

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-10631

(P2010-10631A)

(43) 公開日 平成22年1月14日(2010.1.14)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
H O 1 F 6/00	(2006.01)	H O 1 F 5/08	Z A A A	4 M 1 1 4
H O 1 F 6/02	(2006.01)	H O 1 F 7/22	K	
H O 1 L 39/04	(2006.01)	H O 1 L 39/04		

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2008-171652 (P2008-171652)	(71) 出願人	000003078
(22) 出願日	平成20年6月30日 (2008. 6. 30)		株式会社東芝
			東京都港区芝浦一丁目1番1号
		(74) 代理人	100078765
			弁理士 波多野 久
		(74) 代理人	100078802
			弁理士 関口 俊三
		(74) 代理人	100077757
			弁理士 猿渡 章雄
		(74) 代理人	100130731
			弁理士 河村 修
		(74) 代理人	100136504
			弁理士 山田 毅彦
		(74) 代理人	100150957
			弁理士 松長 純

最終頁に続く

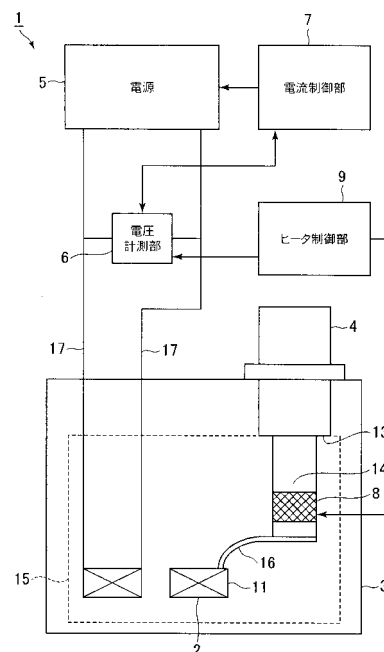
(54) 【発明の名称】 超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法

(57) 【要約】

【課題】 超電導コイルの両端電圧を測定して、簡便かつ安全に超電導コイルの異常を検出する。

【解決手段】 超電導コイル装置1は、超電導コイル2と、電圧計測部6と、電流制御部7と、ヒータ8とを備える。超電導コイル2の異常を検知する場合には、ヒータ8によって超電導コイル2を加熱し、電流制御部7から超電導コイル2に電流を通電する。電圧計測部6は、超電導コイル2の両端電圧が所定の閾値を超えると、超電導コイル2が異常であると判断する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空容器と、

前記真空容器に収容された熱シールド容器と、

前記熱シールド容器に収容された超電導コイルと、

前記超電導コイルの異常を検出する際に前記超電導コイルの温度を上げる加熱部と、

前記超電導コイルに電流を通電する電流制御部と、

前記加熱部に加熱され、かつ前記電流制御部から通電された前記超電導コイルの両端の電圧を測定し、前記電圧が所定の閾値を超えると、前記超電導コイルを異常と判断する電圧計測部とを備えたことを特徴とする超電導コイル装置。

10

【請求項 2】

前記加熱部は、

前記超電導コイルの異常を検出する際に前記超電導コイル内部の周方向に温度勾配を生じさせることを特徴とする請求項 1 に記載の超電導コイル装置。

【請求項 3】

前記超電導コイルは、温度が上昇するにしたがって臨界電流の磁場角度依存性が減少する特性を有する超伝導テープ線を備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の超電導コイル装置。

【請求項 4】

前記加熱部は、

前記超電導コイルの異常を検出する際に前記超電導コイル内部の径方向に温度勾配を生じさせることを特徴とする請求項 1 または 3 に記載の超電導コイル装置。

20

【請求項 5】

前記加熱部は、

前記超電導コイルを加熱する電気ヒータと、

前記電気ヒータの制御部とを備えたことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の超電導コイル装置。

【請求項 6】

前記電圧計測部は、前記超電導コイルの両端の電圧と、前記超電導コイルに通電された電流値と、前記超電導コイルの温度とを記録し、前記電圧と前記電流と前記温度との関係が、所定の範囲を超えると、前記超電導コイルを異常と判断することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の超電導コイル装置。

30

【請求項 7】

真空容器と、

前記真空容器に収容された熱シールド容器と、

前記熱シールド容器に収容された超電導コイルと、

前記超電導コイルの異常を検出する際に前記超電導コイルに磁場を印加する磁場発生コイルと、

前記超電導コイルに電流を通電する電流制御部と、

前記磁場発生コイルに磁場を印加され、かつ前記電流制御部から通電された前記超電導コイルの両端の電圧を測定し、前記電圧が所定の閾値を超えると、前記超電導コイルを異常と判断する電圧計測部とを備えたことを特徴とする超電導コイル装置。

40

【請求項 8】

前記磁場発生コイルは、超電導コイルであることを特長とする請求項 7 に記載の超電導コイル装置。

【請求項 9】

複数の前記超電導コイルを有する超電導コイル群を備え、

前記電流制御部は、前記超電導コイル群から 1 以上、全数未満の検査対象超電導コイルを選び、前記超電導コイル群の余りを磁場発生用超電導コイルに選び

前記磁場発生用超電導コイルに磁場を印加され、かつ前記電流制御部から通電された前

50

記検査対象超電導コイルの両端の電圧を測定し、前記電圧が所定の閾値を超えると、前記検査対象超電導コイルを異常と判断する電圧計測部とを備えたことを特徴とする請求項 7 に記載の超電導コイル装置。

【請求項 10】

前記超電導コイル群はトロイダル状もしくはマルチポール状に配置されたことを特徴とする請求項 9 に記載の超電導コイル装置。

【請求項 11】

加熱部が超電導コイルを加熱し、

電流制御部が前記超電導コイルに電流を通電すると、

電圧計測部が前記超電導コイルの両端の電圧を測定し、前記電圧が所定の閾値を超えると、前記超電導コイルを異常と判断することを特徴とする超電導コイルの検査方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超電導コイルの両端電圧を測定して、超電導コイルの異常を検出可能な超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法に関する。

【背景技術】

【0002】

超電導コイルは、異常が発生して温度が上昇すると、常電導転移（クエンチ）する。超電導コイルは、クエンチが起きると焼損する虞がある。

20

【0003】

そこで、超電導コイルを保護するために、超電導コイル装置には、異常検出器が設けられる。異常検出器は、超電導コイルの電圧を測定し、コイル電圧が所定の閾値を超えた場合には異常と判断する。また、超電導コイル装置は、異常検出器の信号に従い、超電導コイルに蓄積された電磁エネルギーを放出する保護部を有する。

【0004】

一方、高温超電導コイルでは、クエンチ伝播速度が金属系超電導コイルの数 100 分の 1 未満であることが一般的である。すなわち、高温超電導コイルでは、クエンチ伝播速度が遅く、コイルに異常が発生しても直ちに大きなコイル電圧が発生しない。すなわち、高温超電導コイルのコイル電圧を測定してコイルの異常を検出するのは困難である。したがって、保護部が動作する前に超電導コイルが焼損する危険性がある。

30

【0005】

そこで、クエンチが起きる前に超電導コイルの異常を検出する技術が求められる。

【0006】

特許文献 1 に記載の超電導コイル装置は、常時、超電導コイルの発熱量と温度との組み合わせを検出し、超電導コイルがクエンチに至らない発熱量と温度との組み合わせである監視基準と検出値とを比較して、超電導コイルにクエンチが起きる前に異常を検出する構成を有している。

【0007】

また、特許文献 2 に記載の超電導コイル装置は、クエンチを引き起こす要因であるコイルの温度およびコイル電圧、また、超電導コイルが収容された真空容器内の真空度などの各種データを集積しておき、サービスセンターに送信して異常の兆候を調べる構成を有している。

40

【特許文献 1】特開 2007-266244 号公報

【特許文献 2】特開 2002-252380 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

一般に、超電導コイル装置では、コイルの一部の電圧を測定する電圧タップや、コイルの複数の箇所の温度を測定する温度計などを設けることは、製造の複雑さや製造コストの

50

観点から困難であり、測定可能な箇所は限られてしまう。

【0009】

したがって、特許文献1および特許文献2の超電導コイル装置では、電圧タップや温度計が設けられた箇所は限られるために、コイルの電圧やコイルの温度などの測定点数が十分に得られない。そうすると、超電導コイル内の箇所によっては、異常を検出できない点で問題となる。

【0010】

また、超電導コイルが異常であれば、速やかに電流の供給を遮断する必要がある。

【0011】

本発明は、超電導コイルの両端電圧を測定して、簡便かつ安全に超電導コイルの異常を検出可能な超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0012】

前記の課題を解決するため本発明に係る超電導コイル装置は、真空容器と、前記真空容器に收容された熱シールド容器と、前記熱シールド容器に收容された超電導コイルと、前記超電導コイルの異常を検出する際に前記超電導コイルの温度を上げる加熱部と、前記超電導コイルに電流を通電する電流制御部と、前記加熱部に加熱され、かつ前記電流制御部から通電された前記超電導コイルの両端の電圧を測定し、前記電圧が所定の閾値を超えると、前記超電導コイルを異常と判断する電圧計測部とを備えたことを特徴とする。

20

【0013】

また、本発明に係る超電導コイル装置は、真空容器と、前記真空容器に收容された熱シールド容器と、前記熱シールド容器に收容された超電導コイルと、前記超電導コイルの異常を検出する際に前記超電導コイルに磁場を印加する磁場発生コイルと、前記超電導コイルに電流を通電する電流制御部と、前記磁場発生コイルに磁場を印加され、かつ前記電流制御部から通電された前記超電導コイルの両端の電圧を測定し、前記電圧が所定の閾値を超えると、前記超電導コイルを異常と判断する電圧計測部とを備えたことを特徴とする。

【0014】

さらに、本発明に係る超電導コイルの検査方法は、加熱部が超電導コイルを加熱し、電流制御部が前記超電導コイルに電流を通電すると、電圧計測部が前記超電導コイルの両端の電圧を測定し、前記電圧が所定の閾値を超えると、前記超電導コイルを異常と判断することを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0015】

本発明は、超電導コイルの両端電圧を測定して、簡便かつ安全に超電導コイルの異常を検出可能な超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

本発明に係る超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法の実施形態について添付図面を参照して説明する。

40

【0017】

〔第1の実施形態〕

本発明に係る超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法の第1実施形態について、図1から図4を参照して説明する。

【0018】

図1は、本発明の第1実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図である。

【0019】

図1に示すように、超電導コイル装置1は、超電導コイル2と、真空容器3と、冷凍機4と、電源5と、電圧計測部6と、電流制御部7と、ヒータ8と、ヒータ制御部9とを備

50

える。

【0020】

超電導コイル2は、超電導テープ線11が巻回されて形成される。超電導テープ線11は、例えば金属系超電導線である。また、酸化物系の高温超電導線でもよい。高温超電導線材は、例えばビスマス系（例えば、Bi2223相型、Bi2212相型）、イットリウム系（例えば、YBCO系）、タリウム（Tl）系、水銀（Hg）系が用いられる。

【0021】

真空容器3には、超電導コイル2が収容されており、この真空容器3によって超電導コイル2の雰囲気は真空状態に保持する。

【0022】

冷凍機4は、一段ステージ13と、二段ステージ14とを備え、多段式の冷却構造を有する。一段ステージ13と、二段ステージ14とは、真空容器3に収容された熱シールド容器15により断熱される。二段ステージ14は、冷却板16を介して超電導コイル2に熱的に接続される。また熱シールド容器15には、超電導コイル2が収容される。

【0023】

電源5は、超電導コイル2を励磁させる。電源5は、超電導コイル2の両端の電極部分に接続された電流リード17を介して超電導コイル2に電氣的に接続される。電流リード17と真空容器3とは電氣的に絶縁される。なお、電源5は超電導コイル2を励磁できるものであれば、どのようなものであってもよい。

【0024】

電圧計測部6は、超電導コイル2の両端電圧を計測する。

【0025】

また、電圧計測部6は、超電導コイル2の両端電圧が所定の閾値を超えたか否かを判定する異常検出器である。電圧計測部6は、超電導コイル2の両端電圧が所定の閾値を超えると、超電導コイル2が異常であると判断する。この所定の閾値は、超電導コイル2の形状や寸法、温度、超電導コイル2に供給される電流、超電導コイル2に印加される磁場、超電導テープ線11の材料によって決められる。

【0026】

さらに、電圧計測部6は、電流制御部7から超電導コイル2に供給される電流値を取得し、かつ、ヒータ制御部9から超電導コイル2の温度を取得する。電圧計測部6は、超電導コイル2の両端電圧と、超電導コイル2に供給される電流値と、超電導コイル2の温度とを定期的に記録する。電圧計測部6は、記録した電圧と電流と温度との関係が、所定の範囲を超えると、超電導コイル2が異常であると判断する。所定の範囲は、例えば、超電導コイル2の形状や寸法の公差、温度の計測誤差、超電導コイル2に供給される電流の計測誤差、超電導コイル2に印加される磁場の誤差などの種々の誤差要因によって決められる。また、超電導コイル2の両端電圧と、超電導コイル2に供給される電流値と、超電導コイル2の温度との記録から、統計的な手法によっても決められる。

【0027】

電流制御部7は、電圧計測部6から超電導コイル2の異常の有無の判断結果を取得する。電流制御部7は、この判断結果に基づいて超電導コイル2に流れる電流を制御する。例えば、電流制御部7は、電圧計測部6が超電導コイル2の異常を検出した場合には、電源5の出力電流を急激に低下、もしくは供給を遮断する。すなわち、電流制御部7は、超電導コイル2の保護部でもある。

【0028】

ヒータ8は、冷凍機4の二段ステージ14に設けられる。ヒータ8は、二段ステージ14および冷却板16を介して超電導コイル2の温度を上げる。ヒータ8は、ヒータ制御部9から供給される電力によって加熱される電気ヒータである。

【0029】

ヒータ制御部9は、ヒータ8を制御する。ヒータ8およびヒータ制御部9は超電導コイル2の加熱部である。

10

20

30

40

50

【0030】

超電導コイル装置1は、通常運転の場合には、冷凍機4によって、超電導コイル2の温度を制御する。具体的には、超電導コイル2が高温超電導コイルであれば、超電導コイル2の温度を略20Kに制御する。

【0031】

他方、超電導コイル装置1は、超電導コイル2の劣化等の異常の有無を検査する場合には、ヒータ8によって、超電導コイル2の温度を上げる。具体的には、超電導コイル2が高温超電導コイルであれば、超電導コイル2の温度を略20Kから略70Kまで変化させる。超電導コイル装置1は、超電導コイル2の温度を上げて、超電導コイル2に電流を通電し、超電導コイル2に発生した両端電圧を測定する。

10

【0032】

図2は、本発明の第1実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルを示した概略的な構成図である。

【0033】

図2に示すように、超電導コイル2は、超電導テープ線11と、巻枠21とを備える。

【0034】

超電導テープ線11は、例えば、幅4.4mm、厚み0.2mmに形成される。

【0035】

巻枠21は、例えば、内径50mmに形成され、超電導テープ線11が86ターン巻回される。

20

【0036】

図3は、本発明の第1実施形態に係る超電導コイル装置に用いられる超電導テープ線の臨界電流の温度依存性の一例を示した図である。

【0037】

また、図3は、超電導テープ線11の幅広面に対する磁場印加角度を90度としたときの磁場が0.5T、1.0T、2.0Tおよび3.0Tのそれぞれにおける臨界電流値 I_c を、温度が77Kにおける自己磁場中での臨界電流値 I_c (77K、0T)で除した値 $I_c / I_c(77K, 0T)$ の温度依存性を示している。

【0038】

ここで、臨界電流値とは、超電導テープ線11に1 μ V/cmの電界が発生したときの電流値である。

30

【0039】

図3に示すように、超電導テープ線11は、磁場の強さが変わらなければ、温度が高いほど、臨界電流値が小さい。すなわち、超電導テープ線11は、温度が上昇するにしたがって臨界電流値が減少する特性を備える。

【0040】

図4は、本発明の第1実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルについて、臨界電流値と温度の関係の一例を示した図である。

【0041】

図4に示すように、超電導コイル2は、温度が高いほど、臨界電流値が小さい。すなわち、超電導コイル2は、温度が上昇するにしたがって臨界電流値が減少する特性を備える。具体的には、超電導コイル2が高温超電導コイルであれば、超電導コイル2は、その温度が略20Kのときに臨界電流値が略386Aであり、その温度が略70Kのときは臨界電流値が略87Aである。

40

【0042】

超電導コイル装置1は、超電導コイル2の劣化等の異常の有無を検知するために、超電導コイル2に臨界電流付近まで電流を通電し、コイル電圧と所定の閾値とを比較する。超電導コイル装置1は、コイル電圧が所定の閾値よりも高ければ、超電導コイル2に劣化等の異常があると判定する。

【0043】

50

また、超電導コイル装置 1 は、超電導コイル 2 の劣化等の異常の有無を検知するために、超電導コイル 2 の両端電圧と、超電導コイル 2 に供給される電流値と、超電導コイル 2 の温度とを定期的に記録する。超電導コイル装置 1 は、電圧と電流と温度との関係が、所定の範囲を超えると、超電導コイル 2 が異常であると判断する。

【0044】

ここで、超電導コイル装置 1 は、超電導コイル 2 の検査をする場合には、ヒータ 8 によって超電導コイル 2 を加熱する。超電導コイル 2 の温度が、例えば略 70 K まで上昇すると、超電導コイル 2 の臨界電流値を減少できる。

【0045】

したがって、超電導コイル装置 1 によれば、超電導コイル 2 の異常を検出するために必要な電流値を減少することで、超電導テープ線 11 にかかる電磁力を減らし、また、異常電圧発生時には電流の供給を遮断する時間を短くできる。電流の供給を遮断する時間が短くなれば、超電導コイル 2 の検査時にコイルが焼損する危険性が少なくなる。

【0046】

したがって、本実施形態の超電導コイル装置 1 によれば、超電導コイル 2 の両端電圧を測定して、簡便かつ安全に超電導コイル 2 の異常を検出できる。

【0047】

〔第 2 の実施形態〕

本発明に係る超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法の第 2 実施形態について、図 5 および図 6 を参照して説明する。

【0048】

図 5 は、本発明の第 2 実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図である。

【0049】

本実施形態に係る超電導コイル装置 1 A において第 1 実施形態の超電導コイル装置 1 と同じ構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

【0050】

図 5 に示すように、超電導コイル装置 1 A は、超電導コイル 2 と、真空容器 3 と、冷凍機 4 と、電源 5 と、電圧計測部 6 と、電流制御部 7 と、ヒータ 8 A と、ヒータ制御部 9 A とを備える。

【0051】

ヒータ 8 A は、超電導コイル 2 に設けられる。ヒータ 8 A は、超電導コイル 2 の温度を変化させる。

【0052】

ヒータ制御部 9 A は、ヒータ 8 A を制御する。ヒータ 8 A およびヒータ制御部 9 A は超電導コイル 2 の加熱部である。

【0053】

図 6 は、本発明の第 2 実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルおよびヒータを示した概略的な構成図である。

【0054】

図 6 に示すように、超電導コイル装置 1 A の超電導コイル 2 には、複数のヒータ 8 A が設けられる。複数のヒータ 8 A は、筒状に形成された超電導コイル 2 の底面 22 に、略同心円状に配置される。

【0055】

超電導コイル装置 1 A は、超電導コイル 2 の劣化等の異常の有無を検査する場合には、いずれかのヒータ 8 A を加熱する。そうすると、超電導コイル 2 は、部分的に温度が上昇する。すなわち、超電導コイル 2 の周方向に温度勾配が発生する。超電導コイル 2 のうち、温度が上昇した部分は、臨界電流値が下がるので、温度が上昇していない他の部分に比べて異常の検出に必要な電流値が減少する。そうすると、超電導コイル装置 1 A は、超電導コイル 2 のうち、異常の有無を調べたい箇所の重み付けができる。このとき、超電導コ

10

20

30

40

50

イル 2 の両端電圧を測定すると、温度が上昇した部分が発生する電圧が支配的になる。

【0056】

超電導テープ線 1 1 は、温度が上がるにしたがって臨界電流が減少する特性を持つ。このため、超電導コイル 2 の温度が変化すると、最大電圧が発生する超電導テープ線 1 1 の位置が異なることになる。

【0057】

すなわち、超電導コイル装置 1 A は、超電導コイル 2 内部の周方向に温度勾配を発生させて、超電導コイル 2 に電流を通電することで、超電導コイル 2 に発生する電圧の分布を変化させることが可能となる。

【0058】

10

また、超電導コイル 2 内部の周方向に温度勾配を発生させて、超電導コイル 2 の両端電圧を測定することで、超電導テープ線 1 1 の一部で発生する電圧が超電導コイル 2 の両端電圧に占める割合を変化させることが可能となる。そうすると、順次に超電導コイル 2 の加熱位置を変更することで、異常のある箇所を容易に特定できる。

【0059】

したがって、本実施形態の超電導コイル装置 1 A によれば、超電導コイル 2 の両端電圧を測定して、簡便かつ安全に超電導コイル 2 の異常を検出できる。

【0060】

〔第 3 の実施形態〕

20

本発明に係る超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法の第 3 実施形態について、図 7 から図 8 を参照して説明する。

【0061】

図 7 は、本発明の第 3 実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図である。

【0062】

本実施形態に係る超電導コイル装置 1 B において第 1 実施形態の超電導コイル装置 1 と同じ構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

【0063】

図 7 に示すように、超電導コイル装置 1 B は、超電導コイル 2 A と、真空容器 3 と、冷凍機 4 と、電源 5 と、電圧計測部 6 と、電流制御部 7 と、ヒータ 8 と、ヒータ制御部 9 とを備える。

30

【0064】

超電導コイル 2 A は、超電導テープ線 1 1 A が巻回されて形成される。超電導テープ線 1 1 A は、例えば、酸化物系の高温超電導線である。高温超電導線材は、例えばイットリウム系（例えば、YBCO 系）が用いられる。

【0065】

図 8 は、本発明の第 3 実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルを示した概略的な構成図である。

【0066】

40

図 8 に示すように、超電導コイル 2 A は、超電導テープ線 1 1 A と、巻枠 2 1 とを備える。

【0067】

超電導テープ線 1 1 A は、例えば、幅 4.4 mm、厚み 0.2 mm に形成される。

【0068】

巻枠 2 1 は、例えば、内径 50 mm に形成され、超電導テープ線 1 1 A が 86 ターン巻回される。

【0069】

図 9 は、本発明の第 3 実施形態に係る超電導コイル装置に用いられる超電導テープ線の臨界電流の磁場依存性の一例を示した図である。

【0070】

50

図 9 は、超電導テープ線 1 1 A の温度が 4 0 K、6 0 K および 7 0 K のそれぞれにおいて、超電導テープ線 1 1 A の幅広面に対する磁場印加角度を 0 度または 9 0 度としたときの臨界電流値 I_c を、温度が 7 7 K における自己磁場中での臨界電流値 I_c (7 7 K、0 T) で除した値 I_c / I_c (7 7 K、0 T) の磁場依存性を示している。

【0 0 7 1】

図 9 に示すように、超電導テープ線 1 1 A は、温度が高いほど、磁場印加角度の依存性が小さい。すなわち、超電導テープ線 1 1 A は、温度が上がるにしたがって臨界電流の磁場角度依存性が減少する特性を備える。

【0 0 7 2】

図 1 0 から図 1 2 は、本発明の第 3 実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルについて、各ターンに発生する電圧と超電導コイルの温度との関係を示した図である。図 1 0 は、超電導コイルの温度が 2 0 K の場合を示した図である。また、図 1 1 は、超電導コイルの温度が 6 0 K の場合を示した図である。さらに、図 1 2 は、超電導コイルの温度が 7 0 K の場合を示した図である。

【0 0 7 3】

なお、超電導コイル 2 A の各ターンに発生した電圧は、最大電圧が発生したターンの電圧を代表値として正規化した値である。また、超電導コイル 2 A の最内層の超電導テープ線 1 1 A を 1 ターン目とする。

【0 0 7 4】

図 1 0 に示すように、超電導コイル 2 A の温度が 2 0 K の場合には、超電導テープ線 1 1 A の 3 7 ターン目で最大電圧が発生した。

【0 0 7 5】

また、図 1 1 に示すように、超電導コイル 2 A の温度が 6 0 K の場合には、超電導テープ線 1 1 A の 2 3 ターン目で最大電圧が発生した。

【0 0 7 6】

さらに、図 1 2 に示すように、超電導コイル 2 A の温度が 7 0 K の場合には、超電導テープ線 1 1 A の 1 ターン目で最大電圧が発生した。

【0 0 7 7】

超電導コイル 2 A に電流を通電すると、超電導テープ線 1 1 A の各ターンに磁場が印加されて超電導コイル 2 A に電圧が発生する。このとき、超電導コイル 2 A に発生する磁場の勾配の影響によって、超電導テープ線 1 1 A の各ターンが受ける磁場の大きさおよび角度は異なる。したがって、超電導テープ線 1 1 A の各ターンが発生する電圧は異なることになる。超電導コイル 2 A の両端電圧を測定すると、超電導テープ線 1 1 A のうち、最大電圧が発生するターン付近の電圧が支配的になる。

【0 0 7 8】

超電導テープ線 1 1 A は、温度が上がるにしたがって臨界電流の磁場角度依存性が減少する特性を持つ。このため、超電導コイル 2 A の温度が変化すると、最大電圧が発生する超電導テープ線 1 1 A のターン位置が異なることになる。

【0 0 7 9】

すなわち、超電導コイル装置 1 B は、超電導コイル 2 A の温度を変化させて、超電導コイル 2 A に電流を通電することで、超電導コイル 2 A に発生する電圧の分布を変化させることが可能となる。

【0 0 8 0】

また、超電導コイル 2 A の温度を変化させて、超電導コイル 2 A の両端電圧を測定することで、超電導テープ線 1 1 A の各ターンで発生する電圧が超電導コイル 2 A の両端電圧に占める割合を変化させることが可能となる。

【0 0 8 1】

したがって、本実施形態の超電導コイル装置 1 B によれば、超電導コイル 2 A の両端電圧を測定して、簡便かつ安全に超電導コイル 2 A の異常を検出できる。

【0 0 8 2】

10

20

30

40

50

〔第４の実施形態〕

本発明に係る超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法の第４実施形態について、図１３から図１４を参照して説明する。

【００８３】

図１３は、本発明の第４実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図である。

【００８４】

本実施形態に係る超電導コイル装置１Ｃにおいて第１実施形態の超電導コイル装置１と同じ構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

【００８５】

図１３に示すように、超電導コイル装置１Ｃは、超電導コイル２と、真空容器３と、冷凍機４と、電源５と、電圧計測部６と、電流制御部７と、ヒータ８Ｂと、ヒータ制御部９Ｂとを備える。

【００８６】

ヒータ８Ｂは、超電導コイル２に設けられる。ヒータ８Ｂは、超電導コイル２の温度を変化させる。

【００８７】

ヒータ制御部９Ｂは、ヒータ８Ｂを制御する。ヒータ８Ｂおよびヒータ制御部９Ｂは超電導コイル２の加熱部である。

【００８８】

図１４は、本発明の第４実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルおよびヒータを示した概略的な構成図である。

【００８９】

図１４に示すように、超電導コイル装置１Ｃのヒータ８Ｂは、内周側ヒータ２４と、外周側ヒータ２５とを備える。内周側ヒータ２４は、筒状に形成された超電導コイル２の底面２２であって、内周の周縁に偏倚させて設けられる。外周側ヒータ２５は、筒状に形成された超電導コイル２の底面２２であって、外周の周縁に偏倚させて設けられる。

【００９０】

内周側ヒータ２４および外周側ヒータ２５は、ヒータ制御部９Ｂに接続される。

【００９１】

超電導コイル装置１Ｃは、超電導コイル２の劣化等の異常の有無を検査する場合には、ヒータ８Ｂによって、超電導コイル２の温度を変化させる。具体的には、ヒータ８Ｂは、内周側ヒータ２４と外周側ヒータ２５との温度差によって超電導コイル２内部の内周側と外周側との間、すなわち径方向に温度勾配を発生させる。超電導コイル装置１Ｃは、超電導コイル２内部の径方向に温度勾配を発生させて、超電導コイル２に電流を通电し、超電導コイル２に発生した両端電圧を測定する。

【００９２】

超電導コイル２に電流を通电すると、超電導テープ線１１の各ターンに磁場が印加されて超電導コイル２に電圧が発生する。このとき、超電導コイル２に発生する磁場の勾配の影響によって、超電導テープ線１１の各ターンが受ける磁場の大きさおよび角度が異なる。したがって、超電導テープ線１１の各ターンが発生する電圧は異なることになる。超電導コイル２の両端電圧を測定すると、超電導テープ線１１のうち、最大電圧が発生するターン付近の電圧が支配的になる。

【００９３】

ここで、超電導テープ線１１は、磁場角度依存性に関わらず、温度が上がるにしたがって臨界電流が減少する特性を持つ。このため、超電導コイル２内部の径方向に適宜に温度勾配を加えると、超電導テープ線１１の各ターンに発生する電圧の差を小さくしたり大きくしたりできる。

【００９４】

すなわち、超電導コイル装置１Ｃは、超電導コイル２内部の径方向に温度勾配を加えて

10

20

30

40

50

、超電導コイル 2 に電流を通電することで、超電導テープ線 1 1 の各ターンで発生する電圧が超電導コイル 2 の両端電圧に占める割合を略均等にすることが可能となる。

【0095】

また、超電導コイル装置 1 C は、超電導コイル 2 内部の径方向に温度勾配を加えて、超電導コイル 2 に電流を通電することで、超電導テープ線 1 1 のいずれかのターンで発生する電圧を、超電導コイル 2 の両端電圧に占める最大の割合にすることが可能となる。

【0096】

したがって、本実施形態の超電導コイル装置 1 C によれば、超電導コイル 2 の両端電圧を測定して、簡便かつ安全に超電導コイル 2 の異常を検出できる。

【0097】

〔第 5 の実施形態〕

本発明に係る超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法の第 5 実施形態について、図 1 5 を参照して説明する。

【0098】

図 1 5 は、本発明の第 5 実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図である。

【0099】

本実施形態に係る超電導コイル装置 1 D において第 1 実施形態の超電導コイル装置 1 と同じ構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

【0100】

図 1 5 に示すように、超電導コイル装置 1 D は、超電導コイル 2 と、真空容器 3 と、冷凍機 4 と、電源 5 と、電圧計測部 6 と、電流制御部 7 と、磁場発生コイル 2 7 と、磁場発生コイル制御部 2 8 とを備える。

【0101】

磁場発生コイル 2 7 は、真空容器 3 に収容される。磁場発生コイル 2 7 は、超電導コイル 2 の周囲に複数、例えば超電導コイル 2 を挟んで 2 つ設けられる。磁場発生コイル 2 7 は、超電導コイル 2 の周囲に磁場を印加する。磁場発生コイル 2 7 は、一様な強さの磁場や、適宜に強さが分布した磁場を発生する。磁場発生コイル 2 7 には、超電導コイルを用いることができる。

【0102】

磁場発生コイル制御部 2 8 は、磁場発生コイル 2 7 を制御する。

【0103】

他方、超電導コイル装置 1 D は、超電導コイル 2 の劣化等の異常の有無を検査する場合には、磁場発生コイル 2 7 によって、超電導コイル 2 に磁場を印加する。

【0104】

超電導コイル 2 の劣化等の異常の有無を検出するためには、超電導コイル 2 に臨界電流付近まで電流を通電し、コイル電圧と所定の閾値とを比較する。コイル電圧が所定の閾値よりも高ければ、超電導コイル 2 の劣化等の異常があると判定する。

【0105】

ここで、超電導コイル装置 1 D は、超電導コイル 2 の検査をする場合には、磁場発生コイル 2 7 によって超電導コイル 2 に磁場を印加する。超電導コイル 2 に磁場が印加されると、超電導コイル 2 の臨界電流値を減少できる。

【0106】

したがって、超電導コイル装置 1 D によれば、超電導コイル 2 の劣化等の異常を検出するために必要な電流値を減少することで、異常電圧発生時には電流の供給を遮断する時間を短くできる。電流の供給を遮断する時間が短くなれば、超電導コイル 2 の検査時にコイルが焼損する危険性が少なくなる。

【0107】

また、超電導コイル装置 1 D は、磁場発生コイル 2 7 によって超電導コイル 2 に適宜に強さが分布した磁場を印加する。そうすると、印加された磁場の強さに応じて、超電導コ

10

20

30

40

50

イル 2 の臨界電流値も超電導コイル 2 内で分布する。

【0108】

すなわち、超電導コイル装置 1 D は、超電導コイル 2 に適宜に強さが分布した磁場を印加して、超電導コイル 2 に電流を通電することで、超電導テープ線 1 1 の各ターンで発生する電圧が超電導コイル 2 の両端電圧に占める割合を略均等にすることが可能となる。

【0109】

また、超電導コイル装置 1 D は、超電導コイル 2 に適宜に強さが分布した磁場を印加して、超電導コイル 2 に電流を通電することで、超電導テープ線 1 1 のいずれかの箇所が発生する電圧を、超電導コイル 2 の両端電圧に占める最大の割合にすることが可能となる。

【0110】

したがって、本実施形態の超電導コイル装置 1 D によれば、超電導コイル 2 の両端電圧を測定して、簡便かつ安全に超電導コイル 2 の異常を検出できる。

【0111】

〔第 6 の実施形態〕

本発明に係る超電導コイル装置および超電導コイルの検査方法の第 6 実施形態について、図 1 6 を参照して説明する。

【0112】

図 1 6 は、本発明の第 6 実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図である。

【0113】

本実施形態に係る超電導コイル装置 1 E において第 1 実施形態の超電導コイル装置 1 と同じ構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

【0114】

図 1 6 に示すように、超電導コイル装置 1 E は、超電導コイル群 3 0 と、真空容器 3 と、冷凍機 4 と、電源 5 と、電圧計測部 6 と、電流制御部 7 とを備える。

【0115】

超電導コイル群 3 0 は、複数の超電導コイル 2 を備える。複数の超電導コイル 2 は、例えばトロイダル状に配置される。また、マルチポール状に配置しても良い。

【0116】

超電導コイル 2 の劣化等の異常の有無を検出するためには、超電導コイル 2 に臨界電流付近まで電流を通電し、コイル電圧と所定の閾値とを比較する。コイル電圧が所定の閾値よりも高ければ、超電導コイル 2 の劣化等の異常があると判定する。

【0117】

ここで、超電導コイル装置 1 E は、超電導コイル 2 の検査をする場合には、超電導コイル群 3 0 から、検査の対象となる 1 つ以上、全数未満の超電導コイル 2 を選択する。なお、超電導コイル群 3 0 は N 個の超電導コイル 2 を備え、検査の対象となる超電導コイル 2 を M 個選択するものとして説明する。なお $N > M$ の関係がある。

【0118】

電流制御部 7 は、超電導コイル 2 の検査をする場合には、 $(N - M)$ 個の超電導コイル 2 (磁場発生用の超電導コイル 2) に電流を通電して、M 個の超電導コイル 2 (検査対象の超電導コイル 2) に磁場を印加する。M 個の超電導コイル 2 は、磁場が印加されると、臨界電流値が減少する。

【0119】

したがって、超電導コイル装置 1 E によれば、超電導コイル 2 の劣化等の異常を検出するために必要な電流値を減少することで、異常電圧発生時には電流の供給を遮断する時間を短くできる。電流の供給を遮断する時間が短くなれば、超電導コイル 2 の検査時にコイルが焼損する危険性が少なくなる。

【0120】

また、超電導コイル装置 1 E は、 $(N - M)$ 個の超電導コイル 2 (磁場発生用の超電導コイル 2) によって M 個の超電導コイル 2 (検査対象の超電導コイル 2) に適宜に強さが

10

20

30

40

50

分布した磁場を印加する。そうすると、M個の超電導コイル2（検査対象の超電導コイル2）の臨界電流値は、印加された磁場の強さに応じて、それぞれの超電導コイル2内で分布する。

【0121】

すなわち、超電導コイル装置1Eは、超電導コイル2に適宜に強さが分布した磁場を印加して、超電導コイル2に電流を通電することで、超電導テープ線11の各ターンで発生する電圧が超電導コイル2の両端電圧に占める割合を略均等にすることが可能となる。

【0122】

また、超電導コイル装置1Eは、超電導コイル2に適宜に強さが分布した磁場を印加して、超電導コイル2に電流を通電することで、超電導テープ線11のいずれかの箇所で発生する電圧を、超電導コイル2の両端電圧に占める最大の割合にすることが可能となる。

10

【0123】

したがって、本実施形態の超電導コイル装置1Eによれば、超電導コイル2の両端電圧を測定して、簡便かつ安全に超電導コイル2の異常を検出できる。

【図面の簡単な説明】

【0124】

【図1】本発明の第1実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図。

【図2】本発明の第1実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルを示した概略的な構成図。

【図3】本発明の第1実施形態に係る超電導コイル装置に用いられる超電導テープ線の臨界電流の温度依存性の一例を示した図。

20

【図4】本発明の第1実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルについて、臨界電流値と温度の関係の一例を示した図。

【図5】本発明の第2実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図。

【図6】本発明の第2実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルおよびヒータを示した概略的な構成図。

【図7】本発明の第3実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図。

【図8】本発明の第3実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルを示した概略的な構成図。

【図9】本発明の第3実施形態に係る超電導コイル装置に用いられる超電導テープ線の臨界電流の磁場依存性の一例を示した図。

30

【図10】本発明の第3実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルについて、各ターンに発生する電圧と超電導コイルの温度との関係を示した図。

【図11】本発明の第3実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルについて、各ターンに発生する電圧と超電導コイルの温度との関係を示した図。

【図12】本発明の第3実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルについて、各ターンに発生する電圧と超電導コイルの温度との関係を示した図。

【図13】本発明の第4実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図。

【図14】本発明の第4実施形態に係る超電導コイル装置の超電導コイルおよびヒータを示した概略的な構成図。

40

【図15】本発明の第5実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図。

【図16】本発明の第6実施形態に係る超電導コイル装置を示した概略的な構成図。

【符号の説明】

【0125】

1、1A、1B、1C、1D、1E 超電導コイル装置

2、2A 超電導コイル

3 真空容器

4 冷凍機

5 電源

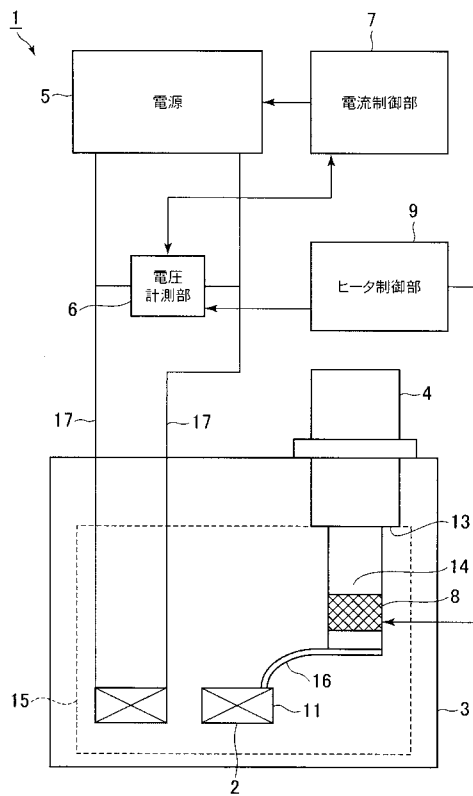
6 電圧計測部

50

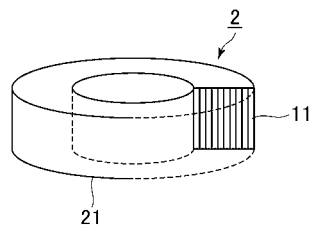
- 7 電流制御部
- 8、8 A、8 B ヒータ
- 9、9 A、9 B ヒータ制御部
- 11、11 A 超電導テープ線
- 13 一段ステージ
- 14 二段ステージ
- 15 熱シールド容器
- 16 冷却板
- 17 電流リード
- 21 卷枠
- 22 底面
- 24 内周側ヒータ
- 25 外周側ヒータ
- 27 磁場発生コイル
- 28 磁場発生コイル制御部
- 30 超電導コイル群

10

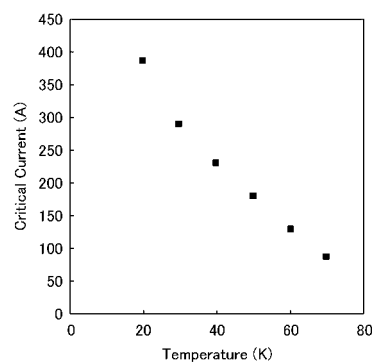
【図 1】



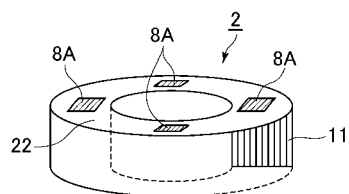
【図 2】



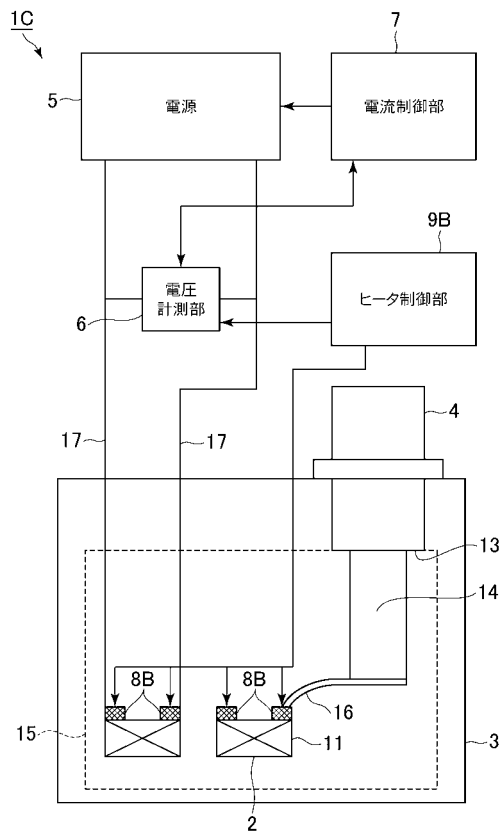
【図 4】



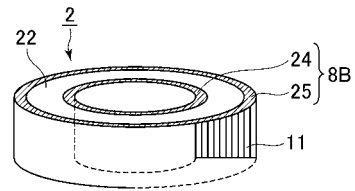
【图 6】



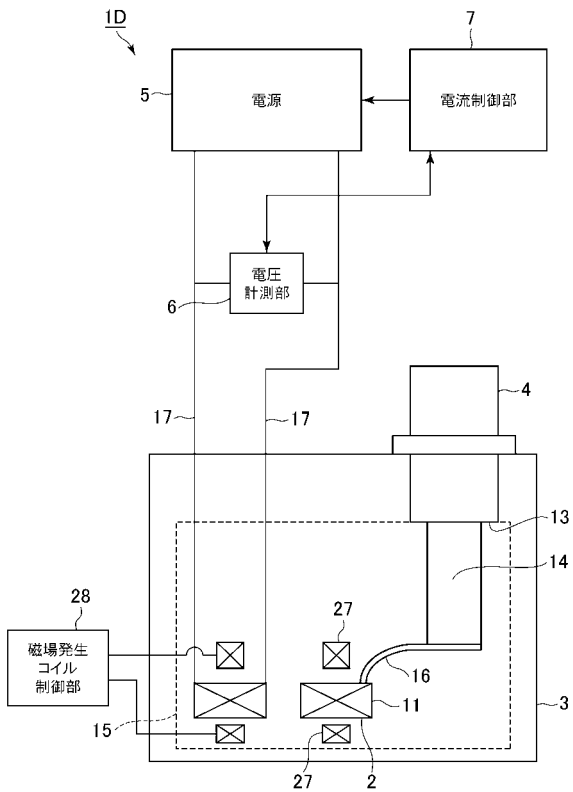
【図 1 3】



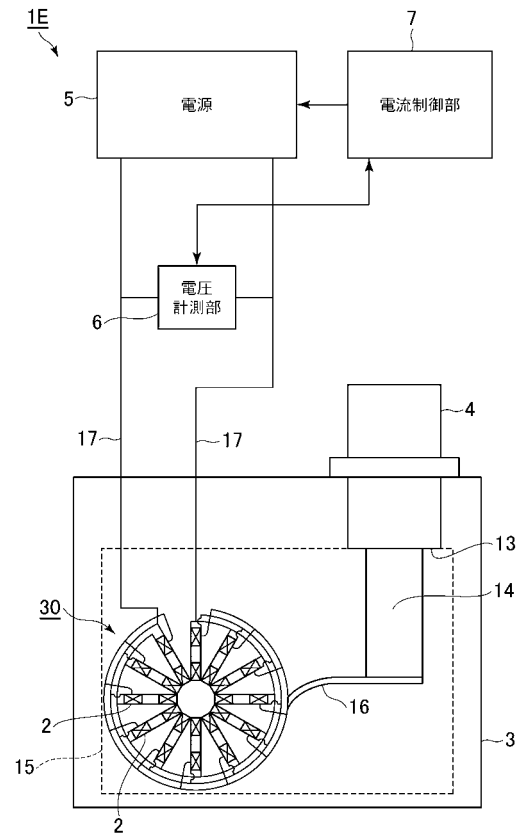
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



フロントページの続き

- (72)発明者 宮崎 寛史
東京都港区芝浦一目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 田崎 賢司
東京都港区芝浦一目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 小野 通隆
東京都港区芝浦一目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 矢澤 孝
東京都港区芝浦一目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 戸坂 泰造
東京都港区芝浦一目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 高橋 政彦
東京都港区芝浦一目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 小柳 圭
東京都港区芝浦一目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 花井 哲
東京都港区芝浦一目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 井岡 茂
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 アイテル技術サービス株式会社内
- (72)発明者 斎藤 房男
東京都港区芝浦一目1番1号 株式会社東芝内
- Fターム(参考) 4M114 AA14 AA31 CC03 DA02 DA12 DA32 DA46