

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード <sup>*</sup>	(参考)
B60L 13/04 13/10	ZAA	B60L 13/04 13/10	ZAA	Q 5H113 Z

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全8頁)

(21)出願番号	特願2002 - 59235 ( P 2002 - 59235 )	(71)出願人	000173784 財団法人鉄道総合技術研究所 東京都国分寺市光町2丁目8番地38
(22)出願日	平成14年3月5日(2002.3.5)	(72)発明者	村井 敏昭 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財団 法人鉄道総合技術研究所内
特許法第30条第1項適用申請有り 平成13年12月7日 社団法人電気学会開催の「リニアドライブ研究会」にお いて文書をもって発表		(72)発明者	吉岡 博 東京都国分寺市光町二丁目8番地38 財団 法人鉄道総合技術研究所内
		(74)代理人	100064908 弁理士 志賀 正武 (外1名)

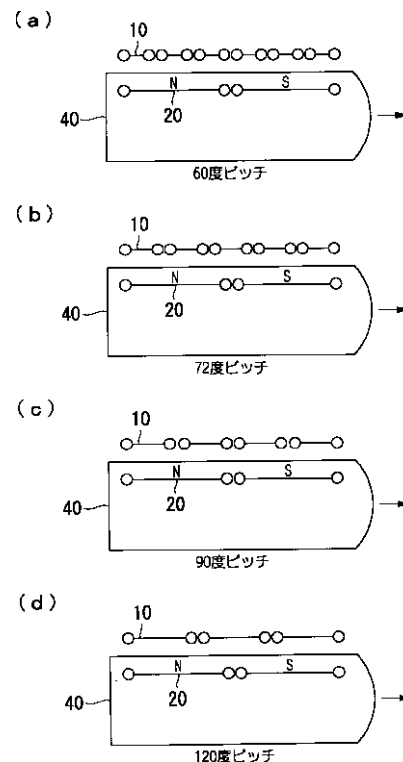
最終頁に続く

(54)【発明の名称】磁気浮上式移動体システム及びそのコイル配置構造

(57)【要約】

【課題】 磁気浮上式移動体システムにおいて、車両を推進・浮上案内させるための8字型コイルの加振力による超電導磁石の振動を小さくしながら、かつ良好な推進・浮上・案内性能を得る。

【解決手段】 超電導磁石の振動を低減するためには、加振力周波数と発生する振動モードとが一致しないようなコイルピッチを選択すればよい。超電導磁石の電気角360度に対してコイルを4個設ける90ピッチでは、隣接コイルの加振力が同位相となり、超電導磁石全体の振動モードを引き起こす共振周波数が大きくなる一方、その加振周波数は小さい。従って、超電導磁石振動に対するコイルピッチとしては90度ピッチが有利である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数のコイルが配列されると共に、このコイルと対向して複数の磁石が配置された移動体を有し、各コイルに所定の位相差を以て電流を通じることにより移動体を浮上させると共に、浮上した移動体をコイルの配列方向に移動させるようにした磁気浮上式移動体システムにおいて、

一対の磁石が作る N 極と S 極の間を 360 度とすると各コイルを略 90 度ピッチで配置したことを特徴とする磁気浮上式移動体システム。

【請求項 2】 前記磁石は、低温容器に収納された超電導コイルからなる超電導磁石であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気浮上式移動体システム。

【請求項 3】 前記コイルは、8 字型コイルであることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の磁気浮上式移動体システム。

【請求項 4】 前記 8 字型コイルは上下非対称に形成されていることを特徴とする請求項 3 記載の磁気浮上式移動体システム。

【請求項 5】 前記 8 字型コイルは、下側コイルの高さが大きく形成されていることを特徴とする請求項 4 記載の磁気浮上式移動体システム。

【請求項 6】 前記コイルは、電源に接続されない磁気浮上用のコイル及び / 又は電源に接続されて電流を通じる推進用のコイルとからなることを特徴とする請求項 1 ~ 5 の何れか 1 項に記載の磁気浮上式移動体システム。

【請求項 7】 複数のコイルが配列されると共に、このコイルと対向して複数の磁石が配置された移動体を有し、各コイルに所定の位相差を以て電流を通じることにより移動体を浮上させると共に、浮上した移動体をコイルの配列方向に移動させるようにした磁気浮上式移動体システムにおける前記コイルの配置構造であって、一対の磁石が作る N 極と S 極の間を 360 度とすると各コイルを略 90 度ピッチで配置したことを特徴とする磁気浮上式移動体システムのコイル配置構造。

【請求項 8】 前記磁石は、低温容器に収納された超電導コイルからなる超電導磁石であることを特徴とする請求項 7 記載の磁気浮上式移動体システムのコイル配置構造。

【請求項 9】 前記コイルは、8 字型コイルであることを特徴とする請求項 7 又は 8 記載の磁気浮上式移動体システムのコイル配置構造。

【請求項 10】 前記 8 字型コイルは上下非対称に形成されていることを特徴とする請求項 9 記載の磁気浮上式移動体システムのコイル配置構造。

【請求項 11】 前記 8 字型コイルは、下側コイルの高さが大きく形成されていることを特徴とする請求項 10 記載の磁気浮上式移動体システムのコイル配置構造。

【請求項 12】 前記コイルは、電源に接続されない磁気浮上用のコイル及び / 又は電源に接続されて電流を通

じる推進用のコイルとからなることを特徴とする請求項 7 ~ 11 の何れか 1 項に記載の磁気浮上式移動体システムのコイル配置構造。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気浮上方式により車両等の移動体を走行させる磁気浮上式移動体システム及びこのシステムで用いられるコイルの配置構造に関するものである。

## 10 【0002】

【従来の技術】一般にリニアモーターとして知られる磁気浮上方式による鉄道システムにおいては、超電導磁石を車両の側面に取り付けると共に、車両のガイドウェイの側壁に超電導磁石と所定の空隙を介して多数のコイルを車両の進行方向に配列している。超電導磁石は、複数の超電導コイルが冷却液と共に低温容器に収納されるものが用いられる。

【0003】コイルとしては、車両の推進用コイルと浮上・案内用コイルとが上記側壁に重ねて設けられ、推進用コイルは駆動電源に接続され、浮上・案内用コイルは電源には接続されていない。この浮上・案内用コイルとしては 8 字型コイルが用いられている。また、最近では 8 字型コイルを電源に接続して 1 つのコイルで推進機能と浮上・案内機能を兼用できる推進・浮上・案内兼用コイルが提案されている。

【0004】図 6 は上記推進・浮上・案内兼用コイルとしての 8 字型コイル 10 と超電導磁石 20 との配置関係を示すものである。この図では、一対の超電導磁石 20 が作る N 極と S 極との間を電気角で 360 度とすると、この 360 度に対して 3 個の 8 字型コイル 10 を配置することで、コイルピッチを 120 度とした場合を示している。図 6 において、ガイドウェイの左右側壁には多数の 8 字型コイルが 120 度ピッチで配され、各コイルは U 相、V 相、W 相の 3 相駆動電源に接続されている。左右側壁で対向する 2 つの 8 字型コイル 10 はヌルフラックス線 30 を介して接続され、ループが形成されている。

【0005】上記構成によれば、各相の 8 字型コイル 10 に 120 度位相の異なる電流を通じることにより、超電導磁石 20 との間で電磁力による推進力が働いて車両が走行すると共に、車両、即ち、超電導磁石が下側に偏ると、対応する 8 字型コイルに電流が誘起されて、8 字型コイルの下側コイルには反発力が、上側コイルには吸引力がはたらくことにより、車両は浮上するとともに、車両即ち超電導磁石が左右どちらかに偏ると、対応するコイルのループに電流が誘起されて、車両が近づいた方のコイルには反発力が、車両が離れた方のコイルには吸引力が働くことにより、車両はガイドウェイの中央を走行することになる。

50 【0006】図 7 ( a ) ~ ( d ) は上記コイルピッチを

それぞれ 60 度、72 度、90 度、120 度とした場合の超電導磁石 20 と 8 字型コイル 10 との関係を示す。図において、40 は超電導磁石 20 を左右の側面に取り付けた車両を示すもので、この図は車両 40 を上から見た場合を示している。尚、図示では 8 字型コイル 10 及び超電導磁石 20 は、矢印で示す進行方向に対して左側のみに図示されているが、8 字型コイル 10 及び超電導磁石 20 は右側にも同様に設けられているものとする。図示のように、超電導磁石 20 の N・S 磁極間の 360 度に対して、60 度ピッチの場合は、8 字型コイル 10 は 6 個設けられ、72 度ピッチの場合は、8 字型コイル 10 は 5 個設けられ、90 度ピッチの場合は、8 字型コイル 10 は 4 個設けられ、120 度ピッチの場合は、8 字型コイル 10 は 3 個設けられている ( 図 6 と同じ ) 。

【 0 0 0 7 】

【 発明が解決しようとする課題 】 上述したように推進・浮上・案内兼用コイルの推進・浮上・案内機能により車両を浮上させて走行させる場合、コイルにより定常的な浮上力が発生するが、これと共に車両の走行に伴って各コイル間の間隙や超電導磁石間の間隙により脈動が発生する。この脈動により超電導コイルを収納した低温容器が加振され、このため、超電導コイル及び低温容器が歪んで、場合によっては超電導状態の消失、超電導磁石の破壊に繋がる等の問題があった。また、この超電導磁石は車両重量等の関係で強固なものを製作することが困難であった。また、従来では、コイルピッチを主として 120 度、60 度とした場合について推進・浮上・案内の各性能の最適化についての研究がなされて来たが、上記のような超電導磁石の振動についての問題をコイルピッチと関連させて考える研究は未だ不十分であった。

【 0 0 0 8 】 本発明は、上記の実状に鑑みなされたもので、磁気浮上式移動体システムにおいて、超電導磁石の振動を小さくしながら、かつ良好な推進・浮上・案内性能を得るようにすることを目的としている。

【 0 0 0 9 】

【 課題を解決するための手段 】 上記の目的を達成するために、本発明による磁気浮上式移動体システムは、複数

$$F_{ij} = \ell \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} (-1)^{(m'+1)j} I_L(m) P_{0i}(m') \exp(j2\ell\nu\alpha t) \dots (1)$$

$$m' = m + 2\ell\nu \ell = \tau/\tau_1$$

【 0 0 1 4 】 ここで、 $\ell$  は超電導コイルのピッチ、 $1$  は 8 字型コイルのピッチ、 $I_L(m)$  は 8 字型コイルの電流、 $P_{0i}(m)$  は超電導コイル及び 8 字型コイルの寸法、位置関係による関数である。また、 $2l$  は時間調波成分の次数、 $m$  は空間調波成分を表している。これらの高調波成分は、一般に上記二種類の次数が低い方が大きいので、超電導コイルへの加振力として問題となるのは、 $m = 1$ 、 $\nu = -1$  及び  $m = -1$ 、 $\nu = 1$  の成分である。また、上記式 ( 1 ) は電磁力のみを示すが、モ-

のコイルが配列されると共に、このコイルと対向して複数の磁石が配置された移動体を有し、各コイルに所定の位相差を以って電流を通じることにより移動体を浮上させると共に、浮上した移動体をコイルの配列方向に移動させるようにした磁気浮上式移動体システムにおいて、一对の磁石が作る N 極と S 極の間を 360 度とするとき各コイルを略 90 度ピッチで配置したことを特徴とするものである。

【 0 0 1 0 】 また、本発明による磁気浮上式移動体システムのコイル配置構造は、複数のコイルが配列されると共に、このコイルと対向して複数の磁石が配置された移動体を有し、各コイルに所定の位相差を以って電流を通じることにより移動体を浮上させると共に、浮上した移動体をコイルの配列方向に移動させるようにした磁気浮上式移動体システムにおける前記コイルの配置構造であって、一对の磁石が作る N 極と S 極の間を 360 度とするとき各コイルを略 90 度ピッチで配置したことを特徴とするものである。

【 0 0 1 1 】

【 作用 】 従って、本発明によれば、推進コイル及び / 又は浮上・案内コイル、あるいは推進・浮上・案内を兼用する推進・浮上・案内兼用コイル等の 8 字型コイルのコイルピッチを加振周波数と発生する振動モードとが一致しない 90 度とすることにより、超電導磁石の振動を低減しながら、かつ推進・浮上・案内の各性能を最適化することができる。

【 0 0 1 2 】

【 発明の実施の形態 】 以下、本発明の実施の形態を図面と共に説明する。まず、前述した超電導磁石の振動について述べる。超電導磁石を構成する超電導コイルが  $x = j$  ( $j = \dots - 1, 0, 1 \dots$ ) の位置にあるとき、各超電導コイルに作用する電磁力  $F_{ij}$  ( $i = x, y, z$ ) は、フーリエ級数を用いた解析手法により以下のように表される。

【 0 0 1 3 】

【 数 1 】

メントに関しても略同様な式となる。

【 0 0 1 5 】 上記式 ( 1 ) から、超電導コイルへの加振力の特徴は、その振動周波数が  $2l$  に比例すること、隣り合うコイルの加振力が  $2l =$  奇数のとき逆位相、 $2l =$  偶数のとき同位相であることが分かる。このことを表 1 に示す。

【 0 0 1 6 】

【 表 1 】

超電導コイル加振力の特徴

コイル ピッチ	次数	加振周波数	隣接コイル 加振力
60 度	6 次	62-309Hz	同位相
72 度	5 次	51-257Hz	逆位相
90 度	4 次	41-206Hz	同位相
120 度	3 次	31-154Hz	逆位相

【0017】表1は超電導磁石の極ピッチを1.35 m、車両速度を100～500 km/hとした場合における各コイルピッチに対する加振周波数と隣接コイルの加振力の位相を示している。

【0018】また、超電導磁石の振動は、磁石全体の振動モードに関係する。図1は左右方向を例として、超電導磁石全体に作用する加振力及びそのときの振動モードの関係を示すものである。図1において、50は超電導コイルを収納する低温容器であり、図示では低温容器50を上から見た場合の加振力による左右の歪みの様子を示している。この低温容器50には、4個の超電導コイルC1、C2、C3、C4が収納固定されている。

【0019】同図(a)は、次数が3次、5次の奇数次の場合における左右方向の加振力を矢印で示している。図示のように、隣り合うコイルの加振力は逆相となっており、このため、低温容器50は大きく歪んでいる。(b)は、奇数次の場合におけるヨーモーメントを示す。図示のように、隣り合うコイルで反対方向のモーメントが作用し、低温容器50は大きな曲げピッチで歪んでいる。

【0020】(c)は、4次、6次の偶数次の場合における左右方向の加振力を矢印で示している。図示のように、隣り合うコイルの加振力は同相となっており、このため、低温容器50は歪み難くなっている。(d)は、偶数次の場合におけるヨーモーメントを示す。図示のように、隣り合うコイルで同方向のモーメントが作用し、低温容器50は小さい曲げピッチで歪んでいる。曲げピッチが小さい場合は、そのモードにおける共振周波数が高くなっている。

【0021】図1からコイルピッチが奇数次の場合は、2次曲げ、3次曲げ等、比較的低い周波数の振動モードが発生し易く、また、コイルピッチが偶数次の場合は、並進モードも見られるが、極ピッチ程度の波長で高い周波数の振動モードが発生し易いことが分かる。

【0022】以上のことから、超電導磁石の振動を低減するためには、加振周波数と発生する振動モードとが一致しないようなコイルピッチを選択すれば良いことが分かる。例えば、90度ピッチを選択した場合、90度ピッチは偶数次であるので、高い共振周波数の振動モードを発生する加振力であるのに対してその加振周波数は低くなっている。

【0023】図2は、各コイルピッチにおいて、加振力を用いて計算した4個の超電導コイルが低温容器に収納

される超電導磁石の振動応答の計算例を示すもので、4個の超電導コイルのうち、進行方向の先頭から1番目及び3番目の超電導コイルC1、C3における各6点の最大振動加速度をそれらの最大値で規格化した値で示したものである。

【0024】この図2から、超電導磁石振動は、(a)の120度ピッチが150 Hz弱、(b)の90度ピッチが150 Hz強、(c)の72度ピッチが230 Hz弱、(b)の60度ピッチが300 Hz強で最大となり、その値は、120度>72度>90度>60度の順となり、隣接コイルの加振力が逆位相となる奇数次のコイルピッチにおいて大きいことが分かる。特に、120度ピッチの150 Hz弱の振動は非常に大きい値である。尚、超電導磁石振動により発生する熱負荷は、超電導コイルが剛体モードの場合に小さく、弾性モードの場合に大きく、200 Hz以上の加振周波数では超電導コイルが弾性モードとなるので、その周波数成分を持つ72度ピッチ、60度ピッチでは、超電導磁石振動は小さくても、熱負荷が大きくなる可能性がある。以上説明したことから、超電導磁石振動に対するコイルピッチとしては90度ピッチが最適であると考えられる。

【0025】次に推進・浮上・案内の各性能を最適にするコイルピッチについて説明する。ここでは、上記各性能を最適化する諸元及びそのときの特性を最適化計算によるシミュレーションにより求めて比較検討することにする。まず、基本的な検討条件を次に示す。

- (1) 超電導コイルの諸元は一定とする。
- (2) 8字型コイルの単位長さ当たりの導体量を一定とする。
- (3) 8字型コイルは、各コイルの高さ、導体幅、導体厚さを任意とし、長さを単層配置できるものとする。
- (4) 実空隙を一定とする。
- (5) 車両を支持するための必要な浮上力が得られるものとする。
- (6) 浮上の安定性を確保するために必要な等価案内ばね及び等価ロールばねが得られるものとする。
- (7) 浮上に伴う磁気抵抗力、その他の走行抵抗及び加速余裕の和で表される必要推力が得られるものとする。

【0026】計算に当たっては、表2に示す全体システムとコイル諸元からなる検討条件を用いる。

【0027】

【表2】

7  
検討条件

全体システム	巡航速度	500km/h
	浮上開始速度	100km/h
	浮上力	230kN/両
	案内ばね	1MN/m/両
	ロールばね	3MNm/rad/両
超電導コイル	極ピッチ	1.35m
	寸法	1.07x0.5m
	起磁力	700kA
8字型コイル	導体量	0.015m <sup>3</sup> /m

【0028】尚、表2の検討条件は前述した超電導磁石振動の説明においても用いられている。また、図3に示すように8字型コイル10は、上下部分で形成されるが、上部分の高さ $h_1$ と下部分の高さ $h_2$ とが同じ対称コイルと、 $h_1$ と $h_2$ とが異なる非対称コイルについてそれぞれ検討するものとする。

【0029】まず、浮上案内特性について検討する。案内系を最適化したときの例として、各コイルピッチにおいて、浮上開始速度の等価安定ばね又は等価ロールばねを最大化したときのコイル高さ及び上記各ばね定数を図4に示す。同図(a)は各コイルピッチにおける等価案内ばねを示し、同図(b)は各コイルピッチにおける等価ロールばねを示す。尚、図4(a)における上下コイル(対称)のコイル高さ(同図における○-のプロット)は、下コイル(非対称)のコイル高さ(同図における- -のプロット)に重なっている。尚、60度ピッチ対称コイルは、(b)に示すように等価ロールばねを大きくしたときでも、必要な等価ロールばねが得られず、表2の条件を満たす諸元が存在しなかった。

【0030】図4から、等価案内ばね、等価ロールばねは90度ピッチが最大であり、案内系については、90度ピッチが最適であることが分かる。また、コイルピッチに関係なく、下コイルの高さが大きい非対称コイルが対称コイルより各性能が優れていることが分かる。特に、等価ロールばねの場合にその著しい。また、60度ピッチでは、等価案内ばね、等価ロールばね共検討条件の限界にあり、設計の裕度が小さい。

【0031】次に、推進特性について検討する。推進系を最適化したときの例として、各コイルピッチにおいて推力一定として巡航速度の皮相電力を最小化したときのコイル高さ及びリニアモータの効率×力率を図5(a)に示す。また、浮上推進系を最適化したときの例として、各コイルピッチにおいて、磁気抗力を含む推力に対して巡航速度の皮相電力を最小化したときのコイル高さ及び皮相電力を同図(b)に示す。

## 8

【0032】図5(a)から、リニアモータの効率×力率は、90度ピッチが最大であり、推進系については90度ピッチが最適であることが分かる。また、同図(b)から、磁気抗力を考慮した場合の皮相電力も90度ピッチが最小であり、浮上推進系についても90度ピッチが最適であることが分かる。さらに、コイルピッチに関係なく、下コイルの高さが大きい非対称コイルが対称コイルより各性能が優れていることが分かる。

【0033】以上説明したことを整理すると次の検討結果を得ることができる。

(1) 超電導磁石の振動については、隣接コイルの加振力が同位相となる90度ピッチが有利である。

(2) 推進・浮上・案内の基本性能に関する最適化計算によれば、推進案内系、推進浮上系共90度ピッチが有利である。

(3) 各コイルピッチの各性能において、下コイルが大きい非対称コイルが有利である。

## 【0034】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、磁気浮上式移動体システムにおいて、8字型コイル等の推進コイル及び/又は浮上案内コイルの超電導磁石に対するコイルピッチを略90度としたことにより、超電導磁石の振動を小さくしながら、かつ推進・浮上・案内の各性能を最適化することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 超電導磁石に作用する加振力と振動モードを模式的に示す構成図である。

【図2】 各コイルピッチにおける振動応答計算例を示すグラフである。

【図3】 8字型コイルを示す構成図である。

【図4】 各コイルピッチにおける等価案内ばね及び等価ロールばねを示すグラフである。

【図5】 各コイルピッチにおけるモータ効率、力率及び皮相電力を示すグラフである。

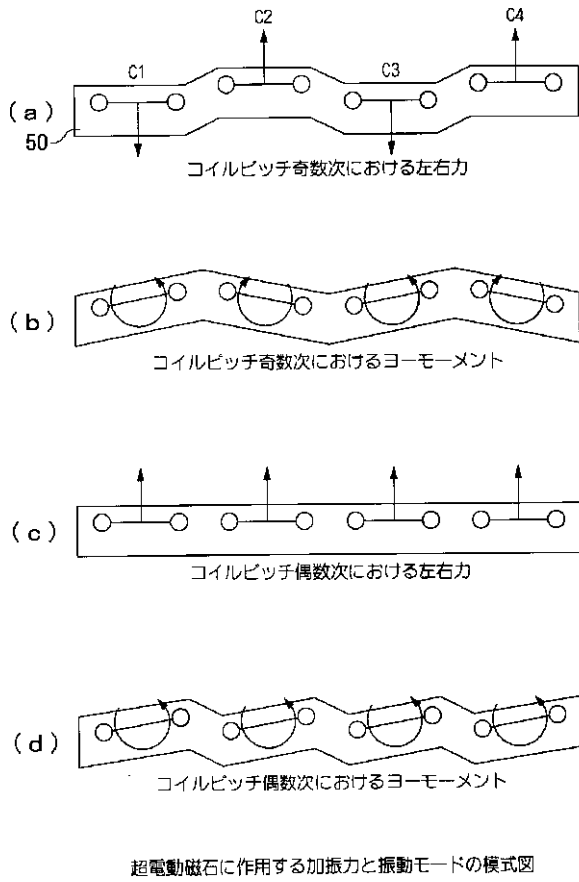
【図6】 従来の磁気浮上式移動体システムにおけるコイルピッチ120度の場合の8字型コイルと超電導磁石との関係を示す構成図である。

【図7】 従来の磁気浮上式移動体システムの各コイルピッチにおける8字型コイルと超電導磁石との関係を示す構成図である。

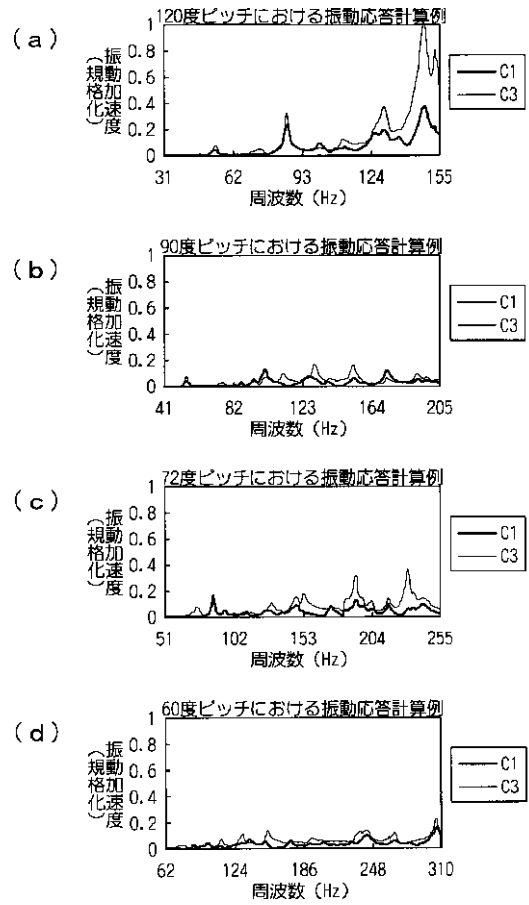
## 【符号の説明】

10 8字型コイル                      20 超電導磁石  
30 ヌルフラックス線              C1, C2, C3, C4  
超電導コイル  
40 車両                                  50 低温容器

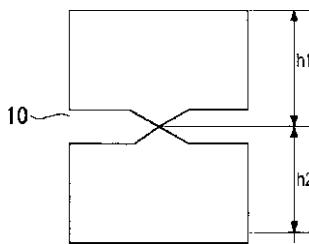
【 図 1 】



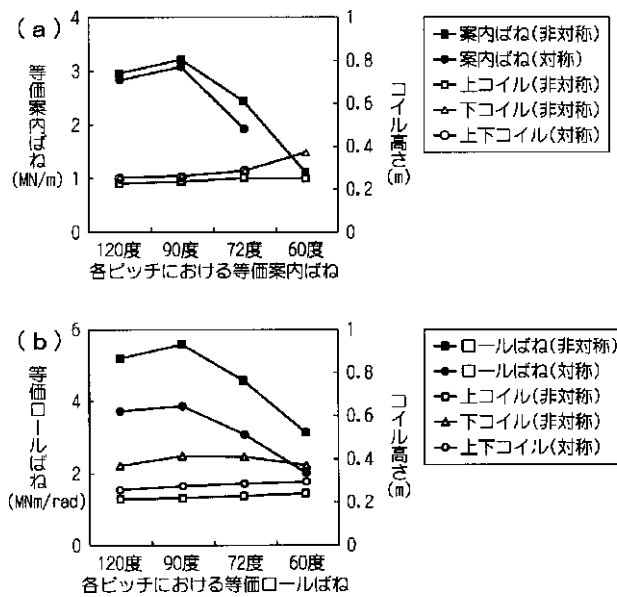
【 図 2 】



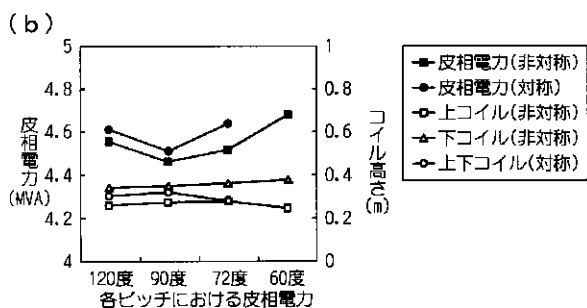
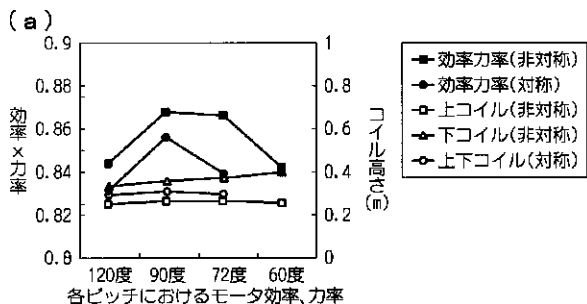
【 図 3 】



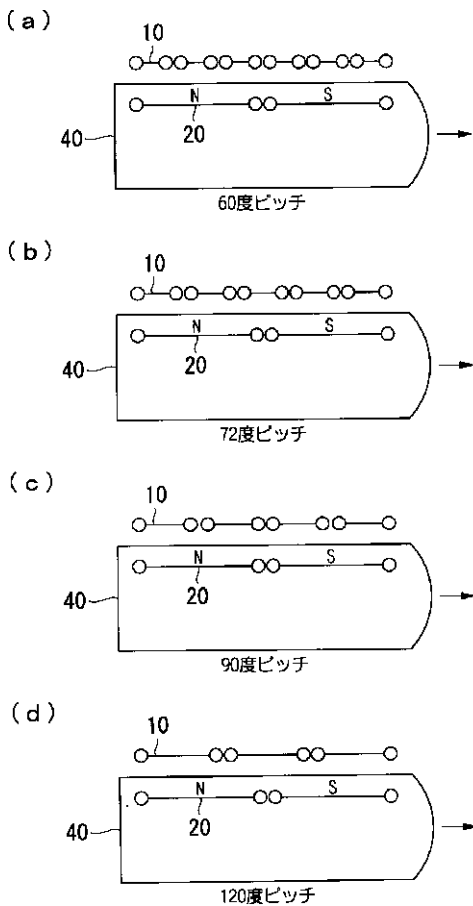
【 図 4 】



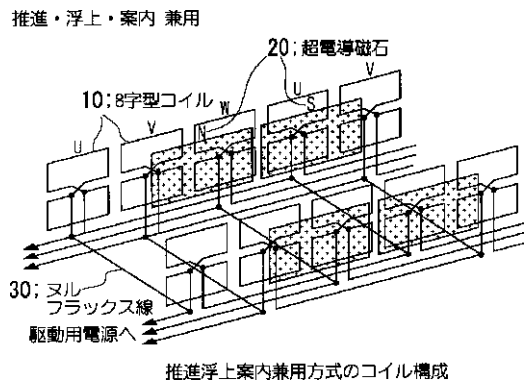
【図5】



【図7】



【図6】



推進浮上案内兼用方式のコイル構成

フロントページの続き

(72)発明者 岩松 勝  
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地38 財団  
法人鉄道総合技術研究所内

(72)発明者 藤本 健  
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地38 財団  
法人鉄道総合技術研究所内

(72)発明者 笹川 卓  
東京都国分寺市光町二丁目 8 番地38 財団  
法人鉄道総合技術研究所内

F ターム(参考) 5H113 AA05 BB08 CC01 CC08 CD01  
DA06 DB09 DB14 DB19 DC09  
DC19