

最近の磁気ドラム記憶装置について

On the Advanced Magnetic Drum Memory Device

川 又 晃* 古 谷 勝 美** 倉 根 是 昭***
 Akira Kawamata Katsumi Furuya Koreaki Kurane

内 容 梗 概

磁気ドラム記憶装置は、単位情報量当たりの単価が低廉で信頼性の高い計数形記憶装置であるとされているが、その半面製造技術的にはきわめてむずかしい製品のついに数えられている。

本邦において情報処理機構の研究開発が行なわれた初期の頃から、この安定にして低廉な磁気ドラム記憶装置の完成は一つの技術的目標とされていたが、最近に至るまで十分満足し得る製品は作られていなかった。

ここに筆者らは、多くの関係者と協力して、この技術的問題点の解明に努力を続けてきた結果、最近に至ってきわめて性能のよい機械的にも物理的にも安定な磁気ドラム記憶装置の製造に成功することができた。

本稿はこの技術的成果について可及的詳細に報告したものである。

1. 緒 言

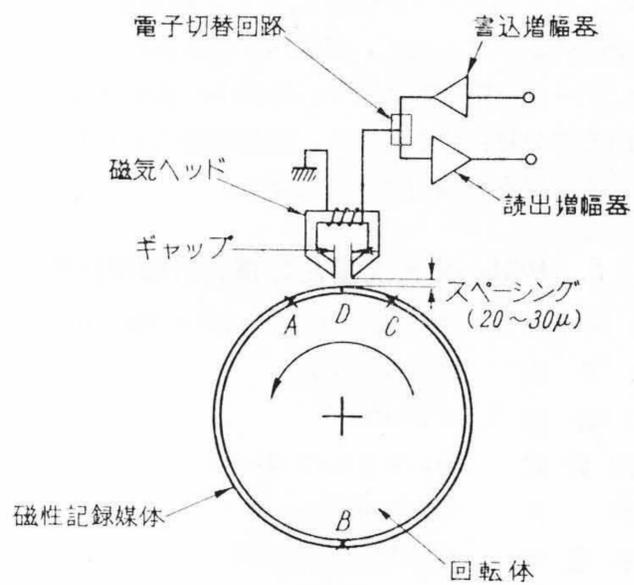
計数形情報処理機構の一つの特徴は、演算の過程において一部のデータを記憶し、必要に応じてこれを引き出して使用することが可能な点にある。これらの機能を有する装置を総称して記憶装置と呼んでいるが、磁気ドラムはこの種のものとしては最も簡単で使いやすいため比較的早くから実用に供せられてきた。

その構造は第1図に示すように表面に強磁性体の薄膜を有する円筒状の回転体と磁気ヘッドを対向させたもので、テープ・レコーダなどと同様の原理で符号化された情報の記録再生を行なう機能を有している。記憶している情報の中から希望する特定の情報を引き出すのに要する時間をアクセス・タイムと呼ぶが、ドラムの場合には一回転に要する時間そのものと考えてよい。このため機械的な条件の許容し得るかぎり高速に回転させることが望ましい。また一方で記憶容量をできるだけ大きくすることが要望されており、機械的寸法の増大を来さない方法でこれを実現するためには、記録媒体となる円筒体表面の単位面積当たりの情報蓄積密度を高めることが必要である。

上記の問題点を中心に最近における磁気ドラム記憶装置の進歩と改善の成果を要約して報告したいと考える。

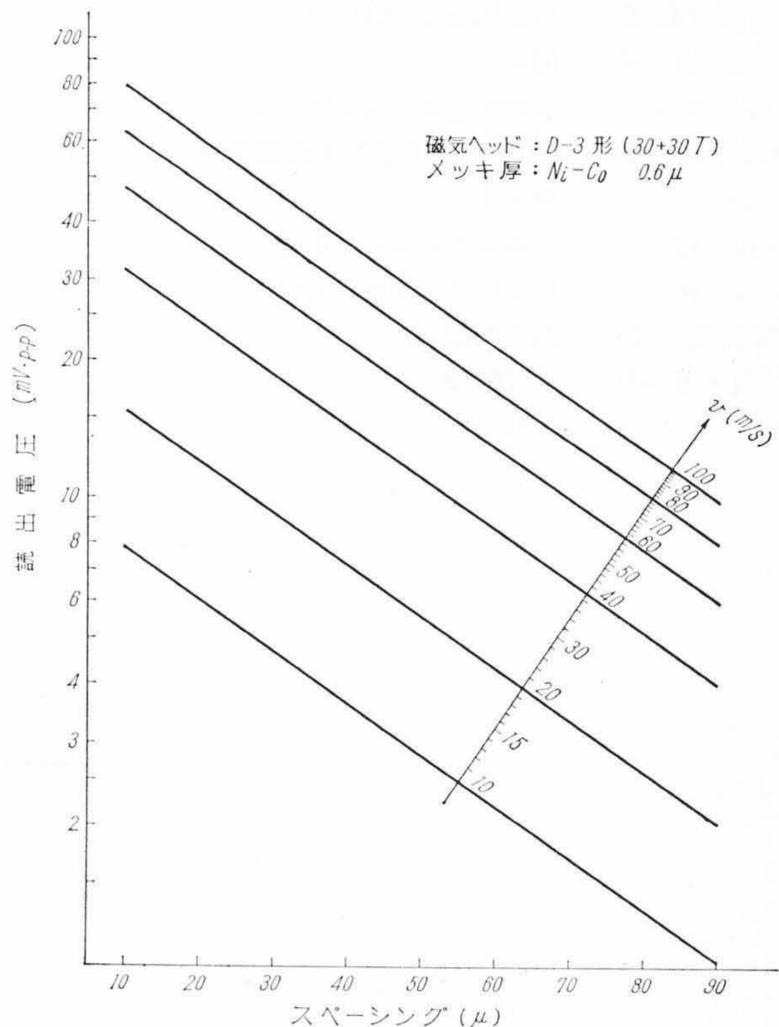
2. 超精密高速回転体としての磁気ドラム

回転体と磁気ヘッドとの間隔をスペーシング(s)と呼び、磁気ヘッド前面のすき間をギャップ(g)と呼ぶ。単一の磁気ヘッドをもって書き込み読み出す場合sは小なるほど変換能率が高く読出電圧も高く出る。したがって可及的sは小さく選びたいのであるが、磁気ドラムの回転に伴う風損ならびに軸受部・電動機部に起こる発熱に基づく熱変形が必ずしも一様に行なわれないこと、特に始動後一応熱的平衡状態に入った磁気ドラムを少時運転休止させた場合などを想定すると、磁気ヘッドを取り付けた外殻は放冷の結果収縮し、回転体は放熱が行なわれず膨張したままの状態にあるため、その間の寸法すなわちスペーシングのせばまりが考えられる。このほか回転に伴う遠心力に基づく回転体のラジアル方向の膨張や、回転体の偏心に基づく一回転中に生ずる近寄りと遠退きに基づくスペーシングの変動などを考慮におくと、空げきを介してドラムとヘッドを固定して取り付けた形式においては、sとして20ないし30μ(回転時)は機械的な安全性を見込むために必要であろう。g寸法について



注：A 夾に記録された信号は B→C→D の順で読み出される。

第1図 磁気ドラムの構造



第2図 スペーシングと読出電圧の関係図

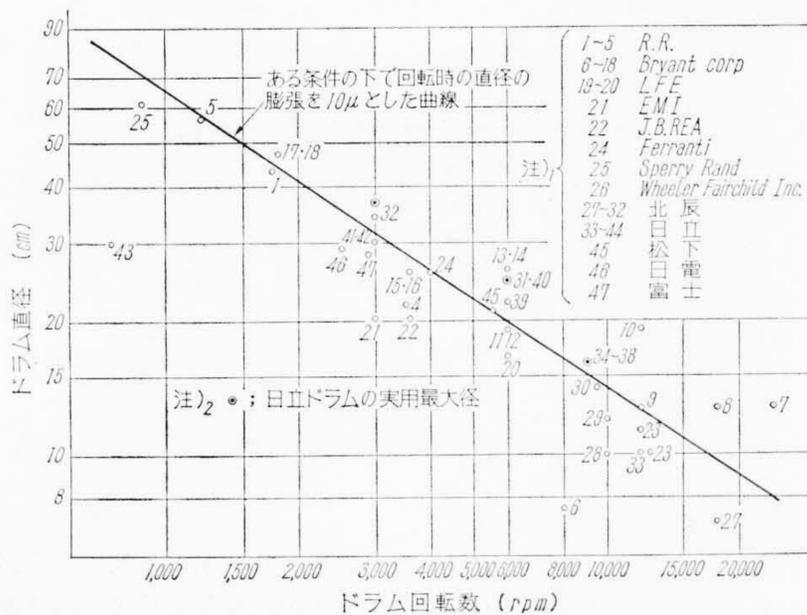
* 日本電信電話公社電気通信研究所 工博
 ** 日立製作所戸塚工場 工博
 *** 日立製作所戸塚工場

は一般に $s \approx g$ に選ばれる。理由はこの付近で磁気ヘッドの変換率が最大値をとるからであると考えられているが、特にその効果は顕著ではない。

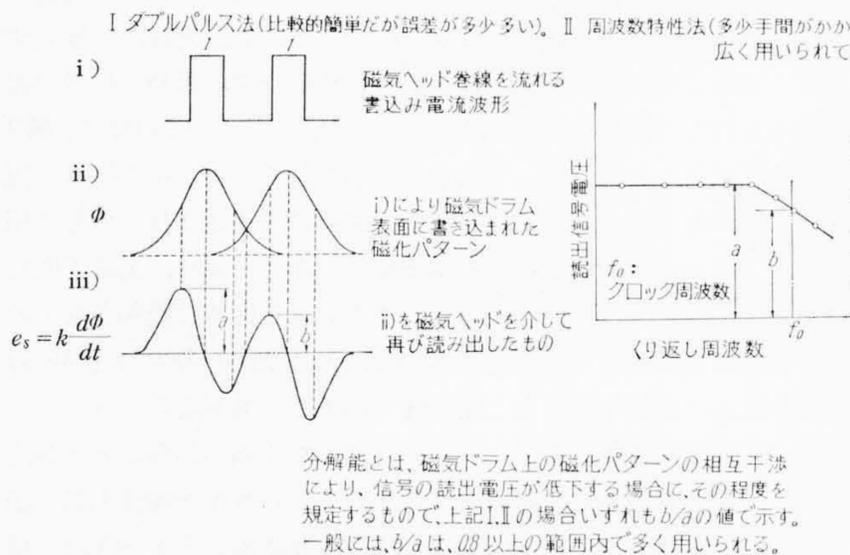
単一の磁気ヘッドをもって書き込み読み出す場合の読出電圧はドラムの周速に比例し、スペーシングを広げると対数的に減少する。第2図はD-3形磁気ヘッドについて実測した値から打点したものである。第2図より回転体の偏心に基づく読出電圧の変動率はスペーシングの値に関係せず偏心の絶対値に比例することが推論できる。逆にこれから運転状態における偏心を推定すると静的に測定した値の2ないし3倍になっていることがわかった。ちなみに静的に測った偏心量は最近のものでは大形のもので 1.0μ 小形のもので 0.6μ 以下に収まっている。

前述の理由から磁気ドラムの回転数は一般に速く、その周速は 40 m/s から 100 m/s に及ぶものもある。かように高速の回転体となるとその外周における遠心力は $5,000 \text{ g}$ から $10,000 \text{ g}$ に達し、構造強度的にもよく検討された構造でないとは変形を来して実用に供しがたい。また風損も大きくこれに基づく熱変形と前者をあわせ考えるとき、回転体の大きさと許容回転数の間に一定の制約があるものようである。第3図はこの関係を現在実用されている各社の磁気ドラムについて打点したもので、ここに一つの傾向を求めることは可能であろう。もちろん、水素、ヘリウムなどのガス充てんを行えば、この線を上回ったものができるであろうが、調整、保守の困難を考えると特によい方法とは思えない。むしろこの制約下において使用すべきであろう。

上記した熱的な変形を可及的少なくするためにろ過器を通した外気を導入してドラムの周辺を冷却する方式のドラムがあり、所期の目的は一応果しているようであるが、長期運転した場合ろ過器の目



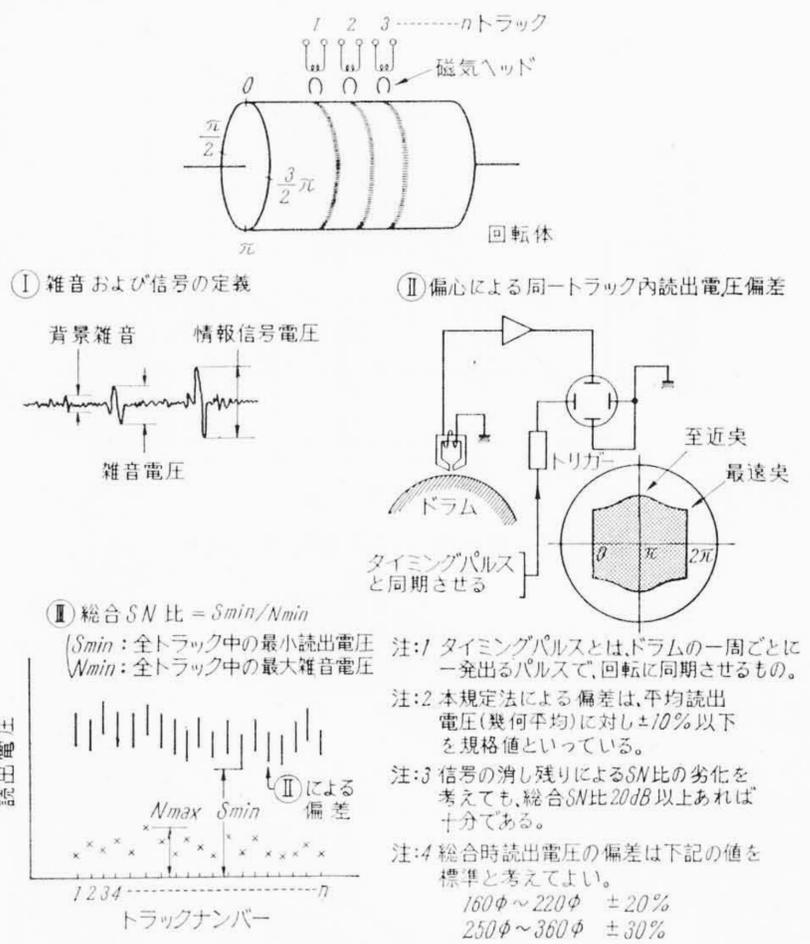
第3図 磁気ドラムの直径と許容回転数



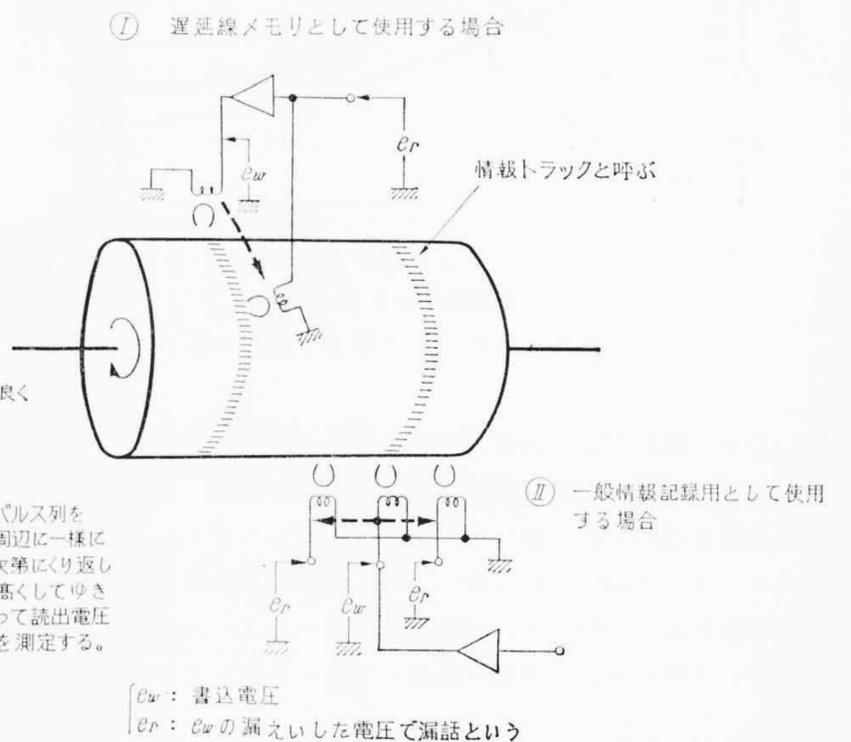
第4図 分解能の規定方法

づまりによる通気量減少に基づくドラム周辺温度の上昇、またろ過器を通過して侵入するダストにより表面磁性膜の損傷を招きやすく不都合であるので、筆者らの製作したドラムはすべて密閉構造を採用している。

潤滑方式についても、同じような考え方から油潤滑はすぐれてはいるが、ドラムの表面を汚す点で不適當でグリース潤滑方式を採用した。グリースとしてはライフ・タイム (スタンダード・バキューム製) を使用している。軸受にはUP級のアンギュラー・コンタクト形を使用し、大形の回転体にはバック・ツウ・バックとして、中小形のものにはブリ・ロードをかけて前述の精度を出している。いずれの場合も筆者らが採用した方法はベアリングの外輪を正として切削を行なったもので、かくすることにより偏心量を非常に少なくすることが可能になった。当初軸受寿命について多少の不安をもつ



第5図 読出電圧の偏差と総合SN比

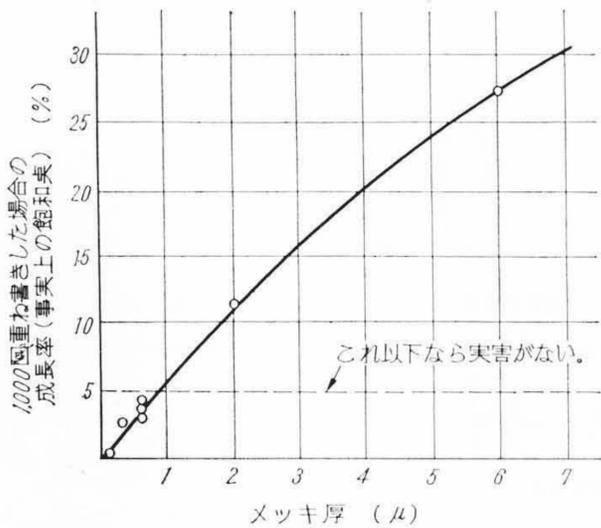


第6図 漏話の規定方法

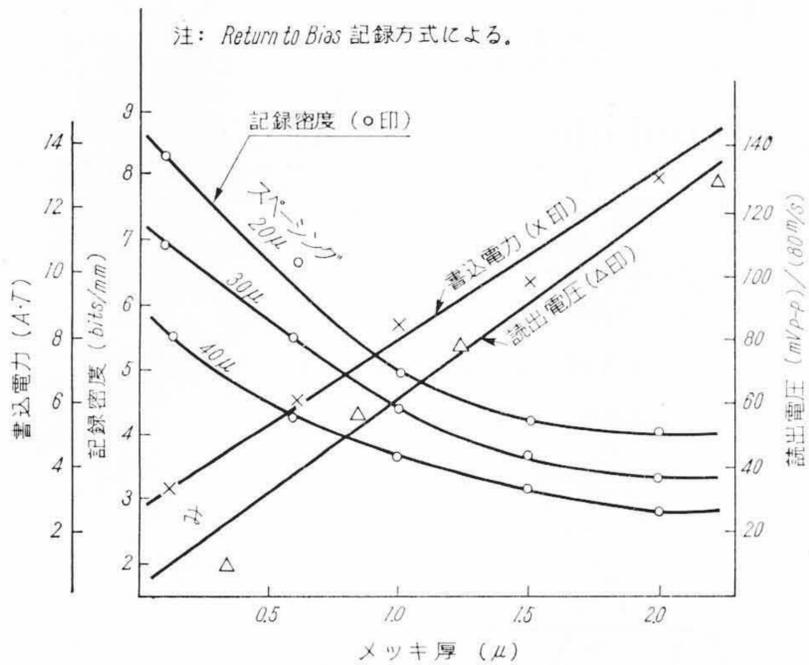
第1表 磁性記録媒体の改良による記録特性の改善結果

項番	項 目	NiCo メッキ		フェライト・コーティング		
		初期の自製品	現在の自製品	自製品	国産他社	輸入品
1	*書込所要電力 (AT)	6.0(7.5)	7.0(5.5)	12.0(12)	10(12.5)	12(-)
2	総合 SN 比 (dB)	14	26	12	18	14
3	単一トラック SN 比 (dB)	23	32	16	20	23
4	**R=0.8 分解能 (bits/mm)	2.8	4.3	3.0	3.5	3.5
5	重ね書き信号の成長 (%)	32.0	5.0	5~10	—	—
6	読出電圧 (mV.pp) (同一のヘッドに対して)	100	50	—	60	70

注: * () 内は完全飽和値を示す
** RZ式ダブルパルス法により測定



第7図 重ね書きによる信号の成長



注: 記録密度は分解能 R=0.8で測定。

第8図 磁性メッキ厚さと記録特性

ていたが、使用荷重が非常に低いところで使用されているためでもあろうが、連続20,000時間運転したものについて、初期の値とさしたる変化が認められておらず、また現在までベアリングの寿命がきたことによる破損は一台もない。現状の使用基準を適用する限りにおいては製造時の偏心を許容範囲内に収めることができれば寿命の点について特に大きく考慮する必要はないと考えている。

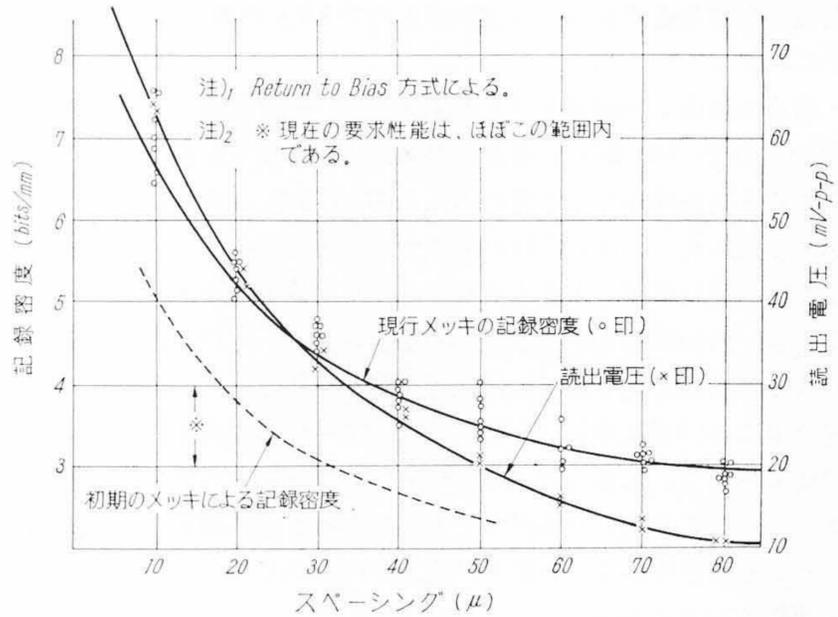
3. 記録特性の改善

磁気ドラムの記録特性は計数形記録であるから、最終的には信頼度の良否で判断されるが、これを機能的に分けて分解能、SN比、読出電圧の偏差、漏話などの形で一般性を与えて規定している。

それぞれについて定義を第4~6図に示し、現在までの改善のあ

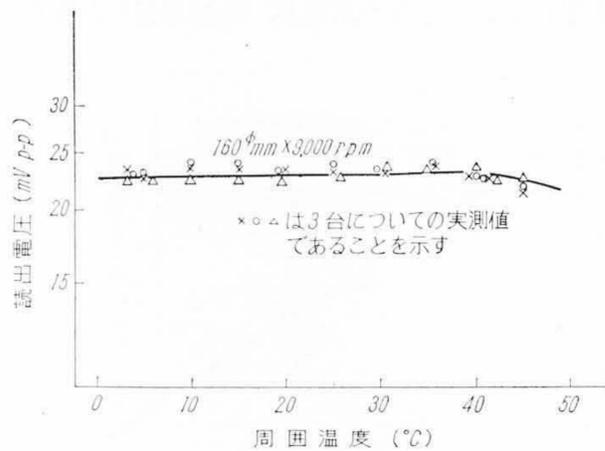
第2表 磁気ドラム製造技術の推移

項番	項 目	初期のメッキドラム	現在のメッキドラム (1)	現在のメッキドラム (2)
1	表面加工法	研 削	特殊旋削仕上	特殊旋削仕上 + 超仕上
2	表面仕上げ精度	1.0S, ただし多少のスクラッチは避け得ない	0.8S	<0.4S
3	磁性メッキ抗磁力 (エルステッド)	150~170	200~220	200~220
4	信号対雑音比 (dB)	14	20~26	30~40
5	記録密度 (bits/mm)	2.8~3.0	4~4.5	4~4.5



注: 分解能 R=0.8, 測定周速 60 m/s で測定。

第9図 スペーシングと記録特性



第10図 温度特性の一例

とを第1表にとりまとめてみた。

上記の諸特性に加えて、実用上問題になる特性が二つある。その一つはドラムに記録された内容を訂正する際に残る消し残りの雑音で、これが累積してくるとSN比が非常に悪化してくるため、一定の期間において直流消磁してこれを取り除くようにしている。現在のドラムについてはその必要度は非常に少なく、二、三箇月に一度ですむようになっている。第二は同一箇所に消磁せずに重ねて信号の書き込みを行なう場合に、読出電圧が次第に増大してくる現象で、第7図のようにメッキ厚によって大きく左右される。メッキの厚みを減ずることにより、上記が改善されると同時に書き込まれた信号に相当するドラム表面の微小磁石の減磁係数が小さくなり、記録密度も第8図のように大きく改善される。また記録磁性体を飽和させるのに十分な電流を用いて書き込めるので、書込条件の多少の変動に対してきわめて安定であるなど諸特性の改善に卓効が認められた。

その片面読出電圧が下り、メッキ下地の加工面があらいとSN比が悪化し、この点から不都合をきたすので、特殊な表面仕上加工法を開拓して、第2表に示すような好成績を収めることができた。現在の磁性記録媒体はニッケル・コバルトの二元合金を特殊メッキ法

によって得ており、抗磁力200から220エルステッド、B-H曲線はかなり長方形に近いものが得られている。加工法を改良した結果生産性もきわめて良好である。

第9図はメッキの厚みを一定に保って記録密度とスペーシングの関係を求めたもので、同一の仕様を満すのに旧時に比べて、はるかに大きなスペーシングを与えて書き込むことができるようになったことを示している。このように大きなスペーシングを与えておけば、多少過酷な使用条件におかれても事故を生ずるおそれがきわめて少なくなる。

第10図は上記の構想で十分のスペーシングを与えて設計された磁気ドラムの温度特性の一例である。読出電圧が完全に平坦であるのは回転体とサポータを同一材質にして温度変化に対して自動補償する形式になっているためでもあるが、一つには書込条件が完全飽和点をこえた点を使用しているためスペーシングの変動の影響を受けにくいという理由も考えられる。いずれにせよ一般にこのような構想で作られた最近のドラムは非常に扱いやすく堅ろうである。

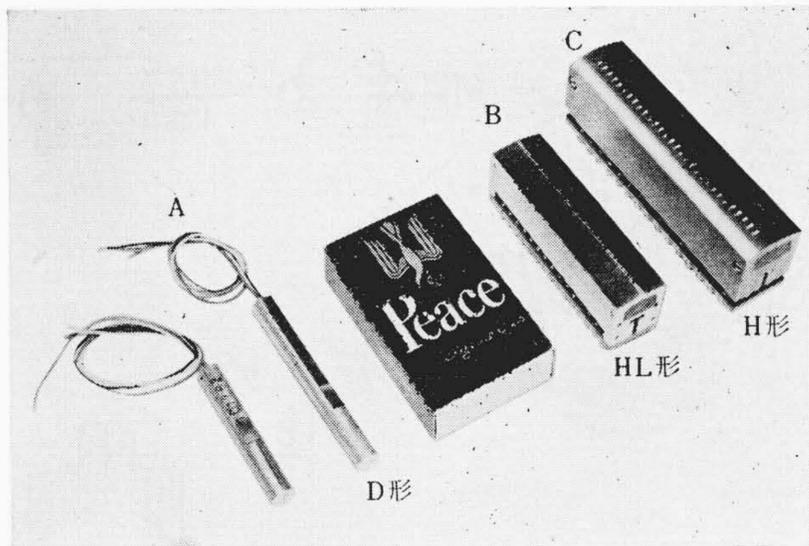
4. 磁気ヘッドの改良

磁気ドラム記憶装置は一般に多数の磁気ヘッドを実装しているが、それぞれ各個に書込読出用の増幅器を備えることはほとんどなく、磁気ヘッドの出力端子を電子的に切替選択して増幅器類を共用する方式が採用されている。このような使い方においては、各磁気ヘッド相互間の特性の相違を僅少に押えておかないと単一のトラックについていかほどよいSN比が得られても、全体として見た場合、最も感度の悪いトラックの信号出力と、最も感度の良いトラックの雑音出力の比でSN比が定められてしまうので総合的にみてよい磁気ドラム記憶装置を作ることができない。特に大形の多数磁気ヘッドを実装したものについてこの傾向が強く認められる。

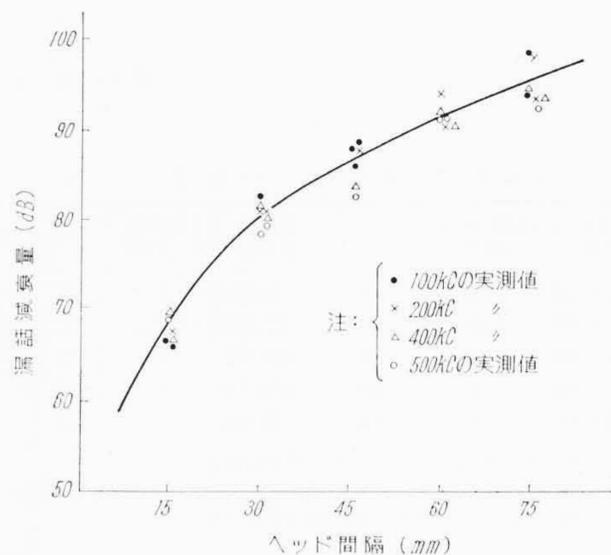
全く偏差のない磁気ヘッドを製造するという事は不可能に近いが、これをかなりの精度に合わせることは可能である。磁気ドラム製造の初期においては、この考え方に基いて第11図(C)のような多素子の磁気ヘッドが製造された。この形式のヘッドは一素子ごとに独立して作る方法に比べて多少製造原価が安くできるが、同一ブロック内の素子間に多少にもせよ不ぞろいが生ずると補正する手段がないため、結果的に磁気ドラムの総合SN比を悪くしてしまう。これに対し第11図(A)に示した単一素子のヘッドは一本一本単独に調整できるため総合SN比に少しも悪影響を与えない。第12図のように漏話がきわめて少ない特徴がある。原価的には多少高価であるが、総合特性のよいドラムを作ることができ、一面不良率が比較的低いので現在大形の磁気ドラムに対してはすべてこの形式のヘッドを使用している。同図中(B)はHL形と称し素子は(A)と同じで多素子化したものである。使用目的により多素子の方が便利な場合にこれを使用している。

その特性も初期のものに比べると第3表のように改善され、特に磁心寸法を小さくして感度をよくし、トラック幅を狭くしている点が大なる改良点である。この結果トラック幅を初期のもの6割にせばめることができたので、同一寸法のドラムでトラック実装数が約1.5倍に向上した。分解能の改善を合わせ考えると容量的には約2.4倍になっている。

上記の磁気ヘッドはいずれも繰り返し周波数200から300kc/s程度で使用される目的で開発されたもので、現用の磁気ドラムの機械的限界内においてRZ法で書き込む場合にはなんら不満はないが、書込方式をNRZ法とした場合とか、磁気ヘッドを浮動法あるいは噴流法などで回転体にきわめて接近して保持して高密度書き込みをした場合には、上記よりはるかに高い繰り返し周波数のパルスを取り扱わねばならない。かかる場合にはフェライト・コアのヘッドを



第11図 ドラム用磁気ヘッド



第12図 単一素子形磁気ヘッド相互間の漏話減衰量

第3表 新旧磁気ヘッドの比較

項番	項目	D形 (最近のヘッド)	H形 (初期のヘッド)	国産他社製
1	トラック幅 (mm)	0.6	1.0	0.9
2	トラック間最小ピッチ (mm)	0.9	1.3	1.3~1.5
3	記憶容量の比	1	0.7	0.7~0.6
4	ヘッド幅* (mm)	8	24	20~30
5	ヘッド形式	単一素子	多素子	多素子
6	コア材	0.05mmパーマロイ板積層	0.05mmパーマロイ板積層	0.05mmパーマロイ板積層
7	ヘッド巻線	30T+30T	30T+30T	—
8	ヘッド巻線インピーダンス (Ω, at 100kc/s)	47	100	—
9	トラックごとの感度調節	可	不可	不可
10	漏話 (dB)	第12図参照	-20>	-20>
11	外観形状	第11図A	第11図C	第11図C類似

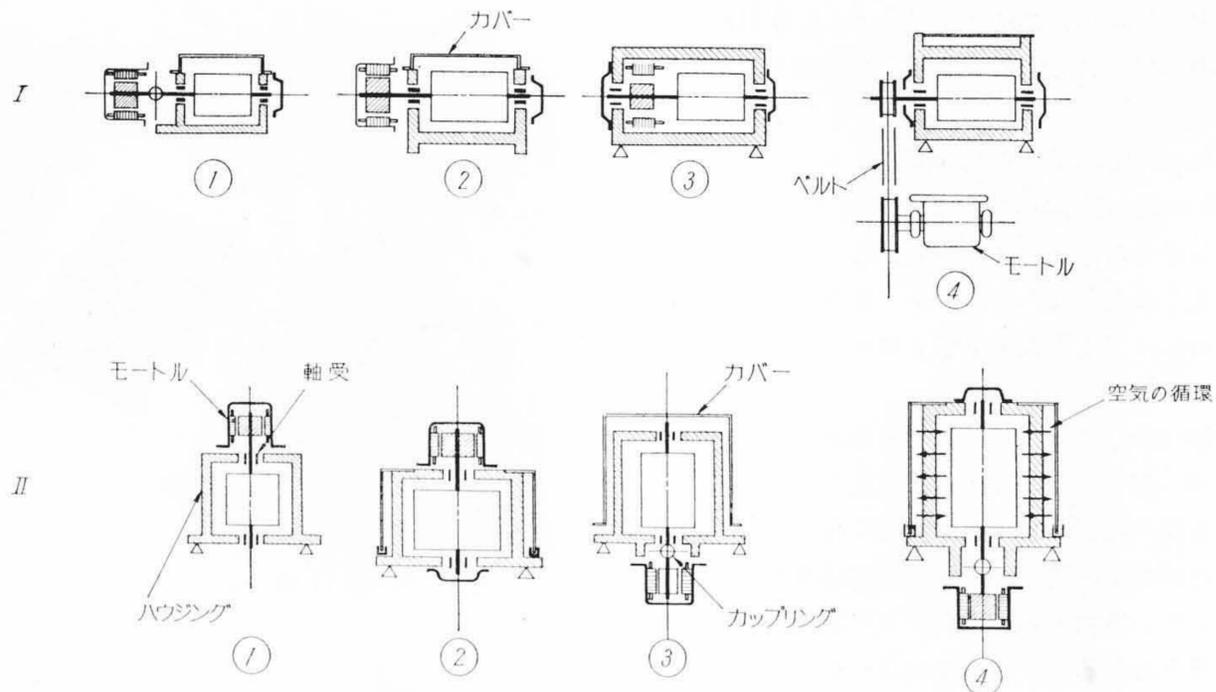
注: * ヘッドと幅は、特に遅延線メモリにおいて書込、読出ヘッド間の機械的な最小距離を意味するもので、これが小ならば、短い遅延線を作ることが可能になる。
** HL形は電気的特性D形にまったく同じでヘッド幅22mmのもの。

使用する。筆者らはこれを油膜による浮動保持方式の磁気ヘッドについて試作研究を進めており、磁心の形状などに問題のあることをたしかめることができた。

5. 磁気ドラムの設計例

以上に述べた開発研究結果を適用した製品数種を中心に開発の経過を述べる。

初期における用途は情報処理機構の主メモリであって、磁気ドラムから発信するクロック・パルスに同期させて演算が行なわれる形式のものが多かった。アクセス・タイムを短くする必要から高速化が要求されたのはこの時期である。このため主機からの要求にしたがって、それぞれに適合した仕様のドラムを設計する必要があ

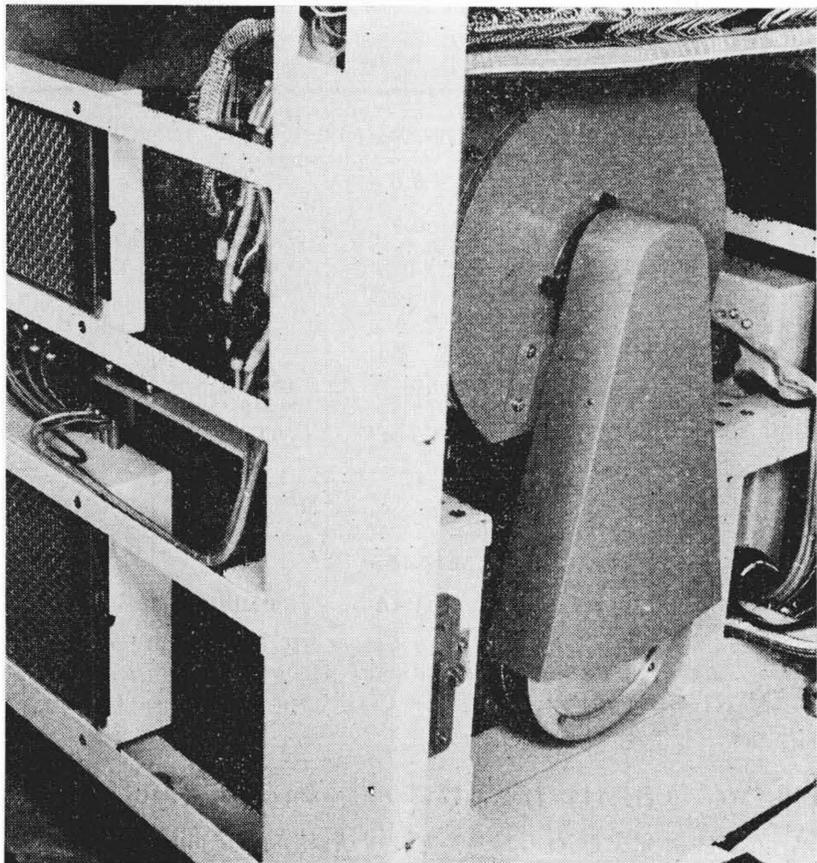


第13図 磁気ドラムの諸形式

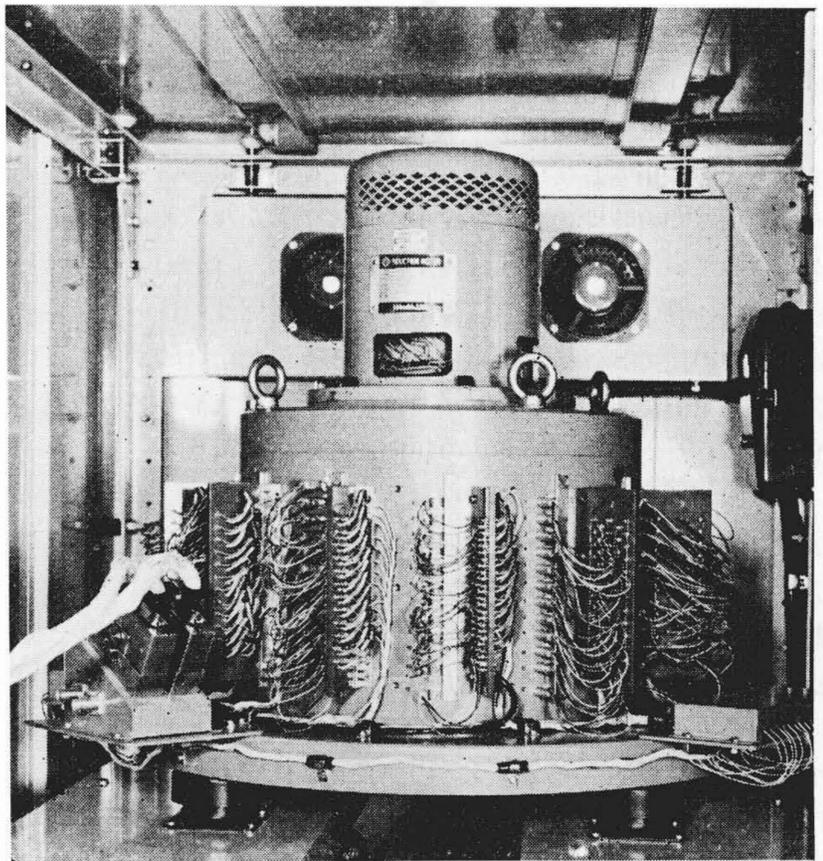
第4表 標準化された磁気ドラム

項番	回転体寸法 (mm)	同期回転数 (rpm)	最大トラック数 ^{*1}	最大記憶容量 ^{*2}	平均待時間 (ms) ^{*3}	形式	備考
1	160φ×300	9,000	200	350,000	3.3	横	ベルト駆動
2	160φ×300	9,000	250	437,000	3.3	立	高周波モートル
3	220φ×300	6,000	280	678,000	5	立	高周波モートル
4	300φ×340	3,000	320	1,050,000	10	立	—
5	360φ×470	3,000	450	1,770,000	10	立	—

注：*1 その他若干の予備トラックを有する。
 *2 RZ方式による。NRZ方式の場合は50%増しとなる。
 *3 平均待時間は最大待時間の半分である。



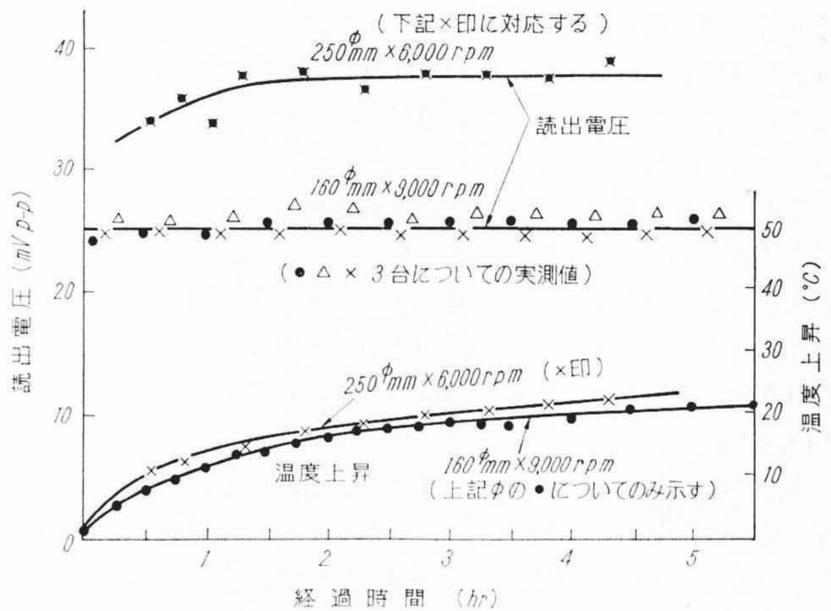
第14図 D-1630形磁気ドラム (HITAC 201 ぎょう体内に実装したもの)



第15図 D-3020形磁気ドラム (専用ぎょう体内に制御回路と共に収容)

り、その構造も第13図のように数種にわたるものが作られてきたが、コア・メモリの発達は磁気ドラムを次第に低速大容量のファイル・メモリの分野に移しつつあり、設計の方針も高速化から大容量化へと変遷を続けてきた。

大容量化が単に記録媒体の表面積を増す方向、すなわち大形化を指向するものであるならば、機械的寸法に制約がある以上、それほど画期的なものは作り得ないが、多くの場合高密度書込方式を併用



第16図 磁気ドラム起動後の経時特性

することによって、かなり大容量のものまで製造し得るようになるものと考えられる。

前年古谷、倉根の両名は日本国有鉄道技術研究所の指導のもとにCu-Ni-Fe線を巻いたドラムに油膜をもって浮動させ、フェライト・ヘッドを用いて高密度書込の実用化試作を行なったが、これはその一つの方向を示唆するものではないかと考えている。

一般の磁気ドラムについても容量の大きなものが次々と要求されており、いわゆる補助ドラム的なものが増えてきた。このような要求に対しては初期の場合と異なりある程度標準化したドラムを要求に応じて使用する形が可能であると考え、従来の機種から第4表のように選んで標準機種とした。この中1と4について第14、15図にその外観を示した。

これらのドラムはいずれも前述の改良されたニッケル・コバルト・メッキを使用しており、その性能安定度ともに十分実用機として使用に耐えることが実証されている。

一般にドラムの機械的構造は中、小形のものにあつては比較的問題は少ないが、大形のものになるにつれて構造に十分な配慮を払わないと、熱変形、振動などによって危険な状態を招来しやすく、また設計よろしきを得ないと熱的平衡に入るまで、具体的には読出電圧が安定するまでは長時間を要して大変扱いにくいものとなる。第16図は実測値の一例である。

筆者らは上記の見地から磁気ドラムの機械的な構造を検討した結果、大形のものについては第13図中のII-④の形式のものが種々の見地から機能上最も望ましいと結論した。すなわち立形で全密閉構造を採用し、空気の循環孔のある内側ハウジングとそれを完全におおふカバーがあり、ドラムの回転に伴ってこれらの間を空気が激しく循環する形式のものがよい結果を得ている。

熱的に比較的楽な中、小形の磁気ドラムでは、スペーシングさえ十分にとっておけば、構造についてそれほど神経質になる必要はなく、特にI-③、④のような形でも実用上支障なく、むしろ小形ドラムではドラムの占有体積の小さいものが望まれるので、こういう場合には横形の方が便利であろう。

6. 結 言

磁気ドラムは初期においては情報処理機構の主記憶装置として賞用されたが、その後磁気コア記憶装置にその座をゆずり、現在はむ

しろ補助記憶装置あるいはファイルメモリとして認識されつつある。

しかし現在でも簡単な情報処理機構、あるいは計算速度より高信頼性に重点を置く制御用、ある種の軍用の情報処理機構にはかなり使用されているようである。

また大形情報処理機構の一部にいわゆるバッファとして入出力装置の接続用に用いられる例もあり、今日においてもなお記憶装置の一つとして重要な不動の地位を占めている。

筆者らは上述の見地より高信頼度のきわめて使いやすい記憶装置としての磁気ドラムに着目し、この技術的実現に努力して来たものであって、今日ほぼその目的を果たしたものと考え、ここにとりまとめて総合的な形で報告した次第である。

本稿に述べた設計方針に基づいて製造されたドラムの中にはすでに継続20,000時間以上の運転実績をもっているものもあり、適当な機会を得て現状を報告したいと考えていたものである。

稿を結ぶに当たり、これら開発の過程において技術的にいろいろとご指導を賜った日本電信電話公社電気通信研究所喜安次長、毛利精密工作研究室長、日本国有鉄道技術研究所大野技師をはじめとする関係された各位の方々、東京大学航研穂坂教授、生研・互理教授また日立製作所において本研究の推進にご協力いただいた日立研究所、中央研究所、川崎工場、亀戸工場、多賀工場、戸塚工場の多数の技術者各位に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 古谷：“デジタル記録”通学誌 Vol. 44, No. 11, p. 92~102
- (2) 熊谷：日立評論 41, 1082 (昭34-9)
- (3) 川又晃：デジタルテープ録音 共立出版
- (4) 川又晃：磁気ドラム記憶装置に関する研究 通研成果報告第1655号 (1961)
- (5) 喜安、毛利ほか：磁気ドラム用空気浮動式磁気ヘッド 電子計算機研究専門委員会資料
- (6) G. J. Axel: Random Access Data Storage System, Proc. EJCC, p. 189~203 (Dec. 1960)
- (7) H. W. Fuller ほか: The Design of System Aspects of the HD File Drum, Proc. EJCC (Dec. 1954)



特許第281229号

特 許 の 紹 介

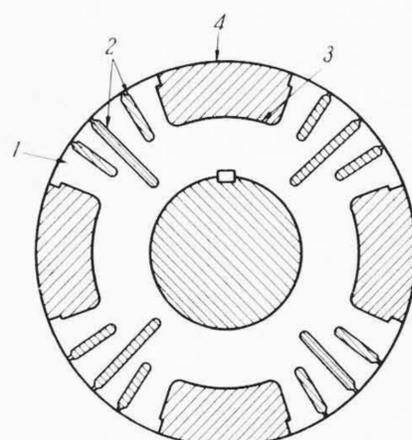


園山 裕・蓮池 公紀

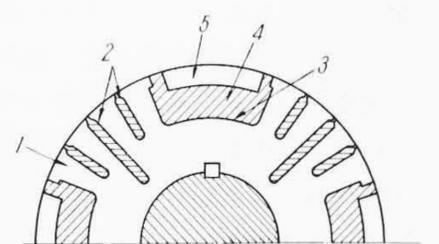
かご形誘導同期電動機

かご形誘導同期電動機は図面に示すように回転子を凸極形に形成し、磁極1に起動用かご形巻線2を設けるとともに、磁極間の溝3に運転中制動巻線として作用する短絡導体4を鑄こむことにより起動時は誘導電動機、運転中は反動電動機として出力を生ずるようなもので、直流励磁を要せず構造が簡単であるという特長を有しているが、第1図のように短絡導体4を磁極面と同じ高さまで鑄こんだ場合には運転中の温度上昇がはなはだしく効率も低い。その原因をさぐった結果、空隙における高調波磁界によって短絡導体の表面の部分に生ずる渦流損がこのような異常な温度上昇をまねく主な原因であることがわかった。

本発明はその対策として短絡導体の表面の少なくとも一部を第2図5のように磁極面より凹ませて高調波磁界による渦流損の発生を防いだものである。一例として10 HP、4極の全閉外扇形誘導同期電動機について行なった実験によると、本発明の実施により固定子の温度上昇は約50%減、効率は8%増、同期脱出トルクも16%増となり顕著な効果が認められた。(坂本)



第1図



第2図