

特集 「品質の向上をめざして」

建築音響の品質確保のための技術と取り組み

池上 雅之

Technology and Actions Necessary for Guaranteeing Quality of Architectural Acoustics

Masayuki Ikegami

Abstract

In spaces where sonic communication is required, such as concert halls, stadiums, auditoriums, and conference rooms, communication quality is strongly affected by resonance and the manner in which the sound is transmitted to the listener. These, in turn, are heavily influenced by construction specifications such as the shape or capacity of the space, type of finishing material, noise control, and electro-acoustic equipment. Consequently, for guaranteeing the quality of the acoustic space, architectural acoustic design techniques to control them adequately and comprehensively must be applied from the basic design phase of a project; research and examination results should be reflected in the project. Furthermore, because building modifications required to control the resonance and transmission of sound require great effort, it is important to have processes that verify the performance and quality of components during each step of design and construction to secure the overall performance and quality upon completion. This paper, which describes how architectural acoustic design techniques relate to each phase of design and construction, also presents various examples of the techniques' application.

概 要

コンサートホールや競技場・講堂・会議室など音を使ったコミュニケーションが必要な空間では、響きの状態や聞こえ方がコミュニケーションの質に大きな影響を及ぼす。響きの状態や聞こえ方は空間の形状や容積、仕上げ材料などの建築仕様や、騒音制御、電気音響設備等の影響を強く受けるので、これら全般を適切に制御する建築音響設計技術を計画の基本設計段階から適用して、調査や検討の結果を計画に反映することが空間の品質確保に欠かせない。また響きの状態や聞こえ方を変化させるような建物の手直しは多大な労力を要するので、設計施工の各ステップ毎に部位の性能・品質を確認して、竣工時の全体性能・品質を確保するプロセスも重要である。本報告では、設計施工の各段階における建築音響設計技術の関わりを説明するとともに、この技術を適用した様々な事例を示した。

1. はじめに

コンサートホールや競技場・講堂・会議室など音を使ったコミュニケーション（会話のような双方向のやり取りに加えて演奏や放送のような一方のやり取りも含む）が必要な空間では、響きの状態や聞こえ方がコミュニケーションの質に大きな影響を及ぼす。響きの状態や聞こえ方は、空間の形状や容積、仕上げ材料の選定など建築仕様に大きく依存し、さらに騒音制御や電気音響設備の構成・調整等の影響も大きい。そのためこれら全般を適切に制御する設計技術が空間の品質確保に欠かせない。さらに響きや聞こえの感じ方は主観的な要因を多く含むので、数値化しにくい発注者の要望を整理して具体的な解決策を検討し、発注者の理解を得て実際の空間を実現するプロセス構築やノウハウ、様々な空間の音の経験も大切である。

ここではこれらを総称して建築音響設計技術と呼ぶが、近年その重要性が広く認識され始めており、建物の基本計画段階から仕上げや調整に至るまで、設計施工の各段階で建築音響設計技術を適用して建物の高品質化を図る

事例が増えてきた。

当社では長年にわたる多数の調査経験から、幅広い建物用途に適用可能な建築音響設計技術を継続的に開発し高めてきた。本報告では、設計施工の各段階における建築音響設計技術の関わりを説明するとともに、この技術を適用した様々な事例を紹介する。

2. 建物における建築音響設計技術

2.1 建物における音の課題

建物における音の課題は騒音と室内音響に大別できる（Fig. 1, Fig. 2参照）。前者は他室・他所からの音の影響や伝搬が主たる制御対象であり、うるささ等のネガティブな感覚を引き起こすことが多い。また後者は自室の音の響きが主たる制御対象であり、会話が聞き取りにくい等のネガティブな感覚を引き起こす側面と、聞き取りやすさや音に包まれた感じ等のポジティブな感覚を引き起こす2つの側面がある。響きの状態や聞こえ方は前述した音が引き起こす様々な側面の複合によりもたらされるので、騒音と室内音響の両方を適切に制御することが音

を使ったコミュニケーションを必要とする空間の品質確保に大変重要となる。

2.2 建物用途と音の課題の関係

音を使ったコミュニケーションは、建物用途に応じて様々な形で行われる。建築音響設計が必要とされる建物用途を確認するため、建築音響設計の代表的な課題毎に対象となる建物用途を以下に列記した（建物用途毎の音の課題はTable 1に示す）。

響きの制御による雰囲気作りが必要な建物用途：

コンサートホールや劇場など建物名称等から「音を使ったコミュニケーションが必要な空間」であることが読み取れる場合に加えて、場の雰囲気作りに響きが重要な役割を果たす教会や礼拝堂、喧噪感の制御が必要な展示室や待合室などの用途で建築音響設計が必要である。

会話の明瞭性の制御が必要な建物用途：

講堂や教室・会議室など建物名称や室名称から「音を使ったコミュニケーションが必要な空間」であることが読み取れる場合に加えて、アナウンスの明瞭性の確保が必要な駅舎・空港など放送が行われる用途などで建築音響設計が必要である。また作業員同士の会話成立が必要な工場、カウンターにおけるスピーチプライバシーの確保（他者の明瞭性の低減）が必要な病院など利用者同士の会話が行われる用途でも検討が必要なケースがある。

なおスタジアムや競技場（含む屋外型）等大空間となる建物用途では建築音響設計の中でもエコー等の音響障害の防止に特段の配慮が必要である。大空間では反射音の時間遅れが大きくなるため、直接音と反射音が分離して聞こえてエコーとなりやすい。エコーが発生すると受聴者の明瞭性が低下し、また話者の話しやすさも損なわれるため反射音の時間構造や伝搬経路を予測し、壁面等の拡散・吸音処理を適切に実施する必要がある。また大空間では時間当たりの音波の反射回数が少なくなるので、同じ吸音特性の仕上げを行っても小空間よりも響きが長くなり、明瞭性が低下する傾向もある。建築の仕上げ調整だけでは十分な明瞭性の確保が難しいので、基本設計の段階から電気音響設備による適切な拡声を考慮する必要がある。

建築音響設計の役割は、発注者の定性的・主観的な要望から建物の利用イメージやニーズを的確に把握し音に関する課題を整理すること（特に場の雰囲気作りが重要視される建物用途で重要）、課題に応じて適切な協力者を招集し建物用途やグレードに応じたバランスの良い解決方針を策定すること、音に関する建物の適用範囲や境界点を建物用途と関連させて発注者に正しく理解してもらうこと等、何れも基本計画時を中心に行う作業が多い。

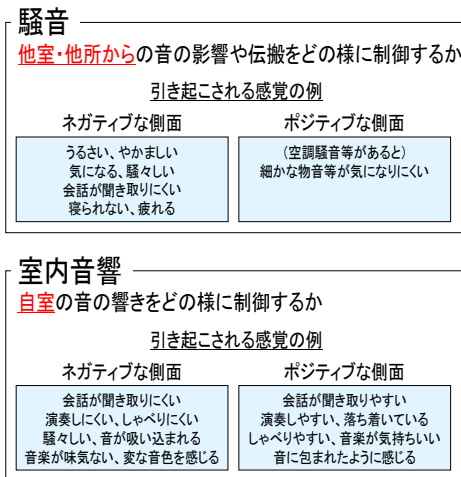


Fig. 1 音の問題の大別
Sound Problem is roughly divided into Noise and Room Acoustic

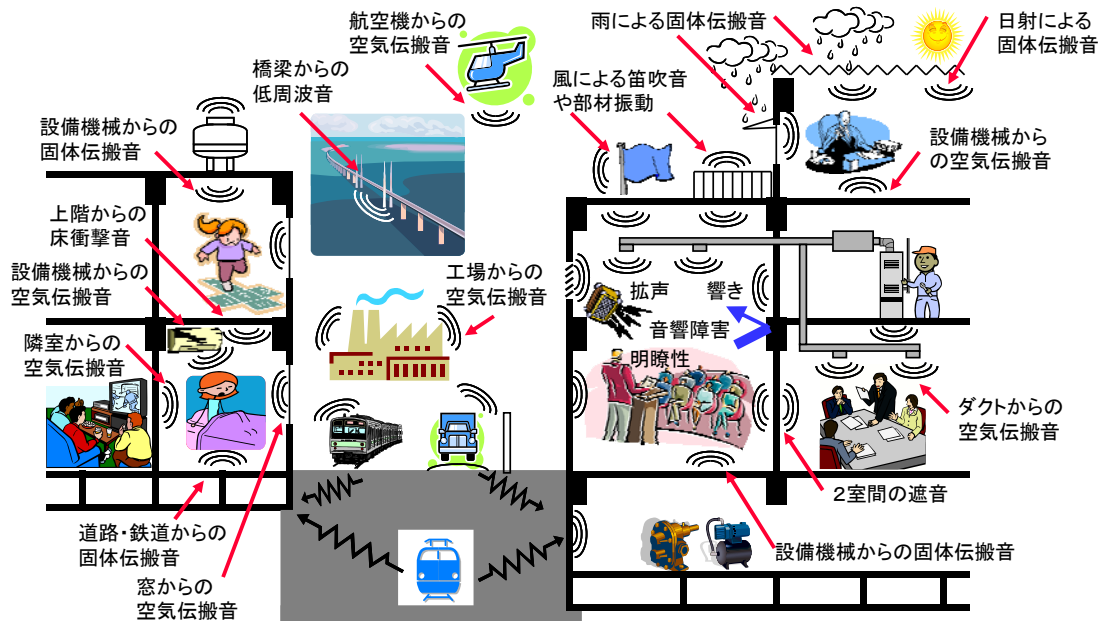


Fig. 2 建物における音の課題のイメージ
Image of Sound Problem in Building

2.3 設計施工の各段階における関わり

設計施工の各段階において建築音響設計技術がどの様に係わるかを確認するため、よく行くと考えられる作業項目と内容をTable2に整理した。各段階の要点を以下に述べる。

a. 基本設計

発注者の要望から音の課題に関する要点を把握すること、建物用途に応じたバランスの良い解決方針を策定すること、目標性能や適用範囲等に関する発注者の理解を得て、解決方針の性能や品質を満足する仕様を基本設計に反映することが要点となる。

b. 実施設計

性能や品質確保に必要な情報を施工図や施工要領書、設備機器の性能規定等に反映することが要点となる。

c. 施工支援

途中段階での性能確認や調整を実施して竣工時の全体性能・品質を確保することが要点となる。

d. 竣工

基本設計時に設定した性能が竣工時に満足されていること、建物の使用説明・性能説明を発注者に適切に行うことが要点となる。

これらの作業項目を実施して、はじめて用途に適した高品質な建物を実現することが可能となる。Table 2からも読み取れるように、音を使ったコミュニケーションの質を左右する重要な項目は、計画の初期段階に検討を行い基本設計に反映する必要がある。特に響きの状態や聞こえ方が重要視される建物用途では必須であり、この段階における建築音響設計の関与の程度が計画の成否に大きな影響を及ぼす。

一方、実施設計以降は、納まりや意匠に合わせた仕上げの検討など調整や確認が中心となる。この段階から建築音響設計を適用した場合は計画当初の場合と比較して

制限される事項が増えるので、建物の適用範囲を整理して関係者に周知することも重要である。

また、竣工後に響きの状態や聞こえ方を変化させるような建物の手直しは多大な労力を要するので、設計施工の各ステップ毎に部位の性能・品質を確認して、竣工時の全体性能・品質を確保するプロセスも重要となる。特に途中段階の実建物における性能・品質の確認は、施工順序の調整や暗騒音低減のための工事の中断など工程計画上の協力が必要なため、現場管理者と音響技術者が連携を取った上で早期に調査計画を策定することが必要である。また、迅速に調査結果をまとめ、万一目標とした性能・品質が得られないと予測された場合の対応体制を準備することも大切である。

3. 建築音響設計技術の適用事例

前章で述べたように、建物用途に応じた音のコミュニケーションの質を確保するためには、建物計画の各段階に建築音響設計の技術者が適宜参画して、調査や検討の結果を計画や施工内容に反映することが大変重要である。

以下には技術研究所が参画し関係各部門と連携を取りながら実現に至った事例の概要とそのプロセスを紹介する。

3.1 事例A：講堂の建築音響設計

講演を主用途とし会議や株主総会にも利用される2000席の大規模講堂の新築計画において、基本設計の段階から建築音響設計を適用した事例を示す(建物概要はFig. 3, Table 3参照)。

3.1.1 室内音響 計画に際し発注者から示された要望は「講話していて気持ちが良く、拍手が盛大に響く空間」であった。空間の広がりや豊かな残響感(長めの響き)をイメージしていると考えられたが、講演を主用途

Table 1 建物用途と音の問題の関係
Relationship between Building Use and Sound Problem

用途	騒音	室内音響
集合住宅	外部影響による室内騒音、上下階の床衝撃音、設備機器の固体伝搬音	居室内の響き
ホテル	隣戸間の遮音	客室内の響き、宴会場の会話の明瞭性
病院	外部影響による室内騒音、設備機器の固体伝搬音、病室間の遮音	病室の響きすぎ、アナウンスの明瞭性 カウンターのスピーチプライバシー
生産工場	機器が発生する騒音・振動の近隣影響・作業環境・低周波音	作業員同士の会話の明瞭性
発電所・清掃工場		
事務所	外部影響による室内騒音、設備機器の固体伝搬音、他室との遮音、空調騒音	執務室の響き、会議室の会話の明瞭性
講堂・体育館	外部影響による室内騒音、床衝撃音、設備機器の固体伝搬音	体育館の響き、講堂の講話の明瞭性
教室・会議室	他室との遮音、空調騒音	教室の響き・会話の明瞭性、音楽室の響き
博物館・展示場		
図書館・美術館	外部影響による室内騒音、設備機器の固体伝搬音、他室との遮音、空調騒音	展示室の響き・説明の明瞭性
法廷・教会・礼拝堂		礼拝室の響き・講話の明瞭性
店舗		喧噪感の制御
劇場、映画館	外部影響による室内騒音、設備機器の固体伝搬音、他室との遮音	上映室の響き、台詞の明瞭性
コンサートホール	空調騒音、近隣影響	ホールの響き
録音・撮影スタジオ	外部影響による室内騒音、設備機器の固体伝搬音、他室との遮音、空調騒音	スタジオの響き
スタジアム・競技場	外部影響による室内騒音、床衝撃音、他室との遮音、空調騒音、近隣影響	アナウンスの明瞭性
鉄道・駅舎	外部影響による敷地内騒音、車両が発生する騒音・振動の室内影響、近隣影響	プラットフォームの明瞭性、喧噪感の低減
空港・ターミナル	航空機が発生する騒音・振動の室内影響、近隣影響	アナウンスの明瞭性、喧噪感の低減

とした場合、講話の明瞭性の確保が重要なので響きを短く抑える必要がある。よって室内音響では背反する条件の解決が課題となった。

そこで基本設計では、残響時間（響きの長さを表す指標値）の目標値を1.5秒以下に設定して、予測計算を繰り返しながら仕上げ材の基本構成を求めた。また直接音を補強すると言われる時間遅れ50ms以下の一次反射音を天

井反射板により作り出し、客席における講話の臨場感と客席からの手ごたえ(演台への拍手の伝わり)の確保も図った(演台⇄客席双方向Fig. 4参照)。一方電気音響設備計画では、高品質な拡声設備を導入して基本性能を確保すると共に、座席上部のスピーカーから放射された拡声音が、室の響きを伴って連続的に演台に伝搬することで空間の広がり感が実現されると考えた。

Table 2 設計施工の各段階における作業項目と内容
Work Item and Contents of Each stage of the design and Construction

段階	意匠・生産設計に反映すべき情報	左列の情報を得るために必要な音響設計者の作業					
		室内音響関連		騒音関連			
		項目	内容	項目	内容		
基本設計	(準備作業)	1	発注者要望の確認	問診、室内音響に関する課題の整理	1	発注者要望の確認	問診、騒音に関する課題の整理
		2	目標性能・品質の設定	発注者のイメージに近い類似案件の調査等 一部の性能を定量化(残響時間の目標値設定) 数値化しにくい要望の具体的解決策を検討(音響障害の防止、聞こえの質的な課題等)	2	目標性能・品質の設定	類似案件の調査等 性能の定量化(室内騒音や敷地境界、遮音性能等の目標値設定) 予測が難しい項目の具体的解決策を検討(固体伝搬音の防止等)
	空間の容積基本形状の設定	3	用途に適した響きの確保	席数・容積の設定 残響時間の簡易予測→容積の確認	3	用途に適した静けさの確保 近隣への影響制御	屋外騒音・振動状況の測定 →基本断面・レイアウトの設定
		4	音響障害の防止	音線経路の簡易予測→拡散形状の設定			室内騒音源の大きさの測定 →基本断面・レイアウトの設定
	配置計画レイアウト基本断面の設定(遮音断面)	5	用途に適した響きの確保	残響時間の予測→仕上げの繰り返し検討	5	用途に適した静けさの確保 近隣への影響制御	敷地内騒音源の測定 →基本断面・レイアウトの設定
							6
	基本断面の設定(仕上げや背後空気層)	7	用途に適した響きの確保	残響時間の予測→仕上げの繰り返し検討	7	用途に適した静けさの確保 近隣への影響制御	
	舞台設備、電気音響設備の機構やシステムの基本構成	8	用途に適した響きの確保	残響時間の予測→仕上げの繰り返し検討	8	用途に適した静けさの確保 近隣への影響制御	
(整理作業)	9	発注者への説明	建物の適用範囲の説明	9	発注者への説明	目標とした性能や品質建物の適用範囲の説明	
							4
実施設計	意匠図(矩計・建具図等)施工図施工要領書への反映	1	用途に適した響きの確保	仕上材の意匠調整、吸音性能測定 残響時間の予測→仕上げの調整の繰り返し 数値計算や模型を用いた可聴化等による状況確認	1	屋内外騒音の伝搬制御	全伝搬経路の確認、発生音の大きさ測定 騒音伝搬予測→断面の繰り返し検討
		2	舞台設備計画	椅子の吸音性能測定 →残響時間予測に反映 反射板の意匠調整 カバーエリア予測→角度調整、仕上調整	2	設備機器の騒音制御	影響機器の確認、発生音の大きさ測定 騒音伝搬予測→消音器等の繰り返し検討
		3	音響障害の防止	壁面等の意匠調整、反射性状測定 音線経路の予測→拡散形状の繰り返し検討			3
	設備機器の性能規定施工図施工要領書への反映	4	用途に適した響きの確保	残響時間の予測→仕上げの調整の繰り返し	4	設備機器の騒音制御	スピーカーのカバーエリア予測 拡声設備の詳細設計
							5
(整理作業)	5	発注者への説明	建物の適用範囲の説明	5	発注者への説明	数値計算や模型を用いた可聴化等による状況確認	
						4	発注者への説明
施工支援	目標性能品質の確認	1	部材性能の確認	設備機器等の性能確認・調整立会 材料の選定支援	1	部材性能の確認	建具・設備機器等の性能確認・調整立会 材料の選定支援
		2	全体性能の確認	中間測定→目標性能の達成状況確認	2	全体性能の確認	中間測定→目標性能の達成状況確認
竣工	目標性能品質の確認	1	全体性能の確認	各部残響時間の測定 音圧分布、反射板の効果確認等測定 拡声音の試聴 電気音響設備機器の調整指示	1	全体性能の確認	各部室内騒音、遮音性能等の測定 設備機器稼働時の騒音発生状況の確認 建具・設備機器等の調整指示
							2
	(整理作業)	3	発注者への説明	建物の使用説明、性能説明	3	発注者への説明	建物の使用説明、性能説明

定量的な性能確保に関する事項
定性的な品質確保に関する事項

注: 各項目の実施は必要に応じて選択する。カバーエリア: スピーカーからの放射音や反射板による反射音が明瞭性が高いまま到達する範囲を示す。本項は室内音響を対象としているが、設計施工の各段階における音響設計者の作業の位置づけを確認するため、騒音関連事項も併せて示した。

実施設計や施工支援では、デザイナーや意匠設計者と協議を重ねながら室内仕上げのモックアップの製作や残響室法吸音率の測定を行い、結果を残響時間の予測計算に組み込んで目標値を満足することを確認した。また、一次反射音が座席全体をカバーするよう音線法を用いた天井反射板の角度の微調整、エコーによる音響障害（明瞭性の低下）を避けるための後壁の吸音仕様の検討、回折格子による音響障害（等間隔リブにデザインされた壁面等に音波が入射すると反射音に特有の音色が付いて聞こえる現象）を避けるためのリブ壁面のピッチ調整（Fig. 5参照）、舞台上の移動式反射板の効果検討等も行い、設計図書に結果を反映した。さらに、拡声設備の現場調整に立ち会い、高品質な拡声と十分な音量や明瞭性が全ての席で確保されていることを確認した。

竣工時に確認した残響時間は約1.2秒となり目標値を満足することが出来た。また演台で話した声（拡声音）が講堂の隅々まで行き渡るような空間の拡がり感や座席における講話の臨場感も実現できた。

3.1.2 騒音制御 騒音制御では、建物用途やグレードに対応した室内騒音の確保と、講堂を可動間仕切りで分割使用したときの遮音性能の確保の2点を、乾式工法でどのように実現するかが課題となった。

そこで基本設計では、室内騒音の目標値を40dBa（NC-30）以下、分割利用時の講堂2室間の遮音性能をD-50に設定し、講堂を取り囲む鉄骨ダブルフレームの間隔や大梁のせいを利用して必要な遮音層や遮音天井を確保することとした（Fig. 6参照）。また設備機械室のレイアウトやダクト配管ルート进行调整して、目標値が得られるように設備騒音の低減も図った。

実施設計や施工支援では、設備設計や工事事務所と協議を重ねながら、壁床断面や建具の納まり、類似案件の可動間仕切りの遮音性能測定、騒音伝搬予測等を行い、目標値を満足する仕様を確定した。加えてダクトや鉄骨貫通部の隙間処理、地震時の吊りボルトの振れを考慮した遮音天井貫通部の処理、講堂入口前室や設備機械室のグラスウールの貼付範囲、制振材の貼付によるダクトのバタツキ防止とアルミルーバーのビビリ防止等も検討し、施工図や施工要領書に結果を反映した。

竣工時に確認した室内騒音（段床空調時）は28dBa（NC-20）、可動間仕切りで分割したときの講堂2室間の遮音性能はD-55となり目標値を満足することが出来た。講堂内では外部騒音の影響は感じられず、講堂を分割したときの隣室の会話の内容も聞き取ることができなかった。また大音量で拡声した場合の金物のビビリも感じられない。



Fig. 3 建物の外観と内観
Outward and Inside of Building

Table 3 建物概要 Building Summary

所在地:	東京都内	座席数:	2000席(可動式)
用途:	講演・会議・株主総会等	1座席当たりの容積:	11.9m ³
講堂床面積:	2098m ²	残響時間(500Hz):	1.2秒(椅子あり)
講堂表面積・容積:	6429m ² ・23896m ³	室内騒音(段床空調時):	28dBa(NC-20)

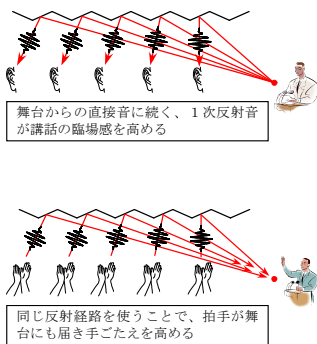
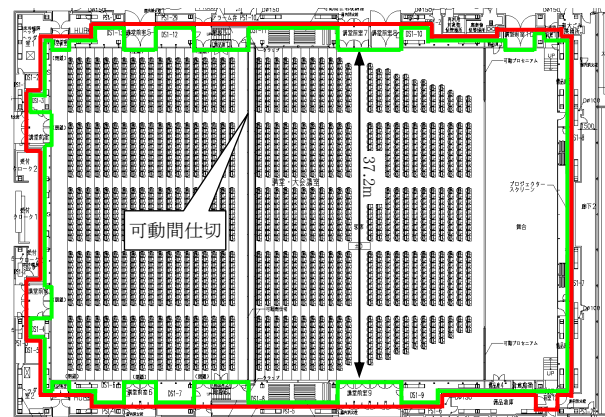


Fig. 4 天井反射板の効果
Effect of a Ceiling Reflector



Fig. 5 リブピッチの調整
Adjustment of the Rib Pitch

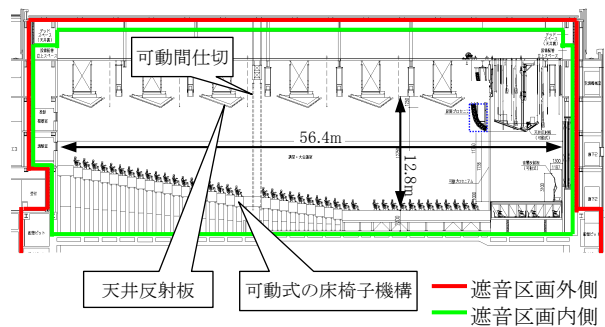


Fig. 6 平面図・断面図と遮音区画
Plan, Section and Division of Sound Insulation

3.2 事例B：宗教施設の建築音響設計

宗教式典を主用途とする3690席の大規模礼拝堂の新築計画において、基本設計の段階から建築音響設計を適用した事例を示す（建物概要はFig. 7, Table 4参照）。

3.2.1 室内音響 計画に際し発注者が示した要望は「宗教式典の場にふさわしい音響」であった。基本意匠は扇形平面形状と側壁全面ガラスであり、吸音部位が限られることから響きの制御の難易度が高いと考えられた。この意匠を優先しつつ、講話の明瞭性を損なわないで荘厳な雰囲気を感じさせる響きの実現が課題となった。

そこで基本設計では、残響時間の目標値を建物用途と室容積から1.7秒に設定し、残響時間の予測計算を繰り返して仕上げ材の基本構成を求めた。また円弧型後壁を吸音+拡散形状仕上げとしてエコーの発生を回避した。一方電気音響設備計画では、舞台両脇に設置したラインアレイスピーカーで高品質な拡声の基本性能を得ると共に、ステージフロント・後部天井・側壁の各所の補助スピーカーにより、何れの座席でも適切な音量が確保されるよう計画した（Fig. 8参照）。

実施設計や施工支援では、意匠設計や工事事務所と協議を重ね、耐震性も考慮しながら吸音仕上げや拡散形状を検討した。また式典に参列する楽団員向けの演奏同期システムも構築した。式典の様式上指揮者を持たない楽



Fig. 7 建物の外観と内観
Outward and Inside of Building

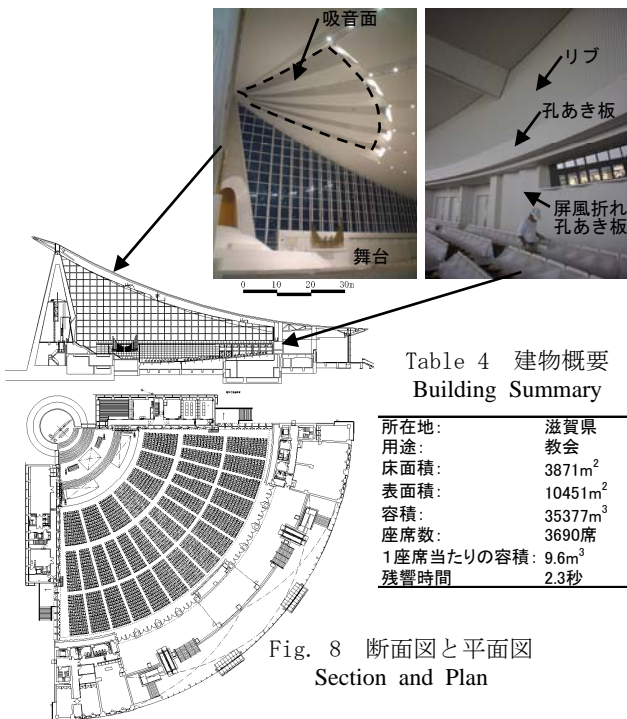


Fig. 8 断面図と平面図
Section and Plan

団員が舞台の両袖に分散配置するが、演奏を同期させるため互いの演奏音を聴き合う仕組みが必要になった。そこで技術研究所の無響室や施工途中の工事現場にて聴感実験を繰り返してシステムの基本構成を策定すると共に、楽団員の協力を仰ぎながらリードパートの演奏音の集音方法や楽団員への拡声方法の検討を建物内で繰り返し行い、システムを構成した（Fig. 9,10参照）。

竣工時に確認した残響時間は約2.3秒となった。目標値より0.6秒長いが高品質な拡声と十分な音量や明瞭性が全ての席で確保されていることを確認した。またモニターシステムの効果により、舞台両袖の楽団員の演奏が同期でき、パイプオルガンの演奏音と組み合わせることで礼拝堂の荘厳な響きを感じる空間を確保することが出来た。

3.2.2 騒音制御 騒音制御では、建物用途とグレードに対応した室内騒音の確保や、降雨騒音（雨滴が金属屋根に当たり生じる固体伝搬音）の制御が課題となった。

そこで基本設計では、室内騒音の目標値を40dB以下に設定し、床吹き出し空調用のチャンバー室を緩衝層に利用して地下設備機械室から礼拝堂に伝搬する騒音の低減を図った。また屋根を受ける大梁のせいを利用して天井懐空気層を確保し、屋根天井間の遮音性能を高めて降雨騒音の低減も図った。

実施設計や施工支援では、屋外騒音の伝搬予測を行い室内騒音の目標値満足を確認すると共に、降雨騒音の伝搬予測を行い室内騒音の目標値を超えるのが年間数時間程度であり運営に大きな支障を来さないことを確認した。また設備設計や工事事務所と協議を重ねながら壁床断面の詳細やダクト貫通部の隙間処理の検討結果を施工図や施工要領書などに反映した。

竣工時に確認した室内騒音（空調時）は35～39dBとなり目標値を満足することが出来た。また敷地境界では礼拝堂内の講話がわずかに感じられるが、内容を聞き取ることはできなかった。

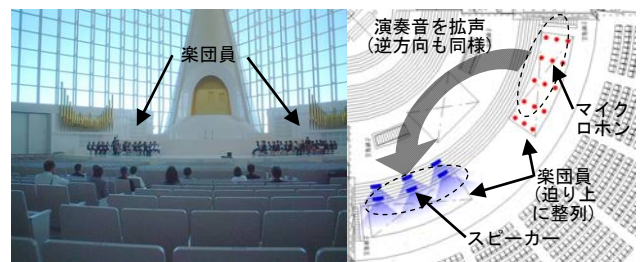


Fig. 9 演奏の様子とモニターシステム
Playing Condition and Sound Reinforce System

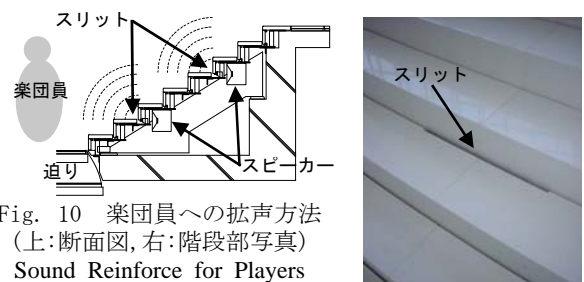


Fig. 10 楽団員への拡声方法
（上：断面図、右：階段部写真）
Sound Reinforce for Players

3.3 事例C：店舗兼ホールの建築音響設計

店舗を主用途とし、121席の室内楽コンサートホールとしても利用される店舗兼ホールの新築計画において、実施設計の段階から建築音響設計を適用した事例を示す（建物概要はFig. 11,12, Table 5参照）¹⁾。

3.3.1 室内音響 室内音響計画に際し発注者から示された要望は「店舗としてもコンサートホールとしても十分に機能する建物」である。意匠設計者のアイデアにより、室形状を直方体とすることと、回転式の多数の木製パネルを両側壁に取り付けることが計画当初に決定していた（Fig. 13,14参照）。

そのため実施設計では、室内の表面積に占める割合の大きい回転式木製パネルの部分模型を製作して残響室法吸音率を求めるとともに、残響時間の予測計算を行って用途に適した響き（コンサート利用時に1.3秒、店舗利用時に1.0秒）となることを確認した（Fig. 15参照）。また虚像法を用いてエコーとなる経路の探索を行い後壁の吸音仕様を設定したり、後壁バルコニー前縁にレリーフを取り付け高音域に対する拡散効果を図った。さらにコンサート利用時の音響調整用反射板として利用できるように、舞台上部の壁面に角度調整機構を組み込んだ（Fig. 16参照）。

竣工時に確認した残響時間はコンサート利用時に1.6秒、店舗利用時に1.1秒となり目標値を概ね満足した。コンサート利用時にはいずれの座席でも親密感のある響きを感じられる一方、店舗利用時に木製パネルを回転し内部の吸音面が露出し始めると速やかに落ち着いた響きへ変化する様子を感じられ、店舗とコンサートホールそれぞれに適した響きが確保された。また舞台上反射板は演奏者自身への返り用にも座席部へのサービス用にも角度次第で使い分けられることが確認できた。

3.3.2 騒音制御 騒音制御では、上手側壁から30mにある国道の道路交通騒音を制御し、建物用途に対応した室内騒音を確保することが課題となった。

実施設計や施工支援では、コンサート利用時の室内騒音の目標値を30dB(A (空調停止時))に設定し、道路交通騒音の測定や木製パネルの遮音性能から騒音伝搬予測を行い、目標値を満足するガラス厚や排煙窓の断面仕様を確定した。

竣工時の室内騒音は29dB(A)となり目標値を満足した。コンサート利用時、上手側（道路側）壁近傍座席でも外部騒音の影響をほとんど感じることができず用途に適した静けさが確保された。



Fig. 11 建物の外観
Outward of Building

Table 5 建物概要 Building Summary	
所在地:	北海道
用途:	菓子販売店舗
床面積:	199m ²
表面積・容積:	901m ² ・1531m ³
ホール時の座席数:	121脚
1座席当たりの容積:	12.6m ³
残響時間(ルバー閉):	1.6秒



Fig. 13 店舗利用時とコンサート利用時
Store Use and Concert Use

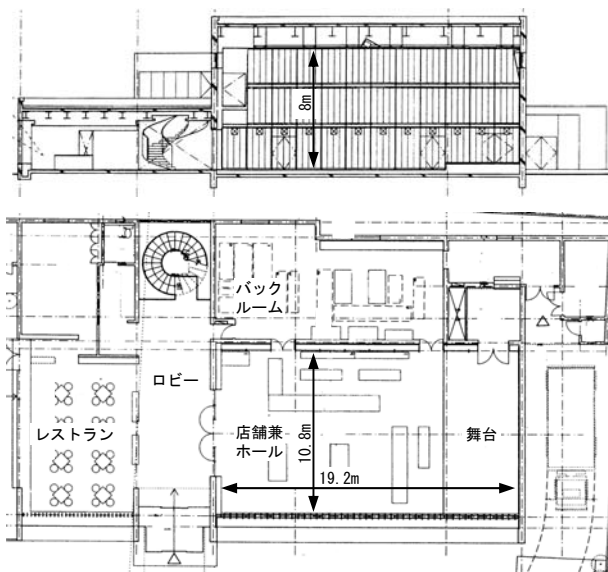


Fig. 12 断面図と平面図
Section and Plan

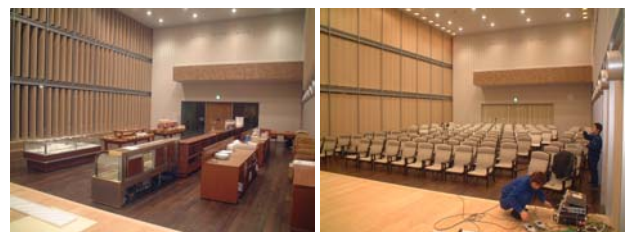


Fig. 14 下手パネルと上手パネル
Panel of Side Wall



Fig. 15 パネルの吸音率測定
Measurement of
Sound Absorption Coefficient



Fig. 16 舞台上の反射板
Reflector



Fig. 17 建物の外観と内観
Outward and Inside of Building



Fig. 18 天井の吸音率測定
Measurement of
Sound Absorption Coefficient

Table 6 建物概要
Building Summary

所在地:	東京都	座席数:	3202
用途:	体育館	1座席当たりの容積:	12.5m ³
表面積・容積:	11000m ² ・40000m ³	残響時間:	1.6秒

3.4 事例D：体育館の響きの再現

体育館の改修工事の実施設計の段階から、建築音響設計技術を適用した事例を示す（建物概要はFig. 17, Table 6参照）。

計画に際し発注者から示された要望は「改修前の響きを出来る限り再現する」である。改修工事の目的は屋根裏面の耐火被覆の吹き代えであるが、消防法規に関連してルーバー状の木製天井を不燃性の天井に変更して復旧する必要があり、異なる材料を使った響きの再現が課題となった。

実施設計や施工支援では、発注者、設計事務所、工事事務所と協議を重ねながら、木製天井や不燃性変更天井案の部分模型の製作、残響室法吸音率の測定、残響時間の予測計算等を繰り返して、改修前の響きが出来の限り再現される仕様を選定した（Fig. 18参照）。また屋根日射等の温度影響で不燃性の天井が熱伸縮したときに異音を発生しないよう、天井内の温度測定、伸び代や動きを考慮したディテールの検討も行った。

竣工時に確認した残響時間は1.6秒となり、改修前の残響時間1.4秒とほぼ同等の響きが再現された。また改修前に頻繁に聞こえていた天井回りの異音（現場の観察より

風等による屋根の変形が天井に影響を及ぼして発生していると推察された）も、改修後に軽減された。

4. まとめ

本報告では、設計施工の各段階における建築音響設計技術の関わりを説明するとともに、この技術を適用した様々な事例を紹介した。

建築仕様が室内音響に及ぼす影響や建築音響設計技術の適用範囲を関係者間で情報共有していれば、計画変更があっても円滑に対応が進む。一方、事前検討や関係者間の情報共有が不十分な場合は、トラブルの起こる可能性が増大し、対応の遅れや誤った対策の選択、対策費用や工期への多大な影響を引き起こし信用失墜を招く恐れもある。音の問題は幅広い建物用途に存在し、建物の利用開始と同時に顕在化する物も多いので、今後も細心の注意を払いながら建物の品質確保に寄与して行きたい。

末筆ながら、紹介した事例を含む多数の案件で多大な協力を頂いた発注者、設計事務所、協力会社、社内関連部署、他関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 池上雅之：真駒内六花亭ホール店の音響設計，音響技術, No. 141, pp. 60-64, (2008)