

(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2005-151753
(P2005-151753A)

(43) 公開日 平成17年6月9日(2005.6.9)

(51) Int. Cl.⁷
H02K 41/03

F I
H02K 41/03 A

テーマコード(参考)
5H641

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2003-388507 (P2003-388507)
(22) 出願日 平成15年11月18日(2003.11.18)

(71) 出願人 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人 100086287
弁理士 伊東 哲也
(72) 発明者 内田 真司
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内
Fターム(参考) 5H641 BB06 BB10 GG02 GG07 HH03
HH12 JA13

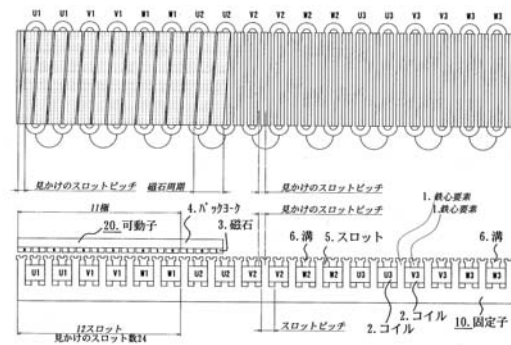
(54) 【発明の名称】 リニアモータ

(57) 【要約】

【課題】 有鉄心の可動磁石型リニアモータにおいてコギングを実質的にゼロにし、発熱特性を向上させる。

【解決手段】 一定のスロット間隔で配列された複数の鉄心要素1を有する固定子10と、該鉄心要素の配列方向に移動可能な磁石3を有する可動子20とを備えた可動磁石型リニアモータにおいて、各スロット5間に単数または複数の擬似スロット6を形成し、概ね該擬似スロットを含めた見かけのスロット間隔だけ前記鉄心要素と前記磁石とを相対的にスキューさせたことを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一定のスロット間隔で配列された複数の鉄心要素を有する固定子と、該鉄心要素の配列方向に移動可能な磁石を有する可動子とを備えた可動磁石型リニアモータにおいて、

各スロット間に単数または複数の擬似スロットを設け、概ね該擬似スロットを含めた見かけのスロット間隔だけ前記鉄心要素と前記磁石とを相対的にスキューさせたことを特徴とする可動磁石型リニアモータ。

【請求項 2】

前記擬似スロットは、前記鉄心要素の前記磁石に対面する端面に持たせた前記配列方向の磁気抵抗の変化により形成されたものであることを特徴とする請求項 1 に記載の可動磁石型リニアモータ。

10

【請求項 3】

前記擬似スロットは、前記鉄心要素の前記磁石に対面する端面に前記スロットと平行に設けられた溝であることを特徴とする請求項 1 に記載の可動磁石型リニアモータ。

【請求項 4】

前記移動方向において前記溝の前記移動方向における長さが前記スロットの前記移動方向における長さより短いことを特徴とする請求項 3 に記載の可動磁石型リニアモータ。

【請求項 5】

前記溝が複数形成されており、該溝の間隔は前記見かけのスロット間隔と異なることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の可動磁石型リニアモータ。

20

【請求項 6】

前記溝の間隔は前記見かけのスロット間隔より大きいことを特徴とする請求項 5 に記載の可動磁石型リニアモータ。

【請求項 7】

前記スロットおよび擬似スロットは、前記配列方向と直交方向に形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の可動磁石型リニアモータ。

【請求項 8】

前記鉄心要素との対向面における前記磁石の極性反転の間隔と前記スロットの間隔との比が奇数対偶数の関係にあることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 つに記載の可動磁石型リニアモータ。

30

【請求項 9】

前記磁石の極性反転の間隔が前記スロットの間隔より長いことを特徴とする請求項 8 に記載の可動磁石型リニアモータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、工作機械や半導体製造装置などの精密な駆動に用いられるリニアモータに関する。

【背景技術】

【0002】

工作機械や半導体製造装置などの精密な駆動にリニアモータが多用されている。工作機械や半導体製造装置などでは駆動精度が要求されると同時に生産性向上のため大推力であること、可動部が軽量であることが要求される。

40

【0003】

図 20 に特許文献 1 に開示された従来のリニアモータを示す。ベース上に電機子鉄心およびその鉄心に巻きまわされたコイルが固定され、これがリニアモータの固定子を形成している。その固定子の上面と空隙を介して対面するように駆動軸方向に並べられた複数の磁石からなる磁石列およびその磁石列を一体に連結する連結部材が設けられ、磁石列と連結部材でリニアモータ可動子を構成している。リニアモータ可動子は不図示のガイドでガイドされた不図示のステージに固定されそのステージを駆動軸方向に駆動するようになっ

50

ている。コイルを有鉄心とすることで大推力を図っている。

【0004】

また、可動子を磁石ユニットとすることで可動子の軽量化を図っている。可動子をコイルユニットで構成した場合はコイルを大型化してアンペアターンを稼ごうとすると可動子の質量が増加するが可動子を磁石ユニットで構成した場合はコイルを大型化してアンペアターンを稼いでも可動子の質量は全く不変だからである。

【0005】

有鉄心のリニアモータには磁石と鉄心の吸引力に起因するいわゆるコギングが存在する。コギングは電流の有無に関わらず発生する外乱であり装置の位置精度を劣化させる。また駆動のために余分な電流が必要になり発熱を増加させる。

10

【0006】

コギング低減対策として、可動磁石に補極を設けてみかけ上のコギングを相殺する方法や、リニアモータを複数ユニット設けて互いの位相をずらす方法などが提案されているが、所詮はコギングのある周波数成分を除去するだけに過ぎない。また、特許文献2に記載されたように電機子鉄心や磁石にスキュー角度をつける方法も提案されているが、コギングのある周波数成分を除去するだけに過ぎず、またそのスキューがコイルに鎖交する磁束の低下を招き、入力電流に対する推力の発生効率を低下させて発熱を増加させる。

【特許文献1】特開平11-308850号公報

【特許文献2】特開平2-246761号公報

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は、上述の従来技術における問題点を鑑みてなされたもので、有鉄心の可動磁石型リニアモータにおいてコギングを実質的にゼロにし、発熱特性を向上させたりニアモータを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するため本発明では、一定のスロット間隔で配列された複数の鉄心要素を有する固定子と、該鉄心要素の配列方向に移動可能な磁石を有する可動子とを備えた可動磁石型リニアモータにおいて、各スロット間に単数または複数の擬似スロットを形成し、概ね該擬似スロットを含めた見かけのスロット間隔だけ前記鉄心要素と前記磁石とを相対的にスキューさせたことを特徴とする。

30

【0009】

前記擬似スロットは、例えば、前記鉄心要素の前記磁石に対面する端面に持たせた前記配列方向の磁気抵抗の変化により形成されるもの、または前記鉄心要素の前記磁石に対面する端面に前記スロットと平行に設けられた溝である。

本発明において、「見かけのスロット間隔」とは、スロット間隔を(擬似スロットの数+1)で除算した値である。「概ね見かけのスロット間隔」とは、擬似スロットを複数設けた場合には、見かけのスロット間隔および擬似スロット同士間の寸法ならびにこれらの間の寸法を意味する。なお、本発明においても、間隔、寸法、平行、直交方向等の用語が、通常の製作誤差の範囲内のもの等、通常の知識で均等の範囲にあると判断されるものを含むことは勿論である。

40

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、各スロット間に擬似スロットを設けて、見かけのスロット間隔、すなわちコギング周期を短くし、かつ磁石と鉄心要素とをほぼコギング周期だけスキューさせている。これにより、有鉄心の可動磁石型リニアモータにおいてコギングを実質的にゼロにし、発熱特性を向上させたりニアモータを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

50

本発明の好ましい実施の形態に係る第1のリニアモータは、固定子に一定間隔に並列する鉄心要素を有する可動磁石型リニアモータにおいて、磁石に対面する鉄心要素の端面に進行方向に沿って磁気抵抗の変化を有し、磁石の両端を進行方向における磁気抵抗の変化のピッチの間隔だけずらしたことを特徴とする可動磁石型リニアモータである。

【0012】

また、本発明の好ましい実施の形態に係る第2のリニアモータは、固定子に一定間隔に並列する鉄心要素を有する可動磁石型リニアモータにおいて、磁石に対面する鉄心要素の端面に進行方向に対して直角方向に沿った溝を有し、磁石の両端を進行方向において見かけのスロットピッチの間隔だけずらしたことを特徴とする可動磁石型リニアモータである。

10

【0013】

この第2のリニアモータは、例えば、鉄心要素端面の進行方向における中央の位置に溝を1筋有し、進行方向におけるスロット長さより溝長さが短いものである。

または、鉄心要素端面の進行方向に溝を複数筋有し、この鉄心要素の端面にある溝の位置は、見かけのスロットピッチの間隔よりわずかにずれた位置にあるものである。鉄心要素端面に溝を2筋有する場合、この2筋の溝の間隔は見かけのスロットピッチより長く、進行方向におけるスロット長さより溝長さが短いことが好ましい。

【実施例】

【0014】

以下、本発明の実施例を図面を参照しながら説明する。

20

[第1の実施例]

図1は本発明の第1の実施例に係る可動磁石型リニアモータの構成を示す。

図1のリニアモータは、不図示のベース上に一定間隔で鉄心要素1が並列し、その鉄心要素1にコイル2を巻回して電機子鉄心を形成して、これらが一体に連結されてリニアモータの固定子10を形成している。その固定子10の上面と空隙を介して対面するように駆動軸方向に並べられた複数の磁石3からなる磁石列および磁石列の磁束を循環させるバックヨーク4が設けられ磁石列とバックヨークでリニアモータ可動子20を構成している。リニアモータ可動子は不図示のガイドでガイドされた不図示のステージに固定され、このステージを駆動軸方向に駆動するようになっている。コイルを有鉄心とすることで大推力を図っている。

30

【0015】

また、可動子20を磁石ユニットとすることで可動子の軽量化を図っている。可動子をコイルユニットで構成した場合は、コイルを大型化してアンペアターンを稼ごうとすると可動子の質量が増加するが、可動子を磁石ユニットで構成した場合は、コイルを大型化してアンペアターンを稼いでも可動子の質量は全く不変だからである。

【0016】

本実施例では駆動方向の寸法において、可動磁石11極分の寸法と(固定子鉄心歯1およびスロット5)12個分の寸法とが一致し、かつ固定子鉄心歯およびスロット12個で3相の1ユニットを構成するといういわゆる11極12スロットの構成になっている。本明細書では固定子にある一定間隔で並ぶ鉄心要素の間の空間のことを『スロット』と呼ぶことにする。スロットは電機子鉄心にコイルを巻回するための空間である。また、スロットのピッチをスロット間隔と呼ぶことにする。

40

【0017】

固定子コイルはUVWの3相構成である。隣り合うコイル2個ずつが直列または並列に接続されてUVW3相のうち1相、例えばU相を構成している。図1の例ではスロット数が36であり、2つのスロットを用いて1つのコイルが巻回されて、隣り合うコイル2個ずつが直列または並列に接続されて、UVWの3相ユニットが3組設けられており、例えばU相ならU1、U2、U3と命名されている。U1、U2、U3は電気角は同位相または逆位相であるが磁石と対面しているときだけ通電されるようになっていて同時には通電しない。磁石の移動とともに切り替えて使用される。これはV相、W相も同様である。

50

一方、可動磁石は14極で構成されている。主に推力に寄与するのはこのうちの11極であり、後の3極はコイル切り替え時の受け渡しのために存在している。

【0018】

図2に可動磁石位置と通電されるコイルの関係を示す。通電されるコイルがコイルを示す四角の中にxを付して示されている。基本的に同じ相のコイルは同時に通電されることはないが、図2では同時に4相分のコイルが通電状態になっているところがある。これはコイル切り替え位置であり、この状態では切り替えられるコイルの電流はゼロである。つまり、同じ相のコイルを電流ゼロの状態でも切り替えている。電流の制御方法は一般的な正弦波駆動であり磁束ベクトルと電流ベクトルが直交するように制御される。このように正弦波駆動とコイル切り替えを同時に行いながら推力を発生する。

10

【0019】

先に、U1、U2、U3は、同位相または逆位相と説明したが、U1、U3が同位相、U2が逆位相になっている。これは本実施例の構成が11極12スロット構成であること、極スロット表現における極の数が奇数であることに起因している。1極は磁石の電気角180度に相当するので極スロット表現において極が奇数ならばある3相ユニットと次の3相ユニットの相関係は逆になるからである。

【0020】

次に、図1および図2のリニアモータにおける固定子の鉄心要素の構成について説明する。

固定子に一定間隔で並列する鉄心要素1には、可動子の磁石列に対面する端面に進行方向に対して直交するように溝6を入れる。このような構成にすることで、コギングの周期を小さくすることが本実施例の特徴のひとつである。本実施例では、一本の鉄心要素1の端面の中央に一筋の溝6が入っている。

20

【0021】

実際、端面に入れる溝の本数は何本でも良いが、溝を入れる位置は『隣り合うスロットと溝の間隔』と『隣り合う溝と溝の間隔』を概ね等しくする。本明細書では、概ね等しい間隔で並ぶ複数のスロットと複数の溝のピッチを『見かけのスロットピッチ（または見かけのスロット間隔）』と呼ぶことにする。鉄心要素端面に溝が入るスペースを設けるために、鉄心要素の進行方向の寸法はコイルが巻回される部分よりも溝が入る端面の部分のほうが長くなっている。

30

【0022】

このような構成にすることで、可動子20の磁石列から固定子10の鉄心要素を見て、実際のスロット数よりも見かけのスロット数を多くあるように見せる。本実施例では、可動子磁石11極に対して、固定子の見かけのスロット数は24個である。通常、可動磁石型リニアモータでは回転型モータと違って、可動子は進行方向における前方と後方に端を持っているので、この端の効果によって可動子が移動するときコギングはスロットのピッチを周期とした高周波を含んだ周期関数で現れる。図3に可動子位置とコギングの関係を示す。

また、比較として図4に鉄心要素端面に溝がない可動磁石型リニアモータの構成図(b)とコギング波形(a)を示す。溝がない場合コギング波形はスロットピッチを周期とする周期関数であり、溝がある場合コギング波形は概ね見かけのスロットピッチを周期とする周期関数となる。

40

【0023】

鉄心要素の端面に溝を入れることで、コギング波形の周期を概ね見かけのスロットピッチに小さくすることができるが、実際にはコギング波形の周期を見かけのスロットピッチと等しくするためには、図5に示すようなスロット長さや溝長さに微小な調整が必要である。それはスロットから磁石へのパーミアンスと溝から磁石へのパーミアンスの大きさが異なるためである。コギング波形の周期を見かけのスロットピッチと等しくするためには、両者のパーミアンスを等しくすることが必要である。本実施例においては可動子の駆動方向におけるスロット長さや溝長さは等しくない。

50

【0024】

比較として、図6にスロット長さと同長さが等しい時のコギング波形を示す。このときコギング波形の周期はスロットピッチで出ている。スロット長さよりもわずかに溝長さを短く調整すると、図3に示すようにコギング波形の周期は概ね見かけのスロットピッチと等しく現れる。但し、リニアモータ可動子が前進しても後退しても同様のコギング波形を現すようにするために、図5に示すように鉄心要素の形状は常に中心線に対して対称な形状とする。

【0025】

鉄心要素の端面に溝を入れることは、コギング波形の高調波成分を増やすことが目的ではない。コギング波形の周期を小さくすることが目的であり、コギング波形を周期の小さい略周期関数にすることで、本発明の効果を達成することができる。このことは、以下に述べる可動子の磁石列のスキューに関連する。

10

【0026】

次に可動子の磁石列について説明する。

図7の上面図はバックヨークを除去した状態を示している。可動子の磁石列を構成する各々の磁石が平行四辺形形状になっており、両端で見かけのスロットピッチ分だけずれるように構成されている。いわゆる磁石にスキューをつけているのであるが、このスキューが磁石の両端で見かけのスロットピッチ分だけずれるようになっている。これが本実施例の特徴のひとつである。ずれ量はこれより大きくても小さくてもコギングは増加する。可動磁石型リニアモータにおける磁石両端でのずれ量が見かけのスロットピッチと略一致しているときだけコギングは略ゼロになる。また磁石の幅は鉄心の幅と同じかそれよりもやや小さくなっている。これも本実施例の特徴である。

20

【0027】

前述のように鉄心要素の端面に一筋の溝が入っていて磁石列にスキューが無い場合、可動子位置とコギングの関係は図3のようになる。概ね見かけのスロットピッチを周期とした周期関数で高調波を含んだものである。

図1の可動子20の磁石3は図8のような短冊状の磁石の集まりで磁石ユニットを構成したものである。短冊の幅が十分小さいもので近似することができる。すると、各短冊状磁石系のコギング波形は磁石列にスキューがない場合のコギング波形と同じで位相だけがずれたものとなる。よって、可動子全体のコギング波形は磁石列にスキューがない場合のコギング波形を位相（見かけのスロットピッチを周期とする電気角における位相）を少しずつずらして合成したものとなる。図8では図1の磁石3を20個の短冊状磁石に分割して近似した場合を示している。

30

【0028】

本実施例では磁石の両端を見かけのスロットピッチだけずらしているため短冊1と短冊20の、見かけのスロットピッチを周期とする電気角における位相が略同じである。つまり、短冊1と短冊20のコギング波形は略同じである。位相を少しずつずらして合成するという行為において、位相を0度から360度まで少しずつずらすと、合成された波形はいたるところゼロになる。なぜなら、位相を0から360度までずらして足すので、どの位置でも元のコギング波形を1周期分だけ足し合わせることになるからである。そして、本実施例の特徴である磁石の両端で見かけのスロットピッチ分だけ磁石をずらすことで、短冊1と短冊20のコギング波形の位相が略同一になり、コギングの位相を0から360度まで少しずつずらして合成することが本実施例の構成によって実現できる。この辺の事情が図9に示してある。図9における各短冊のコギング振幅は図3の振幅の1/20である。実際には短冊の幅は無限に小さいので各位置におけるコギングはコギング波形1周期を積分したものになりどの位置においてもコギングはゼロとなる。

40

【0029】

次に磁石幅と鉄心幅の関係について説明する。まず磁石幅 > 鉄心幅の場合、鉄心より外側の磁石部分と鉄心の歯の側面付近の相互作用によるコギングが存在しコギングを増加させる。これは好ましくない。磁石幅 = 鉄心幅の場合は本発明の意図どおりコギングは略ぜ

50

口となる。しかし磁石と鉄心には組み立て誤差が存在するので同一幅で設計しても実際には磁石とコイルはずれて組み立てられる。すると磁石と鉄心が重なっている部分におけるコギング合成は0から360度の合成からずれてコギングを発生する。また磁石が鉄心からはみ出ている部分自体も別のコギングを発生する。よって磁石幅と鉄心幅を同一にするのも好ましくない。図7に強調して示したように磁石幅を鉄心幅より少し小さく設計してかつ磁石両端でのずれが見かけのスロットピッチと一致させるのが好ましい。このようにすると組み立て誤差を(鉄心幅 - 磁石幅) / 2より小さくしておけば磁石は鉄心からはみ出さず、合成されたコギングは略ゼロとすることが出来る。この方法では元のコギング波形がどんな高調波を含んでいようとも1周期を積分するので原理的にほぼコギングゼロが達成できる。

10

【0030】

次に推力について説明する。推力は一つのコイルの鎖交磁束に比例する。磁石列にスキューがない場合、一つのコイルの鎖交磁束は図10に示すように磁石周期を周期とする略正弦波となる。

本実施例において、磁石列を両端で見かけのスロットピッチ分のスキューをつけた場合の鎖交磁束はどうなるか。やはり図8で想定した短冊状磁石系の合成で考えられる。一つの短冊状磁石による一つのコイルに対する鎖交磁束は図10の波形を1/20倍して位相をずらしたものである。本構成における一つのコイルに対する鎖交磁束は全ての短冊状磁石によるそのコイルに対する鎖交磁束の合成である。この考え方はコギングを考える場合と同じである。しかしコギング波形は見かけのスロットピッチを周期とする略周期関数であったのに対して、鎖交磁束波形は磁石周期を周期とする周期関数である。従って見かけのスロットピッチだけのずれ量は見かけのスロットピッチを基準とする電気角においては360度になるが、磁石周期を基準とする電気角では360度にはならない。この辺の事情が図11に示されている。図11はサイン波をずらして合成しているが、合成されるサイン波の位相差が周期の半分以下であることを示している。この事情により合成されたコギングはゼロになる。しかし、合成された鎖交磁束ひいては推力は減少するがゼロにならず大きな値にとどまることが出来る。

20

【0031】

もう少し具体的に説明すると、11極12スロット見かけのスロット24個構成では見かけのスロットピッチ分のずれ量は磁石周期を基準とする電気角では $180 \times 11 / 24 = 82.5$ 度である。よって従来例における一つのコイルの鎖交磁束を振幅1のサイン波とする(実際これで十分精度のよい近似になっている)と、本実施例の構成における一つのコイルの鎖交磁束の振幅は $= -82.5 / 2$ 度から $= +82.5 / 2$ 度まで \cos を平均したもの、換言すると $= -82.5 / 2$ 度から $= +82.5 / 2$ 度まで \cos を積分して82.5度で割ったものとなる。これは正確に計算できて約0.92である。つまり本実施例の構成によればコギングはほぼゼロとなり、推力は磁石列にスキューがない場合に比べて0.92倍にとどまることが出来る。

30

【0032】

参考までに、可動コイル型の有鉄心リニアモータで固定側の磁石にスキューを設けるのは一般的な技術である。しかし、本実施例の構成は可動磁石型リニアモータのみで有効であり、可動コイル型リニアモータには通用しない。なぜなら可動磁石型リニアモータにおいてのみコギング波形の周期と鎖交磁束の周期が独立に設計でき、可動コイル型リニアモータではコギング周期と鎖交磁束の周期が必ず一致するからである。

40

【0033】

可動コイル型リニアモータにおいてはコギングも磁石の周期で発生するので本実施例の考えをそのまま適用しようとする磁石の両端のずれ量を磁石周期だけずれるようにしなければならない。こうすると確かにコギングはほぼゼロになるが同時に鎖交磁束も平均化されてどの位置でもゼロになってしまい、モータとして機能しなくなる。つまり、可動コイル型の有鉄心リニアモータではコギング低減の程度と推力低下の程度が同じであり、大きなスキューはつけたくてもつけられないのである。よって可動コイル型リニアモータに

50

おける磁石のスキューではコギングをなくすことは出来ず推力低下を犠牲にしてコギングの高調波成分を除去するのにとどまっている。

【0034】

鉄心要素端面に溝をつけて見かけのスロット数を増やし、コギング波形の周期を小さくするのは、可動子の磁石列のスキュー量（磁石周期を基準とする電気角でのスキュー量）を少なくするためである。磁石列を両端で見かけのスロットピッチ分ずらすことでコギングを略ゼロにすることができるので、磁石列のスキュー量は見かけのスロットピッチによって決定する。見かけのスロットピッチを小さくすることで磁石列のスキュー量が小さくてよく、スキューによる鎖交磁束の低下率を小さくすることができる。本実施例では、電機子端面に一筋の溝を入れて、実際のスロット数よりも見かけのスロット数を2倍にして、コギング波形の周期を1/2にしているが、溝の本数はこれに限らない。溝を入れる本数が多いほどコギング波形の周期を小さくすることができ、磁石列のスキュー量が小さくて良く、スキューによる鎖交磁束の低下率を小さくすることができる。鎖交磁束の低下率を小さくするということは、リニアモータが推力を発生させるときの発熱量が少なくて済むので、リニアモータの発熱特性の劣化を抑制するということである。

10

【0035】

図12のように固定子で可動子を挟み込む構成も可能である。この場合には上側の磁石と下側の磁石で傾斜をX字状の関係にして固定子にモーメントが作用しないようにするのが望ましい。

また、本実施例は11極12スロット見かけのスロット数24個の構成で示したが、本発明はいかなる極スロットの構成にも適用可能である。コギングをゼロにしたとき大きな推力を得るには見かけのスロットピッチと磁石周期の寸法差が大きいことが望ましい。

20

【0036】

[第2の実施例]

図13に第2の実施例に係るリニアモータの構成を示す。

第1の実施例との違いは、鉄心要素の形状と磁石列の形状配置だけでその他の構成や基本設計は同じである。

まず、固定子の鉄心要素の構成について説明する。

固定子10に一定間隔で並列する鉄心要素1には、可動子20の磁石列に対面する端面に進行方向に対して直交するように溝6を入れる。このような構成にすることで、コギングの周期を小さくすることが本実施例の特徴のひとつである。

30

本実施例では、一本の鉄心要素1の端面の中央に2筋の溝6が入っている。実際、端面に入れる溝の本数は何本でも良いが、溝の入る位置は『隣り合うスロットと溝の間隔』と『隣り合う溝と溝の間隔』を概ね等しくなる位置にする。このとき、概ね等しい間隔で並ぶ複数のスロットと複数の溝のピッチを『見かけのスロットピッチ』と呼ぶことにする。鉄心要素端面に溝が入るスペースを設けるために、鉄心要素の進行方向の寸法はコイルが巻回される部分より溝が入る端面の部分のほうが長くなっている。

【0037】

このような構成にすることで、可動子の磁石列から固定子の鉄心要素を見て、実際のスロット数よりも見かけのスロット数を多くあるように見せる。本実施例では、可動子磁石11極に対して、固定子の見かけのスロット数は36個である。通常、可動磁石型リニアモータでは回転型モータと違って、可動子は進行方向における前方と後方に端を持っているので、この端の効果によって可動子が移動するときコギングはスロット5のピッチを周期とした高周波を含んだ周期関数で現れる。図14に可動子位置とコギングの関係を示す。図4に示すように溝がない場合コギング波形はスロットピッチを周期とする周期関数であり、図14(a)に示すように溝がある場合コギング波形は概ね見かけのスロットピッチを周期とする略周期関数となる。

40

【0038】

鉄心要素の端面に溝を入れることで、概ねコギング波形の周期を見かけのスロットピッチに小さくすることができるが、実際にはコギング波形の周期を概ね見かけのスロットピ

50

ッチと等しくするためには、鉄心要素端面の形状パラメータに微小な調整が必要である。それはスロットから磁石へのパーミアンスと溝から磁石へのパーミアンスの大きさが異なるためである。調整をしない場合のコギング波形を図14(b)に示す。コギングはスロットピッチを周期とした高調波を含んだ周期関数で現れる。

【0039】

本実施例においては第1の実施例より鉄心要素端面の形状が複雑なので、形状パラメータが増える。第1の実施例で述べたスロット長さや溝長さの調整に加えて、鉄心要素端面の溝位置の調整をする。溝位置は、図15に示すように見かけのスロットピッチで並んだ溝とスロットの位置を基準位置として、2筋の溝が鉄心要素の進行方向における中心線から配置される位置とする。本実施例においては、スロット長さよりもわずかに溝長さを短くし、溝位置を基準位置からわずかに鉄心要素の中心線より離れる方向に配置すると、図14(a)に示すようにコギング波形の周期は見かけのスロットピッチと概ね等しく現れる。但し、リニアモータ可動子が前進しても後退しても同様のコギング波形を現すようにするために、鉄心要素の形状は常に中心線に対して左右対称である。

10

鉄心要素の端面に溝を入れることは、コギング波形の高調波成分を増やすことが目的ではない。コギング波形の周期を小さくすることが目的であり、コギング波形を周期の小さい略周期関数にすることで、本発明の効果を達成することができる。このことは、以下に述べる可動子の磁石列のスキューに関連する。

【0040】

次に可動子の磁石列について説明する。

20

図16の上面図はバックヨークを除去した状態を示している。可動子の磁石列を構成する各々の磁石が平行四辺形形状になっており、両端で見かけのスロットピッチ分だけずれるように構成されている。いわゆる磁石にスキューをつけているのであるが、このスキューが磁石の両端で見かけのスロットピッチ分だけずれるようになっている。これが本実施例の特徴のひとつである。ずれ量はこれより大きくても小さくてもコギングは増加する。可動磁石型リニアモータにおける磁石両端でのずれ量が見かけのスロットピッチと略一致しているときだけコギングは略ゼロになる。また磁石の幅は鉄心の幅と同じかそれよりもやや小さくなっている。これも本実施例の特徴である。

【0041】

本実施例の可動子の構成は図17のような短冊状の磁石の集まりで磁石ユニットを構成したものにおいて短冊の幅が十分小さいものとして近似することが出来る。すると、1つの短冊状磁石系のコギング波形は磁石列にスキューがない場合のコギング波形と同じで位相だけがずれたものとなる。よって可動子全体のコギング波形は磁石列にスキューがない場合のコギング波形を位相(見かけのスロットピッチを周期とする電気角における位相)を少しずつずらして合成したものとなる。図17では短冊状磁石系が20すじ想定されている。実施例では磁石の両端を見かけのスロットピッチだけずらしているため短冊1と短冊20の、見かけのスロットピッチを周期とする電気角における位相が略同じである。つまり、短冊1と短冊20のコギング波形は略同じである。位相を少しずつずらして合成するという行為において、位相を0度から360度まで少しずつずらすと合成された波形は至るところゼロになる。なぜなら位相を0から360度までずらして足すのでどの位置でも元のコギング波形を1周期分だけ足し合わせることになるからである。そして本実施例の特徴である磁石の両端で見かけのスロットピッチ分だけ磁石をずらすことで、短冊1と短冊20のコギング波形の位相が略同一になり、コギングの位相を0から360度まで少しずつずらして合成することが本実施例の構成によって実現できる。実際には短冊の幅は無限に小さいので各位置におけるコギングはコギング波形1周期を積分したものになりどの位置においてもコギングはゼロとなる。

30

40

【0042】

次に、磁石幅と鉄心幅の関係について説明する。まず磁石幅 > 鉄心幅の場合、鉄心より外側の磁石部分と鉄心の歯の側面付近の相互作用によるコギングが存在しコギングを増加させる。これは好ましくない。磁石幅 = 鉄心幅の場合は本発明の意図どおりコギングは略

50

ゼロとなる。しかし磁石と鉄心には組み立て誤差が存在するので同一幅で設計しても実際には磁石とコイルはずれて組み立てられる。すると、磁石と鉄心が重なっている部分におけるコギング合成は0から360度の合成からずれてコギングを発生する。また磁石が鉄心からはみ出ている部分自体も別のコギングを発生する。よって磁石幅と鉄心幅を同一にするのも好ましくない。図16に強調して示したように磁石幅を鉄心幅より少し小さく設計してかつ磁石両端でのずれが見かけのスロットピッチと一致させるのが好ましい。このようにすると組み立て誤差を(鉄心幅 - 磁石幅) / 2より小さくしておけば磁石は鉄心からはみ出さず、合成されたコギングは略ゼロとすることが出来る。この方法では元のコギング波形がどんな高調波を含んでいようとも1周期を積分するので原理的にほぼコギングゼロが達成できる。

10

【0043】

次に推力について説明する。推力は一つのコイルの鎖交磁束に比例する。磁石列にスキューがない場合、一つのコイルの鎖交磁束は図10に示すように磁石周期を周期とする略正弦波となる。

本実施例において、磁石列を両端で見かけのスロットピッチ分のスキューをつけた場合の鎖交磁束はどうなるか。やはり図17で想定した短冊状磁石系の合成で考えられる。1すじの短冊状磁石による一つのコイルに対する鎖交磁束は図10の波形を1/20倍して位相をずらしたものである。本構成における一つのコイルに対する鎖交磁束は全ての短冊状磁石によるそのコイルに対する鎖交磁束の合成である。この考え方はコギングを考える場合と同じである。しかしコギング波形は概ね見かけのスロットピッチを周期とする周期関数であったのに対して、鎖交磁束波形は磁石周期を周期とする周期関数である。従って見かけのスロットピッチだけのずれ量は見かけのスロットピッチを基準とする電気角においては360度になるが、磁石周期を基準とする電気角では360度にはならない。この辺の事情が図18に示されている。図18はサイン波をずらして合成しているが合成されるサイン波の位相差が周期の半分以下であることを示している。この事情により合成されたコギングはゼロになるが合成された鎖交磁束ひいては推力は減少するがゼロにならず大きな値にとどまることが出来る。

20

【0044】

もう少し具体的に説明すると、11極12スロット見かけのスロット36個構成では見かけのスロットピッチ分のずれ量は磁石周期を基準とする電気角では $180 \times 11 / 36 = 55$ 度である。よって従来例における一つのコイルの鎖交磁束を振幅1のサイン波とする(実際これで十分精度のよい近似になっている)と、本実施例の構成における一つのコイルの鎖交磁束の振幅は $= -55 / 2$ 度から $= +55 / 2$ 度まで \cos を平均したもの、換言すると $= -55 / 2$ 度から $= +55 / 2$ 度まで \cos を積分して55度で割ったものとなる。これは正確に計算できて約0.96である。つまり本実施例の構成によればコギングはほぼゼロとなり、推力は磁石列にスキューがない場合に比べて0.96倍にとどまることが出来る。

30

【0045】

鉄心要素端面に溝をつけて見かけのスロット数を増やし、コギング波形の周期を小さくするのは、可動子の磁石列のスキュー量(磁石周期を基準とする電気角でのスキュー量)を少なくするためである。磁石列を両端で見かけのスロットピッチ分ずらすことでコギングを略ゼロにすることができるので、磁石列のスキュー量は見かけのスロットピッチによって決定する。見かけのスロットピッチを小さくすることで磁石列のスキュー量が小さくてよく、スキューによる鎖交磁束の低下率を小さくすることができる。この第2の実施例では、電機子端面に2筋の溝を入れて、実際のスロット数よりも見かけのスロット数を3倍にして、コギング波形の周期を1/3にしているが、溝の本数はこれに限らない。溝を入れる本数が多いほどコギング波形の周期を小さくすることができ、磁石列のスキュー量が小さくて良く、スキューによる鎖交磁束の低下率を小さくすることができる。鎖交磁束の低下率を小さくするという事は、リニアモータが推力を発生させるときの発熱量が少なくて済むので、リニアモータの発熱特性の劣化を抑制するという事である。

40

50

【 0 0 4 6 】

図 19 のように固定子で可動子を挟み込む構成も可能である。この場合には上側の磁石と下側の磁石で傾斜を X 字状の関係にして固定子にモーメントが作用しないようにするのが望ましい。

また、第 2 実施例は 1 1 極 1 2 スロット見かけのスロット数 3 6 個の構成で示したが、本発明はいかなる極スロットの構成にも適用可能である。コギングをゼロにしたとき大きな推力を得るには見かけのスロットピッチと磁石周期の寸法差が大きいことが望ましい。

【 0 0 4 7 】

[発明の適用範囲]

上述においては、擬似スロットとして溝を設けた例を示したが、擬似スロットは、スロット間で磁気抵抗が変化するような構造または材質のものであれば、溝以外のものでも良い。例えば、溝を設けた後に、アルミニウム等の反磁性体または非磁性体を埋め込んだ形状でも良い。

また、上述においては、見かけのスロット間隔だけスキューさせた例を示したが、スキュー量は適宜増減することができる。例えば、コギング低減効果と鎖交磁束の低下率との兼ね合いを図って実験的に決定すればよい。

上述においては、鉄心要素、すなわちスロットを可動子進行方向と直角方向に配置し、磁石をスキューさせた例を示したが、鉄心要素と磁石の双方または鉄心要素のみを前記直角方向に対してスキューさせてもよい。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 8 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施例に係るリニアモータの構成を示す図である。

【 図 2 】 図 1 のモータにおける可動子位置と通電コイルの関係を示す図である。

【 図 3 】 図 1 のモータにおけるコギングを説明する図である。

【 図 4 】 図 1 のモータに対して溝を設けない場合のコギングを説明する図である。

【 図 5 】 図 1 のモータにおける電機子鉄心の形状説明図である。

【 図 6 】 図 1 のモータに対して溝長さとスロット長さを等しくした場合のコギングを説明する図である。

【 図 7 】 図 1 のモータにおける磁石幅と鉄心幅の関係を示す図である。

【 図 8 】 図 1 のモータの可動子磁石列の概念を示す図である。

【 図 9 】 図 1 のモータにおけるコギングを説明する図である。

【 図 10 】 図 1 のモータにおける鎖交磁束を説明する図である。

【 図 11 】 図 1 のモータにおける鎖交磁束を説明する図である。

【 図 12 】 図 1 のモータの変形例を示す図である。

【 図 13 】 本発明の第 2 の実施例に係るリニアモータの構成を示す図である。

【 図 14 】 図 13 のモータにおけるコギングを説明する図である。

【 図 15 】 図 13 のモータにおける電機子鉄心の形状説明図である。

【 図 16 】 図 13 のモータにおける磁石幅と鉄心幅の関係を示す図である。

【 図 17 】 図 13 のモータの可動子磁石列の概念を示す図である。

【 図 18 】 図 13 のモータにおける鎖交磁束を説明する図である。

【 図 19 】 図 13 のモータの変形例を示す図である。

【 図 20 】 リニアモータの従来例の構成を示す図である。

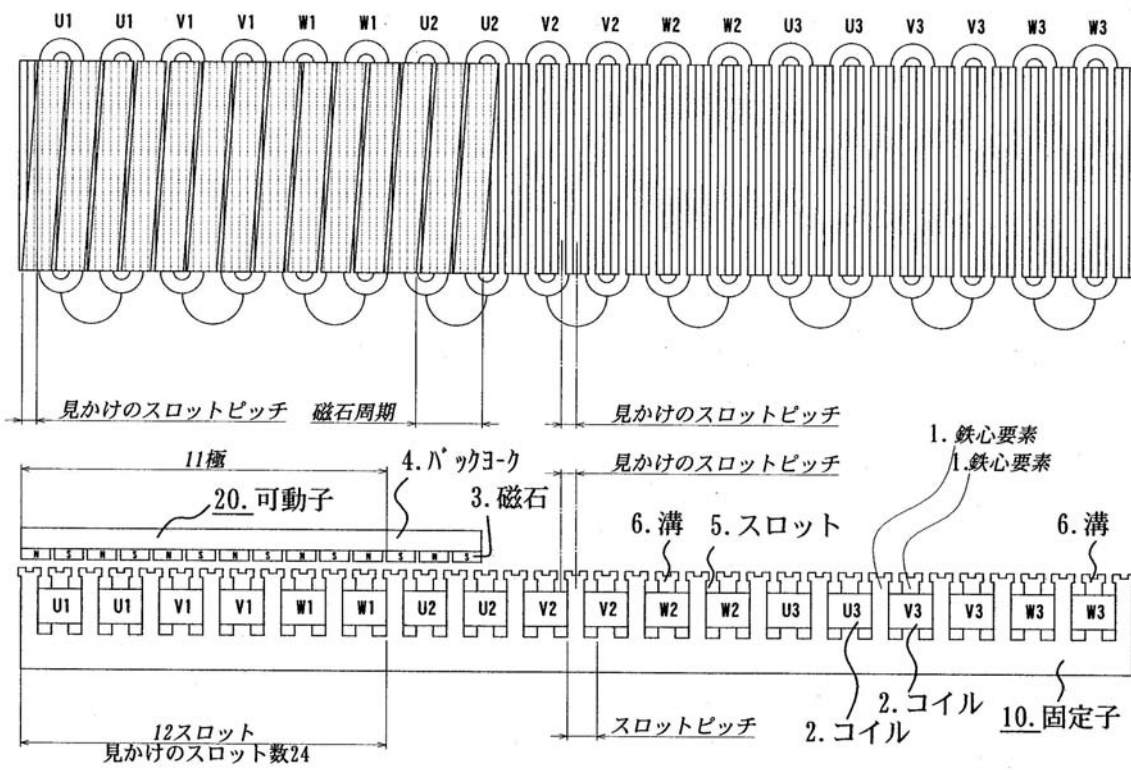
【 符号の説明 】

【 0 0 4 9 】

- 1 鉄心要素（固定子鉄心歯）
- 2 コイル
- 3 可動子磁石
- 4 バックヨーク
- 5 スロット
- 6 溝

- 1 0 固定子
- 2 0 可動子

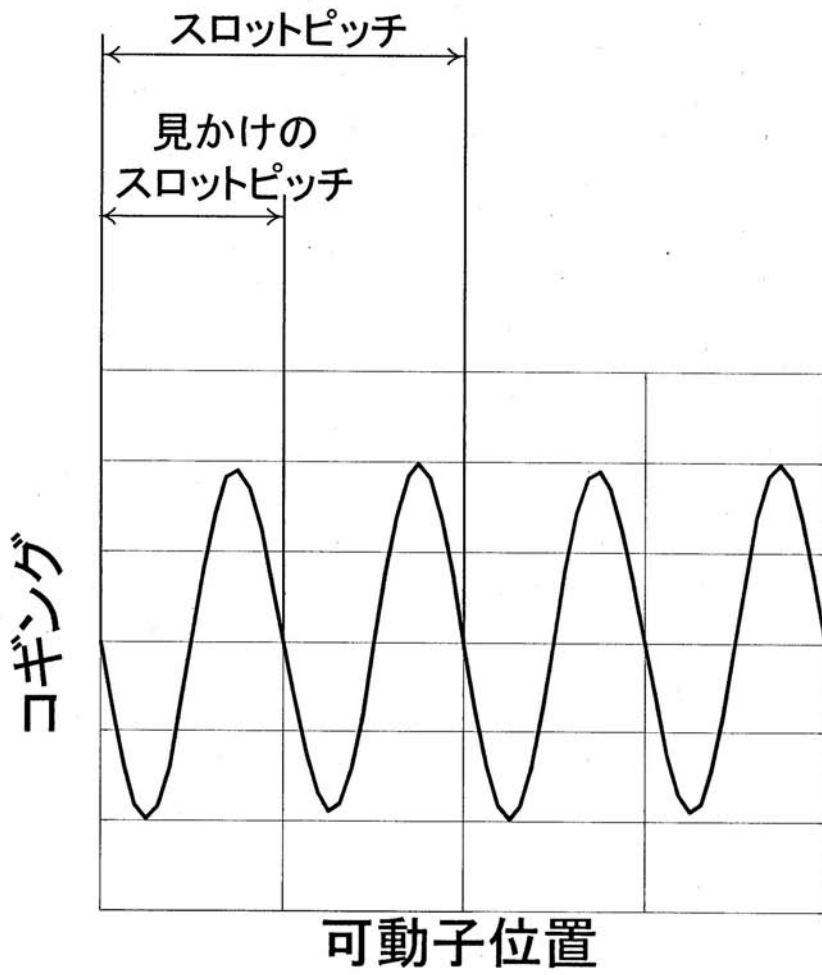
【 図 1 】



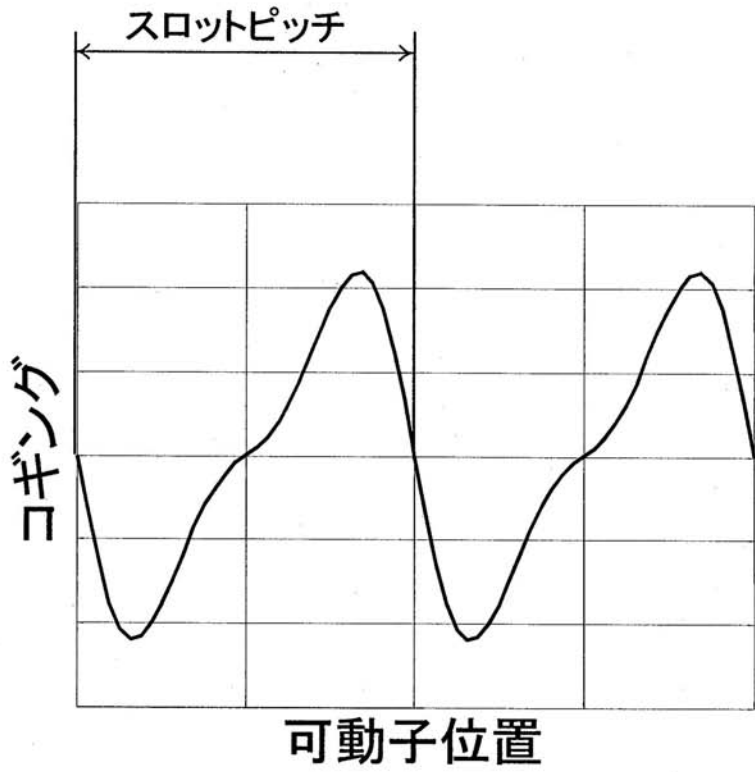
【 図 2 】



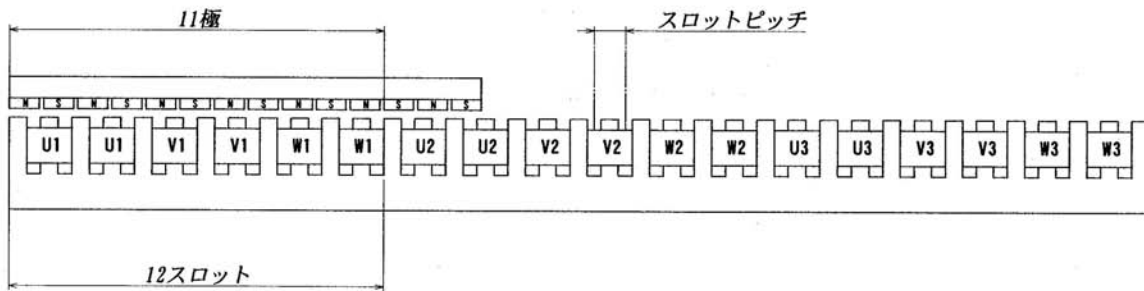
【 図 3 】



【 図 4 】

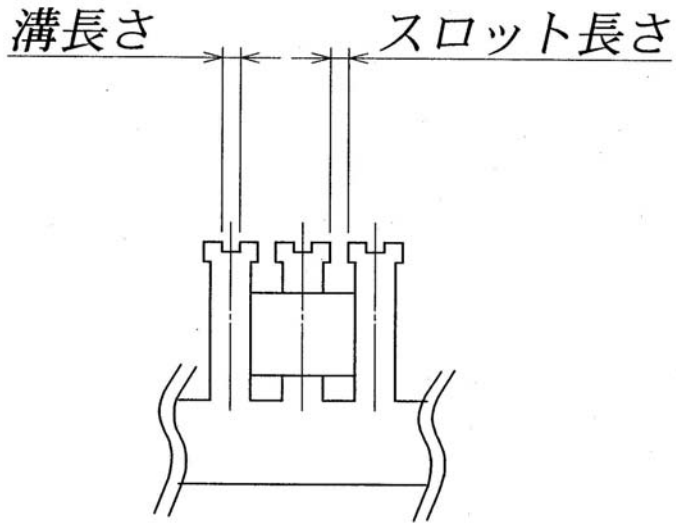


(a)

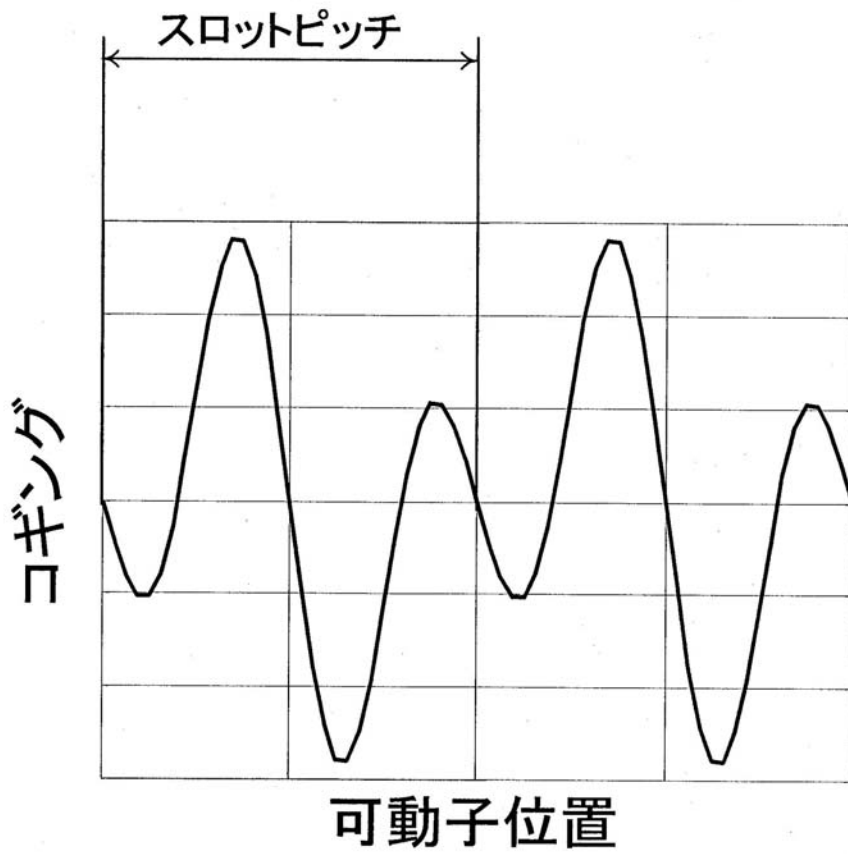


(b)

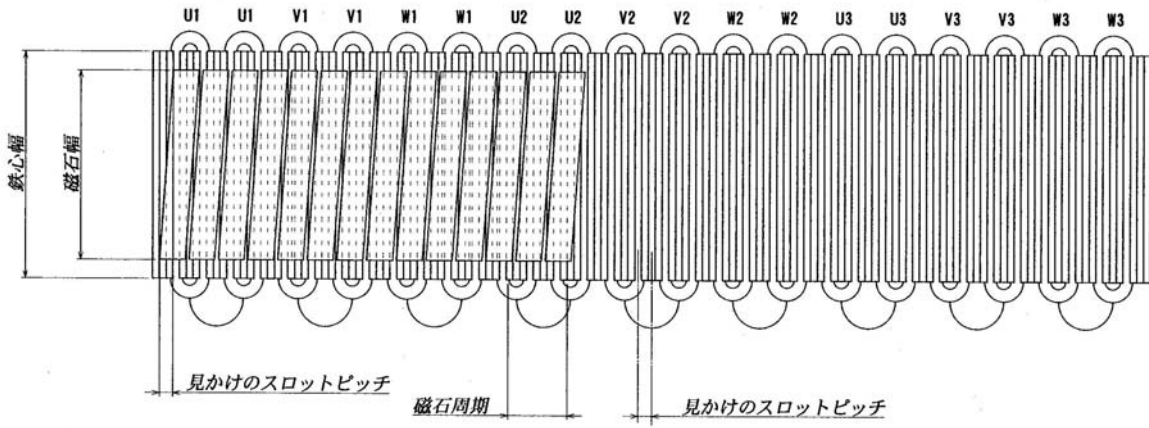
【図5】



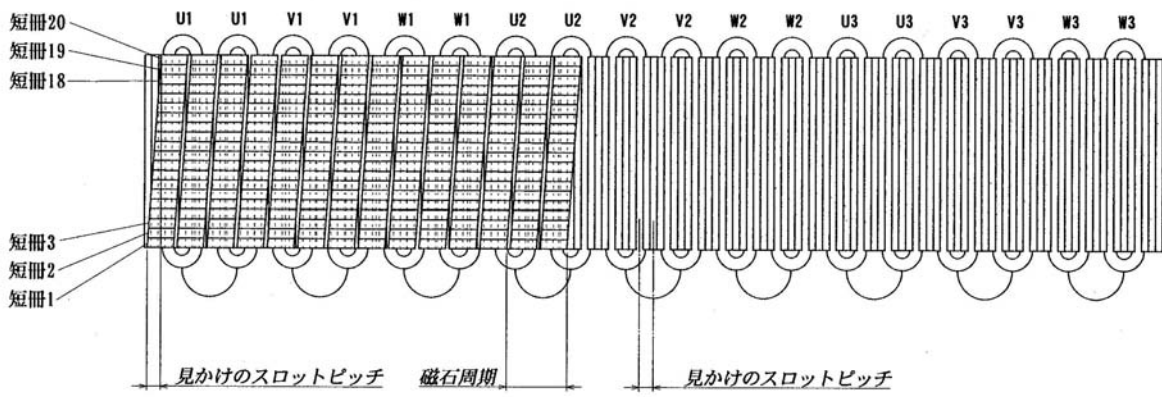
【図6】



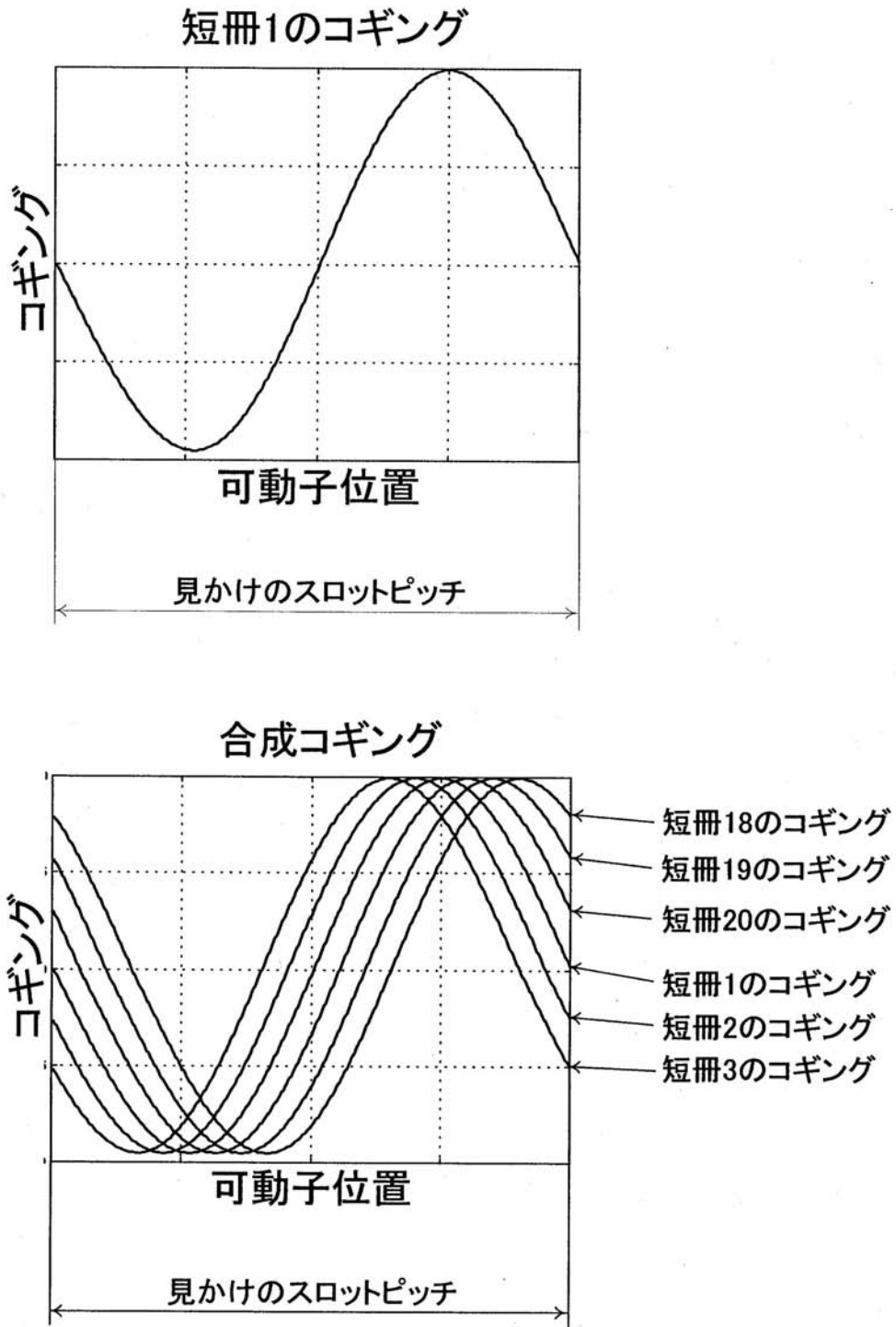
【 図 7 】



【 図 8 】

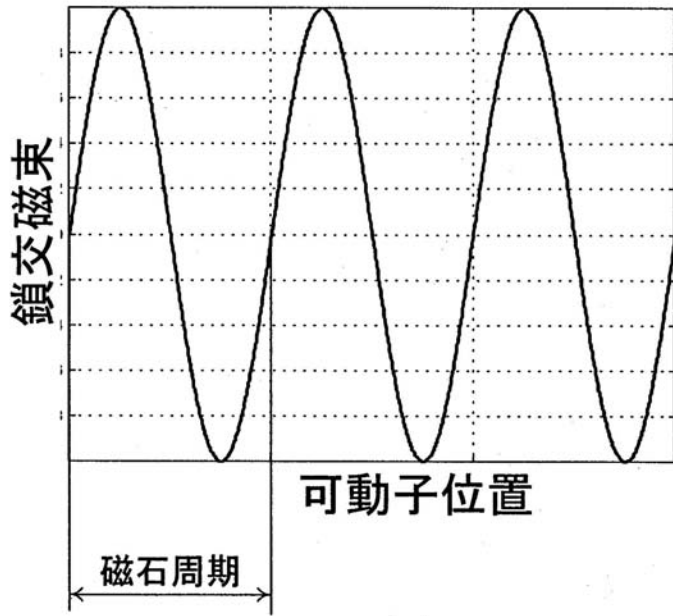


【図9】

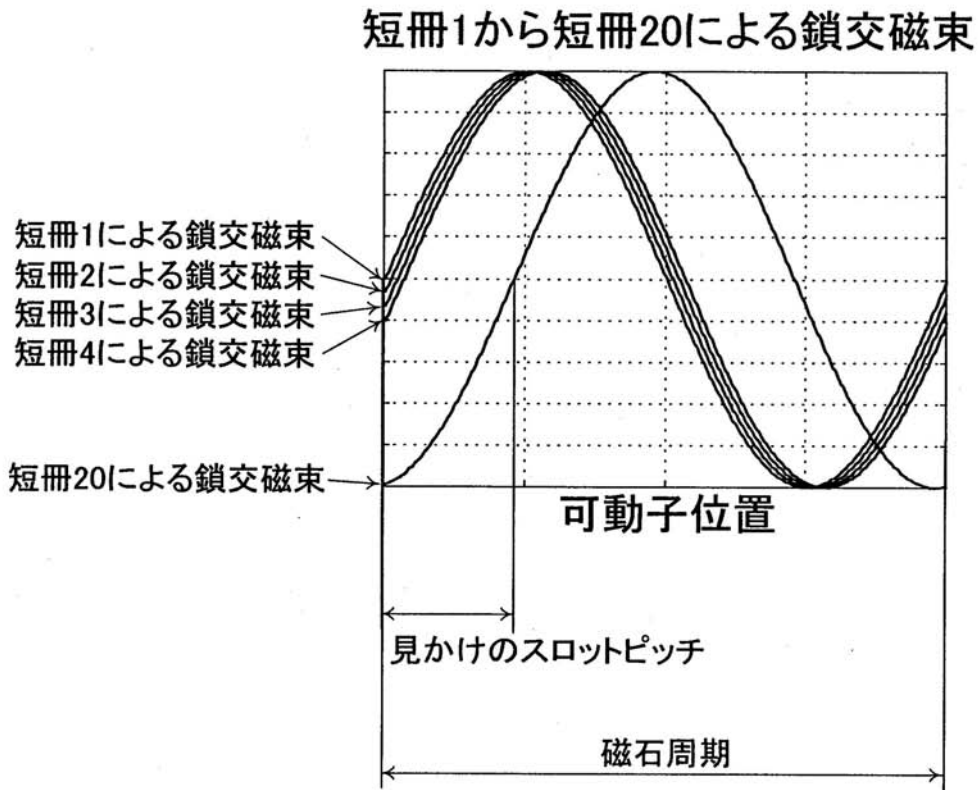
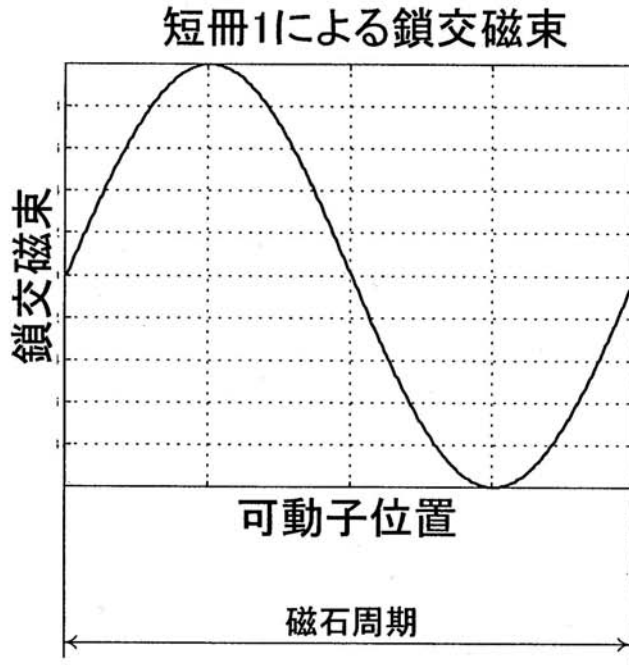


【図 10】

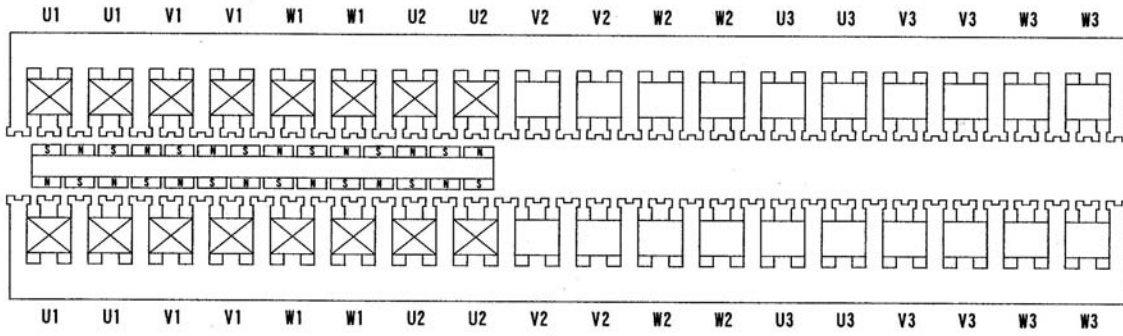
スキューがない場合の 鎖交磁束



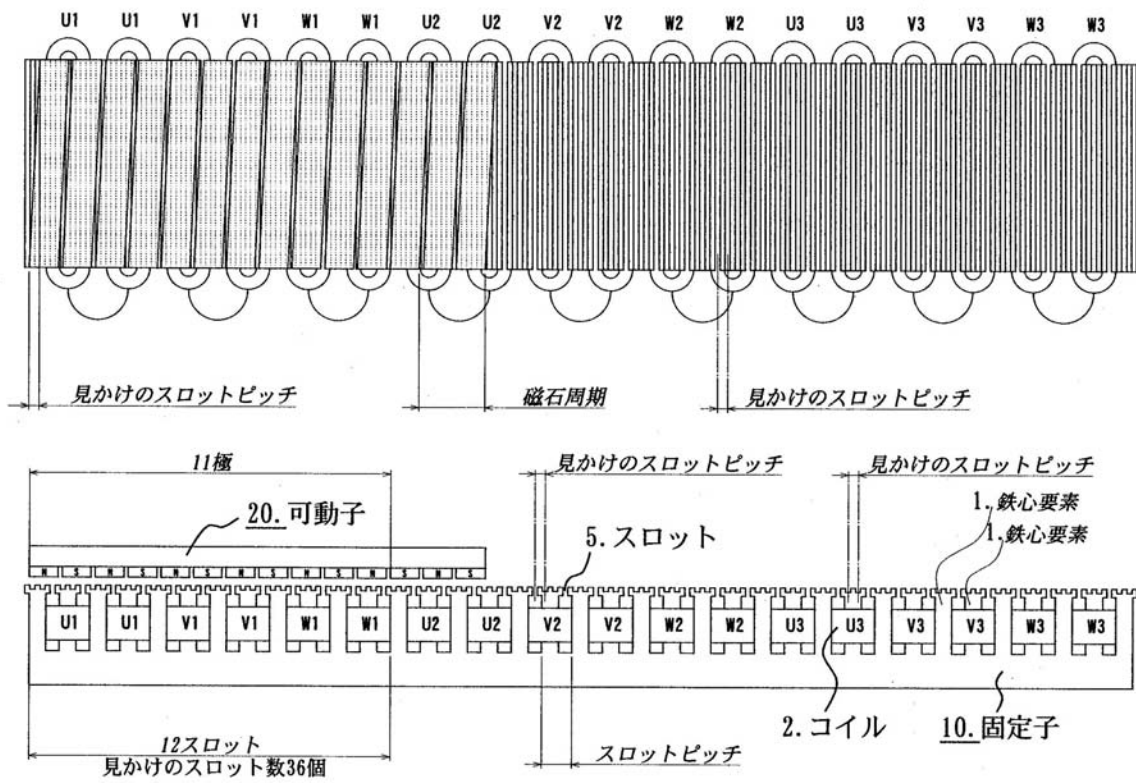
【図11】



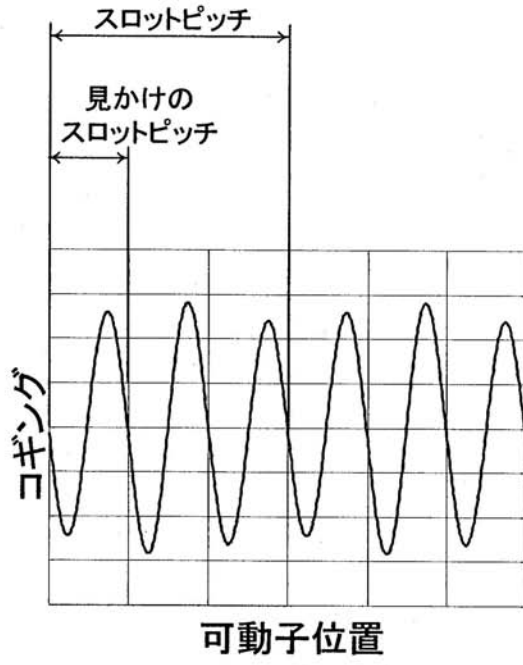
【図12】



【図13】



【 図 1 4 】

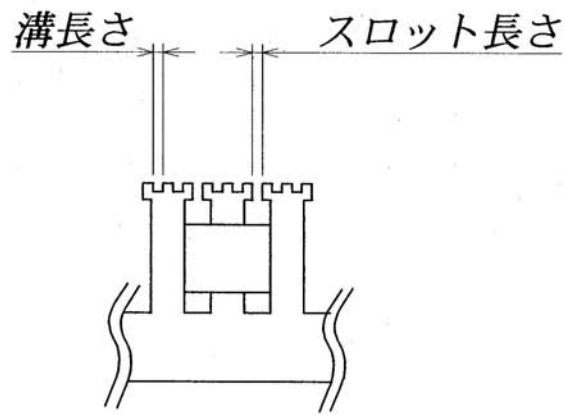
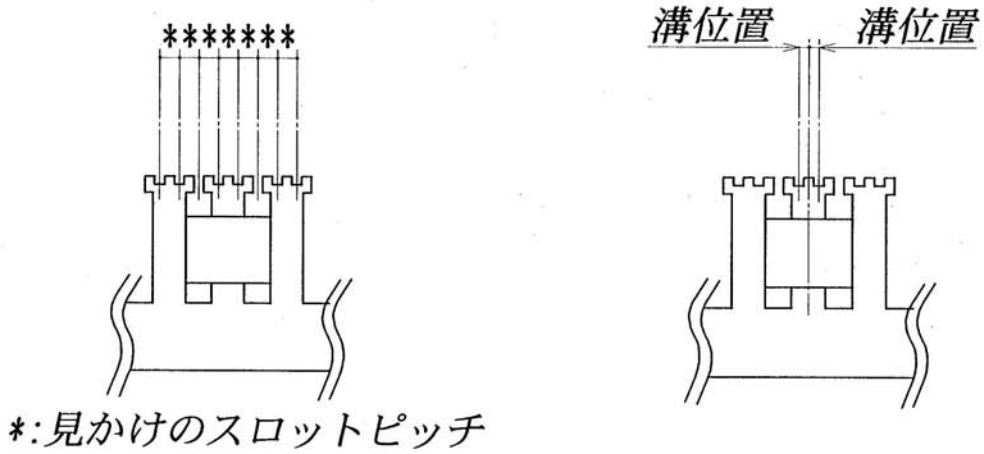


(a)

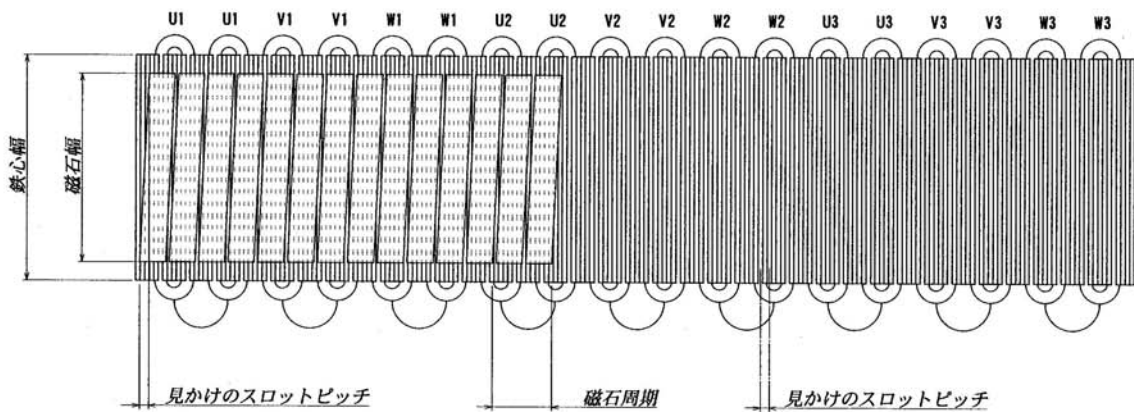


(b)

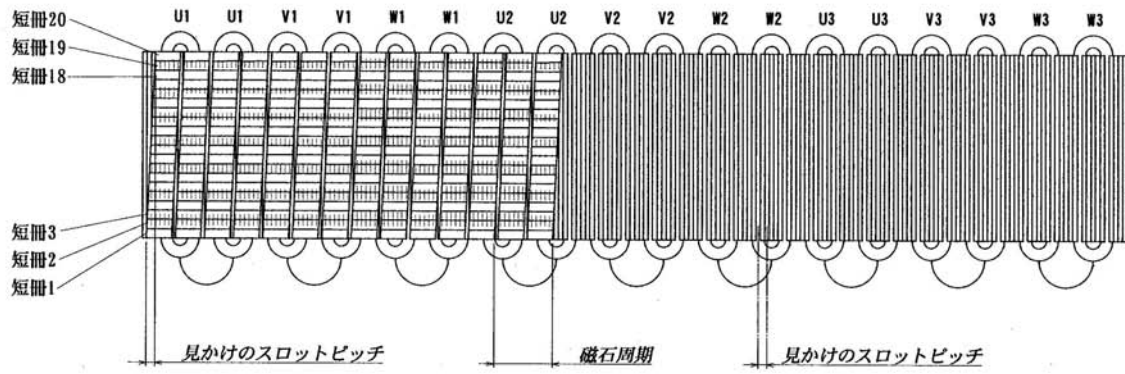
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】

