



磁気と情報

— 磁気記録の進歩 —

日本学士院会員
東北工業大学理事長
岩崎 俊一

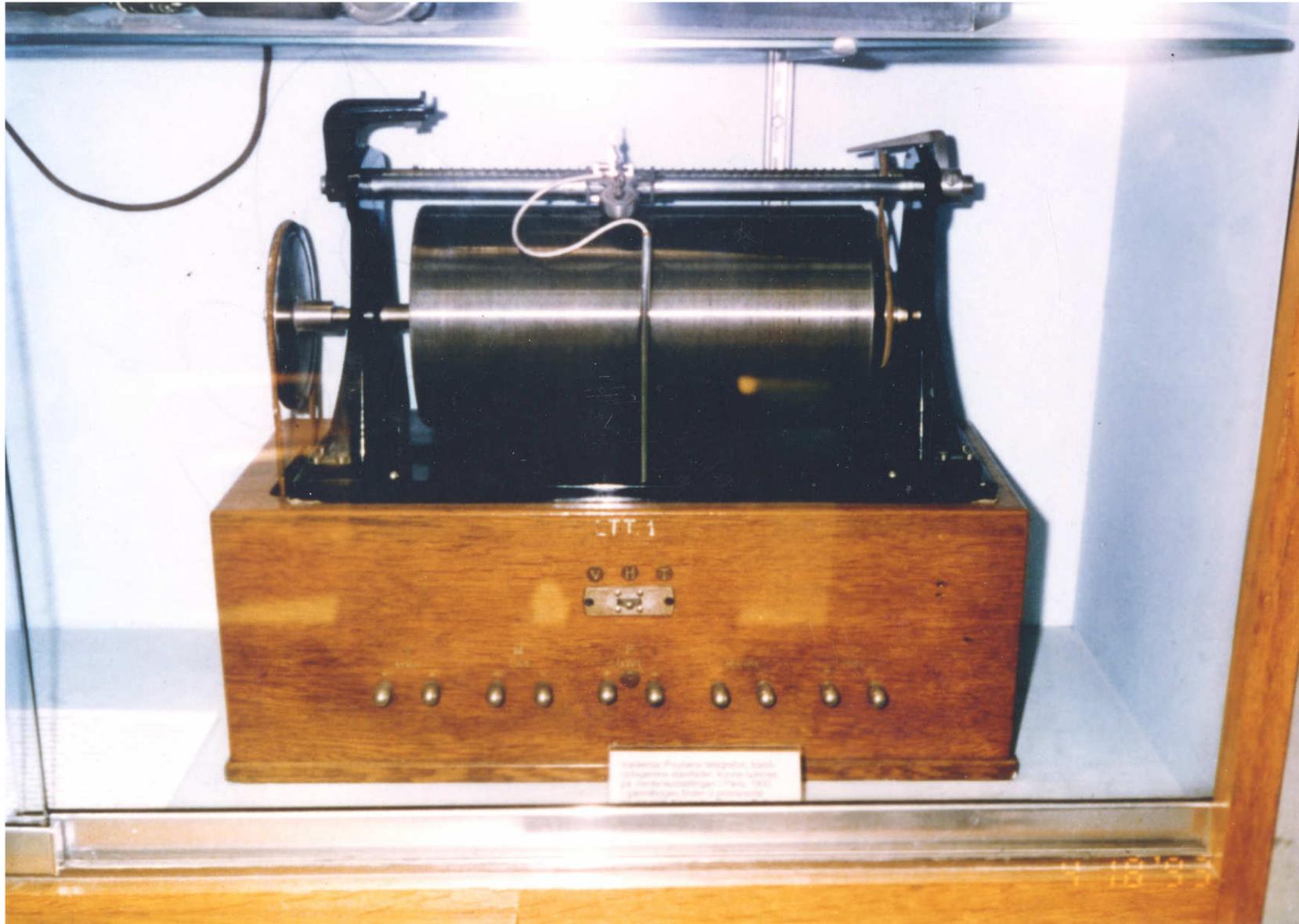
H21.08

1. 磁気記録の先駆者
2. 高密度化の端緒(メタルテープ)
3. 垂直記録の発想
4. 開拓と実用化の道のり
5. 社会への影響



- 1.磁気記録の先駆者
- 2.高密度化の端緒(メタルテープ)
- 3.垂直記録の発想
- 4.開拓と実用化の道のり
- 5.社会への影響

ポールセンの磁気録音機



1900 パリ万博出品



ヴァルデマール・ポールセン

Valdemar Poulsen

Figure 1. Valdemar Poulsen. Internationally known Danish inventor. Born in Copenhagen in 1869 as son of a Supreme Court judge. Classical language student to 1889. In line with his father's wishes, he commenced studies in medicine but soon abandoned them and changed to engineering studies. In 1890 he failed a mathematics exam that was part of the admissions requirements for the Polytechnical College. Employed in 1893 as telephone technician at KTAS (The Copenhagen Telephone Company), where in 1898 he got the idea leading to the telegraphone. He left KTAS at the end of 1899 to concentrate on developing the telegraphone. In 1902 he invented the arc transmitter with which he worked during the following 15 years. He was a board member of the companies that were formed to utilize his inventions. He received a long list of awards, including an honorary doctorate from the Polytechnical College (1929), the same institution whose entrance examination he had failed. Valdemar Poulsen died in Copenhagen in 1942.

VALDEMAR POULSEN

Copenhagen Telephone Co.

1890s Denmark

デンマーク・コペンハーゲン

テレフォンカンパニー

1869~1942

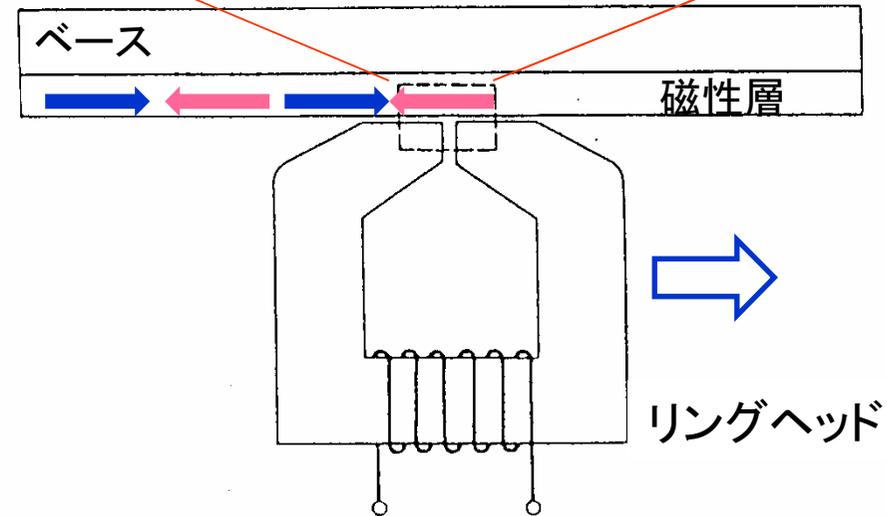
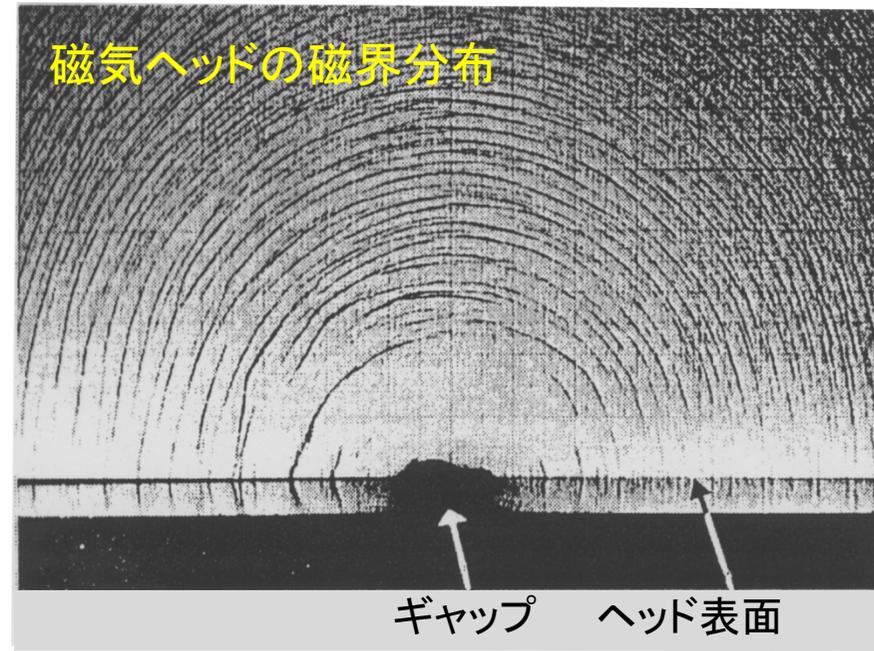
ワイヤレコーダ 昭和7年(1932年)頃



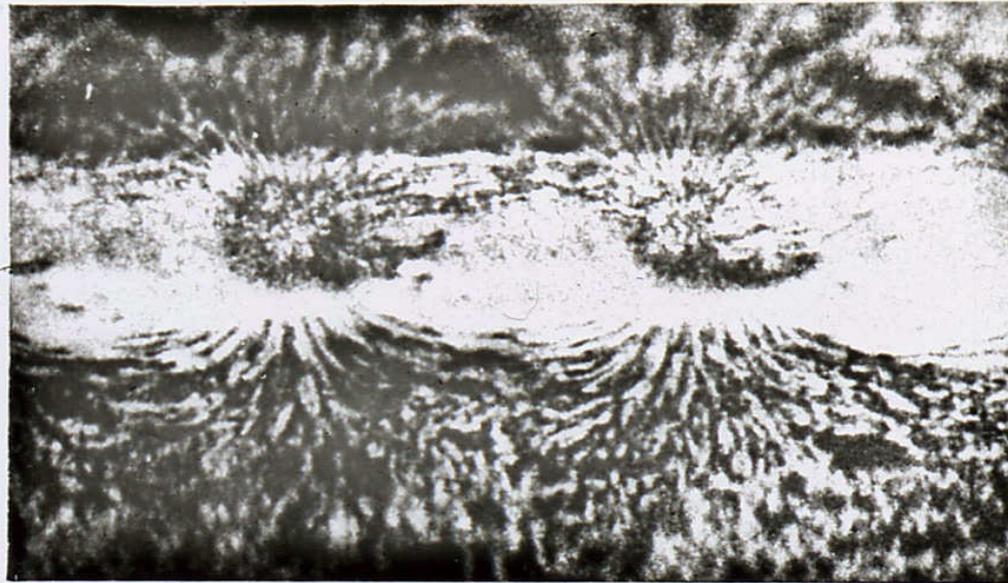
日本の東北大学 永井研究室で試作



初期のポータブルテープレコーダー
(昭和30年代)



磁気ヘッドの作る磁界と記録磁化



ベースフィルム

テープ磁性膜

テープ表面



低密度記録での磁化状態

ビッター法で観察した磁気テープ内部の磁化の様子

新旧ハードディスクの対比



左：現在(垂直) 重さ 135 g、メモリー量 300 GB、消費電力 0.4 W
右：1980年代(面内) 重さ 35 kg、メモリー量 0.3 GB、消費電力 600 W

パソコン以外の身近なハードディスク応用機器

ビデオレコーダー



HDD搭載DVDレコーダー



HDD搭載ビデオカメラ

ゲーム機



カーナビ



PS3



- 1.磁気記録の先駆者
- 2.高密度化の端緒(メタルテープ)
- 3.垂直記録の発想
- 4.開拓と実用化の道のり
- 5.社会への影響

メタル粉末塗布テープ

- ・高音質録音テープ(Hi-Fi テープ, 1975年～)
- ・小型ビデオレコーダー (8mm VTR, 1985年～)

メタルテープを使ったビデオテープレコーダー



小型8mmビデオカメラ
(1980年代)



六月にベルギーブリュッセルで 開かれる国際会議で同教室の 岩崎俊一助教授から発表

大至

(通) なる 散居しては、この
中から「長年」の
球団は、この
大至は、この
なまは、この
なる 散居しては、この
中から「長年」の
球団は、この
大至は、この
なまは、この

(通) なる 散居しては、この
中から「長年」の
球団は、この
大至は、この
なまは、この
なる 散居しては、この
中から「長年」の
球団は、この
大至は、この
なまは、この

青春

「青春」の
なる 散居しては、この
中から「長年」の
球団は、この
大至は、この
なまは、この
なる 散居しては、この
中から「長年」の
球団は、この
大至は、この
なまは、この

録音テープの進歩

このテープの進歩は、
四倍の速さで録音する
断りテープが、東京
各社に生産されること
が、このテープの進歩
の進歩は、このテープ
の進歩は、このテープ
の進歩は、このテープ
の進歩は、このテープ

四倍も収容の高性能 東北大新合金塗料で

東北大学が、高性能
合金塗料を開発した
この塗料は、従来の
合金塗料に比べて、
四倍も収容の高性能
合金塗料を開発した
この塗料は、従来の
合金塗料に比べて、
四倍も収容の高性能



この塗料は、従来の
合金塗料に比べて、
四倍も収容の高性能
合金塗料を開発した
この塗料は、従来の
合金塗料に比べて、
四倍も収容の高性能

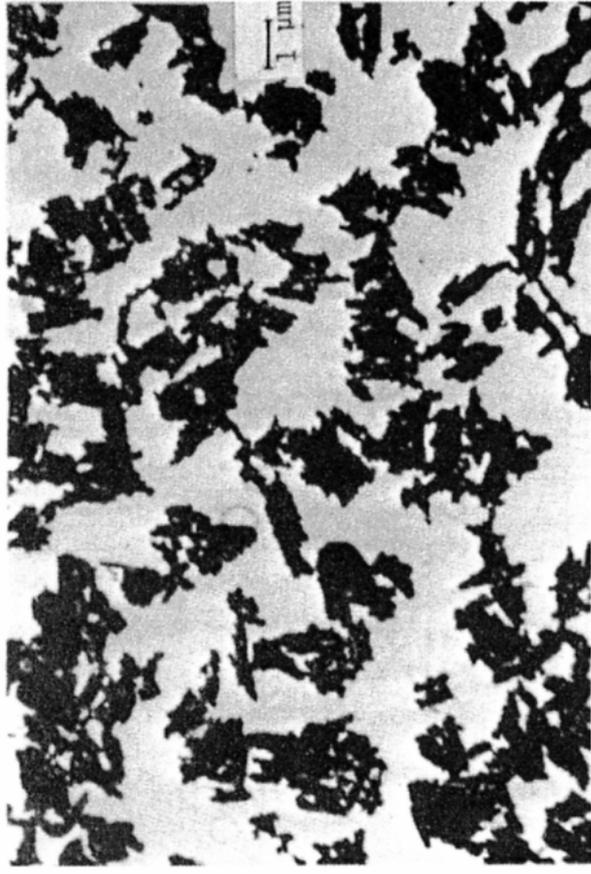
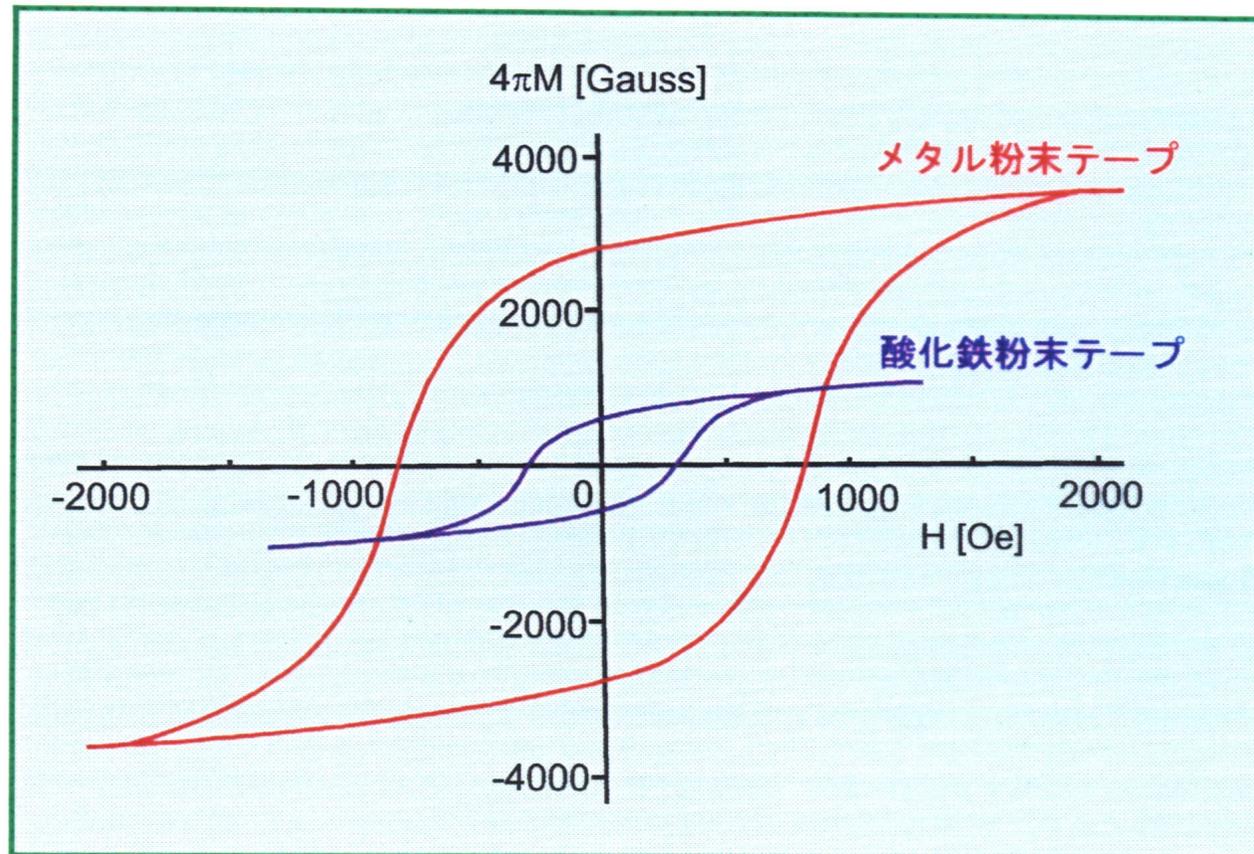


Figure 3-10. Electron micrograph of iron-cobalt-nickel alloy particles. (Iwasaki and Nagai 1962)

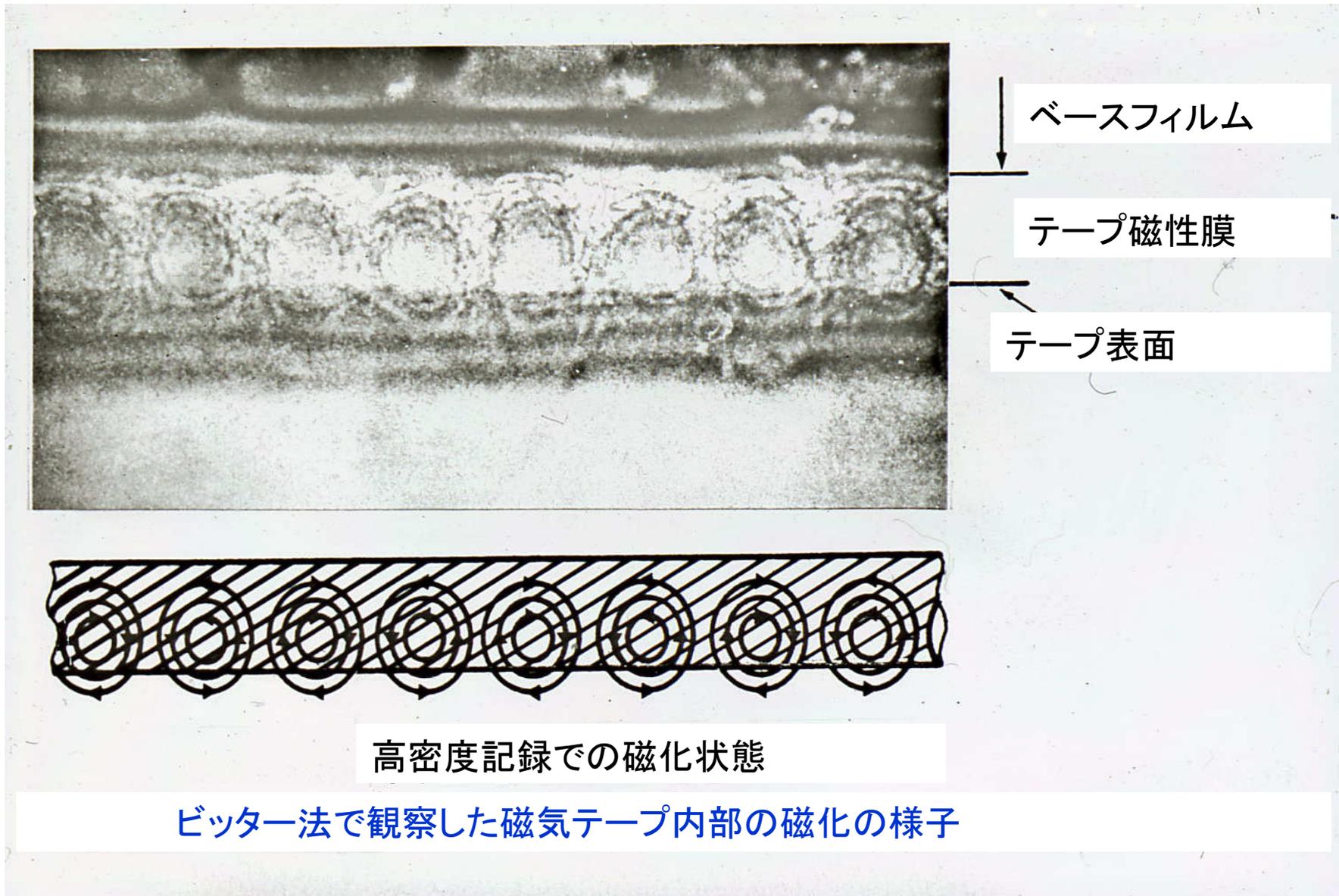


磁気テープのヒステリシス曲線

メタル粉末テープは、昭和34年に鉄・コバルト合金微粒子を用いて試作したもの [膜厚 $3 \mu\text{m}$]。酸化鉄粉末テープは当時の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 粉末テープ [膜厚 $12 \mu\text{m}$]。

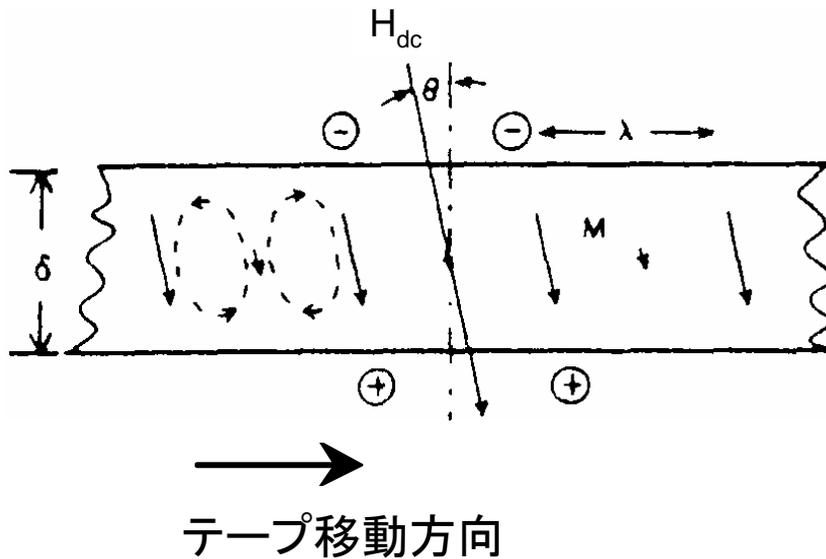


- 1.磁気記録の先駆者
- 2.高密度化の端緒(メタルテープ)
- 3.垂直記録の発想
- 4.開拓と実用化の道のり
- 5.社会への影響

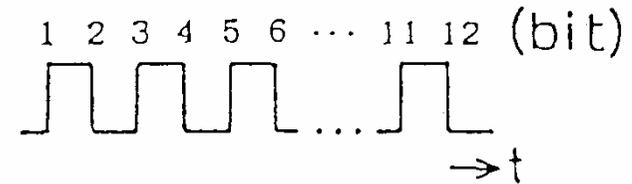


直流磁界印加による磁化モード変換

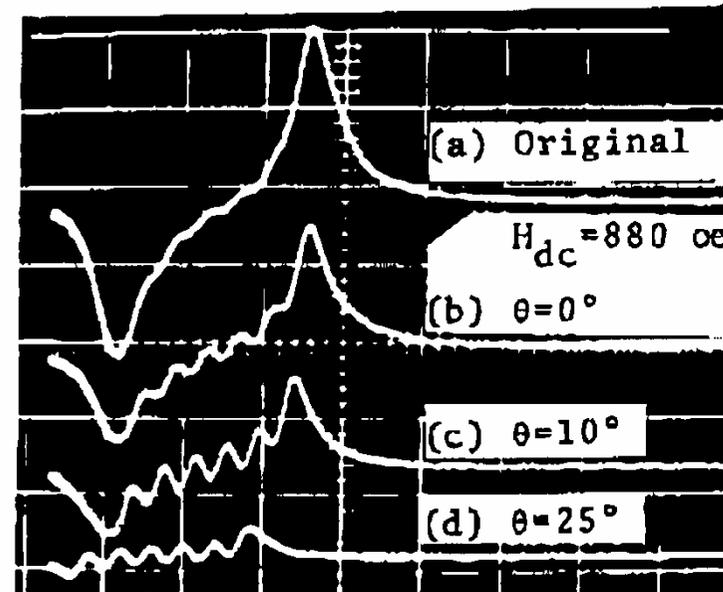
(1) 磁界印加によるモード変換



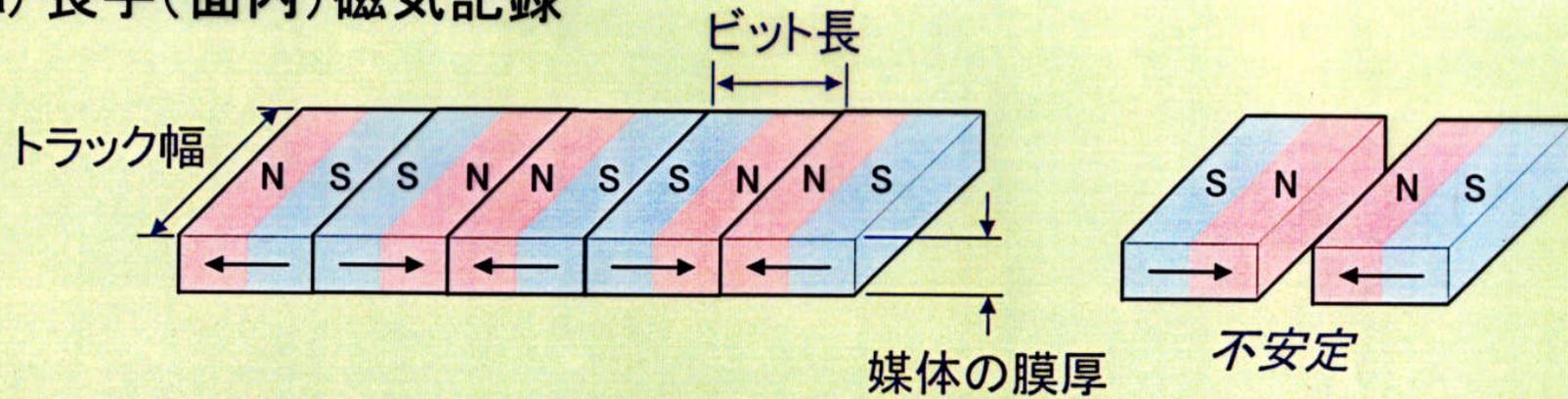
(2) 記録信号



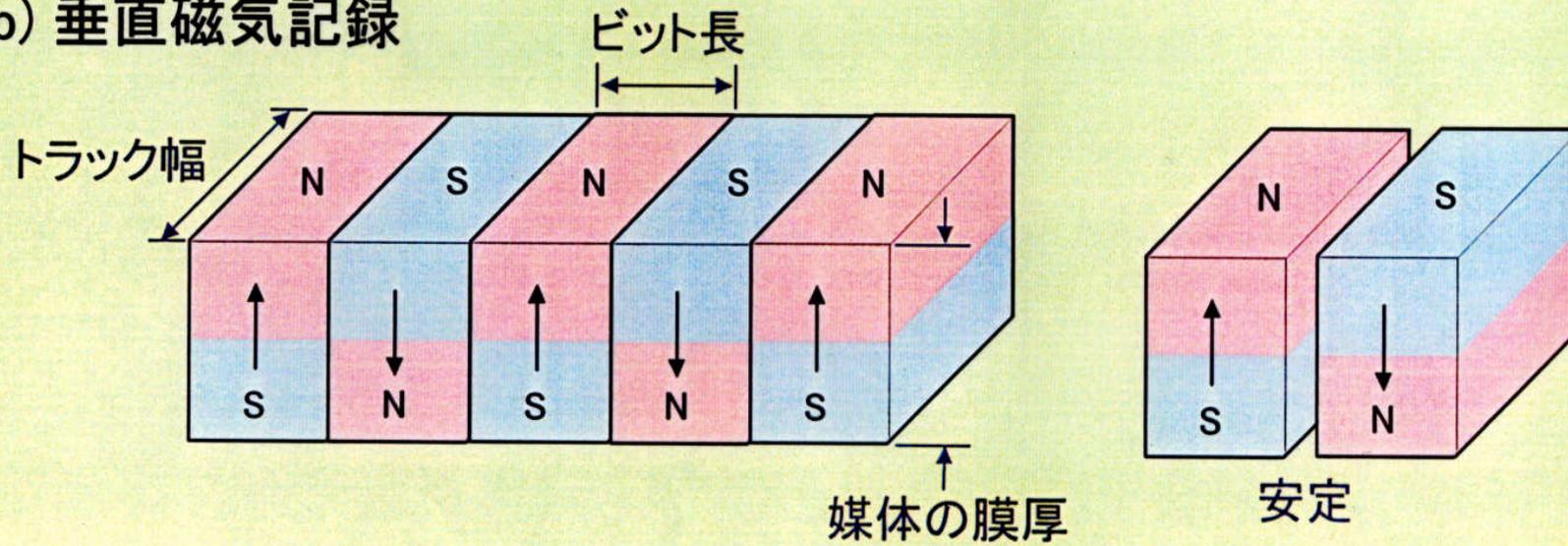
(3) 再生電圧



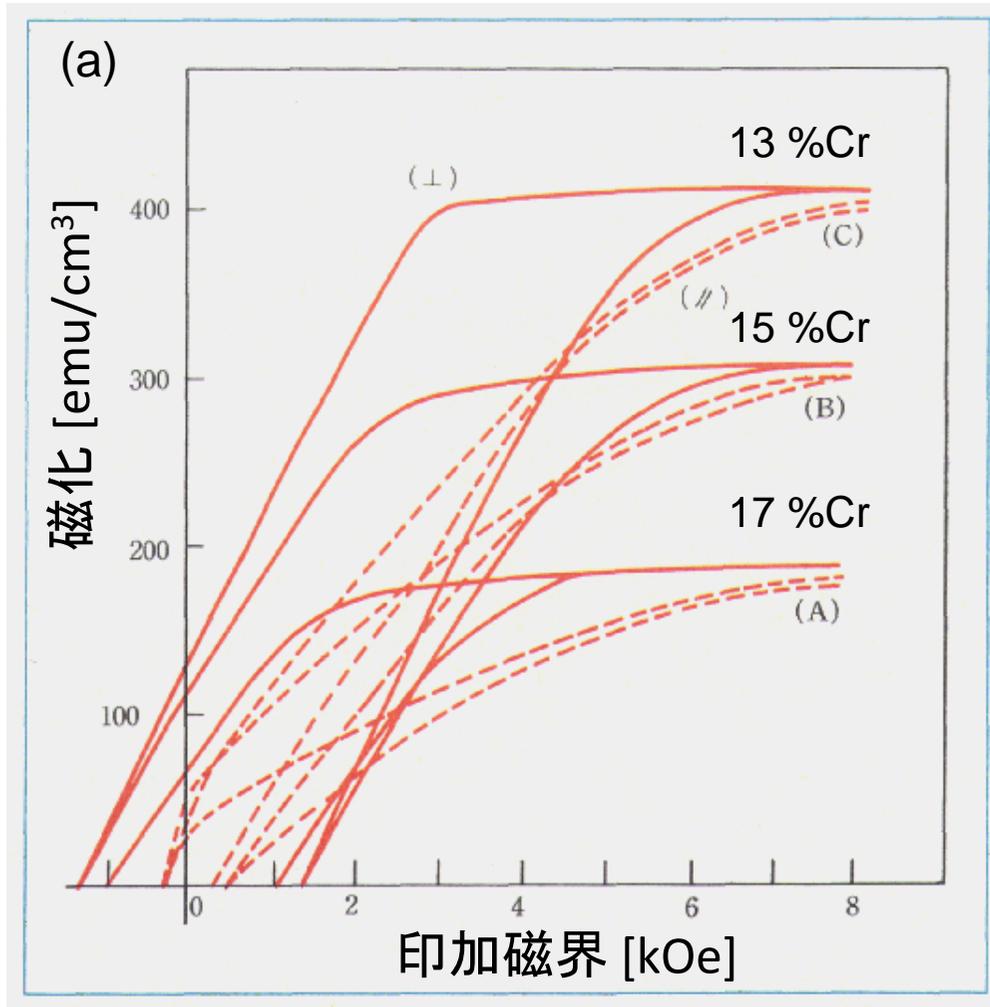
(a) 長手(面内)磁気記録



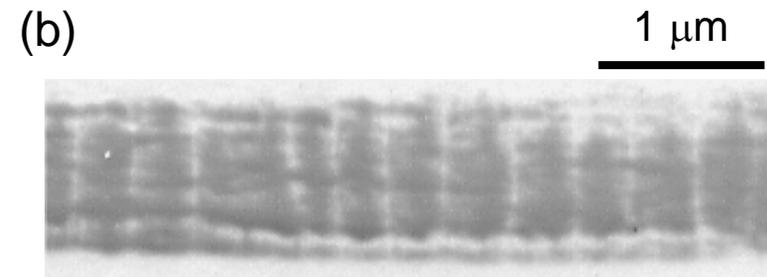
(b) 垂直磁気記録



クロム量の異なるコバルト・クロム膜の垂直方向と面内方向の磁化ループと断面の電子顕微鏡写真

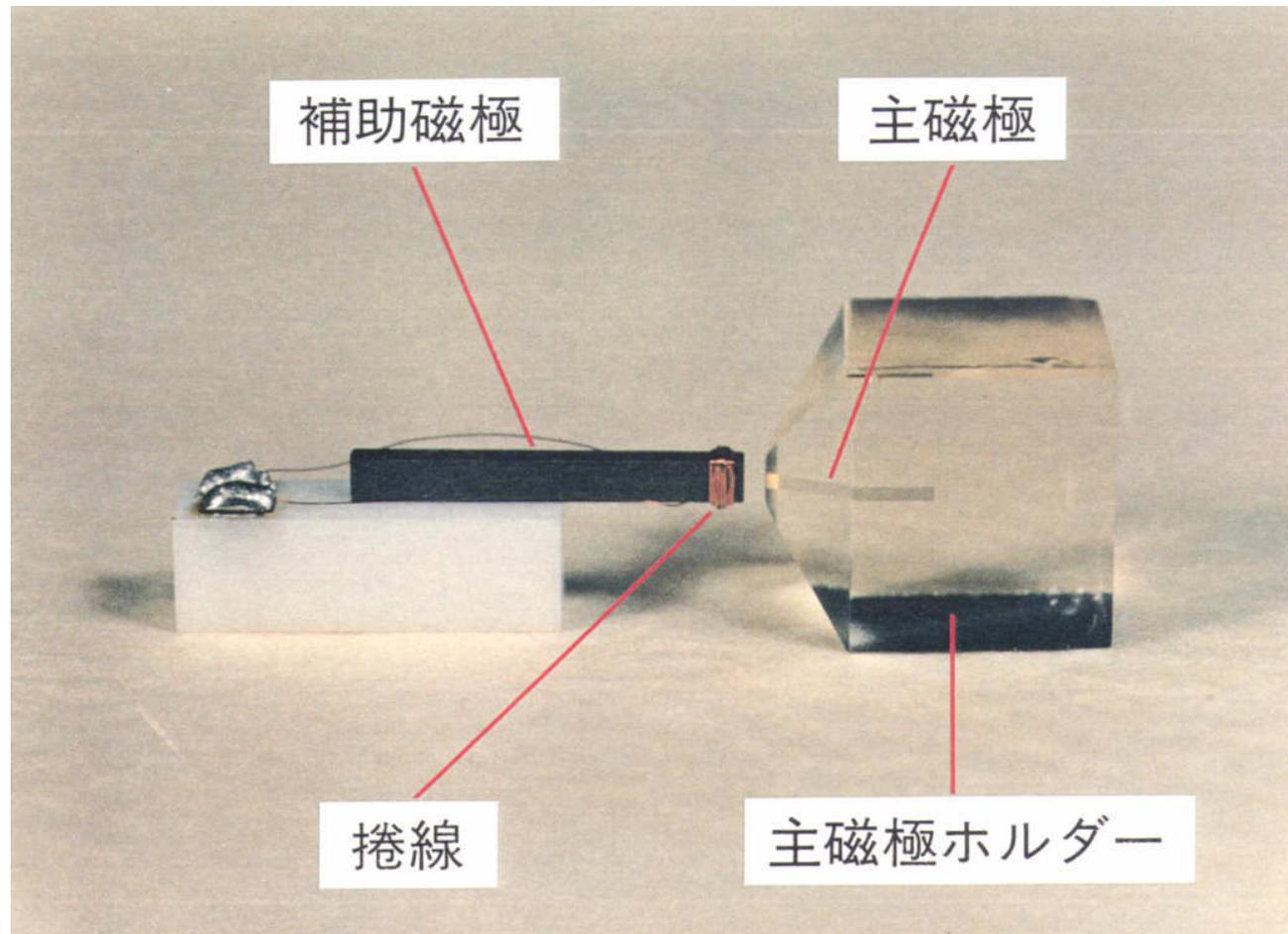
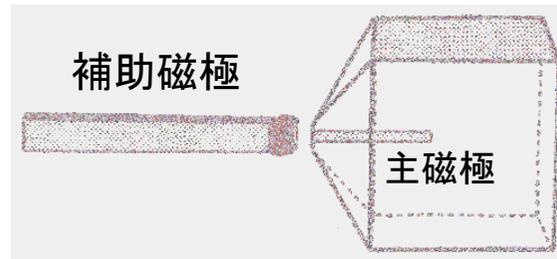


磁化ループ



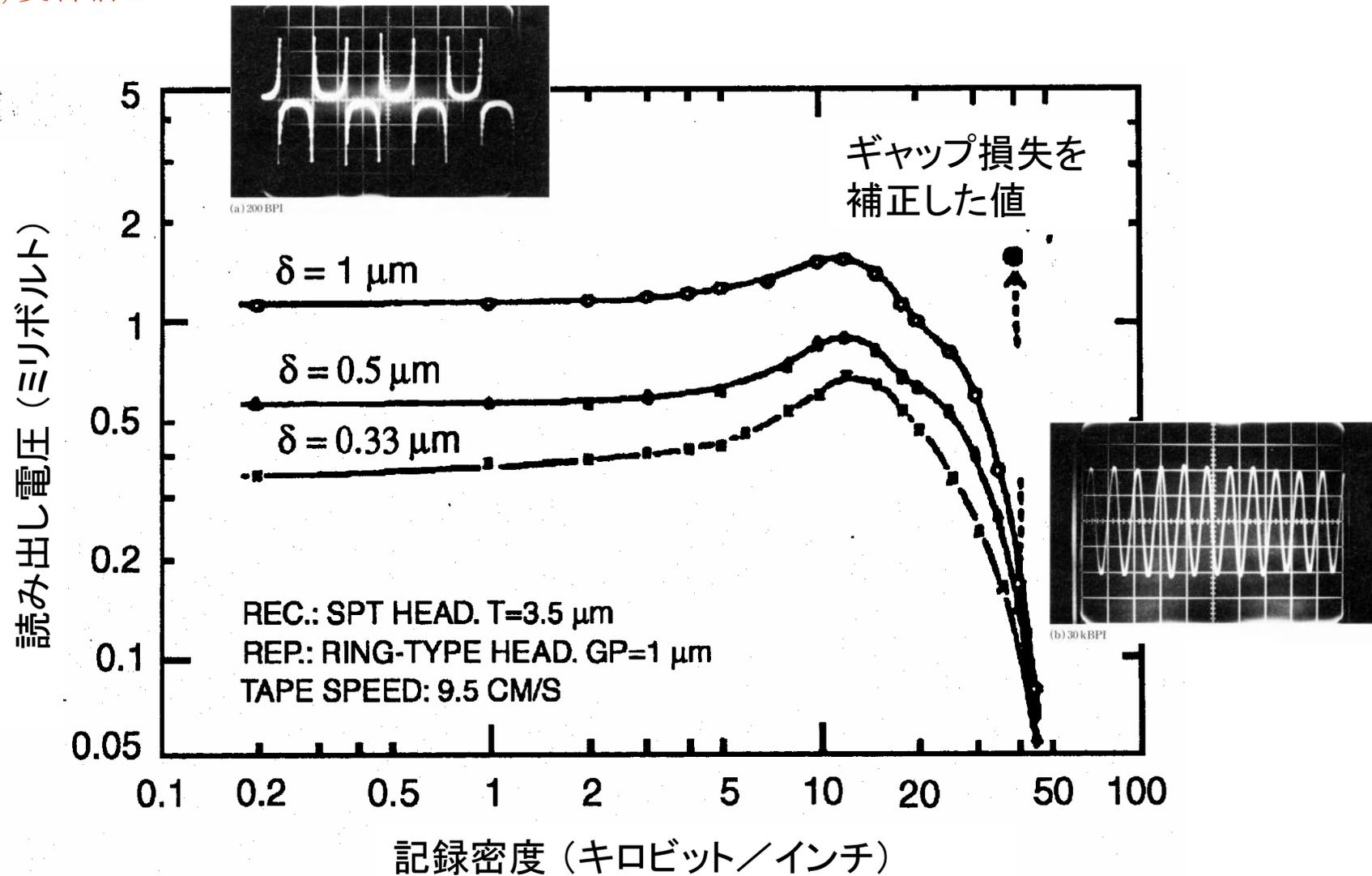
コバルト・クロム膜の断面写真

補助磁極励磁型単磁極ヘッド



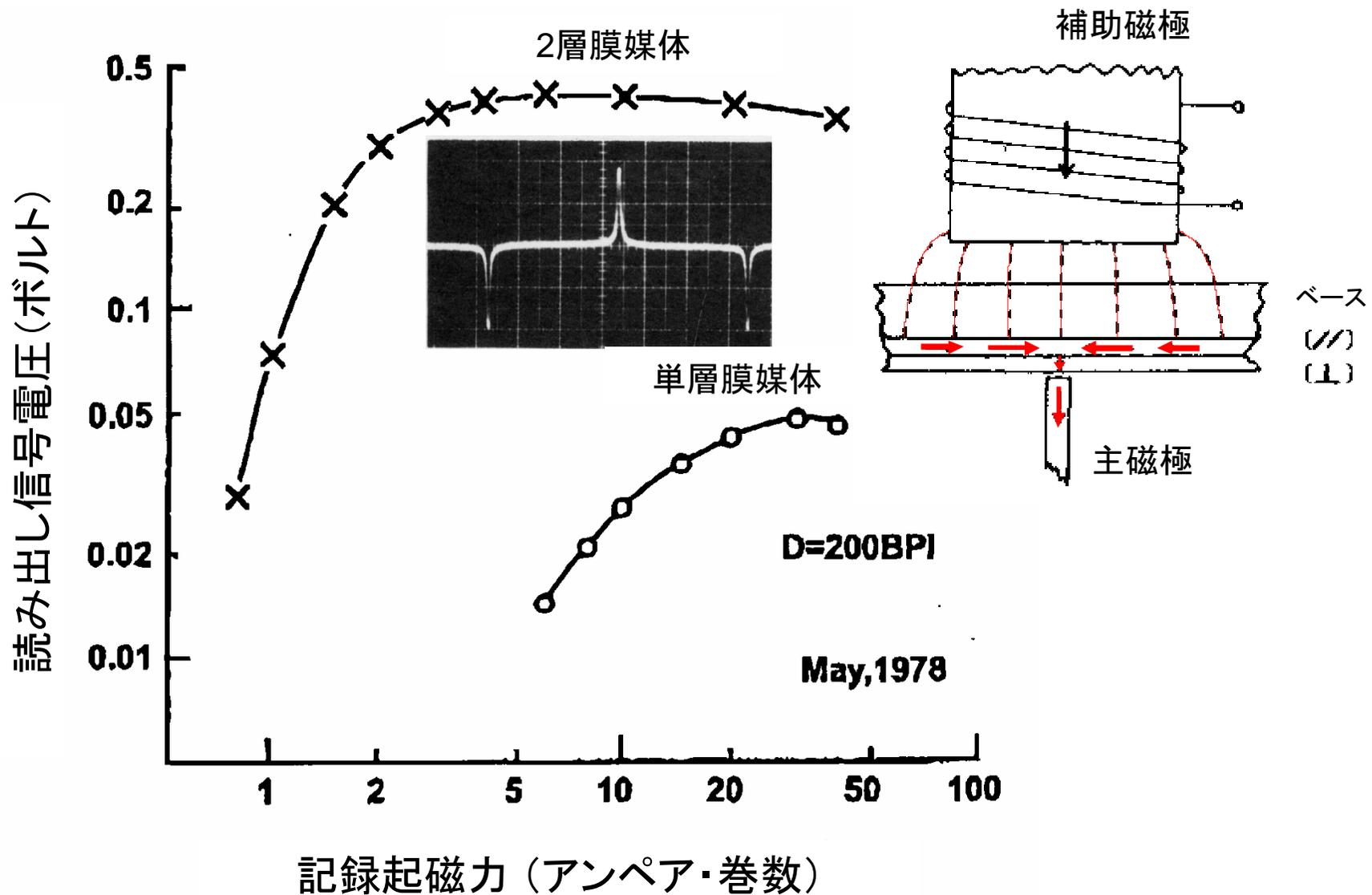


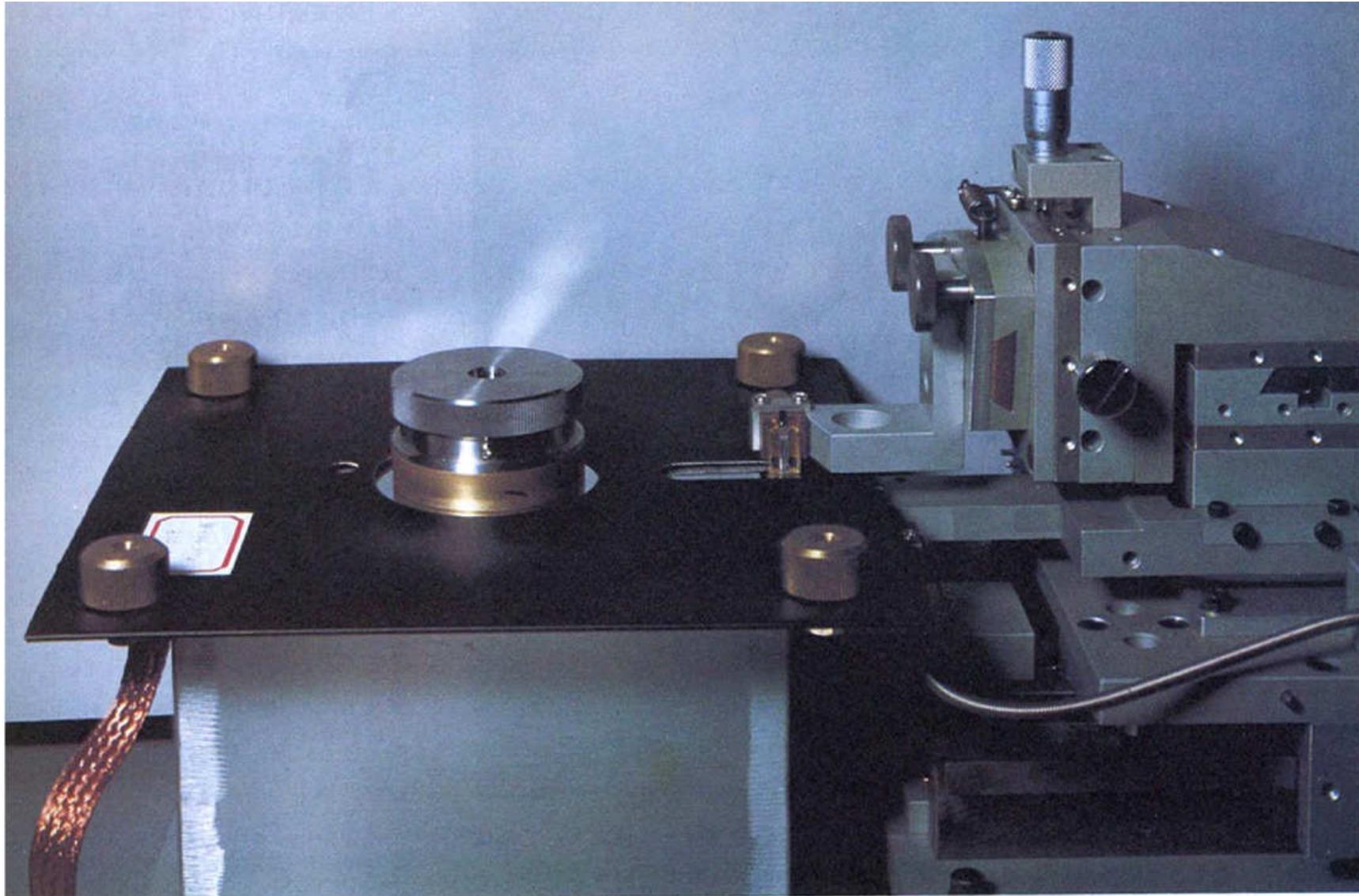
日経エレクトロニクス
誌の表紙(1978)



垂直磁気記録での読み出し信号の記録密度依存性.
 磁性層膜厚が異なる記録媒体について示す.

初めて単磁極ヘッドで大きな信号が得られた時のデータ。(1978年5月19日)
単層膜媒体と2層膜媒体での比較.

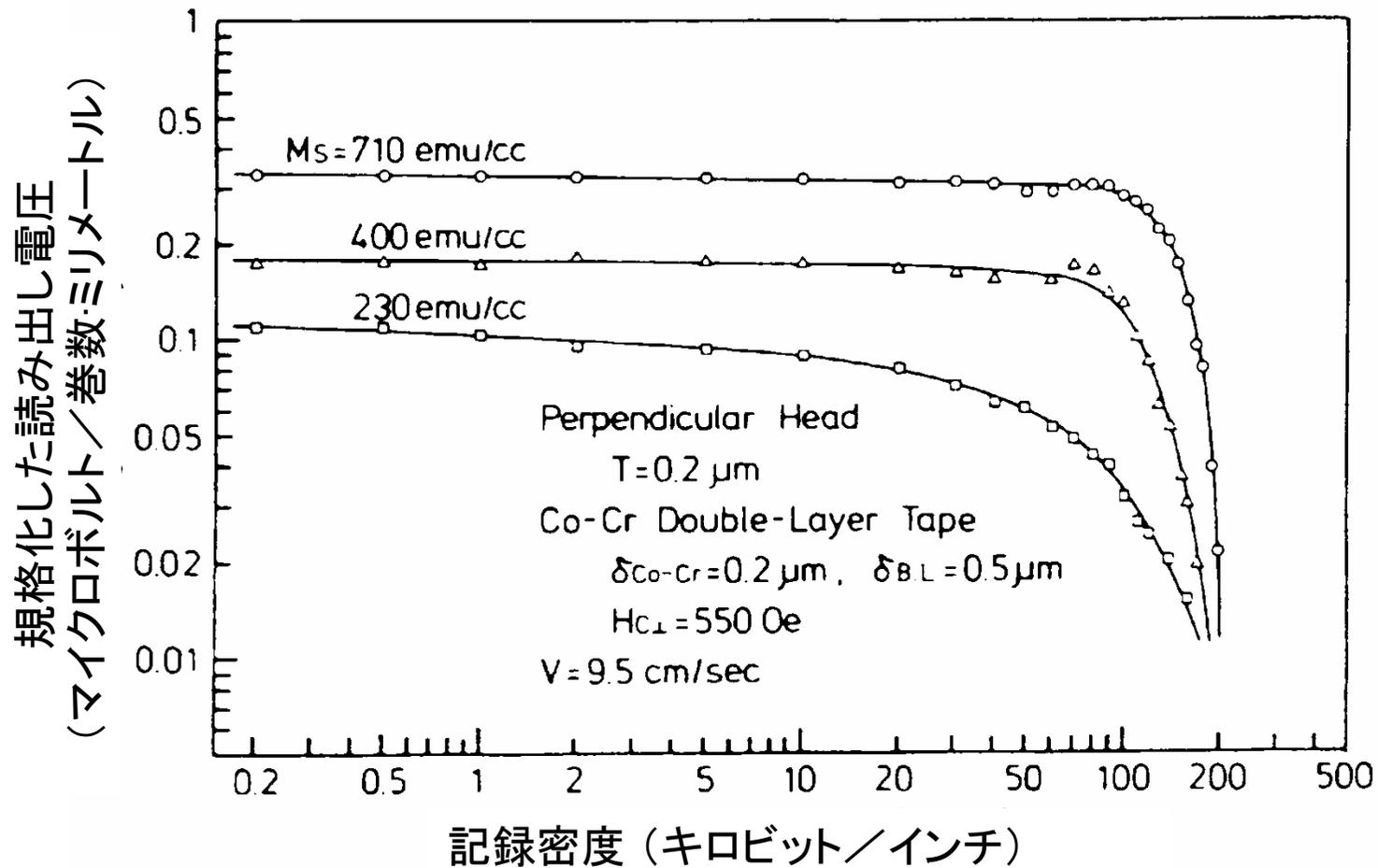




研究室試作の5インチフロッピーディスク型垂直磁気記録装置



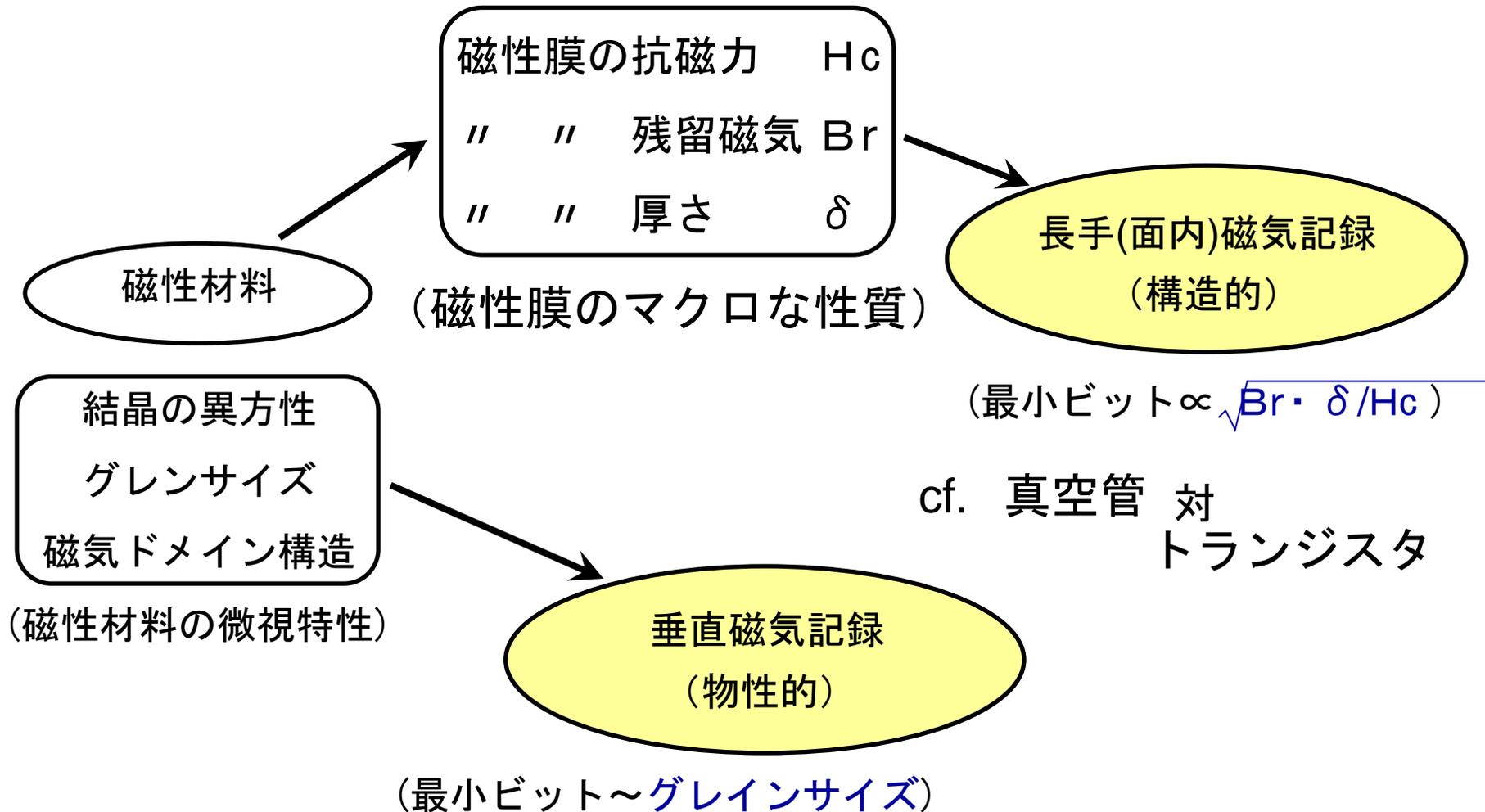
垂直記録では記録密度が飽和磁化 M_s で制限されない。
これは面内記録と全く異なる特性。



垂直記録と長手記録の相補性

	a) 垂直方式	b) 長手(面内)方式
	$\lambda \rightarrow 0 \quad H_d \rightarrow 0$	$\lambda \rightarrow 0 \quad H_d \rightarrow 4\pi M$
ヘッド	垂直単磁極型	リング型
媒体	一軸異方性 厚い膜厚 δ 高い飽和磁化, 高い抗磁力	長手(面内)異方性 薄い膜厚 δ 低い飽和磁化, 高い抗磁力
信号	デジタル型	アナログ型
記録方式	変調(PCM, FM)	交流バイアス
消去	直流	交流

最小記録ビットの決まり方





- 1.磁気記録の先駆者
- 2.高密度化の端緒(メタルテープ)
- 3.垂直記録の発想
- 4.開拓と実用化の道のり
- 5.社会への影響

東北大学電気通信研究所にて



茅 誠 司

昭和五十四年八月三日

合宿球是

1979年8月、茅誠司元東大大学長(左)、
恩師の永井健三 東北大名誉教授(中央)、岩崎(右)。

MAY 1984

U.S. government asked to fund translation service for Japanese technical journals

Washington, D.C.—An appropriate Federal agency should furnish seed money to create a translation service for Japanese technical journals, said Clark E. Johnson Jr., president of the IEEE Magnetics Society.

Testifying before the Science and Technology Committee of the U.S. House of Representatives on

March 7, Mr. Johnson asserted that “more and more of the Japanese research work is published only in Japanese journals.”

“As a consequence,” he continued, “we in the West are being cut off from significant and important research results.”

An agency such as the National Science Foundation, which funded a similar program to translate Soviet physics journals some 20 years ago, should help initiate a Japanese translation service to

assemble and distribute relevant Japanese technical literature, Mr. Johnson urged.

The Magnetics Society president claimed that “until very recently” most of the Japanese research results in magnetics technology were published in English-language journals. But because the level of magnetics technology in Japan has broadened during the past few years, he said, “the large majority” of Japanese papers are printed solely in their journals.

Attesting to the growing influence of the Japanese in magnetics technology, Mr. Johnson noted that at the annual 1983 IEEE Inter-



Sally A. Gustafson

The need for Japanese technical literature translation has become “a vital and urgent matter,” said Clark E. Johnson Jr., IEEE Magnetics Society president, before a congressional committee.

national Conference on Magnetics, Japanese researchers presented for the first time the majority of the technical papers.

He told the members of the Science and Technology Committee that the problem may not be restricted to magnetics technology, which is itself a multibillion dollar annual industry.

“Personally, I feel there are a large number of Japanese journals in various engineering and physics disciplines that merit translation,” he said.

Although the IEEE Magnetics Society has already embarked on a program to translate some 1500 pages of Japanese technical liter-

ature each year starting in 1985, Mr. Johnson said many other technical groups that could benefit from Japanese translation services do not have the funds to do so.

Small startup high-technology companies especially will be at a disadvantage if translation services are not supplied, said Mr. Johnson, who is chairman of Vertimag Systems Inc., a Minneapolis, Minn.-based startup company.

Mr. Johnson did not describe how such a translation service might operate.

For copies of the testimony, contact the IEEE Washington Office, 1111 19th St., N.W., Washington, D.C. 20036; telephone 202-785-0017.

非常に多くの研究成果が日本の雑誌だけで出版されている。

西側諸国はこれらの非常に重要な研究成果から遮断されている。

ソ連の物理雑誌のように日本語翻訳雑誌を出版すべきである。

日本の技術雑誌の翻訳は極めて重大かつ緊急を要する事項となりつつある。

C. Johnson Jr.
IEEE磁気学会会長



産学共同研究組織と成果論文数

1976

日本学術振興会磁気記録第144委員会

1999

144委未来開拓

2003

2000

AIT地域結集

2005

2002

東北大IT21

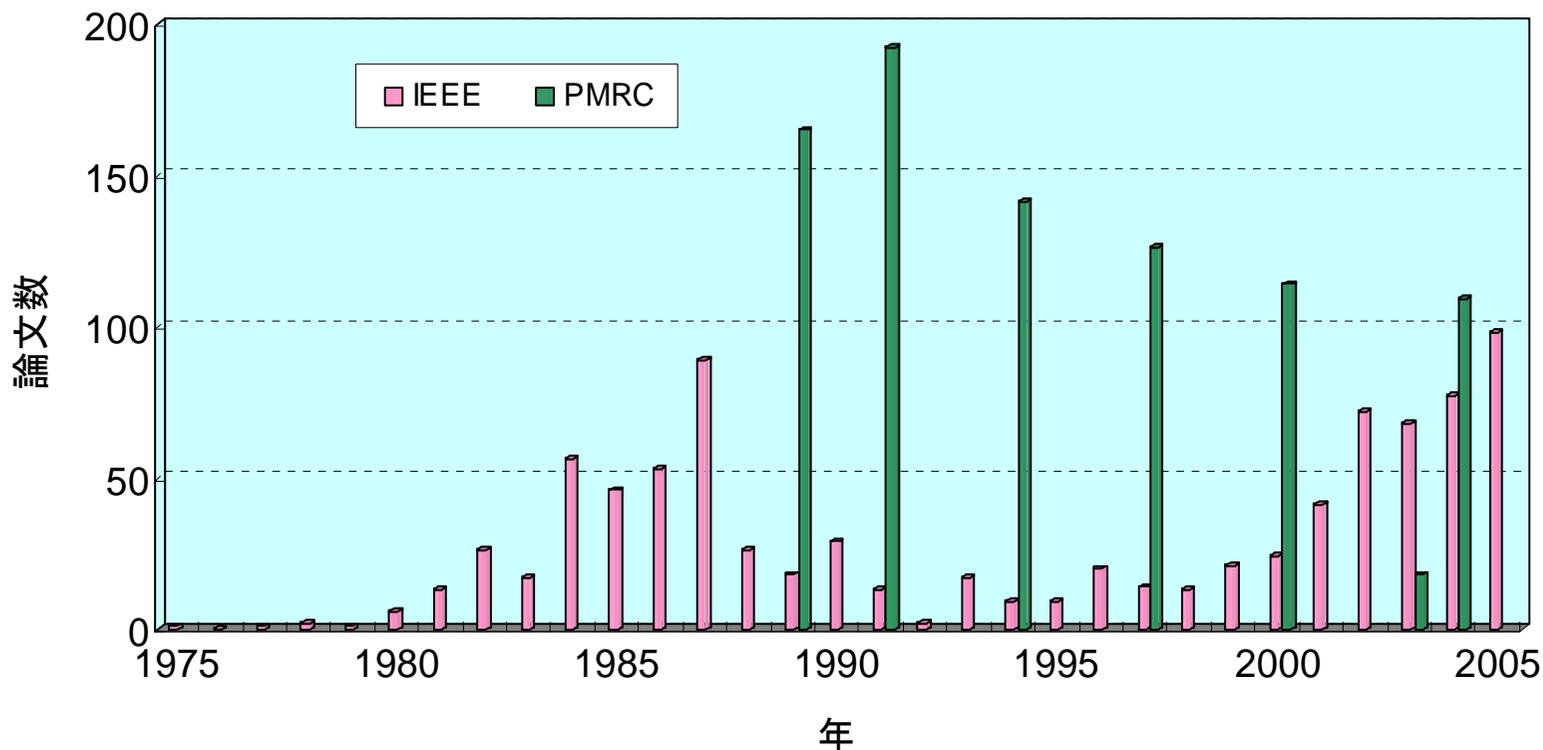
2007

2003

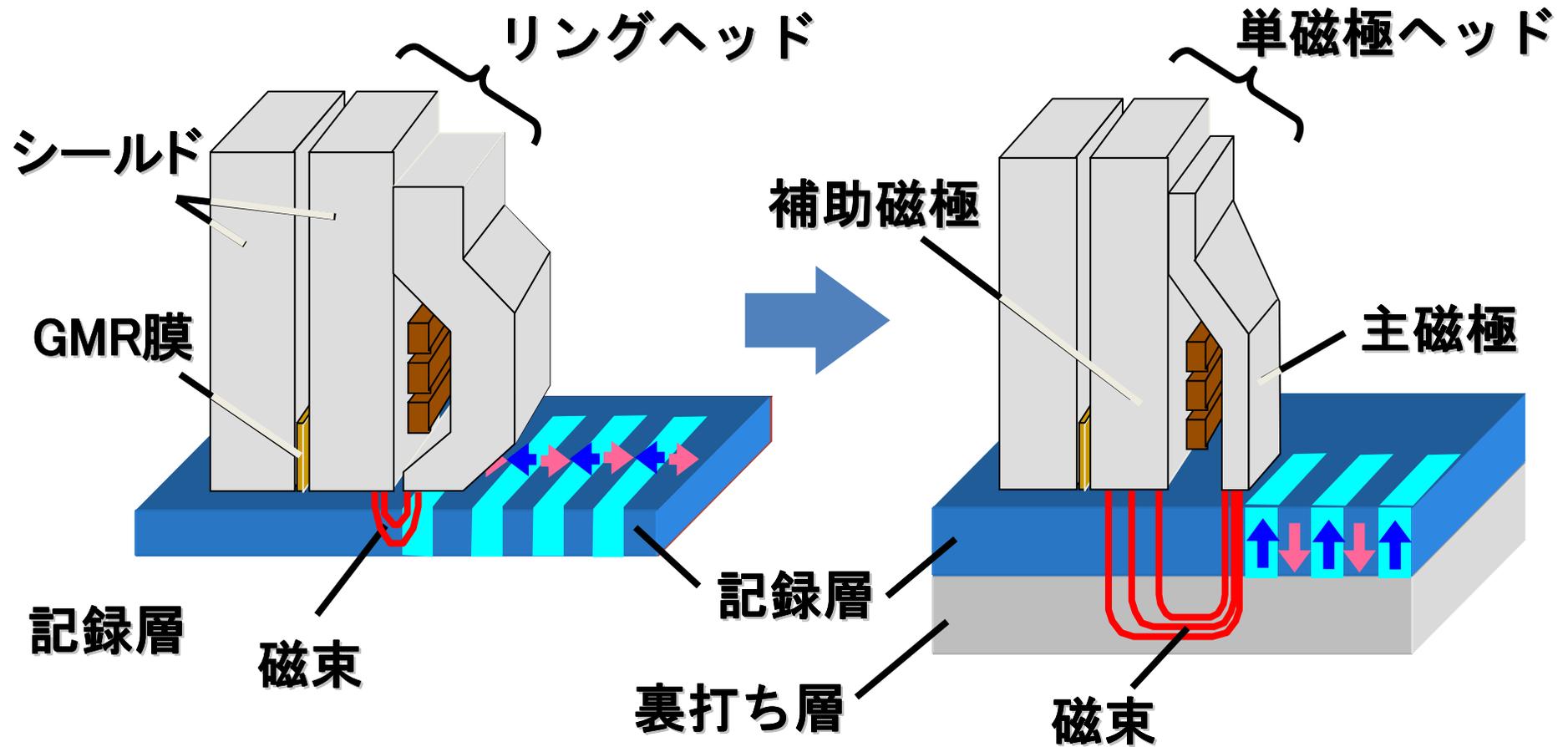
早大ナノ界面

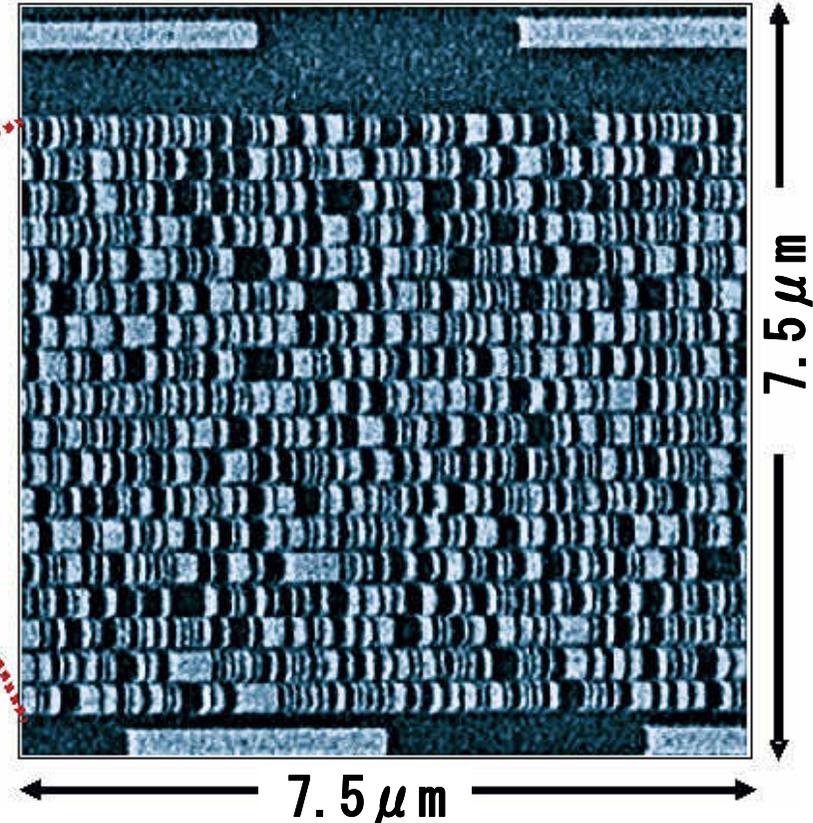
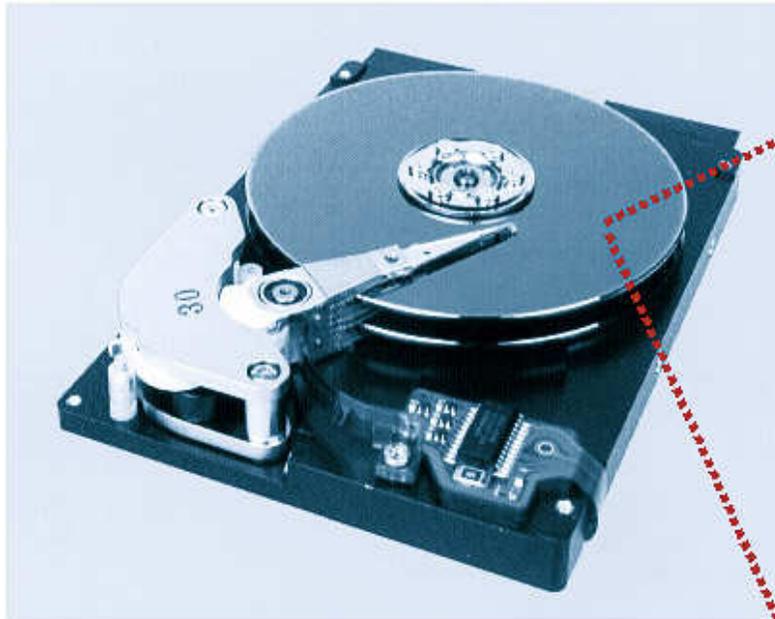
2005

◆ IEEE磁気ソサイエティとPMRCでの垂直磁気記録関連論文数の年次推移



面内記録から垂直記録へ





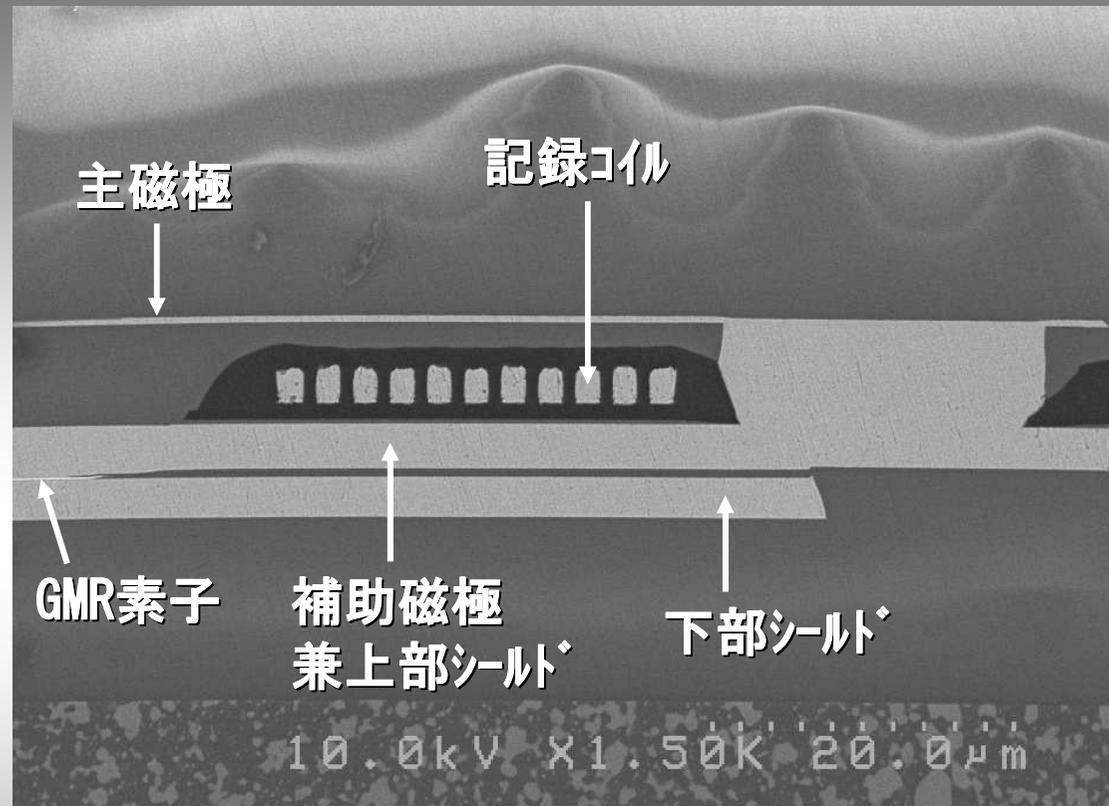
面記録密度 : 52.5Gb/in²
線記録密度 : 590kBPI
トラック密度 : 89KTPI
最高転送密度 : 35MB/s
記録トラック幅 : 250nm
再生トラック幅 : 200nm
媒体保磁力 : 5kOe
記録層膜厚 : 20nm

記録磁化パターンの
磁気力顕微鏡(MFM)像

Copyright Hitachi,Ltd.2003
All rights reserved



垂直磁気ヘッド



■ 単磁極型記録ヘッド

トラック幅 : 250 nm
主磁極膜厚 : 400 nm

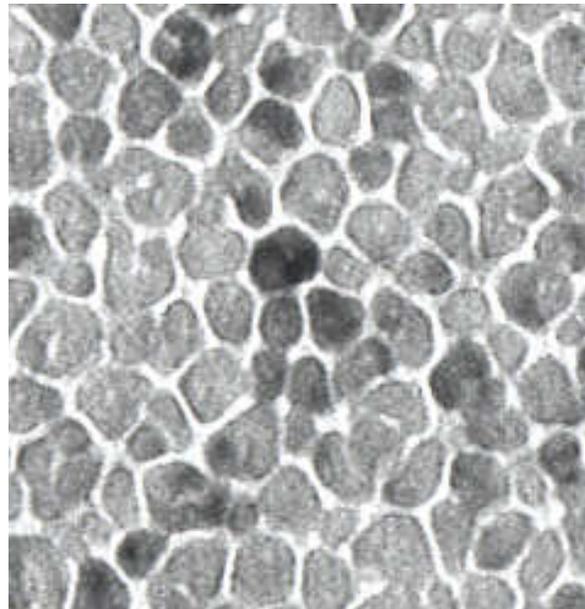
■ GMR再生ヘッド

トラック幅 : 200 nm
シールド間隔 : 80 nm

酸化物複合型垂直磁気記録メディア

CoPtCr-SiO₂(15-20 nm) / 中間層(15 nm) / 裏打ち層(300 nm)

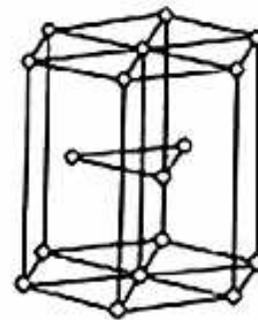
面内透過電子顕微鏡像



Grain size
= 5 ~ 10 nm

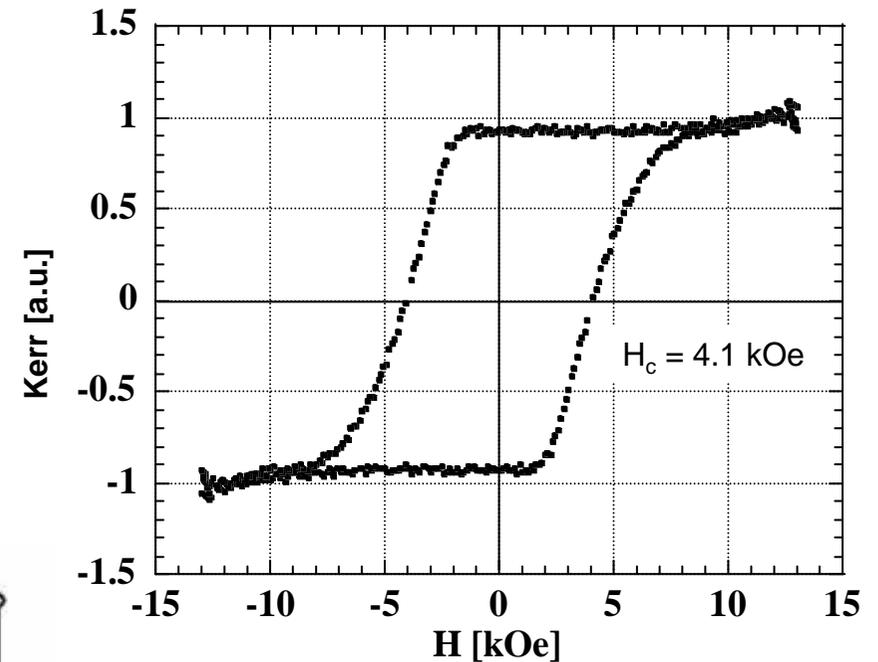
20 nm

膜構造



六方最密格子

カー回転角ループ

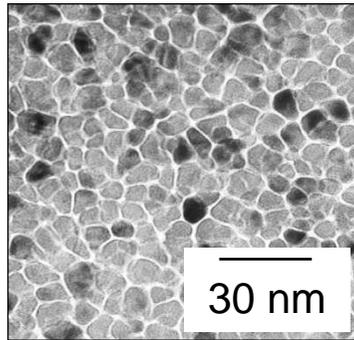
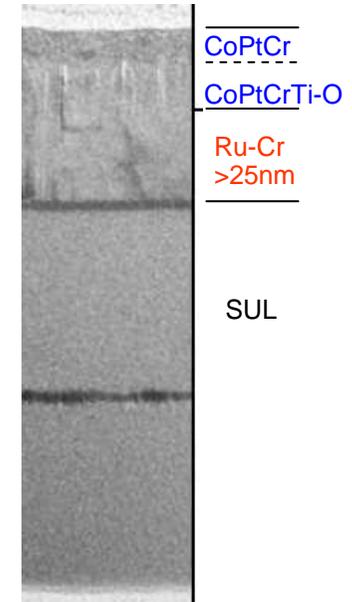


磁気特性

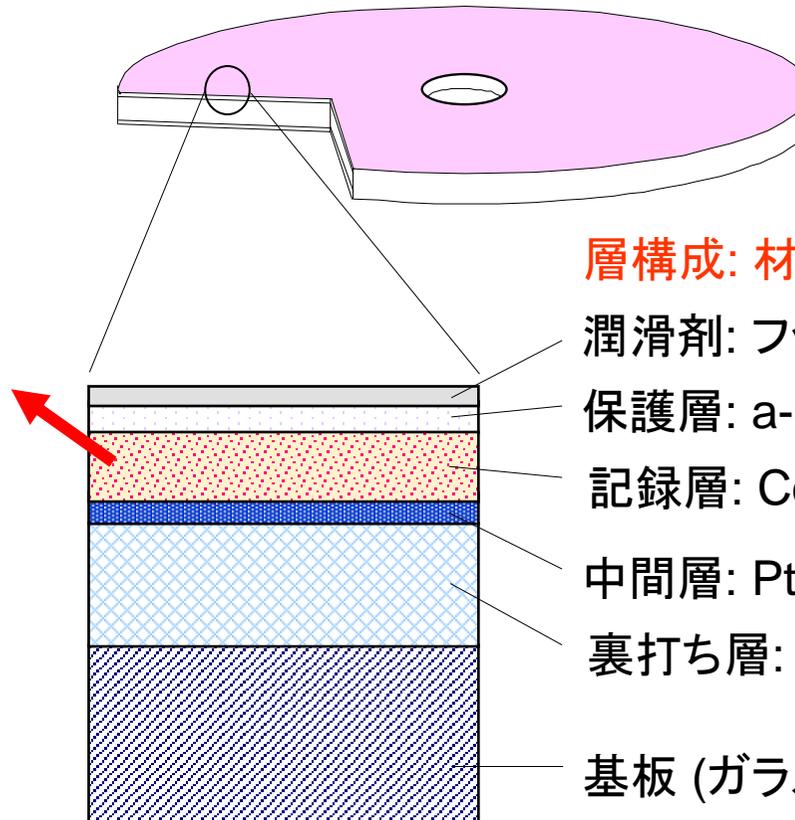


垂直磁気記録メディア

市販ディスク
の断面構造



10 nm以下の
微粒子構造



層構成: 材料 (膜厚)

潤滑剤: フッ素系 (1 - 2 nm)

保護層: a-C:H (1 - 5 nm)

記録層: Co-Pt-Cr-XO, ..(10 - 25 nm)

中間層: Pt, Ru, ... (5 - 30 nm)

裏打ち層: Fe系, ... (50 - 300 nm)

基板 (ガラス, アルミ, ...)

二層膜メディア

1 nm(ナノメートル) は
1 mmの100万分の1

「垂直記録」型実用化へ

容量10倍も可能、近く発売

パソコンなどの情報記録に欠かせないハードディスク駆動装置(HDD)で、日本発の技術を採用した新製品の発売が近づいている。使われるのは、見た目や使い勝手はそのままで、さらなる大容量化が可能なる「垂直磁気記録」の技術。岩崎俊一・東北工業大学長(78)が基本原理を提唱して約30年、ようやく実用化にたどり着いた。

(安田朋起)

研究30年、日本発のハードディスク技術



日立GSTが開発した、垂直磁気記録HDDの試作品

「大容量化のニーズにこたえるため、すべてのHDDは『垂直』に代わっていくだろう」

大手HDDメーカー、日立グローバルストレージテクノロジーズ(日立GST)の高野公史・技術開発本部長は、そう胸を張った。現行製品で最高1平方インチ当たり80ギバイト(ギは10億)程度の記録密度を、垂直の採用で同230ギバイトまで高めた試作品を、4月に発表した。将来は同1000ギバイトも「達成可能」な見通しだ。

HDDの記録保持部分



岩崎俊一・東北工業大学長

「5年後のHDD」
「至る所に普及」
主にコンピュータの情報記録に使われているHDDの出荷数は、世界で約3億台(04年)。今後、ビデオ録画機や家庭

用ゲーム機、携帯電話、カーナビゲーションなどへの搭載も増え、08年には5億台に達する、と予測されている。
インフォメーションテクノロジー総合研究所の久保川昇・チーフアナリ

ストは「今のところHDDに代わる安価で大容量の高速記録装置はない。5年後には家庭や車、ポケットの中で、至る所にHDDが普及するようになるだろう」と言う。

優れた安定性

記録密度は年々2倍ペースで伸び、情報の大容量化要求にこたえてきた。磁性体の粒の最小単位は平均7ナメートル(ナは10億分の1)に達した。技術的にはもともと小さくできるが、水平では隣接する磁石どうしが熱のため性質を弱め合う現象が無視できず、情報が徐々に消えてしまう。垂

直だと互いに引き合ったため、小さな粒でも安定した記録ができるという。簡単なアイデアに思えるが、東北大教授だった岩崎さんが77年に発表したのが最初だった。「改良ではない、原理的な革新をやったかった。水平でない駄目とみんな思い込んでいたが、技術の歴史や哲学から考えて、たどり着いた」

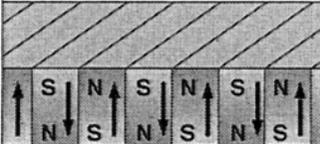
皮肉乗り越え

高密度化の実力は早くから認められ、日本勢が世界の研究を引っ張ってきた。しかし、水平の技術改良が相次ぎ、「垂直」の最大の功績は水平の技術を高めたことと皮肉られた時期もあった。垂直の商品化は、6月末までの出荷を発表した東芝が世界の先陣を切ると思われる。日立GSTも年内に出荷予定で、最大の米シーゲートは「市場が必要とすれば、年末にも『垂直』の製品を送り出せる」と言う。

垂直磁気記録のしくみ

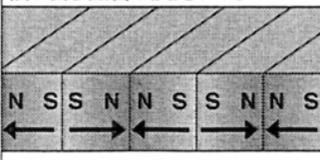
「垂直」方式

隣り合う磁石がひきあう



従来の方式(「水平」方式)

隣り合う磁石が反発しあう



磁性体の層

垂直記録実用化機器(HDD, オーディオプレーヤー)



TOSHIBA

東芝 1.8型ハードディスクドライブ
「MK4007GAL」(40GB:左側) 「MK8007GAH」(80GB:右側)

垂直磁気記録HDD 1.8型80GB/40GB、東芝、2005



TOSHIBA
HDDオーディオプレーヤー「gigabeat® F41」

垂直磁気記録HDD(1.8型40GB)搭載オーディオプレーヤー
東芝、2005



2006年5月26日、日立GST社 中西宏明社長より
岩崎教授に寄贈されたハードディスク装置量産第1号機(2.5型160GB)



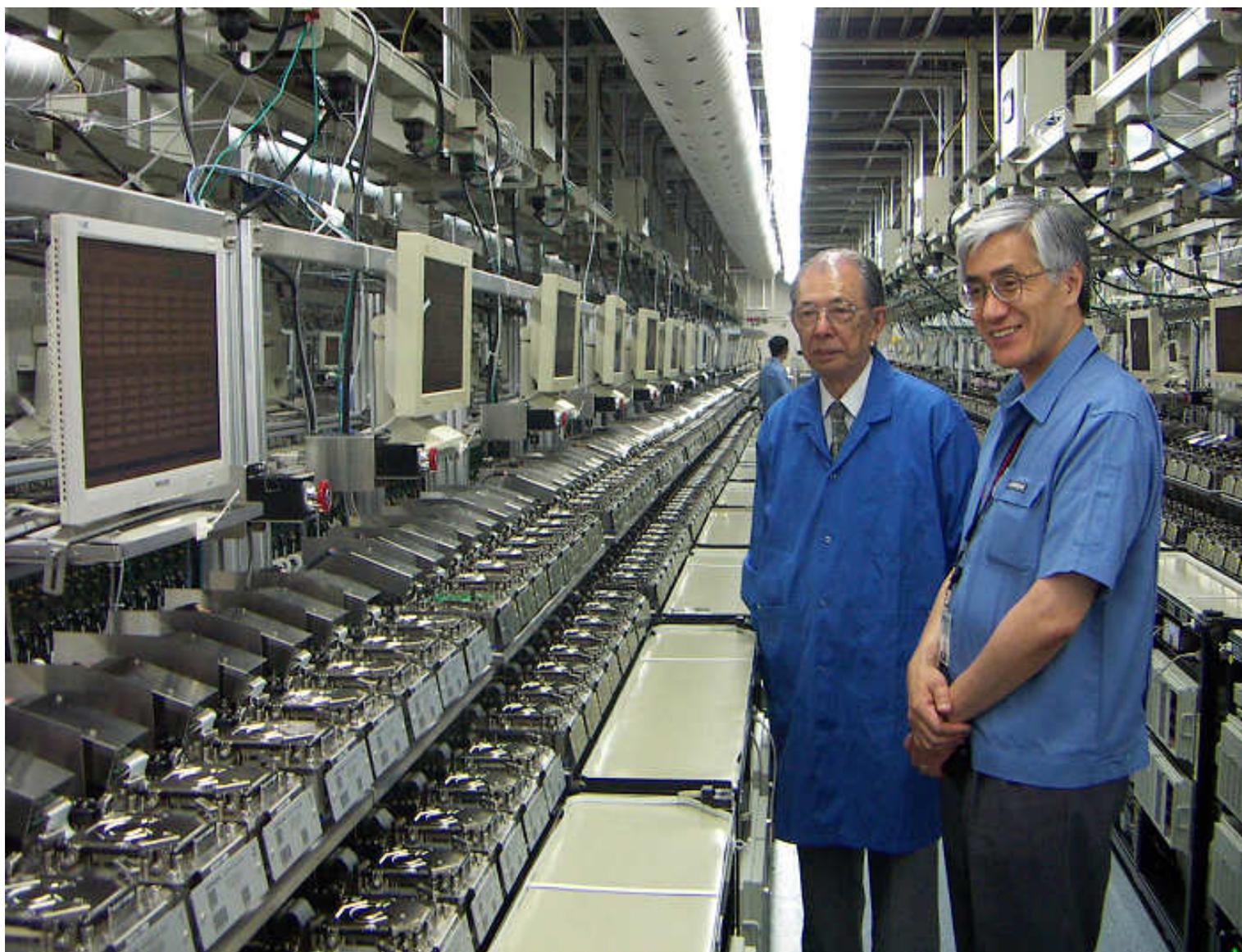
シーゲート社長 William D. Watkins氏より寄贈された記念トロフィー



東芝、日立GST、富士通、シーゲート(米)の各社から贈られた楯、記念品
(東北工業大学ギャラリー)



- 1.磁気記録の先駆者
- 2.高密度化の端緒(メタルテープ)
- 3.垂直記録の発想
- 4.開拓と実用化の道のり
- 5.社会への影響



ハードディスク装置検査工程（日立GST社 タイ工場 2007年4月24日）



タイ工場の中堅社員たち (2007年4月24日)



深圳工場での検査風景 (2008年3月1日)

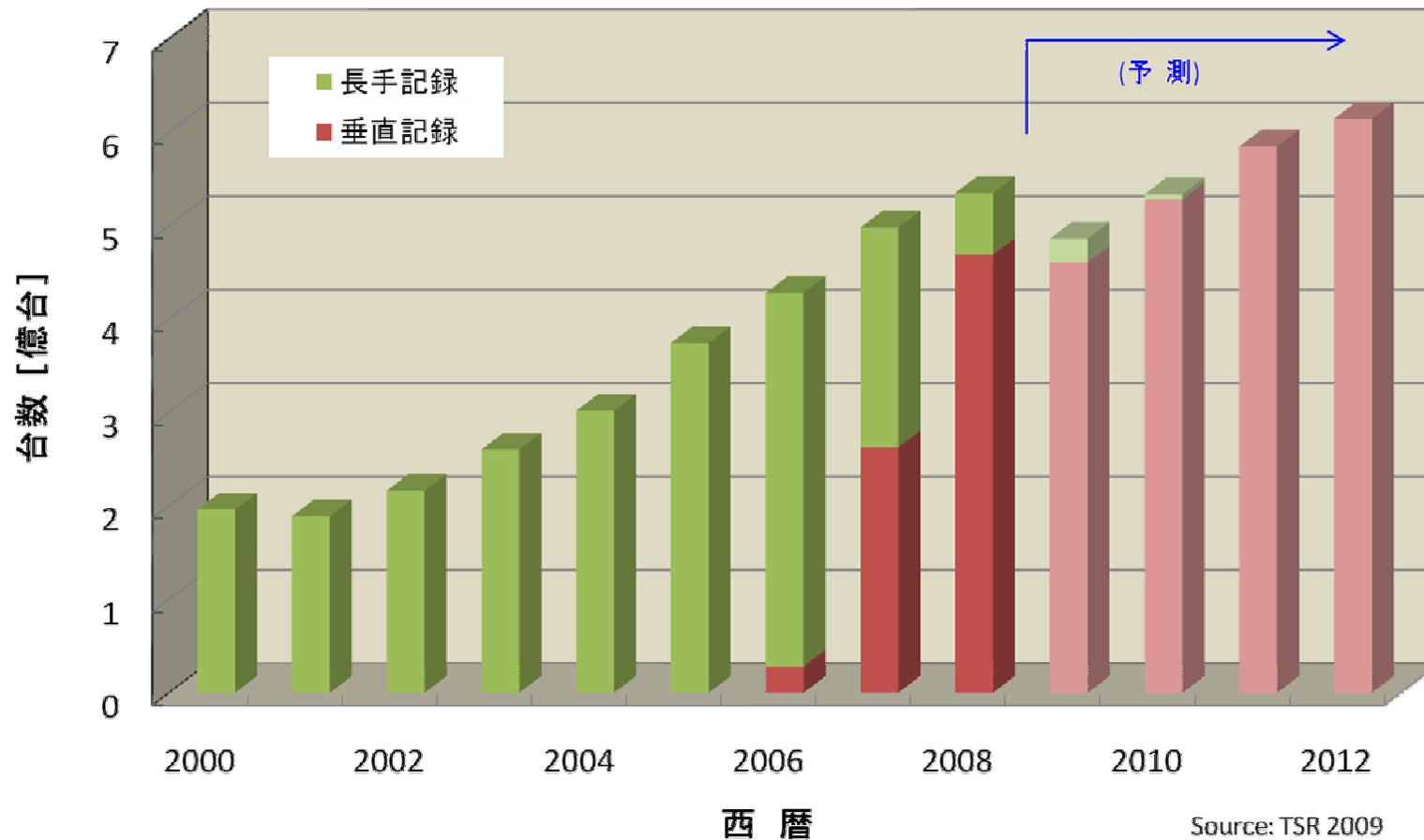


日立GST社 深圳工場の幹部たち (2008年3月1日)



面内から垂直記録方式への転換

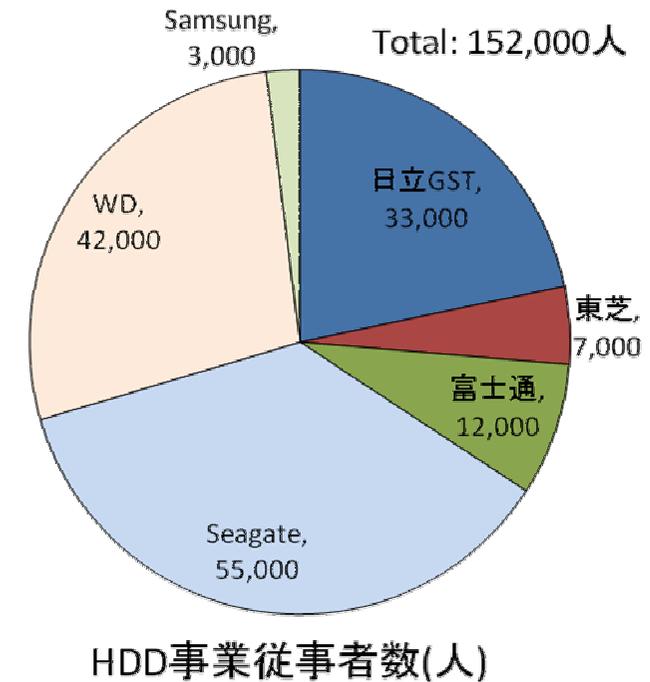
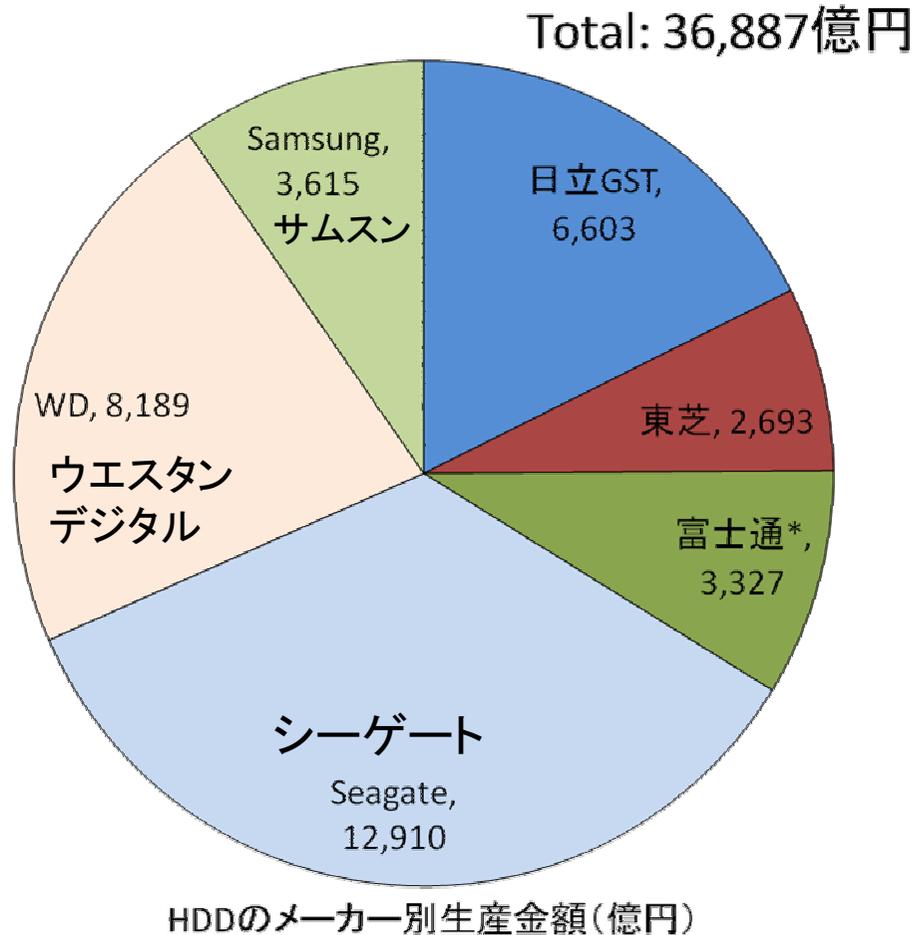
2010年までには, ほぼ全てのHDDが垂直記録方式に移行する



ハードディスク装置(HDD)の世界出荷台数と垂直記録方式の割合の年次推移



磁気ディスク装置製造の産業規模 (生産額と従事者数)

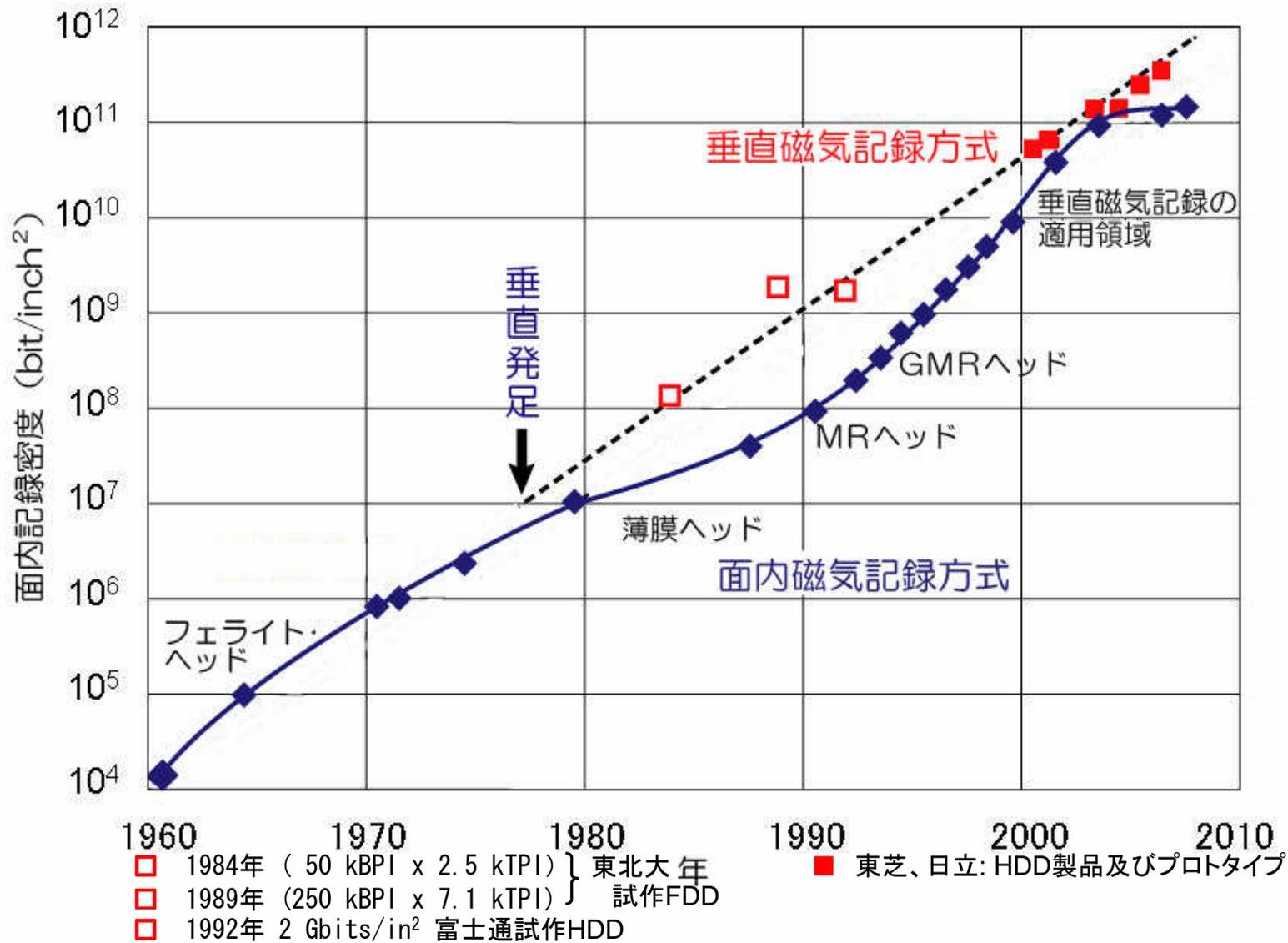


一人当たり生産額~2,400万円/人

富士キメラ総研推定
*: 2007年度企業公開資料

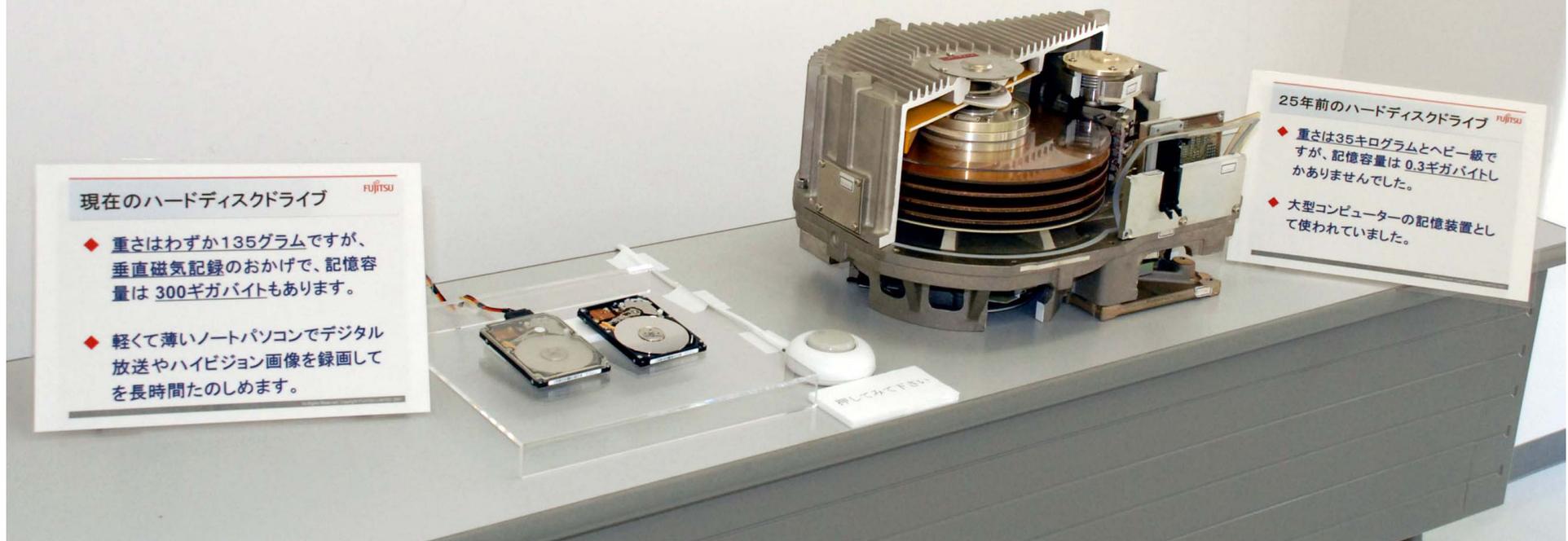


記録密度(垂直,面内)の推移



新旧ハードディスクの対比

技術革新は省エネルギー



左：現在(垂直) 重さ 135 g、メモリー量 300 GB、消費電力 0.4 W
右：1980年代(面内) 重さ 35 kg、メモリー量 0.3 GB、消費電力 600 W

1994年1月12日 講書始に於けるご進講

