

## ノート

## 数値シミュレーションによる不整形残響室の拡散性の評価

渡辺 茂幸<sup>\*1)</sup> 神田 浩一<sup>\*1)</sup> 服部 遊<sup>\*1)</sup> 西沢 啓子<sup>\*1)</sup> 横山 幸雄<sup>\*2)</sup>

## Estimation of diffuseness of an irregularly shaped reverberation room by numerical simulation.

Shigeyuki Watanabe<sup>\*1)</sup>, Koichi Kanda<sup>\*1)</sup>, Asobu Hattori<sup>\*1)</sup>, Keiko Nishizawa<sup>\*1)</sup>, Yukio Yokoyama<sup>\*2)</sup>

キーワード：残響室，拡散性，音圧（レベル）分布

Keywords：Reverberation room, Diffuseness, Distribution of sound pressure (level)

## 1. はじめに

残響室は，各種音響材料の吸音率測定をはじめとして，音響透過損失や各種機器の音響パワーレベルの試験に使用している。これらの測定を目的とする使用に適合するためには，室内の残響時間，音の拡散性などの音響特性を把握しなければならない。なかでも取り分け要求される条件の一つとしては十分な拡散音場が得られることが挙げられ，この拡散音場の一つの評価として音圧（レベル）分布の標準偏差が小さいことが望まれる<sup>(1)</sup>。

当センター西が丘本部の不整形七面体残響室（以下，既存残響室）は，昭和43年度に建設されたもので，これまでに様々な材料の残響室法吸音率測定などの試験を行い，中小企業支援に努めてきた。平成23年度には新本部への移転に伴い，形状・容積等がこれまでとは異なる残響室（以下，新残響室）が完成する。そのため，早期の試験業務開始のためには，新残響室内の音圧レベル分布，残響時間などのデータ収集・調整および既存残響室の音響特性との比較検討などが急務である。そこで，本研究では，まず既存残響室を対象に実測とそれに対応する数値シミュレーションを行い，両結果の比較から数値シミュレーションの有用性を確認する。その後，新残響室を対象として，室内の拡散性の予測および評価を音圧レベル分布の標準偏差より検討を行う。なお，今回の研究では，1/3オクターブバンド中心周波数125Hzを対象とした。

## 2. 既存残響室での比較検討

2.1 実測とシミュレーションの概要 既存残響室を対象に室内の音圧レベル分布について比較検討を行った。図1及び表1に既存残響室の概略を示す。残響室の形状は不整形七面体で，容積は約451m<sup>3</sup>，表面積は約353m<sup>2</sup>であり，内装は3cm厚の人造石研ぎ出しである。受音点は図1に示す

高さ1.5mの受音面内(4m×4m)に計441点(0.2m間隔，P1～P441)設けた。音源Sには12面体スピーカを用い，B点より約1m離れた高さ0.9mの位置に設置した。放射する試験音にはホワイトノイズを使用し，1/3オクターブバンド分析を行った。なお，試験音を放射してから8秒後に測定を開始し，受音点毎に30秒の時間平均を施した。

数値シミュレーションには境界要素法(BEM)を採用した市販の音響解析ソフトウェアWAON（以下WAON）を使用した。既存残響室のモデル化では，図1に示す頂点を結んだ面のみで簡易的に近似した。受音点および音源位置については実測と同様に設定し，音源は点音源を，壁面の境界条件はインピーダンスを $3.3 \times 10^5$ と仮定した。今回は各受音点の音圧レベルを111Hzから141Hzを1Hz毎に計算し，周波数領域で2乗積分した結果をホワイトノイズでの実測結果と比較した。

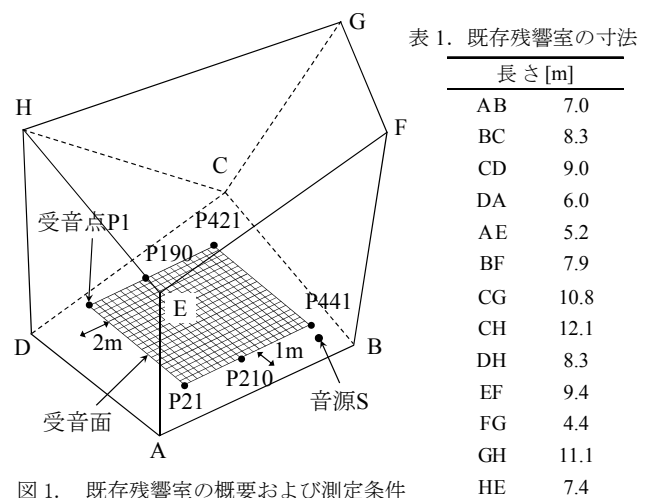


図1. 既存残響室の概要および測定条件

2.2 結果および考察 ホワイトノイズでの実測とWAONにより得られた音圧レベル分布性状を比較して図2に示す。横軸は受音点，縦軸は相対音圧レベルであり，両結果は全受音点の音圧レベルの平均値を揃えて表示した。

\*1) 光音技術グループ

\*2) システムデザインセクター

両結果の音圧レベル分布性状は良く一致しており、数値シミュレーション結果は概ね実測値の特徴を捉えている事が確認できる。また、両結果の相関係数は 0.70 であった。次に、各受音点の音圧レベルを 0.5Hz 毎に求めて結果を比較したところ、その相関係数は 0.74 と大きくなった。

音圧レベル分布の標準偏差は、実測で 0.9dB、数値シミュレーションで 1.2dB であり、実測結果に対して数値シミュレーション結果は、標準偏差で 0.3dB の差が生じることが分かった。

以上より、頂点からなる面のみで近似された簡易的なモデル形状で行った結果であるが、概ね実測値の特徴を捉えるための有用な手段となると考える。また、各受音点の音圧レベルをより細かく計算し、周波数領域で 2 乗積分することで、実測値に近い値が算出できることが分かった。新残響室を対象とした検討では 0.5Hz 毎に計算することとした。

### 3. 新残響室内の音圧レベル分布予測および評価

**3.1 シミュレーションの概要** 対象とした新残響室の概略を図 3 及び表 2 に示す。形状は不整形七面体であり、容積は約 265m<sup>3</sup>、表面積は約 248m<sup>2</sup> である。要素幅および境界条件については 2.1 と同様に設定した。受音面の高さは 1.0m から 3.0m まで 0.5m 間隔で 5 平面とした。また、受音面 1 面内に計 532 点 (0.2m 間隔) の受音点を設けた。音源の高さを 0.1m とし、音源 S1 は室中央付近に、S2 から S6 までそれぞれ近傍の壁面から 1.0m 以上離れた位置に仮定した。各受音点の音圧レベルは 111Hz から 141Hz までを 0.5Hz 毎に求め、周波数領域で 2 乗積分した。

**3.2 結果および考察** WAON により得られた新残響室内の音圧レベル分布の標準偏差を表 3 に示す。標準偏差が最も小さいところで 1.2dB、大きいところでは 2.3dB であり、音源位置および受音面の違いによる音圧レベル分布性状が確認できた。また、全受音面における標準偏差の公差は 1.1dB であり、音源位置により多少異なるものの、全受音面の中で反射面(壁面、床面など)に一番近い高さ 1.0m の受音面で、他の高さに比べて標準偏差が大きい値を示す傾向があることが示唆された。以上より、実際の試験時における音源および受音点の目安となりうる位置が把握できた。また、反射面に近い位置に受音点を設ける場合には、標準偏差が大きい値を示す可能性があるため、注意が必要であることが分かった。

残響室内の拡散性の一つの評価として JIS Z 8734 および ISO 3741 の残響室内の平均音圧レベルの許容標準偏差があり、中心周波数 125Hz における許容標準偏差は JIS で 1.5dB、ISO では 3.0dB となっている。これらの規格を参考にして今回の数値シミュレーション結果より算出した標準偏差は 1.7dB であった。僅かに JIS の許容標準偏差を 0.2dB 満たしていないものの、実測結果と数値シミュレーション結果の誤差を考慮すると、実際の試験時に音源位置及び受音点を調整することで基準を満たすことは可能であると考えられる。

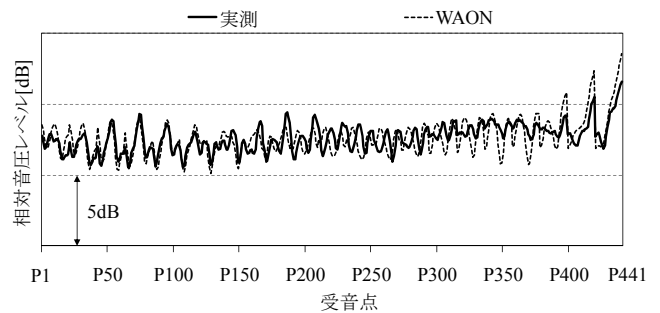


図 2. ホワイトノイズでの音圧レベル分布性状 (既存残響室)

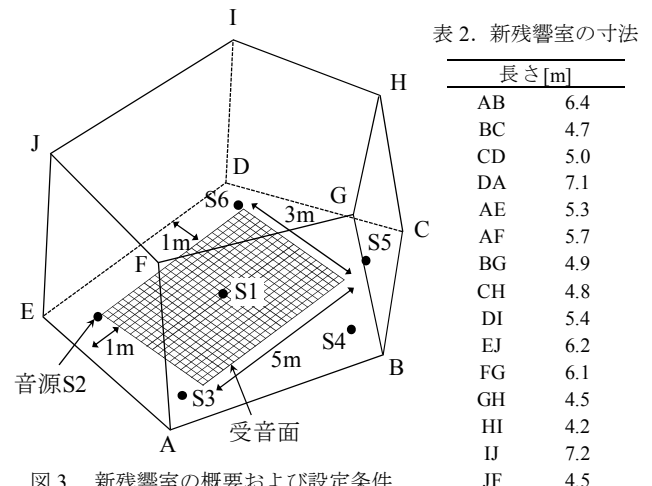


図 3. 新残響室の概要および設定条件

表 3. 新残響室における音圧レベル分布の標準偏差

	音源 S1	音源 S2	音源 S3	音源 S4	音源 S5	音源 S6
高さ 1.0m	1.8	1.8	1.2	2.3	1.6	2.1
高さ 1.5m	1.7	1.2	1.4	1.9	1.3	1.7
高さ 2.0m	1.8	1.2	1.7	1.5	1.4	1.6
高さ 2.5m	1.5	1.5	1.4	1.2	1.7	1.2
高さ 3.0m	1.2	1.3	1.5	1.5	1.8	1.3
全受音点	1.8	1.7	1.5	1.9	1.7	1.9

単位: [dB]

### 4. おわりに

本研究では、実測と数値シミュレーションによる既存残響室内の音圧レベル分布性状について比較し、その有用性が確認できた。また新残響室を対象に室内の拡散性(音圧レベル分布)について予測・評価を行い、実際の使用時における音源および受音点の目安となりうる位置が把握できた。今後は、本研究の結果を基に、新本部での技術支援に向けて、早急な音響試験室の調整および試験業務開始を目指す。

(平成 23 年 5 月 20 日受付, 平成 23 年 8 月 2 日再受付)

### 文 献

- (1) 高橋雅保:「音響実験施設の設計・施工の留意点」, 騒音制御, Vol28, No.3, P147~154 (2004)
- (2) 富来礼次, 大鶴徹:「有限要素法による不整形残響室内音場解析」, 日本建築学会計画系論文集, 第 551 号, 9-15 (2002)