

超電導電力ケーブル研究開発

(事後評価)
(2008年度～2012年度 5年間)
プロジェクトの詳細説明(公開)

サブプロジェクトリーダー

藤原 昇 (2008年6月～2010年6月)
大熊 武 (2010年7月～2013年2月)

参画機関: (公財) 国際超電導産業技術研究センター、
住友電気工業(株)、古河電気工業(株)、(株)フジクラ、
昭和電線ケーブルシステム(株)、(一財) ファインセラミックスセンター
(株) 前川製作所、京都大学、早稲田大学、名古屋大学

複製を禁ず

2013年8月9日

1/50

II. 研究開発マネジメントについて 1.1 研究開発目標

公開

研究開発目標

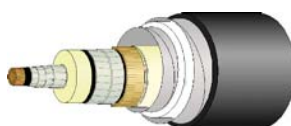


66kV大電流
ケーブル

平成 22 年度までに、電力ケーブルの大電流・低交流損失ケーブル化技術、高電圧絶縁・低誘電損失ケーブル化技術に関する重要な要素技術の開発を行い

平成 24 年度までに、超電導電力ケーブル対応線材開発及び66kV大電流ケーブルシステム、275kV高電圧ケーブルシステムの課通電特性や送電損失等の実用性を検証する。

研究開発内容



275kV高電圧
ケーブル

- 大電流・低交流損失ケーブル化技術の開発
- 高電圧絶縁・低誘電損失ケーブル化技術の開発
- 超電導電力ケーブル対応線材安定製造技術開発
- 超電導電力ケーブルの熱収支に関する評価研究
- 66kV大電流ケーブルシステム検証
- 275kV高電圧ケーブルシステム検証

1. 66kV大電流ケーブル化技術の開発

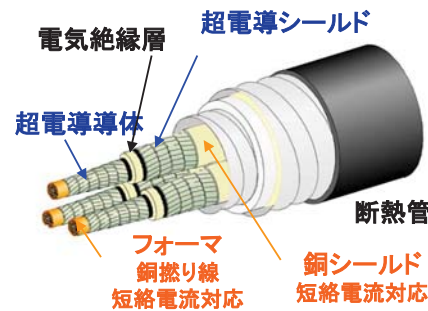
- ・開発スケジュール
- ・目標と達成度
- ・中間評価までの成果
- ・最終目標の達成度

II. 研究開発マネジメントについて 2.1 研究開発の内容

大電流・低交流損失ケーブル化技術の開発

実施内容

- ・66kV/三心一括/5kA,15m長
- ・**終端接続部**
- ・66kV大電流ケーブル実用化時の耐久性を考慮した試験条件の設定を行い、開発したケーブルの課通電試験を実施する。



送電容量
570MVA

	H20-22	中間目標	H23	H24	最終目標
大電流・低交流損失ケーブル	大電流・低交流損失技術 ケーブル損失1.8W/m-相 @5kA(64K)	・ケーブル損失 2W/m-相@5kA	・導体最外層に2mm幅線材の適用で導体損失 0.8W/m@5kA(74K)	オール2mm幅線材 導体の損失評価 (理想的なケーブル設計評価)	・実用化に向けた更なる低損失ケーブル設計検討
	三心一括ケーブル導体検証 過電流にてケーブル性能に劣化無し確認	・31.5kA,2secにてケーブル性能に低下無し	・電磁力と熱応力の複合的な影響の検証	高 I 線材による損失低減効果検証 (フジクラ)	・中間接続部の要素技術を確立
	大電流接続技術開発 5kA連続通電にて熱的な定常状態を確認	・5kA連続通電で導体、接続部、電流リードに異常無し	・中間接続部設計 (課電試験・機械特性検証にて問題無し)	長期課通電試験	
	クラッド-PLD線材 H20-22 8km 単長20m、11-15kA/cm ²	・15kA/cm ² 製作技術確立	・15kA/cm ² 2km		2.1W/m-相@5kA Φ150mm管路収納 終端部を有した15m ケーブルシステム検証
		システム設計	・15m長ケーブル製造 ・冷却システム製造 ・終端接続部、課電設備製造		

個別研究開発項目の中間目標と達成状況 66kV大電流ケーブル化技術の開発

●基本計画： 66kV級大電流・低交流損失超電導ケーブルの要素技術開発を完了し、ケーブルシステムの実用性を検証して、実用化に目処をつける。

項目	中間目標(H22年度末)	成果(H20~22年度)	達成度
① 大電流・低交流損失	ケーブル交流損失(導体層、シールド層): 2W/m-相@5kA 以下	・導体構造を「導体4層、シールド2層」に絞込み ・線材幅2mm、4mmの導体を試作 ・1.8W/m-相@5kAまで低減	○
② 三心一括ケーブル導体の検証	短絡試験(31.5kA, 2sec相当)でケーブルの性能に劣化が無いこと	・モデルケーブルコアを作製し、31.5kA、2secで性能が低下しないことを確認 ・コア間に発生する電磁力を評価し、問題無いことを確認	○
③ 大容量接続技術の開発	5kA連続通電を行い、ケーブル導体、超電導-常電導接続部、電流リードに異常がないこと	大容量電流リードを開発し、5kA通電を実施して異常のないことを確認	○
④ システム検証	検証用超電導ケーブルのシステム設計完了 課通電試験計画書作成	システム設計、課通電試験計画書を作成	○

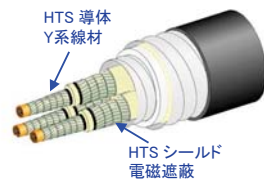
◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達成

①大電流・低交流損失

超電導ケーブル構造検討

開発目標

大電流化: 5kA (66kV)
低損失化: 2.1W/m-相@5kA
耐短絡電流: 31.5kA、2秒
コンパクト: 150mmφ管路対応



※大容量化には超電導層の多層化が必須
⇒ ケーブル外径制限 140mm以内

層数検討

導体層数	2層	4層	6層	8層
シールド層数	1層	2層	3層	4層
コア外径	40	42	44	46
ケーブル外径	132	136	140	144

×:現状の線材特性で12kA程度の I_c 確保が困難(負荷率0.6想定)

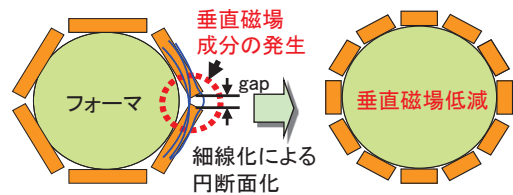
×:150mm管路に収納が困難
×:製造可能な範囲で均流化スパイラルピッチの解がなく不採用

「導体4層、シールド2層」構造を採用

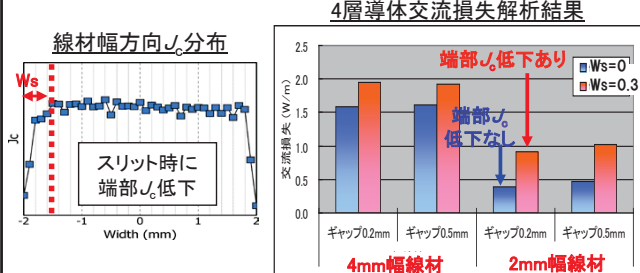
低交流損失化の指針

Y系線材を用いたケーブルの損失の特徴

- テープ面に平行な磁場による損失は非常に小さい
- 損失主要因は線材間ギャップに発生する垂直磁場



細線化による線材端部の I_c 低下が損失に影響



●細線化による円断面化

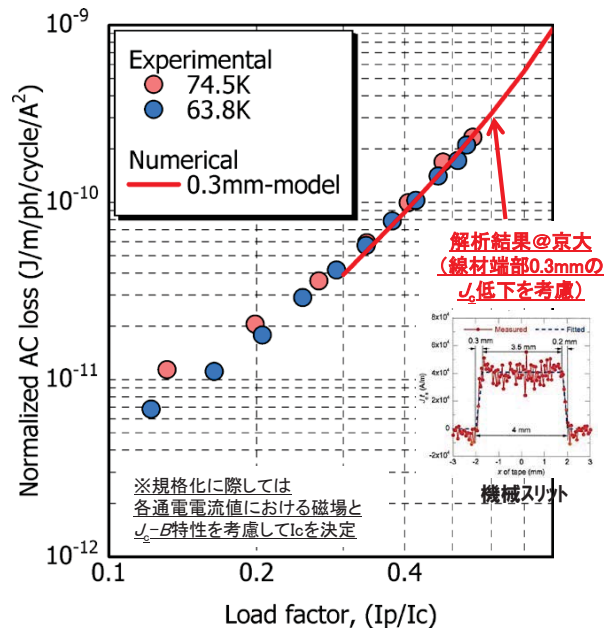
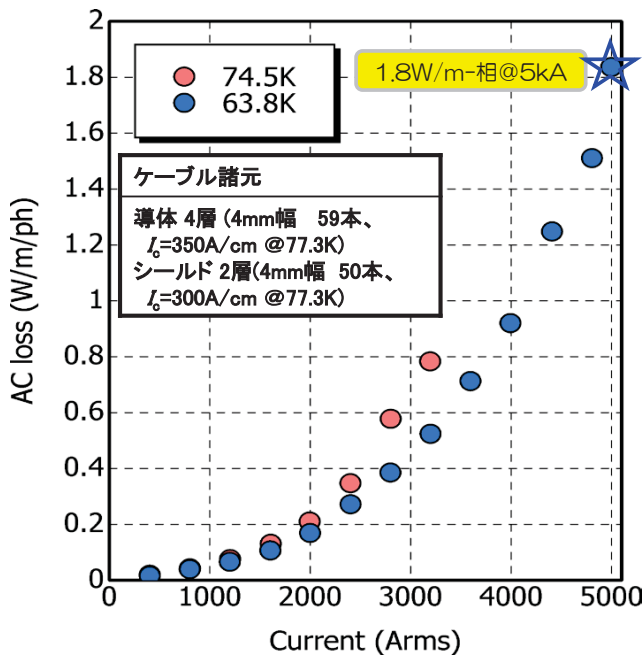
Gap部磁場をテープ面に平行化
⇒ 線材幅 4mm、2mmで検討

①大電流・低交流損失

■開発目標:交流損失「2.0W/m@5kA」以下

中間目標達成

■ケーブル交流損失測定(4mm幅線材使用:導体4層+シールド2層)



1.8W/m-相@5kA → 中間目標達成

線材端部 J_c 低下領域を0.3mmとした解析結果と一致、設計通りの損失特性を確認

②三心一括ケーブル導体の検証

■開発目標:耐過電流特性:31.5kA、2s 劣化無し

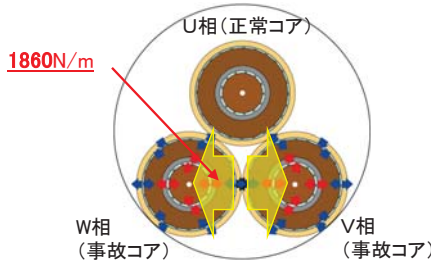
中間目標達成

ケーブルコア構造

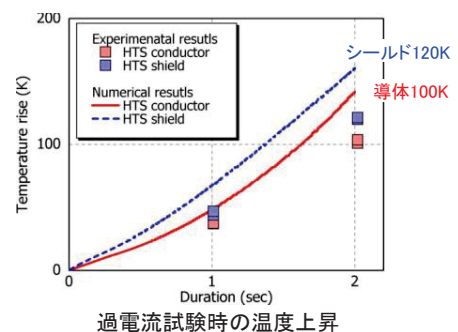
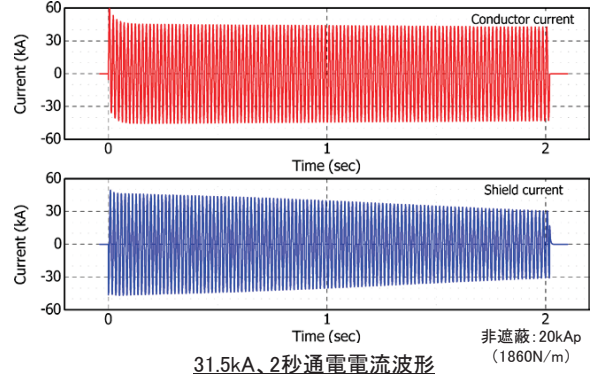
構造	仕様
フォーマ	素絶分割集合導体、140sq
超電導導体層	4層、4mm幅Clad基板線材
絶縁層	PPLP、6mm厚
超電導シールド層	2層、4mm幅Clad基板線材
銅保護層	銅線材、4層、100sq
コア径	42mm



■2線短絡事故時の電磁力解析



■過電流試験(31.5kA-2sec)



・過電流試験(31.5kA-2sec) ⇒ 試験前後で特性劣化なし
・過電流時の漏れ磁場を測定、コア間の電磁力解析を実施
⇒ コア間に働く電磁力は影響のない範囲であることを確認

個別研究開発項目の目標・成果
66kV大電流ケーブル化技術の開発

項目	【中間目標】・成果	成果適用	最終目標
① 大電流・低交流損失	【交流損失: 2W/m-相@5kA 以下】 ・導体構造:「導体4層、シールド2層」 ・線材幅2mm、4mmの導体を試作 ・1.8W/m-相@5kAまで低減	導体構造確定	さらなる交流損失の低減に向けたケーブル構造の検討・設計
② 三心一括ケーブル導体の検証	【過電流耐量: 31.5kA, 2sec相当】 ・31.5kA, 2secで劣化無し ・コア間電磁力: 問題無し	ケーブル構造確定	実用化を目指した対応 中間評価対応 (事業原簿Ⅱ-3.33)
③ 大容量接続技術の開発	【5kA連続通電】 大容量電流リード: 5kA通電異常無し	端末構成確定	中間接続部を有する大電流ケーブルコアの作製、課電及び機械強度特性評価
④ システム検証	【システム設計、課通電試験計画書】 課通電試験計画案を作成	検証用ケーブルシステム設計	検証システム作製・試験実施 ・150mmΦ管路収納可能 ・ケーブル損失2.1W/m-相@5kA以下

個別研究開発項目の最終目標と達成状況のまとめ
66kV大電流ケーブル化技術の開発

項目	最終目標(平成24年度末)	成果(H23~24年度)	達成度
大電流・低交流損失	さらなる交流損失の低減に向けたケーブル構造の検討・設計	・Hybrid構造にて1.5 W/m-相(@71 K, 5 kA)を確認 ・全て2 mm幅線材を用いた導体を試作し、0.4W/m-相(@71 K, 5 kA)を確認 ・高 I_c のIBAD-PLD線材を用いたケーブルを作製し、0.95W/m-相(@67K, 5 kA)の低交流損失を確認	◎
大容量接続技術の開発	中間接続部を有する大電流ケーブルコアの作製、課電及び機械強度特性評価	電気絶縁試験及び機械特性試験により設計の妥当性を検証	○
66kV大電流ケーブルシステム検証	検証システム作製・課通電試験実施(66kV/三心一括/5kA, 15m長) ・150mmΦの管路に収納可能 ・ケーブル損失2.1W/m-相@5kA以下	これまでの要素技術開発の成果を用いてケーブルシステムを製造し、課通電試験等を実施し、試験計画書の性能を満足することを検証	○

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

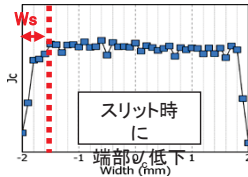
①大電流・低交流損失

■開発目標:さらなる交流損失の低減

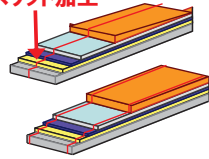
■交流損失低減の検証

■細線化による線材端部の I_c 低下が損失に影響

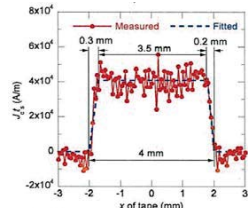
線材幅方向 I_c 分布



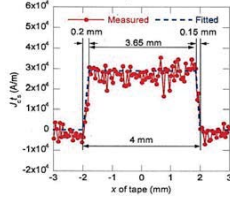
スリット加工



⇒スリット技術の開発(機械、レーザースリット)



機械スリット(0.3mm程劣化)



レーザースリット(0.2mm程劣化)

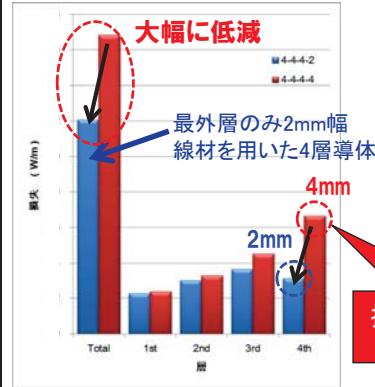
◎H22年度

導体層(4/4/4/4)・シールド層(4/4)
(All 4 mm幅線材)

⇒ 1.8 W/m-相@5kA H22達成
(中間目標達成)

●指針:細線化により円に沿わした形状
⇒ 損失の大きい4層目に2mm幅線材を、
その他の層に4mm幅線材を適用

■交流損失 解析結果(導体4層)



4層導体解析@5kA
負荷率:0.5
($I_c=14.1kA$)
ギャップ0.4~0.6mm
 I_c 低下領域 0.3mm

※ I_c 低下領域
機械:0.3~0.4mm
レーザ:0.1~0.2mm

損失の大きい4層目に
2mm幅線材を適用

◎H23年度

導体層(4/4/4/2)・シールド層(4/4)
(4 & 2mm幅線材:Hybrid ケーブル)

⇒ 1.5 W/m-相@5kA H23達成
ケーブルシステム検証用線材に適用

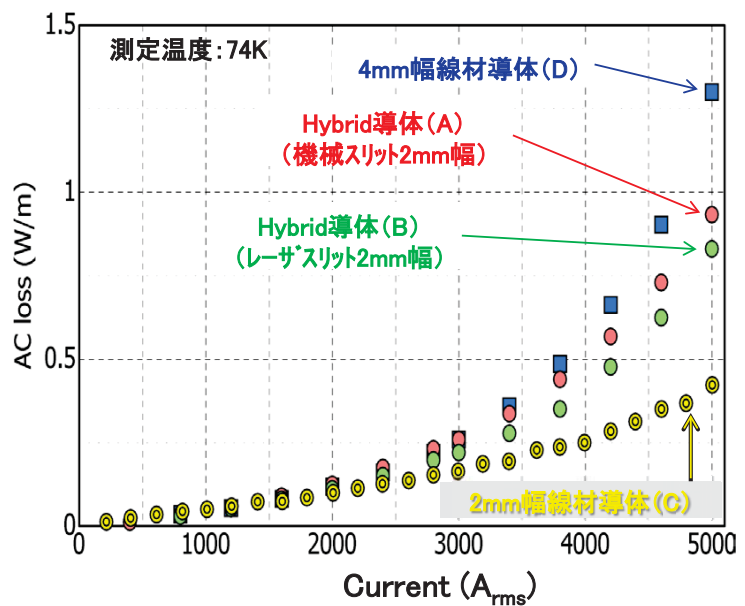
①大電流・低交流損失

■開発目標:低交流損失な超電導導体を開発する。
交流損失(導体のみ)「1.5W/m-相@5kA」以下

導体	導体A	導体B	導体C	導体D (Reference)
1層目	機械スリット 4mm幅	機械スリット 4mm幅	レーザー スリット 2mm幅	機械スリット 4mm幅
2層目	機械スリット 4mm幅	機械スリット 4mm幅	レーザー スリット 2mm幅	機械スリット 4mm幅
3層目	機械スリット 4mm幅	機械スリット 4mm幅	レーザー スリット 2mm幅	機械スリット 4mm幅
4層目	機械スリット 2mm幅	レーザー スリット 2mm幅	レーザー スリット 2mm幅	機械スリット 4mm幅
長さ	1.5 m	1.2 m	1.2 m	1.2 m
I_c @ 74K	10100 A	10100 A	10300 A	10200 A

<H23年度成果>

ケーブル損失:1.5W/m-相@5kA
損失目標(<2W/m-相@5kA)を達成



【H24年度】

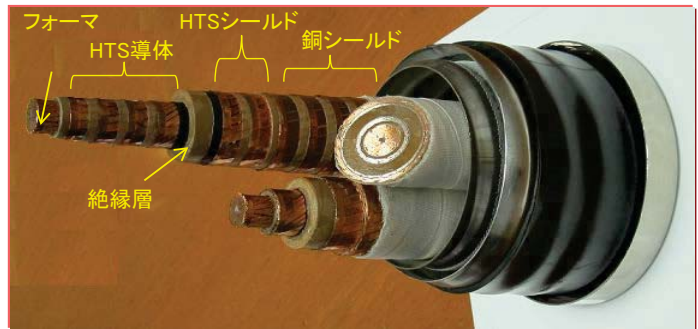
・All 2mm幅線材を用いた導体
により更なる低損失化を達成

④システム検証

システム検証試験用ケーブルの最終構造

66kV級ケーブル 15m長期検証試験 最終ケーブル設計

	諸元	外径 (mm)
フォーマ	素線絶縁銅撚り線 導体 (140mm ²)	21
HTS導体	4層(層間絶縁) 4/4/4/2mm幅	23
絶縁層	PPLP (6mm厚)	37
HTSシールド	2層(層間絶縁) 4/4mm幅	38
銅シールド	銅テープ(100mm ²)	42
保護層	クラフト紙、不織布	44
三相コア	三心一括撚り	96
断熱管	SUS二重コルゲート管 真空断熱+SI	133
防食層	PVC	140



検証ケーブル用必要線材量

内容	4mm幅線材	2mm幅線材
課通電コア (2本)	18m × 112本 19m × 78本 ○導体1-3層 I _c 値 132A(4mm-W)以上 ○シールド層 I _c 値 114A(4mm-W)以上	21m × 54本 ○導体4層目 I _c 値 74A(2mm-W)以上

※上記本数は予備を含まない最小数量

①大電流・低交流損失

中間評価以降の情勢変化への対応

高I_c線材による評価

■研究開発の目的 (実用化に向けた更なる交流損失低減)

- ・『線材開発での成果』を『ケーブル開発』に活用
- ・高I_c-IBAD-PLD線材による交流損失低減効果の検討

線材	AC loss 低減策	機関	ケーブル構造	ケーブルシステム構成
配向基板-PLD	細線化可撓性	住友電工	三心一括	66kA/5kA/三心一括15mケーブル
IBAD-PLD	高I _c 線材	フジクラ	三心ケーブル 1相分	66kV/5kA/単心 10mケーブル

線材	線材幅	線材I _c 平均値(A/cm) @77K		線材I _c 合計値(A/cm) @77K		損失評価 目標: 2W/m-相温度(見込み)
		導体	シールド	導体	シールド	
配向基板-PLD	Hybrid(最外層2mm)	380	365	8870	7300	71K
IBAD-PLD	オール4mm	650	610	15300	12900	75-77K

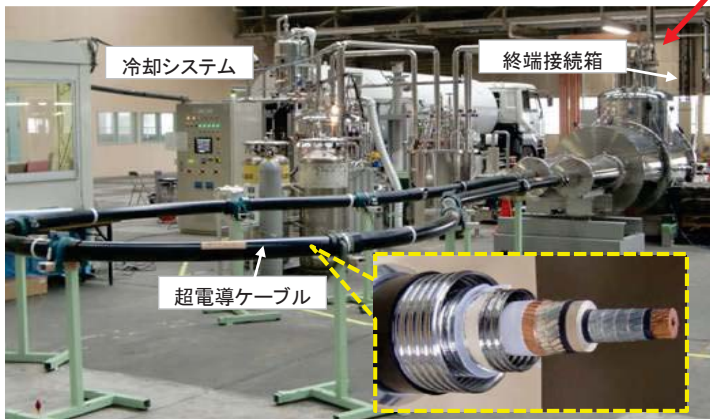
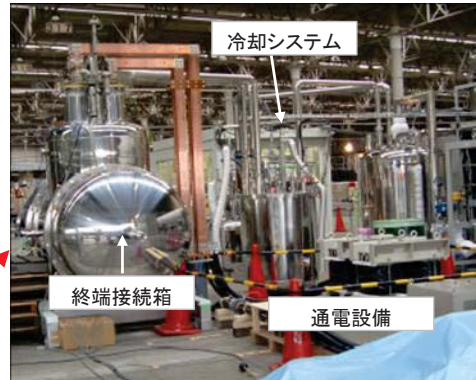
実施内容
 導体化検討: 10m級三心ケーブル一相分による評価 (機械巻き、導体層+シールド層)
 低損失化検討: 5kA通電試験(非課電)
 交流損失測定、電流均流化評価

①大電流・低交流損失

高Ic線材による検証試験概要

高Ic線材による評価

- ・対象 : 66kV10m級ケーブル1相分コア
- ・損失目標 : 2W/m-相@5kA 運転温度75~77K
- ・試験条件 : 通電試験(非課電)
20サイクル(1サイクル=8h ON / 16h OFF)
- ・試験項目 : 交流損失測定、臨界電流測定、
電流分布測定



ケーブルコア諸元(1相分)

	仕様	外径 (mm)
フォーマ	銅より線 (140mm ²)	20.4
超電導導体 (I _c =14kA)	4mm幅線材 4層 (59本) I _c =240A/4mm幅	26.1
絶縁体	内部半導電層 主絶縁層 : クラフト紙6mm厚 外部半導電層	40.4
超電導シールド層 (I _c =12.7kA)	4mm幅線材 2層 (53本) I _c =240A/4mm幅	42.2
銅シールド層	銅テープ2層 (100mm ²)	44.1

<長期試験線路全景>

試験場所: フジクラ 佐倉事業所内

①大電流・低交流損失

■開発目標:さらなる交流損失の低減

高Ic線材による評価

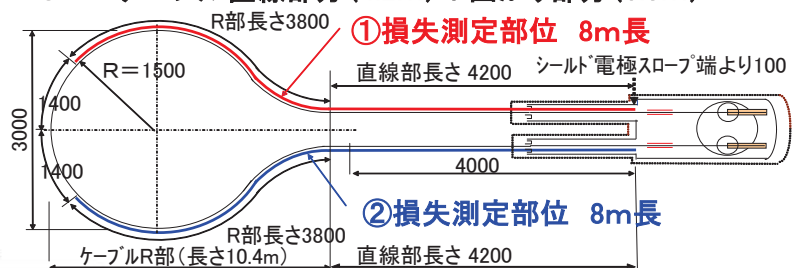
検証試験結果(2) -交流損失測定-

■交流損失測定部位

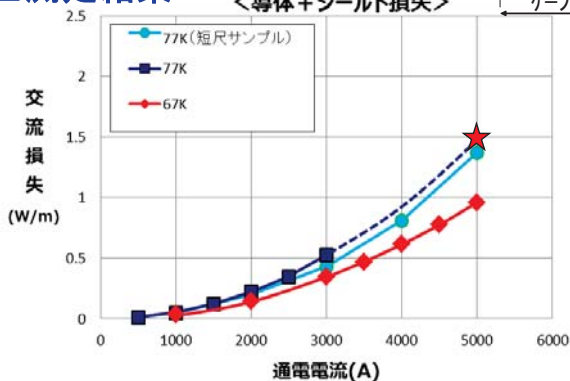
ケーブル部8m×2箇所(下図の①と②)=16m (測定器入力電圧制限のため8mとした)
8m=ケーブル直線部分(4.2m)+曲がり部分(3.8m)

■交流損失測定法

交流四端子法、導体上に電圧測定端子をとりつけリード線を容器外に引き出す



■測定結果



- 0.95W/m@5kA、67Kの低損失値を確認
→ 高Ic線材による損失低減効果を確認
- 液温77kでも3kAまでのデータの外挿から
1.5W/m@5kAが見込まれる。
- 短尺コア測定結果: 1.37W/m@5kA、77K
→ 高Ic線材による損失低減効果を確認

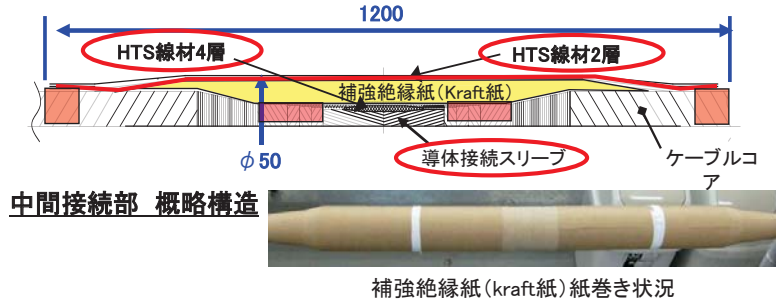
ケーブル損失(導体層+シールド層):
目標値(<2W/m-相@5kA)を達成

③大容量接続技術の開発

■開発目標:中間接続部の開発

— 課電性能・冷却機械試験検証 —

中間接続部の設計検討を行い、中間接続部を有するケーブルコアを用いて課電試験及び機械強度特性の評価を実施し中間接続部の要素技術を確認



■課電性能検証

試験サンプルにて
 ・AC耐電圧
 ・インパルス試験
 を実施



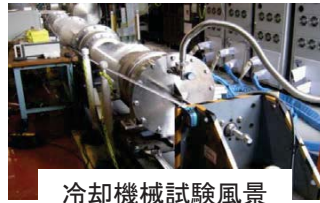
課電試験風景

- 冷却条件(循環冷却): 温度: 77K、圧力: 0.2MPaG
- 試験電圧
 - ・AC耐電圧試験: AC 90kV-3hr, 130kV-10min 良好
 - ・インパルス試験: ±385kV, 各3回 良好

(*) 電力用規格A251 66・77kVアルミ被OFケーブル用接続箱規格およびOFケーブル JEC-3401に準拠

■冷却機械試験検証

試験サンプルをオープンバスの液体窒素中に浸漬し引張&圧縮応力を印加



冷却機械試験風景

- 引張試験(LN2中):
引張力2000kgfまで、 \downarrow 低下なし、良好
- 圧縮試験(LN2中):
圧縮力200kgfに対し、 \downarrow 低下なし、良好
- 接続抵抗: 導体 5nΩ, シールド 13nΩ
解析上では接続部温度上昇 1K未満の見込み

④システム検証

■開発目標:検証システムの設計と試験計画書の作成

■検証目的

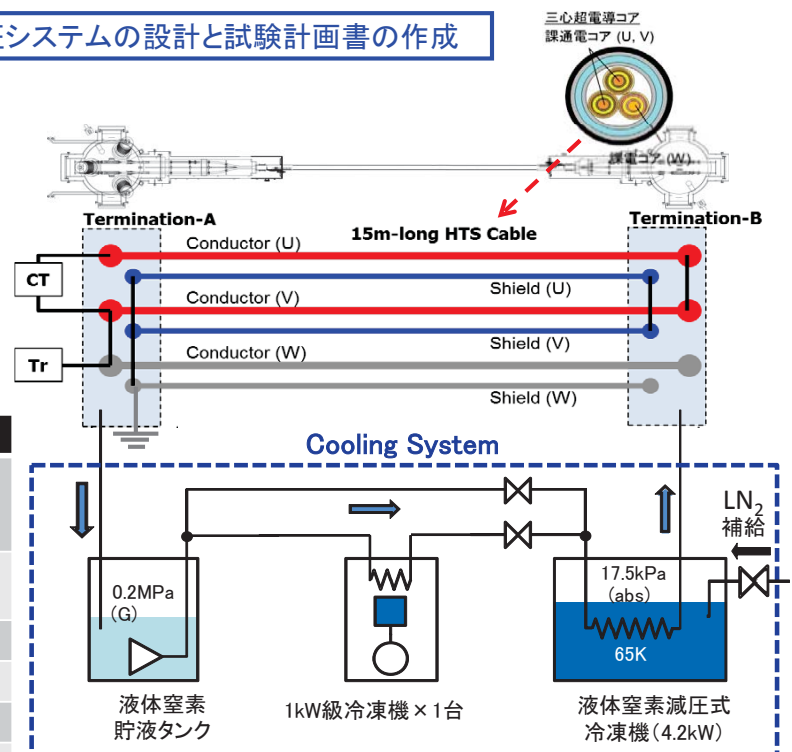
- ・15mのシステムにて、損失検証と課通電試験を実施
- ・要求特性を満足することを検証

■検証試験

- ・長期課通電試験 (H25年1~2月)
- ・残存性能試験 (解体サンプル試験は除く)

ケーブルシステム構成

項目	内容
構成	15m-三心超電導ケーブル プッシング付き端末1台 プッシングなし端末1台
課通電	二心へ単相(往復)通電 三心へ単相課電
I_c 測定	導体のみ測定(課通電相二相一括)
ACロス	二相分のACロス測定(熱的手法)
熱機械特性	三相両端固定にて、冷却、昇温
冷却容量	4.5kW@65K
最終目標達成	三心形状の実現 66kV課電、5kA通電 ACロス評価等、目標の検証が可能



- ・冷凍機+液体窒素減圧冷却にてケーブルを冷却
- ・冷凍能力 約4.5kW@65K
- ・運転時は、減圧用液体窒素を補給

④システム検証

66kV 大電流ケーブルシステム検証試験

■検証試験

目的: 15mのシステムで、損失検証と課通電試験などの試験項目を満足することを検証

期間: H24年12月~H25年2月

場所: 住友電工 熊取試験場



ケーブル端末A



超電導ケーブル



冷却システム



ケーブル端末B

事業原簿 Ⅲ-2.2.95~96

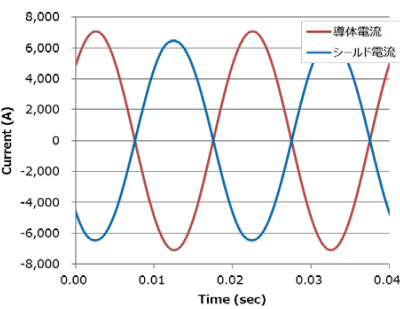
④システム検証

■開発目標: 試験計画書の性能を満足することを検証

システム検証試験

■交流通電特性 (5kArms)

超電導シールド層の電流誘導率は91%
→超電導導体・シールドに異常なし

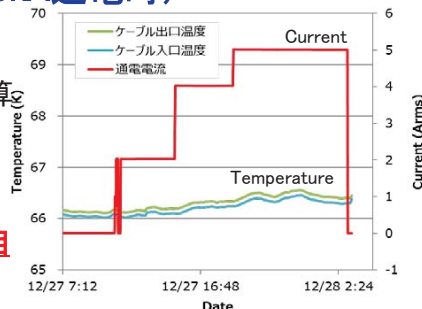


5kA通電時 電流波形

■交流損失 (5kA通電時)

ケーブル部に発生する ΔT から算出($I_{op}/I_c=0.51$)

1.8W/m-相 → 目標値2W/m-相 @5kAをクリア



5kA通電時 温度波形

■課通電試験

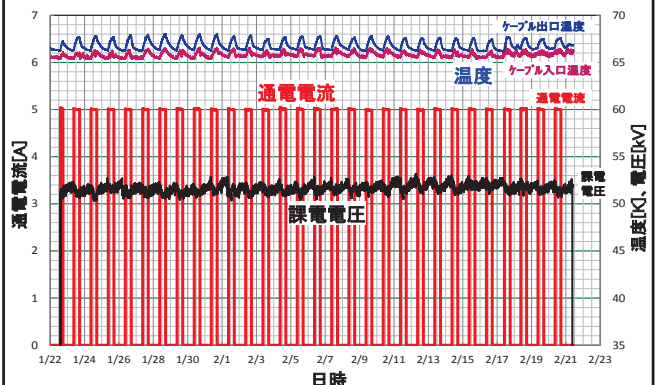
【運転条件】 ケーブル温度(入口): 66.5K
LN2流量: 約40L/min
圧力: 0.2~0.4MPaG

■1/22 : 定格課通電試験

(51kV-5kArms)
→ 良好、PD発生なし(感度60pC)

■1/23~ : 長期課通電試験

(51kV/連続, 5kArms通電-8時間ON/16時間OFF)
→ 良好



5kA通電時 電流・電圧・温度 波形

事業原簿 Ⅲ-2.2.96~103

④システム検証

■開発目標:試験計画書の性能を満足することを検証

検証試験項目

■主要試験項目 (実証プロジェクト、Super-GM、JEC3401参考)

- ・66kV級電力ケーブルに要求される耐電圧試験
- ・30年間運用に相当する加速試験条件における課通電試験
- ・ケーブル損失2.1W/m-相@5kA, 66kVの確認

- サンプル試験
- 全長試験
- ▲【参考試験】
解体後のサンプル試験

No	項目	サンプル試験	15m検証試験	残存試験
1	商用周波長時間耐電圧試験(90kV, 3h)			▲→○ 実施済
2	商用周波耐電圧試験(100kV, 10min)			▲→○ 実施済
3	部分放電試験		○ 実施済	○ 実施済
4	雷インパルス耐電圧試験(±385kV)			▲→○ 実施済
5	長期課通電試験(1ヶ月)		○ 実施済	
6	外観検査	○ 実施済		○ 実施済
7	静電容量試験		○ 実施済	○ 実施済
8	誘電正接試験		○ 実施済	○ 実施済
9	絶縁抵抗試験	●(室温) 実施済	○(メガ) 実施済	
10	導体抵抗試験(フォーマ)	● 実施済		
11	構造試験	● 実施済		▲
12	Ic測定	● 実施済	○ 実施済	○ 実施済
13	シールド電流測定		○ 実施済	○ 実施済
14	交流損失測定 (@5kA)	● 実施済	○ 実施済	▲
15	断熱管侵入熱測定		○ 実施済	
16	気密試験	○(室温) 実施済	○(室温) 実施済	
17	真空リーク試験	○(室温) 実施済	○(室温) 実施済	
18	圧力損失測定		○(参考) 実施済	
19	インダクタンス測定	● ※参考 実施済		

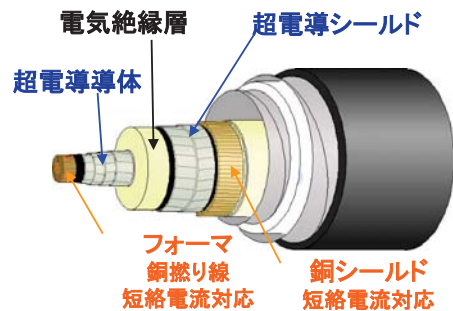
2. 275kV高電圧ケーブル化技術の開発

- ・開発スケジュール
- ・目標と達成度
- ・中間評価までの成果
- ・最終目標の達成度

高電圧・低誘電損失ケーブル化技術の開発

実施内容

- ・275kV/単心/3kA,30m長
- ・終端接続部、中間接続部
- ・275kV高電圧ケーブル実用化時の耐久性を考慮した試験条件の設定を行い、開発したケーブルの課通電試験を実施する



送電容量
1420MVA

	H20-22	中間目標	H23	H24	最終目標
高電圧低誘電損失ケーブル	高電圧絶縁・低誘電損失技術 導体損失:0.124W/m-相@3kA 誘電損失:0.60W/m-相@275kV	・交流損失(導体層)+誘電体損失: 0.8 W/m-相@3kA以下	・シールド層損失計算値 0.08W/m-相@3kA	・理想的なケーブル設計の交流損失を評価	・交流損失(シールド層含む)+誘電損失 :0.8W/m@275kV
	電気絶縁特性の調査 過電流にてケーブル性能に劣化無し確認	・63kA,0.6secにてケーブル性能に低下無し	・複合絶縁の検討 シミュレーション	・複合絶縁材料の検討 実験による評価	・各種コア構造のシステム設計妥当性を検証
	高電圧接続技術 導体、超電導-常電導接続部にて3kA通電で異常無し 275kV連続課電にて異常無し	・275kV連続課電で導体、接続部、電流リードに異常無し	・中間接続部への短絡電流通電試験 ケーブル性能低下無し	長期課通電試験	0.8W/m-単心@3kA Φ150mm以下、 中間・終端部を有する 30mケーブルシステム検証
	IBAD-MOD線材 H20-22 6.5km 単長10-30m, 200A/cm幅	・200A/cm幅 6.5km	・200A/cm幅 1.6km		
	システム設計				

事業原簿 II-2.17~19、2-27~31

FURUKAWA ELECTRIC 23/50

個別研究開発項目の中間目標と達成状況 275kV高電圧ケーブル化技術の開発

●基本計画: 275kV級高電圧・低誘電体損失超電導ケーブルの要素技術開発を完了し、ケーブルシステムの実用性を検証して、実用化に目処をつける。

項目	中間目標(H22年度末)	成果(H20~22年度)	達成度
①高電圧絶縁・低誘電損失技術の基礎特性評価	・ケーブル損失(交流損失(導体層)、誘電体損失)で0.8W/m-相@3kA以下 ・絶縁材料の絶縁設計検討	・超電導導体の交流損失0.235W/m-相@3kAまで低減 ・PPLP-Cを絶縁紙として採用し、誘電体損の設計値0.46 W/mの見込み ・交流損失と誘電体損失を合わせて0.70W/m-相	○
②高電圧接続技術の開発	・中間接続部、終端接続部の開発 ・275kV-3kA連続課電により、導体、超電導-常電導接続部、電流リードに異常が無いこと	・超電導-超電導接続部は3.6 nΩの低抵抗を達成 ・3kAの超電導導体を作製・評価し、導体、超電導-常電導接続部に異常が無い事を確認	○
③超電導電力ケーブル電気絶縁特性の調査	・長時間課電時および短絡電流(63kA-0.6sec)が流れた場合の絶縁特性についてモデル実験により評価	・モデルケーブルで連続課電、寿命特性取得 ・フォーマや銅保護層の最適化により、過電流通電(63kA-0.6s)による温度上昇を抑制 ・課電試験により誘電・破壊・部分放電特性を取得	○
④システム検証	検証用超電導ケーブルシステムのシステム設計完了 課通電試験計画書の作成	・ケーブルシステムを設計 ・275kV-3kAの試験条件選定、課通電試験計画を作成	○

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達成

Ⅲ. 研究開発成果について 2.2.2 275kV高電圧ケーブル化技術の開発

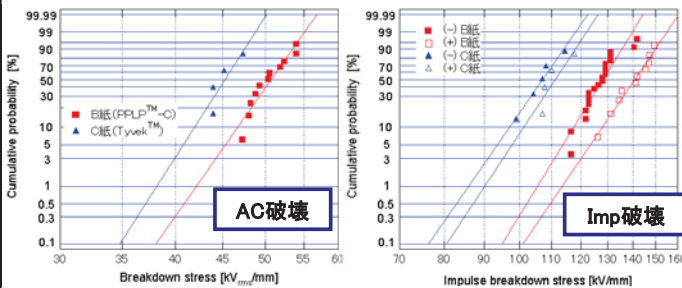
①高電圧絶縁・低誘電損失技術の基礎特性評価

中間目標達成

■開発目標 耐高電圧・低誘電体損失な材料を選定

Sample	ϵ	$\tan \delta$ [%]	誘電損失W/m ※
A紙 (PPLP-A)	1.9	0.077	0.62
B紙 (PPLP-C)	1.9	0.057~0.061	0.46~0.49
C紙 (Tyvek)	1.8	0.008	0.06
D紙 (Normex418)	2.2	0.22	2.03

※導体遮蔽径27 mm 絶縁厚25 mmで試算



- ・電気特性はB紙が良い。
- ・C紙は厚みのバラツキからシワが入りやすい。

B紙を選定。交流損失+誘電体損失で0.7W/m-相以下

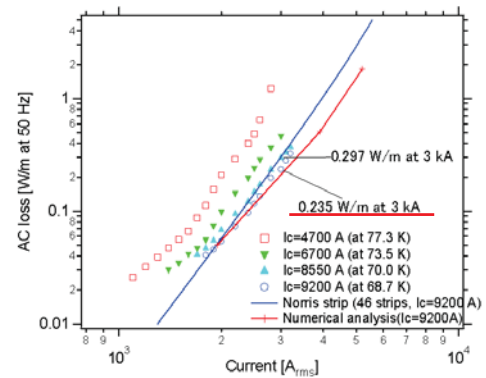
■開発目標 ケーブル損失:0.8W/m-相@3kA以下

■交流損失測定

交流損失 (3mm幅線材を集合化した導体)



導体:2層導体	導体 I_c @77K
3mm幅線材 (300-330 A/cm級) × 46本	4700A



交流損失値 0.235W/m@3kA ($I_{op}/I_c=0.46$)

Ⅲ. 研究開発成果について 2.2.2 275kV高電圧ケーブル化技術の開発

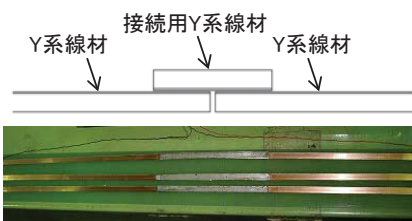
②高電圧接続技術の開発

■開発目標:中間接続部・終端接続部の開発

中間目標達成

中間接続技術の開発

■5 mm幅線材の接続



47-73 nΩの低抵抗を確認

■スパイラルに巻き付けられた場合の線材の接続



■ケーブル導体の接続

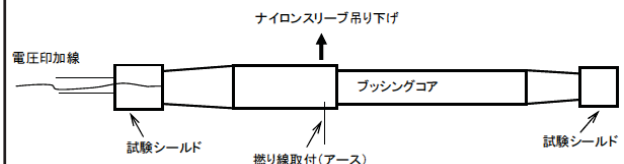


5 mm幅14本の接続 3.6 nΩの低抵抗を確認

終端接続技術の開発

仕様: AC400 kV部分放電フリー、Imp1260 kV
耐電圧試験でも部分放電を発生させない。

誘電特性: 設計通り。
部分放電: SF6中180kVまで、大気中100kVまでフリー



終端部組立を行い、20mmtの絶縁モデルケーブルと共に耐電圧確認→AC325kV-10minクリア。

275kV終端部の開発に成功

③電気絶縁特性の調査

■開発目標:耐過電流特性:63kA、0.6s 劣化無し

中間目標達成

■過電流試験(63kA-0.6sec)

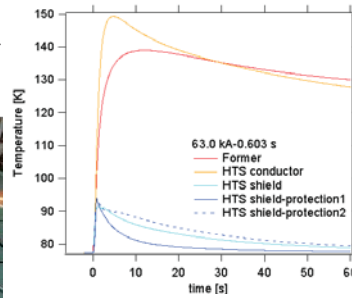
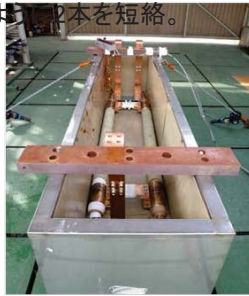
超電導ケーブル2本を平行に並べ、導体は、大電流トランスと閉回路を構成。シールドは、誘導電流が流れるように2本を短絡。



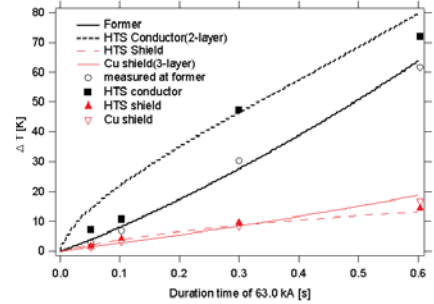
導体 $I_c=4370$ A



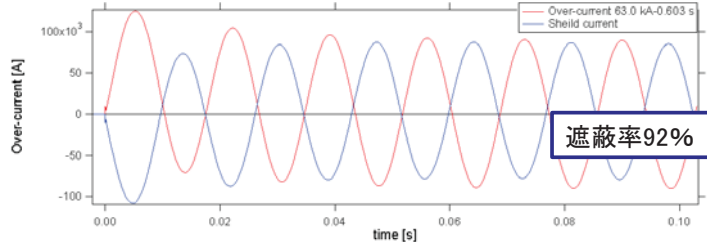
シールド $I_c=6340$ A



過電流時の温度上昇



試験・数値解析の比較



過電流時の電流波形

- ・温度上昇、分流は数値解析結果一致している事を確認
- ・試験前後で I_c の変化無し
- ・設計された構造で **63kA-0.6sec** に対して、十分な耐性を確認

超電導線材	5mm幅 銅メッキ25μm 平均 I_c 140-160A(280-320 A/cm)	
構造	仕様	外径(mm)
銅フォーマ	325mm ² 銅撚り線	21.7
超電導導体	2層 28本 $I_c = 4370$ A	26.8
絶縁体	t=24mm	75.3
超電導シールド	1層 43本 $I_c = 6340$ A	75.8
シールド保護	3層 310mm ²	82.2
保護紙	絶縁紙	84.0

個別研究開発項目の目標・成果
275kV高電圧ケーブル化技術の開発

項目	【中間目標】・成果	成果適用	最終目標
①高電圧絶縁・低誘電損失技術の基礎特性評価	【交流損失:0.8W/m-相@3kA以下】 ・0.235W/m-相@3kAまで低減 ・絶縁材料PPLP-Cを採用 ・交流損失+誘電体損失:0.7W/m-相	導体構造確定	ケーブル損失(交流損失、誘電体損失)0.8W/m-相@3kA以下 新絶縁材料(低誘電体損失)の評価
②高電圧接続技術の開発	【5kA連続通電】 ・3.6 nΩの低抵抗接続を達成 ・275kV-3kA連続課電にて異常無し	接続構成確定	誘電体損失低減の追加検討
③超電導電力ケーブル電気絶縁特性の調査	【過電流耐量:63kA,0.6sec相当】 ・連続課電、寿命特性取得 ・過電流通電による温度上昇を抑制 ・誘電・破壊・部分放電特性を取得	ケーブル構造確定	短尺ケーブルコアモデルを作製・評価・検討し、各種コア構造のシステム設計の妥当性を検証、ケーブルシステムに反映する。
④システム検証	【システム設計、課通電試験計画書】 課通電試験計画案を作成	検証用ケーブルシステム設計	検証システム作製・試験実施 ・150 mmΦ以下 ・ケーブル損失0.8W/m-相@3kA以下

個別研究開発項目の最終目標の達成状況のまとめ
275kV高電圧ケーブル化技術の開発

項目	最終目標(平成24年度末)	成果(H23~24年度)	達成度
高電圧絶縁・低誘電損失技術の基礎特性評価	ケーブル損失(交流損失、誘電体損失)0.8W/m-相@3kA以下	銅フォーマ形状を見直し、3mm幅導体にて交流損失0.124W/m-相を確認。シールドの損失も解析により見積もり、導体とシールドを合わせて0.2W/m。誘電体損失0.6W/m-相と合わせて、目標の0.8W/m-相以下を達成	○
超電導電力ケーブル電気絶縁特性の評価	短尺ケーブルコアモデルを作製・評価・検討し、各種コア構造のシステム設計の妥当性を検証、ケーブルシステムに反映	63kA-0.6sec時の温度上昇を抑えるために、中空銅フォーマ400mm ² の通電・伝熱特性を解析、試験により評価 その結果、温度上昇の抑制を70Kから20Kに、復帰時間特性も2時間から10分以内に改善	○
275kV高電圧ケーブルシステム検証	検証システム作製・課通電試験実施 (275kV/単心/3kA、30m長) ・ケーブル外径150mmφ以下 ・ケーブル損失0.8W/m-相@3kA以下	これまで蓄積してきた設計データ、要素技術を用いることでケーブルの健全性を確保して、成功裡にすべての試験を完了	○

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達成

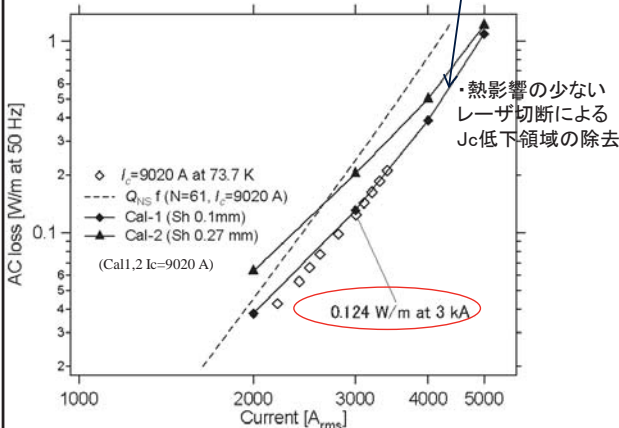
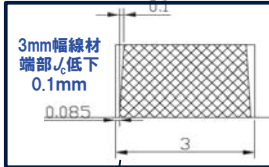
①高電圧絶縁・低誘電損失技術の基礎特性評価

■開発目標:ケーブル損失0.8W/m-相@3kA以下

交流損失測定(導体のみ)と解析

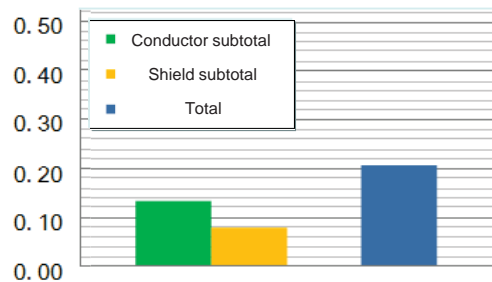
ケーブル導体諸元

超電導 導体層 2層
3.15mm幅線材(銅メッキ幅0.15mm) 61本
($I_c = 320A/cm-w$ at 77.3K)



0.124 W/m @3kA (目標0.2W/m@3kA)
→ 目標達成

シールド層損失(解析値)



導体3.15mm幅 シールド5mm幅による損失解析

シールド層の損失を加えても0.2W/m



電気絶縁厚:
22mm (PPLP-C)

誘電体損失:
0.6W/m

導体損失0.124W/m@3kA+誘電体損失(0.6W/m)
=0.8W/m以下 → 目標達成

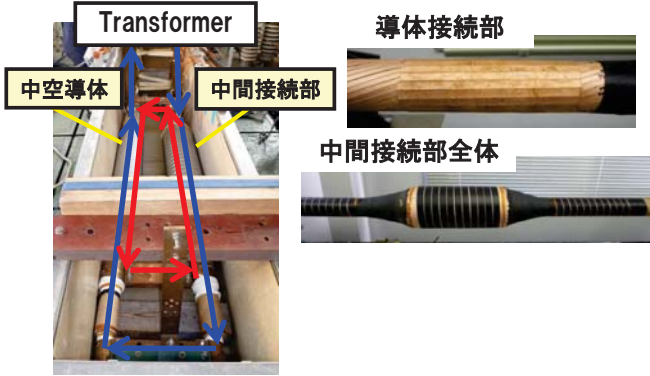
②高電圧接続技術の開発

■開発目標:耐過電流特性:63kA、0.6s 劣化無し

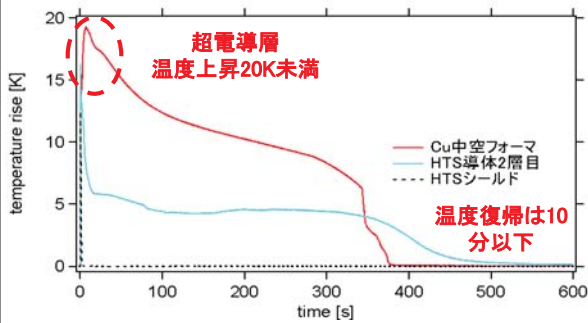
■過電流試験(63kA-0.6sec)

ケーブルコア構造

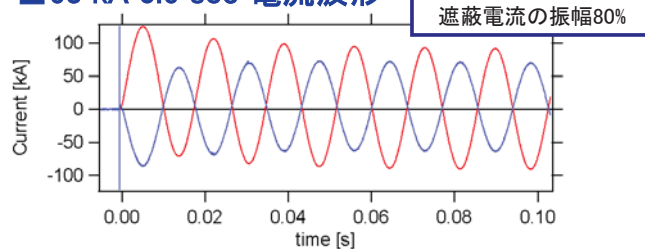
構造	仕様	外径(mm)
フォーマ	中空銅撚り線、400mm ²	30.6
超電導導体層	2層、3mm幅線材	33.8
絶縁層	PPLP-C、22mm厚	78.9
超電導シールド層	1層、5mm幅線材	79.3
銅保護層	Copper tapes 210mm ²	85.2
保護紙	Insulation paper	86.6



■63 kA 0.6 sec 後の温度復帰特性



■63 kA 0.6 sec 電流波形



I_c 劣化無し、温度上昇を抑え温度復帰の短縮
⇒ 良好な特性を確認

④システム検証

■設計コンセプト

- ・運転時に想定されるAC電圧で、部分放電を発生させない。
→系統異常電圧310kV PDフリー
→絶縁厚 22 mm
- ・雷インパルスで破壊しない。
→1155 kV
→絶縁厚 21.5 mm



全損失 0.80 W/m

	ケーブル仕様
フォーマ (銅撚り線)	銅撚り線(中空)400 mm ² (計算断面積412 mm ²) φ 30.6
超電導導体の外径	φ 35.4
2層 超電導導体 Expected I _c	φ 33 3 mm-width 30本 φ 34 3 mm-width 30本 5400 A (I _c =300 Acm ⁻¹ at 77 K) 0.15 W/m以下 I _c =10 kA at 70 K
絶縁厚設計	22 mm(設計ストレス AC 22.0 kV/mm IMP 83.0 kV/mm)
絶縁外径	φ 79.4
1層 超電導シールド	φ 80.0 5 mm-width 43本 6450 A (I _c =300 Acm ⁻¹ at 77 K) 0.05 W/m以下 I _c =11 kA at 70 K
2層 銅シールド No.2 超電導コア外径	φ 81.0 w6×t1(3.5 mm ²) 30本 φ 83.0 w6×t1(3.5 mm ²) 30本 断面積210 mm ² φ 86.5
誘電体損失	0.60 W/m

Ⅲ. 研究開発成果について 2.2.2 275kV高電圧ケーブル化技術の開発

①高電圧絶縁・低誘電損失技術の基礎特性評価

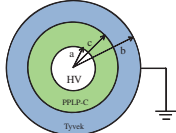
■モデルケーブルによる評価(1)
PPLP-CとTyvekの比率を変えた6パターンのモデルケーブルを作製してPDIV(部分放電開始電圧)特性を実験により評価

○実験方法

- ・LN₂含浸: 1h以上(0.3MPa)
- ・試験条件: 77K、0.1MPa
- ・昇圧方法: ランプ状 1kV_{rms}/s

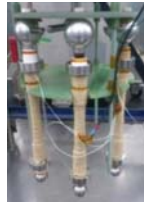
○実験サンプル(複合絶縁: 段絶縁)

- ・中心導体直径 Φ=20mm
- 絶縁厚さ t=1mm



内層=高電界: PPLP-C
外層=低電界: Tyvek

誘電体損失: 33%
(PPLP:Tyvek=22%:78%)



実験サンプル

	PPLP-C	Tyvek
比誘電率	2.2	1.8
tan δ (T=77K)	0.00058	0.00008
0.1%PDIE (kV _{rms} /mm)	22	17.1

※Tyvekのばらつきを制御 ⇒ Tyvek+PE
合成紙

TyvekのPDIVのばらつき、サンプル個体差が大きい傾向

実験サンプルによる試験の結果

■新絶縁材料(低誘電体損失)の評価

■モデルケーブルによる評価(2)
PPLP-C、All-Tyvek、Tyvek/PE※によるモデルケーブルを作製してPDIV特性を実験により評価

※Tyvek/PEフィルム 合成紙:
TyvekとPEシートを熱融着
⇒絶縁材料としての安定性向上

絶縁耐力:
Tyvek/PE ≒ PPLP-C > Tyvek
⇒ PPLP-Cと同等
ばらつき:
PPLP-C < Tyvek/PE < Tyvek
⇒ Tyvek単体より安定

※Tyvek/PE合成紙の適用

- ・絶縁性能: PPLP-Cと同等
- ・誘電損失: 79%低減
0.6 W/m ⇒ 0.125 W/m
- ・全損失: 59%低減
0.8 W/m ⇒ 0.325 W/m



Ⅲ. 研究開発成果について 2.2.2 275kV高電圧ケーブル化技術の開発

④システム検証

■開発目標: 試験計画書の性能を満足することを検証

システム検証試験

■30mケーブル_L (77.3K)

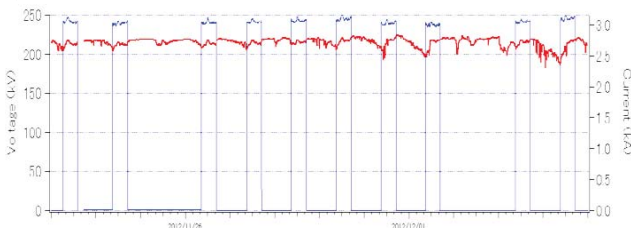
導体: 測定値 6800 A (設計5400 A)

シールド: 測定値 7000 A (設計6450 A)

■長期課通電試験(11/18:スイッチON~12月末)

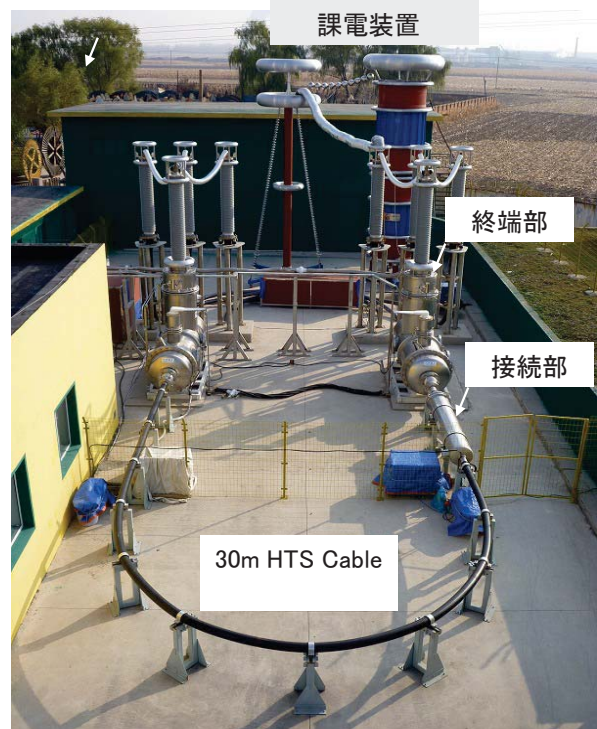
運転温度	72 K
冷却能力	>3 kW
電圧	200 kV(対地)
電流	3 kA
サイクル	>20 (8h ON, 16h OFF)

※200kV 3kA 8h on- 16h off



■商用周波耐電圧試験(PD)

長期課通電試験後、310kV-10min
で部分放電無し確認



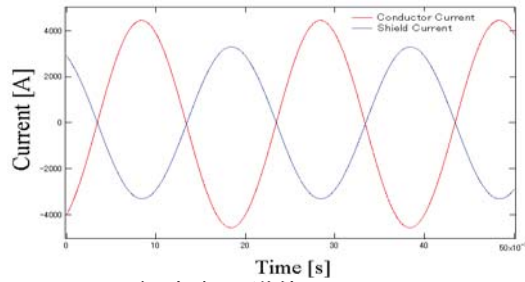
試験場所: 瀋陽古河電纜

④システム検証

■開発目標:試験計画書の性能を満足することを検証

システム検証試験

■AC current test (3kArms)



シールドの振幅は導体の75%
シールド回路の常伝導部のインダクタンスの影響で振幅は低くなっている。

■ケーブル損失

■誘電損失(200kV課電)

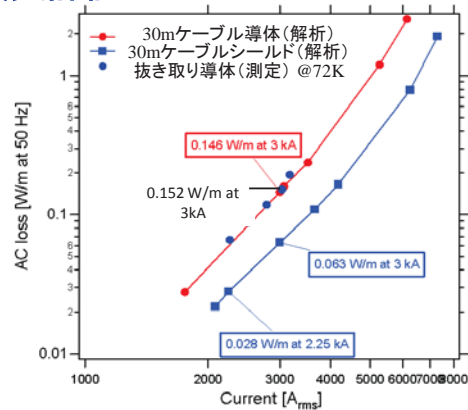
- 2.3 W/m(対地200 kV課電時(通電なし))
- 1.6 W/m(無負荷時の侵入熱)
- =0.7 W/m(誘電体損失)

※対地160kV(275kV相当):0.44W/m
(設計値:0.6W/m)

■交流損失(3kA通電(課電なし))

0.19 W/m(カロリメトリック)

■損失評価



・30mケーブルの交流損失
 導体層:0.146W/m
 シールド層:0.028W/m(シールド率75%)
 0.063W/m(シールド率100%換算)

■ケーブル損失:0.65 W/m(シールド率100%換算)

交流損失 :0.209 W/m(0.146+0.063)
 誘電体損失:0.44 W/m

損失目標値(交流損失+誘電体損失)
 0.8W/m以下達成

④システム検証

■開発目標:試験計画書の性能を満足することを検証

検証試験項目

■開発目標

275kV/単心/3kA,30m長の超電導ケーブルを開発し、要求特性(0.8W/m損失特性、課通電特性等)を満足することを検証

試験項目	製造余長(<10m) (初期特性把握)	状況	30 mケーブル	状況
臨界電流測定 他	I_c (直流通電)	実施済	I_c (直流通電) 160 kV(U_o)-3 kA	実施済
長期課通電試験			200 kV-1ヶ月 3 kA ON/OFF 20サイクル以上	実施済
臨界電流測定 他			I_c (直流通電) 160 kV(U_o)-3 kA	実施済
雷インパルス試験	±1155 kV-3shots	実施済	±1155 kV-3shots	【参考試験】 解体後実施
商用周波耐電圧試験 (PD)	310 kV-10min	実施済	310 kV-10min	実施済
短絡試験	63kA-0.6sec	実施済		

3. 超電導電力ケーブル対応線材の安定化製造技術開発

・最終目標の達成度

4. 超電導電力ケーブルの熱収支に関する評価研究

・最終目標の達成度

事業原簿 Ⅲ-2.2.246~283

37/50

Ⅲ. 研究開発成果について 1.1 開発成果概要

公開

ケーブル対応線材の安定製造技術開発 最終目標・成果・達成度

項目	最終目標(H24年度末)	成果(H23~24年度)	達成度
大電流用ケーブル対応線材安定製造技術開発	大電流ケーブルシステム検証用線材総長2kmを提供	計画通り提供を実施(実績:3.4km)	○
基板・中間層テープの開発	IBAD中間層基板・線材6 km提供	計画通り提供を実施(実績:6.9km)	○
MODプロセスによる高電圧ケーブル用線材の開発	高電圧ケーブルシステム用線材供給1.3 km(30m長)及び短尺導体評価用0.3km提供	計画通り提供を実施(実績:1.3km、0.3km)	○
IBAD-PLD線材の安定製造技術の開発	極低交流損失用の300 A/cm-w (@77K, s.f.)級IBAD-PLD線材を作製・提供	500A/cm-w(@77K, s.f.)級の超電導線材を提供作製したケーブル導体にて、0.6W/m-相@5kAの低交流損失を確認	○
線材の評価技術の開発	開発された評価技術を用いてケーブルシステム検証用線材に対して各種評価を行い、それらの効率・効果を検証	高電圧ケーブルシステム検証に使用される線材に対して、評価技術を組み合わせることで、効率的かつ効果的な評価が可能であることを検証	○

ケーブルの熱収支に関する評価研究 最終目標・成果・達成度

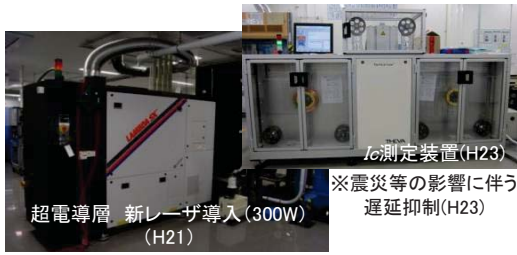
項目	最終目標(H24年度末)	成果(H23~24年度)	達成度
定常通電時および事故時の伝熱特性検討	システム検証結果に合致する汎用性のあるシミュレーション技術を確立	ケーブルシステム検証における、温度上昇解析・短絡電流通電時の電磁力解析を行うことで目標を達成	○
スラッシュ窒素の研究	スラッシュ窒素冷媒の有用性のシステム検証	スラッシュ窒素搬送・循環試験装置を製作し、固相率を変化させてスラッシュ窒素と液体窒素との冷却特性を把握循環試験装置の冷却容量の拡大やモデルケースに基づく設計検討を実施	○
超電導電力機器の冷却設備の調査研究	超電導ケーブルの冷却特性に関する調査	平成23年度以降には、超電導ケーブル及び端末における定常通電時及び過電流通電後の復帰特性に関する調査を実施	○

事業原簿 Ⅲ-1.21~22

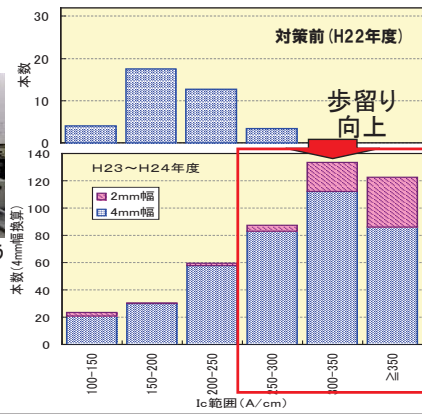
◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達成

38/50

大電流ケーブル開発用
Clad-PLD線材作製(住友電工)



- ・連続誘導 I_c 測定装置の導入
- ・ISTECLレーザーによる細線化サポート



- ・レーザーの出力向上
- ・プラズマ安定化
- ・3cm幅方向の温度均一化により I_c が向上、均一性向上
- ・ケーブル開発用線材の提供完了

高電圧ケーブル開発用
GZO-IBAD基板作製(フジクラ)

基板 : ハステロイ
中間層: IBAD-GZO
IBAD-MgO
配向度: 16° 以下



- ・ $J_c=15\text{kA/cm}^2$ を実現し得る基板・中間層を作製
- ・計画通り高電圧ケーブル開発用に基板・中間層を提供

基板供給

高電圧ケーブル開発用
CeO₂-MOD(YBCO)線材作製(昭和電線)

○50m長歩留り向上
H23年度6月 33%
⇒12月 63%に向上

- ・仮焼条件(Tmax)の最適化
- ・溶液塗布方法の変更及び液温制御 など



- ・計画通り高電圧ケーブル開発用線材を提供完了 (ISTECによる線材製造バックアップ)

成果: 循環試験装置による連続試験を実施し、スラッシュ窒素冷却の特徴を定量的に把握することで、スラッシュ窒素冷媒の有用性の検証を行う。

①システムの検討

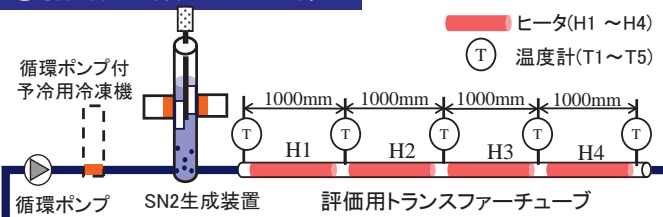
- ・スラッシュ窒素冷却のメリットを定量的に評価するために

モデルケーブル内の温度、圧力変化を検討
⇒275kVケーブル設計を参考にスラッシュ窒素冷却

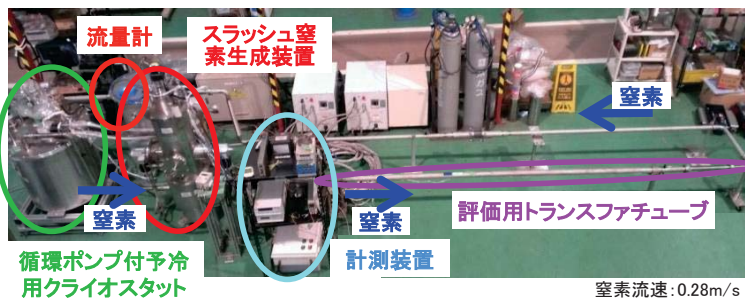
②固相率制御・連続生成の検討

- ・平均100 μ 程度の粒子を連続的に生成・搬送を確認
- ・スラッシュ窒素の搬送による冷却特性を確認

③循環生成方法の研究

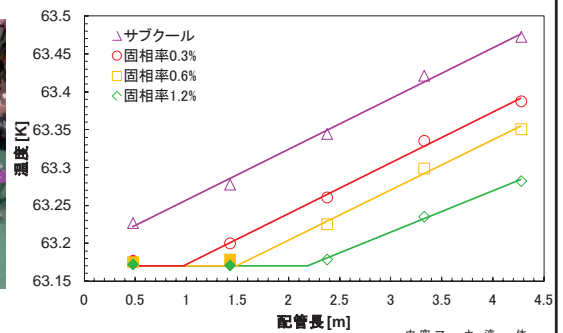


スラッシュ窒素を連続生成して循環搬送する装置を開発し、スラッシュ窒素の搬送による冷却特性を確認



スラッシュ窒素循環試験装置全体

窒素流速: 0.28m/s
流量: 2.5l/min



温度分布計測結果

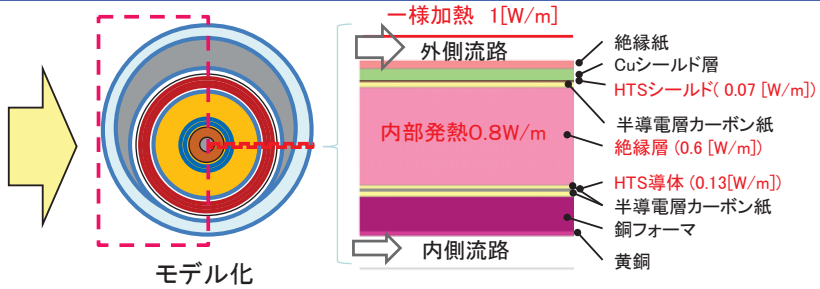
中空マーカー: 液体
塗りつぶしマーカー: スラッシュ

Ⅲ. 研究開発成果について 2.2.6 熱収支に関する評価研究

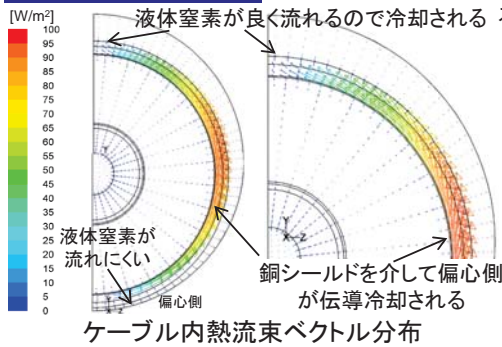
275kV高電圧ケーブル設計を参考に、定常時及び過電流通電時の超電導ケーブルの冷却特性を評価するとともに、冷却に必要な冷凍機的能力・循環用ポンプの仕様を検討



275kV高電圧ケーブル

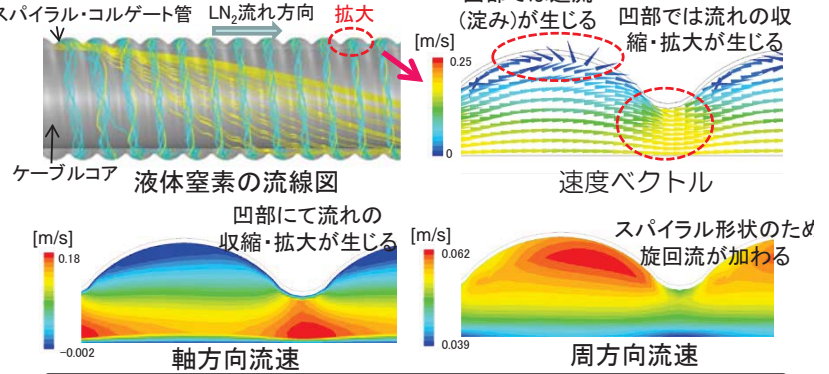


偏心構造の影響評価



偏心側の冷却には銅シールド層による熱伝導が重要

スパイラル・コルゲート管の影響評価

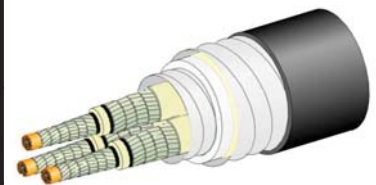


コルゲート管の凹部・旋回流れにより圧力損失が増加

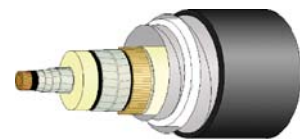
Ⅲ. 研究開発成果について 1.1 開発成果概要

超電導電力ケーブル研究開発 成果の意義

開発項目	開発成果	成果の意義
大電流ケーブル	定格: 66kV/5kA 容量: 570MVA	世界最大級の三心一括送電容量
	交流損失: 2W/m-相	世界最小レベル(三心一括)
	サイズ: 150mmφ管路内布設	世界最大の送電密度
高電圧ケーブル	定格: 275kV/3kA 容量: 1420MVA	世界最大級の電圧と送電容量
	ケーブル損失: 0.8W/m-相(交流損失+誘電体損失)	世界最小レベル
	サイズ: 150mmφ管路相当	世界最大の送電容量

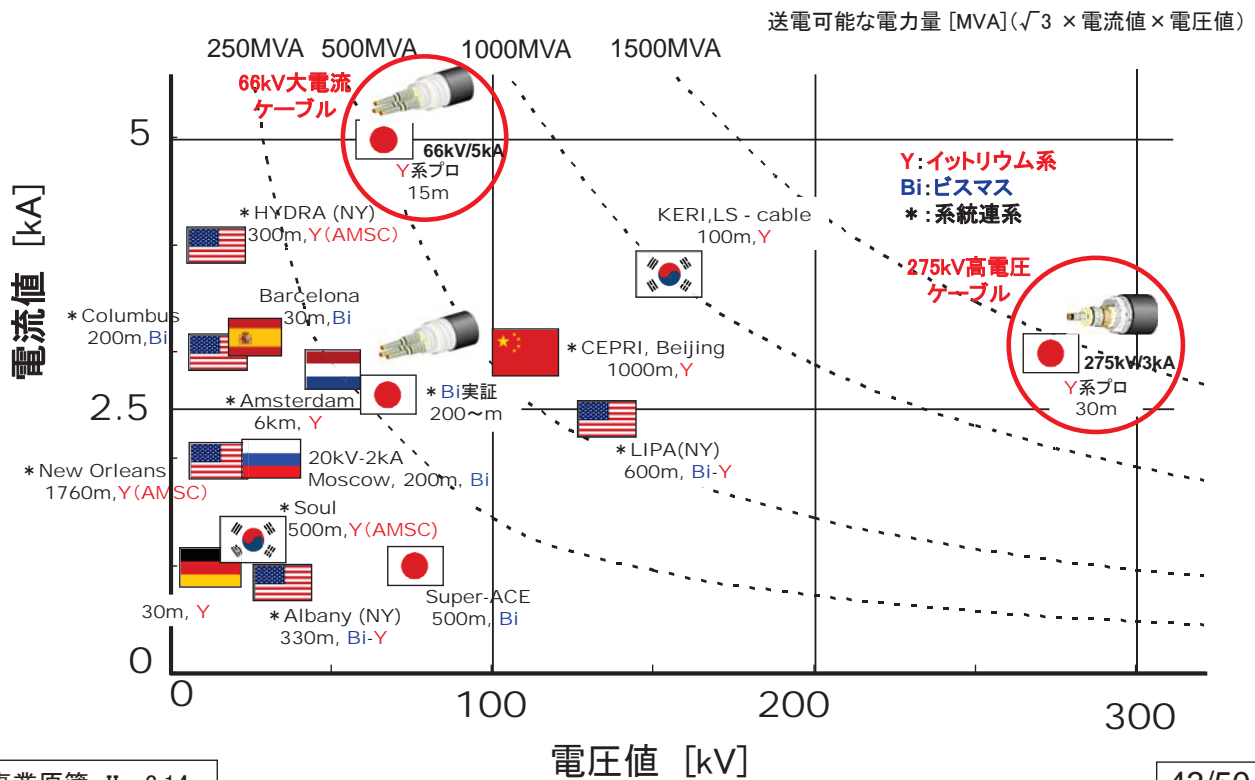


66kV/5kA大電流ケーブル



275kV/3kA高電圧ケーブル

研究開発の世界比較(超電導ケーブル)



知的財産権、成果の普及(超電導電力ケーブル研究開発)

平成20-24年度活動概要

	H20	H21	H22	H23	H24	計
特許出願 ()内はうち海外出願	3(0)	10(2)	3(1)	9(3)	4(1)	29
論文(査読付き)	3	15	9	13	3	43
研究発表・講演	21	54	45	39	29	188
受賞実績	0	1	1	0	0	2
新聞・雑誌等への掲載	2	3	0	2	5	12
展示会への出展	4	4	4	2	2	16

特許出願状況

ケーブル開発に関わる特許	国内出願： 20件
	海外出願： 8件

テーマ	代表的特許
①大電流ケーブル化 技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ■ 磁性基板線材を用いたケーブルの低損失化(住友電工) ■ 超電導ケーブルの端末構造(住友電工)
②高電圧ケーブル化 技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電氣的に安定な終端接続部(古河、ISTEC) ■ 低誘電損失な超電導ケーブル絶縁(古河、ISTEC)
③ケーブル対応線材 安定製造技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ■ 表裏識別容易な超電導線材(住友電工) ■ 酸化物超電導線材製造方法及び製造装置(昭和電線)

事業原簿 添付資料8

45/50

成果の普及(超電導電力ケーブル研究開発)

プレス発表

「イットリウム系低磁性配向基板線材で
世界初の高速化、高性能化に成功」
NEDO ホームページ
平成22年2月2日

「イットリウム系超電導線材
開発用設備を増強」
日刊工業新聞
平成22年3月30日

「世界最高電圧の超電導線」
日本経済新聞
「27万5千V超電導線を開発」
電気新聞
平成23年6月22日

「世界最高電圧 中国で試験」
電気新聞
平成24年5月21日

「27.5万V超電導送電を実証」
電気新聞
「27.5万V送電 高温超電導ケーブル」
日刊工業新聞
平成25年1月30日

「送電損失4分の1以下」電気新聞
「長期課通電試験に成功」日刊工業新聞
「大電流送電に成功」日経産業新聞
平成25年5月29日

受賞

低温工学協会 2010年度優良発表賞
「66kV/3kA級薄膜超電導ケーブルの交流損失特性」



展示会等

「イットリウム系超電導電力ケーブルを
“北海道洞爺湖サミット”に展示」
平成20年6月30日

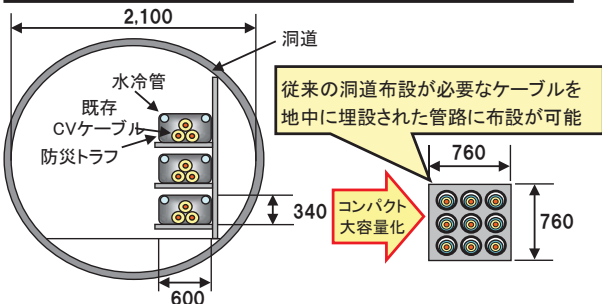


事業原簿 添付資料8

46/50

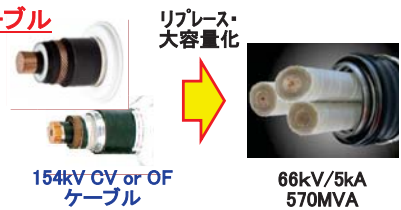
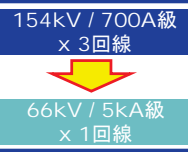
実用化の見通しについて

- ◎超電導ケーブルのメリット、特徴
- ・送電ロス低減(従来地中送電線の1/3)
 - ・省エネルギー、CO₂削減
 - ・コンパクトで大容量送電が可能



現用ケーブルと超電導電力ケーブルの布設サイズ例の比較

◎ 66kV 大電流ケーブル



◎ 275kV 高電圧ケーブル



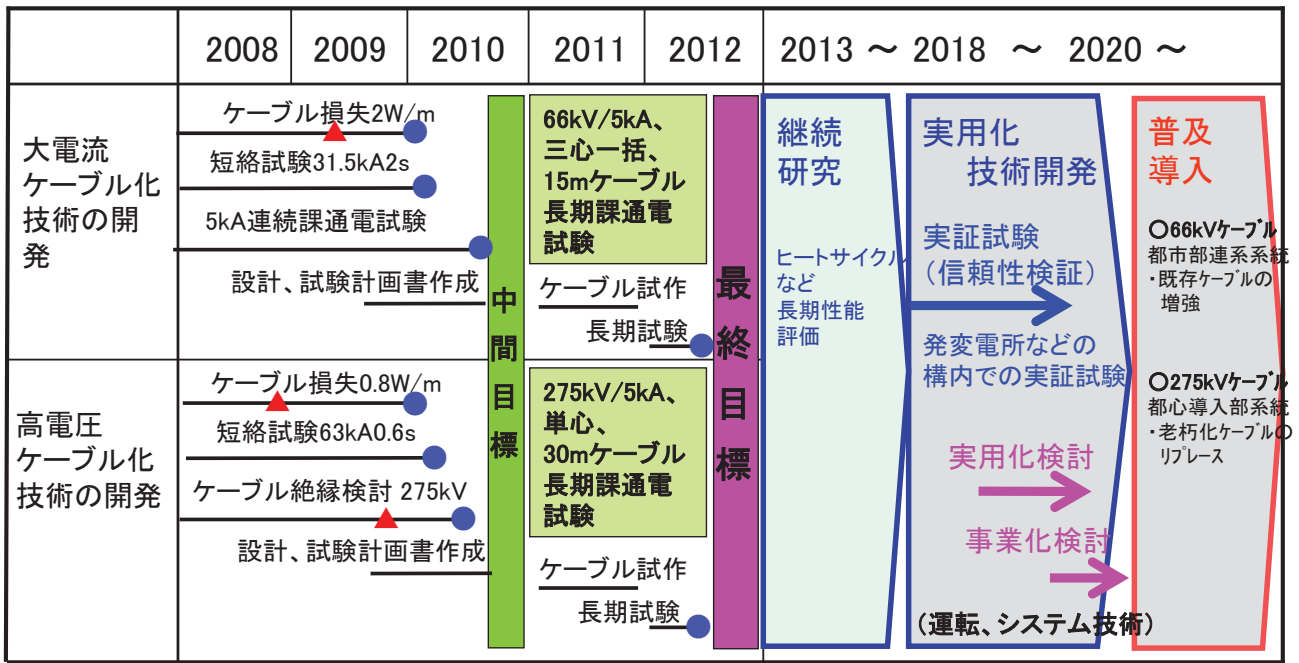
- ◎Y系超電導ケーブルのメリット
- 低コスト化
 - 大容量化
 - 低ロス化

66kV/5kA 大電流ケーブル	275kV/3kA 高電圧ケーブル
<p>SUMITOMO ELECTRIC</p>	<p>FURUKAWA ELECTRIC</p>

実用化のシナリオ及び波及効果

	住友電工	古河電工	フジクラ
実用化の可能性と適用効果	<ul style="list-style-type: none"> ・都内導入システムの拡充 ・既存ケーブルのリプレース・増強 ・発電所の発電端等 ・建設コスト削減、工期短縮 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存ケーブルのリプレース・増強 ・超高压架空線の代替 	<ul style="list-style-type: none"> ・発電所の引き出し線(発電機～変圧器間: ~100m) ・直流ケーブル: 大電流用(鉄道き電線)
実用化の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・実系統での長期信頼性・安定性の実証 ・超電導線材の高性能化・低価格化 ・ジョイント・端末のコンパクト化 ・冷却システム系の高効率化・低コスト化の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・実系統における超電導ケーブル及び冷却システムの長期信頼性の実証 ・超電導ケーブル及び冷却システムのコスト低減 	<ul style="list-style-type: none"> ・実系統での長期信頼性の検証 ・線材の高性能化・低価格化 ・冷却システムの大規模化、高効率化、低コスト化の開発 ・端末・中間接続部の大容量・コンパクト化 ・法規制の緩和
実用化までのシナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ・導入初期は比較的短距離(100m程度)で運転実績の確認(例: 水力発電所の引き出し線など) ・基幹系ケーブルシステムへの導入 	<ul style="list-style-type: none"> ・実系統における長期信頼性の検証、信頼度の向上(1~2km級の試験線路による長期信頼性検証) ・既存ケーブルのリプレース 	<ul style="list-style-type: none"> ・短距離・大容量の発電所引き出し線への導入 ・鉄道用き電線補助線 ・既設ケーブルの代替
今後の展開	<ul style="list-style-type: none"> ・発電機引き出し線への適用に向けた技術課題の開発 ・実規模レベルでの実証 ・基幹システムへの適用に向けた開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・中国瀋陽にて研究を継続し、ヒートサイクルによる超電導、絶縁性能の長期性能を評価 ・海外に向けての技術発信を継続 	<ul style="list-style-type: none"> ・終端接続部を含めたケーブルシステムとしての熱機械特性の把握が基本となり、ヒートサイクル試験を継続研究で実施

事業化までのシナリオ



▲ : 基本原理確認 ● : 基本技術確立

公開セッション

END