

ホール音響測定

1. はじめに

習志野文化ホール大規模改修工事設計に伴い、現状の音響特性を把握するために、音響測定を行いました。その結果についてご報告致します。

2. 測定概要

- ・測定場所

千葉県習志野市谷津一丁目16番1号

- ・測定日時

2015年11月11日 (水) 16:30～21:30

- ・立会者

習志野市 資産管理室施設再生課 松尾好和様、中村哲也様

株式会社相和技術研究所

設計本部 第二設計部 新井加代子

- ・測定者

株式会社 Light Stage 木村 博行、伊藤 香

3. 測定項目

1) 残響時間

響きの長さを確認するための代表的物理指標です。

音源を止めてから、残響音が 60dB 減衰するまでの時間を指しています。これによりその空間が利用目的に対して適切な響きになっているかどうかを判断します。

2) IACC

両耳間相互相関度といい、音の広がり感を示す物理指標です。

左右の耳にどのように音が届いているかを、ダミーヘッドの両耳の位置にマイクを付けて測定します。0から1の間の値をとり、両耳に入る信号が異なっている（IACC の値が小さい）ほど、広がり感が大きいという判断ができます。

3) エコータイムパターン

音源として非常に短いパルス信号を入力した場合の受音点の応答で、インパルスレスポ

ンスとも呼ばれます。

これを分析することで、測定した箇所にとどのくらい反射音が到達しているかが分かります。フラッターエコーなどの音響障害がないかも確認できます。

4) 音圧レベル分布

客席全体に対する、音圧レベルの分布状態を示す特性です。

舞台上の音が客席後部へどのくらい届くかを確認するためのもので、音源から遠くなるほど一般的には減衰しますが、その前後の偏差の少ない方が客席全体に音が均一に伝わっていると分析できます。

5) STI (明瞭度)

建築音響での明瞭度は、マイク等の機器を使わない生音の場合での、言葉の聞き取りやすさを表します。

0 から 1 までの値をとり、値が大きくなるほど明瞭度は高くなります。一般的に残響時間と相反する特性となり、響きの長い空間ほど明瞭度は下がる傾向となります。

6) 空調騒音

空調を入れた時の静けさの指標です。その部屋の用途に対して、適切な静けさかどうかを確認します。多目的ホールの場合は NC25 程度以下の静けさが求められます。

4. 測定方法

■ 準拠基準

【残響時間】

- ・ JIS A 1417:2000 「建築物の空気音遮断性能の測定方法」の中の「6.5.1 残響時間の測定」
- ・ ISO3382 : インパルス応答積分法 (integrated impulse response method)

【IACC】

- ・ Acustica 27.1 (1972): Damaske, Peter, and Yoichi Ando.

“Interaural crosscorrelation for multichannel loudspeaker reproduction.”

【空調騒音】

- ・ 「建築物の現場における室内騒音の測定方法」 (日本建築学会推奨測定基準)

■ 測定要領

a. 【残響時間】

- ・ 舞台中央の音源位置にスピーカを設置し、室内に 3 点以上の測定点を設けます。
- ・ 音源をスピーカから放射し、マイクロホンにより受信信号をパソコン内に取り込みます。
- ・ インパルス応答積分法により残響時間を算出し、各測定点の平均値を求めて、ホールの残響時間とします。

b. 【IACC、エコータイムパターン、音圧レベル分布、STI】

- ・舞台中央の音源位置にスピーカを設置し、受音点に設置したダミーヘッドの2本のマイクロホンにより両耳位置の受音信号をパソコン内に取り込みます。
- ・各受音点におけるIACC、音圧レベル、STIを計算により求めます。
- ・エコータイムパターンはモニターに出力した応答波形をキャプチャーで取り込みます。

c. 【空調騒音】

- ・空調機を稼働し、どの当たりの騒音が大きいかをざっと当たります。
- ・客席内代表点および、空調騒音が大きいと思われる点に測定点を設定します。
- ・騒音計により、31.5～8kHzまでの1オクターブバンドごとの各点の空調騒音を測ります。
- ・空調機を停止し、同じ受音点の暗騒音を同様に測ります。
- ・NC曲線に測定したデータをプロットし、NC値を求めます。

5. 測定結果の概要

全体として良好な音響性能が得られており、天井を張り替える場合でも、ほぼ現在の音響特性を維持する方向で検討すべきと思われます。ただし、空調騒音のみは一般的多目的ホールとしてやや大きめなので、改善の余地があるでしょう。

1) 残響時間

反射板あり 1.81 秒 (空席時、500Hz)
幕設備 1.56 秒 (同上)

2) IACC

反射板あり 0.41 (空席時、250～4kHz 平均)
幕設備 0.49 (同上)

3) エコータイムパターン

反射板あり、なし (幕設備) とも特にエコー等の音響障害は見られません。

4) 音圧レベル分布

反射板あり 全帯域で偏差 6.3 dB 以内、2kHz で偏差 6.0dB 以内
幕設備 全帯域で偏差 7.2 dB 以内、2kHz で偏差 6.9dB 以内

5) STI (明瞭度)

反射板あり STI 平均 0.50 評価は FAIR
幕設備 STI 平均 0.58 評価は FAIR

6) 空調騒音

客席中央、後部、舞台中央とも NC-35

6. 測定結果の詳細

図1に各測定項目における音源、受音点の位置を示します。

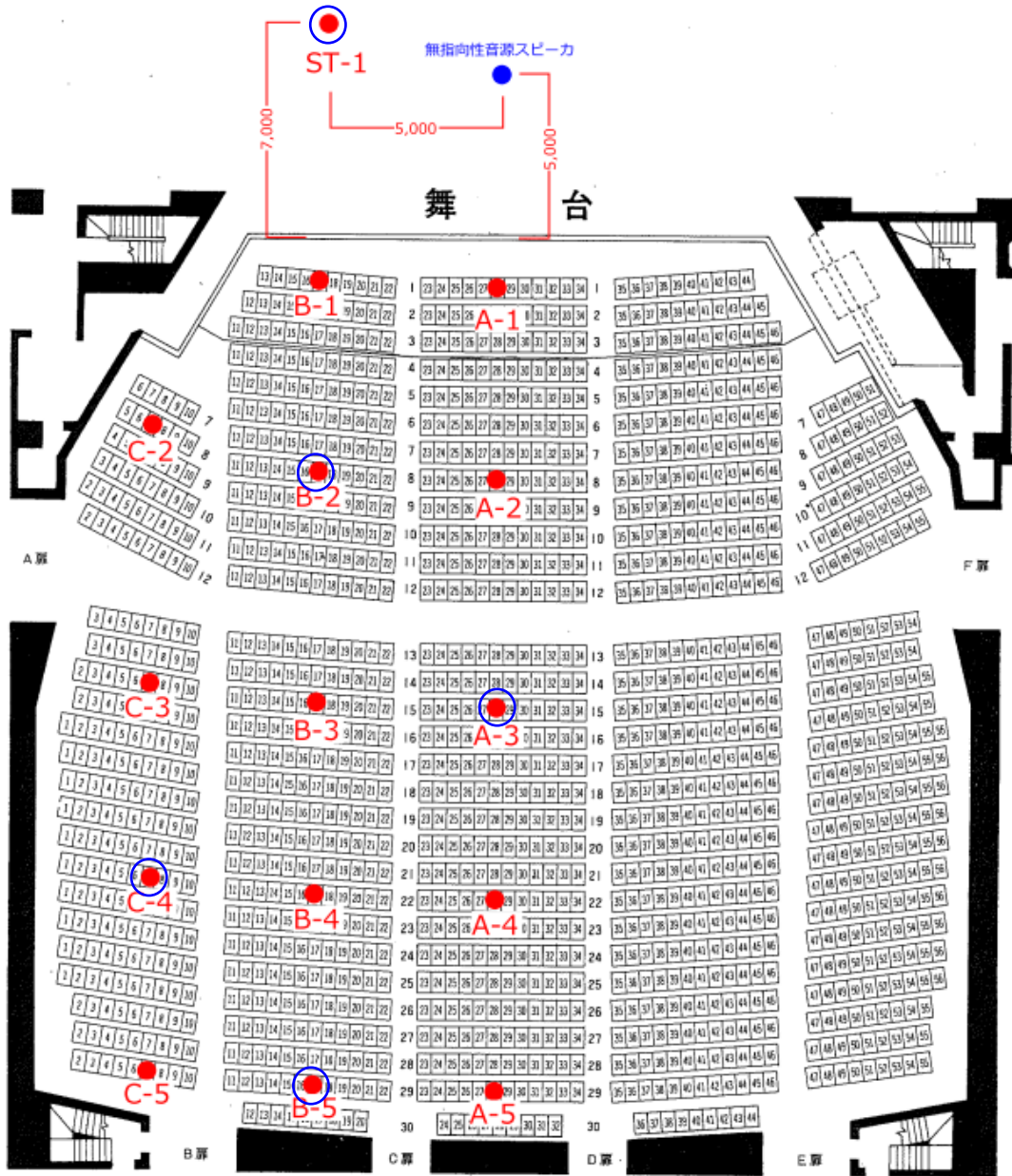


図1 ホール測定点位置図

- 残響時間を除く基本測定点
- 残響時間測定点
- 音源スピーカー

※空調騒音は、客席中央(A-3)、客席後部(C-5)、舞台中央の3点

1) 残響時間

舞台上に可動式の音響反射板が設けられており、その設置の有無によって残響時間が変わりますので、両方の状態を測定しています。図6の青い線が反射板ありのコンサート仕様、赤い線が反射板なしで幕設備とした演劇・講演会仕様です。残響時間の代表値としては500Hzの値とするのが一般的で、コンサート仕様では1.81秒、演劇・講演会仕様では1.56秒となっています。周波数特性としては、低音域から中音域がほぼフラットで、高音域にいくに従って徐々に短くなるという自然な特性となっています。

63Hzという低音域において、反射板ありの方が、幕設備の状態よりも短くなっているのは、反射板が低音域で板振動による吸音体となっているためで、30年以上前の薄い反射板ではよく起きている現象です。

改修の際は、この特性を踏襲すればほぼ問題はありませぬ。もし改善の余地があるとすれば、音響反射板に制振シートなどを貼り付けてダンピングすることが考えられます。その結果、低音域における板振動が抑えられ、反射板設置時の低音域の残響時間が若干伸びるので、幕設備時との逆転現象が解消できる可能性があります。ただし、制振シートは反射板全体でかなりの重量になるので、舞台機構の巻上機、滑車、ワイヤー、カウンターウェイト、ブドウ棚の許容吊荷重など、総合的な仕様変更の検討が必要になります。

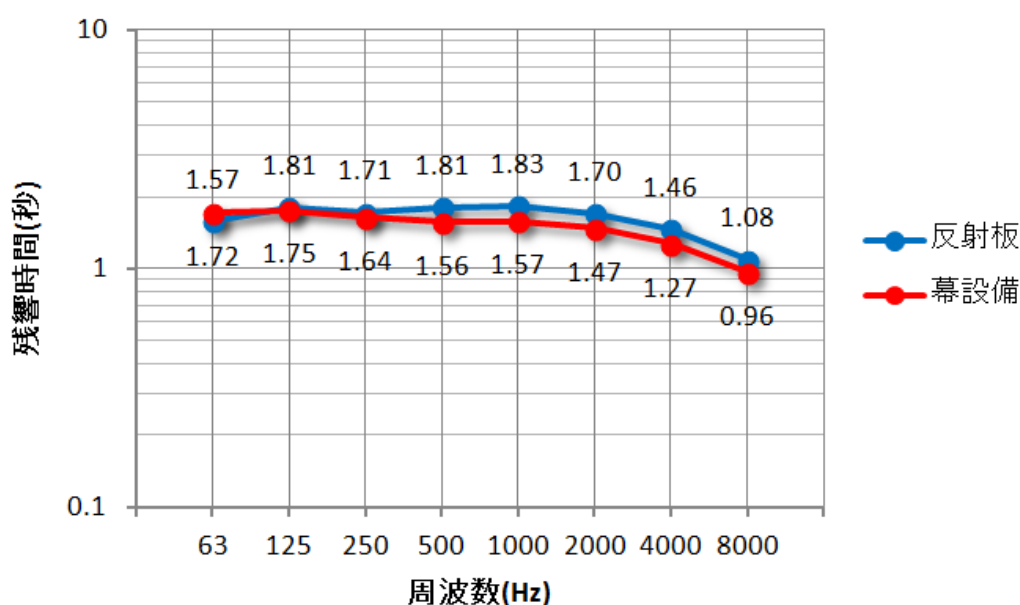


図2 残響時間周波数特性

2) IACC

IACCは音の広がり感を表す指標で、0から1の間の数値となります。値が低いほど両耳に入る音の相関度が低くなっており、より音が広がって感じると言われています。一般的に低い周波数ほど波長が長いために、両耳に同じ状態の波面が届きやすく、従ってIACCは高くなります。反対に高い周波数ほど、波長が短いために、両耳に入る波面の状態が変わりやすく、従って音響設計によってIACCを低くすることができます。

図3は、反射板有りとなし（幕設備）の両方のケースで、客席14点の平均を示します。

反射板ありでは、高音域でほぼ0.3を下回っており、音楽に適する状態になっています。幕設備では、1k~8kHzの間で反射板ありの値より0.10~0.13程度大きくなっています。

図4-1は反射板ありの、図4-2は反射板なし(幕設備)の各測定点の値を示します。

反射板ありでは音源の正面で一番近いA-1を除き、高音域でほぼ0.4を下回った特性となっています。幕設備の状態では、A-1のみが高音域で0.7程度となっていますが、その他の点ではほぼ0.5を下回っています。

このIACCの測定結果を見る限り、現状に特に問題はなく、改修後もほぼこの特性が維持できれば良いものと思われま

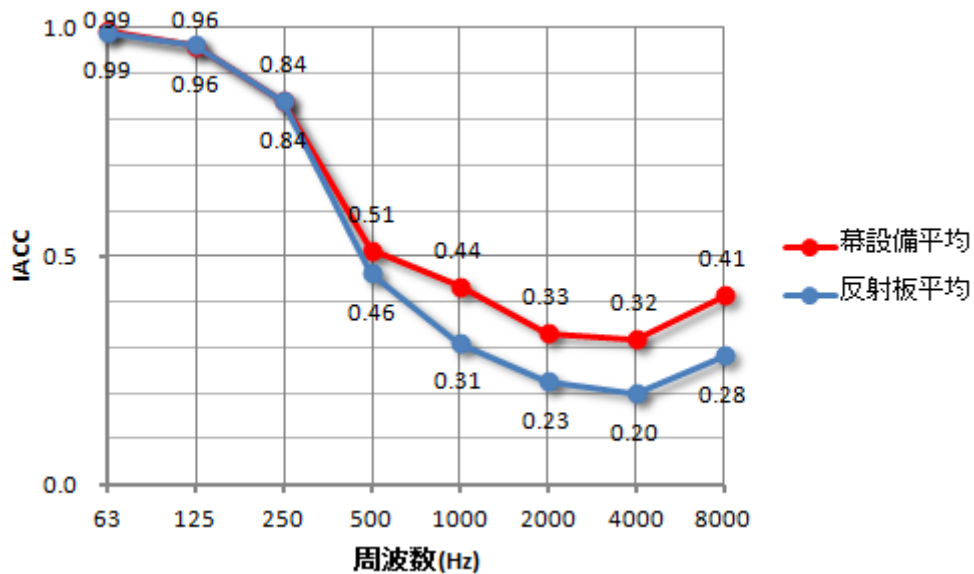


図3 IACC 客席平均値

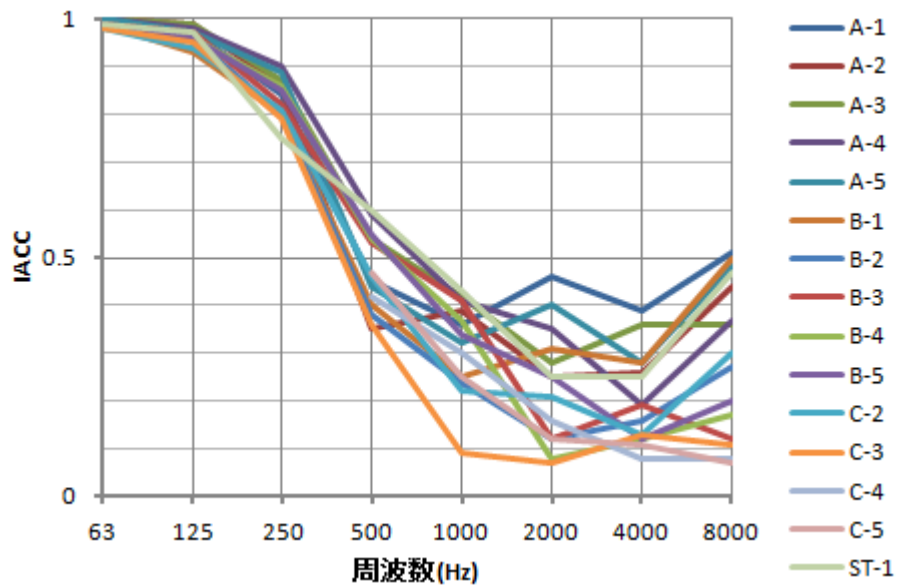


図 4-1 IACC 各点測定値(反射板)

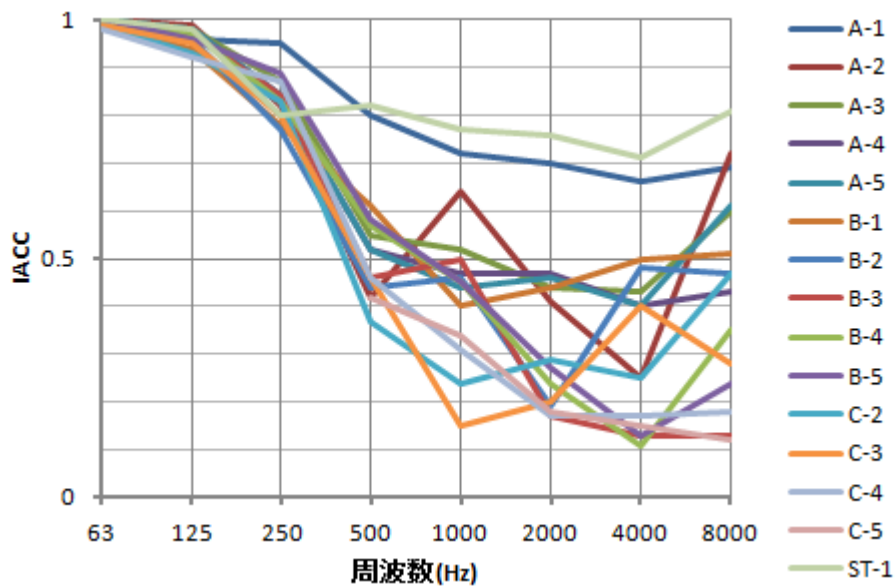
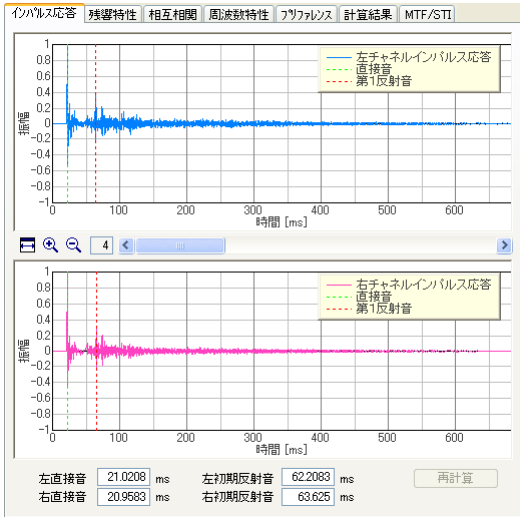


図 4-2 IACC 各点測定値(幕設備)

3) エコータイムパターン

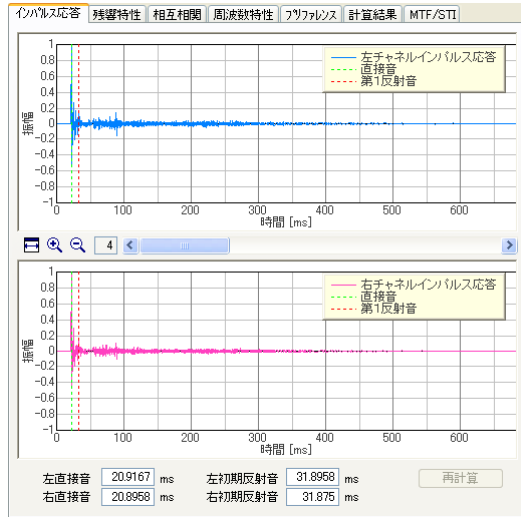
次頁図 5-1 より 5-5 まで、反射板ありと幕設備の、同じ測定点のエコータイムパターンを、横方向に並べて示します。やはり、反射板のある左のパターンの方が、右の幕設備の場合より初期反射音が豊かに届いていることがわかります。また舞台より離れた席ほど、直接音に対する後部の残響音が大きくなっています。

全体的にきれいな減衰性状を示しており、特にエコー障害などは見られません。改修後も同様の特性が維持できれば良いものと思われまます。

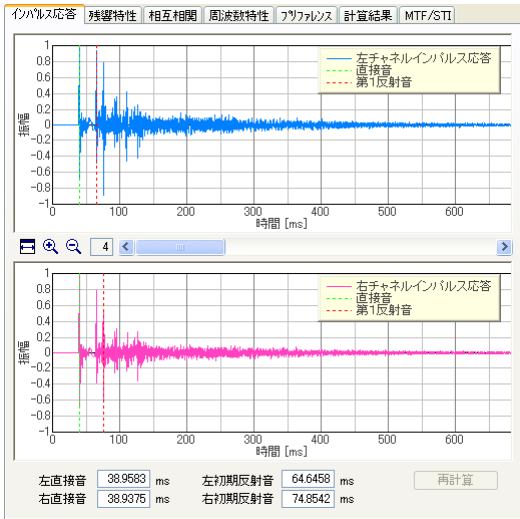


反射板

A-1

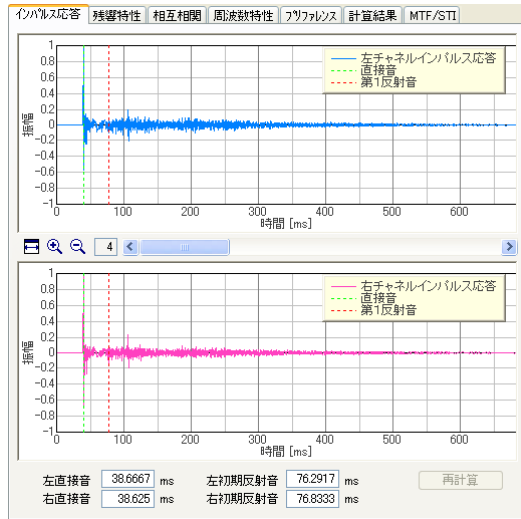


幕設備

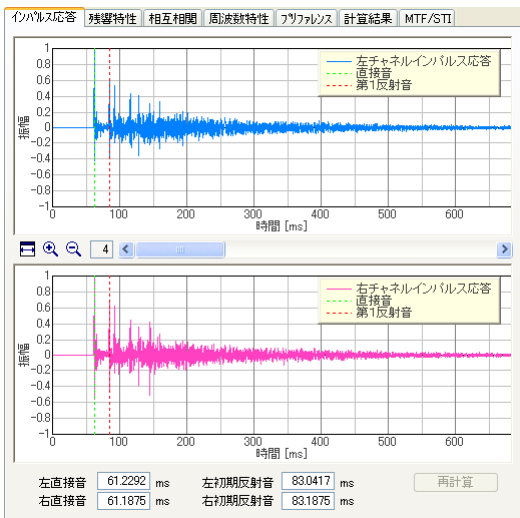


反射板

A-2

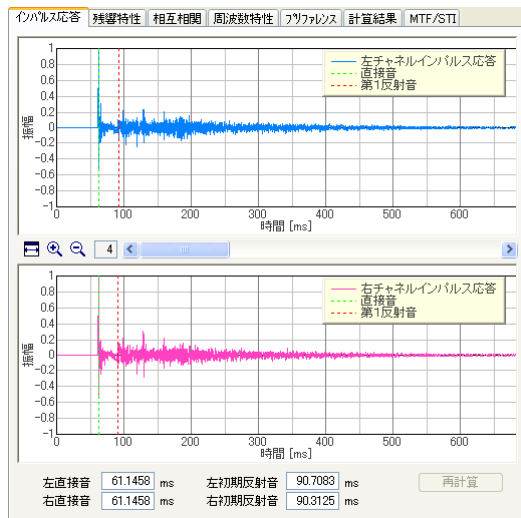


幕設備



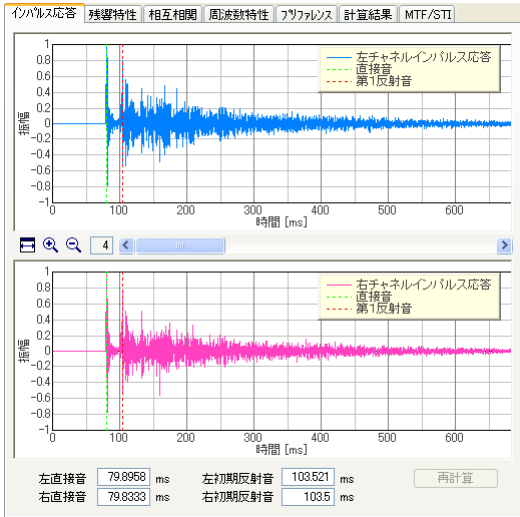
反射板

A-3



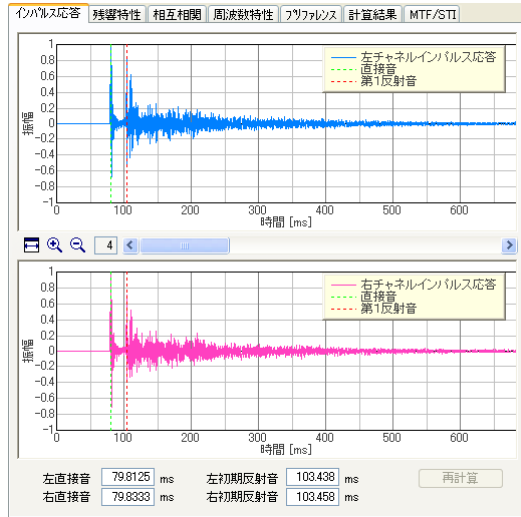
幕設備

図 5-1 エコータイムパターン (A 列)

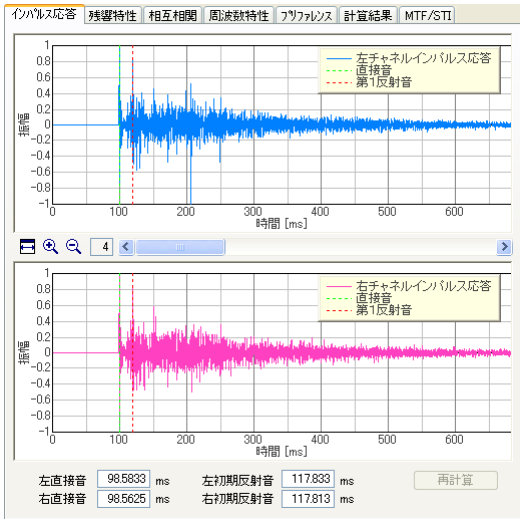


反射板

A-4

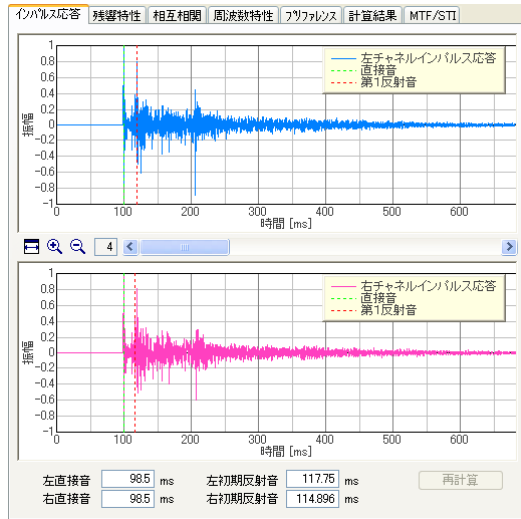


幕設備

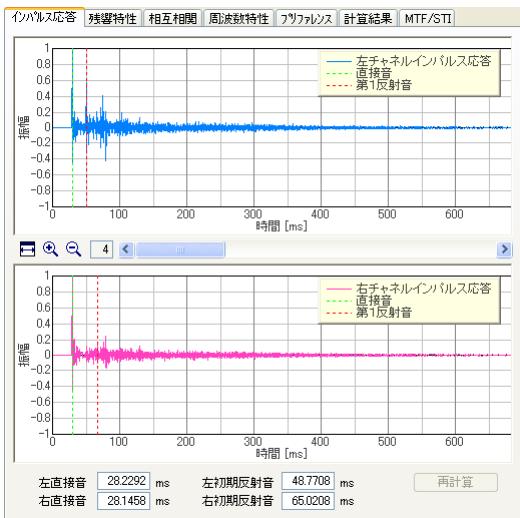


反射板

A-5

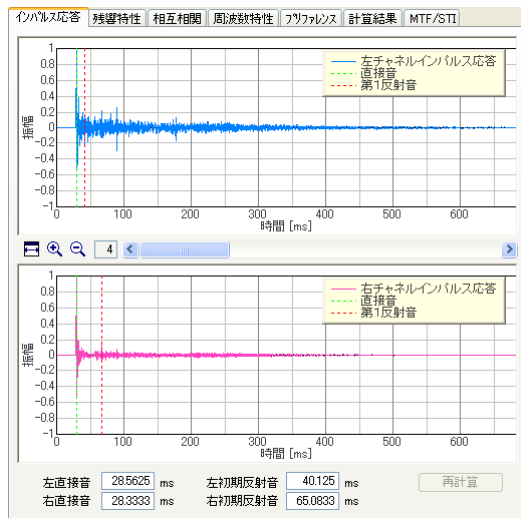


幕設備



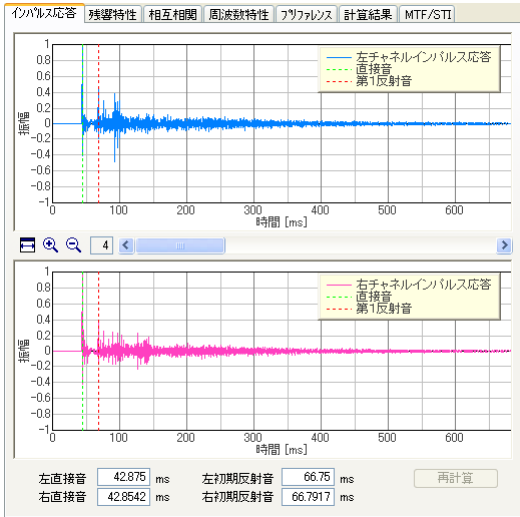
反射板

B-1



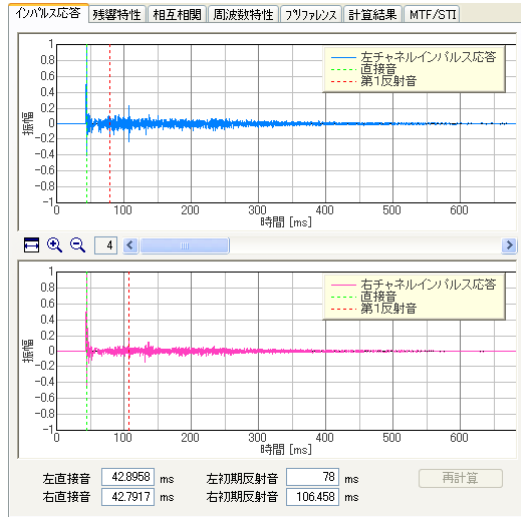
幕設備

図 5-2 エコータイムパターン (A 列、B 列)

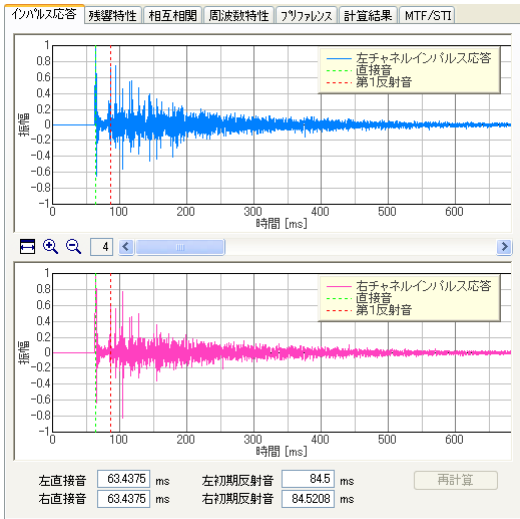


反射板

B-2

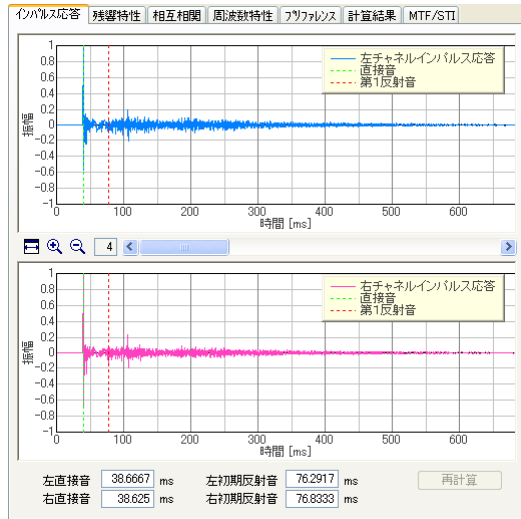


幕設備

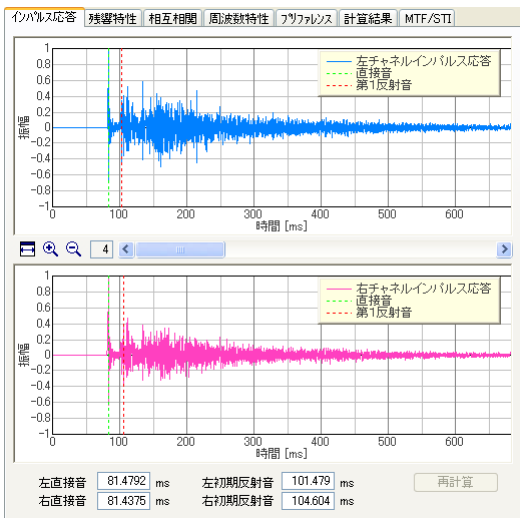


反射板

B-3

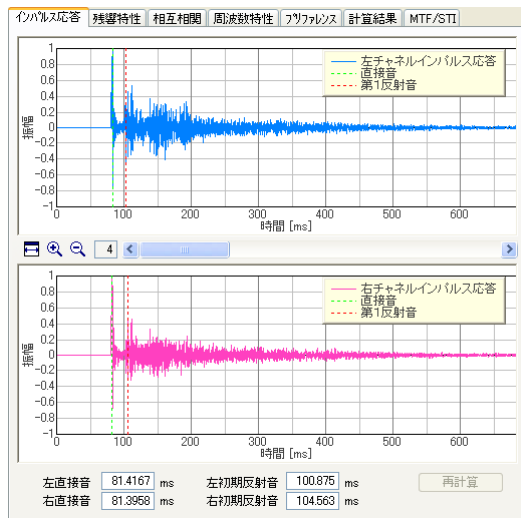


幕設備



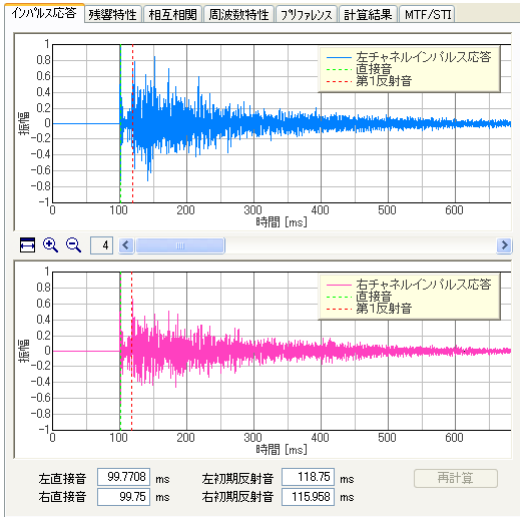
反射板

B-4



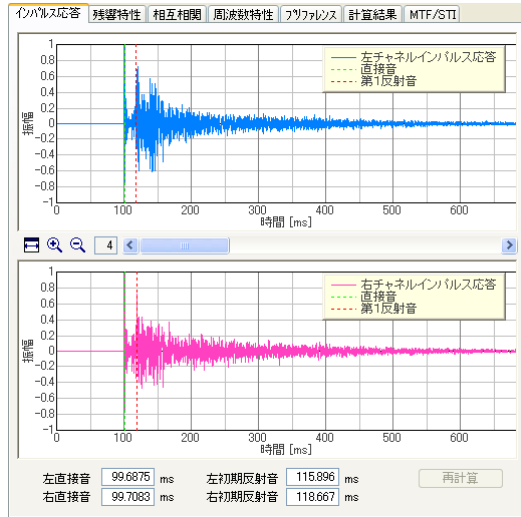
幕設備

図 5-3 エコータイムパターン (B 列)

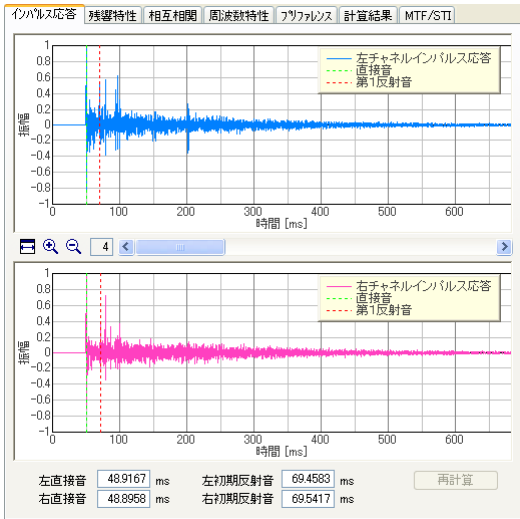


反射板

B-5

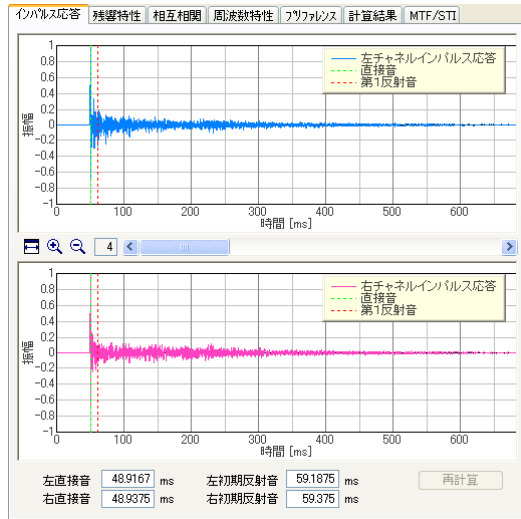


幕設備

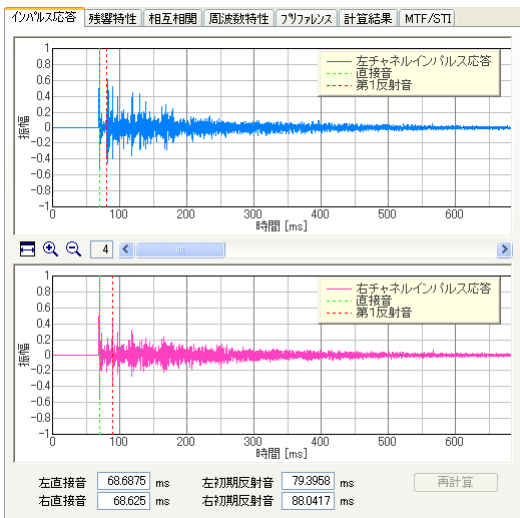


反射板

C-2

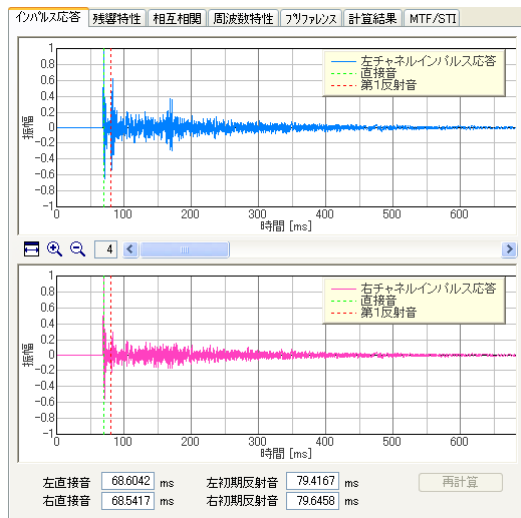


幕設備



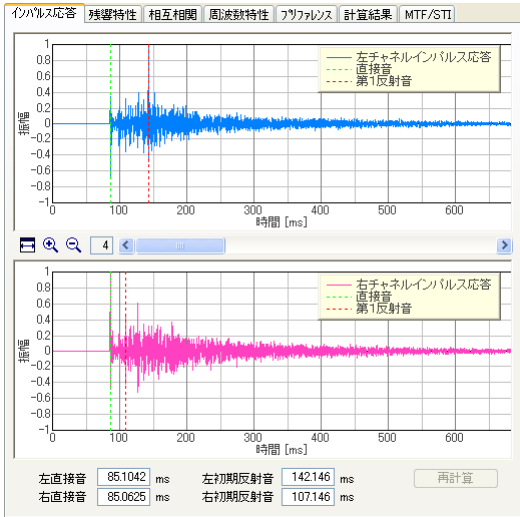
反射板

C-3



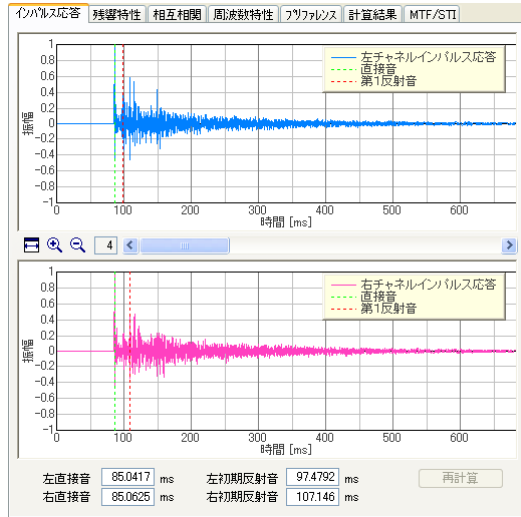
幕設備

図 5-4 エコータイムパターン (B 列、C 列)

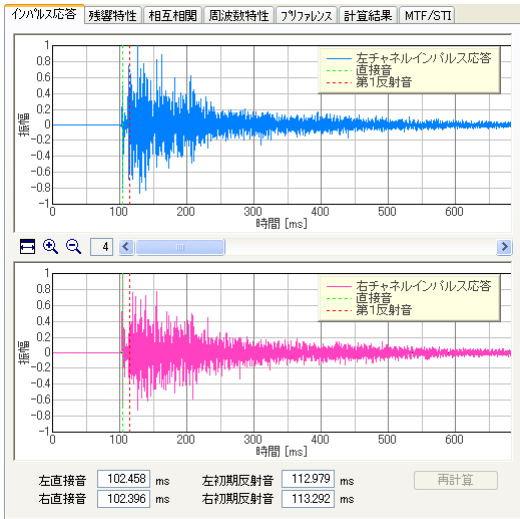


反射板

C-4

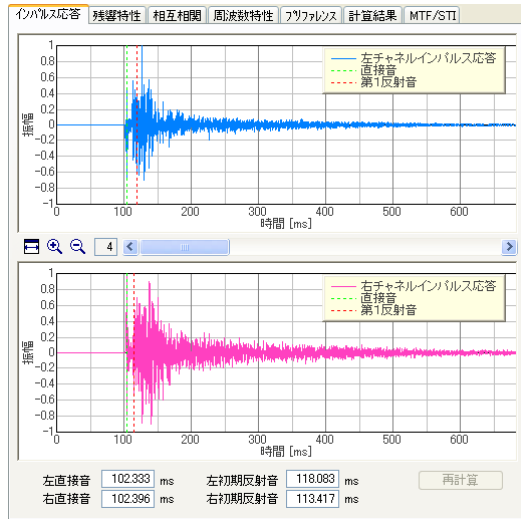


幕設備

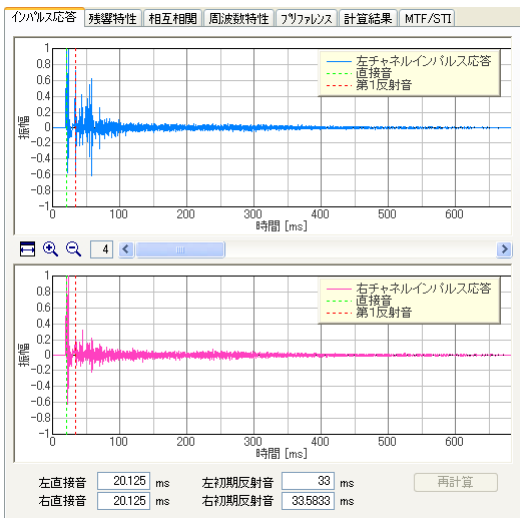


反射板

C-5

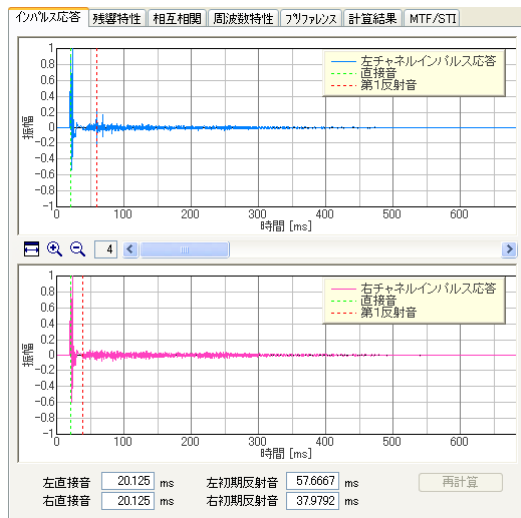


幕設備



反射板

ST-1



幕設備

図 5-5 エコータイムパターン (C列、舞台上)

4) 音圧レベル分布

客席全体に対する、音圧レベルの分布状態を示す特性です。

下図 6-1~2 のグラフは、客席ほぼ中央の C-3 点を基準として、各測定点での音圧レベルの相対値を示します。All pass は全周波数、2kHz は 2kHz の 1 オクターブバンドの値です。また、横軸の測定点位置 1~5 は、それぞれ A 列・B 列・C 列の 1~5 の点を示しています。(C 列のみ 2 から)

点 1 から点 3 にかけては A,B 列とも 5dB 程度の減衰が見られますが、点 3 から点 5 にかけては各列とも大きな減衰は見られません。これは後方ほど直接音の影響が小さく、ホール全体の拡散音により一定の音圧が得られている結果だと思われます。

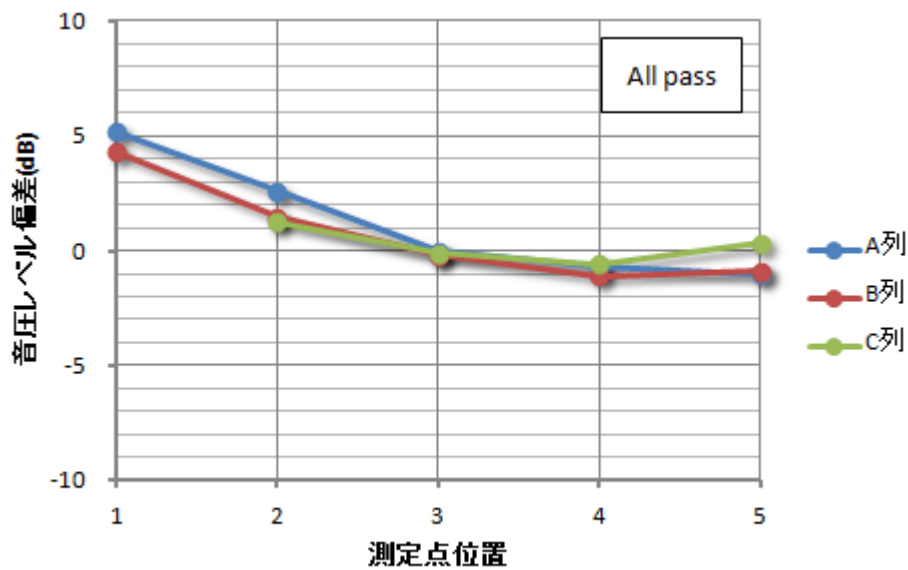


図 6-1 音圧レベル分布 (反射板 All pass)

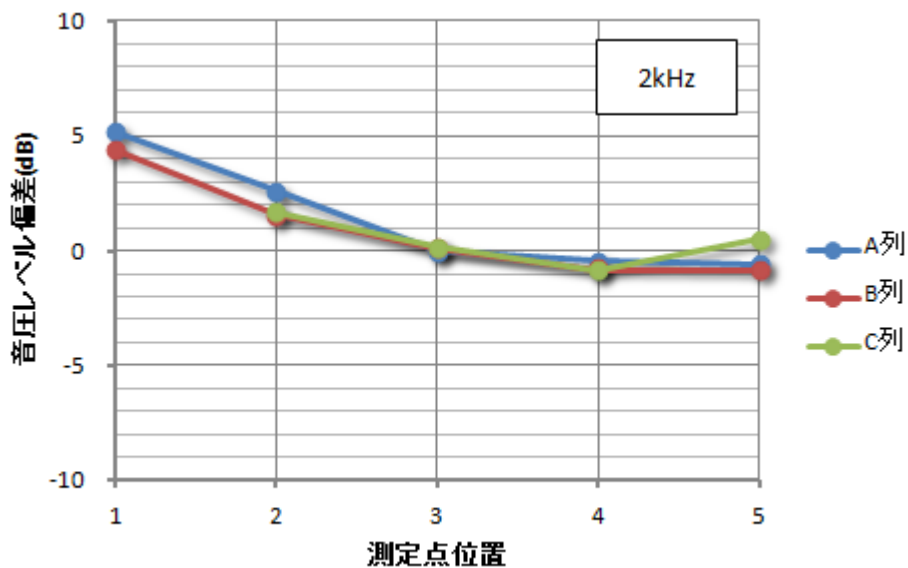


図 6-2 音圧レベル分布 (反射板 2kHz)

反射板のない幕設備の場合の分布性状を下図 6-3～4 に示します。

反射板ありに比べ、点 1 から点 3 への減衰が大きくなっています。これはこれらの点において反射板から供給されていた初期反射音がなくなり、直接音の影響が大きくなったためと考えられます。点 3 から後部についてはそれほど大きな減衰が見られません。これは、幕設備においても室全体の拡散音が直接音に対し相対的に大きくなるためと思われます。

音圧分布に関しても良好な特性が得られていますので、改修の際はこの特性を維持できれば良いと思われます。

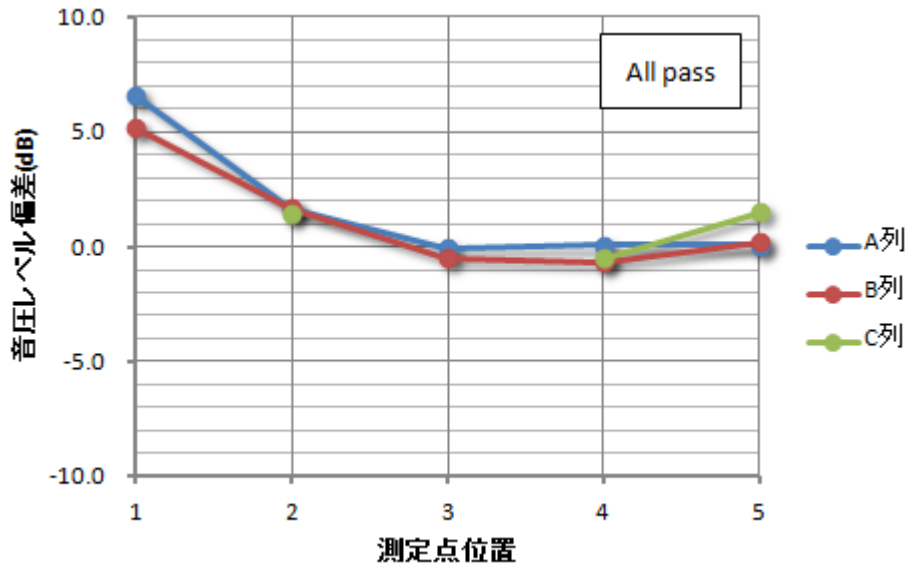


図 6-3 音圧レベル分布 (幕設備 All pass)

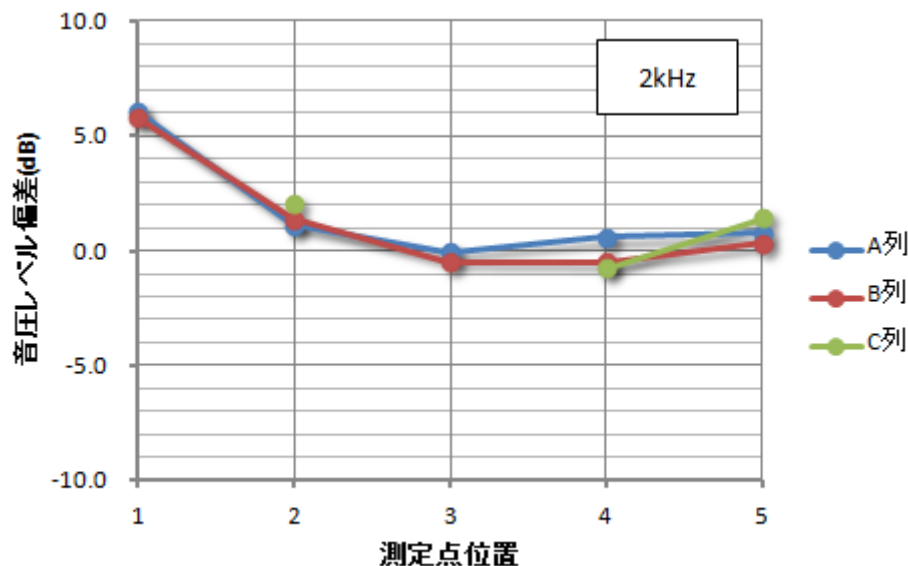


図 6-4 音圧レベル分布 (幕設備 2kHz)

音圧レベルの各測定値を平面図上にプロットしたものを次頁以降の図 7-1～4 に示します。

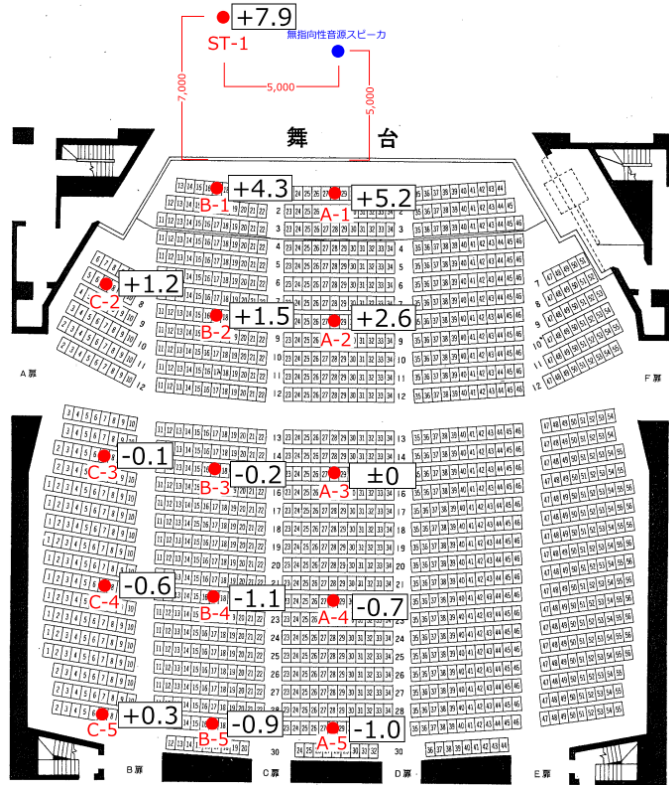


図 7-1 音圧レベル分布 (反射板 All pass)

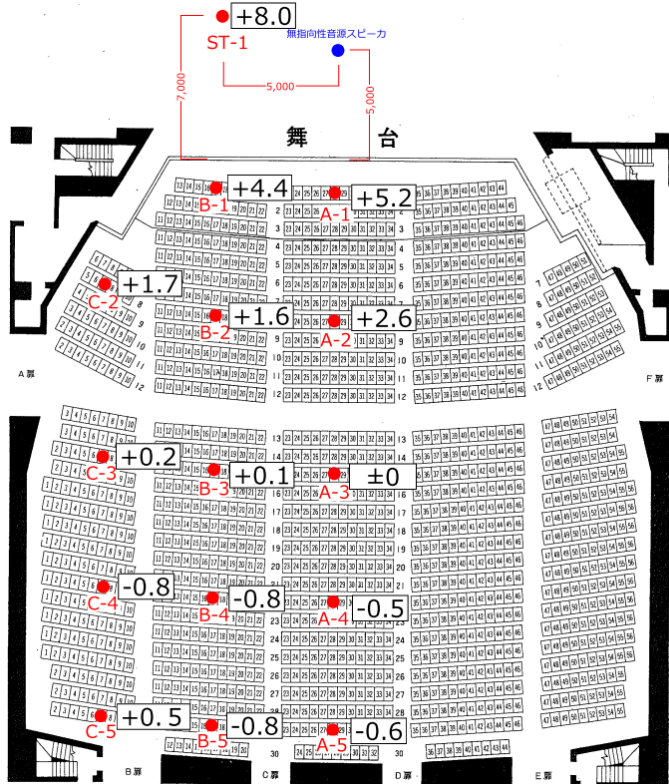


図 7-2 音圧レベル分布 (反射板 2kHz)

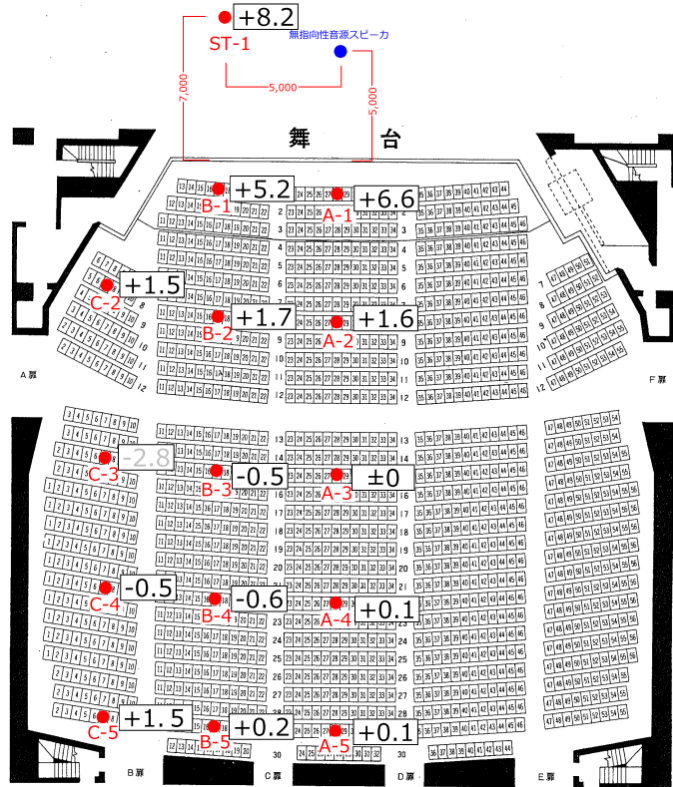


図 7-3 音圧レベル分布 (幕設備 All pass)

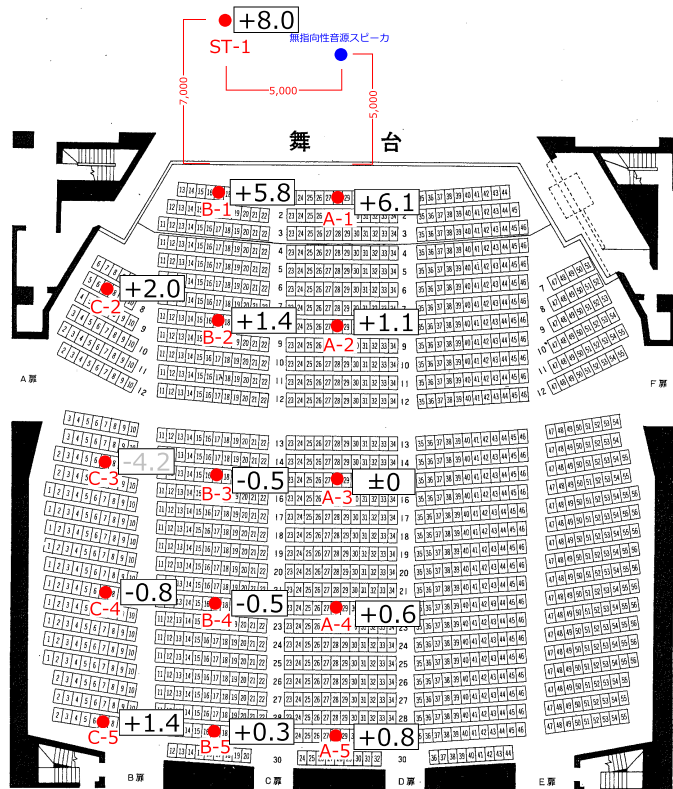


図 7-4 音圧レベル分布 (幕設備 2kHz)

5) STI (明瞭度)

下図 8-1~2 に反射板ありと幕設備状態の STI の分布を示します。

反射板有りでは 0.46~0.59、幕設備では 0.50~0.72 となっており、この規模の多目的ホールとしてはやや低めですが、残響時間を長めに取っていることが原因と考えられます。

図 9 は平均値の評価尺度を示し、反射板有りのとき 0.52、幕設備のとき 0.58 で、評価は両方とも FAIR となっています。残響時間を考慮すると拡声無しの明瞭度としては一般的な値です。

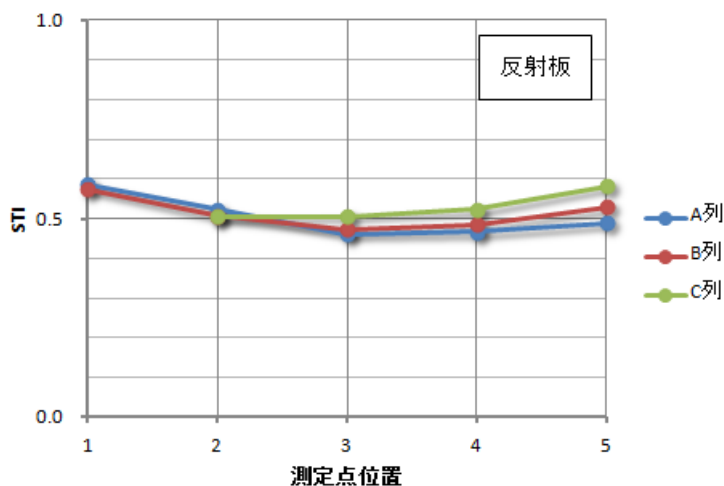


図 8-1 STI の分布 (反射板)

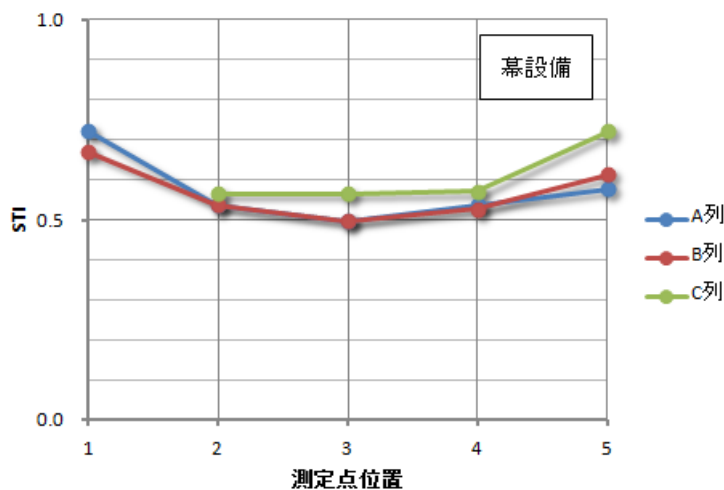


図 8-2 STI の分布 (幕設備)

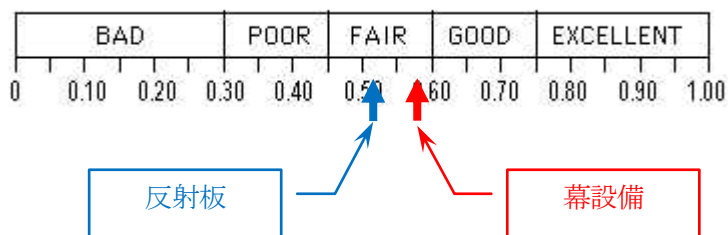
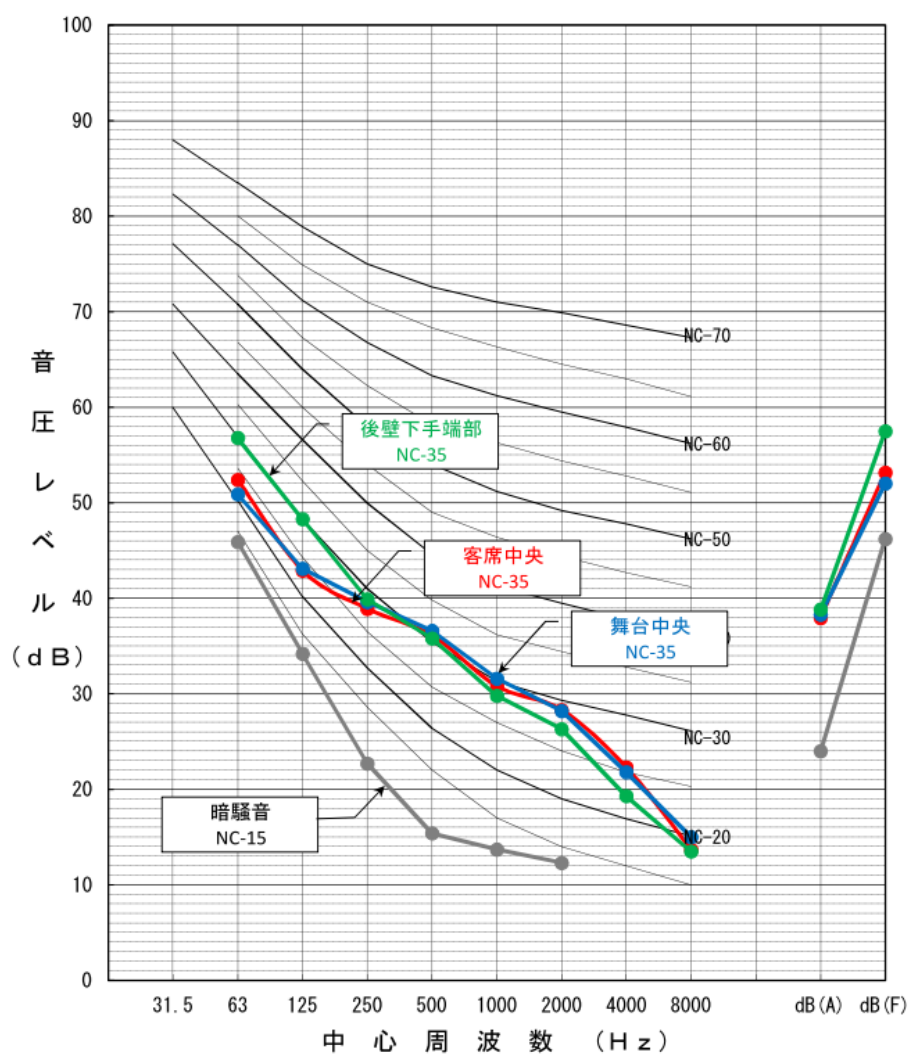


図 9 平均明瞭度指標 (STI) の評価尺度

6) 空調騒音

下図 10 に空調騒音の結果を示します。

客席中央、後部、舞台中央とも NC-35 となっており、多目的ホールとしてはやや大きめです。ただし、周波数特性としては 500Hz がわずかに NC-30 の評価曲線を越えている程度です。測定は中間期であったので、暖房、冷房などを入れず、風だけを循環させて行いました。ホールスタッフによると、冷房時よりも暖房時の方が、音が大きいとのこと、測定時は大きい方に近いとのことでした。従って冷房時は NC-30 となっている可能性があります。全体的に制気口が小さめなので、もし天井張替等でダクトを更新する場合は、可能な限り大きめの制気口として風速を落とした方が、空調騒音を改善できるものと思われます。



	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		dB(A)	dB(F)
客席中央(A-3)		52.4	42.9	38.9	36.1	30.8	28.3	22.3	13.7		38	53
舞台中央		50.9	43.1	39.6	36.6	31.6	28.2	21.8	15		38	52
後壁下手端部		56.8	48.3	39.9	35.8	29.8	26.3	19.3	13.5		39	57
舞台中央暗騒音		45.9	34.2	22.7	15.4	13.7	12.3				24	46

図 10 ホールの空調騒音



無指向性音源スピーカと客席全景



最後部より舞台（反射板あり）を臨む



受音用ダミーヘッドマイク



空調騒音の測定



最後部より舞台（幕設備）を臨む



舞台框下手の測定基地

写真1 ホール測定写真