

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3583528号

(P3583528)

(45) 発行日 平成16年11月4日(2004.11.4)

(24) 登録日 平成16年8月6日(2004.8.6)

(51) Int. Cl.⁷

F I

A 6 1 B 5/055

A 6 1 B 5/05 3 3 1

G O 1 R 33/381

G O 1 N 24/06 5 1 O A

請求項の数 12 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願平7-307549	(73) 特許権者	592245719
(22) 出願日	平成7年11月27日(1995.11.27)		オックスフォード マグネット テクノロ ジー リミテッド
(65) 公開番号	特開平8-215171		イギリス国オックスフォード、アインシャ ム、フオーフ ロード (番地なし)
(43) 公開日	平成8年8月27日(1996.8.27)	(74) 代理人	100066692
審査請求日	平成13年11月29日(2001.11.29)		弁理士 浅村 皓
(31) 優先権主張番号	9424078 5	(74) 代理人	100072040
(32) 優先日	平成6年11月29日(1994.11.29)		弁理士 浅村 肇
(33) 優先権主張国	英国(GB)	(74) 代理人	100070932
			弁理士 金子 憲司
		(74) 代理人	100080263
			弁理士 岩本 行夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気共鳴結像装置に使用するための電磁石

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁気共鳴結像装置に使用するための電磁石にして、内部に磁場を発生させるために電圧を印加することができる環状巻線が冷鉄と呼ぶ鉄構成部分と一緒に収容された環状の容器を備え、前記鉄構成部分は巻線に対して機械的に固定され、前記冷鉄が環状巻線に極めて接近して磁石の各々の端部に1個ずつ配置された鉄リングの対を備え、前記鉄リングは磁石の内部の円筒形のスペースの各々の端部にフレア開口部を規定するように形成され、前記フレア開口部が磁気共鳴結像の目的のための磁石に使用される際に患者により占有される電磁石。

【請求項2】

請求項1に記載の電磁石にして、フレア開口部が前記円筒形のスペースの各々の端部に鋭いテーパ効果を生ずるように鉄リングを好適に形成することにより製造されている電磁石。

【請求項3】

請求項2に記載の電磁石にして、鉄リングが前記テーパ効果を生ずるために面取りされている電磁石。

【請求項4】

磁気共鳴結像装置に使用するための電磁石にして、内部に磁場を発生させるために電圧を印加することができる環状巻線が冷鉄と呼ぶ鉄構成部分と一緒に収容された環状の容器を備え、前記鉄構成部分は巻線に対して機械的に固定され、前記冷鉄は環状巻線に極めて接

10

20

近して磁石の各々の端部に1個ずつ配置された鉄リングの対を備え、前記鉄リングは磁石の内部の円筒形のスペースの各々の端部にフレア開口部を規定するように形成され、前記フレア開口部は磁気共鳴結像の目的のための磁石に使用される際に患者により占有され、さらに、以下に温鉄と呼ぶその環状の穴の内部の容器の外部に配置された鉄シムリングを備え、該シムリングのサイズおよび相対位置が振動または温度変化のために1個のシムリングにより導入された磁場の不安定性が1個またはそれ以上のその他のシムリングにより発生された等しくかつ反対の作用により実質的に補償されるように選択される電磁石。

【請求項5】

請求項4に記載の電磁石にして、温鉄がゼロの次数に補正されたシムリングの組を備えている電磁石。

10

【請求項6】

請求項4または請求項5に記載の電磁石にして、温鉄がn次数に補償されたシムリングの組を備えている電磁石。

【請求項7】

請求項4に記載の電磁石にして、シムリングの組がゼロの次数に補償されかつn次数に補償され、 $n = 2$ である電磁石。

【請求項8】

請求項4から請求項7までのいずれか一項に記載の電磁石にして、温鉄が1対のシムリングを含むシムリングの組を備えている電磁石。

【請求項9】

20

請求項8に記載の電磁石にして、前記の1対をなすシムリングが中央に配置されたシムリングの両側に1個ずつ配置されている電磁石。

【請求項10】

請求項4から請求項7までのいずれか一項に記載の電磁石にして、温鉄が2対のシムリングを含むシムリングの組を備えている電磁石。

【請求項11】

請求項4から請求項10までのいずれか一項に記載の電磁石にして、シムリングが磁石の長手方向の軸線と直角をなす中心軸線のまわりに対称に配置されている電磁石。

【請求項12】

請求項4から請求項10までのいずれか一項に記載の電磁石にして、少なくとも1対のシムリングが磁石の長手方向の軸線と直角をなす中心軸線に関して偏位している電磁石。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する分野】

本発明は電磁石に関し、そしてさらに特定すると、本発明は磁気共鳴結像(magnetic resonance imaging)(MRI)装置に使用するための極低温電磁石に関する。

【0002】

【従来の技術と発明が解決しようとする課題】

磁気共鳴結像の用途のための磁石が非常に高い均質性の磁場を有する所定の領域を提供すべきであることはよく理解された要求条件である。結像容積(imaging volume)として知られているこの領域は診察をうける患者のその部分が配置される領域である。比較的長い軸線方向の長さを有する磁石により高い均質性を得ることは比較的容易である。しかしながら、長い磁石の穴は閉所恐怖症の作用のために患者に有害な反応をひき起こす傾向がある。従って、磁石の軸線方向の長さを減らし、それにより閉所恐怖症の作用をも低減し、そのうえ、患者の接近が容易になるように磁石の設計を適合させることは大いに望ましい。

40

【0003】

十分により短い磁石を製造するために、鉄を磁石内に使用し、それにより均質性をいかなる有意な程度まで犠牲にすることなく場を集中することができるようにすることは知られ

50

ている。注意を払うべきである本出願人の共に懸案中の英国特許出願 G B 9 4 2 4 0 6 9 . 4 号明細書に記載されているように、鉄を磁石内に使用して短い磁石における均質性を改良するための種々の技術を使用することができる。しかしながら、多数の磁気共鳴結像の用途のために、磁石をさらに効果的に短縮することが有利であろう。

【 0 0 0 4 】

【課題を解決するための手段】

それゆえに、本発明の一つの目的は比較的短い軸線方向の長さが得られかつ患者の接近を容易にした磁石を提供することにある。

【 0 0 0 5 】

本発明の一つの局面によれば、磁気共鳴結像装置に使用するための電磁石は内部に磁界を発生させるために電圧を印加することができる環状巻線が以下に冷鉄 (c o l d i r o n) と呼ぶ鉄構成部分と一緒に収容された環状容器を備え、前記鉄構成部分は巻線に対して機械的に固定され、前記冷鉄は環状巻線に極めて接近して磁石の各々の端部に 1 個ずつ配置された 1 対の鉄リングを備え、前記鉄リングは磁石の内部の円筒形のスペースの各々の端部にフレア開口部を規定するように形成され、前記フレア開口部は磁気共鳴結像の目的のための磁石に使用される際に患者により占有される。

10

【 0 0 0 6 】

フレア開口部は前記円筒形のスペースの各々の端部において鋭いテーパ効果を生ずるように鉄リングを、例えば、面取りにより好適に形成することにより製造されている。

【 0 0 0 7 】

フレア開口部は磁石の軸線方向の長さを効果的に短縮し、または少なくとも患者の視野から効果的な短縮を生ずる作用をする。

20

【 0 0 0 8 】

いくつかの磁石の設計では、必要な鉄の質量およびその他の寸法に関する設計上の考慮事項のために鉄のすべてを容器の内部に収容することができるけれども (すなわち、すべての鉄は「冷鉄」であってもよい)、またいくつかの短い磁石の設計においては、本出願人の共に懸案中の英国特許出願 G B 9 4 2 4 0 6 9 . 4 号明細書に十分に論議されているように温度および / または振動に対する感度に関するその他の問題を導入することなく最適の性能のために必要な鉄のすべてを収容することが不可能であるかもしれない。

【 0 0 0 9 】

それゆえに、本発明のさらに一つの目的は振動に対する高い許容限度と温度変化に対する低い感度とを有する比較的短い磁石を提供し、またはこれらの望ましい特徴の間の良好な折衷案である磁石を提供し、それにより磁気共鳴結像の用途のために必要であるような容認可能な高度の均質性を有する磁場が提供される。

30

【 0 0 1 0 】

本発明のさらに一つの局面によれば、磁気共鳴結像装置に使用するための電磁石は内部に磁場を発生させるために電圧を印加することができる環状巻線が以下に冷鉄と呼ぶ鉄構成部分と一緒に収容された環状容器を備え、前記鉄構成部分は巻線に対して機械的に固定され、前記冷鉄は環状巻線に極めて接近して磁石の各々の端部に 1 個ずつ配置された 1 対の鉄リングを備え、前記鉄リングは磁石の内部の円筒形のスペースの各々の端部のフレア開口部を規定するように形成され、前記フレア開口部は磁気共鳴結像の目的のための磁石に使用する際に患者により占有され、さらに、以下に温鉄 (w a r m i r o n) と呼ぶその環状の穴の内部の容器の外部に配置された鉄シムリングを備え、前記シムリングのサイズおよび相対位置は振動または温度変化のために 1 個のシムリングにより導入された磁場の不安定性が 1 個またはそれ以上のシムリングにより発生された等しくかつ反対の作用により実質的に補償されるように選択されている。

40

【 0 0 1 1 】

必要な鉄の大部分を容器の内部に収容することにより、振動および温度に対する感度に関する問題がある程度まで克服され、かつ必要なその他の鉄が事実上自己補償性を発揮するように構成することにより、温度および / または振動に起因する場の不安定性を本質的に

50

なくし、または少なくとも有意に低減させることができる。

【0012】

もしも本発明による磁石の中央の磁場を球形調和を基準とする組 (spherical harmonic basis set) に関して定義すれば、方位対称性を示す円筒形の磁石においては、場は次式により与えられる。

【0013】

【数1】

$$B(r, \theta) = B_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left(\frac{r}{R_0} \right)^n P_n(\cos \theta) \quad (1)$$

10

式中、 $A_n = n$ 次調和振幅

$R_0 =$ 正規化半径

$P_n =$ 次数 n のルジャンドル多項式

【0014】

もしも全体の場 (total field) (冷鉄構成部分 + 温鉄構成部分) を振幅 B_0^T および A_n^T に関して定義すれば、 B_0^C および A_n^C に関する冷磁石の場と B_0^i および A_n^i に関する i 番目の温鉄リングの組に起因する場との関数により構成される。全体の場は次式により表された冷場および温場に関する。

【0015】

【数2】

$$B_0^T = B_0^C + \sum_i B_0^i \quad (2a)$$

20

【0016】

【数3】

$$A_n^T = A_n^C + \sum_i A_n^i \quad (2b)$$

【0017】

通常、磁石の設計においては、 B_0^T および A_n^T が所定の場の大きさおよび均質性を得るために最適化されるが、本発明の場合には付加的な制約が

【外1】

$$\sum_i A_n^i$$

および/または

【外2】

$$\sum_i B_0^i$$

に関して導入される。

40

【0018】

さて、リングが飽和状態まで軸線方向に磁化されると仮定すると、 B_0^i および A_n^i がリングの飽和磁化に正比例する。しかしながら、鉄の飽和磁化は所定の温度に対する感度を有している。それゆえに、 B_0^i および A_n^i もまた同じサイズの温度に対する感度を有し、この感度は磁石 DC の場 (B_0^T) および均質性 (A_n^T) のそれぞれにおける温度に対する感度に変換される。

【0019】

さて、 B_0^i または A_n^i の感度を変更することは不可能であるが、次式によりシムの組の配置 (geometry) を得ることが可能であるかもしれない。

【0020】

50

【数 4】

$$\sum_i B_n^i = 0 \quad (3a)$$

【0 0 2 1】

【数 5】

$$\sum_i A_n^i = 0 \text{ (所定の } n \text{ に対して)} \quad (3b)$$

10

【0 0 2 2】

このような組はゼロの次数に補償されかつ n 次数に補償されるシムの組のそれぞれとして記載されている。

【0 0 2 3】

この場合には、もしも任意の温度変化がすべての i 成分に対して同じであれば、補正された次数の熱感度はゼロである。また、シムの温度が発散するときに重要になる補償された次数の感度に差異が生ずることを理解することが非常に重要である。それにより得られる利点はシムの絶対温度を安定させるよりもシムの相対温度を安定させることが容易であることである。

【0 0 2 4】

従って、本発明の一実施例によれば、温鉄はゼロの次数に補償されたシムリングの組を備えている。

20

【0 0 2 5】

本発明の別の一つの局面によれば、シムリングの組は n 次数に補償されている。

【0 0 2 6】

本発明のさらに一つの局面によれば、シムリングの組はゼロの次数に補償され（すなわち、直流（DC）の場が補償されている）かつ n 次数に補償され、 $n = 2$ である。

【0 0 2 7】

上述したように補償を達成するためには、1対またはそれ以上の対のシムリングを予想している特定の用途により提供することができる。

30

【0 0 2 8】

【発明の実施の形態】

さて、本発明のいくつかの実施例を添付図面を参照して以下に説明する。

図 1 について述べると、図から理解できるように、磁石は環状に構成されかつその長手方向の軸線 1 のまわりに実質的に対称に構成されている。この磁石は内部に容器 3 が収容された外側ハウジング 2 を備えている。容器 3 内には、使用中に液体ヘリウムが満たされている。熱絶縁を改良するために、熱遮蔽 4 が容器 3 とハウジング 2 との間に配置されている。この磁石は磁化巻線 5 a、5 b および 6 a、6 b と、磁化巻線 5 a、5 b および 6 a、6 b により発生した場を収容する役目をする遮蔽巻線 7 a、7 b とを備えている。巻線 7 は巻型 8 上に支持され、かつ巻線 5 および 6 が巻型 9 および 10 上にそれぞれ支持されている。

40

【0 0 2 9】

磁気共鳴結像操作を容易にするために、グラディエントコイル 11 が環状容器 3 の穴 12 の内部に設けられている。巻線 5 a および 5 b と並んで、冷鉄シムリング 13 a および 13 b がそれぞれ設けられている。シムリング 13 a および 13 b は穴 12 にフレアが付けられた開口部を提供する役目をする面取り (chamfers) 13 c および 13 d を含む。面取り 13 a および 13 b によるこのフレア作用を提供することにより、磁石の長さが患者の視野から効果的に短縮され、それにより閉所恐怖症の作用が低減しかつ患者の接近が改良される。

【0 0 3 0】

50

シムリング 13 a および 13 b を容器 3 の内部に收容することにより、前記シムリングの温度が効果的に安定し、かつ前記シムリングが巻線 5 a および 5 b に関して位置的に固定されるように構成することにより、前記シムリングが振動に対して実質的に反応しなくなり、またそうしないと、振動がシムリング 13 a および 13 b とそれらと組み合わせられた巻線 5 a および 5 b との間に移動の差異を生ずることがある。

【0031】

従って、鉄が容器の内部に閉じ込められている上記の装置を提供することが大いに望ましいが、ある用途においては、課せられた寸法上の制約によりすべての鉄を容器内に收容することは不可能である。

【0032】

従って、付加的な鉄製シムリング 14、15 および 16 がグラディエントコイル 11 に隣接した穴 12 内に配置される温鉄の形態で提供される。前述したように、穴 12 内のシムリング 14、15 および 16 は実質的に自己補償性を発揮するように配置され、すなわち、1個のシムにおける温度変化および/または振動により発生した不安定性がその他の1個または複数個のシムに起因した等しくかつ反対の不安定性により補償されるように構成されている。この補償に関する理論については前述してある。

【0033】

図 1 に示した装置においては、単一对のシムリング 14、16 が中央に配置されたシムリング 15 に対して対称に配置されるように設けられている。

【0034】

しかしながら、図 1 に相当する図面の部分に同じ数値の符号を付けた図 2 に示した別の一つの装置においては、2 対のシムリング 17 a、17 b および 18 a、18 b が長手方向の軸線 1 と直交した中央軸線 19 のまわりに対称に配置されるように設けられている。温シムリング構成部分の選択は予想している用途により決定され、従って、必要な特徴により決定される。

【0035】

図 1 の装置は安定した均等性を提供する役目をなし、一方、図 2 においては、シムリングの配列が最適な直流の場の安定化を提供するように選択されている。

【0036】

熱感度安定化のための基準は包含された理論について既に前述してある。しかしながら、振動感度を最小限度にするための基準は考慮されるべき経験に基づいて決定された関数になる傾向がある。

【0037】

磁石の中央部のまわりに対称に配置された温鉄シムリングおよびコイルの装置においては、奇数の次数（方程式 1 参照）がゼロである。さて、もしも温鉄シムリングが冷磁石（cold magnet）に対して軸線方向に配置されるとすれば、シムリングは冷磁石に対して依然として同心を有するが、長手方向の軸線と直交した中央平面のまわりに対称に配置されず、温鉄シムリングがいくつかの奇数の次数の振幅を方程式 1 に示した関数の中に導入する。もしも変位が十分に小さければ、偶数の次数は変化しない。

【0038】

これは次の議論により説明することができる。まず、共通の直径に対する軸線方向の離隔の比であるパラメーターに関して小さい横断面積を有する 1 対のフィラメント状の鉄リングを限定する。次に、1 対の薄い鉄リングを小さい距離（ d_z ）にわたって変位させる効果を考究する。図 3 に例示したように、もしもリングの軸線方向の範囲を L および U により定義すれば、これは L および U において厚さ d_z の 2 対のリングを形成することに相当する。これらのリングの素子は反対方向に磁化され、それゆえに、奇数の次数のみを中央の場に導入する。

【0039】

この効果により冷磁石（非軸線方向の振動は考慮されない）に対するシムの組の軸線方向の振動に対する均等性の感度が得られる。この感度はシムの組の mm の変位当たりに導入

10

20

30

40

50

された奇数の次数の振幅に関して定量化することができる。また、これは結像容積に関する $p_k - p_k$ 均質性移動 (homogeneity shift) に変換することができる。

【0040】

しかし、所定のシムの形状の振動に対する感度をどのように評価しかつ最適化することができるか。図4においては、反対に磁化された1対のフィラメント状の鉄リングにより導入された1次数および3次数の調和振幅が の関数として曲線で表示されている。これらの振幅は磁化ベクトルが磁石の中央平面から離れる方向に向いている場合について曲線で表示されている。反対のモードについては、振幅の符号が逆になる。図3から、変位により形成されたフィラメント状の対が反対の磁化モードを有していることに気付かれよう。10
それゆえに、図2に示したようなシムの形状が変位したときに極めて小さい1次数の振幅を導入する。また、図4はシムの組の振動に対する感度が図2に示したように1対よりも多数のシムの組において低い次数の項を補償するためのはるかに大きい範囲が得られるので大いに改良されていることを証明している。

【0041】

本発明による磁石が磁石の「冷」構成部分に起因する場の高度の不均等性を容認し、その後、通常、温鉄シムリングに付随する温度および/または振動に関する感度が補償されるように設定された「自己補償された」シムリングの組としての役目をする温穴 (warm bore) 内の鉄シムを使用してこの不均等性を修正することにより短くすることができることが理解されよう。鑑定家には容易に明らかであるように、すべての要素を同時に 20
補償することができず、従って、均質性と直流の場との間の選択を行うことが必要であり、それにより振動に対する十分な感度を予想された用途により決定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】磁気共鳴結像装置の一部を構成する極低温磁石組立体の断面を示した側面図。

【図2】磁気共鳴結像に適用するための別の極低温磁石の断面を示した側面図。

【図3】図2に示した中心軸線19からのシムリングの変位の効果を例示した図。

【図4】1対のフィラメント状リングにより導入された振幅Z1およびZ3のグラフ。

【符号の説明】

1 長手方向軸線

2 外側ハウジング

3 容器

5 a 磁化巻線

5 b 磁化巻線

6 a 磁化巻線

6 b 磁化巻線

7 a 遮蔽巻線

7 b 遮蔽巻線

11 グラディエントコイル

12 容器の穴

13 a シムリング

13 b シムリング

13 c 面取り

13 d 面取り

14 シムリング

15 シムリング

16 シムリング

17 a シムリング

17 b シムリング

18 a シムリング

18 b シムリング

10

20

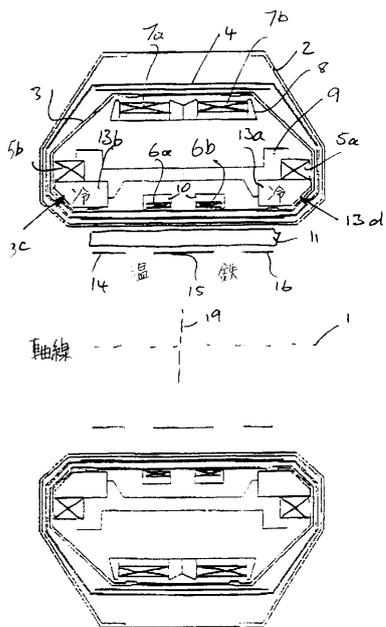
30

40

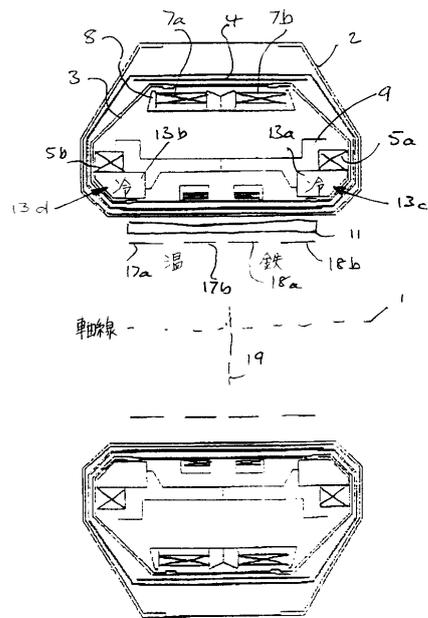
50

1 9 中心軸線

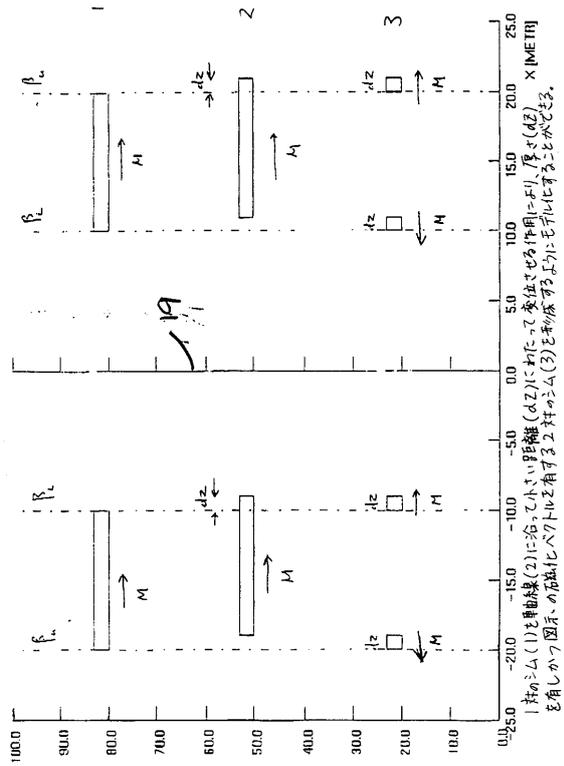
【圖 1】



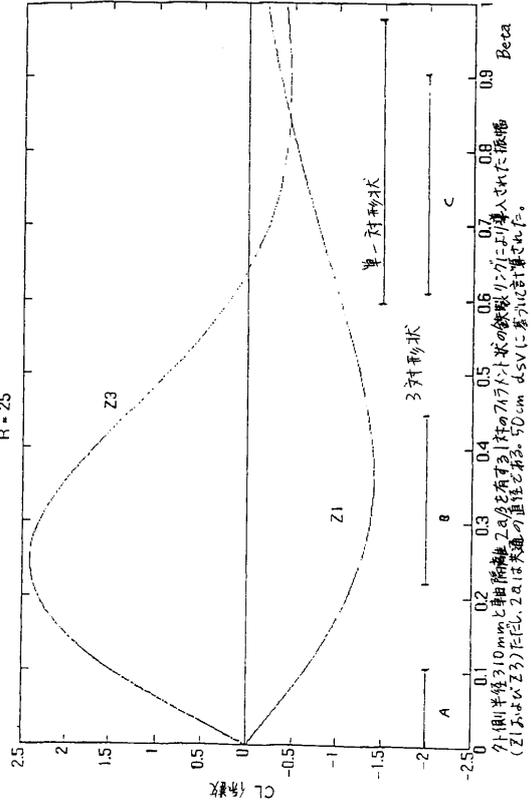
【圖 2】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 ラッセル ピーター ゴア
イギリス国オックスフォード, アビンドン, ドライ サンドフォード, コシル ロード 197

審査官 神谷 直慈

(56)参考文献 特開平04-352942(JP,A)
特開昭62-190712(JP,A)
特開昭62-047349(JP,A)
特開昭63-272335(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
A61B 5/055