

体育館における音響計画

Sound Planning of a Gymnasium

藤井弘義* 末永義明*

1. はじめに

多くの建物は、デザインに優れた設計計画の基に作られている。その室内設計計画は様々な使用目的にあった使い易さを追求し動線計画等を考慮した室内形状や設置場所に工夫がなされている。

その上、使用にあった室内環境面では良く見える照明・色・日照と寒暖をより良く凌げる快適性を有した換気・空調設備が追求され整えられてきている。

しかし、使われ方が異なる多くの室内状況の中で直ぐに実感把握しにくい音環境については後回しになる傾向となってきた。そこには音響計画に際して室内の使用目的にあった材料の使い方、どの位置にどのような材料を使用したら良いか専門的な知識がかなり必要で捕らえづらいことや費用が掛かることが懸念されるなど難しい現状にある。

今回、大学に設定された新体育館の音響計画に参加する事ができたのでこの建物を例として上記の問題の一例として取り上げてみた。

一般的な体育館は、多くの競技を行う残響時間が長い専用体育館、小中高学校に附置されている体育館は講堂にも使用し多目的に使われ傾向にあり残響時間が少し長めのものが多い。

今回の新体育館は、主に教員と学生が使用し音声コミュニケーション(教員からの指示等)を行いながら実技や実演に使われるものである。また、公式試合や部活動などにも多く使用される。

この体育館は、設計計画当初に比べて費用の高騰などから使用材料等が異なる施工がなされた。そのことから音声コミュニケーションが大いに必要な各室内でそれが取りづらい室内状況となったことから竣工後に室内改修計画を行うことになった。そこで計画に際して、室内の音響測定を実施し結果を参考に使用する側に立

った改修設計が設計事務所により行われ施工に至った。計画では、特にアリーナの改修前後の室内音響シミュレーションと音響実測データからの検討と確認を行い音響シミュレーションの意味も含めて室内音環境を考えるものとした。

2. 建物概要と主な使用目的

建設場所：東洋大学朝霞校地内

全体育館建物面積：3190m²

アリーナ棟：1590 m² 高さ：14.900m、

多目的棟：1602 m² 高さ：10.61m

アリーナ：室内全表面積 4800 m² 全容積 20000m³

多目的室 1+トレーニング室：室内全表面積 650 m²
全容積 900m³

多目的室 2：室内全表面積 580 m² 全容積 775m³

実習室：室内全表面積 470 m² 全容積 580m³

3. 主な室内使用目的と改修前の室内状況

- ・アリーナ：室内体育授業の際、講義(*音声による指示)に基づいた実技演習及び部活、公式競技場等に使用。(*以下略)
- ・多目的室 1+トレーニング室：講義や実技演習、身障者対象スポーツ等の指導、体力増進に必要な身体造りに使用。
- ・多目的室 2：主にダンス・エアロビクスの講義と実技演習と部活にも使用する。更に、柔道実技にも使用。
- ・実習室：体育理論に基づく研究と卒論作成に必要な機器を使った研究実技指導演習に使用。

＊改修前の各室内の使用状況

・アリーナでは、図・2の改修前実測データに示す全帯域に渡って残響時間が大幅に長く特に人の声を認識する場合に大切な500Hz、1kHzで約6秒となり3～4m離れると会話がほとんど取れず、更に離れると大騒音となり声の聞き取れない状態であった。

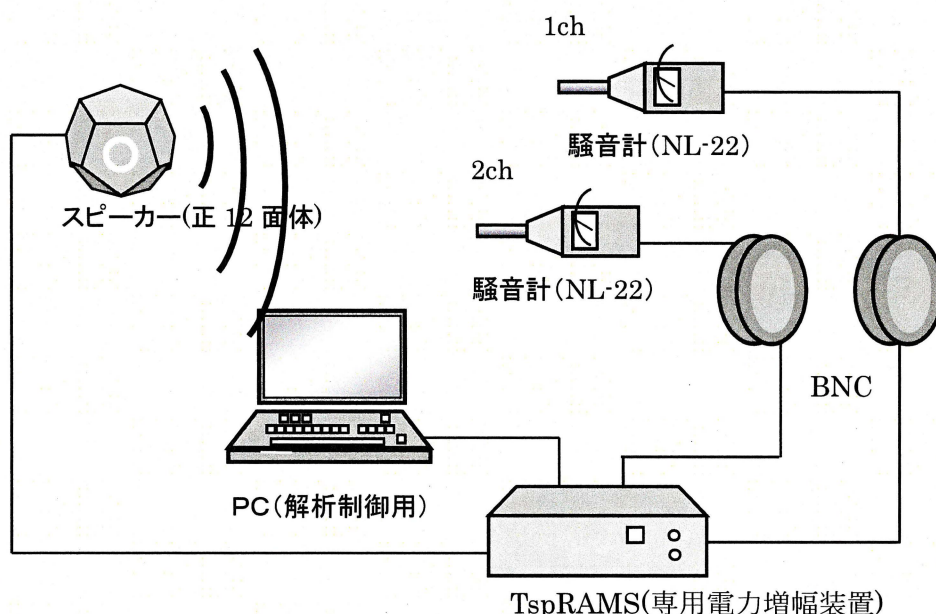
・図・3の多目的室1＋トレーニング室でも声による指示が聞こえにくい状況となっていた。

・図・4の多目的室2では、エアロビックスを行うに当たりマイクロフォンと増幅器を使って体の動かし方

等のエクササイズ・レッスンを行うがその声が良く聞き取れない状況となっていた。

・図・5の実習室では、500Hz、1kHz、2kHzで残響時間が長く音声による指示が非常に聞こえづらい状況となっていた。

これらは、各室内を使うライフデザイン学部健康スポーツ学科の教員とのミーティングで多くの教員から音声による指示が出来ないとの指摘がされていた。



図・1 測定ブロック図

4. 改修工事に当たり各室の残響時間の設定

今回のテーマである各室内の状況から音声コミュニケーションをよりよく取るための設定を行った。そこで、室内の使用目的を考えながら容積に見合った残響時間を設定し、声の通りと聞こえ易くするために吸音力を増し解決を図ることを計画した。

図・2～5に、音声による指示や人同士の声を聞き取りやすいものとする最適残響時間を設定し、これらを基に各室内の残響時間の目標とした。

特に、アリーナは室容積が大凡20000m³と非常に大きく天井、壁、床とも反射性の材料となっていることから

改修では声が相互に聞こえやすい残響時間とするために500Hz以上の周波数で6秒から3秒程度まで短くする目標を置いた。

多目的室1＋トレーニング室では、500Hz以上の高域周波数でも大凡1.5秒程度に目標設定した。

多目的室2では、500Hz以上の高域周波数で1.5秒程度に目標設定した。

実習室では、500Hz以上の高域周波数で1.5秒程度に目標設定した。

更に、改修に当たり竣工後間もないことも含めて特に天井が非常に高いアリーナなので費用や施工工期を考

慮しながら壁面にのみラッピンググラスウール 32Kg/m³ 厚み 50mm、面積 470 m²(改修計画では 420 m²)とした。

多目的室 1 は、壁に給音材を貼る位置が少なく天井に岩面吸音板厚み 9.5mm、95 m²とした。

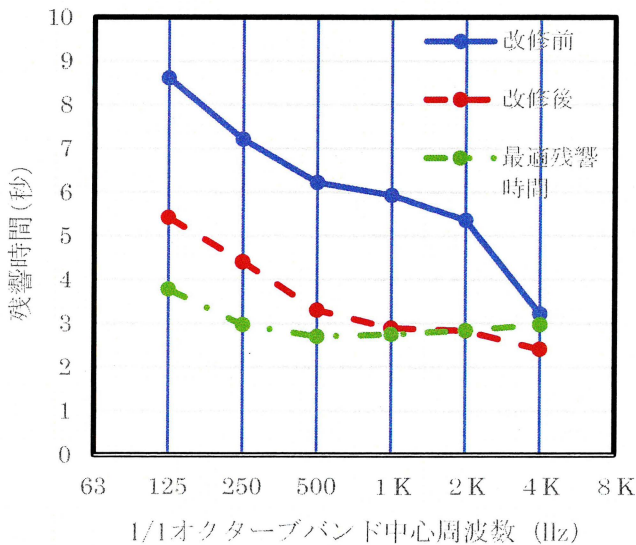
多目的室 2 は、壁面にアコストーン厚み 10mm、72 m²を施工した。

実習室は、低い天井 32 m²部分と下がり壁の 23 m²と合わせた 55 m²に岩面吸音板厚み 9.5mm を貼った。

5. 音響実測に使用した機器と測定方法

測定は、ブロック図・1 に示すような室内残響時間測定機器を用いインパルス音を無指向性スピーカーにより発生させ室内の各点で騒音計を通して時間波形を収録し後に、インパルス応答波形より 1/1 オクターブバンド中心周波数 125Hz～4KHz を解析計算した。

6. 測定結果



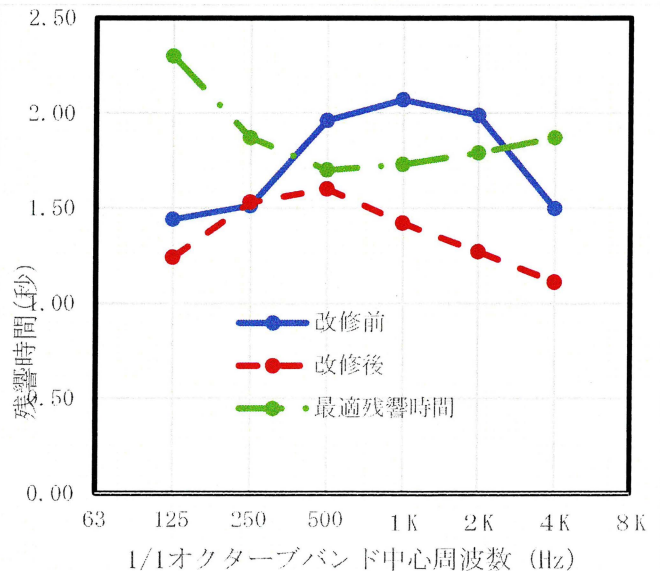
図・2 アリーナ 残響時間結果

図・2 のアリーナでは、目標最適残響時間に対して改修後の残響時間は、500Hz 以上で大凡会話のしやすい 3.5 秒程度になり、低域で若干長めであるが概ね目標達成ができた。その上、低域が少し長めであることから室内の会話に艶のある状態が生まれた。

また、残響時間が短くなったことからアリーナを使用す

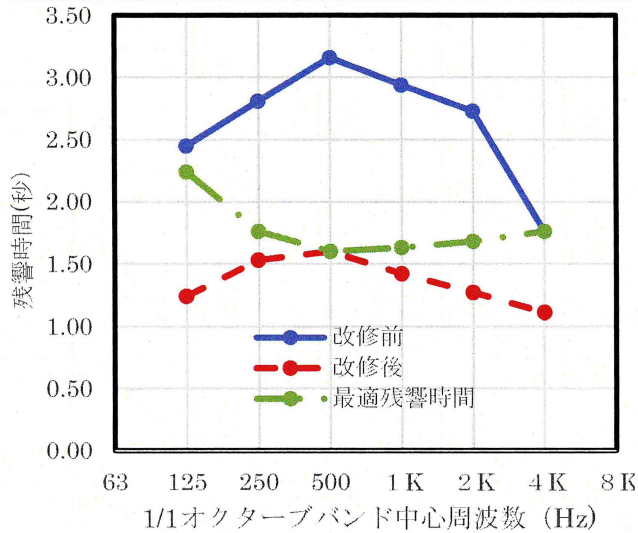
る人たちが前に比べて話のし易さを述べており、騒音状態となっていた室内のほとんどの位置で教員の指示する声も伝わりやすい状態になり、更に流す音楽も歯切れが良いものとしてすることが出来た。

図・3 の多目的室 1+トレーニング室では、500Hz では、目標に近い結果になったが低域と高域周波数で長めになっている。これは、改修前の室内形状と材料によって低高域で短い残響となっていることによるものである。結果として改修に使用した岩面吸音板の吸音率が大きく影響していたが室内の使用状況は指示や会話は充分取れやすいものになっている。

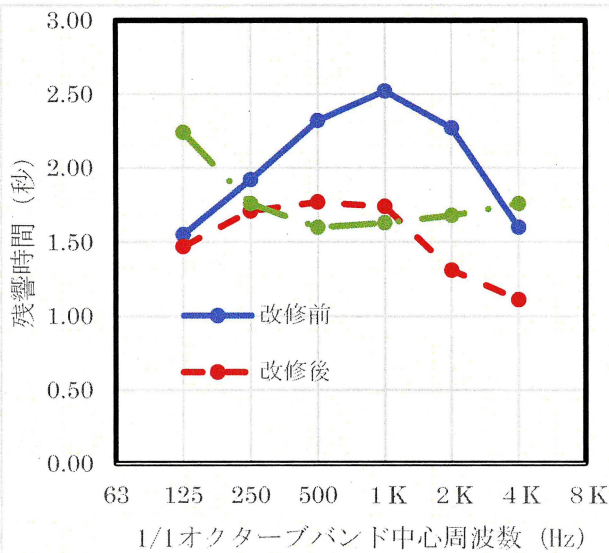


図・3 多目的室1+トレーニング室残響時間結果

図・4 の多目的室 2 では、改修前の残響時間から低域と高域の周波数で短めになっている傾向はあるが大幅な改善効果が出ている。しかし、エアロビクス実習の場合はマイク・増幅器を使って声の音量を大きくしたレッスン指導による運動が多くなっている。しかし、室内の 4 壁面がガラス、鏡等の硬い反射性の材料が使われていることから改修効果により改修前に比べて残響時間が大幅に短くなり残響時間の長いときには隠れていたフラッターエコーが目立つようになった。但し、レッスンのときの指導に大幅な改善効果につながった。



図・4 多目的室2 残響時間結果

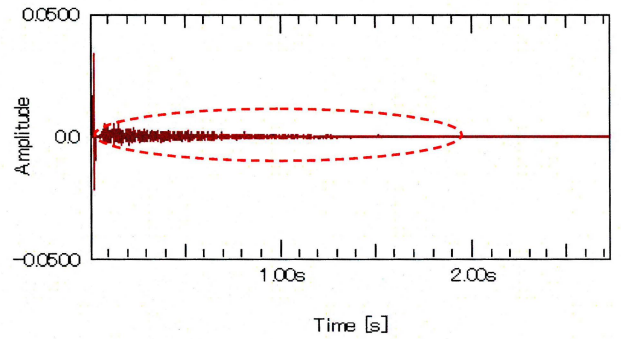


図・5 演習室 残響時間結果

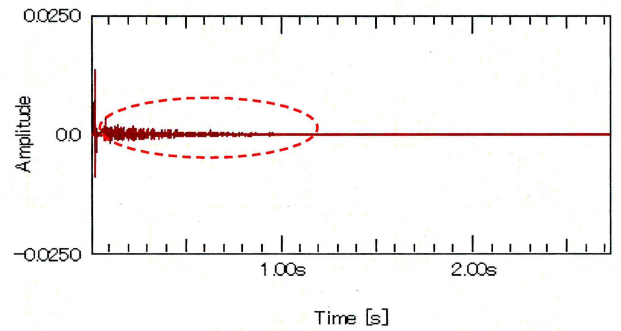
図・5の実習室は、目標に概ね近いものとなっているが、改修前の残響時間が低域と高域周波数で短めになっていることから改修後もその影響を受ける結果となっている。

7. インパルス応答からの検討

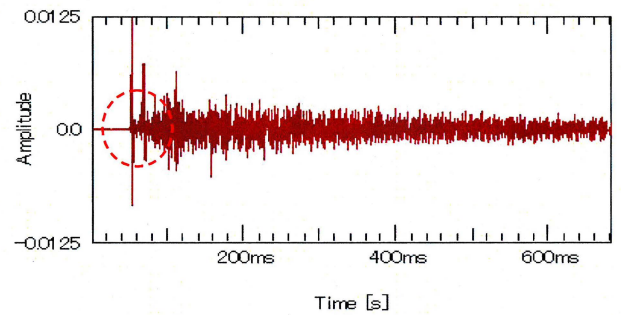
図・6, 7で、大空間であるアリーナを改修前後の音源から十分離れている測定点について見るとインパルス応答波形からも改修後に 1/2 程短い時間で減衰していることが見え、図・2の残響時間結果と一致していることが伺える。



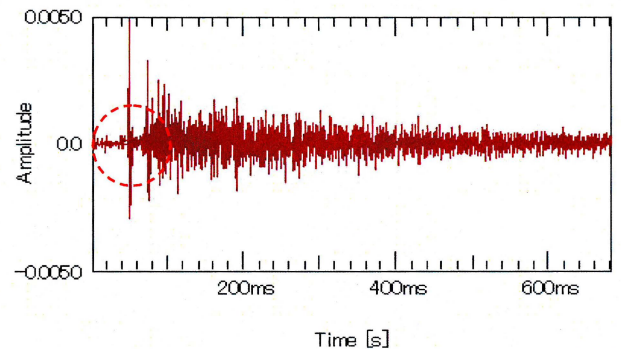
図・6 アリーナ 改修前時間応答波形



図・7 アリーナ 改修後時間応答波形



図・8 改修前の初期反射の密度

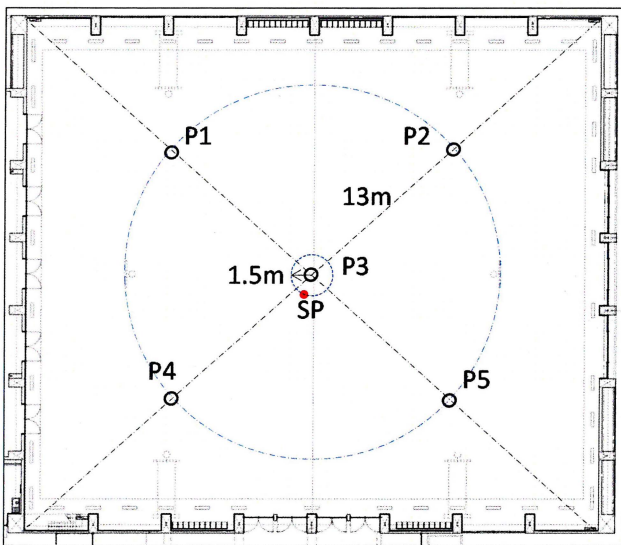


図・9 改修後の初期反射の密度

また、室内音響時間の大切な指標のひとつであり明瞭に室内で音を聞くための直接音が到達してから100ms までの初期反射音の減衰と密度を見ると改修前の図・8では、インパルス応答波形より初期反射の密度が多くなっている。その点、図・9の改修後になると初期反射部分(○部分)の密度が改修前に比べて減少していることが見えている。

以上、インパルス応答波形及び初期反射音の解析からアリーナの対策前後の音声明瞭度 STI (Speech Transmission Index) を比較する。STI は0~1の数値で表示され、余分な音が多く含まれると音声明瞭度が悪く0に近づき、余分な音が少ないと音声明瞭度が良く1に近づく。

STI 値は 0.6 以上が理想 (GOOD)、0.75 以上が優秀 (EXCELENT) とされ、0.4 以下は問題 (POOR) となる。図・10でアリーナ室内の音源位置を SP、受信位置を P1~P5 とすると、表・1の結果から音声明瞭度 STI の平均値は改修前が 0.42、改修後は 0.50 となり 0.4 以下がなくなり音源との距離が近い P3 は優秀 (Eccelent) となった。



図・10 アリーナ計測位置 (P1~P4)、音源位置 SP

表・1 音声明瞭度 STI 値

	計測位置					平均
	P1	P2	P3	P4	P5	
改修前	0.37	0.36	0.64	0.42	0.33	0.42
改修後	0.41	0.41	0.75	0.48	0.48	0.50

8. 音響シミュレーションによる手法

その一つとして、図・11でアリーナの測定点5について反射回数を5回として音響シミュレーションによる音線解析を行った。

シミュレーションを見ると室内の反射音は、天井や平行壁面よりの反射が多くなっている。

更に、壁上部からの反射が天井などを經由して様々な場所に反射していることが伺える。

この図・11は、聴感に影響する5回反射までの反射音線図を表しており、エネルギー減衰の少ない初期反射音による室内音響への影響が予測されるものである。

改修では吸音材は壁の上部に設置されており音声明瞭度に対して効果的であった。

体育館においても使用目的が様々なので、それに見合った反射音線を考慮した音響設計計画が必要と考えられる。

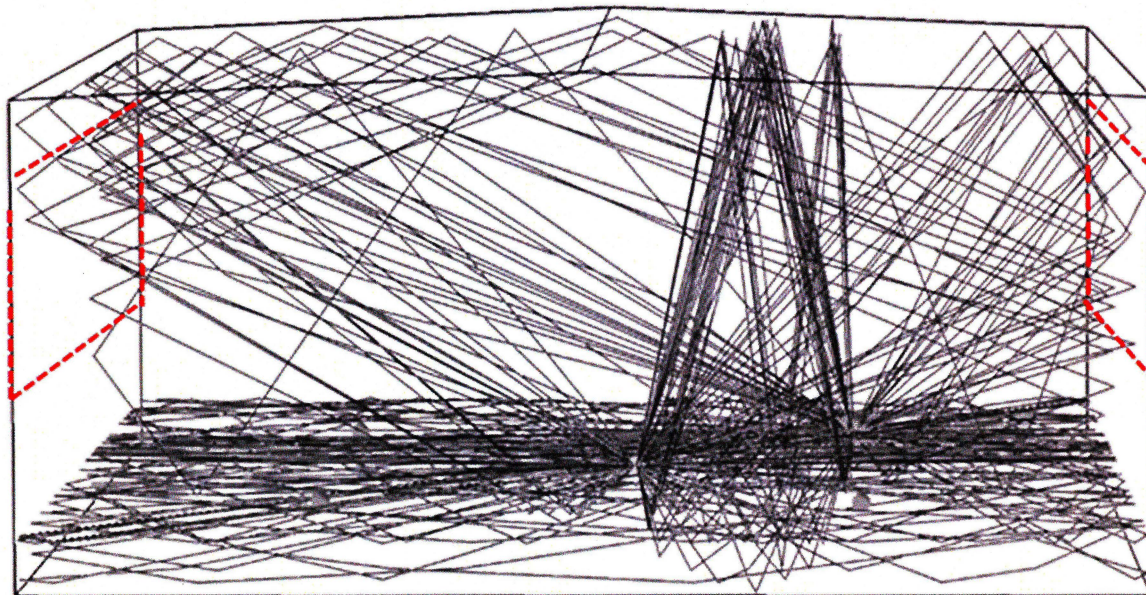
上記の結果から、どのような吸音材をどの部分に貼るかを検討することで壁面等からの反射と残響時間を適切なものとしてより効果のある方法を捉えることが出来る。

新しい建築設計でも当初から音響設計も配慮した計画をすることにより使用目的にあった室内をより良い音環境を作り出すことが出来る。

ここでは、吸音材のデータ情報を基に材料選択することが可能になり、更に音響シミュレーション手法により音源からの直接音と初期反射を含めた反射音が聴感上違和感のないものとされ目的にあった心地良い残響空間を作り出せることになる。

今回、実測と音響シミュレーション手法について述べたが、竣工後でも音響改修は行える事の一例である。意匠面や工事期間、工事費用(音響測定費も含めて)など多くの煩わしさが起こってくることから後回しになってきたが、設計計画当初から音響設計も考えることで改修工事の費用に比べれば費用負担割合を小さく出来る。

今回の音響改修工事でも設計事務所が積極的に関わったように、多くの建築計画に設計事務所の適切な計画を進めることの役割が大きいと言わざるを得ない。



図・11 アリーナの音響シミュレーション例

おわりに

音響改修計画にあたり、東洋大学朝霞事務部長田辺陸夫氏、次長佐久間孝行氏、課長長谷川直美氏、有)飯吉建築設計事務所所長飯吉伸一氏、所員根岸秀行氏のご尽力があったこと、更に改修前後2回の音響測定に当たり東洋大学理工学部建築学科田中研究室及びイム(林)研究室の多くの3、4年生学生のご協力を得られたことに記して感謝する次第です。

[参考文献]

建築の音環境設計 日本建築学会設計計画パンフレット
幼稚園・保育所の室内音環境 日本音響学会大会論文 その1～その10

幼稚園・保育所の室内音環境 日本音響学会建築音響委員会資料 AA2001-37 2001, 12, 4