九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

ミキシングコンソールがスタジオの音響特性に与える影響

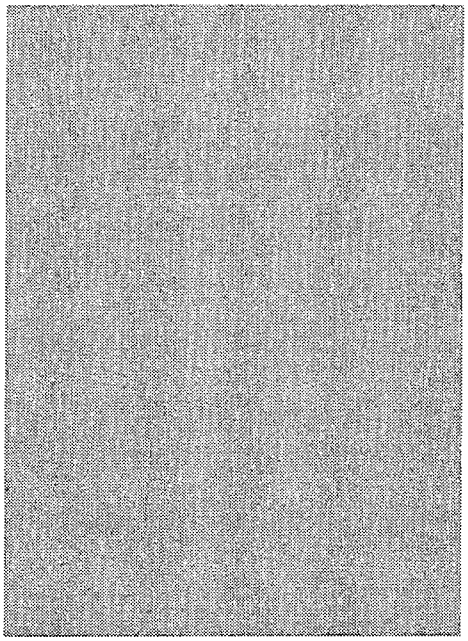
中原, 雅考

https://doi.org/10.15017/458907

出版情報：Kyushu University, 2004, 博士（芸術工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

第4章 測 定

Chapter 4. Measurement



境界要素法による数値解析の妥当性を確認するために，以下の2種類の模型実験を行う。

1） 2次元音場における測定

2） 3次元音場における測定

2次元音場における測定は，境界要素法による計算精度の妥当性を検証するためのものであり，3次元音場における測定は，実音場と解析モデルの関係に対して検証を行うためのものである。双方とも，本研究で対象としている中低域特性に関して主に検証を行う。

本章では，上記2種類の測定に関する概要を記す。測定値と計算値との比較検討に関しては第5章にて行う。

4-1. 2 次元音場における測定

Measurement in the two dimensional sound field

境界要素法による数値計算結果の妥当性を検証するために，数値計算と同様の音場モデル（Fig. 2-1）を 1/10 スケールで 2 次元無響室内に構築し，インパルスレスポンスの測定を行った。検証には，測定したインパルスレスポンスから算出した振幅周波数特性を用いる。

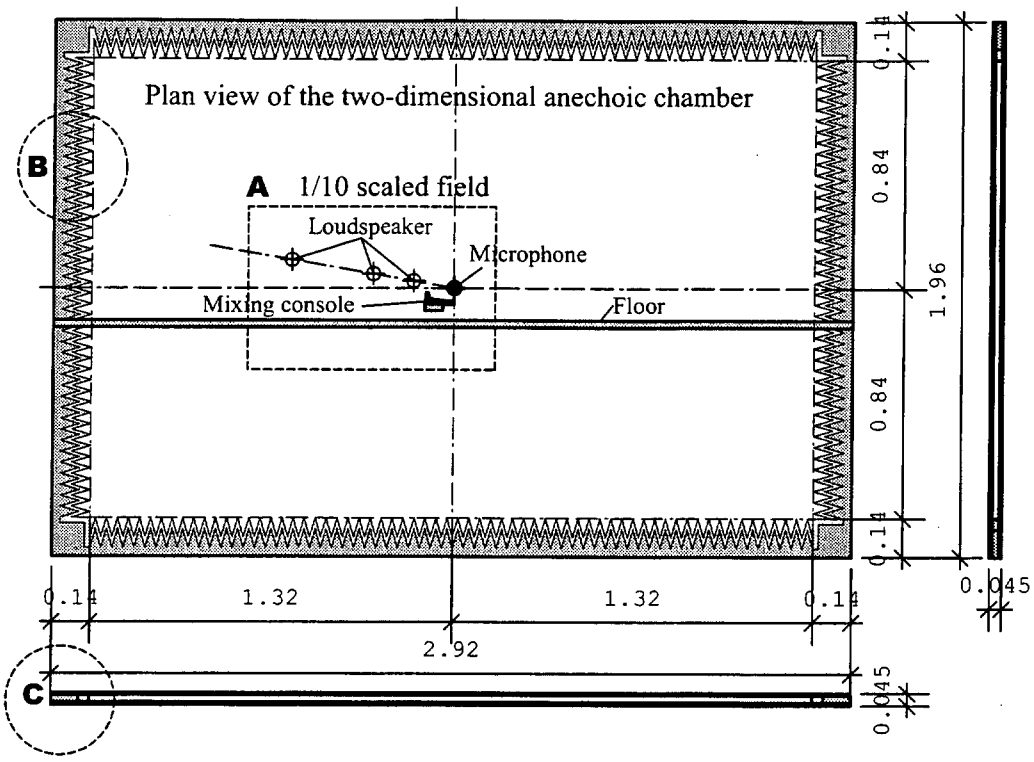
測定図面を Fig. 4-1 に，測定の様子を Fig. 4-2 に示す。

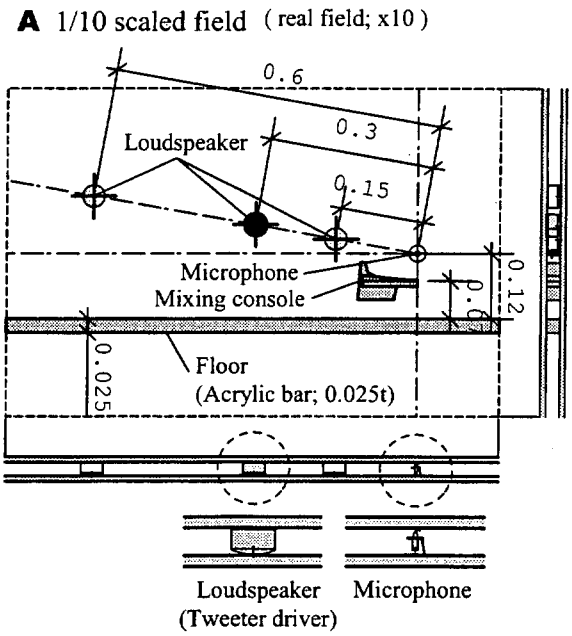
測定を行った 2 次元無響室は，厚さ 10mm のアクリル板に挟まれた実効高 25mm の 2 次元音場である。一般に，非伝搬方向の音場の寸法が半波長以下である場合に，音波は 2 次元伝搬する。従って，実効高が 25mm である本 2 次元無響室では，6.9kHz 以下の帯域において 2 次元音場が構築されていると考えられる。

四方を吸音楔で囲まれた 2 次元無響室の有効音場は 2.64m × 1.68m であり，その中に，スピーカ，マイクロホン，ミキシングコンソールの模型，厚さ 25mm のアクリル製の床を設置し，1/10 スケールの実験音場を構築した。

スピーカは，カーオーディオ用のツイータドライバを使用した。Fig. 2-4 の音場モデルに従い，マイクからの仰角 10°，距離 30cm（実モデル換算で 3m）の位置にスピーカを設置した。また，同様に距離 15cm 及び 60cm（実モデル換算で 1.5m，6m）のスピーカ位置に関しても測定を行った。

ミキシングコンソールの模型は，Type A，Type B，Type S の 3 種類を用意した。それぞれ，Fig. 2-4 の 1/10 スケールで製作されている。模型コンソールの厚みは，2 次元無響室の厚みに合わせ，25mmとした。数値解析ではミキシングコンソールの表面アドミッタンスを0と仮定しているため，模型に関しても同様に反射性の素材で製作した。Type A 及び Type B はアクリル製，Type S は木口にアルミシートを貼り付けた合板製である。以上の 3 種類のミキシングコンソール模型を 2 次元無響室に配置し，それぞれに対してインパルスレスポンスの測定を行った。





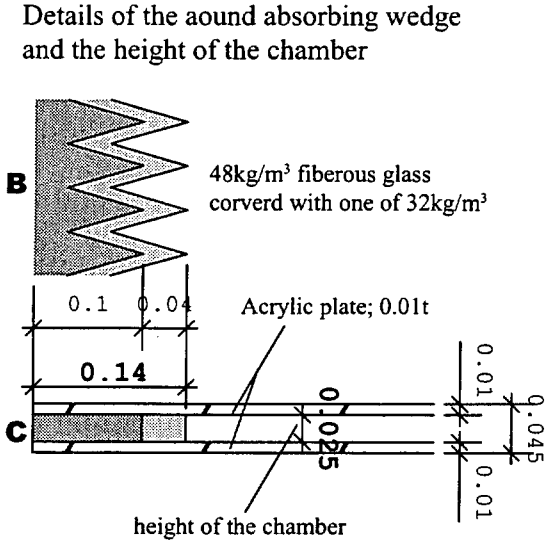


Fig. 4-1 Drawings of the measurement situation in the two-dimensional anechoic chamber. unit [m].

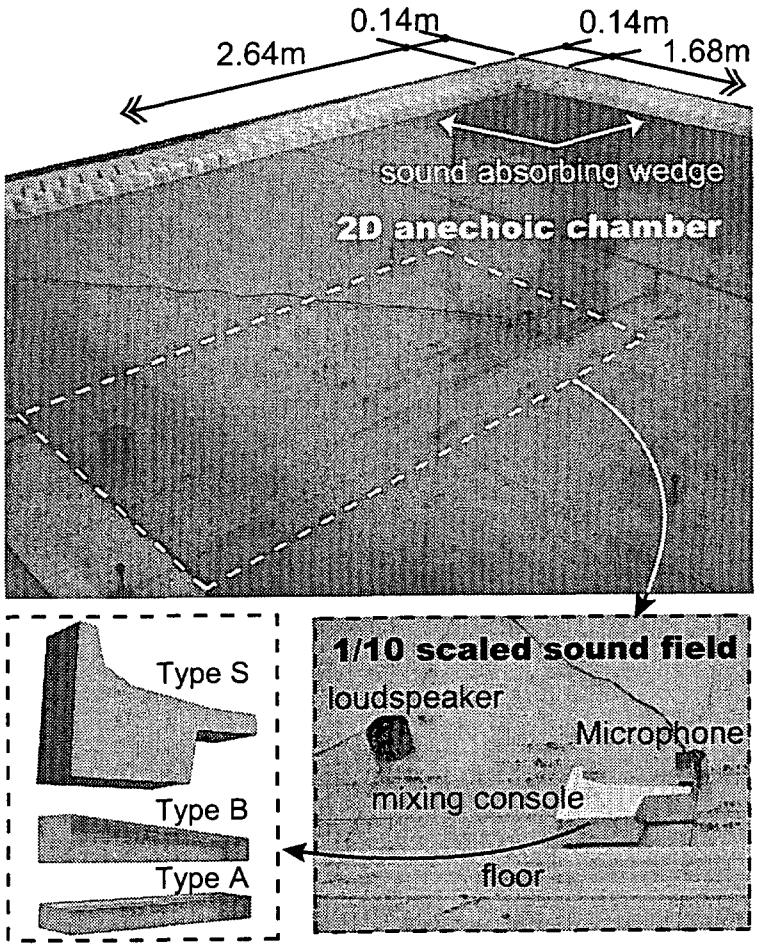


Fig. 4-2 Photos of the measurement situation in the two-dimensional anechoic chamber.

2 次元無響室における測定系ブロックダイアグラムを Fig. 4-3 に，測定器及び測定仕様一覧を Table 4-1 に示す。

インパルスレスポンスの測定には，信号長 $2^{18} = 262,144$ サンプル(2.73 秒，$f_s = 96$kHz)の TSP 信号 (OATSP; Optimized Aoshima's Time Stretched Pulse) を用いた。その応答に対して逆 TSP 信号の畳み込み及び円状シフトの計算を PC で行い，インパルスレスポンスを算出した [17]。TSP 応答の取り込みは，サンプリング周波数 96kHz，量子化ビット数 16bit にて A/D 変換を行い，8 回の同期加算により SN 比の改善を試みた。また，不用意な反射音による測定誤差を軽減するため，インパルスレスポンス算出には，TSP 応答の初期応答 $2^{12} = 4,096$ サンプル(0.04 秒)をハニング窓を用いて切り出して使用している。

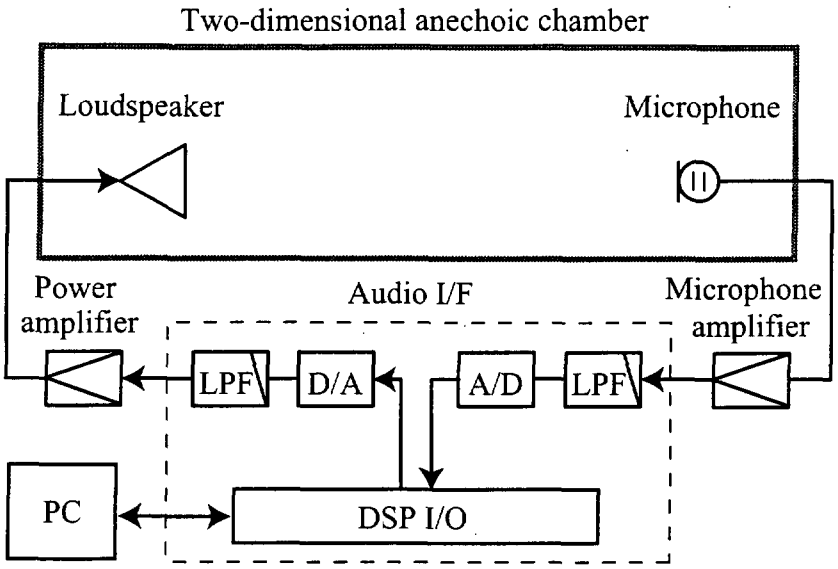


Fig. 4-3 The block diagram of the measurement in a two-dimensional anechoic chamber.

Table. 4-1 Equipment list and the measurement specifications for two-dimensional measurement.

Item	Make	Model	Note
Loudspeaker	Lanzar	CDM6J/5J	Tweeter driver for automotive sound.
Microphone	Sony	ECM-77B	Electret condenser microphone.
Power amplifier	Audiotechnica	AT-SA50	-
Microphone amplifier	RME	Quad Mic.	-
Audio I/F	RME	Hammerfall DSP Multiface	-
	RME	Hammerfall DSP I/O box	PCMCIA I/F with DSP signal processing.
PC	Panasonic	CF-W2	Notebook PC.

Item	Specification
Source signal	Time Stretched Pulse (OATSP; Optimized Aoshima's TSP).
Source signal length	2^{18} = 262,144 samples (2.73sec, effective path = 939.1 - 2.1* = 937m).
Averaging number	Eight times.
IR length	2^{12} = 4,096 samples (0.04sec, effective path = 14.7 - 2.1* = 12.6m).
	Use of the early data extracted from the TSP response.
A/D	fs = 96kHz, Qb = 16bit.
D/A	fs = 96kHz, Qb = 16bit.
Buffer size for ASIO driver	256 x 2 bites.
*System delay	579samples, 6msec, path = 2.1m.
Measurement software	Laboratory made. MATLAB ver.6.5 with DLL drivers for Windows operation.

2 次元無響室における音源特性を Fig. 4-4 に示す。ここに示した特性は，インパルスレスポンスの測定値から算出した周波数領域での振幅レベルを 1/24 オクターブごとのバンド幅で平均したものである。2 次元無響室における測定結果は，この音源特性により基準化した値として提示することになる。図中( )は，実音場換算での値を示している。測定は，受音点からの距離 15cm，30cm，60cm の 3 種類で行った(それぞれ実モデル換算で 1.5m，3m，6m)。マイク及びスピーカの設置位置は，Fig. 4-1 の通りである。ここで，音源特性とは，2 次元無響室における自由音場状態での特性であり，スピーカ特性，無響室特性，マイク特性他測定系に関わる全ての特性を含んだものである。

Fig. 4-4 によると，6.5kHz 付近において 2 次元無響室の厚さ方向の定在波が原因と思われるディップが観察される。また，500Hz 以下の帯域においては，音源パワー不足による SN 比の減少，特性の乱れ，距離差とレベル差との不一致等が見受けられる。以上より，本測定における信頼範囲は，500Hz ～ 6.3kHz であると考える(実モデル換算で 50Hz ～ 630Hz)。

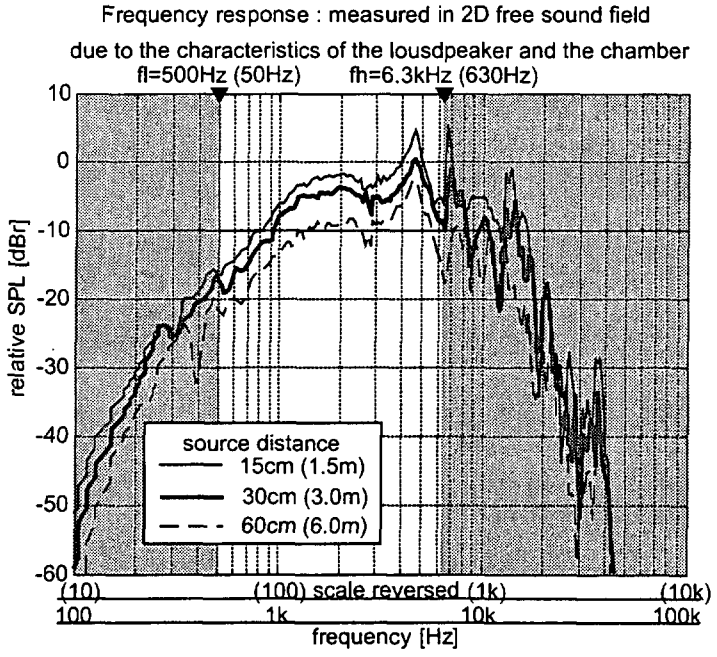


Fig. 4-4 The source response in the two-dimensional anechoic chamber. Source distance; 15cm (1.5m), 30cm (3m), 60cm (6m). The values with parentheses indicate the scale reversed values.

4-2. 3次元音場における測定

Measurement in the three dimensional sound field

本論文では，2次元音場モデル(Fig. 2-1)による数値解析を基本手段として，各種の検証を行っている。ミキシングルームの縦断面形状をベースとした2次元解析音場の妥当性に関しては第2章で述べたとおりであるが，厳密には，スピーカの設置位置及びミキシングコンソールの横幅により，2次元音場と3次元音場との対応に制約が生じるものと考えられる。2次元音場と3次元音場との対応に関するそれらの不確定事項の確認を行うために，3次元音場における1/5模型実験を行った。

測定図面をFig. 4-5に，測定の様子をFig. 4-6に示す。

測定には半無響室を使用し，Fig. 2-1に示す音場を1/5スケールで構築した。但し，音源特性の測定に関しては無響室を使用している。

ミキシングコンソールは，Type A(Fig. 2-4)の断面形状をもとに，横幅20cm，60cm，120cmの3種類のものを用意した(それぞれ実モデル換算で1m，3m，6m)。ミキシングコンソールの1/5模型は合板で製作し，Fig. 4-5及びFig. 4-6-dに示すように設置のための脚が設けられている。

スピーカは，マイクからの仰角10°，距離60cm(実モデル換算で3m)の位置に設置した。スピーカの音響軸上に受音点が位置するように，スピーカは垂直方向に10°下向きとなるように設置した。平面上の設置角度に関しては，2次元モデル条件に合致する0°に加え30°～180°まで30°刻みの計7種類の配置を設けている。

マイクロホンに関しては，音源信号の入射方向による特性差を軽減するために，ダイアフラムを垂直上方に向けて設置している。

以上，7種類の平面上の音源位置及び3種類のミキシングコンソールの横幅を3次元音場にて1/5スケールで構築し，それぞれのインパルスレスポンスを測定した。

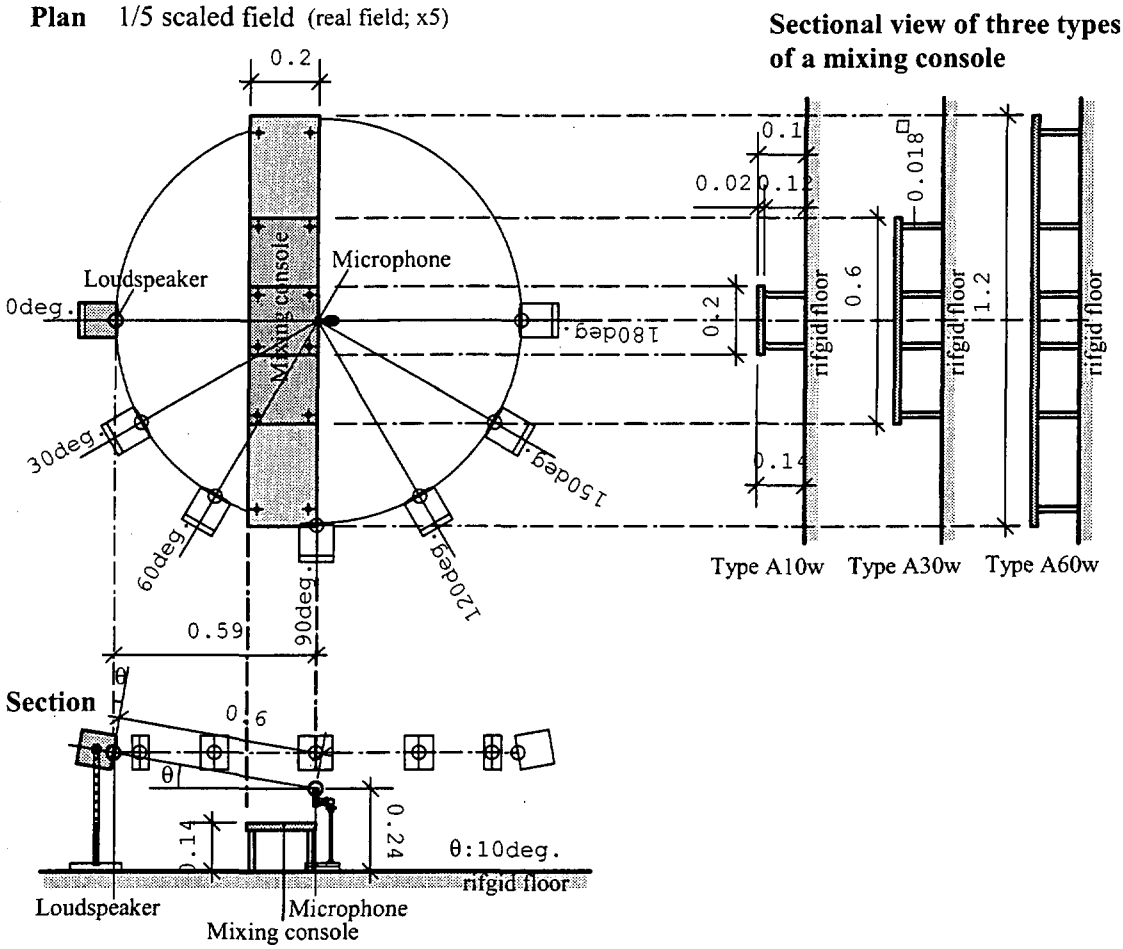


Fig. 4-5 Drawings of the measurement situation in the three-dimensional field. Measurements were conducted in a hemi-anechoic chamber. The source response were measured in an anechoic chamber, separately. unit [m].

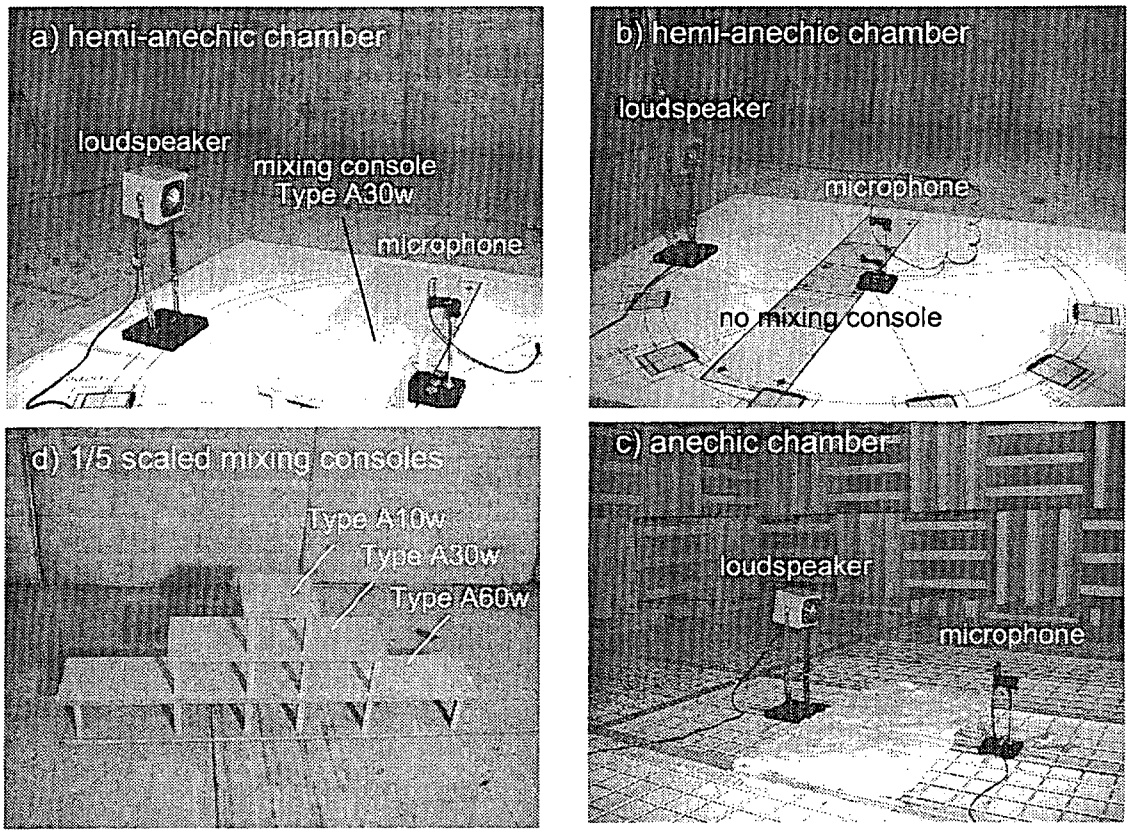


Fig. 4-6 Photos of the measurement situation in the three-dimensional field. a), b) measurements in a hemi-anechoic chamber. c) measurement in an anechoic chamber. d) 1/5 scaled mixing consoles; Types A10w, A30w and A60w.

測定系ブロックダイアグラムを Fig. 4-7 に，測定器及び測定仕様一覧を Table 4-2 に示す。インパルスレスポンスの測定条件は，2 次元無響室における測定と同一である。

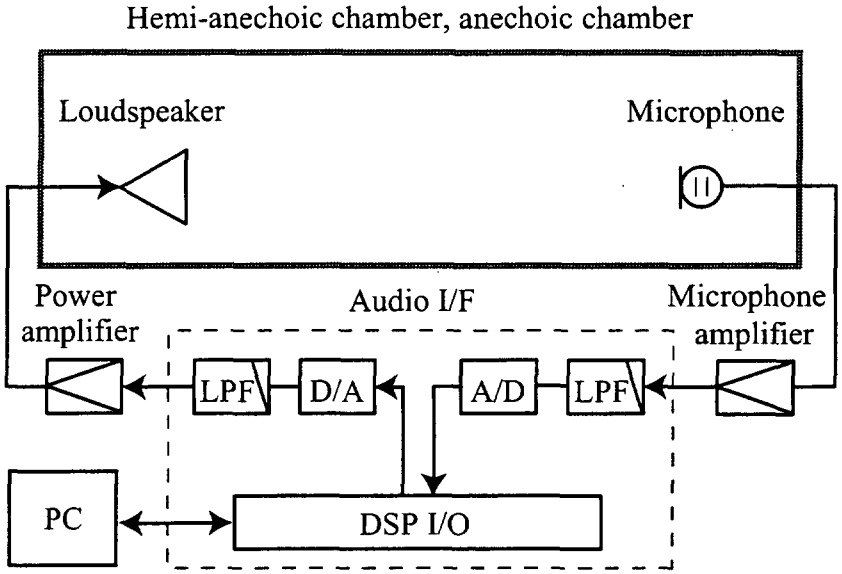


Fig. 4-7 The block diagram of the measurement in a hemi-anechoic and an anechoic chamber.

Table. 4-2 Equipment list and the measurement specifications for three-dimensional measurement.

Item	Make	Model	Note
Loudspeaker	Laboratory made	-	Shielded enclosure with the full-range driver. Driver; Tang Bang W3-593SD, 110Hz - 20kHz.
Microphone	NTI	M2010	1/2" condenser microphone. 20 - 20kHz. Measuring microphone meeting IEC class 1.
Power amplifier	Bose	1705 II	-
Microphone amplifier	RME	Quad Mic.	-
Audio I/F	RME	Hammerfall DSP Multiface	-
	RME	Hammerfall DSP I/O box	PCMCIA I/F with DSP signal processing.
PC	Panasonic	CF-W2	Notebook PC.

Item	Specification
Source signal	Time Stretched Pulse (OATSP; Optimized Aoshima's TSP).
Source signal length	2^{18} = 262,144 samples (2.73sec, effective path = 939.1 - 2.1* = 937m).
Averaging number	Eight times.
IR length	2^{12} = 4,096 samples (0.04sec, effective path = 14.7 - 2.1* = 12.6m). Use of the early data extracted from the TSP response.
A/D	fs = 96kHz, Qb = 16bit.
D/A	fs = 96kHz, Qb = 16bit.
Buffer size for ASIO driver	256 x 2 bites.
*System delay	579samples, 6msec, path = 2.1m.
Measurement software	Laboratory made. MATLAB ver.6.5 with DLL drivers for Windows operation.

無響室において測定した音源特性をFig. 4-8に示す。ここに示した周波数振幅特性は，1/24オクターブごとのバンド幅で平均したものである。図中( ) は，実音場換算での値を示している。Fig. 4-8には，0°，90°，180°の3種類のスピーカ設置位置での測定結果を提示した。尚，音源特性には，スピーカ特性，無響室特性，マイク特性他測定系に関わる全ての特性が含まれている。

Fig. 4-8によると，入射角度による特性の差はほとんど観測されていないが，念のため，半無響室における測定結果の算出には，各音源方向に対応した音源特性を用いて基準化を行うこととする。測定上限周波数に関しては，スピーカの再生性能から，20kHzであることが確認できる。また低域に関しては，スピーカの再生パワーは小さくなるが，特性自体は安定しているため，100Hzまでを有効帯域と見なすこととする。従って，本測定における信頼範囲は，実モデル換算で20Hz～4kHzとなる。

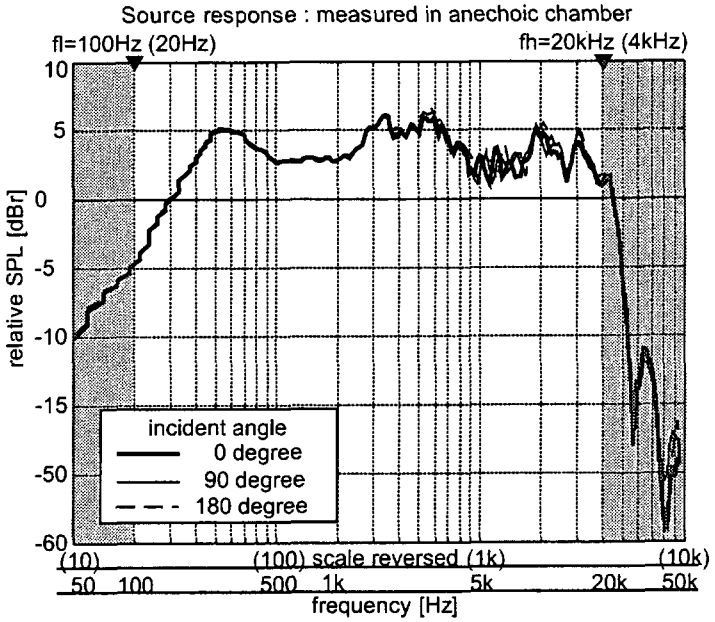


Fig. 4-8 The source response in an anechoic chamber. Horizontal angle of the source placement; 0deg, 90deg, 180deg. The values with parentheses indicate the scale reversed values.