

「超電導変圧器の研究開発」

(中間評価)

(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

九州電力株式会社

林 秀美

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

2010年 9月1日

複製を禁ず

1/44

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

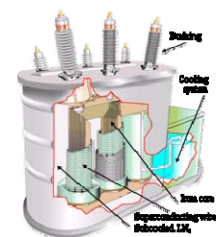
事業の目標、内容

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作製技術開発、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、66/6kV 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100kVA級変圧器で超電導線材を利用した限流機能**を検証する。


内容

1. 超電導変圧器用巻線技術開発
2. 冷却システム技術開発
3. 限流機能付加技術開発
4. 2MVA級変圧器モデル検証
5. 変圧器対応線材安定製造技術の開発



Y系超電導変圧器の特長・必要性

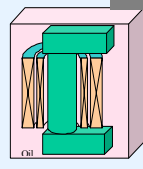
油入変圧器



<課題>

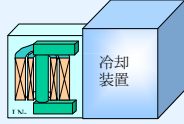
- ・不燃、難燃化
- ・省エネルギー
- ・小型・軽量
- ・保守性 (オイルレス) など

Bi系線材



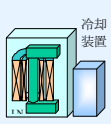
油入変圧器

高電流密度



Bi系変圧器

Y系線材

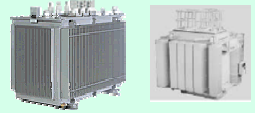


Y系変圧器

<特長>

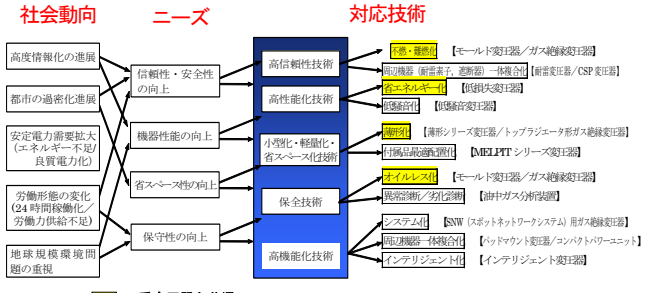
- ・高効率
- ・コンパクト
- ・軽量
- ・省設置スペース
- ・不燃

・モールド、アモルファス、シリコン油など



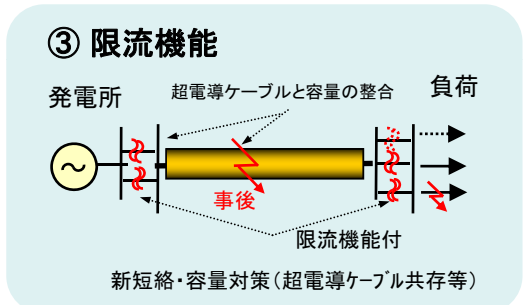
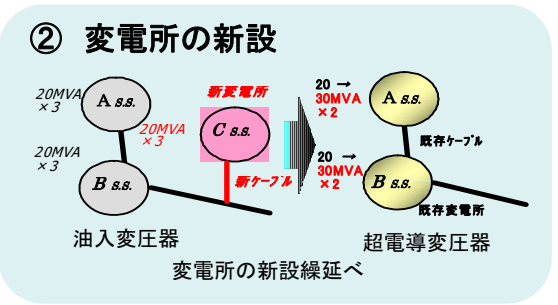
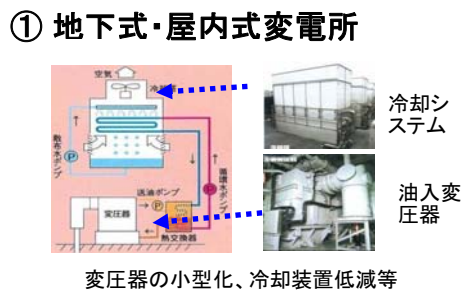
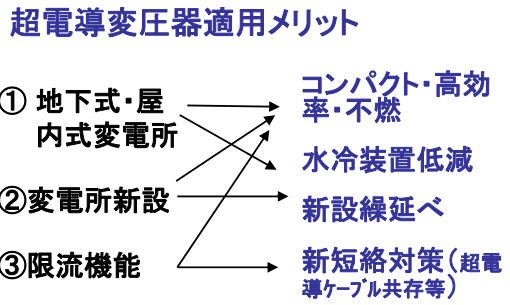
【課題】

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

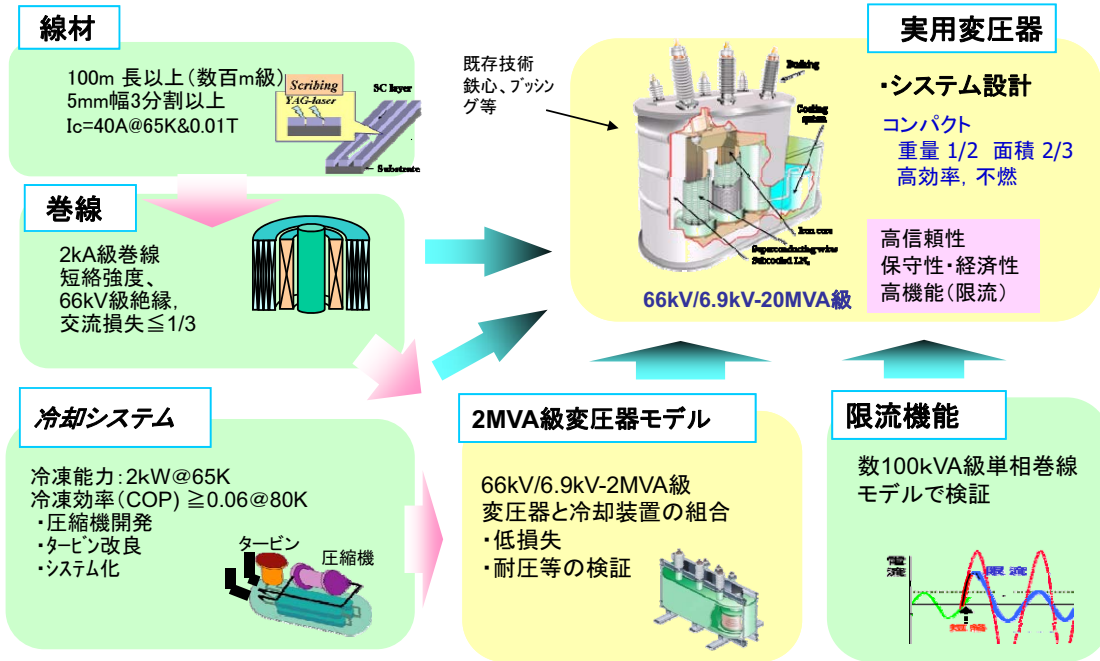


配電用変圧器対応技術動向
(出典: 電気学会技術報告1023号)

超電導変圧器の適用メリット



事業の目標、内容



研究開発のスケジュール (情勢変化対応含む)

情勢変化

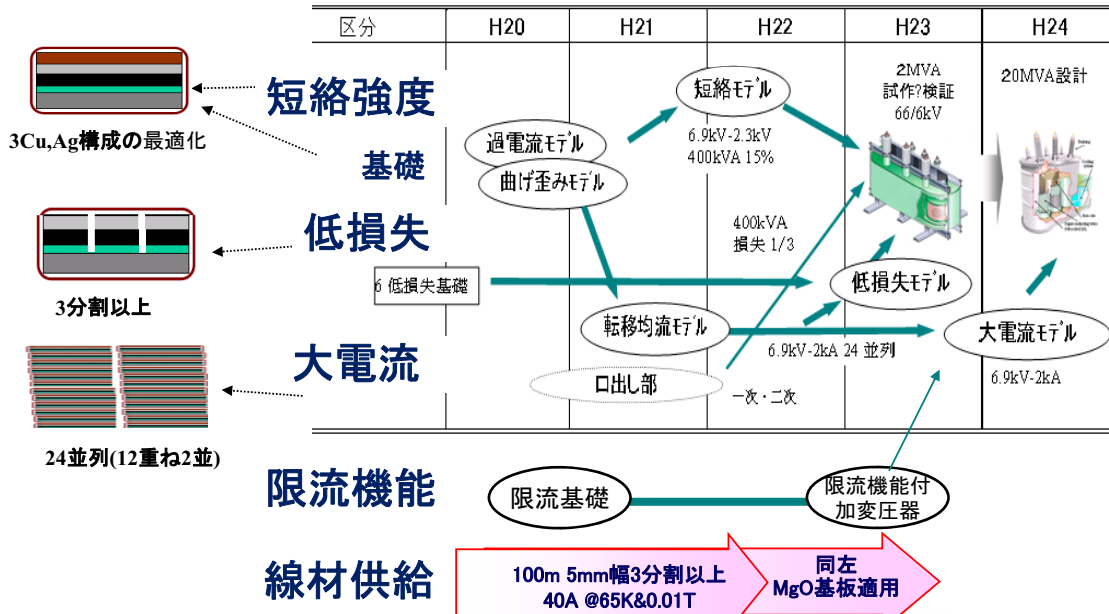
- ・変更① MgO基板線材供給を一部繰延べ ← 安価な中間層 (MgO) の適用性確認
- ・変更② 数100kVA級モデルの試作を繰上げ ← 限流モデル変圧器で限流機能確認

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、安定化銅等	安定加工 レーザ、エッチング					
巻線技術	巻線基礎特性試験	転位巻線の検証	口出部低損失 低損失巻線検証	100m 5mm幅3分割以上、40A @65K&0.01T ・短絡強度 15%相当	2kA級巻線モデル		・低交流損失 巻線 ≤ 1/3 ・2kA級巻線
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	・膨張タービン 断熱効率 ≥ 65% ・圧縮機: 断熱効率 ≥ 65%	無揺動冷凍機		・冷凍能力: 2kW@65K ・冷凍効率 (COP): 0.06 @80K
限流機能付加技術			4巻線モデルの試作・特性試験	・限流モデルで限流検証	単相巻線モデルの試作・試験 数100kVA級		・数100kVAモデル検証 ・設計法確立
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	・2MVA級変圧器モデル設計	変圧器モデル試作 巻線・鉄心・プッシング等 システム検証 冷却システムとの組合試験		・2MVAモデル検証 ・20MVA設計

(注) 後期に重電メーカーを含む公募を計画中

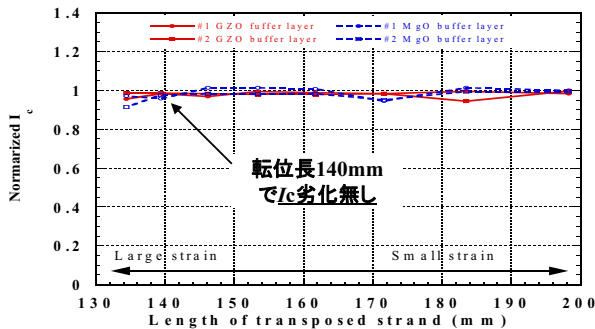
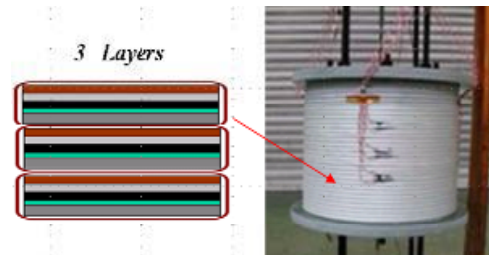
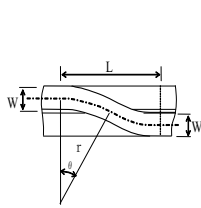
巻線技術開発(1. 巻線技術の相関)

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

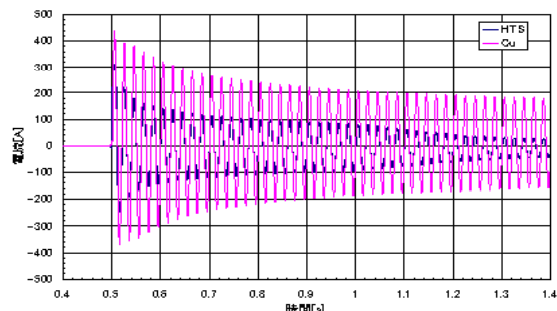


巻線技術開発(2. 大電流化・基礎技術)

- ・ 転位構造の曲げ特性確認 → 転位長140mmで I_c 劣化無く良好
- ・ 3重ね(転位構造)巻線の過電流特性確認 → I_c 劣化無く良好



曲歪み特性試験結果(2並列)



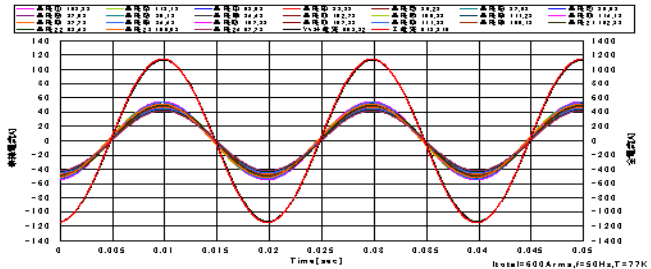
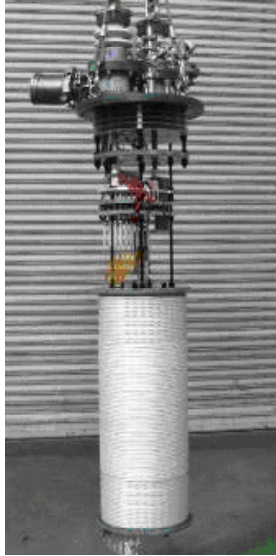
過電流試験結果(3重ね巻線)

巻線技術開発 (2. 大電流化: 転位均流の検証)

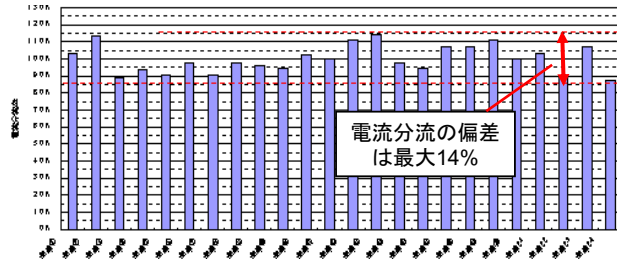
- 24並列導体(12重×2並列)での素線間の電流分流の偏差は最大14%で良好。
→ 2kA級大電流モデル(H24)に向けて、更に低減予定。

目標達成

線様lc 100A以上@77K、55m×24本(1320m)
巻線モデル: φ350mm、12重×2並列



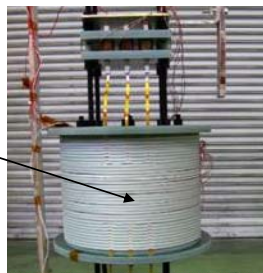
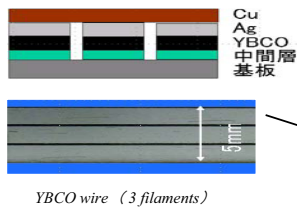
素線電流と全電流の波形



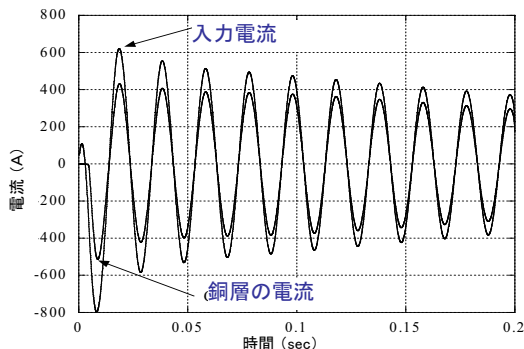
素線間電流分流率

巻線技術開発 (3. 低損失化: 細線化線材)

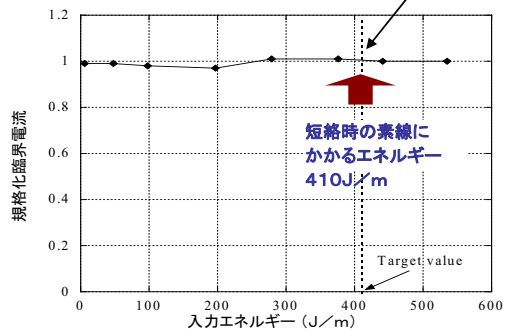
- 3分割線材による巻線の電流分流、過電流特性は良好。



※ 素線にかかるエネルギー
20MVA実用変圧器の短絡事故で温度上昇を195K以内にするため、Y系線材(銅0.1mm)にかかるエネルギー410J/m



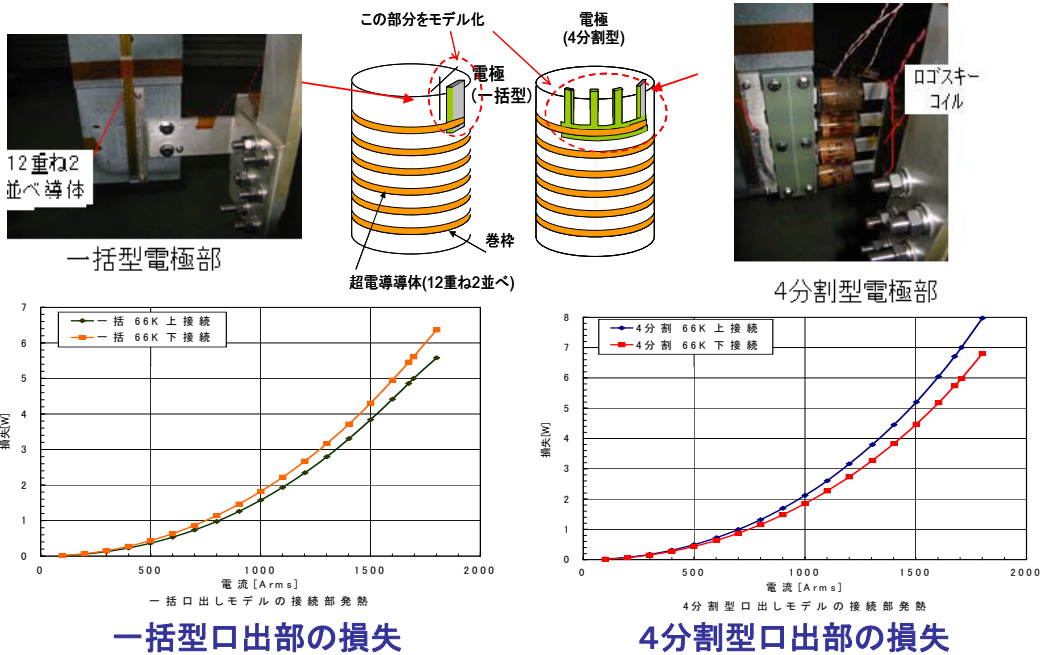
細線化線材による巻線の電流分布



過電流試験での規格化したエネルギー特性

巻線技術開発(3. 低損失化：巻線口出し部)

- 一括型と4分割型の口出部の損失試験結果は殆ど同等の損失
- そのため、製作上有利な4分割型を適用。



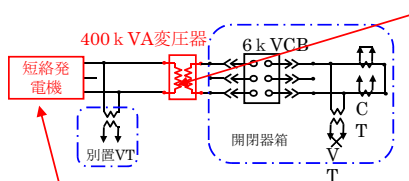
巻線技術開発(4. 耐短絡強度：試験条件)

- 20MVA実用変圧器と素線当りの短絡特性が同等の400kVAモデル短絡特性を検証

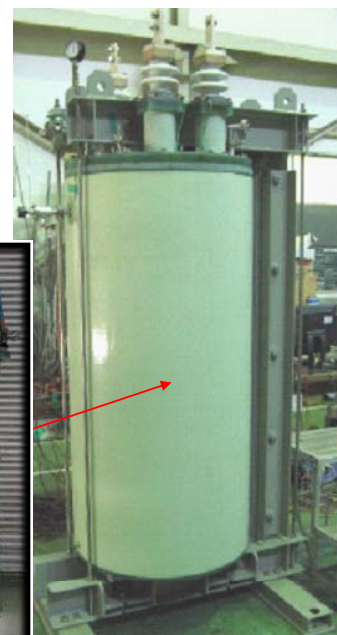
短絡モデル巻線

	一次巻線	二次巻線
導体構成	1重ね	3重ね
巻数	96ターン×6層	96ターン×2層
巻線長	1,000m	700m

短絡試験回路



短絡モデル(高さ2.3m 直径1m)



	短絡モデル	20MVA変圧器
相数、周波数	単相、60Hz	三相、60Hz
定格容量	400kVA	20MVA
定格電圧(一次/二次)	6.9kV/2.3kV	66kV/6.9kV
定格電流(一次/二次)	58A/174A	175A/1673A
%IZ	15%	15%
短絡電流定格電圧印加(一次/二次)	387A /1160A	1167A /11153A
素線並列本数	1本/3本	3本/24本
1本当り短絡電流定格電圧印加(一次/二次)	387A /387A	389A /465A



短絡発電機

同等

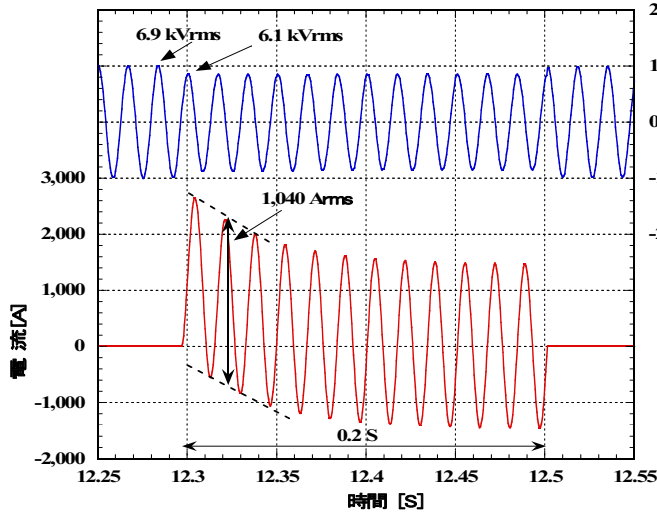
短絡モデルの巻線

巻線技術開発(4. 耐短絡強度: 試験結果)

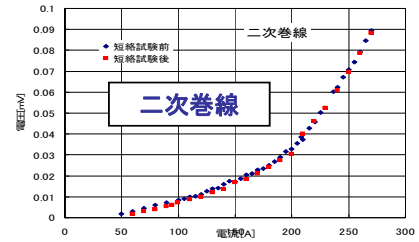
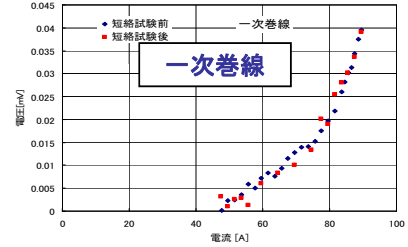
- 短絡電流1,040A(定格電流の6倍)、0.2秒間通電。試験後巻線の健全性(前後は同特性)により、**耐短絡強度を確認**。

目標達成

<プレス発表>



短絡試験時の電圧・電流波形

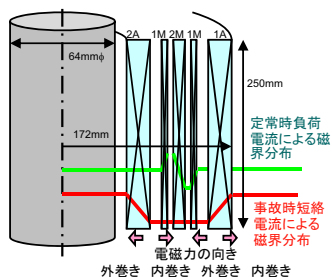
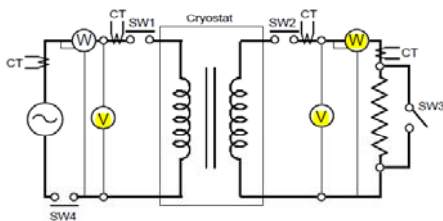


短絡試験前後の巻線特性

限流機能付加技術(1. 限流モデル変圧器)

- 目標 ① 限流モデル変圧器で限流機能確認(済)
② 限流機能付加変圧器で限流機能検証(H22-23)、実用機の設計検討(H23)
- 限流モデル変圧器を試作(10kVA)

九州大学での試験状況



限流モデル変圧器諸元

層数	6
ターン数	50ターン× 6層=300
ターン電圧	1.31V
電圧	393.6 V
電流	20A
負荷	20Ω



限流モデル変圧器(344mmφ)

限流機能付加技術（2. 限流モデル変圧器の試験1）

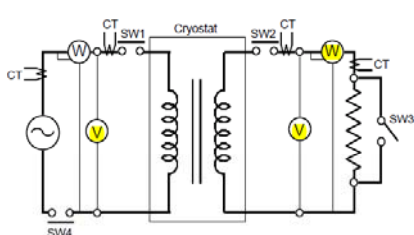
- ・ **限流機能を確認** $V1=325V$ 、短絡電流: $1200A \rightarrow$ 一次巻線電流: $43A$ (限流効果: 約 $1/30$)
- ・ 試験結果の解析で、発生した常電導転移長が $40\sim 50\%$ を確認。

目標達成

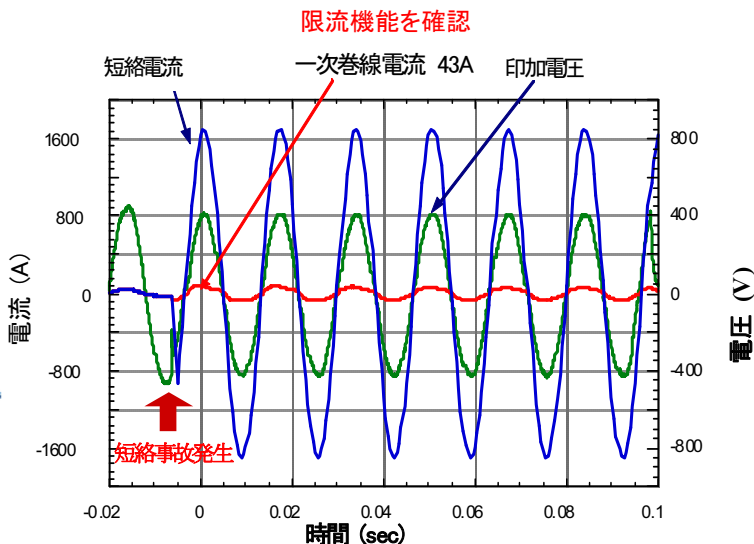
<プレス発表>

<限流機能の試験項目>

- ・ 各巻線のV-I特性試験
- ・ 無負荷試験(鉄損)
- ・ 各巻線間漏れリアクタンス
- ・ **短絡試験(限流効果)**
- ・ 現象解析(主巻線の常電導転移長等)

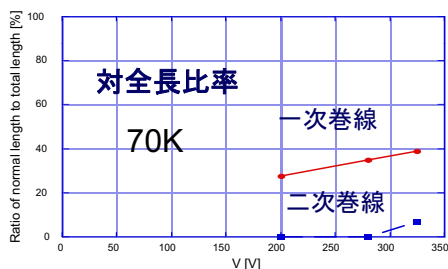
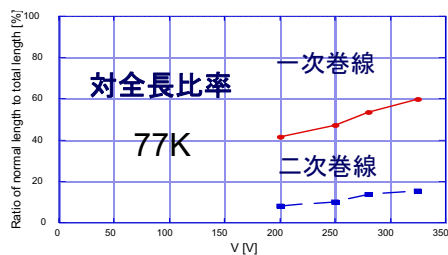


試験回路

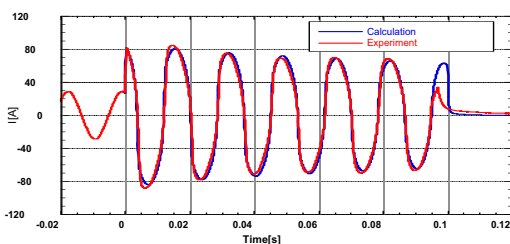


限流機能付加技術（2. 限流モデル変圧器の試験2）

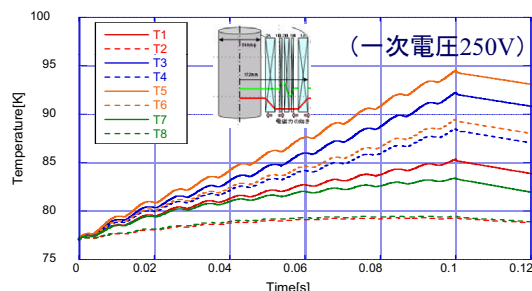
- ・ 限流機能試験結果で、発生した常電導転移長が $40\sim 50\%$ を確認。



発生した常電導転移長 (試験)



短絡時の一次巻線電流(試験・計算)



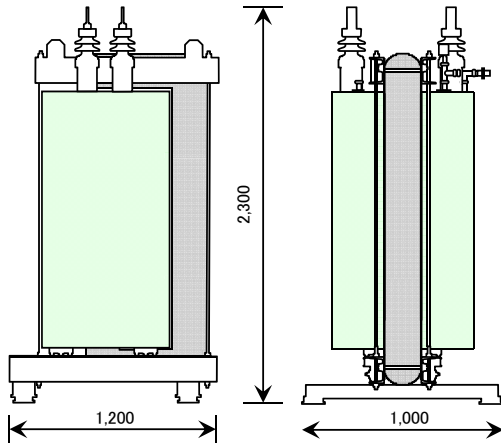
一次巻線各部温度 (計算)

限流機能付加技術 (3. 数100kVA級モデル検討)

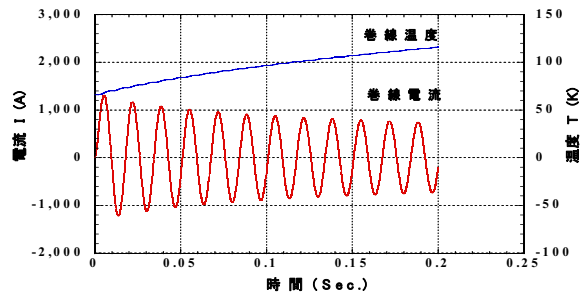
- 限流モデルの試験成果に基づき、限流機能付加変圧器のモデル化・解析中(安定化構成の最適化等のシミュレーション解析)
- 400kVA級単相変圧器モデルを設計検討中

400kVA級限流機能付加変圧器の諸元(案)

項目	仕様
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%
導体構成、ターン数	1枚/3枚、576/192
巻線数	6層/2層



400kVA級限流機能付加変圧器(案)

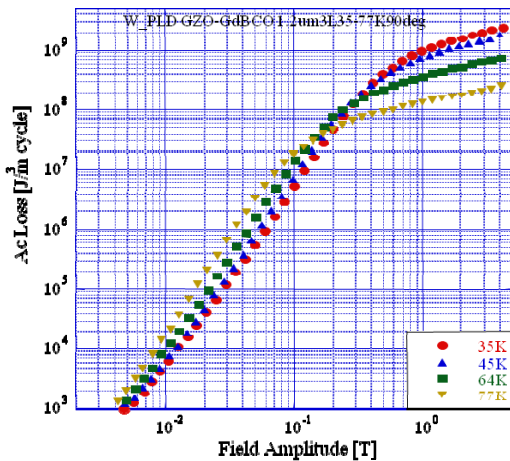


限流動作の解析例(電流・温度上昇)

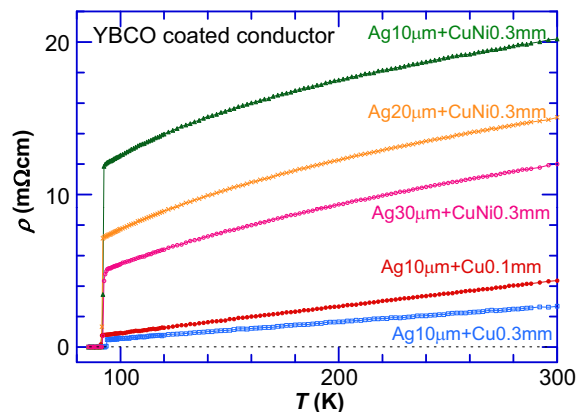
限流機能付加技術 (4. 限流効果の評価)

限流機能設計のため線材特性の評価

- 線材の保護金属層の熱特性(抵抗率等)の測定
- 線材の交流損失の磁界温度特性の測定



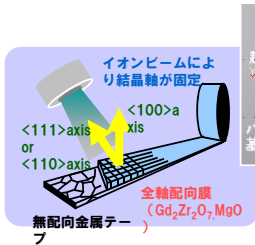
線材磁化損失の温度依存性測定(九大)



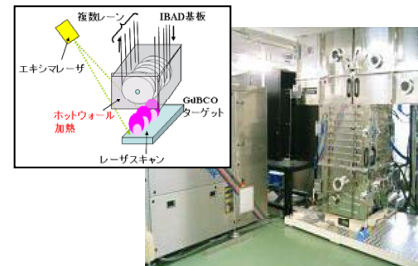
線材抵抗率の熱的特性測定(岩手大)

線材安定製造技術(1. PLD線材)

- ・ 目標は、細線化含め(100m・3分割、40A@66K,0.01T)
- ・ 歩留は現在45%と低いが、ホットウォール加熱式など歩留向上方策を対応中。



PLD線材の製造



ホットウォール加熱式PLD装置

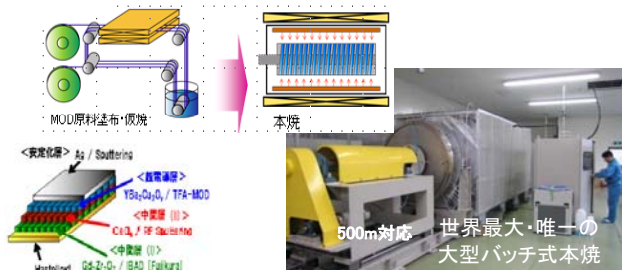
歩留の推移

総長m	安定化材	30m単長		50m単長		100m単長	
		本数	歩留%	本数	歩留%	本数	歩留%
138	0.3mm Cu等	4	87.0	2	72.4	0	0
740	0.3mm Cu	20	81.1	11	74.3	4	54.0
1,838	0.3mm Cu	33	53.9	17	46.2	7	38.1
266	0.3mm Cu等	4	45.1	2	37.5	0	0
1,186	0.1mm Cu	34	86.0	18	75.9	8	67.4
4,168		95	68.4	50	60.0	19	45.6

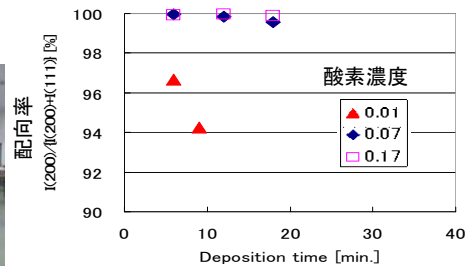
歩留(%)=[単長(m)×本数]/超電導線製作長(m)
 条件: Ic>100A/5mm かつ 仮想連続単長: 30m、50m、100m

線材安定製造技術(2. MOD線材)

- ・ 目標は、細線化含め(100m・3分割、40A@66K,0.01T)
- ・ 歩留は現在27%と低いが、酸素濃度調整など歩留向上方策を対応中。



MOD線材の製造



異なる酸素濃度で成膜したCeO₂中間層面の配向率

歩留の推移

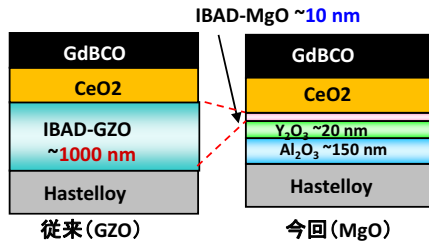
膜長m	安定化材	30m単長		50m単長		100m単長	
		本数	歩留(%)	本数	歩留(%)	本数	歩留(%)
2,329*	銀15μm	54	69.5	29	62.2	7	30.0
190	銀30μm	4	63.2	1	26.3	0	0
45	銀30μm	1	66.7	0	0	0	0
75	銀30μm	2	80.0	1	66.7	0	0
		61	69.3	31	58.7	7	26.5

歩留(%)=[単長(m)×本数]/超電導線製作長(m)
 条件: Ic>100A/5mm かつ 仮想連続単長: 30m、50m、100m

線材安定製造技術(3. IBAD-MgO基板の適用)

- ・ MgO基板は薄くても高配向(膜厚~1/100)を示し、コスト低減(線速~100倍)に有効。
- ・ MgO基板の製造技術は確立、巻線の基礎技術検証は良好(過電流、曲歪み、細線化)。
- ・ 今後、巻線技術にMgO基板を適用(22年2/18 NEDO技術委員会了承)。

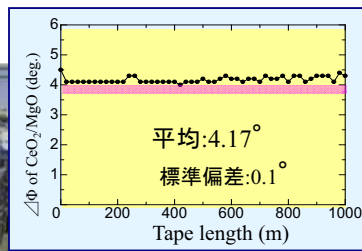
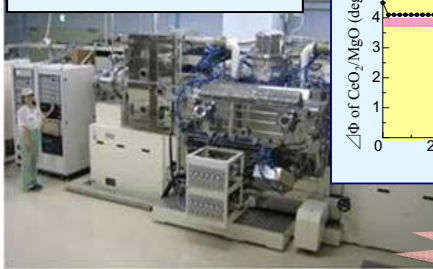
追加成果



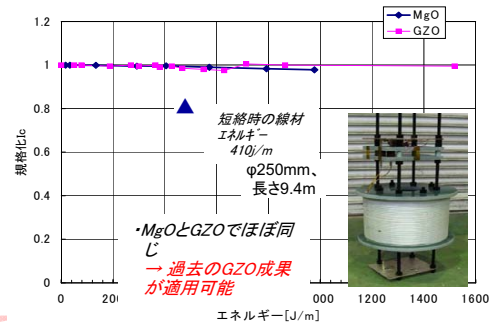
巻線技術は良好<今回検証>

- ・ 過電流特性 : 短絡電流通電による I_c 劣化無
- ・ 曲歪み特性 : 転位部を模擬した曲げでの I_c 劣化無
- ・ 細線化線材の素線間抵抗 1 MΩ/cm (GZO基板と同等)

線材製造技術を確立



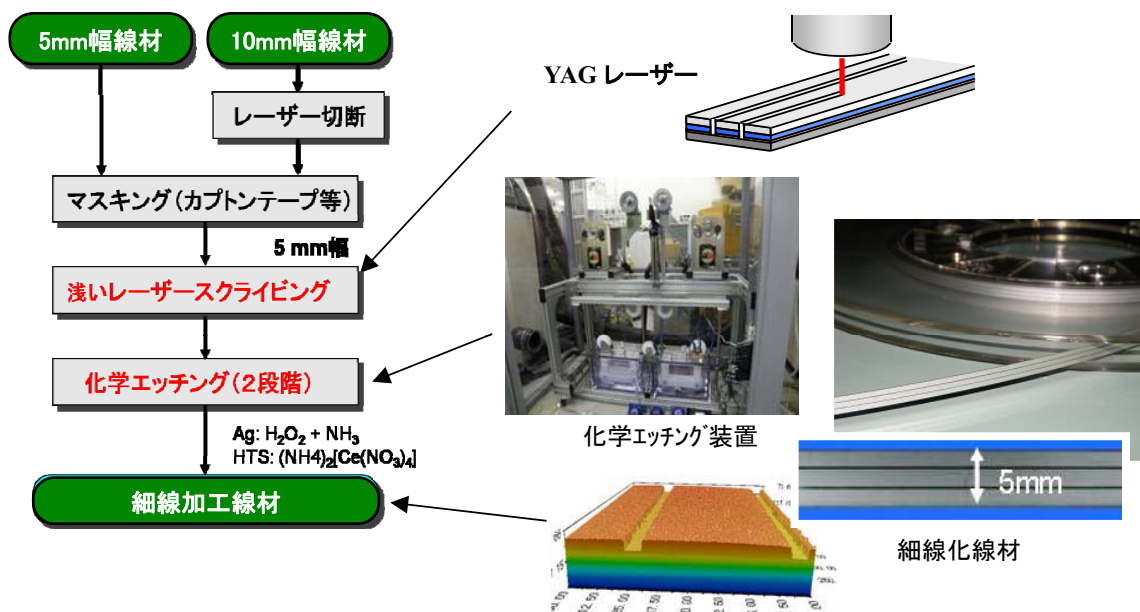
1 km 中間層の作製に成功



過電流特性の試験結果

線材安定製造技術開発(1. 線材加工の概要)

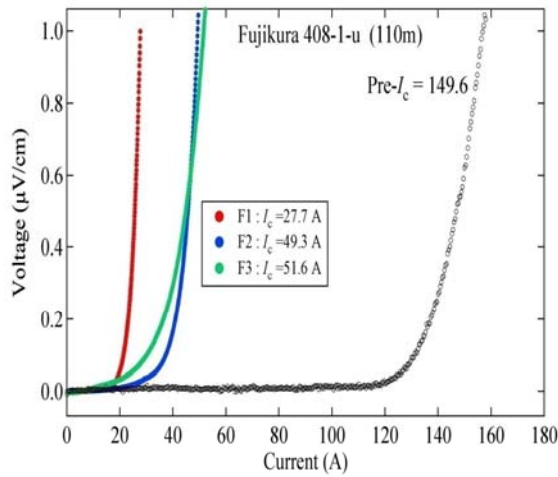
- ・ 目標は、線材(100m、5mm幅・3分割、40A@66K,0.01T)の安定な細線化技術開発。
- ・ 細線化は、切断、レーザースクライビング、化学エッチング等により、劣化低減と歩留向上。



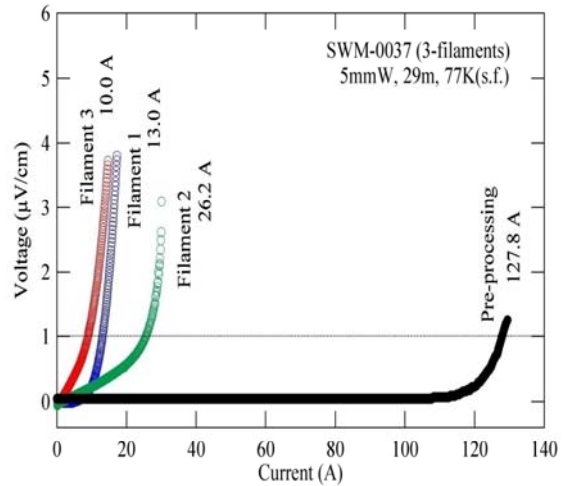
線材安定製造技術開発(2. 細線化, PLD線材・MOD線材)

目標達成

- PLD線材の細線化(100m・3分割): $I_c 133A (\geq 40A@66K, 0.01T)$
- MOD線材の細線化(30m・3分割): $I_c 48A@66K \rightarrow 100m長を年度末に達成見込$



PLD線材細線化(30m・3分割)後のIc測定
 $27.7A \times 3 = 83A@77K \rightarrow 133A@66K, 0.01T$
 総Icの減少 150A \rightarrow 129A (▲14%)



MOD線材細線化(30m・3分割)後のIc測定
 $10A \times 3 = 30A@77K \rightarrow 48A@66K, 0.01T$
 総Ic 128A \rightarrow 49A (▲62%)

線材安定製造技術開発(2. 細線化の歩留, 被覆処理)

- 細線化工程の歩留率は57から67%に向上(洗浄工程追加)。今後も引き続き向上予定。
- 巻線用には、絶縁・被覆処理が必要。その工程でIc低下率が約5%と小さい。

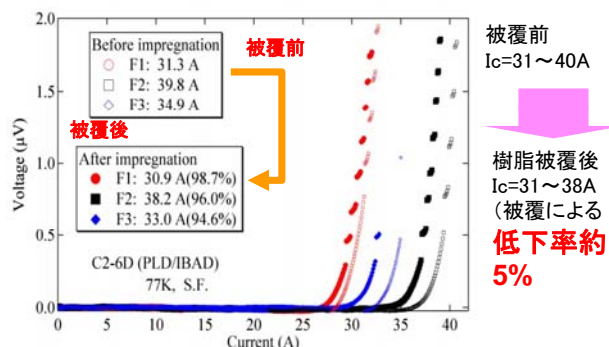
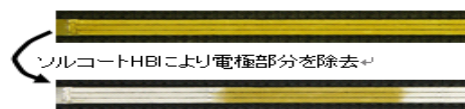
線材細線化の歩留り

歩留の定義: 最小Ic $\times 3 > 40A@66K$, フィラメント間抵抗率 $0.1M\Omega/cm$

洗浄工程	線材番号	長さ(m)	Ic(A)@77K			最小Ic \times 分割数(A)	フィラメント間抵抗率(M Ω/cm)	歩留率(%)
			加工前	加工後	加工後合計			
無 10~30m	#1	30	118	30~36	151	90	295	57
	#2	19	128	31~46	150	93	0	
	#3	29	128	10~26	160	30	0	
	#4	15	140	40~44	158	120	5.0	
	#5	30	155	31~53	188	93	2.0	
	#6	30	175	33~73	208	99	0	
	#7	19	136	31~43	158	93	0.1	
有 100m	#8	120	105	17~34	228	53	1.0	67
	#9	120	150	4~12	273	11	0.8	
	#10	110	150	28~52	113	83	0.8	

線材の樹脂被覆処理

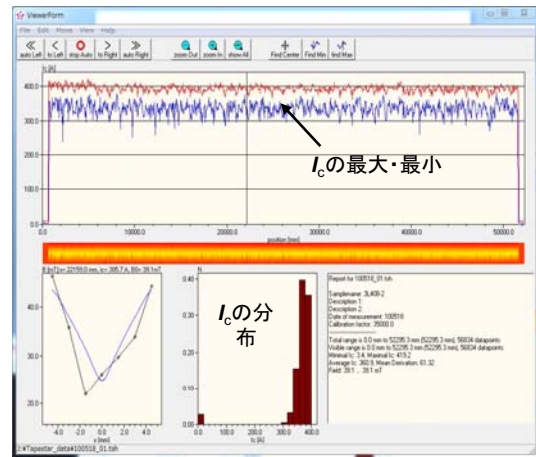
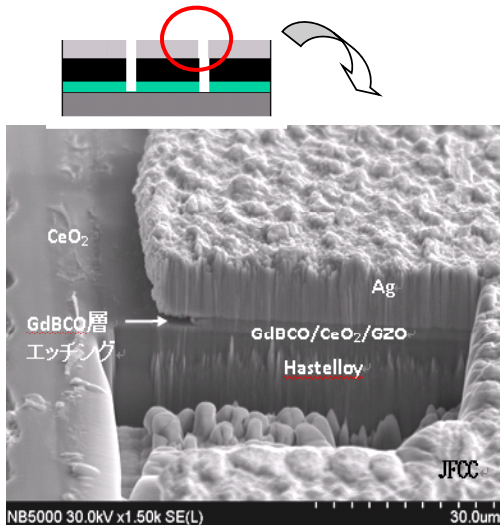
被覆厚さ15.0~18.5 μm 表面状態良好



樹脂被覆後のIc測定結果

線材安定製造技術開発(3. 細線化の評価)

- ・ 走査型電子顕微鏡(SEM)で加工面を測定(JFCC)し、加工手法にフィードバック
- ・ ホール素子法(Tape star)による I_c 評価(長手方向、幅方向、分布)

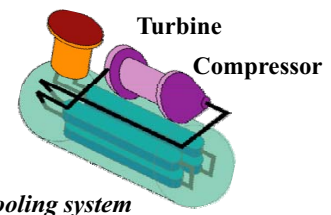


走査型電子顕微鏡 (SEM) での加工面測定

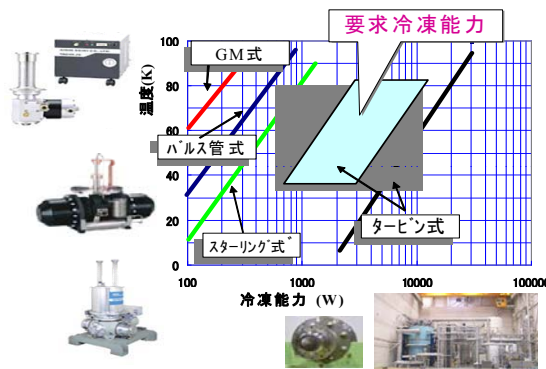
ホール素子法による I_c の非接触評価例

冷却システム 開発(1. ネオン冷却システムの構成)

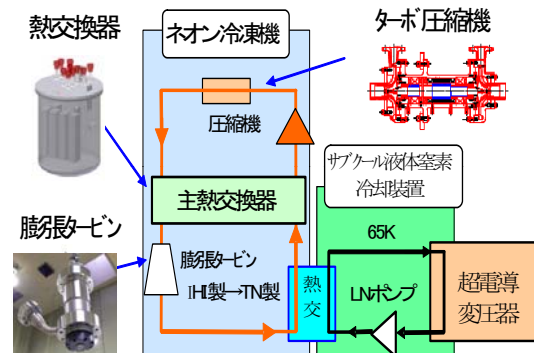
- ・ 超電導変圧器用の高効率、小型、長寿命のシステムを開発。
- ・ 目標 : 冷凍能力2kW@65K、冷凍効率(COP) $\geq 0.06@80K$
 - ・ 長寿命・メンテ容易
 - ・ タービン方式、摺動部レス等
 - ・ 高効率・・・タービン、圧縮機の効率向上等
 - ・ 小型・・・熱交換器の小型化等



前プロジェクト「超電導応用基盤技術開発(第II期)」(平成15~19年度)



各方式の冷却システム

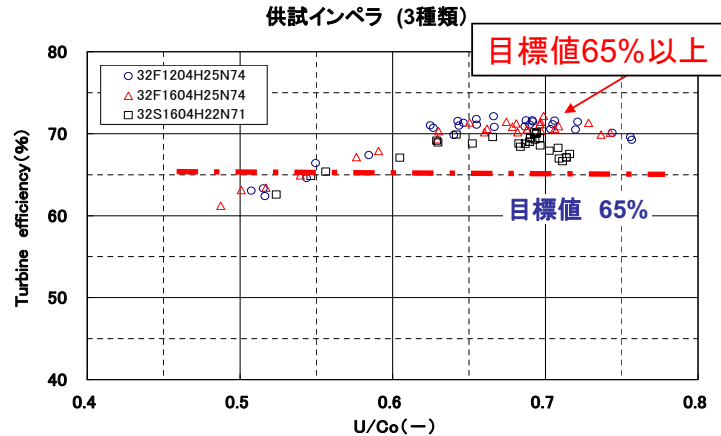
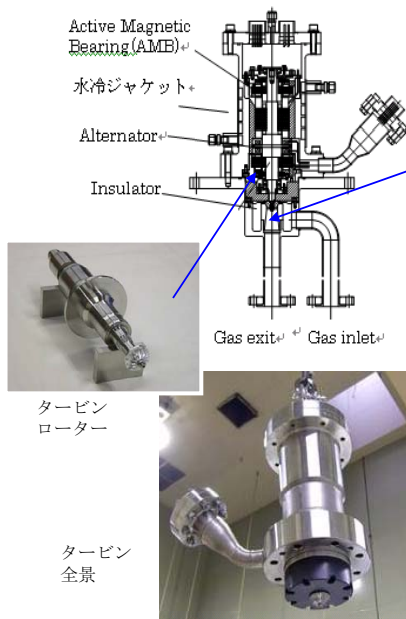


ネオン冷却システムの構成

冷却システム 開発(2. 膨張タービンの開発)

- 膨張タービン用3種類の供試インペラでの効率が**目標値65%以上を確認**。

目標達成

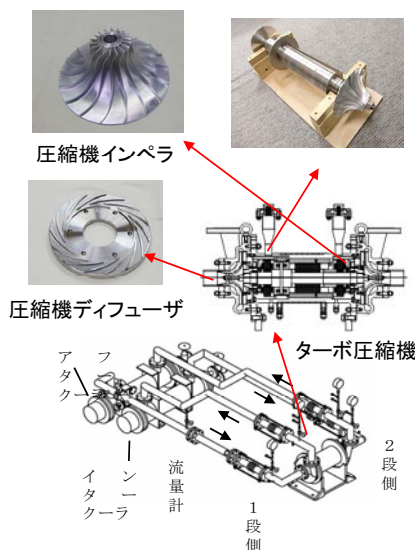


タービン効率の試験結果

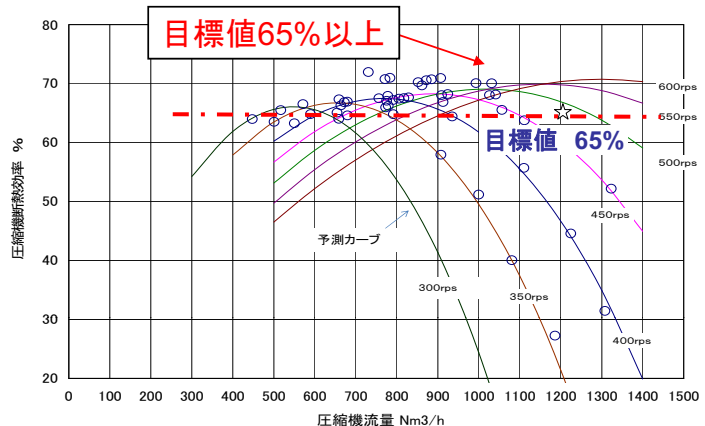
冷却システム 開発(3. ターボ圧縮機の開発)

- ターボ圧縮機の効率測定で、**目標値65%以上を確認**。

目標達成



- 小型化 → 高速・高効率モータ採用
- メンテ容易 → 低振動、5軸制御磁気軸受採用



圧縮機効率と流量の関係(流体:ネオン)

- システムとしては、ネオン冷却システムの理論モデルを開発し、COP0.067(目標0.06以上)を理論的に確認。

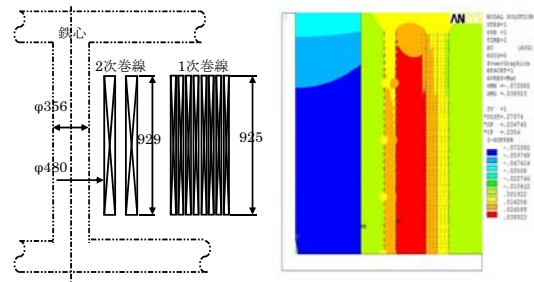
2MVA級変圧器モデル(設計検討)

設計方針

- ・20MVA変圧器相当 (電圧、鉄心、ブッシング等)
- ・巻線は2MVA級で20MVAと相関
- ・冷却システムは2kW級

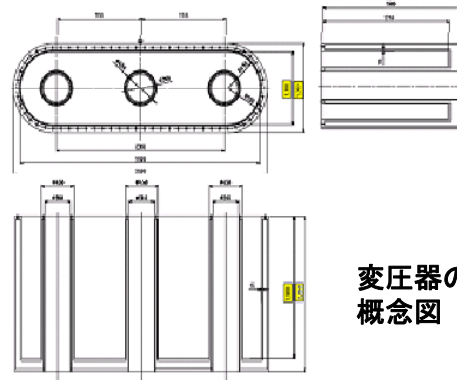
変圧器の諸元(対実用機比較)

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
鉄心重量	7.8ton	7.2ton



変圧器の巻線配置

磁界分布



変圧器の概念図

2MVA級変圧器モデル(試験検討)

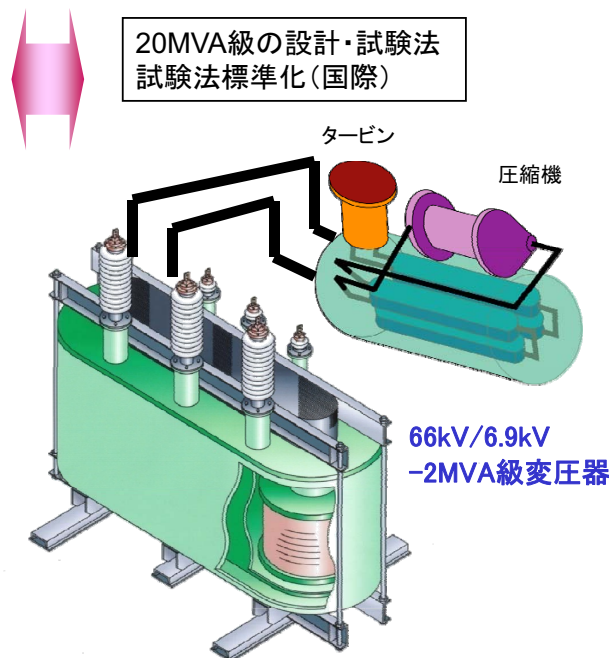
- ・66/6.9kV-2MVA級変圧器モデルのシステムを設計し、試験計画を整理。

目標達成

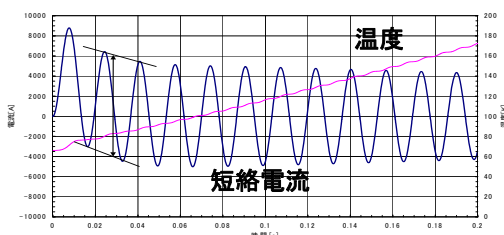
変圧器試験案

変圧器単体試験	絶縁抵抗* 巻線抵抗* 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 交流耐電圧(誘導/加圧) 雷インパルス
システム試験(冷却装置と組合)	冷却特性試験 定格通電試験 保護動作 損失測定等

20MVA級の設計・試験法
試験法標準化(国際)



66kV/6.9kV
-2MVA級変圧器



短絡電流と温度の解析例

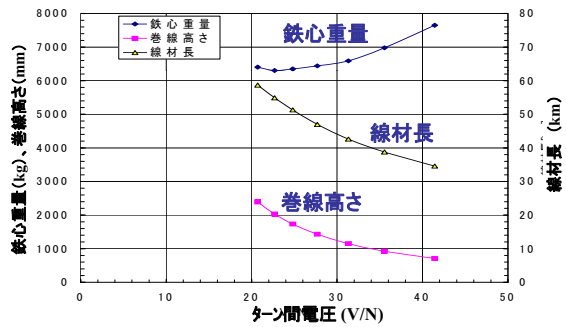
20MVA級実用変圧器(設計検討)

設計方針

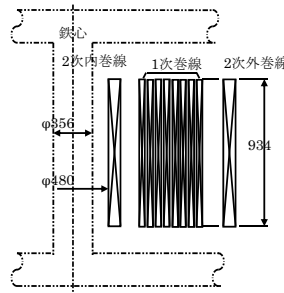
- 2MVA級の設計結果(実証後)と要素技術の開発成果を反映。
- 鉄損低減のため鉄心は室温に配置、巻線は絶縁面から円筒巻線
- 超電導変圧器の特徴であるコンパクト性、高効率性を活かす

変圧器の諸元

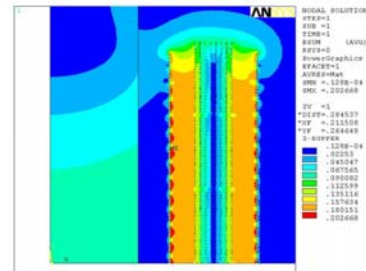
諸元	20MVA変圧器(実用器)
相数、結線	3φ、Y-Y
定格電圧	66kV/6.9kV
定格電流	175A/1674A
%インピーダンス	15%(20MVA基準)
巻線層数	8層/2層
ターン数	1033/108
ターン間電圧 V/N	36.9
導体構成	3並列/124並列
線材長	35.6km
鉄心重量	7.2ton



鉄心重量、巻線高さ及び鉄心重量、巻線高さ及び線材長のターン間電圧 (V/N) 依存性



変圧器の巻線配置



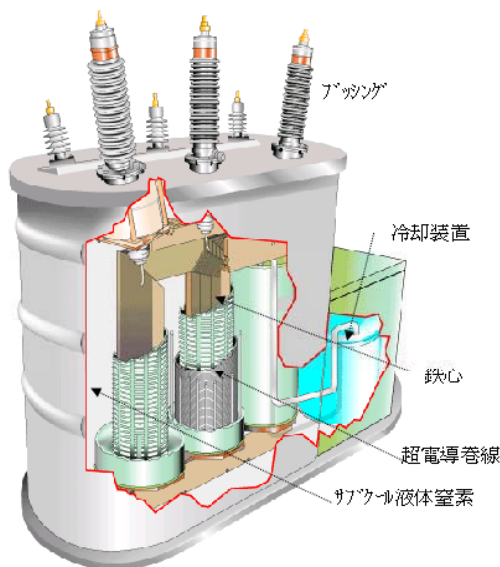
磁界分布

20MVA級実用変圧器(設計検討)

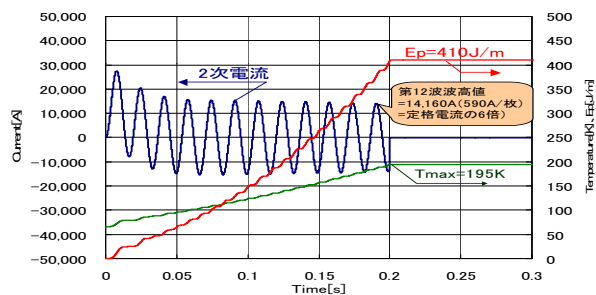
- 20MVA級変圧器の設計で高効率性、コンパクト、不燃性等を理論的に確認。

特性比較例(対油入変圧器)

	油入変圧器	YBCO 変圧器
線材	Cu	YBCO
冷却システム	油冷却	サブクール液体窒素(巻線) 室温(鉄心)
損失	100%	16%($\leq 1/6$)
銅損/交流損失	91%	3%
鉄損	9%	5%
熱侵入	—	8%
効率	99.4%	99.9%
重量	100%	54%(約 1/2)



20MVA, 3相 66 kV/6.9kV, 175A/1,674A, %インピーダンス7.5%(10MVA基準)



短絡電流解析結果(二次側電流、温度、単位長の発生エネルギー)

(3) 知的財産権、成果の普及

	H20	H21	H22	計
特許出願	0	4 ※1	0	4 件
論文(査読有)	1	5	0	6 件
論文(査読無)	1	7	2	10 件
研究発表・講演	11	32	15	58 件
表彰等	0	0	1 ※2	1 件
雑誌等への掲載	0	4	1 ※3	5 件
展示会等への出展	2	2	1	5 件

(注) ※1 21年特許「極低温冷凍装置及びその運転方法、太陽日酸」ほか

※2 22年9月2日に表彰予定

・電気学会 電力・エネルギー部門 研究・技術功労賞の受賞
「超電導技術の発展に貢献」

※3 22年8月19日に新聞発表(2件)

① 世界初のY(イトリウム)系超電導線材を用いた超電導変圧器の短絡性能を実証

② Y系超電導変圧器の巻線による限流機能の世界に先駆けて実証

・17社が報道

新聞記事：日経、読売、朝日、毎日、電気、産経、日経産業、日刊工業、日経産業、
熊本日日、電力時事通信

Web報道：日刊産業、鉄鋼、エコニュース、EETIMES、cybozu、jijicom

<参考> TNC(カメラ・取材)

受賞

新聞発表

(4) 成果の普及(展示等) 1/2

※平成21年11月9日
超電導Web21

※平成21年12月25日
冷凍REFRIGERATION)

※平成22年4月23日
低温レポート

※平成21年5月15日低温レポート

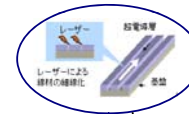
ISS2009 (つくば国際会議場)
平成21年11月2~4日

研究成果展示会 (九州電力総合研究所)
平成22年度5月19~20日

(1)-2 事業の目標と達成状況(国際的観点)

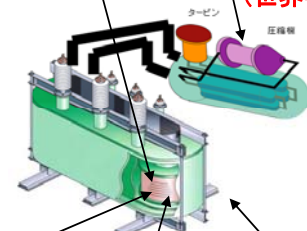
	最終目標	達成状況・意義
①巻線技術開発	○2kA級巻線技術の確立 ○巻線の低交流損失 ≤1/3(対無細線化線材)	○20MVA実用変圧器の短絡強度と大電流用の転位技術を確立(世界初)。
②冷却システム技術開発	○冷凍能力: 2kW@65K ○冷凍効率(COP): 0.06@80K	○ネオン冷却システム(世界初)で、冷却能力2kW@65K(既存技術の約3倍)で、高効率化(既存技術の約1.5倍)が見通せる技術を確立。
③限流機能付加技術開発	○数百kVA級限流機能付加変圧器による機能検証(過大電流を定格電流の3倍以下に抑制)	○400kVA限流機能付加変圧器(世界初)が見通せる技術を確立。
④線材安定製造技術の開発	○安定製造の向上(歩留向上)	○2MVA変圧器モデルに必要な細線化線材(世界初)安定製造技術を確立。
⑤2MVA級変圧器モデル検証	○左記モデルの課通電試験による性能検証	○66/6kV-2MVAY系低損失変圧器(世界初)が見通せる設計技術を確立。

④線材安定製造技術

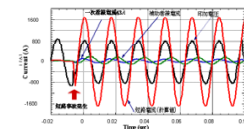


細線化技術
(世界初)

②ネオン冷却システム (世界初)



①巻線技術 (世界初)



⑤2MVA変圧器 (世界初)

③限流機能付加技術 (世界初)

超電導変圧器によるCO2削減効果

単位: kton/年

	2020年	2030年	2040年	2050年
最小ケース	94	374	654	935
最大ケース	94	532	1,287	2,042

算定根拠

変圧器の超電導化による損失低減によるCO2削減

- ・損失低減量60%削減(損失40%)
20MVA変圧器では損失(鉄損と交流損失)が冷却含め損失が40%(年間平均利用率50%で算定)

- ・導入台数2020年:10%、2030年:40%、2040年:70%、2050年:100%(最大ケース時の系統変は2030年から同ペースで導入)

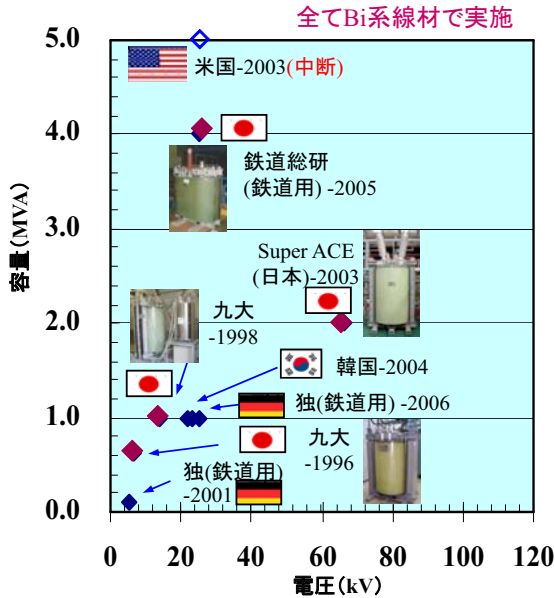
- ・最大ケース:系統用および配電用変圧器を導入
最小ケース:配電用変圧器のみ導入

CO2 排出原単位0.41kg/kWh(平成18年度実績値電事連)

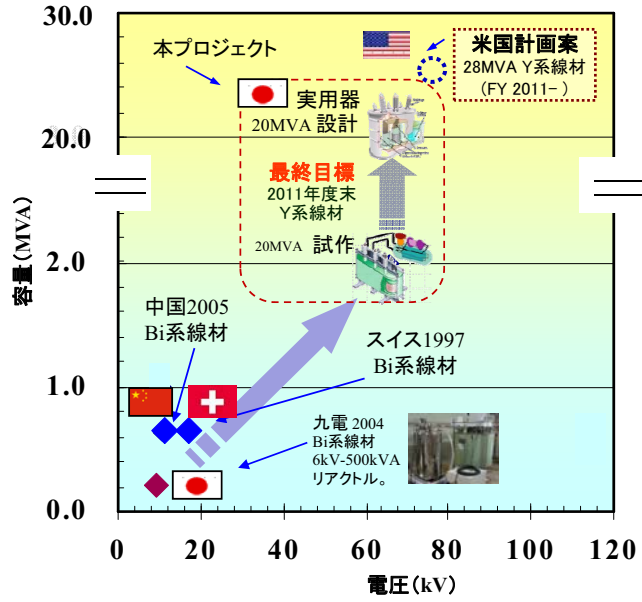
超電導変圧器開発の世界比較

- 海外では、交流損失低減・絶縁等の課題から、中断していたが最近、再計画中。
- 本プロジェクトは変圧器の開発のトップ、更に、限流機能付加変圧器の開発まで実施。

单相変圧器



三相変圧器



成果の最終目標の達成可能性

	2008	2009	2010	2011	2012	2013 ~ 2018	~ 2020 ~	
変圧器	20MVA相当の短絡強度検証		中間目標	2kA級巻線技術		最終目標	実用化技術開発 実証試験 容量拡大 信頼性検証 水力発電所等での実証試験 低コスト化 実用化検討 20MVA 変圧器	
	転位構造			低交流損失 $\leq 1/3$				普及導入 変圧器: 20MVA 都市部周辺の変電所から導入開始し、順次拡大
	膨張タービン、ターボ圧縮機の断熱効率 $\geq 65\%$			冷凍能力 2kW@65K, COP ≥ 0.06 @80K				
	限流機能検証			限流効果 (\leq 定格電流の3倍)				
	2MVA器の設計			2MVA器の検証				
試験フィールド 重電メーカー及び配電用変電所併設試験センター(福岡) 2MVA変圧器モデル						波及効果 産業・鉄道分野等 生産ライン		

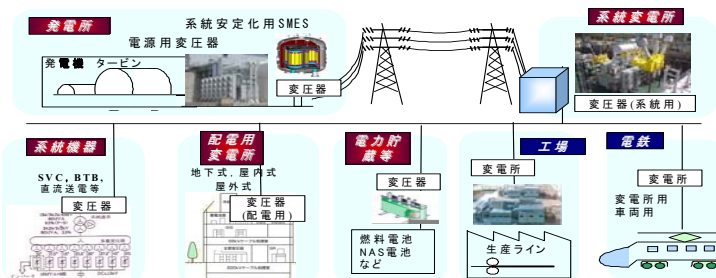
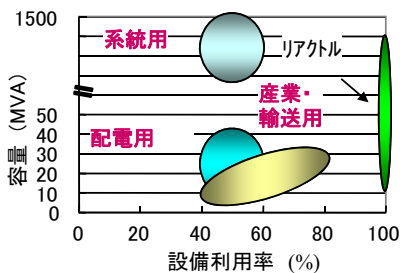
▲: 基本原理確認

●: 基本技術確立

波及効果（電力・産業・輸送分野）

- 超電導変圧器は小型、高効率、不燃等から、電力用(配電用・系統用)に加え、産業用や輸送用でも貢献。

分野	2005	2010	2015	2020
電力分野 ・配電用変圧器 (再生可能エネ用含) ・系統用変圧器 ・限流機能変圧器		巻線、冷却等の要素技術開発 2MVA変圧器システム開発	容量拡大、低コスト化 信頼性検証	段階的に 実用化 高電圧化、大容量化 信頼性検証、低コスト化
産業分野 ・工場・ビル等用の 変圧器			容量拡大、低コスト化 信頼性検証、実用化検討	小規模から 実用化
輸送分野 ・車載用、船用の変 圧器			耐振動対策、低コスト化 信頼性検証、実用化検討	小規模から 実用化



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	2015	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 大容量化
産業分野 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 スペースシャワー 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

- 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



スペースシャワーコールドパネル冷媒供給