

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-501799

(P2006-501799A)

(43) 公表日 平成18年1月12日(2006.1.12)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
**B60L 13/04 (2006.01)** B60L 13/04 G 5H113

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2004-541949 (P2004-541949)  
 (86) (22) 出願日 平成15年10月1日 (2003. 10. 1)  
 (85) 翻訳文提出日 平成17年5月27日 (2005. 5. 27)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2003/030970  
 (87) 国際公開番号 W02004/030975  
 (87) 国際公開日 平成16年4月15日 (2004. 4. 15)  
 (31) 優先権主張番号 60/415, 013  
 (32) 優先日 平成14年10月1日 (2002. 10. 1)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

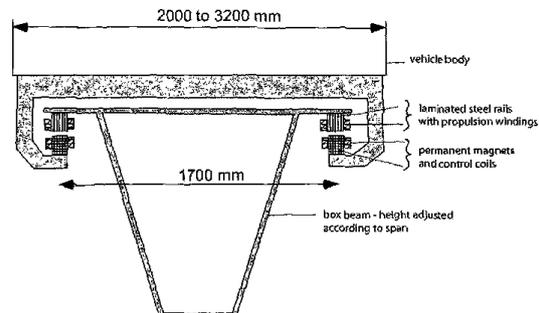
(71) 出願人 500204050  
 マグネーション インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 01720 マサチュー  
 セッツ、アクトン、サドバリー、ロード  
 20  
 (74) 代理人 100067817  
 弁理士 倉内 基弘  
 (74) 代理人 100085774  
 弁理士 風間 弘志  
 (74) 代理人 100126527  
 弁理士 遠藤 朱砂  
 (74) 代理人 100130465  
 弁理士 吉田 匠  
 (74) 代理人 100129333  
 弁理士 中島 拓

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁力を利用した、浮遊、誘導及び推進輸送手段

(57) 【要約】

本発明の磁気浮上のための方法は3つの力：浮遊、誘導、推進を生成するために輸送手段の磁石の配列を使用する。磁石は永久磁石、または永久電流モードで動作する超伝導磁石であってもよく、磁石が積層されたスチールレールに対して制御可能な引力を与えることを可能にする、対応する制御コイルを備える。制御コイルは、制御コイル内の実質的な電力消散を必要することなく安定な平衡状態に維持されるように、磁石とレールの間のギャップを調節する。この磁石及びスチールレールはまた、輸送手段をトラック（または、レール）上に保持するための横方向の誘導を与える。浮遊制御コイルは浮遊配列上のオフセットを有する磁石の手段によって横方向の減衰を与えることができる。スチールレールの横方向のスロットの巻線は乗物の推進力を生成するために乗物の磁石によって生成する磁場に対して作用する電流で励起される。磁石の寸法は、例えばレールに沿った波長当たり3つ程度の巻線スロットしかない場合でもコギング力が最小になるように調節される。乗物を支持するために多数の磁石ポッドを使用することができるように終端効



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

1つまたは複数の強磁性体のレールを備えるガイドウェイであって、少なくとも1つの前記レールが線形同期モーターのための巻線を備えるガイドウェイ；

1つまたは複数の磁石の配列を備える輸送手段であって、少なくとも1つの前記磁石の配列が：

少なくとも1つの前記ガイドウェイレールへの磁気的な引力を生じさせ；

前記輸送手段に横方向の復元用の力を生じさせ；さらに、

1つまたは複数の前記巻線内の電流への応答で縦方向の力を生じさせる輸送手段；及び

10

、  
実質的に安定な垂直方向のギャップを生じさせるために前記磁石の周囲に巻かれた少なくとも1つの制御コイルを備える磁気浮遊システム。

## 【請求項 2】

前記コイルを制御するために有効な第1の制御システムをさらに備える、請求項1に記載の磁気浮遊システム。

## 【請求項 3】

前記同期モーターの前記巻線を駆動するために有効な第2の制御システムをさらに備える、請求項2に記載の磁気浮遊システム。

## 【請求項 4】

スウェイ及びヨー力を減衰するために横方向にオフセットを有して配置された少なくとも1つの磁石の組をさらに備える、請求項1に記載の磁気浮遊システム。

20

## 【請求項 5】

ヒープ、ロール、スウェイ、及びヨーの振動を減衰するために有効な、前記輸送手段上に配置された1つまたは複数の装置をさらに備える、請求項1に記載の磁気浮遊システム。

## 【請求項 6】

実質的なコギング力を生ぜずに、実質的に滑らかな力を生成するために有効な線形同期モーターをさらに備える、請求項1に記載の磁気浮遊システム。

## 【請求項 7】

前記輸送手段の前記ガイドウェイに対する位置を決定するために有効な位置感知システムをさらに備える、請求項1に記載の磁気浮遊システム。

30

## 【請求項 8】

前記磁石の配列が終端効果及びコギング力を最小にするような寸法及び配置を有する終端磁石をさらに備える、請求項1に記載の磁気浮遊システム。

## 【請求項 9】

前記磁石の配列が横方向のオフセットを有するように配置された少なくとも1組の磁石をさらに備える、請求項8に記載の磁気浮遊システム。

## 【請求項 10】

ヒープ、スウェイ、及びヨーの振動を減衰するために有効な、前記輸送手段上に配置された1つまたは複数の装置をさらに備える、請求項8に記載の磁気浮遊システム。

40

## 【請求項 11】

1つまたは複数の強磁性体のレールを備えるガイドウェイであって、少なくとも1つの前記レールが線形同期モーターのための巻線を備えるガイドウェイ；

1つまたは複数の超伝導磁石の配列を備える輸送手段であって、少なくとも1つの前記磁石の配列が：

少なくとも1つの前記ガイドウェイレールへの磁気的な引力を生じさせ；

前記輸送手段に横方向の復元用の力を生じさせ；さらに、

1つまたは複数の前記巻線内の電流への応答で縦方向の力を生じさせる輸送手段；及び

、  
垂直方向のギャップを実質的に安定させるために有効なシステムを備える磁気浮遊シ

50

テム。

【請求項 1 2】

加速力を生成するために有効な巻線制御システムをさらに備える、請求項 1 1 に記載の磁気浮遊システム。

【請求項 1 3】

1 つまたは複数の強磁性体のレールを備えるガイドウェイであって、少なくとも 1 つの前記レールが線形同期モーターのための巻線を備えるガイドウェイ；

少なくとも 1 つの超伝導磁石の配列を備える輸送手段であって、少なくとも 1 つの前記磁石の配列が：

少なくとも 1 つの前記ガイドウェイレールへの磁気的な引力を生じさせ；

10

前記輸送手段に横方向の復元用の力を生じさせ；さらに、

1 つまたは複数の前記巻線内の電流への応答で縦方向の力を生じさせる輸送手段；

実質的に安定な垂直方向のギャップを生じさせるために前記磁石の周囲に巻かれた少なくとも 1 つの制御コイル；

前記コイルを制御するために有効な第 1 の制御システム；及び、

前記輸送手段の加速力を生成するため、前記巻線を駆動するために有効な第 2 の制御システムを備える磁気浮遊システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

20

本願は 2 0 0 2 年 1 0 月 1 日に出願された米国特許出願 No.60/415,013 「Suspending, Guiding and Propelling Vehicles Using Magnetic Forces」の優先権を主張する。本出願は 2 0 0 2 年 1 0 月 1 日に出願された米国特許出願 No.10/262,541 「Synchronous Machine Design and Manufacturing」の関連出願である。上述の出願の内容は参照として本願に組み込まれる。

【0 0 0 2】

本発明は磁気浮上「マグレブ (maglev)」輸送システム及び輸送方法に関し、特に、磁力を利用して輸送手段または乗物を浮遊 (または、浮上)、誘導 (または、案内) 及び推進するためのシステム及び方法に関する。

【背景技術】

30

【0 0 0 3】

乗物を浮遊、誘導、推進するための磁力の使用は長年研究されており、実寸大のプロトタイプもいくつか作製されている。速い、快適、静か、効率的等の長所があるにもかかわらず、マグレブは高価で、高速動作のみに適していると認識される場合が多い。マグレブの都市交通への応用は高速輸送線、軽便鉄道、モノレール、通勤用線及び急行バス専用路線等の従来の誘導式システムと競うためのデザインの能力によって制限されてきた。

【0 0 0 4】

実質的に、輸送用の用途として真剣に考えられてきた全てのマグレブは電気力浮遊 (E D S (ElectroDynamic Suspension)) または電磁気浮遊 (E M S (ElectroMagnetic Suspension)) のどちらかとして特長付けることができる。E D S デザインが誘導された電流と電流を発生する変化する磁場との相互作用によって発生する力を使用するのに対し、E M S デザインは磁石の強磁性体構造への引力を使用する。E D S デザイン及び E M S デザインは両方とも、1 5 0 m / s ( 5 4 0 k m / h ) 以上の速度が実現可能であることが実証される程度に作製及び試験されてきている。

40

【0 0 0 5】

各デザインは特定の長所及び短所を有する。E D S は E M S より広い磁気ギャップ (magnetic gap) で動作可能である点で優れているが、低い速度において大きな前進抵抗を生じ、停止時に浮遊力を生じないという欠点を有する。一方、E M S は低い速度でも上手く動作するという点で優れているが、磁気ギャップが E D S デザインに比べて小さくなければならないという欠点を有する。

50

## 【 0 0 0 6 】

日本の高速試験用トラックは、100mmのギャップを有するEDSシステムが150m/s(568km/h)の速度を達成できることを実証しており、ドイツのTransrapid EMS試験トラックは10mmのギャップを有するシステムにおいて、125m/s(450km/h)の速度での安定した動作を実証している。上述の特徴によりEMSは都市交通への応用に対して有利であると考えられ、さらに、もし磁気ギャップを増大することができれば、低速と高速の両方のデザインに対して優れた長所を持つことができる。

## 【 0 0 0 7 】

既存の特許には多くの従来技術が存在し、本発明がそれらとどのように異なり、どのように優れているかを認識するために、それらの特許を考察することは有益である。

10

## 【 0 0 0 8 】

米国特許No.3,638,093(Magnetic suspension and propulsion system)は浮遊(または、浮上)と推進を組み合わせた初期のデザインの例である。この特許はまた、1889年まで遡るいくつかの重要な特許を参照している。このデザインは乗物を推進するために出力が乗物に伝達されることを必要とし、また、このデザインは永久磁石を使用していないので浮遊のために大きな出力を必要とする。

## 【 0 0 0 9 】

米国特許No.3,842,751(Transportation system employing an electromagnetically suspended, guided and propelled vehicle)は乗物を浮遊、誘導、推進させるために1組の超伝導磁石または永久磁石をどのように利用するかを開示しているが、このシステムはEDS技術に基づいており、(そうでない場合に不安定になる)浮遊を制御する必要がない。このデザインは低速動作のための車輪の使用を必要とし、また、低速時の前進抵抗が大きいので低速動作には向いていない。

20

## 【 0 0 1 0 】

米国特許No.3,860,300(Virtually zero powered magnetic suspension)は浮遊システムにおいてどのように永久磁石を使用するかを開示しているが、このデザインは磁気軸受のためのものであり、永久磁石と電磁石に対して全く別個の構造を必要とする。また、このデザインは誘導または推進の課題に対処していない。

## 【 0 0 1 1 】

米国特許No.3,937,148(Virtually zero power linear magnetic bearing)は上述の米国特許No.3,860,300が輸送の用途に対してどのように利用可能であることを示しているが、別個の電磁石を必要とし、また、誘導または推進の課題に対処していない。

30

## 【 0 0 1 2 】

米国特許No.4,088,379(Variable permanent magnet suspension system)は上述の米国特許No.3,860,300の発明に基づいた発明であるが、EMSを使用したマグレブに直接応用することができない。

## 【 0 0 1 3 】

米国特許No.5,722,326(Magnetic Levitation system for moving objects)は上述の米国特許No.3,842,751の変形であり、永久磁石のハルバック配列(Halbach array)を利用している。このデザインはEDSに特化したものであり、EMSデザインに対する永久磁石の使用方法を教授していない。

40

## 【 0 0 1 4 】

米国特許No.6,860,300(Virtually zero powered magnetic suspension)は磁気浮遊を与えるためにどのように永久磁石を使用するかを開示しているが、開示されたデザインは別個の電磁石を必要とし、輸送の用途に容易に応用可能ではない。

## 【 0 0 1 5 】

米国特許No.3,937,148(Virtually zero power linear magnetic bearing)は前述の特許がどのように輸送用の用途に使用することができるかを開示しているが、別個の電磁石を必要とし、誘導及び推進の課題に対処していない。

## 【 発明の開示 】

50

**【発明が解決しようとする課題】****【0016】**

上述の特許は本発明の目的の重要性を示しているが、重要な構成要素に欠けている。

**【0017】**

すなわち、本発明の目的は改善された磁気浮上（「マグレブ」）のための方法及び装置を提供することであり、詳細に述べると、磁力を使用した乗物を浮遊（または、浮上）、誘導及び（または）推進させるための方法及び装置を提供することである。

**【0018】**

本発明のもう一つの目的は、乗物または輸送手段の重量を減少させ、それによってガイドウェイ（または、案内路）、浮遊（または、浮上）、及び推進のためのコストを減少させる結果となる方法及び装置を提供することである。

10

**【0019】**

本発明のもう一つの目的は待ち時間及び乗車時間を短縮させるために、短い時間間隔または距離間隔、及び高速で動作可能な方法及び装置を提供することである。

**【0020】**

本発明の関連する目的は製造面で経済的な方法及び装置を提供することである。

**【課題を解決するための手段】****【0021】**

上述及び他の目的は、一つの側面において、垂直方向の浮遊力（または、浮上力）、横方向の誘導力、及び縦方向の推進力を与えるために単一の磁気構造、または必要に応じて、複数の磁気構造を利用する磁気浮上装置を提供することによって、本発明によって達成される。本発明の一つの側面において、磁気構造は浮遊（または、浮上）を与える磁石を含む。本発明の好まれる実施例に従うと、これは永久磁石であってもよい。磁石の回りに巻かれた（または、磁石に隣接して配置された）コイルは、それらが所望の方向で安定するように浮遊（または、浮上）を制御する。

20

**【0022】**

本発明の関連する側面に従うと、上述のコイルは乗物の重量が磁石の引力に等しくなるように、例えば、磁石ギャップを制御する電流によって励起される。これらの制御電流はヒープ（または、上下浮動）、ピッチ、ヨー、ロール及び（または）スウェイ（または、揺れ）のアクティブな減衰（または、ダンピング）を与えるために、例えば、フィードバック制御システム等によって生成される。

30

**【0023】**

本発明のさらなる側面において、上述の磁気浮上装置は、磁気ギャップを所望の値から変化させる可能性がある動揺（または、外乱）に対処する力を生成するように制御電流を適用する。

**【0024】**

本発明の他の側面において、本発明は磁石が交互に配置される上述の磁気浮上装置を提供する。これは横方向の動きのアクティブな制御を与えるために（縦方向の推進または制御を与えるために使用されるものと）同一の制御コイルを使用することを可能にする。

**【0025】**

本発明のさらなる側面において、本発明は従来技術のシステムで使用されていたギャップの2倍程度の（または、それ以上の）ギャップを利用した、上述の磁気浮上装置を提供する。

40

**【0026】**

本発明のさらなる側面において、本発明は、上述の永久磁石の代わりに（または、永久磁石に加えて）超伝導磁石を使用する上述の磁気浮上装置を提供する。

**【0027】**

本発明の関連する側面において、これらの超伝導磁石は超伝導電流の制御を必要とせず、永久電流モード（または、一定電流モード）で動作をしてもよい。

**【0028】**

50

本発明のさらなる側面において、本発明は上述の磁気浮上装置を利用する乗物または輸送手段を提供する。これらの輸送手段は、例えば、旅客用輸送手段、荷物用輸送手段、または短い時間間隔または距離間隔で動作する他の輸送手段であってもよい。

【0029】

本発明に従ったシステム及び装置は多くの長所を有する。

【0030】

これらの長所の1つは、本発明のシステム及び装置が大きな加速度を与えることができ、それによって頻りに停車場所がある場合や、低速で急カーブを曲がることが要求されるような場合であっても(全体として)高速で動作することができることである。

【0031】

本発明の他の側面は旅客用輸送手段、荷物用輸送手段、及び上述の機能に相当する他の磁気浮上装置を動作させるための方法を提供する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

本発明に従ったシステムは浮遊(または、浮上)、誘導及び推進を与えるために単一の磁気構造(または、磁石構造)を使用することができる。1つの実施例において、浮遊(または、浮上)は磁気構造の約10倍の重量を持ち上げることができ、一体化された推進システムは90%以上の平均効率で動作することができる。この浮遊、誘導、推進を使用した輸送システムは軽量の乗物を使用することができ、燃料消費が少なく、かつ、減少した騒音、速い最高速度、大きな加速力、及び車輪をベースにしたシステムに伴うメンテナンスの不要性等の従来のマグレブデザインの長所を有することができる。

【0033】

寸法の選択

図1は本発明に従ったシステムにおける、基礎となるサスペンション(または、浮上)のデザインの断面を示している。乗物は両側に配置された一連の磁石によって支持され、これらの磁石はガイドウェイ(または、案内路)上の積層状のスチールレールへの引力を発生する。図1に示されている寸法は、例えば、以下の複数の要因を考慮して選択される。

【0034】

・乗物の幅は多様な用途を可能にするために、少なくとも2.0から3.2メートルの範囲にされるのが望ましい。この範囲は貨物自動車、バス及び電車の幅を含み、高速及び高収容力に対しては大きめの幅が望まれ、低速及び低収容力に対しては狭めの幅が望まれる。

・マグレブ式輸送手段の重量は積荷にも依るが、商業上、1メートル当たり約0.9トン程度であると予想される。図示された実施例において、マグネットポッドが乗物の長さの大部分に拡張すると仮定すると、各ポッドは1メートル当たり約0.5トンを支持しなければならない。また、図示された実施例において、これは容易に入手可能な約20mmの磁気ギャップ(magnetic gap)とともに永久磁石及び約80mm幅のスチールレールを使用して達成される。

・好まれるものとして、上昇を与えるマグネットと同一のマグネットが誘導(または、案内)も与える。横方向の誘導力に対する要求は、例えば、カーブや強風等のワースト条件の下で、0.4g程度であるだろう。本発明は、ガイドウェイ上のスチールレールが磁気ギャップの定格値の約4倍程度の幅であれば、これを達成できることを見出した。上述の例の場合、20mmの磁気ギャップに対して80mm幅のレールを使用しており、この条件を満たしている。

・図示された実施例において、スチールレールの中央から中央の間隔は1700mmに選択されており、レールの内側の端の間隔が1435mmである従来の鉄道に比べいくらか広い。

【0035】

他の実施例において、これらの寸法は用途に応じて変化してもよい。例えば、低速度の地上高速輸送(GRT(Group Rapid Transit))に対しては、狭めのレールゲージが適

10

20

30

40

50

当であり、高速及び高収容力の用途に対しては、ガイドウェイの単位長当たりの高い荷重とともに広めのスチールレールが望まれるだろう。

#### 【0036】

##### 極節 (pole pitch) 及び磁石の寸法の選択

図2aには、図1のサスペンション構造の側面図が示されている。磁場は波長と呼ばれる間隔ごとに繰り返される。波長の最適な値は乗物の寸法、速度、重量及び加速度等の要件に応じて大きな範囲で変化してもよい。図1に示されている寸法に対し、波長に対する適当な選択は波長が約0.5メートルに等しくなるようにすることである(もちろん、他の寸法が使用されてもよい)。これは結果的に、断面が概ね正方形であり、容認可能な程度に小さい推進用巻線のインダクタンスを生ずる推進コイルとなる。波長が0.5メートル及び乗物の速度が45m/s(163km/h)の場合、線形同期モーター(LSM(linear synchronous motor))の励起周波数は90Hzである。長めの波長の実施例の場合、固定子のレール及び乗物の磁石に対して多め(または、大きめ)の地鉄(back iron)を使用してもよい(しかしながら、これはガイドウェイのコスト及び乗物の重量を増大させるだろう)。短めの波長の実施例の場合、大きめの励起周波数を使用してもよい(しかしながら、これは渦電流損失及び巻線インダクタンスに関する問題を増大させるだろう)。

10

#### 【0037】

図3は上述のシステム等の、乗物の磁石の1波長(0.5メートル)区間及び80mmレール幅に対する、横方向の変移の関数として浮遊力及び誘導力を表したグラフである。このグラフは周期的境界条件とともに3D有限要素解析を使用して、40メガガウスエルステッド(MGO)のエネルギー積を有する磁石に対して生成された。グラフに示されているように、通常状態は20mm垂直変位及びゼロ水平変位であり、浮遊力は単位波長当たり2,700Nである。サスペンション(または、浮上)はマグネットポッドの長さ1メートル当たり550kgの重量を支えるだろう。ポッドの終端部の2つの半分の磁石は図2bに示されている寸法及び位置の磁石の場合、合計630Nの付加的な上昇力を生成する。各々が3メートルの長さの4つのポッドは、通常の負荷状態の(すなわち、座席の75%が占有された状態の)小型バス寸法の乗物の重量に近い、6,700kgを上昇させる。

20

#### 【0038】

図示された実施例において、固定子(または、ステーター)は2001年10月1日出願された米国特許No.60/326,278「Synchronous Machine Design and Manufacturing」の優先権を主張する、同日に出願された同タイトルの特許出願に記載されている寸法を有する(両出願は本出願人に譲渡されており、それらの内容は本願に参照として組み込まれる)。インダクタンスを最小にし、推進用巻線を簡略化するために、固定子の巻線のスロットは磁極端の拡張(pole tip extension)を持たない垂直方向の側部を有する。コギング力(cogging force)を最小にするために、磁石の縦方向の長さは参照される出願に記載されているように選択されてもよい。例えば、波長当たり3つのスロットを備えるとき、スロット幅が歯部の幅に等しい場合、コギング(cogging)を最小にする磁石の長さは波長の半分の0.45または0.77倍である。例えば、500mm波長の場合、最適な磁石の長さは約112mmまたは186mmである。これらの選択は両方とも非常に小さいコギングを与え、短い方の磁石は70%程度のみ浮遊力を与える(したがって、通常、長い方の磁石がより良い選択である)。レール幅に依存する縁効果(edge effect)を考慮しながらコギングを最小にするために、上述の寸法に対しては186mmの磁石の長さが適当な選択であると言えるだろう。

30

40

#### 【0039】

スロット幅は多様な範囲で変化してもよいが、スロット幅を歯部の幅と等しくすることによって、固定子の積層は無駄な部分を生ぜずに作製することができる。いくつかの実施例において、所望の効果を達成するために相対的な巻線スロット幅を変化させることが望まれてもよいが、これはコギングの最小化のために異なった磁石の長さの使用を必要とす

50

るだろう。

【0040】

磁石の高さ(すなわち、厚さ)はエアギャップ(air gap)より約25%大きくなるように選択される。例えば、ギャップが20mmの場合、磁石の高さは25mmとなる。高めの磁石はより大きな引力及び推進力を与えるだろうが、制御コイルによって大きなアンペア回数を必要とし、磁石の重量を増大させる。磁石の高さの小さめの値は引力及び推進力を減少させる。25%の選択はいくつかの用途においてほぼ最適であるだろう。

【0041】

制御コイルの高さは離陸時に巻線の抵抗性の電力損失を容認可能なレベルまで減少させるために磁石の高さより大きくされる必要がある。これは磁石を台座等の上に配置することにより可能となる。いくつかの用途に対して、40mmの制御コイルの高さは余分な重量の付加と余分な電力消失との間の妥当な点と言えるだろう。

10

【0042】

磁石の種類及び構成

現在の技術における、磁石の材料に対する適当な選択はネオジミウム - 鉄 - ボロン(NdFeB)である。等級の選択において、好まれる最大エネルギー積及び消磁のために必要な保磁力は可能な動作温度の最大値で評価される。図示された実施例は、温度50度で磁束が0に駆動されたとき実質的に消磁しない条件で、40MGOのエネルギー積の定格を有する材料を使用する。40MGOを超過するエネルギー積を有するNdFeB磁石が使用されてもよいが、現在有効な材料の場合、それらはより容易に消磁しやすい。本発明のいくつかの実施例に対する材料の選択における、選択の目的は制御電流が磁束を(ギャップが最小値のときに)ギャップを増大するために必要なレベルまで減少させるときに、磁石の全ての有効な部分の消磁が十分に小さいことを確実にすることである。他の実施例においては、ハルバック配列(Halbach Array)等の、異なった磁石の構成が使用されてもよいが、これは実質的にデザインに影響しない。

20

【0043】

終端磁石

本発明に従ったシステムにおいて、乗物の磁石の配列は通常、数波長分程度の長さしか有さない。以下の記述は終端の磁石の配置を決定するとき、好まれるものとして考慮されるべき内容である。

30

1. 終端磁石は好まれるものとして、周期的な配列の部分の磁石が乗物の配列が非常に長い場合の磁束に類似した固定子磁束を生成するように、周期的な配列の部分からの磁束を終結させる。

2. 周期的な配列がコギング力(cogging force)を生じない場合、終端の磁石は好まれるものとしてコギングを生じない。

3. 終端磁石は好まれるものとして、配列上に過度のピッチ力(または、縦揺れ力)を生じない。

【0044】

いくつかの実施例において、これは結果的に以下の特徴を持つ構成となる。

1. 磁石は概ね通常の磁石と同じくらいの長さを有するが、減少した高さを有する。寸法及び配置は、隣り合った磁石からの磁束の半分が両方向に行くように選択される。

40

2. 終端磁石の長さ及び間隔はコギングが生じないように選択される。

3. 周期的配列で使用される磁石の数は偶数であり、終端磁石によって生ずるピッチ力が非常に小さくなるように詳細に計算された寸法及び配置が使用される。

【0045】

図2bに示されている相対的な寸法はこれらの基準によって選択された。図4には4つの完全な磁石を備えた磁石ポッド及び2つの終端磁石が示されている。

【0046】

図2bにおいて、終端磁石は完全な高さを有さず、制御コイルを備えていない。減少された高さは磁気ギャップが小さいときに引力を減少させ、これは制御コイルに必要なピー

50

ク電流を減少させる。いくつかの実施例において、終端磁石の周辺には制御コイルが配置される。磁石の配列が非常に短い場合、または大きい浮遊力が要求される場合、終端磁石のデザインは異なったものでもよく、それらも本発明の範囲に含まれる。

【0047】

#### 浮遊制御

本発明に従ったシステムにおいて、浮遊磁石の周囲に巻かれたコイル内の電流の変化は垂直方向の浮遊力（または、浮上力）を制御する。以下に制御の目的を記す。

1. 不安定な平衡点を安定した平衡点に変換する。
2. 磁気ギャップを制御コイル内の電力消散を最小にする値に調節する。

【0048】

このような目的を達成する制御システムは通常、2つの別個のフィードバック制御ループとして構成される。高速ループはギャップ及び加速度センサーを使用して安定化を与え、低速ループは電流センサーを使用して制御電流を最小にする。

【0049】

安定化は、静的な電磁石のシステムが少なくとも1つの自由度において本質的に不安定であるという理由のために使用される。ここで説明されるデザインは垂直方向に不安定であるが、他の方向に対しては安定である。通常の動作において、磁気ギャップが定格の負荷とともに20mmに設計された場合、ポッドの長さは、浮遊磁石の力が制御コイル内の電流が全くない、または非常に少ない状態で負荷の力とほぼ一致したときに、20mmが平衡点になるように選択される。負荷が増大すると、制御システムの高速度応答部分は直ぐに増大した負荷に対処するために制御電流を適用し、その後、ゼロ電力制御ループは平衡付近で要求される制御電流がなくなる、または非常に小さくなるように、浮遊ギャップが小さくなることを生じさせる。通常の乗物は定格の値に対して約20%程度変化する負荷を有するだろう。重い負荷は小さいギャップを必要とするので、これは磁気ギャップがその定格値から約±3mm変化することを意味する（図3参照）。

【0050】

図5は本発明に従った、通常のポッドのための制御システムの簡略化されたブロック図である。ポッドはコイル制御の数があくつであってもよく（以降、 $n$ で示される）、各ポッドはデジタル信号プロセッサ（DSP）によって制御されるHブリッジ（H-bridge）によって制御される。ポッドの両端に配置されたギャップ及び加速度センサーは安定なギャップを維持するために必要なセンサー入力を供給する。実際には、2つ以上のプロセッサが存在してもよく、それによって制御システムの故障に備えて冗長性が存在してもよい。

【0051】

#### LSM及びその制御

図示された実施例の線形同期モーター（LSM（linear synchronous motor））は前述の出願（米国特許出願No.60/326,278及び同日に出願されたその関連出願）に開示されたものに基づいたものであってもよいし、あるいは、（従来技術等の）他の設計方法が使用されてもよい。好まれるものとして、LSM及び浮遊デザインは、誘導を与えるための付加的な磁気構造に対する必要性を排除するために十分な横方向の力が存在するように選択される。ギャップが小さい場合、これは（日本のHSSTマグレブシステムと同様な様式で）サスペンションレール（または、浮遊レール）を、各々が誘導を与える2つまたはそれ以上の部分に分割することを含んでもよい。LSMは図6の制御システムのブロック図で示されているような多相インバーターを駆動するマイクロプロセッサによって制御されてもよい。

【0052】

図示された実施例の位置感知は米国特許No.6,011,508「Accurate Position Sensing and Communications for Guideway Operated Vehicles」に開示されている方法で達成されてもよいし（この出願は本願に参照として組み込まれる）、または、（この分野等で周知な）他の機構が使用されてもよい。位置感知システムはLSMと一体化され、インバータ

10

20

30

40

50

ーのスイッチングを制御する。要求される推力が小さい場合、好まれるものとして、インバーターは電流がモーターのバック電圧 (back-voltage) と同期し (または、同位相になり)、電流の極性がモーターが前方または後方のどちらの推力を与えるかを決定するように動作されてもよい。同期された動作 (または、同位相の動作) は L S M 巻線内の電力を最小にする。

#### 【0053】

図示されたシステムの典型的な応用例に対し、L S M のインダクタンスは比較的大きく、推力が大きい場合、L S M の制御は巻線内の最小の電力消費で必要な推力及び速度を得るためにモーターのバック電圧と電流との間の位相を調節しなければならない。この場合、電流とバック電圧は同位相ではなく、制御はより複雑となる。この状態はロータリーモーター (rotary motor) においては一般的ではない。なぜなら、ロータリーモーターは通常、小さいエアギャップ及び全ての巻線を励起する界磁石を有するので、ユニット当たりのインダクタンスはあまり大きくない。

10

#### 【0054】

##### 横方向の力の減衰

図 1、2 a、2 b に示されているデザインはカーブに対処し、横方向の風圧に耐性を有することを可能にするのに十分な程度の横方向の力を生成する。横方向の力の減衰を与えるために、磁石の組は、図 9 に示されているようにオフセットを有する。図 9 は 4 つの完全な長さの磁石 9 1、9 2 及び 2 つの終端磁石 9 3 を備えた本発明に従った短い磁石ポッドの上面図である。

20

#### 【0055】

(縦方向の浮遊力にほとんど減少を生じない) 磁石の配置のオフセットは実質的な横方向の力を生成するために使用される。例えば、制御コイルが一方の方向にオフセットを有するコイルの電流 (及び磁石の力) を増大させ、反対方向にオフセットを有するコイルの電流 (及び磁石の力) を減少させると、実質的な垂直方向の力を変化させずに、正味の横方向の力を生成することができる。磁石のレールに対する横方向の動きを検出するセンサーを使用することによって、振動を減衰するためにこれらの電流を制御することが可能である。この制御は横方向の動きの共振に関連した振動を減衰するためだけに使用され、横方向の誘導力を与えるためのものではない。

30

#### 【0056】

磁石がポッドに取付けられ、乗物を支持するために複数のポッドが使用される場合、いくつかの種類動きを減衰するために横方向の力を使用することが可能である。例えば、スウェイ (または、横揺れ) は乗物の横から横への動きであり、ロールは乗物の縦軸に対する回転方向の動きである。乗物の下側に配置された浮遊磁石によって作用する全ての横方向の力はスウェイ及びロールの両方の動きを発生する可能性があるため、これらの 2 つのモードは結合していると言える。垂直方向及び横方向の両方の磁気力を制御することによりスウェイ及びロールを両方とも減衰することが可能である。

#### 【0057】

ヨーは乗物の垂直軸の周りの回転方向の動きであり、これは後方のポッドに適用される横方向の力と反対方向の力を前方のポッドに適用することによって減衰することが可能である。乗物の下側に適用されるこれらの横方向の力は小さいロールを発生する可能性があり、それらは上述の方法によって減衰されなければならない。

40

#### 【0058】

多くの場合、1 つまたは複数の自由度に対する機械的な減衰手段 (または、ダンピング手段) を加えることが望まれる。しかしながら、低速のシステムの場合、全てまたはほとんどの機械的減衰手段を除去し、制御のために磁気力だけを使用することが可能であるだろう。

#### 【0059】

##### 超伝導磁石の使用

本発明に従った 1 つの実施例において、永久磁石の代わり、またはそれらに加えて超伝

50

導磁石を使用することが可能である。これは、例えば、ギャップを安定させるために超伝導コイル内の電流を制御することによって、あるいは、永久電流モード（または、一定電流モード）の超伝導コイル及び（永久磁石による浮遊とともに上述したような）外部の制御コイルを使用することによって実施することができる。後者の手法は超伝導磁石を非常に簡略化することができるという長所を有する。

#### 【0060】

超伝導磁石を使用した好まれる方法は永久磁石構造を図10に示されているような構造と同様な構造で置き換えることである。図において、超伝導コイル102a、102bは高温超伝導体で構成することができ、コギング力を最小にするような様式で磁束を分配するために使用される磁極端（pole tip）104とともに積層状のスチールポール（steel pole）103の周りに巻かれる。コイルのためのスチール鉄心（steel core）の使用は、必要な超伝導コイルの寸法及び制御コイルの寸法を減少させるという長所を有する。スチール鉄心はまた、低温で実施されるという事実によって合成される、超伝導体内の渦電流損失を減少させる。

10

#### 【0061】

図10において、超伝導の巻線は別個に作製され、磁極端及び制御用巻線の周り（または、上に）に挿入されてもよい。

#### 【0062】

##### 単一の高架サスペンションレールの使用

本発明のさらなる実施例はケーブルカー（または、ロープウェイ）が頭上のケーブルによって支持されるのと同様な様式で乗物を支持する単一の高架サスペンションレールを使用する。

20

#### 【0063】

この浮遊方法は以下の項目を含むいくつかの長所を有する。

- ・単一のサスペンションレール及び単一の推進用巻線のみを必要とするのでコストを削減できる。
- ・高速作用スイッチの設計が容易である。
- ・支持用ビームが小型になり、邪魔にならない。

#### 【0064】

空港内等の屋内での使用に対して、高架システム（または、頭上システム）は特に優れているだろう。輸送手段が停止しているときや低速で動いている場合、揺れの動きに対処するために機械的なガイド車輪（または、案内車輪）が使用されてもよく、風がない場合、揺れの動きに対して十分に対処することができるだろう。高架サスペンション（または、高架浮遊）はまたトンネル内の使用に対しても優れているだろう。この場合、揺れの動きに対処するために斥力を発生する磁石が使用されてもよい。高架サスペンションはトンネルの径を小さめにし、浮遊及び推進システムのコストを下げることを可能にする。

30

#### 【0065】

##### サイズ（寸法）

本発明に従った浮遊システム（または、サスペンションシステム）の寸法は旅客用に適しているが、荷物の運搬に対しては最適ではないかもしれない。例えば、半導体工場等のクリーンルームで使用される小さめの寸法のシステムを構成する場合、車輪ベースのサスペンションからの汚染は問題を呈するだろう。放射性材料を運搬するためのもう1つの実施例の場合、輸送手段が密閉されたダクト内で動作するのに対し、推進用巻線はダクトの外部に配置されなければならないだろう。本発明のデザインはより強力な力を扱うために広めの浮遊レール（または、サスペンションレール）を使用することによって大きめの寸法にされてもよいし、または、大きめのギャップ及び長めの波長とともに高速で動作するデザインが使用されてもよい。これらの変更は全て可能であり、上述の設計の原理を適用することが可能である。

40

#### 【0066】

ここまで本発明の目的を達成するためのシステム及び方法が説明されてきた。しかしな

50

がら、図示及び説明されてきた実施例が本発明の説明のためのものであり、他の多様な変更が付随する請求の範囲によって規定される本発明の範囲に含まれることは理解されなければならない。

【図面の簡単な説明】

【0067】

【図1】乗物の両側に浮遊、誘導、推進の組合せを提供する磁石モジュールを備えた、本発明に従ったマグレブのガイドウェイ（案内路）及びサスペンションシ（浮遊）システムの断面図である。

【図2a】磁石モジュールの一部及び図1のシステムの中央部分の構造の側面図である。

【図2b】磁束を均等化し、コギングを軽減する図1のシステムの終端部分を図示している。

10

【図3】80mmレールの場合の、図2a及び2bに示されているマグネットポッドの1波長区間に対する浮遊力、誘導力、推進力を図示している。

【図4】(a)固定子積層板及び推進用巻線を示している本発明に従った短い固定子区間、及び(b)中央部の制御可能なマグネット及び磁束を均等化し、コギング及びピッチ力（または、縦揺れ力）を軽減する特殊な終端マグネットを備えた乗物マグネットポッドの斜視図である。

【図5】本発明に従った浮遊制御システムのブロック図である。

【図6】本発明に従った線形同期モーター（LSM）のブロック図である。

【図7】水平方向及び垂直方向のカーブを可能にするために2次元で回転する4つのポッドを備えた、本発明に従った乗物を図示している。

20

【図8】図7に図示されているようなマグネットポッドが本発明に従ってどのように乗物に取付けられるかを示している。この図はまた、乗物に対するポッドの振動を減衰する、本発明に従った選択的な機械的構造を示している。

【図9】本発明に従ったシステムにおいて、浮遊制御システムが横方向の振動を減衰することを可能にするために、磁石がどのようにサスペンションレール（または、浮遊レール）に対してオフセットを有するかを示している。

【図10】永久磁石が超伝導磁石によって置き換えられた、本発明に従ったシステムを図示している。

【符号の説明】

30

【0068】

91 磁石

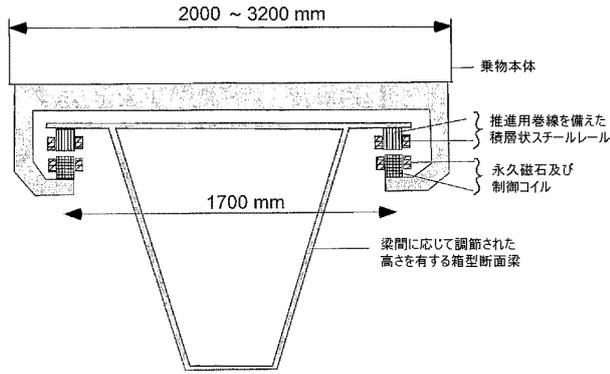
92 磁石

93 終端磁石

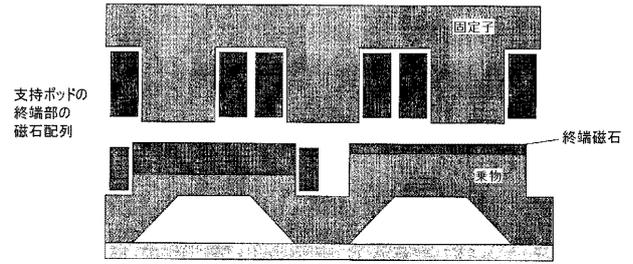
102 超伝導コイル

103 スチールボール

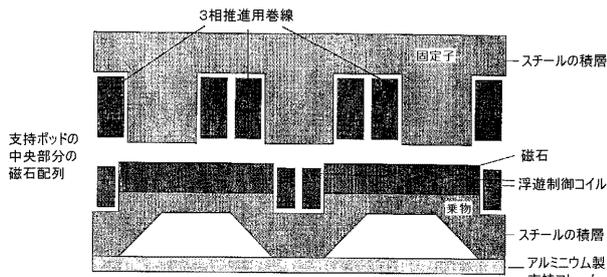
【 図 1 】



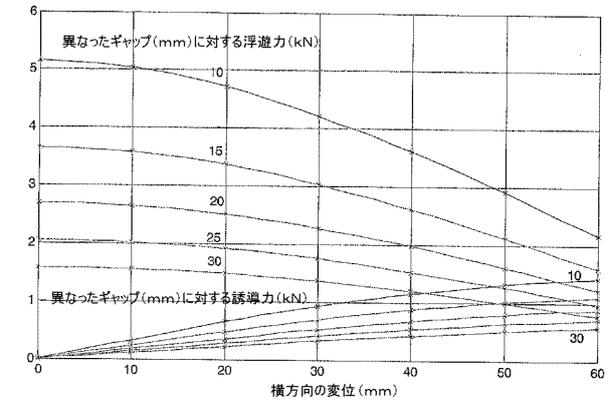
【 図 2 b 】



【 図 2 a 】



【 図 3 】



【 図 4 】

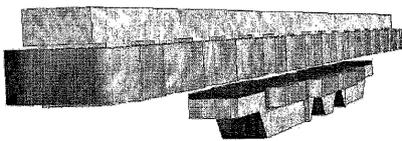
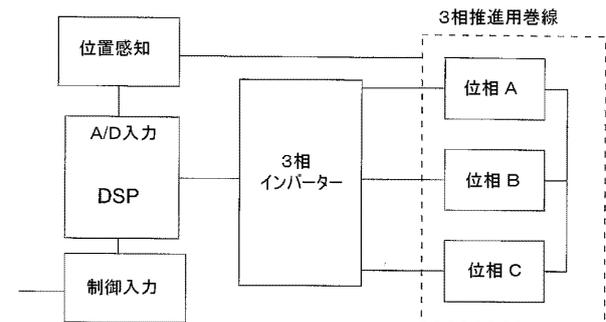
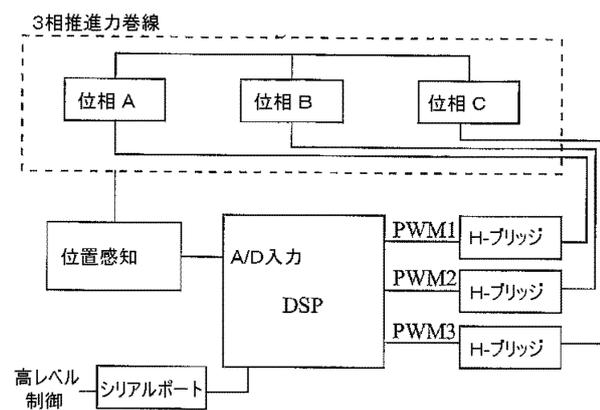


Figure 4

【 図 6 】



【 図 5 】



【 図 7 】

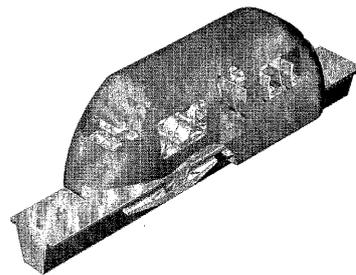
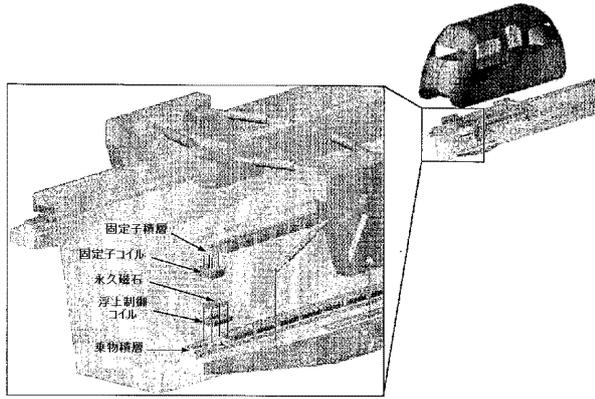


Figure 7

【 図 8 】



【 図 10 】

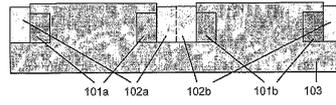


Figure 10

【 図 9 】

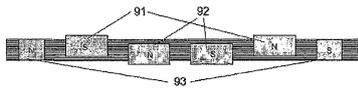


Figure 9

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US03/30970
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
IPC(7) : H02K 1/00 US CL : 505/902 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 505/902-905; 310/12, 13, 190; 104/281-284		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X --- Y	US 3,912,992 A (LAMB) 14 October 1975 (14.10.1975), see figures 3 & 4; column 6, lines 16-18; column 3, lines 33-37 and lines 11-37; column 4, lines 20-22; column 5, lines 32-40.	11, 12 ----- 1-3, 5-8, 10, 13
X	US 6,418,857 B1 (OKANO et al) 16 July 2002 (16.07.2002), see figure 2; column 7, line 9 and lines 15-19; column 6, lines 40-44 and lines 14-20.	11-13
Y	US 4,972,779 A (MORISHITA et al) 27 November 1990 (27.11.1990), see entire document.	1-3, 5-8, 10, 13
A	US 5,467,718 A (SHIBATA et al) 21 November 1995 (21.11.1995).	
A, E	US 6,684,794 B2 (FISKE et al) 03 February 2004 (03.02.2004).	
A	US 6,286,434 B1 (FISCHPERER) 11 September 2001 (11.09.2001).	
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 21 July 2004 (21.07.2004)		Date of mailing of the international search report <b>11 AUG 2004</b>
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer Randolph Reese Telephone No. (703) 308-1113

## フロントページの続き

(81) 指定国 AP(GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72) 発明者 リチャード ディー・ソントン

アメリカ合衆国 01742 マサチューセッツ、コンコード、ガーフィールド ロード 330

(72) 発明者 トレイシー エム・クラーク

アメリカ合衆国 01730 マサチューセッツ、ベッドフォード、ウィンターベリー ウェイ  
24

Fターム(参考) 5H113 AA01 BB02 CC04 CC08 DA01 DB03 DB14 DB15 DC03 DC14  
DC15

## 【要約の続き】

果を軽減するための手段が使用されてもよい。