サマルブレイクを用いたガラスカーテンウォールの熱性能に関する評価

THERMAL PERFORMANCE OF GLASS CURTAIN WALLS WITH THERMAL BREAK FRAMING SYSTEM

三谷一房 ——— * 1 小川晴果 ——— * 2
水上卓也 ——— * 3 古城雄一 ——— * 4

Hitofusa MITANI ——— * 1 Haruka OGAWA ——— * 2
Takuya MIZUKAMI ——— * 3 Yuichi KOJO ——— * 4

キーワード：
ガラスカーテンウォール, 断熱フレーム, 熱性能, 熱負荷

Keywords:
Glass curtain wall, Thermal break framing system, Thermal performance, Heat Load

In order to reduce the energy consumption of buildings and improve the resistance of aluminum framing members to condensation, the glass curtain walls with 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. Calculating results for the heat load confirmed that this idea has obvious benefits of improving the thermal performance and reducing the energy consumption.

1. はじめに

ガラスカーテンウォール(以下, GCW とする)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「エネルギーの使用の合理化に関する法律」の度重なる改正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, 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, 今後も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, 事務所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, サマルブレイクを用いた GCW の熱性能および省エネルギー性能に関する評価について報告する。

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がたい。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が対象とされており, 必ずしもアルミフレームに対する評価が求められていない。
- 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, 現状では結露防止に対する技術的配慮が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¹⁾²⁾³⁾。

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 等に準じ2011年によりやく制定された⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。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。

居室の相対湿度は, インフルエンザ感染対策への配慮等⁹⁾から, 「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」において40%以上70%以下(建築物環境衛生管理基準)とされている。したがって冬

¹⁾ 榎大林組技術研究所 担当課長

(〒204-8558 清瀬市下清戸4-640)

²⁾ 榎大林組技術研究所 上級首席技師・博士(工学)

³⁾ 榎大林組技術研究所 主任

⁴⁾ 榎大林組大阪本店 担当課長

¹⁾ Technical Research Institute, Obayashi Corporation

²⁾ Technical Research Institute, Obayashi Corporation, Dr. Eng.

³⁾ Technical Research Institute, Obayashi Corporation

⁴⁾ Construction Technology & Engineering Dept., Obayashi Corporation

期には、適正な相対湿度の確保と同時に、窓まわりの結露防止に対する十分な技術的配慮も求められよう。

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んだフレーム技術を言う。この外枠と内枠は構造的には一体化しているが、熱的には絶縁性が付与されており、アルミ熱遮断フレームとも呼ばれる。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¹⁰⁾¹¹⁾。表 1 に、欧米で普及している 3 方式のサーマルブレイクと概要を整理した。

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、界面に間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。

2 つ目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写真 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。

3 つ目は「ゴム・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」の技術を採用することとした。

4. サーマルブレイクを用いた GCW の提案

GCW は窓面積が大きいので、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

写真 1 GRP の押出方向に直交方向の断面

表 1 サーマルブレイクの種類と概要

方式		樹脂注入式	樹脂かしめ式	ゴム・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 /℃)	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)で連結し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合金に近いので、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、ゴム・樹脂製の定型材が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, p429

*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

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(写真2参照)。

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、図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

図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、図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。スパンドレルマリオン裏面には防火用ロックウールを施した仕様とした¹²⁾。

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 10077-2⁶⁾およびISO 10211-2¹³⁾に準じた二次元定常伝熱計算プログラム(PHYSIBEL社、BISCO v. 9.0w)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(U_s および U_v)、とGCW全体としてのU値(U_{cw})を算出した。また日射侵入率(η 値)は参考文献¹⁴⁾の方法

写真2 アルミフレームに生じた結露の例

図1 フィンと断熱フレームを併用したGCW技術の提案

図2 GCWの熱性能検討範囲と各部寸法

図3 ビジョンマリオンの断面

表 2 GCW 各部材および部位の U 値一覧表

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
	高さ (mm)	2524. 5	2712. 5	120. 5	67. 5		1387. 5	1387. 5		4100		
	幅 (mm)	1700	100	1700	1700		1700	100		1800		
	面積 (m ²)	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
	2		フィン有		1. 60	19. 78	12. 03	9. 81	3. 24	0. 46	5. 83	0. 76	2. 40
	3	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
	4		フィン有		1. 60	6. 79	7. 42	7. 21	2. 26	0. 46	4. 86	0. 70	1. 74

により求め、U 値と同様に各値を算出した。さらにマリオンスパンが、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。

マリオンスパン 1800mm の場合における、GCW の各構成部材および各部位の U 値の算出結果を表 2 に示す。またマリオンスパンと Uv との関係を図 4 に示す。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ムの場合は、Uv が大幅に低減した。またマリオンスパンが小さいほど、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。すなわちマリオンスパンが小さいほど、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、現実の空気調和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(マリオンスパン 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、PAL・CEC 計算プログラム)を用いて、東京・4 方位別のゾーン PAL および PAL を算出した。その結果の一部を表 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。また図 5

図 4 マリオンスパンと Uv の関係

表 3 PAL の算出結果一覧表

フレームの考慮		無	有			
GCWの種類	no.	-	1	2	3	4
	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、表2のGCWの種類番号と同一

(図中の番号は表2のGCWの種類番号と同一)

図 5 PAL 計算による期間冷暖房負荷(北面、南面)

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。

表3の最下段に示すように、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PALは非断熱フレームよりも低減し、4種類のGCWの中で最も低くなることがわかった。

また方位別に算出したゾーンPALでみると、図5に示す熱負荷量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。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。

なお表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¹⁾³⁾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、年間熱負荷係数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ない場合もあるため、以下に述べるとおり、空調負荷計算による評価にも、あわせて取り組んだ。

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。

(2) 空調負荷計算による結果

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、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図6~8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、図4の結果とも一致する。

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、

図6 マリオンズパンと年間冷房負荷(南面)

図7 マリオンズパンと年間暖房負荷(南面)

図8 マリオンズパンと年間冷暖房負荷(南面)

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。

マリオンズパン1.8mにおける8方位ごとの年間冷暖房負荷の算出結果を図9に示す。北、北東、東および北西面では、日射の影響が少ないため、断熱フレームによる年間冷暖房負荷の低減効果が明確に見られ、南東、南、南西および西面では、フィンの日除け効果に

よる年間冷暖房負荷の低減効果が明確に見られた。8 方位ともフィンと断熱フレームの併用による場合が、最も年間冷暖房負荷が小さく、方位により程度の差はあるが、フィン無・非断熱フレームに対して、年間冷暖房負荷が 20～30%程度低減した。

さらに8方位全ての年間冷暖房負荷の総和の算出結果を図10に示す。いずれのマリンスパンの場合もフィンと断熱フレームの併用による場合が、フィン無・非断熱フレームと比べ、年間冷暖房負荷が20%以上低減した。

6. まとめ

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 であると提案し、本報告では、GCW の熱性能および省エネルギー性能に関する評価を行った。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り省エネルギー性能を評価した。その結果、本検討範囲において、以下のことを確認した。

- 1) フィンの有無にかかわらず、断熱フレームによる場合は非断熱フレームよりも、GCW 開口部の熱貫流率が大幅に低減した。またマリンスパンが小さいほど断熱フレームによる GCW 開口部の熱貫流率の低減効果(断熱効果)が大きかった。
- 2) PAL による評価および空調負荷計算による評価を行い、試設計した4種類のGCWのなかで、フィンをもつ断熱アルミフレームによる場合が、条件により程度の差はあるが、最も年間冷暖房負荷の低減効果が大きく、省エネルギー性に優れる。
- 3) GCW が面する方位によって、フィンによる日除け効果およびフレームの断熱強化による効果は異なるものの、8 方位の年間冷暖房負荷の総和を比較すると、いずれのマリンスパンの場合もフィンと断熱フレームの併用による場合が、フィン無・非断熱フレームと比べ、年間冷暖房負荷が20%以上低減した。

謝辞

本研究の実施にあたり、アルミフレームの熱解析にご協力下さいましたパルマスティリザ・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の関係各位に深謝致します。

参考文献

- 1) 斉藤孝一郎, 赤坂 裕, 二宮秀典, 田代達一郎, 木下泰斗: 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, 2009.2
- 2) 斉藤孝一郎, 赤坂 裕, 二宮秀典, 宇田川光弘, 木下泰斗, 伊藤春雄: カーテンウォールの熱貫流率計算方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp15-16, 2009.8
- 3) 田代達一郎, 二宮秀典, 斉藤孝一郎: 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, 2011.12
- 4) ISO 12631:2012 Thermal performance of curtain walling -Calculation of thermal transmittance

図9 マリンスパン 1.8m における 8 方位別の年間冷暖房負荷

図10 マリンスパンと年間冷暖房負荷 (8 方位の総和)

- 5) ISO 10077-1 (2006) Thermal performance of windows, doors and shutters -Calculation of thermal transmittance- Part1 General
- 6) ISO 10077-2 (2003) Thermal performance of windows, doors and shutters -Calculation of thermal transmittance- Part2 Numerical method for frames
- 7) 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
- 8) 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方法
- 9) 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：平成 20 年度ビル衛生管理講習会資料, pp17-20, 2008.10
- 10) BS EN 14024:2004 Metal profiles with thermal barrier-Mechanical performance-Requirements, proof and tests for assessment
- 11) American Architectural Manufacturers Association, AAMA TIR A8-08 Structural Performance of Composite Thermal Barrier Framing Systems, 2008.8
- 12) 平成 20 年国住指第 619 号：カーテンウォールの構造方法について (技術的助言), 2008.5
- 13) ISO 10211-2:2001 Thermal bridges in building construction - Calculation of heat flows and surface temperatures-Part 2: Linear thermal bridges
- 14) 一般財団法人 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, 2009.9

[2013 年 2 月 12 日原稿受理 2013 年 4 月 11 日採用決定]