

# 樹脂製インナーサッシによる二重窓の遮音性能

## Sound Insulation Performance of Double Sash by Inside Sash using Acrylics

柳沼勝夫\* 稲留康一\*

### 要 旨

幹線道路や鉄道に近接する建物では、室内の騒音レベル許容値を確保するために二重窓を採用する場合がある。旧来の二重窓は、外窓のサッシと内窓のサッシを一体で構成した一体型アルミサッシであったが、最近では外窓のサッシをアルミ製、内窓のサッシを樹脂製とすることが多くなってきた。樹脂製サッシとすることで、アルミサッシに比べてサッシ枠自体の軽量化は図ることができるが、障子板に板ガラスを用いていることから総重量はそれほど軽減されない。そこで、サッシの軽量化を図る目的で障子板にアクリル板を採用したオール樹脂製のインナーサッシを開発し、二重窓の遮音性能を検討した。その結果、二重窓の障子板間隔を変えることで障子板に板ガラスを用いた場合と同等の性能ランクを得られることがわかった。

キーワード：樹脂製インナーサッシ、二重窓、ガラス、アクリル

### 1. まえがき

#### 1.1 樹脂製インナーサッシを用いた二重窓について

幹線道路や鉄道に近接する建物では、これらの騒音が室内に伝搬しないようにするため、サッシや給気口の防音化を求められることが多い。共同住宅の場合は、デベロッパーによって指定される室内騒音目標値を満たすために必要な遮音性能を有するサッシを選定している。このため、外部騒音レベルによっては、高度な遮音性能が必要となり、二重窓を採用することもある。

旧来の二重窓は、アルミ一体枠のものが採用されていた。しかし、最近の共同住宅では、写真-1や図-1に示すような、アルミ製サッシと軽量で容易に施工ができて熱的性能にも優れている樹脂製のインナーサッシとの組み合わせによる二重窓が多くなってきた。ただし、これまでの樹脂製インナーサッシは、障子枠が樹脂製であるためアルミ製に比べて軽量にはなるものの、障子板に板ガラスを用いているため、総重量はそれほど軽減されていなかった。そこで、障子板の軽量化を目的に、障子板の素材にアクリルを用い、オール樹脂製のインナーサッシを開発した。

#### 1.2 ガラスとアクリルについて

ガラスとアクリルの緒元を表-1に示す。アクリルは、ガラスに比べて軽量（密度がガラスの約 1/2）である。障子板の面積を 1.8m×0.9m と設定し、障子板厚さを 3mm とした場合、板ガラスを用いた場合は、約 12kg になるのに対して、アクリル板を用いた場合は約 6kg と 1/2 程度の質量となる。このため、イン

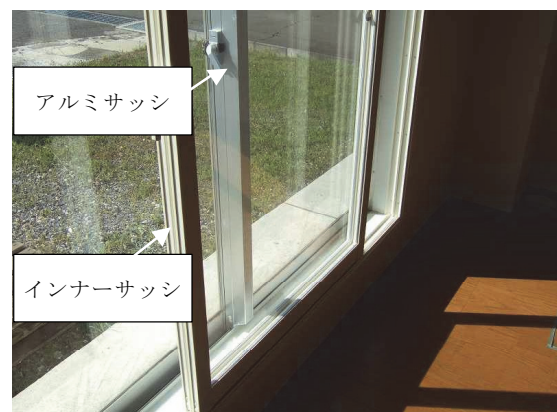


写真-1 樹脂製インナーサッシを用いた二重窓

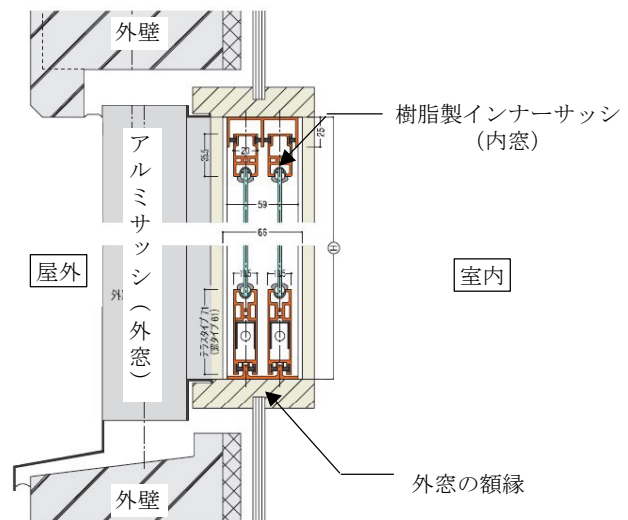


図-1 樹脂製インナーサッシを用いた二重窓の断面図例

\*技術研究所

ナーサッシの操作が容易になると考えられる。しかし、障子板にアクリル板を用いることによって、操作性は向上するものの、遮音部材としての障子板が軽くなるため、板ガラスを用いた場合よりも遮音性能が低下することが懸念される。そこで、オール樹脂製を含め、樹脂製インナーサッシを用いた二重窓の遮音性能を検討した。

## 2. 樹脂製インナーサッシの障子板仕様の違いによる二重窓の遮音性能

### 2.1 実験方法

当社技術研究所にある実大試験建屋<sup>1)</sup>の測定室で実験を行った。測定室は、外壁がALC板であり、室内は、軽量鉄骨下地・石こうボード(クロス)仕上げとなっている。また、天井は石こうボードによる二重天井(クロス仕上げ)、床はフローリング(乾式二重床下地)となっている。外壁には、1800mm×1800mmの引き違いアルミ製サッシ(ガラス厚6mm:カタログ性能T-1等級、以下、「外窓」と称す)を設置している。樹脂製インナーサッシ(以下、「内窓」と称す)は、外窓の額縁を利用して設置した。

内窓の仕様は、障子板の違いによる二重窓の遮音性能を検討するため、板ガラス(厚さ3mmと5mm)、アクリル板(厚さ3mmと5mm)とした。また、厚さ3mmのアクリル板2枚と空気層11mmで構成された複層アクリル板や、アクリル板よりもさらに軽量の障子板である中空ポリカーボネート板(以下、「中空ポリカ板」と称す)についても検討した。なお、中空ポリカ板は、横材(ライナー)肉厚0.4mm、縦材(リブ)肉厚0.5mmで、総厚6mmの中空構造板である。内窓障子板の仕様と障子板仕様によるコインシデンスの限界周波数計算値<sup>2)</sup>、また二重窓を構成した時の共鳴透過周波数計算値<sup>2)</sup>を表-2に示す。なお、コインシデンスの限界周波数 $f_c$ (Hz)は、式(1)、式(2)を、共鳴透過周波数 $f_{rm}$ (Hz)は、式(3)を用いて算出した値である。

$$f_c = \frac{0.55c^2}{t \cdot Cl} \quad (1)$$

$$Cl = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

ここで、 $f_c$ : コインシデンス限界周波数 (Hz)

$c$ : 音速 (m/s)

$t$ : 板厚 (m)

$Cl$ : 縦波速度 (m/s)

$E$ : 障子板のヤング率 (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$ : 障子板の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

表-1 ガラスとアクリルの緒元

項目	アクリル	ガラス	単位	
物理的性質	密度	1.19×10 <sup>3</sup>	2.5×10 <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
	ヤング率	2.9×10 <sup>9</sup>	7.0×10 <sup>10</sup>	N/m <sup>2</sup>
	引張強さ	70.6~75.5	323~79.4	Mpa
	伸び	4~7	3	%
	曲げ強さ	108~118	392~785	MPa
熱的性質	線膨張係数	7~8	0.8	1/°C×10 <sup>5</sup>
	熱伝導率	1.9×10 <sup>-1</sup>	7.5×10 <sup>-1</sup>	W/(m/K)
	熱貫流率	5.5	6.4	W/(m <sup>2</sup> /K)
光学的性質	屈折率	1.48	1.52	-
	全光線透過率	93	92	%
障子板1枚当たり(1.8m×0.9m、厚さ3mm)の質量				
	5.8	12.2	kg	

※アクリルのヤング率は、20°Cにおける値

表-2 内窓障子板の仕様

内窓	障子板仕様				コインシデンス 限界周波数 (Hz)	二重窓の共鳴透過周波数 (障子板間隔100mm) (Hz)
	材料	板厚 (mm)	面密度 (kg/m <sup>2</sup> )	ヤング率 (N/m <sup>2</sup> )		
内窓	板ガラス	3	7.5	7.0×10 <sup>10</sup>	4005	84
		5	12.5		2403	72
単層	アクリル板	3	3.6	2.9×10 <sup>9</sup>	13576	110
		5	6.0		8146	91
	中空ポリカ板	6	1.3	2.35×10 <sup>9</sup>	41303	171
複層	アクリル板	3-A11-3	7.1 (6mm分)	2.9×10 <sup>9</sup>	6788 (6mm分)	85

※表中のAは、空気層厚を表す

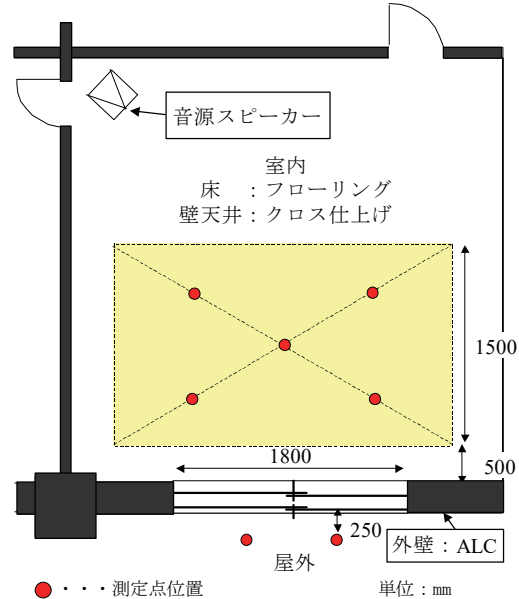


図-2 測定概要

$$f_{rm} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)\rho c^2}{m_1 m_2 d}} \quad (3)$$

ここで、 $f_{rm}$ : 共鳴透過周波数 (Hz)

$m_1$ : 外窓障子板の面密度 (kg/m<sup>2</sup>)

$m_2$ : 内窓障子板の面密度 (kg/m<sup>2</sup>)

$d$ : 二重窓の外窓と内窓の間隔 (m)

$\rho$ : 空気密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$c$ : 空気中の音速 (m/s)

遮音性能の測定は、JIS A 1520「建具の遮音試験方法」の内部音源法に準拠して行い、音響透過損失相当値を求めた。測定点の概要を図-2に示す。測定対象は、外窓単体、内窓単体、二重窓とした。なお、内窓単体と二重窓の測定は、外窓の額縁を利用して各障子板仕様の内窓を設置して行った。

2.2 実験結果

a. 外窓単体の遮音性能

外窓単体の音響透過損失相当値と板ガラス厚さ6mmの質量則計算値<sup>2)</sup>、またT等級線<sup>3)</sup>を図-3に示す。なお、質量則計算値は、式(4)、式(5)を用いて算出した値である。

$$TL_0 = 20 \log_{10} f \cdot m - 42.5 \quad (4)$$

$$TL \approx TL_0 - 10 \log_{10}(0.23TL_0) \quad (5)$$

ここで、 $TL_0$  : 垂直入射波に対する質量則 (dB)

$f$  : 入射音の周波数 (Hz)

$m$  : 材料の面密度 ( $kg/m^2$ )

$TL$  : 拡散入射波に対する質量則 (dB)

サッシの遮音性能は、JIS A 4706:2000「サッシ」に規定されている「T 等級」に音響透過損失 (単位面積当たりの遮音量) の値を当てはめて評価する。

ここで、外窓の遮音性能を T 等級で判定すると、カタログ値と同様に T-1 等級であることを確認できる。周波数帯域別に遮音性能をみると、250Hz 帯域まで遮音性能が増加している。また、エアタイトによって外窓の気密性を高められているものの隙間が生じているため、500Hz 帯域以上は、平坦な特性になっており、障子板の質量則計算値よりも性能が劣っている。

b. 内窓単体の遮音性能

図-4、図-5に内窓単体の音響透過損失相当値を示す。なお、各障子板の質量則計算値も併せて示す。

内窓の遮音性能は、250Hz 帯域までは、周波数が大きくなるにつれて遮音性能が増加している。しかし、内窓はエアタイトもなく気密性が低いため、500Hz 帯域以上では隙間の影響により質量則から外れて平坦な特性となっており、高音域では障子板の仕様の違いによる差はほとんどみられなくなる。なお、中空ポリカ板の場合は、アクリル板よりもさらに軽量であるため (アクリル板厚さ3mmと比較して面密度は1/3程度)、他の仕様よりも大幅に性能が劣っている。

c. 二重窓の遮音性能

二重窓を構成し、内窓障子板の仕様を変えた場合の音響透過損失相当値について、内窓障子板に板ガラス厚さ3mmと5mmを用いた場合とアクリル板厚さ3mmと

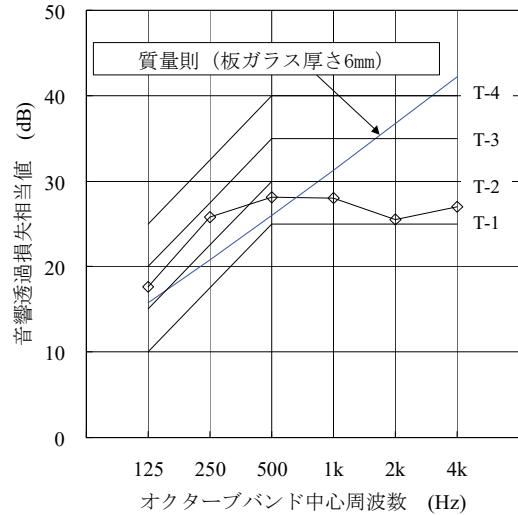


図-3 外窓単体の遮音性能

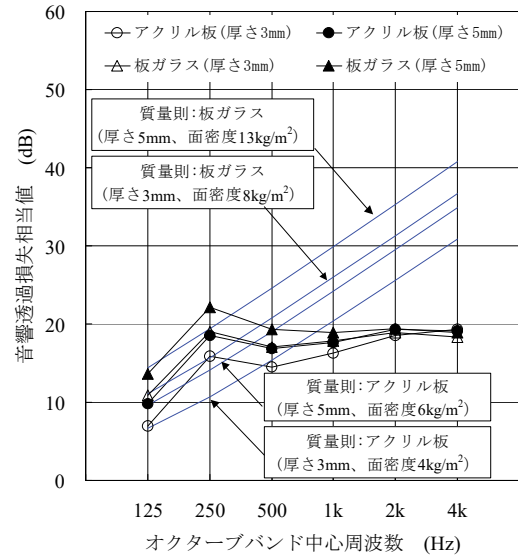


図-4 内窓の遮音性能(板ガラスとアクリル板)

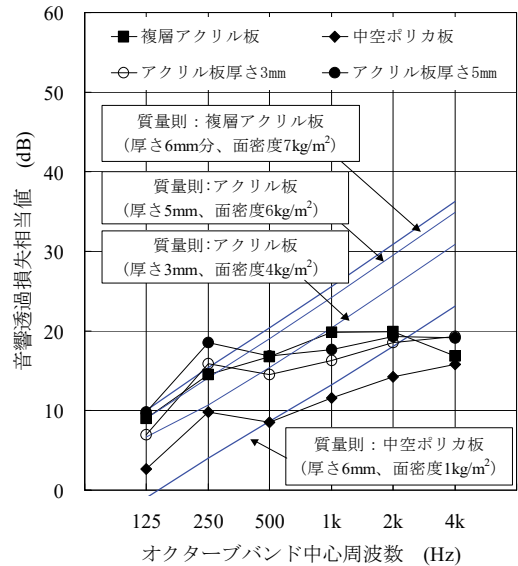


図-5 内窓の遮音性能(複層アクリル板と中空ポリカ板)

5 mm を用いた場合の結果を図-6に、内窓に複層アクリル板と中空ポリカ板を用いた場合の結果を図-7に示す。なお、二重窓の外窓と内窓の障子板間隔は、100mm である。また、参考として図中に外窓単体の遮音性能と T 等級線も併せて示す。

二重窓を構成すると、T 等級のランクは、外窓単体の遮音性能に対して1~2ランク向上している。また、周波数帯域別にみると、外窓単体に比べて中音域以上の周波数領域の性能が向上している。しかし、低音域では、共鳴透過の影響により遮音性能の低下がみられ、特にアクリル板厚さ 3 mm や中空ポリカ板のような軽い障子板では、遮音性能が外窓単体よりも低下している。また、この低下の度合いは、表-2に示した外窓と内窓の組み合わせから計算した共鳴透過周波数により異なっているが、高音域では、中空ポリカ板を除くと内窓単体の性能差が小さいため、二重窓を構成しても遮音性能の差がほとんどみられない。よって、内窓障子板仕様の違いは、質量はもちろんのこと、二重窓の共鳴透過周波数の部分に最もよく表れ、二重窓の遮音性能ランクを決定する際の大きな要因にもなっている。

### 3. 外窓と内窓の障子板間隔を広げた効果

#### 3.1 実験方法

前章より、アクリルは、ガラスに比べて軽量であるため、二重窓を構成した場合に共鳴透過による遮音低下が T 等級の評価対象周波数 (125Hz~4kHz 帯域) に影響を与えやすいことがわかった。そのため、共鳴透過の影響を評価対象周波数から外すための方策として、外窓と内窓の障子板間隔を 100mm から 150mm、200mm、250mm に設定し、それぞれの遮音性能を測定し、音響透過損失相当値を求めた。また、式(3)より算出した外窓と内窓の障子板間隔による共鳴周波数計算値を表-3に示す。

#### 3.2 実験結果

外窓と内窓の障子板間隔を変化させた場合の二重窓の

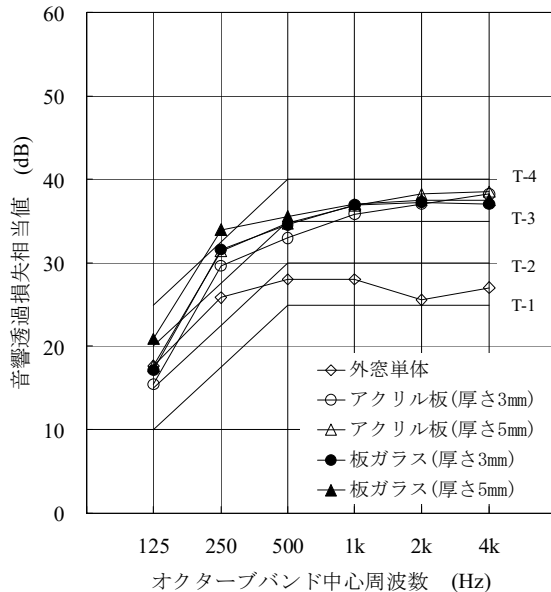


図-6 二重窓 (板ガラスとアクリル板)

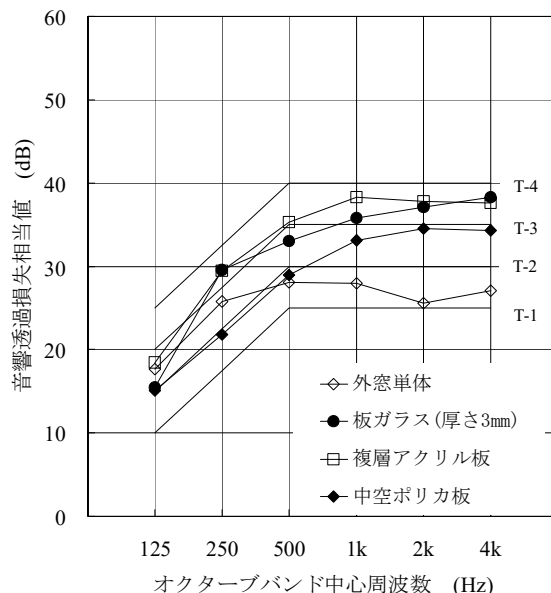


図-7 二重窓 (複層アクリル板と中空ポリカ板)

表-3 外窓と内窓の障子板間隔による共鳴透過周波数計算値

内窓	障子板仕様		外窓 (板ガラス厚さ6mm) との組み合わせによる共鳴透過周波数 $f_m$ (Hz)			
	材料	板厚(mm)	障子板間隔100mm	障子板間隔150mm	障子板間隔200mm	障子板間隔250mm
単層	板ガラス	3	84	68	59	53
		5	72	59	51	45
	アクリル板	3	110	90	78	70
		5	91	74	64	57
	中空ポリカ板	6	171	140	121	108
複層	アクリル板	3-A11-3	85	70	60	54

※表中のAは、空気層厚を表す

音響透過損失相当値について、板ガラス厚さ 3 mm と 5 mm、アクリル板厚さ 3 mm と 5 mm を図-8に、複層アクリル板、中空ポリカ板を図-9に示す。

二重窓の障子板間隔を広げていくと、共鳴透過周波数が低音域へ移行するため、遮音性能は全体的に向上している。この傾向は、障子板が板ガラスよりも軽量なアクリル板、また複層アクリル板の場合や中空ポリカ板の場合でも同様な傾向を示している。しかし、低音域に着目すれば、共鳴透過による遮音性能低下の影響は、外窓と内窓の障子板の仕様と間隔から決まる共鳴透過周波数の $\sqrt{2}$ 倍まで及ぶため、共鳴透過周波数の $\sqrt{2}$ 倍の値が含まれる周波数帯域では、障子板間隔を広げても外窓単体の遮音性能よりも性能が劣っている。ただし、障子板間隔を広げていくことで、障子板間の空気ばねが小さく

なり、音響的な結合が弱まるため、例えば、内窓障子板に中空ポリカ板を用いて障子板間隔を 250mm に設定した場合は、共鳴透過周波数が評価対象周波数に該当してはいるものの、低音域でも外窓単体より遮音性能が上回っている。

また、T 等級による評価を行った結果をまとめたものを表-4に示す。板ガラスよりも軽量なアクリル板を用いた場合、同厚の板ガラスよりも共鳴透過の影響を受けやすいが、障子板間隔を 150mm とすることで、板ガラスを用いた場合と同等の性能ランクを得られている。しかし、アクリル板よりもさらに軽量な中空ポリカ板の場合は、二重窓の障子板間隔を 250mm まで広げることでようやく T-3 になり、板ガラスと同等の性能ランクを得るのは、困難である。

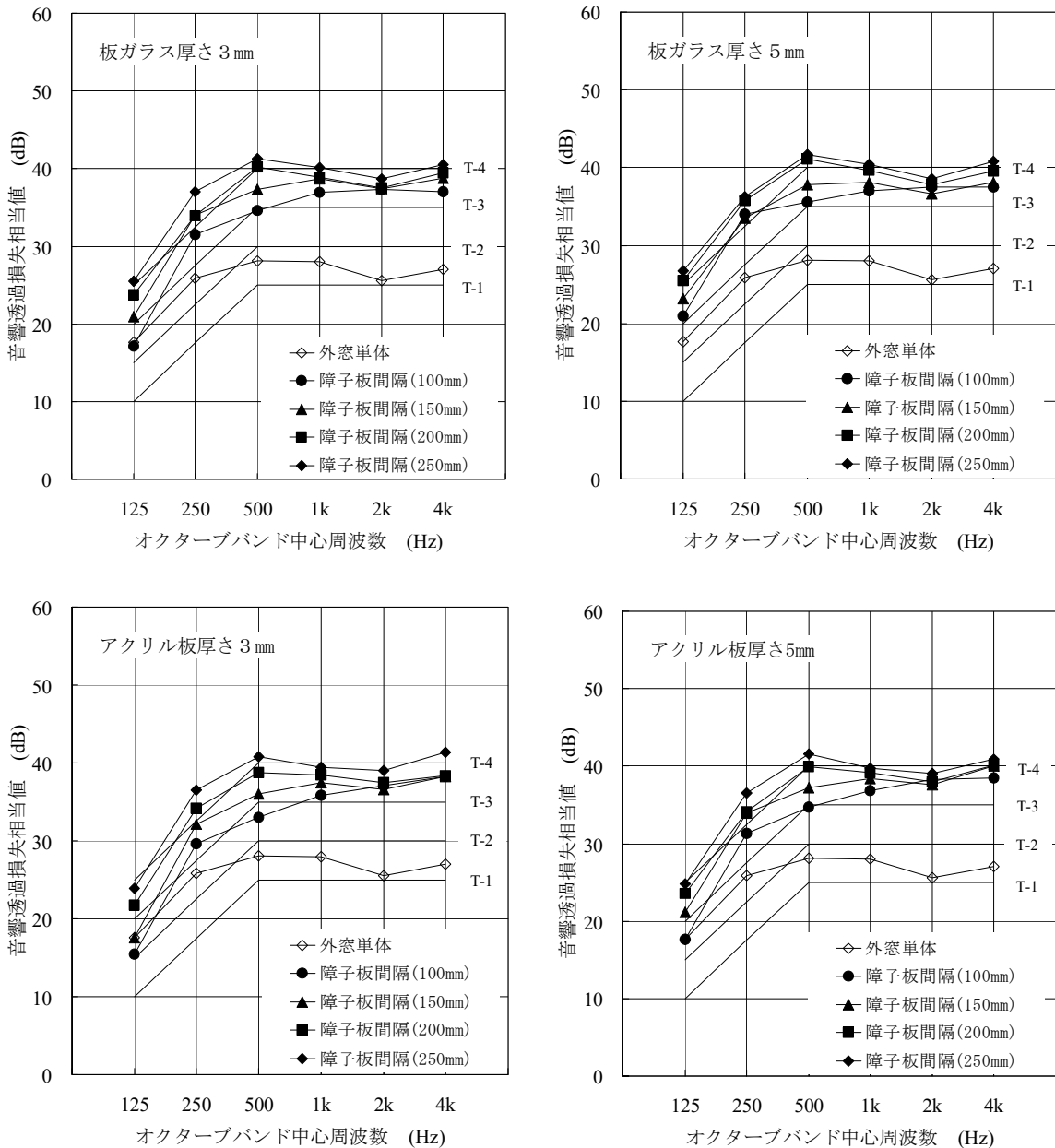


図-8 外窓と内窓の障子板間隔の違い (板ガラスとアクリル板)

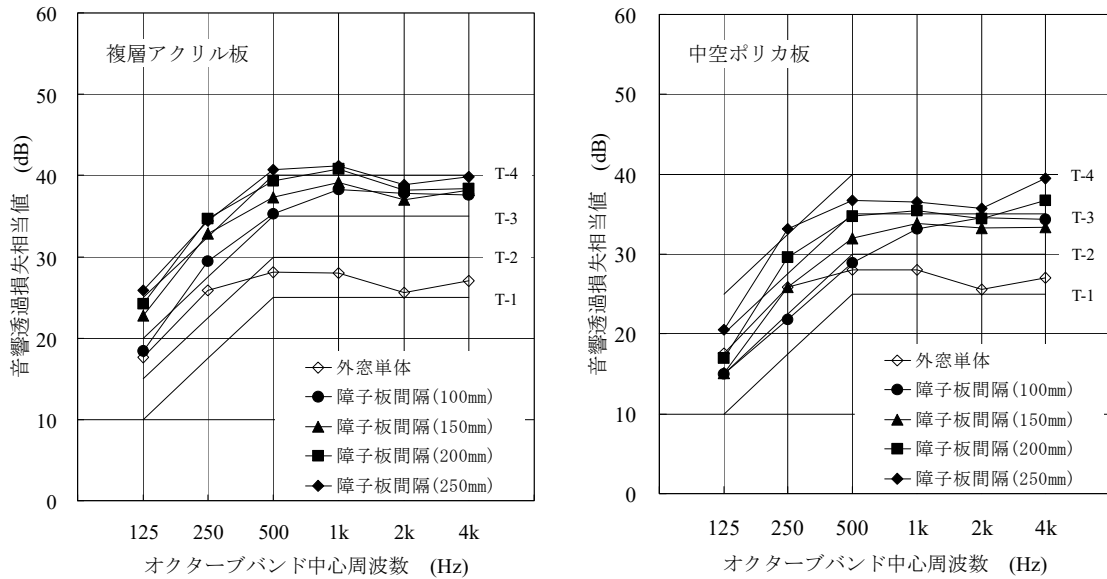


図-9 外窓と内窓の障子板間隔の違い（複層アクリル板と中空ポリカ板）

表-4 二重窓のT等級まとめ

外窓の障子板		板ガラス 6 mm (T-1)					
内窓の障子板	障子板間隔	板ガラス		アクリル板		複層アクリル板 (3-A11-3)	中空ポリカ板
		厚さ 3 mm	厚さ 5 mm	厚さ 3 mm	厚さ 5 mm		
	100mm	T-3	T-3	T-2	T-3	T-3	T-2
	150mm	T-3	T-3	T-3	T-3	T-3	T-2
	200mm	T-3	T-4	T-3	T-3	T-3	T-2
	250mm	T-4	T-4	T-4	T-4	T-4	T-3

※表中のAは、空気層を表す

#### 4. まとめ

樹脂製インナーサッシによる二重窓の遮音性能を検討した結果、以下のことがわかった。

- i. 樹脂製インナーサッシの障子板仕様の違いは、質量はもちろんのこと、二重窓を構成したときの共鳴透過周波数の影響範囲に最もよく表れる
- ii. 樹脂製インナーサッシの障子板にアクリル板を用い、オール樹脂製インナーサッシとした場合は、板ガラスに比べて軽量であるため、同厚の板ガラスを用いた場合に比べて共鳴透過周波数が高くなり、T等級の評価対象周波数に影響を与えやすい
- iii. 二重窓の外窓と内窓の間隔を変えることで、内窓の障子板にアクリル板を用いても、板ガラスを用いた場合と同等の性能ランクが得られる
- iv. アクリル板よりもさらに軽量な中空ポリカ板を内窓障子板に用いた場合は、二重窓の障子板間隔を変えても、板ガラスを用いた場合と同等の遮音性能ランクを得ることは困難である

#### 5. あとがき

今後は、さらに遮光も考慮した二重窓の遮音性能についても検討していく予定である。なお、本研究は、フクビ化学工業と共同研究で行ったものである。

#### 【参考文献】

- 1) 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、pp87-92、2005
- 2) 木村 翔、「建築音響と騒音防止計画（第三版）」、彰国社、pp.96-97、pp.100、pp.107、1999
- 3) JIS A 4706 : 2000 「サッシ」
- 4) 柳沼勝夫、稲留康一、吉田賢二郎、喜久川珠佳、「アクリル板を用いたインナーサッシによる二重窓の遮音性能について」、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1 分冊、pp181-182、2007
- 5) 柳沼勝夫、稲留康一、吉田賢二郎、喜久川珠佳、「インナーサッシの仕様の違いが二重窓の遮音性能に与える影響」、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1 分冊、pp.237-238、2008