

木製交差リブ拡散体の会議室への適用

中津 成博 ^{*1}

小・中規模の会議室において残響過多や音響障害といった音環境が問題となるケースが見られる。また建築物等における木造利用に関する法律の改定により建築への木材利用が求められている。上述の背景を受け、オフィスの内装木質化と室内音響調整を同時に実現する後付けパネルである木製交差リブ拡散体(以下、木製 CRD)を作成した。試作品の木製 CRD を小規模会議室に実装し、音響改善効果を確認した結果を報告する。木製 CRD を会議室に実装することで残響時間の低下など室内音響改善ができることを確認できた。

キーワード： 交差リブ拡散体、拡散、内装木質化、小規模会議室、吸音

1. はじめに

新型コロナ流行以降、オフィスのフリーアドレス化や働き方改革による在宅勤務の普及に伴う Web 会議の増加により、個人ブースや小・中会議室の需要が急速に高くなっている。これらの空間は反射性の内装材料で構成されることが多く、残響過多やフラッターエコーなどの音響障害が生じ音環境が問題となるケースが見られる。また、「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」への改定により公共建築物から建物一般に木材利用の範囲が拡大されたため、建物への木材利用が求められている。これらの背景を受け、オフィスの内装木質化と室内音響調整を同時に実現する後付けパネルとして、木製の交差リブ拡散体 (Crossed Rib Diffuser, 以下木製 CRD とする) を作製した。既往研究にて、1 次元リブ構造に比べ交差リブとすることで拡散性能が向上することが知られている¹⁾。また、個室ブースに木製 CRD を設置することで音環境の改善および見た目の印象向上が確認されている^{2) 3)}。

本報では、木製 CRD の試作品を小規模会議室に実装し室内音響調整効果を実験的に確認した結果を報告する。

2. 木製 CRD の仕様と吸音性能

2.1 木製 CRD の仕様

本測定で実装した木製 CRD の外観および構成図を

図-1 および図-2 に示す。実装した木製 CRD 試作品はピッチが異なる一次元リブで構成される二枚のパネルを交差角度が 60 度となるように重ね、パネル間に膜材を挿入した仕様である。挿入した膜材は通気性をもつ布製である。木製 CRD は多くのエッジを持つ形状のため吸音が期待できる。木製 CRD は拡散性能と吸音性能の両特性を有すると考えられる。

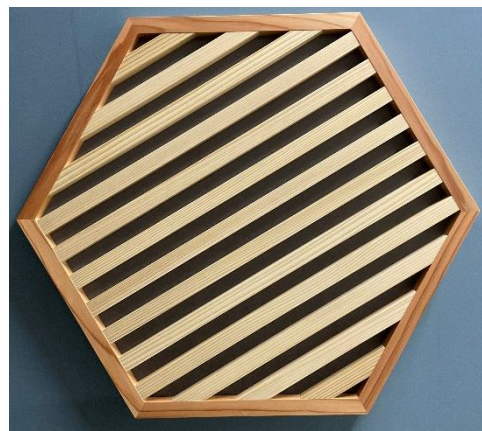


図-1 木製 CRD の外観

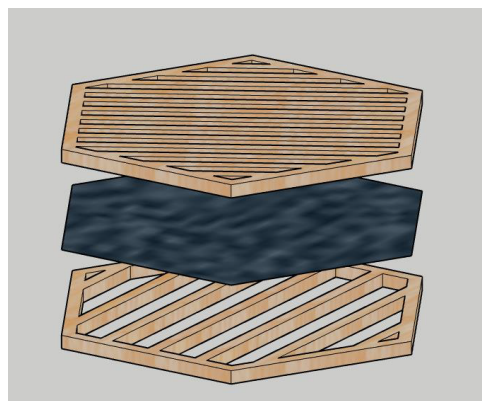


図-2 木製 CRD の構成図

^{*1} 環境研究部

2.2 吸音性能

木製 CRD の吸音性能を確認した。吸音性能測定は安藤ハザマ技術研究所の 1/5 縮尺模型の不整形残響室 (160mm 厚アクリル製) を用い、縮尺模型による残響室法吸音率により評価する。不整形残響室の容積は 42.4 m³ (実寸換算 : 212 m³) である。測定に用いた 1/5 縮尺不整形残響室を図-3 に示す。試験体は木製 CRD の中間膜の有無および木製 CRD を構成する各パネル単体 (以下、上段パネル、下段パネルとする) の 4 ケースである。測定に用いた試験体の仕様および写真を表-1 に示す。パネルの縮尺模型は 3D プリンター (FDM 方式) により造形した。いずれの試験体もパネル面積の合計面積が実寸換算で 10 m² 以上となるようにパネル枚数を決定し残響箱床面に敷き詰めている。音源点 2 箇所、受音点 3 箇所を設けた。その他の設定は JIS A 1409 に準拠した⁴⁾。測定状況を図-4 に示す。

図-5 に各種条件の吸音率測定結果を示す (周波数は実数換算, 寸法は 1/5 縮尺)。上段パネルおよび下段パネルのみではほとんど吸音性能を持たないが、交差リブとすることで、吸音率の上昇と吸音率を発現する帯域の広域化を確認できる。500Hz 帯域以降で 0.2 程度の吸音率を示している。また、交差リブの間に中間膜を挿入することで 250Hz 帯域以降の吸音率が上昇し、1kHz 帯域以上で 0.5 ~ 0.6 程度の吸音率を示し、吸音性能が向上することがわかる。

3. 会議室への実装実験

実装実験を実施した会議室 (3.13m × 4.96m × 2.5m (H)) の各面の構成を表-2、会議室の写真を図-6 および図-7 に示す。表-2 より、壁面が反射性材料、天井面および床面が吸音性材料で構成された空間であることがわかる。本会議室では什器がない状態で手を叩くとフラッターエコーが知覚された。天井面と床面には吸音性の材が使用されていることから壁面間で生じていると考えられる。

3.1 測定概要

図-8、図-9 に会議室の平面図および音源点、受音点、木製 CRD の設置図を示す。スティールパーティションの壁面 1 面に木製 CRD を設置した場合と設置しない場合 (以降、なし / あり) の 2 条件でインパルス応答

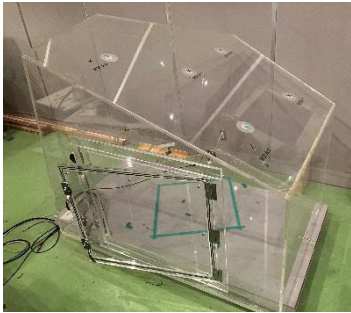


図-3 1/5 縮尺不整形残響室

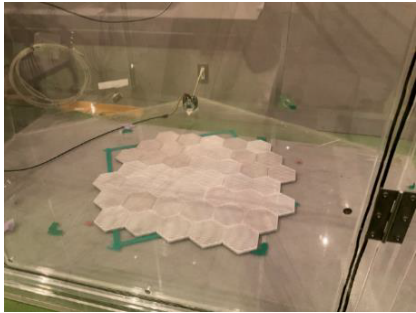


図-4 測定状況写真

表-1 試験体仕様

case	1	2
Material	CRD (中間膜あり)	CRD (中間膜なし)
Figure		
case	3	4
Material	上段パネル	下段パネル
Figure		

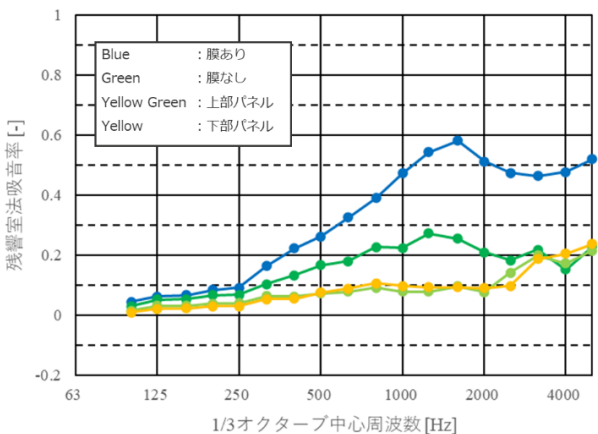


図-5 測定結果

表-2 壁面構成

部位	構成
天井	直天井(一部、GW直付け)、空調輻射パネル
壁	スティールパーティション、ガラス
床	カーペット



図－6 壁面



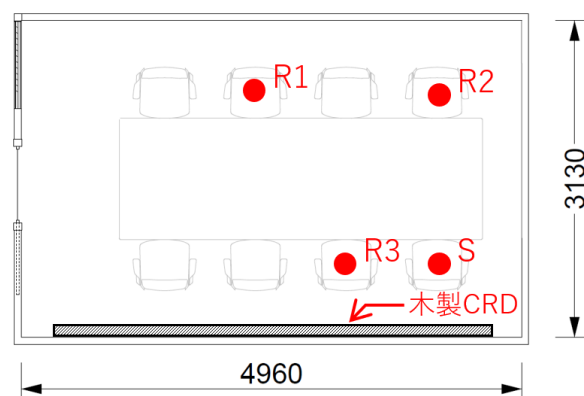
図－7 天井面

測定を行った。会議室使用時の状況を想定し、各条件のインパルス応答測定では、受音点を3ヶ所（R1～3）設置した。音源点および受音点の高さはいずれも1.2mである。木製CRDは床面からの下端高さが1.0mとなるよう座席範囲を満たすように9枚設置した。木製CRD設置時の測定状況を図－10、パネル設置状況を図－11に示す。人の発声を想定し、単一指向性スピーカを正面方向に向けて音源を出力した。測定は什器がない状態で実施している。

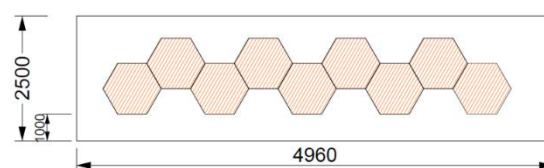
3.2 測定結果

3.2.1 インパルス応答・残響曲線

音源S、受音点R2における1kHzオクターブ帯域のインパルス応答およびインパルス応答より算出した減衰曲線を図－12に示す。インパルス応答は各々の最大値で基準化を行っている。図－12のインパルス応答より、木製CRDなしでは残響として強い反射音が残っていることが確認できる。室内で手を叩いた際に知覚したフラッターエコーはこの反射音に起因していると考えられる。一方、木製CRDありではパネルなしでみられた



図－8 平面図と音源・受音点位置
(音源：S，受音点：R1，R2，R3)



図－9 木製CRD設置図



図－10 測定状況



図－11 木製CRD設置状況

強い反射音が抑制され、早期に減衰していることがわかる。壁面間で生じていた反射音が木製 CRD 設置により拡散および吸音され多重反射が解消されたと考えられる。また、パネルなしで知覚されていたフラッターエコーが知覚できず聴感としても違いを感じられた。

音源 S による R1 ～ 3 の各受音点のインパルス応答および減衰曲線を重ねて図 - 13 に示す。いずれの受音点においても、R2 と同様に後期残響として残っていた強い反射音の抑制および早期減衰が確認できることから木製 CRD の設置効果があることがわかる。

3.2.2 室内音響物理指標

会議室内で測定したインパルス応答より室内音響物理指標として残響に着目した残響時間 (T20) と初期減衰時間 (EDT) を、明瞭性に着目した初期音対後期音エネルギー比 (D50) と音声伝達指数 (STI) を算出した。

各受音点における室内音響指標の算出結果並びに EDT および D50 の低減量を丁度可知差異 (just noticeable difference: JND) で正規化した値⁵⁾を図 - 14 ～ 19 に示す。

残響時間 (T20) ・初期減衰時間 (EDT)

図 - 14 および図 - 15, 図 - 16 より, 木製 CRD なしでは受音点によらず 1kHz から 8kHz 帯域にかけて T20 および EDT の値が大きくなっており残響が長い空間であることがわかる。一方, 木製 CRD を設置することで 1kHz から 8kHz 帯域にかけて確認された値の上昇がなくなり, いずれの帯域でも 0.5[S] 程度まで T20 が抑制されている。最大で 1.2[S] 程度低減効果となっている。また, EDT に関しても同様の低減が確認でき, ほとんどの周波数帯域において 1.0JND を上回っていることから残響感も短くなっていることがわかる。特に, 2kHz 帯域では 14JND から 16JND となっており大きな低減であるといえる。これらは木製 CRD を設置したことで壁面

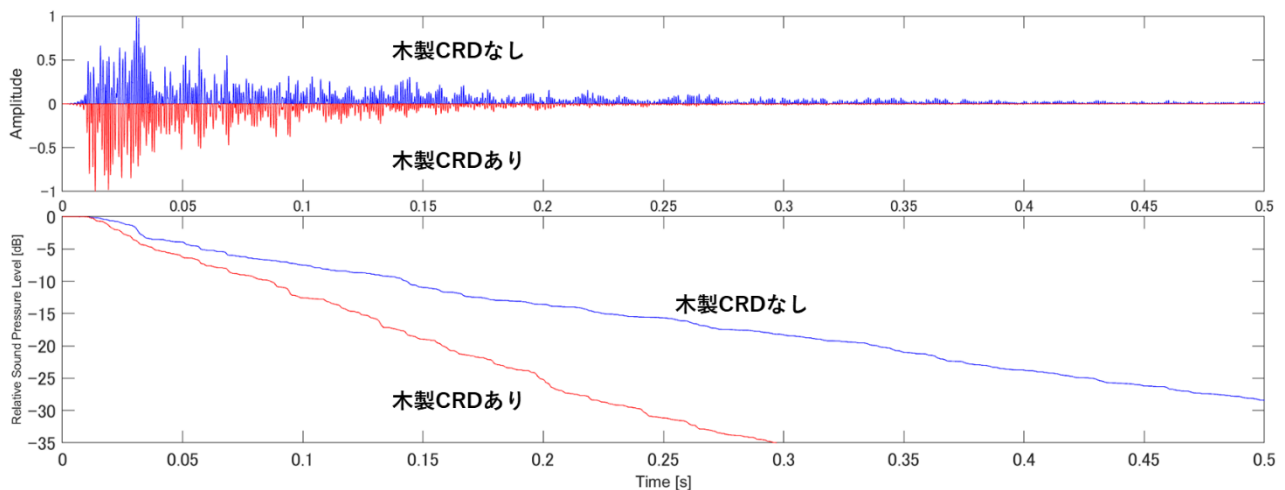


図 - 12 インパルス応答・減衰曲線 (受音点 R2, @1kHz)
(上: インパルス応答, 下: 減衰曲線)

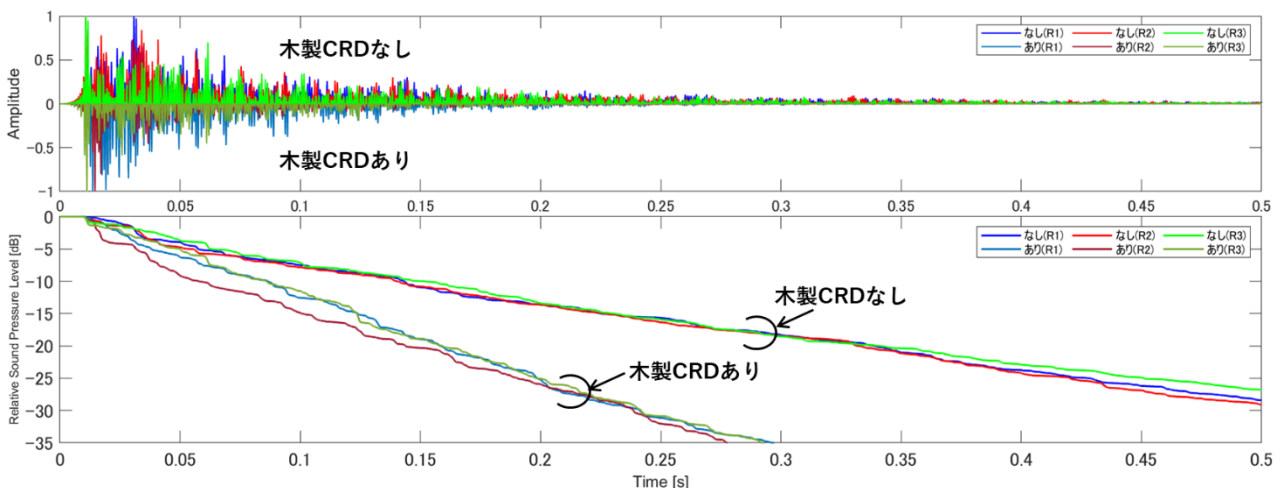


図 - 13 受音点比較 (インパルス応答・減衰曲線, @1kHz)
(上: インパルス応答, 下: 減衰曲線)

間に生じていた多重反射が解消されたことによるものであると考える。受音点位置での傾向の差はほとんどみられない。

Definition (D50)

図-17 および図-18 より、残響時間と同様の傾向が確認でき、1kHz から 8kHz 帯域にかけ大きな改善が確認できる。また、1kHz 帯域以降で 1.0JND 以上の差があることから木製 CRD 設置により音声の明瞭性が向上している。一方、T20 では見られなかった受音点位置による傾向の差があり、音源と受音点の位置によって効果が異なることが考えられる。

音声伝達指数 (STI)

図-19 より、すべての受音点において木製 CRD の設置前後で STI が増加しており、木製 CRD の設置による音声明瞭度の向上が確認できる。特に、受音点 R3 では音声明瞭度のクラス⁶⁾が 3rd から 2nd へ 1 ランク上昇となっている。一方、木製 CRD 設置前後の差が最大で 0.14 程度に留まっているが、音源-受音点間の距離が近く直接音の影響が大きいためと考える。

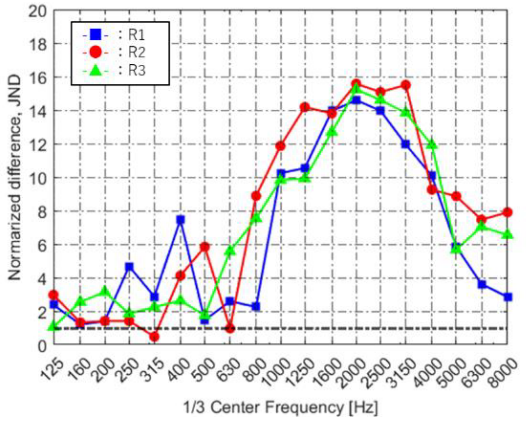


図-16 差分 (EDT)

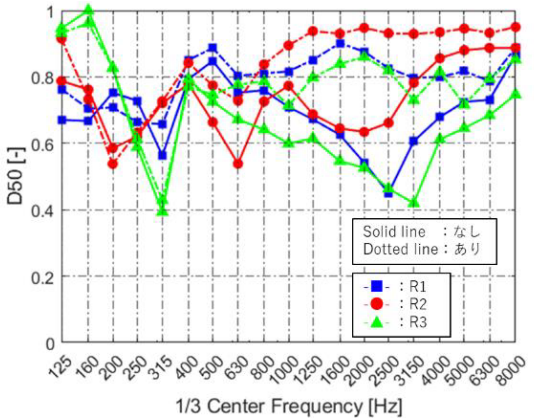


図-17 D50

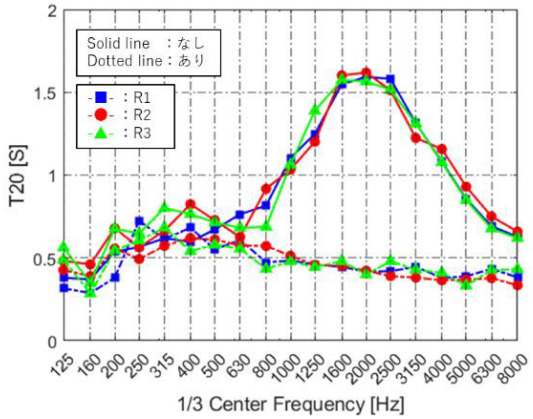


図-14 T20

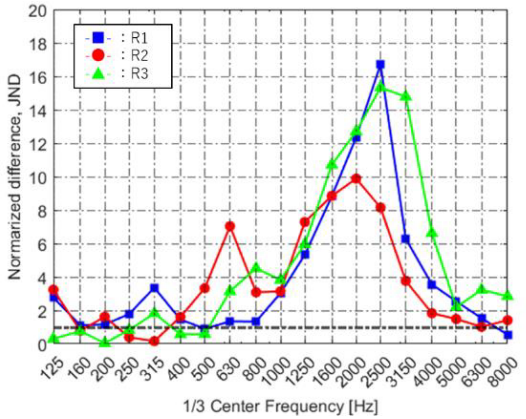


図-18 差分 (D50)

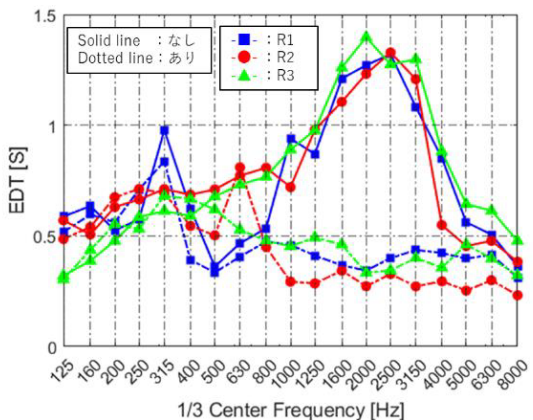


図-15 EDT

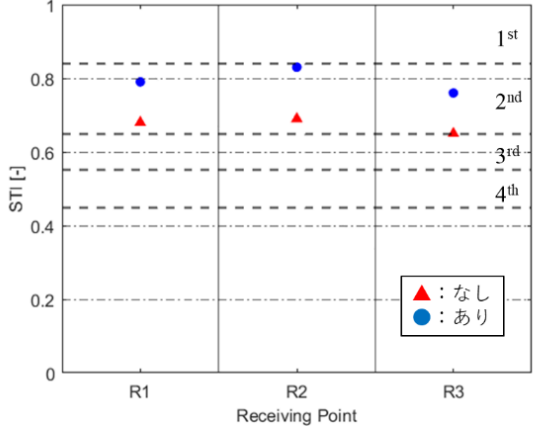


図-19 STI

4. まとめ

本報では、木製 CRD の吸音性能確認および会議室における木製 CRD 設置前後のインパルス応答測定を行い、室内音響に対する木製 CRD の設置効果を検証した。木製 CRD を壁面に設置することで残響時間の低減や音声明瞭度の増加を確認し、木製 CRD を設置することで室内音響が改善されることを示した。今後は適応事例を増やし、設置位置や設置面積と音響調整効果の対応確認および傾向把握を進めていく予定である。

関係各位には本測定にあたり多大なご尽力をいただいた。記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 吉田卓彌, 上田泰孝, 森則理, 俣野祐美. 交差リブ拡散体を用いた室内音響調整に関する基礎的検討. 建築音響研究会. AA2020-40. 2020.
- 2) 俣野祐美, 裕美友, 栢野旭代, 中津成博, 上田泰孝. 交差リブ拡散体の実施例－オフィス個室ブースの内装木質化と音響改善に関するアンケート調査－. 音響学会講演論文集. 1-8-6. pp647-648. sep (2023).
- 3) 俣野祐美, 裕美友, 栢野旭代, 中津成博, 上田泰孝. 交差リブ拡散体の実施例－オフィス個室ブースの室内音響とアンケート結果の対応－. 音響学会講演論文集. 2-7-3. pp443-444. March (2024).
- 4) JIS A 1409:1998, 残響室法吸音率の測方法, (1998).
- 5) ISO 3382-1:2009, Acoustics Measurement of room acoustics parameters, Part 1: Performance spaces.
- 6) 日本建築学会編, 都市・建築空間における音声伝送性能評価規準・同解説, 丸善出版, 2011

Conference room application of wooden cross-rib diffusers

Naruhiko NAKATSU

There are cases where sound environments such as excessive reverberation and acoustic impairments become problematic in small and medium-sized conference rooms. Furthermore, revisions to laws regarding the use of wood in buildings have led to a demand for the use of wood in construction. In light of the above, we have created a wooden cross-rib diffuser (CRD), a retrofit panel that simultaneously realizes wood-based office interiors and room acoustic adjustments. We installed a prototype CRD in a small conference room and confirmed its acoustic improvement effect, and report here. We confirmed that installing the CRD in a conference room can improve room acoustics, such as reducing the reverberation time.
