垂直磁気記録における Guided Scrambling 符号化 PRML 方式の性能評価

Performance Evaluation of Guided Scrambling Coded PRML System in Perpendicular Magnetic Recording

正会員 大沢 寿[†], 前東 信宏[†], 正会員 岡本 好弘[†],
正会員 斎藤 秀俊^{††}, 正会員 村岡 裕明^{††}, 正会員 中村 慶久^{††}

Hisashi Osawa[†], Nobuhiro Maeto[†], Yoshihiro Okamoto[†], Hidetoshi Saito^{††}, Hiroaki Muraoka^{††} and Yoshihisa Nakamura^{††}

Abstract The distortion due to low frequency cutoff degrades the performance of partial response maximum likelihood (PRML) system in a perpendicular magnetic recording. This paper presents an application of guided scrambling (GS) code to PRML system as an effective strategy for avoiding the distortion. The bit error rate performances of PR2ML systems for two types of GS codes, Galois field (GF) additive type and convolutional operation type, are obtained. The results indicate that GS coded PR2ML systems can achieve gains of about 6.3dB for GF additive type code and 4.4 dB for convolutional operation type code over conventional Reed-Solomon coded PR2ML system at a normalized linear density of 1.5, a power ratio of jitter-like media noise to total noise of 80% and a low-cutoff frequency normalized by bit rate of 0.002.

キーワード：垂直磁気記録，低域遮断歪，GS 符号，RS 符号，PRML 方式

1. ま え が き

最近のハードディスク装置 (HDD) における記録密度の向上には目覚ましいものがある。現行の長手磁気記録方式による HDD の記録密度は年率 100% を上回る割合で著しく増加し続けているが、熱揺らぎの影響によって時間と共に記録した磁化が減少する熱磁気緩和現象が、さらなる高密度記録を実現する上での隘路となるものと予想されている。これに対して垂直磁気記録方式は、熱磁気緩和現象が現れにくいことから、次世代の記録方式として期待されている。先に筆者らは、垂直磁気記録のための良好な性能を示す信号処理方式として、正係数 PRML 方式を提案した^{1)~3)}。その際、雑音として白色ガウス雑音が仮定されている。しかし実際には正係数 PRML 方式では、次のような二つの影響が顕著になる。一つめは磁化遷移点の変動に起因するジッタ性媒体雑音

である⁴⁾。二つめは低域遮断歪みであり、これは長手磁気記録による現行の HDD 用ヘッドアンプを用いる場合には、信号の低域成分が遮断されることに起因する歪みである。

このような正係数 PRML 方式において、顕著となる低域遮断歪みの影響を軽減するための対応策として、DC フリー符号を用いることが考えられるが、特にここではラン長制約を満たした上で RLL 符号の符号化率を低下させることなく DC フリー化が可能という特徴を持つ GS (Guided Scrambling) 方式⁵⁾が重要である。

そこで本論文では、現行の HDD 用再生回路を用いた場合に生じる低域遮断歪みとジッタ性媒体雑音を考慮した垂直磁気記録再生系において、正係数 PRML 方式の一つであり、良好な特性が期待できる PR2ML 方式⁶⁾にガロア体加算型 GS 方式と畳込み演算型 GS 方式の二つの方式⁷⁾を適用した場合の誤り率特性を計算機シミュレーションによって求め、性能評価を行う。

2. 記録再生系

図 1 に、GS 符号化 PRML 方式のブロック図を示す。ビット間隔 T_b の入力データ系列 $\{a_k\}$ は、GS 符号化器によって記録データ系列 $\{b_k\}$ に変換され、媒体上に NRZ 記録される。ステップ状の記録波形に対する孤立

2002 年 6 月 13 日、マルチメディアストレージ研究会で発表

2002 年 10 月 21 日受付、2003 年 5 月 21 日再受付、2003 年 7 月 11 日採録

[†]愛媛大学工学部

(〒790-8577 松山市文京町 3, 089-927-9776)

^{††}東北大学電気通信研究所

(〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1, 022-217-5494)

[†]Faculty of Engineering, Ehime University

(3 Bunkyo-cho, Matsuyama-shi, 790-8577 Japan)

^{††}RIEC, Tohoku University

(2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai-shi, 980-8577 Japan)

図 1 GS 符号化 PRML 方式のブロック図
Block diagram of GS coded PRML system.

図 2 孤立再生波形
Isolated reproducing waveform.

再生波形を

$$h(t) = A \cdot \tanh\left(\frac{\ln 3}{T_{50}} t\right) \quad (1)$$

と仮定し⁸⁾、これを図 2 に示す。ただし、 $A = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t)$ で、 T_{50} は $h(t)$ の振幅が $-A/2$ から $A/2$ まで変化するのに要する時間である。ここで、ビット間隔 T_b で規格化した規格化線密度を $K_p = T_{50}/T_b$ と定義する。読出し点における雑音として、磁化遷移点が白色ガウス状に変動することによるジッタ性媒体雑音と、平均値が 0、両側電力スペクトル密度が $N_0/2$ の白色ガウス雑音を仮定する。また、読出し点における SN 比を式 (2) で定義する⁸⁾。

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} A/\sigma \text{ [dB]} \quad (2)$$

ただし、 $\sigma^2 = \sigma_J^2 + \sigma_W^2$ である。ここで、 σ_J^2 および σ_W^2 は、それぞれ $0.6f_b$ までの帯域におけるジッタ性媒体雑音および白色ガウス雑音の電力であり、 $f_b = 1/T_b$ はビットレートである。さらに、全雑音電力に対するジッタ性媒体雑音電力の割合を次式で定義する。

$$R_J = 100 \times \sigma_J^2/\sigma^2 [\%] \quad (3)$$

再生側では、低域遮断特性を表す 1 次 RC ハイパスフィルタと高域雑音を抑圧するための 6 次バターワースローパスフィルタから成るバンドパスフィルタ (BPF)、およびタップ数が N_t のトランスバーサルフィルタを用いて PR2 (PR(1,2,1)) 特性となるように等化する。その後、ビットビ復号器により $\{\hat{b}_k\}$ が、さらに GS 復号器により出力データ系列 $\{\hat{a}_k\}$ が復号される。 $\{a_k\}$ と $\{\hat{a}_k\}$ を比較することによりビット誤り率 (BER) が求まる。

図 3 RDS の計算例
Example of RDS calculation.

3. 畳込み演算型 GS 符号

まず、GS 方式について簡単に述べる。GS 方式は、ある一定のデータブロック長からなる情報系列に対して、 L 種類の符号系列を生成し、これらを次に記録する符号系列の候補とする。これらの中で、各々の符号系列を記録したと仮定して、記録系列全体の DSV (Digital Sum Variation) を 0 に近づけるように RDS (Running Digital Sum) の絶対値の最大値の最も小さい符号系列を次に記録する符号系列として選択する。ここで、RDS の計算例を図 3 に示す。図のように、RDS はシンボル間隔ごとの記録波形が高レベルのときに加算し、低レベルのときに減算することで行われる。また、DSV は次式により与えられるものとする。

$$\text{DSV} = \text{RDS}_{\max} - \text{RDS}_{\min} + 1 \quad (4)$$

この例では $\text{RDS}_{\max} = 1$ 、 $\text{RDS}_{\min} = -2$ となり、DSV は 4 となる。

次に、畳込み演算型 GS 符号について述べる。畳込み演算型 GS 符号化器を図 4 に示す。RS (Reed-Solomon) 符号化は符号化器入力系列 $\{a_k\}$ を多項式表現したものを、生成多項式で除算し、その時の剰余を検査ブロックとして入力データ系列に付加することにより行う。その後、RS 符号系列と、スクランブル符号生成器により生成された 2^r 種類の r ビットのスクランブル符号との間で図 5 に示すような畳込み演算が行われる。

図中の “ $\oplus$ ” は EX-OR 演算を表し、 c_i 、 d_n 、 d'_n はそれぞれ、 r ビットのスクランブル符号、情報系列および畳込み演算型 GS 符号系列を表す。図のように、 r ビットの情報系列 d_n と r ビットの直前の畳込み演算結果 d'_n との EX-OR 演算が行われる。そして、畳込み演算型 GS

図 4 畳込み演算型 GS 符号化器
Convolutional operation type GS encoder.

図 5 畳込み演算型 GS 符号におけるデータ変換
Data conversion in convolutional operation type GS code.

図 6 畳込み演算型 GS 復号化器
Convolutional operation type GS decoder.

符号系列は、16/17(0,6/6) 符号化器、 $[1/(1-D^2)]_{\text{mod}2}$ の入出力特性を持つプリコーダを介してブロックメモリーに保持されるとともに、RDS 演算・比較器により各々を記録したと仮定したときに、系列全体の DSV を 0 に近づけるように RDS の絶対値の最大値が最も小さい系列が特定される。そして、セレクトによって、ブロックメモリーに蓄えていた系列の中から、その系列を選択することで符号化器出力系列 $\{b_k\}$ が得られる。

図 6 に、畳込み演算型 GS 復号化器を示す。復号化器入力系列 $\{b_k\}$ は、プリコーダの逆特性を持つポストコード、16/17(0,6/6) 符号化器に対応した 16/17(0,6/6) 復号化器により復号され、RS 復号化の前に GS 符号化における畳込み演算の逆操作、 d'_{n-1} と d'_n の EX-OR 演算によるスクランブル解除が行われ、復号化器出力系列 $\{\hat{a}_k\}$ が得られる。このように、RS 復号化の前に行われるスクランブル解除により誤りが隣のシンボルに伝搬し、RS 符号の訂正能力を低下させる可能性がある⁹⁾。しかし、畳込み演算型 GS 符号は、スクランブル符号生成器の構成が、後に述べるガロア体加算型 GS 符号のスクランブル RS 符号生成器の構成に比べて簡単という利点がある。

4. ガロア体加算型 GS 符号

ガロア体加算型 GS 符号のデータ変換を、図 7 を用いて説明する。また、ガロア体加算型 GS 符号化器を図 8

図 7 ガロア体加算型 GS 符号におけるデータ変換
Data conversion in GF additive type GS code.

図 8 ガロア体加算型 GS 符号化器
GF additive type GS encoder.

図 9 ガロア体加算型 GS 復号化器
GF additive type GS decoder.

に示す。図 7(a) のように、符号化器入力系列 $\{a_k\}$ の先頭に 0 データ多重器により、すべて 0 からなる r ビットのダミーデータを多重し、情報系列を生成する。続いて、この情報系列に対して RS 符号化を行い、検査ブロックを生成し、情報系列の前に付加する。次に、この RS 符号とは別に、図 7(b) のような r ビットの同一シンボルの繰り返しからなる L 種類のスクランブル RS 符号を構成して (a) の RS 符号系列に加算することで、新たな L 種類の RS 符号を生成する。この L 種類の RS 符号系列は、畳込み演算型 GS 符号と同様に、16/17(0,6/6) 符号化器、 $[1/(1-D^2)]_{\text{mod}2}$ の入出力特性を持つプリコーダを介して、RDS 演算・比較器により各々を記録したと仮定したときに、系列全体の DSV を 0 に近づけるように RDS の絶対値の最大値が最も小さい系列を特定する。そして、セレクトによって、ブロックメモリーに蓄えていた系列の中からその系列を選択することで符号化器出力系列 $\{b_k\}$ を得る。その際、多重されているダミーデータにどのようなスクランブル RS 符号が加算されているかを示す情報が埋め込まれる。また、ダミーデータのビット数の和が r ビットであるとする、最大 $L = 2^r$ 個のスクランブルされた RS 符号系列の生成が可能である。

次に、ガロア体加算型 GS 復号化器を図 9 に示す。復

号化器入力系列 $\{b_k\}$ はプリコーダの逆特性をもつポストコーダ、符号化で用いた 16/17(0,6/6) 符号化器に対応した 16/17(0,6/6) 復号化器により復号を行い、RS 符号の復号化の後、ダミーデータの位置に埋め込まれている情報に基づいて、符号化時に加算された多項式を推測し、スクランブル符号を減算することで復号化器出力系列 $\{\hat{a}_k\}$ を得る。したがって、先の畳込み演算型 GS 符号のように、RS 復号化の前にスクランブル解除を行わないため、RS 符号の能力を完全に使うことができる⁵⁾。しかし、先に述べたようにガロア体加算型 GS 符号のスクランブル RS 符号生成器の構成が、畳込み演算型 GS 符号のスクランブル符号生成器の構成よりも複雑となる。

5. 性能比較

ここでは、畳込み演算型 GS 符号およびガロア体加算型 GS 符号に対する PR2ML 方式と RS 符号に対する場合の性能比較を行う。ただし、1 データブロックのバイト長はスクランブル後に 136 バイトになるように統一し、 $r = 8$ で $2^8 = 256$ 種類の符号系列を生成した。また、RS 符号として、4 バイト誤り訂正 RS 符号を用いた。

まず、畳込み演算型 GS 符号、ガロア体加算型 GS 符号および RS 符号の電力スペクトルを図 10 にそれぞれ示す。ここで、 x は f_b で規格化した周波数である。図中、実線はガロア体加算型 GS 符号、点線は畳込み演算型 GS 符号、破線は RS 符号のスペクトルを表している。図より、RS 符号のスペクトルには低域成分がかなり含まれているのに対し、畳込み演算型 GS 符号とガロア体加算型 GS 符号では低域成分が大幅に抑圧されていることがわかる。したがって、長手磁気記録を前提とした現行 HDD 用の再生回路を用いた場合にも、低域遮断歪が生じ難く、良好な特性が期待できる。

図 11 に、識別点雑音電力スペクトルを示す。ただし、 $K_p = 1.5$, $R_J = 80\%$, $x_l = 0.002$, $x_h = 0.4$, $N_t = 15$, $\text{SNR} = 24\text{dB}$ としている。ここで、 x_l , x_h は、それぞれ

f_b で規格化した BPF の低域遮断周波数と高域遮断周波数である。図中、実線はガロア体加算型 GS 符号、点線は畳込み演算型 GS 符号、破線は RS 符号の場合を表している。識別点の雑音として、読出し点の雑音モデルであるジッタ性媒体雑音および白色ガウス雑音に起因する雑音と、トランスバーサルフィルタで等化しきれなかった残留等化誤差が含まれる。図の $x = 0.002$ 以下の低域部分を見ると、RS 符号の場合は、低域遮断歪みの影響により低域雑音が著しく増大していることがわかる。しかし、ガロア体加算型 GS 符号と畳込み演算型 GS 符号の場合は、低域遮断歪みが生じ難いため、低域雑音の増加が抑えられている。

図 12(a), (b), (c) に、規格化低域遮断周波数 x_l を変化した時のガロア体加算型 GS 符号、畳込み演算型 GS 符号および RS 符号の場合のビット誤り率特性をそれぞれ示す。ただし、 $K_p = 1.5$, $R_J = 80\%$, $x_h = 0.4$, $N_t = N_{\text{opt}}$ としている。ここで、 N_{opt} は誤り率を最小とする N_t の最適値である。図より、ガロア体加算型 GS 符号と畳込み演算型 GS 符号の場合の誤り率特性は、RS 符号の場合に比べて、規格化低域遮断周波数の増大に伴う誤り率特性の劣化が抑えられているのがわかる。これは、DC フリー符号である GS 符号を用いることにより信号の低域成分が抑えられ、低域遮断歪の影響が軽減されたためである。一方、RS 符号の場合は、 x_l が大きくなると低域遮断歪みの影響により劣化が大となり、 x_l が 0.002 を越える辺りから飽和傾向が認められる。なお、規格化低域遮断周波数の値に係わらず、SN 比が小さい領域では、GS 符号よりも RS 符号の方が良好な誤り率特性を示している。これは、SN 比が小さい領域では、低域遮断歪の影響よりもジッタ性媒体雑音および白色ガウス雑音の影響の方が大きいため、スクランブル解除による誤り伝搬の劣化量が大きいことによる。

図 10 符号電力スペクトル
Power spectra of codes.

図 11 識別点雑音電力スペクトル ($K_p = 1.5$, $R_J = 80\%$, $x_l = 0.002$, $x_h = 0.4$, $N_t = 15$, $\text{SNR} = 24\text{dB}$)
Power spectra of noise at the discrimination point ($K_p = 1.5$, $R_J = 80\%$, $x_l = 0.002$, $x_h = 0.4$, $N_t = 15$, $\text{SNR} = 24\text{dB}$).

(a) ガロア体加算型 GS 符号

(b) 畳込み演算型 GS 符号

(c) RS 符号

図 12 BER 特性 ($K_p = 1.5, R_J = 80\%, x_h = 0.4, N_t = N_{topt}$)
BER performance ($K_p = 1.5, R_J = 80\%, x_h = 0.4, N_t = N_{topt}$).

次に、図 13 に、規格化低域遮断周波数とすべての誤りを訂正するのに要する読出し点の所要 SN 比の関係を示す。ただし、 $K_p = 1.5, R_J = 80\%, x_h = 0.4, N_t = N_{topt}$ としている。図より、 $x_l = 0$ の低域遮断がない場合は、ガロア体加算型 GS 符号の場合と RS 符号の場合は同程度の所要 SN 比を示しているが、規格化低域遮断周波数の増加に伴い、RS 符号化の性能が大幅に劣化している。

図 13 規格化低域遮断周波数と所要 SN 比 ($K_p = 1.5, R_J = 80\%, x_h = 0.4, N_t = N_{topt}$)
Normalized Low-cut frequency vs. required SNR ($K_p = 1.5, R_J = 80\%, x_h = 0.4, N_t = N_{topt}$).

その結果、 $x_l = 0.002$ で、ガロア体加算型 GS 符号の場合は、RS 符号の場合に比べて約 6.3dB の SN 比改善が得られた。また、畳込み演算型 GS 符号と RS 符号の場合を比較すると、 $x_l = 0.001$ までの低域遮断歪みの影響が比較的少ない領域では、RS 符号の方が良好な特性を示している。これは、畳込み演算型 GS 符号の場合は、RS 復号化前に畳込みの逆演算を行うことにより、誤りが隣のシンボルに伝搬してしまい、その結果、RS 符号の訂正能力を低下させたためと考えられる。しかし、 $x_l = 0.001$ を越えると、畳込み演算型 GS 符号の DC フリー特性による改善効果が現れる。その結果、 $x_l = 0.002$ において RS 符号の場合に比べて約 4.4dB の SN 比改善が得られた。また、ガロア体加算型 GS 符号と畳込み演算型 GS 符号のいずれの場合も、同様の低域遮断歪みによる劣化の傾向を示す。これは図 10 にも見られるように、両者が同程度の DC フリー特性を有していることによる。しかし、ガロア体加算型 GS 符号の場合は、畳込み演算型 GS 符号の場合に比べて良好な特性を示している。これは、先に述べたように、畳込み演算型 GS 符号の場合には、RS 復号化前にスクランブル解除を行うため、誤りが隣のシンボルに伝搬してしまうが、ガロア体加算型 GS 符号の場合には、RS 復号化前にスクランブル解除を行わないため、RS 符号の誤り訂正能力が完全に発揮されるためと考えられる。

さらに、図 14 に畳込み演算型 GS 符号とガロア体加算型 GS 符号の場合のビット誤り率特性を実線で、また両者の場合の 16/17(0,6/6) 符号化器入力系列に対する 16/17(0,6/6) 復号化器出力系列のシンボル誤り率 (SER) 特性を破線で示す。ただし、 $K_p = 1.5, R_J = 80\%, x_l = 0.002, x_h = 0.4, N_t = N_{topt}$ としている。図に見られるように、畳込み演算型 GS 符号、ガロア体加算型 GS 符号共に、SER 特性は同程度となっている。これは、低域遮断歪みの影響を軽減するために行った信号の低域

図 14 復号手順の BER 特性に与える影響 ($K_p = 1.5, R_J = 80\%, x_l = 0.002, x_h = 0.4, N_t = N_{t\text{opt}}$)
Influence of decoding process on BER performance ($K_p = 1.5, R_J = 80\%, x_l = 0.002, x_h = 0.4, N_t = N_{t\text{opt}}$).

成分抑圧能力は同程度であることを意味している。しかし、両者の BER 特性には大きな差が認められる。これは、4 で述べたように、両者の間の復号手順が異なることにより、RS 符号の訂正能力に差が生じるためと考えられる。なお、SN 比が小さい領域において、BER よりも SER の方が小となっているのは、RS 符号の誤り訂正機能が破綻していることに加え、スクランブル解除による誤り増大が原因である。

6. む す び

ジッタ性媒体雑音と低域遮断歪みを考慮した垂直磁気記録再生系における GS 符号化 PR2ML 方式の性能評価を行った。まず、はじめに符号の電力スペクトルについて検討した。その結果、ガロア体加算型 GS 符号および畳込み演算型 GS 符号は、RS 符号に比べて信号の低域成分が良く抑圧されていることが明らかとなった。次いで、識別点雑音電力スペクトルについて検討した。その結果、ガロア体加算型 GS 符号および畳込み演算型 GS 符号は、RS 符号に比べて低域遮断歪みが生じ難いため、低域雑音の増加が抑えられていることが明らかとなった。さらに、低域遮断歪みが存在する場合の誤り率特性について検討を行った。その結果、規格化低域遮断周波数 x_l が小である場合は、RS 符号とガロア体加算型 GS 符号は RS 符号の訂正能力により良好な特性を示し、 x_l が大となると DC フリー符号であるガロア体加算型 GS 符号および畳込み演算型 GS 符号の場合が良好な特性を示すことが明らかとなった。誤りを完全に訂正するのに要する読出し点の所要 SN 比では、 $x_l = 0.002$ において畳込み演算型 GS 符号およびガロア体加算型 GS 符号の場合は、RS 符号の場合に比べて、それぞれ約 4.4dB, 6.3dB の SN 比改善が得られた。また、ガロア体加算型 GS 符号の場合は、畳込み演算型 GS 符号の場合に比べて、 x_l の大小によらず良好な特性を示すことが明らかとなった。

日頃、有益なご助言を賜わる広島国際学院大学田崎三郎教授に深謝致します。また本研究は、情報ストレージ研究推進機構 (SRC) の助成のもとに行ったことを付記し、謝意を表します。

〔文 献〕

- 1) H.Osawa, Y.Kurihara, Y.Okamoto, H.Saito, H.Muraoka and Y.Nakamura: "PRML Systems for Perpendicular Magnetic Recording", J.Magn.Soc. Jpn., 21, S2, pp.399-405 (1997).
- 2) 大沢 寿, 岡本 好弘, 斎藤 秀俊, 村岡 裕明, 中村 慶久: "二層膜媒体と MR ヘッドを用いた垂直磁気記録のための PRML 方式", 日本応用磁気学会誌, 22, S3, pp.33-37, (Oct. 1998).
- 3) 大沢 寿, 住吉 弘行, 岡本 好弘, 斎藤 秀俊, 村岡 裕明, 中村 慶久: "二層膜媒体による垂直磁気記録のための PRML 方式", 日本応用磁気学会誌, 23, S2, (Oct. 1999).
- 4) 是成, 坪井, 松寺, 田上: "再生波形解析による記録ノイズの検討", 信学技報, MR94-5, pp.31-36, (May 1994).
- 5) I.J.Fair, W.D.Gover, W.A.Krzynien, and R.I.MacDonald: "Guided Scrambling: A New Line Coding Technique for High Bit Rate Fiber Optic Transmission Systems", IEEE Trans. Commun., 39, 2, pp.289-297, (Feb. 1991).
- 6) 大沢 寿, 斎藤 秀俊: "高密度デジタル磁気記録のための信号処理技術", 信学論, J81-C-II, 4, pp.393-412, (April 1998).
- 7) 国狭 亜輝臣: "ガロア体加算に基づいた直流成分抑圧方式とその性能評価", 信学技報, MR97-4, pp.19-26, (June 1997).
- 8) Y.Okamoto, H.Osawa, H.Saito, H.Muraoka, and Y.Nakamura: "Performance of PRML Systems in Perpendicular Magnetic Recording Channel with Jitter-like Noise", J.Magn. Magn. Mater., 235, pp.259-264 (2001).

おおさわ ひさし
大沢 寿 1966 年、大阪大学工学部通信工学科卒業。1971 年、同大学大学院博士課程 (通信工学専攻) 修了。同年、鉄鋼短期大学電気工学科講師。大阪大学工学部助手、愛媛大学工学部助教授を経て、1989 年、同教授。現在に至る。高密度情報ストレージシステムのための信号処理方式に関する研究に従事。2000 年、映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞受賞。工学博士。正会員。

まえとう のぶひろ
前東 信宏 2000 年、愛媛大学工学部電気電子工学科卒業。同大学大学院博士前期課程 (電気電子工学専攻) 在学中。デジタル磁気記録における信号処理方式の研究に従事。

おかもと よしひろ
岡本 好弘 1983 年、愛媛大学工学部電子工学科卒業。1985 年、同大学大学院修士課程 (電子工学専攻) 修了。同年、シャープ (株) 入社。愛媛大学工学部助手、講師を経て、1998 年同助教授。現在に至る。デジタル磁気記録における信号処理方式に関する研究に従事。2000 年、映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞受賞。工学博士。正会員。

さいとう しゅんすけ
斎藤 秀俊 1990 年、横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。1995 年、同大学大学院博士課程後期 (電子情報工学専攻) 修了。同年、愛媛大学工学部助手。2002 年、東北大学電気通信研究所助手として 21 世紀情報通信研究開発プロジェクトに従事。現在に至る。2000 年、映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞受賞。工学博士。正会員。

むらおか ひろあき
村岡 裕明 1976 年、東北大学工学部通信工学科卒業。1981 年、同大学大学院博士課程修了。同年、松下通信工業 (株) 入社。1990 年、東北大学電気通信研究所助手。1993 年、同助教授。2000 年、同教授。現在に至る。垂直磁気記録を中心に高密度磁気記録、高密度磁気記録装置などの研究に従事。工学博士。正会員。

なかむら よしひさ
中村 慶久 1963 年、東北大学工学部通信工学科卒業。1968 年、同大学大学院博士課程修了。同年、東北大学電気通信研究所助手。1971 年、同助教授。1987 年、同教授。2001 年、同所長。現在に至る。一貫して、磁気記録の高密度化に関する研究に従事。特に、垂直磁気記録方式による超高密度高速大容量ストレージシステムの研究開発に従事。2001 年、映像情報メディア学会丹羽高柳賞功績賞受賞。工学博士。正会員。