

〈一般研究課題〉 日本型パッシブハウス設計指針の提案

助成研究者 名城大学 吉永 美香



## 日本型パッシブハウス設計指針の提案

吉永 美香  
(名城大学)

## Recommendation of Japanese Passive houses design guidelines

Mika Yoshinaga  
(Meijo University)

### Abstract :

The purpose is to organize data contributing to design guidelines for Japanese-style passive houses and to develop computer simulations applicable to passive house design. In the first part, we analyzed the thermal environment and air quality of two passive houses in Japan. Both had a comfortable thermal environment throughout the year. The floor plan with independent rooms had the potential to have lower energy consumption. In the bedroom, on the other hand, the supply and exhaust positions and ventilation flow rates should be carefully considered. The energy consumption for cooling tended to be lower than the PHPP standard. This is probably due to the low cooling temperatures used in the PHPP calculation, as well as the cooling system controlled by sensible heat demand. In the latter part of the study, an automated parametric study was examined to develop design guidelines for Japanese-style passive houses. TRNSYS, TRNlizard, Rhino, and Grasshopper were used to construct the computational environment. It was shown that the total cooling and heating load can be minimized by varying the opening ratio.

### 1. はじめに

#### 1.1 背景と目的

温室効果ガスの排出を2050年に実質ゼロとするため、世界的に加速度的なカーボンニュートラル社会への移行が進められている。しかし日本では、二十年余にわたり住宅用省エネ基準の断熱性

能は平成11年度の基準とほぼ変わっていないにも関わらず、平成29年度調査で新築住宅の62%しか基準に適合していない<sup>1)</sup>という状況にあった。ようやく、令和4年4月に住宅を含めたすべての新築建築物の省エネ基準への適合を義務付けるための審議がスタートし、早急な実効化とともに、現行より高いレベルの断熱性能ならびに日射制御設計が標準化することに期待がかかっている。

世界最高基準の省エネ住宅とも呼ばれるドイツのパッシブハウス(PH)基準では、日本の省エネ基準の3倍以上の断熱性能を求めると同時にAffordability(経済的合理性)が重要視されている<sup>2,3)</sup>。たとえば、比較的簡易に利用できるシミュレーションツールが整備されており、設計のためのガイドラインが示されていることなども、設計者の作業負担を抑制し、エネルギー性能とコストパフォーマンスを高く維持するための重要なポイントといえる。PH基準は今後の日本の新築住宅が手本とすべきよい基準の一つだが、これは暖房負荷が卓越する寒冷気候を前提に作られているため、温暖で高湿な日本の気候条件では、夏期の日射熱取得の制御や湿度の許容度などを考慮した、独自の基準やガイドラインが必要である<sup>4,5)</sup>。

そこで本研究では、経済的合理性を有した、低炭素で快適な日本型パッシブハウスの設計指針に資するデータを整理すること、並びにシミュレーションを設計に活用するための環境整備を目的とし、日本に建つパッシブハウスの性能分析と設計ガイドラインを作成するためのコンピュータシミュレーションの環境整備を行った。

## 1.2 パッシブハウス基準とPHPP

PHの認証では、幾つかの達成要求項目があり、基準への適合の証明にあたっては、Passive House Planning Package(PHPP)を用いたシミュレーションを行う必要がある。PHPPはMicrosoft Excelをプラットフォームとする月単位の疑似的な非定常シミュレーションツールである。基本的な認証条件を以下に示す。なお、基準値はすべて有効居住面積で除した原単位化がなされており、住宅規模に左右されずに比較ができるようになっている。

- ・ 年間暖房負荷が $15\text{kWh/m}^2$ 以下または最大暖房負荷が $10\text{W/m}^2$ 以下
- ・ 年間冷房負荷または最大冷房負荷がPHPPで気候条件を考慮し設定される値以下
- ・  $50\text{Pa}$ 加圧・減圧条件下での換気回数が0.6回以下
- ・ 年間一次エネルギー消費量(暖房、冷房、給湯、一般電力)が各クラスで要求される値以下

現行のパッシブハウス認証には、Classic, Plus, Premiumの三つのクラスがある。冷暖房・給湯・一般電力に関する年間一次エネルギー消費量がClassicでは $60\text{kWh/m}^2$ 以下、Plusでは $45\text{kWh/m}^2$ 以下、Premiumでは $30\text{kWh/m}^2$ の必要があり、さらに再生可能エネルギーの生産がPlusでは $60\text{kWh/m}^2$ 以上、Premiumでは $120\text{kWh/m}^2$ であることが求められる。

## 2. 研究方法

研究は以下の二段階で実施した。まず、日本の温暖地域に建つパッシブハウス認証(Classicクラス)住宅二件(豊田PH・静岡PH)を対象に、設計・認証段階でのエネルギー性能と竣工・供用開始後の用途別電力消費量と室内温湿度データを収集した。また静岡PHでは第一種換気設備の効果検証のために、追加で秋季の各居室の二酸化炭素濃度の測定と解析を行った。

次に、多様な気候下におけるComputational DesignとAIによる最適設計スキームの可能性を検討するため、TRNSYS18、TRNLizard、Rhino6、Grasshopperの連携によるパラメトリックスタ

ディ環境を構築した。

### 3. 日本に建つPHの性能検証

#### 3.1 対象建物

対象は、愛知県豊田市に建つ豊田PH(有効居住面積120.8m<sup>2</sup>、図1参照)と、静岡県静岡市に建つ静岡PH(有効居住面積70.6m<sup>2</sup>)で、いずれも木造2F建の戸建住宅である。豊田PHは中央に吹き抜けのリビングを有し、全館空調方式を採用する住宅でよくみられる開放的な間取りとなっている。また全熱交換器が一体化した中央式空調・換気設備を有している。一方、静岡PHは各階で独立した複数居室を持っており、日本の従来型の間取りになっている。静岡PHの空調設備はシンプルで、主要居室にエアコン(各階に1台)が設置され、別途、全熱交換器を有した第一種換気設備が備わっている。

設計段階においてPHPPで計算された豊田PHの年間暖房熱負荷は11.2 kWh/m<sup>2</sup>(PH要求性能：15kWh/m<sup>2</sup>以下)、年間冷房熱負荷は16.9 kWh/m<sup>2</sup>(PH要求性能：22kWh/m<sup>2</sup>以下)であり、静岡PHでは最大暖房熱負荷が8.3 W/m<sup>2</sup>(PH要求性能：10kWh/m<sup>2</sup>以下)、年間冷房熱負荷が22.9 kWh/m<sup>2</sup>(PH要求性能：23kWh/m<sup>2</sup>以下)であった。参考として、豊田PHと同じ空間形状で、日本の省エネ基準(次世代省エネ基準相当)に相当する外皮断熱性能に変更した場合の計算結果との比較を図2に示す。暖房負荷は次世代外皮条件の約6分の1で、パッシブハウスの高い性能が確認できる。

表1. パッシブハウス認証基準

項目	上限値
年間暖房負荷 <sup>※1</sup>	15 kWh/m <sup>2</sup>
年間冷房負荷 <sup>※2※3</sup>	22 kWh/m <sup>2</sup>
瞬時最大暖房負荷 <sup>※1</sup>	10 W/m <sup>2</sup>
瞬時最大冷房負荷 <sup>※2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>
年間一次エネルギー消費量	120 kWh/m <sup>2</sup>
50Pa 差圧条件での換気回数	0.6 回/h

※1 いずれかを満たすこと ※2 いずれかを満たすこと

※3 愛知県豊田市での値

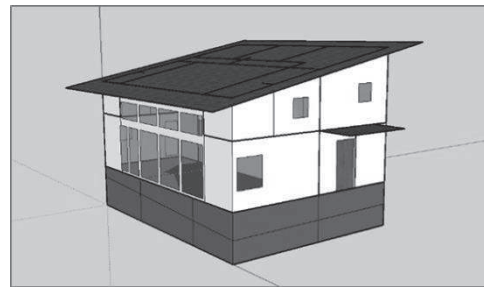


図1. 豊田PH外観モデル

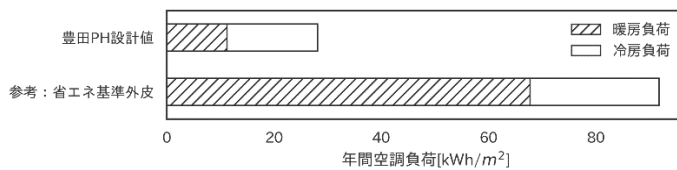


図2. 豊田PHと省エネ基準外皮条件との熱負荷の比較

#### 3.2 豊田PHの室内温湿度環境と空調用エネルギー消費の結果

2020年の豊田PHのHEMSデータと温湿度測定データを基に、一年間の実生活における空調エネルギー消費を分析した。図3に、暖房期間(1~5月と11~12月)と冷房期間(6~10月)における各居室と外気の時刻別平均温湿度を示す。外気的大幅な変化に関わらず、居室内の室温は暖房時22~24℃、冷房時24~26℃で、相対湿度は暖房時59~68%、冷房時62~70%で安定していたことがわかる。当該建物の近傍には河川があり、屋外環境は年間通じて非常に高湿度であり、乾燥しがちな

冬期にも適度な湿度が維持できた一方で、夏期の除湿負荷が設計時より大きかったと考えられる。また図4に空調用の日あたり消費電力量推移を示す。春・秋季の無空調期間はそれぞれ約1か月と1か月半程度であった。図5に暖房時期と冷房時期の各時刻別空調・換気用のエネルギー消費量を示す。暖房が稼働する時間は夜間と早朝であり起床後すぐの暖房運転でピークとなること、また暖房期間の日中は空調を稼働せずに室温が維持できていることが分かる。一方、冷房期間は日中午後であり、日射負荷の影響を受けていること、また暖房に比較して冷房の需要はかなり限定的であることが分かる。空調機のCOPを暖房時3.1、冷房時3.7と仮定し、年間の暖房・冷房用電力消費量を算出したところ、それぞれ16.6kWh/m<sup>2</sup>、11.9kWh/m<sup>2</sup>であった。これらをPHPP計算値の9.7kWh/m<sup>2</sup>、17.6kWh/m<sup>2</sup>と比較すると、暖房では大きく、冷房では小さい結果であった。またPHPPの認証基準値である15kWh/m<sup>2</sup>、22kWh/m<sup>2</sup>と比較すると、暖房では同程度、冷房では半分程度であった。

設計段階ではリビングの大開口部に備わっている外付けブラインドは冬期にオープンとし日射熱取得を得る想定であったが、実際には外部からの視線制御などの目的から常時半開の状態に固定されていたことが居住者へのヒアリングからわかっており、PHPPの設計結果よりも暖房負荷が大きい原因の一つと考えられた。配置や敷地外からの視線への対応を考慮しつつ、冬期の日射取入れを実現する手法が日本型PHの設計において配慮すべきポイントの一つといえる。

### 3.3 静岡PHの室内温湿度環境と空調用エネルギー消費の結果

図6に静岡PHの温湿度(2021/2/1~9/30)の分析結果を示す。居室平均温度は暖房時21~25℃、冷房時25~26℃であった。独立型の間取りであることなどから、豊田PHに比較して居室間の差がわずかに確認されたが、十分快適に生活できる温度範囲であった。相対湿度は年間通じて62~67%に収まっていた。図7に空調用電力消費量を示す。冷房期間の電力消費量は豊田PHに比較していっそう小さく、細分されたゾーニングにより空調負荷が抑制された可能性がある。建物が小規模で、家族間でも個室需要が多い日本では、このような準全館空調のスタイルは経済的にも受け入れられやすいのではないだろうか。また、いずれのPHも冷房用エネルギー消費がPHPPの基準より小さく、これはPHPPの冷房条件が25℃と低いこと、除湿負荷のみを適切に処理できる空調設備が一般的ではないこと、居住者が一時的な高湿度環境を許容していることなどが理由として挙げられる。

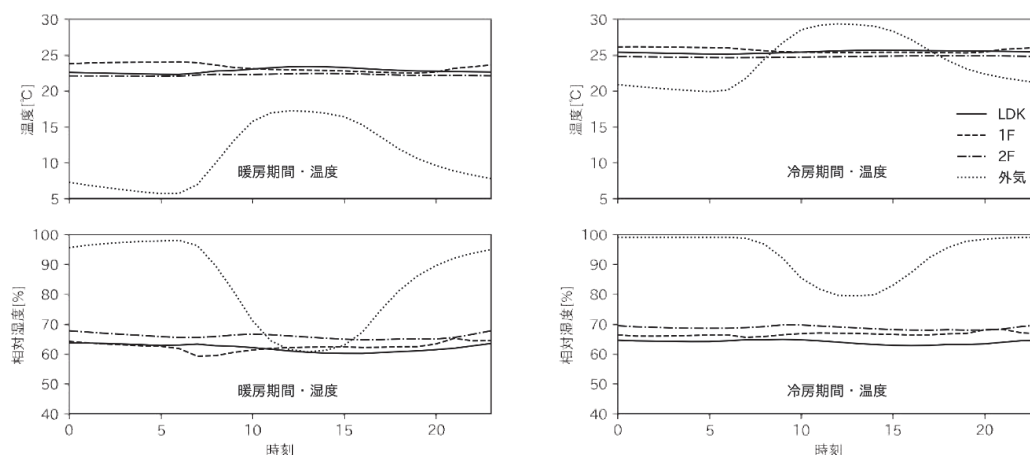


図3. 豊田PHの暖房(左列)・冷房(右列)の時刻別平均温度(上段)・相対湿度(下段)

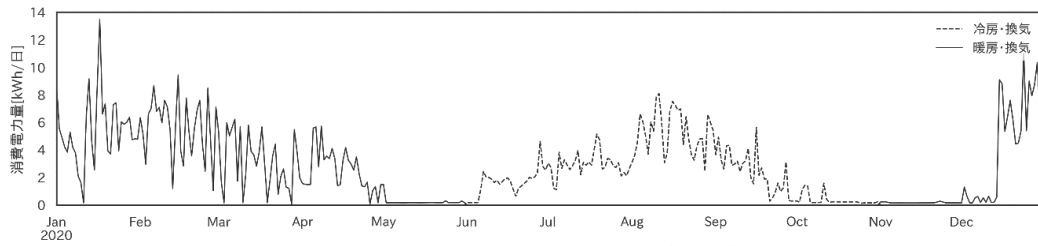


図4. 豊田PHの日あたり空調用消費電力推移

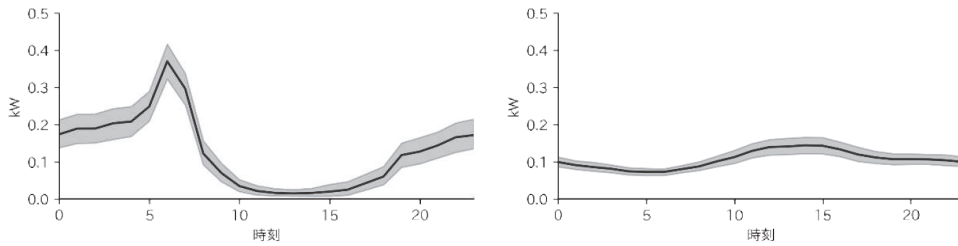


図5. 豊田PHの暖房期間(左)・冷房期間(右)の時刻別空調用消費電力(灰色は95%信頼区間)

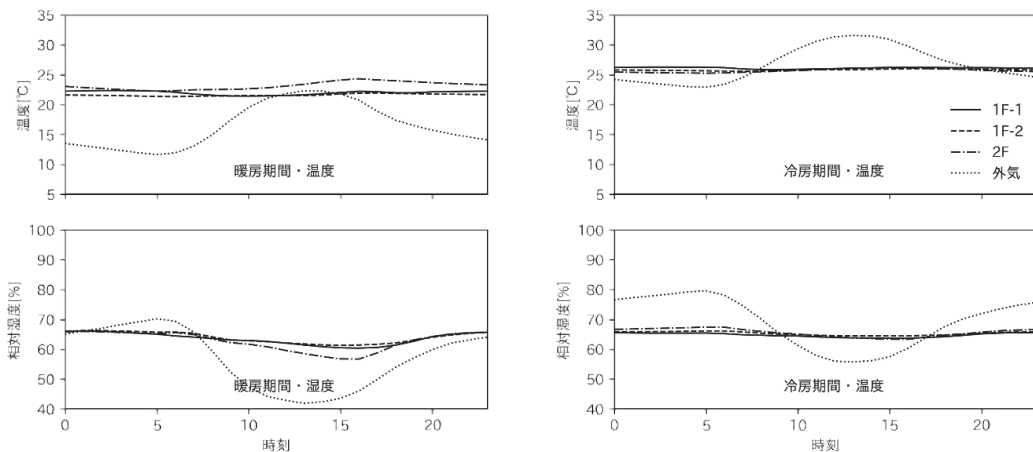


図6. 静岡PHの暖房時期(左)・冷房時期(右)の時刻別平均温度(上)・相対湿度(下)

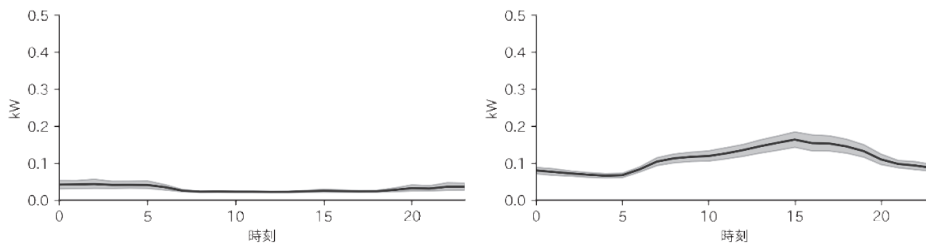


図7. 静岡PHの暖房時期(左)・冷房時期(右)の時刻別空調用消費電力(灰色は95%信頼区間)

### 3.4 静岡PHの二酸化炭素濃度測定の結果

PHは高い気密性を持つため、静岡PHのように小規模な居室が独立して配置される間取りでは、特に換気経路への配慮が重要と考えられた。そこで秋季(2021/10/16~11/14)に、静岡PHの1F二か所と2F二か所でCO<sub>2</sub>濃度の連続測定を実施した。図8に換気装置からの給気口(SA)と排気口



(RA)、またCO<sub>2</sub>濃度の測定箇所を示す。測定期間の時刻別平均濃度の結果を図9に示す。ほとんどの居室と時間帯では問題のない濃度だったが、主寝室では夜間から早朝にかけて1000ppmを超過する時間帯が確認できた。これは居室の気積が小さいことに加え、対象室への給気がWIC側で吸引されるため、居室内で新鮮空気が適切に拡散されないままショートカットしていることが原因と考えられた。なお、測定結果は設計主に伝えられ、換気効率改善のため子供部屋側から排気するように変更された。

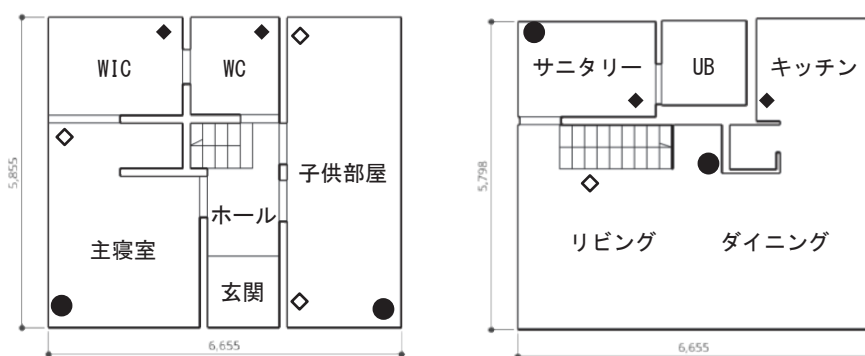


図8. 静岡PHの平面図(左1F・右2F) ●CO<sub>2</sub>測定位置, ◇SA, ◆RA

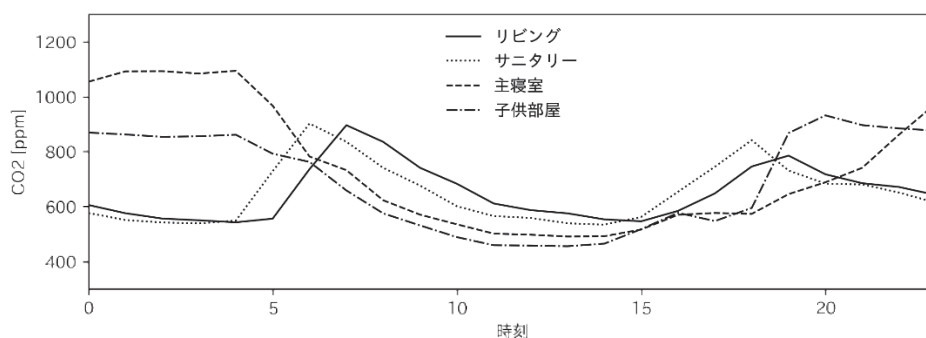


図9. 静岡PHの時刻別CO<sub>2</sub>濃度測定結果

#### 4. 日本型PHのガイドライン作成に向けて

立地の気候条件や建物利用条件を踏まえた日本型PHの設計ガイドラインを作成するには、さまざまな条件での動的シミュレーションを繰り返し(パラメトリックスタディ)、その中で最適となる組合せを選択する必要がある。ここでは割愛するが、本研究ではTRNSYS18を用い、豊田PHの詳細シミュレーションを行い、PHPPの計算結果との比較分析を行った。TRNSYSはLEEDを始めとし多くの環境性能認証に活用されている動的シミュレーションツールである。通常、TRNSYSのシステムシミュレーションでは計算条件を変更して自動的に複数条件の計算が実行できるパラメトリックスタディにおいて大きな強みがあるが、熱負荷計算で必要となる建物形状はTRNSYS以外のツール(SketchUpなど)の3Dデータを読み込む必要があるため、自動化処理が困難であった。しかし近年、3DモデリングツールであるRhinceros(Rhino)と、Rhinoのプラグインとしてモデリング作業をプログラミング可能なGrasshopperとの組み合わせによる3Dモデリングの自動化が可能となってきた。TRNSYSのデータ処理でも、建物形状をGrasshopperによりRhinoでモデル化するとともに、Grasshopper内のPythonモジュールでTRNSYSの計算ファイル(\*.b18, \*.d18など)を

記述・実行させる機能を持つプラグインとしてTRNLizardが提供されている<sup>6)</sup>。その一方で、TRNLizardに関する計算例は開発元を中心としたごくわずかな報告しかなく、実際にパラメトリックツールとして活用した事例はほとんど見られない<sup>7)</sup>。

本研究ではGrasshopper上で、TRNLizardとパラメトリックスタディを実現する機能を開発した。図10にGrasshopperの画面例を示す。この手法では、理論上TRNSYSで処理可能な条件を組み込むことができるため、日射量や室温などシミュレーション中に算出される数値を用いて外部日射遮蔽の開閉を行うなど、PHPPよりも積極的な制御の組み込みが可能である。本報告では、豊田PH相当の外皮性能を持つ直方体形状の居室(W11×D8×H3.5m, 図11参照)の南外壁面において窓の面積割合を20～80%までパラメトリックに変更し、室温が22℃以上でかつ窓面における日射量が140W/m<sup>2</sup>以上で外部日射遮蔽を閉鎖し、120 W/m<sup>2</sup>以下で開放するという制御を組み込んだ計算例を示す。自動計算により得られた7ケースの年間熱負荷計算結果を図12に示す。この事例では暖房熱負荷と冷房全熱負荷の合計値が開口率40%において最小となることが確認できた。

今後、複数居室を持つ建物での自動計算が可能となるよう、開発を進めていく。さらに計算結果からAIにより影響度の高い要素を抽出し、日本型PHの設計ガイドラインに繋げる予定である。

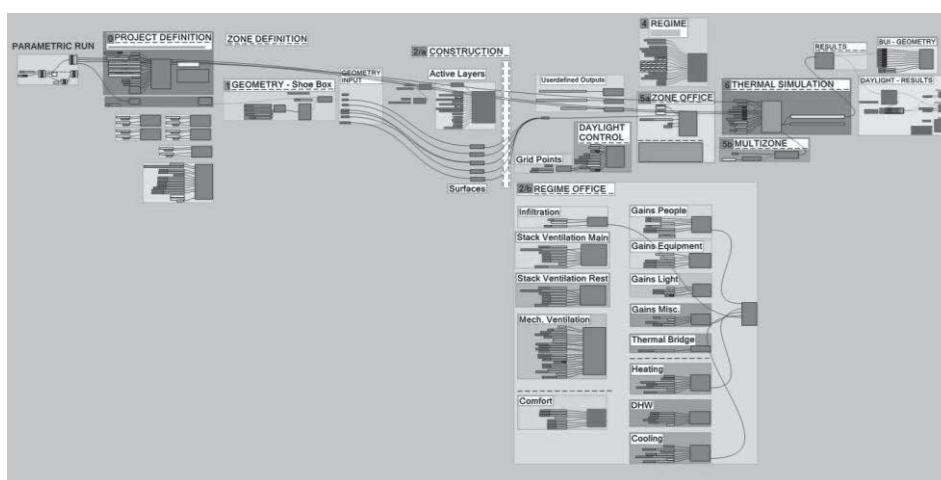


図10. GrassHopperとTRNLizardによるTRNSYSパラメトリック計算(Grasshopper画面)

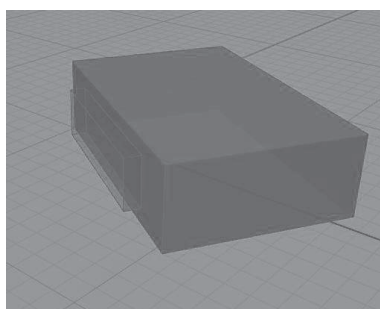


図11. Rhino6の建物モデル

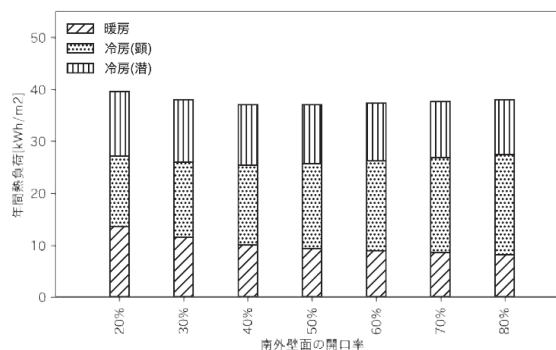


図12. 開口率を変えたパラメトリック計算結果

## 5. まとめ

前半では日本に建つ二件のパッシブハウスを対象に、温熱環境と空気質の分析を行った。いずれも常時快適な温熱環境にあることを確認した。両建物の比較から、独立した居室を持つ間取りのほうがよりエネルギー消費を抑えられる可能性があることが示唆された。その一方で、独立した間取りでは寝室空間では給排気位置や換気流量に特に注意すべきであることが分かった。冬期に日射熱を室内に取り込むべき開口部において、プライバシー保護の観点から日射遮蔽装置が閉じられたまままで使用されている点について、開口部設計の段階で十分考慮する必要がある。冷房に関してはPHPP基準よりエネルギー消費が小さい傾向にあった。これはPHPPで定める計算用の冷房温度が日本の実態より低めであることに加え、潜熱負荷を集中的に処理できる空調設備が備わっていないため、顕熱優先で冷房を運転させていることなどが原因と考えられた。

後半では日本型パッシブハウスの設計ガイドラインの作成に向けて、自動化されたパラメトリックスタディを実現するための計算環境をGrasshopper上で開発した。ここでは開口部割合を変化させて、冷房と暖房の合計負荷量を最小化できることを示した。

## 謝辞

両パッシブハウスの認証資料の提供ならびにデータの収集に関し、鎌倉寿建築設計室の鎌倉寿氏と居住者の皆様の協力を得た。豊田パッシブハウスのTRNSYSモデル作成に関し当時名城大学大学院修士課程の谷哉汰君の協力を、静岡パッシブハウスの空気質測定に関し当時名城大学4年生の藤吉優太君の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 我が国の住宅ストックをめぐる状況について, 国土交通省資料,  
<https://www.mlit.go.jp/common/001318639.pdf>
- 2) International Passive House Association, <https://passivehouse-international.org/index.php>
- 3) Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard, version 9f, revised 15.08.2016, Passive House Institute
- 4) 谷哉汰, 吉永美香, 鎌倉寿, 日本に建つパッシブハウスの認証用計算結果と冬期・中間期の実測結果の比較, 日本太陽エネルギー学会講演論文集, pp. 161-164 (2020)
- 5) 谷哉汰, 吉永美香, 鎌倉寿: 日本に建つパッシブハウスの温熱環境・エネルギー消費に関する年間分析, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, 第22号, pp. 9-12 (2021)
- 6) TRNLizard: Free plug-in for Rhinoceros/Grasshopper for parametric 3D building simulation, TRANSSOLAR, [www.transsolar.com](http://www.transsolar.com)
- 7) V. Hoang, E. Reisi, C. Frenzel, Investigating Night Flushing Potential in a Multi-Storey, Open-Plan Office in Germany Using TRNLizard with TRNSYS 18, Appl. Mech. Mater. 887 (2019) 451-458. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.887.451>.