

# 電気音響の注意点と測定事例



土屋 裕造 \*1

小林 正明 \*1

## 概 要

電気音響とは音響工学の一部門であり、その技術を担う電気音響設備は音声伝送が重要な大空間で設置されることが多い。スピーカの配置や建築の内装が不適切であると電気音響設備の性能が十分発揮されず音声聞き取りにくいといった不具合に発展する可能性がある。本報では筆者等が経験した技術支援の中から電気音響の注意点をまとめ、測定事例などについて紹介する。

## The point to be careful and the measures cases of electroacoustics

Yuzo TSUCHIYA\*1

Masaaki KOBAYASHI\*1

Electroacoustics is one section of the engineering acoustics, and electroacoustics systems to bear its technology is the device that amplifies the voice in an architectural room. It is often set up in a large room for important voice transmission. The improper construction of loud speakers and interior of arrangement cause difficulty of hearing voices. This report introduces the extracted point to be careful and the measures of electroacoustics that authors experienced.

\*1 技術研究所

\*1 Technical Research Institute

# 電気音響の注意点と測定事例

土屋 裕造<sup>\*1</sup>  
小林 正明<sup>\*1</sup>

## 1. はじめに

電気音響は音響工学の一分野である。その技術を担う電気音響設備は音響設備、拡声設備ともいわれ、マイク、スピーカ、アンプなどで構成されるシステムのことであり、音声伝送が重要な室、かつ、肉声が遠方の受聴者に伝達しにくい大空間などで設置されることが多い。建築空間において電気音響設備は明瞭な拡声のために重要な設備であり、その性能を発揮するためには、室の大きさ、形状、内装配置で決定される建築音響も大きな要素を占める。しかし、スピーカの配置や建築の内装が不適切であると電気音響性能が十分発揮されず音声が聞き取りにくいといった不具合に発展する可能性がある。本報では筆者等が経験した技術支援の中から電気音響の注意点をまとめ、測定事例などについて紹介する。

## 2. 電気音響の不具合事例

ここで取り上げる事例では音源と受信点間のインパルス応答測定を行っており、これから残響時間、STI (Speech Transmission Index: 音声伝送の一物理指標)、エコータイムパターン (周波数帯域の短音減衰波形) を分析した。残響時間はステージ上に設置した12面体スピーカを音源とし、STIとエコータイムパターンは対象室の既設スピーカを音源とした。

### 2.1 大規模な改修事例 (A 高校講堂兼体育館)

#### 1) 依頼状況

本件は、竣工後、式典や施主側数人で映画鑑賞会などを行ったところ音声が聞き取りにくいというクレームが生じた事例である。室の平面図、スピーカおよび測定点位置を図-1に示す。施主である学校側の講堂であるという主張と設計・施工側の体育館であるという主張の食い違いがあったものの、結果的に改修に至った。

#### 2) 調査結果

##### ①残響時間が長い

内装仕様を表-1に示すが、吸音箇所は天井のみで、残響時間測定結果は図-2の通り500Hzで2.6秒と講堂としては長い値を示した。長い残響時間は音声の明瞭度を低下させる原因となる場合がある。

##### ②メインスピーカの対向壁面が反射性である

メインスピーカに対向する後壁が反射性であるため、スピーカの発生音が後壁で反射して前方に返ってきて、反射音が直接音から時間遅れで分離されエコーとなっていることが判明した (図-5エコータイムパターン参照)。エコーの発生は、メインスピーカがラインアレイスピーカであることも大きく影響している。ライ

ンアレイスピーカは通常のコーン型スピーカと比較すると指向性が鋭く、スピーカの対向壁面である後壁で反射した音が拡がりやすく前方に多く返ってくるためである。

##### ③メインスピーカの位置が高い

メインスピーカであるラインアレイスピーカが、床から高い位置でプロセニウム開口の両側に設置されていたため、床前方中央 (図-1測定点1, 4付近) がスピーカの直接音カバーエリアから外れていた。ここへ②の反射音が時間遅れで返ってくることにより、音声の明瞭度が著しく損なわれていることがわかった。

##### ④はね返しスピーカがない

ステージ上の話者がメインスピーカおよびその反射音により自分の音声が聞き取りにくい、その結果話しにくい状態となっていた。これはステージに設置して話者の音声を話者に返すはね返しスピーカがないことに起因している。

### 3) 対策

これらの調査結果により以下の対策を行った。

①残響時間の低減と②メインスピーカ対向面の吸音を目的に、壁面4周 (ステージのプロセニウム開口を除く) を有孔板とした。

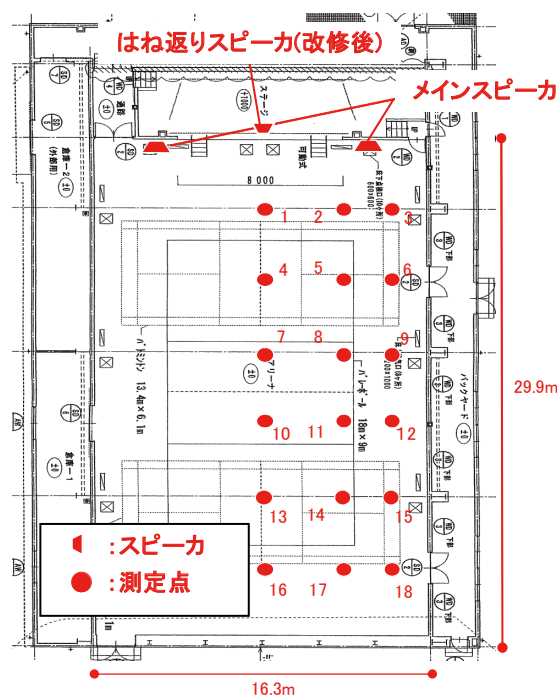


図-1 A 高校講堂兼体育館 平面図、スピーカおよび測定点位置

<sup>\*1</sup> 技術研究所

なお、内装による響きの変化については、施主に対してバイノーラルシステム（ヘッドホン）による音場シミュレータ試聴を実施し、効果を確認した後施工した。

③については、メインスピーカの位置をできるだけ下げ、床前方中央がカバーエリア内に入るよう少し内向きとした（写真-1）。

④については、ステージ内にはね返りスピーカを設置し、メインスピーカおよび反射音に負けない拡声を話者に供給できるようにした。

4) 改修結果

改修後の測定結果を改修前と比較して図-2、4、5に示す。残響時間（図-2）は改修前と比べて大幅に短くなり、STI（図-4）は上昇して測定点の半分以上が0.6を超え、図-3の評価よりFAIR（標準）からGOOD（良好）に改善した。エコータイムパターン（図-5）をみると、改修後は中央の測定点7で後壁の反射音が若干発生しているものの大きく減少した。実際の音声もメインエリアおよびステージ上で聞き取りやすくなり、施主から「全然違う」と評価され、大きく改善されたことがわかった。

表-1 A 高校講堂兼体育館 内装仕様

	改修前	改修後
天井	ガラス繊維マット t8	同左
壁	無孔シナ合板 t9 (H=5m まで) 上部 t12GB 窓ガラス	有孔シナ合板 5φ-25pt12 (H=2m まで) 8φ-25pt9 (H=2~5m) GWt50 充填
床	フローリング	同左



a. 改修前



b. 改修後

写真-1 A 高校講堂兼体育館 内観（スピーカ位置）

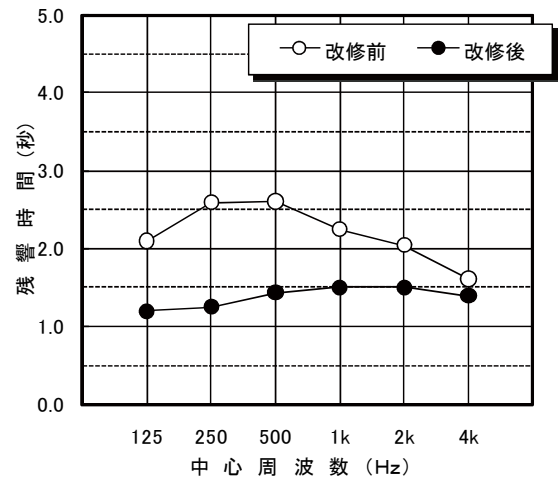


図-2 A 高校講堂兼体育館 残響時間（改修前と改修後）

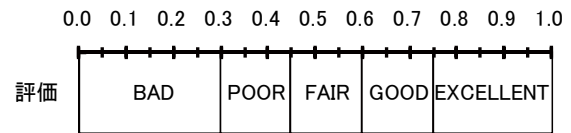


図-3 STIの評価

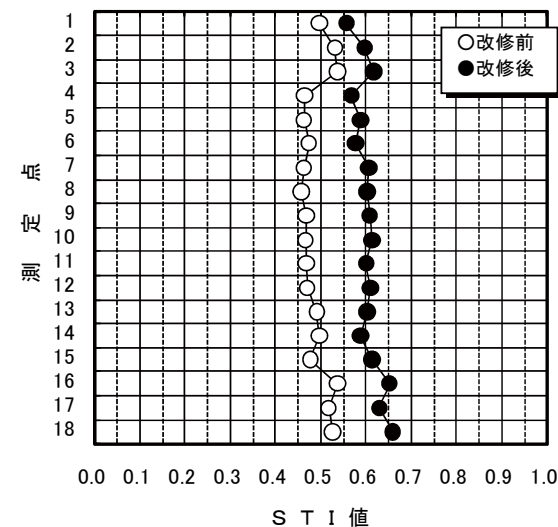
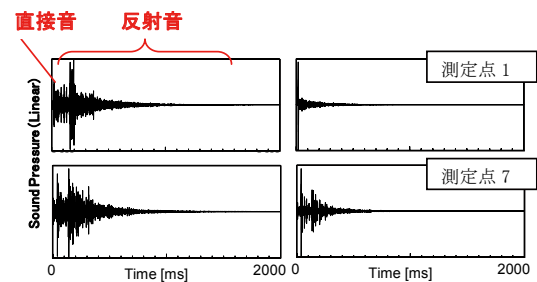


図-4 A 高校講堂兼体育館 STI（改修前と改修後）



a. 改修前

b. 改修後

図-5 A 高校講堂兼体育館 エコータイムパターン (2k Hz)

## 2.2 小規模な改修事例 (B 高校講堂兼体育館)

### 1) 依頼状況

本件は、竣工後式典などで「スピーカで拡声した音声で後ろで聞き取りにくい」というクレームが生じた事例である。室の平面図、スピーカおよび測定点位置を図-6に示す。

当初体育館を分割して使用する計画であったが、その使用方法はなくなったものの電気音響仕様は変更されず、サブスピーカが当初の計画のまま設置されていた。

### 2) 調査結果

#### ①残響時間が長い

天井がガラスウール、1階壁に開口率の小さい有孔板が施されているが、2階以上は反射性であり、図-7に示すように残響時間が500Hzで4.4秒とかなり長い値であった。

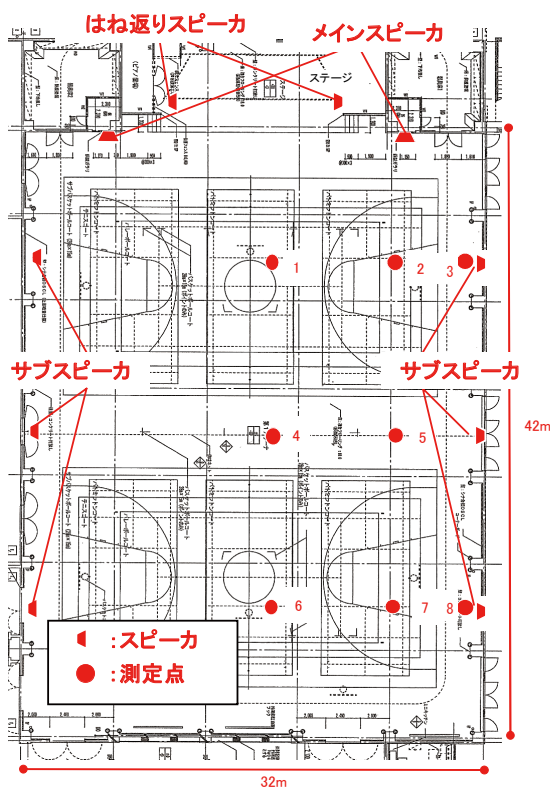


図-6 B 高校講堂兼体育館 平面図、スピーカおよび測定点位置

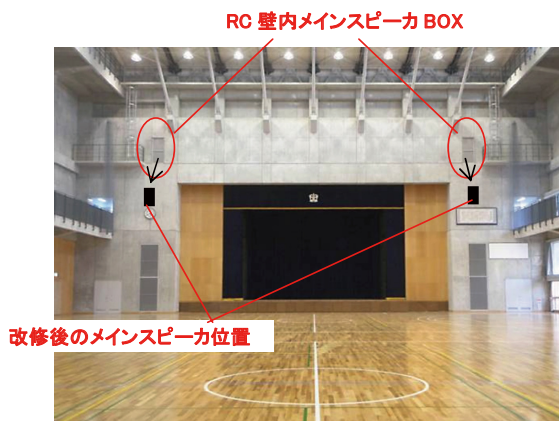


写真-2 B 高校講堂兼体育館 内観 (スピーカ位置)

り長い値であった。

#### ②メインスピーカがBOX内に設置されていた

ステージ側前面はコンクリート壁であり、メインスピーカはプロセニウム両側に設けられたコンクリート壁のBOX内に設置されていた。このことが原因となり、スピーカの指向性の弱い低音域が籠るといった現象が起き、直接音成分以外の低音域が増強されていた。

#### ③メインスピーカの位置が高い

メインスピーカの位置がメーカー推奨高さより高かった。このことによりA高校同様、図-6の測定点1付近である前方に音が到達しなかった。

#### ④サブスピーカの到来音が大きい

メインスピーカと側壁のサブスピーカとの直接音の到来差によりエコー現象が発生した。またサブスピーカの下向きの角度が浅く、スピーカの指向軸が体育館の床に到達していなかった。

#### ⑤ステージ上の音声聞き取りにくい

はね返りスピーカの位置が幕の後ろに設置されていたことにより、幕がステージ上に対するスピーカ直接音到来の障害になっていた。

### 3) 対策

設計との協議により、まず下記の②③⑤に関する対策を行うことにした。この結果、改善が不十分である確認された場合、①の建築内装、④の角度付治具の対策を実施することにした。

②については、メインスピーカをBOX内から出し、コンクリート壁の面上に取り付けた。

③については、メインスピーカの位置をメーカー推奨高さに近付けた。

④については、サブスピーカは極力音量を下げ、メインスピーカの直接音とエコー現象が発生しないようにした。

⑤については、はね返りスピーカを幕の後ろからステージ側に出し、話者から直接みえる位置に設置した。

### 4) 改修結果

施主である学校関係者立ち合いのもと、実際にスピーカから音声を出力して確認した結果、「改善され

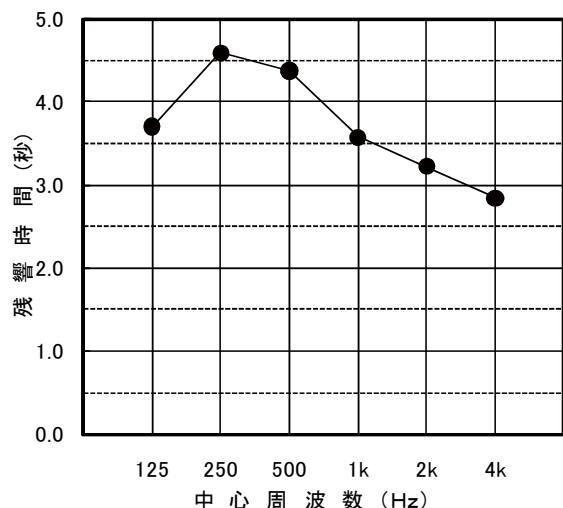


図-7 B 高校講堂兼体育館 残響時間

た」との評価を得た。測定では、残響時間が改修前と同じく長いままであるが、建築の内装を変えずに機器の配置を変更することだけで測定点1～5におけるSTIが上昇し(図-8)、POOR(不十分)からFAIR(標準)評価となった。

この事例のように体育館に設置するスピーカは機器防護のためBOX内に設置される計画が見受けられるが、BOX内に設置すると指向性の弱い低音域がBOX内部で籠り音声の明瞭性を損なう。このためスピーカはBOX内に設置しないことが望ましく、やむを得ずBOX内に設置する場合はBOX内部を可能な限り吸音する必要がある。

### 2.3 機器の調整のみの事例(C大学講堂)

#### 1) 依頼状況

本件は、多目的な用途で使用する講堂であるが、響き過ぎて後壁から音声反射して聞こえるというクレームから、後壁を吸音仕様に改修したいという要望があり調査した物件である。

実際現地で電気音響を使用した場合、聴感上でも後方からエコーのような現象が検知された。室の平面図および測定点位置を図-9に示す。

#### 2) 調査結果

##### ①残響時間は適正

測定を行ったところ、残響時間はその用途、容積を考慮すると一般的な値であった。

##### ②後壁は吸音されている

後壁は上部が有孔板で吸音されており、後壁の強い反射音が前方ステージ側に返ってくる仕様ではなかった。

##### ③シーリングスピーカの音量が大きい

更に調査を進めると、客席後部の天井に設置されているシーリングスピーカの音量が大きく、これが前方に到来して響きの長い音になり、また、メインスピーカとの到来時間の差によりエコーとして認知されていたことが判明した。

#### 3) 対策

後方のシーリングスピーカをOFFにすると、ステージ上を含む、前方におけるエコー発生がなくなり、建

築の内装の影響は小さく、後壁は改修をしなくてもよいと判断できた。

#### 4) 調整結果

調査結果を施主に説明した後、施主立会いのもと、シーリングスピーカOFF状態の音声を確認した。その結果、建築的な改修はせずにシーリングスピーカの音量調整を行うのみで解決できることがわかった。

ただし、シーリングスピーカをOFFにすることにより、前方に対するエコー現象はなくなったが、図-11にみられるように、図-9に示す客席前方の

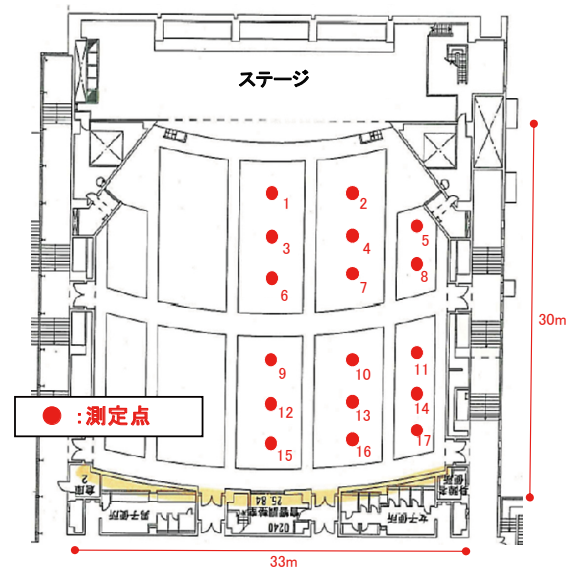


図-9 C大学講堂 平面図および測定点位置



写真-3 C大学講堂 内観(後方シーリングスピーカ)

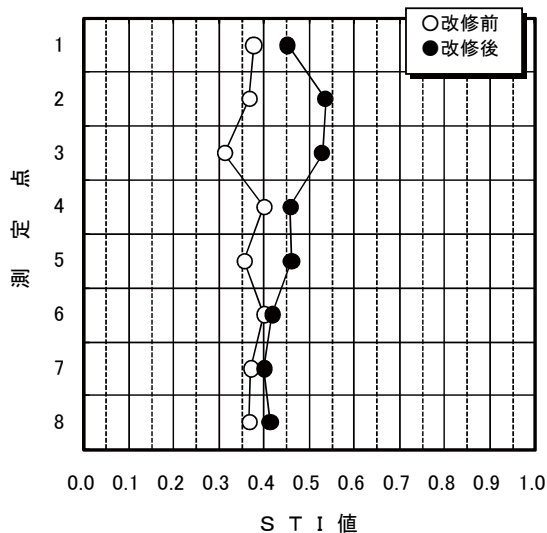


図-8 B高校講堂兼体育館 STI(改修前と改修後)

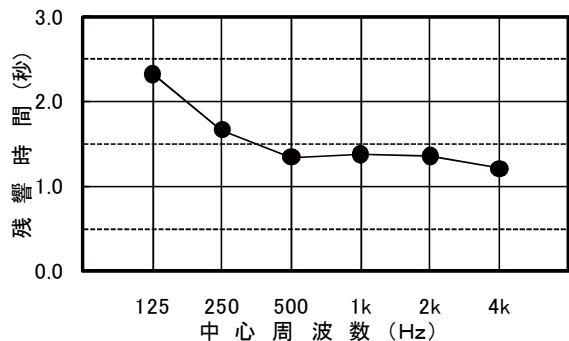


図-10 C大学講堂 残響時間

測定点1～8のSTIが大きく改善されたものの、後方の測定点11～17のSTIが悪くなっている。シーリングスピーカーは客席全域の音圧レベルを均一にすることに有効であったが、それは定常音の場合であり、この事例のホールで明瞭な拡声と均一な音圧レベル分布両方を成立させるためには、設計段階でスピーカの種類と配置を十分に検討する必要があったと考えられる。

### 3. 電気音響の良好な事例 (D 大学講堂兼体育館)

この事例の平面図、スピーカおよび測定点位置を図-12に示す。図-13に示すように測定結果では残

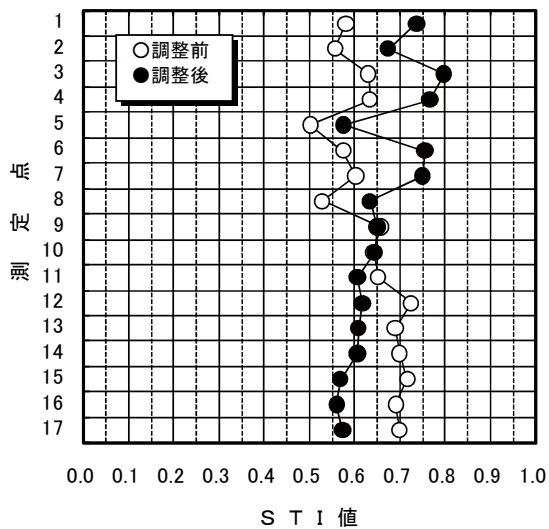


図-11 C 大学講堂 STI (調整前と調整後)

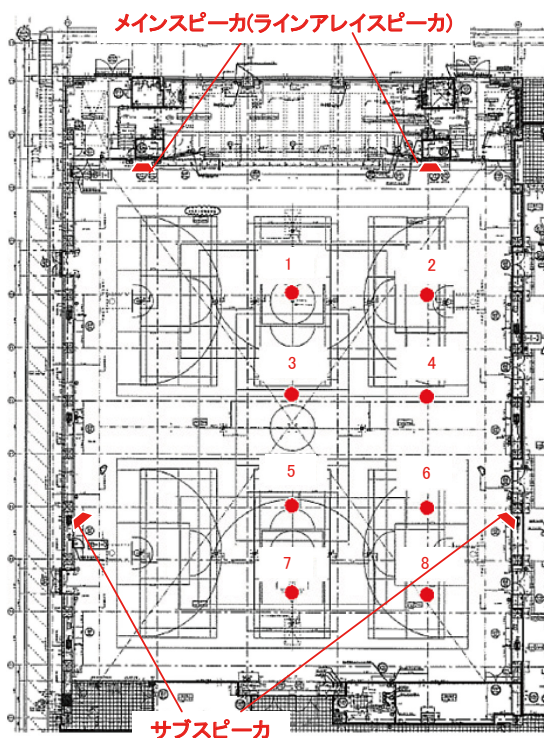


図-12 D 大学講堂兼体育館 平面図、スピーカおよび測定点位置

響時間がかなり長く、特に1k Hz以上の高音域はB高校講堂兼体育館より長い状態であったが、電気音響の機器、設置位置、調整が良好で、実際に聴感上音声聞き取りやすく、図-14に示すようにSTIの評価もFair(標準)であった。



写真-4 D 大学講堂兼体育館 内観 (スピーカ位置)

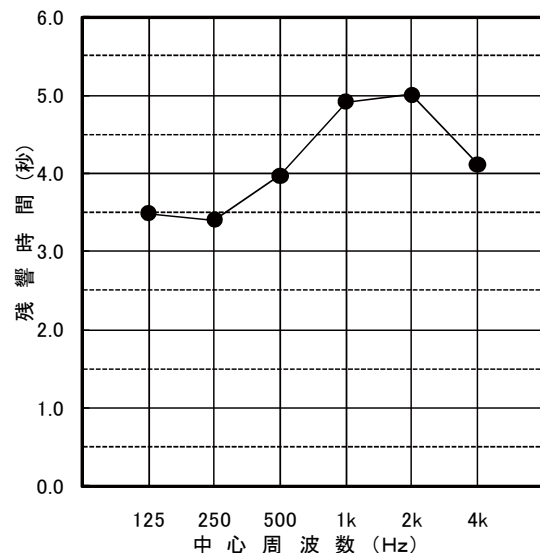


図-13 D 大学講堂兼体育館 残響時間

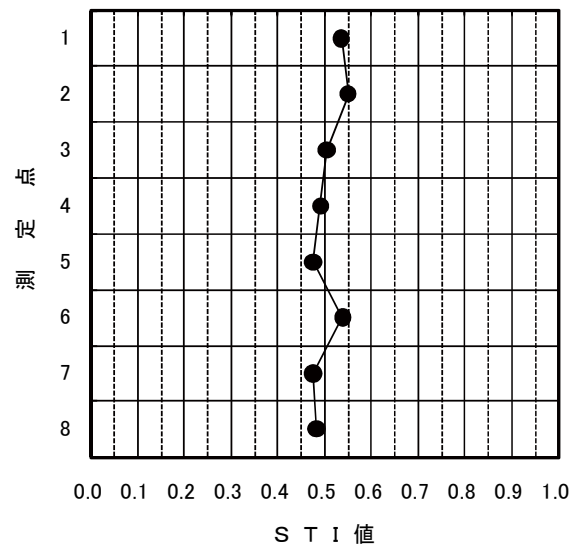


図-14 D 大学講堂兼体育館 STI

メインスピーカにラインアレイスピーカを使用していましたが、ディレイ装置を介した後方側面のサブスピーカも有効に機能していた。またそれらを取り付けた電気音響施工業者の調整も十分行われていた。

ディレイ装置を入れてもメインスピーカとサブスピーカの距離関係から何 msec. 遅らせるか十分な検討が必要であり、工事側はその点を含めて電気音響施工業者の選定等考慮する必要がある。

#### 4. まとめ

以上の事例より、電気音響設備を設置する際の注意点を以下のようにまとめることができる。

##### 1) 設計段階

- ・用途に適した残響時間となるように建築内装を考慮する。
- ・スピーカの対向面の吸音・拡散を考慮する。特に、室内の吸音が十分である場合や指向性が鋭いラインアレイスピーカなどを設置する場合はその配慮が必要である。
- ・スピーカの種類、数、位置を十分検討する。スピーカを複数設置することにより音圧レベル分布の偏差を小さくすることに有効になる場合があるが、その配置によっては受聴位置におけるスピーカからの直接音到来時間差によりエコー現象が発生して音声の明瞭性を低下させることがある。

##### 2) 工事段階

- ・竣工時に電気音響を取り付けてそのまま、のケースがみられるため、調整は必ず行う。

電気音響の測定を行う場合は、一般的に5つの測定(最大音圧レベル、音圧レベル分布、伝送周波数特性、安全拡声利得(ハウリング試験)、残留ノイズレベル)が行われる。比較的響きの短い空間ではこれらの測定で十分な場合があるが、響きの長い空間では、音圧レベル分布や伝送周波数特性は設置されているスピーカからピンクノイズなどの雑音信号を定常状態で発生させて測定するため、建築的な反射音により場所による偏差が小さく計測される。このことにより電気音響の測定は一般的な5つの測定だけでは十分とはいえ、STIなど、直接音と反射音の関係を考慮した測定も必要になる場合がある。

音響の専門家が運営する大ホールなどは音響コンサルタントが設計段階から施工まで参画するため問題の発生が少ないが、学校の講堂、体育館、オフィスの会議室、ホテルの宴会場など、専門家でない人が電気音響を操作する施設では音響について考慮されずに設計施工される場合があり、その結果、大きな不具合に発展して大改修を余儀なくされることもある。

以上、数少ない事例ではあるが、今後の電気音響検討の参考にしていただければ幸いである。

