

2009.3.17

SPring-8ワークショップ「先端磁性材料」  
SPring-8利用推進協議会第1回先端磁性材料研究会  
SPring-8利用者懇談会ナノ・デバイス磁性研究会

# 硬X線MCDによる 単磁極ヘッドの磁化状態解析

田口 香

秋田県産業技術総合研究センター 高度技術研究所(AIT)

共同研究者: 近藤祐治, 千葉 隆

/ 秋田県産業技術総合研究センター 高度技術研究所(AIT)

鈴木基寛, 河村直己 / (財)高輝度光科学研究センター

課題番号: 2006B0189, 2007A2045 / ビームライン: Spring-8 BL39XU

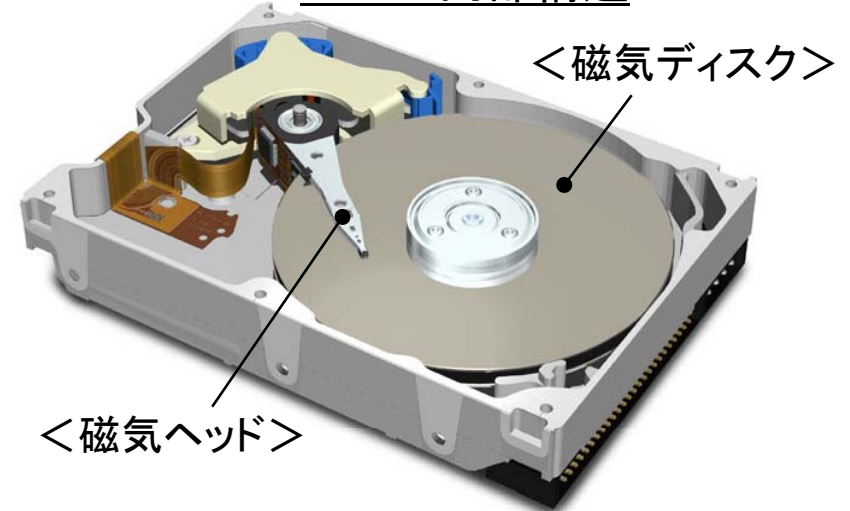
# 磁気記録の高密度化

## 情報ストレージにおけるハードディスク装置

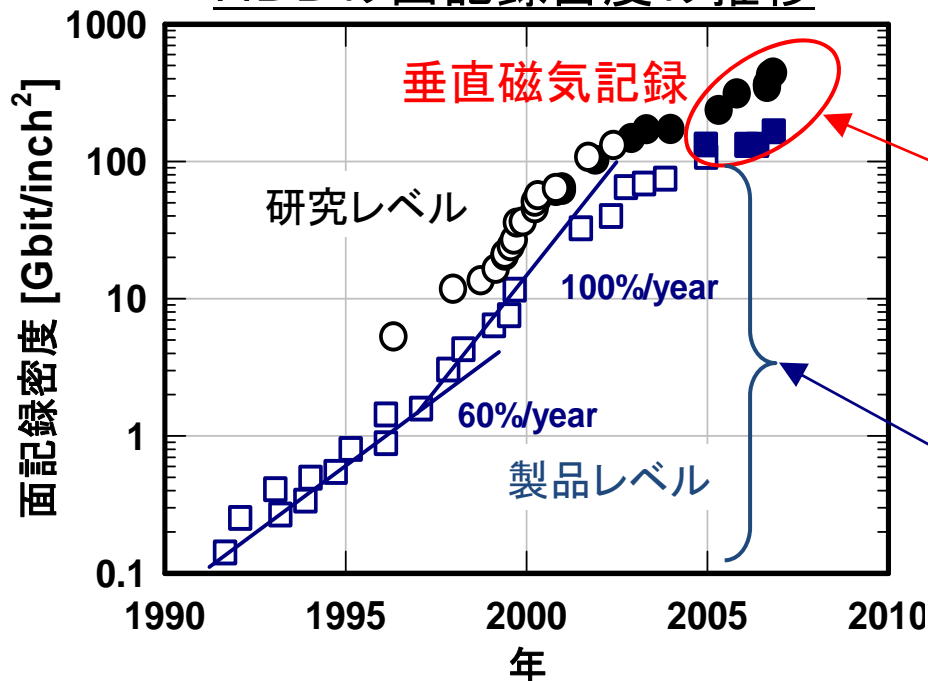
- ・大容量 ・高速 ・廉価
- ・コンピューター以外でも幅広く利用  
(HDD市場の半数以上?)

例:ビデオレコーダー  
カーナビ  
モバイルデバイス

## HDDの内部構造



## HDDの面記録密度の推移



## 垂直磁気記録方式の導入

2005年6月音楽用プレーヤー  
2006年1月PC用

面記録密度 ~ 378 Gbit/inch<sup>2</sup> (2008年)

現在, 市販品の90%を占めるとい試算もあり

## 面内磁気記録方式の限界

~記録磁化の熱安定性問題~

面記録密度 ~ 100Gbit/inch<sup>2</sup>

# 垂直磁気記録方式の特徴

## 面内磁気記録方式(従来方式)

高密度で減磁界 $H_d$ が大

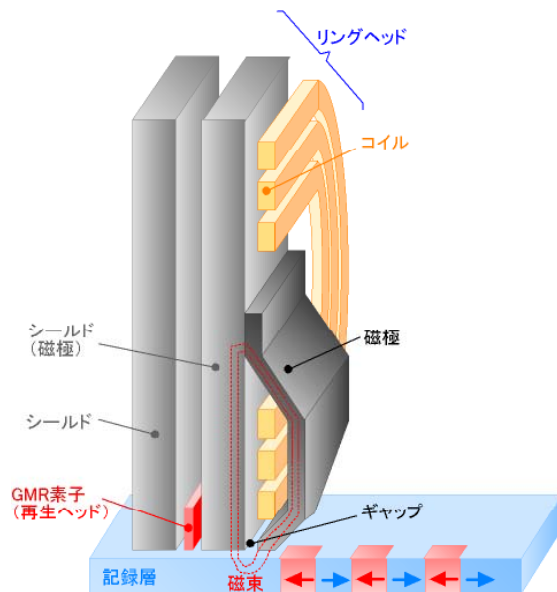
＜媒体の設計指針＞

高密度記録には  $d \cdot M_r / H_c$  を小

SN比  $\propto PW_{50} W / D d^2 s \Rightarrow$  粒子寸法  $d$  を小

＜問題＞ 記録磁化の熱安定性 ( $K_u V / kT$ )

ヘッド磁界強度



## 垂直磁気記録方式

高密度で減磁界 $H_d$ が小

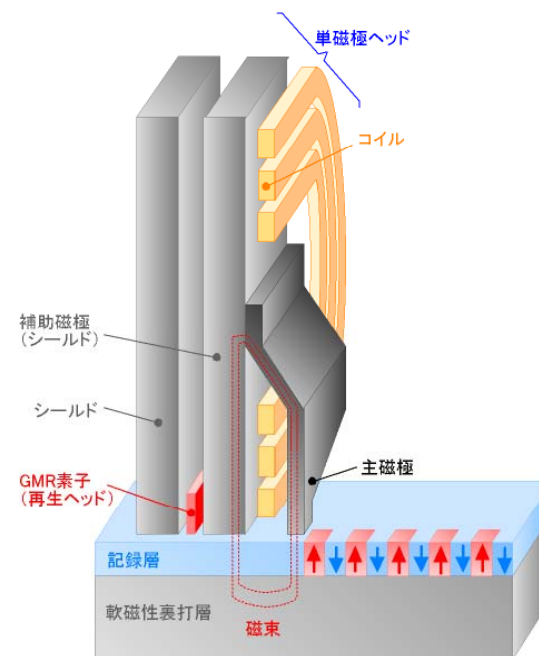
＜特徴＞ 記録磁化の熱安定性が高い

記録分解能が高い

再生出力が高い

＜問題＞ 媒体ノイズ

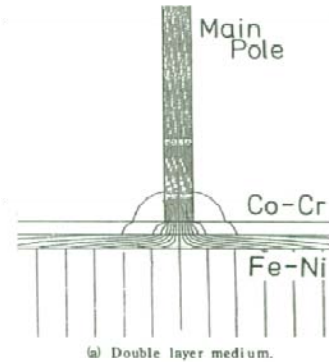
ヘッド記録磁界



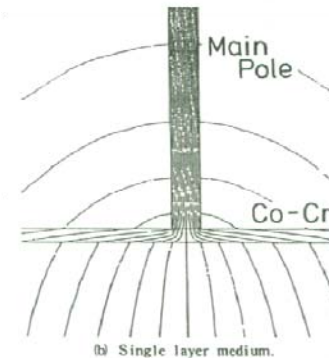
# 垂直磁気記録方式の特徴

## 二層膜媒体による磁束集中効果

二層膜媒体

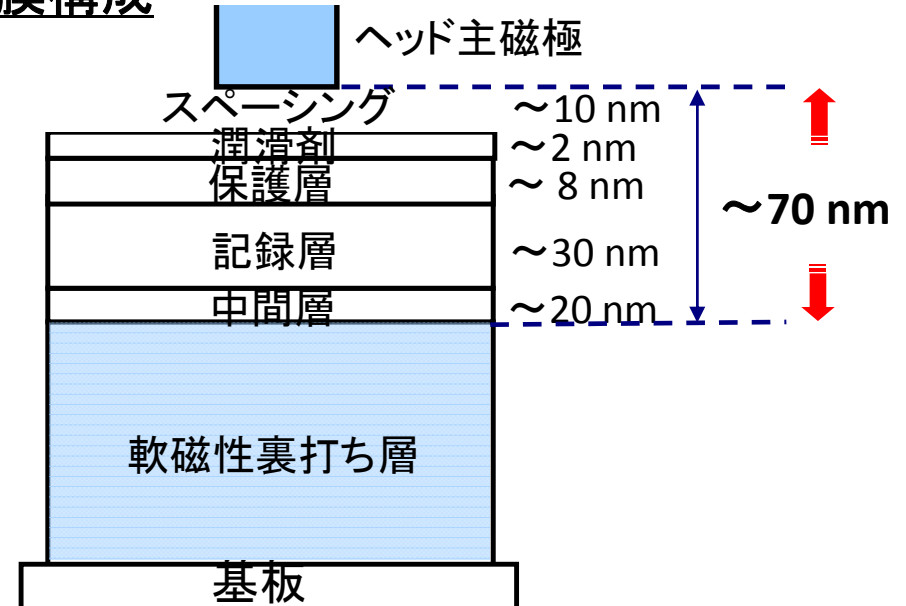


単層膜媒体



岩崎 他, 電子情報通信学会論文誌,  
Vol. J66-C, No. 10, p.740 (1983)

## 膜構成



### 高記録密度化に向けた媒体の設計

記録層の微細化 … 中間層の採用

主磁極-裏打ち層間距離 大…相互作用 小

熱磁気緩和 … 大きな飽和磁界・異方性エネルギー

飽和記録のための大きなヘッド磁界が必要

単磁極ヘッドと二層膜媒体の組み合わせで  
より強い垂直磁界を発生

スペーシング低減の限界  
高密度記録用媒体設計  
→ 大きなヘッド記録磁界の要求

# 背景 (1)

## 垂直磁気記録方式

単磁極ヘッドの記録性能はヘッド主磁極の磁化挙動に強く依存

- 飽和磁束密度 → ヘッド磁界強度
- 残留磁化 → 記録信号の減衰

## 二層膜媒体の軟磁性裏打ち層

・・・ヘッドとの磁気回路の一部として重要な役割

裏打ち層の存在する系でのヘッド主磁極の磁化挙動の把握

→ ヘッド・媒体設計の重要な指針

# 背景 (2)

## ヘッド主磁極の動的挙動の観測手法の一例

### 電子線トモグラフィ:

- 主磁極を直接観測, ● 裏打ち層なし

reference: K. Nakamura, T. Shimakura, H. Suzuki,

Magnetic field measurement for analysis of GHz response in SPT head using electron beam tomography, *J. Magn. Magn. Mater.*, **287**, 333-338 (2005)

### カー効果顕微鏡:

- 裏打ち層有り, ● 裏打ち層の観測により主磁極の挙動を推定

reference: J. Heidmann, H. Do, M. Xiao, K. Takano, Y. Ikeda,

Experimental study of the head/medium magneto dynamics in perpendicular recording, *J. Magn. Magn. Mater.*, **287**, 357-361 (2005)

軟磁性裏打ち層が存在する環境でのヘッド主磁極の磁化挙動を  
直接評価する手法は報告例が無い



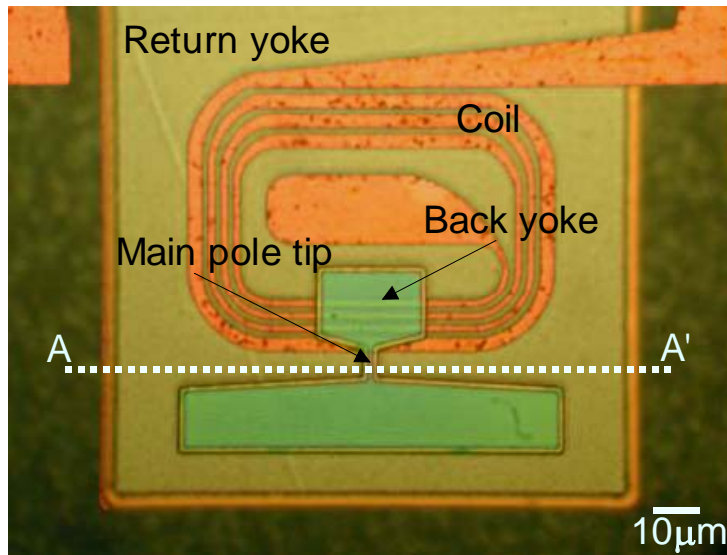
# 本研究の目的

擬似軟磁性層が存在する状態における  
ヘッド主磁極の磁化挙動の直接測定

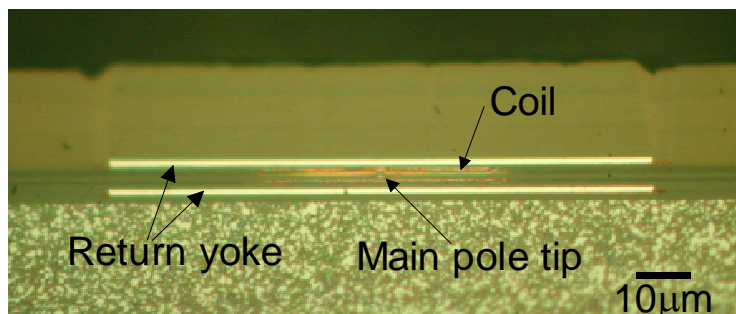
測定を行うために・・・

- **磁気円二色性(XMCD)**・・・主磁極の磁化測定  
(元素選択性)
- \* 進入深さが数 $\mu\text{m}$ 数オングストロームの硬X線  
・・・擬似軟磁性層を透過して主磁極部を測定
- \* 顕微X線・・・数 $\mu\text{m}$ の微小領域内の主磁極部を測定

# カスプコイル励磁型単磁極ヘッドの構造



(a) Top view



(b) Head surface view  
(A-A' cross section)

## 主磁極

Material: Co-Ni-Fe soft films

Tip thickness : 0.2 µm

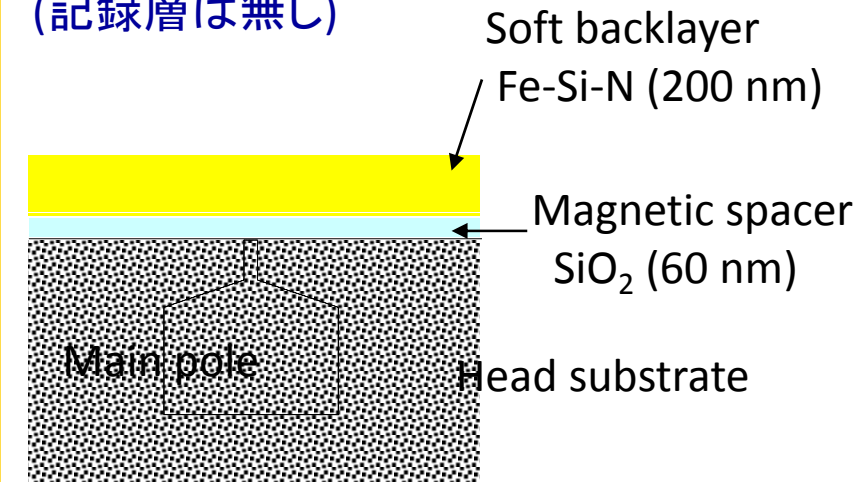
Tip width : 1 µm

## リターンヨーク

Material: Co-Ni-Fe soft films

Thickness : 1 µm , Width : 100 µm

## 擬似軟磁性層を有する構成 (記録層は無し)





# 測定システムの模式図

## Beamline : SPring-8 BL39XU

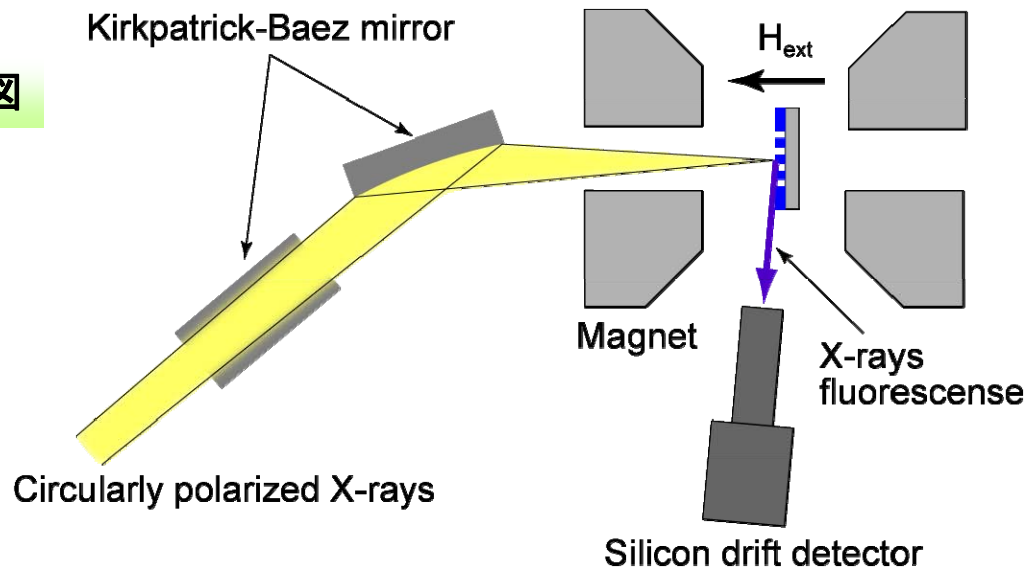
### 輸送部

光源: 真空封止型アンジュレータ  
分光器: 二結晶型 (Si111)  
エネルギー領域: 5~37 keV  
分解能  $\Delta E/E: 2 \times 10^{-4}$

### 末端部

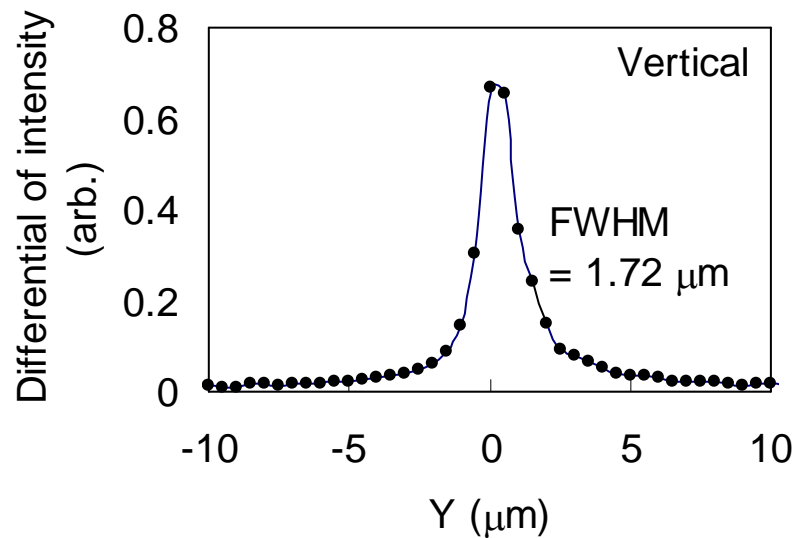
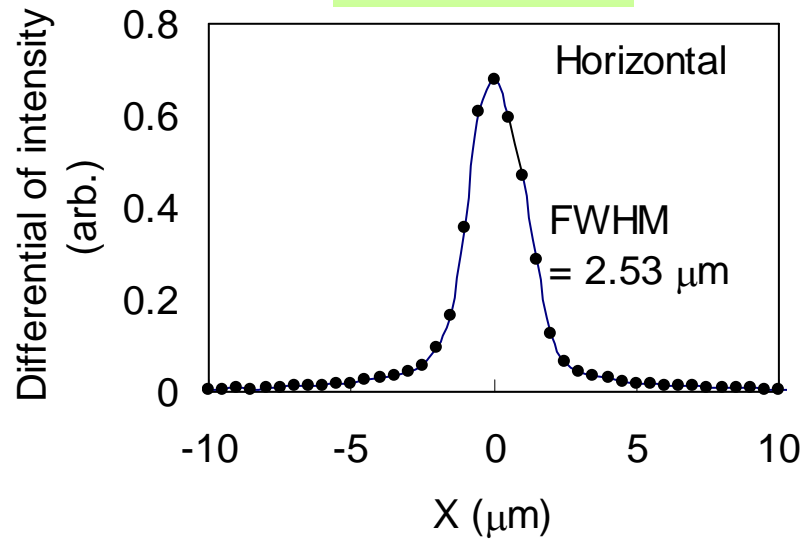
集光ミラー: Kirkpatrick-Baezミラー  
電磁石:  $H_{\max} = 5.8 \text{ kOe}$  @ ギャップ 15mm  
試料ステージ: 角度可変  
検出器: シリコンドリフト検出器

### 末端部上面図

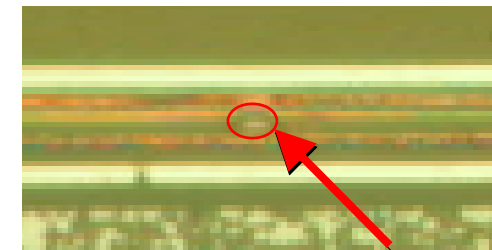
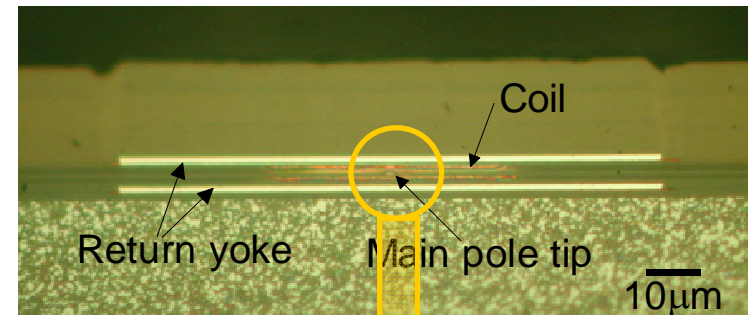


# マイクロX線ビーム

Beam Profile



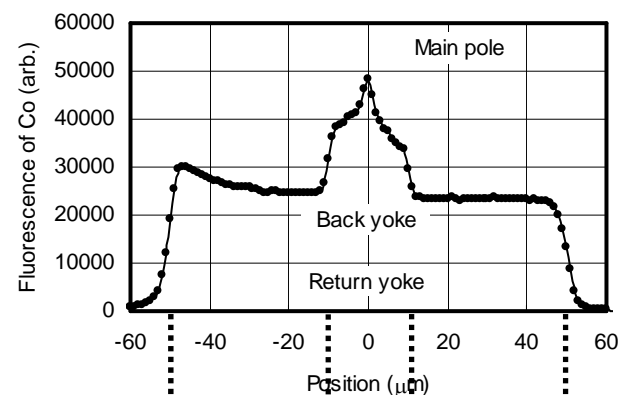
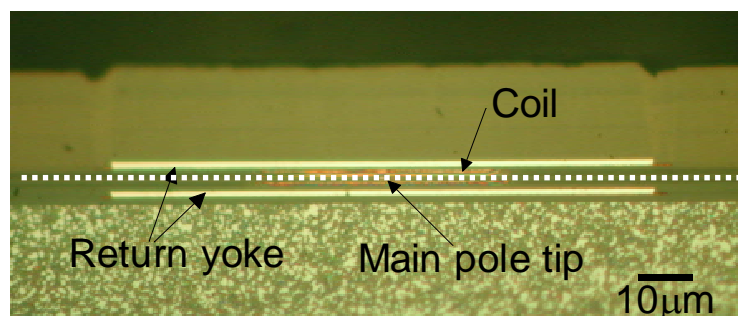
Area of beam spot



マイクロビームをヘッド主磁極部の微小領域に照射して測定

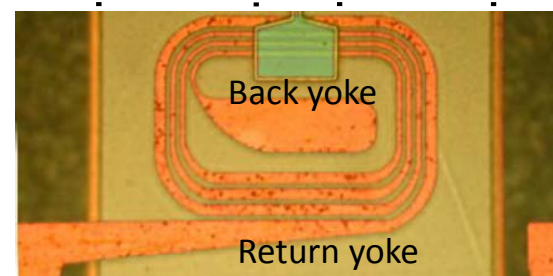
# Coの蛍光X線プロファイル (1)

- 擬似裏打ち層なし -



マイクロビームを主磁極幅方向にスキャン

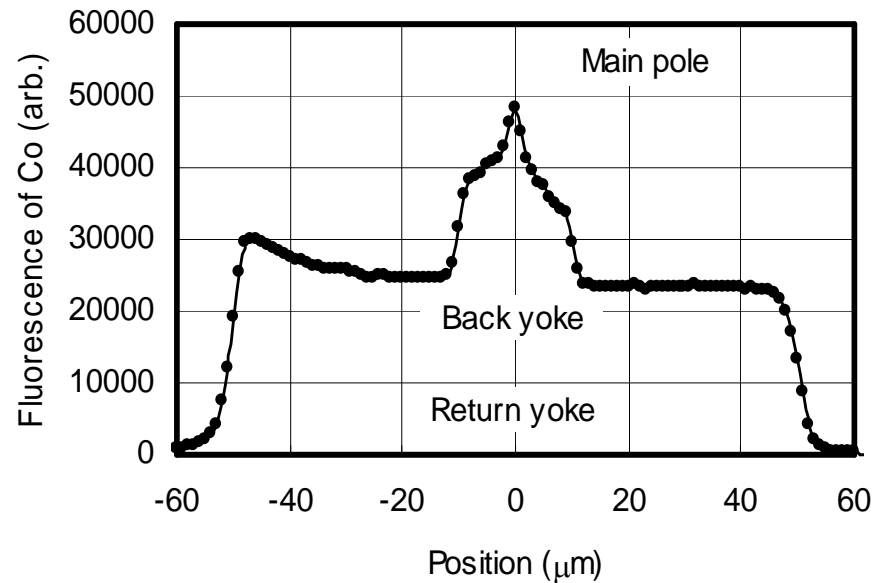
Coの蛍光強度  $\propto$  Coの体積



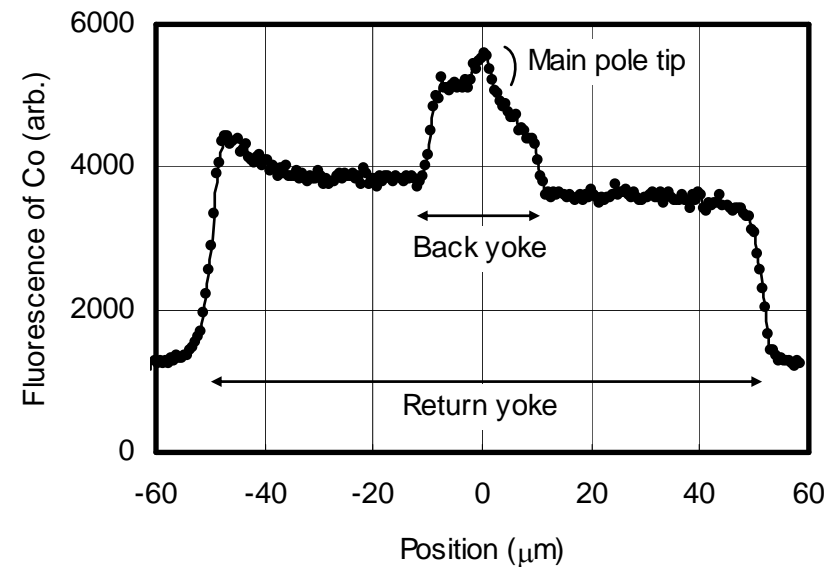
- マイクロビームにより主磁極先端部の位置検出が可能  
→ 主磁極先端部の測定が可能
- 主磁極部以外の信号も検出 → 信号の切り分けが今後の課題

# Coの蛍光X線プロファイル (2)

- 擬似裏打ち層無し -



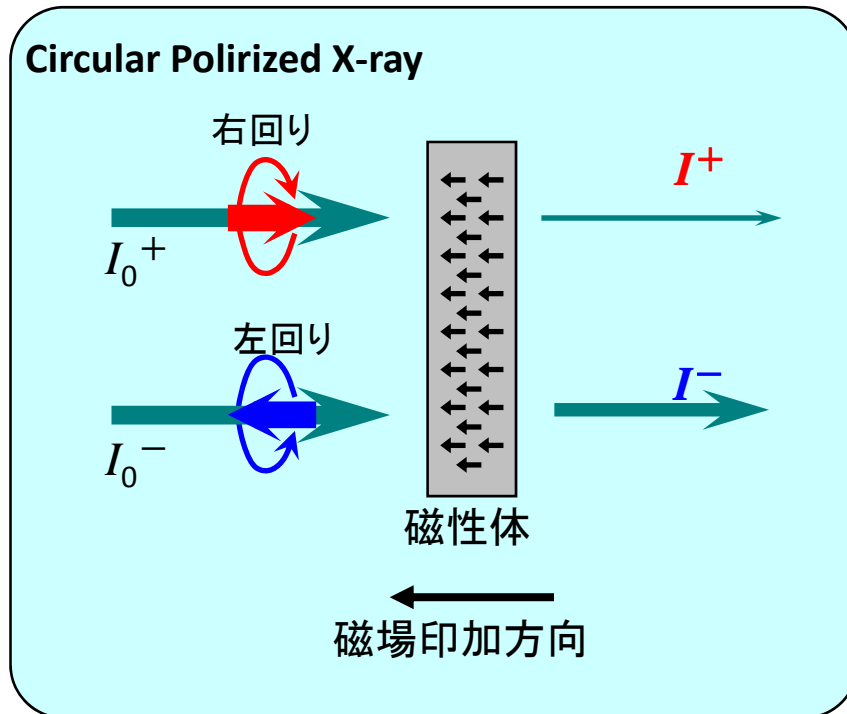
- 擬似裏打ち層有り -



数 $\mu\text{m}$ オーダーの浸透深さにより,

Fe系擬似軟磁性裏打ち層の下層に位置するCo系主磁極の信号検出が可能

# X線磁気円二色性(XMCD)

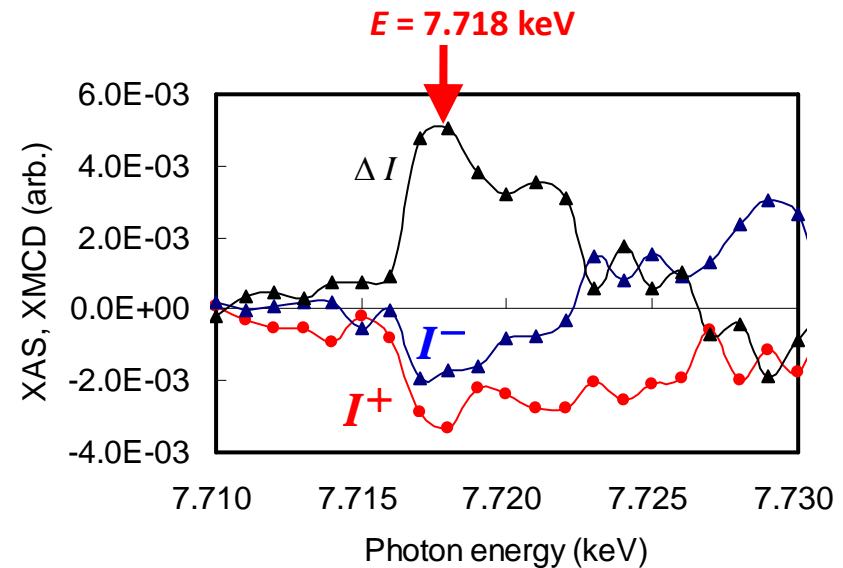


## X線磁気円二色性(XMCD)の定義

$$\Delta I(E, H) = I^+(E, H) - I^-(E, H) \propto \text{Magnetization}$$

$E$ : X-ray energy

$H$ : Magnetic field



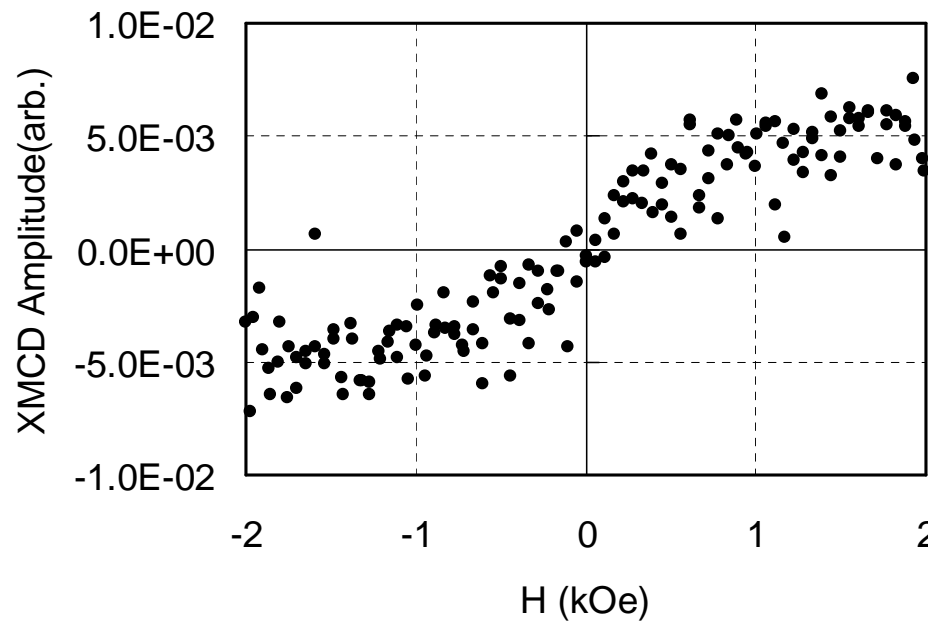
XMCD 測定は蛍光法で測定 Co- $K\alpha$  吸収端( $E = 7.718 \text{ keV}$ ) .

Co: Co-Ni-Fe 主磁極 ○, Fe-Si-N 擬似裏打ち層 ×

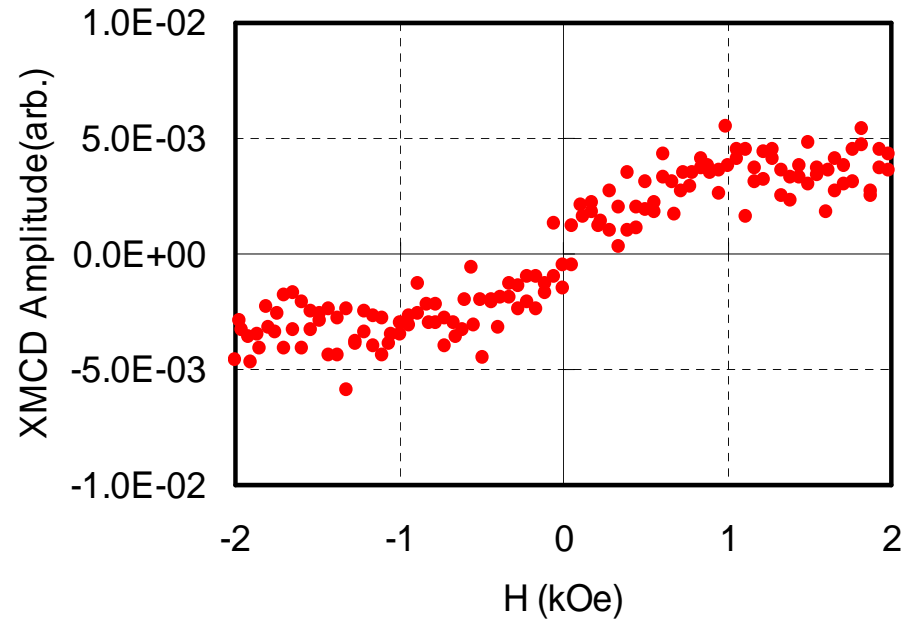
# ヒステリシス曲線

- ヘッド主磁極部 -

- 擬似裏打ち層無し -



- 擬似裏打ち層有り -



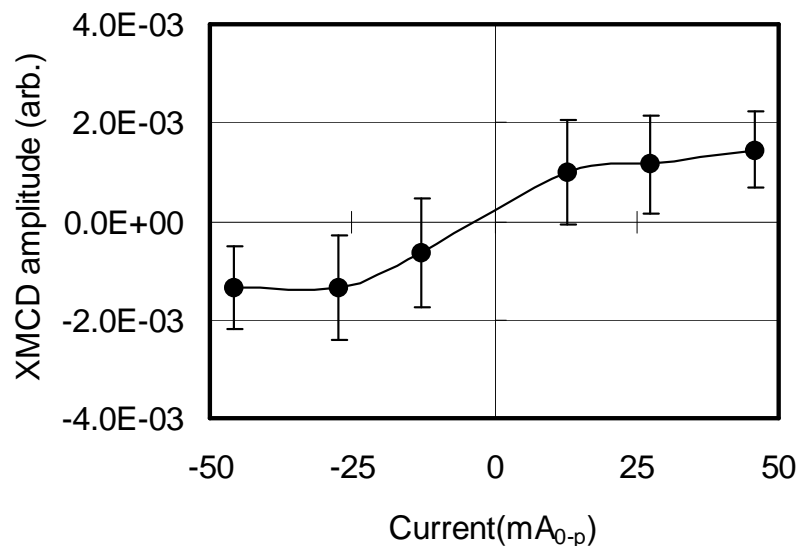
Fe系擬似軟磁性裏打ち層が存在する系においてCo系ヘッド主磁極の  
困難軸方向のヒステリシス曲線が測定できることを初めて示した。



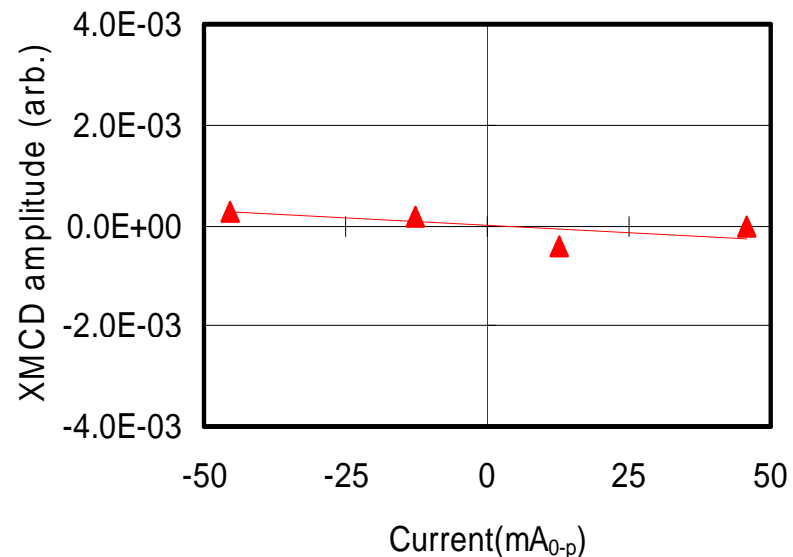
# ヘッド自己駆動による動的磁化挙動評価

- 擬似裏打ち層 有 -

- 主磁極 -



- リターンヨーク -



Head drive: an alternative rectangular current by using a pulse generator

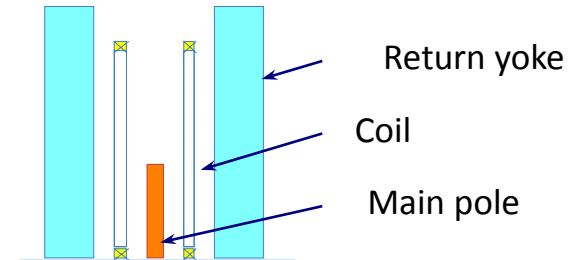
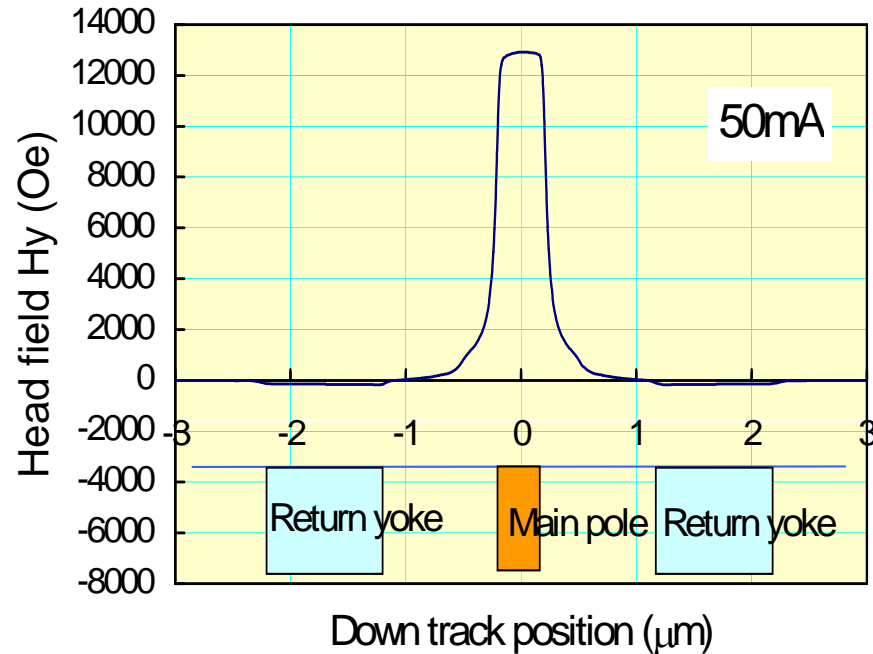
Frequency = 42.4 MHz (運転モード : Aモード, 203 bunches, Interval : 23.6nsec)

Average : 100 times / Error bar : standard deviation

○ 自己駆動させたヘッドの磁化挙動が測定が可能.

○ リターンヨークの磁化は主磁極とは逆極性で, その大きさは十分に小.

# ヘッド磁界の計算



Mian pole $B_s$ (T)	1.9	Separation*1 ( $\mu\text{m}$ )	2.6 / 2.6
Trackwidth ( $\mu\text{m}$ )	2	Coil turns	3 + 3
Thickness ( $\mu\text{m}$ )	0.4	Backlayer $B_s$ (T)	1.9
Height ( $\mu\text{m}$ )	30	Thickness ( $\mu\text{m}$ )	0.5
Return yoke $B_s$ (T)	1.25	Spacing*2 (nm)	35
Width ( $\mu\text{m}$ )	100		
Thickness ( $\mu\text{m}$ )	3		
Height ( $\mu\text{m}$ )	70		

\*1: between main pole and return yoke, leading / trailing

\*2: between main pole and backlayer

K. Yamakawa et al., J. Magn. Magn. Mater.,  
235(2001)354-361

○ リターンヨークの磁化は主磁極とは逆極性で、その大きさは十分に小.

➔ これまでのシミュレーション結果が妥当なことを初めて実証

## まとめ

- (1) 顕微磁気円二色性によるヘッド主磁極磁化を直接測定する一手法を提案した.
- (2) 擬似軟磁性裏打ち層の存在する状態においてもヘッド主磁極の磁化(ヒステリシス曲線)測定が可能であることを示した.
- (3) 自己駆動させたヘッドの動的な磁化挙動を測定できることを示した.

## 謝辞

本研究の一部は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の平成17年度産業技術研究助成事業により行われた.

# 今後の研究展開 (1)

## より高密度記録が可能な記録ヘッドの磁化状態の評価

- ① 例えば, 面記録密度1 Tbit/in<sup>2</sup>では  
25 nmピッチの媒体(図参照)への記録が必要



記録ヘッドの幅も同程度, あるいはそれ以下



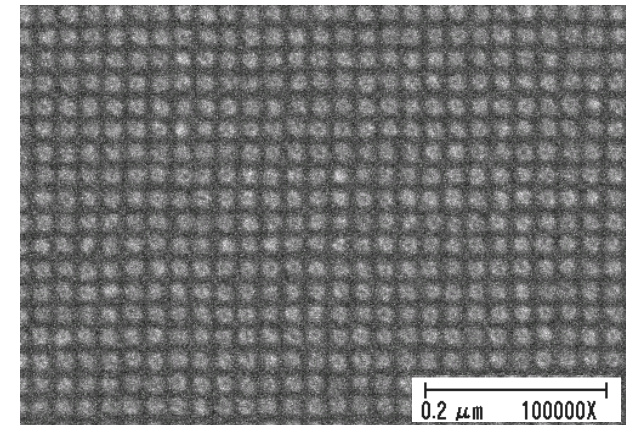
- \* サブサブミクロン領域の評価  
(数10 nm幅の孤立素子)  
MCD信号強度の確保

- ② より高周波での記録に対応



- \* 自己駆動の評価(時分割)  
数nsecオーダーの応答  
外部制御の手段

25 nmピッチのパターン媒体  
(1 Tbit/in<sup>2</sup>相当, ドット径: 15nm)



近藤他, 電子情報通信学会信学技報,  
MR2008-19 (2008).  
J. Ariake et al., *Digest of INTERMAG 2009*,  
CP-13, May 2009.

# 今後の研究展開 (2)

## より高密度記録が可能な記録ヘッドの磁化状態の評価

- ③ 微小なヘッド先端に強磁場を発生させる必要  
残留磁化の抑制(ポールレースの抑制)



### \* ヘッド最表面の磁化状態の評価

軟X線: 極表面の信号を検出

- 実際の記録再生状態に近い状態  
(= 軟磁性裏打ち層が存在する系)  
における評価手法の構築

硬X線: 数10 $\mu\text{m}$ 深さまでの信号検出(図参照)

- 侵入深さの制限 (空間分解能の向上)

今後もSPring-8の活用を検討したいと考えています。

Co蛍光X線プロフィール

