

J-PARC 電力補償作業部会 報告会

SME Sの利用 - SME S開発事例紹介 -

中部電力株式会社
電力技術研究所 超電導チーム
平野 直樹

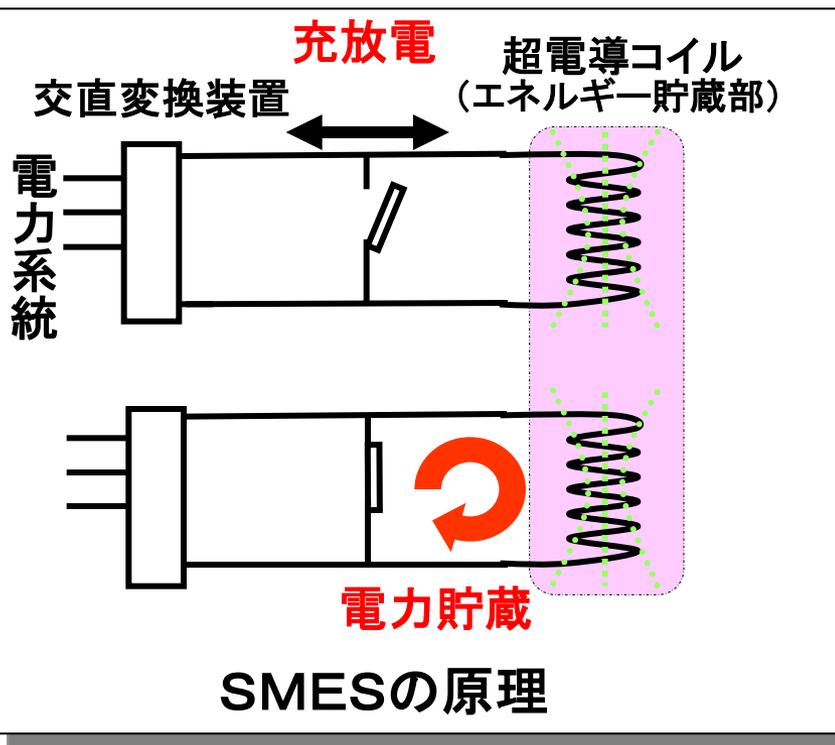
SMES (超電導電力貯蔵装置)

○ SMES (超電導電力貯蔵装置)

: Superconducting Magnetic Energy Storage system

SMESの原理

超電導の電気抵抗ゼロを利用して、超電導線のコイルに電流を流しても電流が減衰することなく、一定の磁場を発生し続けるため、**電気エネルギーを磁気エネルギーとして貯蔵**することができる。



特長

- ・貯蔵効率が低い
- ・エネルギー出入れ速度が速い
- ・繰り返し使用に強い



電力品質向上や電力ネットワークの安定化等に効果を発揮

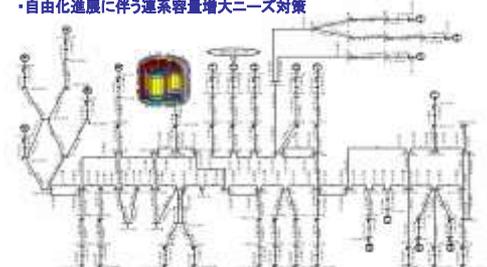
SMES開発の変遷

そもそも

揚水発電代替
日負荷平準化



・将来における系統末端での系統安定化対策
・自由化進展に伴う連系容量増大ニーズ対策



(電気学会HPより)

国プロ第1期
多機能SMES



コイル開発
(8MJ 40kA)

第2期、第3期
電力系統制御

- ・負荷変動補償
- ・周波数調整
- ・ローカル系統安定化



低コストコイル
(10MJ 10kA)



実系統連系試験
(10MJ 1.4kA)

第4期(当初)

- ・基幹系統安定化
- ・大容量SMES
(2GJ:300MVA × 7.5 sec)

(見直)

- ・周波数調整
(需給バランス)
- 再生可能エネルギー
増加による系統調整力
(2GJ:10MVA × 200 sec)



商品化

瞬低補償SMES

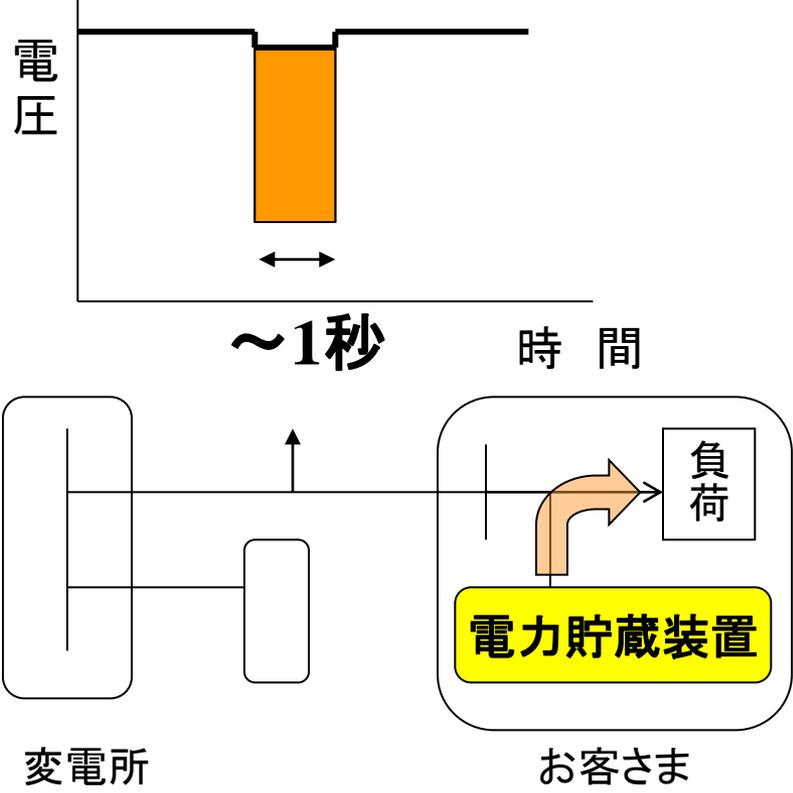
(10MJ 1.4kA)



SMESの用途

電力品質向上(瞬低補償)

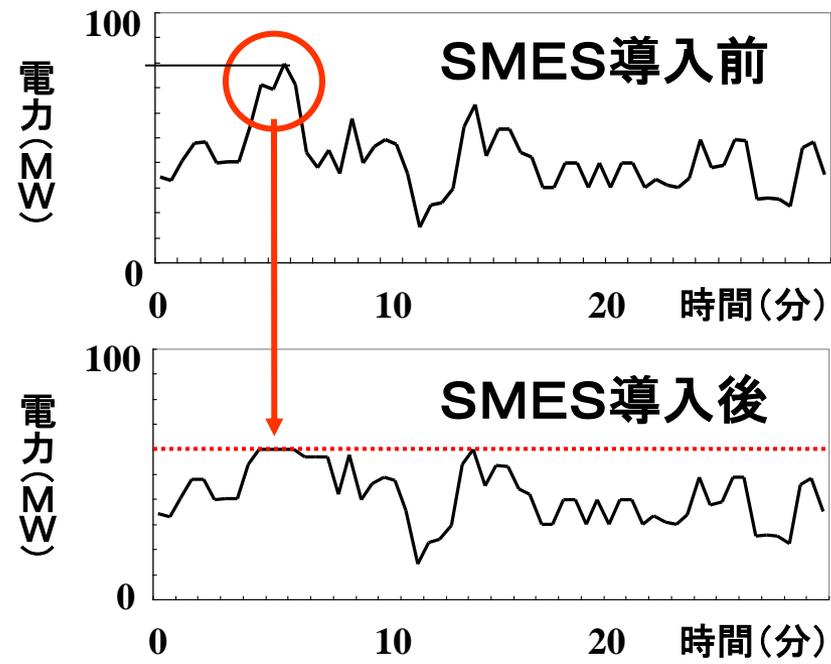
瞬時電圧低下によるお客さま
(半導体工場など)の損害低減



放電方向の高速動作

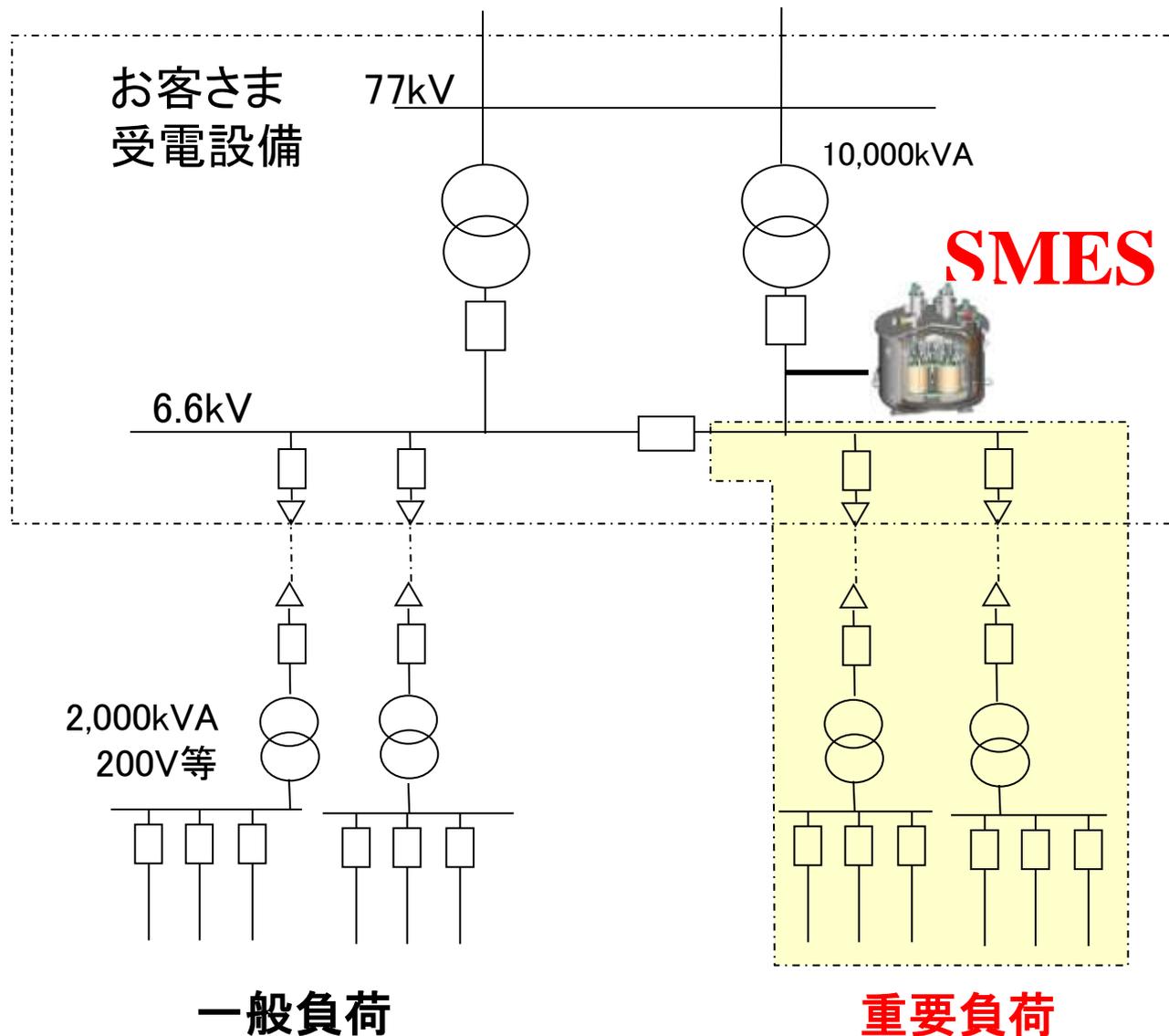
電力系統制御用途

- ・系統安定化
- ・周波数調整
- ・負荷変動補償



連続の充放電を要求

SMESによる工場瞬低補償系統



**工場一括
(バンク単
位)補償可能**

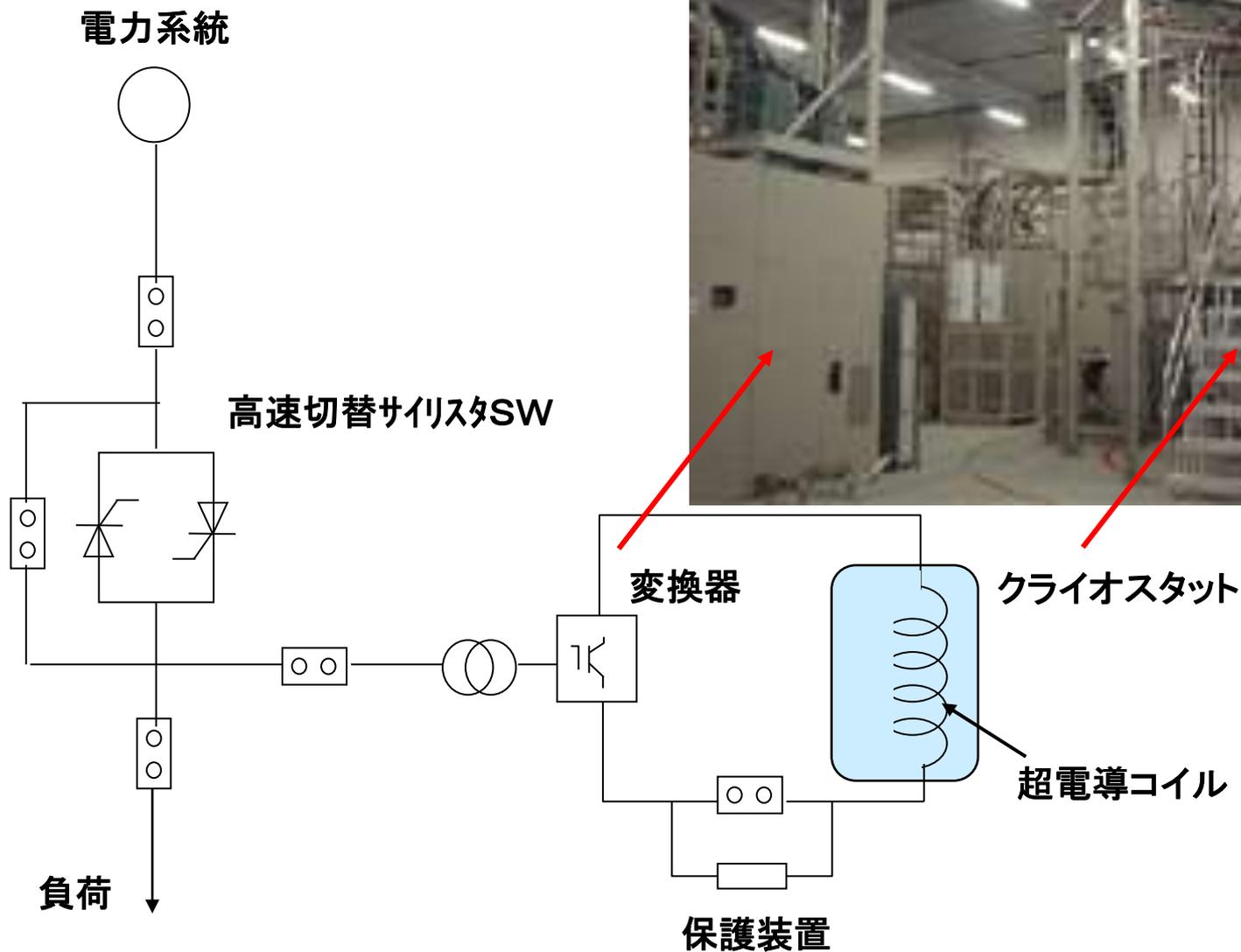
瞬低補償用SMESのフィールド試験



SMES



瞬低補償SME S機器構成

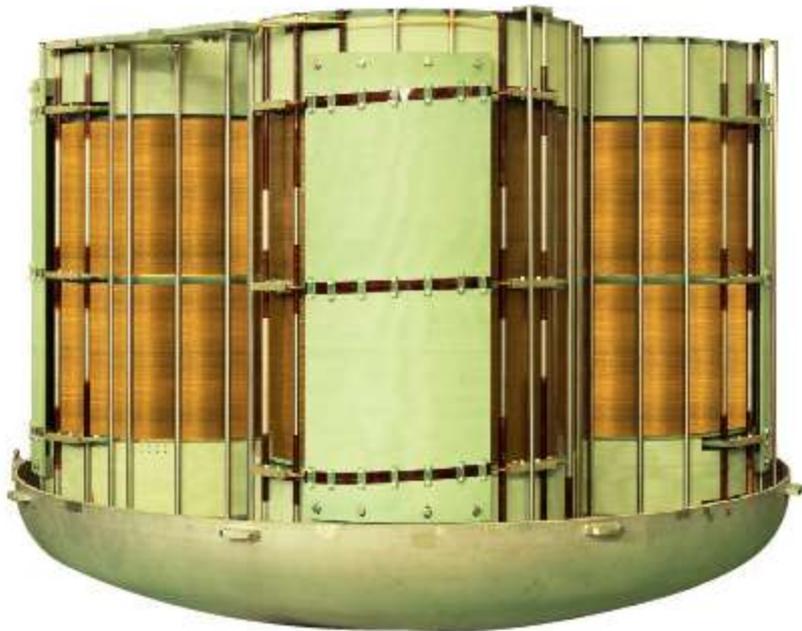


10 MVA - 10 MJ SMES システム



H17.10~H19.8

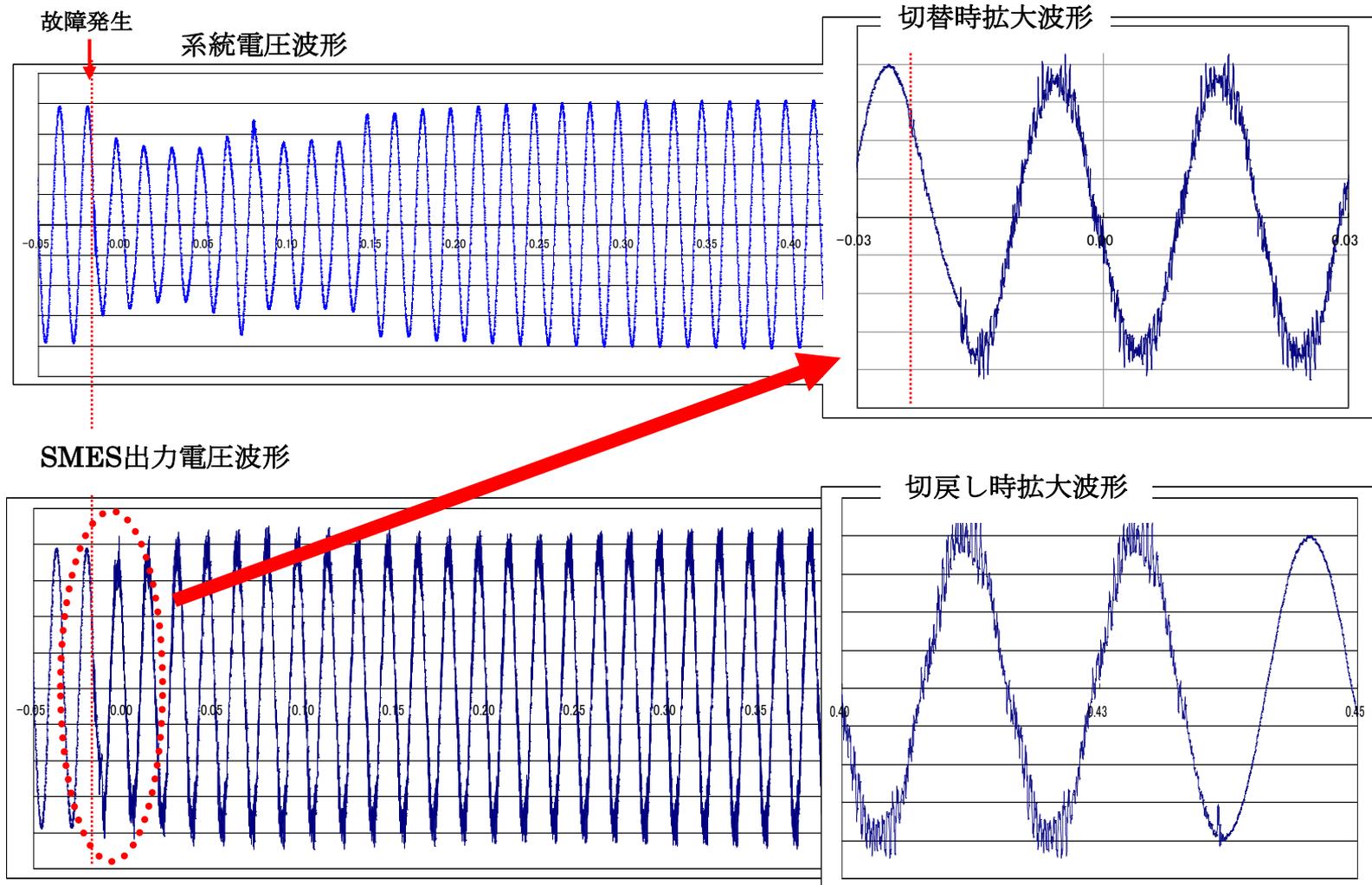
フィールド試験実施



SMES実補償動作波形(瞬時検出)

発生日時：2004年9月24日19:55

故障様相：多重雷による77kV送電線故障(2回線2φG→故障除去→1回線2φG)

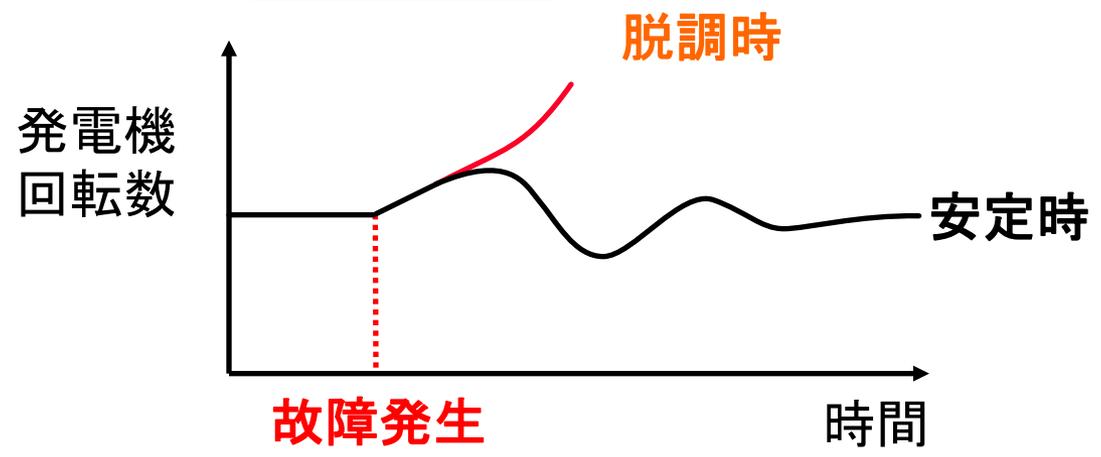
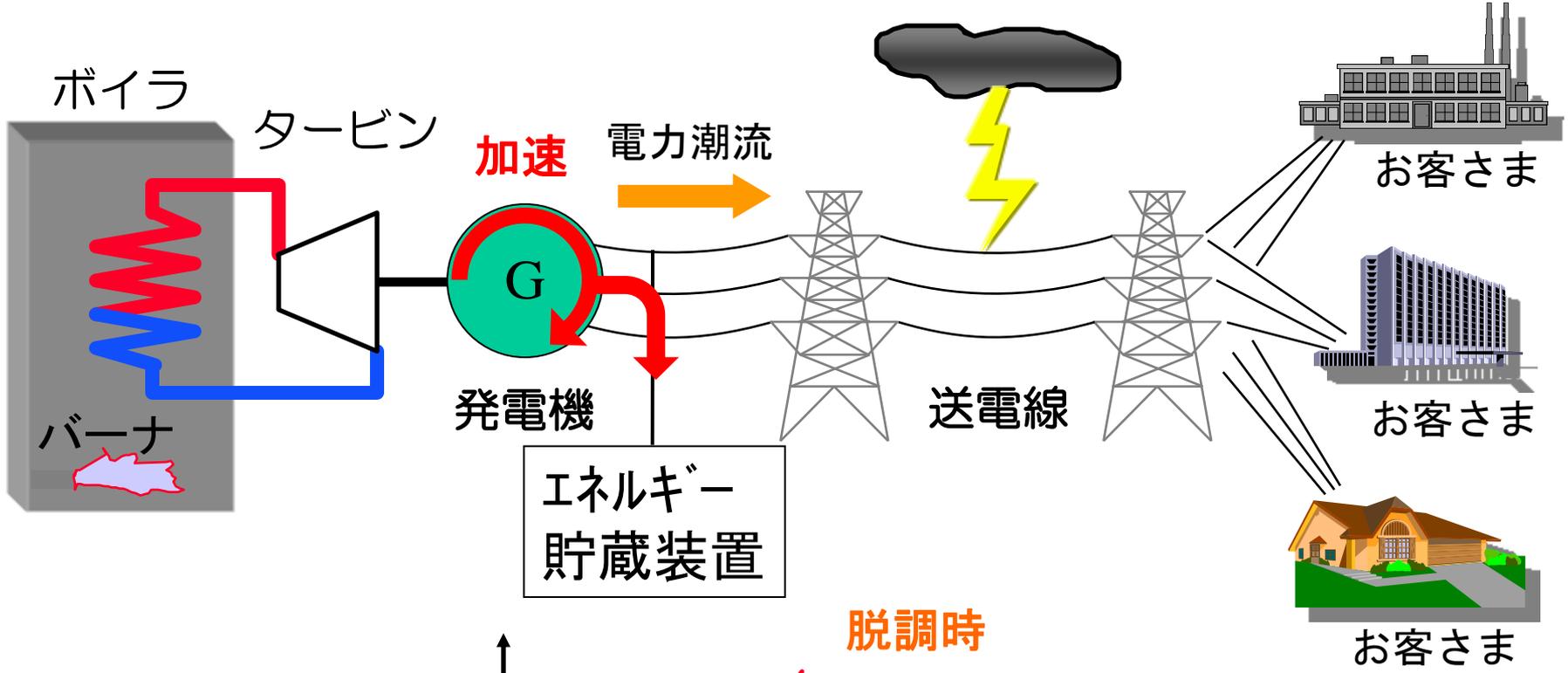


瞬低補償SMESフィールド試験スケジュール

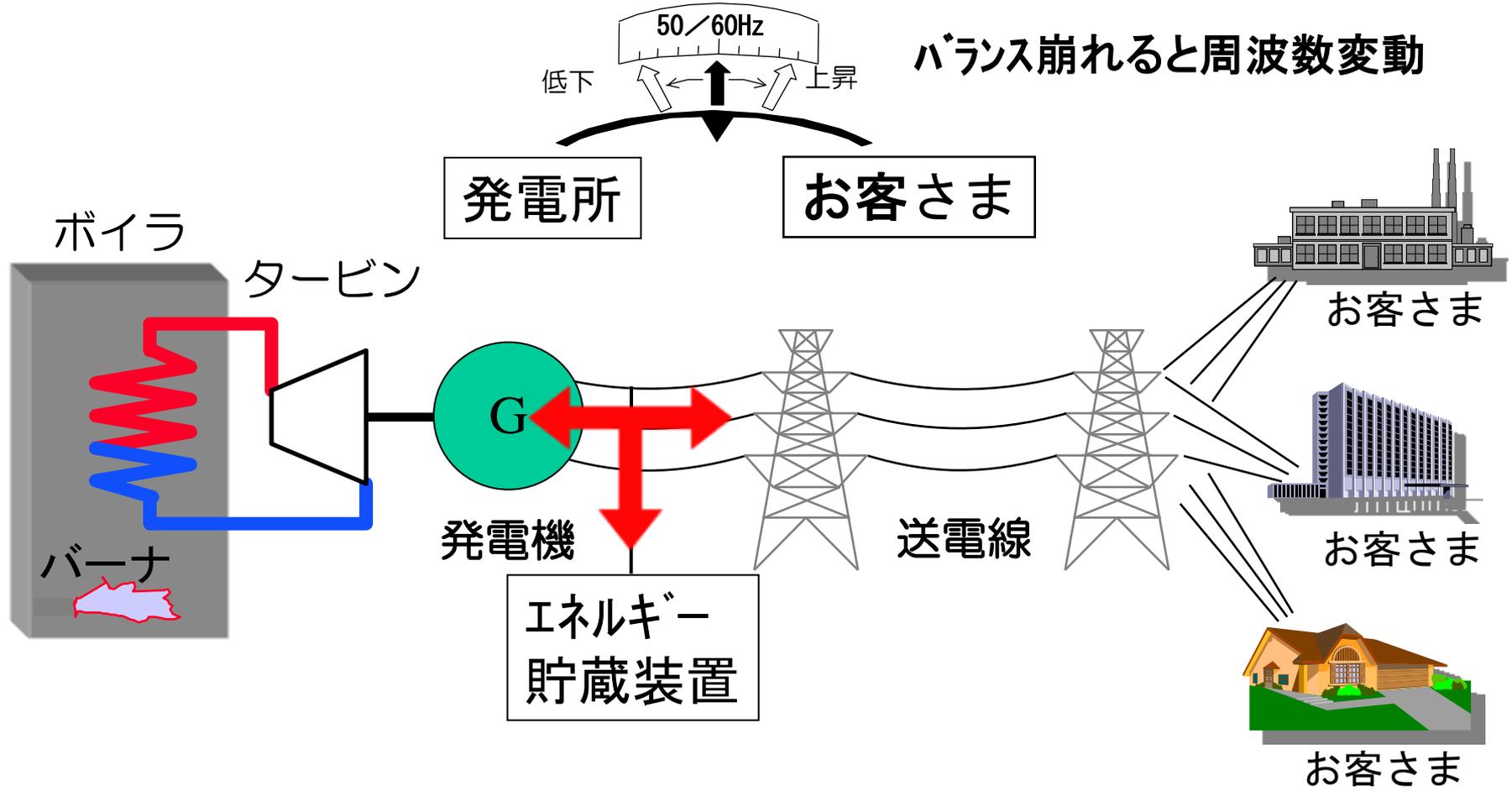
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
5MVA SMES Field Test			10MVA SMES Field Test			10MVA SMES Practical Use Operation		
	▲ Beginning in July		▲ Beginning of October			▲ Beginning in July		
Results of operation								
<ul style="list-style-type: none"> ★ 5MVA (Field Test) ★ 10MVA (Field Test) ★ 10MVA (Practical Use) 								
	★ 9/24	★ ★ 7/7 8/18 7/13	★ 4/2 ★ ★ ★ 2/11 7/8 8/12 4/2	★ ★ ★ 5/10 4/15 8/29 6/8	7/28 ★ ★ ★ 8/29 9/2 9/3 9/5	★ 3/18	★ ★ ★ ★ 9/23 12/8 7/1 10/19	★ 4/24 4/25



■ 電力ネットワークの安定化



■ 電力ネットワークの安定化



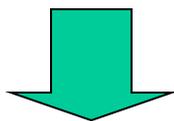
エネルギー貯蔵装置により変動を吸収し、電力品質を維持

超電導電力ネットワーク制御システム技術開発

10万kW級の電力系統制御用SMESのシステム技術を確立する。
平成16年度～平成19年度（4カ年）

1. システム構成要素技術開発

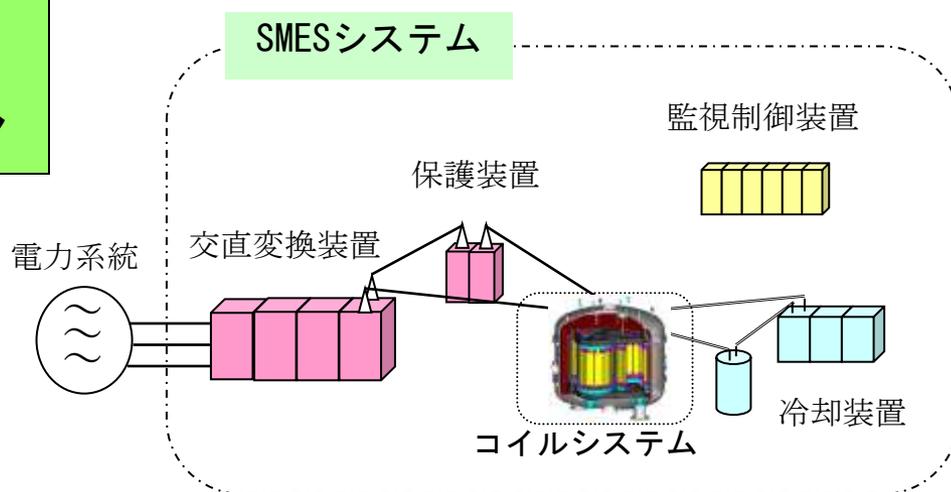
- コイル・冷却システム
- 大容量電力変換技術
- システムコーディネーション



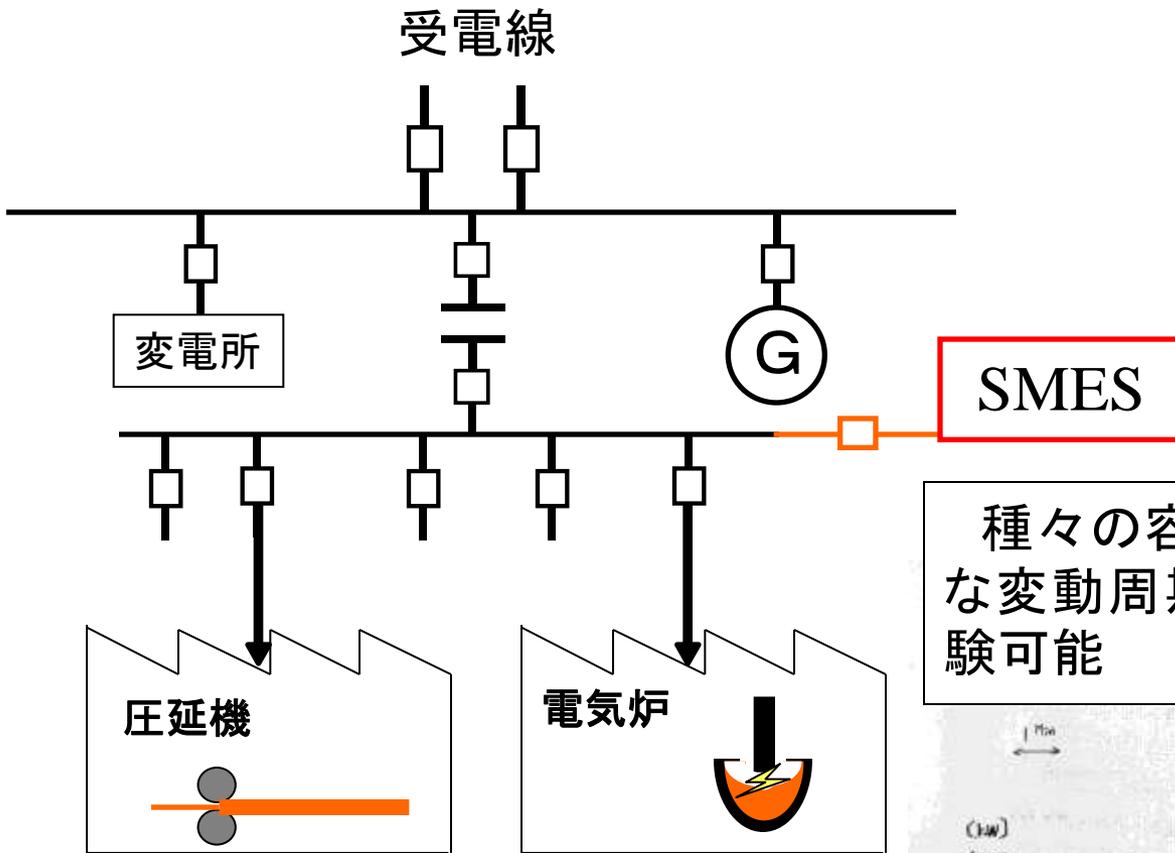
2. システム検証試験・評価

- 実系統連系試験・評価

金属系超電導コイルの低コスト化は
前フェーズにて実施済

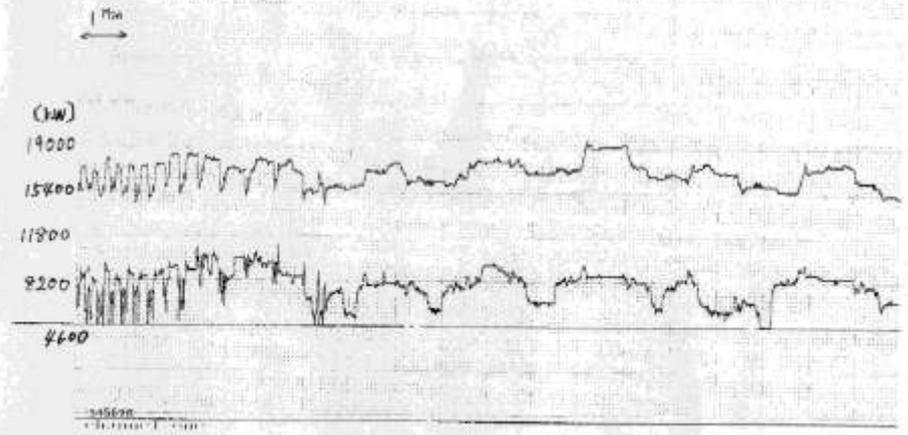


試験サイト候補(金属圧延工場)



水力発電設備があることから、小規模電力系統が構成されている。

種々の容量の圧延機を持つため様々な変動周期・変動幅を持った負荷を経験可能



試験サイトの概要

古河電工日光事業所



圧延機



リードフレーム用銅合金条



貴金属複合条



電子部品用リン青銅条



SMESフィールド試験建屋内 機器配置状況

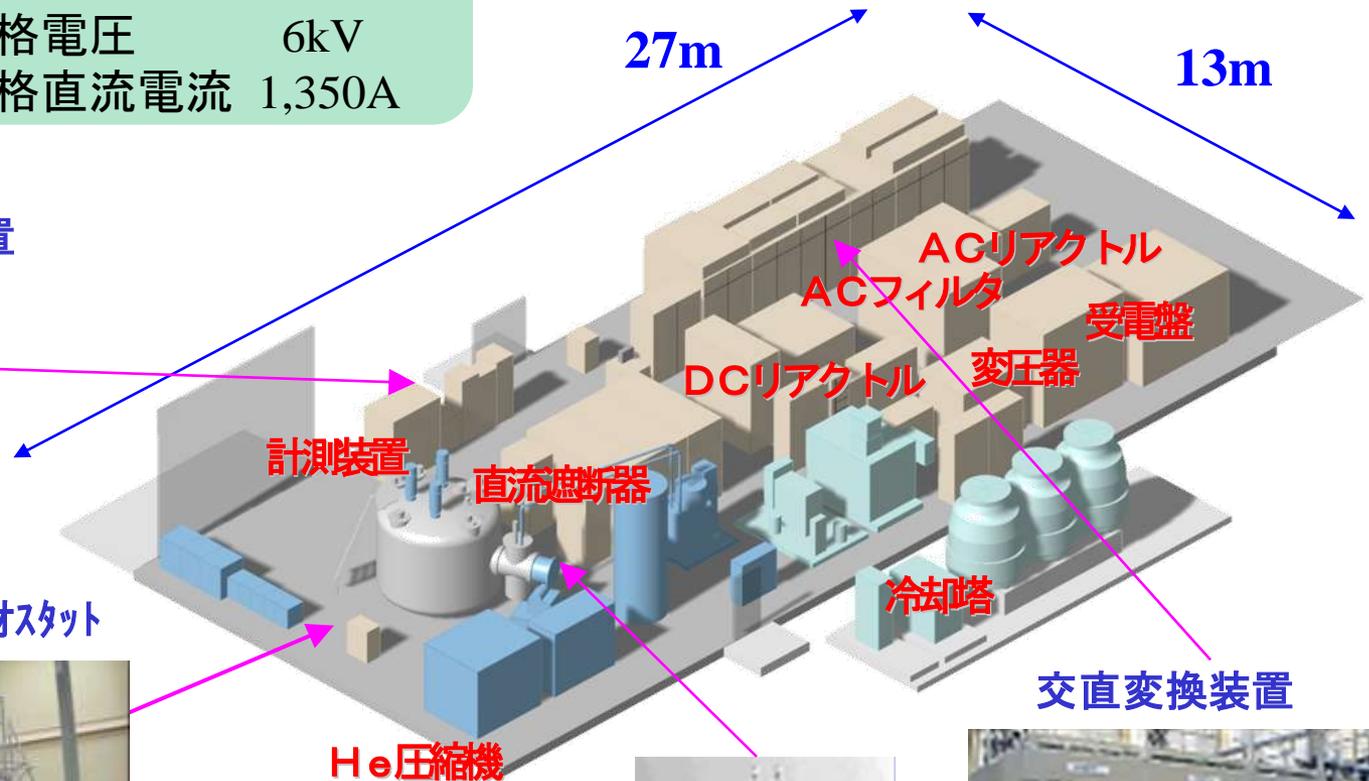
システム 定格

- ・定格出力 10MVA
- ・貯蔵容量 20MJ
- ・定格電圧 6kV
- ・定格直流電流 1,350A

系統安定化制御装置



超電導コイル・クライスタット



主要装置の主な仕様

超電導コイル

項目	諸元
運転条件	1MW出力運転
超電導コイルインダクタンス	21.1H
最大蓄積エネルギー	19.2MJ
利用エネルギー	10MJ
定格直流電流	1,350A
最小直流電流	930A
通常運転時最大印加電圧	3kV
定格電流遮断時印加電圧	6kV
主回路接地方式	コイル中点接地
遮断時定数	5秒

電力変換装置

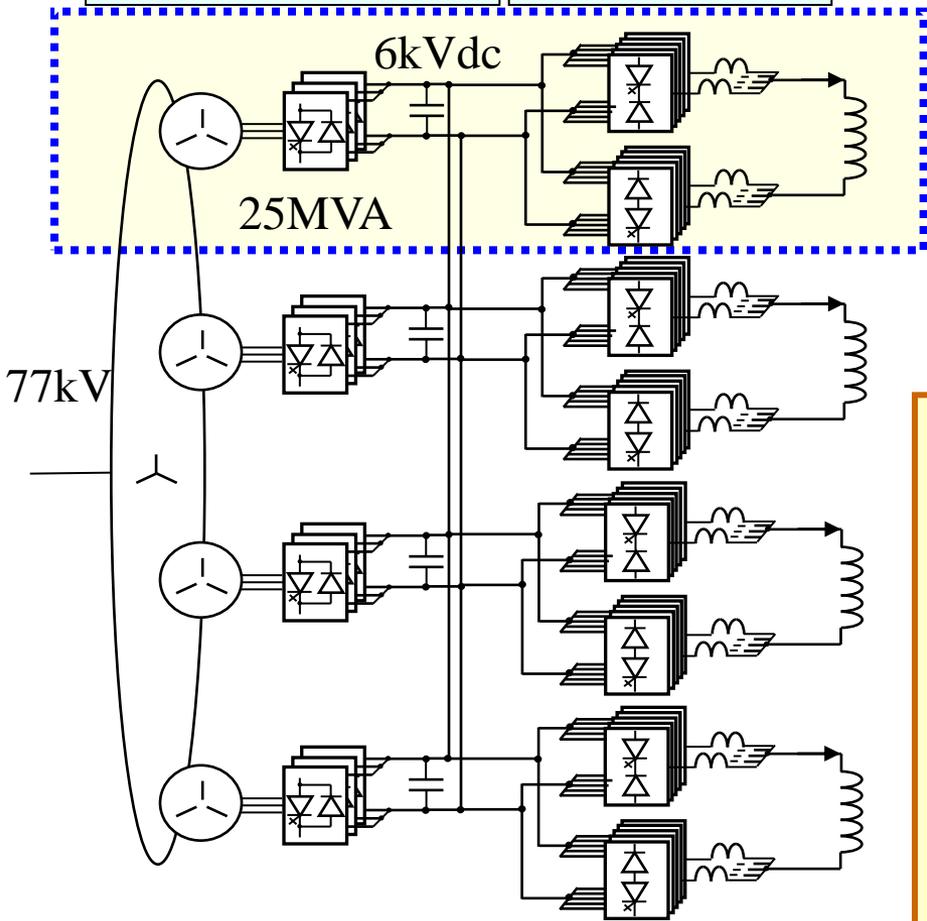
項目	インバータ諸元	チョツパ諸元
装置定格容量	10MVA	20MVA
適用素子	GCT	GCT
適用素子電圧	6kV	6kV
適用素子電流	6kA	6kA
変換器構成	1段多重3相インバータ	2並列チョツパ回路
アーム構成	3レベル構成	3レベル構成
冷却方式	純水冷却	純水冷却

10MVA／20MJ級 SMES変換器の構成

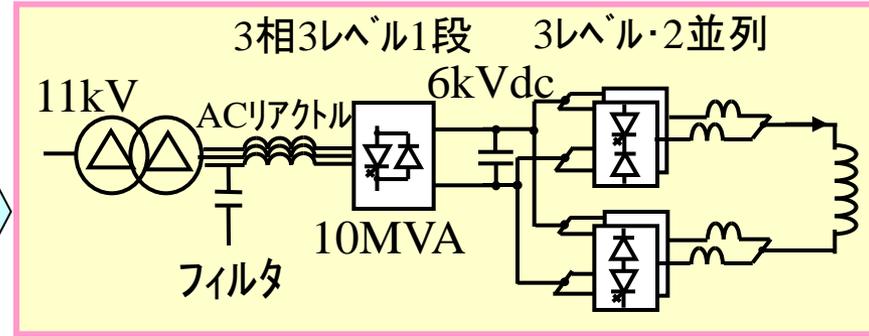
<インバータ>
単相3レベル×3相×4段

<チョッパ>
3レベル5並列チョッパ

100MVA機の1段分に相当する変換器を抽出



100MVA-SMESシステム変換器



10MVA変換器

- 10MVA変換器は、100MVA-SMESの1段分の変換器の構成を基本に構築
- 100MVA変換器システムの以下の項目を検証
 - ① 変換器効率
 - ② 電力制御の応答性
 - ③ 並列チョッパの制御性(分流制御)

システム入出力仕様・保護方式

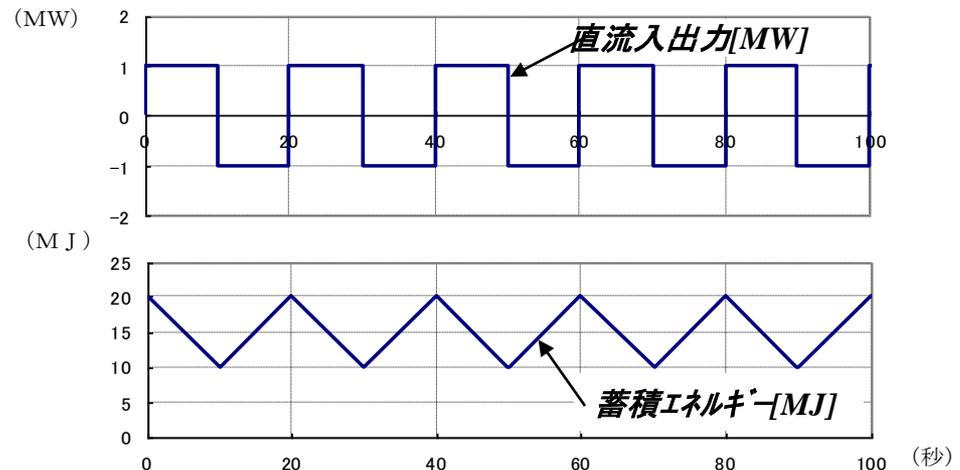
システムの保護方式

軽故障 <u>(警報発報)</u>	構成機器異常のうち、緊急性の低い異常の警報を 発報 (変換器用ファン異常など)
中故障 <u>(回生停止(変換器回生動作による放電停止))</u>	変換器が正常で、コイル側の異常により通電停止する場合、 変換器を回生運転でコイル電流を低下させ、システムを停止 (コイル側ヘリウム液面低下など)
重故障 <u>(緊急停止(保護抵抗によるエネルギー放出停止))</u>	変換器異常、コイル側異常で緊急停止する場合、コイル保護用 直流遮断器開放により、抵抗器にてエネルギーを消費させ システムを停止 (変換器異常、コイルクエンチなど)

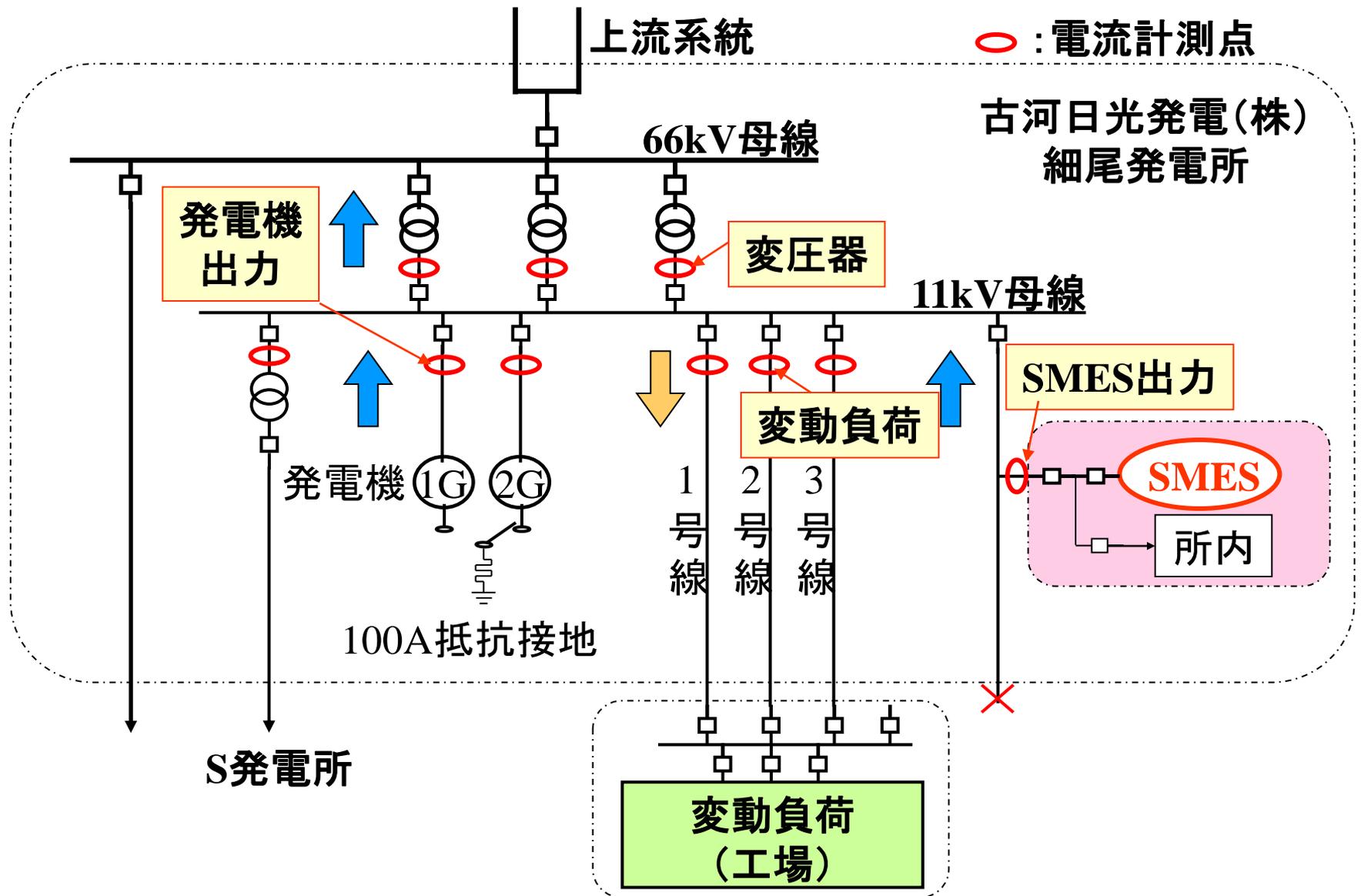
定常入出力運転時の動作

実系統に連系し、2万回以上の
入出力性能を検証できること
入出力パターン:

1MW × 10秒 × 連続
変換器定格 : 10 MVA

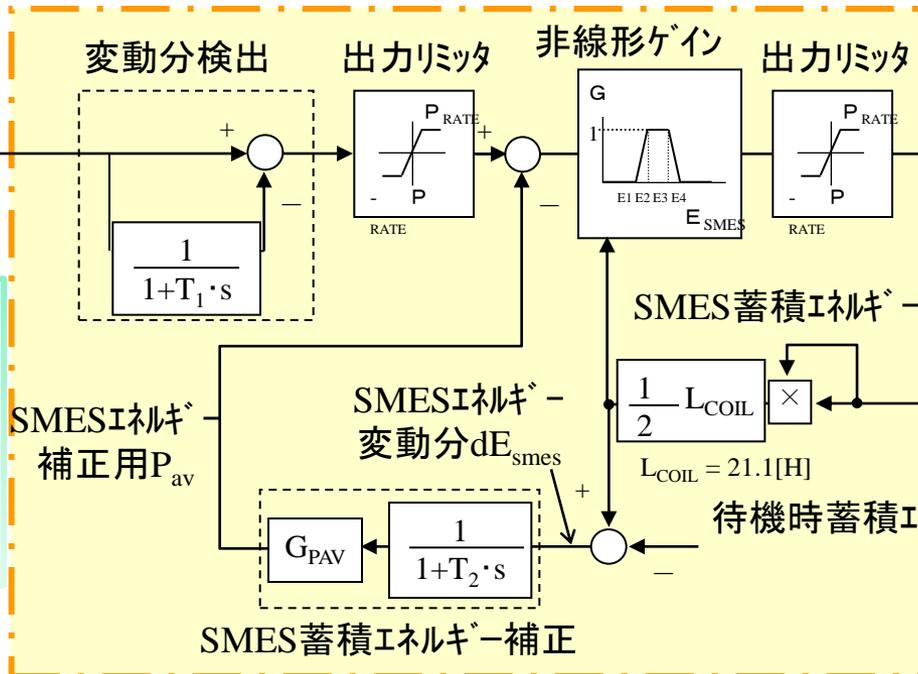


試験サイト系統構成



負荷変動補償 制御ブロック

変動負荷
 P_{load}

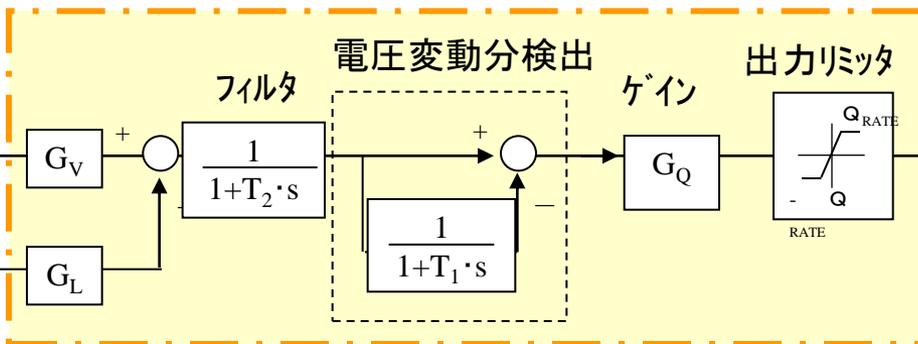


SMES有効電力
指令 P_{smes}

SMESの運転領域を考慮した出力調整、コイル電流の維持を行う蓄積エネルギー補正を追加

(a) 有効電力補償制御ブロック

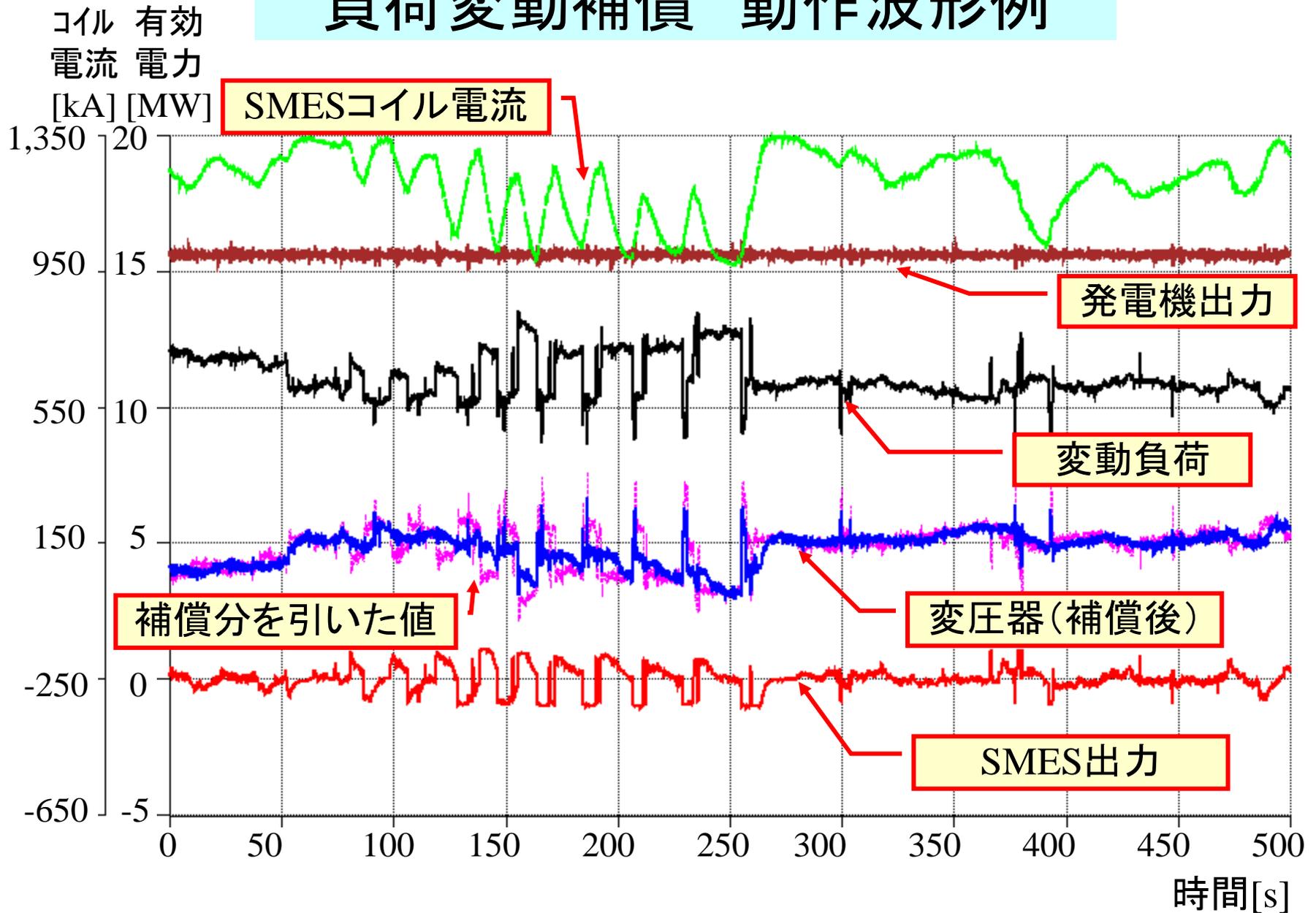
11kV母線
電圧 V
変動負荷
 Q_{load}



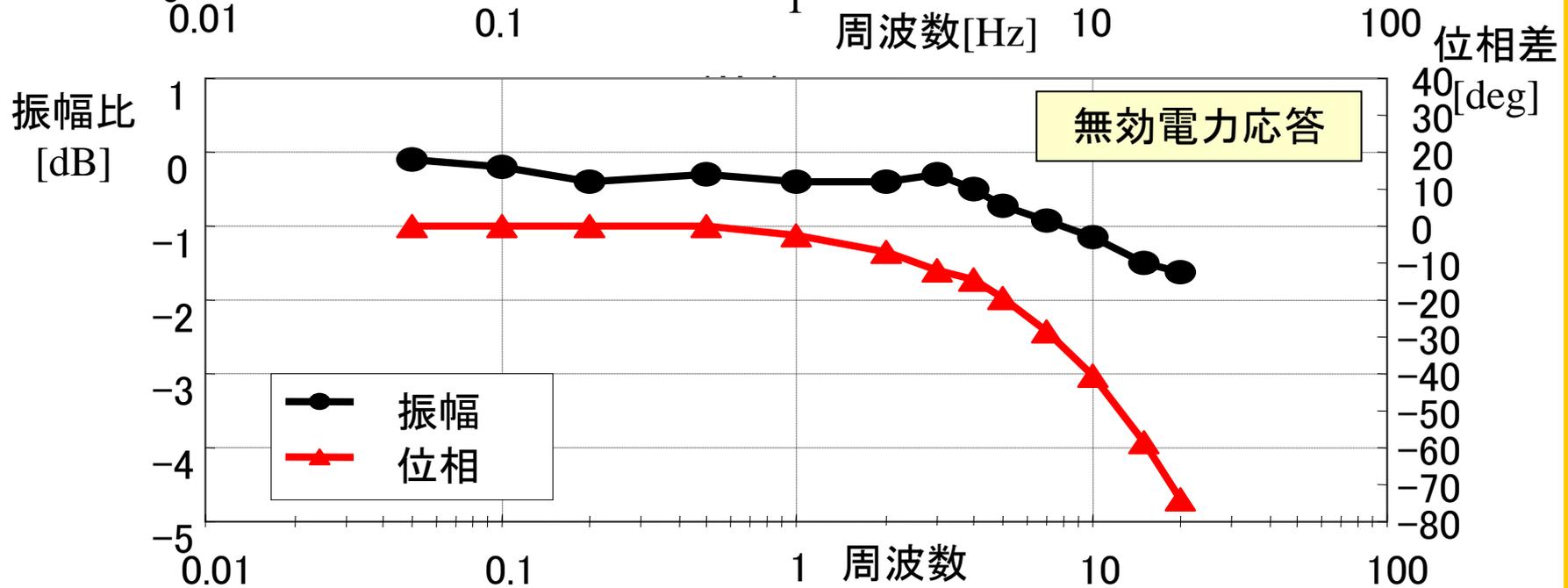
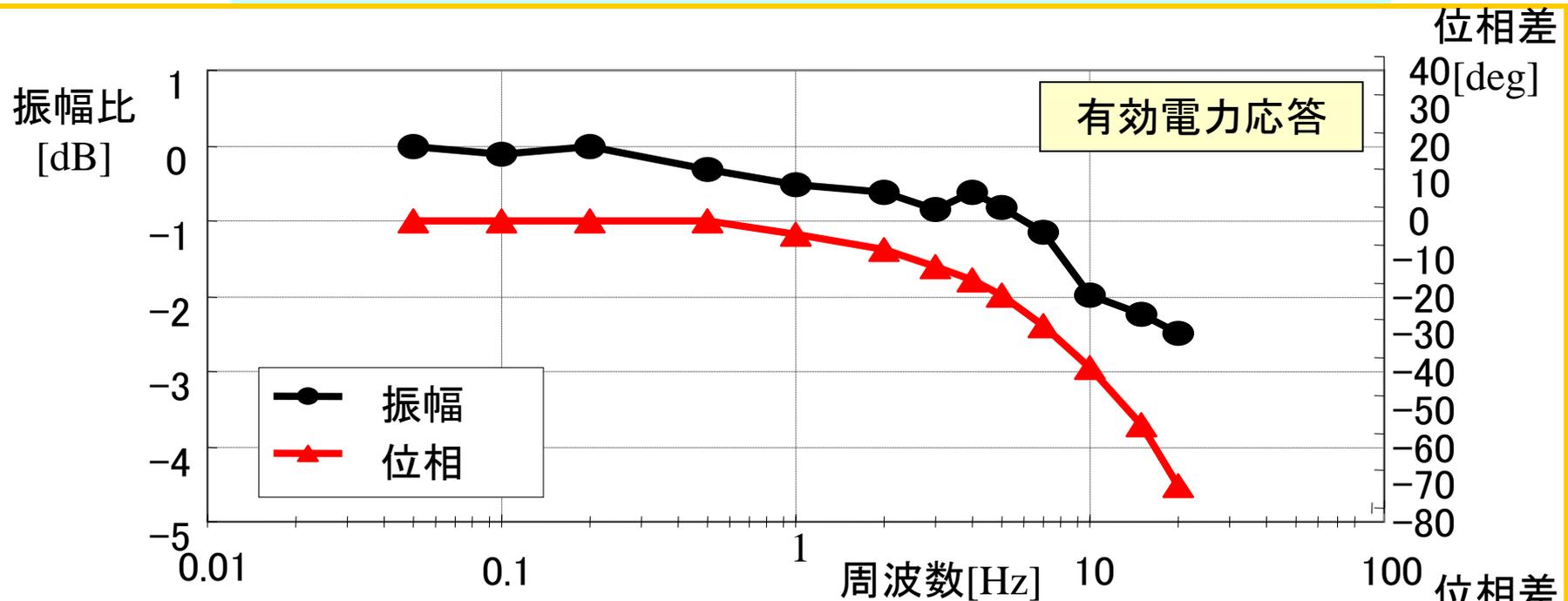
SMES無効電力
指令 Q_{smes}

(b) 無効電力補償制御ブロック

負荷変動補償 動作波形例

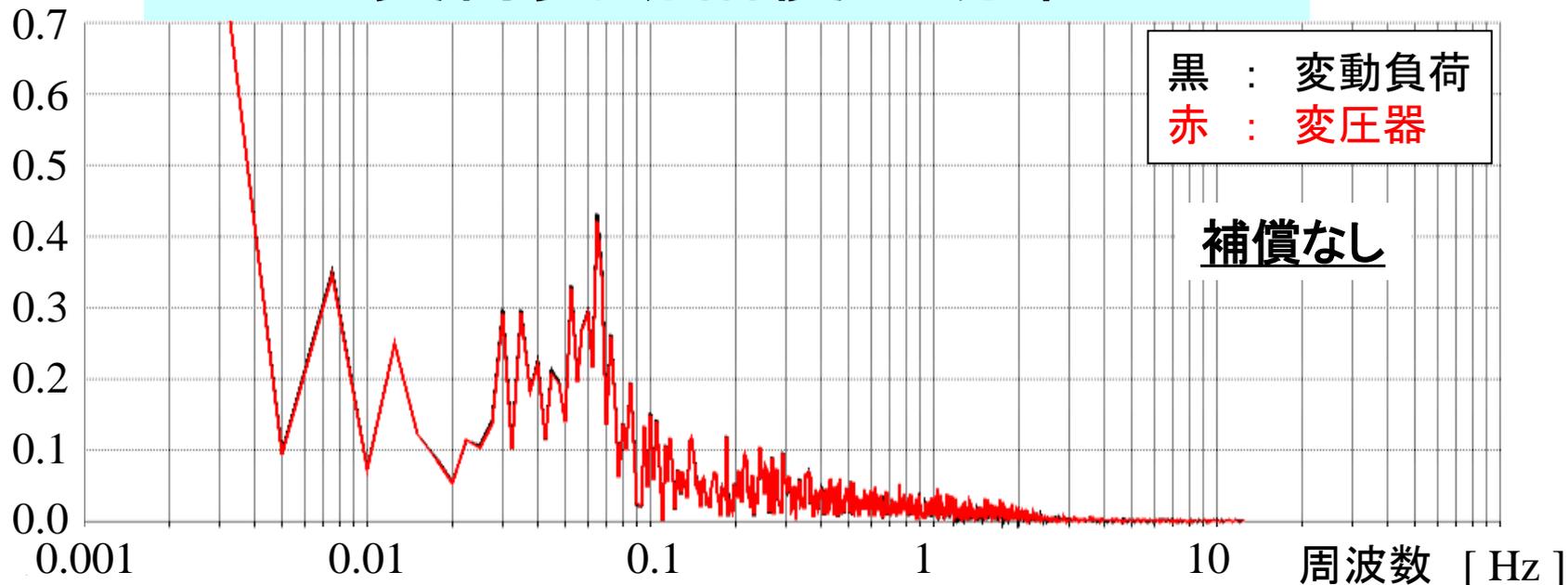


SMESシステムの周波数応答特性

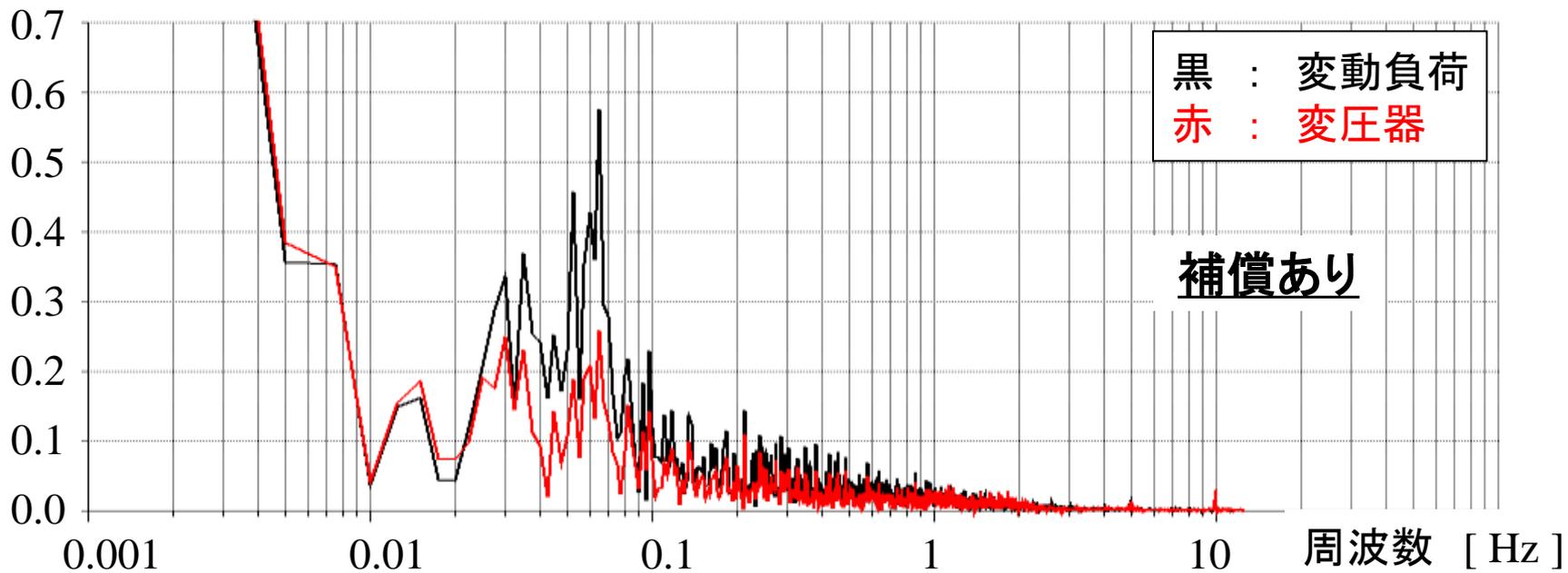


負荷変動補償の効果

電力 [MW]

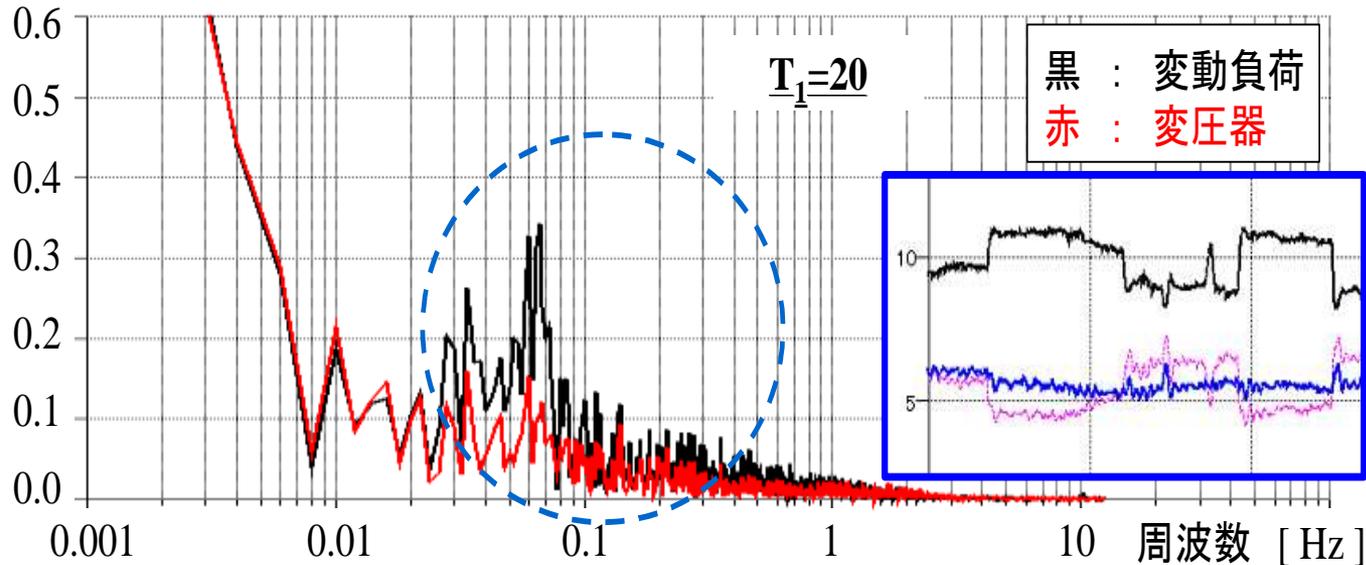


電力 [MW]

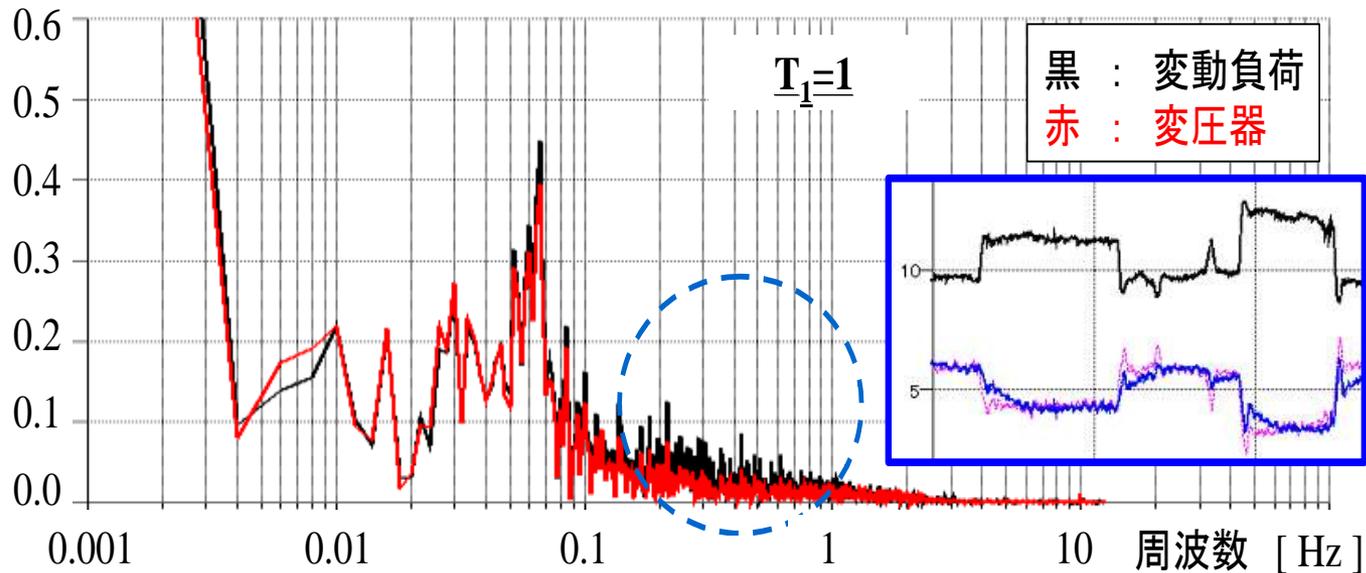


T_1 の変更による補償効果の変化

電力 [MW]



電力 [MW]



SMES開発国家プロジェクトの流れ

着実な低コスト化への取り組みの展開

フェーズⅠ

(平成3～10年度)

【超電導電力貯蔵システム
要素技術開発調査】

プロジェクト総額: 約60億円

- ・要素技術開発
- ・コイル設計・製作技術

◇コスト: 400万円/kW以上



定格電流
20kA

フェーズⅡ

(平成11～15年度)

【超電導電力貯蔵
システム技術開発】

プロジェクト総額: 約38億円

- ・コイルコスト低減技術開発

◇コスト: 20万円/kW



定格電流
10kA

フェーズⅢ

(平成16～19年度)

【超電導電力ネットワーク
制御技術開発】

プロジェクト総額: 約53億円

- ・変換器低減技術開発
- ・実系統連系による検証

◇コスト(目標: 14万円/kW)



定格電流
1.4kA

Y系超電導コイルによる高磁場コンパクト化で、
更なる低コスト化と信頼性向上を図る

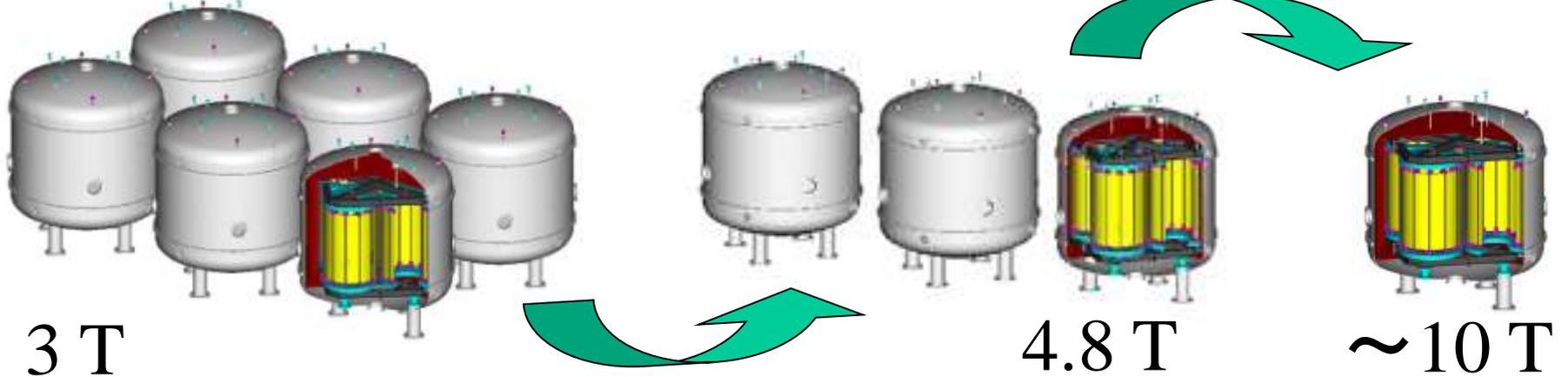
酸化物超電導コイル開発

開発のねらい

高磁場化によるコンパクトコイルの開発

負荷変動補償用途: 1. 8GJ級SMES

酸化物系による高磁界化



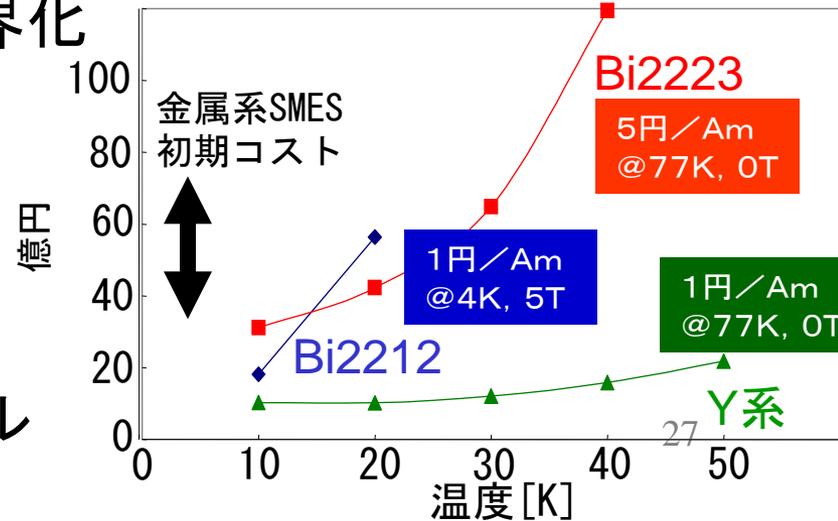
金属系による高磁界化

コンパクト化



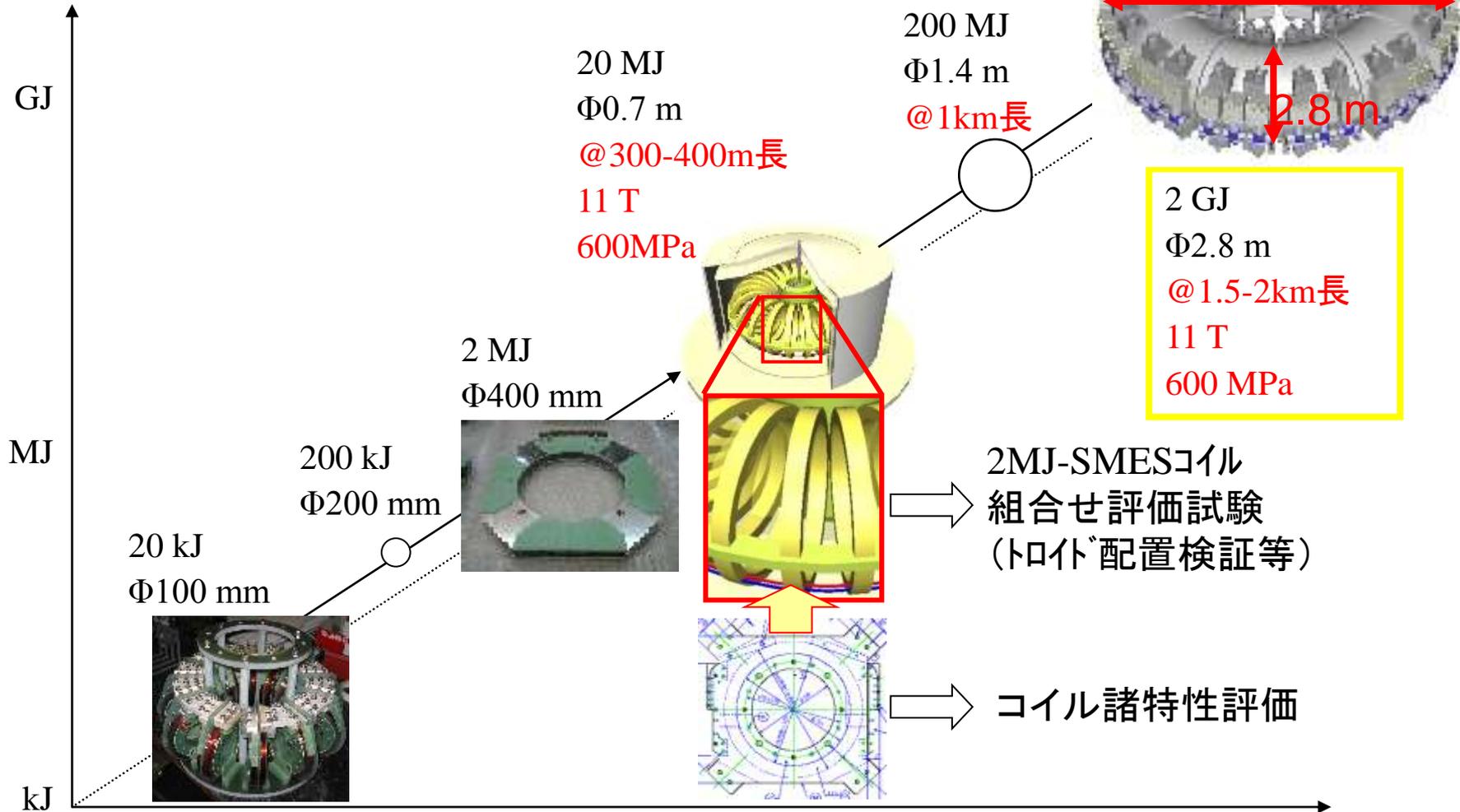
物量低減によるコスト低減

現地施工性・運搬性にも優れたコイル



Y系SMESコイル開発ステップ

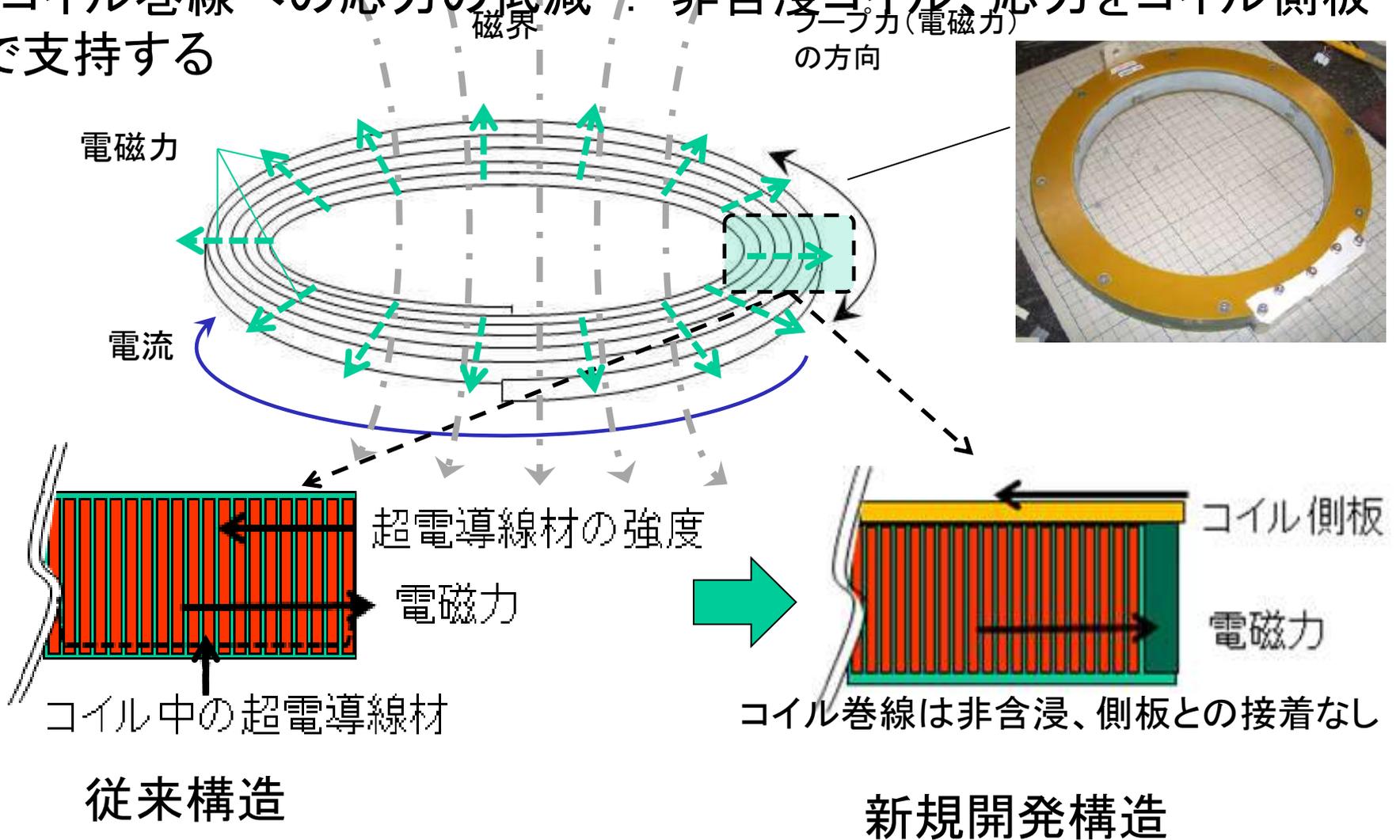
蓄積エネルギー



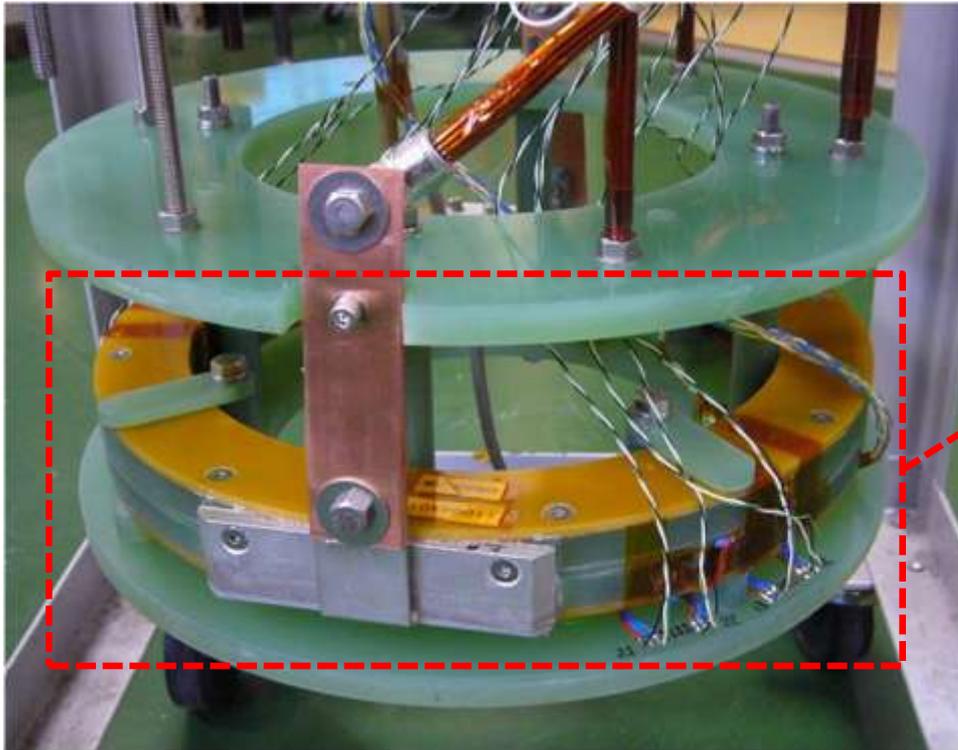
新型コイル補強構造

Yoroi-coil (Y-based oxide superconductor and reinforcing outer integrated coil)

コイル巻線への応力の低減 : 非含浸コイル、応力をコイル側板で支持する



構造強化型コイル (Yoroi-coil)



コイル通電 1,500A (電源の最大出力) @ 8 T,

SMES要素技術検討 (2011)

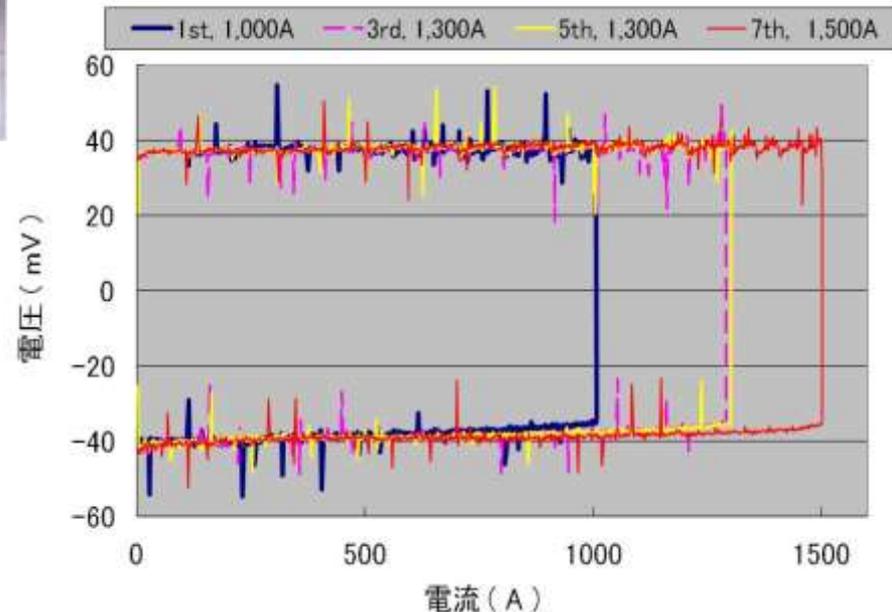
ダブルパンケーキ型

内径 : 219 mm

外径 : 240 mm

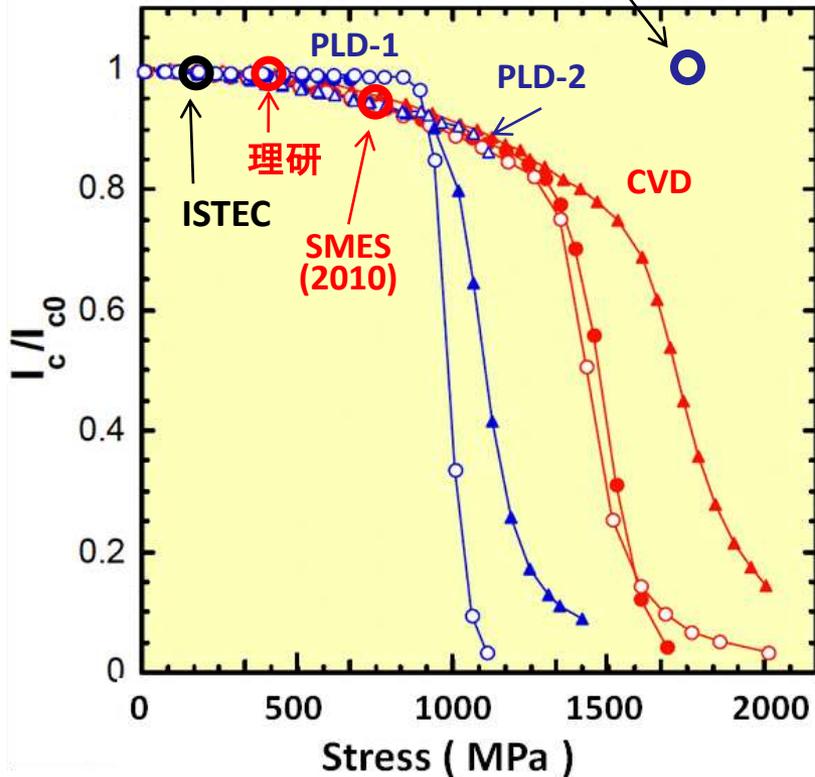
高さ : 30 mm

最大電磁応力: 1.7 GPa



Y系超電導コイル開発

ヨロイコイル



SMES要素技術検討 (2010)

シングルパンケーキ型

内径 : 200 mm

外径 : 250 mm

高さ : 12 mm

最大電磁応力: 740 MPa



Y系超電導モータ (ISTEC)

平傘型レーストラック型

短径 : 184 mm

長径 : 514 mm

高さ : 86 mm

最大電磁応力: 150MPa



NMR開発用内挿コイル(理研)

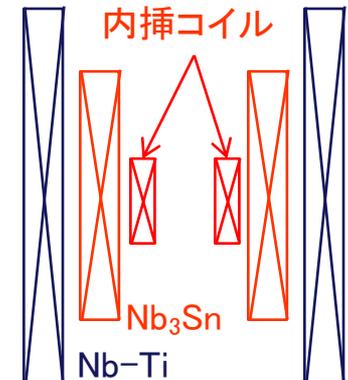
レイヤー巻

内径 : 50 mm

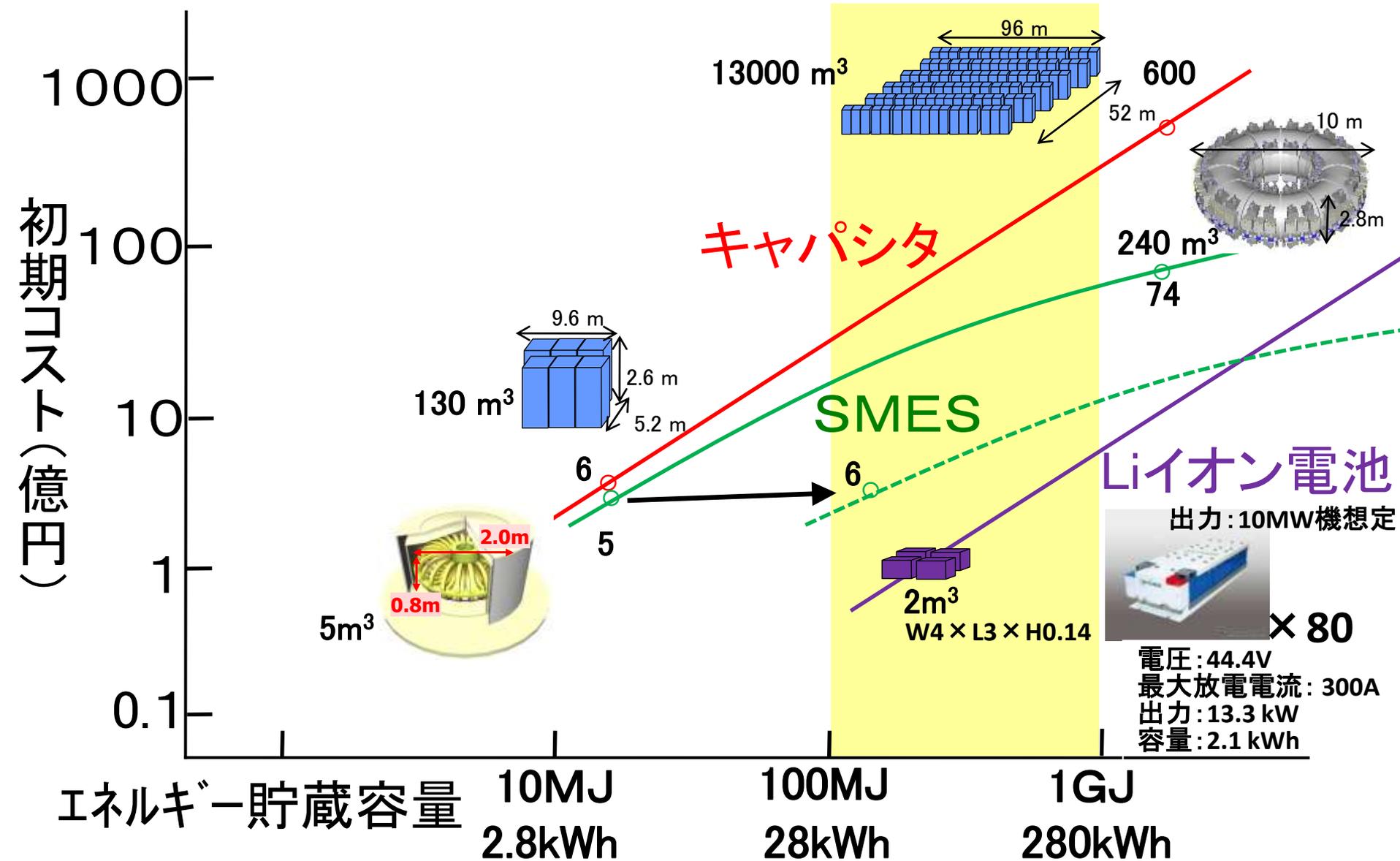
外径 : 113 mm

高さ : 88 mm

最大電磁応力: 408MPa



Y系SMESと電気二重層キャパシタの貯蔵部比較



Y系SMESとキャパシタ、Liイオン電池の貯蔵部比較 (出力1万kW)

