

大容量磁気ディスク装置

Large Capacity Magnetic Disk File

磁気ディスク装置に対して多様化するニーズの中で、大容量ディスク装置は大形オンラインシステム、データベースシステムを中心に一段と大容量化に向かってニーズが高まっている。

日立製作所での現在の大容量磁気ディスク装置の主力製品は、1台当たりの記憶容量1,270Mバイト及び2,520Mバイトの装置であり、これらの市場要求にこたえている。

これら装置の開発を支えた主な技術は、高密度記録、高速・高信頼の各技術であり、それぞれ基礎技術から設計・製造技術まで幅広い技術開発を行なってきた。これらの技術は、今後更に大容量化に向けて研究・開発が続けられる。

加藤勝彦*
亀山忠彦*
田村 喬**
早山 徹***

Katsuhiko Katô
Tadahiko Kameyama
Takashi Tamura
Tôru Hayama

1 緒 言

磁気ディスク装置は大容量・経済的なファイル記憶装置として電子計算機用周辺記憶装置の中心的役割を果たしている。

日立製作所では電子計算機の大形化、高性能化に対応した周辺記憶装置を提供するため、これまで一貫して記憶容量の増加と高速化のために技術を開発し、各時期での最高性能の磁気ディスク装置を市場に供給してきた。

現在の大容量磁気ディスク装置の主力製品は、スピンドル当たりの記憶容量635Mバイト(1装置当たり1,270Mバイト)のH-8576形と1,260Mバイト(1装置当たり2,520Mバイト)のH-8598形である。

この2機種 of 技術は既にそれぞれ報告しているが^{1),2)}、本稿ではこれら大容量ディスク装置を開発するに当たっての主要な基本技術の開発状況について述べるとともに、更に今後の展開方向についても触れる。

2 開発の背景と経過

日立製作所では1967年から磁気ディスク装置の出荷を開始し、当時の記憶容量7Mバイト/スピンドルのディスクパック形に始まり、現在の1,260Mバイト/スピンドルのH-8598形まで16年間に約200倍と、2年に2倍に近い速さで記憶容量の増加を図ってきた³⁾。

大容量機に使用してきたディスク直径は一貫して355mmであり、実装容積をほぼ一定に保ったまま大容量化を実現してきた。これは一に記録媒体上面積当たりの記録密度を増加することにより達成してきたわけである。

そのために、主要部品である磁気ディスク(記録媒体)、磁気ヘッド、ヘッド位置決め機構、周辺回路の基本設計、製造技術に関し常に開発・改良を続け、高密度記録を可能にしてきた。

また、記憶容量の増加、電子計算機の高性能化に対応して高速化も同時に図ってきた。そのため、アクセス時間の短縮に向けてヘッド位置決め機構及び制御方式の改良、データ転送速度向上のための回路の改良、更に制御装置を含むシステムの改良による効率の良い磁気ディスクの使用法の開発などを行なってきた。

更に、電子計算機の普及と高性能化に伴い、装置の高信頼

化への要求の高まりにこたえるため、信頼度向上にも最大限の努力を払っている。

H-8576形・H-8598形磁気ディスク装置は、以上述べたように長期にわたる継続的な技術開発の成果のひとつとして実現した世界最高レベルの磁気ディスク装置である。

3 主要技術の開発

本章ではH-8576形・H-8598形磁気ディスク装置の製品化に対して行なってきた基本技術の開発について述べる。

表1に本装置の主な仕様を示す。

開発した主な技術として、(1)高密度記録技術、(2)高速化技術、(3)高信頼化技術の3項目を挙げることができる。

以下にこれらについての主な内容を述べる。

(1) 高密度記録技術

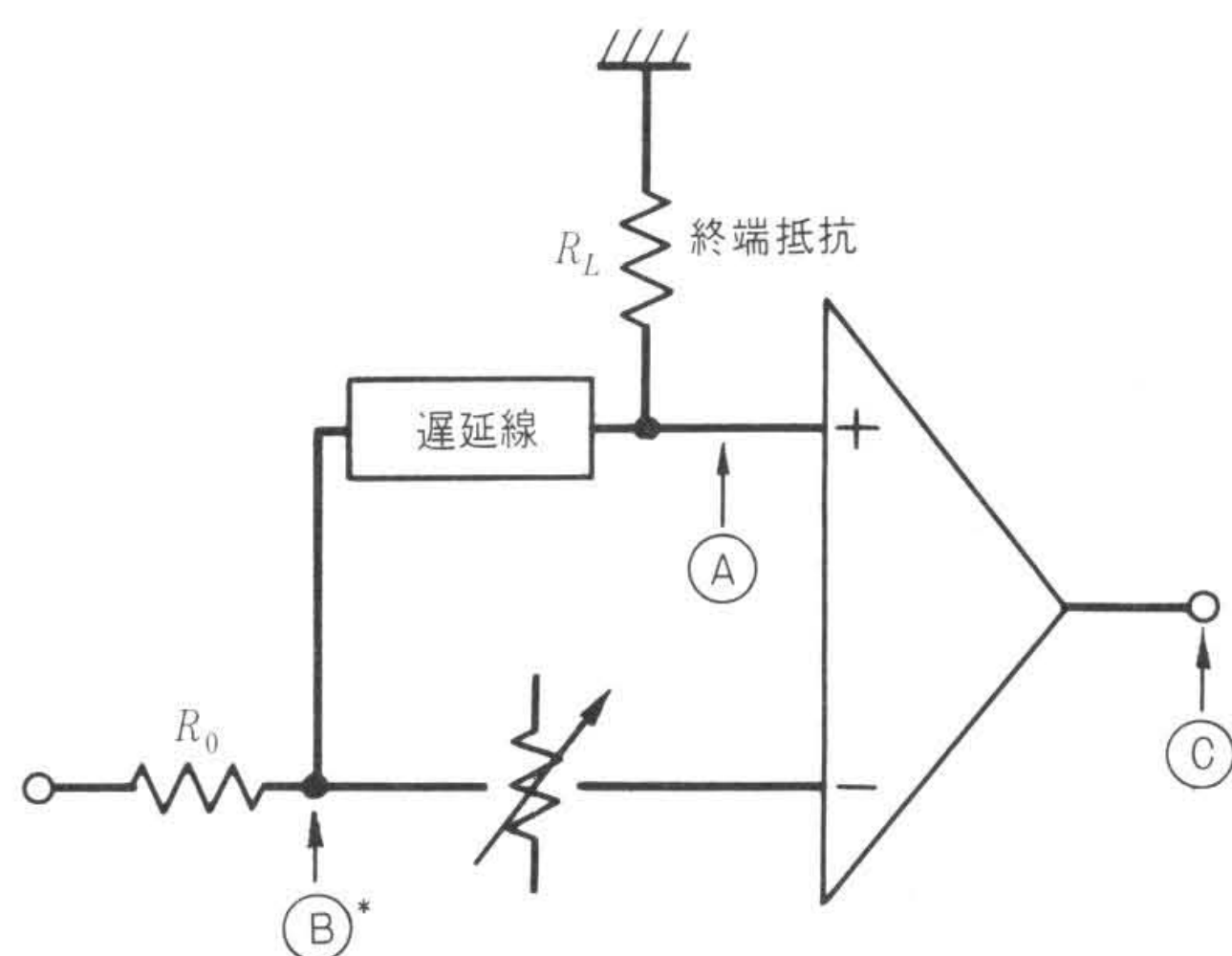
高密度記録は言うまでもなくトラック密度と線記録密度の向上により達成される。

トラック密度向上には記録トラックに対する磁気ヘッドの位置決め精度を保つことが最も重要である。特に、データ記録用磁気ヘッドと位置決めサーボ用磁気ヘッドとの相対位置

表1 大容量磁気ディスク装置の主な仕様 現在の大容量磁気ディスク装置の主力製品H-8576形及びH-8598形磁気ディスク装置の主な仕様を示す。

形式		H-8576	H-8598
仕様			
記憶容量	最小装置単位当たり(Mバイト/ユニット)	1,270	2,520
	スピンドル当たり(Mバイト/スピンドル)	635	1,260
データ転送速度		1.2Mバイト/秒	3.0Mバイト/秒
平均シーク時間		18ms	16ms
平均回転待ち時間		8.3ms	8.3ms
スピンドル当たりヘッド位置決め機構数		2	2
ヘッド位置決め機構アクチュエータ形式		回転形	回転形
記録密度	線記録密度	250ビット/mm	600ビット/mm
	トラック密度	26トラック/mm	23トラック/mm
ヘッド数	データ用	40個/スピンドル	40個/スピンドル
	サーボ用	2個/スピンドル	2個/スピンドル

* 日立製作所小田原工場 ** 日立製作所中央研究所 *** 日立製作所機械研究所 工学博士



注：* 波形(B)は逆極性、任意振幅である。

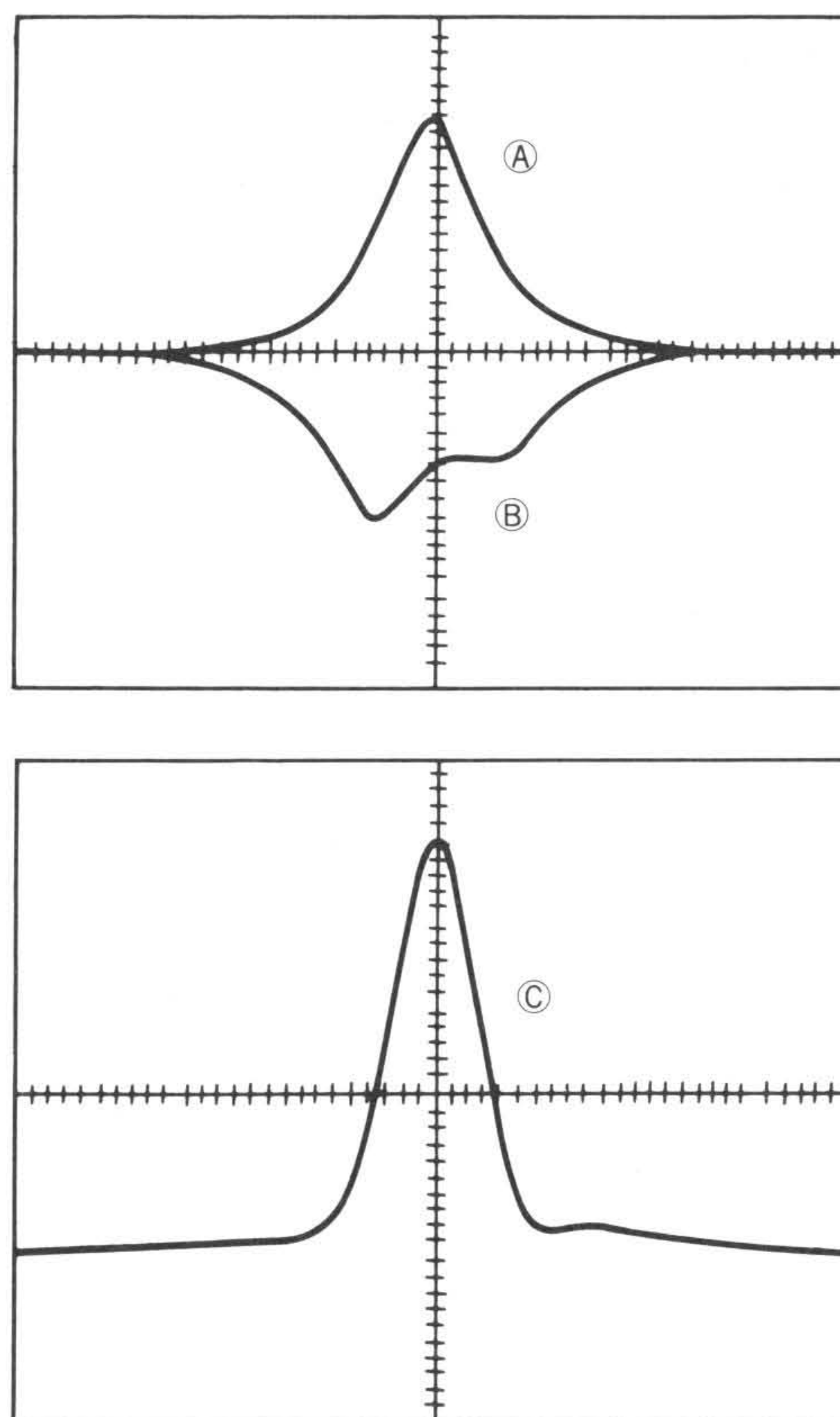


図1 余弦等化器 本回路により再生信号波形が鋭くなり符号間干渉を軽減できる。本回路では終端抵抗 R_L の調整により、前後非対称のある波形を対称化できる。

精度を数ミクロン以内に保つ必要がある。そのため、HDA（ヘッド ディスクアセンブリ）内部の温度均一分布を保ち、熱膨脹差を発生しないように材料、構造、空気循環系に十分な検討を加えた。

線記録密度の向上にはそれぞれの部分について以下に述べるように技術開発、改良を行なった。

(a) 記録媒体及び磁気ヘッド

高密度化のためには記録媒体の磁性膜の薄膜化と保磁力、角形比などの磁気特性の改善が必要なことは言うまでもないが、高密度化に伴う再生信号のS/N比劣化に対する対策も必要である。そのため製造プロセスの改良にも力を注ぎ、高密度記録に適した良好な特性の記録媒体を得ることができた。

H-8598形では線記録密度を従来の2倍以上とするため、磁気ヘッドのコア材料にはMnZnフェライトを採用し、高出力化と高分解能化を図った。

(b) 符号化方式及び書込み・読出し回路

データ符号を記録媒体上に記録するための符号に変換する符号化方式の選定は高密度化への重要なポイントである。H-8598形ではラン長制限符号の一つである(2,7)符号を採用した。この符号方式では記録媒体上での最小磁化反転間隔が従来のMFM(Modified Frequency Modulation)方式の場合の1.5倍となるため、高密度記録での符号間干渉による再生信号の振幅低下やピークシフトを軽減できる。

信号読出し回路には波形等化器を用いて高密度記録での振幅低下、ピークシフトを更に軽減した。波形等化器には図1に示すような簡単な構成の余弦等化器を用いた。本等化器では遅延線の終端抵抗の調整により再生信号波形に前後非対称がある場合にも、これを対称かつパルス幅の狭い波形に補正することができる⁴⁾。

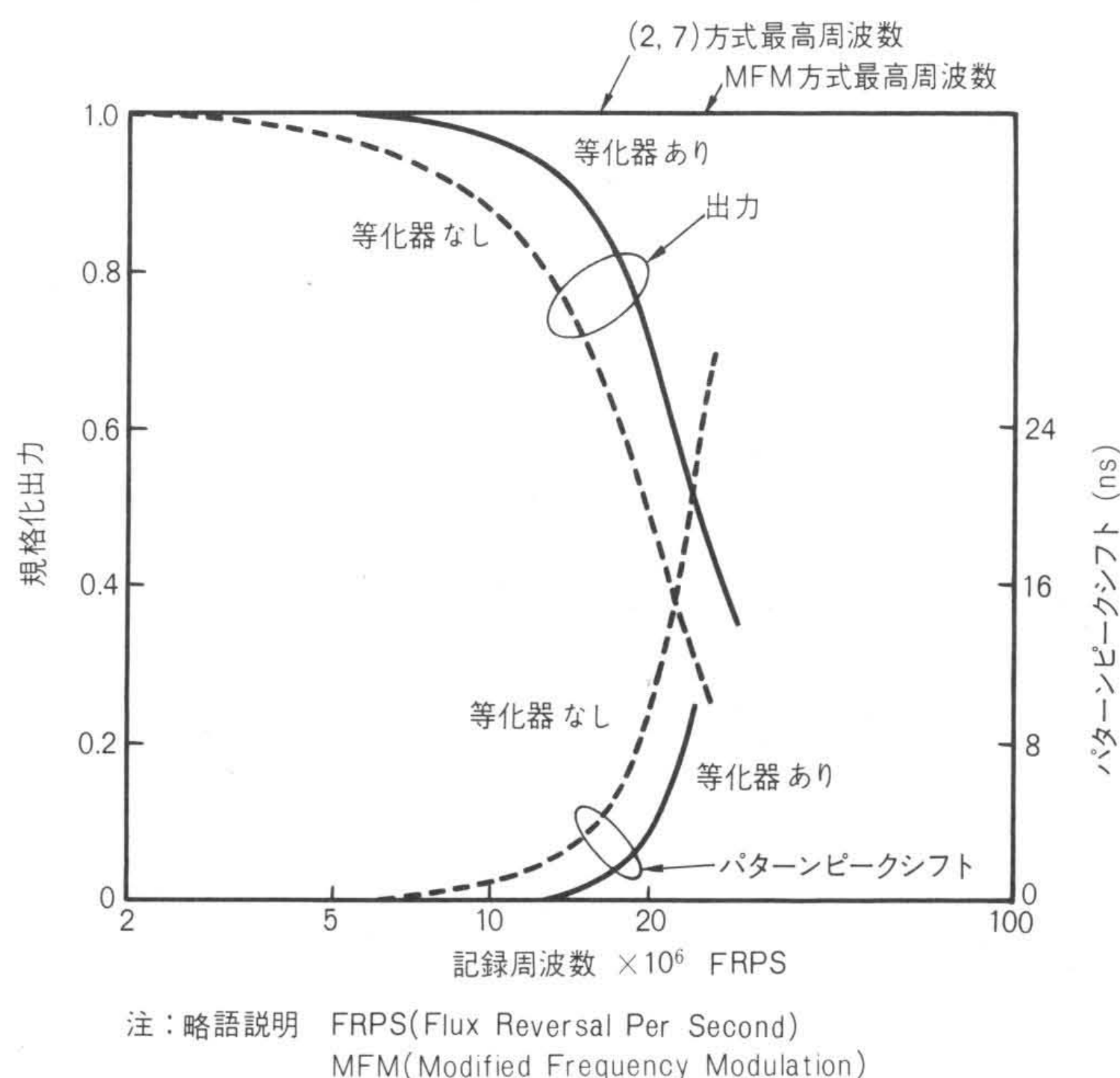
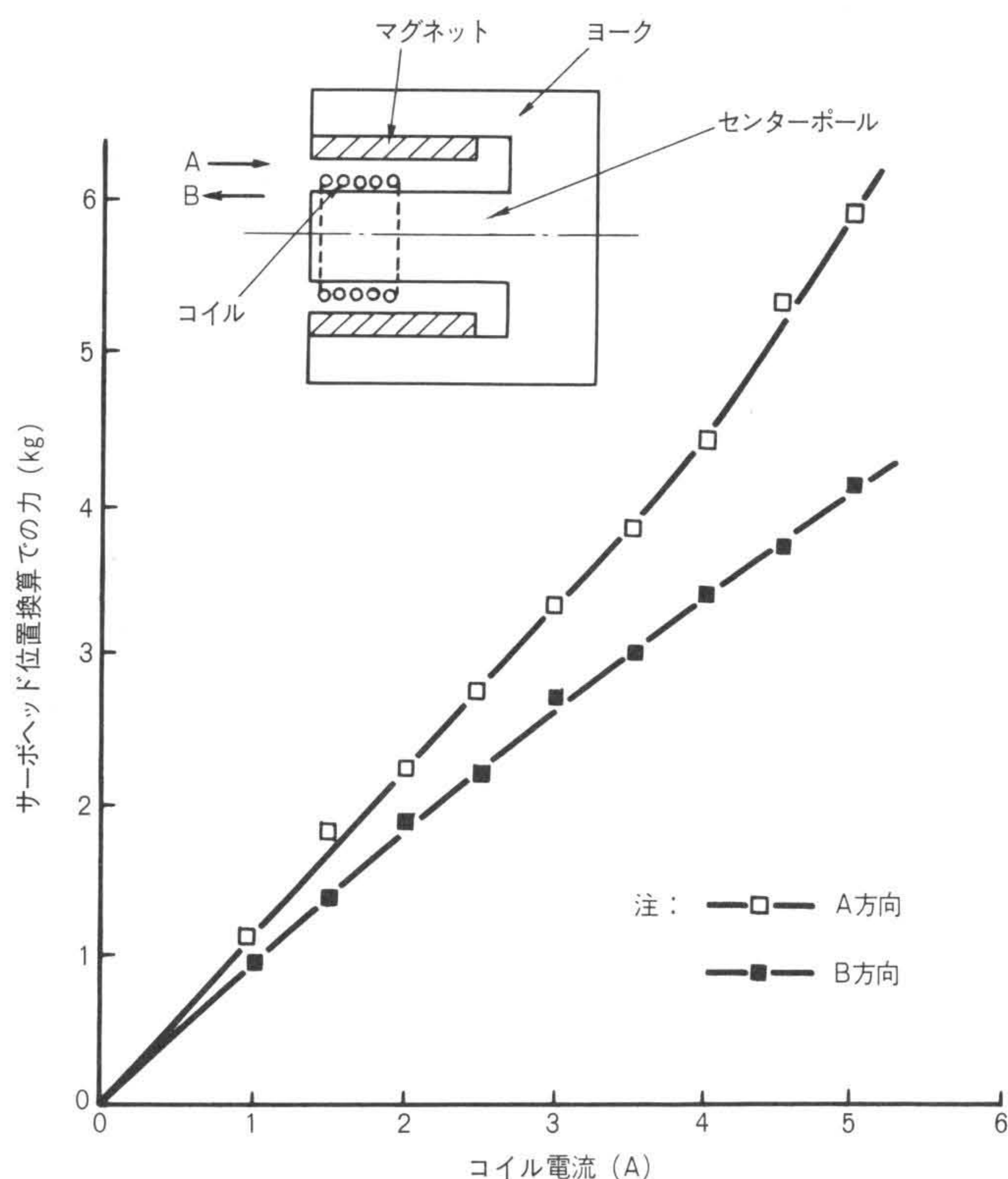


図2 (2,7)符号と余弦等化器の採用による高密度化 MFM方式で等化器を用いない場合は、高密度化により分解能が劣化し、ピークシフトが激しくなるが、(2,7)符号と余弦等化器の採用により、これらが大幅に改善される。

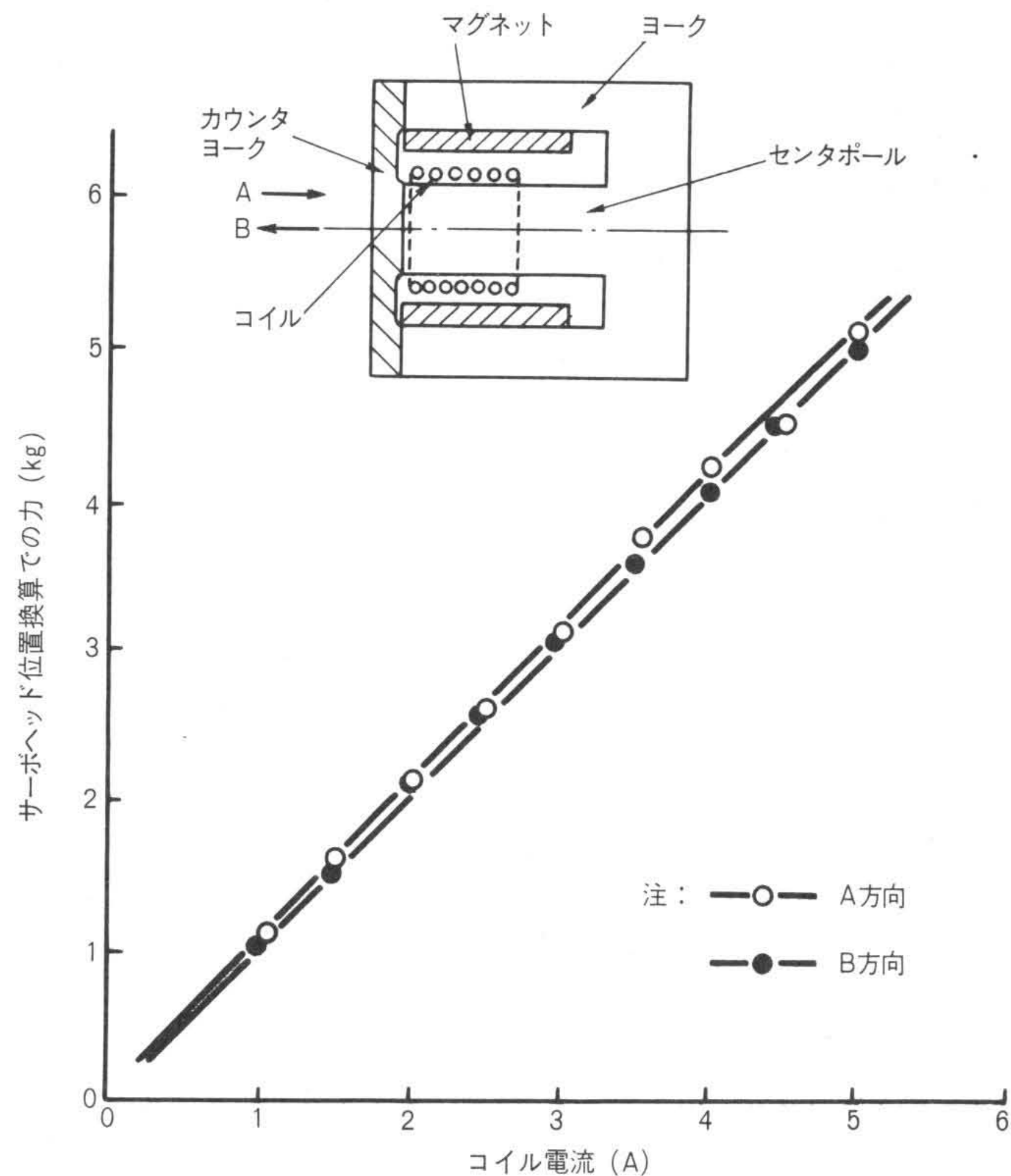
図2は上記の改良により得られた効果を示すもので、従来のMFM方式で等化器を用いない場合と比較して再生信号の分解能^{*1)}とピークシフト^{*2)}が改善される様子を表わしている。

*1) 記録密度の最も高いデータパターンと最も低いデータパターンでの再生信号振幅の比率で表わす。

*2) 再生信号パルスのピーク位置が、前後の信号により干渉を受けて前後にシフトすること。



(a) コイル電流と発生力との関係(実験値), 開磁気回路の場合



(b) コイル電流と発生力との関係(実験値), 閉磁気回路の場合

図3 ヘッド位置決め機構の磁気回路構造

開磁路構造(1)に比べ、E形ヨークの開口側を閉じた構造(2)では、駆動力の方向性が改善されているのが分かる。

更に、上記の手段によっても除去しきれないピークシフトを補償するため、記録時の信号タイミングをデータパターンに応じてきめ細かく補正する書き込み補償方式を開発した。

以上の方策により、従来より2倍以上の高密度化を可能にした。

(2) 高速化技術

磁気ディスク装置の大容量化に伴い、スループットの改善も同時に図る必要がある。そのために行なってきた方策について以下に述べる。

(a) シーク時間の短縮

H-8576形・H-8598形では、ヘッド位置決め機構に回転形アクチュエータを採用することにより可動部等価質量を軽減し、また、希土類磁石を用いて小形ながら高磁束密度の磁気回路を構成し、シークの高速化を図った。磁気回路では、コイル電流によるソレノイド力の発生を防止するためE形ヨークの開口側に閉磁路を構成する構造を開発した。その結果、図3に示すようにシーク方向による力係数(電流当たりの発生駆動力の変化)を小さく抑えることができた。

シーク制御にはフィードフォワード方式を採用して、系の安定度を損なうことなくシークの高速化を得ることができた。すなわち、アクチュエータキャリッジの減速時で目標とする減速カーブが得られるような減速電流を閉ループ制御なしでコイルに与え、その結果として生ずる実速度と目標減速カーブとの偏差に対してだけフィードバックをかけることによって所望の高精度な高速シーク動作を得た。この場合制御ループの利得は比較的小さくてよく、系の安定度を損なう虞がない。図4はシーク時の減速特性を従来方式と比較して示したものである。

小形な回転アクチュエータの採用により、あまり大形化、重量化することなくHDA(Head Disk Assembly)当たり2

個のヘッド位置決め機構を実装でき、スループットの改善に寄与することを得た。

(b) 転送速度の向上

H-8598形では転送速度を3Mバイト/秒と従来の2.5倍とした。それにより、記憶容量が2倍になったにもかかわらず全記憶データのダンプ、ロードに要する時間は短縮された。

(c) 制御上の改良

磁気ディスク制御装置、切替装置を含む磁気ディスクサブシステムとしては、従来から二重パスによるクロスコール機能により大規模システムでも高いスループットを確保してきた。

H-8598形に対しては更にスループット改善のためキャッシュメモリを装備した制御装置も提供している。これは、ディスクの一部のデータにアクセスが一時的に集中した場合、その部分のデータを高速のキャッシュメモリに移して使用することにより、他の部分へのアクセス能力の低下を避けるようにしたものである。

(3) 高信頼化技術

磁気ディスクの大容量化に伴い、また、社会的要請の高まりにこたえ、装置の高信頼度確保には格別の配慮を払ってきた。高信頼度を得る主要点は以下に述べるとおりである。

(a) ヘッド〜ディスク間接触障害の回避

微小すきまで浮上するヘッドとディスクの間で万一接触による損傷が発生すると、大量のデータの消失を来す虞があるので、これを回避する手段が最も重要である。

接触回避のための重要な方策は、記録媒体表面の平坦度の確保である。そのためには表面のうねりと微小突起の除去が必要である。うねりはディスク回転中に磁気ヘッドスライダに対して振動として作用し、スライダの動的追従特性に従って浮上すきま変動を生ずる。この動的応答特性

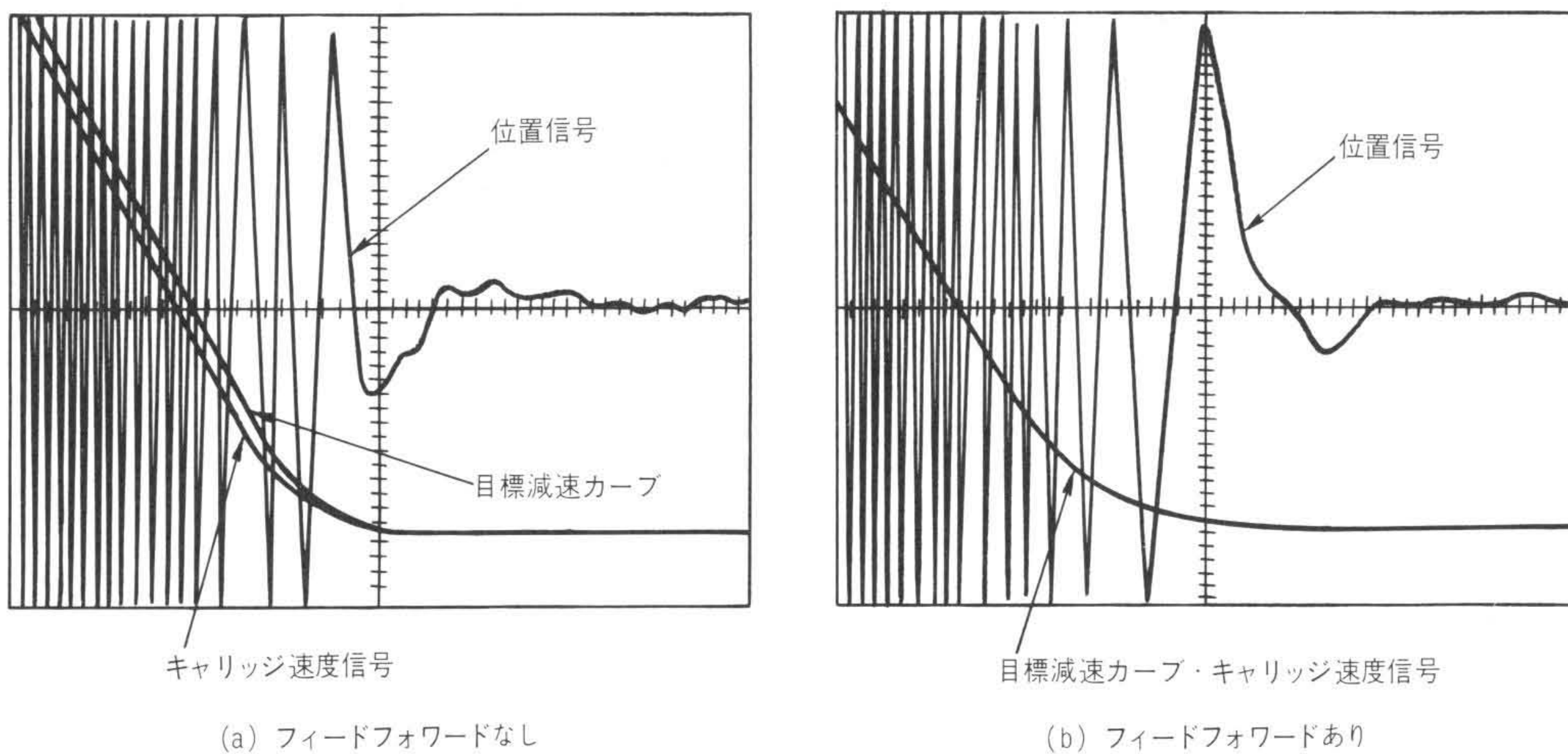


図4 フィードフォワード制御の効果
フィードフォワード制御の効果によって、キャリアッジ速度は目標減速カーブを正確に追従し、位置オーバーシュートは軽減されている。

については、空気力学的理論解析を行なうとともに実測により確認している。実測の手段として、光学干渉法により得られる干渉縞をビデオ画像としてとらえて処理する動的浮上すきま測定システムを開発した⁵⁾。図5は本システムによって実測したディスク面振動に対するすきま変動の周波数応答である。記録媒体の表面仕上げは上記応答に対しすきま変動が無視できるようなレベルに抑えている。

(b) 部品点数の削減

装置の信頼性向上策の一つは部品点数の削減である。

H-8576形・H-8598形では論理回路のLSI化を図り、電子部品数を従来の数分の一に削減し、高信頼化と省スペースに寄与した。

4 今後への展開

今後も引き続き予想される記憶容量増大へのニーズにこたえるため、磁気ディスク装置の高性能化に向けた技術開発を続行している。

大容量化にはやはり高密度記録へのアプローチが基本であり、それに向けての研究開発を行なっている。今後の高密度化には従来にも増して記録媒体、磁気ヘッドを中心とする部品技術が重要となってくる。

記録媒体では塗布形ディスクの磁気特性の改良、薄膜化、ノイズ、欠陥の低減に向けて材料、プロセスの開発を続ける

と同時に、将来に向け高密度化に有利とされるスパッタ、めっきなどのプロセスを用いた磁性薄膜媒体についても研究開発を行なっている。

磁気ヘッドについては今後の高密度化、高周波化に備え薄膜形ヘッドについて早くから研究に着手し、開発をほぼ終わっている。

書込み回路・読出し回路、符号化方式など周辺技術もますます重要な技術テーマとなっており、これらに対する研究開発も行なっている。

また、高トラック密度化、アクセス高速化に向けてHDA、ヘッド位置決め機構など、機械設計技術の開発にも力を注いでいる。

5 結 言

大容量磁気ディスク装置は高密度記録技術、高速化技術、高信頼化技術の3本を柱にした技術開発を基に実現してきた。

高密度記録は、基幹部品である記録媒体及び磁気ヘッドの改良と、書込み回路・読出し回路の方式及び構成への新技術開発により達成した。高速化に対しては、ヘッド位置決め機構及び制御の改善、データ転送速度の向上などにより対処した。また、高信頼化のため、特にヘッド〜ディスク間障害回避の手段を十分に施した。

上記技術は今後も伸ばし、更に大容量の磁気ディスク装置を提供できるように開発を進めている。

これらの技術は大形、小形を問わず磁気ディスク装置に共通な技術であり、これにより、磁気ディスク装置の今後ますます多様化するニーズにこたえられるように大形から小形までの各種の装置を並行して開発し、市場に提供してゆく考えである。

参考文献

- 1) J. Naruse, et al.: H-8597 Large Capacity Disk File with Two Rotary Actuators, Hitachi Review, Vol. 30. 2 (Apr. 1981)
- 2) 高橋, 外: H-8598形大容量磁気ディスク装置の開発, 日立評論, 65, 8, 567~570(昭58-8)
- 3) 亀山, 外: データベースシステム用ファイル装置の現状と動向, 日立評論, 64, 5, 343~350(昭57-5)
- 4) 大内, 外: 非対称波形等化回路と記録補正方式による位相マージンの拡大, 昭和59年度電子通信学会総合全国大会, No. 216
- 5) K. Tanaka, et al.: Measurements of Transient Motion of Magnetic Disk Slider, Abstract of Inter-Mag Conference (Apr. 1984)

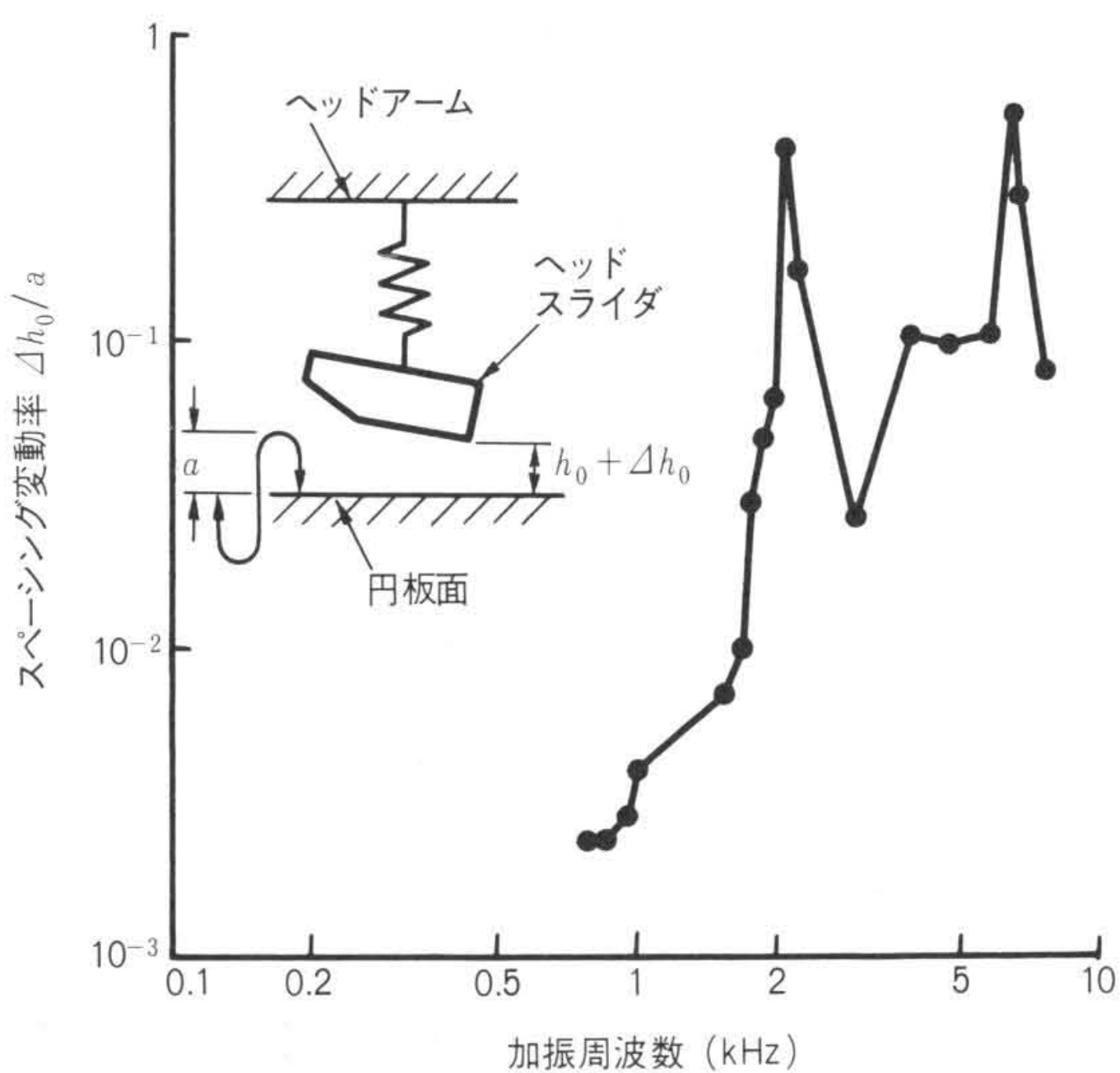


図5 円板加振によるスペーシング変動 円板を振幅 a で加振した場合のスペーシングの変動 Δh_0 を実測した。この結果を基にして、円板の振動許容量を求めることができる。