

# 新潟市民芸術文化会館の大規模改修工事に伴う音響設計 —大型複合施設における室内音響の保存と音響設備の更新—\*

○高橋顕吾（ヤマハ）、清水寧（S/F Design Lab）

## 1 はじめに

本施設は1998年竣工し、数々のイベントを通して音響については一定の評価が得られてきた<sup>[1]</sup>。その後、設備を中心に定期的なメンテナンスや不具合箇所の改修が行われてきたが、年月を経て施設全体の老朽化が進み、竣工後15年目の2013年を機に大規模改修に向けた老朽度調査を開始した。そして定評のある「室内音響の保存」と一部で課題となっていた「拡声音場の改善」に主眼を置いて改修計画が検討された。また、施設の利用率が高く長期休館が困難なことや、技術的に高度な施工を要する天井耐震化を伴うため、工事については大規模改修工事を2期に、コンサートホール特定天井改修工事を3期に分けて行われた。表1に工事概要を示す。なお、遮音・騒音については一部のトイレの固体音対策以外は設備更新と耐震化のみ対応が行われた。

表1 工事概要

年.月	工事内容
2013.8~11	老朽度調査
2015.5~2019.3	大規模改修構想~設計~監理* <sup>1</sup>
2016.7~2017.8	大規模改修工事1期* <sup>2</sup> (コンサートホール衛生・劇場天井・空調、 コンサートホール・劇場舞台設備中心)
2018.2~2019.3	コンサートホール特定天井改修工事* <sup>3</sup>
2018.8~2019.3	大規模改修工事2期* <sup>4</sup> (コンサートホール・劇場舞台床、 能楽堂天井・舞台設備中心)
*1) 設計・監理 ・建築設計:長谷川逸子・建築計画工房 ・構造設計:金箱構造設計事務所 ・設備設計:森村設計 ・音響設計:清水寧、ヤマハ空間音響グループ ・機構設計(大規模改修1期):空間創造研究所 *2) 施工:丸茂電気・興電社・電友JV、カヤハシステムマシナリー、 ヤマハサウンドシステム・民電・ヨコセJV、福田組、大宗建設工業 トース新潟・三研・峯栄JV、新潟興業・新潟日立・越配JV *3) 施工:福田組 *4) 施工:興電・荻荘JV、民電社、伊藤組	

## 2 コンサートホールの改修

コンサートホールはアリーナ型ホールの特徴を生かした明瞭度と残響感のバランスのとれた室内音響として高い評価が得られている。その一方アリーナ型の客席全域に十分な拡声サービスが困難であり、一部の席でアナウン

スが聞き取り難いことが課題となっていた。

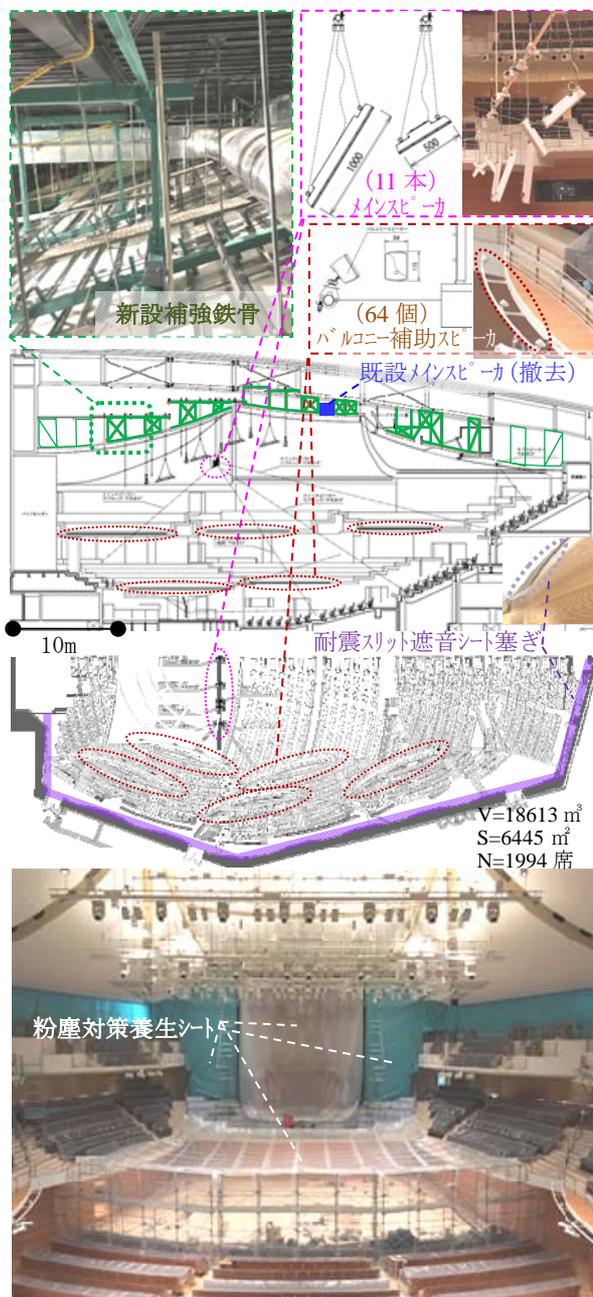


図1 コンサートホール平面断面・内観

### 2.1 室内音響の保存

老朽度調査において竣工時の音響特性が概ね維持されており、今回の改修においてもこれを保存することを目標とした。

\* Acoustic Design for the renovation of the Niigata City Performing Arts Center - conservation of room acoustics and renewal of PA systems in a large complex, by TAKAHASHI Kengo(YAMAHA Corp.) and SHIMIZU Yasushi(S/F Design Lab.)

### (1) 特定天井改修工事

コンサートホールの天井は残響（室容積）確保と音場の拡散性向上の観点から中央部分が高くなるように複数の曲面で構成されている。この複雑な形状を撤去・復元することが困難なため天井を残置したまま新たに鉄骨を設けて補強（準構造化）することとした。またホール利用率が高く長期休館が困難なため工事は3回に分けて施工することになり、各工期終了前に補強部材の取付けに伴うビリツキ有無をチェックした。その際、音源は楽器の中で最も大きな音量を発生するオルガン

（単音階）および劇場の移動型スピーカ（純音スイープ）を用いた。併せて空調も運転して異常な騒音・振動の有無を確認した。その結果、既設のダクトやスピーカとそれらの支持部材でビリツキやガタツキが発見され、補強・制振対策により全て是正された。

また、天井耐震化に際して、天井端部に耐震スリットを設ける必要があり、この開口が残響時間や空調騒音に影響することが懸念されたため、全ての開口を遮音シートで塞いだ。

### (2) 舞台床改修工事

天井以外の内装については、舞台床の痛みが激しく全面貼り替えることとした。既設床（松集成材t15+下地合板t12+18+18）は、表面の集成材が薄かったため、今後の長期使用に際して研磨による補修ができるように集成材の比率を大きくした（改修後：松集成材t27+下地合板t18×2枚）。なお、上記の天井スリットと舞台床工事に伴う粉塵がオルガンへ飛散するのを防ぐため、各施工箇所とオルガン本体の養生や給排気等による埃対策が徹底して行われた。

### (3) 測定結果

改修前後の残響時間の測定結果を図2に示す。これより天井スリットや天井補強に伴う残響時間の変化は全くないことが分かる。その他の主要な室内音響指標（C80, LE, ST）も改修前後ではほぼ変化がなく、目標である音響保存が実現されていることが分かる（表2参照）。

舞台については床貼り替えによる剛性の変化を確認するため駆動点インピーダンス(Lz)を測定した（図3）。改修前後のLz（500Hz以下）は舞台床中央部で5~10dB増加しているが、上手昇降床では±3dB以内と変化が小さい

ことが分かる。これは木束立ての舞台床中央部での経年劣化が激しく、今回の貼り替え工事で低下していた剛性が改善されたためと考えられる。

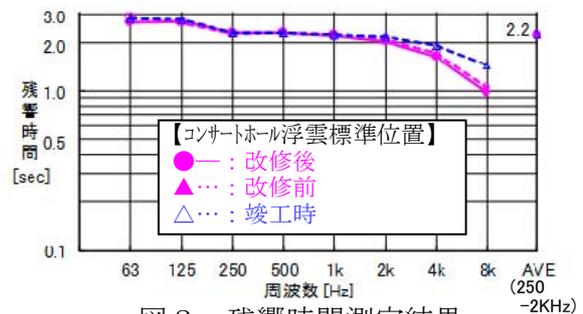


図2 残響時間測定結果

表2 C80・LE・ST測定結果（コンサートホール）

指標	改修前/改修後
C80 [dB]*	-0.4 / -0.3
LE [%]*	15.3 / 15.0
ST1 [dB]*	-13.2 / -13.2
ST2 [dB]*	-11.5 / -11.7

\*) 500~2kHz 平均、STは舞台上12点、他は客席内10点平均

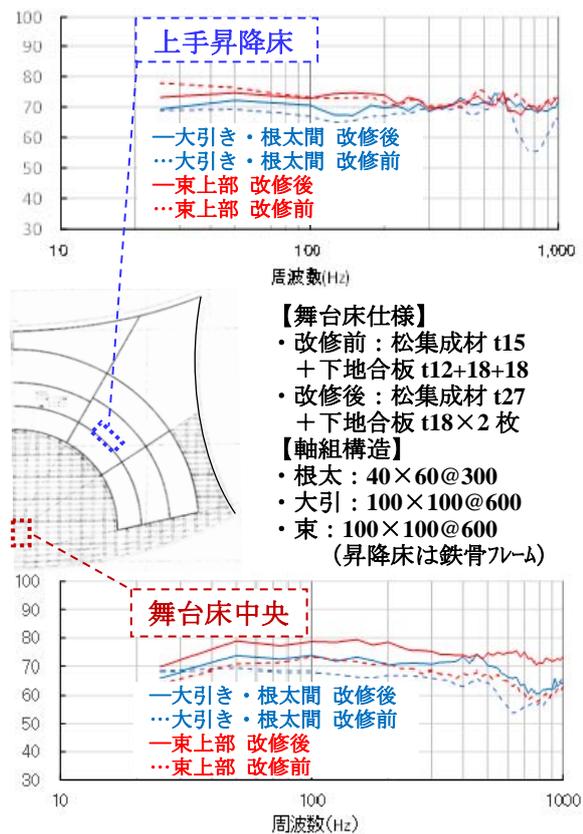


図3 Lz測定結果

### 2.2 音響設備の更新

今回の改修では音響卓から周辺機器・アンプ・スピーカまでほぼ全ての機器を更新するとともに回線のデジタル化により明瞭かつノイズレスなシステムに改良されている。

### (1) スピーカ構成

竣工時のスピーカは天井中央上部に集中配置されていたが、客席との距離が遠く、かつ残響も長いことから十分な明瞭度の確保が難しいため、竣工後に舞台先端上部のフライングスピーカとバルコニー先端の補助スピーカ（いずれもポイントソース型）が追加された。今回の改修では、さらに明瞭度を向上させるためにフライングスピーカ（BOSE/502）をトーンゾイレ型のラインアレイスピーカ（Karay/KP52, 102）に変更するとともに、バルコニー先端の補助スピーカも更新・追加（Panasonic/A10→JBL/control52）した。その際、意匠性を考慮して小型化を図っている。

### (2) 測定結果

改修前後での明瞭度（STI）の測定結果を図5に示す。これよりサイドバルコニー席においてSTIが0.01～0.05改善されていることが分かる。聴感上は正面バルコニー席でも聞き取りやすさが改善されていることから、清水ら<sup>[2]</sup>が提唱している「音の際立ち」に着目して、初期音と後期音の両耳間クロススペクトルの比（IaCSR, 式(1)）を計測した。

$$IaCSR = 10 \text{Log} (\Phi Irs / \Phi Ira) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

$\Phi Irs$  : 「初期音 (0～50ms)」 のクロススペクトル

$\Phi Ira$  : 「後期音 (50ms～∞)」 のクロススペクトル

式(1)は、暗騒音下での音声の了解度を評価するために考案されたもので、 $\Phi Irs$ が音声のクロススペクトル、 $\Phi Ira$ が暗騒音のクロススペクトルに相当し、IaCSRが大きいかほど音が際立ち（音像がクリアになり）、音節が聞きとりやすくなると考えられている。改修前後での測定結果より、正面バルコニー席においてIaCSRが2～4dB増加しており、拡声音の方向感が明確になり聞き取りやすさが改善していると考えられる。

## 3 劇場の改修

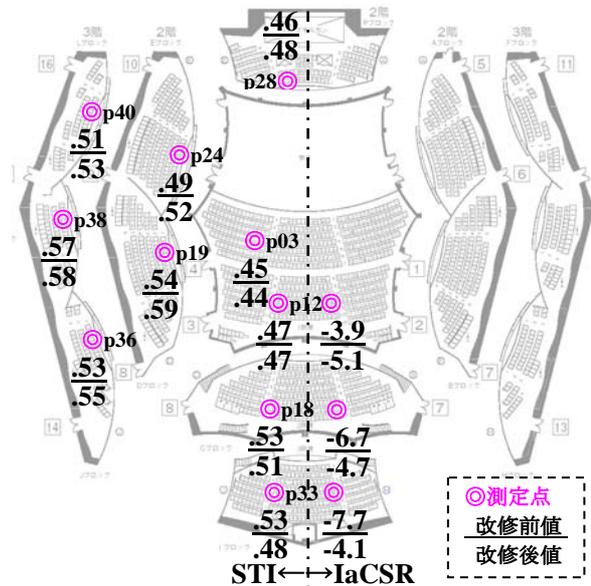
生声の迫力や臨場感を重視したライブ指向の劇場として定評があり、公共ホールとしては珍しい専属舞踊団（Noism）が存在する。

### 3.1 室内音響

#### (1) 天井・舞台床改修工事

隣接するコンサートホール、および上階の能楽堂との遮音性を確保するため本劇場は

完全浮構造となっている。既存の遮音天井は構造梁に防振支持された鉄骨に直接固定されており耐震化が不要のため残置された。耐震スリットも不要のため遮音欠損の懸念もなかった。但し、内装天井が上記鉄骨の下部にLGSを介して支持されていたため、天井ボードを一度撤去してLGSを補強した上、新しい天井ボードを剛着（準構造化）した。



指標	改修前/改修後
STI	0.51/0.51
IaCSR[dB]	-6.1/-4.6

図5 STI・IaCSR測定結果

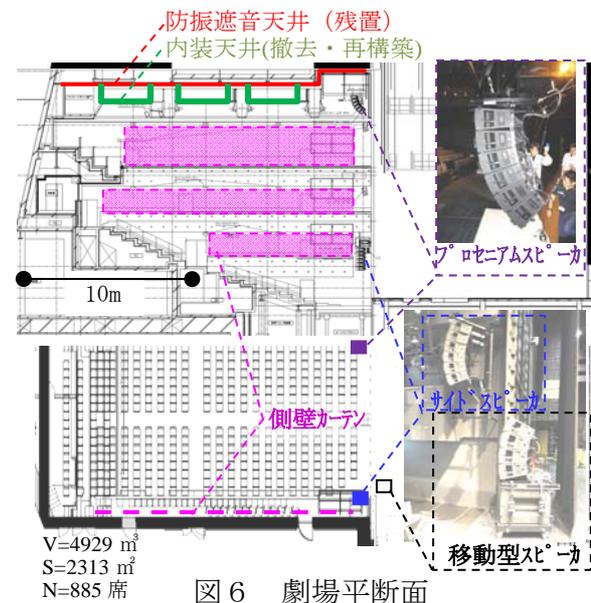


図6 劇場平断面

舞台床は劇場の用途からコンサートホール以上に老朽化が激しく、上手舞台袖を除き既存床と同じ仕様（ヒノキ集成材t24+コンパネt12×2枚）に貼り替えられた。

## (2) 測定結果

改修前後の残響時間および音量 (G)・明瞭度 (STI) の測定結果を図 7 および表 3 に示す。今回の改修では内装がほぼ全て復元されているため、いずれの測定結果も改修前後でほとんど変化は認められない。

### 3.2 音響設備の更新

#### (1) スピーカ構成

既設スピーカは舞台開口部にサイド・プロセニアムスピーカ (ポイントソース型) が配置されていたが、客席内装が側壁カーテン以外ほぼ全て反射性のため、客席前方において客席後壁からのエコーが若干検知された。今回の改修ではサービスエリアの最適調整が可能なマルチセルラー方式のアレースピーカ

(Martin/MLA) が導入された。これにより音圧分布の均一化とともに客席後壁からのエコーが低減するように指向特性を制御している。

#### (2) 測定結果

改修前後での STI と IaCSR の測定結果を図 8 に示す。これより明瞭度 STI は、主階席前方とサイドバルコニー席において 0.02~0.04 改善されている様子が伺える。また、音の際立ちを表わす IaCSR は、正面席とサイドバルコニー席で 1~2dB 改善されていることが分かる。

## 4 能楽堂の改修

本格的な能舞台を持つ能楽専用ホールであるが、能・狂言のほか邦楽や落語まで日本の伝統芸能全般に用いられてきた。近年では室内楽等の演奏会や講演会にも利用されている。

### 4.1 改修内容

建築内装については特定天井改修工事のみ行われた。能舞台への影響を考慮してコンサートホール同様に既存天井を残置したまま新たに鉄骨を設けて耐震補強 (準構造化) した。なお、構造上耐震スリットが不要のため室内音響が変化する要因は全くない。

音響設備は場内アナウンスやレクチャー程度の簡易な拡声設備が主体であるが、他ホール同様、老朽化対応のための機器の更新や回線のデジタル化の他、近年の用途拡大に伴い入出力回線や舞台内の固定モニタースピーカが追加された。

### 4.2 測定結果

改修前後の残響時間と明瞭度の測定結果を

表 4 に示す。いずれも改修前後でほぼ同値であり、拡声音場を含めて既存の良好な音響状態が保存されていることが分かる。

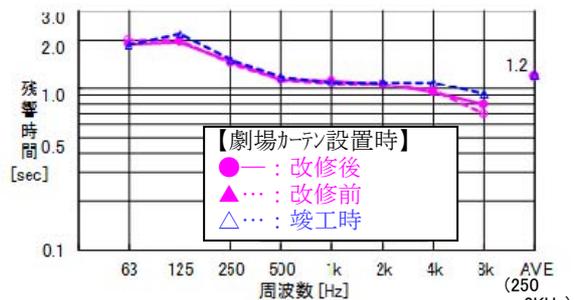
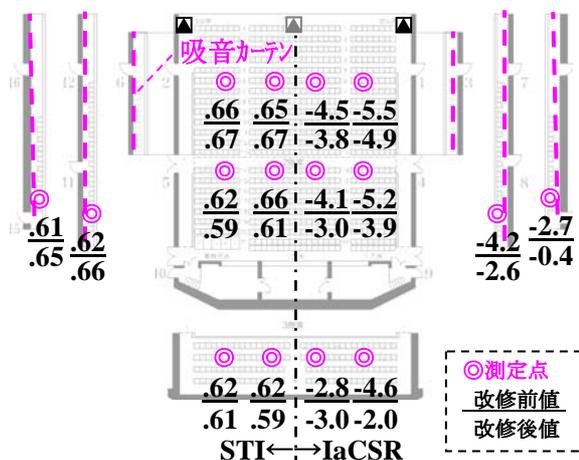


図 7 残響時間測定結果

表 3 G・STI測定結果 (劇場カーテン設置時)

指標	改修前/改修後
G[dB]*	2.2/2.0
STI	0.60/0.60

\*) 500~2kHz 平均、客席内 8 点平均



指標	改修前/改修後
STI	0.63/0.63
IaCSR [dB]	-4.2/-2.9

図 8 STI・IaCSR 測定結果

表 4 測定結果

指標	12面体SP使用時 改修前/改修後	音響設備使用時 改修前/改修後
RT60[s]*	0.89/0.91	—
$\bar{\alpha}$ *	0.34/0.33	—
STI	0.60/0.60	0.74/0.75

\*) 250~2kHz 平均、客席内 6 点平均

## 5 まとめ

今回 2013 年の調査からスタートして 6 年の歳月をかけて建策の修繕・耐震化および設備の更新が行われ無事甦った。改修後のコンサートも概ね好評を得ている。今後も新たな感動創出の場として発展することを期待する。

### 参考文献

- [1] 清水他, “直接音の伝播効率を重視したアリーナ型コンサートホールの音響検討”, 日音講論, 1999年3月, p789
- [2] 大熊, 清水”複数の音源が存在する場合の「音の際立ち」の知覚と数値化”, 東工大修士論文, 2013年2月