

“イーサム (ESAM)” による広帯域1ビット符号音楽情報の 感応評価実験の報告 (1)

西田修造* 増田清** 武者利光***

*シャープ (株) 技術戦略企画室 〒261-8520 千葉県千葉市美浜区中瀬1-9-2

**シャープ (株) AVシステム事業本部オーディオ事業部 〒739-0192 広島県東広島市八本松飯田2-13-1

*** (株) 脳機能研究所 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区板戸3-2-1 KSP東棟211

E-mail: nishida.shuhzoh@sharp.co.jp masuda.kiyoshi@sharp.co.jp musha@bfl.co.jp

あらまし 広帯域音楽情報 (信号成分 20 kHz 以上を含む) の1ビット符号化信号 (標準化周波数 2.8224 MHz) / マルチビット符号化信号 (標準化周波数 44.1 kHz、16ビット量子化)、及び市販のSACD (1ビット符号) / CDの音楽信号を1ビットシステムにて試聴感応評価実験を行った。感応評価の技法に感性スペクトル解析法 (Emotional Spectrum Analysis Method) を用いた。限定的ではあるが、広帯域音楽信号において、マルチビット符号化に比べて、1ビット符号化では有意水準 0.02 でストレス指標は低下し、有意水準 0.16 で喜び指標が増加し、“ナチュラルに、原音の持つ音楽性を忠実に伝える” 効能性を相対的に保持しているといえる測定結果が出たので報告する。

キーワード 1ビット符号、イーサム、広帯域音楽ソース

The Report (1) of feeling tests of the 1bit - coded broadband audio signals by ESAM (Emotional Spectrum Analysis Method)

Shuhzoh Nishida* Kiyoshi Masuda** Toshimitsu Musha***

*SHARP CORPORATION CORPORATE ADVANCED TECHNOLOGY STRATEGIC PLANNING GROUP

**SHARP CORPORATION AUDIO & VISUAL SYSTEMS GROUP

***BRAIN FUNCTIONS LABORATORY, INC.

E-mail: nishida.shuhzoh@sharp.co.jp masuda.kiyoshi@sharp.co.jp musha@bfl.co.jp

Abstract 1bit - coding, the broadband audio signals, playing them by 1bit system, we experimented feeling tests to several men by ESAM (Emotional Spectrum Analysis Method). Restrictively, we report that the 1bit - coded audio signals sustain the feeling - efficiency, “more natural and more high - fidelity” than the multi bits - coded audio signals. The significance level is less than 0.02.

Keyword 1bit-coding, ESAM, broadband Audio.

1. はじめに

従来、音楽情報及び音響機器の感応評価方法として、ブラインドテスト+アンケート回答というのが一般的であった。これまでの手法は非リアルタイムであり、間接的であった。今回の試みは試聴者の脳波測定による直截的な方法を取るため、前記の課題を克服できるので、新たな試聴感応測定技法の確立が期待できる。以下、本実験の概要と結果について述べる。

広帯域音楽信号を1ビット符号化して記録した信号をそのまま1ビットシステムにて試聴する場合と、マルチビット符号変換し、1ビットシステムにて試聴する場合で心の状態の差異検出を試みた。試聴時に脳波を測定し、感応測定法により、心の状態を示す“喜”、“怒”、“哀”、“楽”の感応指標で評価を行った。選んだ被験者は音響機器開発に従事しているマニア層の男性4人である。実験場所は東京工業大学総合理工学研究科G2棟408号室シールドルーム (小杉幸夫教授管理) で行った。試聴した音楽は12曲である。感応指標の測定には(株)脳機能研究所で開発した“ESAM; 感性スペクトル解析法”を用いた。統計処理の結果、音楽情報にもよるが、1ビット符号化信号ではマルチビット符号化信号に比べて、ナチュラルで原音の持つ音楽性を忠実に伝える効能性を保持しているといえる測定結果が出た。これは聴感上、低域が豊かで、立ち上がり伸びるという感覚と同じであり、1ビット符号化信号の周波数特性の特徴を表している。

本論では第2章に試聴実験の環境条件、第3章に試聴感応評価の技法と実験結果について報告する。最後に実験結果については少数で限定的な条件で行っているため、今回の実験を踏まえて、本技法の更なる発展を目指し

た今後の取り組みについて述べる。

2. 試聴実験の環境条件

2-1 試聴実験の環境と使用した音響機器・感応測定器の説明
 本実験の試聴実験状況を図1に示す。場所は東京工業大学総合理工学研究科G2棟408号室シールドルームで行った。

試聴実験に使用した音響機器/感応測定システムは

- ・スピーカ : JBL 製 Ti-10K 2台
- ・1ビットアンプ : SHARP 製 SM-SX200
- ・SACDプレーヤ : SHARP 製プロタイプ DX-AV100
- ・Hard-disk Recorder : 1ビット記録/再生仕様プロタイプ
- ・1ビット to マルチビット変換機 : SHARP 製プロタイプ
- ・感応測定システム : (株) 脳機能研究所製 ESA16
- ・ノートPC

である。使用した音響機器の構成を図2に、1ビット/マルチビット変換周波数特性を図3に示す。音響特性の測定には横河電機製FFTアナライザ“SA2400”を使用した。測定方法はチャープ信号を発生させ、伝達関数を求めるという方法を取った。



図 1 試聴実験状況

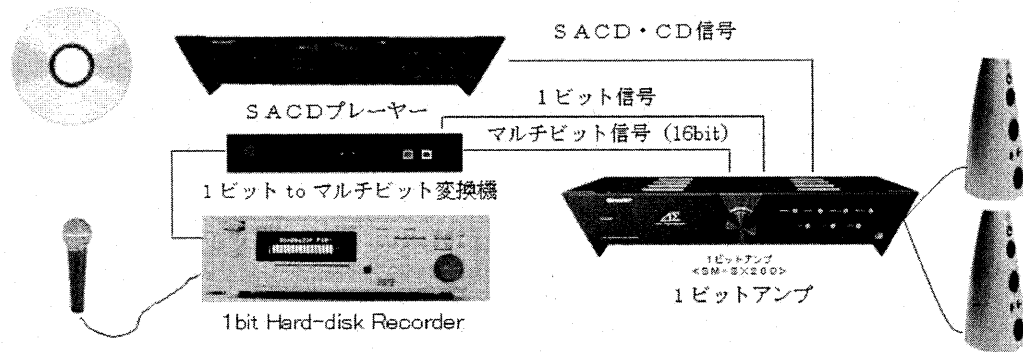


図 2 試聴した音響機器の構成

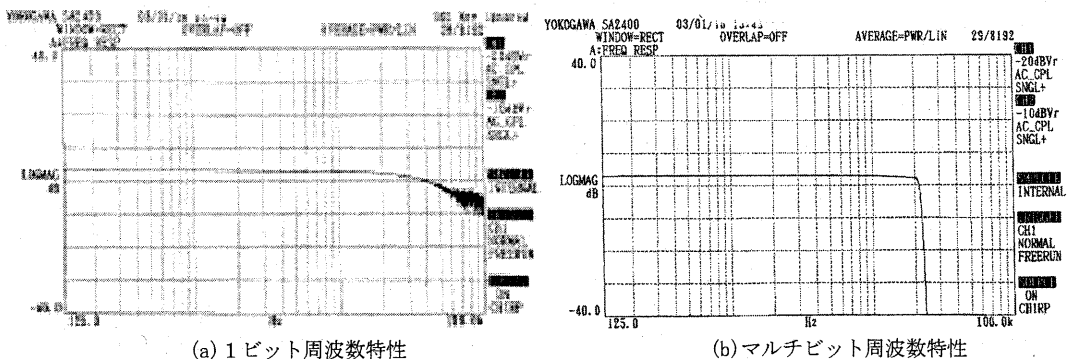


図 3 1ビット/マルチビット周波数特性

2-2 高速標本化1ビット符号化方式とマルチビット符号化方式について

アナログ信号をデジタル信号に変換する方法として、主にマルチビット符号化方式が用いられてきた。それは可聴帯域の2倍以上の周波数で可聴帯域の信号を標本化し、マルチビット量子化して、マルチビットの符号化列

に変換する方式である。この場合、標本化周波数 f_s が帯域 ($f_s/2$ 以下) を決め、量子化ビット数がダイナミックレンジを表すことになる。これに対し、量子化ビット数を下げ、標本化周波数を上げ、更に可聴帯域の量子化ノイズを非可聴帯域に割り当てることにより、可聴帯域で大きなダイナミックレンジ (100 dB 以上) が得られる符号化技術が開発されてきた。基本になる技術は、 $\Delta\Sigma$ 変調技術とそれと組み合わせた量子化ノイズの分布を制御するノイズシェーピング技術である。今回、採用した 1 ビット信号は、サンプリング周波数は 2.8224 MHz ($44.1 \text{ kHz} \times 64$) で、7 次 $\Delta\Sigma$ 変調により、帯域 0 ~ 20 kHz でダイナミックレンジ 120 dB の性能を、加えて可聴帯域を越えて 0 ~ 100 kHz の帯域で 1 ビット符号化による信号記録を実現した。以下、1 ビット符号化概念の説明及び $\Delta\Sigma$ 変調ブロック構成を図 4 に示す。

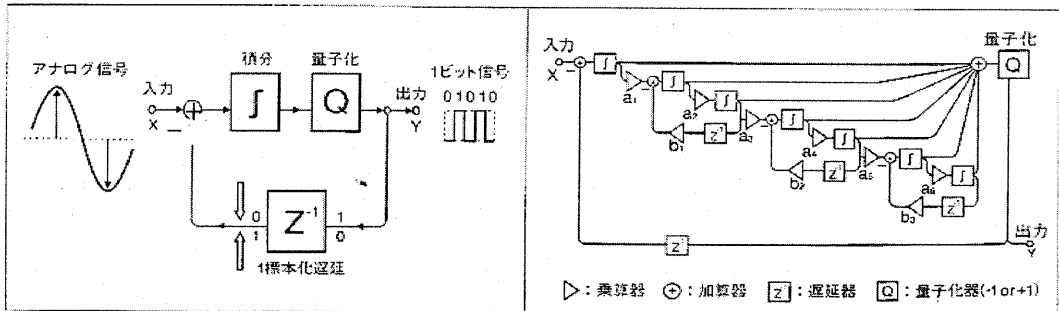
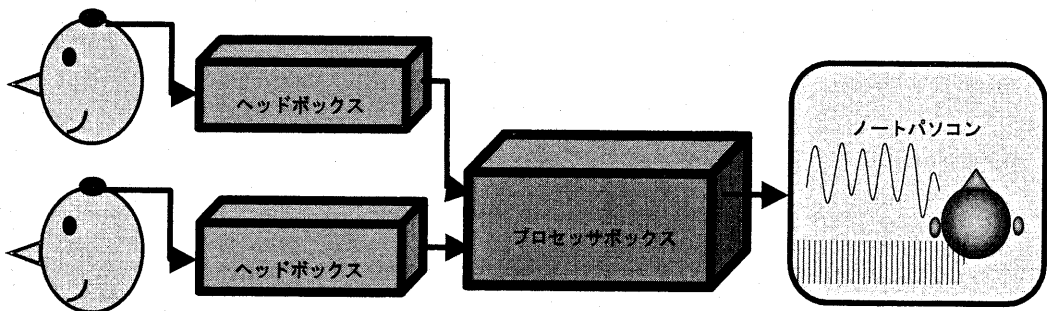


図 4 $\Delta\Sigma$ 変調符号化方式ブロック図と符号化概念/
7 次部分帰還高速 1 ビット量子化器による $\Delta\Sigma$ 変調ブロック

2-3 感応評価システムの説明

感応評価システムには (株) 脳機能研究所製 ESA16 を使用した。その構成は電極パッド/ヘッドボックス/プロセッサボックス/ノート PC からなる。プロセッサボックスには PC の負荷を抑えるため、デジタルフィルタ機能があり、4 個のヘッドボックスまで接続処理可能である。ヘッドボックスにはアンプと A/D 変換機能があり、16 電極パッドまで対応可能である。以下図 5 に解析システムの構成を示す。



被験者最大 4 人 アンプ、A/D 変換機絶縁 デジタルフィルタ 感性スペクトル解析
64 チャンネル

図 5 感性スペクトル解析システム “ESA16” の構成

3. 試聴感応評価の技法と実験結果

3-1 試聴感応評価の原理

心の状態、“感性状態”を客観的に表現する手法の一つに (株) 脳機能研究所が開発した“感性スペクトラム解析法”がある。その原理は頭皮上電位分布を 10 チャンネルで記録した脳波信号を、シータ波 (4 ~ 8 Hz)、アルファ波 (8 ~ 13 Hz)、およびベータ波 (13 ~ 20 Hz) の 3 つの帯域にわけ、それぞれの成分について相互相関係数を 5 秒毎に計算する。そこで合計 135 個の変数が得られ、これらの変数の 1 次変換によって、「ストレス」「喜び」「悲しみ (落ち込み)」「リラックス」の 4 つの独立した基本状態のレベルを表す 4 つの指標を得る。この

4変数は4次元の直交座標系を構成し、一般的な感性状態の変化を5秒毎にこの座標系でのベクトルの変化として定量的に表現する。

本研究では、1ビット再生とマルチビット再生に対するこれら4指標の大小関係を調べた。実験に使用した頭部の電極配置を図6に示す。これは国際標準の電極配置で、この中のFp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4, O1, O2を用いた。基準電極は右耳朶につけた。

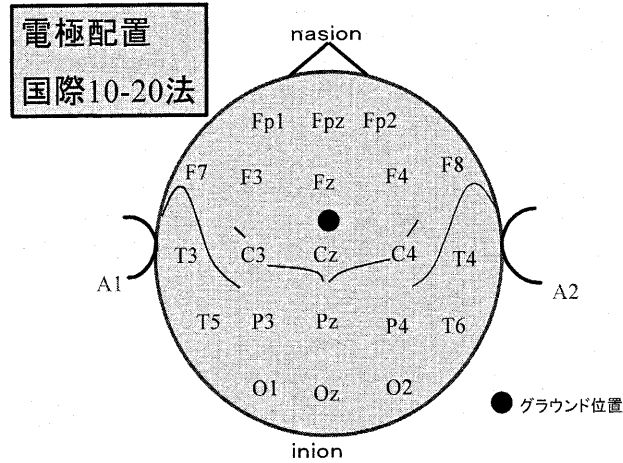


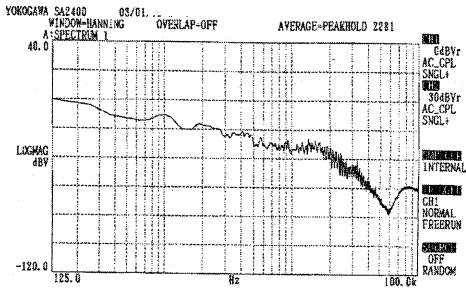
図 6 頭部電極配置

3-2 試聴実験に使用した曲目及び曲のスペクトル

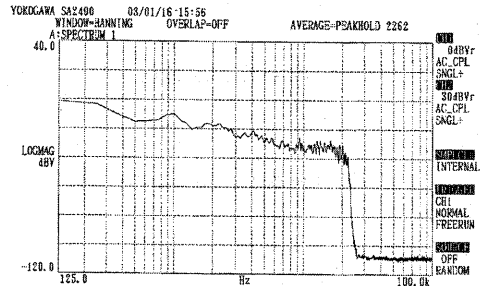
番号	分類	曲 目	1ビット音源	マルチビット音源
1	HD	ギター1	2.8224MHz	1ビット信号→ マルチビット信号 変換
2		The Bump!		
3		朝の光の中で		
4		Blues For The Bottom Line		
5		ナイトシェード		
6		ナイアガラの滝		
7	市販	Piazzolla ; No.1 Street Tango	S A C D	C D
8		"Children Will Listen" from Into the Woods		
9		"He Lives in You" from The Lion King		
10		De Monte; Bona est oratio cum ieiunio		
11		Dvorak; Stabat Mater-Quando corpus morietur		
12		No Woman, No Cry		

表 1 試聴実験に使用した曲目

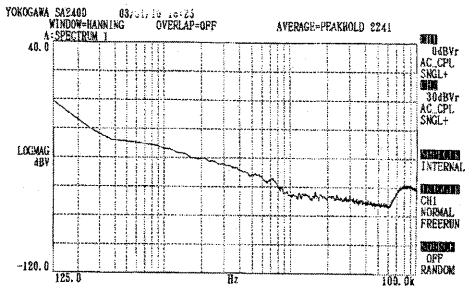
表1に聴験実験に使用した曲目を記載する。その中で“ナイトシェード”、“ナイアガラの滝”、“ギター1”のスペクトル測定結果を図7に示す(各聴験実験した曲の約2分間をピークホールド)。本図で左側が1ビット信号、右側がマルチビット信号の各スペクトルを示す。比較するとマルチビット信号では20kHz以上の周波数成分を失っていることがわかる。



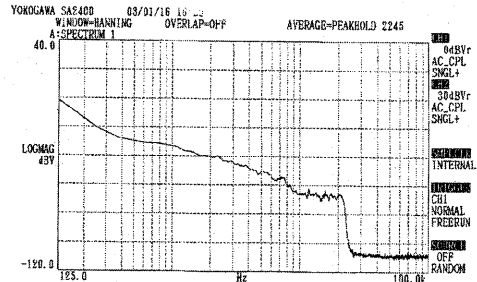
(a) “ナイトシェード”の周波数成分(1ビット)



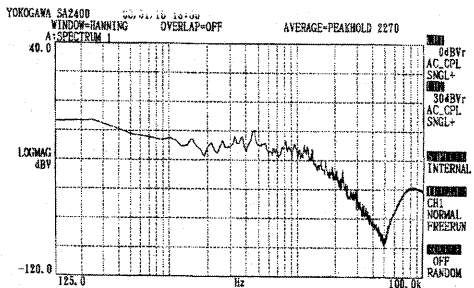
(b) “ナイトシェード”の周波数成分(マルチビット)



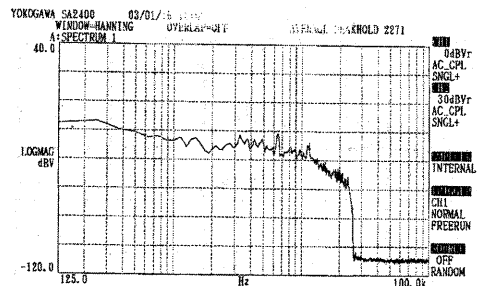
(c) “ナイアガラの滝”の周波数成分(1ビット)



(d) “ナイアガラの滝”の周波数成分(マルチビット)



(e) “ギター1”の周波数成分(1ビット)



(f) “ギター1”の周波数成分(マルチビット)

図 7 聴験した音楽スペクトル

3-3 実験結果

4人の被験者に対して、合計6回の聴験実験を行った。選択した12曲の1ビット符号化及びマルチビット符号化した音楽を交互に聴験し、脳波測定を行った。その結果を図8に示す。横軸は時間軸で単位は分である。縦線はイベントマークで、測定の始まりと終わりを示す。感性状態は絶えず変動しているため、期間平均値を取る。上から“ストレス(緊張度)”、“喜び”、“落ち込み(悲しみ)”、“リラックス”、“覚醒度”、“集中度”の値を示す。覚醒度については評価対象から外している。ここには集中度を定量化したデータも付加されている。これは前頭部の電極Fp1, Fp2, F3, F4で記録した脳波のベータ波について主成分分析を行い、その第1主成分の相対寄与度であるが、本研究では主要な役割を果たしていなかったため、詳しい説明は省略する。

緊張度/喜び/落ち込み/リラックス/集中度に関して、1ビット信号とマルチビット信号でどちらが強くなるかを判定し、集計したのが表2である。この数値は、各曲について、1ビット信号およびマルチビット信号でそれぞれの感性状態の指標がより大になった回数を示している。たとえば、集計すると、同じ曲に関して1ビット信号を聴いたときにマルチビット信号の場合よりもストレスがより高かった回数が16回で、マルチビット信号を聴いたときにストレスがより高かったのが3回あったという意味である。

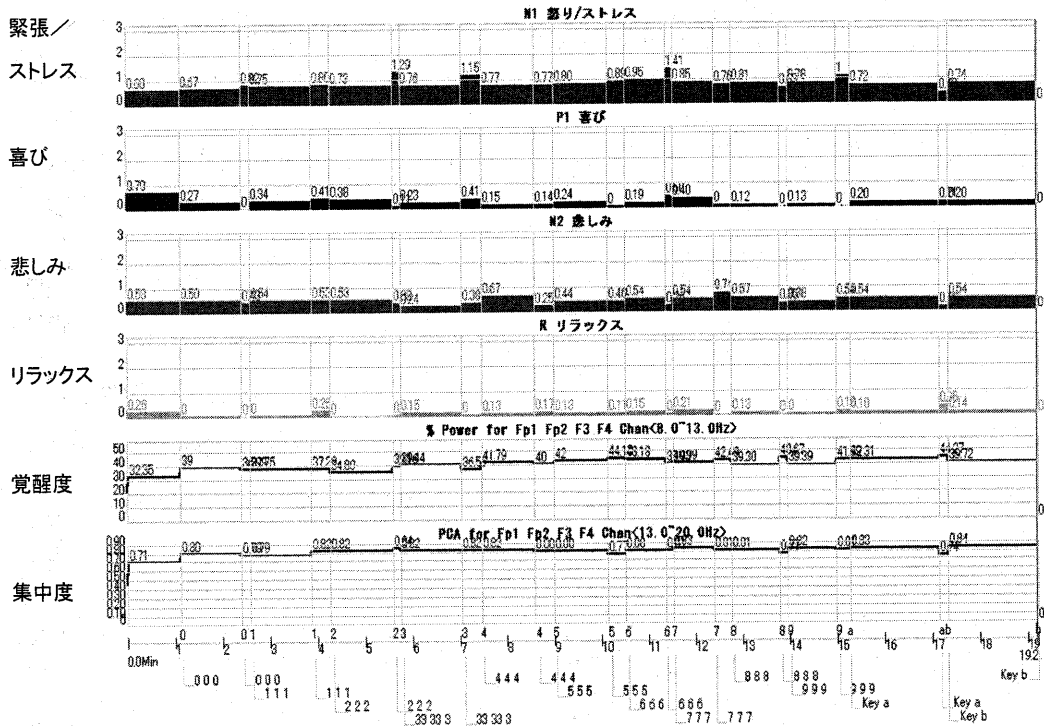


図 8 感性スペクトルの解析結果

緊張度 喜び 落ち込み リラックス 集中度

被験者	緊張度		喜び		落ち込み		リラックス		集中度	
	1ビット 信号	マルチビット 信号	1ビット 信号	マルチビット 信号	1ビット 信号	マルチビット 信号	1ビット 信号	マルチビット 信号	1ビット 信号	マルチビット 信号
20代A	3	9	8	4	7	5	6	6	2	8
20代B	4	7	10	2	6	4	4	3	3	1
20代A	3	3	3	3	3	3	4	2	4	1
20代B	1	3	1	4	3	1	1	3	2	3
40代C	3	4	1	3	5	3	4	4	3	4
50代D	2	6	4	4	1	6	2	6	4	2
合計	16	32	27	20	25	22	21	24	18	16
		66%	57%		53%			53%		51%

表 2 集計結果

その結果、有意水準0.02以下で1ビット符号化信号がマルチビット符号化信号に比べてストレス・レベルが低い傾向があるといえるし、また有意水準0.16で、1ビット符号化信号はマルチビット符号化信号に比べて喜びのレベルが大きかった。つまり、マルチビットの場合は1ビットに比べて不自然な感じを与えると結論される。実際の音楽では音響振動数は可聴域をはるかに超えているので、その成分がないということは、やはり不自然であると脳は感じているということであろう。

(有意水準：統計的仮説検定を行う場合に、帰無仮説を棄却するかどうかを判定する基準)

4. おわり

広帯域音楽信号を1ビット符号化信号(標本化周波数2.8224MHz)とマルチビット符号化信号(標本化周波数44.1kHz、16ビット量子化)で試聴したとき、被験者の心に感応差が生ずるのか!少人数ではあるが有意差が観測された。感応測定の方法には(株)脳機能研究所が開発した“感性スペクトル解析法”を用いた。データ数が未だ充分ではないが、1ビット符号化信号ではリスナーのストレスを引き起こさず、ナチュラルで、音楽自体が持つ喜びを忠実に伝える効能を保持していることを示す測定結果が出た。それは音楽マニアの人たちからの“低域が豊かで、立ち上がりやすい”という評価と同等であり、1ビット符号化信号の持つ周波数特性の技術的傾向を客観的に数値化して示している。今回は本技法にて試聴感応の検出の可否が重要なポイントであったが、

今後は

- ① 1ビットアンプとアナログアンプの差
- ② 原音(例:楽器の音)と1ビット符号の差
- ③ 男女/年齢等による差
- ④ 環境による差

の感応的分析を多数の人数で試聴実験を行い、本手法を音楽感応評価技法として確立していくことを目指したい。

本研究の推進にあたって、シャープ(株)AVシステム事業本部オーディオ事業部の方々に支援を頂いたことに深く感謝する。

5. 参考資料

- (1) 山崎芳男 「広帯域音響信号の高速標本化1ビット処理」 信学技報E A93-102(1994.3)
- (2) 大林國彦・早瀬徹 「ADA/Advanced Digital Audio デバイスの実現のために 高次 $\Delta\Sigma$ 変調による1ビット信号処理7次 $\Delta\Sigma$ 変調モデル/量子化ノイズ分布の制御/A/D変換回路の設計/1ビット信号のメリットを検討する」 ラジオ技術 OCT. 1996
- (3) JASジャーナル Vol.39 No.11 1ビットアンプ/ $\Delta\Sigma$ 変調技術の増幅回路への応用(1999.10)
- (4) シャープ技報 No9-通巻77号-特集:ユーザーインターフェース 1ビットオーディオ(2000.8)
- (5) 「リラックスした心の状態は測れるか (Estimation of the State of Mind)」日本機械学会誌 1998.6 Vol.101 No.955 武者利光
- (6) 脳研究と新産業の創出学際研究 (Journal of Multidisciplinary Research) Vol. 11 No.1 脳工学の新時代II Toshimitsu Musha
- (7) 武者利光 「「こころ」を測る」日経サイエンス 4月号 20-29(1996)