

# 磁石応用製品

Permanent Magnet Applied Products

平岡 満登\* 平楽 太郎\*  
Michito Hiraoka Tarô Tairaku  
星子 満\* 石島 芳朗\*  
Mitsuru Hoshiko Yoshirô Ishijima

## 内 容 梗 概

近年における永久磁石の磁性の向上にはめざましいものがあり、各種製品の小型化と軌を一つにして磁石応用製品も小型化されている。

永久磁石を使用することにより、電磁式に比べ小型化できるほかに、電源不要、停電による心配がない、操作が簡単であるなどの特長を発揮することができる。磁石の応用分野は日進月歩の感があり、大は総重量 1,400 kg に及ぶ核磁気共鳴用磁界発生装置、小は直径 0.8 mm 程度のピックアップ用磁石がある。

現在、産業界で脚光を浴びてきたものに、鋼管、鋼板の高速搬送、切断時の吸着に使用されるマグネチック・ローラ、粉体工業における磁性体除去のマグネチック・プレート、ドラム式マグネチック・セパレータ、鉄片分離用ベルトコンベヤ形磁気選別機などがある。また従来からよく使用されているものにマグネチック・チャック、クーラントセパレータなどがある。

本稿では、これら応用品の中から代表的なものについて詳述する。

## 1. 緒 言

磁石の応用について詳述するまえに、まず磁石発展の歴史を簡単に述べてみると<sup>(1)</sup>、

古くは紀元前 12 世紀に中国で周時代の指南車に利用された記録があり、以後 18 世紀に炭素鋼 ( $(BH)_m = 0.15 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ ) が現われ、次いで 1873 年にタングステン鋼 ( $(BH)_m = 0.3 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ )、1885 年クロム鋼 ( $(BH)_m = 0.29 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ ) が出現するに及んで永久磁石発展の基礎が築かれた。その後 1916 年 KS 鋼 ( $(BH)_m = 0.95 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ )、1930 年 OP 磁石、1931 年 MK 鋼 (Alnico 系)、1933 年新 KS 鋼、1935 年 Cunife 鋼、1938 年 Cunico、Vicalloy、1946 年 MT 鋼、1952 年 Ba・Ferrite 磁石、最近になって焼結アルニコ磁石および微粒子磁石<sup>(2)</sup>が開発され現在に至っている。

しかして、昨今もっとも多く使用されているのは Alnico 系特に Alnico 5 ( $(BH)_m = 5.0 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ ) である。

永久磁石を製作方法から分類すると、鍛造磁石、鋳造磁石、焼結アルニコ磁石、フェライト磁石、ゴム磁石が代表的である。これらには、磁気特性、加工性、寸法精度、価格などに一長一短がありそれぞれの特性を活かして使用される。

磁石の使用法としては、いうまでもなく磁石の有する磁気エネルギーを有効に使用するのが上手な使い方である。すなわち磁石の動作状態を最大エネルギー積の点に合致させることが肝要である。しかるに、磁石単体では製作する形状に大きな制約があり、このため最大エネルギー積の点にはほど遠いものとなる。したがってヨーク、磁極などを使用して動作点を目標値に合致させるような工夫をする。

永久磁石の用途は、従来は電磁コイルの代用という感じが濃厚であった。しかるに最近では磁性の向上により、このような使い方から脱却して磁石独特の用途が著しく開けてきた。永久磁石の機能は、いうまでもなく空間に磁場を発生させることにあるが、その特長をあげると次のとおりである<sup>(3)</sup>。

- (1) 電源を必要としない。
- (2) 磁界が一定であり、電気系統の故障の心配が不要である。
- (3) 使用方法が簡単である。

(4) 同一磁界を得るのに小さな体積ですむ。

永久磁石の用途を大別すると、

- (1) 吸着用磁石およびその装置 (マグネチック・チャック、クーラントセパレータ、マグネチック・ルール、マグネチック・ローラ、マグネチック・プレート、ドア固定用吸着磁石、ベルト・コンベヤ形磁気選別機、マグネチック・スタンド)
- (2) 発電機 (ジェネレータ、マグネト、マイクロホン)
- (3) 電動機 (モータ、マイクロモータ、ヒステリシスモータ)
- (4) 音響機器 (スピーカ、イヤホン)
- (5) 計器類 (電気計器、露出計、スピードメータ)
- (6) 理科学機器 (電子顕微鏡、核磁気共鳴装置)
- (7) その他 (ガバナ、コンパス)

などがあり、ひとつひとつ数えれば枚挙にいとまがない。

本稿では、これらの中から一般にはあまり紹介されていないが、最近品質向上、生産の合理化などのためにとみに脚光を浴びてきた吸着用磁石装置を主体にしてのべることにする。

## 2. 本 論

### 2.1 マグネチック・クーラントセパレータ

最近の工作機械、金属加工機械は、高速かつ高精度化のために清浄度の高い冷却油が多量に必要となり、このため高性能の冷却油自動浄化装置が必要となり、マグネチック・クーラントセパレータの認識が高まってきた。

本機の効果として<sup>(4)</sup>、心なし円筒研摩盤の場合、生産量は 6 個月間に 150 時間分が増大し、と石およびクーラントの節約により、1 個年で装置費用の償却が可能となった。また歯切盤の場合に工具寿命が 30% 近く増大したことが報告されている。

第 1 図に標準形 HKA-250、第 2 図に HKA-1200 を示す。

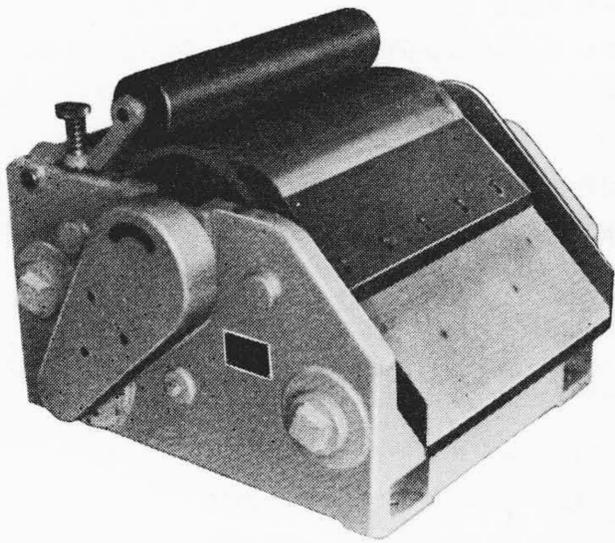
#### 2.1.1 一般仕様

HKA 形クーラントセパレータの標準仕様を第 3 図 (a), (b) ならびに第 1 表に示す。

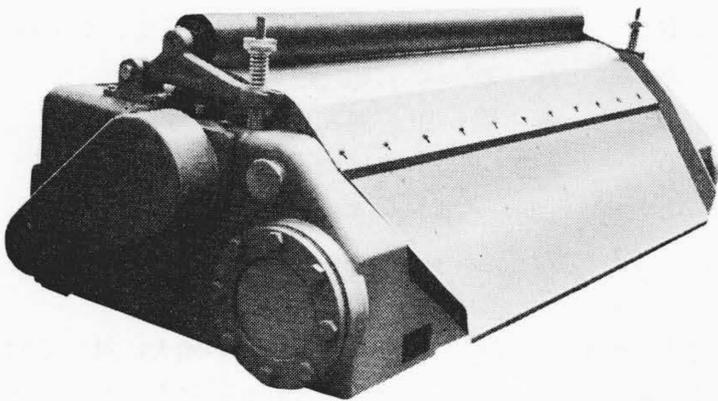
#### 2.1.2 構造

一般工作機械の冷却油浄化用としては、1 分間当たりの流量 20 ~ 120 l が多く用いられ、集中クーラント方式および圧延機用とし

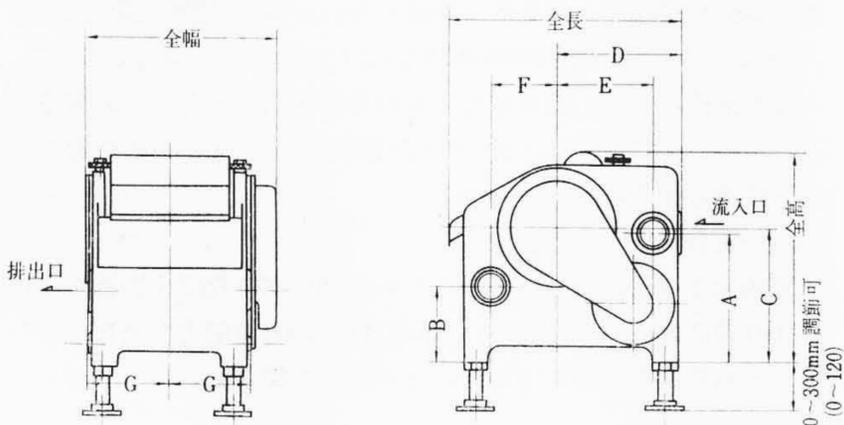
\* 日立金属工業株式会社熊谷工場



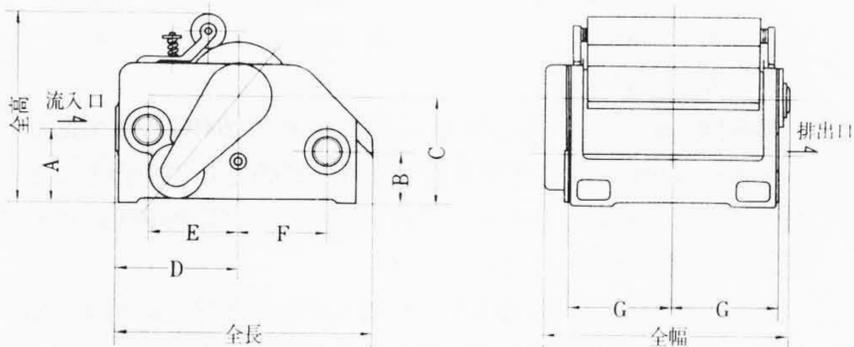
第1図 HKA-250 クーラントセパレータ



第2図 HKA-1200 クーラントセパレータ



第3図(a) HKA-20~HKA-120 セパレータ外形図



第3図(b) HKA-250~HKA-1200 セパレータ外形図

では大形品の250~1,200 l程度のものが使用されているが、構造原理はまったく同一である。

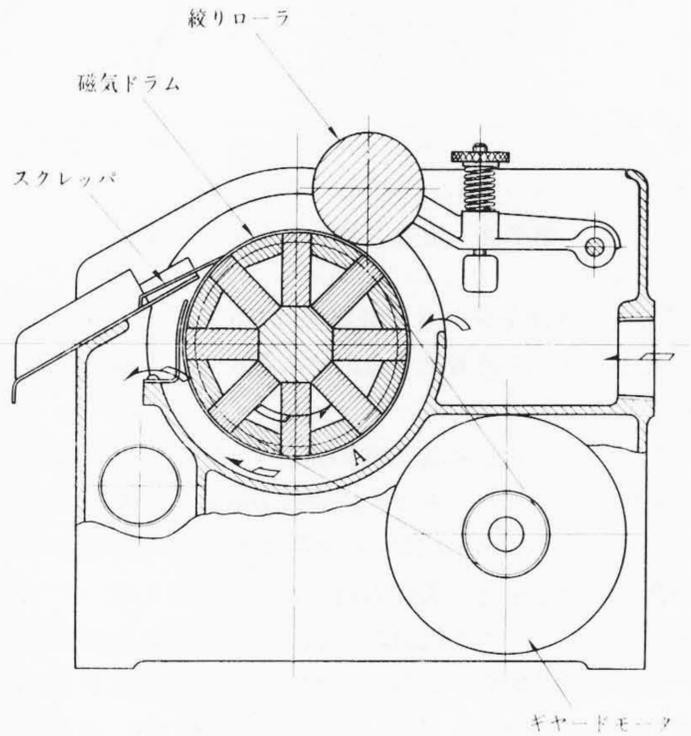
第4図に本機の構造を示す。

本機のドラム内部は従来の馬蹄形磁石を廃止し、磁石を放射状に配列したいわゆるグレンダル方式を採用している。そのマグネットドラムの内部構造を第5図に示す。

第6図においてドラム下面を通過する鉄粉が、ドラムから発生

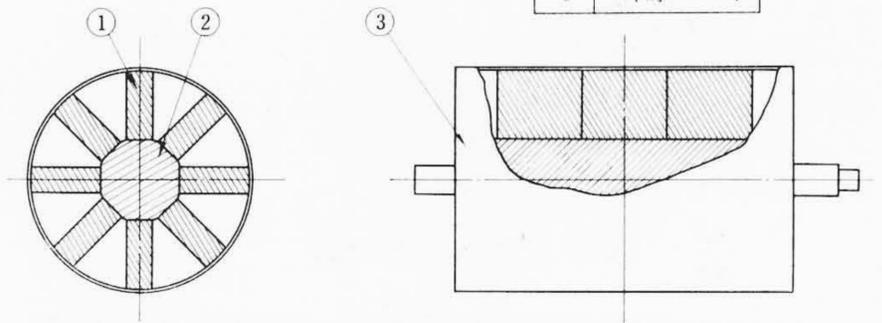
第1表 HKA形標準仕様

形式	容量	電動機	全長×全幅×全高 (m/m)	吸入口径	排出口径	全重量 (kg)
HKA-20	20l/min	3P75W	448×258×355	1½"	1½"	40
HKA-40	40l/min	3P100W	449×325×370	2"	2"	57
HKA-60	60l/min	3P100W	537×315×416	2"	2"	71
HKA-80	80l/min	3P100W	480×390×410	2"	2½"	75
HKA-120	120l/min	3P100W	480×503×410	2½"	3"	110
HKA-250	250l/min	3P100W	780×734×580	3"	3"	270
HKA-500	500l/min	3P200W	780×1,206×580	5"	5"	450
HKA-1,200	1,200l/min	3P200W	990×2,075×662	5"×2個	7"	1,500

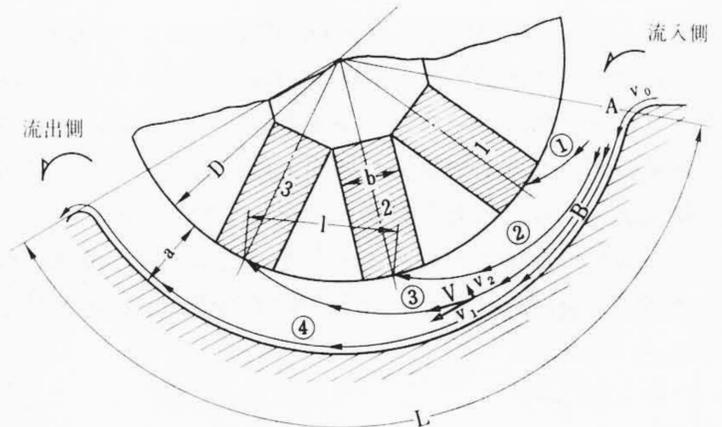


第4図 構造図

番号	品名
1	マグネット
2	ヨーク
3	外周プレート

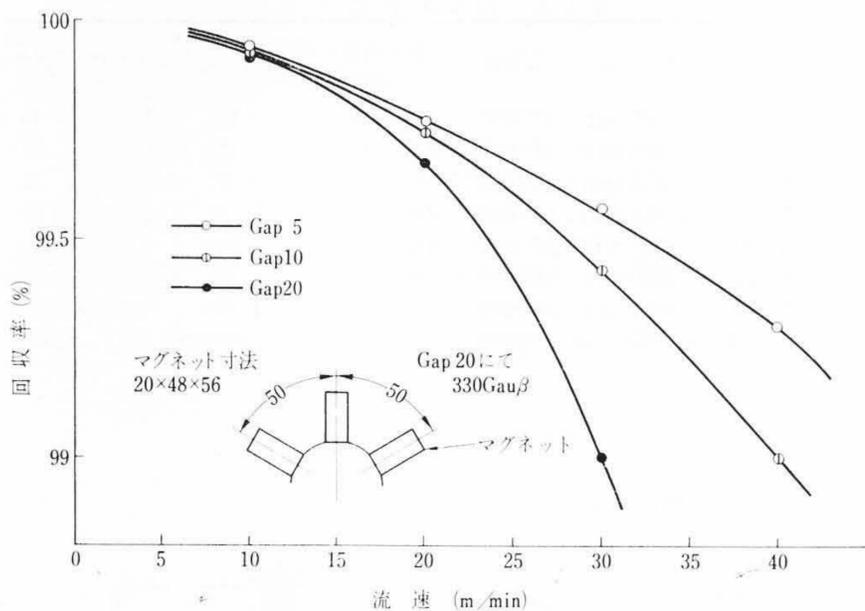


第5図 マグネットドラム内部構造



第6図 鉄粉吸着過程略図

する磁場により吸着される過程を考えると静止ドラムについては、通路入口よりはいった鉄粉は図の矢印のような経路を通して吸着される。実験結果によるとほとんどの鉄粉は経路①をたど



第7図 流速と鉄粉回収率との関係

り、経路②、③はあまりなく経路④は0.5%以内である。すなわち経路④はドラムに吸着せず流出する鉄粉でこの量は清浄度の割合を示すものである。

ドラム表面に対し接線方向の速度  $v_0$  で流入口 A に達した鉄粉は磁場吸着力により、ドラムに垂直方向の力を受ける。経路③について考えると、磁石1により速度は  $v_1$  となり、磁石2により  $v_2$  との合成  $V$  なる速度で矢印方向に進み放物線を描いてドラム表面に吸着する。ドラムの設計に際しては、ドラム表面より最遠距離  $B$  における微粒鉄粉が通路長さ  $L$  内において吸着するために、磁場強度  $B_g$ 、磁石配列、流速  $V$ 、ギャップ長さ  $a$ 、鉄粉粒度  $\alpha$ 、磁極吸着幅  $b$ 、極間距離  $l$ 、吸着時間  $t$  についておのおのの関連性を検討する必要がある。

2.1.3 清浄能力

(1) 鉄粉吸着力と清浄能力

空間の被吸着物に対する磁石の吸着力は次式で表わされる<sup>(9)</sup>。

$$F = CB \frac{dB}{dx} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、  $B$ : 空間磁場強度  
 $x$ : 磁極よりの距離  
 $C$ : 係 数

$\frac{dB}{dx}$ : 距離に対する磁場の変化率

(1)式において吸着力は磁場変化率、空間磁場の強さに比例する。ゆえに変化率と磁場強度の相乗積が最大となるよう設計する必要がある。

変化率と空間磁場は相互に反比例の関係にあり、一般にグレンダル方式においては前者よりも後者のほうが高めやすく、かつ吸着力に対する影響は後者のほうが大きい。すなわち、ドラム表面より最遠距離における磁場強度の向上を図ることが最も経済的磁石の使用法であり、吸着率を増大させるものである。

次に吸着力と流体中の微粒鉄粉の受ける抵抗との関係について検討する。一般に流体中における微粒子の受ける抵抗は粒子を球とすると、

$$F = 6\pi \mu r V \dots\dots\dots (2)$$

となる。

ここに、  $F$ : 微粒子の受ける抵抗  
 $\mu$ : 流体の粘性係数  
 $r$ : 微粒子の半径  
 $V$ : 微粒子進行速度

上式(1)(2)において吸着力を抵抗力より大とし、かつ微粒鉄

粉がドラム表面まで到達する時間を考慮すればよいことになる。しかしグレンダル、馬蹄形両方式とも、表面磁場分布がドラム円周方向に不均一である、ドラムが回転し磁場が移動する、流れが層流ではないなどの理由により、これらを計算のみにて設計することは困難であり、実際値と設計値にかなりの差異が生ずる。そこで清浄能力に関与する各因子の相関関係を実験により求めた。

(2) 流速に対する清浄度

冷却油清浄度を次のように表わすと

$$C = \frac{(W-w) \times 100}{W} (\%) \dots\dots\dots (3)$$

ここに、  $C$ : 鉄粉回収率  
 $W$ : 単位汚損油中の鉄粉重量  
 $w$ : 単位流出油中の鉄粉重量

鉄粉回収率と流速との関係は第7図のようになる。ただし実験条件は次に示すとおりである。

- $B$  (ギャップ  $a=20$  m/m) における磁場強度: 330 G
- $b$  (磁石吸着幅): 20 mm×3
- $l$  (磁極間距離): 50 mm
- $D$  (マグネットドラム直径): 180φ
- $L$  (通路長さ): 330 mm
- 磁石配列: グレンダル方式
- 冷却油: 上水

流速 15 m/min 以下においてはギャップの増大に対して回収率の低下はあまり見られない。流速 20 m/min 以上においてはギャップの影響が大きく、全般的に回収率の低下が著しい。ドラム表面より最遠距離にあるB点における磁場が330G程度であり、ほかの条件が極端に上述条件に相違しないかぎり、標準流速を 20 m/min 以内とすれば、回収率 99.5% 以上を得ることが可能である。一般水溶性冷却油の場合にも上水の場合と同等と考え上述流速を適用することができる。次に一定回収率を確保するための磁場強度と流速の相関について述べる。

(3) 限界磁場、限界流速

磁場および流速を変化させこれらの回収率に及ぼす影響を実験により求め回収率 99.5%、ならびに 99% の清浄能力を発揮するためのそれぞれの限界を求めた。その結果を第8図(a), (b)に示す。

ただしその実験条件は次のとおりである。

- $D$ : 180φ 磁極配列: グレンダル方式
- $b$ : 20 mm×3 冷却油: 上 水
- $l$ : 50 mm 不純物: 鉄 粉
- $L$ : 330 mm

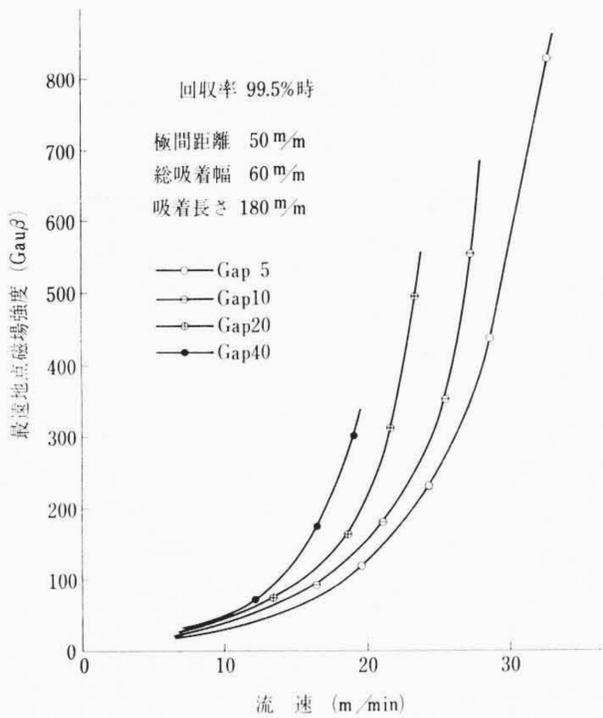
第8図(a)において、ギャップ 20 mm で 200G 程度でありかつ流速が 20 m/min 以下であれば回収率 99.5% 以上を得ることができる。すなわち通路ギャップおよびギャップ磁場強度に応じて流速を増減しなければならない。

磁石吸着幅ならびに通路長さを増大すれば曲線の傾斜はゆるくなる。また冷却油粘度が高い場合はその逆となる。

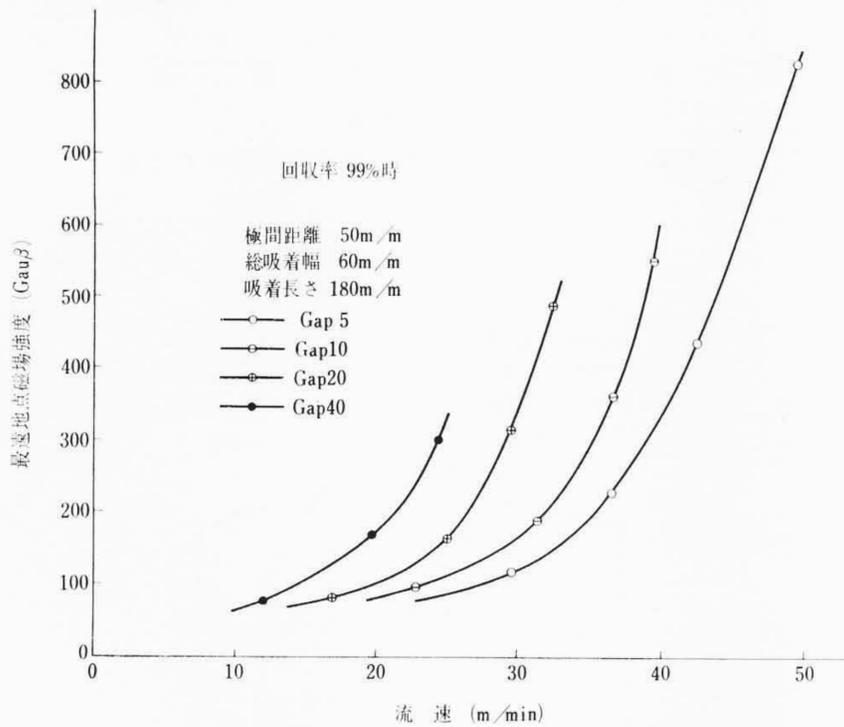
不純物(鉄粉)粒度が 5 μ 以下の場合はおおのこのギャップに対して、限界磁場強度、限界流速をそれぞれ 20~30% の余裕を見る必要がある。

マグネットドラムの設計において表面磁場強度の増大を図れば、ギャップを大とするかまたは流速を大とすることができ、ドラム幅を減少し得る。

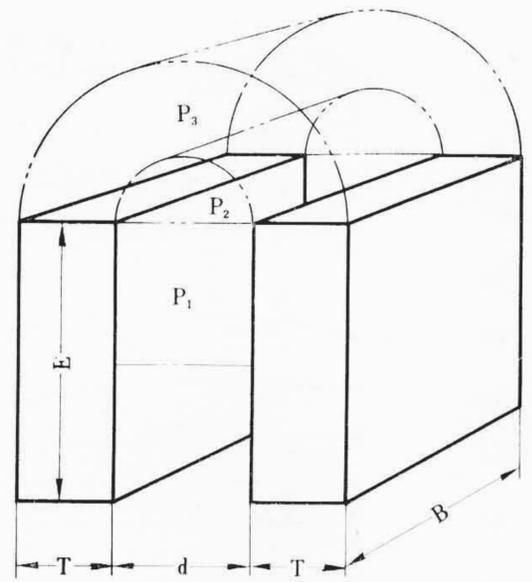
一般にドラム最遠距離 ( $a=50$  mm) において 300G 以上を得ることは可能であるが、磁石量を増加する必要があるため不経済であり、磁場を 200G 程度とし限界流速を決定し、容量を確保する



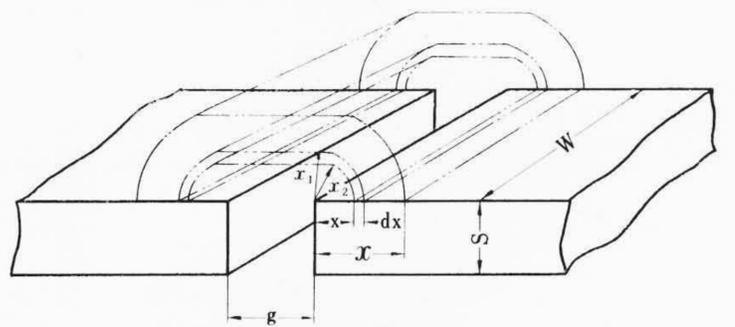
第8図(a) 回収率 99.5% における限界磁場と限界流速



第8図(b) 回収率 99% における限界磁場と限界流速



第9図(a) 磁気回路略図



第9図(b) 磁気回路略図

$$f = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_3} \dots\dots\dots (7)$$

パーミアンス係数は

$$P = \frac{L_m A_g f}{A_m L_g r} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $L_m$ : 磁石長さ  
 $A_g$ : ギャップ面積  
 $L_g$ : 平均磁路長  
 $f$ : 漏えい係数  
 $r$ : リラクタンス係数

これより表面磁場を 1,000~1,500G 程度となるよう各部の寸法を決定しなければならない。HKA-1200 の場合これを 1,500G とした。

(2) 空間磁場の計算

第9図(b)  $x$  における微小部分のパーミアンスは

$$\Delta P = \frac{w dx}{\pi x + g} \dots\dots\dots (9)^{(7)}$$

$$\therefore P = \int_0^x \frac{w dx}{\pi x + g} = \frac{w}{\pi} \log \left( 1 + \frac{\pi x}{g} \right) \dots\dots\dots (10)$$

$x_1 x_2$  間の小区域のパーミアンスは

$$P_1 = \frac{w}{\pi} \log \left( 1 + \pi \frac{x_1 - x_2}{g} \right) \dots\dots\dots (11)$$

$$P_2 = \frac{w}{\pi} \log \left( 1 + \pi \frac{x_2}{g} \right) \dots\dots\dots (12)$$

$$P_3 = \frac{w}{\pi} \log \left( 1 + \pi \frac{x - x_1}{g} \right) \dots\dots\dots (13)$$

となる。

有効パーミアンスを  $P_1$  とし漏えい係数を算出し、(8)式に諸条件を代入しギャップ  $x=55 \text{ mm}$  における磁場強度は HKA-1200 の場合 200G となった。

設計が望ましい。第8図(b)についても同様である。

2.1.4 磁石の設計

本機に使用する磁石は保磁力が高く、磁場の遠達力の大きなることが必要であり、これにはフェライト磁石が最適である。

表面磁場分布を正確に求めることは困難とされているが一般に次のような近似計算式を適用している。

(1) 表面磁場の計算

第9図(a)のように各部のパーミアンスを幾何学的に分割すると、

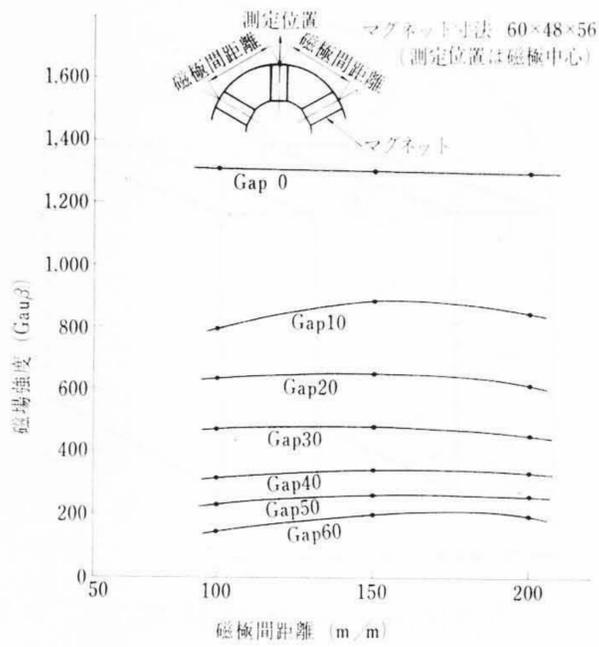
$$P_1 = \frac{\mu BE}{2d} \dots\dots\dots (4)^{(6)}$$

ここに、 $B$ : マグネットの幅  
 $E$ : マグネットの長さ  
 $d$ : 磁極間長さ  
 $\mu$ : 空間の透磁率  
 $T$ : マグネットの幅

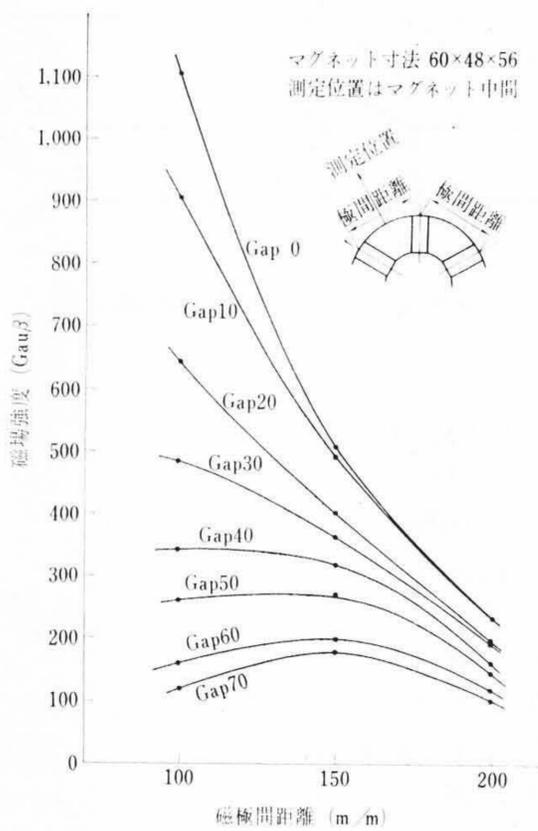
$$P_2 = 0.264 \mu B \dots\dots\dots (5)$$

$$P_3 = \frac{2.3 \mu B}{\pi} \log_{10} \left( 1 + \frac{2T}{d} \right) \dots\dots\dots (6)$$

以上より漏えい係数  $f$  は有効パーミアンスを  $P_3$  とすると、



第10図(a) 極間距離と磁場強度



第10図(b) 極間距離と磁場強度

(3) 磁石配列による磁場変化

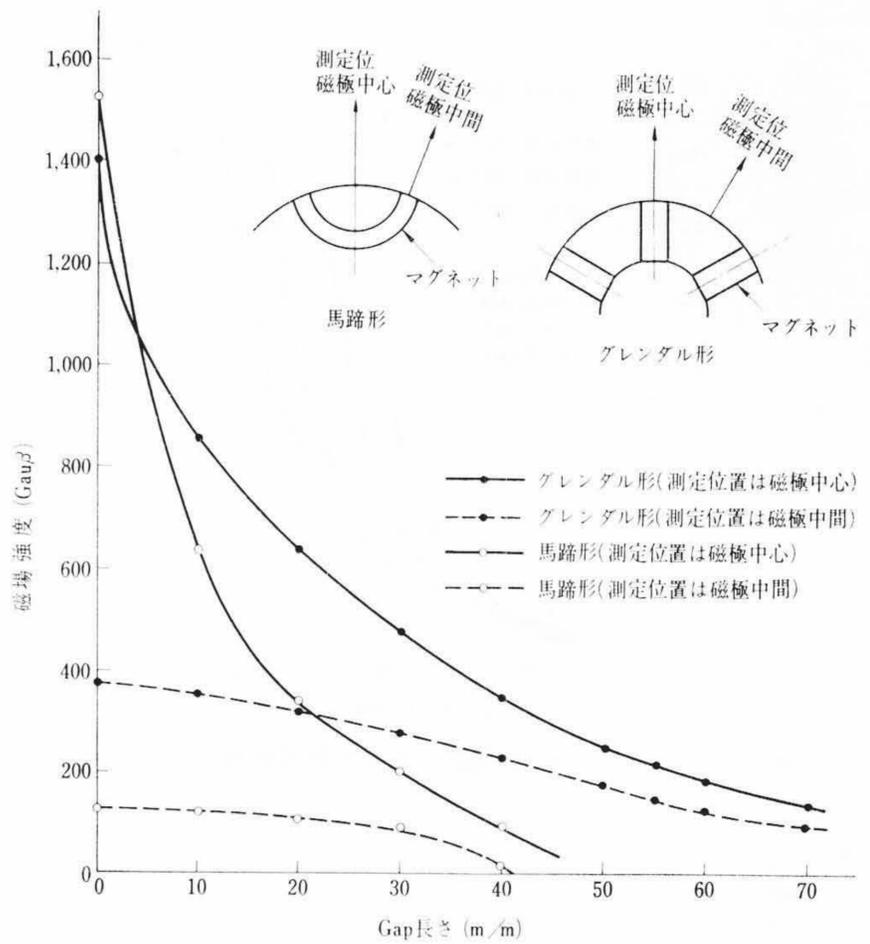
磁石の配置方法について考えると配列により表面磁場は変化する。磁極間距離と磁場分布の関係の一例を第10図(a), (b)に示す。この場合磁極間距離が150mm近辺において遠距離磁場が最大となる。

2.1.5 ドラム径, 通路長さの設計

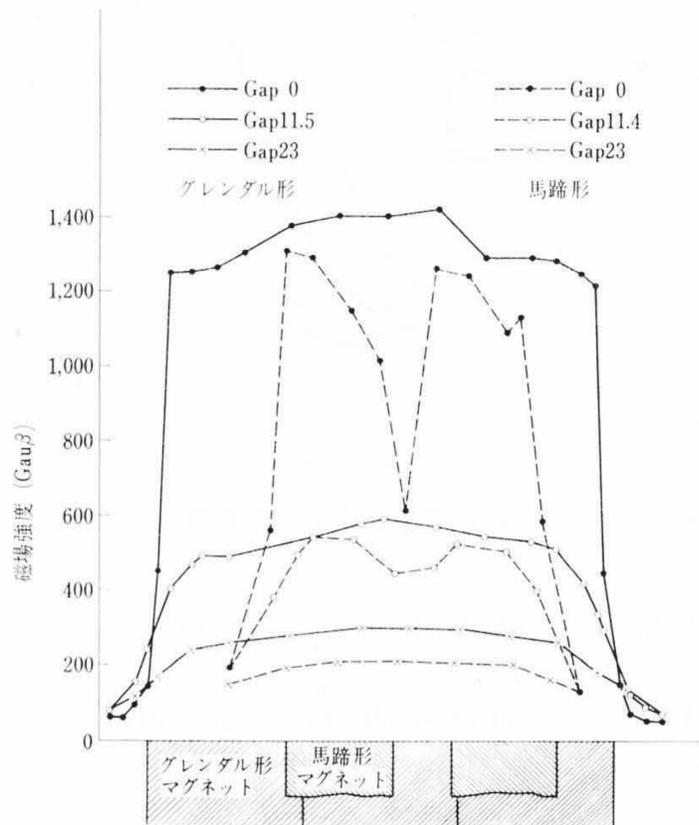
ドラム表面より最遠距離にある鉄粉の吸着までに要する時間についての実験結果は、ギャップ50mm, 磁場強度200G, 極間距離150mm, 吸着磁極幅180mmとし, ドラム表面に接線方向の流速を $v$ とすると前述経路③における吸着時間は $v$ が15m/min以下のとき,  $t$ は0.7s以下,  $v$ が30m/min以下のとき $t$ は1s以下である。これよりギャップ $a=50$ mm以下, 第6図B点における磁場強度が200G以上であれば $v$ が30m/min以下における吸着時間は1s以下である。

仮に設計速度を $v$  m/sとし, 吸着時間を $t$ とすると, 通路長さ $L$ を $L \geq vt$ とする必要がある。すなわち

$$L = \pi \left( \frac{D}{2} + a \right) \dots \dots \dots (14)$$



第11図 グレンダル形と馬蹄形との磁場分布比較



第12図 HKA-60の磁場分布と馬蹄形磁場分布の比較

ここに,  $D$ : ドラム径  
 $a$ : ギャップ長さ  
 $L$ : 通路長さ

となる。

2.1.6 HKA形の諸特性

(1) HKA-1200の磁場特性

第11図にグレンダル方式の磁石配列を採用したHKA-1200と従来の馬蹄形磁石配列の表面磁場分布の比較を示す。グレンダル方式の磁場は遠距離において従来品に比し大幅に増加している。

HKA-60の磁場分布を第12図に示す。構造図(第5図)に示すとおりフェライト磁石(YBM-2)をドラム外周に等間隔に配置し,

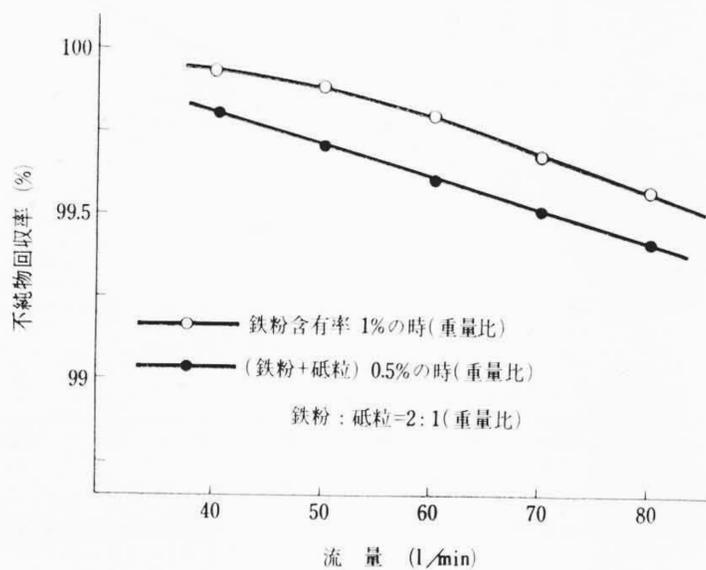
ドラム長手方向にすきまなく配置しているため、従来の馬蹄形磁石配列に比べ磁場が強く分布にムラが少ない。その結果冷却油清浄度をいっそう高めている。すなわち鉄粉をムラなく吸着し、吸着鉄粉のブラシ効果により、砥粒、ボンドなどの付着率もきわめて良好である。

(2) 冷却油清浄能力

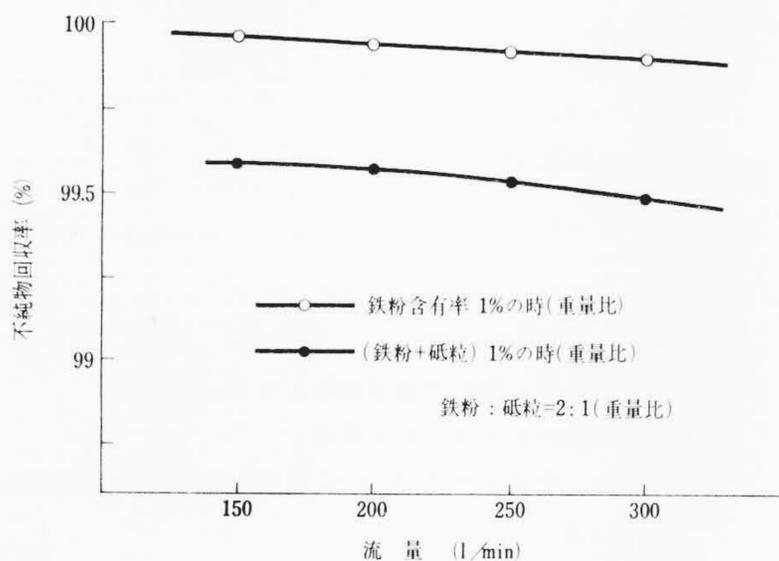
第13図、第14図に HKA-60, HKA-250 の不純物回収率を示す。図中鉄粉回収率は定格流量において 99.8% 以上、砥粒、ボンドを含めた不純物総合回収率も 99.5% 以上である。

(3) 耐久性、その他

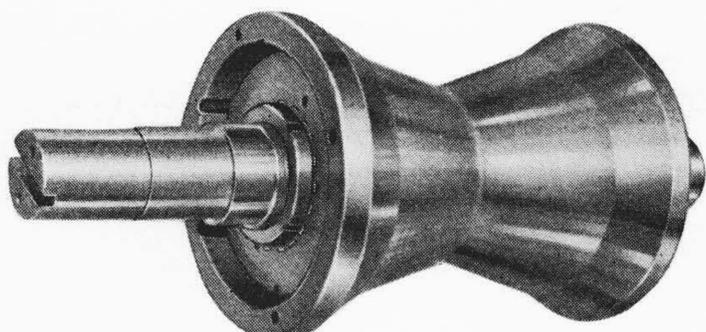
- (i) 鑄造磁石に比べ、フェライト磁石は保磁力が高いため経年変化はほとんどない。
- (ii) 駆動モータの減速方式として従来のウォーム方式に代わって遊星歯車方式を採用した。これにより従来の歯車摩擦に



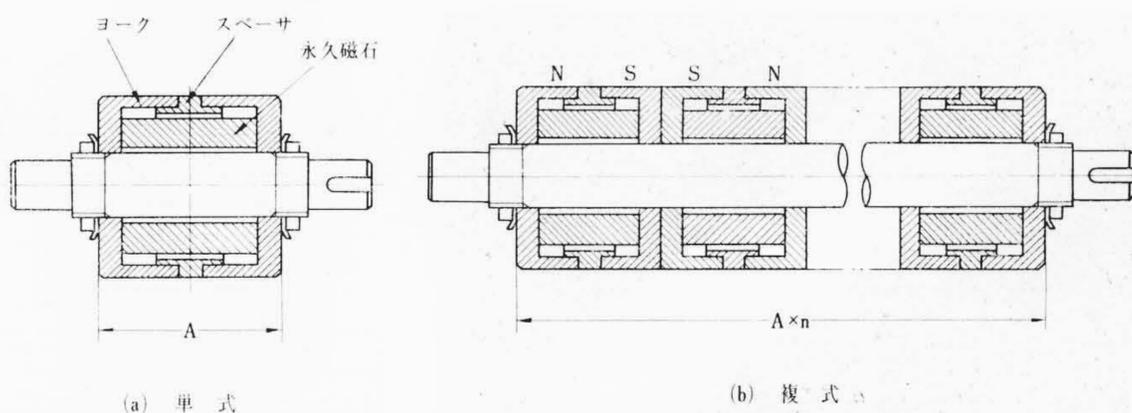
第13図 HKA-60 の回収率



第14図 HKA-250 の回収率



第15図 鋼管搬送用マグネチック・ローラ



第16図 マグネチック・ローラの構造

- よる故障の防止を図った。
- (iii) 駆動部を本体内部に納め全体形状化を図り、据付配管などについても十分考慮し改良した。
- (iv) ドラム内部、外周プレートにそって磁極間にスペーサを装着し打傷、外周のへこみを防止している。

2.2 マグネチック・ローラ

鉄鋼業界において生産合理化が叫ばれて久しいが、その第一条件として製品処理の高速度化があげられる。そのためには、マグネチック・ローラの設置が不可欠となってくる。すなわち鋼管鋼板の搬送速度を向上すると、製品の浮き上がりやわずかなショックによる進行方向の誤まりを生ずるので、これを防止することが目的である。これに応用し、高速度で送られる製品を磁氣的吸着力により保持して、確実な搬送を行ない工程管理をスムーズにし、また端部切削加工や溶接の能率を向上することが可能である。電磁式マグネチック・ローラを併用すると電流のオン、オフにより良品と不良品の区別もできて品質管理にも役立たせることができる。

一般にマグネチック・ローラは一連のテーブル・ローラに2~3本を使用すると能率化する。

第15図は20インチ鋼管搬送用のマグネチック・ローラを示したものである。

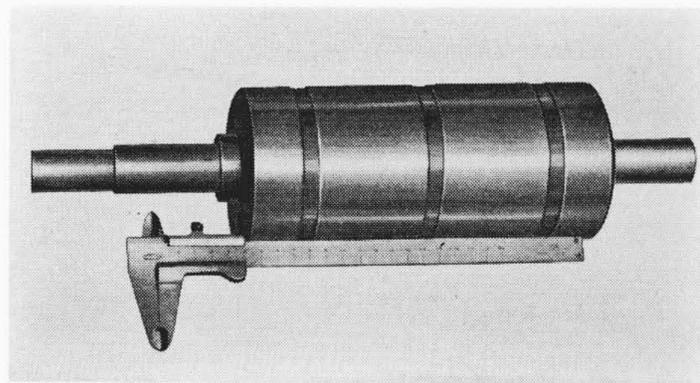
2.2.1 構造

マグネチック・ローラは普通の磁気応用製品と同じように磁気回路にヨークを使用することには変わりはない。ただロールとして回転する必要から形状が円筒形でありシャフトを有するにすぎない。

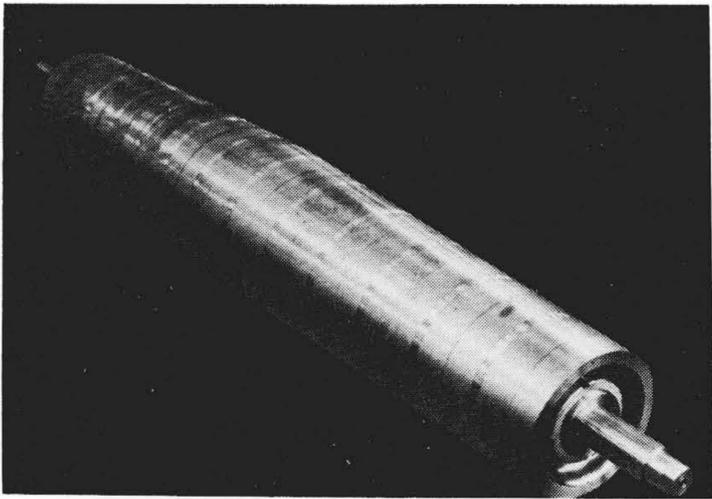
鋼管用と鋼板用は、搬送物の形状の相違のためおのずからその形を異にするが、一般的なマグネチック・ローラの構造を示すと第16図のとおりである。第16図(a)は1ユニットを図示したものであり、同図(b)は必要に応じてユニットを重ねた場合である。

鋼管用は第15図のようにV字を形成するのが普通であるが、比較的小さな直径の鋼管を複数本同時に処理する場合には第16図(b)のようにする場合もある。第17図はその一例である。

鋼板用の場合には、鋼板の幅に応じてユニットを重ねるのが普

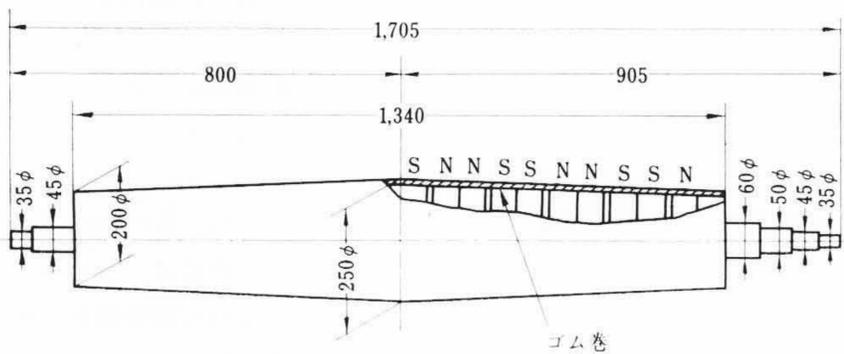


第17図 複式鋼管用マグネチック・ローラ



(ゴム巻前の写真)

第18図(a) 鋼板用ゴム巻ローラ



1. 20×20×1t 鋼板を50mm離れて吸引
2. 表面ゴム巻き

第18図(b) 鋼板用ゴム巻ローラの略図

通である。マグネチック・ローラのユニット幅、外径、表面吸着力は搬送物の肉厚や速度などによって異なる。

また鋼管鋼板の表面の傷を極端にきらう場合は、ゴム巻ローラとする場合もある。第18図は鋼板用ゴム巻ローラの一例である。

ヨークの材質には、一般構造用圧延鋼板 SS34 または SS41 を使用する。SS34 の場合に磁化特性は機械構造用炭素鋼 S15C 相当と考えて大差がない。

磁石には、磁気回路上からの制約があり、磁石自体の製作方法および回転するということから考えて、鑄造磁石とし日立金属工業株式会社規格 YCM-2B を使用している。

### 2.2.2 吸着力と表面磁束密度

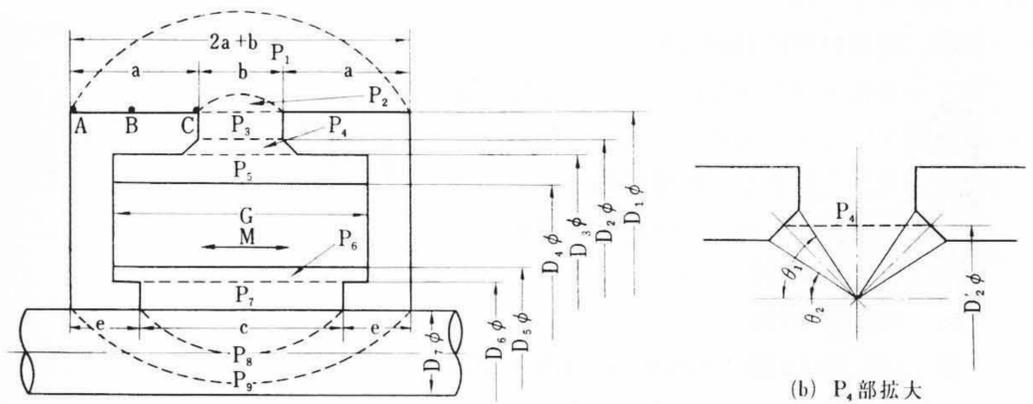
磁気回路における磁束計算は非常に困難であり、精密にパーミアンス計算を行なっても実測とは常にかかなりの差を生ずるものである。

われわれは、一般に次のような簡略計算を行ない、これに実績からくる補正係数を乗じて磁気回路の解析を行なっている。第19図における各部のパーミアンスは

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= 2.3 D_1 \log_{10} \left( 1 + \frac{2a}{b} \right) & P_2 &= 0.264 \pi D_1 \\ P_3 &= \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4b} & P_4 &= \frac{\pi D_2'}{2} (\theta_1 - \theta_2) \\ P_5 &= \frac{\pi(D_3^2 - D_4^2)}{4G} & P_6 &= \frac{\pi(D_5^2 - D_6^2)}{4G} \\ P_7 &= \frac{\pi(D_6^2 - D_7^2)}{4C} & P_8 &= 0.264 \pi D_7 \\ P_9 &= 2.3 D_7 \log_{10} \left( 1 + \frac{2e}{c} \right) \end{aligned} \right\} \dots (15)$$

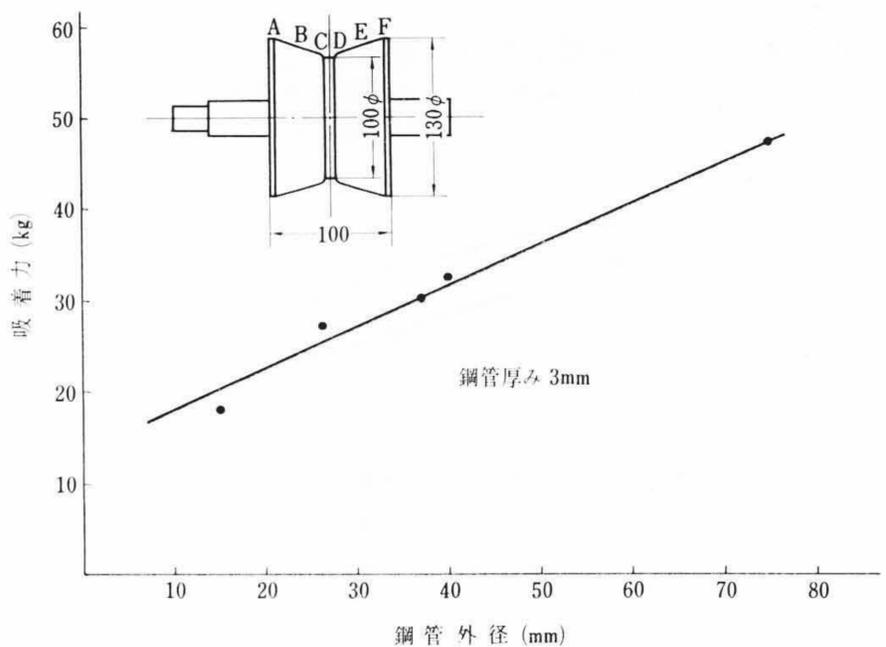
全パーミアンスを  $P_t$  とすると

$$P_t = P_1 + P_2 + \dots + P_9 \dots (16)$$



(a) 全体図 第19図 磁気回路略図

測定点	A	B	C	D	E	F
表面磁束密度 (G)	560	540	1,700	1,600	520	540



第20図 130φ×100l マグネチックロールの吸着力と磁束密度

有効パーミアンスを  $P_1$  と  $P_2$  として考えると漏えい係数  $f$  は次のとおりとなる。

$$f = \frac{P_1}{P_1 + P_2} \dots (17)$$

パーミアンス係数  $P$  は

$$P = \frac{L_m}{A_m} \times P_t \dots (18)$$

ここで、 $L_m$ : 磁石の磁化方向の長さ

$A_m$ : 磁石の断面積

パーミアンス係数と磁石の磁気特性より  $B_a$  を得る。

$B_a$  = 動作点に対応する磁束密度

ヨーク表面の平均磁束密度 (A, B, C 三点の平均) を  $B_g$  とすると

$$B_g = \frac{B_a \cdot A_m}{A_g \cdot f} \times C \dots (19)$$

ここに、 $A_g$ :  $\pi D_1 \times a$

$C$ : 補正係数

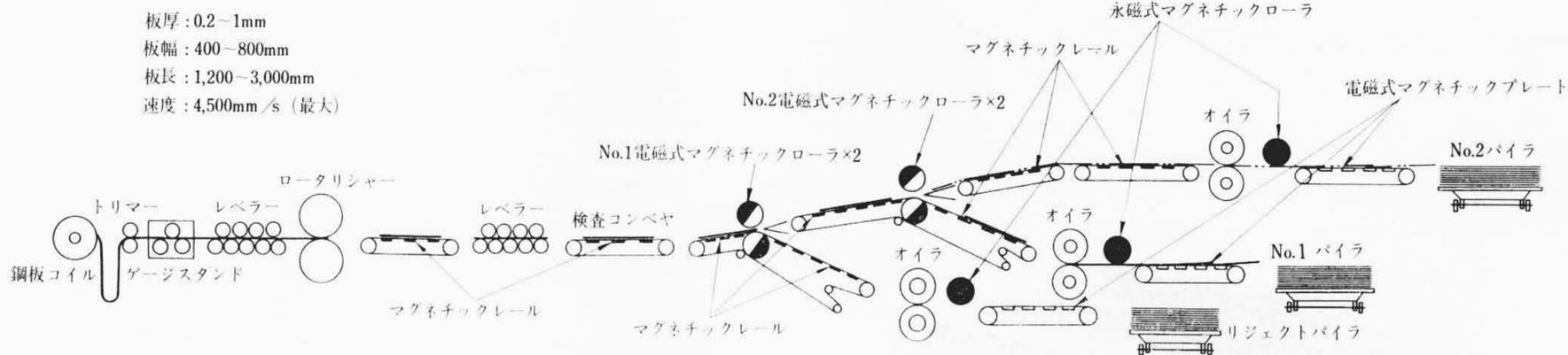
となる。

磁性体が近づくと磁束密度は上昇するわけであるが、そのときの空げきの磁束密度を  $B_f$  (G) とするとその部分における単位面積当たりの吸着力  $F$  (g) は

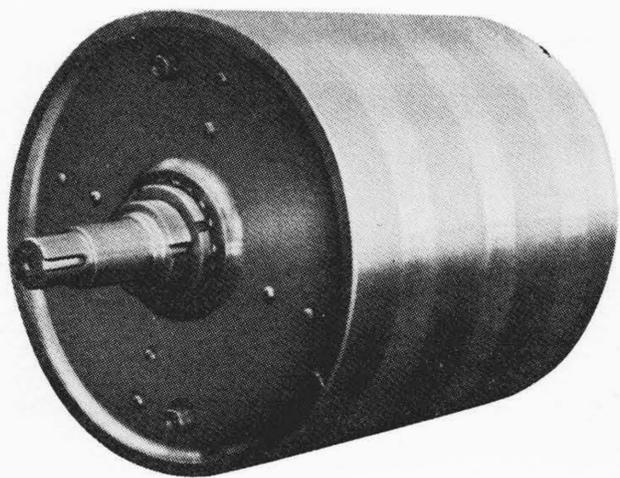
$$F = \frac{B_f^2}{8\pi \times 981} (g) \dots (20)$$

となる。

実際のマグネチック・ローラにおける静止の場合の磁束密度お



第 21 図 鋼 板 シ ャ ー ラ イ ン の 一 例



(プーリ部の寸法 400φ×440 L)

第 22 図 マグネチック・プーリ

よび吸着力を調査した一例を第 20 図に示す。

2.2.3 生産ラインに応用の一例<sup>(8)(9)</sup>

生産ラインにマグネチック・ローラを応用した一例として、鋼板のシャーおよびパイリングの例を第 21 図に示す。

生産ラインであるのでマグネチック・ローラのみではなくマグネチック・レールも使用し、さらに電磁式マグネチック・ローラ、電磁式マグネチック・プレートも使用されているが、ライン稼働の重要な要素を占めるこれら磁気応用品は、日立金属工業株式会社熊谷工場の製作になるものであり、各製品の理解を深める目的であえてここに示した。

トリマーにて両側を裁断された鋼板は、ゲージスタンドにて厚みピンホールなどの検査をうけた後に所定の長さに切断される。切断された鋼板は、レベラにより凹凸を矯正されて検査コンベヤに運ばれ、ここで鋼板表面のすり傷や焼鈍ムラを肉眼にて選別する。ここまでの部分で不良と判定された製品は、遅延リレー、押しボタンなどの操作で第一段電磁式マグネチック・ローラの下側のみを動作させてリジェクトパイラのほうに搬送され、良品のみ No. 1~2 のパイラのほうに送り込まれる。したがって電磁式マグネチック・ローラの応答速度が重要となり、一般にはコイルのタイム・コンスタントを 0.1 秒以下にする必要がある。

鋼板は、取扱いおよび荷作り上から 1~2 t ごとに木材のディスタント・ピースをそう入するので、そのつど No. 1 パイラまたは No. 2 パイラに送り込まれる。

各パイラのほうに向けられた鋼板は、必要に応じてオイラ内を通過する。マグネチック・ローラのアとのベルトコンベヤは、速度が遅くなっているため、後から来た鋼板の先端が前の鋼板の後部に乗って送られパイリングが行なわれる。

鋼板の運搬途中は、マグネチック・レールでしっかりと吸着されているので確実な定速搬送が可能である。

2.2.4 特 長

マグネチック・ローラ使用による特長、利点をあげると次のとおりである。

- (1) 鋼管鋼板の搬送速度を増大して能率を向上する。
- (2) 製品を正確に吸着保持して研削や溶接などの加工を容易にし精度を向上する。
- (3) 製品との間に「すべり」がなく確実な定速搬送で工程管理が良好となる。
- (4) 電磁式マグネチック・ローラを使用すれば製品の良否の区別が迅速に行なわれ品質管理が良好となる。

マグネチック・ローラと同様なものにマグネチック・プーリがあるが、これはベルトコンベヤのヘッド・プーリに使用されて銻物砂中の鉄片分離などに使用される。第 22 図にその一例を示す。構造、用途ともマグネチック・ローラと大差ないのでここでは詳述することを割愛する。

2.3 マグネチック・プレート

最近急激に盛んになってきた食品工業、飼料工業、化学工業などの粉砕作業において品質保証と機械保護および設備の休止時間の絶減のために異物排除装置の要望が高まってきた。

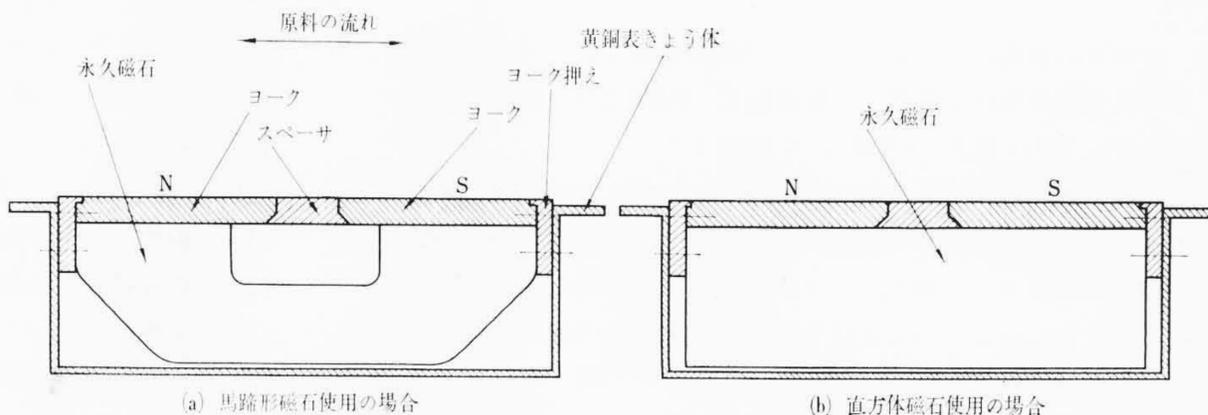
日立金属工業株式会社熊谷工場では、これにこたえてマグネチック・プレート、マグネチック・ドラムセパレータなどを開発してきたが、ここではマグネチック・プレートについて言及する。

マグネチック・プレートは粉砕する原料の流れの途中に設置して、原料に混入しているピン、ボルト、ナットその他の磁性体を吸着分離するのに使用され、製品の品質向上、能率向上のためには不可欠のものである。

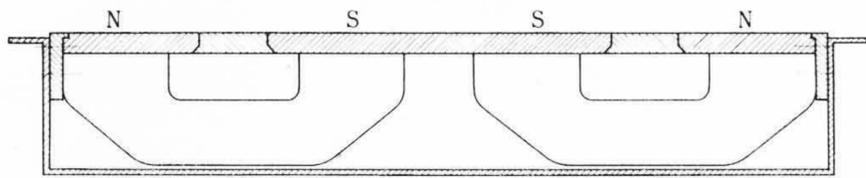
2.3.1 構 造

磁気的な面よりみれば、第 23 図のようにマグネチック・レールとまったく同じで二枚のヨークと永久磁石とからなっている。

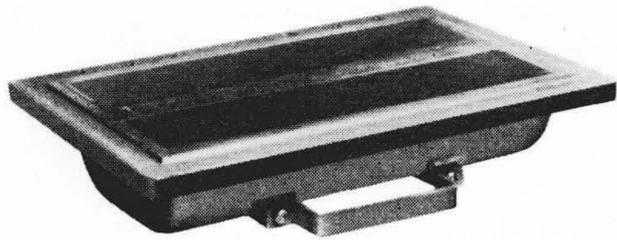
処理すべき原料の大きさ、混入している磁性体の大きさ、流れる層の厚さなどによって第 24 図のように複式のものも使用される。



第 23 図 一般的なマグネチック・プレートの構造

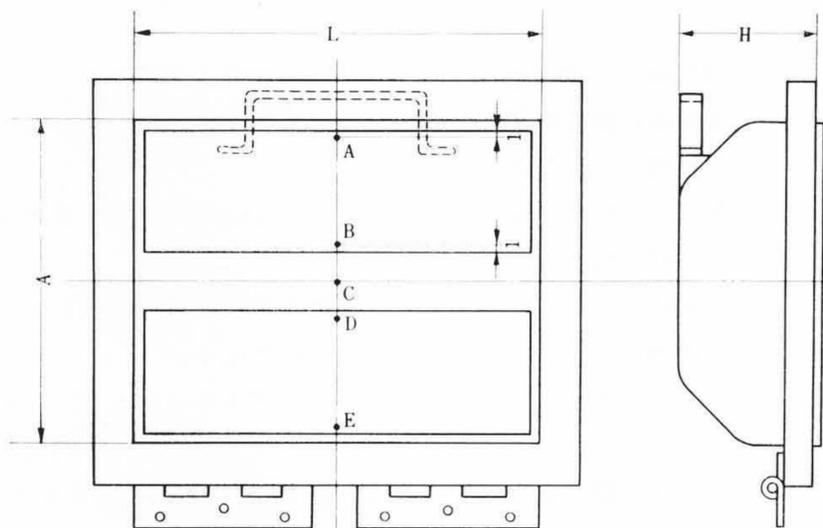


第24図 複式マグネチック・プレート



(アルミニウムにより鋳ぐるみ)

第25図 マグネチック・プレート



(アルミニウムにより鋳ぐるみ)

第26図 マグネチック・プレートの寸法仕様図

第2表 マグネチック・プレートの寸法および原料の処理能力 (第26図と参照)

(b) L寸法に対する原料処理能力 (m<sup>3</sup>/h)

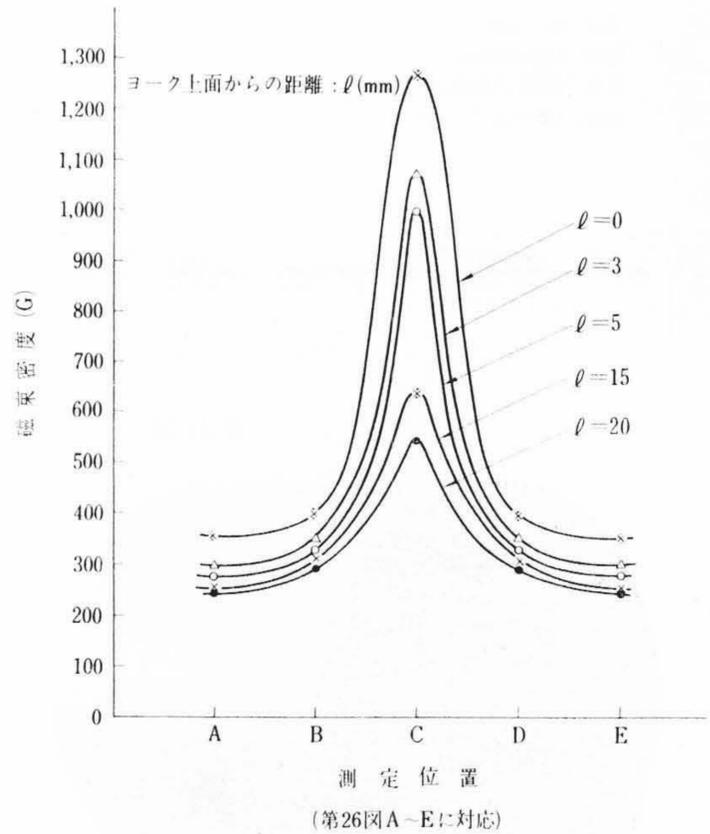
L	種別	標準形	強力形
100		25	30
150		36	48
200		50	65
250		65	82
300		76	96
350		87	113
400		100	130
450		113	144
500		127	160
550		140	178
600		152	195
750		190	240
900		230	291
1,000		270	340
1,200		310	387

(a) AおよびHの寸法

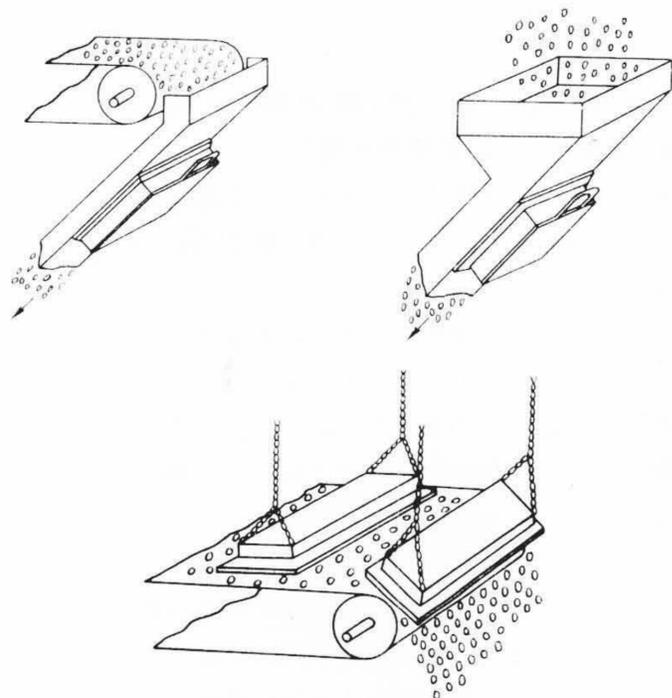
寸法	種別	標準形	強力形
A		160	200
H		60	70

ヨークの材質には、SS34 または SS41 を多く用い、永久磁石としては各種の条件を勘案して鋳造磁石 (YCM-2B) あるいはバリウムフェライト磁石 (YBM-2) を使用する。

一般に製作されているものは外側ケースとして第23~24図に示すように、黄銅などの非磁性体製のきょう体を使用しているが、この場合にはヨーク押え、ビスが必要となり形状や価格の面から好ましくない。したがって日立金属工業株式会社熊谷工場では、上記の磁気回路部分を第25図のようにアルミ鋳ぐるみとすることを考案した。その結果、軽量安価でしかもコンパクトでスマートな製品とすることに成功した。



第27図 マグネチック・プレート (200×250×70) の各点における磁束密度



第28図 マグネチック・プレートの使用例

日立金属工業株式会社熊谷工場における規格寸法をあげると第26図および第2表に示すとおりである。

### 2.3.2 磁気回路計算および測定例

磁気回路の計算は前節マグネチック・ロールの項で述べたとおりであるので、ここでは省略するが、強力形 200(幅)×250(長)×70(高)についての測定例を述べると第27図のとおりである。

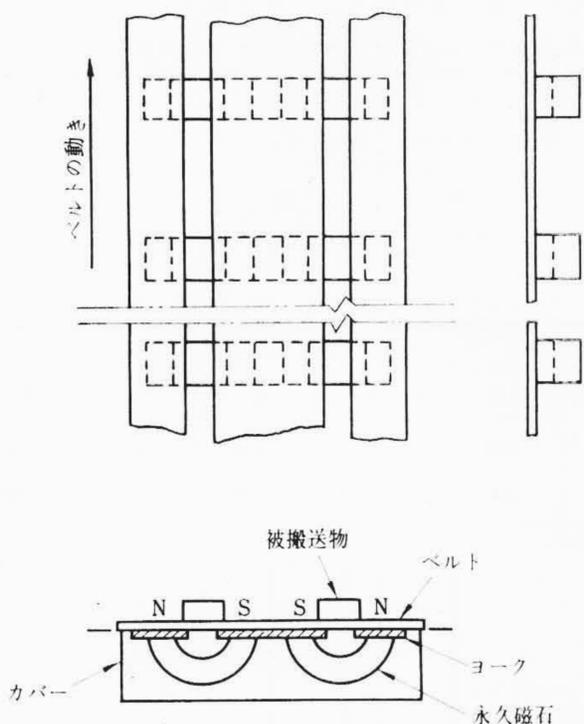
吸着力としてこの形のものは ボルト W<sup>3</sup>/<sub>8</sub>×50 mm を 80 mm 離して吸引する。第28図にマグネチック・プレートの使用例を略記する。

### 2.3.3 特 長

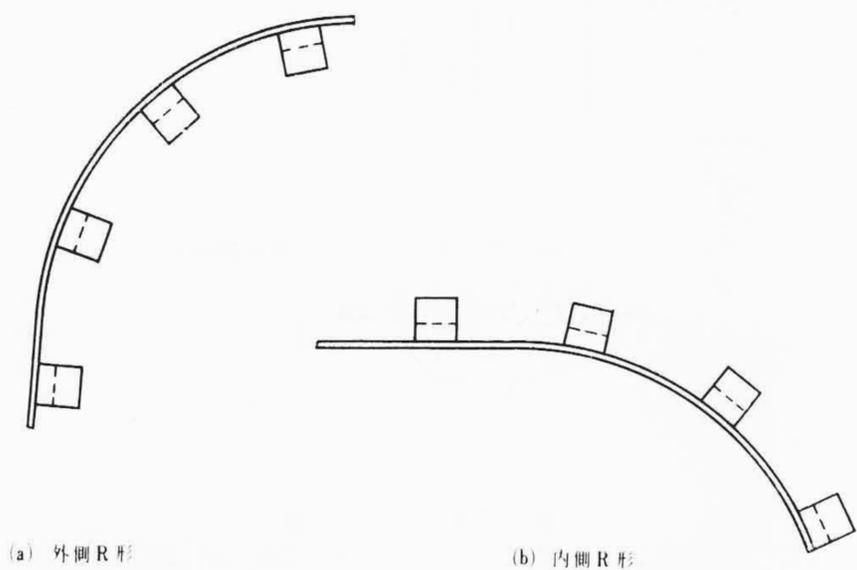
- (1) 粉体の品質を保証する。
- (2) 粉砕機などの寿命を増大する。
- (3) 全体がコンパクトであり軽量で手軽に利用できる。
- (4) 各種磁気選別機に比べ安価である。

### 2.4 マグネチック・レール

マグネチック・レールは、一般のベルトコンベヤの下面に永久磁



第29図 マグネチック・レールの構造図(直線形)



第30図 R形マグネチック・レール

石を装置したものでベルトを隔てて磁性体製品を吸着し運搬する。品物はベルトとともに永久磁石のヨーク上を移動する。マグネチック・レールを使用すると磁性体は、傾斜、垂直、つり下げの状態でも搬送可能であり、生産ラインを合理化するにはぜひ必要なものである。

2.4.1 構造

磁気回路的にはマグネチック・プレートを長くした形状である。使用する側からみればマグネチック・プレートは品物の進行方向とヨークが直角に交わるが、マグネチック・レールは平行になっている。マグネチック・レールの形状は三つの形に分類される。

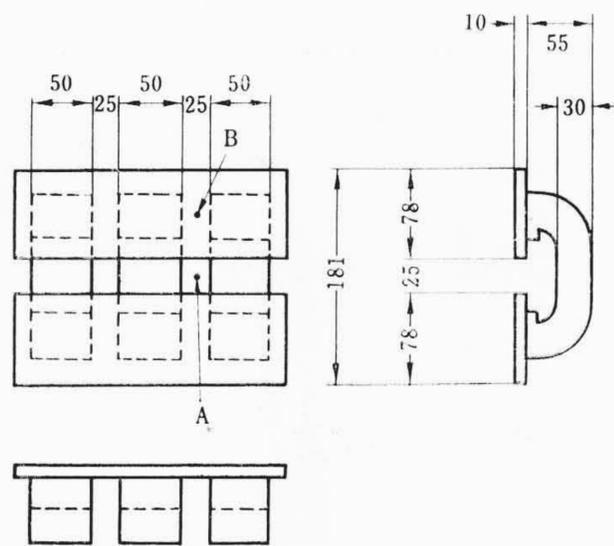
- (1) 直線形(第29図参照)
- (2) 外側R形(第30図(a)参照)
- (3) 内側R形(第30図(b)参照)

これらを組み合わせることにより各種の搬送形式をとることができる。

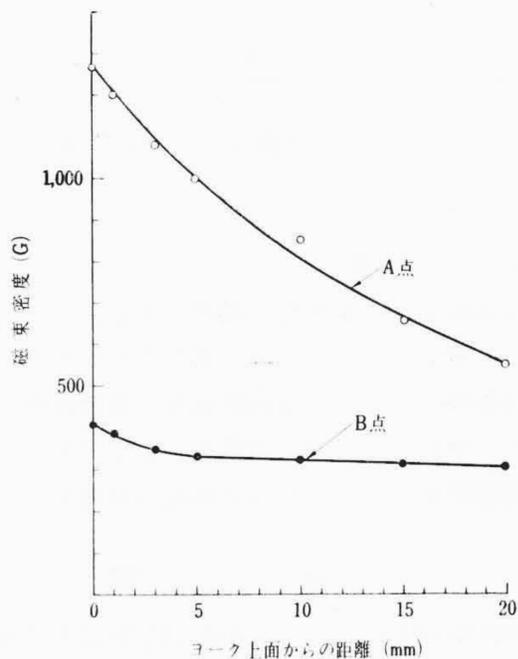
2.4.2 応用例における磁束分布と吸着力

日立金属工業株式会社熊谷工場で作製したマグネチック・レールの一例として第31図をあげる。(a)図は測定した磁気回路、(b)図は(a)図のA点およびB点上における磁束密度の変化を表わす。この場合には、磁力線が遠方に達することを目的として設計したので、一般のような磁束密度の減衰はみられない。なお磁石材質には保磁力の大きいYCM-2Bを使用した。

普通のマグネチック・レールにおける場合には、被吸着物を近



(a) 測定に供したマグネチックレール



(b) 磁束密度曲線

第31図 マグネチック・レール上の磁束密度

づけるとヨークと吸着物との間げきの磁束密度は、上述磁束密度の2~3倍に上がり、これに相当する吸着力が働くこととなる。〔(20)式を参照〕

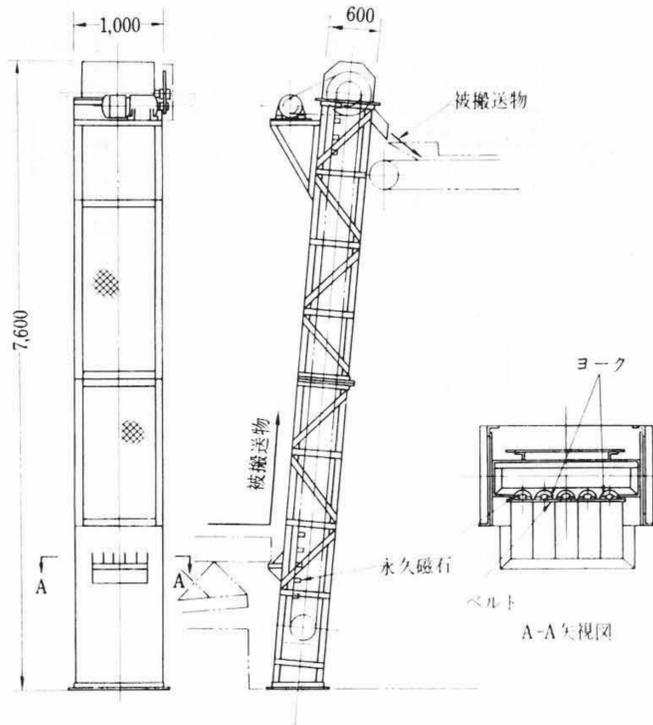
吸着搬送する品物の形状および運搬の方法により、第31図(a)のA点の磁束密度を大きくする場合と、B点の磁束密度を大きくする場合の二通りが生じてくる。

一般に磁束密度はヨークからの距離の自乗に反比例するものであるが、第31図からもわかるとおりヨークの形状などによって、かなりの制御ができるものである。いずれにしても磁束の点からはベルトはできるだけ薄いほうがよいが、寿命の点もあるので普通には厚さ3.5~10mmのベルトが用いられる。

マグネチック・レールはベルトを隔てて磁性体を吸着しベルトとともに運搬するから、ベルトの速度は普通のベルトコンベヤより遅くする必要があることは当然である。水平搬送の場合では重量50g程度のもので50m/min、500g程度で30m/min、垂直の場合は200g程度のもので10m/minが適当である。

第32図に垂直コンベヤの一般的な概略図を示す。これは1ラインに5列のマグネチック・レールを装置したもので、前工程より品種別に流れて来た製品を混合の心配なく、一定の速度で下から上の階へ運ぶことができる。この場合の吸着力などを第3表に示す。これによると磁石ピッチ150mmにて吸着力は十分である。

1. 運搬物 継手(呼び3/4, 5)
2. 運搬量 60個×5列/min
3. ベルト速度 10m/min
4. ベルト 700W×10T



第32図 垂直コンベヤの一例

2.4.3 特長

- (1) 磁性体製品を一定速度で搬送できる。
- (2) 安全を確保し、ベルトから落ちる心配がまったくない。
- (3) 方向転換、つり下げ垂直搬送など自由自在である。
- (4) コンベヤによる必要床面積を小さくできる。
- (5) 複列搬送ができ、しかも異種品の混同することがない。

3. 結 言

永久磁石の性能向上により、その応用分野はますます拡大されてきたが、このうち最近特に注目を浴びてきたマグネチック・クーラントセパレータ、マグネチック・ローラ、マグネチック・プレート、マグネチック・レールについて磁気回路の解析および構造、特性、使用例について述べた。

今後さらにこれら永久磁石の応用分野は拡大するものと考えられるが、これらの基礎資料が需要家各位の参考になれば幸いである。

終わりに各種磁石応用品の開発製作にあたり、ご指導、ご援助をいただいた関係各位に深謝する。

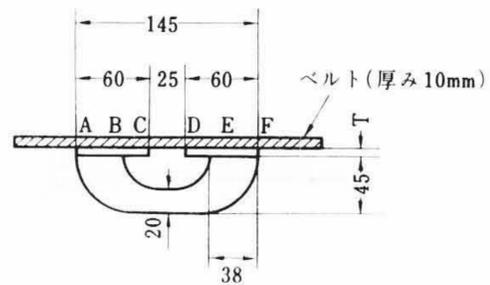
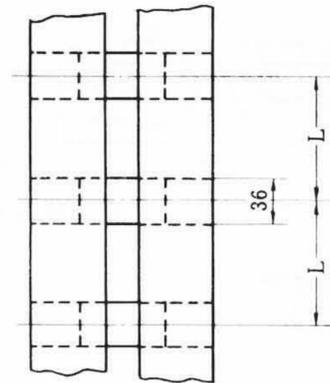
第3表 継手用垂直コンベヤの吸着力および磁束密度

(a) 吸引力(ベルト厚み 10mm) (kg) 継手重量 1/2" エルボ 93g  
3/4" エルボ 170g

磁石ピッチ L (mm)	ヨーク厚み T=6		ヨーク厚み T=10	
	1/2" エルボ	3/4" エルボ	1/2" エルボ	3/4" エルボ
100	1.05	1.35	0.75	0.85
150	0.7	0.88	0.5	0.55

(b) 磁束密度 (ベルト無し) (G)

空げき寸法 (mm)	測 定 位 置					
	A	B	C	D	E	F
0	640	420	1,450	1,450	400	650
10	300	360	500	500	360	310



参 考 文 献

- (1) 三島徳七, 三島良績: 合金学(上) 236 (昭-36 共立出版)
- (2) 永倉充: 電子材料 Vol. 2, No. 12, 13 (1963-12)
- (3) 牧野昇: 最近の磁石とその応用 103 (昭-33, アグネ社)
- (4) A. Wilson: Machinery, Vol. 69, 10, 94-102 (1963)
- (5) Rollin J. Parker, Robert J. Studders: Permanent Magnet and Their Application 222.
- (6) 石黒敏郎, 坪島茂彦, 宮川澄夫: 交直マグネットの設計と応用, 26.
- (7) Evershed: JIEE, 780~837 (1920)
- (8) Wean Co. Inc.: Iron Age, Vol. 193, No. 21, 50-51
- (9) Head Wrightson Co., Ltd.: Journal of the Iron and Steel Institute, Vol. 201, Part 11, 11, Vol. 202, Part 4, 35.