

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6635697号  
(P6635697)

(45) 発行日 令和2年1月29日(2020.1.29)

(24) 登録日 令和1年12月27日(2019.12.27)

(51) Int. Cl. F I  
 HO2K 15/12 (2006.01) HO2K 15/12 D  
 HO2K 1/17 (2006.01) HO2K 1/17

請求項の数 20 外国語出願 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2015-140116 (P2015-140116)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成27年7月14日 (2015.7.14)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2016-25846 (P2016-25846A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123
(43) 公開日	平成28年2月8日 (2016.2.8)		45、スケネクタディ、リバーロード、1
審査請求日	平成30年6月27日 (2018.6.27)		番
(31) 優先権主張番号	14/337,469	(74) 代理人	100105588
(32) 優先日	平成26年7月22日 (2014.7.22)		弁理士 小倉 博
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久
		(74) 代理人	100113974
			弁理士 田中 拓人
		(72) 発明者	ツサラフィディ・ラミノソア
			アメリカ合衆国、ニューヨーク州・123
			09-1027、ニスカユナ、ワン・リサ
			ーチ・サークル

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 真空含浸中に固定子永久磁石の減磁を防止するためのシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

永久磁石電機(10)を作製するための方法であって、

固定子(12)であって、該固定子(12)に巻き付けられた導電巻線(22)および前記固定子(12)に埋め込まれた1つ以上の永久磁石(26)を含む固定子(12)を用意するステップと、

前記1つ以上の永久磁石(26)に関して磁路を形成するために前記固定子(12)に磁気保持要素(34)を配置するステップであって、前記磁気保持要素(34)が、前記1つ以上の永久磁石(26)によって発生する磁束に対して磁気抵抗の低い磁路(36)を設けることによって前記1つ以上の永久磁石(26)の磁路を閉じるステップと、

前記導電巻線(22)の熱伝導率を高めるために、選択された温度で実行される硬化ステップを含む真空含浸(VPI)工程を前記固定子(12)に対して実行するステップとを含む、

前記磁気保持要素(34)が、前記1つ以上の永久磁石(26)の動作点を、前記硬化ステップが実行される前記選択された温度に関連する減磁閾値を上回る内部磁束密度レベルに設定する方法。

【請求項2】

前記磁気保持要素(34)を配置するステップが、前記固定子(12)の内周に沿って前記磁気保持要素(34)を配置することを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

10

20

前記磁気保持要素(34)が、前記固定子(12)の前記内周に沿って配置される磁気リングを備える、請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記磁気保持要素(34)が、軟質の磁性材料から形成されている、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

前記軟質の磁性材料が、100～1,000の相対透磁率を有する、請求項4に記載の方法。

【請求項6】

BH曲線の減磁屈曲が、前記1つ以上の永久磁石(26)が形成されている材料および前記選択された硬化温度に依存する、請求項1に記載の方法。 10

【請求項7】

前記1つ以上の永久磁石(26)が、ジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減した永久磁石を備える、請求項1に記載の方法。

【請求項8】

前記VPI工程の完了時に前記磁気保持要素(34)を除去するステップと、  
前記磁気保持要素(34)が除去された前記固定子(12)の固定子開口部(16)内に回転子(14)を配置するステップと、  
をさらに含む、請求項1に記載の方法。 20

【請求項9】

永久磁石電機(10)用の磁気保持要素(34)であって、  
前記永久磁石電機(10)が、導電巻線(22)が巻き付けられた複数の歯(20)および前記固定子(12)に埋め込まれた1つ以上の永久磁石(26)を有する固定子(12)を備え、  
前記磁気保持要素(34)が、前記1つ以上の永久磁石(26)に関して磁路を形成するために前記固定子(12)の内周に選択的に取り付け及び、取り外し可能であり、前記1つ以上の永久磁石(26)によって発生する磁束に対して磁気抵抗の低い磁路(36)を設けることによって前記1つ以上の永久磁石(26)の磁路を閉じる、磁気保持要素(34)。 30

【請求項10】

前記磁気保持要素(34)が、前記固定子(12)の前記内周に沿って配置される磁気リングを備える、請求項9に記載の磁気保持要素(34)。 30

【請求項11】

前記1つ以上の永久磁石(26)が、ジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減した永久磁石を備える、請求項9または10に記載の磁気保持要素(34)。

【請求項12】

前記磁気保持要素(34)が、前記1つ以上の永久磁石(26)の動作点を、前記VPI工程中に実行される硬化ステップに関連する減磁閾値を上回る内部磁束密度レベルに設定する、請求項9乃至11のいずれかに記載の磁気保持要素(34)。 40

【請求項13】

前記磁気保持要素(34)が、100～1,000の相対透磁率を有する軟質の磁性材料から形成されている、請求項9乃至12のいずれかに記載の磁気保持要素(34)。

【請求項14】

永久磁石電機(10)用の固定子アセンブリであって、  
固定子(12)であって、該固定子(12)に巻き付けられた導電巻線(22)および前記固定子(12)に埋め込まれた1つ以上の永久磁石(26)を含む固定子(12)を用意するステップと、  
前記1つ以上の永久磁石(26)に関して閉じた磁路を形成するために前記固定子(12)に磁気保持要素(34)を配置するステップと、  
前記導電巻線(22)の熱伝導率を高めるために、選択された温度で実行される硬化ス 50

テップを含む真空含浸（VPI）工程を前記固定子（12）に対して実行するステップとによって形成され、

前記磁気保持要素（34）が、前記1つ以上の永久磁石（26）の動作点を、前記硬化ステップが実行される前記選択された温度に関連する減磁閾値を上回る内部磁束密度レベルに設定する固定子アセンブリ。

【請求項15】

前記磁気保持要素（34）が、100～1,000の相対透磁率を有する軟質の磁性材料から形成されている、請求項14に記載の固定子アセンブリ。

【請求項16】

前記減磁閾値が、前記1つ以上の永久磁石（26）のための前記VPI工程に関連するBH曲線の減磁屈曲を含む、請求項14または15に記載の固定子アセンブリ。

10

【請求項17】

前記BH曲線の前記減磁屈曲が、前記1つ以上の永久磁石（26）が形成されている材料および前記選択された硬化温度に依存する、請求項16に記載の固定子アセンブリ。

【請求項18】

前記1つ以上の永久磁石（26）が、ジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減した永久磁石を備える、請求項17に記載の固定子アセンブリ。

【請求項19】

前記磁気保持要素（34）が、前記VPI工程の完了時に除去される、請求項14乃至18のいずれかに記載の固定子アセンブリ。

20

【請求項20】

前記磁気保持要素（34）が、前記固定子（12）に対する真空含浸（VPI）の前に前記固定子（12）に取り付けられ、前記VPIの後に前記固定子（12）から取り外される、請求項9乃至13のいずれかに記載の磁気保持要素（34）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、固定子永久磁石電機に関し、より具体的には、高温の真空含浸（VPI：Vacuum Pressure Impregnation）工程中に磁石の減磁を回避するように固定子永久磁石機の永久磁石の動作点を設定するためのシステムおよび方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

様々な産業での電機の使用は、時間とともに多くの工業、商業、および運輸業において次第に普及し続けている。このような電機の製造において、真空含浸（VPI）として知られている工程は、電機の巻線にとって不可欠な工程である。なぜなら、VPI工程は、巻線に接する絶縁体の絶縁耐力および巻線の熱伝導率を改善するからである。VPI工程は、巻線の多数の空隙または多孔に高熱伝導率のワニスを充填する。このようにして、VPIは、空気ポケットの発生を防止し、銅線と、スロットライナと、積層体との間の熱伝導接触を形成する。それゆえ、VPI工程は、電機の熱性能を大幅に改善するものであり、したがって、その寿命および信頼性の向上において重要である。

40

【0003】

VPI工程の実行において、150（以上）の高温硬化が一般的に用いられることが知られている。多くの種類の従来の電機には、高温硬化の特別な悪影響があるわけではないため、VPI工程中に特別な予防措置をとる必要はない。しかしながら、一部の種類の電機（具体的には、永久磁石が固定子に配置されるように設計される電機（すなわち、「固定子永久磁石機」（例えば、永久磁石磁束スイッチング機、永久磁石磁束反転機、および二重突出永久磁石機を含む））に関して、VPI工程に用いられる高温硬化は、永久磁石の負荷線が硬化温度に関する減磁屈曲（demagnetization knee）を上回ることを保証するために特別な予防措置がとられない場合、固定子の永久磁石を

50

減磁リスクにさらし得る。この減磁のリスクは、機械の永久磁石が、低コストで、熱安定性の低い磁石グレード（ジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減した永久磁石など）の形態をしている場合にさらに高まる。すなわち、同じ温度の場合に、減磁屈曲は、ジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減したネオジム磁石では、従来のネオジムの相当品に比べて、より高い内部磁束密度レベルで現れ、これらの低コストではあるが、熱安定性の低い、希土類を低減した磁石の減磁リスクをより深刻にする。

【 0 0 0 4 】

したがって、高温 V P I 工程中に磁石の減磁を回避するように固定子永久磁石機の永久磁石の動作点を設定するためのシステムおよび方法を提供することが望ましい。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 0 2 8 1 3 9 号明細書

【発明の概要】

【 0 0 0 6 】

本発明の一態様によれば、永久磁石電機を作製するための方法は、固定子であって、該固定子に巻き付けられた導電巻線および固定子に埋め込まれた 1 つ以上の永久磁石を含む固定子を用意するステップ、および、1 つ以上の永久磁石に関して磁路を形成するために固定子に磁気保持要素を配置するステップであって、磁気保持要素が、1 つ以上の永久磁石によって発生する磁束に対して磁気抵抗の低い磁路を設けることによって 1 つ以上の永久磁石の磁路を閉じるステップを含む。また、本方法は、導電巻線の熱伝導率を高めるために、選択された温度で実行される硬化ステップを含む真空含浸（V P I）工程を固定子に対して実行するステップを含む。磁気保持要素は、1 つ以上の永久磁石の動作点を、硬化ステップが実行される選択された温度に関連する減磁閾値を上回る内部磁束密度レベルに設定する。

20

【 0 0 0 7 】

本発明の別の態様によれば、永久磁石電機は、固定子であって、導電巻線が巻き付けられた複数の歯および固定子に埋め込まれた 1 つ以上の永久磁石を有する固定子を含む。また、永久磁石電機は、1 つ以上の永久磁石に関して磁路を形成するために固定子に配置される磁気保持要素を含み、この場合、磁気保持要素は、1 つ以上の永久磁石によって発生する磁束に対して磁気抵抗の低い磁路を設けることによって 1 つ以上の永久磁石の磁路を閉じる。磁気保持要素は、選択的に固定子に取り付け可能であり、固定子から取り外し可能である除去可能な要素を含み、この場合、磁気保持要素は、真空含浸（V P I）工程の実行の前に固定子に付け加えられてもよく、V P I 工程の完了時に固定子から除去されてもよい。

30

【 0 0 0 8 】

本発明のさらに別の態様によれば、永久磁石電機用の固定子アセンブリは、固定子であって、該固定子に巻き付けられた導電巻線および固定子に埋め込まれた 1 つ以上の永久磁石を含む固定子を用意するステップと、1 つ以上の永久磁石に関して閉じた磁路を形成するために固定子に磁気保持要素を配置するステップと、導電巻線の熱伝導率を高めるために、選択された温度で実行される硬化ステップを含む真空含浸（V P I）工程を固定子に対して実行するステップとによって形成される。磁気保持要素は、1 つ以上の永久磁石の動作点を、硬化ステップが実行される選択された温度に関連する減磁閾値を上回る内部磁束密度レベルに設定する。

40

【 0 0 0 9 】

様々な他の特徴および利点は、以下の詳細な説明および図面から明らかにされる。

【 0 0 1 0 】

図面は、本発明を実施するために現在考えられる好ましい実施形態を示している。

【図面の簡単な説明】

50

## 【 0 0 1 1 】

【図 1】本発明の実施形態に係る永久磁石電機の全体の概略斜視図である。

【図 2】図 1 の電機の固定子の概略斜視図である。

【図 3】図 1 の電機用の固定子の概略斜視図であり、固定子は、本発明の実施形態に係る、V P I 工程の実行のために固定子に配置された磁気保持要素を含む。

【図 4】ジスプロシウムを含まない永久磁石に関して様々な温度の一組の B H 曲線を示すグラフであり、各曲線に減磁屈曲を含む。

【図 5】磁気保持要素の使用を伴わない、硬化温度が 1 5 0 の V P I 工程にかけられている永久磁石に関して磁化方向に沿って磁束密度成分を示すグラフである。

【図 6】図 5 の永久磁石に関する減磁チャートである。

【図 7】磁気保持要素の使用を伴う、硬化温度が 1 5 0 の V P I 工程にかけられている永久磁石に関して磁化方向に沿って磁束密度成分を示すグラフである。

【図 8】図 7 の永久磁石に関する減磁チャートである。

【図 9】磁気保持要素の使用を伴う、硬化温度が 1 8 0 の V P I 工程にかけられている永久磁石に関して磁化方向に沿って磁束密度成分を示すグラフである。

【図 1 0】図 9 の永久磁石に関する減磁チャートである。

【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 2 】

本発明の実施形態は、高温 V P I 工程中に磁石の減磁を回避するように固定子永久磁石機の永久磁石の動作点を設定するためのシステムおよび方法に関する。磁気保持要素は、V P I 工程中は固定子に配置され、磁気保持要素は、永久磁石の動作点が減磁閾値を上回る内部磁束密度レベルに設定されることを可能にするために、永久磁石の磁束が磁気抵抗の低い通路を通して閉じるようにする機能を果たす。

## 【 0 0 1 3 】

本発明の実施形態は、多数の固定子永久磁石機の配置であって、永久磁石および巻線が従来の回転子永久磁石の配置（永久磁石磁束スイッチング機、磁束反転機、および二重突出永久磁石機を含む）の代わりに固定子に配置される多数の固定子永久磁石機の配置に使用可能である。したがって、単一機械の配置のみが、以下で述べられる図に示されるが、本発明の実施形態は、この 1 つの機械の配置に限定されないことおよび他の固定子永久磁石機の配置が、本発明の範囲内にあると考えられることが理解されるべきである。

## 【 0 0 1 4 】

図 1 および図 2 を参照すると、これらには、本発明の実施形態を利用することができる固定子永久磁石機 1 0（電動機または発電機など）の部分の図が示されている。固定子永久磁石機 1 0 は、略同心円状に配置された固定子 1 2 および回転子 1 4 を含んでもよい。例えば、固定子 1 2 には、固定子開口部 1 6 が形成されてもよく、固定子開口部 1 6 内には、回転子 1 4 が配置されてもよい。固定子開口部 1 6 および回転子 1 4 は、略円筒形であってもよく、また、軸線 a を形成するように細長くなってもよい。回転子 1 4 は、軸線 a を中心に回転するように構成されたシャフト 2 8 に連結されてもよい。

## 【 0 0 1 5 】

固定子部は、外側ヨーク 1 8（場合により、「バックアイアン（back iron）」と呼ばれる）および 1 つ以上の歯 2 0 であって、それぞれが例えば外側ヨークから半径方向内側に延在する 1 つ以上の歯 2 0 を含んでもよい。導電巻線 2 2 は、歯 2 0 のそれぞれの周囲に巻き付けられてもよい。絶縁体 2 4 が、外側ケーシング 1 8 / 歯 2 0 と導電巻線 2 2 との間の電気絶縁を実現するために含まれてもよい。また、固定子 1 2 は、固定子（すなわち、歯 2 0 またはヨーク 1 8 のいずれか）に埋め込まれた 1 つ以上の永久磁石 2 6 を含み、これらの磁石は、これらの磁石の磁極が固定子 1 2 の周囲で周方向に交互に入れ替わるように磁化されている。一実施形態によれば、永久磁石 2 6 は、ジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減した永久磁石（ジスプロシウムを含まないネオジム永久磁石など）として形成される。ジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減したこのような永久磁石は、固定子永久磁石機 1 0 の材料費を劇的に低減す

10

20

30

40

50

る「低コストの」磁石ではあるが、そのトレードオフとして、永久磁石 26 は、以下でさらに詳細に述べられるように（より高いレベルのジスプロシウムを含有する磁石に比べて）低い熱安定性を有する。

【0016】

固定子永久磁石機 10 の動作中、シャフト 28 および回転子 14 は、軸線 a を中心に回転する。固定子永久磁石機 10 が、発電機またはモータのどちらであるかに応じて、磁石 26 に関連する磁界と相互作用する導電巻線 22 の電流は、回転子 14 の回転によって誘導されるか、または回転子 14 の回転を発生させる。前者の場合、シャフト 28 に対してなされる仕事は、シャフトおよび回転子 14 の回転を引き起こし、巻線 22 に電流を誘導することができ、一方、後者では、巻線に注入された電流は、回転子が回転子に配置された回転子歯 30 を固定子歯 20 に対して最小の磁気抵抗の位置に動かそうとすることから回転子およびシャフトの回転を発生させることができる。

10

【0017】

図 1 および図 2 に示されている固定子 12 に関して、固定子 12 は、単一で中実の機械加工部品として形成されておらず、その代わりに、固定子を形成するために軸方向に重ね合わせてプレスされた複数の固定子積層体 32 から構成されている。積層体 32 のそれぞれは、金属積層体を形成するために例えばプレス加工または切断され得る材料から形成されている。

【0018】

固定子永久磁石機 10 の作製において、真空含浸 (VPI) 工程が、巻線 22 の熱伝導率を改善し、絶縁体 24 の絶縁耐力を向上させるために実行される。VPI 工程の実行において、巻線 22 の多数の空隙または多孔に、高熱伝導率のワニスが充填され、その後、高熱伝導率のワニスは、空気ポケットの発生を防止し、これにより、巻線 22 の銅線と、スロットライナ絶縁体 24 と、積層体 32 との間の熱伝導接触を形成するために高温硬化（すなわち、150 以上（180 など）の硬化）にかけられる。VPI 工程は、電機 10 の熱性能を大幅に改善するものであり、したがって、その寿命および信頼性の向上において重要である。

20

【0019】

VPI 工程に用いられる高温硬化に関して、高温硬化は、固定子 12 の永久磁石 26 を減磁リスクにさらし得る（特に、永久磁石 26 がジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減した永久磁石として用意されている実施形態において（このような磁石の熱安定性が低下するため））ことが、ここでは認識されている。すなわち、永久磁石 26 の負荷線が硬化温度に関する減磁屈曲を上回ることを保証するために、特別な予防措置がとられない場合、永久磁石 26 は、減磁リスクにさらされ得る。

30

【0020】

VPI 工程中に発生する永久磁石 26 の減磁のリスクに対処するために、本発明の実施形態は、高温 VPI 工程中の減磁を回避するように永久磁石 26 の動作点を設定する器具および方法を提供する。次に図 3 を参照すると、実際に VPI 工程の前および最中に作製される、固定子永久磁石機 10 の固定子 12 が示されている。図 3 から分かるように、VPI 工程の前および最中に、VPI 工程中の永久磁石 26 の減磁を回避するように永久磁石 26 の動作点を設定するよう機能する磁気保持要素 34 が、固定子 12 に配置される。例示的な実施形態によれば、磁気保持要素 34 は、固定子 12 の内周に沿って配置されるリング形状の要素（すなわち、磁気保持リング）として形成されている。しかしながら、磁気保持要素 34 は、磁気保持要素 34 が、固定子 12 に配置されるときに互いに接合され得る多数の部品から形成されることを含めて、リング形状の要素以外の形状 / 構成を有するように形成されてもよいことが認識されている。

40

【0021】

磁気保持要素 34 は、選択的に固定子 12 に取り付け可能であり、固定子 12 から取り外し可能である除去可能な要素として用意されている。より具体的には、磁気保持要素 34 は、真空含浸 (VPI) 工程の実行の前に固定子 12 に付け加えられ、VPI 工程の完

50

了時に固定子12から除去される。磁気保持要素34が除去されると、固定子永久磁石機10の作製は続いて、固定子12に対する回転子14の配置に進む。

#### 【0022】

磁気保持要素34は、空気の透磁率よりも大幅に大きな透磁率（すなわち、磁気保持器に適した100～1,000の相対透磁率）を有する軟質の磁性材料から形成されている。軟質の磁性材料から形成された磁気保持要素34は、永久磁石26によって発生する磁束に対して磁気抵抗の低い磁路を設けることによって永久磁石26の磁路（全体を通して36によって示されている）を閉じるように機能する。すなわち、磁気保持要素34がない場合、磁石の磁束は、固定子永久磁石機10を囲む空気を通して閉じており、永久磁石26は、その内部磁束密度を低下させる、磁気抵抗の高い磁路を通る。永久磁石26によって発生する磁束に対して磁気抵抗の低い磁路36を設けることによって、磁気保持要素34は、永久磁石26の動作点が、VPI工程の硬化温度において減磁閾値（すなわち、「減磁屈曲」）を上回る内部磁束密度レベルに設定されること（これは、磁石の磁束が機械を囲む空気を通して閉じている場合には起こらない状況である）を可能にする。

#### 【0023】

磁気保持要素34による、減磁閾値（すなわち、「減磁屈曲」）を上回る永久磁石26の内部磁束密度レベルの設定/維持が、図4に示されており、これは、様々な温度における、ジスプロシウムを含まない永久磁石の典型的な一組のBH曲線40を示している。曲線40のそれぞれに関する「減磁屈曲」（42で示されている）は、リコイルライン（recoil line）が曲がり始める点であり、永久磁石26の動作点は、磁力の恒久的な減少を防止するために減磁屈曲42を常に上回り続けなければならない。図4から分かるように、減磁屈曲42は、温度とともに上昇し、例えば、150の硬化温度に関する減磁屈曲は、0.53テスラにあり、180の硬化温度に関する減磁屈曲は、0.65テスラにある。

#### 【0024】

再び図1～図3を参照し続けながら、次に図5～図10を参照すると、VPI硬化工程中に永久磁石26（例えば、ジスプロシウムを含まないネオジム永久磁石）が受ける減磁の、磁気保持要素34の使用を伴う場合と伴わない場合との比較が、磁化方向に沿った磁束密度成分のマップと共に提供され、減磁チャートが示されている。最初に図5および図6を参照すると、VPI硬化工程中に永久磁石26が受ける減磁が、磁気保持要素34の使用を伴わない硬化の実行に関して示されている。図5において、150の温度で実行されたVPI硬化中の永久磁石に関して磁化方向（すなわち、x軸）に沿った磁束密度成分のマップが示されている。上で先に示したように、150の硬化温度に関する減磁屈曲は、0.53テスラにあり、図5には、永久磁石26の領域（すなわち、永久磁石の領域の大部分）が、0.53テスラの減磁屈曲未満の内部磁束密度を示していることが示されており、予防措置がとられない場合、VPI工程中の減磁の大きなリスクがあることが示されている。このことは、図6の減磁マップによって確認される。図6は、永久磁石26の大部分（44で示されている）が、磁気保持要素34の使用を伴わない150のVPI硬化中に減磁状況または減磁状態にあり（すなわち、磁束の強度が、0.53テスラ未満である）、小さな領域（46で示されている）のみが、磁化状況/磁化状態のままであることを示している。

#### 【0025】

次に図7および図8を参照すると、VPI硬化工程中に永久磁石26が受ける減磁が、磁気保持要素34の使用を伴う硬化の実行に関して示されている。図7において、150の温度で実行されたVPI硬化中の永久磁石26に関して磁化方向（すなわち、x軸）に沿った磁束密度成分のマップが示されている。図7から分かるように、磁石の磁束は大部分、その下にある磁気保持要素34によって形成された、磁気抵抗が最も小さい通路を通して閉じている。上で先に示したように、150の硬化温度に関する減磁屈曲は、0.53テスラにあり、図7からは、0.53テスラの減磁屈曲未満の磁束密度を示す、永久磁石26の領域が存在せず、内部磁束密度は、実際に永久磁石の領域の全体にわたって

10

20

30

40

50

0.53 Tの閾値を大幅に上回っていることが分かる。図8の減磁マップは、減磁状況または減磁状態（すなわち、磁束の強度が、0.53テスラ未満である）になっている永久磁石26の領域が存在しないことを示しており、減磁リスクが、磁気保持要素34の導入によって効果的に除去されていることを確認することができる。

【0026】

次に図9および図10を参照すると、VPI硬化工程中に永久磁石26が受ける減磁が、磁気保持要素34の使用を伴う硬化の実行に関して示されている。なお、このときの硬化工程は、180の温度で実行されている。上で先に示したように、180の硬化温度に関する減磁屈曲は、0.65テスラにあり、図9の、磁化方向（すなわち、x軸）に沿った磁束密度成分のマップには、0.65テスラの減磁屈曲未満の磁束密度を示す、永久磁石26の領域が存在しないことが示されている。したがって、図10の減磁マップは、減磁状況または減磁状態（すなわち、磁束の強度が、0.65テスラ未満である）になっている永久磁石26の領域が存在しないことを示している。

【0027】

したがって、有益に、本発明の実施形態は、高温VPI工程中に磁石の減磁を回避するように固定子永久磁石機の永久磁石の動作点を設定するためのシステムおよび方法を提供する。磁気保持要素は、VPI工程を実行するために固定子に配置され、磁気保持要素は、永久磁石の磁路が磁気抵抗の低い通路を通して閉じるようにする機能を果たし、これにより、永久磁石の動作点は、VPIの動作温度において減磁閾値を上回る内部磁束密度レベルに設定される。したがって、磁気保持要素の使用は、減磁リスクを伴わない高温VPIを可能にすることにより、その固定子に永久磁石を有する電機の製造可能性に寄与する。また、磁気保持要素は、固定子永久磁石機での、ジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減した永久磁石の使用を、その低い熱安定性をものともせずVPI工程中の減磁のリスクを除去することによって可能にする。この結果、このような低コストの、ジスプロシウムを含まないか、またはジスプロシウムを低減した永久磁石の使用は、劇的に材料費を低減し、その固定子に永久磁石を有する何らかの新たな永久磁石電機の市場性を改善する。

【0028】

したがって、本発明の一実施形態によれば、永久磁石電機を作製するための方法は、固定子であって、該固定子に巻き付けられた導電巻線および固定子に埋め込まれた1つ以上の永久磁石を含む固定子を用意するステップ、および、1つ以上の永久磁石に関して磁路を形成するために固定子に磁気保持要素を配置するステップであって、磁気保持要素が、1つ以上の永久磁石によって発生する磁束に対して磁気抵抗の低い磁路を設けることによって1つ以上の永久磁石の磁路を閉じるステップを含む。また、本方法は、導電巻線の熱伝導率を高めるために、選択された温度で実行される硬化ステップを含む真空含浸（VPI）工程を固定子に対して実行するステップを含む。磁気保持要素は、1つ以上の永久磁石の動作点を、硬化ステップが実行される選択された温度に関連する減磁閾値を上回る内部磁束密度レベルに設定する。

【0029】

本発明の別の実施形態によれば、永久磁石電機は、固定子であって、導電巻線が巻き付けられた複数の歯および固定子に埋め込まれた1つ以上の永久磁石を有する固定子を含む。また、永久磁石電機は、1つ以上の永久磁石に関して磁路を形成するために固定子に配置される磁気保持要素を含み、この場合、磁気保持要素は、1つ以上の永久磁石によって発生する磁束に対して磁気抵抗の低い磁路を設けることによって1つ以上の永久磁石の磁路を閉じる。磁気保持要素は、選択的に固定子に取り付け可能であり、固定子から取り外し可能である除去可能な要素を含み、この場合、磁気保持要素は、真空含浸（VPI）工程の実行の前に固定子に付け加えられてもよく、VPI工程の完了時に固定子から除去されてもよい。

【0030】

本発明のさらに別の実施形態によれば、永久磁石電機用の固定子アセンブリは、固定子

10

20

30

40

50

であって、該固定子に巻き付けられた導電巻線および固定子に埋め込まれた1つ以上の永久磁石を含む固定子を用意するステップと、1つ以上の永久磁石に関して閉じた磁路を形成するために固定子に磁気保持要素を配置するステップと、導電巻線の熱伝導率を高めるために、選択された温度で実行される硬化ステップを含む真空含浸(VPI)工程を固定子に対して実行するステップとによって形成される。磁気保持要素は、1つ以上の永久磁石の動作点を、硬化ステップが実行される選択された温度に関連する減磁閾値を上回る内部磁束密度レベルに設定する。

【0031】

この記載された説明では、最良の態様を含めて本発明を開示するために、さらには、任意の当業者が任意の装置またはシステムの作製および使用ならびに任意の組み込み方法の実行を含めて本発明を実施することを可能にするために、例が使用されている。本発明の特許可能な範囲は、特許請求の範囲によって規定されており、また、当業者によって想到される他の例を含み得る。このような他の例は、特許請求の範囲の文言と異なる構造的要素を有する場合または特許請求の範囲の文言と実質的に異なる均等な構造的要素を含む場合に、特許請求の範囲内にあることが意図されている。

10

【符号の説明】

【0032】

- 10 固定子永久磁石機
- 12 固定子
- 14 回転子
- 16 固定子開口部
- 18 外側ヨーク
- 20 歯
- 22 導電巻線
- 24 絶縁体
- 26 永久磁石
- 28 シャフト
- 30 回転子歯
- 32 固定子積層体
- 34 磁気保持要素
- 36 磁気抵抗の低い磁路

20

30

【 図 1 】

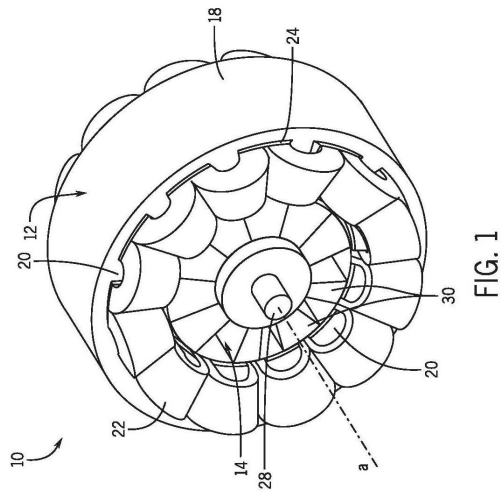


FIG. 1

【 図 2 】

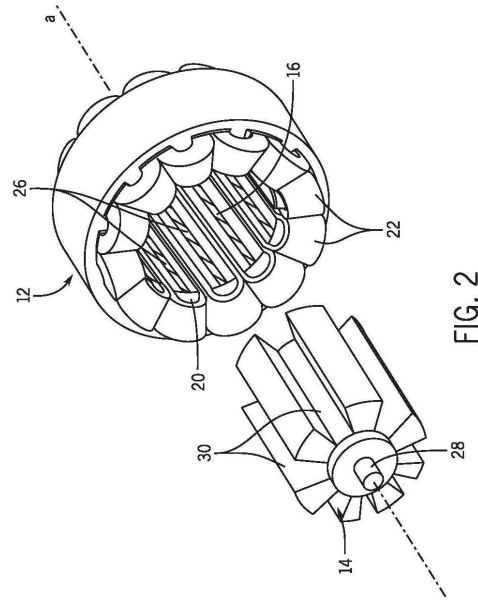


FIG. 2

【 図 3 】

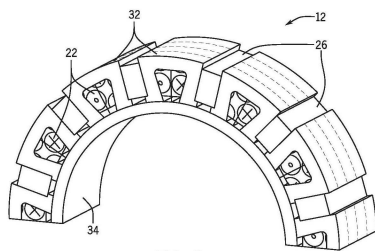


FIG. 3

【 図 5 】

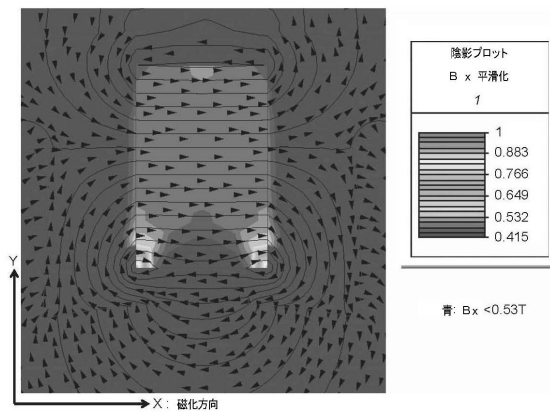
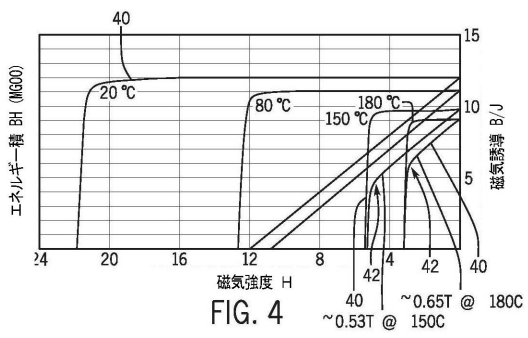
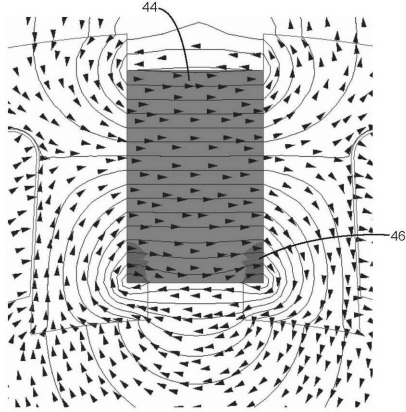


FIG. 5

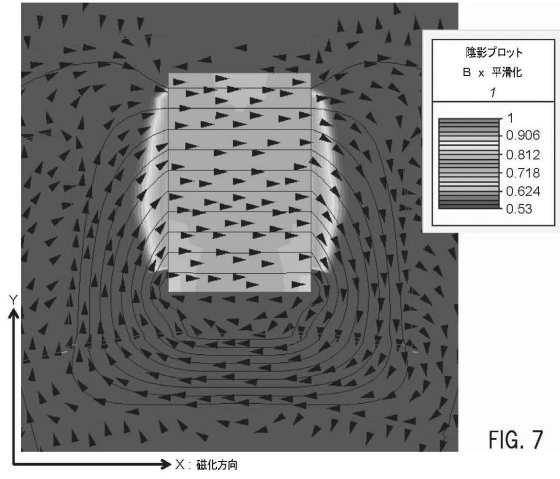
【 図 4 】



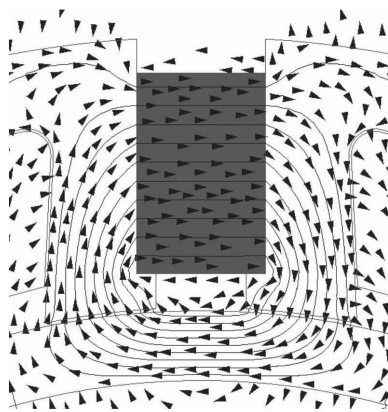
【 図 6 】



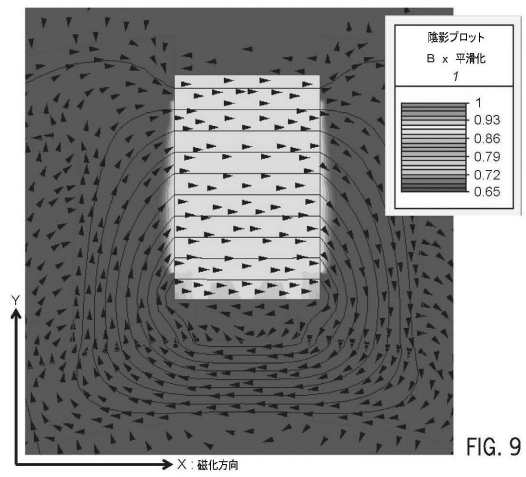
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】

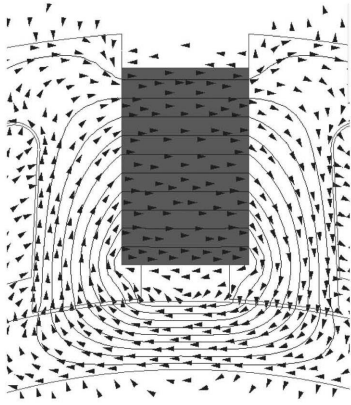


FIG. 10

## フロントページの続き

- (72)発明者 ジェームズ・ペレグリーノ・アレクサンダー  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、ワン・リサーチ・サークル
- (72)発明者 アイマン・モハメッド・ファウジ・エル・レファイエ  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・12309、ニスカユナ、イーピー107、ワン・リサーチ・サークル

審査官 小林 紀和

- (56)参考文献 特開2003-244903(JP,A)  
特開平07-322539(JP,A)  
国際公開第2013/018245(WO,A1)  
国際公開第2013/157165(WO,A1)  
特開2002-199679(JP,A)  
特開2003-158842(JP,A)  
特開平09-285049(JP,A)  
米国特許出願公開第2010/0072832(US,A1)  
独国特許出願公開第102011121174(DE,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H02K 15/12  
H02K 1/17