

福岡市民ホールの音響設計 -初期反射音制御を基軸とした馬蹄型大規模多目的ホールの設計手法-*

○日根野翔太、宮崎秀生（ヤマハ）、岸永伸二

1 はじめに

文化振興において長年中心的な役割を果たしてきた福岡市民会館が建て替え期を迎え、その後継となる新たな文化拠点として福岡市民ホールは計画された。本施設は、福岡市民会館大ホールの機能を継承しつつ、より大規模な興行にも対応可能な大ホール（固定席：1,994席）を中心に、中ホール（固定席：799席）、小ホール（可動席：150席）、リハーサル室、練習室から構成されている。整備にあたっては、設計・施工・運営までを一括するPFI-BTO方式が採用された。

多目的かつ大規模なホールでは、空間規模等に起因する音響的な課題が生じる。そのため、これらの影響を適切に抑えつつ、多様な用途に対応可能な音場の確保が求められる。本稿では、音響的課題に対応するために大ホールで実施した、初期反射音の制御を基軸とした音響設計手法の一例を中心に紹介する。施設外観を写真1に、施設概要を表1に示す。

2 大ホールの音響設計

2.1 設計コンセプト

大ホールは、生演奏用途（クラシック音楽やオペラ）から拡声用途（ポップス系、演劇、大規模な大会）まで、幅広い用途に対応可能な大規模多目的ホールとして計画された。しかし、大空間であるがゆえに、音響面では直接音や反射音の確保が難しく、特に生演奏用途において音響的に不利な条件であった。また建築面においても、視認性の低下や舞台との一体感の希薄化といった課題が生じた。こうした課題に対応するため、馬蹄型をベースとした客席配置を採用し、観客と舞台との距離を抑えることで、直接音確保による明瞭性の向上と、建築における視認性の確保と一体感の向上を図った。加えて、気積の調整や反射・拡散面の最適化を行い、聴感印象に関わる初期反射音を制御した上で、吸音面を最小化し、十分な後期残響音を確保した。拡声用途においては、電気音響システムの最適化によって、後期残響音による明瞭性の低下を抑制した。これらにより、大規模空間でありな



写真1 施設外観

表1 施設概要

名称	福岡市民ホール
所在地	福岡県福岡市中央区天神5丁目2-2
事業主	福岡市/株式会社福岡カルチャーベース
設計・監理	梓設計・俊設計・戸田芳樹風景計画共同企業体
音響設計	ヤマハ（株）空間音響グループ
施工（建築）	戸田・照栄・占部特定建設工事共同企業体
構造	RC造、S造
階数	地下1階、地上5階
工期	2022年2月14日～2025年1月31日（建物本体工事）

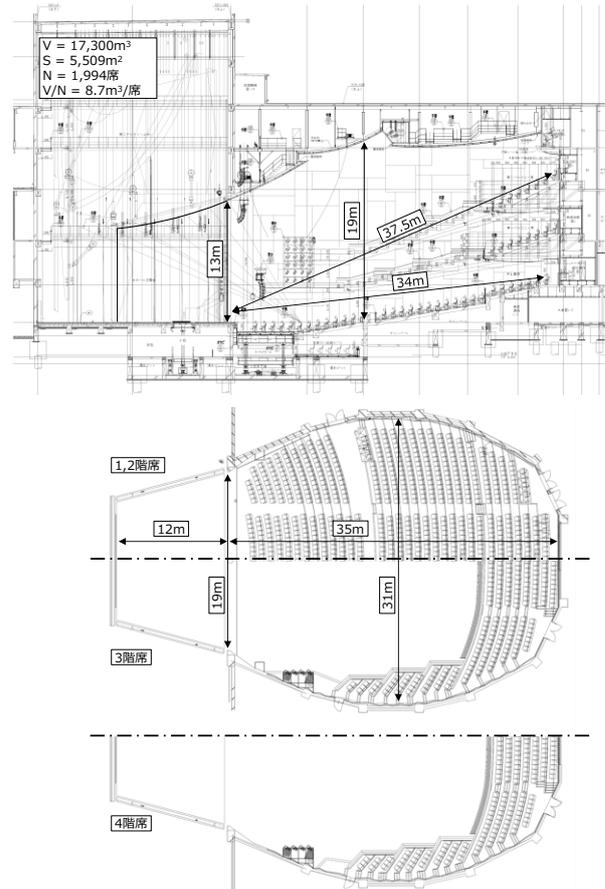


図1 大ホール 平・断面図

*Acoustic design of Fukuoka Civic Hall - Design method for a horseshoe-shaped large-scale multipurpose hall based on early reflection control -, by HINENO Shota, MIYAZAKI Hideo(YAMAHA Corp.), KISHINAGA Shinji.



図2 音響コンセプト

がらも、建築的課題（一体感や視認性）が解消され、生演奏用途では優れた音響性能を、拡声用途では十分な明瞭性を備えた多目的ホールの実現を目指した。

大ホールの平面図および断面図を図1に、音響設計のコンセプトを図2に示す。

2.2 生演奏における適した響きの実現

2.2.1 大規模ホールにおける課題

生演奏を対象とした音場の評価に用いられる音響指標の多くは、初期反射音と密接に関係している。そのため、ホールの音響性能を高め、適した響きを実現するためには、初期反射音の制御が極めて重要となる。しかし、大規模ホールでは空間規模が大きくなるため、①後期までを含む反射音密度の低下、②初期反射音が十分に届かない、などの反射音に対する影響が非常に大きい。また、ホールの基本形状は、視認性や直接音の確保を目的として、馬蹄型を採用しているが、形状に起因する③音響集中の課題も生じた。これにより特に、主階席は側方初期反射音が届き辛い、後部客席は音響集中によって音像定位が不明瞭となることが懸念された。

これら課題について、①を「反射音密度」、②,③を「初期反射音の到達性」として整理し、それぞれの課題を解消するために実施した音響検討とその結果を以下に述べる。

2.2.2 初期反射音制御を基軸とした検討

反射音密度は、空間規模が大きくなるほど、低下する傾向にあるため、反射板形式における気積を $8.7\text{m}^3/\text{席}$ に抑えることで、反射音密度の低下を防いだ。これにより、初期反射音密度の増加による明瞭性の向上と、全反射音密度の増加による音量感の向上を図った。また、後壁の吸音面は、ロングパスエコーを除去するために必要な最小限の面積に留めることで、気積減少に伴う残響感の低下を抑えた。

初期反射音の到達性に関しては、正面及び

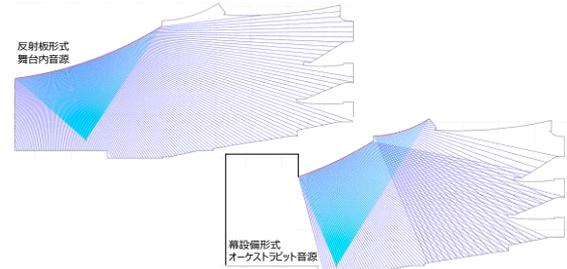


図3 天井面からの1次反射音

側方の到来方向別に、各反射面の形状等を検討し、可能な限り初期反射音を供給・均一化することで音響性能の向上を図った。

正面方向からの初期反射音については、天井形状を最適化することによって確保し、音量感と明瞭性の向上を図った。反射板形式では、天井反射板と客席前天井を連続させ、幕設備形式（オーケストラピット音源）では、客席前と中間天井で反射面を構成し、満遍なく正面方向からの初期反射音が客席に到達する計画とした。舞台及びオーケストラピットを音源とした際の音線図を図3に示す。天井からの1次反射音が満遍なく到達していることが確認できる。

側方からの初期反射音については、音響底による補強と、側壁拡散体による音響集中の緩和によって、拡がり感の向上と均一化を図った。音響底については、2層のサイドバルコニー席を可能な限り舞台側まで延長し、音響底として機能する面を確保した。側壁拡散体については、式(1)を用いて拡散効果が生じ始める周波数(拡散周波数: f_s)を算出し、41~185Hzまでの低音域で拡散効果が得られるよう設定した(計14種)。

$$f_s = \frac{2.4}{a} \times 10^2 [\text{Hz}] \dots (1)$$

ここで a : 拡散体底部寸法[m]である。なお、中高音域では、拡散体単体の寸法が波長と比べて大きくなるため、鏡面反射が支配的になると考えられるが、拡散体角度に幅を持たせ



図4 拡散体配置・寸法・拡散周波数

ることで、反射方向にばらつきを与え、鏡面反射を複雑化させた。拡散体角度については、 10° 以上を目安に調整し、計11種を採用した。さらに、拡散体は位置をずらして配置することで、拡散体底部が音響庇としても機能することを意図した。また、舞台（音源）に近い前方下部の側壁については、音のグレアが生じないように細かなランダムホリブを使用した。拡散体配置、寸法および拡散周波数を図4に示す。拡散体の検証においては、幾何音響シミュレーション（CATT-Acoustic）を用いて、拡散体設置の効果を確認した。反射板形式におけるLEの解析結果を図5に示す。主階席（4箇所平均）では、4%程度の改善が確認できる（12%→16%）。また、後部客席周辺で生じていた音響集中が改善している。ヒストグラムにおいても、音響集中の緩和によって30%を超える過剰な範囲が低下し、適値（20%程度）の範囲が増加している様子が見られる。

2.2.3 音響測定結果

測定結果一覧を表2に示す。

残響時間の周波数特性を図6に示す。反射板形式では、2.5～2.0秒（空席実測値～着席推定値：以降同様）、平均吸音率は0.17～0.21（同様）であり、生楽器に適した響きが確保されている。幕設備形式では、2.0～1.7秒（同様）、平均吸音率は0.21～0.25（同様）であり、オペラ用途に適した響きが確保されている。

音量感と関連するG値は、反射板形式：4.4dB、幕設備形式：1.5dB（いずれも標準偏差1.1dB）であり、同規模ホールと同等以上の音量感が得られる音場となっている。

拡がり感と関連するLEは、反射板形式：18%とコンサートホールに近い値が得られている。また、後部客席で懸念されていた音響集中による過剰な値は確認されなかった（最大値28%）。

楽音の明瞭性と関連するC₈₀は、反射板形式：-1.2dB、幕設備形式：2.5dBであり、いずれも同規模ホールと同等以上の楽音に対する明瞭性が確保されている。

以上より、反射板形式は生楽器に適した豊

底部寸法[m]	奥行寸法[m]	角度[°]	拡散周波数[Hz]
1.3	0.2	17	185
1.7	0.3	19	139
1.8	0.2	13	133
2.3	0.3	15	107
2.6	0.3	13	93
3	0.2 or 0.3	8 or 11	80
3.2	0.6 or 0.7	21 or 24	75
3.4	0.6 or 0.7	19 or 22	71
3.5	0.4	13	69
3.6	0.6 or 0.7	18	67
4	0.4	11	60
5	0.6 or 0.7	13	48
5.4	0.6 or 0.7	13	44
5.8	0.6 or 0.7	12	41

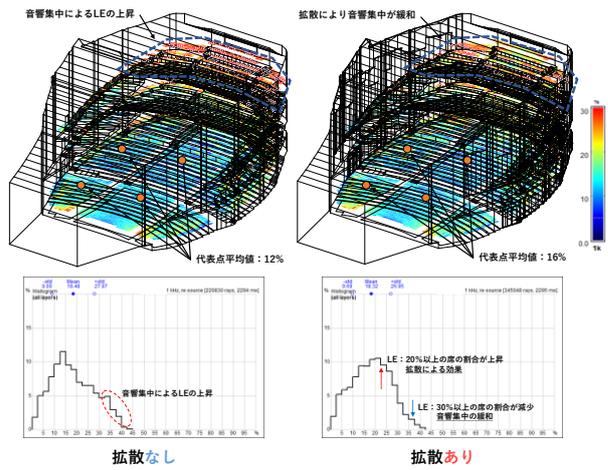
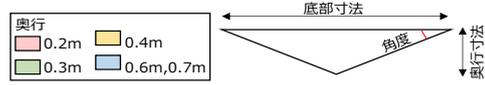


図5 幾何音響シミュレーション結果（LE）

表2 測定結果一覧

	音響指標	反射板	幕設備
生音	RT（空～着）	2.5～2.0	2.0～1.7
	G	4.4dB	1.5dB
	LE	18%	—
	C ₈₀	-1.2dB	2.5dB
SR	音圧分布	—	3.5dB
	STI	0.52	0.56

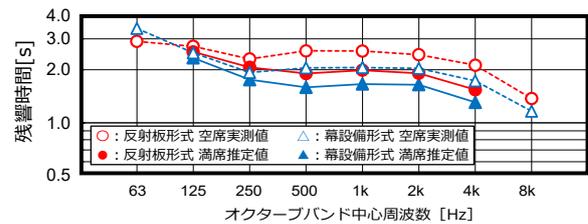


図6 残響時間周波数特性（大ホール）
かな響きを備えており、幕設備形式はオペラ用途に求められる明瞭性・音量感・残響感のバランスに優れた音響性能を有していると考えられる。

2.3 拡声音の明瞭性確保

拡声主体となる明瞭性が重視される用途に対しては、電気音響設備を最適化（スピーカー配置およびシステム調整）した上で、後壁吸音によってロングパスエコーを抑制し、明瞭性を確保する計画とした。

スピーカー配置については、音響シミュレーションにより、配置と台数を最適化し、明

瞭かつ均一な拡声を図った。加えて、サイドカラムスピーカーをメインとし、設置高さを抑えることで、話者の近くに音像が定位するよう配慮した。各補助スピーカーは、全て露出配置とすることで舞台方向から音が届き、定位感を損なわない構成とした。

STI の測定結果は、0.56 (Fair) であり、問題のない明瞭性が確保されている。なお、反射板形式の STI は、0.52 (Fair) であり、影アナ時の明瞭性も確保されている。音圧分布(最大値と最小値の差)の測定結果は、3.5dB であり、音圧分布の均一化が実現できている。

聴感においては、響きが長い中でも良好な明瞭性と舞台への自然な定位感が確認された。

3 中ホールの音響設計

中ホールは、演劇用途を主体とした多目的ホールとして計画されている。そのため、幕設備形式時の響きを抑え明瞭性を確保しつつ、肉声をサポートする初期反射音を確保することを重視した。電気音響設備については、大ホールと同様のコンセプトと、本格的な演劇にも対応可能なスピーカー配置(プロセニアム LR カラム、ウォールスピーカー)とした。反射板形式においては、シューボックスを基本形状とし、各部に拡散を配置することで、十分な初期反射音を得られる音場とした。音響コンセプトを図7に示す。

幕設備形式の残響時間は1.2~1.1秒(空席実測値~着席推定値:以降同様)、平均吸音率は0.26~0.27(同様)であり、拡声を主とする音場として、響きが抑えられている(図8参照)。STIは、0.62 (Good) であり、十分な明瞭性が確保されている。

反射板形式の残響時間は1.6~1.5秒(同様)、平均吸音率は0.20~0.22(同様)であり、生演奏に適した響きが確保されている。LEは、21%とコンサートホールと同等の値であり、十分な拡がり感が得られる音場となっている。

4 小ホール・リハーサル室の音響設計

小ホールおよびリハーサル室はともに矩形形状であるため、天井面および側壁を拡散形状とし、フラッターエコーの回避を図った。聴感上もフラッターエコーは認められず、良好な音場であることが確認されている。各室の拡散形状を写真2に示す。

5 遮音・騒音制御

図9に主要な遮音性能とNC値の測定結果を示す。大ホールと中ホールが最も近接する各ホールの搬入口の床(1階)には、Exp.Jを設け、高遮音パネルシャッターを各ホールで2重化とすることで、Dr-80以上の遮音性能を確保した。小ホール、リハーサル室、練習室については、大ホールと中ホールに隣接しているため、浮構造を採用し、Dr-75~80の遮



図7 中ホール音響コンセプト

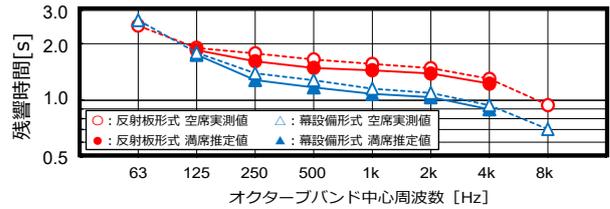


図8 残響時間周波数特性(中ホール)



写真2 拡散形状(小ホール・リハーサル室)

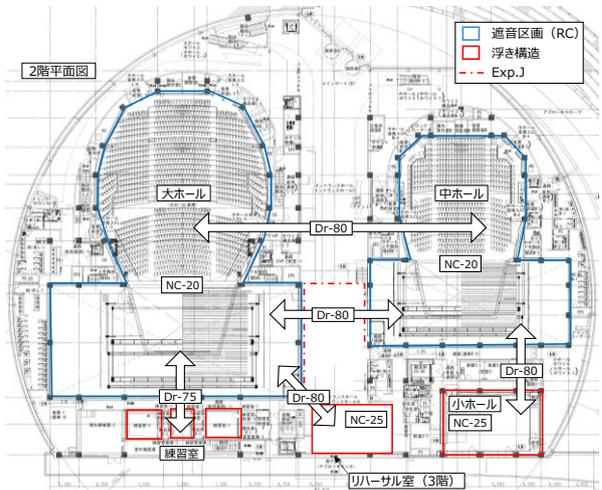


図9 遮音・騒音測定結果

音性能を確保した。空調設備稼働時のNC値は、大・中ホールでNC-20、その他はNC-25であり、問題のない静けさが確保されている。

6 おわりに

2025年3月29日に行われた柿落とし公演を皮切りに、当施設は様々なイベントで頻繁に利用されている。本施設が今後も市民の文化振興の拠点として長く愛され、幅広く活用されることを期待する。

参考文献

[1] 松井, 建築学会論文集, 67号, 143-152, 1961.