

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20760180  
 研究課題名（和文）  
 大規模超電導電力貯蔵の実現をめざした超電導コイル用電流型電力変換器システムの開発  
 研究課題名（英文）  
 Development of current source power converter systems for large scale SMES coils  
 研究代表者  
 野村 新一（NOMURA SHINICHI）  
 東京工業大学・統合研究院・特任助教  
 研究者番号：90401520

## 研究成果の概要（和文）：

超電導磁気エネルギー貯蔵（SMES）は高効率かつ応答速度が極めて速い理想的なエネルギー貯蔵装置として期待されている。本研究は、超電導コイル用電力変換器システムの実験研究を行い、200 V-100 A 級試作機を開発した。液体ヘリウム温度（4.2 K）に冷却された超電導コイルを用いた実験結果より、超電導コイルへの直流電力が制御可能であることを確認し、SMES 用変換器としての可能性を実証することに成功した。

## 研究成果の概要（英文）：

Superconducting magnetic energy storage (SMES) is expected as an ideal energy storage system because of high efficiency and high power density. In this work, an experimental study on power converter systems for superconducting coils was carried out, and a 200 V-100 A class prototype converter has been developed. From the experimental results using a superconducting coil cooled with liquid helium (4.2 K), the power control capability to the superconducting coil was verified, and the feasibility as a power converter system for SMES was demonstrated.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：超電導工学・電力工学

科研費の分科・細目：分科：電気電子工学 細目：電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気エネルギー工学・超電導磁気エネルギー貯蔵・パワーエレクトロニクス

## 1. 研究開始当初の背景

季節間や昼夜間の電力需要の格差は電力設備の利用率の低下を引き起こしている。特に我が国において化石燃料の枯渇や地球温

暖化ガスの削減の観点から、原子力発電所の活用が再重要視されているが、ベース供給力としての原子力発電は電力負荷調整能力に乏しく、揚水発電や火力発電などにより電力

の需給バランスを保っているのが現状である。したがって、将来の電力システムにおいて、夜間余剰電力の貯蔵が可能な電力貯蔵設備の積極的な導入が必要不可欠となる。

超電導磁気エネルギー貯蔵 (SMES) は、高効率かつ応答速度が極めて速い理想的な貯蔵装置であり、揚水発電と比べても立地条件が緩和され、都市近郊に設置可能な電力貯蔵装置として期待できる。

これまで研究代表者は、電磁力の大幅な低減化という観点から、SMES 装置本体である超電導コイルの最適化研究に従事してきた。しかしながら、大規模 SMES 装置を実現させるためには、高効率かつ制御性に優れた超電導コイル用電力変換器システムの開発が必要不可欠な技術課題となる。そこで、超電導コイル用電流型電力変換器システムについて実験研究を行い、SMES 用電力変換器としての適正を実証する研究を遂行した。

## 2. 研究の目的

本研究は、「高効率かつ制御性に優れた超電導コイル用電流型電力変換器システムの実験研究を行い、大規模 SMES 装置への適用の可能性を実証する。」ことを目的としている。

超電導コイル用変換器として使用されるサイリスタ変換器は、遅れ位相により超電導コイルへの直流電力を制御するため、無効電力補償装置が必要となる。本研究は、可変直列コンデンサの機能を有する電流スイッチを用いて進み位相で直流電力を制御し、サイリスタ変換器の直列補償を行うことを試みるものである。

## 3. 研究の方法

図 1 に示すように、直列補償型サイリスタ変換器と通常のサイリスタ変換器とを組み合わせ変換器システムの可能性について研究を行った。本研究において、直列補償型サイリスタ変換器とは、可変直列コンデンサの機能を有する電流スイッチを用いて進み位相で直流電力を制御するサイリスタ変換器のことを意味する。

多数個の超電導コイルで構成される大規模 SMES では、電力変換器も多重化構成とされることが考えられる。そこで図 1 のように、変換器構成の半分は通常のサイリスタ変換器とし、遅れ位相により直流電力を制御する。残り半分は、可変直列コンデンサの機能を有する電流スイッチをサイリスタ変換器に直列接続し、電流スイッチの進み位相で直流電力を制御する。このときサイリスタ変換器は、整流器動作時は制御角  $\alpha = 0$  度近傍一定制御、インバータ動作時は制御角  $\alpha = 180$  度近傍一定制御とする。両者を組み合わせることで最終的に電力システムからみた力率は、ほぼ

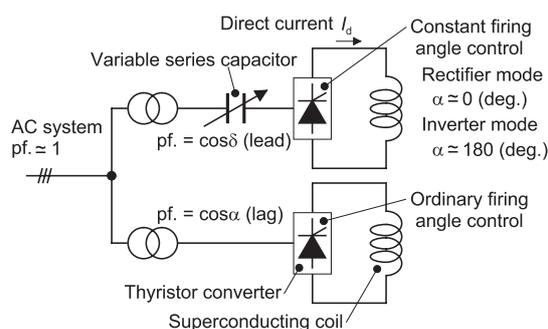


図 1 可変直列コンデンサーを用いた超電導コイル用サイリスタ変換器の直列補償法

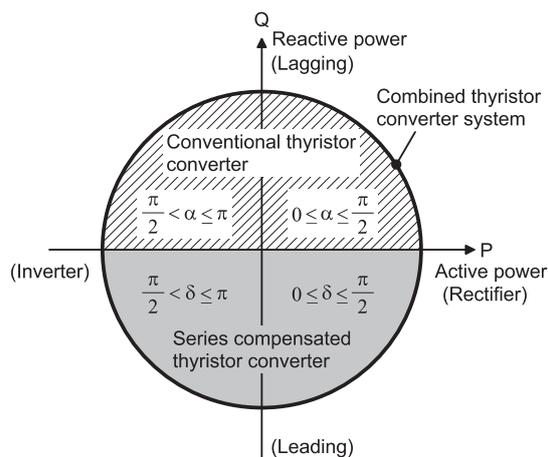


図 2 直列補償型サイリスタ変換器による組み合わせ変換器システムの動作領域概念図 ( $\alpha$ : 制御角、 $\delta$ : 電流進み角)

1 の状態が実現され、従来必要とされる無効電力補償装置の容量も半減化される。図 2 に変換器システムの動作領域の概念図をまとめる。

本研究では、上記概念に基づく 200 V-100 A 級変換器システムの試作機を開発し、液体ヘリウム温度 (4.2 K) に冷却された超電導コイルに接続した概念の実証実験を実施した。

## 4. 研究成果

開発した変換器システムの試作機実験回路を図 3 に、装置写真を図 4 に示す。試作機では、可変直列コンデンサの一例として、GCSC (gate-commuted series capacitor) と呼ばれる自己消弧形半導体電力変換素子で構成された電流スイッチを採用した。実証実験では自己インダクタンス 1.8 H を有する NbTi 線の超電導コイルを使用した。

本研究では、直列補償型サイリスタ変換器の進み位相による直流電力制御特性および組み合わせ変換器システムの無効電力補償特性について実験研究を実施した。

図 5 は直列補償型サイリスタ変換器単独運

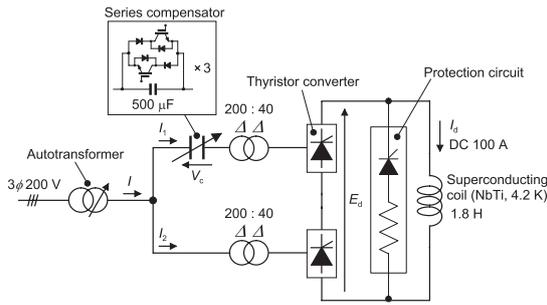


図3 変換器システム試作機実験回路図

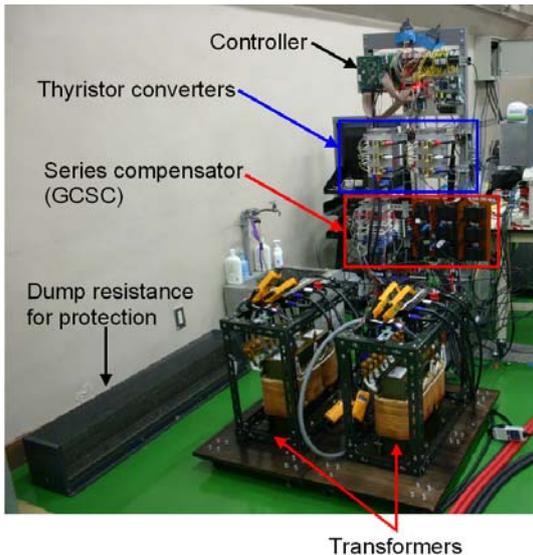


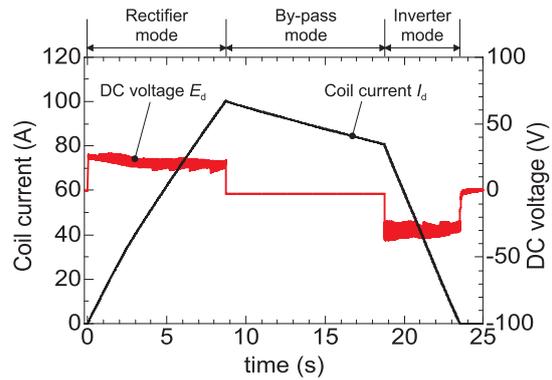
図4 試作機外観写真

転時の実験波形である。三相交流の線間電圧（変換器用変圧器の一次電圧）を100 Vとし、超電導コイルを100 Aまで励磁した。整流器動作は超電導コイルの充電、バイパスモードは貯蔵、インバータ動作は放電に相当する。

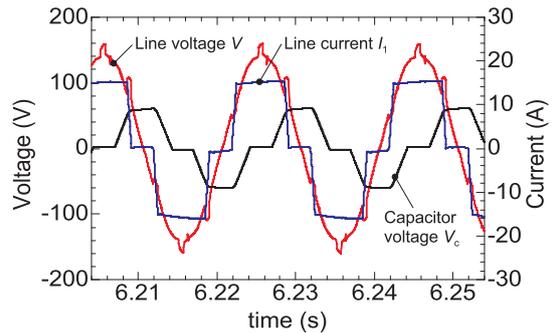
図5の結果より、整流器動作時、インバータ動作時ともに、可変直列コンデンサーを制御することでサイリスタ変換器が進み位相で動作可能であることを確認した。

実験結果に基づき、電流位相の進み角とサイリスタ変換器の直流平均電圧との関係を図6に示す。図6の結果より、電流位相の進み角によって、直流平均電圧が制御可能であることが確認された。すなわち、直列補償型サイリスタ変換器において、充電・貯蔵・放電のSMESを模擬した一連の運転を可能にし、超電導コイルへの直流電力が制御可能であることが実証された。

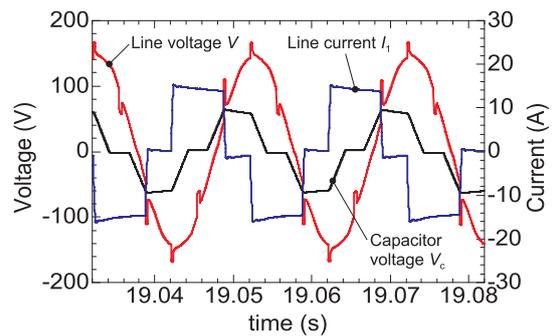
図7は直列補償型サイリスタ変換器と通常のサイリスタ変換器との組み合わせ変換器システムの実験波形である。図7の結果より、進み位相で直流電力を制御する直列補償型サイリスタ変換器と遅れ位相で直流電力を制御する通常のサイリスタ変換器とを組み



(a) 直流電圧電圧実験波形



(b) 整流器動作時の実験波形



(c) インバータ動作時の実験波形

図5 直列補償型サイリスタ変換器単独運転時の実験波形

合わせることで、整流器動作およびインバータ動作ともに電力系統から見た力率をほぼ1の状態に保ちながら、超電導コイルの充電、貯蔵、放電の運転を可能にすることが確認された。すなわち、組み合わせ変換器システムにより、超電導コイルへの直流電力制御を可能にしつつ無効電力補償を可能にすることが実証された。

以上の研究成果より、直列補償型サイリスタ変換器による組み合わせ変換器システムにおいて、SMES用電力変換器システムとしての適正を実証することに成功した。なお、変換器システムの実証段階において、液体ヘリウム温度(4.2 K)に冷却された超電導コイルを用いた実験研究の事例は数少ない。本研究で得られた成果は、SMES用変換

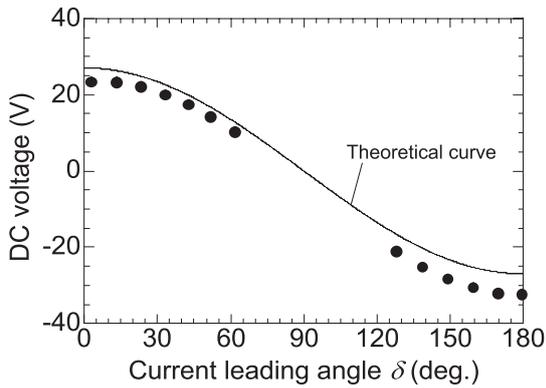
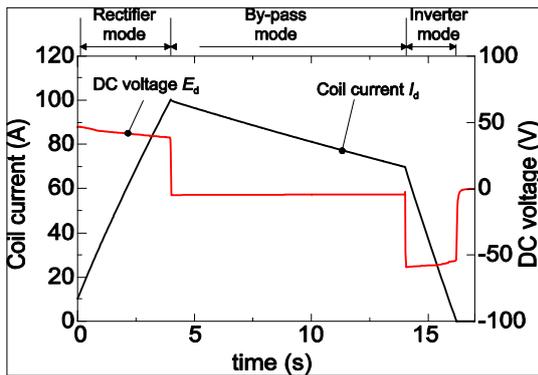
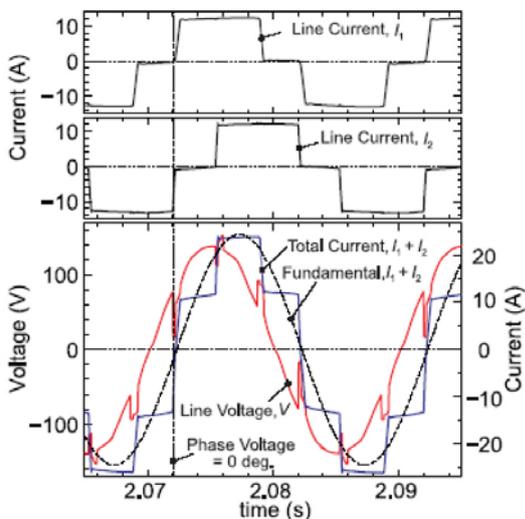


図 6 直列補償型サイリスタ変換器の直流電圧特性 (超電導コイル電流 75 A)

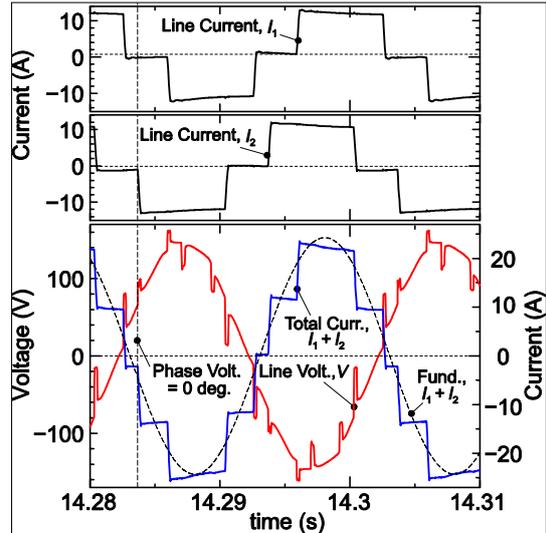
器だけでなく、核融合用超電導コイル電源や加速器用電磁石電源など、さらには直流送電技術や系統間直流連系設備 (Back-to-Back) などにおいても重要な技術的知見を与えるものと考え。今後はパワーエレクトロニクス技術や超電導技術に関する国際会議等で本研究で得られた成果について報告を行っていく予定である。



(a) 直流電流電圧実験波形



(b) 整流器動作時の実験波形



(c) インバータ動作時の実験波形

図 7 直列補償型サイリスタ変換器による組み合わせ変換器システムの実験波形

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

① Shinichi Nomura, Jan Arild Wiik, Ryuichi Shimada, "Series Compensation of Thyristor Converters for Superconducting Magnets," International Power Electronics Conference (IPEC-Sapporo2010), 2010 年 6 月 23 日、札幌

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 新一 (NOMURA SHINICHI)  
東京工業大学・統合研究院・特任助教  
研究者番号：90401520

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし