

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5526629号  
(P5526629)

(45) 発行日 平成26年6月18日 (2014. 6. 18)

(24) 登録日 平成26年4月25日 (2014. 4. 25)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 F 6/06 (2006.01)

H O 1 F 5/08 Z A A N

H O 1 F 5/08 C

請求項の数 11 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2009-159751 (P2009-159751)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成21年7月6日 (2009. 7. 6)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2011-14830 (P2011-14830A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成23年1月20日 (2011. 1. 20)	(74) 代理人	100064746
審査請求日	平成24年5月28日 (2012. 5. 28)		弁理士 深見 久郎
		(74) 代理人	100085132
			弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100083703
			弁理士 仲村 義平
		(74) 代理人	100096781
			弁理士 堀井 豊
		(74) 代理人	100109162
			弁理士 酒井 将行
		(74) 代理人	100111246
			弁理士 荒川 伸夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導コイル体の製造方法および超電導コイル体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の超電導線材を準備する工程と、

前記超電導線材の中から平均厚みが最も大きな第1の超電導線材を特定し、前記第1の超電導線材を巻くことにより形成される第1の超電導コイルの外形を設計し、前記第1の超電導線材を巻くことにより前記第1の超電導コイルを形成する工程と、

前記第1の超電導コイルとの外縁の差が5 mm以下となるように、かつ前記第1の超電導コイルの巻き数と同じ巻き数になるように、残部の前記超電導線材をテープ状部材と共に巻くことにより形成される残部の超電導コイルの外形を設計し、残部の前記超電導線材を前記テープ状部材と共に巻くことにより前記残部の超電導コイルを形成する工程と、

前記第1の超電導コイルと、前記残部の超電導コイルとを前記複数の超電導線材の特性が劣化しないように接続する工程とを備えた、超電導コイル体の製造方法。

【請求項 2】

前記第1の超電導コイルを形成する工程では、前記第1の超電導線材をテープ状部材と共に巻くことにより前記第1の超電導コイルを形成し、

前記第1の超電導コイルにおける前記テープ状部材の巻き数は、前記残部の超電導コイルにおける少なくとも1つの前記テープ状部材の巻き数と異なる、請求項1に記載の超電導コイル体の製造方法。

【請求項 3】

前記残部の超電導コイルを形成する工程では、前記テープ状部材として、ポリイミドテ

10

20

ープ、プリプレグテープ、およびポリアミドテープからなる群より選ばれた少なくとも一種を用いる、請求項 1 または請求項 2 に記載の超電導コイル体の製造方法。

【請求項 4】

前記残部の超電導コイルを形成する工程では、前記残部の超電導線材の長さ方向の全てにおいて前記残部の超電導線材を前記テープ状部材と共に巻く、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の超電導コイル体の製造方法。

【請求項 5】

前記残部の超電導コイルを形成する工程では、前記残部の超電導線材の長さ方向の一部において前記残部の超電導線材を前記テープ状部材と共に巻く、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の超電導コイル体の製造方法。

10

【請求項 6】

絶縁材で被覆された、平均厚みが少なくとも 1 つは異なる複数の超電導線材を用いて形成された複数の超電導コイルが前記複数の超電導線材の特性が劣化しないように接続された超電導コイル体であって、

前記複数の超電導コイルの外縁の差は 5 mm 以下であり、

前記複数の超電導コイルでは、前記超電導線材とテープ状部材とが共巻きされており、

前記複数の超電導コイルのうちの 1 つの超電導コイルにおける前記テープ状部材の巻き数は、前記複数の超電導コイルのうちの他の 1 つの超電導コイルにおける前記テープ状部材の巻き数と異なる、超電導コイル体。

【請求項 7】

20

絶縁材で被覆された、平均厚みが少なくとも 1 つは異なる複数の超電導線材を用いて形成された複数の超電導コイルが前記複数の超電導線材の特性が劣化しないように接続された超電導コイル体であって、

前記複数の超電導コイルの外縁の差は 5 mm 以下であり、

前記複数の超電導コイルのうちの少なくとも 1 つの超電導コイルは、前記超電導線材とテープ状部材とが共巻きされており、かつ前記複数の超電導コイルのうちの少なくとも 1 つの超電導コイルは、前記テープ状部材と共巻きされていない状態で前記超電導線材が巻かれていることを特徴としている、超電導コイル体。

【請求項 8】

超電導線材とテープ状部材とが共巻きされた複数の超電導コイルが接続された超電導コイル体であって、

30

前記複数の超電導コイルは、平均厚みが少なくとも 1 つは異なる複数の超電導線材を用いて形成され、

前記複数の超電導コイルは、前記複数の超電導線材の特性が劣化しないように接続され、

前記複数の超電導コイルの外縁の差は 5 mm 以下であり、

前記複数の超電導コイルにおいて共巻きされた前記テープ状部材の平均厚みが異なることを特徴としている、超電導コイル体。

【請求項 9】

前記テープ状部材は、ポリイミドテープ、プリプレグテープ、およびポリアミドテープからなる群より選ばれた少なくとも一種である、請求項 6 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の超電導コイル体。

40

【請求項 10】

前記テープ状部材と共巻きされた前記超電導線材は、長さ方向の全てにおいて前記テープ状部材と共に巻かれている、請求項 6 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の超電導コイル体。

【請求項 11】

前記テープ状部材と共巻きされた前記超電導線材は、長さ方向の一部において前記テープ状部材と共に巻かれている、請求項 6 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の超電導コイル体。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、超電導コイル体の製造方法および超電導コイル体に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来より、超電導マグネットなどの超電導機器は、複数の超電導コイルを積層することにより作製される。超電導コイルは、巻枠と、この巻枠に超電導線材を巻き付けることにより製造される。超電導コイルに用いられる超電導線材は、たとえば非特許文献1および2などが挙げられる。非特許文献1の超電導線材の平均厚さは、0.255～0.285 mmであることが記載されている。非特許文献2の超電導線材の平均厚さは、0.30±0.04 mmであることが記載されている。

10

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0003】

【非特許文献1】"High Strength Plus Wire"、[online]、[平成21年4月21日検索]、インターネット<URL:<http://www.amsco.com/products/htswire/1gHSP.html>>

【非特許文献2】"DI-BSCCO"、[online]、[平成21年4月21日検索]、インターネット<[http://www.sei.co.jp/super/hts/type\\_ht.html](http://www.sei.co.jp/super/hts/type_ht.html)>

## 【発明の概要】

20

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

上記非特許文献1および2の超電導線材の平均厚さは、0.03～0.08 mmのばらつきがある。このように、超電導線材の平均厚さのばらつきが大きいと、これらの超電導線材を用いて作製した超電導コイルの特性が劣化するという問題がある。その理由について、以下説明する。

## 【0005】

具体的には、図10に示すように、平均厚さが異なる超電導線材210、220を同じ巻き数で巻枠213に巻き付けて超電導コイルを形成すると、それぞれの超電導コイルの外形が異なる。このため、図10の領域Rでそれぞれの超電導線材を接続すると、外形の差により超電導線材がひっかかって折れてしまう場合がある。超電導線材が折れてしまうと、超電導コイルの特性が劣化してしまう。

30

## 【0006】

そこで、本発明の目的は、特性の劣化を抑制した超電導コイル体の製造方法および超電導コイル体を提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

本発明の超電導コイル体の製造方法は、以下の工程を備えている。複数の超電導線材を準備する。超電導線材の中から平均厚みが最も大きな第1の超電導線材を特定し、第1の超電導線材を巻くことにより形成される第1の超電導コイルの外形を設計し、第1の超電導線材を巻くことにより第1の超電導コイルを形成する。第1の超電導コイルとの外縁の差が5 mm以下となるように、かつ第1の超電導コイルの巻き数と同じ巻き数になるように、残部の超電導線材をテープ状部材と共に巻くことにより形成される残部の超電導コイルの外形を設計し、残部の超電導線材をテープ状部材と共に巻くことにより残部の超電導コイルを形成する。第1の超電導コイルと、残部の超電導コイルとを複数の超電導線材の特性が劣化しないように接続する。

40

## 【0008】

本発明の超電導コイル体の製造方法によれば、テープ状部材を用いて残部の超電導コイルの外形を調整して、平均厚みが最も大きな超電導線材を用いて形成された第1の超電導コイルの外形と同じ外形にしている。このため、第1の超電導コイルと残部の超電導コイ

50

ルとの外形をそろえることができる。これにより、第1の超電導コイルと残部の超電導コイルとの接続において、超電導線材がひっかかることを抑制できる。したがって、超電導線材が折れることを抑制できるので、これらの超電導線材を用いて形成された第1の超電導コイルと残部の超電導とが接続された超電導コイル体の特性の劣化を抑制することができる。

【0009】

本発明に従った超電導コイル体は、絶縁材で被覆された、平均厚みが少なくとも1つは異なる複数の超電導線材を用いて形成された複数の超電導コイルが複数の超電導線材の特性が劣化しないように接続された超電導コイル体であって、複数の超電導コイルの外縁の差は5mm以下であり、複数の超電導コイルでは、超電導線材とテープ状部材とが共巻きされており、複数の超電導コイルのうちの1つの超電導コイルにおけるテープ状部材の巻き数は、複数の超電導コイルのうちの他の1つの超電導コイルにおけるテープ状部材の巻き数と異なる。

10

本発明の一の局面における超電導コイル体は、絶縁材で被覆された、平均厚みが少なくとも1つは異なる複数の超電導線材を用いて形成された複数の超電導コイルが複数の超電導線材の特性が劣化しないように接続された超電導コイル体であって、複数の超電導コイルの外縁の差は5mm以下であり、複数の超電導コイルのうちの少なくとも1つの超電導コイルは、超電導線材とテープ状部材とが共巻きされており、かつ複数の超電導コイルのうちの少なくとも1つの超電導コイルは、テープ状部材が共巻きされていない状態で超電導線材が巻かれていることを特徴としている。

20

【0010】

本発明の一の局面における超電導コイル体によれば、超電導線材とテープ状部材とを共巻きすることで、複数の超電導コイルの外形を同じにしている。このため、超電導線材がひっかかることを抑制して、複数の超電導コイルを接続することができる。したがって、複数の超電導コイルの接続において超電導線材が折れることを抑制できるので、超電導コイル体の特性の劣化を抑制することができる。

【0011】

本発明の他の局面における超電導コイル体は、超電導線材とテープ状部材とが共巻きされた複数の超電導コイルが接続された超電導コイル体であって、複数の超電導コイルは、平均厚みが少なくとも1つは異なる複数の超電導線材を用いて形成され、複数の超電導コイルは、複数の超電導線材の特性が劣化しないように接続され、複数の超電導コイルの外縁の差は5mm以下であり、複数の超電導コイルにおいて共巻きされたテープ状部材の平均厚みが異なることを特徴としている。

30

【0012】

本発明の他の局面における超電導コイル体によれば、平均厚みが異なるテープ状部材を共巻きすることで、複数の超電導コイルの外形を同じにしている。このため、超電導線材がひっかかることを抑制して、複数の超電導コイルを接続することができる。したがって、複数の超電導コイルの接続において超電導線材が折れることを抑制できるので、超電導コイル体の特性の劣化を抑制することができる。

【0013】

40

上記超電導コイル体の製造方法において好ましくは、第1の超電導コイルを形成する工程では、第1の超電導線材をテープ状部材と共に巻くことにより第1の超電導コイルを形成し、第1の超電導コイルにおけるテープ状部材の巻き数は、残部の超電導コイルにおける少なくとも1つのテープ状部材の巻き数と異なる。

上記超電導コイル体の製造方法において好ましくは、残部の超電導コイルを形成する工程では、テープ状部材として、ポリイミドテープ、プリプレグテープ、およびポリアミドテープからなる群より選ばれた少なくとも一種を用いる。

【0014】

本発明の一および他の局面における超電導コイル体において好ましくは、テープ状部材は、ポリイミドテープ、プリプレグテープ、およびポリアミドテープからなる群より選ば

50

れた少なくとも一種である。

【0015】

これらのテープ状部材は、絶縁性で、かつ低温での耐性を有している。このため、超電導コイルの短絡を防止でき、かつ超電導状態での耐性を向上することができる。

【0016】

上記超電導コイル体の製造方法において好ましくは、残部の超電導コイルを形成する工程では、残部の超電導線材の長さ方向の全てにおいて残部の超電導線材をテープ状部材と共に巻く。

【0017】

上記一および他の超電導コイル体において好ましくは、テープ状部材と共に巻きされた超電導線材は、長さ方向の全てにおいてテープ状部材と共に巻かれている。

10

【0018】

これにより、長さ方向の全てにおいてテープ状部材と共に巻かれた超電導線材を有する超電導コイルの電流密度を均一にすることができる。このため、磁場分布の均一化を向上できる。

【0019】

上記超電導コイル体の製造方法において好ましくは、残部の超電導コイルを形成する工程では、残部の超電導線材の長さ方向の一部において残部の超電導線材をテープ状部材と共に巻く。

【0020】

20

上記一および他の局面における超電導コイル体において好ましくは、テープ状部材と共に巻きされた超電導線材は、長さ方向の一部においてテープ状部材と共に巻かれている。

【0021】

これにより、超電導線材の厚み、テープ状部材の厚みなどによらずに、テープ状部材と共に巻かれた超電導コイルの外形を容易に調整できる。このため、超電導コイルを同じ外形に容易に形成することができる。

【発明の効果】

【0022】

以上より、本発明の超電導コイル体の製造方法および超電導コイル体によれば、特性の劣化を抑制することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の実施の形態1における超電導コイル体を概略的に示す斜視図である。

【図2】本発明の実施の形態1における第1の超電導コイルを概略的に示し、図1における線分II-II線に沿った断面図である。

【図3】本発明の実施の形態1における第2の超電導コイルを概略的に示し、図1におけるIII-III線に沿った断面図である。

【図4】本発明の実施の形態1における超電導線材を概略的に示す断面図である。

【図5】本発明の実施の形態1における超電導線材を概略的に示す断面図である。

【図6】本発明の実施の形態1における超電導コイル体の製造方法を示すフローチャートである。

40

【図7】本発明の実施の形態1と別の超電導コイル体を概略的に示す模式図である。

【図8】本発明の実施の形態2における超電導コイル体を構成する第1の超電導コイルを概略的に示す断面図である。

【図9】本発明の実施の形態3における超電導コイル体を構成する第2の超電導コイルを概略的に示す断面図である。

【図10】比較例の超電導コイル体を概略的に示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。なお、以下の図面において同一

50

または相当する部分には同一の参照符号を付し、その説明は繰り返さない。

【0025】

(実施の形態1)

図1～図5を参照して、本発明の一実施の形態における超電導コイル体100について説明する。本実施の形態における超電導コイル体100は、ダブルパンケーキ型コイルである。

【0026】

具体的には、本実施の形態における超電導コイル体100は、図1～図3に示すように、第1の超電導コイル110と、第2の超電導コイル120とを備えている。第1および第2の超電導コイル110、120の外形は同じである。図2に示すように、第1の超電導コイル110は、巻枠111と、巻枠111に巻き付けられた超電導線材112とを含む。第1の超電導コイル110は、テープ状部材が共巻きされていない状態で超電導線材112が巻かれている。図3に示すように、第2の超電導コイル120は、巻枠121と、巻枠121に巻き付けられた超電導線材122と、超電導線材122と共巻きされたテープ状部材123とを含む。本実施の形態では、第2の超電導コイル120は、長さ方向の全てにおいてテープ状部材123と共に巻かれている。超電導線材112、122は、最外周層において互いに接続されている。

【0027】

ここで、上記「第1および第2の超電導コイル110、120の外形は同じ」とは、第1の超電導コイル110の外縁と第2の超電導コイル120との外縁の差が、用いる超電導線材112、122の許容曲げ歪みの範囲内であることを意味する。この場合、超電導線材112、122の接続において超電導線材112、122の特性の劣化を抑制できる。外縁の差は、たとえば5mm以下であり、好ましくは1mm以下、より好ましくは0.3mm以下である。0.3mm以下の場合、超電導線材112、122の曲げ歪みを効果的に抑制できる。本実施の形態では第1および第2の超電導コイル110、120が円筒状であるので、第1および第2の超電導コイル110、120の外径R110、R120の差は、10mm以下である。第1および第2の超電導コイル110、120がレーストラック型であれば、第1および第2の超電導コイル110、120の長径および短径の差は、10mm以下である。

【0028】

巻枠111、121は、たとえば内部が開口した円筒状である。なお、巻枠111、121の形状等は、特に限定されず、たとえばレーストラック形状であってもよい。巻枠111、121の外周には超電導線材112、122がそれぞれ巻回される。巻枠111、121を構成する材料は特に限定されないが、ステンレス鋼(SUS)または絶縁材料などを用いることができる。

【0029】

超電導線材112、122は、巻枠111、121に巻き付けられて第1および第2の超電導コイル110、120を形成している。本実施の形態では図1に示すように、ダブルパンケーキ型コイルであるが、巻き型は特に限定されず、ダブルパンケーキ型コイル、シングルパンケーキ型コイル、超電導線材112、122がらせん状に巻かれてなるコイルなどを用いることができる。

【0030】

超電導線材112、122はテープ状であり、図4に示すように、ビスマス(Bi)系の超電導線材を用いてもよく、図5に示すように、薄膜超電導線材を用いてもよい。

【0031】

ビスマス系の超電導線材は、図4に示すように、長手方向に延びる複数本の超電導体112aと、複数の超電導体112aの全周を被覆するシース部112bと、シース部112bの全周を被覆する絶縁材112gとを有している。シース部112bは超電導体112aに接触している。複数本の超電導体112aの各々は、たとえばBi-Pb-Sr-Ca-Cu-O系の組成を有するビスマス系超電導体が好ましく、特に、(ビスマスと鉛

10

20

30

40

50

) : ストロンチウム : カルシウム : 銅の原子比がほぼ 2 : 2 : 2 : 3 の比率で近似して表される Bi 2 2 2 3 相を含む材質が最適である。なお、超電導層 1 1 2 a は、単数本であってもよい。シース部 1 1 2 b の材質は、たとえば銀や銀合金よりなっている。絶縁材 1 1 2 g は、他の超電導線材等と絶縁性を確保するために形成されている。絶縁材 1 1 2 g は、たとえばポリイミドテープなどを用いることができる。

#### 【 0 0 3 2 】

薄膜超電導線材は、図 5 に示すように、基板 1 1 2 c と、中間層 1 1 2 d と、超電導層 1 1 2 e と、安定化層 1 1 2 f と、絶縁材 1 1 2 g とを有している。中間層 1 1 2 d は、基板 1 1 2 c 上に接して設けられている。超電導層 1 1 2 e は、中間層 1 1 2 d 上に接して設けられている。安定化層 1 1 2 f は、超電導層 1 1 2 e 上に接して設けられている。絶縁材 1 1 2 g は、基板 1 1 2 c、中間層 1 1 2 d、超電導層 1 1 2 e および安定化層 1 1 2 f を有する積層体の外周全体を被覆している。

10

#### 【 0 0 3 3 】

基板 1 1 2 c は、たとえばステンレス鋼、ニッケル合金（たとえばハステロイ）、または銀合金などの金属よりなっている。中間層 1 1 2 d は、たとえばイットリア安定化ジルコニア、酸化セリウム、酸化マグネシウムまたはチタン酸ストロンチウムなどよりなっている。なお、中間層 1 1 2 d は省略されてもよい。

#### 【 0 0 3 4 】

超電導層 1 1 2 e はたとえば RE 1 2 3 系超電導体よりなっている。RE 1 2 3 系超電導体とは、 $RE_xBa_yCu_zO_{7-d}$ において、 $0.7 < x < 1.3$ 、 $1.7 < y < 2.3$ 、 $2.7 < z < 3.3$ であることを意味する。また、RE 1 2 3 系超電導体の RE とは、希土類元素およびイットリウム元素の少なくともいずれかを含む材質を意味する。また、希土類元素としては、たとえばネオジム (Nd)、ガドリニウム (Gd)、ホルミニウム (Ho)、サマリウム (Sm) などが含まれる。RE 1 2 3 系超電導線材は、液体窒素温度 (77.3 K) での臨界電流密度がビスマス系の超電導線材よりも高いという利点を有している。また、低温下および一定磁場下における臨界電流値が高いという利点を有している。一方で、RE 1 2 3 系超電導体はビスマス系超電導体のようにシース部で被覆することができないので、配向金属基板上に気相法のみまたは液相法のみによって超電導体 (超電導薄膜材料) を成膜する方法で製造される。

20

#### 【 0 0 3 5 】

また、安定化層 1 1 2 f は、超電導層 1 1 2 e の表面保護のために設けられる層であり、たとえば銀や銅などよりなっている。安定化層 1 1 2 f は省略されてもよい。

30

#### 【 0 0 3 6 】

本実施の形態の Bi 系の超電導線材および薄膜超電導線材において、第 1 の超電導コイル 1 1 0 を構成する超電導線材 1 1 2 では絶縁材 1 1 2 g は省略されず、第 2 の超電導コイル 1 2 0 を構成する超電導線材 1 2 2 では絶縁材 1 1 2 g は省略されてもよい。

#### 【 0 0 3 7 】

テープ状部材 1 2 3 は、第 1 および第 2 の超電導コイル 1 1 0、1 2 0 の外形を同じにするために形成されている。本実施の形態では、第 1 の超電導コイル 1 1 0 を構成する超電導線材 1 1 2 の平均厚みは、第 2 の超電導コイル 1 2 0 を構成する超電導線材 1 2 2 の平均厚みよりも大きい。このため、テープ状部材 1 2 3 は、第 1 および第 2 の超電導コイル 1 1 0、1 2 0 の外形をそろえるために、第 2 の超電導線材 1 2 2 と共巻きされている。

40

#### 【 0 0 3 8 】

テープ状部材 1 2 3 は、絶縁性であっても導電性であってもよい。超電導線材 1 2 2 が絶縁材 1 1 2 g を有していない場合には、第 1 の超電導コイル 1 2 0 のターン間の短絡を防止する観点から、テープ状部材 1 2 3 は絶縁性であることが好ましい。このような材料として、ポリイミドテープ、プリプレグテープ (半硬化テープ)、およびポリアミドテープからなる群より選ばれた少なくとも一種であることが好ましい。これらの材料の厚みは薄いため、厚みを調整が容易である。ポリイミドテープは、たとえば 10  $\mu$ m 程度の厚み

50

を有している。プリプレグテープおよびポリアミドテープは、たとえば $50\text{ }\mu\text{m}$ 程度の厚みを有している。ポリアミドテープは、たとえばノーマックステープ(R)を用いることができる。また、第1および第2の超電導コイル110、120を樹脂に含浸させたときに、これらの材料は樹脂との親和性が高い。さらに、これらの材料は低温での耐性が高いため、超電導状態での耐性を向上できる。なお、テープ状部材123は、ガラスクロスなどの材料を用いてもよい。

【0039】

続いて、本実施の形態における超電導コイル体100の製造方法について説明する。まず、図1～図6に示すように、複数の超電導線材112、122を準備する(ステップS1)。複数の超電導線材112、122は、図4または図5に示すような超電導線材を用

10

【0040】

次に、複数の超電導線材112、122の中から平均厚みが最も大きな第1の超電導線材112を特定する(ステップS2)。平均厚みとは、長手方向に1m毎に50点以上測定した厚みの平均値を意味する。

【0041】

次に、第1の超電導線材112を巻くことにより第1の超電導コイル110を形成する(ステップS3)。ステップS3では、巻枠111に超電導線材112を巻き付ける。巻き付ける方法は特に限定されず、ダブルパンケーキ型、シングルパンケーキ型、らせん状などのように超電導線材112を巻枠111に巻き付ける。ステップS3を実施すること

20

【0042】

次に、第2の超電導線材112を用いたときの第2の超電導コイル120の外形を算出する(ステップS4)。ステップS4では、算出した外形と、第1の超電導コイル110の外形との差を考慮して、超電導線材122と共巻きするテープ状部材123の厚み、長さを決定する。

【0043】

たとえば、第1の超電導線材112の平均厚みが $0.34\text{ mm}$ で、第2の超電導線材122の平均厚みが $0.30\text{ mm}$ の場合には、 $0.04\text{ mm}$ の平均厚みを有するテープ状部材123を共巻きすることを決定する。

30

【0044】

次に、第1の超電導コイル110の外形と同じ外形になるように、かつ第1の超電導コイル110の巻き数と同じ巻き数になるように、残部の超電導線材122をテープ状部材123と共に巻くことにより第2の超電導コイル120を形成する(ステップS5)。ステップS5では、ステップS4で決定したテープ状部材123と、超電導線材122とを重ね合わせた状態で、巻枠121に巻き付ける。共巻きする方法は、第1の超電導コイル110を構成する超電導線材110の巻き付ける方法と同様に、特に限定されない。

【0045】

本実施の形態では、超電導線材122の長さ方向の全てにおいて超電導線材122をテープ状部材123と共に巻いている。このため、第2の超電導コイル120の電流密度は等しくなる。

40

【0046】

次に、第1の超電導コイルと、残部の超電導コイルとを接続する(ステップS6)。このステップS6では、たとえば、第1および第2の超電導コイル110、120をスタックして、第1および第2の超電導コイル110、120の超電導線材112、122の端末部を引き出す。本実施の形態では、超電導線材112、122の最外周の端末部を引き出して、互いに電氣的に接続している。

【0047】

以上の工程を実施することにより、図1～図3に示す超電導コイル体100を製造する

50



ことができる。なお、上述の製造方法は一例であり、別の工程を備えていてもよいし、工程の順序を変更してもよい。

【 0 0 4 8 】

続いて、本実施の形態の超電導コイル体 1 0 0 およびその製造方法の効果について説明する。

【 0 0 4 9 】

本発明者は、図 1 0 に示すように厚みのばらつきのある超電導線材を用いて形成した複数の超電導コイルを接続すると、外形の差により超電導線材がひっかかって折れてしまう場合があることに着目した。そこで、本発明者は非特許文献 2 に開示されている超電導線材を用いて、円筒状の巻枠の内径が 1 0 0 mm で、3 0 0 ターンの巻き数で超電導線材を巻き付けて超電導コイルを製造した。その結果、超電導線材の厚みが 0 . 2 6 mm の場合には 2 5 6 mm の外径となり、超電導線材の厚みが 0 . 3 4 mm の場合には 3 0 4 mm の外径となった。つまり、超電導線材の平均厚みのばらつきが 0 . 0 8 mm の場合には、超電導コイルの外径の差は 4 8 mm となることを確認した。このため、それぞれの超電導コイルを接続すると、外径の差が大きいため、その段差により超電導線材がひっかかって折れてしまい、超電導コイルの特性が劣化するという問題があった。

【 0 0 5 0 】

そこで、本実施の形態では、外径の最も大きい第 1 の超電導コイル 1 1 0 の外形と同じ外形になるように、かつ第 1 の超電導コイル 1 1 0 の巻き数と同じ巻き数になるように、残部の超電導線材（第 2 の超電導線材 1 2 2 ）をテープ状部材 1 2 3 と共に巻くことにより残部の超電導コイル（第 2 の超電導コイル 1 2 0 ）を形成している。これにより、第 1 の超電導コイル 1 1 0 と第 2 の超電導コイル 1 2 0 との外形をそろえることができる。このため、第 1 の超電導コイル 1 1 0 と第 2 の超電導コイル 1 2 0 との接続において、超電導線材 1 1 2 、1 2 2 がひっかかることを抑制できる。したがって、超電導線材 1 1 2 、1 2 2 が折れることを抑制できるので、これらの超電導線材 1 1 2 、1 2 2 を用いて形成された第 1 の超電導コイル 1 1 0 と第 2 の超電導コイル 1 2 0 とが接続された超電導コイル体 1 0 0 の特性の劣化を抑制することができる。

【 0 0 5 1 】

特に、巻き数が大きくなっても、テープ状部材 1 2 3 により、同じ外径の超電導コイルを作製できる。このため、超電導コイル体 1 0 0 の特性の劣化を抑制できる。

【 0 0 5 2 】

また、第 1 の超電導コイル 1 1 0 と第 2 の超電導コイル 1 2 0 の巻き数（ターン数）が同じであるので、磁場の精度を向上できる。このため、本実施の形態における超電導コイル体 1 0 0 を M R I 等に好適に用いることができる。

【 0 0 5 3 】

また、本実施の形態では、平均厚みが最も大きい超電導線材 1 1 2 は、外周全体を被覆した絶縁材 1 1 2 g を有している。このため、第 1 の超電導コイル 1 1 0 は短絡を防止できるので、テープ状部材を共巻きせずに第 1 の超電導コイル 1 1 0 を形成することができる。この場合、第 1 の超電導コイル 1 1 0 を簡略化して形成することができる。

【 0 0 5 4 】

ここで、本実施の形態では、超電導コイル体 1 0 0 として、第 1 および第 2 の超電導コイル 1 1 0 、1 2 0 を接続した構造を例に挙げて説明したが、本発明の超電導コイル体は 2 つの超電導コイルの接続体に特に限定されない。本発明の超電導コイル体は、3 つ以上の超電導コイルの接続体を含む。

【 0 0 5 5 】

3 つ以上の超電導コイルを接続した超電導コイル体は、たとえば図 7 に示すように、接続する超電導コイル間での外形が同じである。つまり、第 1 の超電導コイル 1 1 0 と第 2 の超電導コイル 1 2 0 との外縁の差 D 1 が、超電導線材 1 1 2 、1 2 2 の許容曲げ歪み以下（たとえば 5 mm 以下）で、かつ第 2 の超電導コイル 1 2 0 と第 3 の超電導コイル 1 3 0 との外縁の差 D 2 が超電導線材 1 1 2 、1 2 2 の許容曲げ歪み以下（たとえば 5 mm 以

10

20

30

40

50

下)である。言い換えると、第1の超電導コイル110の外径R110と第2の超電導コイル120の外径R120との差は超電導線材112、122の許容曲げ歪みの2倍以下(たとえば10mm以下)で、第2の超電導コイル120の外径R120と第3の超電導コイル130の外径R130との差は超電導線材の許容曲げ歪みの2倍以下(たとえば10mm以下)である。

#### 【0056】

(実施の形態2)

図8を参照して、本実施の形態における超電導コイル体について説明する。本実施の形態における超電導コイル体は、実施の形態1の超電導コイル体と基本的には同様の構成を備えているが、図8に示すように、第1の超電導コイル110の構成において異なっている。

10

#### 【0057】

具体的には、第1の超電導コイル110は、超電導線材112と、超電導線材112と共巻きされたテープ状部材113とを含んでいる。第1の超電導コイル110を構成するテープ状部材113の平均厚みと、第2の超電導コイル120を構成するテープ状部材123の平均厚みとは異なっている。本実施の形態では、第1の超電導コイル110を構成する超電導線材112の平均厚みが第2の超電導コイル120を構成する超電導線材122の平均厚みよりも大きいため、第1の超電導コイル110を構成するテープ状部材113の平均厚みは第2の超電導コイル120を構成するテープ状部材123の平均厚みよりも小さい。

20

#### 【0058】

ここで、テープ状部材113、123の平均厚みとは、長手方向に1m毎に50点以上測定した厚みの平均値を意味する。

#### 【0059】

テープ状部材113のその他の構成は、実施の形態1で説明したテープ状部材123と同様であるので、その説明は繰り返さない。

#### 【0060】

また、本実施の形態における超電導線材112は、図4および図5に示す絶縁材112gを含んでいてもよく、含んでいなくてもよい。

#### 【0061】

30

続いて、本実施の形態における超電導コイル体の製造方法について説明する。本実施の形態における超電導コイル体の製造方法は、基本的には実施の形態1における超電導コイル体の製造方法と同様の構成を備えているが、第1の超電導コイル110の形成方法において異なっている。

#### 【0062】

具体的には、複数の超電導線材112、122を準備する(ステップS1)。次に、最も大きな厚みの第1の超電導線材を特定する(ステップS2)。ステップS1およびS2は、実施の形態1のステップS1およびS2と同様であるので、その説明は繰り返さない。

#### 【0063】

40

次に、第1および第2の超電導線材112、122から、第1および第2の超電導コイル110、120の外径を設計し、その外径になるように、第1および第2の超電導線材112と共巻きするテープ状部材113、123を特定する(ステップS4)。

#### 【0064】

次に、第1の超電導線材112とテープ状部材113とを共巻きして、超電導コイル110を形成する(ステップS3)。また、第2の超電導線材122とテープ状部材123とを共巻きして、第2の超電導コイル120を形成する(ステップS5)。ステップS3、S5は、実施の形態1のステップS5と同様であるので、その説明は繰り返さない。

#### 【0065】

次に、第1の超電導線材112と第2の超電導線材122とを接続する(ステップS6

50

）。ステップＳ６は、実施の形態１のステップＳ６と同様であるので、その説明は繰り返さない。

【００６６】

以上のステップＳ１～Ｓ６を実施することにより、本実施の形態における超電導コイル体を製造することができる。

【００６７】

本実施の形態における超電導コイル体およびその製造方法によれば、複数の超電導コイル（第１および第２の超電導コイル１１０、１２０）の外形は同じであり、複数の超電導コイル（第１および第２の超電導コイル１１０、１２０）において共巻きされたテープ状部材１１３、１２３の平均厚みが異なる。これにより、超電導線材１１２、１２２と共にテープ状部材１１３、１２３を巻くことにより、所望の外径で、かつ同じ外径の超電導コイル（第１および第２の超電導コイル１１０、１２０）を作製できる。したがって、特性の劣化を抑制し、かつ所望の大きさの超電導コイル体を製造することができる。

10

【００６８】

ここで、本実施の形態では、第１の超電導コイル１１０において、超電導線材１１２は長さ方向の全てにおいてテープ状部材１１３と共に巻かれているが、長さ方向の一部においてテープ状部材１１３と共に巻かれていてもよい。

【００６９】

（実施の形態３）

図９を参照して、本実施の形態における超電導コイル体について説明する。本実施の形態における超電導コイル体は、実施の形態１の超電導コイル体と基本的には同様の構成を備えているが、図９に示すように、第２の超電導コイル１２０の構成において異なっている。

20

【００７０】

具体的には、第２の超電導コイル１２０において、テープ状部材１２３と共巻きされた超電導線材１２２は、長さ方向の一部においてテープ状部材１２３と共に巻かれている。本実施の形態では、巻枠１１１側（内周側）にはテープ状部材が巻き付けられていない状態で超電導線材１２２が巻き付けられ、外周側にはテープ状部材が超電導線材１２２と共に巻き付けられている。なお、長さ方向の一部とは、外周側に特に限定されず、内周側であってもよく、中央部であってもよい。

30

【００７１】

続いて、本実施の形態における超電導コイル体の製造方法について説明する。本実施の形態における超電導コイル体の製造方法は、基本的には実施の形態１および２の超電導コイル体の製造方法と同様であるが、第２の超電導コイル１２０の形成方法において異なっている。

【００７２】

具体的には、第２の超電導コイル１２０を形成するステップＳ４では、超電導線材１２２の長さ方向の一部において超電導線材１２２をテープ状部材１２３と共に巻く。本実施の形態では、超電導線材１２２のみを所定のターン数巻枠１２１に巻きつけた後、超電導線材１２２をテープ状部材１２３と共に巻き付ける。なお、超電導線材１２２の巻き始めのみにテープ状部材１２３を共巻してもよく、巻き始めおよび巻き終わりを避けて超電導線材１２２とテープ状部材１２３とを共巻してもよい。

40

【００７３】

本実施の形態における超電導コイル体およびその製造方法によれば、超電導線材１２２の長さ方向の一部において超電導線材１２２をテープ状部材１２３と共に巻いている。超電導線材１１２、１２２の厚み、テープ状部材１２３の厚みなどによらず、また所望の厚みのテープ状部材１２３が入手困難な場合であっても、テープ状部材１２３と共に巻かれた第２の超電導コイル１２０の外形を容易に調整できる。このため、超電導コイルを同じ外形に容易に形成することができる。

【００７４】

50

ここで、本実施の形態は、実施の形態 2 の超電導コイル体およびその製造方法にも適用できる。また、実施の形態 2 に適用した場合には、第 2 の超電導コイルのみでなく、第 1 の超電導コイルにも適用できる。

【 0 0 7 5 】

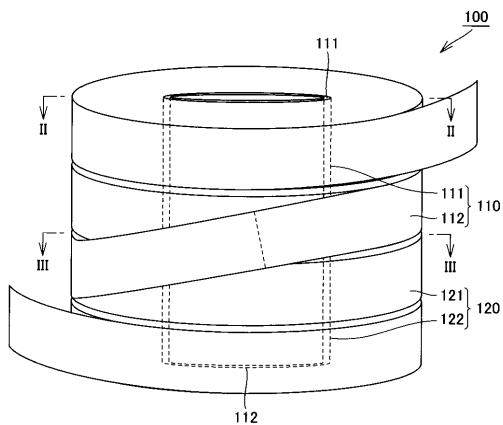
以上のように本発明の実施の形態について説明を行なったが、各実施の形態の特徴を適宜組み合わせることも当初から予定している。また、今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した実施の形態ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【 符号の説明 】

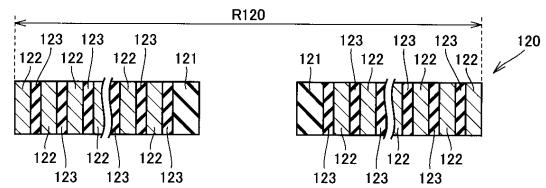
【 0 0 7 6 】

1 0 0 超電導コイル体、1 1 0 超電導コイル、1 1 1 巻棒、1 1 2 , 1 2 2 超電導線材、1 1 2 a 超電導体、1 1 2 b シース部、1 1 2 c 基板、1 1 2 d 中間層、1 1 2 e 超電導層、1 1 2 f 安定化層、1 1 2 g 絶縁材、1 1 3 , 1 2 3 テープ状部材、1 2 0 第 2 の超電導コイル、1 3 0 第 3 の超電導コイル。

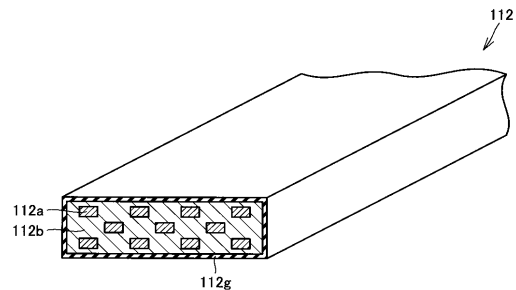
【 図 1 】



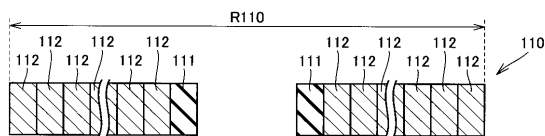
【 図 3 】



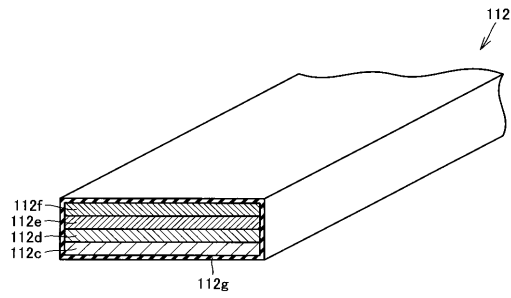
【 図 4 】



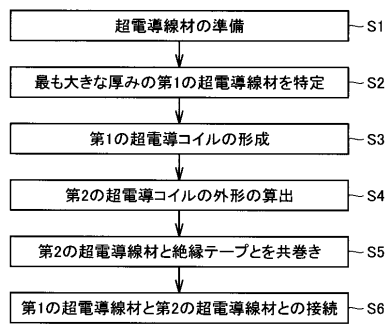
【 図 2 】



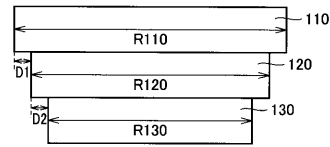
【図 5】



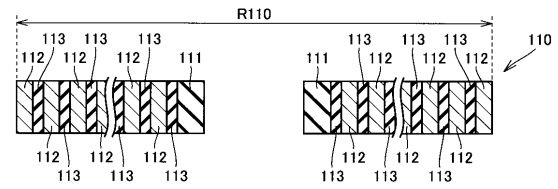
【図 6】



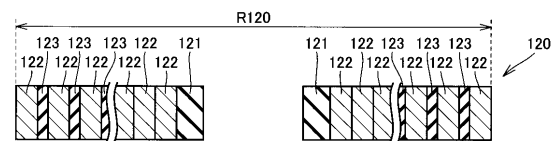
【図 7】



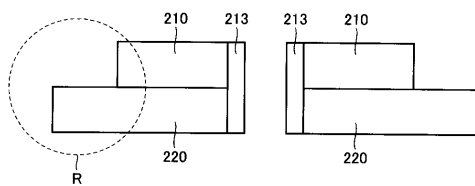
【図 8】



【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100124523

弁理士 佐々木 真人

(72)発明者 林 敏広

大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内

審査官 田中 純一

(56)参考文献 特開平04-091409(JP,A)

特開平04-318908(JP,A)

特開2004-039591(JP,A)

特開2008-140905(JP,A)

特開昭63-177503(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01F 5/00 - 5/06

H01F 6/00 - 6/06

H01F 27/24 - 27/28

H01F 27/30 - 27/32

H01F 30/00 - 30/04

H01F 30/08

H01F 30/12 - 30/14

H01F 36/00 - 37/00

H01F 38/08

H01F 38/12

H01F 38/16

H01F 41/00 - 41/04

H01F 41/08 - 41/12