

S-PRHにおける南面ダブルスキン空間利用時の冷房負荷削減手法に関する研究

準会員○吉田 克寿*1 正会員 依田 浩敏*4
正会員 八木 崇*2 同 高橋 信之*5
同 中島 裕輔*3 同 尾島 俊雄*6

ダブルスキン、日射遮蔽、換気、断熱

1. はじめに

近年、地球環境への関心の高まりによって、長寿命化・高リサイクル性・省エネルギー性を備えた低環境負荷型の住宅が求められている。

実験住宅 S-PRHにおける建物計画ではそれらを考慮した設計がなされており、外装材として、ガラス系素材を採用している。建物の南面全面に透明ガラスを用いることによって日射熱を取得し、冬期の暖房負荷の軽減を図るが、逆に夏期においては冷房負荷が増大する。

本研究では、その問題を解決するために、南面ダブルスキン空間を提案し、ガラス素材・日射遮蔽物・換気方法の検討を行い、さらにその最適な組み合わせを検討することで、夏期における冷房負荷削減手法の提案およびその効果の予測評価を行った。

2. S-PRH の設計コンセプト

2-1 建材のリサイクル

今日の住宅産業においては、大量生産、大量廃棄が繰り返され、その平均耐用年数は、約30年である。また解体後の部材のリサイクル率は、10%以下であり、リサイクルが不可能な部材は、産業廃棄物として処分されている。そこでS-PRHにおいては、高耐久性のある部材を使用し、建物寿命の長期化を図る。また、リサイクル可能な部材、解体が容易な工法を採用することで、部材のリサイクル率を80%以上まで上げることを目指す。

2-2 外装材としてのガラス系素材

外装材には強度や耐久性とともに、経年変化しない高耐候性が求められる。そこで、S-PRHでは外装材にガラス系素材を用いる。ガラスは、リサイクル性にも優れ、またガスケット工法を採用することで、更新・解体を容易に行うことができる。またS-PRHにおいては、南面全面に透明ガラスを用いて日射熱を取得し、冬期の暖房負荷の軽減を図る。

3. 南面ダブルスキン空間の提案

3-1 S-PRH の建物概要

S-PRHの立地場所は、早稲田大学理工学総合研究センターの実験研究施設を建設予定の福岡県北九州市、延べ床面積170.24㎡、構造は重量鉄骨造2階建て、居住者数は1世帯4人を想定した。S-PRHの簡略化した平面図、断面図および断熱仕様を図1に示す。換気回数は、0.5回/h（自然換気）とし、冷暖房負荷の算定については負荷計算ソフトSMASHを用いた。

3-2 ダブルスキン空間の利点および欠点

(1) 南面構成の設定

南面をダブルスキン空間にするこでの利点および欠点を調べる。図2に示すように南面の構成を従来（壁+窓）型、全面ガラス型、ダブルスキン型の3タイプを設定し、それぞれの冷房負荷および暖房負荷を算定して比較する。従来（壁+窓）型とは、窓開口率20%、窓には透明複層ガラスを使用し、レースカーテンを取り付けている。壁の構成は、外装材に不透明なガラス系素材を用い、その内側に断熱材を入れ断熱性を高めている。全面ガラス型は、従来型の南壁面に透明フロートガラスを全面使用し、日射熱の取得を図る。ダブルスキン型は、全面ガラス型の室内側に透明フロートガラスをもう一枚取り付ける。ダブルスキン空間においては、従来型との熱負荷の相違が明らかになるように、日射遮蔽・換気・断熱を行っていない。

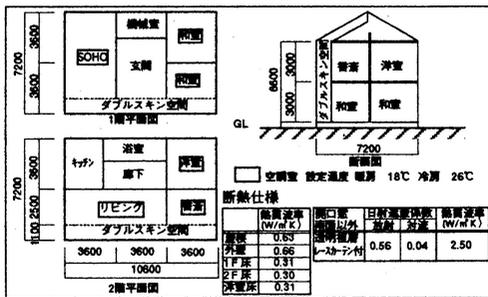
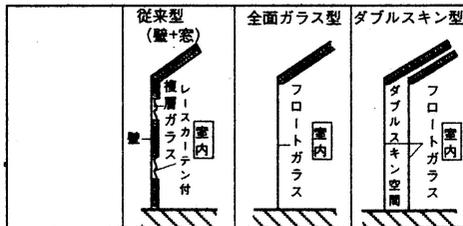


図1 S-PRHの概要



	従来型 (壁+窓)	全面ガラス型	ダブルスキン型
熱貫流率 (W/m ² K)	0.66	0.66	0.31
窓	2.80	5.81	5.81
遮蔽係数	放射 0.52	放射 0.87	放射 0.87
対流	0.04	0.07	0.07
窓開口率 (%)	20	100	100

図2 南面構成別の外壁性能の設定値

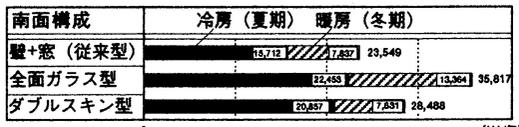


図3 南面構成の違いによる冷暖房負荷の比較

(2) 冷暖房負荷の計算結果

南面構成の違いによる冷暖房負荷の比較を図3に示す。南面を全面ガラスにすることで、日射熱を取得できるが熱貫流率が大きいため、従来型と比較して、冷房負荷・暖房負荷ともに大きくなっている。南面をダブルスキン空間にすることで、冬期においては多くの日射熱を取得できるため、従来型と比較して、外壁面平均熱貫流率が大きいかにも関わらず暖房負荷を小さくすることができる。夏期においては逆に、日射熱の取得によって、従来型の冷房負荷より大きくなる。

3-3 ダブルスキン空間のシステム提案

夏期における南面ダブルスキン空間のシステムを図4に示す。冷房負荷を削減するためには、まず日射を遮って室内の日射熱取得量を小さくする必要がある。そこでダブルスキン空間内に日射遮蔽物を取り付け、外気側のガラスに日射遮蔽効果の高いガラスを使用する。次に室内への日射遮蔽によってダブルスキン空間内にたまった熱を屋外へ換気することによって排熱する。換気する際の導入空気は、床下の冷気を直接導入する床下換気、または地中に埋めたチューブに空気を通して地中の冷熱を導入するクールチューブ換気を行う。さらに内側のガラスに熱貫流の小さいガラスを使用し断熱性を高めることで、室内への熱の貫流を抑える。

南面ダブルスキン空間においては、冬期の暖房負荷が小さいという利点をいかしつつ、室内の冷房負荷を削減する手法を検討する必要がある。

4. 南面ダブルスキン空間の冷房負荷削減手法の検討

4-1 ガラス素材の検討

(1) ガラスの選択

ガラスの性能比較を表1に示す。夏期の冷房負荷を削減するには、日射熱取得量を小さくする必要があるため、日射遮蔽係数の小さいガラスを選択し、また冬期の暖房負荷を削減するには、断熱性能を高める必要があるため、熱貫流率の小さいガラスを選択することが重要となる。S-PRHにおいては、ダブルスキン空間の外気側のガラスとして熱線反射ガラス、室内側のガラスとして透明複層ガラスを採用する。またリサイクル性、コストも考慮して外気側、室内側ともにフロートガラスの利用も検討する。ここでいうリサイクル性とは、ガラスがそれを支持する素材（アルミ、シーリング材、グレイジングガスケット）と分離されていることを前提とする。

(2) ガラス性能の違いによる冷暖房負荷の比較

ダブルスキン空間の外気側および室内側のガラス性能の違いによる冷暖房負荷の比較を図5に示す。外気側に熱線反射ガラスを使用することで冷房負荷を、室内側に透明複層ガラスを使用することで暖房負荷を削減するこ

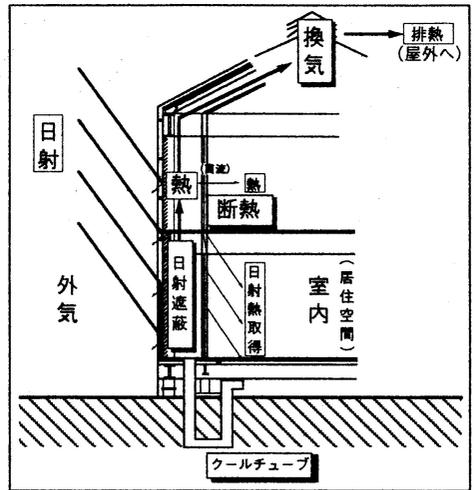


図4 夏期における南面ダブルスキン空間のシステム

表1 ガラスの性能

種類	熱貫流率 (W/m ² K)	日射遮蔽係数 放射 対流	リサイクル性	コスト (千円/m ²)
フロート	5.81	0.87 0.07	○	5.5
網入り	5.81	0.81 0.08	△	6.0
熱線吸収	5.81	0.55 0.16	×	7.6
熱線反射	5.81	0.65 0.06	○	13.0
透明複層	3.26	0.73 0.10	○	26.5
高遮熱断熱複層	2.56	0.53 0.08	○	51.9

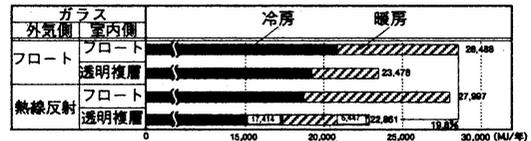


図5 ガラス性能の違いによる冷暖房負荷の比較

とができる。外気側に熱線反射ガラス、室内側に透明複層ガラスにした場合に最も冷暖房負荷が小さくなり、ガラスの検討を行わない場合と比べて冷暖房負荷を19.8%削減することができる。

4-2 日射遮蔽物の検討

(1) 日射遮蔽物の選択

日射遮蔽物の性能比較を図6に示す。夏期の冷房負荷を削減するには、室内の日射熱取得量を小さくする必要があるため、ダブルスキン空間内には日射熱取得率低減比の小さい表白・裏アルミブラインドまたは白色ロールスクリーンポリエステルUV加工、室内側にはレースカーテンを取り付ける。フロートガラスに日射遮蔽物を取り付けた時の熱性能を表2に示す。ブラインドを取り付けることで日射の放射成分を、ロールスクリーンを取り付けることで日射の対流成分を小さくすることができる。

(2) 日射遮蔽物の違いによる冷暖房負荷の比較

日射遮蔽物を図7に示すように取り付けた場合の、冷暖房負荷の比較を図8に示す。ブラインドとロールスクリーンの放射、対流成分の違いが室内の冷暖房負荷量に

及ぼす影響は見られなかった。ダブルスキン空間内にブラインド、室内側にレースカーテンを取り付けた場合に最も冷暖房負荷が小さくなり、日射遮蔽物の検討を行わない場合と比べて冷暖房負荷を26.8%削減することができる。

4-3 換気方法の検討

夏期においてダブルスキン空間内は高温になることが考えられるため、そこにたまった熱を機械換気によって排熱し、室内側への熱貫流を小さくすることで夏期の冷房負荷の削減を図る。換気の取り入れ空気は、床下の冷気を直接導入する床下換気と、地中に埋めたチューブに空気を通し、地中の冷熱を利用してダブルスキン空間へ導入する空気を冷却するクールチューブ換気を検討する。クールチューブを使用した場合の出口温度の計算方法を表3に示す。出口温度の変化を図9に示す。クールチューブの埋設深さを2m、風量を100m³/hと設定し、長さを変数とした場合、長さ50mとした時に地中の冷熱を十分に利用できる。クールチューブ出口温度は23℃ではほぼ一定であった。機械換気量は、クールチューブを用いた場合1000m³/h、床下換気の場合2000m³/hとした。ダブルスキン空間の換気回数はそれぞれ、11.8回/h、23.7回/hである。換気方法の相違による冷暖房負荷の比較を図10に示す。クールチューブ換気を行った場合に、最も冷暖房負荷を小さくでき、換気方法の検討を行わない場合と比べて冷暖房負荷を8.8%削減することができる。

5. 最適設計手法の提案

5-1 検討項目を組み合わせた場合の冷暖房負荷の比較

前章で行ったようにガラス素材・日射遮蔽物・換気方法の検討を単体で行っては、従来型の冷房負荷よりも小さくすることができない。そこで、3種類の検討項目を組み合わせることで冷暖房負荷削減効果を求める。

検討項目を組み合わせた場合の冷暖房負荷の比較を図11に示す。ここでガラスとして外気側にフロートガラス、室内側に透明複層ガラスを採用しているのは、日射遮蔽物と組み合わせた場合、外気側を熱線反射ガラスにするよりも冷暖房負荷を小さくすることができるからである。これは日射遮蔽物を取り付けることで、熱線反射ガラスによる冷房負荷削減効果が小さくなり、フロートガラスの日射熱取得による暖房負荷削減効果の方が大きくなったためと考えられる。

(1) ガラス素材と換気を組み合わせた場合の冷暖房負荷削減効果

ガラス素材と換気を組み合わせた場合、それぞれの冷暖房負荷削減率が小さいうえに組み合わせることでの相乗効果も見られないため、従来型の冷房負荷よりも小

日射遮蔽物の種類		日射熱取得率低減比 放射 対流 0.5	熱貫流率低減比 0.5
ダブル スキン 内	白色ブラインド	0.43	
	スラット角45°	0.64	
	表白・裏アミ ブラインド*	0.53	0.40
	スラット角45°	0.44	
白色 ロールスクリーン	0.35	0.56	
室内側	レースカーテン	0.68	

図6 日射遮蔽物の性能

表2 日射遮蔽物の性能の相違による熱性能の比較

種類	日射遮蔽物	日射遮蔽係数		熱貫流率 W/m ² K
		放射	対流	
ファゴ	なし	0.87	0.07	5.81
ロール	表白裏アミブラインド*全開	0.03	0.28	2.33
スクリーン	白色ロールスクリーンUV加工	0.28	0.05	3.26
スト	レースカーテン	0.59	0.05	5.00

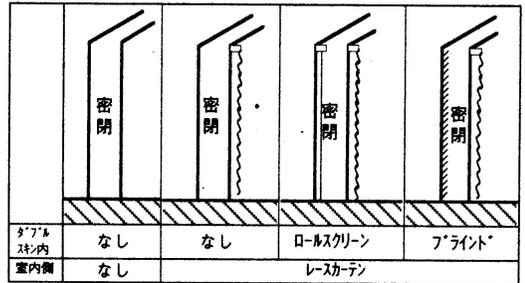


図7 日射遮蔽物の相違

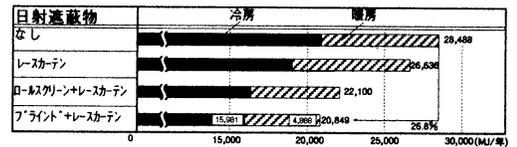


図8 日射遮蔽物の相違による冷暖房負荷の比較

表3 計算方法

クールチューブ出口温度の推定式

$$\theta_L = \theta_0 \cdot e^{-3600 k L / V c \rho} + \theta_e \cdot (1 - e^{-3600 k L / V c \rho})$$

θ_L : 出口温度 (°C) V: 風量 (m³/h)
 θ_0 : 入口温度 (°C) k: 貫流率 (kcal/m²h°C)
 θ_e : 土壌温度 (°C) L: チューブの長さ (m)
 $c \rho$: 容積比熱 (kcal/m³°C)

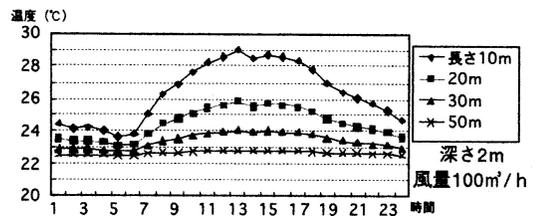


図9 クールチューブ出口温度

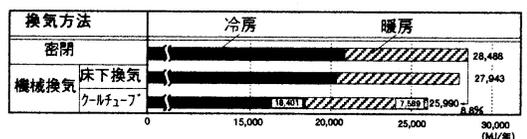


図10 換気方法の相違による冷暖房負荷の比較

2手法の組み合わせ比較

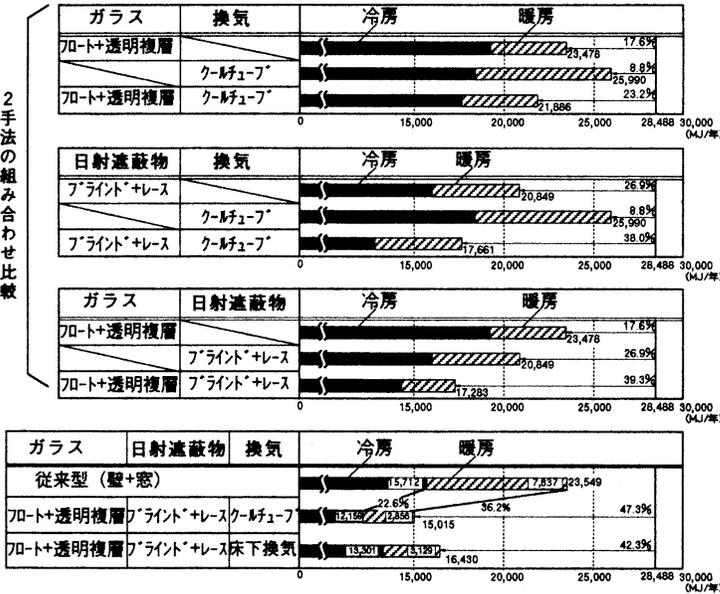


図11 ガラス、日射遮蔽物、換気を組み合わせた場合の冷暖房負荷の比較

くすることができない。

(2) 日射遮蔽物と換気を組み合わせた場合の冷暖房負荷削減効果

日射遮蔽物と換気を組み合わせた場合、組み合わせることで冷暖房負荷削減率が2.3ポイント上がり相乗効果が見られる。これは図12に示すように、日射遮蔽物を取り付けることで、取り付けない場合よりダブルスキン空間の温度が非常に上がるため、換気による冷房負荷削減効果が大きくなったと考えられる。

(3) ガラス素材と日射遮蔽物を組み合わせた場合の冷暖房負荷削減効果

ガラス素材と日射遮蔽物を組み合わせた場合、相乗効果は見られないが、それぞれの冷暖房負荷削減率が大きいので、2手法の組み合わせ比較の中で最も冷暖房負荷を小さくすることができる。冷房負荷は、日射遮蔽物と換気を組み合わせた場合よりも大きくなっている。これは図13に示すように、換気を行わないとダブルスキン空間の温度が非常に上がってしまうためである。よって換気を行ってダブルスキン空間の温度を下げることで、さらなる冷房負荷の削減を目指す。

5-2 最適設計手法の提案

ガラスと日射遮蔽物の2手法に換気を加えることで、図13のようにダブルスキン空間の温度を大幅に下げることができ、今回のシミュレーションにおいて最も良い場合で、従来型の冷房負荷より22.6%、年間の冷暖房負荷で36.2%削減することができる。

*1 早稲田大学
*2 早稲田大学大学院修士課程
*3 早稲田大学大学院博士課程・工修

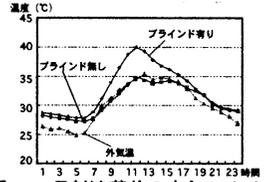


図12 日射遮蔽物の有無による最暑い日のダブルスキン空間温度の比較

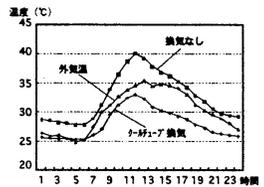


図13 換気を行った場合の最暑い日のダブルスキン空間温度の比較

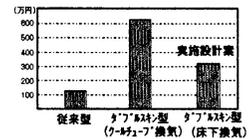


図14 南面のコスト比較

なお、S-PRH実施設計においては、図14のようにケルチューブのコストが高いため床下換気を採用しているが、実施設計案でも従来型の冷房負荷よりも小さくすることが可能である。

6. まとめ

S-PRHにおいて、日射遮蔽・換気・断熱の各手法を検討することで室内の冷房負荷を削減する南面ダブルスキン空間を提案し、組み合わせによる冷暖房負荷削減効果を求めた。冷房負荷削減効果においては、日射遮蔽物、ガラス素材、換気の順に大きいが、暖房負荷はガラス性能の影響が大きい。日射遮蔽物と換気、ガラスと日射遮蔽物を組み合わせることによって、従来型の冷房負荷よりも小さくできるが、それぞれ相乗効果に差が生じるため、ダブルスキン空間においては、日射遮蔽物、ガラス、換気の3手法を適切に組み合わせる必要がある。

今後、S-PRHの建設に伴い、南面をダブルスキンにすることでの利点や問題点を実測、解析を行って、明らかにしていく予定である。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「低環境負荷・資源循環型居住システムの社会工学的実験研究」によっています。

参考文献

- (1) 新訂 建築士技術全書2「環境工学」
木村建一 木内俊明 発行：彰国社刊
- (2) 「旭硝子板ガラス建材総合カタログ 技術資料編」
発行：旭硝子株式会社
- *4 近畿大学助教授・工博
- *5 早稲田大学理工学総合研究センター助教授・工博
- *6 早稲田大学教授・工博