



Title	複合型磁気ヘッドの磁気干渉に関する研究
Author(s)	村田, 雄一郎
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3144152
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

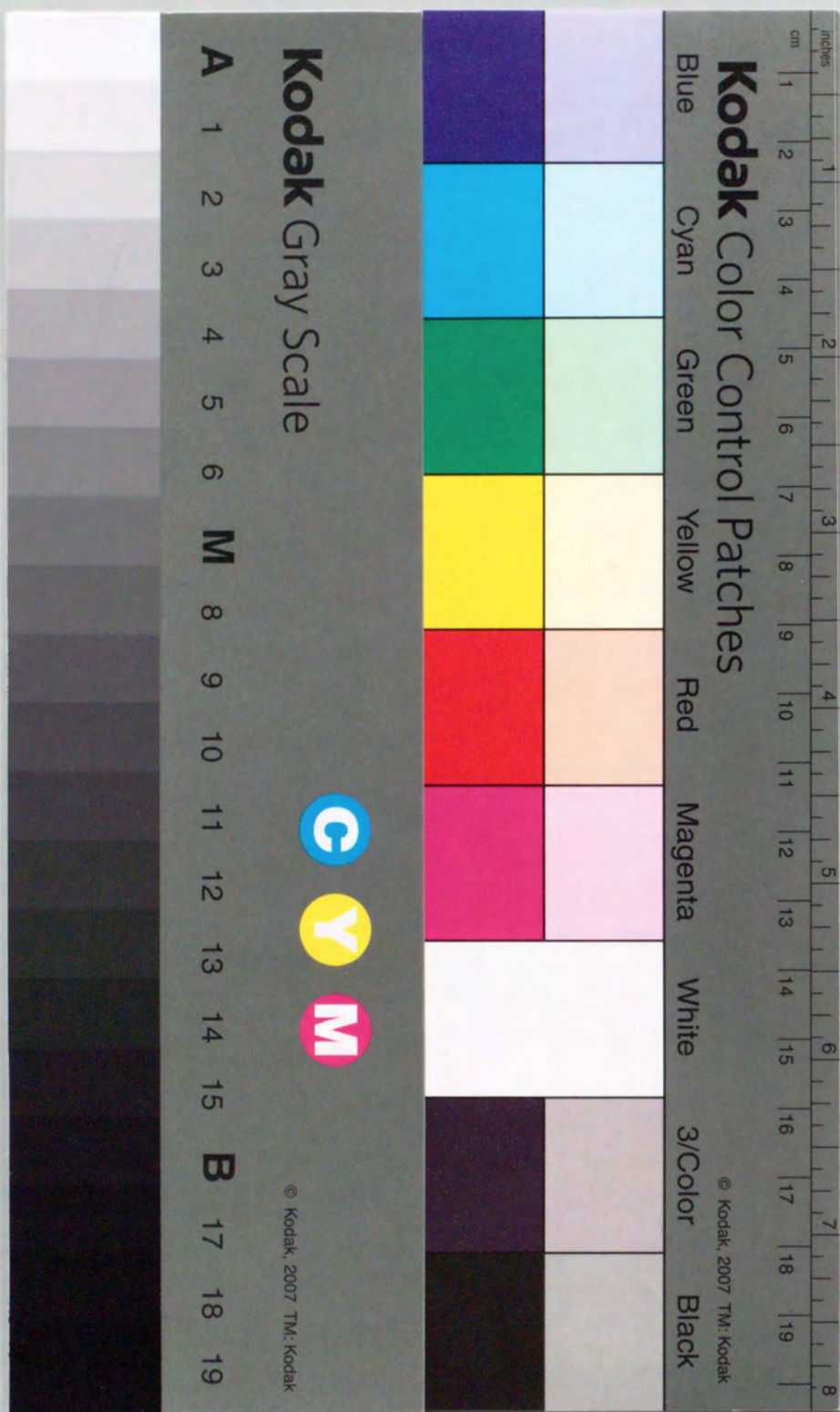
<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

複合型磁気ヘッドの磁気干渉に関する研究

村田 雄一郎

1997年12月



複合型磁気ヘッドの磁気干渉に関する研究

村田 雄一郎

1997年12月

要約

磁気記録装置は磁気的手段を用いて情報を記録したり再生したりする装置のことであり、情報記憶装置に於いて中心的な役割を果たしている。磁気記録装置に付加機能を追加するには、2つ以上の磁気ヘッドが一体化された複合型磁気ヘッドが必要になる。しかし、複合型磁気ヘッドを構成する磁気ヘッドの間に磁気干渉が発生すると、再生波形が歪んでしまい、情報を正しく再生することができなくなる。従来は、磁気ヘッド間に非磁性のスペーサを設け、2つの磁気回路を分離することにより磁気干渉を低減してきた。磁気回路の分離を行うと、磁気ヘッドの断面積が減少し、磁気ヘッドの再生出力が減少するという問題があった。本論文は、磁気ヘッド間の磁気干渉低減と、磁気ヘッドの高出力化の両立を目指したものである。そして、フロッピーディスク装置で用いられている複合型磁気ヘッドを例に、磁気干渉に関する解析方法、低減方法に関する研究をまとめたものである。

まず、複合型磁気ヘッドを構成する記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉によって、再生波形に擬似信号が発生する現象（クロストーク）について検討した。そして、磁気ヘッド内部を通る磁束量と磁気ヘッド外部を通る磁束量のバランスを取るることによって、磁気回路を分離することなくクロストークを低減できることを示した。磁束量のバランスの取り方について3次元有限要素法による磁界解析を用いて検討し、消去ヘッドのバックコアに透磁率の低い材料を用いることにより、クロストークの低減が可能であることを明らかにした。

次に、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉によって、再生波形の対称性が悪化する現象（アシンメトリ）について検討した。消去ヘッドに透磁率の低い材料を用いた複合型磁気ヘッドでは、クロストークは低減されるものの、再生波形のアシンメトリが悪化してしまった。アシンメトリ悪化のメカニズムについて磁界解析を用いて検討し、消去ヘッドの帯磁現象が主な原因であることを明らかにした。消去ヘッドの帯磁を防止するために、消去ヘッド内に磁気的な隙間を設けることにより、アシンメトリの低減を図った。この新しい構造の複合型磁気ヘッドにより、アシンメトリ低減とクロストーク低減の両立が可能になった。

また、外部機器からの交流磁界（外来磁界）による磁気干渉によって、再生波形にノイズ電圧が誘起され、再生信号のS/Nが低下してしまう現象について検討した。磁界解析により外来磁界が磁気ヘッドに侵入するメカニズムを明確にし、記録再生ヘッドと消去ヘッドの突出部を除去することにより、ノイズ電圧を低減した。

これらの検討結果から、複合型磁気ヘッドの高出力化と磁気干渉低減という本研究の目的が達成された。最後に、この複合型磁気ヘッドを、記憶容量が4MBのフロッピーディスク装置に搭載し、装置の総合性能を評価した。モニタディスプレイが発生するノイズ磁界下でも、装置の性能低下が少なく、信頼性のあるシステムを実現することができた。

以上の解析実験結果より、複合型磁気ヘッドにおける磁気干渉の研究に対して、

- ・磁気ヘッド各部を流れる磁束量のバランスを取ることで、磁気干渉を低減する手法の確立
 - ・3次元有限要素法による磁界解析により、磁気干渉問題を定量的に検討する手法の確立
 - ・高出力で磁気干渉の少ない複合型磁気ヘッドによる装置の信頼性向上
- の3点の重要性を明らかにした。

目次

1 章	序論	1
1.1	本研究の背景	1
1.1.1	磁気記録装置	1
1.1.2	磁気ヘッド	2
1.1.3	複合型磁気ヘッド	2
1.1.4	磁気干渉	3
1.2	フロッピーディスク装置	4
1.3	複合型磁気ヘッドの磁気干渉と外来磁界	5
1.3.1	フロッピーディスク装置用複合型磁気ヘッド	5
1.3.2	磁気ヘッド間の磁気干渉	7
1.3.3	外部機器からの外来磁界	8
1.3.4	磁気干渉防止方法とその問題点	8
1.4	本論文で取り扱う問題	9
	参考文献	10
2 章	フロッピーディスク装置の要素技術	12
2.1	磁気記録技術	12
2.1.1	記録過程	12
2.1.1.1	記録の原理	12
2.1.1.2	記録磁界の理論式	13
2.1.2	再生過程	15
2.1.2.1	再生の原理	15
2.1.2.2	ギャップ長と再生出力の関係の理論式	15
2.1.3	消去の原理	17
2.1.3.1	直流消去	17
2.1.3.2	オーバーライト消去	18
2.2	デジタル信号の記録再生技術	19
2.2.1	MFM変調	19
2.2.2	記録再生時の信号処理方式	20
2.3	フロッピーディスク装置のシステム技術	22
2.3.1	フロッピーディスク装置の特徴	22
2.3.2	下位互換機能	23
2.3.3	オフトラック対策	25
2.4	磁気ヘッド技術	27

2.4.1	トンネルイレースヘッドと先行イレースヘッド	27
2.4.2	記録と消去のタイミング	28
2.4.3	ギャップ間距離と再生出力	31
2.4.4	先行イレースヘッドに要求される性能	32
2.5	まとめ	32
	参考文献	33
3 章	記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉	34
3.1	信号再生時に生じる磁気干渉	34
3.1.1	磁気ヘッドの構造	34
3.1.2	漏れ磁束を考慮した磁気干渉のモデル	35
3.1.3	3次元有限要素法による磁気干渉の解析	37
3.1.3.1	T- Ω 法による静磁界解析	37
3.1.3.2	磁気干渉の解析方法	37
3.1.3.3	解析結果	39
3.1.4	磁気干渉の実験結果	42
3.1.4.1	消去バックコアの透磁率とクロストーク	42
3.1.4.2	記録再生ヘッドのギャップ深さとクロストーク	43
3.1.4.3	消去ヘッドに設けたバックギャップとクロストーク	44
3.1.5	解析結果と実験結果の比較	45
3.2	信号記録時に生じる磁気干渉	46
3.2.1	直流バイアス記録による磁気干渉	46
3.2.2	媒体の特性	47
3.2.3	実験結果	48
3.2.4	媒体特性とバイアス磁界の関係	50
3.3	再生過程と記録過程で生じるクロストークの比較	51
3.4	まとめ	52
	参考文献	52
4 章	再生信号波形の対称化	54
4.1	消去ヘッドに低透磁率材を用いて磁気ヘッドの波形対称性	54
4.1.1	ヘッド及び媒体	54
4.1.2	再生波形のアシンメトリの定義と測定方法	55
4.1.3	再生波形のアシンメトリの測定結果	56
4.1.3.1	消去バックコアの透磁率とアシンメトリ	56
4.1.3.2	消去バックコアの残留磁束密度とアシンメトリ	58

4.1.4	消去ヘッドの帯磁現象	59
4.2	信号再生時に生じる再生波形の非対称性	60
4.2.1	残留磁化の解析	60
4.2.2	実験結果及び考察	62
4.2.2.1	帯磁した消去ヘッドによるアシンメトリの変化	62
4.2.2.2	消去ギャップで発生する磁界によるアシンメトリの変化	64
4.2.3	残留磁化によって生じるアシンメトリ	65
4.3	信号記録時に生じる再生波形の非対称性	67
4.3.1	消去ヘッドの漏れ磁束	67
4.3.2	漏れ磁束の解析	68
4.3.3	実験結果及び考察	70
4.3.4	漏れ磁束によって生じるアシンメトリ	72
4.4	消去ヘッドにバックギャップを設けた磁気ヘッドの再生波形の対称性	72
4.4.1	バックギャップを設けた構造の磁気ヘッド	72
4.4.2	バックギャップとアシンメトリ	72
4.5	まとめ	74
	参考文献	74
5 章	外来磁界の遮蔽	76
5.1	3次元有限要素法による外来磁界の解析	76
5.1.1	外来磁界の解析方法	76
5.1.2	外来磁界が磁気ヘッドに侵入するメカニズム	77
5.1.3	ノイズ低減対策の効果の解析結果	79
5.2	実験による外来磁界低減対策の検証	81
5.2.1	1ターンコイルによるシールド効果の測定方法	81
5.2.2	実験結果及び考察	82
5.3	外来磁界に対する耐性の高い磁気ヘッド	84
5.4	まとめ	84
	参考文献	85
6 章	4メガバイトフロッピーディスク用磁気ヘッドの設計と評価	86
6.1	磁気ヘッドの設計	86
6.1.1	4メガバイトフロッピーディスク装置の仕様	86
6.1.2	磁気ヘッドの仕様	87
6.1.3	記録再生ヘッドのギャップ長と記録再生特性	89
6.1.3.1	ギャップ長と再生出力	89

6.1.3.2	ギャップ長とD50	89
6.1.3.3	ギャップ長とオーバーライト特性	90
6.1.3.4	ギャップ長の設定	91
6.1.4	記録再生ヘッドのギャップ深さと記録再生特性	92
6.1.4.1	ギャップ深さと再生出力	92
6.1.4.2	ギャップ深さとD50	92
6.1.4.3	ギャップ深さの設定	93
6.1.5	消去ヘッドの消去特性	93
6.1.5	磁気ヘッドの仕様	94
6.2	実機評価結果	95
6.2.1	再生出力	96
6.2.2	ウインドマージン	96
6.2.3	外来ノイズ磁界に対する耐性	97
6.3	まとめ	98
	参考文献	98
7 章	結論	100
	謝辞	103
	業績リスト	104

1 章 序論

固定ディスクやフロッピーディスクのようなデジタル磁気記録装置にとって、磁気ヘッドは磁気媒体から信号を検出するセンサの役目をしている。磁気記録装置の大容量化に伴い、磁気ヘッドの高性能化が要求されている。磁気ヘッドの高性能化のためには、再生信号の高出力化と共に波形歪みが少ないことが必要となる。再生信号波形は磁気ヘッド間あるいは外部機器からの磁気干渉によって歪んでしまう。磁気ヘッドの高出力化に関しては産業界を中心に様々な研究が行われてきたが、磁気干渉についての研究例は少ない。本論文は、フロッピーディスク装置で用いられている複合型磁気ヘッドを例に、磁気ヘッド間あるいは外部機器からの磁気干渉に関する解析手法、低減手法をまとめたものである。まず1章では、本論文で扱う磁気干渉の定義について説明する。それに基づいて本論文で取り扱う問題領域と意義について述べる。

1.1 本研究の背景

1.1.1 磁気記録装置

磁気記録装置は磁気的手段を用いて情報を記録したり再生したりする装置のことであり、情報記憶装置において中心的な役割を果たしている。磁気記録装置には様々な機器が存在するが、磁気ディスク装置、磁気テープ装置、磁気ドラム装置に大別される。磁気ディスク装置は円盤状の磁気記録媒体（以後単に媒体と呼ぶ）に情報を記録するものであり、デジタル情報が記録される。その代表的な機器として、固定ディスク装置とフロッピーディスク装置がある。磁気テープ装置はテープ状の媒体に情報を記録するものであり、デジタル情報やアナログ情報が記録される。その代表的な機器として、ビデオテープレコーダ（VTR）、デジタルオーディオテープ（DAT）、オーディオテープレコーダ等がある。磁気ドラム装置は円筒状のドラムの外周面に情報を記録するものであるが、現在はあまり使用されていない。

磁気記録装置に記憶することのできる情報量を増加させる大容量化は、装置開発における重要な開発課題である。磁気記録装置の大容量化のためには、磁気記録の記録密度を増加させる必要がある。例えば、計算機用オンラインファイルの主力装置である固定ディスク装置では、10年で10倍のペースで記録密度が向上している [Grochowski94]。現在実用化されている固定ディスク装置の面記録密度は1Mbit/mm²に達しており、3.5インチ径の媒体に1GB（ギガバイト）の情報を記録することが可能である。

単なる情報の記録再生だけでなく、磁気記録装置に付加機能を追加することも、重要な開発課題である。例えば、磁気テープ装置では、同時に多数の情報を記録することができるようマルチチャンネル化が図られている。マルチチャンネル化により、情報を記録再

生する速度は大幅に向上する。更に、媒体に情報を記録すると同時にその情報を再生するリードアフターライト動作を可能にしている。リードアフターライト機能により、記録した情報をベリファイする速度は大幅に向上する。また、VTRでは、情報を記録する直前に古い情報を消去するフライングイレースが行われている。フライングイレースにより、容易にテープ編集を行うことができる。

1.1.2 磁気ヘッド

情報を媒体に記録したり再生したりするには、磁気ヘッドと呼ばれるデバイスを用いて、媒体を磁化させる必要がある。通常の磁気ヘッドは、フェライト [Sugaya68] やパーマロイ [Miyazaki72] などのコア材料を機械加工によって所要の形状寸法に作り、これにコイルを巻いたものである。機械加工によって作られる磁気ヘッドをバルク型磁気ヘッドと呼ぶ。バルク型磁気ヘッドは数ミリの大きさである。また、磁気記録装置の大容量化に伴って、薄膜ヘッドやMRヘッド等が開発されてきた。薄膜ヘッドは、フォトリソグラフィ技術を用いて、コアやコイル導体となる薄膜を適当な基板上に形成したものである [Druyvesteyn79]。薄膜ヘッドは1ミリ以下の大きさであり、磁気ヘッドの寸法の微少化に適する。MR (Magnetoresistive) ヘッドは、磁気抵抗効果を利用して媒体磁化から発生する磁束を検出する再生専用の磁気ヘッドである [Hunt71]。磁気抵抗効果とは、材料の抵抗率が磁束によって変化する現象である。MRヘッドも、フォトリソグラフィ技術を用いて製造させるので、薄膜ヘッドの1つである。

磁気ヘッドの再生信号の電圧は0.2mVから0.5mVである。このとき、磁気ヘッドが検出している媒体の磁束量は 10^{-14} Wbから 10^{-11} Wb程度である。一方、地磁気を直径10mmの円形コイルで検出するときの磁束量は 10^{-7} Wb程度である。磁気ヘッドが検出する磁束量は、地磁気を検出するときの磁束量の 10^{-7} から 10^{-4} の大きさである。従って、磁気ヘッドは非常に高感度な磁気センサであることがわかる。

1.1.3 複合型磁気ヘッド

通常の磁気記録装置では、記録用の磁気ヘッドは再生用の磁気ヘッドと兼用しており、必要となる磁気ヘッドは1つである。磁気記録装置にマルチチャンネルやリードアフターライト等の付加機能を追加するには、2つ以上の磁気ヘッドが必要になる。多数の磁気ヘッドを装置に取り付けると、装置の制御回路が複雑になる。このため、2つ以上の磁気ヘッドを一体化させた複合型磁気ヘッドが必要となる。

図1-1に磁気テープ装置で用いられている複合型磁気ヘッドの外観図とその構造図を示す [Toriu73]。この複合型磁気ヘッドでは、記録用磁気ヘッドと再生用磁気ヘッドが一体化されている。複合型磁気ヘッドでは、多数の磁気ヘッドが狭いスペースの中に配置さ

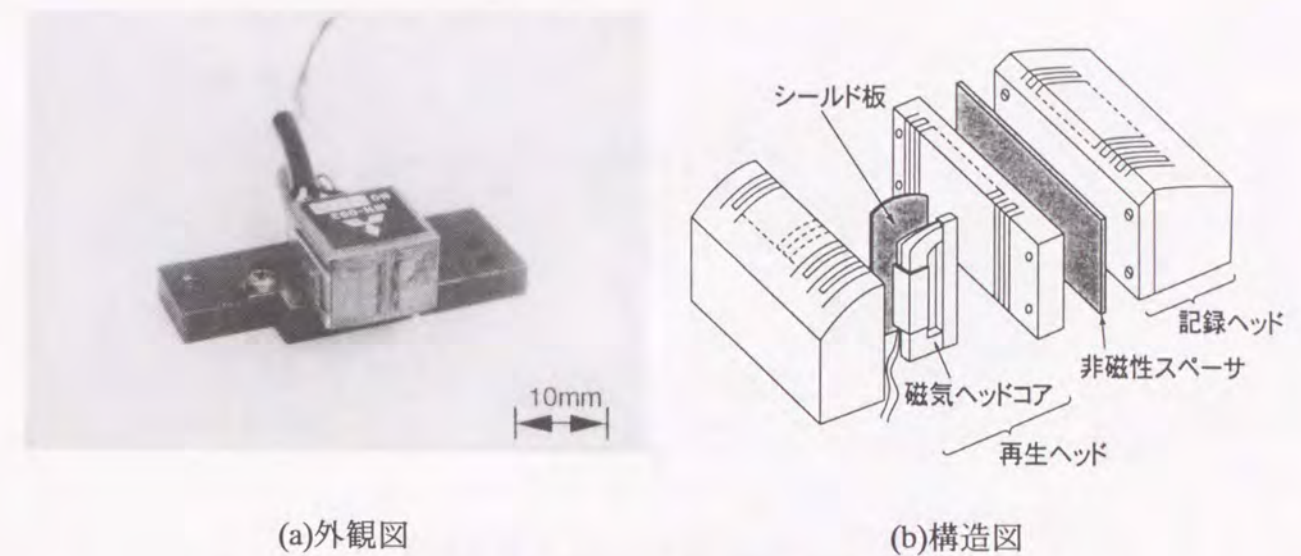


図1-1 磁気テープ装置で用いられている複合型磁気ヘッド

れている。このため、磁気ヘッド間の磁気干渉によって、磁気ヘッドの再生コイルにノイズ電圧が誘起され、再生信号のS/Nが低下する。磁気ヘッド間の磁気干渉を防ぐために、複合型磁気ヘッドでは、非磁性のスペーサを設けたり、シールド板を設けたりする必要がある。このため、複合型磁気ヘッドの構造は複雑なものとなる。

1.1.4 磁気干渉

図1-2は図1-1に示した複合型磁気ヘッドの断面模式図である。この模式図を用いて、再生用磁気ヘッドと記録用磁気ヘッドの間の磁気干渉を説明する。この模式図に示した構成の複合型磁気ヘッドには3種類の磁束が流れている。記録ヘッド内の磁束は媒体に信号を記録するためのものである。再生ヘッド内の磁束は媒体に記録された信号を検出したものである。記録ヘッドと再生ヘッドに共通な磁束は、記録ヘッドから再生ヘッドに漏れる磁束であり、磁気干渉によるものである。再生コイルには、2種類の磁束が鎖交するため、再生波形が歪んでしまい問題となる。

これまでに、磁気テープ装置や磁気ドラム装置の分野において、磁気干渉に関する多数の研究がなされてきた [Nomura69], [Tanaka70], [Kameyama77]。近年、開発が進んでいるMR (Magnetoresistive) ヘッドでは、記録用磁気ヘッドと再生用MRヘッドとの複合型磁気ヘッドとする必要があり、この複合型磁気ヘッドの磁気干渉に関する研究が行われている [Wang97]。しかしこれらの研究は、複合型磁気ヘッド内部を通る磁束のみにしか着目していない。従って、磁気干渉を低減するには、干渉を起こしている2つのヘッド間に共通な磁束を低減させるしか解決策がなかった。すなわち、図1-2に示したように、2つの磁気ヘッドの間に非磁性のスペーサを設け、2つの磁気ヘッドの磁気回路を分離させるという解決策であった。そして、従来の研究はこのスペーサの形状や厚みを最適化し

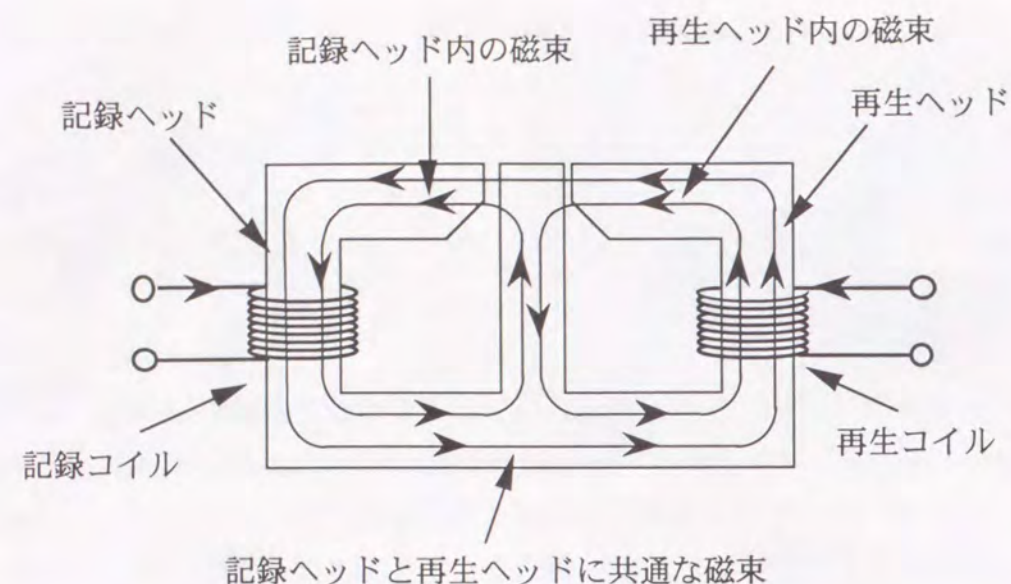


図1-2 図1-1に示した複合型磁気ヘッドの断面模式図

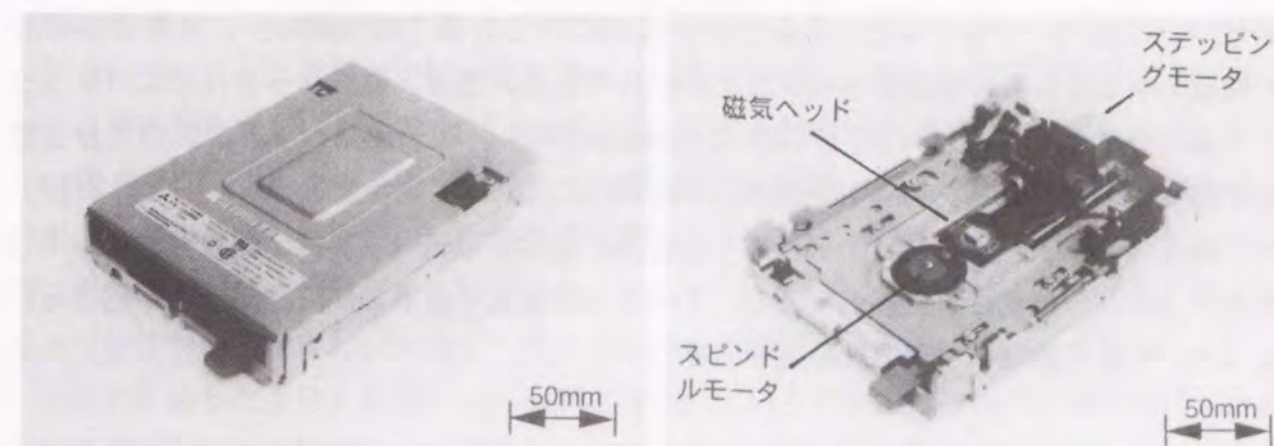
たにすぎない。このため、複合型磁気ヘッドの基本的構造は変わっておらず、その構造は複雑なままであった。

複合型磁気ヘッドで使用されている多数の磁気ヘッドの磁気回路を分離すること無く、磁気干渉を低減することができれば、複合型磁気ヘッドの構造は非常にシンプルなものになる。本研究は、多数の磁気ヘッドの磁気回路を分離すること無く磁気干渉を低減することを目的としたものである。本論文はフロッピーディスク装置用の磁気ヘッドを例として、磁気干渉の解析手法、低減手法に関する研究をまとめたものである。

1.2 フロッピーディスク装置

フロッピーディスク装置は、個人ファイルやデータ保存用のバックアップファイルとして広く用いられている。フロッピーディスク装置は、再書き込み可能で可搬性のある低コスト媒体を情報記録用に用いたものである。現在、3.5インチの媒体に2MB（メガバイト）の情報を記録することが可能な装置 [Katoh81] が普及している。図1-3にフロッピーディスク装置の外観図と内部構造図を示す。媒体はスピンドルモータによって回転する。磁気ヘッドはステッピングモータによって媒体上の所定の位置に移動する。磁気ヘッドの位置決めはオープンループ制御によって行われている。

使用する情報量の増大に伴い、フロッピーディスク装置の大容量化が求められている。フロッピーディスク装置の大容量化には2つの方法がある。1つは磁気ヘッドの位置決めにサーボ機構を導入することにより、記録密度を飛躍的に増加させる方法である [Matsukawa91]。この場合は、固定ディスクで記録密度が向上したのと同様の手法によ



(a) 外観図

(b) 内部構造図

図1-3 フロッピーディスク装置

り、磁気ヘッドと媒体を高性能化し、磁気ヘッドの再生出力を増加させることによって達成することが出来る [Murata89]。しかし、現在普及しているフロッピーディスク装置で媒体に記録された情報を再生したり記録したりすること（下位互換機能）は不可能となる。もう1つの方法は、磁気ヘッドの位置決めに特殊なサーボ機構を導入せずに、現状の装置との下位互換機能を保ったまま、記録密度を増加させる方法である [Imamura86]。このようなフロッピーディスク装置では、磁気ヘッドが位置ずれ（オフトラック）を起こしても正確な信号が再生されるように、媒体に記録された信号領域の外側には、ガードバンドと呼ばれる無信号領域を設ける必要がある。このガードバンドを作成するために、信号を記録再生する記録再生用磁気ヘッドの前方または後方両側には消去用磁気ヘッドが配置されている。記録再生ヘッドと消去ヘッドは一体化され、複合型磁気ヘッドの構造を取っている。

このような複合型磁気ヘッドでは、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉により、記録再生ヘッドの再生波形が歪んだり、再生信号のS/Nが低下したりする。従って、フロッピーディスク装置に用いられている複合型磁気ヘッドの高性能化のためには、高出力化と共に磁気干渉低減が重要な研究課題となる。

1.3 複合型磁気ヘッドの磁気干渉と外来磁界

1.3.1 フロッピーディスク装置用複合型磁気ヘッド

図1-4にフロッピーディスク装置で用いられている磁気ヘッドの外観図とその構造図を示す。フロッピーディスク用の磁気ヘッドは、磁気ヘッドコア、スライダ、ジンバルバネ、シールドリングからなる。スライダとジンバルバネはヘッドを媒体に接触させる役目を果たす。シールドリングは外部からの不要磁界を遮蔽するためのものである。通常、シール

ドリングにはパーマロイなどの金属磁性材料が用いられる [Murata84a]。実際に信号を記録再生をしているのは磁気ヘッドコアの部分である。通常、磁気ヘッドコアにはフェライトなどの酸化物磁性材料が用いられる [Murata84b]。この磁気ヘッドコアの部分に複合型磁気ヘッド、あるいは単に磁気ヘッドと呼ぶ。図1-5に複合型磁気ヘッドの外観図とその構造図を示す。フロッピーディスク装置用の複合型磁気ヘッドは、記録再生ヘッドと消去ヘッドが一体化された構造である。この2つの磁気ヘッドの間に磁気干渉が起こる。以下に、磁気干渉に関する研究課題を示す。

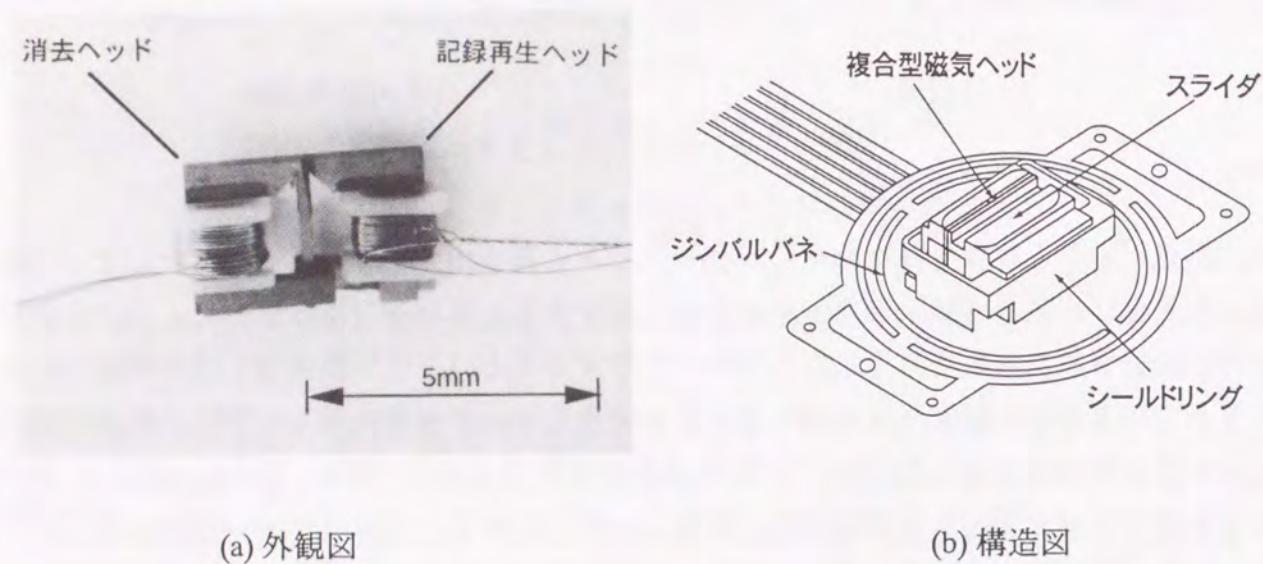


図1-4 フロッピーディスク用磁気ヘッド

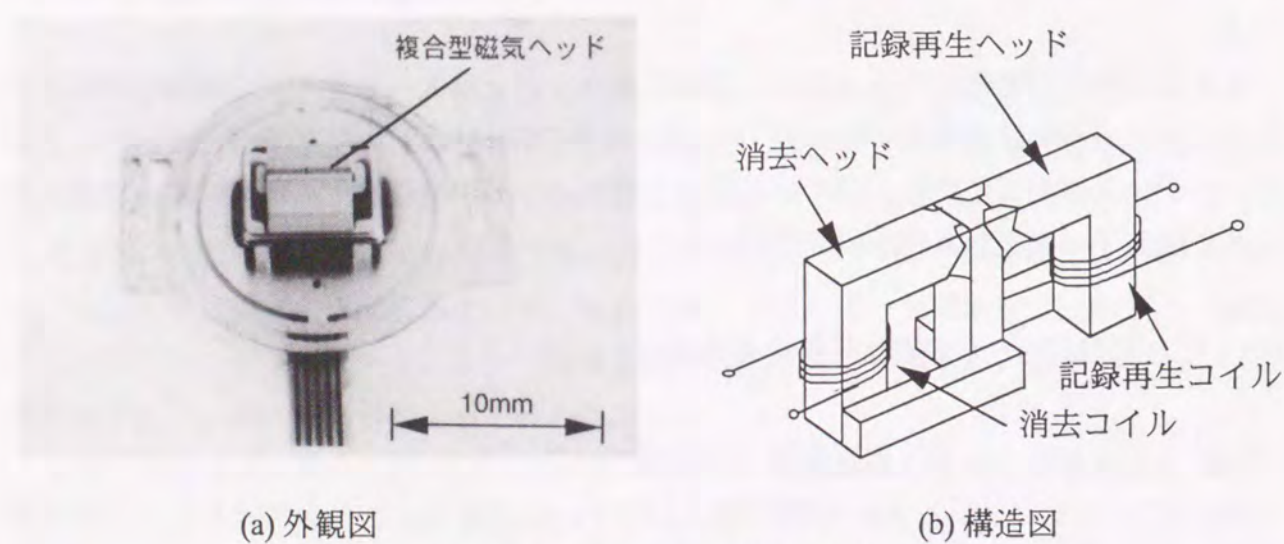


図1-5 フロッピーディスク用複合型磁気ヘッド

1.3.2 磁気ヘッド間の磁気干渉

フロッピーディスク装置では、記録再生ヘッドと消去ヘッドが一体化された複合型磁気ヘッドが使用されている。図1-6は図1-5に示した複合型磁気ヘッドの断面模式図である。この模式図に示すように、複合型磁気ヘッドには、消去ヘッドと記録再生ヘッドの両者に共通な磁束が存在する。この両者に共通な磁束によって、消去ヘッドと記録再生ヘッドの間に磁気干渉が発生し、再生波形を歪ませてしまう。まず、磁気干渉によって生じる波形歪み現象について説明し、本論文で検討した磁気干渉現象を定義する。

媒体に記録した信号を記録再生ヘッドで再生しているときに、消去ヘッドで検出した媒体の信号の一部は記録再生ヘッドに侵入している。このとき記録再生ヘッドで再生した再生波形とその模式図を図1-7に示す。記録再生ヘッドの再生信号は消去ヘッドで検出された擬似信号によって歪んでいる。このように擬似信号により再生波形が歪む現象をクロストークと定義する。擬似信号をクロストーク信号とも呼ぶ。

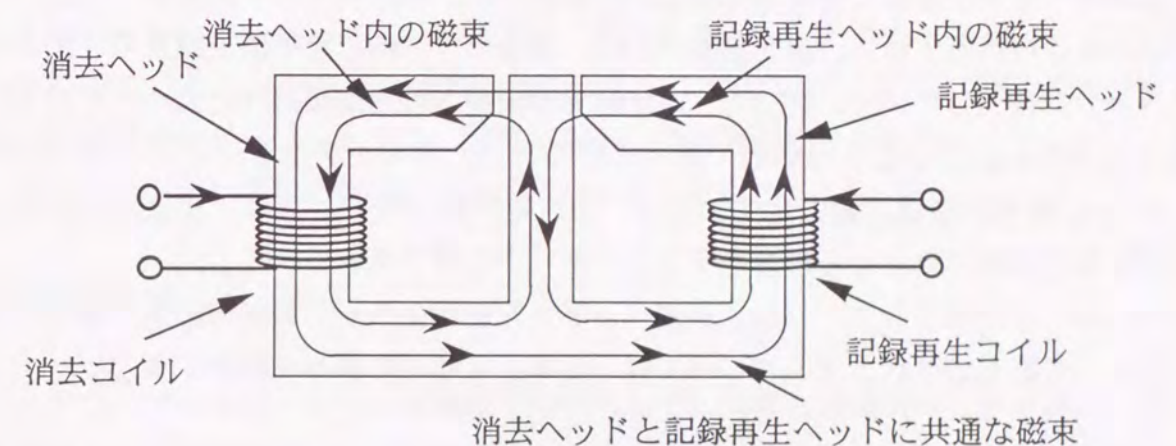


図1-6 図1-5に示したフロッピーディスク用複合型磁気ヘッドの断面模式図

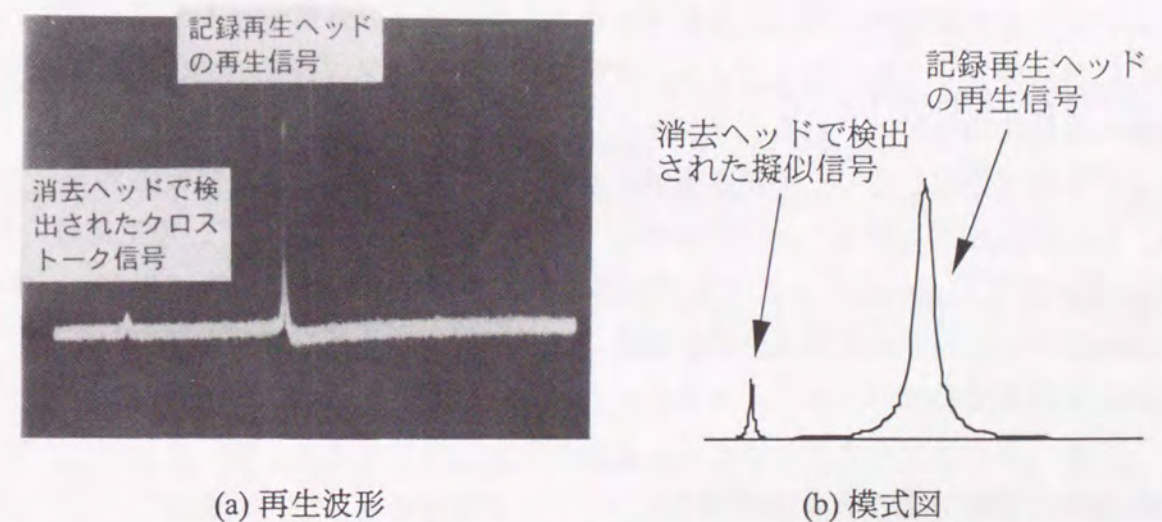


図1-7 クロストーク波形

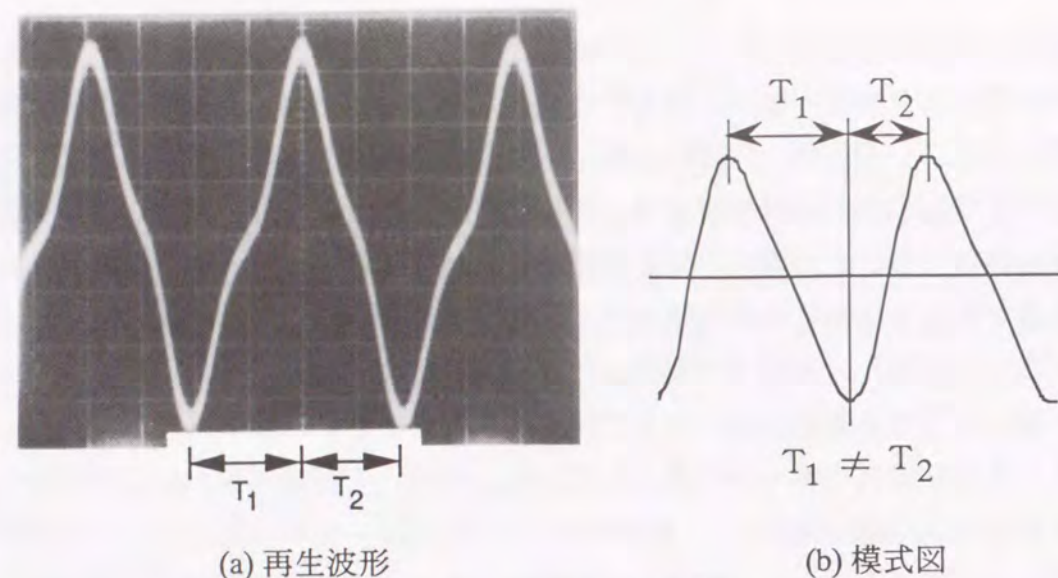


図1-8 アシンメトリ波形

記録再生ヘッドで媒体に信号を記録しているときに、消去ヘッドでは先行して古い信号の直流消去が行われている。信号記録時には、消去ヘッド内の直流消去磁束の一部は記録再生ヘッドに侵入している。従って、直流磁界が重畳された記録磁界によって、媒体に信号が記録される。このような状態で媒体に記録された信号の再生波形とその模式図を図1-8に示す。再生波形は、図に示すように、左右非対称になる。このように直流磁束によって再生波形が非対称になる現象をアシンメトリと定義する。

クロストークやアシンメトリは、消去ヘッドと記録再生ヘッドの間の磁気干渉によって発生する。これらのメカニズムについては、3章、4章にて詳しく検討する。

1.3.3 外部機器からの外来磁界

従来のパソコンやオフコンではフロッピーディスク装置は別置きユニットとされることが多く、またシステムに組み込んでもかなり大きなスペースが許されていた。最近では、フロッピーディスク装置の小型化、薄型化もあり、システムの外形がどんどん小型化されている。これに伴い、フロッピーディスク装置はモニタディスプレイ（CRT）やスイッチング電源の近傍に取り付けられることが多くなっている。これらのユニットは、フロッピーディスク装置で使用している周波数帯域に近い信号を使用しており、交流磁界を発生している。この交流磁界を磁気ヘッドが検出してしまうとノイズとなって、再生信号のS/Nが低下してしまう[Lopez81]。この交流磁界は外部機器からの磁気干渉に相当し、本論文では外来磁界と定義する。外来磁界が磁気ヘッドに侵入するメカニズムについては、5章にて詳しく検討する。

1.3.4 磁気干渉防止方法とその問題点

複合型磁気ヘッドでは記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉が問題になるため、

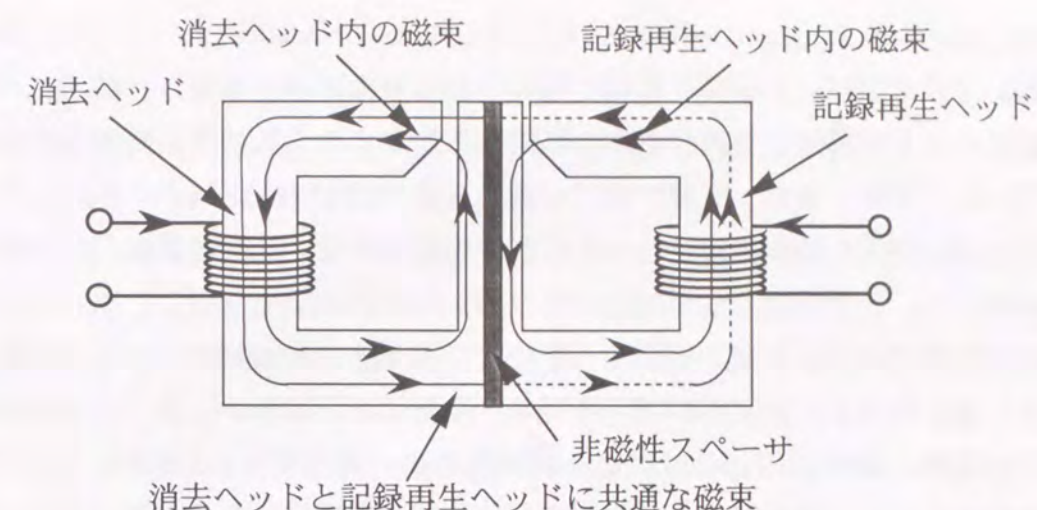


図1-9 フロッピーディスク用複合型磁気ヘッドの磁気干渉防止方法

磁気干渉を低減させる必要がある。図1-9は、従来の方法（1.1.4参照）によって、磁気干渉を低減したものである。従来の方法では、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間に非磁性のスペーサを設ける必要がある。[Yamamori86]。しかしこの方法は、記録再生ヘッドの磁路の断面積が約半分になるため、記録再生ヘッドの再生効率が低下する。従って、非磁性のスペーサを用いずに磁気干渉を防ぐ手法が必要になる。

1.4 本論文で取り扱う問題

本論文は、フロッピーディスク装置で用いられている複合型磁気ヘッドを例に、磁気ヘッド間あるいは外部機器からの磁気干渉に関する解析手法、低減手法をまとめたものである。記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉を非磁性スペーサを用いずに低減させることにより、両ヘッド間の磁気干渉低減と記録再生ヘッドの高効率化が達成される。以下に、本研究で取り上げた磁気干渉問題を示す。

- (1) 消去ヘッドで検出した信号が記録再生ヘッドに侵入し、擬似信号となって記録再生ヘッドの再生波形を歪ませてしまう現象（クロストーク）。
- (2) 消去ヘッド内の直流消去磁束が記録再生ヘッドに侵入し、再生波形が左右非対称になる現象（アシンメトリ）。
- (3) 外部機器からの交流磁界により再生信号のS/Nが低下してしまう現象（外来磁界）。

これらの問題設定は、単にフロッピーディスク用磁気ヘッドの性能を向上させるだけではなく、フロッピーディスクシステム全体の性能を向上させることにもなる。また、フロッピーディスク装置以外にも複合型磁気ヘッドを用いている磁気記録装置すべてに適応が

可能である。

2章においてフロッピーディスク装置で用いられる要素技術を説明し、装置に必要な複合型磁気ヘッドの構造とその性能について明らかにする。この複合型磁気ヘッドの磁気干渉について、3章、4章、5章で検討する。3章では、消去ヘッドで検出した信号が記録再生ヘッドに侵入し擬似信号となって再生波形を歪ませてしまう現象(クロストーク)について検討する。3次元磁界解析を用いてクロストーク現象を解析し、クロストークを低減させる手法を述べる。3章で提案する手法は、再生波形の対称性(アシンメトリ)を悪化させてしまったが、このメカニズムを4章で検討する。また、5章では外部機器からの交流磁界により、再生波形にノイズ電圧が誘起され、再生信号のS/Nが低下してしまう現象(外来磁界)について検討する。6章では、磁気干渉問題の検討結果に基づいて設計した複合型磁気ヘッドを、記憶容量が4MBのフロッピーディスク装置に搭載し、装置の総合性能を評価する。7章では、本論文で得られた結論を述べる。

参考文献

- [Druyvesteyn79] W.F.Druyvesteyn : Wafer testing of thin film record and reproduce heads, IEEE Trans. Magn., Vol.15, pp.1613-1618, (1979).
- [Grochowski94] E. Grochowski : Outlook for maintaining areal density growth in magnetic recording, IEEE Trans. Magn., Vol.30, pp.3797-3800, (1994).
- [Hunt71] R.Hunt : A magnetoresistive readout transducer, IEEE Trans. Magn., Vol.7, pp.150-155, (1971).
- [Imamura86] M. Imamura : Barium ferrite perpendicular recording flexible disk drive, IEEE Trans. Magn., Vol.22, pp.1185-1187, (1986).
- [Kameyama77] 亀山忠彦 : 高密度ドラム用磁気ヘッドの実用化, NTT研究実用化報告, 26, pp.285-305, (1977)
- [Katoh81] Y. Katoh : Development of a new compact floppy disk drive system, IEEE Trans., Magn., Vol.22, pp.2742-2744, (1981).
- [Lopez81] O. Lopez : Effects of magnetic fields on flexible disk drive performance, IEEE Trans. Magn., Vol.17, pp.1417-1422, (1981).
- [Matsukawa91] S. Matsukawa : An Advanced sector servo using a learning, estimating and over-sampling method for a 3.5" 28Mbyte FDD, IEEE Trans., Magn., Vol.27, pp.4484-4489, (1991).
- [Miyazaki72] T.Miyazaki : New magnetic alloys for magnetic recording, IEEE Trans. Magn., Vol.8, pp.501-506, (1972).

- [Murata84a] Y. Murata : Susceptibility of amorphous magnetic materials over a wide frequency range, IEEE Trans., Magn., Vol.20, pp.1302-1304, (1984).
- [Murata84b] 村田雄一郎 : 磁性体の共鳴現象, 電気学会マグネティクス研究会資料, MAG84-145, pp.1-9, (1984)
- [Murata89] 村田雄一郎 : MIGフロッピーヘッドの記録再生特性, 電子情報通信学会春季全国大会, C-43, 5-43, (1989)
- [Nomura69] 野村康雄 : ホットプレスフェライトによる多チャンネルヘッド, 電子通信学会磁気記録研究会資料, MR69-16, pp.1-15, (1969)
- [Sugaya68] H.Sugaya : Newly developed hot-pressed ferrite head, IEEE Trans. Magn., Vol.4, pp.295-230, (1968)
- [Tanaka70] 田中孝 : 磁気ヘッドのクロストーク, 電子通信学会磁気記録研究会資料, MR70-8, pp.1-17, (1970)
- [Torii73] 鳥生次郎 : データカセットテープ用磁気ヘッド, 電子通信学会磁気記録研究会資料, MR73-25, pp.1-12, (1973)
- [Yamamori86] K. Yamamori : High density recording characteristics for Ba-ferrite flexible disks, IEEE Trans., Magn., Vol.22, pp.1188-1190, (1986).
- [Wang97] Z. G. Wang : Crossfeed problems in read-while-write tape heads, IEEE Trans., Magn., Vol.33, pp.2531-2537

2章 フロッピーディスク装置の要素技術

フロッピーディスク装置を開発するには総合技術が必要になる。すなわち、記憶容量を増加させるには、媒体や磁気ヘッドなどの磁気記録技術だけでなく、信号処理技術やヘッド位置決め技術を含むメカトロニクス技術など、関連技術の進歩が必要である。どのような技術を用いて装置のシステム設計を行うかにより、使用される磁気ヘッドの構造が異なってくる。2章では、これらの技術関係を整理すると共に、本論文で用いる専門用語の説明を行う。また、フロッピーディスク装置の記憶容量を増加させるために必要な磁気ヘッドの構造とそのヘッドに要求される性能について述べる。

2.1 磁気記録技術

2.1.1 記録過程

2.1.1.1 記録の原理

磁気記録とは、磁気ヘッドによって媒体を磁化させ、磁気によって信号を媒体に記録する方式のことを言う。磁気ヘッドは一端に空隙（ギャップ）を持つリング状のコアに記録再生用のコイルが巻かれた構造となっている。このギャップを媒体に接触させて信号の記録再生を行う。図2-1に媒体に信号を記録するメカニズムを示す。図は、媒体の厚み方向の断面を示す模式図である。磁気ヘッドのコイルに流した電流によって生じる磁束はヘッド内でループをなしている。しかし、ギャップ部では磁束が通りにくいため、一部の磁束は媒体内部に漏れている。この漏れ磁界によって、媒体を磁化させる。ギャップ部の漏れ磁界を記録磁界と呼ぶ。コイルに流れる電流の方向が逆になると、記録磁界の方向も逆になり、媒体は逆方向に磁化される。このように、媒体を移動させながら、コイルに交流電流を流すことによって、媒体に信号を記録することが出来る。コイルに流す交流電流のことを記録電流と呼ぶ。

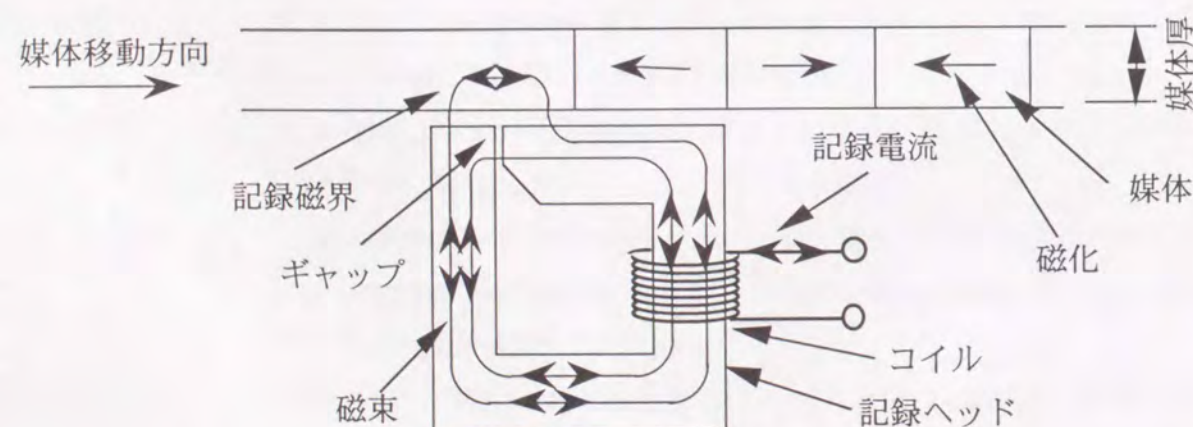


図2-1 記録過程

2.1.1.2 記録磁界の理論式

図2-2は、磁気ヘッドのギャップ近傍の拡大図である。x軸は媒体移動方向を示す。座標(x,y)の点Qにおける媒体移動方向の記録磁界Hxは次式で与えられる [Karlqvist54]。

$$H_x(x,y) = \frac{H_g}{\pi} \left(\arctan \frac{g/2 + x}{y} + \arctan \frac{g/2 - x}{y} \right) \quad (2-1)$$

但し、gはギャップ長、Hgはギャップ中心位置(x=0,y=0)での記録磁界である。図2-3は、記録磁界Hxの媒体移動方向の分布を計算したものである。横軸と縦軸はx/gとHx/Hgで規格化している。ギャップ中心から離れるとともに、記録磁界は減少する。また、ギャップ中心軸上(x=0)の記録磁界は、

$$H_x(0,y) = \frac{2 H_g}{\pi} \arctan \frac{g}{2y} \quad (2-2)$$

で与えられる。図2-4は、ギャップ中心軸上の記録磁界Hxのy方向の分布を求めたものである。横軸と縦軸はy/gとHx/Hgで規格化している。ヘッド表面(y/g=0)から離れるとともに、記録磁界は減少する。ギャップ長と同じ距離だけ離れた点(y/g=1)での記録磁界は、ギャップ長が狭くなるとともに減少する。

磁気ヘッドで媒体に信号を記録する場合、記録磁界が強いほど媒体全体を強く磁化させることができる。図2-5に、ギャップ近傍の記録磁界の計算結果とその模式図を示す。矢印は磁束密度ベクトルである。ギャップ長が2μmの磁気ヘッドでは、ヘッド表面から離れた媒体の深層部まで磁化させることができる。しかし、ギャップ長が0.4μmの磁気ヘッド

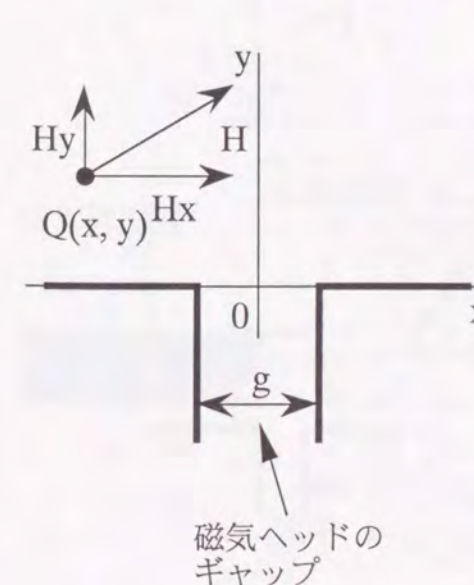


図2-2 ギャップ近傍の座標

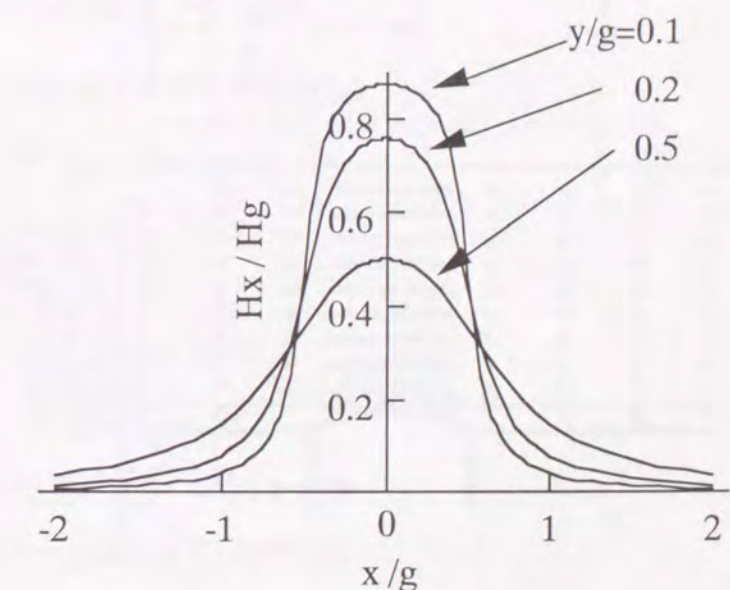


図2-3 記録磁界Hxのx方向の分布

では、媒体の表層部しか磁化させることができない。従って、記録ヘッドのギャップ長は広くしなければならない。

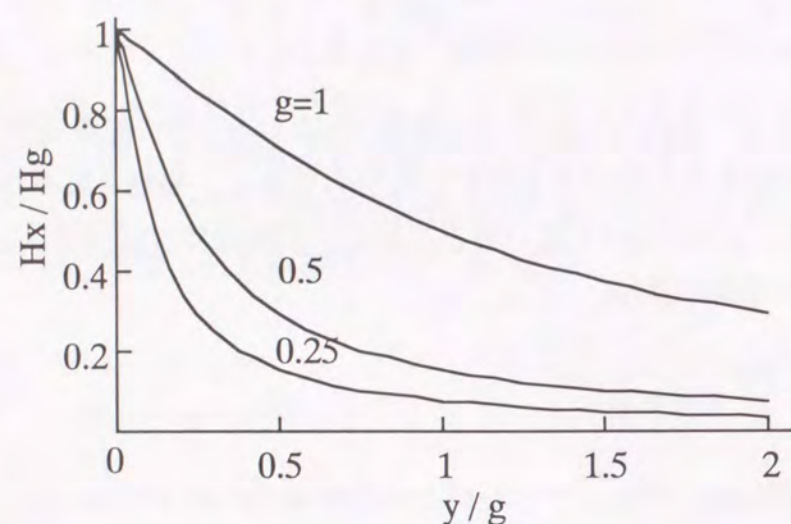


図2-4 記録磁界Hxのy方向の分布

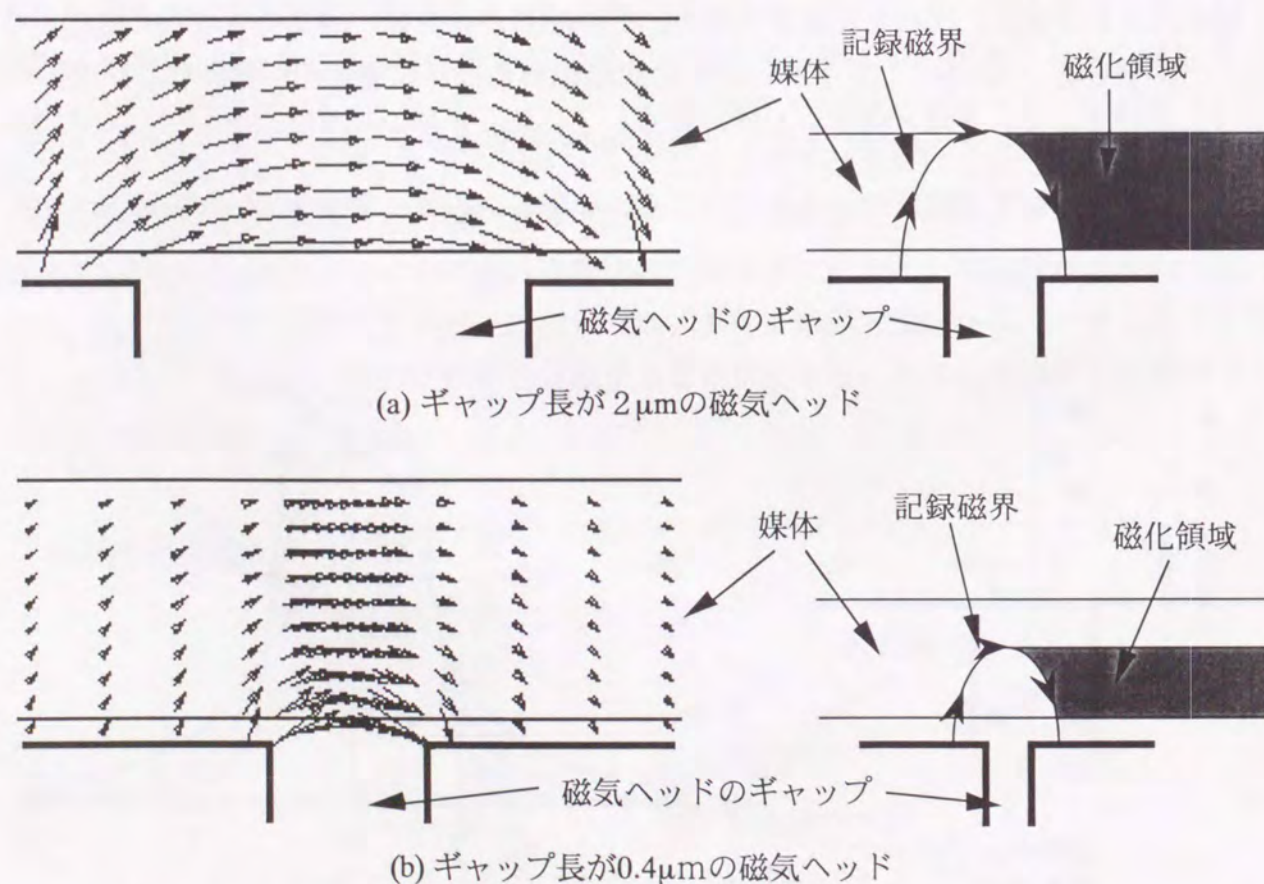


図2-5 ギャップ近傍の記録磁界の計算結果（左図）とその模式図（右図）。計算結果の矢印は磁束密度ベクトルを示す。

2.1.2 再生過程

2.1.2.1 再生の原理

図2-6に媒体に記録された信号を再生するメカニズムを示す。信号を記録した媒体に磁気ヘッドを接触させると、ギャップ上の媒体の磁化から発生する磁束は磁気ヘッド内に侵入し、コイルと鎖交する。媒体が移動すると、記録された磁化パターンの変化によってコイルと鎖交する磁束も時間的に変化する。従って、コイルにはファラディの電磁誘導の法則によって電圧が誘起され、再生信号となる。

図2-6に示したように、ギャップの隙間の長さをギャップ長と呼び、ギャップの隙間の深さをギャップ深さと呼ぶ。ギャップ長とギャップ深さは磁気ヘッドの性能を決める重要なパラメータである。また、媒体に記録された磁化の長さをビット長と呼ぶ。ビット長を短くするほど、記録密度が増加し、媒体に記録される情報の記憶容量は増加する。ビット長の2倍が再生信号の波長となる。

2.1.2.2 ギャップ長と再生出力の関係の理論式

磁気ヘッドのギャップ長と再生信号の出力との関係はギャップロス L_g によって理論的に求めることができる [Lubeck37]。ギャップロス L_g は

$$L_g = \frac{\sin(\pi g / \lambda)}{\pi g / \lambda} \quad (2-3)$$

で与えられる。但し、 g はギャップ長、 λ は記録された信号の波長である。図2-7にギャッ

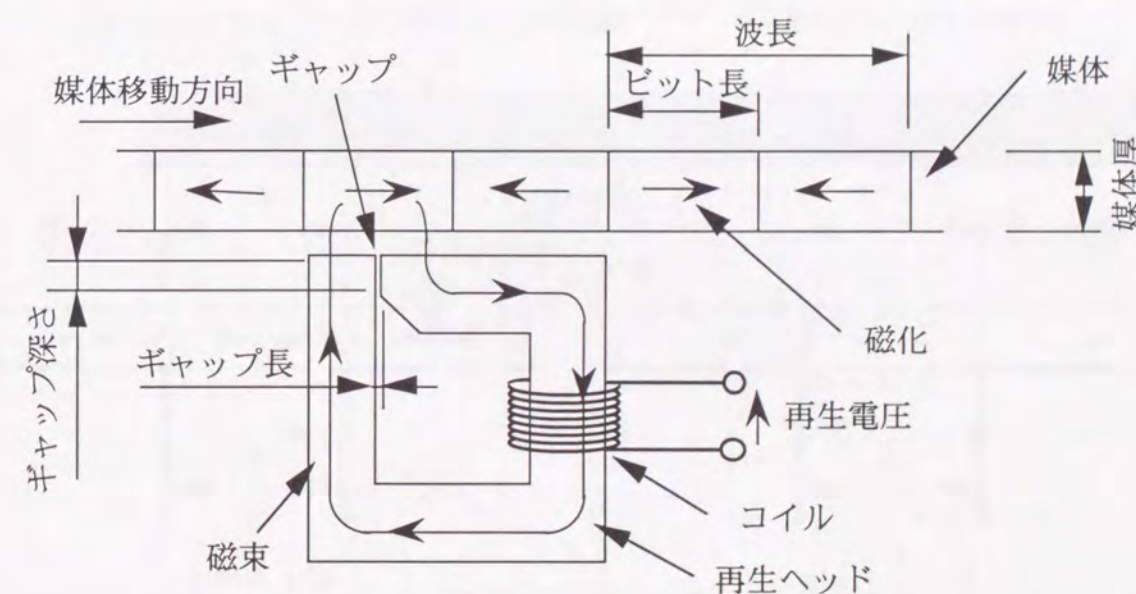


図2-6 再生過程

プ長とギャップロスとの関係を示す。横軸は g/λ で規格化している。縦軸はロスをデシベル表示したものである。ギャップ長が広がるとギャップロスが増加するため、再生出力は低下する。 $g/\lambda=1$ となるギャップ長で再生出力は極小になる。すなわち、媒体に記録された信号の波長とギャップ長が等しくなると再生出力は極小になる。

図2-8に、ギャップ近傍の媒体磁化の模式図を示す。同図(a)は、ギャップ長が信号の波長の $1/2$ の場合である。媒体磁化の起磁力はそのまま磁気ヘッドに加わる。同図(b)は、ギャップ長が信号の波長に等しい場合である。ギャップ上には互いに異なる方向の媒体磁化が存在する。このため、媒体磁化の起磁力が打ち消され、磁気ヘッドで媒体磁化を検出することはできなくなる。記録密度が高くなると、信号の波長は短くなる。このため、ギャップロスが増加し、再生出力が低下してしまう。再生出力の低下を防止するには、磁気ヘッドのギャップ長を狭くする必要がある。

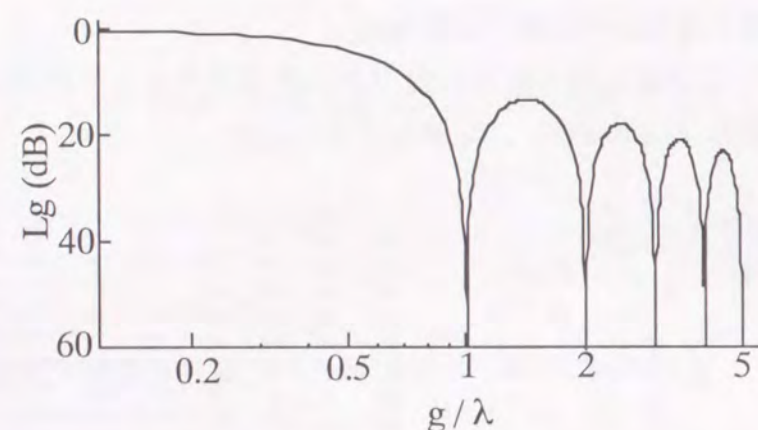


図2-7 ギャップロスの計算結果

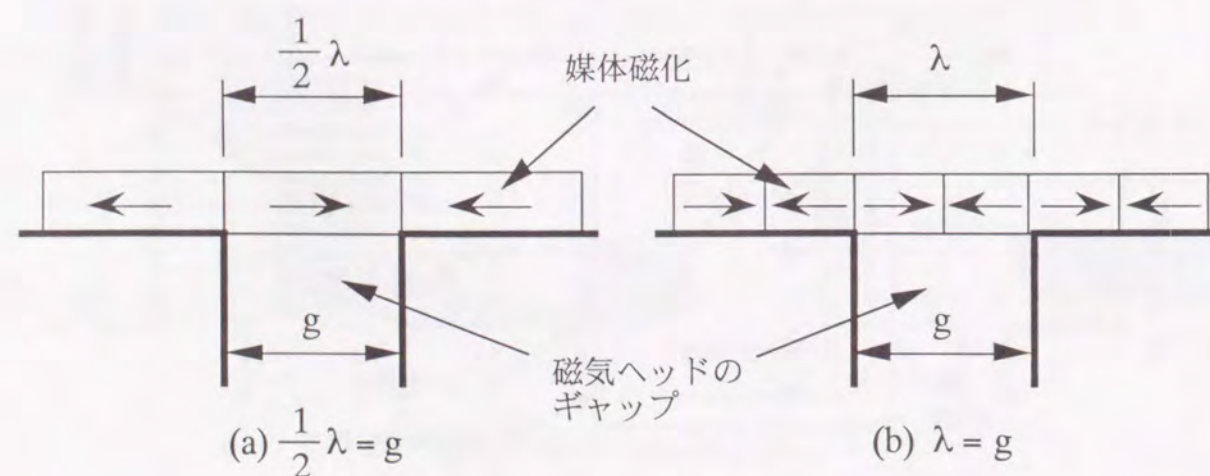


図2-8 ギャップロスの説明図

通常の磁気ヘッドでは、記録用の磁気ヘッドは再生用の磁気ヘッドと兼用しており、記録再生ヘッドと呼ばれている。記録密度の増加に伴う再生出力の低下を防止するには、ギャップ長を狭くする必要がある。ギャップ長を狭くすると、信号記録時に媒体の表面しか磁化させることができなくなる。このため、後述するように、オーバーライトの問題が発生する(2.1.3.2参照)。

2.1.3 消去の原理

消去とは、信号が記録してある媒体の磁化状態を、それから再生出力が実質的に得られない状態に変化させるプロセスである。フロッピーディスク装置では、以下に述べるように、直流消去とオーバーライト消去が用いられている。

2.1.3.1 直流消去

図2-9に媒体に記録された信号を直流消去するメカニズムを示す。消去ヘッドのコイルに直流電流を流して、そのギャップに直流の消去磁界を発生させる。信号が記録された媒体を直流磁界中で移動させると、媒体は一方向に磁化され、信号は消去される。コイルに流す直流電流のことを消去電流と呼ぶ。

図2-10に、ギャップ近傍の消去磁界の模式図を示す。消去ヘッドのギャップ長を記録ヘッドのギャップ長より広く設定することにより、媒体の深層まで十分大きな消去磁界を与えることができる。従って、消去ヘッドのギャップ長を最適化することにより、媒体に記録された信号を完全に消去することが可能となる。

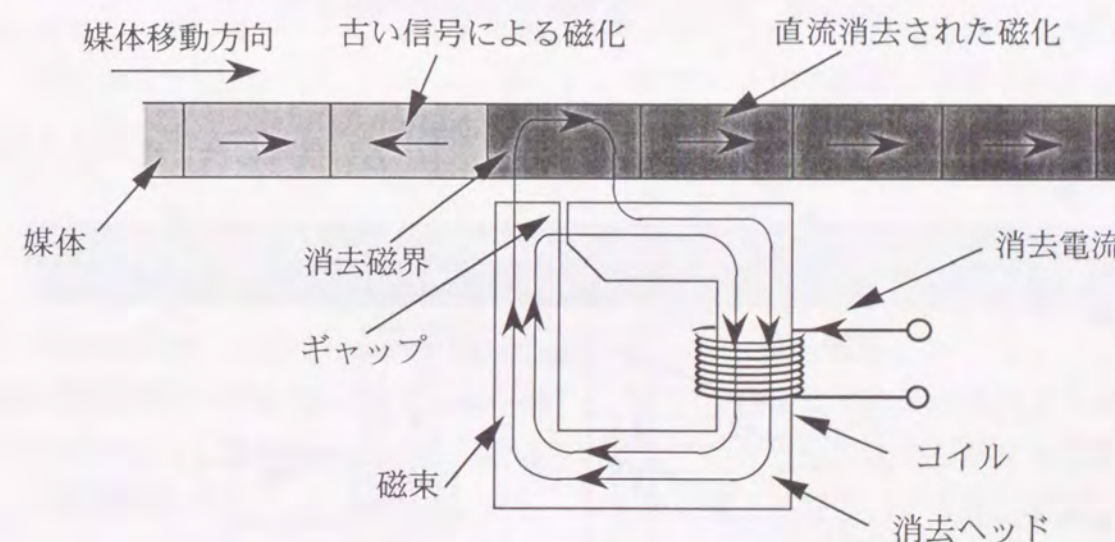


図2-9 直流消去過程

2.1.3.2 オーバーライト消去

図2-11にオーバーライト消去のメカニズムを示す。オーバーライト消去は、記録再生ヘッドで新しい信号を記録することにより、その前に記録されていた古い信号を自動的に消去し、新しい信号に改めるものである。この方式では、消去ヘッドは不要となる。しかし、記録磁界が十分に大きくないと、古い信号の一部が消去されずに残る。消去されずに残った古い信号は、新しい信号の再生時にノイズとなって、再生信号のS/Nを低下させる。古い信号の消し残り成分と新しい信号成分の比をオーバーライト特性と呼び、古い信号の消し残りの割合を示す。

図2-12にギャップ長の異なる記録再生ヘッドでオーバーライトを行ったときの、ギャップ近傍の記録磁界の模式図を示す。ギャップ長が広いほど、媒体の深層まで磁化させることができる。同図 (a) に示すように、ギャップ長の狭い磁気ヘッドで記録し、ギャップ長

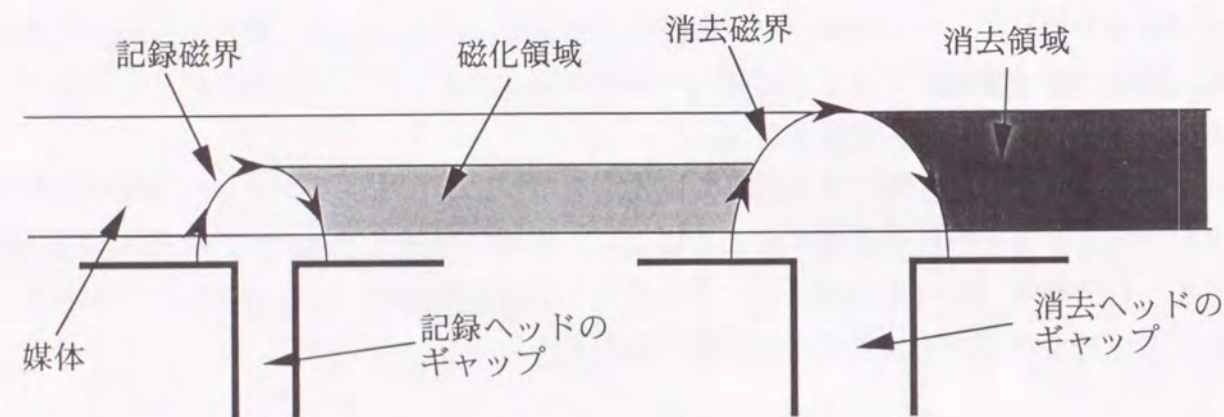


図2-10 ギャップ近傍の消去磁界の模式図

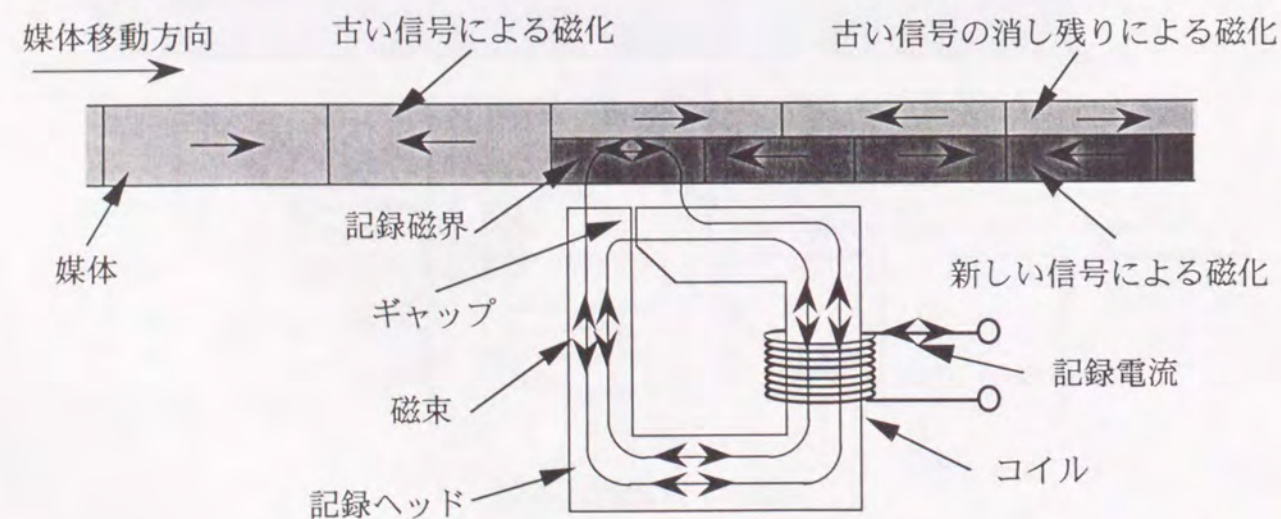
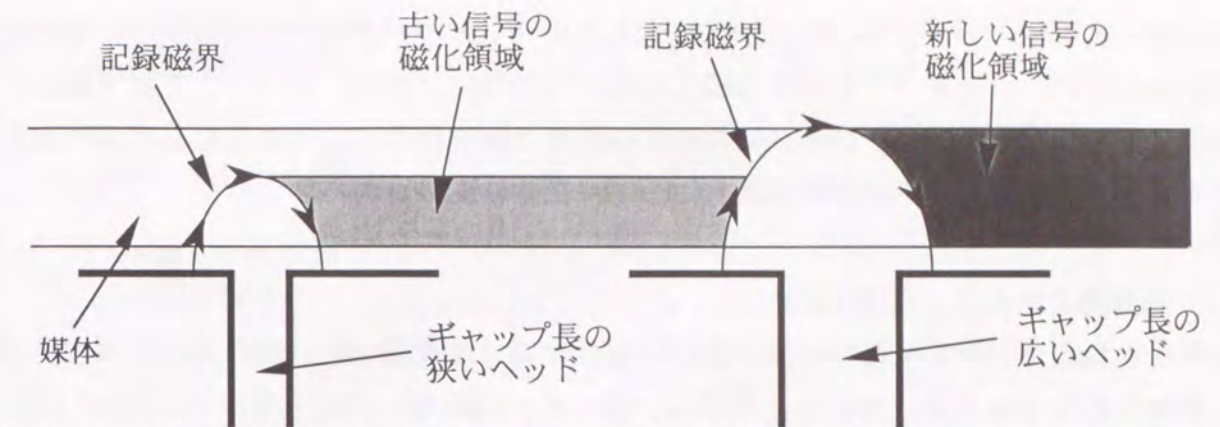
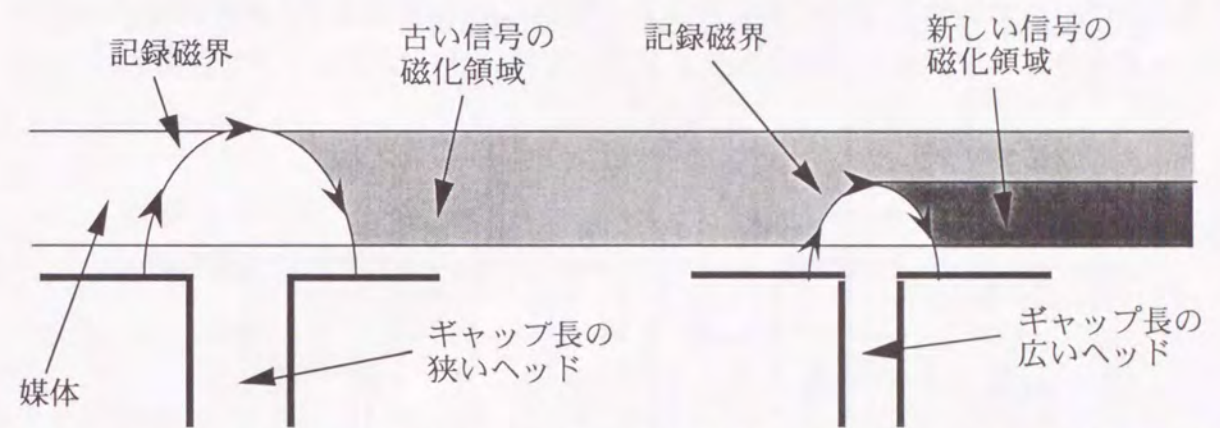


図2-11 オーバーライト消去過程



(a) ギャップ長の狭いヘッドで記録し、ギャップ長の広いヘッドでオーバーライトする場合



(b) ギャップ長の広いヘッドで記録し、ギャップ長の狭いヘッドでオーバーライトする場合

図2-12 オーバーライトを行ったときの、ギャップ近傍の記録磁界の模式図

の広い磁気ヘッドでオーバーライトする場合、オーバーライト特性は問題にならない。しかし、同図(b)に示すように、ギャップ長の広い磁気ヘッドで記録し、ギャップ長の狭い磁気ヘッドでオーバーライトする場合、オーバーライト特性は悪化する。

2.2 デジタル記録の信号処理技術

2.2.1 MFM変調(Modified Frequency Modulation)

磁気記録でデジタル情報を扱うには、「1」と「0」の2値情報を媒体の磁化として記録し、これを2値情報として再生することが求められる。このような記録をデジタル記録と呼ぶ。デジタル記録では情報（データ）の1ビットが1回の磁化反転として媒体に記録される。通常は、データに関する磁化反転と同期用のクロックに関する磁化反転が行われる。このデータと磁化反転（記録電流）との対応関係を、変調方式と呼ぶ。フロッピーディスク装置では、図2-13に示すような、MFM変調(Modified Frequency Modulation)が用いられている。

この変調方式では、データ "1" の部分はビットセル（1 ビットを記録する時間）の中央で磁化反転を行い、データ "0" の部分は磁化反転を行わない。また、データ "0" が連続した部分はビットセルの境界でクロックに相当する磁化反転を行う。このようにして符号化されたデジタル情報は、以下に述べるようにして、媒体に記録される。

2.2.2 記録再生時の信号処理方式

符号化されたデジタル情報を媒体に記録したり、媒体に記録された信号からデジタル情報を再生したりする方法について説明する。図2-14に記録再生回路のブロック図を、図2-15に各部の信号波形を示す [Takahashi89]。図2-14の(a)から(j)の場所に対応する、信号波形を図2-15に示した。図2-15(a)に示すデジタル情報はMFM変調され、(b)に示すシリアルパルス列（ライトデータ）となる。ライトデータはフリップフロップで分周され、(c)

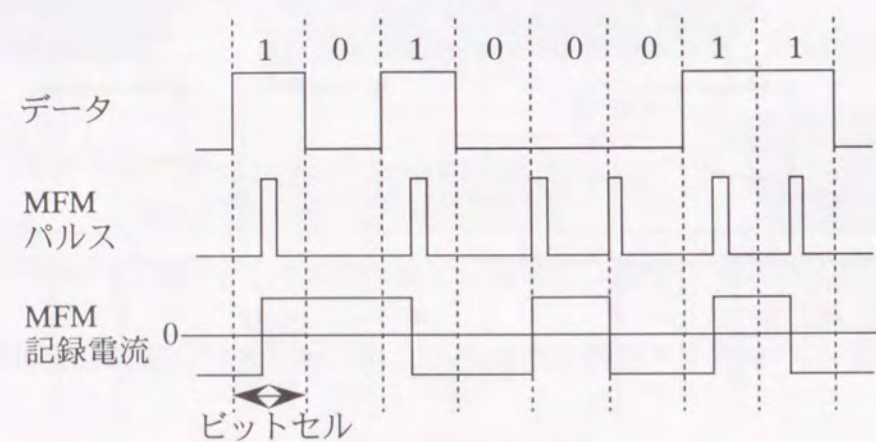


図2-13 MFM変調方式

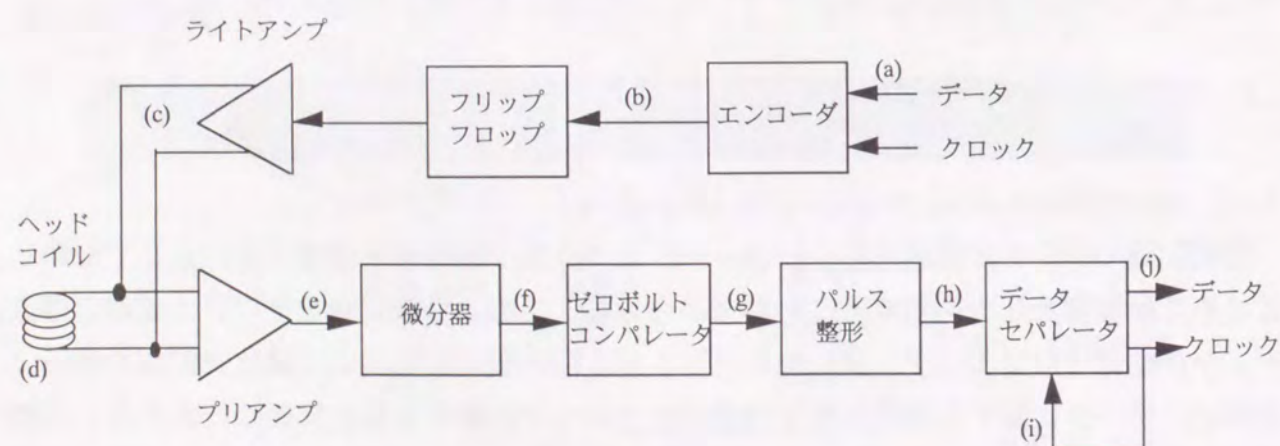


図2-14 記録再生回路のブロック図。
(a)から(j)の場所における信号波形を図2-15に示す。

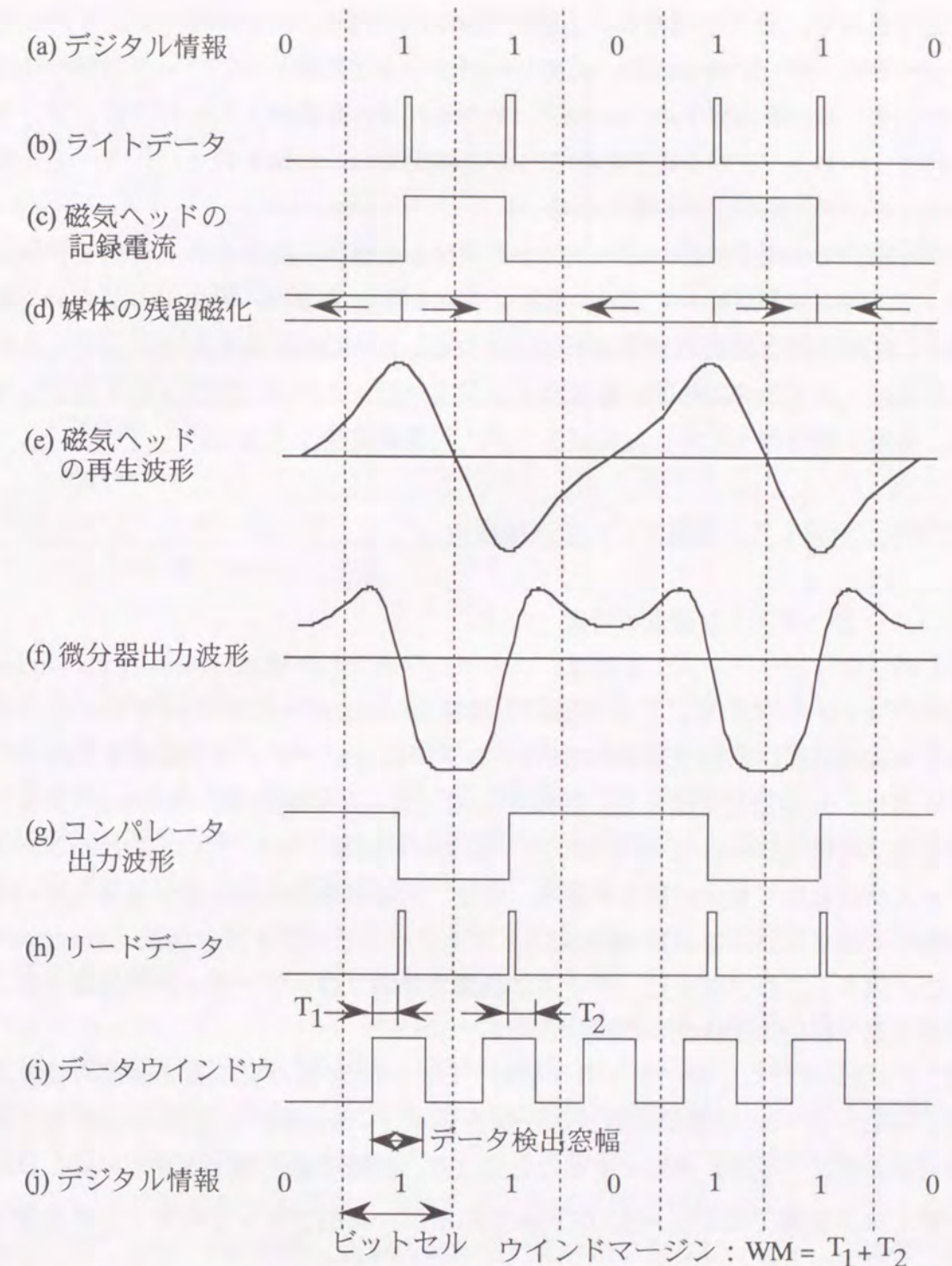


図2-15 記録再生回路各部の波形。
(a)から(j)の波形は図2-14に示した場所の波形である。

に示す記録電流が磁気ヘッドのコイルに流される。これで、媒体内には(d)に示す残留磁化が残る。この残留磁化を磁気ヘッドで再生すると、(e)に示す再生波形が得られる。ライトデータのパルス位置に対応するのは再生波形のピーク点であるため、微分回路を用いて(f)に示す微分波形を得る。つぎに、ゼロボルトコンパレータを用いて微分波形から(g)

に示す信号を得る。この信号の0、1変化点にパルスを作ると(h)に示すシリアルのパルス列（リードデータ）が得られる。このリードデータに同期したクロック信号から(i)に示すデータウインドウを作成する。このデータウインドウの決められた時間幅（データ検出窓幅）内にリードデータが存在するかどうかを検出する。検出されたパルスから、媒体に記録されたデジタル情報(j)が再生される。

デジタル記録では再生波形のピーク位置を検出して媒体に記録された情報を検出している。従って、再生波形が歪んでピーク位置が変化してしまうと、再生出力が十分であっても、媒体に記録された情報の検出は不可能となる。図2-15(i)に示すように、データ検出窓幅に対するリードデータの時間余裕をウインドマージンと呼ぶ。ウインドマージンが大きいほど、情報の検出が不可能になる（エラー）可能性は少なくなる。

2.3 フロッピーディスク装置のシステム技術

2.3.1 フロッピーディスク装置の特徴

初めてのフロッピーディスク装置は、1960年に発表された米国Laboratory for Electronics社のBD-103だといわれている。この装置の記憶容量は15KB(キロバイト)であった。その後、1972年に米国IBM社が記憶容量400KBの8インチフロッピーディスク装置を発表してから、装置の小型化、大容量化が進んだ。1983年にはソニーが記憶容量1MBの3.5インチフロッピーディスク装置 [Katoh83] を発表した。磁気記録技術の進歩と共に、3.5インチフロッピーディスクにおいても大容量化が進み、現在、記憶容量2MBの装置が普及している。また、1986年には東芝が記憶容量4MBの3.5インチフロッピーディスク装置 [Imamura86] を発表した。以下、このフロッピーディスク装置を4MBフロッピーディスク装置と呼ぶ。また、記憶容量が4MBの媒体を4MB媒体と呼ぶ。

現在、3.5インチフロッピーディスク装置では、記憶容量の異なる3種類の装置が実用化されている。表2-1に3種類の装置の仕様を示す [Uchida88]。これらの装置では、ビット長（媒体磁化の長さ）を短くすることにより、記憶容量を増加させている。1MBフロッピーディスク装置ではビット長は2.9 μ mであるが、4MBフロッピーディスク装置ではビット長は0.7 μ mである。このため、記録媒体の保磁力や膜厚等の磁気特性は、各装置によって異なる。また、各装置に用いられる磁気ヘッドのギャップ長も異なる。2.1.2で述べたようにビット長が短くなるにつれてギャップ長を狭くする必要がある。このため、1MBフロッピーディスク装置で用いる磁気ヘッドのギャップ長は1.6 μ mなのに対し、4MBフロッピーディスク装置の磁気ヘッドのギャップ長は0.4 μ mである。そして、各装置はそれぞれの媒体に最適な記録再生ができるように設計されている。

各装置が発表された当初は、異なる記憶容量の媒体への記録再生を1つの装置で行うこ

表2-1 3.5インチフロッピーディスク装置の仕様

記憶容量 (MB)	1	2	4
線記録密度 (kFRPI)	8.7	17.4	34.9
ビット長 (μ m)	2.9	1.5	0.7
トラック密度 (TPI)	135	135	135
トラックピッチ (μ m)	188	188	188
媒体材料	Co- γ Fe ₂ O ₃	Co- γ Fe ₂ O ₃	Baフェライト
媒体保磁力 (kA/m)	50	58	60
媒体厚 (μ m)	1.9	1.0	2.5
消去ヘッド方式	トンネルレズ*	トンネルレズ*	先行イレーズ
記録再生ヘッドギャップ長 (μ m)	1.6	0.8	0.4
ギャップ間距離 (mm)	0.6	0.4	0.2

とは考慮されてなかった。しかし、過去のソフトウェアやデータを継承していくためには、記憶容量の異なるフロッピーディスク装置の間でも、媒体に記録された情報を受け渡す必要がある。このため、フロッピーディスク装置の大容量化が行われても、記憶容量の少ない従来の装置で媒体に記録した情報を記録再生する機能（下位互換機能）が要求されるようになった。この下位互換機能について次に述べる。

2.3.2 下位互換機能

3.5インチのフロッピーディスク装置には、記憶容量が1MB、2MB、4MBの3種類の装置があり、装置によって情報を記録する媒体の磁気特性も異なる。4MBフロッピーディスク装置でこれら3種類の媒体に記録再生ができる下位互換機能は、ユーザの利便性の面から重要である。図2-16に1MBフロッピーディスク装置との下位互換機能の形態を示す [Onoe88]。下位互換機能を実現させるには、1MB媒体に4MBフロッピーディスク装置で信号を記録したり、1MB媒体に記録された信号を4MBフロッピーディスク装置で再生したり書き換えたりする必要がある。表2-1に示したように、1MBフロッピーディスク装置で用いられている磁気ヘッドのギャップ長は4MBフロッピーディスク装置で用いられている磁気ヘッドのギャップ長の4倍である。ギャップ長の異なる磁気ヘッドを用いた装置の間で1MB媒体を記録再生するときに問題になるのは、下記の2つである。

- (1) 4MBフロッピーディスク装置で1MB媒体に記録した信号を、1MBフロッピーディスク装置で再生する場合・・・4MBフロッピーディスク装置では狭いギャップ長の磁気ヘッドを用いているため、このヘッドで信号を記録しても、媒体の表面

部分しか磁化させることができない(2.1.1.2参照)。従って、広いギャップ長の磁気ヘッドを用いている1MBフロッピーディスク装置で記録した場合より、再生出力が低下する。4MBフロッピーディスク装置には低ノイズのアンプが搭載されているため、低出力であっても問題にならない。しかし、従来からある1MBフロッピーディスク装置ではこのような出力低下は想定されておらず、再生信号のS/Nが低下し、情報を再生することができなくなる。従って、4MBフロッピーディスク装置では、記録能力に優れた高出力な磁気ヘッドが必要になる。

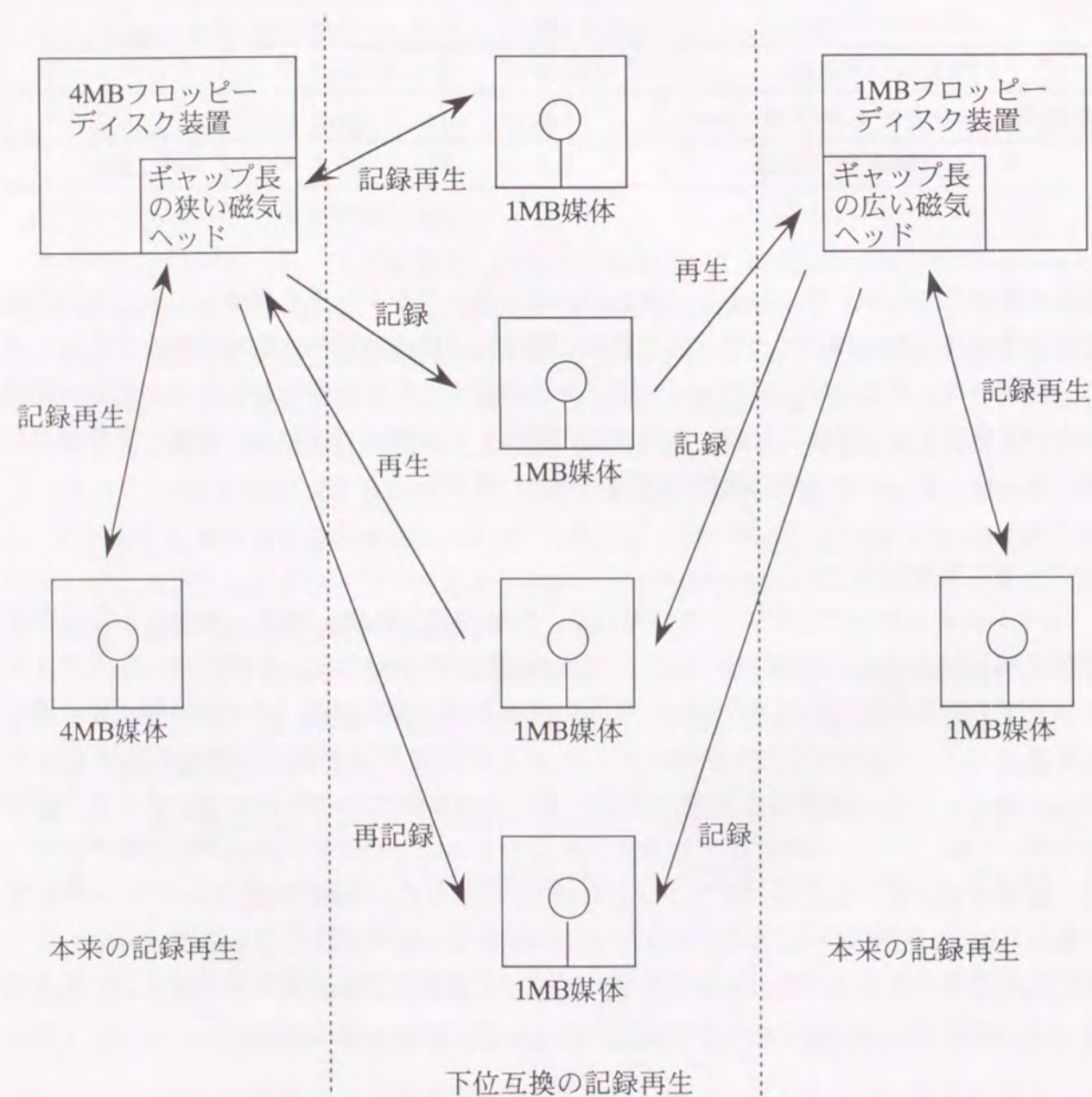


図2-16 下位互換機能の概念図

- (2) 1MBフロッピーディスク装置で1MB媒体に記録した信号を、4MBフロッピーディスク装置で書き換える場合・・・4MBフロッピーディスク装置に搭載されている狭いギャップ長の磁気ヘッドでは、1MBフロッピーディスク装置に搭載されている広いギャップ長の磁気ヘッドで記録した古い信号(媒体の磁化)を十分にオーバーライト消去することができない(2.1.3.2参照)。このため、消し残った信号がノイズとなって、再生信号のS/Nを低下させ、新しく記録された信号を再生することが不可能になる。従って、4MBフロッピーディスク装置では、消去ヘッドによって古い信号を完全に消去してから新しい信号を記録する方式(先行消去)が採用された[Fujiwara85]。

このように、下位互換機能を満足させるためには、先行消去が可能で記録能力に優れた高出力な複合型磁気ヘッドが必要になる。

2.3.3 オフトラック対策

フロッピーディスク装置で用いられる媒体には、図2-17に示すように、信号は同心円状に記録されている。この同心円のことをトラックと呼ぶ。トラックの幅をトラック幅と呼び、トラックとトラックの間隔をトラックピッチと呼ぶ。3.5インチのフロッピーディスクではトラック幅は0.115mmであり、トラックピッチは0.188mmである。下位互換機能を実現するために、表2-1に示した3つの装置でトラック幅やトラックピッチは同じになっている。また、これらの3つの装置では、磁気ヘッドを所定のトラックに移動させる機構はステッピングモータによるオープンループ制御を行っている。そのため、磁気ヘッドと媒体上のトラック位置とは必ず多少の位置ずれ(オフトラック)を起こす。オフトラック

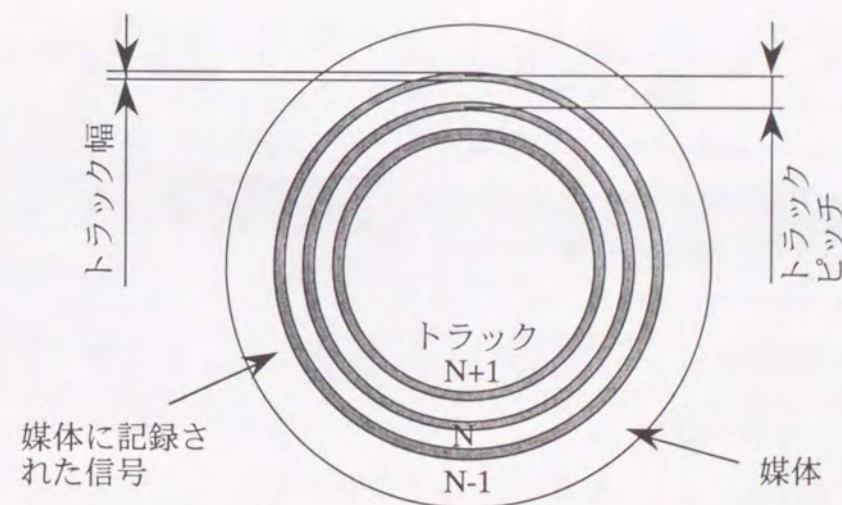


図2-17 フロッピーディスク媒体に記録された信号

は温湿度による媒体の伸縮みや媒体と装置の間の取り付け誤差によって発生する [Greemberg77]。3.5インチのフロッピーディスク装置では、オフトラック量は最大0.053mmになる。この値はトラック幅の約半分である。

図2-18(a)にオフトラックを起こした磁気ヘッドによって、信号が記録再生される様子を示す。図は媒体の表面とヘッド摺動面を示す模式図である。摺動面とは、媒体と接触する磁気ヘッドの表面のことである。磁気ヘッドがオフトラックした状態で新しい信号の記録が行われると、ヘッド位置がずれた分だけ古い信号が残ってしまう。これを元のヘッド位置で再生すると、新旧の信号が混ざってしまい正しく信号を再生することが出来ない。このオフトラックが生じて、正確な信号が再生できるように、図2-18(b)に示すように、信号が記録されているトラックの両側にはガードバンドと呼ばれる無信号領域を設ける必要がある。このガードバンドを作成するために、フロッピーディスク装置に用いられる磁気ヘッドには、記録再生ヘッドの他に特殊な消去ヘッドが必要になる。

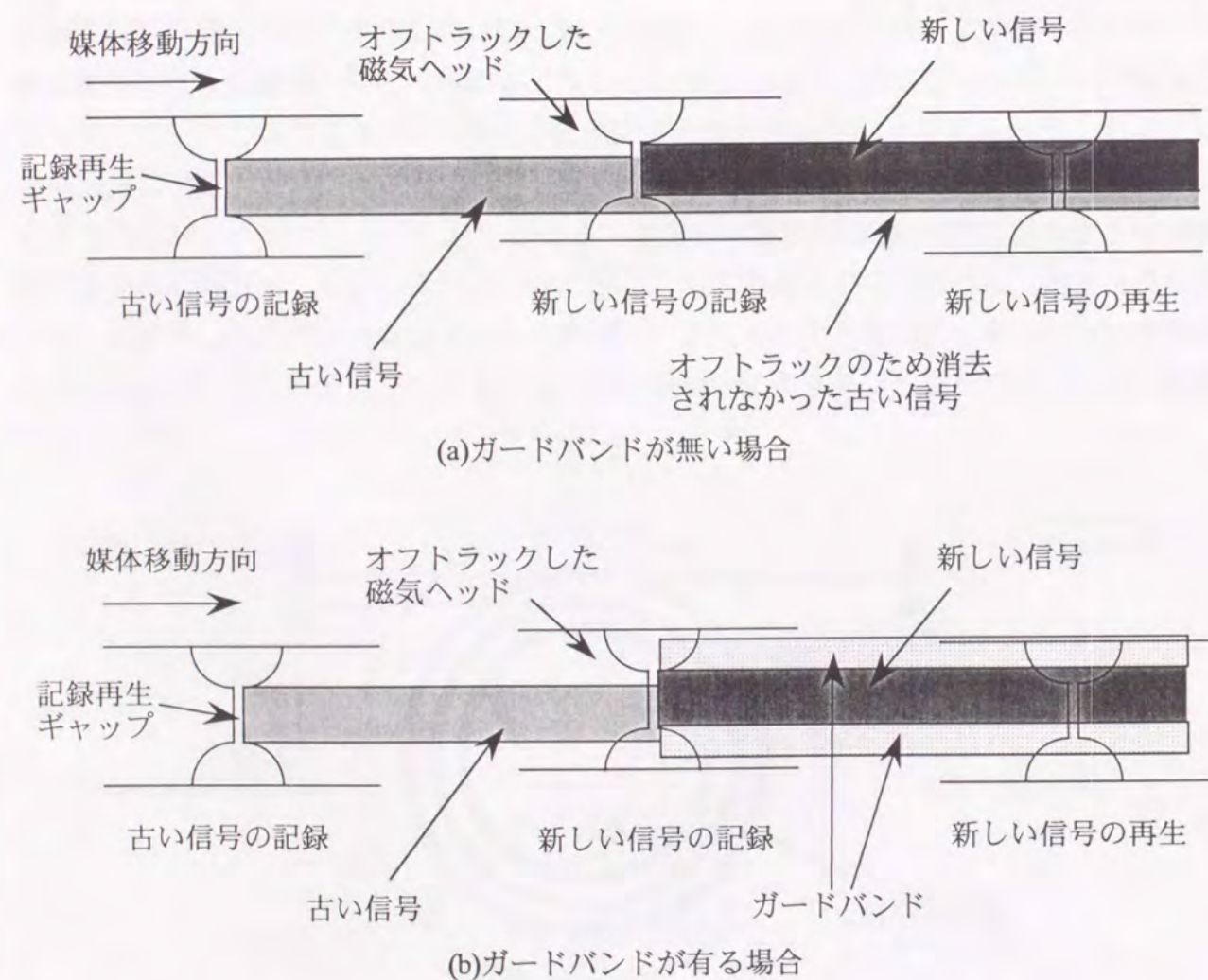


図2-18 オフトラックした磁気ヘッドによる信号の記録

2.4 磁気ヘッド技術

2.4.1 トンネルイレーズヘッドと先行イレーズヘッド

フロッピーディスク装置では、記録再生ヘッドと消去ヘッドが一体化された複合型磁気ヘッドが用いられている。消去ヘッドはトラックの両側にガードバンドを作成するためのものである。この消去ヘッドの構造により2種類のヘッド方式がある。

1つは、記録再生ヘッドの後方両側に消去ヘッドを設けたものであり、トンネルイレーズヘッドと呼ばれている。この磁気ヘッドは、1MBもしくは2MBフロッピーディスク装置で用いられている。図2-19にトンネルイレーズヘッドの摺動面の拡大図とその模式図を示す。模式図によって、トンネルイレーズヘッドで媒体上の信号が書き換えられる様子を説明する。記録再生ギャップによって、古い信号の上に新しい信号が記録される。この後、消去ギャップによって、新しい信号の両側が直流消去され、ガードバンドが形成される。この方式では、古い信号に新しい信号を重ね書きすることにより、古い信号をオーバーライト消去している。このため、下位互換の記録のときには古い信号を完全に消去することができず再生信号のS/Nが低下する(2.3.2参照)。

オーバーライトの問題を解決するために、記録再生ヘッドの前方に消去ヘッドを設けたものが、先行イレーズヘッドである。このヘッドは4MBフロッピーディスク装置で用いられている。図2-20に先行イレーズヘッドの摺動面の拡大図とその模式図を示す。模式図によって、先行イレーズヘッドで媒体上の信号が書き換えられる様子を説明する。まず、消去ギャップによって、古い信号は、ガードバンドの領域も含めて、完全に直流消去される。その後、記録再生ギャップで信号が記録される。このヘッドを用いることにより、古い信号の消し残りにより再生信号のS/Nが低下する問題は解決する。

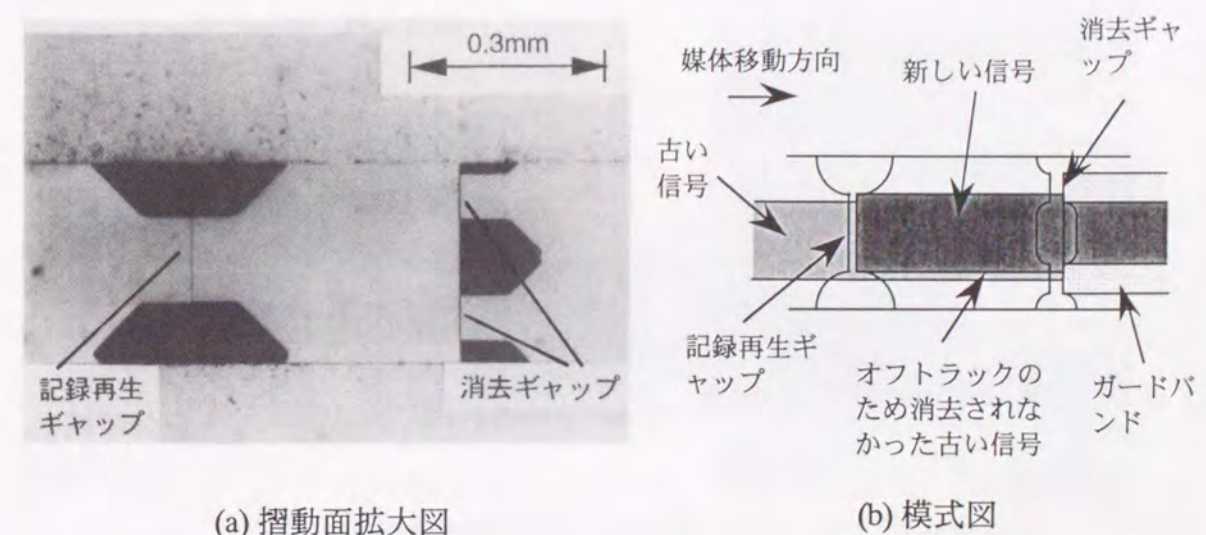


図2-19 トンネルイレーズヘッド

2.4.2 記録と消去のタイミング

フロッピーディスク装置用の磁気ヘッドにおいて、記録再生ギャップと消去ギャップの間の距離をギャップ間距離と呼ぶ。記録再生ヘッドに流す記録電流と消去ヘッドに流す消去電流を同時にオンオフさせると、ギャップ間距離に相当する距離分だけ媒体上の記録領域と消去領域が異なる。記録電流と消去電流を同時にオンさせたときの媒体の磁化パターンとその模式図を図2-21に示す。媒体の磁化パターンはビッタ法により測定した[Bitter31]。

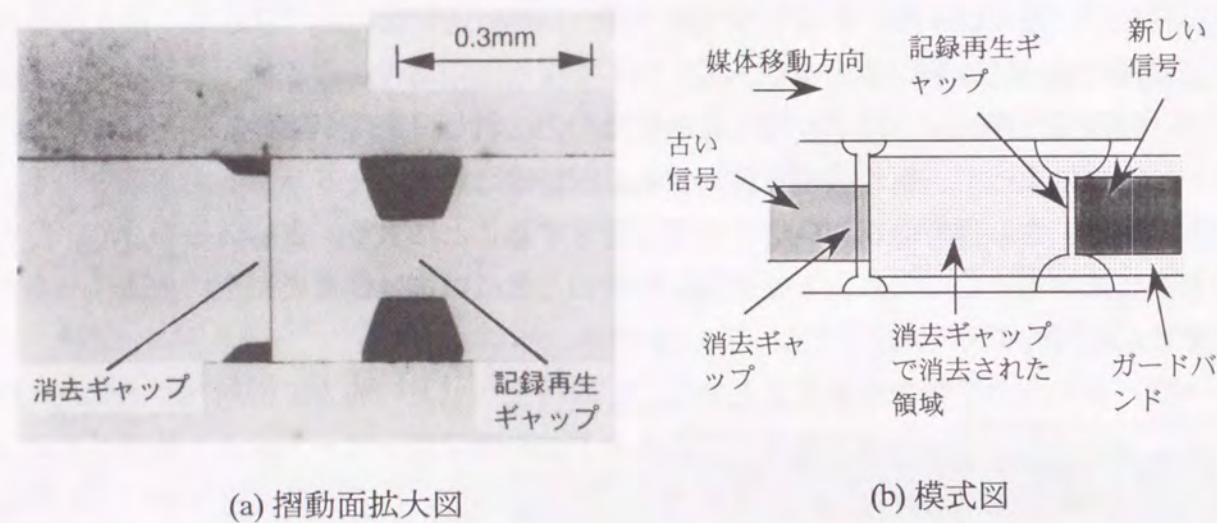


図2-20 先行イレースヘッド

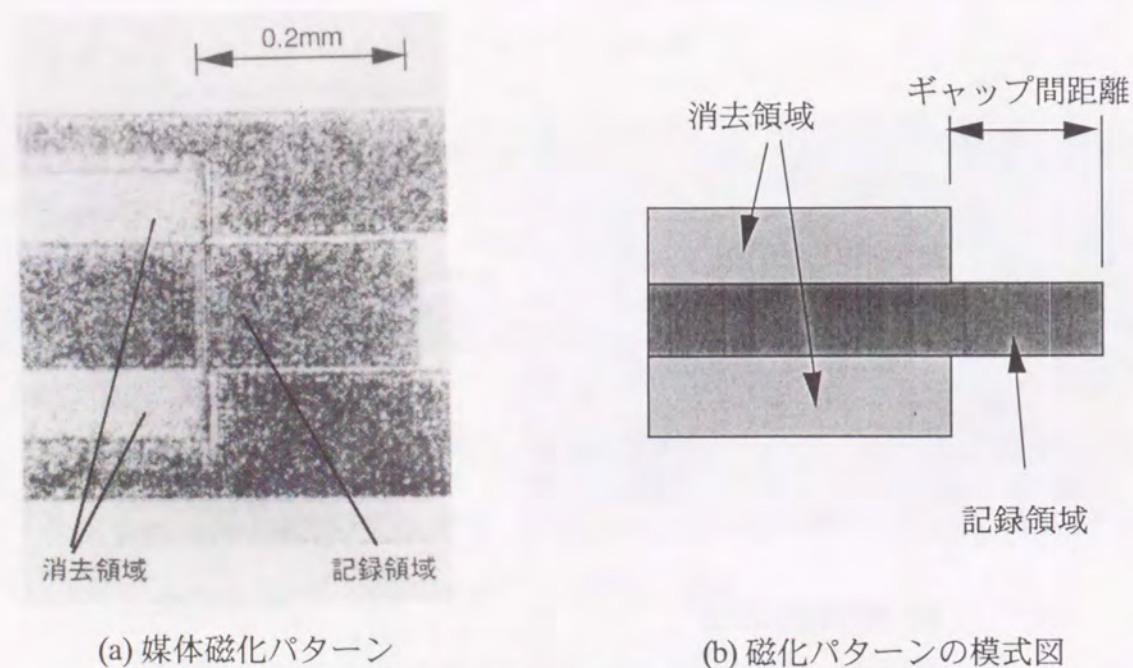


図2-21 媒体の磁化パターン

トンネルイレースヘッドを用いた場合の磁化パターンの模式図を図2-22に示す。同図(a)に示すように、消去領域は記録領域の前方になる。従って、記録開始部分ではガードバンドのみが形成され、記録終了部分ではガードバンドが形成されない。このため、記録開始部分と終了部分は共に情報を記録することができない。そこで同図(b)に示すように、消去電流オンオフのタイミングを記録電流オンオフのタイミングより遅らせることにより、消去領域と記録領域が同じ場所になるようにしている。消去電流と記録電流のタイミングを変えることにより、ギャップ間距離の長さに関係なく媒体に情報を記録することができる。しかし、実際にはギャップ間距離や電流をオンオフするタイミングにばらつきがある。

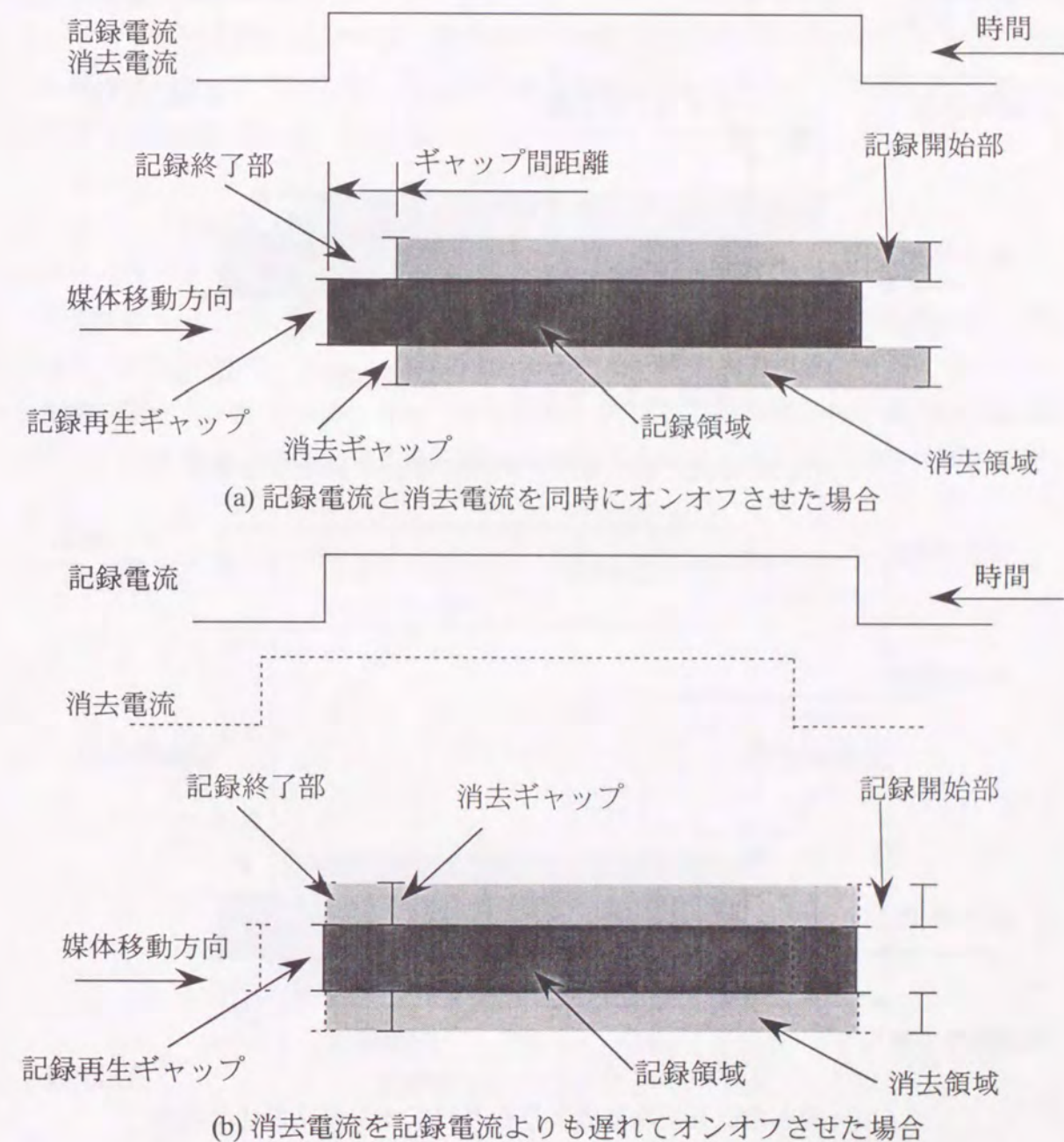
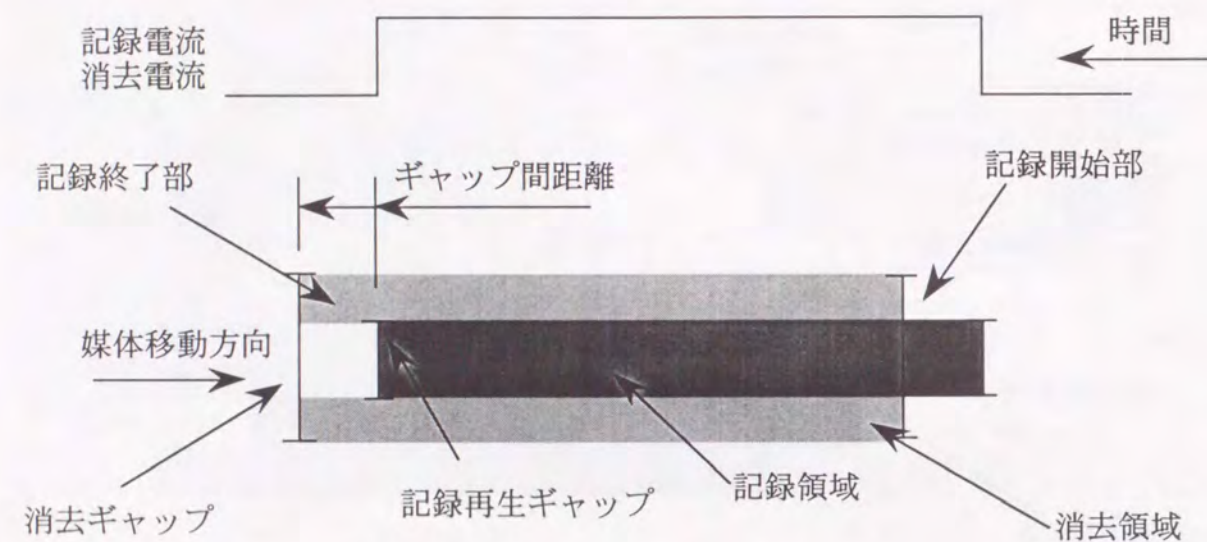


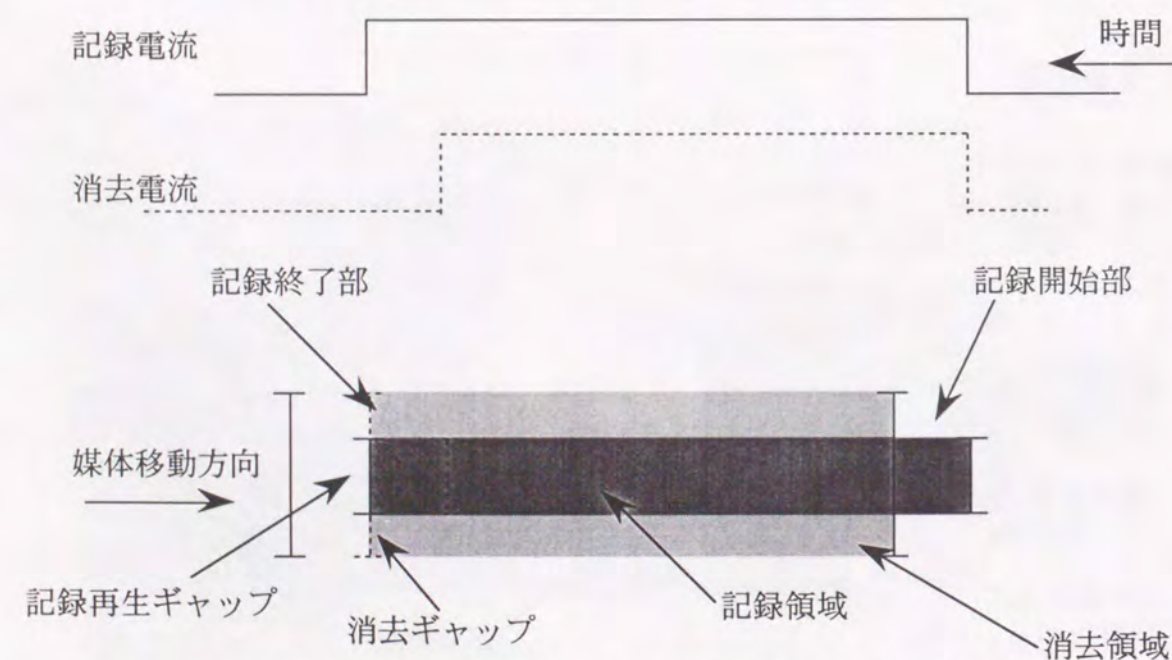
図2-22 トンネルイレースヘッドの消去電流のタイミング

そこで、記録開始部分と終了部分には情報を記録しないように、媒体フォーマットが決められている。記憶容量2MBの標準フォーマットでは、記録開始から0.26mmの長さの領域の情報は未使用となっている。媒体に情報を記録する場合、セクタと呼ばれるブロック毎に情報が記録される。セクタの長さは6mm程度である。従って、記録領域全体の5%に当たる領域が未使用となる。

図2-23に先行イレースヘッドで記録した場合の記録領域と消去領域を示す。記録電流と消去電流を同時にオンオフさせた場合、消去領域は記録領域の後方になる。従って、記録



(a) 記録電流と消去電流を同時にオンオフさせた場合



(b) 消去電流を記録電流よりも遅れてオンオフさせた場合

図2-23 先行イレースヘッドの消去電流のタイミング

開始部分ではガードバンドが形成されず、記録終了部分ではガードバンドのみが形成され、共に情報を記録することはできない。そこで同図(b)に示すように、消去電流オフのタイミングを記録電流オフのタイミングより早くすることにより、記録終了部分の消去領域と記録領域が同じ場所になるようにしている。しかし、消去電流オンのタイミングを記録電流オンのタイミングより早くすると、記録再生ヘッドが再生動作中に消去ヘッドが消去動作に入ることになり、記録再生ヘッドで信号の再生を行うことができなくなる。従って、先行イレースヘッドでは記録開始からギャップ間距離に相当する部分は情報を記録することができない。このため、先行イレースヘッドではギャップ間距離をできるだけ短くする必要がある。トンネルイレースヘッドを用いてフォーマットされた記憶容量2MBの媒体との下位互換性を保つには、この媒体の標準フォーマットで未使用となっている部分の長さ以下にギャップ間距離を設定する必要がある。前述したように、フォーマット上の未使用部分の長さは0.26mmであるが、装置の寸法公差を考慮し、ギャップ間距離は0.2mmにしなければならない。

2.4.3 ギャップ間距離と再生出力

トンネルイレースヘッドのギャップ間距離は0.4から0.6mmであったが、先行イレースヘッドではギャップ間距離を0.2mmにしなければならない。ギャップ間距離を狭くすればするほど、記録再生ヘッドの断面積は減少するため、再生出力は低下する。図2-24は、記録再生磁気ヘッドの断面寸法（ギャップ間距離）と再生効率の関係を計算により求めたものである。磁気ヘッドを構成する材料の比透磁率は2000とした。再生効率は断面寸法が十

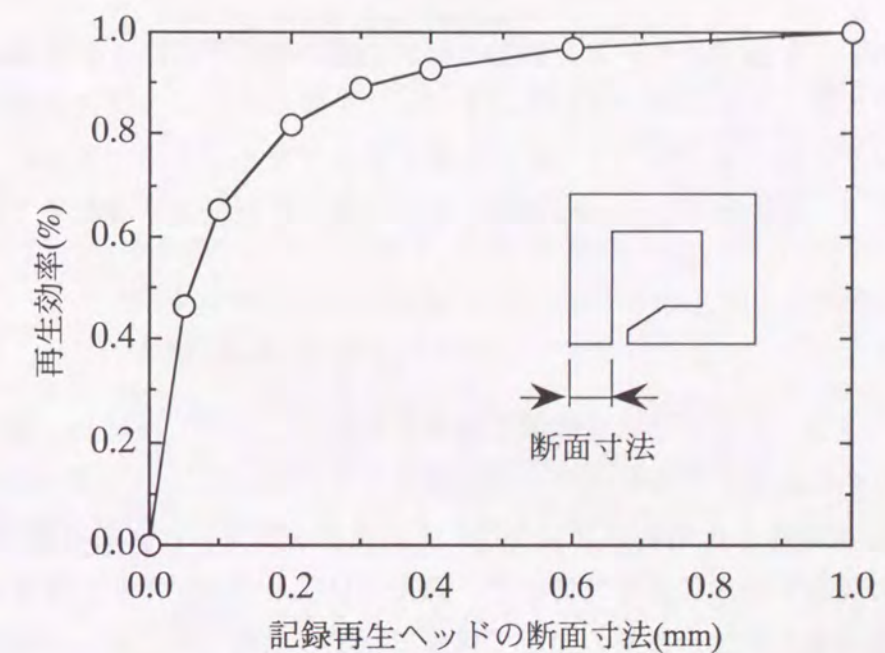


図2-24 記録再生ヘッドの断面寸法と再生効率の計算結果

分長いときの再生効率で規格化している。断面寸法が短くなるにつれて、再生効率は徐々に低下する。断面寸法が0.2mm以下では再生効率の低下は著しい。断面寸法0.1mmの磁気ヘッドの再生効率は断面寸法0.2mmの磁気ヘッドの再生効率の80%しかない。

記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉を防止するために、図1-8に示したように、両ヘッドの間に非磁性のスペーサを設けると、記録再生ヘッドの断面寸法は約半分になる。4MBフロッピーディスク装置に用いる先行イレースヘッドのギャップ間距離は0.2mmしかないため、この間にスペーサを設けると記録再生ヘッドの断面寸法は0.2mmから0.1mmになる。図2-24に示した再生効率の計算結果から、このときの再生出力の低下は20%になる。従って、非磁性のスペーサを用いて磁気干渉を防止するのは望ましくない。

2.4.4 先行イレースヘッドに要求される性能

4MBフロッピーディスク装置で用いられる、先行イレースヘッドでは、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間隔を0.2mmにしなくては、従来のフロッピーディスク装置との互換性を保つことが出来ない。また、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉により再生波形が歪んでしまう現象を防止するために、両ヘッドの間に非磁性のスペーサを設けると、記録再生ヘッドの断面積が低下し再生出力が低下してしまう。また、デジタル記録では、再生波形のピーク位置によって媒体に記録された信号を検出している。このため、4MBフロッピーディスク装置で使用される磁気ヘッドの性能としては、

- (1) 高出力である（再生信号のS/Nが高い）。
- (2) 再生波形の歪みが少ない。

ことが要求される。記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉による再生波形の歪みを防止するために、両ヘッドの間に非磁性のスペーサを設けるという従来の設計法では、先行イレースヘッドにおける上記 (1), (2) の性能を両立させることができない。この問題を解決するためには、非磁性のスペーサを用いずに磁気干渉を低減させなくてはならない。

2.5 まとめ

この章では、フロッピーディスク装置に関連する技術について説明し、装置の記憶容量を増加させるために必要となる磁気ヘッドの構造とその性能について述べた。

3.5インチ径の記録媒体を用いるフロッピーディスク装置では、記憶容量が1MB、2MB、4MBの3種類の装置が順次発表されてきた。過去のソフトウェアやデータを継承していくためには、記憶容量の少ない従来の装置で媒体に記録した信号を、新しい装置で記録再生する必要がある。1MBフロッピーディスク装置で1MB媒体に記録された信号を4MBフロッピーディスク装置で書き換える場合、4MBフロッピーディスク装置で用いられているギャ

ップ長の狭い磁気ヘッドでは、媒体に記録された古い信号を十分に消去することができない。従って、4MBフロッピーディスク装置では、記録再生ヘッドの前方に消去ヘッドを配置した先行イレースヘッドが必要となる。

先行イレースヘッドでは、従来の装置で記録された媒体フォーマットとの互換性を保つために、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間隔を0.2mmにしなくてはならない。従来の設計法では、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉を防止するために両ヘッドの間に非磁性のスペーサを設けなくてはならない。非磁性のスペーサは記録再生ヘッドの断面積を減少させるため、再生出力が低下してしまう。出力低下の問題を解決するためには、非磁性のスペーサを用いずに磁気干渉を低減させなくてはならない。3章では、非磁性のスペーサを用いずに磁気干渉を低減させる方法について説明する。

参考文献

- [Bitter31] F. Bitter : On inhomogeneities in the magnetization of ferromagnetic materials, Phys. Rev., 38, pp.1903, (1931).
- [Fujiwara85] T. Fujiwara : Barium ferrite media for perpendicular recording, IEEE Trans. Magn., Vol.21, pp.1480-1485, (1985).
- [Imamura86] M. Imamura : Barium ferrite perpendicular recording flexible disk drive, IEEE Trans. Magn., Vol.22, pp.1185-1187, (1986).
- [Greenberg] H. J. Greenberg : Dimensional stability of floppy disks, IEEE Trans. Magn., Vol.13, pp.1397-1399, (1977).
- [Katoh83] Y. Katoh : High density magnetic recording on a 3.5 inch micro floppy disk drive system, IEEE Trans. Magn., Vol.19, pp.1707-1709, (1983).
- [Karlqvist54] O. Karlqvist : Calculation of the magnetic field in the ferromagnetic layer of a magnetic drum, Trans. R. Inst. Technol., 86, pp.3, (1954).
- [Lubeck37] H. Lubeck : Magnetische schallaufzeichnung mit filmen und ringkopfen, Akust. Z., 2, pp.273, (1937).
- [Onoe88] 尾上彰 : 3.5インチ4Mバイトバリウムフェライトフロッピーディスク装置, 東芝レビュー, 43, pp.425-428, (1988)
- [Takahashi89] 高橋昇司 : フロッピーディスク装置のすべて, CQ出版社, pp.193-197, (1989)
- [Uchida88] 内田義昭 : 3.5インチ4Mバイトフロッピーディスク装置, 東芝レビュー, 43, pp.878-882

3章 記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉

記憶容量4MBのフロッピーディスク装置で用いられる先行イレースヘッドでは、消去ヘッドと記録再生ヘッドの間の磁気干渉によって擬似信号が発生し、再生波形が歪んでしまう現象（クロストーク）がある[Fujiwara82]、[Imamura86]。このクロストークを低減させるために、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間に非磁性のスペーサを設け、磁気干渉を防ぐ方法があるが、記録再生ヘッドの磁路の断面積が狭くなり、ヘッド効率が低下するので望ましくない[Yamamori86]。3章では、非磁性のスペーサを用いずに、クロストークを低減させる方法について述べる[Murata96]。クロストークには、媒体に信号を記録する記録過程での磁界干渉により再生波形が歪んでしまう現象と、媒体に記録された信号を再生する再生過程での磁気干渉により再生波形が歪んでしまう現象とがある。この章では、両者のメカニズムについて別々に検討する。

3.1 信号再生時に生じる磁気干渉

3.1.1 磁気ヘッドの構造

図3-1に、検討に用いた先行イレースヘッドの外観図とその構造図を示す。このヘッドは記録再生ヘッドと消去ヘッドからなる。記録再生ヘッドはI型の記録再生コアと記録再生バックコアとI型のセンタコアからなる。また、消去ヘッドはL型の消去コアと消去バックコアとI型のセンタコアからなる。このヘッドの仕様を表3-1に示す。一般的にはヘッドコアの材料としては500kHzでの比透磁率が2000程度のMnZnフェライトが用いられる。実験では、消去ヘッドのバックコアとして、MnZnフェライトの他に比透磁率が100程度のNiZnフェライトを用いた。

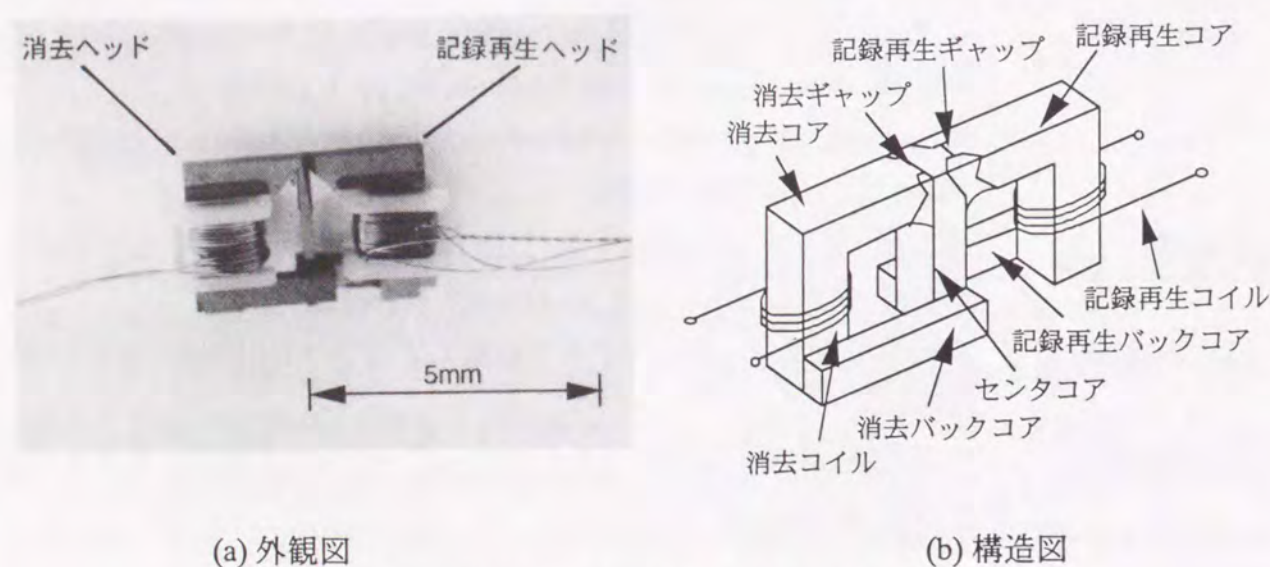


図3-1 4MBフロッピーディスク用磁気ヘッド

表3-1 4MBフロッピーディスク用磁気ヘッドの仕様

ヘッド	記録再生	消去
トラック幅 (mm)	0.115	0.250
ギャップ長 (μm)	0.5	2.0
ギャップ深さ (μm)	30	40
コイル巻き数 (T)	50×2	100

3.1.2 漏れ磁束を考慮した磁気干渉のモデル

信号再生時に生じるクロストークとは、消去ギャップで検出した媒体の磁束の一部が記録再生ヘッドに回り込み、記録再生コイルにノイズ電圧を誘起し、再生波形を歪ませてしまう現象である。これまでは、磁気ヘッド内部を通る磁束のみを考慮し、消去ヘッドと記録再生ヘッドの間のセンタコアを非磁性層で分離することによってクロストークの低減が行われてきた[Yamamori86]。しかしながら、この方法では、センタコアの断面積が減少するため、記録再生ヘッドの再生出力が低下するという問題点があった。本論文では、消去ヘッドから記録再生ヘッドに達する別の磁束に着目した。それは、消去ギャップで検出した媒体の磁束のうち、消去コアからヘッド外部に漏れる磁束である。この磁束は、図3-2(a)に示すように、記録再生コアに侵入する。記録再生コイル部では、この磁束と磁気ヘッド内部を通ってくる磁束は互いに逆方向に流れている。通常、この2つの磁束のバランスが崩れているため、消去ギャップで検出した媒体の磁束によって、記録再生コイルに電圧が発生する。これが、信号再生時に生じるクロストークである。図3-2(b)にこの磁気ヘッドの等価回路を示す。図において、消去ギャップ上の媒体磁化の起磁力を V_m 、記録再生コア、消去コア、記録再生ギャップ、消去ギャップ、センタコアの磁気抵抗をそれぞれ R, R_e, R_g, R_{ge}, R_c 、消去コアからヘッド外部に漏れる磁路の磁気抵抗を R_f とする。 R_f の導入がこのモデルの特徴である。記録再生コアを流れる磁束 Φ_e は次式で与えられる。

$$\Phi_e = \frac{(R_c R_f - R_g R_e)}{(R_g + R_f)(R_c R + R R_e + R_e R_c) + R_g R_f (R_c + R_e)} V_m \quad (3-1)$$

クロストークによって記録再生コイルに誘起されるノイズ電圧 V_n は $(R_c R_f - R_g R_e)$ に比例する。従って、磁気抵抗の値によって、ノイズ電圧は以下に示すようになる。

$$R_c R_f - R_g R_e > 0 \quad \text{のとき} \quad V_n > 0 \quad (3-2)$$

$$R_c R_f - R_g R_e = 0 \quad \text{のとき} \quad V_n = 0 \quad (3-3)$$

$$R_c R_f - R_g R_e < 0 \quad \text{のとき} \quad V_n < 0 \quad (3-4)$$

(3-2)はノイズ電圧と再生信号の極性が同じであることを示す。(3-4)はノイズ電圧と再生信号の極性が異なることを示す。また、(3-3)の条件を満足することによって、ノイズ電圧をゼロにすることができる。消去コアの磁気抵抗 R_e を制御することにより、記録再生ヘッドの再生効率を変化させずに、クロストークを低減させることが出来る。

従来のクロストークのモデルでは漏れ磁束を考慮しておらず、

$$R_f = \infty \quad (3-5)$$

の場合に相当する。(3-5)を(3-1)に代入すると

$$\Phi_e = \frac{R_c}{(R_c R + R R_e + R_e R_c) + R_g (R_c + R_e)} V_m \quad (3-6)$$

となる。すなわち、ノイズ電圧は常に正となり、極性が反転したり、ゼロになったりする現象を説明することはできない。

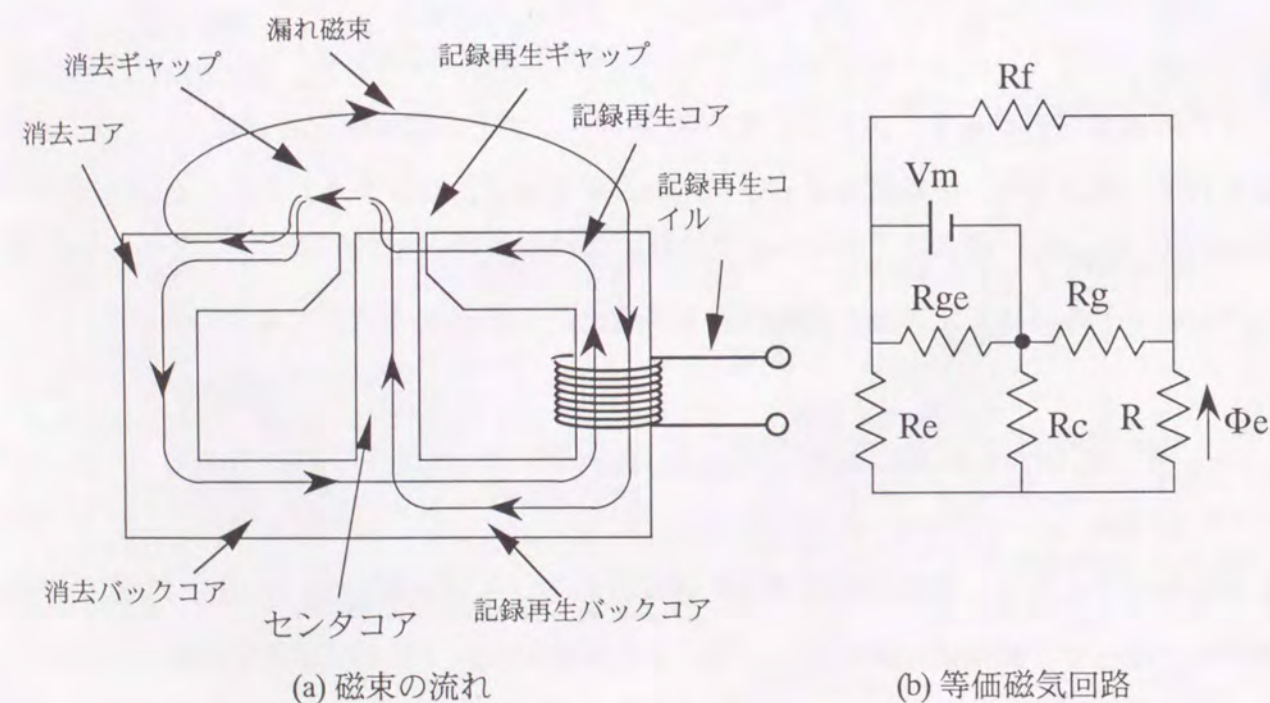


図3-2 再生過程でのクロストークのモデル

3.1.3 3次元有限要素法による磁気干渉の解析

3.1.3.1 T-Ω法による静磁界解析

記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉を検討するために、T-Ω法 [Nakata86] を用いた、3次元有限要素法プログラムにより、静磁場解析 [Palmer84] を行なった。T-Ω法とは、電気ベクトルポテンシャル $\mathbf{T}$ と磁気スカラーポテンシャル Ω を定義することにより、磁界 $\mathbf{H}$ を計算する手法である。以下に静磁場解析の概略を示す。磁界が時間的に変化しない場合、電流密度 $\mathbf{J}$ が与えられたときの磁界 $\mathbf{H}$ および磁束 $\mathbf{B}$ は次式によって求めることができる。

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{J} \quad (\text{アンペアの法則}) \quad (3-7)$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0 \quad (\text{ガウスの法則}) \quad (3-8)$$

一方、(3-7)から次式を満たす、電流ベクトルポテンシャル $\mathbf{T}$ と磁気スカラーポテンシャル Ω を定義することができる。

$$\mathbf{J} = \text{rot } \mathbf{T} \quad (3-9)$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{T} - \text{grad } \Omega \quad (3-10)$$

この $\mathbf{T}$ と Ω を用いることにより、(3-8)は

$$\text{div} (\mu (\mathbf{T} - \text{grad } \Omega)) = 0 \quad (3-11)$$

となる。但し、 μ は透磁率である。従って、(3-11)を満足する、磁気スカラーポテンシャル Ω の分布を求めることにより、(3-10)から磁界分布を求めることができる。有限要素法では、磁界が存在する空間を直方体形状の要素で細かく分割し、各要素毎にポテンシャルを求めている。

3.1.3.2 磁気干渉の解析方法

図3-3に解析を行ったヘッド形状とメッシュ分割例を示す。磁気ヘッドは厚み方向には対称な形状をしているので、厚み方向に対称な1/2モデルを用いて解析を行った。接点数は空気の部分を含めて約9000である。ヘッド周囲の空気の部分にはNeuman境界 [Kagawa77] を用いた。Neuman境界では、解析領域の境界で磁界が境界面に対して平行になる。記録再生コイルに起磁力 $\mathbf{T}$ を与え、記録再生ギャップ及び消去ギャップで発生する磁界強度を求めた。相反定理によると、両者の磁界強度の比がクロストーク量となる。

(3-1)に示した記録再生ギャップの磁気抵抗 R_g や消去コアの磁気抵抗 R_e を変化させるために、記録再生ヘッドのギャップ深さや消去コアの透磁率を変化させて解析を行った。消去コアからヘッド外部に漏れる磁路の磁気抵抗 R_f を磁気抵抗法 [Sansom76] によって求めるのは困難なため、3次元有限要素法による解析が必要になった。解析を行ったヘッド仕様を表3-2に示す。記録再生ヘッドのギャップ深さは5から45 μm の間で変化させた。消去バックコアの比透磁率は1から10000の間で変化させた。解析はコアの飽和を考慮しない線形計算で行った。

有限要素法による磁界解析プログラムとして、(株)CRC総合研究所の MAGNA/FIM を用いた。解析に用いた計算機は、DEC Station 5000/200 (主記憶32MB, CPU25MHz) である。計算時間は1ケース3時間程度である。

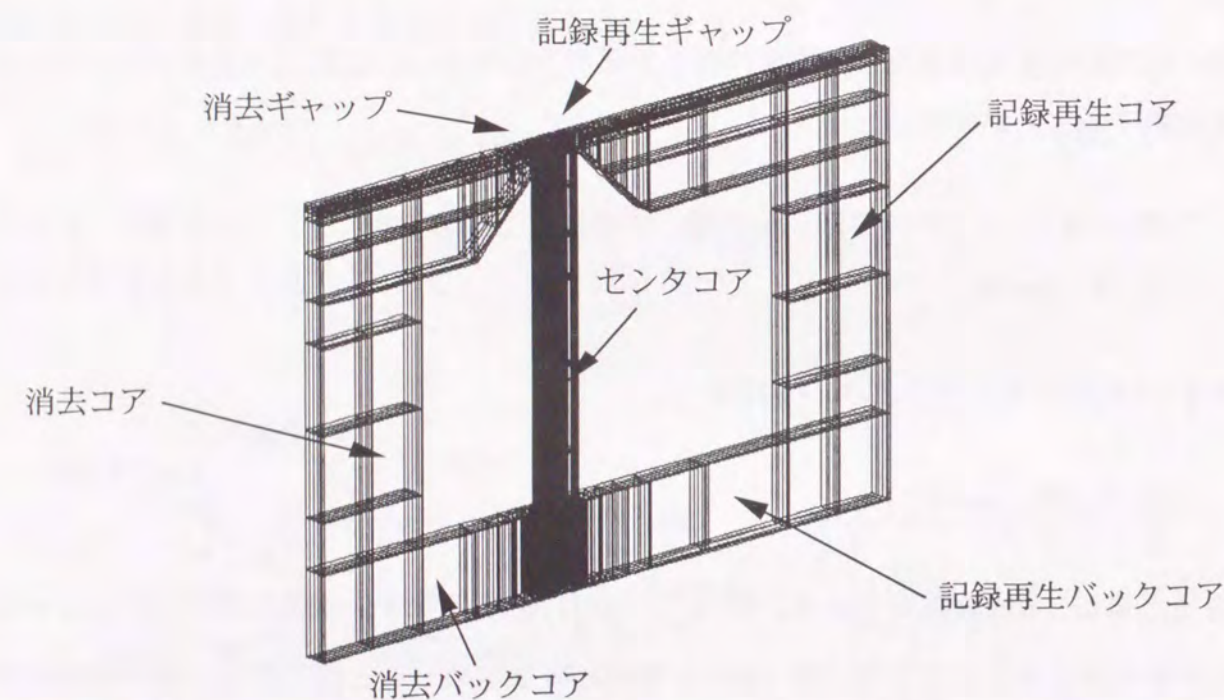


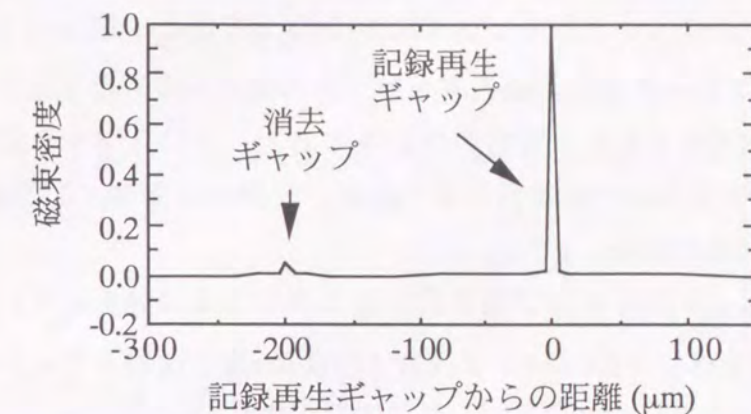
図3-3 3次元有限要素法での磁気ヘッドの要素分割図

表3-2 有限要素法によって解析を行ったヘッド仕様

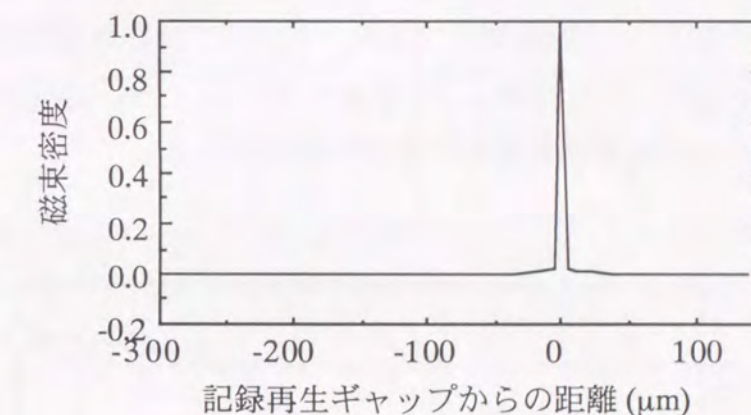
ヘッド	記録再生	消去
トラック幅 (mm)	0.058	0.125
ギャップ長 (μm)	0.5	2.0
ギャップ深さ (μm)	5 から 45	15 から 55
比透磁率	2000	バックコア：1 から 10000 その他：2000

3.1.3.3 解析結果

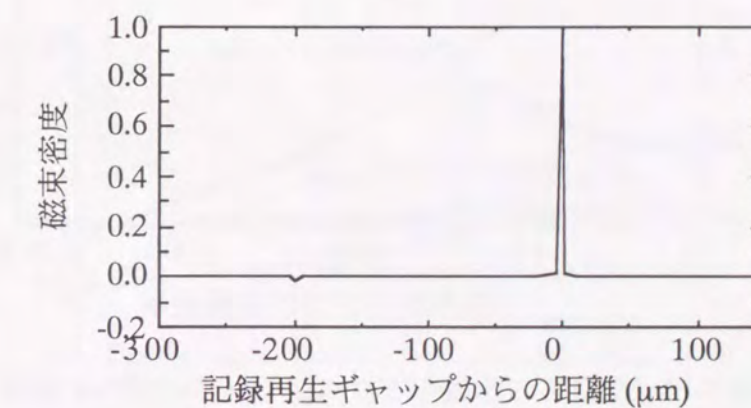
図3-4に磁気ヘッド摺動面から10 μm 離れた位置での媒体移動方向の磁束密度分布を示す。摺動面とは、媒体と接触する磁気ヘッドの表面のことである。磁束密度は記録再生ギャップ部の磁束密度で規格化している。消去バックコアの比透磁率が2000では、記録再生ギャ



(a) 消去バックコアの比透磁率：2000



(b) 消去バックコアの比透磁率：30



(c) 消去バックコアの比透磁率：1

図3-4 記録再生ギャップ部の磁束密度で規格化した媒体移動方向の磁束密度分布

ップ部での磁束の向きと消去ギャップ部での磁束の向きは同じである。比透磁率が1では、記録再生ギャップ部と消去ギャップ部の磁束の向きは逆方向である。更に、比透磁率が30では、消去ギャップ部の磁束はゼロである。消去ギャップ部の磁束密度と記録再生ギャップ部の磁束密度の比で再生過程で生じるクロストーク量を定義する。

図3-5に消去バックコアの透磁率とクロストーク量の関係を示す。記録再生ヘッドのギャップ深さは30 μm で消去ヘッドのギャップ深さは40 μm である。消去バックコアの比透磁率が2000では、クロストーク信号（消去ギャップ部の磁束密度）は主信号（記録再生ギャップ部の磁束密度）の5%である。透磁率が低下すると、クロストーク量は減少してゼロになる。その後、クロストーク量は負の値となる。比透磁率が30と1では、クロストーク量はそれぞれゼロと-2%である。

図3-6に記録再生ヘッドのギャップ深さとクロストークの関係を示す。消去ヘッドのギャップ深さは記録再生ヘッドのギャップ深さより10 μm 深くなるようにして解析した。ヘッドコアの比透磁率は2000とした。記録再生ヘッドのギャップ深さが45 μm では、クロストーク量は6%である。ギャップ深さが浅くなると、クロストークは単調に減少する。ギャップ深さが5 μm でクロストーク量は3%である。ギャップ深さをゼロにしてもクロストークは負の値にはならない。これはギャップ深さをゼロにしても、ギャップ近傍の漏れ磁界のために、(3-1)に示した R_g が余り増加しないためである。

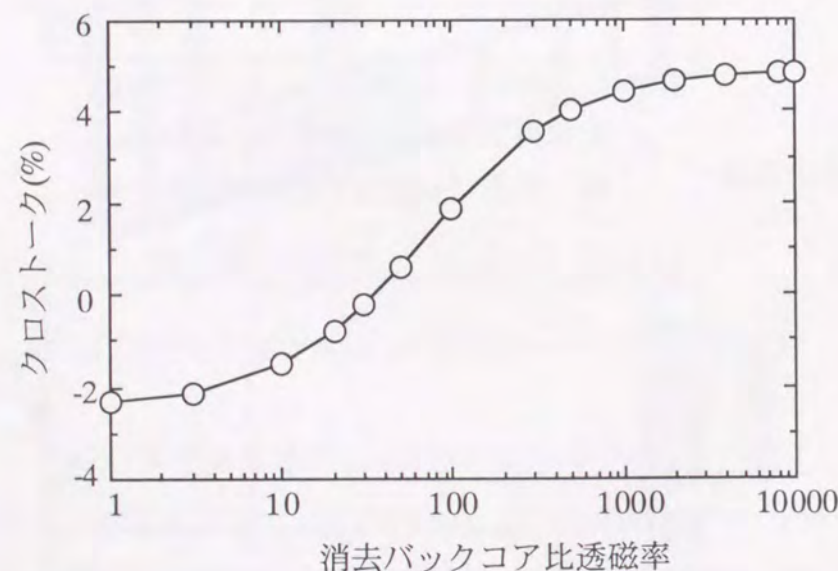


図3-5 消去バックコアの透磁率とクロストークの関係の解析結果

消去バックコアの透磁率を変化させたときの、ヘッド各部を流れる磁束量を図3-7に示す。磁束量は記録再生コアを流れる磁束量で規格化している。透磁率が低下すると、消去コア内部を流れる磁束量（図3-2の R_e を流れる磁束に相当）と消去コア外部に漏れる磁束量（図3-2の R_f を流れる磁束に相当）は減少する。消去コア外部に漏れる磁束量の減少率は消去コア内部を流れる磁束量の減少率より少ない。従って、ある透磁率で両者のバランスがとれてクロストークがゼロになる。

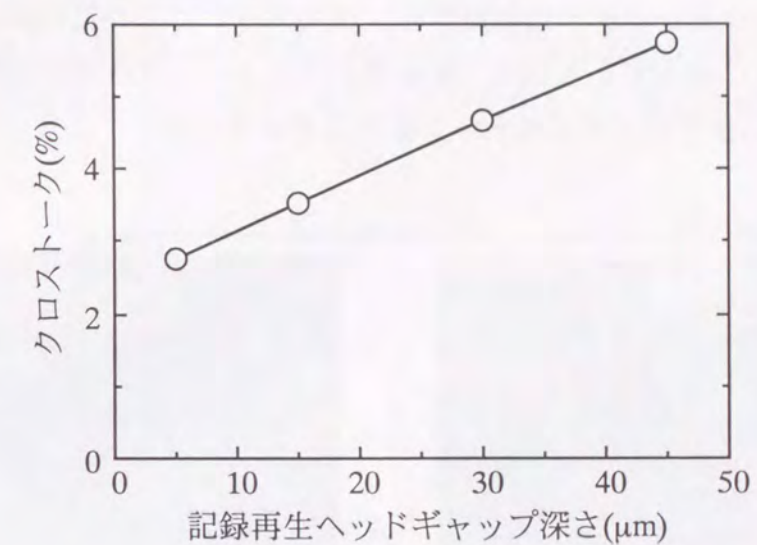


図3-6 記録再生ヘッドのギャップ深さとクロストークの関係の解析結果

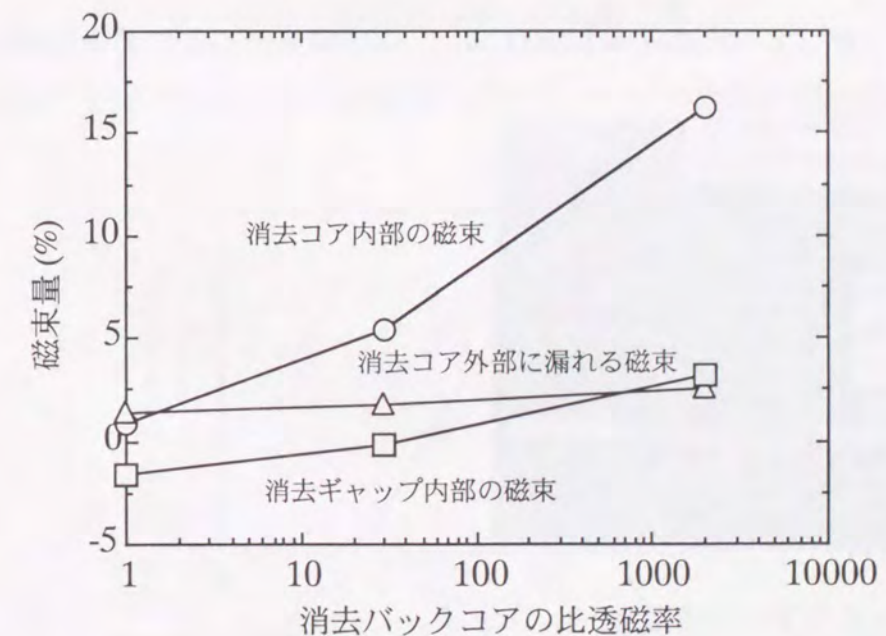
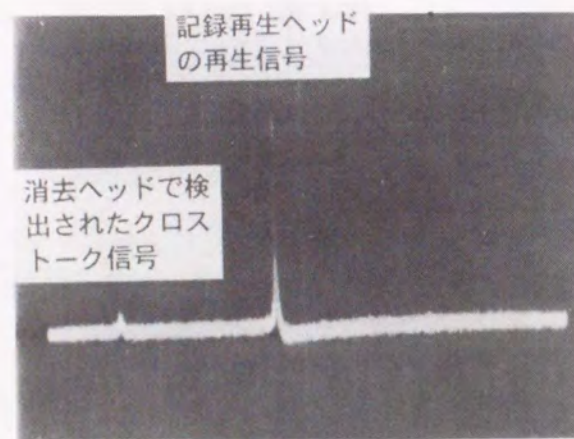


図3-7 消去ヘッド各部を流れる磁束量の透磁率依存性

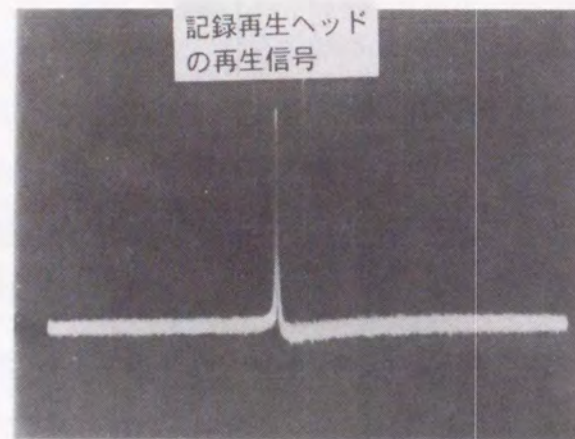
3.1.4 磁気干渉の実験結果

3.1.4.1 消去バックコアの透磁率とクロストーク

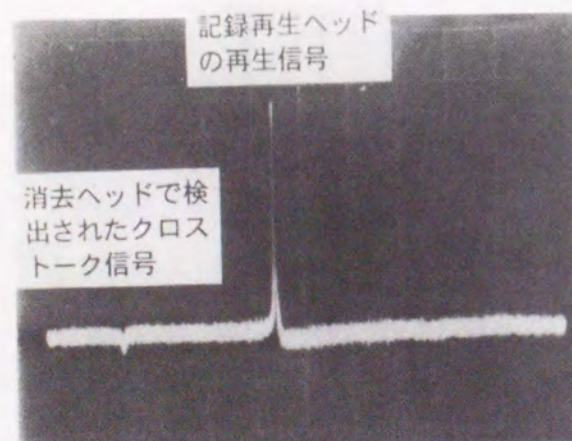
図3-8に再生波形の測定結果を示す。測定に用いた記録媒体は、3.5インチ径のフレキシブルディスクに $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ を塗布したものである。媒体の保磁力は48kA/mであり、磁性層の厚みは2 μm である。記録再生ギャップで記録され消去ギャップで再生されたクロストーク信号は記録再生ギャップで記録再生された主信号の前方に生じる。消去バックコアの比透磁率が2000の磁気ヘッドでは、主信号とクロストーク信号の極性は同じである。比透磁率が150では、クロストーク信号は消滅する。消去バックコアを取り除いた、消去バックコアの比透磁率が1に相当する点では、主信号とクロストーク信号の極性は逆である。磁界解析のときと同じように、クロストーク信号と主信号の比でクロストーク量を定義する。



(a) 消去バックコアの比透磁率：2000



(b) 消去バックコアの比透磁率：150



(c) 消去バックコアの比透磁率：1

図3-8 再生過程で発生するクロストーク波形。時間軸：50 $\mu\text{s}/\text{div}$ 。

図3-9に消去バックコアの透磁率とクロストーク量の関係の測定結果を示す。記録再生ヘッドのギャップ深さは30 μm で消去ヘッドのギャップ深さは40 μm である。消去バックコアの比透磁率が2000の磁気ヘッドでは、クロストーク量は5%である。透磁率が低下すると、クロストーク量は減少してゼロになり、その後負の値になる。消去バックコアを取り除いた、消去バックコアの比透磁率が1に相当する点では、クロストーク量は-10%である。また、比透磁率が150では、クロストークは発生しない。

3.1.4.2 記録再生ヘッドのギャップ深さとクロストーク

図3-10に記録再生ヘッドのギャップ深さとクロストーク量の関係の測定結果を示す。消去バックコアの比透磁率は2000である。消去ヘッドのギャップ深さは記録再生ヘッドのギ

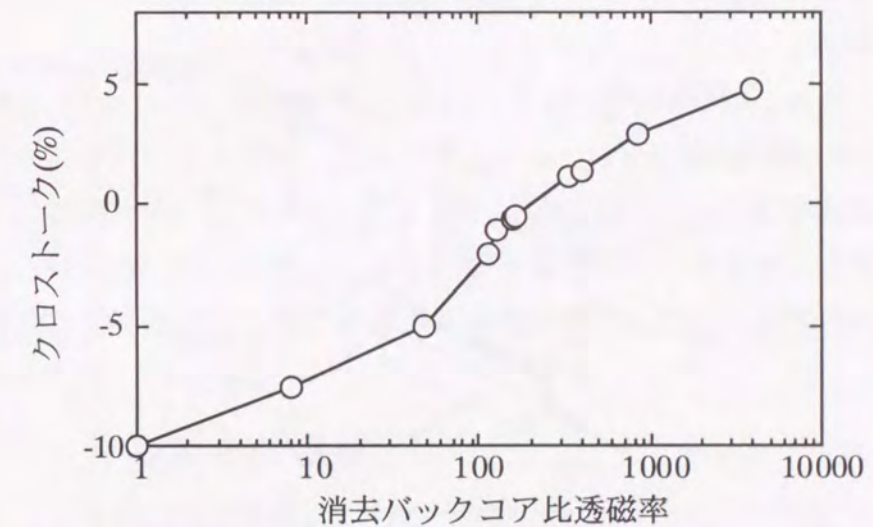


図3-9 消去バックコアの透磁率とクロストークの関係の測定結果

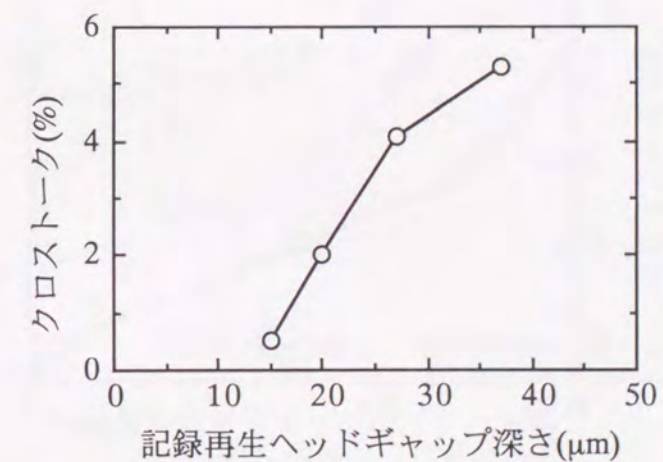


図3-10 記録再生ヘッドのギャップ深さとクロストークの関係の測定結果

ギャップ深さより10 μm 深い。ギャップ深さが30 μm から20 μm になると、クロストーク量は4%から2%へと約半分になる。ギャップ深さが15 μm でも、クロストーク量は負の値にならない。

3.1.4.3 消去ヘッドに設けたバックギャップとクロストーク

消去バックコアの透磁率を変化させる代わりに、消去ヘッド内に磁気的な隙間（バックギャップ）を設け、この隙間の長さを変化させることによって、消去コアの磁気抵抗を変化させることができる。図3-11に消去ヘッドにバックギャップを設けた磁気ヘッドの構造図を示す。消去バックコアの表面に非磁性の SiO_2 膜を作成し、消去コアと消去バックコアとの接合面及びセンタコアと消去バックコアとの接合面にバックギャップを形成した。

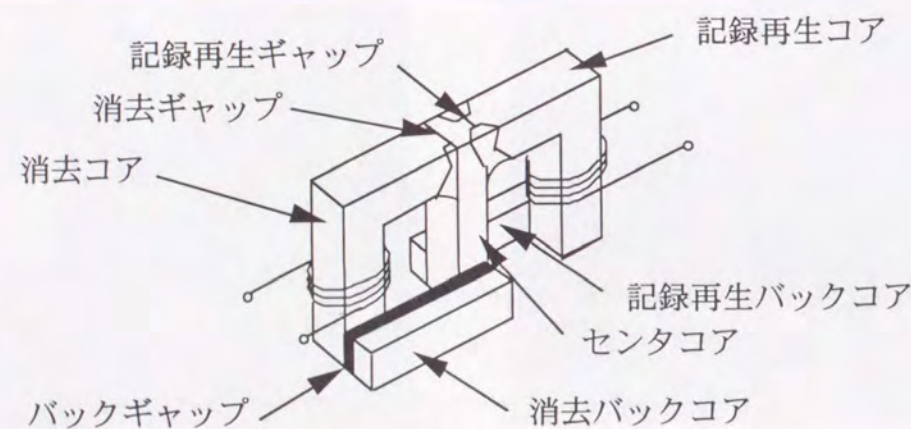


図3-11 消去ヘッドにバックギャップを設けた磁気ヘッド

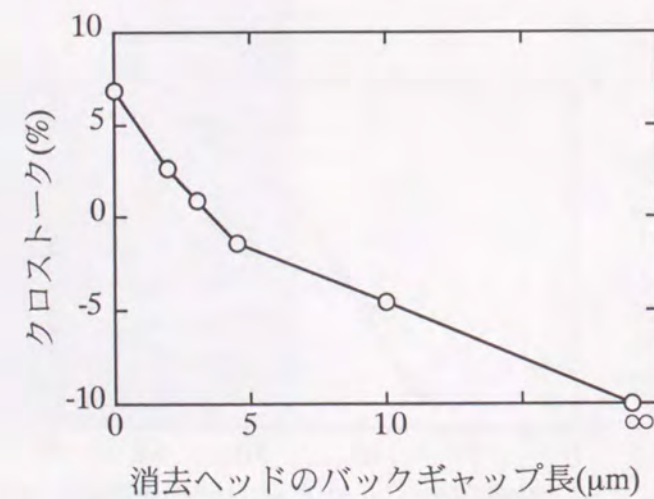


図3-12 消去ヘッドのバックギャップ長とクロストークの関係の測定結果

バックギャップの長さは SiO_2 膜の膜厚によって決定される。このバックギャップ長とクロストーク量の関係を図3-12に示す。バックギャップのない通常の磁気ヘッドでは、クロストーク量は7%である。バックギャップ長を増加させるとクロストーク量は減少する。消去バックコアを取り除いた、バックギャップ長が ∞ に相当する点では、クロストーク量は-10%となる。バックギャップ長5 μm の磁気ヘッドでは、クロストークはほぼゼロとなる。

3.1.5 解析結果と実験結果の比較

クロストーク量の透磁率依存性の解析結果と測定結果を図3-13に示す。クロストーク量を低減させるためには消去バックコアの透磁率が重要な要因であることがわかる。クロストーク量の解析結果と測定結果を比較すると定性的には良く一致する。しかし、消去バックコアの透磁率が低い領域では、測定結果は解析結果より絶対値が大きくなっている。これは、解析では消去コア外部に漏れる磁束量が実際より少なく計算されたことを意味する。この理由として、以下の2つの点が考えられる。解析では磁気ヘッドを構成するフェライトコアの比透磁率を2000として計算した。測定に用いた磁気ヘッドを構成するフェライトコアは機械加工が施されているため、そのフェライトコアの透磁率は解析で用いた値より低くなっている。このため、消去コア外部に漏れる磁束量が正しく計算されなかったと考えられる。また、計算機の記憶容量により有限要素法で用いる要素数には制限が生じる。今回の解析で用いた要素数では、漏れ磁界を正確に解析するには、要素分割数が十分では無かったと考えられる。

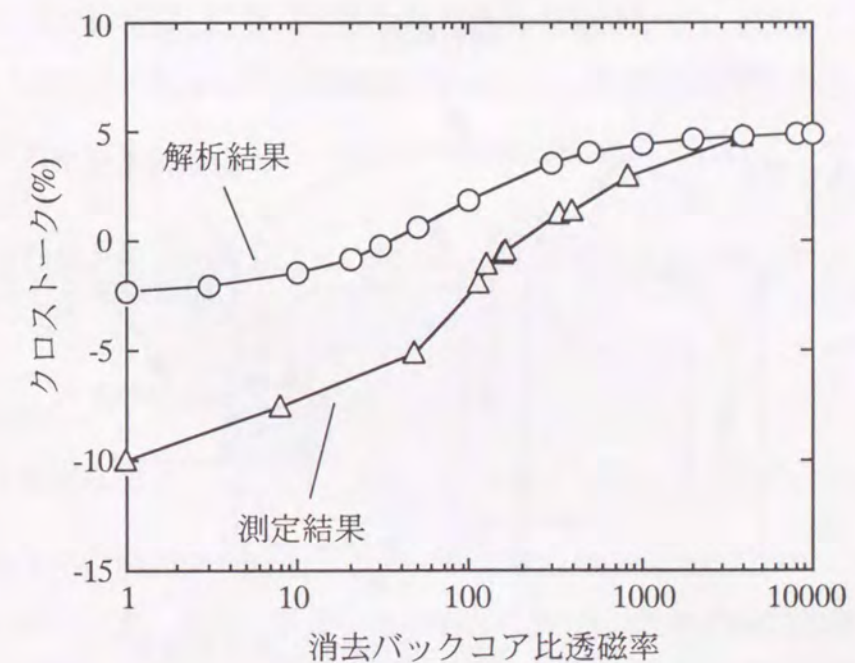


図3-13 クロストーク量の解析結果と測定結果の比較

3.2 信号記録時に生じる磁気干渉

3.2.1 直流バイアス記録による磁気干渉

信号記録時に発生するクロストークとは、記録再生コイルで発生した磁束の一部が消去ヘッドに回り込み、消去ギャップによって媒体に擬似信号を記録してしまう現象 [Tanaka, T.70] である。このクロストークを記録クロストークと呼び、再生過程で生じるクロストークと区別する。これまではヘッドコア内部を通る磁束のみが考慮されていたが [Tanaka, K.70]、再生過程で生じるクロストークの場合と同様に、ヘッドコア外部を通る磁束も考慮した。図3-14に記録時に発生する磁束の流れを示す。ヘッドコア内部を通る磁束とヘッドコア外部を通る磁束は消去ギャップ部では逆方向に流れる。従って、両者のバランスをとることによって、記録時のクロストーク量を低減することができる。しかしながら、記録時と再生時で磁気ヘッドを構成するフェライトコアの実効透磁率が異なるため、再生過程でのバランス点と記録過程でのバランス点は異なる。

消去ギャップによって擬似信号が記録されるとき、消去コイルが発生する直流磁束は直流バイアス磁束として作用する。従って、記録再生ヘッドからのわずかな漏れ磁界によっても消去ギャップによって擬似信号が記録されてしまう。この現象は、直流バイアス記録によって説明される。直流バイアス記録のメカニズムを媒体の残留磁化曲線 [Daniel60] によって検討する。残留磁化曲線とは媒体に加えていた一方向の磁界を取り除いた後に媒体に残る残留磁化を、媒体に加える磁界強度を変化させて測定したものである。残留磁化曲線には、媒体の消磁状態から測定したものと、媒体を飽和させた状態から測定したもの

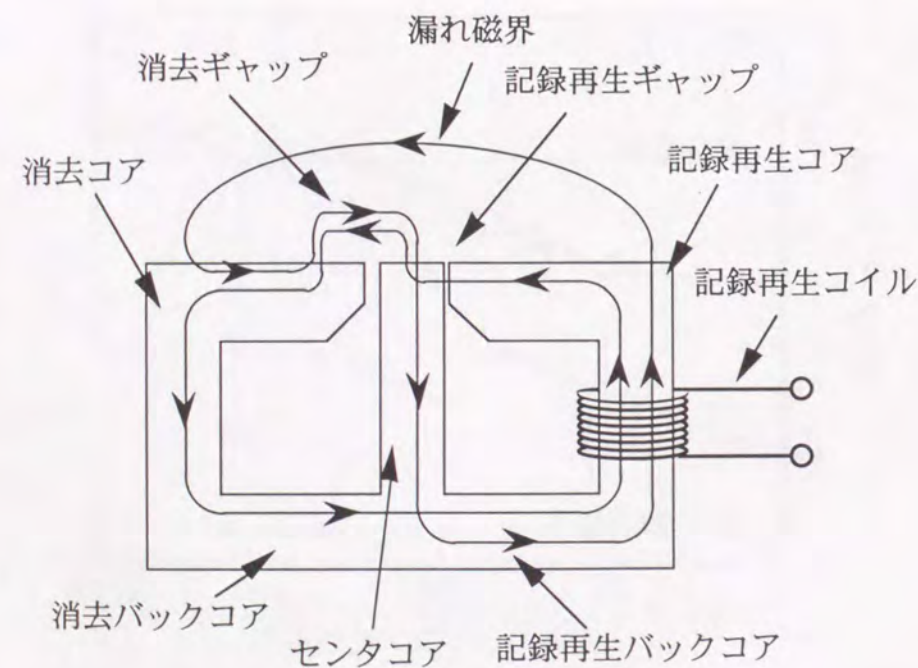


図3-14 記録過程での磁束の流れ

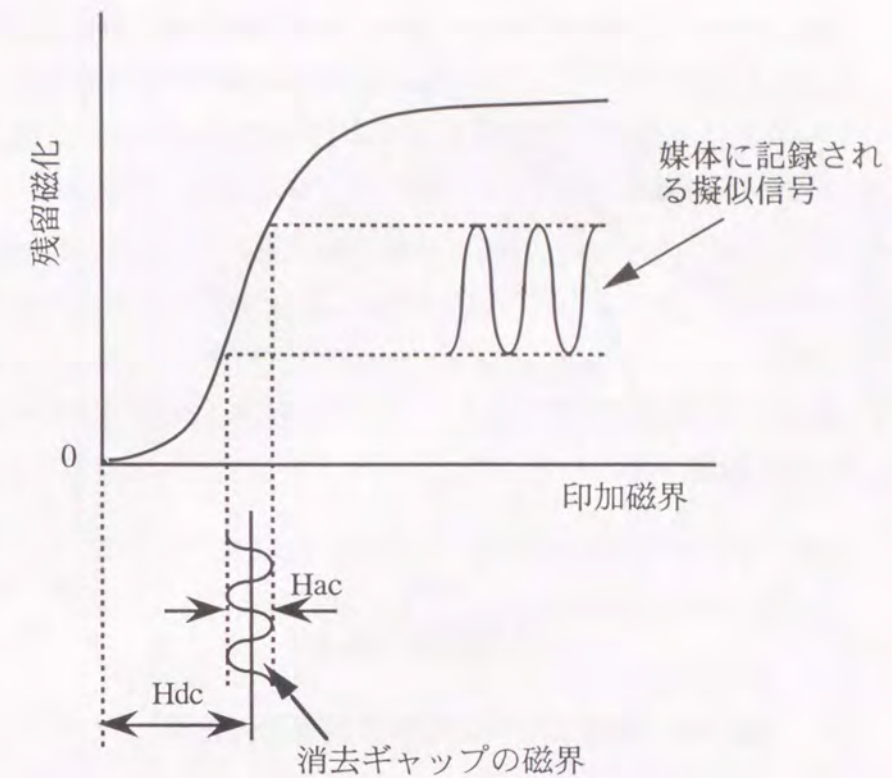


図3-15 残留磁化曲線による直流バイアス記録の説明

とがある。図3-15に消磁状態から測定した残留磁化曲線を示す。直流磁界 H_{dc} と交流のクロストーク磁界 H_{ac} が媒体に加わったときに、媒体に記録される擬似信号を示す。残留磁化曲線の傾きが急なほど、擬似信号は大きくなる。 H_{dc} が残留保磁力に等しくなると、わずかなクロストーク磁界 H_{ac} でも、大きな擬似信号を記録してしまう。十分大きな H_{dc} では、擬似信号は記録されない。 H_{dc} は消去コイルによって発生しているため、ある消去電流で擬似信号は最大値を示す。また、適当な消去電流を選ぶことによって、擬似信号は媒体に記録されない。

従って、適当な消去電流を選ぶことによって、記録過程で生じるクロストークと再生過程で生じるクロストークの両者を防止することができる。

3.2.2 媒体の特性

測定に用いた記録媒体は、3.5インチ径のフレキシブルディスクに $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ を塗布したものである。媒体の保磁力は 48kA/m であり、磁性層の厚みは $2\mu\text{m}$ である。この媒体の残留磁化曲線を図3-16に示す。媒体を消磁した状態から測定した残留磁化曲線と飽和した状態から測定した残留磁化曲線を示す。残留保磁力は 56kA/m である。磁界強度が 120kA/m 以上では、媒体は飽和している。

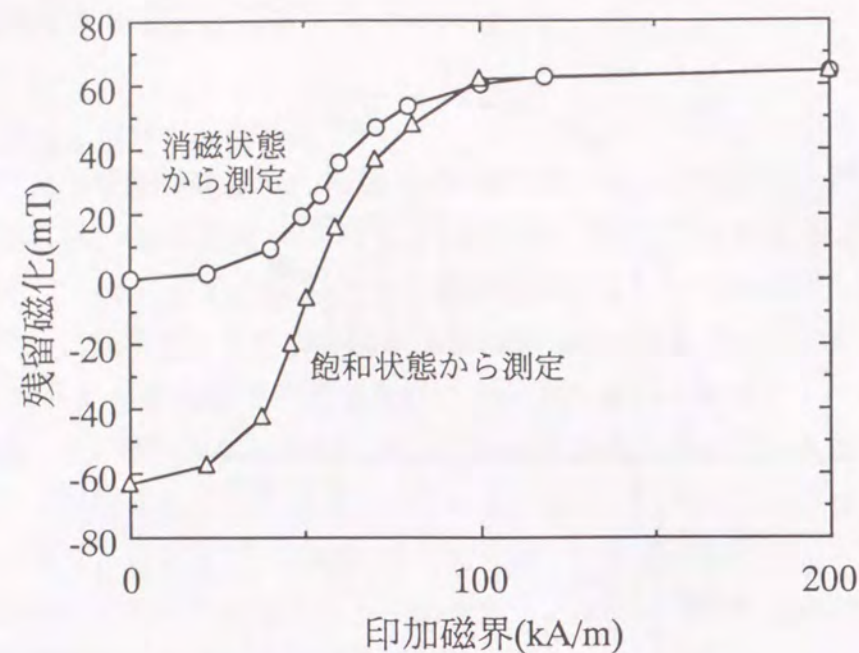


図3-16 測定に用いた媒体の残留磁化曲線

3.2.3 実験結果

交流消磁された媒体に記録された擬似信号波形を図3-17に示す。この例では、記録電流の起磁力は $2AT_{pp}$ であり、消去電流の起磁力は $0.65AT_{dc}$ である。以下、記録電流の起磁力を記録起磁力、消去電流の起磁力を消去起磁力と呼ぶ。消去バックコアの比透磁率は150である。記録再生ギャップのギャップ深さは $30\mu m$ であり、消去ギャップのギャップ深さは $40\mu m$ である。消去ギャップによって記録され記録再生ギャップで再生される擬似信号は、記録再生ギャップで記録再生される主信号の後方で検出される。この条件では、主信

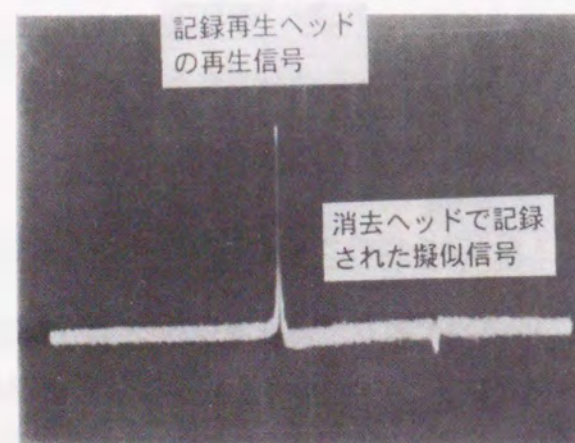


図3-17 記録過程で発生するクロストーク波形。時間軸： $50\mu s/div$ 。

号と擬似信号の極性は逆である。

擬似信号と主信号の比で記録過程で生じるクロストークの値を定義する。この記録クロストーク量と消去バックコアの透磁率の関係の測定結果を図3-18に示す。記録起磁力は $2AT_{pp}$ であり、消去起磁力は $0.65AT_{dc}$ である。この起磁力による電流値では、消去バックコアの比透磁率が400以上のとき、擬似信号は記録されない。透磁率が低下すると、記録クロストーク量の絶対値は増加する。比透磁率が150と1では、記録クロストーク量はそれぞれ-4%と-10%である。

記録起磁力や消去起磁力と記録クロストーク量の関係を図3-19に示す。消去バックコアの比透磁率は150である。記録起磁力が $2AT_{pp}$ のときは、消去起磁力 $0.4AT_{dc}$ で記録クロス

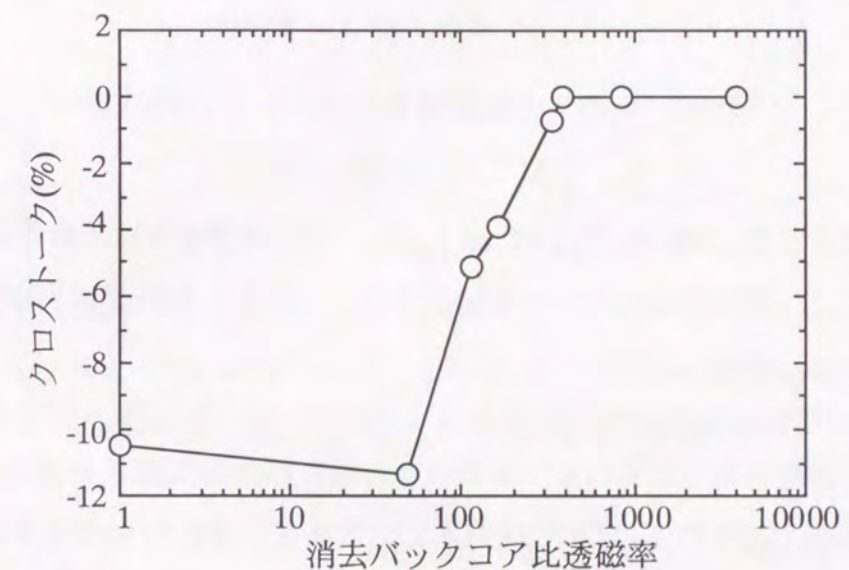


図3-18 消去バックコアの透磁率と記録クロストークの関係の測定結果

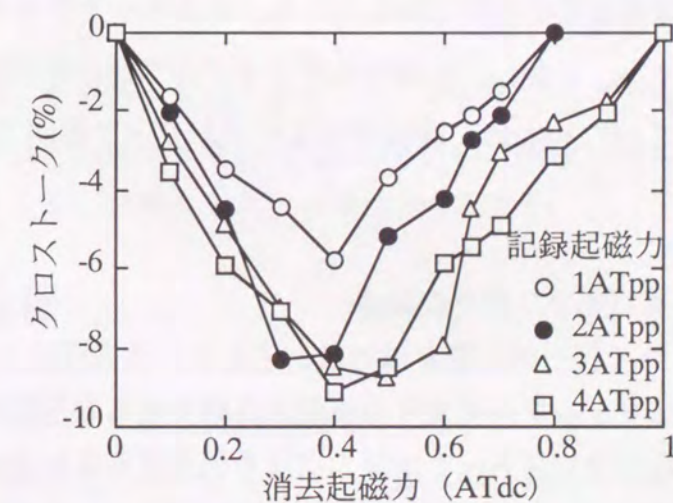


図3-19 記録電流や消去電流と記録クロストークの関係の測定結果

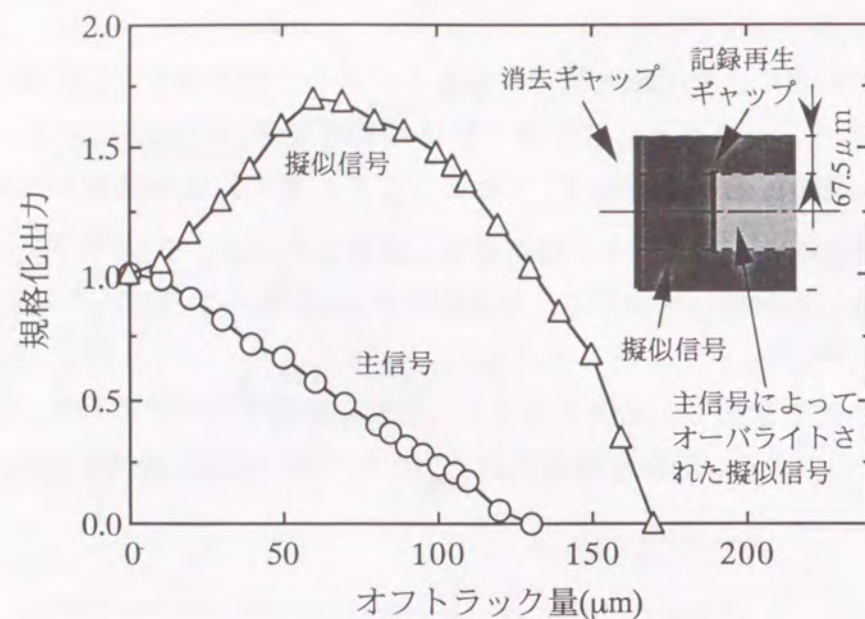


図3-20 主信号と擬似信号のオフトラック特性

トークは最大値をとる。消去起磁力が $0.8AT_{dc}$ 以上では擬似信号は記録されない。記録起磁力が増加すると、記録クロストークも増加する。しかし、記録起磁力が $2AT_{pp}$ 以上では、記録クロストークは増加しない。

消去バックコアの比透磁率が150の磁気ヘッドを用いて、記録クロストークによって媒体に記録された擬似信号と主信号のオフトラック特性を測定した結果を図3-20に示す。記録起磁力と消去起磁力はそれぞれ $2AT_{pp}$ と $0.4AT_{dc}$ である。擬似信号はトラック幅 $250\mu m$ の消去ギャップによって記録される。その後、トラック幅 $115\mu m$ の記録再生ギャップによって主信号がオーバーライトされるため、擬似信号の一部は消去される。これらの信号はトラック幅 $115\mu m$ の記録再生ギャップで再生される。磁気ヘッドをオフトラックさせると、主信号の振幅は減少する。しかし、記録再生ギャップの外側の擬似信号は主信号によってオーバーライトされていないため、擬似信号はオフトラック量が $70\mu m$ になるまで増加する。

3.2.4 媒体特性と直流バイアス磁界の関係

媒体特性と記録クロストークが最大値と最小値を示す消去起磁力を表3-3に示す。それぞれの起磁力で、消去ギャップが発生する直流磁界強度を有限要素法を用いて計算し、媒体特性と比較した。記録クロストークが最大になる消去起磁力によって、消去ギャップが発生する直流磁界強度 $64kA/m$ は、媒体の残留保磁力 $56kA/m$ にほぼ等しい。残留保磁力の付近では残留磁化曲線の傾きが最大値を示すために、記録クロストークは最大になる。記

表3-3 媒体特性と消去ヘッドで発生する磁界強度の関係

	消去起磁力 (ATdc)	磁界強度 (kA/m)
媒体		
残留保磁力	—	56
飽和磁界	—	120
ヘッド		
記録クロストークが最大	0.4	64
記録クロストークが最小	0.8	120

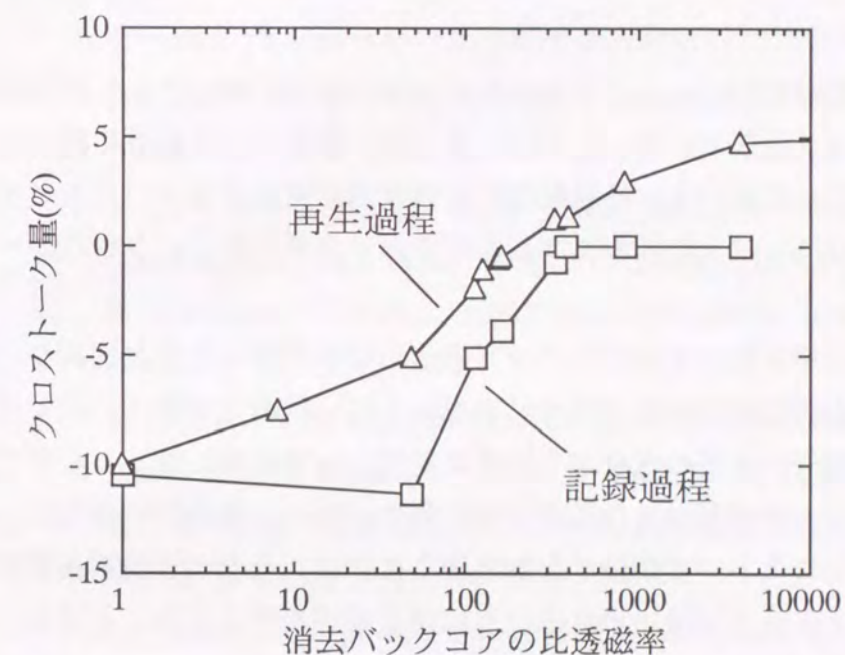


図3-21 記録過程で発生するクロストークと再生過程で発生するクロストークの比較

録クロストークが最小になる消去起磁力によって、消去ギャップが発生する直流磁界強度 $120kA/m$ は、媒体が飽和する磁界強度 $120kA/m$ に等しい。媒体が飽和すると、残留磁化曲線の傾きはゼロになるため、記録クロストークは発生しない。

3.3 再生過程と記録過程で生じるクロスロークの比較

再生過程で生じるクロストークと記録過程で生じるクロストークの測定結果を図3-21に示す。再生過程や記録過程で生じるクロストークを低減させるためには消去バックコアの透磁率が重要な要因であることがわかる。再生過程で発生するクロストークがゼロになる

比透磁率は150であるのに対し、記録過程で発生するクロストークがゼロになる比透磁率は400である。記録過程と再生過程でクロストークがゼロになる透磁率が異なるのは、磁気ヘッド外部に漏れる磁束量が異なるためである。記録過程では、記録電流や消去電流によって磁気ヘッドを構成するフェライトコアが飽和している。このため、記録過程では再生過程よりヘッド外部に漏れる磁束量が増加する。従って、記録過程でヘッド内部を通る磁束量とヘッド外部に漏れる磁束量のバランスをとるには、ヘッド内部を通る磁束量を再生過程の場合より増加させる必要がある。すなわち、記録過程のクロストークがゼロになる透磁率は、再生過程のクロストークがゼロになる透磁率よりも高くなる。

3.4 まとめ

この章では、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉によって再生波形に擬似信号が発生する現象（クロストーク）について述べた。磁気ヘッド外部に漏れる磁束を考慮した磁気干渉のモデルを用いて、信号記録時や再生時に発生するクロストークの解析を行った。そして、クロストークのメカニズムを明らかにすると共に、クロストーク低減の手法を明らかにした。

信号再生時のクロストークは消去ヘッドの透磁率を制御することにより、消去ヘッドと記録再生ヘッドの間に非磁性のスペーサを用いずに、低減させることができる。記録時のクロストークは消去ヘッドの透磁率や消去電流によって低減させることができる。しかしながら、クロストークがゼロになる透磁率は再生過程と記録過程で異なる。従って、再生過程で発生するクロストークが最小となるように消去ヘッドの透磁率を設定し、記録過程で発生するクロストークが最小となるように消去電流を設定することによって、非磁性のスペーサを用いずにクロストークを低減することができる。

消去ヘッドの透磁率を制御する手法は、磁気ヘッド内部を流れる磁束量と磁気ヘッド外部に漏れる磁束量のバランスを取ることに、消去ヘッドと記録再生ヘッドの間に非磁性のスペーサを用いずに、クロストークの低減を図るものである。従って、記録再生ヘッドの再生効率を変化させることなく、クロストークを低減させる事が可能になる。すなわち、磁気ヘッドの高効率化と磁気干渉低減の両立が可能になるという点に、本手法の有効性が示されている。この磁気ヘッドの再生波形の対称性について次章で述べる。

参考文献

- [Daniel60] E. D. Daniel : Experimental and theoretical investigation of the magnetic properties of iron oxide recording tape, J. Acoust. Soc. Amer., Vol.32,

- pp.1-15, (1960).
 [Fujiwara82] T. Fujiwara : Recording performances of Ba-ferrite coated perpendicular magnetic tapes, IEEE Trans. Magn., Vol.18, pp.1200-1202, (1982).
 [Imamura86] M. Imamura : Barium ferrite perpendicular recording flexible disk drive, IEEE Trans. Magn., Vol.22, pp.1185-1187, (1986).
 [Kagawa77] 加川幸雄 : 電気電子のための有限要素法入門, オーム社, pp.94-95, (1977)
 [Murata96] Y. Murata : A crosstalk model considering leakage fluxes and methods to reduce crosstalk between read/write head and pre-erase head, IEEE Trans. Magn., Vol.32, pp.5271-5276, (1996).
 [Nakata86] 中田高義 : T- Ω 法を用いた非線形 3 次元渦電流問題の解析法, 電気学会回転機・静止器合同研究会資料, RM-86-40, SA-86-33, pp.149-157, (1986)
 [Palmer84] D. C. Palmer : Spurious signal pickup from the outer rails of a ferrite recording head, IEEE Trans., Magn., Vol.20, pp.912-914, (1984).
 [Sansom76] D. J. Sansom : Recording head design calculations, IEEE Trans., Magn., Vol.12, pp.230-233, (1976).
 [Tanaka, K.70] K. Tanaka : Some considerations on crosstalk in multihead magnetic digital recording, IEEE Trans. Magn., Vol.20, pp.160-165, (1984).
 [Tanaka, T.70] 田中孝 : 磁気ヘッドのクロストーク, 電子通信学会磁気記録研究会資料, MR70-8, pp.1-17, (1970)
 [Yamamori86] K. Yamamori : High density recording characteristics for Ba-ferrite flexible disks, IEEE Trans., Magn., Vol.22, pp.1188-1190, (1986).

4章 再生信号波形の対称化

フロッピーディスク装置では記録再生ヘッドと消去ヘッドが一体化された複合型磁気ヘッドが使用されている。前章では、消去ヘッドに低透磁率材を用いることにより、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間のクロストークを低減することができることを示した。4章では、この複合型磁気ヘッドの再生波形の対称性について検討する。

記録再生ヘッドで媒体に信号を記録しているときに、消去ヘッドでは先行して古い信号の消去が行われている。この時、消去ヘッド内の直流消去磁束の一部は記録再生ヘッドに侵入している。このような状態で媒体に記録された信号の再生波形は左右非対称になる [Tanabe91]。この再生波形が非対称になる現象はアシンメトリと呼ばれている。3章で検討した消去バックコアに低透磁率材を用いた磁気ヘッドでは、再生波形のアシンメトリが悪い [Murata96]。この原因として、信号記録時に消去ヘッドから記録再生ヘッドに漏れる直流磁束の増加、及び信号再生時に消去バックコアに用いた低透磁率材に残る残留磁化によって発生する消去磁界の増加が考えられる。この章では、有限要素法による磁界解析により、信号再生時に低透磁率材に残る残留磁化や信号記録時に消去ヘッドから記録再生ヘッドに漏れる直流磁束を検討する。そして、低透磁率材の特性が再生波形のアシンメトリに及ぼす影響を明確にすると共に、アシンメトリ低減の手法について述べる [Murata97]。

4.1 消去ヘッドに低透磁率材を用いた磁気ヘッドの再生波形の対称性

4.1.1 ヘッド及び媒体

3章で述べた先行イレースタイプの磁気ヘッドを用いて、再生波形の対称性を検討した。図4-1に検討に用いた先行イレースヘッドの外観図とその構造図を示す。先行イレースヘッドは記録再生ヘッドと消去ヘッドからなる。記録再生ヘッドはL型の記録再生コアと記録再生バックコアとI型のセンタコアからなる。また、消去ヘッドはL型の消去コアと消去バックコアとI型のセンタコアからなる。記録再生ヘッドのギャップ長は0.5 μ mであり、ギャップ深さは30 μ mである。消去ヘッドのギャップ長は2 μ mであり、ギャップ深さは40 μ mである。一般的にはヘッドコアの材料としては500kHzでの比透磁率が2000程度のMnZnフェライトが用いられる。実験では、消去ヘッドのバックコアとして、MnZnフェライトの他に比透磁率が100程度のNiZnフェライトを用いた。消去バックコアに用いたフェライトの磁気特性を表4-1に示す。また、これらのフェライトを480A/mの磁界で励磁したときの磁化特性を図4-2に示す。表4-1に示したType-A,B,Cヘッドに用いたフェライトの磁化曲線はそれぞれA,B,Cである。測定周波数は1kHzである。Type-A ヘッドは比透磁率 2000 の

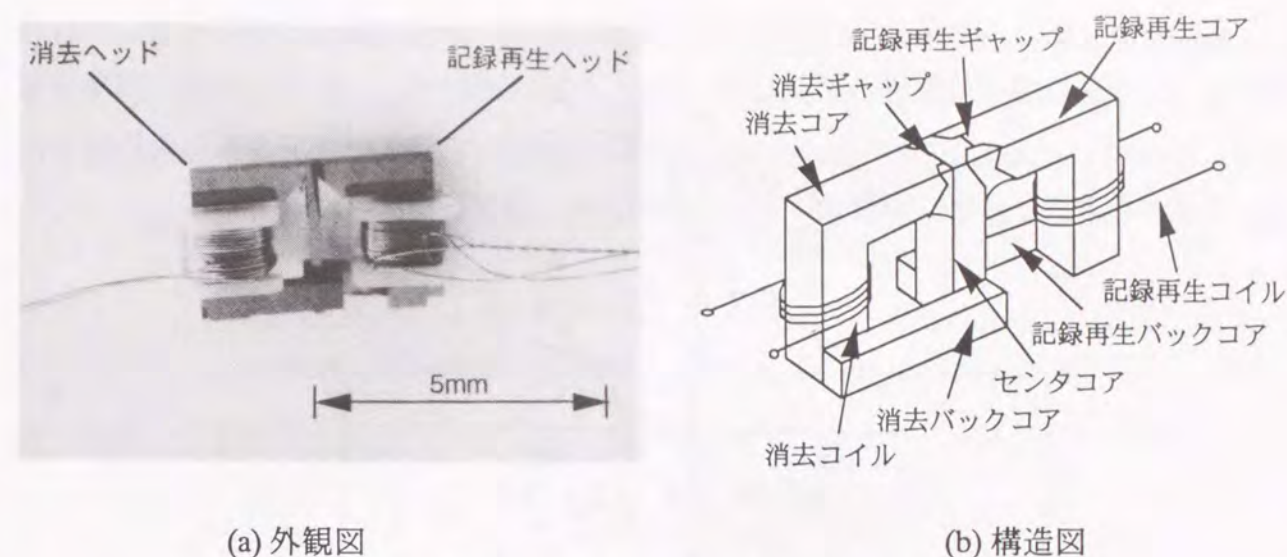


図4-1 4MBフロッピーディスク用磁気ヘッド

表4-1 消去バックコアに用いたフェライトの磁気特性

磁気ヘッド	消去バックコアの磁気特性		
	透磁率	保磁力Hc(A/m)	残留磁束密度Br(mT)
Type-A	2000	12	0.14
Type-B	100	190	0.12
Type-C	160	100	0.04

MnZnフェライトを消去ヘッドのバックコアに用いたものである。Type-Bヘッドは比透磁率100のNiZnフェライトをバックコアに用いたものである。Type-Cヘッドは残留磁束密度を低減したNiZnフェライトをバックコアに用いたものである。

測定に用いた記録媒体は、3.5インチ径のフレキシブルディスクにCo- γ Fe₂O₃を塗布したものである。媒体の保磁力は48kA/mであり、磁性層の厚みは2 μ mである。

4.1.2 再生波形のアシンメトリの定義と測定方法

再生波形の非対称性のことをアシンメトリと呼ぶ。アシンメトリとは、図4-3に示すように、等間隔なピーク間隔の信号を記録再生したときに再生波形のパルスピーク間隔が交互に長短となる現象であり、隣り合うピーク間隔の時間差で定義される [Iwata90]。

アシンメトリの測定にはBrian社製のフロッピーディスクテストを用い、相対速度0.72m/sで、ピーク間隔が8 μ sの繰り返し信号を記録し、再生波形の隣り合うピーク間隔の時間差を測定した。再生波形のアシンメトリを測定する前に、交流磁界によって、磁気ヘッドの消磁を行った。

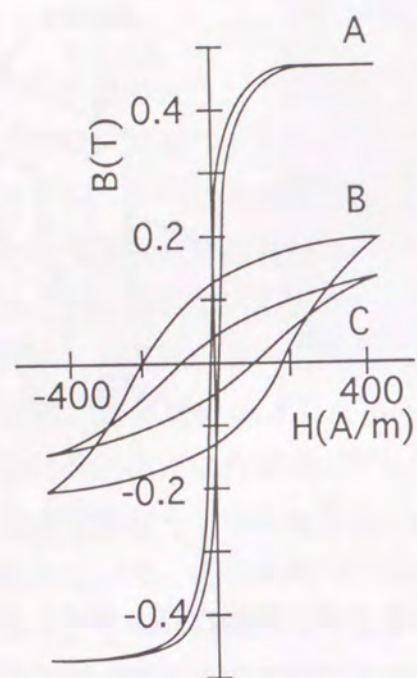


図4-2 消去バックコアに用いたフェライトの磁化特性。
表4-1に示したType-A,B,Cヘッドに用いたフェライトの
磁化曲線はそれぞれA,B,Cである。

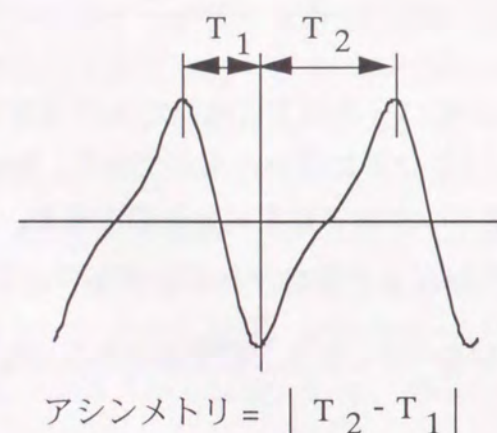


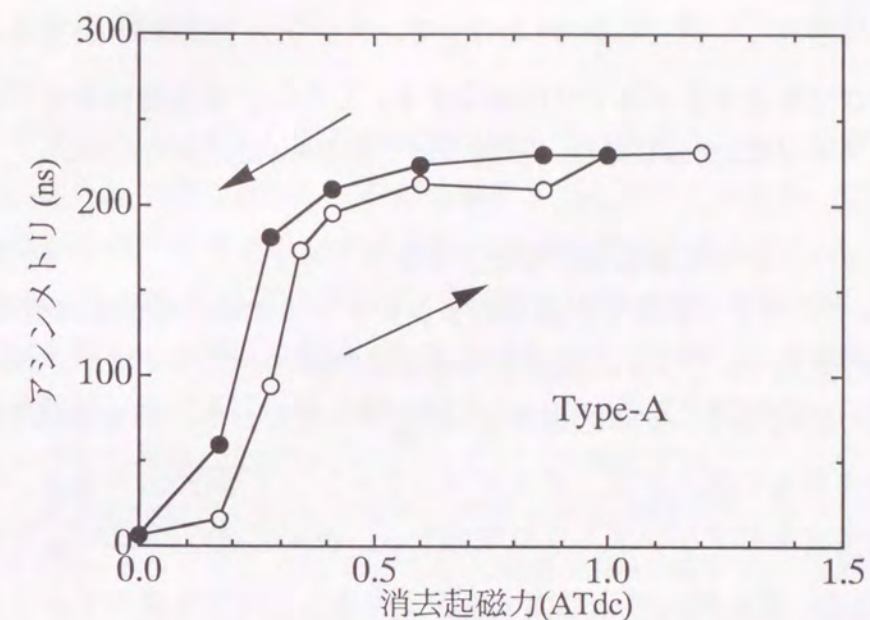
図4-3 アシンメトリの定義

4.1.3 再生波形のアシンメトリの測定結果

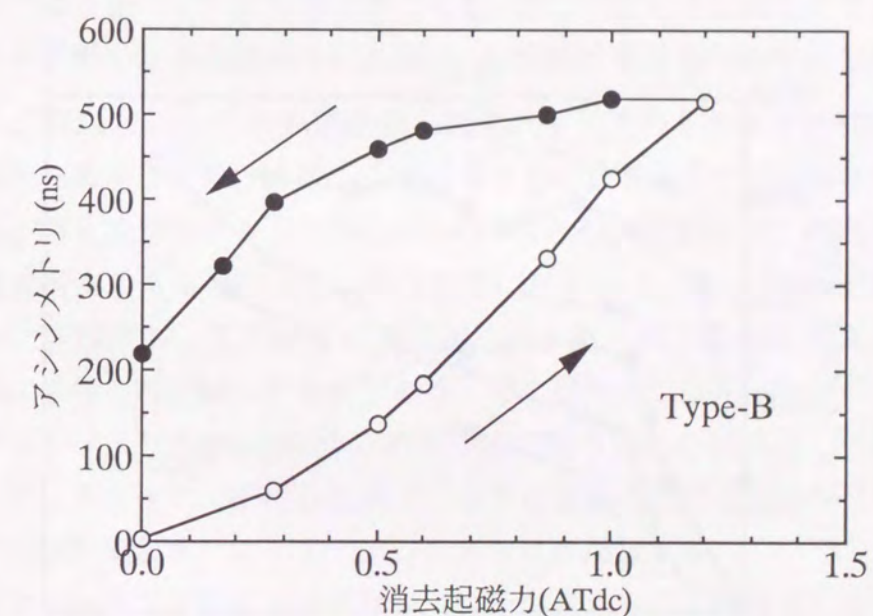
4.1.3.1 消去バックコアの透磁率とアシンメトリ

記録再生ヘッドで媒体に信号を記録しているときに、消去ヘッドでは先行して古い信号の消去が行われている。図4-4に、再生波形のアシンメトリの消去電流依存性を示す。始めに、消去ヘッドに流す消去電流を変化させて、記録再生ヘッドで媒体に信号を記録する。

続いて、この信号を記録再生ヘッドで再生したときの再生波形のアシンメトリを測定した。記録電流の起磁力は $2AT_{pp}$ で一定とした。以下、記録電流の起磁力を記録起磁力、消去電流の起磁力を消去起磁力と呼ぶ。同図(a)は、Type-Aヘッドのアシンメトリである。消去バックコアの比透磁率は2000である。消去電流を流さずに媒体に記録した信号を再生した



(a) Type-Aヘッド



(b) Type-Bヘッド

図4-4 アシンメトリと消去電流の関係の測定結果
(a) Type-Aヘッド：消去バックコアの比透磁率2000
(b) Type-Bヘッド：消去バックコアの比透磁率100

ときの、再生波形のアシンメトリは6nsである。消去電流を増加させると、再生波形のアシンメトリは増加する。消去起磁力が 0.6AT_{dc} から 1.2AT_{dc} の間でアシンメトリは230nsである。その後、消去電流を減少させると、再生波形のアシンメトリは減少する。消去電流を流さずに記録した信号のアシンメトリは初期の値である6nsに戻る。

図4-4(b)は、Type-Bヘッドのアシンメトリである。消去バックコアの比透磁率は100である。消去電流を流さずに記録した信号のアシンメトリは4nsである。消去電流の増加と共にアシンメトリは増加し、消去起磁力 1.2AT_{dc} で、アシンメトリは520nsである。その後、消去電流を減少させるとアシンメトリは減少する。しかし、消去電流をゼロにして記録した信号のアシンメトリは220nsであり、初期の値である4nsには戻らない。

4.1.3.2 消去バックコアの残留磁束密度とアシンメトリ

図4-5に、Type-Cヘッドで記録した信号のアシンメトリの消去電流依存性を示す。Type-Cヘッドで用いた消去バックコアの残留磁束密度はType-Bヘッドで用いた消去バックコアの残留磁束密度の1/3である。記録起磁力は 2AT_{pp} で一定とした。消去電流を流さずに媒体に記録した信号を再生したときの、再生波形のアシンメトリは2nsである。消去電流を増加させると、再生波形のアシンメトリは増加する。消去起磁力が 1.2AT_{dc} では、アシンメトリは210nsとなる。その後、消去電流を減少させると、再生波形のアシンメトリは減少する。消去電流を流さずに記録した信号のアシンメトリは初期の値である4nsに戻る。し

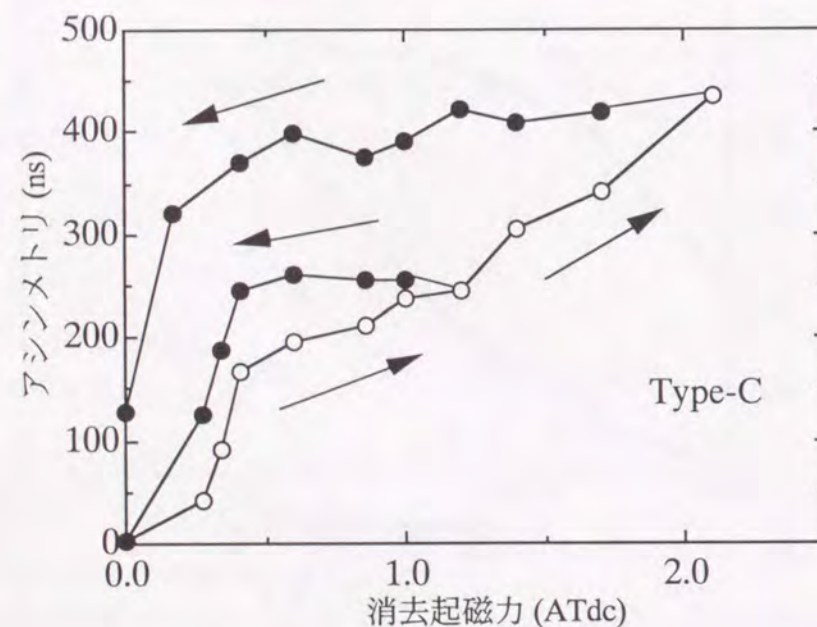


図4-5 消去バックコアの残留磁束密度を低減したType-Cヘッドで記録した信号のアシンメトリの測定結果

かし、消去起磁力が 2.1AT_{dc} になると、アシンメトリは430nsとなる。その後、消去電流を流さずに記録した信号のアシンメトリは130nsとなり、初期の値である4nsには戻らない。

信号記録時に消去ヘッドに流す消去電流が少ない範囲では、消去バックコアの残留磁束密度を低減させる事により、再生波形のアシンメトリを低減させることができる。しかしながら、消去電流が増加するとアシンメトリは増加する。

4.1.4 消去ヘッドの帯磁現象

Type-Bヘッドで、アシンメトリが初期状態に戻らない原因として、消去バックコアの残留磁化により、信号再生時に消去ヘッドが帯磁することが考えられる。すなわち、消去バックコアの透磁率を低下させるとコアの保磁力が増加する。表4-1に示したように、コアの比透磁率を2000から100に低下させると、保磁力は12A/mから190A/mに増加する。このため、消去電流を流して、媒体に記録された信号を消去した後に、消去電流をゼロにしても、消去ヘッドのバックコアには残留磁化が残る。この残留磁化によって発生する直流磁束が消去ギャップから媒体に加わり、アシンメトリが悪化する。

消去ヘッドの残留磁化状態によって媒体に記録された信号のアシンメトリがどのように変化するかを、Type-Bヘッドを用いて測定した結果を図4-6に示す。同図(a)は、予め消去ヘッドの消磁を行い、消去電流を流さずに、記録再生ヘッドで媒体に信号を記録したものである。この信号を記録再生ヘッドで再生すると、再生波形のアシンメトリは6nsである。この初期状態では消去ヘッドは消磁状態にある。次に、信号を記録したトラックとは別の位置にヘッドを移動し、消去コイルに 1.2AT_{dc} の直流起磁力を一時的に与え、消去ヘッドを帯磁させる。同図(b)は、この帯磁状態の磁気ヘッド元のトラックに移動させ、記録再生ヘッドで信号を再生したものである。消去ヘッドの影響を受けて、媒体に記録された信号は変化する。再生波形のアシンメトリは240nsである。同図(c)は、消去ヘッドを消磁させて再び信号を再生したものである。再生波形のアシンメトリは238nsであり、初期状態には戻らない。同図(d)は、この消磁状態の消去ヘッドに消去電流を流さずに、記録再生ヘッドで媒体に信号を再記録したものである。この信号を記録再生ヘッドで再生すると、再生波形のアシンメトリは8nsとなり、初期状態に戻る。この結果は、記録再生ヘッドで信号を再生しているときに、帯磁した消去ヘッドが媒体に記録された信号を変化させることを示す。この再記録現象によって、アシンメトリが増加する。

消去ヘッドのバックコアに低透磁率材を用いた磁気ヘッドで信号を記録すると、再生波形のアシンメトリが悪化する。この現象は、残留磁化によって消去ギャップに発生する直流磁界が、媒体に記録された信号を変化させることによるものである。

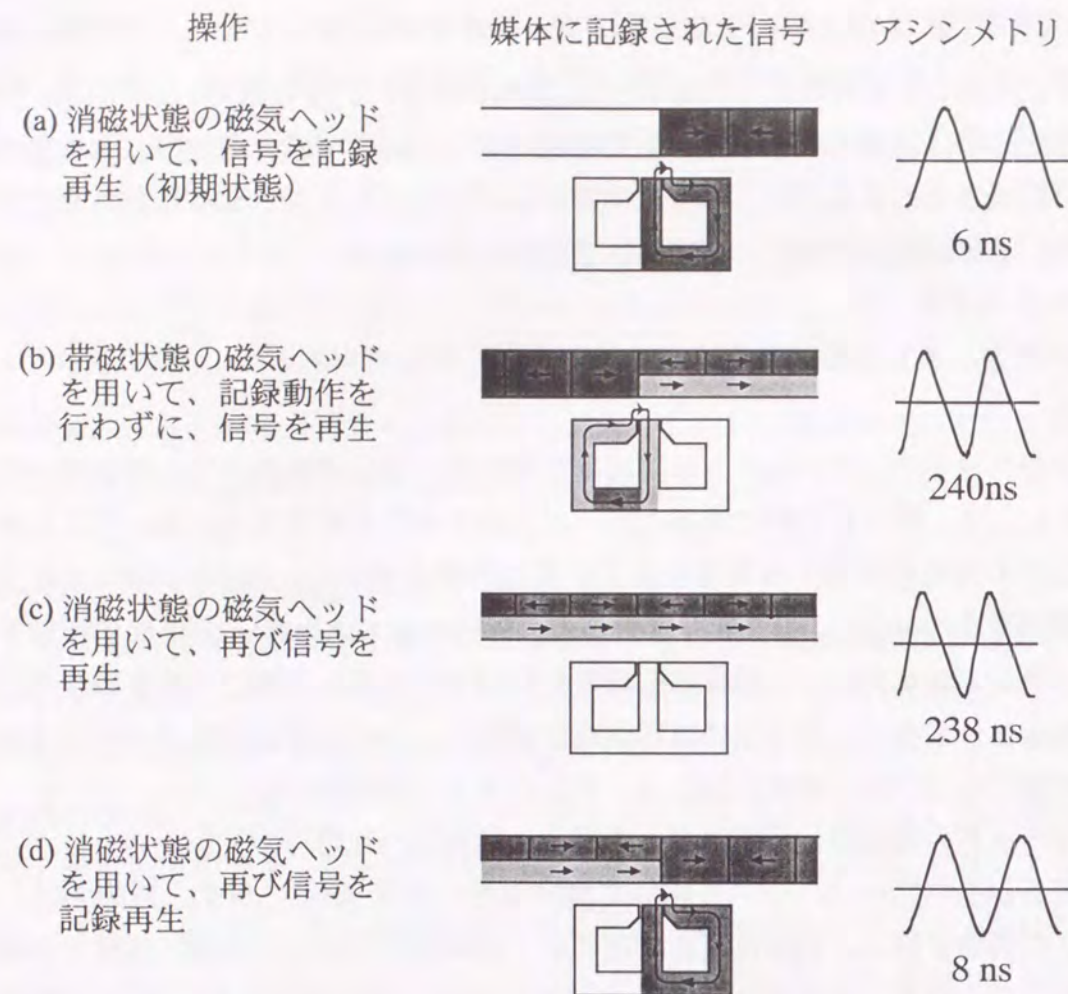


図4-6 消去ヘッドの残留磁化状態を変化させて測定したアシンメトリ

4.2 信号再生時に生じる再生波形の非対称性

4.2.1 残留磁化の解析

T-Ω法を用いた2次元有限要素法プログラムを用いて、消去ヘッドのバックコアの残留磁化によって消去ギャップに発生する磁界を求めた。消去コイルに 1.2AT_{dc} の起磁力を与えた後の残留磁化によって、消去ギャップで発生する磁界を以下の手順で計算した。

- (1) 消去コイルに 1.2AT_{dc} の起磁力を与え、消去バックコア内に発生する磁界強度 H を有限要素法により計算する。
- (2) 消去バックコアに用いたフェライトを(1)で求めた磁界強度 H で励磁し、磁化曲線を測定する。
- (3) (2)で得られた磁化曲線を消去バックコアの減磁曲線として与え、消去ギャップで発生する磁界強度 H_x と消去コア内部の磁束密度 B_c を有限要素法により計算する。

なお、消去バックコア以外の部分のコアは比透磁率2000、飽和磁束密度0.45Tとした。減磁曲線やコアの飽和などの非線形性を考慮した解析を行った。

図4-7にヘッド形状とメッシュ分割例を示す。接点数は空気の部分を含めて約8000である。なお、T-Ω法による磁界解析については、3.1.3.1で述べたものと同じであるので省略する。

Type-AヘッドからType-Cヘッドについて、消去バックコア内部の磁束密度 B_c と消去ギャップの磁界強度 H_x を計算した結果を表4-2に示す。図4-8に示すように、ヘッド摺動面から $0.05\mu\text{m}$ 離れた媒体表面位置での媒体移動方向の磁界強度 H_x を求めた。摺動面とは、媒体と接触する磁気ヘッドの表面のことである。消去バックコア内部の磁束密度 B_c は、表4-1に示した、消去バックコアに用いたフェライトの残留磁束密度 B_r の10分の1以下である。従って、図4-2の磁化曲線上では保磁力 H_c の近傍が動作点になっている。1.2ATの起磁力を与えた後の残留磁化により消去ギャップで発生する磁界強度は、Type-Aヘッドでは3kA/mであるが、Type-Bヘッドでは46kA/mであり、Type-Cヘッドでは、21kA/mとなる。Type-Bヘッドでは媒体表面の磁界強度は媒体の保磁力48kA/mと同程度であるため、アシンメトリが変化することが予想される。

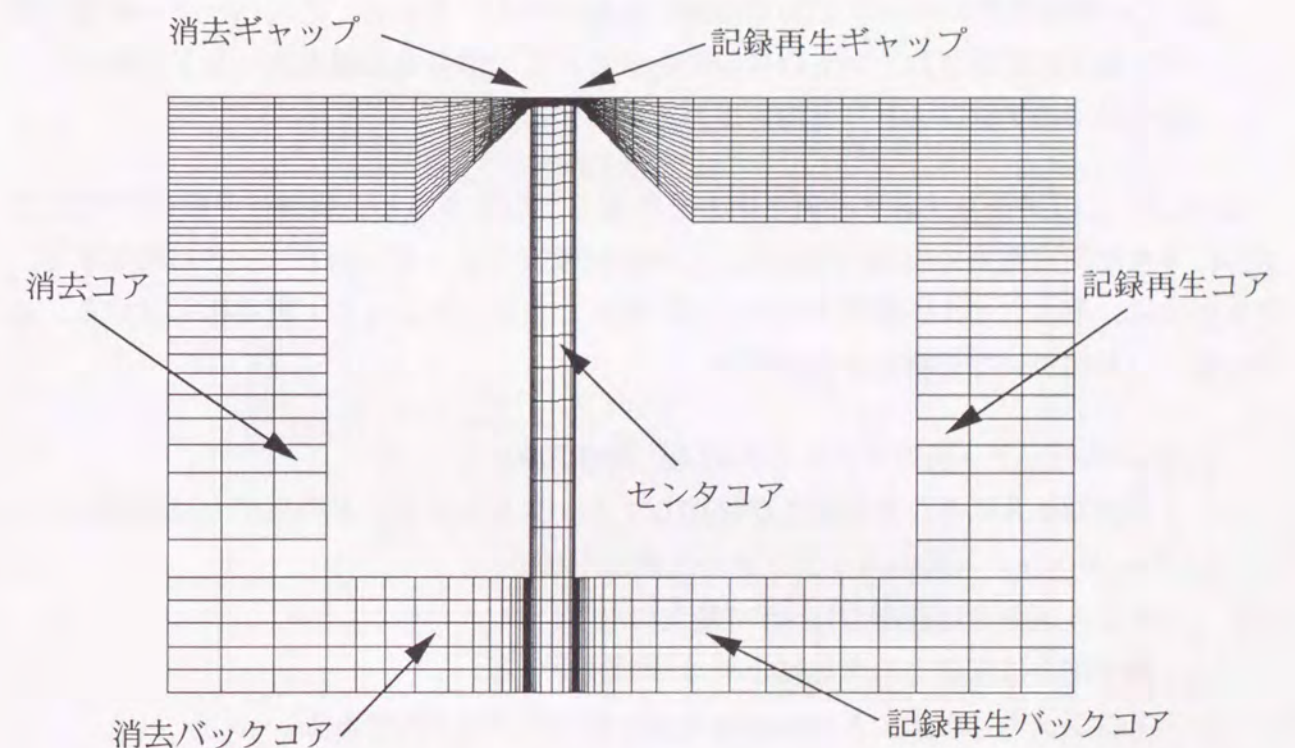


図4-7 2次元有限要素法での磁気ヘッドの要素分割図

表4-2 消去バックコア内部の磁束密度Bcと消去ギャップで発生する磁界強度Hxの計算結果

ヘッド	磁束密度Bc(mT)	Hx(kA/m)
Type-A	0.4	3
Type-B	8.6	46
Type-C	4.1	21

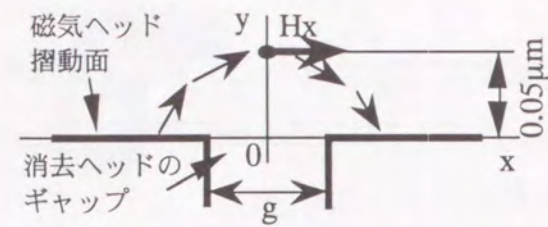


図4-8 消去ギャップで発生する磁界

4.2.2 実験結果及び考察

4.2.2.1 帯磁した消去ヘッドによるアシンメトリの変化

媒体に記録された信号のアシンメトリと再生出力が、帯磁した消去ヘッドによりどのように変化するかを、以下の手順で測定した。

- (1) 消去ヘッドを動作させずに記録再生ヘッドで媒体に信号を記録する。
- (2) (1)とは異なった位置に磁気ヘッドを移動する。そして、消去コイルに直流電流を一時的に流し、消去ヘッドを帯磁させる。
- (3) この帯磁状態のヘッドを(1)の位置に移動させる。すると、消去ヘッドの影響を受けて媒体に記録されていた信号が変化する。この信号を記録再生ヘッドで再生し、再生波形のアシンメトリと再生出力を測定する。

図4-9は、このアシンメトリと再生出力を測定した結果である。横軸は手順(2)で消去コイルに与えた直流電流の起磁力である。この直流電流によって、消去ヘッドは帯磁する。再生出力は、消去コイルに起磁力を与えずに測定した出力によって、規格化している。以下に各ヘッドについての結果をまとめる。

(a) Type-Aヘッド（消去バックコアの比透磁率2000）

- ・消去コイルに与える起磁力が増加しても、アシンメトリと再生出力は変化しない。

(b) Type-Bヘッド（消去バックコアの比透磁率100）

- ・アシンメトリは起磁力1.2ATで最大になる。
- ・再生出力は起磁力の増加にともなって減少する。
- ・アシンメトリが最大となる起磁力での出力低下は10%である。

(c) Type-Cヘッド（消去バックコアの残留磁束密度を低減）

- ・起磁力が1AT以下ではアシンメトリは変化しない。
- ・起磁力4ATでアシンメトリは最大値を示す。

- ・アシンメトリが最大となる起磁力での出力低下は10%である。

消去バックコアに用いるフェライトの磁気特性によらず、出力低下が10%になる起磁力でアシンメトリは最大になる。

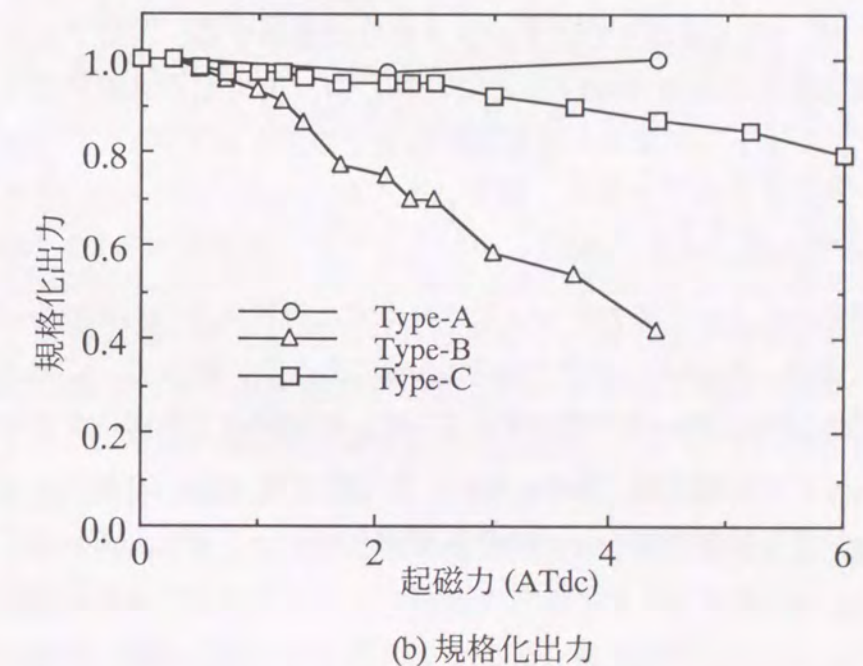
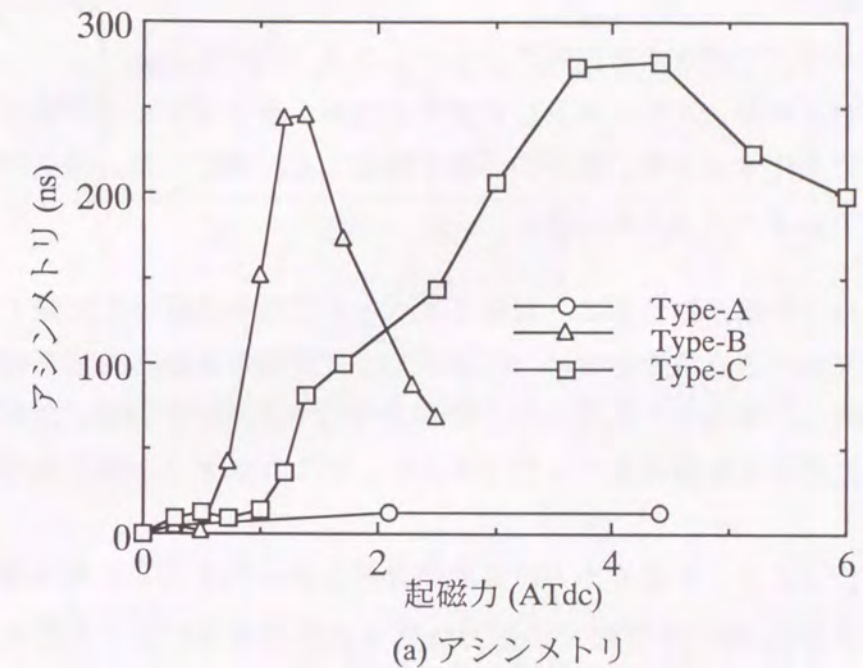


図4-9 帯磁した磁気ヘッドによって再生した信号のアシンメトリと再生出力の変化。横軸は消去ヘッドを帯磁させるために与えた起磁力を示す。

消去ヘッドを帯磁させるために消去コイルに与える起磁力を増加させると、消去ヘッドの残留磁化が増加し、消去ギャップで発生する直流磁界強度が増加する。この直流磁界により再生出力の低下とアシンメトリの増加が起こる。しかし、出力低下が10%以上になるとアシンメトリは減少する。すなわち、直流磁界により媒体内部の信号まで消去されるとアシンメトリは減少する。残留磁化によって消去ギャップで発生する直流磁界は、媒体表層の磁化遷移位置を変化させると考えられる。

4.2.2.2 消去ギャップで発生する磁界によるアシンメトリの変化

媒体に記録された信号のアシンメトリと再生出力が、消去ギャップで発生する直流磁界によりどのように変化するかを、以下の手順で測定した。測定には、消去バックコアの比透磁率が2000のType-Aヘッドを用いた。

- (1) 消去ヘッドを動作させずに、記録再生ヘッドで信号を媒体に記録する。
- (2) 消去コイルに直流電流を流し、消去ギャップで発生する直流磁界を(1)で記録した信号に加える。すると、直流磁界の影響を受けて媒体に記録された信号が変化する。
- (3) 変化した信号を記録再生ヘッドで再生し、アシンメトリと再生出力を測定する。

図4-10に、アシンメトリや再生出力の直流磁界強度依存性を示す。直流磁界強度は、ヘッド摺動面から0.05 μ m離れた位置での磁界強度を有限要素法により求めた。磁界強度が18kA/m以下ではアシンメトリは変化しない。その後、磁界強度の増加に伴ってアシンメトリは増加するが、40kA/m以上ではアシンメトリは減少する。このアシンメトリが最大となる磁界強度は媒体の保磁力48kA/mにほぼ等しい。再生出力は磁界強度の増加に伴って減少する。アシンメトリが最大となる磁界強度での出力低下が10%になるのは、帯磁したヘッドを用いたときと同じである。磁界強度が46kA/m及び21kA/mのときのアシンメトリは200nsと30nsである。一方、表4-2に示したように、消去コイルに1.2AT_{dc}の起磁力を与えた後の残留磁化によって消去ギャップで発生する磁界強度の計算結果は、Type-Bヘッドでは46kA/mであり、Type-Cヘッドでは21kA/mであった。従って、この状態でのアシンメトリはそれぞれ200nsと30nsと予想され、1.2AT_{dc}の起磁力で帯磁させた状態のType-Bヘッド、Type-Cヘッドでの測定値（240ns, 40ns）と一致する（図4-9参照）。従って、再生過程で生じるアシンメトリが消去ヘッド内の残留磁化によって発生していることは明らかである。

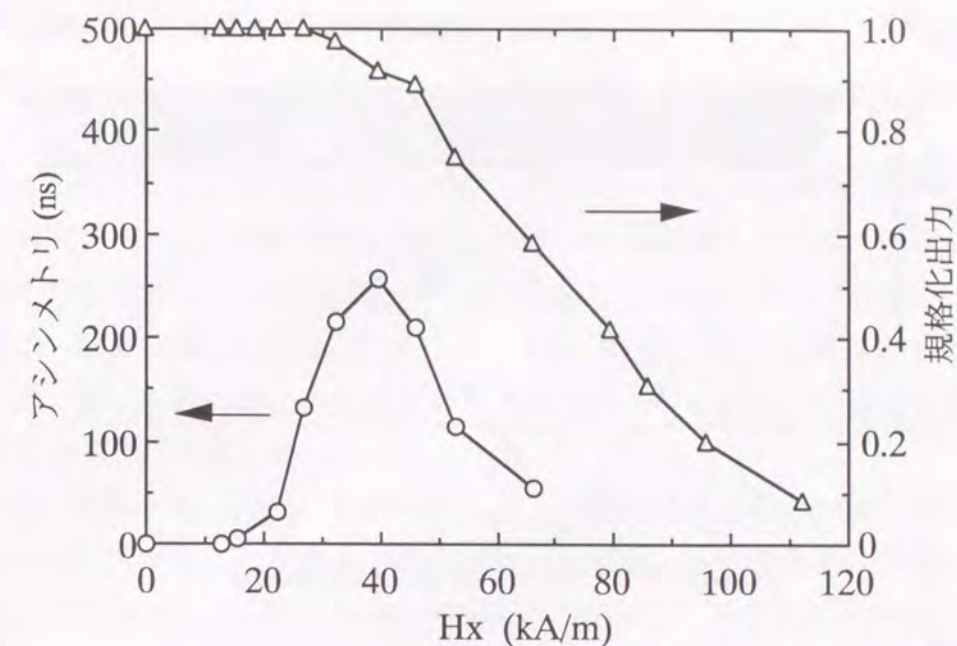


図4-10 Type-Aヘッドを用いて測定したアシンメトリと規格化出力。
Hxは信号を記録した媒体に加える直流磁界強度である。

4.2.3 残留磁化によって生じるアシンメトリ

この節では、信号再生時に消去ヘッド内に残る残留磁化によって再生波形のアシンメトリが変化する現象について、定量的に検討した。残留磁化により消去ギャップで発生する直流磁界によって、媒体の磁化状態が変化する。図4-11に磁化状態と再生波形の模式図を示す。同図(a)は、記録再生ヘッドで媒体に信号を記録したときの磁化状態である。左向きの磁化領域（領域A）と右向きの磁化領域（領域B）の面積は同じである。従って、再生波形は対称である。同図(b)は、(a)の状態に消去ギャップからの直流磁界が加わったときの磁化状態である。直流磁界の大きさは媒体の保磁力以下である。媒体表層の磁化状態が変化し、磁化領域Bは広くなり、磁化領域Aは狭くなる。しかし、媒体内部の磁化状態は変化しない。媒体表層の磁化状態の影響を受けて、再生波形は非対称になる。同図(c)は、(a)の状態に保磁力以上の直流磁界が加わったときの磁化状態である。媒体表層の磁化は直流消去される。媒体内部の磁化状態は変化しない。このため、再生出力は低下するものの、再生波形は対称になる。

残留磁化によって消去ギャップで発生する直流磁界が、媒体表層に記録された磁化遷移位置を新たに移動させることにより、再生波形のアシンメトリは変化する。消去ギャップで発生する直流磁界が媒体の保磁力と等しくなると、再生波形のアシンメトリは最大値を示す。また、保磁力が48kA/mの媒体では、18kA/m以下の直流磁界が媒体に加わっても、アシンメトリは変化しないことがわかった。

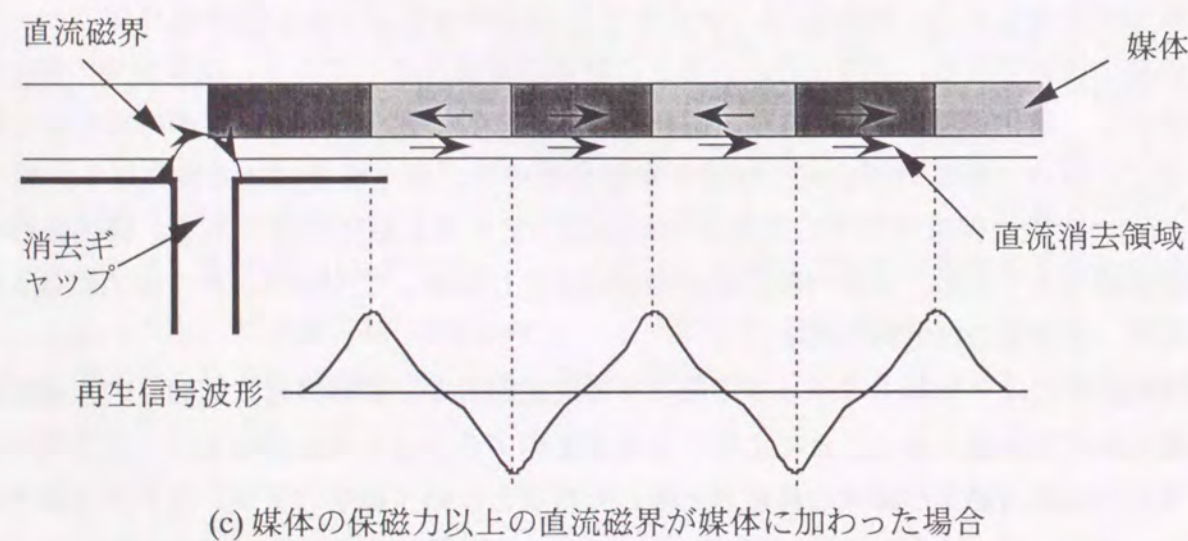
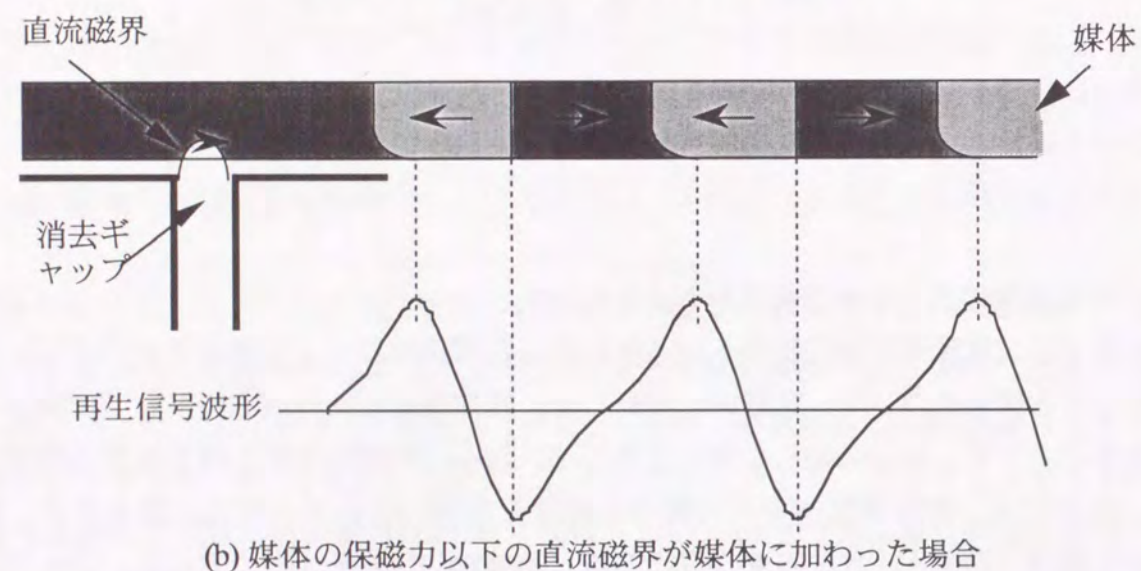
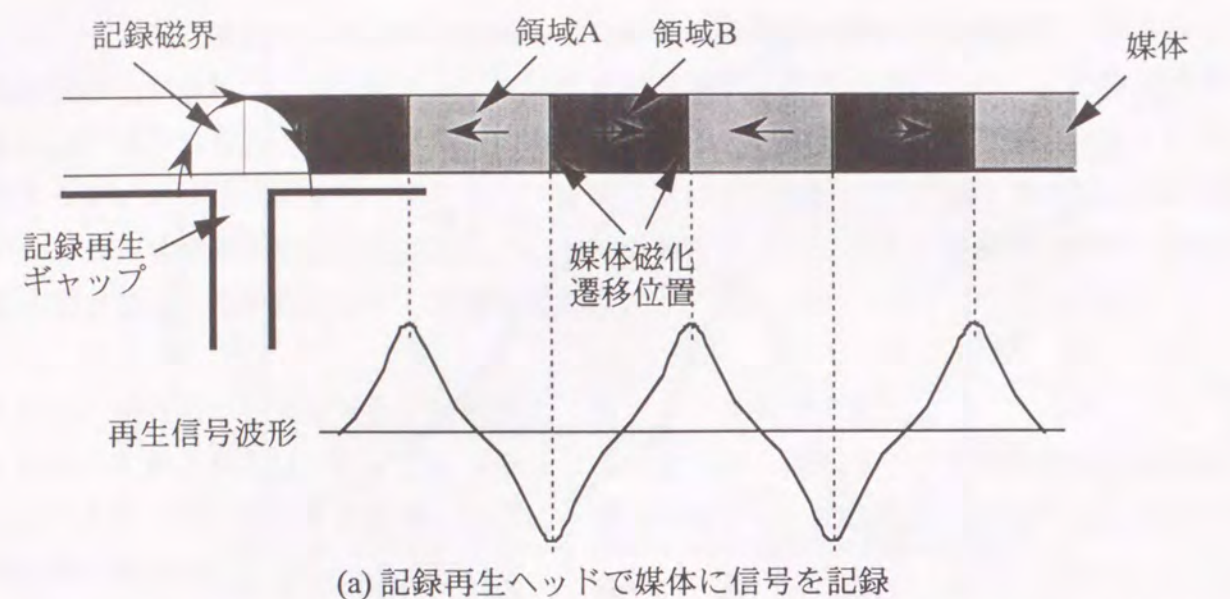


図4-11 媒体の磁化状態と再生波形の模式図

4.3 信号記録時に生じる再生波形の非対称性

4.3.1 消去ヘッドの漏れ磁束

記録再生ヘッドで媒体に信号を記録しているときに、消去ヘッドでは先行して古い信号の消去が行われている。信号記録時に消去ヘッドから記録再生ヘッドに漏れる直流磁束によっても再生波形のアシンメトリは悪化する。図4-12に示すように、消去コイルで発生した直流磁束の一部が記録再生ヘッドに侵入し、記録再生コイルが発生する交流磁束に重畳される。このため、記録磁界には直流磁界が重畳されている。直流磁界の有無によって、媒体に記録される磁化状態は異なる。

図4-13に磁化状態と再生波形の模式図を示す。同図(a)は直流磁界が無い場合である。左向きの磁化領域（領域A）と右向きの磁化領域（領域B）の面積は同じである。従って、再生波形は対称である。同図(b)は、直流磁界が記録磁界に重畳された場合である。記録磁界が非対称となり、媒体磁化遷移位置が等間隔でなくなる。このため、再生波形は非対称になる。すなわち、記録磁界の極性により、媒体磁化遷移位置が異なって記録されることにより、再生波形のアシンメトリが悪化する [Tanabe91]。

次に、消去ヘッドに透磁率の低い材料を用いたときに、消去ヘッドから記録再生ヘッドに漏れる直流磁束について検討する。

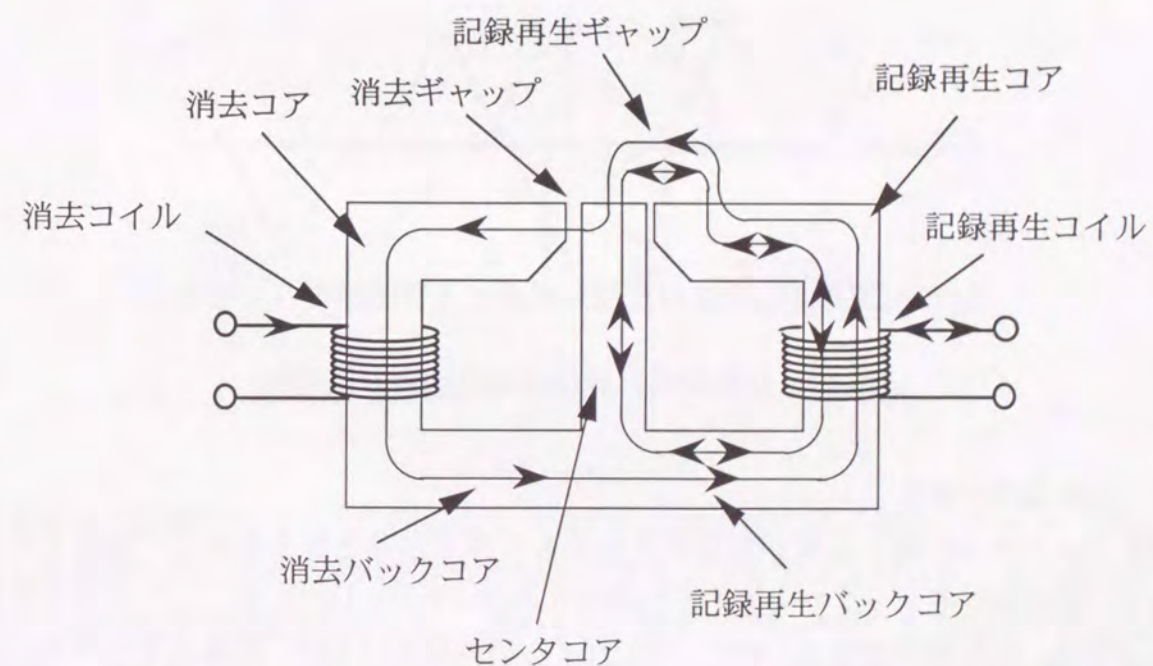


図4-12 信号記録時に記録再生ギャップで発生する磁束の流れ

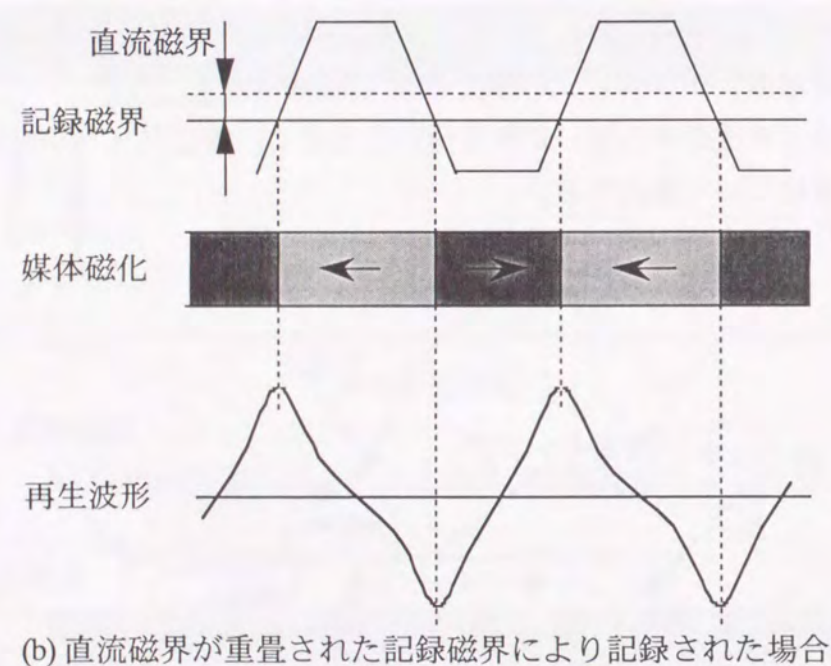
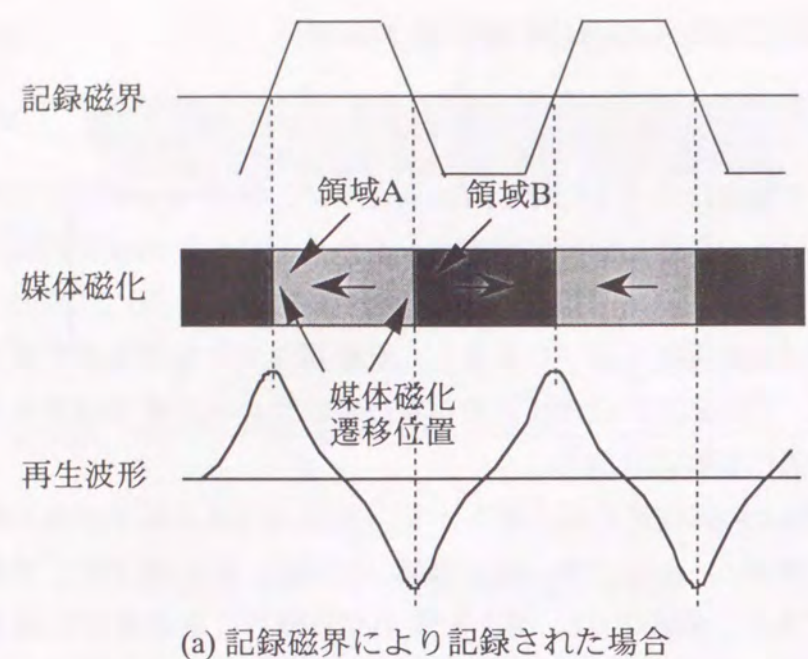


図4-13 記録磁界と媒体の磁化状態の模式図

4.3.2 漏れ磁束の解析

消去ヘッドからの漏れ磁束が記録再生コイルの作る磁束を強める場合と弱める場合について、記録再生ギャップで発生する記録磁界の分布を図4-14に示す。ヘッドコアの比透磁率は2000、飽和磁束密度は0.45T、消去コイルの起磁力は1AT、記録再生コイルの起磁力は0.5ATである。図4-15に示すように、ヘッド摺動面から1 μ m離れた媒体中央位置での媒体移動方向の磁界強度 H_x を計算した。記録磁界分布は消去ヘッドからの漏れ磁束と記録磁界との位相関係により変化する。

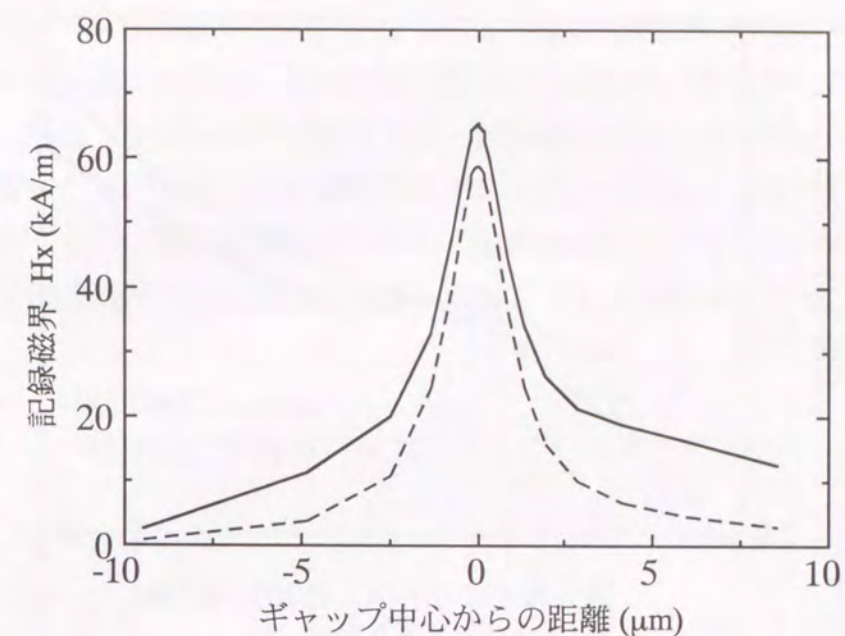


図4-14 記録磁界分布の解析結果。実線は消去ヘッドからの漏れ磁界が記録磁界を強める場合であり、点線は弱める場合である。

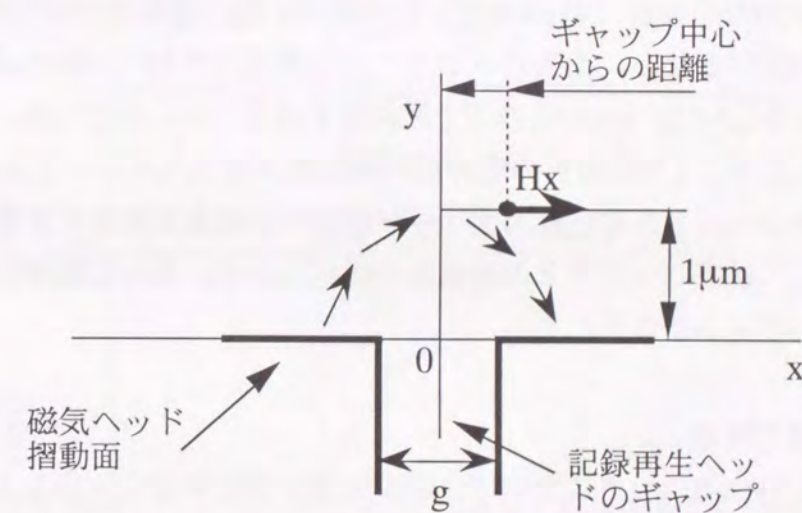


図4-15 記録再生ギャップで発生する記録磁界

漏れ磁束が記録再生コイルの作る磁束を強めるときと弱めるとき、ギャップ中心での記録磁界強度の比を求め、漏れ磁束が記録磁界に及ぼす影響を検討した。漏れ磁束が無いときには記録磁界強度比は1になる。図4-16に、消去コイルに与える起磁力と記録磁界強度比の関係を示す。消去バックコアの比透磁率が2000と100の場合について検討した。記録再生コイルの起磁力は0.5ATである。消去コイルの起磁力が増加するにつれて、記録磁界強度比は増加するが、ある起磁力の範囲で記録磁界強度比は一定値となる。消去バック

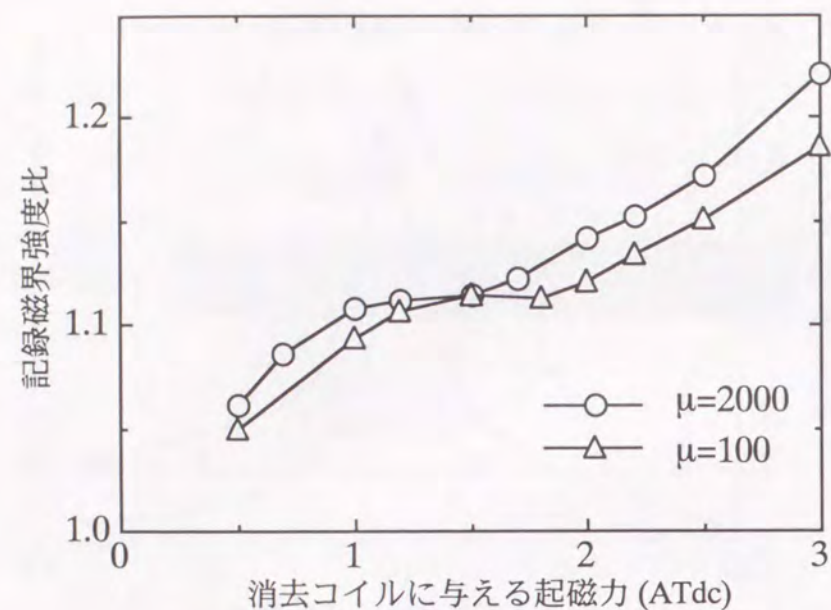


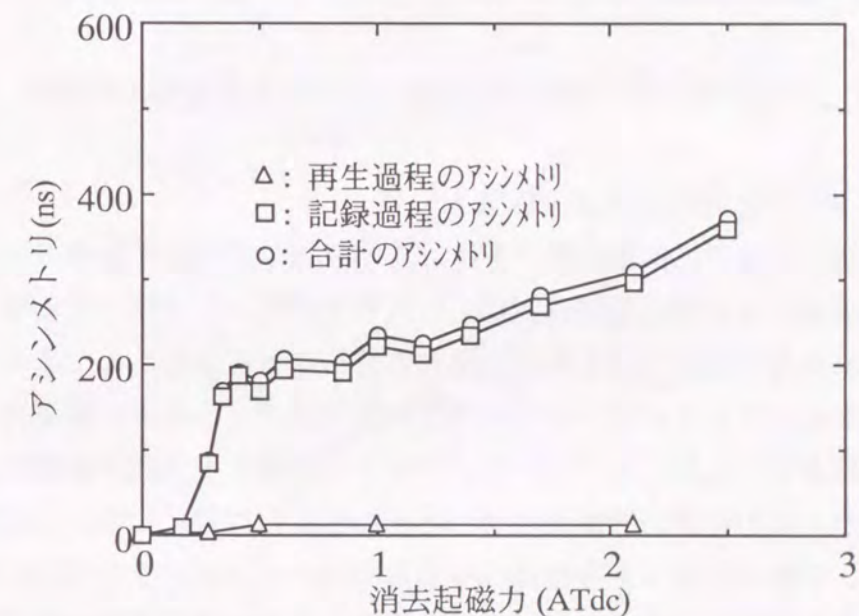
図4-16 記録磁界強度比の解析結果。横軸は消去コイルに与える起磁力を示し、縦軸は消去ヘッドからの漏れ磁界が記録磁界を強める場合と弱める場合の記録磁界の比を示す。漏れ磁界がないときには記録磁界強度比は1になる。

コアの比透磁率が2000の場合（Type-Aヘッドに相当）は、起磁力が1ATから1.5ATの間で記録磁界強度比は1.11となる。消去バックコアの比透磁率が100の場合（Type-Bヘッドに相当）は、起磁力が1.3ATから1.8ATの間で記録磁界強度比は1.11となる。消去バックコアの透磁率が変化しても、1.5AT付近の記録磁界強度比は変化しない。これは、消去バックコアの透磁率が消去ヘッドから記録再生ヘッドに漏れる磁束の割合に影響を及ぼさないためである。従って、消去バックコアの透磁率が変化しても、信号記録時に生じるアシンメトリは変化しないことが予想される。

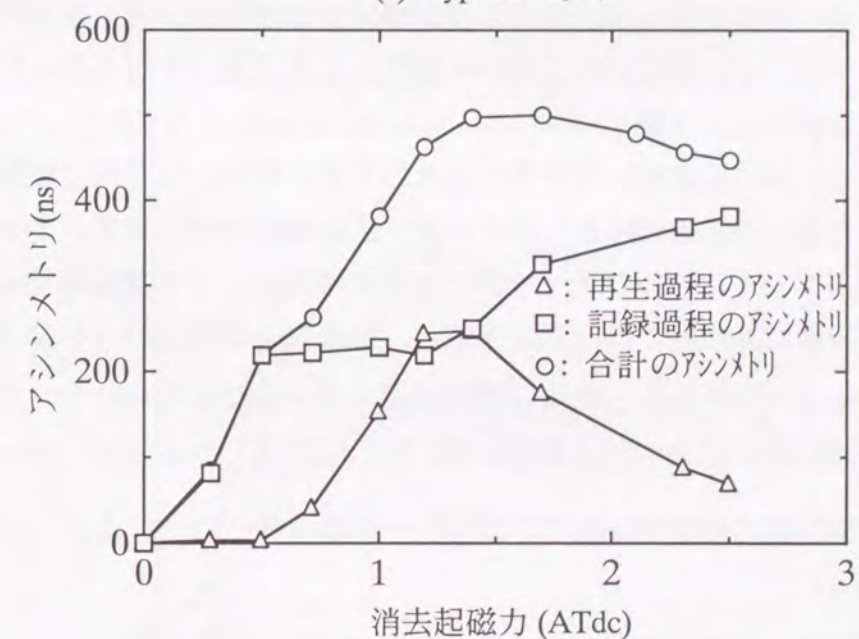
4.3.3 実験結果及び考察

Type-AヘッドとType-Bヘッドについて、消去電流を変化させてアシンメトリを測定した。測定結果を図4-17に示す。消去バックコアの比透磁率は、Type-Aヘッドでは2000であり、Type-Bヘッドでは100である。記録起磁力は $0.5AT_{pp}$ で一定とした。測定結果は再生時の残留磁化によって生じるアシンメトリと記録時の漏れ磁束によって生じるアシンメトリの和である。従って、図4-17に示した測定結果から、図4-9に示した残留磁化によるアシンメトリの測定結果を差し引くことによって、記録時の漏れ磁束によって生じるアシンメトリを求めることが出来る。この記録過程で生じるアシンメトリは、消去電流の増加と共に増加するが、ある電流範囲で一定値を示す。Type-Aヘッドでは、消去起磁力が $0.5AT_{dc}$ から $1.2AT_{dc}$ の間でアシンメトリは200nsである。Type-Bヘッドでは、消去起磁力が $0.5AT_{dc}$ から $1.2AT_{dc}$ の間でアシンメトリは220nsである。消去バックコアの透磁率が変化しても、

1AT付近のアシンメトリはあまり変化しない。ある消去起磁力の範囲で記録時のアシンメトリが一定値を示す測定結果は、図4-16で記録磁界強度比が一定値を示す解析結果と一致する。従って、消去ヘッドからの漏れ磁束が、記録再生ギャップで発生する記録磁界の分布に影響を及ぼすことにより、記録過程でのアシンメトリが発生することは明白である。また、消去バックコアの透磁率が変化しても、記録過程で生じるアシンメトリは変化せず、消去バックコアの透磁率は記録過程で生じるアシンメトリに影響を与えないことがわかる。



(a) Type-Aヘッド



(b) Type-Bヘッド

図4-17 消去電流を変化させたときのアシンメトリの測定結果。記録過程のアシンメトリは合計のアシンメトリから再生過程のアシンメトリを引いたものである。

4.3.4 漏れ磁束によって生じるアシンメトリ

この節では、信号記録時に消去ヘッドから記録再生ヘッドに漏れる直流磁束によって再生波形のアシンメトリが変化する現象について、定量的に検討した。直流の漏れ磁束が記録再生コイルで発生する交流磁束に重畳されると、記録再生ギャップで発生する記録磁界の分布はその極性によって変化する。このため、図4-13に示したように、媒体磁化遷移位置が等間隔でなくなり、再生波形のアシンメトリが悪化する。このアシンメトリは、消去コイルに流す消去電流の増加と共に増加するが、ある消去電流範囲では一定となる。また、消去バックコアの透磁率が変化しても、このアシンメトリは変化しないことがわかった。

4.4 消去ヘッドにバックギャップを設けた磁気ヘッドの再生波形の対称性

4.4.1 バックギャップを設けた構造の磁気ヘッド

消去ヘッドのバックコアに低透磁率材を用いた磁気ヘッドで再生波形のアシンメトリが悪化するの、消去ヘッド内の残留磁化によって消去ギャップで発生する直流磁界が、媒体表層に記録された磁化遷移位置を新たに移動させることによるものであった。消去ヘッド内の残留磁化を低減させるには、バックコアに用いるフェライトの保磁力や残留磁束密度を低減させればよい。しかしながら、フェライトの保磁力と透磁率の間には相関関係があるため、フェライトの保磁力を低減させるとその透磁率は高くなる。このため、3章で検討したように、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間のクロストークを増加させてしまう。また、フェライトの残留磁束密度を低減させた場合、少ない消去電流の範囲ではアシンメトリを低減させることができるが、消去電流が増加するとアシンメトリは増加する。このため、消去バックコアに低透磁率材を用いた磁気ヘッドでは、クロストークとアシンメトリを同時に低減させることは難しい。

従って、消去ヘッドに低透磁率材を用いる代わりに、消去ヘッド内に磁気的な隙間（バックギャップ）を設けることにより、コアの実効透磁率を低減させて、アシンメトリの低減を試みた。消去ヘッドにバックギャップを設けた磁気ヘッドの構造を図4-18に示す。消去バックコアの表面に非磁性の SiO_2 膜を作成し、消去コアと消去バックコアとの接合面及びセンタコアと消去バックコアとの接合面にバックギャップを形成した。バックギャップの長さは、 SiO_2 膜の膜厚によって決定される。3.1.4.3に示したように、バックギャップの長さ、すなわち SiO_2 膜の膜厚が $5\mu\text{m}$ でクロストークはほぼゼロとなる。

4.4.2 バックギャップとアシンメトリ

図4-19に消去ヘッドにバックギャップを設けた磁気ヘッドのアシンメトリを示す。バックギャップの長さは $5\mu\text{m}$ である。始めに、消去コイルに流す消去電流を変化させて、記録

再生ヘッドで媒体に信号を記録する。続いて、この信号を記録再生ヘッドで再生したときの再生波形のアシンメトリを測定した。記録起磁力は 2AT_{pp} で一定とした。消去電流を流さずに媒体に記録した信号を再生したときの、再生波形のアシンメトリは 4ns である。信号記録時に消去コイルに流す消去電流を増加させると、再生波形のアシンメトリは増加する。消去起磁力が 0.6AT_{dc} から 2.1AT_{dc} の間でアシンメトリは 210ns となる。その後、消去電流を減少させて媒体に信号を記録すると、再生波形のアシンメトリは減少する。消去電

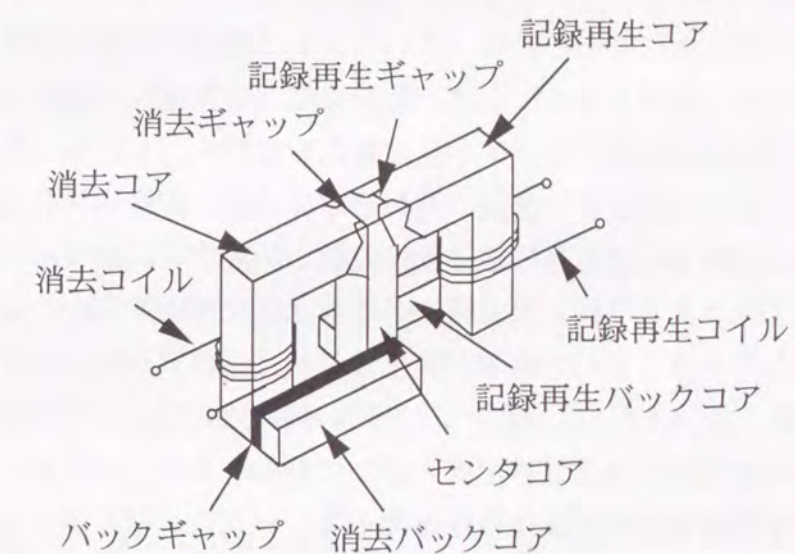


図4-18 消去ヘッドにバックギャップを設けた構造の磁気ヘッド

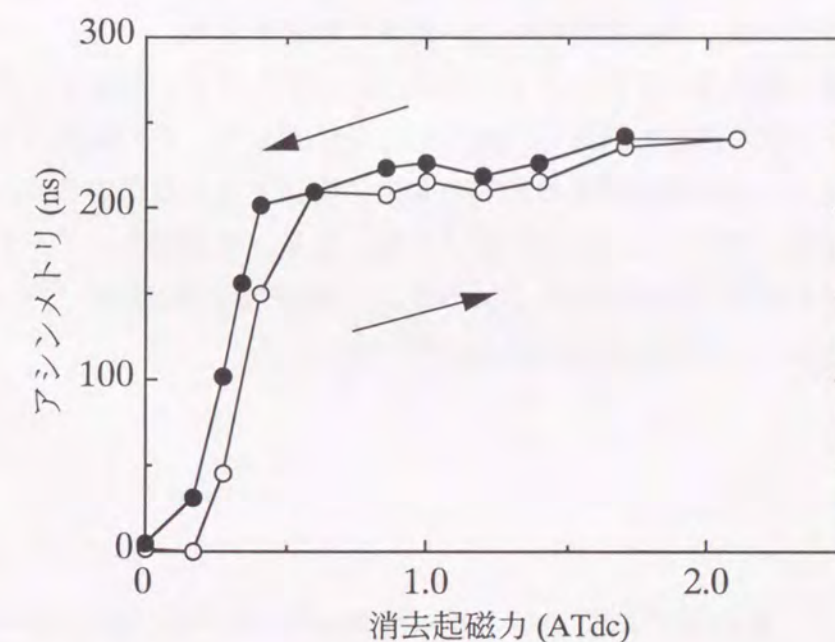


図4-19 消去ヘッドにバックギャップを設けた磁気ヘッドのアシンメトリ

流を流さずに記録した信号のアシンメトリは初期の値である4nsに戻る。これは、図4-4に示した、消去バックコアの比透磁率が2000のType-Aヘッドでの、アシンメトリの測定結果と同じであった。

4.5 まとめ

この章では、消去バックコアに低透磁率材を用いたフロッピーディスク用磁気ヘッドの再生波形の非対称性（アシンメトリ）について述べた。有限要素法による磁界解析により、信号記録時や再生時に発生するアシンメトリの検討を行った。そして、アシンメトリが発生するメカニズムを明らかにすると共に、アシンメトリ低減の手法を明確にした。

再生波形のアシンメトリのメカニズムは、記録過程と再生過程で異なり、各々異なるメカニズムが重畳して再生波形のアシンメトリの悪化をもたらしている。記録過程で生じるアシンメトリは、消去ヘッドからの直流の漏れ磁束により、記録磁界分布がその極性によって変化し、媒体に記録された信号の磁化遷移位置の間隔が等間隔でなくなることによるものである。このアシンメトリは、消去電流の増加と共に増加するが、ある消去電流範囲で一定となる。消去バックコアの透磁率が変化しても、このアシンメトリは変化しない。再生過程で生じるアシンメトリは、消去ヘッド内の残留磁化によって消去ギャップで発生する直流磁界が、媒体表層の磁化遷移位置を新たに移動させることによるものである。消去ギャップで発生する直流磁界が媒体の保磁力と等しいとき、このアシンメトリは最大値となる。低透磁率でありかつ低残留磁束密度である材料を消去バックコアに用いることにより、消去ヘッド内に生じる残留磁化を低減させることができ、アシンメトリを低減させることが出来る。しかしながら、低透磁率材を用いた消去ヘッドにおいて、アシンメトリの低減が可能となるのは、消去電流の少ない範囲に限定される。

消去電流の範囲に関係なくアシンメトリを低減させるために、消去ヘッド内に磁気的な隙間（バックギャップ）設けた構造の磁気ヘッドを提案した。この磁気ヘッドを用いることにより、消去ヘッド内の残留磁化の増加を完全に防止することができる。このため、消去電流の値によらず、アシンメトリの低減が可能となる。すなわち、アシンメトリ低減とクロストーク低減の両立が可能になるという点に、消去ヘッドに隙間（バックギャップ）を設けた複合型磁気ヘッドの有効性が示されている。

参考文献

- [Iwata90] H.Iwata : MIG mini composite head using single crystal Mn-Zn ferrite, IEEE Trans., Magn., Vol.26, pp.2394-2396, (1990).

- [Murata96] Y.Murata : Influence of remanence magnetization on asymmetry of reproducing signals in 4MB FDD, IEEE Trans., Magn., Vol.32, pp.3515-3517, (1996).
- [Murata97] 村田雄一郎：低透磁率材を用いたフロッピーディスクヘッドの波形対称性, 日本応用磁気学会誌, Vol.22, No.1, (印刷中)
- [Tanabe91] 田辺信二：フロッピーディスク信号のアシンメトリの解析, 電子情報通信学会春季全国大会講演論文集, C-436, 5-27, (1991)

5章 外来磁界の遮蔽

通常、フロッピーディスク装置はパーソナルコンピュータやワードプロセッサ等のシステムに組み込まれて使用される。このとき、フロッピーディスク装置はモニタディスプレイ（CRT）やスイッチング電源の近傍に設置されることが多い。CRTのフライバックトランスやスイッチング電源のトランス等は交流磁界を発生している。この交流磁界が磁気ヘッドに侵入すると、再生コイルにノイズ電圧を誘起するため、媒体に記録された信号を正確に再生することができなくなる [Lopez81]。この交流磁界は外部機器からの磁気干渉に相当し、本論文では外来磁界と呼ぶ。5章では、外来磁界の遮蔽（シールド）方法について検討する。

外来磁界をシールドするために、フロッピーディスク用磁気ヘッドの回りには、シールドリングと呼ばれる磁性体のリングが設けられている [Camras88]。この章では、有限要素法による磁界解析を用いて、シールドリングや磁気ヘッドの構造による外来磁界のシールド効果を検討する。そして、外来磁界が磁気ヘッドに侵入するメカニズムを明確にすると共に、効果的なシールド方法について述べる [Murata90]、[Murata91]。

5.1 3次元有限要素法による外来磁界の解析

5.1.1 外来磁界の解析方法

T-Ω法による3次元有限要素法プログラムを用いて、磁気ヘッドに一樣磁界が加えられたときの、記録再生コイルに誘起されるノイズ電圧を計算した。図5-1に解析を行ったヘッド形状を示す。磁気ヘッドはヘッドコアとシールドリングからなる。ヘッドコアは記録再生コア、消去コア、センタコア、記録再生バックコア、消去バックコアからなる。記録再生コアと消去コアの突出した部分をヒールと呼ぶ。ヒールは記録再生コイルや消去コイルの巻き線作業を効率よく行うために設けられている。シールドリングはヘッドの回りに設けられた、直方体のリングであり、外来磁界をシールドするために設けられている。ヘッドコアの比透磁率は3000とし、シールドリングの比透磁率は5000とした。解析はコアの飽和を考慮しない線形計算で行った。なお、T-Ω法による磁界解析については、3.1.3.1で述べたものと同じであるので省略する。

解析領域の対向する2つの境界面はDirichlet境界とし、その他4つの境界面はNeuman境界とした [Kagawa77]。この境界条件では、Dirichlet境界に垂直な向きの一樣磁界が磁気ヘッドに加わる。1A/mの一樣磁界を与えたときに、記録再生コイルが巻かれる位置でのコア内部の磁束密度Bを磁界解析により計算した。立ち上がり時間Trのパルス電流による外来磁界が磁気ヘッドに加えられたとき、記録再生コイルに誘導されるノイズ電圧Vは、

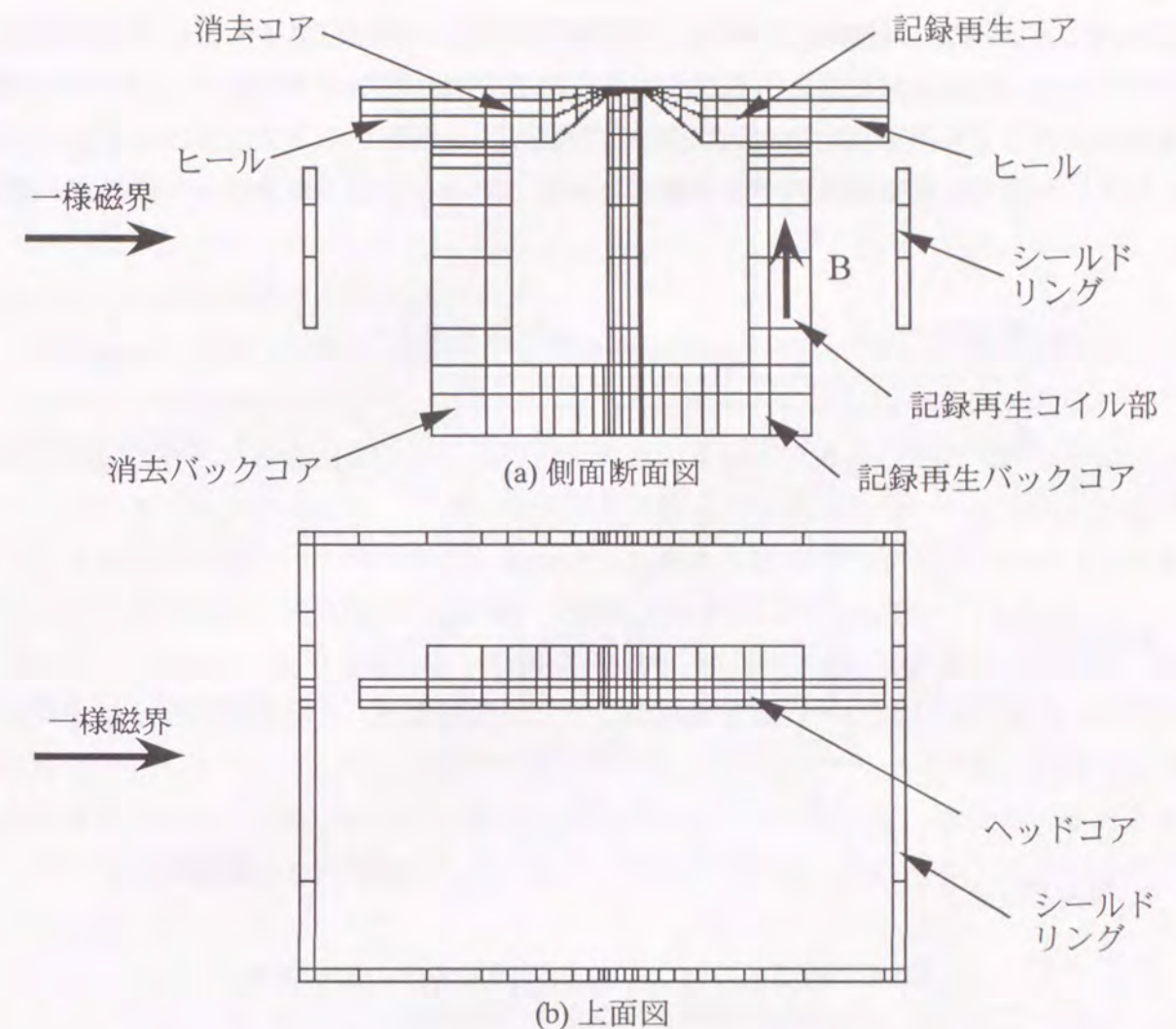


図5-1 3次元有限要素法での磁気ヘッドの要素分割図

$$V = NAB / Tr \quad (5-1)$$

となる。但し、Nは記録再生コイルの巻き数、Aは記録再生コアの断面積である。

5.1.2 外来磁界が磁気ヘッドに侵入するメカニズム

図5-2に、磁気ヘッドコア内部の磁束分布の解析結果を示す。矢印は磁束密度ベクトルである。磁気ヘッド内部の磁束分布から、外来磁界は以下の磁路を流れることがわかる。外来磁界はシールドリングによって吸収され、磁気ヘッドに達する前にその強度が低減される。シールドリングによって低減された外来磁界は、ヒールから磁気ヘッドに侵入する。ヘッド内部で磁束は消去コア、消去バックコア、センタコア、記録再生バックコア、記録再生コアへと流れる。磁束が記録再生コイルと鎖交することによって、コイルにノイズ電圧が誘起される。

図5-3にノイズ電圧の低減対策とそのコア形状を示す。同図(a)は、センタコアの中央に非磁性のスペーサを入れ、外来磁界が流れる磁路を分断したものである(センタコア分離)。非磁性のスペーサの厚みは0.08mmである。同図(b)はシールドリングの高さを高くし、磁気ヘッドに到達する外来磁界の強度を低減したものである(シールドリング強化)。従来

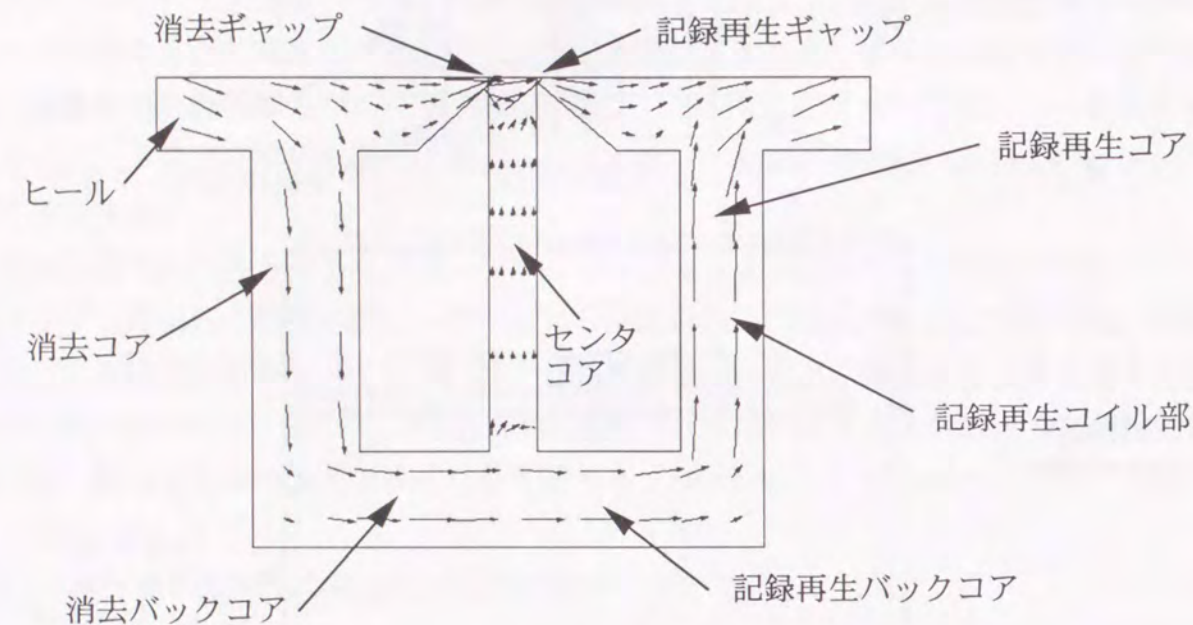


図5-2 磁気ヘッドコア内部の磁束密度の解析結果。
矢印は磁束密度ベクトルを示す。

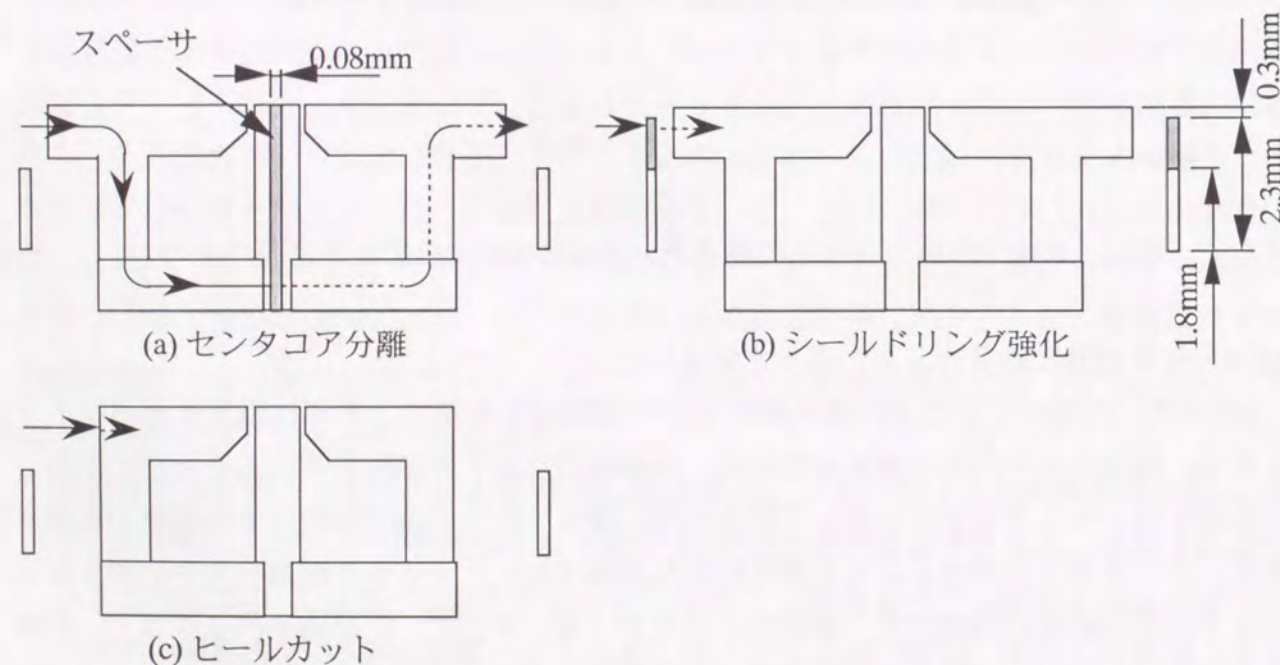


図5-3 ノイズ電圧の低減対策とそのコア形状

の磁気ヘッドのシールドリングの高さは1.8mmあったが、今回はシールドリングの高さを2.3mmにした。同図(c)はヒールを取り除き、ヘッドに侵入する磁束を低減したものである(ヒールカット)。これら3種類のノイズ低減対策の効果を定量的にとらえるため、磁気ヘッド形状とシールド効果の関係について検討する。

5.1.3 ノイズ低減対策の効果の解析結果

3種類のノイズ低減対策の効果を定量的にとらえるために、図5-4に示す磁気ヘッド形状について、磁界解析を行った。Type-Aヘッドは対策を行っていない通常の磁気ヘッドである。Type-Bヘッドはセンタコア分離の対策を施したものである。Type-Cヘッドはシールドリングを高くし、シールドリング強化の対策を施したものである。Type-Dヘッドはヒールカットの対策を施したものである。Type-EヘッドからType-Gヘッドは上記の対策を組み合わせ合わせたものである。表5-1に解析を行った磁気ヘッドの仕様を示す。

図5-5に、1A/mの一樣磁界を与え、記録再生コイルが巻かれる位置でのコア内部の磁束密度を計算した結果を示す。磁束密度はノイズ低減対策を行っていないType-Aヘッドの磁束密度で規格化している。センタコア分離対策を施したType-Bヘッドでは、記録再生コイル部の磁束密度は、Type-Aヘッドの場合の74%である。シールドリングを高くしたType-Cヘッドの磁束密度は、65%である。ヒールカットの対策を施したType-Dヘッドの磁束密度

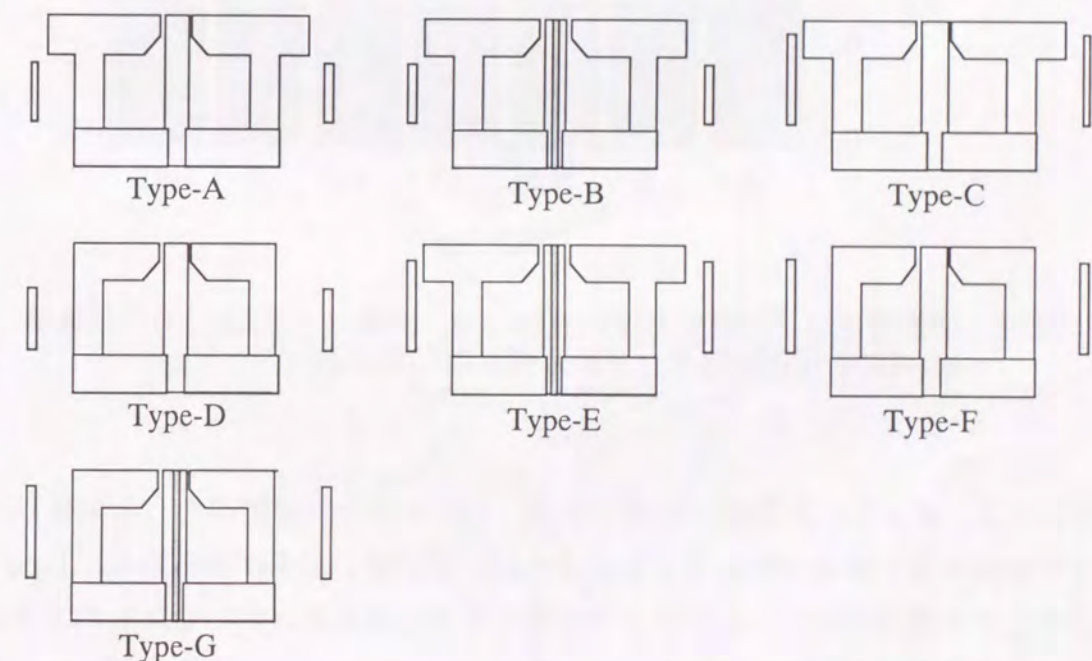


図5-4 磁界解析を行った磁気ヘッドの形状

表5-1 磁界解析を行った磁気ヘッドの仕様

磁気ヘッド	センタコア分離	シールドリング強化	ヒールカット
Type-A	—	—	—
Type-B	○	—	—
Type-C	—	○	—
Type-D	—	—	○
Type-E	○	○	—
Type-F	—	○	○
Type-G	○	○	○

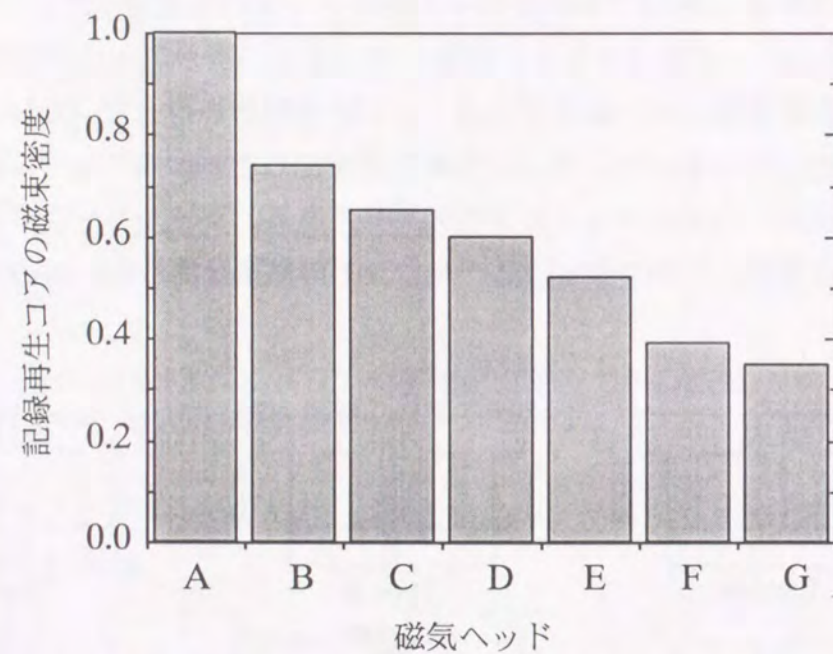


図5-5 記録再生コアの磁束密度の計算結果。磁気ヘッドAからGの仕様は、表5-1に示した磁気ヘッドの仕様と同じである。

は、60%である。従って、3種類の対策の中で、ヒールカット対策がもっとも優れる。また、ノイズ低減対策を組み合わせることによって、更に良い結果が得られる。Type-Eヘッドはセンタコア分離対策とシールドリングを高くする対策を組み合わせたものである。このType-Eヘッドの磁束密度は、52%である。Type-Fヘッドはヒールカットとシールドリングを高くする対策を組み合わせたものである。このType-Fヘッドの磁束密度は39%である。Type-Gヘッドはすべての対策を施したものである。このType-Gヘッドの磁束密度は35%である。Type-Gヘッドで一番良い結果が得られたが、Type-Fヘッドの差はわずかである。

5.2 実験による外来磁界低減対策の検証

5.2.1 1ターンコイルによるシールド効果の測定方法

フロッピーディスク用磁気ヘッドに外来磁界が加わったときに、記録再生コイルに誘起される電圧を測定することにより、解析結果の検証を行った。外来磁界は直径1mの1ターンコイルを用いて発生させた。図5-6に示すように、フロッピーディスク装置は1ターンコイルの中央においた。最大振幅が1Aのパルス電流を1ターンコイルに加えたときに、記録再生ヘッドのコイルに誘起される電圧を測定した。図5-7に、1ターンコイルに流した電流波形と記録再生ヘッドのコイルに誘起される電圧波形を示す。Type-Aヘッドを用いて測定した。パルス電流の立ち上がり時間は1.2 μ sである。この例では、誘起電圧のピーク値は0.41mVである。誘起電圧が低いほど、磁気ヘッドは外来磁界の影響を受けにくいことになる。この測定方法は、磁気ヘッドの再生出力に関係なく、外来磁界に対する磁気ヘッドの耐性を測定することができる。前節で解析を行ったヘッド形状のうち、いくつかの形状の磁気ヘッドを試作し、誘起電圧を測定した。

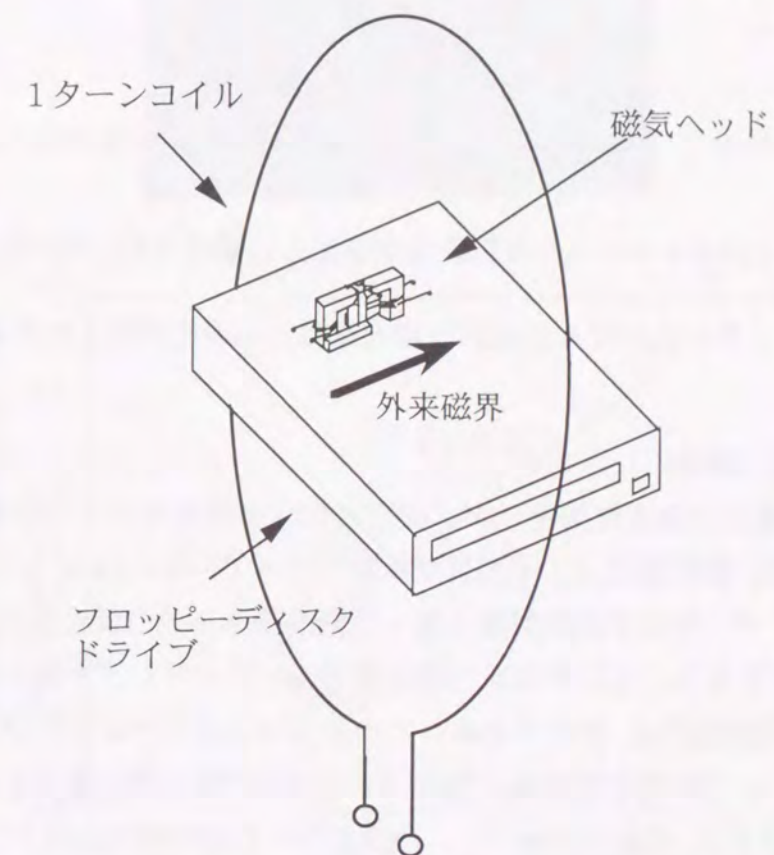


図5-6 1ターンコイルによるシールド効果の測定方法

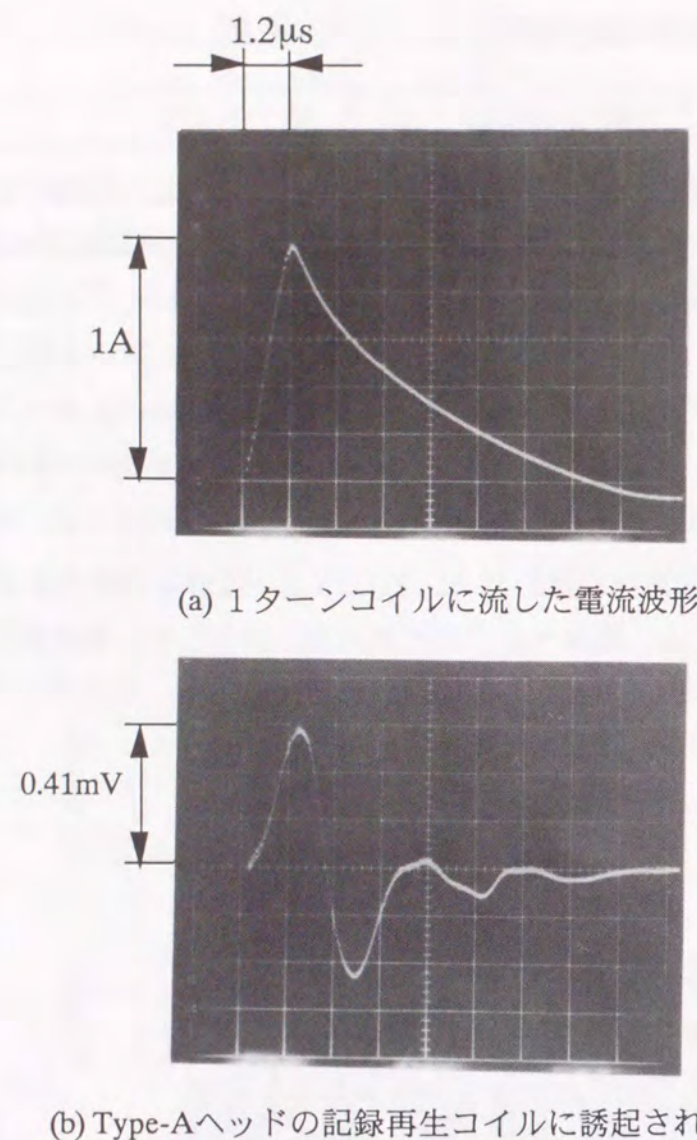


図5-7 1 ターンコイルの電流波形と磁気ヘッドに誘起された電圧波形

5.2.2 実験結果及び考察

図5-8に、誘起電圧の測定結果を示す。測定に用いた磁気ヘッドの仕様は表5-1に示した仕様と同じである。誘起電圧はノイズ低減対策を行っていないType-Aヘッドの誘起電圧で規格化している。センタコア分離対策を施したType-Bヘッドの誘起電圧は、Type-Aヘッドの誘起電圧の76%である。センタコア分離対策とシールドリングを高くする対策を施したType-Eヘッドの誘起電圧は、52%である。ヒールカットとシールドリングを高くする対策を施したType-Fヘッドの誘起電圧は、Type-Aヘッドの43%に誘起電圧を低減することができた。この測定結果は、図5-5において、Type-Fヘッドの記録再生コアの磁束密度がType-Aヘッドの39%になる解析結果と一致する。このように、ノイズ低減効果の相対的な関係は測定値と計算値で良く一致する。

図5-9は、誘起電圧の計算値を測定値と比較したものである。Type-Aヘッドの記録再生

コイル部の磁束密度の計算値 $2.3 \times 10^{-5} \text{T}$ から (5-1) を用いて、誘起電圧を計算すると 0.8mVとなる。ここで、 $N=200$ ターン、 $A=0.7 \times 0.3 \text{mm}^2$ 、 $T_r=1.2\mu\text{s}$ とした。一方、Type-Aヘッドの誘起電圧の測定値は 0.41 mV であり、計算値の約半分である。このように、誘起

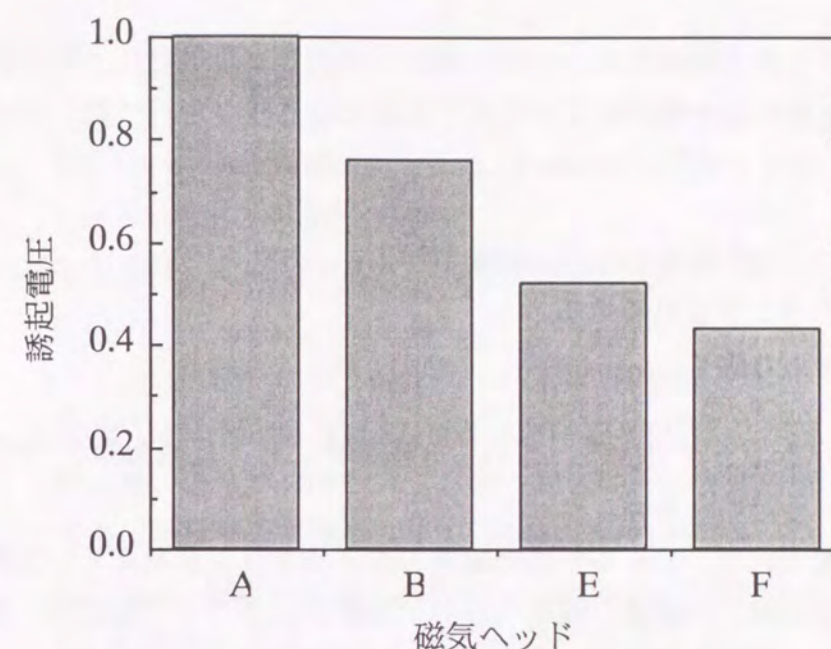


図5-8 誘起電圧の測定結果。磁気ヘッドの仕様は表5-1に示した仕様と同じである。

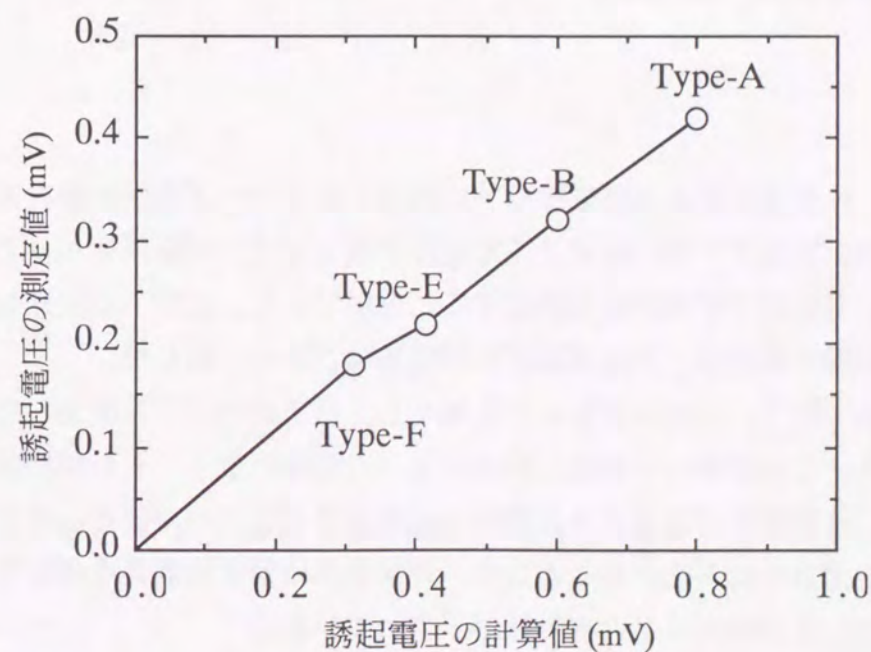


図5-9 誘起電圧の計算値と測定値の比較

電圧の絶対値を比較すると、測定値は計算値の1/2となる。この理由は、計算では考慮に入れてなかった磁性体（フロッピーディスク装置の中のモータやチャッキングマグネット等）により、磁気ヘッドに到達する前に、外来磁界が低減されるためである。

5.3 外来磁界に対する耐性が高い磁気ヘッド

フロッピーディスク用磁気ヘッドに外来磁界が加わったときに、記録再生コイルに誘起されるノイズ電圧を磁界解析により求め、実験による検証を行った。ノイズ電圧の低減対策として、

- (a) センタコアに非磁性のスペーサを設ける。
- (b) シールドリングを高くする。
- (c) ヒールを取り除く。

等の方法をあげることができる。これら3種類のノイズ低減対策の中では、(c)ヒールカットの効果がもっとも大きい。

解析結果に基づいて、ヒールを取り除き、シールドリングを高くした構造の磁気ヘッドを提案した。この新しい構造の磁気ヘッドで誘起されるノイズ電圧は、従来の磁気ヘッドのノイズ電圧の40%に低減することができた。この磁気ヘッドは、センタコアに非磁性のスペーサを設けておらず、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間を非磁性のスペーサで分離していない。従って、記録再生ヘッドの再生出力を低下させることなく、外来磁界に対する耐性を増加させることができる。

5.4 まとめ

この章では、外来磁界により磁気ヘッドに誘起されるノイズ電圧の解析方法、評価方法について述べた。本論文で用いたノイズ電圧の評価方法は、記録再生ヘッドの出力に関係なく、磁気ヘッドの耐ノイズ性能を評価することができる。また、3次元有限要素法によるノイズ電圧の解析結果は、ノイズ電圧の測定結果と良く一致した。

解析結果に基づいて、シールドリングを高くし、コアの突出部を除去した構造の磁気ヘッドを提案した。この磁気ヘッドは、消去ヘッドと記録再生ヘッドの間に非磁性のスペーサを設けずに、外来磁界によるノイズ電圧を低減させることができる。すなわち、記録再生ヘッドの再生出力を低下させることなく、外来磁界に対する耐性を増加させることができるという点に、本磁気ヘッドの有効性が示されている。

本論文では、磁気ヘッドの部分の磁界解析を行ったが、フロッピーディスク装置全体について磁界解析を行うことも可能である。これにより、設計段階で装置全体の耐ノイズ性

能を検討することができる。従って、磁気ヘッドの部分での耐ノイズ性能が不足する場合には、シールド板などを装置内に設置し、耐ノイズ性能を向上させることができる。装置が完成してからシールド板などを設置しようとしても、装置内にスペースがなく不可能となる場合が多い。従って、設計段階でノイズ対策ができることの意義は大きい。

参考文献

- [Camras] M.Camras : Magnetic recording handbook, Van Nostrand, Reinhold Company, pp.206-208, (1988).
- [Kagawa77] 加川幸雄 : 電気電子のための有限要素法入門, オーム社, pp.94-95, (1977)
- [Lopez81] O. Lopez : Effects of magnetic fields on flexible disk drive performance, IEEE Trans. Magn., Vol.17, pp.1417-1422, (1981).
- [Murata90] 村田雄一郎 : フロッピーディスク用磁気ヘッドの外部ノイズ特性, 電子情報通信学会春季全国大会, C-472, 5-36, (1990)
- [Murata91] Y.Murata : Reduction of noise from external sources for floppy disk heads, J.Appl. Phys., Vol.69, pp.5420-5422, (1991).

6章 4メガバイトフロッピーディスク用磁気ヘッドの設計と評価

フロッピーディスク装置では記録再生ヘッドと消去ヘッドが一体化された複合型磁気ヘッドが使用されている。3章から5章において、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉及び外部機器からの磁気干渉を低減する方法を検討してきた。その結果、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間に非磁性のスペーサを用いずに、磁気干渉を低減することが可能となる複合型磁気ヘッドを実現した。6章では、この複合型磁気ヘッドを記憶容量が4MB（メガバイト）のフロッピーディスク装置に組み込み、磁気干渉以外の記録再生特性について述べる。以下、このフロッピーディスク装置を4MBフロッピーディスク装置と呼ぶ。

この章では、記録再生ヘッドのギャップ長やギャップ深さに対する記録再生特性を検討することによって、複合型磁気ヘッドを設計する。また、この複合型磁気ヘッドを4MBフロッピーディスク装置に組み込み、その性能を総合的に評価した結果 [Hasegawa92] について述べる。

6.1 磁気ヘッドの設計

6.1.1 4MBフロッピーディスク装置の仕様

表6-1に4MBフロッピーディスク装置の仕様を示す。この装置には3つ動作モードがあり、現在普及している1MB,2MBのフロッピーディスク装置との読み出し、書き込み互換性（下位互換機能）が保証されている。すなわち、従来のシステムと媒体を介して自由にデータをやりとりすることができる。このため、トラック密度を増加させずに線記録密度（媒体移動方向の記録密度）の向上だけで4MBという大容量化を図り、下位互換機能を実現している。すなわち、磁気ヘッドのトラック幅やディスク回転数などの基本仕様を既存

表6-1 4MBフロッピーディスク装置の仕様

動作モード	4MBモード	2MBモード	1MBモード
記憶容量 (MB)	4	2	1
線記録密度 (kFRPI)	34.9	17.4	8.7
トラック密度 (TPI)	135	135	135
データ転送速度 (Mbps)	1	0.5	0.25
媒体材料	Co- γ Fe ₂ O ₃	Co- γ Fe ₂ O ₃	Baフェライト
媒体保磁力 (kA/m)	50	58	60
媒体厚 (μ m)	1.9	1.0	2.5
媒体回転数 (rpm)	300	300	300

フロッピーディスク装置と同一にすることにより、複雑な機構や制御回路を用いずに、下位互換機能を達成している。

フロッピーディスク装置では、記憶容量によって媒体に記録される信号の線記録密度が異なる。このため、記憶容量によって、使用される媒体の種類が異なる。1MBフロッピーディスク装置では、保磁力50kA/mのCo- γ Fe₂O₃の塗布媒体 [Adachi83] が使用されている。2MBのフロッピーディスク装置では、保磁力58kA/mのCo- γ Fe₂O₃の塗布媒体が使用されている。4MBフロッピーディスク装置では、保磁力60kA/mのBa（バリウム）フェライトの塗布媒体 [Fujiwara85] が使用されている。

フロッピーディスク装置を設計するには、これら3種類の媒体に最適な記録再生ができるようにすると共に、既存フロッピーディスク装置との下位互換に対しても、十分な記録再生ができるようにする必要がある。

6.1.2 磁気ヘッドの仕様

フロッピーディスク装置で問題なく信号を記録再生するために、一般的に要求される記録再生ヘッドの仕様を表6-2に示す。装置で使用される線記録密度において、再生出力は0.4mV以上、オーバーライト（新しい信号を記録したときの旧信号の消し残り成分）は-26dB以下にしなければならない。

記録密度特性（周波数特性）の目安として、D₅₀が用いられる。図6-1にD₅₀の定義を示す。D₅₀は再生出力が低域の50%になる線記録密度である。D₅₀は、装置で使用される線記録密度以上にしなければならない。例えば、4MBフロッピーディスク装置では、D₅₀は35kFRPI (Flux Reverse Per Inch)以上にしなければならない。

また、装置全体で見たときには、ウインドマージンで総合的に評価する。図6-2にウインドマージンの定義を示す。ウインドマージンは、データ検出窓幅に対する検出データの時間余裕である（2.2.2 参照）。一般的には、データ検出窓幅の半分以上のウインドマ

表6-2 記録再生ヘッドの仕様

動作モード	4MBモード	2MBモード	1MBモード
線記録密度 (kFRPI)	34.9	17.4	8.7
再生出力 (mV)	0.4	0.4	0.4
オーバーライト (dB)	-26	-26	-26
D ₅₀ (kFRPI)	35	18	9
ウインドマージン (ns)	250	500	1000

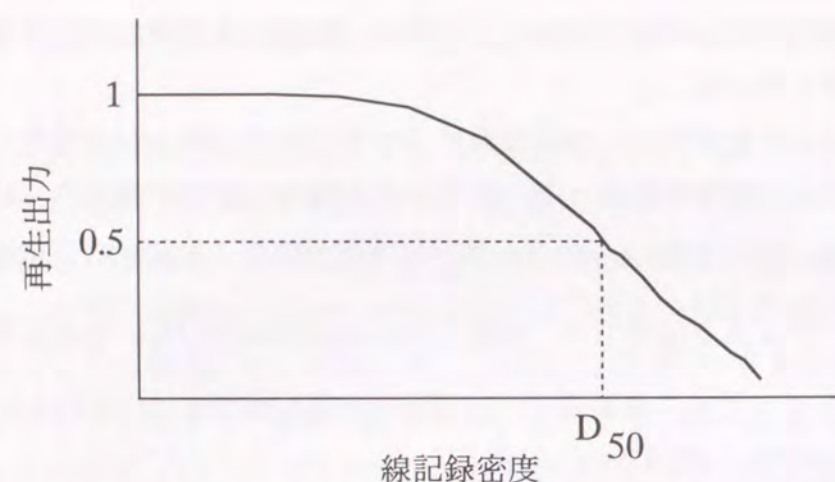


図6-1 D₅₀の定義

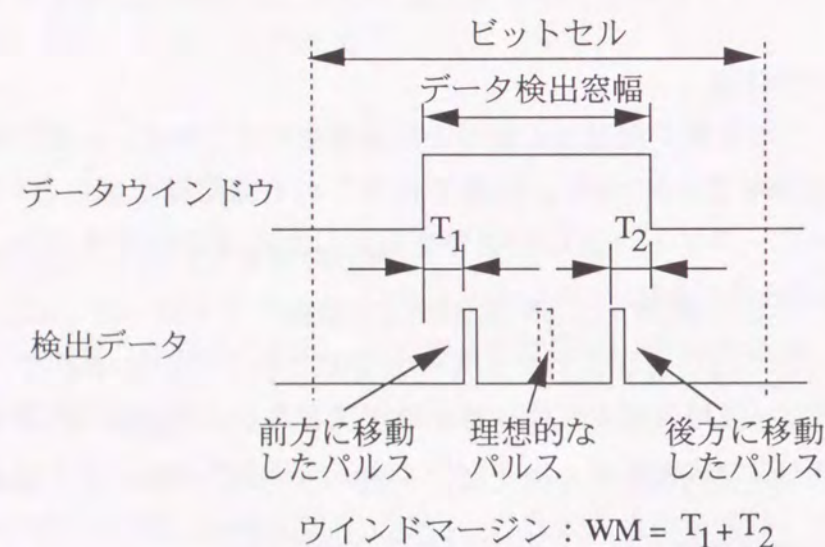


図6-2 ウインドマージンの定義

ジンが必要となる。記憶容量によってデータ検出窓幅の時間が異なるため、必要となるウインドマージンも異なる。1MBフロッピーディスク装置では、1000ns以上のウインドマージンが必要なのに対し、4MBフロッピーディスク装置では、250ns以上のウインドマージンが必要になる。

磁気ヘッドを設計するには、表6-2に示した、すべての動作モードにおける仕様を満足するように、バランスをとることが重要である。以下、4MBモードと1MBモードでの記録再生特性を測定し、磁気ヘッドの仕様を決定する。測定に用いた媒体は、表4-1に示した、保磁力50kA/mのCo- γ Fe₂O₃媒体（1MBモード）とBaフェライト媒体（4MBモード）である。媒体の相対速度は0.72m/sであり、記録再生コイルと消去コイルの巻き数は100Tである。

6.1.3 記録再生ヘッドのギャップ長と記録再生特性

6.1.3.1 ギャップ長と再生出力

記録再生ヘッドのギャップ長と再生出力の関係の測定結果を図6-3に示す。Baフェライト媒体の再生出力は、4MBモードの線記録密度である35kFRPIで測定したものである。測定周波数は500kHzである。ギャップ長が0.8 μ m以下になると、再生出力は低下する。ギャップ長が0.5 μ m以下では、出力低下は著しくなる。これは、ギャップ長が狭くなると、記録磁界強度が低下し、媒体の表層しか磁化させることができなくなるためである。再生出力の仕様0.4mVを満足させるには、ギャップ長は0.45 μ m以上にしておく必要がある。

Co- γ Fe₂O₃媒体の再生出力は、1MBモードの線記録密度である8.5kFRPIで測定したものである。測定周波数は125kHzである。ギャップ長が0.8 μ m以下になると、再生出力は低下する。ギャップ長が0.5 μ m以下では、出力低下は著しくなる。再生出力の仕様0.4mVを満足させるには、ギャップ長は0.45 μ m以上にしておく必要がある。従って、Baフェライト媒体とCo- γ Fe₂O₃媒体の両者について、再生出力の仕様を満足させるには、ギャップ長は0.45 μ m以上に設定する必要がある。

6.1.3.2 ギャップ長とD₅₀

図6-4に、D₅₀のギャップ長依存性を示す。ギャップ長が狭くなるにつれて、D₅₀は増加

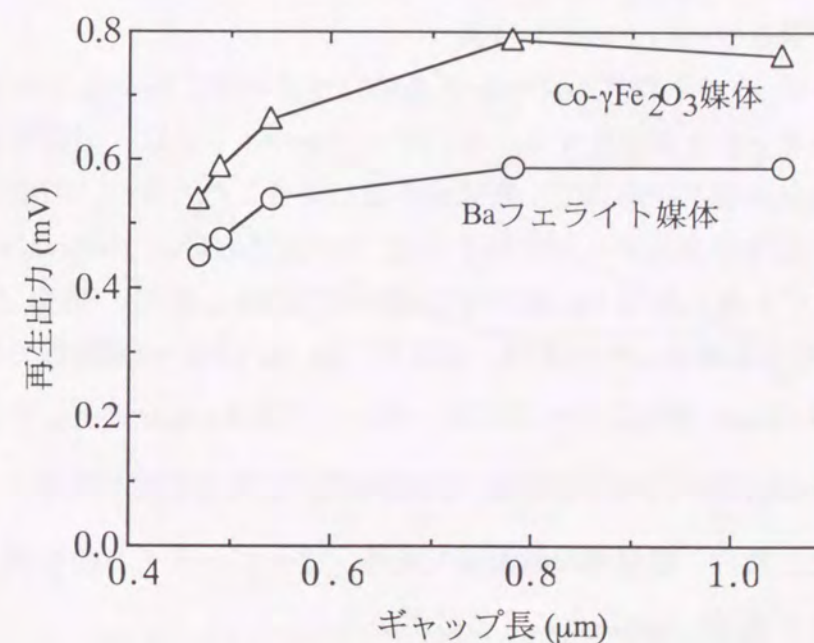


図6-3 再生出力のギャップ長依存性

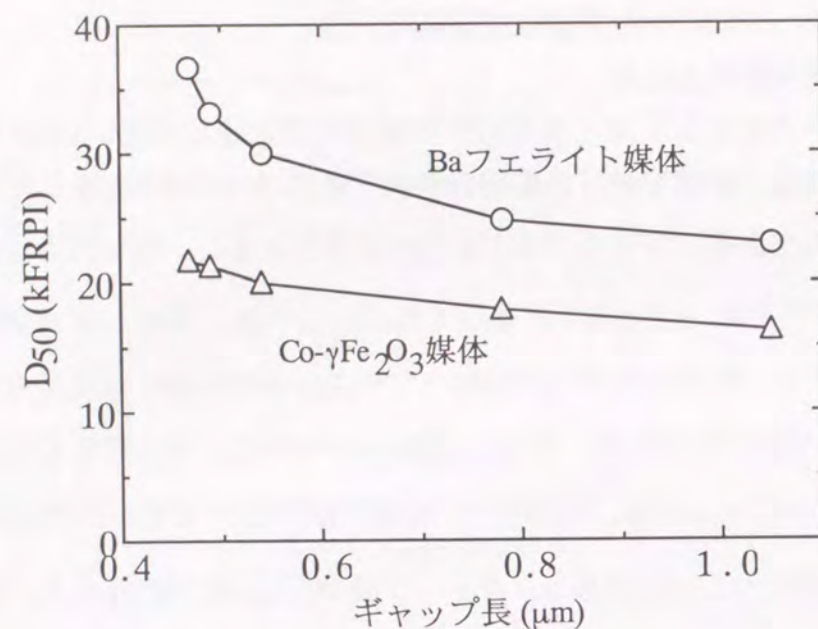


図6-4 D50のギャップ長依存性

する。Baフェライト媒体を使用して、4MBモードの線記録密度である35kFRPIを達成するには、ギャップ長を0.5μm以下にする必要がある。また、Co-γFe₂O₃を使用して、1MBモードの線記録密度である8.5kFRPIを達成するには、ギャップ長は1μm以上でも良いことがわかる。従って、D₅₀の仕様を満足させるには、ギャップ長を0.5μm以下に設定する必要がある。

6.1.3.3 ギャップ長とオーバーライト特性

図6-5に、オーバーライト特性のギャップ長依存性を示す。ギャップ長が狭くなるにつれて、オーバーライト特性は悪化する。自己オーバーライトとは、旧信号を記録した磁気ヘッドと同一の磁気ヘッドを用いて、新信号を重ね書きしたときの、旧信号の減衰量である。Baフェライト媒体の自己オーバーライトは、MFM (Modified Frequency Modulation) 変調方式で最長ビット長となる10.3kFRPIの信号を記録した後、最短ビット長となる20.5kFRPIの信号を重ね書きしたときの、旧信号 (10.3kFRPI) の減衰量である。オーバーライト特性の仕様 -26dB を満足させるには、ギャップ長は0.6μm以上にする必要がある。Co-γFe₂O₃ 媒体の自己オーバーライトは、5.1kFRPIの信号を記録した後、10.2kFRPIの信号を重ね書きしたときの、旧信号の減衰量である。オーバーライトの仕様 -26dB を満足させるには、ギャップ長は0.7μm以上にする必要がある。

互換オーバーライトとは、従来の1MBフロッピーディスク装置で記録された信号 (実際

にはギャップ長2μmの磁気ヘッドで記録) に、所定のギャップ長の磁気ヘッドを用いて、新信号を重ね書きしたときの、旧信号の減衰量である。ギャップ長2μmの磁気ヘッドは媒体の深層まで磁化させることができるが、ギャップ長の狭い磁気ヘッドは媒体の表層しか磁化させることができない (2.1.3.2参照)。従って、互換オーバーライトは自己オーバーライトより悪化する。オーバーライト特性の仕様 -26dB を満足させるには、ギャップ長は0.9μm以上にする必要がある。従って、自己オーバーライトや互換オーバーライトの仕様をすべて満足させるには、ギャップ長は0.9μm以上に設定する必要がある。

6.1.3.4 ギャップ長の設定

記録再生ヘッドのギャップ長は、記録再生特性に大きく寄与し、重要な設計パラメータである。再生出力の仕様を満足させるには、ギャップ長を0.45μm以上とする必要がある。D₅₀の仕様を満足させるには、ギャップ長を0.5μm以下とする必要がある。また、オーバーライト特性の仕様を満足させるには、ギャップ長を0.9μm以上とする必要がある。Baフェライト媒体で35kFRPIの線記録密度を達成するには、ギャップ長を0.5μm以下としなければならない。しかし、このギャップ長ではCo-γFe₂O₃ 媒体の互換オーバーライトを満たすことができない。

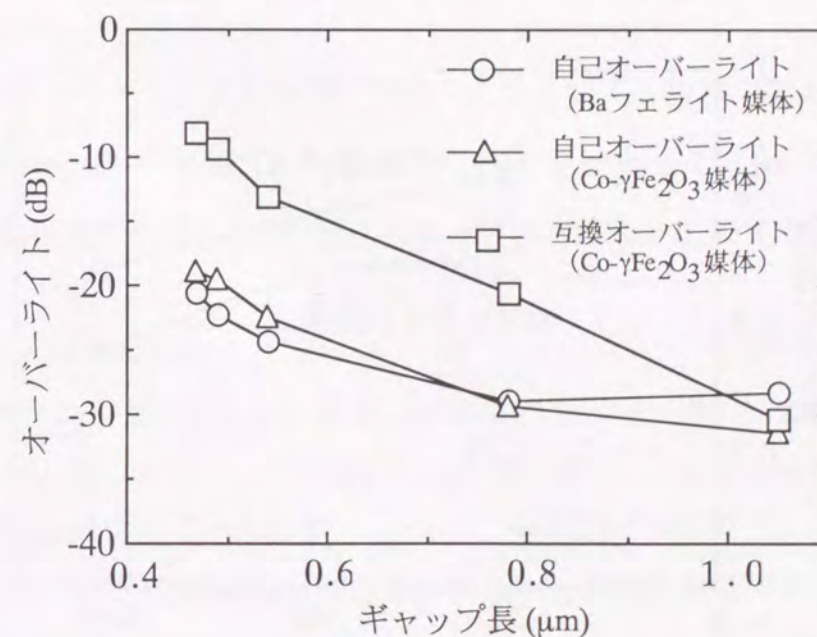


図6-5 オーバーライト特性のギャップ長依存性

互換オーバーライトの問題を解決するために、4MBフロッピーディスク装置では先行イレース構造 [Matuda88] の磁気ヘッドを採用する。この磁気ヘッドは、記録再生ヘッドの前方に消去ヘッドを設け、消去ヘッドによって媒体に記録された旧信号を直流消去するものである。消去ヘッドのギャップ長を広く設定することにより、互換オーバーライトの問題は解決する。従って、先行イレースヘッドでは、記録再生ヘッドのギャップ長は、再生出力と D_{50} の特性から決定することができる。Baフェライト媒体の記録密度を達成し、 $\text{Co-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 媒体の出力ができるだけ高出力となるように、ギャップ長は $0.5\mu\text{m}$ に設定した。

6.1.4 記録再生ヘッドのギャップ深さと記録再生特性

6.1.4.1 ギャップ深さと再生出力

図6-6に、記録再生ヘッドのギャップ深さと再生出力の関係を示す。記録再生ヘッドのギャップ長は $0.5\mu\text{m}$ である。ギャップ深さが浅くなるにつれて、再生出力は増加する。これは、ギャップ深さが浅くなると、記録磁界強度が増加し、媒体の深層まで磁化させることができるためである。Baフェライト媒体において、再生出力の仕様 0.4mV を満足させるには、ギャップ深さは、 $50\mu\text{m}$ 以下にする必要がある。

6.1.4.2 ギャップ深さと D_{50}

図6-7に、 D_{50} のギャップ深さ依存性を示す。測定に用いた記録再生ヘッドのギャップ長

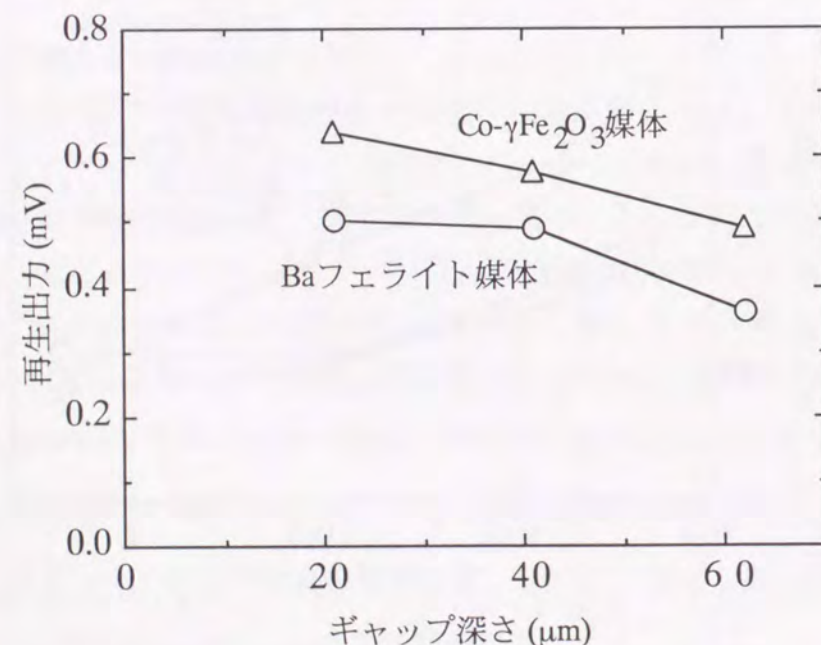


図6-6 再生出力のギャップ深さ依存性

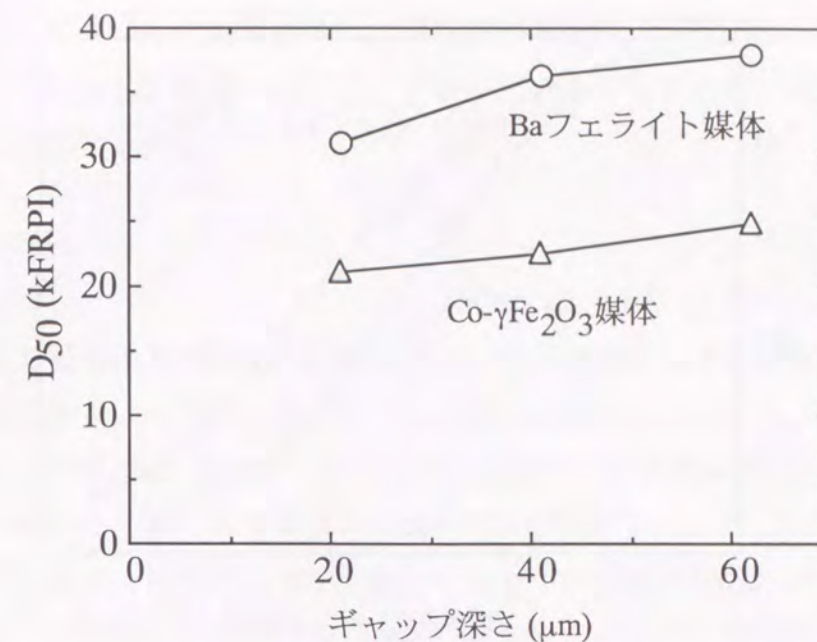


図6-7 D_{50} のギャップ深さ依存性

は $0.5\mu\text{m}$ である。ギャップ深さが浅くなるにつれて、 D_{50} は減少する。これは、ギャップ深さが浅くなると、記録時にギャップ部が飽和しやすくなり、急峻な記録磁界分布が得られなくなるためである。Baフェライト媒体を使用して、4MBモードの線記録密度である 35kFRPI を達成するには、ギャップ深さを $30\mu\text{m}$ 以上にする必要がある。

6.1.4.3 ギャップ深さの設定

記録再生ヘッドのギャップ深さを浅くすることによって、再生出力は増加するが、 D_{50} は減少する。 $0.5\mu\text{m}$ のギャップ長の記録再生ヘッドを用いて、Baフェライト媒体で 35kFRPI の線記録密度を達成するために、ギャップ深さは $30\mu\text{m}$ に設定した。

6.1.5 消去ヘッドの消去特性

図6-8に、1MBフロッピーディスク装置で記録された信号（実際にはギャップ長 $2\mu\text{m}$ の磁気ヘッドで記録）を、消去ヘッドで直流消去したときの、旧信号の減衰量（消去率）を示す。この直流消去によって、互換オーバーライトの問題を解決する。消去ヘッドのギャップ長は $2\mu\text{m}$ 、ギャップ深さは $40\mu\text{m}$ である。消去ヘッド内に隙間（バックギャップ）を設けていない通常の消去ヘッドでは、消去起磁力 $0.65\text{AT}_{\text{dc}}$ で、消去率 -30dB となる。バックギャップの長さが $5\mu\text{m}$ の消去ヘッドでは、消去起磁力 0.8AT_{dc} で、消去率 -30dB となる。

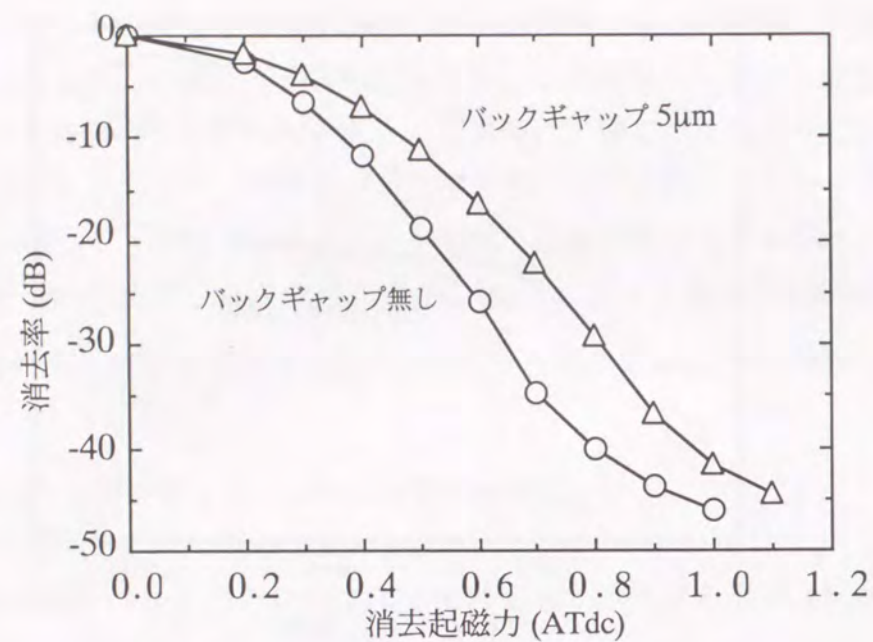


図6-8 消去ヘッドの消去率

記録再生ヘッドと消去ヘッドの間のクロストークを低減させるには、消去ヘッド内にバックギャップを設ける必要がある。バックギャップを設けると消去ヘッドの効率が低下し、消去率が低下する。しかし、この低下分は消去電流を増加させることにより簡単に補うことができる。

6.1.5 磁気ヘッドの仕様

これまで検討した結果から、4MBフロッピーディスク装置に搭載する磁気ヘッドを設計する。記録再生ヘッドはギャップ長0.5μm、ギャップ深さ30μmとする。また、下位互換時のオーバーライト特性の問題を解決するために、記録再生ヘッドの前方に消去ヘッドを設けた先行イレース構造の複合型磁気ヘッドとする。消去ヘッドのギャップ長は2μm、ギャップ深さは40μmとする。

消去ヘッドと記録再生ヘッドの間を非磁性のスペーサで分離することなく、2つのヘッドの間の磁気干渉を低減するために、消去ヘッド内に磁気的な隙間（バックギャップ）を設けた。消去バックコアの表面に非磁性のSiO₂膜を作成し、消去コアと消去バックコアとの接合面、及びセンタコアと消去バックコアとの接合面にバックギャップを形成した（4.4.1参照）。バックギャップの長さを制御することによって、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間のクロストークや、再生波形の非対称性を低減することができる。バックギャップの長さは、消去バックコアに設けたSiO₂膜の膜厚によって決定される。3章、4章で

の検討結果から、バックギャップの長さ、すなわちSiO₂膜の膜厚は5μmとした。

このようにして設計した磁気ヘッドを、フロッピーディスク装置に搭載し、総合性能を評価した結果を次節で述べる。

6.2 実機評価結果

前節で検討した結果に基づいて、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間を非磁性のスペーサで分離していない構造（センタコア一体型）の磁気ヘッドを試作した。磁気ヘッドの仕様を表6-3に示す。試作したフロッピーディスク用磁気ヘッドを図6-9に示す。この磁気ヘッドを搭載したフロッピーディスク装置の外観を図6-10に示す。

また、比較のために、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間を非磁性のスペーサで分離した構造（センタコア分離型）の磁気ヘッドも試作した。センタコア分離型ヘッドの非磁性のスペーサの厚みは40μmとした。

表6-3 試作したフロッピーディスク用磁気ヘッドの仕様

項目	記録再生ヘッド	消去ヘッド
トラック幅 (μm)	115	250
ギャップ長 (μm)	0.5	2.0
ギャップ深さ (μm)	30	40
バックギャップ長 (μm)	0	5
コイル巻き数 (T)	50×2	100

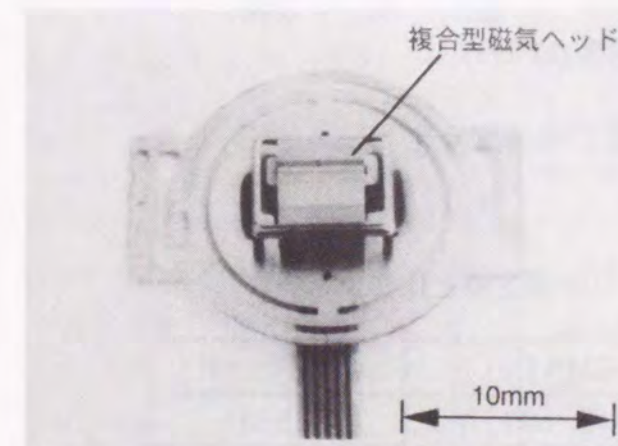


図6-9 フロッピーディスク用磁気ヘッド



図6-10 フロッピーディスク装置

6.2.1 再生出力

図6-11にBaフェライト媒体を用いて測定した再生出力の線記録密度特性を示す。記録起磁力は $2AT_{pp}$ である。センタコア一体型の磁気ヘッドでは、35kFRPIでの再生出力は0.46mVであり、十分な再生出力が得られている。一方、センタコア分離型の磁気ヘッドの再生出力は0.38mVである。センタコア一体型ヘッドの再生出力はセンタコア分離型ヘッドの再生出力より20%大きい。これは、センタコア一体型ヘッドでは、記録再生ヘッドのセンタコアの断面積がセンタコア分離型ヘッドの場合の約2倍になるためである。

6.2.2 ウインドマージン

センタコア一体型磁気ヘッドを搭載したフロッピーディスク装置のウインドマージンの測定結果を表6-4に示す。記憶容量が異なる各動作モードにおいて、ウインドマージンの仕様を満たしている。

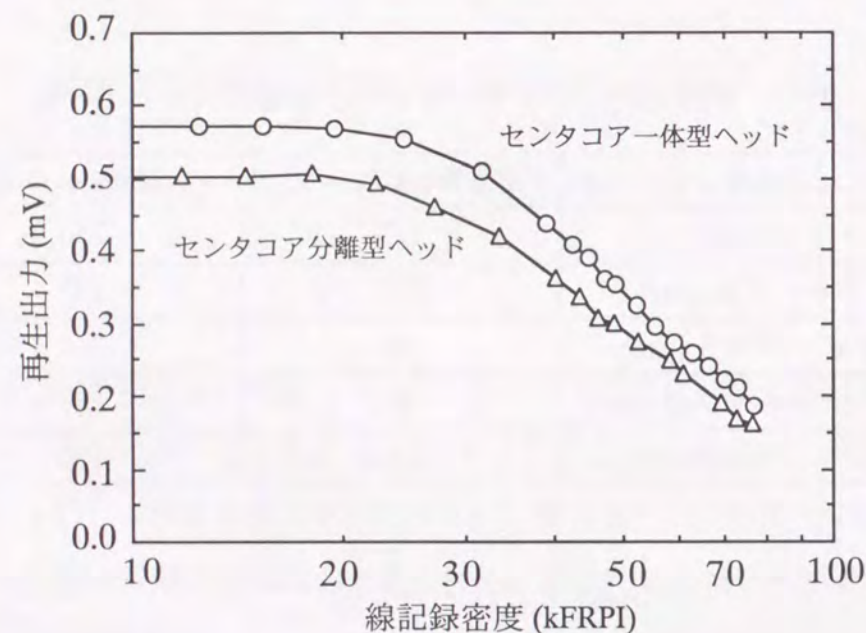


図6-11 再生出力の線記録密度特性

表6-4 ウインドマージンの測定値と仕様

	4MBモード	2MBモード	1MBモード
測定値 (ns)	290	680	1560
仕様 (ns)	250	500	1000

6.2.3 外来ノイズ磁界に対する耐性

フロッピーディスク装置をモニタディスプレイ (CRT) の近傍に設置すると、CRTが発生する交流磁界によって、再生出力のS/Nが低下する。このため、装置のウインドマージンは表6-4で測定した値より低下する。この節では、外来ノイズ磁界の下に置かれたフロッピーディスク装置のウインドマージンを検討する。

フロッピーディスク装置が外来ノイズ磁界の影響をもっとも受けやすくなるのは、再生出力が低下した場合である。再生出力が最小になるのは、下位互換のときである。すなわち、4MBフロッピーディスク装置で $Co-\gamma Fe_2O_3$ 媒体に記録した信号を、1MBフロッピーディスク装置で再生する場合である。この状態での再生出力は、1MBフロッピーディスク装置で記録再生を行った場合の70%の再生出力しか得られない。これは、4MBフロッピーディスク装置で使用している狭ギャップ長の磁気ヘッドでは、媒体の表層しか磁化させることができなくなるためである。

図6-12に、CRTからのノイズ磁界の下に置かれたフロッピーディスク装置を示す。フロッピーディスク装置をCRTに対して垂直に置いて、CRTからのノイズ磁界が加わったときの、ウインドマージンを測定した。測定結果を図6-13に示す。4MBフロッピーディスク装置、2MBフロッピーディスク装置、1MBフロッピーディスク装置で、 $Co-\gamma Fe_2O_3$ 媒体に信号を記録する。これらの信号を1MBフロッピーディスク装置で再生したときのウインドマージンとCRTの距離との関係測定したものである。フロッピーディスク装置とCRTの距離が短くなるにつれて、ウインドマージンは減少する。CRTとフロッピーディスク装置との距離が50mmの場合、4MBフロッピーディスク装置で記録したときのウインドマージンは500ns、2MBフロッピーディスク装置で記録したときのウインドマージンは460ns、1MBフロッピーディスク装置で記録したときのウインドマージンは400nsとなる。従って、4MBフロッピーディスク装置は、既存の2MBや1MBフロッピーディスク装置と同等以上の耐ノイズ性能を有していることがわかる。

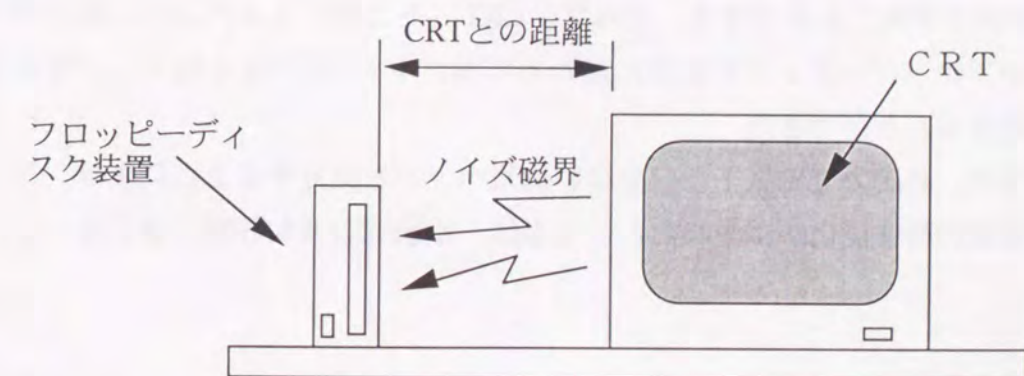


図6-12 CRTからのノイズ磁界の下に置かれたフロッピーディスク装置

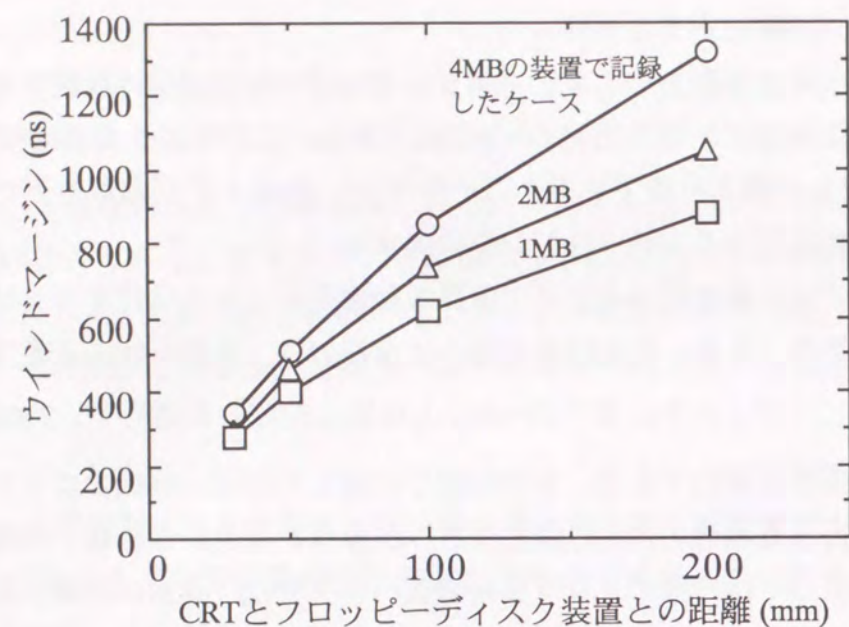


図6-13 CRTからのノイズ磁界が加わったときのウインドマージンの測定結果

6.3 まとめ

この章では、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間に非磁性のスペーサを設けずに、磁気干渉を低減した磁気ヘッドを、4MBフロッピーディスク装置に搭載し、装置の総合性能を評価した結果について述べた。

開発した磁気ヘッドは、消去バックコアの表面に非磁性の SiO_2 膜を作成することにより、消去コアと消去バックコアとの接合面、及びセンタコアと消去バックコアとの接合面に磁気的な隙間（バックギャップ）を形成したものである。バックギャップの長さ（ SiO_2 の膜厚）を制御することによって、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間のクロストークや、再生波形の非対称性を低減することができる。バックギャップを設けた磁気ヘッドの再生出力は、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間に非磁性スペーサを設けた磁気ヘッドの再生出力より、20%増加させることができる。従って、CRT（モニタディスプレイ）等が発生するノイズ磁界がフロッピーディスク装置に加わっても、S/Nの低下は少なく、十分なウインドマージンを得ることができた。

このように、高出力で磁気干渉の少ない磁気ヘッドを開発することにより、フロッピーディスク装置の高性能化がはかれたという点に、本研究の有効性が示されている。

参考文献

- [Adachi83] O. Adachi : A new high-density mini flexible disk drive system, IEEE Trans. Magn., Vol.19, pp.1704-1706, (1983).
- [Fujiwara85] T. Fujiwara : Barium ferrite media for perpendicular recording, IEEE Trans. Magn., Vol.21, pp.1480-1485, (1985).
- [Hasegawa92] 長谷川正 : 4MバイトFDDの下位互換を実現、CRT雑音下でも実用上問題なし, 日経エレクトロニクス, No.549, pp.275-289, (1992)
- [Matuda88] 松田享也 : 先行消去型磁気ヘッド, 東芝レビュー, Vol.43, pp.887-888, (1988)

7章 結論

本論文は、2つ以上の磁気ヘッドが一体化された複合型磁気ヘッドに関して、磁気ヘッド間あるいは外部機器からの磁気干渉に関する解析方法、低減方法に関する研究をまとめたものである。従来は、磁気ヘッド間に非磁性のスペーサを設け、2つの磁気回路を分離することにより磁気干渉を低減してきた。しかし、磁気回路を分離する方法は、磁気ヘッドの断面積が減少するため、磁気回路の磁気抵抗が増加する。このため、磁気ヘッドの再生出力が低下し、望ましくない。本研究は、磁気ヘッド間の磁気干渉の低減と、磁気ヘッドの高出力化の両立を目指したものである。そして、磁気ヘッド各部を流れる磁束量のバランスを取ることで、磁気回路を分離することなく、磁気干渉を低減することができることを示したものである。また、磁気干渉問題の解析に、3次元有限要素法による磁界解析を取り入れ、定量的な検討を試みたものである。

2つ以上の磁気ヘッドが一体化された複合型磁気ヘッドは、多くの磁気記録装置で使用されている。1章では、複合型磁気ヘッドの磁気干渉についての研究課題について整理した。まず、磁気干渉防止のために2つの磁気回路を分離するという従来の方法の問題点を明らかにした。そして、磁気回路を分離せずに磁気干渉を低減することを本研究の目的とした。本研究では、フロッピーディスク装置に用いられる複合型磁気ヘッドを例にとって磁気干渉問題を検討することとし、フロッピーディスク用磁気ヘッドの磁気干渉に関する研究課題を3つに大別した。

2章では、フロッピーディスク装置で用いられる要素技術を説明し、装置で必要とされる磁気ヘッドの構造とその性能について明らかにした。フロッピーディスク装置の記憶容量を増加させるには、記録密度の高い媒体に対して十分な記録再生が行えると共に、既存のフロッピーディスク装置で記録された記録密度の低い媒体に対しても十分な記録再生が行える必要がある。記録密度が低い媒体と高い媒体に対して、同一の磁気ヘッドで記録再生を行うと、磁気ヘッドのオーバーライト特性が悪化する。このため、記憶容量が4MB(メガバイト)のフロッピーディスク装置では、記録再生ヘッドの前方に消去ヘッドを配置した新しい構造の複合型磁気ヘッドが必要になる。この複合型磁気ヘッドの磁気干渉について3章、4章、5章で検討した。

3章では、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉によって再生波形に擬似信号が発生する現象(クロストーク)について検討した。磁気ヘッド外部に漏れる磁束を考慮してクロストーク現象を解析することにより、擬似信号の極性が再生信号の極性に対して反転することを発見した。また、磁気ヘッド内部を通る磁束量と磁気ヘッド外部に漏れる磁束量のバランスを取ることで、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間に非磁性のスペーサを設けることなく、クロストークを低減することができる。磁束のバランスの取り方について3次元有限要素法による磁界解析を用いて検討し、実験による検証を行った。その

結果、消去ヘッドのバックコアに透磁率の低い材料を用いることにより、クロストークの低減が可能であることを明らかにした。

4章では、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉によって、再生波形の対称性が悪化する現象(アシンメトリ)について検討した。3章で検討した消去ヘッドに透磁率の低い材料を用いた複合型磁気ヘッドでは、再生波形のアシンメトリが悪化した。アシンメトリ悪化のメカニズムについて磁界解析を用いて検討し、実験による検証を行った。その結果、アシンメトリ悪化の原因が、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉によって生じているのではなく、消去ヘッドの帯磁現象が主な原因であることがわかった。そこで、消去ヘッドの帯磁を防止することにより、アシンメトリの低減を試みた。すなわち、消去ヘッドのバックコアに透磁率の低い材料を用いる代わりに、消去バックコアの接合面に非磁性の SiO_2 膜を設けることにより磁気的な隙間を設けた。消去ヘッド内に隙間を設けることにより、消去コアの実効透磁率が低下するので、クロストークも低減される。この新しい構造の複合型磁気ヘッドにより、アシンメトリ低減とクロストーク低減の両立が可能になった。

5章では、外部機器からの交流磁界による磁気干渉によって、再生波形にノイズ電圧が誘起され、再生信号のS/Nが低下してしまう現象(外来磁界)について検討した。磁界解析により外来磁界が磁気ヘッドに侵入するメカニズムを明確にし、ノイズ電圧低減のための具体的な方策を検討した。その結果、記録再生ヘッドと消去ヘッドの突出部を除去することにより、ノイズ電圧を低減することが可能となった。3章から5章での検討結果により、記録再生ヘッドと消去ヘッドの間に非磁性のスペーサを設けることなく磁気干渉を低減することが可能となった。すなわち、磁気ヘッドの高出力化と磁気干渉低減という本研究の目的が達成された。

6章では、高出力化と磁気干渉低減が達成された複合型磁気ヘッドを、記憶容量が4MBのフロッピーディスク装置に搭載し、装置の総合性能を評価した。モニタディスプレイが発生する交流磁界下でも、装置の性能低下が少ないことを確認した。高出力で磁気干渉の少ない複合型磁気ヘッドを開発することにより、フロッピーディスク装置の高性能化が図れ、信頼性のあるシステムを実現することができた。

以上のような本論文での解析実験結果より、複合型磁気ヘッドにおける磁気干渉の研究に対して以下の事項の重要性を主張することができる。

- (1) 複合型磁気ヘッドの記録再生ヘッドと消去ヘッドの間の磁気干渉は、磁気ヘッド各部を流れる磁束量のバランスを取ることで低減することができる。すなわち、2つの磁気ヘッドの磁気回路を分離することなく、磁気干渉を低減することができる。
- (2) 3次元有限要素法による磁界解析を行うことにより、磁気干渉問題を定量的に検

討することができる。

- (3) 高出力で磁気干渉の少ない複合型磁気ヘッドを開発することにより、装置の信頼性が著しく向上する。

フロッピーディスク装置以外の磁気記録装置でも複合型磁気ヘッドは用いられている。例えば、固定ディスク装置や磁気テープ装置で用いられているMRヘッドやマルチチャンネルヘッド等である。今後、これらの装置の高性能化のためには、MRヘッドやマルチチャンネルヘッドにおいても、磁気干渉を低減する必要性が生じると予想される。本論文で述べた磁気ヘッド各部を流れる磁束量のバランスを取ることで磁気干渉を低減する手法が、複合型磁気ヘッドを設計するための指針になると考えている。

謝辞

本論文の執筆にあたり、終始、懇切なる御指導と御鞭撻を賜った大阪大学大学院基礎工学研究科井口征士教授に厚く御礼申し上げます。

本論文をまとめる過程で、ご検討、ご助言を頂きました大阪大学大学院基礎工学研究科藤井隆雄教授、谷内田正彦教授に厚く御礼申し上げます。同じ磁気工学における研究者の立場から、多種多様な助言を頂いた大阪大学大学院基礎工学研究科辻本浩章講師に厚く御礼申し上げます。

本論文は、三菱電機株式会社先端技術総合研究所にておこなった研究の成果をまとめたものである。本研究を遂行する機会を与えて頂きました、三菱電機先端技術総合研究所精密科学技術部苗村康次部長、並びに板垣秀信グループマネージャーに心より感謝致します。本研究は、三菱電機ディスクドライブ統括事業部技術部、三菱電機情報技術総合研究所印刷記録技術部、三菱電機生産技術センター工機部、三菱電機先端技術総合研究所薄膜応用技術部の多くの方々の協力を得て成しえたものである。ここに深く感謝申し上げます。さらに、磁性及び磁気記録に関して適切なるご助言を賜った三菱電機先端技術総合研究所精密科学技術部田邊信二主幹に深く感謝致します。

業績リスト

[学術論文]

1. Y. Murata, K. Shirae : Susceptibility of amorphous magnetic materials over a wide frequency range, IEEE Trans., Magn., Vol.20, pp.1302-1304, (1984).
2. Y. Murata, S. Tanabe, N. Sugawara, S. Suzuki, H. Shibata : Reduction of noise from external sources for floppy disk heads, J. Appl. Phys., Vol.69, pp5420-5422 (1991).
3. Y. Murata, S. Tanabe, S. Handa, T.Ozeki : Influence of remanence magnetization on asymmetry of reproducing signals in 4MB FDD, IEEE Trans., Magn., Vol.32, pp3515-3517, (1996).
4. Y. Murata, S. Tanabe, S. Handa, T.Ozeki : A crosstalk model considering leakage fluxes and methods to reduce crosstalk between R/W head and pre-erase head, IEEE Trans., Magn., Vol.32, pp.5271-5276, (1996).
5. 村田雄一郎、田辺信二 : 低透磁率材を用いたフロッピーディスクヘッドの波形対称性, 日本応用磁気学会, Vol.22, No.1 (印刷中)

[国際会議]

1. K. Shirae, Y. Murata : Permeability of amorphous magnetic materials over a wide frequency range, The 1984 IEEE international magnetism conference, Intermag '84, AP-03, (1984).
2. Y. Murata, S. Tanabe, N. Sugawara, S. Suzuki, H. Shibata : Reduction of noise from external sources for floppy disk heads, 35th annual conference on magnetism & magnetic materials, (1991).
3. S. Tanabe, N. Nagano, T. Itoh, Y. Murata, S. Mizukawa, K. Sato : Design method of a metallic enclosure considering EMI using a 3D-FEM, IEEE 4th topical meeting on electrical performance of electronic packaging, pp.64-66, (1995).
4. Y. Murata, S. Tanabe, S. Handa, T.Ozeki : Influence of remanence magnetization on asymmetry of reproducing signals in 4MB FDD, The 1996 IEEE international magnetism conference, Intermag '96, AQ-11, (1996).
5. S. Tanabe, E. Gofuku, T. Itoh, Y. Murata, T. Ozeki : 3D-FEM analysis of electromagnetic emission from PCB, Transactions/Journal, 1996 IEEE international symposium on electromagnetic compatibility, pp.343-346, (1996).
6. S. Tanabe, N. Nagano, T. Itoh, Y. Murata, S. Mizukawa : 3D-FEM analysis for shielding effects of a metallic enclosure with apertures, Transactions/Journal, 1996 IEEE international symposium on electromagnetic compatibility, pp.375-380, (1996).
7. S. Tanabe, Y. Shiraki, Y. Murata : Near and far fields analysis from flat cables, 1997 IEEE international symposium on electromagnetic compatibility, pp.419-424, (1997).

[研究会・全国大会]

1. 村田雄一郎, 白江公輔 : 磁性体の共鳴現象, 電気学会マグネティクス研究会資料, MAG84-145, pp.1-9, (1984).
2. 村田雄一郎, 江口信一郎, 末広善幸, 井上和式, 岡田将 : MIGフロッピーヘッドの記録再生特性, 電子情報通信学会春季全国大会, C-43, 5-43, (1989)
3. 村田雄一郎, 田辺信二, 菅原直人 : フロッピーディスク用磁気ヘッドの外部ノイズ特性, 電子情報通信学会春季全国大会, C-472, 5-36, (1990)

