

音環境プレゼンテーションシステムの拡充

Expanding a Sound Environmental Presentation System

柳沼勝夫* 稲留康一*

要 旨

音環境性能（音の響き方や遮音など）は通常、数値で示すことが多く、一般の人にはその性能をイメージしにくい。そこで、当社では設計仕様から音環境を予測計算し、計算結果を音源データに施した試聴音を作成・再生できるシステムを開発している。従来のシステムではノートパソコンで試聴音を作成していたが、今回これをクラウド上で行えるようにシステムを拡充した。その結果、処理速度が大幅に向上し、打ち合わせ先で仕様変更があった場合も即時にそれに対応した試聴音を作成できるようになった。また、使用機器はモバイル端末とヘッドホンのみであるので、インターネットに接続可能な場所であればどこでも使用でき、可搬性に優れたシステムとなった。

キーワード：音環境、性能評価、試聴音、クラウド、モバイル端末、プレゼンテーション

1. まえがき

建物の音環境性能は、日本建築学会編「建築物の遮音性能基準と設計指針」に記載されている遮音性能基準を参考に決めることが多い。遮音性能基準には、騒音レベル (dB) や D 値、L 値などの遮音等級、想定した音源が生活の中でどの程度の音として聞こえるかといった生活実感が示されており、これらをもとに事業主と協議のうえ性能を決める。ただし、これらの評価値は一般の人には馴染みが薄く、実際の音環境をイメージしにくい。そのため、引き渡し後に、イメージしていた音環境と異なるといった指摘が挙げられることもある。

このような背景から、当社では、音環境性能を一般の人でも理解しやすいように、実音をもとに音環境性能を施した音を試聴できる「音環境プレゼンテーションシステム」¹⁾を開発している（以下、既開発システム）。

近年、ICT の発達により、スマートフォンやタブレットなどのモバイル端末の收音や再生に関する性能が向上している。大学での音環境教育に利用する事例²⁾ などもあり、大容量で高速演算が可能なクラウドも安価に提供されはじめてきた。そこで今回、可搬性や計算処理速度を向上させるため、既開発システムをモバイル端末とクラウドを利用したシステムに拡充した。これによって打ち合わせ先で仕様変更があった場合でも、即時にそれに対応した試聴音を作成できるシステム（以下、拡充システム）となった。

本報では、システムの概要と実建物におけるシ拡充システム精度の検証事例について述べる。

2. 拡充システムの概要

2.1 拡充システムの構成

拡充システムの構成を写真-1に、概要を図-1に示す。



写真-1 拡充システムの構成

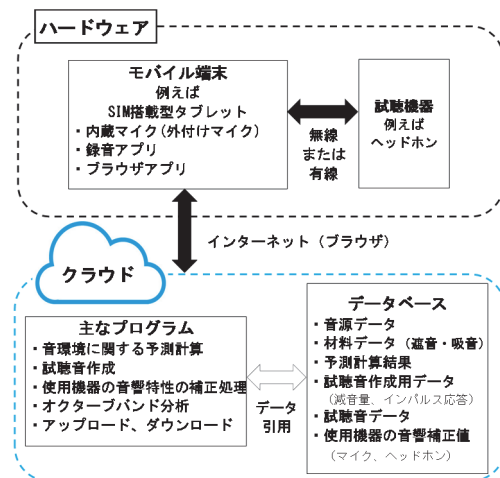


図-1 拡充システムの概要

* 技術研究所環境研究グループ

拡充システムでは、音源の收音や試聴音の再生にモバイル端末とヘッドホンを利用する。音環境に関する予測計算、試聴音作成などの計算プログラムやデータベースはクラウドに実装されているので、インターネット経由でクラウドに接続し、プログラムやデータを利用する構成となっている。

2.2 ハードウェア

モバイル端末は、インターネットを利用するためSIM搭載型を基本としている。また、收音マイクを内蔵、または外付けマイクを利用可能なものとする。ヘッドホンは、音環境性能の評価対象周波数である 50Hz 帯域～5000Hz 帯域の音を再生できるものを利用する。

2.3 クラウド

a. 音環境に関する予測計算機能

拡充システムでは、音環境に関する以下、i～ivの6項目の予測計算が行える。これらのプログラムはクラウドに実装されている。

- i. 外部騒音に起因する室内騒音
- ii. 室間遮音性能（隣室から伝搬する騒音）
- iii. 建物内外から敷地境界へ伝搬する騒音
- iv. 空調設備に起因する室内騒音
- v. 床衝撃音遮断性能
- vi. 室内残響時間

それぞれの計算には、これまでに当社で研究してきた知見^{3)~5)}を反映させている。

b. 試聴音作成

モバイル端末からクラウドにアップロードした音源データや、データベースに登録してある音源データと予測計算結果をもとに試聴音を作成する。試聴音作成の概要を表-1に示す。

i～viについては、予測計算結果から減音量フィルターを作成し、音源データをフィルター処理することで試聴音を作成する。

vの床衝撃音遮断性能は、JIS規格による標準衝撃源（タイヤ、ボール、タッピング）の衝撃力から床衝撃音レベルを求める。しかし、予測計算結果をそのまま反映した試聴音は作成できないため、スラブ厚や床仕上げ構造、仕上げ天井などの条件ごとに收音した標準衝撃源による床衝撃音から計算した条件に近い音源データを抽出し、その床衝撃音レベルと計算値のレベル差を減音量としたフィルターを作成する。なお、重量床衝撃音は、50Hz～630Hz帯域が評価対象であることから、対象外の周波数についてはフィルター処理して再生しない。

viの室内残響時間では、無響室で收音した朗読音等の音に、音響シミュレーション等により予測したインパルス応答やインパルス応答の実測値を畳み込み演算することにより試聴音を作成する。

c. 使用機器の補正処理機能

使用する收音マイクやヘッドホンには、それぞれ固有

表-1 試聴音作成の概要

	計算項目	音源（例）	対象周波数帯域	評価音作成方法
i	外部騒音に起因する室内騒音	交通騒音（道路・鉄道）	50Hz～5000Hz	減音量に応じたフィルター処理
ii	室間遮音性能	会議室の話し声 ホテルTV音 ※空気伝搬音	100Hz～5000Hz	
iii	建物内外から敷地境界へ伝搬する騒音	屋外設備 室内設備	50Hz～5000Hz	
iv	空調設備に起因する室内騒音	空調設備		
v	床衝撃音遮断性能	床衝撃音（重量・軽量）	重量床衝撃音 50Hz～630Hz 軽量床衝撃音 50Hz～5000Hz	收音時と予測計算時の標準衝撃源による床衝撃音レベル差に応じたフィルター処理
vi	室内残響時間	会議室の話し声 教室の話し声	100Hz～5000Hz	インパルス応答を用いた畳み込み演算

の音響特性があることから、作成した試聴音を忠実に再生するために音響特性を補正する必要がある。そこで、あらかじめ求めた補正值をもとに、收音した音源や作成した試聴音をフィルター処理して補正する。なお、使用機器の音響特性に対する補正值は、3章で述べる方法で求める。

これらの試聴音作成や補正といった波形処理の処理速度は、従来、ハードウェアの処理能力に依存していた。しかし、システムではクラウドを利用することで、ハンドリングの良いモバイル端末で高速な処理を行うことが可能となった（波形のフィルター処理に30秒程度）。

3. 使用機器の音響特性に対する補正方法

3.1 マイクの音響特性と補正方法

モバイル端末にタブレットを使用した時のマイクの音響特性を確認した事例を述べる。

a. 周波数特性

評価対象周波数の音を対象マイクで收音できることを実験的に確認する。

無響室にてスピーカからピンクノイズ（雑音）を発生させ、1m離れた位置に精密騒音計（RION社製NA-28）とタブレット（内蔵マイク、外付けマイク）を設置して收音した。收音データの1/3オクターブバンドレベルを図-2に示す。

タブレットの外付けマイクと精密騒音計は、対象周波数範囲である50Hz～5000Hz帯域において概ね一致している。一方でタブレット内蔵マイクは、80Hz帯域以下の低い周波数でレベル差が見られる。したがって、重量床衝撃音や設備音等の低音域で問題となる音には外付けマイクを利用する。

b. 收音可能レベルと線形性

拡充システム使用時は、使用者の聴力障害への配慮や騒音対策が必要になる騒音の大きさを踏まえ、收音する音圧レベルを 30dB~80dB と想定している。また、マイクについては、その周波数特性が收音する音圧レベルに応じて線形変化するものを利用する。そのため、使用するマイクの收音可能レベルと周波数特性の線形性を実験的に確認する。

ピンクノイズの音量を 30dB~80dB とし、タブレット内蔵マイクと精密騒音計で收音した。收音した音を 1/3 オクターブバンド分析し、タブレット内蔵マイクと精密騒音計の対応を検討した。代表例として、1000Hz 帯域の結果を図-3 に示す。

精密騒音計の値を真値とした場合、タブレット内蔵マイク使用時は 30dB~80dB で概ね線形に変化した。他の周波数も同様な傾向であった。したがって、想定している音圧レベルの範囲で周波数特性が線形変化することから、一定の補正值で補正が行える。

c. 補正方法

対象マイクが拡充システムで利用できることを確認後、図-2 に示す精密騒音計とマイクの 1/3 オクターブバンドレベルのレベル差を算出し、その値を補正值と定める。その後、補正值に応じたフィルターを作成し、收音波形にフィルター処理して補正する。

3.2 ヘッドホンの音響特性と補正方法

a. 周波数特性

ヘッドホンは用途や好みに応じたチューニングがされているものが多く、作成した試聴音を忠実に再生するには、ヘッドホン独自の周波数特性をキャンセルする必要がある。

無響室でダミーヘッドにヘッドホンを装着し、タブレット経由で音源ソース（ピンクノイズ）を再生した。音源ソースとヘッドホン再生音の 1/3 オクターブバンドレベルを図-4 に示す。

平坦な周波数特性の音源ソースに対比して、実験したヘッドホン再生音は周波数ごとに異なり、特に 400Hz~1000Hz 帯域の音を強調する特性となっている。

b. 再生可能レベルと線形性

音源ソースのレベルを 10dB~80dB の範囲で変えてヘッドホン再生し、ヘッドホンの再生可能レベルと線形性を検討した。代表例として、1000Hz 帯域の結果を図-5 に示す。

20dB~80dB の範囲でヘッドホン再生できており、音源ソースの 5dB ピッチのレベル変化に応じて線形に変化している。また、他の周波数帯域も同様な結果であった。20dB まで再生が行えることから、例えば、室間の遮音を検討する際に、音源室で 75dB 発生している音源に対して、室間遮音性能で Dr-55 までの効果を試聴音として表現できる。

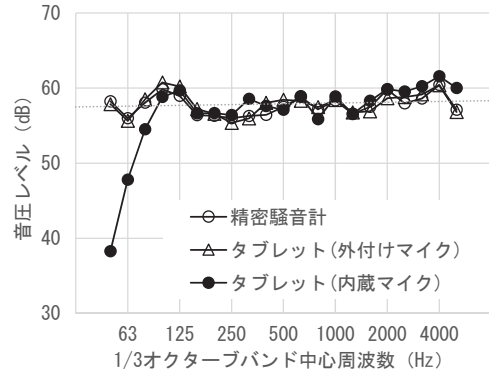


図-2 收音データの周波数特性

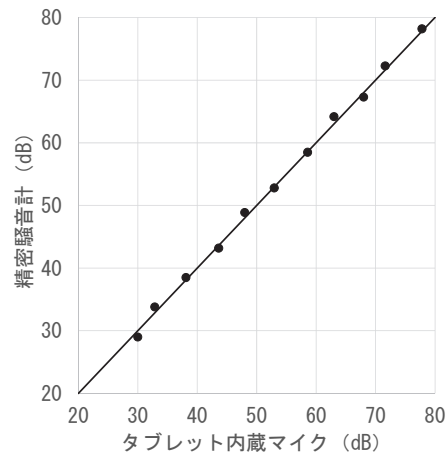


図-3 收音可能レベルと線形性 (1000Hz 帯域)

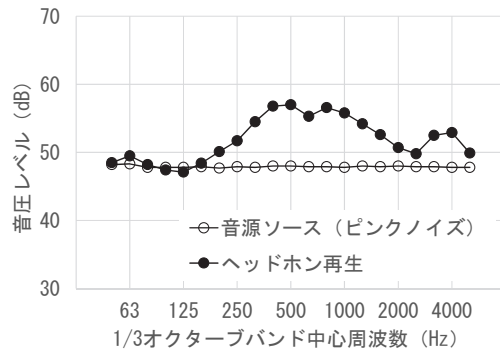


図-4 ヘッドホン再生音の周波数特性

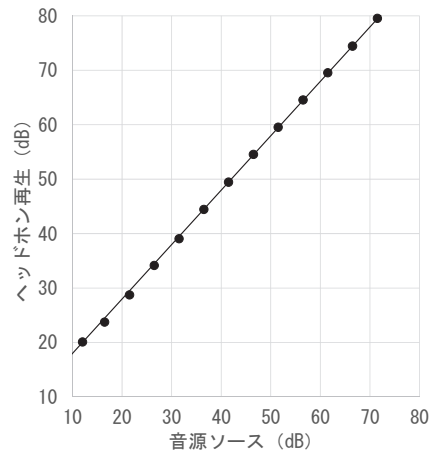


図-5 再生可能レベルと線形性 (1000Hz 帯域)

c. 補正方法

ヘッドホンが拡充システムで利用できることを確認後、マイクの補正方法と同様にフィルターを作成し、ヘッドホンの音響特性をキャンセルするフィルター処理を行う。

4. 実建物におけるシステム精度の検証事例

4.1 検証概要

オフィス室内を利用し、室間遮音性能について拡充システムの前予測精度と試聴音の作成・再生精度を検証した。測定室の概要を図-6に、測定状況を写真-2に示す。

会議室と執務室間の界壁は、乾式二重壁 (TLd-40) である。会議室と執務室の廊下扉は、エアタイトが設置されていない一般的なスチール製親子扉である。

会議室を音源室とし、スピーカーからピンクノイズまたは男性朗読音を再生した。その再生音を拡充システム (タブレット内蔵マイク使用) でそれぞれ収録して、音源データとした。なお、収録精度の検証のため、精密騒音計 (RION 社製 NA-28) でも収録を行った。一方、受音室である執務室にはダミーヘッドを設置して会議室からの伝搬音を収録した。また、JIS A 1418 : 2000「建築物の空気音遮断性能の測定方法」により音源室と受音室の室間音圧レベル差の測定も行った。

4.2 収録精度

収録精度が試聴音の作成精度に影響を及ぼすため、拡充システムによる収録データと精密騒音計による収録データを比較した。精密騒音計の音圧波形と拡充システムで収録した音圧波形 (マイク補正後) を図-7に、それぞれのオクターブバンドレベルを図-8に示す。

拡充システムで収録した音圧波形の形状や振幅は、ピンクノイズおよび男性朗読音ともに精密騒音計で収録した音圧波形とほぼ同形状、同振幅である。オクターブバンドレベルでは1dB以内の誤差であり、普通騒音計と同等の精度で収録できていることがわかる。

4.3 予測計算精度

拡充システムによる予測計算精度を確認するため、室間音圧レベル差の予測計算結果 (予測計算値) と JIS 規格の測定により求めた室間音圧レベル差 (実測値) を比較した。比較結果を図-9に示す。なお、予測計算に用いる扉の遮音性能はカタログ値がないため、実測による遮音性能を利用した。

実測値に対して予測計算値は 125Hz~4000Hz 帯域において概ね対応しており、精度良く室間音圧レベル差を予測できているといえる。

4.4 試聴音作成・再生精度

拡充システムで作成した試聴音の音圧波形とダミーヘッドに装着したヘッドホンで再生された試聴音の音圧波形 (ヘッドホン再生、写真-3参照)、受音室でダ

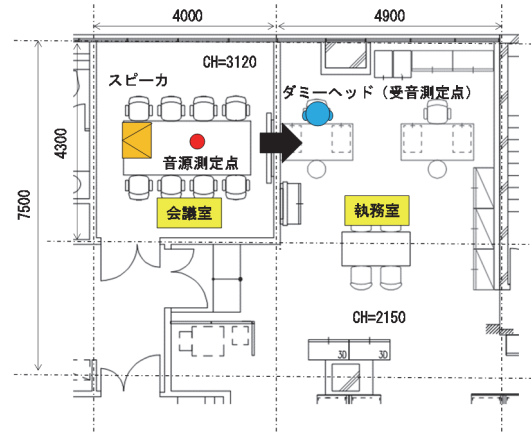


図-6 測定室の概要



写真-2 測定状況

ミーヘッド収録した音圧波形 (実測値) を図-10 に示す。また、それぞれのオクターブバンドレベルを図-11に示す。なお、受音室の暗騒音を図中に示すが、男性朗読音再生の場合、受音室での実測値が 1000Hz 帯域以上では暗騒音の影響を受けているため評価から除外した。

ヘッドホン再生音は、試聴音および実測値の音圧波形とほぼ同形状、同振幅であり、オクターブバンドレベルも同程度である。このことから、拡充システムで作成された試聴音がヘッドホンで正しく再生できており、実際の音を再現出来ているといえる。

以上により、拡充システムによる収録～予測計算～再生の一連の流れを通して実際の音が再現出来ていることから、使用機器の補正処理が適切であり、試聴システムとして十分に利用できると考える。

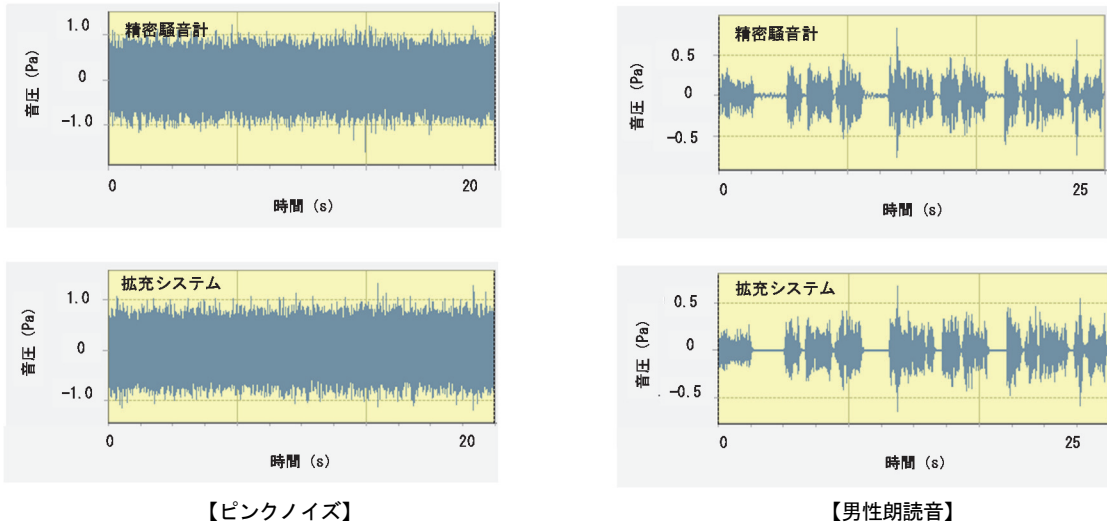


図-7 音圧波形（音源室側）

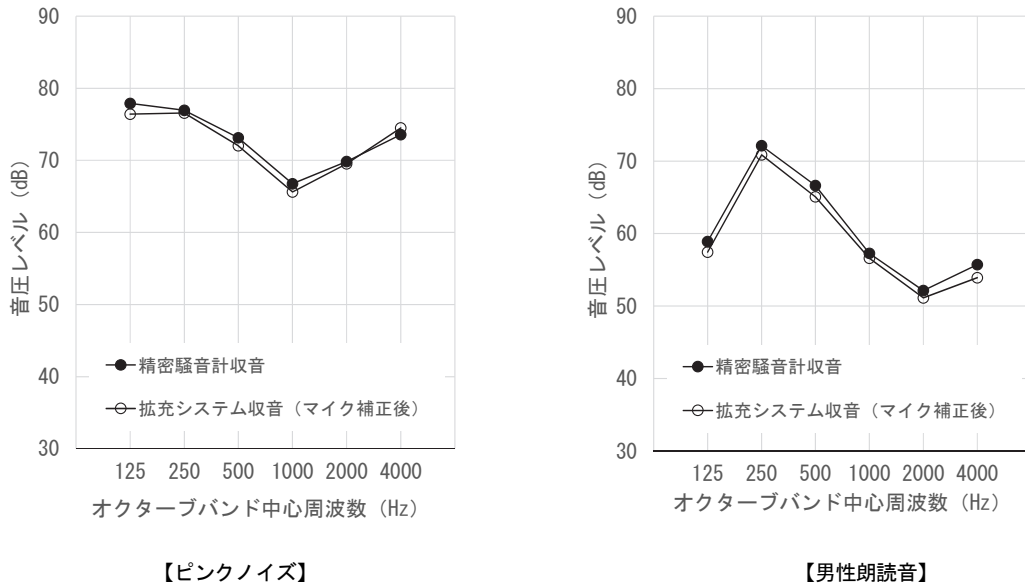


図-8 オクターブバンドレベル（音源室側）

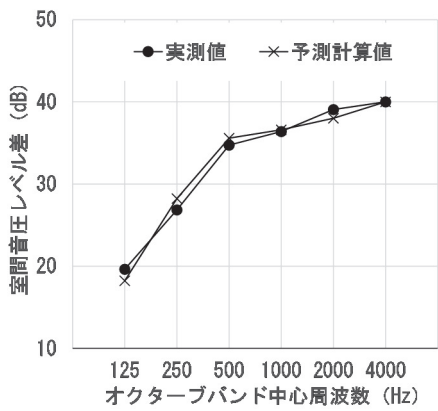


図-9 室間音圧レベル差



写真-3 ヘッドホン再生状況

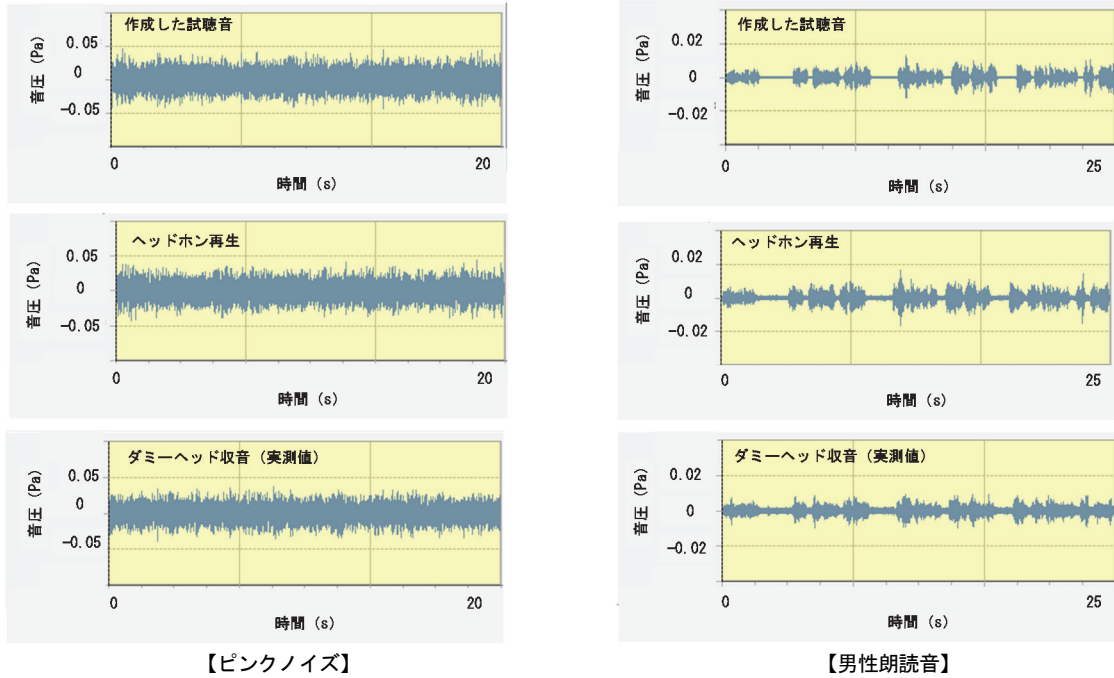


図-10 音圧波形 (受音室側)

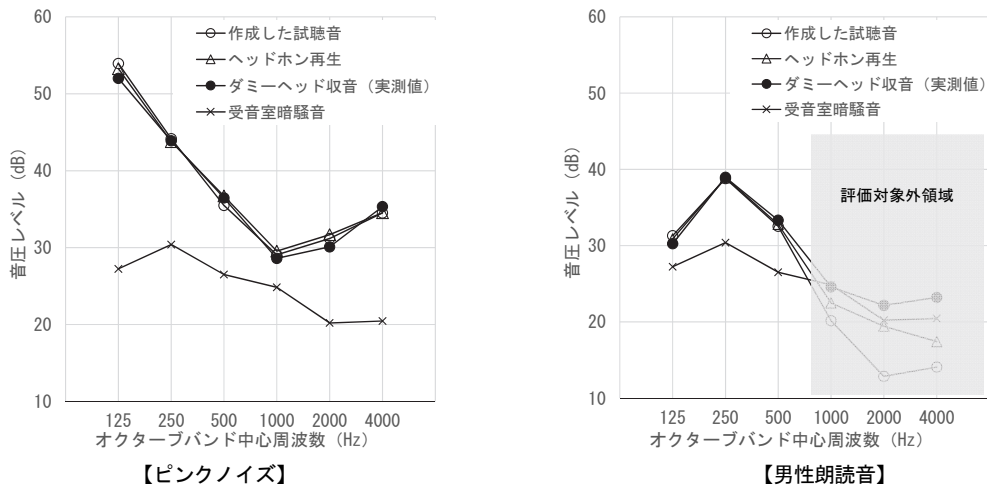


図-11 オクターブバンドレベル (受音室側)

5. まとめ

可搬性と計算処理速度に優れた構成で、既開発のシステムをインターネットに接続可能な場所であればどこでも使用出来るシステムに拡充した。また、使用機器の音響特性を把握し、收音と再生時に補正処理を行うことで、既開発システムと同様に実際の音を精度よく再現できることを確認した。

既開発システムを拡充したことによる可搬性や計算処理速度を向上させた利点を活かして、今後は実務に展開していきたい。

【参考文献】

1) 児玉朗蘭、稲留康一、「音環境プレゼンテーションシステムの開発」、奥村組技術研究所年報、No.3、

pp.107-112、2009

2) 佐藤史明、阪上公博、尾本章、「音環境導入教育へのスマートフォンの利用—精度の検証とサウンドマップの作例—」、日本音響学会誌、70 巻、5 号、pp.260-265、2014

3) 稲留康一、飛松幸彦、「側路伝搬音の予測手法に関する研究 (その 1) 窓からの廻り込み音の予測手法」、奥村組技術研究年報、No.26、pp.93-98、2000

4) 稲留康一、山上 聡、「床衝撃音予測手法に関する研究—実大試験床版の概要および実験結果—」、奥村組技術研究年報、No.31、pp.87-92、2005

5) 柳沼勝夫、稲留康一、「樹脂製インナーサッシによる二重窓の遮音性能」、奥村組技術研究年報、No.35、pp.101-106、2009