

# 環境建築計画手法としての PAL

## PAL as a Planning Method for Environmentally Harmonizing Architecture

丸山 透 シビルエンジニアリング部 土木建築設計室 主査 Toru Maruyama

本稿は建物のさまざまな条件が空調負荷にどう影響するかを、PAL（年間空調負荷係数）をシミュレーションすることによって明らかにした。モデル建物を設定し、地域、方位、窓開口率、庇、ガラスの種類、階数、平面の条件を変えてシミュレーションした。その結果により、建築技術者と施主が、建築物の空調消費エネルギーについてどう低減するかを予測できるようになる。この手法は LCA に関連した当社環境建築計画の基礎となる。

*This paper shows how the various conditions of a building influence on its air conditioning load by simulating the PAL (Perimeter Annual Load). This simulation assumes a model building and changes its geometrical region, building direction, window opening ratio, shape of eave, kind of window glass, number of stories, and floor plan. The results enable both building engineers and owners to figure out how to lower the energy consumption. This method is one of the bases of the NKK's LCA related planning for the architecture which coexists with the environment.*

### 1. はじめに

建物の運用エネルギーの多くを占める空調消費エネルギーを把握するため、空調消費エネルギーに対応する PAL（Perimeter Annual Load）に着眼し、約 2000 ケースでシミュレーションを行った。モデル建物を設定し、北海道、東京、沖縄の 3 地域別に庇と開口率などの環境設計要素の条件を変えて、PAL の変化を調べた。

本稿では、まず第 2 章において PAL の概略を、第 3 章においてシミュレーション内容を紹介し、最後に、その結果と PAL による空調消費エネルギー低減方法を例示する。

### 2. PAL

#### 2.1 定義

PAL とは式(1)で表すことのできる建築物の年間空調負荷係数のことで、日射量、建物の断熱性や内部の発生熱量などで変化する。

$$PAL = \text{ペリメータゾーンの年間熱負荷 (MJ/年)} / \text{ペリメータゾーンの床面積 (m}^2\text{)} \times f \quad \dots\dots(1)$$

ただし、f: 小規模建物に対する補正係数

1993 年に制定された省エネルギー法に基づき、延面積 2000m<sup>2</sup> 以上の対象建物用途（学校、病院、事務所など）ごとに基準値が定められており、用途別基準値に規模補正係数を乗じて得た値以下にする必要がある。事務所の場合は 300MJ/m<sup>2</sup>・年以下であるが、環境共生建築を目指すには、この PAL 値をどこまで下げられるかが重要になる。

ペリメータゾーンの床面積とは、地階を除く各階の外壁の中心線から水平距離が 5m 以内の屋内空間、屋根直下階の屋内空間および外気に接する床直上の屋内空間の面積で定義される。

対象負荷の種類は、

- (1) 外気とペリメータゾーン設定温度との温度差によって外壁、窓などを貫流する輻射熱
- (2) 外壁、窓などからペリメータゾーンに入る日射熱
- (3) ペリメータゾーンで発生する内部発熱
- (4) 取り入れ外気と室内設定温度との温度差によって取得、または損失する熱

である。ただし、窓を開けるときの自然換気は考慮しない。

また、PAL は、式(2)のように冷房あるいは暖房を必要とする期間のそれぞれの負荷（期間冷房負荷と期間暖房負荷）の合算である。

$$PAL = \text{期間冷房負荷} + \text{期間暖房負荷} \quad \dots\dots(2)$$

#### 2.2 PAL 低減において一般的に考慮すべき点

寒冷地では期間暖房負荷が、温暖地では期間冷房負荷が支配的で、その中間的気候地域では両負荷が拮抗すると考えられる。このような地域差がある下で PAL を低減し空調の省エネルギーを図るには、冷房期には窓面から室内への日差しや熱の入り込み（熱貫流）を抑制し、暖房期には日射を受けつつ外部への熱の放出を抑えることが効果的である。このことから、全国共通的に、窓面積を可能な限り小さくすることが第一となるが、以下のように、必然的な逆効果も考慮する必要がある。

(1) 窓面からの眺望が不足し，快適で健康的な室内環境づくりに支障となる。

(2) 採光が不足し，日中の室内照明用エネルギーの消費が増加する。

したがって，PAL を低減させつつ可能な限り窓面積を大きくするための工夫が必要となり，ガラスの断熱性能を高める材料の選定や，日射を調整する庇やルーバーなどのデザインを意図的に行うことが重要になる。

### 3. モデル建物と計画条件の変動要素

#### 3.1 モデル建物

当社が清掃工場用事務所として通常計画する規模を参考に，延面積 3000m<sup>2</sup>，地上 3 階建ての片コアプランの事務所ビルを想定し，各階とも Fig.1 に示す平面とした。東京および沖縄の外壁断面の条件を Fig.2 に示す。

その他の条件は以下のとおりである。

(1) 内部発熱密度：10.4 W/m<sup>2</sup>（照明，人体，機器発熱などの室使用時間を考慮した標準値）

(2) 窓以外の外壁，屋根の外壁熱貫流率：U

U=1.163W/m<sup>2</sup>K（東京，沖縄，断熱材の厚み 25mm）

U=0.370W/m<sup>2</sup>K（北海道，断熱材の厚み 100mm）

#### 3.2 計画条件の変動要素（環境設計要素）

変動要素は(1) 地域，(2) 建物方位，(3) 窓開口率，(4) 庇の形状，(5) ガラスの種類，(6) 階数，(7) コアプランとし，それぞれのケースを Table 1 に示す。

庇の形状は各地域や各方位において，その効果が大きく異なると推測されたため，7 パターンについて検討を行った。なお，庇とは日影をつくるものであればよく，デザイン的には凹型もあり得るが便宜的に凸型とした。

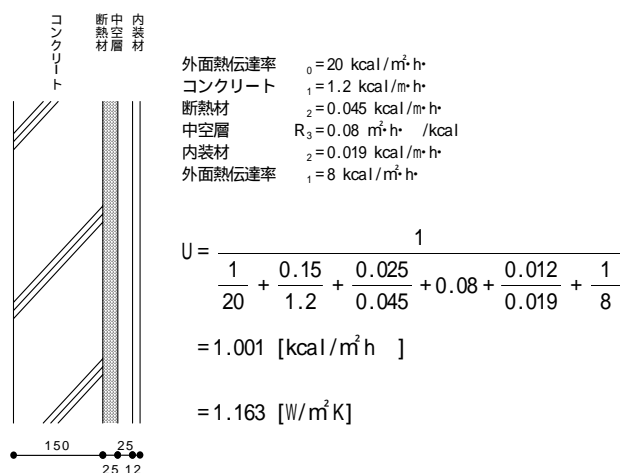


Fig.2 Section of the model

ガラスの断熱性能については窓の大きさとの最適な組み合わせが，地域や方位によりあり得ることが予想され，3 タイプを想定した。

建物方位パターンおよび庇の形状例を Fig.3 および Fig.4 に示す。

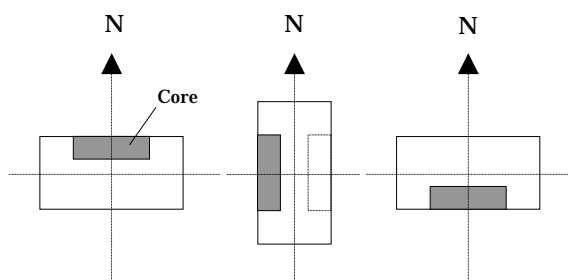


Fig.3 Pattern of the building derection

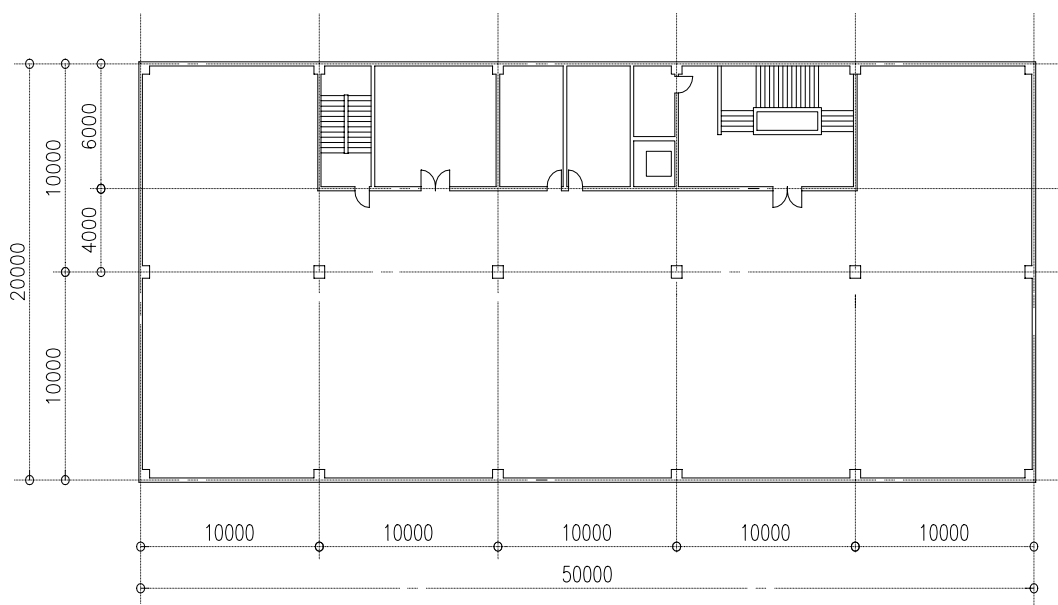


Fig.1 Model floor plan

Table 1 Variables

Design variables	CASE		
	(1) Hokkaido	(2) Tokyo	(3) Okinawa
Region	Selected as atmospheric representatives for the cold, the intermediate, and the mild from twelve sections made by Institute for Building Environment and Energy Conservation.		
Building direction	(1) Facing the south ( Core on the north )	(2) Facing the east/west ( Core on the west/east )	(3) Facing the north ( Core on the south )
	The east-facing and the west-facing are treated as equal because of small difference between their PALs.		
Window opening ratio	(1) 15% (Window height 1.5m)	(2) 30% (Window height 1.5m)	(3) 75% (Window height 3.0m)
	As the smallest type, intermediate type (consecutive windows), and the largest type (curtain wall).		
Eave shape	(1) Horizontal shallow eave ( Window height × 0.5 ) (4) Horizontal deep eave (Window height × 1) (7) N/A	(2) Vertical shallow eave (Window height × 0.5) (5) Vertical deep eave (Window height × 1) (3) · (5) · (7) in Hokkaido are omitted because of negligible influence.	(3) Box shallow eave ( Window height × 0.5 ) (6) Box deep eave ( Window height × 1 )
Kind of window	(1) Transparent single glass t12mm High transparency, less sun light cut, less heat insulation, and inexpensive	(2) Transparent pair glass t8mm + Air6mm + t8mm Less sun light cut, high heat insulation, and expensive	(3) Low-E pair glass ( Metal coating , colored ) t12mm+Air12mm+t6mm High sun light cut, high heat insulation, and very expensive
Number of stories ( Building scale )	(1) Three stories Applied only to all the cases above.	(2) Five stories Applied only to the side core of Okinawa and Tokyo.	
Plan ( Core planning )	(1) Side core Applied only to all the cases above.	(2) Center core Applied only to the three stories.	

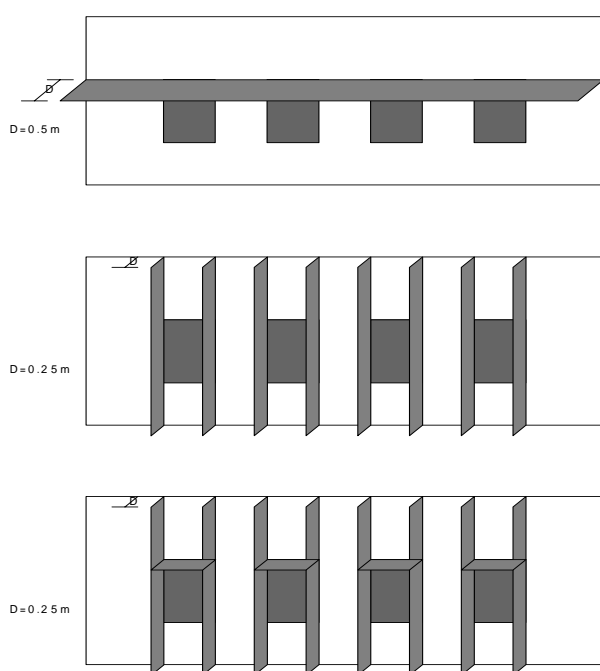


Fig.4 Eaves with opening ratio of 15%  
( Horizontal type, Vertical type, Box type )

## 4. シミュレーション結果と考察

### 4.1 PALの限界値

#### 4.1.1 シミュレーション結果

窓開口率の下限を15%とした場合、深い庇（窓幅1.0m，窓高さ1.5mに対して水平庇0.5m，垂直庇0.5m）を設けた上に窓の断熱性能を上げててもPALが低減されないケースがあることから、地域ごとにPALの下限がある結果となった。Fig.5に東京のケースを示す。

#### 4.1.2 考察およびPAL低減の限界

事務所建物の計画の初期段階で、地域性を考慮した環境共生建築物としてPALの目標設定を行う際、PALの下限について以下のような指針を設定することができる。

（ ）内は基準値300MJ/年・m<sup>2</sup>からの削減%である。

北海道の削減限界値：150MJ/年・m<sup>2</sup>（50%削減）

東京の削減限界値：195MJ/年・m<sup>2</sup>（35%削減）

沖縄の削減限界値：240MJ/年・m<sup>2</sup>（20%削減）

### 4.2 ガラスの断熱性能によるPAL低減効果

#### 4.2.1 シミュレーション結果

PAL低減対策として、北海道と東京においては、シングル，ペア，Low-E ペアの順に窓ガラスの断熱性を高めるこ

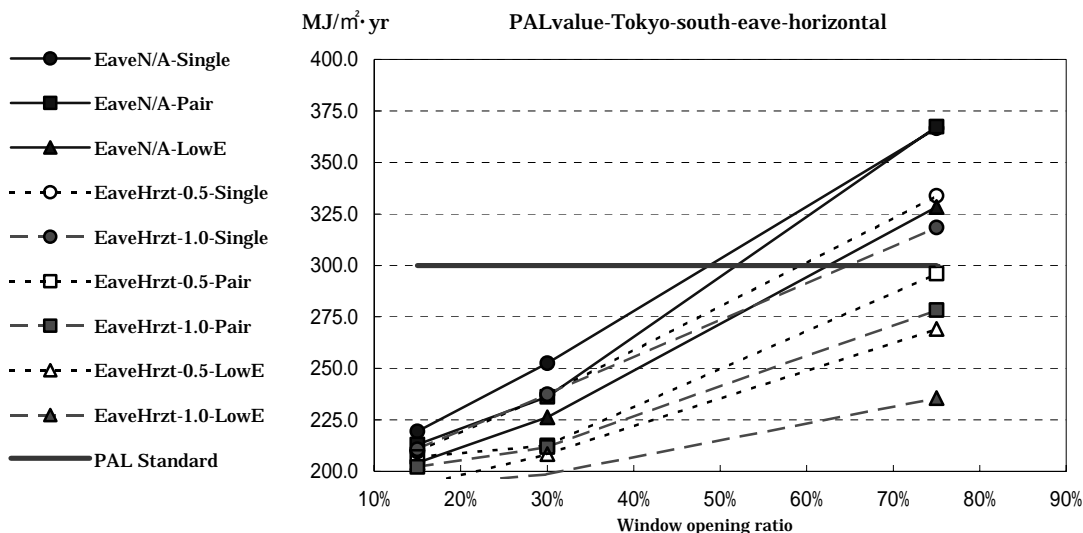


Fig.5 Lower limit of PAL (Tokyo)

とによる効果大きい。しかし、沖縄では断熱性を高めても開口率の違いにより順位が変動する上に、値の差がかなり小さくなり、庇を大きくとる方が効果が大きくなる。Fig.6 に沖縄のケースを示す。

4.2.2 考察

これらの結果は、沖縄では期間冷房負荷が、北海道では期間暖房負荷が支配的であることに起因する。北海道では暖房負荷を抑制するには、窓の断熱性を高めることに効果があり、庇の意味は低い。沖縄では日射を抑えることが不可欠であり、逆にガラスの断熱性の意味は低くなる。

春秋期にも冷房負荷のある東京では、冷房負荷：暖房負荷がおよそ3：2であるため、庇と窓ガラスの断熱性を効果的に組み合わせる必要がある。

そこで、留意すべきガラスの断熱性能の違いを列記する。

- (1) シングルガラスの場合、断熱性能がそれほど高くないため、内部発熱を外部へ放熱できるが、日射遮蔽性は低いので、ガラスに入射した日射熱の室内侵入率が高い。
- (2) ペアガラスは、シングルガラスと比べ、日射遮蔽性は同等だが、断熱性能が高いため、内部発熱の屋外放熱量が低くなり、地域的な違いや窓開口率の違いによって、シングルガラスより冷房負荷が高まる場合がある。
- (3) Low-E ペアガラスはペアガラスより日射遮蔽性が高く、断熱性能も高い。そのため、内部発熱を屋外へ放熱しにくく、そのまま冷房負荷となるが、ペアガラスより侵入熱量が小さいため期間冷房負荷は小さくなる。

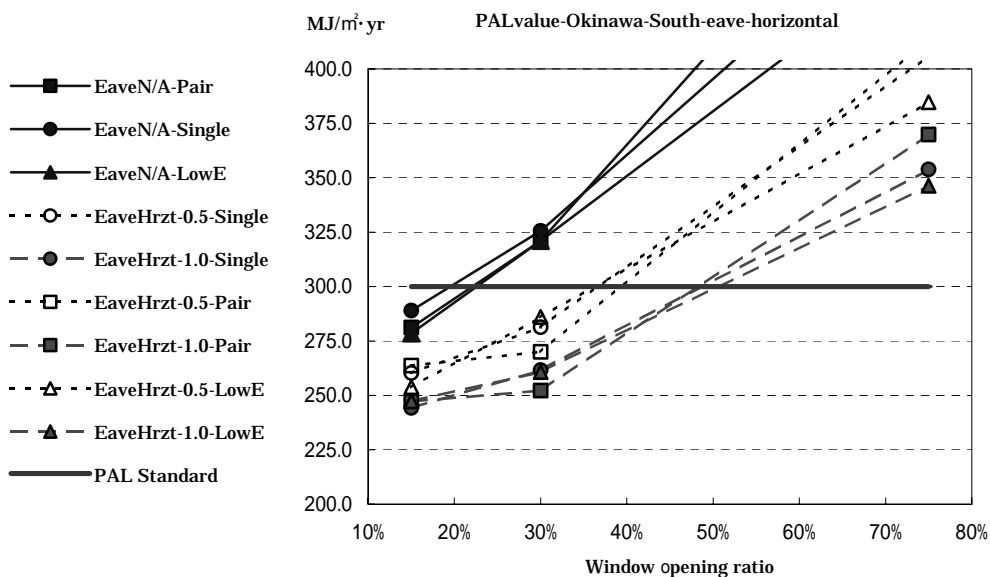


Fig.6 Okinawa (Facing the south & vertical eave)

### 4.3 建物方位による PAL 低減効果

#### 4.3.1 シミュレーション結果

方位による PAL 低減効果は北海道ではほとんどなく、対照的に沖縄では効果がある（最大約 60MJ/年・m<sup>2</sup>）。東京はその中間であった。

庇なしの条件下において、北海道では東西向きが常に不利で、シングルまたはペアガラスでは南向きが有利となり、Low-E ペアガラスであれば大きな差はないが、北向きが有利になる。

庇ありの条件下において、東京では大差ないが、南向きがやや有利であり、北向きと東西向きには差がない。

庇ありの条件下において、沖縄では浅い庇（窓高さ×0.5）かつ Low-E ペアガラス以外では東西向きは常に不利で、シングルまたはペアガラスでは南向きが、Low-E ペアガラスならば大きな差はないが、北向きが有利になる。

#### 4.3.2 考察

概ね東西向きが他の向きに比べて不利になるのは、長辺方向の壁からの日射侵入が大きいためと考えられる。

暖房期の北海道では、日射を多く受ける方が暖房負荷が低くなるため、Low-E ペアガラスより日射透過率の高いシングルまたはペアガラスで、日射のある南向きが有利になると考えられる。Low-E ペアガラスの場合、差は小さいが南向きが不利になるのは、断熱性が高いため、夏場の南向きではかえって内部発熱による冷房負荷が高まることによる。

冷房期の沖縄では、庇で太陽高度の高い日中の南側の日射は遮っていても、太陽高度の低い東西側北寄りの日射は遮れないので、日射透過率の高いシングルまたはペアガラスならば、コア面が北側の南向きが有利である。逆に日射透過率の低い Low-E ペアガラスならば、北向きが有利となる。

### 4.4 階数による PAL 低減効果

3 階建てと 5 階建ての比較から、壁面より屋根面の方が負荷が高いため、高層の建物に比べ低層の建物の方が屋根面（水平面）負荷の年間熱負荷に占める割合が高くなり、PAL が大きくなると考えられる。

ただし、開口率が高くなると高層建物の場合、積層される外壁面のゾーン負荷も大きくなるため、屋根面ゾーン負荷との差が少なくなり、PAL も低層建物と変わらなくなる。

### 4.5 平面プランによる PAL 低減効果

センターコアプランにした場合、正方形の 4 面とも同じ外壁仕様のため、各建物主方位は関係がなくなる。

沖縄、東京いずれにおいても、4 面ともガラス面のセンターコアプランの方が、片コアプランに比べ 10%程度 PAL が大きくなる。

## 5. 環境共生建築の地域別計画の目安

これまでの研究からモデルに類似する建築の場合、環境設計要素がもつ効果を地域ごとに表すことができる。

一例として、環境共生建築（PAL 300MJ/m<sup>2</sup>以下）にするための目安を、北海道のケースについて Table 2 に示す。

Table 2 Planning aim (Hokkaido)

Level of effectiveness for PAL reduction		Planning aim of Hokkaido
5	Highest	Window opening ratio 75% 15%
4	High	Kind of window Single Low-E pair
3	Intermediate	
2	Small	Direction East/west South
1	Very small	
0	Less or negligible	Story 3 5 Type of plan Side core Center core
-	Reverse	Eave shape N/A Box eave

## 6. おわりに

PAL のシミュレーションによって、設計要素ごとに空調消費エネルギー低減の地域別目安とともに、地域性を重視した環境共生建築のデザイン要素に対して、数値的根拠を与えることが可能となった。

今後は、PAL 低減に対する自然換気の効果、コスト、および LCCO<sub>2</sub> との関係性について研究を継続し、LCA 設計手法として統合する予定である。

#### 参考文献

- 1) “建物の LCA 指針(案)”. 東京, (社)日本建築学会. 1999. pp.15-25.
- 2) “建築物の省エネルギー基準と計算の手引き”. 東京, (財) 建築環境・省エネルギー機構. 2000. pp.183-184.

<問い合わせ先>

シビルエンジニアリング部 土木建築設計室

Tel. 045 (505) 8915 丸山 透

E-mail address : maruyat@eng.tsurumi.nkk.co.jp