

「超電導変圧器の研究開発」

(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

林 秀美

参画機関:九州電力(株)、富士電機(株)、大陽日酸(株)、
 (株)フジクラ、昭和電線ケーブルシステム(株)、
 (公財)国際超電導産業技術研究センター、
 (一財)ファインセラミックスセンター、九州大学、岩手大学

2013年 8月9日

2. 研究開発マネジメントについて (1) 研究開発目標の妥当性

公開

事業の目標、内容

目標

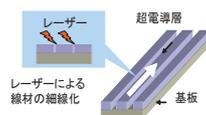
平成22年度までに、超電導変圧器用の低損失化技術、大電流巻線技術、及び限流機能の開発を行った上で、平成24年度までに超電導変圧器対応線材の安定製造技術開発、低損失かつ大電流巻線技術の確立、高効率な液体窒素冷却装置の開発を行い、**2MVA級超電導変圧器モデル**の特性試験によって、66kV/6.9kV-20MVA級超電導変圧器システムが成立することを検証する。また、**数百kVA級変圧器で超電導線材を利用した限流機能**を検証する。

開発概要

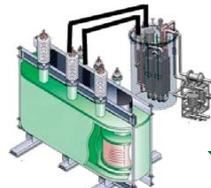
- ① 巻線技術 (低損失化 $\leq 1/3$ 、2kA級大電流化)
- ② 冷却システム技術 (2kW@65K、COP ≥ 0.06 @80K)
- ③ 限流機能付加技術(過大電流を定格の3倍以下)
- ④ 変圧器対応線材技術 (100m長、5mm幅・3分割)
- ⑤ 66kV/6.9kV-20MVA級モデル試作・検証、実用20MVA級設計



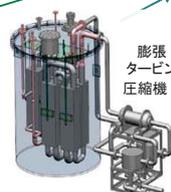
① 巻線技術 短絡、低損失、大電流等の検証 (短絡400kVA)



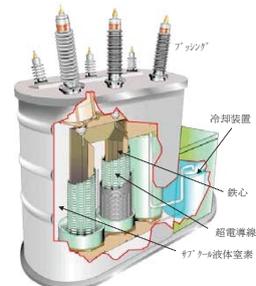
④ 細線化線材



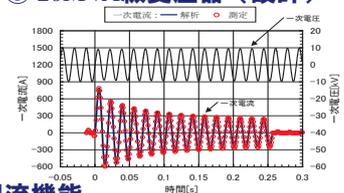
⑤ 2MVA級変圧器検証



② 冷却システム



⑤ 20MVA級変圧器 (設計)



③ 限流機能

Y系超電導変圧器の特長・必要性

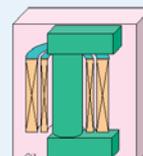
油入変圧器



<課題>

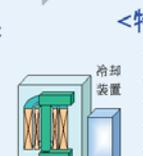
- ・不燃、難燃化
- ・省エネルギー
- ・小型・軽量
- ・保守性 (オイルレス) など

Bi系線材



高電流密度

Y系線材



低損失

油入変圧器



Bi系変圧器



Y系変圧器



<特長>

- ・高効率
- ・コンパクト
- ・軽量
- ・省設置スペース
- ・不燃

・モールド、アモルファス、シリコン油など



【課題】

- ▲ 高電圧化、大型化が難しい
- ▲ 負荷損(銅損)低減が困難
- ▲ 鉄心や大(アモルファス) など

社会動向 **ニーズ** **対応技術**

高度情報化の進展	信頼性・安全性の向上	高信頼性技術	<ul style="list-style-type: none"> 【モールド変圧器/ガス絶縁変圧器】 【超伝導】
都市の過密化進展		高性能化技術	<ul style="list-style-type: none"> 【超伝導】 【低損失変圧器】
安定電力需要拡大 (エネルギー不足/良質電力化)	機器性能の向上	小型化・軽量化・省スペース化技術	<ul style="list-style-type: none"> 【漸形】 【漸形】
労働形態の変化 (24時間稼働化/労働力供給不足)	省スペース性の向上	保守技術	<ul style="list-style-type: none"> 【モールド変圧器/ガス絶縁変圧器】 【油中ガス分析装置】
地球規模環境問題の重視	保守性の向上	高機能化技術	<ul style="list-style-type: none"> 【システム化】 【インテリジェント化】

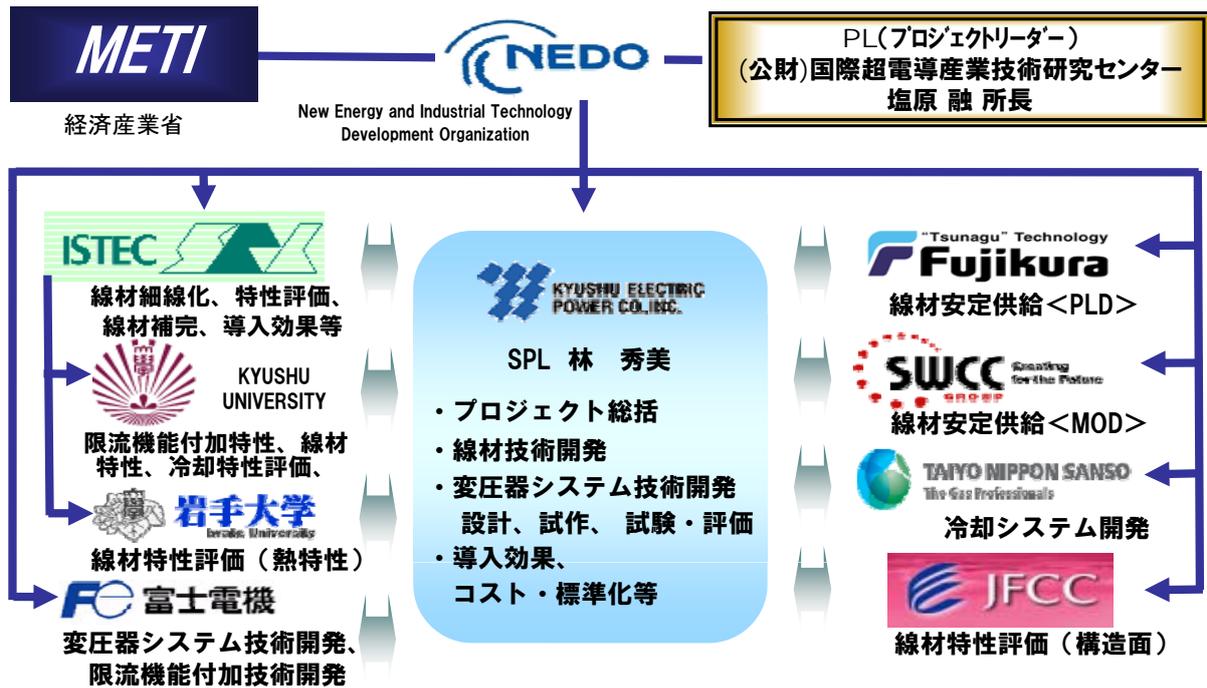
■ Y系変圧器と共通

配電用変圧器対応技術動向
(出典:電気学会技術報告1023号)

研究開発のスケジュール

項目	H20	H21	H22	中間目標	H23	H24	最終目標
線材供給	線材安定供給 長尺、安定化鋼等	安定加工	レーザスクライビング、化学エッチング	<ul style="list-style-type: none"> ・100m 5mm幅 3分割、50A @65K&0.01T 	線材安定供給		
	巻線技術	転位均流モデルの検証	低損失巻線検証		耐短絡強度検証	2kA級巻線モデル	
冷却システム技術		小型タービン効率の向上	ターボ圧縮機の開発	熱交換器の小型化	<ul style="list-style-type: none"> ・膨張タービン: 断熱効率 ≥ 65% ・圧縮機: 断熱効率 ≥ 65% 	無摺動冷凍機	2MVA級変圧器モデル
	限流機能付加技術	4巻線モデルの試作・特性試験	400kVA単相モデルの試作			限流モデルで限流検証	400kVA単相モデルの試験
変圧器モデル検証			2MVA級変圧器システム設計	20MVA級変圧器の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・2MVA級変圧器モデル設計 	2MVA級変圧器モデル試作検証	20MVA級変圧器設計へのフィードバック

超電導変圧器研究開発体制



個別研究開発項目の最終目標と達成状況

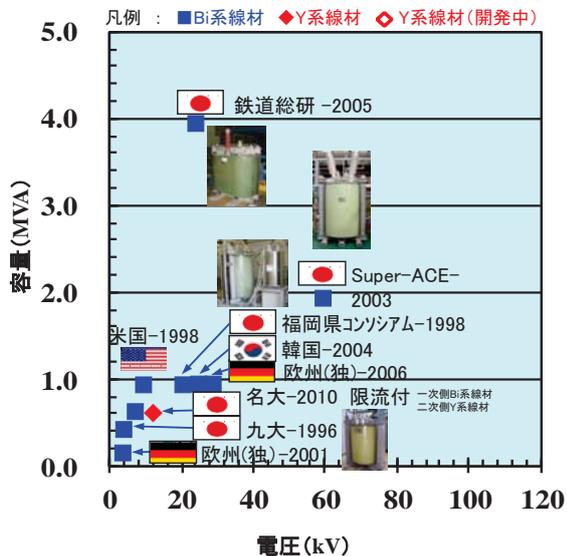
・下表のとおり、5つの要素技術の**最終目標をすべて達成**

項目	最終目標	研究開発成果	達成度
①超電導変圧器巻線技術開発	・2kA級巻線技術の確立 ・巻線の低交流損失 ≤1/3(対細線化なし線材)	・鉄心付大電流巻線モデルを設計、製作し、電流分流量が±10%以内で2kA通電を確認 ・100m級3分割線材を用いた低損失巻線モデルにて交流損失を測定し、1/3に低減できることを確認	○ 達成
②冷却システム技術開発	・冷凍能力:2kW@65 K ・冷凍効率(COP):0.06@80 K	・ネオン冷凍機を試作し、冷凍能力2.17kW@65K、COP 0.06@80Kを確認	○ 達成
③限流機能付加技術開発	・数百kVA級限流機能付加変圧器による機能検証(過大電流を定格電流の3倍以下に抑制)	・保護銅層を最適化した巻線構成の400kVA級限流機能付加単相変圧器モデルを試作し、短絡電流を定格電流の3倍以下に抑制する限流性能を確認 ※当初計画から1年前倒しで達成(H24⇒H23)	◎ 大幅達成
④超電導変圧器対応線材開発	・安定製造、加工技術の向上	・安定製造や加工技術の改良により線材の長手・幅方向の I_c 特性向上技術を開発	○ 達成
⑤2 MVA級超電導変圧器モデル検証	・66kV/6.9kV-2MVA級超電導変圧器モデルの課通電試験による性能検証	・66kV/6.9kV-2MVA級超電導変圧器モデルを試作、冷却システムと組み合わせ試験を実施し、変圧器システムの性能を確認	○ 達成

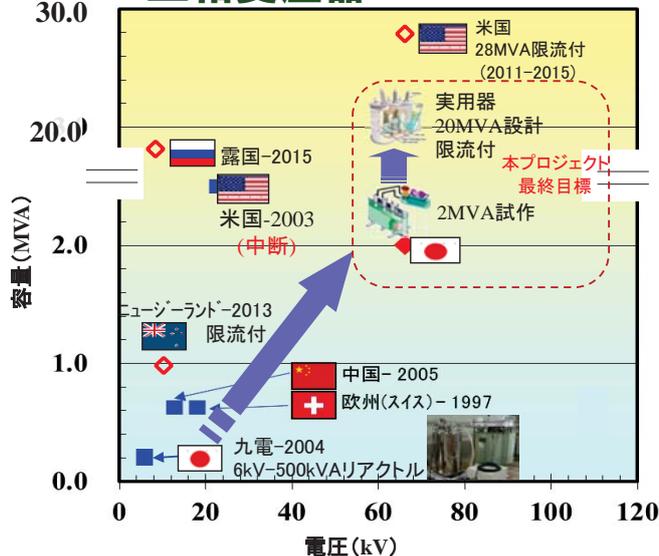
超電導変圧器の世界比較

- 海外では交流損失低減、絶縁等の課題から中断していたが、近年、計画が再開
- 本プロジェクトは変圧器開発のトップ、さらに限流機能付加変圧器開発まで実施

単相変圧器

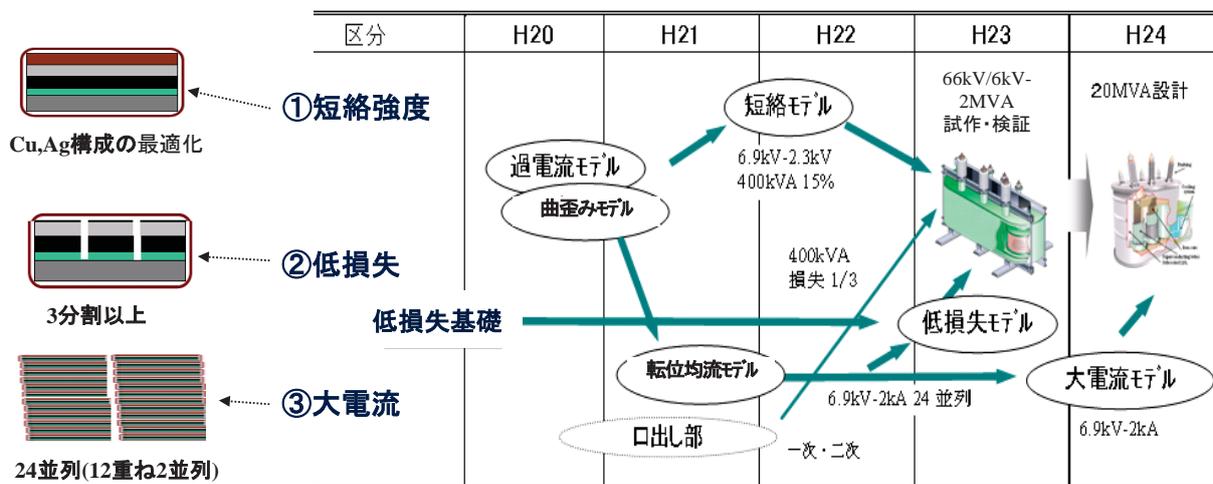


三相変圧器



巻線技術開発(1. 巻線技術の相関)

- 中間目標① 短絡強度15%相当、最適な転位巻線技術の確立
- 最終目標② 巻線の低交流損失 ≤ 1/3 (対細線化無し線材)
- ③ 2kA級巻線技術の確立



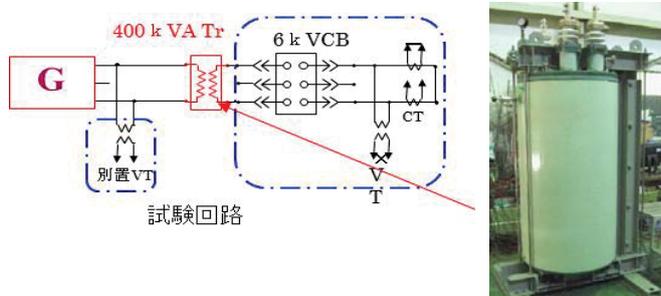
巻線技術開発(2. 中間評価時までの成果)

【中間目標】

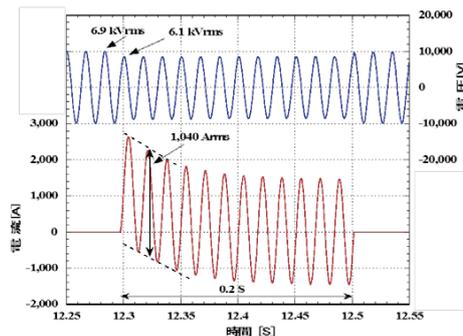
✓ 短絡強度(20MVA、%インピーダンス15%相当)を検証

【実施結果】

✓ 400kVA短絡変圧器モデルで定格の6倍の短絡電流での健全性を確認



項目	短絡変圧器モデル	実用変圧器
定格容量、相数	400 kVA・单相	20 MVA・三相
定格電圧(一次/二次)	6.9 kV/2.3 kV	66 kV/6.9 kV
定格電流(一次/二次)	58 A/174 A	175 A/1,673 A
%インピーダンス	15%(400kVA基準)	15%(20MVA基準)
短絡電流(一次/二次)	387 A/1,160 A	1,167 A/11,153 A
素線並列本数	1本/3本	3本/24本
素線当り短絡電流(一次/二次)	387 A/387 A	389 A/465 A



短絡試験時の電圧・電流波形

【中間評価時までのその他の成果】

✓ 2kA通電をめざした転位均流巻線技術の開発

【実施結果】

✓ 転位均流空心モデル(12重2並列)において電流分流率のバラツキは最大で14%であり、変圧器用として問題ないことを確認

巻線技術開発(3. 大電流巻線モデル)

【実施内容】

✓ 20MVA級変圧器の二次電流2kAの巻線技術を検証

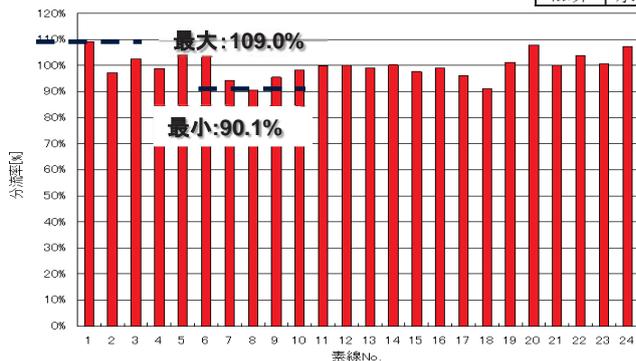
- 鉄心付の変圧器で二次巻線は24並列(12重2並列)
- 実機相当の磁界条件での2kA(2.8kA^{1/2}- μ)通電

【実施結果】

✓ 2kA通電(2057A通電)
 ✓ 各素線の電流分流率も±10%以内
 (最大109.0%、最小90.1%)

最終目標達成

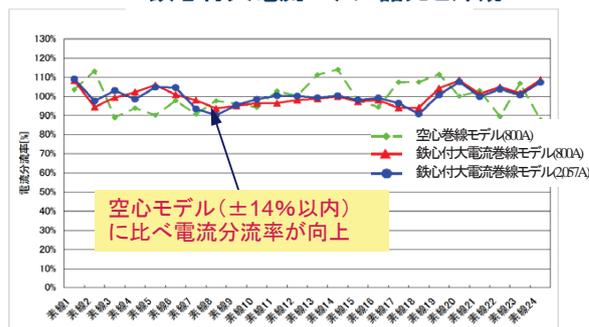
		二次巻線	一次巻線
定格電流		2,000 A	167 A
導体構成		12重2並列	2重
巻線内径		φ350 mm	φ376 mm
巻線高さ		645 mm	649 mm
ターン数		48	576
転位		ヘリカル	3箇所/層
最大磁界	垂直	0.11 T	0.04 T
	水平	0.24 T	0.21 T



2kA大電流モデルコイルの電流分流率測定結果(66k)

AC2057Aにおける電流分流率(100%が均等)

鉄心付大電流モデル諸元と外観



空心モデルと鉄心付モデルの比較

巻線技術開発(4. 低損失巻線モデル)

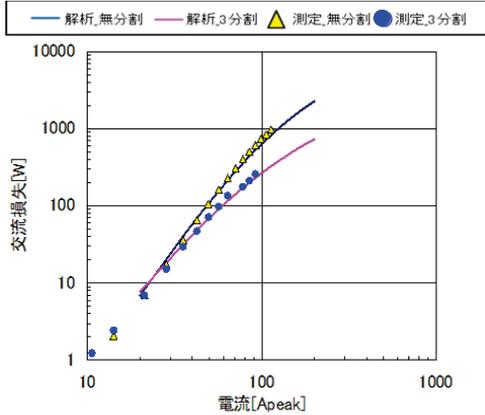
【実施内容】

✓ 100m級3分割線材の巻線モデルで交流損失が無加工線材の1/3を検証

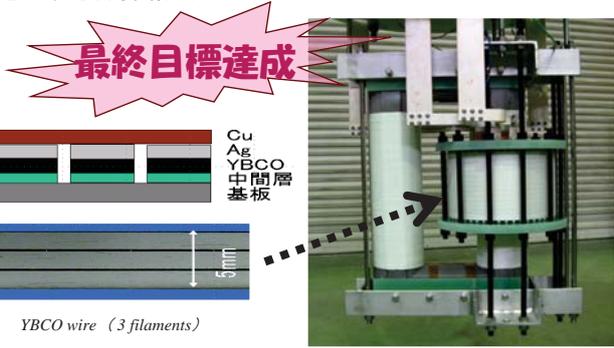
- ・巻線モデルの磁界は20MVA級変圧器の発生する磁界相当
- ・交流損失の測定はキャンセル法で実施

【実施結果】

✓ 180Apeak程度で1/3に低減できることを確認



低損失巻線モデルの交流損失測定結果



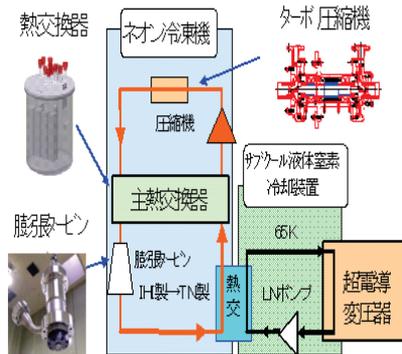
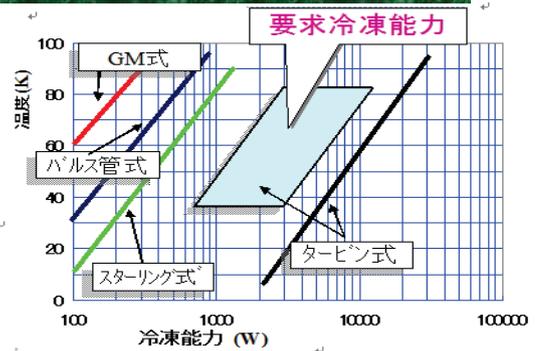
	一次巻線	二次巻線
巻線内径	φ183.2 mm	φ128 mm
巻線高さ	107 mm	107 mm
ターン数	400	400
線材長	257 m	191 m

低損失巻線モデル諸元と外観

冷却システム技術(1. ネオン冷却システムの構成)

【実施結果】

✓ ターボ圧縮機、膨張タービンを組み合わせたネオン冷凍機にサブクール液体窒素冷却装置を付加した冷却システムを開発



ネオン冷却システムの構成



実用モデル例

冷却システム技術 (2. 中間評価時までの成果)

【中間目標】

✓ 膨張タービンの断熱効率 $\geq 65\%$ 、ターボ圧縮機の断熱効率 $\geq 65\%$

【実施結果】

✓ 膨張タービン、ターボ圧縮機ともに断熱効率65%以上を達成



【中間評価時のその他の成果】

✓ 磁気軸受の適用による長寿命化、メンテナンス性の向上

【実施結果】

✓ 膨張タービン、ターボ圧縮機ともに5軸制御の磁気軸受の適用により無摺動化し、長寿命化、メンテナンス性を向上

冷却システム技術 (3. 単体試験結果)

世界初!!

【実施結果】

✓ 冷却システム性能の目標達成

- ・冷凍能力: $2.17\text{kW} \geq 2\text{kW}@65\text{K}$
- ・冷凍効率(COP): $0.06 \geq 0.06@80\text{K}$
- ・冷凍能力可変試験でも安定性を確認

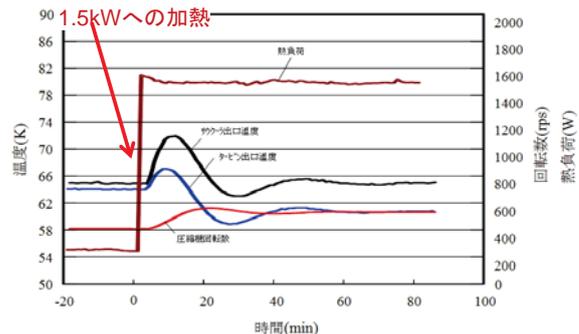
✓ さらに、50日間の連続運転も良好

最終目標達成

冷却温度 (K)	80	65
COP (インバータ入力)	0.060	0.044
COP (モータ入力)	0.064	0.047
冷凍能力 (kW)	2.83	2.17
圧縮機効率 (%)	68.1	68.6
膨張タービン効率 (%)	72.9	70.3



・冷却システムのステップ応答 (0.2kW→1.5kW加熱) で、良好な動作を確認



(a)熱負荷ステップアップ
200W→1500W

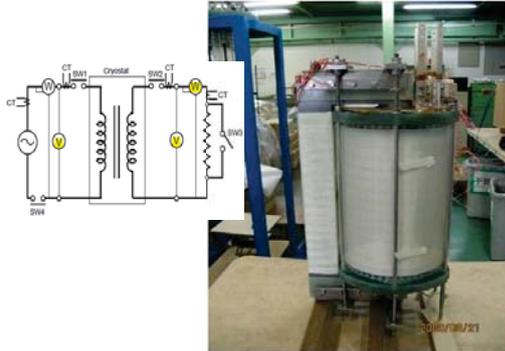
限流機能付加技術開発 (1. 中間評価時までの成果)

【中間目標】

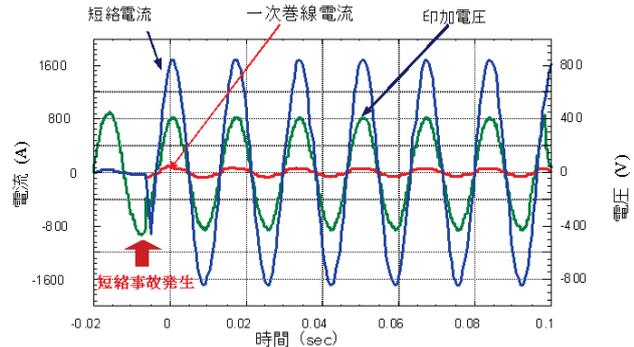
✓ 限流機能付加変圧器の設計手法の確立及び数百kVA限流機能付加変圧器の巻線モデルの設計、試作

【実施結果】

✓ 4巻線構造の小型変圧器モデルにより、過大電流に対する基礎的な応答特性を定量的に検証、評価し、その成果に基づき、数百kVA限流機能付加変圧器の設計、試作を実施



4巻線構造の小型変圧器モデル



限流機能付加技術開発 (2. 数百kVA級モデル試験結果)

【実施内容】

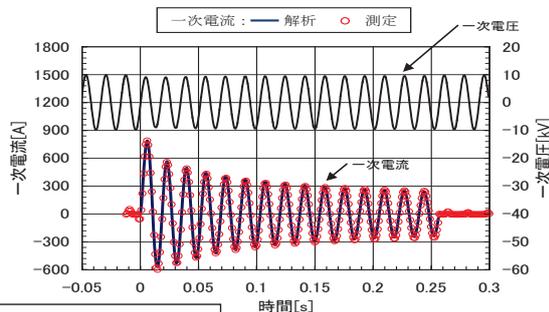
✓ 400kVA級単相変圧器モデルで限流機能 (短絡電流を定格電流の3倍以下に抑制) を検証

400kVA級単相変圧器モデルの諸元

定格容量、相数	400kVA 単相
定格電圧、電流	6.9kV/2.3kV、58A/174A
%インピーダンス	10%(400kVA基準)
導体構成	1枚/3枚
巻線数	6層/2層

【実施結果】

✓ 定格電流の3倍以下への抑制を確認
(0.25sec後の電流173.5A ≒ 定格電流58A × 3)



最終目標達成

Y系線材で初!



変圧器対応線材開発(1. 中間評価時までの成果1)

【中間目標】

- ✓ 5mm幅3分割にて $I_c=50A@65K$ 、0.01T、100m以上に相当する線材を安定に作製可能な技術を確立

【実施結果】

- ✓ 超電導層をパルスレーザー蒸着法(PLD法)により成膜する製法、有機酸塩熱分解法(MOD法)により成膜する製法のいずれも上記目標を達成

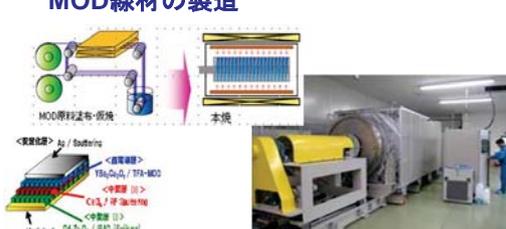
【22年度までの供給実績】

- ✓ PLD線材:4km、MOD線材:1km

PLD線材の製造



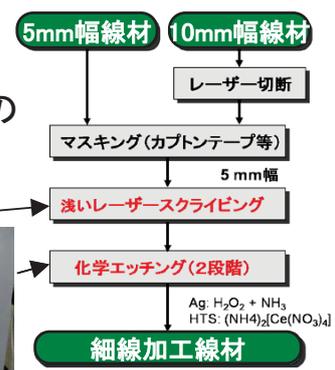
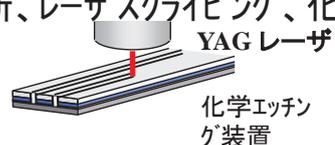
MOD線材の製造



変圧器対応線材開発(2. 中間評価時までの成果2)

【実施結果】

- ✓ 安定した3分割加工技術を開発
 - ・線材(100m、5mm幅・3分割、 $I_c=50A@65K$ 、0.01T)の安定な細線化技術開発
 - ・細線化は、切断、レーザースクライビング、化学エッチング等により実施

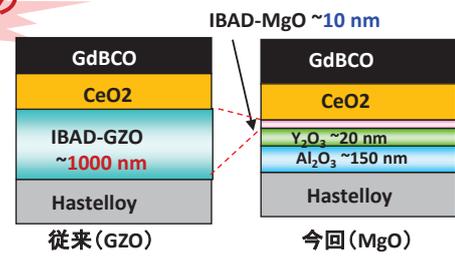


- ✓ 薄くても高配向(膜厚~1/100)なMgO基板の製造技術を開発

MgO基板製造技術を確立



1 km 中間層の作製に成功

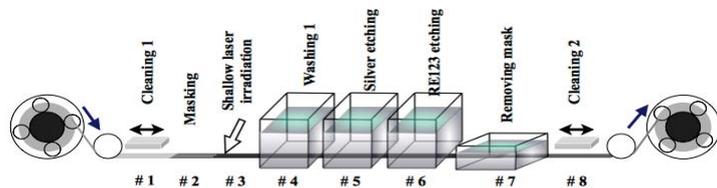


変圧器対応線材開発 (3. 加工工程の見直し他)

【実施結果】

✓ 洗浄工程の導入

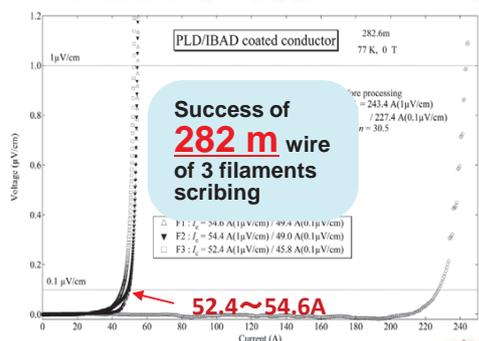
レーザー照射後のマスク材料残渣を除去する洗浄工程を導入
また、UVレーザーのビーム整形の改良も実施



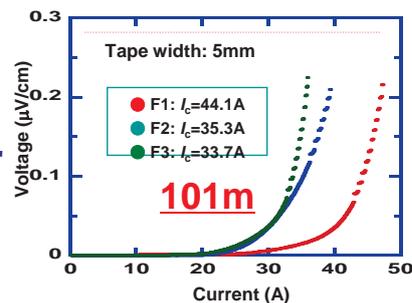
[Cleaning 1: wiping by acetone, Washing 1: interfacial active agent + ultra sonic
Removing mask: in the Fluorinert, Cleaning 2: wiping by acetone]

世界初!

PLD
線材



MOD
線材



最終目標達成

✓ 線材供給実績

加工技術の改良等により安定して線材を供給
2MVA級変圧器モデル用 約12km
大電流巻線モデル用 約3km

2MVA級変圧器モデル検証 (1. 中間評価時までの成果)

【中間目標】

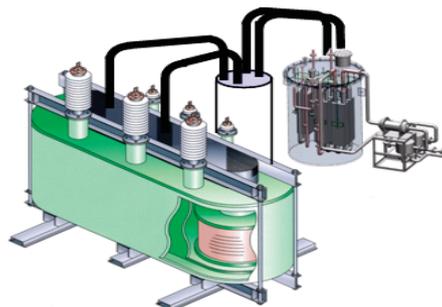
✓ 66kV/6.9kV-2MVA級超電導変圧器モデルのシステム設計の完了及び
交流損失低減や耐電圧性等を考慮した課通電試験計画書の作成

【実施結果】

✓ 20MVA級超電導変圧器を見通す技術を開発するため、機器構成の根幹となる技術(ブッシング、巻線径、巻線構成等)は極力20MVA級超電導変圧器相当として設計
交流損失や耐電圧等を検証・評価できる課通電試験計画書を作成

変圧器の諸元(対実用機比較)

諸元	2MVA変圧器モデル	20MVA変圧器(実用器)
相数、結線	3φ、Y-Y	3φ、Y-Y
定格電圧	66kV/6.9kV	66kV/6.9kV
定格電流	17.5A/167A	175A/1674A
%インピーダンス	4.5%(2MVA基準)	15%(20MVA基準)
巻線層数	8層/2層	8層/2層
ターン数	1033/108	1033/108
ターン間電圧 V/N	36.9	36.9
導体構成	1本/8並列	3並列/24並列
線材長	11.1km	35.6km



2MVA級変圧器モデル検証(2. 限流機能付加検討)

【実施内容】

✓限流機能付加技術の成果から、限流機能を付加しても問題ないこと、また、これにより線材長を短くでき、コスト低減になることから、20MVA級変圧器モデルへの限流機能付加について検討

【実施結果】

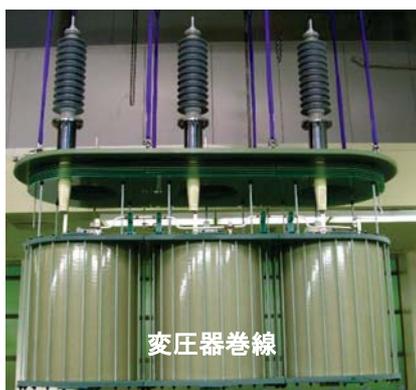
- ✓20MVA級変圧器への限流機能付加により、高機能化、低コスト化を確認
(%インピーダンスは限流機能付加の前後で15%⇒10%となるため、線材長が7%減少)
- ✓これに伴い、2MVA級変圧器モデルも限流機能付加に変更
(%インピーダンスは限流機能付加の前後で4.5%⇒3%に変更)

諸元	2 MVA変圧器モデル	20 MVA変圧器
相数、結線	3φ、Y-Y	3φ、Y-Y
定格電圧	66 kV/6.9 kV	66 kV/6.9 kV
定格電流	17.5 A/167.4 A	175 A/1,674 A
%インピーダンス	3 % (2 MVA基準)	10 % (20 MVA基準)
巻線層数	8層/2層	8層/2層 (二次巻線は一次巻線の内外に配置)
ターン数	918 (114.8×8層)/96(48×2層)	918 (114.8×8層)/96(48×2層)
V/N	41.5	41.5
導体構成	1本/8並列(4重2並)	3並列(3重)/24並列(12重2並)
線材断面寸法	5.3 mm×0.35 mm (0.1 mm安定化銅と絶縁込)	5.3 mm×0.35 mm (0.1 mm安定化銅と絶縁込)
線材長	6.3 km/3.8 km(合計10.1 km)	18.0 km/15.1 km(合計33.1 km)

2MVA級変圧器モデル検証(3. 製作状況及び完成写真)



鉄心(常温配置)



変圧器巻線



変圧器本体

冷却システム

完成写真

製作状況写真

2MVA級変圧器モデル検証(4. 実証試験項目)

【実施内容】

✓ 中間評価時に作成した課通電試験の基本計画を基に平成24年度に詳細検討

【実施結果】

✓ 試験は、JEC2200₁₉₉₅変圧器に準拠し変圧器基本性能、絶縁性能、熱的性能について実施

試験項目	
基本性能試験	巻線抵抗 (常温)
	直流I-V特性
	変圧比
	短絡インピーダンス及び負荷損
	無負荷損及び無負荷電流
絶縁性能試験	絶縁抵抗測定
	短時間交流耐電圧 (誘導/加圧)
	雷インパルス
熱的性能試験	熱侵入量
	保冷容器、巻線初期冷却特性
	冷凍機停止時の特性
	冷凍機初期冷却特性
	冷却システム冷凍能力
	定格通電時冷却特性

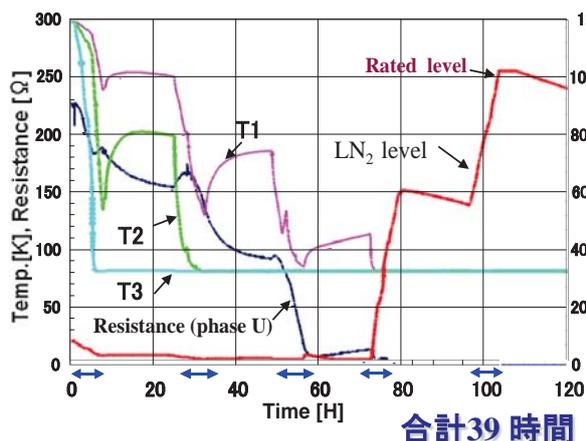
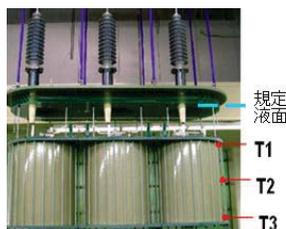
赤字の4項目は、中間評価時から追加した項目

2MVA級変圧器モデル検証(5. 冷却特性試験)

巻線冷却 (室温→77K)

【実施結果】

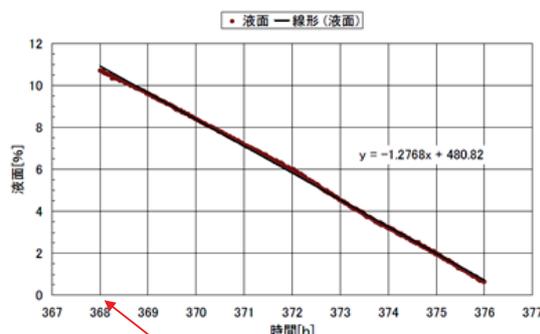
- ✓ 全LN₂注入量 **4450 ℓ**
- ✓ 保冷容器内 **2800 ℓ**
- ✓ 実質冷却時間 **39 H**



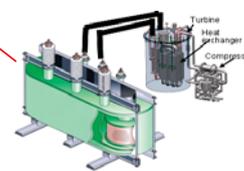
熱侵入量

【実施結果】

- ✓ 無電圧、77Kの液面低下量から熱侵入量を算出：**464W**
- 解析値**447W**と概ね一致



このタイミングで冷却装置を停止



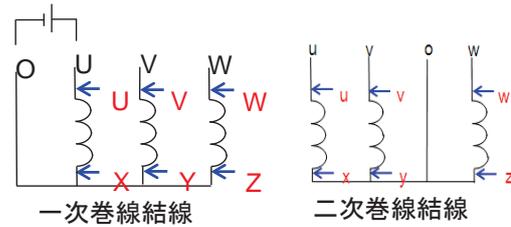
2MVA級変圧器モデル検証(6. I-V試験)

【実施内容】

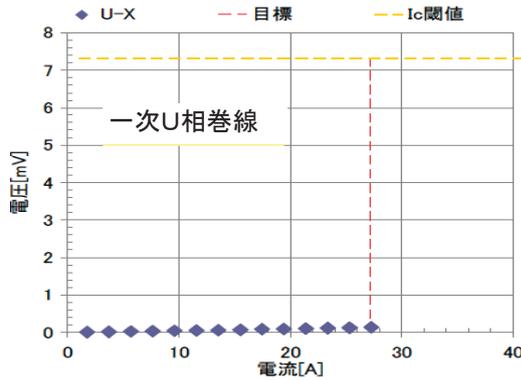
- ✓ 巻線の全相とも定格電流以上 (@77K)を確認

【実施結果】

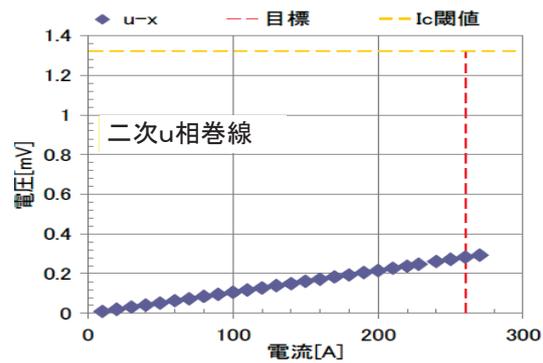
- ✓ 一次巻線 27A@77K \geq 25A (定格)
- ✓ 二次巻線 270A@77K \geq 260A (定格)



一次巻線



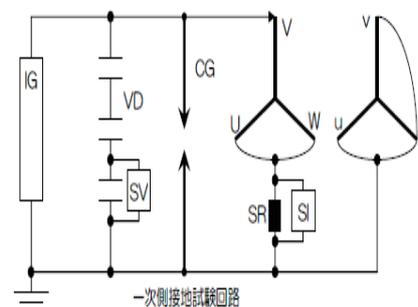
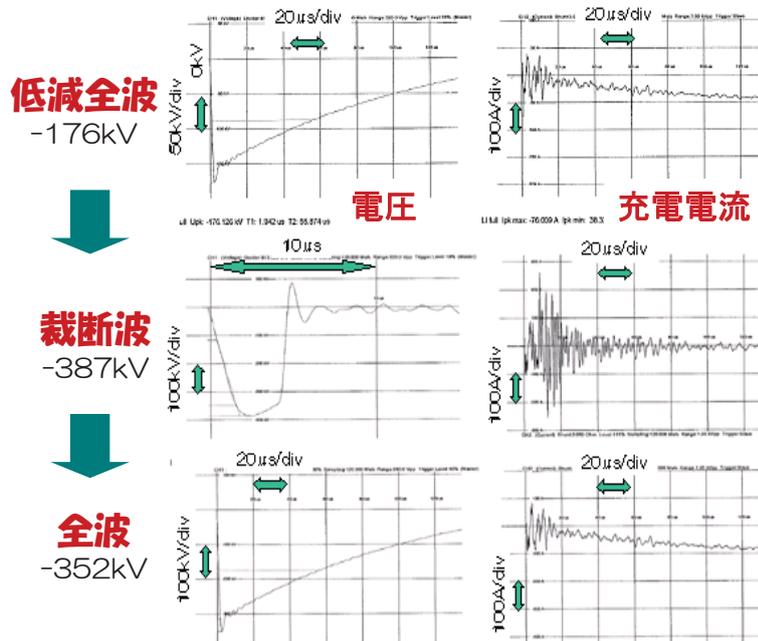
二次巻線



2MVA級変圧器モデル検証(7. 雷インパルス耐電圧試験)

【実施結果】

- ✓ 短時間交流耐電圧試験: 定格2倍の140kV・1分間印加 → 絶縁破壊無し
- ✓ 雷インパルス耐電圧試験 : 1次巻線に350kV印加 → 絶縁破壊無し



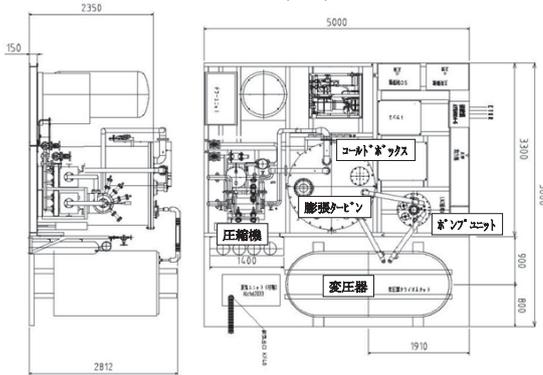
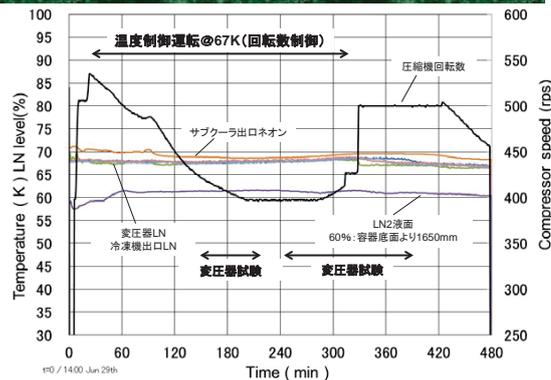
2MVA級変圧器モデル検証 (8. 冷却システム組み合わせ試験)

【実施内容】

✓ 組み合わせ試験で性能・安定運転を検証

【実施結果】

✓ 組み合わせ試験結果(温度制御運転@67K)
温度変動は1K以内で良好な温度制御を確認



事業原簿 Ⅲ-2.3.58、152、163~164



27/38

2MVA級変圧器モデル検証 (9. 実証試験結果まとめ)

【実施結果】

✓ 全項目で判定基準を満たすことを確認



項目	判定基準	結果
直流I-V特性 (二次側)	260A (定格電流×1.1)	270A
変圧比	9.5652 (仕様値) ±0.5%	9.559 (U-V) 9.562 (V-W) 9.552 (W-U)
%インピーダンス	3% (仕様値) ±7.5%	2.99%
無負荷損	8kW (仕様値) +15%以下	7.92kW
負荷損	32W (計算値)	26.9W
短時間交流耐電圧	140kV (50Hz)、1分間の印加に耐えること	絶縁破壊無し
雷インパルス耐電圧	全波-350kV、裁断波-385kVに耐えること	絶縁破壊無し
熱侵入量	447W (計算値)	464W

事業原簿 Ⅲ-2.3.164

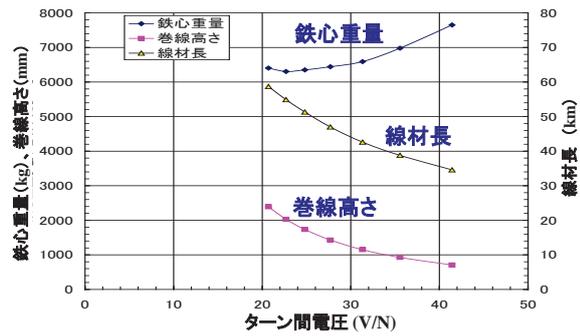


28 / 38

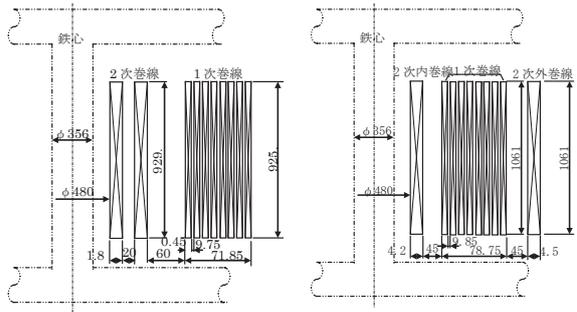
20MVA級変圧器設計検討(1. 設計の考え方)

【設計方針】

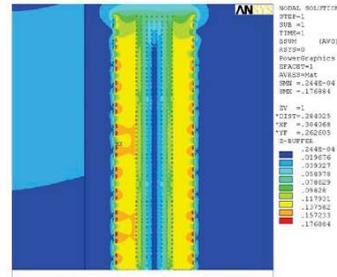
- ✓ 2MVA級の設計結果(実証後)と要素技術の開発成果を反映
- ✓ 冷凍負荷低減のため鉄心は室温空間に配置、機械強度面から巻線は円筒巻線
- ✓ 所定のインピーダンスにするため、磁束通路数を増加



鉄心重量、巻線高さ及び線材長のターン間電圧(V/N)依存性



2MVA変圧器の巻線配置 (磁束通路数1) 20MVA変圧器の巻線配置 (磁束通路数2)



20MVA級変圧器設計検討(2. 限流有無及び既存との比較)

【実施結果】

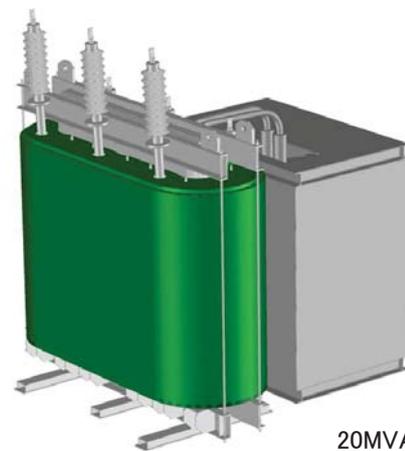
- ✓ 2MVA級変圧器モデルの検証結果を20MVA限流機能付加変圧器の設計にフィードバック
- ✓ 限流機能付加により線材長7%減

20MVA変圧器の諸元 (限流機能有無の比較)

諸元	限流機能付加	限流機能無
相数、結線	3φ、Y-Y	3φ、Y-Y
定格電圧	66 kV/6.9 kV	66 kV/6.9 kV
定格電流	175 A/1,674 A	175 A/1674 A
%インピーダンス	10 % (20 MVA基準)	15 % (20 MVA基準)
ターン数	918 (114.8×8層)/96(48×2層)	1033 (129.1×8層)/108(54×2層)
V/N	41.5	36.9
導体構成	3並列(3重)/24並列(12重2並)	3並列(3重)/24並列(12重2並)
線材断面寸法	5.3 mm×0.35 mm (0.1 mm安定化銅と絶縁込)	5.3 mm×0.25 mm (0.1 mm安定化銅と絶縁込)
線材長	18.0 km/15.1 km(合計33.1 km)	19.3 km/16.3 km(合計35.6 km)

既存との特長比較

	超電導変圧器	油入変圧器
線材	Y系超電導線材	Cu
冷却システム	ナフケル液体窒素(巻線)	油冷却
損失	46 % (≦1/2)	100 %
銅損/交流損失	31 % (交流損失)	91 % (銅損)
鉄損	7 %	9 %
熱侵入	8 % (保冷容器・電流I ²)	—
効率	99.7 %	99.4 %
重量(冷却システム含む)	50 % (≒1/2)	100 %
設置面積(冷却システム含む)	51 % (≒1/2)	100 %



20MVA変圧器の概念図

実用化の見通し(1. 適用先・技術動向)

適用先例

直流変換所

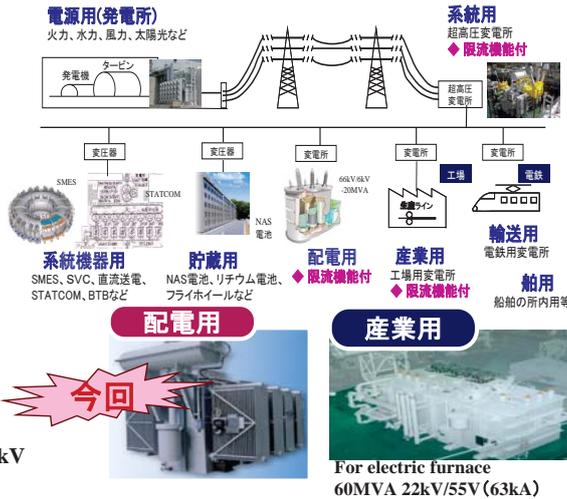


66kV～500kV

分路リアクトル



10～300MVA・66kV～275kV



系統用



220/66kV, 500/220/63kV, 250～500MVA

輸送用



(Source) Fuji Electric

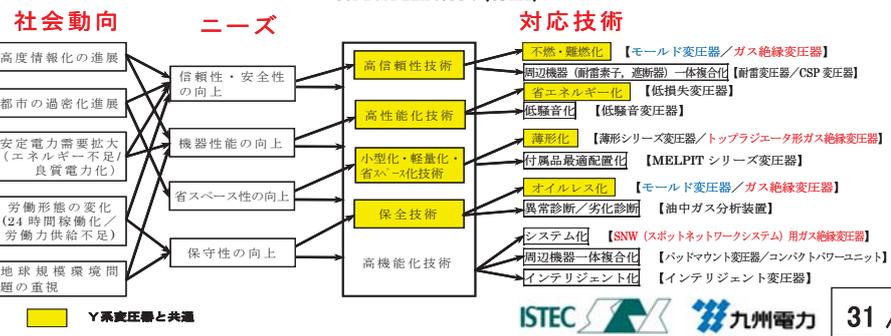
技術動向

ニーズはY系変圧器にも共通

社会動向から見た変圧器対応技術及び製品動向

出典：電気学会技術報告第1023号2005年6月

事業原簿 IV-1.32, 39



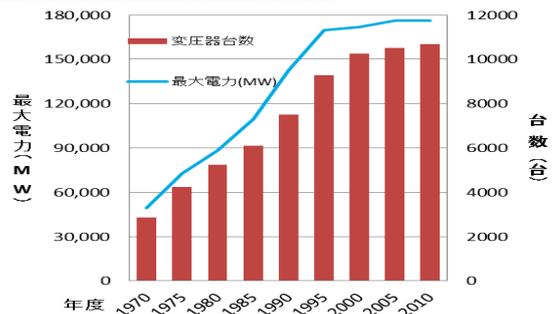
実用化の見通し(2. 市場規模)

電力用

【配電用変圧器の将来の市場が不透明】

震災以降の需要の伸び悩みや電力会社の経営状況により変圧器の更新を繰延べしており、老朽変圧器の対応策が見えず、市場が不透明
例えば 更新周期を50年に延伸すれば210台/年更新 (約10,600台/50年)

- ・全体更新から部分更新・修繕へ移行すれば、超電導変圧器としての市場は大幅に縮小
- －オーバーホールによる取替え時期の長期延伸
- －ガス分析結果による不良変圧器のみの取替え



最大電力と20MVA級変圧器台数

全用途

- 2MVA以上油入変圧器(超電導変圧器の適用が可能と想定)のH21～H23年度生産実績
数量：約1,600台/年、金額：700億円
- 今回開発対象20MVA相当(10MVA以上100MVA未満：平均容量23MVA)の生産実績
数量：約 500台/年、金額：300億円

	数量(台)			容量(MVA)			平均容量(MVA/台)	金額(百万円)		
	H21	H22	H23	H21	H22	H23		H21	H22	H23
2,001MVA以上 10MVA未満	1,050	973	1,087	4,551	4,278	4,940	4	13,163	11,932	13,836
10MVA以上 100MVA未満	656	562	480	15,374	12,488	11,617	23	34,402	30,738	29,268
100MVA以上	155	104	73	52,968	38,755	23,065	346	51,220	38,148	27,042
計	1,861	1,639	1,640	72,893	55,521	39,622	—	98,785	80,818	70,146

(経済産業省生産動態統計より、静止電気機械器具・変圧器・非標準変圧器・油入り変圧器を抜粋)

実用化の見通し(3. ガス絶縁変圧器代替)

導入実績 (ガスTr)

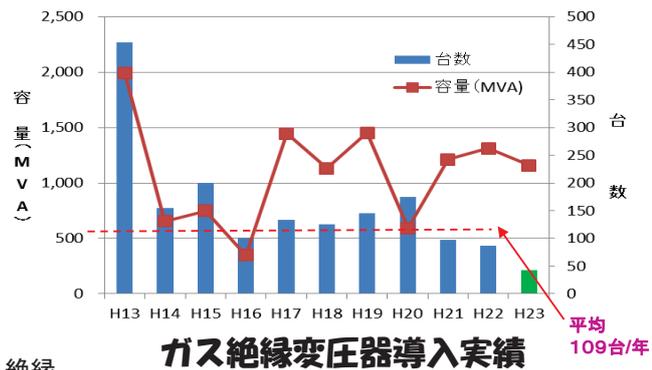
○ H14～H23の過去10ヶ年の平均導入実績
109台/年、10.5MVA/台

納入先

○ H23年度導入43台の主な納入先
電力30%、民需・電鉄・官公需51%

○ 防災(火災予防)、コンパクト、環境性などガス絶縁変圧器の特長からの具体的な納入先

- ・ 地下やトンネル及び高架下など、電鉄向けの受電用、き電用、所内電源用
- ・ ビル、地下街、病院、学校、空港、展示場、競技場など人がたくさん集まる施設の受電用
- ・ 上下水道施設など油流出による環境汚染を回避したい施設の受電用
- ・ 石油精製など防災が必要な施設の受電用
- ・ 高い地価や敷地が狭い配電用/受電用変電所



ガス絶縁変圧器導入実績



ガス絶縁変圧器納入先

電気日日新聞
平成24年8月28日号より

実用化の見通し(4. 実用化に向けた課題1)

本プロジェクトで20MVA級変圧器の成立性は見通せたが、実用化には高性能化、長期信頼性等の技術が必要(低コスト化は各項目に共通であり、特に重要なもののみ記載)

技術開発項目	技術レベル・成果	実用化に向けた課題
線材開発	・5mm幅3分割、 $I_c=50A@65K&0.01T$ 、100m級線材 ・線材安定製造、細線化	・線材の高性能化、低コスト化 ・20分割化技術の確立による低損失化 ・線材品質の均一化、安定製造
冷却システム技術	・保守性能に優れ、小型で高効率な圧縮機(断熱効率 $\geq 65\%$)及び高効率膨張機(同効率 $\geq 65\%$) ・システム性能(2kW@65K、COP $\geq 0.06@80K$)	・長期信頼性検証 ・冷凍効率向上 ・メンテナンスフリー化(循環装置等)
巻線技術	・2kA級巻線 ・3分割線材による低損失巻線 ・耐短絡強度巻線(20MVA級変圧器%Z15%相当)	・巻線の低コスト化 - 多並列円板巻線均流化技術
限流機能付加技術	・400kVA単相変圧器モデル検証(過大電流を定格電流の3倍以下に限流)	・大容量化(20MVA級、分割線) ・系統連系検証(関連保護装置等との協調) ・機能拡大(ケーブルとの組み合わせ等)
2MVA級システム技術	・66kV/6.9kV-2MVA級超電導変圧器モデルの検証 ・20MVA級超電導変圧器の設計	・大容量化 ・系統連系検証、長期信頼性 ・電圧調整機能(周辺機器との協調対策含む) ・保冷容器の低コスト化、信頼性向上

実用化の見通し(5. 実用化に向けた課題2)

超電導変圧器の実用化に向けた課題を変圧器用途別で見ると、**産業用の受電用変圧器の課題が最も少なく**低コスト化と長期信頼性のため、今回の技術開発の延長で対応可能であり、**早期の実用化が見込める。**

一方、**電力用は、長期信頼性の検証に加え電圧調整機能開発等の課題もあり、産業用の超電導変圧器技術開発後に実用化に取り組む。**

用途	仕様例	主なニーズ箇所	課題							
			市場	低コスト化	コンパクト化	長期信頼性	電圧調整	系統連係	高電圧大容量	計
電力用	配電用変圧器	66/6kV 20MVA	地下式又は都市部変電所	●		●	●	●		4●
	系統用変圧器	220/66kV 300MVA	地下式又は都市部変電所	●		●	●	●	●	5●
	昇圧用変圧器(大型)	22/220kV 300MVA	地下発電所	●		●		●	●	4●
	昇圧用変圧器(小型)	0.69/33kV 3VA	風力用		(冷凍機含む)	●		●		4●
	直流変換用変圧器	500/250kV、872MVA	—	●	●	●		●	●	5●
産業用	受電用変圧器	66/6kV 10MVA	地下、高負荷率変電所	●		●				2●
	大電流用変圧器	33/1.2 100MVA	—	●	●	●			●	4●
	半導体電力変換装置用変圧器	33/1.2 100MVA	—	●	●	●			●	4●
	電鉄用(き電用)変圧器	66/6kV 10MVA	都市部	●		●				2●
	車両用変圧器	25/1.2kV 4MVA	新幹線用		(冷凍機含む)	●	●	●		3●

実用化の見通し(6. 波及効果 冷却システム)

- 超電導変圧器の冷却システムは電力用に加え、**産業用**や**科学分野**でも貢献

分野	2005	2010	2020	～
電力分野	・配電用変圧器 ・系統用変圧器 ・超電導ケーブル等	冷却の要素技術、2MVA変圧器	容量拡大、低コスト化、信頼性	段階的に 実用化
産業分野	・LNGの液化(BOGの液化回収など) ・石油ガス・希ガスの極低温蒸留分離		大容量化、低コスト化、高効率化 信頼性検証、蒸留プロセスとの融合	小規模から 実用化
科学分野	スペースシャトル コールドパネル		大容量化、低コスト化 信頼性検証、低温度化	実用化



2 kW級冷凍機(2013年販売開始)

- 分散型(小型)極低温蒸留装置における高効率な冷熱源の提供



石油ガス・希ガスの極低温蒸留分離装置

- 液体窒素循環の代替。低温度化と循環サイクルによる省エネ化

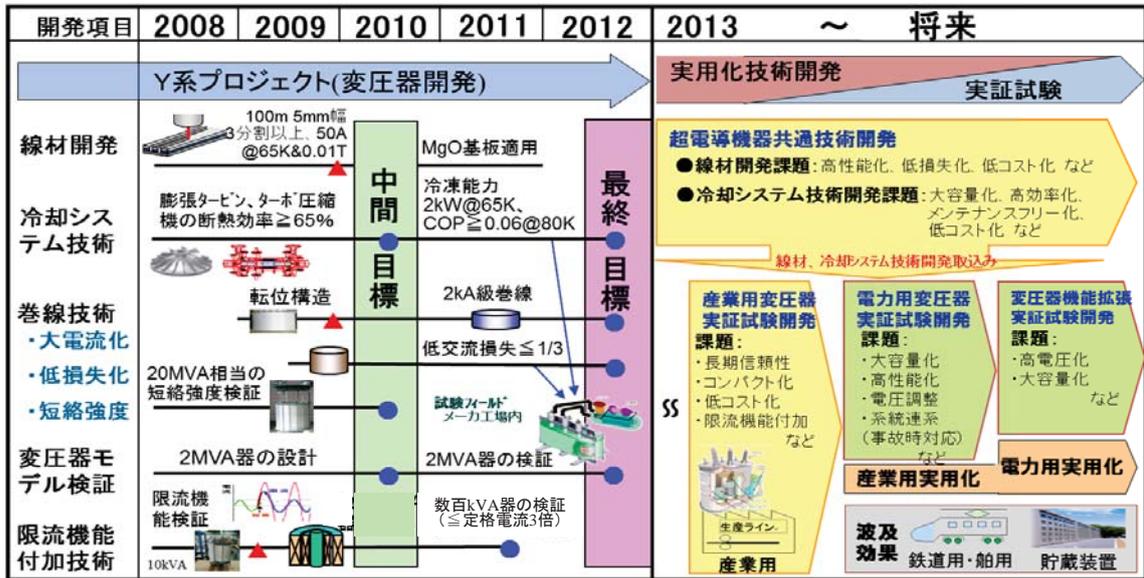


スペースシャトル
コールドパネル冷媒供給

実用化の見通し(7. シナリオ)

実用化に向けた課題は段階的に開発

- 超電導機器共通の冷却システムや線材の技術開発
- これらを見極め、**ガス絶縁変圧器代替等**、早期実用化が見込める産業用変圧器の技術開発
- 低コスト化、高性能化等の20MVA級電力用変圧器の技術開発
- 高電圧・大容量の系統用変圧器の技術開発



実用化の見通し(8. 次期開発)

- コスト低減、海外の電力市場展開に向けた**限流機能検証**
- 産業用超電導変圧器の実用化を目指した**実証試験**

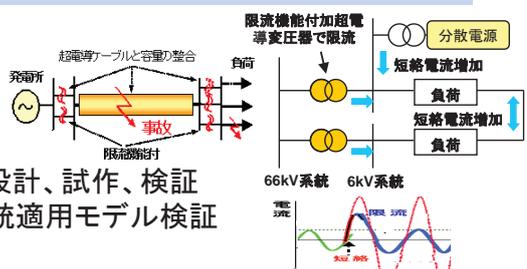
テーマ1: 数MVA級限流機能付加変圧器での限流機能検証

課題

- 三相変圧器・分割線での検証
- 系統安定化効果確認
- ケーブルと変圧器との協調検討

実施内容

- 数MVA級限流機能付加変圧器設計、試作、検証
- ケーブルと変圧器を組合せた系統適用モデル検証



テーマ2: 10MVA級限流機能付加超電導変圧器信頼性検証

課題

- 長期信頼性
- コスト低減
- 系統連係検証
- 高効率、コンパクト化

実施内容

- 10MVA級限流機能付加超電導変圧器設計、試作、検証



(参考) 九州大学へ移設した2MVA級超電導変圧器、冷却システムを活用し、長期信頼性の検証等を計画

公開セッション

END