

音場・騒音統合シミュレーションシステムの開発とその実用例



土屋 裕造*

大阪谷 彰*
松岡 明彦*
小林 正明*

概 要

当社技術研究所の筑波施設に音場シミュレータ(1988年)および騒音シミュレータ(1993年)を設置し、音環境が重視される建物・室において、事前に響きや騒音を実音化し、直接耳で確かめ、また客先に試聴してもらうことで設計・施工に反映してきた。近年客先のニーズが高度化・多様化し、変更に応じた最終結果をその場で確認するなどの迅速な対応が必要になり、今回これを更新した。本報では、更新内容と、これを実際の支援で使用した例について報告する。

Development and Practical Use of the Sound and Noise Integrated Simulation System

Yuzo TSUCHIYA*
Akira OOSAKAYA*
Akihiko MATSUOKA*
Masaaki KOBAYASHI*

Our institute of technology installs a sound field simulator (1988) and a noise simulator (1993). The sound and the noise were made real sound beforehand in the building and the room where sound environment was made much of by these, and were checked them with a direct ear. In addition, the customers had them played before buying. They have been reflected by a design and execution. However, recently, quick correspondence to confirm the bottom line which accepted a change on the spot was necessary of the needs in front of the visitor was heightened and because I diversified. Therefore, these were updated this time. This report is about update contents and the examples to use these for by real support.

* 戸田建設(株) 技術研究所

* Technical Research Institute, Toda Corp.

音場・騒音統合シミュレーションシステムの開発とその実用例

土屋 裕造*
 大阪谷 彰*
 松岡 明彦*
 小林 正明*

1. はじめに

当社技術研究所の筑波施設に、音場シミュレータ(1988年)および騒音シミュレータ(1993年)を設置し、音環境が重視される建物・室において、事前に響きや騒音を実音化し、直接耳で確かめ、また客先に試聴してもらうことで設計・施工に反映してきた。近年客先のニーズが高度化・多様化し、変更に応じた最終結果をその場で確認するなどの迅速な対応が必要になり、今回これを更新した。本報では、更新内容と、これを実際の現場支援で使用した例について報告する。

2. システム概要(ハードウェア)

更新したシステムの最大の特徴は、音場シミュレータと騒音シミュレータとをハード・ソフト共にひとつのシステムとしたことであり、これによって騒音シミュレータにも室内の反射音を加え、より現実味のある騒音を体験できるシステムとなった(特許出願中)。

システム構成概要を図-1に示す。スピーカは直接音×2、天井×4、壁×8、床×4、サブウーファ×1、換気口×1の計20個設置しており、これを目的によってセレクターにて切り替える。また、切替えて5.1チャンネルの再生も可能としている。更新したシミュレータ室の状況を図-2に示す。音透過型スクリーンに映像を投射し、臨場感を持たせている。

3. 更新内容

3.1 音場シミュレータ

3次元幾何音場解析の計算結果をDigital Signal Processorへ転送し、ドライソースとの畳込み演算をリアルタイムに行い、立体音場の再生を行うもので、この部分については今回、既存のシステムを利用した。

なお、既存のシステムでは、当技研の筑波施設でしか立体音を再現できなかったため、移動・持ち込みを可能にするパイノーラルとトランスオーラルのふたつのシステムを採用した。これらにより、客先、現場、支店にノートパソコンとアンプを持ち込んで、ヘッドホンや2スピーカによる簡易な試聴を可能とした。臨場感は、筑



図-2 シミュレータ室の状況

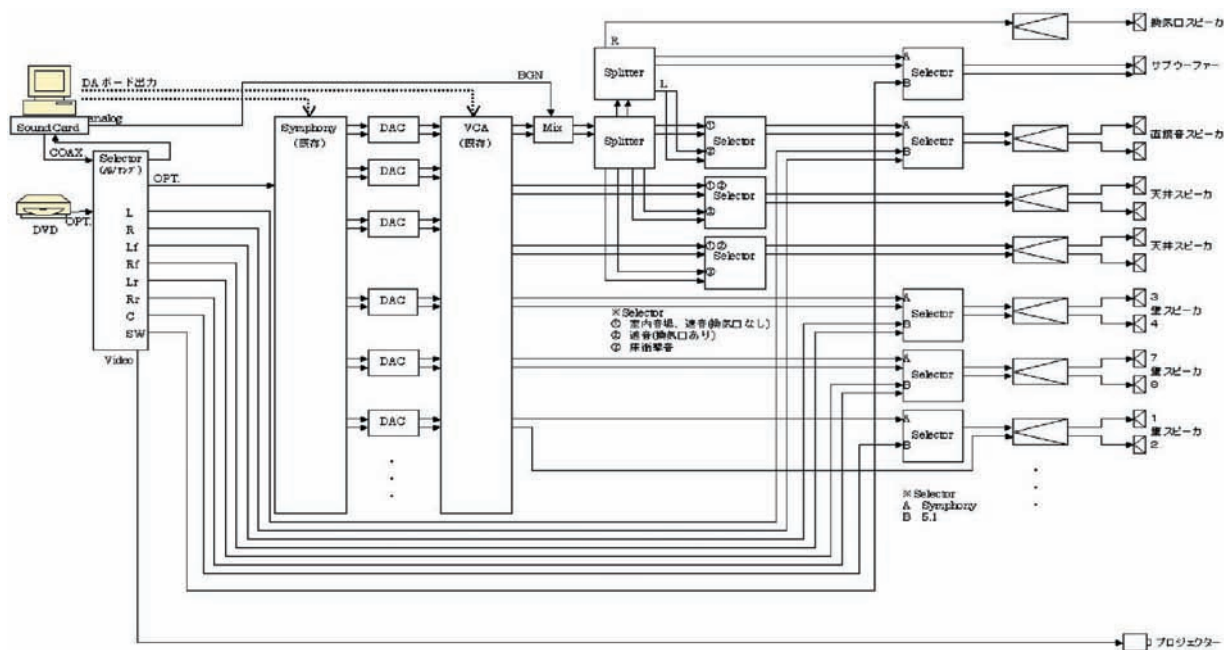


図-1 システム構成概要

* 戸田建設(株) 技術研究所

波施設のシミュレータのほうが優れているが、残響感、その差異を体験していただくツールとして今後の活用が期待できる。

① バイノーラルシステム (図-4-1、Binaural ヘッドホン再生)

音線計算ソフト「RIMAGE」で室の反射経路の計算をして、立体音場のヘッドホン試聴を可能にしたシステム

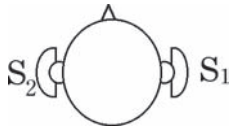
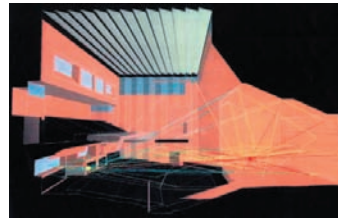


図-4-1 バイノーラルイメージ



3次元幾何音場解析計算結果



ドライソース



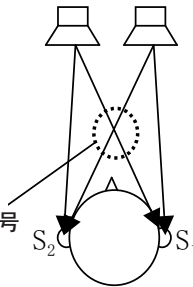
音場シミュレータにより再生

図-3 音場シミュレータイメージ

② トランスオーラルシステム

(図-4-2、Transaural 2スピーカー再生)

2台のスピーカーで立体音場試聴を可能にしたシステム



この部分をキャンセルする信号を発生させる

図-4-2

トランスオーラルイメージ



図-5 トランスオーラルシステム

3.2 騒音シミュレータ

外部騒音、床衝撃音、隣戸騒音が発生した場合の居室内における室内騒音レベルを計算、試聴し、それぞれ窓サッシ、床、界壁の視聴者が望む最適な遮音構造を選定するもので、音源、室タイプ、換気口、暗騒音等は容易に設定・変更することができ、騒音を体験しながら遮音構造を選定することができる。

今回、音場シミュレータと統合することで、3次元幾何音場解析をした室内での反射音を含めた室内騒音を再現できるよう改良した。ここでは例として外部騒音から窓サッシを自動選定する流れを概説する。図-6にその流れを示す。

① 試聴条件の入力 (図-7)

- 外部騒音：音源の種類(鉄道、道路、航空機等)および周波数補正(A特性、C特性、FLAT)を選択。外部騒音は現地にて録音したデータを登録することも可能。
- 室タイプ：3次元幾何音場解析にて事前に音線計算をした結果ファイル(和室、洋室、仕上げ等)を選択。
- 初期サッシ選択
- サッシ面積：選択したサッシの面積

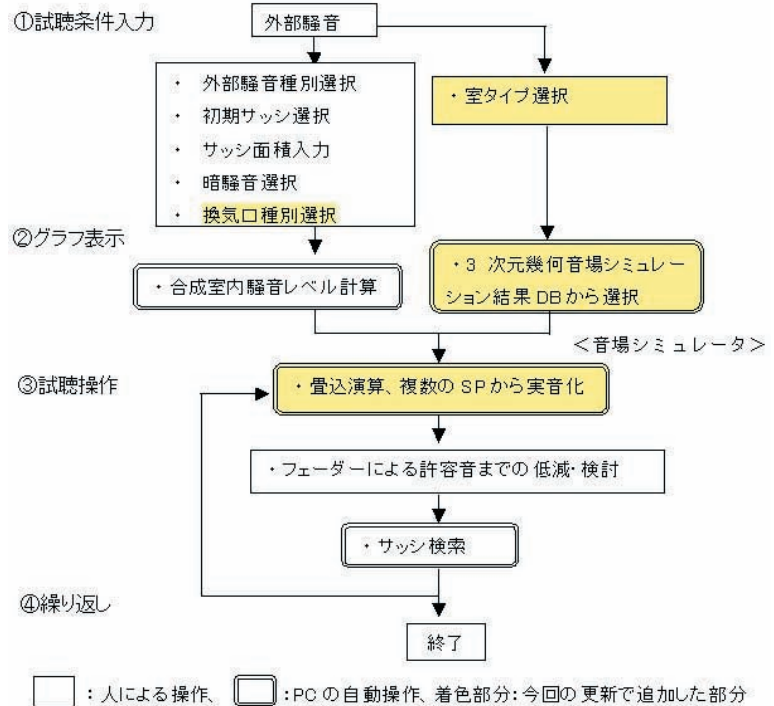


図-6 窓サッシ自動選定フロー

を入力。

- ・ 暗騒音：空調音、ピンクノイズ等の暗騒音を加味できる。
- ・ 換気口：換気口の種別、直径等を選択。集合住宅においては外壁に換気口を設けることが多いが、換気口は遮音性能が弱く、遮音性能の高いサッシを用いた場合には換気口の影響が大きく現れるの

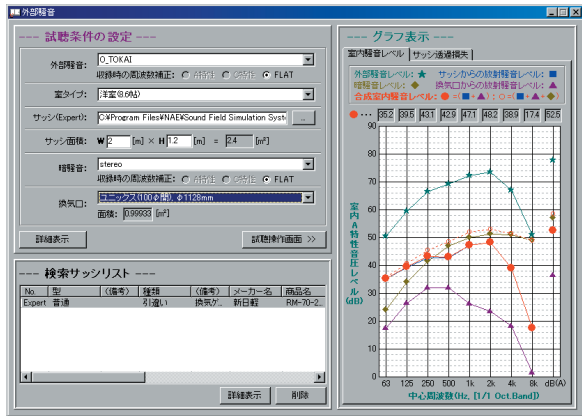


図-7 試験条件およびグラフ

で、その影響を加味できるようにした。

②グラフ表示(図-7)

以下のふたつのグラフが表示される。

- ・ 室内騒音レベル：外部騒音、サッシからの放射音、換気口からの放射音、暗騒音、合成室内騒音レベルを表示。
- ・ サッシ透過損失：選択したサッシおよび前回選択したサッシの透過損失を表示し、比較ができる。

③試験操作(図-8)

- ・ 外部騒音、サッシ透過音の再生、停止
- ・ 暗騒音の再生、停止
- ・ フェーダー操作：外部騒音再生中に、サッシ透過音の再生レベルに対しフェーダーを操作することで、リアルタイムに周波数帯域毎にイコライザーをかけ、希望レベルまで体感騒音を下げる。機械装置であったフェーダーを今回、ソフト化した。
- ・ サッシ検索：フェーダーで設定した希望レベルを満たすサッシが自動的に選ばれるが、そのための選定条件を検索条件設定(図-9)から選定する

④希望する騒音レベルが達成されるまで繰り返し

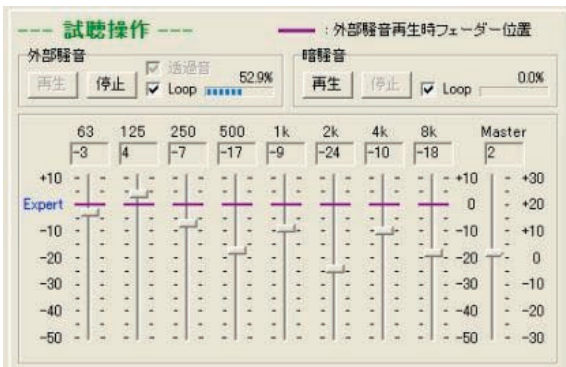


図-8 試験操作

4. 実用例

4.1 音場シミュレータを利用した例-Nホール

ホールの響きが使用目的に対して適切か、実際の現場で内装工事が始まる前に当技研筑波施設の音場シミュレータで確認した事例である。

1)本ホール概要

確認したホールの諸元を表-1、内観を図-10、断面・平面図と主な内装を図-11に示す。統合中学校との複合施設として併設された本ホールは、地域のコミュニティ要素と中学校のイベント施設要素をあわせ持ち、講演、会議、音楽の生演奏、演劇など用途が多岐にわたる多目的ホールである。大学教授がホールの設計指導に

表-1 Nホール 諸元

施工	戸田建設㈱		
延床面積	1,200 m ²		
客席数	固定席：372席 移動席：125席		
ホール容積	3,400 m ³	ホール表面積	1,800 m ²

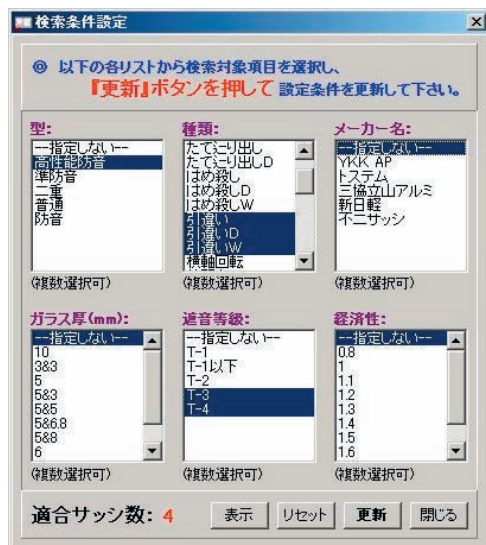


図-9 検索条件設定



図-10 ホール内観

携わった。当技研は施工が始まった段階から参画した。
2) 検討内容と経緯

本ホールは、設計図段階で反映されている、残響調整のための側壁のリブ部分で反射性にするか吸音性にするかの調整部位があった。当初は、一度完成してから聴感で確認して調整することが計画されていたが、工期や再度施工する手間を考え、実際の建物ができる前の段階で反射吸音の影響を調べるために当シミュレータが活用された。

室形状と、当技研における本ホール椅子の吸音力測定で得られたデータも含めた部位吸音率データを音響CADに入力し、ステージ上に音源がある場合の音線シミュレーションを行った。それにより、まず視覚的に音響障害がないことを確認した上で(参照図-12)、当技研の音場シミュレータにおける聴感で響きの程度を確認した。

最初は側壁後部リブ部分の裏地を吸音で作成した。響きの程度は、ホール計画専門と音響専門の大学教授、学生数名にも聴いていただき、Eyring-Knudsenの残響計算式で算出された残響時間(図-13)による評価よりも残響感が不足していると判断された。そのため、残響の調整部位であるリブ裏地を反射性に変更した。この結果、シミュレータ上で良好な残響感が得られ、実際竣工したホールでも施主に満足していただくことができた。

4.2 バイノーラルシステムを利用した例- M 学園音楽室

改築される学校の音楽室が、学校の先生が意図する響きになっているか、バイノーラルシステムを学校に持ち

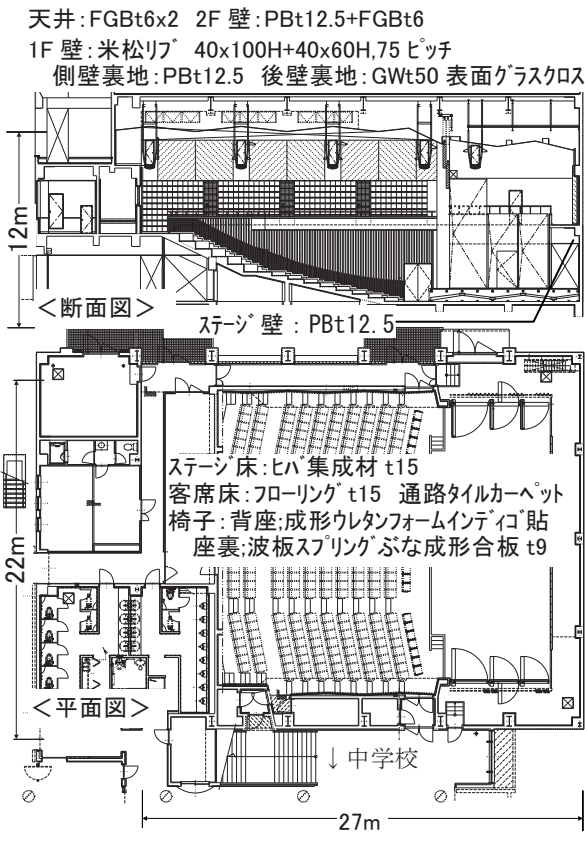


図-11 Nホール 断面・平面図

込んで教師に確認していただいた事例である。

1) 本音楽室概要

確認した音楽室の諸元を表-2、断面・平面図と主な内装を図-14に示す。都会の私立中学高校における数棟ある校舎の順次立替工事で、本件は現在も施工中である。

2) 検討内容と経緯

当該学校では、音楽の授業やクラブ活動を、音楽室以外に視聴覚室でも行っていたが、音楽教師から、旧校舎の音楽室の響きは適している一方、視聴覚室は響きが不足しているとの指摘があり、新しく建設される音楽室は旧音楽室と同程度にしてほしいという要望があった。当技研が参画した時点では、音楽室のある旧校舎が残っていたため、音楽室・視聴覚室の残響時間など音響状態を測定で確認することができた。その結果を踏まえて、音楽教師が適切と考えている残響時間を把握し、内装の吸音において当技研から設計・現場に対して提案を行い、算出した残響時間(図-16)を提示した。しかし、その数字が実際の響きにどう反映されているか判断が難しいため、新音楽室を音響CADに入力し(参照図-15)、響き具合を音で再生可能にして、バイノーラルシステムを学校に持ち込み、学校関係者や設計者に聴いていただき、その結果、音楽教師に響きの程度を納得していただき、予定している内装仕様で工事を進めることができた。

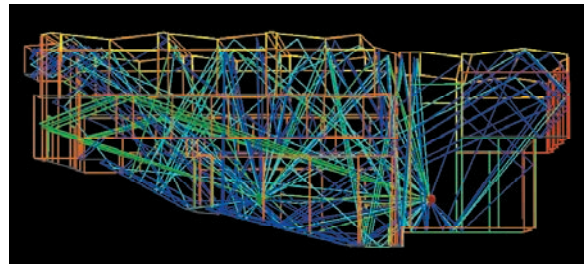


図-12 Nホール音線図の例

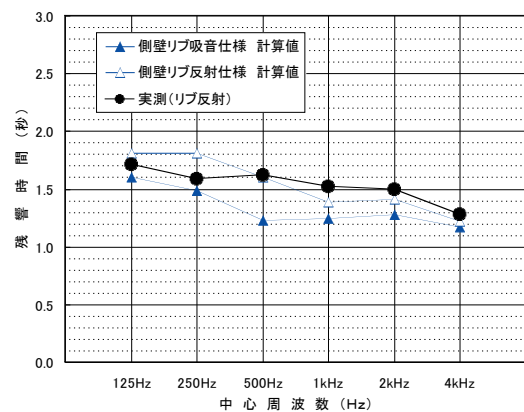


図-13 Nホール残響時間 予測と実測

表-2 M 学園音楽室 1 諸元

施工	戸田建設(株)(施工中)		
延床面積	96m ²		
席数	45席		
室容積	290 m ³	室表面積	315 m ²

た。現時点で音楽室はまだ完成していないが、完成後は測定を行い、音響状態を確認する予定である。なお、当該学校にて、今後別棟に講堂の建設も予定されており、当システムの利用が検討されている。

バイノーラルシステムはヘッドホンによる受聴のため、最も簡易なシステムで済み、暗騒音や室の残響に左右されないが、ヘッドホンで聴く対象者以外は聴くことができず、人によっては耳が密閉されているという違和感が生じることもある。トランスオーラルシステムは、スピーカで構成される配置により受聴の場所が特定され、1人の受聴を対象とすることが基本であるが、周囲に音は聴こえるため、どういうことを行っているか確認することは可能である。状況に応じて特徴を活かしつつ、各システムを使い分ける必要があると考えている。

4.3 騒音シミュレータを利用した例

最近では、Mビルの線路近傍電車騒音、超高層Sマンションのヘリコプター騒音、O大学キャンパスの線路近傍電車騒音等で、窓サッシ決定のため、施主・設計に騒音シミュレータを聴いていただいている。現地で録音した音源を採用し、選定した窓サッシで予測される騒音を施主・設計にシミュレータで聴いていただき、

納得していただいた後に施工を進める、といった手順を踏む。施主・設計に騒音の予測を数字で示しても感覚的にわからないことが多く、また音源の種類によって同じ騒音レベルでも印象に差異が生じる場合があるので、実際に聴感で確認していただくことが説得力にも繋がっている。なお、参考に、高層建築における音源の採取は、同等の高さの既存建物が近傍になくそこで録音できない場合、バルーンやクレーンを用いて録音している。

5. おわりに

当技術研究所にて更新を行った音場・騒音統合シミュレーションシステムの概要と実用例の一部を報告した。現在、遮音のシミュレーションは当技研の筑波施設にあるシミュレータ室でしか体験できないが、社内的には携帯化や筑波を離れての利用も期待されている。今後、各種騒音データ、部材データ等の一層の充実を図り、営業・設計・現場の支援ツールとして活用していく考えである。

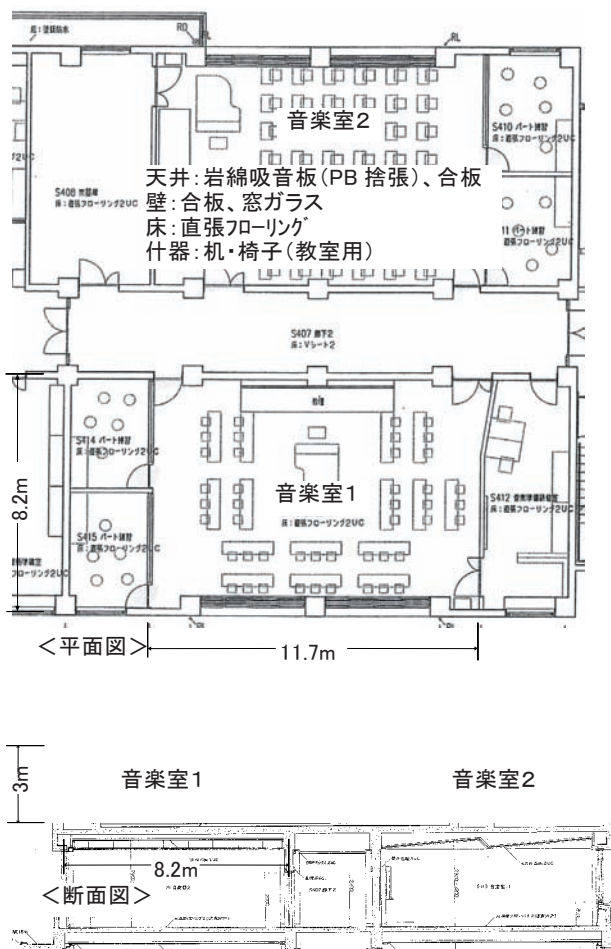


図-14 M学園音楽室 平面・断面

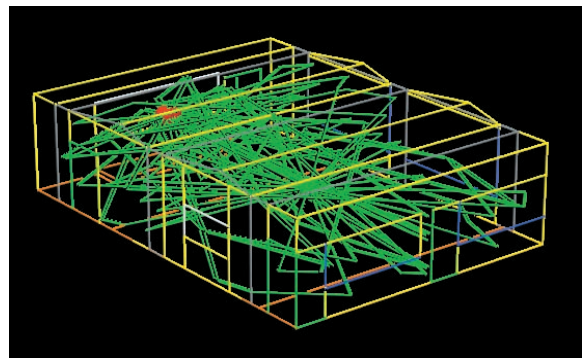


図-15 M学園音楽室1 音線図の例

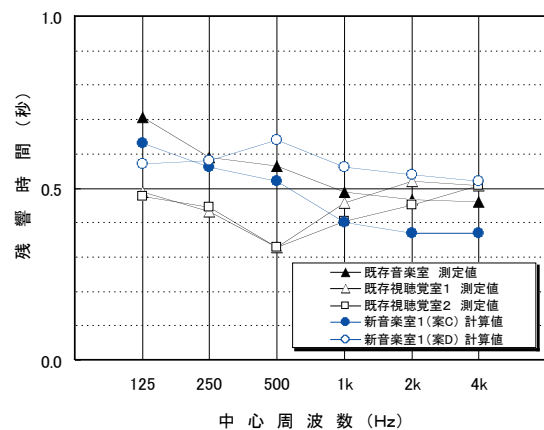


図-16 M学園音楽室1 残響時間 予測