

# 伸長変形した磁気テープの信号の復元に関する基礎的研究

高橋 稔\*・大島 静夫

## A Fundamental Study on the Restoration of the Degraded Signals of an Expanded Magnetic Tape

Minoru TAKAHASHI\* and Shizuo OHSHIMA

(2003年11月28受理)

We are interested in restoration of degraded signals recorded on an old acoustic media. In this paper, we argued two methods to restore the signals recorded on an expanded and narrowed magnetic tape, using digital signal processing technique.

First, we investigated a signal-restoring algorithm under the following assumption: the deformed tape has a certain inclination and the deformed dimensions are measurable. As a result, given a spline function for the interlotion, we found that the maximum energy error of the restored waveform to the original one was 0.1%.

Secondary, although we examined a method to restore the signals, using the hiss noise on a magnetic tape, analysis of the hiss noise remains to be finished. Then, we substituted a method to use a pilot signal at 10 kHz for the hiss noise, so that we came to the conclusion that we can restore the degraded signals by using it.

### 1. はじめに

現在、音声や音楽の記録媒体としてはCDやMDなどのデジタル媒体が広く利用されるようになり、磁気テープやレコード等のアナログ媒体が使用されることは少なくなってきた。しかしデジタル媒体が普及する以前の貴重な記録の多くはアナログ媒体に記録されている。これらアナログ媒体の問題点に保存性の低さが挙げられ、熱等の外的要因による変形によって記録された情報が劣化する場合がある。本研究では、このような劣化信号をデジタル処理技術を用いて復元することを目的とし、検討を進めた [1]。

アナログ媒体には磁気テープ [2] やレコードなど数多くの種類があるが、本研究ではカセットテープ（以下テープ）を対象とした。劣化の形態として、実際によく起こるテープが進行方向に伸びた場合を想定し、このときの劣化信号の復元手法について検討した。また、プログラムにはMATLAB [3] 及び Visual Basic [4] を用いた。

### 2. 疑似劣化信号を用いた復元法の検討

カセットテープにおける信号の劣化には様々な形態が考えられるが、ここではテープが伸びた場合を考える。この場合テープの伸びる方向は記録された信号の時間軸方向と一致するので、伸びた部分の周波数は元の周波数に比べ低下するような劣化が発生する。このテープの伸びもしくはテープの幅等の形状変化を測定出来れば、その変化の割合に従って劣化した信号の修復を行い、原信号を再現することが出来ると考えられる。上記の考えに基づき、復元のための手法を構築し、擬似的に作成した劣化信号を復元してその性能を確認する。

#### 2.1 本研究で考える変形パターン

テープの変形を図1 (a) (b) に示す矩形変形、台形変形の2つのパターンに分類し検討する。この2種類のパターンを準備すれば、図2 (a) (b) に示す実際の不規則な変形パターンの場合においても、いずれかに分類することが可能と考えられる。

\* 秋田高専専攻科学生

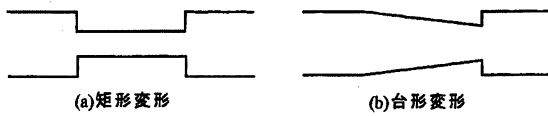


図1 本研究で考える変形パターン

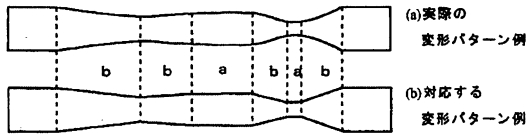


図2 変形パターンの対応

## 2.2 矩形状劣化信号の復元法

### 2.2.1 矩形状劣化信号の復元の原理

劣化前の原テープおよび劣化後のテープを同じ再生速度  $V$  で再生し、 $\Delta T$  でサンプリングする時の、原信号と劣化信号のサンプリング点の位置関係を図3に示す。図において、○は原信号を、●はテープ変形後に得られる信号を表している。

図において劣化前後のテープ幅を  $W_{org}$  と  $W_{deg}$ 、長さを  $L_{org}$  と  $L_{deg}$  とし、劣化前後において劣化部の面積  $S$  が一定だとすれば、 $S = W_{org} \cdot L_{org} = W_{deg} \cdot L_{deg}$  が成立する。ここで長さの比を伸び率  $r$  と定めれば(1)式が得られる。

$$r = \frac{L_{deg}}{L_{org}} = \frac{W_{org}}{W_{deg}} \quad (1)$$

また一方、図(a)の原信号サンプリング数  $n_{org}$  と図(b)劣化信号サンプリング数  $n_{deg}$  の比は、 $L_{org} = V \cdot \Delta T \cdot n_{org}$  および  $L_{deg} = V \cdot \Delta T \cdot n_{deg}$  より(2)式となる。

$$\frac{L_{deg}}{L_{org}} = \frac{V \cdot \Delta T \cdot n_{deg}}{V \cdot \Delta T \cdot n_{org}} = \frac{n_{deg}}{n_{org}} = r \quad (2)$$

図(b)において  $i$  番目 ( $i = 0, 1, 2, \dots, n_{rep} - 1$ ) の位置の○復元信号のデータ配列要素値を  $S_{rep}(i)$  とする。また、 $i$  を挟む●劣化信号のデータ配列要素を  $j = \text{int}(i \cdot r)$  とし、その値を  $S_{deg}(j)$ 、 $S_{deg}(j+1)$  とすると、これらの間には(3)式の線形補間の関係が得られる。ただし  $\text{int}$  は整数化関数とする。

$$\begin{aligned} S_{rep}(i) &= \frac{S_{deg}(j+1) - S_{deg}(j)}{j+1-j} (r \cdot i - j) + S_{deg}(j) \\ &= (S_{deg}(j+1) - S_{deg}(j))(r \cdot i - j) + S_{deg}(j) \end{aligned} \quad (3)$$

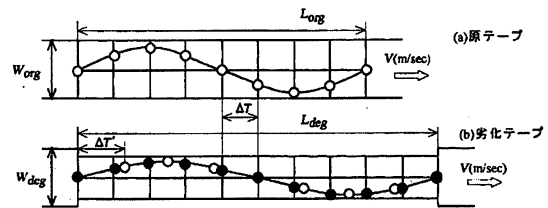


図3 形変形時のサンプリングの位置関係

矩形状変形の場合には、この(3)式に従い劣化信号から復元信号を補間推定する。また疑似劣化信号は(3)式の逆アルゴリズム、すなわち  $i$  と  $j$  を入れ替えた式を用いて作成する。

### 2.2.2 矩形状劣化信号の復元結果

ここでの解析信号の種類および解析条件は、表1のように定めた。図4に正弦波の場合の原信号  $S_{org}$ 、および  $r = 1.25$  の矩形状変形を受けたときの劣化信号  $S_{deg}$ 、(3)式で補間推定した復元信号  $S_{rep}(i)$  を示す。同様に図5に音声信号の場合を示す。また図(c)には、 $Err = S_{org} - S_{rep}$  で求まる誤差を併せて示す。図より1(sec)以降の劣化区間において両図ともに(a)の  $T_0$  の周期波形が(b)において  $T_d$  のように時間軸が1.25倍となる伸長劣化を受け、(c)において  $Tr = T_0$  と復元されていることがわかる。ここでのエネルギー誤差を2乗値の差分の比として(4)式のように定めると、 $Err = 1.56(\%)$  であり、良

表1 解析の条件

矩形・台形共通	正弦波	音声
信号の種類	500(Hz)	男性音声信号
サンプリング周波数	(共通)11025(Hz)	
収録時間	3(sec)	3.268(sec)
劣化区間	(共通)1(sec)から2(sec)	
補間の手法	(共通)2点間の線形補間	

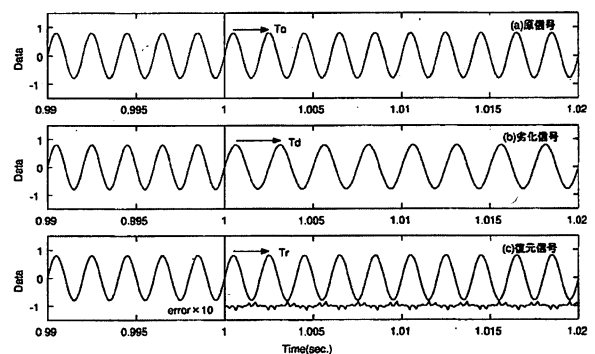


図4 正弦波信号の復元例

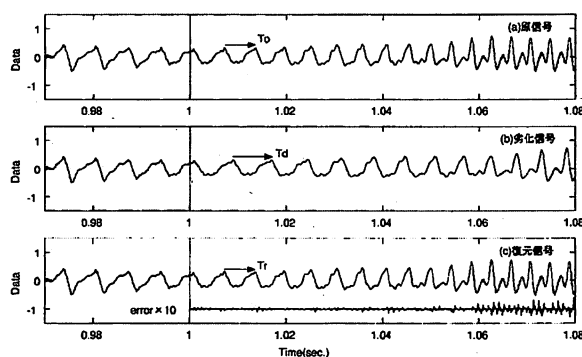


図5 音声信号の復元例

好に信号を復元していることが分かる。同様に音声信号の場合は  $Err = 3.18(\%)$  であった。

$$Err = 100 \frac{\sum S_{org}^2 - \sum S_{rep}^2}{\sum S_{org}^2} \quad (4)$$

### 2.3 台形状劣化信号の復元法

#### 2.3.1 台形状劣化信号の復元の原理

図6に劣化前の原テープおよび台形状変形した劣化テープを同じ再生速度  $V$  で再生し、 $\Delta T$  でサンプリングするときのサンプリング点の位置関係の検討図を示す。

図において、テープの再生速度  $V$  が一定なら、原テープのサンプリング位置に対応する劣化テープのサンプリング位置は、 $L_i = V \cdot t_i$ 、 $L'_i = V \cdot t'_i$  で与えられる。変形を受けても対応する各面積  $S$  は変わらないことを仮定すれば、以下の関係式が得られる。

$$\frac{d_0 + d_i}{2} L_i = d_0 \cdot L_i, \quad \frac{d_0 + d_n}{2} L'_i = d_0 \cdot L_n \quad (5)$$

更に、テープの変形時の傾き  $m$  が一定なことより (6) 式が得られる。

$$m = \frac{d_0 - d_i}{L_i} = \frac{d_0 - d_n}{L_n} \quad (6)$$

ここで、(5) 式の右側の式に (6) 式の  $d_n$  を代入

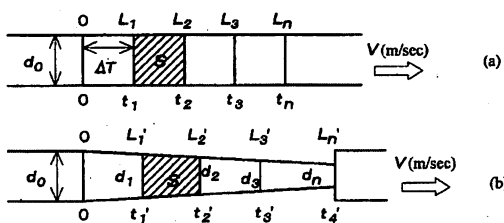


図6 台形状変形時のサンプリングの位置関係

すると

$$\frac{d_0 + d_0 - m \cdot L'_i}{2} L'_i = d_0 \cdot L_n \quad (7)$$

となり、これを  $L'_i$  について解き、整理すると

$$L'_i = \frac{d_0}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m}{d_0} L_n} \right) \quad (8)$$

となる。ここで  $L_n = i \cdot L_i$ 、 $L'_i = j \cdot L_i$  と置き、復元すべき  $i$  (整数) 番目の信号と劣化信号の再現すべき位置  $j$  (実数) との対応を求め、式を整理するととなる。

$$j_i = \frac{d_0}{m L_i} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m L_i}{d_0} i} \right) \quad (9)$$

今、図 (a) において  $i$  番目の信号  $S_{org}(i)$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, n_{org}$ ) を復元する場合、劣化テープにおける位置は (9) 式の  $j_i$  で定まり、 $S_{rep}(j_i) = S_{org}(i)$  となる。一方、劣化テープを正規の速度  $V$  で再生し、 $\Delta T$  毎のサンプリング位置  $k$  を ( $k = 0, 1, 2, \dots, n_{deg}$ ) とすれば、 $j_i$  を挟む  $k$  および  $k+1$  の信号値  $S_{deg}(k)$  および  $S_{deg}(k+1)$  から補間することになる。よって復元信号値  $S_{rep}(j_i)$  は (10) 式により推定することが可能となる。

$$S_{rep}(j_i) = (S_{deg}(k+1) - S_{deg}(k)) \cdot (j_i - k) + S_{deg}(k) \quad (10)$$

台形状劣化の場合には、この (10) 式に従い復元信号を劣化信号から補間推定する。また疑似劣化信号は、前節と同様に (10) 式の逆アルゴリズムを用いて作成する。

#### 2.3.2 台形状劣化信号の復元結果

図7に500(Hz) 正弦波の原信号、台形状変形時の劣化信号、および (10) 式で補間推定した復元信号を示す。劣化条件は、ここではテープ幅の比を  $d_0/d_n = 1/0.6$  とし、劣化区間は1.25(sec)、傾き  $m = 2.90 \times 10^{-5}$  としている。台形状変形の場合は、終端部の信号の変動が大きいため終端部付近の信号を示している。信号の劣化部は3(sec)の信号の1(sec)間に定めたので、原信号および復元信号の終端部は2(sec)、劣化信号は2.25(sec)となる。図(c)には  $Err = S_{org} - S_{rep}$  で求まる誤差信号を併せて示す。図の劣化終端部において、(a)の  $T_0$  の周期波形が (b) において  $T_d$  と周期が約1.61倍となるような伸長変形を受け、(c)において  $T_r = T_0$  と復元されていることがわかる。また (4) 式で求まるエネルギー誤差  $Err$  は2.17(%) であり、良好に信号

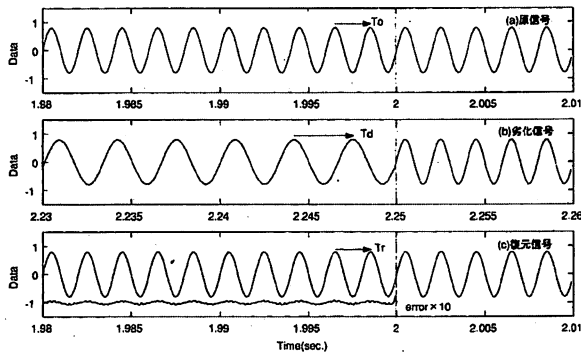


図7 弦波信号の復元例

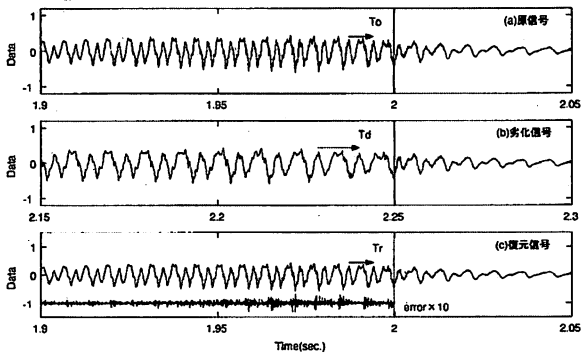


図8 音声信号の復元例

を復元していることがわかる。同様に図8に音声信号の場合を示す。この場合のエネルギー誤差  $Err$  は 3.25% であった。

2.4 補間法の改善

500(Hz) 正弦波信号を修復する際に、図4(c)、図7(c)に示すような周期性を持った誤差が検出されている。このことはさらに誤差を排除できる可能性を示している。ここまでに用いた手法は線形補間法であり、最も基本的な数学的手法である。そのため扱いは簡単で計算速度は高速であるが、さらに復元精度を上げるためにスプライン補間法について検討する [5][6]。

スプライン補間法で用いられるスプライン関数の数学的定義は以下の通りである。

サンプリングポイント  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_{N-1}$  は単純増加する実数列であり、これをスプライン関数の節点とする。節点  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_{N-1}$  から構成される  $M$  次のスプライン関数は、次の条件を満たす関数  $s(x)$  である。ただし  $M \leq N-1$  を満たすとする。

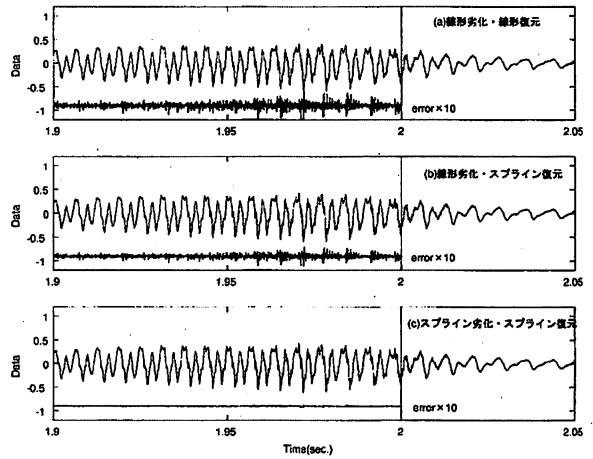


図9 直線補間とスプライン補間の誤差の比較

表2 補間法の違いによる復元信号のエネルギー誤差比較 (%)

劣化復元法	線形劣化 線形復元	線形劣化 スプライン復元	スプライン劣化 スプライン復元
矩形正弦波	1.56	1.28	0.00
台形正弦波	0.87	0.49	0.08
矩形音声	2.89	1.32	0.00
台形音声	1.78	1.14	0.10

1. 各小区間  $t_i \leq x \leq t_{i+1}$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, N-2$ ) で  $s(x)$  は  $M$  次かまたはそれ以下の多項式  $a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_Mx^M$  で与えられる。
2.  $s(x)$  とその  $1, 2, \dots, M-1$  階微分 ( $s^{(1)}(x), s^{(2)}(x), \dots, s^{(M-1)}(x)$ ) は  $t_i \leq x \leq t_{i+1}$  全区間で連続である。
3. ただし 0 次スプライン関数は階段関数でありこの条件は適用しない。また、1 次スプライン関数は折れ線の関数である。

線形補間法とスプライン補間法の計算精度を比較するために、2.3 節の劣化信号と同じ信号を用い、エネルギー誤差の比較を行った。図9に音声信号の場合の線形補間とスプライン補間による復元信号の違いを、誤差信号と共に示す。表2には原信号に対するエネルギー誤差の比較結果を示す。表において、信号として最も複雑な台形劣化音楽信号の場合でもスプライン補間法による誤差0.10% は線形補間法の場合の誤差1.78% の 1/17 程度であり、高性能なことが理解できる。よって、以降の解析においては、このスプライン補間法を用いる。

## 2.5 まとめ

この章では、走行方向に伸びたテープの変形を矩形変形および台形変形に分類し、その復元手法を検討した。また各変形に対応する擬似的な劣化信号として、正弦波および音声信号を用いて復元手法の性能を評価した。

その結果、本手法を用いた線形補間による信号復元のエネルギー誤差は3(%)以内であった。またスプライン補間を用いた場合は0.1(%)以内とさらにその性能は向上した。これらのことより、実際のテープ幅の変化が測定可能であれば、走行方向に伸長した劣化信号の復元は、上記誤差内で可能であることが示された。

劣化したテープ幅を光学的に計測しつつ、そのテープ幅の前後関係より矩形・台形の補正方式を判断し、読みとったデータを復元する手法として、更なる機会に検討したい。

## 3. パイロット信号を用いた復元法の検討

第2章では劣化テープのテープ幅が測定可能である場合の劣化信号の復元手法を検討した。しかしながらこの手法を実際のテープで用いる場合、テープ幅の変化を光学的に計測する必要がある。そこで更に効率のよい方法として、テープに録音されているヒスノイズや電源周波数によるノイズを利用した復元法を検討した。これらのノイズは高周波部分や電源周波数の整数倍の周波数などの特定の周波数領域にのみ存在し、規則性を持っている。これらの中心周波数を算出し、その周波数変動からテープ幅の変動を推定することが可能であればより効率的な復元手法となる。しかしながら周波数変動を抽出するまでには未だ至っていない。

そこでこの章では、例えばヒスノイズの中心周波数の変動が何らかの方法で検出できるものとし、その前段階として、ヒスノイズの代わりに10000(Hz)のパイロット信号を模擬的に仮定し、そのパイロット信号を用いた信号復元法について検討した。ここでパイロット信号の周波数変動は第2章のテープ幅の変動に対応しており、パイロット信号の周波数変動が測定できれば第2章とほぼ同様の手法で信号を復元できると考えられる。

### 3.1 復元法の原理

本章では、パイロット信号の周波数変動を検出するためにSTFT(Short-Time Fourier Transform)の手法を用いる。劣化信号を時系列順にデータ番号

を  $i$  とし、 $S_{deg}(i)$  とする。フレーム番号  $fr$  を ( $fr = 1, 2, \dots, M$ )、フレーム内のデータ番号  $j$  を ( $j = 1, 2, \dots, N_f$ ) とすると、フレーム分割後の劣化信号は  $Sf_{deg}(fr, j)$  として表され、そのSTFTを  $Ff_{deg}(fr, k)$  とすれば、各フレームにおけるSTFTは下式で与えられる。ただし  $k$  は直流を含めた高調波成分の次数を示す記号とする。

$$Ff_{deg}(fr, k) = \sum_{j=1}^{N_f} Sf_{deg}(fr, j) \exp \left\{ \frac{-j2\pi}{N_f} (k-1)(j-1) \right\} \quad k = 1, 2, \dots, N_f \quad (11)$$

パイロット信号の周波数変動の測定はより精密に、かつその時間間隔は出来るだけ短く出来るのが望ましい。しかし前者の条件を満たすためには1フレームのデータ数  $N_f$  を大きく、後者の条件を満たそうとすれば  $N_f$  を小さくとらなければならない。この相反する条件を満たすために、本研究ではSTFTの際に各フレーム中の解析対象区間外のデータに0を補充する方法を検討した。

$N_f$  を大きくすると計算回数が多くなり、処理時間も長くなることとなる。そこで周波数分解能と計算・データ処理にかかる時間を検討し、1フレームのデータ数  $N_f$  は16384個と決めた。その上で実際の解析データ数  $N_i$  を決定するために、 $N_i$  の値を64, 128, 256, 512とした場合のSTFT結果の比較を行った。

まず1000(Hz)正弦波の原信号に10000(Hz)のパイロット信号を付加した3(sec)の信号  $S_{org}(i)$  ( $i = 1, 2, \dots, n_{org}$   $n_{org} = 132300(44100 \times 3)$ ) をサンプリング周波数44100(Hz)、量子化数16(bit)で作成する(本章の以降のデータも同様の条件で作成する)。

$$S_{org}(i) = 0.3 \cdot \sin \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{1000}{44100} i \right) + 0.3 \cdot \sin \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{10000}{44100} i \right) \quad i = 0, 1, 2, \dots, (n_{org} - 1) \quad (12)$$

次に(12)式によって与えられた信号  $S_{org}(i)$  の1(sec)から2(sec)の1(sec)間を、前章と同様の条件、アルゴリズムで台形劣化させる。こうして得られた劣化信号  $S_{deg}(j)$  ( $j = 1, 2, \dots, n_{deg}$   $n_{deg} = 143325$ ) を、1フレームのデータ数  $N_f$  を16384に固定し、実際の解析データ数  $N_i$  を変えてSTFTを行った。

図10に実際の解析データ数  $N_i$  を (a) 64, (b) 128, (c) 256, (d) 512とした場合の結果を示す。このときの周波数分解能は2.692(Hz)、1フレームの相当する時間はそれぞれ (a) 1.45(msec), (b) 2.90(msec), (c) 5.80(msec), (d) 11.6(msec) と

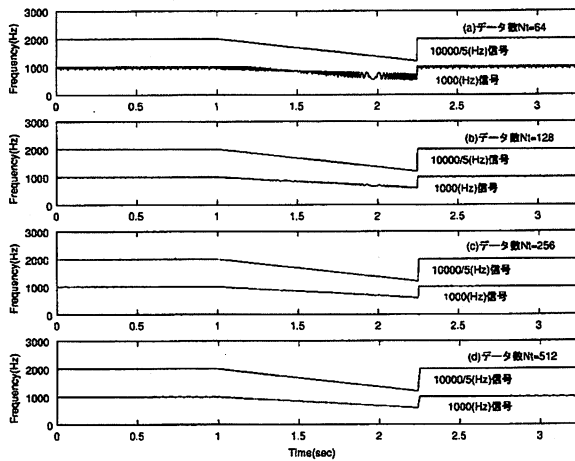


図10 データ数を変えたときの STFT 結果の比較

なる。ただし、1000(Hz) と比較しやすくするために10000(Hz) の信号は周波数を 1/5 倍して示している。(a) ~ (d) を比較すると、(a) ではデータ数が少ないため 1 フレームの相当する時間が短く局所的な情報しか得られないため、特に1000(Hz) 信号に変動が検出されている。一方 (d) では、周波数に関しては平坦で理想的な結果となっているが、2.25(sec) の周波数が急激に変化する箇所において、他の場合に比べて傾きがゆるやかになっている。この部分の傾きは理想的には無限大であることより、データ数が512では多すぎると言える。従ってデータ数には128, 256が適していると言え、本研究ではこの内の128を用いた。よって、本研究に用いる STFT は周波数分解能2.692(Hz), 1 フレームの相当する時間2.90(msec) となる。

以上から  $N_r = 16384$ ,  $N_i = 128$  と決定され、解析対象区間外のデータ  $N_r - N_i = 16256$  個には 0 を補充して 1 フレームを構成することにした。

### 3.2 パイロット信号を用いた劣化信号復元

原信号には、CD「ハ長調で弾くピアノ名曲 クラシック・ベスト・ヒット50選」に収録されている楽曲を用いた [7]。まず CD のジムノペディの一部に、周波数10000 (Hz) のパイロット信号を原信号の最大値の20(%) の割合で付加した信号を作成し、テープに録音した。そのテープに熱を加えながら引き延ばして、それから得られた信号を再度ハードディスクに保存した。こうして得られた信号の R チャンネルデータの 3 (sec) 間を切り出し、劣化信号として使用した。

この劣化信号からパイロット信号を抽出し、その

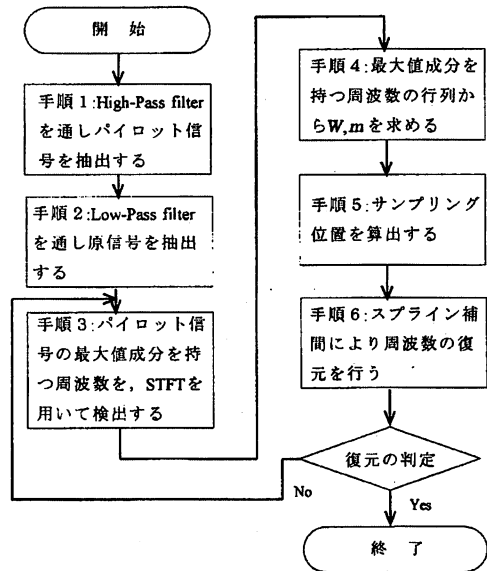


図11 復元手順のフローチャート

周波数の変化を検出、得られた周波数変動の情報を利用して劣化した原信号を復元する。復元手順の大きな流れを図11のフローチャートに示す。

図11の各手順における詳しい内容は以下の通りである。

手順1: 劣化信号  $S_{deg}(i)$  ( $i = 1, 2, \dots, 132300$ ) からパイロット信号  $P_{deg}(i)$  を抽出するために、 $S_{deg}(i)$  を Butterworth filter (カットオフ周波数: 8000(Hz), 次数: 10次) で構成される High-Pass filter に通す。カットオフ周波数は、周波数領域において原信号とパイロット信号を分離可能な周波数に定める。フィルタの次数は、原信号がほぼ無視できる大きさとなる最小の次数として、10次を用いる。

手順2: ここでの目的は劣化した原信号の復元であり、パイロット信号  $P_{deg}(i)$  は復元後のデータに必要な。また、テープが劣化した場合特に高周波部分にノイズが生じることがある。これは原信号とは関係ない信号である。これらの信号を除くために、劣化信号  $S_{deg}(i)$  を Butterworth filter (カットオフ周波数: 5000(Hz), 次数: 12次) で構成される Low-Pass filter に通す。これを劣化原信号  $S_{nc}(i)$  とする。

手順3: パイロット信号  $P_{deg}(i)$  を  $P_{f_{deg}}(fr, j)$  ( $fr = 1, 2, \dots, 1034, j = 1, 2, \dots, 128$ ) にフレーム分割する。その後各フレーム毎に 3.1 節で述べた条件で STFT を行う。STFT して得ら

れた STFT スペクトル  $Ff_{deg}(fr, k)$  から、各フレームごとの最大値に対応する周波数を求める。これが2.9(msec) ごとのパイロット信号周波数の変動を表し、これを配列  $Fm(fr)$  とする。

手順4:  $Fm(fr)$  より、各フレームにおける正規のテープ幅を1としたときのテープ幅  $W(fr)$ 、傾き  $m(fr)$  を求める。パイロット信号周波数は配列  $Fm(fr)$  の各フレーム内128個のデータの平均値から算出されるが、1フレームが相当する時間は全体の信号収録時間に比べ十分短いので、この周波数は各フレーム末端での周波数と定める。前述の通りパイロット信号周波数の変動と前章でのテープ幅の変動は対応するので、 $Fm(fr)$  から各フレーム末端のテープ幅  $W(fr)$  が求まる。こうして得られたテープ幅  $W(fr)$  と実際の解析データ数  $N_i$  を用いて、(6)式より傾き  $m(fr)$  を算出する。

手順5: 手順4で求めたそれぞれの値を用いて、矩形変形であると見なされた場合は(1)式を、台形変形であると見なされた場合は(9)式を用いてサンプリング位置  $j_i$  を求める。

手順6: 劣化原信号  $S_{de}(i)$  を、手順5で求めたサンプリング位置  $j_i$  を用いてスプライン補間し、復元信号  $S_{rep}(j_i)$  を求める。同様にしてパイロット信号  $P_{deg}(i)$  についてもスプライン補間を行い、結果を  $P_{rep}(j_i)$  とする。ただし  $P_{rep}(j_i)$  については、復元が充分とみなせる時はこの操作を行わず終了する。

データによっては、この復元プログラムを1回適用しただけでは周波数変動が十分に復元されないことがある。こういった場合には手順3から6までの部分を複数回繰り返すことで復元精度の向上が期待できる。

### 3.3 劣化信号復元手順の実行結果

図12 (a) に原信号の時間波形、(b) に劣化信号  $S_{deg}(i)$  の時間波形を示す。同図 (c), (d) にはそれぞれ復元手順を1回行った場合の時間波形、2回行った場合の時間波形を示す。(b) と (d) を比較すると、収録時間が3.000(sec) から2.896(sec) になり時間軸方向に縮まっていることは分かるが、これだけではパイロット信号周波数の低下に応じた復元が成されているかどうか分かりづらい。そこで図13にパイロット信号  $P_{deg}(i)$  の復元手順の実行結果を示

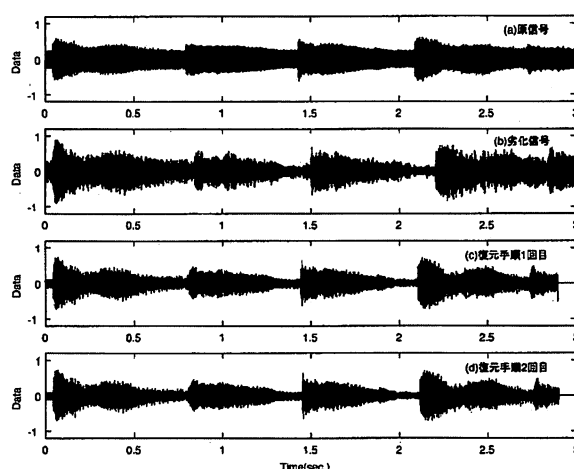


図12 劣化信号  $S_{deg}(i)$  の復元結果

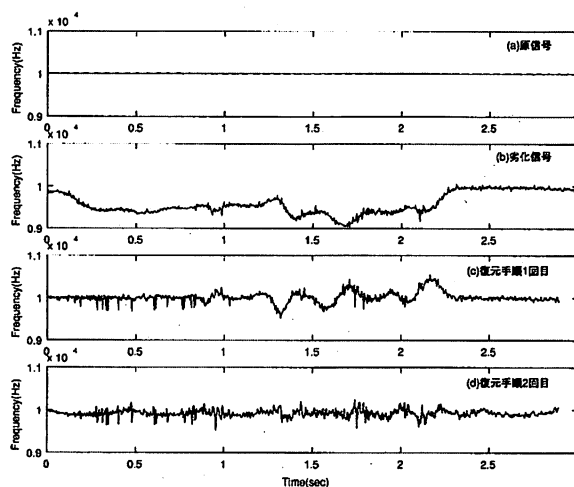


図13 パイロット信号  $P_{deg}(i)$  の復元結果

す。周波数の低下は全周波数領域で同じ割合で起こるので、逆にパイロット信号の周波数が復元されていればそれ以外の周波数の復元も成されていると言える。復元手順を1回だけ実行した場合は、その周波数の中心が元のパイロット信号周波数である10000(Hz) に近づいているものの、1(sec) から2.3(sec) の区間に変動が残ってしまっている。一方復元プログラムを2回適用した場合には、パイロット信号は1回目に比べ周波数の変動が小さく、復元の精度が向上している。このことから、復元手順の実行回数を増やすと精度の向上が期待できると言える。

### 3.4 まとめ

本章では、パイロット信号の周波数変化をSTFTを用いて測定し、その変化からテープ幅の変化を推定して劣化信号の復元を行う方法を検討した。劣化

信号には、実際に伸長劣化を施したカセットテープから得られた信号を用い、復元手順を1回実行した場合と2回実行した場合の復元性能の評価を行った。

結果として、指標となる信号の周波数変動を検出し、それに応じて補間をすることで劣化した信号の復元が可能であることが示された。また、手順を2回実行した方が1回実行したものより良好な結果を得られたことから、復元手順を複数回実行することによって、復元精度の向上が可能であることが示された。

電源周波数に起因するノイズやヒスノイズを解析し、それを復元の指標として復元する方法として、さらに検討していきたい。

#### 4. まとめ

本研究では、テープが走行方向に伸びた際に起こる信号の劣化を、デジタル処理を用いて修復するための方法を検討した。

第1の方法として、テープ幅の変化が計測可能であり、テープの劣化前後で対応する部分の面積が変わらないことを前提に、テープ幅の変化を矩形変形と台形変形の2つに分け、それぞれの場合の復元手法を検討した。コンピュータ上で、2つの変形に応じて擬似的に劣化信号を作成し、その信号の線形補間による復元、およびスプライン補間による復元を行った。その結果、原信号に対するエネルギー誤差が線形補間では矩形変形、台形変形のどちらの場合でも3.0(%)以内に、スプライン補間ではどちらの変形においても0.1(%)以内に抑えられた。これから、テープ幅が光学的に計測できれば劣化信号の復元が可能であることを示した。

第2の方法として、磁気テープ固有のノイズからテープ幅の変化を知る指標となる信号を探し、その周波数変動に応じて復元を行う方法を検討したが、その特徴の検出には未だ至っていない。そこで本研究では、ノイズのかわりにパイロット信号を仮想し、そのパイロット信号を用いてテープ幅の変化を推測して、劣化信号を復元する手法を検討した。その手順は以下の通りである。

- ①：劣化信号から、filterを用いてパイロット信号を抽出する。
- ②：劣化信号から、filterを用いて原信号を抽出する。
- ③：パイロット信号をSTFTし、周波数変動を検出する。
- ④：③の結果から、テープ幅と傾きを推定する。
- ⑤：④で求められた値から、サンプリング位置を算出する。
- ⑥：スプライン補間を行う。

この方法では、指標となる信号の周波数変動を検出し、それに応じて補間を行うことで劣化信号の復元が可能であり、また、必要に応じて複数回手順を実行することにより復元精度の向上が可能であることが示された。

今後は磁気テープ固有のノイズからテープの変化を推測し、それに応じて復元が出来るように検討を重ねたい。また長時間の修復が出来るように処理の高速化を進めたい。

#### 参考文献

- [1] 大島 静夫, 劣化信号の復元に関する基礎的考察 I, 秋田高専研究紀要第37号, 2002
- [2] 津野尾忠明, 「テープレコーダ」, 日刊工業新聞社, 1997
- [3] 小国 力, 「MATLABの利用と実際」, サイエンス社, 1995
- [4] 大島智樹, 「VisualBasic5.0 VBプログラミング&ActiveXコントロール」, 株式会社秀和システム, 1997.9.20
- [5] 山内二郎, 森口繁一, 一松 信, 「電子計算機のための数値計算法 I」, 倍風館, 1965
- [6] 桜井 明/監修, 菅野 敬祐, 吉村和美, 高山文雄, 「Cによるスプライン関数」, 東京電機大学出版局, 1993
- [7] 解析データとして: CD「ハ長調で弾くピアノ名曲 クラシック・ベスト・ヒット50選」, キャピタル・トレイド, 1997