

# コルエアダクトの開発

Development of Corrugated Fiberboard Air Duct

松尾秀信\* 柴部修輝\* 山崎 章\*

Hidenobu Matsuo, Shuki Shibabe, Akira Yamazaki

再生紙で作られた段ボールにアルミニウム箔をラミネートした材料を用いて換気・空調用ダクトを開発した。この製品には軽量で、保温性があり、環境負荷が少ないといった特徴がある。本稿では環境負荷と音響特性試験の結果について報告する。

A heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) duct consisting of aluminum laminated corrugated fiberboard, which was made of waste paper, was developed. This duct is lightweight, thermally insulated and recyclable. This paper reports on its environmental load and results of acoustic characteristic tests.

## 1. はじめに

換気および空気調和に用いられるダクトの多くは、亜鉛メッキ鋼板を材料として作られている。さらに、結露防止のためにグラスウールなどの保温材を付加して使用される。また保温機能が一体化されたダクトが提案されているが、日本国内で主に使われているのはグラスウールダクトと保温フレキシブルダクトである。

一方、段ボールは、軽量でかつ中空構造がもたらす断熱性を活かして建材分野においても広く利用されている。例えば、壁または屋根用の断熱ボード、ふすまや畳の芯材であり、特異な例では自動車の内装材料などとして使用されている。この段ボールをダクト用材料として利用するアイデアは古くからあり、1970年代には特許等<sup>1) 2)</sup>が出願されている。しかし、不燃性の付与とコスト面から実際に使用された例は少ない。

地球温暖化防止や資源の有効利用など環境問題への意識が高まる中で、建築物においても環境に配慮した建材を使用することが求められている。段ボールは古紙の使用率が90%を超えており、建材へ適用するうえで資源の有効利用となる優れた材料と考えられる。

著者らは段ボールを基材としたダクトを開発および検証して、実際の建物に適用してきた<sup>3)</sup>。ここでは、その概要と、新たに測定したダクトの音響性能について報告する。

## 2. コルエアダクトについて

開発したダクトの名称を「コルエアダクト」とした。これに用いた素材は、厚さ8mmの段ボールと厚さ20 $\mu$ mのアルミニウム箔で構成されている。単位重量は約1kg/m<sup>2</sup>であり、従来の鋼板製ダクトと比べて約5分の1と軽量である。

本製品は工場で所定寸法に切断した材料の四辺をアルミテープでシールして防湿性を持たせ、折り曲げのため

の罫線と組立て形状保持のためのピン穴を加工している。建築現場には平板の状態での搬入、施工直前に矩形に組立てる。組立て作業は標準化されており、特別な道具や技術がなくても組立てることができる。形状には直線のほか曲がりや分岐などがある。

ダクトとしての性能は、低圧ダクトに求められる圧力による変形量と空気漏れ量が規定値以内であり、送風時における圧力損失が亜鉛メッキ鋼板で作られる従来のダクトと変わらないことなどを確認している。

段ボールの中空層がもたらす断熱効果については、熱貫流率をJIS A1420に準拠して測定した。その結果、2.04 W/K $\cdot$ m<sup>2</sup>であった。これは一般にダクトの保温に用いられるグラスウール24 kg/m<sup>3</sup>、25 mmの熱貫流率1.0~1.5 W/K $\cdot$ m<sup>2</sup>には劣るが、近年、使用事例の増えてきた植毛鋼板ダクトの4.5 W/K $\cdot$ m<sup>2</sup>の半分以下である。実際には多くの建物・条件下で追加の保温が無くとも使用可能と考えられる。このことを確認するために、環境試験器内にダクトを配置して空気を流し、結露の発生する条件を調べた。その結果、一般的な空調条件である温度28度、湿度60%の空間において、送風温度11.4度まで結露が発生しないことを確認した。また、様々な測定結果より環境条件と送風温度を組合わせて、結露の発生を予測できるチャートを作成した。



図1 コルエアダクト断面

\* 建材事業部 生産本部 技術開発部

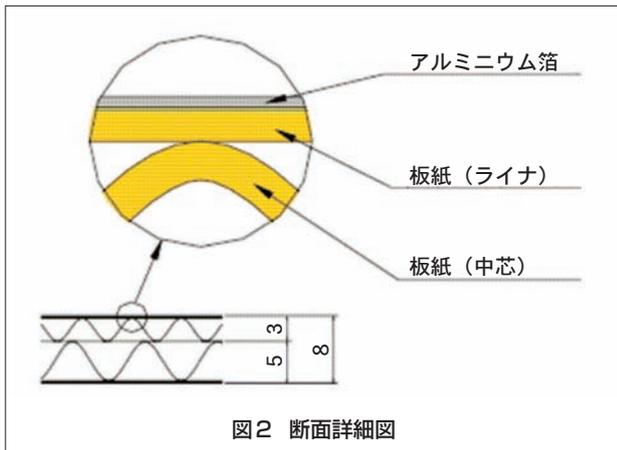


図2 断面詳細図

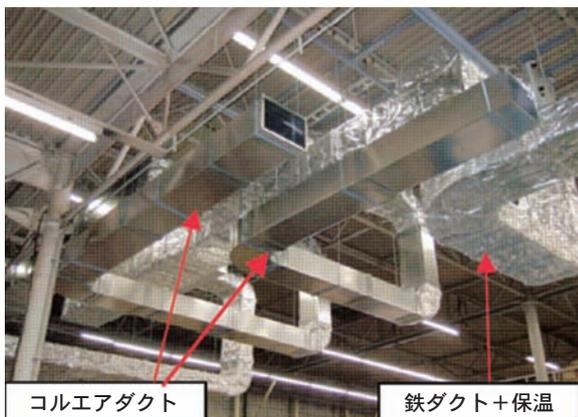


図3 コルエアダクト

### 3. 環境負荷の検討

今回はダクト本体を構成する材料についての環境負荷を評価する方法としてCO<sub>2</sub>排出量を算出・比較した。CO<sub>2</sub>排出量はLCAデータベース<sup>4)</sup>に基づき算出した。算出結果を図4に示す。

段ボールダクトのCO<sub>2</sub>排出量は鋼板製ダクトの約1/3と算出できた。さらに保温処理がされた鋼板製ダクトと比べると約1/4となった。

このことから、再生材であり単位面積あたりのCO<sub>2</sub>排出量が小さいコルエアダクトは、地球温暖化防止や資源の有効利用などにより環境負荷低減が期待できる。

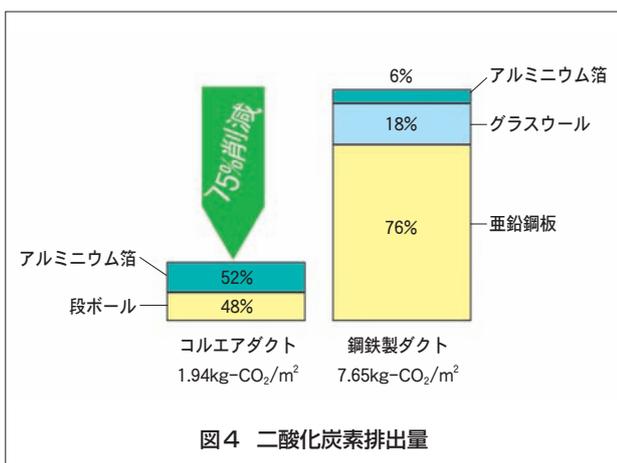


図4 二酸化炭素排出量

### 4. 音響性能

空調用ダクトの音響性能は、主に次の3つの指標で評価される。

- a)ダクト内での自然減衰性能
- b)ダクト側壁の遮音性能
- c)ダクト内の発生騒音

これらについて確認試験を行った。a)、b)に関しては鋼板製ダクトと異なる傾向がみられたので、次節よりその結果について述べる。c)の発生音に関しては、鋼板製ダクトと同じ条件にて比較試験を行い、鋼板製ダクトと同等であり、問題ないレベルであることを確認したので詳しい結果は省略する。

#### 4.1 自然減衰性能

低音域の騒音は、空気がダクト内を流れる過程で、ダクト側壁を透過したり、ダクト側壁を振動したりして自然減衰する。コルエアダクトは一般の鋼板製ダクトとは材質が異なるため、性能を確認するための試験を行った。

##### 4.1.1 試験概要

試験装置を図5に示す。ダクト系AおよびBそれぞれのスピーカより入力電圧が一定のピンクノイズを発生させ、その時の残響室内平均音圧レベルLp(A)およびLp(B)を測定する。

試験体の自然減衰量は、Lp(A) からLp(B)を減じて算出する。

$$IL = Lp(A) - Lp(B)$$

ここで

- IL : 自然減衰量 [dB]
- Lp(A) : 試験体を設置していない時の残響室内平均音圧レベル [dB]
- Lp(B) : 試験体を設置した時の残響室内平均音圧レベル [dB]

試験体概要を図6に示す。一般的に、鋼板製ダクト直管部に材質の異なるダクトを接続して用いる場合、ダクト断面積が小さいほど、その接続直後1m以内の音響減衰とそれ以降の音響減衰に大きな差が生じることが分かっている。例えば、鋼板製ダクトからガラス・ファイバ・ダクトに材質が変わる場合である<sup>5)</sup>。鋼板製ダクトにコルエアダクトを接続した場合も、材質が変わるため同様の現象が発生すると思われる。

ここでは、コルエアダクトの一般的な使用条件での自然減衰性能を把握するため、試験体の長さLは1m、1.5m、3m、4.5mの4種類を準備し、ダクト1mあたりの自然減衰性能は接続直後の1.5mの試験値を差し引いて評価するものとする。

##### 4.1.2 試験結果

各口径、各長さについての試験結果を表1に示す。4種類の長さの自然減衰量は比例関係にないことがわかる。

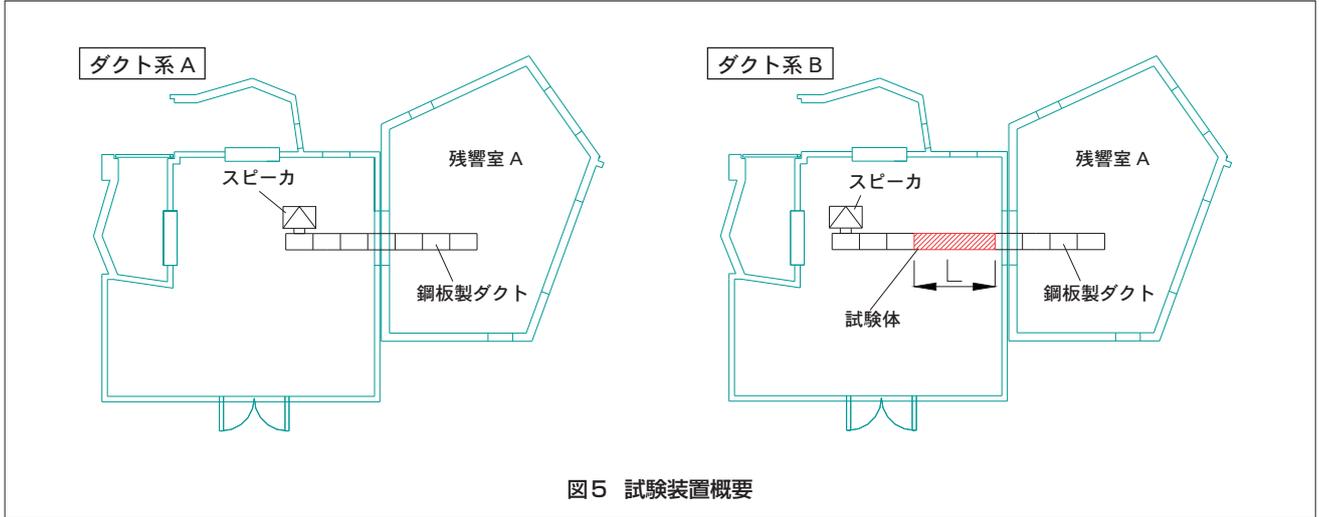


図5 試験装置概要

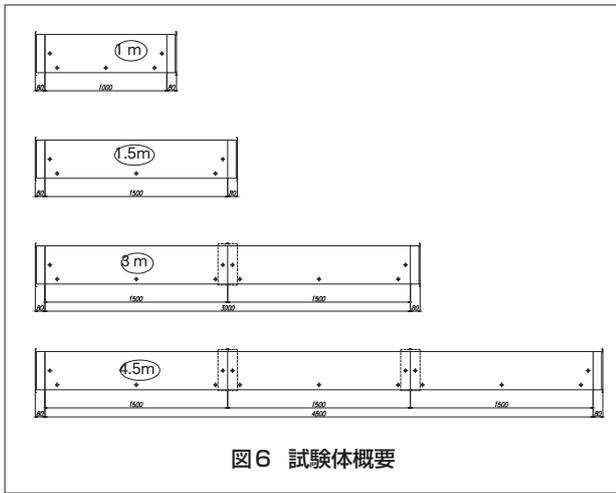


図6 試験体概要



図7 試験概要

表1 試験結果

(単位: dB)

口径	長さ (m)	1 / 1 oct. 周波数 [Hz]							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
□ 200 × 200	1	0	2	6	6	3	3	4	7
	1.5	2	0	7	7	3	4	4	9
	3	1	1	8	12	5	6	8	14
	4.5	0	3	13	16	8	9	11	19
□ 300 × 300	1	5	8	6	2	2	3	3	5
	1.5	5	9	8	2	3	4	5	7
	3	4	11	13	4	4	5	7	11
	4.5	7	12	18	6	5	7	9	14
□ 600 × 300	1	7	6	4	2	2	2	3	5
	1.5	6	8	6	3	3	3	4	7
	3	10	12	9	6	4	4	6	11
	4.5	9	10	12	8	6	6	9	15
□ 600 × 600	1	8	3	3	1	2	1	2	3
	1.5	10	4	3	2	2	2	3	5
	3	14	8	6	4	4	3	5	8
	4.5	20	12	8	6	6	6	8	12

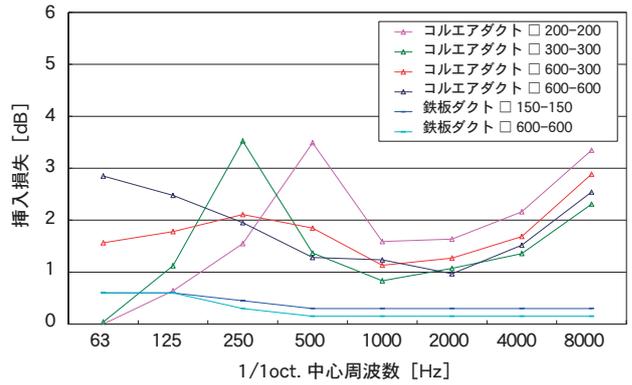


図8 ダクト直管 1mあたりの自然減衰量

表2 ダクト直管 1mあたりの自然減衰量(dB)

	口径	1 / 1 oct. 周波数 [Hz]							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
コルエアダクト	□ 200 × 200	-	0.6	1.5	3.5	1.6	1.6	2.2	3.3
	□ 300 × 300	0.0	1.1	3.5	1.4	0.8	1.1	1.4	2.3
	□ 600 × 300	1.6	1.8	2.1	1.8	1.1	1.3	1.7	2.9
	□ 600 × 600	2.8	2.5	2.0	1.3	1.2	1.0	1.5	2.5
鉄板ダクト (一般値)	□ 150 × 150	0.6	0.6	0.45	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	□ 600 × 600	0.6	0.6	0.3	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

銅板製ダクトよりコルエアダクトに変わって、1.5 m までのデータを差引き、1.5 m を超えた部分についてのコルエアダクト 1 m あたりの自然減衰量を図 8、表 2 に示す。ほぼ全周波数帯域において、銅板製ダクトよりも自然減衰量が大きいことがわかる。

#### 4.2 遮音性能

ダクト側壁の遮音性能はダクト側壁の透過損失の大きさを測定することにより把握できる。音が物体に入射すると、一部は通り抜け、残りは吸収、反射される。入射した音と、材料を透過した音とのパワーレベルの差を透過損失といい、デシベル(dB)単位で表す。

##### 4.2.1 試験概要

試験体は図 6 に示した、1 m、1.5 m、3 m のコルエアダクトを用いて行う。試験装置概要を図 9 示す。ダクト系 C、D および E それぞれのスピーカより入力電圧が一定のピンクノイズを発生させ、以下を測定する。

###### a) ダクト系 C

試験体に入射するパワーレベル(Lwe)の測定。

###### b) ダクト系 D

試験体、無反射端、および銅板製ダクトから放射するパワーレベル(Lwr<sub>1</sub>)の測定。

###### c) ダクト系 E

無反射端、および銅板製ダクトから放射するパワーレベル(Lwr<sub>2</sub>)の測定。

試験体側壁の透過損失(内→外)は以下のように算出する。

$$TL_{out} = Lwe - Lwr_1$$

ただし  $Lwr_1 - Lwr_2 > 10 \text{ dB}$  とする。

ここで、

TL<sub>out</sub> : 試験体側壁の透過損失 (内→外) [dB]

Lwe : 試験体に入射するパワーレベル [dB]

Lwr<sub>1</sub> : 試験体、無反射端および銅板製ダクトから放射するパワーレベル [dB]

Lwr<sub>2</sub> : 無反射端、銅板製ダクトから放射するパワーレベル [dB]

##### 4.2.2 パワーレベル計算

###### a) ダクト系 C

試験体に入射するパワーレベル(Lwe)は以下の様に算出する。

$$Lwe = Lp - 10 \log_{10} \left( \frac{T}{T_0} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{V}{V_0} \right) + 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{S \lambda}{8V} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{P_{atm}}{10^5} \right) - 14 + \Delta L$$

ここで、

Lwe : 試験体に入射するパワーレベル [dB]

Lp : 残響室内平均音圧レベル [dB]

T : 残響室の残響時間 [s]

T<sub>0</sub> : = 1 s

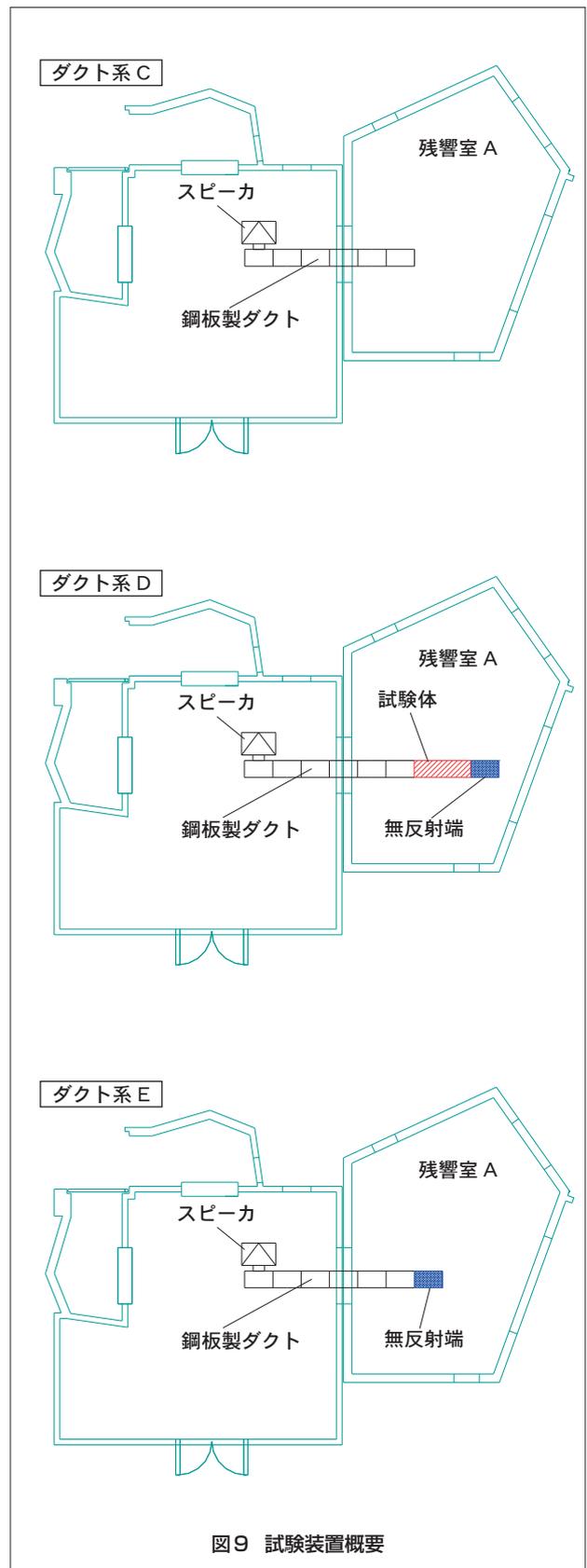


図9 試験装置概要

- V : 残響室の容積 [m<sup>3</sup>]
- V<sub>0</sub> : = 1 m<sup>3</sup>
- S : 残響室の室内総表面積 [m<sup>2</sup>]
- λ : 測定周波数帯域の中心周波数の音の波長 [m]
- P<sub>atm</sub> : 大気圧 [Pa]
- ΔL : 開口端反射減衰量 [dB]

b) ダクト系D、E

試験体、無反射端、および鋼板製ダクトから放射するパワーレベル(L<sub>wr1</sub>)の計算、及び、無反射端、鋼板製ダクトから放射するパワーレベル(L<sub>wr2</sub>)は以下の様に算出する。

$$L_{wr} = L_p - 10 \log_{10} \left( \frac{T}{T_0} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{V}{V_0} \right) + 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{S \lambda}{8V} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{P_{atm}}{10^5} \right) - 14$$

ここで、

- L<sub>wr</sub> : 対象物から放射するパワーレベル [dB]
- L<sub>p</sub> : 残響室内平均音圧レベル [dB]
- T : 残響室の残響時間 [s]
- T<sub>0</sub> : = 1 s
- V : 残響室の容積 [m<sup>3</sup>]
- V<sub>0</sub> : = 1 m<sup>3</sup>
- S : 残響室の室内総表面積 [m<sup>2</sup>]
- λ : 測定周波数帯域の中心周波数の音の波長 [m]
- P<sub>atm</sub> : 大気圧 [Pa]

4.2.3 透過損失計算

前節で求められた入射するパワーレベル(L<sub>wi</sub>)とダクトから放射するパワーレベル(L<sub>wr</sub>)より透過損失(TL)を求めることができる。

$$TL = L_{wi} - L_{wr} + 10 \log \frac{P_l}{S}$$

- TL : ダクト管内から管外への透過損失 [dB]
- P : ダクトの周長 [m]
- l : ダクトの長さ [m]
- S : ダクトの断面積 [m<sup>2</sup>]

4.2.4 試験結果

試験結果を表3に示す。低周波数帯域での透過損失が鋼板製ダクトに比べて大きいのは、鋼板製ダクトからコルエアダクトへと材質が変化したことによる反射減衰のためだと思われる。125 Hz以上では鋼板製ダクトに比べて透過損失が小さい結果となった。

図10に単位長さ当りの弊社製品サイレントフレックスNタイプ(以下、SF(N))と比較したグラフを示す。

コルエアダクト□200×200に通常流す風量に対応するSF(N)の口径はφ250となり、コルエアダクト□600×300に対応するSF(N)の口径はφ500である。同程度

の風量を流すダクト口径を考えた場合、ほぼ同等の性能であることがわかる。

表3 試験結果

(単位: dB)

	口径	長さ (m)	1 / 1 oct. 周波数 [Hz]							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
コルエアダクト	□ 200 × 200	1	42	24	22	19	21	21	22	24
		1.5	42	23	24	19	21	22	23	25
		3	43	25	29	22	23	24	25	27
	□ 300 × 300	1	36	23	18	20	20	19	20	22
		1.5	36	25	18	20	21	20	21	22
		3	37	29	21	21	21	22	22	25
	□ 600 × 300	1	22	18	16	17	17	20	19	21
		1.5	26	19	17	17	18	20	19	21
		3	25	22	19	17	19	21	21	24
		1	19	16	16	16	16	18	18	20
		1.5	23	16	17	17	17	18	18	20
		3	26	15	18	16	17	19	19	21
鉄板 (理論値)	□ 300 × 300 (0.7 t)		21	24	27	30	33	36	41	45
	□ 600 × 600 (0.85 t)		20	23	26	29	32	37	43	45

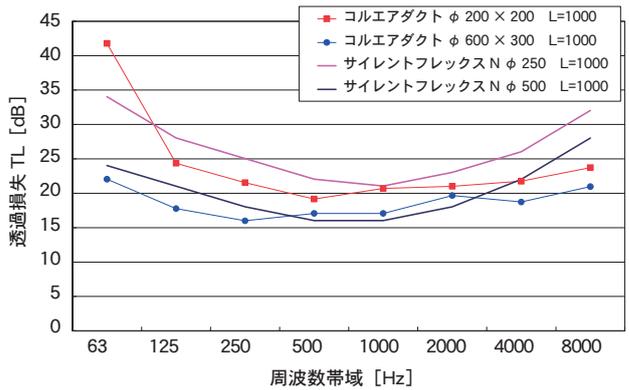


図10 サイレントフレックス(N)との比較

5. まとめ

コルエアダクトの音響性能について試験を行い、その結果を示した。

- a) コルエアダクトは鋼板製ダクトに比べて、自然減衰性能が大きいことがわかった。
- b) コルエアダクトは鋼板製ダクトに比べて、遮音性能が小さいことがわかった。サイレントフレックス(N)と比較すると、ほぼ同等の結果となる。居室に対して透過音の影響が大きいと考えられる場合、すなわち機械室の近くで天井を張らない場合などは注意が必要である。

6. おわりに

コルエアダクトは環境に良い製品として新聞等で紹介され、大きな反響を得ている。今後は製品ラインアップの充実を図り、多くの受注に備えて安定した生産体制を構築していく予定である。

**謝辞**

本発表に当たり、共同で開発及び試験を行いました、大成建設(株)、レンゴー(株)の方々に、厚く御礼申し上げます。

**参考文献**

- 1) 平林茂広ほか；ダンボール積層板製ダクトの組立方法、公開特許公報 昭48-93145
- 2) 高岡龍太；空調用段ボールダクト、実用新案出願公告 昭48-9694
- 3) 松尾秀信、山崎章、他；段ボールダクトの開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2006)
- 4) (社)日本建築学会 地球環境委員会編；一般建築物用LCAツール Ver4.01,2006
- 5) 塩川博義、板本守正；グラス・ファイバ・ダクト直管部の音響特性について、日本建築学会計画系論文報告集 第453号、1993年11月

**執筆者**

**松尾 秀信**

Hidenobu Matsuo

平成8年入社

空調・建築関連製品の開発に従事



**柴部 修輝**

Shuki Shibabe

平成12年入社

空調・建築関連製品の開発に従事



**山崎 章**

Akira Yamazaki

平成10年入社

空調・建築関連製品の開発に従事

