

## 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5章 測定及び解析結果

### Chapter 5. Measurement results and the analysis results

5

境界要素法による数値解析結果をもとに、ミキシングコンソールがモニタ特性に与える影響に関して検証を行う。解析音場及び数値解析手法は第2章、第3章に記した内容に基づく。数値解析に関しては、リスニングポイントにおける周波数特性、リスニングポイント周辺の音圧レベル分布及び音響インテンシティの算出を行う。また、2次元及び3次元音場における測定結果と数値解析結果との比較を行い、数値計算の妥当性及び3次元音場との対応に関して確認する。

本章では、以上の内容を以下の流れに沿って解説する。

- 1) 解析結果と測定結果の比較
- 2) リスニングポイントにおける周波数特性の解析
- 3) 音圧レベル分布解析
- 4) 音響インテンシティ解析

## 5-1. 解析結果と測定結果の比較

### *Comparison of the calculated results and the measured results*

解析結果の検証を行う前に、第4章で行った模型実験結果とそれに対応する数値解析結果の比較を行い、本検証で用いる数値計算及び2次元音場モデルの妥当性に関して確認を行う。

#### 5-1-1. 境界要素法による数値解析結果の妥当性

##### *Validity of the result via the numerical calculation*

境界要素法による数値解析の過程には、音響境界の要素分割、分割要素における音響条件の一定化、境界上での局所作用等様々な音響条件の近似や仮定が含まれている。第3章で述べたように、防音壁を対象とした解析音場に対するそれらの近似や仮定の妥当性に関しては、これまで多くの報告がなされているが、それらの結果が本研究で対象としている音場で成立するか否かに関しては確認の必要がある。

以下、本研究において基本となる解析音場 (Fig. 5-1) に対して数値解析結果と測定結果の比較を行い、境界要素法による数値解析の妥当性を検証する。

ここでは、以下の条件が設定されている。

- 音源位置 3.0m
- ミキシングコンソール Type A

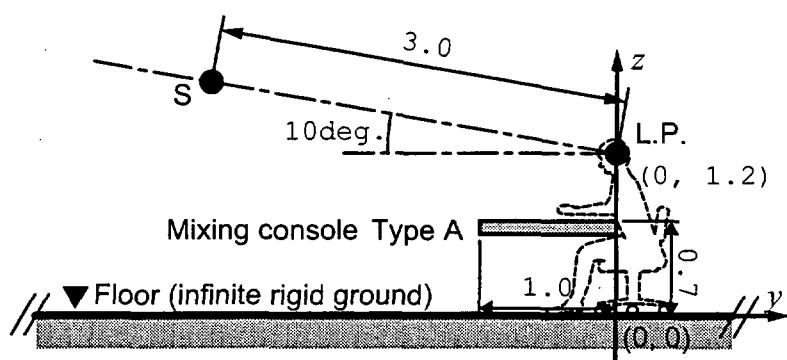


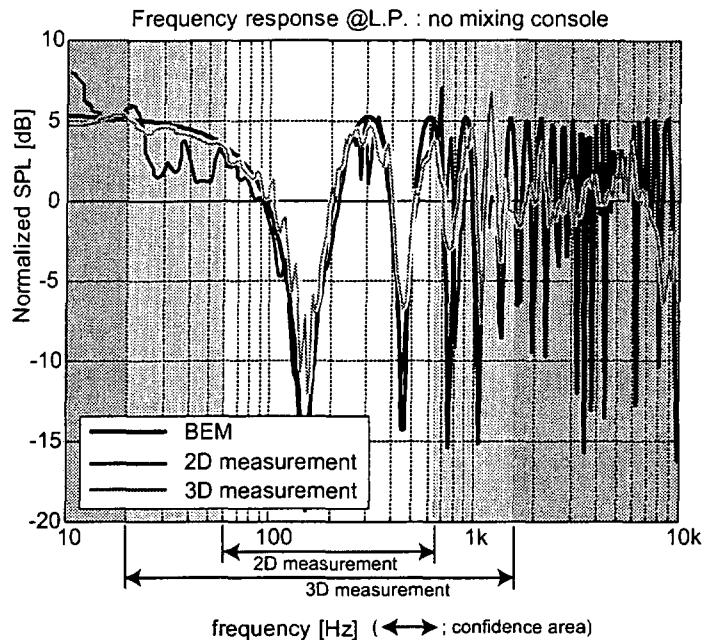
Fig. 5-1 The examined field for the results shown in Fig. 5-2.  
Monitoring distance; 3m, Mixing console; Type A.

Fig. 5-2 及び Fig. 5-3 に、リスニングポイントにおける音圧レベルの周波数特性示す。Fig. 5-2 はミキシングコンソールの無い状態、すなわち半自由音場における特性を示しており、Fig. 5-3 は Type A のミキシングコンソールが存在する場合の特性を示している。図中、黒太線が数値解析結果、黒細線が 2 次元音場における測定結果、灰色線が 3 次元音場における測定結果を示す。それぞれの特性は、自由音場における音源特性で基準化されている。従って、グラフの 0dB は、直接音レベルを意味している。

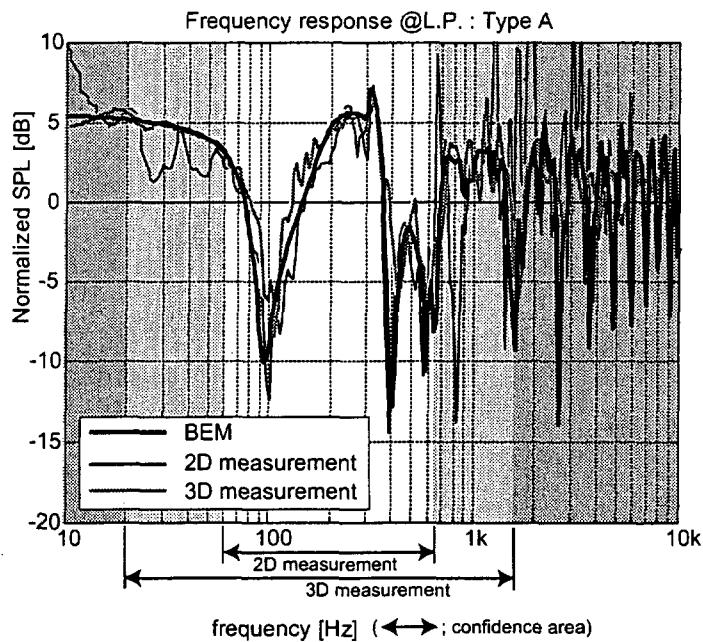
測定結果に関しては、数値解析の計算周波数に合わせて 1/24 オクターブバンド間隔での平均値として提示した。尚、灰色でマスクされた帯域は、測定信頼帯域外のデータを表している。Fig. 5-2 によると、3 次元音場での測定結果(灰色線)に関しては、約 1.5kHz(7.5kHz、模型実験周波数換算)以上の高域において、半無響室における測定値のピーク及びディップが減衰していることが分かる。原因是、半無響室の床面の平滑不足による高域反射性能の不足によるものだと考えられる。半無響室での有効測定帯域に関しては、測定機材の音源性能から 20Hz ~ 4kHz(実モデル換算値、Fig. 4-8)と検証されたが、半無響室の床の性能も加味し、20Hz ~ 1.5kHz を有効測定帯域とする。

尚、Fig. 5-2 及び Fig. 5-3 に示した 3 次元音場での測定結果は、音源配置 0° の場合の値である (Fig. 4-5 参照)。また、ミキシングコンソールがある場合の測定結果に関しては、横幅が 0.6m(実音場換算で 3.0m)のミキシングコンソールの模型を使用した場合の値である。

Fig. 5-2 及び Fig. 5-3 によると、境界要素法による数値解析結果と 2 次元及び 3 次元での測定結果が良い対応を成していることが分かる。このことは、本研究における数値解析手法及び 2 次元解析音場の仮定の妥当性を示していると考えられる。



**Fig. 5-2** Frequency responses at the listening position shown in Fig. 5-1. The mixing console does not exist. The black thick line; calculated response via the BEM. The black thin line; measured result in a two-dimensional anechoic chamber. The gray line; measured result in a hemi-anechoic chamber. The 0dB indicates the response of the direct sound. The calculation was conducted at 1/24 octave intervals, and the measured results are plotted as the averaged value in 1/24 octave bands. The gray area shows areas of no confidence for the measurement results.



**Fig. 5-3** Frequency responses at the listening position shown in Fig. 5-1. The mixing console Type A is inserted. The black thick line; calculated response via the BEM. The black thin line; measured result in a two-dimensional anechoic chamber. The gray line; measured result in a hemi-anechoic chamber. The 0dB indicates the response of the direct sound.

### 5-1-2. 2次元モデルと3次元音場との対応

*Correspondence between the two-dimensional modeled field and the three-dimensional field*

多くのミキシングルームの形状が左右対称であることから、ミキシングルームの垂直断面形状をベースとした2次元音場を本研究の解析音場として用いている。従って、解析音場を3次元的に解釈した場合、断面の法線方向に対して無限長の線音源及びミキシングコンソールが存在することになる。一方、実際のミキシングルームの環境では、音源となるスピーカは点音源的に配置され、ミキシングコンソールの横幅は有限である。また、スピーカに関してはマルチチャンネル再生用のセンタースピーカ以外は、中心軸上に位置していない。多くの音響作品が制作されている2チャンネル再生環境においては、中心軸から $\pm 30^\circ$ もしくは $\pm 22.5^\circ$ ずれた位置にL, Rのスピーカが設置される(Fig. 1-2, Fig. 1-3)。

以上の事項を踏まえ、本節では、3次元空間に対する2次元解析音場の適用範囲に関して検証を行う。

Fig. 5-4は、第4章で記した半無響室での測定条件を実寸法に換算して表した図である。ここでは、1.0m, 3.0m, 6.0mの3種類のミキシングコンソールの横幅及び7種類の音源位置が設定されている。また、音源と受音点の距離は3.0mであり、音源は受音点に対して $10^\circ$ の仰角をなす高さに設置されている。図a-a'～f-f'は、各音源位置に対応した垂直断面図である。本研究で解析に用いる2次元音場は、a-a'の断面図に相当する。従って、Fig. 5-4に示した3次元音場においては、 $0^\circ$ に音源が配置された環境が2次元解析モデルに最も相応しい条件と考えられる。

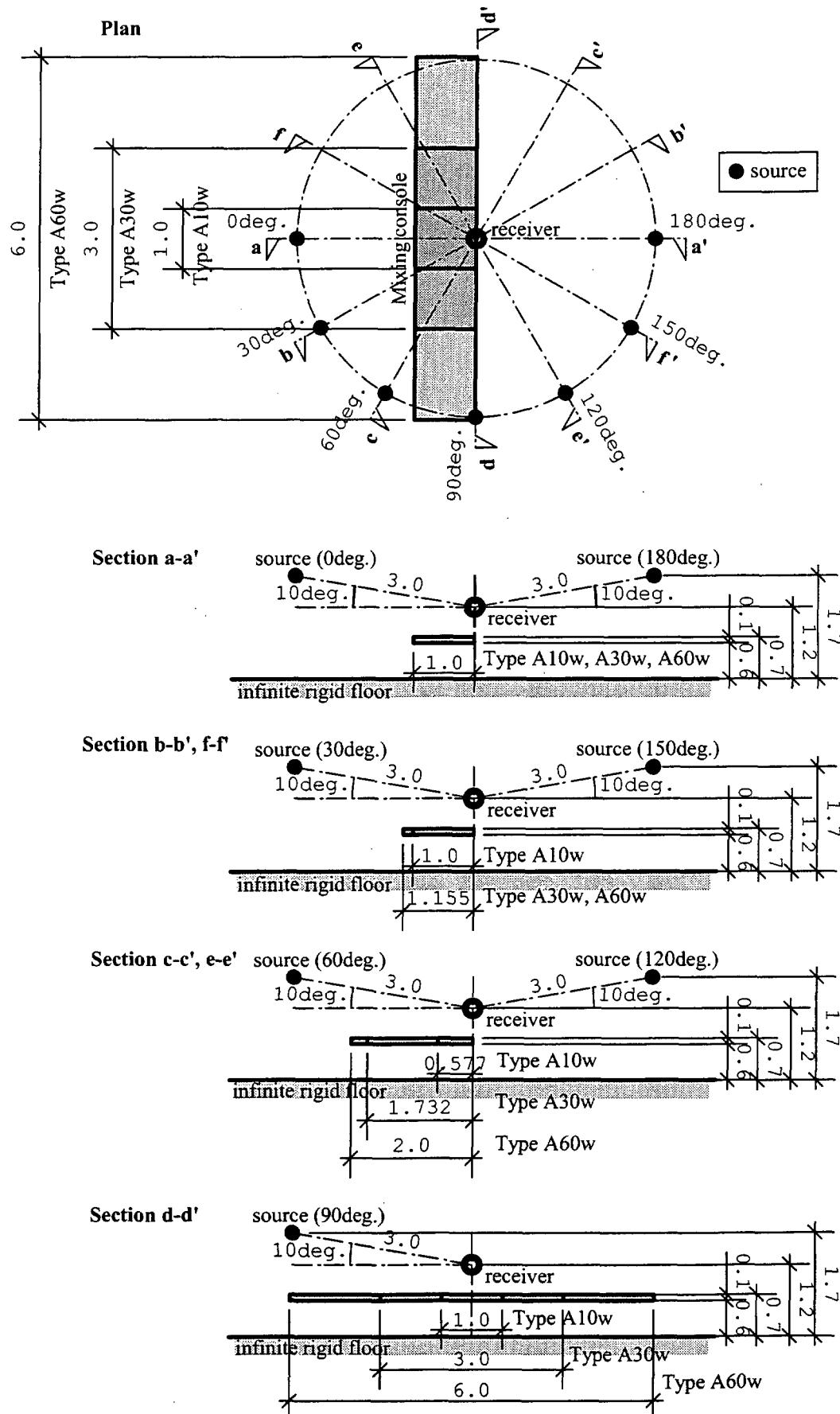


Fig. 5-4 The relationship between the source position and the sectional shape of a field.

3次元音場(半無響室)における測定結果をFig. 5-5～Fig. 5-11に示す。それぞれ音源を $0^\circ$ ～ $180^\circ$ の位置に設置した場合の結果を示しており、a), b), c) はミキシングコンソールの横幅が6.0m, 3.0m, 1.0mの場合の結果である。図中、黒線が測定結果を表しており、灰色線が2次元モデルによる数値解析結果である。数値解析結果に関しては、以下の条件での計算結果を測定値と合わせて提示している。

Table 5-1 Conditions for numerical analyses which results are shown in Figures 5-5 to 5-11.

Figure #	Measurement (black solid line) source	Numerical analysis 1 (gray solid line)		Numerical analysis 2 (gray dashed line)	
		section	source	section	source
Fig. 5-5	0deg.	a-a'	front	-	-
Fig. 5-6	30deg.	↑	↑	b-b' (f-f)	front
Fig. 5-7	60deg.	↑	↑	c-c' (e-e')	↑
Fig. 5-8	90deg.	↑	↑	d-d'	↑
Fig. 5-9	120deg.	a-a'	rear	e-e' (c-c')	rear
Fig. 5-10	150deg.	↑	↑	f-f (b-b')	↑
Fig. 5-11	180deg.	↑	↑	-	-



5

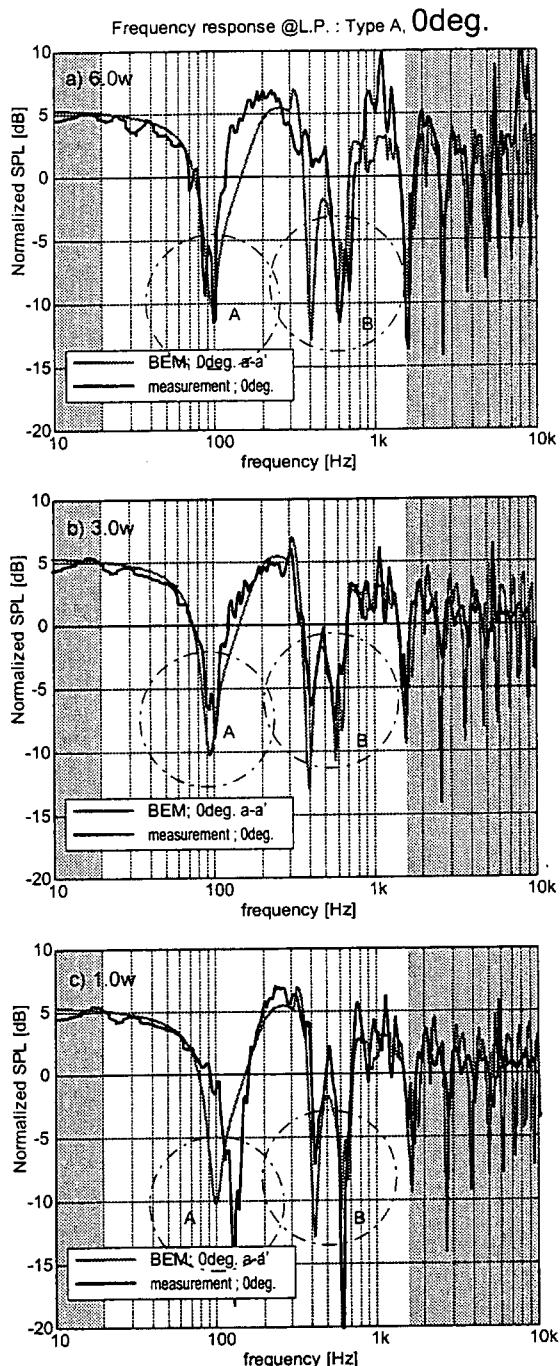


Fig. 5-5 Frequency responses at the listening position. The source is located at 0deg. a) 6.0m width of the mixing console, b) 3.0m width of the mixing console, c) 1.0m width of the mixing console. The black solid line; measurement result. The gray solid line; calculated result on the section a-a' (source is located at the front position). The 0dB indicates the response of the direct sound. The calculation was conducted at 1/24 octave intervals, and the measured results are plotted as the averaged value in 1/24 octave bands. The gray area shows areas of no confidence for the measurement result.

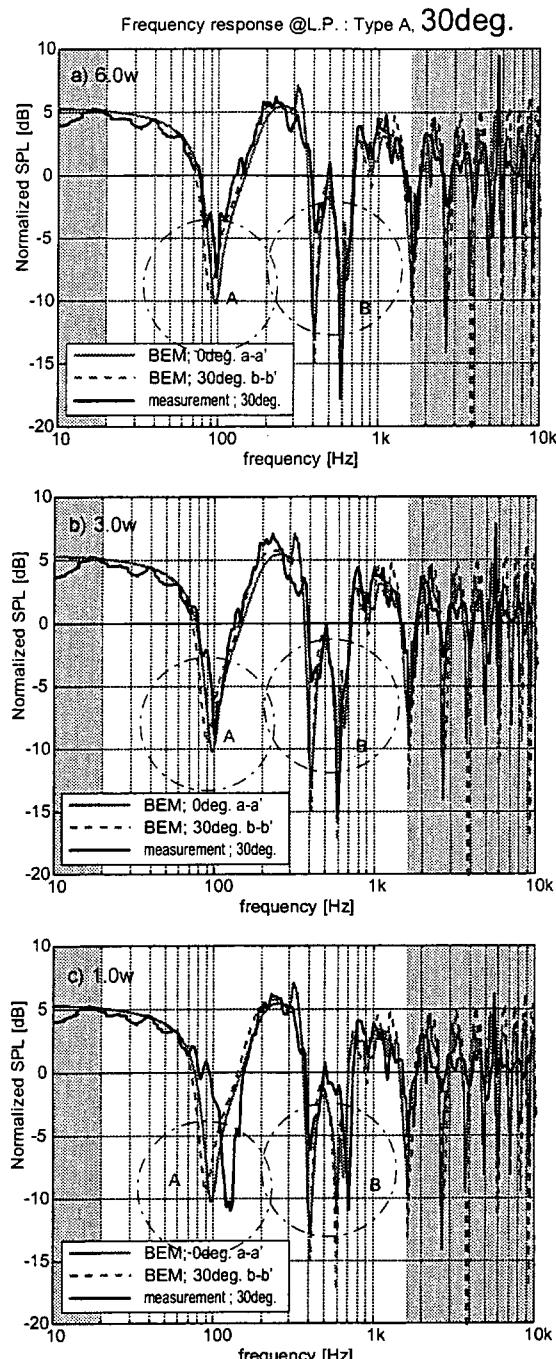


Fig. 5-6 Frequency responses at the listening position. The source is located at 30deg. a) 6.0m width of the mixing console, b) 3.0m width of the mixing console, c) 1.0m width of the mixing console. The black solid line; measurement result. The gray solid line; calculated result on the section a-a' (source is located at the front position). The gray dashed line; calculated result on the section b-b' (source is located at the front position). The 0dB indicates the response of the direct sound.

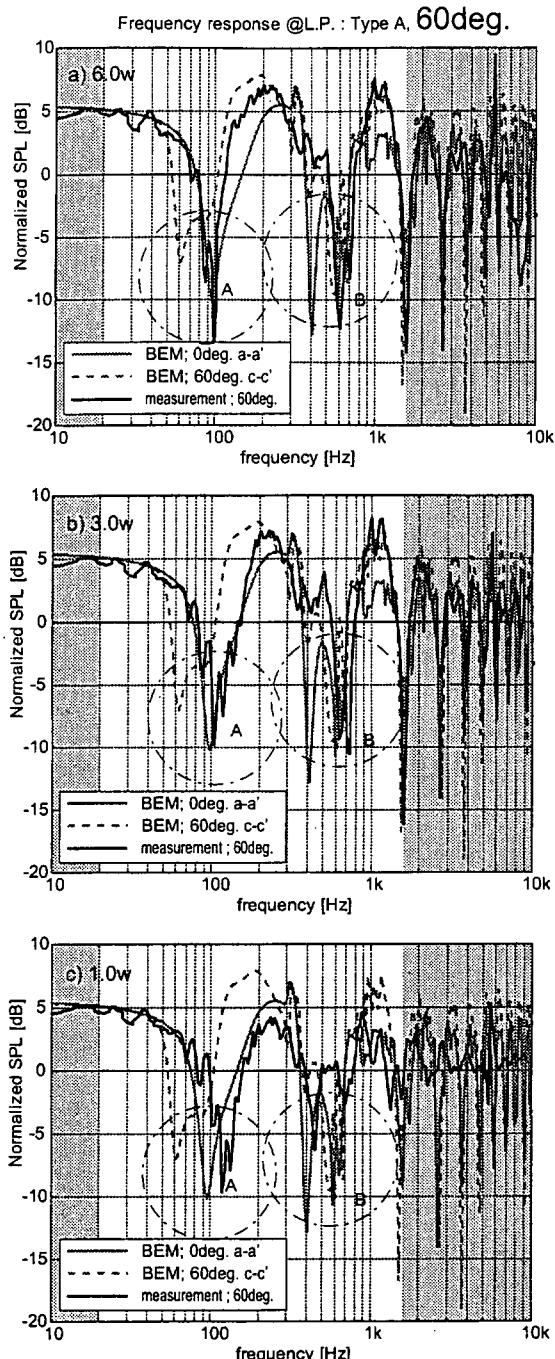


Fig. 5-7 Frequency responses at the listening position. The source is located at 60deg. a) 6.0m width of the mixing console, b) 3.0m width of the mixing console, c) 1.0m width of the mixing console. The black solid line; measurement result. The gray solid line; calculated result on the section a-a' (source is located at the front position). The gray dashed line; calculated result on the section c-c' (source is located at the front position). The 0dB indicates the response of the direct sound.

5

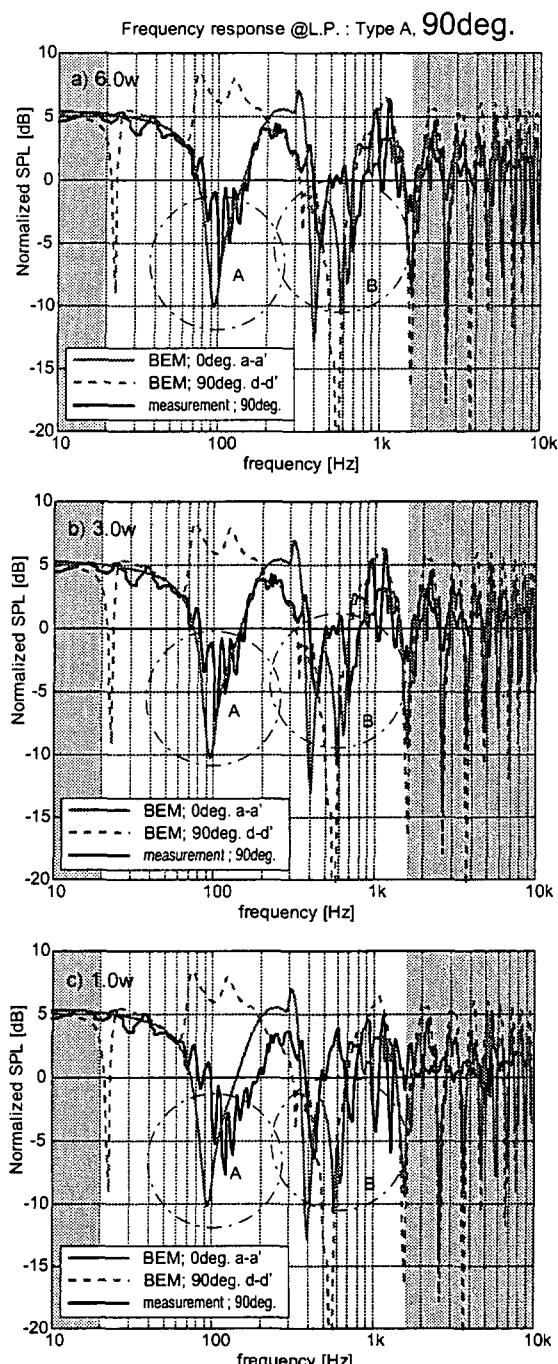


Fig. 5-8 Frequency responses at the listening position. The source is located at 90deg. a) 6.0m width of the mixing console, b) 3.0m width of the mixing console, c) 1.0m width of the mixing console. The black solid line; measurement result. The gray solid line; calculated result on the section a-a' (source is located at the front position). The gray dashed line; calculated result on the section d-d' (source is located at the front position). The 0dB indicates the response of the direct sound.

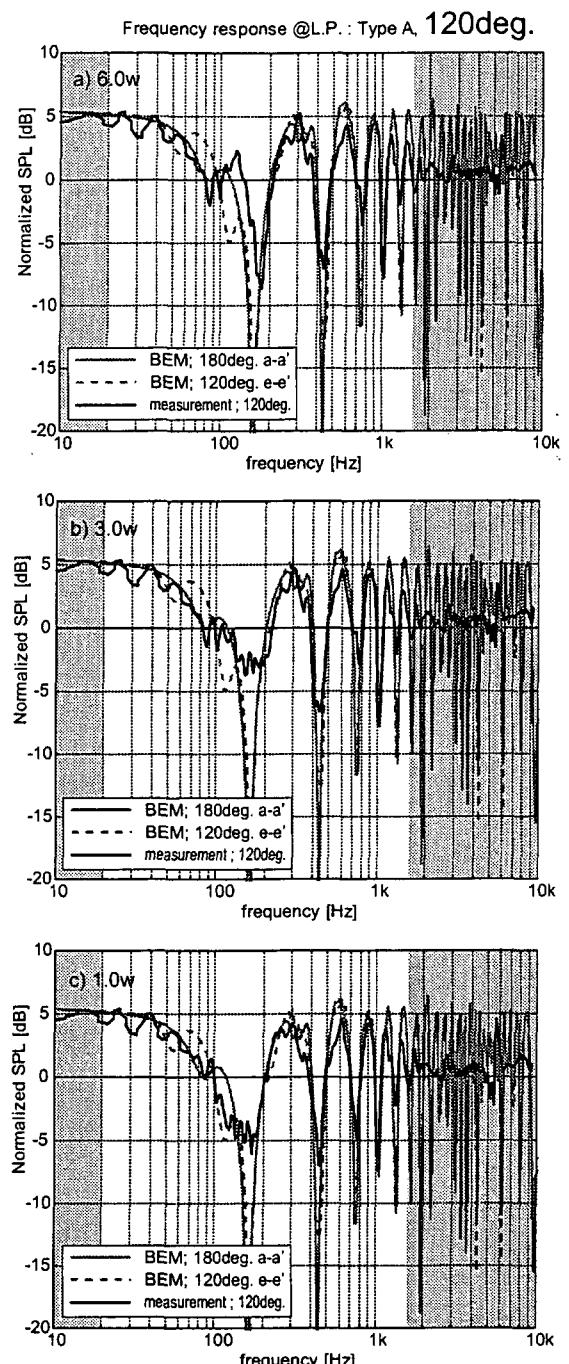


Fig. 5-9 Frequency responses at the listening position. The source is located at 120deg. a) 6.0m width of the mixing console, b) 3.0m width of the mixing console, c) 1.0m width of the mixing console. The black solid line; measurement result. The gray solid line; calculated result on the section a-a' (source is located at the rear position). The gray dashed line; calculated result on the section e-e' (source is located at the rear position). The 0dB indicates the response of the direct sound.

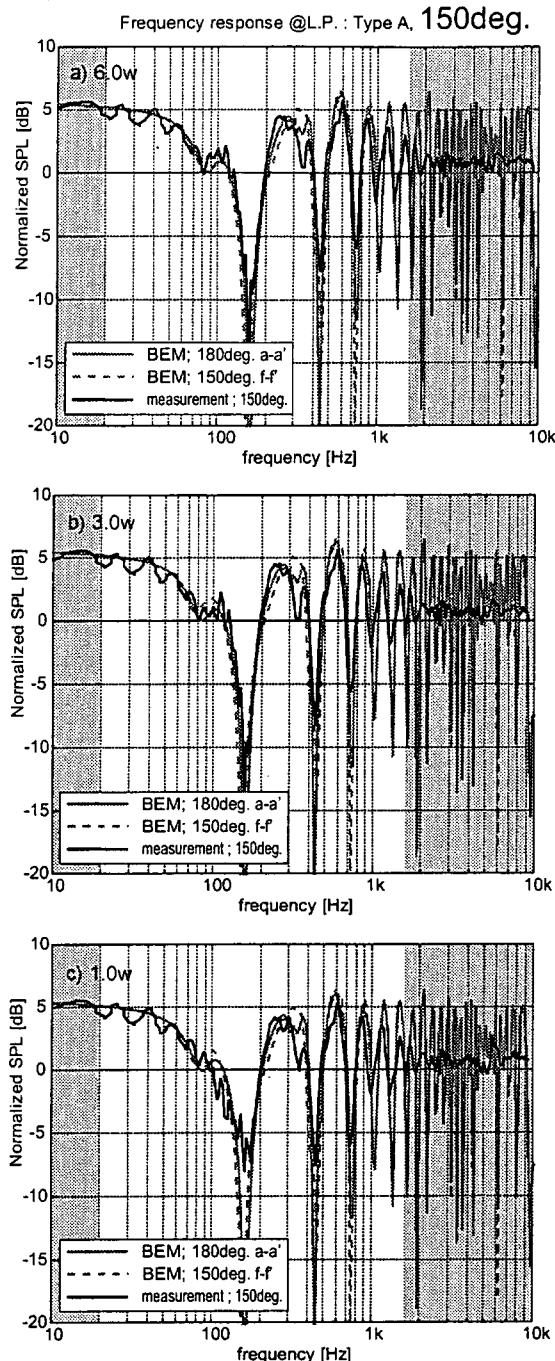


Fig. 5-10 Frequency responses at the listening position. The source is located at 150deg. a) 6.0m width of the mixing console, b) 3.0m width of the mixing console, c) 1.0m width of the mixing console. The black solid line; measurement result. The gray solid line; calculated result on the section a-a' (source is located at the rear position). The gray dashed line; calculated result on the section f-f' (source is located at the rear position). The 0dB indicates the response of the direct sound.

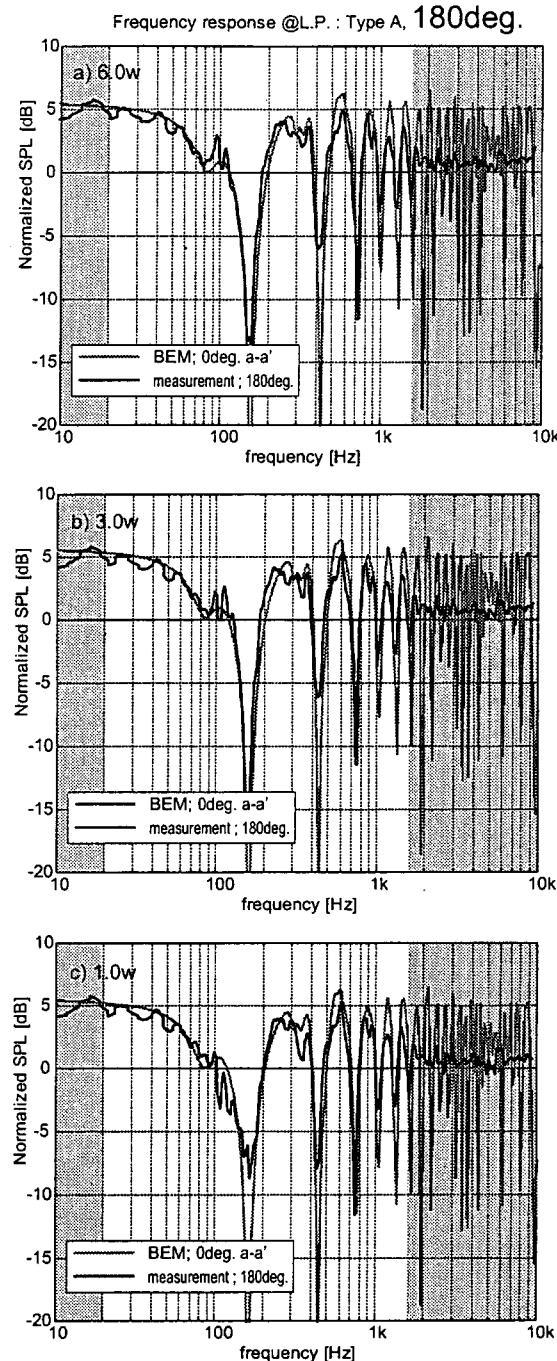


Fig. 5-11 Frequency responses at the listening position. The source is located at 120deg. a) 6.0m width of the mixing console, b) 3.0m width of the mixing console, c) 1.0m width of the mixing console. The black solid line; measurement result. The gray solid line; calculated result on the section a-a' (source is located at the rear position). The 0dB indicates the response of the direct sound.

Fig. 5-5～Fig. 5-11 より、2次元音場を解析モデルとした数値計算結果と3次元音場との対応に関して、以下の事項が考察できる。

## 1 数値計算結果と測定値との比較

全ての測定結果は、それぞれに対応した断面形状による数値解析結果ではなく、a-a' 断面による数値解析結果と良い対応をなしている。また、音源が  $0^\circ \sim 90^\circ$  に配置されている場合の測定値は、音源を  $0^\circ$  に配置した場合の数値解析結果と良い対応を成しており (Fig. 5-5～Fig. 5-8, 灰色線と黒線との対応)、音源が  $120^\circ \sim 180^\circ$  に配置されている場合の測定値は、音源を  $180^\circ$  に配置した場合の数値解析結果と良い対応を成している (Fig. 5-9～Fig. 5-11, 灰色線と黒線との対応)。

以上より、音源が  $0^\circ$  及び  $180^\circ$  以外の場所に配置されている環境においても、それぞれの音源方向に対応した断面形状を2次元解析音場として与える必要はなく、以下のように音源配置を区分けすることで数値解析による対応が可能だと考えられる。

## 5

- ・ 音源が前方に配置されている場合  $0^\circ \sim 90^\circ$   
⇒ 解析モデル : a-a' 断面、音源  $0^\circ$  配置
  
- ・ 音源が後方に配置されている場合  $120^\circ \sim 180^\circ$   
⇒ 解析モデル : a-a' 断面、音源  $180^\circ$  配置

## 2 音源が後方に配置されている場合の解析誤差 音源: $120^\circ \sim 180^\circ$

Fig. 5-9～Fig. 5-11 によると、音源が  $120^\circ \sim 180^\circ$  に配置されている場合の測定値は、ミキシングコンソールの横幅に関係なく、a-a' 断面による数値解析結果と良い対応を成している。

従って、後方からの入射音に対しては、様々な幅のミキシングコンソール及び音源設置位置に対して、2次元解析モデルの適用が可能であると思われる。

### 3 音源が前方に配置されている場合の解析誤差 音源: $0^\circ \sim 90^\circ$

Fig. 5-6 ~ Fig. 5-8 によると、音源が  $0^\circ \sim 90^\circ$  に配置されている場合の測定値と数値解析結果との対応は、ミキシングコンソールの横幅に影響されることが分かる。

100Hz 近傍のディップ(A)に着目すると、ミキシングコンソールの横幅が 1.0m の場合は、測定値と数値解析値とでディップの周波数にずれが生じており、双方の対応が悪いことが分かる。一方、ミキシングコンソールの横幅が 3.0m 及び 6.0m の場合には、測定値と数値解析値とのディップ周波数が一致しており、良い対応が得られている。このことから、2 次元音場を仮定した数値解析においては、ミキシングコンソールの横幅にある程度の長さの想定が要求されることが分かる。

更に、500Hz 近傍のディップ(B)との対応を眺めると、音源配置  $60^\circ$  及び  $90^\circ$  の場合には、測定結果と解析結果とでディップの様子が異なっており、双方の対応が悪いことが分かる。従って、3 次元音場と数値解析結果との対応に関してより高い厳密性を求める場合、 $0^\circ \sim 30^\circ$  に音源が設置されている環境を想定する必要がある。但し、ミキシングコンソールの横幅が 6.0m の場合、音源配置  $0^\circ$  における 500Hz 近傍のディップ(B)に対する測定値と解析値との対応は良くない(Fig. 5-5-a)。

結果として、2 次元解析との対応が最も良いミキシングコンソールの横幅は、6.0m ではなく、3.0m となる。この結果は、ミキシングコンソールの横幅が長いほど 2 次元音場との対応が良いとは限らない、といった結論を意味しているが、音源距離との関連性など詳細に関しては今後検討の必要があると思われる。

以上より、2 次元解析と 3 次元音場における対応関係を定性的に整理したものを Table 5-2 に示す。表中、「VG」は信頼性が高い、「G」は信頼性がある、「NG」は信頼性が乏しい、を意味している。特に、前方 ( $0^\circ \sim 90^\circ$ ) に配置された音源との対応に関しては、「G」は 100Hz 近傍のディップ周波数が一致する、「VG」はそれに加え 500Hz 近傍のディップの様子が精度良く模倣される、ことを表している。

また、Table 5-2 に対応する 3 次元音場の様子を Fig. 5-12 ~ Fig. 5-14 に示す。Fig. 5-12, Fig. 5-13, Fig. 5-14 は、それぞれミキシングコンソール 6.0m, 3.0m, 1.0m の場合に数値解析結果と対応する音源位置を示している。

Table 5-2 Correspondence between the numerical result using a two-dimensional modeled field and the three-dimensional conditions.

VG; very good, G; good, NG; no good

Width of a mixing console	front				rear			
	(BEM: section a-a', source 0deg.)	(BEM: section a-a', source 180deg.)	0 deg.	30 deg.	60 deg.	90 deg.	120 deg.	150 deg.
6.0m	G	VG	G	G	G	VG	VG	VG
3.0m	VG	VG	G	G	G	↑	↑	↑
1.0m	NG	NG	NG	NG	NG	↑	↑	↑

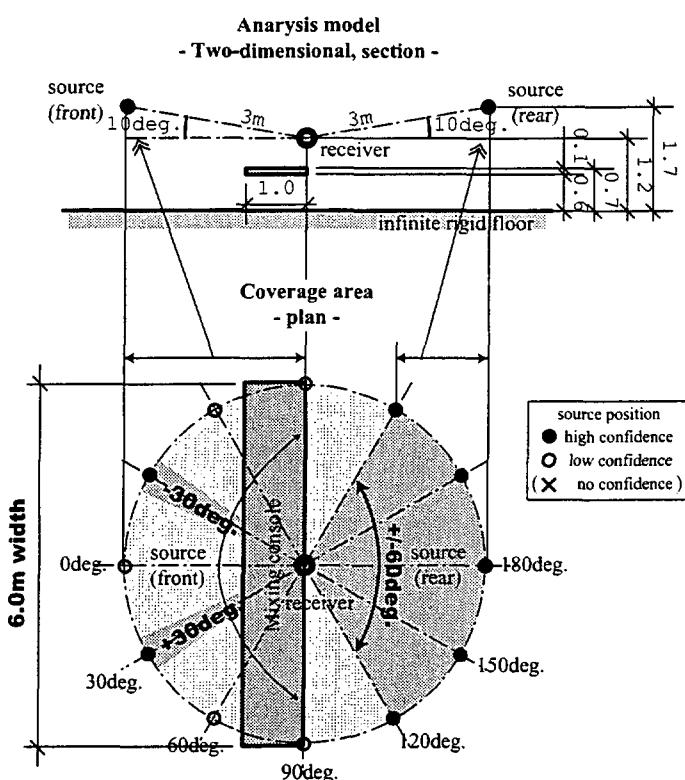


Fig. 5-12 The confidence source positions corresponded with the two-dimensional numerical analysis. The width of a mixing console is 6.0m.

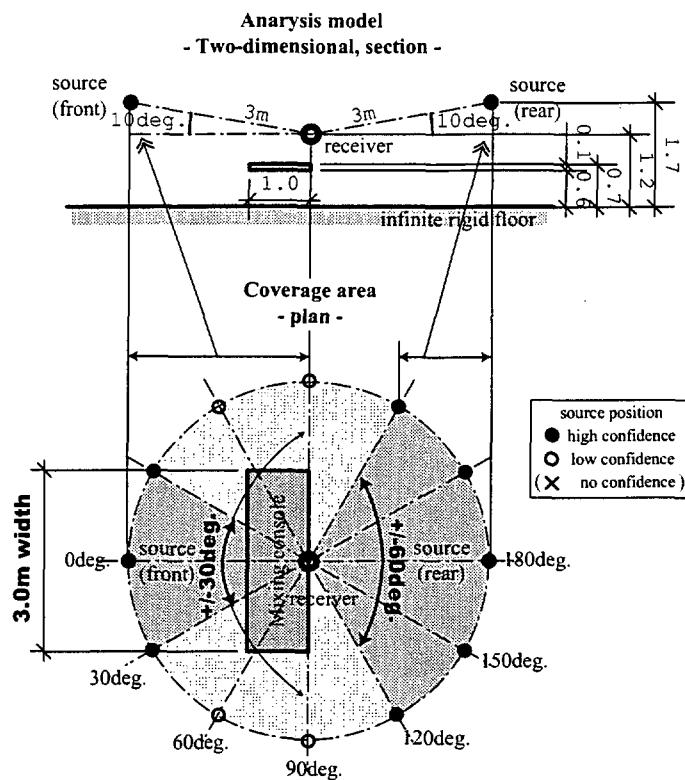


Fig. 5-13 The confidence source positions corresponded with the two-dimensional numerical analysis. The width of a mixing console is 3.0m.

5

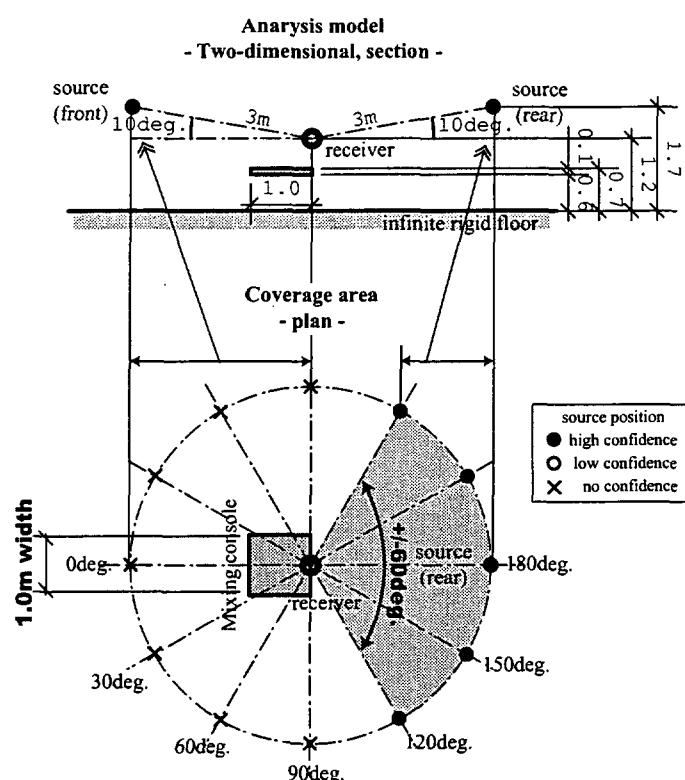


Fig. 5-14 The confidence source positions corresponded with the two-dimensional numerical analysis. The width of a mixing console is 1.0m.

## 5-2. リスニングポイントにおける周波数特性

### Frequency response at the listening position

ミキシングルームの音響特性にとって最も重要な項目の1つが、リスニングポイントにおけるスピーカ再生特性、すなわちモニタ特性である。理想とされるモニタ特性は、その振幅周波数特性が周波数によらず一定、すなわちフラットな特性となることであるが、一般的には顕著なディップやピークが生じていないことが望まれる。

以下、ミキシングコンソールの形状及び音源距離とモニタ特性との関係に関して、境界要素法による数値計算結果を基に検証を行う。また、数値計算の妥当性を確認するために2次元音場での測定値も併せて検証する。

#### 5-2-1. ミキシングコンソールの形状による影響

##### Effect of the shape of a mixing console

## 5

ミキシングコンソールの形状とモニタ特性との関係を検証するために、3種類のミキシングコンソール、Type A, Type B, Type S (Fig. 2-4)に関して数値解析を行った。

解析音場を Fig. 5-15 に示す。音源距離は 3.0m, ミキシングコンソールの境界アドミッタンスは 0 である。また、床以外の部屋の境界は考慮されていない。

解析結果及び2次元無響室による測定結果をそれぞれ Fig. 5-16, Fig. 5-17 に示す。解析及び測定結果には、ミキシングコンソールがない場合、すなわち半自由音場における結果についても提示した。図中、太線が Type A, 破線が Type B, 一点鎖線が Type S, 細線がミキシングコンソールの存在しない場合の結果を示している。尚、測定結果 (Fig. 5-17)において灰色でマスクされた領域は、測定精度が不十分な帯域を表している。

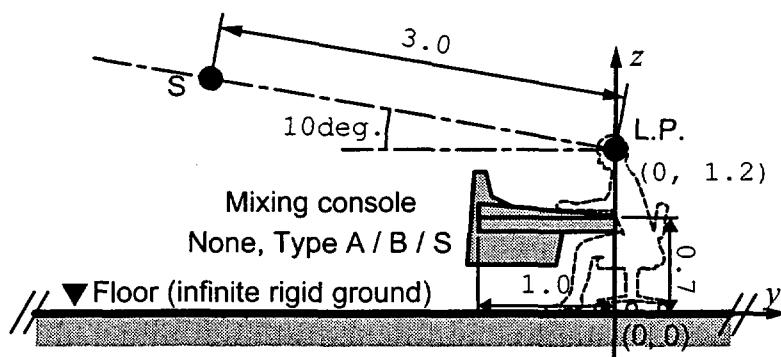


Fig. 5-15 The modeled field for the results shown in Figures 5-16 and 5-17.

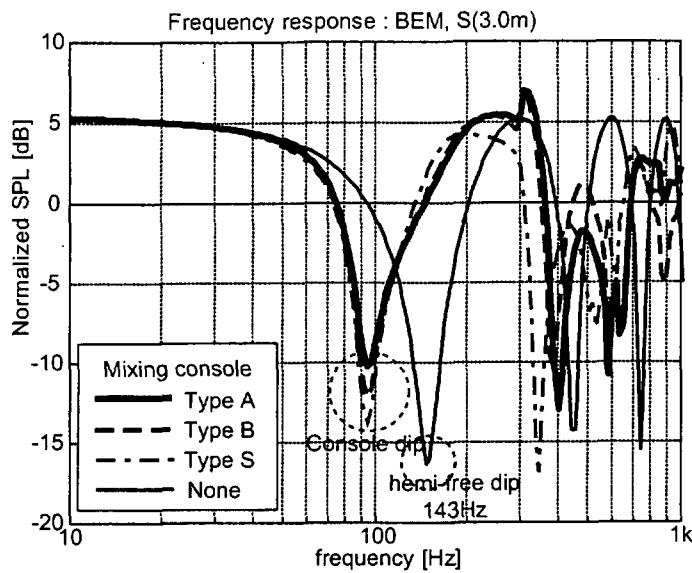


Fig. 5-16 Frequency responses at the listening position with or without the mixing console. Responses were calculated at 1/24 octave intervals via the BEM. The 0dB indicates the free sound field response.

5

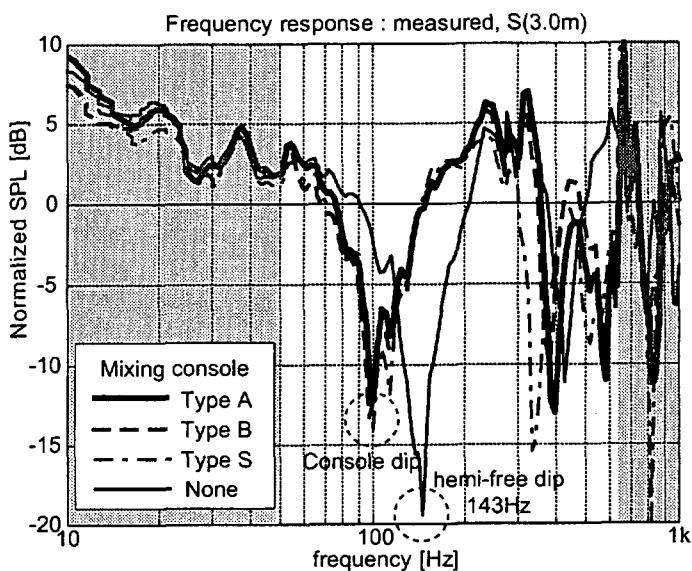


Fig. 5-17 Frequency responses at the listening position with or without the mixing console. Responses were measured in a two-dimensional anechoic chamber. Results were averaged at 1/24 octave intervals. The 0dB indicates the free sound field response. The gray area indicates areas of no confidence.

数値解析結果は測定結果と良い対応を成しており、数値解析手法の妥当性が確認できる。ミキシングコンソールが存在しない場合は、直接音と床からの反射音の行路差、 $4.2m - 3.0m = 1.2m$  による干渉のディップが 143Hz に観測できる。

一方、ミキシングコンソールが存在する場合は、143Hz のディップは消失し、新たなディップが 100Hz 付近に観測される。従って、ミキシングコンソールの存在は、音場の低域特性に何らかの影響を与えており、結果としてリスニングポイントにおけるモニタ特性を変化させていると考えられる。また、100Hz のディップ特性が、Type A, Type B, Type S のすべてのミキシングコンソールに共通していることから、このような現象は特定のミキシングコンソール固有の現象ではなく、一般性を有するものであると考えられる。

### 5-2-2. 音源距離による影響

*Effect of the source distance*

## 5

音源距離とモニタ特性の関係を検証するために、3種類の音源距離、1.5m, 3.0m, 6.0m に対して数値解析を行った。

解析音場を Fig. 5-18 に示す。ミキシングコンソールには Type A の形状を用い、その境界アドミッタンスは 0 としている。また、床以外の部屋の境界は考慮されていない。

解析結果を Fig. 5-19 及び Fig. 5-20 に、2次元無響室による測定結果を Fig. 5-21 及び Fig. 5-22 に示す。Fig. 5-19 及び Fig. 5-21 はミキシングコンソールの存在する場合の結果であり、Fig. 5-20 及び Fig. 5-22 はミキシングコンソールの存在しない場合の結果を示している。図中、太線が音源距離 3.0m、破線が 1.5m、一点鎖線が 6.0m の場合の結果を示している。

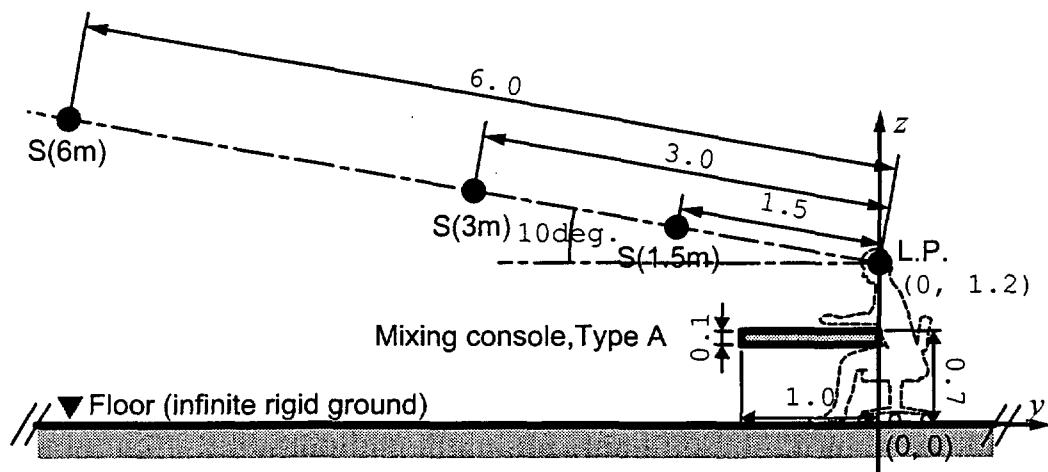


Fig. 5-18 The modeled field for the results shown in Figures 5-19 to 5-22.

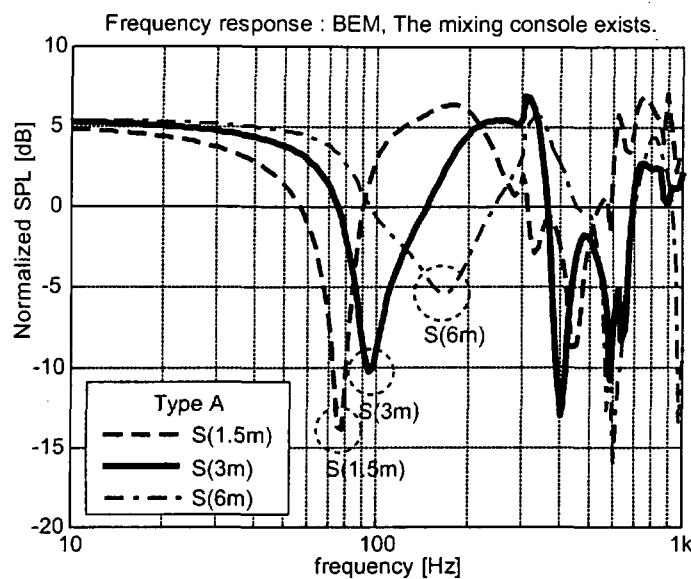


Fig. 5-19 Frequency responses at the listening position from three different distances of the source. The Type A mixing console is inserted. Responses were calculated at 1/24 octave intervals via the BEM. The 0dB indicates the free sound field response.

5

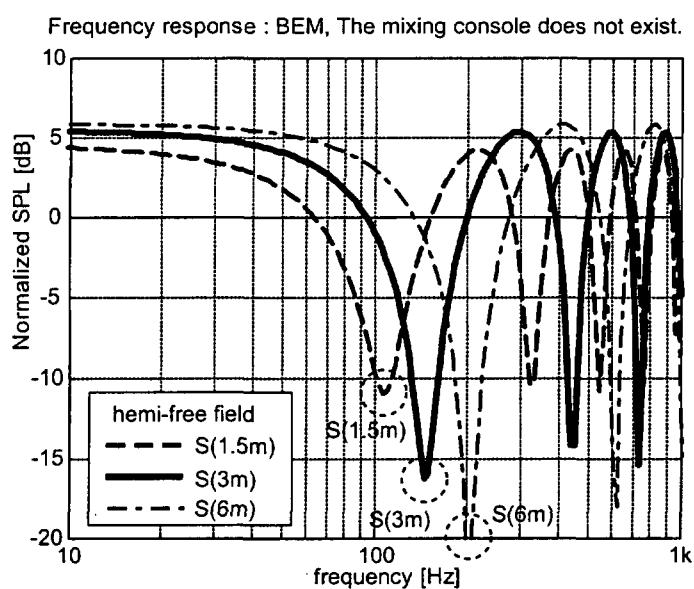


Fig. 5-20 Frequency responses at the listening position from three different distances of the source. No mixing console is inserted. Responses were calculated at 1/24 octave intervals via the BEM. The 0dB indicates the free sound field response.

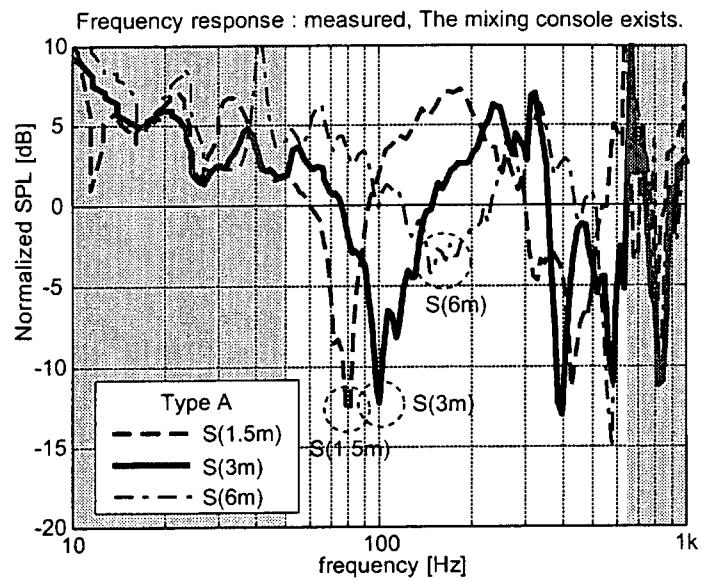


Fig. 5-21 Frequency responses at the listening position from three different distances of the source. The Type A mixing console is inserted. Responses were measured in a two-dimensional anechoic chamber. Results were averaged at 1/24 octave intervals. The 0dB indicates the free sound field response. The gray area indicates areas of no confidence.

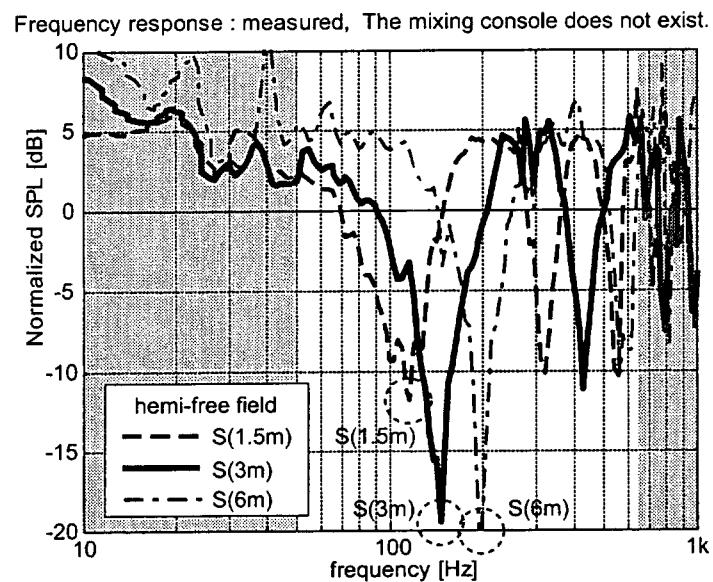


Fig. 5-22 Frequency responses at the listening position from three different distances of the source. The Type A mixing console is inserted. Responses were measured in a two-dimensional anechoic chamber. Results were averaged at 1/24 octave intervals. The 0dB indicates the free sound field response. The gray area indicates areas of no confidence.

数値解析結果は、測定結果と良い対応を示しており、数値解析手法の妥当性が確認できる。

低域のディップに着目すると、ミキシングコンソールの有無によらず、音源距離が長くなるほどディップの周波数が高域へと移動している。半自由音場では、音源距離が長くなるほど直接音と床からの反射音の行路差が小さくなり、それらの干渉により生じるディップの最低周波数は、高域へと移動する。音源距離とディップの関係に関しては、このような現象が、ミキシングコンソールの有無によらず影響していると思われる。従って、ミキシングコンソールが存在する場合であっても、直接音と床からの反射音による干渉が、低域のディップ生成に大きく影響している可能性がある。但し、その影響は、ミキシングコンソールが無い場合のように単純ではないことが、ディップの詳細を眺めることにより分かる。

以下、ミキシングコンソールの有無によるディップの詳細に関して記す。

- ディップの周波数が、ミキシングコンソールの有無により異なる。  
ミキシングコンソールが存在する場合のディップは、ミキシングコンソールが存在しない場合のディップに比べて低域に生じている。
- ディップの鋭さ、すなわち Q 値が異なる。

ミキシングコンソールが存在しない場合のディップ、すなわち直接音と床からの反射音の行路差により生じるディップの Q 値は、周波数によらず一定となる。従って、周波数軸を対数表示した場合、低域に生じるディップほど Q 値が小さく見える。一方、ミキシングコンソールが存在する場合のディップは、低域に生じるものほど Q 値が大きくなっている。

以上より、ミキシングコンソールが存在する場合に生じる低域のディップは、直接音と床からの反射音だけでは説明が困難であることが分かる。

### 5-3. 音圧レベル分布

#### *Spatial distribution of the sound pressure level*

前節 5-2. により、ミキシングコンソールの存在が、低域のモニタ特性に対して影響を与えることが確認された。本節では、リスニングポイント周辺における音圧レベルの分布の数値解析を行い、音場の変化といった観点から、ミキシングコンソールが低域特性に与える影響に関して検証を行う。

数値計算は、リスニングポイントを中心とした  $0.1m \times 0.1m$  間隔の格子点において行い、50Hz, 75Hz, 100Hz, 150Hz, 200Hz の 5 種類の周波数に関する音圧レベル分布を算出した。ここで、解析音場は Fig. 5-15 に従い、音源距離を 3.0m、ミキシングコンソールの境界アドミッタンスを 0 としている。また、床以外の部屋の境界は考慮されていない。

Fig 5-23 に、ミキシングコンソールが無い場合の計算結果を示す。Fig. 5-24 ~ Fig. 5-26 に、それぞれ Type A, Type B, Type S のミキシングコンソールが存在する場合の計算結果を示す。

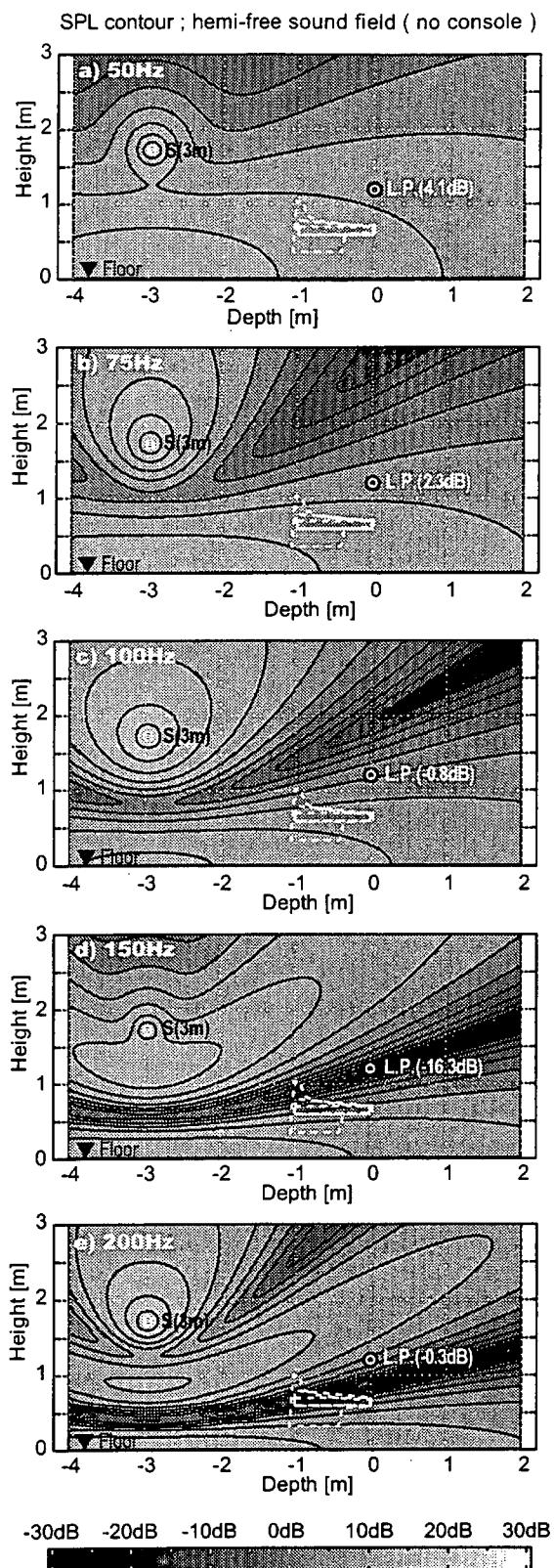


Fig. 5-23 Spatial distribution of the sound pressure level. A mixing console does not exist. Results are calculated for a) 50Hz, b) 75Hz, c) 100Hz, d) 150Hz, e) 200Hz at  $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$  mesh points. The 0dB indicates the SPL in a free sound field. Contour lines are plotted at 3dB intervals.

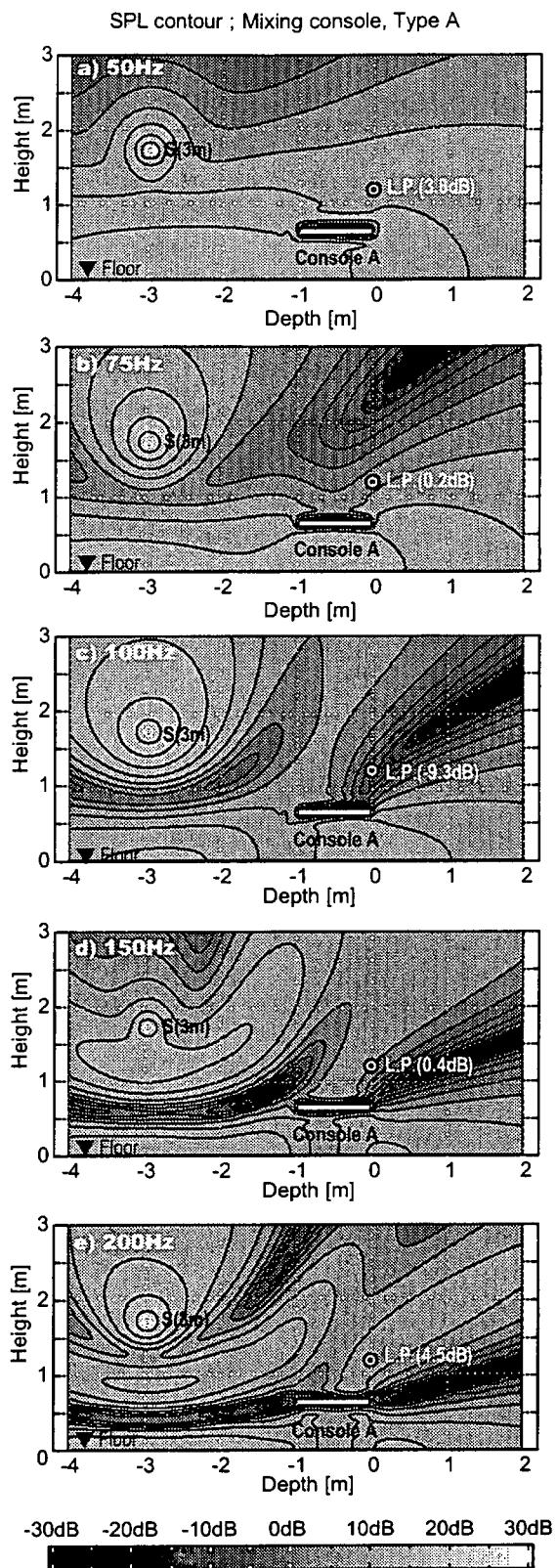


Fig. 5-24 Spatial distribution of the sound pressure level. The mixing console, Type A, exists.. Results are calculated for a) 50Hz, b) 75Hz, c) 100Hz, d) 150Hz, e) 200Hz at  $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$  mesh points. The 0dB indicates the SPL in a free sound field. Contour lines are plotted at 3dB intervals.

5

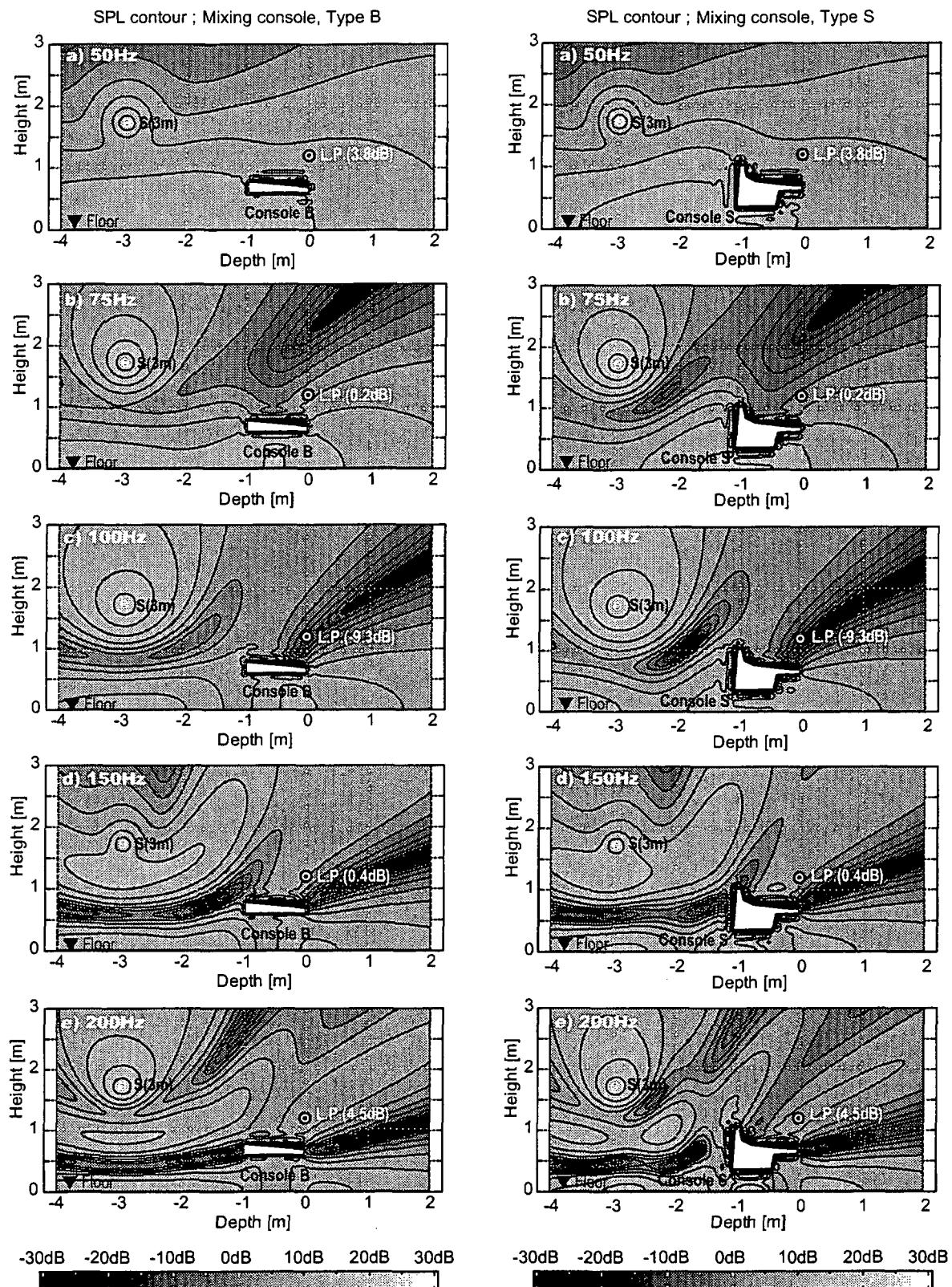


Fig. 5-25 Spatial distribution of the sound pressure level. The mixing console, Type B, exists. Results are calculated for a) 50Hz, b) 75Hz, c) 100Hz, d) 150Hz, e) 200Hz at  $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$  mesh points. The 0dB indicates the SPL in a free sound field. Contour lines are plotted at 3dB intervals.

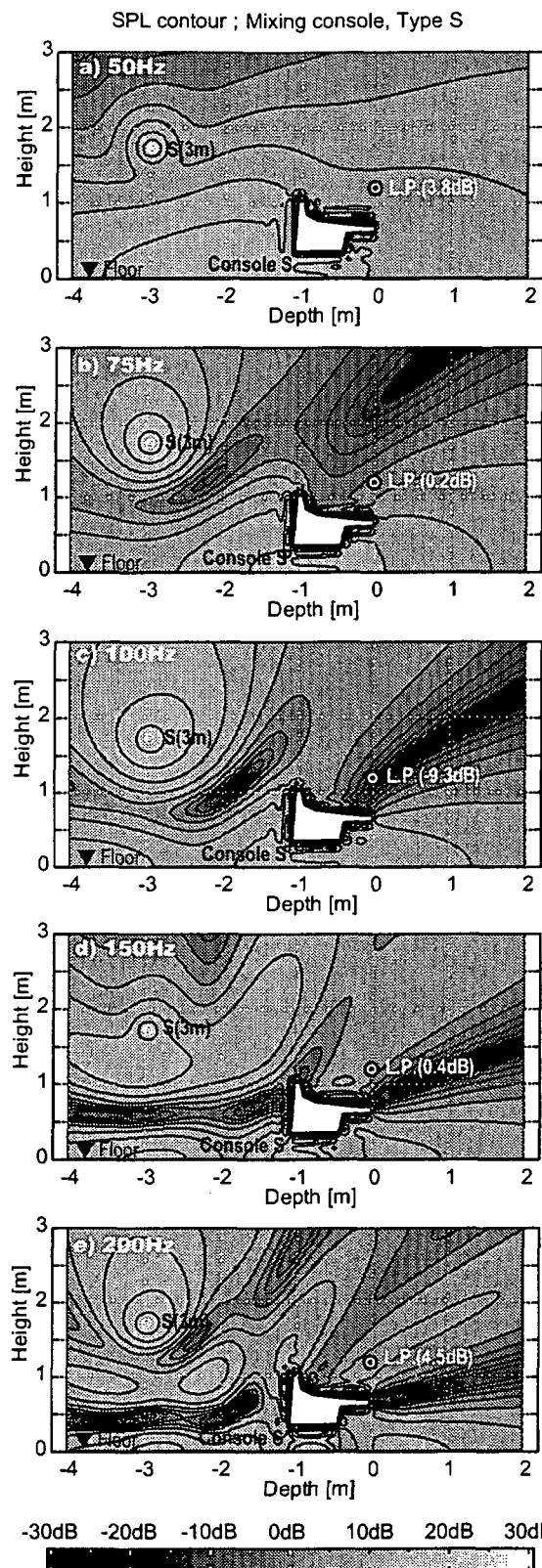


Fig. 5-26 Spatial distribution of the sound pressure level. The mixing console, Type S, exists. Results are calculated for a) 50Hz, b) 75Hz, c) 100Hz, d) 150Hz, e) 200Hz at  $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$  mesh points. The 0dB indicates the SPL in a free sound field. Contour lines are plotted at 3dB intervals.

ミキシングコンソールが存在しない場合、すなわち半自由音場における音圧分布は、直接音と床からの反射音による干渉縞を表している(Fig. 5-23)。

音圧の節線に注目し、ミキシングコンソールが存在しない場合の音圧分布に関する特徴を以下に記す。

- 1) 75Hz 以上の帯域において音圧の節線が現われている。
- 2) 周波数が高くなるに従い、節線の幅は細くなり床面に近づいてくる。
- 3) 上方から床面に近づいてきた節線は、150Hzにおいてほぼリスニングポイント(L.P.)に重なっている。モニタ特性のディップは、この状態が反映されたものである。

次に、ミキシングコンソールが存在する場合の音圧分布に関して考察を行う。Fig. 5-24～Fig. 5-26 によると、ミキシングコンソールの形状による違いは、ほとんど見られない。全てのミキシングコンソール形状に対して、ミキシングコンソールが無い場合の結果とは異なる特徴が、音圧の節線の様子として観測される。

以下、Type A, Type B, Type S に共通した特徴を記す。

- 1) 75Hz で現れた音圧の節線は、その一部分がミキシングコンソールの表面に吸い寄せられそうな様相を呈している。
- 2) 100Hz 以上の帯域では、ミキシングコンソールの前後で節線が 2 つに分離され、そのうちの一つがミキシングコンソール表面にくっついている。この様子は、あたかも 1 つの節線がコンソール表面より生じているようである。
- 3) 周波数が高くなるにつれ、ミキシングコンソール表面にその一端を接している節線が、ミキシングコンソールの表面上を滑りながら時計回りに移動する。
- 4) 時計回りに移動している節線は、100Hzにおいて、ほぼリスニングポイント(L.P.)に重なる。リスニングポイントにおける周波数特性のディップは、この状態が反映されたものである。

以上より、ミキシングコンソールの存在が、音圧場に影響を与えていることが確認された。また、ミキシングコンソールの有無による影響は、音圧の節線に特徴づけられていることが分かった。ミキシングコンソールが存在しない場合、直接音と床からの反射音との干渉により音場に音圧の節線が生成されるが、ミキシングコンソールが存在する場合には、あたかもその節線がミキシングコンソールにより 2 つに分断されているような音場が形成されている。周波数特性におけるディップは、音圧の節線とリスニングポイントの位置関係により関連づけられることから、このような節線の変化は、周波数特性におけるミキシングコンソールの影響を空間的に表していると考えられる。

## 5-4. 音響インテンシティフロー

### *Sound intensity flow*

前節 5-3. にて、ミキシングコンソールの存在がリスニングポイント周辺の音圧場に影響を与えることが確認された。本節では、音圧場で検証された事項を音響インテンシティの観点から確認する。

ミキシングコンソール Type A, Type B, Type S が存在する場合の音響インテンシティの数値解析結果を Fig. 5-27 ~ Fig. 5-29 に示す。それぞれ、50Hz, 100Hz, 200Hz における音響インテンシティを  $0.1m \times 0.1m$  のメッシュポイント上で表している。数値解析条件は、音圧レベル分布の解析条件と同じである。ここで示した音響インテンシティは、時間平均音響インテンシティの実数成分、すなわち、時間平均アクティブ音響インテンシティである。音響インテンシティに関しては、対数変換せず真値を矢印の長さとして表わしている。但し、視認性の観点から、音響インテンシティの真値に対し平方根をとり、見た目のダイナミックレンジの圧縮を行っている。つまり、図に示された矢印の長さは、音響インテンシティの真値の  $1/2$  乗に比例している。また、音響インテンシティの大きさはグラフごとに基準化されている。

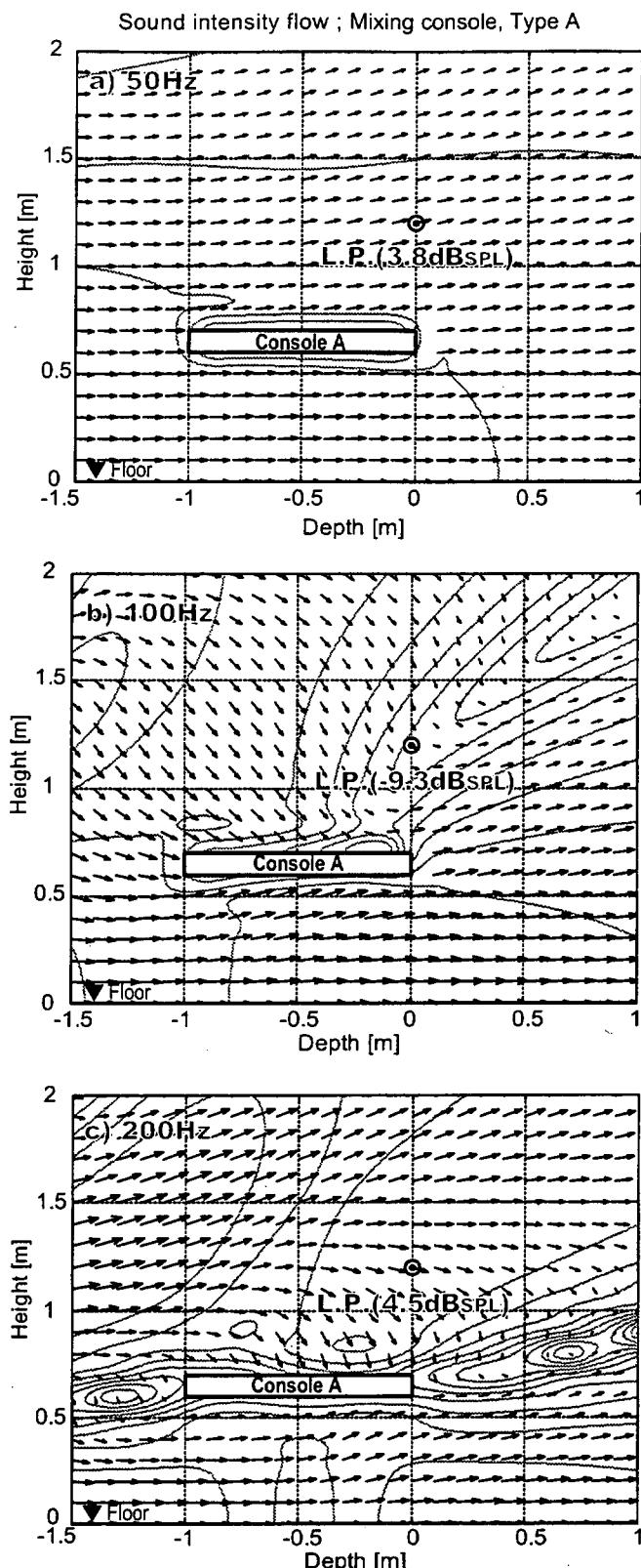
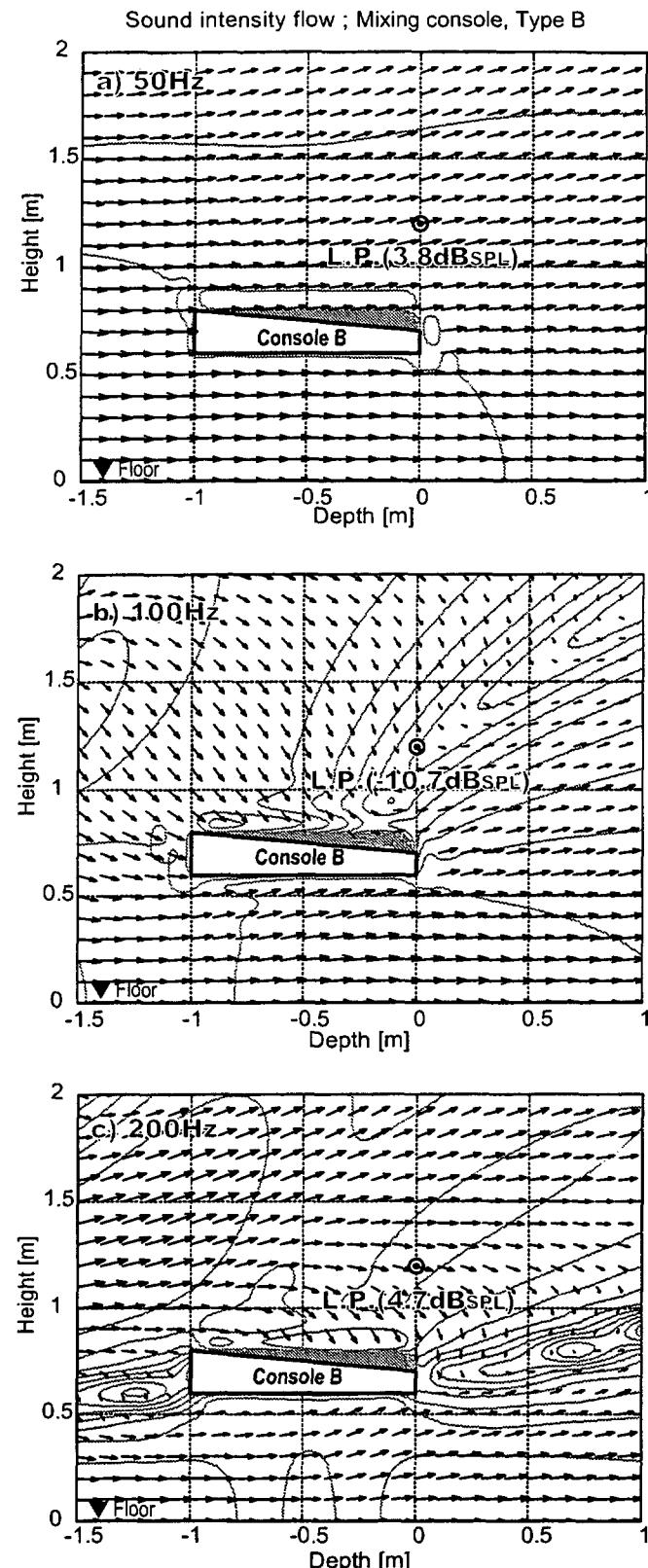


Fig. 5-27 Sound intensity flow around the listening position (L.P.). The mixing console, Type A is inserted. Results are calculated for a) 50Hz, b) 100Hz, c) 200Hz at  $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$  mesh points. The source is located at 3.0m distance from the receiver (L.P.) with 10-degrees elevation angle. The length of the arrows is in proportion to the square root of the intensity value. The back ground's gray lines indicate contours of the sound pressure level at 3dB intervals.



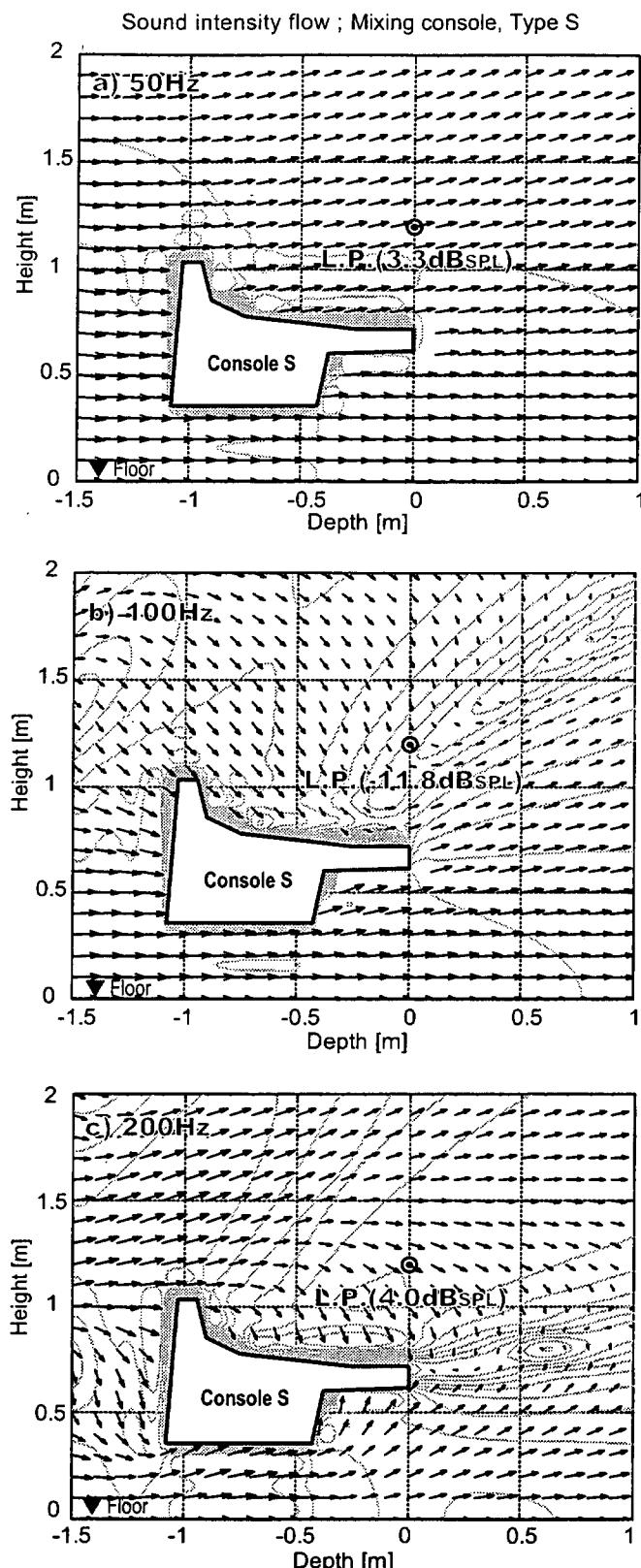


Fig. 5-29 Sound intensity flow around the listening position (L.P.). The mixing console, Type S is inserted. Results are calculated for a) 50Hz, b) 100Hz, c) 200Hz at  $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$  mesh points. The source is located at 3.0m distance from the receiver (L.P.) with 10-degrees elevation angle. The length of the arrows is in proportion to the square root of the intensity value. The background's gray lines indicate contours of the sound pressure level at 3dB intervals.

オーディオ再生にとって、スピーカの設置位置は、音場再現性、すなわち楽器等の音像定位に関する重要な項目の一つである。従って、再生音の周波数特性だけではなく、スピーカの位置情報が正しくリスニングポイントに伝達されることは、オーディオの再生・受聴環境にとって重要な機能となる。このことを音響インテンシティの観点から解釈すると、リスニングポイントにおける音響インテンシティベクトルが音源方向を向いていることが重要である。すなわち、音響エネルギーが音源方向よりリスニングポイントに向かって伝達されていることが理想的である。従って、音源が前方に位置する環境では、音響エネルギーが前方から後方へと伝搬されている状態が、音響インテンシティフローによって表現されていることが重要である。

Fig. 5-27 ~ Fig. 5-29 によると、音響インテンシティフローに関して、周波数特性及び音圧場の解析と同様にミキシングコンソールの形状による違いはほとんど見られない。以下、各形状に共通した特徴として解析結果を考察する。

## 5

50Hz では、ミキシングコンソールの影響はほとんど見られず、音響インテンシティは一様な大きさ及び方向を有している。すなわち、音源から再生された音波は、前方より後方へ一定のエネルギーをもって伝達されており、オーディオの受聴空間として理想的な環境である。

200Hz では、音圧場の節線に音響エネルギーが吸い込まれている様子が確認できる。それに伴い、節線の付近では音響インテンシティの方向及び大きさが大きく変化している。但し、200Hzにおいては、節線の場所がリスニングポイントから離れているため、リスニングポイント近傍では、前方から後方へと十分なエネルギーをもって音波が伝達されていることがわかる。

モニタ特性において顕著なディップが確認されている 100Hz においては、リスニングポイント近傍において十分な音響エネルギーが伝達されていない。音圧場の節線に音響エネルギーが吸い込まれている点に関しては 200Hz の場合と同様であるが、その節線がリスニングポイント近傍に存在するため、リスニングポイント周辺の音響インテンシティは大きく乱れている。そのため、リスニングポイント近傍において伝達される音響エネルギーは小さく、音響インテンシティの方向に関しても本来の伝搬方向である前方から後方ではなく、上方から下方へと向いている。従って、仮に 100Hz の音圧レベルを大きくすることでリスニングポイントにおける周波数特性のディップを解消したとしても、インテンシティの方向に関しては 50Hz の場合のような自然を得ることはできない。このことは、実際のミキシングルームにおいて、イコライザ等の電気的な周波数補正によりディップを解消できたとしても、オーディオの受聴環境としては十分な品質が確保できない可能性があることを示唆している。また、100Hz においては、ミキシングコンソールの下方に大きなエネルギーの流れが構成されており、ミキシングコンソール上部におけるエネルギーの割合が少ないことがわかる。このことは、床面近傍の大きなエネルギーの流れが、100Hz の音場形成に大きく寄与している可能性を示唆していると考えられ、床からの反射音とミキシングコンソールの影響に関する事象であると思われる。