

# 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6章

粒子配向の異なる媒体における粒子間相互作用と  
熱緩和特性の関係

## 6.1節 序言

粒径 22nm の Ba フェライト粒子を用いたテープ媒体では、再生ギャップ長の小さな MR または GMR ヘッドを用い、実効スペーシングを 20nm 程度に抑えることで 600kFRPI の記録が可能であると予想されている[62]。また、記録特性において 22nm という粒径は十分に小さく、これによって記録特性の上限が制限されているわけではないことも示されている。しかしながら、そのような超微粒子媒体では、高い記録分解能を有していても、磁化が熱的に安定でなければ実用に供することは出来ない。そのため、配向媒体において顕著な粒子間相互作用と磁化の熱的安定性との関連をより詳細に考慮する必要がある。

前章では粒子を配向したテープ媒体の粒子間相互作用と熱減磁（磁化の時間減衰または熱安定性）の関係について述べたが、本章ではそれを更に詳しく検討するため、4 種類の粒子配向および形態の異なる超微粒子から構成されるサンプルを用いて  $\Delta M$  曲線を測定して、サンプル形態と粒子間相互作用の関連を評価し、粒子間相互作用が磁化の熱安定性に与える影響について検討する[63][64]。

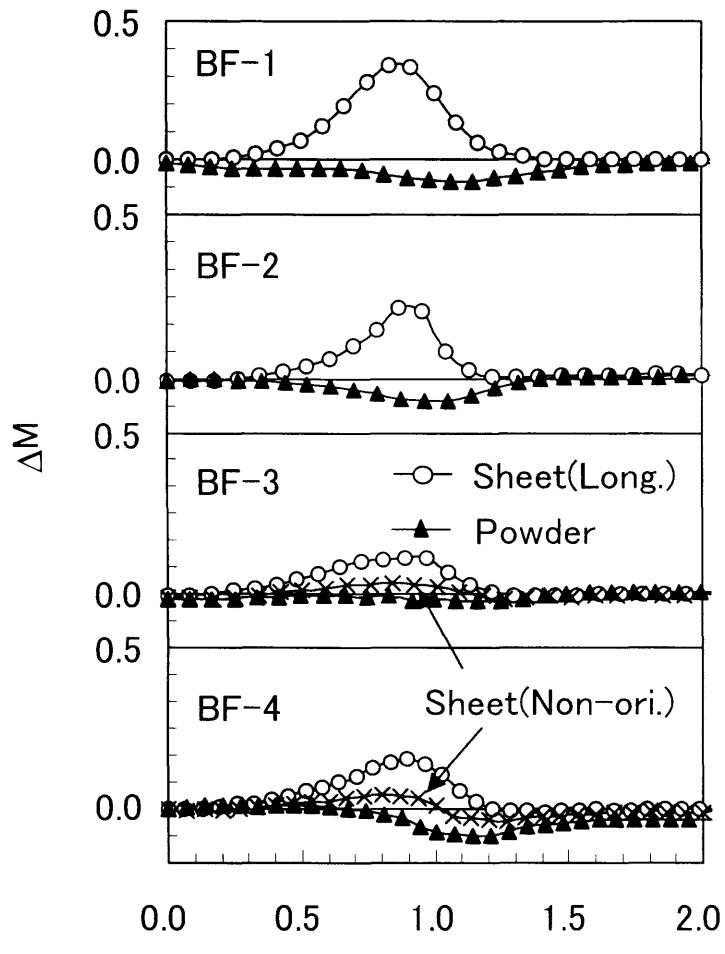
## 6.2節 $\Delta M$ 曲線

測定に用いたサンプルは粒径 21.9~41.5nm、軸比 3.1~4.1 の最新の Ba フェライト粒子からなり、充分に分散させた塗料を塗布して作った長手配向のシート状サンプルと Ba フェライトの粉末を円筒型カプセルに詰めた紺体サンプルである。円筒型カプセルの寸法は内径 5.5mm、深さ 3mm である。また、一部で面内無配向のシート状サンプルの測定も行った。磁気特性の測定には VSM を用い、長手配向サンプルでは配向方向に、面内無配向サンプルでは面内方向に、カプセル状サンプルでは円筒径方向に測定した。ただし、カプセル状サンプルの試料形状効果の影響は補正していない。Table 6.1 に各サンプルの測定値を示す。

Table 6.1 サンプル諸元

<i>Sample No.</i>	<i>BF-1</i>	<i>BF-2</i>	<i>BF-3</i>	<i>BF-4</i>
<b>Sheet(Long. ori)</b>				
$M_s$ (emu/cm <sup>3</sup> )	102	115	79	95
SQ	0.822	0.716	0.708	0.756
$H_c$ (Oe)	2300	2180	2210	2880
$H_r$ (Oe)	2400	2300	2480	3120
$SFD_r$	0.24	0.34	0.32	0.27
<b>Sheet(Non-ori)</b>				
$M_s$ (emu/cm <sup>3</sup> )			83.5	77.8
SQ			0.475	0.509
$H_c$ (Oe)			1814	2390
$H_r$ (Oe)			2379	2999
$SFD_r$			0.38	0.32
<b>Powder</b>				
$M_s$ (emu/cm <sup>3</sup> )	66	70	69	72
SQ	0.56	0.48	0.46	0.49
$H_c$ (Oe)	1970	1900	1770	2350
$H_r$ (Oe)	2450	2290	2410	2980
$SFD_r$	0.37	0.34	0.43	0.37
<b>Particle</b>				
$\sigma_s$ (emu/g)	51.4	56.0	49.2	51.0
$H_c$ (Oe)	2390	2130	2090	2670
$K_u$ (erg/cm <sup>3</sup> )	$7.78 \times 10^5$	$6.03 \times 10^5$	$6.12 \times 10^5$	$7.48 \times 10^5$
Diameter (nm)	41.5	28.3	21.9	22.2
Thickness (nm)	10.1	9.3	7.3	7.0

Fig. 6.1 に各サンプルの  $\Delta M$  曲線を示す。同図において  $\Delta M$  は長手配向されたサンプルでは正の値を示しており、粒径が小さくなるにつれて、その最大値が小さくなる傾向が認められる。このことから配向されたサンプルにおいて粒子の微細化は、配向サンプルの角形比 (SQ) を低下させているとともに (Table 6.1)，粒子間相互作用を低減していると推測される。一般に微細化された粒子の配向は難しいと言われており、この配向の難しさが SQ の低下を引き起こす。また、SQ の低下から隣接

Fig. 6.1 各サンプルにおける $\Delta M$ 曲線.

する粒子の磁化容易軸方向が一致せず、 $\Delta M$ に現れる粒子間相互作用は小さくなると推定される。さらに、粒子が微細化されると相互作用磁界を受ける面の面積が低下するため $\Delta M$ 曲線に現れる粒子間相互作用も小さくなると考えられるが、現状ではFig. 6.1に示されるように粒子体積が小さくなるにつれて $\Delta M$ 曲線のピーク値が小さくなる主な原因は明らかではない。

BF-3, 4の無配向サンプルは長手配向サンプルより $\Delta M$ が小さな正の値を示している。一般にBaフェライト媒体における $\Delta M$ 曲線は、磁化容易軸方向に測定した場合には正、困難軸方向に測定した場合には負となる傾向がある[65]。そのため無配向の場合には、 $\Delta M$ の値は正と負によりキャンセルされるため全体として非常に小さ

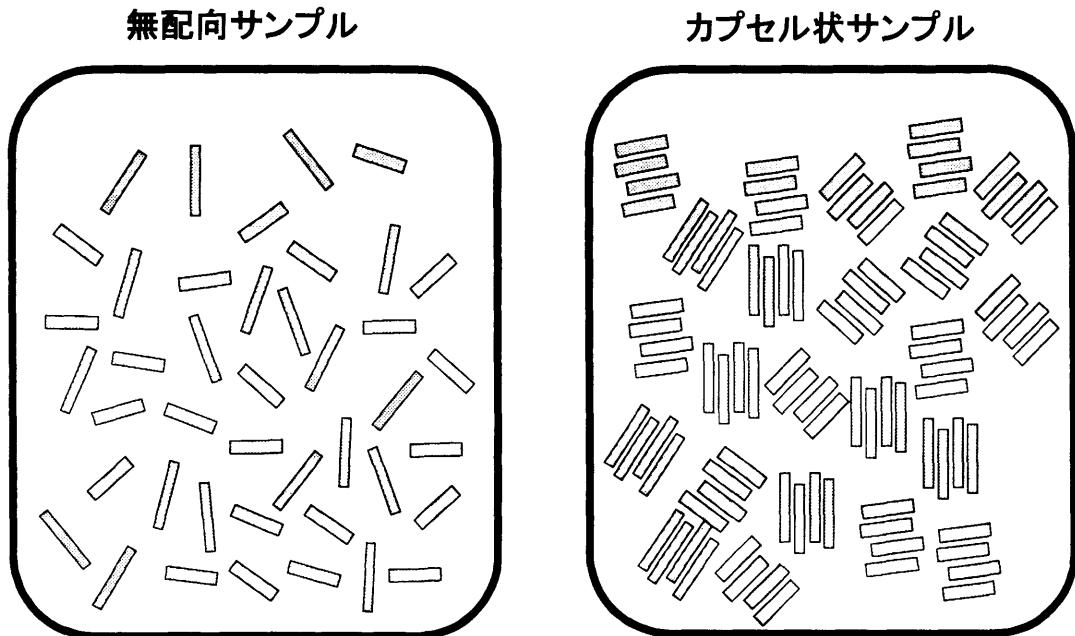


Fig. 6.2 無配向サンプルとカプセル状サンプルの粒子分散の違い.

な値が正または負方向に現れると予想される。同図における結果はこのことが原因であると考えられる。

カプセル状サンプルは $\Delta M$  が負の値を示した。これは、磁化容易軸がランダムになっていることと、カプセルの形状効果により減磁界の影響が現れ、それを補正していないためと考えられる。カプセル状サンプルでは、粒子が未分散の状態でカプセルに詰め込まれているため、いくつかの粒子がスタッキングを起こしていると考えられる。そのスタッキングを起こした粒子の間には非常に強い粒子間相互作用が働いていると予想される (Fig. 6.2)。しかし、 $\Delta M$  曲線にはその影響が現れていない。このことから無配向媒体における $\Delta M$  曲線は個々の粒子間に働く微視的な相互作用の影響を表しているわけではなく、媒体の巨視的な静磁気特性に作用する mean field に相当する実効的な値を示しているものと考えられる。

### 6.3節 熱緩和特性

磁化の熱安定性を改善する方法として、 $H_c$ または $H_k$ を大きくする、粒子体積を大きくすることが考えられる。しかし、記録媒体の $H_c$ または $H_k$ を大きくすることはさらに大きな $B_s$ をもつ記録ヘッドが必要となることを意味する。また粒子体積を大きくすることは媒体ノイズの増加につながる。このような理由から、磁化の熱安定性の改善は容易なことではない。

Table 6.1 に示す各サンプルの磁化の時間減衰を Fig. 6.3 に示す。測定は室温で、磁化の減衰が大きくなるように媒体保磁力に等しい反転磁界( $H_{app} = -H_c$ )を加えて行

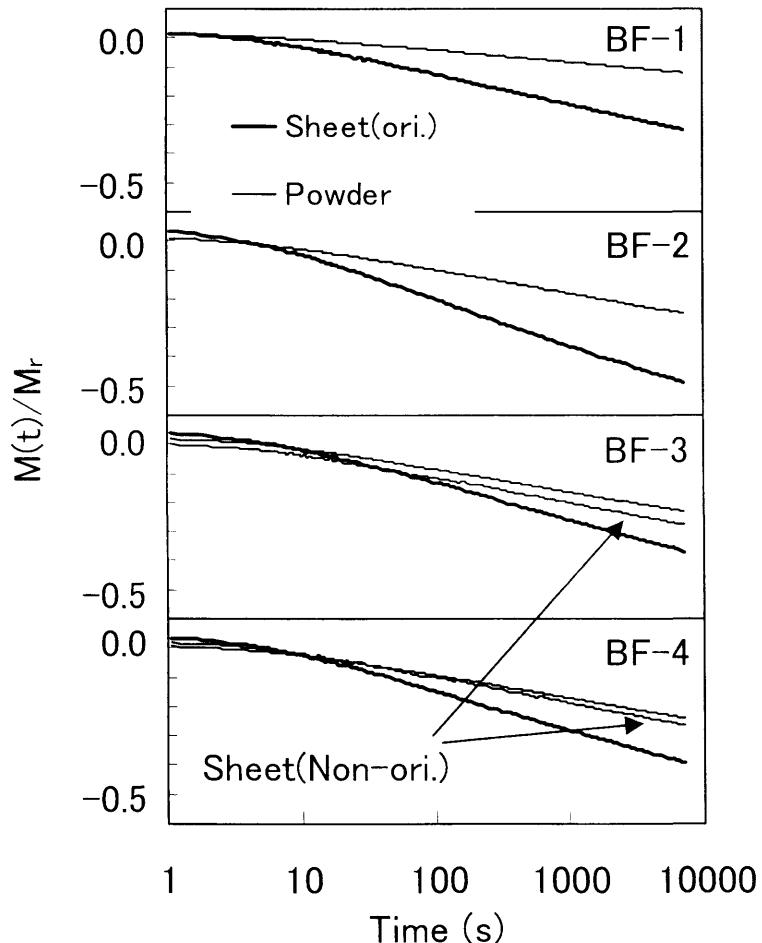


Fig. 6.3 磁化の時間減衰。 $(H_{app} = -H_c)$

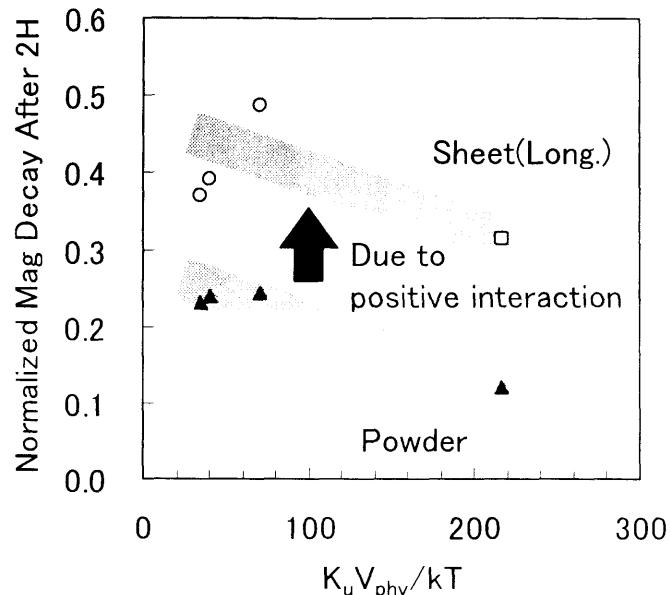


Fig. 6.4 反転磁界を印加して 2 時間後の磁化の減衰の割合.

った。同図によると、同種の粒子からできているにも関わらず長手配向サンプルとカプセル状サンプルおよび無配向サンプルでは減衰量が異なる結果が得られた。5.3節で述べた磁化の時間減衰の理論は媒体内の磁性粒子がそれぞれ完全に孤立している場合である。もしその理論が現実の現象に即していれば、Fig. 6.3 の測定結果は得られないはずである。そこで、前節の  $\Delta M$  曲線から推定される粒子間相互作用の影響を考察した。長手配向サンプルでは正の相互作用により磁化の減衰が大きくなつた[45]と考えられる。無配向サンプルおよびカプセル状サンプルでは粒子は配向されていないため Fig. 6.1 の  $\Delta M$  曲線に現れるような磁化の減衰を助長する実効的な作用が小さいことが原因であると考えられる。無配向サンプルとカプセル状サンプルの磁化減衰の差が現れたのも同様の理由である。

Fig. 6.4 に長手配向サンプルとカプセル状サンプルの  $K_u V_{phy} / kT$  と磁化時間減衰測定における 2 時間後の磁化減衰量の関係を示す。長手配向サンプルおよびカプセル状サンプルの両方で粒子体積が小さいものほど磁化の減衰が大きくなる傾向が見られる。また、長手配向サンプルとカプセル状サンプルを比較すると、測定開始から 2 時間後には規格化減衰量でおよそ 0.2 程度長手配向サンプルの方が大きな減衰を示している。この差が Fig. 6.1 に示される粒子間相互作用の影響によるものと考えら

れる。

## 6.4 節 粒子間相互作用と磁化の時間減衰

前節では、粒子間相互作用が磁化の時間減衰に及ぼす影響について、その影響がもっとも明確に現れる保磁力に等しい反転磁界を加えた場合について述べてきた。そこで、本節では異なる反転磁界を加えた場合に粒子間相互作用が磁化の時間減衰に及ぼす影響について検討した。

Fig. 6.1 に示されるように、長手配向サンプルは正の粒子間相互作用、無配向サンプルは非常に弱い正の粒子間相互作用、カプセル状サンプルはサンプルの形状効果による減磁界の影響により $\Delta M$  曲線では負の粒子間相互作用がある場合と同様の効果を示すものである。このような相互作用磁界の異なる媒体について磁気粘性係数  $S$  を測定した。 $S$  は 30 分間の磁化時間減衰において対数時間軸で直線的に磁化が減衰している部分の傾きとした。Fig. 6.5 に BF-3 における  $S$  と印加反転磁界の関係を示す。同図によると、弱磁界 (BF-3 ではおよそ  $H_{app} < 0.65H_{cr}$ ) 中では正の相互作用の大きなものほど  $S$  が小さい。逆に強磁界中では正の相互作用の大きなものほど  $S$

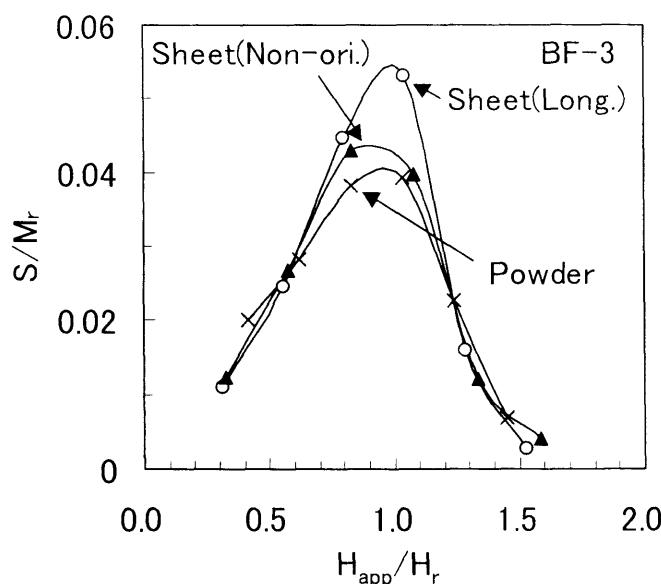


Fig. 6.5 磁気粘性係数 (BF-3).

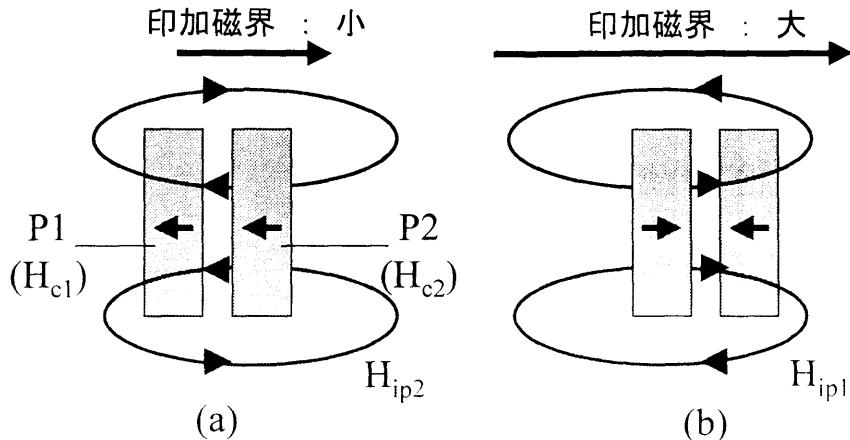


Fig. 6.6 粒子間相互作用磁界.

が大きい。この理由は Fig. 6.6 の Néel[66]の 2 粒子モデルで説明できる。同図において、左向きの磁化に右向きの反転磁界を加えた場合を考える。(a) で示されるように反転印加磁界が小さい時、左側に位置する粒子(P1)の保磁力( $H_{c1}$ )が右側に位置する粒子(P2)の保磁力( $H_{c2}$ )よりも小さな場合( $H_{c1} < H_{c2}$ )、反転磁界が  $H_{c1}$  に等しくなっても、P2 が発生する相互作用磁界( $H_{ip2}$ )により P1 の磁化を反転させるには  $H_{c1} + H_{ip2}$  に等しい反転磁界が必要となり、粒子の磁化は安定となる。一方、(b) で示されるように、反転印加磁界が大きくなると、P1 が先に反転し、P2 に大きさが  $H_{ip1}$  の相互作用磁界が反転印加磁界の向きに働く。これにより P2 は  $H_{c2}$  よりも  $H_{ip1}$ だけ小さな磁界で磁化が反転する。このことが強い反転磁界中で磁化が不安定になる理由と考えられる。これにより、正の相互作用は弱磁界中では磁化を安定させ、強磁界中では磁化を不安定にすると言える。

正の相互作用は磁化の熱安定性だけでなく磁界による磁化の反転過程にも影響を与える。Fig. 6.7 に BF-3 における非可逆磁化率( $\chi_{irr}$ )を示す。 $SFD_r$  は非可逆磁化率の半値幅を残留保磁力で規格化したもので、本来、個々の粒子が示す磁化反転磁界の分布( $SFD_p$ )を示すものである。しかし、個々の粒子間に相互作用磁界が働くと、この値は変化する。すなわち、先にも述べたように正の相互作用は弱磁界中では磁化を安定させるように働き、強磁界中では磁化を不安定にする働きを持つ。つまり、残留磁化曲線においても正の相互作用は印加磁界が小さい時には磁化の反転を起こり難くし、印加磁界がある値より大きくなると磁化の反転が起こり易くする。その

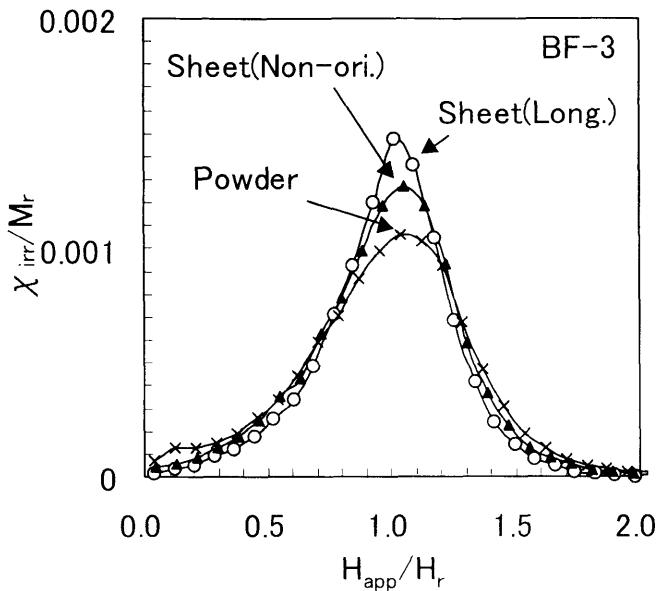


Fig. 6.7 非可逆磁化率 (BF-3).

結果、正の相互作用が大きな時は  $S$  と同様に  $\chi_{irr}$  もシャープな形となり、 $SFD_r$  が小さくなる。逆に正の相互作用が小さい、または、負の相互作用が大きい場合には  $SFD_r$  が大きくなる。この  $\chi_{irr}$  は粒子間に全く相互作用がない場合でも配向サンプルの方が無配向サンプルよりもシャープになると考えられるが、粒子間相互作用の影響が支配的であると推測される。このことは、実際のサンプルにおいて全く粒子間相互作用のない配向サンプルを作成することが不可能であるため、実測によって  $\chi_{irr}$  を決める支配的な要因を探ることはできない。しかしながら、粒子を配向することによって、粒子間相互作用が大きくなることを考慮すると、配向による粒子間相互作用の影響として結論付けることはできる。

Fig. 6.7 によると、Fig. 6.5 の磁気粘性係数と同様に、およそ  $H_{app} = 0.75H_r$  を境に長手配向サンプルとカプセル状サンプルの  $\chi_{irr}$  の大小関係が入れ替わっている。長手配向サンプルは弱磁界では  $\chi_{irr}$  の値が小さく  $H_r$  付近ではその値が大きくなっている。これは、弱磁界では磁化が反転し難く、ある値以上の強磁界では磁化が反転しやすいことを示している。このことは Fig. 6.6 の 2 粒子モデルから磁気粘性係数の場合と同じ理由で説明できる。Fig. 6.8 に 2 つの粒子が磁気的に完全に孤立している場合と、粒子間に相互作用磁界が働いている場合の残留磁化曲線の簡略図を示す。

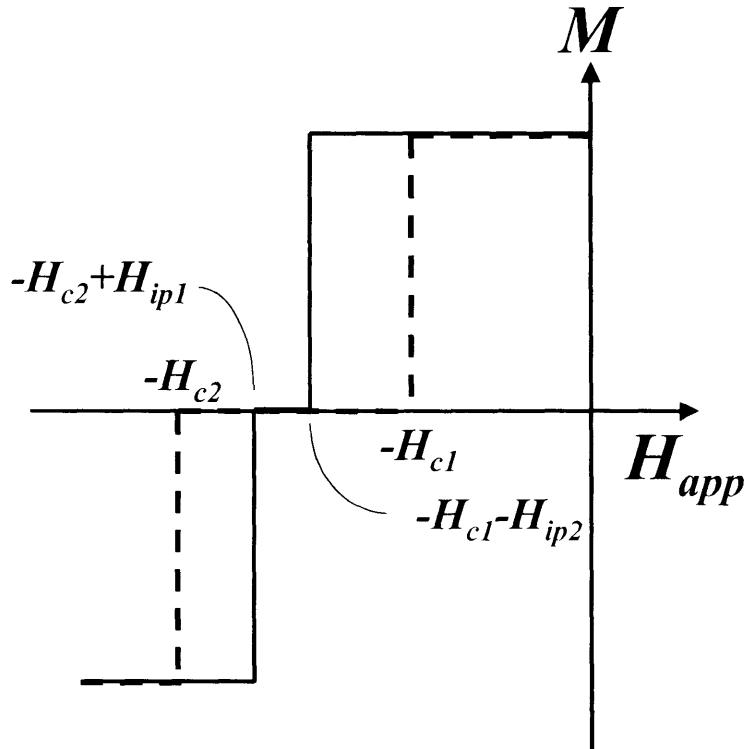


Fig. 6.8 2 粒子モデルから考えられる残留磁化曲線. 点線: 各粒子が磁気的に完全に孤立している場合, 実線: 粒子間に相互作用磁界が働いている場合.

同図において点線が, 完全孤立の場合, 実線が正の相互作用磁界が存在する場合を示す. これにより, 正の粒子間相互作用が小さい場合, つまり, 同図において  $H_{ip1}$  および  $H_{ip2}$  が小さい場合は点線で示される孤立状態に近くなり,  $\chi_{irr}$  は印加磁界に対して広く分布し, 逆に正の相互作用が大きな場合には  $\chi_{irr}$  はそのプロファイルがシャープになる. その結果, Fig. 6.7 に示されるように, ある反転印加磁界を境に粒子間相互作用の大きさが異なる媒体の  $\chi_{irr}$  の大小関係が入れ替わる. 正確には粒子間相互作用の向きは磁化の向きに依存するため印加磁界が大きくなることにより磁化状態が変わる, その磁化の状態によって  $S$  および  $\chi_{irr}$  が Figs. 6.5, 6.7 のような印加磁界依存性を示すことである.

## 6.5 節 結言

同種の粒子からなる長手配向されたシート状サンプルと、無配向シート状サンプル、およびカプセル状サンプルを用いて、粒子体積と配向による粒子間相互作用の変化を調べた。粒子を小さくすると粒子間相互作用が小さくなり、粒子を配向すると粒子間相互作用が大きくなるという結果が得られた。

粒子間相互作用は磁化の時間減衰に大きな影響を与える。正の相互作用は強磁界中では磁化を不安定にするが、弱磁界中では磁化を安定にすることがわかった。このメカニズムは磁化の時間減衰（磁化の熱安定性）と残留磁化曲線の測定のような磁化過程に同じ作用をもたらすということが言える。

記録ヘッド磁界の長手方向成分はなだらかに広がっている。そのため高周波記録時には磁化は擬似的なAC消磁状態となることを3.3.2項で述べた。このことを考慮すると、 $SFD_r$ が大きなものはその消磁領域が広くなる。逆に、 $SFD_r$ が小さい、つまり $\chi_{irr}$ がシャープな形状をしているものは高周波記録時でも磁化転移幅は狭くなるため、高密度記録に有利であると考えられる。特に記録ヘッドトラックエッジでは記録ヘッド磁界の長手方向成分の広がりが大きいため、高周波記録時に記録トラックエッジ磁化の受ける影響は大きい[18]。しかし、 $SFD_r$ の小さな媒体では、トラックエッジでの消磁の影響が軽減されるため、トラック方向の磁化状態だけでなく、トラック幅方向の磁化状態の劣化も少なくなると考えられる。