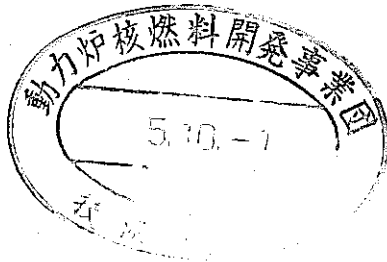


リニアモータ方式による

——立坑搬送システム——
基礎研究 (IV)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

(71F 9331B)



1993年 8月

三菱重工業株式会社

..... 500

..... 501

..... 502

..... 503

..... 504

..... 505

..... 506

..... 507

..... 508

..... 509

..... 510

..... 511

..... 512

..... 513

..... 514

..... 515

..... 516

..... 517

..... 518

..... 519

..... 520

..... 521

..... 522

..... 523

..... 524

..... 525

..... 526

..... 527

..... 528

..... 529

..... 530

..... 531

..... 532

..... 533

..... 534

..... 535

..... 536

..... 537

..... 538

..... 539

..... 540

..... 541

..... 542

..... 543

..... 544

..... 545

..... 546

..... 547

..... 548

..... 549

..... 550

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。 弁 論 1.1.1

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquireis about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Information Service Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13. 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107. Japan

動力炉・核燃料開発事業団(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1993

目 次

1. はじめに	1
1.1 研究の目的	1
1.2 研究の経緯（基礎研究（I），（II），（III））	3
2. 実験装置の設計，製作	7
2.1 電機子コイル	7
2.1.1 要求仕様	7
2.1.2 推力解析	8
(1) 解析条件及び解析方法	8
(2) 電機子コイル形状及び永久磁石形状の検討	10
(3) 磁石位置と推力の関係	16
(4) 駆動電流	22
(5) まとめ	27
2.1.3 試 作	28
2.2 架 台	29
3. 今後の予定	31

付 録 搬送路内径における位置検出評価

リニアモータ方式による

PNC TJ1216 93-003
1993年 8月

立坑搬送システム基礎研究 (IV)

早川 数良, 上城 和洋 *
森本 一夫, 竹内五輪男 **
森本 雅之 ***
前川 明寛, 柳田 真孝 ****

要 旨

高レベル放射性廃棄物処理施設における深地層への立坑内垂直搬送システムとして超電導を用いたリニアモータ方式の適用可能性を検討し、実機適用検討を行っている。このためS63年度には、基礎研究 (I) として原理検証のための基礎実験装置を製作し、静的浮上実験を行った。

H1年度には基礎研究 (II) として高さ約7mの実験装置を製作し、LSM (Liner Synchronous Motor) 駆動方式による動的実験を実施し、搬送カプセル移動速度2m/sec、停止位置精度±1mmの結果を得た。

また、H2年度には基礎研究 (III) として基礎研究 (II) までの実験装置を一部改造 (新規製作品を含む) し、位置検出器の非接触化及び通電路切換システムの開発を実施し、搬送カプセル移動距離の長尺化に伴う位置検出系および電源設備に関する問題点は充分克服可能との見通しを得た。

本年度は新たに、基礎研究 (IV) として現在までの技術を用いて、以下の検討設計を行う。

- (1) 実機模擬縮小実験装置
- (2) 可変コイルピッチ
- (3) 非接触運転

本報告書は、三菱重工業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託研究により実施した研究成果である。

- * : 三菱重工業株式会社 神戸造船所 情報・電子機械部
- ** : 三菱重工業株式会社 技術本部 高砂研究所 電子技術研究室
- *** : 三菱重工業株式会社 エレクトロニクス事業部 技術部
- **** : 三菱重工業株式会社 エレクトロニクス事業部 開発製造部

契約番号. 040D0225

1章 図表目次

図1.1	実験装置概念図（基礎研究Ⅰ）	3
図1.2	実験装置概念図（基礎研究Ⅱ）	4
図1.3	実験装置概念図（基礎研究Ⅲ）	5

2章 図表目次

図2.1	推力計算フローチャート	9
図2.2	磁石位置と推力の関係	11
図2.3	電機子コイル寸法と推力の関係（コイルピッチ 120mm）	12
図2.4	電機子コイル寸法と推力の関係（コイルピッチ 100mm）	12
図2.5	電機子コイル寸法と推力の関係（コイルピッチ 80mm）	13
図2.6	電機子コイル寸法と推力の関係（永久磁石長 100mm）	14
図2.7	各位置における推力（コイルピッチ 100mm）	17
図2.8	各位置における推力（コイルピッチ 80mm）	18
図2.9	電機子コイル配列（可変コイルピッチ部分）	19
図2.10	各位置における推力（コイルピッチ 80mm ~ 100mm）	20
図2.11	各位置における推力（コイルピッチ 100mm ~ 80mm）	21
図2.12	各相のコイル電流密度（コイル長 60mm）	23
図2.13	各相のコイル電流密度（コイル長 40mm）	24
図2.14	各相のコイル電流密度（コイルピッチ 80mm ~ 100mm）	25
図2.15	各相のコイル電流密度（コイルピッチ 100mm ~ 80mm）	26
図2.16	試作コイル外観	28
図2.17	実験装置基本計画図	30
表2.1	要求仕様	9
表2.2	前提条件	9
表2.3	選定された仕様	15
表2.4	課題要求仕様	15

3章 図表目次

表3.1	今後の予定	31
------	-------	----

1. はじめに

1.1 研究の目的

我国における原子力開発の中で、現在まで確実な処理方法が確立されていないのが高レベル放射性廃棄物処理方法である。

「原子力開発利用長期計画」における基本方針としては、安定な形態に固定し、30～50年程度、冷却のために貯蔵したあと、地下数百メートル以上の深地層に処分することとしている。

今後、このような廃棄物は増加する一方であり、また、その他にも地下空間をエネルギー貯蔵や輸送ルート等としては幅広く利用しようとする計画が国レベルで検討されており、地下空間と地上の間で、物あるいは人を垂直搬送するための安全で効率的な搬送システムの開発が望まれている。

このような状況においては、超電導を用いたリニアモータ方式による垂直搬送技術に関する研究を行うことは廃棄物処理施設、あるいは地下空間利用のための安全で効率的な垂直搬送システムの開発のみならず超電導技術の応用分野の一環として極めて高い波及効果を有しており、今後の超電導関連技術研究に資するものと考えられる。

現在、このような垂直搬送システムとしてワイヤロープを用いたエレベータ方式と超電導を用いたリニアモータ方式の2方式が検討されている。従来のワイヤロープを用いたエレベータ方式は既に確立された技術であり、比較的浅深度、軽量の場合には垂直搬送システムとして充分適用可能と考えられる。しかし、大深度、搬送物の重量増加に伴い、ワイヤ重量の増加および伸びによる位置制御の難しさ等の問題があり、システムとしての成立性には限界があることが分かっている。

これに対し、リニアモータ方式は深度に関係なく、精度良い位置制御が可能であり、大型かつ重量物を垂直に搬送する手段としての技術的成立性が充分あると考えられる。しかし乍ら、超電導を用いたリニアモータ方式による垂直搬送の技術は、従来の実績（特に、JRのリニアモータカー）の延長線上では解決できない特有の課題があり、今後着実に研究開発を進めていく必要があるが、その技術には、深地層へのアクセス手段としてだけでなく、例えば無重力実験設備、宇宙用カタパルト等、様々な分野への極めて高い波及効果があり、開発次第では、大いに応用範囲が広がる可能性がある。

よって本研究を行うことにより垂直リニア駆動の基礎技術の確立を図ると共に、今後の開発課題を抽出し、今後の研究開発に資することを目的とする。

1.2 研究の経緯

超電導を用いたリニアモータ方式の立坑内搬送システムの適用可能性を検討するため、フィジビリティ・スタディとしてS63年度には基礎研究（I）として基礎実験装置を製作し、静的浮上実験により原理実証を行った。図1.1 に実験装置概観を示す。

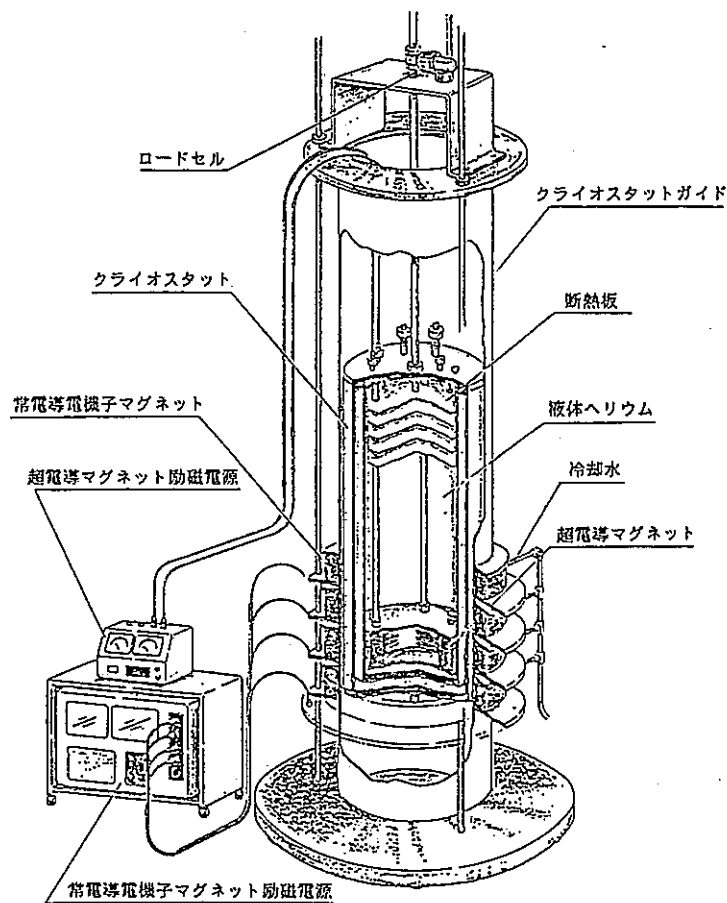


図1.1 実験装置概観（基礎研究 I）

図1.1 に示す実験装置により、重力約25kgの搬送カプセルを非接触で浮上静止させることに成功し、原理検証としての目的を達成することができた。

H1年度には、基礎研究（II）としてLSM（Liner Synchronous Motor）駆動によって搬送カプセルの移動距離を3m程度確保することにより、搬送カプセルの動的挙動の評価、開発課題の抽出を目的として研究を行った。

図1.2 に実験装置概観を示す。

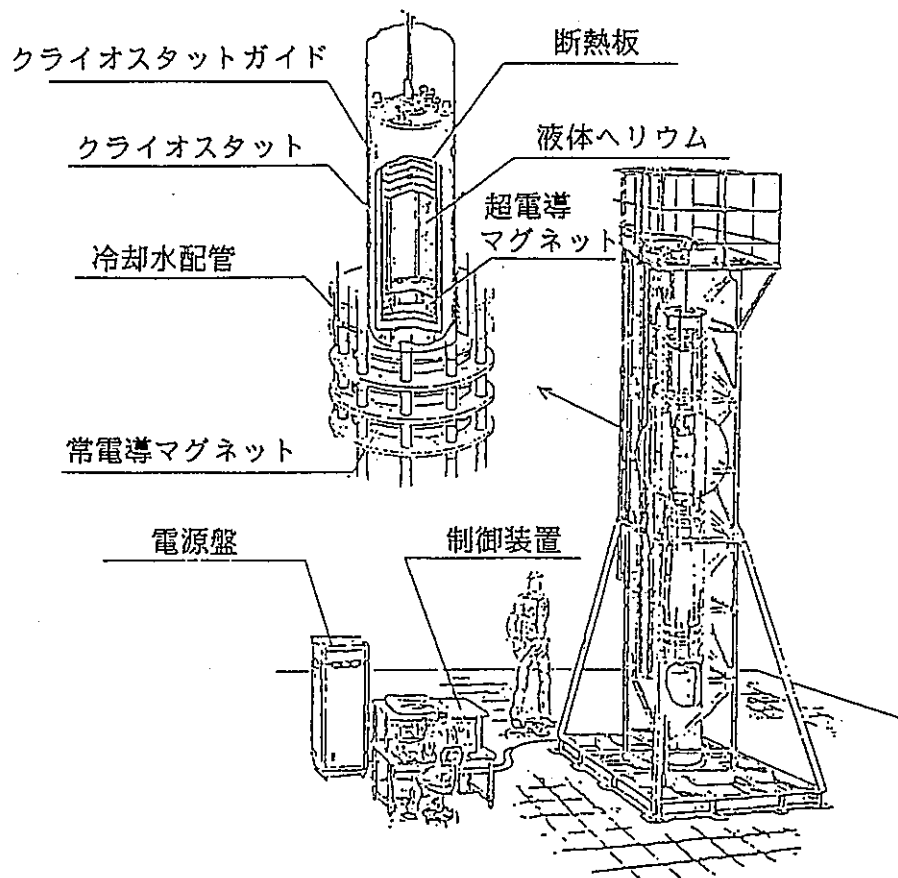


図1.2 実験装置概観（基礎研究II）

本研究の成果として、平均推力25(kgf)、搬送距離3.6(m)、搬送速度2(m/sec)を得ることができ、またカプセル重量増加、搬送距離の長尺化に伴う技術課題の抽出を行い、充分克服可能との見通しを得た。また基礎研究（II）と関連して高性能制御装置の開発研究を行い、垂直リニアモータ独自の問題点を考慮した制御ロジックを構築し、基礎制御技術の確立を図り搬送カプセルの位置決め精度を±1(mm)で制御可能とした。

基礎研究（Ⅲ）は、立坑搬送システムの実用化に伴う開発課題である搬送カプセルの非接触位置検出、通電路切換システムの開発を行い、搬送カプセルを位置制御することを目的として研究を行った。

図1.3 に実験装置概観を示す。

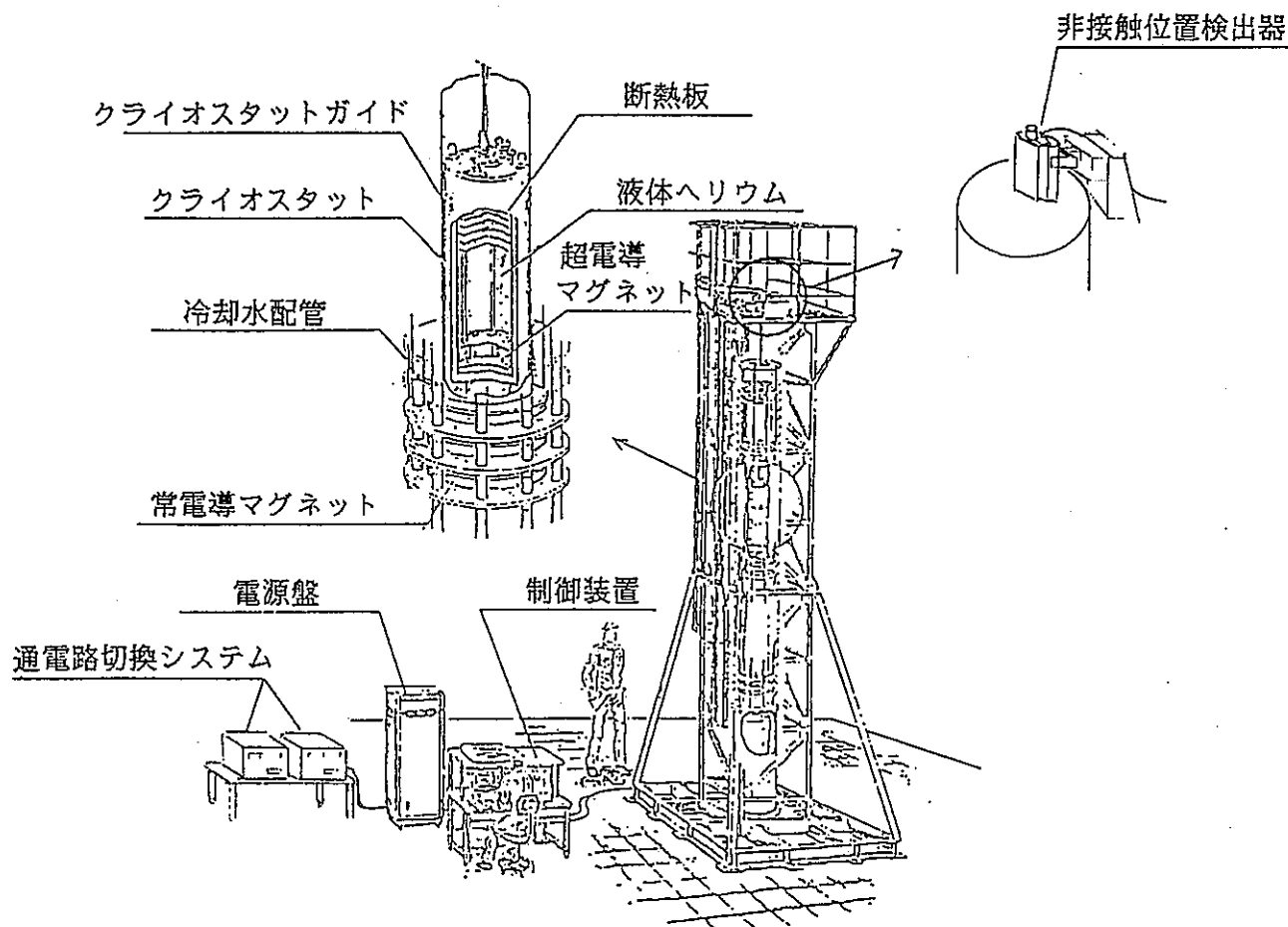


図1.3 実験装置概観（基礎研究Ⅲ）

本研究の成果として、移動平均処理等により直線性 $\pm 3\text{mm}$ （ $0\sim 5\text{mm}$ ）、バラツキ幅最大 $\pm 10\text{mm}$ 、架台の揺れ等に対する影響がないことがわかり、システムに組込可能な非接触位置検出系が構成できた。また、切換時応答が数msecオーダの半導体方式による通電路切換システムを開発したことにより、システムの高速化に充分対応可能との見通しを得た。搬送カプセルの位置決め時の定常偏差は、平均約 7mm となった。

基礎研究（Ⅰ），（Ⅱ），（Ⅲ）の経緯を踏まえ今年度は基礎研究（Ⅳ）として以下の点に関して研究を実施する。

(1) 実機模擬縮小実験装置

立坑搬送システムの実機を想定した縮小実験装置の開発を行う。

この縮小実験装置は、長距離搬送を模擬できる装置とし、具体的には非接触位置検出系、通電路切換システム及び可変コイルピッチを組み込んだシステムとする。

(2) 可変コイルピッチ

実機の立坑搬送システムは、搬送距離が1,000m級の立坑を利用するため、一定コイルピッチとすると電機子コイルの数が多くなり経済的でない。

このため、停止位置付近における電機子コイルはコイルピッチを密にし、移動時の中間電機子コイルのコイルピッチは、搬送カプセルを搬送できるだけでよい粗とする。この可変コイルピッチにより、電機子コイル数の低減ができ経済的である。

(3) 非接触運転

実機におけるシステムは、搬送カプセルのセット及び停止等を非接触に行うため、搬送カプセルに接続されているワイヤー等は存在しない。したがって、実機を模擬できる実験装置としては、搬送カプセルを非接触運転する必要がある。

2. 実験装置の設計・製作

2.1 電機子コイル

2.1.1 要求仕様

電機子コイルにおける仕様は、表 3.1の要求仕様のもと検討設計を行った。

表3.1 要求仕様

NO.	項目	仕様	備考
(1)	搬送速度	2m/sec	
(2)	重力, 空気粘性抵抗の損失	考慮する。	
(3)	搬送カプセル重量	1 kg	
(4)	必要推力	15N	最小推力
(5)	可変コイルピッチ部推進推力	15N出力可能	
(6)	搬送路	内径 ϕ 54mm, 外径 ϕ 60mm	
(7)	電機子コイル内径	ϕ 71mm	
(8)	永久磁石径	ϕ 45mm	
(9)	温度上昇	30℃以下	

2.1.2 推力解析

三相同期式リニアモータの電機子コイルと永久磁石の仕様を決定するために、種々の条件で推力を計算すると共に、必要な駆動電流を求めた。

(1) 解析条件及び解析方法

推力計算の前提条件を表2.2 に示す。これらの値等は、全体の寸法、位置検出器、コイル発熱等から選定した。このうち、電機子コイルのコイルピッチ、高さ、幅、永久磁石の高さについては、種々値を変えて推力を求め要求仕様を満たす値を選定した。

解析にあたっては、まず推力最低となる永久磁石位置を求め、この位置での永久磁石、電機子コイルの条件を変えた場合の推力を計算した。この値を用いて、要求仕様を満たす仕様を求め、その後、永久磁石位置を変えた場合の推力と、必要推力を発生する電流値を求めた。

解析方法としては、図2.1 に示すように、永久磁石により生じる磁界 \vec{H} と、電機子コイルに流れる電流 \vec{I} との相互作用によって生じるローレンツ力を計算し、そのうち垂直方向の成分 (F_y) を推力として求めた。

$$\vec{F} = \sum_{\text{コイル}} \vec{I} \times \vec{B}$$

表2.2 前提条件

NO	仕様項目	仕様	備考
1	リニアモータ方式	同期式リニアモータ	
2	相数	3相	
3	必要推力	15N以上	
4	永久磁石径	$\phi 45$	
5	'' 高さ	60 ~ 100mm	
6	電機子コイル内径	$\phi 71$	
7	'' 高さ	40 ~ 80mm	
8	'' 幅	20 ~ 40mm	
9	'' ピッチ	40 ~ 120mm	
10	コイル電流密度	$1A/mm^2$	

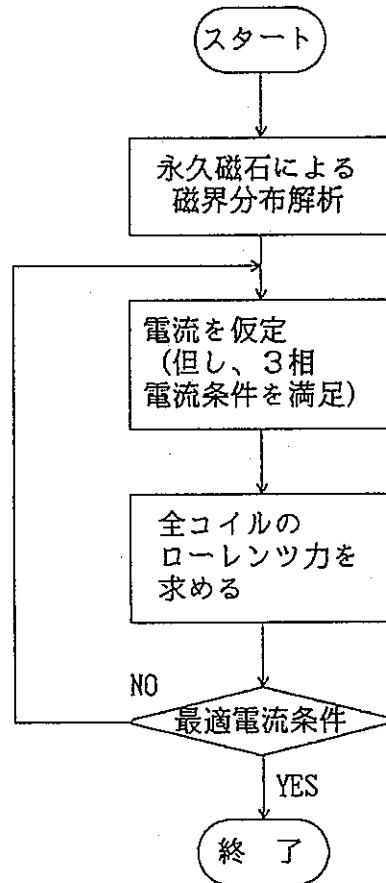


図2.1 推力計算フローチャート

(2) 電機子コイル形状及び永久磁石形状の検討

表2.2 の前提条件のうち、電機子コイルの高さを60mm、幅を20mm、コイルピッチを120mm、永久磁石の高さを80mmとしたとき、永久磁石の位置を変えて推力を計算し、推力が最低となる永久磁石位置を求めた。その位置で、電機子コイルの高さ、幅、コイルピッチ、永久磁石の高さを変えて推力を計算した。

(a) 磁石位置と推力の関係

磁石位置を変えたときの推力を計算した。結果を図2.2 に示す。この結果より、磁石位置により推力は大きく異なり、磁石と電機子コイルの位置が一致したときが最小となっている。

(b) 電機子コイルの高さ、幅、コイルピッチと推力の関係

電機子コイルの高さ、及び幅、並びにコイルピッチを変えた場合の推力の計算結果を図2.3 ~ 図2.5に示す。

また、永久磁石を100mmとした場合の推力の計算結果を、図2.6 に示す。

これらの結果より、電機子コイルの大きさを可能な限り小さくすることを考え、コイル長を60mm、40mmを選定した。これに対応して、コイルピッチは、コイル長60mmについては100mmを、コイル長40mmについては80mmを選定した。

永久磁石長については、100mmと長くすると自重が増加し、推力も増す必要が生じ、重量増加と同率で推力を必要とすれば、長さ80mmのとき15Nの推力に対し、長さ100mmでは18.8Nの推力が必要となり、磁石の長さを長くした利点がありませんため、磁石長は80mmとした。

以上の検討結果より、選定した電機子コイルの仕様と永久磁石の仕様を表2.2 に示す。この2ケースを採用することとし、コイルピッチが異なるため、その間はコイルピッチ90mmの部分を作り、異なるコイルピッチを接続することとした。

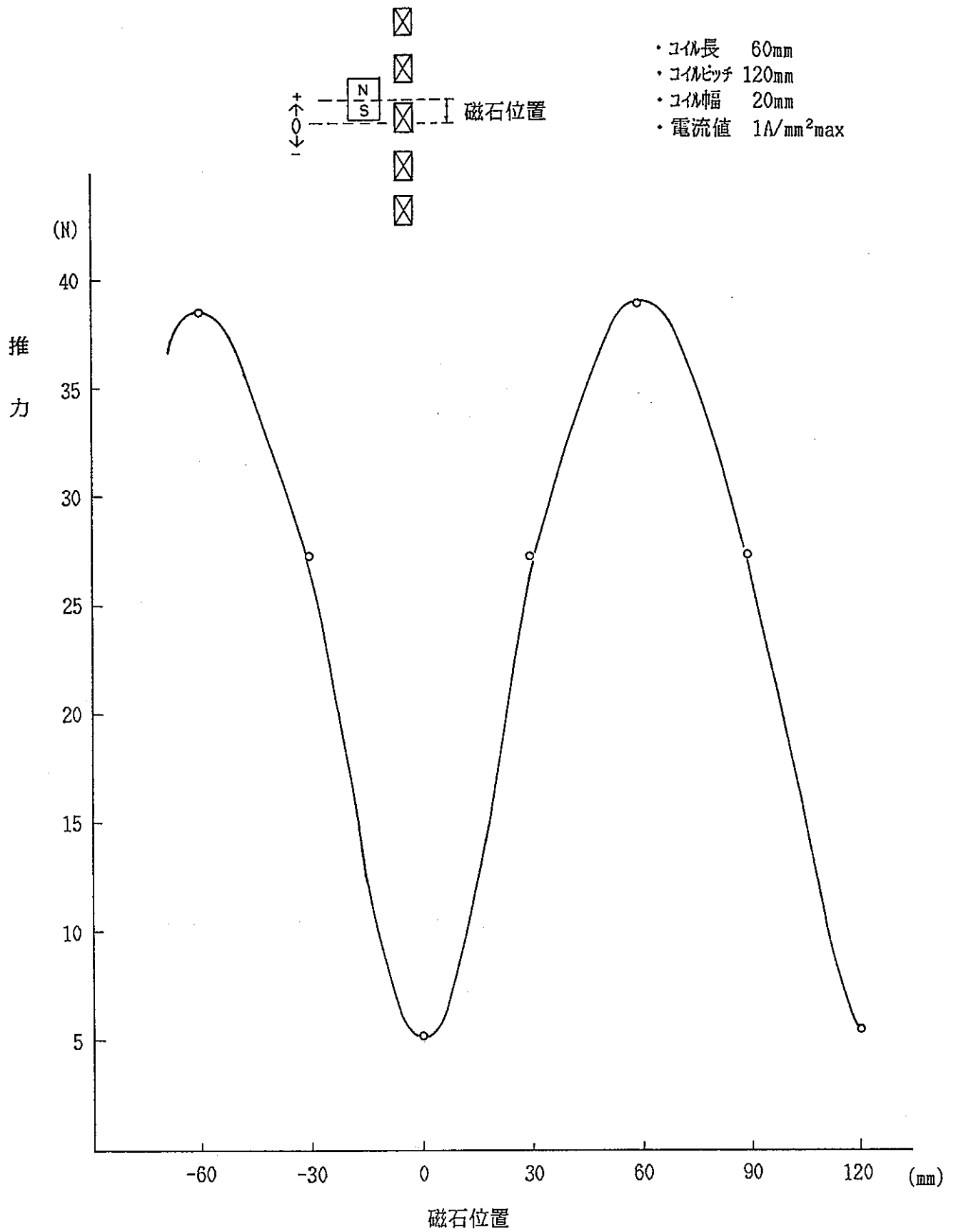


図2.2 磁石位置と推力の関係

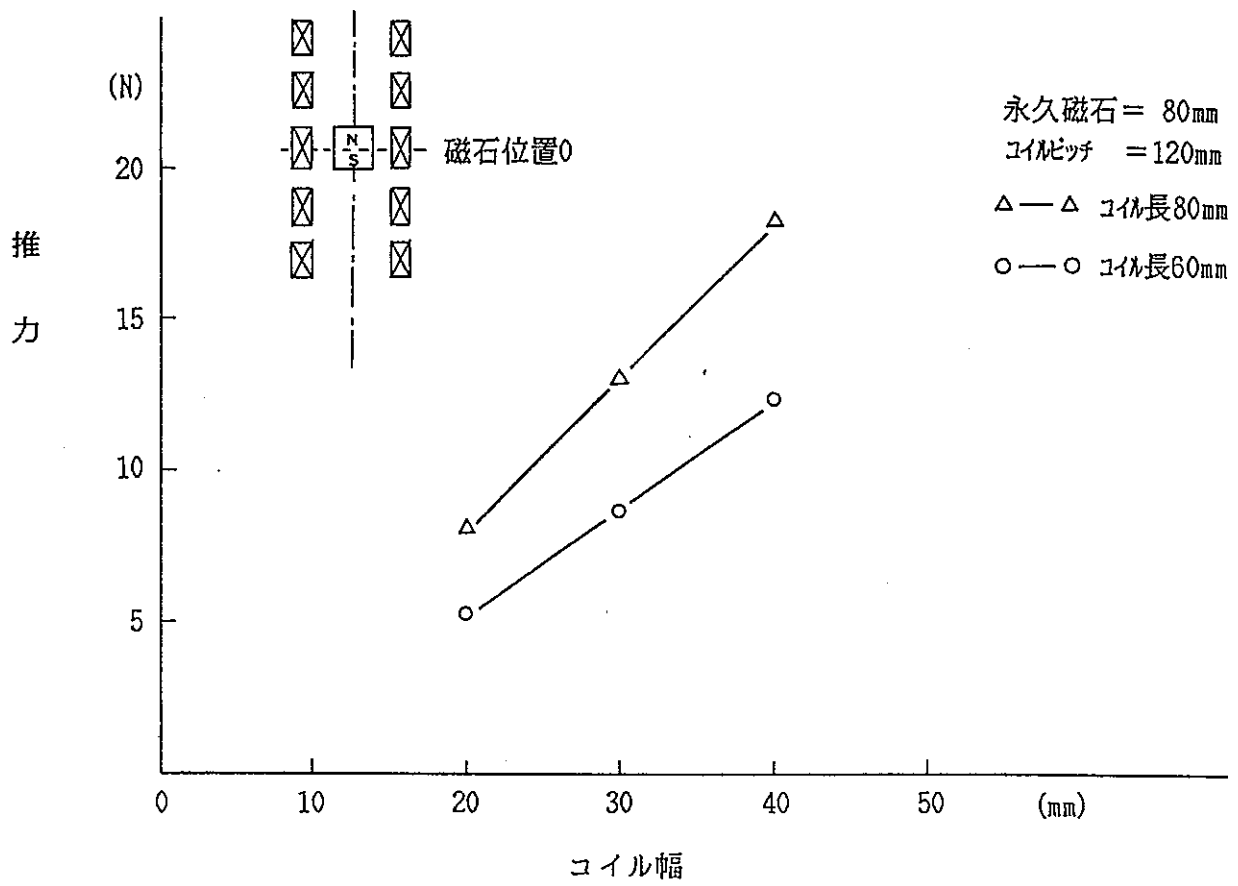


図2.3 電機子コイル寸法と推力(min)の関係 (コイルピッチ 120mm)

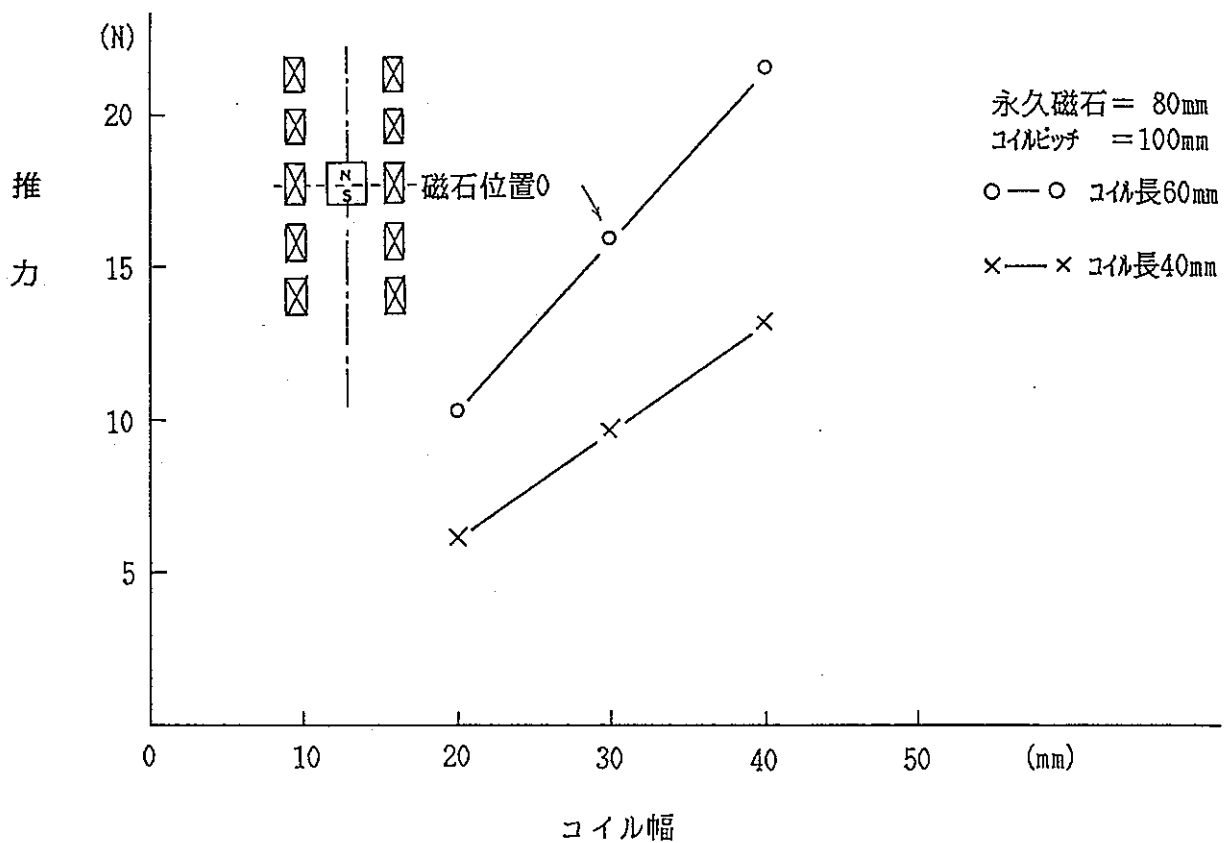


図2.4 電機子コイル寸法と推力(min)の関係 (コイルピッチ 100mm)

永久磁石 = 80mm

コイルピッチ = 80mm

○—○ コイル長60mm

×—× コイル長40mm

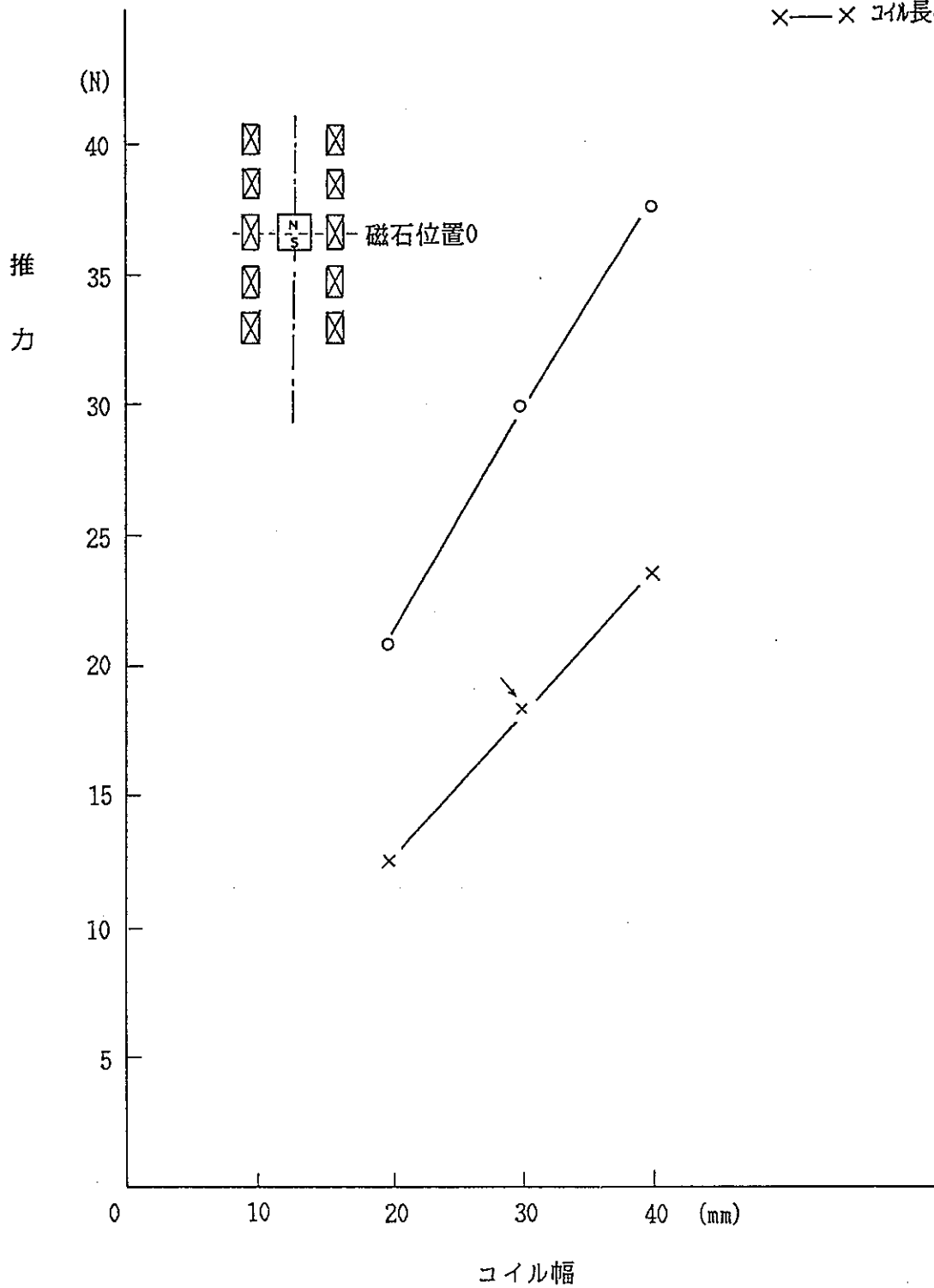


図2.5 電機コイル寸法と推力(min)の関係 (コイルピッチ 80mm)

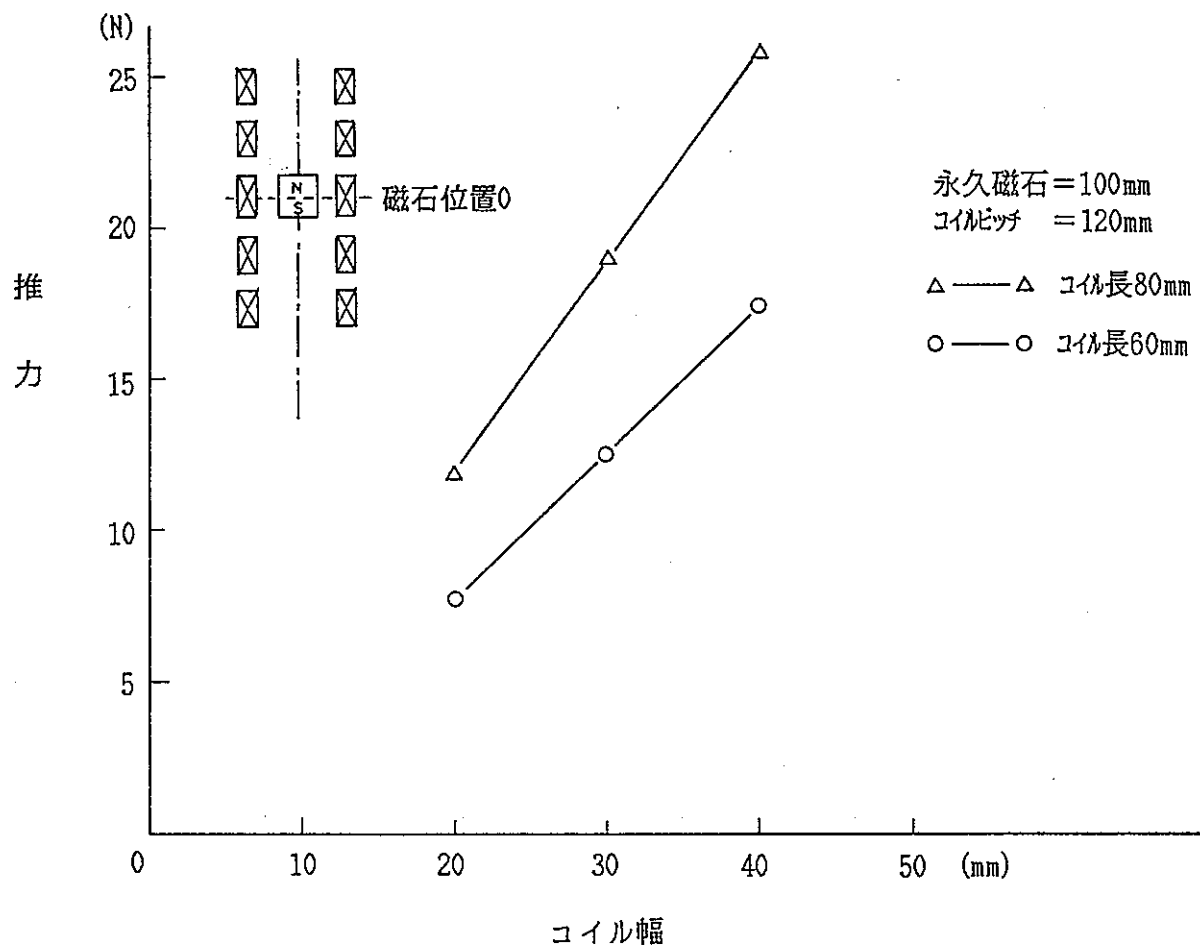


図2.6 電機子コイル寸法と推力(min)の関係 (永久磁石長 100mm)

表2.3 選定された仕様

ケース	項目	仕様	備考	
1	電機子コイル	高さ	60mm	永久磁石は、ケース1, 2は同じであること前提。
		幅	30mm	
		ピッチ	100mm	
	永久磁石	高さ	80mm	
2	電機子コイル	高さ	40mm	
		幅	30mm	
		ピッチ	80mm	
	永久磁石	高さ	80mm	

(3) 磁石位置と推力の関係

表2.3 に示す2ケース及び、この2ケースの間を接続する部分について、各磁石位置に対する推力の計算を行った。

(a) 電機子コイルピッチ一定の部分

図2.7 に電機子コイルピッチ 100mmの場合の推力計算結果を示す。また、コイルピッチ80mmの場合の推力計算結果を図2.8 に示す。

これらの結果より、両ケース共に推力リップルはあるものの、必要な推力は得られている。

(b) 電機子コイルピッチが変化する部分

上記コイルピッチ 100mmと80mmの間は、図2.9 に示すような電機子コイル配列にする。この場合の各位置での推力を計算した。結果を図2.10 及び図2.11に示す。

コイルピッチ90mmのある部分で、推力が要求値15Nより低くなるところがある。この部分では、必要推力を得るためには、計算値よりも 1.2 倍の電流を流す必要がある。この値は若干のコイル温度上昇を招く可能性があるが、この部分でカプセルを保持しなければ、短時間で通過するため問題はないと考えられる。

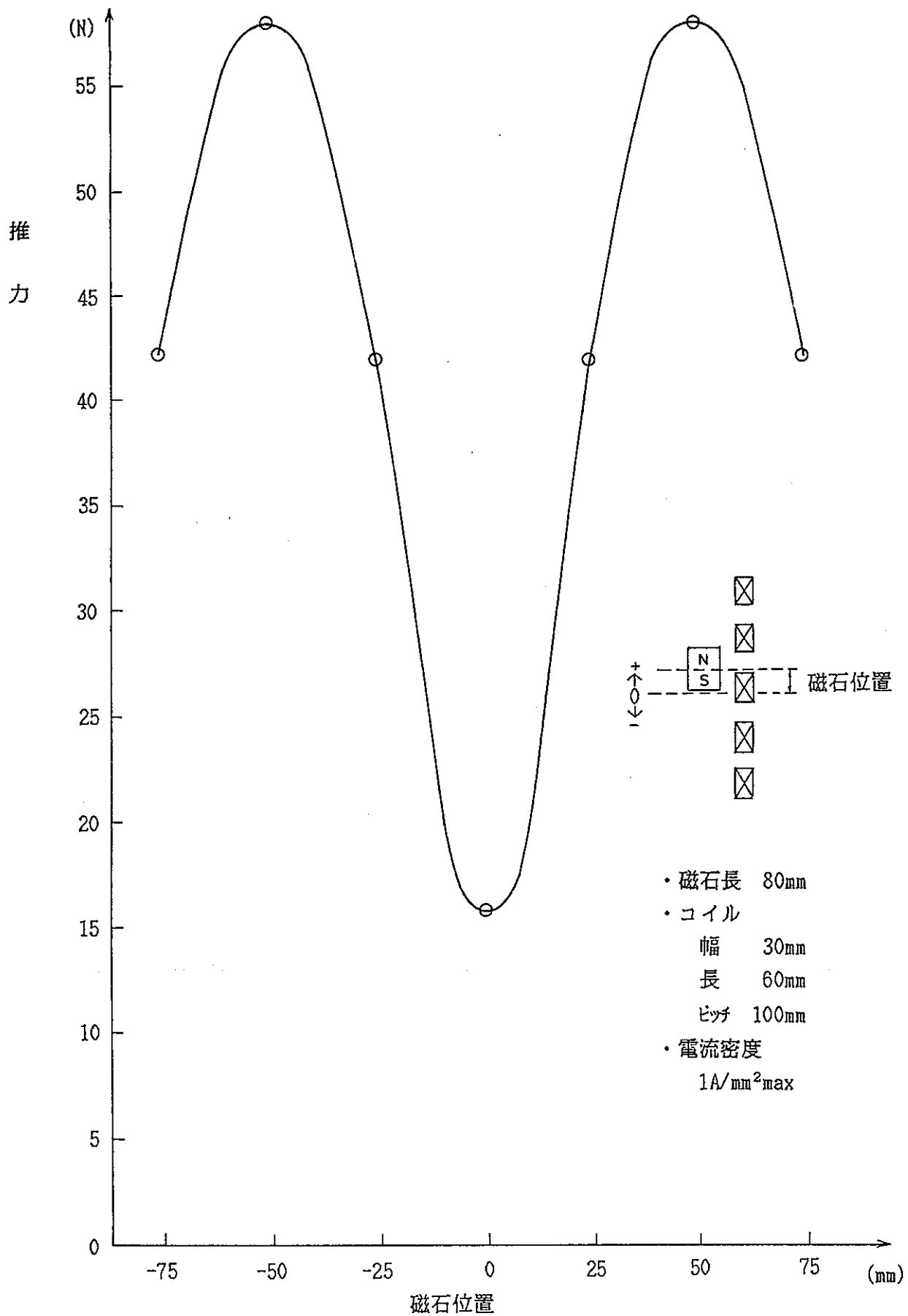


図2.7 各位置における推力 (コイルピッチ 100mm)

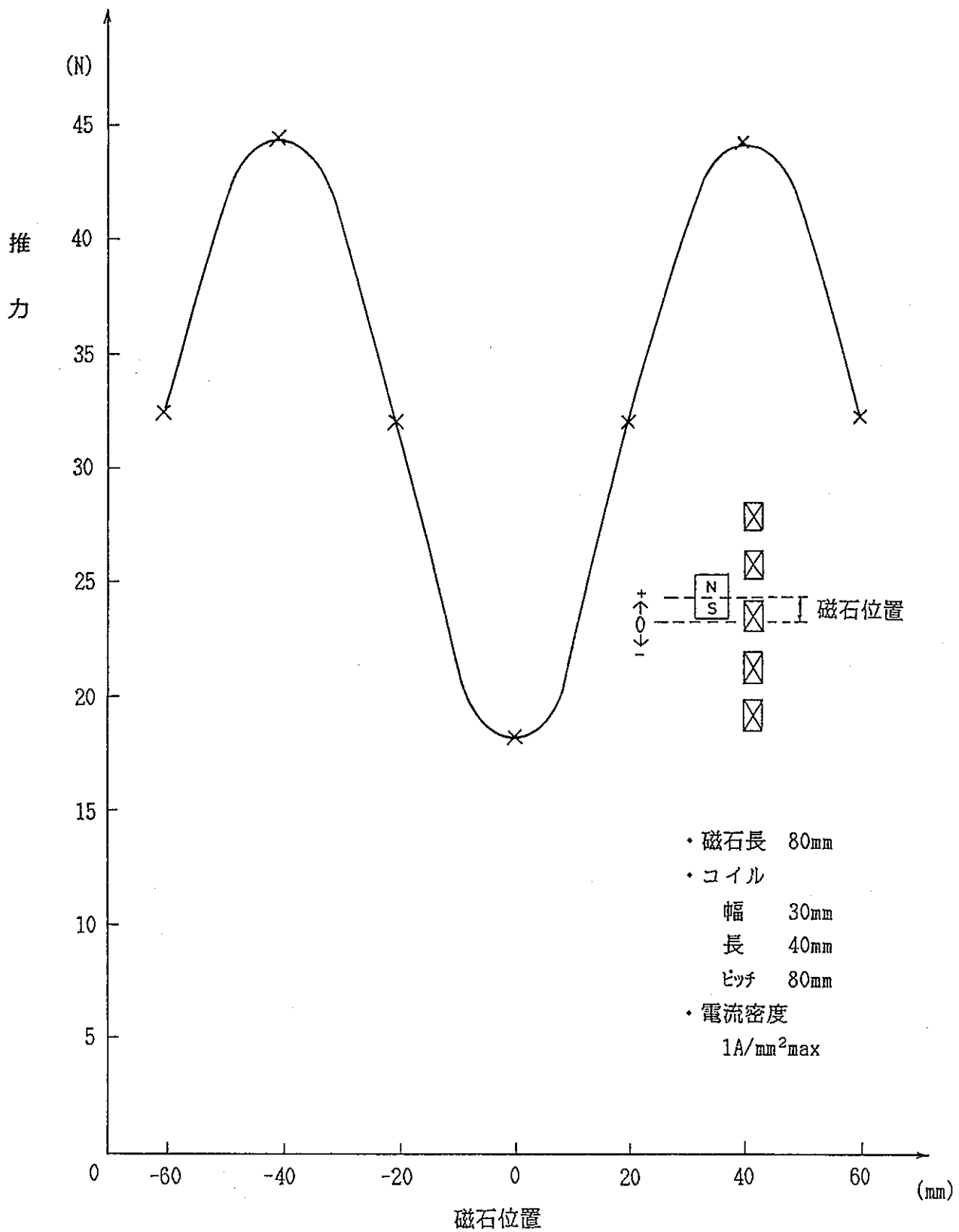
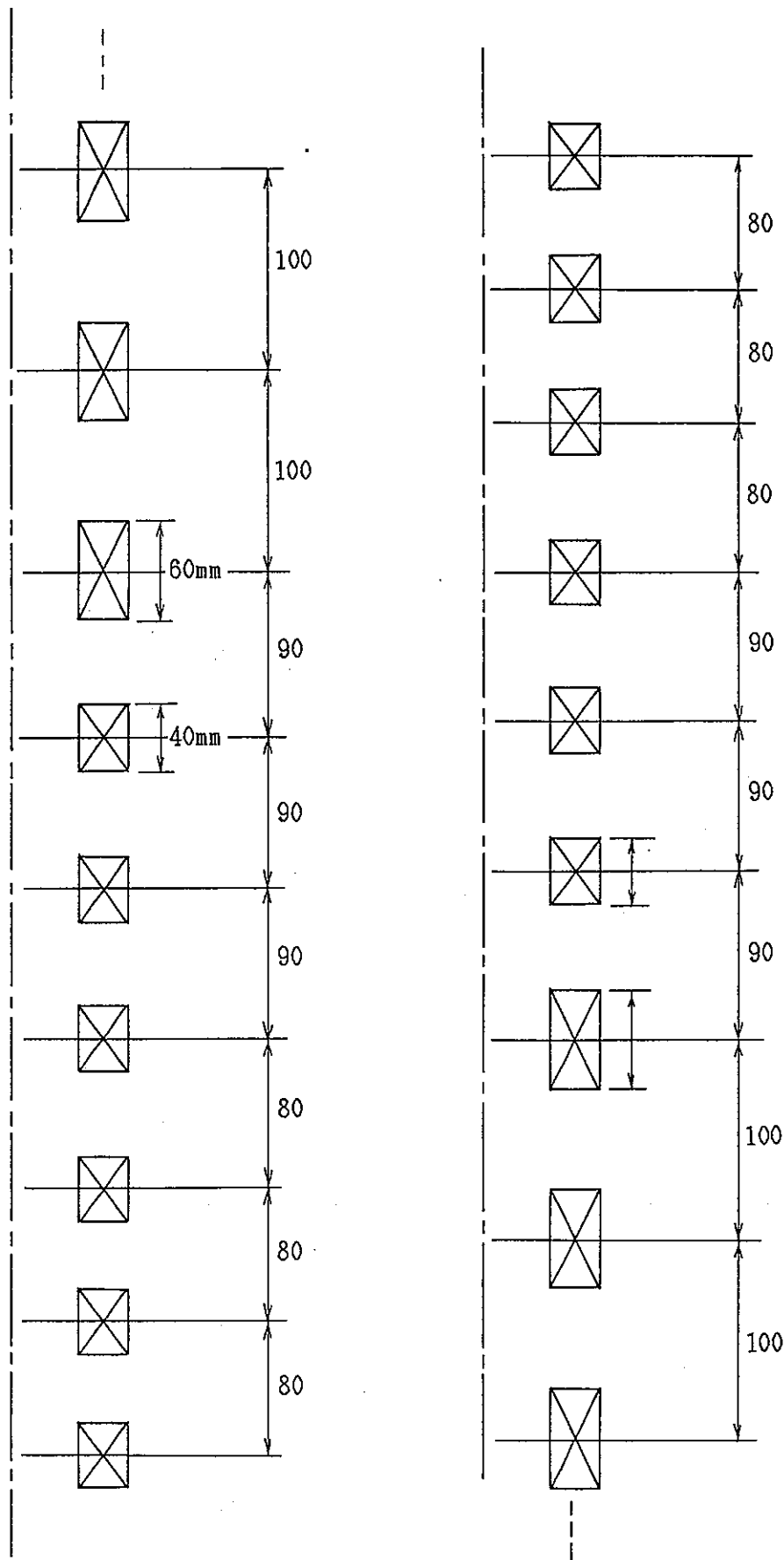


図2.8 各位置における推力 (コイルピッチ 80mm)



(a) 下端部

(b) 上端部

図2.9 電機子コイル配列 (可変コイルピッチ部分)

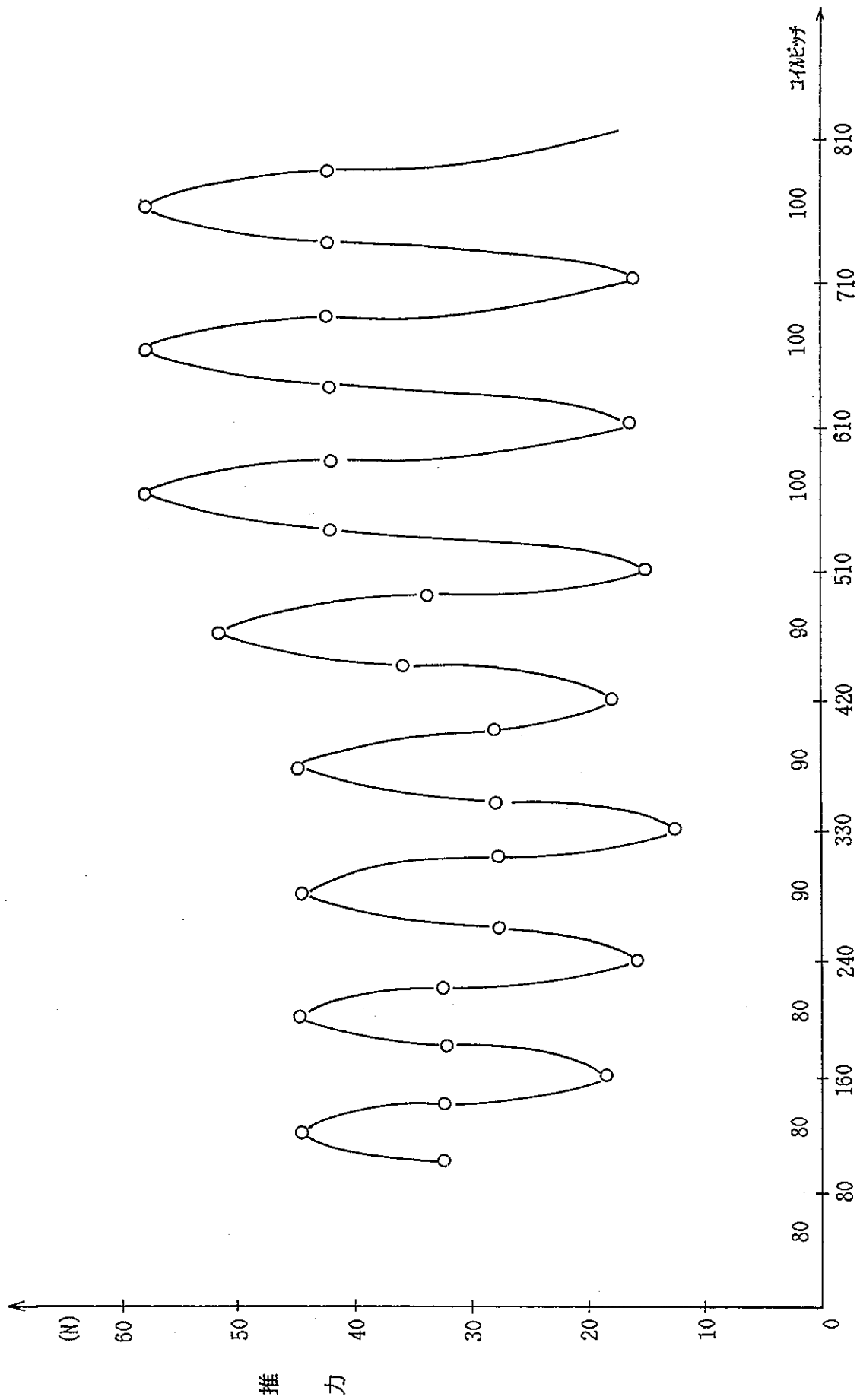
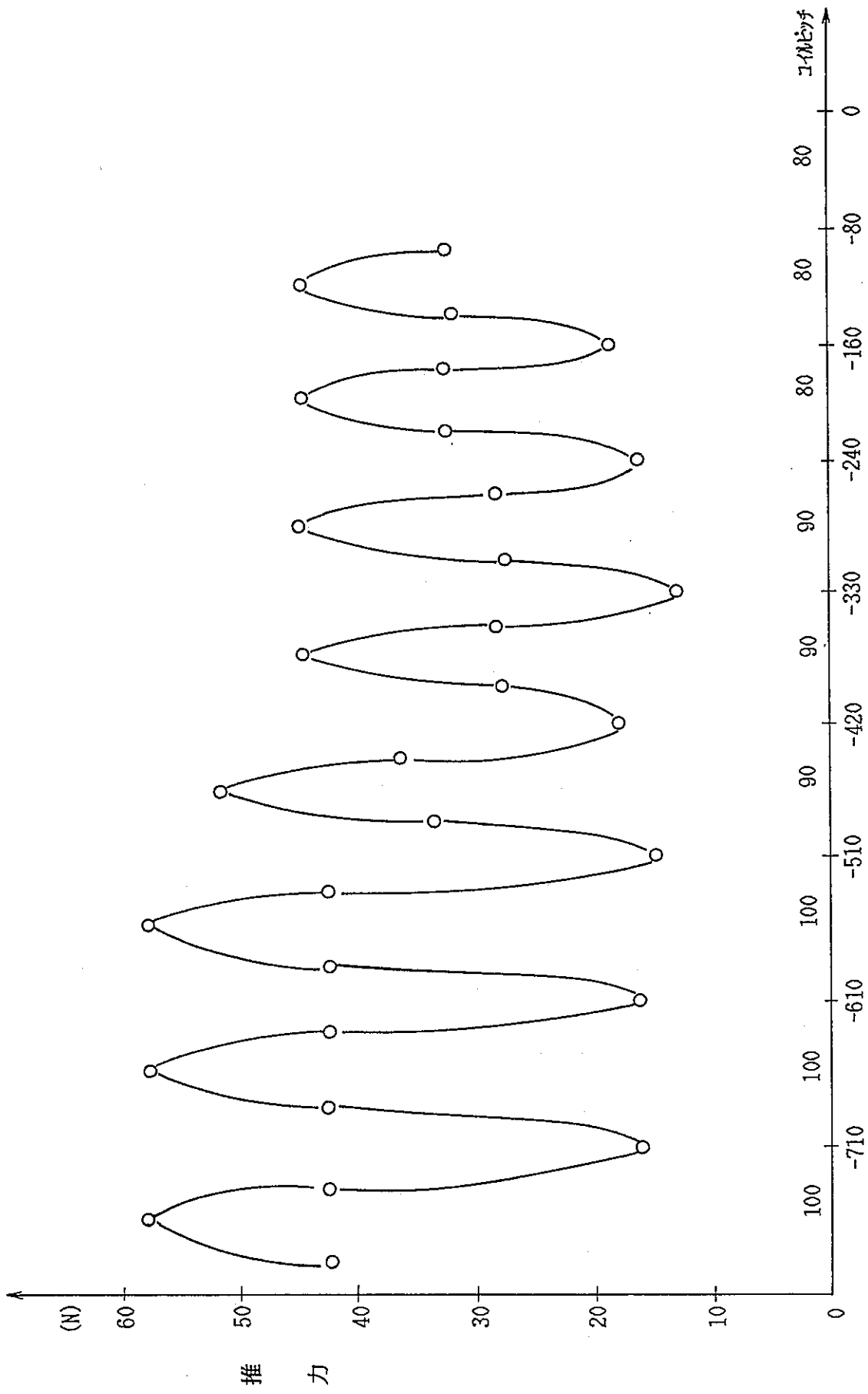


図2.10 各位置における推力 (コイルピッチ 80mm ~ 100mm) 磁石位置 (下端より) (mm)



磁石位置 (上端まで)
(mm)

図2.11 各位置における推力 (コイルピッチ 100mm ~ 80mm)

(4) 駆動電流

位置により推力変化がある。そこで一定推力を得るために必要な三相電流の値を求めた。

(a) 電機子コイルピッチ一定の部分

電機子コイルピッチ 100mm及び80mmの場合の推力15Nを得るための各相の電流密度の計算結果を図2.12及び図2.13に示す。

電機子コイルに通電する電流の電流密度は、 $1A/mm^2$ 以下となっており、コイル発熱等の問題はなく、必要推力を得ることが可能と考えられる。

(b) 電機子コイルピッチ変化のある部分

電機子コイルピッチ 80mm～100mmに変化する部分と、逆にコイルピッチ 100mm～80mmに変化する部分での必要推力15Nを得るための各相の電流密度の計算結果を図2.14及び図2.15に示す。

一部で $1.2A/mm^2$ のところがあるが、他の部分では $1A/mm^2$ 以下であり、コイル発熱の問題はほとんどなく、必要推力が得られる。

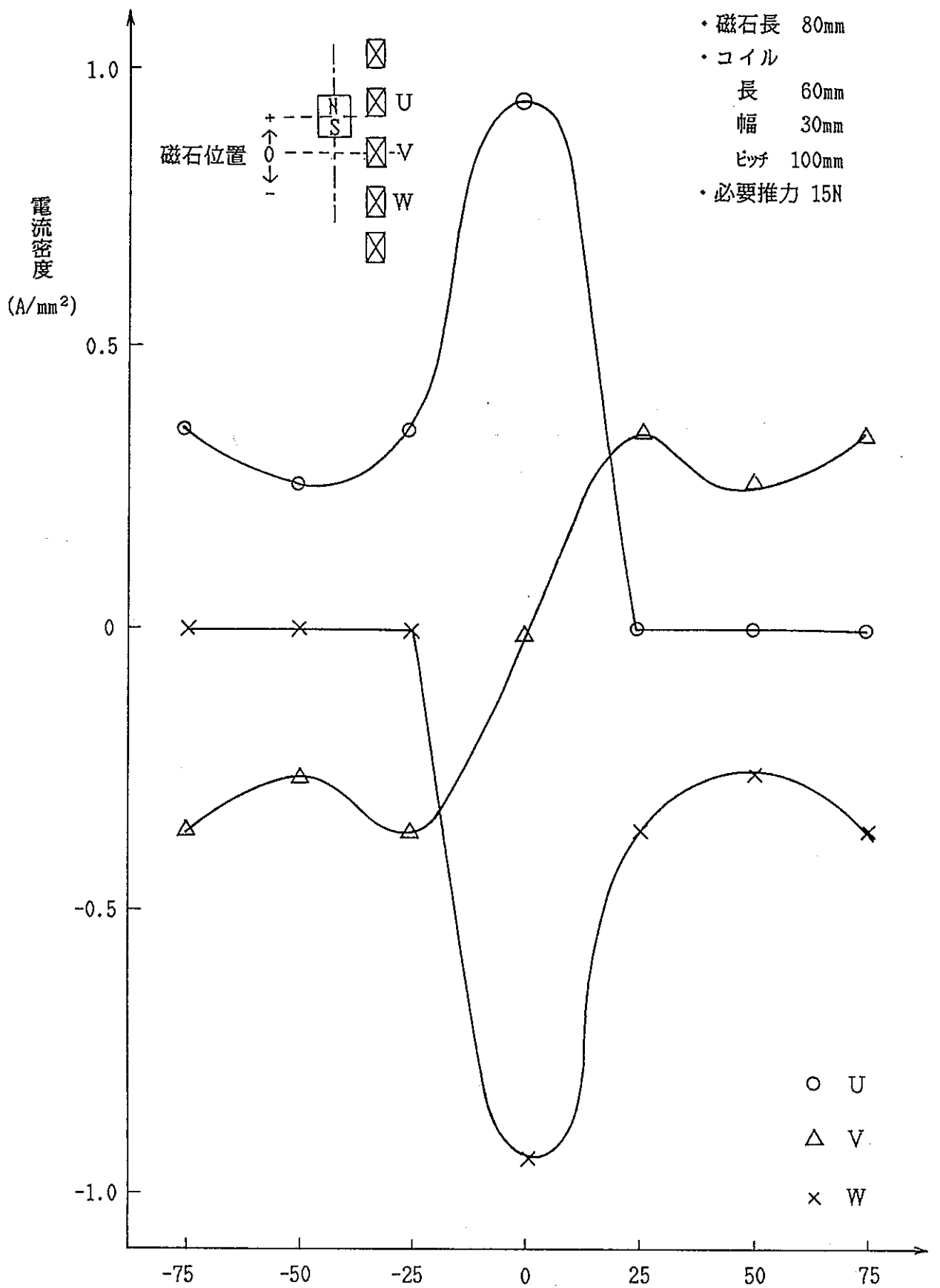


図2.12 各相のコイル電流密度 (コイル長 60mm) 磁石位置 (mm)

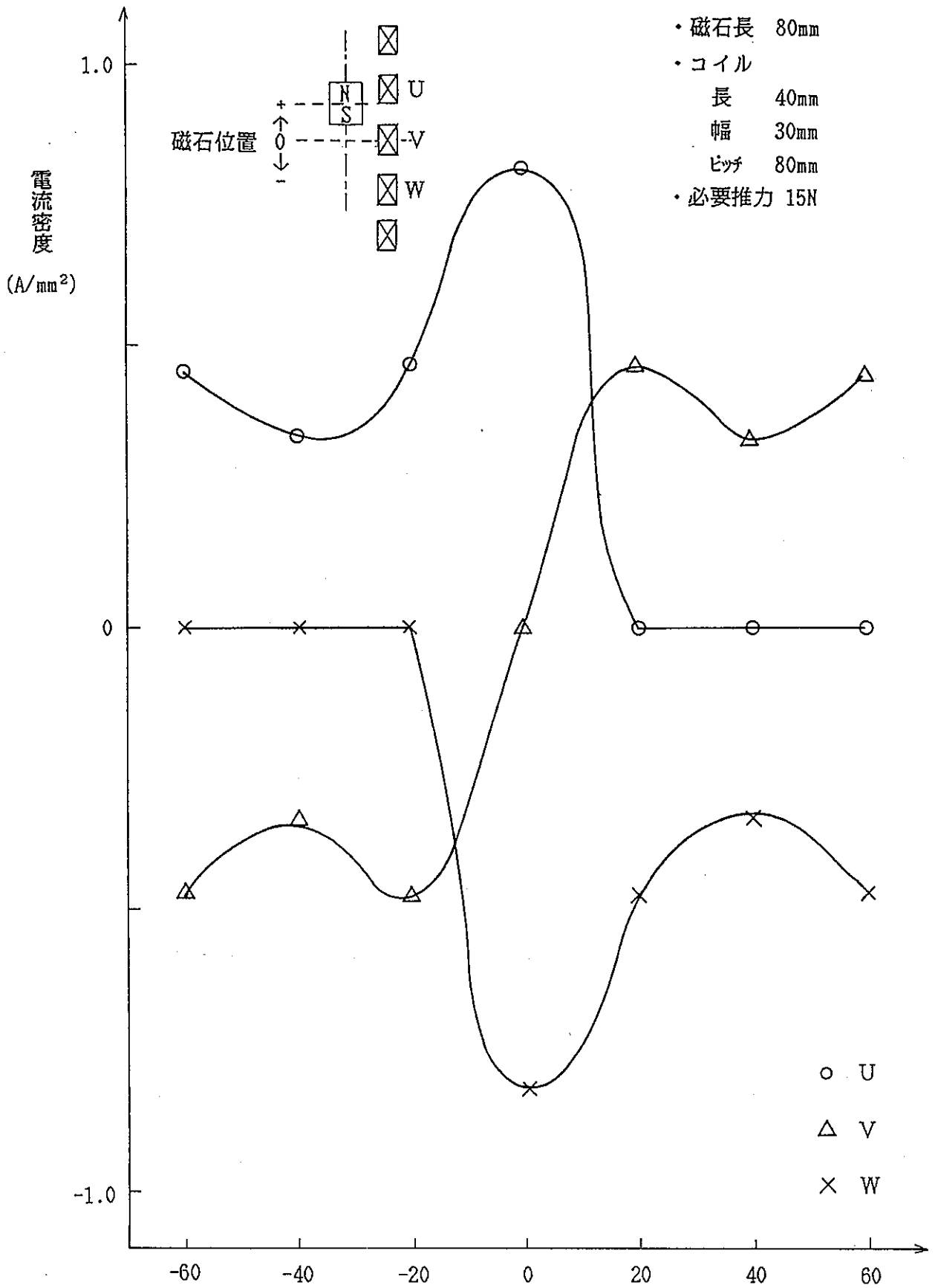


図2.13 各相のコイル電流密度 (コイル長 40mm)

磁石位置 (mm)

必要推力 15N

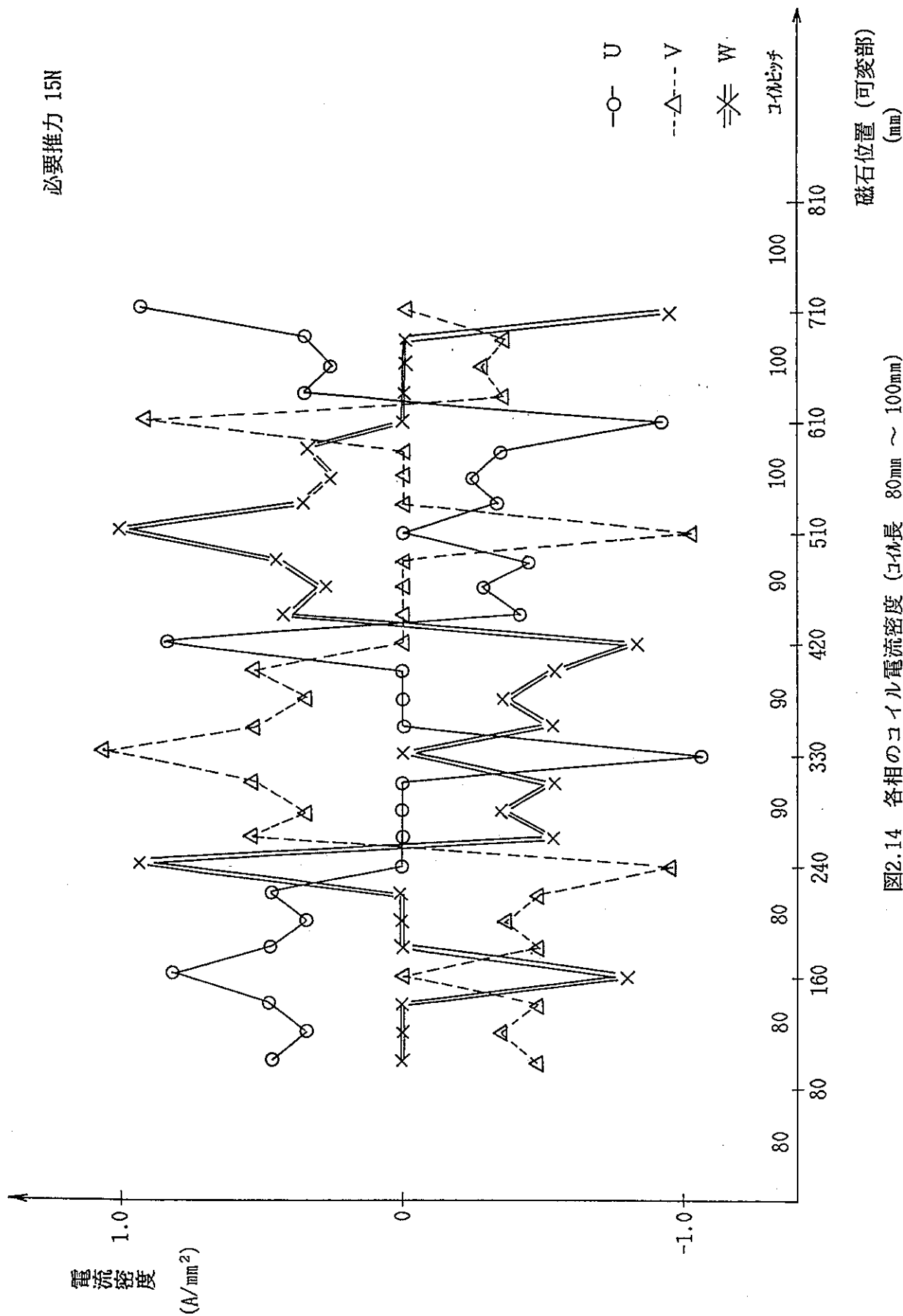


図2.14 各相のコイル電流密度 (コイル長 80mm ~ 100mm)

必要推力 15N

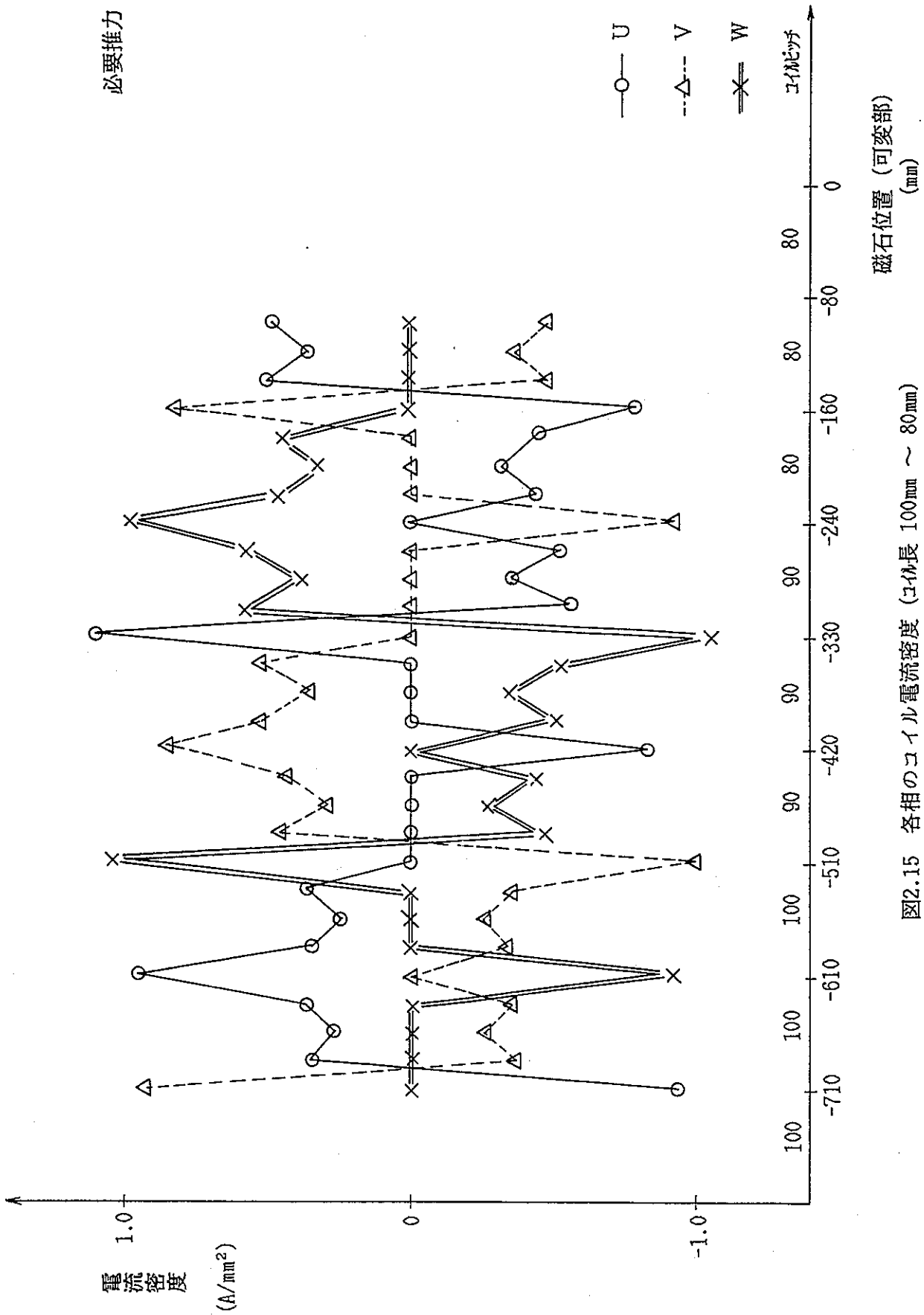


図2.15 各相のコイル電流密度 (コイル長 100mm ~ 80mm)

(5) まとめ

三相同期式リニアモータ方式による立坑搬送システムの推力について解析を行い、必要推力15N以上を得ることができる永久磁石及び電機子コイルの仕様を以下のように選定した。

(a) 永久磁石 : $\phi 45 \times \ell 80\text{mm}$

(b) 電機子コイル : コイルピッチ : 100mm ~ 80mm (可変)

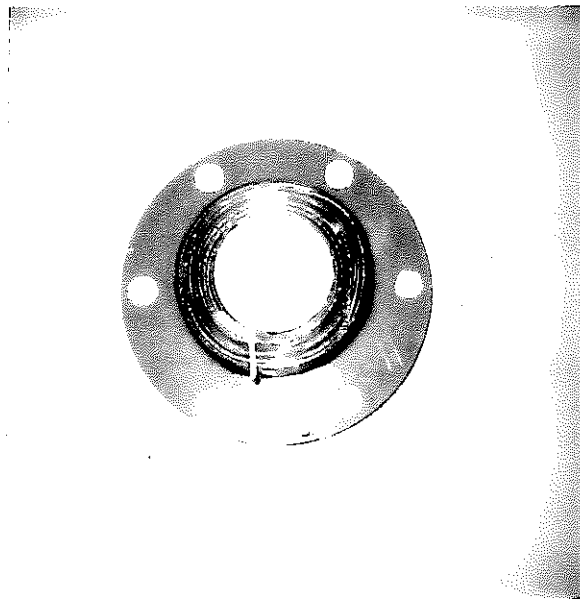
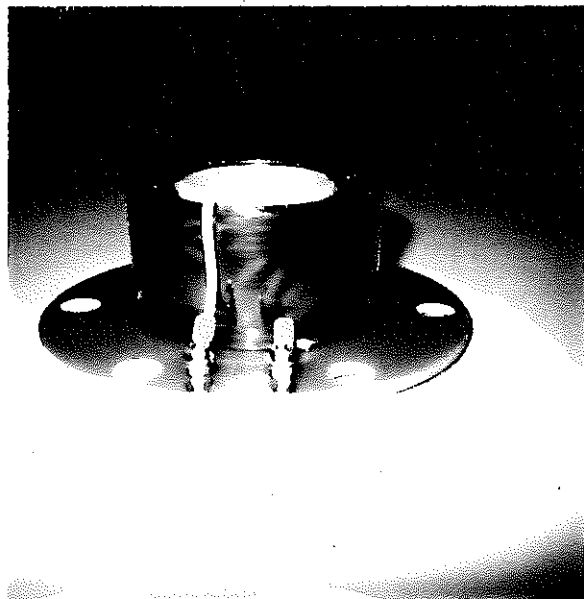
コイル高さ : 60mm及び40mm

コイル幅 : 30mm

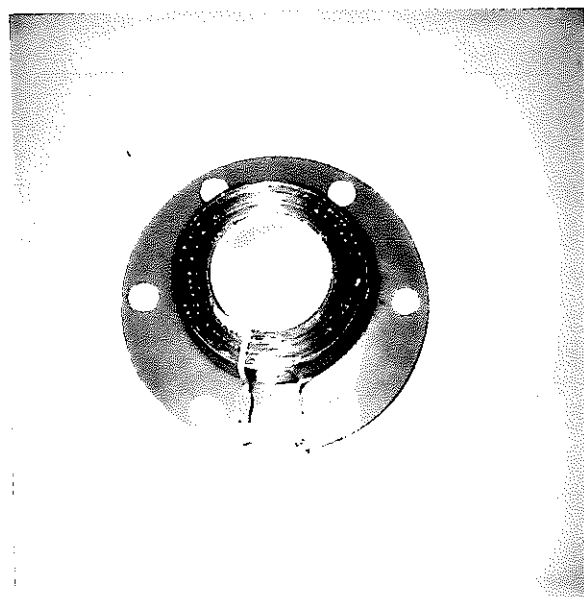
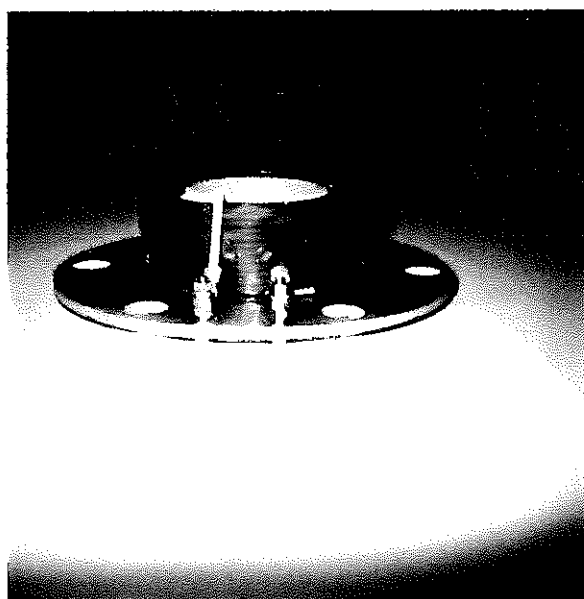
次に、本仕様での各永久磁石位置での推力、及び15Nを発生するための各相のコイル電流密度を求めた。これらの値は、ほぼ要求仕様を満足するものであり、今後、制御ソフトの中に利用する。

2.1.3 試作

設計検討を行った電機子コイルにて、試作コイルを製作した。この試作コイルの外観写真を図2.16に示す。



(1) 試作コイルの外観写真 (コイル1)



(2) 試作コイルの外観写真 (コイル2)

図2.16 試作コイル外観写真

2.3 架 台

架台における要求仕様を、表2.4 に示す。

表2.4 架台要求仕様

NO.	項 目	仕 様	備 考
(1)	実機模擬縮小実験装置	・可変コイルピッチ ・非接触運転	
(2)	搬送路	内径 $\phi 54\text{mm}$ 外径 $\phi 60\text{mm}$	
(3)	組立・解体	容 易	
(4)	落下対策	搬送カプセルをハード的に 受け止める。	

上記の要求仕様を満足する架台の設計・製作を行った。

実験装置基本計画図を図2.17に示す。

3. 今後の予定

基礎研究 (IV) の今後の予定を表3.1 に示す。

実機模擬実験装置の開発において、今後の検討設計は以下の要素項目を実施する必要がある。

- 可変コイルピッチに伴う位置 I / F 盤の改造
- 実機模擬装置に伴う制御盤の製作
- 可変コイルピッチ及び実機模擬装置の開発に伴う制御系の改造
- 開発を行った実験装置の組立・調整及び試験

表3.1 今後の予定

項 目	H5/9	10	11	12	H6/1	2	3	備考
位置 I / F の改造			→					
制御盤の製作			→					
制御ソフトの改造			→					
組立・調整・試験				→				
まとめ						→		

付録 搬送路内径における位置検出評価

1. 目的

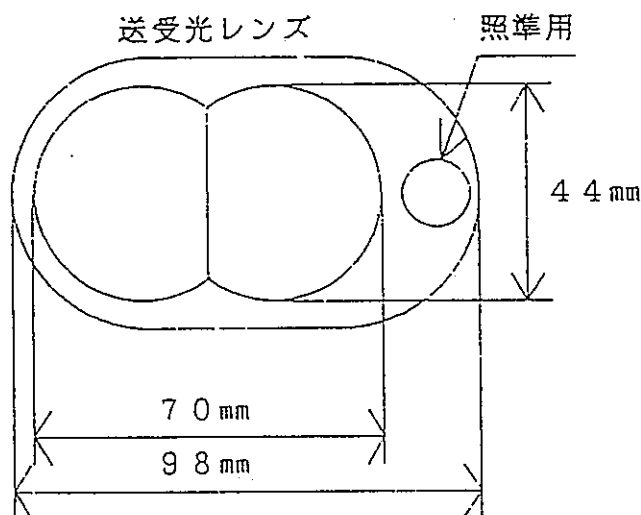
平成4年度製作の立坑搬送システムにおいて、基礎研究（Ⅲ）までに製作した装置をできるだけ使い、小型の実験装置を製作することとなった。

そこで、小型の実験装置を製作するに当たり、基礎研究（Ⅲ）で製作した位置検出器について、その機能（性能）を損なわない搬送路の最小内径を調べることにした。

本付録は、搬送路の内径に対する位置検出器の性能試験結果についてまとめたものである。

2. 試験項目

基礎研究（Ⅲ）で製作した位置検出器のセンサ部分は、下図のように直径44mmの透光レンズと受光レンズが組み合わされ、約70mmのレンズ長さとなっている。



基礎研究（Ⅳ）では、搬送路を小さくすると共に、位置検出は下方から行うため、次の項目について性能試験を行うこととする。

(1) 搬送路内径による性能への影響

パラメータ 搬送路無し，搬送路内径：54mm，74mm，94mm

(2) 搬送カプセルの落下防止対策による性能への影響

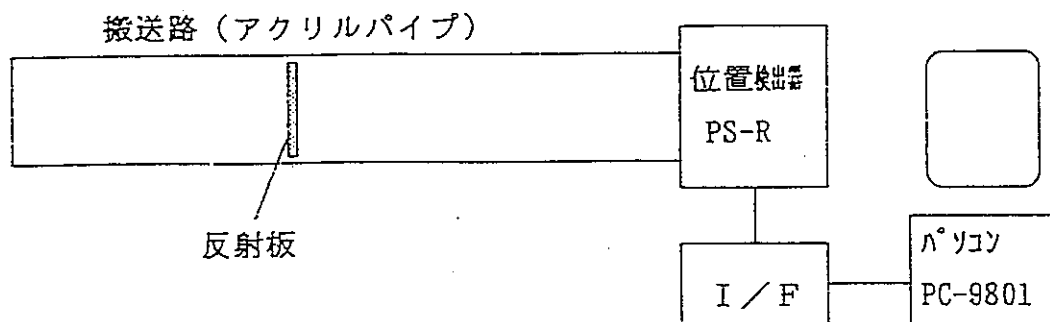
パラメータ アミ，枠，アクリル板等を搬送路内に設置

3. 試験方法

基礎研究(Ⅲ)で製作した位置検出器は、位置検出器のI/F, 反射板を用いて実験を行った。

(1) 搬送路内径による性能への影響

(a) 装置構成



各内径のアクリルパイプ長さは、3mのものを準備した。

(b) 試験方法

- (ア) 位置検出器を固定し、搬送路を位置検出器の送受光レンズの中心に合わせ、垂直に設置する。
- (イ) 搬送路内に反射板を設置(固定)し、この反射板の位置を位置検出器及びI/Fによって、計算機で200回測定を行う。
- (ウ) 反射板の位置は、およそ次の値付近とする。
1 m, 1.5m, 2 m, 2.5m, 3m
- (エ) 搬送路の内径(54mm, 74mm, 94mm)を、変えて同様に位置測定を行う。
- (オ) 比較データとして搬送路を除き、同じ位置(距離)に同じ大きさの反射板を設置し、同様に位置測定を行う。

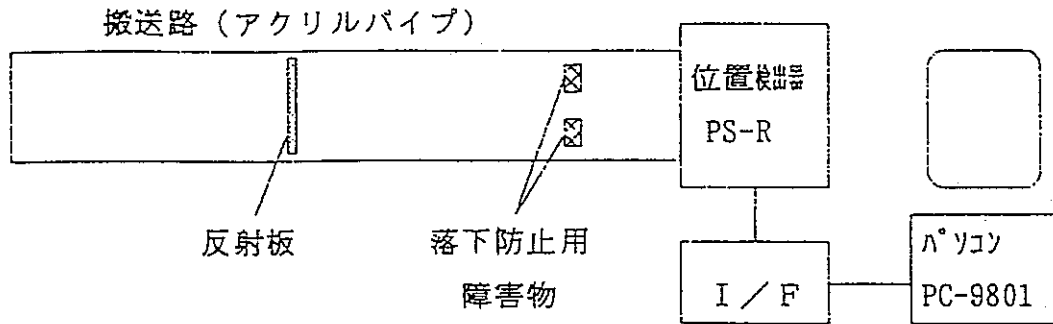
(c) 評価方法

- (ア) 各条件で測定した位置データの平均値及び標準偏差を求める。
- (イ) 標準偏差の比較を行い、搬送路の内径による影響を評価する。
- (ウ) 3mの位置での測定値の結果(平均値)より、搬送路内径による影響を評価する。(測定値が、実際の値より小さくなる等の影響がないかを調べる。)
- (エ) 以上より、位置検出器の性能への影響の少ない、最小搬送路の内径を選択する。

(2) 搬送カプセルの落下防止対策による性能への影響

(a) 装置構成

(1) で選択した内径の搬送路を用い、反射板と位置検出器の間に、ネットやピンなどを模擬した障害物を設置し、それによる位置検出器の影響を調べる。



搬送路内に設置する搬送カプセルの落下防止用の障害は、模擬したものを搬送路にテープ等でつけるものとする。

(b) 試験方法

- (ア) 反射板の位置は、1 m 及び 1.5 m とする。
- (イ) 搬送カプセルの落下防止用の障害物の位置は 1 m とする。
- (ウ) 落下防止用の障害物として、次のものを設置した状態で位置検出器で 200 回位置測定を行う。

- ・アミ : 目の粗いものを設置する。
- ・ピン (突起) : 送受光レンズの短軸方向に各種大きさのものを設置する。

- (エ) 比較のため、障害物を取り除いた状態で、同様に位置計測を行う。

(c) 評価方法

- (ア) 各条件で測定した位置データの平均値及び標準偏差を求める。
- (イ) 標準偏差の比較を行い、障害物による影響を評価する。
- (ウ) 以上より、位置検出器への影響の少ない落下防止対策、及び搬送路の内径を決定する。

4. 試験結果

本試験は、非接触位置検出器：PS-Rからの信号を、位置検出器用I/Fユニットを介して、パソコン(PC-386LS, EPSON)でデータを取り込んで処理を実施している。

表-1に本試験に用いたI/Fユニットなどの測定条件を示す。

(1) 搬送路内径による性能への影響

(a) 搬送路内径の違いによる影響

各種内径の搬送路について、反射板の位置を1~3mに変化させた場合の測定値のばらつきを、表-2にそれぞれ示す。

これにより、以下のことが言える。

(f) 測定値の標準偏差： σ は、最大2.05mmで距離が長くなるほどやや小さくなっている。

(g) 測定値のばらつき幅は、最大10mm強となっている。

(h) 搬送路の各内径によるばらつき(標準偏差)の差は、ほとんど見られない。

(b) 搬送路による影響

搬送路がある場合と無い場合について、測定値のばらつきの比較・評価した結果を表-3に示す。

これより、各内径の搬送路の有無によっては、測定値の平均値がほとんど変化していないことが判る。0.7~3.1mmの差が見られるが、これは搬送路(アクリルパイプ)を取り除く際に、反射板の位置が若干動いたためと考えられる。

また、ばらつき幅も10mm強のまま変化がなく、標準偏差についても、有意差は無いものと考えられる。

以上により、本試験に用いた搬送路の内径： $\phi 94\text{mm}$ 、 $\phi 74\text{mm}$ 、 $\phi 54\text{mm}$ について、搬送路による非接触位置検出器の性能への影響は無いものと考えられる。

従って、搬送路の内径は最小の $\phi 54\text{mm}$ が使用できる。

表-1 試験条件

項目	内容	
搬送路(7カリパイプ) 寸法	内径: 54.74.94mm 厚: 3mm 長さ: 約 1022mm 積: 各3本	
反射板 径	φ92(内径94の場合), φ72(内径74の場合), φ52(内径54の場合)	
測定回数	200回	
I/F	係数	6C8
	オフセット値	-116
	移動平均回数	8回
標準偏差 σ	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n}}$	n : サンプル数 (200) Σx ² : サンプルの2乗の和 x̄ : サンプルの平均値

表-2 搬送路内径による性能への影響

反射板置	内径	最小値	最大値	平均値	標準偏差
1000	φ94	994.90	1005.84	1000.46	2.03
	φ74	998.89	1009.83	1000.37	1.96
	φ54	992.99	1003.93	997.04	2.05
1500	φ94	1494.87	1504.94	1499.63	2.01
	φ74	1494.87	1504.94	1499.81	2.05
	φ54	1495.91	1506.85	1501.32	1.98
2000	φ94	1991.89	2001.96	1996.26	1.71
	φ74	1988.94	1997.96	1993.53	1.76
	φ54	1995.88	2004.91	2000.96	1.76
2500	φ94	2496.89	2504.87	2500.54	1.43
	φ74	2496.89	2504.87	2500.42	1.56
	φ54	2493.94	2500.88	2497.74	1.51
3000	φ94	2995.99	3004.84	3000.36	1.90
	φ74	2990.95	3000.85	2996.12	1.58
	φ54	2992.00	2999.98	2995.62	1.70

(単位:mm)

表-3 搬送路 (パイプ) がある場合と、ない場合の比較

内径		最小値	最大値	平均値	標準偏差
φ94	(パイプあり)	3067.86	3076.89	3072.11	1.76
	(パイプなし)	3070.98	3079.84	3075.01	1.80
φ74	(パイプあり)	3059.87	3069.94	3064.88	1.72
	(パイプなし)	3061.96	3069.94	3065.47	1.66
φ54	(パイプあり)	3063.00	3073.94	3067.10	1.86
	(パイプなし)	3058.83	3067.86	3064.00	1.75

注) 反射板径φ=約3070mm

(単位:mm)

(2) 搬送カプセルの落下防止対策による性能への影響

搬送カプセルの落下防止対策として、次に挙げる障害物を設置するものとし、非接触位置検出の性能への影響を調べた。

(a) 透明なアクリル板

搬送路の途中に透明なアクリル板を挿入し、位置検出器の測定値のばらつきを求めた結果を表-4に示す。また、挿入したアクリル板と反射板が密着した場合について、その位置検出器の測定値への影響を調べた結果を表-5に示す。

これらより、傷の入っていないアクリル板を挿入しても、位置検出器のばらつきは変化しないことが判る。従って、測定値の標準偏差にも、十分な有意差が認められない。

平均値については、変化が見られるが変化がほとんど見られないケースもあることから、これはアクリル板の挿入の際に、反射板の位置が動いたためと考えられる。

従って、場合によっては非接触位置検出器から1mの位置に、アクリル板を設置し、その上に搬送カプセルを乗せた状態で、搬送システムの起動を行う方法が考えられる。この場合、アクリル板が傷つかないようにすることと、異常落下時にアクリル板を突き破らない厚みを持たせることが必要となる。

(b) 搬送路内への突起（切り欠き、内径の小さい輪、アミ）

搬送路内に設ける異常落下防止用の障害物として、切り欠き、同心円、格子アミの各形状のものを模擬したものを、搬送路1mの位置に設置し、非接触位置検出器の性能への影響を調べた結果を表-6に示す。

これにより、同心円上の障害物で、反射板が1mの位置のケースを除き、障害物が無い場合とほとんど差が認められない。先のケースについても、平均値のみが小さいだけであるため、反射板の位置ずれによるものと考えられる。

従って、本試験に用いた形状の障害物については、非接触位置検出器への影響は無いと言える。

以上のことから、異常落下防止用の障害物としては、落下の衝撃を受け止めるためにも、強度的に金属製のアミが良いと考えられる。

但し、搬送カプセル側についても、反射板の部分に衝撃吸収用にアブソーバを備え付ける設計を考慮しておく必要がある。

表-4 障害物(アクリル板)の影響(搬送路内径:54mm)

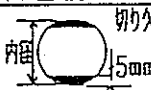





障害物	最小値	最大値	平均値	標準偏差
アクリル板なし	3066.99	3077.93	3071.82	1.87
1mの位置に1mmの アクリル板を挿入	3066.99	3076.89	3071.47	1.77
1.2mの位置に1mmの アクリル板を挿入	3057.96	3067.86	3063.06	1.87
1mの位置に1mmの アクリル板を2枚挿入	3068.90	3077.93	3074.09	1.71
1mの位置に3mmの アクリル板を挿入	3068.90	3078.97	3074.21	1.85
1mの位置に3mmの アクリル板を1枚 1mmのアクリル板を 2枚挿入	3091.99	3100.84	3096.93	1.80

注)反射板位置=約3070mm

表-5 障害物(アクリル板)の影響(反射板とアクリル板が密着した場合、搬送路内径:74mm)

障害物	最小値	最大値	平均値	標準偏差
アクリル板なし	1021.98	1032.92	1028.58	1.85
1mの位置に3mmの アクリル板と反射板	1025.98	1036.91	1030.85	1.93

表-6 障害物の影響(各種形状, 搬送路内径:54mm)

反射板位置	障害物	最小値	最大値	平均値	標準偏差
1m (z=)	障害物なし	1023.89	1034.83	1029.50	1.97
	 切り欠き状 内径 15mm	1024.93	1034.83	1029.76	1.92
	 同心円状 内径 15mm	1020.94	1031.88	1025.79	1.85
	 格子状 格子の寸法: 5mm 内径	1023.89	1036.91	1030.58	2.04
1.5m (z=5)	障害物なし	1495.91	1506.85	1502.40	2.06
	 切り欠き状 内径 15mm	1496.95	1506.85	1501.61	2.03
	 同心円状 内径 15mm	1497.79	1506.85	1501.72	2.04
	 格子状 格子の寸法: 5mm 内径	1497.99	1507.89	1502.56	1.88

注) 障害物位置 = 1 m
 障害物の色 : 黒
 格子線の幅 = 1 mm
 障害物は 1mm のアクリル板に張付

5. まとめ

本試験によって、非接触位置検出器の位置検出性能に対する影響を調べた結果、下記の結果が得られた。

(1) 搬送路内径による性能への影響

本試験に用いた搬送路の内径： $\phi 94\text{mm}$ 、 $\phi 74\text{mm}$ 、 $\phi 54\text{mm}$ について、搬送路による非接触位置検出器の性能への影響は無いものと考えられる。

従って、搬送路内径は、最小の $\phi 54\text{mm}$ が使用できる。

(2) 搬送カプセルの落下防止対策による性能への影響

異常落下防止用の障害物としては、落下の衝撃を受け止めるためにも、強度的に金属製のアミが良いと考えられる。

但し、搬送カプセル側についても、反射板の部分に衝撃吸収用にアブソーバを備え付ける設計を考慮しておく必要がある。