

アトリウムの音響測定事例



土屋 裕造 *1

小林 正明 *1

概 要

アトリウムは、ホテル・オフィスのロビーや公共空間、集合住宅のエントランスなどに設けられた中庭であり、複層吹き抜けた空間となることが多く、意匠的に開放された豊かな空間として建築物に多用されている。導線計画の一手段のみならず、待合スペースやカフェテラスなどに利用され、不特定多数が出入りする場でもある。音環境面では、アナウンスや、周囲の雑踏の中での会話など、音声伝送性能が重要になる。本報では、当社で測定する機会があったアトリウムと、それに類似する食堂について、室内音響の観点から考察する。

Acoustic Measurement Cases of Atriums

Yuzo TSUCHIYA *1 Masaaki KOBAYASHI *1

An atrium is the courtyard established in the lobby of a hotel and an office, the entrance of public space and an apartment house. It becomes the space of a multilayer well there in many cases, and it is used abundantly at the building as rich space wide opened in design. That is also the place used for not only one way of the passing plan but the waiting space, café terrace, and many and unspecified persons frequent. In respect of sound environment, as for an atrium, speech transmission performance, such as a tonal information and conversation in a surrounding bustle, become important. We report atriums with the opportunity to measure, and a dining-room similar to it from the viewpoints of room acoustics.

*1 技術研究所

*1 Technical Research Institute

アトリウムの音響測定事例

土屋 裕造*1
小林 正明*1

1. はじめに

アトリウムは、ホテル・オフィスのロビーや公共空間、集合住宅のエントランスなどに設けられた中庭であり、複層吹き抜けた空間となることが多く、意匠的に開放された豊かな空間として建築物に多用されている。導線計画の一手段のみならず、待合いスペースやカフェテラスなどに利用され、不特定多数が入り出る場でもある。音環境面では、アナウンスや周囲の雑踏の中での会話など、音声伝送性能が重要になるが、設計段階で音環境に十分配慮されることは稀で、竣工後に問題が発覚する場合もある。また、設計・施工段階でアトリウムの音環境が問題視された場合、指標となる文献が少ない。本報では、当社で測定する機会があったアトリウムと、それに類似する食堂について、室内音響の観点から考察する。

2. アトリウムの概要

アトリウムは明るい空間とするために、天井か側面のどちらか、あるいは両方に大面積の窓を有することが多い。オフィス・学校のアトリウムでは、アトリウムを取り囲むように各階に廊下が面し、それを片廊下として各室が配置されることも多くみられる。広く開放的な空間であるため、本格的ホールとは違った演出で催し物が行われることがある。カウンターや椅子テーブルが設置されることもあるが、アトリウムの多くは人が移動することを目的とするため、それらの占有面積は全体の形状・面積から比べるとかなり小さい。催し物がない限り容積に対して人の占有率は小さく、すなわち、人による吸音力の影響は小さいと考えられる。また、窓面積が大きく外部に通じる扉があるため、外部騒音が侵入しやすく、さらに、アトリウムに面する各室からの透過音、不特定多数によるざわめきや歩行音の発生などがあり、アトリウム内の騒音はかなり大きい。

3. アトリウムの特徴・測定結果

3.1 事例 A

事例 A の概要を表-1、概略図を図-1-1、残響時間グラフを図-1-2、エコータイムパターンを図-1-3に示す。残響時間、エコータイムパターンは、12 面体スピーカを音源として天井の最も高くなる付近に置き、インパルス応答を測定し分析した（以下、各事例でも同様）。本事例は大学の中心的建物にあり、最上階まで吹き抜けた大空間である。周囲の公道を介していくつか林立する大学の各建物を結ぶ横の導線と、講

堂・教室を階段と回廊でらせん状に結んだ縦の導線を有し、天井全面及び外壁に面する部分は窓となっている。1階部分は大学の事務スペース・食堂があり、テラス席で学生が集まりやすい。残響時間は500Hzで2.2秒、残響時間周波数特性は125Hzから2kHzにかけて平坦であり、特異なエコーも検知されなかった。

表-1 事例 A 概要

用途	大学
容積	16,500m ³
内装	天井：窓・岩綿吸音板 廊下天井：木織セメント板交互 壁：窓・石こうボード・PC板 床：フローリング・ゴムタイル

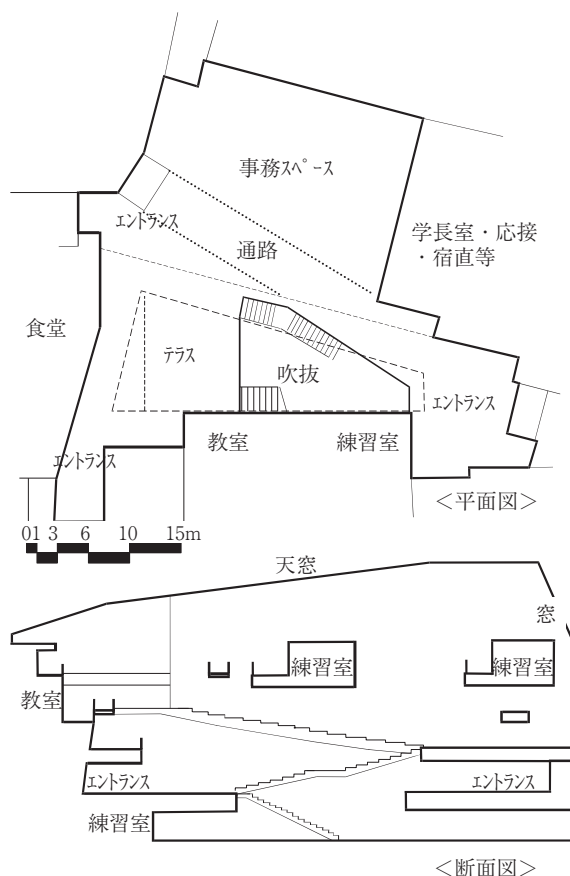


図-1-1 事例 A 概略図

*1 技術研究所

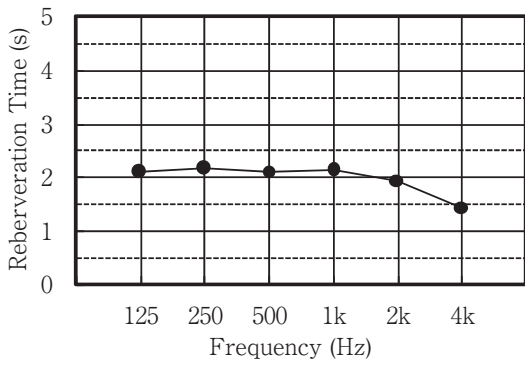


図-1-2 事例A 残響時間グラフ

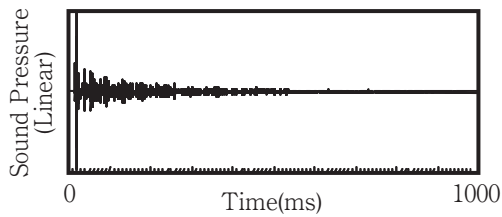


図-1-3 事例A エコータイムパターン (500Hz)

3.2 事例B

事例Bの概要を表-2、概略図を図-2-1、残響時間グラフを図-2-2、エコータイムパターンを図-2-3に示す。本事例は私立中学高等学校の教室棟の中央に配置された直方体のアトリウムである。その周囲の各階廊下を片廊下として教室が配置されている。天井が全面窓で、昼間は明るい空間になっており、テラス席がある。残響時間は500Hzで2.5秒、残響時間周波数特性は500Hzを中心とした山形であるがほぼ平坦といえる。特異なエコーも検知されていない。

表-2 事例B 概要

用途	中学・高等学校
容積	6,000m ³
内装	天井：窓
	廊下天井：岩綿吸音板
	壁：石こうボード、教室扉 (SD)
	床：フローリング

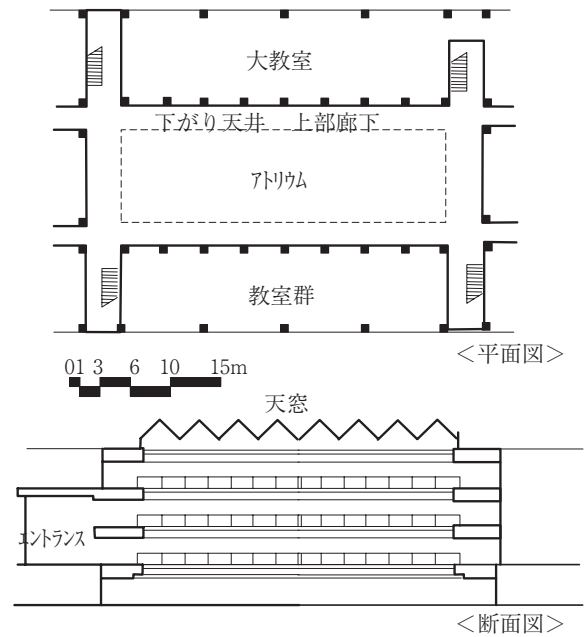


図-2-1 事例B 概略図

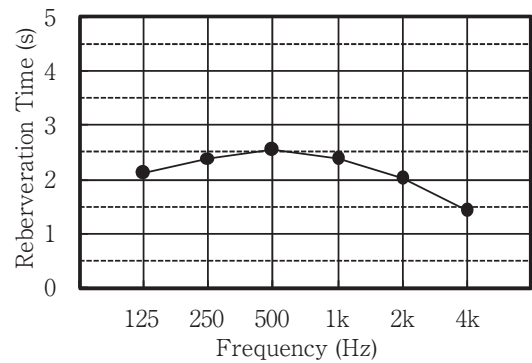


図-2-2 事例B 残響時間グラフ

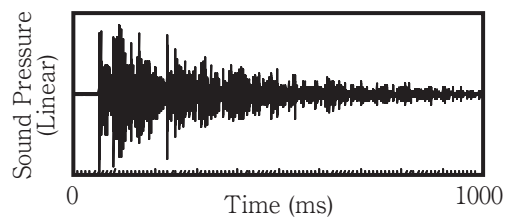


図-2-3 事例B エコータイムパターン (500Hz)

3.3 事例 C

事例 C の概要を表-3、概略図を図-3-1、残響時間グラフを図-3-2、エコータイムパターンを図-3-3に示す。本事例も私立中学高等学校で、エントランス、食堂、図書室、中庭に囲まれており、各廊下に通じる導線となっている。コーナーにピアノが設置されている。残響時間は500Hzで1.7秒、残響時間周波数特性は右下がりの特性であり、エコータイムパターンはエコーのない減衰波形を示している。

表-3 事例 C 概要

用途	中学・高等学校
容積	2,500m ³
内装	天井：岩綿吸音板 壁：窓・PB 床：花崗岩

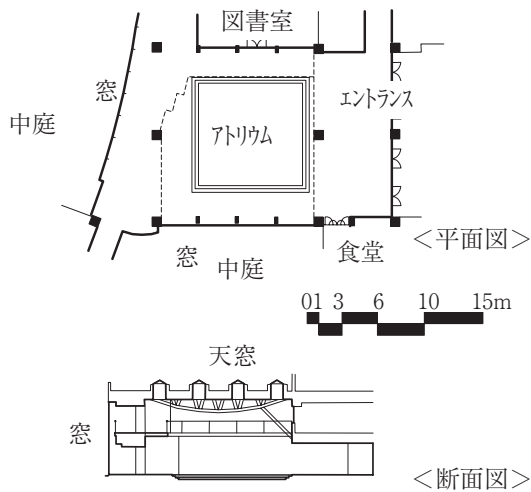


図-3-1 事例 C 概略図

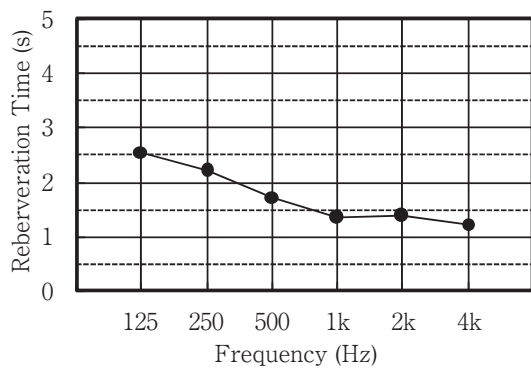


図-3-2 事例 C 残響時間グラフ

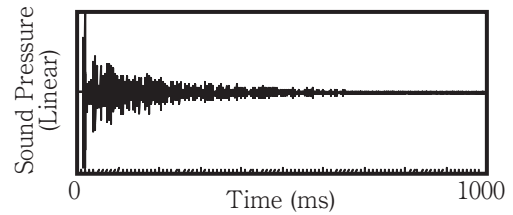


図-3-3 事例 C エコータイムパターン (500Hz)

3.4 事例 D

事例 D の概要を表-4、概略図を図-4-1、残響時間グラフを図-4-2、エコータイムパターンを図-4-3に示す。本事例は企業の専用食堂で、2層以上吹き抜けた空間であり、平面形状は長方形である。イベントも催されるが、吸音部位がほとんどないため残響時間は長く、残響時間周波数特性は1kHzを頂点に山なりの特性を示している。

表-4 事例 D 概要

用途	企業専用食堂
容積	2,700m ³
内装	天井：フレキシブルボード 壁：窓・PB 床：塩ビシート

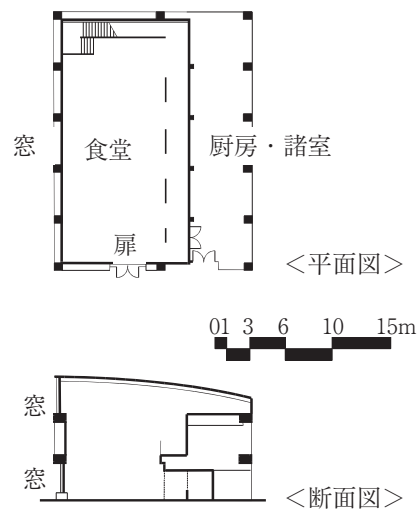


図-4-1 事例 D 概略図

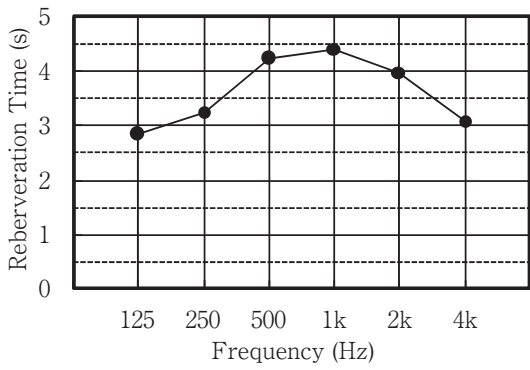


図-4-2 事例D 残響時間グラフ

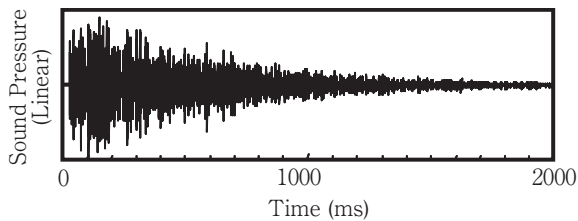


図-4-3 事例D エコータイムパターン (500Hz)

3.5 事例E

事例Eの概要を表-5、概略図を図-5-1、残響時間グラフを図-5-2、エコータイムパターンを図-5-3に示す。

本事例は複合施設の上階に位置するホールの待合い所となっており、ピアノが設置され、喫茶店もある空間である。天井がドーム状になっている。音源が端の場合、残響時間は1.5秒、残響時間周波数特性は平坦である。

表-5 事例E 概要

用途	ホールあり複合施設
容積	2,200m ³
内装	天井：フレキシブルボード
	廊下天井：岩綿吸音板
	壁：窓・PB
	床：人口大理石

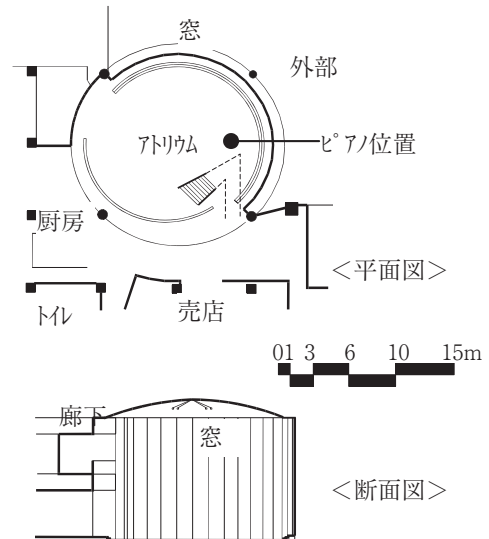


図-5-1 事例E 概略図

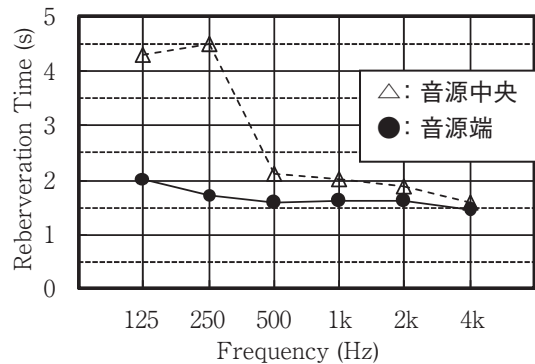


図-5-2 事例E 残響時間グラフ

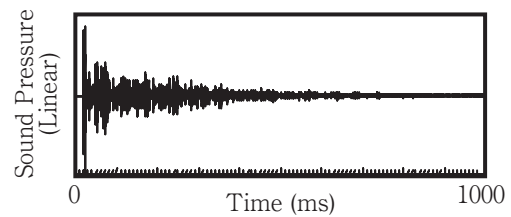


図-5-3 事例E エコータイムパターン (500Hz 音源端)

3.6 事例F

事例Fの概要を表-6、概略図を図-6-1、残響時間グラフを図-6-2、エコータイムパターンを図-6-3に示す。本事例は公共施設オフィスのエントランスに直結したアトリウムであり、職員以外に一般人も多数出入りする。壁面の石は「す」が入り少し吸音している。残響時間周波数特性は250Hzから2kHzにかけて残響時間が約3秒と平坦である。

表-6 事例F 概要

用途	オフィスビル
容積	19,300m ³
内装	天井：有孔アルミ波型
	廊下天井：岩綿吸音板
	壁：石（若干吸音）
	床：石

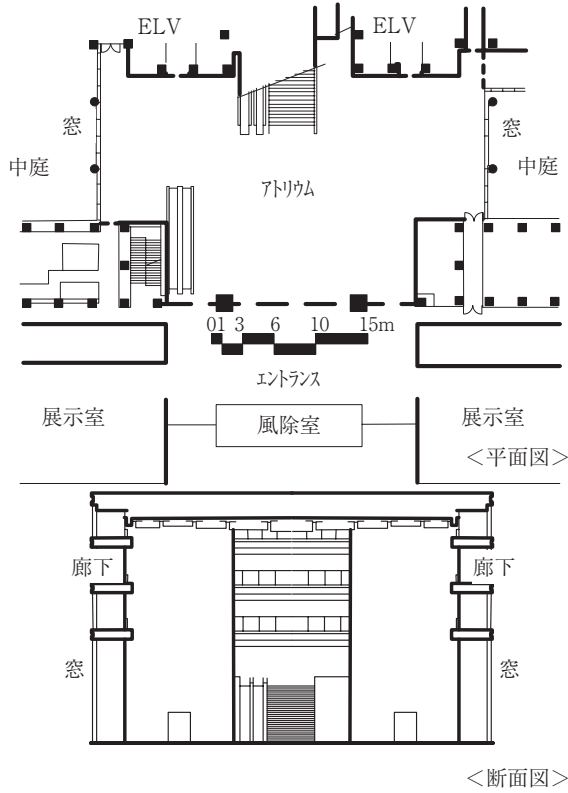


図-6-1 事例F 概略図

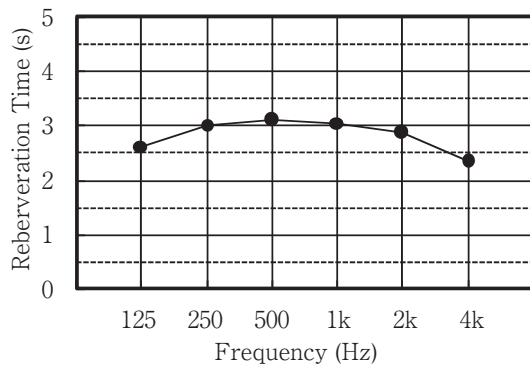


図-6-2 事例F 残響時間グラフ

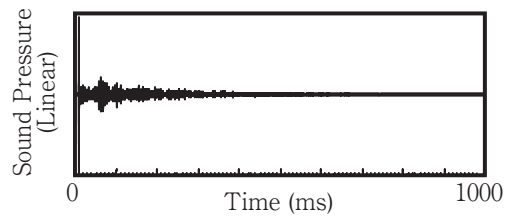


図-6-3 事例F エコータイムパターン (500Hz)

3.7 事例G

事例Gの概要を表-7、概略図を図-7-1、響時間グラフを図-7-2、エコータイムパターンを図-7-3に示す。本事例も私立中学高等学校で、体育系室と各種教室群に挟まれ吹き抜け部分は直方体形状の空間である。残響時間は500Hzで1.7秒、残響時間周波数特性は左下がりがだが高音域が平坦である。エコータイムパターンはエコーのない減衰波形を示している。

表-7 事例G 概要

用途	中学・高等学校
容積	5,500m ³
内装	天井：岩綿吸音板
	壁：窓・PB
	床：リノリウム

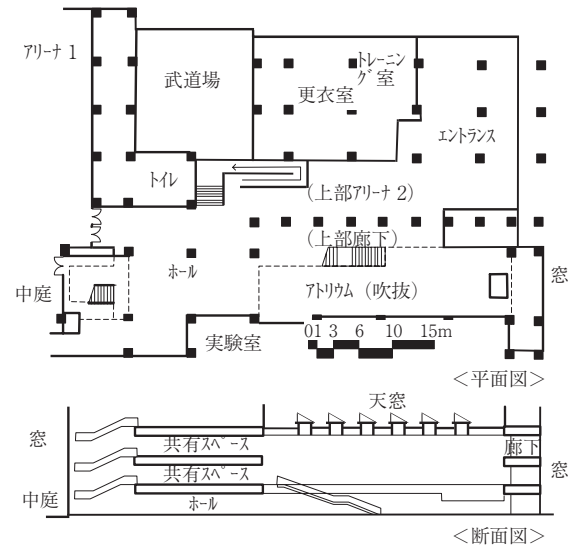


図-7-1 事例G 概略図

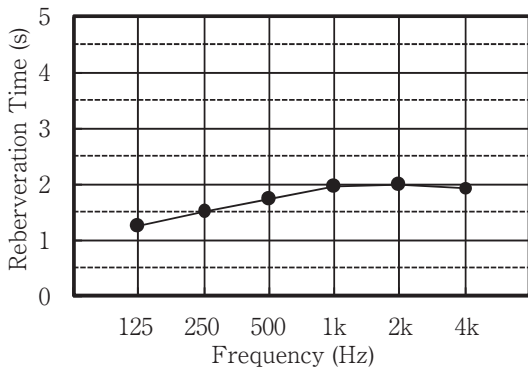


図-7-2 事例G 残響時間グラフ

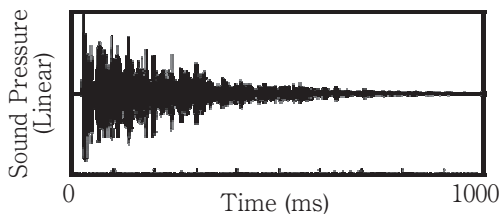


図-7-3 事例G エコータイムパターン (500Hz)

4. 平均吸音率比較

容積の違いはあるが、かなり長い残響時間となっているものもある。事例A～C, F, Gは、天井が吸音性の廊下に囲まれているなど吸音部位があり、残響時間グラフ(図-1-2, 2-2, 3-2, 6-2, 7-2)をみると、残響時間は比較的短く残響時間周波数特性は平坦である。フラッターエコーが発生すると残響時間はそれに影響される。残響時間と容積・表面積から算出した平均吸音率を表-8に示す。500Hzの平均吸音率は、事例A～C, F, Gで0.13～0.16、残響時間が4秒を超える事例Dで0.07であった。学校施設の音環境保全規準・設計指針¹⁾「表-5 残響時間推奨値」によると、アトリウムの平均吸音率は0.15以上であり、事例A～C, F, Gでは今のところクレームが発生したという報告がないことから、本報告はアトリウムの平均吸音率の推奨値0.15以上が妥当であることを裏付ける結果であると考えられる。

表-8 各事例の平均吸音率

	中心周波数 (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
事例A	0.13	0.12	0.13	0.12	0.12	0.14
事例B	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.18
事例C	0.11	0.13	0.16	0.20	0.18	0.19
事例D	0.10	0.09	0.07	0.06	0.06	0.05
事例E	0.16	0.19	0.21	0.20	0.18	0.18
事例F	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
事例G	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09

※ 事例Eは音源端の場合

5. 残響時間が長すぎた例

事例Dは、響きすぎるというクレームがあり調査した物件である。残響時間グラフ図-4-2をみると、500Hz、1kHzの残響時間が4秒を超え、図-4-3のエコータイムパターンではフラッターエコーもみられるが、反射音の到来により聴感では検知できなかった。

食堂は、衛生面から床はPタイルや塩ビシートを採用することが多く、その容積・天井高にかかわらずしばしば残響過多問題の発生が報告される。事前に客先の要求を充分把握し、場合によっては床以外の部位で吸音する配慮が必要である。

6. フラッターエコーが発生した例

事例Eは、ドーム状天井直下でフラッターエコーが発生するという調査し対策を行った物件である。図-5-2をみると、125、250Hzの残響時間は、音源が中央の場合4秒を超えるが、音源が端の場合は2秒程度となっている。図-8に125Hzのエコータイムパターンを示す。音源がドーム形状中央の場合にはフラッターエコーの発生が認められたが、音源が端の場合はフラッターエコーが少なく、中央直下に2m角空気層400mm程度のグラスウール50mmを仮設した場合、フラッターエコーの低減を確認した。以上より、対策として天井のドーム形状の中央にグラスウールボードで作成された2m角の逆四角錐を設置したところ、フラッターエコーの低減が認められた。

アトリウムは、意匠的に特徴を持たせること、また、様々な室に囲まれることによる複雑な形状も数多く見受けられる。大空間はエコーが発生すると音の到来が時間遅れで検知されやすい。設計の段階から形状が音

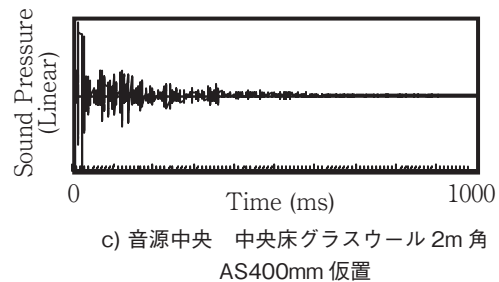
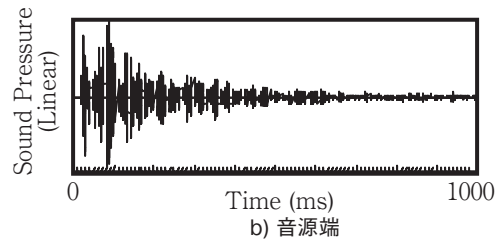
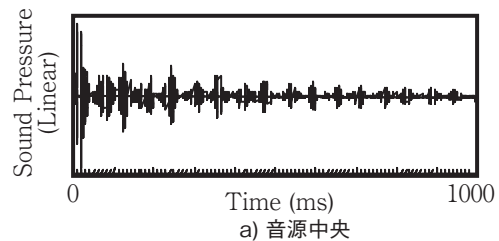


図-8 事例E エコータイムパターン (125Hz)

環境に及ぼす影響について考慮する必要がある。

7. 音声伝送性能を測定した例

事例Fでは、音声伝送性能の観点から測定する機会を得たので、その結果を紹介する。音源スピーカの位置と受音点を図-9に示す。使用スピーカは音声伝送性能測定用指向性スピーカ²⁾である。図-10にSTI分析結果を示すが、受音点がスピーカ前1,2mではSTI値が0.9以上と非常に高い。これは、受音点が音源から近いことに加えて、音源・受音位置が室のほぼ中央であり、天井・壁面による反射音の影響をほとんど受けなためと考えられる。すなわち、本事例においては近距離の音声コミュニケーションは支障がないといえる。受音点が音源から離れるにしたがって周囲の反射音の影響を受けSTI値は低下する。場内アナウンスをスピーカで拡声する場合は、受聴位置までの距離や天井・壁面の反射の影響を考慮したスピーカ配置とする必要がある。本事例の測定時では、SN比が十分であることを確認しているが、実使用時には内部騒音が大きくなることもあり、音源から遠方の受音点においては特に、音声伝送性能がさらに低下することが予想される。

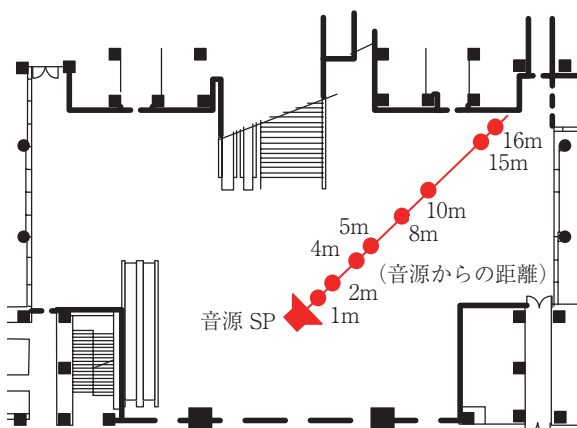


図-9 音源スピーカと受音点の関係 (事例F)

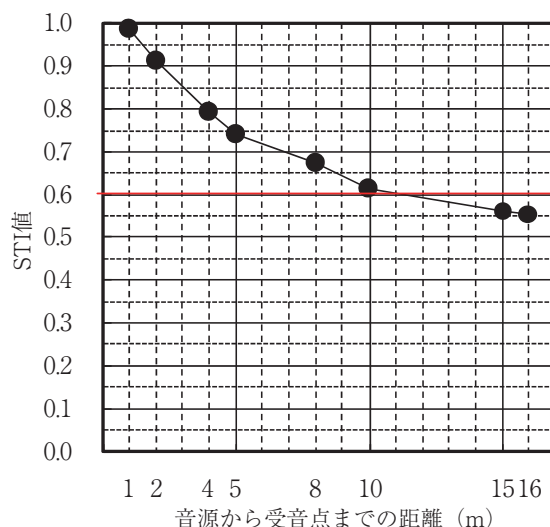


図-10 STI分析結果 (事例F)

8. おわりに

アトリウムの音環境について、当技研がかかわった測定事例を紹介した。当技研では今のところ、残響時間が短すぎるといったクレーム報告はない。また、暗騒音については定量的に把握していない。音声コミュニケーションの観点からは暗騒音は小さいほうが望ましいが、賑やかさという観点では、ある程度の発生音があり、適度な残響があったほうがよいと考えることもできる。本報告が、今後のアトリウム音環境検討の参考になれば幸いである。

参考文献

- * 土屋裕造, 小林正明: アトリウムの音響測定事例, AIJ大会 (九州) D-1, 40132, pp.293-294, 2007.8
- * 土屋裕造, 小林正明: アトリウムの音響測定事例, 音響技術 No.143, 2008.9
- 1) 学校施設の音環境保全規準・設計指針, 日本建築学会環境基準 AIJES-S001-2008
- 2) 小林好人, 佐藤洋: 測定用のスピーカの提案とその使用方法について, 日本建築学会シンポジウム資料, pp.9-11, 2006.9