

高密度磁気記録における記録再生特性と磁化の熱安定性に関する研究

田中, 輝光

<https://doi.org/10.15017/1398259>

出版情報 : 九州芸術工科大学, 2002, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第2章

高密度記録を指向した高トラック密度化の問題点

2.1節 序言

磁気記録技術は高密度記録を目標に発展してきた。ハードディスクでは面記録密度が高密度記録の度合いを表す指標となっている。面記録密度は 1 本のトラックの単位長さあたりに記録される磁化転移数（線密度または線記録密度，単位は FRPI：Flux Reversal Per Inch）と単位幅あたりに記録されるトラック数（トラック密度，単位は TPI：Tracks Per Inch）の積で表される。

面記録密度を上昇させるにはトラック密度を上昇させることが線密度を上昇させるよりも幾分簡単であると言われている。第 1 章で述べたように，以前は記録・再生には薄膜ヘッドが用いられていた。この薄膜ヘッドは一般に知られているリング型の電磁誘導型ヘッドであり，再生感度が低く，再生時に十分な出力を得るには多くの磁束を必要とするため狭トラック化が困難であった。しかし，再生ヘッドとして高感度の磁気抵抗効果型の MR ヘッド(Magneto Resistive Head)が発明され，トラック密度だけでなく線密度も一気に上昇し，高密度化が進んだ。そして近年，更に高感度の GMR ヘッド(Giant Magneto Resistive Head)の開発により，再生トラック幅を更に狭くすることが可能となり，記録媒体の改良も進んだこともあって，非常に高い面記録密度（現在では 100Gbits/inch²）が達成されている。これは，一ヶ月の新聞の情報量が約 28Mbytes とすると，面記録密度 100Gbits/inch²の 3.5inch ハードディスクの記録容量は 100Gbytes となるので，ディスク 1 枚に新聞およそ 300 年分の情報が記録可能ということになる。ここ数年の線密度とトラック密度の推移を Fig. 2.1 に示す[9]。同図から分かるように 1998 年から 2000 年にかけて，線密度はおよそ 1.4 倍，トラック密度はおよそ 3.4 倍となっており，近年の高面密度化に対する高トラック密度化の貢献は非常に大きいことが分かる。

マージ型（記録ヘッドと再生ヘッドが組み合わされている）の MR ヘッドおよび GMR ヘッドにおいて，現在の記録ヘッドと再生ヘッドのトラック幅は，記録ヘッドは広く，再生ヘッドは狭くなっているため，広トラック記録・狭トラック再生と言われている。この広トラック記録・狭トラック再生方式では，記録トラックエッジの乱れた磁化状態は再生系に余り影響しないが，今後予想される狭トラック記録・再生方式では記録トラックエッジの乱れた磁化状態が再生系に与える影響が大きく

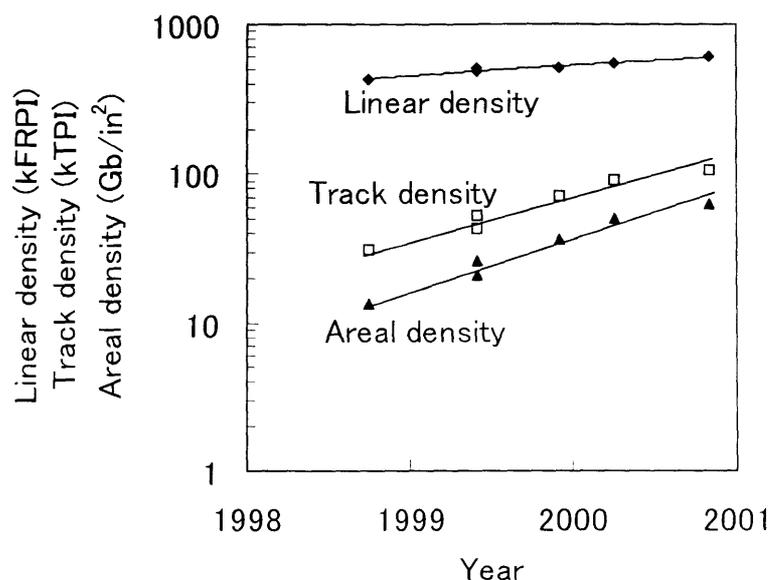


Fig. 2.1 近年の線密度，トラック密度，面密度の動向[9].

なる。さらに高トラック密度化を行った際には再生ヘッドの再生にじみによりクロストークの影響が大きくなり再生時の S/N が大きく低下しエラーレートが増加すると考えられる[10]。現在では，未だこの方式が採用されており，最新のものでは記録トラック幅は $0.162\mu\text{m}$ ，再生トラック幅は $0.124\mu\text{m}$ 程度である。MR ヘッドが用いられて以来，この方式が採用されているが，2.4 節で述べる再生ヘッドのオフトラック感度分布と再生ヘッドギャップ長（シールド間隔）の関係から，記録ヘッド幅を狭くすると再生ヘッド幅は更に狭くする必要がある。このため，広トラック記録・狭トラック再生方式ではいつか限界が来ると思われる。

Fig. 2.2(a), (b)に電磁誘導型の薄膜ヘッドとマージ型 MR ヘッドのディスク表面（ABS 面：Air Bearing Surface）から見た一般的な概略図を示す。GMR ヘッドは MR 素子を改良したものであり，ABS 面から見た形状は MR ヘッドと大略同じである。

ディスクは Fig. 2.2 に示されるように下部磁極側から上部磁極側に向かって動く。Fig. 2.2(a), (b)に示されるヘッドは上部磁極と下部磁極の幅が異なるが記録トラック幅は下流側の上部磁極の幅で定義される。おおまかに言うと実際に記録される記録トラック幅は上部磁極の幅に近い。Fig. 2.2(b)のマージ型 MR ヘッドでは MR 素

子をシールドで挟んでおり，その上部シールドは記録ヘッドの下部磁極でもある．

隣接するトラックはある間隔おきに記録される．これは，記録ヘッドのフリンジ磁界の影響を考慮したためである．最新の記録・再生ヘッド幅およびトラックピッチがどのようになっているか明らかではないが，現在用いられているハードディスクドライブでは記録・再生ヘッド幅は $0.5\mu\text{m} \cdot 0.26\mu\text{m}$ ，トラックピッチは記録ヘッドトラック幅と等しいと考えられる．単純に計算するとディスク上の記録可能な領域で，再生時に使用している面積の割合は全体の 52%程度ということになる．つま

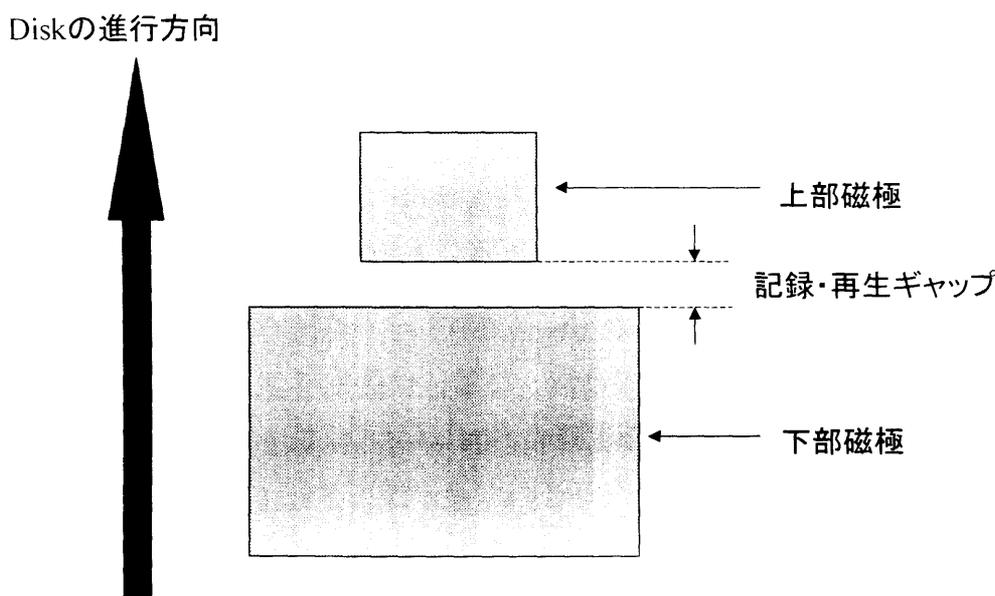


Fig. 2.2 (a) 薄膜ヘッドの ABS 面から見た磁極形状.

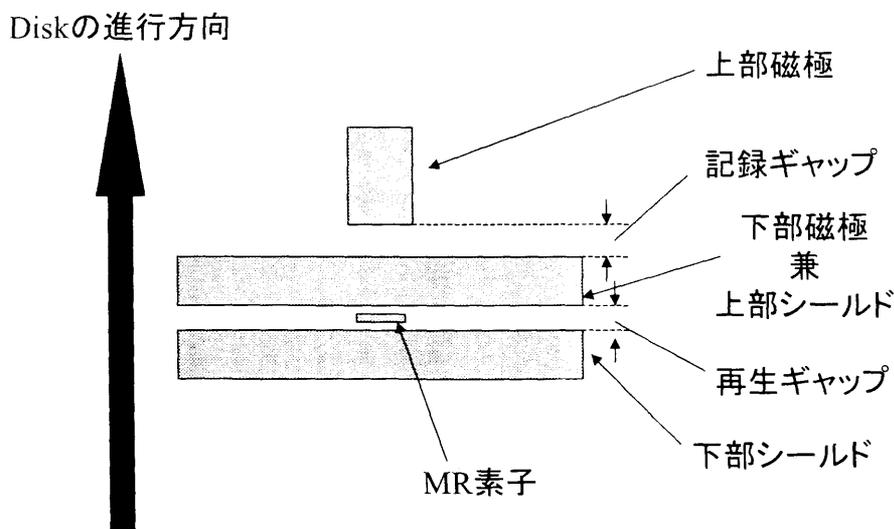


Fig. 2.2 (b) マージ型 MR ヘッドの ABS 面から見た磁極形状.

り、残りの48%は再生系には使用されていない。しかし、この残りの48%が使用可能となれば、面記録密度はおよそ2倍になると考えられる。そこで、本章では記録ヘッドフリンジ磁界および記録トラックエッジ磁化と再生にじみの解析を行うのに必要な基礎的な事柄を述べる。

2.2節 記録ヘッドのエッジ磁界

記録ヘッドが発生する磁界は記録ヘッドのディスクに面する部分にのみ分布しているわけではない[11]。上下磁極の幅が等しいヘッドの磁界分布を計算したLindholmの三次元ヘッド磁界解析モデル[12]によると、トラック幅方向に記録ギャップ長の2~3倍程度のヘッド磁界長手成分が広がっていることが示されている。Fig. 2.3にそのモデルの座標系を示す。また、Fig. 2.4(a), (b), (c)に記録ギャップ長を g として、記録ヘッド幅が 0 , $2g$, 半無限長の場合を示す。Fig. 2.4(a)によると、記録ヘッド幅(w)が 0 の場合でさえフリンジ磁界は広がっていることが分かる。つまり、記録ヘッド幅を狭くしてもフリンジ磁界は狭くならないため、ギャップ長を狭くせずに狭トラック化を行うとフリンジ磁界の広がり幅が相対的に大きくなるということである。このフリンジ磁界の広がり幅は高トラック密度化を制限する1つの要因となっている。3年ほど前のハードディスクドライブでは、この記録フリンジ磁界の影響を避けるためにトラックピッチ（隣接する記録トラック同士の間隔）と記録ヘッド幅は1.2:1程度となっていた。現在は再生に高感度のGMRヘッドを用いているためGMR素子の幅を非常に小さくし、トラックピッチを記録ヘッドと同程度にしていると考えられる。これにより、再生に影響のない記録トラックエッジ部分が常にオーバーライトされることになる。

記録ヘッドフリンジ磁界の広がり幅は記録ギャップ長を小さくすることで低減させることが出来るが、記録ギャップ長を小さくすることは、記録能力の低下につながる。このことは(2.1)式に示すKarlqvistの式から容易に推測される[13]。

$$H_x(x,y) = \frac{H_g}{\pi} \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{x+g/2}{y} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{x-g/2}{y} \right) \right\} \quad (2.1)$$

(2.1)式は Fig. 2.5 の座標系に基づいている．ここで， H_x をヘッド磁界の長手成分， H_g をヘッドギャップ内の磁界とする．ただし，この式では，ヘッド表面における磁位が $(-g/2, 0)$ から $(g/2, 0)$ の点まで x に比例して変化し，ギャップ内($y < 0$)の磁界は一定であると仮定されている．(2.1)式において $g \rightarrow 0$ に対する不定形極限計算を行うと(2.2)式が得られる．

$$H_x(x, y) = \frac{H_g g}{\pi} \left(\frac{y}{x^2 + y^2} \right) \quad (2.2)$$

$g \rightarrow 0$ の場合，実際にはギャップリラクタンスは0に近づき，ギャップ間の磁位差 V_0 は0になるが，ここでは $g \rightarrow 0$ かつ V_0 は一定に保たれている ($H_g = V_0/g$ と表すことが出来る)理想的なヘッドを想定している．(2.2)式から媒体保磁力(H_0)に等しい磁界

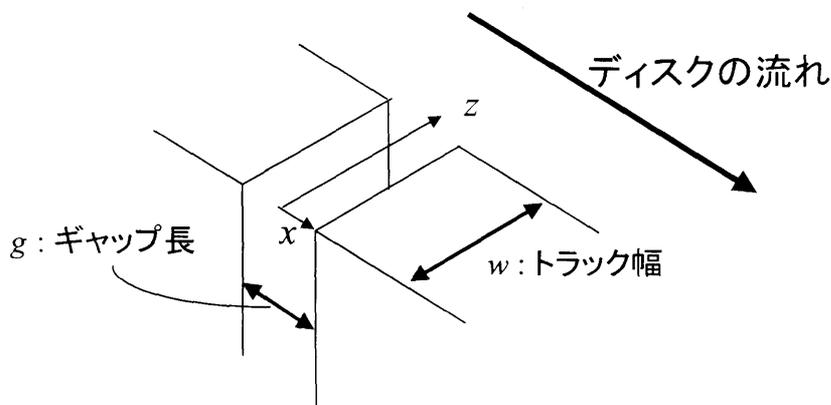


Fig. 2.3 Lindholm の3次元ヘッド磁界解析座標系.

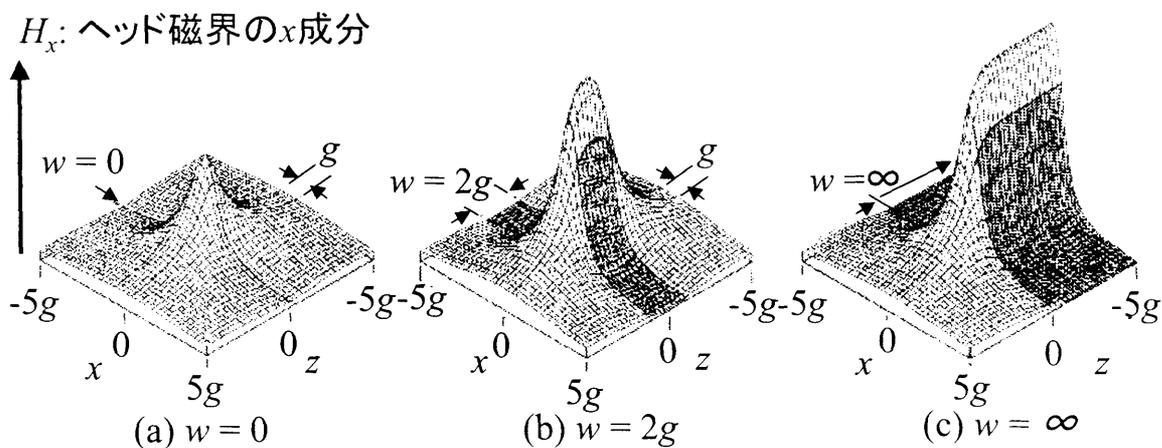


Fig. 2.4 ヘッド磁界長手成分強度[12].

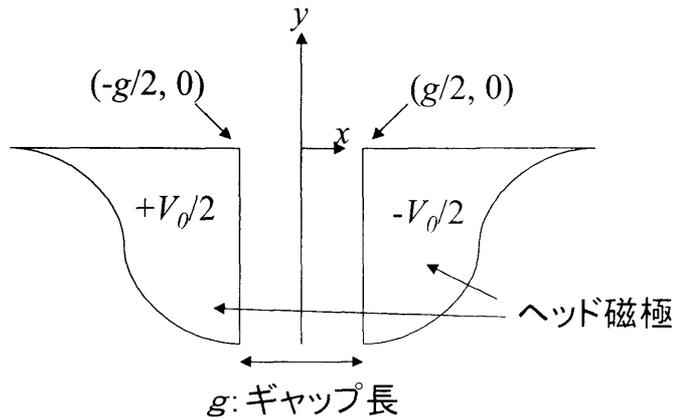


Fig. 2.5 Karlqvist の磁界式の座標系.

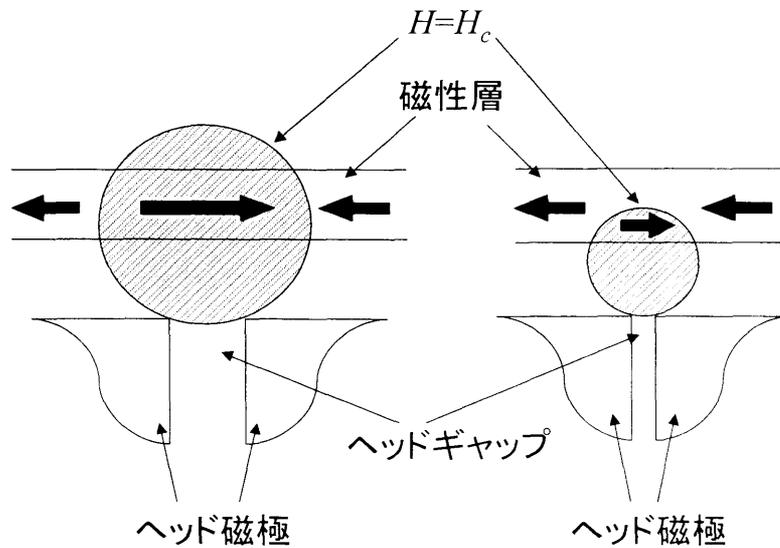


Fig. 2.6 磁化反転領域.

の軌跡を求める($H_x(x,y)=H_c$ とおく)と(2.3)式[14]が得られる.

$$x^2 + \left(y - \frac{H_g g}{2H_c} \right)^2 = \left(\frac{H_g g}{2H_c \pi} \right)^2 \quad (2.3)$$

(2.3)式から磁化の反転領域は円弧状となり、ギャップ長 g が小さくなると円の半径が小さくなることが分かる(Fig. 2.6). つまり、 g を小さくするとディスク上に強い磁界が印加される領域が狭くなるため、ディスク深層まで記録するにはヘッドとデ

ディスクの間の磁気的なスペーシングを小さくしなければならない。しかし、ディスク表面には保護膜および潤滑膜などがあり、磁気的なスペーシングを小さくすることは容易なことではない。

2.3節 トラックエッジの磁化特性

前節で述べたように、記録ヘッド磁界はトラック幅方向になだらかに広がったフリンジ磁界が存在する。このフリンジ磁界の強度はヘッドエッジのやや内側から外側にむかって緩やかに減衰しているため、ディスク上には Fig. 2.7(a)に示されるように記録ヘッドの外側まで記録され未飽和磁化領域[15]が形成される。この未飽和磁化領域はノイズの源[16]-[17]となり、再生時に S/N の低下を引き起こす。また、ヘッド形状によってはトラックエッジ部分の磁化転移が曲がる現象 (Fig. 2.7(b)) がある。これもノイズの発生原因となる。

3章で詳しく述べるが、Fig. 2.7(a)の記録ヘッドエッジ部分からその外側に記録される部分を“記録にじみ”と定義する。記録にじみと未飽和記録磁化領域は正確に

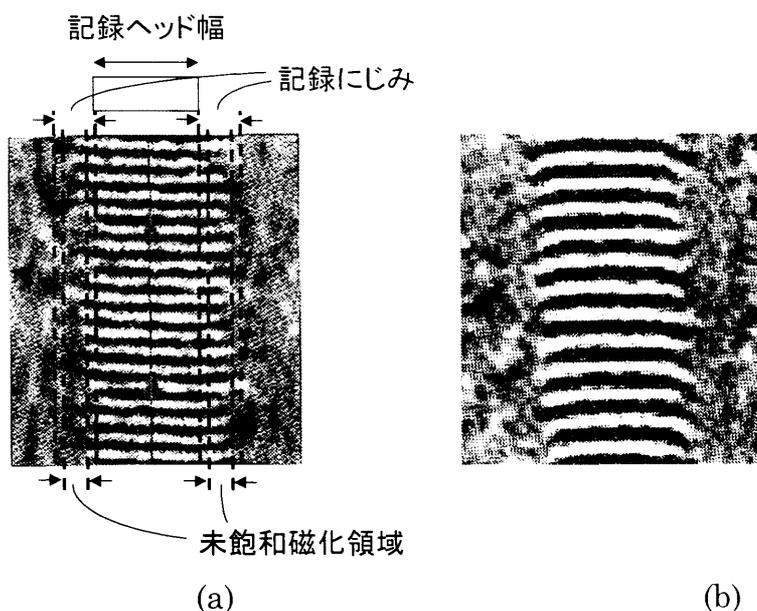


Fig. 2.7 記録トラックの MFM 像[16].

(a) 記録トラックの未飽和領域と記録にじみ, (b) 記録トラックエッジの曲がり.

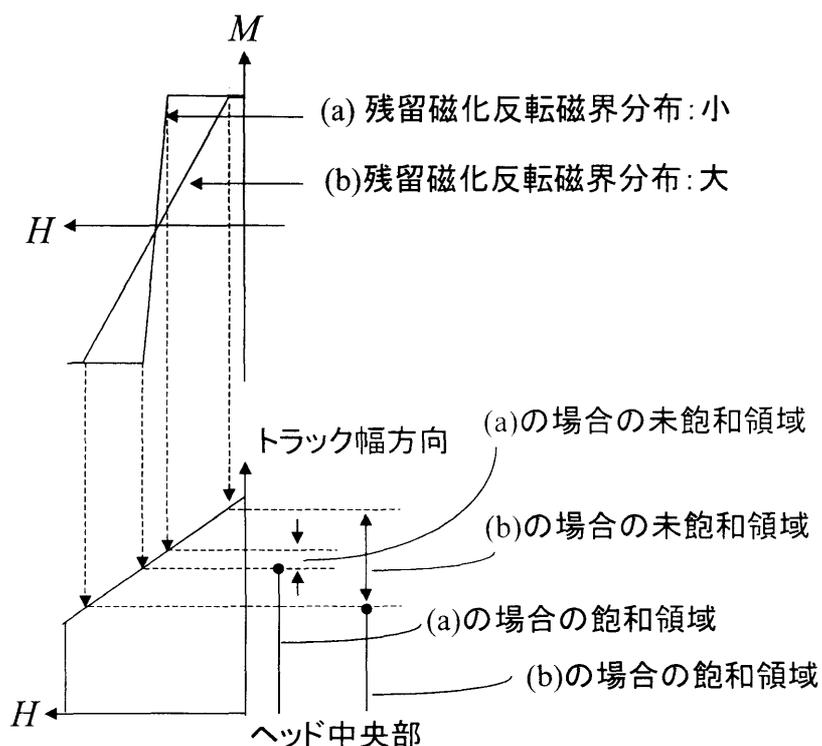


Fig. 2.8 記録ヘッドフリンジ磁界の広がり と 未飽和記録領域の広がり の関係.

はその定義は異なり, Fig. 2.7(a)に示すように, 記録にじみと未飽和磁化領域はどちらも記録トラックの両側に形成される. 一般には未飽和磁化領域よりも記録にじみの方が広く, その記録にじみには未飽和磁化領域が含まれる. 記録にじみおよび未飽和磁化領域はともにフリンジ磁界によって形成される. しかし, 未飽和領域に限って言えば, フリンジ磁界が広ければ必ず大きくなるというわけではない. これはディスクの磁気特性である残留磁化反転磁界分布にも依存する. フリンジ磁界の広がりが小さければ当然, 記録にじみ・未飽和磁化領域は小さくなるが, フリンジ磁界の広がりが大きくても残留磁化反転磁界分布が小さければ未飽和磁化領域は小さくなる(Fig. 2.8).

2.4節 再生ヘッドのオフトラック感度分布

再生ヘッドのオフトラック感度分布とは、トラック幅方向の再生ヘッド感度分布のことを示す。再生ヘッドのオフトラック感度分布は記録ヘッドのトラック幅方向の磁界分布と同様にヘッド外側に広がっている。記録ヘッド磁界分布と再生ヘッド感度分布の簡略化した図を Fig. 2.9 に示す。同図の再生ヘッド感度分布において、再生ヘッドのエッジから外側に分布する領域を“再生にじみ”と定義する。この再生にじみは3章で示されるが、記録磁化の線密度により変化する。非シールド型（シールドのついていないMRヘッド）の場合には薄膜ヘッドと同様に大きな再生にじみが存在すると考えられる。この再生にじみが大きいとトラックエッジの未飽和磁化領域だけでなく隣接するトラックの磁化にまで再生ヘッドが反応する恐れがある。MRヘッドではシールド間隔を狭くすることで再生にじみ幅を低減することが出来

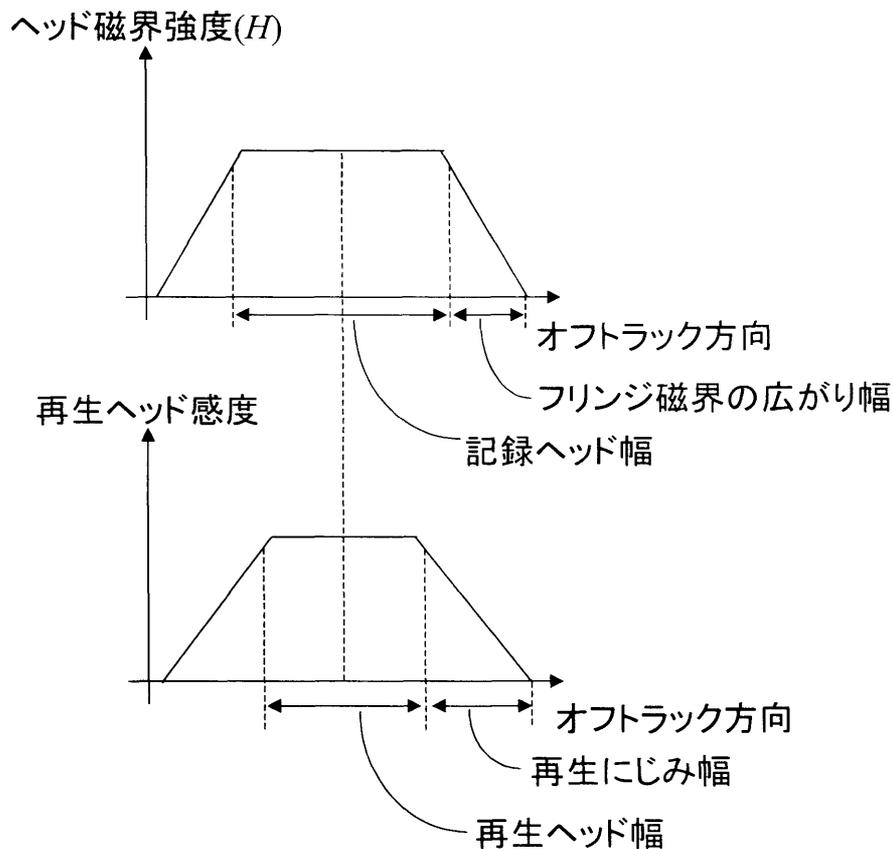


Fig. 2.9 トラック幅方向の記録ヘッド磁界分布と再生ヘッド感度分布の簡略図.

るが、相反定理から考えられるように、同時に自身の感度が低下するため、ある程度のシールド間隔が必要である。

2.5節 結言

本章では記録ヘッド磁界の広がり、記録トラックエッジの磁化特性そして再生ヘッド感度分布について基礎的なことを説明してきた。序言で述べたように現在の記録・再生方式は広トラック記録・狭トラック再生方式である。年々、記録トラック幅が狭くなっているが、再生トラック幅はそれ以上の狭トラック化が行われており、トラックピッチは段々と小さくなっている。これは2.2節から2.4節で述べたように飽和記録するためにはある程度の記録ギャップ長が必要なことと、十分な再生感度を得るためにはある程度の再生ギャップ長が必要であることから、記録ヘッド幅および再生ヘッド幅を小さくしてもフリンジ磁界の広がり幅や再生にじみは小さくならず、逆に記録および再生トラック幅に対してフリンジ磁界と再生にじみは相対的に大きくなっているからである。つまり、高トラック密度化が進むにつれてディスク上では記録・再生に使われない部分の割合が増えてきているわけである。これらを解決するには、低浮上量のスライダの開発、磁性層の更なる薄膜化など色々な課題の解決が必要となる。特に磁性層の薄膜化などは第5章で述べる磁化の熱安定性の観点などから既に限界に来ていると考えられる。

先にも述べたように、現在のハードディスク装置では記録・再生に用いられない部分が多くなっている。また、現在の広トラック記録・狭トラック再生方式のまま今後も狭トラック化できるとは考えられない。そこで記録・再生トラックエッジ部分が使用できるようになれば、更なる高トラック密度が可能となる。そのためには記録・再生トラックエッジの諸特性を解析する必要がある。