

「6.1-1. 実証システムの構成・運転技術」 (公開)

平成26年9月3日

東京電力株式会社
 本庄 昇一

6.1-1. 実証システムの構成・運転技術

公開

Ⅲ p.13-17

2

年度展開

| 項目 | H19年度 | H20年度 | H21年度 | H22年度 | H23年度 | H24年度 | H25年度 |
|----------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-------|
| 1. システム構成・運転技術 | 実証場所選定 | 系統要求仕様・影響調査 | 警報・遮断システムの設計 | 異常時運転指針 | | | |
| 2. ケーブル設計・製造 | 要素技術開発 交流損失 <1W/m/ph@2kA 短絡電流対策 | 30mケーブル 検証(熊取工場) | 交流損失低減検討 <1W/m/ph@3kA | ケーブル 製造・布設 | ケーブル 単体試験(旭) | システム 総合試験(旭) | |
| 3. 冷却系設計・製造 | 冷却システム設計 | 冷却システム 製造 | システム検証 (守谷工場) | 冷却システム 単体試験(旭) | | | |
| 4. 実系統運転 | | | | | | | 実証運転 |
| 5. ケーブル高性能化 | | | | | | ケーブル高性能化 コンパクト端末開発 | |
| 6. 冷却システム高性能化 | | | | | システム基本設計 | 性能検証 | 長期試験 |
| 7. 標準化 | 標準化項目整理 | 要素技術データ収集・提供 | | | | 実証データ収集・提供 | |

事業目標の達成度

| 事業目標(実施計画書) | | | 達成度 |
|---------------------|-----------------|---------------------------|--------|
| 項目 | 内容 | | |
| (a)実証ケーブルシステムの概念設計 | 実証ケーブルシステムの基本仕様 | 【1】実証場所の決定 【2】系統接続形態 | ○ ○ |
| (d)高温超電導ケーブルの系統特性調査 | 系統特性調査 | 【3】実証場所での短絡電流の調査 | ○ |
| | 系統側への影響調査 | 【4】実証場所でのサージに対する影響調査 | ○ |
| (c)実証システムの設計 | | 【5】系統インピーダンスの変化及びその影響検討 | ○ |
| (b)線路建設手法の開発 | | 【6】運転・監視、保護・遮断システムの基本設計確立 | ○ |
| (e)運転技術開発 | 平常時の運転技術開発 | 【7】実証場所での施工計画、レイアウト決定 | ○ |
| | | 【8】運転制御に必要なパラメータの制御方針 | ○ |
| | 異常時の運転技術開発 | 【9】温度・圧力制御方法のまとめ | ○ |
| (f)法規対応 | | 【10】異常時の故障モード分析と対応 | ○ |
| | | 【11】警報項目、異常時の対応フロー策定 | ○ |
| | | 【12】関連法規への対応整理 | ○ |

達成度：◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

主要成果 【1】実証場所の決定

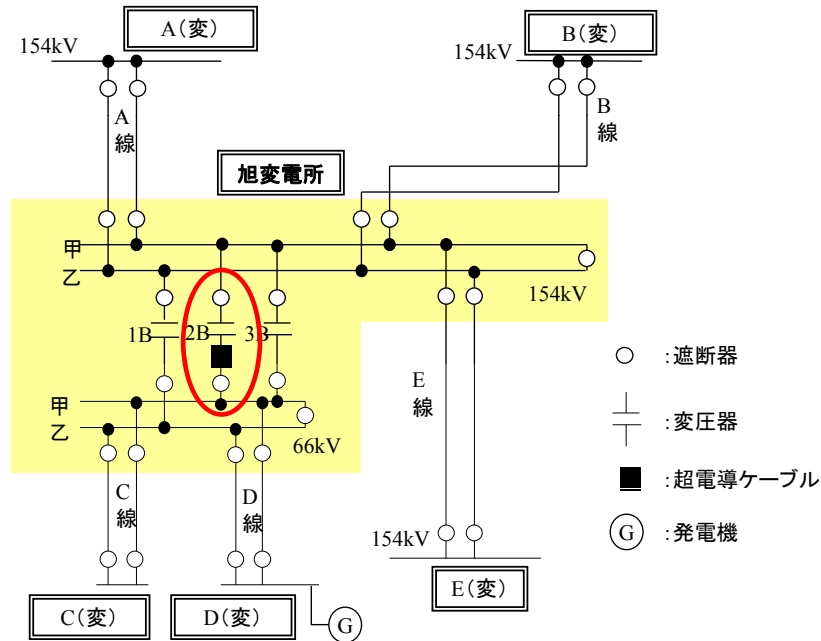
■東京電力管内の30数か所の候補地から、送電容量、建設スペース等を比較検討し、旭変電所(横浜市)に決定。



| 項目 | 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 | ◎ |

主要成果 【2】実証場所の接続形態

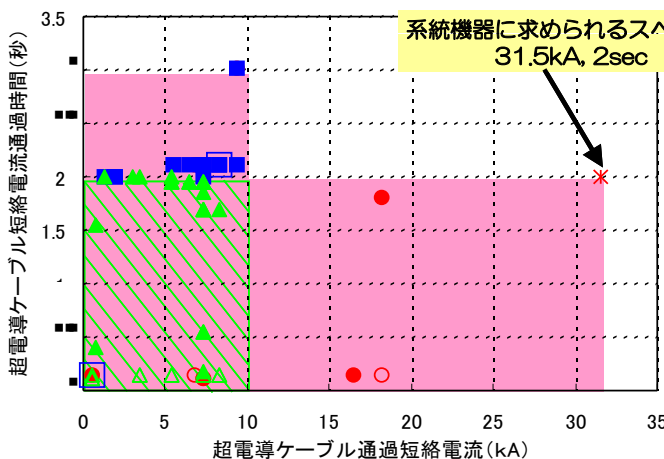
■旭変電所内の154kV/66kV、200MVAの2号変圧器2次側の66kV端に接続。



主要成果 【3】短絡電流条件の検討

旭変電所にて想定される事故ケース(17パターン)での電流値・継続時間を算出

| | 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」 |

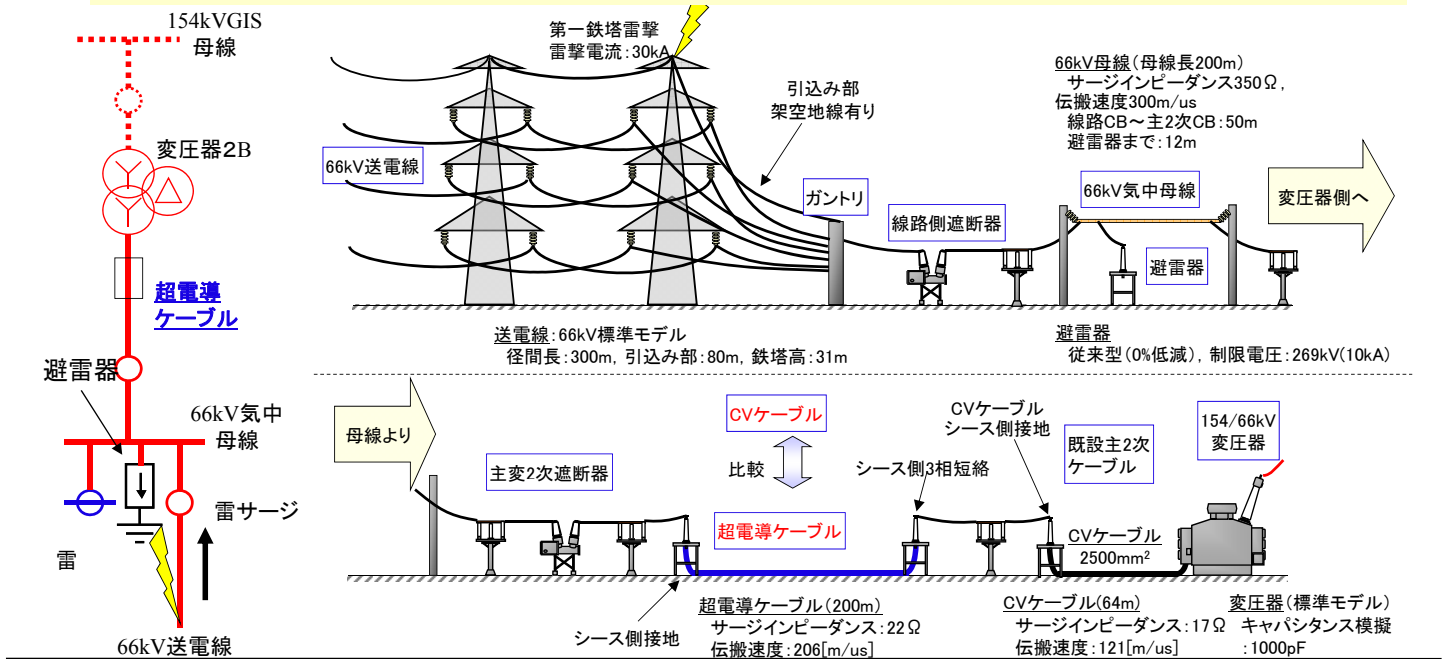


短絡試験条件
 ①事故直後課電無 : 0~31.5kA 2sec
 : 0~10kA 3sec
 ②事故直後課電有 : 0~10kA 2sec
 (短絡電流直後の課電・短電への影響検討)

ケーブル設計へフィードバック

主要成果 【4】サージに対する影響調査

●雷サージ解析: 超電導の低インピーダンス特性がサージに与える影響及び試験電圧の検討をEMTP解析を用いて実施



高温超電導ケーブル実証プロジェクト事後評価



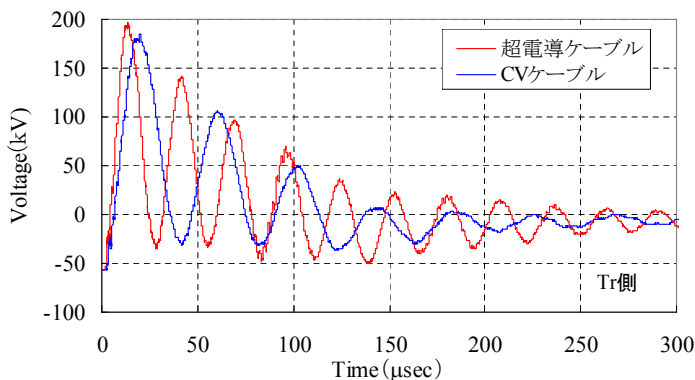
主要成果 【4】サージに対する影響調査

発生過電圧値はCVケーブルのケースと同レベル

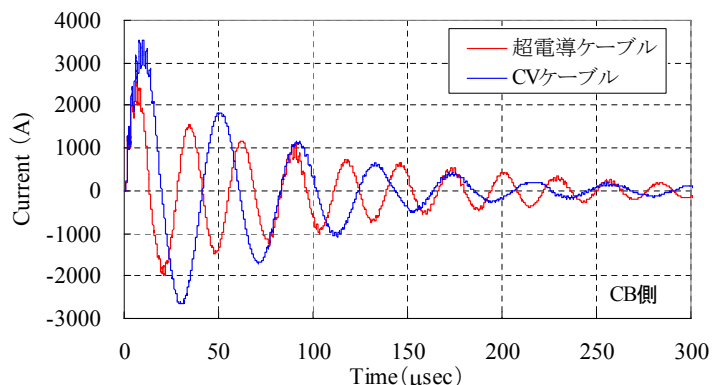
➡ 「超電導」の低抵抗特性は雷サージ伝搬特性に影響を与えないことが判明

旭変電所での発生過電圧196kV

➡ 従来ケーブル規格の雷インパルス耐電圧 (LIWV) 350kVを超えない→試験法に反映



電圧波形



電流波形

雷サージ解析結果(解析条件: 第一鉄塔、シース片端接地、30kA雷撃)

高温超電導ケーブル実証プロジェクト事後評価



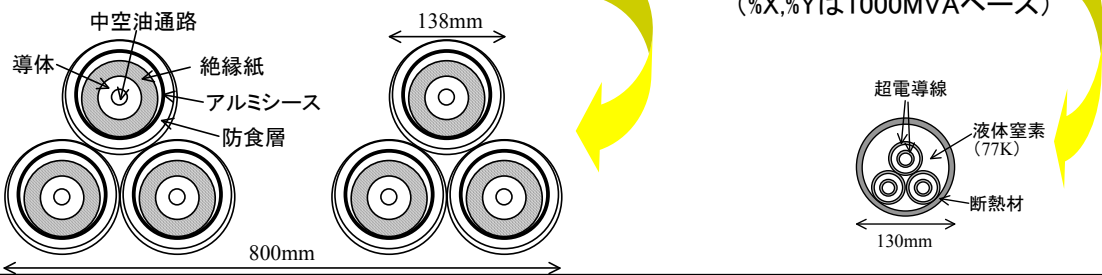
主要成果 【5】系統インピーダンスの変化とその影響

従来ケーブルに対する超電導ケーブルの特性

- 超電導シールド層の効果で、従来ケーブルよりリアクタンスが1桁以上小 → 系統安定度向上
- 同電圧の従来ケーブルと比較してSIL値が大きく、大容量送電向き

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

(%X,%Yは1000MVAベース)

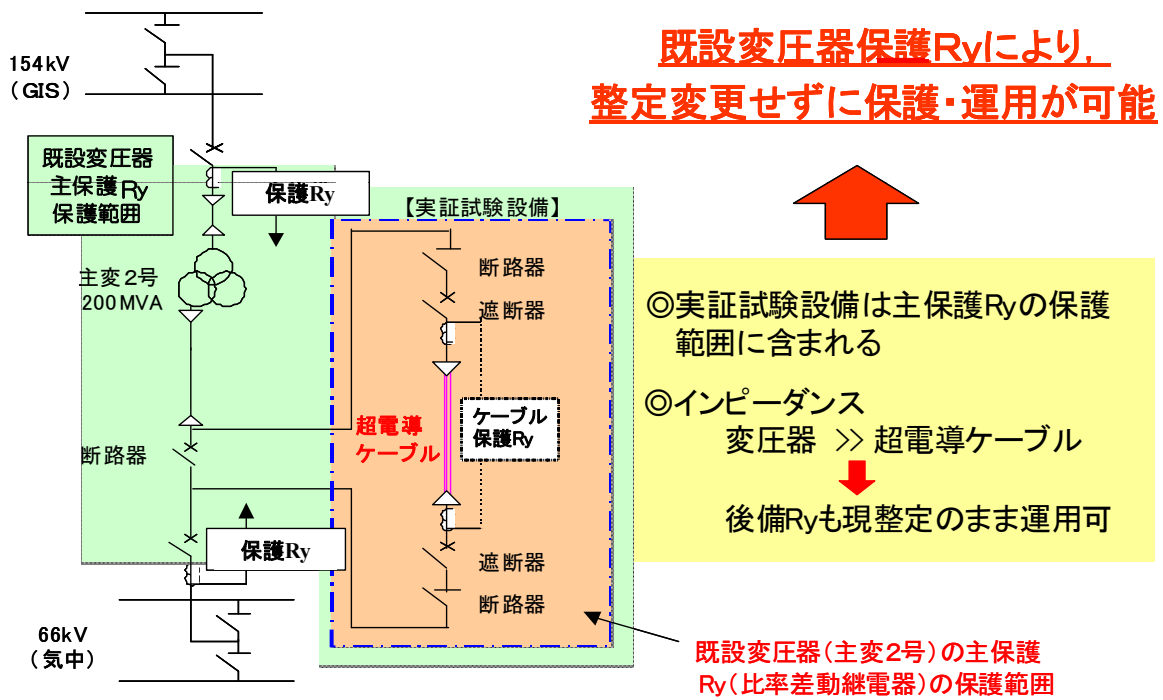


主要成果 【5】実証場所の系統要求仕様

| 項目 | 要求仕様 |
|-----------|---|
| 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 | 変圧器過負荷条件を満足(135%連続等) |
| 短絡電流耐量 | ・31.5kA-2sec, 10kA-3secでケーブルにダメージなし (短絡電流通過後の課電通電なし) |
| | ・10kA-2sec通過後の定格課電・通電が可能なこと。 (短絡電流通過後の課電通電あり) |
| | ・短絡電流通電後の復帰時間明確化 (短絡電流通過後の課電通電あり・なしの双方で) |
| 雷インパルス耐電圧 | ±350kV |

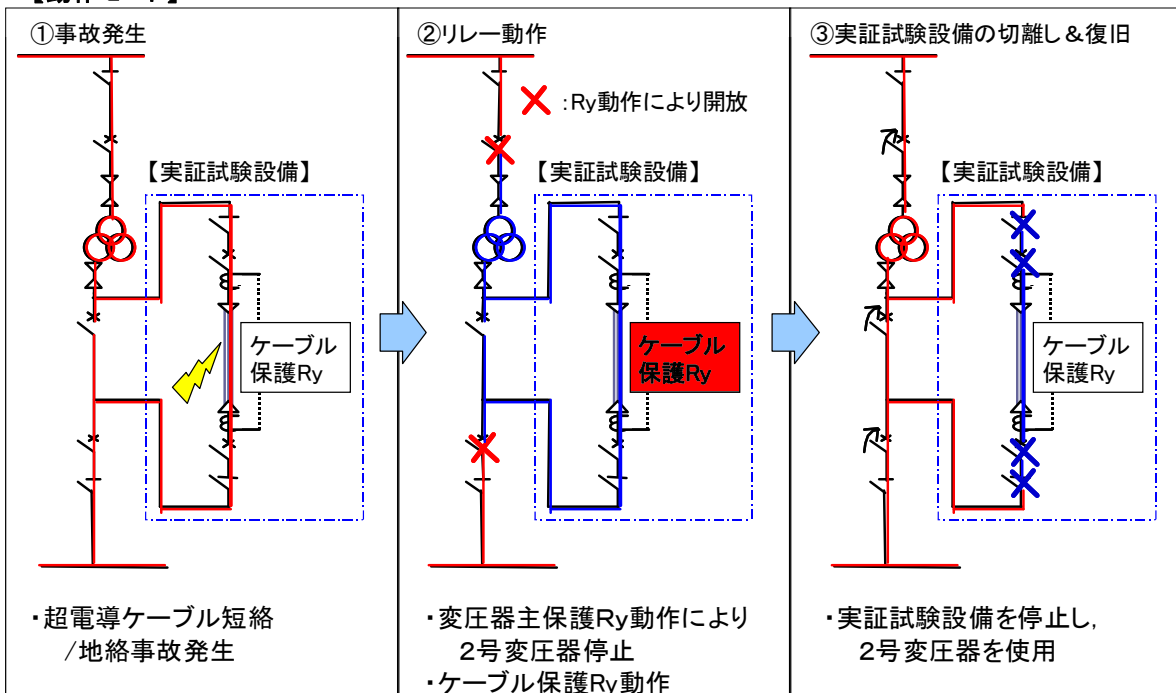
→ ケーブル設計へ反映

主要成果 【6】保護・遮断システムの検討

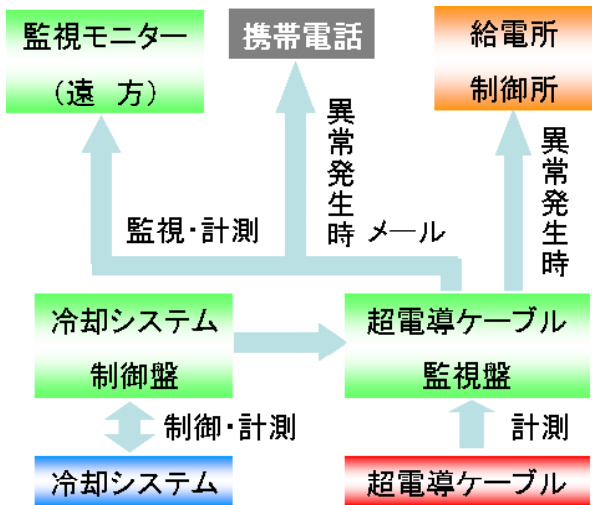


主要成果 【6】保護・遮断システムの検討

【動作モード】



主要成果【6】警報・監視システムの基本設計



警報・監視システム概念図

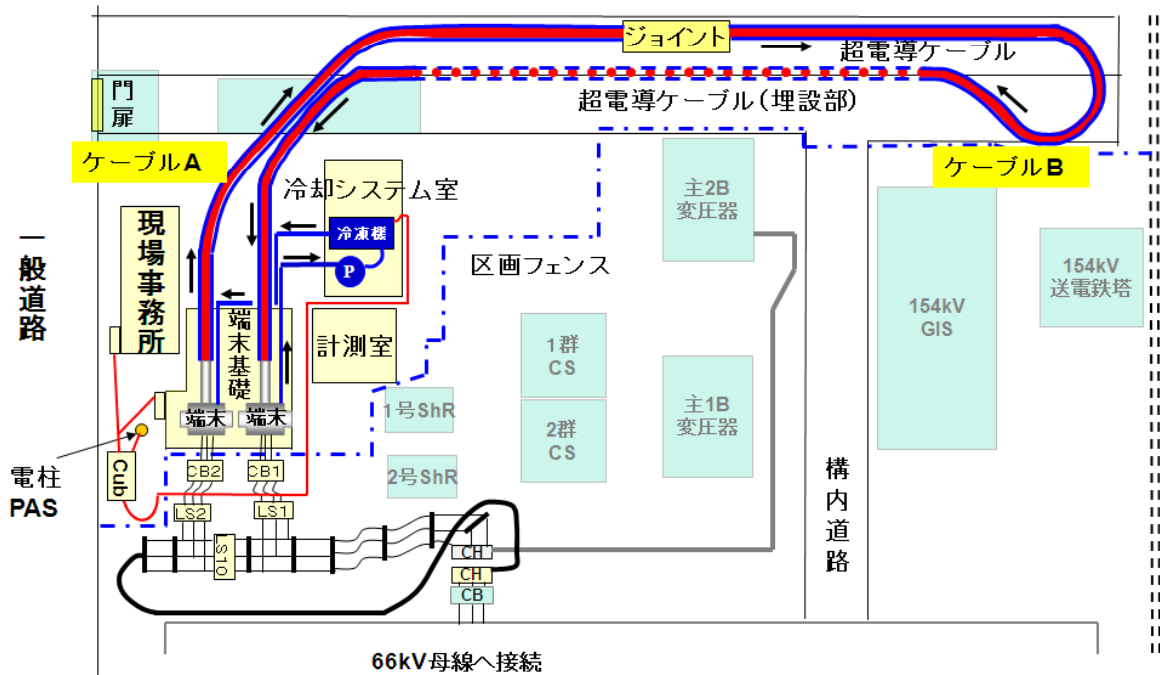
- 「無人運転」を指向した警報・監視システムの設計を実施
- 警報項目を軽故障・重故障に分類。
 - 全ての警報情報は関係者にメール送信され、初期対応が可能な体制とした。
 - 重故障の場合、給電所に送信され1時間以内にバイパス回路に切り替え。
→ 東電社内で、給電箇所等を交えた「運用マニュアル(社外秘)」を作成。

主要成果【7】実証場所での施工計画決定

東日本大震災発生

| 項目 | 平成21年度 | | | | 平成22年度 | | | | 平成23年度 | | | | 平成24年度 | | | | 平成25年度 | | | |
|---------------------------------|--------|----|----|--|--------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|
| | 2Q | 3Q | 4Q | | 1Q | 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 | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 開閉器据付・試験 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 電源盤搬入・冷却システム組立 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 冷却システム単体試験 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 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 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 冷却配管敷設工事・初期冷却 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| ケーブル単体試験・システム総合試験 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| CVケーブル・架線布設工事 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 盤回収工事・シーケンス | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 給電対向試験・使用前自主検査 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 実系統連系試験 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| 最終試験・冷却システム停止・昇温 | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |

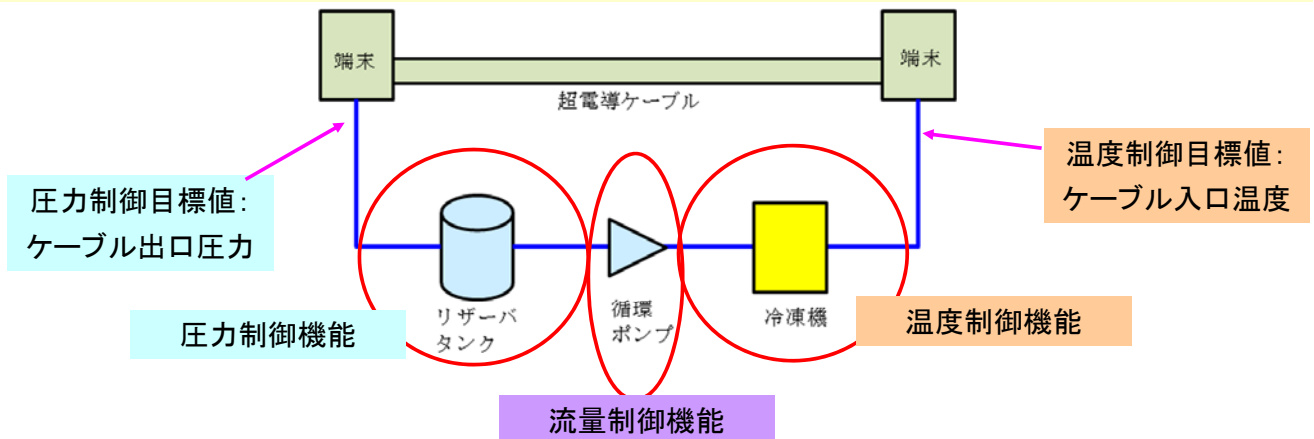
主要成果 【7】実証システムレイアウト



主要成果 【8】主要(冷却系)パラメータの制御方針

■ 平常時の運転技術として、主要パラメータに対する制御方針を検討

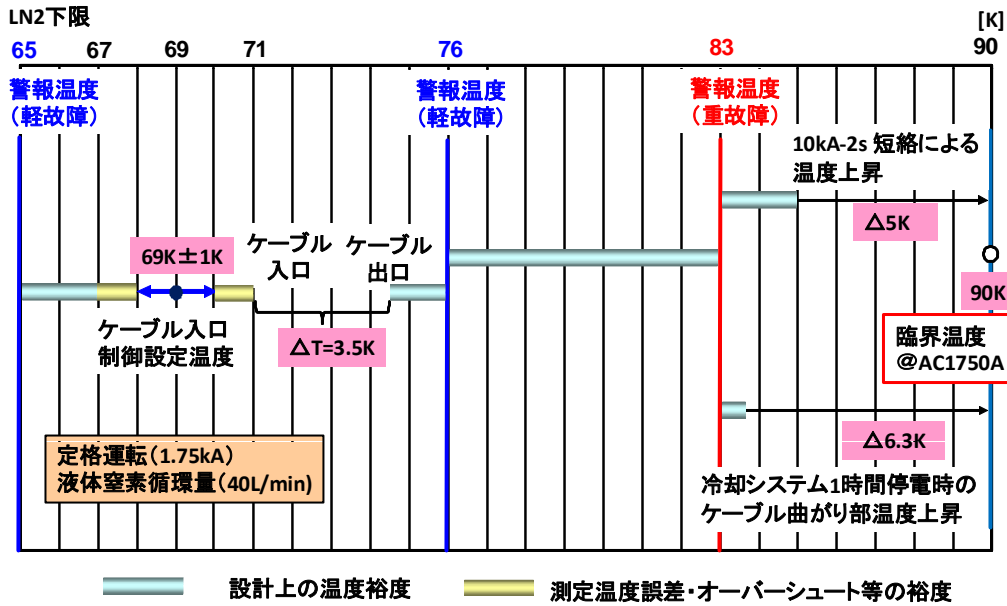
- <温度> 冷凍機の運転台数制御
- <圧力> リザーバタンク(ケーブル出口圧力)の圧力制御
- <流量> 循環ポンプの出力調整



主要成果 【9】温度制御方法の検討

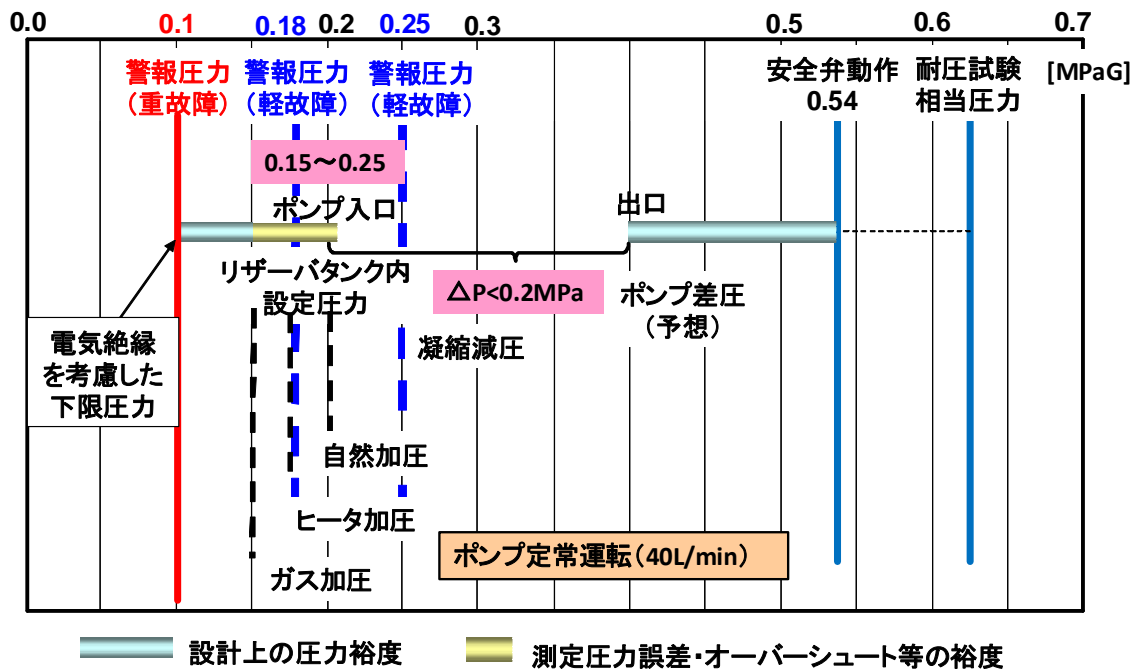
実証システムの運転温度・警報設定範囲

[制御方式: 冷凍機運転台数制御 (ON/OFF 運転)、制御対象: ケーブル入口温度]



主要成果 【9】圧力制御方法の検討

実証システムの運転圧力・警報設定範囲



主要成果 【10】事故時の故障モード分析

| 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(温度, 圧力) | コントローラ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 |

主要成果 【11】警報設定項目及び異常時の対応

■超電導ケーブル送電からバイパス送電へと切替が実施される故障を、「重故障」と設定。

実証システムの重故障警報項目

| 分類 | 重故障警報項目 | 判断条件 |
|-----------------|--------------------|---|
| 設定閾値上限or下限 | ✓LN2温度 上昇 | 温度センサ13点(83K以上)中、2点が成立 |
| | ✓LN2温度 低下 | 圧力センサ4点(0.1MPa以下)中、2点が成立 |
| | ✓LN2リザーバタンク液面低下 | リザーバタンク内の液面計2点(15%以下)、温度センサ1点(85K以上)の計3点中、2点が成立 |
| 機器故障 | ✓LN2循環ポンプ 2台故障 | ポンプA故障、ポンプB故障、流量30L/m以下の3点中、2点が成立 |
| 電源喪失 制御・監視不能 | ✓制御・動力電源喪失 | 制御・動力電源が5分喪失 |
| | ✓超電導ケーブル監視盤異常 | 通信・警報不能 |
| | ✓冷却システム監視盤異常 | 通信・制御不能 |
| 非常停止 | ✓冷却システム非常停止 | 非常停止ボタンが発動 |
| 故障検出 | ✓超電導ケーブル故障検出用リレー動作 | 超電導ケーブル内で短絡・地絡事故発生 |
| | ✓超電導ケーブル故障検出用リレー異常 | 装置異常 |

主要成果 【12】法規対応

■主要適用法令の整理

電気事業法での適用を関係省庁に確認

(経済産業省原子力安全・保安院関東東北産業保安監督部(当時))

→高圧ガス保安法では取り扱わない。ただし、技術的基準は準拠する。

■電気設備基準への対応

【省令7条】電線の接続では、電線の電気抵抗を増加させないように接続する必要あり。

超電導ケーブル接続における以下の技術要件を保安監督部に説明し了解を得る。

・技術要件

- (1)常温では、ケーブル部より電気抵抗が大きくない。
- (2)冷却状態では、接続部の電気抵抗が銅導体より小さい。
- (3)十分な冷媒流路を確保することで、局所的な異常発熱を防止する。
- (4)十分な冷却が確保できない恐れがあるときは、超電導ケーブルを系統から切り離す。

■その他

建築基準法、道路法、騒音・振動規制法、消防法などに照らし合わせて、建設、運用を実施