

サーマルブレイクを用いたガラスカーテンウォールの性能評価

三 谷 一 房 水 上 卓 也

小 川 晴 果 古 城 雄 一

(大阪本店建築事業部)

Thermal Performance of Glass Curtain Walls with Thermal Break Framing System

Hitofusa Mitani Takuya Mizukami

Haruka Ogawa Yuichi Kojo

Abstract

In order to reduce the energy consumption of buildings and improve the resistance of framing members to condensation, glass curtain walls with a thermal break framing system are very important. However, this framing system has barely been utilized in Japanese buildings. In this paper, we proposed the idea that glass curtain walls with both fins shading solar radiation and a thermal break framing system are suitable for buildings in the warm regions of Japan. Calculation results for the heat load and experimental results for the condensation, confirmed that this idea has the obvious benefits of reducing energy consumption and improving the resistance of framing members to condensation.

概 要

建築物の省エネルギー性能と結露防止性能の向上を図るため、サーマルブレイクを用いた外装ガラスカーテンウォール(GCW)に着目した。サーマルブレイクとは、アルミフレームの外枠と内枠の間にガラス繊維補強ポリアミド樹脂等を組み込み、外枠と内枠を熱的に絶縁させる断熱アルミフレーム技術である。本研究では、この断熱アルミフレームを併用したフィンの設置が、日除け効果による省エネルギー化と結露防止を両立できる、日本の温暖地域に適したGCWであることを示した。試設計した標準的なGCWを対象にして、熱負荷計算を行い、省エネルギー性能を検証した。また日射遮へいフィンを模擬的に取り付けた小型アルミフレーム試験体を作製し、恒温チャンバーを用いた結露再現実験を行い、結露防止性能を検証した。

1. はじめに

ガラスカーテンウォール(以下、GCWと言う)は意匠性、眺望性あるいは開放感等に優れるため、建築物の外装として、非常に多く採用されている。しかしながらGCWは、建築物個々に設計されることが多く、意匠性がより重んじられるために、その熱性能に対する評価は必ずしも十分なものとは言えない。一方で、地球温暖化対策の一環としての関連法規の度重なる改正¹⁾からもわかるように、建築物の省エネルギー性能を向上させ、さらにはサステナブル建築やZEB(Zero Energy Building)を実現させようという社会的要求は、今後ますます高まると考えられる。

このような背景から本研究では、GCWを採用した建築物の省エネルギー性能と温熱環境の向上を図るための手法の1つとして、サーマルブレイクを用いたGCWに着目した。この分野の技術は既に欧米では広く用いられているが、日本では戸建住宅用の小規模な開口部材として一部に見られるのみで、事務用途等の高層建築物のGCWでは、全く普及していない。

以下、日本の温暖地域における建物外装GCWでこの技術を適用するには、どのような考え方に基づくべきかを

提案した上で、サーマルブレイクを用いたGCWに関する省エネルギー性能の検証および結露防止性能の検証について報告する。

2. 現状の課題と動向

GCWのファサードは主として、ガラスとアルミフレームから構成されている。ガラスには、熱貫流率や熱放射の低減を図ったLow-E複層ガラスが普及しており、断熱性能の向上、日射侵入の抑制および結露防止に大きく貢献している。それに対してアルミフレームについては、熱性能の向上に対する努力が払われているとは言い難い。この理由として、次のことが考えられる。

1) アルミフレームの見付面積はガラスに比べ小さいため、断熱性能を向上させても実効性を伴ったメリットがあるとは言えないだろう、という先入観がある。

2) 設計実務や確認申請上も、省エネルギー性能の評価はガラスのみを対象とすればよく、アルミフレームに対する評価が必ずしも求められていない。

3) GCWの窓まわりの結露については、建物設計時の特記仕様上も許容しており、結露防止に対する技術的配慮が、現状では、決して十分とは言えない。

しかしながら近年の既往の研究では、GCWのアルミフレームからの通過熱流量がGCW全体の5割近くを占める場合もあり、アルミフレームの熱性能の良し悪しが、建物外装GCWの省エネルギー性能にとって、看過できないものであること等が報告され始めている^{2) 3) 4)}。

また欧州と異なり日本では、GCWの熱性能に関する評価方法の標準化が遅れているが、窓およびドアの熱性能(熱貫流率の計算)に関して、アルミフレームを考慮した評価方法が、ISOに準じ2011年によく制定された^{5) 6) 7) 8) 9)}。今後、アルミフレームを含めたGCWの熱性能に関する評価方法が整備され、実務上の要件として扱われることも大いに期待できる。

さらに窓まわりの結露に関して言えば、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」が、建築物環境衛生管理基準として居室の相対湿度を、例えばインフルエンザ感染対策等への配慮¹⁰⁾から、40%以上70%以下と規定していることを今一度、認識する必要がある。

3. サーマルブレイクの技術概要

サーマルブレイクとは、省エネルギー性能や結露防止性能の向上を図るため、アルミフレームの外枠と内枠の間に、ウレタン樹脂やガラス繊維補強ポリアミド樹脂等の熱伝導率の低い材料を組み込み、構造的には一体化させるが、熱的には絶縁させるアルミフレーム技術のことで、アルミ熱遮断フレームと呼ばれる製品がある。欧米では40年近く前から適用され始め、既に技術的な標準化が進んでいる^{11) 12)}。Table 1に、欧米で普及しているサーマルブレイクの種類と概要を整理した。

1つは米国で開発された「樹脂注入式」によるもので、

アルミ型材の所定の溝部に上面から2成分形ウレタン樹脂を注入し、樹脂の硬化後、下面のアルミ連結部分を切断して製造する。ウレタン樹脂の線膨張係数はアルミニウム合金の4~5倍大きく、供用後の熱履歴で生じる熱伸縮(ディファレンシャルムーブメント)により樹脂とアルミ型材の接着性が損なわれ、界面に空隙が生じる懸念があるため、両者の接着性を確保するための品質管理が重要となる。

いま1つは欧州で開発された「樹脂かしめ式」によるもので、2つのアルミ型材の間に押出成型によるガラス繊維補強ポリアミド樹脂の型材(GRP)を組み込んで製造する。GRPの押出方向に直交する断面の状態をPhoto 1に示す。ガラス繊維がランダム配向することが特徴とされる。またGRPの線膨張係数はアルミニウム合金とほとんど同程度である。GRPとアルミ型材の取合い部の耐力確保には、GRPをかしめるアルミ型材溝部先端のナーリング(ギザギザを付ける)加工の品質管理が重要となる。

他の1つは「樹脂はさみ込み式」であり、2つのアルミ型材の間にEPDM等の定型材をはさみ込み、金属製のねじで固定して製造するものである。このタイプでは、金属製ねじ部が熱橋となる。

従来、欧州では「樹脂かしめ式」が主流で、「樹脂注

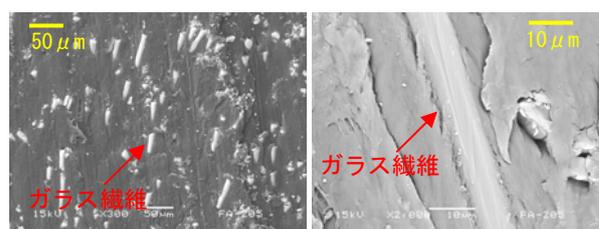
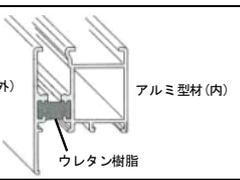
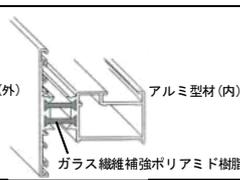
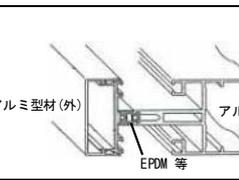


Photo 1 GRPの押出方向に直交方向の断面 Section of GRP

Table 1 サーマルブレイクの種類と概要
Types of Thermal Break Framing System

方式	樹脂注入式	樹脂かしめ式	樹脂はさみ込み式	
フレーム断面例 ^{*1}				
断熱部	材種	ウレタン樹脂	ガラス繊維補強ポリアミド樹脂	EPDM 等
	熱伝導率 (W/mK)	0.21 ^{*2}	0.26 ^{*4}	EPDM: 0.13~0.29 ^{*5}
	線膨張係数 (×10 ⁻⁶ /°C)	90~126 ^{*3}	30 ^{*4}	EPDM: 180 ^{*5}
フレーム製造方法	1つのアルミ型材の注入部に上面からウレタン樹脂を注入し、硬化後、下面のアルミ連結部分を切断し、内・外のアルミ型材を樹脂部により一体化したフレーム。さらに上下面を反転し、下面にフィルムを敷いて、再び、樹脂注入する場合もある。	2つ(内・外)のアルミ型材を、ガラス繊維補強ポリアミド樹脂の押出成型による断熱型材(GRP)で連結一体化したフレーム。GRPを通すアルミ型材の溝先端部にナーリング(ギザギザを付ける)加工し、GRPを通した後、ローリング工程でかしめる。	2つ(内・外)のアルミ型材の間に、EPDM等の定型材をはさみ込み、金属製のねじで固定して一体化したフレーム。	
フレーム概要	熱伸縮(サーマルムーブメント)によりウレタン樹脂とアルミ型材との界面接着性が損なわれると、樹脂の収縮が生じ、フレームの構造性能が損なわれるため、両者の接着性の確保が重要となる。 もともと1つのアルミ型材を用い、樹脂注入後、内・外のアルミ型材として絶縁されるため、両者のアルミ型材の表面処理や色は、同じものとなる。	上記GRPの線膨張係数はアルミニウム合金に近い。サーマルムーブメントによる影響は小さい。GRPとアルミ型材の取合い部の耐力確保には、ナーリング加工の管理が重要となる。 もともと別々の2つ(内・外)のアルミ型材にGRPを組み込んで製造するため、両者のアルミ型材の表面処理や色を変えることも可能である。	2つ(内・外)のアルミ型材の間には、樹脂製の定型材をはさみ込まれているが、金属製ねじにより固定されているため、この部分が熱橋となる。ねじ固定部の耐力の信頼性が重要となる。	

*1 Saint Gobain Glass, Glass Guide, p249

*2 Y社, 技術資料参考値

*3 American Architectural Manufacturers Association, AAMA TIR A8-08 Structural Performance of Composite Thermal Barrier Framing Systems, p11

*4 T社, 技術資料参考値

*5 日本建築学会, 外壁接合部の水密設計および施工に関する技術指針・同解説, p254

入式」も採用されていたが、「樹脂注入式」では、ウレタン樹脂部の見込み方向の幅が広くできず、アルミフレームの熱貫流率の低減に限界があるとされ、現在では、「樹脂かしめ式」のシェアが拡大したとされる。このような事情も考慮し、本研究では、「樹脂かしめ式」の技術を取り上げることとした。

4. サーマルブレイクを用いたGCWの提案

GCWは窓面積が大きいいため、夏期の日射遮へいは省エネルギー性能や窓まわりの温熱環境の向上に欠かせない。例えば事務用途の建築物においては、一般に年間冷房負荷が年間暖房負荷をはるかに上回るため、夏期の日射侵入を抑制する措置を講じることが、年間冷暖房負荷の観点からは、省エネルギー化に貢献する。

そのため近年、GCWには日射遮へいのためのフィンを取り付ける設計が多く、夏期の日射が窓を通じて屋内に侵入するのを抑制することで、省エネルギー基準で定められた年間熱負荷係数(PAL)を低減するのに非常に有効な手段となっている。しかしながらその反面、フィンの多くはアルミ製であるため、冬期には冷えた外気に曝されるアルミフレームの面積を増加させるため、屋内側のアルミフレーム表面温度が低下し、結露が生じやすくなる。

このような事情を勘案し、サーマルブレイクによる技術の特長を、暖房負荷の低減や結露防止性能の向上といった冬期のメリットのみによって強調するのではなく、日本の温暖地域特有の省エネルギー措置を補完するのに必要不可欠な技術として位置づけるのが最も望ましいと考えた。そこで本研究では、Fig. 1に示すように、サーマ

ルブレイク、すなわち断熱フレームを併用したフィンの設置が、日除け効果による省エネルギー化と結露防止を両立できる日本の温暖地域に適したGCWであるとして提案した。

5. 省エネルギー性能の評価

5.1 目的

一般にGCWの熱性能評価は、見付け面積の大きなガラスの熱性能のみで行われているが、アルミフレームの熱性能の影響も大きく、特に断熱フレームを用いた場合に

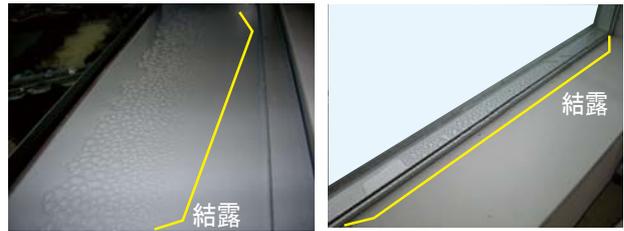


Photo 2 アルミフレームに生じた結露の例
Condensation Occurring on an Aluminum Frame without Thermal Break

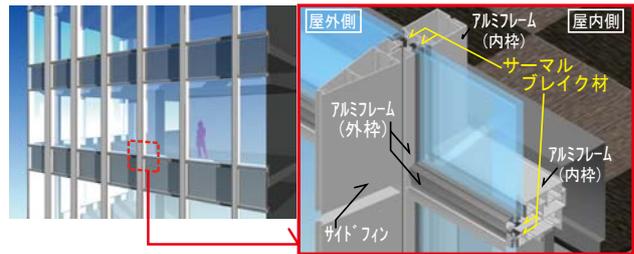


Fig. 1 フィンと断熱フレームを併用したGCW技術の提案
The Idea of the Glass Curtain Walling with Fins Shading Solar Radiation and Thermal Break Framing System

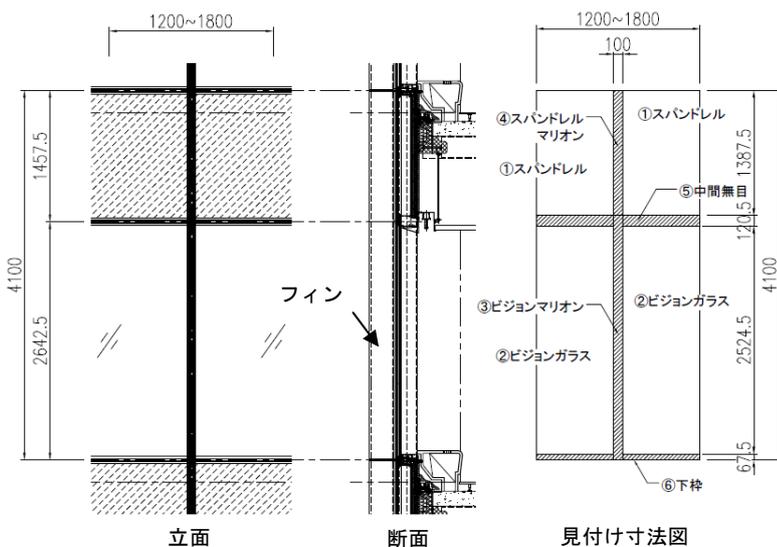


Fig. 2 GCWの熱性能検討範囲と各部寸法
Area of Calculating Thermal Performance of GCW and Size of Members of GCW

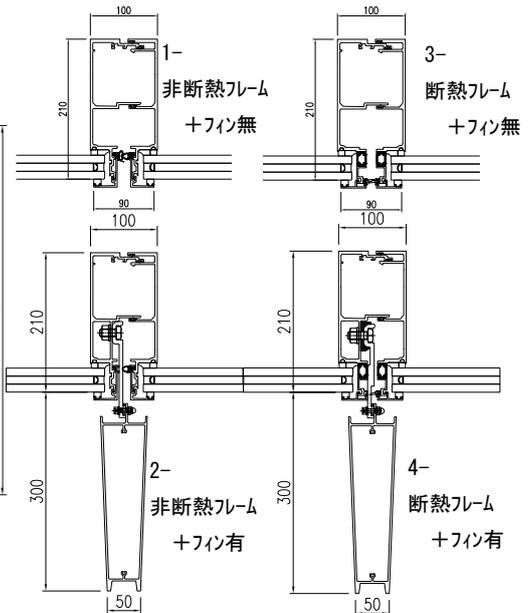


Fig. 3 ビジョンマリオンの断面
Section of Vision Mullions

Table 2 GCW各部材および部位のU値一覧表
U-value of Glass and Framing Members of GCW

マリオン スパン (mm)	GCWの種類			②	③	⑤	⑥	②+③ +⑤+⑥	①	④	①+④	①+②+③ +④+⑤+⑥	
				ビジョン ガラス	ビジョン マリオン	中間無目	下枠	開口部 Uv	スパンドレル	スパンドレル マリオン	外壁部 Us	GCW全体 Ucw	
1800	高さ (mm)	幅 (mm)	面積 (m ²)	2524.5	2712.5	120.5	67.5		1387.5	1387.5		4100	
				1700	100	1700	1700		1700	100		1800	1800
				4.29	0.27	0.20	0.11	4.88	2.36	0.14	2.50	7.38	
1800	1	非断熱 フレーム	フィン無	熱貫流率 U値 (W/m ² K)	1.60	15.69	12.03	9.81	3.01	0.46	5.06	0.72	2.24
			フィン有		1.60	19.78	12.03	9.81	3.24	0.46	5.83	0.76	2.40
	2	断熱 フレーム	フィン無		1.60	6.77	7.42	7.21	2.26	0.46	4.51	0.69	1.73
			フィン有		1.60	6.79	7.42	7.21	2.26	0.46	4.86	0.70	1.74

は、アルミフレームを考慮した総合的な熱性能評価を行う必要がある。そこで、熱性能の異なる4種類のGCWモデルを試設計し、アルミフレームを考慮した熱性能評価を行い、熱負荷計算により、省エネルギー性能を比較検討した。

5.2 GCWの試設計

Fig. 2に試設計したGCWにおける熱的な検討範囲と各部寸法を、Fig. 3に熱性能の異なる4種類のビジョンマリオンの断面を示す。

GCWはユニット構法によるものとし、大きく①スパンドレル、②ビジョンガラス、③ビジョンマリオン、④スパンドレルマリオン、⑤中間無目、⑥下枠から構成される。GCWの標準的な寸法として、マリオンズパンを最大1800mm、階高を4100mmとした。またマリオンの幅を100mm、ガラス屋外表面からのマリオンの見込みを210mmとした。フィンの出寸法は、ガラス屋外表面から300mmとした。ビジョンガラスは、Low-E複層ガラスとした。

5.3 アルミフレームを考慮したGCWの熱性能評価

5.3.1 熱貫流率による熱性能の評価 アルミフレームの熱貫流率(U値)の算出は、ISO 10077-2⁷⁾ およびISO 10211-2¹³⁾ に準じた二次元定常伝熱計算プログラム¹⁴⁾ によった。ただし①スパンドレルおよび②ビジョンガラスについては、標準的な仕様によるU値を用いた。そしてGCWの熱性能を総合的に評価するため、これら各部材の値を面積加重平均することで、外壁部(=①+④)および開口部(=②+③+⑤+⑥)の2つの部位に区分した各U値(UsおよびUv)、とGCW全体としてのU値(Ucw)を算出した。また日射侵入率(η 値)は参考文献¹⁵⁾ の方法により求め、U値と同様に各値を算出した。さらにマリオンズパンが、1600、1400、1200および1000mmの場合についても同様に、Us、Uv およびUcw を算出した。

Table 2に、マリオンズパン1800mmの場合のGCWの各構成部材および各部位のU値の算出結果を示す。またFig. 4にマリオンズパンとUvとの関係を示す。これらより、4種類のGCWのうち、日除けのためのフィンが付加した非断熱フレームのUvが最も大きく、断熱性能が低下している。これに対し、フィンの有無にかかわらず断熱フレー

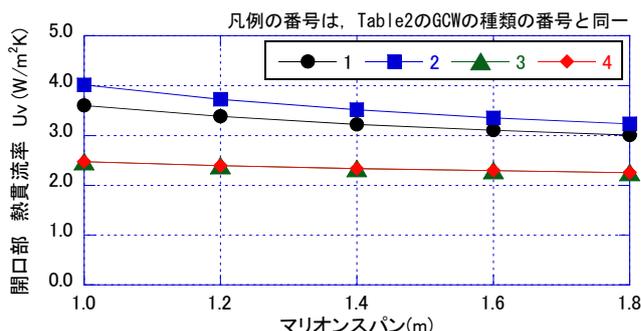


Fig. 4 マリオンズパンとUvの関係
The Relationship between Mullion Span and Uv-value

ムの場合、Uvが大幅に低減した。またマリオンズパンが小さいほど、GCWの単位幅あたりに占めるアルミフレームの見付面積が増えるためUvも増大するが、非断熱よりも断熱フレームの方がその増加傾向は小さい。すなわちマリオンズパンが小さいほど、アルミフレームの断熱化によるUvの低減効果(断熱効果)が大きいことがわかる。

5.3.2 PALによる評価

(1) PALの概要 省エネルギー基準では、建築物の外壁、窓等(外皮)を通しての熱の損失の防止に関し、年間熱負荷を屋内周囲空間(外壁、窓等を通して外界の気象条件の影響を受ける建築物の内部空間)の床面積の合計で除した数値を用いて判断することとされており、その方法の1つとしてPALが規定されている。PALは、確認申請時に提出される省エネルギー計画書に必須の項目であり、またCASBEE(建築環境総合性能評価システム)や例えば東京都の建築物環境計画書制度でも、省エネルギー性能を評価する指標として用いられている。

しかしながらPALは、現実の空調設備等の運転スケジュールではなく、建物用途ごとに定められた時間を、標準スケジュールと設定し、屋内周囲空間に生じる負荷を平面計画的な要因も含め、平均化して算出した値である。またアルミフレームを考慮せず、ガラスのみで評価している。したがって必ずしも外装部材が有する熱性能や省エネルギー性能を表わしているわけではないことに留意する必要がある。

(2) PAL計算による結果 ここでは試設計した各GCW(マリオンズパン1800mm)が、1辺50mの正方形平面

の外周部に設置された単純なモデル階を想定し、市販のPAL計算プログラム(株式会社ティーディーシー製のPAL・CEC計算プログラム)を用いて、東京・8方位別のゾーンPALおよびPALを算出した。その結果の一部をTable 3に示す。なお比較として、フレームを考慮しない通常のPAL算出方法による結果も併記した。またFig. 5には、北面および南面の期間冷房負荷および期間暖房負荷を示す。

Table 3に示す通りPALは、フィン無の場合、断熱フレームのPALは非断熱フレームよりも増大しているが、フィン有の場合、断熱フレームの方が低減し、4種類のGCWの中で最も低くなるのがわかった。

また方位別に算出したゾーンPALでみると、Fig. 5に示す熱負荷の内訳からもわかるように、北面では、断熱強化による期間冷房負荷の増大量よりも、期間暖房負荷の低減量が上回るため、フィンの有無にかかわらず、フレームの断熱強化により、ゾーンPALは低減している。また逆に南面では、断熱強化による期間冷房負荷の増大量が、期間暖房負荷の低減量を上回るため、フィンの有無にかかわらず、フレームの断熱強化によってゾーンPALは増大している。このことから全体を平均化したPALのみで評価するのではなく、方位別に傾向を評価する必要がある。なお断熱強化によって期間冷房負荷が増大する理由としては、夏期でも屋外温度<屋内温度となる時間帯が多くあるため、日中に主にガラス面を通じて取得した日射熱や内部発熱等が、GCWの断熱強化によって屋外へ、放出されにくく、冷房負荷を増大させていることによるものと推察される。

なおTable 2に示すとおり、ガラスとフレームの両方を考慮した開口部全体としてのU値(Uv)は、ガラスのU値よりも、かなり大きくなる。よって既往研究の指摘^{2) 4)}と同様に、フレームの考慮の有無により、両者のPALは無視できない程、大きく異なる。

5.3.2(1)で述べたように、現状、PALによる評価のみでは断熱フレームを用いたGCWの省エネルギー性能を適切に評価しているとは言えず、以下に述べるとおり、空調負荷計算による評価にも取り組んだ。

5.3.3 空調負荷計算による評価

(1) 計算方法の概要 PAL特有の計算条件による影響を除き、GCWの熱性能ができるだけ直接、冷暖房負荷に反映させることを意図した。間欠空調負荷計算用プログラム(MICRO-PEAK/2000, (社)建築設備技術者協会)を用い、4種類のGCWについて、東京地域を対象に、単位床面積(幅1m×奥行1m)あたりの熱負荷計算を行い、冷房負荷および暖房負荷を算出した。空調時間帯は、9～18時とした。本プログラムでは外気温度として月平均データ(拡張アメダス気象データ)を用いており、1時間ごとに、開口部と外壁部に区別して冷暖房負荷が算出される。室内温度設定は、冷房期(6～9月):26℃, 暖房期(12～3月):22℃, 中間期(4,5,10,11月):24℃とした。内部発熱による負荷は考慮していない。

Table 3 PALの算出結果一覧表
Results of Calculating of PAL

フレームの考慮	無		有			
	no.	-	1	2	3	4
GCWの種類	フレーム	非断熱	非断熱		断熱	
	フィン	無	無	有	無	有
ゾーンPAL (MJ/m ² 年)	北	296	319	316	301	274
	東	450	410	387	420	380
	南	657	476	400	565	424
	西	451	421	404	429	389
PAL (MJ/m ² 年)		463	407	377	428	366

no. は、Table 2のGCWの種類番号と同一

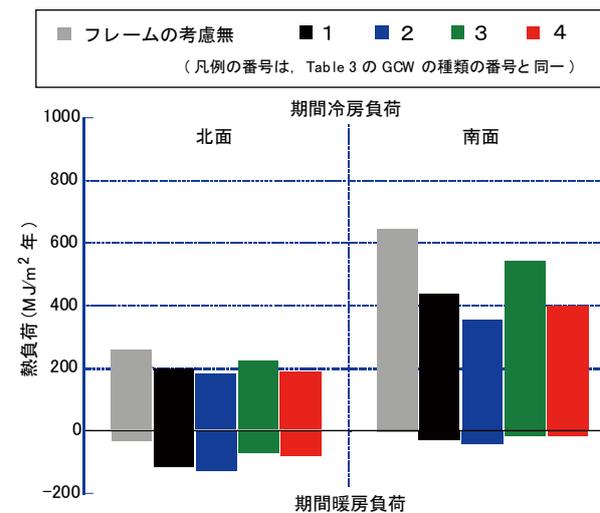


Fig. 5 PAL計算による期間冷暖房負荷(北面,南面)
Seasonal Cooling and Heating Loads
by Calculation of PAL (North and South Sides)

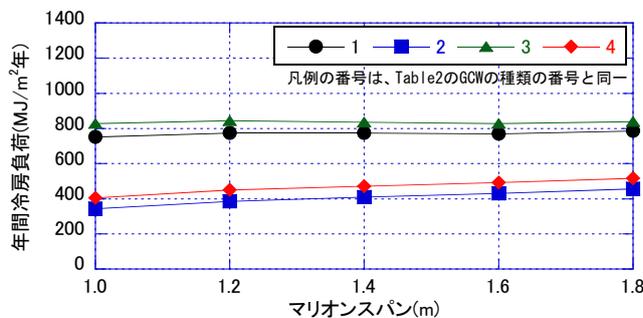


Fig. 6 マリオンズパンと年間冷房負荷(南面)
The Relationship between Mullion Span
and Annual Cooling Load (South Side)

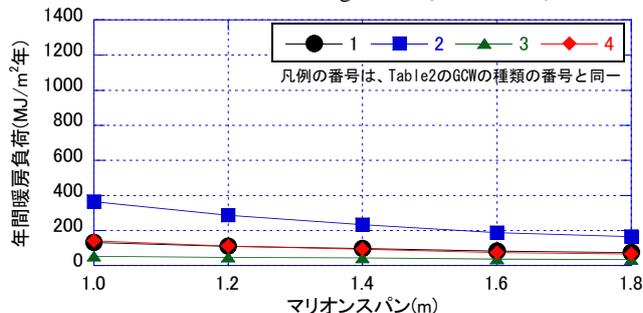


Fig. 7 マリオンズパンと年間暖房負荷(南面)
The Relationship between Mullion Span
and Annual Heating Load (South Side)

(2) 空調負荷計算による結果 Fig. 6~8には、日射の影響が強い南面について、4種類のGCWの年間冷房負荷と年間暖房負荷、およびその総和である年間冷暖房負荷の算出結果をマリオンズパンによる影響とともに示す。冷房負荷については、フィンの有無による影響が非常に大きく、非断熱フレームに対する断熱フレームの冷房負荷増加の影響はわずかであった。暖房負荷についてはフィン有の非断熱フレームの場合が最も大きく、マリオンズパンが小さいほど暖房負荷の増大傾向が大きいことは、Fig. 4の結果とも一致する。

さらに年間冷暖房負荷で評価した場合、フィンと断熱フレームの併用による場合が、全てのマリオンズパンにおいて最も熱負荷が小さく、特にマリオンズパンが小さいほど、その低減効果が顕著であることがわかった。すなわち具体的には、マリオンズパン1.0m(南面)の場合、フィン有・断熱フレームの年間冷暖房負荷は、フィン無・非断熱フレームに対し38%低減し、またフィン有・非断熱フレームに対し23%低減した。

6. 結露防止性能に関する評価

6.1 目的

2章で述べたように、近年、夏期の日射がガラスを通して室内に侵入するのを抑制するためGCWには日射遮へいのためのアルミ製のフィンを取り付ける設計が多いが、冬期には屋内側のアルミフレーム表面には結露が生じやすい。このような結露不具合に対する断熱フレーム技術の有効性を評価するため、日射遮蔽フィンを模擬的に取り付けた小型アルミフレーム試験体を作製し、恒温チャンバーを用いた結露再現実験を行った。また試験体の伝熱シミュレーションも行い、実験結果と比較することにより、シミュレーション精度の検証も行った。

6.2 実験概要

Fig. 9に示すように、屋外側を再現する恒温チャンバーの開口側に、非断熱アルミフレーム試験体および断熱アルミフレーム試験体を並べてセットし、また断熱ボード

で塞ぎ壁を作ることによって、両試験体とも同一の温湿度条件下による結露再現実験を行った。

非断熱および断熱アルミフレーム試験体ともに、同じGRPをかした試験体を使用し、非断熱アルミフレーム試験体のGRP部には、外枠と内枠が熱橋となるアルミプレートを取り付け、擬似的に非断熱とした。この理由は、屋外および室内側に接するアルミフレームの面積および試験体の熱容量を両試験体とも等しくするためである。

Photo 3に結露試験の状況を示す。冬期の屋外の気温を再現するためプログラム式恒温チャンバー内の温度を任意で変化(5~10℃)させ、また室内側に相当する空間を

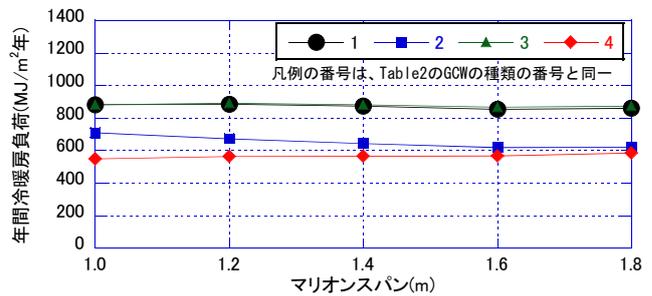


Fig. 8 マリオンズパンと年間冷暖房負荷(南面)
The Relationship between Mullion Span and Annual Cooling and Heating Loads (South Side)



Photo 3 結露実験の状況
Condensation Test

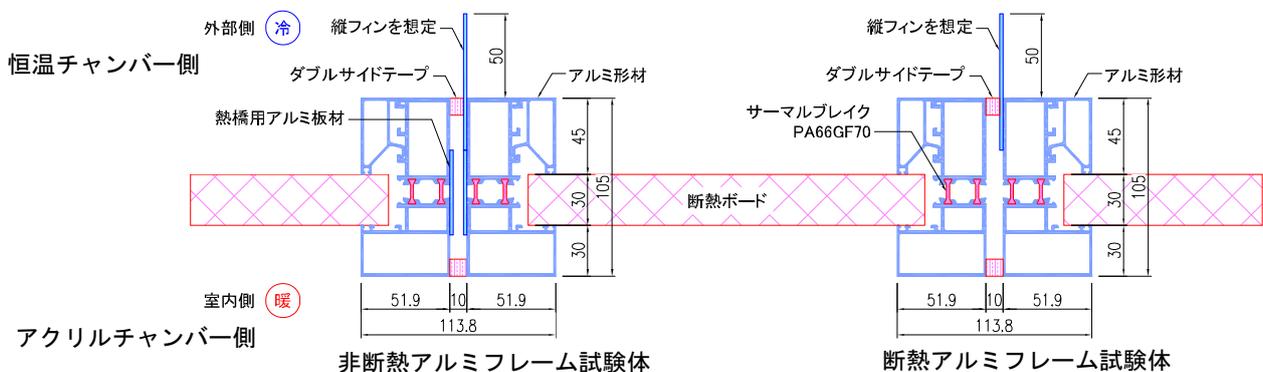


Fig. 9 アルミフレーム試験体の断面概略
Specimens Consisting of Extruded Aluminum Sections

透明アクリルチャンバーで囲み、その温湿度(制御目標：20℃、55%RH程度)を保つようにした。

測定項目としては、試験体表面の各所温度およびチャンパー内の温度と相対湿度とした。さらにアルミフレーム表面の温度分布を目視しやすいよう、サーモカメラによる撮影も行った。

6.3 アルミフレーム試験体の熱貫流率(U値)

非断熱および断熱アルミフレーム試験体の熱性能の差は、そのU値により定量的に比較することができ、U値の値が小さいほど断熱性能に優れる。U値は二次元定常伝熱計算プログラム¹⁴⁾により算出した。その結果をTable 4に示す。非断熱に比べ断熱アルミフレーム試験体では、36%程度、U値が低減されている。

6.4 実験結果

各測定結果のうちFig. 10には、非断熱および断熱アルミフレームの屋内側表面温度(透明アクリルチャンパー内)および透明アクリルチャンパー内の温湿度から求めた露点温度の経時変化を示す。

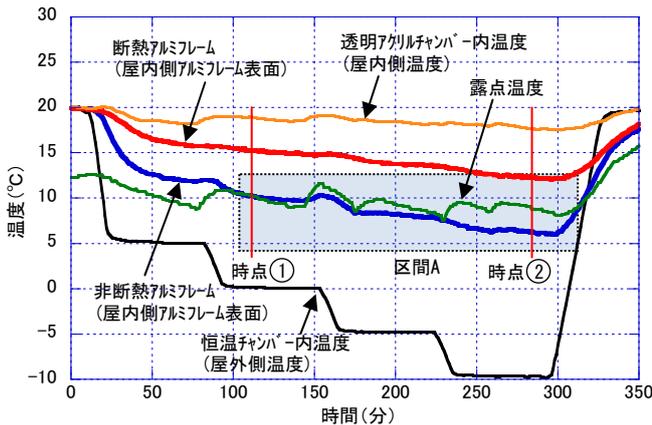


Fig. 10 温度の経時変化
The Result of Monitoring Temperature

Fig. 10に示す「区間A」では、非断熱アルミフレームの表面温度が露点温度を下回ったが、この間、断熱アルミフレームでは露点温度を下回ることなく、フィンが取り付けられた場合でもGRPによる明確な断熱効果が確認できた。またPhoto 4のサーモカメラ画像からも、フィンが取り付けられた非断熱フレームと断熱フレームの表面温度の違いが明確となった。

「区間A」のうち、時点①および時点②での結露状況と伝熱シミュレーション¹⁴⁾による結果をTable 5に示す。結露開始直後は水滴が非常に小さいため目視では確認で

Table 4 U値の算出結果
U-value of Extruded Aluminum Sections

アルミフレーム試験体の種類	非断熱	断熱
温度分布図 (青色側がより低温)		
U値(W/m ² K)	7.2	4.6

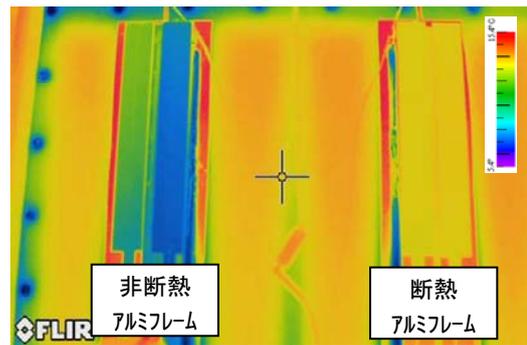


Photo 4 サーマカメラによるアルミフレーム試験体の屋内側表面の温度分布(時点②)
Distribution of Temperature on the Aluminum Surface

Table 5 実験結果と解析結果の比較
Comparison of the results of Condensation Test and Thermal Analysis

	時点①		時点②	
	断熱アルミフレーム	非断熱アルミフレーム	断熱アルミフレーム	非断熱アルミフレーム
実測温度詳細	Te = 0.2℃、Ti = 18.9℃、RH = 58%	Te = 0.2℃、Ti = 18.9℃、RH = 58%	Te = -9.6℃、Ti = 17.7℃、RH = 56%	Te = -9.6℃、Ti = 17.7℃、RH = 56%
	T _{AL} =15.3℃ > T _C =10.5℃ (露点温度以上)	T _{AL} =10.3℃ < T _C =10.5℃ (露点温度以下)	T _{AL} =12.3℃ > T _C =8.8℃ (露点温度以上)	T _{AL} =6.2℃ < T _C =8.8℃ (露点温度以下)
結露状況写真				
伝熱シミュレーション結果	T _{AL} = 15.0℃ 	T _{AL} = 11.9℃ 	T _{AL} = 10.5℃ 	T _{AL} = 6.4℃

(記号凡例) Te:外部側気温、Ti:室内側気温、RH:室内側相対湿度、T_{AL}:室内側アルミ表面温度、T_C:室内側露点温度
(温度分布凡例)



きないほどであったが、時間の経過とともに水滴が目視確認できるようになった。実験結果と伝熱シミュレーション結果によるアルミフレーム表面温度も概ね整合しており、またアルミフレーム表面温度と露点温度との関係は、結露による水滴発生 の程度にも現れていることから、本実験により断熱アルミフレーム技術の結露防止性が十分に評価できたと判断される。

7. おわりに

本研究では、サーマルブレイクすなわち断熱アルミフレームを併用したフィンの設置が、日除け効果による省エネルギー化と結露防止を両立できる日本の温暖地域に適したGCWであることを示した。4種類の標準的なGCWを試設計し、それらについて熱負荷計算による省エネルギー性能および結露再現実験による結露防止性能の検証を行った。その結果、以下のことを確認した。

1) 本検討範囲において、条件により程度の差はあるものの、フィンを有する断熱アルミフレームが最も省エネルギー性に優れることを確認した。

2) マリオンスパン1.0m(南面)の場合、フィン有・断熱フレームの年間冷暖房負荷は、フィン無・非断熱フレームに対し38%低減し、またフィン有・非断熱フレームに対し23%低減した。

3) 日射遮へいフィンを模擬的に取り付けた小型アルミフレーム試験体を用いて結露実験を行った結果、フィンが設置された場合でも、断熱アルミフレームでは結露防止性能に優れることを確認した。

昨今は健康面から、乾燥しがちな冬期においても適切な湿度(40%RH以上)を保ったオフィス環境の実現が求められ、また病院や飲食店などの常時、湿気の供給があるテナントビルでは、特に結露防止措置が求められているため、断熱アルミフレーム技術の活用が期待できる。

謝辞

本研究の実施にあたり、アルミフレームの熱解析および試験体の準備にご協力下さいましたパルマスティーリザ・ジャパン株式会社、空調負荷計算でご協力下さいました株式会社ティーディーシー、断熱型材(GRP)メーカーの株式会社テクノフォームパウテックジャパンの関係各位に深謝致します。

参考文献

- 1) 「エネルギーの使用の合理化に関する法律」およびその関連法規
- 2) 斉藤孝一郎, 他 : 窓フレームを考慮したビル用窓の熱性能簡易計算法, 日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第636号, pp151-160, (2009)
- 3) 斉藤孝一郎, 他 : カーテンウォールの熱貫流率計算法, 日本建築学会大会学術講演梗概集D-2分冊, pp15-16, (2009)
- 4) 田代達一郎, 他 : フレームを考慮したカーテンウォールの熱性能計算, 日本建築学会環境系論文集, 第76巻, 第670号, pp1033-1042, (2011)
- 5) BS EN 13947:2006 Thermal performance of curtain walling –Calculation of thermal transmittance
- 6) ISO 10077-1(2006) Thermal performance of windows, doors and shutters -Calculation of thermal transmittance-Part1 General
- 7) ISO 10077-2(2003) Thermal performance of windows, doors and shutters -Calculation of thermal transmittance-Part2 Numerical method for frames
- 8) JIS A 2102-1 : 2011 窓及びドアの熱性能—熱貫流率の計算—第1部 : 一般
- 9) JIS A 2102-2 : 2011 窓及びドアの熱性能—熱貫流率の計算—第2部 : フレームの数値計算法
- 10) 東京都健康安全研究センター広域監視部建築物監視指導課 : ビル衛生管理講習会資料, (2008)
- 11) BS EN 14024:2004 Metal profiles with thermal barrier—Mechanical performance—Requirements, proof and tests for assessment
- 12) American Architectural Manufactures Association, AAMA TIR A8-08 Structural Performance of Composite Thermal Barrier Framing Systems
- 13) ISO 10211-2:2001 Thermal bridges in building construction — Calculation of heat flows and surface temperatures —Part 2: Linear thermal bridges
- 14) 二次元定常伝熱計算プログラム BISCO version 9.0w PHYSIBEL社製
- 15) (財)建築環境・省エネルギー機構 : 建築物の省エネルギー基準と計算の手引き 新築・増改築の性能基準(PAL/CEC), p53, (2009)