TR－A－0082

聴覚実験用ヘッドホンの歪率の測定

平原達也　鈴木真一　上田和夫

1990. 4. 19.

ATR視聴覚機構研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町乾谷　☎07749-5-1411

ATR Auditory and Visual Perception Research Laboratories

Inuidani, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-02 Japan

Telephone: +81-7749-5-1411
Facsimile: +81-7749-5-1408
Telex: 5452-516 ATR J

© 1990 ㈱ATR視聴覚機構研究所

目　　次

0. はじめに　1

1. 測定したヘッドフォン　2

2. 直線性の測定　3
2.1 測定方法　3
2.2 測定結果　3
2.3 考　察　4

3. 全高調波歪率（THD）の測定　5
3.1 測定方法　5
3.2 測定結果　6
3.3 考　察　6

4. 混変調歪率（IMD）の測定　8
4.1 測定方法　8
4.2 測定結果　9
4.2.1 測定系のIMD特性　9
4.2.2 ダイナミックヘッドフォン用ヘッドフォンアンプのIMD特性　9
4.2.3 ダイナミックヘッドフォン系のIMD特性　11
4.2.4 静電型ヘッドフォン系のIMD特性　12
4.3 考　察　13

5. まとめ　15

図　表　16

付　録　53

0. はじめに

音刺激を用いる各種の聴覚実験を行なう場合には、電気ー音響変換トランスデューサであるヘッドフォンを用いることが多いが、このヘッドフォンの諸特性は実験者の意図するとおりの音刺激を被験者に呈示できるか否かを左右する。従って、このヘッドフォンの諸特性を予め把握しておくことは、聴覚実験の再現性、信頼性を向上させるために重要である。

本レポートでは、いくつかの市販のヘッドフォンの歪特性ー入出力特性・全高調波歪率・混変調歪率ーを物理的に測定した結果について述べる。

結論としては、ヘッドフォンによって各歪特性は多少異なるが、発生する歪の量は少ないことがわかった。その中でも、最も歪が少ないヘッドフォンはSTAXのSR-Lambda Pro.であった。

1．測定したヘッドフォン

測定の対象としたヘッドフォンは表1に示すものである。ダイナミック型6種類、静電型4種類である。

ヘッドフォン名	製造元	シリアル番号	形式
DT48	Bayer	# 101.087	ﾀﾞｲﾅﾐｯｸ、密閉、耳覆い型
DR631	Elega Acous	# 856	ﾀﾞｲﾅﾐｯｸ、密閉、耳覆い型
DR831	Elega Acous	# 252	ﾀﾞｲﾅﾐｯｸ、密閉、耳当て型
DR988C	Elega Acous	???	ﾀﾞｲﾅﾐｯｸ、密閉、耳覆い型
AD02	Rion	#71251(R) & #71252(L)	ﾀﾞｲﾅﾐｯｸ、密閉、耳当て型
HD250 Linear	Sennheiser	# 10493047	ﾀﾞｲﾅﾐｯｸ、密閉、耳覆い型
SR5	STAX	# 18656	静電型、開放、耳覆い型
SR-Lambda	STAX	# A-16894	静電型、開放、耳覆い型
SR-Alpha Pro.	STAX	# α-00815	静電型、開放、耳覆い型
SR-Lambda Pro.	STAX	# A-23157	静電型、開放、耳覆い型

表1　測定したヘッドフォンの一覧

2．直線性の測定

2.0 目　的

本章では、ヘッドフォン系（ヘッドフォンアンプ＋ヘッドフォン）の直線性を調べることを目的として、系の信号入力電圧と系の音響出力レベルの関係を測定した結果について述べる。

2.1 測定方法

測定系を図2.0 に示す。オーディオアナライザ（ナショナル社製 VP-7722A) 内臓の発振器からの純音信号（500Hz，1kHz，5kHz）をヘッドフォンアンプの入力に印加し、それに対するヘッドフォンの出力音圧レベルをＩＥＣカップラ（B&K 4153）に装着したマイクロフォン（B&K 4134）、プリアンプ（B&K 2639）、メジャリングアンプ（B&K 2636）を通じて測定した。音圧に対応するメジャリングアンプ出力電圧はオーディオアナライザに取り込まれ、プロッターに出力される。また、メジャリングアンプには外付けの帯域通過フィルタ（NF FV-665 ）を接続し、各純音信号に対するＳ／Ｎの向上を図った。

測定の手順は以下の通りである。まず、ヘッドフォンアンプの利得を最大とし、各ヘッドフォン、各周波数ごとに、出力音圧レベルが 90dBSPLとなるようにオーディオアナライザのアッテネータレベルを調整する。そして、10dBづつアッテネータの減衰量を増加させてヘッドフォンアンプへの入力電圧を減少させていったときの出力音圧を測定した。なお、この測定はオーディオアナライザのアベレージング測定モードで行ない、アベレージングの回数は 256回とした。

2.2 測定結果

測定結果を図2.1～図2.10 に示す。各図とも、縦軸は相対音圧レベル(10dBSPL/div）で、右端の最大レベル位置が100dBSPLに対応する。各周波数毎の直線性を見やすくするために、プロット開始位置はわざとずらしてある。横軸は、ヘッド

フォンアンプへの入力電圧の相対値で、0dB が出力音圧90dbSPL を与える基準電圧に対応する。ヘッドフォンが周波数特性を持つために、この基準電圧の絶対値はヘッドフォンによって異なるし、周波数によっても異なる。

いずれのヘッドフォンでも、減衰量が+10～-50dB（出力音圧が40dbSPL～100dBSPL に対応する）の範囲における直線性は問題がないといえるが、減衰量が-60～-80dB（出力音圧が40dBSPL～10dBSPL） の範囲では入出力特性の傾斜がわずかに異なる場合がある。また、減衰量が-80dB（出力音圧10dBSPL）の場合、S／Nが十分に取れなかったために、アベレージングを行なっても測定ができなかった場合が多かった。

2.3 考 察

純音に対する入力電圧対出力音圧レベルを非常に大ざっぱに見る限り、いずれのヘッドフォンも40dBSPL～100dBSPL という通常の使用範囲では直線性に大きな問題は認められなかった。しかし、40dBSPL 以下の低い音圧レベルでは多少の非直線性が認められた。ただし、このような低い音圧レベルでは、無響室の環境雑音や測定系の雑音の問題なども考慮しなくてはならないので、今回のような簡易な測定法では断定的なことは言えない。

3.　全高調波歪率（ＴＨＤ）の測定

3.0　目　的

本章では、ヘッドフォン系の全高調波歪率特性を調べることを目的として、系に500Hz と1kHzの純音信号を与えた場合のＴＨＤ(Total Harmonic Distortion)をいくつかの出力音圧レベルで測定した結果について述べる。

3.1　測定方法

測定系を図3.0 に示す。オーディオアナライザ（ナショナル社製　VP-7722A）内臓の発振器からの純音信号（500Hz，1kHz）をヘッドフォンアンプの入力に印加し、それに対するヘッドフォンの出力音をＩＥＣカップラ（B&K 4153）に装着したマイクロフォン（B&K 4134）、プリアンプ（B&K 2639）、メジャリングアンプ（B&K 2636）を通じて電圧に変換する。出力音に対応するメジャリングアンプ出力電圧はオーディオアナライザに取り込まれ、(1) 式で定義される歪率を算出する。

$$THD = 20\log \frac{\sqrt{E2^2 + E3^2 + \cdots + E10^2}}{Ein} \ [dB] \qquad (1)$$

ここで Ein ：入力信号レベルの実効値、E2～E10 ：第二～第十高調波の実効値

測定の手順は以下の通りである。まず、ヘッドフォンアンプの利得を最大とし、各ヘッドフォン、各周波数ごとに、出力音圧レベルが 100dBSPL となるようにオーディオアナライザのアッテネータレベルを調整する。そして、10dBづつアッテネータの減衰量を増加させてヘッドフォンアンプへの入力電圧を減少させて、出力音圧を100,90,80,70dBSPL とした場合のＴＨＤを測定した。また、測定系の歪率を確認するために、オーディオアナライザの発振器出力を直接メジャリングアンプに入力し、同様の測定も行なった。すべての測定において、メジャリングアンプの入出力利得は、入力ゲイン=+40dB、出力ゲイン=0dBとした。

3.2 測定結果

測定結果を図3.1〜図3.13に示す。各図とも、縦軸はTHD(%)で、横軸はヘッドフォンの出力音圧の絶対値(dbSPL)である。ただし、各ヘッドフォンの周波数特性が異なるために、出力音圧の絶対値が同じであってもヘッドフォンアンプへの入力電圧はヘッドフォンによって異なるし、周波数によっても異なる。

図3.1と図3.2は、測定したすべてのヘッドフォンのTHDを左右のドライバ別に各周波数毎にプロットしたものである。個々のヘッドフォンの測定値については図3.3〜図3.13に再度描きなおしてある。また、各図において測定系のTHDも同時に描いてある。

図3.1に示されるように、500Hzに対する各ヘッドフォンシステムのTHDは、一部の例外を除いて、出力音圧が70〜100dBSPLの間では0.1%以下（すなわち、基本波の電圧に対して-60dB以下）であった。出力音圧70dBSPLにおけるTHDは、ヘッドフォンにかかわらず0.03〜0.06%であったが、90ないし100dBSPLにおけるTHDはヘッドフォンによる差異が認められた。90ないし100dBSPLで歪率が低いものはSR-Lambda Pro.、SR-Alpha Pro.、DR631の3つで、逆に歪率が最も高いものはDR988であった。また、AD02とDR988においては左右差が他のものよりも大きかった。

同様に図3.2に示されるように、1kHzに対するTHDも、出力音圧70〜100dBSPLの間では0.1%以下であった。出力音圧70dBSPLにおけるTHDは、ヘッドフォンにかかわらず0.015〜0.04%であったが、90ないし100dBSPLにおけるTHDはヘッドフォンによる差異が認められた。90ないし100dBSPLで歪率が低いものは500Hzの場合と同様に、SR-Lambda Pro.、SR-Alpha Pro.、DR631の3つで、逆に歪率が高いものはDR831とDT48であった。AD02の左右差は1kHzの信号に対しても大きかった。

3.3 考察

今回のTHDの測定は、500Hzと1kHzの2周波数で、出力音圧レベルも70〜100dBSPLの間だけであるが、70、80dBSPLといった通常の使用音圧においてはヘッドフォンの差は少なく、かつ、歪量の絶対値は基本波電圧に対して-60dB以上であることがわかった。しかし、90dBSPL以上の出力音圧においては、ヘッドフォンの

差異が現れ、SR-Lambda Pro.,SR-Alpha Pro.,DR631がTHDの少ないヘッドフォンであることがわかった。また、今回測定したAD02,DR988は左右のドライバーの歪特性の差異が大きかったが、これが特殊な例であるのか否かの判断は、別の測定の機会を待たねばならない。

4. 混変調歪率（ＩＭＤ）の測定

4.0 目　的

本章では、ヘッドフォン系の混変調歪特性を調べることを目的として、系に２信号音(1kHz+1.23kHz)を与えた場合のＩＭＤ(Intermodulation Distortion) をいくつかの出力音圧レベルで測定した結果について述べる。

4.1 測定方法

測定系を図4.0 に示す。計算機で合成した２信号音をサンプリング周波数20kHz 量子化精度16bitでD/Aしたものを、DAT(Sony DTC-1000)に録音したものを以後の測定における信号源とした。DAT の出力信号をヘッドフォンアンプへ入力し、それに対するヘッドフォンの出力音をＩＥＣカップラ（B&K 4153）に装着したマイクロフォン（B&K 4134）、プリアンプ（B&K 2639）、メジャリングアンプ（B&K 2636）を通じて電圧に変換する。出力音に対応するメジャリングアンプ出力電圧は増幅器(Sony MX1000ES)、LPF(NF FV665, 20kHz 98dB/Oct.)を通じてA/D変換(Fs=20kHz, 16bit）され、計算機に取り込まれる。取り込まれた２信号音波形に対して、100msec.のハニング窓を5msec.毎に位置をずらしてかけ、まず、各フレーム毎のパワースペクトルを4096点のFFT を用いて算出する。そして、それらを加算平均して、S/Nを向上させたパワースペクトルを得る。

測定の手順は以下の通りである。メジャリングアンプの入出力利得を入力＝+40dB、出力＝0dBとして、IEC カップラに装着したヘッドフォンからの２信号音の再生出力音圧が80ないし90dBSPL となるようにヘッドフォンアンプの利得を調整する。なお、測定系のIMD を測定する際には、ヘッドフォンアンプの出力をアッテネータ(Z=50Ω)を介してメジャリングアンプのダイレクト入力端子に入れ、音圧の表示が80ないし90dBSPL となるようにアッテネータの値を設定した。これは、メジャリングアンプの特性を一点に固定するためである。また、A/D 変換に際しては、90dbSPL 時のメジャリングアンプ出力がフルビットになるように増幅器の利得を設定した。

4.2 結　果

4.2.1 測定系のIMD特性

図4.2は、計算機上で合成した2信号音(1k+1.23kHz, 16bit Integer)のパワースペクトルである。縦軸は相対パワーレベル〔dB〕、横軸は周波数である。右横に示してある数値は、上からそれぞれF1, F2, F2-F1, 2F1, F1+F2, 2F2の成分のレベルである。同図より、2信号の高調波成分及びN次の混変調成分は全て基本波成分に対して-90dB 以下の低いレベルであることがわかる。

図4.3は、DAT に録音した2信号音を再びA/D 変換した信号のパワースペクトルである。この図は、D/A 変換器、LPF、DAT、増幅器、LPF、そしてA/D変換器といった6種類の能動系を経た2信号音のスペクトルを示しており、高調波成分と混変調成分は基本波に対して約-70dB 程度のレベルにまで増加している。

図4.4と図4.5は、DAT に録音した2信号音を、アッテネータを介してメジャリングアンプのダイレクト入力端子意に接続し、メジャリングアンプのメータの指示が80dBSPLおよび90dBSPLとなるようにアッテネータの減衰量を設定した場合の、メジャリングアンプ出力をA/D 変換した信号のパワースペクトルである。図4.3との差異はアッテネータとメジャリングアンプが挿入されていること、および、増幅器の利得が異なること（図4.3の方が利得大）の2点である。

図4.4の80dBSPL条件では、基本波成分よりも高域における歪成分は-80dB 程度で図4.3 よりも少ないが、500Hz以下の歪成分についてはレベルは低いもののF2-F1以外の成分が現われている。また、帯域全体のノイズフロアは図4.3 よりも約10dB高い。図4.5の90dBSPLでは、高域における歪成分のレベルは図4.3 と同等の-70dB 程度であるが、低域の歪成分は80dB条件と同様に低レベルの成分が多数現れている。また、ノイズフロアは80dB条件と同等である。

4.2.2 ダイナミック型ヘッドフォン用ヘッドフォンアンプのIMD特性

図4.6 に示すブロック図で、ダイナミック型ヘッドフォン用のヘッドフォンアンプのIMD 特性を測定した。測定したヘッドフォンアンプはATR で試作したヘッ

ドフォン駆動専用アンプ[2]、SONYのプリアンプTA-E901、Accuphase のプリメインアンプE-305 の3種類である。TA-E901とE-305については、モニター用のヘッドフォン端子出力を用いた。

測定の手順は以下の通りである。まず、DAT から2信号音を被測定アンプに入力し、各ヘッドフォンを接続した場合の音響出力が90dBSPL となるように各アンプの利得を設定する。なお、音響出力90dBSPL を得るのに要するヘッドフォンへの入力電圧とヘッドフォンアンプの利得は表XXに示すとおりである。

負荷条件は以下の2種類とした。

①抵抗負荷条件：ヘッドフォンアンプの出力端子に15Ωのセメント抵抗をパラレルにした7.5 Ωのダミーロードを接続し、このダミーロードの両端に生じる電圧波形をアッテネータを介してメジャリングアンプのダイレクト端子に入力した。アッテネータの減衰量は、メジャリングアンプのメータの指示が90dBSPL となるように設定した。

②実負荷条件：ヘッドフォンアンプの出力端子に各ヘッドフォンを接続し、ヘッドフォン端子の両端に生じる電圧波形をアッテネータを介してメジャリングアンプのダイレクト端子に入力した。アッテネータの減衰量は、メジャリングアンプのメータの指示が90dBSPL となるように設定した。

メジャリングアンプの出力はA/D 変換して計算機に取り込み、パワースペクトルを算出した。また、このときのヘッドフォンアンプの入力端子における電圧波形も同様にして処理した。

図4.7～4.9に抵抗負荷条件での測定結果を示す。図4.7はATR 特製のヘッドフォンアンプの2信号音特性、図4.8 はTA-E901の2信号音特性、図4.9はE-305の2信号音特性である。各図とも、ヘッドフォンアンプの出力電圧が低いほうから順に並べてある。

抵抗負荷を接続した場合、ATR 特製のヘッドフォンアンプとTA-E901 では、出力電圧が90mVRMS を越えると様々な歪成分のレベルが大きくなり、435mVRMS出力では、2F1±F2，2F2±F1成分が基本波成分に対して約-60dB 程度の大きさになる。これに対して、E-305では出力電圧が60～80mVRMSの場合に各歪成分のレベルが大

きくなり、80mVRMS出力では、2F1±F2, 2F2±F1 成分が基本波成分に対して約-50dB 程度の大きさになる。

図4.10にATR 特製のヘッドフォンアンプの入力端子でピックアップした2信号音のパワースペクトルを示す。同図に示されるように、当然のことながら、ヘッドフォンアンプの利得を変化させても入力端子における歪特性は変化しない。従って、図4.7～4.9に示された抵抗負荷条件での2信号特性の劣化は、ヘッドフォンアンプ自身の特性を反映していることがわかる。ATR 特製のヘッドフォンアンプやTA-E901とE-305の特性の差異は各アンプの最適動作範囲の差異と考えられる。E-305 がプリメインアンプで、その出力段から抵抗結合でヘッドフォン出力を取っているために、低出力レベルにおいて2信号特性が悪化していると考えられる。

一方、図4.11～4.12に実負荷条件での測定結果を示す。図4.11はATR 特製のヘッドフォンアンプの2信号音特性、図4.12はTA-E901の2信号音特性、図4.13はE-305 の2信号音特性である。各図とも、ヘッドフォンアンプの出力電圧が低いほうから順に並べてある。

実際のヘッドフォンを接続した場合、いずれのヘッドフォンアンプでも各歪成分のレベルは基本波成分に対して-70dB 以下であった。また、抵抗負荷条件で認められたようなヘッドフォンアンプの出力電圧に依存した歪特性の変化は認められなかった。各ヘッドフォンの入力インピーダンスを測定していないので断言はできないが、ヘッドフォンアンプ出力に対する負荷が抵抗負荷よりも軽くなったためアンプの動作が楽になったためではないかと推察する。

4.2.3 ダイナミック型ヘッドフォン系のIMD特性

図4.6に示すブロック図で、ダイナミック型ヘッドフォン系（ヘッドフォンアンプ＋ヘッドフォン）のIMD特性を測定した。ヘッドフォンアンプはATRで試作したダイナミック型ヘッドフォン駆動専用アンプ（ATR ﾃｸﾆｶﾙﾚﾎﾟｰﾄ TR-A-0034)、SONYのプリアンプ TA-E901、Accuphaseのプリメインアンプ E-305 の3種類である。TA-E901とE-305については、モニター用のヘッドフォン端子出力を用いた。

測定音圧は80dBSPLと90dBSPLとし、80dBSPL条件はATR特製のヘッドフォンアンプを用いた場合だけ、90dBSPL 条件は3種類のヘッドフォンアンプ全てについて

測定した。

図4.14はATR 特製のヘッドフォンアンプで駆動した場合の2信号音特性（80dB SPL条件）、図4.15は、同じ場合の90dBSPL条件、図4.16 はTA-E901で駆動した場合の2信号音特性（90dBSPL条件）、図4.17はE-305で駆動した場合の2信号音特性（90dBSPL 条件）である。各図とも、ヘッドフォンアンプの出力電圧が低いほうから順に並べてある。

いずれのスペクトルにも250Hz以下の低域成分のレベルが上昇し、120Hzでピークを形成している。これは、ヘッドフォンを載せたIEC カップラを設置した無響室の振動雑音成分であり、メジャリングアンプに80HzのHPF を挿入しているために120Hz 付近にピークが形成されたと推察される。すなわち、この成分はヘッドフォンが発生した歪成分ではない。AD02でこの成分のレベルが特に高いが、これはAD02の耳当てが他のものと異なりカップラのアダプタープレートと密着する構造になっているために室内振動を拾い易いからである。従って、以下において、この120Hz成分については検討対象から除外する。

ATR特製ヘッドフォンアンプを用いた80dBSPL条件では、図4.14に示されるように、DR988，AD02，HD250の歪成分は少ないが、最も2次歪（F1+F2） が大きくでたDT48でもその値は基本波に対して-68dB もある。これに対して、図4.15に示される90dBSPL 条件では、各ヘッドフォンの生成する歪量は大きくなり、ノイズフローア以上のレベルになっている。しかし、その歪のレベルは最悪の場合でも基本波成分に対して-64dB程度である。80dBSPL条件の場合と同様にAD02，HD250 の歪成分は他のものと比較して少ないが、DR988ではF2-F1成分が大きくなっている。

ヘッドフォンアンプの違いによる歪の差は僅かではあるが認められた。図4.15、図4.16、図4.17を比較すると、DR988やDR631ではSONYのTA-E901 を用いた場合に歪成分が最も少なかった。

4.2.4 静電型ヘッドフォン系のIMD特性

ダイナミック型のヘッドフォンと同じ測定系で、静電型ヘッドフォン系のIMD特性を測定した。ただし、ヘッドフォンアンプはSTAXのSRM1/MkII Pro.を用いた。また、ヘッドフォンアンプ単体のIMD 特性は測定しなかった。

図4.18に80dBSPL条件の結果を、図4.19に90dBSPL条件の結果を示す。80dBSPL条件では各ヘッドフォンの歪成分はほとんど認められないが、90dBSPL 条件ではいくつかの歪成分が認められる。しかし、この90dBSPL 条件における歪特性が最も悪いSR-5の3次歪(2F1-F2,2F2-F1)成分は基本波に対して-65dB、2番目に悪いSR-Lambda の2次歪(2F1,F1+F2,2F2)成分は基本波に対して-75dBしかない。そして、最も歪の少ないSR-Lambda Pro. においては最大の歪(F1+F2)成分は基本波に対して-82dBしかない。

4.3 考　察

ヘッドフォンのIMD 等の測定に際しては、測定系に様々な非線形回路が含まれるために、得られたデータの評価が難しい。今回は、信号源の特性（図4.2 ）、D/A-DAT-A/D変換系の特性（図4.3）、メジャリングアンプの特性（図4.4,4.5）、ヘッドフォンアンプの特性（図4.7～4.13）、ヘッドフォンの特性（図4.14～）と各段階別に測定を行ない、各系の歪生成の寄与を明らかにしようともくろんだ。基準となる2信号音のスペクトルは図4.4と4.5である。例えば、2次混変調歪であるF1+F2 成分に注目すると、図4.5の90dBSPL条件ではそのレベルは基本波に対して約-76dBである。

ATR 特製ヘッドフォンアンプ出力端での歪レベルをDR988 についてみると、抵抗負荷（図4.7）、実負荷（図4.10）いずれの条件でも約-76dBで、この成分に関してはヘッドフォンアンプが発生した歪はないといえる。しかし、抵抗負荷条件では600Hz以下や 3～4kHzの帯域に、実負荷条件では600Hz以下の帯域における高次の混変調歪成分と高低調波成分が明瞭に認められ、これらはヘッドフォンアンプで発生した歪成分であるといえる。

ヘッドフォンからの音響出力をIEC カップラに装着したマイクロフォンで受け、プリアンプで増幅された電圧をメジャリングアンプを通じてA/D した波形のスペクトル（図4.14 DR988）では、F1+F2 成分はノイズフロアに埋もれており、基本波に対して-92dB 以下である。一方、3次や5次の混変調歪成分はヘッドフォンアンプ出力（図4.7、図4.10） よりも明瞭に現われている。しかし、図4.14のスペクトルは、マイクロフォンとプリアンプの歪特性に加えてヘッドフォンの周波

数特性も含まれているために、単純に歪成分の大きさを比較できない。ちなみに、IEC カプラで測定したDR988 の周波数特性を見ると1kHzに対して2kHzでは-12dB、2.5kHzでは-15dBも周波数特性が落ち込んでいる。

このように多くの要因が関係しているために、ヘッドフォン自身で発生する歪量を定量的に比較することは難しい。

幸いなことに、測定系や、ヘッドフォンアンプ、ヘッドフォンの周波数特性等を全て含めた場合の2信号音スペクトルを見る限り、いずれのヘッドフォンアンプ、いずれのヘッドフォンを用いても、90dBSPL の音圧を出した場合に発生する混変調歪の量は、最悪の場合でも基本波に対して-60dB 以下（ATR Amp.+DT48）であり、最良の場合では-80dB以下（SRM1/MkII Pro.+SR-Lambda Pro.）である。従って、聴覚系における結合音の発生量などを心理物理的に測定する場合を除いては、どのヘッドフォン系を用いても影響は少ないと考えられる。

5. まとめ

本レポートでは、いくつかのヘッドフォンの歪特性を、入出力特性、高調波歪率、混変調歪率の3つの観点から調べた。その結果、以下のことがわかった。

① 低レベルの入出力特性を測定するためにはカップラの置かれた部屋の環境雑音（特に低周波の振動）と測定系の雑音を減らす必要があり、現状では10dBSPLないし20dBSPL程度までの測定しかできない。

② 70～80dbSPLの出力音圧レベルでは高調波歪率は-60dB以下で、ヘッドフォンによる差異は少ない。しかし、90～100dBSPLの出力音圧レベルでは、ヘッドフォンの差異が現われ、SR-Lambda Pro., SR-Alpha Pro., DR631が低歪であった。

③ ダイナミック型のヘッドフォンでは、左右のドライバーの歪率に大きな差があるものもあった。

④ ヘッドフォンアンプの違いによる実負荷（ヘッドフォンを接続した場合）での混変調歪特性には大きな差異はない。しかし、各ヘッドフォンアンプにおいて、その動作電圧の違いによる抵抗負荷での混変調歪特性は大きく変化する。従って、ヘッドフォンアンプの評価は実負荷条件で行なう方がよい。

⑤ ヘッドフォン系（ヘッドフォンアンプ＋ヘッドフォン）の混変調歪特性は各系によって異なる。出力音圧レベル90dBSPLでは、最悪の系で基本波に対して-60dB以下（ATR Amp.+DT48）であり、最良の系では-80dB以下（SRM1/MkII Pro.+SR-Lambda Pro.）であった。

⑥ ヘッドフォンの混変調歪率を定量的に評価するためには測定系全体の特性やヘッドフォンの周波数特性も考慮する必要があり、一筋縄では行かない。

以上をまとめると、今回用いた測定条件では、測定した各ヘッドフォンの歪特性は80dBSPL程度の通常の使用音圧レベルではほとんど差異がなく、発生する歪量も-60dB以下であり、使用に耐え得ることがわかった。そのなかでも、STAXのSRM1/MKII Pro.とSR-Lambda Pro.の組合せは、最も良い歪特性を持つこともわかった。

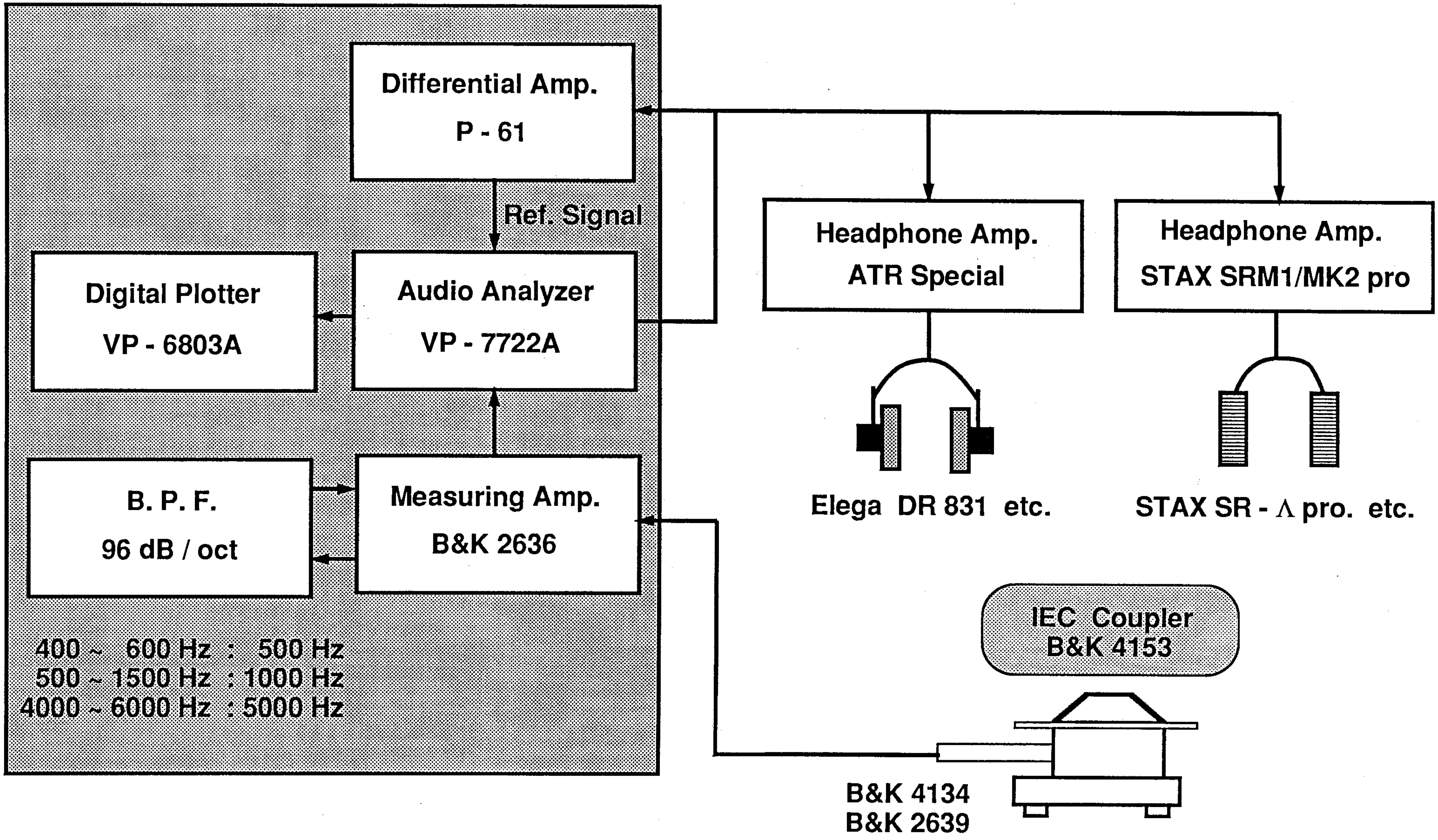
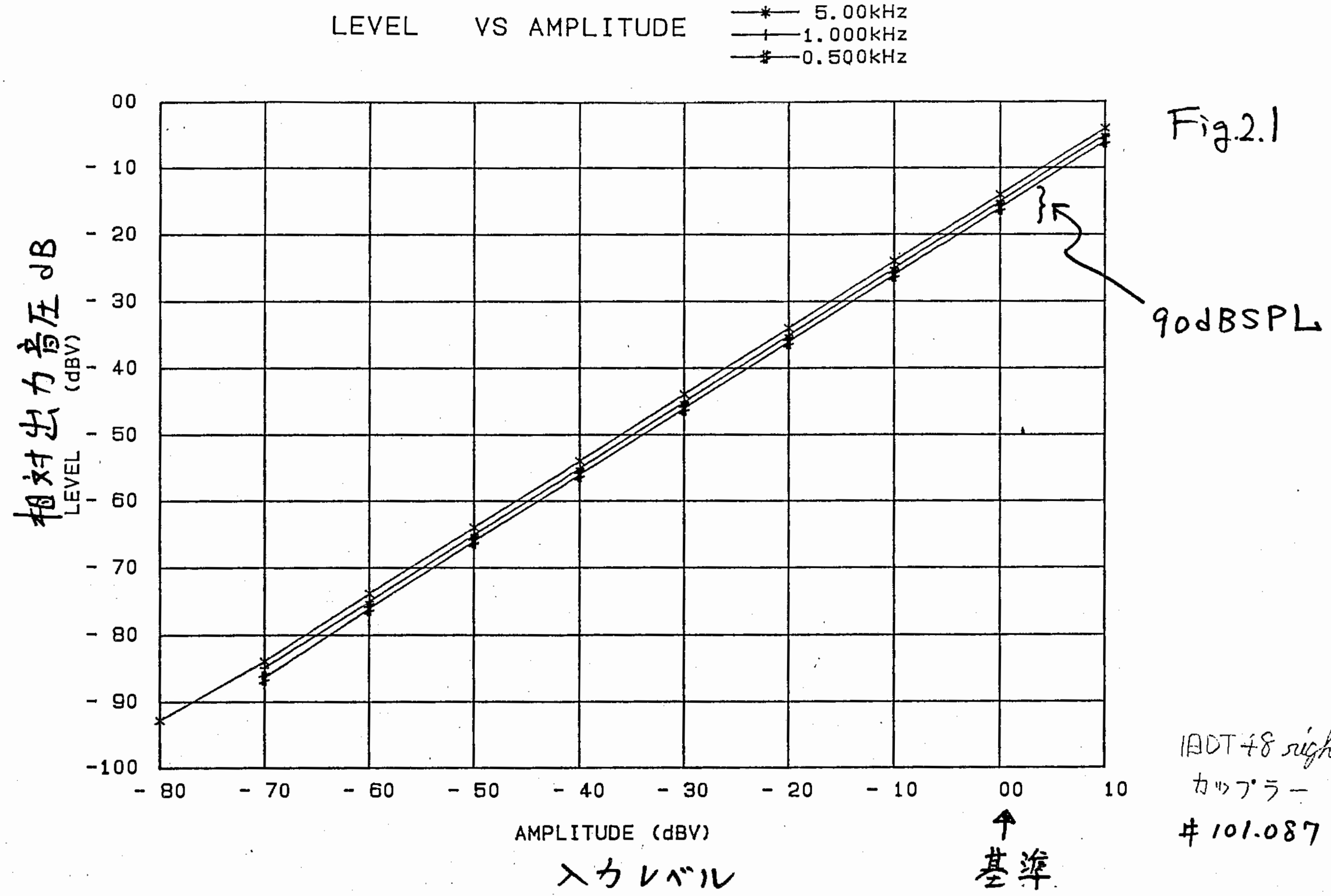


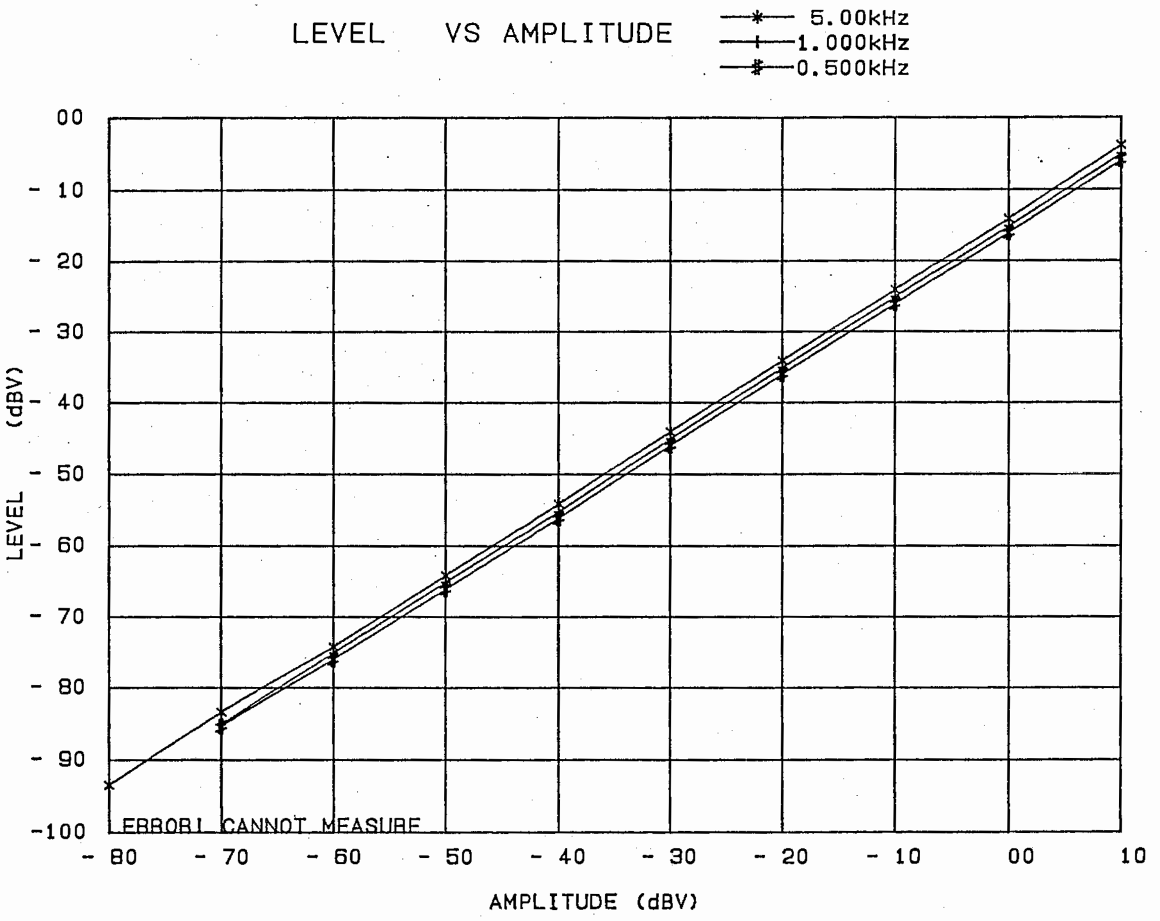
図2.0 直線性測定のための測定系

Fig.2.1



旧DT48 right
カップラー
101.087

Fig.2.2



DT48 right
カップラー
220.973

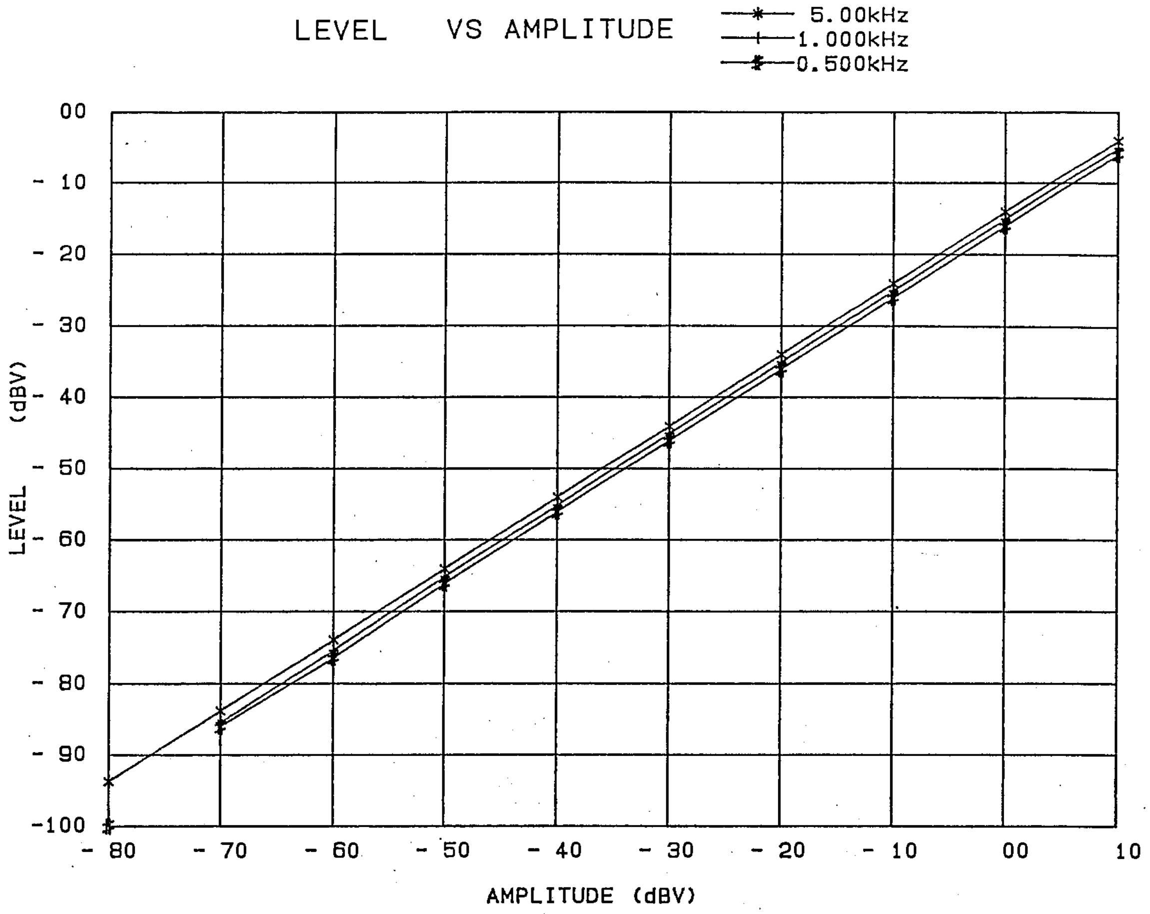


Fig. 2.3

AD02 right
カップラー

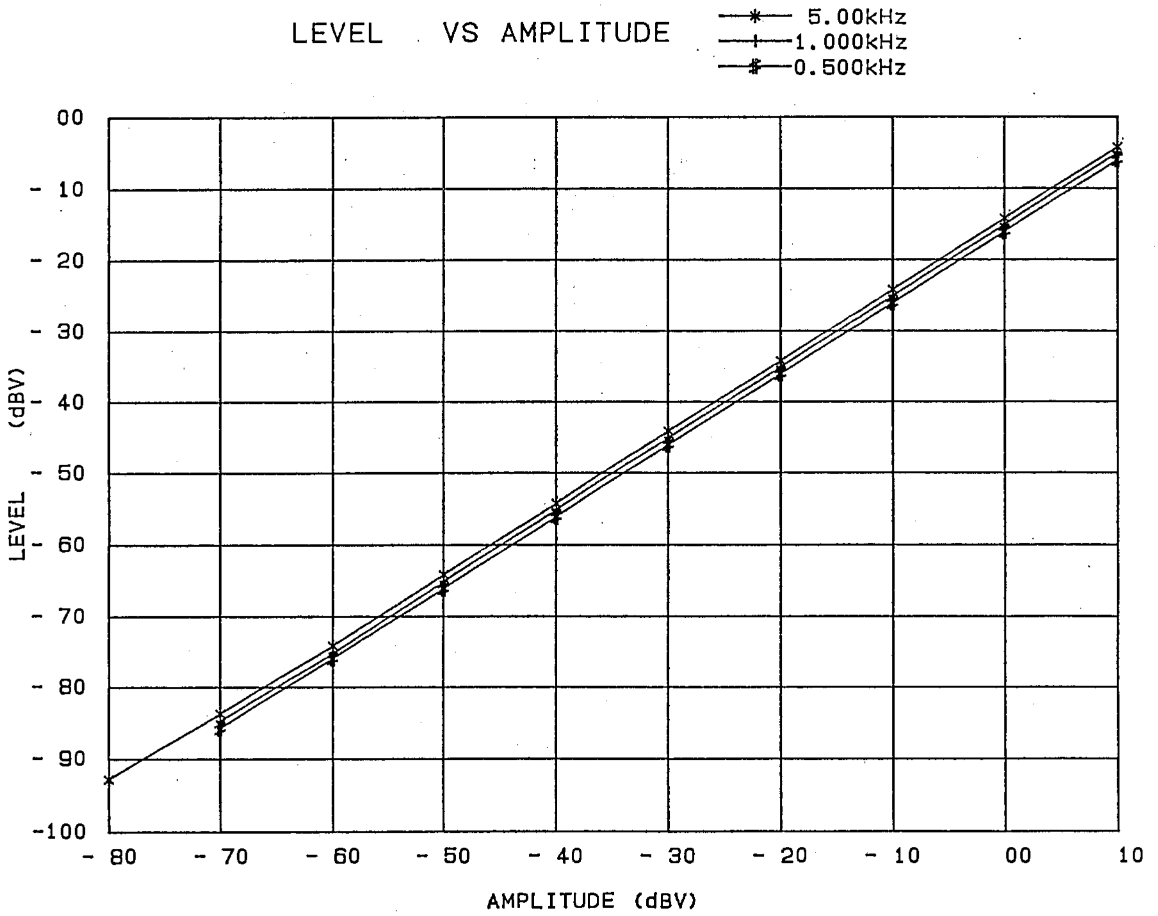
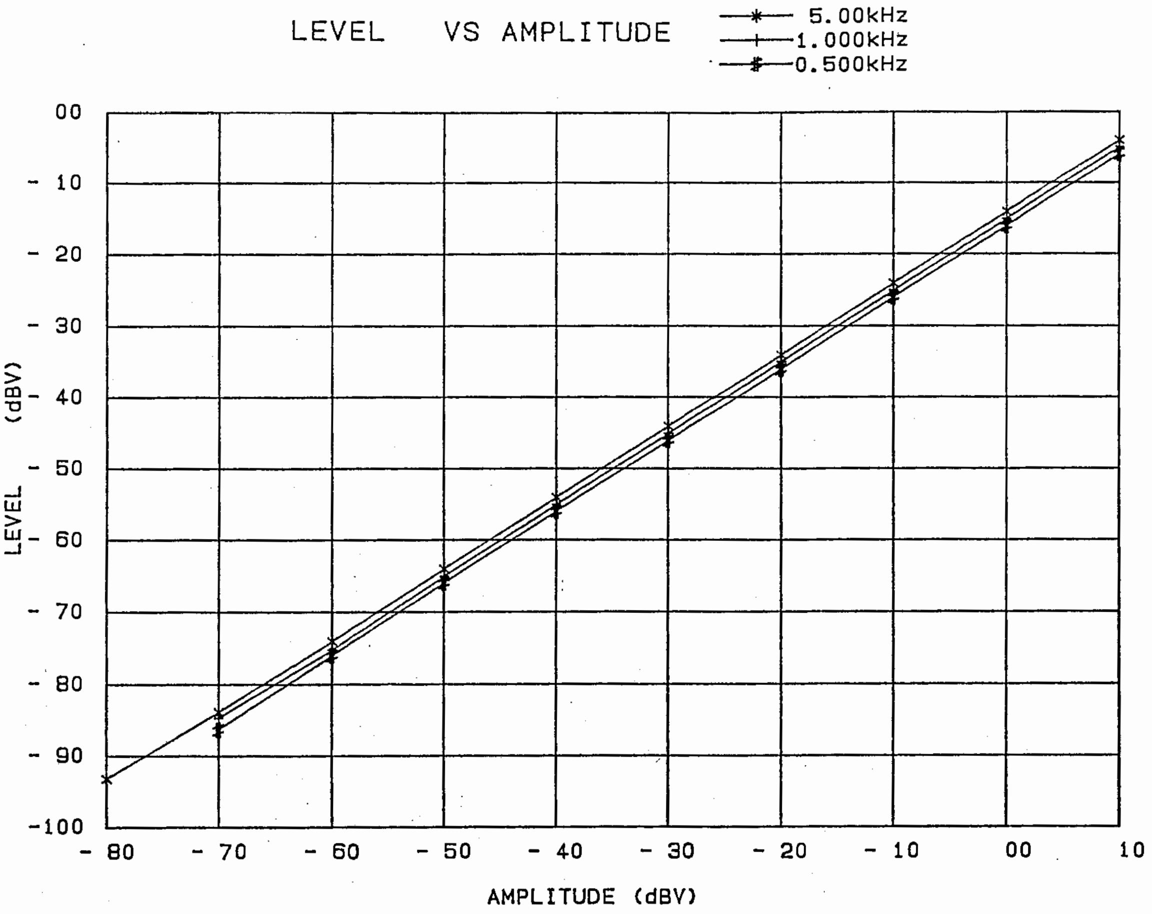


Fig. 2.4

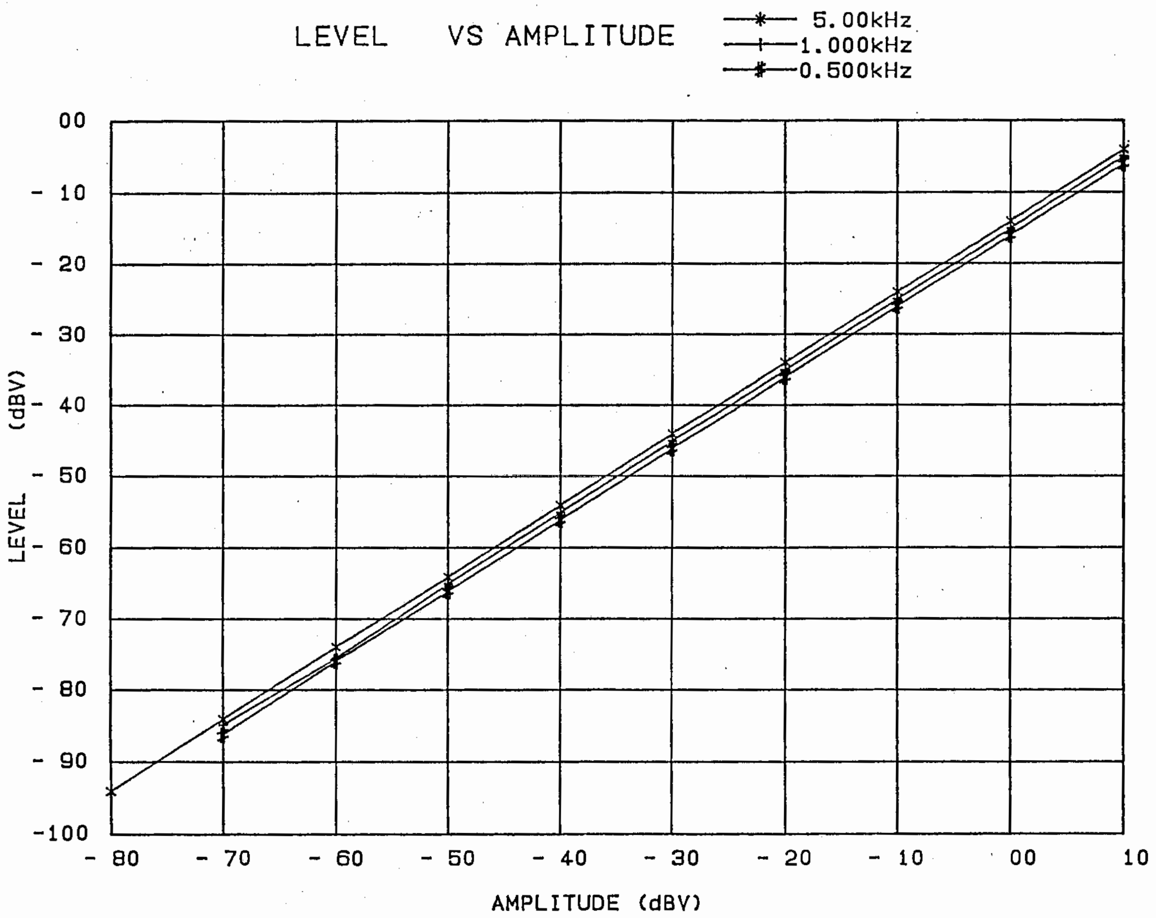
HD250 right
カップラー

Fig.2.5



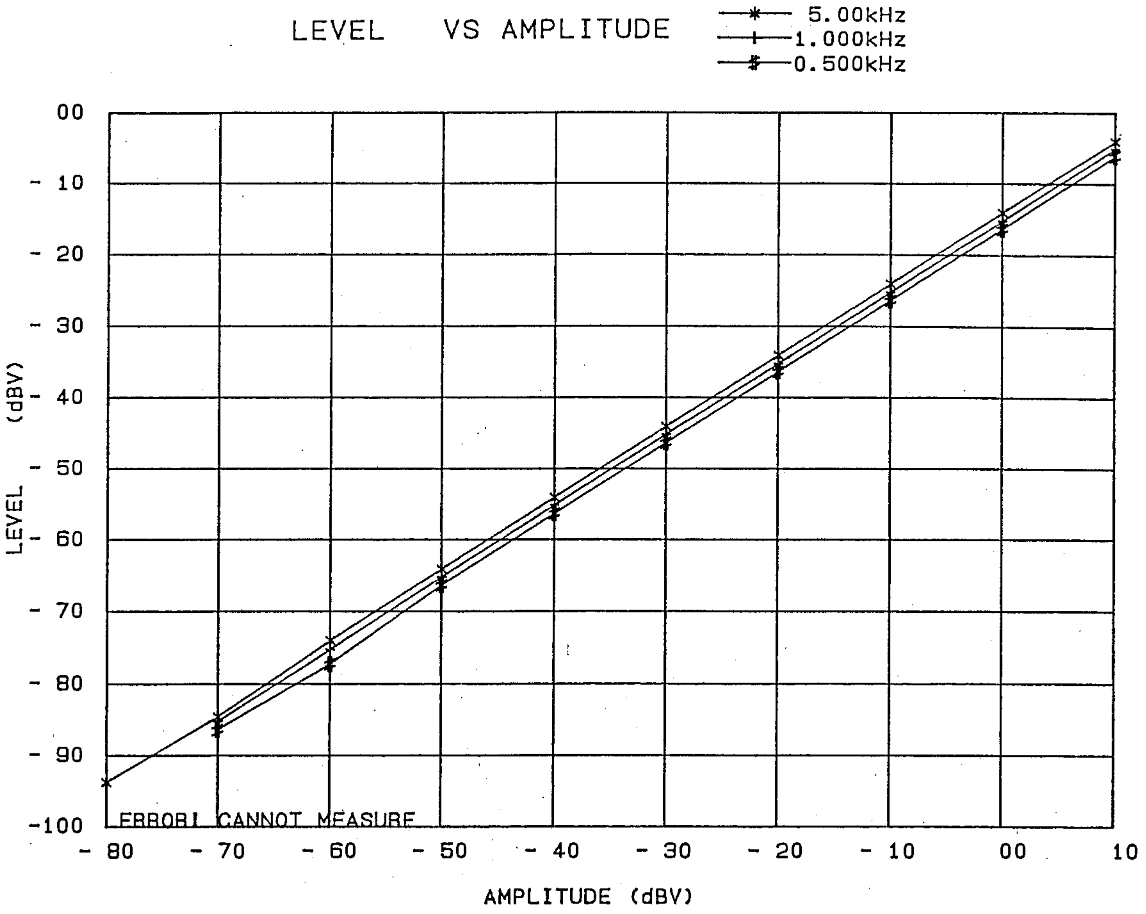
DR831 right
カップラー

Fig2-6



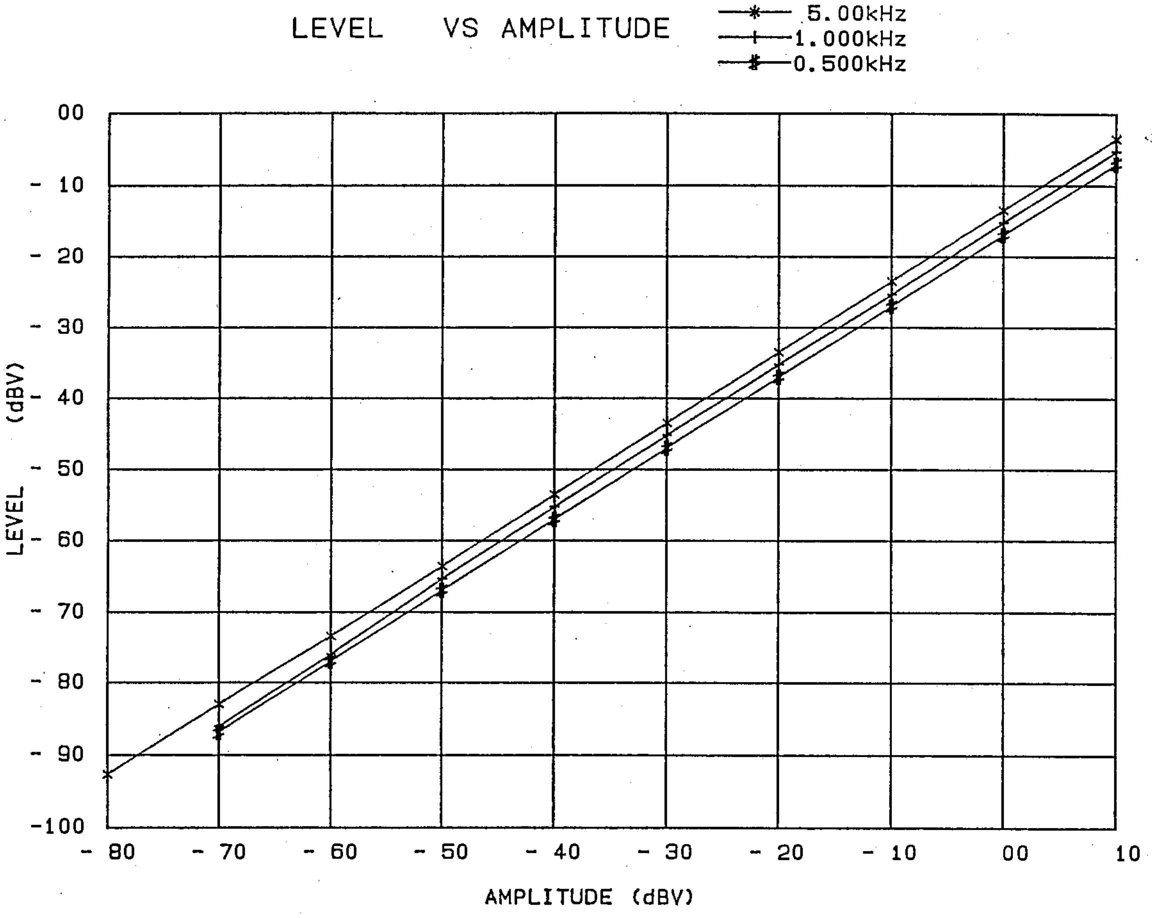
DR631 right
カップラー

Fig. 2.7



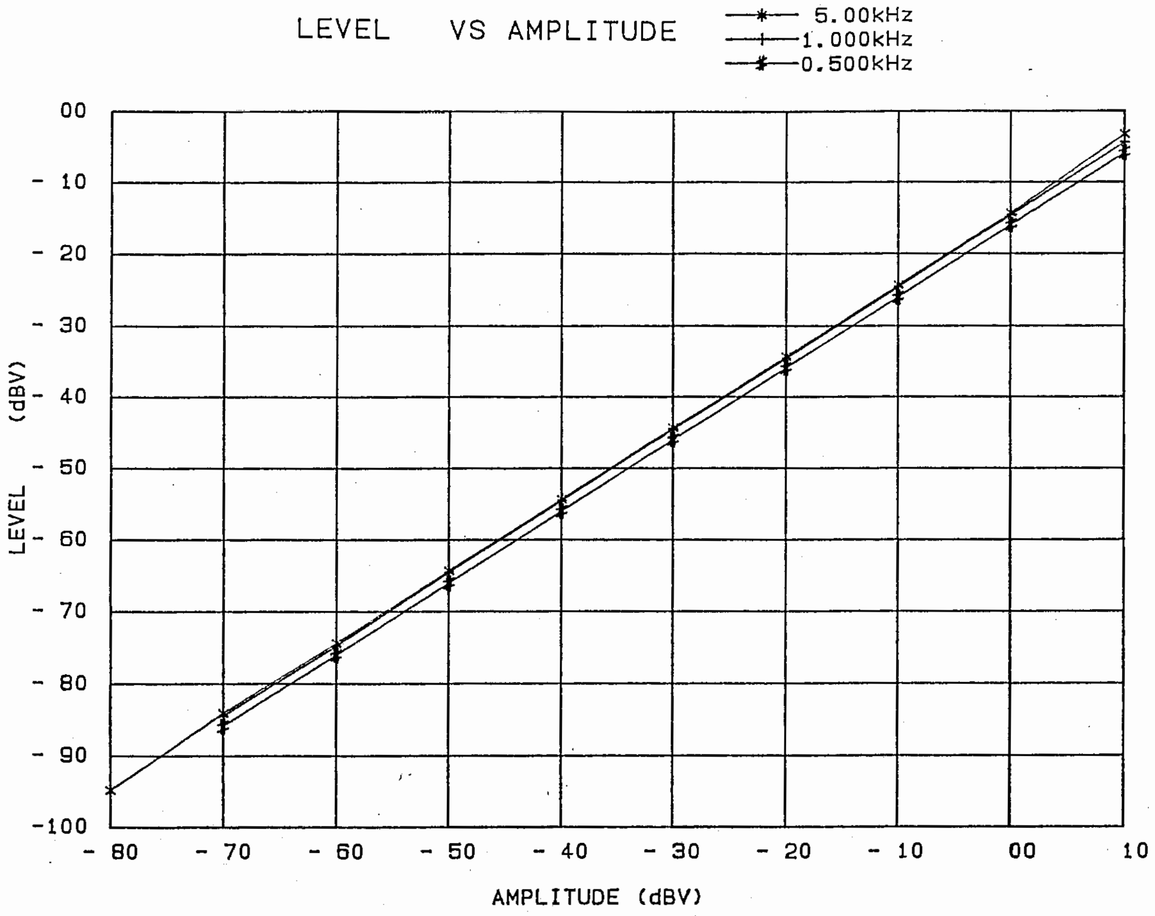
DR988 right
カップラー

Fig. 2.8



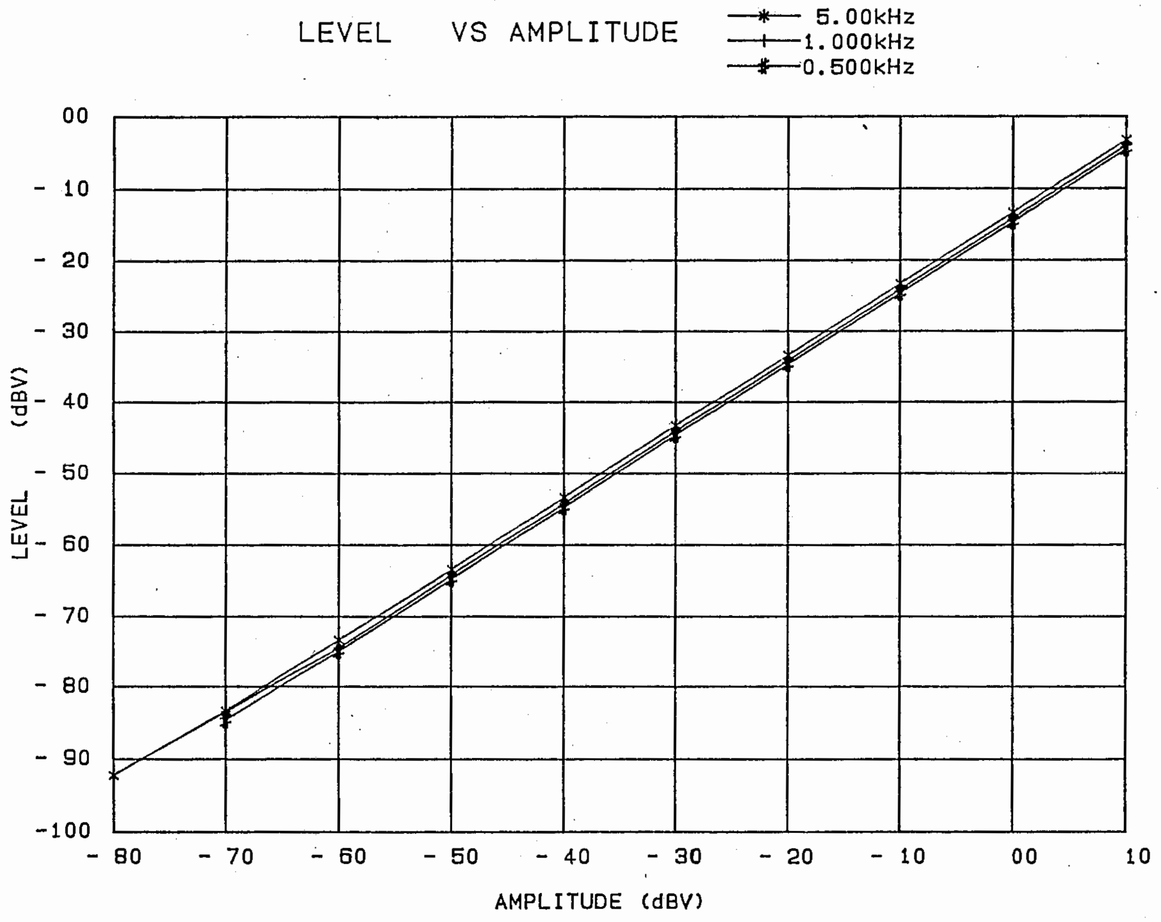
SR&Pro right
カップラー
無響室

Fig. 2-9



SR 5 right
カップラー

Fig. 2.10



SR Λ Pro right
カップラー

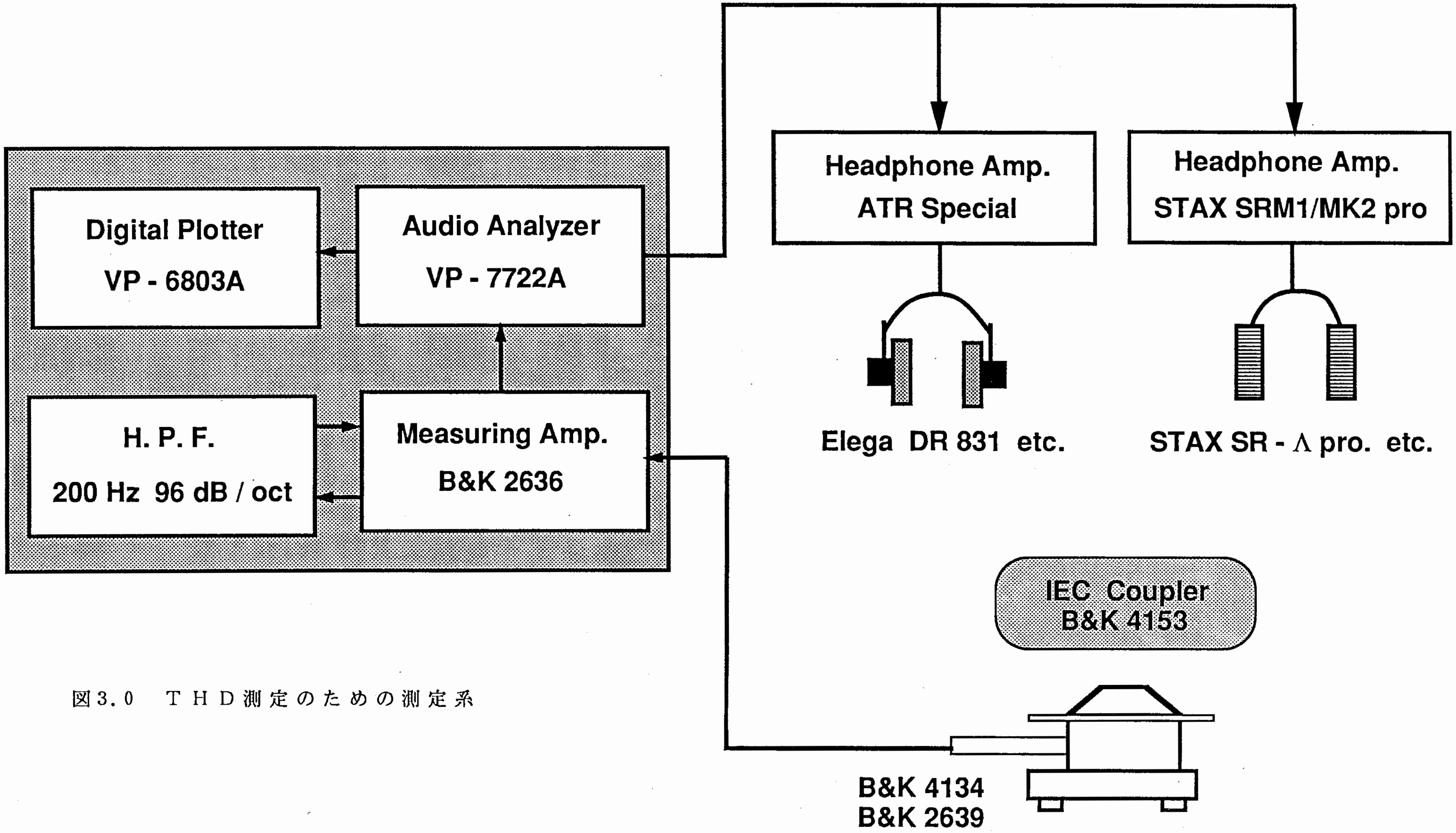


図3.0　ＴＨＤ測定のための測定系

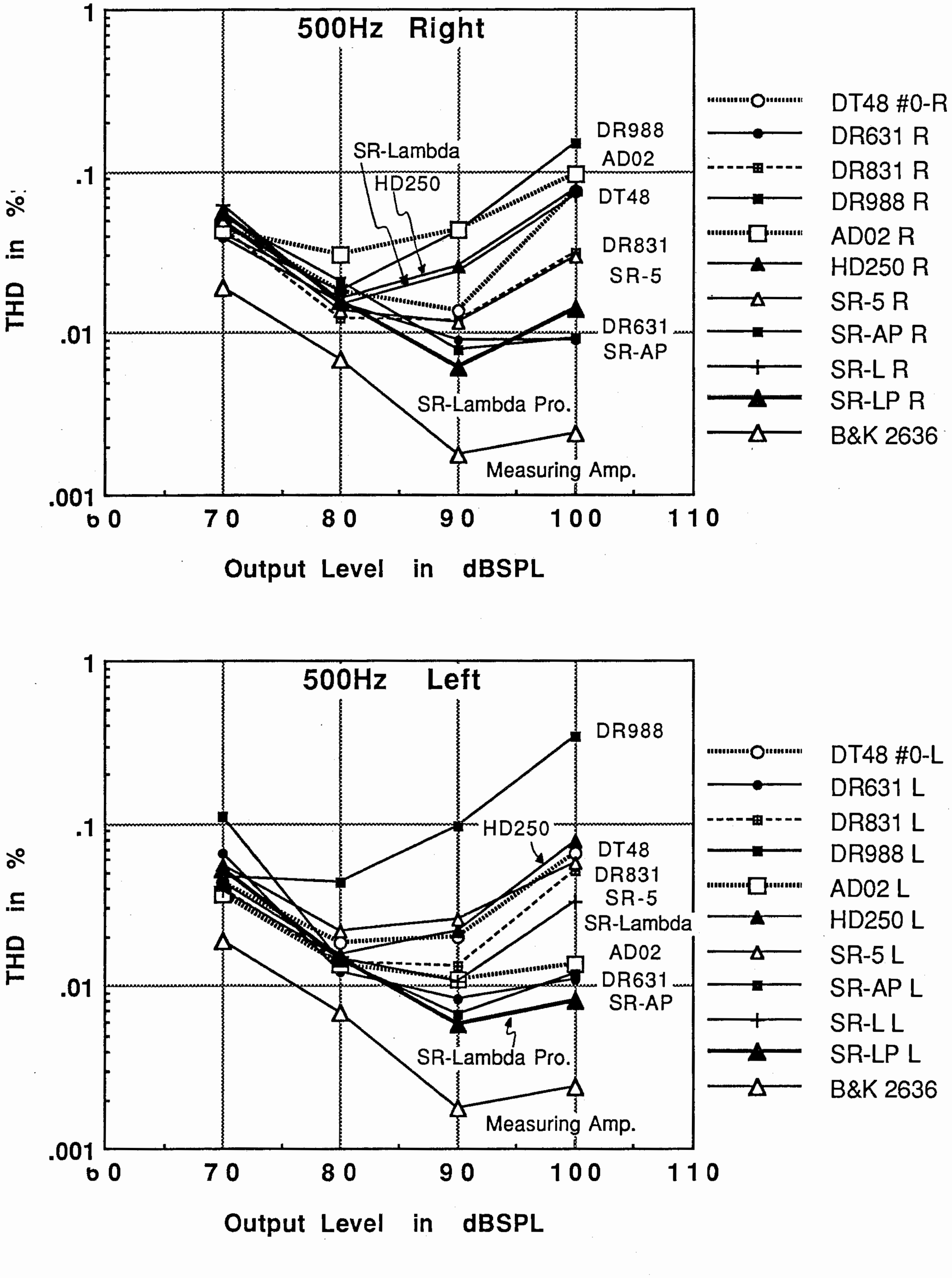
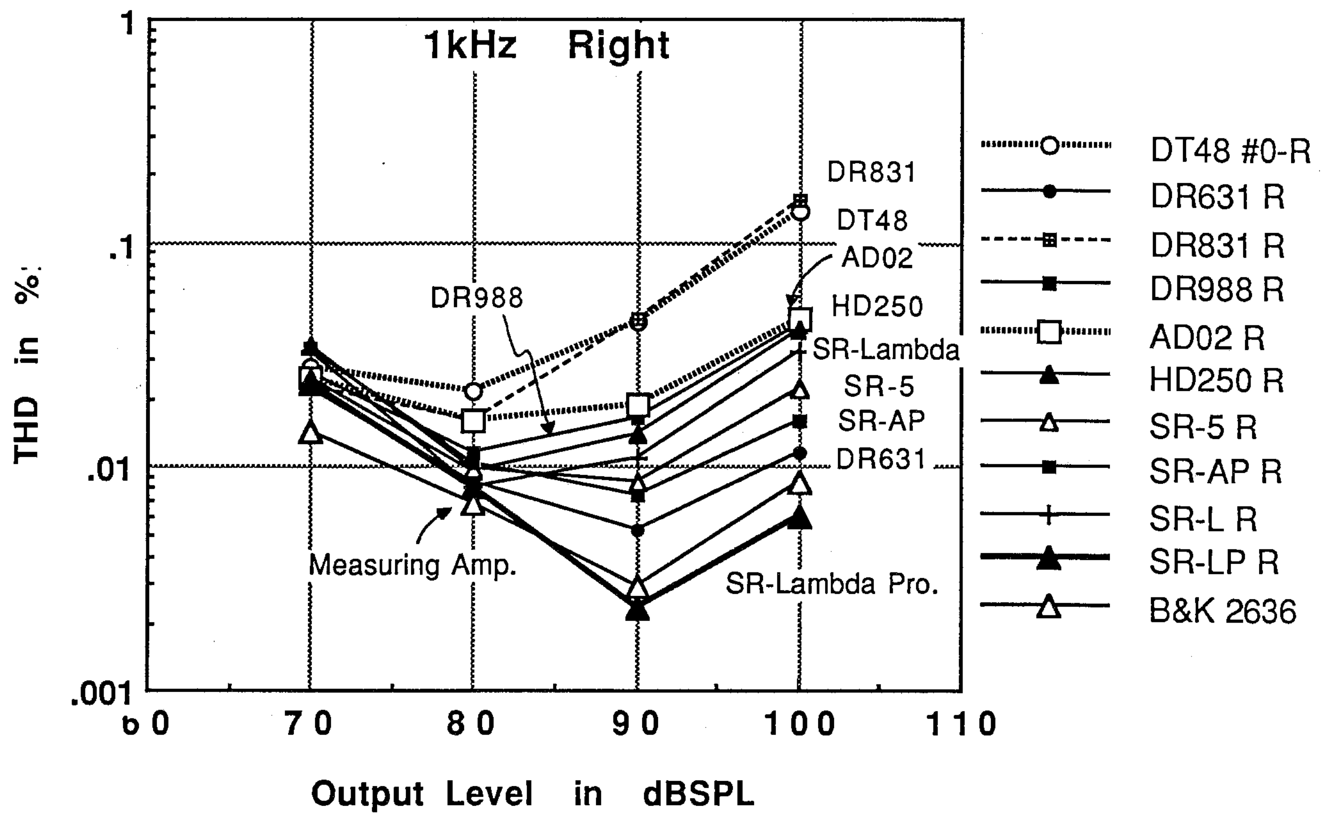


図3.1　全ヘッドフォンのＴＨＤ測定結果　(500Hz)



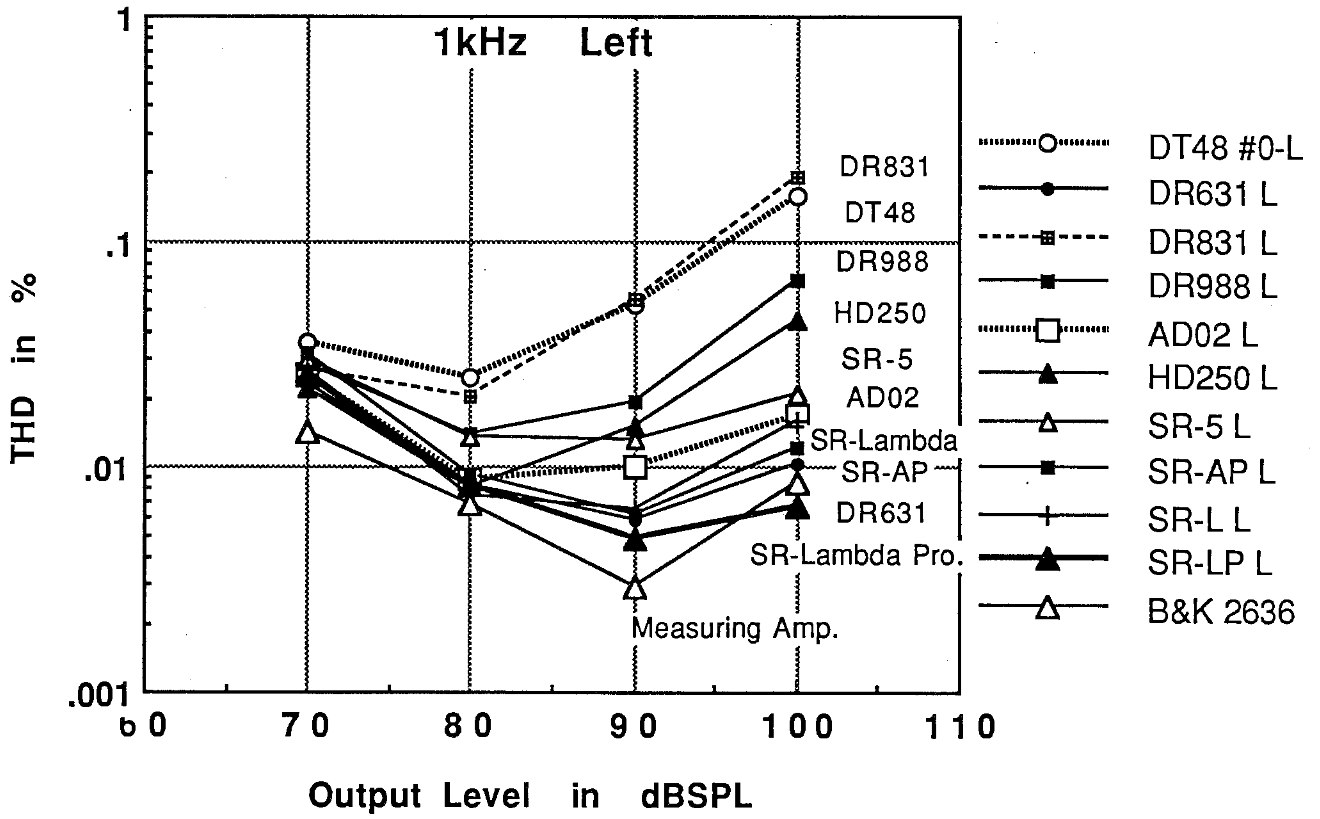
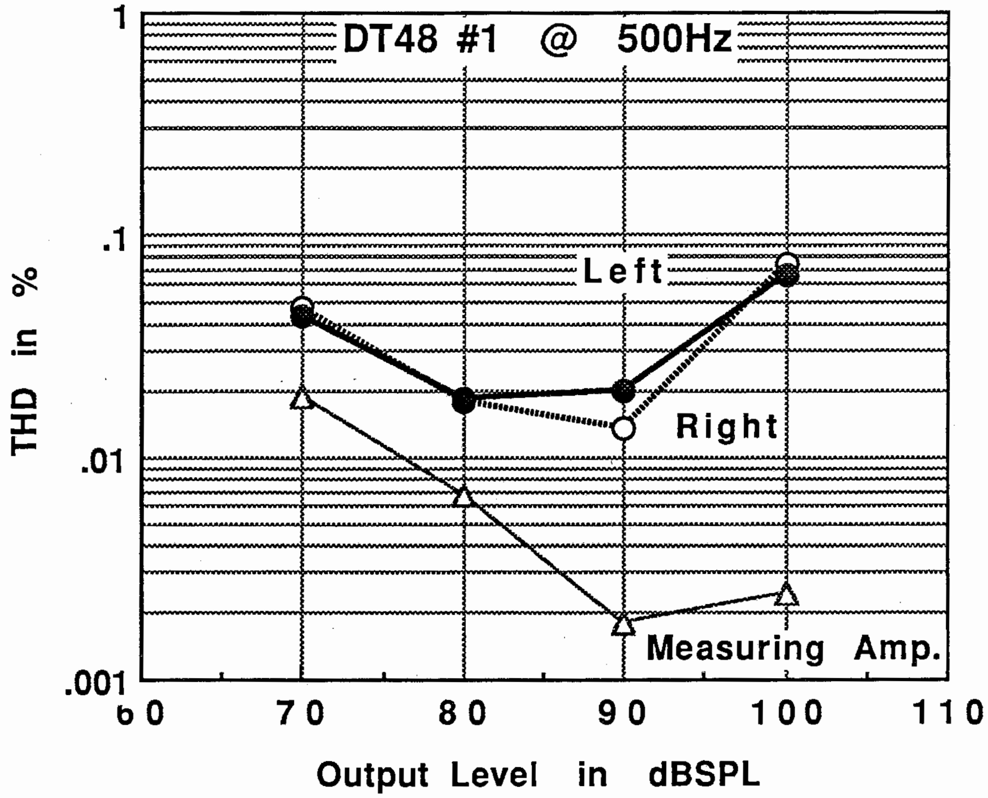


図3.2 全ヘッドフォンのＴＨＤ測定結果 (1kHz)



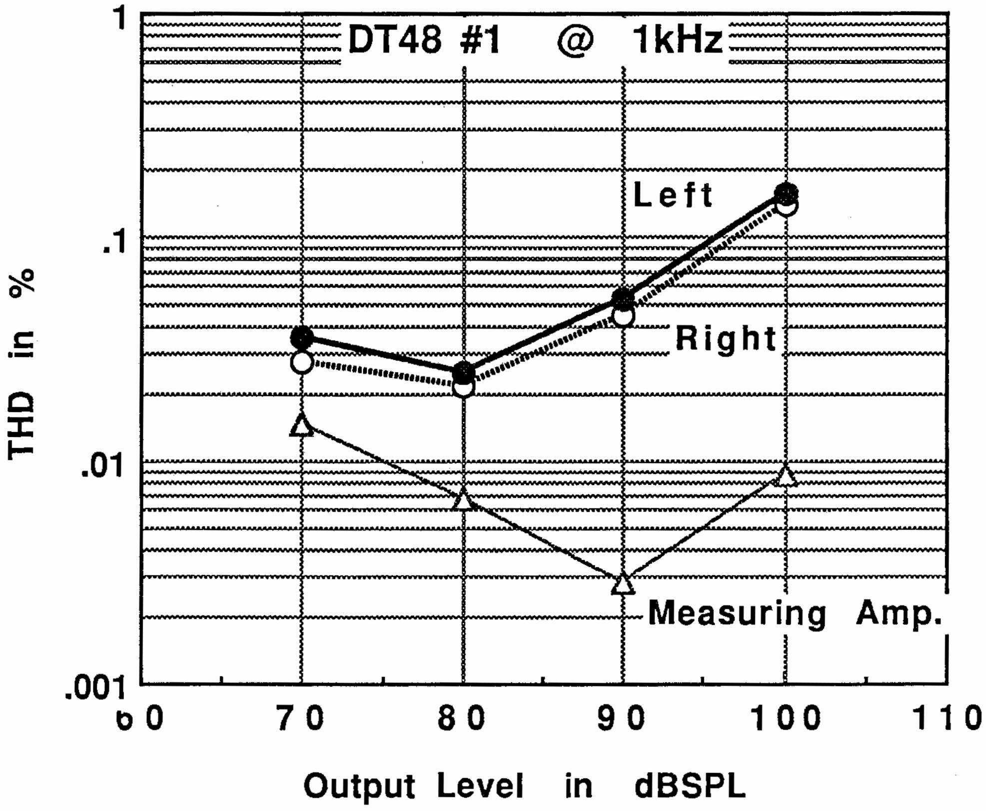
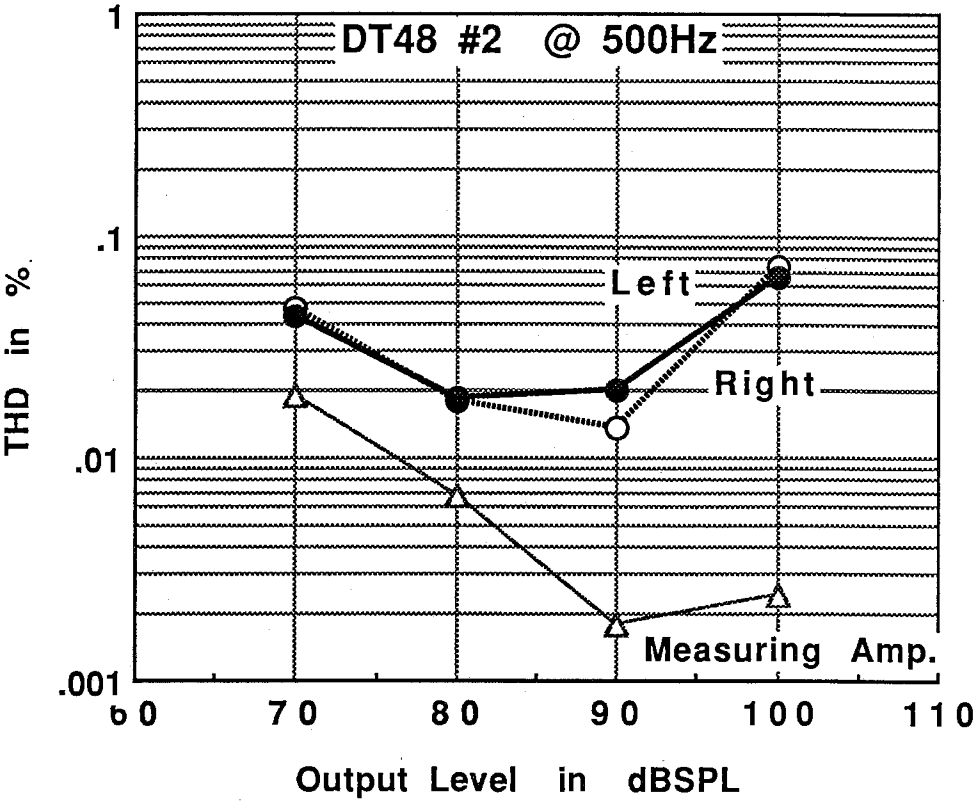


図3.3　ＤＴ４８(#101.087)のＴＨＤ測定結果



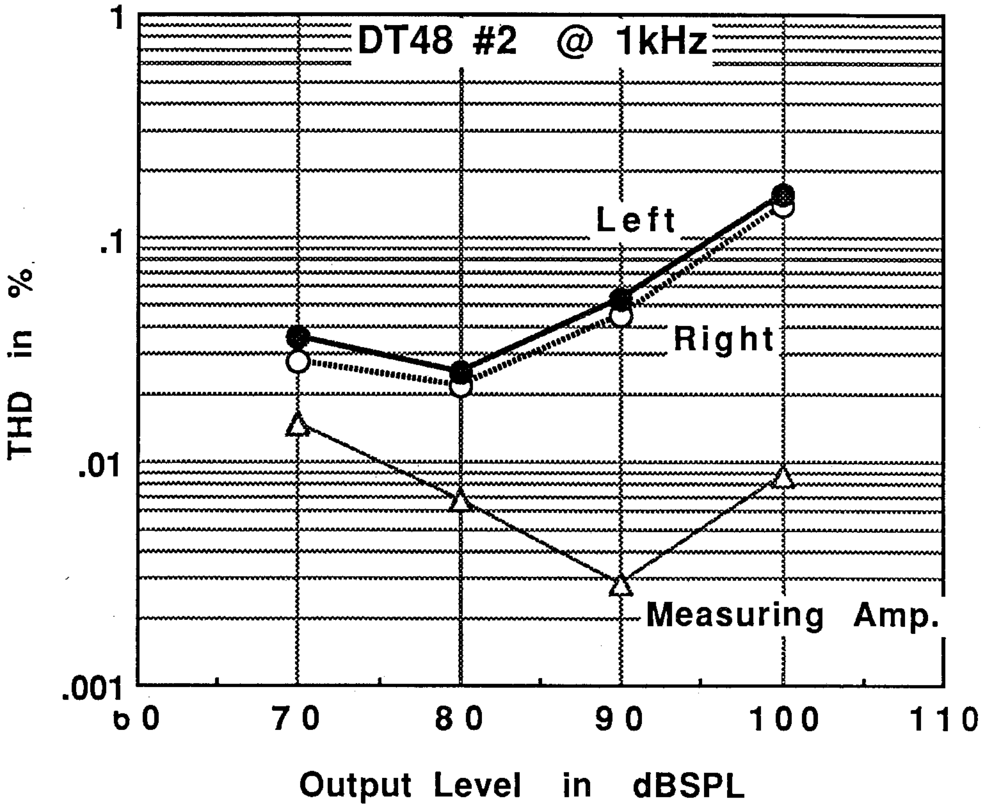


図3.4 ＤＴ４８(#220.973)のＴＨＤ測定結果

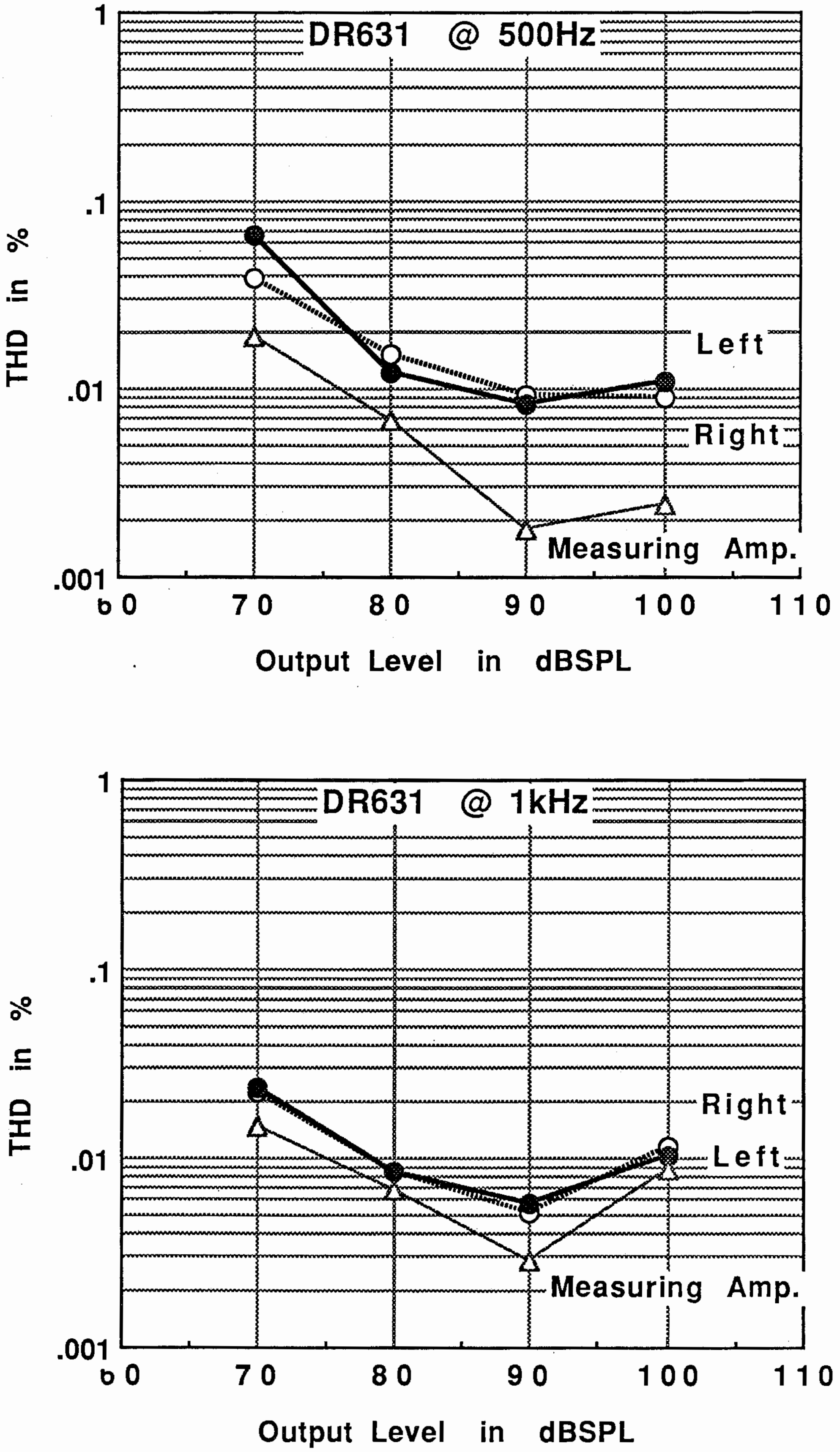
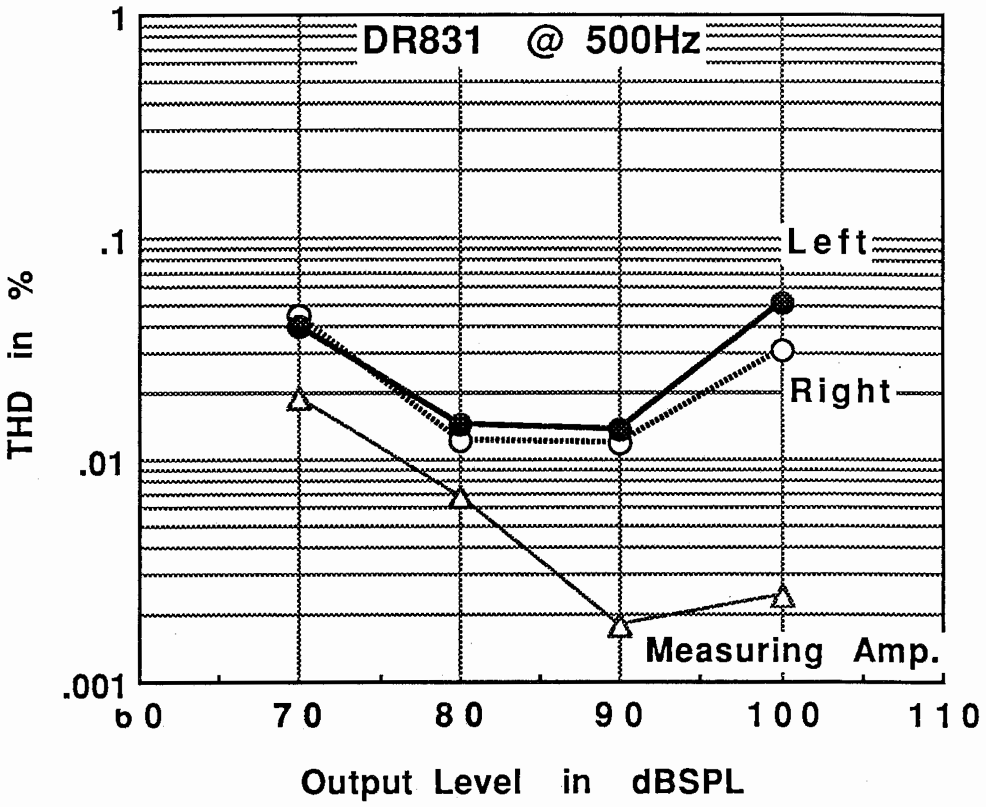


図3.5　ＤＲ６３１のＴＨＤ測定結果



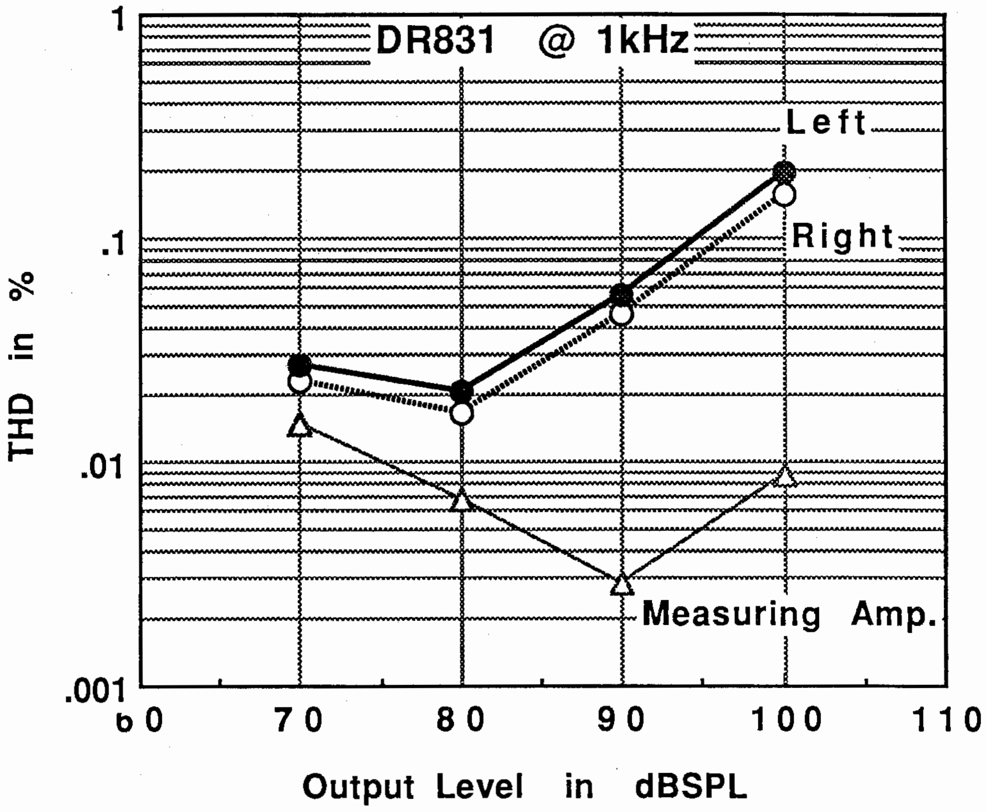


図3.6　ＤＲ８３１のＴＨＤ測定結果

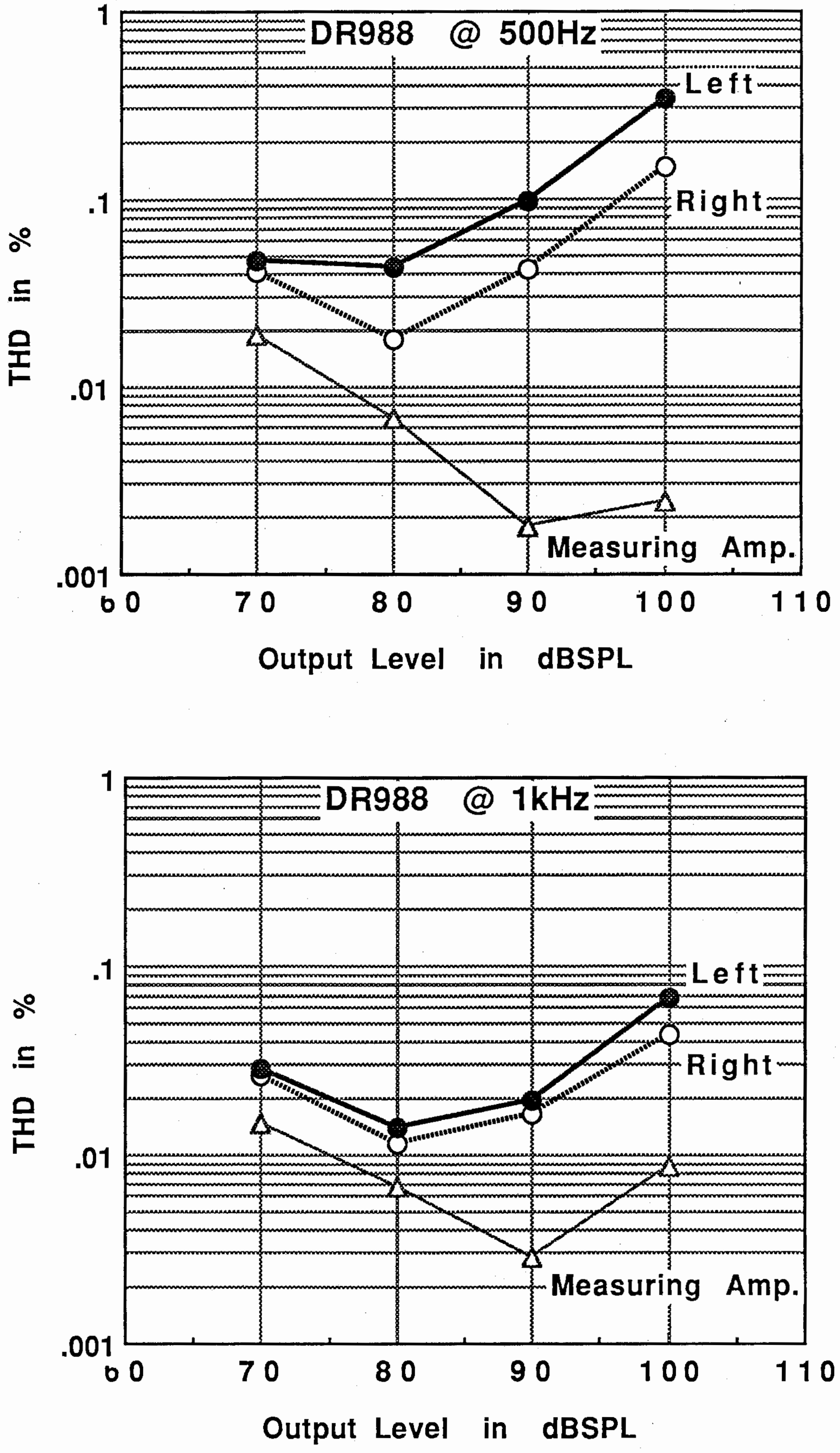
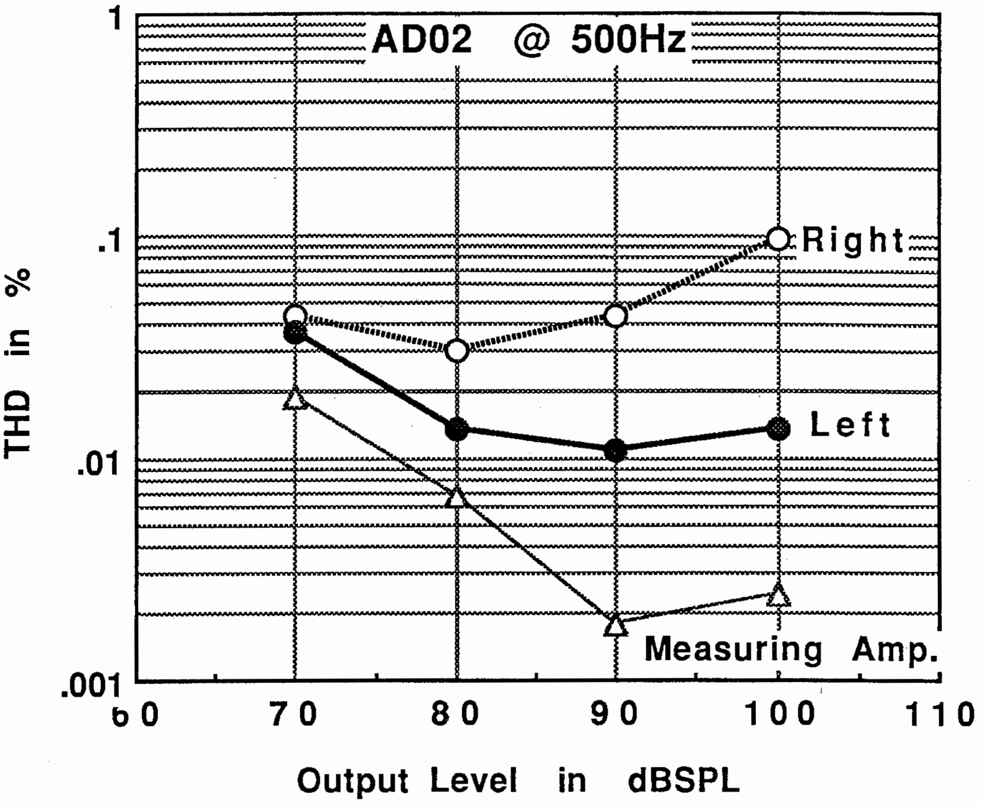


図3.7　ＤＲ９８８のＴＨＤ測定結果



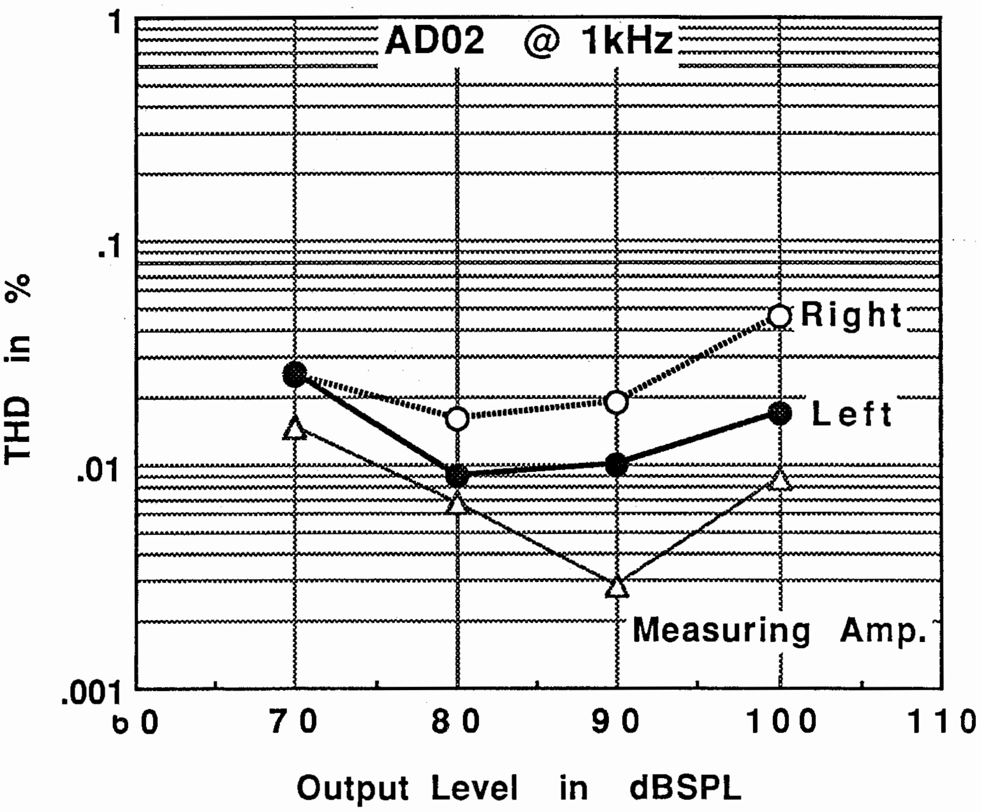


図3.8　ＡＤ０２のＴＨＤ測定結果

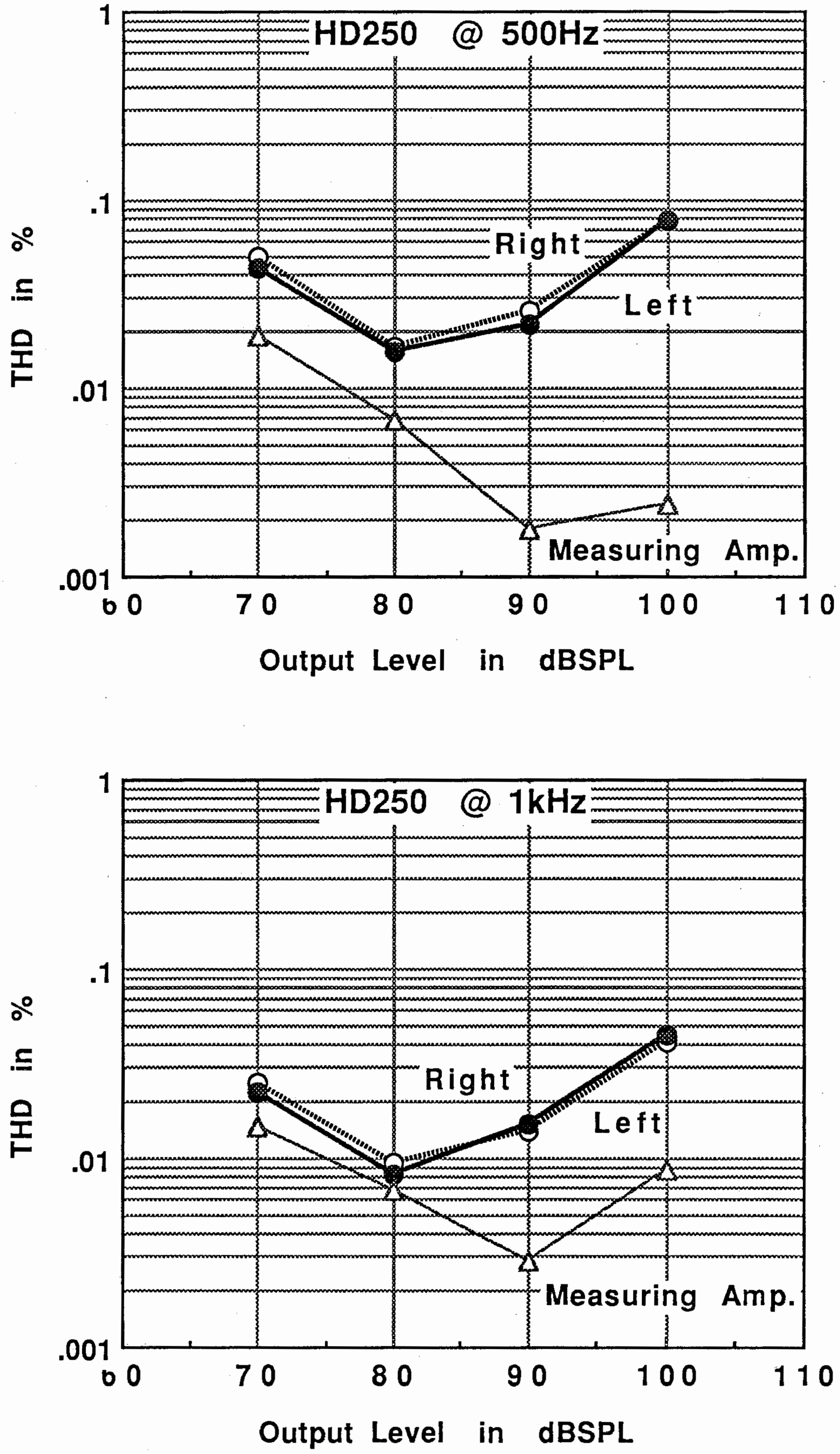
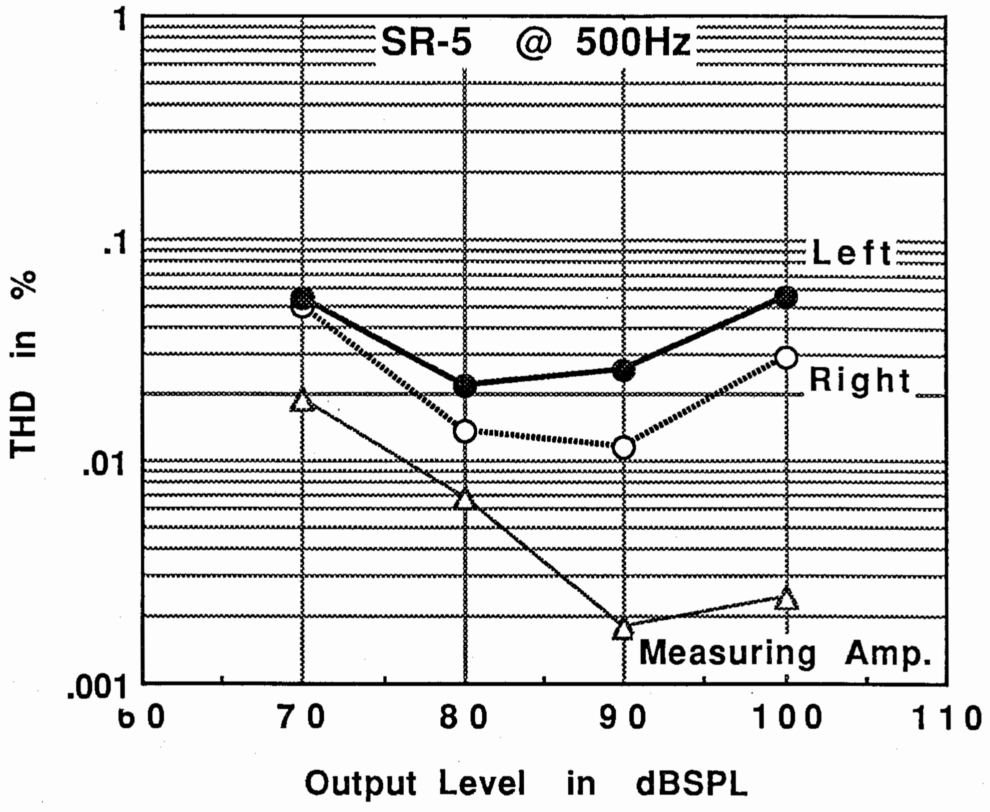


図3.9　ＨＤ２５０LinearのＴＨＤ測定結果



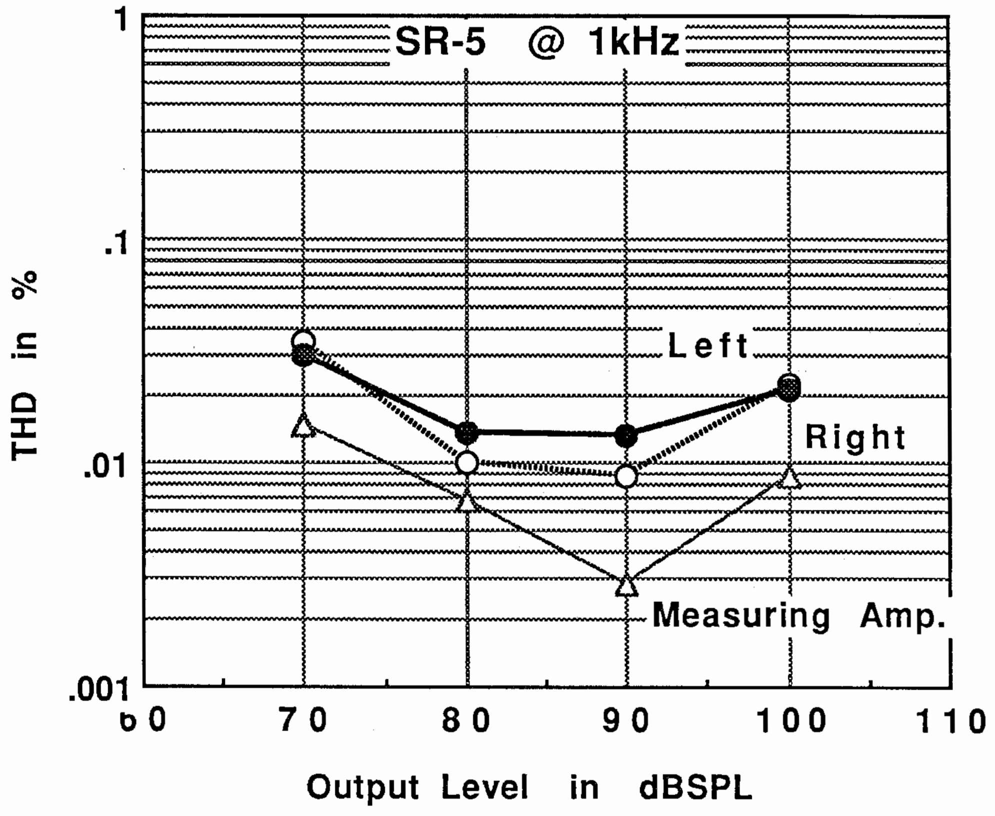
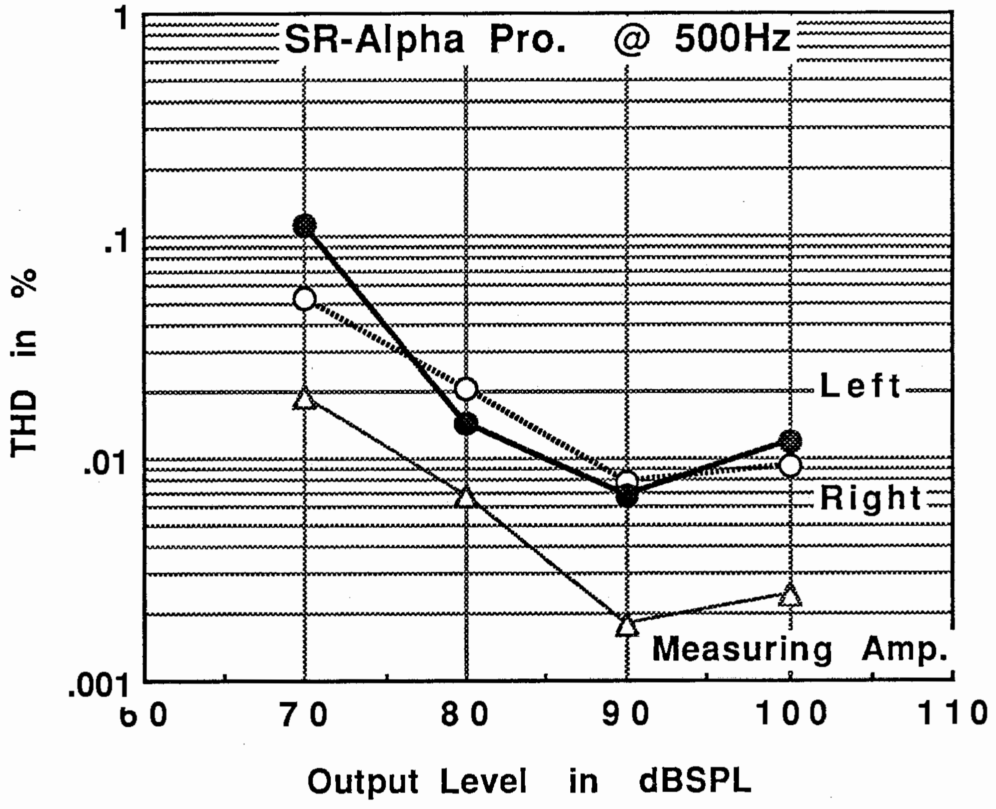


図3.10 ＳＲ－５のＴＨＤ測定結果



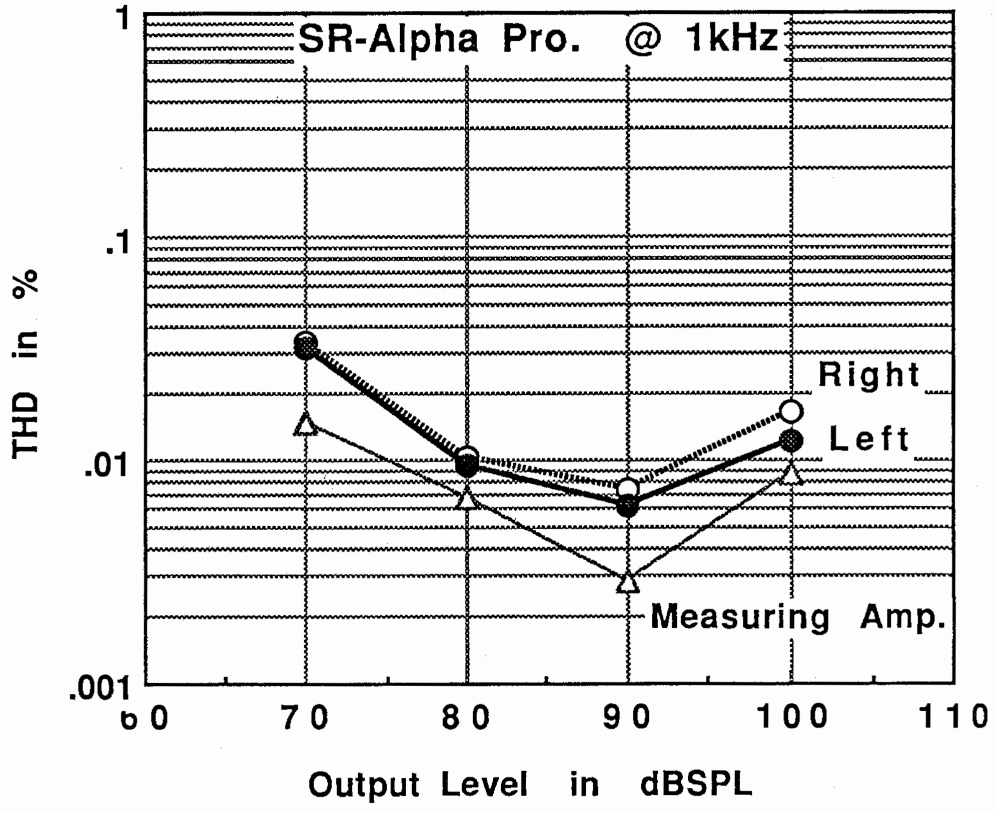
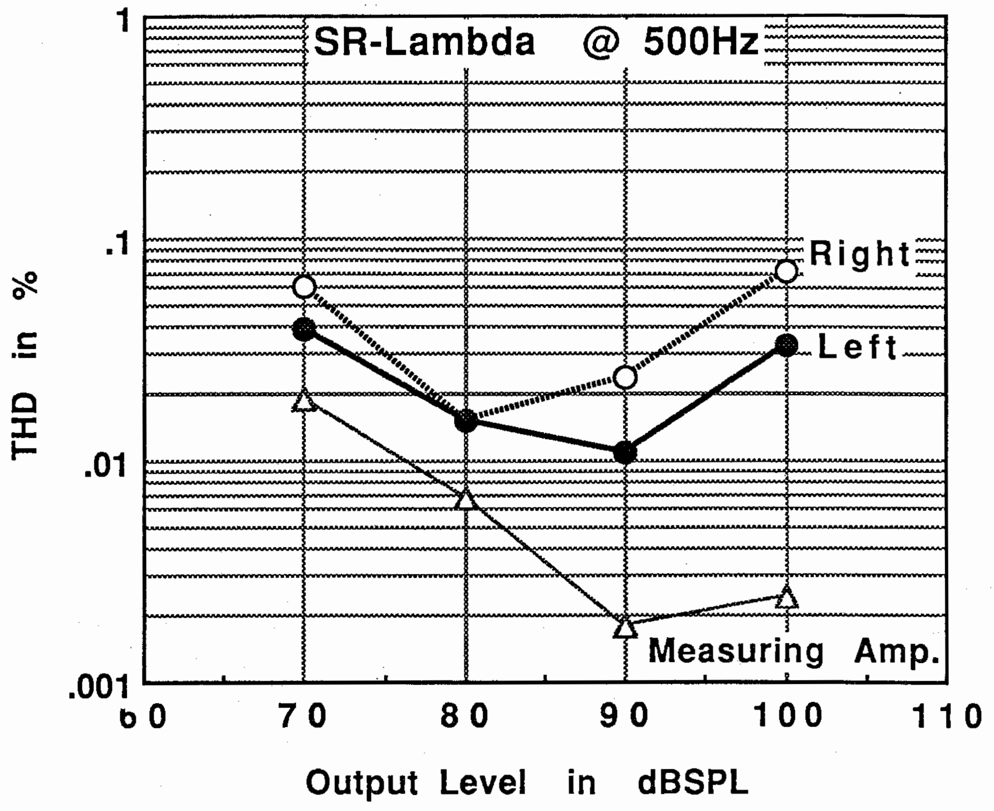


図3.11 ＳＲ－Alpha Pro.のＴＨＤ測定結果



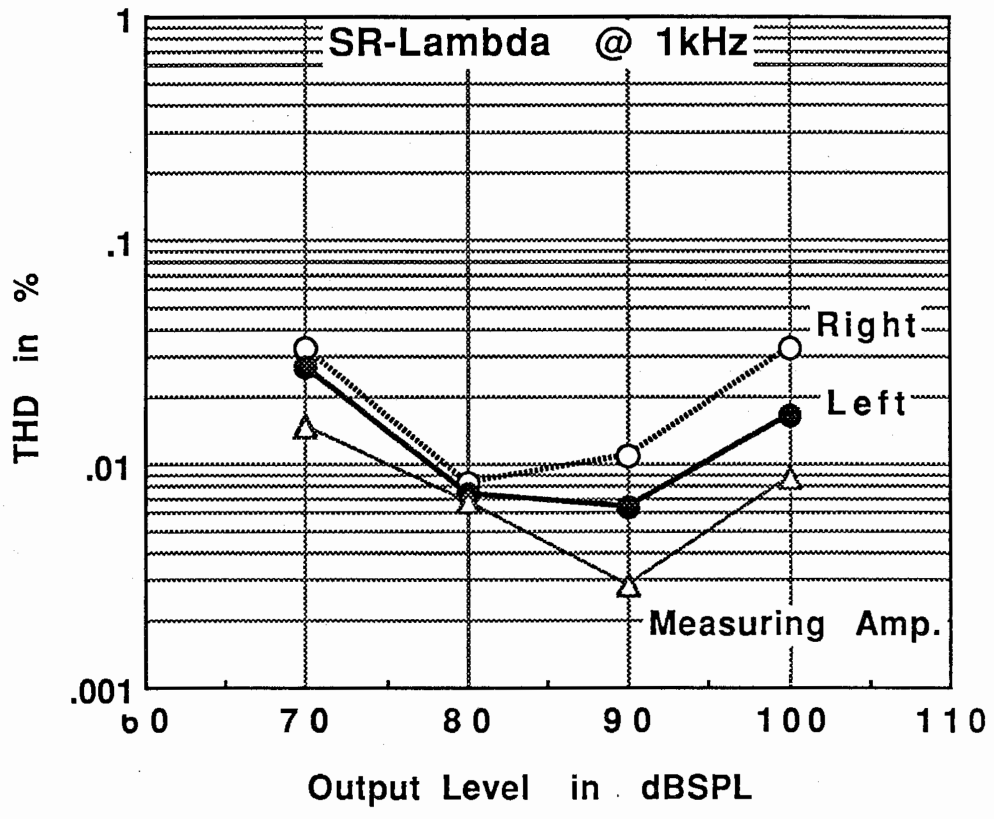


図3.12　ＳＲ－Lambda のＴＨＤ測定結果

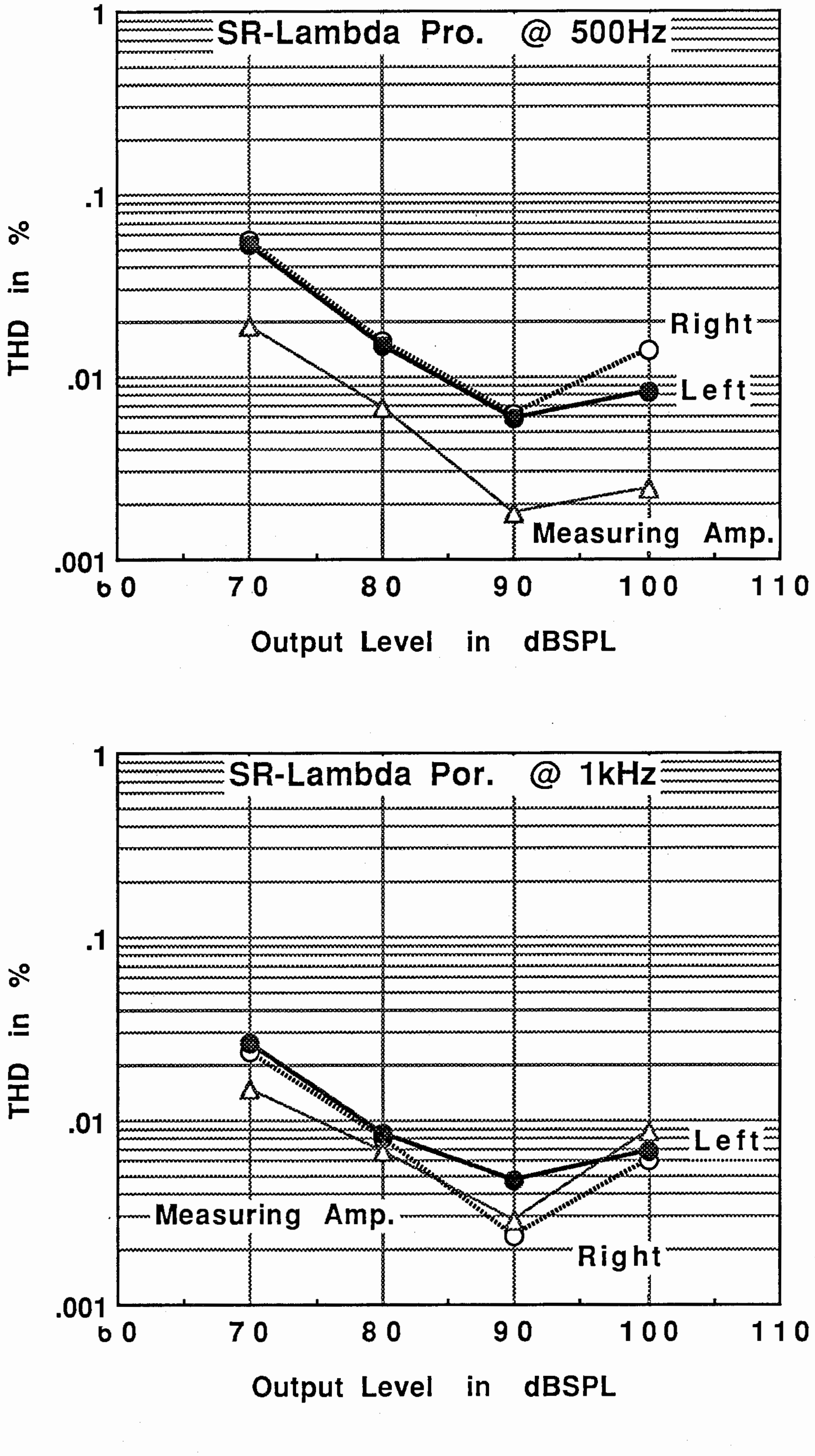


図3.13 ＳＲ－Lambda Pro.のＴＨＤ測定結果

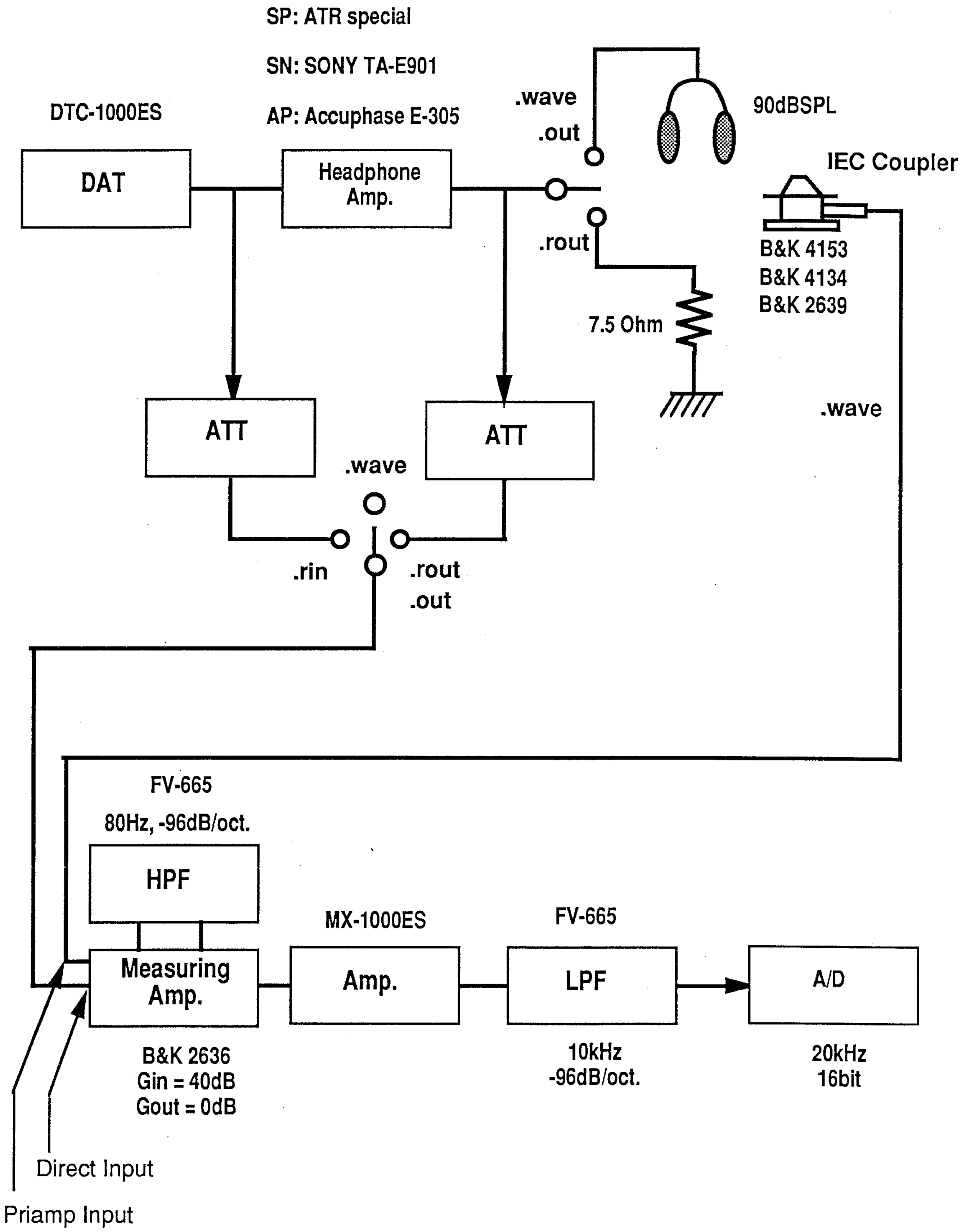


Fig. 4.0 IMD measureing System

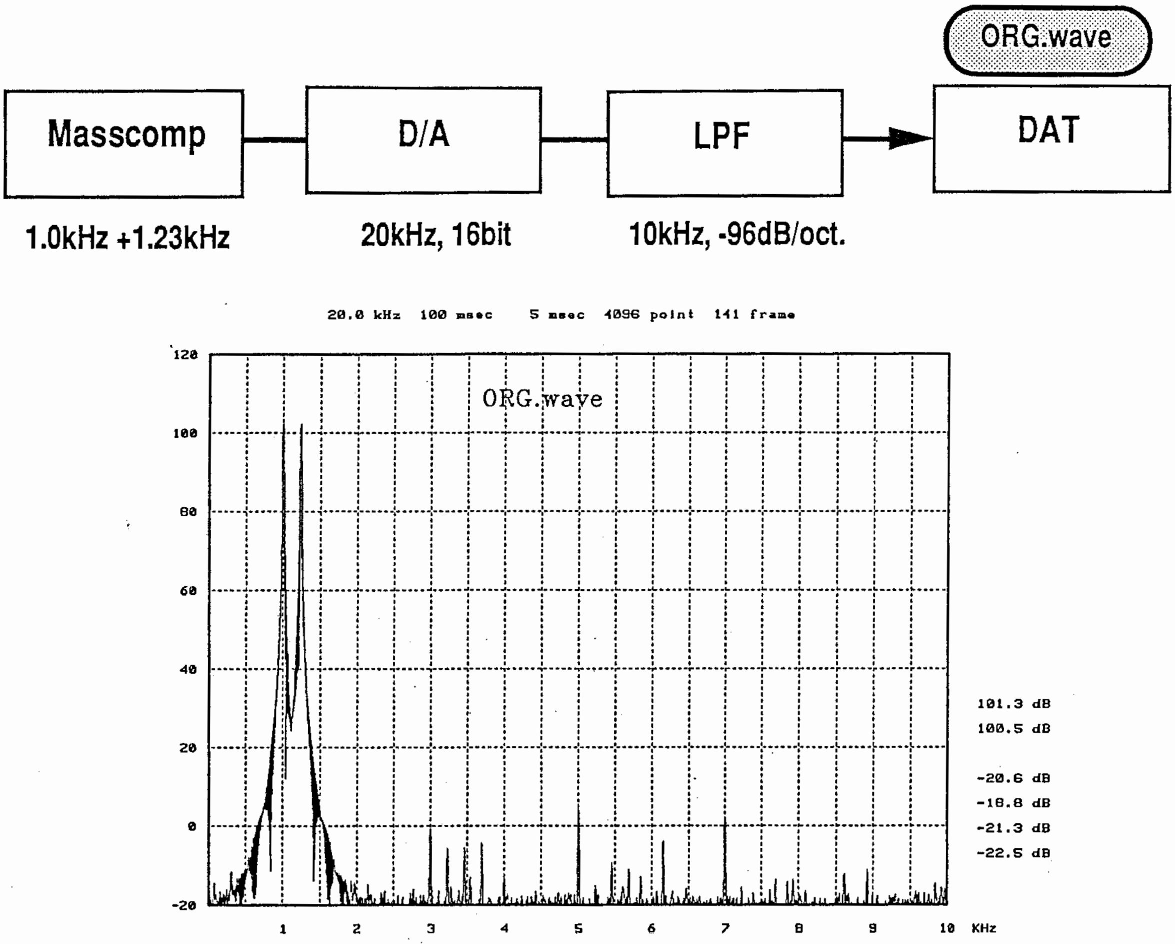


Fig.4.2 Power spectrum of the original two-tone signal

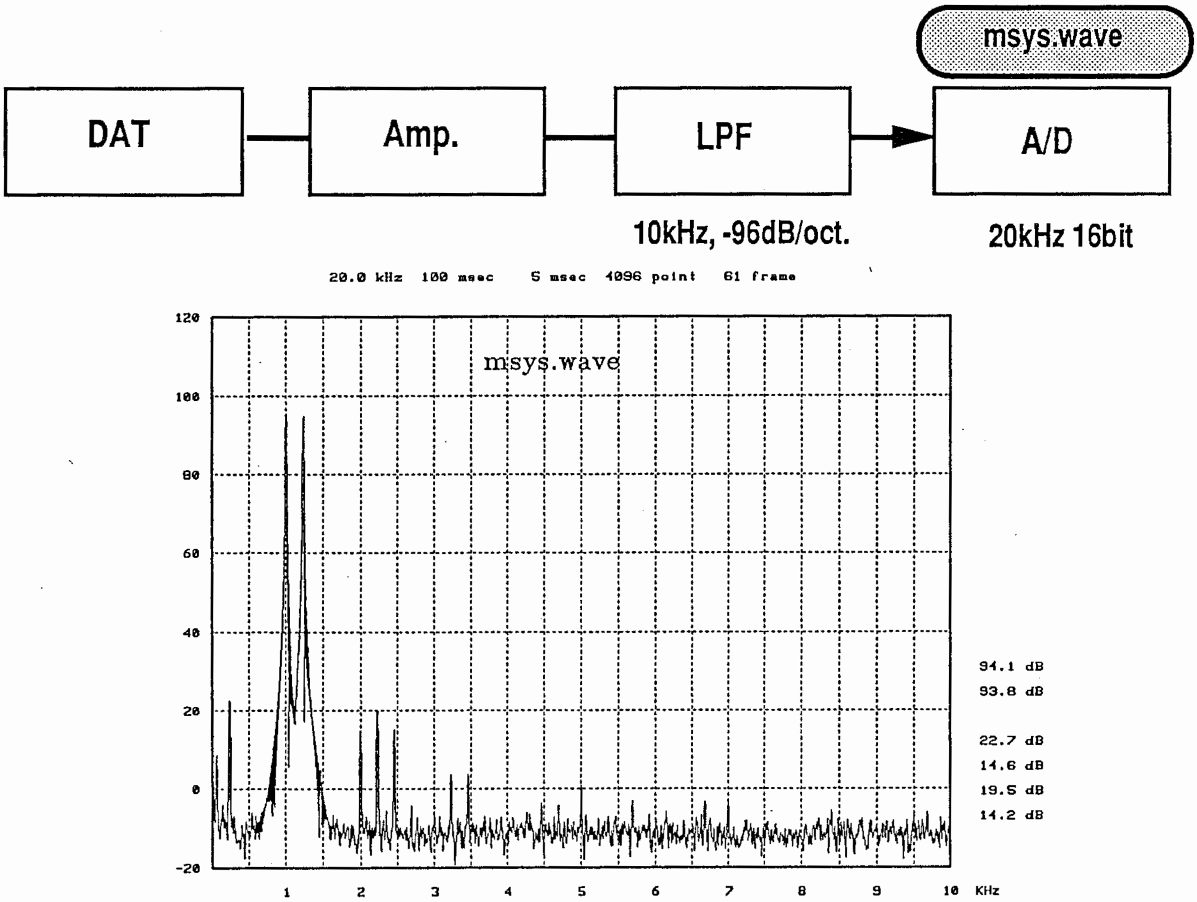
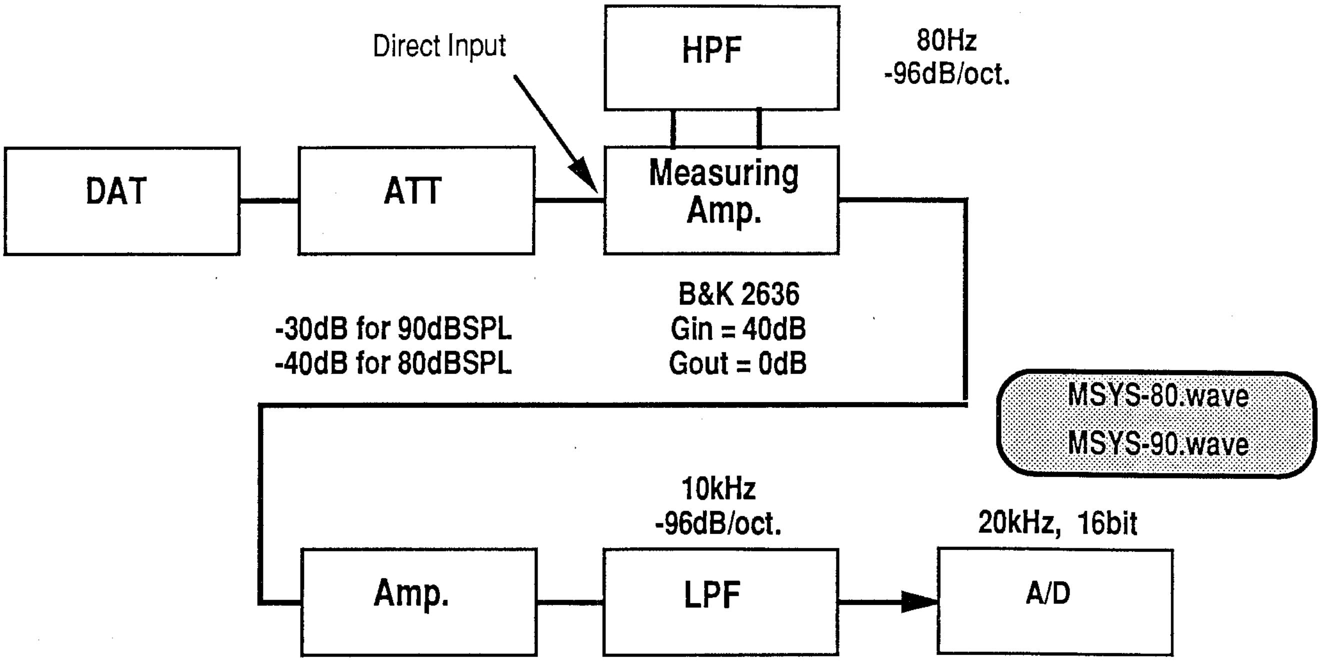


Figure 4.3 Power spectrum of the two-tone signal recorded in the DAT



80dBSPL

90dBSPL

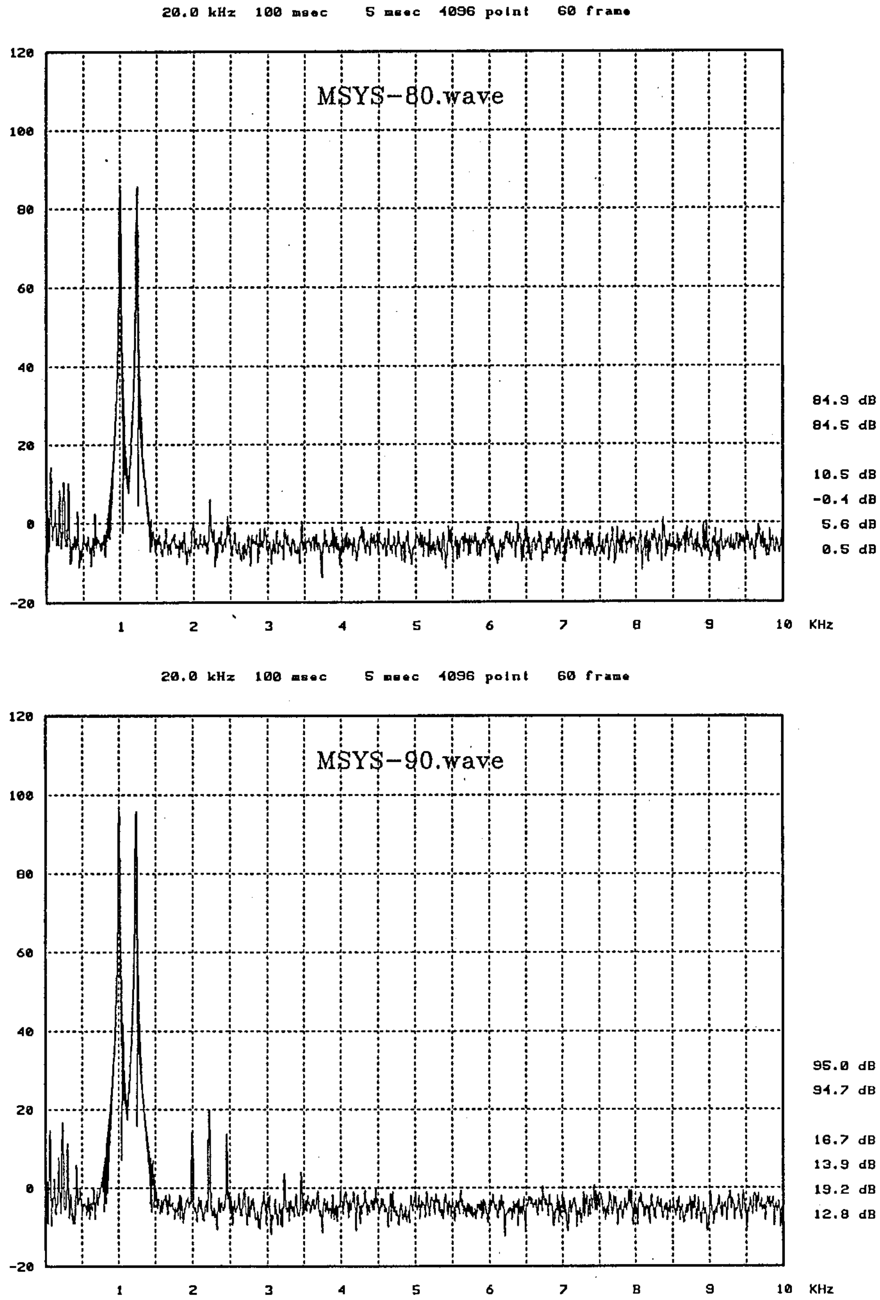


Fig.4.4 & 4.5 Power spectrum of the two-tone signal through measuring amplifier

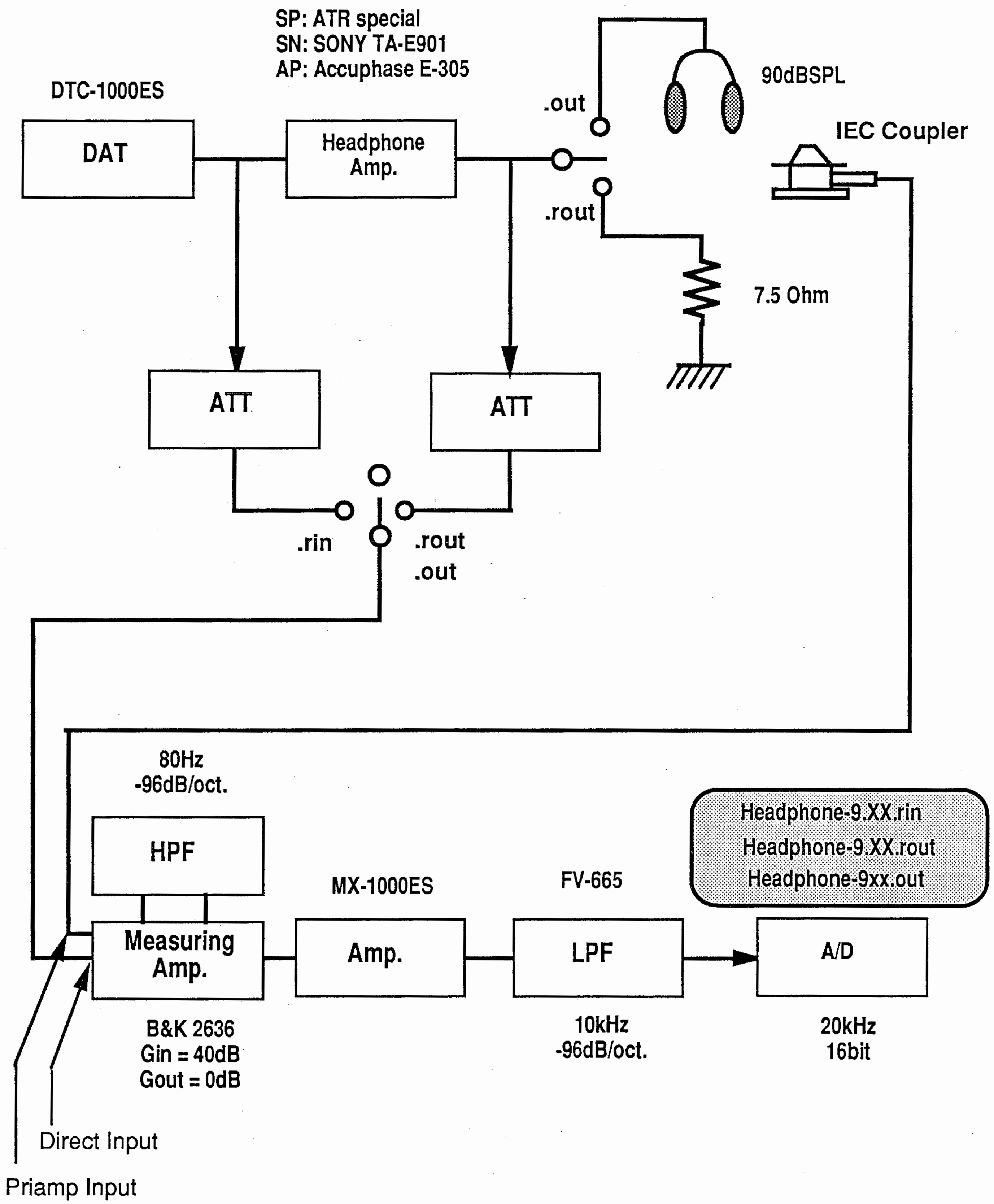
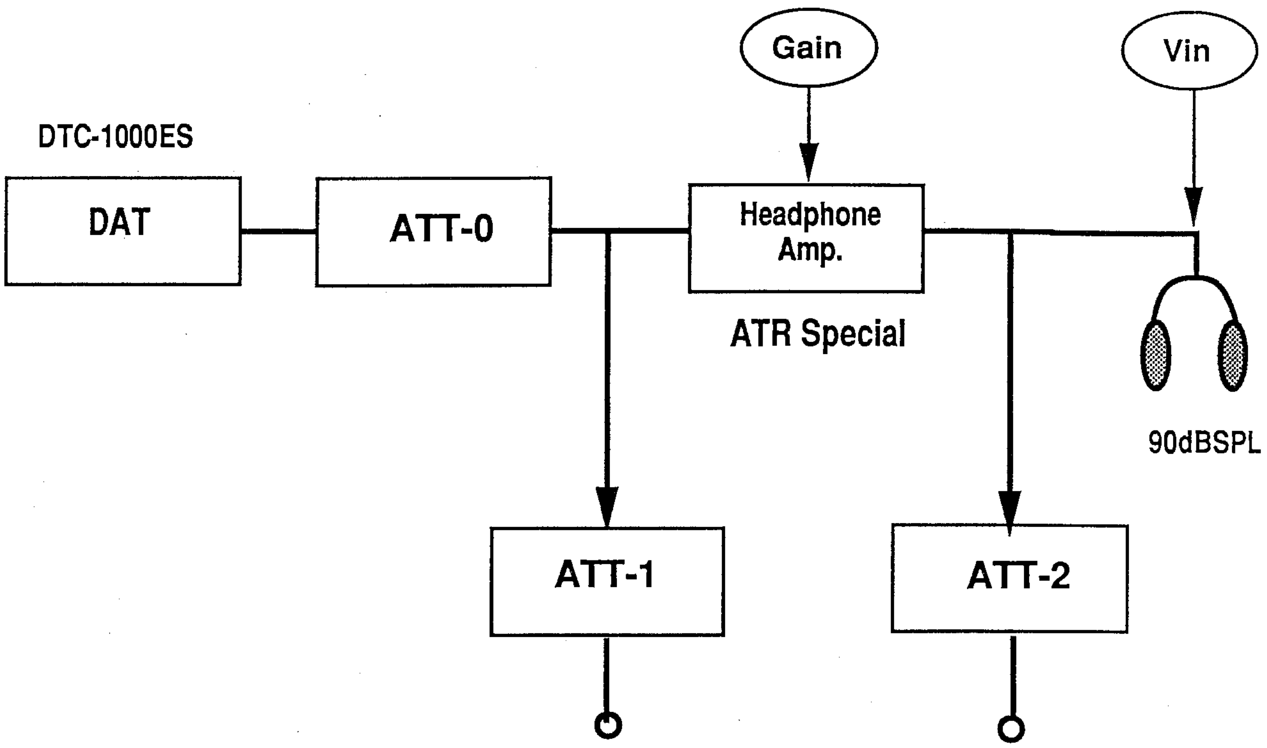


Fig. 4.6 Headphone Amplifier'sIMD measureing System



TYPE	Gain	Vin
DR988	-30.0 dB	40mVRMS
DT48	-26.5 dB	60mV
DR831	-24.0 dB	80mV
AD02	-23.7 dB	82mV
DR631	-21.5 dB	94mV
HD250	- 9.0 dB	435mV

Table 4.0 Headphone Input voltage required for 90dBSPL output

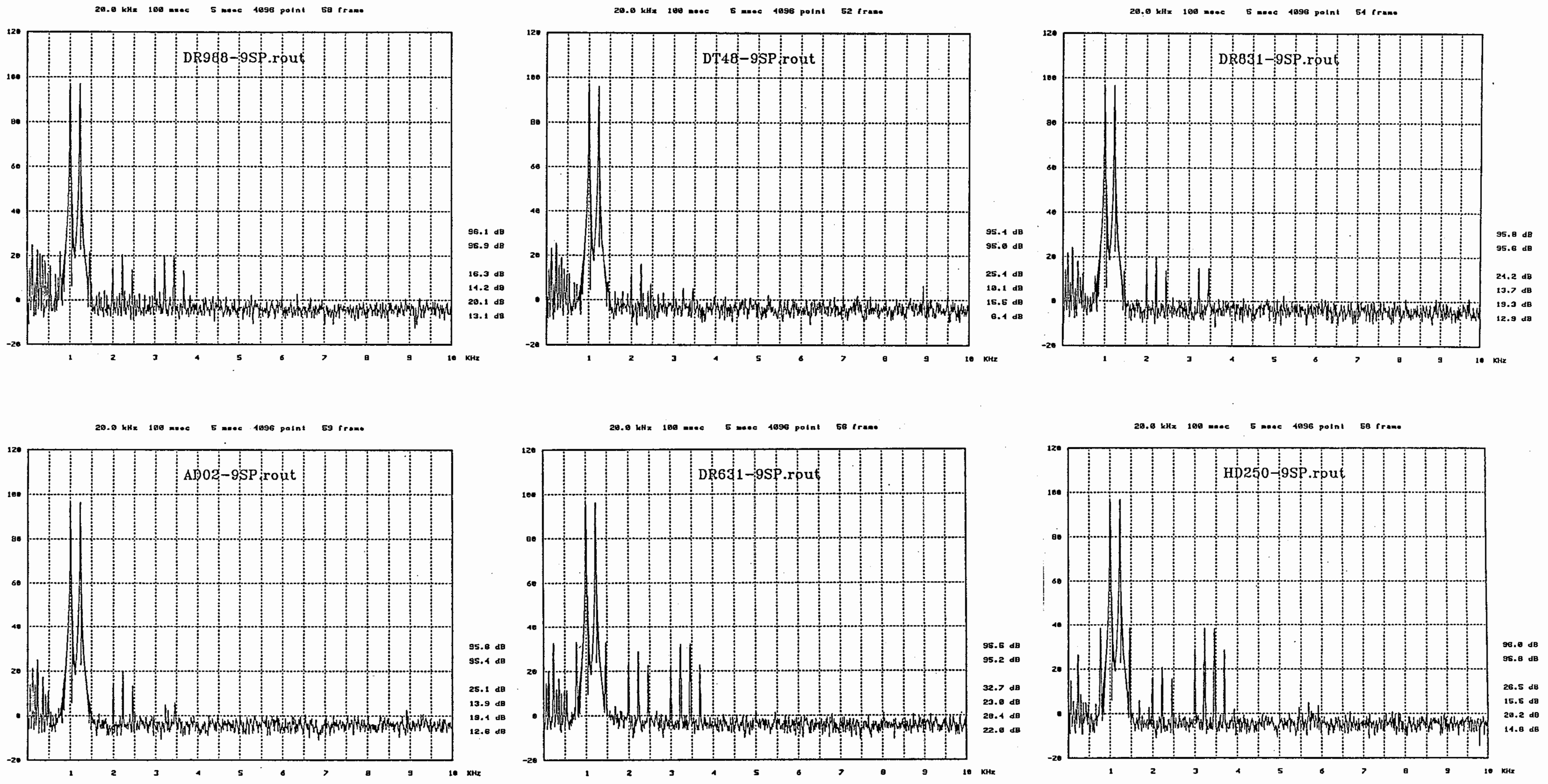


図4.7　ATR特性ﾍｯﾄﾞﾌｫﾝｱﾝﾌﾟ抵抗負荷時、出力端での2信号スペクトル(90dBSPL)

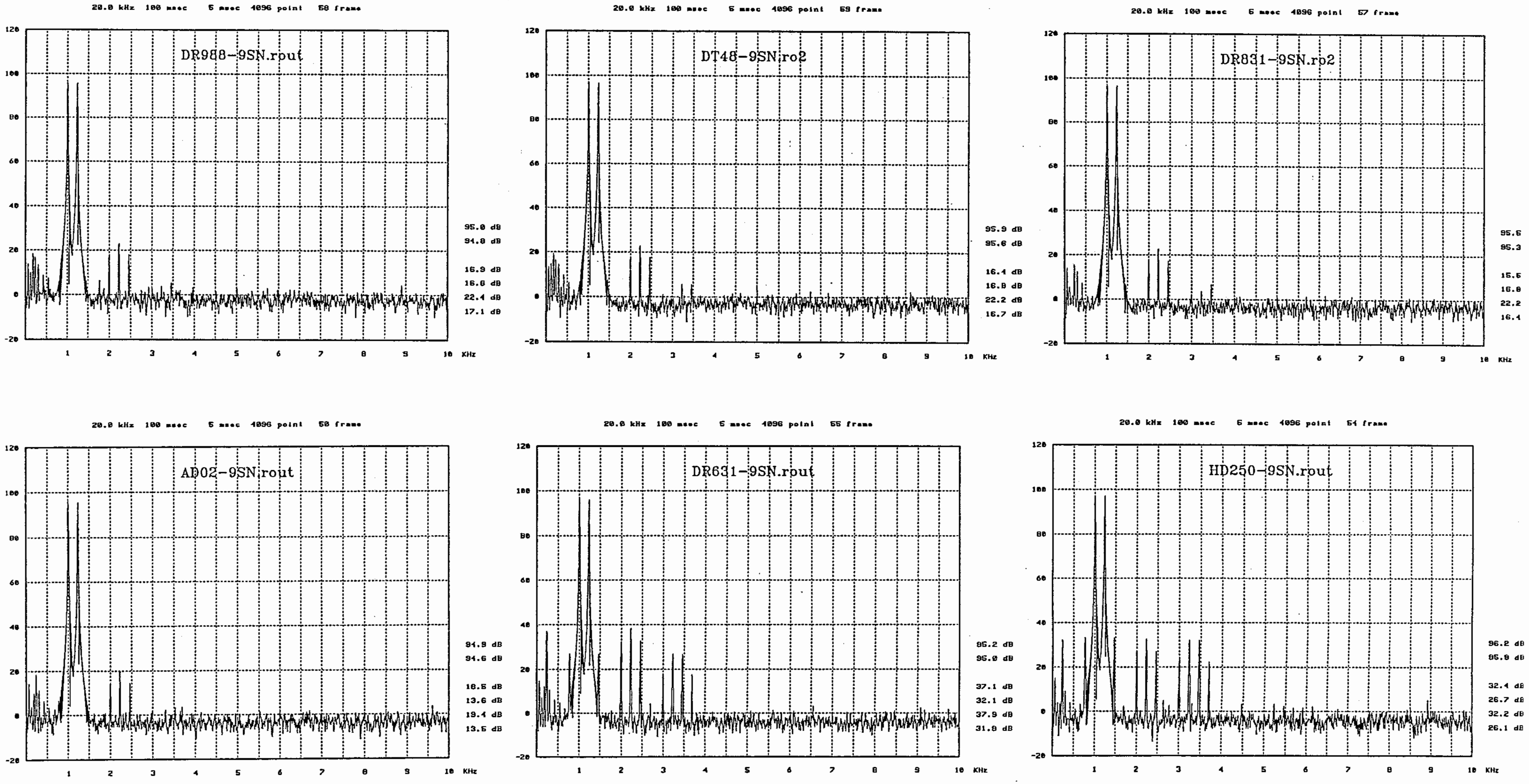


図4.8　SONY TA-E901 抵抗負荷時、出力端での２信号スペクトル(90dBSPL)

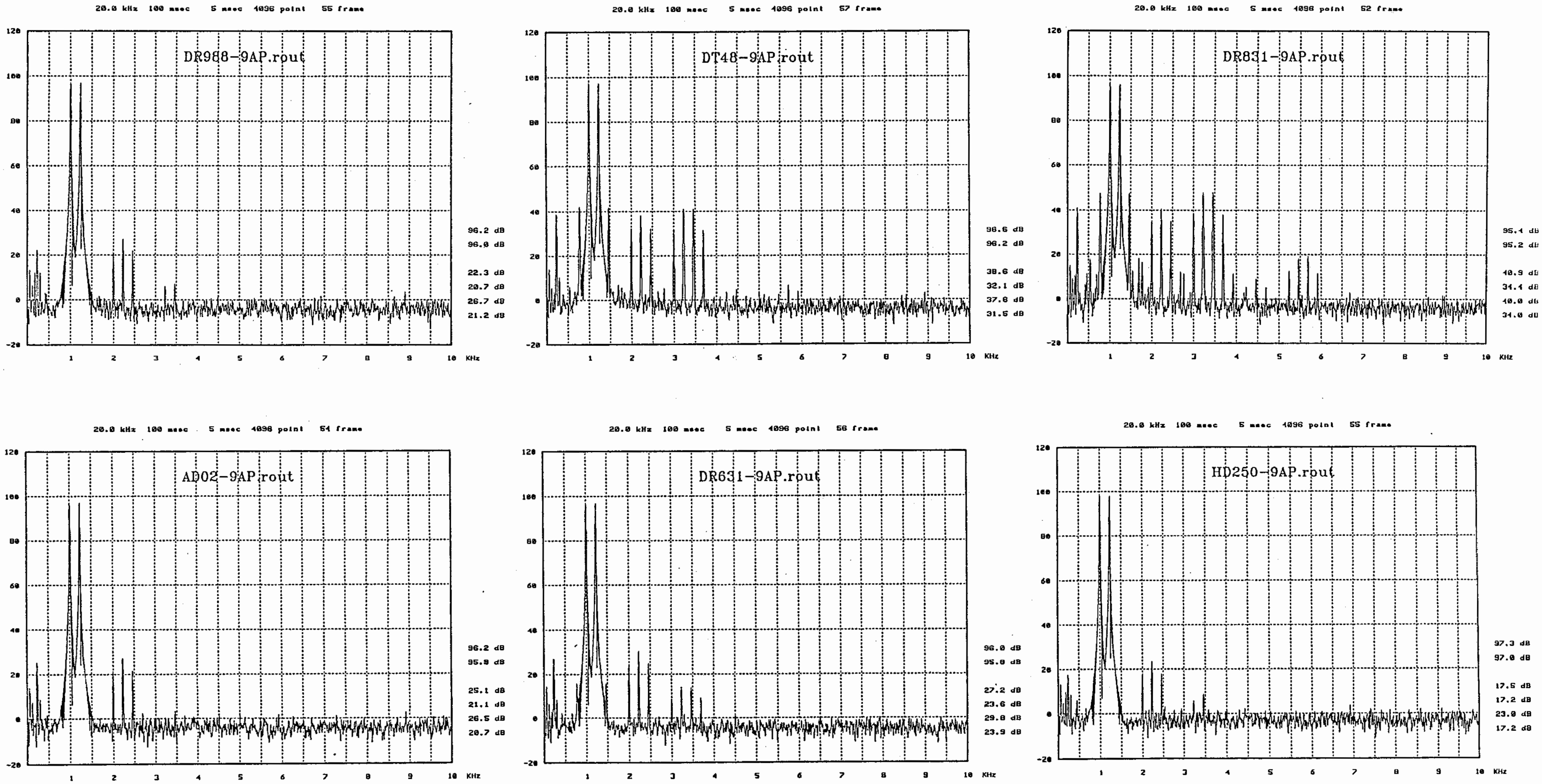


図4.9 Accuphase E-305 抵抗負荷時、出力端での2信号スペクトル(90dBSPL)

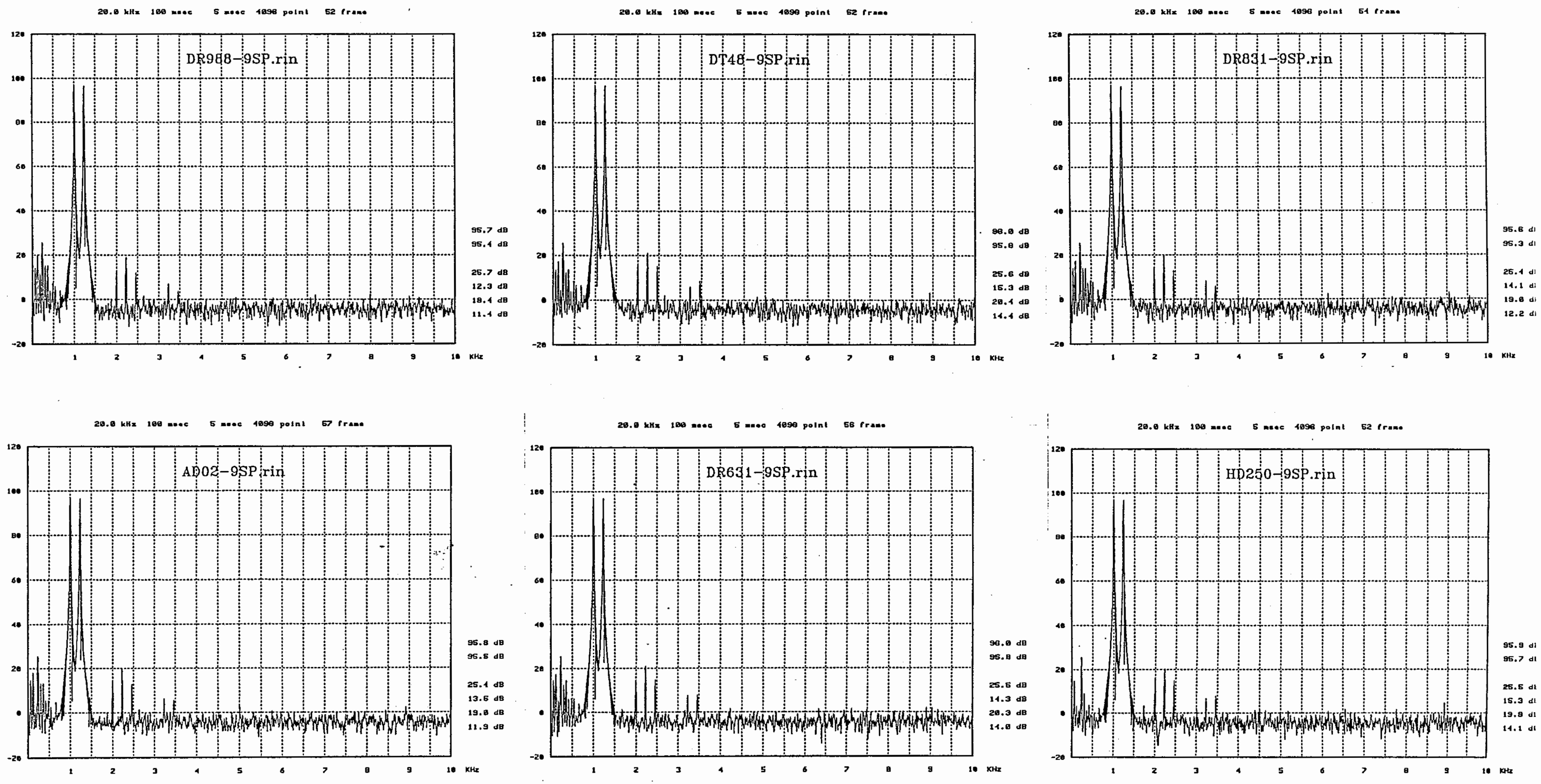


図4.10　ATR特製ﾍｯﾄﾞﾌｫﾝｱﾝﾌﾟ実負荷時、入力端での2信号スペクトル(90dBSPL)

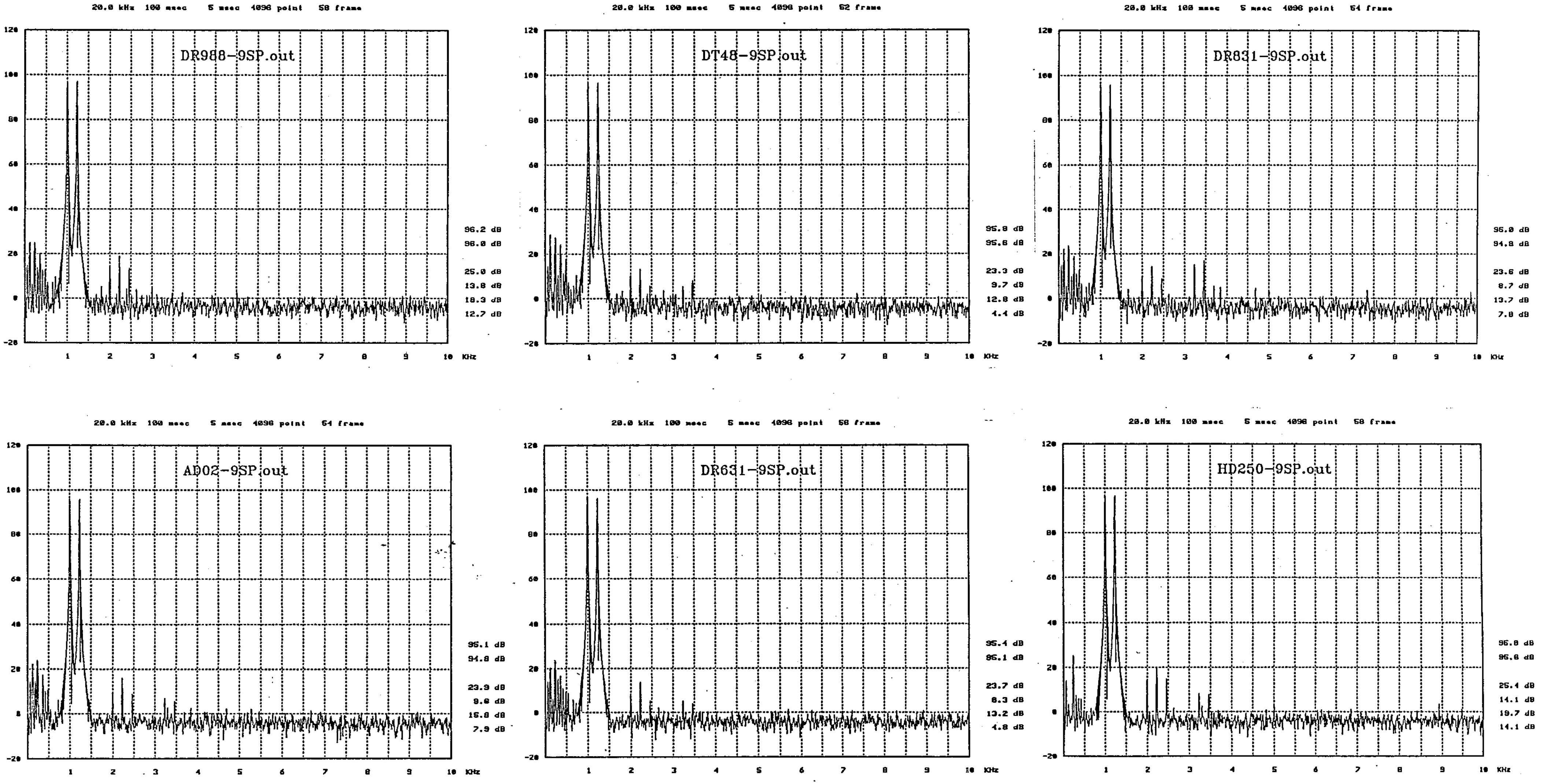


図4.11 ATR特製ﾍｯﾄﾞﾌｫﾝｱﾝﾌﾟ実負荷時、出力端での2信号スペクトル(90dBSPL)

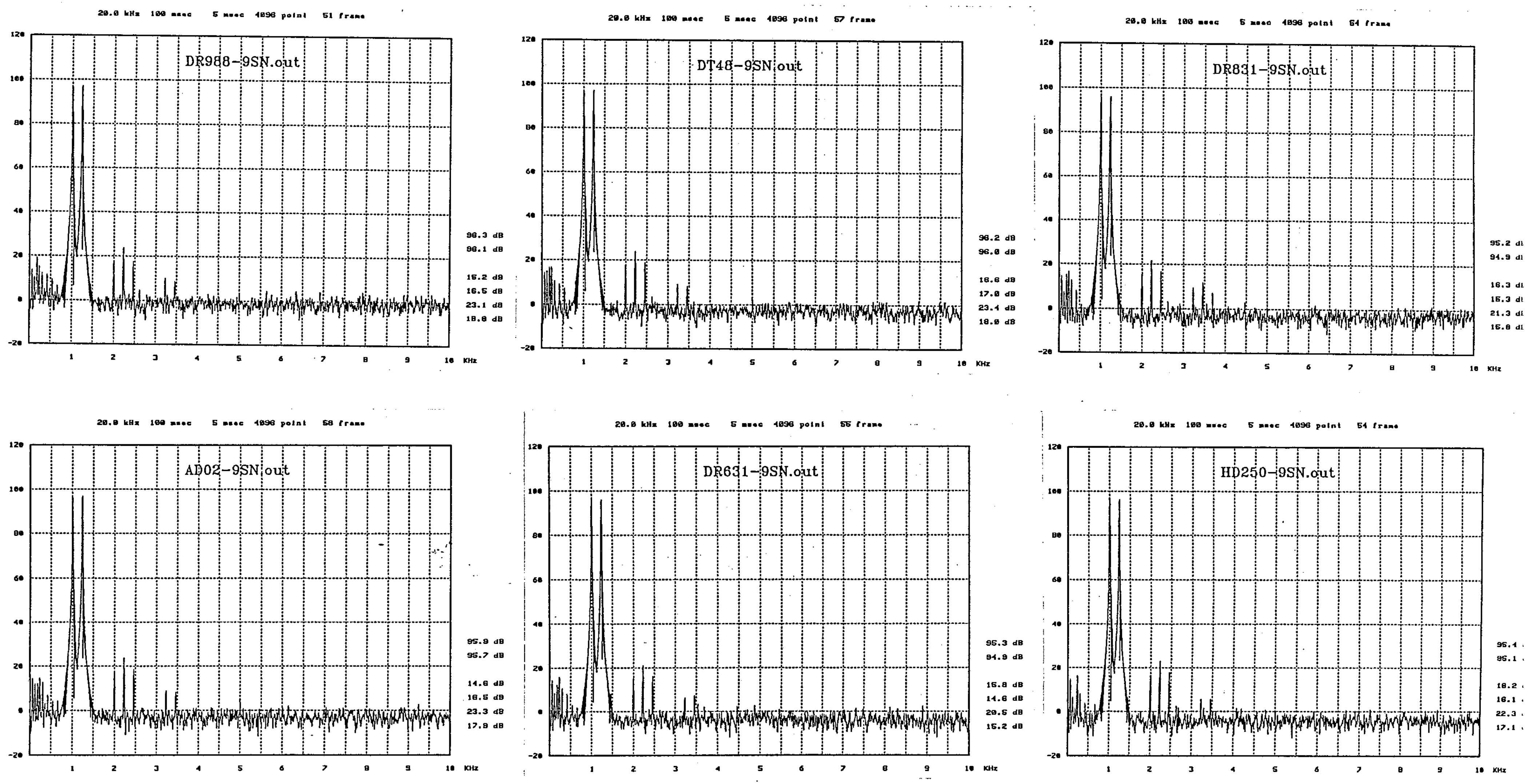


図4.12　SONY TA-E901 実負荷時、出力端での2信号スペクトル(90dBSPL)

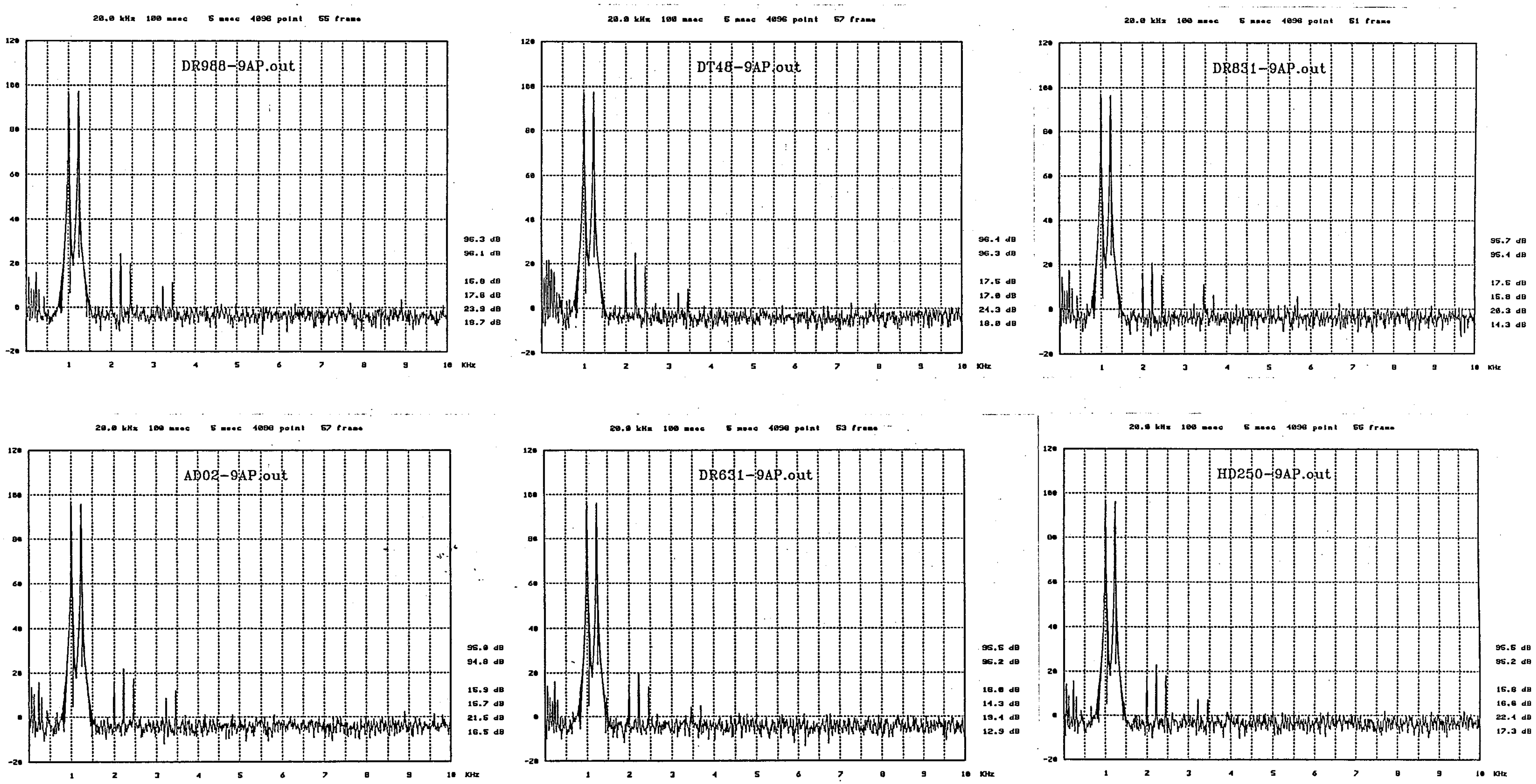


図4.13　Accuphase E-305 実負荷時、出力端での２信号スペクトル(90dBSPL)

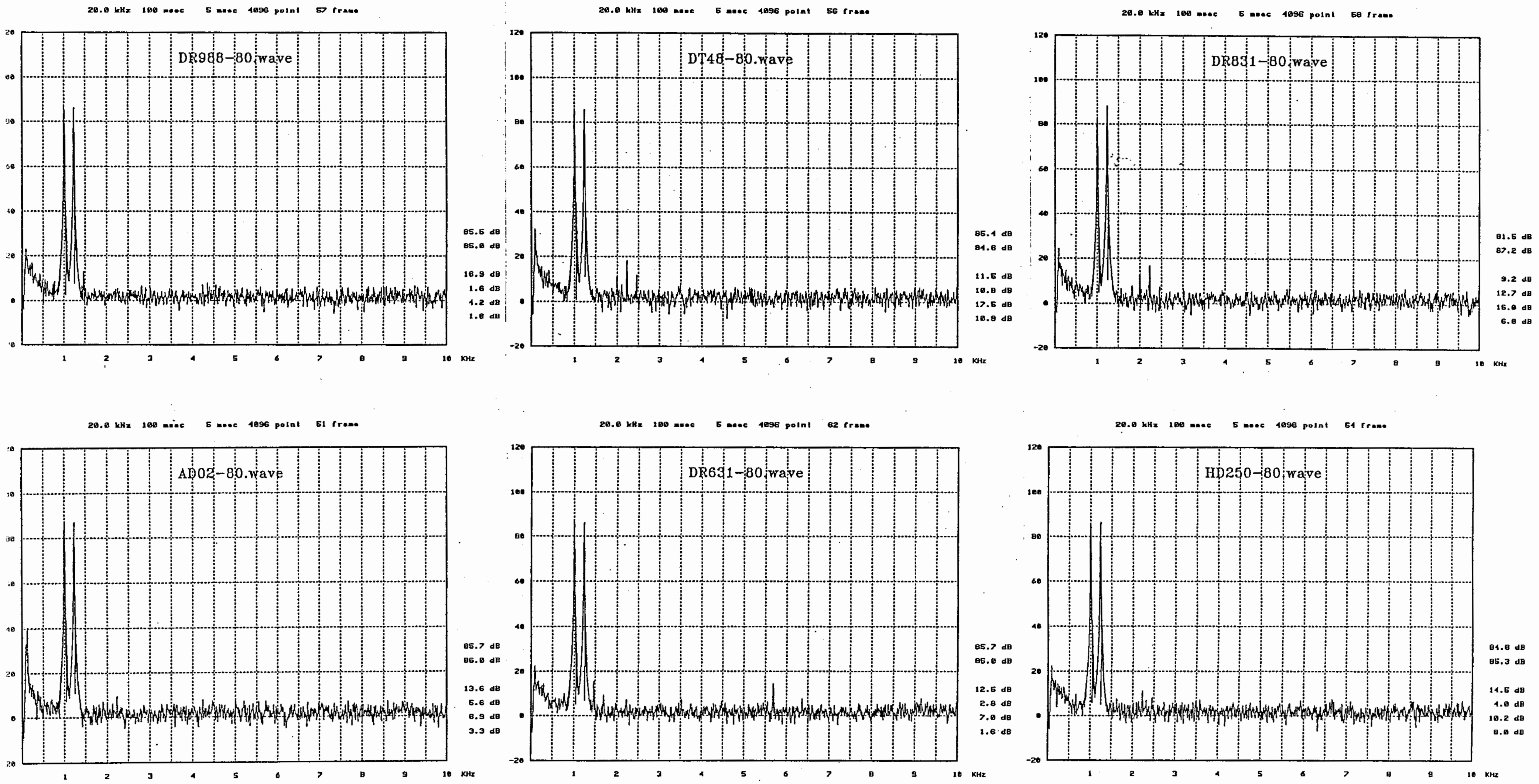


図4.14　ATR特製ﾍｯﾄﾞﾌｫﾝｱﾝﾌﾟ音響出力の２信号スペクトル(80dBSPL)

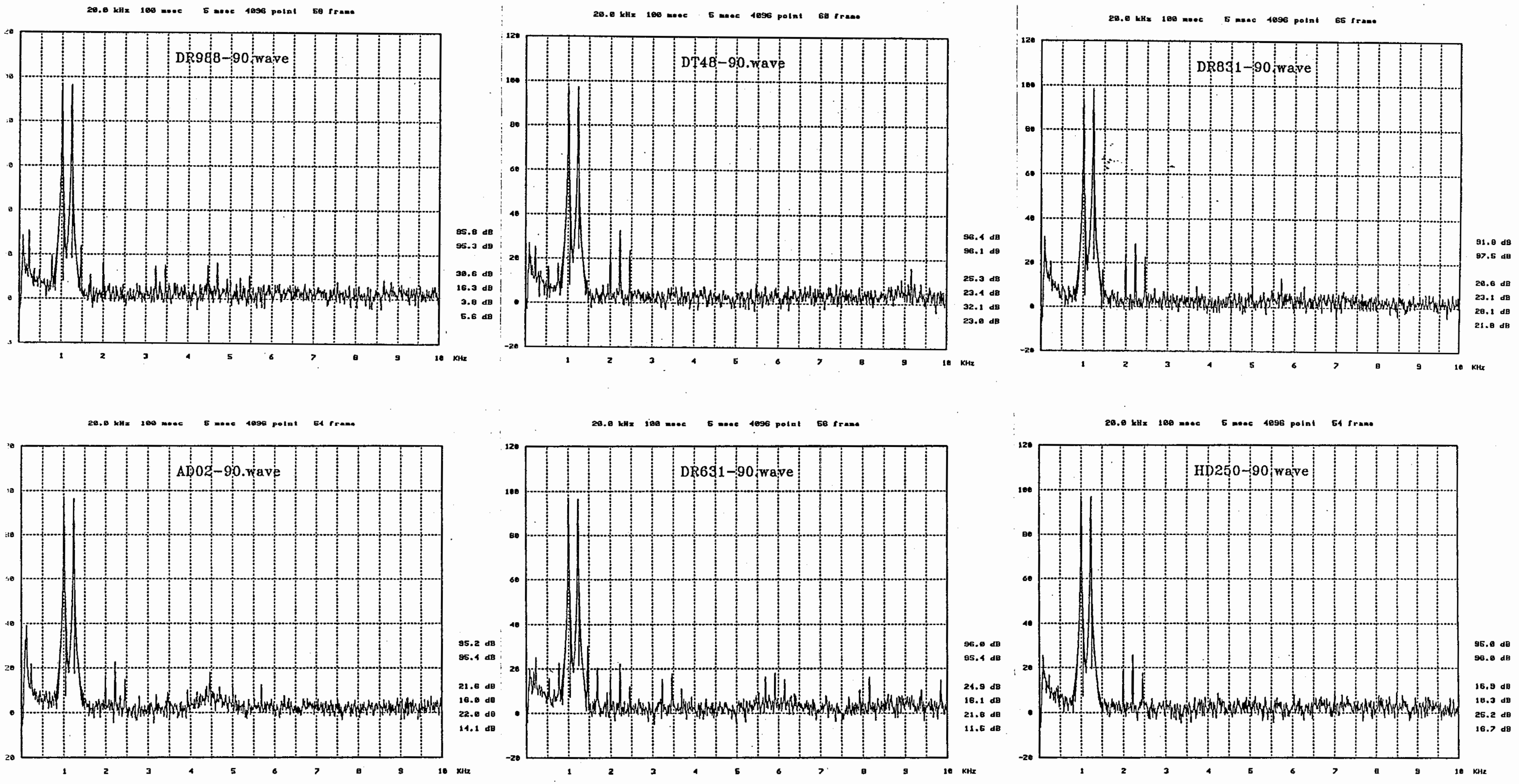


図4.15　ATR特製ﾍｯﾄﾞﾌｫﾝｱﾝﾌﾟ音響出力の２信号スペクトル(90dBSPL)

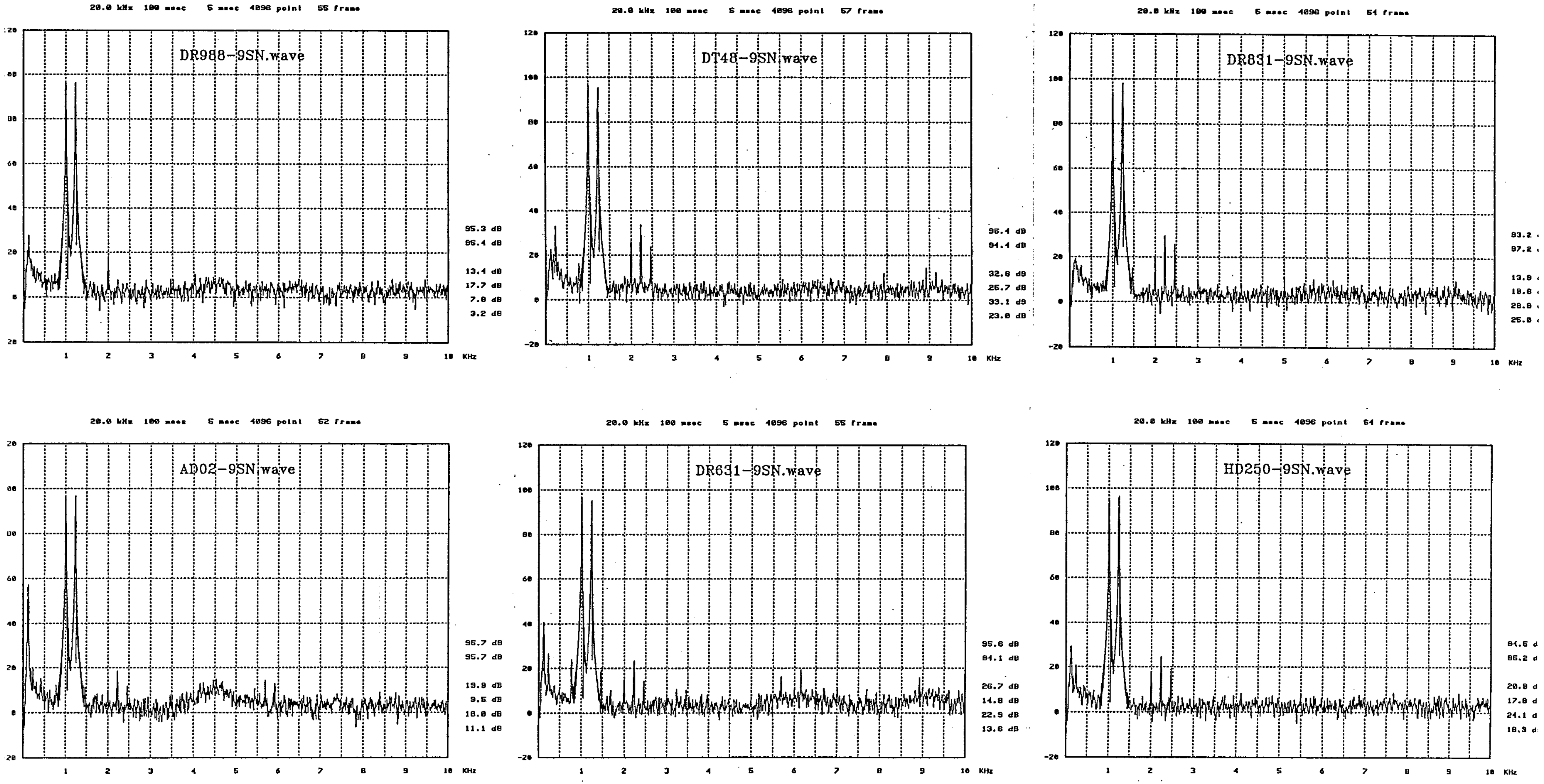


図4.16　SONY TA-E901 音響出力の２信号スペクトル(90dBSPL)

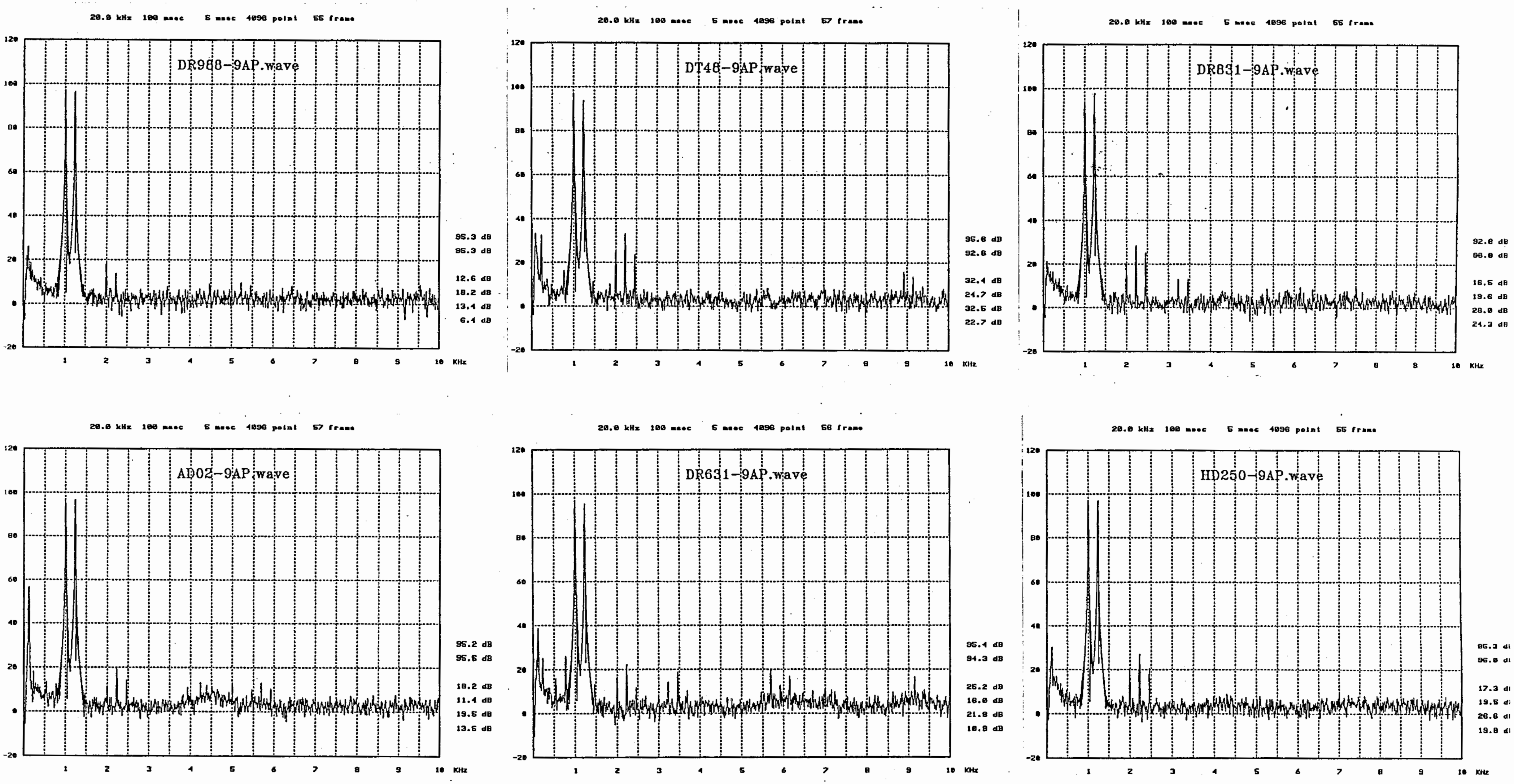


図4.17　Accuphase E-305 音響出力の２信号スペクトル(90dBSPL)

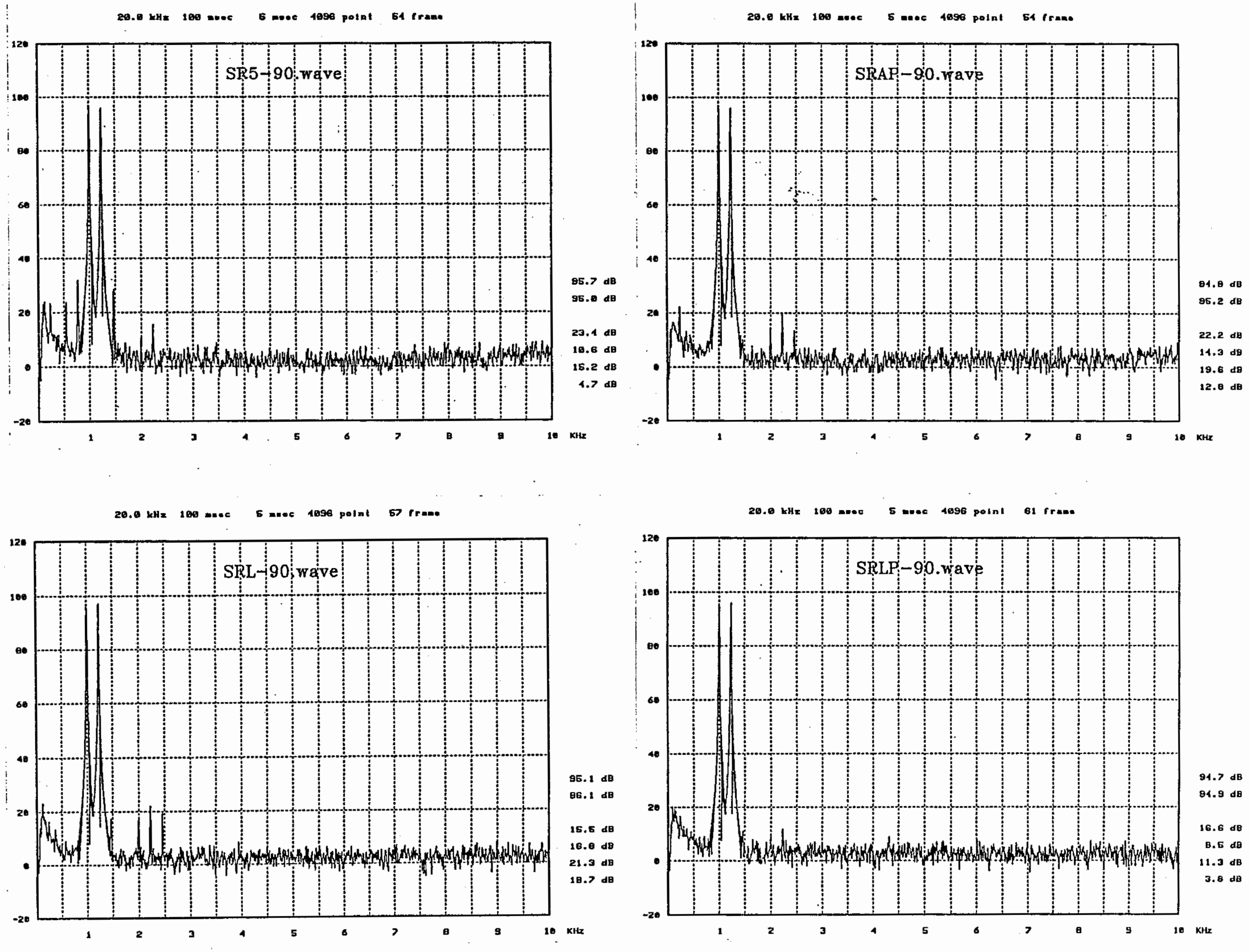


図4.18　静電型ヘッドフォン系の２信号スペクトル(80dBSPL)

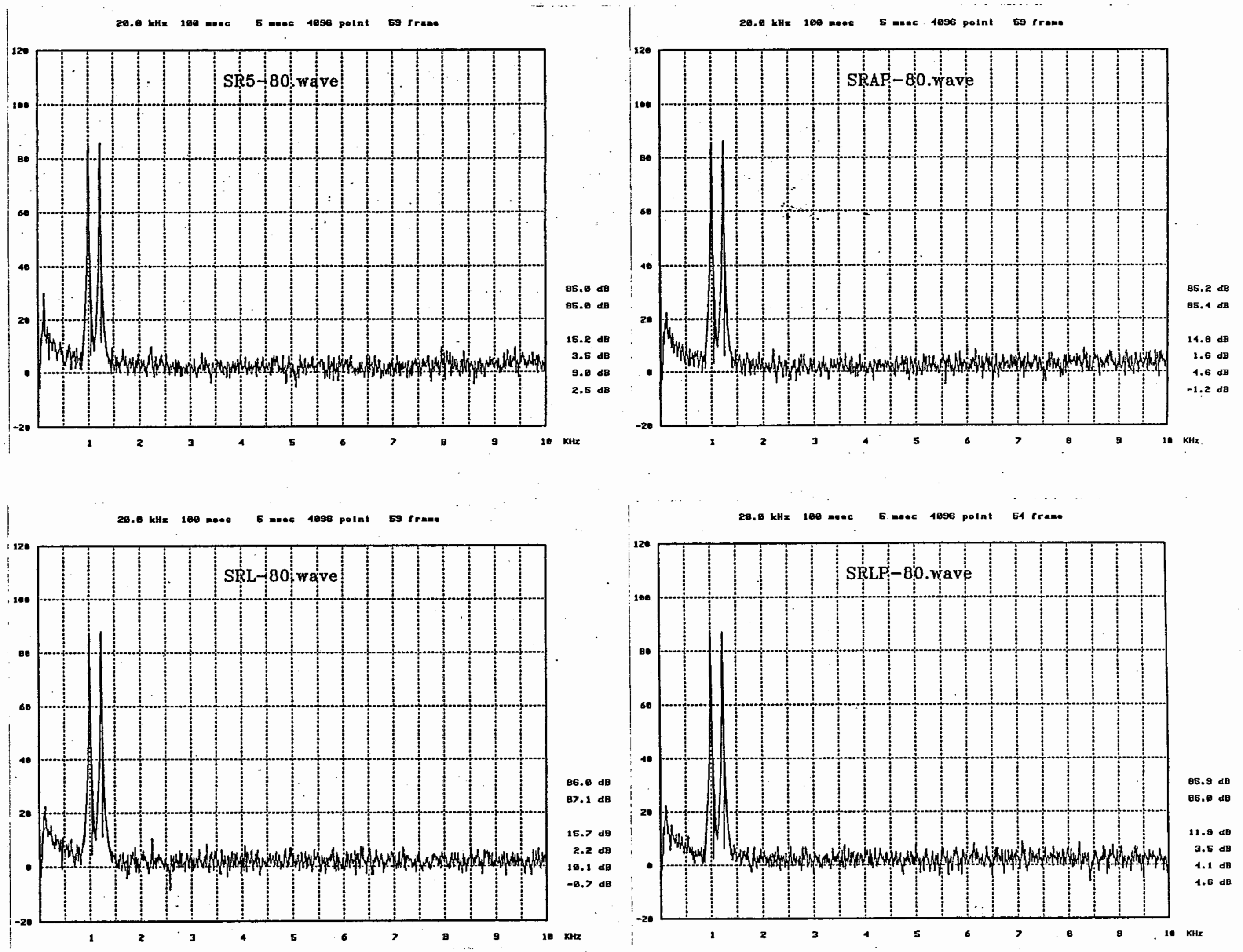


図4.19　静電型ヘッドフォン系の2信号スペクトル(90dBSPL)

付　　録

1. 測定に使用したいくつかのオーディオ機器、測定機器の諸元とブロック図

2. 2信号音スペクトルを求めるために、平均化対数スペクトルを算出しグラフィック表示、ハードコピー出力するプログラムLPS-VA1.cのリスト等。

SONY DAT DTC-1000ESの諸元

チャンネル数	2チャンネルステレオ
量子化	16bit直線
周波数特性	2Hz~22,000Hz(±0.5dB)
信号対雑音比(SN比)	92dB以上
ダイナミックレンジ	90dB以上
全高調波ひずみ率	0.005%以下(1kHz)
ワウ・フラッター	測定限界(±0.001%W.PEAK)以下

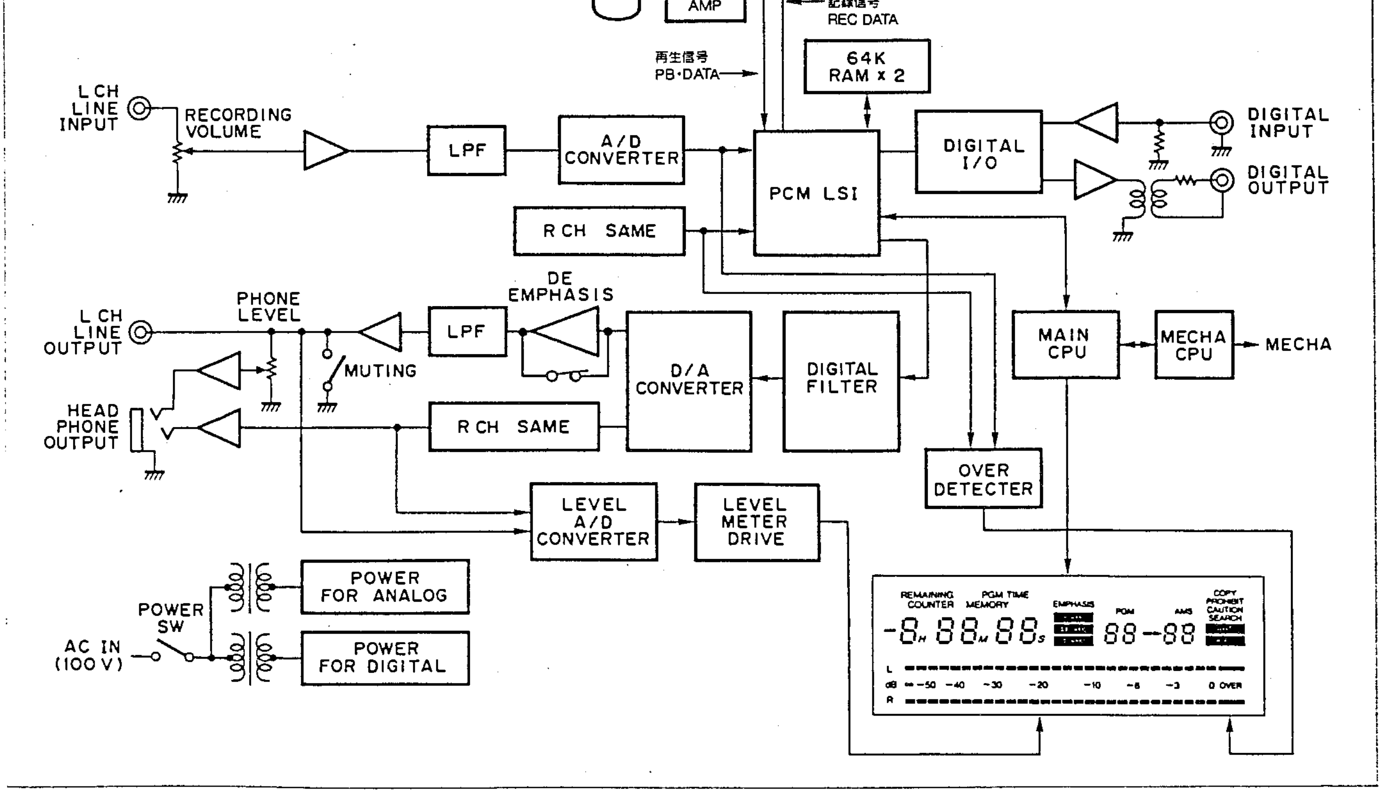
入力端子

	端子形状	入力インピーダンス	基準入力レベル
LINE IN	ピンジャック	50kΩ	−10dBs
DIGITAL IN	ピンジャック	75Ω	0.5Vp-p
SYNC	3ピン	———	———

出力端子

	端子形状	出力インピーダンス	規定出力レベル	負荷インピーダンス
LINE OUT	ピンジャック	470Ω	−10dBs	10kΩ以上
HEADPHONES	ステレオ標準ジャック	150Ω	0~28mW	32Ω
DIGITAL OUT	ピンジャック	75Ω	0.5Vp-p	75Ω

ブロックダイヤグラム



Common Specification 2610 and 2636

Amplifier Response:

Measuring Ranges:
10 μV to 30 V FSD with LED indication of particular meter range selected. 100 μV to 300 V with 10:1 Attenuator Probe ZC 0016 supplied with 2636

Frequency Range (without filters):
2 Hz to 200 kHz (± 0,5 dB) — 2610 only
1 Hz to 200 kHz (± 0,5 dB) — 2636 only
10 Hz to 50 kHz (± 0,2 dB — 2610:2636

Phase Deviation (without filters):
≤ ± 5° between any two 2610's or 2636's in 20 Hz up to 20 kHz range

Overall Gain (for 1 V FSD Output):
From —30 to + 100 dB selectable in 10 ± 0,05 dB steps, plus extra 0 to 10 dB gain for continuous adjustment between steps. LED indication of particular gain setting selected

Direct Input:
Via standard B & K coaxial socket

Impedance: 1 MΩ|| 70 pF (2610) or 1 MΩ|| 90 pF (2636)

Max. Input Voltage: 42 V RMS in accordance with IEC 348, but can withstand up to 220 V RMS (50 to 60 Hz), 400 V peak including DC component

Preamp. Input:
Via standard B & K 7 pin microphone preamplifier socket. Supplies following

Microphone Polarization: 0; + 28 and + 200 V from 20 MΩ source

Preamplifier Voltage: + 150 V (2 mA max.) 12 kΩ source

Heater Voltage: + 6 V (at 200 mA) from 30 Ω source or + 12 V (200 mA max.) from 100 mΩ source

Internal Reference:
Facilities calibration of 2610 and 2636 for sound, vibration and voltage measurements

Reference Signal: 50 mV RMS (~ 94 dB re 1 μV), 1 kHz sine wave

Amplitude Stability: Better than 2% between + 5 and 40°C (+ 41 and + 104°F)

Ext. Filters:
Provision for connecting external filters in series with internal filters and weighting networks via two BNC sockets on rear panel

To (Ext. Filter) Input: 1 V RMS nominal, 10 V peak max. output. Max. load 5 kΩ || 200 pF

From (Ext. Filter) Output: 1 V RMS nominal, 10 V peak max. input. Input impedance 1 MΩ|| 50 pF

AC Outputs:
From Output Section Amplifier via standard B & K coaxial socket on front panel

1 V FSD Output: 10 V peak max. with max. load of 10 kΩ|| 200 pF

Output Impedance: ~ 100Ω

From Recorder Amplifier via BNC socket on rear panel

1,6 V FSD Output (2610 only): 16 V peak max. with max. load of 10 kΩ || 200 pF

5 V FSD Output (2636 only): 50 V peak max. load of 10 kΩ || 200 pF

Output Impedance: ~ 50 Ω

Overload Warning:
Gain indicators flash when Input and (or) Output Section is overloaded by positive or negative signal peaks of too high level

Input Overload Level: Equivalent to 5 or 10 times FSD on meter. Level selectable using switch on rear panel

Output Overload Level: Equivalent to 10 times FSD on meter

Min. Overload Duration: 200 μs

Duration of Warning: 0,5 s or longer

Harmonic Distortion:
Input Section: < 0,01% at 1 kHz. < 0,1% at 50 kHz. Max. load 5 kΩ || 200 pF

Output Section: < 0,1% at 1 kHz. < 0,3% at 50 kHz. Max. load 10 kΩ || 200 pF

Noise Referred to Input:
Max. amplification with input shorted

Input Section Noise:

Lin 2 (or 22,4) Hz to 200 kHz	≤ 5 μV
Lin 2 (or 22,4) Hz to 22,4 kHz	≤ 1,5 μV
A, B and C Weighting	≤ 1,5 μV
D Weighting	≤ 2,5 μV

Output Section Noise:

Lin 2 Hz to 200 kHz	≤ 50 μV

Signal to Noise Ratio:
Approximately 100 dB in "100 mV" reference position

Influence of Magnetic Fields:
Input section with maximum gain and input short circuited < 10 μV at 80 A/m 50 Hz

Electromagnetic Compatibility:
Comply with class B computing device of American FCC (Federal Communication Commission) Rules

Detector Temp. Stability:
± 0,5 dB from + 5 to + 40°C

Temperature Range:
Operation: + 5 to + 40°C (+ 41 to + 104°F)
Storage: —25 to + 70°C (—13 to + 158°F)

Humidity:
0 to 90% RH non condensing

Power Requirements:
Complies with IEC 348 Safety Class II

Supply Voltage: 100; 115; 127; 200; 220; 240 V (50 - 60 Hz) ± 10% AC
Power Consumption:
~ 25 VA nominal (2610 only)
~ 31 VA nominal (2636 only)

Cabinet:
Supplied as model A (light-weight metal cabinet), B (model A in mahogany case), or model C (as A but with flanges for standard 19 inch rack)

Dimensions:
Metal cabinet excluding knobs and feet
Height: 133 mm (5,2 in)
Width: 430 mm (16,9 in)
Depth: 200 mm (7,9 in)

Weight:
2610: 5,2 kg (11,5 lb)
2636: 6,5 kg (14,3 lb)

B&K 2636 のブロック図

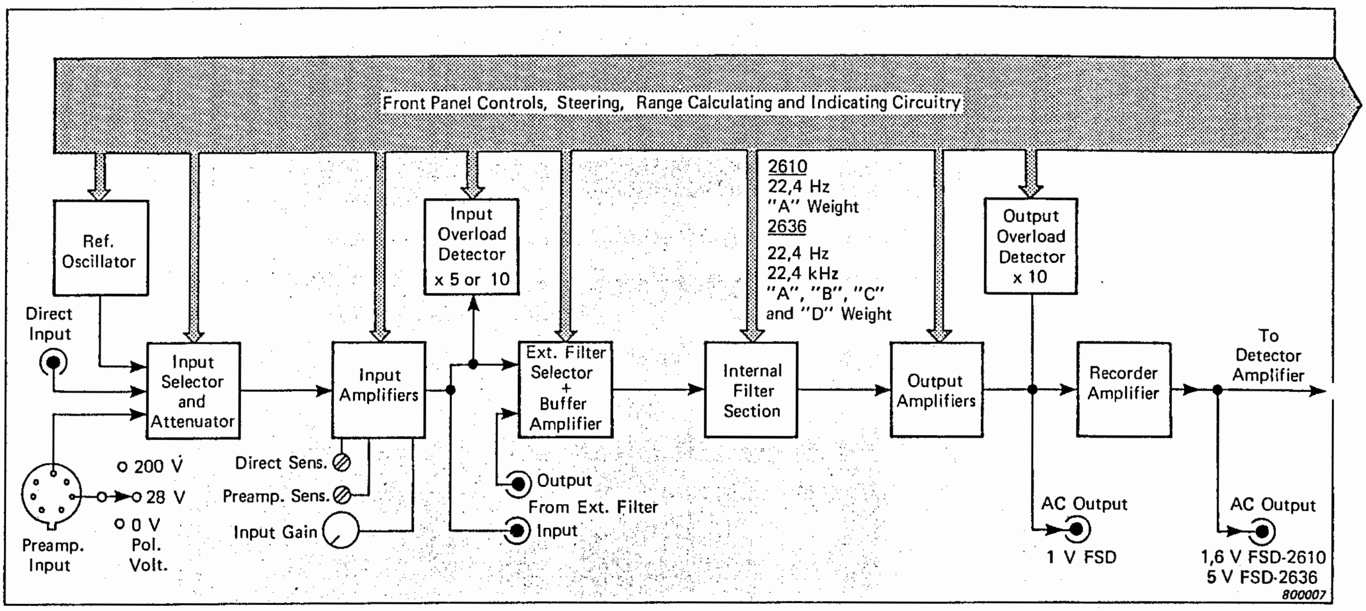


Fig.1. Input and Output AC Amplifier Sections of Measuring Amplifiers Types 2610 and 2636

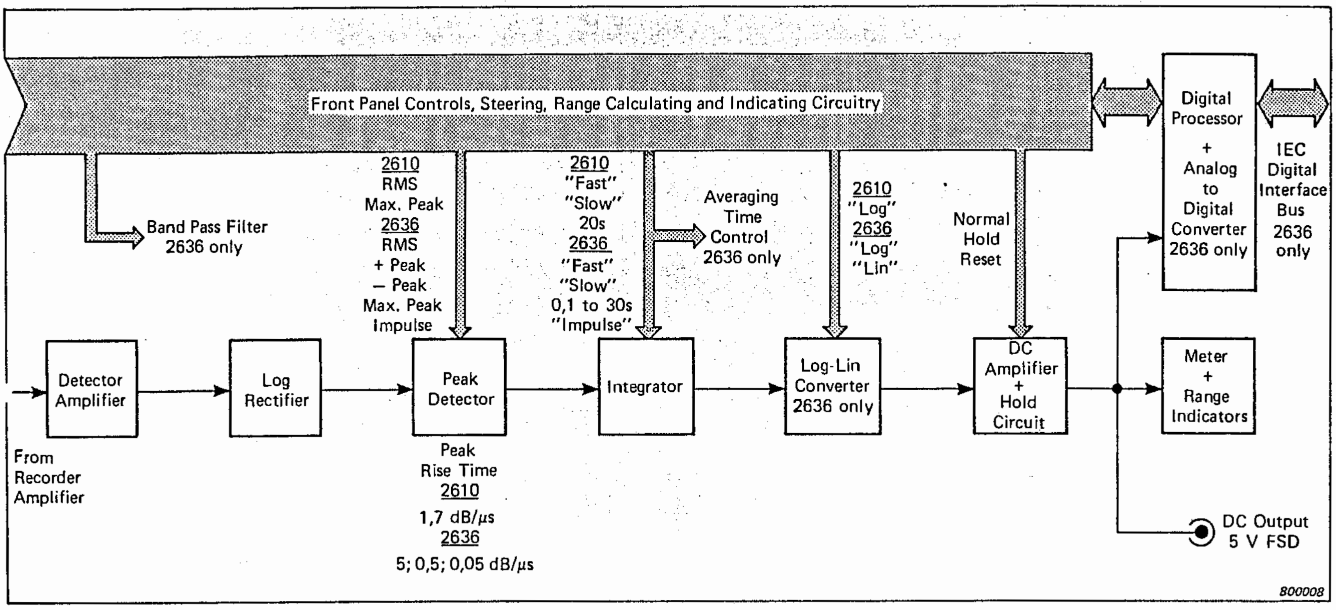


Fig.2. Rectifier and Meter Sections of Measuring Amplifier Type 2610, plus Digital Processing section of Measuring Amplifier Type 2636

SONY TA-E901 の諸元

型式　ステレオ プリアンプ

回路方式　イコライザーアンプ、フラットアンプ

　初段：カスコードブートストラップ差動アンプ

　2 段目：カスコード接続差動アンプ

　出力段：ダーリントン接続エミッタホロワシングルエンド プッシュプル出力

　　（イコライザーはNF型）

ヘッドアンプ

　コンプリメンタリー差動No NFBループアンプ

入力端子

		入力感度	入力インピーダンス	最大許容入力(1kHz)	S/N (IHF-Aネットワーク)
PHONO 1	MM	2.5mV	50kΩ	180mV	84dB
PHONO 2	MC	0.125mV	200Ω	9mV	72dB
TUNER, AUX 1,2 TAPE 1,2		150mV	50kΩ	――	102dB

出力端子

	出力電圧	出力インピーダンス
REC OUT 1, 2	150mV	1kΩ
OUTPUT 1, 2	1.5V (最大12V)	100Ω
HEADPHONES	670mV	10Ω

高調波ひずみ率　0.008%以下（8V出力時）

混変調ひずみ率(60Hz:7kHz=4:1)

　0.008%以下（8V出力時）

周波数特性　PHONO 1, 2：RIAAカーブ±0.2dB

　TUNER, AUX 1, 2, TAPE 1, 2：5Hz〜200kHz $^{+0}_{-1}$ dB

トーンコントロール

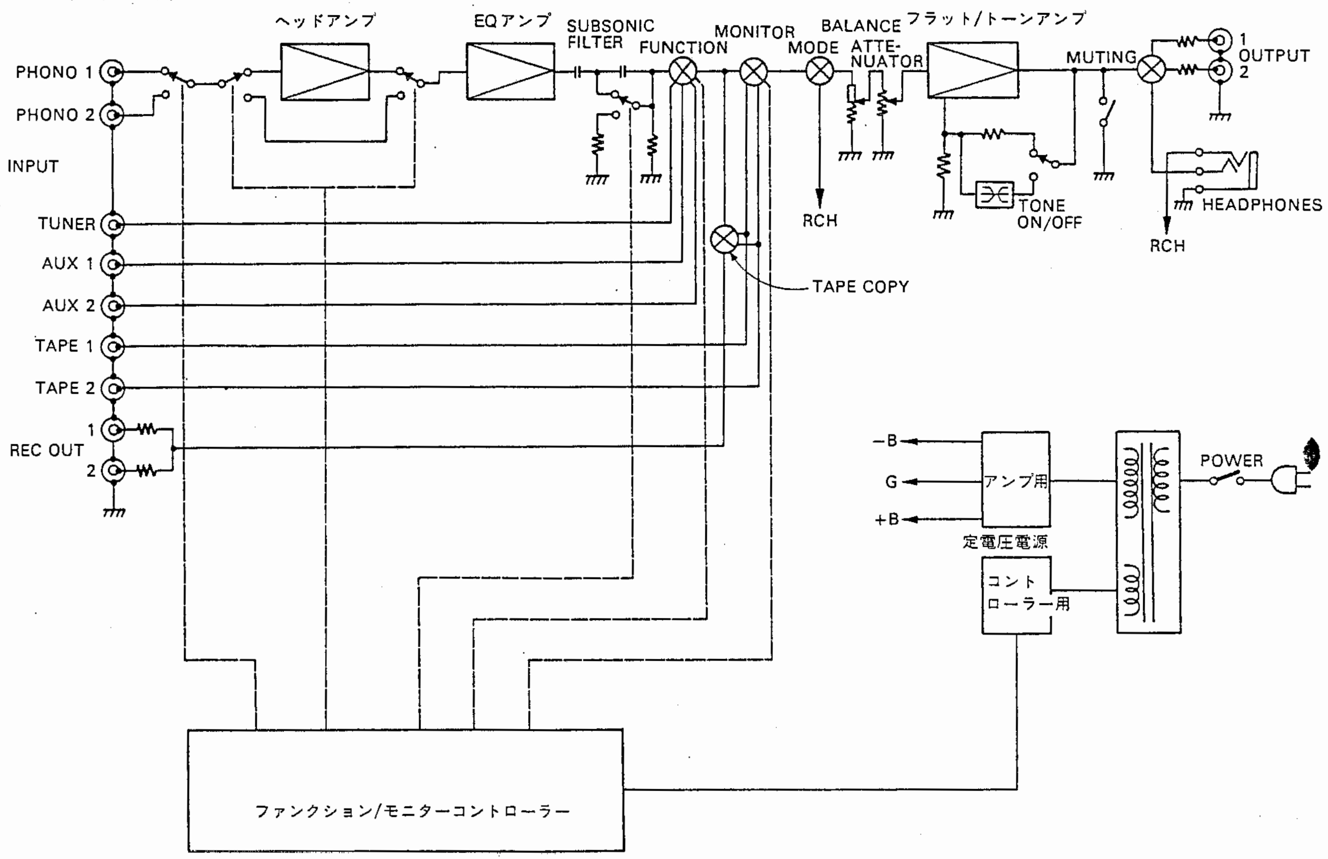
　BASS：±10dB（60Hzにて、ターンオーバー周波数300Hz）

　TREBLE：±10dB（25kHzにて、ターンオーバー周波数5kHz）

フィルター（PHONO入力）

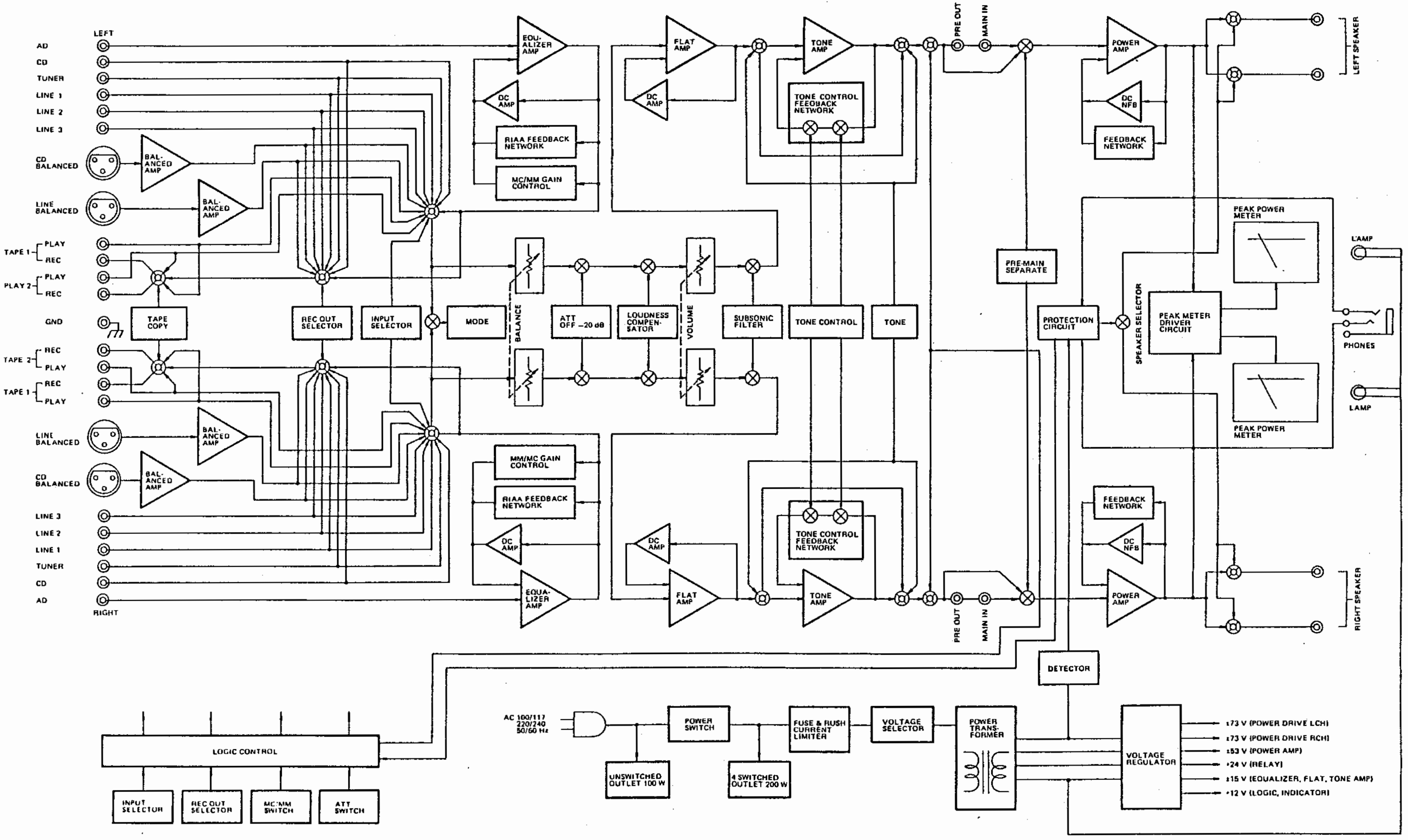
　SUBSONIC：12dB/oct（カットオフ周波数15Hz）

残留ノイズ　12μV以下（IHF-Aネットワーク）

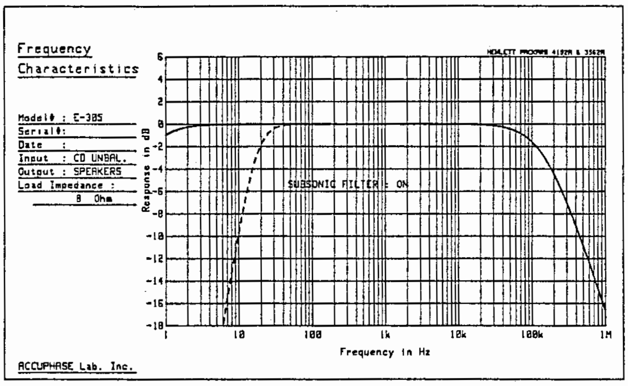


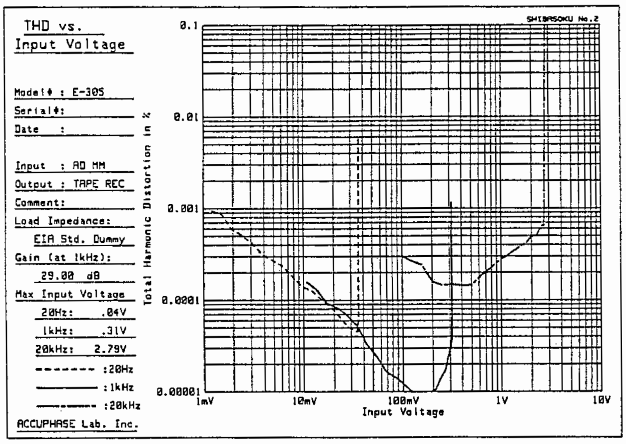
ブロック・ダイアグラム

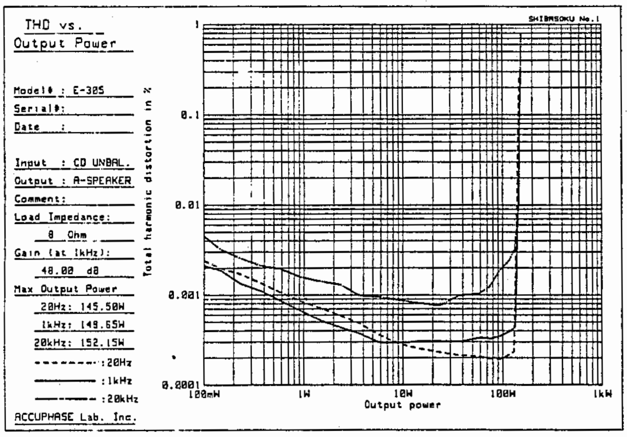
INTEGRATED STEREO AMPLIFIER E-305

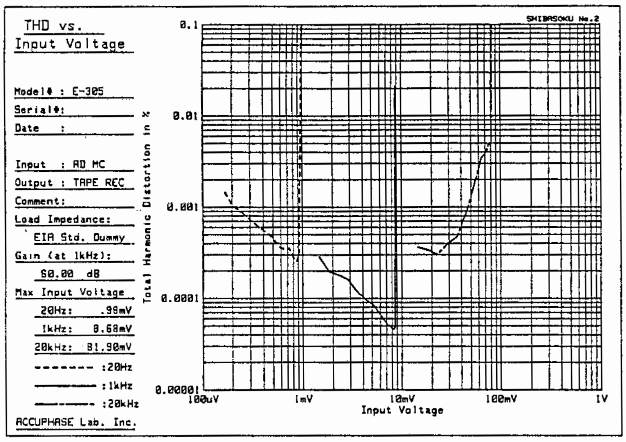


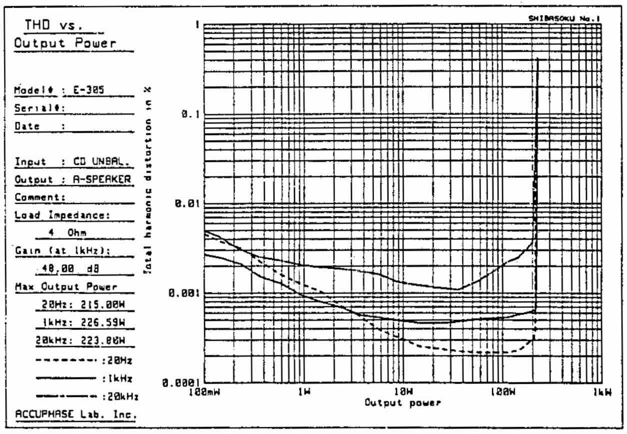
特性グラフ

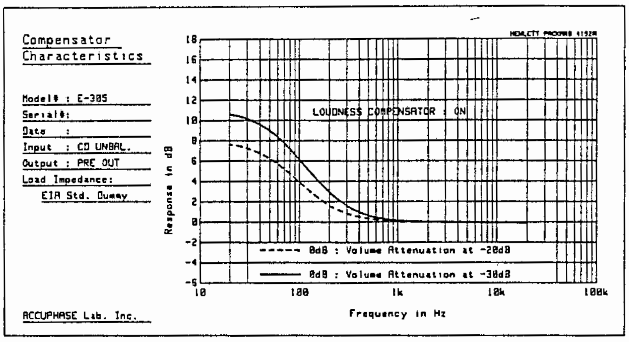

Frequency Characteristics
Model# : E-305
Serial#:
Date :
Input : CD UNBAL.
Output : SPEAKERS
Load Impedance : 8 Ohm
SUBSONIC FILTER : ON
Response in dB
Frequency in Hz
ACCUPHASE Lab. Inc.


THD vs. Input Voltage
Model# : E-305
Serial#:
Date :
Input : AD MM
Output : TAPE REC
Comment:
Load Impedance: EIA Std. Dummy
Gain (at 1kHz): 29.00 dB
Max Input Voltage
20Hz: .84V
1kHz: .31V
20kHz: 2.79V
:20Hz
:1kHz
:20kHz
Total Harmonic Distortion in %
Input Voltage
ACCUPHASE Lab. Inc.


THD vs. Output Power
Model# : E-305
Serial#:
Date :
Input : CD UNBAL.
Output : A-SPEAKER
Comment:
Load Impedance: 8 Ohm
Gain (at 1kHz): 48.00 dB
Max Output Power
20Hz: 145.50W
1kHz: 149.65W
20kHz: 152.15W
:20Hz
:1kHz
:20kHz
Total harmonic distortion in %
Output power
ACCUPHASE Lab. Inc.


THD vs. Input Voltage
Model# : E-305
Serial#:
Date :
Input : AD MC
Output : TAPE REC
Comment:
Load Impedance: EIA Std. Dummy
Gain (at 1kHz): 60.00 dB
Max Input Voltage
20Hz: .99mV
1kHz: 8.68mV
20kHz: 81.90mV
:20Hz
:1kHz
:20kHz
Total Harmonic Distortion in %
Input Voltage
ACCUPHASE Lab. Inc.


THD vs. Output Power
Model# : E-305
Serial#:
Date :
Input : CD UNBAL.
Output : A-SPEAKER
Comment:
Load Impedance: 4 Ohm
Gain (at 1kHz): 48.00 dB
Max Output Power
20Hz: 215.00W
1kHz: 226.59W
20kHz: 223.00W
:20Hz
:1kHz
:20kHz
Total harmonic distortion in %
Output power
ACCUPHASE Lab. Inc.


Compensator Characteristics
Model# : E-305
Serial#:
Date :
Input : CD UNBAL.
Output : PRE OUT
Load Impedance: EIA Std. Dummy
LOUDNESS COMPENSATOR : ON
0dB : Volume Attenuation at -20dB
0dB : Volume Attenuation at -30dB
Response in dB
Frequency in Hz
ACCUPHASE Lab. Inc.

保証特性

【保証特性はEIA測定法RS-490に準ずる/AD：アナログ・ディスク】

連続平均出力

180W/ch　4Ω負荷
130W/ch　8Ω負荷
（両チャンネル同時動作 20～20,000Hz間
ひずみ率0.02%）

全高調波ひずみ率

0.02%　4～16Ω負荷
（両チャンネル同時動作　0.25W～連続平均出力間
20～20,000Hz間）

IMひずみ率

0.01%

周波数特性

MAIN AMP INPUT　：20～20,000Hz　0　−0.2dB
（定格出力時）
0.5～150,000Hz　0　−3.0dB
（1W出力時）
HIGH LEVEL INPUT：20～20,000Hz　0　−0.2dB
（定格出力時）
LOW LEVEL INPUT　：20～20,000Hz　+0.2　−0.5dB
（定格出力時）

ダンピング・ファクター

100（8Ω負荷　50Hz）

定格入力・入力インピーダンス

入力端子	入力感度		入力インピーダンス
	定格出力時	EIA(1W出力時)	
AD INPUT(MC)	0.128mV	0.01mV	100Ω
AD INPUT(MM)	4.3mV	0.38mV	47kΩ
HIGH LEVEL INPUT	125mV	11.8mV	20kΩ
BALANCED INPUT	125mV	11.8mV	40kΩ
MAIN AMP INPUT	1.28V	121mV	20kΩ

ディスク最大入力

MM入力：300mVrms、1kHz、ひずみ率　0.005%
（REC OUT）
MC入力：8.0mVrms、1kHz、ひずみ率　0.005%
（REC OUT）

定格出力・出力インピーダンス

PRE OUTPUT　1.28V　200Ω
TAPE REC OUTPUT　125mV　200Ω（ADより）
HEADPHONES　0.4V　適合インピーダンス
4～100Ω

ゲイン

MAIN INPUT → OUTPUT：28dB
HIGH LEVEL INPUT → PRE OUTPUT：20dB
AD INPUT (MM) → TAPE REC OUTPUT：29dB
AD INPUT (MC) → TAPE REC OUTPUT：60dB

トーン・コントロール

ターンオーバー周波数及び可変範囲
低音：300Hz　±10dB（50Hz）
高音：3kHz　±10dB（20kHz）

ラウドネス・コンペンセーター

+6dB（100Hz）
（VOLUMEコントロール　−30dBにて）

S/N・入力換算雑音

入力端子	入力ショート・A-補正		EIA S/N
	定格入力時 S/N	入力換算雑音	
MAIN AMP INPUT	123dB	−121dBV	102dB
HIGH LEVEL INPUT	108dB	−126dBV	82dB
BALANCED INPUT	90dB	−108dBV	82dB
AD INPUT (MM)	86dB	−137dBV	80dB
AD INPUT (MC)	66dB	−147dBV	75dB

サブソニック・フィルター

17Hz、−12dB/oct

アッテネーター

−20dB

パワーメーター

対数圧縮型ピークレベル表示
dB目盛及び8Ω負荷時の出力直読

負荷インピーダンス

2～16Ω

使用半導体

77 Tr　34 FET　20 IC　78 Di

電源・消費電力

100V　117V　220V　240V　50/60Hz
無入力時　60W
電気用品取締法　310W
8Ω負荷定格出力時　490W

寸法・重量

幅475mm × 高さ170mm(脚含む) × 奥行375mm
20.5kg

```
/*
*******************************************************************************
                                                                filename = LPS-VA1.c
                Logarithmic Power Spectrum with DFT - VA1

                        Originally programmed by T Hirahara   Feb. 1990
                                     Modified by S.Suzuki     Feb. 1990

*******************************************************************************
*/

# include       <stdio.h>
# include       <sys/types.h>
# include       <sys/stat.h>
# include       <unistd.h>
# include       <fcntl.h>
# include       <math.h>
# include       <string.h>
# include       <aplib.h>
# include       <maperrs.h>
# include       <libgpdefs.h>

# define        MAXCHAR         80
# define        MAXFRM          200
# define        MAXFILE         400
# define        MAXSAMPL        4096
# define        MARGIN          100             /* msec */

# define        BUFFER          1
# define        VACOUNT         1
# define        DSLOCK          1
# define        MAX_VA_NUM      31741

# define        HCINC           8
# define        HFINC           4
# define        VCINC           2
# define        VFINC           1

static  int     V0,V1,V2,C0;
static double   dist_freq[6] = { 1000.0, 1230.0, 230.0, 2000.0, 2230.0, 2460.0 };

typedef struct{ float real,imag;} COMPLEX;
COMPLEX speech[MAXSAMPL];


main( argc, argv )
   int  argc;
   char *argv[];
   {
      FILE      *cont_fp,                       /* control file pointer         */
                *sig_fp,                        /* data file pointer            */
                *sto_fp;                        /* save file pointer            */
      char      str_buff[MAXCHAR],              /* buffer for string data       */
                cont_fn[MAXCHAR],               /* control file name            */
                sig_fn[MAXFILE][MAXCHAR],       /* signal file name             */
                sto_fn[MAXFILE][MAXCHAR],       /* save table file name         */
                fname[MAXCHAR],                 /* file name for graphic        */
                distortion[6][MAXCHAR],         /* distortion data              */
                mesur_val[MAXCHAR];             /* the valiables for measurement */
      int       i, j,                           /* loop counter                 */
                int_buff,                       /* buffer for integer data      */
                idx, id,                        /* some index                   */
                leng,                           /* length of data file name     */
                cnt_l, cnt_f,                   /* loop counter for file, frame */
                oldcolor[100],                  /* I don`t know what is this value */
                point_n,                        /* points of FFT                */
                point_n2,                       /* point_n/2                    */
                exp_n,                          /* point_n's exponent to 2      */
                leng_data,                      /* samples per data file        */
                leng_frm,                       /* samples per frame            */
                rate_frm,                       /* frame rate in sample         */
                file_n,                         /* number of sig_fn             */
                frm_n,                          /* frames in one syllable       */
                freq_point[6];                  /* frequency for distortion     */
      long      strt_frm,                       /* start sample in sig_fn       */
                end_frm;                        /* end sample in sig_fn         */
      double    freq_sampl,                     /* sampling frequency (kHz)     */
                freq_intvl,                     /* frequency sensitivity        */
                log_spec[MAXFRM][MAXSAMPL/2],   /* log power spectrum           */
                mean_log_spec[MAXSAMPL/2],      /* mean value of power spectrum */
                sd_log_spec[MAXSAMPL/2],        /* sd value of power spectrum   */
                sum,                            /* summation of power spectrum */
                log_bias,                       /* logarithmic bias             */
                double_buff;                    /* buffer for double data       */
```

```
        short     *isig;                      /* pointer for pre-processed data */
        float     *buf_spec;                  /* buffer for power spectrum    */
        double    *window;                    /* window valiables             */
        int       A00;

/*===== Memory allocation =====*/

        if( ( buf_spec = (float *)malloc( MAXSAMPL*sizeof(float) ) ) == NULL ){
           fprintf( stderr, "Can't allocate the memory !!\n" );
           exit();
        }

        if( ( window = (double *)malloc( MAXSAMPL*sizeof(double) ) ) == NULL ){
           fprintf( stderr, "Can't allocate the memory !!\n" );
           exit();
        }

/*===== Initialize VA1 =====*/

        mapinitva( DSLOCK, VACOUNT, BUFFER);

/*===== Allocate large contiguous memory space =====*/

        A00 = mapmalloc( MAX_VA_NUM, 0, VA0 );

        idx = mapclrfv( A00, VFINC, MAX_VA_NUM );
        mapwaitmath( VA0 );

        mapmfree( A00 );

        V0 = mapmalloc(MAXSAMPL*2, 0, VA0);
        V1 = mapmalloc(MAXSAMPL*2, 0, VA0);
        V2 = mapmalloc(MAXSAMPL  , 0, VA0);
        C0 = mapmalloc(MAXSAMPL  , 0, VA0);

        /*--- Graphic Initialize ---*/

        initgp( 5 );

        /*--- Set Color Table ---*/

        mgigetcms( 1, 1, oldcolor );
        mgicm( 11, mgfcns( "very light brown" ) );
        mgicm( 12, mgfcns( "very light red" ) );
        mgicm( 13, mgfcns( "orange" ) );
        mgicm( 14, mgfcns( "yellow" ) );
        mgicm( 15, mgfcns( "Very light green" ) );
        mgicm( 16, mgfcns( "very light blue" ) );
        mgicm( 17, mgfcns( "very light purple" ) );
        mgicm( 18, mgfcns( "white" ) );

        mgihue (18);

        /*--- Read Control File ---*/

        if( argc<3 ){
           fprintf( stderr, "\n" );
           fprintf( stderr, " Usage : test_VA idx f_name\n" );
           fprintf( stderr, "  idx   : index for hard copy ( 0 on / other off )\n" );
           fprintf( stderr, " f_name : control file name\n" );
           fprintf( stderr, "\n" );
           exit();
        }

        id = atoi( argv[1] );

        sprintf( cont_fn, "%s", argv[2] );
        if( ( cont_fp = fopen( argv[2], "r" ) ) == NULL ){
           fprintf( stderr, "%s :No such file.\n", argv[2] );
           exit();
        }

        fscanf( cont_fp, "%1f%d%d%d", &freq_sampl, &leng_frm, &rate_frm, &point_n );
        for( i=0; i<MAXFILE; i++ ){
           if( fscanf( cont_fp, "%s%s", sig_fn[i], sto_fn[i] ) == EOF )
             break;
        }
        file_n = i;
        fclose( cont_fp );

        sprintf( mesur_val, "%4.11f kHz  %3d msec  %3d msec  %4d point",
                freq_sampl, leng_frm, rate_frm, point_n );
```

```
      point_n2 = point_n/2;     exp_n = exponent( point_n);
      leng_frm *= (int)freq_sampl;      rate_frm *= (int)freq_sampl;

      freq_intvl = freq_sampl*1000.0 / (double)point_n;
      for( i=0; i<6; i++ ){
         double_buff = dist_freq[i]/freq_intvl;
         if( fabs( double_buff*freq_intvl - dist_freq[i] ) < .5 )
           freq_point[i] = (int)double_buff;
         else
           freq_point[i] = (int)( double_buff+1.0 );
      }

      hanningDwindow( window, leng_frm );


/*** Counter of the File is 'cnt_l' ***/

      for( cnt_l=0; cnt_l<file_n; cnt_l++ ){

         leng = strlen( sig_fn[cnt_l] );
         for( i=leng; i>=0; i-- ){
            if( sig_fn[cnt_l][i] == '/' ){
               int_buff = i;
               break;
            }
         }
         for( i=int_buff+1; i<=leng; i++ )
           fname[i-int_buff-1] = sig_fn[cnt_l][i];

         printf( "%s\n", fname );

         /*--- Read data file ---*/

         get_file_length( sig_fn[cnt_l], 2, &leng_data );

         if( ( isig = (short *)malloc( leng_data*2 ) ) == NULL ){
           fprintf( stderr, "Can't allocate the memory !!\n" );
           exit();
         }

         if( ( sig_fp = fopen( sig_fn[cnt_l], "r" ) ) == NULL ){
            fprintf( stderr, "%s :No such file.\n", sig_fn[cnt_l] );
            exit();
         }
         fread( isig, sizeof(short), leng_data, sig_fp );
         fclose( sig_fp );

         strt_frm = MARGIN * freq_sampl;
         end_frm  = leng_data - strt_frm;
         frm_n    = (end_frm - strt_frm - leng_frm ) / rate_frm + 1;


/*** Counter of the Frame is 'cnt_f' ***/

         strt_frm = strt_frm - rate_frm;

         for( cnt_f=0; cnt_f<frm_n; cnt_f++ ){

            printf( "Frame Number = %d\n", cnt_f );

            strt_frm = strt_frm + rate_frm;

            /*--- Windowing ---*/

            for( i=0; i<leng_frm; i++ ){
               speech[i].real = (float)( window[i] * (double)isig[strt_frm + i] );
               speech[i].imag = 0.0;
            }

            for( i=leng_frm; i<MAXSAMPL; i++ ){
               speech[i].real = 0.0;
                speech[i].imag = 0.0;
            }

            /* ----- Do DFT with VA1 ----- */

            mapffttab( C0, mapilog2(MAXSAMPL) );

            mapclrcfv( V0, VCINC, MAXSAMPL );
            mapclrcfv( V1, VCINC, MAXSAMPL );
            mapclrfv ( V2, VFINC, MAXSAMPL );
            mapsyncdma( -1, VA0 );
```

```
                maplodcfv( speech, HCINC, V0, VCINC, MAXSAMPL );
                mapsyncmath( -1, VA0 );

                mapfftnc( V0, VCINC, C0, VCINC, V1, VCINC, MAXSAMPL );
                mapsyncmath( -1, VA0 );

                mapnrmsqcfv( V0, VCINC, V2, VFINC, MAXSAMPL );

/*              mapaspec( V0, VCINC, V2, VFINC, MAXSAMPL );
*/              mapsyncmath( -1, VA0 );

/*              mapcopfv( V2, VFINC, V1, VFINC, MAXSAMPL );
                mapsyncmath( -1, VA0 );
*/
                maplog10fv( V2, VFINC, V0, VFINC, MAXSAMPL );
                mapsyncdma( -1, VA0 );

                mapstrfv( V0, VFINC, buf_spec, HFINC, MAXSAMPL );
                mapbwaitdma( VA0 );



                for( i=0; i<MAXSAMPL/2; i++ )
                  log_spec[cnt_f][i] = (double)( 10.0 * buf_spec[i] );

/*              DrawFarray( 6, 16, buf_spec, 4096 );
*/

             } /*** LOOP : Count Frame by 'cnt_f' ***/


             /*--- Average Dataes ---*/

             log_bias = 10.0 * log10( (double)(MAXSAMPL) );

             for( i=0; i<point_n2; i++ ){
                sum = 0.0;
                for( j=0; j<frm_n; j++ )
                   sum += log_spec[j][i];
                mean_log_spec[i] = sum/(double)frm_n - log_bias;

                sum = 0.0;
                for( j=0; j<frm_n; j++ ){
                  double_buff = log_spec[j][i] - mean_log_spec[i];
                  sum += double_buff * double_buff;
                }
                sd_log_spec[i] = sqrt( sum/(double)frm_n );
             }

             /*--- Graphic ---*/

             sprintf( str_buff, "%s  %3d frame", mesur_val, frm_n );
             for( i=0; i<6; i++ )
                sprintf( distortion[i], "%4.1lf dB", mean_log_spec[freq_point[i]] );

             mgiclearpln( 2, -1, 0 );
             DrawAXIS( 3, 18 );
             Message( 400, 750, fname, 1050, 350, distortion, 200, 850, str_buff );
             DrawDarray( 4, 14, mean_log_spec, point_n2 );

             if( id==0 ){
                system( "hcopy -t" );             /* hard copy */
                system( "sleep 10" );
             }

             /*--- Save data ---*/

             if( ( sto_fp = fopen( sto_fn[cnt_l], "w" ) ) != NULL ){
                for( i=0; i<point_n2; i++ )
                  fprintf( sto_fp, "%4d  %10.6lf  %lf\n",
                                  i, mean_log_spec[i], sd_log_spec[i] );
             }
             fclose( sto_fp );

} /***LOOP : Count File by 'cnt_l' */

            /* Ending */

            mapfree(C0);
            mapfree(V2);
            mapfree(V1);
            mapfree(V0);

            mapfreeva(VA0);
```

```
        mgicm( 1, oldcolor );
        mgideagp();
}

/*************************************************************************/
/*                                                                       */
/*      Initialize Graphic Plane                                         */
/*                                                                       */
/*                              Modified by T.Hirahara Jan.10, 1989      */
/*                                                                       */
/*************************************************************************/

# define        HOME_VIEW       2

initgp( kosu )
int     kosu;
{
        int     i, xl, yb, xr, yt, placed, dx, dy;

        mgiasngp( 0, 0 );
        mgiclearpln( 2, -1, 0 );

        for( i=0; i<kosu; i++ )
          mgidefw( i+3 );

        /* get home view area */

        mgigetvcoor( HOME_VIEW, &xl, &yb, &xr, &yt, &placed );
        dx = (int)( xr/8.0 );
        dy = (int)( yt/8.0 );

        for( i=0; i<kosu; i++ ){
           mgipw( i+3, 2, xl, yb, xr, yt );
           mgrvcoor( i+3, -100.0, -40.0, 2348.0, 140.0 );
        }

        return( 0 );
}

/*************************************************************************/
/*                                                                       */
/*      Drawing Axis onto the Graphic Plane                              */
/*                                                                       */
/*                                      by T.Hirahara Jan.10, 1989       */
/*************************************************************************/

DrawAXIS( plane, color )
int     plane, color;
{
        int     i, leng;
        float   dx,dy;
        char    str_buff[MAXCHAR];

        mgiv( plane );
        mgihue( color );
        mgiwidth( 3, 0 );

        mgrtl(   0., -20., 2048., -20.);
        mgrtl(2048., -20., 2048., 120.);
        mgrtl(2048., 120.,    0., 120.);
        mgrtl(   0., 120.,    0., -20.);

        mgiwidth(1,0);
        mgidash(1,240);

        for(i=1; i<20; i++)
        {
                dx = (float)i * 2048.0/20.0;
                mgrl(dx,-20.,dx,120.);
        }

        for(i=1; i<7; i++)
        {
                dy = (float)i * 20.0 - 20.0;
                mgrl(0.,dy,2048.,dy);
        }

        mgidash(2,1);                   /* Set line type continuous one */


        mgifetchgf(0,"9x11_b");
        mgigf(0);                       /* Select the fixed size font */

```

```
        mgrgfs(-100.,-22.,3,"-20");
        mgrgfs(-100., -2.,3,"  0");
        mgrgfs(-100., 18.,3," 20");
        mgrgfs(-100., 38.,3," 40");
        mgrgfs(-100., 58.,3," 60");
        mgrgfs(-100., 78.,3," 80");
        mgrgfs(-100., 98.,3,"100");
        mgrgfs(-100.,118.,3,"120");

        mgrgfs( 204.8-7.,-28.,1,"1");
        mgrgfs( 409.6-7.,-28.,1,"2");
        mgrgfs( 614.4-7.,-28.,1,"3");
        mgrgfs( 819.2-7.,-28.,1,"4");
        mgrgfs(1024.0-7.,-28.,1,"5");
        mgrgfs(1228.8-7.,-28.,1,"6");
        mgrgfs(1433.6-7.,-28.,1,"7");
        mgrgfs(1638.4-7.,-28.,1,"8");
        mgrgfs(1843.2-7.,-28.,1,"9");
        mgrgfs(2048.0-20.,-28.,7,"10  KHz");

        return( 0 );
}


Message( xt, yt, title, xm1, ym1, message1, xm2, ym2, message2 )
   int  xt, yt, xm1, ym1, xm2, ym2;
   char *title, message1[][MAXCHAR], *message2;
     {
        int     i;

        mgihue( 18 );

        mgifetchvf( 1, "triplro" );
        mgifetchvf( 2, "compro"  );
        mgifetchgf( 3, "10x11"   );

        mgivf( 1 );
        mgivfs( xt, yt, 0, title );

        mgigf( 3 );
        mgigfs( xm2, ym2, 0, message2 );
        for( i=0; i<2; i++ )
          mgigfs( xm1, ym1-32*i, 0, message1[i] );
        for( i=0; i<4; i++ )
          mgigfs( xm1, ym1-32*(i+3), 0, message1[i+2] );
     }


/************************************************************************/
/*                                                                      */
/*      Drawing Double Array onto the Graphic Plane                     */
/*                                                                      */
/*                                      by T.Hirahara Jan.10, 1989      */
/************************************************************************/

DrawDarray(plane, color, array, len)
int     plane;
int     color;
double  *array;
int     len;
{
        int     i;
        float   step;
        float   x0,x1,y0,y1;

        mgiv( plane );
        mgihue ( color);

        step = 2048.0/(float)len;

        for (i = 0 ; i < len - 1 ; i++)
        {
                x0 = (float)i*step;
                y0 = (float)array[i];
                if( y0 < -20.) y0 = -20.;
                x1 = (float)((i+1)*step);
                y1 = (float)array[i+1];
                if( y1 < -20.) y1 = -20.;

                mgrl(x0,y0,x1,y1);
        }

        return(0);
}
```

```
DrawFarray(plane, color, array, len)
int     plane;
int     color;
float   *array;
int     len;
{
        int     i;
        float   step;
        float   x0,x1,y0,y1;

        mgiv( plane );
        mgihue ( color);

        step = 2048.0/(float)len;

        for (i = 0 ; i < len - 1 ; i++)
        {
                x0 = (float)i*step;
                y0 = array[i];
                if( y0 < -20.) y0 = -20.;
                x1 = (float)((i+1)*step);
                y1 = array[i+1];
                if( y1 < -20.) y1 = -20.;

                mgrl(x0,y0,x1,y1);
        }

        return(0);
}


/*************************************************************************/
/*                                                                       */
/*            Hanning Window Coefficients Generater                      */
/*                                                                       */
/*                                                                       */
/*************************************************************************/

hanningDwindow( array, len )
   double *array;
   int    len;
   {
        int     i;
        double  ln_1 = (double)(len-1);
        double  pai  = 3.141592653589793;
        double  cos();
        double  tmp;

        for ( i = 0 ; i < len ; i++ )
           {    tmp  = (double)(0.50+0.50*cos(pai/ln_1*((double)(2*i)-ln_1)));
/*              tmp *= (double)array[i];
*/              array[i] = tmp;
           }
   }

/*
----------------------------------
        get_file_length
----------------------------------
 */

get_file_length ( file, size, length )
char *file;
int  size;
int  *length;

{
  struct stat buf;

  if( ( stat( file, &buf ) ) == 0 )
   {
    *length = buf.st_size / size;
    return(0);
   }
  else
   {
    printf("Something strange in 'get_file_length'\n");
    exit(0);
   }

}
```

exponent.c


```
/***************************************************************************\
*       "exponent" gets exponent number where mantissa is 2                  *
*       2 ** (exponent( n )) = n                                             *
*---------------------------------------------------------------------------*
*SYNTAX                                                                      *
*   int exponent( n );                                                       *
*       int     n;      :input                                               *
*---------------------------------------------------------------------------*
*                                       by H.Kato       19 Dec. 1988         *
\***************************************************************************/

# include       <math.h>

exponent( n )
   int          n;
   {
        int     i;

        if (n < 0) {
                return( -32768 );
        }
        else {
                for (i = 0 ; 1 ; i++) {
                        if ((int)ldexp( 1.0, i ) >= n) {
                                break;
                        }
                }
                return( i );
        }
   }
```

```
20.0 100 5 4096
/CONTIG/IMD/AP/AD02-9AP.wave    temp
/CONTIG/IMD/AP/AD02-9AP.out     temp
/CONTIG/IMD/AP/AD02-9AP.rout    temp
/CONTIG/IMD/AP/DR631-9AP.wave   temp
/CONTIG/IMD/AP/DR631-9AP.out    temp
/CONTIG/IMD/AP/DR631-9AP.rout   temp
/CONTIG/IMD/AP/DR831-9AP.wave   temp
/CONTIG/IMD/AP/DR831-9AP.out    temp
/CONTIG/IMD/AP/DR831-9AP.rout   temp
/CONTIG/IMD/AP/DR988-9AP.wave   temp
/CONTIG/IMD/AP/DR988-9AP.out    temp
/CONTIG/IMD/AP/DR988-9AP.rout   temp
/CONTIG/IMD/AP/DT48-9AP.wave    temp
/CONTIG/IMD/AP/DT48-9AP.out     temp
/CONTIG/IMD/AP/DT48-9AP.rout    temp
/CONTIG/IMD/AP/HD250-9AP.wave   temp
/CONTIG/IMD/AP/HD250-9AP.out    temp
/CONTIG/IMD/AP/HD250-9AP.rout   temp
```