

「戸建住宅の推奨気密性能提案」に関する研究
報告書

2020年3月31日
ものづくり大学 建設学科
松岡 大介

目次

| | |
|--|------|
| 1. はじめに | … 1 |
| 2. 欧米における気密性能基準に関する調査 | |
| 2.1 調査の目的 | … 3 |
| 2.2 調査方法 | … 3 |
| 2.3 調査結果 | … 3 |
| 2.4 調査のまとめ | … 5 |
| 3. 設計要素と気密性能分析 | |
| 3.1 目的 | … 6 |
| 3.2 研究概要 | … 7 |
| 3.3 分析結果 | … 8 |
| 3.4 まとめ | … 18 |
| 4. 各取り合い部気の密試験 | |
| 4.1 測定概要 | … 19 |
| 4.2 測定結果 | … 22 |
| 4.3 まとめ | … 30 |
| 5. 冬期の内外差圧の実住宅測定（HEAT20 レベル住宅） | |
| 5.1 はじめに | … 31 |
| 5.2 内外差圧実測 | … 31 |
| 5.3 簡易住宅モデルによる換気計算 | … 34 |
| 5.4 まとめ | … 36 |
| 6. 気密性能の違いによる室内環境 CFD 解析 | |
| 6.1 換気回路網計算による各部の通気量 | … 37 |
| 6.2 CFD 解析 | … 41 |
| 7. まとめと今後の課題 | … 43 |
| APPENDIX-1 本研究成果の公表 日本建築学会大会投稿論文 | |
| APPENDIX-2 本研究の体制および研究検討（HEAT20 委員会気密 TG）議事録 | |

1. はじめに

深刻化の一途を辿る地球温暖化とエネルギー問題。その対策のために「2020年を見据えた住宅の高断熱化技術開発委員会（以下 HEAT20）」が有識者と住宅・建材生産者団体の有志によって2009年に発足した。HEAT20は長期的視点に立ち、住宅における更なる省エネルギー化を図るため、断熱などの建築的対応技術に着目し、住宅の熱的シェルターの高性能化と居住者の健康維持と快適性向上のための先進的技術開発、評価手法、そして断熱化された住宅の普及啓蒙を目的として活動している。その活動の成果の一つとして、2015年4月に暖房負荷削減と冬期の住宅内最低温度の観点から、省エネ基準（H25年基準）を上まわる推奨水準（G1,G2）を定めて社会（市場）に提案している¹⁾。

しかしながら、従来の省エネ基準で断熱と一体であった気密性能については、現在は省エネ基準（2013年4月施行）から外れており、HEAT20が目指すような高性能断熱住宅の気密性能の目標がない状態である。そこで、合理的な施工技術を踏まえた気密性能目標を検討し、提案することを目的として、HEAT20の中に気密性能評価TG（主査：松岡・本申請代表者）が2017年9月に設置され、検討を開始している。

コスト的にも技術的にも合理的な水準を提案するためには、隙間の大きい部位から対処すべきである。しかし現状、どこにどの程度の隙間があるのか明確にはなっていない。戸建住宅の各部の隙間の把握については、これまでに実住宅での目張りの有無によるもの²⁾、部位の試験体によるもの^{3) 4) 5)}、実大試験体によるもの⁶⁾などが行われてきている。しかし、目張りの有無の相当隙間面積（以下 αA ）の差を対象部位の隙間面積とした場合は、実状の内外差圧が9.8Paと大きく外れると、隙間特性値（ n 値）により通気量は大きく異なるという問題がある。また、試験体によるものは αA と n 値が提示されているので、内外差圧が分かれば通気量が計算できるが、現在では根太レス工法が大勢を占めるなど、試験当時の収まりが一般的ではなくなってきている。

一方で、流体解析（CFD）による室内環境、特に冬期の上下温度差や足元温度についての環境評価も盛んになってきている^{7) 8)}。そのためには、サッシや外壁と床の取合い部の隙間などからの外気侵入量が入力値として必要となるが、明確な根拠がないままCFD計算が行われているのが現状である。

以上より本研究では、推奨気密性能を提案することを目的として、対象を在来軸組工法のHEAT20推奨断熱性能の住宅に絞り、実住宅測定や試験体による実験などを実施する。

参考文献

- 1-1) HEAT20設計ガイドブック作成WG:HEAT20設計ガイドブック,建築技術,2015.4
- 1-2) 石川 善美ほか：東北地方の戸建住宅を対象とした部位別気密性能の実測結果について，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学, pp619-620, 1992.8
- 1-3) 布井洋二ほか：住宅における各種気密ジョイント部の気密性能に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.3-4, 2000.9
- 1-4) 廣田誠一ほか：住宅における各種気密ジョイント部の気密性能に関する研究（続報）その2，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.11-12, 2001.9
- 1-5) 坂部 芳平ほか：枠組壁工法住宅の躯体を構成する部位の隙間特性の把握と気密性能の研究，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.353-356, 2005.8
- 1-6) 服部 哲幸ほか：木造軸組住宅の納まり別気密性能と高気密化に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.325-326, 2004.8

- 1-7) 暮らし創造研究会, 前真之監修: 心地よい住まいの暖房計画,
<http://kurashisozo.jp/behavior/detailed.html#a04>, 2018.11.16 参照
- 1-8) 山下大樹ほか: 数値流体解析を用いた断熱性能の違いによる住宅内温熱環境の経時変化の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ, pp609-610, 2018.9

2. 欧米における気密性能基準に関する調査

2.1 調査の目的

欧米における住宅外皮の気密関連性能の指標および基準値について情報を収集し、HEAT20における相当隙間面積の推奨水準の検討において参考とする。

2.2 調査方法

インターネットの公開情報を収集し、国別の指標および基準値を整理する。また、基準値については、床面積あたりの相当隙間面積（c 値）に換算する。

2.3 調査結果

インターネットの調査を行ったところ、北米 2 か国、欧州 10 か国、Passive House の指標および基準値の情報を得た。

表 2-1 に、欧米で用いられている指標の概要を示す。指標は 4 種あった。隙間面積（NL）、換気回数（ACH）、漏気量（q50、q4Pa_surf）を用いる指標があった。また、床面積あたり（NL）および外皮面積（q50、q4Pa_surf）あたりで示される指標があった。差圧の条件は 4、10、50[Pa]の 3 種があった。指標のうち ACH については、50[Pa]時の値を n50 と称する場合がある。

表 2-1 欧米で使用されていた気密関連性能の指標の概要

| 指標 | 単位 | 概要 |
|-----------|---|---|
| ACH | [ac/h] | Air change rate 1 時間あたりの換気回数。 本調査では 50[Pa]時の値を採用する国があった。 50[Pa]時の値を n50 と称する場合がある。 |
| NL | [cm ² /m ²] | Normalized Leakage 床面積あたりの隙間面積。 本調査では 10[Pa]時の値を採用する国があった。 |
| q50 | [m ³ /(h・m ²)]または [L/(s・m ²)] | 50[Pa]時の外皮面積あたりの漏気量。 |
| q4Pa_surf | [m ³ /(h・m ²)] | 4[Pa]時の外皮面積あたりの漏気量。 |

表 2-2 に、国別の基準値を示す。国内の地域区分、住宅と非住宅の別、戸建て住宅と集合住宅の別、機械換気と熱回収の有無、床面積により基準値が異なる国があった。

表 2-2 欧米の気密関連性能の基準値(特記なき場合は住宅の基準である)

| 国 | 適用条件 | 基準値 | 指標 | 参考文献 | 相当隙間面積換算値 [cm ² /m ²] | |
|---------------|----------------------------|--|------------|-------|---|---|
| アメリカ | Climate Zone1-2 | ≦5 [ac/h] | ACH 50[Pa] | 1) | 3.0 | |
| | Climate Zone3-8 | ≦3 [ac/h] | | | 1.8 | |
| カナダ | | ≦1.5 [ac/h] | ACH 50[Pa] | 2) | 0.9 | |
| | | ≦0.7 [cm ² /m ²] | NL 10[Pa] | | 0.7 | |
| スウェーデン | | 0.6 [L/(s・m ²)] | q 50[Pa] | 4) | 1.3 | |
| デンマーク | | ≦1.5 [L/(s・m ²)] | q 50[Pa] | 4) | 3.2 | |
| | nearly zero energy house | 0.5 [L/(s・m ²)] | | 4),5) | 1.1 | |
| イギリス | 住宅・非住宅 | <10 [m ³ /(h・m ²)] | q 50[Pa] | 3),4) | 6.0 | |
| | national dwellings | 5 [m ³ /(h・m ²)] | | 4) | 3.0 | |
| アイルランド | 住宅・非住宅 | ≦7 [m ³ /(h・m ²)] | q 50[Pa] | 3) | 4.2 | |
| ドイツ | <1500 [m ²] | 機械換気なし | n50 | 3),5) | 1.8 | |
| | | 機械換気あり | | | <1.5 [ac/h] | — |
| | >1500 [m ²] | 機械換気なし | q 50[Pa] | 3) | 2.7 | |
| | | 機械換気あり | | | <2.5 [m ³ /(h・m ²)] | — |
| フランス | 戸建て住宅 | ≦0.6 [m ³ /(h・m ²)] | q4Pa_surf | 3),4) | 1.9 | |
| | 集合住宅 | ≦1 [m ³ /(h・m ²)] | | | — | |
| ベルギー | ブリュッセル地域 | ≦0.6 [ac/h] | n50 | 4) | 0.4 | |
| チェコ | 住宅・ 非住宅 | 機械換気なし | ACH 50[Pa] | 3),5) | 2.7 | |
| | | 機械換気あり | | | 1.5 [ac/h] | — |
| | | 機械換気あり(熱回収) | | | 1 [ac/h] | — |
| ポーランド | | 機械換気なし | n50 | 3) | 1.8 | |
| | | 機械換気あり | | | 1.5 [ac/h] | — |
| ラトビア | | 機械換気なし | q 50[Pa] | 3) | 1.8 | |
| | | 機械換気あり | | | 2 [m ³ /(h・m ²)] | — |
| | | 機械換気あり(熱回収) | | | 1.5 [m ³ /(h・m ²)] | — |
| Passive House | | ≦0.6 [ac/h] | ACH 50[Pa] | 6) | 0.4 | |

表 2-3 に、国別の基準値を相当隙間面積に換算する際の計算条件を示す。隙間特性値 (n 値) は 1.5 とした。計算では、JIS-A2201-2016 に示される式を参考として通気率 (a) を算出し、これを用いて内外圧力差 9.8[Pa]時の総相当隙間面積 (αA) を算出し、それを延べ床面積で除して相当隙間面積を算出した。対象は戸建て住宅を含む基準値とし、集合住宅のみの基準値は対象としなかった。また、機

械換気がある場合の基準値については、室内外圧力差の条件が不明であることから換算しなかった。

前掲表 2-2 の右欄に、国別の基準値を相当隙間面積に換算した結果を示す。ACH 50[Pa]および n50 の相当隙間面積への換算結果は、0.4 (ベルギー、Passive House) ~3.0 (アメリカ Climate Zone1-2) [cm²/m²]となった。NL の相当隙間面積への換算結果は、0.7 (カナダ) [cm²/m²]となった。q50 の相当隙間面積への換算結果は、1.1 (デンマーク) ~6.0 (イギリス) [cm²/m²]となった。q4Pa_surf の相当隙間面積への換算結果は、1.9 (フランス) [cm²/m²]となった。

表 2-3 国別の基準値を相当隙間面積に換算する際の計算条件

| 計算条件 | | 備考 |
|-------|--------------------------|----------------------------|
| 延べ床面積 | 120.08 [m ²] | 基準策定モデル |
| 階高 | 2.6 [m] | |
| 気積 | 312.21 [m ³] | |
| 外皮面積 | 308.07 [m ²] | 基準策定モデル |
| 外気温 | 16.7 [°C] | 拡張アメダス 2001-2010 版、東京の年平均値 |
| 隙間特性値 | 1.5 [-] | |

2.4 調査のまとめ

欧米における住宅外皮の気密関連性能に関するインターネット公開情報を調査し、12 各国において用いられている指標および基準値の情報を得た。

参考文献

- 2-1) Air Leakage Guide, U. S. Department of Energy (2011)
- 2-2) 2012 R-2000 Standard (2012)
- 2-3) Building and ductwork airtightness requirements in Europe (2018)
- 2-4) INDOOR AIR QUALITY, THERMAL COMFORT AND DAYLIGHT (2015)
- 2-5) European project P157 (2009)
- 2-6) Passive House iPHA ホームページ
- 2-7) Exegesis pf Proposed ASHRAE Standard 119

3. 設計要素と気密性能分析

3.1 目的

本研究では、高気密化を図るために、設計や施工方法の留意すべき点を提示することを最終目的とし、まずは近年の高気密住宅の気密測定値について、プランや断熱仕様など、図面から読み取った様々な要素と気密性能との関係性を分析して、気密性を高める際の設計上留意すべき点を把握することを目的とする。なお、解析元の気密測定値は住宅関連各社から提供を受けた。中部地方を中心とする48戸（以降この群を「イビケン」と表記する）と、「2020年を見据えた住宅の高断熱化技術開発委員会」の賛助会員会社から提供の、全国各地60戸のデータ（以降この群を「HEAT20」と表記する）について分析した。

| 郡名 | 新築 既築 改修 | 測定時期 気密完了時 竣工時 空目録 | 住所 | 工法 | 床面積(㎡) | | | | 延床面積 | 外皮面積 | 高さ | 長外壁延床 | 長外壁延床 | 窓面積 | 窓周長 | 気積 | 地域区分 | HEAT20 | | 外皮性能 | | 熱気密係数 | 断熱仕様 | 窓仕様 | 天井 | | |
|----|----------------|-----------------------------|-------|----|--------|-------|------|----|-------|------|------|-------|-------|-----|-----|-----|------|--------|----|------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| | | | | | G1 | G2 | UAE | Q値 | | | | | | | | | | U値 | Q値 | | | | | | | | |
| C郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 63.7 | 65.0 | 0 | 128.7 | 340 | 8123 | 59 | 84 | 27 | 85 | 436 | 6 | ○ | ○ | 0.43 | 1.2 | 8.06 | SU100 | --- | --- | --- | |
| A郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 63.0 | 63.0 | 0 | 126.0 | 336 | 7718 | 52 | 75 | 25 | 87 | 427 | 6 | ○ | ○ | 0.48 | 1.4 | 8.06 | SU100 | --- | --- | --- | |
| W郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 119.2 | 0.0 | 0 | 119.2 | 429 | 5110 | 42 | 56 | 26 | 76 | 559 | 6 | ○ | ○ | 0.37 | 1.40 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| A郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 49.7 | 58.8 | 0 | 108.5 | 313 | 8360 | 55 | 81 | 25 | 96 | 414 | 6 | ○ | ○ | 0.45 | 1.49 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| S郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 66.2 | 67.1 | 0 | 133.3 | 360 | 6560 | 61 | 87 | 25 | 99 | 595 | 6 | ○ | ○ | 0.48 | 1.40 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| S郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 54.3 | 57.1 | 0 | 111.4 | 378 | 6300 | 80 | 111 | 33 | 110 | 446 | 6 | ○ | ○ | 0.46 | 1.48 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| Y郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 77.4 | 45.6 | 0 | 123.0 | 420 | 6300 | 70 | 95 | 28 | 91 | 525 | 6 | ○ | ○ | 0.44 | 1.48 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| M郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 100.2 | 0.0 | 0 | 100.2 | 488 | 3500 | 76 | 90 | 33 | 110 | 449 | 6 | ○ | ○ | 0.48 | 1.48 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| H郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 165.5 | 0.0 | 0 | 165.5 | 625 | 4595 | 70 | 94 | 30 | 99 | 754 | 6 | ○ | ○ | 0.39 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| A郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 64.4 | 61.3 | 0 | 125.7 | 387 | 6300 | 74 | 104 | 31 | 112 | 495 | 6 | ○ | ○ | 0.45 | 1.48 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| C郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 107.7 | 0.0 | 0 | 107.7 | 388 | 3500 | 58 | 72 | 28 | 89 | 521 | 6 | ○ | ○ | 0.42 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| A郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 79.9 | 28.2 | 0 | 108.1 | 407 | 6450 | 66 | 80 | 27 | 86 | 383 | 6 | ○ | ○ | 0.45 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| K郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 95.0 | 48.3 | 0 | 143.3 | 492 | 6772 | 43 | 68 | 30 | 101 | 527 | 6 | ○ | ○ | 0.43 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| N郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 95.7 | 65.4 | 0 | 161.1 | 455 | 5700 | 83 | 112 | 37 | 121 | 590 | 6 | ○ | ○ | 0.45 | 1.4 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| T郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 55.7 | 45.6 | 0 | 101.3 | 375 | 5760 | 49 | 74 | 23 | 76 | 389 | 6 | ○ | ○ | 0.45 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| M郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 141.2 | 0.0 | 0 | 141.2 | 480 | 6250 | 53 | 78 | 28 | 98 | 107 | 588 | 6 | ○ | ○ | 0.37 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- |
| B郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 143.8 | 0.0 | 0 | 143.8 | 517 | 3500 | 65 | 78 | 24 | 83 | 430 | 6 | ○ | ○ | 0.39 | 1.4 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| H郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 65.5 | 0.0 | 0 | 65.5 | 432 | 5800 | 48 | 62 | 18 | 70 | 452 | 6 | ○ | ○ | 0.37 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| M郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 123.3 | 0.0 | 0 | 123.3 | 467 | 4390 | 67 | 72 | 26 | 82 | 491 | 6 | ○ | ○ | 0.37 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| H郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 101.4 | 0.0 | 0 | 101.4 | 377 | 2944 | 47 | 50 | 20 | 77 | 452 | 6 | ○ | ○ | 0.36 | 1.4 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| K郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 102.7 | 68.1 | 0 | 170.8 | 456 | 7150 | 75 | 101 | 31 | 125 | 637 | 6 | ○ | ○ | 0.40 | 1.1 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| M郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 98.3 | 0.0 | 0 | 98.3 | 364 | 5140 | 51 | 65 | 29 | 85 | 429 | 6 | ○ | ○ | 0.40 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| O郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 99.3 | 0.0 | 0 | 99.3 | 414 | 4300 | 70 | 84 | 25 | 74 | 398 | 6 | ○ | ○ | 0.39 | 1.7 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| K郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 85.8 | 49.7 | 0 | 135.5 | 344 | 5485 | 70 | 94 | 25 | 86 | 332 | 6 | ○ | ○ | 0.44 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| M郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 81.3 | 86.3 | 0 | 167.6 | 356 | 7895 | 58 | 83 | 23 | 81 | 421 | 6 | ○ | ○ | 0.39 | 1.4 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| F郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 80.7 | 50.5 | 0 | 131.2 | 400 | 7450 | 74 | 106 | 32 | 101 | 511 | 6 | ○ | ○ | 0.42 | 1.4 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| W郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 77.9 | 53.8 | 0 | 131.7 | 428 | 5700 | 47 | 72 | 34 | 126 | 436 | 6 | ○ | ○ | 0.43 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| T郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 98.1 | 0.0 | 0 | 98.1 | 380 | 4325 | 114 | 128 | 23 | 70 | 401 | 6 | ○ | ○ | 0.40 | 1.6 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| F郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 86.8 | 29.8 | 0 | 116.6 | 450 | 6745 | 63 | 88 | 38 | 116 | 415 | 6 | ○ | ○ | 0.45 | 1.9 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| Y郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 2階 | 72.9 | 53.8 | 0 | 126.7 | 417 | 6740 | 70 | 96 | 38 | 108 | 434 | 6 | ○ | ○ | 0.48 | 1.7 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| O郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 108.0 | 0.0 | 0 | 108.0 | 448 | 4260 | 44 | 58 | 25 | 79 | 495 | 6 | ○ | ○ | 0.41 | 1.8 | 8.06 | SU200 | --- | --- | --- | |
| Y郡 | 新築 | 気密完了時 | 岐阜県津市 | 木軸 | 平屋 | 160.7 | 0.0 | 0 | 160.7 | 616 | 4705 | 57 | 71 | 21 | 97 | 100 | 950 | 6 | ○ | ○ | 0.37 | 1.4 | 8.06 | SU100 | --- | --- | --- |

| 棟 | 天井 | 床 | 妻壁 | 外壁 | 基礎 | 開口部 | 玄関 | B 除外床面積 | C 相当床面積 | 実質延床面積 (C)-A+B+C | 気密性能 | | | | 測定日 | 測定DATA | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|---------|------------------|----------|--------------|-------------|----------|---------|--------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|-----|-----|
| | | | | | | | | | | | 通気率 | 総相当隙間面積 (αA) | 相当隙間面積 (C値) | 隙間特性値 n値 | | 差圧1 | 風量1 | 差圧2 | 風量2 | 差圧3 | 風量3 | 差圧4 | 風量4 | 差圧5 | 風量5 | 差圧6 | 風量6 | 室温 | 気圧 | 気圧 | |
| 気密材 | 断熱材 | 気密材 | 断熱材 | 断熱材 | 断熱材 | --- | --- | --- | --- | --- | αA (㎡/㎡) | C値 (㎡/㎡) | n値 | 測定日 | 差圧1 | 風量1 | 差圧2 | 風量2 | 差圧3 | 風量3 | 差圧4 | 風量4 | 差圧5 | 風量5 | 差圧6 | 風量6 | 室温 | 気圧 | 気圧 | | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.81 | 0.52 | 1.38 | 0.24 | 17/7/26 | 18.2 | 108 | 25.2 | 241 | 332 | 286 | 40.2 | 318 | 45.6 | 374 | 30.4 | 30.0 | 1000 | --- | --- | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.75 | 0.50 | 1.72 | 0.22 | 17/2/23 | 10.3 | 110 | 20.2 | 183 | 30.4 | 207 | 285 | 242 | 421 | 171 | 11.1 | 92 | 988 | --- | --- | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.54 | 1.63 | 0.21 | 18/8/6 | 19.6 | 209 | 29.8 | 274 | 392 | 327 | 497 | 372 | 60.5 | 417 | 33.6 | 35.5 | 1000 | --- | --- | | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.65 | 0.45 | 1.56 | 0.21 | 18/8/2 | 20.4 | 158 | 28.6 | 190 | 40.3 | 295 | 527 | 286 | 62.0 | 32.0 | 38.2 | 34.0 | 1000 | --- | --- | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.66 | 1.74 | 0.30 | 18/10/26 | 19.8 | 241 | 30.3 | 309 | 40.1 | 360 | 515 | 420 | 617 | 463 | 20.3 | 20.3 | 19.0 | 1000 | --- | --- | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.83 | 0.57 | 1.58 | 0.22 | 18/6/1 | 20.4 | 198 | 30.7 | 238 | 40.9 | 301 | 505 | 345 | 60.2 | 38.2 | 25.3 | 22.3 | 1000 | --- | --- | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.41 | 1.57 | 0.14 | 18/8/22 | 10.5 | 96 | 20.2 | 136 | 30.3 | 180 | 41.2 | 224 | 50.3 | 257 | 132.0 | 84.7 | 995 | --- | --- | | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.60 | 1.72 | 0.16 | 18/6/19 | 10.7 | 122 | 20.7 | 170 | 29.9 | 218 | 339.5 | 257 | 50.0 | 295 | 35.3 | 35.0 | 998 | --- | --- | | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.49 | 1.62 | 0.20 | 17/3/2 | 15.4 | 223 | 25.4 | 317 | 35.0 | 385 | 46.2 | 451 | 55.5 | 51.4 | 8.2 | 7.1 | 1000 | --- | --- | | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.43 | 1.32 | 0.17 | 16/9/13 | 10.3 | 100 | 21.5 | 169 | 30.1 | 227 | 40.9 | 278 | 48.2 | 32.5 | 30.0 | 29.8 | 1000 | --- | --- | | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.22 | 1.18 | 0.00 | 17/4/20 | 10.8 | 17 | 20.7 | 91 | 30.7 | 123 | 40.3 | 152 | 150.5 | 182 | 11.6 | 11.6 | 1000 | --- | --- | | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.29 | 1.37 | 0.10 | 17/7/7 | 20.2 | 103 | 20.7 | 103 | 30.7 | 141 | 40.8 | 172 | 50.3 | 193 | 60.7 | 232 | 25.9 | 30.3 | 1000 | --- | --- |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.48 | 1.57 | 0.18 | 17/1/7 | 20.2 | 202 | 30.3 | 263 | 40.0 | 313 | 50.6 | 362 | 53.9 | 40.4 | 17.1 | 14.9 | 1000 | --- | --- | | |
| 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 0.40 | 1.56 | 0.18 | 17/7/28 | 20.8 | 191 | 30.6 | 248 | | | | | | | | | | | | | |

3.2 研究概要

3.2.1 分析対象住宅概要

分析対象住宅の概要を表 3-1 に表す。対象住宅は計 108 戸、竣工年は 2016 年のものが 19 戸、2017 年のものが 55 戸、2018 年のものが 34 戸である。また、建設地域は北海道に 5 戸、東北地方に 10 戸、中部地方に 55 戸、関東地方に 10 戸、近畿地方に 5 戸、中国地方に 9 戸、四国地方に 3 戸九州地方に 11 戸となっている。気密性能 (C 値) は平均が 0.40 (cm^2/m^2 以下単位省略) で、最大で 0.95 最小で 0.13 である。現在の一般的な新築住宅が 3.0 前後であることを考えると、かなり高い性能の住宅群であると言える。

表 3-1 対象住宅の概要

| | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|
| 竣工年 | 2016年：19戸、2017年：55戸、 2018年：34戸 | | | |
| 建設地 | 北海道 | 東北 | 中部 | 関東 |
| | 5戸 | 10戸 | 55戸 | 10戸 |
| 建設地 | 近畿 | 中国 | 四国 | 九州 |
| | 5戸 | 9戸 | 3戸 | 11戸 |
| 気密性能 [cm^2/m^2] | 平均：0.40、最大：0.95、 最小：0.13 | | | |
| 階数 | 平屋：21戸、2階：82戸、3階：5 | | | |
| 断熱・気密 仕様 | グラスウール充填断熱：12棟、 ウレタン吹付：75棟、その他：21 | | | |

3.2.2 分析要素説明

本研究で取り上げた図面上の要素としては、実質延床面積、外皮面積、気積、外壁総周長、窓面積、窓周長である。実質延床面積とは、C 値を算出する際に用いる吹き抜け仮想床などを含めた床面積で、外皮面積は断熱材および窓で囲まれた面積のことである。気積とは住宅の床面積に住宅の高さをかけたものである。外壁周長や窓周長については、木造住宅の隙間は、外壁の取り合い部や窓に生じると考えられることから取り上げた。外壁総周長とは出入隅の長さの合計に各階の平面上の外壁長さを加えたものである。窓周長とは、窓の呼称寸法における窓枠長さに召し合わせの長さを加えたものである。例えば、滑り出し窓のような場合は、窓枠長さであるが、引き違い窓や上げ下げ窓の場合は窓枠長さに中間の召し合わせ長さを追加している。これらそれぞれの要素に対して、気密測定結果から得られた気密性能を表す 2 つの要素、通気率 (1Pa 時の通気量) および αA (9.8Pa 時の通気量) についての関係を分析した。

3.3 分析結果

各設計要素と通気率、 αA との関係を以下の図に示す。プロットは○が「イビケン」、■が「HEAT20」を示し、近似直線はそれぞれのもとの、両者を総合したもの(太直線)を記載した(近似式と決定係数も上から上記順で記載)。

今回入手した高气密住宅では現場発泡ウレタンフォームを採用している住宅(以降「ウレタン」と表記する)が多かった(80戸)。この断熱材は現場で膨れて柱や梁に接着するので、気密が取り易い性質がある。次に多かったのがグラスウールの充填工法(以降「GW」とする)であった(12戸)。この工法は断熱材自体に気密性がなく、室内側防湿フィルムで気密を確保するので、高气密にする施工難度が高い。そこで、両者を分けて分析を行った(16戸の断熱仕様は不明のため除く)。以降に各設計要素と通気率、 αA との関係をウレタン、GW工法を分けた図を示す。

実質延床面積と通気率、 αA との関係を以下の図 3-2 に示す。まずウレタンとGWの結果を比較した際に近似直線の上がり方、プロットの分布等はほぼ同様であった。次に工法別で比較した際に決定係数や傾きが大きく上昇している。これらから実質延床面積とウレタン工法ではあまり関係性が無いが、GWは大きく影響を受けることを示しており、先に述べた工法の特徴が出ていると考えられる。

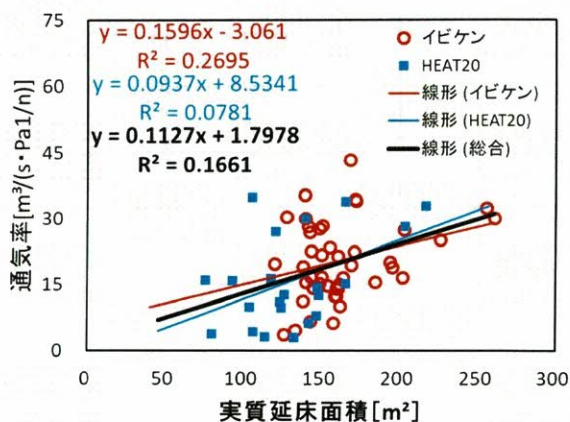


図 3-2 実質延床面積と通気率の関係図(ウレタン)

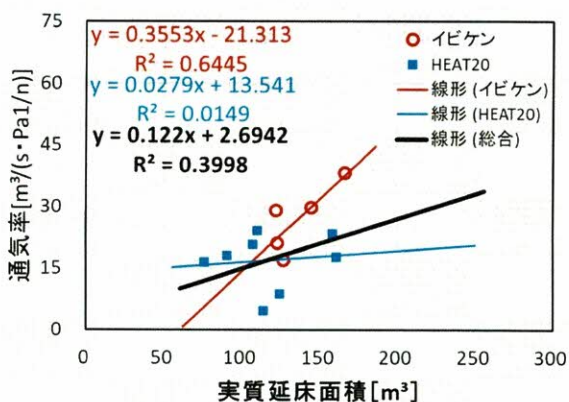


図 3-3 実質延床面積と通気率の関係図(GW)

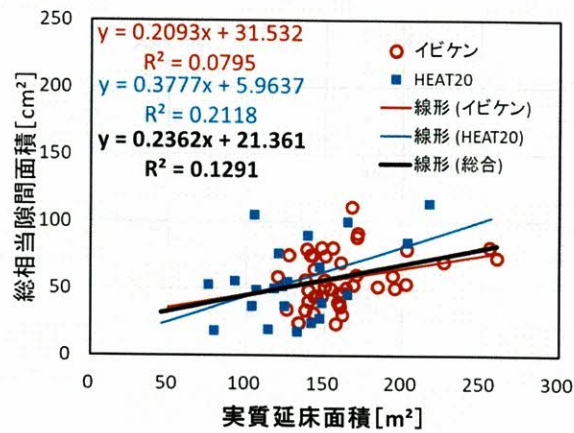


図 3-4 実質延床面積と αA の関係図(ウレタン)

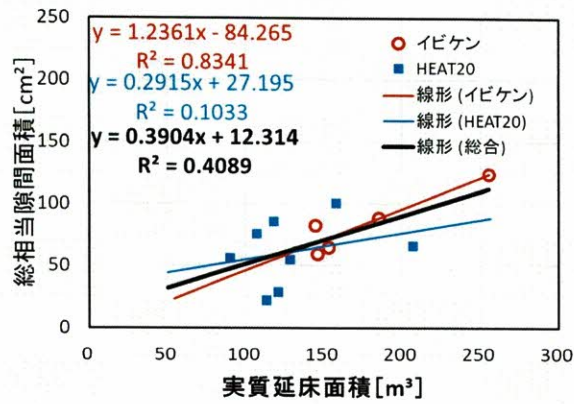


図 3-5 実質延床面積と αA の関係図(GW)

次に図 3-6～3-9 に外皮面積と通気率、 αA との関係を示す。外皮面積も先に述べた実質延床面積と似た結果となり、通気率、 αA の上がり方や分布は似ていた、またこちらもウレタンに比べ、GW の方が決定係数、傾きともに大きくなっていた。この特徴は前述した考察と同様の理由であったと考えられる。

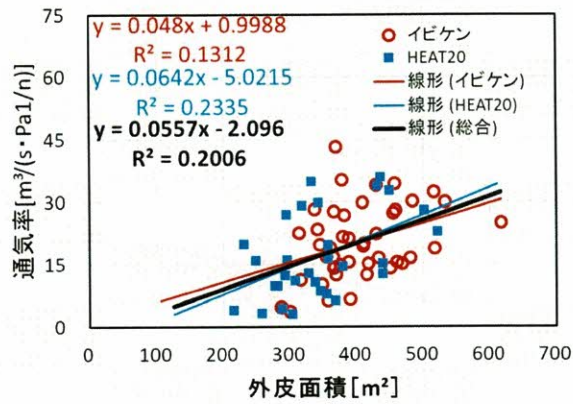


図 3-6 外皮面積と通気率の関係図(ウレタン)

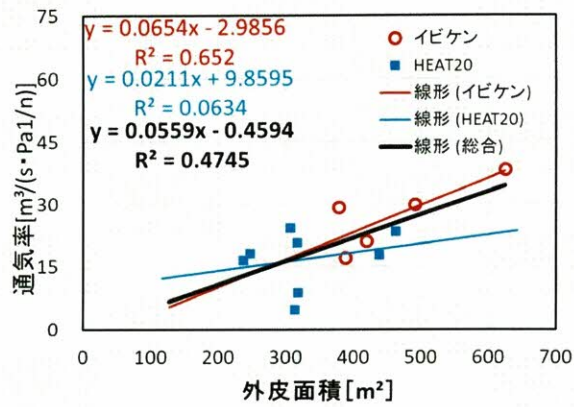


図 3-7 外皮面積と通気率の関係図(GW)

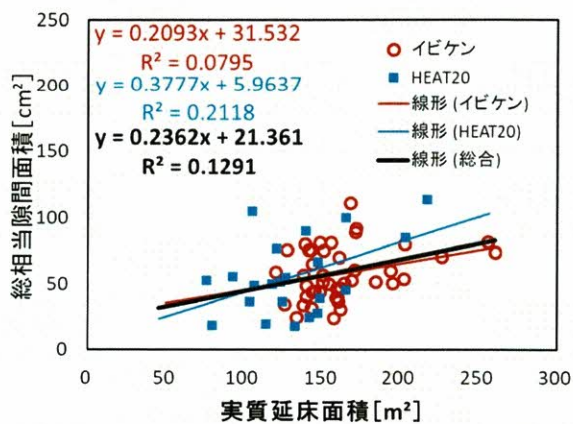


図 3-8 外皮延床面積と αA の関係図(ウレタン)

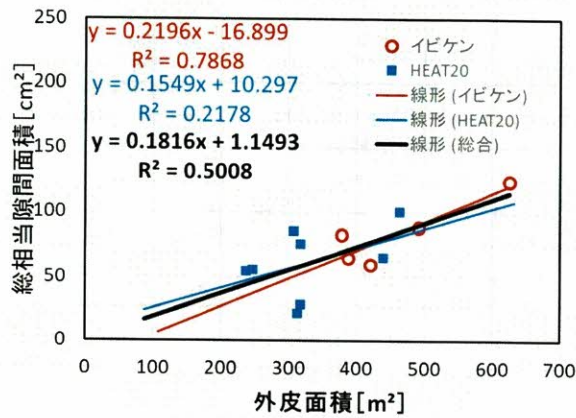


図 3-9 外皮面積と αA の関係図(GW)

次に図 3-10～3-13 に外壁総周長と通気率、 αA との関係を示す。外壁総周長は通気率、 αA ともに近似直線の傾きはなく、分布においても統一性は無かった。また、この結果はウレタン、GW に工法を分けた分析を行っていても同様であった。これらの結果から外壁総周長は通気率、 αA に対し、影響を与えないということが得られた。

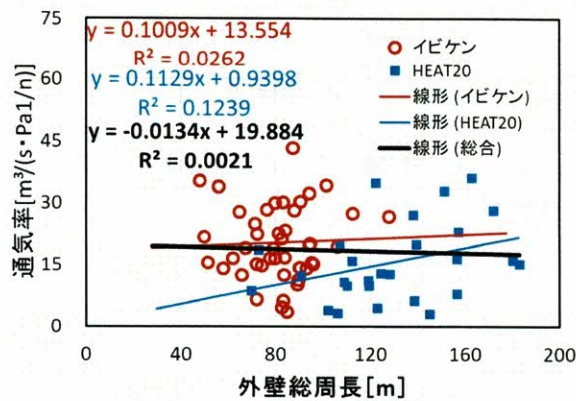


図 3-10 外壁総周長と通気率の関係図(ウレタン)

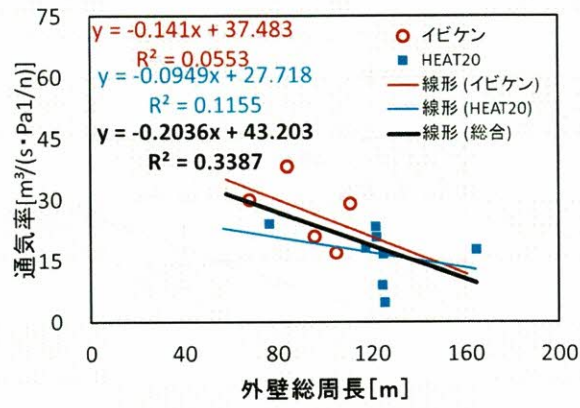


図 3-11 外壁総周長と通気率の関係図(GW)

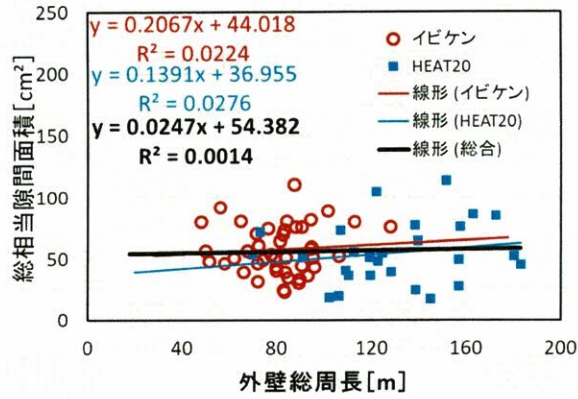


図 3-12 外壁総周長と αA の関係図(ウレタン)

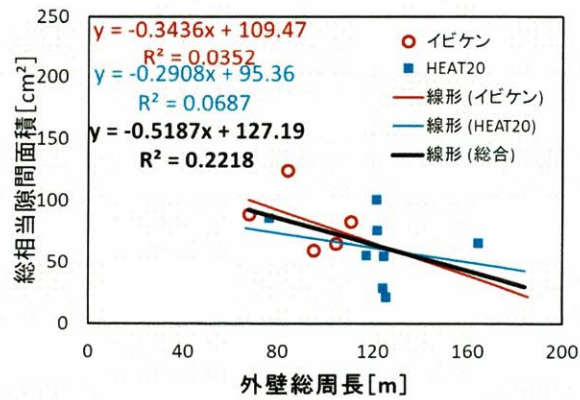


図 3-13 外壁総周長と αA の関係図(GW)

次に図 3-14-3~17 に窓面積と通気率、 αA との関係を示す。窓面積も、通気率、 αA の上がり方は各工法ともに似ていたが決定係数は高くなかった。しかしウレタンの決定係数の中では比較的高い数値であった。これは断熱部の気密性が高く、窓の大小に左右されたためだと考えられる。

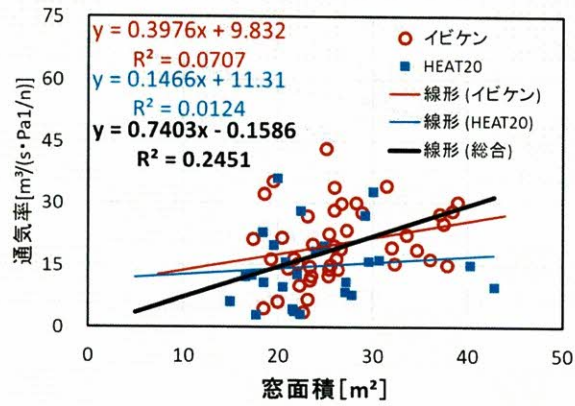


図 3-14 窓面積と通気率の関係図(ウレタン)

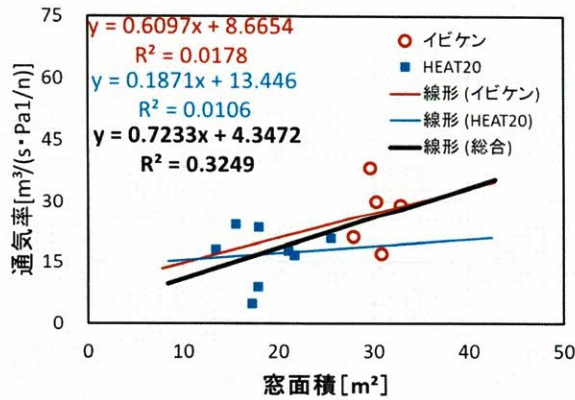


図 3-15 窓面積と通気率の関係図(GW)

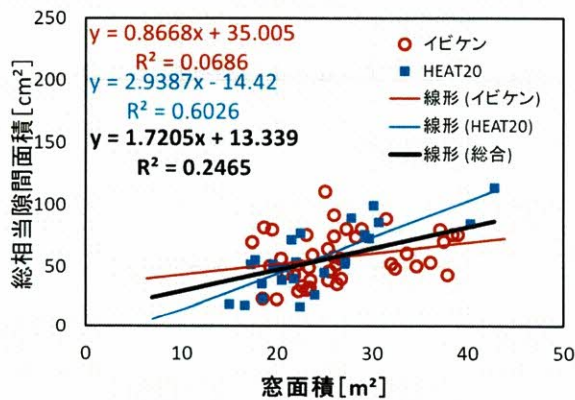


図 3-16 窓面積と αA の関係図(ウレタン)

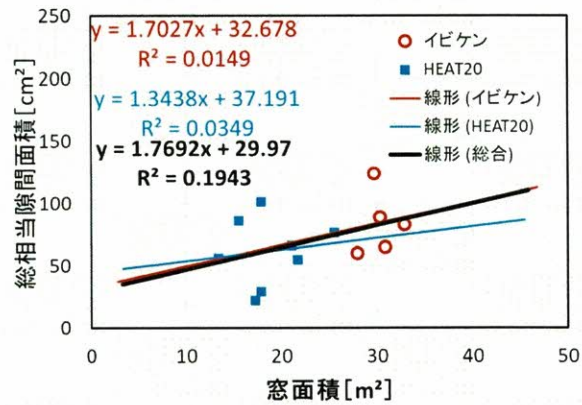


図 3-17 窓面積と αA の関係図(GW)

次に図 3-18～3-21 に窓周長と通気率、総相当隙間面積との関係を示す。窓周長は窓面積と同様に通気率、 αA の上がり方は各工法ともに似ていたが決定係数は高くなかった。しかし窓周長もウレタンの αA の決定係数は比較的高く、また GW よりもウレタンの方が αA の決定係数が大きくなった。これは窓面積と同様の理由だと考えられる。

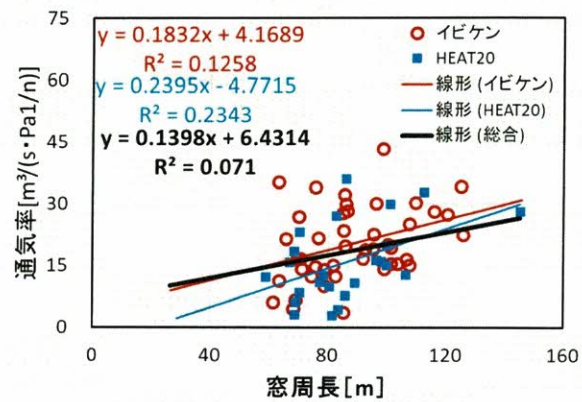


図 3-18 窓周長と通気率の関係図(ウレタン)

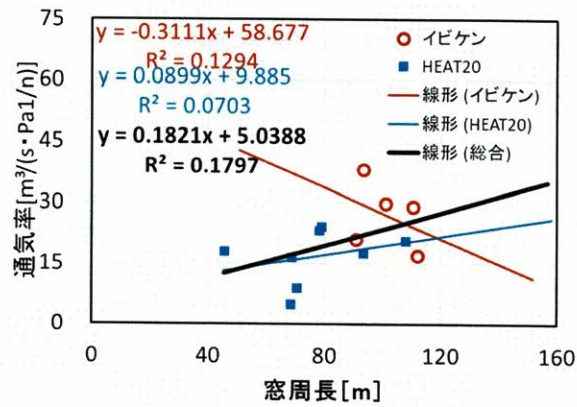


図 3-19 窓周長と通気率の関係図 (GW)

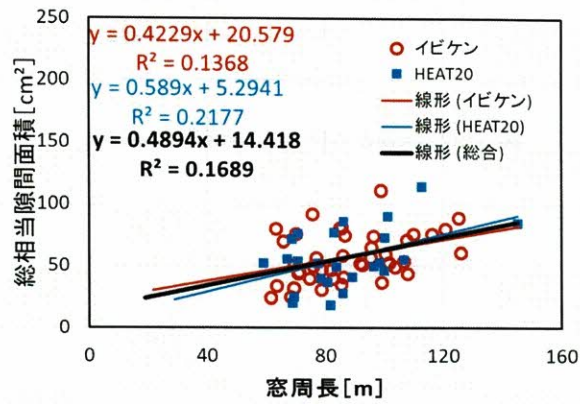


図 3-20 .窓周長と αA の関係図 (ウレタン)

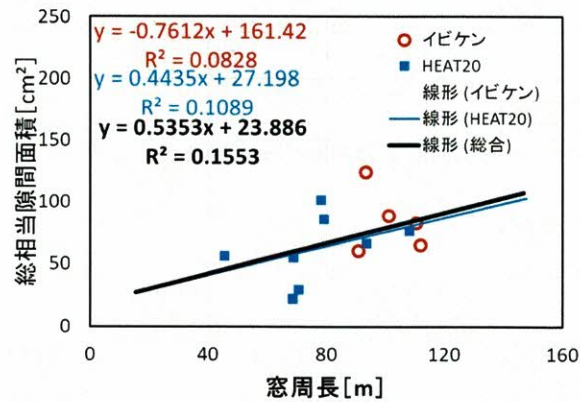


図 3-21 窓周長と αA の関係図 (GW)

次に図 3-22～3-25 に気積と通気率、 αA との関係を示す。気積の近似直線は通気率、 αA ともに似ており、プロットの分布も同様であった。気積も実質延床面積、外皮面積と同様にウレタンに比べ GWの方が決定係数、上がり方ともに大きくなっていた。この特徴は前述した要素と同様の理由であったと考えられる

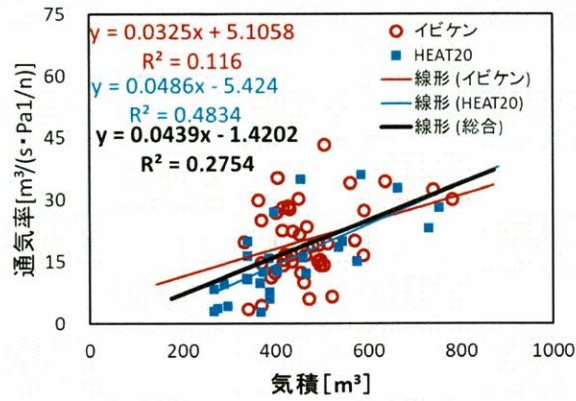


図 3-22 気積と通気率の関係図(ウレタン)

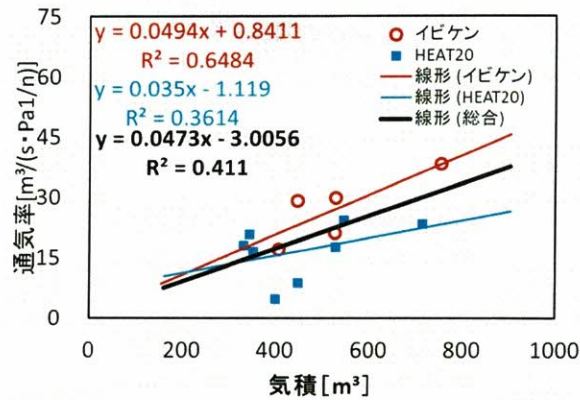


図 3-23 気積と通気率の関係図(GW)

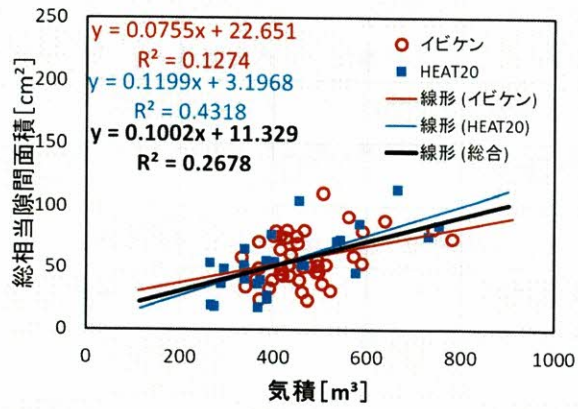


図 3-24 気積と αA の関係図(ウレタン)

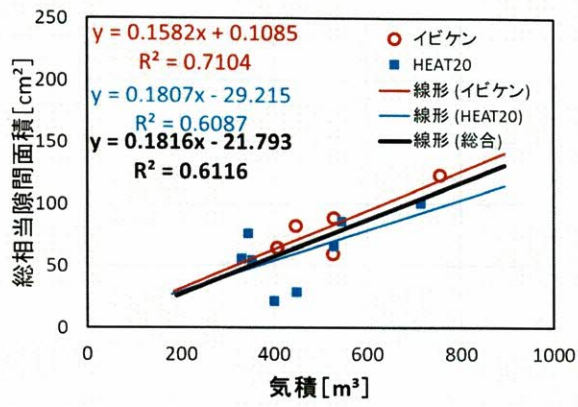


図 3-25 気積と αA の関係図(GW)

3.4 まとめ

表 3-2 に全ての設計要素について、工法別の αA 決定係数を示す。GW は外皮面積の他に気積や実質延床面積との決定係数が高い。これらの要素は全て外皮面積と相関があるためと考えられる。逆にウレタンはこれらの要素に殆ど影響を受けない。ウレタンで決定係数が比較的高いのは気積と窓面積で、窓面積については、先に述べたように断熱部の気密性が高いため、窓の大小に左右されるためと考えられる。

設計上留意すべき点として、GW 充填工法の場合は外皮面積を増大させるような、平面的・断面的な凸プランは必要性を慎重に検討した方がよく、ウレタン工法の場合は、窓の大きさに留意が必要であることが分かった。今後は、他の設計要素についても分析を追加していく予定である

表 3-2 断熱仕様による各設計要素と αA の決定係数

| 設計要素 | 断熱工法 | αA との関係 決定係数 |
|-------------------------|------|-------------------------|
| 実質延床面積[m ²] | ウレタン | 0.129 |
| | GW | 0.409 |
| 外皮面積[m ²] | ウレタン | 0.119 |
| | GW | 0.501 |
| 気積[m ³] | ウレタン | 0.268 |
| | GW | 0.612 |
| 外壁縦周長[m] | ウレタン | 0.061 |
| | GW | 0.018 |
| 外壁総周長[m] | ウレタン | 0.001 |
| | GW | 0.222 |
| 窓面積[m ²] | ウレタン | 0.247 |
| | GW | 0.194 |
| 窓周長[m] | ウレタン | 0.169 |
| | GW | 0.155 |