リニアモータとその応用

Linear Motors and Their Applications

電気学会　磁気アクチュエータ調査専門委員会編

電 気 学 会

ま え が き

リニア電磁アクチュエータとは，電磁力によって媒体に直接直線的な運動または往復運動を与える駆動装置であると定義でき，その代表的な機種はリニアモータである．現在，世界的にみて実に多種多様なリニア電磁アクチュエータが研究開発，生産されている．

このような情勢にかんがみ，電気学会においては1980年（昭和55年）6月から1983年（昭和58年）5月までの3箇年にわたって磁気アクチュエータ調査専門委員会を設け，リニアモータに関する理論，応用両面からの調査研究を実施してきた．この調査研究から全リニアモータを8機種，つまりリニア直流モータ，リニア誘導モータ，リニア電磁ソレノイド，リニアパルスモータ，リニア振動アクチュエータ，リニア同期モータ，リニア電磁ポンプおよびリニアハイブリッドモータに分類し，これらの動作原理，特性値および応用分野を明確化してきた．

さらに，昭和57年9月には「産業用リニアモータ訪欧調査団」を編成し，ヨーロッパおよび東欧におけるリニアモータの研究開発を広く調査し，当地のリニアモータ研究者と具体的に情報交換をすることができ，有益な知見が得られた．

世界において，リニア電磁アクチュエータの研究開発は活発に行われている．例えば，英国，西独ではリニア誘導モータの輸送機関への応用，ソ連，東欧ではリニア振動アクチュエータ，リニアパルスモータの産業機械への応用，米国ではリニア直流モータ，リニアパルスモータの情報機器への応用などが行われている．海外の各国においては，我が国の標記委員会のような存在がないために応用分野がそれぞれ偏っている．

これに対して，日本ではリニアモータ全8機種の研究開発がほぼ平行に進められている．つまり，国鉄宮崎線で研究が進められているリニア同期モータの

磁気浮上式列車からはじまって他の7機種のリニアモータの情報機器，ロボット，OA，産業機器および家電製品などへの組込みが積極的に行われており，リニアモータの研究開発では我が国はリーダシップをとっている．

電気学会磁気アクチュエータ調査専門委員会では，リニアモータの専門家を集め，300余編の内外資料を調査研究し，その過程で新造語「リニア電磁アクチュエータ」を生み，「リニア電磁アクチュエータ（リニアモータ）は，それ自身ではよい機械とはいえない．しかし，リニア電磁アクチュエータを組み込んだ機械は，素晴らしい装置になる．」ことを確信するようになった．

これらの成果が本書の誕生となった．本書は，4編から構成されている．

1. **基礎・理論編**では，各種リニアモータの動作原理とその解析法が要領よくまとめられている．
2. **応用機器編**では，リニアモータの新しい応用分野を意欲的に展望し，海外における研究開発の最新の情報にも触れている．
3. **計測・構成要素編**では，リニアモータの機械量および電磁気量の測定法を説明し，構成要素としての磁性材料，永久磁石，支持機構および磁気軸受について記述している．
4. **リニアモータの特性値**では，現在この世に出ている各種リニアモータの特性値を整理してまとめて示してある．

リニアモータの研究開発は，あくまでも先端技術として考え，腰をすえてとりかからないと思わぬしっぺがえしを受けることがある．この研究開発を押し進めるために必要なものは，融通性のある発想，高い強度の材料，ユニークな支持機構である．そして，最っとも欲しいものは，多くの研究仲間である．

本書を通じて，一人でも多くの同志が増えられることを心から期待する次第である．

昭和58年2月

電気学会磁気アクチュエータ調査専門委員会

委員長　山　田　　一

電気学会　磁気アクチュエータ調査専門委員会委員

Members of The Magnetic Actuator Technical Committee of
The Institute of Electrical Engineers of Japan

委員長	山　田　　一　(信州大学)
Chairman	Hajime YAMADA (SHINSHU UNIVERSITY)
幹　事	海老原　大　樹　(武蔵工業大学)
Secretaries	Daiki EBIHARA (MUSASHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY)
	脇　若　弘　之　(株式会社小野測器)
	Hiroyuki WAKIWAKA (ONOSSOKI LTD.)
幹事補佐	川　西　利　昌　(日本大学)
	Toshimasa KAWANISHI (NIHON UNIVERSITY)
委　員	饗　庭　　貢　(金沢工業大学)
Members	Mitsugu AIBA (KANAZAWA INSTITUTE OF TECHNOLOGY)
	射場本　正　彦　(株式会社日立製作所)
	Masahiko IBAMOTO (HITACHI LTD.)
	岩　崎　正　見　(古河電気工業株式会社)
	Masami IWASAKI (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.)
	岩　間　明　彦　(株式会社リコー)
	Akihiko IWAMA (RICOH CO., LTD.)
	大　平　膺　一　(日本大学)
	Yoichi OHIRA (NIHON UNIVERSITY)
	鹿　野　快　男　(東京農工大学)
	Yoshio KANO (TOKYO UNIVERSITY OF AGRICULTURE AND TECHNOLOGY)
	上　岡　重　信　(株式会社広業社)
	Shigenobu KAMIOKA (KOGYOSHA CO., LTD.)
	河　合　次　男　(鉱通工業株式会社)
	Tsuguo KAWAI (KANETSU KOGYO CO., LTD.)
	菊　地　新　喜　(東北学院大学)
	Shinki KIKUCHI (TOHOKU GAKUIN UNIVERSITY)
	桑　原　　一　(横河北辰電機株式会社)
	Hajime KUWAHARA (YOKOGAWA HOKUSHIN ELECTRIC

CORP.)

委　員　新保恭太郎（信越化学工業株式会社）
Members　Kyotaro SHIMBO (SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.)
武田偉彦（東京芝浦電気株式会社）
Yorihiko TAKEDA (TOSHIBA CORP.)
土屋英司（三菱電機株式会社）
Hideshi TSUCHIYA (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.)
中西里彦（神鋼電機株式会社）
Satohiko NAKANISHI (SHINKO ELECTRIC CO., LTD.)
長坂長彦（株式会社安川電機製作所）
Nagahiko NAGASAKA (YASKAWA ELECTRIC MGF. CO., LTD.)
野中作太郎（九州大学）
Sakutaro NONAKA (KYUSHU UNIVERSITY)
藤原俊輔（日本国有鉄道）
Shunsuke FUJIWARA (JAPANESE NATIONAL RAILWAYS)
松宮恒夫（明治大学）
Tsuneo MATSUMIYA (MEIJI UNIVERSITY)
松村文夫（金沢大学）
Fumio MATSUMURA (KANAZAWA UNIVERSITY)
宮沢永次郎（福井大学）
Eijiro MIYAZAWA (FUKUI UNIVERSITY)
矢野矩雄（日本電信電話公社）
Norio YANO (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE PUBLIC CORP.)
山川和郎（日立金属株式会社）
Kazuo YAMAKAWA (HITACHI METALS LTD.)
山本行雄（長野工業高等専門学校）
Yukio YAMAMOTO (NAGANO TECHNICAL COLLEGE)
渡辺健二（グラフテック株式会社）
Kenji WATANABE (GRAPHTEC CORP.)

委員代理　岡田　将（三菱電機株式会社）
Acting Members　Sho OKADA (MITSUBISHI ELECTRIC CO., LTD.)
河合良一（鐘通工業株式会社）
Ryoichi KAWAI (KANETSU KOGYO CO., LTD.)

委員代理　佐藤春雄（グラフテック株式会社）
Acting Members　Haruo SATO (GRAPHTEC CORP.)
杉田恵三（日本電信電話公社）
Keizo SUGITA (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE PUBLIC CORP.)
三輪善一郎（神鋼電機株式会社）
Zenichiro MIWA (SHINKO ELECTRIC CO., LTD.)
長谷部信也（東京農工大学）
Sinya HASEBE (TOKYO UNIVERSITY OF AGRICULTURE AND TECHNOLOGY)

参加者　片山　茂（日本電気株式会社）
Observers　Shigeru KATAYAMA (NEC LTD.)
白井武樹（THK）
Takeki SHIRAI (THK CO., LTD.)
武藤勝良（THK）
Katsuyoshi MUTOH (THK CO., LTD.)
中村信二（日本航空株式会社）
Shinji NAKAMURA (JAPAN AIR LINES CO., LTD.)
山沢清人（信州大学）
Kiyohito YAMASAWA (SHINSHU UNIVERSITY)
苅田充二（神鋼電機株式会社）
Mitsuji KARITA (SHINKO ELECTRIC CO., LTD.)
鳴原重之（神鋼電機株式会社）
Shigeyuki SHIGIHARA (SHINKO ELECTRIC CO., LTD.)

執　筆　者　(◎：代表幹事，○：幹事)

第 1 編

1 章	◎山田	一
2 章	○脇若	弘之
	渡辺	健二
3 章	○大平	膺一
	野中	作太郎
	杉田	恵三
4 章	長坂	長彦
5 章	○山本	行雄
	桑原	一
6 章	山田	一
	山川	和郎
7 章	藤原	俊輔
	射場本	正彦
	大平	膺一
	松宮	恒夫
	○菊地	新喜

第 2 編

1 章	○川西	利昌
	三輪	善一郎
	長坂	長彦
2 章	爨庭	貢
	射場本	正彦
	藤原	俊輔
	○岩崎	正見
3 章	三輪	善一郎
	苅田	充二
	○海老原	大樹
4 章	○三輪	善一郎
	桑原	一
5 章	菊地	新喜
	海老原	大樹
	鴨原	重之
	武田	偉彦
6 章	鹿野	快男
	長谷部	信也
	杉田	恵三
7 章	苅田	充二
	三輪	善一郎
	河合	次男
8 章	山田	一
	上岡	重信
	爨庭	貢
9 章	川西	利昌
10 章	山川	和郎
	山田	一
	山沢	清人
11 章	大平	膺一

第 3 編

1 章	岩間	明彦
2 章	海老原	大樹
3 章	宮沢	永次郎
	山川	和郎
	三輪	善一郎
	○松村	文夫
	新保	恭太郎

第 4 編

1 章	川西	利昌
2 章	川西	利昌

リニアモータとその応用
Linear Motors and Their Applications

目　次
Contents

第1編　基礎・理論 ……(1)
1. Fundamentals and Theories

1章　リニア電磁アクチュエータ ……(1)
Chapter 1　Linear Electromagnetic Actuator
1.1　リニア電磁アクチュエータとリニアモータ……(1)
(Linear Electromagnetic Actuator and Linear Motor)
1.1.1　リニア電磁アクチュエータとは……(1)
(What is a Linear Electromagnetic Actuator)
1.1.2　リニア電磁アクチュエータの分類……(1)
(Classifications of Linear Electromagnetic Actuators)
1.2　リニア電磁アクチュエータの開発動向……(2)
(Development Trend of Linear Electromagnetic Actuator)
1.2.1　リニア誘導モータ (Linear Induction Motor) ……(2)
1.2.2　リニア直流モータ (Linear Direct-Current Motor)……(3)
1.2.3　リニアパルスモータ (Linear Pulse Motor) ……(3)
1.2.4　リニア振動アクチュエータ……(4)
(Linear Oscillatory Actuator)
1.2.5　リニア電磁ソレノイド……(4)
(Linear Electromagnetic Solenoid)
1.2.6　リニア電磁ポンプ (Linear Electromagnetic Pump) ……(4)
1.2.7　リニア同期モータ (Linear Synchronuos Motor)……(5)
1.2.8　リニアハイブリッドモータ (Linear Hybrid Motor) ……(5)
2章　リニア直流モータ ……(6)
Chapter 2　Linear Direct-Current Motor
2.1　リニア直流モータの動作原理……(6)
(Principle of Operation of Linear DC Motor)

2.1.1 基本構成 (Basic Constitution)……(6)
2.1.2 分 類 (Classifications)……(6)
2.1.3 永久磁石磁気回路 (Magnetic Circuit with Magnet)……(7)
2.1.4 長ストローク化 (How to obtain long stroke)……(9)
2.2 リニア直流モータの解析……(11)
(Analysis of Linear DC Motor)
2.2.1 静推力 (Standstill Force)……(11)
2.2.2 推力-速度特性 (Thrust-Velocity Characteristics)……(11)
2.2.3 動特性 (Kinetic Characteristics)……(13)
3章 リニア誘導モータ……(14)
Chapter 3 Linear Induction Motor
3.1 リニア誘導モータの動作原理……(14)
(Principle of Operation of Linear Induction Motor)
3.2 リニア誘導モータの形状による分類……(16)
(Classifications of Linear Induction Motor)
3.2.1 平板状 LIM……(16)
(Flat-type Linear Induction Motor)
3.2.2 円筒状 LIM……(16)
(Rod-type Linear Induction Motor)
3.3 リニア誘導モータの特性とその測定法……(18)
(Characteristics and Measuring Method of Linear Induction Motor)
3.3.1 始動推力特性 (Standstill Force Characteristics)……(18)
3.3.2 動推力特性 (Kinetic Thrust Characteristics)……(19)
3.3.3 推力-速度特性 (Thrust-Velocity Characteristics)……(20)
3.3.4 速度-時間特性 (Thrust-Time Characteristics)……(20)
3.3.5 推力-ギャップ特性 (Thrust-Gap Characteristics)……(21)
3.3.6 推力-周波数特性 (Thrust-Frequency Characteristics)…(21)
3.4 リニア誘導モータの端効果現象とそのうず電流分布……(21)
(End Effects and Eddy Currents in Linear Induction Motor)
3.4.1 縦方向端効果 (Longitudinal End Effect)……(21)
3.4.2 横方向端効果 (Transverse End Effect)……(21)
3.4.3 端効果現象によるうず電流分布……(22)
(Eddy Current Distribution due to End Effect)
3.5 リニア誘導モータの解析……(22)
(Analysis of Linear Induction Motor)

4章 リニア電磁ソレノイド……(27)
Chapter 4 Linear Electromagnetic Solenoid
4.1 直流ソレノイドの動作原理……(27)
(Principle of Operation of DC Solenoid)
4.2 構造と吸引力特性……(30)
(Configurations and Attractive Force Characteristics)
4.3 励磁方式と始動特性……(31)
(Excitations and Starting Characteristics)
4.4 ソレノイドの特徴……(33)
(Characteristics of Solenoid)
5章 リニアパルスモータ……(34)
Chapter 5 Linear Pulse Motor
5.1 リニアパルスモータの動作原理……(34)
(Principle of Linear Pulse Motor)
5.1.1 リニアパルスモータの分類……(34)
(Classifications of Linear Pulse Motor)
5.1.2 リニアパルスモータの構造と動作原理……(34)
(Principle of Operation of Linear Pulse Motor)
5.2 リニアパルスモータの解析……(36)
(Analysis of Linear Pulse Motor)
5.2.1 リニアパルスモータの磁路解析……(36)
(Magnetic Circuit Analysis of Linear Pulse Motor)
5.2.2 推力解析 (Thrust Analysis)……(39)
5.2.3 リニアパルスモータの動特性 (Kinetic Characteristics)…(40)
5.2.4 リニアパルスモータの解析結果と実際の動作……(41)
(Analysis Results and Actual Performance)
6章 リニア振動アクチュエータ……(42)
Chapter 6 Linear Oscillatory Actuator
6.1 リニア振動アクチュエータの動作原理……(42)
(Principle of Operation of Linear Oscillatory Actuator)
6.1.1 リニア振動アクチュエータの分類……(42)
(Classifications of Linear Oscillatory Actuator)
6.1.2 コイル可動形リニア振動アクチュエータ……(42)
(Moving Coil Type Linear Oscillatory Actuator)
6.1.3 鉄心可動形リニア振動アクチュエータ……(42)

(Moving Core Type Linear Oscillatory Actuator)
6.1.4 永久磁石可動形リニア振動アクチュエータ……(43)
(Moving Magnet Type Linear Oscillatory Actuator)
6.2 リニア振動アクチュエータの解析……(44)
(Analysis of Linear Oscillatory Actuator)
6.2.1 鉄心可動形リニア振動アクチュエータの動作……(44)
(Performance of Moving Coil Type Linear Oscillatory Actuator)
6.2.2 永久磁石可動形リニア振動アクチュエータの動作……(45)
(Performance of Moving Magnet Type Linear Oscillatory Actuator)
6.3 リニア振動アクチュエータの効率測定法……(46)
(Measuring Method of Efficiency of Linear Oscillatory Actuator)
6.3.1 効率の測定法 (Measuring Method of Efficiency)……(46)
6.3.2 効率の実測例 (Measured Results of Efficiency)……(47)
7章 その他のリニアモータ……(48)
Chapter 7 Other Linear Motors
7.1 リニア同期モータ……(48)
(Linear Synchronous Motor)
7.1.1 直線状に展開することによって生じる特徴……(49)
(Characteristic by Linearized Expansion)
7.1.2 基本的特性 (Basic Characteristics)……(50)
7.2 リニアハイブリッドモータ……(51)
(Linear Hybrid Motor)
7.2.1 リニアインダクションリラクタンスモータ……(51)
(Linear Induction Reluctance Motor)
7.2.2 純誘導型リニアハイブリッドモータ……(52)
(Induction Type Linear Hybrid Motor)
7.3 二方向搬送用リニア誘導モータ……(53)
(All Directional Drive with A Linear Induction Motor)
7.3.1 二方向搬送用リニア誘導モータの原理と構造……(53)
(Principle of All Directional Drive)
7.3.2 搬送装置の分岐点への応用……(54)
(Application to a Turning Point of Transportation)
7.4 単相進行波リニアモータ……(55)

(Single-phase Transversing Linear Motor)
7.4.1 単相進行波リニアモータの原理……(55)
(Principle of Single-Phase Transversing Linear Motor)
7.4.2 進行波リニアモータの二方式……(56)
(Two Types of Single-Phase Transversing Linear Motor)
7.4.3 進行波リニアモータの特性……(58)
(Characteristics of The Linear Motor)
7.4.4 進行波リニアモータの特徴と展望……(59)
(Character and Survey)
7.5 パラメトリック発振を利用したリニアモータ……(59)
(Linear Motor Which Utilized Parametric Oscillation)
7.5.1 試作パラメトリックモータの構造及び動作原理……(60)
(Principle of Operation of Parametric Linear Motor)
7.5.2 動作特性 (Performance Characteristics)……(61)
第2編 応用機器……(65)
2. Applications
1章 リニアモータ応用の考え方……(65)
Chapter 1 How to Apply Linear Motor
1.1 リニアモータの応用上の特徴……(65)
(Characteristics of Linear Motor Application)
1.2 リニアモータの機種選定……(67)
(How to Select Kinds of Liner Motors)
1.3 リニアモータの応用例……(68)
(Application Example of Linear Motor)
1.4 リニアモータの選定……(69)
(Selection of Linear Motor)
1.4.1 リニア誘導モータの場合……(69)
(Case of Linear Induction Motor)
1.4.2 リニアパルスモータの場合……(70)
(Case of Linear Pulse Motor)
2章 輸送機関への応用……(70)
Chapter 2 Applications to Transportation
2.1 リニアモータの輸送機関への応用……(70)
(Application of Linear Motor to Transportation)

2.2 車両支持方式……(71)
(Suspensions)
2.3 リニア誘導モータの輸送機関への応用……(73)
(Application of Linear Induction Motor to Transportation)
2.3.1 車輪支持超高速鉄道……(74)
(Super High Speed Railway using Wheel Suspension)
2.3.2 浮上式鉄道 (Magnetic Levitation Railway)……(74)
2.3.3 大都市中量輸送機関……(78)
(Transportation between Great Towns)
2.3.4 小規模輸送機関への応用……(79)
(Transportation between Small Towns)
2.4 リニア同期モータの輸送機関への応用……(79)
(Application of Linear Synchronous Motor to Transportation)
2.4.1 常電導磁石を界磁とする LSM の車両……(80)
(Linear Synchronous Motor Car using Ordinal Electromagnet)
2.4.2 超電導コイルを界磁とする LSM の車両……(80)
(Linear Synchronous Motor Car using Superconducting Magnet)
2.4.3 リニア直流モータを利用する車両……(84)
(Linear DC Motor Car)
2.5 その他……(84)
(Other Applications)
2.5.1 誘導電動機駆動台車用軸重増加装置……(84)
(Weight Increasing Device for Induction Motor Car)
2.5.2 磁石式連続輸送システム……(86)
(Rotary Magnet Type Continuos Transportation System)
3章 搬送機器への応用 ……(87)
Chapter 3 Applications to Conveyance
3.1 パレット搬送装置……(87)
(Pallet Conveying System)
3.1.1 位置決め搬送法……(87)
(Conveying System with High Accuracy)
3.1.2 高速搬送法 (High Speed Conveyance)……(91)
3.1.3 パレット搬送装置の特長……(92)

(Characteristic of Pallet Conveying System)
3.2 導電体搬送装置……(93)
(Conducting Body Conveyance)
3.3 永久磁石浮上式搬送……(95)
(Conveyance with Permanet-Magnet Levitation)
3.3.1 希土類コバルト磁石の斥力計算法……(95)
(Repulse Force Calculation of Rare-Earth Magnet)
3.3.2 浮上実験機の諸量 (Parameters of Actual Machine)……(96)
3.3.3 浮上系の自由度と安定性……(98)
(Free-Degree and Stability of Floating System)
4章 情報機器への応用 ……(98)
Chapter 4 Applications to Information Machines
4.1 プリンタへの応用……(98)
(Printer)
4.1.1 静推力 (Standstill Force)……(98)
4.1.2 分解能 (Resolution)……(99)
4.1.3 ダンピング (Damping)……(99)
4.1.4 LPM の実装 (Mounting of Linear Pulse Motor)……(100)
4.2 カード検索装置……(101)
(Files Select System)
4.2.1 カード検索装置の構成……(101)
(Constitution of Files Select System)
4.2.2 LPM の制御 (Control of Linear Pulse Motor)……(102)
4.3 X-Y プロッタ……(104)
(X-Y Plotter)
5章 電磁ポンプへの応用 ……(108)
Chapter 5 Electromagnetic Pump
5.1 電磁ポンプの解析……(108)
(Analysis of Electromagnetic Pump)
5.1.1 導電形電磁ポンプの動作解析……(109)
(Performance Analysis of Conduction Type Electromagnetic Pump)
5.1.2 誘導形電磁ポンプの特性解析……(110)
(Characteristics Analysis of Induction Type Electromagnetic Pump)

5.2 溶融金属用自動注湯装置……(112)
(Automatic Trough for Melting Metal)
5.2.1 概 論 (Introduction)……(112)
5.2.2 注湯用電磁ポンプのタイプと特性……(113)
(Types and Characteristics of Electromagnetic Trough)
5.3 溶湯用電磁かくはん装置……(116)
(Electromagnetic Stirrer)
5.3.1 今までの実用例 (Actual Examples)……(116)
5.3.2 アルミ反射炉用炉底式電磁かくはん装置……(116)
(Electromagnetic Stirrer for Reflection Furnace of Aluminum)
5.3.3 オープンウエル炉かくはん用電磁樋……(118)
(Electromagnetic Trough for Stir of Open-Well Furnace)
5.4 連続鋳造用電磁かくはん装置……(118)
(Electromagnetic Stirrer for Continuos Casting)
5.4.1 回転磁界形かくはん (Rotating Field Stirrer)……(119)
5.4.2 リニア磁界形かくはん (Transversing Field Stirrer)……(119)
5.4.3 円筒磁界形かくはん (Cylindrical Field Stirrer)……(120)
6章 ロボットなどへの応用……(122)
Chapter 6 Applications to Robots
6.1 リニア直流モータの応用例……(123)
(Applications using Linear DC Motor)
6.1.1 汎用組立ロボット (Assembly Robot)……(123)
6.1.2 溶接ロボット (Welding Robot)……(124)
6.2 LPM の応用……(124)
(Applications using Linear Pulse Motor)
6.2.1 X-Y 座標機 (X-Y Co-ordinates Instrument)……(124)
6.3 リニア誘導モータの応用例……(127)
(Applications using Linear Induction Motor)
6.3.1 自動はんだ付け装置 (Automatic Soldering Machine)……(127)
6.3.2 銀行におけるキャッシングシステム……(127)
(Cash Carrier System in Bank)
6.3.3 位置決め制御系への応用……(128)
(Application to Positioning Control System)

7章 非鉄金属回収装置への応用……(129)
Chapter 7 Applications to Non-Ferrous Metal Recovery
7.1 リニア誘導モータによる非鉄金属回収……(129)
(Non-Ferrous Metal Recovery using Linear Induction Motor)
7.1.1 LIM による電磁力……(130)
(Electromagnetic Force of Linear Induction Motor)
7.1.2 振動フィーダ式非鉄金属回収装置……(131)
(Vibrating Feeder Type Non-Ferrous Metal Recovery)
7.1.3 回転ドラム式非鉄金属回収装置……(132)
(Rotating Drum Type Non-Ferrous Metal Recovery)
7.1.4 ベルトコンベア式非鉄金属回収装置……(132)
(Belt Conveyer Type Non-Ferrous Metal Recovery)
7.2 磁石の回転による非鉄金属回収……(133)
(Non-Ferrous Metal Recovery using Magnet Rotation)
8章 福祉・医用機器への応用……(136)
Chapter 8 Applications to Welfare and Medicine
8.1 リニアパルスモータ形人工心臓用アクチュエータ……(136)
(Artificial Heart Actuator using Linear Pulse Motor)
8.1.1 人工心臓の原理 (Principle of Artificial Heart)……(137)
8.1.2 人工心臓用アクチュエータについての内外での研究……(137)
(Recent Trends of Artificial Heart Actuator)
8.1.3 リニアパルスモータ形人工心臓用アクチュエータの構造…(137)
(Construction of Artificial Heart Actuator)
8.1.4 AHA の推力特性……(138)
(Thrust Characteristics of Artificial Heart Actuator)
8.1.5 今後の問題点 (Future Problems)……(139)
8.2 盲人への視覚代行器……(140)
(Tactile Substitution)
8.2.1 作業用視覚代行器 (Tactile Substitution for Work)……(140)
8.2.2 文字教育学習補助器……(141)
(Tactile Substitution for Words Recognition)
8.2.3 筆記習熟補助装置 (Tactile Substitution for Writing)…(142)
8.3 電気・磁気治療器……(142)
(Magneto-Medical Treatment)
8.3.1 生体と電気・磁気……(142)

(Living Body and Electromagnetism)
8.3.2 電磁気の生体への働きかけ……(143)
(Action to Living Body of Electromagnetism)
8.3.3 電気・磁気による治療法……(144)
(Magneto-Medical Treatment)
8.3.4 大西式磁化治療器……(144)
(Ohnishi Type Magneto-Medical Treatment)
9章 海洋開発への応用……(145)
Chapter 9 Applications to Ocean Development
9.1 海洋開発におけるリニアモータ応用……(145)
(Linear Motor Application in Ocean Development)
9.1.1 艦上戦闘機用カタパルト (Electropult)……(145)
9.1.2 マグロ延縄用オートリール装置 (Autoreel for Fishing)…(145)
9.1.3 砕岩用電気ハンマ……(145)
(Electric Hammer for Stone-Breaking)
9.1.4 試験水槽用高速曳引台車……(146)
(High Speed Basin using Linear Induction Motor)
9.1.5 波動抵抗シュミレータ (Wave Resistance Simulator)……(146)
9.1.6 ソーナーブーマ (Sonar Bummer)……(146)
9.1.7 水中二方向振動試験機……(146)
(Bi-Directional Underwater Shaking Machine)
9.2 海洋工学におけるリニアモータの未来……(147)
(Future Problems of Ocean Development)
10章 その他の産業機器への応用……(147)
Chapter 10 Applications to Other Industrial Machines
10.1 エアコンプレッサ……(147)
(Air Compressor)
10.2 エアポンプ……(149)
(Air Pump)
10.3 電磁比例弁……(150)
(Electromagnetic Valve with Proportional Action)
10.3.1 電磁比例弁とは……(150)
(What is a Electromagnetic Valve with Proportional Action)
10.3.2 電磁比例弁の基本特性……(150)

(Basic Characteristics of the Valve)
10.3.3 電磁比例弁の特性例 (Actual Example of the Valve)……(151)
10.4 感温磁気アクチュエータ……(153)
(Temperature Sensitive Magnetic Actuator)
11章 海外におけるリニアモータの開発動向……(156)
Chapter 11 Development Trends in Foreign Countries
11.1 一般的な動向……(156)
(General Trend)
11.2 各国における情勢……(156)
(Situations in Every Country)
11.2.1 英 国 (UK)……(156)
11.2.2 西 独 (Germany)……(156)
11.2.3 チェコスロバキア (Czechoslovakia)……(156)
11.2.4 ソ 連 (USSR)……(159)
11.2.5 米 国 (USA)……(159)
11.2.6 中 国 (China)……(159)
第3編 計測・構成要素……(163)
3. Measurement and Composed Elements
1章 機械量の測定……(163)
Chapter 1 Measuring Method of Mechanical Quantities
1.1 リニア電磁アクチュエータの特性パラメータ……(163)
(Characteristic Parameters of Linear Electromagnetic Actuator)
1.2 推力の測定法……(164)
(Measurement of Thrust)
1.3 垂直力の測定法……(167)
(Measurement of Normal Force)
1.4 摩擦力の測定法……(168)
(Measurement of Friction Force)
1.5 変位の測定法……(169)
(Measurement of Displacement)
1.6 速度，加速度，振動の測定法……(171)
(Measurement of Velocity, Acceleration and Vibration)
2章 電気磁気量の測定……(173)
Chapter 2 Measuring Method of Electro-Magnetic Quantities

2.1 磁束量および磁束分布の測定……(173)
(Measurement of Magnetic Quantities and Flux Distribution)
2.2 電流の測定……(176)
(Measurement of Current)
2.3 その他の測定……(178)
(Other Measurements)
3章 構成要素 ……(179)
Chapter 3 Composed Elements
3.1 軟磁性材料……(179)
(Soft Magnetic Materials)
3.1.1 電気鉄板 (Electrical Steel Sheets)……(179)
3.1.2 アモルファス磁性材料……(183)
(Armorphous Magnetic Materials)
3.1.3 材料の選定 (How to select Magnetic Materials)……(183)
3.2 永久磁石……(186)
(Permanent Magnet Materials)
3.2.1 永久磁石の選択と主要磁気特性……(186)
(Main Magnetic Characteristics of Permanent Magnets)
3.2.2 アルニコ磁石 (Alnico Magnets)……(187)
3.2.3 フェライト磁石 (Ferrite Magnets)……(191)
3.2.4 希土類コバルト磁石 (Rare-Earth Magnets)……(191)
3.3 支持機構……(193)
(Suspensions)
3.3.1 リニアモータに使用されている玉軸受……(193)
(Ball Bearings for Linear Motor)
3.3.2 リニアモータに使用されているリニアベアリング……(196)
(Linear Bearing for Linear Motor)
3.3.3 特別なベアリングの応用例……(197)
(Application of Special Bearing)
3.4 磁気軸受……(197)
(Magnetic Bearing)
3.4.1 磁気浮上技術 (Magnetic Levitation Technique)……(197)
3.4.2 直線運動磁気軸受……(198)
(Magnetic Bearing for Linear Motion)
3.4.3 磁気軸受 (Magnetic Bearing)……(200)

第4編 リニアモータの用語と特性値 ……(203)
4. Technical Terms and Characteristic Values of Linear Motors
1章 リニアモータの用語 ……(203)
Chapter 1 Technical Terms of Linear Motors
1.1 リニア誘導モータ……(203)
(Linear Induction Motor)
1.2 リニアパルスモータ……(203)
(Linear Pulse Motor)
2章 リニアモータの特性値 ……(205)
Chapter 2 Characteristic Values of Linear Motors