.3.3-3 「重故障」として分類する異常種別と故障事象

	異常	故障事象
重故障	液体窒素温度異常上昇	①故障発生→②発熱→③熱負荷増大→④冷凍機出力増 →⑤発熱(熱負荷)>冷凍能力→⑥液体窒素温度異常上昇→⑦臨界電流値低下
	圧力異常上昇	①故障発生→②圧力上昇傾向→③圧力調整弁による減圧制御 →④圧力上昇傾向>減圧制御→⑤圧力異常上昇→⑥安全弁動作
	圧力異常低下	①故障発生→②圧力低下傾向→③圧力制御用ヒータ出力増 →④圧力低下傾向>圧力制御用ヒータ能力→⑤圧力異常低下 →⑥主絶縁層(PPLP+LN <sub>2</sub> )絶縁特性低下
	UPS容量低下(停電時)	①停電発生→②UPSによる制御・計測回路バックアップ→③UPSによる給電 →④UPS容量低下→⑤UPS断・制御・計測・警報発報不能

1 つめの液体窒素温度上昇については、超電導ケーブルの臨界電流値低下、2 つめの圧力異常上昇は（高圧ガス）安全弁の動作、3 つめの圧力異常低下は超電導ケーブルの主絶縁層の絶縁性能の低下、4 つめのUPS容量低下は冷却システムの制御・計測・警報発報の不能をそれぞれ招き、超電導ケーブルの運転に重大な影響を及ぼすものである。

なお、液体窒素循環流量異常低下については、冷却不能となる点、超電導ケーブルの温度上昇を把握できない点などから、「重故障」としたほうがよいのではないかとの議論があるが、現段階では液体窒素の温度異常上昇により代替することを考

えている。なお、「重故障」「軽故障」の分類に関しては今後実施する冷却システム  
の特性評価試験の結果等もふまえて、最終的な分類を確定することとしている。

#### (4) 異常（故障）発生時の対応フロー検討

実証試験時に故障が発生した場合についての対応フローについて、「重故障」「軽  
故障」それぞれについて図 2.3.3-3、2.3.3-4 に、旭変電所での実証試験時に異常  
が発生した場合の対応・連絡体制を図 2.3.3-5 に示す。

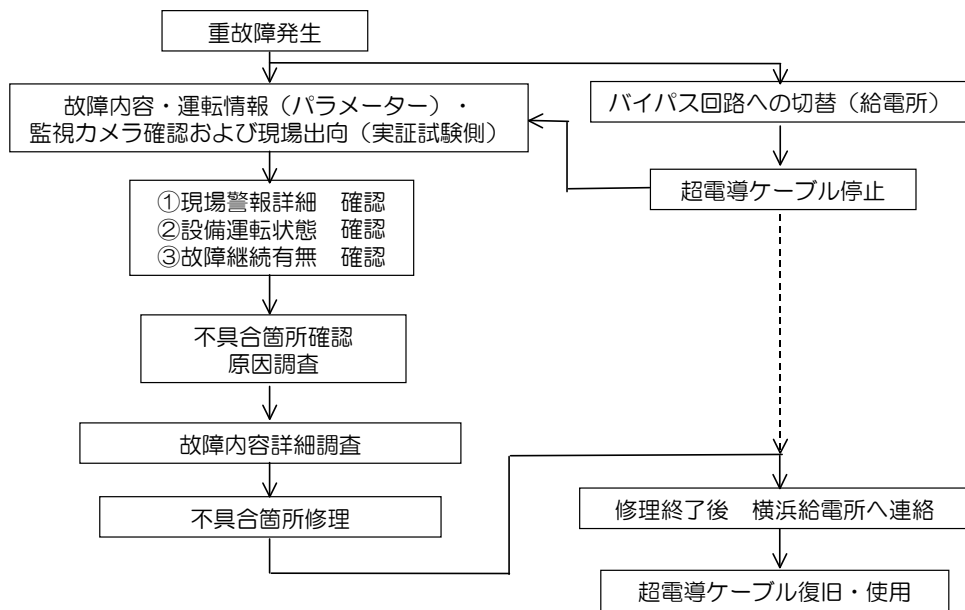


図 2.3.3-3 重故障発生時の対応フロー

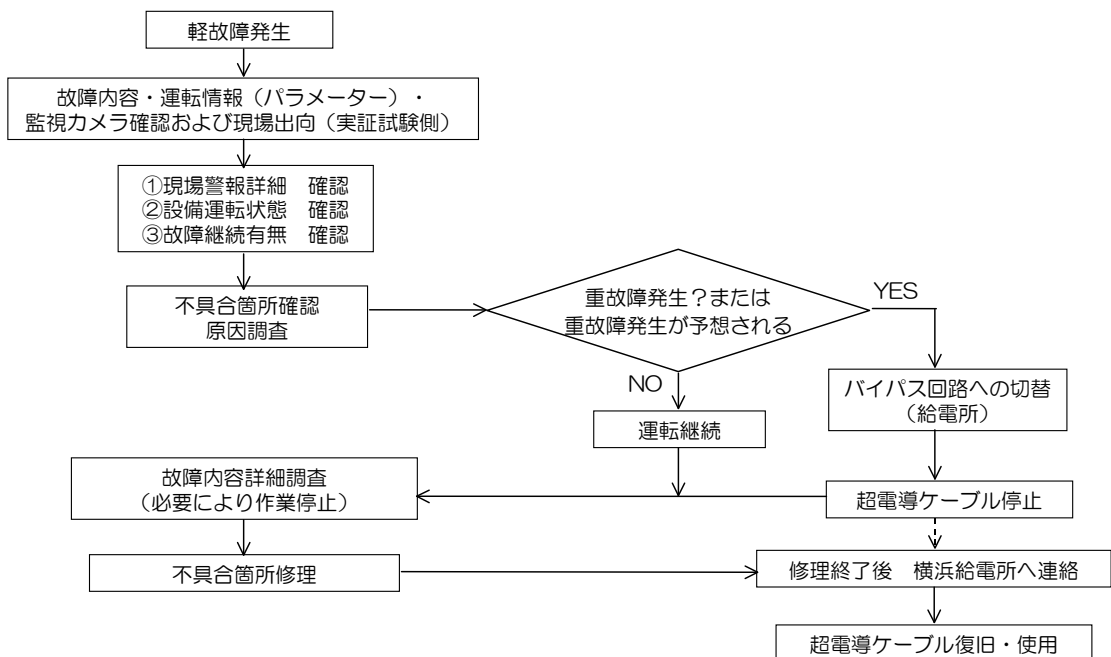


図 2.3.3-4 軽故障発生時の対応フロー

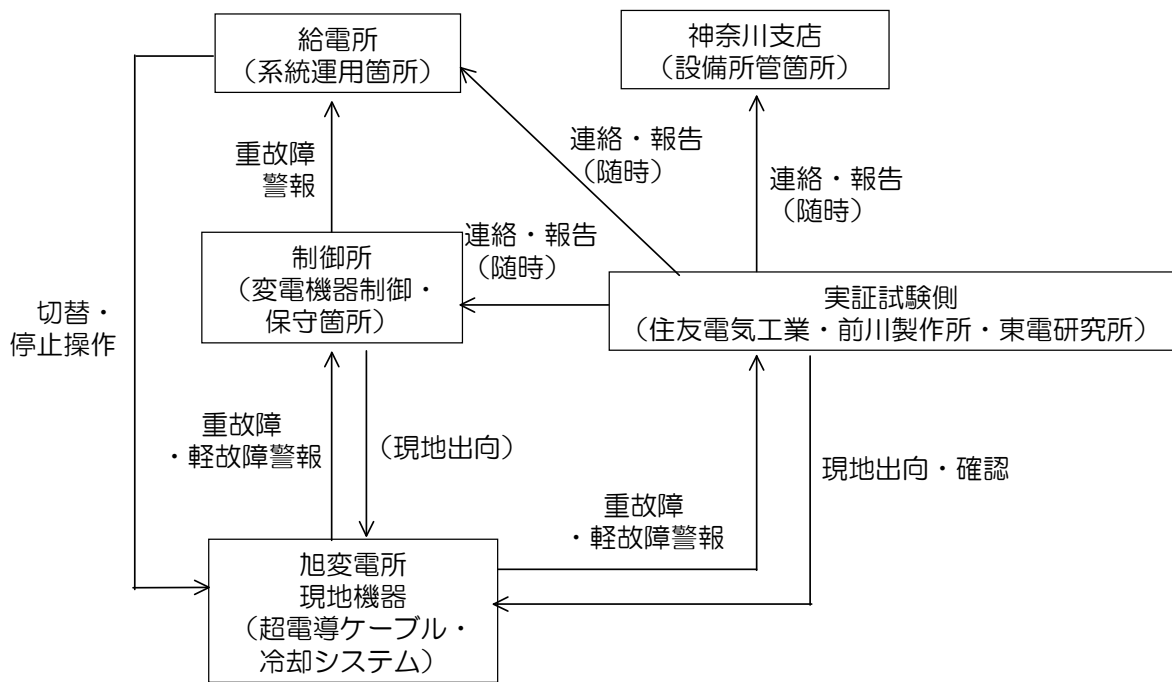


図 2.3.3-5 異常発生時の対応・連絡体制

「重故障」警報が発生した場合には直ちにバイパス回路への切替を行うとともに、現地出向し、現場警報詳細、設備運転状態、故障の継続有無などを確認する。不具合箇所が特定でき原因調査および修理が終われば、超電導ケーブルの復旧・使用が可能である。

一方、「軽故障」警報が発生した場合には、バイパス回路への切替はなく、現地出向を行い、現場警報詳細、設備運転状態、故障の継続有無などを確認するが、この間にも故障（異常）が進展して、「重故障」警報が発生または発生が予想される場合には、超電導ケーブルからバイパス回路への切替を行うことを予定している。

異常モード検討に関しては、現在実施している 30 m 検証システムでの評価を行うとともに、事故解析に用いられる FTA (Fault Tree Analysis) ベースでの検討を実施し、FMEA ベースでの検討結果と突き合わせを行うことで、現地での対応手順・故障復旧手順の作成につなげていくこととする。

## 2.3.4 保守・メンテナンス技術の開発

### 2.3.4-1 保守・メンテナンスすべき項目

超電導ケーブルシステムの各構成要素毎に保守・メンテナンスすべき項目について調べた。尚、警報システム、遮断システムなどは超電導ケーブル特有のものではなく、従来機器にて十分に保守・メンテナンスの必要性、手法が検討されていると考えられ、ここでは、超電導ケーブルと冷却システムについて項目を調べ、その結果を表 2.3.4-1 に示す。

超電導ケーブル部については、ケーブルの構成要素である超電導線、電気絶縁材料、断熱管等については、極低温に維持される部分は酸化劣化などの心配はなく、特にメンテナンスする必要はないと考えられる。常温部についても、ステンレスシース、防食層など従来ケーブルと同じ材料を用いており、特別なメンテナンスの必要はない。液体窒素については、OF ケーブルの油と同じ考え方で、その絶縁特性の低下が危惧されるが、油のように酸化劣化する要素はなく、今のところ不明である。今後の研究で液体窒素の取替など保守が必要か否か明らかにしていきたいと考える。

ケーブルの断熱管の真空度については、徐々に悪くなる傾向にあり<sup>4)</sup>、悪くなった時点でメンテナンスする必要がある。端末、ジョイントについてもケーブルと同様で、真空度については、途中でメンテナンスが必要になると考えられる。その期間については、今後の研究で明確にしていく。

冷却システムについては、冷凍機、ポンプ、水冷システムなど回転機を使用している箇所があり、この部分については定期的にメンテナンスする必要がある。

その他、温度、圧力、流量を計測しているセンサー、機器については、メーカーの仕様に依じて、メンテナンスの必要があれば実施するものとする。

表 2.3.4-1 メンテナンスが必要と予想される項目

部位	項目
超電導ケーブル	断熱管の真空度
ジョイント、端末	真空層の真空度
冷却システム	冷凍機 循環ポンプ 冷却塔
計測センサー、機器	温度計 圧力計 流量計 真空計

## 2.3.4-2 冷却システムのメンテナンス

### (1) メンテナンスの目的

冷却システムを構成する機器の内、故障した場合冷却システムの稼働に甚大な影響を及ぼす機器については予備機を用意するなど冗長性を確保すると共に、定期的なメンテナンス(整備、保守、監視、点検、手入れ)を実施して機器の故障を未然に防ぐと共に、寿命を延ばす対策が重要である。今回の冷却システムに関し、これに該当すると考えられる機器は稼働部分を有するスターリング冷凍機、液体窒素循環ポンプおよび冷却塔である。

極低温機器であるスターリング冷凍機と液体窒素循環ポンプのメンテナンス間隔はそれぞれ 8,000 時間と 5,000 時間であり 1 年間(およそ 8760 時間)の連続運転を実施する実証試験中にそのメンテナンス時間を超えてしまうため、メンテナンスを実施する必要がある。冷却塔は汎用品でありメンテナンスに関しても十分な経験と実績を有しており、基本的には点検と清掃を適切に行えば 1 年間の運転は十分に行えるものである。

### (2) 冷凍機メンテナンス

冷凍機の作動ガスであるヘリウム中に潤滑油が混じると低温部で固化することから常温部と低温部はダイヤフラムで仕切られ貫通部にはオイルセパレータが設置されている。メンテナンスはこの稼働部、および熱交換器部となる。表 2.3.4-2 にその内容を記す。

表 2.3.4-2 スターリング冷凍機メンテナンス項目

推奨メンテナンス時間	8000[時間]	
メンテナンス内容	シール部品	交換
	蓄冷器	交換
	ヘリウムガス	交換
	オイル	交換
	機内ベーキング処理	

### (3) 循環ポンプのメンテナンス

循環ポンプの運転時間は 5,000 時間であり、5,000 時間ごとにベアリングの点検、交換が必要である。

### (4) 冷却水循環システムのメンテナンス

前述のとおり冷却塔は汎用品であり十分な実績を有す。そのためメンテナンスに関しても豊富な情報を有する。表 2.3.4-3 に冷却塔のメンテナンス項目の一例を示す。適切なメンテナンスを行えば 2 年間は部品の交換を行う必要がないことが分かる。



表 2.3.4-3 冷却塔のメンテナンス項目

機器名	部品名称	点検	清掃	点検・清掃	交換時期															交換
		月1回	月1回(※)	年1回	1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年	11年	12年	13年	14年	15年	
本体	上部水槽	○	○																○	損傷による
	下部水槽	○	○																○	〃
	点検歩道			○															○	〃
	点検扉			○															○	〃
	充填材			○															○	〃
	散水充填材			○															○	〃
	コイル			○															○	〃
	ストレーナー	○	○						○										○	〃
	ボールタップ	○							○										○	〃
	骨材			○															○	〃
	配管			○															○	〃
	側板			○															○	〃
	ルーバー			○															○	〃
	タラップ			○															○	〃
	配水弁			○															○	〃
ポンプ		○						○		○		○		○		○		○	○	メカシールは水漏れの都度交換 20000時間毎にベアリング交換 使用頻度により異なる
送風機	グリスアップ(給油式)	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1000時間毎に給油 使用頻度により異なる
	軸受け(ベアリング)	○				○		○		○		○		○		○		○	○	20000時間毎にベアリング交換 使用頻度により異なる
	モーター(ベアリング)	○				○		○		○		○		○		○		○	○	20000時間毎に給油 使用頻度により異なる
	翼、羽根ピン			○															○	使用頻度により異なる
	円盤			○															○	〃
	ブーリー			○						○						○				〃
	ファンベルト	○				○		○		○				○		○				〃
	ベルトカバー			○															○	〃
ドラム			○															○	〃	
保護金網			○															○	〃	

(※)冷却塔2000時間運転、1000時間停止を基本とするが、停止時の点検・清掃を行えば故障や能力の低下の可能性は少ない

### 2.3.5 まとめ

#### (1) 実証場所での系統特性調査

- ・超電導ケーブルのメリットとして、抵抗がゼロであることから損失を小さくすることができ、インピーダンスが小さく系統安定度向上に寄与できる、サージインピーダンスローディングが大きく大電流送電に適する、などを確認した。
- ・実証場所である旭変電所で予想される短絡電流および継続時間は、事故直後の課電通電が「無」となる場合は0～31.5 kA-2 sec および0～10 kA-3 sec、課電通電が「有」となる短絡事故は0～10 kA-2 sec の範囲であることが計算により判明した。
- ・実証場所でのサージ電圧は、EMTP 解析の結果 LIWV (雷インパルス耐電圧) : 350 kV よりも小さいことが判った。

#### (2) 平常時の運転技術開発

- ・常時運転については、冷却システムで超電導ケーブルの温度、圧力、流量を制御することが重要で、それぞれの制御指針を示した。
- ・温度制御については、冷凍機の ON/OFF 運転を志向しており、ケーブル入口温度±1K 程度で制御できることをシミュレーションにて示した。
- ・圧力制御については、ヒータを用いた制御方法を試行しており、さらに実験を続けていく。

#### (3) 事故時の運転技術開発

- ・異常時の運転においては、まずは超電導ケーブルシステムに異常が起こった場合の想定される故障モードについて整理を行い、対応案について検討した。
- ・警報については重故障と軽故障に分類し、重故障の場合は送電を常電導ルートに切り替えることとする。

#### (4) 保守・メンテナンス技術の開発

- ・保守・メンテナンスについては、超電導ケーブルの各部でメンテナンスに必要な項目を整理した。
- ・冷却システムについては、冷凍機、循環ポンプ、冷却水の冷却塔が定期的にメンテナンスが必要である。

## 引用論文リスト

- (1) 飯塚喜八郎 監修、“新版・電力ケーブル技術ハンドブック”、電気書院 (1989) 79-80
- (2) T. Masuda, M. Hirose, S. Isojima, S. Honjo, Y. Takahashi, and H. Suzuki: “Verification tests of a 100m High-Tc Superconducting Cable”, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2201: Asia Pacific, Conference Proceedings, Vol. 2, pp. 1298-1303 (2002)
- (3) 大岡登, 前川定雄 “標準電気機器講座 変圧器”、東京電気大学出版局 (1968) 1712-1717
- (4) 増田等、「3 心一括型超電導ケーブルの開発」、電気学会 B 部門誌 126 巻 8 号 (2006)

## 2.4 実システムにおける総合的な信頼性の検証

### 2.4.1 信頼性検証のための試験計画の立案

#### (1) 研究開発目的

現在使用されている CV ケーブルなどの従来ケーブルは、それらが実システムでの長期使用に耐える特性を有しているかを検証・確認することを目的として、開発段階で実施される開発試験、ケーブル出荷段階で実施される出荷・受入試験、ケーブル布設後の最終確認として実施される竣工試験が行われ、すべてに合格することが求められる。超電導ケーブルは従来ケーブルと同等の機能を有することが求められることに加え、超電導ケーブル特有の機能の健全性を確認することも必要となる。

そこで、超電導ケーブルが実システムでの長期使用に耐える特性を持つことを確認するための試験項目およびそれらの実施時期や実施方法などの試験計画について検討する。

#### (2) 試験項目一覧

このプロジェクトでは、目標に沿って設計した超電導ケーブルを用いて、先ず試験場での検証試験（ケーブル長 30 m）を行い、その結果を評価した上で、実システムでの連系試験を実施する。

試験法の策定にあたっては、将来の実用化製品に対する試験項目及び試験条件を検討することを目指しているが、超電導ケーブルの絶縁破壊データ等、十分な基礎データが取得されていないこともあり、その限界性能や諸特性を言及するにはデータ不足が否めない。今回の検討に際しては、その点を十分に考慮の上、足りない要素については OF ケーブルと CV ケーブルに代表される既存のケーブルでの考え方をもちって補うものとする。

選定した試験項目は表 2.4.1-1 の通りである。試験項目 1 番から 18 番は既存ケーブルの試験項目に準じて選出したものである。また、試験項目 19 番から 34 番は超電導ケーブル特有の試験である。

表 2.4.1-1 超電導ケーブル試験項目一覧表

No.	項目	要素試験	30m出荷試験	30m試験	実証出荷試験	実証竣工試験	残存性能試験
1	商用周波長時間耐電圧試験	●	●		●		●
2	長期課通電試験			○			
3	商用周波耐電圧試験	●		○(2の後)			
4	雷インパルス耐電圧試験(絶縁体)	●	●	●(2の後)	●		●
5	雷インパルス耐電圧試験(保護層)			●	●		●
6	出荷耐電圧試験		●		●		
7	部分放電試験	●	●	○	●		●
8	絶縁耐力試験			○		○	
9	外観点検	○	○	○	○	○	○
10	静電容量試験	●(室温、低温)	○(室温)、●	○	○(室温)、●	○	●
11	誘電正接試験	●	●	○	●	○	●
12	絶縁抵抗試験		●(室温)	○	○(室温)	○	○
13	直流耐電圧試験(シース)		○		○		○
14	導体抵抗試験(フォーム)		●(室温)	○(室温)	○(室温)	○(室温)	
15	構造試験		●		●		●
16	曲げ試験	●	●		●		
17	極度曲げ試験	●(参考)					
18	プーリングアイ試験	●					
19	I <sub>c</sub> 測定(導体、シールド)	●	●	○(導体のみ)	●	○(導体のみ)	●
20	交流損失測定	●	●	○(ΔT)	●		●
21	断熱管侵入熱測定	●(参考)		○(参考)		○(参考)	
22	断熱管側圧試験	●(参考)					
23	引張り、圧縮試験	●(参考)					
24	短絡試験(31.5kA)	●					
25	短絡通電試験	●					
26	短絡課電試験	●					
27	ケーブルコア側圧試験	●					
28	耐圧力試験		■(室温)	■(室温)	■(室温)	■(室温)	
29	気密試験		○(室温)	○(室温)	○(室温)	○(室温)	
30	真空リーク試験		○(室温)	○(室温)	○(室温)	○(室温)	
31	布設模擬試験	●					
32	圧力損失測定			○(参考)		○(参考)	
33	インダクタンス測定	●(参考)	●(参考)		●(参考)		
34	液体窒素性能検査						●(参考)

- サンプル or モデル試験
- 全長試験
- 部品での試験

: 既存ケーブルを考慮した試験  
 : 超電導ケーブル特有の試験

### (3) 主な電気試験の試験条件

絶縁紙と液体窒素による複合絶縁方式である超電導ケーブル絶縁破壊メカニズムは、絶縁紙のギャップでの部分放電に起因し絶縁破壊が発生する OF ケーブルの破壊メカニズムと類似していると考えられることから、「JEC-3401-2006 OF ケーブルの高電圧試験法」に準拠して試験条件を検討した。主な電気試験として次の 4 つの試験、長期課通電試験、商用周波耐電圧試験、商用周波長時間耐電圧試験、雷インパルス耐電圧試験(絶縁体)についての試験条件を表 2.4.1-2 の通り設定した。

表 2.4.1-2 主な電気試験の試験条件

試験項目	OFケーブル (JEC-3401(2006))	超電導ケーブル (30m検証ケーブル)
形式試験 商用周波長時間耐 電圧試験 (サンプル)	$Vac = \frac{Um}{\sqrt{3}} \times K1 \times K2 \times K3$ Um: 最高使用電圧72kV、 K1: 時間係数 (30年/3時間) $\sim (1/n)$ 、n=30 K2: 抜き取り試験に対する安全率 1.1 K3: その他係数 1.25 Vac=90kV @ 3時間	左記計算式において計算 超電導ケーブルのnについては、S-GMが n=49が報告されているが、データ数が少ない ために、厳しい側としてOFケーブルで使わ れているn=30を使用した。 Vac=90kV @ 3時間
開発試験 商用周波耐電圧試 験 (サンプル)	試験電圧 $V=Um \times C1 \times K3$ $C1=k1 \times k2 \times k3 \times k4$ k1: 1線地絡時の健全相の電圧上昇倍率=1.0 @ 66kV k2: 時間換算係数=(2/600) $\sim (1/n)$ : n=20短時間領域 k3: 負荷遮断時の電圧上昇係数=1.35 @ 66kV k4: 機器の耐電圧試験裕度 =1.14 K3: 不確定要素に対する裕度=1.1 V=100kV @ 10分	K2の値は未確定 厳しい側で考え、120kVとする。
開発試験 雷インパルス試験 (サンプル)	試験電圧=LIWV $\times K2' \times K3'$ =425kV LIWV=350kV (66kV級) K2': 温度係数1.1 (常温) K3': 裕度 1.1 回数: $\pm 3$ 回	左記計算式において、温度係数は温度変化が 小さいため、K2'=1.0として計算 試験電圧 385kV @ $\pm 3$ 回
開発試験 長期課通電試験 (全長30m)	試験期間=30年/2 <sup>M</sup> $M = (\text{試験温度} - \text{基準温度}) / T$ 02~1.5年 試験電圧 (例) $= (30\text{年}/\text{試験期間}) \sim (1/n) \times Um / \sqrt{3} = 48\text{kV}$ 試験期間0.5年、n=30、Um=72kV@66kV 通電条件: 当事者間で協議	試験期間については、試験スケジュールを 考え1ヶ月とする。 n=30、試験期間1ヶ月の時 V=51kV (30m全長試験) 通電条件: 8時間ON, 16時間OFF(協議中)

#### (4) V-t 特性での寿命指数 n の考え方

長期にわたる絶縁破壊強度特性である V-t 特性において、最も重要な指数は寿命指数 n である。n 値が大きいほど長期にわたる絶縁破壊強度の低下が少なく、試験電圧は低くなる。逆に n 値が小さいほど経年劣化が大きいいため試験電圧は高くなる。

超電導ケーブルの n 値については、過去に Super-ACE のプロジェクトにおいて、n=49 という値が報告されているが、試験方法が特殊で大量の試験数を実施するのが困難なこともあり、統計的に十分な数のデータが取得されているとはいえない。そこで今回の実証試験においては、より厳しい側の数値として、OF ケーブルで使用されている n=30 を採用した。

ただし、商用周波耐電圧試験については n=∞とし、結果として試験電圧は 120 kV と設定する。(前述の n=49 の場合の試験電圧 108.5 kV より安全サイドである。) ここで商用周波耐電圧試験とは、短絡電流通電 (2 秒) を試験時間 10 分での課電に換算し、絶縁性能を確認する試験であり、他の電気試験とは反対に、n 値が大きいほど試験電圧が高くなる。

#### (5) 雷インパルス耐電圧試験の温度係数の考え方

ケーブルコアの温度は冷却システムの管理下にあり、その最大値であっても劣化をもたらす温度ではないため、温度係数による電圧設定の裕度を勘案する必要がない。このため、表 2.4.1-2 の OF ケーブルの雷インパルス試験にある温度係数 (K2')

は 1.0 とし、超電導ケーブルでは 66 kV 級 LIWV の 1.1 倍である 385 kV とした。

#### (6) 絶縁耐力試験の試験条件

絶縁耐力試験は、電気設備技術基準の解釈 14 条「電路の絶縁抵抗及び絶縁耐力」に基づいて実施する。最大使用電圧が 60,000 V を超える中性点接地式電路に該当し、試験電圧は下記①②のうちどちらかを選択し、電路と大地の間に 10 分間課電して行う。

① 交流電圧 75.9 kV (系統最大電圧 69 kV×1.1)

② 直流電圧 151.8 kV (系統最大電圧 69 kV×1.1×2)

また、「日本電気技術規格委員会規格 JESC E7001(1998) 電路の絶縁耐力の確認方法」において、特別高圧の既存 OF, CV ケーブルの絶縁耐力の確認方法として常規対地電圧課電による方法が掲載されているが、超電導ケーブルについては、新技術のため該当する電気規格調査会標準規格 (JEC) が無く、これまでの輸送と現地組立の実績が少ないことから、その対象にはならないとした。ただし、将来しかるべき理由を伴ってその対象とできる場合にはその限りではない。

#### (7) まとめ

既存の OF ケーブルおよび CV ケーブルの試験法を参考にしつつ、将来の実用化を見据えて超電導ケーブルで実証すべき試験項目、試験方法などを検討した。さらにこれらの試験法を今回の実証試験のいずれの段階で実施するかの試験計画を策定した。この試験計画に基づいて各種要素試験や 30m ケーブルを用いた事前検証試験を推進している。

#### 引用論文リスト

- (1) 鈴木寛 他、“低温絶縁超電導ケーブルの絶縁設計とその実証”、電学論 B, 126 巻 4 号 (2006) 441-451
- (2) “JEC-3401-2006 OF ケーブルの高電圧試験法”、電気学会 電気規格調査会 標準規格

## 2.5 超電導ケーブルの適用技術標準化の研究

### 2.5.1 高温超電導ケーブルの標準化の研究

#### (1) 研究目的

高温超電導ケーブル実用化の促進のためには、技術的な課題や保守・メンテナンス方法の確立等の研究を進めると同時に、標準化に向けての研究も平行して推進していくことが重要である。

高温超電導ケーブル標準化に向けては、現在使用されている CV ケーブル、OF ケーブルでの標準化に向けての活動が参考になるが、CV ケーブル等については、使用電圧や導体断面積、絶縁材料等が各国によって異なることから、物品としての規格標準化は困難であり、日本では電気学会電気規格調査会標準規格 (JEC: Japanese Electrotechnical Committee) によりその試験法のみが定められている。国際標準としては、国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission) が定めた IEC 規格が存在する。高温超電導ケーブルの標準化としては、CV や OF といった既存ケーブルと同様に、試験法に限定するのが妥当と考えられる。本プロジェクトにおいては、主に試験内容について海外技術開発動向も踏まえつつ、素案作成ならびにデータ収集・整理を実施する。

#### (2) 試験項目の抽出と標準化項目の作成

超電導ケーブル試験項目として、通常の CV ケーブル等と内容が等しいかあるいは一部条件を変更している項目と超電導ケーブル独自項目に分類した上で 2.4.1 節表 2.4.1-1 の内容を現在抽出している。超電導ケーブル独自項目については、過去国内外で実施されたプロジェクトでの試験内容等を考慮に入れて精査を行い、2.1.4 に記述した「30m ケーブルシステム」を用いて試験内容ならびに標準化項目としての妥当性確認を実施している。

#### (3) 国際標準化に向けての推進体制

上記に示すような試験項目抽出・標準化項目作成を実施するとともに、国際標準化活動との連携に努めている。超電導ケーブルの標準化にあたっては、日本が超電導ケーブル技術の国際的イニシアティブを取り、国際標準化を戦略的に推進するため、国内のアドホック委員会を平成 19 年 5 月発足させた。アドホック委員会委員長に東大・大崎先生、委員として通常ケーブルの標準化活動に携わっている専門家、具体的には IECTC20 国内委員、超電導ケーブル関連推進者、経済産業省、事務局として社団法人日本電線工業会、(財) 国際超電導産業技術研究センターを加えたメンバー構成としている。

#### (4) 標準化に向けた活動状況

標準化活動状況に関するスキームについて図 2.5.1-1 にまとめた。



**我国が国際的イニシアティブを取るべく、産官学連携して、国際標準化へ取り組み中**

**【IEC関連活動】**

・IEC国内委員会 (TC20&90)を中心にアドホック委員会を設立 (H19/5月)



CIGREに検討要請

**【CIGREの活動】**

・SC-B1内にTFを設置、依頼を取り上げるか否か検討 (H20/10～H21/9)? 賛成で可決  
・超電導ケーブル試験法に関する可能性について、WG内で3年間検討する (H21/9月)



**本プロジェクトの貢献内容**

- ・試験法に関して整理
- ・30mケーブル試験での試験方法の検証、試験結果の妥当性の確認
- ・国内委員会、CIGRE委員会への情報提供



**IEC内の審議を経て、国際標準化へ**

図 2.5.1-1 高温超電導ケーブル標準化に関連するスキーム

超電導ケーブル国際標準化の年次目標としては 2012 年を設定し、これに向けてアドホック委員会を中心として国際標準化への戦略を進めてきた。IEC 国内委員会との情報共有の中で、国際標準化提案の段階へ進んだ際には CIGRE (国際電力大会議) との協調が必要ではないかとの意見があった。TC20 国際委員でも同様の意見があり、結果として高温超電導ケーブル標準化に関する手続きの進め方については、IEC Technical Committee 20 (以下 TC20 と略) 議長は一般的な絶縁ケーブルと同様の手続きで進めるべきと判断し、CIGRE へ技術サポート協力を依頼する方針を決定した。この内容については、以下のように IEC TC20 国際委員会にて承認されている。

「超電導ケーブル標準化については、数年前に CIGRE WG が存在していたこともあり、CIGRE WG を再度設立すべきかを判断するタスクフォース (以下 TF と略) を立ち上げ、TF 検討結果により今後の進め方を定める」

TF B1.31 は米国・カナダ・フランス・ドイツ・韓国・イタリア・オランダ・日本の 8 カ国で構成され、議長は米国サウスワイヤー社 Lindsay 氏、Secretary に住友電工磯嶋氏と決定した。タスクフォースの期間は平成 20 年 10 月から 1 年間と設定された。

この決定に則し、アドホック委員会では、日本 CIGRE 委員会国内委員を通じて TF を支援が可能なようサポートを行う体制を整備し、さらに日本 CIGRE 国内委員会の委員長である JPS 片貝氏に適宜アドホック委員会出席を依頼し、タイムリーな情報交換を実施した。TF への情報提供としては、議長より日本国内での超電導ケーブル試験法実績報告が求められたため、Super-ACE500m ケーブル、住友電工/東京電力 100m 実証試験、米国オーバニープロジェクト、横浜プロジェクトでの試

験内容について情報提供を実施した。これらを元に作成されたこれまでの高温超電導ケーブル試験内容については表 2.5.1-1、2 に示す。

平成 21 年 9 月 CIGRE SC-B1 定例会議（於：ポーランド）において TF の検討結果を受けて WG 発足が承認された。期間は 3 年間と設定され、今後の標準化作業はこの WG 実施内容を中心に推進していくこととなる。

表 2.5.1-1 既実施の高温超電導ケーブル試験内容一覧（開発・工場試験）

Development or Type Tests	Sumitomo	Nexans	Russia VNIKP	Furukawa	Southwire /nktc	LS Cable
Test						
DC Ic	•	•	•	•	•	•
n-value		•			•	•
AC withstand	•	•	•	•	•	•
BIL	•	•	•	•	•	•
PD	•	•		•	•	•
tan-delta	•	•		•	•	•
bending	•	•		•	•	•
AC withstand on bent cable		•			•	
Ic of bent cable		•		•	•	
n-value of bent cable		•			•	
conductor resistance				•	•	
load cycle		•		•		•
DC voltage						
AC Loss	•	•	•	•	•	•
Short circuit			•	•	•	•
inductance	•					
capacitance	•	•		•	•	•
sheath voltage	•			•	•	
insulation resistance	•			•	•	•
visual inspection	•	•		•	•	•
cable pulling	•	•		•	•	•
cable thermal contraction	•			•	•	•
cryostat - heat leak	•	•		•		•
cryostat - side wall pressure	•	•		•		•
vacuum leak check	•	•	•		•	•
pressure test	•	•	•	•	•	•
pressure drop	•	•	•	•	•	•
<b>Factory - Sample Tests</b>						
Test						
AC withstand	•	•		•	•	•
BIL	•	•		•	•	•
PD	•	•		•	•	•
Capacitance	•	•		•		•
Inductance	•					
tan-delta	•	•		•		•
DC voltage	•					
sheath voltage	•			•		
insulation resistance	•			•		
conductor resistance				•		
cable bending	•	•				•
pulling eye test	•					
visual inspection	•	•		•	•	•
DC-Ic	•	•		•	•	•
AC Loss	•			•		•
cable pulling	•					
cable thermal contraction	•					•
Short circuit current	•					•
pressure test	•	•		•		•
vacuum leak check	•	•		•		•
cryostat - heat leak	•			•		•

表 2.5.1-2 既実施の高温超電導ケーブル試験内容一覧（布設後の試験）

After Laying Test	Sumitomo	Nexans	Russia VNIKP	Furukawa	Southwire /nktc	LS Cable
Capacitance	•	•		•	•	•
DC voltage	•					
tan-delta	•			•		•
Insulation resistance	•			•	•	•
conductor resistance				•		
DC-Ic	•			•	•	•
AC voltage		•		•	•	•
PD		•		•		•
visual inspection	•	•		•	•	•
pressure test	•	•		•	•	•
vacuum leak check	•	•		•		•
pressure drop	•	•		•	•	•
cryostat - heat leak	•	•		•	•	•

(5) まとめ

これまでに実施した高温超電導ケーブルの標準化に関して推進スキームや活動状況についてまとめた。

今後は CIGRE WG の作業を中心に標準化作業を順次推進する。

## 2.5.2 高温超電導ケーブルの適用技術研究

超電導ケーブルを電力ネットワークに適用する場合、従来ケーブル、技術と比べてメリットがなければ、当然ながら超電導ケーブルは適用されない。そのメリットを論ずるにあたり、その評価すべき項目についてどのようなものがあるか検討し、以下にまとめる。

### (1) 建設コスト

超電導ケーブルは大容量の電力をコンパクトな形状で送電できることが特徴の一つである。建設コストに含まれる項目を表 2.5.2-1 に示す。項目的には、従来ケーブルとほぼ同じで、冷却システムに関するコストが付加されていることが大きな違いである。

これまでの F S (参考文献) では、超電導ケーブルはサイズがコンパクトになることから、土木費が従来ケーブルと比べて安価になり、ケーブルシステム自体が高価になっても、全体として経済的なメリットがでると考えている。

表 2.5.2-1 建設コストの項目

分類	項目
構成要素の製造コスト	超電導ケーブル
	付属品 (中間接続部、終端接続部)
	冷却システム
	計測、警報システム
送電線路の建設コスト	土木費 (管路、洞道、マンホールなど)
	超電導ケーブル布設
	付属品組立
	冷却システム据え付け
竣工試験コスト	ケーブルシステム
	冷却システム

### (2) 送電損失と運転コスト

超電導ケーブルのもう一つの特徴は、低損失送電である。超電導体は臨界温度以下で抵抗がゼロであるので、ジュール発熱がなく、低損失な送電ができると期待されている。しかしながら、交流磁場化では、超電導体のヒステレシス損失に起因する交流損失が発生し、その低減が課題であり、本プロジェクトでもその低減に取り組んでいる。

超電導ケーブルの送電損失としては、上記の交流損失  $Q_{ac}$  のほかに、絶縁体内で発生する誘電損失  $Q_e$ 、室温から入ってくる断熱管の侵入熱  $Q_h$  が考えられる。さらに、端末やジョイントでは、有限な接続抵抗があるので、そこでのジュール損失、

容器からの侵入熱も考える必要があり、まとめて付属品の熱損失  $Q_a$  とする。これらの熱損失は、冷媒である液体窒素の温度を上昇させるため、これを冷凍機で冷却し温度降下させるのであるが、その冷凍機には熱損失分の冷凍能力が必要である。尚、冷却システム、冷却配管自体にも外部からの熱侵入  $Q_c$  があり、これもトータル熱損失にカウントする必要がある。

これらの熱損失すべてが、冷凍機で冷却されるが、その冷凍機の動力は冷凍機の効率  $\eta$  を考慮して式 2.5.2-1 で計算される。

$$\text{送電損失} = (Q_{ac} + Q_e + Q_h + Q_a + Q_c) / \eta \text{ ----- (2.5.2-1)}$$

さらに運転コストは、この送電損失に電力代を乗じたもの、保守・メンテナンス費用を加える必要がある。表 2.5.2-2 に運転コストの項目リストを示す。

表 2.5.2-2 運転コストの項目

分類	項目
送電損失コスト	送電損失×電力単価
ケーブルメンテナンス	真空維持（必要時）
保守・メンテナンス	冷凍機メンテナンス
	循環ポンプメンテナンス、他
補器類	計測、警報システム動力、他

尚、これらの送電損失が従来ケーブルよりも低損失になる場合、CO<sub>2</sub> 排出低減効果として、低減分をメリットとして換算する場合がある。この場合のコストへの換算式を 2.5.2-2 に示す。

$$\text{低減効果} = \Delta W \times E \times F \text{ ----- (2.5.2-2)}$$

$\Delta W$  : 送電損失の常電導との差

$E$  : 単位電力量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量

$F$  : 単位 CO<sub>2</sub> 重量あたりの、CO<sub>2</sub> 排出権取引量

### (3) まとめ

- ・超電導ケーブルのメリットを評価する際に必要な、コスト計算時の考慮すべき項目について整理した。
- ・今後、各部の開発状況、最新の情報を収集し、超電導ケーブル適用について F S を実施し、経済性の比較を検討していく。

### 2.5.3 関連法規への対応

#### (1) 研究開発目標（目的）

超電導ケーブルの実用化に向けては、技術的な課題の着実な克服は当然必要であるが、法律あるいは基準・規制等による制約をクリアすることも不可欠である。このため、冷却システムを含む超電導ケーブルシステムに関連する法規について調査を実施し、対応策を検討する。

旭変電所での超電導ケーブルの実証試験を行うにあたり、対応すべきと考えられる関連法規は以下のとおりである。

- ・ 電気事業法（施行規則を含む）
- ・ 高圧ガス保安法
- ・ 消防法
- ・ 道路法
- ・ 道路交通法
- ・ 建築基準法
- ・ 労働安全衛生法
- ・ 騒音・振動規制法

現段階では、完全に法規類調査が終了していないが、許可・届出あるいは申請等手続きが必要と考えられるものについて以下に記す。

#### i) 電気事業法ならびに高圧ガス保安法

超電導ケーブルに関する関連法規については、電気事業法あるいは高圧ガス保安法に基づくと考えられる。設備に関しては二重の法規制を受けることはない。超電導ケーブルに関しては、実システムでの使用実績が未だなく、上記いずれの法規制に則るべきかの判断基準が確立していない。そこで、平成 20 年 6 月 3 日に、上記両法規制を管轄とする、経済産業省原子力安全・保安院関東東北産業保安監督部にて、本プロジェクトの全体計画と試験方法・内容等を説明し、対応すべき法規制の解釈について確認を行った。

この結果、今回使用する超電導ケーブルは、冷却システムを含めて変電のために設置する電気工作物であることから、電気事業法の適用がなされるという結論を得た。

ただし、冷却システムには高圧ガス（加圧液体窒素等）が使用されることから、これらの技術的取り扱いに関しては、高圧ガス保安法に規定される技術基準の精神に準拠することとしている。

## ii) 建築基準法

本プロジェクトにおいては、東京電力旭変電所敷地内に冷却システムを収容する冷却設備室や制御室、事務所等の建築物を設置することになるが、これらは1年以上設置する必要があることから、工事着工前に県庁の建築主事宛に建築確認申請書による届出が必要である。

## iii) 道路法、道路交通法

超電導ケーブルドラム、終端接続部、冷凍機等については、運搬段階において道路法・道路交通法の適用を受ける。高さや積載量等の制限を超えた場合には、警察署・市役所等の届出が必要となる。実用化を考慮すれば、特殊要素をなくすべきと考えられるため、荷姿・高さ制限等について出荷・運搬作業を想定した仕様となるよう機器設計を行うこととしている。

## iv) 騒音・振動規制法

騒音・振動に関しては、液体窒素冷却用冷凍機、水冷却塔が該当すると考えられる。実証試験場所の旭変電所は工業地域であるため以下の規制値以下にするような対策を行うこととしている。

【騒音規制】 横浜市生活環境の保全等に関する条例第 38 条別表 13

AM8:00～PM6:00 : 70dB 以下

AM6:00～8:00、PM6:00～11:00 : 65dB 以下

PM11:00～AM6:00 : 55dB 以下

【振動規制】 横浜市生活環境の保全等に関する条例第 38 条別表 14

AM8:00～PM7:00 : 70 dB 以下

PM7:00～AM8:00 : 65 dB 以下

## v) その他

消防法・労働安全衛生法に関しては、現在調査中であるが、届出等の対象となる可能性があるものは以下のとおり。今後さらに調査を行った上で必要な処理を行うものとする。

【消防法】 所轄消防署への提出

- ・ 特別高圧変電設備、蓄電池設備の設置届
- ・ 防火対策物使用開始届

【労働安全衛生法】 所轄労働基準監督署への提出

- ・ 第1種圧力容器設置届



### (3) まとめ

旭変電所での超電導ケーブルシステムの搬入・据付・長期の実系統試験の全試験工程を対象とした時に、対応が必要となる関連法規を調査するとともに、それらの対応等を検討した。関係省庁と協議の結果、冷却システムを含む超電導ケーブルシステム全体は電気工作物として電気事業法が適用となる事を確認している。

## IV. 実用化・事業化の見通しについて

### 1. 実用化・事業化の見通し

#### (1) 電力事業を取り巻く環境

地球温暖化対策としてのCO<sub>2</sub>排出量の削減は、電力事業者にとっても喫緊の課題である。例えば東京電力では、CO<sub>2</sub>排出源単位を2008～12年度の5年間平均で1990年度比20%削減という自主目標を掲げている。この対策として例えば電源系においては、火力発電所熱効率の大幅な改善や、家庭分野ではエコキュートなどの高効率機器の導入などを進めている。一方で流通設備を見ると送配電ロスも5%前後で推移しており、送配電ロスをさらに低減できるような有効な対策がないのが現状である。この送配電ロスを抜本的に削減するような技術開発が強く求められている。

次に、今後の電力需要の推移については、東京電力では販売電力量が年平均で1%程度増加していくと想定している。この想定に基づき今後の電源新設計画を立てており、平成28年度までに原子力発電所では大間、福島第1の7,8号機、東通1号で計約550万kWを、火力発電所では富津4号、川崎1,2号などで計約360万kWを新設予定である。このような電源設備の増強に対応して、建設コストを極力抑制しつつ、新たな流通設備形成が必要である。例えば、遠方の大型発電所から都内へと電力を輸送する275kVケーブル系統の拡充や、東京湾岸火力からの電力を送電するケーブル系統の新・増設である。

一方、既設の電力ケーブルのうちOFケーブルやPOFケーブルは布設後40年を経過しているものも多く、漏油問題などが生じている。アルミ被OFケーブルの寿命は50年程度と見積もられており、経年ケーブルから順次取替が必要となっている。特に大容量のPOFケーブルについては、2016年頃から取替が本格化すると想定されている。東京電力管内で現有するPOFケーブル系統の回線延長は約240kmあり、また30年以上経過したOFケーブル系統の回線延長は約530kmにおよんでいる。

超電導ケーブル技術は、上記のすべての課題を解決できる唯一の革新技術であり、次世代の電力送電網の構築においても重要な技術と位置づけられる。

#### (2) 超電導ケーブルの適用例と適用効果

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になる。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。図1-1に既存の275kV

ケーブルを用いた場合の系統構成例と、66kV 超電導ケーブルを用いた場合の系統構成例、および両者のサイズ比較を示す。この図からわかるとおり、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。

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。図 1-2 にはこのようなパターンとして、湾岸火力発電所からの送電系統への超電導ケーブルの適用例を示す。このような適用により 154kV 系統を 66kV 系統にてリプレースでき、電圧階級の整理と、それに伴う 154kV 送変電設備の省略も併せて可能となる。

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送電できる。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。

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渴望されている。

図 1-3 には、既存の大容量ケーブルの例として、発電所引出口に利用されている既存内部水冷ケーブルの断面写真と、大容量ケーブルの代表である POF ケーブルの断面写真を示す。いずれも大容量であることから既存 CV ケーブルでの代替にはスペース等の制約があるが、コンパクトな大容量超電導ケーブルであれば、それらの制約なしでの代替が可能である。

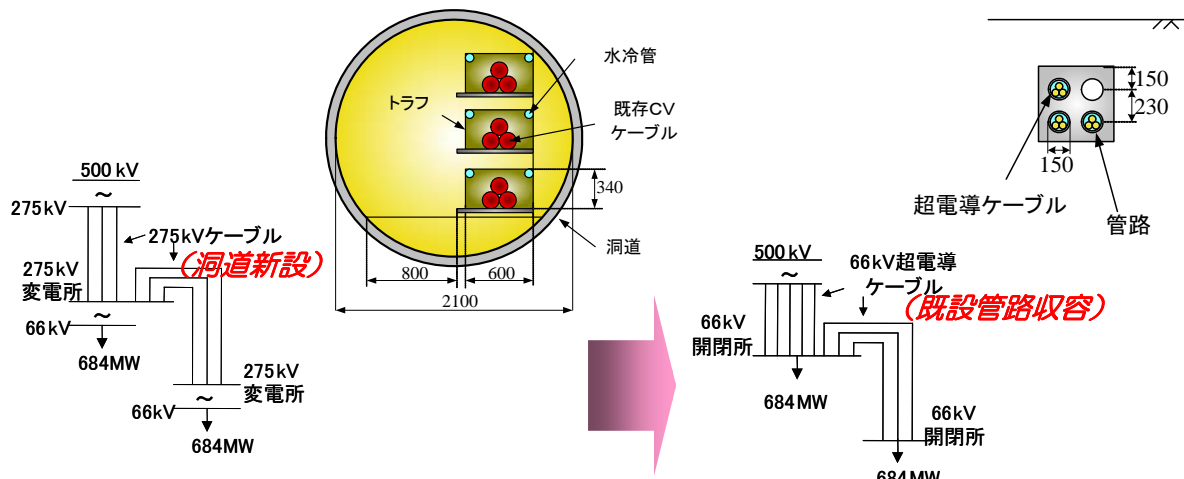


図 1-1 既存ケーブルと超電導ケーブルでの系統構成比較とサイズ比較  
(都内導入系統)

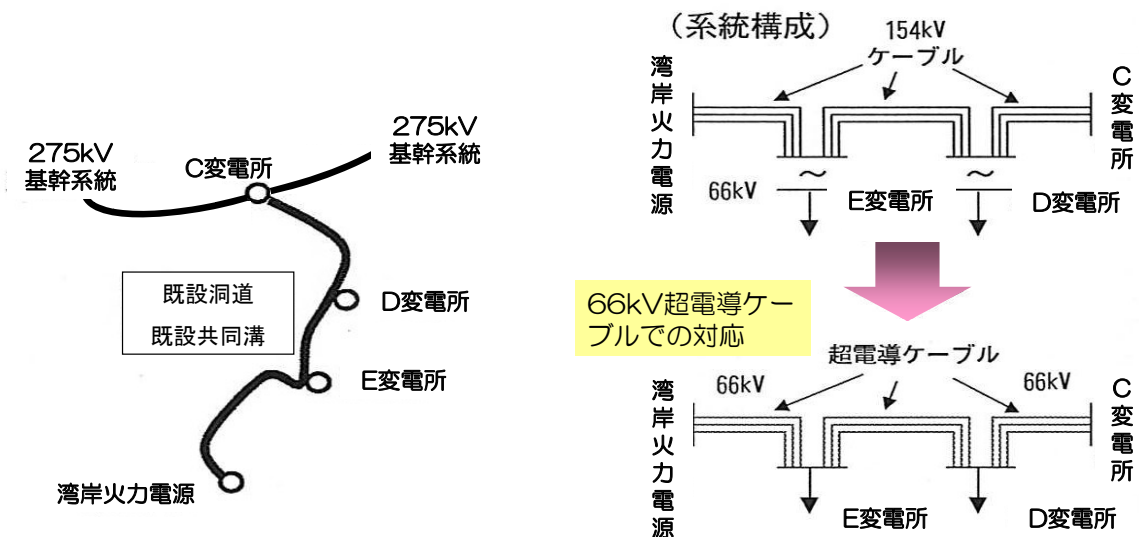


図 1-2 湾岸火力電源からの送電系統のリプレースへの超電導ケーブルの適用例

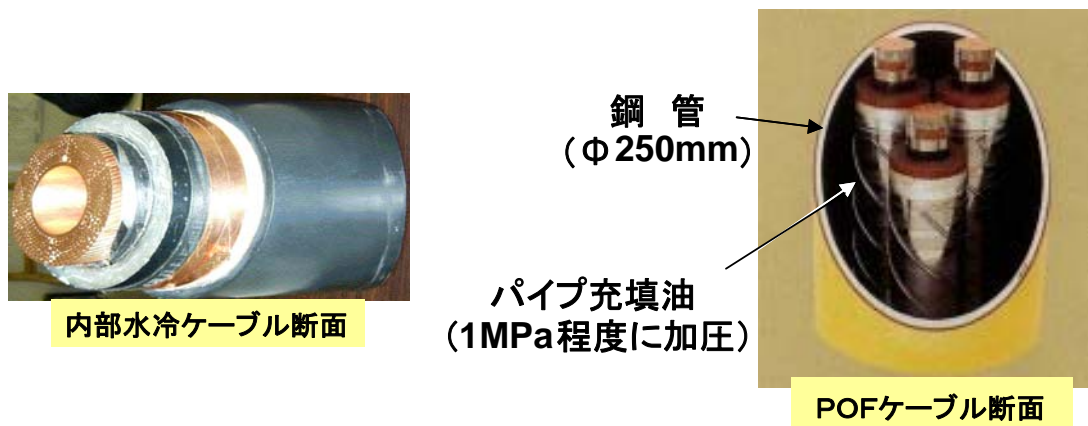


図 1-3 内部水冷ケーブルと POF ケーブルの断面写真

超電導ケーブルの適用により、1章に述べたとおり大幅なCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。また、前述のように既存ケーブルでの系統構築から超電導ケーブルでの系統構築に移行することにより、既存ケーブル用の洞道新設が不要となるなど、大幅なコスト削減も期待できる。図1-4は既存CVケーブル系統新設コストと、超電導ケーブル系統新設コストを比較したものである。既存ケーブル系統の場合、洞道新設の影響で、1kmあたり11億円程度の建設費が見込まれるが、超電導ケーブルの場合、線材コストの低減や冷却システムコストの低減が進めば、管路新設コストを含めても、1kmあたり4億円程度で建設できると期待されている。

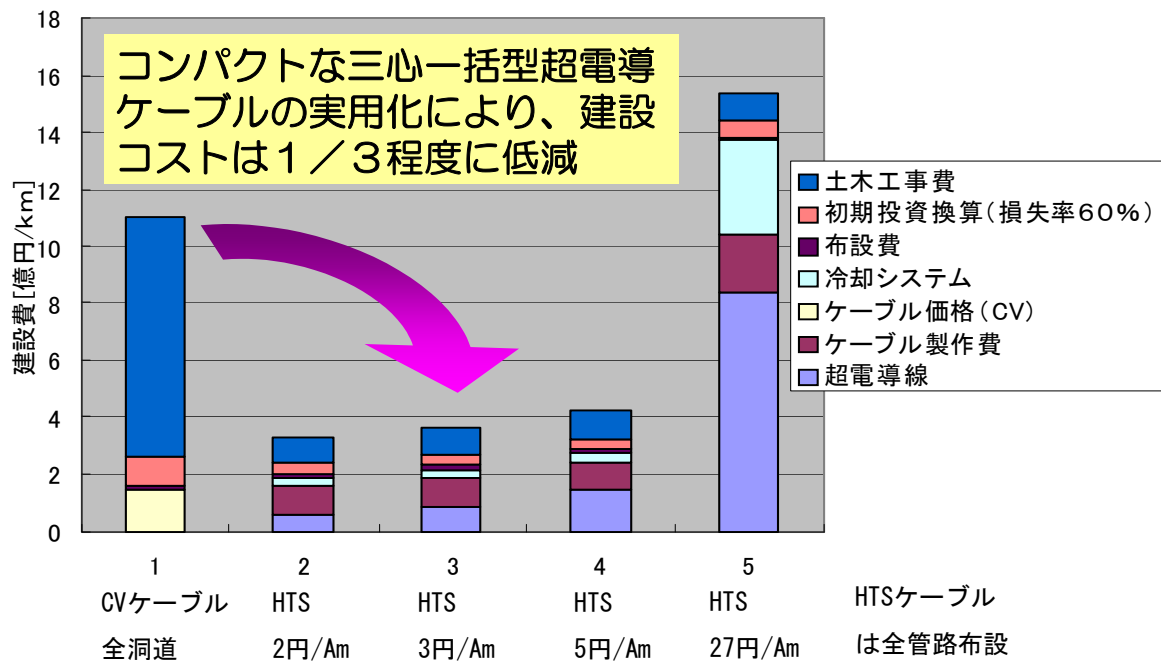


図1-4 既存CVケーブル系統新設時と超電導ケーブル系統新設時のコスト比較 (超電導ケーブルコストは、将来の線材単価(円/Am)毎に算出)

### (3) 波及効果

本技術開発は、高温超電導線材を活用した交流超電導ケーブルシステムの実証を目指すものである。

国内外での技術開発動向でも触れたとおり、諸外国においても交流超電導ケーブルの実証プロジェクトが進行中である。特に米国においては老朽化した送電ネットワークの近代化を目指したスマートグリッド構想が進行中で、超電導ケーブル技術もこの対策の一環として取り上げられている。米国で実証中の超電導ケーブルは、大容量化は容易だがコンパクト化が困難な単心タイプの超電導ケーブルと、コンパクト化に適するが高電圧化が困難な三相同軸タイプの超電導ケーブルである。本技術開発で採用している三心一括型超電導ケーブルは、大容量化、高電圧化、コンパクト化のいずれもバランス良く実現可能である。本技術開発を早期に確立することで、諸外国の超電導ケーブル導入プロジェクトでの本技術の採用など、海外への波及効果も期待できる。

地球温暖化対策として今後加速的に導入量が増加すると予想されている太陽光発電や風力発電などは、いずれも発電端は直流であり、ウィンドファームのように大規模集積化が進むと直流での直接送電のニーズが高まると予想される。また、データセンターなどでの電力消費は直流であり、低電圧大電流の直流配電システムへのニーズも高い。このような直流送電システムに対しても、本技術開発で培った超電導ケーブル技術の展開が可能で、これにより送電ロスはさらに大幅に低減でき、より大きな省エネルギー効果とCO<sub>2</sub>削減効果をもたらすことができる。

さらに本技術開発により、加圧液体窒素を用いた冷却システムの長期安定運転技術が確立されると、その冷却技術は超電導変圧器、超電導限流器、高温超電導線材を用いた SMES など、その他の超電導電力機器の冷却技術として幅広く展開していくことが可能である。

### (4) 実用化までのシナリオ

高温超電導ケーブルシステムの実用化に向けては、以下のような展開が考えられる。

- 1) 本技術開発により、高温超電導ケーブルの実システムでの運転性能や信頼性が実証できる。併せて運転技術や保守・メンテナンスといった、電力機器に求められる運用技術が確立される。
- 2) 本技術開発終了後、超電導ケーブルシステムの早期実用化のためには、超電導線材の高性能化・低価格化による超電導ケーブルコストの削減とともに、冷却システム系の高効率化・低コスト化が不可欠である。超電導ケーブルシステムの将来コスト試算では、超電導ケーブルコストの低減に加え、冷却システムの高効率化による COP の向上と冷凍機単機容量の大型化も含めたトータルとしての冷却システムのコストダウンが進展することを前提としている。前期の超電導ケーブル実用化時のコストダウン効果を実現させるためにも、

- 3) 上記の線材の高性能化・低価格化、および冷却システムの高効率化・低コスト化が実現した後、超電導ケーブルシステムの実系統導入が本格的に開始されることになるが、電力システムの信頼性維持の観点からも、導入初期は比較的短距離（100m程度）で、運転実績確認を取りやすい箇所から試験的に導入が進むものとする。その一例は、水力発電所等の発電端に用いられる短距離大容量ケーブルへの適用である。ただし、この段階では量産効果が十分に働いていないことから、一企業の努力での実導入は困難で、国の支援を得ながら、同時に電力事業者同士の連携も常に視野に入れつつ実導入を目指して行くことになる。
- 4) 実系統での導入・運用実績を積みながら、超電導ケーブルにより最も大きな効果が得られる基幹系ケーブルシステムへの導入が順次進められる。

## 2. 今後の展開

平成 21 年度の研究開発により、30m ケーブルを用いた事前検証試験中で、年度内に完了する予定である。この試験では、超電導ケーブルの製造技術検証と性能検証を主眼においている。このため冷却システムについては、1 ポンプ+2 冷凍機の直列運転という、極めてベーシックな構成としている。旭変電所での実証試験では複数台のポンプと複数台の冷凍機を用いた運転が必要で、このような複数台運転技術については過去の超電導ケーブルプロジェクトにおいても実施したことがない。このため、旭変電所での実証試験までの間に、この全く新しい冷却システム系の運転特性についての検証を予定している。

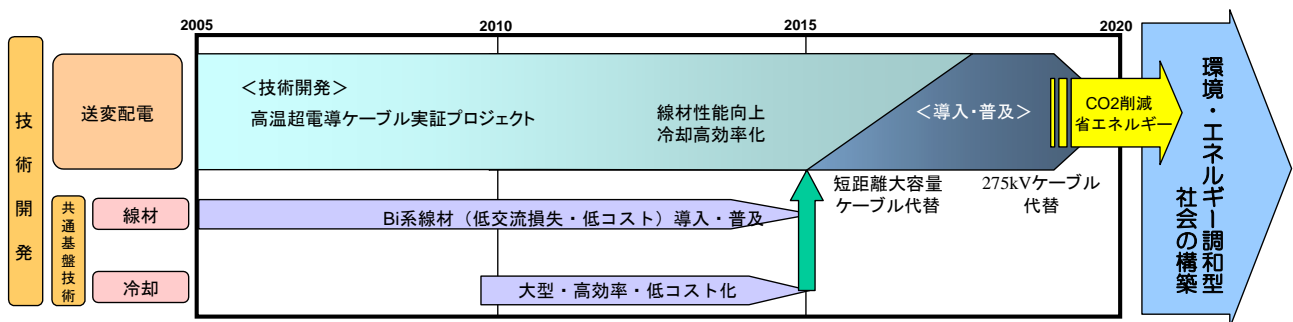
実証ケーブルについては、必要線材を製造中で、Type-HT 線材 60km、Type-AC 線材 45km を平成 21 年度中に製造完了に予定である。その後、平成 22 年度にケーブル化、出荷試験、ジョイント、端末の製造を行い、平成 23 年度前半に、現地ケーブル布設、機器組立を実施し、竣工試験を経て、平成 23 年度後半から実系統運転に入る予定である。旭変電所において、1 年間に亘る長期実証試験を実施するとともに、試験終了後は超電導ケーブルシステムの残存性能検証を実施する。

これらの超電導ケーブル実証試験が完了した後、超電導ケーブルシステムの高性能化・低コスト化の技術開発を進めることで、超電導ケーブルシステムの大幅なコストダウンを進めていくべきである。

このように超電導ケーブルの実系統適用技術の見通しがつけば、電力系統への本格的な導入が可能となる。前述の通り、導入初期段階は比較的短距離で運転実績確認が容易な水力発電所発電端等の大電流ケーブル代替として試験導入されると予想している。その後、導入箇所を順次拡大していく。

事業化が軌道に乗るまでのロードマップは表 2-1 のようになると予想している。

表 2-1 超電導技術分野の導入シナリオ





## 【付録資料】

付録資料 1 イノベーションプログラム基本計画

付録資料 2 プロジェクト基本計画

付録資料 3 技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）

付録資料 4 事前評価関連資料  
（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）

付録資料 5 特許リスト

付録資料 6 発表・論文リスト

## ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

このプログラムは、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすることを目的とする。

### 2. 政策的位置付け

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、特に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進4分野）の一つに指定、優先的に資源配分することとされている。
- ・我が国の材料技術は、基礎研究から応用研究、素材、部材の実用化に至るまでの全ての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国製造業の国際競争力の源泉となっている。

「イノベーション25」（2007年6月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、中長期的に取り組むべき課題として、「1.生涯健康な社会形成」、「2.安全・安心な社会形成」、「4.世界的課題解決に貢献する社会形成」、及び「5.世界に開かれた社会形成」の分野に位置付けられている。
- ・所要の措置を講じていくことが必要である事項として以下の点が指摘されている。
  - ・学際領域・融合領域における教育等人材育成、拠点形成
  - ・社会受容を促すための積極的な取り組み
  - ・知的財産確保のための戦略的な取り組み

「経済成長戦略大綱」（2006年7月財政・経済一体改革会議）

- ・「我が国の国際競争力の強化」の取り組みとして、高度な部品・材料産業やモノ作り中小企業の強化が掲げられている。
- ・「技術戦略マップ」の活用等により、ユーザー企業との垂直連携による研究開発を推進することを通して、我が国経済発展の基盤である高品質、高性能な部品・材料産業の強化を図ることが今後の取組として記載されている。

「新産業創造戦略2005」（2005年6月経済産業省）

- ・部材分野は、新産業群の創出を支える共通基盤技術として位置づけられている。
- ・「高度部材・基盤産業」の集積を形成していることが、「ものづくり」に不可欠な基盤技術のネットワーク化を通じた現場レベルでの迅速かつ高度な摺り合わせを可能としており、我が国「ものづくり」の強みの源泉となっていると記載されている。

### 3. 達成目標

- ・世界に先駆けて、ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。

- ・我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに部材産業の付加価値の増大を図る。
- ・ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。
- ・希少金属などの資源制約の打破、圧倒的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

#### 4．研究開発内容

##### [プロジェクト]

##### ．ナノテクノロジーの加速化領域

ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を加速・促進する。

##### (1) 異分野異業種融合ナノテクチャレンジ(運営費交付金)

###### 概要

革新的なナノテクノロジーの研究開発を促進し、キーデバイスの早期実現を目指すため、大学や研究機関などの川上と企業などの川下の連携、異業種異分野の連携による提案公募によって、ナノテク実用化に向けたチャレンジを支援する。

###### 技術目標及び達成時期

マテリアル・プロセス研究、加工・計測技術研究、昨今の環境意識向上に対応した研究、社会課題を解決するための基盤技術研究に加え、異分野等の融合研究を推進することにより、2011年度までにナノテクノロジーの産業化のための基盤的技術を確認し、実用化を図る。

###### 研究開発期間

2005年度～2011年度

##### ．情報通信領域

ナノテクノロジーや革新的部材開発技術を駆使して既存技術の微細化の壁を突破し、電子デバイス・光デバイスで世界をリードするとともに、高度化された製造技術の開発を行う。

##### (1) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち新材料・新構造ナノ電子デバイス(運営費交付金)

###### 概要

従来の半導体は、性能の向上(高速化、低消費電力化、高集積化)を確保するために微細化が進められてきたが、絶縁性、誘電率等の物理的限界、微細化に伴う製造コストの増大など、集積度向上によるメリットが十分達成されなくなっている。

本研究開発では、シリコンで培った微細化技術やデバイス原理を活用しながら、シリコン材料の物理的限界を突破するための“新材料”および“新(デバイス)構造”の開発を行い、次世代の電子デバイス技術を確立する。

###### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、産業界が10年後を見据えた将来の電子デバイスを開発する際に、産業技術として活用できるかどうかの実現可能性を見極め、また技術シーズを確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト(運営費交付金)

概要

将来のエレクトロニクスにおいて中核的な基盤技術となり得るスピントロニクス技術(電子の電荷ではなく、電子の自転=「スピン」を利用する全く新しいエレクトロニクス技術)を確立するため、強磁性体ナノ構造体におけるスピンの制御・利用基盤技術を開発し、我が国が世界に誇るシーズ技術を核として、産学官の共同研究体制を構築し、将来の中核的エレクトロニクス技術における我が国の優位性の確保を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、超高集積で高速な不揮発性メモリとして期待されるスピンメモリのための基盤技術を確立する。また、新ストレージ・メモリデバイス、不揮発性スピン光機能素子、スピン能動素子等の新しい動作原理によるスピン新機能素子の実現のための基盤技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発(運営費交付金)(再掲)

概要

窒化物系化合物半導体は、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、重要なデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減への貢献を期待されている。このため、従来の半導体材料では実現出来ない領域で動作可能なハイパワー・超高効率の電子素子、超高速電子素子等の作成に必要な窒化物系化合物半導体先進技術の国際競争力を強化すべく、高品質かつ大口径単結晶基板、高品質かつ大口径エピタキシャル成長技術等の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

1) 基板技術(GaN、AlNバルク結晶作製技術)

- ・口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。

2) エピ技術(エピタキシャル成膜及び計測評価技術)

- ・低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。
- ・高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現
- ・高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 三次元光デバイス高効率製造技術(運営費交付金)

概要

波面制御素子による空間光変調技術を確立し、ガラス中に三次元造形を高精度に一括形成できるプロセス技術を開発する。この技術を用いて、具体的な光デバイスを作製し、当該技術の有効性の確認と市場への早期参入のための基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに波面制御素子による空間光変調技術を用いたフェムト秒レーザー照射技術等を確立し、高精度の光デバイスを高速に作製できるプロセス技術を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 低損失オプティカル新機能部材技術開発\*(運営費交付金)(再掲)

概要

近接場光の原理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発\*(運営費交付金)(再掲)

概要

製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

(7) 半導体機能性材料の高度評価基盤開発(運営費交付金)(再掲)

概要

情報通信機器の高機能化や低消費電力化等の要求を満たす半導体集積回路を実現するため、新たな機能性材料開発に貢献する評価基盤技術を開発し、さらに開発した機能性材料を半導体及び半導体集積回路に適用できる統合的なソリューション技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、半導体デバイス性能に直結する接合素子の性能性及び信頼性等、半導体製造プロセス全体を俯瞰しつつ、機能性材料開発が可能となる評価基盤技術を開発し、開発した機能性材料を用いた統合的なソリューションが提案できる材料評価基盤を構築する。

研究開発期間

2009年度～2011年度

・ライフサイエンス・健康・医療領域

ナノテクノロジーを駆使して初めて可能となる診断・治療により革新的な医療を実現する。

(1) 次世代DDS型悪性腫瘍治療システムの研究開発事業(運営費交付金)

概要

DDSのさらなる裾野の拡大、及び早期実用化を目指し、様々な外部エネルギー(機器技術)と薬剤技術を組み合わせることにより、比較的人体の深部にある臓器(肺、消化器)等のがんを対象としたDDS型治療システムの開発を行う。

技術目標及び達成時期

光線力学治療システムの前臨床試験の開始及び治療効果・安全性の検証と、超音波診断・治療システムの前臨床試験を可能とする薬剤及び装置の完成に関する開発を難治性がんの治療に向けて行う。

研究開発期間

2006年度～2009年度

(2) 個別化医療実現のための技術融合バイオ診断技術開発(運営費交付金)(再掲)

概要

我が国が有する微細加工技術・表面処理技術といったナノテク等の強みを活かし、染色体異常を高感度、高精度かつ迅速、安価で非コード領域までを検出するゲノムアレイや解析基盤技術開発を行うとともに、全自動解析システムの開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、BAC(染色体の断片)を用いた非コード領域を含むゲノム全領域を検出できる高精度ゲノムアレイを開発する。さらに、臨床現場において、微量サンプル(数ナノグラム)から、12時間以内に染色体異常(増幅、欠失、コピー数多型等)を、低コストかつ定量性・再現性を確保して検出ができる自動染色体異常解析シス

テムのプロトタイプを開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 分子イメージング機器研究開発プロジェクト(運営費交付金)

)生活習慣病超早期診断眼底イメージング機器研究開発プロジェクト

概要

細小血管の分子レベルでの代謝機能を非侵襲で可視化する細胞代謝イメージングを実現し、代謝異常を細胞レベルで観察することにより、生活習慣病に起因する血管病変等合併症の早期の診断・治療を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、ナノテクノロジーを活用した光学基盤技術等を確立することにより、細胞やタンパク質レベルの組織診断を可能とする機器を開発する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

)悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器研究開発プロジェクト

概要

良性・悪性の区別も含めた腫瘍の超早期診断を実現するため、悪性腫瘍に特異的に反応する標的物質を利用することにより生体細胞の分子レベルの機能変化を抽出・検出できる機器の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、全身で3mm、局所で1mmの分解能を有する分子イメージング機器を開発する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

)新規悪性腫瘍分子プローブの基盤技術開発

「概要

分子イメージングにおいて、病変を可視化する分子プローブの開発を一層強化・促進するため、分子プローブの基盤要素技術と評価システムの開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、新規の近赤外蛍光分子プローブ及び小動物用近赤外蛍光イメージングシステムを試作し、同システムを用いて分子プローブのがん特異性を定量的に評価するための条件等を明らかにする。

研究開発期間

2008年度～2009年度

・エネルギー・資源・環境領域

ナノテクノロジーや革新的部材開発技術を駆使して、エネルギー・資源・環境等の社会的制約を克服すると同時に我が国の強みであるナノテク関連産業・部材産業の競争力を強化する。

## ( ) エネルギー制約の克服

### (1) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発(運営費交付金)(再掲)

#### 概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料(CFRTP)の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、高速成形技術、接合技術及びリサイクル技術を開発する。

#### 研究開発期間

2008年度～2012年度

### (2) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発(運営費交付金)(再掲)

#### 概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を持つ壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率(熱の伝わりやすさ)が $0.3\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、光(可視光)透過率が65%以上(Low-Eガラス使用)、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト(運営費交付金)(再掲)

#### 概要

高純度、高密度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いた従来よりも格段にパワー(電力)と蓄電量が大きなキャパシタを開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、 $20\text{ Wh/Kg}$ の高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

#### 研究開発期間

2006年度～2010年度



(4) 革新的省エネセラミクス製造技術開発(運営費交付金)(再掲)

概要

小型炉設備で生産可能な小型セラミック中空ユニットを複数組みあわせることで、これまでその製造が難しかった複雑形状かつ大型セラミクス部材を省エネで製作することができる革新的なセラミック部材製造技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、高機能化された小さな精密ブロックを立体的に組み上げ、高効率で接合、一体化をし、複雑形状や大型の部材を製造可能とする革新的なプロセス技術の基盤を確立し、高耐性部材、高温断熱部材及び高比剛性部材の試作を行う。

研究開発期間

2009年度～2013年度

(5) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発(運営費交付金)(再掲)

概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融(インフライトメルティング法)し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(6) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)(再掲)

概要

革新的な高効率送電技術を確立して高温超電導ケーブルの実用化を促進するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材(DI-BSCCO等)を活用し、首都圏の系統に接続する実証試験及び評価を行う。

なお、本事業は、発電用施設による電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

研究開発期間

2007年度～2012年度

## (7) 発電プラント用超高純度金属材料の開発(運営費交付金)(再掲)

### 概要

超高純度金属材料を発電設備の蒸気配管等に実用化することを目指し、高純度金属材料の高度化に向けた低コスト・量産化製造技術を開発し、実使用環境における超高純度金属材料の耐久性試験等を行う。

なお、本事業は、発電用施設における電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

### 技術目標及び達成時期

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って発揮できることを確認する。

### 研究開発期間

2005年度～2009年度

## (8) セラミックリアクター開発(運営費交付金)(再掲)

### 概要

低温域かつ高効率なエネルギー変換を可能とする次世代型セラミックリアクターの実現のため、世界最高効率の燃料電池マイクロセルの集積構造技術等の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時(650以下)での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証(出力性能2kW/L等)を行う。

### 研究開発期間

2005年度～2009年度

## ( ) 資源制約の克服

### (1) 希少金属代替材料開発プロジェクト(運営費交付金)

#### 概要

ハイテク製品の製造に不可欠であり世界的な需給逼迫が懸念されるレアメタル(タングステン、インジウム、ディスプロシウム)について、ナノテクノロジー等の最先端技術を活用して、代替材料開発・使用量削減を行う。なお、平成21年度からは、これまでの対象3鉱種に加えて、白金、セリウム、テルビウム等も研究開発の対象とする。

#### 技術目標及び達成時期

タングステン、インジウム、ディスプロシウムについては2011年度までに、白金、セリウム、テルビウム等については2013年度までに、使用原単位について現状と比較して削減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能

評価のためにラボレベルで提供（試料提供）できる水準に至るまでの技術を確立することを目標とする。また、製品の機能や製造コストは現状と同等であることを少なくとも維持することを前提とする。

〔対象元素〕

- ・超硬工具向けタングステン（W）
- ・透明電極向けインジウム（In）
- ・希土類磁石向けディスプロシウム（Dy）
- ・排ガス浄化向け白金族（Pt）
- ・精密研磨向けセリウム（Ce）
- ・蛍光体向けテルビウム、ユーロピウム（Tb、Eu）

研究開発期間

2007年度～2013年度

## （ ）環境制約の克服

### （1）グリーン・サステナブルケミカルプロセス基盤技術開発

概要

化学品等の製造プロセスにおけるシンプル化、クリーン化、原材料・資源の多様化・有効利用、更に、廃棄物の減容化、容易なりサイクル等を実現し、産業競争力強化、国際規制の先取りを図って、将来にわたっても持続的に化学品等を製造するための必要なGSC（グリーン・サステナブルケミストリー）プロセスを開発する。

技術的目標及び達成時期

2015年度までに、有害な化学物質を削減できる又は使わない革新的な製造プロセス及び化学品の開発、廃棄物、副生成物を削減できる革新的な製造プロセス及び化学品の開発、資源生産性を向上できる革新的な製造プロセス及び化学品の開発を行う。

研究開発期間

2008年度～2015年度

### （2）革新的マイクロ反応場利用部材技術開発\*（運営費交付金）（再掲）

概要

マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成

することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

### (3) 循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト(運営費交付金)

概要

我が国で発見された光触媒技術の新産業分野開拓を目指し、サイエンスにさかのぼることにより、紫外光のみならず、可視光レベルでの性能・機能の飛躍的な向上のための技術基盤を構築する。これにより、従来では困難とされてきた医療関連分野や住宅建材分野、環境関連分野等に光触媒技術を導入し、光触媒の最大のメリットである自然エネルギーを利用した安心・安全な環境を提供できる技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、材料レベルで紫外光応答型2倍、可視光応答型10倍の感度向上を達成し、その高感度光触媒を適用した薄膜プロセス技術の基盤技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

### (4) 高感度環境センサ部材開発\*

概要

ダイオキシンをはじめとする極微量有害有機物質を超高感度で安価かつ簡易に計測するために、高感度セラミックセンシング材料を用いた環境センサーを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、ダイオキシン類、エストラジオール及びビスフェノールAについて、 $0.001 \text{ ng} \cdot \text{ml}$ の濃度において有意な電気信号として検出し得る小型・携帯型計測器に挿入可能な寸法のセンサ部材の開発を目標とする。

研究開発期間

2006年度～2010年度

### (5) 次世代高信頼性ガスセンサ技術開発(運営費交付金)(再掲)

概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサ素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサ(COセンサ・メタンセンサ)を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジー及びMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性(数百ppm以下の故障率)、低コストなCOとメタンのセンサを開発する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

### ・材料・部材領域

極めて広範囲な産業領域に波及する材料・部材領域について、ユーザー製造業等との連携（川上・川下連携）を促進し、高度な部材産業群の「すり合わせ力」を一層強化する。

#### （1）鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発（運営費交付金）（再掲）

##### 概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる（1）高級鋼厚板（高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼）溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術（高密度・清浄熱源溶接技術）、及び金属組織制御技術を基本とする材料技術（クリーブ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた）の開発、（2）部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術（駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた）の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

##### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板（高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼）の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

#### （2）超ハイブリッド材料技術開発（運営費交付金）

##### 概要

従来実現が不可能と考えられていた相反する複数機能（トレードオフ機能）を両立できる材料を、異種素材の組合せ（ハイブリッド化）により実現するための技術を開発する。要素技術として、異種材料間の界面挙動をシミュレーション技術等により解明し、ナノレベルよりもさらに微小な原子・分子レベルでのハイブリッド化構造・配列制御のための合成技術を開発する。従来の単一材料では実現困難であったトレードオフの性能を引き出すことで、自動車用構造材料、パワーデバイス用材料、光学材料等を出口イメージとした、高機能革新部材製造に必要な技術基盤を開発する。

##### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、電気・電子材料、光学材料、その他工業材料について従来材料では実現できなかった相反機能を解消するとともに、市場評価が可能な成果物を供試し、市場（ユーザー）から、客観的な実用化研究開発課題を抽出する。また、単なる相反機能の解消ではなく、相反機能を制御・実現する技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

( 3 ) 先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発 \* ( 運営費交付金 )

概要

電界紡糸や溶融紡糸等により創製される極微細な繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化した革新的部材を創出する。高機能新材料を求めるユーザーの要望を満たす繊維の極微細加工と高次複合化を解決する基盤技術開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、電界紡糸法による繊維高機能化、大型装置化技術およびナノ溶融分散紡糸法による超極細炭素繊維製造技術を開発し、これら基盤技術を活用して、高性能・高機能電池用部材、高性能・高機能フィルター用部材、高性能・高機能医療衛生用・産業用部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

( 4 ) 次世代光波制御材料・素子化技術 \* ( 運営費交付金 ) ( 再掲 )

概要

ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

( 5 ) 高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発 ( 運営費交付金 )

概要

複合化金属ガラス(金属ガラスマトリックス中に第二相として微結晶や微粒子または微小空隙等を分散させたもの)を創製して、次世代高密度記録媒体、超微小モータ用部材および高強度・高導電性電気接点部材を開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、複合化金属ガラス合金を創製し、従来の金属ガラス単層合金の持つ優れた特徴に加えて、塑性加工性、硬磁気特性、高電気伝導性等を付与する。この複合化金属ガラスの新規特性を用いて、従来の金属ガラス単層合金では為しえなかった革新的部材の開発を行い、さらに多様な工業製品に応用することで、我が国産業の優位性を確保する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

( 6 ) マグネシウム鍛造部材技術開発プロジェクト\* ( 運営費交付金 )

概要

マグネシウム合金部材について、製品歩留まりが高く、高耐疲労性を付与する鍛造技術の開発を行う。また、循環型素材としてのマグネシウム合金部材の特性を活かし、リサイクル材の鍛造用ビレット化に係る課題抽出を行う。当該技術開発により、マグネシウム鍛造部材製造技術の基盤を構築し、我が国の家電、自動車等の川下産業の競争力の強化に不可欠な高度部材を供給する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに高強度・高耐疲労・加工性に優れたマグネシウム鍛造技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

共通基盤領域

ナノテクノロジー、部材分野の研究開発に必要な加工・計測・解析技術等の共通基盤の確立とともに、リスク不安に対処したリスク管理手法を開発し、社会に貢献する産業化の支援を相互的に推進する。

( 1 ) ナノ粒子の特性評価手法開発 ( 運営費交付金 )

概要

ナノ粒子のキャラクタリゼーション、計測技術の確立とともに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びナノテクノロジーによるリスク不安に対処したリスク管理手法を開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、生体影響等評価手法、暴露評価手法及びリスク評価手法を開発し、ナノ粒子のリスク評価及び管理の考え方の提言を行う。

研究開発期間

2006年度～2010年度

注：\*印のある研究開発プロジェクトは、2006年度より開始された新産業創造高度部材基盤技術開発の一環として実施しているもの。

## 5. 政策目標の実現に向けた環境整備（関連施策）

ナノテクノロジーは、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの分野における科学技術の進歩や課題解決に貢献する重要な技術シーズである。そのため、ナノテクノロジーの研究開発と一体となった関連施策を実施することで、その成果を市場に出していくことが重要である。主な関連施策を、以下に示す。

### 〔技術戦略マップ〕

- ・NEDO及び経済産業省では、技術戦略マップを策定、毎年改訂し、ナノテクノロジー・部材分野の将来の方向性を見定めながら、合理的かつ効果的な研究開発プロジェクトを推進している。また、技術戦略マップを活用して、多様な連携（川上川下の垂直連携、異業種間の水平連携など）による研究開発を促進、支援し、当該分野の技術革新を促進している。

### 〔サンプル提供・実用化促進〕

- ・NEDOでは、実施するナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクト成果のサンプルを対象として、それらを活用した用途の開発、実用化ないし製品化提案を有する企業とのマッチングを図ることで、プロジェクトの事業化を促進する取組みを実施している。

### 〔標準化〕

- ・経済産業省では、ナノテクノロジー関連の研究開発成果を社会及び市場等に普及するための環境整備として、ナノテクノロジーの標準化活動（ISO/IEC、JIS）を推進している。

### 〔広報〕

- ・ナノテクノロジーに関する先端技術及び製品等の世界最大の展示会である「nano tech」が毎年日本で開催されている。

### 〔社会受容〕

- ・ナノテクノロジーの産業化の推進とともに、ナノ粒子のキャラクタリゼーション技術や人の健康や環境に及ぼす影響等の潜在的な課題に関する知見を蓄積する等のナノテクノロジーの社会受容に対する取組みを推進している。
- ・経済産業省では、2006年度から「ナノ粒子の特性評価手法開発」を開始し、工業ナノ粒子の有害性評価手法、また、そのリスク評価手法の確立を目標としたプロジェクトを開始しているところ。
- ・OECDでは、2006年9月、化学品委員会に工業ナノ材料作業部会（WPMN）が設置され、代表的な14種の工業ナノ材料について、試験計画の合意と試験実施を目的とする「スポンサーシッププログラム」が実施されている。スポンサーシッププログラム対象物質のうち、カーボンナノチューブ（単層、多層）、フラーレンの3物質については日本が中心となって担当し、「ナノ粒子の特性評価手法開発」等の成果で貢献している。

### 〔人材育成〕

- ・経済産業省では、「製造中核人材育成事業」を実施しており、産学連携による波及効果の高い人材育成プログラムを開発、実践している。ナノテクノロジー関連の人材育成プログラムも複数実施している。

（例）ナノテク製造中核人材の養成プログラム



概要：情報家電、燃料電池、ロボット、医療機器、バイオ等の応用分野において、その産業の基盤と創出を支える中堅企業を対象として、「基礎加工技能・技術、特殊な要素技能・技術に習熟し、製造技術の高度化を図る人材」及び「豊富なナノ加工プロセスの知識や先端機器を使いこなすノウハウ等を習熟し、製造現場の技能・技術を統括できず人材」を育成するもの。

- ・ N E D Oでは、我が国の産業技術の発展のため、先端分野や融合分野の技術を支える人材の育成と、人的交流の面から産学連携を促進するための「場」の形成を促進する取組みを実施している（N E D O特別講座）。具体的には、優れた成果を生み出しつつあり、大学が技術の中核となっている研究開発プロジェクトをコアプロジェクトとし、そのプロジェクトリーダーの所属大学に拠点を設置し、関連技術の人材育成、人的交流の拡大、周辺研究の実施を行うもの。ナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクトも複数実施している。

〔関係機関との連携〕

- ・ ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち新材料・新構造ナノ電子デバイスプロジェクト、希少金属代替材料開発プロジェクトにおいては、文部科学省との合同会議を設置するなど、連携しつつプロジェクトを推進している。

〔他省庁との連携〕

- ・ 総合科学技術会議 / 連携施策群において、「ナノバイオテクノロジー」「ナノテク研究推進と社会受容」等が設置され、関係省庁と連携して実施している。

## 6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

## 7．改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け制定。
- (2) 平成14年2月28日付け制定。材料ナノテクノロジープログラム基本計画（平成12・12・27工総第16号）は、廃止。
- (3) 平成15年3月10日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成14・02・25産局第8号）は、廃止。
- (4) 平成16年2月3日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成15・03・07産局第1号）は、廃止。
- (5) 平成17年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成16・02・03産局第7号）は、廃止。
- (6) 平成18年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成17・03・25産局第4号）は、廃止。
- (7) 平成19年4月2日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成18・03・31産局第13号）は、廃止。
- (8) 平成14年2月28日付け制定。
- (9) 平成15年3月10日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成14・02・25産局第9号）は、廃止。
- (10) 平成16年3月7日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成15・03・07産局第5号）は、廃止。
- (11) 平成17年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成16・03・07産局第5号）は、廃止。
- (12) 平成18年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成17・03・25産局第3号）は、廃止。
- (13) 平成19年4月2日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成18・03・31産局第14号）は、廃止。
- (14) 平成20年4月1日付け、ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成19・03・20産局第1号）および革新的部材プログラム基本計画（平成19・03・19産局第4号）は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (15) 平成21年4月1日付け制定。ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画（平成20・03・24産局第1号）は、廃止。

## エネルギーイノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを 2050 年までに半減するという長期目標を達成するため、以下に政策の柱毎に目的を示す。

#### 1-1. 総合エネルギー効率の向上

1970 年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030 年までに GDP あたりのエネルギー利用効率を約 30% 向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

#### 1-2. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ 100% を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030 年に向け、運輸部門の石油依存度が 80% 程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

#### 1-3. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

#### 1-4. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時に CO<sub>2</sub> を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

#### 1-5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

## 2. 政策的位置付け

低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）

2008年6月の福田総理（当時）のスピーチ「福田ビジョン」等を受け、我が国が低炭素社会へ移行していくための具体的な道筋を示すため、国全体を低炭素化へ動かす仕組みや革新的な技術開発、国民一人ひとりの行動を促すための取組について策定。

「環境エネルギー技術革新計画」や「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」等に示された革新的技術の開発に5年間で300億ドル程度を投入するという具体的な目標が示された。

環境エネルギー技術革新計画（2008年5月）

温室効果ガスの大幅な削減を目指すだけでなく、エネルギー安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献等を考慮し、以下の戦略等を策定。

1. 低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略
2. 国際的な温室効果ガス削減策への貢献策
3. 革新的環境エネルギー技術開発の推進方策

Cool Earth - エネルギー革新技術計画（2008年3月）

2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受け、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、エネルギー分野における革新的な技術開発について検討をおこない、21の技術を選定。

エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

経済成長戦略大綱（２００６年７月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

- １．省エネルギーフロントランナー計画
- ２．次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
- ３．新エネルギーイノベーション計画
- ４．原子力立国計画
- ５．資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

京都議定書目標達成計画（２００５年４月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

### ３．達成目標

#### ３ - 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、GDP当たりのエネルギー消費指数を２０３０年度までに少なくとも３０％改善することを目指す。

#### ３ - 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ１００％の運輸部門の石油依存度を２０３０年までに８０％程度とすることを目指す。

#### ３ - 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

#### ３ - 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

２０３０年以降においても、発電電力量に占める比率を３０～４０％程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

#### ３ - 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

#### 4. 研究開発内容

##### 4 - . 総合エネルギー効率の向上

##### 4 - - . 共通

###### (1) 省エネルギー革新技术開発事業(運営費交付金)

###### 概要

テーマ公募型事業として、「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」に基づき、「先導研究」、「実用化開発」及び「実証研究」の3つの技術開発フェーズに加え、「挑戦研究」フェーズを追加し、革新的な省エネルギー技術の開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標を実現するための「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の主旨に基づき、大幅な省エネルギー効果を発揮する革新的なエネルギー使用合理化技術について研究開発・実用化を推進する。

###### 研究開発時期

2003年度～2013年度

###### (2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業(運営費交付金)

###### 概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

###### 技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

###### 研究開発期間

2000年度～

###### (3) 新エネルギー技術実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

###### (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . 超燃焼システム技術

##### (1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発 (運営費交付金) (再掲)

###### 概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

###### 技術的目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

###### 研究開発期間

2008年度～2017年度

##### (2) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発 (運営費交付金)

###### 概要

高品位な製鉄材料(鉄鉱石・石炭等)の入手が困難になってきていることから、原料使用量の低減及び、比較的入手が容易な低品位原料の使用拡大を図ることが喫緊の課題となっている。本技術開発では、還元剤として低品位な石炭と鉄鉱石の塊成物を開発し、炉内反応の高速化・低温化を実現することにより、省エネルギーで高効率な革新的製鉄プロセスを開発する。

###### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、革新的塊成物の組成・構造条件の探索、革新的塊成物の製造プロセス、革新的塊成物による高炉操業プロセスを開発する。これらによる効果は、年産400万トン規模の中型高炉に適用した場合の炭材使用量のうち高品位炭使用量が約80%から50%程度に削減可能となるとともに、革新的塊成物を高炉に使用する操業技術の改良による還元材比の低減により、新開発のプロセスを含めた製鉄プロセスでの投入エネルギーは約10%削減される。

###### 研究開発期間

2009年度～2011年度

##### (3) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発 (運営費交付金)

###### 概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融(インフライトメルティング法)し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

###### 技術的目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(4) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発(運営費交付金)

概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)及びクリープ破壊、金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度



## (6) 希少金属等高効率回収システム開発

### 概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されているため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

### 技術目標及び達成時期

- ・ 従来方法(乾式製錬)で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現(省エネルギー効果:原油換算で約78万kL/年削減)
- ・ 廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上(インジウム0%→90%、ニッケル50%→95%、コバルト0%→95%、タンタル0%→80%、タングステン90%→95%、レアアース0%→80%)

### 研究開発期間

2007年度～2010年度

## (7) 低品位鉱石・難処理鉱石に対応した革新的製錬プロセス技術の研究開発

### 概要

世界的な鉱石品位の低下、不要元素等の不純物の増加に対応するため、我が国非鉄金属業においては、低品位鉱石の利用拡大による我が国の鉱物資源の安定供給確保の強化が喫緊の課題となっているため、低品位・難処理鉱石の革新的な省エネルギー型の製錬プロセスを開発する。

### 技術目標及び達成時期

低品位鉱石及び難処理鉱石から効率的に銅等有用な非鉄金属を回収するため、低品位鉱石・難処理鉱石に対応した省エネルギー型プロセスによる新たな選鉱技術、製錬技術及び不純物対策技術の研究開発を行う。

#### (1) 高品位精鉱回収技術

低品位鉱石・難処理鉱石から高品位の精鉱を得る選鉱技術の開発。

ハンドリングが難しい極微細鉱等難処理鉱を処理する製錬技術の開発。

#### (2) 有用金属の抽出等回収技術

低品位精鉱から含有金属を高効率に回収する製錬技術の開発。

#### (3) 高濃度不純物の除去等対策技術

不要な元素(ヒ素、ビスマス、アンチモン等)等を多く含む精鉱からの不純物除去、分離、安定化等技術の開発。

上記要素技術を開発し、将来的にエネルギー消費原単位の悪化が予測される非鉄金属製錬について、省エネルギー見込み量、原油換算約2.6万KLを達成。

### 研究開発期間

2009年度～2012年度

## (8) 環境調和型水循環技術開発

### 概要

我が国が強みを持つ、膜技術を始めとする水処理技術を強化し、省水型・環境調和型の水循環システムの開発に資する省エネ・省水型の要素技術を開発する。

### 技術目標及び達成時期

2013年度までに、以下の技術を開発する。

- 革新的膜分離技術の開発：

従来法に比べ膜透過加圧エネルギー等を50%以上削減。

- 省エネ型膜分離活性汚泥法(MBR)技術の開発：

従来法に比べ膜洗浄の曝気(空気気泡)エネルギー等を30%以上削減。

- 有用金属・有害物質の分離・回収技術の開発：

従来法に比べ汚泥の削減により汚泥処理・処分エネルギーを80%以上削減。

- 高効率難分解性物質分解技術の開発：

従来法に比べ窒素処理に係るエネルギーを50%以上削減。

オゾン酸化法等のエネルギーを50%以上削減。

### 研究開発期間

2009年度～2013年度

## (9) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発

### i) 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発(運営費交付金)

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス(モノ作り)の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する(バイオリファイナリー)ための基盤技術を開発する。

### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

### 研究開発期間

2006年度～2010年度

ii) 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御（デザイン化）することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(10) 省エネルギー型化学技術創成研究開発補助事業

概要

化学企業が有する技術シーズの中で、省エネルギーのポテンシャルが大きいにもかかわらず民間だけで事業を進めるには開発リスクが大きいこと等がネックになって十分な研究開発費が投じられていない技術に対して、戦略的な研究開発支援を実施することにより、化学産業のみならず、各種最終製品や他産業において抜本的なエネルギー効率の改善を促進するものである。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、将来の発展が有望な技術に関する研究開発の実施とその実用化と普及を通し、化学産業のみならず他分野も含めた我が国省エネルギー対策への一層の寄与を目標とする。

研究開発期間

2004年度～2010年度

(11) エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発

概要

製造エネルギーの低減を図ることができる革新的な繊維製品製造技術の開発や、使用することでエネルギー消費の低減が可能となる新たな繊維製品を開発。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、以下の開発を行う。

次世代資材用繊維の開発

ポリエチレンテレフタレート製造エネルギー低減技術の開発

研究開発期間

2005年度～2009年度

## (12) 高効率ガスタービン実用化技術開発

### 概要

省エネルギー及びCO<sub>2</sub>削減の観点から電力産業用高効率ガスタービンの実用化を目指し、大容量機(25万kW程度(コンバインド出力40万kW))の高効率化(52%~56%)のために1700級ガスタービンの実用化に必要な先端要素技術を適用した各要素モジュールの検証等を実施する。また、小中容量機(10万kW程度)の高効率化(45%~51%)のために有望とされている高湿分空気利用ガスタービンの実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの信頼性等の検証を行う。

### 技術的目標及び達成時期

1700級ガスタービン実用化技術開発：先端要素技術を活用した燃焼器、タービン、圧縮機等各モジュールの検証等を行い、送電端熱効率56%以上の達成が可能なことを確認する。

高湿分空気利用ガスタービン実用化技術開発：2011年までに軸流圧縮機の3.5%(空気重量比)吸気噴霧冷却技術、低NO<sub>x</sub>燃焼技術(運用負荷帯で10ppm以下)等を開発すると共に、実機に近い条件での要素機器の信頼性・耐久性を確認する。

### 研究開発期間

2008年度~2011年度

## (13) エネルギー使用合理化高効率パルプ工程技術開発(運営費交付金)

### 概要

紙パルプ産業では、環境に関する自主行動計画に基づき、2010年度までに製品当たり化石エネルギー原単位を1990年度比13%削減し、CO<sub>2</sub>排出原単位を10%削減することを目指し、紙パルプ工程における省エネルギー対策を着実に進めているものの、より一層の省エネルギー対策を進めるためには、技術開発によるブレークスルーが必要となっている。紙パルプ産業は、エネルギー多消費型産業のひとつであり、紙パルプ工程での省エネルギー対策は波及効果が大きいことから、紙パルプ工程におけるエネルギー使用合理化に資する技術開発を提案公募により実施する。

### 技術的目標及び達成時期

京都議定書の第1約束期間中、又は、第2約束期間中を目途として実用化に至るような技術開発を行うことで、京都議定書の第1約束期間の目標を着実に達成するとともに、現在、検討が行われている第2約束期間に向けた省エネルギー対策の更なる深化を進めていく。

### 研究開発期間

2005年度~2010年度

## (14) 革新的省エネセラミックス製造技術開発(運営費交付金)

### 概要

小型炉設備で生産可能な小型セラミック中空ユニットを複数組みあわせること

で、これまでその製造が難しかった複雑な形状を持つ大型セラミックス部材を省エネで製作することができる革新的なセラミック部材製造技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。  
技術目標及び達成時期

2013年度までに、高機能化された小さな精密ブロックを立体的に組み上げ、高効率で接合、一体化をし、複雑な形状の部材や大型の部材を製造可能とする革新的なプロセス技術の基盤を確立し、高耐性部材、高温断熱部材及び高比剛性部材の試作を行う。

研究開発期間

2009年度～2013年度

- (15) 発電プラント用超高純度金属材料開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (16) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発(4 - - 参照)
- (17) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発(4 - - 参照)
- (18) 石油精製高度機能融合技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - . 時空を超えたエネルギー利用技術

- (1) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト(運営費交付金)

概要

高純度、高密度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いた従来よりも格段にパワー(電力)と蓄電量が大きなキャパシタを開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。  
技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、20Wh/Kgの高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- (2) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (9) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (10) 大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (11) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (12) 革新型蓄電池先端科学基礎研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . 省エネ型情報生活空間創生技術

##### (1) グリーンITプロジェクト(運営費交付金)

###### 概要

情報化社会の進展に伴うIT機器の消費電力の大幅な増大に対応し、抜本的な省エネを実現するため、サーバ、ネットワーク機器等の各装置の省エネに加え、省エネ型の巨大コンピューティング技術(グリーン・クラウドコンピューティング技術)、パワーエレクトロニクス技術を開発する。

###### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、IT機器・システムのエネルギー消費効率を2倍に向上させる基盤技術を開発する。

###### 研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発(運営費交付金)

###### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ネットワークで伝送されるデータ量の爆発的増加に伴い、関連機器の消費エネルギーが増大している中で、ネットワーク全体の消費電力量を抑制することが喫緊の課題であり、消費エネルギーの低減に大きく貢献するルータ・スイッチの高速化のための研究開発を実施するとともに、機器そのものの消費エネルギーを低減するための研究開発を実施する。

###### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、1チャンネルあたり40Gbps超の通信速度に対応するトラフィック計測・分析・管理技術や40Gbpsのインターフェース、さらなる通信速度向上(100Gbps超)を実現するハードウェア技術、SFQ(単一磁束量子)スイッチに関する実現を可能とするための基盤技術を開発する。

###### 研究開発期間

2007年度～2011年度

##### (3) 次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術開発(運営費交付金)

###### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、次世代の大型液晶及び大型プラズマディスプレイに関する低消費電力ディスプレイを実現するための研究開発を行う。

###### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、液晶に関しては、高効率バックライト、革新的なTFTアレイプロセス技術・製造装置及び低消費電力型の画像処理エンジン等に係る技術を確立する。また、プラズマディスプレイに関しては、超低電圧駆動等に係る技術を確立する。

###### 研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 有機発光機構を用いた高効率照明の開発 (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、蛍光灯に代わる高効率照明として有機EL発光機構を用いるための技術開発課題(発光効率、演色性、面均一性、生産コスト)等を明らかにし、それをブレイクスルーしうる技術シーズを抽出する。

技術目標及び達成時期

2009年までに現在一般に普及している蛍光灯照明に代わる高効率照明としての必要スペックを達成するとともに、次世代照明として同じく期待されているLEDとの差別化要素を技術的に達成し、大面積/高スループット/低コストで量産するプロセス技術を開発する。また、現在蛍光灯の間接・拡散照明が用いられている照明機器を代替する有機EL照明を実用的なコストで製造できる技術を確認する。

研究開発期間

2007年度～2009年度

(5) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発 (運営費交付金)

概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を持つ壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率(熱の伝わりやすさ)が $0.3\text{ W/m}^2\text{ K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{ W/m}^2\text{ K}$ 以下、光(可視光)透過率が65%以上(Low-Eガラス使用)、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発 (運営費交付金)

概要

製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確立する。

#### 研究開発期間

2006年度～2009年度

### (7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発（運営費交付金）

#### 概要

近接場光の原理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

#### 研究開発期間

2006年度～2010年度

### (8) 次世代光波制御材料・素子化技術（運営費交付金）

#### 概要

ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

#### 研究開発期間

2006年度～2010年度

### (9) 次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業

（運営費交付金）

#### 概要

ゼロ・エミッションハウスによる生活の大幅な省エネの実現に向け、家屋内直流配電システムや、電力需給の状態に応じた太陽電池等の分散型電源の制御、電力ネットワークを活用した家電の制御等、住宅全体としてエネルギーの最適制御



を行うシステムの開発・実証を行う。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、直流給電・配電に関する規格の標準化、直流配電の電流・電圧の規格化、蓄電池設置に係る安全規制の改正に対する提案が可能となる技術を確立する。

研究開発期間

2009年度～2011年度

#### 4 - - . 先進交通社会確立技術

##### (1) エネルギー I T S ( 運営費交付金 )

概要

平成19年5月の「次世代自動車・燃料イニシアティブ」に基づき、運輸部門のエネルギー消費効率改善のため、自動運転・隊列走行技術、高度交通流制御技術等の省エネルギーに資する I T S 技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2012年度までにCO2削減効果評価方法の確立を図るとともに、2020年代に実用化が見通せる運転制御、隊列走行の基盤技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発 ( 運営費交付金 )

概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料 ( C F R T P ) の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、高速成形技術、接合技術及びリサイクル技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (3) 次世代構造部材創製・加工技術開発 ( 次世代航空機用 )

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、航空機、高速車両等の輸送機器への先進材料の本格導入を加速させるため、先進複合材料及び先進金属材料について部材開発、設計試作及び評価を実施することで、軽量化によりエネルギー使用効率を大幅に向上させる革新的な構造部材の創製・加工技術の開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、複合材の構造健全性診断技術、チタン合金の創製・加工技術を確立するとともに、航空機用エンジンへの適用を目指し、耐熱・耐衝撃性に優れた複合材料を開発する。

#### 研究開発期間

2003年度～2012年度

#### (4) 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発(運営費交付金)

##### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、エネルギー使用効率を大幅に向上し、環境対策にも優れた次世代の小型航空機用エンジンの開発にとって重要な要素技術の研究開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、エネルギー使用効率を大幅に向上する構造設計技術、騒音、NOx等の環境負荷対応に優れた環境対策技術、インテグレーション技術、高バイパス比化等の高性能化技術といった要素技術の研究開発・実証を行う。

#### 研究開発期間

2003年度～2010年度

#### (5) 省エネ用炭素繊維複合材技術開発

##### 概要

航空機、自動車、鉄道、船舶等の輸送機械等における炭素繊維複合材の適用範囲を拡大し、省エネルギーの促進を図るため、先進的な炭素繊維複合材成形技術や、耐雷対策の容易化技術等の研究開発・実証を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2013年度までに、従来の方法に比べ、曲率の大きな部位の成形も行うことができるVaRTM(バータム)法等の炭素繊維複合材成形技術や、炭素繊維複合材を用いた製品の耐雷性能を容易に確保する技術の研究開発・実証を行う。

#### 研究開発期間

2008年度～2013年度

#### (6) 燃料電池システム等実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### (7) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

### 4 - - . 次世代省エネデバイス技術

#### (1) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発(運営費交付金)

##### 概要

窒化物系化合物半導体は、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、重要なデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減への貢献を期待されている。このため、従来の半導体材料では実現出来ない領域で動作可能なハイパワー・超

高効率の電子素子、超高速電子素子等の作成に必要な窒化物系化合物半導体先進技術の国際競争力を強化すべく、高品質かつ大口径単結晶基板、高品質かつ大口径エピタキシャル成長技術等の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。  
技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

1) 基板技術 (GaN、AlNバルク結晶作製技術)

・口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。

2) エピ技術 (エピタキシャル成膜及び計測評価技術)

・低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。

・高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現

・高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

研究開発期間

2007年度～2011年度

## (2) 次世代低消費電力半導体基盤技術開発 (MIRAI) (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード(微細化レベル)45nm以細の次世代低消費電力半導体を実現するため、微細加工の基盤技術やマスク(半導体素子製造過程で用いる原板)の低コスト化・製造時間短縮に必要な基盤技術の開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、マスク設計・描画・検査の各工程に共通的なマスクデータ処理技術、繰り返しパターンやパターン重要度を利用した描画・検査高速化技術等の基本的な開発及びEUVLマスク基盤技術として、許容欠陥の指標明確化、ブランクス位相欠陥検査技術の確立等を完了する。

研究開発期間

2001年度～2010年度

## (3) 半導体アプリケーションチッププロジェクト (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、情報通信機器、特に、情報家電(車載を含む)の低消費電力化を実現できる半導体アプリケーションチップ技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに情報家電の低消費電力化を実現できるアプリケーションチ

ップ技術を開発する。

研究開発期間

2003年度～2009年度

(4) 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード45nm以細の半導体に対応するSoC(System on Chip)設計技術を開発する。具体的には、テクノロジーノード45nm以細の半導体の共通設計基盤技術開発として、DFM(Design For Manufacturing)基盤技術を中核とした設計及び製造の全体最適を確保する全く新しいSoC製造フローを開発する。

技術目標及び達成時期

テクノロジーノード45nm以細のSoC開発において製造性を考慮した共通設計基盤技術を確立し、システムLSIデバイスの省エネルギーを実現するとともに、設計生産性を従来予想に比べ2倍にすることを目標とする。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 半導体機能性材料の高度評価基盤開発(運営費交付金)

概要

情報通信機器の高機能化や低消費電力化等の要求を満たす半導体集積回路を実現するため、新たな機能性材料開発に貢献する評価基盤技術を開発し、さらに開発した機能性材料の半導体及び半導体集積回路への適用を可能とする統合的なソリューション技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、半導体デバイス性能に直結する接合素子の性能性及び信頼性等、半導体製造プロセス全体を俯瞰しつつ、機能性材料開発が可能となる評価基盤技術を開発し、開発した機能性材料を用いた統合的なソリューションが提案できる材料評価基盤を構築する。

研究開発期間

2009年度～2011年度

4 - - . その他

(1) 次世代構造部材創製・加工技術開発(次世代衛星基盤)

概要

国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力を強化するべく、準天頂衛星システム(利用者に対し、米国が運用するGPSとの補完による高精度な位置情報等の提供を可能にするシステム)の構築に不可欠な基盤技術(産業競争力強

化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等)の開発を行う。本プロジェクトの一部については、他部門と比較して需要増加の割合が高い運輸部門のエネルギー消費を抑制すべく、自動車、高速車両等の輸送機器の軽量化・効率化にも資する複合材料製造設計等の基盤技術を確立するためのものであり、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に複数の衛星を配置し、見かけ上、常に天頂付近に最低1つの衛星を位置させるシステム。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、準天頂衛星システムの構築に不可欠な基盤技術(産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等)の開発を実施し、宇宙空間での技術実証を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

#### 4 - . 運輸部門の燃料多様化

##### 4 - - . 共通

- (1) 新エネルギー技術実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . バイオマス由来燃料

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) E3地域流通スタンダードモデル(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) セルロース系エタノール革新的生産システム開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . G T L 等の合成液体燃料

- (1) 天然ガスの液体燃料化(G T L)技術実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . 燃料電池自動車および水素関連技術

- (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 燃料電池システム等実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . 電気自動車

- (1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 革新型蓄電池先端科学基礎研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - . 新エネルギー等の開発・導入促進

##### 4 - - . 共通

###### (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)

###### 概要

新エネルギーの自立的普及に向けて、太陽光、風力、バイオマスなど新エネルギー分野でのイノベーションを促進すべく、高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発を実施する。具体的には以下の研究開発を実施する。

- A. 革新的な太陽電池の開発を実施する研究拠点を形成し、海外との研究協力等を行いながら、超長期の視野に立って、飛躍的な性能向上を目指した太陽光発電技術の開発を推進する。(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)
- B. 中長期的に、より一層の高効率化と低コスト化を目指して、革新的な材料、構造等を採用した太陽光発電技術の開発を推進する。(太陽光発電システム未来技術研究開発)
- C. 2020年の目標発電コスト14円/kWhおよび太陽光発電システムの大幅な効率向上を実現すべく、未来技術研究開発などで得られた要素技術開発の成果の内、実用化が期待できる太陽電池作製に係る技術について課題を設定し早期実用化を助成する。(太陽光発電システム実用化促進技術開発)
- D. 電力供給源としての太陽光発電の信頼性を確立し、今後の太陽光発電システムの円滑な普及促進を図るため、太陽光発電システムの大量普及時に不可欠な性能評価技術やリサイクル・リユース技術等システムの共通基盤技術に係る研究等を実施する。(太陽光発電システム共通基盤技術研究開発)
- E. PVシステムの普及拡大のため、「集中連系型太陽光発電システム実証研究」の設備を有効利用しながら、認証制度にも資する複数台連系に係わる試験方法を確立する。(単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究)
- F. 風力発電技術の国際的な動向を把握しつつ、我が国の複雑地形における風力発電利用上の各種課題を克服するための基礎から応用までの技術について研究開発を行う。具体的には我が国の厳しい風特性を反映した風特性モデルの確立及び高々度風況観測を簡便に行うためのリモートセンシング技術の精度検証・評価を行う。

また、全国規模での落雷電流計測、落雷様相観測による雷特性の把握、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関把握、上記を踏まえた効果的な落雷保護対策の検討及び実機規模での実雷による保護対策検証等を実施し、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。(次世代風力発電技術研究開発事業)
- G. 我が国特有の海上特性や気象・海象条件を把握し、これらの自然条件に適した洋上風況観測法や風力発電システムに関する技術開発とその実証を行なうと共に、環境影響評価システム手法を確立する。(洋上風力発電技術研究開発)
- H. バイオマスのエネルギー利用の促進を図るためには、発生地域が分散し、形状・性状が多種多様にわたるバイオマス資源を利用しやすい形態の有用エネルギーへ効率的に転換できる技術を開発する。(バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発)

I . 世界的にもベンチャー企業による太陽光発電、新型風力発電、燃料電池、バイオ燃料分野におけるイノベーション活動が活発化していることを踏まえ、詳細目標設定・多段階選抜形の米国 S B I R 制度を参考に特定のキーテクノロジーに対するベンチャーのチャレンジを強力に支援する。(新エネルギーベンチャー技術革新事業)

#### 技術目標及び達成時期

- A . 2050年までに「変換効率が40%超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み(7円/kWh)」の太陽電池を実用化することを目指した研究開発の中で、変換効率40%超の実現に向けた技術の基礎・探索研究段階と位置づけて研究開発を実施する。
- B . 2020年頃に業務用電力料金並の発電コスト(14円/kWh、モジュール製造原価として75円/W程度)、2030年頃に火力発電の発電コスト(7円/kWh、モジュール製造原価として50円/W程度)の実現に向けた中・長期的な技術開発を行う。
- C . 2015年に向けて市場競争力を備えた本格生産・商用化を目指す。
- D . 2020年度の技術開発目標である発電コスト14円/kWhを目指し、中期的な視点での太陽光発電の普及拡大に資する。
- E . 2009年度末までに、電力系統側が受け入れ可能な、導入台数の制限のない能動型単独運転検出装置の試験方法を確立する。
- F . 2012年度までに、風力発電の基礎から応用までの技術について、国際的な動向を把握しつつ、我が国特有の気象・地形に起因する各種問題(風車耐久性等)を克服するための研究開発を行って、我が国の風車産業の振興に資するとともに、IEA RD&D WINDなどの最先端の国際的風力発電共同研究に研究成果を反映させる。
- また、2012年度までに、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。
- G . 2013年度までに、我が国の海象・気象条件に適した、洋上風況観測システム、洋上風力発電システム及び環境影響評価の手法等の技術を確立する。
- H . 2004年度より、バイオマスエネルギー転換プロセスにおける各工程のボトルネックを抽出し、2008年度までに開発が完了するよう、それぞれのボトルネックをブレイクスルーする要素技術開発を提案公募方式により実施する。更に、2005年度より2009年度まで、バイオマスのエネルギー転換・利用技術等の分野において2030年の普及を目指した新規な革新的技術を発掘するための先導技術研究開発を提案公募方式により実施する。
- I . 潜在的なオプションの顕在化や関連産業分野の技術開発による技術革新により、新エネルギー導入促進技術オプションの多様化と経済性の向上に寄与する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

## (2) 新エネルギー技術フィールドテスト事業(運営費交付金)

### 概要

2010年度の新エネルギー導入目標達成に向け、新技術を活用した太陽光発電及び太陽熱利用システムの有効性の検証、バイオマス熱利用システムの性能・経済性等の検証、風車立地に必要な高所の風況データの収集・解析など総合的な新エネルギーフィールドテストを実施する。具体的には以下のフィールドテストを実施する。

- A. 新技術を活用した太陽光発電システム等を設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽光発電新技術等フィールドテスト事業)
- B. 新利用形態の太陽熱利用システムや未利用分野においてシステムを設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業)
- C. 広く薄く賦存するバイオマスを、民間企業や研究機関等において研究開発が終了段階をむかえた高効率に熱利用できるシステムを設置し、設置場所の熱需要に合わせたフィールドテストを実施することにより、実運転におけるバイオマス熱利用転換システムとしての課題抽出、解決を行い、早期実用化を図り、バイオマスエネルギーの導入促進を行う。(地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業)
- D. 風力発電の導入目標(2010年度300万kW)を達成するため、共同研究事業者と大型風車の導入普及に必要な高所の風況データの収集・解析・評価を行い、公開する。(風力発電フィールドテスト事業)

### 技術目標及び達成時期

- A. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- B. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度に改訂する。また、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- C. 一定レベルまで確立されたバイオマス熱利用技術について、性能や経済性等の状況・データを収集・分析し、熱利用システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで汎用性の高い熱利用システムの確立し、2010年度のバイオマス熱利用の導入目標(308万KL)達成を目指す
- D. 2010年度までに、高所の風況データの解析・評価を行い、導入普及に有用な資料の取りまとめを行い、これらの結果を風力発電事業者、研究機関や風力発電事業を計画している各種団体等に公開することにより、風力発電導入の素地を形成し、風力発電の導入を拡大する。

### 研究開発期間

2007年度～2011年度



### (3) 新エネルギー技術実用化補助金(運営費交付金)

#### 概要

科学技術基本計画における戦略的技術領域・課題にかかる技術課題等で石油代替エネルギーの製造・生成・利用に資する実用化開発を行う民間企業に対し助成支援する。

#### 技術目標及び達成時期

助成事業終了後3年以上を経過した時点で25%の実用化達成率。加えて、知的資産経営の方針に対する審査時の評価を通じて、「技術等の知的資産を活かす経営の下で収益拡大を図る(技術を経営、収益につなげる)」意識を普及させる。

#### 研究開発期間

2000年度～

### (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)

#### 概要

産業界や社会のニーズに応える石油代替技術のシーズの発掘とその育成、並びに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の若手研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって石油代替効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

#### 技術目標及び達成時期

独創性のある若手研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的石油代替技術の研究開発を促進する。本事業では革新的石油代替技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

#### 研究開発期間

2000年度～

## 4 - - . 太陽・風力

### (1) 太陽光発電無線送受電技術の研究開発

#### 概要

将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システム(SSPS)の中核的技術として応用可能なマイクロ波による太陽光発電無線送受電技術の確立に向け、安全性や効率性等の確保に不可欠な精密ビーム制御技術の研究開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2012年度までに複数のフェーズドアレイパネル間の位相同期を行い、パイロット信号の方向にマイクロ波を電送するレトロディレクティブ技術を活用した精密ビーム制御技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

#### 4 - - . 電力系統制御・電力貯蔵

##### (1) 革新型蓄電池先端科学基礎研究(運営費交付金)

概要

電池の基礎的な反応原理・反応メカニズムを解明することで、既存の蓄電池の性能向上及び革新型蓄電との実現に向けた基礎技術の確立を目指す。

技術目標及び達成時期

世界最高レベルの放射光施設を用いた評価装置により、蓄電池の反応メカニズムを解明するとともに、2030年に電気自動車の航続距離500km、コスト1/40を実現すべく、新材料の開発を行う。

研究開発期間

2009年度～2015年度

##### (2) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### (3) 大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . バイオマス・廃棄物・地熱等

##### (1) E3地域流通スタンダードモデル創成事業(運営費交付金)

概要

離島(全域)におけるエタノール3%混合ガソリン(E3)の製造から給油までの大規模なフィールドテストを通じ、E3利用に関する社会システムモデルの構築と一般社会へ適用する際の技術課題の抽出を行う。

技術目標及び達成時期

2010年の「京都議定書目標達成計画」の導入目標(50万kl)に資するため、2009年度にE3利用の社会モデルを構築し、2011年度までにその検証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

##### (2) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)

概要

地域に賦存する未活用な資源であるバイオマスをエネルギーとして有効活用するため、溶融ガス化等熱化学的変換技術による燃料化システムやメタンガス等生物化学的変換技術による燃料化システム等の実証試験事業、事業可能性調査等を実施し、利用ノウハウ等を蓄積、本格的なバイオマス等エネルギーの導入を推進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、バイオマス等の種別やエネルギー変換手法、更には地域

特性を加味した一連のエネルギー転換システム毎のフィージビリティスタディや試験設備の設置により、バイオマス等の運搬・収集、エネルギー転換及びエネルギー利用に係るデータの収集、分析、評価を実施し、その結果をフィードバックすることによって本格的なバイオマス等エネルギーの導入を目指す。

研究開発期間

2001年度～2009年度

### (3) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業（運営費交付金）

概要

バイオマスエネルギーの資源収集・運搬、転換、残渣処理、利用までの一連の利活用システムについての、各要素の連携の最適化を図るための実証を実施することによって、地域特性に適合した地域主導によるバイオマスの地産地消・地域循環型の先導的モデルシステムを構築することによりバイオマスエネルギーの導入を促進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国内バイオマス資源の安定的かつ経済的な供給システム、最適なエネルギー転換技術、エネルギー転換後に発生する残渣の処理等の一連の地産地消型エネルギー転換システムについて、ノウハウ蓄積、課題抽出及びその対策方法の策定、技術確立を行う。また、ここで確立されたバイオマスエネルギーシステムは他地域への波及を先導する事例となることを目標とする。

研究開発期間

2005年度～2009年度

### (4) セルロース系エタノール革新的生産システム開発（運営費交付金）

概要

大規模安定供給が可能で、かつ食料と競合しない、草本系、木質系のセルロース系バイオマス原料の栽培からバイオエタノール製造までの一貫生産システムを構築し、環境負荷、経済性等を評価する。加えて、大規模生産に当たり危惧されている、生態系破壊、森林破壊、ライフサイクルでの環境負荷増大等の負の影響についての適切な評価、認証等、持続可能なバイオ燃料の生産拡大を担保する社会システム整備のあり方についても調査研究を行う。

技術目標及び達成時期

2015年までに、製造コスト40円/L以下、エネルギー回収率35%以上を達成するための技術開発を行う。

研究開発期間

2009年度～2013年度

#### 4 - - . 燃料電池

##### (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

###### 概要

自動車用、家庭・業務用等に利用される固体高分子形燃料電池(PEFC)の実用化・普及に向け、要素技術、システム化技術及び次世代技術等の開発を行うとともに、共通的な課題解決に向けた研究開発の体制の構築を図る。

###### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、固体高分子形燃料電池の経済性・耐久性の向上や高性能化のための技術開発を行い、燃料電池の普及段階へ向けて必要な基本的技術を確立する。

###### 研究開発期間

2005年度～2009年度

##### (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)

###### 概要

燃料電池の基本的反応メカニズムについての根本的な理解を深めるために、高度な科学的知見を要する現象解析及びそのための研究体制の整備を行い、現状の技術開発における壁を打破するための知見を蓄積する。

###### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、燃料電池内における反応機構を電気化学(電極触媒反応、イオン移動、分子移動等)及び材料化学(溶解・腐食反応、錯形成反応、ラジカル反応、固相内拡散等)の観点から解明する。また、燃料電池新技術の性能を適切に評価・実証するための基本システムを構築する。

###### 研究開発期間

2005年度～2009年度

##### (3) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)

###### 概要

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は発電効率が高く、分散型電源として期待されるが、実用化・普及のためには耐久性・信頼性向上、低コスト化等の課題を解決することが必要であり、材料開発や劣化要因解明など基盤的な要素技術の研究を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、耐久性・信頼性の向上のための劣化要因解明等の基礎研究、低コスト化のための材料等や高出力セルスタックの開発、起動停止対応等の実用性向上のための技術開発を実施する。

###### 研究開発期間

2008年度～2012年度

#### (4) セラミックリアクター開発 (運営費交付金)

##### 概要

低温域かつ高効率なエネルギー変換を可能とする次世代型セラミックリアクターの実現のため、世界最高効率の燃料電池マイクロセルの集積構造技術等の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

##### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時 (650 以下)での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証 (出力性能2 kW/L等)を行う。

##### 研究開発期間

2005年度～2009年度

#### (5) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 (運営費交付金)

##### 概要

水素の製造・輸送・貯蔵等に係る機器やシステムについて、性能・信頼性・耐久性の向上や低コスト化を目指す水素利用技術の研究開発を行い、水素社会の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

##### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素製造・貯蔵・輸送・充填に関する機器やシステムの信頼性・耐久性向上、低コスト化、性能向上等実用化検証や要素技術開発、及び当該技術を飛躍的に進展させることができる革新的技術開発や調査研究などを行い、その成果を産業界に提供することにより、水素エネルギー初期導入間近の関連機器製造・普及技術として完成させ、水素社会の真の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

##### 研究開発期間

2008年度～2012年度

#### (6) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業 (運営費交付金)

##### 概要

世界トップ水準の優れた研究者を中核に、国内外の研究機関・企業のバーチャルな連携の下、高圧水素貯蔵に比べよりコンパクトかつ効率的な水素貯蔵を可能とする水素貯蔵材料の性能向上に必要な条件等を明らかにすることにより、燃料電池自動車の航続距離の飛躍的向上を図る。

##### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、水素貯蔵材料の基本原理、さらには水素貯蔵能力の革新的向上に必要な条件を明らかにすることにより、水素をより安全・簡便・効率的かつ低コストに輸送・貯蔵するための技術基盤を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(7) 水素先端科学基礎研究事業（運営費交付金）

概要

水素の輸送や貯蔵に必須な材料に関し、水素脆化等の基本原理の解明及び対策の検討を中心とした高度な科学的知見を要する先端的研究を、国内外の研究者を結集し行うことにより、水素をより安全・簡便に利用するための技術基盤を確立する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素脆化、水素トライボロジーの基本原理の解明及び対策の検討等を行い、水素をより安全・簡便に利用するための技術指針を産業界に提供する。

研究開発期間

2006年度～2012年度

(8) 水素社会構築共通基盤整備事業（運営費交付金）

概要

燃料電池の導入・普及に資する基盤整備のため、製品性能の試験・評価手法及び国内外の基準・標準の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度を目途に、安全性等に係るデータを取得し、そのデータを基に試験・評価手法の確立、国際標準の確立、規制の再点検を三位一体で進める。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(9) 固体酸化物形燃料電池実証研究（運営費交付金）

概要

発電効率が高く、分散型電源として期待される固体酸化物形燃料電池（SOFC）の研究開発・実用化の促進のため、耐久性を始めとしたデータの取得・課題抽出等のための実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、SOFCシステムの実証試験を数十～数百台規模で実施し、蓄積が不足している耐久性を始めとした実証データの取得・課題抽出等を行い、SOFC技術開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2007年度～2010年度

( 1 0 ) 燃料電池システム等実証研究 ( 運営費交付金 )

概要

実条件に近い中での燃料電池自動車等の実証走行や、高圧水素貯蔵システム、多角的な燃料供給システムの検証を進め、水素エネルギー社会における水素利用の課題等を抽出するとともに、燃料電池・水素に対する国民的理解の醸成を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実使用条件下における技術的課題を抽出するとともに、環境特性、エネルギー総合効率、安全性、耐久性等に関する基準・標準に資するデータを取得し、燃料電池自動車、水素ステーションの研究開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2006年度～2010年度

( 1 1 ) 将来型燃料高度利用技術開発 ( 4 - - 参照 )

4 - . 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

4 - - . 軽水炉・軽水炉核燃料サイクル

< 新型軽水炉 >

( 1 ) 次世代軽水炉等技術開発

概要

2030年前後に見込まれる大規模な代替炉建設需要に対応するため、安全性・経済性、信頼性等に優れ、世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の技術開発を行う

技術目標及び達成時期

2010年度までに、次世代軽水炉の実現に必要な要素技術開発等及びプラント概念の成立性について見通しを得るための概念設計検討を行う。

研究開発期間

2008年度～2010年度 ( 見直し )

< 軽水炉使用済燃料再処理技術の高度化 >

( 2 ) 使用済燃料再処理事業高度化

概要

再処理施設で用いられるガラス固化技術について、より多くの白金族元素等を含む高レベル廃液を溶融可能な新しい性状のガラスを開発するとともに、これに対応しうる新型の溶融炉を開発することにより、我が国の使用済燃料再処理技術の高度化を図る。新型ガラス溶融炉の開発に際しては、六ヶ所再処理工場の運転経験を反映する研究もあわせ行う。

技術目標及び達成時期

より多くの白金族元素等を含む高レベル廃液を溶融可能なガラス及び溶融炉の開発等によって、より高品質のガラス固化体を製造可能なガラス固化技術を開発する。

また、本事業によって開発されたガラス固化技術を、5年程度で更新が計画されている日本原燃株式会社六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉及び同工場のガラス固化施設の運転に反映させる。

研究開発期間

2009年度～2011年度

#### < プルサーマルの推進 >

##### (3) 全炉心混合酸化物燃料原子炉施設技術開発

概要

プルサーマルが当面のプルトニウム利用策として期待されていることを踏まえ、既存の軽水炉に比べ約3倍のプルトニウムを装荷することができる全炉心混合酸化物燃料原子炉に必要な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、原子炉の開発に必要な設計、解析、試験等を行い、全炉心混合酸化物燃料原子炉技術を確立する。

研究開発期間

1996年度～2011年度

#### < 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行のための技術開発 >

##### (4) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。そのなかで、次世代再処理工場から発生する高線量回収ウラン等を既存軽水炉燃料製造施設で取扱可能とする、次世代再処理工場と調和可能な回収ウラン等の除染技術について、調査・基礎試験等を行い、商業的に利用可能な除染技術候補の検討等を実施する。選定された技術については、プロセス試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、回収ウラン等の除染プロセスの候補技術の洗い出し及び候補プロセス技術の基礎試験を終了し、次世代再処理技術との適合性の検証を行い、プロセス試験を実施すべき除染プロセス技術を選定する。

また、2015年までに、選定した除染プロセス技術について工学化規模でのプロセス試験を行い、商業的に利用可能な転換前高除染技術としての実効性を検証する。

研究開発期間

2007年度～2015年度

#### < ウラン濃縮技術の高度化 >

##### (5) 遠心法ウラン濃縮技術開発

概要

我が国におけるウラン濃縮技術や生産能力の維持・向上のため、世界最高水準



の性能を有するなど国際的に比肩し得る経済性と性能を有する新型遠心分離機を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国際役務価格\$100/kg SWU相当を目指して、現在実用化している金属胨遠心分離機の約5倍という高い分離性能や同遠心分離器を上回る寿命など国際的に比肩し得る技術レベルを有する新型遠心分離機の開発を目指すとともに、最終仕様の新型遠心分離機を多数台用いたカスケード試験の実施により商用プラントとしての信頼性を確立し、運転要領の策定を行う。

研究開発期間

2002年度～2009年度

#### < 回収ウラン >

##### (6) 回収ウラン利用技術開発

概要

六ヶ所再処理工場で回収される回収ウランを再濃縮し、再び軽水炉で利用するため、濃縮施設等既存施設への影響等を把握し、転換プロセスを中心とした回収ウラン利用技術を開発する。併せて劣化ウラン酸化固形化についても検討を行う。

技術目標及び達成時期

2012年頃までに、劣化ウランの取扱・管理の容易さや貯蔵効率を向上させるための劣化ウラン酸化固形化（再転換を含む）技術の研究開発を行い、同技術に係る基礎プロセスを確立する。2015年度頃までに、再処理により回収される回収ウランの濃縮が可能な商用遠心分離機的设计を確定する。

研究開発期間

2008年度～2015年度

#### < 共通基盤技術開発 >

##### (7) 革新的実用原子力技術開発

概要

第4世代原子力システムに関する国際フォーラム（GIF）や国際原子力エネルギー・パートナーシップ（GNEP）等の国際協力枠組みにおいて国際連携による研究開発が提案されている技術分野や、近年希薄化が懸念される原子力を支える基盤技術分野について、産業界の参画やニーズ提示のもと、大学等が実施する研究活動への支援や将来の原子力人材の育成を実施しており、各分野の目的に沿った革新的な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度まで、基盤技術分野、国際協力技術分野において個別テーマ毎に研究開発を実施する。

研究開発期間

2000年度～2011年度（見直し）

#### 4 - - . 高速増殖炉（FBR）サイクル

##### （1）発電用新型炉等技術開発

###### 概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。具体的には、実証炉に必要な要素技術のうち、設計・建設段階において必要となる実プラント技術として、格納容器設計技術、耐震性評価技術、高温材料設計技術、保守・補修技術、大型構造物製作技術の試験等を実施する。

###### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証炉の概念設計へ反映しうる設計基準データ等の技術的根拠を得る。

###### 研究開発期間

2007年度～2010年度

##### （2）高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発（4 - - 参照）

#### 4 - - . 放射性廃棄物処理処分

##### （1）地層処分技術調査等

###### 概要

###### ）地層処分共通技術開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分における共通的技術として、今後段階的に進められる処分地選定の際に重要となる地質等調査技術の高度化開発を行う。

###### ）高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

高レベル放射性廃棄物処分に係る基盤技術として、人工バリア等の長期性能評価技術、処分場操業の際のオーバーパック溶接や搬送・定置等の遠隔操作技術の開発を行う。

###### ）TRU廃棄物処分関連技術開発

TRU廃棄物の地層処分に係る基盤技術として、高レベル放射性廃棄物との併置処分の可能性も念頭に、TRU廃棄物に固有に含まれる核種の閉じ込め技術や人工バリア等の長期性能評価技術の開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

###### ）地層処分共通技術開発

2011年度までに、処分地選定の初期段階で必要となる地上からの調査技術のうち、特に沿岸域の環境や高精度での地下水評価等に係る調査評価技術の高度化・確証を行う。

###### ）高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

2011年度までに、人工バリア等の長期性能評価技術や遠隔操作等の工学技術について高度化を図り、幅広い地質環境に対応可能な技術選択肢と成立性を提示する。

###### ）TRU廃棄物処分関連技術開発

2011年度までに、TRU廃棄物に固有に含まれるヨウ素129や炭素1

4の閉じ込め、高アルカリ環境下での人工バリアの性能評価等に関し、幅広い地質環境に対応可能なデータ・モデルの整備と技術選択肢の提示を行う。

研究開発期間

1998年度～2011年度

(2) 管理型処分技術調査等

) 地下空洞型処分施設性能確認試験

概要

TRU廃棄物や発電所廃棄物等の余裕深度処分において検討されている「地下空洞型処分施設」の成立性確認のため、実規模大の空洞を利用した総合的な確認試験を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、実規模大の空洞内にコンクリートピット等からなる地下空洞型処分施設を構築し、施工性や初期性能の総合的な確認を行う。

研究開発期間

2006年度～2011年

(3) 放射性廃棄物共通技術調査等

概要

) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

放射性廃棄物処分に係る国内外の最新知見の収集・分析、重要かつ基礎的な課題の抽出並びに研究を実施し、長期に及ぶ処分事業等を支える技術基盤の拡充を図る。

) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

放射性廃棄物処分の安全評価に共通的な基盤情報として、生物圏における核種移行プロセスを評価するため、日本の風土を反映した核種移行パラメータ・モデルを整備する。

技術目標及び達成時期

) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

2011年度までに、放射性廃棄物処分に共通的な重要基礎技術として、地質環境の長期安定性評価、人工バリアや岩盤の長期挙動評価等に係る知見を整備する。

) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

2011年度までに、沿岸域の環境も含めたわが国表層環境への適用とTRU廃棄物に固有の核種等を考慮した、生物圏核種移行のモデルとデータベースを構築する。

研究開発期間

2001年度～2011年度

#### 4 - - . 原子力利用推進に資する電力系統技術

##### (1) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)

###### 概要

世界的にも我が国が最先端の技術力を有する次世代高温超電導線材を活用し、経済社会の基盤となる電力の安定的かつ効率的な供給システムを実現するため、系統を適正に制御し、電力供給を安定化させるための技術及び発電電力を無駄なく輸送するための高効率な送電技術の確立を目指す。

###### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、イットリウム系超電導線材を用いたSME S、電力ケーブル、変圧器実現のための重要な技術開発を行い、各機器の成立性を実証する。

###### 研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) 高温超電導ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)

###### 概要

革新的な高効率送電技術を確立して高温超電導ケーブルの実用化を促進するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材(DI-BSCCO等)を活用し、首都圏の系統に接続する実証試験及び評価を行う。

なお、本事業は、発電用施設による電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

###### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

###### 研究開発期間

2007年度～2012年度

#### 4 - - . その他電力供給安定化技術

##### (1) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)

###### 概要

大規模太陽光発電を電力系統に連系した場合に課題となる系統安定化対策やピーク対策のための技術等を開発するとともに、その有効性を実証する。

また、国内外の先進的な次世代技術の価格性能を比較することを通じて技術開発を加速する。

###### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、下記の実証研究を行い、その有効性を確認する。

(イ) 蓄電池等を組み合わせた出力変動抑制システムの有効性。

(ロ) 発電出力のピーク制御(午後のピーク帯へのシフト)の有効性。

(ハ) 大型インバータによる高調波抑制システムの有効性。

(ニ) 国内外メーカーの太陽電池モジュールの特性比較を行い、性能、経済性等

を比較・検証。

研究開発期間

2006年度～2010年度

## (2) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

蓄電池技術は、新エネルギーの出力安定化や燃料電池自動車(FCEV)・ハイブリッド自動車(HEV)・電気自動車(EV)等の高効率次世代自動車に共通する重要なコア技術である。そこで、高性能蓄電システムに係る要素技術開発、新材料開発及び基盤技術の開発を行う。

A．系統連系円滑化蓄電システム技術開発

B．次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発

技術目標及び達成時期

A．2010年度末において、寿命10年、コスト4万円/kWh、1MW規模のシステムおよび要素技術の確立と2030年において寿命20年、コスト1.5万円/kWh、20～30MW規模の蓄電システムを見通せる技術開発。また、新エネルギー対応の充放電パターン等、基礎データの整備、大型化に伴う安全性や寿命等の評価手法の確立。

B．2011年度末において、電池開発では、0.3kWhモジュールを作製し、重量エネルギー密度100Wh/kg、出力密度2000W/kg、寿命10年、コスト4万円/kWhを達成すること(条件:3kWhの組電池、100万台生産ベース)。電池構成材料及び電池反応制御技術の開発では重量エネルギー密度200Wh/kg、出力密度2500W/kg、コスト3万円/kWhを小型単電池で達成すること(上記と同条件)。たま、電池周辺機器開発では、格段の高性能化、コンパクト化、低コスト化を達成すること。さらに、重量エネルギー密度500Wh/kgを見通せる新規概念・構造の蓄電池基礎開発の他、劣化・寿命診断法、安全性評価などの各種試験法等の開発およびそれら共通基盤技術の基準・標準化。

研究開発期間

2007年度～2011年度

## (3) 発電プラント用超高純度金属材料の開発(運営費交付金)

概要

超高純度金属材料を発電設備の蒸気配管等に実用化することを目指し、高純度金属材料の高度化に向けた低コスト・量産化製造技術を開発し、実使用環境における超高純度金属材料の耐久性試験等を行う。

なお、本事業は、発電用施設における電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プ

ラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って発揮できることを確認する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

#### 4 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

##### 4 - - . 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

###### (1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型/特別研究(運営費交付金)

概要

石油及び可燃性天然ガス資源の開発に係る技術の振興を図る観点から、大水深、複雑な地層といった悪条件化が進む石油・天然ガスの探鉱・開発技術、利用拡大が見込まれる天然ガス田の開発促進に資する天然ガス有効利用技術等について、短期間で実用化が期待され、民間ニーズに直結した研究開発を提案公募により実施する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、我が国の石油・天然ガスの探鉱・開発技術力の向上、及び天然ガスの利用の促進に向けた天然ガスの有効利用技術の開発を行う。

研究開発期間

2001年度～2012年度

###### (2) 石炭生産技術開発

概要

石油代替エネルギーである石炭の安定供給を図るため、発熱量が低いものの低灰分、低硫黄といった特徴を有する低品位炭の有効利用を目的として、低品位炭の発熱量を高め、自然発火性を抑制する低品位炭改質技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、3500～5000kcal/kgの発熱量の低品位炭を瀝青炭並みの6000kcal/kg以上に改質する低品位炭改質技術を開発し、600t/d大型実証プラントでの製造技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

###### (3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro*培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた*in vitro*系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等

を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセットを完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (4) 石油資源遠隔探知技術の研究開発

概要

我が国が開発・運用する多様な地球観測センサ(ASTER、PALSAR等)の地球観測データを用いて、石油・天然ガス等の安定供給確保のため、資源開発・探査、環境観測等に有効なデータの処理解析手法の研究開発を行う。また、地球観測データのような大容量のデータを容易に扱えるシステムの研究開発を実施することで資源開発・探査、環境観測を含む多様な分野でのリモートセンシングの利用拡大を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、資源開発・探査、環境観測等の分野における地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データの利用の拡大を図る。

研究開発期間

1981年度～2010年度

#### (5) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発(運営費交付金)

概要

資源開発に有効な岩石・鉱物や地質構造解析の高次元解析を可能とするハイパースペクトルセンサの開発を行うとともに、軌道上におけるデータ取得の実証を行い、センサ技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までにスペクトル分解能200バンド前後のハイパースペクトルセンサを開発し、地表面のスペクトル情報を取得して資源開発に有効なセンサ技術の実証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

#### (6) 次世代合成開口レーダ等の研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した合成開口レーダである次世代合成開口レーダ(PALSAR)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

#### 技術目標及び達成時期

PALSAARの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、レーダ技術の高度化（アンテナ指向の電子制御化、分解能の向上、多偏波観測等）を図る。

#### 研究開発期間

1993年度～2010年度

### (7) 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発

#### 概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した光学センサである資源探査用将来型センサ（ASTER）の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

#### 技術目標及び達成時期

ASTERの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、センサ技術の高度化（ポインティング機能の追加、分解能の向上、熱センサの搭載等）を図る。

#### 研究開発期間

1987年度～2010年度

## 4 - - . 石油・天然ガスの有効利用技術

### (1) 石油燃料次世代環境対策技術開発

#### 概要

バイオマス燃料から製造した石油製品が自動車排出ガスに及ぼす影響、新たな自動車燃焼技術（自着火燃焼（着火までに燃料と空気を十分に混合し、その混合気体を点火プラグの使用なしで圧縮することにより着火させる燃焼法でNOx排出低減、熱効率が高い等の利点がある））に適応した燃料に関する技術開発を実施する。

また、建設機械、発電機等のオフロードエンジンの排ガスによる環境負荷低減や石油燃焼機器の効率的な利用を進めるための技術開発を実施する。

#### 技術目標及び達成時期

バイオマス燃料の利用時における、燃料と自動車エンジン技術の両面の影響評価を進め、技術的課題を解決し、運輸部門における燃料多様化を目指す。

また、オフロードエンジンの規制は欧米が先行していることから、2012年頃、欧米において規制強化が予定されている排ガス規制に対応した技術を確立し、我が国における規制強化に対応可能な燃焼技術を実現することを目指す。

#### 研究開発期間

2002年度～2011年度



## (2) 石油精製高度機能融合技術開発

### 概要

石油精製業を中心とする石油コンビナート全体の横断的かつ高度な運営機能の融合を図り、単独企業のみでは達成困難なコンビナート域内の省資源、省エネルギーの向上を進めるため、異業種異企業間における限りある貴重なエネルギー資源の利用効率の高い生産技術に関し技術の開発・実証を行う。

### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、我が国における他のコンビナートへの波及効果を含め、CO<sub>2</sub>排出量を63万トン/年削減可能とする技術を確立する。

### 研究開発期間

2006年度～2009年度

## (3) 将来型燃料高度利用技術開発

### 概要

省エネ、二酸化炭素削減効果が見込まれる燃料電池自動車の燃料である高純度(99.99%以上)水素を安定的かつ経済的に供給することは重要である。石油は、その長所として豊富な水素供給余力と安価な水素製造技術及び全国に展開した災害に強いガソリンスタンドを保有している。これら石油の長所を活かした水素供給システムの確立により、水素社会の早期実現に貢献するものである。本事業では、製油所からの高純度水素供給技術開発とガソリンスタンドを拠点とする高純度水素製造技術開発を行う。

### 技術目標及び達成時期

コスト低減のため製油所におけるナフサから高効率(80%以上)な高純度水素製造を可能とする新たな技術を開発する。また、供給地のガソリンスタンドにおいて有機ハイドライドから高純度の水素を高効率(80%)に取り出すための水素発生装置を開発する。また、脱硫後の灯油硫黄分を検出限界以下の10ppb以下とする脱硫剤の開発を行うとともに、貴金属使用量を2-3wt%から0.5wt%以下まで低減しても、従来と同等の高い性能が維持できる改質触媒を開発する。さらに、膜分離型反応器を用いた99.99%高純度水素の製造効率を80%、4万時間の耐久性が期待できる水素製造システムを開発する。

### 研究開発期間

2008年度～2010年度

## (4) 革新的次世代石油精製等技術開発

### 概要

原油価格の高騰・高止まりや原油の重質化と製品需要構造変化等の石油を巡る大きな環境変化のなか、連産品である石油製品を今後とも長期的に安定化かつ効率的に供給するためには、製油所の更なる高度化に向けた技術の開発実用化が必要である。このため、非在来型原油を含めた重質油を原料として、製油所におけるボトムレス化、余剰となる分解留分の高付加価値等のためのプロセスや触媒技術等の開発を行う。また、次世代の技術シーズ創出のため、これまでの技術とは

異なる発想により我が国唯一の革新的な新規触媒研究、新規膜分技術研究、新規製造プロセス研究等を産官学の連携等により実施する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに重質油対応型高過酷度接触流動分解技術(HS-FCC)については、3千BD規模(商業レベルの1/10規模)の実証研究を通じ、プロピレン収率20%以上(既存技術4%程度)、将来不足が予想される高オクタン価ガソリン基材(RON98(既存技術92程度))の製造を可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

#### (5) 次世代高信頼性ガスセンサー技術開発

概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサ(COセンサ・メタンセンサ)を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジー及びMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性(数百ppm以下の故障率)、低コストなCOとメタンのセンサを開発する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

#### (6) 天然ガスの液体燃料化(GTL)技術実証研究(運営費交付金)

概要

硫黄等を含まず排出ガスがクリーン、着火性が高いという特徴を有することから石油系燃料代替として期待されるGTLについて、天然ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を除去せず、原料として積極的に活用することから、従来利用が困難であったCO<sub>2</sub>を多く含むガス田からの天然ガスが利用可能、CO<sub>2</sub>除去装置が不要であることによる生産設備コストの低減が可能、といった強みを有する我が国独自のGTL製造技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証プラントによる運転研究(500バレル/日)を行い、商業規模でのGTL製造技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (7) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型/特別研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### (8) 高効率ガスタービン実用化技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - .メタンハイドレート等非在来化石資源の利用技術

##### (1)メタンハイドレート開発促進委託費

###### 概要

日本周辺海域に相当量の賦存が見込まれ、国産のクリーンなエネルギー資源として有望なメタンハイドレートを利用可能とするため、資源量評価手法、生産手法及び環境影響評価手法等の確立のための技術開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2016年度までに、商業的産出のための技術を整備することを目指し、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化、有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選択及び現場産出試験等による生産手法の確立等を推進する。

###### 研究開発期間

2001年度～2016年度

##### (2)革新的次世代石油精製等技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - .石炭クリーン利用技術

##### (1)革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト

###### 概要

石炭の高効率な利用を図るために、

- ・ 酸素吹きによる石炭ガス化発電の開発実証及び化学吸収法によるCO<sub>2</sub>の分離・回収技術の実証
- ・ 石炭ガス化発電からCCSまで一貫したトータルシステムの設計等
- ・ 次世代IGCC(石炭ガス化複合発電)など革新的な石炭ガス化技術にかかる先進基盤研究

を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、パイロットプラントにおいて、高圧の石炭ガスからCO<sub>2</sub>の分離・回収技術の確立及びガス化炉の信頼性向上へ向けて、3炭種以上の適応炭種拡大試験を実施する。

###### 研究開発期間

2007年度～2012年度

##### (2)国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金

###### 概要

石炭火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>の削減技術について諸外国との実証事業等を実施し、当該技術の普及基盤を整備することにより、エネルギー供給に対する環境上の制約を取り除き、もって我が国エネルギー需給構造の安定化を図る。

###### 技術目標及び達成時期

石炭ガス化技術等実証普及事業では、海外において取り組みが進められているゼロエミッション型石炭火力発電の石炭ガス化・発電技術、CO<sub>2</sub>分離回収技術、

CO<sub>2</sub>輸送貯留技術等に関する情報収集や関連する技術調査の実施等により、我が国におけるゼロエミッション型石炭火力発電の実用化開発に資する技術・知見を得る。

酸素燃焼国際共同実証事業では、既存の微粉炭火力発電の改造による酸素燃焼方式のゼロエミッション型石炭火力発電プラントの実用化を目標とするものであり、既存のプラントの改造により対応可能であること、酸素燃焼を行うことにより、燃焼ガスからCO<sub>2</sub>を分離する装置が不要であることから、比較的低コストで極めて大きなCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

石炭火力発電原油増進回収国際共同事業では、2008年5月の日中首脳会談で合意された「日中間でのCCS-EOR（二酸化炭素の回収・貯留、石油増進回収法）協力」に係る日中共同事業として、中国における石炭火力発電CCS-EOR事業の事前調査としてCCS-EORの有効性確認、CCS-EORの経済性・事業実現性等を検討する。これらにより、多量のCO<sub>2</sub>排出削減を実現するモデルの構築、世界のCO<sub>2</sub>排出削減への貢献が期待出来る。

研究開発期間

2007年度～2016年度

### (3) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金

概要

従来の超々臨界圧火力発電(USC)は、蒸気温度の最高温度は630程度が限界で、送電端熱効率も42～43%が原理的限界といわれてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700以上の蒸気温度を達成できる可能性が見えてきたことから、これらの材料を活用した先進超々臨界圧火力発電技術(A-USC)の開発を行うものである。A-USCは、蒸気温度700級で46%、750級で48%の高い送電端熱効率の達成が可能な技術であり、2020年以降増大する経年石炭火力発電のリプレース需要に対応するため、早急に技術開発を進める必要がある。そのため、ボイラーメーカー、タービンメーカー及び材料メーカーが共同でA-USCの技術開発に取り組む。

技術目標及び達成時期

平成22年度までにシステム基本設計を完了し、シミュレーションにより送電端熱効率46%～48%の達成が可能なことを確認する。平成24年度までにボイラー、タービン部材等が700以上の蒸気温度に耐えられるかどうかを試作、評価し、経済性を含めたシステム成立性への見通しを得る。平成27年～平成28年度に実缶試験、回転試験を実施し、蒸気温度700以上の条件下でボイラー、タービンの信頼性を確認する。また、ボイラー、タービン部材について3万～7万時間の長期信頼性試験を実施し材料特性を検証する。

研究開発期間

2008年度～2016年度

(4) 石炭利用技術開発(一部、運営費交付金)

概要

環境適合的な石炭利用の拡大を図るため、石炭利用プロセスにおける環境影響を低減させる手法の開発等、クリーン・コール・テクノロジーの開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、

- ・ 化学原料等に利用可能な合成用ガスを石炭乾留ガスから無触媒で製造する技術をパイロットプラントで確立する(無触媒石炭乾留ガス改質技術開発)。

2011年度までに、

- ・ 石炭利用プロセスにおいて、環境分析技術の高精度化、環境影響成分の挙動解析のためのモデルの構築等により、環境への影響低減手法を開発する(戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発)。

研究開発期間

1995年度～2011年度

- ・ 戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発 2007年度～2011年度
- ・ 無触媒石炭乾留ガス改質技術開発 2006年度～2009年度

(5) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発費補助金

概要

供給安定性に優れた石炭の高効率かつ低環境負荷での利用を図るため、石炭をガス化して燃料とし、コンバインドサイクル(ガスタービンと蒸気タービンの組合せ)を駆動する高効率発電技術(石炭ガス化複合発電技術(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)の実証試験を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、25万kWの実証機を用いた実証試験により、熱効率40.5%(送電端、高位発熱量ベース)を目指す。この目標は50万kWの商用機における熱効率46～48%に相当する。本技術は実証試験終了後の2010年度より商用化が可能である。

研究開発期間

1999年度～2009年度

(6) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(4 - 参照)

4 - - . その他・共通

- ( 1 ) 新エネルギー技術実用化補助事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 2 ) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 3 ) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 4 ) 燃料電池先端科学研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 5 ) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 6 ) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 7 ) 水素貯蔵材料先端基盤研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 8 ) 水素社会構築共通基盤整備事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 9 ) 水素先端科学基礎研究事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 10 ) 固体酸化物形燃料電池実証研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 11 ) 燃料電池システム等実証研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )

## 5．政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

### 5 - ．総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

### 5 - ．運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

### 5 - ．新エネルギー等の開発・導入促進

- 補助金等による導入支援
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

### 5 - ．原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

### 5 - ．化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

## 6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用プログラム基本計画(平成16・02・03産局第6号)は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第8号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第10号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第12号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第11号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第13号)は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第14号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第9号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第17号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第12号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第13号)は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画(平成17・03・29産局第2号)は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・31産局第19号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第15号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第18号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第17号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第16号)は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・26産局第1号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・20産局第4号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成19・03・19産局第7号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・16産局第3号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・23産局第2号)は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (6) 平成21年4月1日付け制定。エネルギーイノベーションプログラム基本計画(平成20・03・25産局第5号)は廃止。



(エネルギーイノベーションプログラム・ナノテク・部材イノベーションプログラム)

## 「高温超電導ケーブル実証プロジェクト」基本計画

新エネルギー技術開発部

### 1. 研究開発の目的・目標・内容

#### (1) 研究開発の目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するため、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことを目的とした「エネルギーイノベーションプログラム」、及び、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすることを目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」、の一環として本プロジェクトを実施する。

エネルギー資源の約8割を海外に依存する我が国は、近年増加している世界のエネルギー需給動向の変動によって社会・経済が大きな影響を受けるため、エネルギー利用効率化の促進が求められている。また、地球環境問題への対策の観点から省エネルギーや環境負荷低減に配慮したエネルギー利用が求められている。このような状況においては、十分な安全確保を前提に、需要に見合った信頼性の高い安定で効率的なエネルギー供給システムを構築することが重要である。効率的なエネルギー供給システムに資する技術として、高機能部材である超電導線材を利用し、送電損失を大幅に低減することが可能な高温超電導ケーブルシステムの技術を開発し、産業利用の早期実現を図ることは、エネルギー安全保障（セキュリティ）に貢献するとともに、社会や経済の安定した発展に大きく貢献する。

本プロジェクトでは、超電導技術分野技術戦略マップのエネルギー・電力分野機器開発のうち「環境・エネルギー調和型社会の構築」、「送変配電」、「電力ケーブル」および、第3期科学技術基本計画のエネルギー分野の重点科学技術「電力供給システム」、「送電技術」に位置付けられている高温超電導ケーブルを、社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するために、「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」（平成12年度～16年度）によって得られた高温超電導ケーブルの開発成果などを踏まえ、高温超電導ケーブルや冷却技術などを統合する高温超電導ケーブルシステムを構築して、超電導ケーブル単体だけではなく、線路建設、運転、保守を含めたトータルシステムの信頼性を実証するために、実系統に連系した実証試験を実施する。このことによって、超電導ケーブルのトータルシステムとしての総合的な信頼性を実証するとともに、革新的な高効率送電技術の開発・検証を行うことを目的とする。

これにより、安定的かつ高効率な電力供給に資する技術開発を行うとともに、超電導ケーブルの初期市場形成と新規産業の創出に資する。

#### (2) 研究開発の目標

平成21年度までに、高温超電導ケーブルシステムの重要要素（ケーブル、中間接続部、冷却システム等）に関して、実系統に適用し得る所定の性能、機能を有し、送電システムが構築できることをモデルシステムによって検証した上で、平成24年度までに、200MVA級の中間接続部を有する三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66kV実系統に接続して12ヶ月以上の長期連系試験を行うこ

とによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

超電導ケーブルを実用に供する上での運転技術の指針や課題等を明らかにして、高効率送電技術の開発・検証を行うとともに、高圧ガス保安法の規制緩和や国際標準化の提案を行う。

### (3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を委託により実施する。

- ①高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究
  - (i) 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証
  - (ii) トータルシステム等の開発
  - (iii) 送電システム運転技術の開発
  - (iv) 実系統における総合的な信頼性の実証
- ②超電導ケーブルの適用技術標準化の研究

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO 技術開発機構」という）が、単独ないし複数の原則本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定の後、委託して実施する。

研究開発に参加する研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、NEDO 技術開発機構は東京電力株式会社 技術開発研究所長 原 築志氏を研究開発責任者（プロジェクトリーダー）とし、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO 技術開発機構は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 19 年度から平成 24 年度までの 6 年間とする。

## 4. 評価に関する事項

NEDO 技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目的達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成 21 年度、事後評価を平成 25 年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえて必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の

進捗動向等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取り扱い

#### ① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究開発成果のうち、下記共通基盤技術に係る研究開発成果については、NEDO 技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

##### a) 実系統への適用技術の確立

- ・超電導送電システムの総合的な信頼性技術
- ・高効率超電導送電システムの運転技術

#### ② 標準化等との連携

得られた研究開発成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータ提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

特に、冷却設備の規制緩和に関しては積極的に提案を行う。

#### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、すべて受託先に帰属させることとする。

### (2) 基本計画の変更

NEDO 技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) プロジェクトの根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法 第 15 条第 1 項第 1 号イに基づき実施する。

### (4) その他

- ・超電導関連の他プロジェクト（超電導応用基盤技術開発（第Ⅱ期）、リットリウム系超電導電力機器技術開発等）と必要な関係を図るものとする。
- ・高圧ガス保安法の緩和を提案するために委員会を設置する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成 19 年 3 月、制定。

(2) 平成 20 年 7 月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。

(3) 平成 21 年 3 月、研究開発の実施期間及び P L 氏名を追記して改訂。

## (別紙) 研究開発計画

### 研究開発項目① 「高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究」

高温超電導ケーブルを社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するためには、高温超電導ケーブル単体のさらなる低損失化や低コスト化を図るだけでなく、線路建設、運用、保守を含めたトータルシステムとしての総合的な信頼性を確立することが要求される。そのためには、実システムに連系した実負荷での実証試験は不可欠であり、高温超電導ケーブルシステムの安全性や信頼性の知見を得るための総合的な信頼性研究が必要である。

#### (1) 高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証

##### ・研究開発の必要性

実システム連系試験に適用する高温超電導ケーブルシステムの重要要素（ケーブル、中間接続部、冷却システム等）に関して、実システムに適用し得る所定の性能、機能を有し送電システムが構築できることを模擬システムにより事前に検証する必要がある。

##### ・研究開発の具体的な内容

66kV、200MVA 級 3 心一括型高温超電導ケーブル等の重要要素技術が、実システム連系試験に適用可能であることを検証する。

##### ・達成目標（平成 21 年度中）

重要要素技術が、実システム連系に適用し得る次の性能、機能を有することを模擬システムにて検証する。

- ・交流損失：1W/m/1 相（3 心一括型高温超電導ケーブル（66kV、2kA）、150mm φ 管路収容）
- ・短絡電流：31.5kA・2 秒の短絡電流
- ・中間接続部の導体接続損失：2kA 通電相当で  $1\mu\Omega$  / 相以下

#### (2) トータルシステム等の開発

##### ・研究開発の必要性

高温超電導ケーブルシステムが、市場に導入されるためには、線路建設、運転監視、運用・保守方法などのトータルシステムとしての技術を確立する必要がある。

##### ・研究開発の具体的な内容

高温超電導ケーブルシステムの線路建設、運転監視、運用・保守方法等のトータルシステムとしてのシステム基本設計を確立するとともに、実運用を行う際の安全性や信頼性、経済性、環境面の評価を行う。

##### ・達成目標

中間目標（平成 21 年度中）

高温超電導ケーブルシステムの線路建設、運転監視、運用・保守等を検討し、トータルシステム構築要領を作成する。

最終目標（平成23年度中）

高温超電導ケーブルシステムの線路建設、運転監視、運用・保守方法等のトータルシステムとしてのシステム基本指針を作成する。また、既存ケーブルの送電損失に比べて1/2以下の高効率送電システムの設計技術を確立する。

### （3）送電システム運転技術の開発

- ・研究開発の必要性

送電システムの負荷や電流の変動などの系統変化や系統事故などに対応した平常時運用や事故時運用、および高温超電導送電システムの一部設備の障害時における復旧方法などの高温超電導ケーブルシステムの運転技術が、既存送電システムの運転と整合のとれた運用ができることは重要であり、そのための運転技術を開発することは必要である。

- ・研究開発の具体的な内容

高温超電導ケーブルを用いた送電システムが、負荷や電圧の変動などの系統変化や系統事故などに対応した系統運用において、自動的に追従した運転（冷却含む）や、送電システムの一部設備の障害時における復旧方法など送電システムの運転技術を開発する。また、その運転技術を実系統連系試験において検証する。

- ・達成目標

中間目標（平成21年度中）

高温超電導ケーブルの運転技術が、既存送電システムの運転技術と整合するための課題を整理する。

最終目標（平成24年度中）

既存送電システムの運転技術と整合のとれた平常時/事故時および障害復旧時等の高温超電導送電システムの運転技術指針を作成する。

### （4）実系統における総合的な信頼性の実証

- ・研究開発の必要性

高温超電導ケーブルを社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するためには、実系統に連系した実負荷での実証試験は不可欠であり、トータルシステムとしての安全性や信頼性の知見を得るための研究が必要である

- ・研究開発の具体的な内容

実系統連系試験のためのサイト選定や試験方法などの基本事項を検討する。その上で、実証試験の目的に沿った高温超電導ケーブルシステムの構築を行い、中間接続部を有する高温超電導ケーブルを実系統に連系して、12ヶ月以上の長期試験により総合的な信頼性の検証を行う。この

ことによって、高温超電導ケーブルのトータルシステムとしての安全性や信頼性を実証する。

・達成目標

中間目標（平成21年度中）

実系統連系試験サイトを決定するとともに、実系統連系試験基本計画書を作成する。

最終目標（平成24年度中）

実系統に連系した12ヶ月以上の長期試験による総合的な信頼性の評価指針を作成する。

高温超電導ケーブルは次の要求仕様を達成するものとする。

- ・送電容量：200MVA級（66kV、3心一括型高温超電導ケーブル、150mmφ管路収容可能）
- ・交流損失：1W/m/1相（3心一括型高温超電導ケーブル（66kV、3kA）、150mmφ管路収容）
- ・短絡電流：31.5kA・2秒の短絡電流に対応
- ・中間接続部の導体接続損失：3kA通電相当で1μΩ/相以下

研究開発項目② 「超電導ケーブルの適用技術標準化の研究」

1. 研究開発の必要性

超電導ケーブルは、効率的なエネルギー供給システムになくてはならないものであり、エネルギーの高効率な輸送だけでなく、系統安定化にも大きな効果が期待される。その早期の市場導入や実用化を円滑に進めるためには、冷却設備における規制緩和や運転管理などを考慮した既存電力ネットワークとの整合を取るための適用技術を標準化することが必要である。

2. 研究開発の具体的な内容

超電導ケーブルを適用する電力ネットワークの形態や規模などから、超電導ケーブルの適用技術を評価するとともに、冷却設備の安全性、運用性を考慮した法規制のあり方を研究する。また、実証試験を通じて、運転管理や評価・計測技術等の超電導送電システムの国際規格化を進めるために、標準化項目を整理して必要なデータ収集を行い、適用技術標準化の研究を行う。

3. 達成目標

中間目標（平成21年度中）

- ・超電導ケーブルの適用技術の評価項目や冷却設備の法規制あり方の概要を取りまとめるとともに、超電導送電システムの国際規格化を進めるための標準化項目を作成する。

最終目標（平成24年度中）

- ・電力ネットワークの形態や規模に応じた構成、機能、経済性、環境面などの適用技術や導入効果を評価して超電導ケーブルの導入シナリオを定める。
- ・冷却設備における規制緩和に向けた技術基準を研究し、規制緩和の提案資料を作成する。
- ・超電導送電システムの運転管理や評価・計測法等の国際規格化を進めるため PAS（公開仕様書）や TS（技術仕様書）策定に資するデータ整理を行い、規格の提案を目指す。

# 超電導技術分野

超電導技術は、電気抵抗がゼロであるという特徴的な性質により電流が流れる際のエネルギー・ロスを抑えることができることや、磁石から出る磁力線を超電導物質が跳ね返す性質（マイスナー効果）、超電導物質内部に侵入した磁力線を捕捉してしまう性質（ピンニング効果）等の様々な特長を有している。1986年に「高温超電導物質」と呼ばれる酸化物系超電導物質が発見されたことをきっかけに、科学技術の大幅な加速進展のみならず、エネルギー・電力分野を始め、産業・輸送分野、診断・医療分野、情報・通信分野等の幅広い分野において、超電導技術の応用に関する期待が世界中で高まり広く研究に取り組まれてきた。近年、工業化を図るために不可欠な技術が出始めており、超電導材料を用いた様々な機器の開発・実証・実用化が現実のものとなりつつある。その一方では、新しい超電導物質の発見や超電導現象の理論解明によるブレークスルーへの試みも続けられており、「常温超電導物質」の発見という人類の夢に向けた試みも絶えてはいない。【参考資料1：超電導の性質と将来性】 【参考資料2：超電導物質の探索】

また、京都議定書発効に伴う温暖化緩和策の一環としての省エネルギー技術の開発・導入や各種資源の枯渇・高騰等も喫緊の課題となっており、「クールアースーエネルギー革新技術計画」の技術テーマにも選定される等、超電導技術を早期に実用化することによって、環境負荷の低減と資源の有効な利用という2つの目的を効率的かつ実効的に達成し、多様な分野におけるエネルギーの効率的利用に資すること等が強く期待されている。

これらの状況を踏まえ、かつての「夢の超電導技術」から「21世紀のキーテクノロジー」と呼ばれるまでに進化を遂げつつある超電導技術について、諸々の社会ニーズに対応していくことを念頭に中長期的な観点と早期実用化の観点から技術戦略マップを作成した。

なお、2020年頃迄を目途に実現が期待される社会の姿についてのイメージを得るため、【参考資料3：社会に役立つ超電導技術 2020年の社会像】を示した。

## 超電導技術分野の技術戦略マップ

### I. 導入シナリオ

#### (1) 超電導技術分野の目標と将来実現する社会像

近い将来において超電導技術を適用した機器の実現が期待される分野は、①エネルギー・電力分野（電力ケーブル、限流器、変圧器、発電機、フライホイール、SMES（超電導電力貯蔵装置）等）、②産業・輸送分野（船用モータ、磁気浮上式鉄道用マグネット、半導体引上装置、磁気分離装置等）、③診断・医療分野（MRI、NMR、MCG（心磁計）、MEG（脳磁計）、質量分析器等）、④情報・通信分野（ルータ・スイッチ、SFQ コンピュータ、バンドパスフィルタ、AD コンバータ等）の4分野に大きく分けることができる。分野によって求められる社会ニーズ等には異なる部分が勿論あるが、共通基盤技術が成長しつつあることにより、戦略的な機器開発・導入を図るべき時期が到来していることについては一様である。そこで、4分野それぞれにおける代表的かつ戦略的な機器について、開発・導入に係る想定シナリオを時系列で示すこととした。

#### (2) 研究開発の取組み

研究開発の戦略的な推進については、様々な社会ニーズと研究開発目標との関係を明らかにした上で、効率的な研究開発体制を構築することが重要である。特に、超電導技術応用機器の開発に際しては、全ての機器開発の共通基盤技術である超電導材料の開発（線材化・バルク化・デバイス化）と機器適用周辺技術開発（冷凍・冷却技術）とを同時並行的に進め、要求仕様を相互にフィードバックさせながら、各種応用機器を実現するためのタイムリーな技術開発を進めていくことが必要不可欠である。

しかし、研究開発を推進した結果として国際的な競争力を発生させ得るに足る研究成果が得られたとしても、実用化・事業化が行われなければ何の役にも立たない。研究開発の初期段階から将来の事業化を想定した企業が参画すること等により、スムーズな事業化につながる方策を講じていくことが重要である。

#### (3) 関連施策の取組み

我が国においては、官民のリソースの選択と集中を行うことによりここまで研究開発を進めてきたところであるが、21世紀における良好な環境の維持と我が国経済の持続的成長とを両立させていくためには、超電導技術産業市場の早期創出と自律的な発展の開始に向けた導入普及促進策等の推進や、規制緩和、標準化等を通じた新たな市場競争ルールの導入といった関連施策を行うことにより、民間企業が市場競争の中で自ら効率的な事業展開を図っていくための戦略的な体制作りと研究開発とを一体的に推進することが必要である。

また、我が国経済が将来に亘って更なる発展を遂げていくためには、先導的効果を狙った高度に進んだ機器の開発投入や、全ての活動の基礎となるエネルギーについて将来顕在化することが懸念される資源制約等を総合的に考慮した、効率的なアプロー



チを図っていくことが重要である。そのためには、①研究開発の戦略的な推進が不可欠であるとともに、②国際的な競争力を有する研究成果の実用化・事業化の推進、③導入普及促進策、関連産業連携策、規制緩和、標準化等の関連施策と研究開発との一体的な推進が必要である。

#### 〔規制・制度改革〕

- ・超電導技術の実用化を促進するため、高圧ガス保安法、電気事業法などの規制について導入促進のための規制緩和を図る必要がある。

#### 〔国際標準化〕

- ・超電導機器の導入に向けて、研究開発と並行して標準化の検討を進めることが重要なテーマについて、各分野の導入シナリオに示した。（2006年版策定時から）
- ・超電導関係の国際標準化のための取組及び具体的進展状況について理解を容易にするため、【参考資料6：超電導標準化について】を示した。（2007年版策定時から）

#### 〔広報・啓発〕

- ・例年春に行われている「超電導技術動向報告会」や、2007年冬から開催されている「超電導 EXPO」等の展示会を通じて、超電導技術及び超電導市場の最近の動向について広く周知する機会の増加を図る。

### （4）海外での取組み

超電導技術分野は、その将来的な優位性の高さから、日米欧での熾烈な技術開発競争がなされているところである等、海外の動向も無視できない状況にある（【参考資料4：世界のY系超電導線材開発技術（2005年以降）】【参考資料5：SFQ技術の国際評価】）。また、欧米においては、技術的に未成熟な段階から幾つものベンチャー企業が起業し、超電導技術産業に係る市場を創出するべくチャレンジを繰り返してきた。

#### ○ 改訂のポイント

- 診断・医療分野及び情報・通信分野を中心に、最新動向を踏まえた改訂を行った。
- 関連施策として、診断・医療分野に「革新的医薬品・医療機器創出のための5カ年計画」、及び「先端医療開発特区」を、情報・通信分野に「IT政策ロードマップ」を追記した。
- エネルギー・電力分野、産業・輸送分野、診断・医療分野、及び情報・通信分野における海外での取り組みについて、米国、欧州における最新の研究開発プロジェクト等を追記した。
- エネルギー・電力分野、産業・輸送分野、診断・医療分野、及び情報・通信分野における技術開発のシナリオについて、最近の研究開発の進展状況に伴う見直しを行った。

## Ⅱ. 技術マップ

## (1) 技術マップ

超電導技術は、導入シナリオで示した4つの分野において、効率的かつ各々の導入目的に合致した研究開発を行うための技術指標を明確化する必要があるとの観点から技術のカテゴリを定めた。また、これらと同時並行的に進めていく必要がある共通基盤技術についても、素材・部品を供給するという観点から技術のカテゴリを定めた。

具体的には、それぞれ以下に示すような考え方に基づく分類を行っている。

### ① エネルギー・電力分野

エネルギー・電力分野の技術を、発電（創る）技術、送変配電（送る）技術、エネルギー貯蔵（貯める）技術の3つに大別し、これを大分類とした。また、それぞれの技術の利用形態に応じて開発すべき機器が異なるため、これを中分類とした。その上で、利用形態に応じた機器を開発するためにマイルストーンを置いて取り組んでいくことが必要と考えられる主要な技術課題（大電流化、低損失化等）について、小分類とした。

### ② 産業・輸送分野

産業・輸送分野の技術を、磁場応用（造る）技術、計測機器（測る）技術、回転機（動かす）技術、変圧器（変える）技術の4つに大別し、これを大分類とした。また、それぞれの技術の利用形態に応じて開発すべき機器が異なるため、これを中分類とした。その上で、利用形態に応じた機器を開発するためにマイルストーンを置いて取り組んでいくことが必要と考えられる主要な技術課題（小型軽量化、高磁場化、大容量化等）について、小分類とした。

### ③ 診断・医療分野

診断・医療分野の技術を、マグネット応用（見る）技術、加速器応用（治す）技術、高周波デバイス応用（測る）技術、SQUID応用（診る）技術の4つに大別し、これを大分類とした。また、それぞれの技術の利用形態に応じて開発すべき機器が異なるため、これを中分類とした。その上で、利用形態に応じた機器を開発するためにマイルストーンを置いて取り組んでいくことが必要と考えられる主要な技術課題（磁場安定化技術、高感度化等）について、小分類とした。

### ④ 情報・通信分野

情報・通信分野の技術を、コンピュータ・ネットワーク機器（判断する）技術、無線アクセス系機器（飛ばす）技術、計測機器（測る）技術の3つに大別し、これを大分類とした。また、それぞれの技術の利用形態に応じて開発すべき機器が異なるため、これを中分類とした。その上で、利用形態に応じた機器を開発するためにマイルストーンを置いて取り組んでいくことが必要と考えられる主要な技術課題（処理能力／ラック向上、低コスト化等）について、小分類とした。

### ⑤ 共通基盤技術

共通基盤技術は、超電導材料の開発（線材化・バルク化・デバイス化）及び機器適用周辺技術開発（冷凍・冷却技術）から構成されることから、これを大分類とした。超電導材料の開発については、それぞれを実現する製造方法やそれを加工する方法により技術的アプローチも異なると考えられるため、これを中分類とした。また、同じ製造方法でも物質により性質等が異なってくることから超電導物質別の小分類、同じ加工方法でも実現すべき形状により性質等が異なってくることから加工の要素技術別の小分類とした。

冷凍・冷却技術については、適用される対象の機器等により要求性能が大きく変わることから、これを中分類とした。また、同じ機器でも使用される超電導物質によって要求される冷却能力等が大きく異なってくることから、冷却能力・冷却手法別の小分類とした。

## （２）重要技術の考え方

技術マップにおいて抽出された各技術項目はいずれも不可欠であり、官民の一体的取組みや民間の主体的な取組み等による積極的な開発が望まれるが、以下の観点から評価されるものを重要技術と位置づけ、技術マップ中に色分けして示した。

- ① 2020年頃迄を目途に、産業及び技術のブレークスルーを生み出す可能性のある技術
- ② 超電導技術による実現の可能性が高く、コスト・性能等の面で競争優位性を生み出す可能性のある技術
- ③ これらの機器を実現するために不可欠な共通基盤技術

## （３）改訂のポイント

- 診断・医療分野、情報・通信分野、及び共通基盤技術を中心に、最新動向を踏まえた改訂を行った。
- 診断・医療分野の技術中分類について、従来の MEG（脳磁計）と脊髄・末梢神経磁場計測装置を統合し、新たに神経磁気診断装置（MEG（脳磁計）、脊髄・末梢神経磁場計測装置）（重要技術）とした。また、新たに超低磁場 NMR/MRI を追加した。
- 情報・通信分野の技術中分類及び技術小分類について、一部の文言をより適切な表現に修正する等の見直しを行った。
- 共通基盤技術の技術小分類について、一部の文言をより適切な表現に修正した。また、デバイス機器用冷凍機技術（技術中分類）に対応する技術小分類のうち、「4K 冷凍機」を 4K 冷凍機（1～3W）（重要技術）と 4K 冷凍機（0.1～0.5W）に分割し、後者を新たに追加した。

# Ⅲ. 技術ロードマップ

## （１）技術ロードマップ

技術マップに示された各技術課題のうち、重要技術として選定されたものについて、2020 年頃迄を目途に、中長期的視点から各技術課題に必要と考えられるマイルストーン

ンを配し、4つの技術分野及び共通基盤技術のそれぞれにおけるロードマップとして示した。

## (2) 改訂のポイント

- 診断・医療分野、情報・通信分野、共通基盤技術を中心に、最新動向を踏まえた改訂を行った。
- エネルギー・電力分野における電力ケーブルの長尺化（2011～2012）等の数値等について、最新の研究開発プロジェクトにおける開発目標値等を踏まえた見直しを行った。
- 診断・医療分野の技術ロードマップについて、従来のMEG（脳磁計）（重要技術）と脊髄・末梢神経磁場計測装置を統合して、新たに神経磁気診断装置（MEG（脳磁計）、脊髄・末梢神経磁場計測装置）（重要技術）にするとともに、その「高機能化」に対応するマイルストーンを追加した。
- 情報・通信分野と共通基盤技術（デバイス）の技術ロードマップについて、最新の研究開発プロジェクト、技術レベル、及びコストの状況を踏まえ、各機器・デバイス・技術課題に係る数値、時期、及び文言について多くの見直しを行った。
- 共通基盤技術（線材、及び冷凍・冷却）の技術ロードマップについて、最新の技術レベルやコストの状況を踏まえ、各材料・機器・技術課題に係る数値、時期、及び文言について多くの見直しを行った。

## IV. その他の改訂のポイント

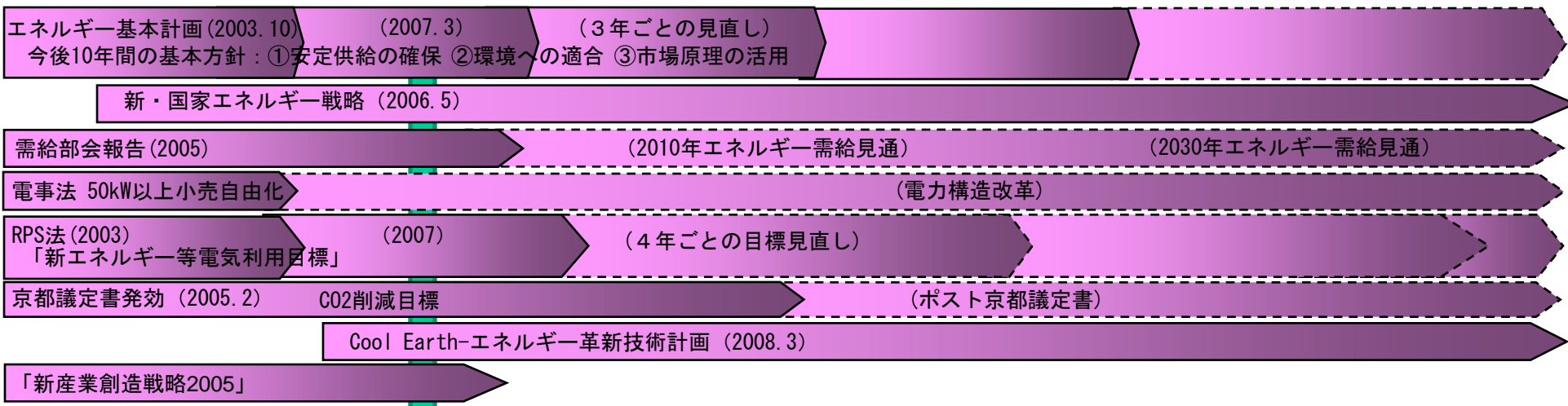
### ○ アカデミアからの提言への対応

- 応用物理学会のアカデミックロードマップ（超伝導技術）との比較を行ったが、対象年次が異なること（本技術戦略マップ：～2020年、アカデミックロードマップ：～2035年）以外には、特に不整合な点は見当たらなかった。またアカデミックロードマップの策定に関与した委員から「アカデミックロードマップは本技術戦略マップを参考にして策定されたこともあり、アカデミックロードマップから本技術戦略マップに反映すべき特別なことはない」とのご意見を頂いた。このため、アカデミックロードマップに対応した改訂は、現時点では必要ないと判断された。

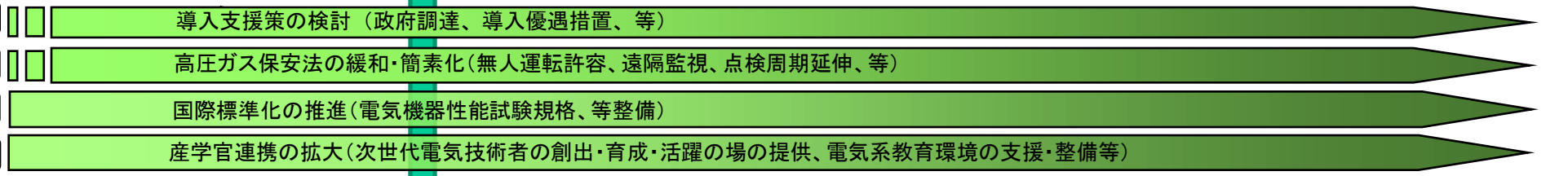
# 超電導技術分野の導入シナリオ（エネルギー・電力分野） (1/4)

関連施策

エネルギー・電力  
関連政策



環境整備



技術開発

エネルギー  
貯蔵

送変配電

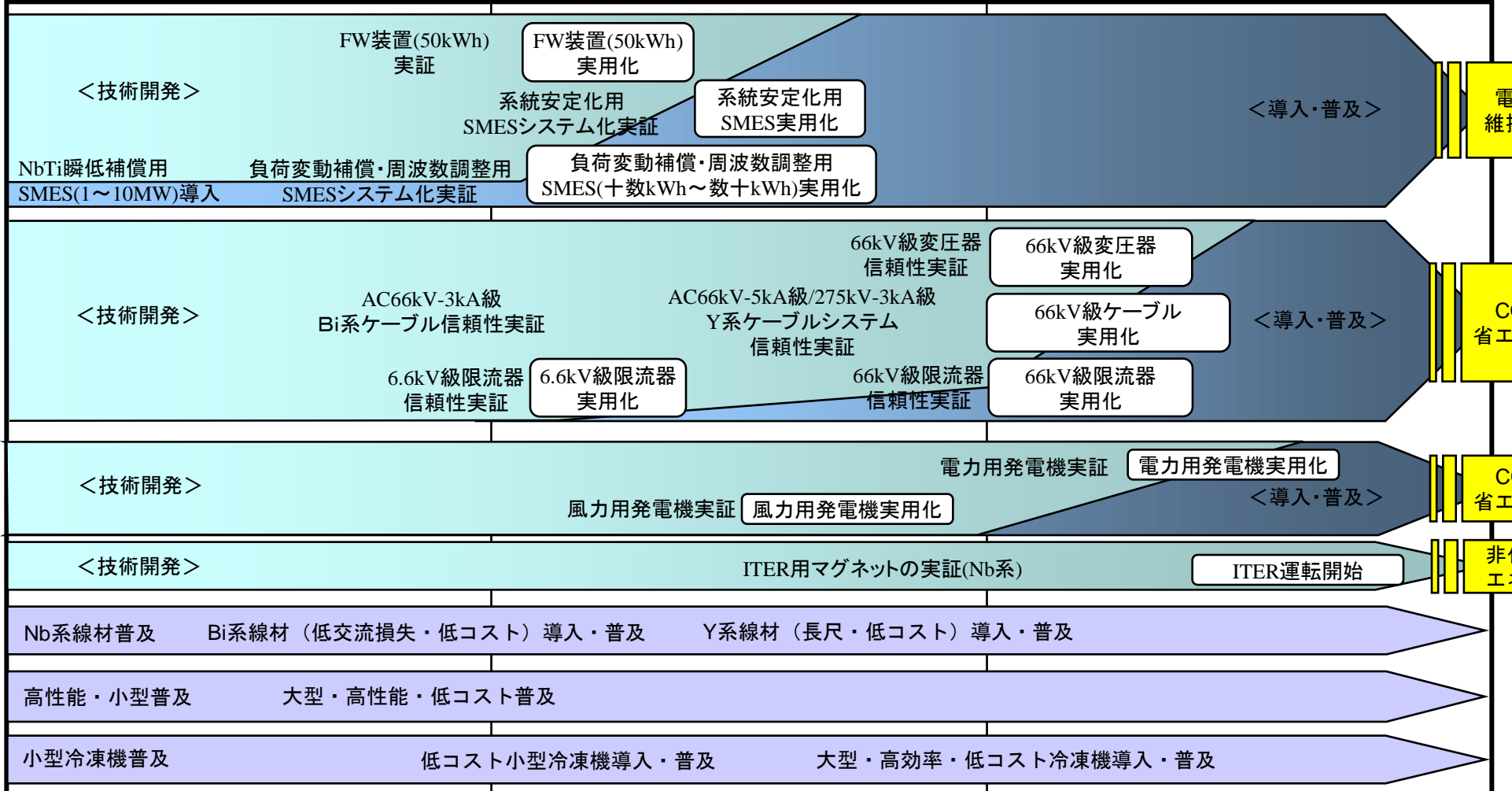
発電

共通基盤技術

線材

バルク

冷凍・冷却



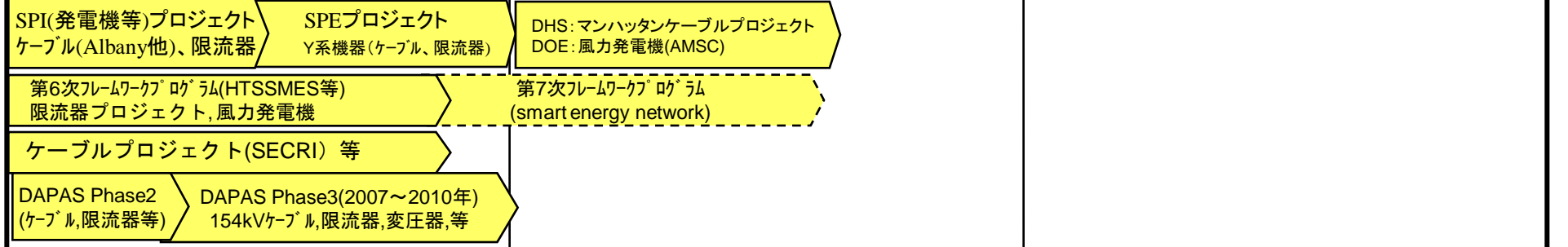
海外での取り組み

米国

欧州

中国

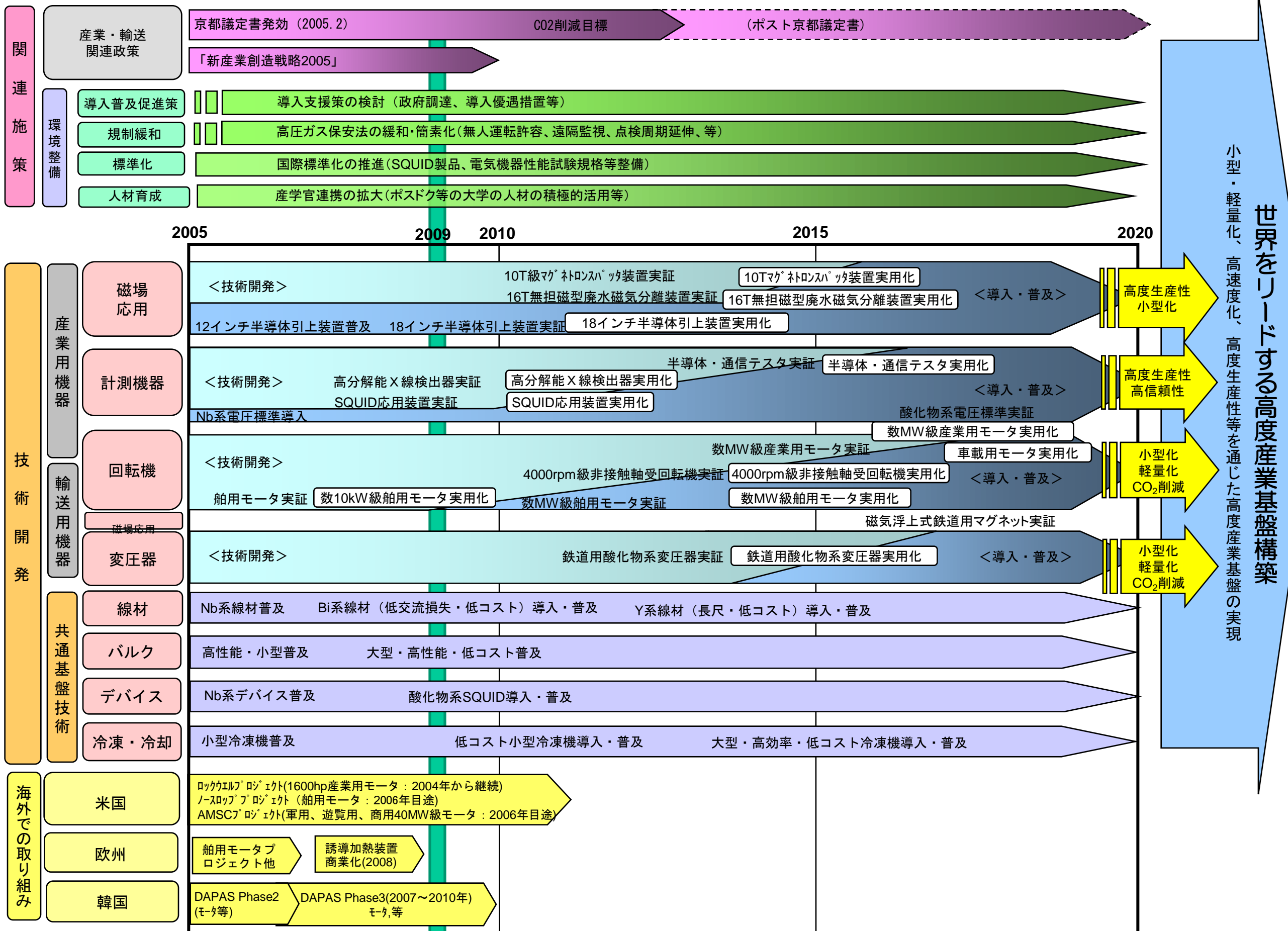
韓国



多様化する電源ニーズに対応する高信頼かつ高品質電力の供給・運用

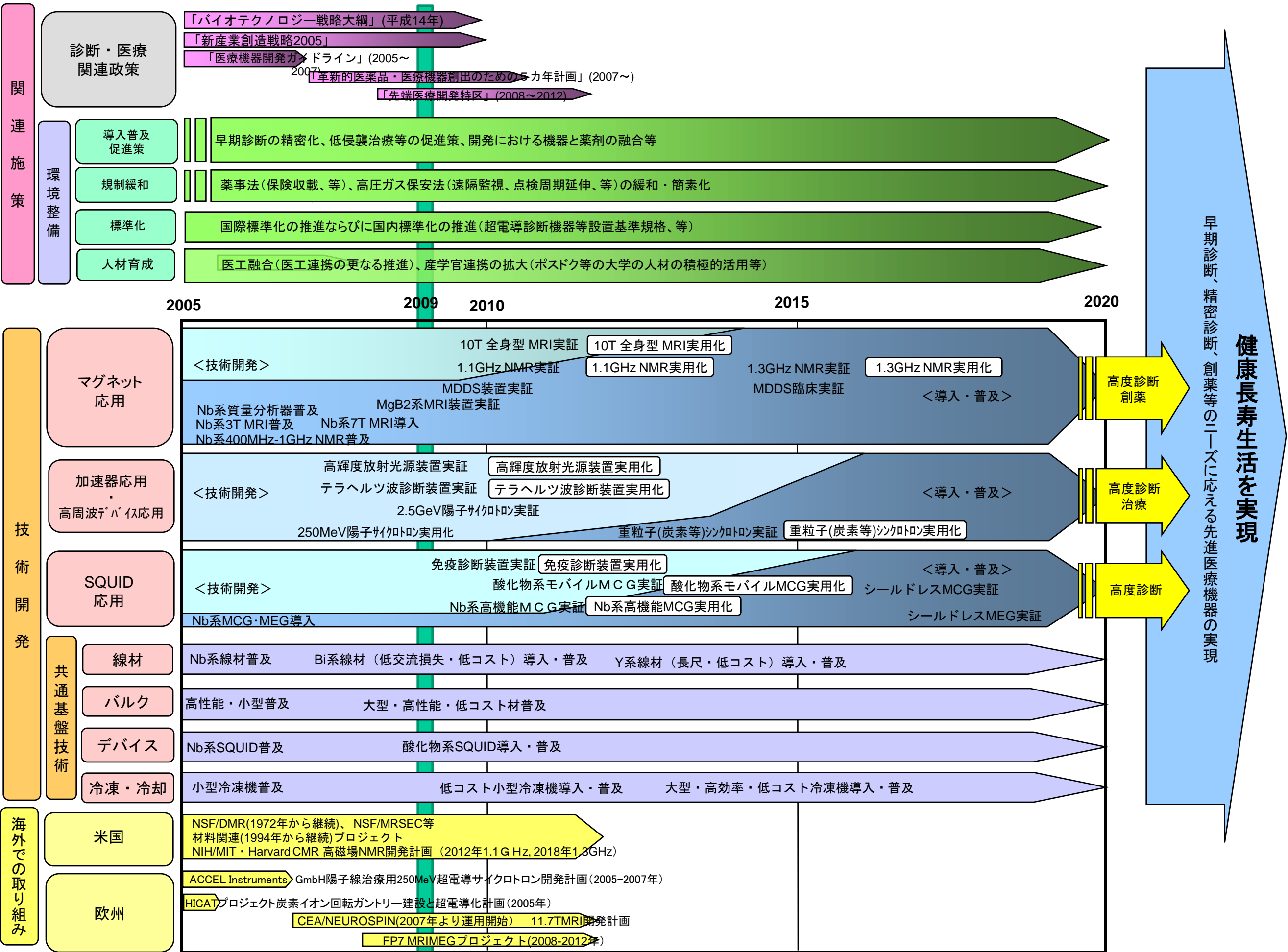
環境・エネルギー調和型社会の構築

# 超電導技術分野の導入シナリオ（産業・輸送分野）（2/4）

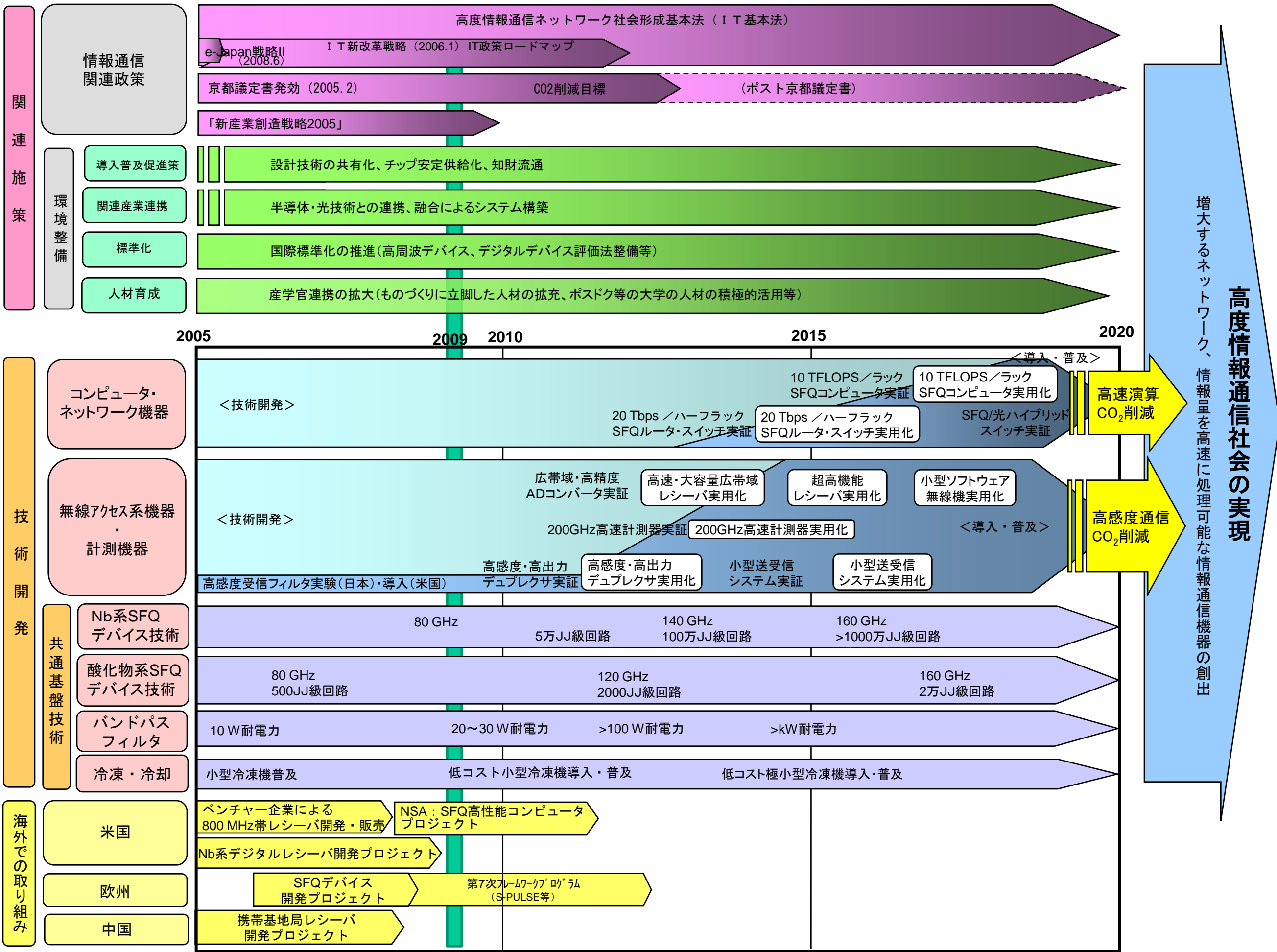




# 超電導技術分野の導入シナリオ（診断・医療分野） (3/4)



# 超電導技術分野の導入シナリオ（情報・通信分野） (4/4)



増大するネットワーク、情報量を高速に処理可能な情報通信機器の創出  
**高度情報通信社会の実現**



超電導技術分野の技術マップ(エネルギー・電力分野) (1/5)

ニーズ	シーズ			
	技術大分類	技術中分類	技術番号	技術小分類
環境・エネルギー調和型社会の構築	エネルギー貯蔵	SMES	101	・低コストシステム化 ・大容量化 ・コイルの高性能化 ・高信頼性化 ・耐高電圧化
		フライホイール	102	・大容量化 ・低損失化 ・総コスト低減
	送変配電	限流器 (SN転移型)	103	・高電圧化 ・大電流化 ・常電導転移時高抵抗化 ・高速超電導復帰機構
		電力ケーブル	104	・長尺化 ・高電圧化 ・大電流化 ・低損失化(AC) ・短絡対策(AC) ・低コスト化
		電力用変圧器	105	・不燃化、コンパクト化 ・Sub-cool LN2技術 ・高電圧化 ・大容量化 ・低コスト化
		同期調相機	106	発電機と共通
	発電	発電機	107	・大容量化 ・低コスト、コンパクト化
		核融合用マグネット	108	・磁場中高特性化 ・大電流高強度化技術 ・低損失化 ・耐放射線化

 重要技術

超電導技術分野の技術マップ(産業・輸送分野)

(2/5)

ニーズ	シーズ					
	技術大分類	技術中分類	技術番号	技術小分類		
世界をリードする高度産業基盤構築	産業用機器	磁場中材料加工処理	半導体引上装置	201	・ウエハ大口径化	
			鉄鋼圧延装置	202	・配列構造均一化	
			磁性材料調質装置	203	・配列構造均一化	
		磁場応用	廃水磁気分離装置		204	・高磁場化(無担磁化)
			粒子加速器		205	・高磁場化 ・磁場均一化
			マグネトロンスパッタ装置		206	・高磁場化 ・大面積化
			磁気シールド		207	・高臨界温度化 ・低コスト化
		計測機器	半導体・通信テスタ(サンブラ)		208	・広帯域化 ・多チャンネル化 ・低コスト化(モジュールコスト) ・冷却技術
			電圧標準	交流	209	・出力周波数向上 ・高温動作化 ・高精度化
				直流	210	・高温動作化 ・高電圧化 ・低コスト化 ・低周波数利用技術
			X線検出器(EDX)		211	・エネルギー分解能向上 ・計数率向上 ・小型化、低コスト化
			宇宙線検出器		212	・高感度化 ・小型化
			ミキサ		213	・低ノイズ化 ・高周波化
			ポロメータ		214	・エネルギー分解能向上 ・低コスト化
	SQUID応用装置		構造物検査		215	・小型化、自動化 ・高機能化 ・測定高速化
			食品・薬品検査		216	・磁気シールド簡易化 ・異物検出限界向上 ・低コスト化
			半導体検査		217	・空間分解能向上 ・測定高速化 ・低コスト化
		鉱物探査		218	・位置分解能向上 ・環境ノイズ除去技術 ・小型化	
	回転機	非接触磁気軸受回転機*		219	・高速回転化 ・高载荷力化	
		産業用モータ*		220	・高速回転、大容量化 ・小型軽量化 ・効率向上 ・低速回転、大容量化	
	輸送用機器	回転機	船用モータ*		221	・低速回転、大容量化 ・小型軽量化 ・効率向上 ・高速回転、大容量化
			車載用モータ*		222	・小型軽量化 ・高速回転 ・効率向上
		磁場応用	磁気浮上式鉄道用マグネット		223	・信頼性向上、低コスト化
		変圧器	鉄道用変圧器*		224	・大容量化 ・低損失化 ・小型軽量化

\*印は、「エネルギー・電力分野」の機器と関連する技術であり、環境・エネルギー調和型社会の構築にとっても重要である。

 重要技術

超電導技術分野の技術マップ(診断・医療分野)

(3/5)

ニーズ	シーズ			
	技術大分類	技術中分類	技術番号	技術小分類
健康長寿生活の実現	マグネット 応用	MRI	301	・大口径、短軸化 ・高磁場化 ・線材高特性化 ・磁場安定化技術
		NMR	302	・超高磁場化 ・磁場安定化技術
		質量分析器	303	・高磁場化 ・高均一化
		MDDS (磁気誘導薬物配送)	304	・高磁場化 ・高磁気勾配化 ・小型・軽量化 ・低消費電力化 ・ナノ磁性粒子薬剤開発
		磁気誘導カテーテル	305	・高磁場化 ・高磁気勾配化
	加速器 応用	高輝度放射光源 (アンジュレータ・ ウイグラー)	306	・高輝度化 ・磁石ギャップ長可変技術
		テラヘルツ波 診断装置(光源)	307	・高機能化
		医療用粒子線 加速器	308	・高機能化
	高周波 デバイス応用	MRI/NMR (高周波プローブ)	309	・高感度化 ・低損失化
		質量分析器 (イオン検出器)	310	・分解能向上 ・測定時間短縮 ・高機能化
		テラヘルツ波 診断装置(検出器)	311	・高機能化
	SQUID 応用	SQUID 免疫診断装置	312	・システム高感度化 ・高機能化(多検体処理) ・操作性向上 ・低コスト化
		MCG (心磁計)	313	・高感度化 ・磁気シールド簡易化 ・高機能システム化
		神経磁気診断装置 (MEG(脳磁計)、脊髄・末梢 神経磁場計測装置)	314	・磁気シールド簡易化 ・多チャンネル化 ・高機能化 ・低コスト化
		超低磁場NMR/MRI	315	・複合化 ・新機能化 ・高性能化

 重要技術

超電導技術分野の技術マップ(情報・通信分野)

(4/5)

ニーズ	シーズ			
	技術大分類	技術中分類	技術番号	技術小分類
高度情報通信社会の構築	コンピュータ・ネットワーク機器	SFQルータ・スイッチ	401	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化</li> <li>・方式、アーキテクチャ</li> <li>・ラック当たりスループット向上</li> </ul>
		SFQコンピュータ、サーバ	402	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SFQプロセッサの大規模化</li> <li>・高速超電導メモリ大容量化</li> <li>・処理能力/ラック向上</li> <li>・低消費電力化</li> </ul>
		量子コンピュータ	403	<ul style="list-style-type: none"> <li>・回路規模(対応量子ビット数)拡大</li> <li>・回路消費電力低減</li> <li>・高速化</li> </ul>
	無線アクセス系機器	高精度・広帯域ADコンバータ(無線用)	404	<ul style="list-style-type: none"> <li>・方式</li> <li>・帯域・ビット精度向上</li> <li>・低コスト化</li> </ul>
		受信フィルタ	405	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高機能化</li> <li>・小型化</li> <li>・モジュール低コスト化</li> </ul>
		送信フィルタ	406	<ul style="list-style-type: none"> <li>・耐電力特性向上</li> <li>・高調波歪み低減</li> <li>・送受信複合化</li> </ul>
		衛星用通信機器(フィルタ、マルチプレクサ)	407	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型化、軽量化</li> <li>・高信頼化</li> <li>・高機能化</li> </ul>
		超電導アンテナ	408	<ul style="list-style-type: none"> <li>・指向性、効率向上</li> <li>・アレイ化</li> <li>・冷却技術</li> </ul>
	計測機器	広帯域ADコンバータ(計測用)	409	<ul style="list-style-type: none"> <li>・帯域、ビット精度向上</li> <li>・モジュール小型化、低コスト化</li> </ul>
		高速計測機器(サンプリング)	410	<ul style="list-style-type: none"> <li>・方式(入力、被測定対象)</li> <li>・広帯域化</li> <li>・小型化、低コスト化</li> </ul>

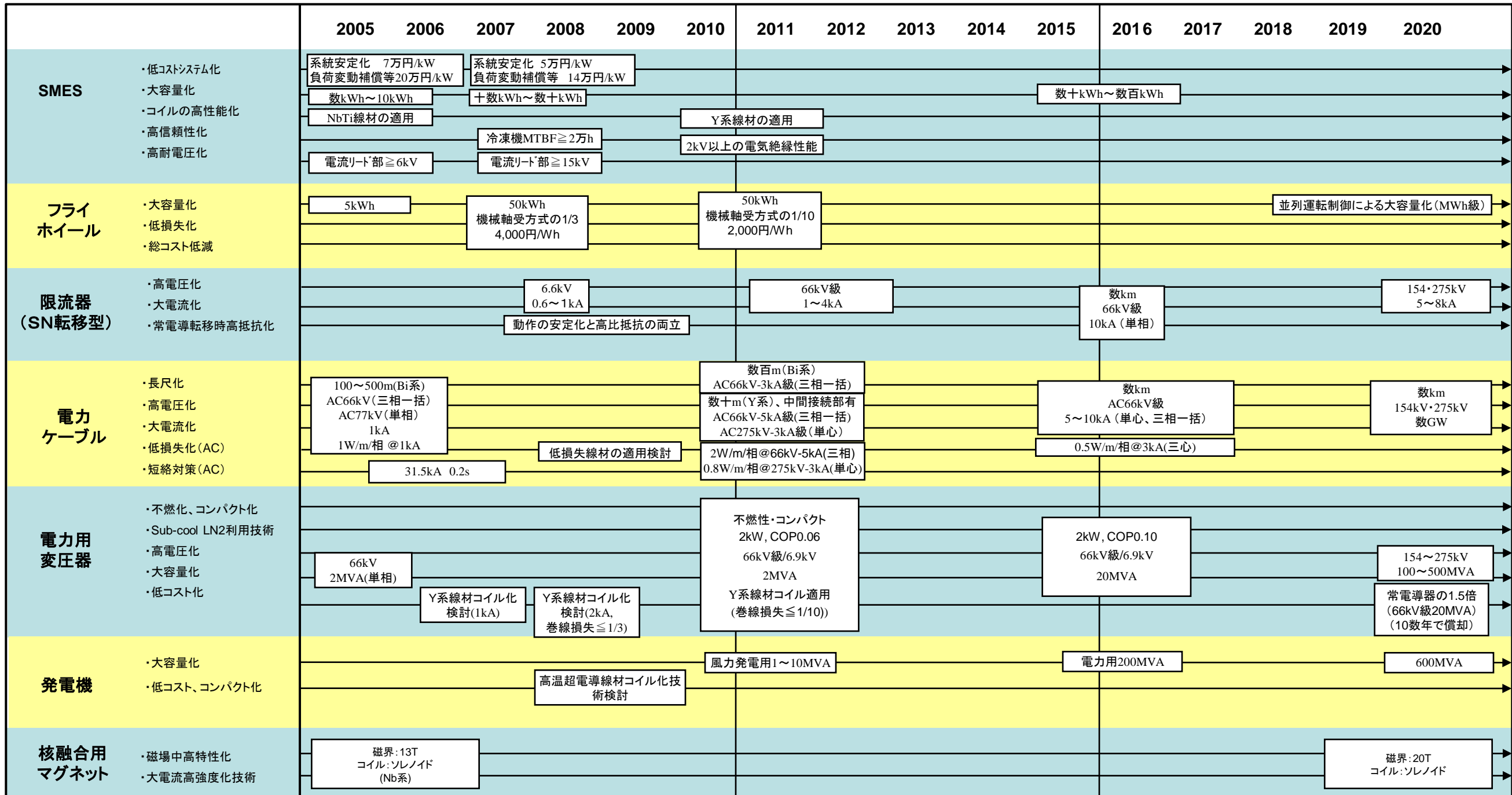
 重要技術

超電導技術分野の技術マップ(共通基盤技術) (5/5)

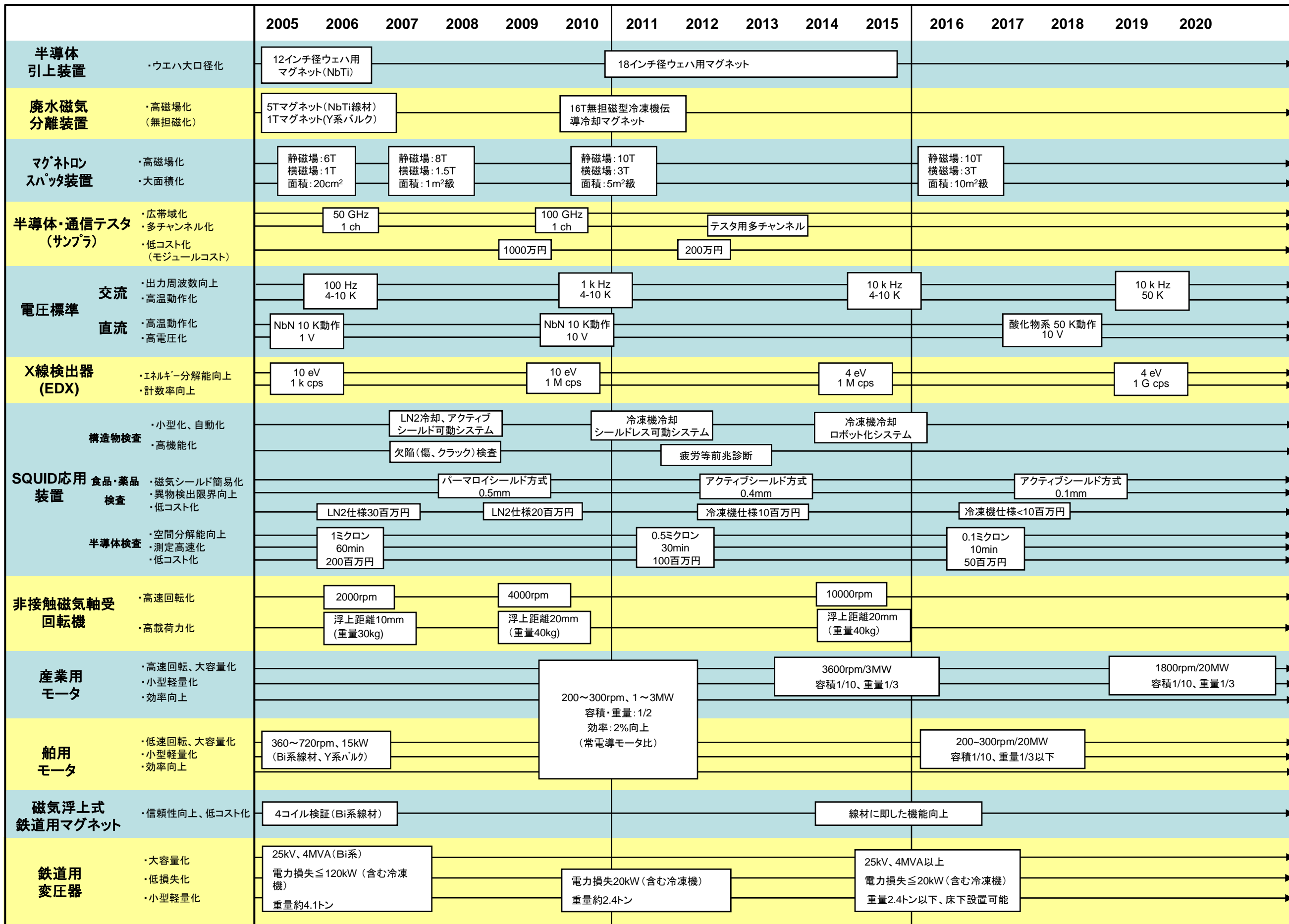
技術大分類	技術中分類	技術番号	技術小分類
超電導線材技術	加工熱処理法技術 (含ブロンズ法技術)	501	・NbTi
			・Nb <sub>3</sub> Sn
			・その他(Nb <sub>3</sub> Al等)
	パウダーインチューブ法技術	502	・Bi2212
			・Bi2223
			・MgB <sub>2</sub>
			・その他
	薄膜線材技術	503	・Y(RE)系
			・その他
	導体化技術	504	・歪特性改善技術
		・素線接続技術	
コイル化技術	505	・巻線技術	
		・絶縁技術	
		・コイル保護技術	
超電導バルク技術	溶融凝固バルク技術	506	・RE123系
			・Bi2212系
			・その他
	焼結バルク技術	507	・RE123系
		・Bi系	
		・その他	
超電導デバイス技術	デジタルデバイス技術	508	・Nb集積回路プロセス技術
			・NbN集積回路プロセス技術
			・酸化物集積回路プロセス技術
			・Nb系SFQデバイス
			・NbN系SFQデバイス
			・酸化物系SFQデバイス
			・入出カインターフェイス技術
			・低温実装技術
	SQUID応用技術	509	・Nbプロセス技術
			・酸化物プロセス技術
			・Nb系SQUID
			・酸化物系SQUID
高周波デバイス技術	510	・MgB <sub>2</sub> 薄膜技術	
		・RE123系薄膜技術	
		・バンドパスフィルタ	
		・アンテナ	
		・実装技術	
冷凍・冷却技術	パワー機器用冷凍機技術	511	・4K冷凍機
			・20K～50K冷凍機
			・65K冷凍機
	デバイス機器用冷凍機技術	512	・4K冷凍機(1～3W)
			・4K冷凍機(0.1～0.5W)
			・50K、70K冷凍機
	大容量冷却技術	513	・LNG冷熱利用技術
			・サブクール冷却技術
			・LH <sub>2</sub> 冷熱利用技術
	伝導冷却技術	514	・高効率冷却技術
クライオスタット技術	515	・薄肉断熱技術	
		・封止化技術	
		・低熱侵入化	
		・機械的強度	
電流リード技術	516	・耐高電圧化	
		・大電流化	

重要技術

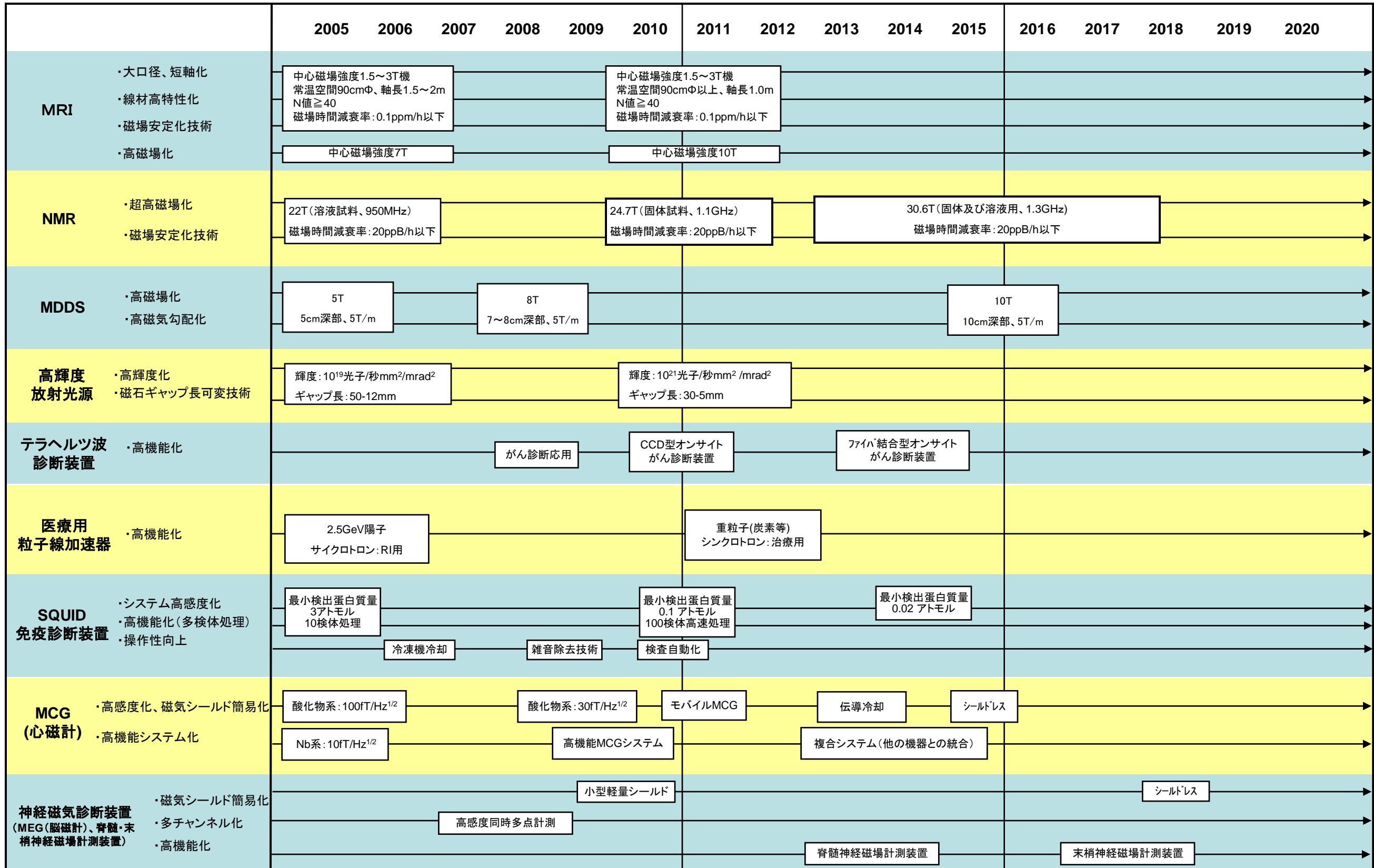
# 超電導技術分野の技術ロードマップ(エネルギー・電力分野)



# 超電導技術分野の技術ロードマップ(産業・輸送分野)



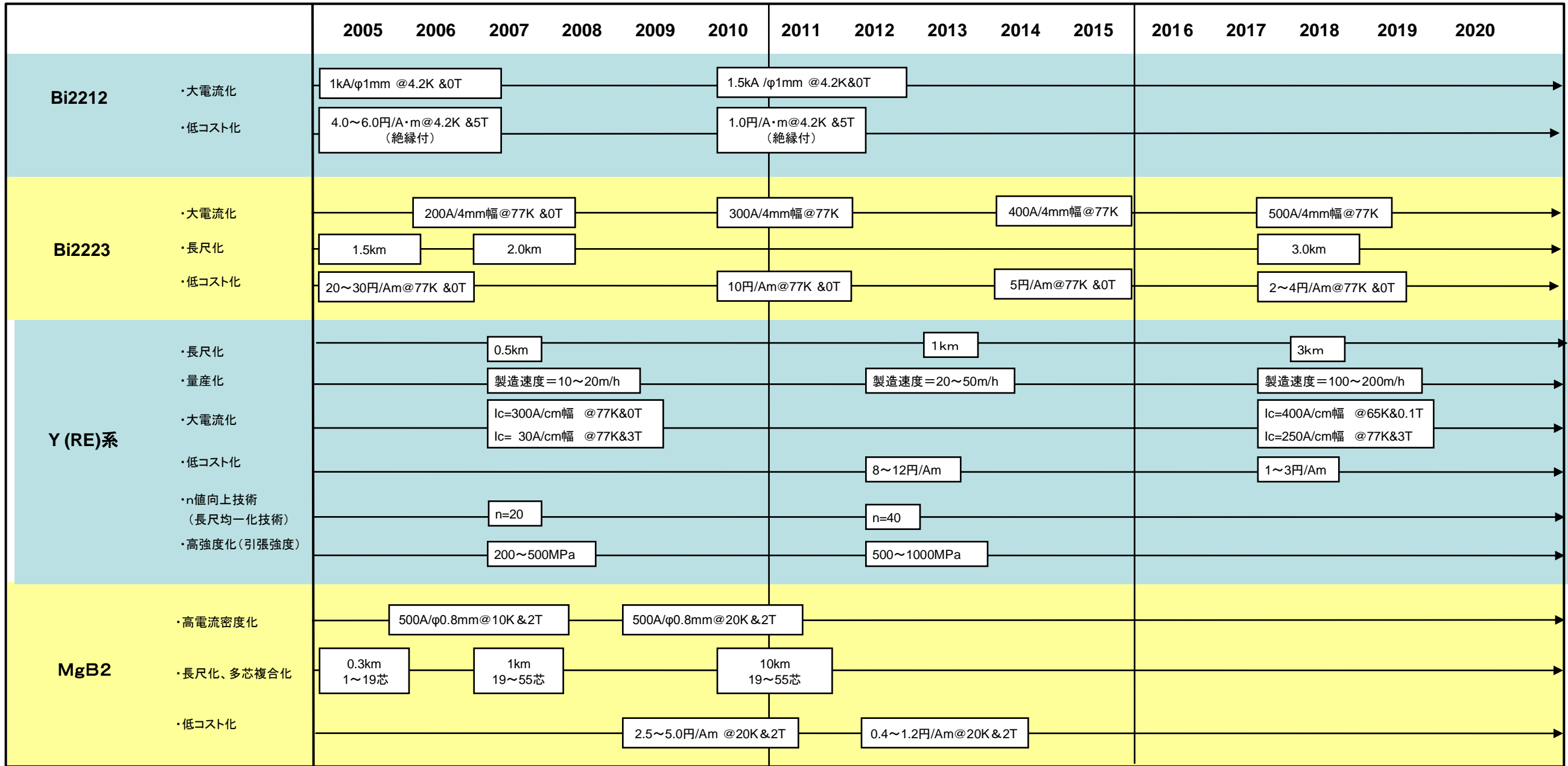
# 超電導技術分野の技術ロードマップ(診断・医療分野)





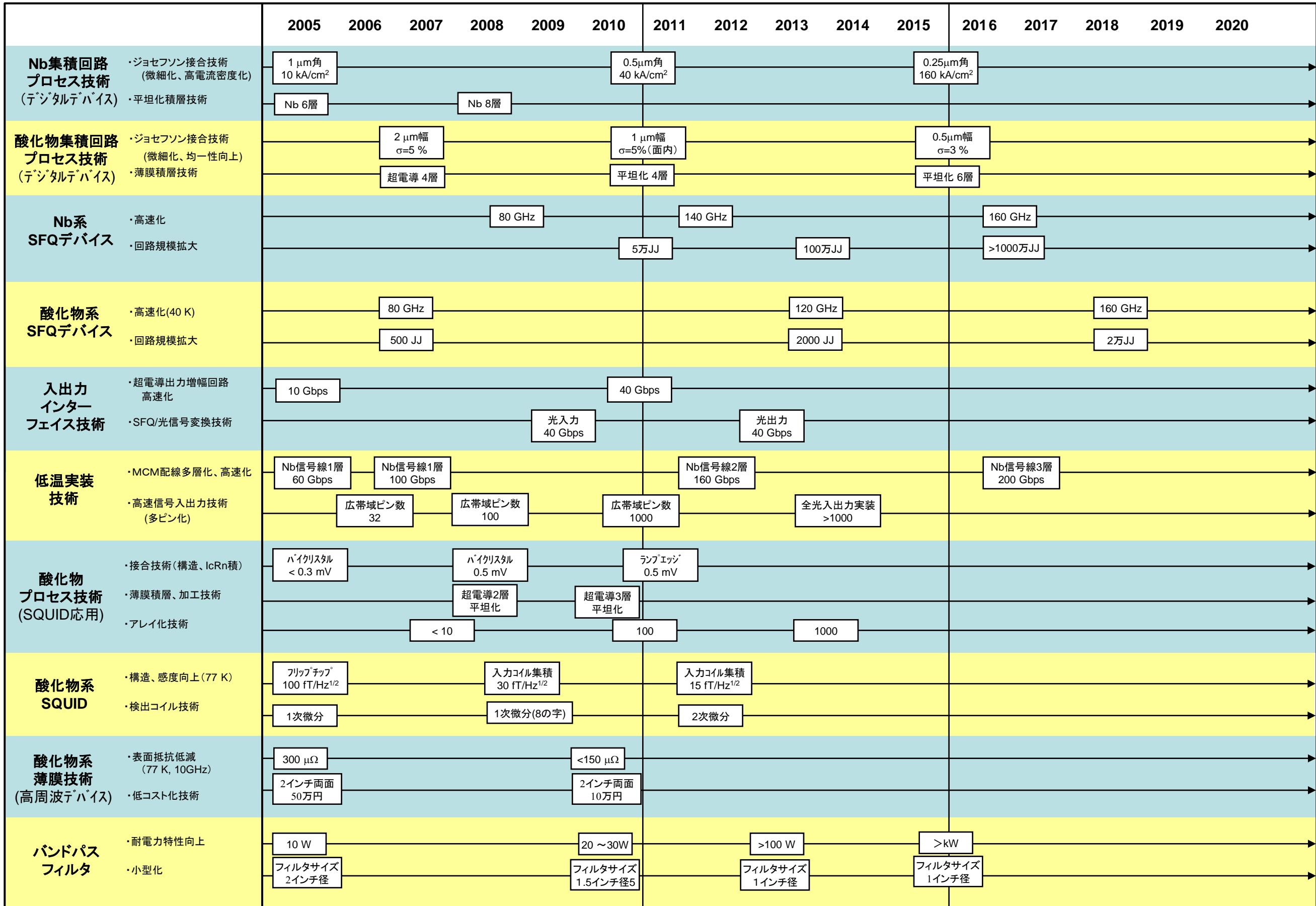


# 超電導技術分野の技術ロードマップ(共通基盤技術—線材)

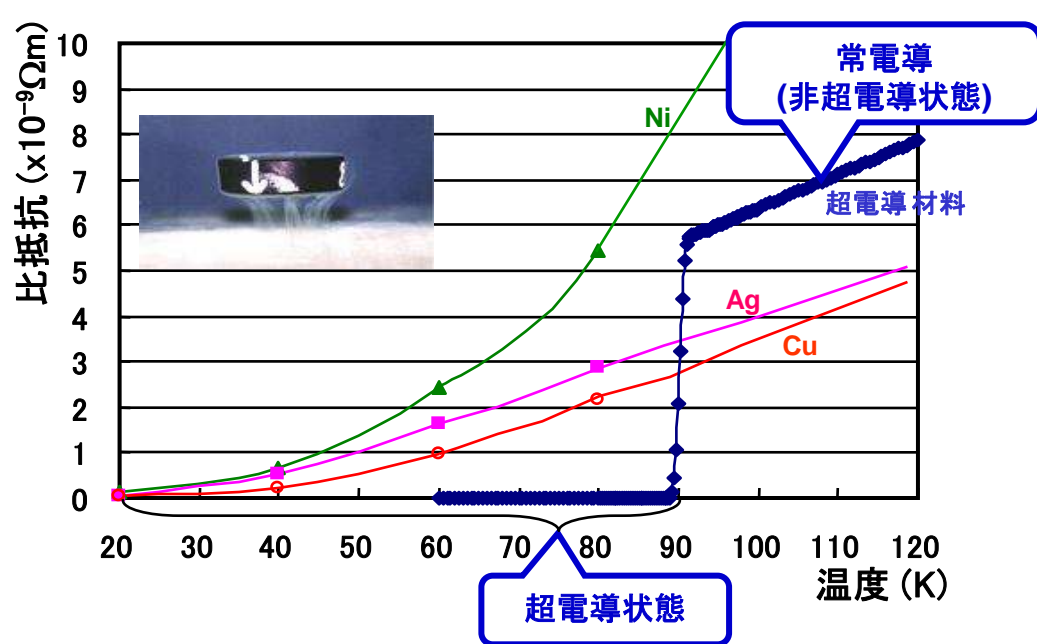




# 超電導技術分野の技術ロードマップ(共通基盤技術ーデバイス)







### 3つの臨界値

臨界温度 ( $T_c$ )

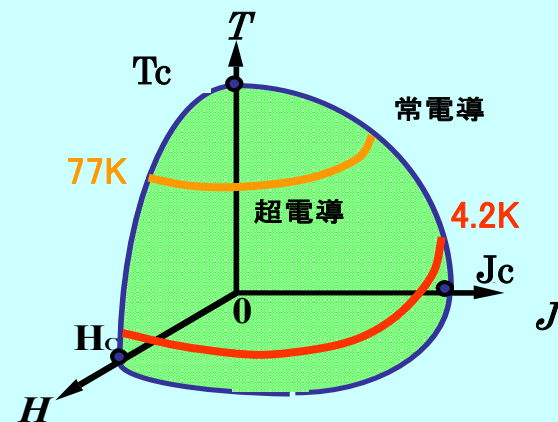
超電導を示す温度の上限

臨界電流 ( $J_c$ )

超電導を維持できる電流の上限

臨界磁場 ( $H_c$ )

超電導を維持できる磁場の上限



### 超電導の4条件 (田中の基準)

以下の4条件を全てクリアして、初めて超電導体と認定される。  
(東京大学の田中昭二教授が1987年に提唱した客観的条件)

- 結晶構造およびその物質の何が超電導体であるのか
- マイスナー効果を示すか
- 電気抵抗が転移点付近で急激に消失するか
- 実験結果に十分再現性があるか

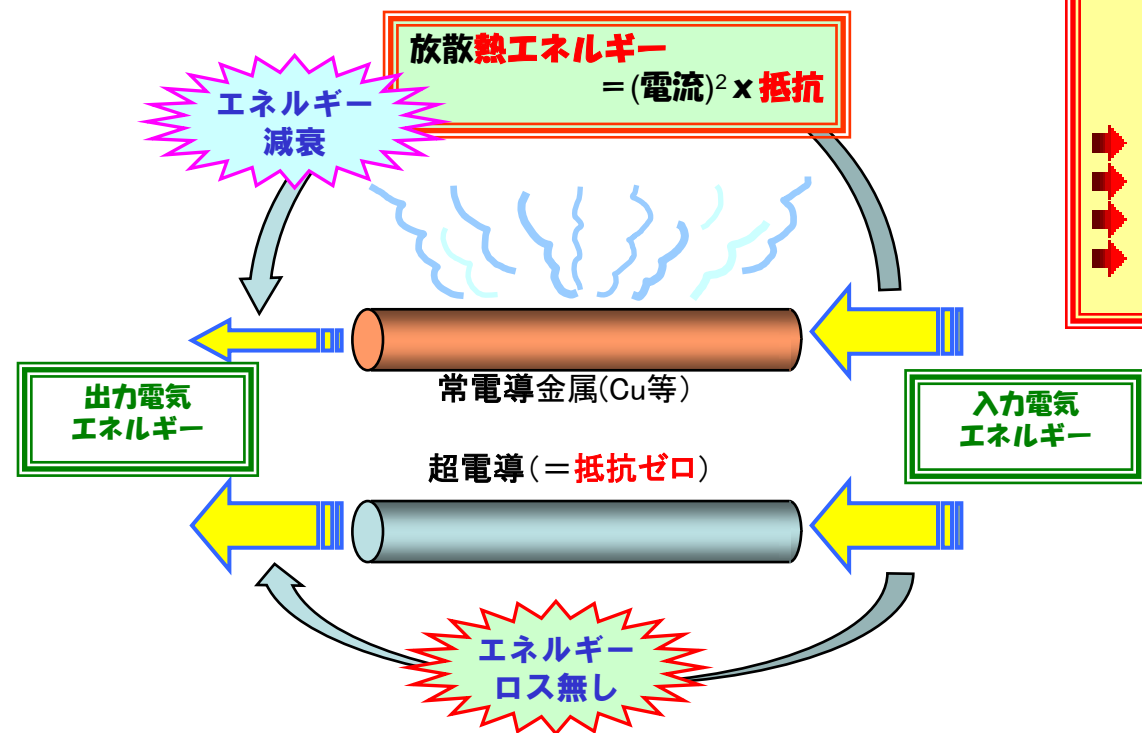
### 超電導産業の将来市場規模 (2020年フロー)

国内： 約 2,735 億円

海外： 約 2兆5,110 億円

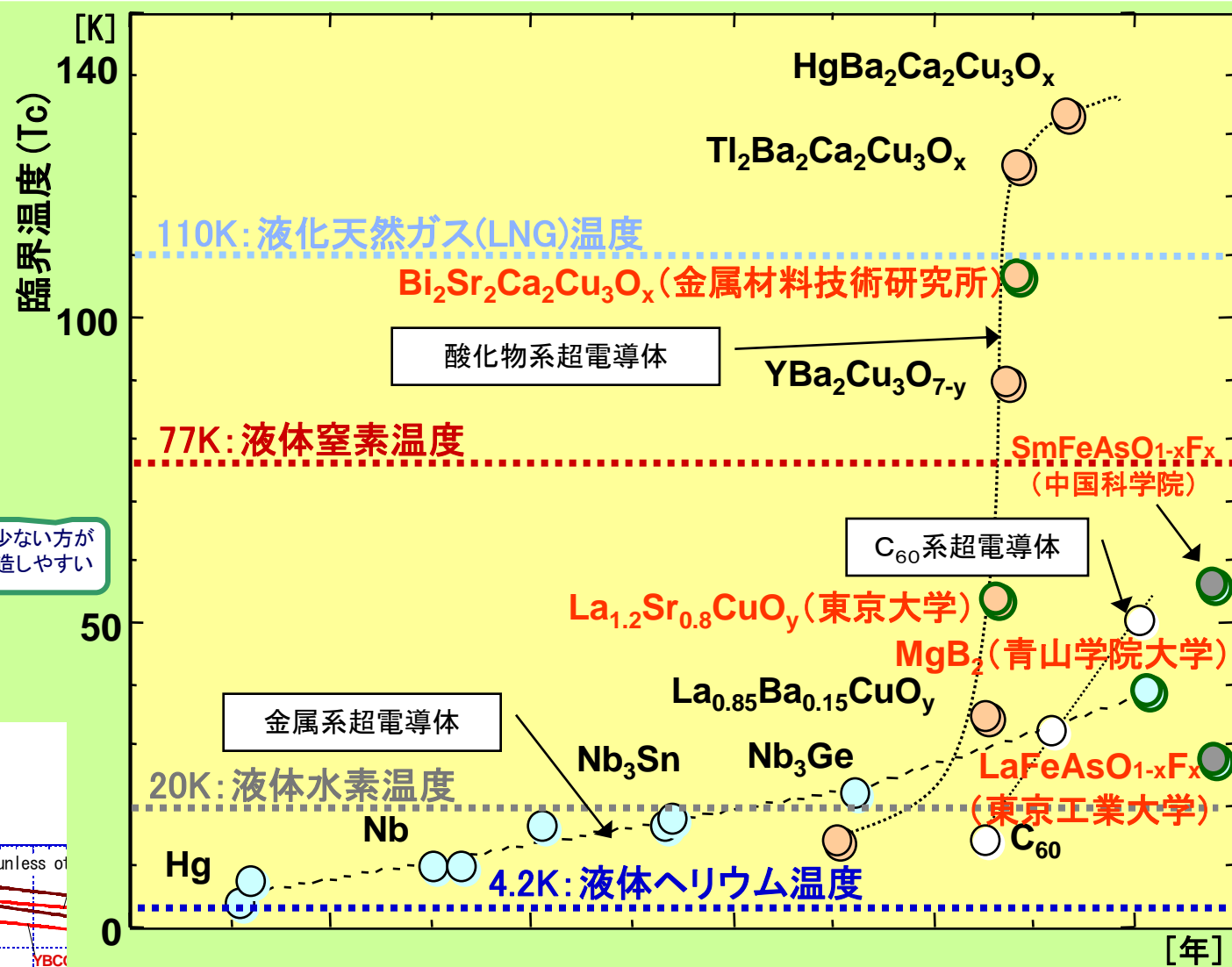
(超電導分野技術戦略マップ策定委員会2007による試算)

(参考資料1：超電導の性質と将来性)



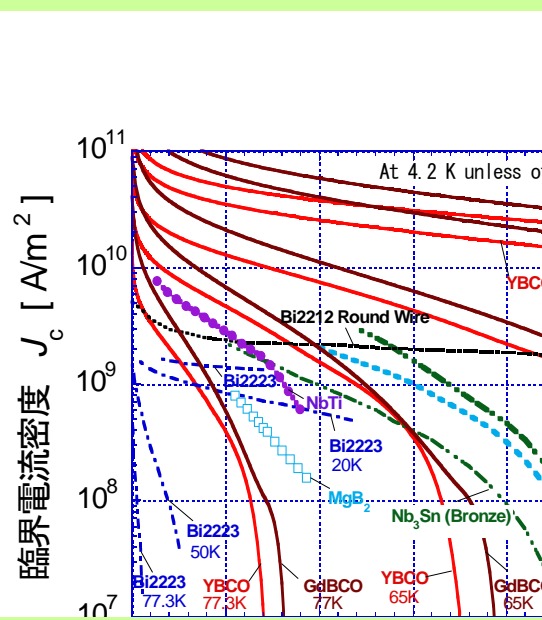
系 (代表物質)	元素数	T <sub>c</sub>
Hg系 (HgBa <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>x</sub> )	5	>110
Tl系 (Tl <sub>2</sub> Ba <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>x</sub> )	5	
Bi系 (Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>x</sub> )	5	>77
Y系 (YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-y</sub> )	4	
Fe系 (SmFeAsO <sub>1-x</sub> F <sub>x</sub> )	5	>20
La系 (La <sub>0.9</sub> Sr <sub>0.1</sub> ) <sub>2</sub> CuO <sub>y</sub> )	4	
MgB <sub>2</sub> (MgB <sub>2</sub> )	2	
Nb系 (Nb <sub>3</sub> Sn, NbTi)	2	>4.2

元素数が少ない方が比較的製造しやすい



### 臨界温度(T<sub>c</sub>)上昇の変遷

各種超電導線材の臨界電流密度  
(九州大学 木須教授 作成)



(参考資料2：超電導物質の探索)



### [エネルギー・電力分野]

SMES  
(MW級瞬低補償、MW級系統制御、  
負荷変動補償、周波数調整)

発電機 (1-100MW)  
(含風力用発電機)

限流器  
(電力ネットワークの保護に有効)

変圧器 (不燃、高効率)

電力ケーブル  
(高効率、大容量、国際連系、  
直流データセンタ)

フライホイール

電力品質  
維持・向上

核融合炉(ITER)

非化石燃料  
エネルギー

CO<sub>2</sub>削減

省エネ  
ルギー

多様化する電源ニーズに対応する  
高信頼かつ高品質電力の供給・運用

環境・エネルギー  
調和型社会の構築

## 社会に役立つ超電導技術 [2020年の社会像]

世界をリードする  
高度産業基盤構築

小型・軽量化、高速度化、高度生産性等を通じた  
高度産業基盤の実現

マグネトロンスパッタ装置

半導体引上装置  
(20インチφ以上Si単結晶)

鉄道用変圧  
器(軽量化)

磁気  
シールド

磁気浮上式鉄道用  
マグネット

磁気分離装置

非接触磁気軸受  
回転機

船用モータ

産業用モータ

車載用モータ

小型化

軽量化

高速度化

CO<sub>2</sub>削減

高信頼性

高度生産性

電圧標準  
(直流・交流)

SQUID応用装置  
(構造物検査、食品・薬品検査、  
半導体検査、鉱物探査)

半導体・通信テスタ

X線検出器(EDX)

### [産業・輸送分野]

粒子加速器、粒子検出器

宇宙線検出器、ミキサ、ボローメータ

### [機器固有技術]

### [診断・医療分野]

磁気誘導カテーテル

医療用粒子線加速器

MDDS (磁気誘導薬物配送)

治療

創薬

早期診断、精密診断、創薬等のニーズに応える  
先進医療機器の実現

健康長寿生活  
を実現

NMR

MRI

質量分析器

MCG (心磁計)

神経磁気診断装置  
(MEG (脳磁計)、脊  
髄・末梢神経磁場計  
測装置)

SQUID免疫診断装置

高輝度放射光源

テラヘルツ波診断装置

高度  
診断

高度情報通信社会  
の実現

増大するネットワーク、情報量を  
高速に処理可能な情報通信機器の創出

高感度  
通信

高速計測機器

バンドパスフィルタ  
(基地局電波送信・受信用)

無線用広帯域・高精度  
ADコンバータ

計測用広帯域ADコンバータ

高速演算

CO<sub>2</sub>削減

SFQサーバ

SFQコンピュータ  
(1-10PFLOPS)

SFQルータ・スイッチ  
(0.1-1Pbps)

### [情報・通信分野]

### [共通基盤技術]

超電導線材技術

超電導バルク技術

超電導デバイス技術

冷凍・冷却技術

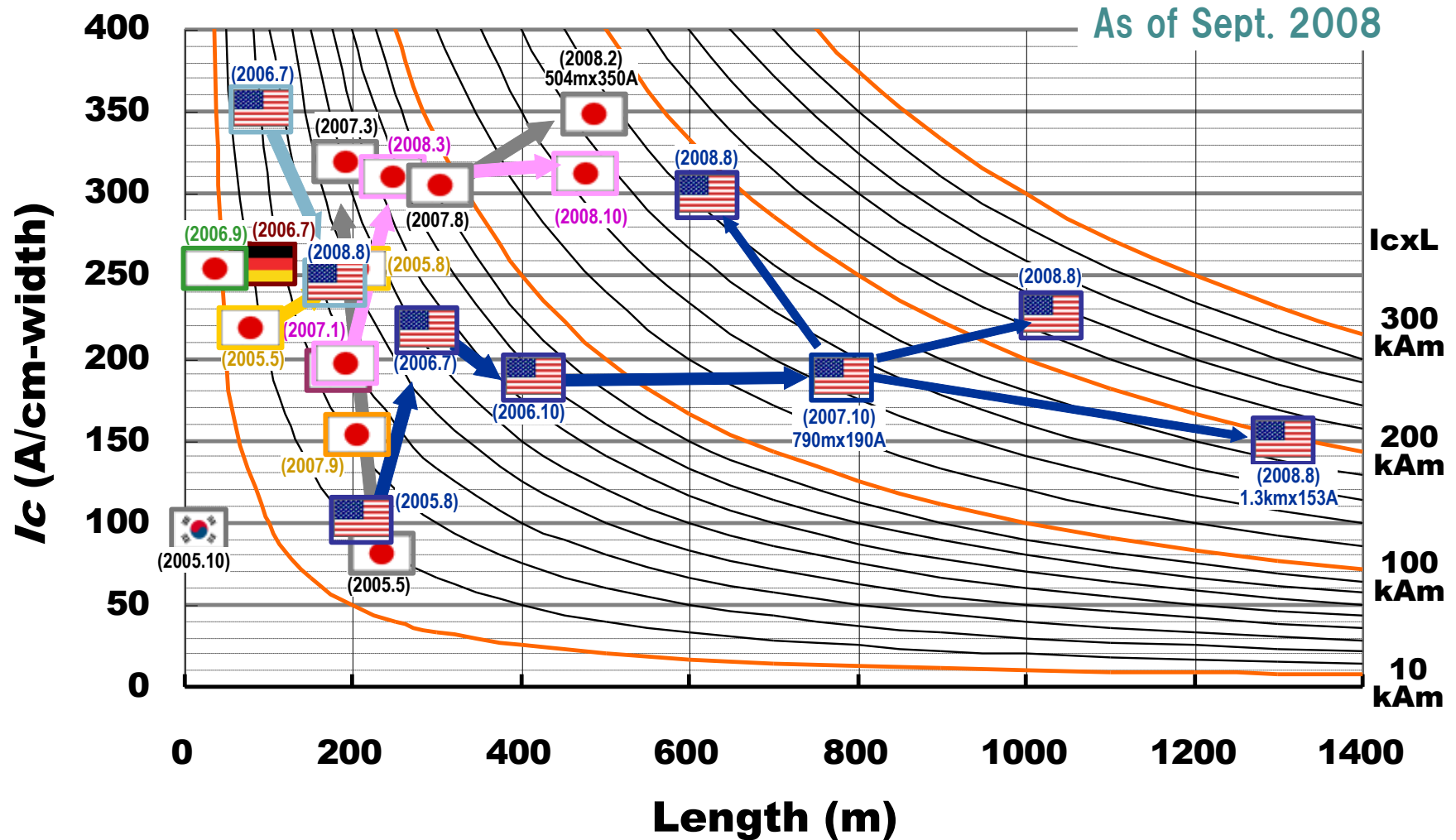


**JAPAN:** — Fujikura — Chubu — Sumitomo — SWCC — SRL-MOD — SRL-PLD

**USA:** — AMSC — SuperPower

**EU:** — EHTS(Germany)

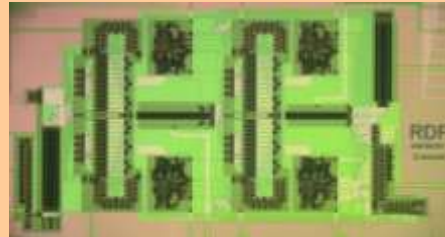
**KOREA:** — KEPRI



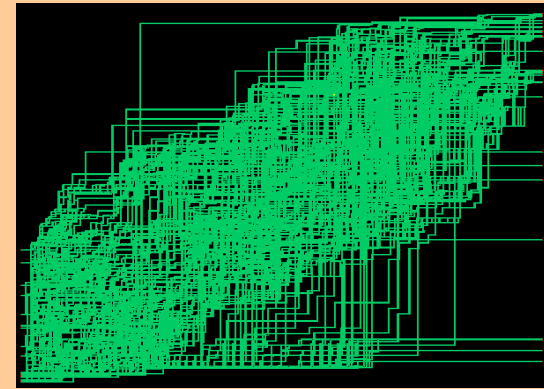
参考資料4：世界のY系超電導線材開発技術(2005年以降)

# (参考資料5：SFQ技術の国際評価)

名古屋大学がSRL標準プロセスで作製した11,000接合からなる20GHz動作再構成可能なデータパスを持つプロセッサ  
(高性能計算機のアクセラレータとして使用) (2008.8)



超電導工学研究所及び名古屋大学が作製した自動配線ツールでレイアウトした大規模SFQ回路(16x16 switch circuit) (2005.3)



名古屋大学がSRL-ADPで作製した90GHz動作2x2SW (2008.10)

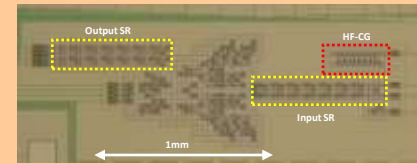


TABLE E-1. REASONS TO DEVELOP SUPERCONDUCTIVE COMPUTER TECHNOLOGY

Technological	Financial
NSA's computing needs are outstripping conventional technology.	Market forces alone will not drive private industry to develop SC technology.
RSFQ technology is an excellent candidate for higher-performance computing capability.	The federal government will be the primary end user of SC computer technology.
RSFQ technology has a clear and viable roadmap.	Other federal government missions will benefit from advances in SC technology.

TABLE E-2. RSFQ SUMMARY

Technical Advantages	Technical Challenges
The most advanced alternative technology.	Providing high-speed and low-latency memory.
Combines high speed with low power.	Architecting systems that can tolerate significant memory access latencies.
Ready for aggressive investment.	Providing very high data rate communications between room temperature technology and cooled RSFQ.

TABLE E-3. DIGITAL RSFQ TECHNOLOGY'S CURRENT STATE OF THE INDUSTRY

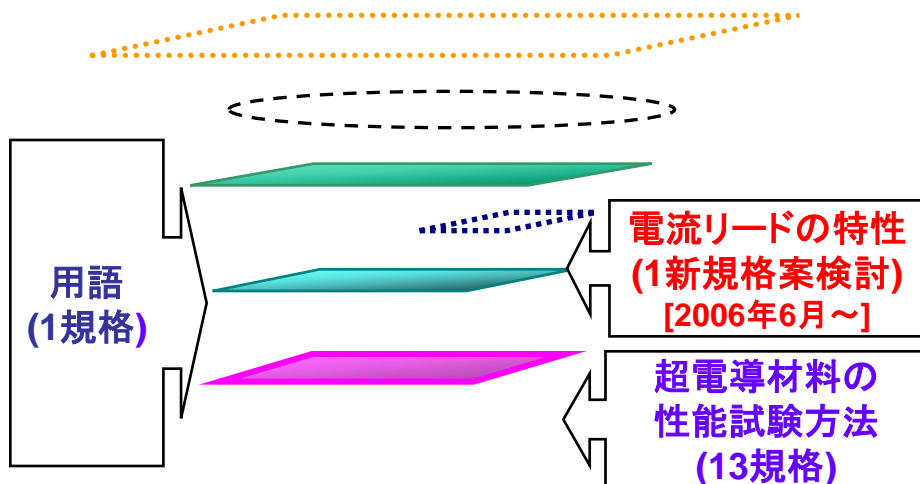
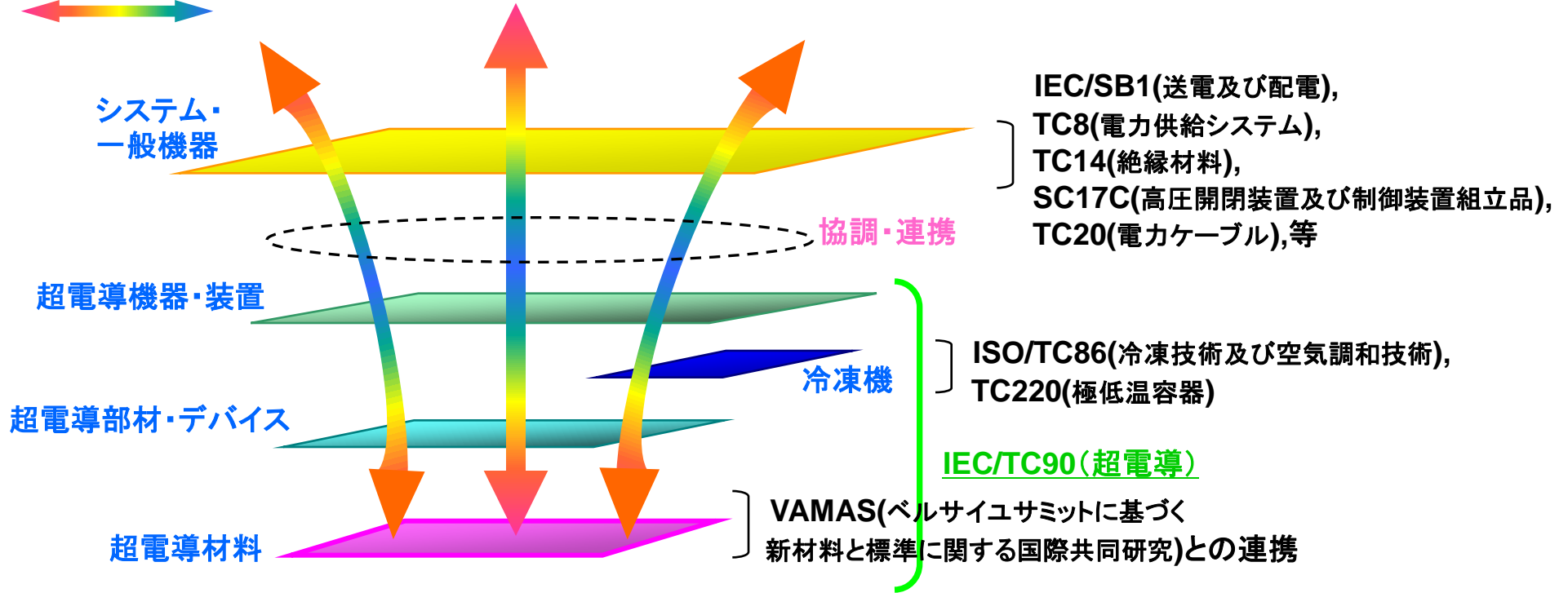
Country	Entity	Status
	ISTEC/SRL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Joint government/industry center, probably doing the most advanced work in digital RSFQ anywhere in the world today.</li> <li>Responsible for the Earth Simulator system.</li> </ul>
	HYPRES	<ul style="list-style-type: none"> <li>Private company focused entirely on SC digital electronics.</li> <li>Has operated the only full-service commercial foundry in the U.S. since 1983.</li> </ul>
	Northrop Grumman	<ul style="list-style-type: none"> <li>Had the most advanced foundry and associated design capability until suspended last year.</li> <li>Still has a strong cadre of experts in the field.</li> </ul>
	Stony Brook U, UC Berkeley, JPL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Currently conducting academic research.</li> </ul>
	Chalmers U of Technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>Currently conducting academic research.</li> </ul>
	NSA, NIST	<ul style="list-style-type: none"> <li>Have resident expertise.</li> </ul>

RSFQ技術の評価 ※米ではSFQをRSFQと呼称する  
(米NSA「超電導技術評価」報告書(2005.8)より抜粋)



# (参考資料6:超電導標準化について)

活発 将来活動  
←→



	残 留 臨 界 電 流	抵 抗 比	機 械 強 度	表 面 抵 抗	臨 界 温 度	交 流 損 失	捕 捉 磁 場	
済								Nb-Ti
			検討					Nb <sub>3</sub> Sn
								酸化物
							未定	MgB <sub>2</sub>

規格化進捗状況

※ 1性能ごとの規格ではないため、規格数と項目数は一致していない。

## 事前評価書

	作成日	平成18年2月26日
1. 事業名称 (コード番号)	高温超電導ケーブル実証プロジェクト	
2. 推進部署名	新エネルギー技術開発部	
3. 事業概要	<p>(1) 概要：高温超電導ケーブルを社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するため、本事業では、66kV、200MVA級3芯一括型高温超電導ケーブルのシステムとしての開発を行い、変電所構内における実系統運用試験によって検証・評価し、総合的な信頼性を確立する。これらによって、実用化に向けた革新的な高効率送電技術を確立する。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費 27億円（委託）</p> <p>(3) 事業期間：平成19年度～23年度（5年間）</p>	
4. 評価の検討状況		
<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p style="margin-left: 20px;">[事業の位置づけ]</p> <p>超電導ケーブルは、NEDOが平成16年度まで実施した「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」において①超電導送電ケーブル用導体の技術開発、②液体窒素による500m長の導体を冷却する技術開発を行い、実用に供するための成立性を明らかにした。しかし、社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するためには、超電導ケーブル単独ではなく超電導送電ケーブルシステムとしての総合的な信頼性を確立することが必要である。そのため、これまでに開発してきた高温超電導ケーブルや冷却技術などを統合して、実系統に高温超電導ケーブルを連系したシステムとしての実証試験を実施することで、超電導技術を用いた革新的な高効率送電技術の確立を目指す。</p> <p>超電導技術分野の技術マップ（平成18年4月制定）において、エネルギー・電力分野機器開発のうち「環境・エネルギー調和型社会の構築」、「送変配電」、「電力ケーブル」に位置付けられる。また、エネルギー分野の重点科学技術「電力供給システム」、「送電技術」に位置付けられている。</p> <p style="margin-left: 20px;">[事業の必要性]</p> <p>高温超電導ケーブルを社会の重要なインフラである電力供給システムに適用するためには、さらなる低損失化、低コスト化を図り、省エネルギー効果を確実にするとともに、線路建設、運用、メンテナンスを含めた総合的な信頼性を確立することが要求される。そのためには、実系統に連系した高電圧・大電流での実証試験が不可欠である。安全性や信頼性の知見を得るための実証試験は、超電導ケーブルの中間接続や実系統と連系した運用試験など、技術的・設備的にリスクを伴ったものであるが、日本が先行する超電導技術が長期に亘り競争力を維持する上で重要である。さらに、実証実験を通じて超電導送電システムの運転管理や評価・計測技術の規格化を進め、早期に国際規格化をはかることも重要である。</p>		

## (2) 研究開発目標の妥当性

高温超電導ケーブルの総合的な信頼性を確立するため、高温超電導線材を用いた超電導ケーブルを実系統の変電所内電力用ケーブルとして連系し、実証試験及び評価を行う。

### [中間目標]

現状の技術は、信頼性や経済性も含めて実用に供するための高温超電導ケーブルシステムが成立するかどうかの検証を行っているレベルであるので、以下のような中間目標を定めて、実系統での実証試験に進めるかどうかの評価を加えるものとする。

#### ①超電導ケーブルシステムの検証

実系統に連系するための事前評価として、3芯一括型高温超電導ケーブルが66kV/2kA、交流損失1W/m/1相以下の性能を達成できることを確認する。

#### ②システム運用の実証試験項目検討

超電導送電ケーブルシステムの運用（冷却含む）において実証すべき試験項目を明確化し、実系統連系試験に最適なサイトを選定する。

#### ③運転・保守方法の検討

運転監視、保守・運用方法について検討し、評価基準を明確にして実線路としての運用が可能なことを確認するための試験内容を定める。

### [最終目標]

高温超電導ケーブルの実系統での実証試験を行い、超電導ケーブルを用いた送電技術を確立する。

#### ①実系統における送電実証

200MVA級の中間接続部を有した高温超電導ケーブルを、遮断器や保護装置などの付帯機器とともに66kV実系統に接続し、連続6ヶ月以上の連続運転を行うことによって安全性や信頼性を確認する。

#### ②システム運用の実証

実系統に連系して、負荷の変動や過電流等の系統電流の変化に自動的に追従したシステム運用（冷却含む）などが可能なことを確認する。

#### ③運転・保守方法の実証

実証試験における運転監視、保守・運用方法が、実運用を行う際の安全性や信頼性に適合することの評価を行うとともに、経済面・環境面での効果を明確化する。

#### ④標準化のデータ収集

実証実験を通じて超電導送電システムの運転管理や評価・計測技術の国際規格化を進めるための標準化項目を明確化するとともに、必要なデータ収集を行う。

上記の研究開発目標は、技術戦略マップ「超電導技術分野ロードマップ 電力ケーブル」の実現に向けた目標設定であり妥当であると考ええる。

## (3) 研究開発マネジメント

公募により実施体制を決定し、効率的かつ効果的な研究の推進を図るためPLの指名又は委嘱を行う。本事業開始後3年目に中間評価を予定しており、その結果を踏まえて事業全体について見直しを行うことも想定する。また、超電導関連の他プロジェクトとの連携を行い、最先端の超電導材料開発の成果が、本事業に役立つように効率的に進める。また、超電導分野の事業を効率的に進捗させるため外部有識者からなる超電導技術委員会に専門的知見の提供・助言を求め、適宜計画の調整を図る。

事後評価については平成24年度に外部有識者からなる委員会にて実施する。

(4) 研究開発成果

本事業の研究成果で、実用化が促進されることによって、水力発電機端構内連絡ケーブルなどへの超電導ケーブルシステムの適用が期待できる。また、超電導ケーブルの導入によって既存ケーブルに比べて電力損失が約 50W/m・cct 低減の省エネルギー効果が見込まれており、このことによって 2020 年に CO2 削減は、28 千トン/年の削減(高温超電導市場開拓検討委員会:2006 年)が期待できる。システム運用性で重要な冷却技術の研究成果は産業分野で利用される冷却機器の信頼性向上に広くて適用されることが期待できる。

(5) 実用化・事業化の見通し

超電導ケーブルは、既存のケーブルに比べて送電容量の大幅な増加や運転損失の低減による省エネ効果が見込まれており、本事業の成果によって、超電導ケーブルのトータルシステムの信頼性(運用・保守)が、実用に供するレベルに達したことを示すものである。このことによって、既存送電ケーブルのリプレース需要などへの適用が期待され、需要の増加によって経済性の改善に関する技術開発が加速されることで「超電導技術分野ロードマップ」で示されている「2016 年頃、66kV 電力ケーブルの実用化」が期待できる。

(6) その他特記事項

平成 18 年 12 月から平成 19 年 3 月まで、「高温超電導ケーブル開発動向に関する調査」を実施する。この中で、既存及び開発段階の超電導ケーブルの比較調査を行い、超電導ケーブルを実用化するための課題を明らかにする。本調査の成果は、本事業の基本計画策定等に反映させる予定。

5. 総合評価

本事業は、超電導送電ケーブルシステムを社会インフラに導入するのに必要な安全性や信頼性を評価・確認するため、実系統に連系した高電圧・大電流での技術的・設備的なリスクを伴った実証試験を実施するものであり、超電導ケーブルにおける革新的な高効率送電技術を確立するために不可欠と考えられるため、NEDO 事業として実施する意義があると判断する。

## 「高温超電導ケーブル実証プロジェクト基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成19年4月5日  
NEDO技術開発機構  
新エネルギー技術開発部

NEDO POST 3において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

### 1. パブリックコメント募集期間

平成19年2月26日～平成19年3月5日

### 2. パブリックコメント投稿数＜有効なもの＞

計0件



## ＜高温超電導ケーブル実証プロジェクト＞

投稿No.6

2006/09/20 (水) 08:53

2000～2004年度に実施された「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」が成功裏に終了したことで日本の超電導技術の実力を世界に示すことができた。しかし、事業原簿によれば、超電導ケーブル実用化を目指し、研究成果を踏まえた更なる冷凍機の高信頼化、低コスト化、及び、ケーブル冷却システムの技術開発の重要性が記載されている。さらに、経済産業省の技術戦略マップには共通基盤技術として、パワー機器応用65K冷凍機の大容量化、高信頼化、高効率化、低コスト化の目標が示されており、当プロジェクトにおいて、この目標に沿った最適な冷却システム及び冷凍機開発を実現することが超電導ケーブル実用化に必要と考える。

### 1) 高信頼化

冷凍機単体に比べ、ケーブル含む冷却システム全体の信頼性検証は相対的に十分とはいえない。そのため、実線路を想定した長期連続運転による危急時を含めた運用方法の確立、信頼性に関する実証と課題の洗い出しを行い、システムの信頼性を定量的に評価しその向上を図ることが、実用的な超電導ケーブルの系統運用のために重要な研究項目であると考え。そのため当プロジェクトにおける中間接続部を持つ実線路運用を考えた冷却試験は非常に貴重なデータを得られる機会であると確信する。その中で冷却システム全体を考慮し、トータルシステムとして低コストかつ効率的な冷媒流路の冗長化検討と冷媒流量制御方法の確立も信頼性向上に必要と考える。冷凍機や送液ポンプなどの個々の構成機器についても冗長系を持たずに高信頼化を達成させることが必要であり、そのための研究実施を期待する。

### 2) 高効率化

長距離管内の冷媒搬送では全体損失の中に占める搬送損失の割合が非常に大きくなる。圧力損失の増大は送液ポンプの昇圧比を大きくすることになり、ポンプ動力の増大や熱侵入量の増大を引き起こす。このため送液ポンプ自体の高効率化達成を図るとともに、熱伝達率及び管摩擦係数を考慮したケーブル内の冷媒流路形状等の見直しを行うことが長距離配管の設計技術の確立に必要である。このため当プロジェクトの実験成果が実用的な冷却システムの運用を行い設計にフィードバックすることが非常に重要な項目であり、その研究実施を期待したい。また、実ケーブルにおいては中間接続や分岐や必要となると考えるが、システム全体を考えた適正な冷媒流路の確保及び冷媒分配方法の確立が信頼性の上からも必要であり、その意味から当プロジェクトは的を射た研究と考える。さらに、冷凍機単体の高効率向上に際して重要なのは定格点の効率ではなく年間を通した通年効率を評価することが重要である。そのためには冷凍サイクルも含め新たな冷凍システムへのチャレンジも視野に入れる必要があると考える。

投稿No.5

2006/09/19 (火) 15:36

本プロジェクトは、平成12年度から16年度にNEDOにおいて実施された「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」の「超電導送電ケーブル基盤技術の研究開発」の研究成果を踏まえ、超電導送電ケー



ブルの実用化への中間ステップに位置付けられるプロジェクトと考えられます。その観点から、実系統  
連係試験による実証研究により信頼性を確立することは国家的に取り組むべき課題であり、必要性は  
非常に高いと思われます。

さらに本プロジェクトを有意義なものにし、その有効性を高めるためには、「交流超電導電力機器基  
盤技術研究開発」の研究成果で得られた実用化に向けた技術課題をきちんとクリアしておく必要があ  
ります。

「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」の事業原簿のIV-18に「2.3 実用化に向けた長期計画と  
開発目標のマイルストーン」に記載されていますが、「今後の技術課題としては、ケーブルでは超電導ケ  
ーブル中間接続技術の開発である。」と記載されています。この技術課題は本プロジェクトで解決され  
るでしょう。その他、経済性に関しては、「超電導線材の低コスト化、液体窒素冷凍機の冷凍効率の高  
効率化技術の確立が不可欠である。これらの基盤技術や周辺技術を結集して超電導ケーブルと限流  
器、変圧器を組み合わせた超電導送変電パイロットシステムを試験して、コストダウンの方策を明ら  
かにする必要があります。」と記載されています。交流損失や断熱管の熱侵入の更なる低減も低コスト化のた  
めの開発課題として挙がっています。

特に超電導送電ケーブルに最適な冷却システムの構築は非常に重要だと思います。超電導ケーブ  
ルに最適な冷凍機は今のところ世の中に存在していないため、高効率の超電導ケーブル用冷凍機  
の開発は不可欠ですし、コストを議論するためには、超電導ケーブルの運転温度(運転温度により冷凍  
機効率と使用する超電導線材コストとはトレードオフの関係にあるため)も考慮した最適な冷却システ  
ムの開発が必要となります。また、信頼性の観点からはシステム振動による冷却不安定性の解析をき  
ちんと行っておく必要があります。

以上の観点からもご検討いただき、より有意義なプロジェクトにしていただければ幸いです。

投稿No.4

2006/09/19 (火) 09:49

高温超電導ケーブルは日本が世界を席巻する技術の一つです。

三芯一括式100m高温超電導ケーブル試験、交流超電導電力機器基盤技術研究開発プロジェクトの  
単芯500m高温超電導ケーブル試験等、世界に先駆けて実施してきました。交流基盤プロジェクトの  
終了に伴い、国内の超電導ケーブルプロジェクトは終了してしまい、これらの試験で培われてきたノウ  
ハウなどが失われてしまう恐れがありましたが、アメリカや韓国に超電導ケーブルが納入され、技術は  
受け継がれてきましたが、超電導ケーブルの技術が海外に流出してしまうことが懸念されます。

先月末に開催されたApplied Superconductivity Conference 2006でも、アメリカのアルバニープロジェ  
クトや韓国のDAPASプロジェクトの概要が報告され、海外のプログラムが華々しく発表されていました。  
三芯一括式の高温超電導ケーブル技術は前述のとおり日本企業が世界に先駆けて開発したものであ  
り、それが海外で活用されることはうれしいことですが、日本国内で実施されないことは憂うべきこと  
でした。そんな中、国内において高温超電導ケーブルの実証試験を実施するという今回のプログラムは  
日本発の技術が国内でも実証されるという喜ばしい試験であると思われます。500mケーブルは今なお  
世界最長の超電導ケーブルであり、それらの試験で得られた知見も活用することにより、将来の電力

送電技術の一つとして技術を国内で確立することは重要かつ有効なことと思われます。今ここでこの試験を実施することが、海外に追いつかれたこの分野において、再度日本が一步抜き出す大きなチャンスだと思われます。ぜひとも国内の様々な知見を結集し、成功裏にこの実証試験が遂行されることに期待します。

投稿No.3

2006/09/14 (木) 19:05

高温超電導の電力応用に関する技術開発は、省エネルギー・地球環境負荷低減や、電力の品質向上・コスト低減による社会的・経済的効果を意図して、国家的に取り組むべき課題である。とりわけ、送電ケーブルへの応用は、老朽化して非効率な電力システムの改善と安定運用を目指して、事業者の規制や送電インフラの近代化などを進めている米国で、早期の実用化が見込まれている。現在、活発な技術開発・実証研究が進められており、わが国の民間企業も重要な一員として参加している。わが国内においても、将来のリプレース需要を見越して、超電導送電ケーブルの実証研究に積極的に取り組んで、システムの信頼性を検証し、実用化を促進することが重要であり、本事業を推進する必要性は高い。ここ数年の国家プロジェクトや民間の努力によって、第1世代のビスマス系超電導線材の特性は飛躍的に向上して実用化レベルに達しており、また、更なる低コスト化・低損失化が見込める第2世代の希土類123系線材の長尺化も実現しているため、本事業を開始する時期としても適当と判断される。

高温超電導ケーブル実証事業の必要性は上記に述べた通りであるが、その有効性をさらに高めるためには、短絡事故時の故障電流を大きく低減できる限流器の研究開発を並行して進めることが望ましい。現在の超電導ケーブルは、定格電流の10倍以上にもなる短絡電流に対応するため、高温超電導導体層の内側と磁気シールド導体層の外側に銅の保護導体を装備している。特に、外側の保護導体の存在は、ケーブルのコンパクト性を損なうため、その省略が強く求められているが、超電導送電ケーブルと直列に限流器を接続することによって、それが実現できる。本事業のみを考慮すれば、コンパクト性はそれほど大きなファクターではないかも知れないが、将来の実用化を考えると、経済性から実現可能性の高い管路布設を想定した場合に重要となる。超電導送電ケーブルの実用化を真剣に考えている米国においては、電力研究所(Electric Power Research Institute)が中心になり、エネルギー省の援助を得つつ、送電レベル(69 kV)の半導体限流器の開発、超電導限流器の研究開発を進めている。これまで、6.6 kV 等の配電レベルでは(常電導の)限流器がいくつか実用化しているが、今回の事業で想定している 66 kV で使えるものはまだ無く、技術的・経済的な困難性から民間のみでの自主的な取り組みは期待できない。わが国においても、超電導送電ケーブルの短絡事故対策と言う観点から、66 kV 級限流器の研究開発に、国家プロジェクトとして積極的に取り組むべきであると思う。

投稿No.2

2006/09/14 (木) 14:13

高温超電導ケーブル実証プロジェクトの必要性と有効性についてのコメント:

(1)必要性

超電導技術は電力機器にとって重要な究極の省エネルギー技術であり、将来の地球規模の環境に関わるエネルギーに対して必須の技術である。とりわけ、超電導ケーブルは最大磁界が高くないので

高温超電導線を使用するには最適であり、最も早い実用化が期待される。

日本における超電導ケーブルの開発は、国家プロジェクトとして推進され、「66kV-1kA級3心一括高温超電導ケーブル-100m」の性能検証試験、および、「単相77kV-1kA級高温超電導ケーブル-500m」の長尺冷却実証試験が行われた。これらの技術は世界的な評価を受け、その実績を元に、米国のアルバニープロジェクトでわが国の高温超電導線が使用されることになった。

一方、米国においては、実システムでの運転を目的とした3つの超電導ケーブルのプロジェクト(アルバニー、ロングアイランド、オハイオ)が開始され、実システムに組み込まれて運用を開始した。日本の超電導ケーブル技術は世界をリードしているにもかかわらず、米国のほうが早く実システム運用を開始しているはその国の事情によるところが多いと思われる。わが国では、これまでに着実に推進してきた実証試験結果を踏まえて、その次のステップである実システム運用での運用システムや信頼性などを今回のプロジェクトで実施することになっている。したがって、本プロジェクトは超電導ケーブルの実用化に大きな飛躍が期待できるので、本プロジェクトの必要性は十分に高いものと判断できる。

## (2)有効性

今回の超電導ケーブル実証プロジェクトに関して、日本では、3心一括型(超電導シールド付単相同軸ケーブルを3本収納した形)を進めているが、米国では、この方式以外に、Tri-axial(3相同一軸型)の超電導ケーブルも推進しており、これは、超電導材料を半分近くまで削減できる経済性のある方式である。したがって、ケーブルを小型にできるために熱侵入が少ないこと、および、超電導材料の量が少ないので交流損失も減少できるなどの利点を有している。最近では、米国の超電導ケーブルプロジェクトの一つとして、オハイオ州コロンバスの変電所で実際に設置して実試験を開始した。高温超電導材料は高価格とならざるを得ないので、経済性のあるTri-axial型も開発することが肝要と思われる。

低コスト、低損失を目標とした本プロジェクトを有意義なものとするには、両者を比較しながら、良い方法を選択することが本プロジェクトの有効性を高めることになろう。

投稿No.1

2006/09/11(月) 21:14

本プロジェクトの必要性と有効性を考察するためには、わが国における高温超電導ケーブルの研究開発の主要な歴史を振り返る必要がある。

約20年前に高温超電導材料が発見された後、ケーブルメーカーにより実用レベルのビスマス系高温超電導線材の製造技術が開発された。これを基に、次のステップとして、ケーブルメーカーと電力会社との協同研究が実施された。この協同研究では、66kV1kA級3心一括型高温超電導ケーブルが設計・製造され、2001年～2002年の1年間に亘り100mの試験線路で実用性能の検証が行われた。次に、経産省産業環境局のプロジェクト「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」の一環として、2003年～2005年に77kV1kA級単心高温超電導ケーブルの長尺冷却実証試験が500mの試験線路を建設して実施された。

以上二つの高温超電導ケーブル及び長尺冷却性能実証試験では、当時の技術レベルでの目標を達成したが、実用線路への導入を可能とするために次の三つの課題を残したと考える。すなわち、

① 定格電流1kA級の性能は検証されたが、交流高温超電導ケーブルの生命線ともいえる導体交流



損失の更なる低減が必要である。それに関連するが、交流高温超電導ケーブルのメリットが発揮できる定格電流 2kA 級以上の領域を合理的なケーブル外径と交流損失の値で実現する技術が確立されていない。

- ② ケーブル終端接続部については、技術的課題とその解決策が見出されたが、実用線路で通常必要となる中間接続部の設計・製作・施工・性能に関しては未検証である。
- ③ 高温超電導ケーブルは、 $-200^{\circ}\text{C}$ 程度の冷却を必要とするビスマス系高温超電導体を使用するという点において画期的な技術であるにも拘わらず、ケーブル技術者による設計・工場での製造・フィールドでの施工及び電気事業者による線路運用等の経験・実績は十分でない。

本プロジェクトの研究内容概要によれば、定格電流 2~3kA 級の技術検証を目標としているので、最近開発された加圧焼成法による高性能ビスマス系線材などの新技術導入が ① の課題の解決に繋がるであろう。また、② の中間接続部も本プロジェクトで検証の対象となっており、③ の関連では、実際の変電所構内での線路として建設し、運用することになっているので技術実績・経験の不足を補えようである。

本プロジェクトは、高温超電導ケーブルの初めての実線路運用を目的としているので、過去に実施された二つのプロトタイプ高温超電導ケーブル・冷却システムの性能実証試験の延長線上に位置付けることによって、その実施の意義と必要性が見出せると考える。また、有効性の視点からは、上記①、②及び③に示したような課題を解決し、最新技術を導入した高温超電導ケーブルを合理的なサイズと交流損失の値で実現し、真に実用線路への適用を可能とする技術レベルに到達することが期待できる。

以上

## 付録資料5 特許リスト

H21年11月6日現在

No.	出願番号	出願日	発明の名称	発明者	審査請求
1	2007-208527	2007/8/9	超電導ケーブル用のフォーマと、その製造方法及び超電導ケーブル	大屋 正義	
2	2007-208536	2007/8/9	超電導ケーブルの接続構造	芦辺 祐一	未
3	2007-211069	2007/8/13	超電導ケーブル	大屋 正義	未
4	2007-211076	2007/8/13	超電導複合線材および超電導ケーブル	芦辺 祐一	未
5	2007-295987	2007/11/14	超電導ケーブルの端末接続構造	芦辺 祐一	未
6	2008-007461	2008/1/16	超電導層の端部構造、接続構造及び接続方法	芦辺 祐一	未
7	2008-007462	2008/1/16	超電導ケーブルの中間接続構造	芦辺 祐一	未
8	2008-007463	2008/1/16	超電導ケーブルの端末接続部構造	芦辺 祐一	未
9	2008-008546	2008/1/17	超電導ケーブル用のフォーマと、その製造方法及び超電導ケーブル	大屋 正義、廣瀬 正幸	未
10	2008-179042	2008/7/9	超電導ケーブル用のフォーマと、その製造方法及び超電導ケーブル	大屋 正義、廣瀬 正幸	未
11	2008-179043	2008/7/9	超電導ケーブル用フォーマの接続方法、および超電導ケーブル用フォーマの接続構造	芦辺 祐一	未
12	2008-179044	2008/7/9	超電導ケーブル	大屋 正義	未
13	2008-179045	2008/7/9	極低温機器用の電流リードおよび端末接続構造	南野 忠彦、八束 健、大屋 正義	未
14	2008-179046	2008/7/9	超電導ケーブルコアの接続構造	芦辺 祐一	未
15	2008-214070	2008/8/22	交流用超電導ケーブル	大屋 正義	未
16	2008-277221	2008/10/28	超電導ケーブルの端末接続構造	芦辺 祐一	未
17	2009-006694	2009/1/15	超電導ケーブルの接続部、及びそれを用いた超電導ケーブル線路	芦辺 祐一、廣瀬 正幸、滝川 裕史、本庄 昇一、三村 智男、野口 裕、鬼頭 豊	未
18	2009-006695	2009/1/15	超電導ケーブル、及びそれを用いた接続構造並びにその施工方法	芦辺 祐一、本庄 昇一、三村 智男、野口 裕、鬼頭 豊	未
19	2009-006696	2009/1/15	はんだ付け装置及びはんだ付け方法	芦辺 祐一、本庄 昇一、三村 智男、野口 裕、鬼頭 豊	未
20	2009-041405	2009/2/24	超電導ケーブルを用いた送電システム	大屋 正義、本庄 昇一、三村 智男、野口 裕、鬼頭 豊	未
21	2009-132463	2009/6/1	超電導ケーブル線路	大屋 正義、本庄 昇一、三村 智男、鬼頭 豊、野口 裕	未
22	2009-171948	2009/7/23	断熱管	芦辺 祐一、本庄 昇一、三村 智男、野口 裕、鬼頭 豊	未
23	2009-190536	2009/8/19	超電導ケーブルの中間接続構造	芦辺 祐一、本庄 昇一、三村 智男、野口 裕、鬼頭 豊	未
24	2009-194044	2009/8/25	超電導ケーブルの接続部、及びそれを用いた超電導ケーブル線路	滝川 裕史、芦辺 祐一、廣瀬 正幸、本庄 昇一、三村 智男、野口 裕、鬼頭 豊	未
25	2009-204160	2009/9/3	超電導ケーブル冷却装置及び方法	増田 孝人、渡部 充彦、本庄 昇一、三村 智男、鬼頭 豊、野口 裕、池内 正充、仲村 直子、大野 隆介、矢口 広晴	未



## 付録資料6 発表・論文リスト

H21年11月6日現在

No.	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者・執筆者	備考
1	H19-11	International Workshop on HTS Power Applications 2007	Cable Project in Japan	本庄昇一	
2	H20-3	平成20年電気学会全国大会	低損失超電導ケーブル導体の開発	大屋正義 他	
3	H20-3	平成20年電気学会全国大会	高温超電導ケーブル実証プロジェクト（系統導入時の雷サージによる影響検討）	鬼頭 豊 他	
4	H20.3	平成20年電気学会全国大会	高温超電導ケーブル実証プロジェクトの概要	三村 智男 他	
5	H20-05	2008年度春季低温工学・超電導学会	低損失Bi2223超電導ケーブル導体の開発	大屋 正義、他	
6	H20-05	2008年度春季低温工学・超電導学会	Bi2223超電導ケーブル導体の過電流特性	大屋 正義、他	
7	H20-06	超伝導科学技術研究会	高温超電導ケーブル実証プロジェクト	本庄 昇一	
8	H20-08	平成20年電気学会電力エネルギー部門大会	高温超電導ケーブル実証プロジェクトーケーブル導体に関する検討ー	大屋 正義、他	
9	H20-08	平成20年電気学会電力エネルギー部門大会	高温超電導ケーブル実証プロジェクトー短絡電流による影響検討ー	鬼頭 豊、他	
10	H20-08	Applied Superconductivity Conference	A New HTS Cable Project in Japan	湯村 洋康、他	査読あり
11	H20-9	FSSSTNews	高温超電導ケーブル実証プロジェクトの概要	本庄 昇一	
12	H20-11	2008年度秋季低温工学・超電導学会	Bi2223超電導ケーブルの交流損失特性	大屋 正義、他	
13	H20-11	International Superconductivity Symposium (ISS2008)	Design study of a HTS cable in YOKOHAMA Project	増田 孝人、他	査読あり
14	H20-11	International Superconductivity Symposium (ISS2008)	Outline of a new HTS Cable Project in Yokohama	三村 智男、他	査読あり
15	H20-11	EPRI meeting	A New HTS Cable Project in Yokohama, Japan	Randy Show	
16	H20-11	低温工学協会「2008年度九州・西日本支部若手セミナー」	超電導技術の応用～送電ケーブル～	本庄 昇一	
17	H20-11	月刊エネルギー	高温超電導ケーブル実証プロジェクトの概要	東京電力	
18	H21-3	平成21年電気学会全国大会	高温超電導ケーブル実証プロジェクトー開発状況ー	野口 裕、他	
19	H21-3	平成21年電気学会全国大会	高温超電導ケーブル実証プロジェクトーケーブル設計ならびに30m検証試験ー	増田 孝人、他	
20	H21-3	平成21年電気学会全国大会	高温超電導ケーブル実証プロジェクトー耐短絡電流特性に関する検討ー	増田 孝人、他	
21	H21-3	平成21年電気学会全国大会	高温超電導ケーブル実証プロジェクトー冷却システム構成の検討ー	鬼頭 豊、他	
22	H21-3	平成21年電気学会全国大会	高温超電導ケーブルの保護について(短絡電流対応の検討)	増田 孝人、他	
23	H21-3	低温工学超電導応用研究会シンポジウム	超電導電力ケーブル	三村 智男	
24	H21-5	2009年度春季低温工学・超電導学会	超電導送電ケーブル用冷却システムの研究概要	池内 正充、他	

No.	発表年月	発表媒体	発表タイトル	発表者・執筆者	備考
25	H21-5	CIGRE D1 Workshop	Demonstration HTS cable project in YOKOHAMA	三村 智男	
26	H21-6	電気学会・超電導応用研究会	高温超電導ケーブル実証プロジェクトの開発状況	増田 孝人	
27	H21.9	EUCAS 2009	Update of YOKOHAMA Project (HTS Cable Design and Evaluation)	湯村 洋康、他	査読あり
28	H21.10	低温工学・超電導応用研究会	高温超電導ケーブル実証プロジェクト	増田 孝人	
29	H21.11	電気学会論文誌B	高温超電導ケーブル実証プロジェクトの進捗状況	増田 孝人、本庄 昇一	査読あり
30	H21.11	International Superconductivity Symposium (ISS2009)	Test results of a 30-meter HTS cable pre-demonstration system in Yokohama project	渡部 充彦、他	査読あり
31	H21-11	家電月報アルレ (ALLE)	実証試験が始まる超電導送電とは-低炭素社会実現に寄与する技術-	三村 智男	
32	H21-12	電気評論	交流超電導送電ケーブルの実証プロジェクト	本庄 昇一	