

第5章 ビル用開口部の熱性能

5.1 はじめに

我が国の「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）」¹⁾における「建築主の判断基準：省エネルギー基準」²⁾では、建築外皮の熱性能はPAL（Perimeter Annual Load、年間熱負荷係数）で評価されている。PAL 計算では外壁、屋根、窓等の建築外皮を構成する各部位の断熱性能値として熱貫流率（ U 値）、遮熱性能値として日射熱取得率（ η 値）を用いて、建築物の暖房期間、冷房期間そして年間の空調負荷を算出している。

開口部は、壁と比較すると熱性能が劣るため PAL 値は開口部の仕様に強く影響される。建築物の省エネルギー基準の計算の手引³⁾には各種窓の熱貫流率（ U 値）と日射熱取得率（ η 値）が整理されており、一覧表に登録された窓種の中から該当する窓の性能値を引用することとなっている。しかしながら、現行の一覧表に掲載された窓の U 値及び η 値は、ガラス部分のみあるいは、ブラインドを含む性能値を整理したものであり、窓枠フレーム（以下フレーム）の影響を考慮していない点が問題となっている。この問題に対し、フレームを考慮したビル用窓の簡易計算法を提案し、フレームの影響が無視できないオーダーであることを明らかにした⁴⁾。

カーテンウォールの断熱性能計算法に関する国内の規格は制定されていないが、海外の規格は欧州規格 EN13947:2006 が制定され、2012 年に ISO 12631⁵⁾として国際規格化された。

将来的にカーテンウォールの熱性能計算法を JIS 規格化すること、及び PAL 等の非住宅建築を対象とした簡易な年間暖冷房負荷計算にフレームを考慮したガラスカーテンウォール（以下カーテンウォール）の評価方法を追加することを目指して、断熱性能計算法の規格化がされた ISO12631 の規格内容を用いて、市場で販売されている製品を計算し、材質や施工方法の異なるフレーム材の断熱性能について整理を行う。また、PAL 計算に用いるためには断熱性能だけでなく、遮熱性能への影響も考慮しなければならないため、ISO15099⁶⁾を参照してカーテンウォールフレームの遮熱性能についても合わせて計算を実施し整理する。

次に PAL 計算にフレームを考慮した計算法を盛り込むため、簡易計算法を検討し提案する。

さらにモデルケースを用いて PAL 計算を実施し、フレームの影響を評価する。

5.2 カーテンウォールの熱性能の評価法

ISO12631⁵⁾では、熱貫流率の算出方法についてフレーム部単一性能評価法（Single assessment method）と構成要素評価法（Component assessment method）の二通りが記載されている。

遮熱性能にフレームの影響を考慮したいため、断熱性能についてもフレーム面積を考慮した構成要素評価法で計算を実施する。

5.2.1 断面のモデル化

図 5.2.1-1 にカーテンウォールの姿図、縦・横断面図を示す。

フレーム部の解析モデル化の範囲は、JISA2102-2⁷⁾に準拠する。

図 5.2.1-2 にマリオン（複層ガラス用）の解析モデル例を示す。方立の両端部は、外壁と接するため断熱境界が方立の半分を覆う納まりもあるが、ここでは中間の方立と同じ扱いとした。よって、開口部と腰部を一体の開口と定義すると、図 5.2-2 のように 6 断面のモデル化となる。フレーム以外のガラス及び腰パネルの見付け幅 b_g 、 b_{sp} は、断熱性能のよい腰部の解析も行うため、全て 300mm とした。

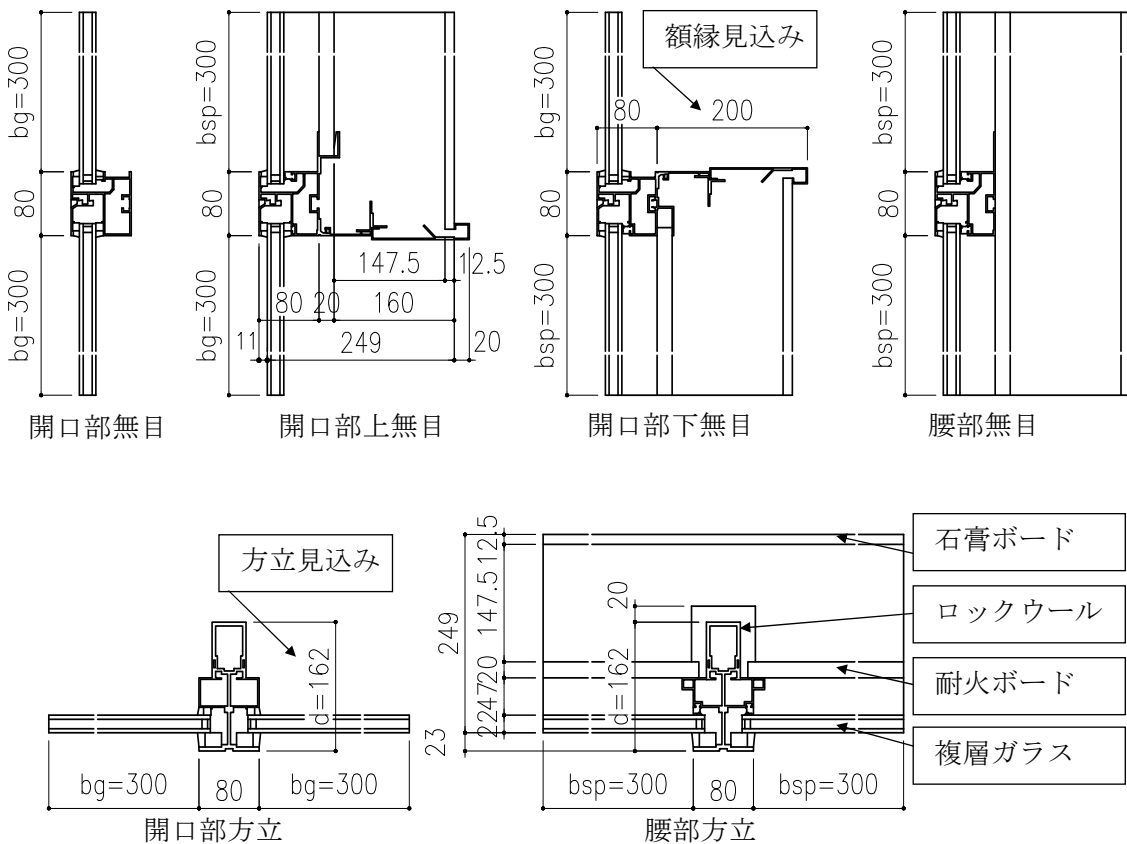


図 5.2.1-2 マリオン（複層ガラス用）の各部の解析モデル

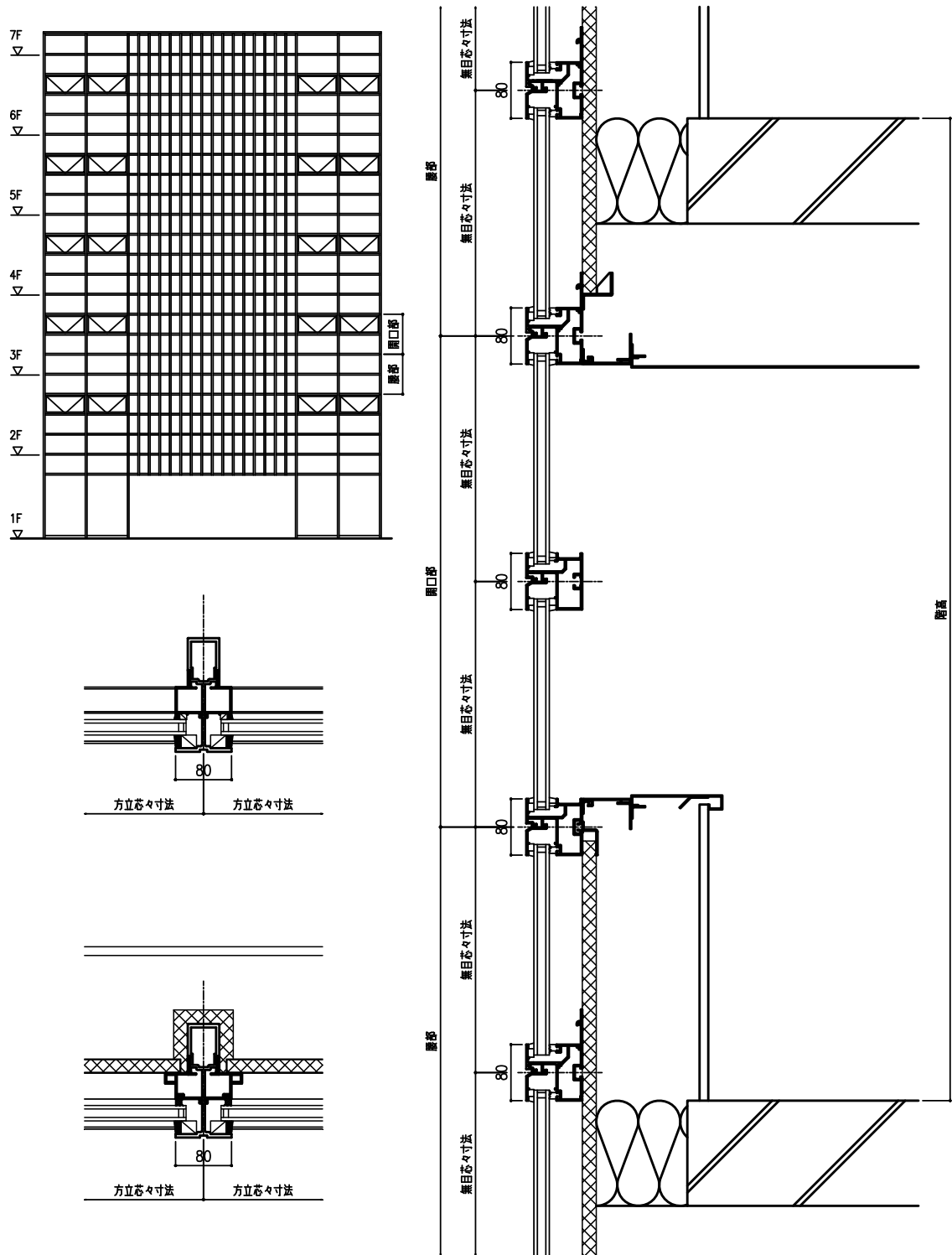


図 5.2.1-1 カーテンウォールの姿図，縦・横断面図

5.2.2 熱貫流率計算法

カーテンウォール全体の熱貫流率は算出式(5.2.2-1)で整理できる。

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_{sp} U_{sp} + \sum A_f U_f + \sum l_g \psi_g + \sum P}{A_{cw}} \quad \dots (5.2.2-1)$$

ここで

- U_{cw} : カーテンウォール全体の総合熱貫流率 [W/(m²・K)]
- U_g : 開口部 (ビジョン部) のガラス部の熱貫流率 [W/(m²・K)]
- U_{sp} : 腰部 (スパンドレル部) のパネル部の熱貫流率 [W/(m²・K)]
- U_f : 開口部, 腰部のフレーム部の熱貫流率 [W/(m²・K)]
- A_{cw} : カーテンウォール全体の伝熱開口面積 [m²]
- A_g : 開口部 (ビジョン部) のガラス部の見付面積 [m²]
- A_{sp} : 腰部 (スパンドレル部) のパネル部の見付面積 [m²]
- A_f : 開口部, 腰部のフレーム部の見付面積 [m²]
- l_g : 開口部, 腰部のガラス周囲部の長さ [m]
- ψ_g : 開口部, 腰部のガラス周囲部の線熱貫流率 [W/(m・K)]
- P : 3次元熱流部の点熱貫流率 [W/K]

式には, 1点 (部材連結部や部品) の単位個数当たりの通過熱流量: P が定義されているが, ここでは無いものとする。

フレーム部の断熱性能算出方法は JIS A 2102-2⁷⁾に基づき, フレーム部の熱貫流率(U_f)と別に複層ガラススペーサ周辺部の2次元熱流の影響を表す線熱貫流率(ψ_g)を算出する。

解析モデルイメージを図 5.2.2-1 に示す。

フレーム部の熱貫流率(U_f)は, フレームに断熱パネルを挿入した断熱パネルモデル (図 5.2.2-1(b)) を用いて算出式(5.2.2-2) で求める。

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p b_p - U_{psp} b_{psp}}{b_f} \quad \dots (5.2.2-2)$$

ここで

- U_f : 開口部, 腰部のフレーム部の熱貫流率 [W/(m²・K)]
- U_f^{2D} : 断熱パネルモデルの熱コンダクタンス [W/(m・K)]
- U_p : 開口部 (ビジョン部) の断熱パネルの熱貫流率 [W/(m²・K)]
- U_{psp} : 腰部 (スパンドレル部) の断熱パネルの熱貫流率 [W/(m²・K)]
- b_f : 開口部, 腰部のフレーム部の見付幅 [m]
- b_p : 開口部 (ビジョン部) の断熱パネルの見付幅 [m]
- b_{psp} : 腰部 (ビジョン部) の断熱パネルの見付幅 [m]

複層ガラススペーサ部を含むフレームとガラスの間の線熱貫流率(ψ_g)は、フレームに複層ガラスを挿入した複層ガラスモデル(図5.2.2-1(a))と、算出式(5.2.2-2)で得られる U_f 値を用いて算出式(5.2.2-3)で求める。但し、単板ガラスの場合は熱橋効果がないため無視する。

$$\phi_g = L_{\psi}^{2D} - U_f b_f - U_g b_g - U_{sp} b_{sp} \quad \dots (5.2.2-3)$$

ここで

- ψ_g : 開口部, 腰部のガラス周囲部の線熱貫流率 [W/(m·K)]
- L_{ψ}^{2D} : 複層ガラスモデルの熱コンダクタンス [W/(m·K)]
- U_f : 開口部, 腰部のフレーム部の熱貫流率 [W/(m²·K)]
- U_g : 開口部(ビジョン部)のガラス部の熱貫流率 [W/(m²·K)]
- U_{sp} : 腰部(スパンドレル部)のパネル部の熱貫流率 [W/(m²·K)]
- b_f : 開口部, 腰部のフレーム部の見付幅 [m]
- b_g : 開口部(ビジョン部)の複層ガラスの見付幅 [m]
- b_{sp} : 腰部(ビジョン部)のパネルの見付幅 [m]

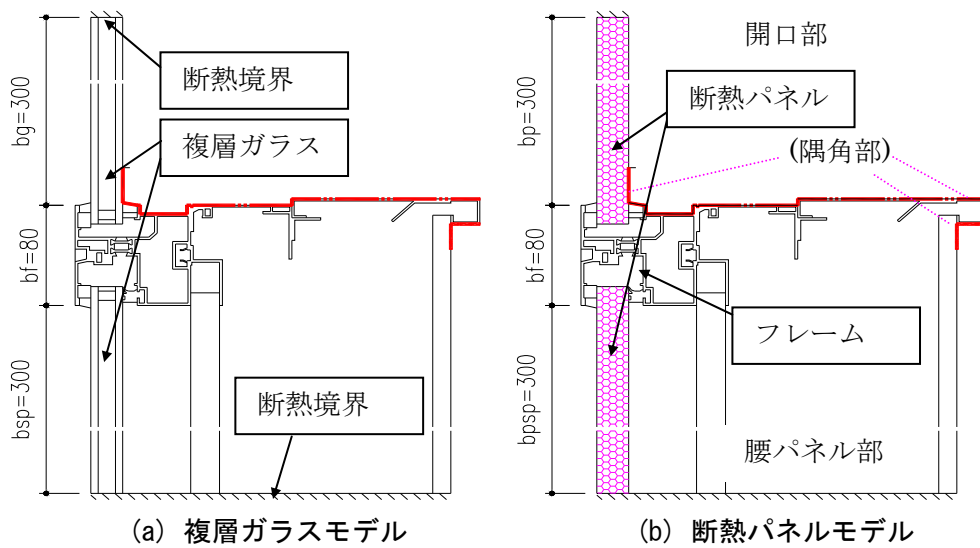


図5.2.2-1 熱貫流率の解析モデルイメージ

5.2.3 日射熱取得率計算法

カーテンウォール全体の日射熱取得率は算出式(5.2.3-1) で整理できる。

$$\eta_{cw} = \frac{\sum A_g \eta_g + \sum A_{sp} \eta_{sp} + \sum A_f \eta_f}{A_{cw}} \quad \dots (5.2.3-1)$$

ここで

- η_{cw} : カーテンウォール全体の総合日射熱取得率 [-]
- η_g : 開口部 (ビジョン部) のガラス部の日射熱取得率 [-]
- η_{sp} : 腰部 (スパンドレル部) のパネル部の日射熱取得率 [-]
- η_f : 開口部, 腰部のフレーム部の日射熱取得率 [-]
- A_{cw} : カーテンウォール全体の伝熱開口面積 [m²]
- A_g : 開口部 (ビジョン部) のガラス部の見付面積 [m²]
- A_{sp} : 腰部 (スパンドレル部) のパネル部の見付面積 [m²]
- A_f : 開口部, 腰部のフレーム部の見付面積 [m²]

解析モデルイメージを図 5.2.3-1 に示す。

フレーム部, ガラス部, 腰部パネル部の日射熱取得率算出方法は, ISO 15099⁶⁾の算出式(5.2.3-2)で整理できる。2次元解析モデルに日射受熱の発熱条件を設定したモデル(図 5.2.3-1(a))を用いて, 日射を受けた場合の室内への熱流束から日射を受けない場合(貫流分)の熱流束を差引いた値を日射強度で除して算出する。

$$\eta_g, \eta_{sp}, \eta_f = \frac{q_{in} - q_{in}(I_s = 0)}{I_s} \quad \dots (5.2.3-2)$$

ここで

- η_g : 開口部 (ビジョン部) のガラス部の日射熱取得率 [-]
- η_{sp} : 腰部 (スパンドレル部) のパネル部の日射熱取得率 [-]
- η_f : 開口部, 腰部のフレーム部の日射熱取得率 [-]
- q_{in} : 各部の入射日射がある場合の室内への熱流束 [W/m²]
- $q_{in}(I_s = 0)$: 各部の入射日射がない場合の室内への熱流束 [W/m²]
- I_s : 入射日射強度 [W/m²]

このとき, 算出式(5.2.3-2)に入る q_{in} 及び $q_{in}(I_s=0)$ は, 図 5.2.3-1(b)に示すようにフレームを含む2次元熱流計算モデルから, ガラス単体及び腰部パネル単体の1次元熱流を差引いて求める。そのため, 2次元熱流分の影響は, フレームに残ることとなる。よって, 算出式(5.2.3-2)のフレーム部の熱流束: $q_{in,f}$ 及び $q_{in,f}(I_s=0)$ の算出式は以下となる。

$$q_{in,f} = \frac{Q_{in} - q_{in,g} \cdot b_g - q_{in,sp} \cdot b_{sp}}{b_f} \quad \dots (5.2.3-3)$$

$$q_{in,f}(I_s = 0) = \frac{Q_{in}(I_s = 0) - q_{in,g}(I_s = 0) \cdot b_g - q_{in,sp}(I_s = 0) \cdot b_{sp}}{b_f} \quad \dots (5.2.3-4)$$

ここで

$q_{in,f}$: 開口部, 腰部のフレーム部の入射日射がある場合の室内への熱流束 [W/m²]

Q_{in} : 入射日射があるモデル全体の室内への熱流束 [W/m]

$q_{in,g}$: 開口部 (ビジョン部) のガラス部に入射日射がある場合の室内への熱流束 [W/m²]

$q_{in,sp}$: 腰部 (スパンドレル部) のパネル部に入射日射がある場合の室内への熱流束 [W/m²]

$q_{in,f}(I_s=0)$: 開口部, 腰部のフレーム部に入射日射がない場合の室内への熱流束 [W/m²]

$Q_{in}(I_s=0)$: 入射日射がないモデル全体の室内への熱流束 [W/m]

$q_{in,g}(I_s=0)$: 開口部 (ビジョン部) のガラス部に入射日射がない場合の室内への熱流束 [W/m²]

$q_{in,sp}(I_s=0)$: 腰部 (スパンドレル部) のパネル部に入射日射がない場合の室内への熱流束 [W/m²]

b_g : 開口部 (ビジョン部) のガラス部の見付け長さ [m]

b_{sp} : 腰部 (スパンドレル部) のパネル部の見付け長さ [m]

b_f : 開口部, 腰部のフレーム部の見付け長さ [m]

式(5.2.3-3)の解析について、境界要素法による2次元定常伝熱解析プログラム「TB2D/BEM」⁸⁾を用いた場合、このプログラムではガラスの透過分は考慮せず、日射吸収による再放熱分のみ判定している。入力する日射吸収率は多重反射(収束計算)後の値を用いている。腰部のように不透明パネルを用いる場合、パネルも含めた収束計算後の吸収率を入力する必要がある。また、腰部のようにガラス透過後にパネル面で日射を受照する場合、外側のガラスで日射量が減衰する。この部分はパネル面の日射受照割合を透過率分とすることで、対応できるようになっている。

また、ISO 15099⁶⁾では、フレームの熱貫流率(U_f)からフレームの日射熱取得率(η_f)を簡易に求められる計算式を提案している。

$$\eta_f = a_f \frac{U_f}{\frac{A_s}{A_f} h_{ex}} \quad \dots (5.2.3-5)$$

ここで

- η_f : フレーム部の日射熱取得率 [-]
- a_f : フレーム部の日射吸収率 [-]
- U_f : フレーム部の熱貫流率 [W/(m²·K)]
- A_f : フレーム部の見付面積 [m²]
- A_s : フレーム部の室外側露出表面積 [m²]
- h_{ex} : 室外側表面熱伝達率 [W/(m²·K)]

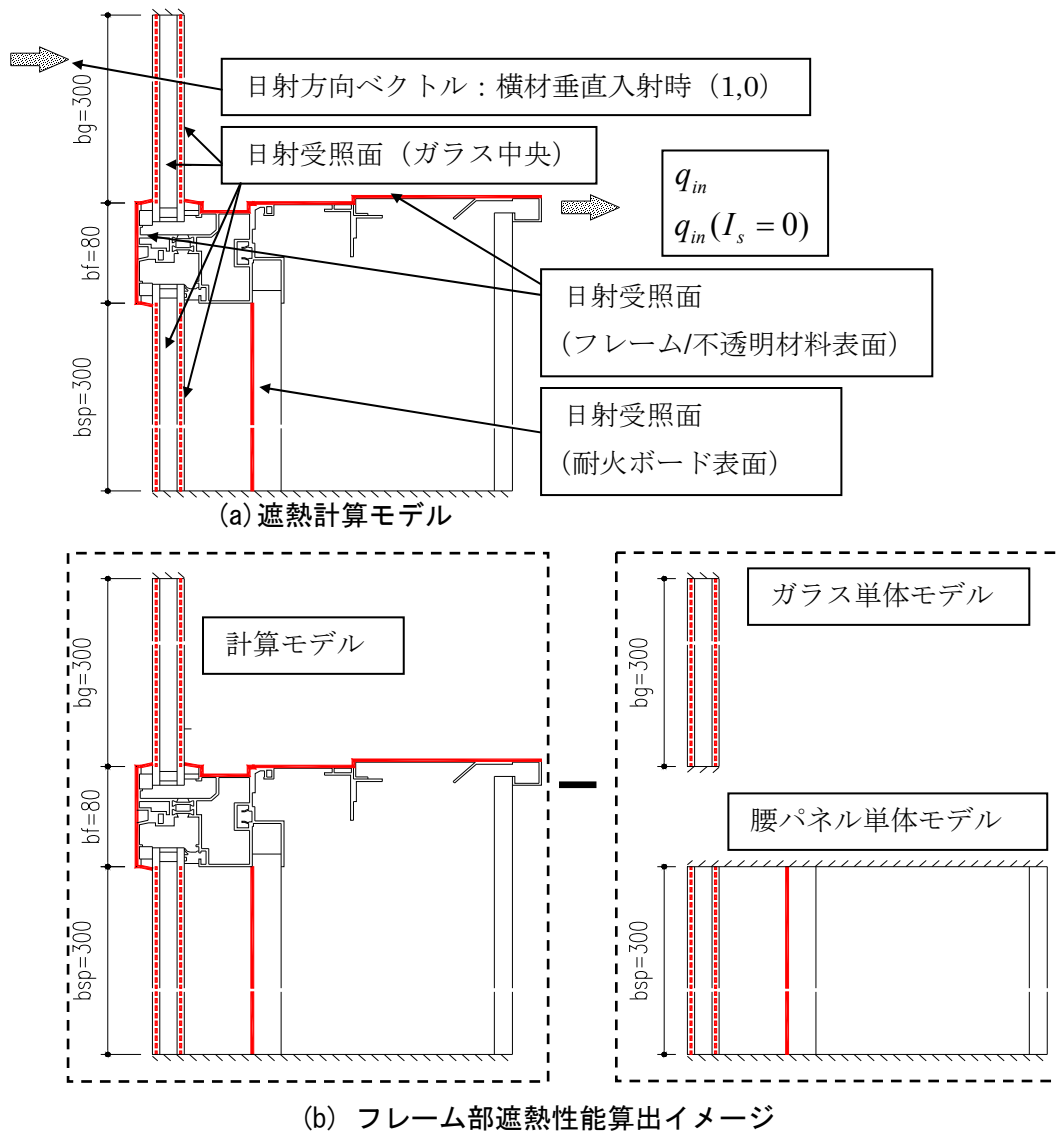


図 5.2.3-1 日射熱取得率の解析モデルイメージ

5.2.4 計算モデル条件

図 5.2.4-1 の姿図をモデルケースとして熱性能計算を行った。フレーム及びガラス種類を表 5.2.4-1 に示す。窓種は全て FIX 窓とした。

表 5.2.4-1 中の a)~f)で見込み寸法が複数あるのは、一般用、吹抜け用等の強度が異なる部材が存在するためである。

カーテンウォールの伝熱開口 H 寸法は、階高 (= 4000mm) と等しい範囲とした。これは外観割付で 4 スパン分の寸法と等しくなる。伝熱開口 W 寸法は、外観方立割付 9 スパン分の寸法の積算値 (= 9000mm) に方立の見付寸法 (=60,75,80mm) を加えたカーテンウォールの外観見付寸法の総和とした。

よって、フレーム部、ガラス部及び腰パネル部の外観の垂直投影面積が各部の見付け寸法面積となり、それらの総和が計算対象となるカーテンウォールの伝熱開口面積となる。

フレームはメーカー標準品とし、アルミ及びアルミ熱遮断構造 (以後熱遮断) で市販されているマリオン、ユニット、横強調とした。

各フレーム種の見付け及び見込み寸法は、主要メーカー3社を調査し、標準的な寸法であることを確認した。

ガラスはフレーム種類に合わせ、単板 : FL10 及び複層 : FL5+A12+FL5 を用いた。腰部の耐火ボードは、20mm 厚 (耐火 30 分)、額縁見込みを 200mm (横強調は 250mm) とし、内壁の石膏ボード 12.5mm までをモデル化した。また改定建築基準法⁹⁾に基づき、腰部方立のまわりに防火用ロックウール 20mm を被覆したモデル (図 5.2.1-2) とした。

表 5.2.4-1 計算対象フレーム種及びガラス種

フレーム種類	材質	見付 [mm]	見込 [mm]	ガラス種 [mm]		
a) マリオン (単板ガラス用)	アルミ	方立	60	162, 212, 297	開口部	FL10
		無目	60	80	腰部	
b) マリオン (複層ガラス用)	アルミ	方立	80	162, 212, 297	開口部	FL5+A12+FL5
		無目	80	80	腰部	
c) マリオン (複層ガラス用)	熱遮断	方立	80	162, 212, 297	開口部	FL5+A12+FL5
		無目	80	80	腰部	
d) ユニット (単板ガラス用)	アルミ	方立	75	250	開口部	FL10
		無目	80	100	腰部	FL10
e) ユニット (複層ガラス用)	アルミ	方立	75	250	開口部	FL5+A12+FL5
		無目	80	100	腰部	FL10
f) 横強調 (単板ガラス用)	アルミ	方立	60	180, 210, 260	開口部	FL10
		無目	80	80	腰部	

※e)のユニットは複層ガラス用だが、腰部は単板ガラスを用いる仕様。

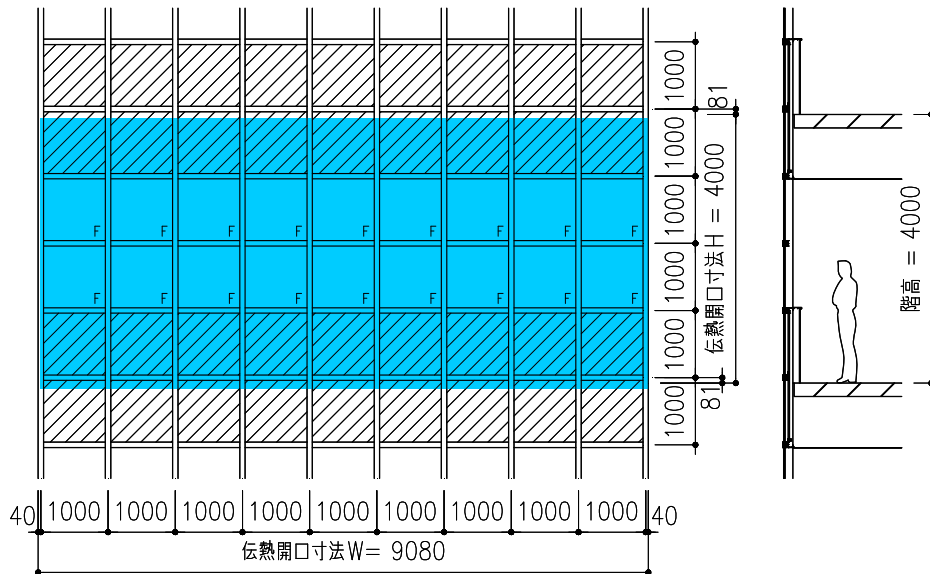


図 5.2.4-1 カーテンウォールの基準階姿図と縦断面図

5.2.5 設定条件，物性値

表 5.2.5-1 に計算に用いた各種設定条件を，表 5.2.5-2 に使用した材料の物性一覧を示す。本計算では，内外の表面熱伝達率は JIS A 2102-2⁷⁾に準じた。フレーム色は出荷数の多いステンカラーを想定し，日射吸収率 $a : 0.50$ ⁸⁾とした。また耐火ボード（ケイ酸カルシウム板）の表面仕上げ色は明暗を想定し， $a : 0.2, 0.5, 0.8$ ⁸⁾とした。計算解析ソフトは，境界要素法による2次元定常伝熱解析プログラム「TB2D/BEM」⁸⁾を用いた。

表 5.2.5-1 計算対象フレーム種及びガラス種

計算伝熱開口寸法	$W \times H$	m	9.08 x 4.0	
室内側表面熱伝達率	α_i	$W / (m^2 \cdot K)$	一般部 : 7.69、隅角部 : 5	
室外側表面熱伝達率	α_o	$W / (m^2 \cdot K)$	25	
遮熱性能	室内側温度	T_i	°C	25
	室外側温度	T_o	°C	30
	日射量	I_s	W / m^2	500,0
	日射入射角度	θ	°	0
断熱性能	室内側温度	T_i	°C	20
	室外側温度	T_o	°C	0
表面熱伝達率の温度依存性			考慮せず一定とする	
中空層等価熱伝導率の温度依存性			条件毎に設定	
複層 ガラス 中空層	冬季日射無し条件	λ	$W / (m \cdot K)$	0.0682
	夏季日射無し条件	λ	$W / (m \cdot K)$	0.0796
	夏季日射有り条件	λ	$W / (m \cdot K)$	0.0829

表 5.2.5-2 計算対象フレーム種及びガラス種

材料	熱伝導率	日射吸収率
	λ (W/m·K)	a (-)
アルミ (ステンカラー)	160.00	0.50
複層 ガラス (FL5+A12+FL5)	1.00	外:0.1084
		内:0.0803
		0.1880
単板 (FL10)		
ポリサルファイド	0.40	-
ガラススペーサー	26.74	-
軟質ビニル	0.14	0.50
シリコン	0.35	0.50
パッカー材	0.04	-
ケイ酸カルシウム板 (耐火ボード)	0.14	0.2/0.5/0.8
石膏ボード	0.22	-
ロックウール	0.038	-
ポリアミド66	0.26	-

5.2.6 計算結果

[1] フレーム部熱性能計算結果

フレーム種類別部材別のフレームに関する熱貫流率 (U_f)、線熱貫流率 (ψ_g)、日射熱取得率 (η_f)、の一覧を表 5.2.6-1 に示す。

複層ガラスエッジ部とフレームの影響による各部材の線熱貫流率は、各々のフレームが支持する両側のガラス2枚分を1つのフレーム特性値として算出している。方立端部は片側1枚分であるが、全体に対する影響が0.1~0.2%程度と小さいため、方立中間部の値を用いる。表 5.2.6-1 中の b)及び c)より、線熱貫流率は、腰部において方立、無目問わずほぼ0に等しかった。各部の熱貫流率 (U_f) は、横強調を除いて、開口部まわりに納まるフレーム (図 5.2.1-2) の場合、アルミタイプが概ね平均 10 W/(m²·K)、熱遮断タイプが概ね平均 5[W/(m²·K)となった。腰部内に納まるフレームはそれぞれ開口部まわりに納まるフレームの 1/3 程度となった。各部の日射熱取得率 (η_f) は、耐火ボードの日射吸収率が上がるにつれ減少し、負の値を示す部位もあった。これは、前述 5.2.3 に示した本計算法に起因した結果と考えられる。フレームの日射熱取得率 (η_f) は、算出式 (5.2.3-2) で求めるが、 q_{in} 及び $q_{in}(I_s=0)$ は、図 5.2.6-1(b)及び算出式(5.2.3-3)、(5.2.3-4)に示すようにフレームを含む2次元熱流計算モデルからガラス単体及び腰パネル単体の1次元熱流を差し引いて求める。つまり、2次元熱流分の影響はフレームに残る。さらに、図 5.2.6-1 の腰部方立部温度コンターが示すように、腰部内において、ガラスを透過し耐火ボード表面で吸収された熱は、室内と室外の熱抵抗の比で熱の分配がされるが、パネル表面温度がアルミ形材温度よりも高くなることと、熱橋となるアルミ形材の室内側にロックウール 20mm が施工されているため、室内への熱伝導が抑えられ、フレームを通して室外側へ放熱されている。これらの結果が負の値を示したと考えられる。このため、日射吸収率が大きくなると、負の値も大きくなっている。

表 5.2.6-1 フレーム種類別部材別のフレームに関する熱性能一覧表

a) マリオン (アルミフレーム、単板ガラス用)							
タイプ	部位	見付 [mm]	熱貫流率 [W/(㎡・K)]	線熱貫流率 [W/(m・K)]	日射熱取得率 [-] a= 0.2 a= 0.5 a= 0.8		
方立	1 開口部方立 (162mm)	60	14.4	-	0.18		
	1 開口部方立 (212mm)	60	16.3	-	0.20		
	1 開口部方立 (297mm) 吹抜	60	18.4	-	0.23		
	2 腰部方立 (162mm)	60	3.0	-	0.02	-0.05	-0.12
無目	2 腰部方立 (212mm)	60	3.4	-	0.03	-0.06	-0.14
	3 開口部中間無目	60	10.4	-	0.15		
	4 開口部上無目	60	11.4	-	0.34	0.30	0.16
	5 開口部下無目	60	11.6	-	0.26	0.28	0.08
	6 腰部中間無目	60	3.0	-	0.05	-0.03	-0.11
b) マリオン (アルミフレーム、複層ガラス用)							
タイプ	部位	見付 [mm]	熱貫流率 [W/(㎡・K)]	線熱貫流率 [W/(m・K)]	日射熱取得率 [-] a= 0.2 a= 0.5 a= 0.8		
方立	1 開口部方立 (162mm)	80	11.7	0.03	0.16		
	1 開口部方立 (212mm)	80	13.3	0.04	0.18		
	1 開口部方立 (297mm) 吹抜	80	15.1	0.05	0.21		
	2 腰部方立 (162mm)	80	3.6	0.00	-0.07	-0.28	-0.49
無目	2 腰部方立 (212mm)	80	3.9	0.00	-0.06	-0.28	-0.49
	3 開口部中間無目	80	8.5	0.02	0.14		
	4 開口部上無目	80	8.4	0.00	0.25	0.17	0.11
	5 開口部下無目	80	9.6	0.04	0.18	0.13	0.11
	6 腰部中間無目	80	3.4	0.00	-0.01	-0.20	-0.38
c) マリオン (熱遮断フレーム、複層ガラス用)							
タイプ	部位	見付 [mm]	熱貫流率 [W/(㎡・K)]	線熱貫流率 [W/(m・K)]	日射熱取得率 [-] a= 0.2 a= 0.5 a= 0.8		
方立	1 開口部方立 (162mm)	80	4.6	0.11	0.07		
	1 開口部方立 (212mm)	80	4.8	0.12	0.07		
	1 開口部方立 (297mm) 吹抜	80	5.1	0.14	0.08		
	2 腰部方立 (162mm)	80	1.7	0.00	0.04	-0.18	-0.33
無目	2 腰部方立 (212mm)	80	2.0	0.00	0.04	-0.18	-0.33
	3 開口部中間無目	80	4.6	0.08	0.08		
	4 開口部上無目	80	5.0	0.18	0.19	0.16	0.13
	5 開口部下無目	80	4.9	0.16	0.15	0.17	0.19
	6 腰部中間無目	80	1.8	0.00	0.06	-0.13	-0.27
d) ユニット (アルミフレーム、単板ガラス用)							
タイプ	部位	見付 [mm]	熱貫流率 [W/(㎡・K)]	線熱貫流率 [W/(m・K)]	日射熱取得率 [-] a= 0.2 a= 0.5 a= 0.8		
方立	1 開口部方立 (250mm)	75	13.2	-	0.25		
	2 腰部方立 (250mm)	75	3.2	-	0.04	0.04	-0.06
無目	3 開口部中間無目	80	9.1	-	0.12		
	4 開口部上無目	80	8.8	-	0.24	0.24	0.24
	5 開口部下無目	80	8.9	-	0.31	0.29	0.26
	6 腰部中間無目	80	3.3	-	0.07	0.02	-0.03
e) ユニット (アルミフレーム、複層ガラス用)							
タイプ	部位	見付 [mm]	熱貫流率 [W/(㎡・K)]	線熱貫流率 [W/(m・K)]	日射熱取得率 [-] a= 0.2 a= 0.5 a= 0.8		
方立	1 開口部方立 (250mm)	75	12.9	0.07	0.16		
	2 腰部方立 (250mm)	75	3.2	- (※)	0.04	0.04	-0.06
無目	3 開口部中間無目	80	8.8	0.03	0.15		
	4 開口部上無目	80	9.1	0.07	0.24	0.24	0.24
	5 開口部下無目	80	9.3	0.07	0.29	0.27	0.25
	6 腰部中間無目	80	3.3	- (※)	0.07	0.02	-0.03
f) 横強調 (アルミフレーム、単板ガラス用)							
タイプ	部位	見付 [mm]	熱貫流率 [W/(㎡・K)]	線熱貫流率 [W/(m・K)]	日射熱取得率 [-] a= 0.2 a= 0.5 a= 0.8		
方立	1 開口部方立 (180mm)	60	2.0	-	0.04		
	1 開口部方立 (210mm)	60	2.0	-	0.04		
	1 開口部方立 (260mm) 吹抜	60	2.1	-	0.04		
	2 腰部方立 (180mm)	60	1.2	-	0.08	0.05	0.02
無目	2 腰部方立 (210mm)	60	1.2	-	0.08	0.04	0.01
	3 開口部中間無目	80	11.4	-	0.09		
	4 開口部上無目	80	10.6	-	0.26	0.25	0.15
	5 開口部下無目	80	10.7	-	0.20	0.23	0.09
	6 腰部中間無目	80	3.9	-	0.08	0.05	0.03

※e)のユニット (複層ガラス用) 腰部は単板ガラスを用いているため線熱貫流率は無い

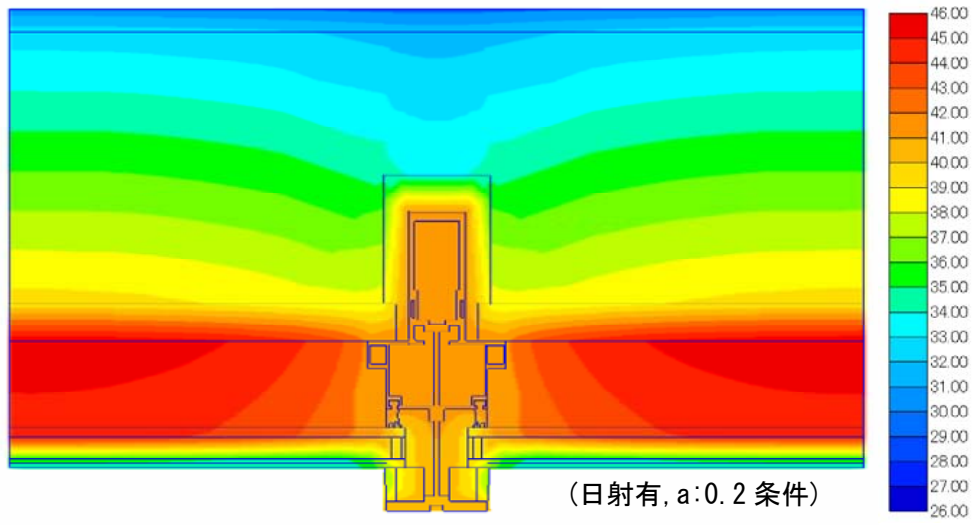


図 5. 2. 6-1 マリオン（アルミ複層用）腰部方立部温度コンター図

[2] カーテンウォール全体の熱性能計算結果

フレーム熱性能の影響を確認するため、カーテンウォール全体の熱性能を算出した。ガラスは FL5+A12+FL5 を用いて、フレーム考慮無し（全面ガラス）、マリオンのアルミフレーム及び熱遮断フレームを用いた3ケースを腰パネル a:0.2 条件で比較した。カーテンウォール全体及び構成する各部材の熱貫流率 (U)、通過熱流量 (Q)、通過熱流量比 (ΔQ)、日射熱取得率 (η)、日射熱取得 ($\eta \cdot A$)、日射熱取得比 ($\Delta \eta \cdot A$) を表 5.2.6-2～5.2.6-5 及び図 5.2.6-2～5.2.6-5 に示す。

全面ガラスの条件で計算を行った結果、 U 値：1.93W/(m²・K)、 η 値：0.414 であった。

表 5.2.6-2 及び図 5.2.6-2 より、全面ガラスに比べ、フレームを考慮することによるカーテンウォール全体の熱貫流率は、アルミフレームで 149%、熱遮断フレームで 121%に増大することが確認できた。フレームの材質による影響は大きいと言える。

本計算でモデル化した腰部壁厚 200mm は、決して厚くはない。額縁見込み内に設備を納める仕様等であれば、壁厚はさらに厚くなり、腰部パネルの性能は向上する。

当然の結果ではあるが、腰部内に納まる方立、無目は、石膏ボードと耐火ボードと空気層の熱抵抗により断熱されているため開口部に露出している方立、無目に比べ性能がよくなっている。

各部の通過熱流量は、各部の熱貫流率に面積をかけた値である。全体の性能に対し各部の影響がどの程度か見ることができる。表 5.2.6-3 及び図 5.2.6-3 より、方立、無目を積算したフレーム全体からの通過熱流量は、アルミ：42%、熱遮断：24%だった。この結果からもカーテンウォールの熱性能向上には、ガラス部だけでなくフレームの性能向上が必須であることが分かる。

この熱流量に対しての面積比は、ガラス部、パネル部共に：42%、フレームは 16%となっている。

表 5.2.6-4 及び図 5.2.6-4 より、全面ガラスに比べ、フレームを考慮することによるカーテンウォール全体の日射熱取得率は、計算した2種類のフレームの材質に関わらず 87%に減少することが確認できた。アルミ及び熱遮断を比較した場合、材質による影響はほぼないと言える。

日射熱取得とは、各部の日射熱取得率に面積を掛けた値である。全体の性能に対し各部の影響がどの程度か見ることができる。

表 5.2.6-5 及び図 5.2.6-5 より、開口部のガラス部の影響が 87%と大部分を占めている。方立、無目を積算したフレーム全体から 4%、腰部パネルからは耐火ボードの日射吸収率 a を 0.2 としたこともあり、全体の約 9%であった。カーテンウォールの遮熱性能を高めるには、ガラス部の性能向上が支配的であることがわかる。

以上の結果より、断熱性能及び遮熱性能どちらにおいてもフレームを無視できないことが明確となった。

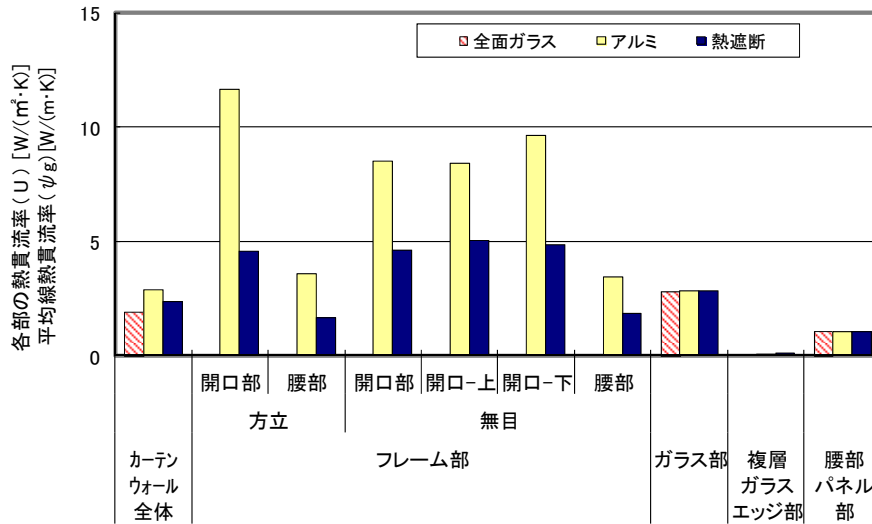


図 5.2.6-2 総合及び各部の熱貫流率 (U) と平均線熱貫流率 (ψ_g)

表 5.2.6-2 総合及び各部の熱貫流率 (U) と平均線熱貫流率 (ψ_g)

単位: 熱貫流率 [W/(m²·K)]、線熱貫流率 [W/(m·K)]

フレーム種類	カーテンウォール全体	フレーム部						ガラス部	複層ガラスエッジ部	腰部パネル部
		方立		無目						
		開口部	腰部	開口部	開口-上	開口-下	腰部			
全面ガラス	1.93	-	-	-	-	-	-	2.81	-	1.06
アルミ	2.87	11.68	3.58	8.50	8.43	9.63	3.44	2.81	0.01	1.06
熱遮断	2.35	4.57	1.66	4.59	5.02	4.85	1.82	2.81	0.10	1.06

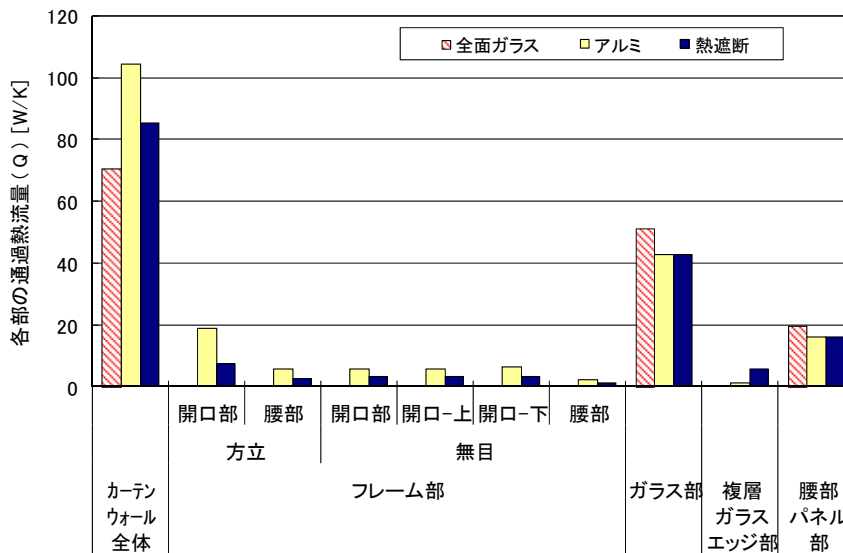


図 5.2.6-3 総合及び各部の通過熱流量 (Q)

表 5.2.6-3 全体に対する各部の通過熱流量比 (ΔQ)

フレーム種類	カーテンウォール全体	フレーム部						ガラス部	複層ガラスエッジ部	腰部パネル部
		方立		無目						
		開口部	腰部	開口部	開口-上	開口-下	腰部			
全面ガラス	100%	-	-	-	-	-	-	72.6%	-	27.4%
アルミ	100%	17.9%	5.5%	5.4%	5.4%	6.1%	2.2%	41.0%	1.1%	15.4%
熱遮断	100%	8.6%	3.1%	3.6%	3.9%	3.8%	1.4%	50.2%	6.5%	18.9%

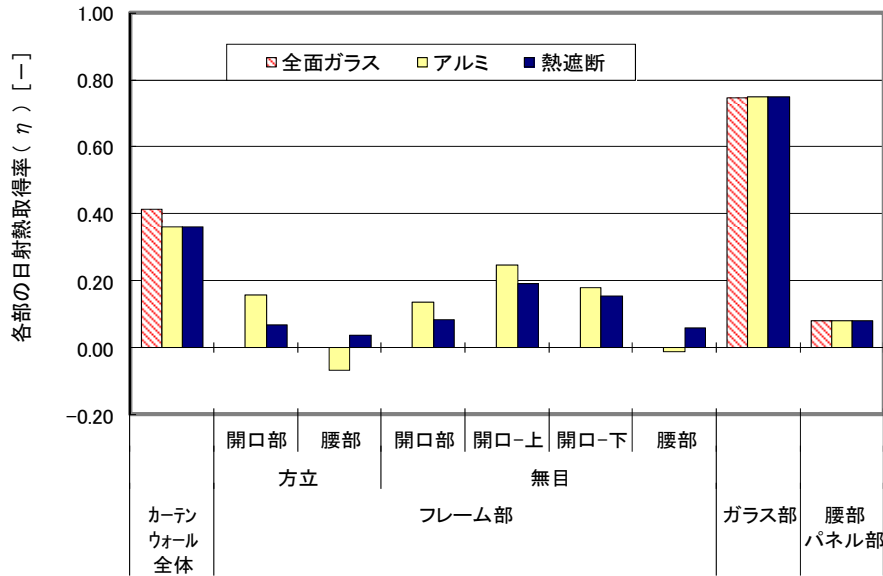


図 5.2.6-4 総合及び各部の日射熱取得率 (η)

表 5.2.6-4 総合及び各部の日射熱取得率 (η)

単位: [-]

フレーム種類	カーテンウォール全体	フレーム部						ガラス部	腰部パネル部
		方立		無目					
		開口部	腰部	開口部	開口-上	開口-下	腰部		
全面ガラス	0.414	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.08
アルミ	0.361	0.16	-0.07	0.14	0.25	0.18	-0.01	0.75	0.08
熱遮断	0.361	0.07	0.04	0.08	0.19	0.15	0.06	0.75	0.08

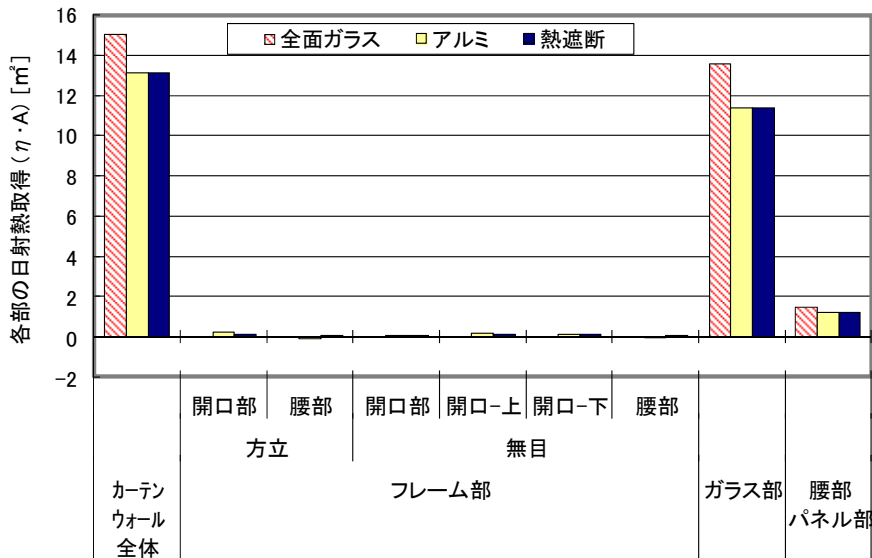


図 5.2.6-5 総合及び各部の日射熱取得 (η・A)

表 5.2.6-5 全体に対する各部の日射熱取得比 (∠η・A)

フレーム種類	カーテンウォール全体	フレーム部						ガラス部	腰部パネル部
		方立		無目					
		開口部	腰部	開口部	開口-上	開口-下	腰部		
全面ガラス	100%	-	-	-	-	-	-	90.3%	9.7%
アルミ	100%	1.9%	-0.8%	0.7%	1.2%	0.9%	-0.1%	86.8%	9.4%
熱遮断	100%	0.8%	0.4%	0.4%	1.0%	0.8%	0.3%	86.9%	9.4%

また、表 5.2.6-1 で得られた全てのフレーム部の計算結果を用いて、フレームの熱貫流率 (U_f) からフレームの日射熱取得率 (η_f) を簡易に求められる算出式(5.2.3-5)より得られた値と精算値の比較を行った。フレーム構造、材質、部位は分けずに行った。

フレームの日射熱取得率 (η_f) の比較を図 5.2.6-6 に、カーテンウォール全体の日射熱取得率 (η_{cw}) の比較を図 5.2.6-7 に示す。図 5.2.6-6 より、フレーム部の日射熱取得率は、簡易計算値は概ね精算値に近い値を示しているが合致しているとは言い難い。しかし、カーテンウォール全体の日射熱取得率にフレームが及ぼす影響は小さいため、図 5.2.6-7 が示すように簡易計算値を用いても問題ないことが確認できた。

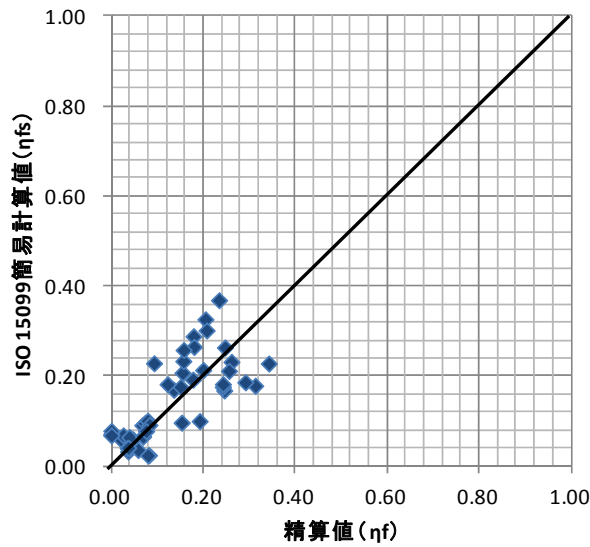


図 5.2.6-6 フレーム部の日射熱取得率の比較

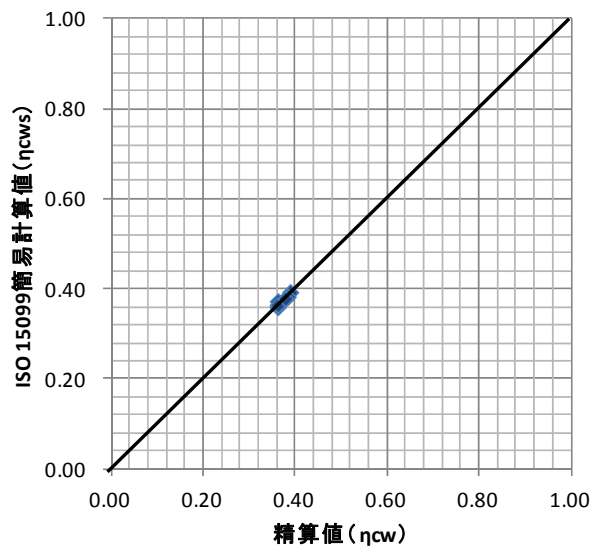


図 5.2.6-7 カーテンウォール全体の日射熱取得率の比較

5.3 カーテンウォールの熱性能の簡易評価法

5.2 ではカーテンウォールのフレームを考慮した熱貫流率及び日射熱取得率に関する詳細計算法について述べた。

PAL 計算では外壁，屋根，窓等の建築外皮を構成する各部位の断熱性能値として熱貫流率（ U 値），遮熱性能値として日射熱取得率（ η 値）を用い，建築物の暖房期間，冷房期間そして年間の空調負荷を算出している。

ここでは，PAL 等の非住宅建築を対象とした簡易な年間暖冷房負荷計算にフレームを考慮したカーテンウォールの評価方法を追加することを目的として，詳細計算法による計算結果を基に，実用的な簡易計算法を提案する。

5.3.1 各部の簡易計算用熱性能

[1] カーテンウォールフレーム部の簡易計算用熱性能

カーテンウォールの熱性能を簡易計算で評価できるように5.2の計算結果を基にフレームの整理を行った。カーテンウォールフレーム見付幅と熱貫流率，日射熱取得率を表 5.3.1-1 に示す。フレームの見付幅(b_{fc})は，各メーカーの見付幅を調査し標準的な寸法を設定した。

ブラインド無しの熱貫流率(U_{fc})は，表 5.2.6-1 の詳細計算結果から強度が異なる方立の見込み違いも含め，開口部，腰部各々の部材の平均値とした。簡易に計算できるように複層ガラス用は線熱貫流率を含む値とした。ブラインド有りの熱貫流率(U_{fc})は，ブラインド無しの値から熱抵抗 $0.035[m^2 \cdot K/W]^{10)}$ を加算した。

日射熱取得率(η_{fc})は，表 5.2.6-1 の詳細計算結果から開口部は各部材の平均値とし，腰部は影響が小さいことと負の値になるケースも考慮し0とした。

表中の「開口部」は図 5.2.1-2 に示す開口部方立，開口部無目，開口部上無目，開口部下無目を指し，「腰部」は図 5.2.1-2 に示す腰部方立，腰部無目を指す。

表 5.3.1-1 カーテンウォールフレーム見付幅と熱貫流率，日射熱取得率

フレーム種類	材質	部位	フレーム見付 b_{fc} [mm]	熱貫流率 U_{fc} [W/(m ² ·K)]		日射熱取得率 η_{fc} [-]
				ブラインド無し	ブラインド有り	
マリオン (単板用)	アルミ	開口部	60	13.5	9.0	0.20
		腰部		3.5		
マリオン (複層用) ユニット (単板用) ユニット (複層用)	アルミ	開口部	80	11.0	8.0	0.20
		腰部		3.5		
横強調 (単板用)	アルミ	開口部	60	2.0	2.0	0.10
		腰部		1.5		
				3.5		
マリオン (複層用)	熱遮断	開口部	80	6.5	5.5	0.10
		腰部		2.0		

[2] 様々な開口仕様に対する簡易計算用熱性能

通常カーテンウォールフレームは嵌め殺しが主流であるが、カーテンウォールの開口部方立・無目間に窓がつくケースがある。

この場合は、既報⁴⁾より単体窓は表 5.3.1-2、連窓方立・段窓無目は表 5.3.1-3 の値を用いる。表 5.3.1-2 及び表 5.3.1-3 はガラスが単板でも複層でも同一の見付寸法を用いる。

表 5.3.1-2 単体窓のフレーム見付幅と熱貫流率，日射熱取得率

窓タイプ	材質	フレーム見付 b_{fw} [mm]	熱貫流率 U_{fw} [W/(m ² ·K)]		日射熱取得率 η_{fw} [-]
			ブラインド無し	ブラインド有り	
引き違い窓	アルミ	50	15.0	11.5	0.27
	熱遮断		10.0	8.5	0.14
開き窓	アルミ	60	12.0	10.0	0.26
	熱遮断		8.0	7.0	0.14
FIX窓	アルミ	20	22.0	15.5	0.26
	熱遮断		14.0	11.0	0.11

表 5.3.1-3 方立・無目のフレーム見付幅と熱貫流率，日射熱取得率

窓タイプ	材質	フレーム見付 b_{fj} [mm]	熱貫流率 U_{fj} [W/(m ² ·K)]		日射熱取得率 η_{fj} [-]
			ブラインド無し	ブラインド有り	
連窓方立	アルミ	70	7.0	5.5	0.26
	熱遮断		4.0	3.5	0.14
段窓無目	アルミ	100	7.0	5.5	0.26
	熱遮断		2.5	2.3	0.14

[3] 腰部パネル部の簡易計算用熱性能

PAL の手引書³⁾では、腰部（壁部）は算出式(5.3.1-1)で簡易に算出している。

$$\eta_{sp} = a \frac{U_{sp}}{\alpha_o} = 0.04aU_{sp} \quad \dots (5.3.1-1)$$

ここで

- η_{sp} : 腰部（スパンドレル部）のパネル部の日射熱取得率 [-]
- U_{sp} : 腰部（スパンドレル部）のパネル部の熱貫流率 [W/(m²·K)]
- a : 腰部（スパンドレル部）のパネル外表面の日射吸収率 [-]
- α_o : 室外側表面熱伝達率 [W/(m²·K)]

これは、壁に吸収された熱を内外の熱抵抗の比で案分し、室内側への侵入熱量を表したものである。

しかし、ガラスカーテンウォールの腰部は、ガラスを透過した日射が不透明パネル表面で吸収されるため、 $\alpha_o=25W/(m^2 \cdot K)$ (PAL 計算の場合、室外側表面熱伝達率 $\alpha_o=23W/(m^2 \cdot K)$ 、つまり $1/\alpha_o=0.043 m^2 \cdot K/W$ だが、有効数字 1 桁で表記しているため、 $\alpha_o=25W/(m^2 \cdot K)$ と同じ値となる) のまま計算する表 5.3.1-4 中②に示すように η_{sp} は過少評価となり、精算値①と比

較すると、最大10倍程度の差となる。この場合、室外側表面から不透明パネル前の中空層までの熱抵抗の合計 ($\sum R$) を $1/\alpha_o$ の代わりに用いればよいことになる。ここでは、中空層までの熱抵抗 ($\sum R$) を簡易に評価するため、算出式(5.3.1-2)を用いた。

ここで、 $(1/U_g - 1/\alpha_i)$ は、室外側表面熱伝達抵抗+ガラスの熱抵抗(複層ガラスの場合は、中空層の熱抵抗を含む)を表す。カーテンウォールの場合、様々なガラスを使用するため、簡易に入手できるガラスの熱貫流率 (U_g) を用いて算出できる式とした。また、0.15 はガラスと耐火ボード間の中空層の熱抵抗を表す。これは、PALの手引書³⁾に掲載されている密閉中空層熱抵抗である。この結果、表5.3.1-4中③に示すように精度が±17%以内となった。不透明パネルへの影響を軽減する腰パネル部の熱的影響は開口部と比較すると1/5~1/10程度と小さいため、実用的な精度を有すると考えられる。

$$\sum R = \left(\frac{1}{U_g} - \frac{1}{\alpha_i} \right) + 0.15 \quad \dots (5.3.1-2)$$

よって、算出式(5.3.1-1)、(5.3.1-2)より次式が得られる。

$$\eta_{sp} = \left(\left(\frac{1}{U_g} - \frac{1}{\alpha_i} \right) + 0.15 \right) a' U_{sp} \quad \dots (5.3.1-3)$$

ここで

- η_{sp} : 腰部(スパンドレル部)のパネル部の日射熱取得率 [-]
- U_{sp} : 腰部(スパンドレル部)のパネル部の熱貫流率 [W/(m²·K)]
- U_g : 腰部(スパンドレル部)のパネル部の熱貫流率 [W/(m²·K)]
- $\sum R$: 腰部(スパンドレル部)の表面を構成するガラス及び中空層の熱抵抗 [m²·K/W]
- a' : 腰部(スパンドレル部)の不透明パネル外表面の日射吸収率 [-]
- α_i : 室内側表面熱伝達率 [W/(m²·K)]

表 5.3.1-4 腰パネル部の日射熱取得率 (η_{sp}) の簡易計算との比較

フレーム種類	a)マリオン (ALSG)			b)マリオン (ALPG)			c)マリオン (THPG)		
	a= 0.2	a= 0.5	a= 0.8	a= 0.2	a= 0.5	a= 0.8	a= 0.2	a= 0.5	a= 0.8
耐火ボード日射吸収率									
① η_{sp} (精算値)	0.06	0.12	0.17	0.08	0.16	0.24	0.08	0.16	0.24
ΣR (精算値)	0.20	0.18	0.17	0.35	0.32	0.30	0.35	0.32	0.30
② η_{sp} (簡易0.04)	0.01	0.03	0.04	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03
$\Delta\eta$ (精算/簡易)	5.38	4.49	4.19	9.53	7.74	7.22	9.53	7.74	7.22
③ η_{sp} (簡易 ΣR)	0.05	0.13	0.21	0.07	0.18	0.29	0.07	0.18	0.29
ΣR (簡易)	0.20	0.20	0.20	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
$\Delta\eta$ (精算/簡易)	1.08	0.90	0.84	1.11	0.90	0.84	1.11	0.90	0.84

フレーム種類	d)ユニット (ALSG)			e)ユニット (ALPG)			f)横強調 (ALSG)		
	a= 0.2	a= 0.5	a= 0.8	a= 0.2	a= 0.5	a= 0.8	a= 0.2	a= 0.5	a= 0.8
耐火ボード日射吸収率									
① η_{sp} (精算値)	0.06	0.12	0.17	0.06	0.12	0.17	0.05	0.11	0.17
ΣR (精算値)	0.21	0.19	0.18	0.21	0.19	0.18	0.20	0.18	0.17
② η_{sp} (簡易0.04)	0.01	0.03	0.04	0.01	0.03	0.04	0.01	0.03	0.04
$\Delta\eta$ (精算/簡易)	5.50	4.59	4.28	5.50	4.59	4.28	5.37	4.47	4.17
③ η_{sp} (簡易 ΣR)	0.05	0.13	0.20	0.05	0.13	0.20	0.05	0.13	0.20
ΣR (簡易)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
$\Delta\eta$ (精算/簡易)	1.10	0.92	0.86	1.10	0.92	0.86	1.07	0.89	0.83

5.3.2 カーテンウォール全体の簡易計算法

[1] 詳細計算法と簡易計算法の比較

簡易計算法による簡易計算値と詳細計算法による精算値を図 5.2.4-1 のモデルケース (腰パネル a:0.2 条件) で比較した。断熱性能をカーテンウォール全体の通過熱流量(Q)で、遮熱性能をカーテンウォール全体の日射熱取得($\eta \cdot A$)で比較した結果、表 5.3.2-1 のように±2%以内に納まった。よって、簡易計算は実用的な精度を有すると考えられる。

表 5.3.2-1 簡易計算値と精算値の比較

フレーム種類	材質	簡易計算値 ΣQ	精算値 ΣQ	ΔQ	簡易計算値 $\Sigma \eta \cdot A$	精算値 $\Sigma \eta \cdot A$	$\Delta \eta \cdot A$
マリオン (単板)	アルミ	151.92	148.60	1.02	13.96	14.13	0.99
マリオン (複層)	アルミ	106.58	104.33	1.02	13.35	13.13	1.02
マリオン (複層)	熱遮断	86.76	85.23	1.02	13.33	13.11	1.02
ユニット (単板)	アルミ	151.37	149.39	1.01	13.53	13.87	0.98
ユニット (複層)	アルミ	109.55	109.13	1.00	12.89	13.12	0.98
横強調 (単板)	アルミ	135.45	135.35	1.00	13.68	13.75	1.00

[2] フレームを考慮したカーテンウォール全体の簡易計算法

フレームを考慮した簡易計算法によるカーテンウォール全体の熱貫流率, 及び日射熱取得率算出のためのフローチャートを図 5.3.2-1 に示す。

各部の面積の考え方を図 5.3.2-2 に示す。また, 計算に用いる算出式を式(5.3.2-1)~(5.3.2-15) に示す。

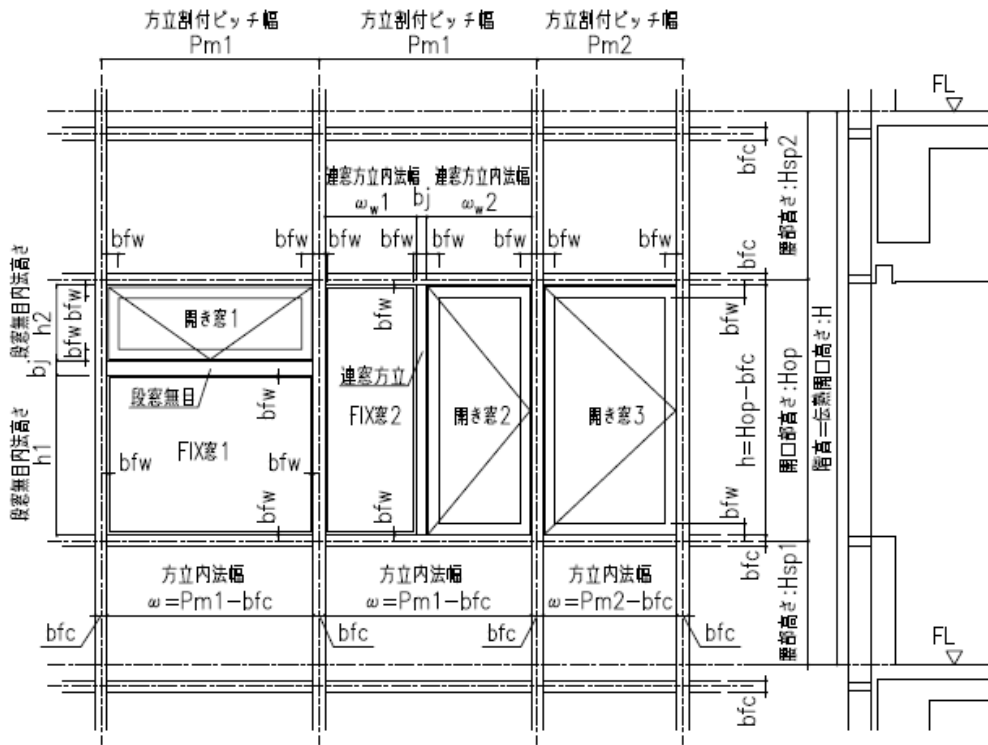


図 5.3.2-2 開口部に窓が設置された場合の寸法の考え方

カーテンウォールフレームの割付寸法は, 図 5.3.2-2 に示すように外観見付け寸法の芯々で決まっているため, この寸法から計算できるようにした。カーテンウォールの方立と無目の関係は, 基本的に方立が無目に対し縦通しとなることから, 面積算出もこの考え方を反映させている。

開口部内に入る窓が設置される場合の伝熱開口幅と高さは方立・無目の内法に設置されるため, w, h 寸法を用いた。この内法からさらに窓フレーム見付け寸法が内側に加算される考え方とした。

開口部において段窓した窓を連窓することも考慮し, 段窓無目の幅寸法は窓幅(w_w)としている。

また, カーテンウォール FIX 部と窓部のガラス仕様は必ずしも同じとは限らないため, 別々に算出できる式とした。

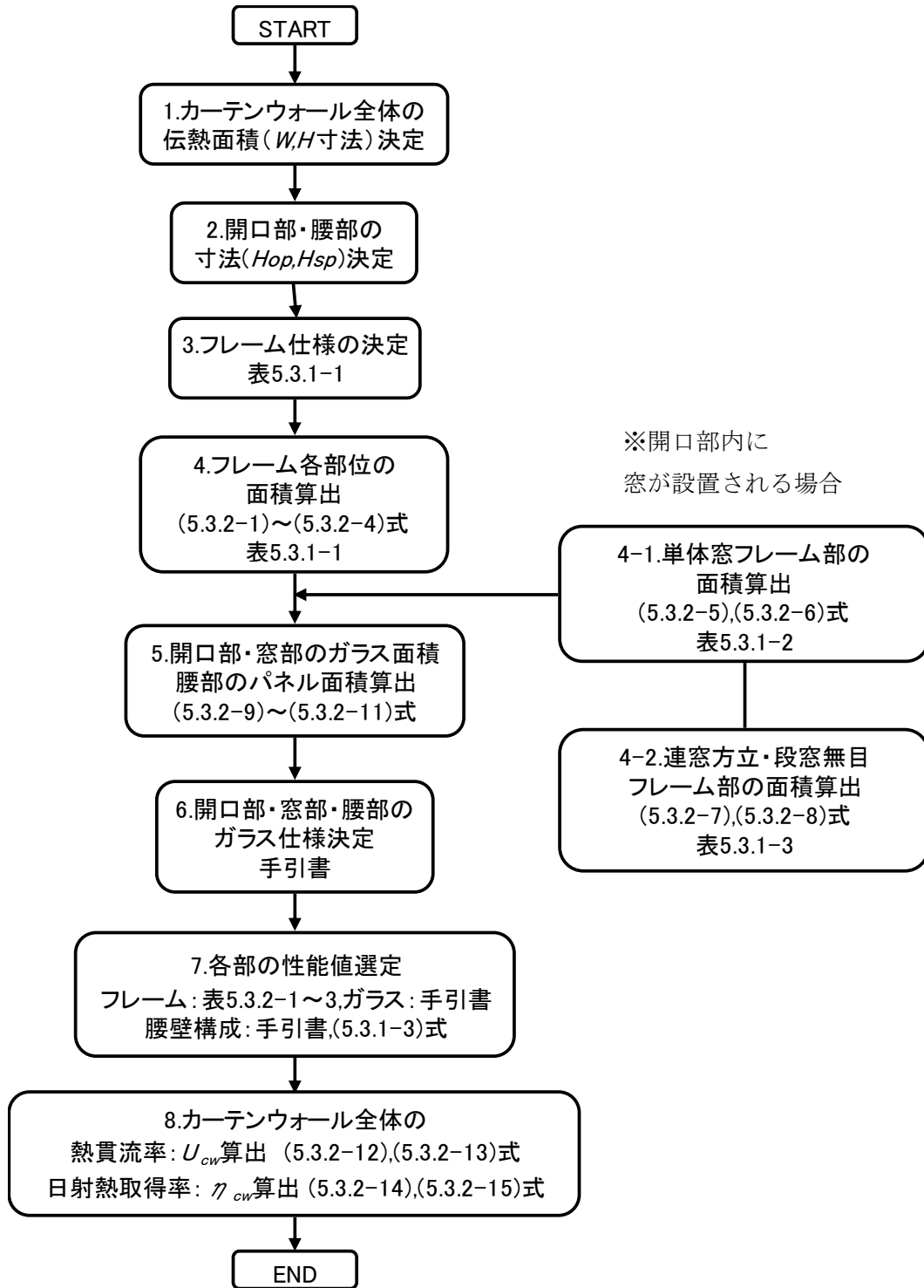


図 5.3.2-1 カーテンウォール全体の簡易計算法フローチャート

- カーテンウォールフレーム面積算出式

$$\text{開口部方立} : A_{mo} = b_{fc} \cdot H_{op} \cdot N_m \quad \dots (5.3.2-1)$$

$$\text{腰部方立} : A_{ms} = b_{fc} \cdot (H - H_{op}) \cdot N_m \quad \dots (5.3.2-2)$$

$$\text{開口部無目} : A_{to} = b_{fc} \cdot (W - N_m \cdot b_{fc}) \cdot N_{to} \quad \dots (5.3.2-3)$$

$$\text{腰部無目} : A_{ts} = b_{fc} \cdot (W - N_m \cdot b_{fc}) \cdot N_{ts} \quad \dots (5.3.2-4)$$

- 開口部内に窓がある場合のフレーム面積算出式

$$\text{引き違い窓} : A_{fw} = b_{fw} \cdot (2w + 3h) \cdot N_w \quad \dots (5.3.2-5)$$

$$\text{開き窓・FIX窓} : A_{fw} = b_{fw} \cdot (2w + 2h) \cdot N_w \quad \dots (5.3.2-6)$$

- 開口部内に窓があり，連断窓する場合のフレーム面積算出式

$$\text{連窓方立} : A_{fj} = b_{fj} \cdot h \cdot N_j \quad \dots (5.3.2-7)$$

$$\text{断窓無目} : A_{fj} = b_{fj} \cdot w_w \cdot N_j \quad \dots (5.3.2-8)$$

- 開口部及び窓のガラス及び腰部パネル部面積算出式

$$\text{開口部} : A_g = A_{op} - (A_{mo} + A_{to} - b_{fc} \cdot (W - N_m \cdot b_{fc})) + \sum A_w + \sum A_{fj} \quad \dots (5.3.2-9)$$

$$\text{窓部} : A_{gw} = A_w - A_{fw} \quad \dots (5.3.2-10)$$

$$\text{腰部} : A_{sp} = A_{cw} - (A_{op} + A_{ms} + A_{ts} + b_{fc} \cdot (W - N_m \cdot b_{fc})) \quad \dots (5.3.2-11)$$

- カーテンウォール全体の熱貫流算出式

$$U_{cw} = \frac{A_g U_g + A_{sp} U_{sp} + A_{gw} U_{gw} + \sum A_{fc} U_{fc} + \sum A_{fw} U_{fw} + \sum A_{fj} U_{fj}}{A_{cw}} \quad \dots (5.3.2-12)$$

$$\sum A_{fc} U_{fc} = A_{mo} U_{mo} + A_{ms} U_{ms} + A_{to} U_{to} + A_{ts} U_{ts} \quad \dots (5.3.2-13)$$

- カーテンウォール全体の日射熱取得率算出式

$$\eta_{cw} = \frac{A_g \eta_g + A_{sp} \eta_{sp} + A_{gw} \eta_{gw} + \sum A_{fc} \eta_{fc} + \sum A_{fw} \eta_{fw} + \sum A_{fj} \eta_{fj}}{A_{cw}} \quad \dots (5.3.2-14)$$

$$\sum A_{fc} \eta_{fc} = A_{mo} \eta_{mo} + A_{ms} \eta_{ms} + A_{to} \eta_{to} + A_{ts} \eta_{ts} \quad \dots (5.3.2-15)$$

記号

U : 熱貫流率 [W/(m ² ・K)]	η : 日射熱取得率 [-]
A : 伝熱開口面積 [m ²]	α : 表面熱伝達率 [W/(m ² ・K)]
W : 伝熱開口幅 [m]	H : 伝熱開口高さ [m]
w : 開口部方立内法幅 [m]	h : 開口部無目内法高さ [m]
b : 部材の見付け幅 [m]	
N : 数量	P : 部材割付ピッチ

添字

cw : カーテンウォール全体, g : ガラス, gw : 窓部ガラス, f : フレーム,
 fc : カーテンウォールフレーム, fw : 窓フレーム,
 ff : 連窓方立・段窓無目フレーム, o : 室外側, i : 室内側,
 sp : 腰部パネル, p : 断熱パネル, psp : 腰部断熱パネル, op : 開口部,
 w : 窓部, m : 方立, t : 無目, j : 連窓方立・段窓無目
 mo : 開口部方立, ms : 腰部方立, to : 開口部無目, ts : 腰部無目

5.3.3 フレームを考慮した PAL 計算

[1] 計算条件

カーテンウォールのフレームを考慮することで PAL 値にどの程度影響があるか事務所ビルでの算出結果を示す。ここでは、PAL の手引書³⁾の計算事例 (K 事務所) の基準階を使用する。図 5.3.3-1 に基準階平面図を示す。基準階の南 (S) ゾーンのプランを用い、南以外に方位を東/西/北に変更して計算を行い方位の影響を確認する。基準階の床面積、各外皮の面積、外皮の熱性能を表 5.3.3-1~5.3.3-4 に示す。

また、図 5.3.3-2 に南面基準階外観姿図 (右半分) を示す。

建設地域は、札幌、東京、鹿児島³⁾の3地域とし、気象条件の違いを確認する。カーテンウォールを現状の全面ガラスとして扱う場合と、本章で示した方法でフレームを考慮した場合の PAL 値を比較する。

伝熱開口高さ方向の断面は図 5.2.4-1 と共通とした。

方立及び無目の割付ピッチは 1000mm とした。単板ガラス用と複層ガラス用のフレーム見付寸法が 20mm 異なるため、カーテンウォールの伝熱開口幅寸法も 20mm 異なった条件で計算した。

表 5.3.3-1 基準階南 (S) ゾーンの床面積 (㎡)

日当の空調室	日陰の空調室	非空調室	合計
162.5	0	12.5	175

表 5.3.3-2 基準階南 (S) ゾーン各外皮の面積 (㎡)

a) 単板ガラス仕様のフレームの場合

部位	日当		小計	合計	開口部率
	空調室	非空調室			
CW(単板)開口部	60.12		60.12	160.00	37.6%
CW(単板)腰部	60.12		60.12		
外壁1	19.88	19.88	39.76		

b) 複層ガラス仕様のフレームの場合

部位	日当		小計	合計	開口部率
	空調室	非空調室			
CW(複層)開口部	60.16		60.16	160.00	37.6%
CW(複層)腰部	60.16		60.16		
外壁1	19.84	19.84	39.68		

表 5.3.3-3 カーテンウォール全体の熱性能一覧

ガラス仕様	カーテンウォール フレーム仕様	熱貫流率 U [W/(m ² ·K)]	日射熱取得率 η [-]
単板 FL10	全面ガラス	3.51	0.43
	横強調(アルミ)	3.83	0.38
	マリオン(アルミ)	4.24	0.39
普通複層 FL5+A12+FL5	全面ガラス	1.96	0.42
	マリオン(アルミ)	2.92	0.37
	マリオン(熱遮断)	2.40	0.37
断熱LowE複層 FL5+A12+LowE5	全面ガラス	1.23	0.28
	マリオン(アルミ)	2.31	0.26
	マリオン(熱遮断)	1.78	0.26
遮熱LowE複層 LowE5+A12+FL5	全面ガラス	1.23	0.24
	マリオン(アルミ)	2.31	0.23
	マリオン(熱遮断)	1.78	0.23

表 5.3.3-4 外壁の熱性能

部位	熱貫流率 U [W/(m ² ·K)]	日射熱取得率 η [-]
外壁1	3.78	0.12

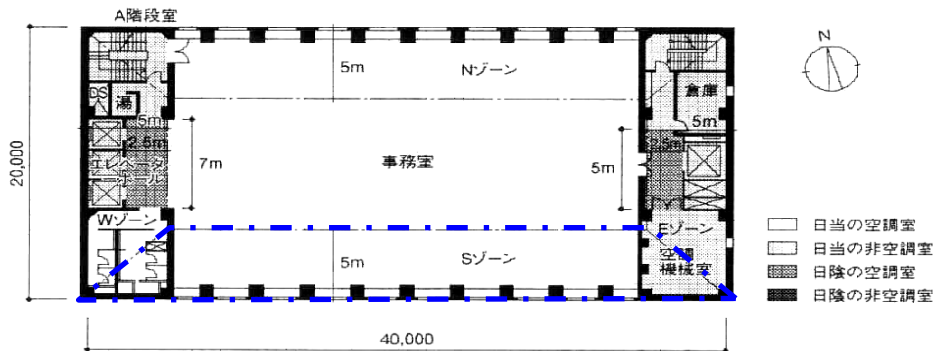


図5.3.3-1 事務所ビルの基準階平面図

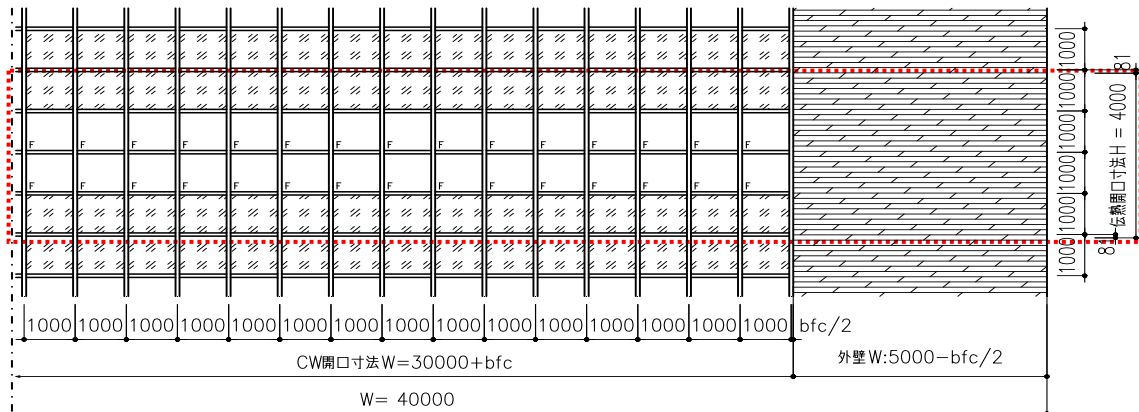


図5.3.3-2 事務所ビルの南面基準階外観姿図 (右半分)

[2] 計算結果

札幌、東京及び鹿児島の方方位別の暖房・冷房 PAL 値計算結果を北、西、南面を抜粋して図 5.3.3.2-3 に示す。全面ガラスとフレームを考慮した場合の暖房・冷房 PAL 値の比較を図 5.3.3.2-4 に、年間 PAL 値の比較を図 5.3.3.2-5 に示す。

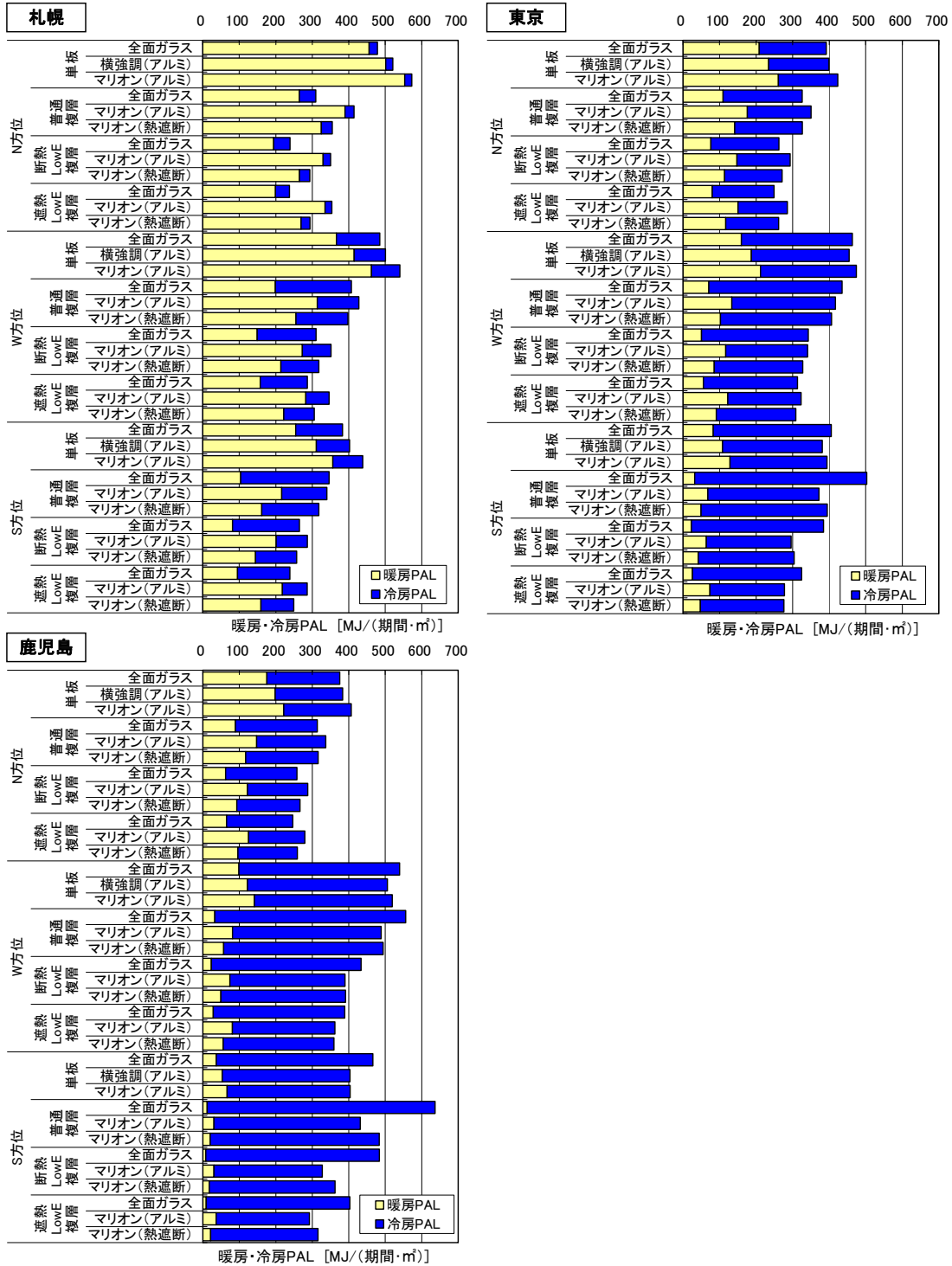


図5.3.3-3 各方位のフレーム・ガラス種別暖房・冷房PAL値

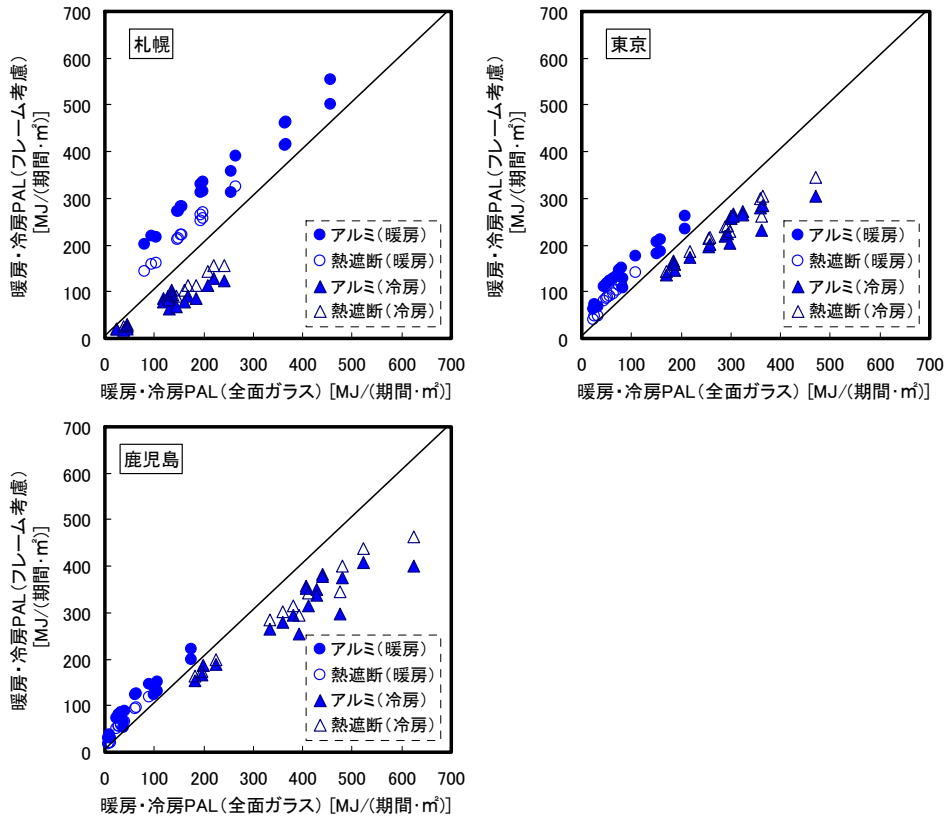


図5.3.3-4 全面ガラスとフレームを考慮した場合の比較（暖房・冷房PAL値）

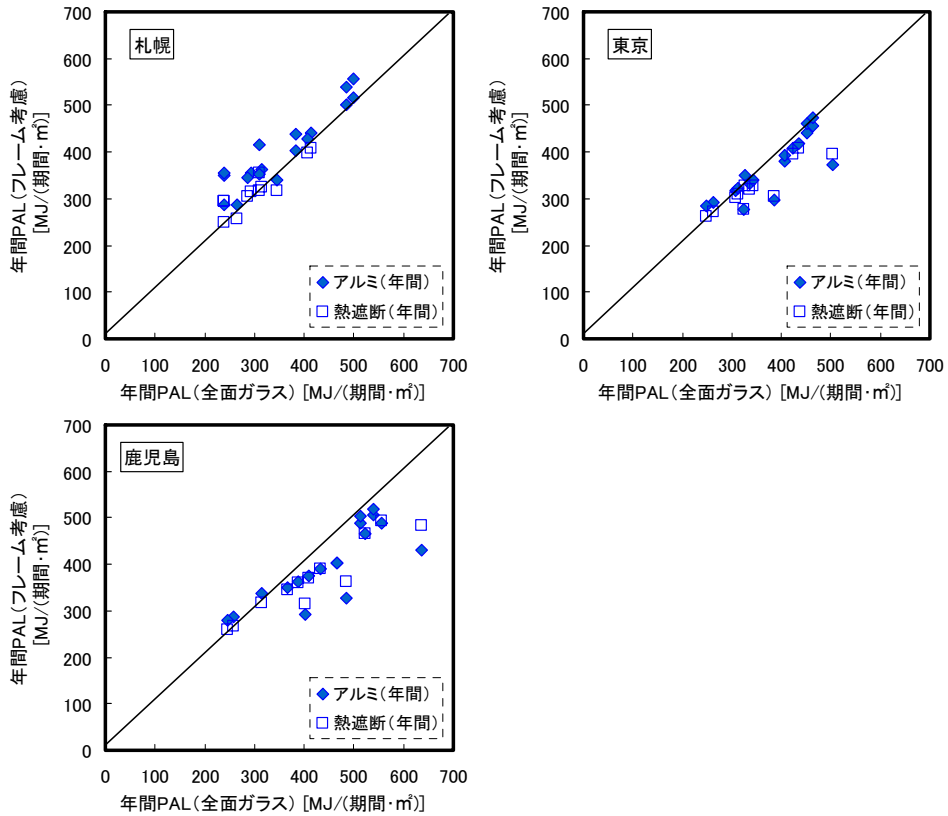


図5.3.3-5 全面ガラスとフレームを考慮した場合の比較（年間PAL値）

値の大小の違いはあるが、全体的に躯体内に納まるビル用窓フレーム、連窓方立・断窓無目フレームと同様の傾向を示した⁴⁾。

図 5.3.3-4 より、暖房 PAL と冷房 PAL で明確に傾向が異なることがわかる。フレームを考慮することにより、カーテンウォール全体の熱貫流率は大きくなるため暖房 PAL 値は大きくなり、逆に日射熱取得率は小さくなるため冷房 PAL 値は小さくなる。

PAL 値の変化の度合いは、ガラスとフレームの熱性能の差が大きいほど大きく、アルミフレームと断熱 LowE 複層ガラスの組合せが最も大きかった。逆に、ガラスとフレームの熱性能の差が小さいアルミフレーム（横強調）と単板ガラスの組合せが最も小さかった。

図 5.5 より、フレームの影響で暖房 PAL 値は、全面ガラスを 100%として、札幌：110～247%、東京：112～288%、鹿児島：113～392%に増加している。フレームの影響で冷房 PAL 値は、全面ガラスを 100%として、札幌：83～47%、東京：90～64%、鹿児島：93～62%に減少している。

どの地域においても、暖房 PAL、冷房 PAL とともに南方位のアルミフレームと断熱 LowE 複層ガラスの組合せで、全面ガラス条件と比べて暖房 PAL の最大、冷房 PAL の最小の比率となっている。

断熱性に優れた熱遮断フレームは、アルミフレームに比べ暖房 PAL は小さい値を示すが、冷房 PAL では大きな値を示す。これは、断熱性能が優れているために熱を室内にこもらせている結果になったことを示している。

年間 PAL 値は、フレームを考慮することにより、暖房 PAL と冷房 PAL の増減が相殺されて、全面ガラスと近い値になる場合もあるが、顕著な差が生じる場合もある。図 5.3.3-5 より、札幌は暖房負荷が支配的なため、フレームを考慮することにより、熱遮断フレームと普通複層ガラスの組合せを除いて、年間 PAL 値は上昇している。

鹿児島は冷房負荷が支配的なため、フレームを考慮することにより、北方位を除いて年間 PAL 値は減少している。東京は両地域の中間的な結果であることがグラフから読み取れる。

年間 PAL 値を指標として地域に適したフレームを選択することができる。図 5.3.3-3 の暖・冷房 PAL 値の棒グラフの総計が年間 PAL 値となるが、札幌では、全ての方位、全てのガラス仕様で熱遮断フレームの方がアルミフレームに比べ小さい値となり、寒冷地に適したフレームであることが示された。鹿児島の南面で普通複層と断熱 LowE 複層仕様の場合だけ、アルミフレームの方が小さい値となっている。冷房 PAL は、計算した 3 地域のほぼ全ての条件でアルミフレームの方が熱遮断フレームより小さい値となるため、冷房負荷を小さくすることに重きを置いて設計する場合には、年間 PAL 値により選択されたフレームとは異なる場合があると考えられる。

年間 PAL 値は、地域の気象条件と建物部位の断熱性能と遮熱性能の組み合わせで決まるので、単純に断熱性能が良い方が小さくなるとは限らない。年間 PAL 値を最小にする最適な熱貫流率と日射熱取得率の組み合わせを検討する上でも、フレームの熱性能を正しく評価する必要がある。

5.4 まとめ

第5章では、フレームを考慮したカーテンウォールの熱的性能計算法について、メーカー標準タイプのフレームを用いて JIS A 2102-1, JIS A 2102-2, ISO 12631, ISO 15099 及び既往の研究に基づいて計算法を整理し、実際の製品を計算した。

また、PAL 等の非住宅建築の指標を算定する簡易な年間暖冷房負荷計算にフレームを考慮したガラスカーテンウォールの評価方法を追加することを目的として、実用的な簡易計算方法を検討した。また、フレームを考慮する場合と考慮しない場合の PAL 計算を行い比較した。得られた知見を以下にまとめる。

- ① 腰部フレームの日射熱取得率(η_f)は負の値を示す場合があることを示した。また、フレームとガラスと耐火ボードの組み合わせによっては、腰部フレームから室外へ放熱されるケースがあることを示した。
- ② フレームとガラス間の熱橋係数となる線熱貫流率は、腰部の方立、無目に関係なくほぼ0に等しいことを示した。また、マリオンタイプの場合の開口部の線熱貫流率は、JIS A 2102-1 の付属書に記載されている簡易計算用の線熱貫流率一覧表の値とほぼ一致していることを示した。
- ③ 各部の熱貫流率 (U_f) は、横強調を除いて、開口部に納まるフレームの場合、アルミタイプが概ね平均 10 [W/(m²・K)], 熱遮断タイプが概ね平均 5 [W/(m²・K)]となることを示した。また、腰部内に納まるフレームはそれぞれ開口部まわりに納まるフレームの 1/3 程度となることを示した。
- ④ モデルケースで算出した結果、フレームを考慮することにより、カーテンウォール全体の熱貫流率は全面をガラスと仮定した場合よりも 149%となり、日射熱取得率は 87%となることを示した。カーテンウォールの評価でフレームを無視できないことを示した。
- ⑤ フレームの日射熱取得率(η_f)を簡易に求められる算出式より得られた値と精算値の比較を、フレーム構造、材質、部位は分けずに行った。その結果、フレーム部の日射熱取得率は、簡易計算値は概ね精算値に近い値を示しているが合致しているとは言い難い。しかし、カーテンウォール全体の日射熱取得率に対するフレームが及ぼす影響は小さいため、簡易計算値を用いても問題ないことを示した。
- ⑥ 構造の異なるフレームを簡易計算用に整理し、一覧表に示した。
- ⑦ ガラスカーテンウォールの腰部の簡易計算法について整理した。ガラスカーテンウォールの腰部の場合、ガラスを透過した日射が不透明パネルで吸収されるため、PAL の手引書に掲載されている計算式が適応できないことを示した。このため、容易に入手できるガラスの熱貫流率 (U_g) を用いた簡易計算式を提案し、実用的な精度を有することを示した。
- ⑧ 簡易計算法による熱性能計算値と精算値をモデルケースで比較した結果、断熱性能及び遮熱性能はそれぞれ±2%以内に納まった。よって提案する簡易計算法は暖冷房負荷を評価する上で実用的な精度を有することを示した。

- ⑨ フレームを考慮したカーテンウォール全体の簡易計算法を整理した。これらの結果は、PAL 計算, BEST, BIM 等への適応できる。
- ⑩ フレームの有無による PAL 値への影響を事務所ビルモデルで確認した。フレームを考慮することで、暖房 PAL は増大し、冷房 PAL は軽減することを示した。これにより PAL 計算においてフレームの影響を無視できないことを示した。

参考文献

- 1) エネルギーの使用の合理化に関する法律, 2008.5.30 改正
- 2) 平成 15 年経済産業省・国土交通省告示第 1 号：建築物に関わるエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断基準, 2003.2.24 改正
- 3) 建築物の省エネルギー基準と計算の手引（平成 21 年度版）：（財）建築環境・省エネルギー機構, 2009.9
- 4) 齊藤孝一郎・赤坂裕・二宮秀與・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 Vol:74 No.636 pp.151-160, 2009.2
- 5) ISO12631:2012, Thermal performance of curtain walling -- Calculation of thermal transmittance
- 6) ISO15099:2003, Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations
- 7) 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
- 8) 遮熱計算法に関する研究報告書, (社)リビングアメニティ協会, 平成 13 年度 (2002.3), 平成 14 年度 (2003.3), 平成 15 年度 (2005), 平成 16 年度 (2005.3), 平成 19 年度 (2008.3)
- 9) 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), 2008.5.9
- 10) 郡 公子:窓の設計法, 日本建築学会環境工学委員会熱環境小委員会シンポジウム 空調システム設計法の新技術, pp5-18, 2002.12