

地域特性を考慮したトレーラーハウスの開口部設計に関する研究
数値解析を用いた冷暖房負荷の評価

1250170 ○山岡 凌*
指導教員 佐藤 理人**

トレーラーハウス モバイル建築 開口部
数値解析 冷暖房負荷

1. 研究背景・目的

トレーラーハウスは設置方位を自由に選択することが可能で、大開口を設けることも可能なことから、風光明媚な敷地に宿泊施設として使用される事例も増えてきた¹⁾。しかしながら温暖な地域だけではなく、沿岸地域や寒冷地域等厳しい気候条件下に移動し、設置される場合においては、冷暖房負荷が大きく異なることが予想される。またトレーラーハウスは一般的な住宅と比較して、縦横比やペリメーターゾーンの比率が大きく異なるにもかかわらず、適正な開口部面積について十分な議論がなされていない。そのため、トレーラーハウスにおける地域特性を考慮した適正な開口部設計のためには、方位及び開口部面積と冷暖房負荷の関係を明らかにした基礎資料が必要である。

既往の研究においては、村上ら²⁾は、トレーラーハウスの夏季の熱環境対策として、農業用資材を用いて遮熱シートを被せた場合の実測値を測定している。また原田ら³⁾は冬季を対象に、床暖房を用いた場合の評価と省エネルギー基準地域区分毎の数値解析による評価を行った結果を報告している。しかしながら、トレーラーハウスにおける設置方位と開口部に関する冷暖房負荷の関係を整理した研究はみられない。そこで本研究では、トレーラーハウスの設置方位及び開口部面積と冷暖房負荷の関係を数値解析により明らかにすることを目的とする。

2. 計算対象とするトレーラーハウスの概要

初めに解析を行うにあたって、インターネット調査により日本 51 件、米国 16 件、欧州 22 件、オセアニア 11 件の事例計 100 件を収集し、各地域の車長、車幅、車高を最大値・平均値・最小値について比較した(図 1)。また図 2 に収集したトレーラーハウスの事例を示す。その結果、各地域の車長の平均値は 6~7m が多くみられた。また、最小値、最大値ともに日本で見られた。車幅については 2~3m のものが多くみられ、これは各地域の法令等により概ね 3m 以下と定められているためである。車高の平均値は 2~4m が多く、特に日本では道路運送車両の保安基準第 2 条により、車検付きトレーラーハウスは車高 3.8m を超えないものと定められているためである。一方米国では一次規制として 2.07m 以上の天井高があればよいとされている。

本研究ではこれらの調査結果より、車長、車幅、車高そ

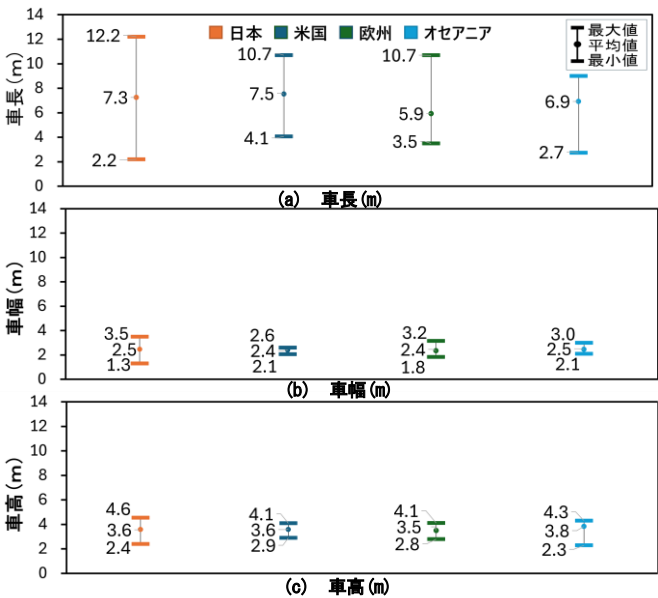


図 1 各地域の外形の特徴



図 2 オーストラリア・スロバキア事例¹⁾

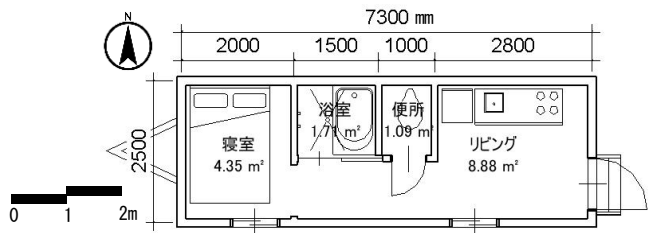
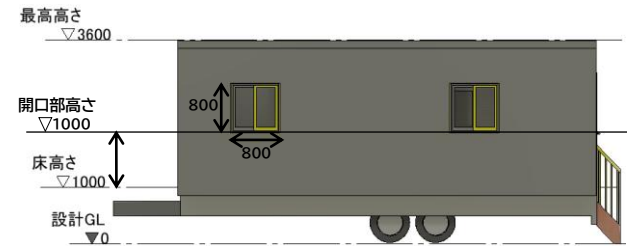


図 3 計算モデル平面図(基準モデル)



※本研究では、窓面積のみ変更

図 4 計算モデル南立面図(基準モデル)

それぞれの平均値と同程度の車長 7.3m 車幅 2.5m 車高 3.6m(シャーシ部分含)のものを想定し、天井高 2.6m の室容積 36.69m³の計算モデルを用いる(図 3、図 4)。トレーラーハウスの建物仕様及び想定居住人数を表 1 に示す。トレーラーハウスの設置場所は高知県高知市とし、夫婦共働きで木造枠組工法の居間、寝室、便所、トイレの合計 4 部屋から構成される居住用とする。開口部の高さは床から 1m の位置とし、車長方向の片面のみに設置されているものとする。

図 5 に前述のインターネット調査を用いてトレーラーハウスの外装材種を金属系、木質系、樹脂系、その他と 4 項目に区分し、各地域別で採用されている件数を整理したものを示す。日本では金属系が 68.6%と半数以上を占め、次に木質系 21.6%、樹脂系 5.9%であった。その他ではガラスやコンクリートを使用した事例も見られた。米国では、日本同様金属系 56.3%、木質系 31.3%、樹脂系 13.6%と金属系が半数以上占めていた。欧州では木質系が 54.5%と半数以上を占め、次に金属系 31.8%、樹脂系 13.6%であった。またオセアニアでも日本同様金属系 45.5%、木質系 36.4%、樹脂系 18.2%と金属系の比率が高い傾向がみられた。本調査より、計算モデルの外装材種についても日本で最も多かった金属系材料を使用し、移動の衝撃に強いアルミニウムサイディングを選定した。外壁、屋根断熱材種については、高性能グラスウール 24K、床に高性能硬質ウレタンボード、開口部には樹脂サッシ+Low-E 複層ガラスを用いることとした。

以上より部位別の熱貫流率 U は、外壁 0.278W/m²K、床 0.112W/m²K、屋根 0.345W/m²K として計算を行った。

3. トレーラーハウスの冷暖房負荷解析方法

本研究では、動的熱負荷計算プログラムとして EnergyPlus-ver23.2.0 を用いた。表 2 に冷暖房負荷条件を示す。解析対象空間は、居間及び寝室ゾーンとし、外気象データとして高知県高知市の標準気象データを用いた。また計算期間は 1 月 1 日から 12 月 31 日の毎時ステップで行った。

冷暖房期間は日本工業規格⁴⁾を参考とした。冷房期間は、日平均気温が 22℃以上となる 3 回目の日から、日平均気温が 22℃以上である最終日より 2 日前までの 6 月 5 日～10 月 15 日、暖房期間は、日平均気温が 14℃以下となる 3 回目の日から、日平均気温が 14℃以下である最終日より 2 日前の日までの 11 月 3 日～4 月 27 日とした。また冷房設定温湿度は 27℃50%、暖房設定温度は 22℃とし、冷暖房期間中は終日 ON とした。換気回数は 0.5 回/h とし、居間、寝室は第三種換気方式(熱交換無)とした。また家具等の熱容量は顕熱、潜熱に分けて設定した。

表 3 に、各居室における照明及びコンセント機器等の最大発熱量を示す。照明は省エネ基準⁵⁾で規定される居室別の設計照度と居室面積から各居室に必要な光束を求めた上で、該当する器具別の発光効率と居室別の補正係数を使用して発熱量の計算を行った。コンセント機器等発熱量については、空調調和衛生工学会 SCHEDULE2.0⁶⁾を参考に設定した。また照明、コンセント機器等の発熱は顕熱のみを想定した。

表 1 トレーラーハウスの建物仕様

構造		木造枠組み工法	
延床面積 (m ²)		16.03	
建物高さ (シャーシ部分含む) (m)		3.6	
天井高 (m)		2.45	
容積 (m ³)		36.69	
想定居住人数 (人)		2	
人体顕熱 (SH) 潜熱 (LH) 発熱量		(SH) 118W, (LH) 106W	
日射吸収率		0.7	
長波長放射率		0.95	
部位	断面仕様	熱伝導率 [W/(mK)]	厚さ [mm]
外壁 U=0.278 (W/m ² K)	アルミニウムサイディング	180	14
	通気層	-	18
	透湿防水シート	-	0
	構造用合板	0.12	9
	高性能グラスウール 24K	0.036	100
	石膏ボード	0.65	12
	ビニルクロス	-	0
床 U=0.112 (W/m ² K)	フローリング	0.12	18
	構造用合板	0.12	12
	高性能硬質ウレタンボード	0.021	100
屋根 U=0.345 (W/m ² K)	アルミニウムサイディング	180	12
	アスファルトルーフィング	-	0
	構造用合板	0.12	12
	高性能グラスウール 24k	0.036	100
	石膏ボード	0.65	12
開口部 引違い腰窓 U=1.98(W/m ² K)	樹脂サッシ Low-E 複層ガラス日射遮蔽型	-	19
	ドア U=5.62(W/m ² K)	-	30

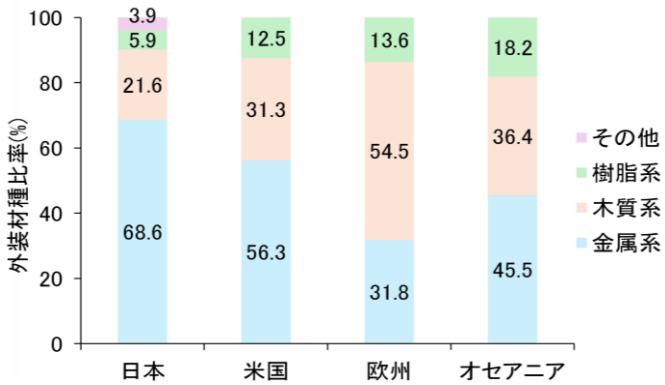


図 5 地域別の外装材種比較結果

表 2 冷暖房負荷条件

解析ソフト	EnergyPlus-ver23.2.0
気象データ	標準気象データ(高知市)
計算期間	1月1日～12月31日(1時間間隔)
冷暖房期間	冷房期間 6月5日～10月15日 暖房期間 11月3日～4月27日
冷房設定温湿度	27℃, 50%(終日運転)
暖房設定温度	22℃(終日運転)
換気回数(第三種換気)	0.5回/h(居間、寝室)
室内(家具等)顕熱容量	18.8kJ/m ³ K
室内(家具等)潜熱容量	41.9kJ/m ³ (g/kg')

表 3 内部負荷最大発熱量

	居間	寝室	浴室	便所
照明最大発熱量[W]	53.1	29.4	15.11	6.94
コンセント機器等最大発熱量[W]	384	145	85	35

図 6 の内部発熱スケジュールは宇梶ら⁷⁾が作成した、ライフスタイルを鑑みた居住者数の変化に伴うスケジュールの設定を参考にした。内部発熱スケジュールの種類は、在室、照明、コンセント機器等の発熱とし、在室スケジュールは最大 2 名とした在室人数を示し、照明、コンセント機器等については、最大発熱量に対する比率を 1 時間平均で示した。また平日と休日に分けて設定した。休日は 11~17 時の間外出すると想定する。方位及び開口部面積に関する変数については、表 4 に示す通りであり、方位別 4 パターン、開口部面積別 4 パターンとした計 16 パターンの冷暖房負荷を算出する。設置方位については、図 3 に示した平面図の方位を基準とし、90°ごとに回転させる。開口部面積については、縦横比は固定とし、0.64m²(0.8m×0.8m)、1.00m²(1.0m×1.0m)、1.44m²(1.2m×1.2m)、1.96m²(1.4m×1.4m)として中心軸からずれない位置で設定した。外気象条件のうち、外気温の年変動を図 7 に示す。外気温は年最低気温 0.2℃、年最高気温 33.7℃のものを用いた。

4. 自然室温計算結果

南向き固定で開口部面積別の居間における自然室温の計算結果例として、冬季(2/9、2/10、2/11)及び夏季(8/29、8/30、8/31)について整理したものを図 8 に示す。また同期間について開口部面積を 0.64m²固定とし、方位別の居間における自然室温を算出した結果を図 9 に示す。このとき機械換気(0.5 回/h)は実施し、内部発熱は 0 として計算を行った。

まず図 8 の開口部面積別自然室温 T_m をみると、2/10 では日較差が 0.64m² で 7.9℃、1.96m² で 12.7℃を示した。一方 8/30 では 0.64m² で 5.2℃、1.96m² で 7.3℃を示し、室内への侵入日射量が小さいため、日較差が夏季と比較して小さい傾向がみられた。また冬季、夏季ともに開口部面積が大きいほど日較差が大きくなる傾向がみられた。また 2/10 は最高外気温 12.7℃(15 時)のとき、最高室温は 23.6℃(1.96m², 16 時)となった。また 8/30 では最高外気温 33.7℃(15 時)のとき、最高室温は 40.0℃(1.96m², 16 時)を示した。冬季は日較差が大きく、夏季は日較差が小さいが夏季は自然室温が 35℃以上になることが多いため、年間を通し考慮する必要がある。

次に図 9 の方位別室温をみると、2/10 の最高室温は、北 12.2℃、東 11.4℃、南 16.0℃、西 15.2℃を示し、8/30 における最高室温は、北 35.5℃、東 35.3℃、南 36.5℃、西 37.4℃となった。2/10 における日較差は、北 6.4℃、東 5.6℃、南 7.9℃、西 8.4℃を示し、8/30 での日較差は、北 5.4℃、東 4.6℃、南 5.2℃、西 6.2℃を示した。冬季は南壁面への受熱時間も長かつ垂直面直達日射量(350Wh/m²)も大きいため、一日を通しての室温が高くなっている。一方夏季は太陽高度が高いことにより、南壁面への垂直面直達日射量(114Wh/m²)が小さくなる。またトレーラーハウスの特性上、方位を変化させることにより、居室の位置関係が南北入れ替わるため、東西の日射の影響に差異が見られた。

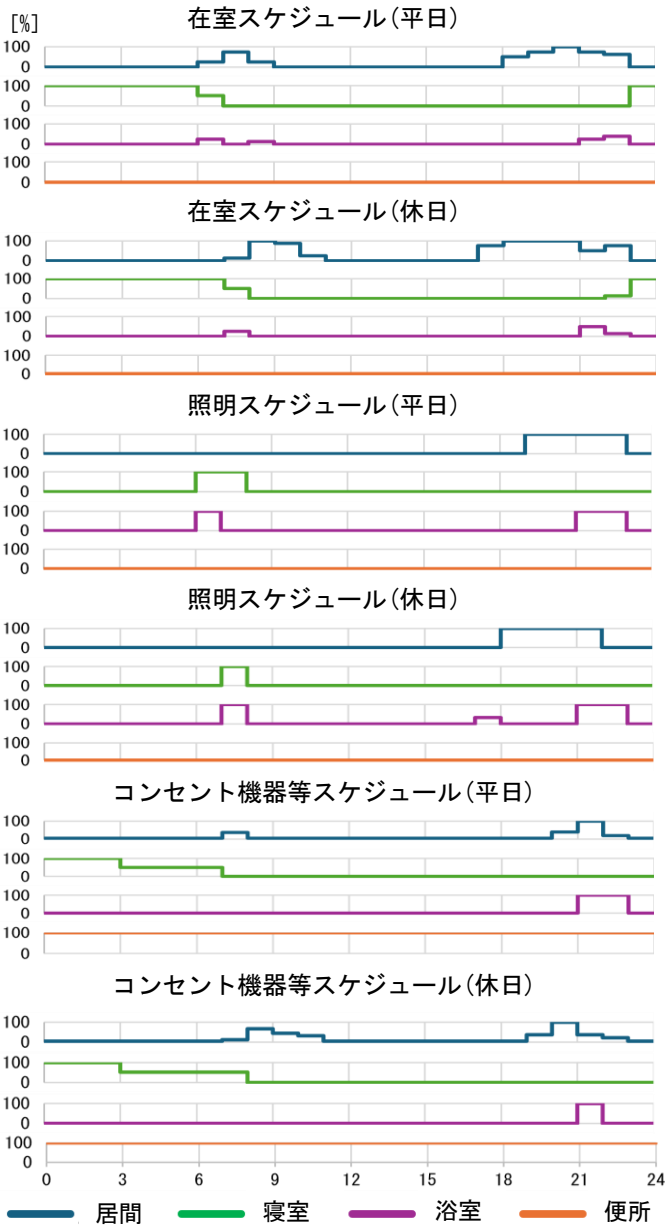


図 6 内部発熱スケジュール

表 4 パラメトリックスタディの概要

評価対象	変数
設置方位(開口部方位)	東、西、南、北
開口部面積[m ²]	0.64, 1.00, 1.44, 1.96 (縦横比は 1 とする)

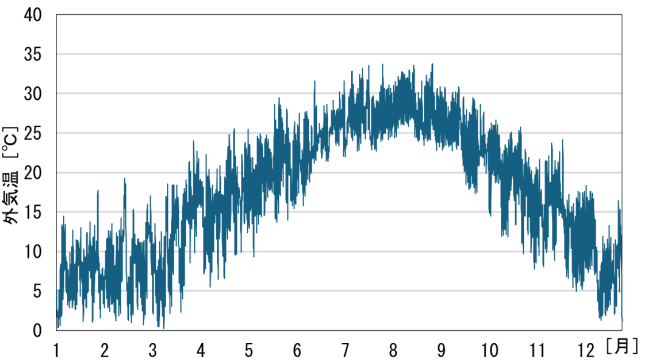


図 7 標準気象データ(高知市)の年間外気温

5. トレーラーハウスの冷暖房負荷解析結果

トレーラーハウスの全16ケースに関する年間冷暖房負荷結果を図10に示す。また冷房負荷については顕熱負荷、潜熱負荷に分けて示す。計算結果より年間冷暖房負荷については、 $1.96\text{m}^2 \times \text{西}$ で最大 $808\text{MJ}/\text{m}^2$ 、 $0.64\text{m}^2 \times \text{南}$ で最小 $621\text{MJ}/\text{m}^2$ を示した。また冷房負荷比率は全てのケースで50%を超え、 $0.64\text{m}^2 \times \text{北}$ で最小の59.6%、 $1.96\text{m}^2 \times \text{南}$ で最大82.0%となった。このことからトレーラーハウスは日射負荷の割合が大きいため、冷暖房負荷の内訳として一般住宅よりも冷房負荷の比率が高くなることが明らかとなった。

次に年間の冷房負荷と暖房負荷を各ケースについてプロットしたものを図11に示す。開口部面積を 1.96m^2 から 0.64m^2 に変更することで、冷房負荷は減少し、暖房負荷は増大するが、特に南向きでは冷房負荷が0.75倍、暖房負荷が1.57倍と増減幅が最も大きくなった。一方北向きは冷房負荷が0.87倍、暖房負荷が0.94倍となり、最も増減幅が小さくなった。

また設置方位を変更し、開口部面積(0.64m^2)固定の場合、冷房負荷が最大の西から最小の北へ方位を変更すると、年間冷房負荷は0.85倍に抑制でき、暖房負荷が最大の北から最小の南へと方位を変更すると年間暖房負荷は0.73倍に抑制可能となることが明らかとなった。

季節により設置方位を変更することを想定した場合、冬季では暖房負荷が最小の南 $\times 1.44\text{m}^2$ を、夏季では冷房負荷が最小の北 $\times 1.44\text{m}^2$ を選定すると年間冷暖房負荷が最小となった南 $\times 0.64\text{m}^2$ よりも更に7.7%削減可能となることが明らかとなった。

6. まとめ

本報では、トレーラーハウスの設置方位及び開口部面積と冷暖房負荷の関係を数値解析により明らかにした。その結果、トレーラーハウスの年間冷暖房負荷は、 $1.96\text{m}^2 \times \text{西}$ が最大となり、 $0.64\text{m}^2 \times \text{南}$ が最小となる結果を得た。

今後は、最適な昼光利用に着目した照度シミュレーションなどを行うことで、光環境・熱環境双方に配慮した開口部設計手法を提案していきたい。

【参考文献】

- 1) 吉見他：地域特性を考慮したモバイル建築に関する研究（その1）調査概要 日本建築学会大会（関東）学術講演会, pp.1175-1176, 2024年8月
- 2) 村上他：応急仮設住宅としてトレーラーハウスの活用と環境改善（その3）農業用資材を用いた夏期の温熱環境改善効果, 日本建築学会北陸支部研究報告集 第65号, pp.186-189, 2022年7月
- 3) 原田他：応急仮設住宅としてのトレーラーハウスの活用と環境改善（その5）省エネルギー基準地域区分毎の冬季室内温熱環境, 日本建築学会北陸支部研究報告集 第66号, pp.115-118, 2023年7月
- 4) 日本工業規格 JIS C 9612: 2013 <https://kikakurui.com/c9/C9612-2013-01.html>, 参照日, 2025/1/10
- 5) 建築研究所：省エネルギー基準 <https://www.kenken.go.jp/becc/> 参照日 2025/1/13
- 6) 空調調和・衛生工学会：シンポジウム「住宅における生活スケジュールとエネルギー消費」テキストと付属プログラム「SCHEDULE Ver.2.0」, 2000
- 7) 宇梶他：自立循環型住宅の開発にともなう実証実験に関する研究（第六報）生活行動に伴うエネルギー消費検証用基本スケジュール, 空調調和衛生工学会大会学術講演論文集, pp.209-212, 2004年9月
- 8) 山岡他：地域特性を考慮したモバイル建築に関する研究（その2）窓の有無と外装材料の特徴 日本建築学会大会（関東）学術講演会, pp.1177-1178, 2024年8月

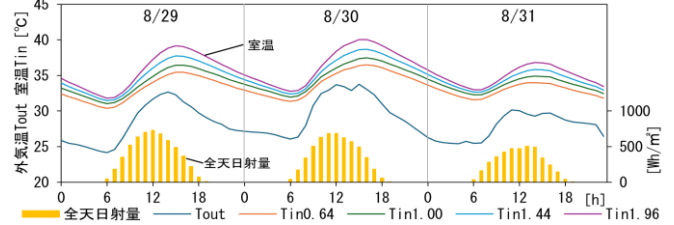
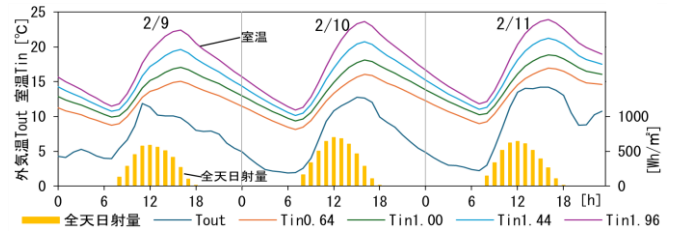


図8 設置方位南向き固定の場合の開口部面積別室温変動

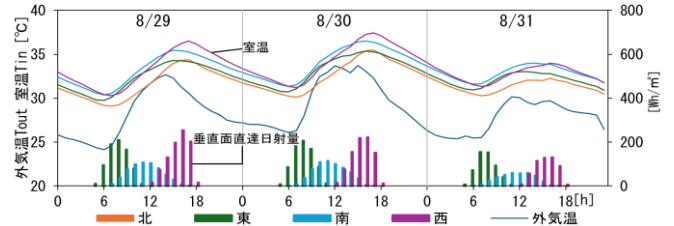
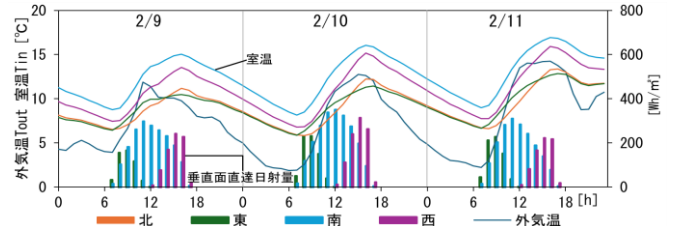


図9 開口部面積(0.64 m²)固定の場合の方位別室温変動

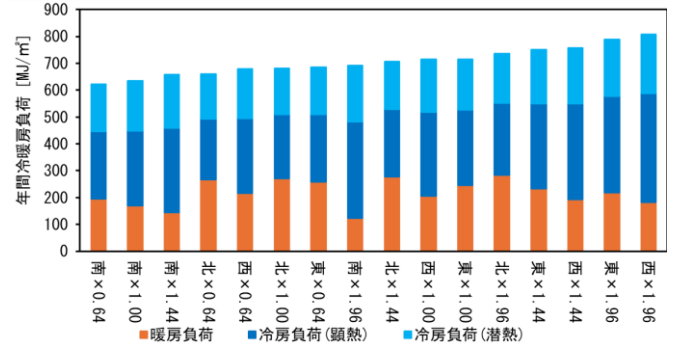


図10 開口部×方位別年間冷暖房負荷

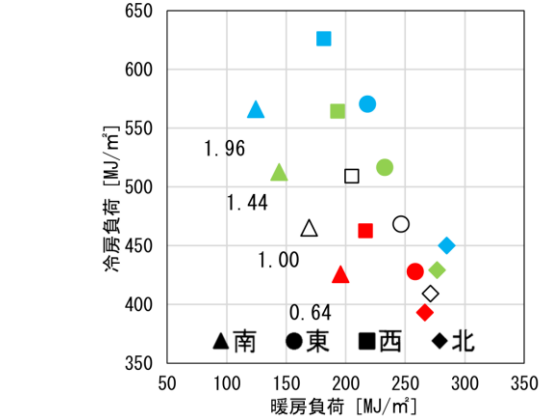


図11 方位別開口部面積別年間冷暖房負荷の比較