

(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2005-287286

(P2005-287286A)

(43) 公開日 平成17年10月13日(2005. 10. 13)

(51) Int.Cl.⁷

H02K 55/04

H02K 11/00

F I

H02K 55/04

H02K 11/00

H02K 11/00

Z A A

E

W

テーマコード (参考)

5 H 6 1 1

5 H 6 5 5

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L 外国語出願 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2005-21072 (P2005-21072)
 (22) 出願日 平成17年1月28日 (2005. 1. 28)
 (31) 優先権主張番号 10/813, 281
 (32) 優先日 平成16年3月30日 (2004. 3. 30)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 GENERAL ELECTRIC CO
 MPANY
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタデイ、リバーロード、1 番
 (74) 代理人 100093908
 弁理士 松本 研一
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100106541
 弁理士 伊藤 信和
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

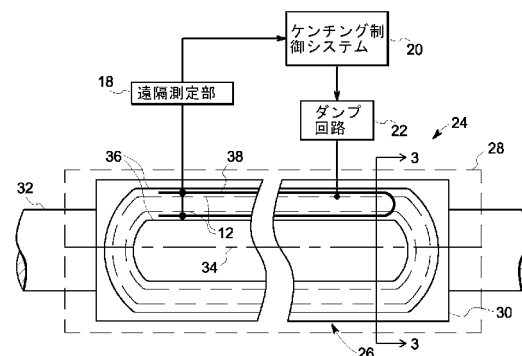
(54) 【発明の名称】 ケンチング監視制御システム及びその動作方法

(57) 【要約】

【課題】 超伝導コイル (1 2) と、超伝導コイル (1 2) の温度を表す信号を供給するように動作可能である温度センサ (3 8) とを具備する回転機械 (2 6) を提供する。

【解決手段】 回転機械 (2 6) は、温度センサ (3 8) に通信可能に結合された制御システム (2 0) を具備していてもよい。制御システム (2 0) は、規定された超伝導コイルの温度を表す信号が温度センサ (3 8) から受信されたときに、超伝導コイルの電流を減少させるように動作可能であってもよい。

【選択図】 図 2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロータ（２６）の内部に配置された超伝導コイル（１２）と；

超伝導コイル温度を表す信号を供給するように動作可能である温度センサ（３８）とを具備する回転機械（１０）。

【請求項 2】

前記温度センサ（３８）に通信可能に結合された制御システム（２０）を具備し、前記制御システム（２０）は、規定された超伝導コイル温度を表す信号が前記温度センサ（３８）から受信されたときに、前記超伝導コイル（１２）の電流を減少させるように動作可能である請求項 1 記載の回転機械（１０）。

10

【請求項 3】

前記超伝導コイル（１２）の周囲に配置された熱伝導性シート（４６）を具備し、前記温度センサ（３８）は、前記熱伝導性シート（４６）と前記超伝導コイル（１２）との間に配置される請求項 2 記載の回転機械（１０）。

【請求項 4】

前記制御システム（２０）は、前記超伝導コイル（１２）により発生される磁界によって前記温度センサ（３８）で発生する磁気抵抗効果を補償するように動作可能である請求項 2 記載の回転機械（１０）。

【請求項 5】

前記温度センサ（３８）は、抵抗温度検出器である請求項 1 記載の回転機械（１０）。

20

【請求項 6】

前記抵抗温度検出器（３８）は、前記超伝導コイル（１２）において臨界電流が最小であると予測される領域（５０）に隣接して配置されたワイヤを具備する請求項 5 記載の回転機械（１０）。

【請求項 7】

超伝導コイル（１２）のケンチング監視制御システム（１４）において、

超伝導コイル温度を表す信号を供給するように動作可能である温度センサ（３８）と；

前記温度センサ（３８）に結合され、規定された超伝導コイル温度を表す信号が前記温度センサ（３８）から受信されたときに、前記超伝導コイル（１２）の電流を減少させるように動作可能である制御システム（２０）とを具備するケンチング監視制御システム（１４）。

30

【請求項 8】

超伝導コイル（１２）を有する回転機械（１０）を動作する方法において、

前記超伝導コイル（１２）に対する電流を制御するように動作可能である制御システム（２０）に、超伝導コイル温度を表す信号を供給することと；

規定された超伝導コイル温度を表す信号が受信されたときに、前記超伝導コイル（１２）に対する電流を減少させることとから成る方法。

【請求項 9】

前記超伝導コイル（１２）に対する電流を減少させることは、前記超伝導コイル（１２）により起こる、温度センサ（３８）に対する磁気抵抗効果を補償することを含む請求項 8 記載の方法。

40

【請求項 10】

磁気抵抗効果を補償することは、超伝導コイル電流に基づいて、前記温度センサ（３８）が受ける磁界強度を確定することと、前記磁界強度に基づいて、超伝導コイル温度を表す信号に対して修正を適用することを含む請求項 9 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、超伝導コイルを有する回転電気機械に関し、特に、回転電気機械の超伝導ロータコイルのケンチング監視及び制御を実行するシステム及び方法に関する。

50

【背景技術】

【0002】

超伝導体は、電気抵抗を伴わずに電気を伝導する材料である。多くの電気導体は、何らかの電気抵抗を有する。しかし、電気抵抗は、エネルギーを熱として消費するため、電気抵抗は、導体が有するには望ましくない特性である。ある種の材料においては、材料が臨界温度より低い温度まで冷却されたときに、超伝導が起こる。

【0003】

回転電気機械のロータは、通常、コイルを流れる電流を使用して磁界を発生する。商業用発電システムでは、ロータコイルを流れる電流の量は、著しく多くなることがある。しかし、その電流の一部は、抵抗加熱として消費されるため、発電システムの効率は低下する。そこで、回転電気機械で使用するための超伝導ロータコイルが開発された。室温にあるとき、超伝導コイルは、規定された電気抵抗を有する。しかし、臨界温度より低い温度まで冷却されると、超伝導コイルは超伝導状態に入り、電気抵抗を失う。

10

【0004】

超伝導ロータコイルを流れる電流が臨界電流限界を超えるまで増加すると、超伝導ロータコイルの一部は、超伝導状態から通常の抵抗状態に変わる。通常の抵抗状態に入ったコイル部分は、超伝導ロータコイルで抵抗加熱を引き起こす。コイルの抵抗加熱が継続すると、コイルは、不可逆熱暴走の状態に入る。この状態は、ケンチングとして知られる。コイルの電流密度が高い状態が持続すると、極度の局所加熱が起こり、ケンチングの状態にあるコイル領域で、温度を急速に上昇させる原因となる。その結果、ロータコイルには、膨張差を起こさせるほど大きな温度勾配が生じる。ロータコイルの膨張差は、ひずみと関連するコイルの損傷につながる。超伝導ロータコイルの場合、コイル電流が臨界電流を超えること以外の理由によっても、ケンチングが起こることがある。超伝導コイルでケンチングを引き起こす可能性がある他の原因には、冷却が不十分であること、コイルの周囲の断熱材に障害があること、電流リード線の接合部に欠陥があること、時間の経過に伴って、コイルの超伝導特性が劣化することなどが含まれる。

20

【0005】

通常、超伝導ロータコイルにおけるケンチングは、ロータコイルで発生する電圧を測定することにより検出される。しかし、発電機の通常の動作中、コイルで大きな誘導電圧が発生し、いつケンチングがコイルで実際に生じているかを判定するのが困難になる。そのため、電圧測定に基づくケンチング検出方法を発電機に適用することには、問題がある。

30

【特許文献1】特表2003-521206号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従って、ケンチング発生の標識として、超伝導ロータコイルで発生する電圧を使用せずに、超伝導ロータコイルにおけるケンチングの検出を可能にする技法が望ましい。更に、ケンチングが原因となる損傷から超伝導コイルを保護することを可能にする技法が望ましい。

【課題を解決するための手段】

40

【0007】

本発明の1つの面によれば、超伝導ロータコイルと、超伝導ロータコイル温度を表す信号を供給するように動作可能である温度センサとを具備する回転機械が提供される。回転機械は、温度センサに通信可能に結合された制御システムを具備してもよい。制御システムは、規定された超伝導コイル温度を表す信号が温度センサから受信されたときに、超伝導ロータコイルの電流を減少させるように動作可能であってもよい。

【0008】

本発明の別の面によれば、回転電気機械の動作方法が提供される。方法は、温度センサから制御システムへ、超伝導ロータコイル温度を表す信号を送信することを含んでもよい。方法は、規定された超伝導コイル温度が検出されたときに、超伝導ロータコイルの電流

50

を除去するための回路を起動することを更に含んでもよい。

【0009】

本発明の上記の特徴、面及び利点、並びにその他の特徴、面及び利点は、添付の図面を参照して以下の詳細な説明を読むことにより、更に良く理解されるであろう。図面全体を通して、同一の図中符号は同一の部分を示す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

図1を参照すると、図中符号10で示す発電システムが図示される。しかし、以下に説明する技法は、モータ並びに発電機に適用可能である。発電システム10は、超伝導ロータコイル12を有する。ケンチング状態による損傷から超伝導ロータコイル12を保護するために、ケンチング監視制御システム14が設けられる。ケンチング監視制御システム14は、ロータコイル12にケンチング状態が現れたときに、それを検出するように動作可能である。また、ケンチング監視制御システム14は、ケンチング状態により起こる可能性がある損傷からロータコイル12を保護するように動作可能である。図示される実施例では、ケンチング監視制御システム14は、ケンチング検出システム16と、遠隔測定部18と、ケンチング制御システム20と、ダンブ回路22とを具備する。ケンチング検出システム16は、ロータコイル12の温度を表す信号を、遠隔測定部18を介してケンチング制御システム20へ送信するように動作可能である。その信号を受信すると、ケンチング制御システム20は、ケンチング状態が存在するか否かを判定する。ケンチング状態が存在する場合、ケンチング制御システム20は、ロータコイル20に供給される電力を除去する。更に、ケンチング制御システム20は、ロータコイル12に蓄積された磁界を放出する。

【0011】

図2を参照すると、図1の回転電気機械10の詳細図が示される。図示される実施例では、回転電気機械10は、ロータ26及びステータ28を有する発電機24を具備する。ロータ26は、超伝導ロータコイル12と、ロータコア30とを具備する。超伝導ロータコイル12は、ロータコア30に巻き付けられている。更に、ロータコア30は、端部軸32を有する。ロータコア30は、この端部軸32によって、ステータ28を通る長手方向軸34を中心に回転可能である。ロータ26の中実コア30は、透磁率の高い強磁性材料から製造される。超伝導コイル12の周囲に、熱遮蔽体36が配置される。熱遮蔽体36は、ロータ26の中実コア30の周囲に沿って配置される。一般に、熱遮蔽体36は、超伝導コイル12及び中実コア30から離間して配置される。

【0012】

ケンチング検出システム16は、温度センサ38を具備する。温度センサ38は、超伝導コイル12の温度を表す信号を発生するように動作可能である。更に、ケンチング検出システム16は、ロータコイルの温度を表す信号を、遠隔測定部18を介してケンチング制御システム20へ送信するように動作可能である。温度センサ38に関しては、図4を参照して、以下に更に詳細に説明する。

【0013】

ケンチング制御システム20は、超伝導ロータコイル12の温度を表す信号を、遠隔測定部18から受信するように動作可能である。また、ケンチング状態が検出されると、ケンチング制御システム20は、超伝導コイル12を保護するように動作可能である。ケンチング制御システム20は、ダンブ回路22に結合される。ダンブ回路22は、ケンチング制御システム20により起動されると、超伝導コイル12から電力を除去すると共に、超伝導コイル12に蓄積された磁界を放出するために、抵抗器を超伝導コイル12と直列に接続する。ケンチング制御システム20は、超伝導ロータコイル12の温度が規定された温度限界まで上昇したときに、ダンブ回路22を起動するように構成される。先に説明したように、超伝導ロータコイル12にケンチング状態が存在するとき、超伝導コイル12の一部は超伝導特性を失い、電気抵抗が増加し始める。その結果、超伝導コイル12の温度は上昇する。この温度の上昇は、温度センサ38により検出される。温度限界は、超

伝導ロータコイル 12 の正常動作温度より高いが、ロータコイル 12 が損傷する前にケンチング制御システム 20 の動作を開始できるくらいの低い値に設定される。

【0014】

図 3 を参照すると、図 2 のロータ 26 の横断面図が示される。超伝導ロータコイル 12 は、ロータコア 30 に形成された複数のスロット 40 の内部に配置される。図示される実施例では、ロータ 26 は、電磁遮蔽体 42 を更に具備する。電磁遮蔽体 42 は、ロータコア 30 の周囲に配置される。ロータコア 30 の周囲に沿って、電磁遮蔽体 42 とロータコア 30 との間に、真空エンベロップ 44 が延在する。

【0015】

図 4 を参照すると、ロータ 26 の詳細図が示される。ケンチング検出システム 16 は、温度センサ 38 に加えて、熱伝導性銅シート 46 と、絶縁層 48 とを具備する。銅シート 46 は、超伝導ロータコイル 12 の周囲に形成される。絶縁層 48 は、銅シート 46 と超伝導コイル 12 との間に配置される。超伝導コイル 12 が抵抗状態に入ったとき、銅シート 46 は、超伝導コイル 12 により発生される熱を消散し、それにより、温度を下げる。この温度低下により、超伝導コイル 12 の過電流容量は増加し、ケンチングの場合のピーク温度は低下される。しかし、銅シート 46 は、温度センサ 38 に熱を伝導する働きもする。従って、超伝導コイル 12 の遠く離れた一部分でケンチングが起こっている場合、銅シート 46 は、ケンチングの結果として発生される熱を温度センサ 38 に結合し、それにより、温度センサ 38 のケンチング検出能力を改善できる。図示される実施例では、銅シートが使用されるが、他の熱伝導性材料が使用されてもよい。図示される実施例の絶縁層 48 は、G10 又はそれに類似する材料から製造される。

【0016】

温度センサ 38 は、超伝導コイル 12 と銅シート 46 との間の超伝導コイル 12 の上に、配置される。図示される実施例では、温度センサ 38 は、絶縁層 48 に埋め込まれた抵抗温度検出器 (RTD) ワイヤである。超伝導ロータコイル 12 の温度変化に応じて、温度センサ 38 の電気抵抗は変化する。超伝導ロータコイルの臨界温度における固有抵抗の関係で、温度センサ 38 として、プラチナワイヤが使用されるのが好ましい。しかし、温度センサ 38 として、別の材料から成るワイヤが使用されてもよい。熱電対などの、別の種類の温度フィードバック装置が使用されてもよい。この実施例では、温度センサ 38 で誘導される電圧の影響を最小限に抑えるために、温度センサ 38 は、バイファイラ構成で装着される。

【0017】

ケンチングの検出を容易にするために、ワイヤから成る温度センサ 38 は、超伝導ロータコイル 12 に沿って、超伝導ロータコイル 12 において臨界電流が最小であると予測される領域 50 に隣接して配置される。先に述べた通り、臨界電流は、その電流値を超えると、超伝導コイル 12 が超伝導状態から通常抵抗状態に移行してしまうような電流である。超伝導コイル 12 の中で、臨界電流が最小である領域 50 は、ケンチングが発生した場合に最初にケンチング状態に陥ると予測される領域である。臨界電流は、超伝導コイル 12 の磁界分布の関数である。すなわち、臨界電流は、磁界の大きさと方向の双方に関して変化する。最小臨界電流領域は、まず、超伝導コイル全体に沿った臨界電流の関数として、磁界分布を計算することにより判定される。磁界分布から得られたデータは、コイルの各ポイントにおける臨界電流を計算するために使用される。この情報を使用して、超伝導コイル 12 の中で、臨界電流が最小である領域が判定される。

【0018】

温度センサ 38 は、超伝導コイル 12 のほぼ全長に沿って延在するので、超伝導コイル 12 の長さに沿った複数の場所で起こる部分ケンチングを、温度センサ 38 により検出できる。更に、先に述べた通り、銅シート 46 は、温度センサ 38 から距離をおいて位置するホットスポットから温度センサ 38 へ熱を伝導し、それにより、温度センサ 38 の感度を向上するように動作可能である。

【0019】

図 5 を参照すると、超伝導ロータコイルを監視し、ケンチング状態から保護する方法が、図中符号 5 2 により示される。ブロック 5 4 により表されるように、方法 5 2 は、超伝導コイルに対する電流を制御するように動作可能である制御システムに、超伝導コイルの温度を表す信号を供給することを含む。

【0020】

ブロック 5 6 により表されるように、方法は、温度センサ 3 8 から受信され且つ超伝導ロータコイル 1 2 の温度を表す信号を処理することを更に含む。ケンチング制御システム 2 0 は、超伝導ロータコイル 1 2 の温度を表す信号を遠隔測定部 1 8 から受信し、超伝導ロータコイル 1 2 の温度を判定するように動作可能である。先に述べた通り、ケンチング制御システム 2 0 は、超伝導ロータコイル 1 2 により発生する磁界によって、温度センサ 3 8 が受ける磁気抵抗効果を補償する。

10

【0021】

ブロック 5 8 により表されるように、方法は、超伝導ロータコイル 1 2 の温度に基づいて、ケンチング状態が存在するか否かを判定することを更に含む。超伝導ロータコイル 1 2 の温度が規定された温度まで上昇すると、ケンチング制御システム 2 0 は、ケンチングが起こっていると判定する。ケンチングが起こっている場合、ブロック 6 0 により表されるように、超伝導ロータコイル 1 2 を流れる電流を減少させるために、ケンチング制御システム 2 0 は、ダンプ回路 2 2 を起動する。ダンプ回路 2 2 は超伝導コイル 1 2 に対する電力を除去する。また、超伝導コイル 1 2 に蓄積された磁気エネルギーを放出し、それにより、超伝導コイル 1 2 における電流の流れを更に減少させるために、ダンプ回路 2 2 は、超伝導コイル 1 2 をダンプ回路 2 2 にあるダンプ抵抗器に結合する。超伝導コイル 1 2 に電流が全く流れなくなると、超伝導コイル 1 2 で抵抗加熱が起こる可能性はない。従って、超伝導コイル 1 2 は、ケンチングの有害な影響から保護される。

20

【0022】

以上説明した技法は、ケンチングの標識として、超伝導ロータコイル 1 2 の温度を使用することにより、超伝導ロータコイル 1 2 をケンチングから保護するシステム及び方法を提供する。ケンチングの標識として、超伝導ロータコイル 1 2 の温度を使用することにより、ケンチング検出プロセスから、ロータ 2 6 で発生される大きな誘導電圧による影響は取り除かれる。更に、以上説明した技法は、ケンチング発生中の抵抗加熱に耐える超伝導ロータコイル 1 2 の能力を向上する。これは、熱が超伝導コイル 1 2 から流れ出て、超伝導コイル 1 2 に近接して配置された熱伝導性シート 4 6 に伝導されるための経路を形成し、それにより、ケンチングの影響を低減することによって達成される。

30

【0023】

本発明のいくつかの特徴のみを例示し、説明したが、数多くの変形及び変更は当業者には明白であろう。特許請求の範囲に示される図中符号は、発明の範囲を狭めようとするのではなく、発明の理解を容易にすることを意図している。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図 1】 超伝導ロータコイルを有する回転電気機械の概略図。

【図 2】 図 1 の回転電気機械の詳細図。

40

【図 3】 概して図 2 の線 3 - 3 に沿った、回転電気機械のロータの横断面図。

【図 4】 ケンチング検出保護システムを示す、図 3 のロータの詳細図。

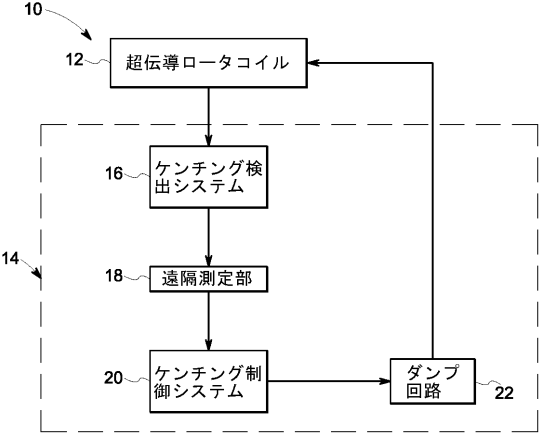
【図 5】 図 1 の回転電気機械に対するケンチング監視制御方法を示すフローチャート。

【符号の説明】

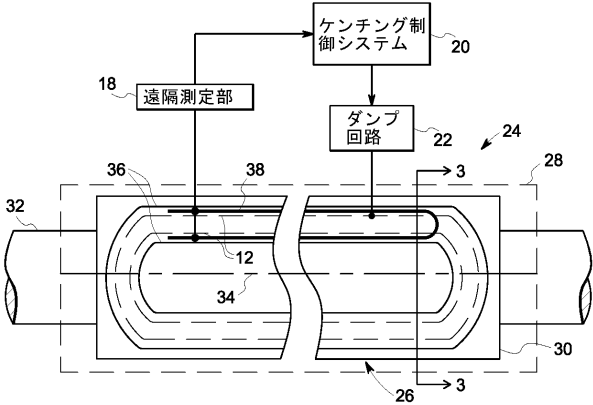
【0025】

1 0 … 発電システム、1 2 … 超伝導ロータコイル、1 4 … ケンチング監視制御システム、1 6 … ケンチング検出システム、1 8 … 遠隔測定部、2 0 … ケンチング制御システム、2 2 … ダンプ回路、2 6 … ロータ、3 0 … ロータコア、3 8 … 温度センサ、4 6 … 熱伝導性銅シート、4 8 … 絶縁層、5 0 … 臨界電流が最小であると予測される領域

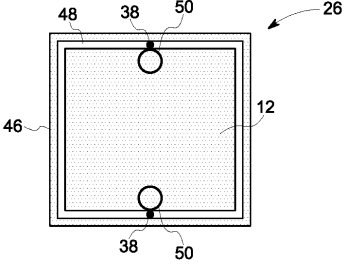
【図 1】



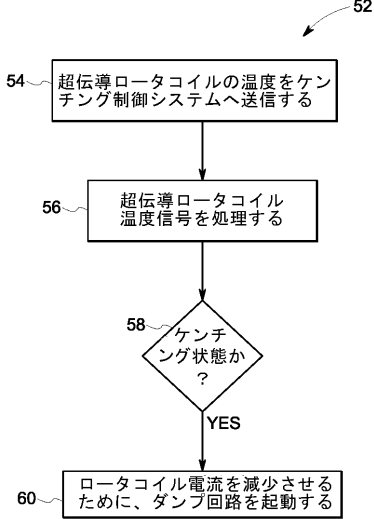
【図 2】



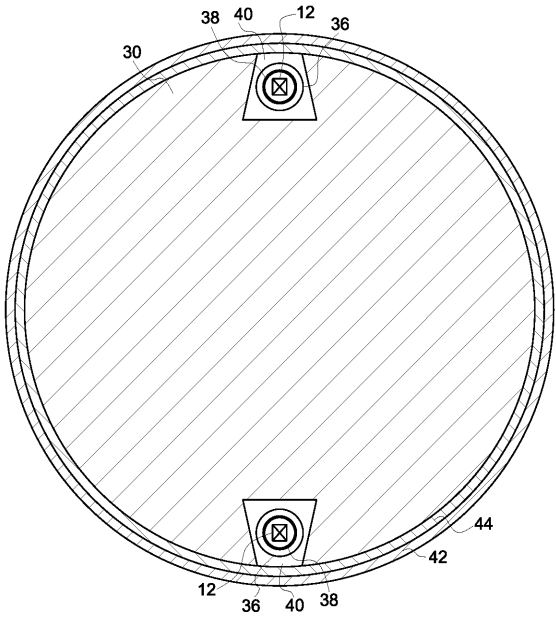
【図 4】



【図 5】



【図 3】



フロントページの続き

(72)発明者 デビッド・トーマス・ライアン

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、エーピーティール・ジー-64、バン・アントワー
プ・ロード、1365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、ニスカユナ、クリムゾン・オーク・コート、15番

(72)発明者 シャンルイ・ファン

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、ディボー・ドライブ、16番

Fターム(参考) 5H611 AA01 AA03 BB06 PP06 QQ04 UA07

5H655 AA19 AB01 BB01 BB04 BB09 CC07 DD02 GG31 GG37

【外国語明細書】

2005287286000001.pdf