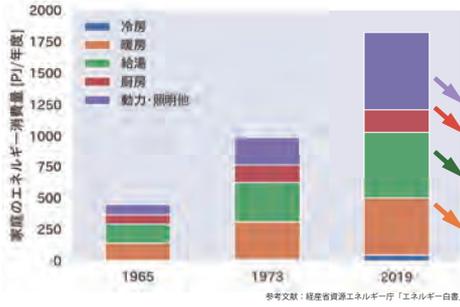


# 住宅のカーボンニュートラル化にむけて1 一太陽熱の給湯利用と太陽光発電による合理的 ZEH

太陽光発電「だけ」に頼っている ZEH は普及しない。正しい ZEH は「高断熱・太陽熱・太陽光」の三本柱で！



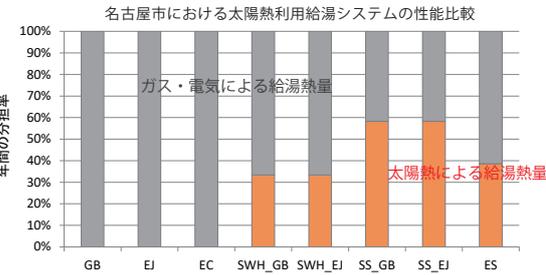
動力・照明・調理  
一 太陽光発電等の再生可能電力で  
給湯 — 太陽熱利用で  
暖房・冷房 — パッシブハウス基準の高断熱で

世界は太陽熱を使っている



太陽熱給湯システムの威力！

一番手軽な 4m<sup>2</sup> の太陽熱温水器でも、名古屋で年間給湯熱量の 32% が太陽熱で賄える。

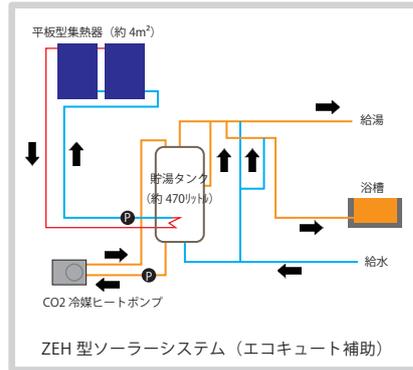
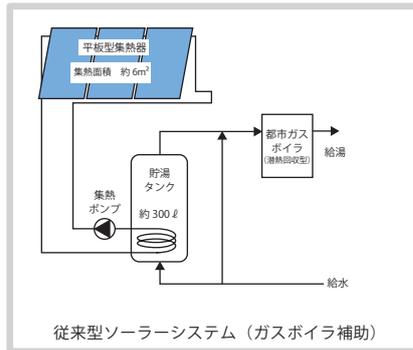
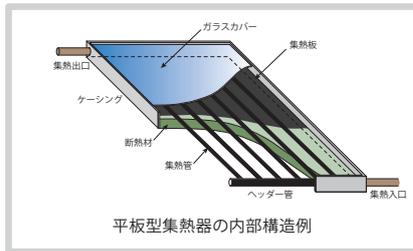


太陽熱有無	記号	システム概要	商品名・通称	集熱面積 [m <sup>2</sup> ]	タンク容量 [L]
x	GB	都市ガスボイラ(従来型)	都市ガス給湯器	-	-
x	EJ	都市ガスボイラ(潜熱回収型)	エコジョーズ	-	-
x	EC	強制循環・間接集熱	エコキュート	-	420
○	SWH_GB	自然循環・直接集熱	太陽熱温水器	4	200
○	SWH_EJ	自然循環・直接集熱	太陽熱温水器	4	200
○	SS_GB	強制循環・間接集熱・GB補助	ソーラーシステム	6	300
○	SS_EJ	強制循環・間接集熱・EJ補助	ソーラーシステム	6	300
○	ES	強制循環・間接集熱・EC補助	エコキュートソーラー	4	420

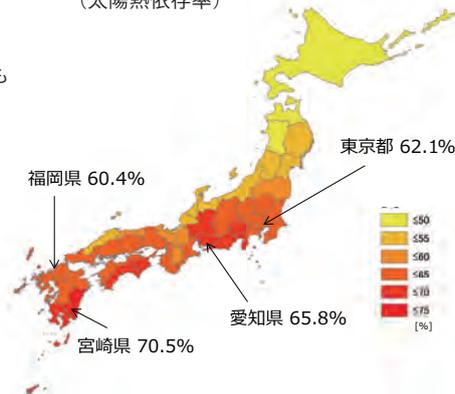
※ES の試算は夜間電力を使用する前提となっているため、太陽光発電・充電による昼間湧き上げを可能とするとさらに向上する。

平板型集熱器 6m<sup>2</sup> と貯湯槽 300 リットルで、温暖地域なら 60 ~ 70% の給湯が太陽熱で賄える。とくに寒冷地は給湯負荷が大きいので、太陽光発電よりも高効率に太陽エネルギーを利用できる。

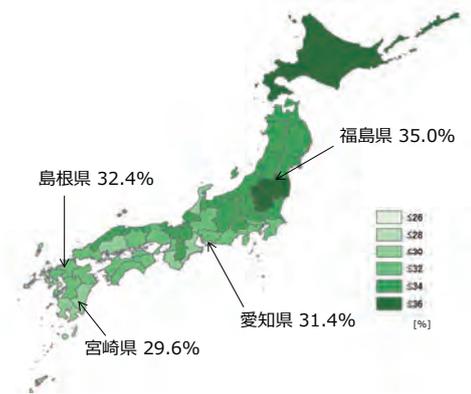
TRNSYS による年間シミュレーション結果  
気象条件：拡張アメダス標準気象データ (2010年)  
地点：47 都道府県の県庁所在地  
給湯パターン：Web プログラム 4 人世帯  
給湯温度：40℃  
平板型集熱器 (国内メーカー)：6m<sup>2</sup>, 南向き 30°  
貯湯タンク (国内メーカー)：300ℓ  
補助熱源：潜熱回収型ガス給湯器  
計算時間間隔 1分・積雪は考慮せず



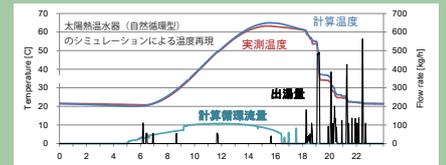
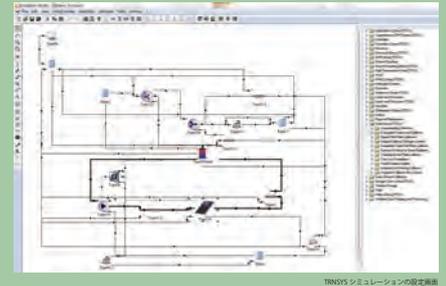
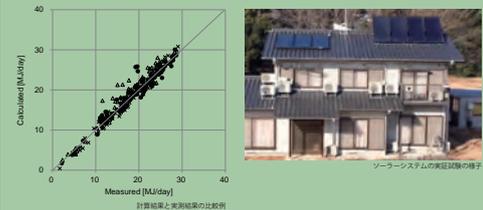
太陽熱による給湯負荷の分担割合 (太陽熱依存率)



太陽熱の最終変換効率



吉永研では、日本で販売されている太陽熱温水器 (自然循環型) 3種・ソーラーシステム (強制循環型) 3種・ソーラーエコキュート (ヒートポンプ補助ソーラーシステム) 2種のパフォーマンスを TRNSYS で精度よく再現することに成功しました。これにより太陽熱利用のネックであった設計段階の効果予測を格段に合理化できました。また太陽光発電・蓄電池との併用による住宅全体のエネルギーパフォーマンスの最適化の検討も行っています。



- ・PV/T (太陽光熱) ハイブリッドコレクター
  - ・ソーラークーリング
  - ・デシカント空調の再生用熱源
  - ・地中熱利用ヒートポンプの太陽熱アシスト
- などの応用システムも分析可能です。ご相談下さい。

# 住宅のカーボンニュートラル化にむけて2 ー日本型パッシブハウスと可変透湿シートによる内部結露防止ー

世界標準の高断熱・省エネ住宅「パッシブ・ハウス」

ドイツのパッシブハウス協会 (PHI) が認証するパッシブハウス (PH) 基準は世界トップレベルの省エネ住宅として、多くの国に広がっている。

PHI 認証条件

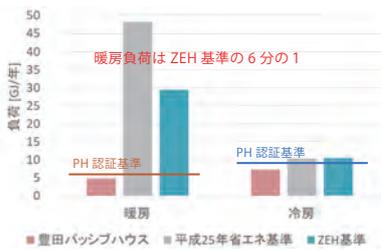
- A) 年間暖房負荷が 15kWh/m<sup>2</sup>a 以下 または 最大暖房負荷が 10W/m<sup>2</sup> 以下
- B) 年間冷房負荷または最大冷房負荷が PHPP で気候条件を考慮し設定される値以下
- C) 50Pa 差圧条件下での隙間風の換気回数が 0.6 回以下
- D) 年間一次エネルギー消費量 (暖房・冷房・給湯・一般電力合計) が 120kWh/m<sup>2</sup>a 以下



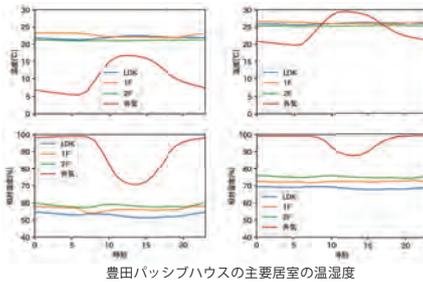
日本に建つ PHI 認証住宅 (2022.11 時点)

## 豊田パッシブハウスと日本の省エネ基準・ZEH 基準との断熱性能比較

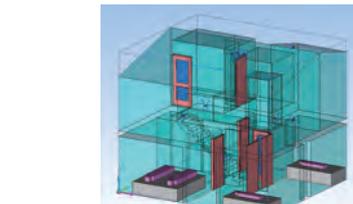
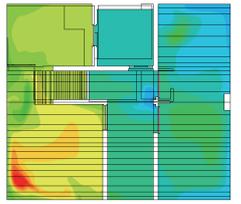
年間を通じて、1 台の小型エアコンを僅かに使うのみで 22 ~ 25℃ の快適な環境を維持できている。



豊田パッシブハウス (2019) 外観



## 第一種機械換気における換気設計の重要性



2F は給排気量が足りているが 1F 寝室に夜間の給排気量が不足する CFD 解析例

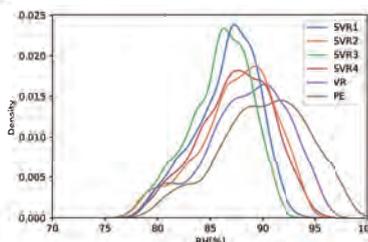
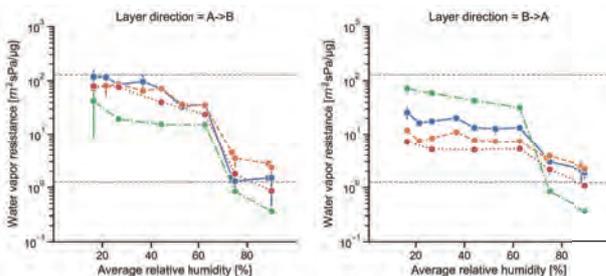
全熱交換器付の第一種機械換気設備は、従来型の第三種機械換気設備に比べて給気口・還気口の数が限定されるので、設計段階から居室用途と空調利用に応じた換気経路の確保に注意する必要があります。特に、以下の場合に注意を要する。

- ・独立型の居室配置 (間仕切りが多く、新鮮外気が居室を經由して拡散され難い)
- ・独立した寝室 (ドアや窓の開閉がほとんどなく長時間滞在しやすい)
- ・分離型の冷暖房/換気設備を採用 (温熱環境は良好なので換気量の不足に気が付きにくい)

## 可変透湿シートを用いた高断熱住宅における夏型結露防止

外壁の冬型結露を防止するために設置する室内側 PE シートは、夏型結露の発生リスクを増大する。PE シートの代わりに可変透湿シート (海外では Smart Vapor Retarder、日本では調湿シートと呼称される) を使うことで、夏・冬どちらの季節も内部結露を防止できる。可変透湿シートの透湿抵抗特性を正確に測定する基準は決められておらず、商品は販売されているものの性能比較ができないことが問題であったが、吉永研では可変透湿シートの適切な測定方法を確立し、主要な商品間の特性の違いを明らかにした。

GINTRONIC 社製 GraviTest 6400-50 薄膜材料から 50mm 厚までの材料の透湿度を高精度に測定する。0.0001g の精度で質量変化を自動記録でき、測定カップに設置したサンプルを 6 カップ同時に測定可能。ISO 2528 をはじめ多くの国際評価基準に適合している。

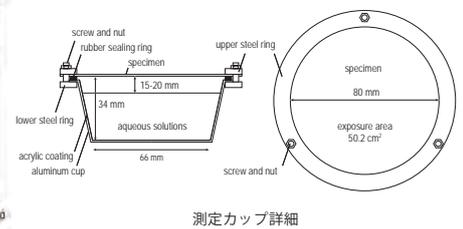


吉永研では、パッシブハウス・ジャパンの協力を得て、日本の温暖地域に建設された PHI 認証を受けたパッシブハウスの運用実績の分析を行っています。分析手法は、HEMS の毎時データを Python で処理する方法が主流です。これは長年研究室で行ってきた非住宅建物における BEMS データの解析手法を、そのまま住宅に当てはめた格好で、高速かつ汎用性が高いといった特徴があります。室内温湿度やエネルギー消費等の分析結果は設計者・居住者へのフィードバックを行っています。一部の PH では CO<sub>2</sub> 濃度の追加測定・分析を行ったり、換気性能に関する CFD 解析も併用したりして、供用後のオペレーション改善へのアドバイスも行っています。

また、PassiveHouseDatabase<sup>1</sup> に掲載された PHI 認証を受けた日本国内の住宅を対象に分析を行い、PH に近いレベルの省エネ住宅を簡便かつ安価に設計するためのコツを整理しています。例えば、日本の ZEH だと外壁の断熱厚さは 100mm 程度ですが、PH だと 300mm 必要です。高品質な断熱材ですっきりさせるか、安価な GW をしっかり重ねるかなどに選択の余地があります。寒冷地では暖房期間に日射を多く取り入れる (ダイレクトゲイン) ための南向き窓を必要としますが、温暖地では夏の冷房負荷を増やしてしまうので、必ず外ブラインドと一緒に。温暖地ではむしろ、開口面積を抑制し、冷房負荷と暖房負荷のバランスを取る作戦のほうが簡単かもしれません。窓 (最低でも三重ガラス+樹脂が木の混構造サッシ)・ドア・第 1 種全熱交換換気設備などで、残念ながら PHI 基準に適合する国産パーツはたいへん少ない状況です。国内建材メーカーにも頑張っていたが、日本全体で日本に最適な PH/ZEH を作ることができる土壤を作らなくてはいけないと感じています。

<sup>1</sup> <https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en>

Gravitest のような透湿抵抗を高精度に測定する装置は日本にはまだ殆どありません。可変透湿シートの開発は、主に食品分野で進んでいる (パンの湿度管理、果物のカビ防止など) ようですが、建材としてのシートは耐久性・施工性を担保するため、一般に 2 層または 3 層の複層構成となっており、湿気挙動はさらに複雑です。吉永研では、ISO で示されているドライカップ法 (カップ内に乾燥剤を入れる方法) では、脱水反応によりシートが持つ透湿特性が変わってしまうこと、2 層タイプでは方向依存性があることなどを 2022 年に明らかにしましたが、開発元である一部のメーカーではドライカップで自社製品の評価をされているようで、メーカーの推奨設置向きが適切ではないケースもみられます。建材以外の各種メンブレンの透湿性能測定についても、ご相談ください。



# オフィスビル等のカーボンニュートラル化にむけて — 空調設備の運用改善・改修のための性能検証 —

## 性能検証（コミッションング）

どの建物でも、空調設備の省エネ化の余地は大きい。できれば**第三者が客観的に確認**することで、**低炭素・省エネ・省コスト・安全・安心**が得られる。

- ① 設計・契約された能力が発現しているか
- ② 運用・制御に適正化の余地はないか
- ③ 故障またはその前兆はないか

## 吉永研で行っている簡易コミッションング

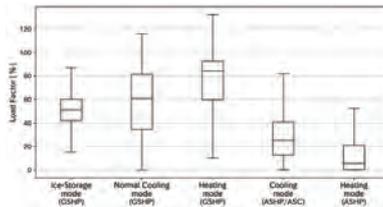
通常、熱源側（1次側）と2次搬送系を中心に行い、報告は可視化（グラフ）資料・プレゼンにより行います。（BEMS などにより自動記録された連続情報を使用するので、運転情報が記録されていない場合は実施できません）

### ■ 提供いただく情報

- ・ **BEMS の日報データ**（1時間単位のデータが一日毎に1～数個の csv ファイルで保存されていることが多い）
- ・ 空調設備の設計図書（機器表、ダクト図・配管図、中央監視情報一覧など）
- ・ 管理記録（調整、修理、交換などの情報）など

### ■ 分析方法（Python 使用）

1. 一日ごとの csv ファイルを対象期間すべて時系列に連結
2. 外れ値、欠損、不正値のチェックと原因の確認
3. 熱源機の定格出力の発現チェック
4. 熱源機の定格 COP/ 効率に対する妥当性チェック
5. 熱源機の冷温水出口温度の妥当性チェック
6. 冷却水温度、冷却水ポンプの INV 制御の妥当性チェック
7. 蓄熱システムの場合は蓄熱・放熱に関する妥当性チェック
8. 熱源機の台数制御（増段・減段・ローテーション）の妥当性チェック
9. 搬送系 WTF の妥当性チェック



熱源機の増段不具合で超低負荷運転になっている例

## 不具合（と不具合ではないが気になった）事例

### ■ 熱源機まわりの指摘事例

- ・ 熱源機の**冷温水出口温度が盛夏にも定格（7℃）に至っていない**。  
→ 圧縮機の INV 設定のミスが発見された。
- ・ 同じ製品の熱源機 2 台で、冷却水温度は同じにも関わらず、全期間を通じて COP に差がある。  
→ メーカー確認へ。
- ・ 氷蓄熱槽への**蓄熱量が設計蓄熱容量の 6 割程度しかない**。  
→ 放熱側の流量の不足、放熱完了判定のミス、残蓄による放熱ロスなど複数の不具合が発見された。
- ・ 2 台目の**増段が早すぎ**で、2 台ともが常時低負荷率での運転になっている。  
→ 1 台目のほうが高 COP 機で部分負荷特性も良好だったため、増段を遅らせるよう変更された。

### ■ 二次ポンプまわりの指摘事例

- ・ INV を搭載しているにも関わらず、**ポンプが 1 割までしか絞っていない**。  
→ INV の下限は 50% になっていたが、吐出圧が高すぎる設定となっていた。
- ・ ポンプは 5 台あるが、盛夏の最大でも 2 台しか動いていない。  
→ 過剰設計だったが、予備があるということで…。
- ・ 並列で 4 棟ある建物のうち、往還温度差が 10℃ある建物も 2℃の建物もあった  
→ 行きヘッダでのバルブ調整を検討へ。

### ■ その他の残念な事例

- ・ BEMS 記録上の名称、単位が間違っている。
- ・ 電力量計や流量計の**測定レンジと実際の電力量・流量計の大きさが合っていない**。  
（大きすぎる電力量計を付けると、記録が 0.01 と 0.00 の交互となり、折角の記録なのに精度が低くなる）
- ・ 複数の機器の電力消費を**動力盤で一括して取っている**ので、機器ごとの COP や WTF が算出できない。
- ・ スパイラルダクトで設計されていた大規模室に、フレキシブルダクトで施工されたため、後方に到達していない。
- ・ 故障した古い INV を撤去せずに経由して使っていたので、常時電気抵抗でロスしている。

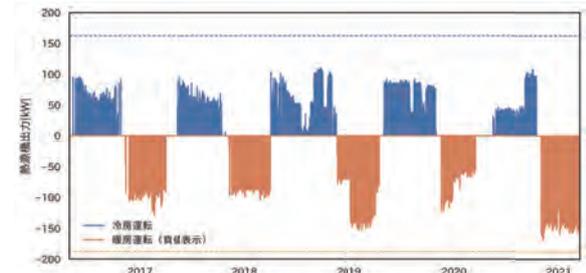


フレキダクト使用で後方に給気が不足している例（CFD による再現図）

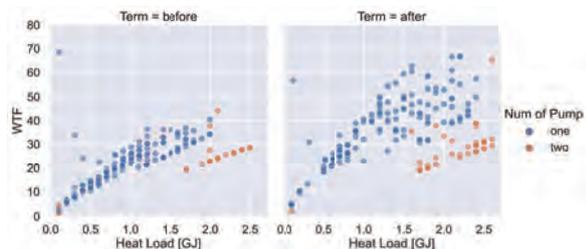
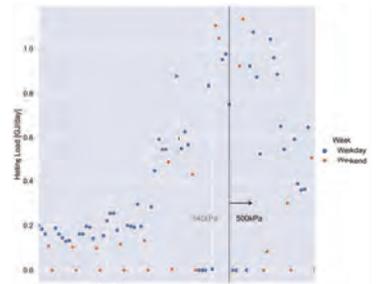
吉永研では、BEMS 記録データを利用した、非住宅建物の簡易コミッションングを行っています。これまでに、教育施設、事務所ビル、スポーツセンター、病院などを対象に行ってきました。新築建物の場合、不具合や改善の可能性が分かった場合に、設計・施工者の協力を得てすみやかに実際の運用に反映させることが可能です。竣工後 1 年（冷房運転と暖房運転の両方がある期間）はとてもよい検証タイミングです。既存建物の場合でも、搬送系の改善は安価で簡単にできるものが多いので、ぜひ検討ください。

ZEB を目指して作られた建物や、各種の省エネ関係の補助金を使用して作られた建物の場合、多くの省エネ技術を併用していることがあります。竣工後、どの技術がどのくらいの効果を得ているのかは、一度冷静に検証すると良いでしょう。もしかすると、冗長なシステムになっているかもしれません。空調設備は、維持管理を無視することはできません。できるだけ早い段階で客観的な検証を行い（行ってもらい）、日々の管理と、10 年後、20 年度の更新時に何を優先的に改修するべきかなどを知っておくと、合理的で無駄のない運用ができると思います。

ちなみに、これまでの経験上、コメントすべきことがまったくない物件は、ほとんどありません。逆に、指摘しなくてはならない深刻な事象のある物件は、大小含めた雑多な指摘が大量にあるケースです…。設計者も施工者も人間です。悪意はなくてもミスはありますから、お互い冷静に、早い段階で解決しておきましょう。設計事務所・ゼネコン・サブコンさんには、自分で設計も施工もしないクセにケチばかり付けて…なんていわれそうですが、地球の未来のためご容赦ください！



熱源機の冷房・暖房出力が定格値に至っていない例



ポンプの吐出圧設定と INV 下限値を修正した結果 WTF が改善した例