Mixed Reality 技術を用いた音響シミュレーション

Acoustic Simulation with Mixed Reality

5117E025-8　古澤 苑子　　指導教員　及川 靖広　教授
FURUSAWA Sonoko　　Prof. OIKAWA Yasuhiro

概要：音響設計においては，室内の音の伝搬を調べるために数値シミュレーションを行うのが一般的であり，さらに必要に応じて模型や実物の部屋で実測実験を行い，聴感的な評価をしながら詳細を検討する．しかしシミュレーションは，モデル化された室形状と実空間との対応が直感的にはわかりにくいことがある．また実際に音響測定を行う評価手法に関しては，聴感的な評価が主な評価手法であり，視覚的な情報提示の事例はほとんど見られない．実空間を見ながら，シミュレーションを行うのと同様に音の挙動を視覚的に確認することができれば，より直感的な室形状の検討が可能になることが期待される．そこで本研究では，近年その応用例に注目の集まる Mixed Reality 技術を用いて，音の伝搬や反射を実空間上に提示するシステムを提案する．模型や実物の部屋を用いてシミュレーション実験を行い，空間中の音の伝搬や反射を視覚的に確認，把握することができた．

キーワード：音響設計、音伝搬、室内音場シミュレーション、模型実験、複合現実感
Keywords: acoustic design, sound propagation, room acoustic simulation, Mixed Reality

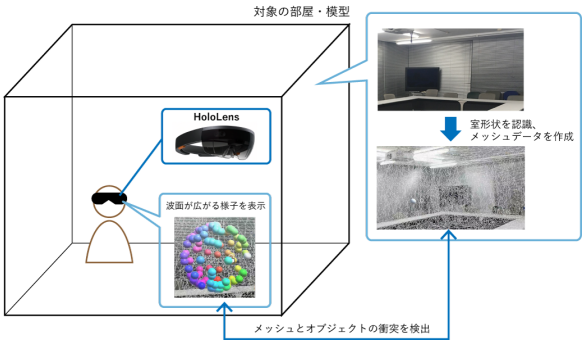
1. ま え が き

音響設計においては，室内の音の伝搬を調べるために数値シミュレーションを行うのが一般的である．コンサートホールなどの複雑な形状の空間を設計する際には，さらに模型実験を行い聴感的な評価をしながら詳細を検討することが多い [1]．しかし模型実験における視覚的な情報の提示はほとんど例がなく，音の伝搬を視覚的に確認して検討することは設計初期のシミュレーションにゆだねられている．そこで本研究では，MR 技術を用いて模型などの実空間内で，音の伝搬の様子を視覚的に提示する手法を提案する．球面波を放射状に広がる多数の球状オブジェクトで模擬して音の伝搬を追跡し，その様子を MR 技術を用いて実空間に重ねて表示するシステムを構築した．

2. 音 響 設 計

劇場・ホールなどの音響設計に使用する検討ツールとしては，室内音場シミュレーションと縮尺模型実験があげられる [1]．室内の音の伝搬をシミュレーションを用いて確認して基本的な室形状を決め，ホールなど，さらに詳細な検討が必要な空間を設計する際には縮尺模型を用いて模型実験を行う，という流れが主な手順である．また既存の施設の改修，改築といった目的で改めて音響設計を行うため，実大の部屋で音響測定を行うこともある．

室内音場シミュレーション [2, 3] は短時間で音の伝搬を検討できることから音響設計の主要な手法として取り入れられている．現状ではモデル化された室形状のデータ上でシミュレーションの結果を確認することになり，模型や部屋の実際の空間との対応が直感的には把握しにくい面がある．



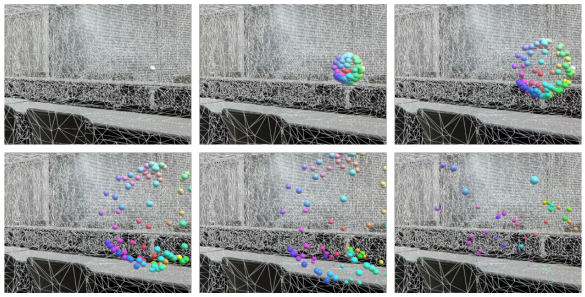
図–1: 提案システム概略図

一方で音響模型を用いる模型実験や既存の部屋を用いる実大実験では，シミュレーションでは再現の困難な建物の詳細な部分まで考慮して検討を行うことが可能であるが，検討方法は音の響きの可聴化による聴感的な評価がほとんどであり，視覚的な情報を提示して検討を行った例はほとんどない．

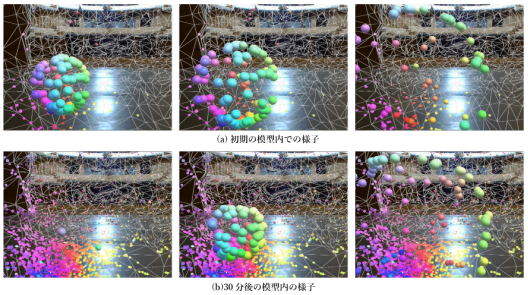
3. 提案システム

本システムでは，Microsoft 社の HoloLens を用いて，模型内にリアルタイムで音の伝搬を表示する．図–1 のように HoloLens によって取得した空間の形状情報に基づいて球状オブジェクトの衝突を検出し，物理演算によって反射させている．システムが開始すると，HoloLens は室空間の形状を認識，取得する．室形状の認識が完了すると音源位置から複数個の球状オブジェクトが拡散する．球面波が広がる様子は，球状オブジェクトを放射状に拡散することで模擬されている．

HoloLens によって測定された形状のデータに従って，



図–2: 室内での球状オブジェクトの伝搬と反射の様子



図–3: 模型内での球状オブジェクトの伝搬と反射の様子

放射された球状オブジェクトが壁面や物体上での反射を繰り返しながら空間を伝搬する軌道を，音の伝搬経路とみなす．球状オブジェクトの反射が，同方向に放射された音の反射に対応しており，その挙動を通して音の伝搬や反射の様子を確認する．

それぞれの球状オブジェクトの色は，音の放射方向に対応している．また，球状オブジェクトが衝突した位置にはその球状オブジェクトと同じ色のマークが表示される．この色表示によって，それぞれの球状オブジェクトがどの方向に放射されたのか，各方向に放射される音がどこで反射するのかなど，空間内の音の反射の傾向を把握するのに役立つことが期待される．

4. 室形状データの精度評価実験

本システムでは Hololens で認識した室形状データに基づいて構成された室形状メッシュを実際の空間形状とみなしてシミュレーションを行う．このとき実際の部屋や模型の寸法と認識された空間の寸法が大きく異なっていてはシミュレーション結果にずれが生じてしまう．そこで比較的単純な形状の部屋で取得したメッシュデータと，実寸との差を比較する実験を行った．部屋の寸法に関しては数センチ程度の差異が見られるが，部屋の大きさに対する誤差は 1 %前後であるという結果が得られ，ある程度高い精度で認識されていることが確認できた．

5. シミュレーション実験

既存の部屋および音響模型の空間内で，提案システムを用いてシミュレーション実験を行った．100 個の球状オブジェクトをランダムな方向に放射状に拡散し，その伝搬や反射の様子を確認する．

5.1 既存の部屋の中でのシミュレーション

早稲田大学西早稲田キャンパス 59 号館のプロジェクト学習室（04-15）において，提案システムを用いて音の伝搬のシミュレーションを行った．

球状オブジェクトが放射される様子を図–2 に示す．放射方向に応じた色の球状オブジェクトが拡散し，反射する様子が確認できた．また反射をした位置にはメッシュ上に球状オブジェクトと同色のマークが残っている．実大の部屋を用いると，音源から離れた位置に残るマークが疎らに感じられたが，マークの色によって，ある程度の放射方向と反射の対応や傾向は見て取れる．

5.2 模型内でのシミュレーション

世田谷パブリックシアター [4] の音響設計で用いられた 1/20 縮尺音響模型において，提案システムを用いて音の伝搬のシミュレーションを行った．本劇場の設計時に行われた音響模型実験と同様に舞台上に配置された音源を想定する．

球状オブジェクトが放射される様子を図–3 に示す．模型のような小空間では，実大の空間に比べて球状オブジェクトの反射が頻繁に発生し，反射位置のマークも多く残った．放射方向と反射位置の対応はより把握しやすい一方で，空間の小ささ故に形状認識のずれが出ることもり，改善の必要が見られる．

6. むすび

Mixed Reality 技術を用いて現実の空間に音の伝搬を可視化するためのシステムを提案した．球状オブジェクトの放射された経路を追跡することで，音の伝搬や反射を実空間上でシミュレーションし，多方向から観察可能である．実際に実大空間と模型空間でシミュレーション実験を行い，空間内で反射位置を確認するなど，実空間から視覚的な情報を得ることができた．

また，システム内で用いる空間認識機能の精度評価を行い，単純な形状の部屋ではある程度高精度に室形状が認識されていることを確認できた．

今後はシステムの処理速度の向上，対象の空間に応じたシミュレーション条件の設定などシステムの詳細な機能向上を目指しつつ，空間認識機能に関しても，より複雑な形状や曲面がどの程度認識できるのか検証を重ねたい．

参考文献

[1] 小口恵司，”ホール室内音響設計における模型実験,” 日本音響学会誌, 63-9, pp.531–536, 2007.
[2] 日本建築学会，はじめての音響数値シミュレーション　プログラミングガイド，コロナ社，東京，2012.
[3] 佐久間哲也，“室内音響設計におけるシミュレーション技術の活用,” 日本音響学会誌,57, pp463–469, 2001.
[4] 斉藤義，山崎芳男，永野桃子，渡邉昇，杉野潔，羽染武則，“駅舎に隣接する複合ビル内の劇場施設「世田谷分化生活情報センター」の音響,” 音響技術, 26-3, pp37—46, Sept. 1997.