

情報記録技術研究のすすめ

栗原 義武*

Introduction to Research on Information Storage Technology

Yoshitake KURIHARA

Abstract

You can study cutting-edge worldwide technologies in a certain area such as signal processing of digital recording systems while sitting in the comfort of your home, Shikoku section of Japan.

Magnetic recording technology has a long history in Japan. Japan has lead magnetic recording technologies for a long time. Hard disk drive (HDD) has played a key role in the area of storage technologies.

In 1977 perpendicular magnetic recording was invented by a Japanese scientist who won the Japan Prize in 2010. Signal processing technology such as PRML (partial response maximum likelihood) has studied in Ehime University since 1980's.

Keywords: Perpendicular magnetic recording, Signal processing, Partial response, Viterbi detection, PRML system

1. 緒言

昨今、ますます少子化が進んでいる。大学進学を希望するほとんどの学生が、定員の上では大学へ入学できる状況にまでなってきた。

重要な点は、どこの大学に入ったかではなくどんな勉強や研究をしたかであるにもかかわらず、一部には、いわゆる受験産業によるランキングや偏差値などを真に受けて、大学名や学科名の名前だけで進路を決定してしまう者が居る。さらには、研究室配属でも楽な所か厳しい所かで判断する学生も居るように見受けられる。

各大学の各研究室においては、それぞれ優れた研究が行われている。2014年に3名の日本人がノーベル物理学賞を受賞したことは記憶に新しい。その中の一名、中村修二氏は現在米国で研究を続けているが、愛媛県出身で徳島大学を卒業し、徳島県内で行われた研究成果に対しての受賞である。受賞が決まった当時のイン

タビュー等の報道では、四国の一地方においても、優れた研究を行うことができるという発言が成されていた。

技術立国日本は、様々な分野で世界的に優れた多くの技術を保有し、研究が行われている。磁石や磁気に関連した技術もまた、わが国が世界を牽引するものの一つである。本稿では、パーソナルコンピュータ(PC)に利用されるハードディスク装置(HDD)の高密度化を達成する磁気記録技術について、日本人が発明した垂直磁気記録技術が数年前に実現化したこと、高密度化による再生信号の歪みや波形干渉の問題に対してPRML (partial response maximum likelihood) 信号処理技術を採用することによりSN比を向上できたこと、等を中心に述べる。

2. ノーベル賞と日本国際賞

ノーベル賞を日本人が受賞すると、国内では世間の注目を集めることとなる。2015年3月に電子情報通信学会総合大会が草津市の立命館大学で開催された。大会中、

* 香川高等専門学校 機械電子工学科

ノーベル物理学賞受賞の天野浩による「青色 LED 開発と今後のエレクトロニクス」、中村修二による「LnGa_N系ダブルヘテロ構造高輝度青色 LED の開発と将来の個体発光素子」、日本国際賞受賞の末松安晴による「光通信と半導体レーザの研究を振り返って」と題した特別記念講演が企画された¹⁾。日本国際賞は、世間ではノーベル賞ほどよく知られてはいないものの、国際的に価値の高い賞として評価を受けている。

日本国際賞は、ノーベル賞に先立って受賞したり、ノーベル賞と同時に受賞したりする場合もある。例えば、2007 年のノーベル物理学賞は巨大磁気抵抗効果を利用した GMR (giant magnetive resistance) ヘッドの研究に対して独仏の二研究者が受賞した²⁾。この 2 名は、ノーベル賞受賞の直前に、第 23 回日本国際賞も受賞していた³⁾。この時は、日本人でなかったため、国内ではそれほど大きな報道ではなかった。

表 1: ノーベル賞と日本国際賞

研究	国	日本国際賞	ノーベル賞
光通信	日	2014	?
GMR	独仏	2007	2007
垂直磁気記録	日	2010	?

2010 年の第 26 回日本国際賞は、垂直磁気記録方式の発明に対して岩崎俊一が受賞した。ひょっとすると、将来、ノーベル賞の日本人受賞者に加わることになるかもしれない(表 1)。

3. 垂直磁気記録と信号処理技術

近年、HDD は、PC の周辺記憶装置として重要な役割を果たし、記憶容量も年々増えている。HDD の記録密度は、1990 年代までは 10 年間で 10 倍の割合で順調に伸びていた。HDD を支える磁気記録技術に対しては、以前より限界が近いといわれながらも、当時、新しい技術として磁気抵抗効果を利用した MR ヘッドや PRML 方式とよばれる信号処理方式を採用することにより、10 年間で 100 倍を超える急激な記録密度の上昇を達成した⁴⁾。

わが国では、磁気記録に関する研究が古くから盛んに行われている。2005 年頃に世界ではじめて製品への導入が発表された垂直磁気記録技術は、1997 年に東北大学電気通信研究所で提案されて以降研究が進められてきた。また、磁気記録の信号処理技術の理論的検討については愛媛大学において 1980 年頃から続けられていた⁵⁾。

4. イノベーションの芽を育む科研費

わが国で研究を進めるに当たって、科研費は研究費確保のために重要な役割を果たしている。数年前から科研費パンフレットの事例として、東北工業大学理事長・東北大学名誉教授の岩崎俊一による垂直磁気記録方式の開発の事例は、科研費に応募する研究者であれば誰でも一度は目にしているであろう。垂直磁気記録の研究の本流は、東北大学電気通信研究所である。同大学の門下生が、東芝や日立で研究開発を続け、実用化に成功した⁶⁾。

5. インパクトファクター

最近の若い研究者の中には、研究成果がインパクトファクターの高い論文誌や海外の一流誌に掲載されることを目的としている節がある。一流誌に論文が掲載されることが重要なのではなく、その論文が読まれ、引用され、その後の研究に貢献できることこそ重要なのである。

米国 IBM において、1986 年の Wood らによる詳細な検討⁷⁾の後、1990 年に IBM の HDD 0681 に PR4ML 方式とよばれる信号処理方式が搭載されその有効性が実証された。この Wood らの論文⁷⁾が参照していた中にある文献番号 8 と文献番号 18 の 2 つの論文は H. Osawa らの研究であった⁸⁾。

その後も、米国 IBM の R. Wood が、1T ビット/(インチ)² で動作する HDD の実現可能性を検討した論文を発表した⁹⁾。同論文は和訳されて、日経エレクトロニクスにも掲載された¹⁰⁾。これらの論文中、R. Wood は、以下のように述べ、

- Osawa ら¹¹⁾(文献番号 15) が示しているように、さらに高次の検出器を用いることも可能であろう。
- 提案した信号処理を改善する余地は大いにあり、チャンネルに適した検出器¹¹⁾(文献番号 15) などを用いる方法がある

Osawa らの文献¹¹⁾を引用した。

PRML 方式の基礎と実際¹²⁾は、磁気ディスクの信号処理方式としての PRML 方式についてまとめた書籍である。その中で、PRML 方式の開発経過の主要項目を、表 2 に示す。

表 2 には記載されていないが、同書籍中に「パーシャルレスポンス方式における雑音の相関特性と、誤り性能に及ぼす影響などの基礎的な研究が大沢らによりなされた」との記述がある¹²⁾。

表 2: PRML 方式の開発経過

1965	パーシャルレスポンスの提案 (E.R. Kretzmer)
1967	ビタビアルゴリズムの提案 (A.J. Viterbi)
1970	パーシャルレスポンスとビタビアルゴリズムの磁気記録チャンネルへの適応を提案 (H. Kobayashi)
1972	符号間干渉チャンネルの最尤復号理論 (G.D. Forney)
1980	パーシャルレスポンスを磁気記録チャンネル(デジタル VTR)に適用し, その有効性を検証 (S. Nakagawa and K. Yokoyama)
1986	パーシャルレスポンスとビタビアルゴリズムを磁気記録チャンネル(デジタル VTR)に適用し, その有効性を検証 ⁷⁾ (R.W. Wood and D.A. Petersen)
1987	磁気記録チャンネル用高次パーシャルレスポンス提案 (H.—Thapar and A.—Patel)
1989	PRML 方式の LSI 化 (F. Dolivo)
1995	トレリス上の計算簡略化とアルゴリズムの提案 (G. Fettweis and H. Meyer)
1997	単磁極ヘッドと 2 層膜媒体による垂直磁気記録における正係数 PRML 方式を提案 ¹¹⁾ (H. Osawa, Y. Kurihara, Y. Okamoto, etc.)
1998	非対称レスポンス導入による高次 PRML 方式の高性能化 (S. Mita and H. Sawaguchi)
2000	マルコフ性雑音に対する最尤推定法の決定 (A. Kavcic)

実際, 表 2 における 1986 年の項目は, 既に述べた Wood らによる詳細な検討のことである⁷⁾. そこで引用されている文献とは, 1980 年のテレビジョン学会(現映像情報メディア学会)年次大会で大沢らが発表し, 翌年の 1981 年にテレビジョン学会誌に掲載⁸⁾されたもので, 長手磁気記録の信号処理方式として PR4 方式とビタビ復号法の組合せである PR4ML 方式が高記録密度においては良好な特性を与える⁵⁾ という内容である. ここで, PR4 方式とは, 表 2 の 1965 年の項目にある E.R. Kretzmer によって提案されたパーシャルレスポンス等化の分類のうちクラス 4 に属する方式のことである. また, PR4ML 方式とは, PR4 等化に最尤(maximum likelihood)検出の一種であるビタビ検出を組合せた方式のことである.

表 2 の 1997 年の項目は, 垂直磁気記録国際会議である PMRC'97 (perpendicular magnetic recording conference) で発表され, 日本応用磁気学会(現日本磁気学会)誌の別冊にも掲載¹¹⁾されたもので, 先に述べたように, 米 IBM 社の R. Wood の論文⁹⁾に引用された.

このように, わが国では, 愛媛大学の田崎, 大沢 (H. Osawa), 岡本 (Y. Okamoto) らの研究グループが世界に先駆けて磁気記録装置への信号処理方式を適用する基礎的研究を続けている. 栗原 (Y. Kurihara) は, 同グループを経て, 1997 年当時は新居浜高専に, 現在は香川高専高松キャンパスに所属している. 同校詫間キャンパス副校長の福永もまた, 田崎らの研究グループの一員である.

6. 日本語で論文を書いても

日本語で論文を書いても国際的に相手にされないもので, 英語で論文を書いて世界に発信しないといけない類のことを, 耳にしたことはないだろうか. 一般的には, 正しく, もちろん英語は大切である.

磁気記録研究の分野は特殊であった. 垂直磁気記録をはじめ, 世界初の発明や技術開発の事例も多く, 磁気記録関連技術は日本のお家芸であった. 1980 年代の録画装置は, ビデオテープレコーダ VTR (video tape recorder) であった. 磁気記録技術を駆使した製品であり, わが国が数多くの特許を有し, 家庭用 VTR の世界シェアのほとんどを日本企業が独占しているといっても過言ではなかった.

米国では, 日本語で書かれた磁気記録の関連論文の情報でも入手したい状況であった. 実際, 1986 年に発表された米国 IBM 社の Wood の論文⁷⁾に引用された文献番号 18 の論文⁸⁾は日本語で書かれた論文である.

さらに, 当時の IEEE Magnetics Society 会長が 1984 年の米国連邦議会上院で, 日本の磁気記録論文を翻訳すべきと証言し¹³⁾, 1985 年 4 月から 1994 年 6 月までの約 10 年間, IEEE Translation Journal on Magnetics in Japan が出版された¹⁴⁾. これは, 表紙に日本語で「応用磁気翻訳ジャーナル」とも書かれて出版された. 例えば, 1991 年 8 月に出版された H. Osawa, Y. Kurihara, K. Ono による論文¹⁵⁾は, 1990 年に日本の磁気記録研究会で発表された日本語の原稿¹⁶⁾が英語に翻訳されたものである. 当時の栗原 (Y. Kurihara) の所属は愛媛大学であった.

かつて, ソ連(現ロシア)が世界で初めて人工衛星を打ち上げたときに, アメリカでは当時ロシア語で書かれたソ連の物理学会雑誌の翻訳を始めた. 1980 年代の日本に対しても, 同様の状況であったと思われる.

7. 藤尾フロンティア賞ほか

映像情報メディア学会の第8回平成11年度藤尾フロンティア賞が、超高密度垂直磁気記録システムの信号処理方式に関する研究に対して、垂直磁気記録用信号処理研究グループ(愛媛大学)に授与された¹⁷⁾。

2008年(平成20年度)日本磁気学会優秀研究賞は、PRMLの提案と高密度ストレージ信号処理の研究⁵⁾に対して、大沢に授与された。

大沢は受賞のあいさつの中で以下のように述べている。PRMLの研究を始めた当初は、磁気記録分野では信号処理はマイナーな研究分野であり肩身の狭い思いをしたが、今では情報ストレージの高密度化に必須の技術として認められるようになり、隔世の感がある⁵⁾。

8. 垂直磁気記録30年の苦闘

最初に実用化したのは田中(Y. Tanaka)らが率いる東芝であった⁶⁾。岩崎による垂直磁気記録の発明から、実際にHDDの製品に垂直磁気記録技術が採用されるまでに約30年を要した。日経エレクトロニクスの記事において特集が組まれた¹⁸⁾。日経エレクトロニクス2006年6月5日号の垂直磁気記録30年の苦闘「(4)パソコンに忍ばせて世界各地へ」の記事から垂直磁気記録における信号処理技術に関する部分を以下に示す。

貧弱な実験環境

- ライバルの日立製作所が垂直記録方式へ本腰を入れ出したのとちょうど同じ時期、東芝での取り組みも始まった。
- 研究リーダーは田中である。日立製作所の高野公史と同様、垂直記録方式を生んだ岩崎俊一の愛弟子が、囿らずも研究を率いる形になった。

こっそり愛媛大学へ

- ヘッドを浮上させて再生波形を取り出すところまでは東芝の設備でもできた。問題はその後である。再生波形から記録したビット列を復元する手段がないのだ。
- 垂直記録方式の再生波形は長手記録方式と違うので、これをそのまま使うわけにはいかない。
- しかも、垂直記録方式ではどのような信号処理が適しているか手探りの状態だ。
- ここでソフトウェアで実装したチャンネルを用いるところである。ところが、東芝はこの技術を持っていなかった。

- 田中は、PRML方式を用いたチャンネルの研究で有名な愛媛大学に協力を仰ぐ。
- 同大学には、スピンドルと大型計算機を組み合わせて、記録再生系から得た波形をソフトウェアチャンネルに通してビット列を再生できる装置があった。
- 他のメーカーに情報が漏れないように、担当者はこっそりと四国に向かった。
- 松山市の中心部、松山城と道後温泉の間にある愛媛大学へ、記録媒体とヘッドを持参して訪れた。

など、このように、理論的に信号処理方式の有効性を示す段階から、実際に信号処理LSIの開発により実証が可能になったことで、信号処理技術はHDDの高密度化のために必要不可欠なものとなっていき、信号処理技術の研究機関として、愛媛大学は国内外から高い評価を得るようになった。

9. 結言

磁気記録分野における信号処理の研究は、四国の愛媛大学で活発に行われている。

昨年のノーベル物理学賞を受賞した中村は、当時のインタビュー等で、四国の徳島での研究成果に対する受賞であり、地方の四国の中でも研究できる等と述べていた。

本稿では、同じ四国地方で世界に先駆けて行われた研究成果の別の一例として、愛媛県でデジタル磁気記録の信号処理に関連する研究について述べた。

もちろん、磁気記録分野に限らず重要な研究は、様々な分野において多くの大学や高専で行われているであろう。大都市だけでなく、地方においても行われている点については、上記の例のように明らかである。

学生が進路を決定する際には、よく考えもせず大都市にある有名な大学等に入ったものの、後になってから自分に合った研究分野が存在しなかったということにならないよう、各自の将来の進路については前もってよく考えておいて欲しい。できれば磁気記録分野へ進む研究者や技術者が増えることを期待したい。

謝辞

愛媛大学、東北大学をはじめ、磁気記録研究関係のみなさまに感謝いたします。また、国立高専機構香川高専と新居浜高専の栗原研究室の卒業生のみなさまにお礼申し上げます。本稿で述べた内容の一部は、平成

14年度から平成16年度までに受けた科研費(若手B)14750326 または平成8年度に受けた科研費(奨励A)08750469の助成によるものを含む。記してここに感謝いたします。

参考文献

- 1) <http://www.ieice.org/> (電子情報通信学会2015年総合大会 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス) Mar. 2015.
- 2) http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2007/ (ノーベル物理学賞2007)
- 3) http://japanprize.jp/prize_past_2007_prize01.html (2007年第23回日本国際賞受賞者)
- 4) 高野公史, “9. 進化するハードディスク,” 信学誌, vol. 89, no. 11, pp. 988–993, Nov. 2006.
- 5) 大沢寿, “PRMLの提案と高密度ストレージ信号処理の研究,” まぐね, vol. 4, no. 3, pp. 130–135, Mar. 2009.
- 6) Y. Tanaka, “Development of Perpendicular Magnetic Recording Hard Disk Drive,” 信学技報, vol. 105, no. 115, MR2005-7, pp. 1–6, Jun. 2005.
- 7) R.W. Wood and D.A. Petersen, “Viterbi Detection of Class IV Partial Response on a Magnetic Recording Channel,” IEEE Trans. Commun., vol. COM-34, no. 5, pp. 454–461, May 1986.
- 8) 大沢寿, 池谷章, 田崎三郎, “NRZI記録符号に対するビタビ復号法の信号検出方式に関する性能比較,” テレビ誌, vol. 35, no. 7, pp. 570–575, Jul. 1981.
- 9) R. Wood, “The Feasibility of Magnetic Recording at 1 Terabit per Square Inch,” IEEE Trans. Magn., vol. 36, no. 1, pp. 36–42, Jan. 2000.
- 10) R. Wood, “1Tビット/(インチ)²のHDDを実現する(上/下),” NE(日経エレ), no. 758/no. 759, 1999.11.29号/1999.12.13号, pp. 161–168/pp. 181–185, Nov./Dec. 1999.
- 11) H. Osawa, Y. Kurihara, Y. Okamoto, H. Saito, H. Muraoka, and Y. Nakamura, “PRML Systems for Perpendicular Magnetic Recording,” J. Mag. Soc. Jpn., vol. 21, no. S2, pp. 399–405, Oct. 1997.
- 12) 三田誠一, 西谷卓史, 澤口秀樹, 松井一, “磁気ディスクの信号処理技術—PRML方式の基礎と実際—,” 森北出版, 東京, 2010.
- 13) <http://obio.c-studio.net/science/188.htm> (ヴォイニッチの科学書 Chapter-188 日本人が発明した垂直磁気記録) Jan. 2008.
- 14) 日経エレ編, “超高密度外部記憶装置の新展開,” 日経BP社, p. 26, Jan. 1998.
- 15) H. Osawa, Y. Kurihara, K. Ono, “Performance of Partial Response System for (2,7) RLL Code,” IEEE Transl. J. Magn. Jpn., vol. 6, no. 8, pp. 698–708, Aug. 1991.
- 16) 大沢寿, 栗原義武, 小野和雄, “(2,7)RLL符号に対するパーシャルレスポンス方式の誤り率特性,” 信学技報, MR90-24, pp. 21–28, Jul. 1990.
- 17) http://www.ite.or.jp/contents/about_us/awards_winner/04.html (映像情報メディア学会 藤尾フロンティア受賞者).
- 18) 河合基伸, “垂直磁気記録30年の苦闘(4)パソコンに忍ばせて世界各地へ,” NE(日経エレ), no. 927, 2006.6.5号, pp. 116–119, Jun. 2006.