

平成22年 3月31日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760181
 研究課題名 (和文) 要素コイル積層型高温超伝導ソレノイドコイルの交流損失低減に基づく設計法の研究
 研究課題名 (英文) Optimum design of high temperature superconducting solenoid coil based on AC loss minimization
 研究代表者
 小川 純 (OGAWA JUN)
 新潟大学・自然科学系・准教授
 研究者番号：60377182

研究成果の概要 (和文)：

要素コイル積層型高温超伝導ソレノイドコイルを構成する超伝導線材の交流損失評価を行い、これを基にコイルの交流損失を数値実験により導出する解析コードの作成を行った。この解析コードを基にコイルのエネルギー蓄積量を一定としたときのソレノイドコイル断面形状の最適化設計を行った。

研究成果の概要 (英文)：

I evaluated the AC loss in the high temperature superconducting tapes which are in the electromagnetic condition of the superconducting solenoid coil. I developed the calculation code to estimate the AC loss in the HTS solenoid coil based on the measurement results. I research the optimum design of the solenoid coil based on the AC loss minimization using the AC loss calculation code.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：高温超伝導、超伝導リアクトル、交流損失、積層型超伝導コイル

1. 研究開始当初の背景

超伝導体は、交流電や変動磁界にさらされると交流損失が発生する。交流損失はたとえわずかであっても、極低温冷凍の効率が悪いいため、機器の効率、経済的実現可

能性を大きく左右する。今まで行ってきた測定では、線材に加わる交流磁界の方向により交流損失の大きさは3桁程度変化する。

実用線材として考えられているBi系線材、RE系線材はテープ形状をしており、印加さ

れる交流磁界がテープ面に平行の場合では、現状の線材でも交流磁界の振幅が0.1T程度以下であれば交流損失は許容できるレベルに収まる。このため、電力ケーブル、変圧器、限流器は試験機器、もしくはモデル機器レベルではこのような条件を満たすようにすることが可能で、これらの機器開発は現在世界各国で進められている。しかし、図1に示すように超伝導線材をソレノイド状に構成した場合、ソレノイドコイル中央部分ではコイルを構成するテープ面に平行に磁界が印加されるのに対し、コイル端部では磁界がソレノイドコイル中心軸に対し外側に開くため、テープ面に垂直に磁界が印加される。印加交流磁界がテープ面に垂直の場合、振幅が0.1T程度であっても交流損失は非実用的に大きくなる。特にRE系線材は薄膜構造をしているためこの特性が顕著にみられ、磁界の印加角度が損失特性に大きく影響を及ぼす。従って、一般的なソレノイド形状の超伝導コイルの場合、コイル端部の線材に垂直磁界成分が加わり、コ

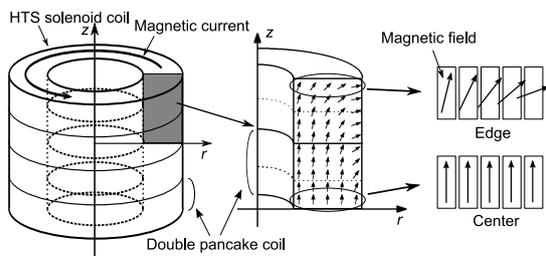


図1 ソレノイドコイル内部の磁界分布の様子

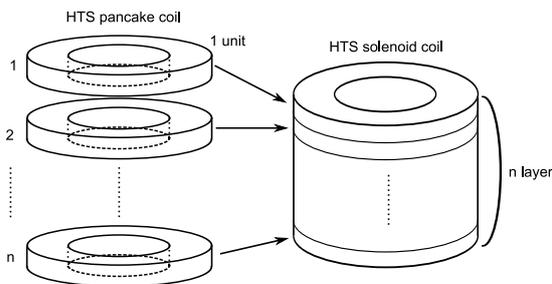


図2 積層型高温超伝導ソレノイドコイルの構造

イル全体の交流損失は大きくなり過ぎ非現実的値になる。このため、機器としての要求性能を満たし機器の超伝導化の利点が發揮できる高温超伝導コイルを実現するには現状の1桁以上の低交流損失化を図らなければならない。

2. 研究の目的

本計画は高温超伝導応用機器の基礎構成要素である高温超伝導コイルに関して、機器性能に直結する交流損失を低減するための設計法の開発を行う。一般的に、高温超伝導コイルを作成する方法は、図2に示すようにディスク型の高温超伝導コイルを要素コイルとして積層することにより作成されている。交流通電を行った場合、積層された高温超伝導コイルの一部で極端に交流損失が生じている部分があり、コイル形状を工夫することによりこの局所的な損失を解消しコイル全体の交流損失を低減することが可能である。このような背景から、本研究は超伝導コイルの交流応用の早期実用に向けた設計手法の開発を目的としている。

3. 研究の方法

本研究は実験と解析を並行して行った。

初めに超伝導コイルを構成する超伝導線材に生じる交流損失を導出するため、超伝導コイル内の電磁条件を模擬し、電流、磁界、磁界の印加角度をパラメータとした交流損

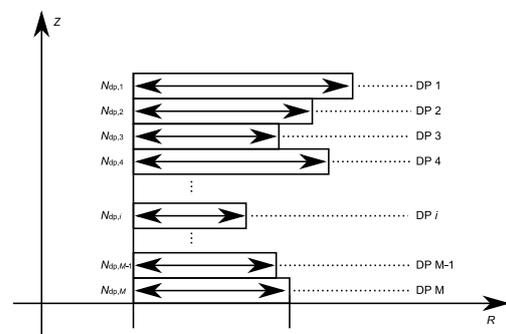


図3 ソレノイドコイルの数値実験モデル

失測定を行った。

超伝導コイル中の交流損失を導出するための数値実験コードを作成し、図3に示すように、積層型高温超伝導ソレノイドコイルを構成するそれぞれのパンケーキコイルの半径を変化させることにより交流損失特性を導出した。この時、超伝導コイルの蓄積エネルギーを一定として交流損失が最も少ない状態のデザインをローゼンブロック法により最適設計の導出を行った。

4. 研究成果

1) 高温超伝導線材の磁界印加角度による交流損失特性

図4にBi系線材に通電電流を10A、20Aと一定としたとき横軸を外部磁界、縦軸を交流損失としたときそれぞれの磁界印加角度における交流損失を示す。この結果より、外部磁界の垂直成分が増加したときに交流損失が増加していく現象が定量的に示されている。このため、交流損失を低減するためには線材面に対して平行方向に磁界が印加されることが鍵となる。この測定結果を使用し、通電電流、外部磁界、外部磁界の印加角度をパラメータとした交流損失の評価関数を作成した。

同様の実験をBi系線材とY系線材で行いそれぞれの線材で電磁条件のパラメータを

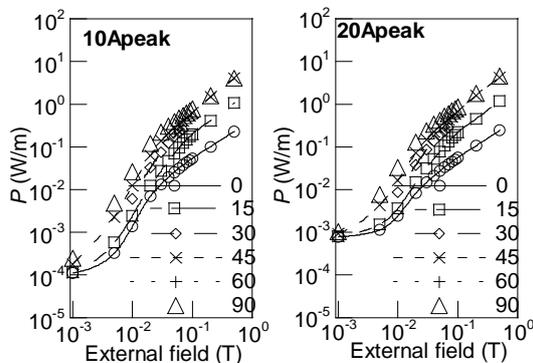


図4 Bi系線材の外部磁界印加角度による交流損失の影響

入力したときに損失を導出することが可能となった。

2) 積層型高温超伝導ソレノイドコイルの最適化設計

超伝導コイル内の磁界分布を数値計算により導出し、コイルを構成する高温超伝導線材

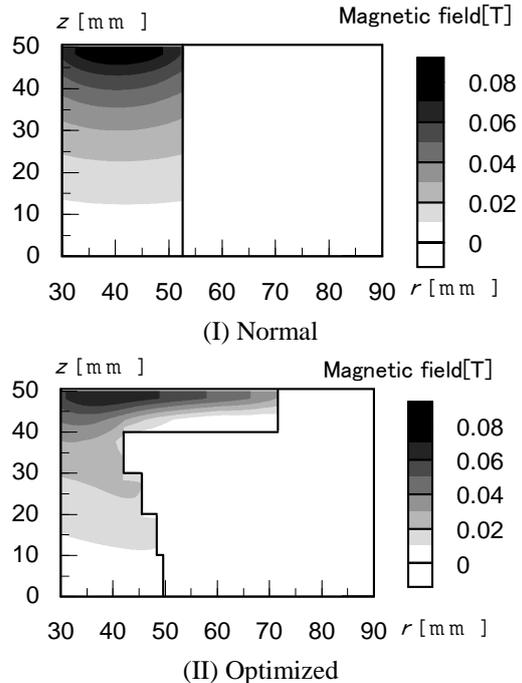


図5 超伝導コイル内の線材面に対する垂直成分の磁界分布

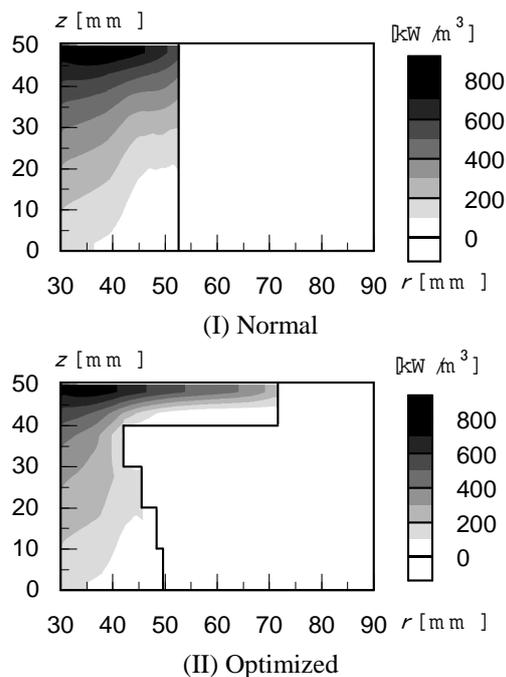


図6 超伝導コイル内の交流損失分布

の電磁条件を導出するための関数を作成した。この関数を用い各線材における交流損失を導出し、これらの総和をコイル全体の損失として導出を行った。コイルの形状は蓄積エネルギーを一定としてローゼンブロック法により最適化設計を行った。

図5に例として高さ 100mm の超伝導コイルの最適設計をする前と最適化設計を下後の超伝導コイル内の線材面に対し垂直成分の磁界分布を示す。最適化していない場合にはコイル端部の線材に、非常に大きな垂直磁界が印加されていることが示されている。これに対し最適化した場合には線材端部の磁界が減少していることが示されている。図6にそれぞれの超伝導コイル内に生じる交流損失分布を示す。この結果より最適化した場合には、超伝導線材に対し垂直成分が減少することからコイル端部の損失が減少しており、結果としてコイル全体の損失が2割程度減少した。

この設計コードは、線材の交流損失のパラメータを入れ替えることにより、様々な線材に対応することが可能であり、ダイポールマグネットなどの複数個のマグネットに対しても同様の手法を用いることにより、最適化設計を行うことが可能である。

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)

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 2 件)

1. 高橋政樹, 小川純 他 4 名, 巻線断面形状の最適化設計による高温超伝導コイルの交流損失低減効果, 第 80 回低温工学・超伝導学会, 2009 年 5 月 13 日, 東京
2. 高橋哲也, 小川純 他 6 名, 高温超伝導ダブルパンケーキコイルの交流損失特性, 第 18 回電気学会新潟支所研究発表会, 2008 年 11 月 8 日, 新潟

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 純 (OGAWA JUN)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号: 60377182