

2011年4月23日
低温工学協会 九州・西日本支部設立10周年記念研究会
九州大学伊都キャンパス

九州電力の超電導技術開発

～超電導応用機器の実用化に向けて～

九州電力 総合研究所
林秀美 岡元洋



コンセプト

- 新たな電力系統制御・運用の高度化及び電力輸送コストの低減に貢献する技術として、SMES・超電導変圧器を主とし、産学官の連携で開発。
- 研究の加速発促進、早期実用化のため国家プロジェクトに参画。

(社内) 1MW/1kWh SMES開発(6-13年)



【国プロ】SMES開発(11-15年)

SMES技術の開発

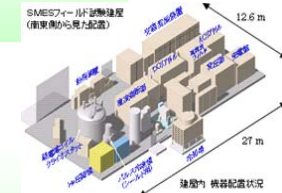
SMES要素技術及び1kWh小規模システムを開発し、系統導入効果を検証。



【国プロ】超電導ネットワーク制御(16-19年)

SMESの導入研究

SMESシステムの最適構成の開発。



超電導基礎特性評価

(臨界電流, ACロス)(7年~)

超電導応用機器に向けて、超電導線材(Y系)等の基礎特性把握。

超電導応用技術の開発

超電導等による環境保全など次世代技術研究。SMES等周辺技術の展開



超電導変圧器(県・社内)(18年~)

九大開発
試験共同



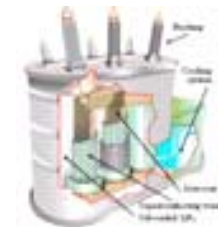
【国プロ】超電導変圧器

(18-19年)

磁気分離装置(17年~)



【国プロ】超電導変圧器(20-24年)

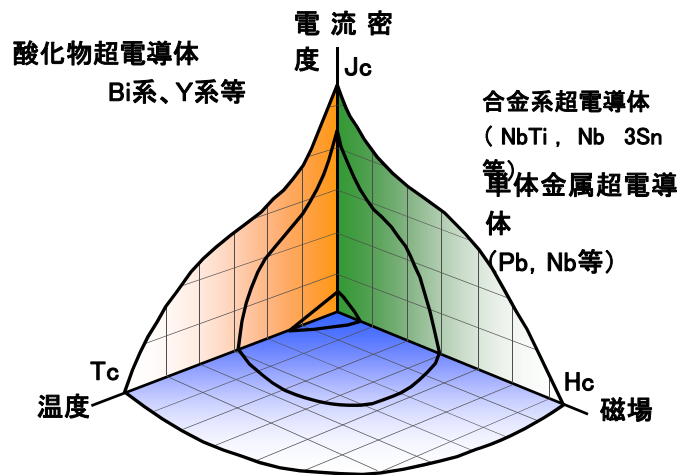
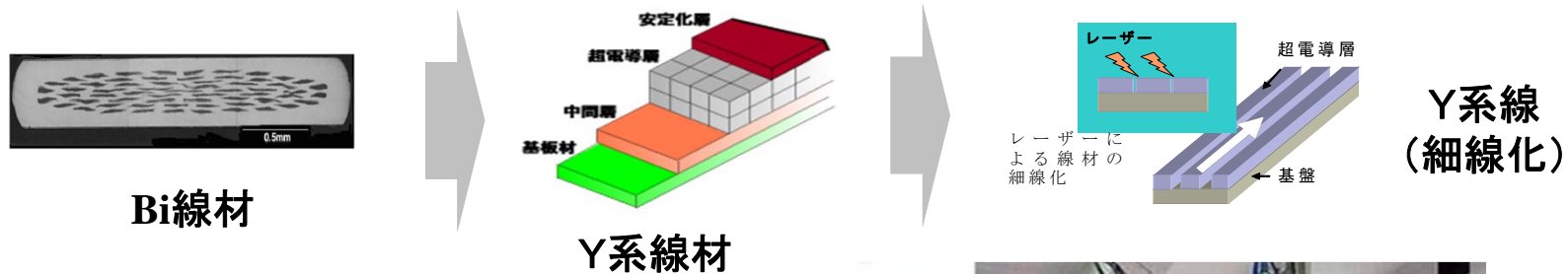


表彰

- 電気学会電気学術振興賞進歩賞受賞(2001年) SMES1kWh社内
- 電気学会電気学術振興賞進歩賞受賞(2004年) SMES20MJ国プロ
- 低温工学・超電導学会論文賞(2001年) 線材評価
- 電気学会電力・エネルギー部門 研究・技術功労賞

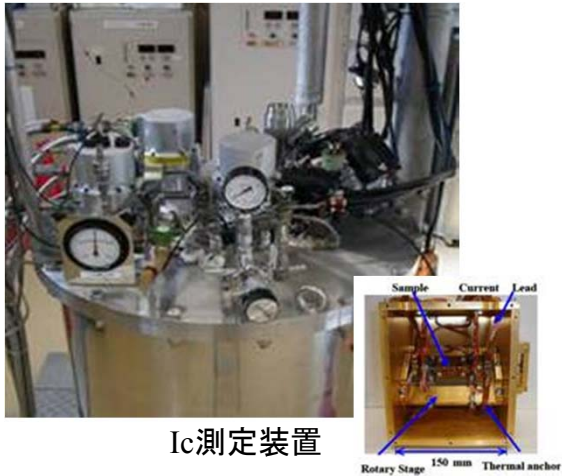
H7年度～

- ・ 高温超電導応用機器の実用化や性能向上には、応用機器の最適設計、運用性及び経済性の評価が不可欠
 - 基礎となる超電導体（線材やコイル）の臨界電流特性や交流損失特性の評価手法と装置を開発し、評価中。

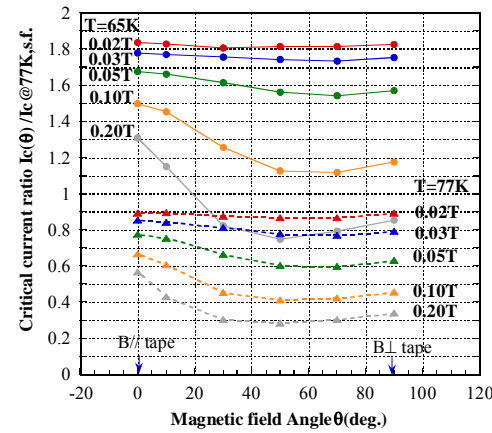


H7年度～

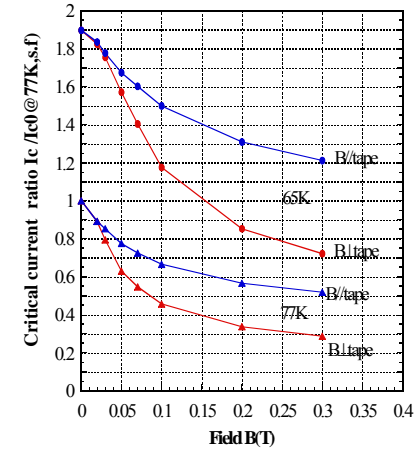
臨界電流特性



Ic測定装置



磁界角度依存性

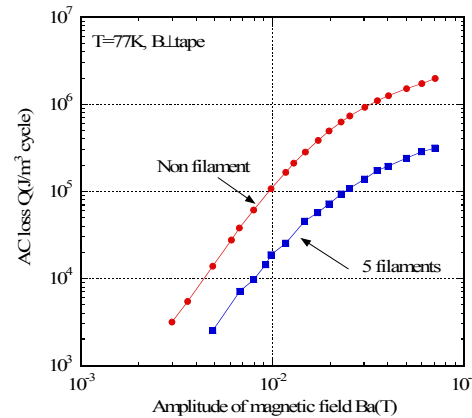


温度依存性

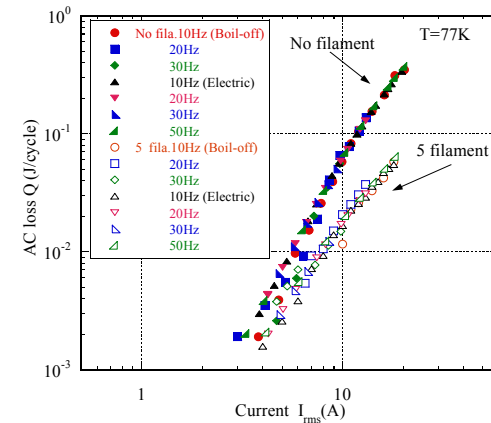
交流損失特性



交流損失の測定装置



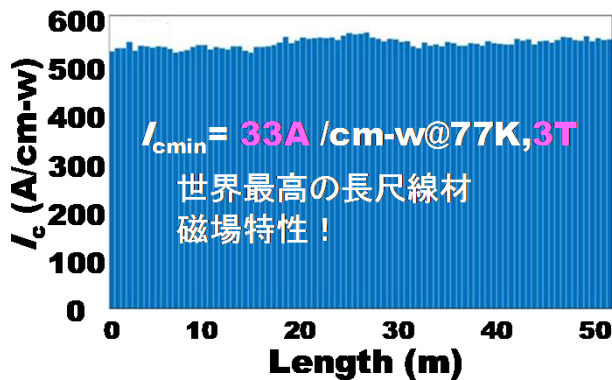
線材磁化損特性 (分割の有無)



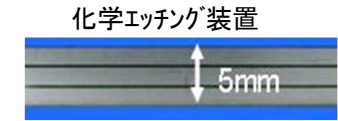
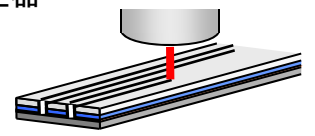
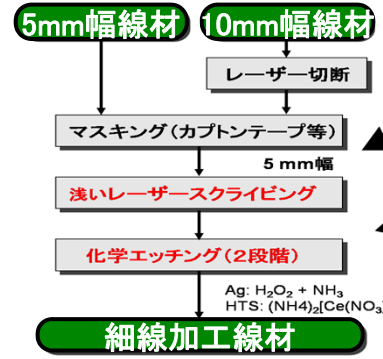
交流損失特性

超電導変圧器のプロジェクト(当社リーダー)ではY系線材の細線化して適用。

Y系線材



低損失化

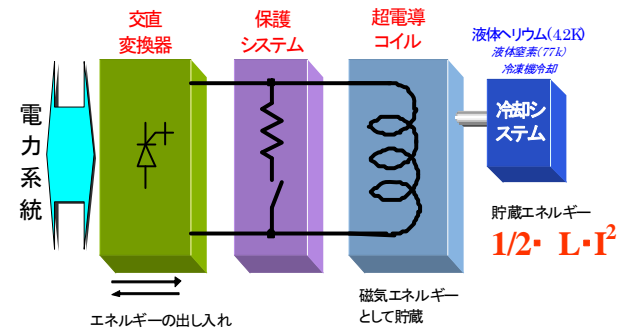


化学エッチング装置

電力系統は系統安定化対策が重要なことなどから、社内研究や国家プロジェクト参画によるSMES開発に取り組んだ。

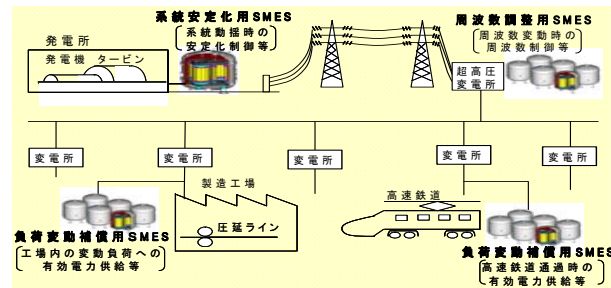
特長

小型、瞬時大出力、
有効・無効電力の
独立高速制御



適用例

- ・ **系統安定化** **大規模電源の脱落時等の系統安定化<九州電力>**
- ・ **負荷変動補償** 再生可能エネルギーや電鉄等の潮流変動対応
- ・ **周波数調整用** ガバナーフリー対応による調整 (PV等大量導入にも有効)
- ・ **瞬時電圧低下対策** . . 工場等での瞬低対策



出典:NEDO事業原簿



H6-19年度

当社独自に1MW/1kWhの小型SMESを開発し、国家プロジェクトによる技術を展開。

愛称 **ESK**

Experimental SMES of Kyushu Electric Power Co., Inc

1kW級モジュール型SMES
社内研究 (H6-13)

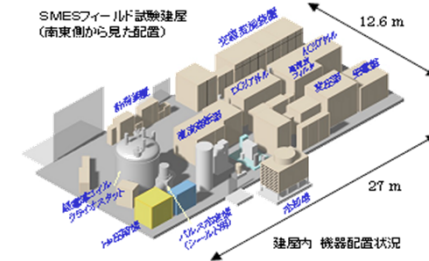
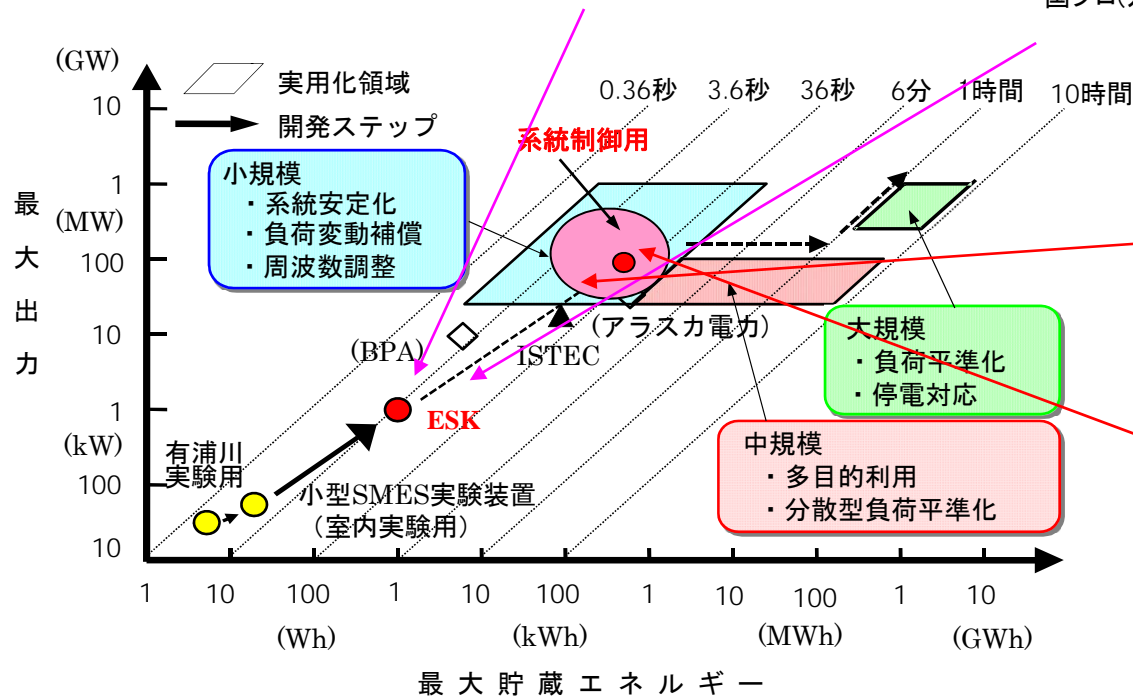
Step 1



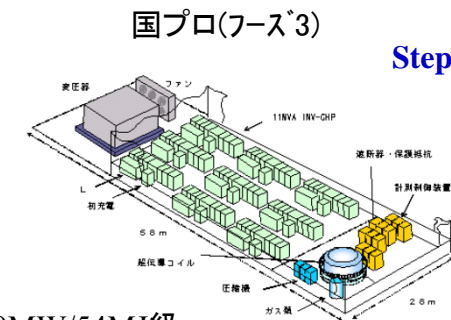
Step 2



国プロ(フーズ2)



Step3

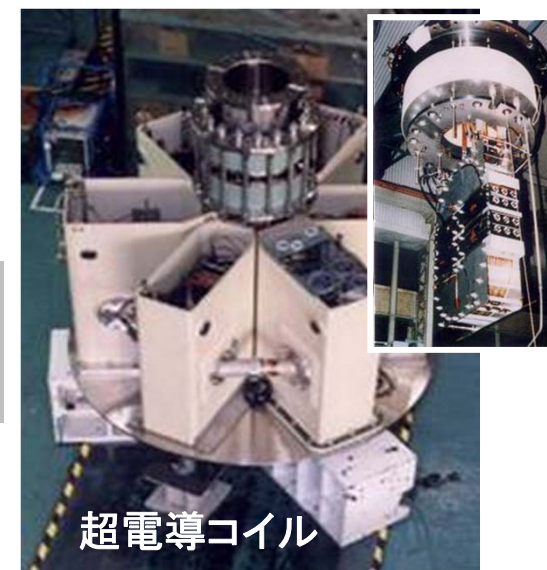
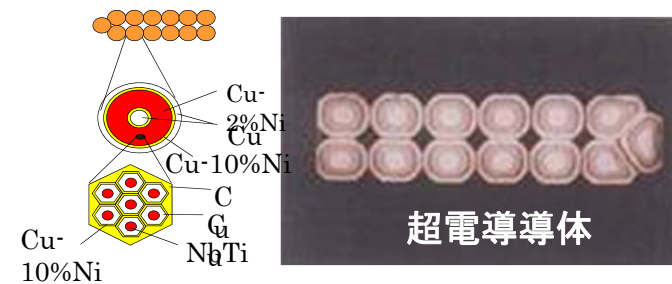
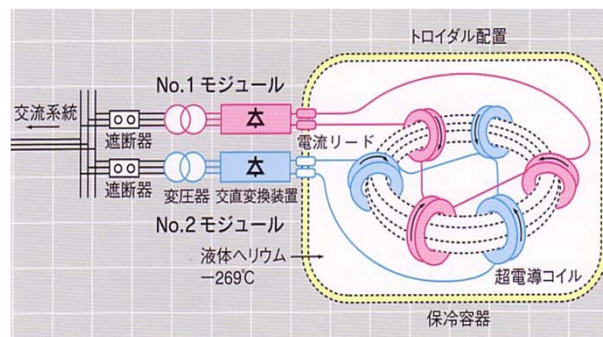


Step4

Step 1 H6-13年度
＜国内初＞

SMES実用化を目指し、1kWh/1MWSMESを試作し、国内初の国の認可を得て、今宿試験センター(福岡市内)に設置して、実系統での有効性を検証。

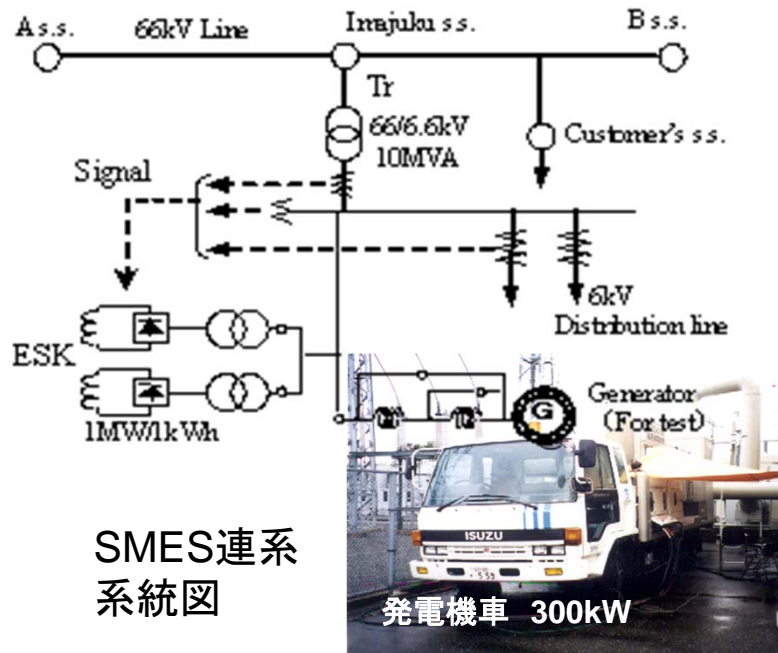
最大貯蔵エネルギー
1kWh(3.6MJ)
最大出力
1MW
超電導コイル
NbTi浸漬冷却
2モジュール構成



H10-13年度

検証事項

- ・ 実系統でのSMESの有効性を検証
 - ・ SMESの基本性能の検証
 - ・ 実用機に向けた運転性能検証
(系統連系特性、機能拡大試験)
 - ・ 設計・解析手法の確認



基本特性試

SMESとしての基本特性を確認

- ◆ 起動・停止試験
- ◆ 保護動作試験、充放電試験、負荷遮断試験
- ◆ ステップ応答試験
- ◆ 有効・無効電力出力試験

モジュール特性試験

モジュール型の運転性能を確認

- ◆ モジュール協調制御試験
- ◆ 小電力領域制御試験
- ◆ モジュール間エネルギー転送試験

系統連系試験

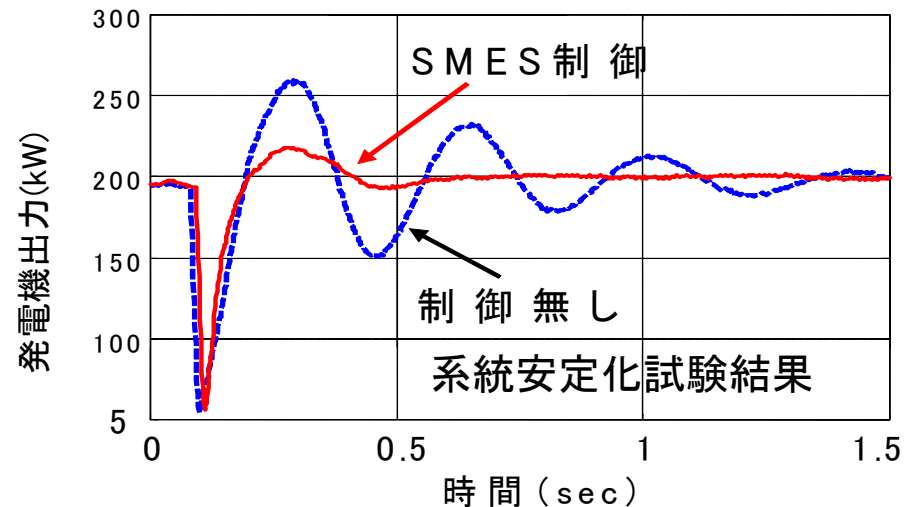
電力系統でのSMES適用効果を確認

- ◆ 負荷変動補償試験
- ◆ 電圧変動補償試験
- ◆ 瞬時電圧低下補償試験
- ◆ 系統安定化試験
- ◆ 長期信頼性試験
- ◆ 長期エネルギー貯蔵試験(永久電流スイッチ組合せ)

SMES機能拡大試験

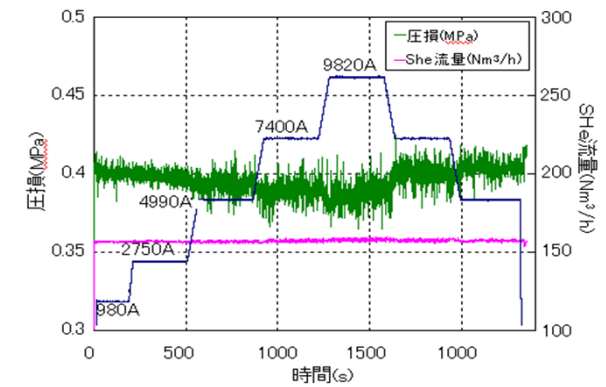
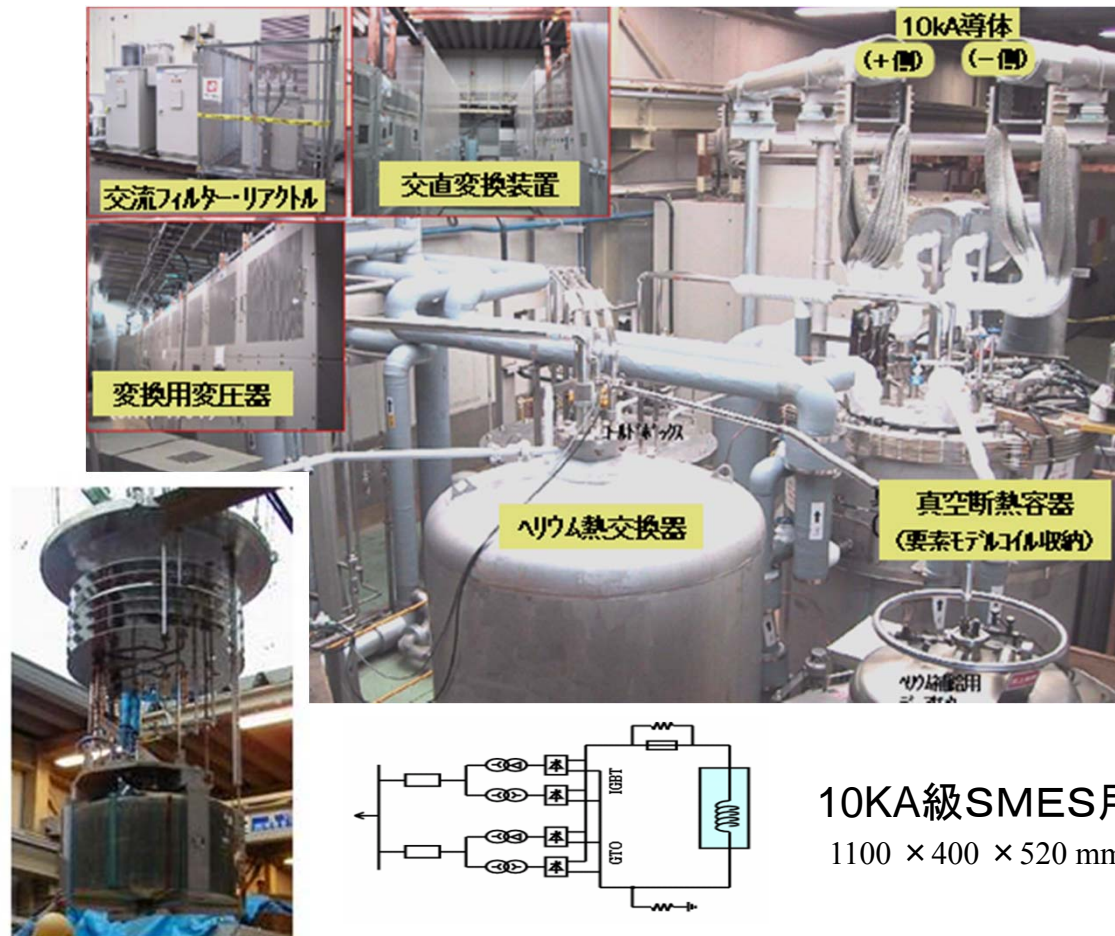
新規用途の開拓、過負荷性能を確認

- ◆ NAS電池組合せ試験
- ◆ 貯蔵機能付交流連系試験
- ◆ 系統固有周波数の測定
- ◆ システム同定試験
- ◆ クエンチ試験
- ◆ 過酷試験

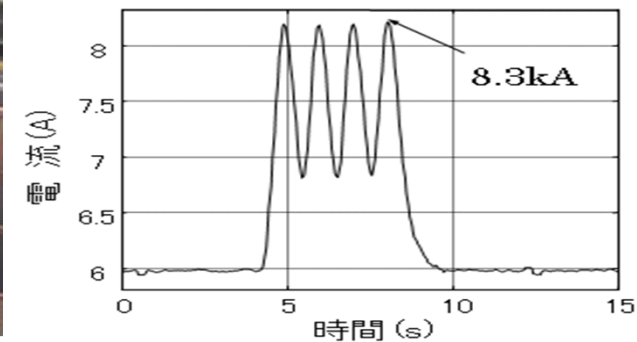


Step 2 H11-15年度
 <世界初>

- 10KA級系統安定化用コイル(CICC)を検証
 CICC 9.6 kA @5.66T 、5.8 kA/s (最大7.2 kA/s)



コイルの東伝特性



8KA繰返し動作検証

10KA級SMES用コイル

1100 × 400 × 520 mm 24ターン×16層2.9 MJ

Step 3 H16-19年度 〈世界初〉

- 日光の発電所で、発電機の負荷遮断時のSMES(10MVA/20MJ級)による変動抑制効果を検証(中部電力、ISTECと共同)
- SMESアナログシミュレーターも開発

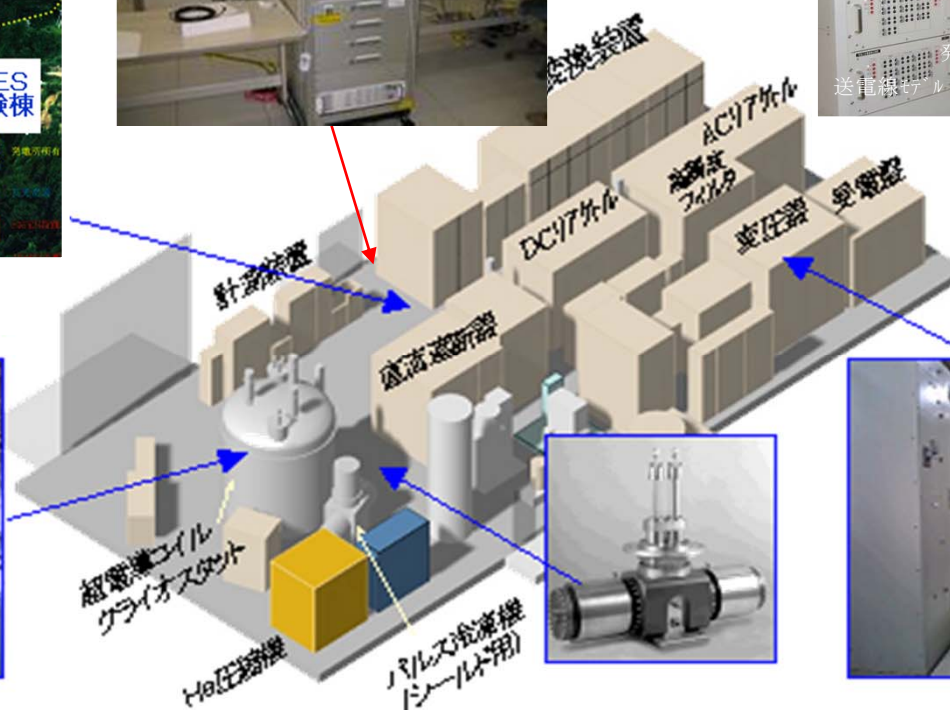
世界初の実系統で運用する発電機を用いたSMESによる系統安定化試験に成功



古河日光発電株式会社細尾発電所
(栃木県日光市細尾町)



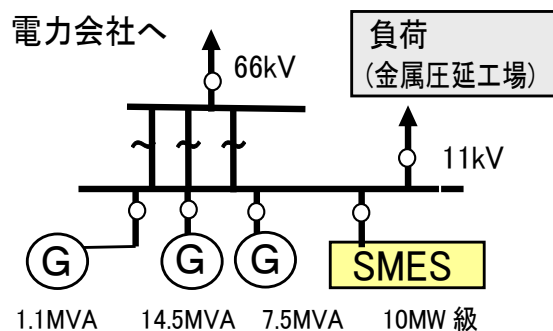
SMESのアナログシミュレーター
(九電総合研究所)



10MW級 SMES(第3フェーズ、中部電力と共同)

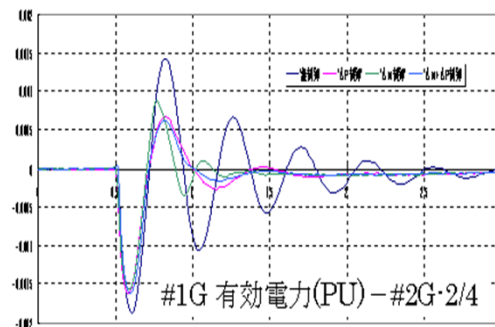


- ・ 発電所での発電機の負荷遮断時のSMES による変動抑制効果を実証 H16-19年度
- ・ アナログ解析でも検証 (系統安定化動作の模擬)

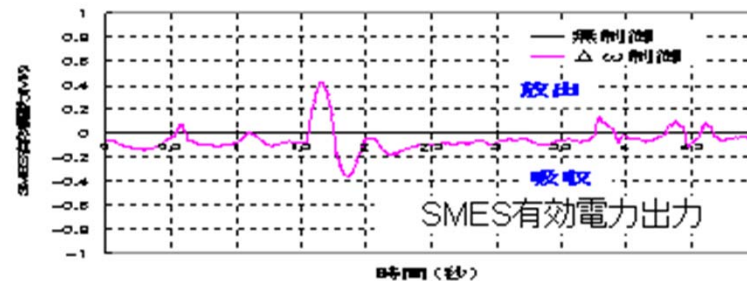
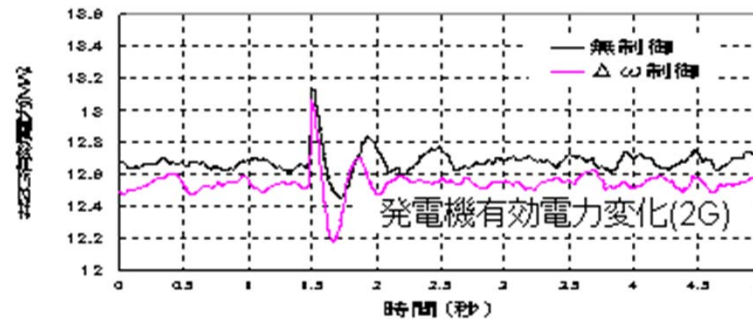
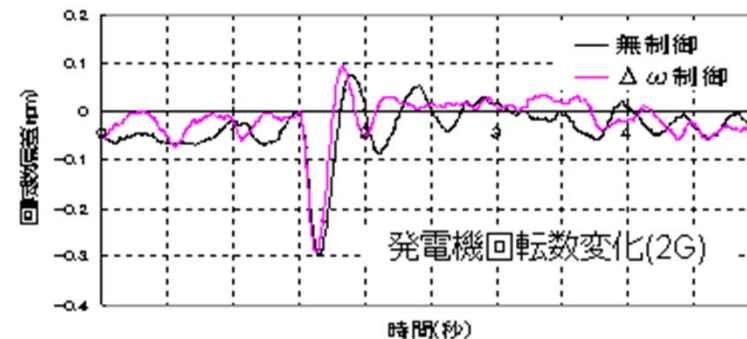


<試験条件> 1G 1,500kW、2G 12,000kW
 運転中に1Gを遮断

発電所のSMES試験系統



系統安定化の事前アナログ解析結果

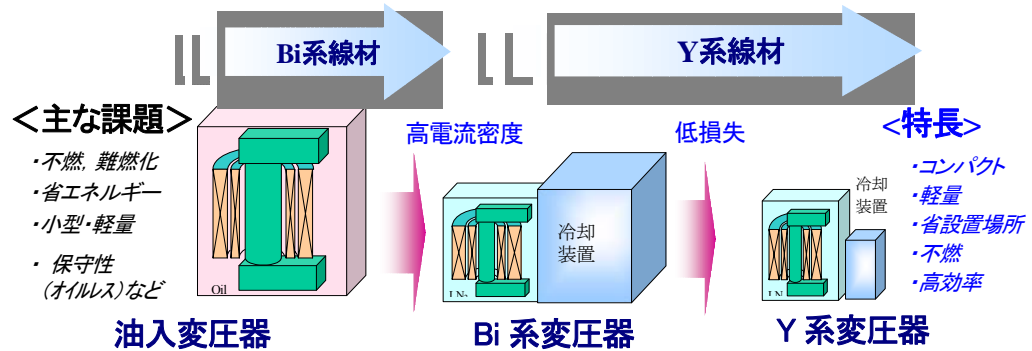


発電所でのSMES試験結果

- 変圧器に超電導線材を適用すること、低損失で小型・軽量、かつ難燃となり、配電用変圧器への適用に向けて、主に国家プロジェクトで開発。

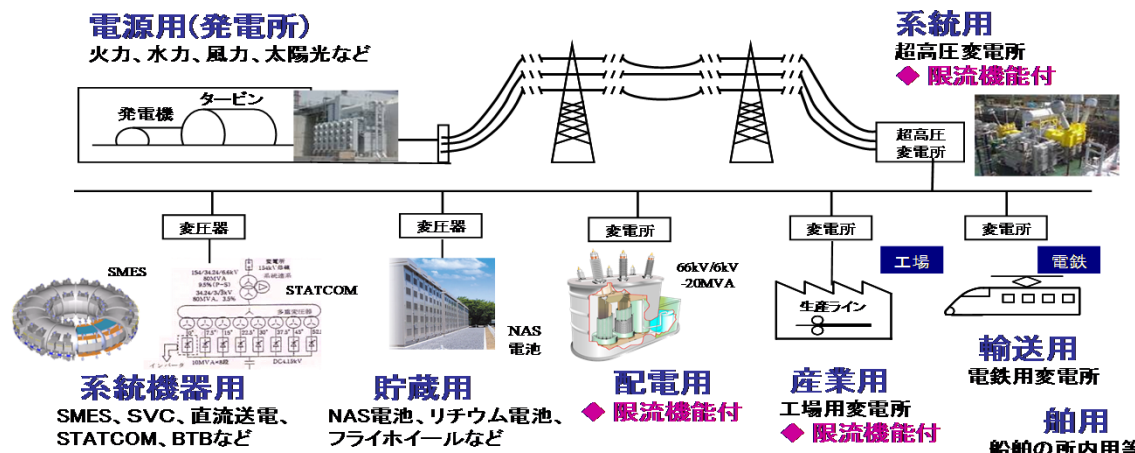
特長

小型・軽量、
高効率、難燃、
限流機能



適用例

- 電力の配電用変圧器（今回） 産業用（利用率大）や輸送用（軽量）へ拡大
- 限流機能による適用拡大（短絡容量対策、超電導ケーブル複合適用）（今回）



1996年

(九大)

<国内初>

高温超電導
変圧器

500kVA(单相)
6.6kV/3.3kV
76A/152A



2000年

(九大。九電:試験)

<国内初>

系統連系試験

- ・短絡時電磁力対策
- ・22kV級の絶縁技術
- ・冷却システム

(九大。九電:試験)



2004年

(Super-ACE)

<国内初>

66kV級絶縁

- ・大電流技術
コイル: AC725A

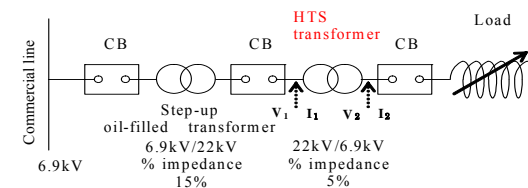
2000kVA(单相)
66kV/6.9kV
30A/290A



2006年

<国内初>

三相リアクトル(九電)
6kV500kVA級



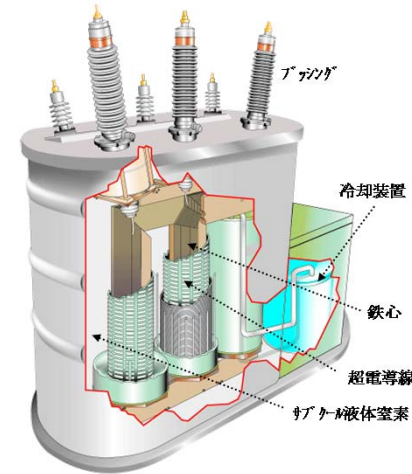
● Bi系Trの要素技術確立

- ・66kV絶縁,
- ・2MVA級单相構成
- ・系統連系技術
- ・過冷却窒素の運用技術

H20-24年度
 <世界初>

・ 20MVA変圧器の実用化に向け、**2MVA級変圧器システム**を開発。
 また、**限流機能付加変圧器**により**限流機能も検証**。

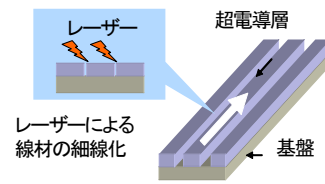
- ・ 変圧器用線材安定製造技術(100m長、5mm幅・3分割)
- ・ 巻線技術(低損失化 $\leq 1/3$ 、2kA級大電流化)
- ・ 冷却システム(2kW@65K、COP ≥ 0.06 @80K)
- ・ 限流機能付加変圧器技術
- ・ 66/6kV-2MVA級モデル試作・検証
- ・ 実用20MVA設計



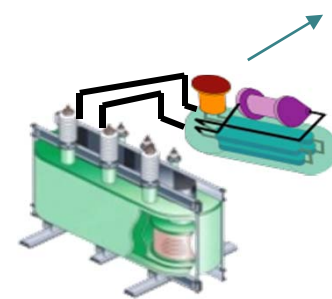
66kV/6kV-20MVA
 配電用変圧器(設計)



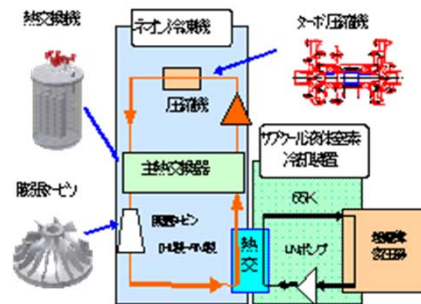
短絡、低損失、大電流等の検証
 (短絡400kVA)



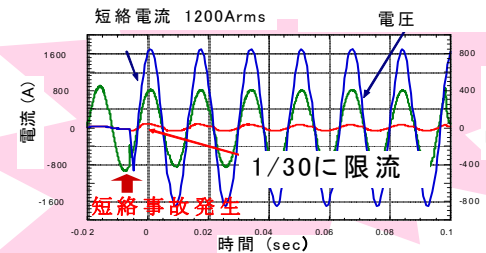
細線化線材



2MVA変圧器
 検証



冷却
 システム



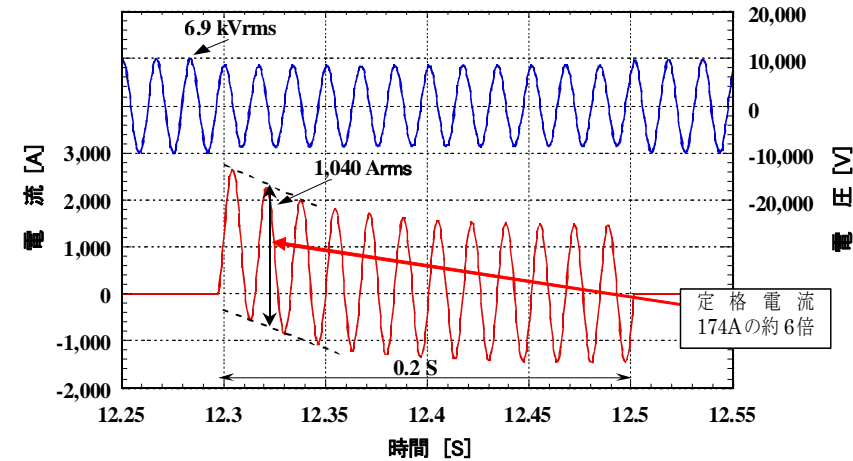
限流機能

短絡強度

400kVA
6.9kV/2.3kV
58A/174A

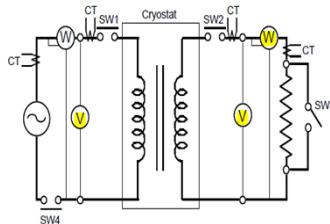


- 短絡電流1,040A(定格の6倍)、0.2秒間通電確認。

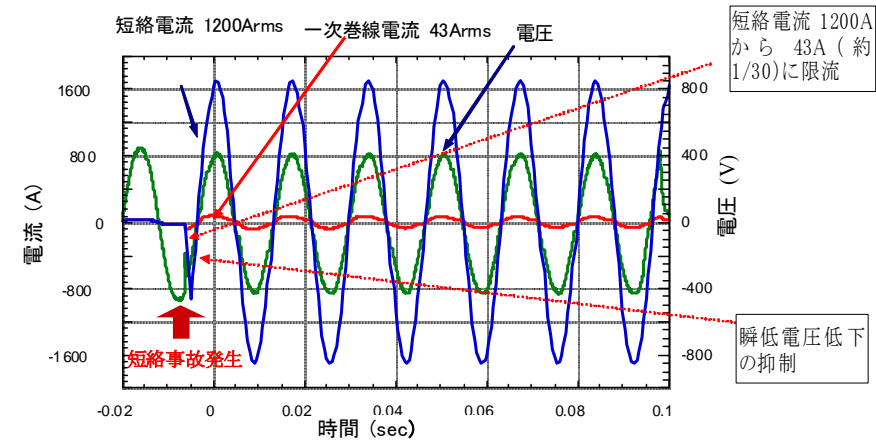


限流機能

限流モデル
変圧器10kVA)



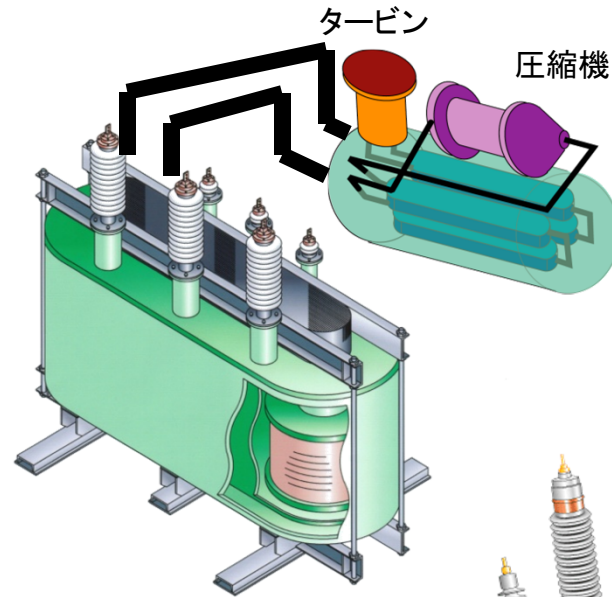
- 短絡電流: 1200A → 43 A (限流効果: 約1/30)



2MVA (検証)

・ 検証試験・評価

- ・ 2MVA級器の単体試験
- ・ 冷却装置と組合せ試験等
- ・ 通電特性、損失特性
- ・ 耐電圧特性、冷却特性
- ・ 保護動作等

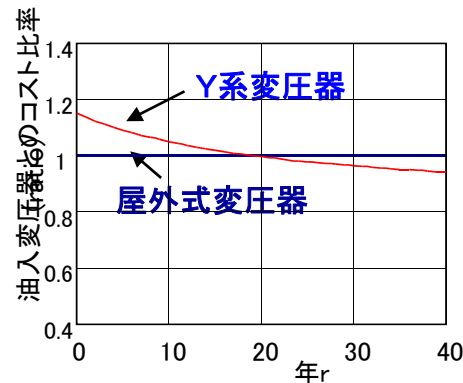


- ・ 高効率性、コンパクト性、将来的な経済性

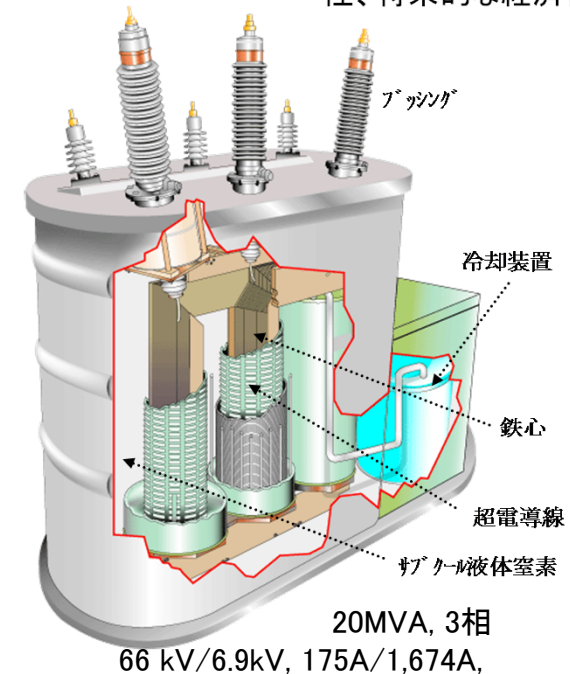
20MVA (設計)

実用配電用変圧器

	油入変圧器	YBCO 変圧器
線材	Cu	YBCO
冷却システム	油冷却	ガリウム液体窒素 (巻線室温鉄心)
損失	100%	16% (≦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)



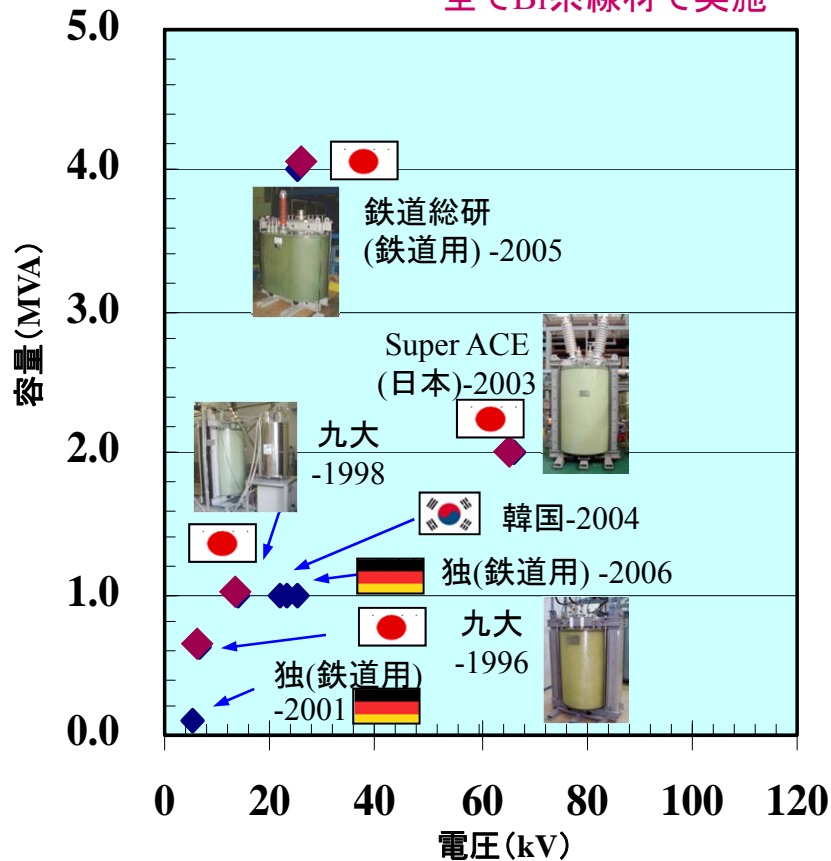
ライフサイクルコスト比率例



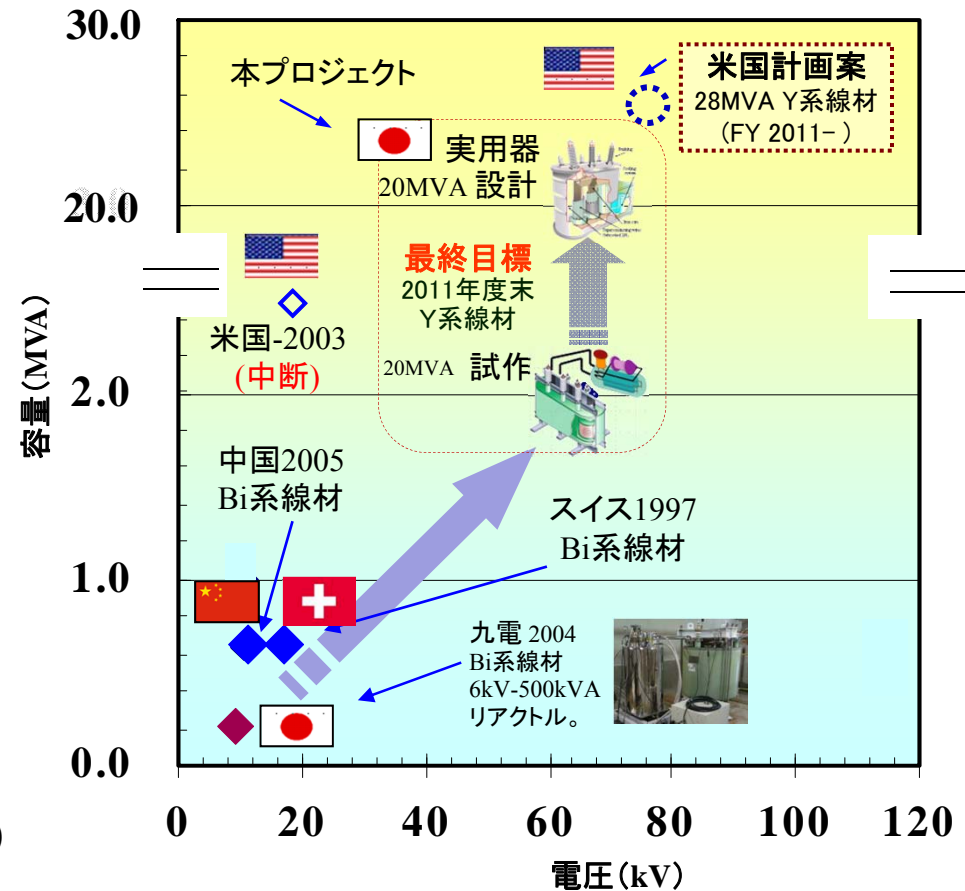
- 海外では、交流損失低減・絶縁等の課題から、中断していたが最近、再計画中。
- 本プロジェクトは変圧器の開発のトップ、更に、限流機能付加変圧器の開発まで実施。

単相変圧器

全てBi系線材で実施



三相変圧器



系統計画の考え方

電力系統利用協議会ルール(抜粋)

設備増強

※ 下線は配電系統

- ・将来見通し(需要、設備最終規模、将来系統)
- ・技術面(短絡・地絡故障電流、系統安定度等)、
- ・経済性(設備工事費、損失、拡充・改良ステップ)

信頼度

- ・設備健全時(潮流、電圧)、常時・過負荷容量
- ・設備故障時(N-1故障、N-2故障を想定)
- ・系統安定度(過渡、定態安定度)
- ・電圧安定性(N-1故障時)
- ・周波数維持(送電線ルート断故障時)

再生可能エネルギーの導入量増(太陽光・風力等)

次世代電力ネットワーク等

課題等

※ スマートグリッド含む

- ・周波数調整力の不足
- ・系統安定化
- ・大容量・高効率電力輸送
- ・電圧対策(太陽光等の変動)

超電導技術による対策等

- ・SMES(ガバナーフリー)
- ・SMES、変圧器・ケーブル(低インピーダンス)等
- ・変圧器・ケーブル(小型・高効率)
- ・変圧器(低インピーダンス)、SMES(P,Q制御)



出典:次世代エネルギー・社会システム協議会(HP抜粋)

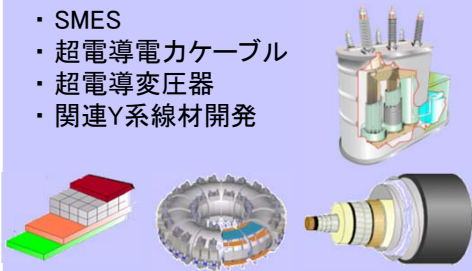
超電導電力機器技術

■ 特長

- ・小型・軽量、高効率
- ・高速な電力の入出力
- ・限流機能等

■ 機器開発(Y系PJ)

- ・SMES
- ・超電導電力ケーブル
- ・超電導変圧器
- ・関連Y系線材開発



既存系統適用

既存機器の更新等

リプレイス・拡充等

- ・変圧器
 - ・電力ケーブル
- ※ 高効率、容量増等の効果有

新機能

- ・系統安定化
- ・限流機能(限流機能付変圧器含)等

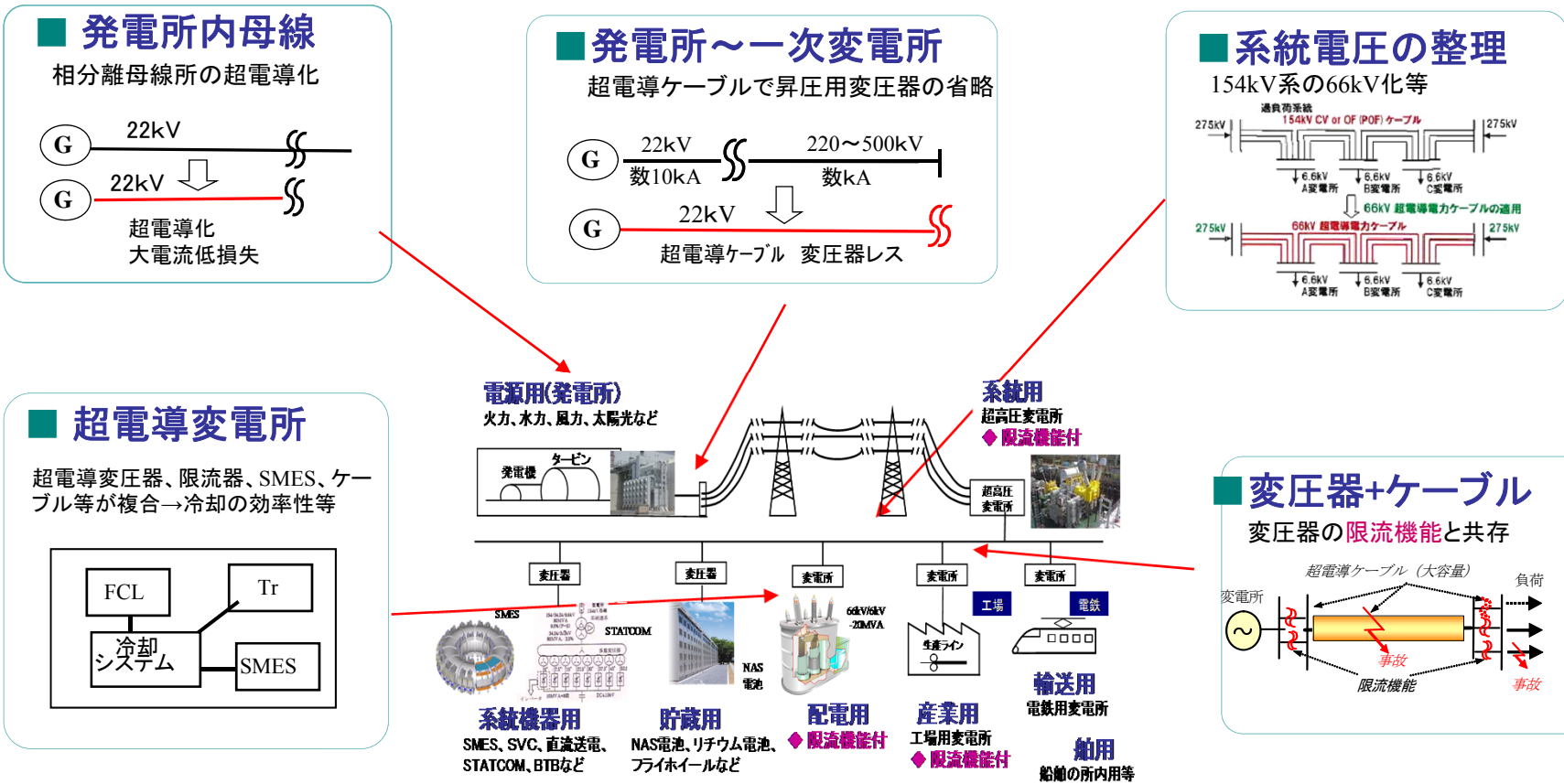
適用拡大

アドバンスシステム

- ・GENESIS(太陽光発電と超電導グリッド)等

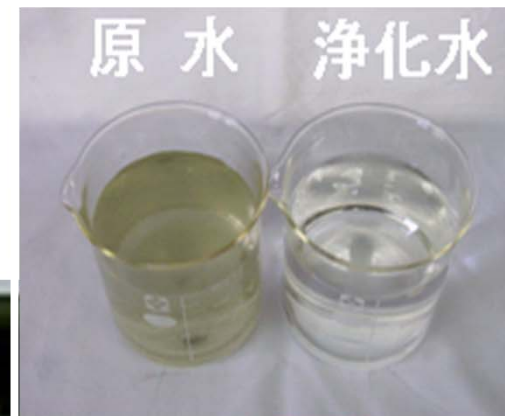
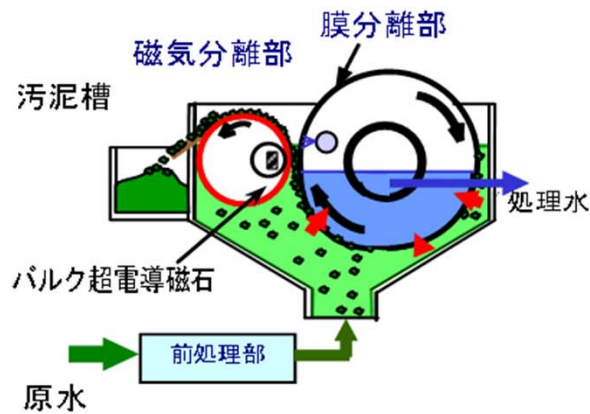


- ・ 超電導変圧器、ケーブル等の複合適用により電力系統に貢献



「水の命を取り戻す，環境保全に貢献する身近な超電導技術」として，

超電導による磁気分離装置を開発しました。バルク超電導体の高磁場特性を利用して水の浄化や有価物を分離する100t/day級の磁気分離装置を開発。



バルク超電導体
による
磁気分離装置



100t/day

総合研究所では、文部科学省の「科学技術週間」行事の一環として、地域の皆様へ科学技術の関心を深めてもらうとともに、超電導等の技術開発のPR活動を目的とし、「科学技術ウルトラフェア」を毎年実施しています。



超電導トレインなどの体験
(科学技術ウルトラフェア：総合研究所)

超電導技術の早期実用化と 支部活動の躍進に期待！

