磁気記録における非線形磁化遷移点シフトの測定法に関する検討

正会員 上 原 年 博[†], 正会員 真 島 恵 吾[†], 正会員 小 川 正一郎[†]

A Study on a Method for Measuring Nonlinear Magnetic Transition Shifts in Magnetic Recording

Toshihiro Uehara[†], Keigo Majima[†] and Shouichiro Ogawa[†]

Abstract In magnetic recording it is known that nonlinear distortion occurs in the recording process. Nonlinear distortion is separated into phase distortion and amplitude distortion; phase distortion is a shift in position and amplitude distortion is variability in the magnetization magnitude of magnetic transition in relation to the recording signal pattern. As nonlinear distortion increases the probability of errors in digital recording, it is important to be able to measure and analyse distortion. In this paper, we propose a new measuring method to estimate the nonlinear magnetic transition shift precisely from the dipulse response of the recording/reproduction system. Using this method, the nonlinear magnetic transition shift is measured by varying the amplitude, codebit reversal interval and the degree of low-frequency suppression of recording current using MP tape and Co-amorphous heads. As a result, nonlinear transition shift occurs and increases at a range exceeding 50% of the optimum recording current. It also increases at a range less than $0.5\mu\text{m}$ of the distance between current and preceding magnetic transitions, and reaches a minimum value at a certain degree of low-frequency suppression of recording current.

1. ま え が き

磁気記録では、記録過程において非線形歪みが発生することが報告されている^{1)~3)}。この非線形歪みは、記録信号のパターンに応じて磁化遷移点のシフト量に変化する位相歪みと磁化遷移点の磁化量に変化する振幅歪みに分けることができる。

ディジタル記録では記録過程で発生する非線形歪みにより、誤り率を最小とする等化特性が孤立再生波形

を用いて計算した最適等化特性からずれ、非線形歪みが誤り率を劣化させる一要因となっていることが指摘されている⁴⁾。

この非線形歪みについては、非線形歪みを等化後の残留した雑音成分と見なし、信号成分と非線形歪みによる雑音成分の比を非線形歪み S/N と定義し、ビット誤り率と非線形歪み S/N の関係を測定解析した例がある⁵⁾。また、材質、ギャップ長の異なるヘッドを用いて非線形歪み S/N と記録信号の低域抑圧度との

キーワード：磁気記録、非線形磁化遷移点シフト、ダイパルス応答

1994年10月20日、テレビジョン学会画像情報記録研究会、VIR94-40で発表

1995年5月15日受付、1995年8月3日再受付

[†] NHK放送技術研究所(〒157 東京都世田谷区砧1-10-11, TEL 03-5494-2329)

[†] NHK Science and Technical Research Laboratories(1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157, Japan)

関係を測定した結果も報告されている⁹⁾。しかしながら、非線形歪みを非線形振幅歪みと非線形磁化遷移点シフトに分離し、非線形磁化遷移点シフト量を正確に測定した例はない。

そこで、本論文ではまず、記録再生系のダイパルス応答から非線形磁化遷移点シフト量を正確に求めることができる新しい測定法^{7,8)}を提案する。次に、この測定法を用いて VTR の記録再生系において、記録電流の振幅レベル、最短符号反転長、記録電流の低域抑圧度を変化させたときの、非線形磁化遷移点シフト量の測定結果について報告する。

2. 非線形磁化遷移点シフト量の測定法

2.1 磁気記録における非線形歪み

磁気記録では、すでに記録された磁化から発生する磁界により書き込み磁界が影響を受ける。その結果、記録される磁化遷移点の位置が書き込み磁界のみによって決まる位置からずれる非線形磁化遷移点シフトおよび、記録される磁化遷移点の磁化量が変化する非線形振幅歪みが発生することが報告されている⁹⁾。

非線形磁化遷移点シフトの概念を図 1 に示す。最短符号反転長を $T_{\min}$ とすると、 $T_{\min}$ 前に磁化遷移があれば現在の磁化遷移点は ϵ_1 だけ前にシフトする。2 $T_{\min}$ 前に磁化遷移があれば、 $T_{\min}$ 前の磁化遷移の有無により現在の磁化遷移点は ϵ_2 だけそれぞれ後・前にシフトする。ここには示していないが、重ね書きを行った場合、記録前に残っていた磁化の方向により、現在の磁化遷移点は ϵ_0 前または後にシフトする。また、 $T_{\min}$ が短くなると $T_{\min}$ 前の磁化遷移により現在の磁化遷移点の記録磁化が小さくなり、磁化遷移幅が係数 ϵ_0 に基づいて変化する非線形振幅歪みが発生する。

図 1 非線形磁化遷移点シフトの概念

Configuration of nonlinear magnetic transition shifts.

$T_{\min}$ がそれほど短くなく非線形振幅歪みが無視できる場合、再生信号は図 1 に示すように磁化遷移点の位置に孤立再生信号を重ね合わせたものと見なすことができる。ここで、孤立再生信号から求めた最適等化を再生信号に適用して識別すると、符号反転位置は磁化遷移点のシフトと同量シフトし、アイの振幅、位相余裕が小さくなることから誤り率が増大することになる。

2.2 ダイパルス応答を用いた非線形歪みの抽出

非線形歪みは、記録再生系のダイパルス応答から抽出することができる。ダイパルス応答の算出フローチャートを図 2 に示す。記録再生系のダイパルス応答は、M 系列信号を記録再生し量子化、相加平均、フーリエ変換したデータ B を、記録に用いた基準 M 系列信号をフーリエ変換したデータ A で割り記録再生系の伝達関数 (B/A) を計算し、これを逆フーリエ変換することによって求めることができる。記録再生系に非線形歪みが存在すると、ダイパルス応答上に M 系列信号の生成多項式と非線形歪みの要因によって決まる位置に主ダイパルスのエコーが現れる。非線形歪みが発生する主要因とダイパルス応答上のエコーの位置、大きさを表 1 に整理して示す⁹⁾。

$G(x)=x^6+x+1$ を生成多項式とする M 系列信号を VTR に記録再生したときのダイパルス応答を図 3 に示す。最短符号反転長 $T_{\min}$ は $0.385\mu\text{m}$ とした。ここでは、M 系列信号を記録する前に全幅 AC イレーズを行った。

ダイパルス応答上のエコーの位置は表 1 に示すパラメータ M_0, M_1, M_2 によって決まる。ここで用いた生成多項式では、パラメータ M_0, M_1, M_2 はそれぞれ 6, 25, -17 と計算できる⁹⁾。したがって、 ϵ_0 によ

図 2 ダイパルス応答算出のフローチャート
Flowchart of dipulse response calculation.

表 1 非線形歪みによるダイパルス応答上のエコーの位置と大きさ

Location and magnitude of echoes on dipulse response caused by nonlinear distortions.

要 因	エコー [主ダイパルスからの位置, 大きさ]
オーバーライトによる 磁化遷移点シフト	$[-(M_0-1/2) T_{\min}, -1/2(\epsilon_0/T_{\min}) V_{\text{main}}(t)]$
$T_{\min}$ 前の磁化遷移による 磁化遷移点シフト	$[3/2 T_{\min}, 1/2(\epsilon_1/T_{\min}) V_{\text{main}}(t)]$ $[-(M_1-1/2) T_{\min}, -1/2(\epsilon_1/T_{\min}) V_{\text{main}}(t)]$
$2T_{\min}$ 前の磁化遷移による 磁化遷移点シフト	$[3/2 T_{\min}, -1/2(\epsilon_2/T_{\min}) V_{\text{main}}(t)]$ $[5/2 T_{\min}, 1/2(\epsilon_2/T_{\min}) V_{\text{main}}(t)]$ $[-(M_1-1/2) T_{\min}, 1/2(\epsilon_2/T_{\min}) V_{\text{main}}(t)]$ $[-(M_2-1/2) T_{\min}, -1/2(\epsilon_2/T_{\min}) V_{\text{main}}(t)]$
$T_{\min}$ 前の磁化遷移による 磁化遷移幅の広がり	$[3/2 T_{\min}, 1/2(\epsilon_b/T_{\min}) V'_{\text{main}}(t)]$ $[-(M_1-1/2) T_{\min}, -1/2(\epsilon_b/T_{\min}) V'_{\text{main}}(t)]$ $[0 T_{\min}, 1/2\epsilon_b V''_{\text{main}}(t)]$

$V_{\text{main}}(t)$: 非線形歪みがない場合のダイパルス応答

$T_{\min}$: 最短符号反転長

M_0, M_1, M_2 : 生成多項式により決まる値

ϵ_1 : $T_{\min}$ 前の磁化遷移による磁化遷移点のシフト量

ϵ_2 : $2T_{\min}$ 前の磁化遷移による磁化遷移点のシフト量

ϵ_b : $T_{\min}$ 前の磁化遷移による磁化遷移幅の広がり係数

図 3 非線形磁化遷移点シフトが存在するときのダイパルス応答

Dipulse response of recording and reproduction system with nonlinear transition shifts.

るエコーの位置は $-(M_0-1/2)T_{\min}$ から $-5.5T_{\min}$ となり, 主ダイパルスから -5.5 ビットの位置に現れる. 同様に, ϵ_1 により主ダイパルスから $-24.5, 1.5$ ビットの位置に, ϵ_2 により $-24.5, 1.5, 2.5, 17.5$ ビットの位置に現れる. また, ϵ_b により, 主ダイパルスを 1 階微分したエコーが $-24.5, 1.5$ ビットの位置に, 主ダイパルスを 2 階微分したエコーが 0 ビットの位置にそれぞれ発生する. なお, ここでは全幅 AC イレーズを行っているため, ϵ_0 によるエコーはほとんど発生していないことがわかる.

2.3 新しい非線形磁化遷移点シフト量の測定法

非線形歪みが発生した場合, $T_{\min}$ 前および $2T_{\min}$ 前の符号反転によりダイパルス応答上の $-(M_1-1/2)$ ビットの位置に現れるエコー $V_{M1 \text{ echo}}(t)$, $-(M_2-1/2)$ ビットの位置に現れるエコー $V_{M2 \text{ echo}}(t)$ は

$$V_{M1 \text{ echo}}(t) \doteq -1/2(\epsilon_1/T_{\min}) \cdot V_{\text{main}}\{t + (M_1-1/2) T_{\min}\} + 1/2(\epsilon_2/T_{\min}) V_{\text{main}}\{t + (M_1-1/2) T_{\min}\} - 1/2(\epsilon_b/T_{\min}) \cdot V'_{\text{main}}\{t + (M_1-1/2) T_{\min}\} \quad (1)$$

$$V_{M2 \text{ echo}}(t) \doteq -1/2(\epsilon_2/T_{\min}) \cdot V_{\text{main}}\{t + (M_2-1/2) T_{\min}\} \quad (2)$$

でそれぞれ近似できる⁹⁾. ただし, M_1, M_2 は生成多項式によって決まる値, $V_{\text{main}}(t)$ は非線形歪みがない場合のダイパルス応答, $V'_{\text{main}}(t)$ は $V_{\text{main}}(t)$ を 1 階微分したものである. ダイパルス応答の中心にある主ダイパルス $V_d \text{ main}(t)$ は

$$V_d \text{ main}(t) \doteq V_{\text{main}}(t) - 1/2(\epsilon_1/T_{\min})\{V_{\text{main}}(t-3/2 T_{\min})\} - 1/2(\epsilon_2/T_{\min})\{V_{\text{main}}(t-3/2 T_{\min})\} + 1/2(\epsilon_2/T_{\min})\{V_{\text{main}}(t-5/2 T_{\min})\} + 1/2(\epsilon_b/T_{\min})\{V'_{\text{main}}(t-3/2 T_{\min})\} + 1/2\epsilon_b V''_{\text{main}}(t) \quad (3)$$

で表される⁹⁾. ここで, $V''_{\text{main}}(t)$ は $V_{\text{main}}(t)$ を 2 階微分したものである.

$-(M_1-1/2)$ ビットの位置に $T_{\min}$ 前の符号反転のみにより現れるエコー $V_1 \text{ echo}(t)$, $-(M_2-1/2)$ ビットの位置に $2T_{\min}$ 前の符号反転のみにより現れるエコー $V_2 \text{ echo}(t)$ は, それぞれ

$$V_1 \text{ echo}(t) \doteq -1/2(\epsilon_1/T_{\min}) \cdot V_{\text{main}}\{t + (M_1-1/2) T_{\min}\} \quad (4)$$

$$V_2 \text{ echo}(t) \doteq -1/2(\epsilon_2/T_{\min}) \cdot V_{\text{main}}\{t + (M_2-1/2) T_{\min}\} \quad (5)$$

と表されることがから, ϵ_1, ϵ_2 は

$$\epsilon_1 = 2 T_{\min} (V_1 \text{ echo}/V_{\text{main}}) \quad (6)$$

$$\epsilon_2 = 2 T_{\min} (V_2 \text{ echo}/V_{\text{main}}) \quad (7)$$

として求めることができる. ここで, $V_{\text{main}}, V_1 \text{ echo}, V_2 \text{ echo}$ は, それぞれ $V_{\text{main}}(t), V_1 \text{ echo}(t), V_2 \text{ echo}(t)$ の波高値である.

従来, $V_d \text{ main}(t)$ から $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_b$ によるエコーを除去し $V_{\text{main}}(t)$ を求めること, $V_{M1 \text{ echo}}(t)$ から ϵ_2, ϵ_b によるエコーを分離し $V_1 \text{ echo}(t)$ を求めることが容易にできなかったことから, 非線形磁化遷移点シフト量はダイパルス応答において主ダイパルスの波高値とエコーの波高値の比をとることによって近似的に求められていた¹⁰⁾. この方法では, ϵ_1, ϵ_2 の近似値 $\epsilon_{a1}, \epsilon_{a2}$

で非線形振幅歪み ε_b によるエコーは小さい結果が得られた。この場合、 $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1c}$ 、 $\varepsilon_2 = \varepsilon_{2c}$ 、 $\varepsilon_b = 0$ とすると最適補償したダイパルス応答 $V_{c \text{ main}}(t)$ は

$$V_{c \text{ main}}(t) \approx V_{\text{main}}(t) \quad (18)$$

となり、非線形歪みを含まないダイパルス応答を得ることができる。図6に示すダイパルス応答では、 ε_1 、 ε_2 によるエコーが主ダイパルス上に重畳され、主ダイパルスの波高値が5%低下している。このことから、従来の測定方法では ε_1 、 ε_2 の測定結果は真値よりも5%高い値として測定される。

記録電流の立ち上がり、立ち下がりが緩やかな場

合、非線形振幅歪みによるエコーは主ダイパルスの7%程度に達する場合が報告されている¹¹⁾。この場合は、記録等化により非線形磁化遷移点シフト量 ε_1 を0になるように補償したとしても、従来の測定手法では(8)式から $\varepsilon_1 = 0.14 T_{\min}$ と測定され、誤差はさらに大きなものとなる。

一方、今回提案した新しい測定法は、 ε_1 、 ε_2 を求めるにあたり測定値は主ダイパルス上へのエコーの重畳による影響を受けない。さらに、(16)式からわかるように、求める ε_1 は非線形振幅歪みによる磁化遷移幅の広がり ε_b の影響を受けずに正確に測定可能である。

3. 非線形磁化遷移点シフト量の測定

3.1 測定系

測定系の基本構成を図7に示す。記録信号は、 $G(x) = x^6 + x + 1$ を生成多項式とする1周期63ビットのM系列信号とした。記録等化器は、記録信号の振幅レベル、振幅の周波数特性を可変とした。再生信号は、2GHz、8ビットでサンプリングし、100周期分の波形を相互相関をとって位置合わせした後、相加平均した。これにより再生信号のノイズレベルを20dB低減した。

測定に用いたテープとヘッドの諸元を表2、表3にそれぞれ示す。テープはメタル塗布型とした¹²⁾。記録には、飽和磁束密度の高いCo系3元窒化超構造合金膜ヘッドを、再生には初透磁率が高く再生感度が良いCo系4元アモルファス合金ヘッドを用いた¹³⁾。テープとヘッドの相対速度は21.4m/sとした。

3.2 測定結果

(1) 再生電圧、 ε_1 、 ε_2 対記録電流の振幅レベル

記録電流を変化させたときの磁化遷移点シフト量 ε_1 、 ε_2 、および矩形波を記録したときの再生電圧を図8に示す。M系列信号の最短符号反転長 $T_{\min}$ および矩形波の反転間隔はそれぞれ $0.385 \mu\text{m}$ とした。記録等化では、1MHzにおける記録電流を最短符号反転

図5 非線形磁化遷移点シフト量 ε_1 、 ε_2 の測定フローチャート
Measuring flowchart of magnetic transition shifts ε_1 、 ε_2 .

図6 非線形磁化遷移点シフトが補償されたダイパルス応答
Dipulse response with magnetic transition shifts compensation.

図7 測定系の基本構成
Block diagram of measuring system.

表 2 テープの諸元
Tape specifications.

種 類	メタル塗布型
全 厚	13.5 μm
磁性層厚	3.0 μm
抗磁力(H_c)	1520 Oe
残留磁束密度(B_r)	2690 gauss
角形比	0.83

表 3 ヘッドの諸元
Head specifications.

記 録	構 造	積層スパッタ Co-Nb-Zr/Co-Nb-Zr-N
	ギャップ長	0.22 μm
	トラック幅	20 μm (6 層)
再 生	構 造	積層スパッタ Co-Nb-Ta-Zr
	ギャップ長	0.22 μm
	トラック層	28 μm (7 層)

信号の周波数 27.7 MHz に対して 5 dB 抑圧した。磁化遷移点のシフト量は $T_{\min}$ で正規化した。

ϵ_1 , ϵ_2 は、記録電流を増やしていくと矩形波の再生電圧が最大となる最適記録電流 116 mA_{p-p} の 50% までは 0% であるが、それ以上の記録電流では増加し、最適記録電流付近で ϵ_1 が 19%, ϵ_2 が 5% の最大値をとった。さらに記録電流を増やすと、 ϵ_1 , ϵ_2 はともにわずかに減少した。

このことから、すでに記録した磁化遷移点の磁化の大きさに応じて発生する磁界により記録磁界が影響を受け、磁化遷移点をシフトさせているものと考えられる。

(2) ϵ_1 , ϵ_2 対最短符号反転長

M 系列信号の最短符号反転長 $T_{\min}$ を変化させたときの ϵ_1 , ϵ_2 を図 9 に示す。記録電流は最適値とした。

ϵ_1 は、 $T_{\min}$ が 0.47 μm では 9% であるが、 $T_{\min}$ を短くするにしたがって単調増加し、 $T_{\min}$ が 0.21 μm では 32% に達した。 ϵ_2 は、 $T_{\min}$ が 0.26 μm までは 5% 以下であるが、 $T_{\min}$ がそれよりも短くなると急激に増加し、 $T_{\min}$ が 0.21 μm では 16% となった。

これは、記録磁界の反転点が、すでに記録した磁化遷移点に近づくほどその磁化遷移点から発生する磁界

図 8 磁化遷移点シフト量 ϵ_1 , ϵ_2 , ヘッド再生電圧と記録電流の振幅レベルの関係

Magnetic transition shifts ϵ_1 and ϵ_2 , and head reproduced voltage v. s. recording current amplitude level.

図 9 磁化遷移点シフト量 ϵ_1 , ϵ_2 と最短符号反転長 $T_{\min}$ の関係

Magnetic transition shifts ϵ_1 and ϵ_2 v. s. minimum codebit reversal length $T_{\min}$.

が記録磁界に及ぼす影響が大きくなり、磁化遷移点のシフト量を大きくしているものと考えられる。

(3) ϵ_1 , ϵ_2 対記録電流の低域抑圧度

記録電流の低域抑圧度を変化させたときの ϵ_1 , ϵ_2 を図 10 に示す。記録電流は 27.7 MHz で最適値とし、1 MHz における記録電流を 27.7 MHz に対して 3 dB から 7 dB まで抑圧した。

ϵ_1 , ϵ_2 は、低域を抑圧するにしたがってともに減少し、抑圧量 4 dB, 5 dB においてそれぞれ ϵ_1 が 19%, ϵ_2 が 5% の最小値をとり、それ以上低域を抑圧すると ϵ_1 , ϵ_2 は増加する傾向が見られた。このことから、

図 10 磁化遷移点シフト量 ε_1 , ε_2 と記録電流の低域抑圧度の関係

Magnetic transition shifts ε_1 and ε_2 v. s. degree of low-frequency suppression of recording current.

ε_1 , ε_2 を最小とする記録電流の低域抑圧度が存在するものと思われる。

4. む す び

最短符号反転長 $T_{\min}$ 前および $2T_{\min}$ 前の磁化遷移によって発生する非線形磁化遷移点のシフト量 ε_1 , ε_2 を正確に求めることができる新しい測定法を提案した。これは、記録再生系のダイパルス応答を求めるにあたり、基準 M 系列信号において ε_1 , ε_2 に対応した符号反転位置をソフトウェア上で ε_{1c} , ε_{2c} シフトさせ、エコーの中心の傾きが 0 となるシフト量 ε_{1c} , ε_{2c} をそれぞれ ε_1 , ε_2 とするものである。この測定法は、非線形振幅歪みによる磁化遷移幅の広がり ε_b の影響を受けずに ε_1 , ε_2 を測定可能である。

この測定法を用いて ε_1 , ε_2 を測定した。測定には MP テープと Co アモルファスヘッドを用いた。その結果、以下のことがわかった。

- (1) ε_1 , ε_2 は、最適記録電流の 50% までは 0% であるが、それ以上の記録電流で増加し、最適記録電流付近で最大値をとる。それ以上記録電流を増やすと ε_1 , ε_2 はともに低下する。
- (2) ε_1 は $T_{\min}$ が $0.5\mu\text{m}$ 以下で、 ε_2 は $T_{\min}$ が $0.25\mu\text{m}$ 以下で増加する。
- (3) ε_1 , ε_2 をともに最小とする記録電流の低域抑圧度が存在する。

終わりに、本研究を進めるにあたり御指導を頂いた大島部長、奥田副部長、ならびに有益な御助言を頂いた上條主任研究員に感謝します。

〔参 考 文 献〕

- 1) H. E. Melbye and C. S. Chi: "Nonlinearities in high density digital recording", IEEE Trans. Magn., **MAG-14**, 5, pp. 746-748 (Sep. 1978)
- 2) N. L. Koren: "A simplified model of nonlinear bit-shift in digital magnetic recording", INTERMAG, Grenoble, France (1981)
- 3) C. Coleman, D. A. Lindholm, D. A. Petersen and R. Wood: "High data-rate recording in a single channel", J. of IERE, **55**, 6, pp. 229-236 (1985)
- 4) 浦川: "ディジタル磁気記録における再生等化器の最適化実験", テレビ学技報, **14**, 47, VIR 90-49, pp. 7-12 (Sep. 1990)
- 5) 太田, 島崎: "ディジタル磁気記録における非線形歪の定量的評価方法", 1994 年信学春季大, **5**, pp. 97 (July 1994)
- 6) 千田, 島崎, 太田, 東陰地: "ディジタル磁気記録における非線形歪の検討", 1994 年信学春季大, **5**, pp. 96 (July 1994)
- 7) 小川, 真島, 上原: "磁気記録系における非線形歪の測定", 1994 年テレビ年次大, 20-7, pp. 325-326 (1994)
- 8) 上原, 真島, 小川: "磁気記録における非線形磁化遷移点シフトの測定と等化に関する検討", テレビ学技報, **18**, 55, VIR 94-40, pp. 13-20 (Oct. 1994)
- 9) D. Palmer, P. Ziporovich, R. Wood and T. D. Howell: "Identification of nonlinear write effects using pseudorandom sequences", IEEE Trans. Magn., **MAG-23**, 5, pp. 2377-2379 (Sep. 1987)
- 10) D. Palmer, J. Coker, M. Meyer and P. Ziporovich: "Overwrite in thin media measured by the method of pseudorandom sequences", IEEE Trans. Magn., **MAG-24**, 6, pp. 3096-3098 (Nov. 1988)
- 11) N. H. Yeh, R. Niedermeyer and C. R. Olson: "Nonlinear distortion in helical-scan tape recorders", IEEE Trans. Magn., **MAG-28**, 5, pp. 2707-2709 (Sep. 1992)
- 12) 春日, 北原, 安達: "放送用メタルビデオテープの開発", 放送技術, pp. 803-808 (Sep. 1989)
- 13) 高橋, 長谷川, 井原, 村岡, 養田, 沢井: "合金積層ビデオヘッドの磁路構成とヘッド特性", テレビ学技報, **12**, 3, VR 88-1, pp. 1-6 (Jan. 1988)

上原 年博 昭和 56 年、慶応義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年、NHK に入局。宮崎放送局を経て、昭和 59 年より同放送技術研究所記録・機構研究部に勤務。ディジタル VTR の高密度記録と信号処理の研究に従事。正会員。

真島 恵吾 昭和 59 年、早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。同年、NHK に入局。新潟放送局技術部を経て、昭和 63 年より放送技術研究所に勤務。現在、同所記録・機構研究部にてハイビジョン・ディジタル VTR の研究に従事。正会員。

小川 正一郎 平成 4 年、早稲田大学理工学部電気工学科卒業。同年、NHK に入局。現在、同放送技術研究所記録・機構研究部に勤務。ディジタル磁気記録に関する研究に従事。正会員。