

特集 4. 部屋の形状と音響障害

最終回 フラッターエコーと部屋の形**

平成 21 年 9 月 3 日

□ フラッターエコーとは

住空間における音響計画では、ブーミング（[前回参照](#)）と同様に、フラッターエコー[†]の発生も回避しなくてはなりません。このフラッターエコーが生じてしまうと、独特の音色が付与されてしまい、音の濁りや音色の変化（カラーレション）が生じてしまうのです。

□ 紋切り型の定義

一般的にフラッターエコーについては、次のような解説がされることが多いと思います。

向かい合う反射性の平行面の間では音の反射が繰り返し起こり、ピッチ、ブルンといった独特の音色が付与されてしまう。

もちろん、こうした指摘は正しいものです。しかし、フラッターエコーは決して平行な平面間だけで起こるものではありません。たとえば（[図 1](#)）にあるように、ドーム型や山型の天井と床面の間でもフラッターエコーは起こるのです。

□ 反射音の挙動

ただし、どのようなケースでも、フラッターエコーが生じるときの反射音の挙動は共通しています。

フラッターエコー発生時の反射音の到来を測定すると、おおむね[図 2](#)のような結果が得られます。つまり、周期的に「こぶ」が現れる波形となるのです。

[図 2](#)のような波形は、すなわちその部屋では、勢

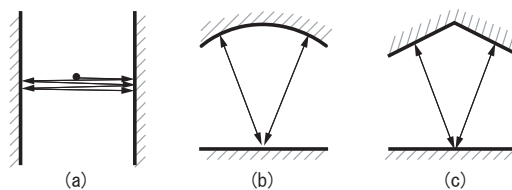


図 1 室形状とフラッターエコー¹⁾

** 初めて記事をご覧になる方は、必ず「[利用規約](#)」をご確認ください

† [YAMAHA ACOUSTIC DESIGN 音響設計 Q&A](#) にて、フラッターエコーの実例が試聴可能。

力の強い反射音が、周期的なサイクルでリスナーの所へ到来していることを示しているのです。

□ 実質的な定義

このことは、どのような経緯であれ「**相対的に勢力の強い反射音が、周期的(数十ミリ秒間隔)到来する状態**」こそが、フラッターエコーの実像であることを示しているのです。

こうした実像に基づいて理解すると、実は、平行面で囲まれた四角い部屋でも、次のようなケースでは、フラッターエコーが生じにくくなるのが分かるのです。

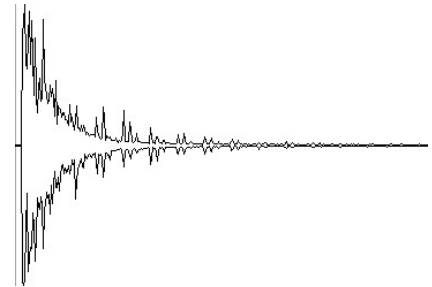


図2 フラッターエコーのエコータイムパターン²⁾

各面の吸音率が均一で、縦横高さの寸法差が小さい(立方体に近い)空間

□ 四角形でも問題ない

実際に、2種類の四角い部屋(図3)を用いて反射音の到来を予測してみると、立方体に近い部屋Aではフラッターエコーは検出されなかったのです(図4[†])。

一方、その幅だけを2倍にした空間Bでは、フラッターエコーと思しき周期的な「山」が現れたのです(図5)。

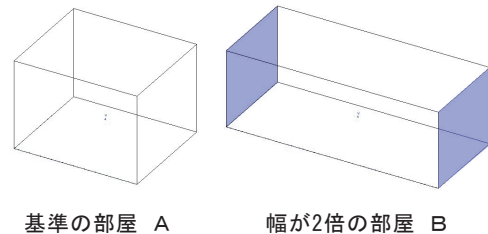


図3 部屋のイメージ
各面の吸音率は均一

□ 時間遅れのある反射音

この周期的な「山」にあたる反射成分は、いずれも図3の青い面、つまり最も距離の長い壁面が関与する反射成分だったのです。

距離が長い面からの反射音は、当然他の反射音より遅れて到達することになります。そのため、こ

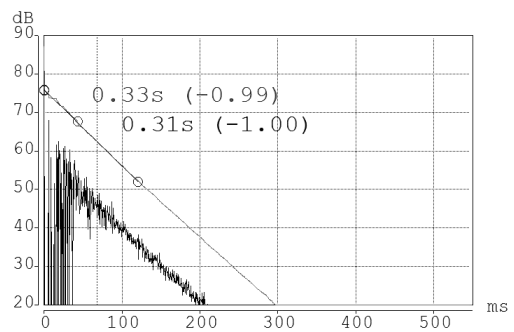


図4 部屋Aのエコーグラム

[†] 見やすいデータとして吸音率 0.4、周波数 1kHz の予測結果を表示。ただし他の吸音率でも同様の結果が得られた。

した反射音が到達するまでに、他経路からの反射音は、より多くの反射を繰り返すことになるのです。

□ 反射と音の勢力

住宅などの小空間では、音のエネルギーは、もっぱら、壁などへの衝突によって失われていきます。つまり、音は反射を繰り返すことで次第に吸音され、その勢力が弱まっていくのです。

それゆえ、他より反射回数（エネルギー減衰）が少ない音波が常に遅れて到達すると、フラッターエコーにつながるような周期的な「山」が発生しやすくなるのです[†]。

一方、吸音率が均一で縦横高さの差が小さい空間では、全ての反射音が、同じような時間遅れ、同じようなエネルギー減衰でリスナーに到達します。だからこそ、特異な挙動を起こす反射波が生じにくくなるのです[‡]（図 4）。

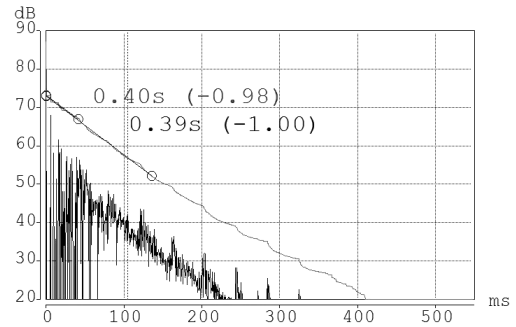


図 5 部屋 B のエコーグラム

□ 四角形への偏見

今までは、こうした実態とは無関係に、単純な四角形の部屋は平行面があるというだけで、音楽用途としては不適切だと判断されがちでした。

□ 変形にする危険性

確かに、フラッターエコーのことだけを考えれば、壁や天井を傾けた「変形空間」の方が有利だといえます。なぜなら平行面を無くすことで、フラッターエコーは簡単に除去できるからです。しかし、壁の傾け方を間違えると、臨場感が失われるなどの**危険性も生じてしまう**のです。

同様に、平行面を吸音仕上げにすることで、フラッターエコーは除去できますが、吸音過多の空間では音の楽しみが半減してしまうのです。

ですから、単純に**平行面を避けたところで、そう簡単には良い音を楽しむことはできない**のです。むしろ、部屋の形は、良い音を楽しむための工夫とも密接に関わるため、下手な形を採用して

[†] こうした経緯で発生するフラッターエコーのことを、私はロングパス型フラッターエコーと呼んでいます。

[‡] 仮にフラッターエコーが生じても、家具などの導入により多重反射、フラッターエコーが消えることが多い。

しまうと、とんでもない音場ができあがってしまうのです（詳細は次回の特集）。

□ 変形にする必要はない

それでも、依然として変形空間の方が、音空間としては有利と考える人が多いと思います。しかし、興味深いことに、今日では「石井式リスニングルーム」のように、**単純な四角い部屋でも良い音が楽しめる**ことも証明されつつあるのです。

□ 最新のリスニングルーム

実際、音響障害に的を絞っていえば、石井式リスニングルーム³⁾の数ある特徴の中で、下記 1 はブーミング対策（[前回参照](#)）、今回示したとおり 2 と 3 はフラッターエコー対策へ、それぞれ有利にはたらくと考えられるのです。

- 1. 定在波の周波数が分散するような寸法比を採用
- 2. 縦横高さの寸法差が小さい
- 3. 各面の吸音特性はほぼ均一

これ以外の点においても、単純な四角形の部屋は、決して音響上不利にはならないと考えられます。これについては、紙面の都合上、別の機会にて説明したいと思います。

いずれにせよ「形の議論」よりは、本来はその根拠となる「音の理論」の方がはるかに重要なのです。だからこそ、安直な「形の議論」を鵜呑みにはできないのです。

* 記事の感想をお聞かせください

[アンケート画面へ](#)

参考文献

- (1) 田野正典, 縄岡好人, 中川清, 平松友孝. [建築と音のトラブル](#). 学芸出版社, 1998.
- (2) Dan Russell. [Acoustical Analysis of McKinnon Theater](#).
- (3) 石井伸一郎. [リスニングルームの音響学](#). 誠文堂新光社, 2009.

* 次の付録ページでは「音の集中」について簡単にまとめています。こちらをご覧ください。

付録—凹曲面は避けるべき

□ 音の集中

音の専門家ではなく、建築家などに音響設計を依頼すると、ドーム型天井、円形や扇型平面など、凹曲面を使用した空間が提案されることがよくあります。しかし、凹曲面は「音の集中」という音響障害をもたらしてしまうのです。

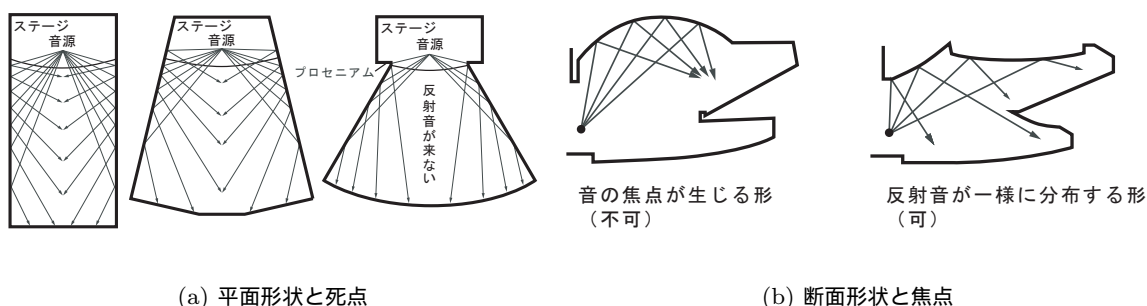


図6 焦点と死点[†]

壁や天井が凹面の場合、反射音が集中する場所（焦点）が発生します。この場合、焦点では音が強くなりますが、それ以外では音が弱まってしまうのです。このように反射音が乏しくなり、音が弱まってしまう場所のことを死点といいます。

□ フラッターエコーにも注意

凹曲面を採用すると、このように音のムラが生じるだけでなく、実はフラッターエコーの危険度も上がります。たとえば、天井がドーム型だった場合、焦点（床）と凹曲面（天井）の間で、音のキャッチボール（往復反射）が起こります。そのためフラッターエコーが生じやすくなるのです（1頁の図1b）。このように、音響設計上、凹曲面を採用するメリットは全くないのです。

[†] 日本建築学会（編）. 設計計画パンフレット 4 建築の音環境設計. 彰国社. 1983. を参考に作成

【寄付歓迎】当コラムは無料ですが、ご寄付は歓迎します。詳しくは[ご支援依頼](#)をご覧ください。