

35 Gバイト大容量磁気ディスク装置

35 G byte Large-Capacity Disk Files

コンピュータシステムでの取り扱い情報量の急激な増大に伴い、磁気ディスク装置に対する大容量化、省スペース化高信頼性などの市場要求がますます強まっている。日立製作所では、これにこたえて装置当たり35 GバイトのH-6587大容量磁気ディスク装置(以下、H-6587と略す。)を開発した。

H-6587では高性能薄膜ヘッド、高密度記録用塗布ディスクの採用、およびHDA(ヘッド ディスク アセンブリ)の高速化とALC(アクチュエータ レベル キャッシュ)を装備することにより、大容量化・高速化を実現し、同時に高信頼性の確保、省スペース化をも達成した。特に信頼性の確保については、従来装置の実績を重視するとともに、さまざまな検討を加えた。生産設備についても、信頼性の確保の視点から無塵(じん)ロボットなどを導入している。

高橋 毅* Tsuyoshi Takahashi
小河卓二* Takuji Ogawa
成瀬 淳** Jun Naruse
中越和夫* Kazuo Nakagoshi

1 緒 言

磁気ディスク装置はコンピュータシステムの外部記憶装置として使用され、オンライン処理、データベースシステム¹⁾での中心的存在として、過去20年間急速な進歩を遂げてきた。日立製作所での大形磁気ディスク装置の出荷年度と記憶容量の関係は図1のようになっており、3年ごとに2倍以上の割合で記憶容量が増加している²⁾。特に近年、顧客での取り扱い情報量の増大に伴い、大容量化はもちろん省スペース化、省電力、高信頼性、高機能化に対する要求がますます高まっている。日立製作所ではこれらの市場要求にこたえて、記憶容量では従来機に対し同一床面積当たり約3倍、消費電力では85%のH-6587大容量磁気ディスク装置(以下、H-6587と略す。)を開発した。本稿ではH-6587の各種機能の特長およびそれを支える要素技術について述べる。

2 H-6587開発のねらい

2.1 大形磁気ディスク装置への期待

コンピュータシステムで磁気ディスク装置が大きなウェートを占めるにつれて、ユーザーニーズは高度化、多様化してきている。本開発機では、開発に先立ち多様なユーザーニ

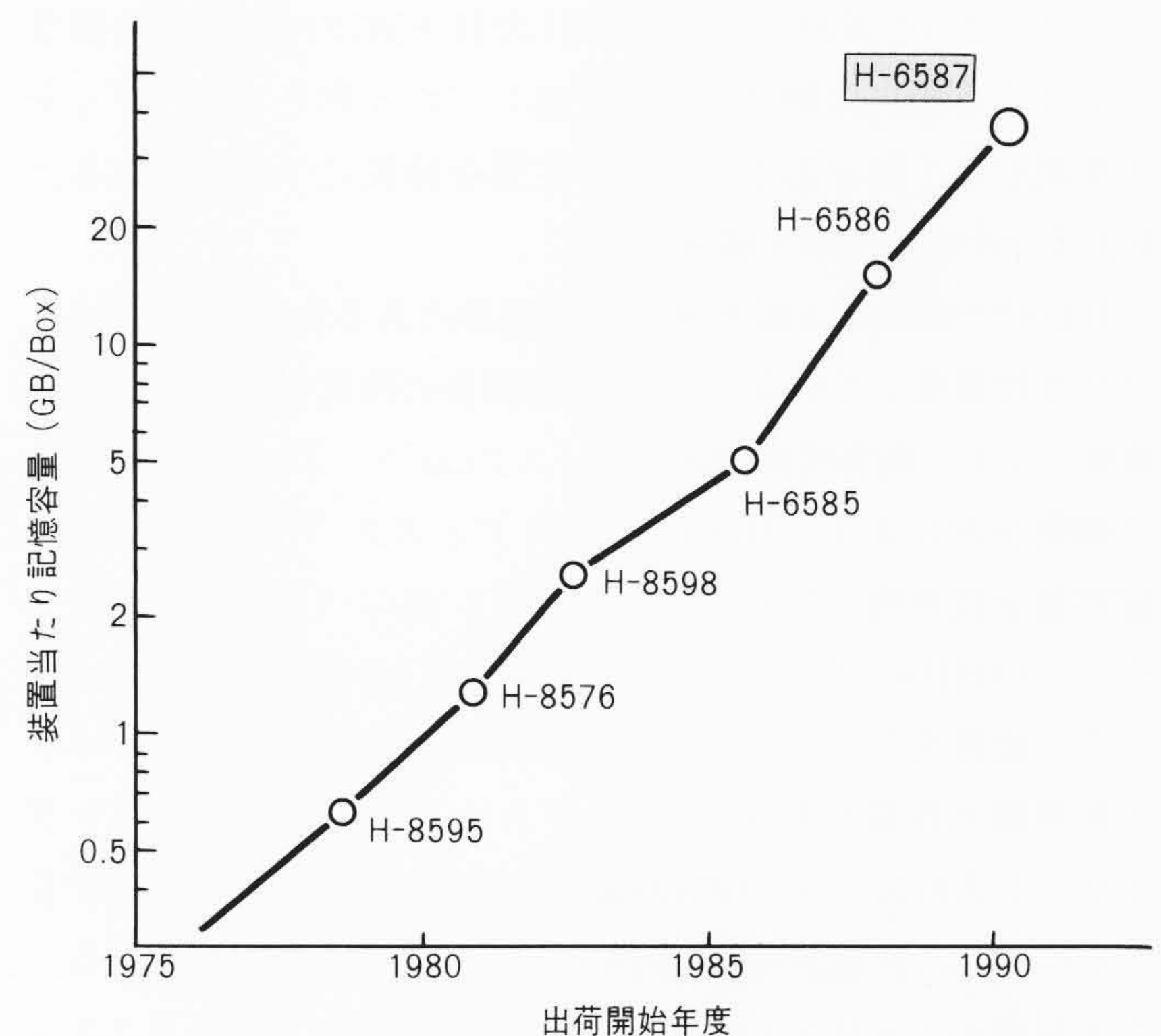


図1 磁気ディスク装置の出荷年度と記憶容量 磁気ディスク装置の記憶容量は3年ごとに2倍以上の割合で増加している。

ズにこたえる製品のあるべき姿を種々の視点から検討し、表1のようなデザインコンセプトの形にまとめ開発をスタートさせた。開発体制としては日立製作所独自のシステムである「特研」^{*1)}体制を敷き³⁾、工場設計部が中心となり日立製作所中央研究所、同日立研究所、同機械研究所、同生産技術研究所、

※1) 「特研」：特別研究体制の略称である。製品開発時に本社研究開発推進本部の指導のもとに、工場・研究所関係者が一体となりプロジェクトを組む。

* 日立製作所 小田原工場 ** 日立製作所 小田原工場 工学博士

表1 ユーザーニーズと開発機のコネプト 開発に先立ち多様なユーザーニーズにこたえる製品のコンセプトをまとめた。

No.	ユーザーニーズ	デザインコンセプト
1	省スペース	大容量化
		装置の小形化
2	高性能・高機能	シーク時間の向上
		回転待ち時間の短縮
		データ転送速度の向上
		ALC標準装備
		4パス標準装備
3	使い勝手の良さ	従来機H-6586互換モードのサポート
4	高信頼性	従来機H-6586で実績のある9.5インチHDAの改良

注：略語説明 ALC(アクチュエータ レベル キャッシュ)
HDA(ヘッド ディスク アセンブリ)

同デバイス開発センタ、同システム開発研究所、同マイクロエレクトロニクス機器開発研究所、同デザイン研究所などの協力のもとに開発を進めた。

2.2 H-6587の特長

前述のような体制のもとに開発したH-6587の主な仕様を表2に示す。本機には特に大容量をねらった3形とスループットを重視した1形がある。以下に主要な特長について述べる。

2.2.1 大記憶容量・省スペース

HDA^{※2)}機構部は従来機と同様実績のある9.5インチディスクを9枚搭載している³⁾。ヘッド位置決め精度の向上、高性能薄膜ヘッド、高密度記録磁気ディスク(以下、ディスクと略す。)の開発などにより、HDA(ヘッド ディスク アセンブリ)の記憶容量を従来機の1.89 Gバイトから2.92 Gバイトに増大させた。このHDAを筐(きょう)体内に最大12台搭載することによって、装置当たりの記憶容量は従来機の約2.3倍の35 Gバイトと世界最大容量を実現できた。さらに、HDU(HDAとエレクトロニクスのユニット)の冷却に噴流空気冷却方式を採用することにより、HDUの実装密度を高め筐体を小形化している。本開発機のストリング構成および外観を図2に示す。Aユニット筐体にはストリングコントローラとHDUが8台搭載されている。このAユニットの両側にHDUを12台搭載したBユニットを2台配置し、ストリングを構成している。ストリング容量は最大93 Gバイトとなり、筐体の小形化と相まって1 Gバイト当たり要する装置の床面積は従来機の約 $\frac{1}{3}$ の0.02 m²と大幅な省スペース化を実現している。

※2) HDA：ヘッド ディスク アセンブリの略称である。磁気ヘッド・磁気ディスクと位置決め機構を内蔵するメモリ機構部である。

表2 H-6587の主な仕様 開発機には、特に大容量をねらった3形とスループットを重視した1形の2機種がある。

形 式		開 発 機		従来機
		H-6587-3	H-6587-1	H-6586-K
記憶容量 (Gバイト)	装 置 容 量	23.4 (Aユニット) 35.0 (Bユニット)	7.5 (Aユニット) 11.3 (Bユニット)	15.1
	ストリング容量	93.4	30.1	30.2
	H D A 容 量	2.92	0.94	1.89
HDA数/装置 (スピンドル)		8 (Aユニット) 12 (Bユニット)	8 (Aユニット) 12 (Bユニット)	8
平均シーク時間 (ms)		12	8.5	12.5
回転待ち時間 (ms)		7.1	7.1	8.3
スピンドル回転速度 (r/min)		4,260	4,260	3,600
データ転送速度 (Mバイト/s)		4.2	4.2	3.0
装置外形寸法 (ストリング) 幅×奥行き×高さ(mm)		2,428×760 ×1,790	2,428×760 ×1,790	2,100×800 ×1,790
1 Gバイト当たり床面積 (ストリング) (m ² /Gバイト)		0.020	0.061	0.056
1 Gバイト当たり消費電力 (ストリング) (kVA/Gバイト)		0.12	0.38	0.15

2.2.2 高性能・高機能化

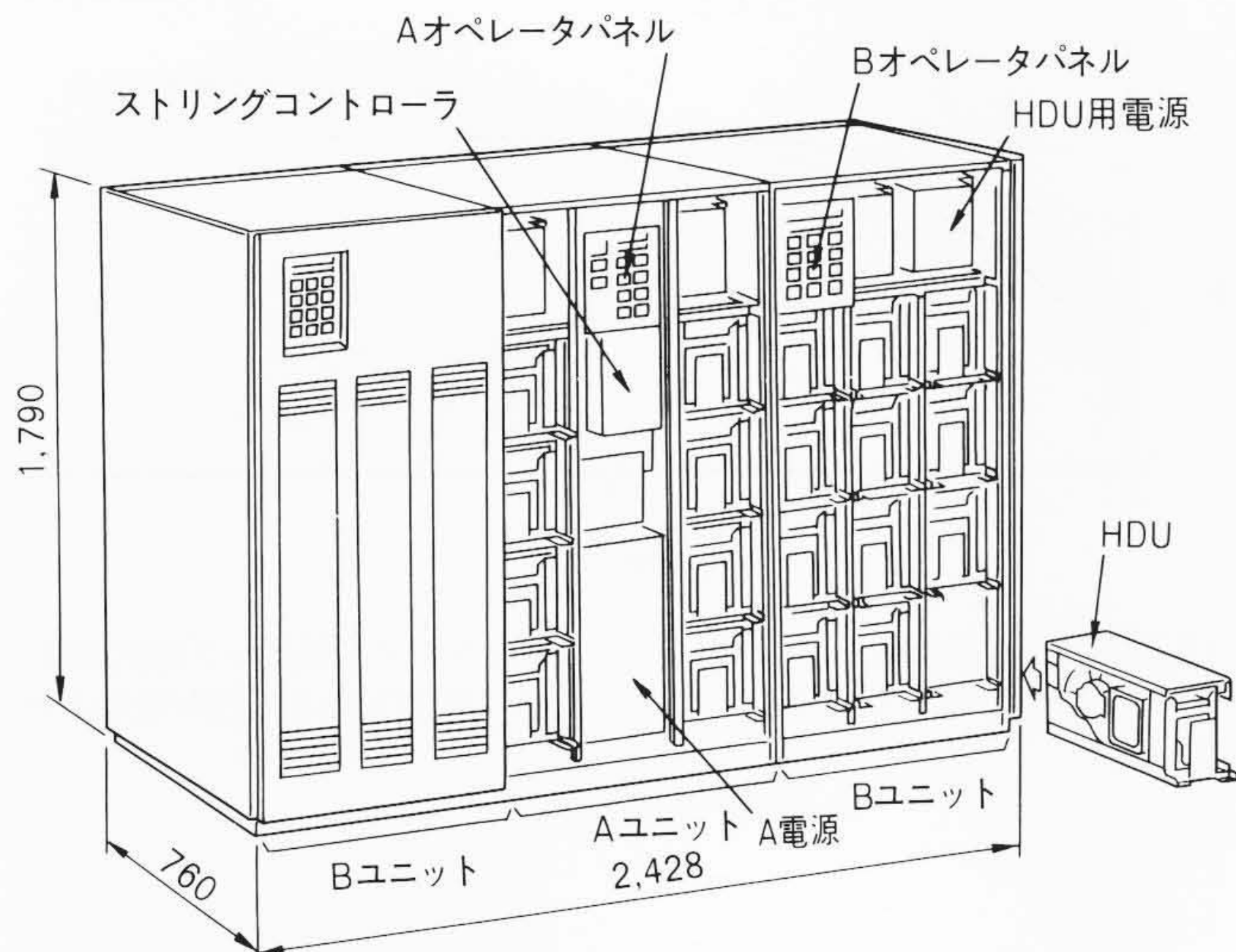
(1) 高速シーク・高速データ転送

HDA内のヘッド位置決め機構としてリニア形アクチュエータを採用しているが、さらにアクチュエータのバランシングなどを改良して、平均シーク時間を大容量タイプで12.0 ms、高速タイプではヘッドのストローク長を短縮することによって8.5 msをそれぞれ達成した。また超精密玉軸受、長寿命グリースをスピンドルに採用することにより、回転数を従来の3,600 r/minから4,260 r/minに高速化し、さらに記録ビット密度を上げてデータ転送速度を従来機の1.4倍の4.2 Mバイト/sと高速化した。

(2) 高機能化

スループット向上をねらい、各アクチュエータごとにALC(アクチュエータ レベル キャッシュ)を標準装備している。ALCの機能については3章で述べる。ALCの採用によってリードヒット時、スピンドルの回転待ち時間およびシーク時間が不要となり、応答性が向上している。また各ボリュームには4パスが標準装備されており、4チャンネルから各ボリュームに同時アクセス可能のため、ディスクサブシステムとしての使用効率が大幅に向上している。

高性能、高機能化の効果を図3に示す。同図中〔A〕と〔B〕の



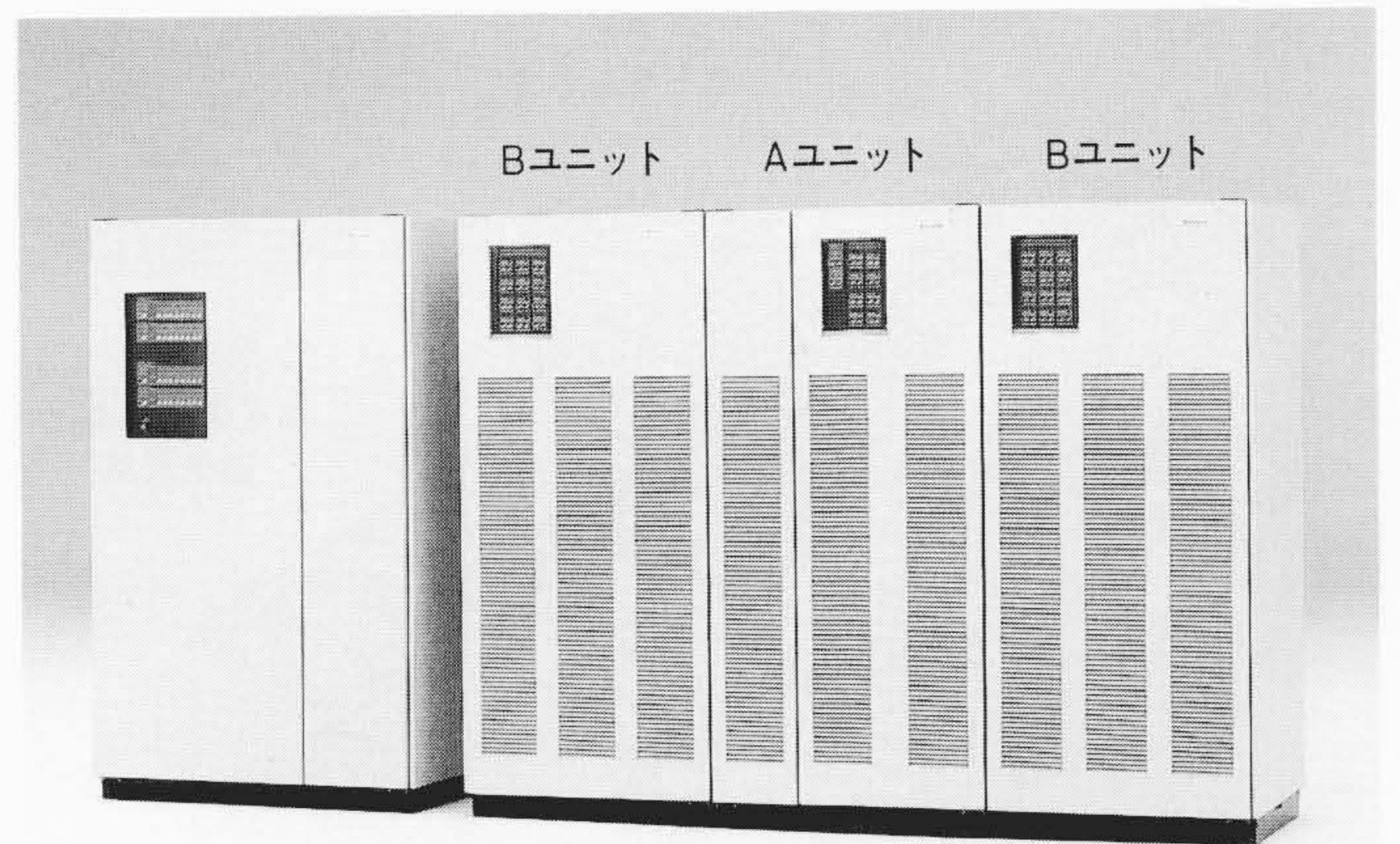
注：略語説明 HDU (HDAとエレクトロニクスのユニット)

図2 H-6587ストリング構成 Aユニットには、ストリングコントローラとHDUが8台搭載され、Bユニットには、HDUが12台搭載されている。ストリングでの容量は93 Gバイトとなる。

差は4パス化による効果、〔B〕と〔C〕の差は従来のH-6586から本開発機H-6587で改良した転送速度、回転数およびシーク時間短縮の効果を示している。さらに、ALCを装備することにより、許容I/O発行件数は増大し従来機に対し約3倍の性能となっている。

2.2.3 高信頼性

磁気ディスク装置の信頼性のかなめはHDAである。とりわけヘッドとディスクの接触によるデータ破壊の防止が重要となっている。この点については従来の実績を重視し、薄膜ヘッドと塗布ディスクの組み合わせを採用した。HDAは密封構



H-6581ディスク制御装置

H-6587磁気ディスク装置

造とし外部環境の影響(腐食性ガスの侵入など)を排除している。さらに、万一の場合を想定して従来機でも顧客の支持を得ているHDA当たり1アクチュエータを搭載する構造とし、障害時の影響を最小化する方式を採用した。HDA内の塵埃(じんあい)の低減もヘッドとディスクの接触を回避する上で重要な問題である。これについては、部品洗浄技術の向上および人手を介さない無塵ロボットの自動組立ラインを構築して対処している。

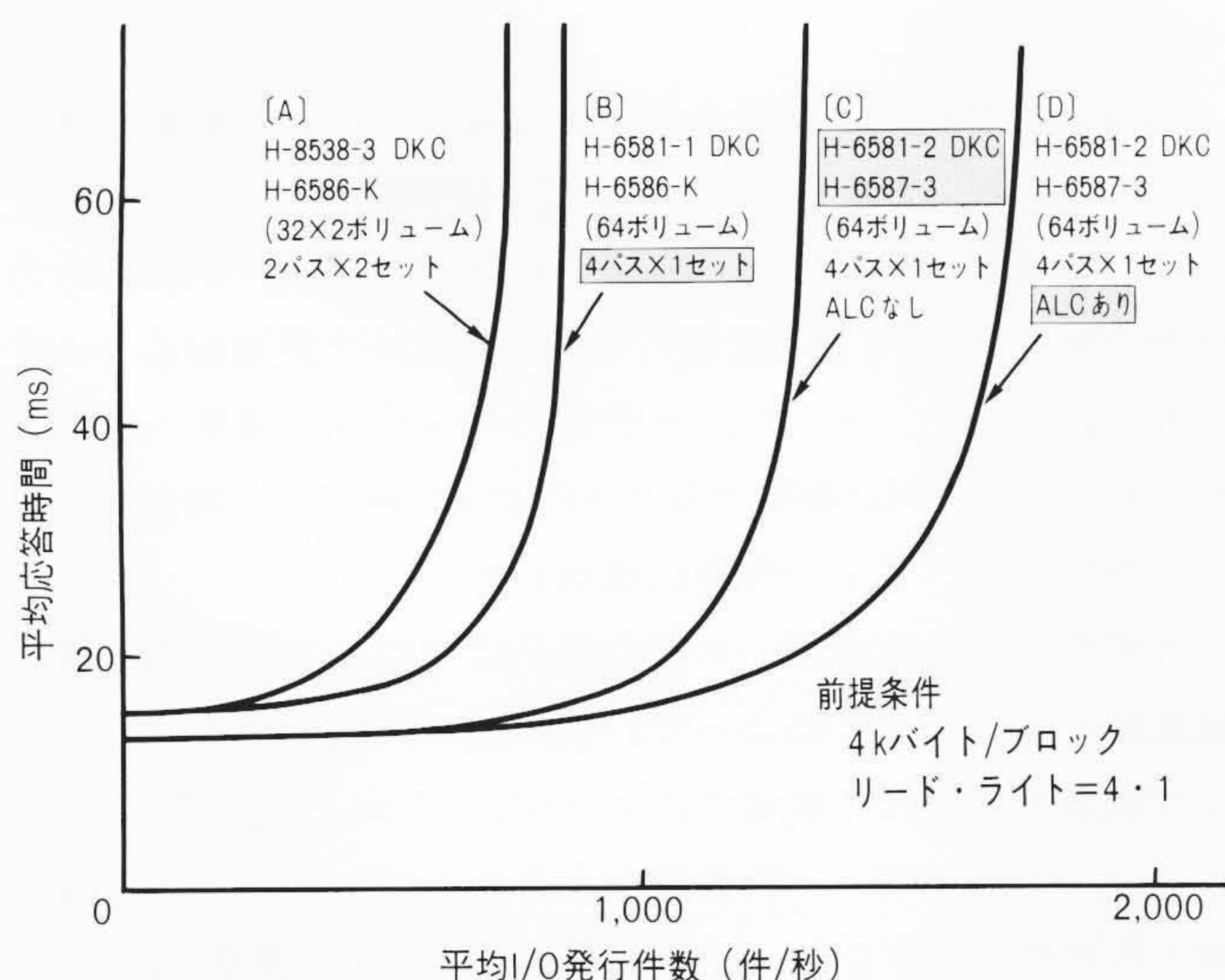
3 H-6587の要素技術

前章で本機の特長について述べたが、これらの特長を実現している主要要素技術について以下に述べる。

3.1 高速・高精度HDA

高密度記録を行いHDA当たりの記憶容量を高めるためには、磁気ヘッドをディスクの記録トラックに正確に位置決めすることが必要である。正確な位置決めには高精度に回転するスピンドルおよび高精度ヘッド位置決め機構(以下、アクチュエータと略す。)が必要となる。図4にHDAの構造を示す。ディスクを支持するスピンドルは高精度玉軸受で両持ち支持し、スピンドルの固有振動数を高めると同時に、スピンドルシャフトに取り付けた直流電動機で直接駆動するため、外乱振動が入らず回転精度が高まっている。アクチュエータ部は装置周囲温度変化に対して位置決め精度が低下しないようふうされており、温度変化・振動による精度劣化を含め位置決め精度はサブミクロンオーダーとなっている。

高速シーク時間を実現するためには、サーボ制御によってヘッド位置決めを行うアクチュエータの応答性が重要となる。アクチュエータの応答性は、コイルに流れる電流の立上り特性とアクチュエータ本体の主共振周波数によって決定される。



注：略語説明 DKC(ディスク制御装置)

図3 高速・高機能化によるI/O発行件数の増大(シミュレーション結果) I/Oの発行件数は従来機(H-6586-K)の3倍となっている。〔A〕から〔B〕の効果は4パスによるもの、〔B〕から〔C〕の効果はHDAの高速化によるもの、〔C〕から〔D〕の効果はALCによるものである。

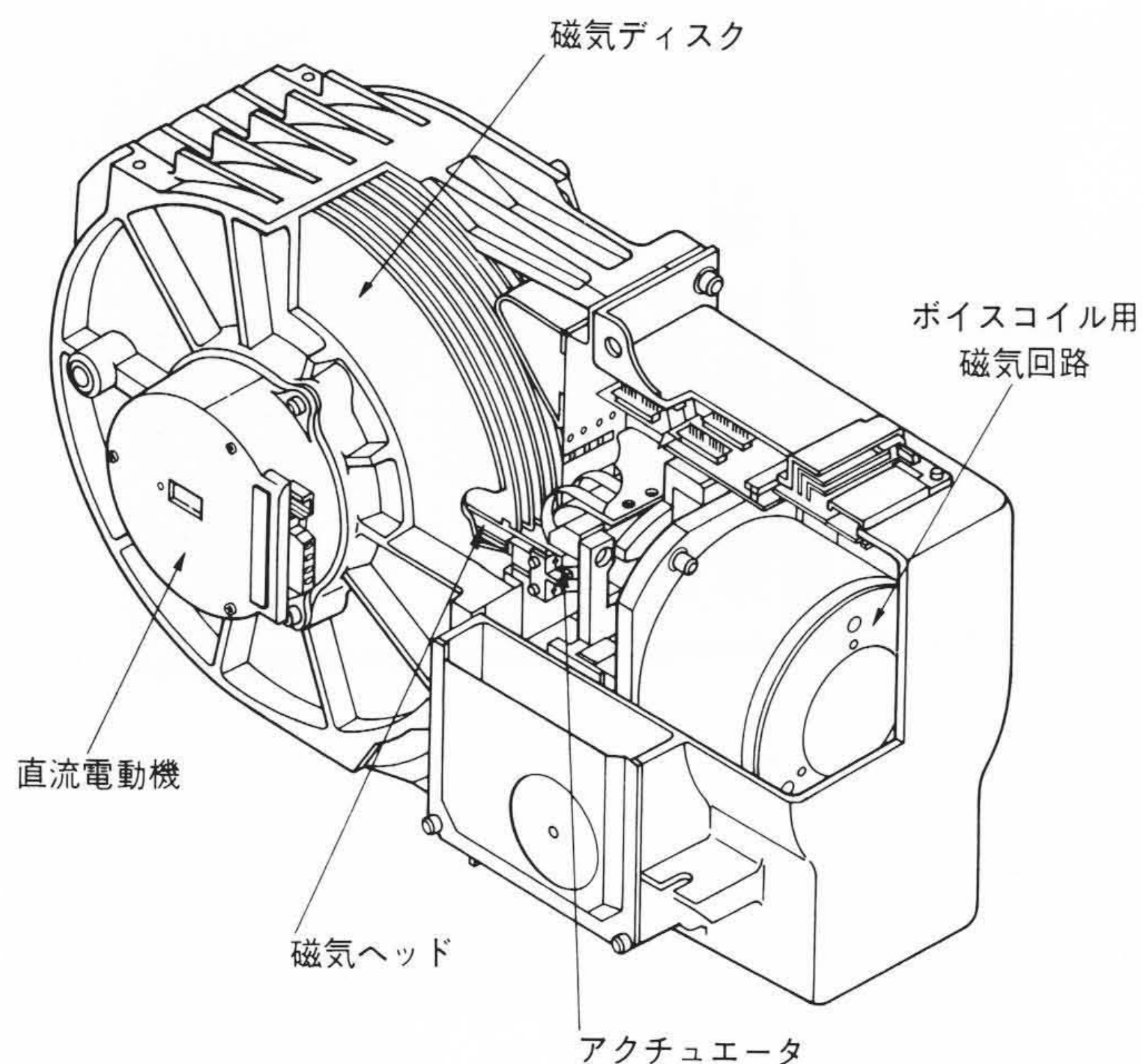


図4 HDA(ヘッド ディスク アセンブリ)の構造 9.5インチ塗布ディスク9枚を内蔵し、両持ちスピンドルを直流電動機で直接駆動する。アクチュエータは直進形を採用している。

本開発機ではショートコイル方式および閉ループ磁気回路を採用した⁴⁾。これにより、従来よく採用されているロングコイル方式に比べ、時定数で約 $\frac{1}{3}$ と電流の立上り特性が改善されている(図5)。

アクチュエータ本体に要求される主要項目は、主共振点をできるかぎり高く設計することと軽量化することである。この要求を満たすため、日立製作所で開発したFEM(有限要素法)構造振動解析プログラム“CNDYN”と感度解析手法⁵⁾を用いることによってアクチュエータ本体を最適に近い形状にすることができた。得られた振動特性は図6に示すように、主共振点は5.3 kHzまで上がっている。以上、電流の立上り特性および主共振点の向上、さらに本開発機では可動部のバランシング改善により、平均シーク時間12.0 msを達成している。

3.2 高性能薄膜ヘッド・高密度記録ディスク

日立製作所の薄膜ヘッド生産はスパッタリング、イオンミリングを主体とする日立製作所独自のドライプロセス方式⁶⁾を採用している。この方式の磁気ヘッドはすでにH-6586ディスク装置に適用しており、数百万個のヘッドが市場で稼動中であるが、ヘッドの故障はまったくない。本開発機でもこの実績を踏まえ、ドライプロセス方式を採用した。記録密度の向上のため、磁気ディスクに保持力 H_c の高い媒体を使用する必要がある、特に磁気ギャップ深さ精度が重要な要因となった。この要求に対しては、磁気ギャップ深さ制御精度を高めて対応した。

トラック密度の向上に対応して今回の薄膜ヘッドはSN比の確保を重点に設計した。コイルの巻数を17ターンから28ター

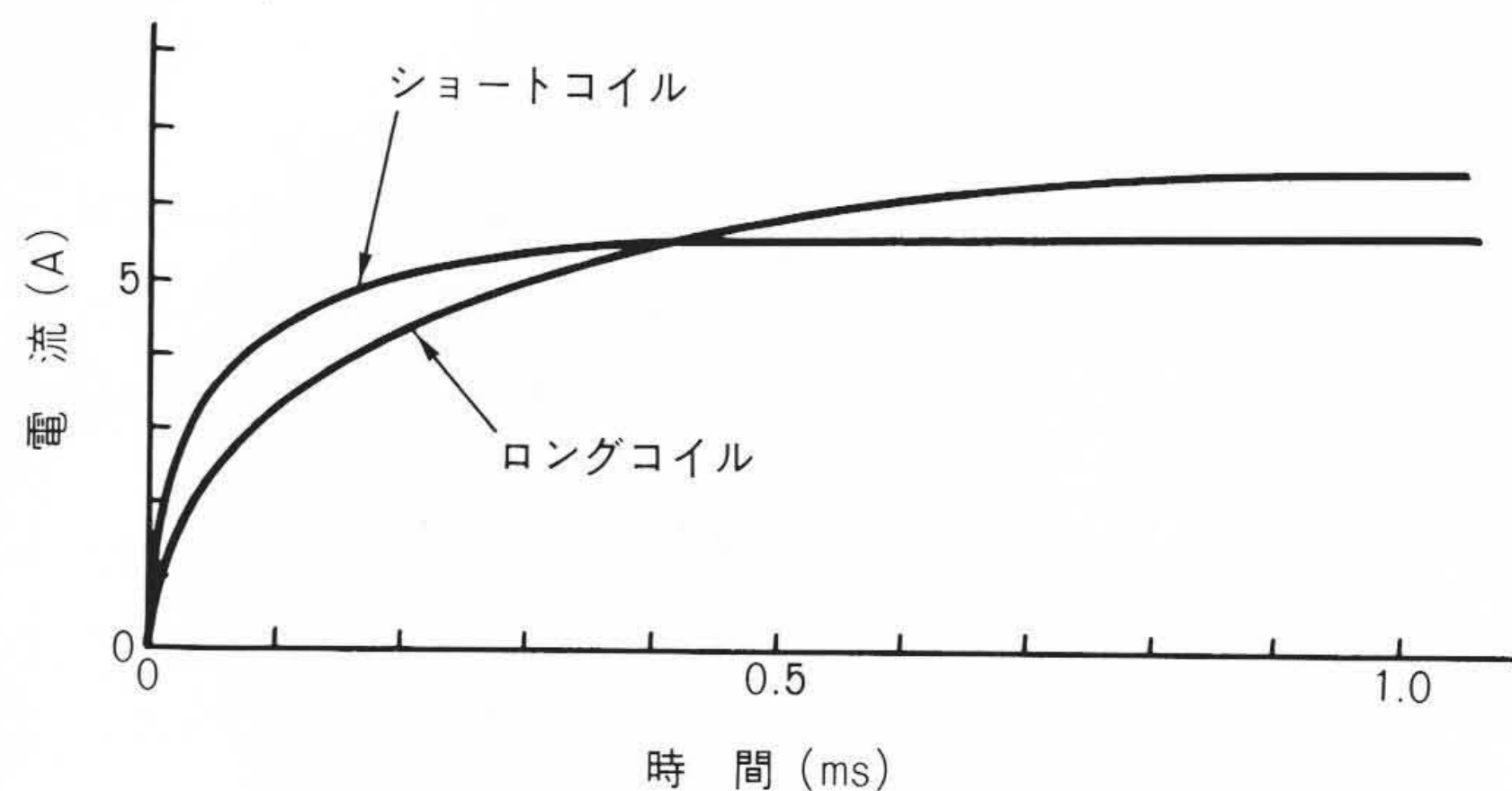


図5 コイル電流立上り特性 アクチュエータに閉ループ磁気回路、ショートコイル方式を採用することにより、電流立上り特性が改善されている。

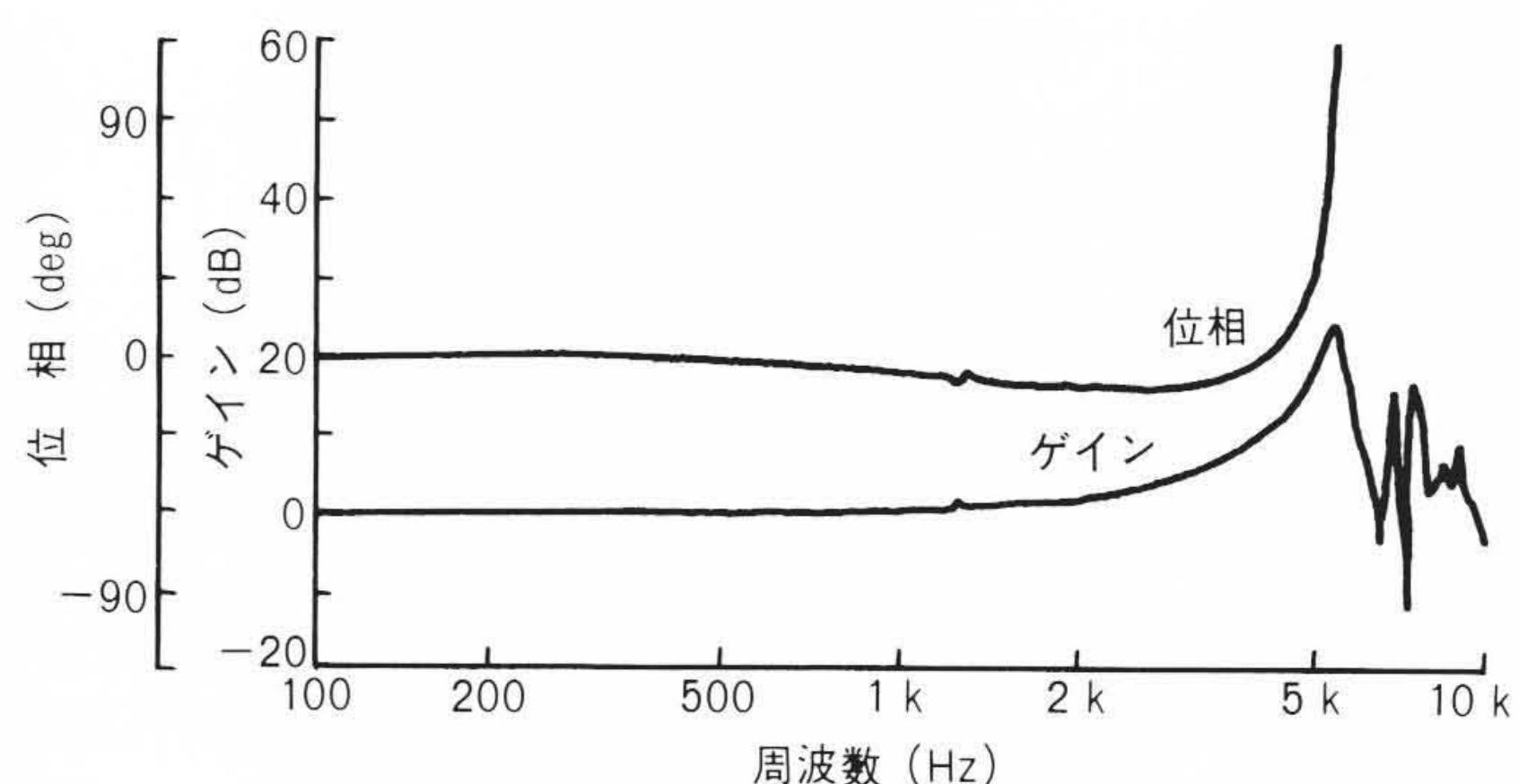


図6 アクチュエータ本体のイナータンス特性 構造振動解析プログラム、感度解析手法などを用いアクチュエータの共共振点を5.3 kHzまで高め良好な振動特性を得ている。

ンに増した。コイル巻数を増加させると磁気ヘッドの信号雑音の原因となるコイル抵抗が増加する。この抵抗増加を抑制するため、解析プログラムを開発して最適コイルの平面形状を決定した(図7)。

磁気コアが発生する雑音の抑制も磁気ヘッドの重要な課題の一つである。スピンSEM(走査電子顕微鏡)⁷⁾、マイクロカー効果装置などの観察手段、磁区解析プログラム、三次元応力解析プログラム⁸⁾などを応用して、コア材料の最適磁歪(わい)定数を決定した。さらに、コア材のパーマロイ薄膜の磁歪定数を0.5 ppm以内に制御することによって磁気コア雑音の生じない薄膜磁気ヘッドの開発に成功した。

高密度記録用塗布ディスクの開発に当たっては、高保持力磁性粉を用いることによって、分解能の向上を図ること、および樹脂混練条件の最適化によるSN比の向上を主眼とした。さらに、オーバライト特性の向上をねらい、ディスクの内周側と外周側の膜厚を均一に塗布する塗布技術の開発を行った。この結果、内外の膜厚さの差は0.03 μm 以下とすることができ、オーバライト特性の向上に寄与した。

以上ヘッド位置決め機構、薄膜ヘッドおよびディスクの高精度化、高性能化によって、図8に示すように従来の記録密

度35 Mビット/(インチ)²に対し1.6倍の56 Mビット/(インチ)²の高記録密度が達成できた。

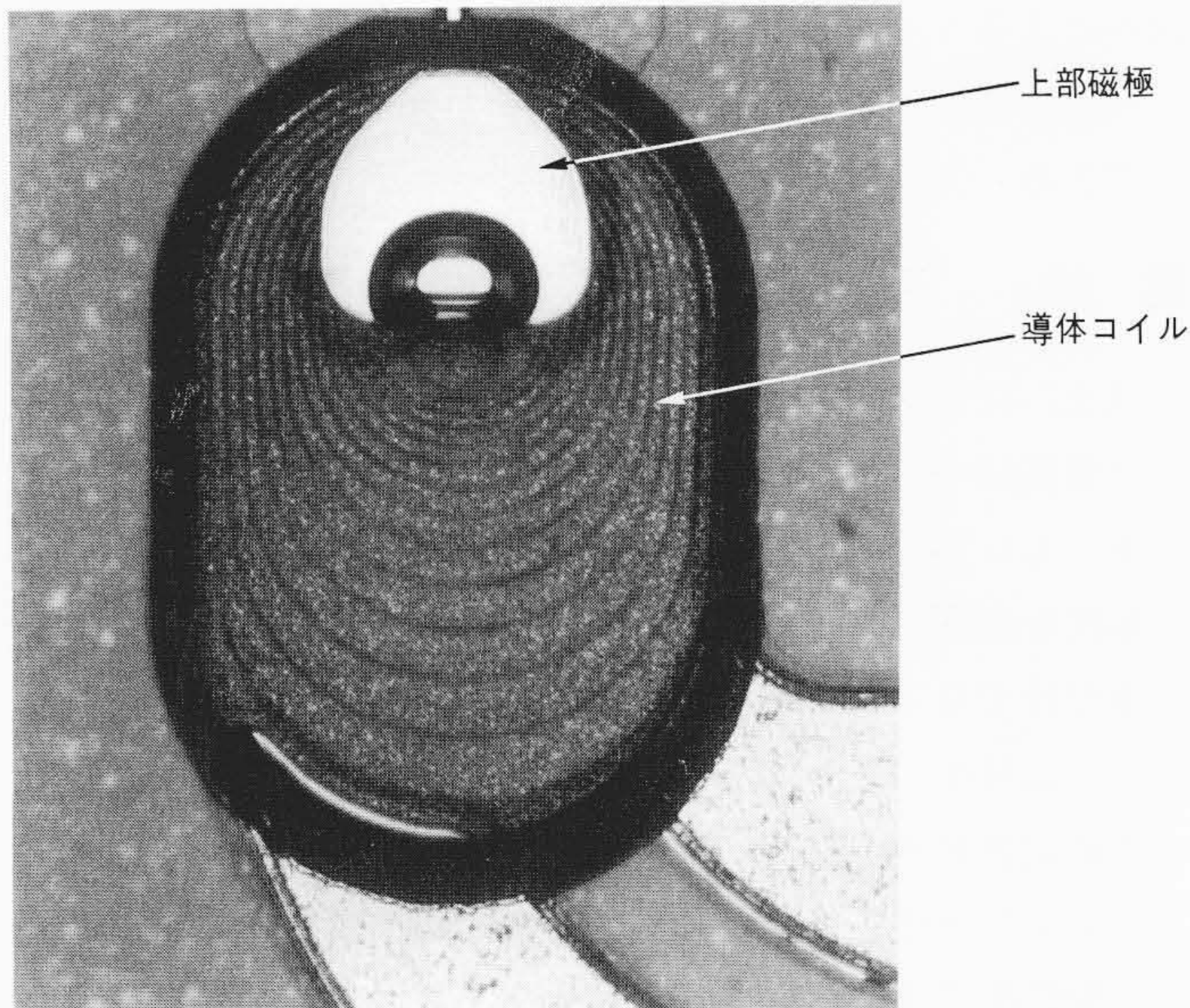
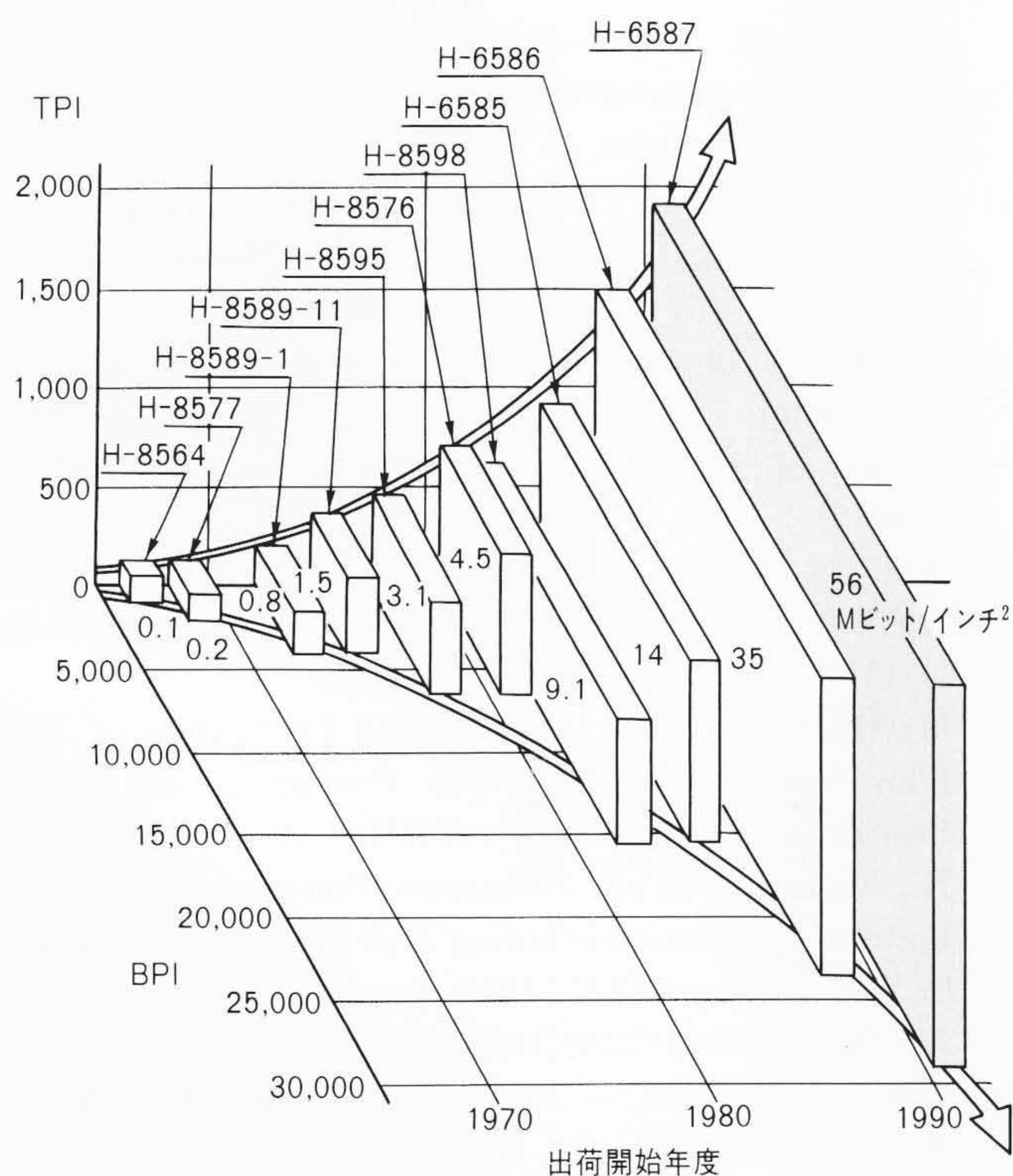


図7 磁気ヘッド素子部 20年間の研究開発の努力が結実した磁気ヘッドである。



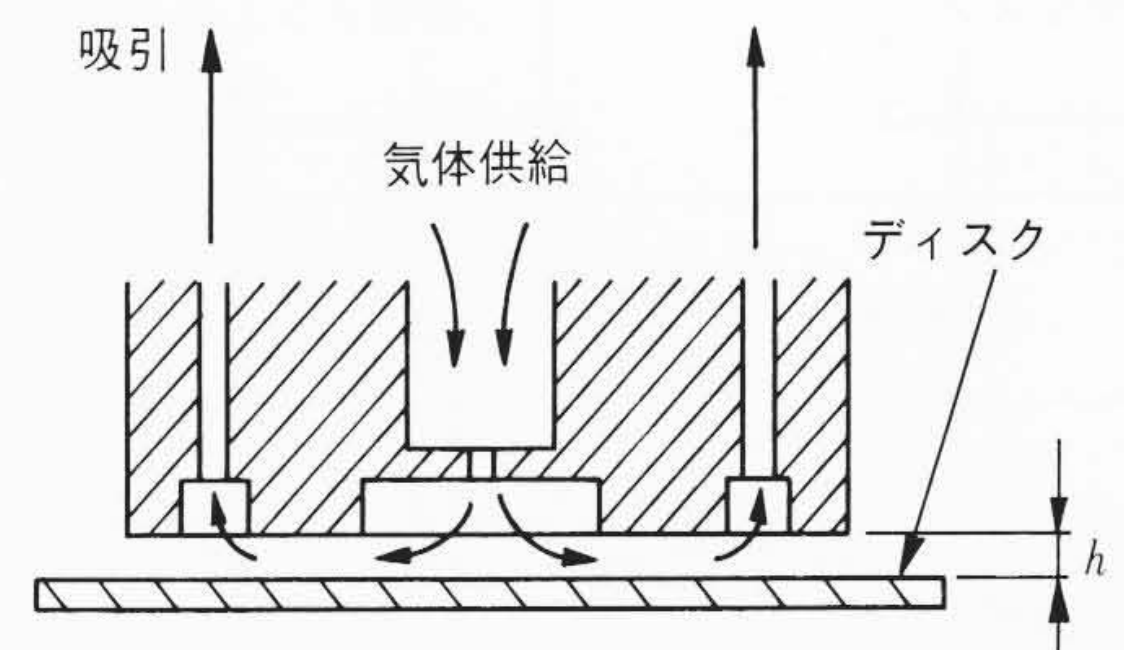
注：略語説明 TPI (1インチ当たりのトラック数)
BPI (1インチ当たりのビット数)

図8 磁気ディスク装置での記録密度推移 ヘッド位置決め機構、薄膜磁気ヘッド、ディスクの改良によって、従来機に対して1.6倍の記録密度が達成できた。

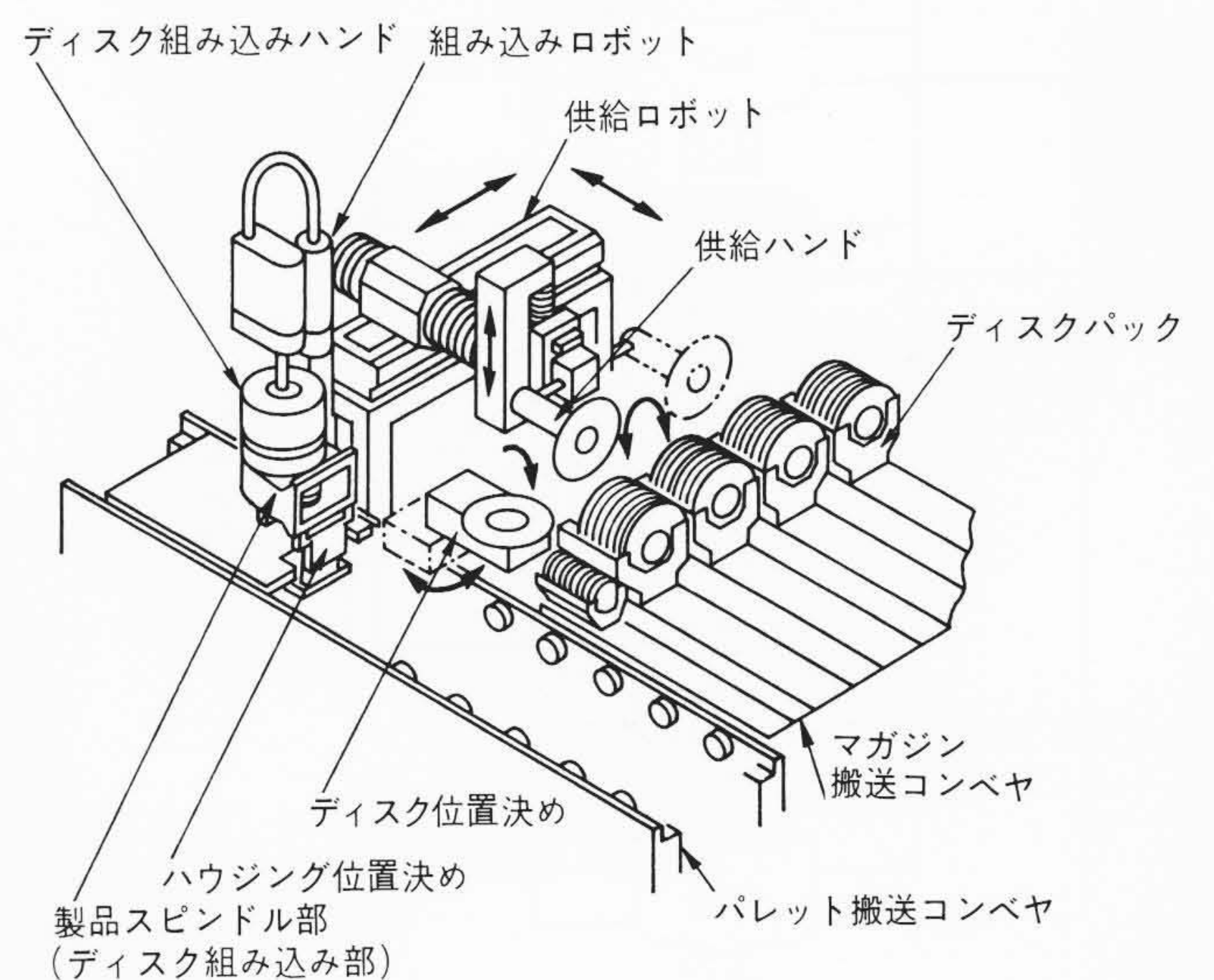
3.3 精密無塵組立ロボット

ディスクはスペーサとともにスピンドルハブにスタックされ、ディスククランプで固定することによって、高速回転に耐えられるようになっている。スピンドルハブとディスクのすきまは、高速回転時のアンバランスを抑制するため通常10 μm程度しかない。従来はディスクをロボットハンドで把持し、スピンドルハブに高精度に相対位置決めを行って組み込み作業をしていた。ロボットハンドでディスクを把持するとき接触による摩耗粉が発生しやすく、これがHDA内の塵埃となって問題を起こす可能性があった。これを解決するため、図9のようなABCハンド(Air Balance Clean Hand)を用いたディスク組み込み装置を開発⁹⁾し実用化した。

ABCハンドは空気吸引による正の支持力とオリフィス絞りからの給気による正の支持剛性により、ディスクをハンドに対して0.3 mm程度のすきまを保って非接触に保持できる。ハンドに保持されたディスクは水平方向に自由に動かすことができるので、これを利用しハンドをハブにだいたい位置決めし、ハブとディスク内面のすきまに空気を流し込むことにより、ハブとディスクを接触させることなく組み込むようにしている。この技術によって、ディスク組み込み時の発生塵埃



(a) ディスク組み込みハンド断面図



(b) ロボットシステム全体構造

図9 無発塵ディスク組み込みロボット 0.3 mmのすきまを空けたままディスクを保持できるので、接触による塵埃の発生を抑制できる。

を大幅に低減でき、HDAの信頼性をさらに向上させることが可能となった。

3.4 ALC

ALCの効果については2章で述べた。ALCの動作は図10に示すとおりである¹⁰⁾。H-6581-2形ディスク制御装置内の2台の制御クラスタにより、最大64ボリューム(HDA)を制御している。各ボリュームには4本のパスが用意してあり、両制御クラスタからのアクセスが可能である。いまNo. 3のボリュームにアクセスがかかり、レコードを捜し当て上位割込み信号を制御クラスタに送ったとする。このとき図示のようにNo. 0, No. 1, No. 2, No. 62のボリュームが4本のパスを使用中であると、No. 3は接続されないままレコードが磁気ヘッドを通過してしまい、スピンドル1回転分の時間を待たねばならない。しかし、ALCが装備されていると読出し情報をALCに一時的にバッファリングし、パスが空いたとき回転待ち時間なしで上位装置に送ることが可能となる〔RPS(Rotational Posi-

tion Sensing)ミス防止機能〕。ALCには7トラック分の情報の入るキャッシュが用意してあり、アクセスのかかっているボリュームがオフラインになっている間に読出し命令のかかっているトラックの次のトラックを先読みしておくことが可能である。特に順次アクセスファイルのマルチ処理では、先読みによるリードヒット率が高くなり、回転待ち時間およびシーク時間が不要となるため、キャッシュと同様の効果が期待できる〔先読みキャッシュ機能〕。

4 結 言

以上、H-6587の特長と要素技術について述べた。磁気ディスク装置は今後さらに機構設計技術、材料・薄膜技術、生産技術、エレクトロニクスなど各分野の技術に支えられ、性能・信頼性を向上させていくとみられている。また、ハード的な進歩だけでなくアレーディスク装置の概念にみられるように、システム技術の積極的な導入によってコンピュータシステムの外部記憶装置として、ディスクサブシステムとしてのインテリジェント化を進めた画期的な製品の出現も考えられる。日立製作所では、今後とも信頼性の確保および基礎技術開発に積極的に関わり、顧客に喜ばれる製品開発を行ってゆく考えである。

参考文献

- 1) 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, 345~350(昭57-5)
- 2) 高橋, 外: H-8598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) J. Naruse, et al.: A Product Family of Large-Scale Magnetic Disk Drives with 9.5 inch Platters, Hitachi Review, Vol.37, No.5, pp.275~282(1988)
- 4) Y. Hirano, et al.: Dynamic Characteristics of A Voice Coil Motor for High Performance Disk Drive, IEEE Trans. on Magne., Vol.25, No.4, pp.3073~3075, (1989-7)
- 5) 吉田, 外: 磁気ディスク装置のリニアアクセス機構における動特性モデリング, 日立機械学会論文集(Vol.A), No.900-44, 17-18(1990-7)
- 6) M. Hanazono, et al.: Design and Fabrication of Thin Film Heads Based on a Dry Process: J. of Applied Physics, 61, (8), pp.4157~4162(1987-4)
- 7) K. Mitsuoka, et al.: Magnetic Domains of permalloy Films for Magnetic Recording Thin Film Heads Observed by Spin-Polarized SEM: IEEE Trans. on Magne., MAG-23, (5), pp.2155~2160(1987-9)
- 8) 小柳, 外: 薄膜磁気ヘッドの三次元応力と磁気異方性解析: 日本応用磁気学会誌, 13, (2)(1989)
- 9) 時末, 外: 半導体ウェハ用非接触ハンドリング装置の開発, 昭和63年度精密工学会学術講演論文集, 第3分冊, pp.853(1988-10)
- 10) 豊田, 外: 磁気ディスクドライブ内蔵キャッシュメモリの開発, 1990年電子情報通信学会秋期全国大会, 分冊6, pp.106

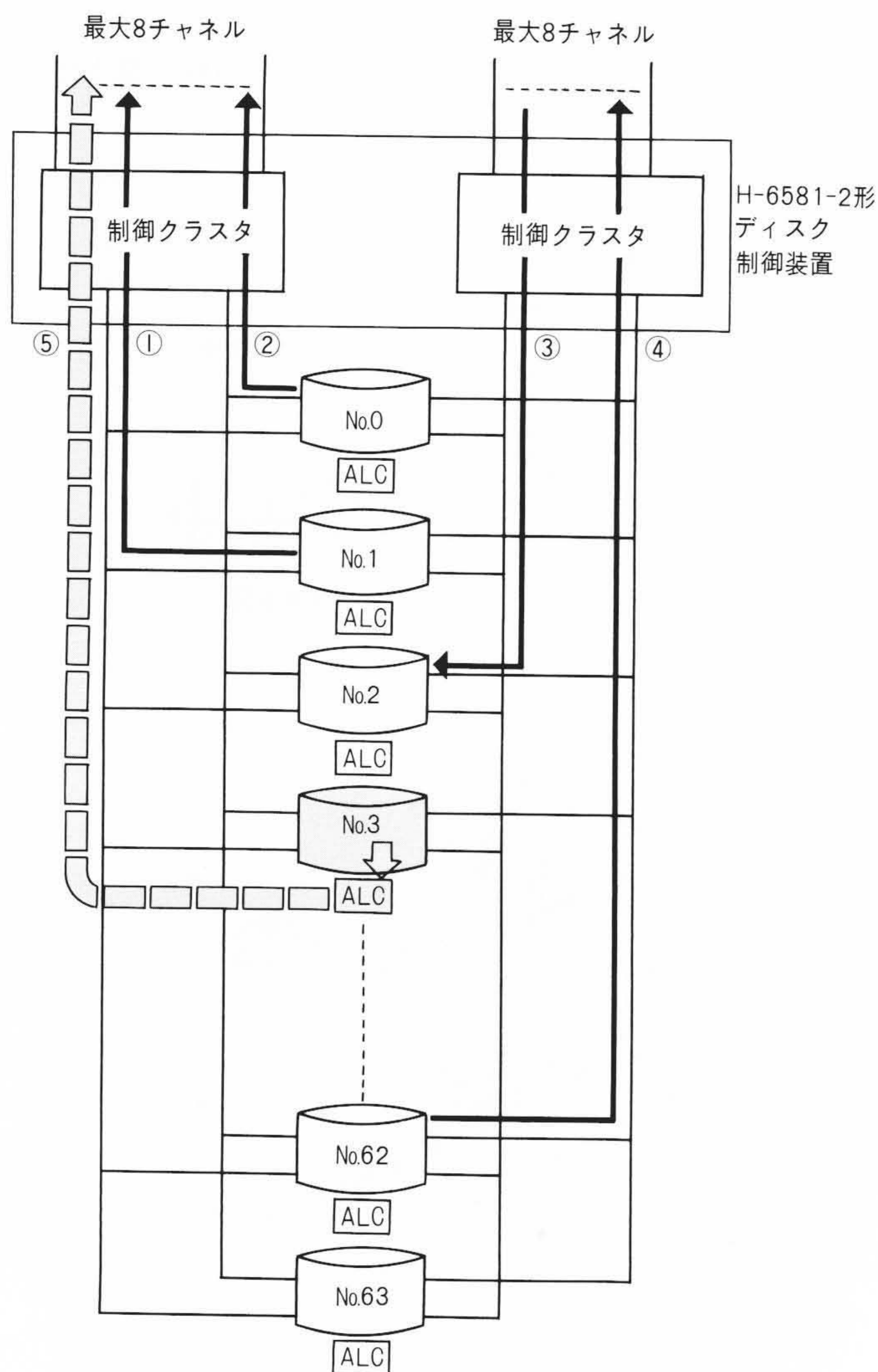


図10 ALCの動作 No. 0, No. 1, No. 2, No. 62のボリュームがパスを占有しているときは、No. 3のデータをALCがバッファリングし、パスの空いたのを待つ。空いた瞬間にNo. 3のデータを上位装置に送る。