

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4111746号  
(P4111746)

(45) 発行日 平成20年7月2日(2008.7.2)

(24) 登録日 平成20年4月18日(2008.4.18)

(51) Int.Cl.

H02K 55/04 (2006.01)

F 1

H02K 55/04 Z A A

請求項の数 10 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2002-139401 (P2002-139401)  
 (22) 出願日 平成14年5月15日 (2002.5.15)  
 (65) 公開番号 特開2003-70228 (P2003-70228A)  
 (43) 公開日 平成15年3月7日 (2003.3.7)  
 審査請求日 平成17年2月8日 (2005.2.8)  
 (31) 優先権主張番号 09/854938  
 (32) 優先日 平成13年5月15日 (2001.5.15)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 390041542  
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー  
 GENERAL ELECTRIC COMPANY  
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ  
 クタディ、リバーロード、1番  
 (74) 代理人 100093908  
 弁理士 松本 研一  
 (72) 発明者 ュー・ワン  
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフ  
 トン・パーク、スブルース・ストリート、  
 28番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電磁遮蔽体を有する高温超伝導同期ロータ及びその組立方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

同期機械(10)におけるロータ(14)であって、  
 ロータコア(22)と、

前記ロータコアの両端に設けられ該ロータコアと同軸に整合されたロータカラー(62)  
 )と、

該ロータコアの少なくとも一部分の周りに延び、該ロータコアの両側面上に1対の側部分(40)および前記各カラーのスロット内で延びる1対の端部分(54)を有するコイル巻線(34)と、

前記ロータコアの周りに配置され、前記コイル巻線を被う導電性遮蔽体(90、96、  
 102、108)と、

を含み、

前記ロータカラーは、超伝導コイル巻線(34)の端部分の各々をロータ内に保持する  
 分割型クランプ(58)を受けるスロット(64)を含み、

前記導電性遮蔽体は、前記ロータカラー間を延び、該カラーに取り付けられる  
 ことを特徴とするロータ。

## 【請求項 2】

前記導電性遮蔽体が、前記ロータコアと同軸の円筒体であることを特徴とする、請求項  
 1に記載のロータ。

## 【請求項 3】

前記遮蔽体に貼り合わされ、前記ロータコアを取り囲む真空容器を更に含むことを特徴とする、請求項1に記載のロータ。

**【請求項4】**

前記遮蔽体が、前記ロータコアの周りに配置された円筒体であり、前記ロータが、前記遮蔽体と同軸の円筒形真空容器を更に含むことを特徴とする、請求項1に記載のロータ。

**【請求項5】**

前記カラーの各々が前記ロータコアと同軸のステンレス鋼製リングを有し、前記遮蔽体が円形端部を有し、該遮蔽体の各端部が、前記カラーの各々における前記リングに取り付けられることを特徴とする、請求項1に記載のロータ。

**【請求項6】**

前記遮蔽体が前記ロータにボルト固定されることを特徴とする、請求項1に記載のロータ。

**【請求項7】**

前記遮蔽体が更に、前記コイルを被う真空容器を形成することを特徴とする、請求項1に記載のロータ。

**【請求項8】**

同期機械(10)のためのロータ(14)であって、  
該ロータの長手方向軸線と直交する導管(46)を有するロータコア(22)と、  
前記ロータの長手方向軸線に平行になっている平坦なレーストラック形状のレーストラック形超伝導(SC)コイル巻線(34)と、  
前記コアの導管内のテンションロッド(42)と、  
前記コイル巻線を前記テンションロッドに結合するハウジング(44)と、  
前記ロータコアの周りの電磁遮蔽体(90、96、102、108)と、  
を含むことを特徴とするロータ(14)。

**【請求項9】**

前記遮蔽体が、前記コアの周りに配置された銅製円筒体であることを特徴とする、請求項8に記載のロータ。

**【請求項10】**

前記コアの周りに配置された真空容器を更に含むことを特徴とする、請求項8に記載のロータ。

**【発明の詳細な説明】**

**【0001】**

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、一般的に、同期回転機械における超伝導コイルに関する。より具体的には、本発明は、超伝導界磁巻線を有するロータのための電磁遮蔽体に関する。

**【0002】**

**【発明の背景】**

界磁コイル巻線を有する同期電気機械は、それに限定するわけではないが、回転発電機、回転モータ及びリニアモータを含む。これらの機械は、一般的に、電磁的に結合されたステータとロータとを備える。ロータは、多極ロータコアと、ロータコアに取り付けられた一つ又はそれ以上のコイル巻線とを含むことができる。ロータコアは、鉄製コア(鉄心)ロータのような、透磁性の中実材料を含むことができる。

**【0003】**

従来の銅巻線が、同期電気機械のロータに一般に使用されている。しかしながら、銅巻線の電気抵抗は、(従来の尺度では小さいが)ロータの大きな加熱の一因となり、機械の出力効率を減少させる程である。近年、ロータのための超伝導(SC)コイル巻線が開発されてきた。SC巻線は、実効的には抵抗を持たず、非常に有利なロータのコイル巻線である。

**【0004】**

鉄心ロータは、約2テスラの空隙磁界強度で飽和する。公知の超伝導ロータは、ロータ内

10

20

30

40

50

に鉄がない空コア設計を利用して3テスラ又はそれ以上の空隙磁界を達成する。このような高い空隙磁界は、電気機械の出力密度を増大させ、機械の重量と寸法の著しい減少をもたらす。空コア超伝導ロータは、多量の超伝導線を必要とする。多量のSC線は、所要コイル数を増加させ、コイル支持体を複雑にし、SCコイル巻線及びロータのコストを増加させる。

#### 【0005】

高温SCコイル界磁巻線は、脆性の超伝導材料で形成されており、超伝導を達成しこれを維持するためには、例えば27°Kの臨界温度又はそれ以下の温度まで冷却しなければならない。SC巻線は、BSCCO(Bi<sub>x</sub>Sr<sub>x</sub>Ca<sub>x</sub>Cu<sub>x</sub>O<sub>x</sub>)ベースの導体のような、高温超伝導材料で形成することができる。

10

#### 【0006】

超伝導コイルは、液体ヘリウムによって冷却されてきた。ロータの巻線を通過して高温になった使用済みのヘリウムは、室温の気体ヘリウムとして戻される。極低温冷却に液体ヘリウムを使用するには、戻された室温の気体ヘリウムを連続的に再液化することが必要であり、このような再液化は、信頼性に関する大きな問題を提起し、大きな補助出力を必要とする。

#### 【0007】

従来のSCコイル冷却技術は、エポキシ含浸したSCコイルを極低温冷却機からの固体伝導路を介して冷却することを含む。別の手法では、ロータの冷却チューブが、液体及び/又は気体の極低温剤の流れに浸漬した多孔質のSCコイル巻線に、液体及び/又は気体の極低温剤流を送るようにすることができる。しかしながら、浸漬冷却は、界磁巻線及びロータ構造全体を極低温にすることを必要とし、その結果、極低温における鉄の脆性性質のため、ロータの磁気回路に鉄を使用することができない。

20

#### 【0008】

必要とされるものは、例えば、公知の超伝導ロータの空コア液冷式超伝導界磁巻線集成体の欠点を有しない、電気機械のための超伝導界磁巻線集成体である。

#### 【0009】

さらに、高温超伝導(HTS)コイルは、大きな曲げ歪み及び引張歪みによる劣化に対して敏感である。これらのコイルは、コイル巻線に応力を加え歪みを与える大きな遠心力に耐えなければならない。電気機械の通常の作動は、数年にわたって何千回もの始動及び停止サイクルを伴い、その結果、ロータの低サイクル疲労負荷を生じる。さらに、HTSロータ巻線は、周囲温度におけるロータの平衡時に25%の過速度作動に耐えなければならない。また発電作動時の極低温において時たま起こる過速度状態にもやはり耐えなければならない。これらの過速度状態は、通常作動状態における巻線に作用する遠心力負荷をかなり増大させる。

30

#### 【0010】

電気機械のHTSロータの界磁巻線として使用されるSCコイルは、冷却及び通常作動時に応力及び歪みを受ける。それらは、遠心荷重、トルク伝達及び過渡的損傷状態に曝される。力、応力、歪み及び周期的荷重に耐えるため、SCコイルは、コイル支持システムによってロータに適切に支持されなければならない。これらの支持システムは、SCコイルをHTSロータ内に保持し、ロータの回転による非常に大きな遠心力に抗してコイルを固定しなければならない。さらに、コイル支持システムは、SCコイルを保護するものであり、コイルに早期に亀裂を生じたり、疲労その他の破壊を生じたりしないことを保証するものである。

40

#### 【0011】

HTSコイルのための支持システムの開発においては、SCコイルをHTSロータに適合させるのが難しい課題であった。以前に提案されているHTSロータ用のコイル支持システムの例が、米国特許第5,548,168号、同第5,532,663号、同第5,672,921号、同第5,777,420号、同第6,169,353号、及び、同第6,066,906号に開示されている。しかしながら、これらのコイル支持システムは、

50

高価である、複雑である、甚だしい数の構成部品を必要とする等の種々の課題に苦慮している。S Cコイルのためのコイル支持システムを有するHTSロータに対する積年の要請がある。低成本で製造し易い構成部品で作られるコイル支持システムへの要請もある。

#### 【0012】

##### 【発明の概要】

HTS界磁コイル巻線のための構造支持体は、S Cコイルをロータに組み込むことについての主要な課題の一つであった。構造体は、大きな熱をS Cコイル巻線に伝導をすることなしに、S Cコイル巻線を支持しなければならない。コイル支持体の構造は、ロータコアからの熱を冷却されたS C巻線に伝える大きさを減少させるように、最少にされてきた。しかしながら、コイル支持体を最小にすることはまた、この支持体によって支えることのできる力の大きさを制限することにもなる。ロータに作用する力がコイル支持体の力支持能力を超えた場合には、コイル支持体が破損するか、あるいはコイル巻線が損傷する大きな危険性がある。

10

#### 【0013】

ロータに作用する力の潜在的な源は、グリッド故障に起因するトルクである。界磁巻線S Cコイルを有する高温超伝導(HTS)発電機は、電気的なグリッド故障を受けやすい。グリッド故障は、機械のステータが結合される発電システムグリッドにおける電流スパイクである。グリッド故障状態の下では、過大電流がステータに流れる。この電流は、ステータ巻線に電気妨害を引き起こし、これがロータ界磁巻線コイル内に強い過渡磁束を誘起させる。

20

#### 【0014】

この潜在的な可能性のあるロータ界磁巻線コイル内への過渡的磁界の浸透は、ロータコイル巻線上に大きなトルク力を生じて、超伝導界磁巻線内にヒステリシスと渦電流加熱(交流損失)を誘起し、その結果超伝導性が低下する。更に、これらの不要な磁界浸透を減少させることは、超伝導体における交流(AC)損失を減少させて、ロータ界磁巻線の超伝導状態を保たせることになる。ロータに作用する力を最小化することは、コイル支持システムの構造を縮小ことを可能にする。グリッド故障及びロータを取り巻く電磁界におけるその他の異常な変動に起因するロータトルクを減少させることは、コイル支持構造体を最小にすることを可能にする。

30

#### 【0015】

ロータの遮蔽は、ステータからの磁束がロータに干渉するのを防止する。ロータ界磁巻線コイルがうまく遮蔽されていない場合には、コイル支持体は故障トルクを支えるために補強されなくてはならない。電磁(EM)遮蔽体は、ステータの磁束がロータに浸透するのを防止するが、このことは、従来の機械にとってよりも超伝導機械にとっては一層重要である。

#### 【0016】

EM遮蔽体は、ロータコアのほとんど全表面を被う。円筒形の遮蔽体形状は、ロータにEM保護を与えるのに有益である。EM遮蔽体はまた、S Cコイルのための真空境界としての働きもする。この境界は、S Cコイル巻線の周りに真空を確立する。EM遮蔽体は、銅又はアルミニウムのような、導電性の高い材料で作ることができる。

40

#### 【0017】

HTSロータは、S Cコイルを含むように元々設計された同期機械のためのものとすることができる。これとは別に、HTSロータは、従来の発電機におけるような、現存の電気機械における銅コイルロータと置き換えることもできる。ロータとS Cコイルとは、本明細書では発電機の場合に即して記載するが、HTSコイルロータはまた、その他の同期機械での使用にも適している。

#### 【0018】

このコイル支持システムは、該コイル支持システムをコイル及びロータに組み込むのに有用である。更に、コイル支持システムは、最終のロータ組み立ての前の該コイル支持システムとコイルとロータとの事前組み立てを容易にする。事前組み立てにより、コイル及び

50

ロータの組み立て時間が短縮され、コイル支持品質が向上し、コイル組立体のばらつきが減少する。

#### 【 0 0 1 9 】

第1の実施形態において、本発明は、同期機械のためのロータであって、該ロータは、ロータコアと、ロータコアの少なくとも一部分の周りに延び、ロータコアの両側面上に1対の側部分を有する超伝導コイル巻線と、ロータコアの周りに配置され、コイル巻線を被う導電性遮蔽体とを含む。

#### 【 0 0 2 0 】

別の実施形態において、本発明は、同期機械のロータコア上の超伝導コイル巻線を遮蔽するための方法であって、該方法は、コイル巻線とロータコアとを組み立てる段階と、ロータコアの両端部を、コアと同軸に整合された端シャフトのカラーに取り付ける段階と、カラーの各々に重ね合わせて、ロータコアの周りに導電性遮蔽体を設ける段階とを含む。10

#### 【 0 0 2 1 】

本発明の別の実施形態は、同期機械のためのロータであって、該ロータは、ロータの長手方向軸線と直交する導管を有するロータコアと、ロータの長手方向軸線に平行になっている平坦なレーストラック形状のレーストラック形超伝導（S C）コイル巻線と、コアの導管内のテンションロッドと、コイル巻線をテンションロッドに結合するハウジングと、ロータコアの周りの電磁遮蔽体とを含む。

#### 【 0 0 2 2 】

##### 【発明の実施の形態】

本明細書に関連する添付図面に、本発明の実施形態を記載する。20

#### 【 0 0 2 3 】

図1は、ステータ12とロータ14とを有する例示的な同期発電機械10を示す。ロータは、ステータの円筒形のロータ真空キャビティ16内に嵌まる界磁巻線コイルを含む。ロータは、ステータのロータ真空キャビティ内に嵌まる。ロータがステータ内で回転すると、ロータとロータコイルによって発生する磁界18（点線で示される）はステータを通って移動／回転し、ステータのコイル巻線19に電流を生じさせる。この電流は、発電機によって電力として出力される。

#### 【 0 0 2 4 】

ロータ14は、ほぼ長さ方向に延びる軸線20と、全体的に中実のロータコア22とを有する。中実のコア22は、大きな透磁率を有し、鉄のような強磁性材料で形成するのが普通である。低電力密度の超伝導機械では、ロータの鉄心を使用して、起磁力（M M F）を減少させ、従ってコイル巻線に必要とされる超電導（S C）コイル線の量を最小にする。例えば、中実の鉄製ロータコアは、約2テスラの空隙磁界強度で磁気的に飽和させることができる。30

#### 【 0 0 2 5 】

ロータ14は、少なくとも1つの長さ方向に延びるレーストラック形の高温超伝導（H T S）コイル巻線34（図2参照）を支持する。別の構成では、H T Sコイル巻線は、サドル形にしてもよく、或いは、特定のH T Sロータ設計に適した幾つかの他の形状を有してもよい。レーストラック形S Cコイル巻線のためのコイル支持システムがここに開示される。このコイル支持システムは、中実のロータコアに取り付けられたレーストラック形コイル以外のコイル形態に適合させることができる。40

#### 【 0 0 2 6 】

ロータは、コア22を支持し、軸受25によって支えられた1対の端シャフト24、30を含む。コレクタ端シャフト24は、回転するS Cコイル巻線に電気的に接続するためのコレクタリング78を含むことができる。コレクタ端シャフトはまた、ロータのS Cコイル巻線を冷却するのに使用される極低温冷却流体の源への極低温剤移送継手26を有する。極低温剤移送継手26は、極低温剤冷却流体の源に連結される固定セグメントと、H T Sコイルに冷却流体を供給する回転セグメントとを有する。駆動端シャフト30は、駆動継手32を介して発電タービンによって駆動されることがある。50

## 【0027】

図2は、例示的なHTSレーストラック形の界磁コイル巻線34を示す。ロータのSC界磁巻線34は、高温超伝導(SC)コイル36を含む。各々のSCコイルは、固体状エポキシ含浸巻線複合材料で積層されたBSCCO(Bi<sub>x</sub>Sr<sub>x</sub>Ca<sub>x</sub>Cu<sub>x</sub>O<sub>x</sub>)導線のような、高温超伝導導体を含む。例えば、一連のBSCCO223線を、積層し、互いに接着し、巻いて中実のエポキシ含浸コイルとすることができる。

## 【0028】

SC線は、脆くて、傷つき易い。SCコイルは、一般的に、エポキシ含浸されたSCテープが巻かれた層である。SCテープは、厳密な寸法公差を得るために、精密なコイル形態に巻かれている。テープは螺旋に巻かれ、レーストラック形SCコイル36を形成する。

10

## 【0029】

レーストラック形コイルの寸法は、ロータコアの寸法で決まる。一般的に、各々のレーストラック形SCコイルは、ロータコアの磁極を囲み、ロータ軸線に対して平行である。コイル巻線は、レーストラックの周りで連続している。SCコイルは、ロータコアの周り及び該コアの磁極の間に、無抵抗の電流路を形成する。コイルは、該コイルをコレクタ78に電気的に接続する電気接点79を有する。

## 【0030】

極低温冷却流体のための流路38が、コイル巻線34に含まれる。これらの流路は、SCコイル36の外縁部の周りに延びることができる。流路は、コイルに極低温冷却流体を供給し、該コイルから熱を除去する。冷却流体は、SCコイル巻線において、該コイルに電気抵抗がない場合を含む超伝導状態をもたらすのに必要とされる低温、例えば27Kを維持する。冷却路は、ロータコアの一端に入口及び出口ポート39、41を有する。これらの流体(気体)ポート39、41は、SCコイル上の冷却路38を、極低温剤移送継手26に接続する。

20

## 【0031】

各々のHTSレーストラック形コイル巻線34は、ロータ軸線20に対して平行でほぼ真っ直ぐな一対の側部分40と、該ロータ軸線に直交する一対の端部分54とを有する。コイルの側部分は、最も大きな遠心応力に曝される。従って、その側部分は、コイルに作用する遠心力を打ち消すコイル支持システムによって支持される。

## 【0032】

30

図3は、高温超伝導コイルのためのロータコア22及びコイル支持システムの分解図を示す。支持システムは、U形溝ハウジングに連結されたテンションロッド42を備える。ハウジングは、ロータ内にコイル巻線34の側部分40を保持し、支持する。図3において、一つのテンションロッド及び溝ハウジングが示されているが、一般的に、コイル支持システムは、一連のテンションロッドを含み、その各々が該ロッドの両端にコイル支持ハウジング44を有する。テンションロッド及び溝ハウジングは、ロータ作動中のコイル巻線の損傷を防ぎ、遠心力及び他の力に対してコイル巻線を支持し、該コイル巻線に防護のための遮蔽を与える。

## 【0033】

鉄製コアロータにおけるHTSコイル巻線34の主な荷重は、ロータの回転時の遠心加速度によるものである。効果的なコイル構造支持体が、遠心力を打ち消すために必要とされる。コイル支持体は、最も大きな遠心加速度を受けるコイルの側部分40に沿うことがとりわけ必要とされる。コイルの側部分を支持するため、テンションロッド42は、コイルの側部分の間を跨ぎ、コイルの対向した側部分を持する溝ハウジング44に取り付けられる。テンションロッドは、ロータコアの導管46、例えば孔を貫通して延び、該ロッドは、同一コイルの側部分の間、又は隣接するコイルの間を跨ぐことができる。

40

## 【0034】

導管46は、真っ直ぐな軸線を有する、ロータコア内のほぼ円筒形の通路である。導管の直径は、ロータの凹状の表面付近における導管端部を除いて、ほぼ一定である。導管は、ロータコアとテンションロッドとの間に滑動可能な軸受面及び熱的絶縁を与える非熱導伝

50

性の円筒形チューブ 52 を受け入れるため、それらの端部のところで大きな直径に拡張することができる。

#### 【 0 0 3 5 】

導管 46 の軸線は、ほぼレーストラック形コイルによって定められる平面内に位置する。さらに、導管の軸線は、該導管を貫通して延びるテンションロッドが連結されるコイルの側部分に対して直交している。さらに、ここに示される実施形態においては、導管は、ロータ軸線と直交し、かつ該軸線と交差している。導管の数と導管の位置は、HTSコイルの位置及びコイルの側部分を支持するのに必要とされるコイルハウジングの数（図3及び図4参照）で決まることになる。

#### 【 0 0 3 6 】

テンションロッドがコイル巻線の両側部間をほぼ半径方向に延びるので、該テンションロッドは、遠心力に対して特に良好にコイルを支持する。各テンションロッドは、該ロッドの長さ方向に沿って連続し、レーストラック形コイルの平面内にあるシャフトである。テンションロッドの長さ方向の連続性は、コイルに対して横剛性を与え、ロータに動的利点をもたらす。さらに、横剛性は、コイル支持体をコイルと一緒にするのを可能にし、ロータの最終的な組み立ての前にコイルをコイル支持体と共に組み立てることができる。コイルとコイル支持体の事前組み立ては、製造サイクルを減少させ、コイル支持体の品質を向上させ、コイル組み立てのばらつきを減少させる。レーストラック形コイルは、コイルの長い側を跨ぐテンション部材の列によって支持される。テンションロッドを備えるコイル支持部材は、コイルに予め組み立てられる。

10

#### 【 0 0 3 7 】

HTSコイル巻線及び構造支持体構成部品は、極低温状態にあり、これに対して、ロータコアは、周囲の「高」温度状態にある。コイル支持体は、熱がロータコアからHTSコイルに到達するのを許す熱伝導源となる可能性がある。ロータは、作動時に高温になる。コイルを極低温状態に保持しようとすると、コイルへの熱伝導を回避しなければならない。ロッドは、ロータの孔、例えば導管を貫通して延びるが、ロータと接触しない。このように接触しないことにより、ロータからテンションロッド及びコイルへの熱伝導が回避される。

20

#### 【 0 0 3 8 】

コイルからの熱の漏れを減少させるため、コイル支持体を最小にして、ロータコアのような熱源から支持体を通る熱伝導を減少させる。一般的に、超伝導巻線のための支持体については2つのカテゴリー、即ち、(i)「常温」支持体と(ii)「低温」支持体がある。常温支持体では、支持構造体は、冷却されたSC巻線から熱的に隔離されている。常温支持体については、超伝導(SC)コイルの機械的荷重の大部分は、低温の部材から常温の部材に跨る構造部材によって支持される。

30

#### 【 0 0 3 9 】

低温支持システムでは、支持システムは、SCコイルの冷たい極低温又はその付近にある。低温支持体では、SCコイルの機械的荷重の大部分は、極低温又はその付近にある構造部材によって支持される。ここに開示される例示的なコイル支持システムは、テンションロッド及び該テンションロッドをSCコイル巻線に連結する関連するハウジングが、極低温又はその付近に維持されるので、低温支持体である。支持部材が低温なので、これらの部材は、例えばロータの他の「高温」構成部品からロータコアを通る非接触導管によって、熱的に隔離される。

40

#### 【 0 0 4 0 】

個々の支持部材は、テンションロッド42（バーと該バーの両端における一対のボルトとしてもよい）、溝ハウジング44、及び該ハウジングをテンションロッド端部に連結する止めピン80によって構成される。各々の溝ハウジング44は、テンションロッドに連結される脚部とコイル巻線34を受ける溝とを有するU形ブラケットである。U形溝ハウジングは、コイルのための支持システムの精密で便利な組み立てを可能にする。一連のコイルハウジングを、コイル巻線の側部に沿って端から端まで配置することができる。コイル

50

ハウジングは、全体として、各々のコイルの側部分 40 のほぼ全体にわたってコイルに作用する力、例えば遠心力を分散させる。

#### 【 0 0 4 1 】

コイルハウジング 44 は、コイルの側部分 40 を、遠心力による過剰な撓みと曲げから防ぐ。コイル支持体は、ガスタービンの通常の始動 / 停止作動時に生ずる長さ方向の熱膨張及び収縮に対してコイルを拘束しない。特に、熱膨張は、主として側部分の長さに沿う方向に向いている。従って、コイルの側部分は、溝ハウジング及びテンションロッドに対して長さ方向にわずかに摺動する。

#### 【 0 0 4 2 】

コイル構造体から支持ロッドへの遠心力の伝達は、コイルの外表面及び側部直線部分の周りに嵌まり、テンションロッド 42 の拡径端に、ピン 80 によって止められるコイルハウジングによる。U形ハウジング 44 は、極低温において延性である軽量の高強度材料で形成される。溝ハウジングのための一般的な材料は、非磁性体であるアルミニウム、インコネル、又はチタン合金である。U形ハウジングの形状を最適にして、軽量及び高強度にすることができる。

10

#### 【 0 0 4 3 】

止めピン 80 は、溝ハウジング及びテンションロッドの孔を貫通して延びる。重さを軽くするために、止めピンは中空としてもよい。ロックナット（図示せず）を、止めピンの両端にねじ込み、又は取り付けて、U形ハウジングを固定し、該ハウジングの両側面が、荷重を受けて別々に広がるのを防ぐ。止めピンは、高強度のインコネル又はチタン合金で作ることができる。U形ハウジング及びコイル幅に適合させるように、端部に 2 つの平坦部（図示せず）を有するように機械加工した拡径端部（図示せず）が、テンションロッドに設けられる。テンションロッドの平坦部は、ロッド、コイル及びハウジングが互いに組み立てられるとき、HTS コイルの内面に当接する。この組立体は、止め具を受けるテンションロッドの孔における応力集中を減少させる。

20

#### 【 0 0 4 4 】

テンションロッド 42、コイルハウジング 44 及び分割型クランプ 58 からなるコイル支持システムを、HTS コイル巻線 34 と共に組み立てて、両者をロータコア 22 に取り付けることができる。テンションロッド、ハウジング、及びクランプは、コイル巻線を支持し、該コイル巻線をロータコアに対して適所に保持するための適正な剛構造体を構成する。

30

#### 【 0 0 4 5 】

各々のテンションロッド 42 は、ロータコアを貫通して延びるが、ロータ軸線 20 を通つて直交して延びてもよい。ロータコアを貫通する導管 46 は、テンションロッドが貫通して延びる通路を形成する。導管の直径は、十分に大きいので、導管の高温のロータ壁が低温のテンションロッドと接触するのを回避することができる。接触を回避することにより、テンションロッドとロータコアとの間の熱的隔離が向上する。

#### 【 0 0 4 6 】

ロータ端シャフトは、一般的には、ステンレス鋼のような非磁性材料で作られるが、ロータコア 22 は、一般的に、鉄のような磁性材料で作られる。一般的に、ロータコア及び端シャフトは、組み立てられ、かつボルト止め又は溶接のいずれかによって互いに固定的に接合されている別々の構成部品である。

40

#### 【 0 0 4 7 】

鉄製ロータコア 22 は、ステータ 12 のロータキャビティ 16 内で回転するのに適したほぼ円筒形状 50 を有する。コイル巻線を受けるために、ロータコアは平らな又は三角形の領域又はスロットのような凹状の表面 48 を有する。これらの表面 48 は、円筒形のコアの湾曲した表面に形成され、ロータコアを横切って長さ方向に延びる。コイル巻線 34 は、凹状の領域 48 に隣接してロータに取り付けられる。コイルは、一般的に、凹状の領域の外表面に沿って長さ方向に、かつロータコアの両端の周囲に延びる。ロータコアの凹状の表面 48 は、コイル巻線を受ける。凹状の領域の形状は、コイル巻線に一致している。

50

例えば、コイル巻線が、サドル形状又は何らかの他の形状を有する場合には、ロータコアの凹みは、巻線の形状を受けるように構成されることになる。

#### 【0048】

凹状の表面48は、コイル巻線の外表面がロータの回転によって定められる包絡面まで実質的に延びるように、コイルを受ける。ロータコアの湾曲した外表面50は、回転時に、円筒形の包絡面を定める。ロータのこの回転包絡面は、ステータにおけるロータキャビティ16(図1参照)とほぼ同じ直径を有する。

#### 【0049】

ロータ包絡面とステータキャビティ16との間のギャップは、ロータが通風冷却を必要としないので、ステータのみの強制流通風冷却に必要とされるような比較的小さい隙間である。ロータのコイル巻線とステータの巻線との間における電磁的結合を増大させるため、ロータとステータとの間の隙間を最小にするのが望ましい。さらに、ロータによって形成される包絡面まで延びて、ロータとステータとの間の隙間ギャップのみによってステータから離されるように、ロータのコイル巻線を配置するのが好ましい。

10

#### 【0050】

コイル巻線34の端部分54は、ロータコアの対向した端部56に隣接している。分割型クランプ58は、コイル巻線の端部分の各々をロータ内に保持する。各々のコイル端部54における分割型クランプは、コイル巻線34を間に挟む一対の対向するプレートを含む。クランププレートの表面は、コイル巻線及び該巻線への電気接続部79を受けるための溝(図示せず)を備える。

20

#### 【0051】

分割型クランプ58は、アルミニウム又はインコネル合金のような非磁性材料で形成することができる。同じ又は同様の非磁性材料を使用して、テンションロッド、コイルハウジング、及びコイル支持システムの他の部分を形成することができる。強磁性材料は、キュリー転移温度以下の温度では脆性になり、荷重支持構造体として使用することができないので、コイル支持システムは、極低温で延性を保持するために非磁性体であるのが好ましい。

#### 【0052】

分割型クランプ58は、カラー62に囲まれているが、該カラーと接触していない。図3には1つのカラーだけが示されているが、ロータコア22の各々の端部にカラー62が取り付けられる。カラーは、ロータのシャフトを形成する材料と同じ又は類似のステンレス鋼のような非磁性材料の厚いディスクである。実際には、カラーはロータシャフトの一部である。カラーは、ロータ軸線と直交し、分割型クランプ58を受け、かつ通過させるのに十分広いスロット64を有する。スロット付きカラーの高温の側壁66は、低温の分割型クランプから離間して配置され、それらは互いに接触状態になることはない。

30

#### 【0053】

カラー62は、ロータコアの隆起したディスク領域70(対向するカラー内に挿入される隆起したディスク領域については、ロータコアの反対側を参照)を受けるために凹状のディスク領域68(スロット64によって二分されている)を含むことができる。ロータコアの端部56の隆起したディスク領域を凹状のディスク68に挿入することにより、カラー内にロータコアが支持され、ロータコアとカラーとの位置合わせが容易になる。さらに、カラーは、該カラーを貫通し、該カラーのリムの周りを長さ方向に延びる円形配列のボルト孔72を有することができる。これらのボルト孔は、ロータコア中に部分的に延びるねじを切られた適合するボルト孔74に対応する。ねじを切られたボルト孔75(図5参照)が、これらの長さ方向のボルト孔72、74を貫通して延び、カラーをロータコアに固定する。

40

#### 【0054】

電線用及び冷却流体用の導管は、コイル端部分54の一つからロータ軸線に沿って、カラー62を通って延びる薄壁チューブ76によって遮蔽される。チューブ76内の冷却導管は、極低温移送継手26に通じるコイル巻線の冷却通路38の入口及び出口ポート39、

50

41に連結される。コイルへの電気継手79が、冷却継手26と同じコイルの端部分に設けられる。

#### 【0055】

ロータコアを金属の円筒形遮蔽体90に入れることができ、この遮蔽体は、ロータを取り巻く渦電流及び他の電流から超電導コイル巻線34を保護し、ロータの極低温構成部品の周りに強力な真空を維持するために必要とされる真空包体を構成するものである。円筒形の遮蔽体90は、銅合金又はアルミニウムのような高導電性材料で形成することができる。

#### 【0056】

S Cコイル巻線34は、真空状態に維持される。この真空を遮蔽体90によって形成することができ、該遮蔽体は、コイル及びロータコア周りに真空の容器を形成するステンレス鋼の円筒形層を含むことができる。

#### 【0057】

グリッド故障状態が発生した時に生じるおそれのある大きな半径方向の力に遮蔽体90が耐えるのを助けるために、支持ブラケット124が設けられる。この半径方向の支持体は、コイル巻線の側部40の周りに適合し、かつ割型クランプ58の上まで延びる矩形状の箱とすることができます。支持ブラケットは、凹状の表面内のスロットにダブテール式に装入される1対の側壁を含む。側壁は、ロータコア表面48からシェル90まで延びて、シェルに構造的な強度を与える。

#### 【0058】

図7から図10は、ロータのための電磁遮蔽体の別の実施形態の断面図である。電磁(E M)遮蔽体の第1の実施形態においては、遮蔽体はロータコア22を取り囲む円筒形銅合金である。遮蔽体の端部は、ステンレス鋼製のリングにろう付けされる。銅遮蔽体とステンレス鋼リングとの間のろう接継手は炉内ろう付けとすることができます。別の手法としては、ろう付けは、突合せろう付け又はスカーフジョイントろう付けであってもよい。ステンレス鋼リングは、ロータのカラーに対して、例えば溶接などの方法で、取り付けられる。

#### 【0059】

図8に示した第2の実施形態においては、円筒形銅遮蔽体96は、ロータ本体と、1対のカラーの少なくとも一部分とを被う。銅遮蔽体96は、遮蔽体をカラーに接続するためには、ボルト98を使用するなどの方法で、カラーに取り付けられる。更に、ステンレス鋼製の円筒体100が銅遮蔽体の内部に嵌装される。ステンレス鋼製円筒体は、ロータコアとS Cコイル巻線との間に真空容器を形成する。ステンレス鋼製の真空容器は、銅遮蔽体にろう付けすることができます。

#### 【0060】

図9に示したEM遮蔽体の更に別の実施形態においては、EM遮蔽体は、銅合金又はアルミニウムで形成された導電性の円筒体102である。円筒体は、S Cロータコイル巻線のための電磁遮蔽体を構成し、かつ真空容器として働く。遮蔽体の内表面は、カラー縁部に隣接する環状リム104を有することができる。カラーとリムとの間の弾性O - リング106は、リムの周りに真空を維持するための氣密シールをもたらす。遮蔽体は、カラーにボルト固定してもよい。

#### 【0061】

内部EM遮蔽体を有する外部真空遮蔽体を、図10に示す。円筒形の銅合金EM遮蔽体108が、ロータ22とカラー62とを取り囲む。EM遮蔽体は、ボルト98によってカラー62に固定できる。円筒形のステンレス鋼製真空容器109は、EM遮蔽体108を取り囲み、該EM遮蔽体の外表面に貼り合わせることができる。

#### 【0062】

ロータコアをカラーに取り付けるボルト75は、HTSロータの真空への空気漏れ通路となる可能性がある。ボルトを介してロータ内へ入るこのような空気漏れを防止するために、ステンレス鋼製の真空遮蔽体110が、カラーの外側においてボルト孔上に溶接される

10

20

30

40

50

。ボルトを抜き取ってロータを分解するために、これらの真空遮蔽体 110 は容易に取り外すことができるよう溶接される。ロータ用ボルトのための真空遮蔽体は、カラー内のボルト孔を覆うリングであってもよい。

#### 【0063】

本発明を、現在最も実用的で好ましい実施形態と考えられるものに関して説明してきたが、本発明は、開示した実施形態に限定されるものではなく、それとは逆に、特許請求の範囲の技術思想に含まれる全ての実施形態を保護しようとするものであることを理解されたい。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 超伝導ロータ及びステータを有する同期電気機械の概略側面図。

10

【図 2】 例示的なレーストラック形超伝導コイル巻線の斜視図。

【図 3】 高温超伝導（HTS）ロータの構成部品の分解図。

【図 4】 高温超伝導（HTS）ロータの構成部品の分解図。

【図 5】 高温超伝導（HTS）ロータの構成部品の分解図。

【図 6】 高温超伝導（HTS）ロータの構成部品の分解図。

【図 7】 ロータのための電磁遮蔽体の別の実施形態の断面図。

【図 8】 ロータのための電磁遮蔽体の別の実施形態の断面図。

【図 9】 ロータのための電磁遮蔽体の別の実施形態の断面図。

【図 10】 ロータのための電磁遮蔽体の別の実施形態の断面図。

#### 【符号の説明】

20

10 同期発電機械

12 ステータ

14 ロータ

16 ロータキャビティ

19 ステータのコイル巻線

20 ロータ軸線

22 ロータコア

24 コレクタ端シャフト

25 軸受

26 極低温剤移送継手

30

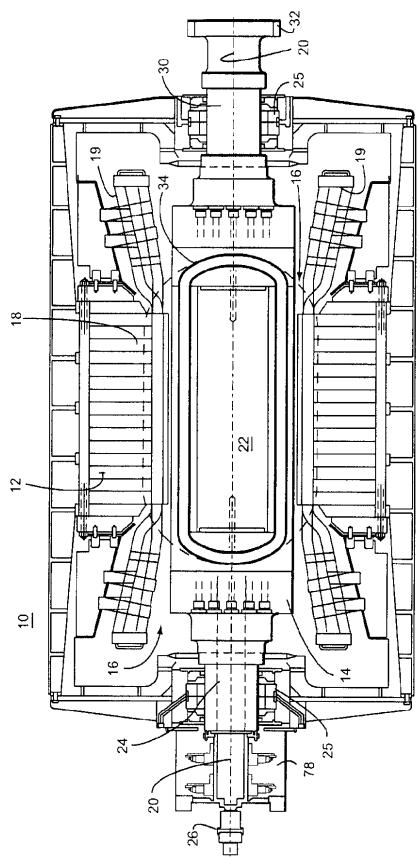
30 駆動端シャフト

32 動力継手

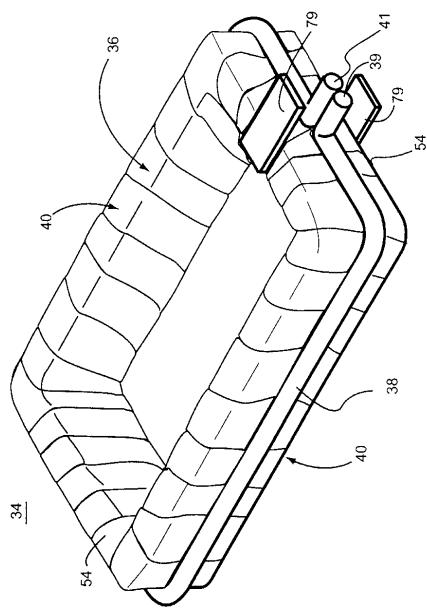
34 超伝導コイル巻線

78 コレクタリング

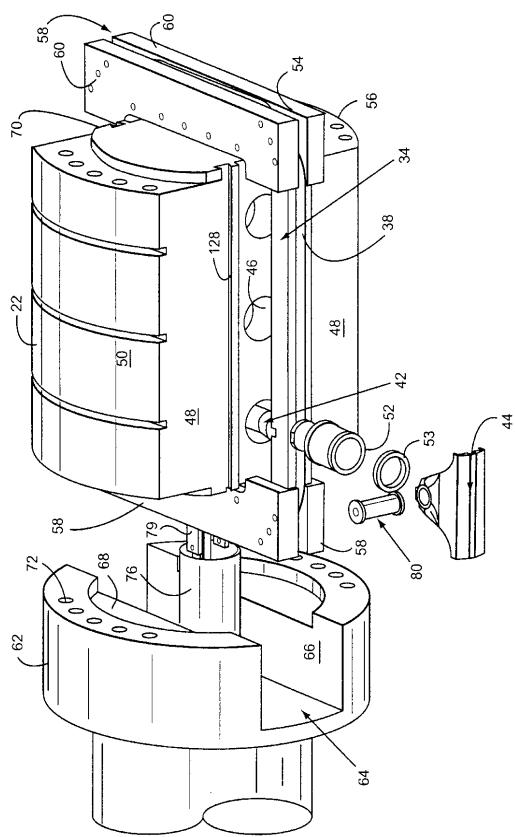
【図1】



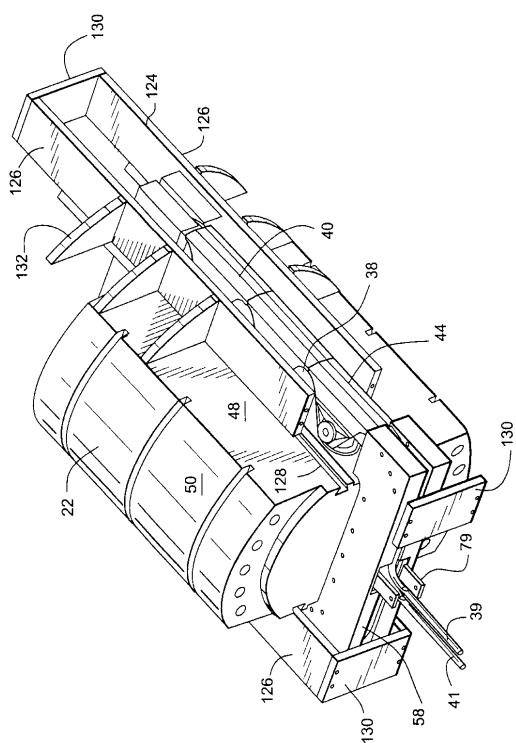
【図2】



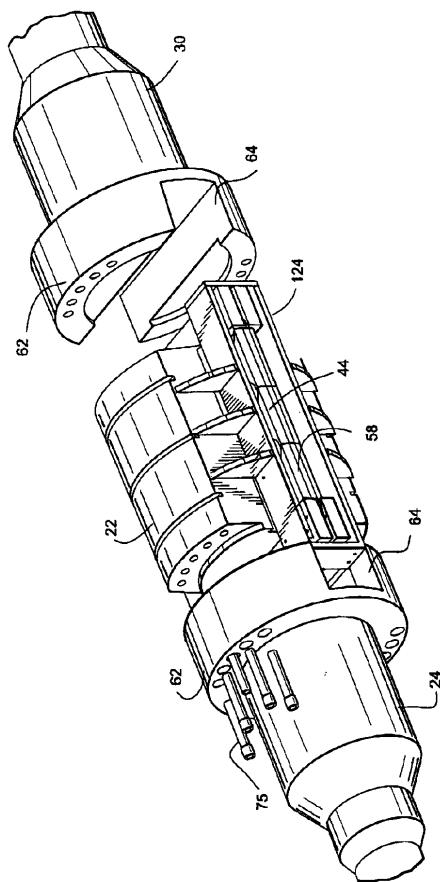
【図3】



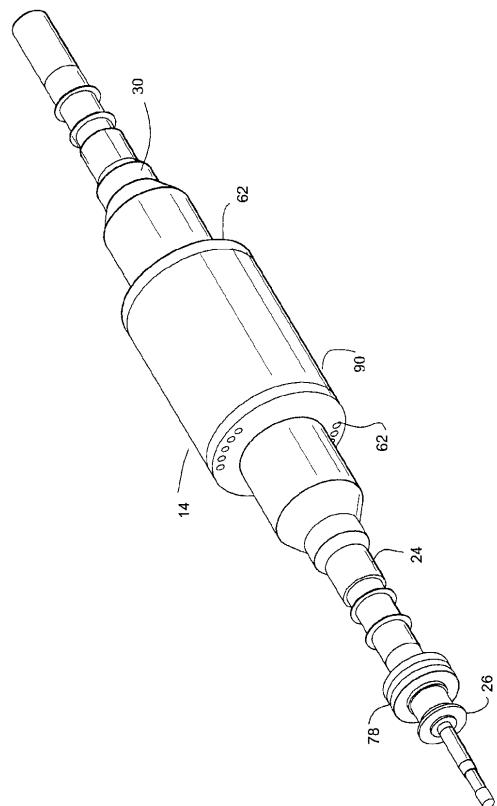
【図4】



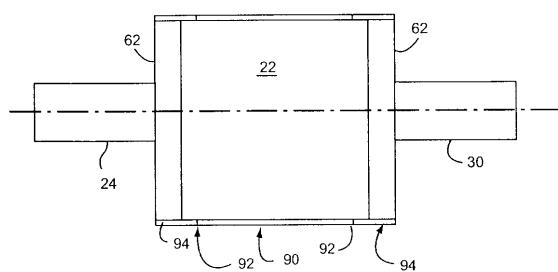
【図5】



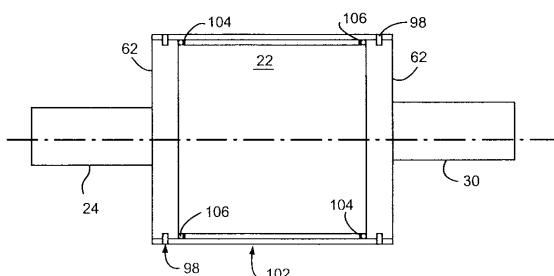
【図6】



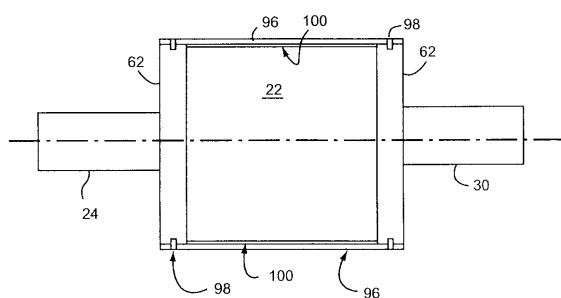
【図7】



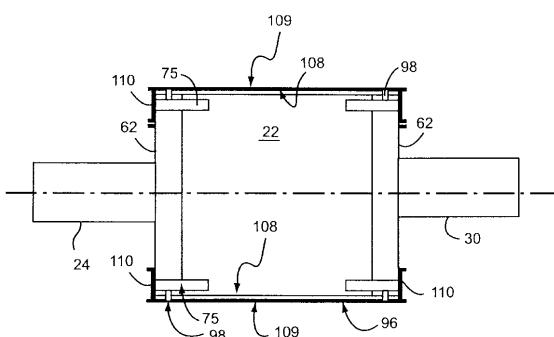
【図9】



【図8】



【図10】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ロバート・ジョン・ニーガード

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、サラトガ・スプリングス、ロフベリー・ロード、57番

(72)発明者 エバンゲロス・トリフォン・ラスカリス

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、クリムゾン・オーク・コート、15番

(72)発明者 ジョン・アーサー・アーバーン

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、サラトガ・スプリングス、ティンバー・レーン、7番

審査官 安食 泰秀

(56)参考文献 米国特許第04820945(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 55/04