

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高温超電導コイルと、
前記高温超電導コイルを冷却するための冷却手段と、
前記高温超電導コイルを励磁するための電源と、
前記高温超電導コイルの少なくとも一部の近傍の温度を計測する温度計測手段と、
前記温度計測手段により計測された温度に応じて前記高温超電導コイルに流れる電流を制御する電流制御手段と
を具備することを特徴とする高温超電導コイル装置。

【請求項 2】

前記温度計測手段が、前記高温超電導コイルの高温超電導線の少なくとも一部に近接して配置され、かつ該高温超電導線とは電氣的に絶縁された金属系超電導線と、該金属系超電導線の抵抗又は電圧を計測する計測機構とを有することを特徴とする請求項 1 記載の高温超電導コイル装置。

【請求項 3】

前記金属系超電導線は、NbTi、Nb₃Sn、Nb₃Al 及び MgB₂ からなる群から選択されるいずれか 1 種の線材又は異なる 2 種以上の線材を直列に若しくは並列に電氣的に絶縁された構成で配置した線材からなることを特徴とする請求項 2 記載の高温超電導コイル装置。

【請求項 4】

前記金属系超電導線は、該金属系超電導線の全表面積の少なくとも 10% 以上の領域で、前記高温超電導線に固着されていることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の高温超電導コイル装置。

【請求項 5】

前記温度計測手段が、前記高温超電導線の少なくとも一部に近接して配置された気密構造のチューブ状部材と、該チューブ状部材中に封入され、かつ定常運転温度の領域において液体又は気体状態である封入物質と、該封入物質の圧力、体積若しくは温度を計測する計測機構とを有することを特徴とする請求項 1 に記載の高温超電導コイル装置。

【請求項 6】

前記封入物質が、前記定常運転温度の領域の上限温度と絶対温度 273 K の間に沸点を有することを特徴とする請求項 5 に記載の高温超電導コイル装置。

【請求項 7】

前記気密構造のチューブ状部材は、前記高温超電導線より熱伝導率が高い材料からなることを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の高温超電導コイル装置。

【請求項 8】

前記冷却手段が、冷凍機と、冷凍機と高温超電導コイルとを接続する冷却板とを有し、
前記温度計測手段が、前記冷却板との接続箇所から最も離れたコイル上の箇所から、高温超電導コイルの直径又は高さの大きい方の 1/10 の距離内に取り付けられた計測器を有することを特徴とする請求項 1 記載の高温超電導コイル装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高温超電導線を用いた高温超電導コイル装置に関する。

【背景技術】

【0002】

超電導コイル装置では、いわゆるクエンチを代表とするコイルの異常時にコイルを保護する機構を一般的に備えている。超電導コイルの異常の発生は何らかの擾乱に伴う温度上昇がその主な原因である。そのため、コイル異常を検出する手段としては、温度上昇によって発生するコイル内の電圧を測定するのが一般的である。すなわち、超電導コイル装置は、コイル電圧がある閾値を超えたときに異常と判断するための異常検出器を有しており

10

20

30

40

50

、異常検出器からの信号に従って、コイルに蓄積された電磁エネルギーを放出する保護動作を行っている。従来から使用されている金属系超電導コイル装置では、クエンチ伝播速度が速いため、クエンチが発生すると瞬時に数ボルトオーダー以上の電圧が発生するために、その検出感度は十分であり、クエンチによる超電導コイルの焼損等は防止される。

【0003】

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り、クエンチなどの異常が発生しても、大きな電圧の発生には至らず、通常、高温超電導コイル内の電圧の測定でのコイルの異常検出は困難である。特に、超電導磁気エネルギー貯蔵装置（SMES）や、核融合用途の大型コイルでは種々のノイズによる影響で、また限流器や変圧器など交流用コイルでは誘導電圧による影響で、超電導コイルの異常に伴う電圧を検出することはきわめて困難であるという問題がある。

10

【0004】

これらの問題を解決するために、誘導電圧をキャンセルする機構を備えることにより、極力誘導ノイズを抑制して検出感度を高めようという試みが行なわれている（例えば、特許文献1）。

【特許文献1】特開平10-182423号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、コイルが大型化するにつれて、このような方式にも限界があり、十分な感度を確保できないという問題がある。また、高温超電導コイルの大型化の他に、高温超電導コイルの交流パルスの応用に向けて、コイル電圧の測定によるコイル異常の検出だけでは不十分という問題がある。

20

【0006】

本発明は上述したような課題を解決すべくなされたものであって、高温超電導コイルをいずれの用途に応用しても、確実にコイル異常を検出し、コイルの保護が可能な高温超電導コイル装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明に係る高温超電導コイル装置は、高温超電導コイルと、前記高温超電導コイルを冷却するための冷却手段と、前記高温超電導コイルを励磁するための電源と、前記高温超電導コイルの少なくとも一部の近傍の温度を計測する温度計測手段と、前記温度計測手段により計測された温度に応じて前記高温超電導コイルに流れる電流を制御する電流制御手段とを具備することを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、高温超電導のコイル異常を確実に検出し、コイルの保護が可能な高温超電導コイル装置を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0009】

以下、本発明に係る高温超電導コイル装置の実施形態を図面を参照して説明する。

【0010】

（第1の実施形態）

図1は、本発明に係る高温超電導コイル装置の第1の実施形態を示す概念図である。この実施形態に係る高温超電導コイル装置は、少なくとも、高温超電導コイル1と、高温超電導コイル1を励磁するための電源2と、温度計測機構3と電流制御手段4とを備えている。温度計測機構3は、定量的に温度を計測する装置である場合や、コイルの一部または全体が臨界温度を超えたかどうかを判定する場合がある。すなわち、コイル両端電圧あるいは一部の電圧がある閾値を超えたかどうかを判定する機構や、図2に示されるようにコ

50

イルに沿わせた超電導線の両端電圧あるいは一部の電圧を計測し、その電圧が閾値を超えたかどうかを判定する機構などが含まれる。図1では、高温超電導コイル1を冷却するための冷凍機5と、冷凍機5と高温超電導コイル1とを熱的に接続するための冷却板（伝熱板）6と、高温超電導コイル1を取り巻く環境を真空状態にするための真空容器7を備えている。高温超電導コイル1は電流リード8を介して電源2と電氣的に接続されている。この際、電流リード8と真空容器7とは電氣的に絶縁されている。

【0011】

高温超電導コイル1の高温超電導線は、例えば酸化物系の高温超電導線材から作製される。これらの高温超電導線材としては、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）系が挙げられる。 10

【0012】

電源2は、高温超電導コイル1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。

【0013】

図2は、この実施形態における高温超電導コイル1の高温超電導線10と金属系超電導線11との配置の一例を示す断面図である。例えば、図2（a）では、金属系超電導線11は、高温超電導線10と絶縁物12を介して、電氣的に絶縁された状態で並列的に接続された構成を有する。図2（b）では、金属系超電導線11の一部は、高温超電導線10と絶縁物12を介して、電氣的に絶縁された状態で並列的に接続された構成を有する。 20

【0014】

金属系超電導線11は、高温超電導線10の少なくとも一部（部分）、すなわち、何らかの擾乱による温度上昇によるクエンチ現象等の高温超電導コイルの異常の発生を検知したい部分に絶縁物12を介して接続される。この検知したい部分としては、例えば冷却機による冷却効果が最も小さい冷却板よりも最も遠い部分、交流損失、フラックスフロー損失の発生が大きい部分等である。これらの部分は複数の個所であってもよい。これらの部分のうちの両端部又は一部の抵抗又は電圧を計測する。

また、金属系超電導線11は、高温超電導線10の全体にわたり近接して配置されていること、すなわち絶縁物12を介して接続されていることが、高温超電導コイル1の全体の温度を計測できるため好ましい。 30

【0015】

金属系超電導線11は、例えば、高温超電導線10よりも臨界温度が低く、かつ、クエンチ伝播速度が速いものであれば、いずれの材質のものであっても使用することができる。これらは、いわゆる温度センサとして使用できるからである。金属系超電導線11の線材の材質としては、NbTi、Nb₃Sn、Nb₃Al、MgB₂が好ましい。

【0016】

金属系超電導線11は高温超電導線10に絶縁物である固体形状の材料で固着される。金属系超電導線11は、金属系超電導線11の全表面積の少なくとも10%以上の領域で、高温超電導線10に固体形状の材料（絶縁物）で固着されていることが好ましい。このように固着されることにより、高温超電導線10から金属系超電導線11への十分な熱伝導を達成できる。また熱伝導性等を考慮すると、金属系超電導線材11の高温超電導線材10への固着は、金属系超電導線11の全表面積の少なくとも50%以上の領域で固着するとより好ましく、全表面積（100%）の領域で固着するとよりさらに好ましい。高温超電導線（材）と金属系超電導線（材）とを固着する固体形状の材料としては、例えばエポキシ樹脂が挙げられる。 40

【0017】

例えば、高温超電導線（材）と該高温超電導線（材）の少なくとも一部に近接して配置された金属系超電導線（材）とを、互いに共巻きすることにより高温超電導コイル1を作製することができる。金属系超電導線11の形状は、矩形であっても、丸線形状や楕円形状などどのような形状であっても、超電導コイルの異常を検出するという本発明の効果 50

は同等に得られるので、いかなる形状であってもよい。

また、高温超電導線 10 の形状についても、テープ線材形状であっても丸線形状、楕円形状、複数の素線から形成されたより線形状、ラザフォード形状などいかなる形状でもよい。

【0018】

図 2 (c) は、高温超電導コイル 1 の高温超電導線 10 と金属系超電導線 11 との別の構成例を示す断面図である。図 2 (c) では、2 種類の金属系超電導線 11 及び 13 が絶縁物 12 を介して並列に配置されている。2 種類の金属系超電導線の両端部又は一部の抵抗又は電圧は、それぞれ図 1 に示す温度計測機構 3 に接続される。

【0019】

複数の金属系超電導線 11 及び 13 を配置するメリットとしては、例えば 2 種類の臨界温度の異なる金属系超電導線を配置することにより、2 段階での温度検知が容易になることである。なお、金属系超電導線は 3 つ以上配置されていてもよい。

【0020】

また、図 2 (d) は、高温超電導線 10 と金属系超電導線 11 とのさらに別の構成例を示す断面図である。図 2 (d) に記載の金属系超電導線材は、図 2 (c) に記載の金属系超電導線材と同様に 2 種類の異なる金属系超電導線材 11 及び 13 が備えられているが、高温超電導線材 10 の両側に絶縁物 12 を介して配置されている点で異なる。

【0021】

さらに、図 2 (e) は、高温超電導コイル 1 の導体を構成する高温超電導線材 10 と金属系超電導線材 11 及び 13 とのさらにまた別の構成例を示す断面図である。図 2 (e) における金属系超電導線も、図 2 (c) 及び図 2 (d) と同様に、2 種類の異なる金属系超電導線材 11 及び 13 を備えているが、2 種類の線材を同一平面状に配置している点で異なる。

【0022】

図 2 (c) ~ (e) に記載の 2 種類の金属系超電導線材を有する構成は、それぞれ本発明の実施形態の高温超電導コイル装置の異常の検出という効果を奏することができる。図 2 (c) のように高温超電導線に対して同じ側に 2 種類の金属系超電導線が配置されたものは、高温超電導コイル 1 の製造性が良好である。図 2 (d) のように高温超電導線に対して異なる側に 2 種類の金属系超電導線が配置されたものは計測値の検出がより正確である。さらに、図 2 (e) のように高温超電導線に対して同じ側に 2 種類の金属系超電導線を直列に配置されたものは高温超電導コイルの小型化を図ることができる。

【0023】

温度計測機構 3 は、高温超電導コイル 1 の少なくとも一部の近傍の温度を計測する。温度計測機構 3 としては、抵抗計測機構又は電圧計測機構が挙げられる。抵抗計測機構は、高温超電導線材の抵抗の変化を利用して計測する。また、電圧計測機構は、高温超電導線材の印加電圧の変化を利用して計測する。

抵抗計測機構としては、例えば 4 端子法を用いた電気抵抗計測装置等が挙げられる。また、電圧計測機構としては、電圧端子を利用した超電導の用途に適する電圧計測器等が挙げられる。温度計測機構の変換部において、計測された抵抗値又は電圧値は温度値に変換されなくてもよい。

【0024】

温度計測手段は、高温超電導線の少なくとも一部に近接して配置され、かつ該高温超電導線とは電氣的に絶縁された金属系超電導線と、温度計測機構 3、すなわちこの金属系超電導線の抵抗又は電圧を計測する計測機構とを有するものである。

【0025】

金属系超電導線材 11 の抵抗又は電圧を計測することにより金属系超電導線材 11 の温度を間接的に計測することができるので、高温超電導コイル 1 の温度を間接的に計測することができ、高温超電導コイル 1 の異常を検出することができる。なお、抵抗又は電圧の計測は直接的又は間接的に計測できるもののいずれであってもよい。

10

20

30

40

50

【0026】

電流制御手段4は、温度計測機構3から計測値（抵抗値、電圧値又は変換された温度値）を受け取り、その計測値に基づいて超電導コイルに流れる電流を制御する。例えば、計測値が上昇する場合には電源2からの出力電流を、計測値の変化に応じて低下させ、その後、計測値が下降する場合には電源2からの出力電流を、計測値の変化に応じて増加させる。具体的には、電流制御手段4は、温度計測機構3から受け取った計測値が所定の閾値（閾抵抗値、閾電圧値又は閾温度値）を超えているがどうか判断する機構（図示せず）を有する。計測値が所定の閾値を超えている場合には、例えば、急激に電源2の出力電流を低下若しくは電流の供給を遮断させるか、或いは高温超電導コイル1に貯蔵された電流（電磁エネルギー）を放出させる制御を行うことができる。また、計測値が所定の閾値に達していない場合（又は複数の閾値があるときには、下方の閾値にのみ達している場合）には、例えば、計測値に応じて電源2の出力電流をゆっくり低下させる制御を行なうことができる。

【0027】

閾値（閾抵抗値、閾電圧値又は閾温度値）は、高温超電導コイルの高温超電導線（材）の種類（材質）、臨界温度等に応じて、又は、金属系超電導線（材）の種類（材質）、厚さ、臨界温度等に応じて決めることができる。また、高温超電導コイル装置の運転温度等に応じて決めることができる。

例えば、金属系超電導線は、温度の上昇により常電導状態へと転移状態になるときに急激に抵抗値が上昇する。このときの抵抗値又はこの抵抗値に達する前の抵抗値を閾値とすることができる。閾値は、1つであっても、複数（2つ以上）であってもよい。閾値を複数設定することにより、高温超電導コイルに流れる電流をより効果的に制御できるようになる。

【0028】

冷凍機5は、例えばギフォート・マクマホン式冷凍機（GM式冷凍機）で代表される蓄冷式の冷凍機等が挙げられる。

【0029】

冷却板6は、伝熱性の高い材料、例えば金属材料（アルミニウム等）が挙げられる。

【0030】

真空容器7は、高温超電導コイル1を取り巻く環境を真空状態にできるものであればよい。

【0031】

電流リード8は、高温超電導コイル装置の定常運転温度（超電導温度）下にある高温超電導コイル1と常温下にある電源2とを接続するものである。

【0032】

図3は、計測値（例えば、計測した温度値）とその計測値に応じて電源からの電流を低下させる関係を示す図である。計測値（の変化）に応じて、電源から供給される電流を低下させる方法について示している。図3に示されるように、計測値（ $t_1 \sim t_2$ ）に応じて電源から供給される電流（ I ）を低下させる方法は、直線的であっても、段階的であっても、或いは、第1の閾値（ t_1 ）である所定の電流値まで減少させた後、一定値を維持し、第2の閾値（ t_2 ）に達した場合に電源からの電流を遮断するという方法等のいずれであってもよい。

また、例えば計測値が小さい場合は電流の下降速度を小さくしたり、計測値が大きい場合には下降速度を大きくしたりすることもできる。

【0033】

上記の説明は、図2（a）又は図2（b）に示すように高温超電導コイル1の高温超電導線に1つの金属系超電導線が近接して配置された、高温超電導コイル装置の動作についてであるが、図2（c）～（e）に示すように2つ以上の金属系超電導線が近接して配置された高温超電導コイル装置についても同様の動作を達成することができる。

さらに、2つ以上の異なる種類の金属系超電導線が近接して配置された、高温超電導コ

イル装置については、例えば、臨界温度の異なる２種類の金属系超電導線を使用する場合には、臨界温度が低い金属系超電導線が抵抗を発した場合、電源２の出力電流をゆっくり低下させ（例えば、閾値（ t_1 ）以上であると判断）、臨界温度が高い金属系超電導線が抵抗を発した場合は急激に電源２の出力電流を低下若しくは電流の供給を停止させるか（例えば、閾値（ t_2 ）以上であると判断）、或いは高温超電導コイル１に貯蔵された電磁エネルギーを放出する（例えば、閾値（ t_3 ）以上であると判断）などの、種々の対応をとることが可能になる。

【００３４】

この実施形態に係る高温超電導コイル装置は、超電導磁気エネルギー貯蔵装置（ＳＭＥＳ）、超電導限流器、超電導変圧器、超電導発電機、超電導モーター等のような、交流パルスを使用する装置等においても、クエンチ等を効率よく検知できるため、良好に用いることが可能である。

10

【００３５】

以上のように、この実施形態に係る高温超電導コイル装置は、従来の電圧による異常検知法より、高い異常検出感度を有することができ、高温超電導コイルをいずれの用途に応用しても、確実にコイル異常を検出し、コイルの保護が可能な高温超電導コイル装置を提供することができる。

【００３６】

（第２の実施形態）

図４は、本発明に係る高温超電導コイル装置の第２の実施形態を示す概念図である。この実施形態の高温超電導コイル装置は、図１に記載の第１の実施形態の高温超電導コイル装置とは異なり、高温超電導コイル１がクライオスタット２０内に配置され、かつ冷媒２１により冷却されている。冷媒は、固体、液体又は気体のいずれであってもよい。一般的には、液体ヘリウム、液体水素、液体ネオンなどが挙げられる。高温超電導線１０、高温超電導線の少なくとも一部に近接して配置され、かつ高温超電導線材とは電氣的に絶縁された金属系超電導線１１、電源２、温度計測手段３、電流制御手段４、電流リード８等の構成については、図１に示すものと同様のものである。

20

【００３７】

この実施形態に係る高温超電導装置は、従来の電圧による異常検知法より、高い異常検出感度を有することができ、高温超電導コイルをいずれの用途に応用しても、確実にコイル異常を検出し、コイルの保護が可能な高温超電導コイル装置を提供することができる。

30

【００３８】

（第３の実施形態）

図５は、本発明に係る高温超電導コイル装置の第３の実施形態を示す概念図である。また、図６は、この実施形態における高温超電導線と気密構造のチューブ状部材との構成の一態様を示す流れ方向の断面図である。

この実施形態に係る高温超電導コイル装置は、高温超電導線３１の少なくとも一部に近接して配置された、気密構造のチューブ状部材３２と、この気密構造のチューブ状部材内に配置された封入物質３３と、この物質の温度を計測する温度計測器（センサー）３４と、温度計測機構３５と、これらの計測値に応じて電流を制御する電流制御手段３６とを備える。また、気密構造のチューブ状部材３２は、絶縁継ぎ手３７を介して接続された封入物質供給装置（図示せず）から封入物質が供給される。絶縁継ぎ手３７の内側には弁が配置されている。この実施形態に係る高温超電導コイル装置は、図１に記載の第１の実施形態と同様に、電源２、冷凍機５、冷却板６、真空容器７、電流リード８等を備える。

40

【００３９】

また、この実施形態における高温超電導線３１は、第１の実施形態の高温超電導線１と同様である。

【００４０】

この実施形態における気密構造のチューブ状部材３２は、封入物質３３を収容できるように中空配管形状であるが、温度計測手段により封入物質の温度を計測できるのであれば

50

、どのような形状であってもよい。気密構造のチューブ状部材 3 2 は、高温超電導コイルの超電導線 3 1 の少なくとも一部に近接して配置される。すなわち、気密構造のチューブ状部材 3 2 は、少なくとも高温超電導コイル（の高温超電導線 3 1）の例えば温度変化による異常（例えばクエンチ）を検出する必要がある部分に近接して配置される。気密構造のチューブ状部材 3 2 は、高温超電導線 3 1 の全体と近接して配置されることが、高温超電導コイル全体の温度を計測できるため好ましい。

また、気密構造のチューブ状部材 3 2 の材質（材料）は、熱伝導率等を考慮すると金属製である。これらのうち、高温超電導線より熱伝導率が高い材料からなるものが、熱伝導率が良好になり、より感度よく高温超電導コイルの異常を検出できるようになるため好ましい。具体的には、銅、アルミニウム等が挙げられる。

10

【0041】

また、気密構造のチューブ状部材 3 2 と高温超電導線 3 1 とは電氣的に接続された状態で近接して配置され、気密構造のチューブ状部材 3 2 は、高温超電導コイルを収納している真空容器 7 とは電氣的に絶縁されている状態で配置される。冷媒を用いる冷却式の場合には、気密構造のチューブ状部材 3 2 はクライオスタットとは電氣的に絶縁されている状態で配置される。

気密構造のチューブ状部材 3 2 と高温超電導線材 3 1 とは、例えば共巻きすることにより形成することができる。高温超電導コイル 1 の高温超電導線に近接されて配置された中空配管状の気密構造のチューブ状部材 3 2 は、例えば、高温超電導線と共に高温超電導コイル 1 の内部を回った後、高温超電導コイル 1 の外部で、絶縁継ぎ手 3 7 を介して封入物

20

【0042】

封入物質 3 3 は、高温超電導コイルの定常運転温度の領域、すなわち、臨界温度よりも低い温度の領域において液体又は気体状態である。定常運転温度の領域は使用する高温超電導コイルの種類、冷却方式等によって異なる。

封入物質 3 3 としては、例えば、ヘリウム、水素、窒素、ネオン等が挙げられる。封入物質は、高温超電導コイルの定常運転温度の領域の上限温度と絶対温度 2 7 3 K の間に沸点を有するものが、高温超電導コイルの定常運転温度の領域で液体であるため好ましい。これは、封入物質が、気体よりも液体の状態の方が熱伝導率が良好なため、封入物質の熱温度分布が平均化され、より感度よく高温超電導コイルの異常を検出できるようになるからである。なお、封入物質 3 3 は、絶縁継ぎ手 3 7 を介して接続された封入物質供給装置（図示せず）から供給され、封入物質 3 3 が供給された後は弁を閉める。

30

【0043】

次に、温度計測器（センサー）3 4 について説明する。温度計測器 3 4 は、気密構造のチューブ状部材 3 2 の温度を計測し、その結果を出力する。温度計測器 3 4 は、気密構造のチューブ状部材 3 2 中の封入物質 3 3 の温度を直接計測するか、又は温度計測器 3 4 は封入物質 3 3 の圧力若しくは体積を計測することで温度を間接的に計測してもよい。

温度を計測するものとしては、例えば抵抗温度計が挙げられる。抵抗温度計を温度計測器として使用する場合には、温度計測器 3 4 は、いわゆる測温抵抗体（温度センサー部）である。

40

【0044】

温度計測機構 3 5 は、温度計測器 3 4 からの出力（抵抗値）を計測する。温度計測機構 3 5 は、その変換部において抵抗値を温度値に変換する。

【0045】

圧力を利用して、温度を計測してもよい。圧力を計測するものとしては、例えば、極低温用圧力計が挙げられる。

【0046】

これらの温度計測器（センサー）3 4 は、気密構造のチューブ状部材 3 2 のいずれの箇所に配置されていてもよい。

【0047】

50

また、体積（変化）を計測するものとしては、例えば極低温用の液面計が挙げられる。図 7 は、この実施形態において、体積変化の測定に液面計を使用する場合の概念図である。液面計を使用する場合、気密構造のチューブ状部に接続して封入物質を収容する容器 38 を設ける。封入物質 33 を絶縁継ぎ手 37 を介して接続された封入物質供給装置（図示せず）から気密構造のチューブ状部材 32 及び容器 38 に供給する。容器 38 中に、温度計測器 34 としてのレベルセンサー 39 を取り付け。このレベルセンサー 39 により封入物質の体積変化による封入物質の液面の変動を検知する。

【0048】

温度計測機構 35 は、レベルセンサー 39 から出力データを受け取り、温度計測値に変換して、その計測値を電流制御手段 36 に信号を送信する。

10

【0049】

この実施形態における温度計測手段は、気密構造のチューブ状部材 32 と封入物質 33 と、温度計測器 34 と、温度計測機構 35 とを有するものである。

【0050】

温度計測機構 35 から送られた計測値にもとづいて、電源制御装置 36 が高温超電導コイルに流れる電流を制御する機構は、本発明の他の実施形態と同様である。

【0051】

中空配管形状の気密構造のチューブ状部材を用いるこの実施形態は、特に、超電導磁気エネルギー貯蔵装置（SMES）や、核融合用途等の大型の超電導コイル装置を使用する用途に適するものである。

20

【0052】

以上のように、この実施形態に係る高温超電導コイル装置は、従来の電圧による異常検知法より、高い異常検出感度を有することができ、高温超電導コイルをいずれの用途に応用しても、確実にコイル異常を検出し、コイルの保護が可能な高温超電導コイル装置を提供することができる。特に、超電導磁気エネルギー貯蔵装置（SMES）や、核融合用途等の大型の超電導コイル装置を使用する用途において、確実にコイル異常を検出し、コイルの保護が可能な高温超電導コイル装置を提供することができる。

【0053】

図 8 は、本発明に係る高温超電導コイル装置の第 4 の実施形態を示す概念図である。この実施形態に係る高温超電導コイル装置 1 は、冷却手段が、冷凍機と、冷凍機と高温超電導コイルとを接続する冷却板とを有し、温度計測手段が、冷却板との接続箇所から最も離れたコイル上の箇所から、高温超電導コイルの直径又は高さの大きい方の $\pm 1/10$ の距離内に取り付けられた温度計測器（温度センサー）40 と、温度計測機構 41 とを有するものである。この実施形態における高温超電導コイル装置は、さらに、電流を制御する電流制御手段 42 を有する。また、この高温超電導コイル装置は、他の実施形態と同様に高温超電導コイル 1、電源 2、冷却機 5、冷却板 6、真空容器 7、電流リード 8、電流制御手段 42 等の基本的な構成要素を有する。

30

【0054】

この実施形態では、高温超電導コイル 1 の異常を検知する手段としての温度計測手段は、温度検出器 40 として用いることができるものであれば、いずれのものも使用できる。

40

【0055】

次に、温度計測器 40 を取り付ける位置について説明する。まず、この実施形態における高温超電導コイル装置において、超電導コイルに冷却手段を取り付ける位置は、高温超電導コイルの表面であっても、内部であってもよい。

温度計測器 40 は、冷却板との接続箇所から最も離れた高温超電導コイル上の箇所から、高温超電導コイルの直径又は高さの大きい方の $\pm 1/10$ の距離内に取り付けられる。すなわち、温度計測器 40 は、冷却板からの直線距離が最も遠い基準点から、高温超電導コイルの直径又は高さのうちの大きい方の長さの $1/10$ の長さを半径（ r ）とする球内に、或いは、冷却板からの直線距離が最も遠い基準面から、高温超電導コイルの直径（ d ）又は高さ（ L ）のうちの大きい方の長さの $1/10$ の長さを幅とする円柱内に、配置さ

50

れる。温度計測手段を取り付ける範囲をこのように規定することにより、超電導コイルの異常（例えば、クエンチ）を確実に検知することができる。このように温度計測器 40 を設置する範囲を、図 9（a）～（c）を参照して例示して説明する。

【0056】

図 9（a）では、高温超電導コイル 1 の両端面に冷却板 43 が取り付けられているので、温度計測器 40 を取り付ける範囲はコイル高さ方向中央部付近の斜線の部分である。すなわち、温度計測器 40 は、斜線で示されるコイルの円柱部（コイル外周部及びコイル内周部）の範囲内に取り付けることができる。コイル外周部における斜線の幅は $d/5$ 及び $L/5$ のうち大きい方の値である。

【0057】

また、図 9（b）では、冷却板 43 が高温超電導コイルの上端面の一部に取り付けられた場合である。この場合は、コイル下端の○印で示された点が冷却板からの直線距離の最遠点となるため、この点から上記で規定した半径 r の範囲内が温度計測器 40 を取り付ける範囲である。

【0058】

さらに図 9（c）では、高温超電導コイル 1 の上端面および下端面にそれぞれ冷却板 43 が取り付けられているので、冷却板からの最遠点は、コイルの内側の○印の点である。したがって、温度計測器 40 を取り付ける範囲は、この○印の点を中心に半径 r の範囲内で、かつ高温超電導コイル 1 内である、斜線で示される部分の範囲である。図 9（c）では理解の容易のため、半径 r の範囲内を全て斜線で示しているが、コイル内の空洞部分は除かれる。また、図 9（c）では斜線部分の理解の容易のため、半径 r を拡大して示している。

【0059】

温度計測器 40 で検出された出力は、温度計測機構 41 で温度計測値に変換できる。温度計測手段は、温度計測器 40 と温度計測機構 41 とを有する。温度計測手段としては、例えば、温度計（例えば、抵抗温度計）が挙げられる。

【0060】

なお、温度計測機構 41 からの計測値に基づいて高温超電導コイルに流れる電流を制御する機構は他の実施形態と同様である。

【0061】

以上により、この実施形態に係る高温超電導コイル装置は、コイルの冷却板から最も遠い点から上記で規定した所定の範囲内に温度計測器を取り付けることにより、高温超電導コイル全体のうちの最も温度が上昇しやすい（冷却板により冷却しにくい）点を計測することができるので高温超電導コイル全体の温度を計測でき、従来の電圧による異常検知法より、高い異常検出感度を有することができ、高温超電導コイルをいずれの用途に応用しても、確実にコイル異常を検出し、コイルの保護が可能な高温超電導コイル装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図 1】本発明に係る高温超電導コイル装置の第 1 の実施形態を示す概念図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態における高温超電導コイルの高温超電導線と金属系超電導線との配置の一例を示す断面図である。

【図 3】計測値とその計測値に応じて電源からの電流を低下させる関係を示す図である。

【図 4】本発明に係る高温超電導コイル装置の第 2 の実施形態を示す概念図である。

【図 5】本発明に係る高温超電導コイル装置の第 3 の実施形態を示す概念図である。

【図 6】本発明に係る高温超電導コイル装置の第 3 の実施形態における高温超電導線と気密構造のチューブ状部材との配置の例を示す断面図である。

【図 7】本発明に係る高温超電導コイル装置の第 3 の実施形態において、体積変化の測定に液面計を使用する場合の概念図である。

【図 8】本発明に係る超電導コイル装置の第 4 の実施形態を示す概念図である。

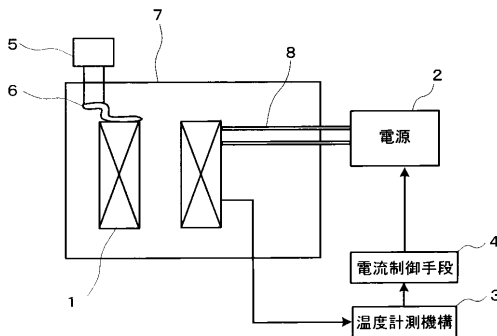
【図 9】 本発明に係る超電導コイル装置の第 4 の実施形態における温度計測器を取り付ける範囲の例を示す図である。

【符号の説明】

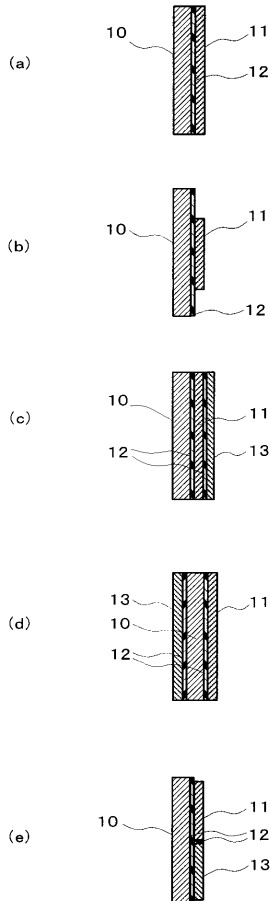
【0063】

1…高温超電導コイル、2…電源、3, 35, 41…温度計測機構、4, 36, 42…電流制御手段、5…冷凍機、6, 43…冷却板、7…真空容器、8…電流リード、10, 31…高温超電導線、11, 13…金属系超電導線、12…絶縁物、20…クライオスタット、21…冷媒、32…チューブ状部材、33…封入物質、34, 40…温度計測器（センサー）、37…絶縁継ぎ手、38…容器、39…レベルセンサー

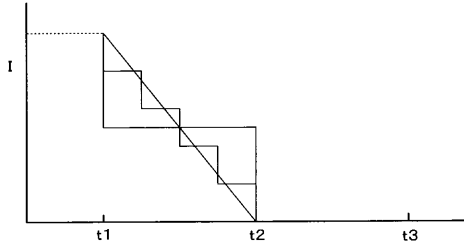
【図 1】



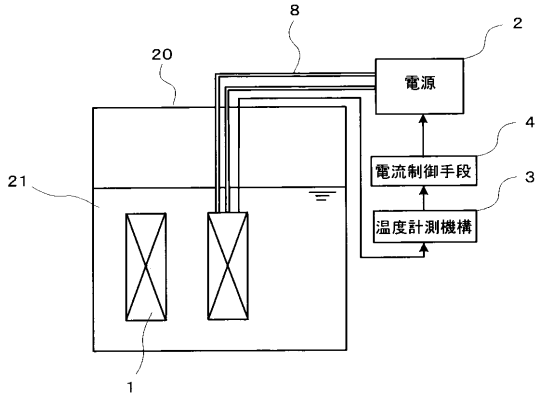
【図 2】



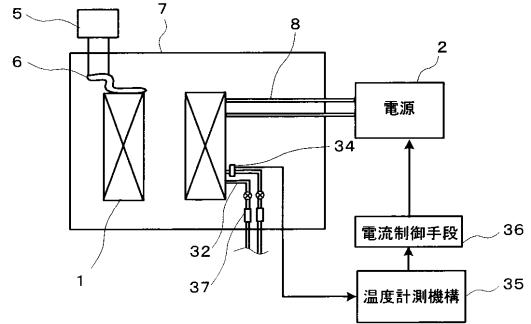
【図 3】



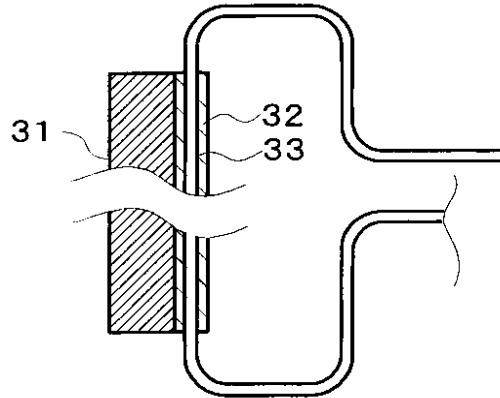
【図 4】



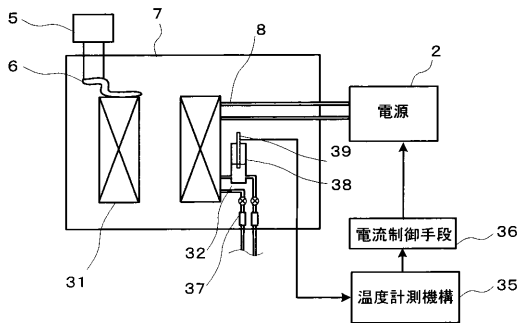
【図 5】



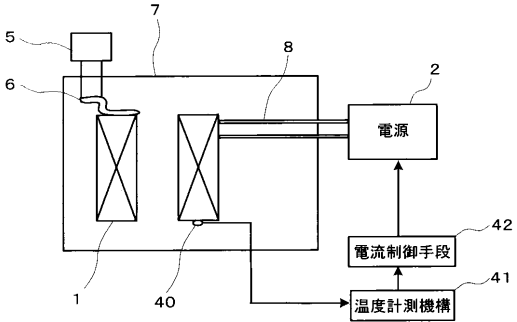
【図 6】



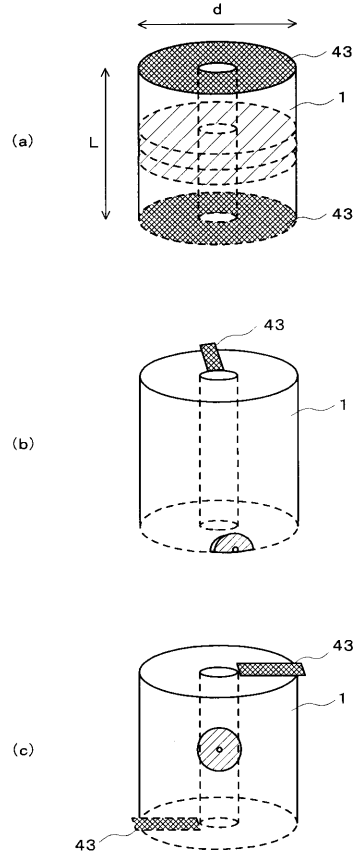
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 栗山 透
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内