

大容量ディスク装置

Large Capacity Disk Storage

大容量ディスク装置は、記憶容量でいえばほぼ5年に4倍の割合で高性能化を果たし、コンピュータシステムの情報処理能力の向上の一翼を担ってきている。この論文では、このような大幅な性能向上の基盤となる高密度磁気記録技術を中心に、現状及び将来動向について概説した。

今後のいっそうの高密度・大容量化を目指して、磁気ディスク、磁気ヘッド、信号処理回路、アクセス位置決め機構などディスク装置を構成する主要な技術について各々技術開発が進められており、現在市場の主流である317.5Mバイト/スピンドルの装置(H-8595ディスク装置)に対して、2倍の635Mバイト/スピンドルの装置(H-8597ディスク装置)が既に発表されている。また、日本電信電話公社情報処理システム用としては、800Mバイト/スピンドルの装置を武蔵野電気通信研究所の指導のもとに開発した。更に、今後1980年代後半には、5,000Mバイト/スピンドル程度の超大容量ディスク装置の出現が予想される。

河野貞夫* Kawano Sadao
田村 喬** Tamura Takashi

1 緒 言

外部記憶装置は、コンピュータシステムの主要構成要素として、システムでの比重を年々高めつつあり、なかでも大容量ディスク装置は、大規模オンラインファイルとして、現在システムの中心的役割を果たしている。コンピュータシステムが高度の情報処理能力をもち、システムの取り扱うデータ量が急速に増大するに伴って、大量のデータ貯蔵能力をもち、かつ高速にデータを処理することのできる、安価なファイル記憶装置を提供することが強く要請されている。これにこたえて、ディスク装置は、他の外部記憶装置と同様に磁気記録技術の進歩を基盤として、これまで大幅な性能向上を果たしてきた。また、将来も継続した発展が期待できる。

大容量ディスクの性能向上は、高密度記録による大容量化及びデータアクセス・転送の高速化という二つの基本技術課題に要約されるが、これらは電気、機械、材料など広範な技術分野での研究開発に対する努力を集約して達成されるものである。この観点から、大容量ディスク装置の性能及び構成技術の現状並びに将来動向について展望する。

2 ディスク装置の性能の推移

表1は最近の大容量ディスク装置2機種の代表的特性を示したものである。ディスク装置は、制御装置と駆動装置から構成され、複数台の駆動装置が制御装置を介してデータ処理装置本体のチャンネルに接続される。制御装置は、チャンネルからの指令を解釈して駆動装置の動作を制御する役割をもち、駆動装置は制御装置からの指令に従って所要のデータを所定の場所へ書き込み、あるいは読み出す動作を実行する。駆動装置の外観をH-8595を例にとり図1に示す。

ディスク装置の性能は、記憶容量とアクセス速度で代表される。容量の増加は記録密度を高めることにより実現される。図2は記録密度及び記憶容量の年代推移を示したものである。同図の記録密度は、ビット密度とトラック密度の積である面記録密度で示してある。新機種に移行するにつれて、約4倍/5年の割合で高密度化される傾向が明らかである。容量もほ

ぼ同じ割合で増加し、現在317.5Mバイト/スピンドルの装置が市場の主流を占めている。またビット当たりの価格はほぼこの逆の割合で低下している。この傾向は、情報処理システムからのニーズと技術開発に対する努力に支えられ、今後も継続すると思われる。技術的進歩を予測できる範囲で5~7年後には、5,000Mバイト/台程度の極めて大容量の装置の実現が期待でき、現在そのための技術が育成されつつある。

装置の記憶容量が増すと、それだけデータを利用する機会も増す。したがって、大容量化と並行してデータのアクセス速度及び転送速度を高速化することが必要となる。図3にディスク装置の平均アクセス時間の記憶容量に対する推移を示す。ここ10年間でアクセスタイムが約 $\frac{1}{3}$ に短縮されているが、その程度は前述の記録密度、容量の増加に比べると緩やかである。これは磁気ヘッドのデータトラックへのアクセスを機械的アクセスに頼らざるを得ないことから生ずる技術的制約によるところが大きい。データの利用率の目安として、一定の大きさのデータを1秒間に何回取り出せるかの量(スル

表1 最近の大容量ディスク装置の主な仕様 新機種H-8597ディスク装置は、H-8595ディスク装置に比べ、2倍の記憶容量をもつ大容量ディスク装置である。

仕様		装置名	H-8595	H-8597
記憶容量			317.5 Mバイト/スピンドル	635 Mバイト/スピンドル
位置決め時間			平均 20ms	平均 20ms
回転待ち時間			平均 8.4ms	平均 8.4ms
データ転送速度			1,198 Mバイト/s	1,198 Mバイト/s
アクセス機構の数			1台/スピンドル	2台/スピンドル
記録密度	周方向		6,250 bpi	6,250 bpi
	半径方向		480 TPI	730 TPI

* 日立製作所小田原工場 ** 日立製作所中央研究所



図1 H-8595ディスク装置の駆動部 代表的な固定形ディスク装置の駆動部であり、1台当たり2スピンドルの駆動部をもっている。

ープット)をとると、図3に示すようにこれまでの傾向は容量が増加するにつれて、スループットは低下するという推移をとっている。スループット向上のためには、アクセス機構を高速化する努力はもちろんであるが、日立製作所が先に発表したH-8597ディスク装置に採用したデュアルアクセス機構のように、装置にアクセス機構を複数台設けるのも一つの方

向である。これによって、H-8597ディスク装置はH-8595ディスク装置に比べ容量は2倍に増強され、スループットはほぼ同じ値に維持されている。

3 技術とその動向

前述の性能向上を実現していくために必要な技術を以下に概説する。

3.1 磁気ディスク

記録媒体である磁気ディスクは塗布形ディスク(外径14in)が現在主に用いられている。これは針状形状をもつ酸化鉄磁性粉($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)をエポキシ、フェノールなどの熱硬化性樹脂に混合分散させ、アルミ基板の上に $1\mu\text{m}$ 内外の膜厚となるように均一に塗布し、熱硬化後、塗膜表面をヘッドとの浮動間隙が安定に保てるよう、極めて平滑に仕上げたものである。

磁気ディスクの記録特性の向上は、これまで(1) $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 形状の微細化、針状性の向上、(2)媒体膜厚の減小、(3)磁場配向技術の導入による角形比(Br/Bm)の向上、(4)基板及び塗膜の表面加工精度の向上、を主とする改良を加えることにより果たされてきた。なかでも、自己減磁を軽減し記録密度を高める意味で、膜厚の減小が特性向上に大きな役割を果たしている。記録密度の向上とともに、膜厚及び表面粗さの減小の図られてきた様子を図4に示す。塗料作製プロセス、塗布技術及び表面加工技術の進歩により、現在膜厚 $0.9\mu\text{m}$ 、平均面粗さ $0.02\mu\text{m}$ 以下の均一な磁性塗膜をもつディスクが実用化されるまでになっている。

今後の動向としては、現在の塗布形ディスクで、15,000bpiすなわち、現状の2倍程度の高密度化の可能性はあるが、それ以上に対しては新しい記録媒体の導入が必要と考えられる。一般に記録媒体としては、高抗磁力、高残留磁束密度で、薄

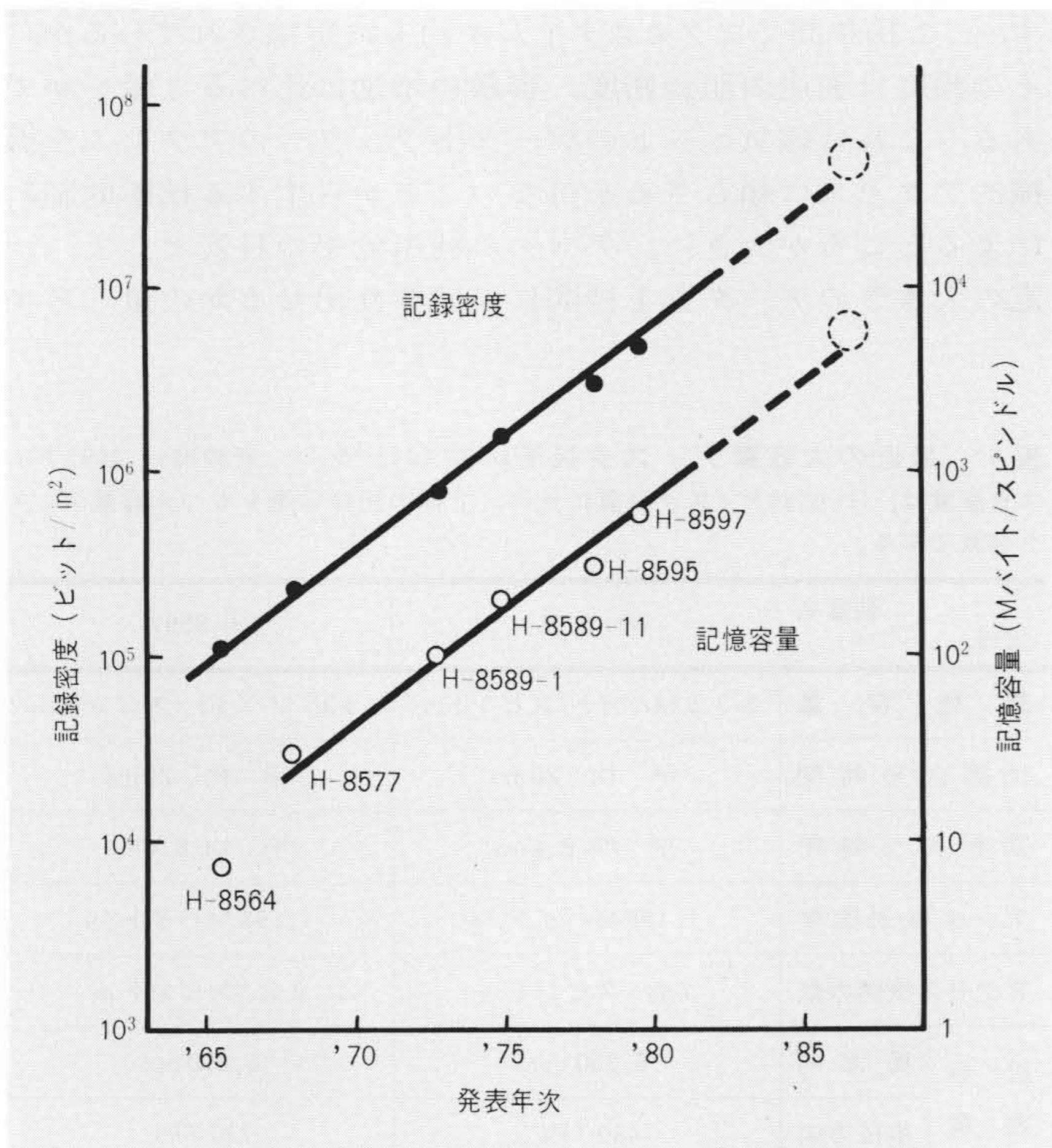


図2 大容量ディスク装置の記憶容量、記録密度の年代推移 大容量化は記録密度を高めることで達成され、ほぼ4倍/5年の割合で記録密度、容量共に増大している。ビット当たりの価格は、この逆の割合で低減している。

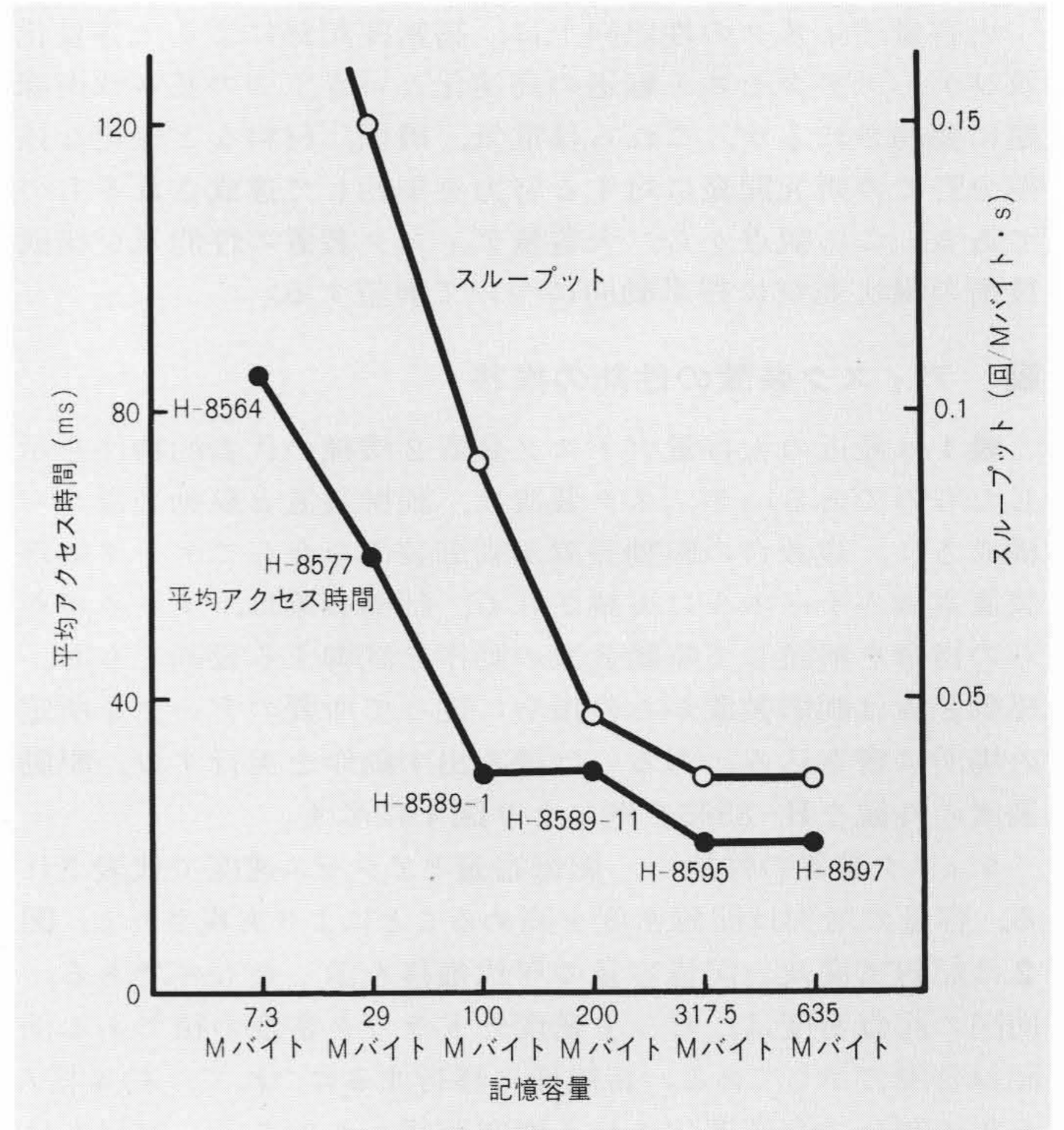


図3 ディスク装置のアクセス時間、スループットの推移 記憶容量の増大に伴ってアクセス時間の短縮が図られてきているが、スループット(利用効率)で考えるとこれまでの低下の傾向にある。新機種H-8597ディスク装置ではアクセス機構を2台設け、スループット低下を防いでいる。

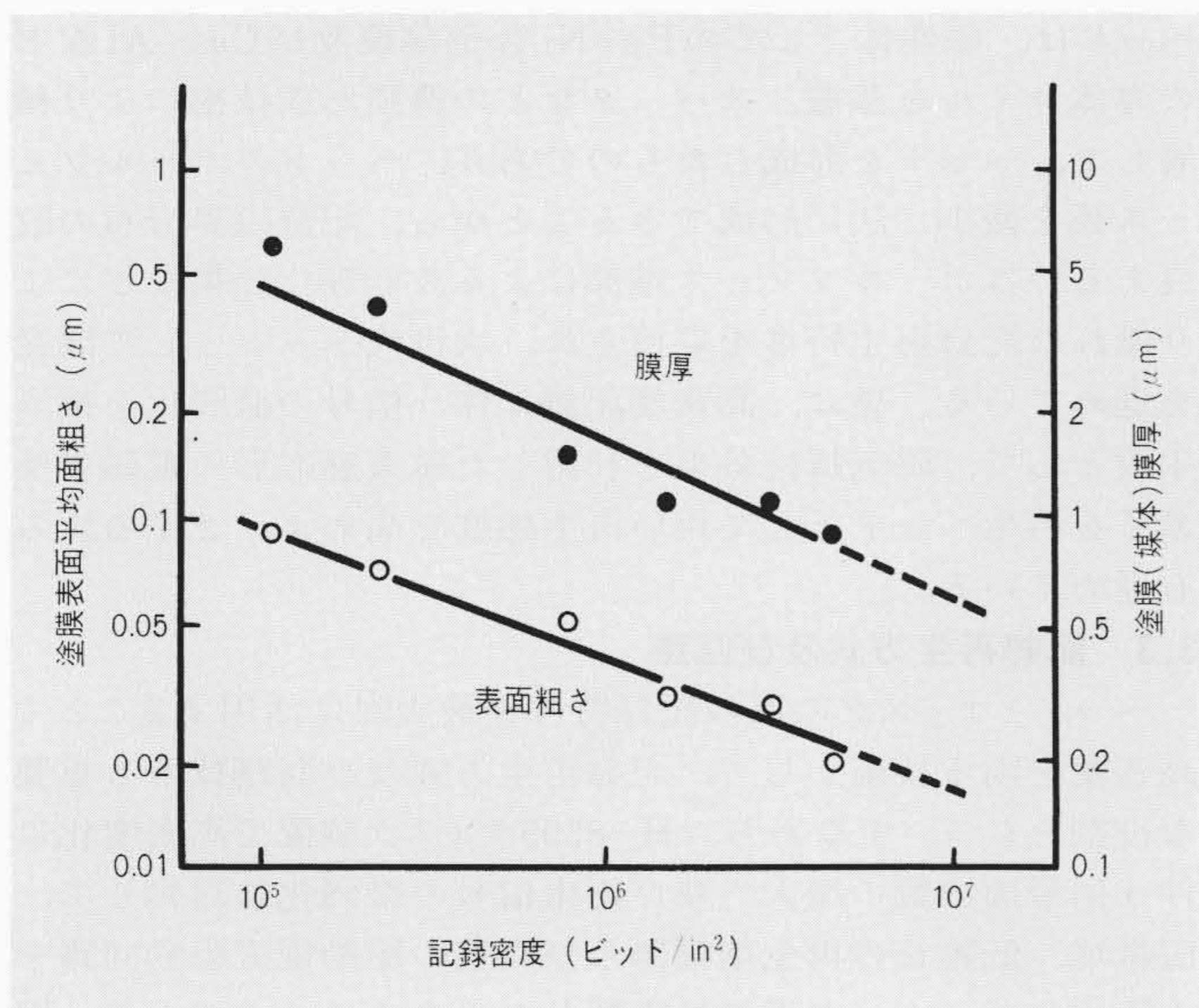


図4 磁気ディスク塗膜の厚み、表面粗さの推移 塗布形ディスクは、これまで磁性粉は $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を用い、膜厚の減小、表面精度の向上を主とする改良によって高密度化を果たしてきた。現在膜厚 $1\mu\text{m}$ 以下、面粗さ $0.02\mu\text{mRa}$ の均一な塗布膜が実用レベルで得られている。

膜化の可能なものが高密度化の能力が高い。この観点からの新しい媒体としては、(1)塗布形ディスクの系統としては現在の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ に代えて、高抗磁力の磁性粉、例えばCo添加の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、あるいはFe、Fe-Coなどの金属磁性粉を用いるもの、(2)塗布形でなく酸化鉄(Fe_2O_3 、 Fe_3O_4)だけから成る磁性薄膜をスパッタ技術などを利用して基板上に形成するもの、(3)Co-Ni-Pなどの金属磁性薄膜をめっきあるいはスパッタなどによって形成するものがあり、それぞれ将来技術として研究開発を進めている。

例として、図5にNi-Co-P磁性膜をめっきプロセスにより形成したディスクの外観を示す。高密度形塗布ディスクとの特性比較を示した図6から分かるように、この金属膜ディスクは塗布形ディスクの2倍程度の高密度記録の能力をもつといえる。これらの新しいディスクの実用化のためには、磁性膜の機械的強度あるいは耐食性など、特に信頼性の面での研究が重要である。

3.2 浮動形磁気ヘッド

磁気ヘッドは、高周波での磁気特性に優れ、加工性の良いNi-Zn焼結フェライトを材料として、ギャップ長、ギャップ深さ、トラック幅などを微細かつ高精度に形成、加工したものが用いられている。高密度記録のためには、ヘッドとディスクの間隙の狭小化が一つの必要条件であり、このためにヘッドをディスク上に浮動させる。ヘッドの浮動は、ディスクの回転により浮動スライダとディスク面に流入する空気の粘性力によって発生する浮上力を利用したものであり、動圧空気軸受と同一原理に基づく。浮動形磁気ヘッドの性能を代表する量であるヘッドギャップ長、トラック幅及び浮動スペーシングと記録密度との関係を図7に示す。高密度化のためにそれぞれの量の狭小化の図られてきた様子が明らかであり、現在の317.5Mバイトの装置(H-8595ディスク装置)では、ギャップ長 $1.3\mu\text{m}$ 、トラック幅 $35\mu\text{m}$ 及び浮動スペーシング $0.5\mu\text{m}$ の値が $\pm 10\%$ 程度の精度で実現されている。特に、浮動スペーシングを狭小かつ安定に保つことは、ヘッドとディスクの接触、摺動によるデータ破壊を防止し、装置の信頼性を確保

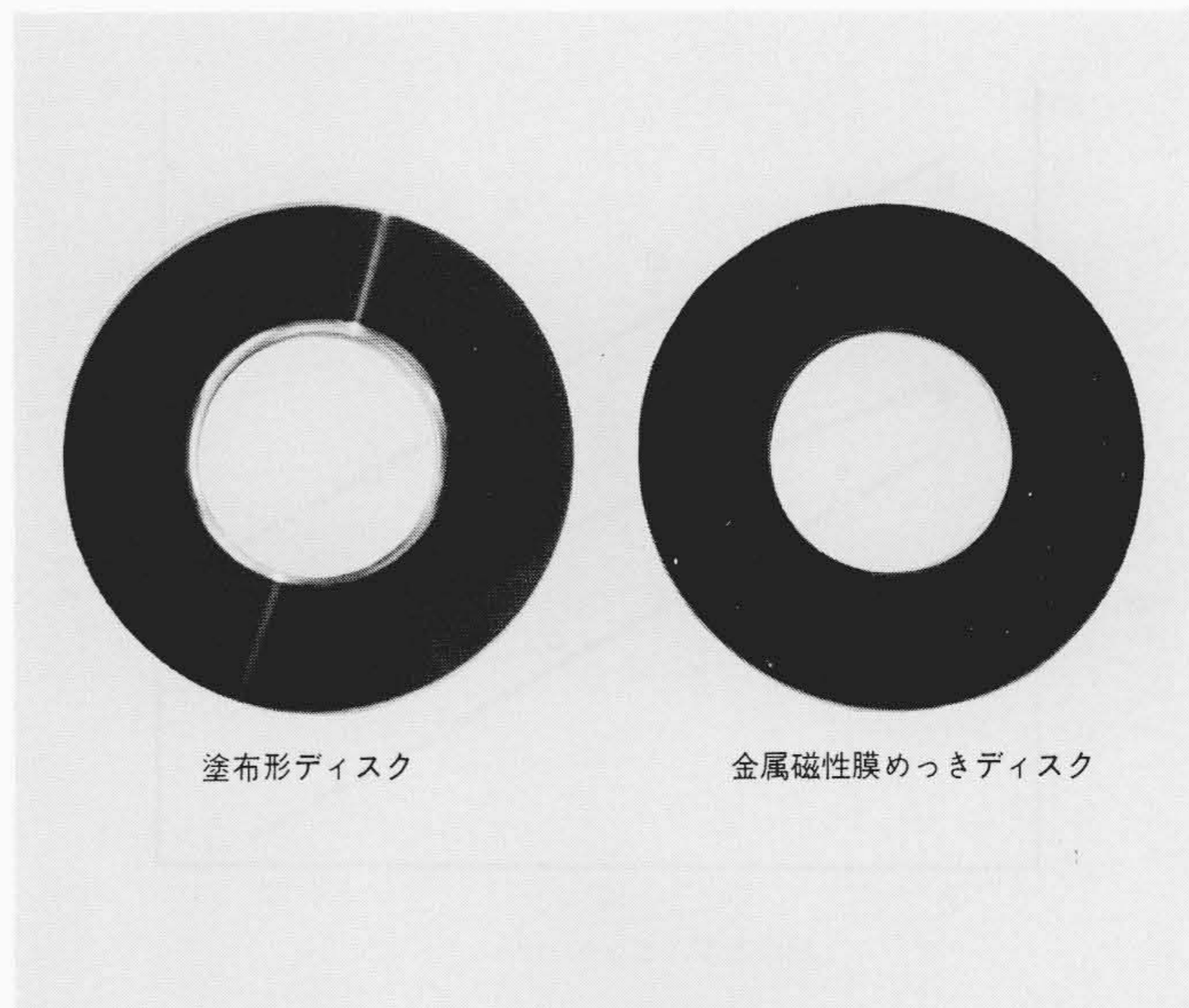


図5 塗布形磁気ディスクと金属磁性膜めっきディスク 金属磁性膜めっきディスクは、Ni-Co-Pの薄膜(膜厚 700\AA 、抗磁力 $1,100\text{Oe}$ 、残留磁束密度 $8,000\text{G}$)を電気めっきし、更に表面に酸化膜を形成して保護膜としたものである。

する上で鍵となる技術であり、浮動ヘッドだけでなく、磁気ディスクを含め装置全体が浮動の安定性を保つよう構成される。例えば、ディスク表面の加工精度の向上、あるいはディスク、ヘッドを含む主要部を密閉構造にして、外部塵埃を遮断したことなどはこの表われである。また浮動ヘッド機構についても、317.5Mバイト装置では、フェライト材で磁気ヘッ

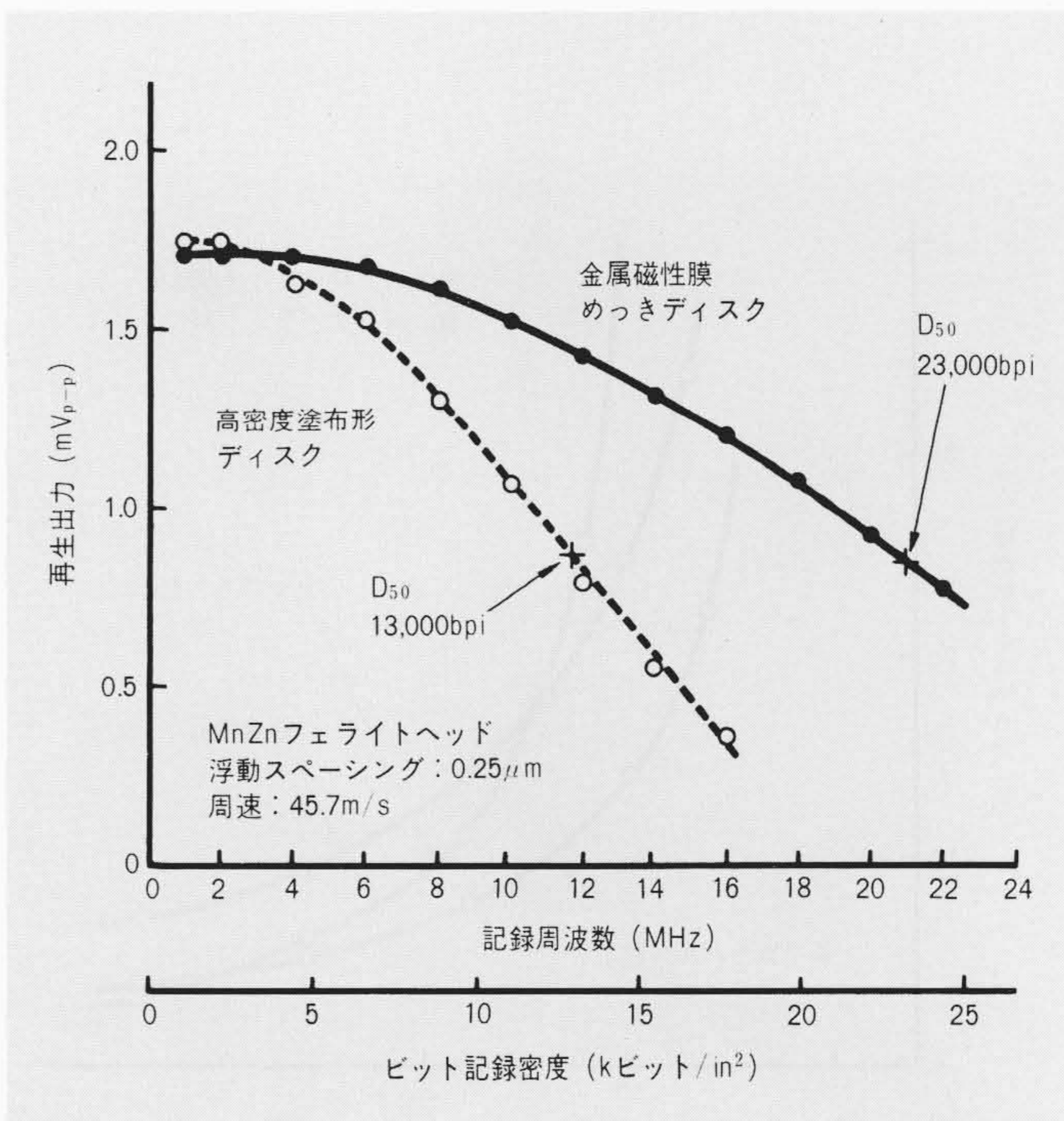


図6 金属磁性膜ディスクと塗布形ディスクの記録特性 高密度塗布形ディスクとめっきディスク(共に試作品)の記録特性を、同一条件で比較して示したものである。出力が $\frac{1}{2}$ に低下する記録密度(D_{50})を実用限界と考えると、塗布ディスクで現用ディスクの2倍、めっきディスクでは更にその2倍の密度が可能である。

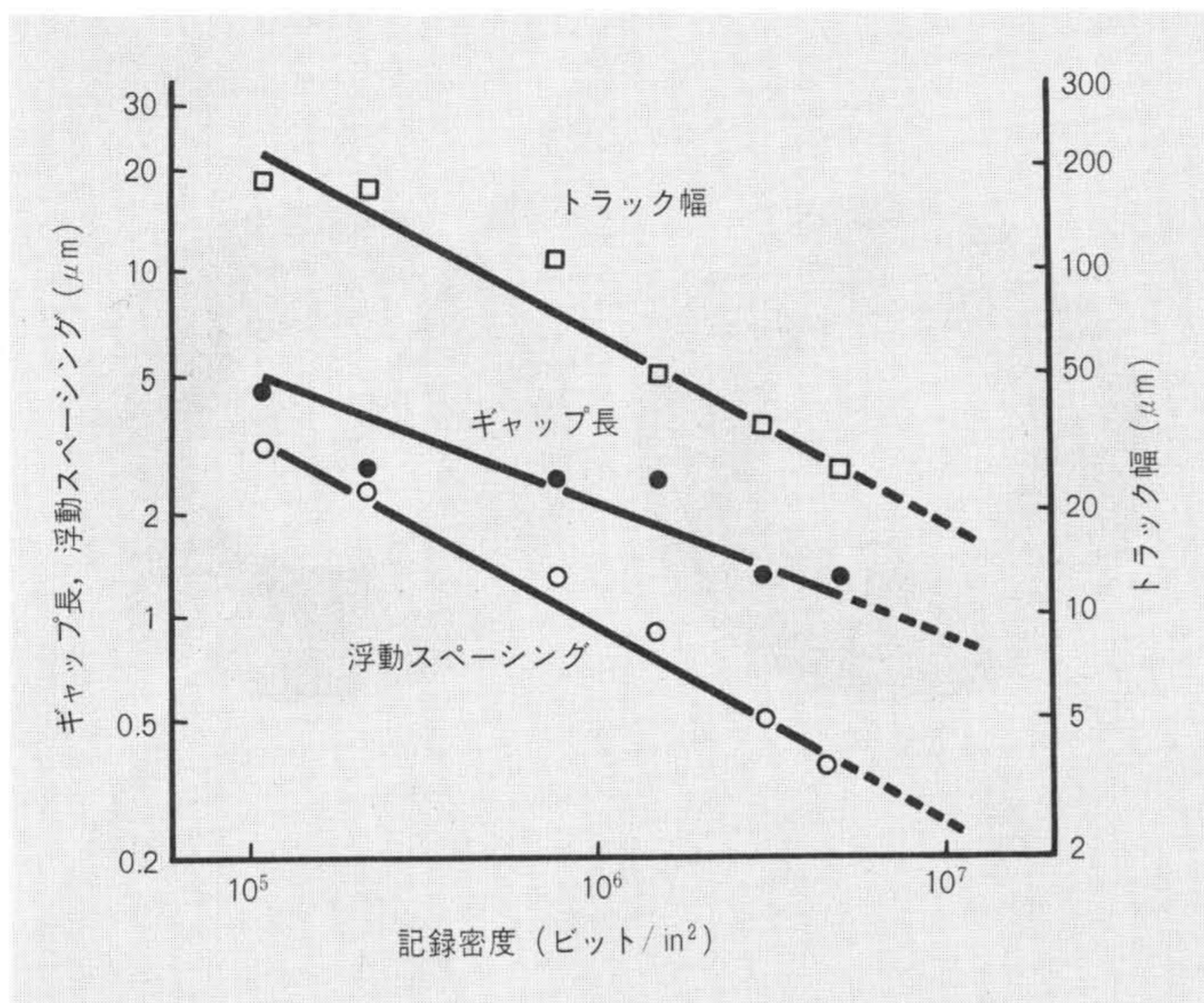


図7 浮動形磁気ヘッドの主要諸元の推移 高記録密度を得るために、磁気ヘッドの記録再生ギャップ長、トラック幅の狭小化の図られてきた様子を示す。ヘッドとディスクの間隙(浮動スペーシング)の短縮、安定化は、高密度化の中心となる技術である。

ドと浮動スライダを一体構造に形成して、浮動ヘッド部分の小形軽量化を図り、ヘッドの押付荷重を従来の350gfから10gfへと大幅な軽減を行ない信頼性を高めている。

今後の更に高密度化に向けては、まず浮動スペーシングの狭小化に関しては、実験的には0.1μmあるいはそれ以下のスペーシングの浮動が確かめられているが、実用化のためには前述のように装置全体の技術の向上を進めることが必要である。また磁気ヘッドの電磁変換特性の向上に関しては、最近薄膜ヘッドの高密度記録再生能力が注目されている。薄膜

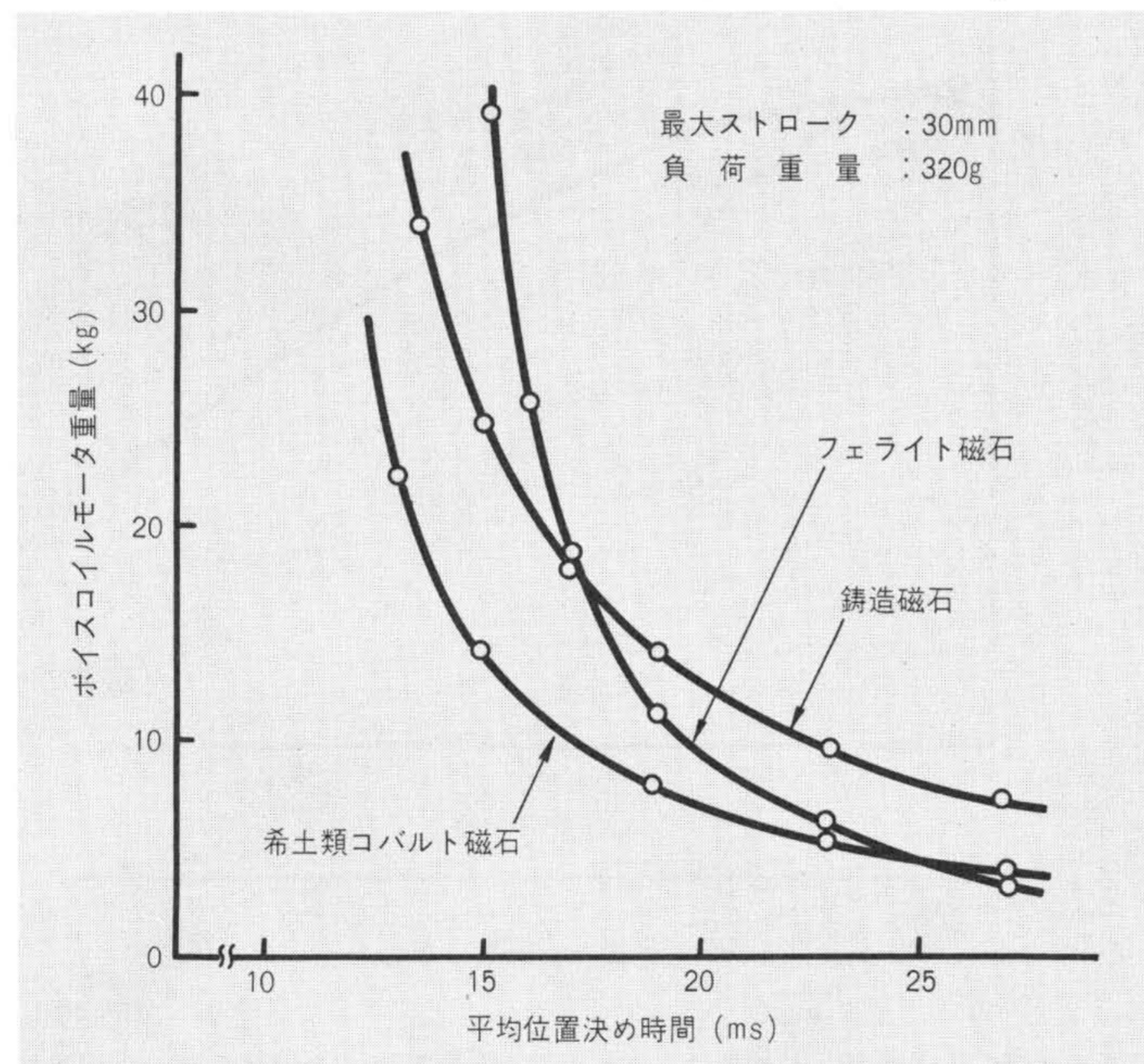


図8 平均位置決め時間とボイスコイルモータ重量の関係 平均位置決め時間とボイスコイルモータの重量の関係、3種の磁石材料を用いた場合について示した。希土類コバルト磁石のような高抗磁力、高磁束密度の材料を使うと、ボイスコイルモータの軽量、高速化の図れることが分かる。

ヘッドは、磁性体としてのFe-Ni合金薄膜及びCu, Alなどの導体コイルを蒸着、スパッタなどの薄膜形成技術により積層して、ヘッドを形成したものであり、ヘッドのポールフェース長を微小寸法に形成できることから、記録磁界分布の改良あるいはポールフェース端部による波形等化効果などにより優れた記録再生特性を期待され、次世代ヘッドとして開発を進めている。更に、高密度記録に伴う信号の微弱化を補う手段として、磁気抵抗効果を利用した磁束感应形の電磁変換素子を再生ヘッドとして用い再生感度を高めようとする試みも進めている。

3.3 記録再生方式及び回路

ヘッドとディスクの系の記録特性を最大限に活用することで高密度を図る技術として、記録再生方式及び回路技術も重要な役割をもつ。すなわち、H-8595ディスク装置で高密度化に伴う信号周波数の増大、及び再生信号の微弱化に対処して、広帯域、低雑音の再生増幅器及び高速の駆動電流駆動回路をIC化して、ヘッド近傍に搭載したのもその一つである。回路系の性能向上のほかに、データ変調方式、復調方式あるいは波形等化方式など、高密度記録での信号処理技術の向上も進めている。

3.4 アクセス及びヘッド位置決め機構

ヘッドを所定のトラックに移動、位置決めするアクセス機構には、駆動源として、スピーカのボイスコイルと同一原理で力を発生させるボイスコイルモータが用いられ、現在アクセス時間は平均20msまで短縮されている。高速化に当たっては、大きな力を発生させるためにボイスコイルモータを大形化、大電力化することが実用的には問題となり、小形、低電力の高速ボイスコイルモータの開発に努力が続けられている。例えば、各種磁石材料を用いた場合のアクセスタイムとボイスコイルモータ重量を試算した結果を示す図8から分かるように、希土類コバルトのような高抗磁力、高磁束密度の磁石を用いることも高速化を達成する一つの方法である。

ヘッドを所定のトラック上に高精度に位置決めすることは、高トラック密度化の中心となる技術である。正規のトラック位置に対するヘッドの位置決め誤差が生ずると、必要なデータのほかに雑音成分を多く読み出すことになり、S/N比の低下を招きデータエラーの原因となる。必要なS/N比を保つためには、概して、トラックピッチの1/10程度に位置決め誤差を抑えることが必要である。現在、複数枚積層されたディスクの一面にトラック位置に対応するサーボ信号を記録し、これを基準に位置決めサーボを行なう方式をとっている。加えて、固定ディスク方式の採用による装置間機械精度誤差の除去、送風冷却方式の改良による熱的変位の軽減などの改良により、480TPI(トラック/インチ)のトラック密度を得ている。今後の1,000TPIを超える高トラック密度を実現するために、データトラックそのものにサーボ情報を含ませるなど、新しい位置決め制御方式の導入を図りつつある。

4 結 言

以上、大容量ディスク装置の性能向上を支える技術に焦点を当て、現状及び将来動向を概説した。磁気ディスク及び磁気ヘッドが薄膜技術により形成される時代を迎えつつあるのははじめとして、記録再生回路、ヘッド位置決めサーボ方式、高速アクセス機構など各々新しい技術の開発を鋭意進めており、信頼性向上の努力と合わせ、今後もコンピュータシステムの要求にこたえ、大容量かつ高速のディスク装置を提供してゆきたいと考えている。