

既存木造住宅の熱・湿気性能評価と
断熱改修手法の構築に関する研究

Evaluation for heat and moisture behavior
of existing houses
and
development of method for
thermal insulation retrofit

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部 北方建築総合研究所

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization
Building Research Department Northern Regional Building Research Institute

概要 Abstract

既存木造住宅の熱・湿気性能評価と断熱改修手法の構築に関する研究 Evaluation for Heat and Moisture Behavior of Existing Houses and Development of Method for Thermal Insulation Retrofit

遠藤 卓¹⁾、下ノ菌 慧¹⁾、鶴澤 孝夫²⁾、布井 洋二²⁾、池田 昌彦²⁾、
井上 幹生²⁾、田中 英明²⁾、齊藤 弘²⁾、本間 義規³⁾、砂川雅彦⁴⁾
Suguru Endo¹⁾, Kei Shimonosono¹⁾, Takao Uzawa²⁾, Yoji Nunoi²⁾, Masahiko Ikeda²⁾,
Mikio Inoue²⁾, Hideaki Tanaka²⁾, Hiroshi Saito²⁾, Yoshinori Honma³⁾, Masahiko Sunagawa⁴⁾

キーワード : 断熱改修、木造住宅、省エネルギー、内部結露、壁内気流

Keywords : *Thermal Insulation Retrofit, Wooden Houses, Energy Saving,
Internal Condensation, Air Flow in Walls*

1. 研究概要

1) 研究の背景

住宅の断熱改修は、既往の研究で手法が検討され、すでに広く実施されているが、改修前後の断熱性能の評価方法、壁内気流による外皮の熱湿気性能への影響評価方法、非暖房空間における湿害防止手法など検討すべき課題が多いのが現状である。

2) 研究の目的

本研究では、住宅の断熱改修時に必要となる湿害防止手法の構築と改修前後の断熱性能の評価方法の構築を行うことを目的とする。

2. 研究内容

1) 住宅外皮各部位の防露検討を行う上での適切な境界条件の検討 (H26~27年度)

- ・ねらい：住宅外皮各部位の防露検討を行う上での、気象や住宅属性等に関する影響因子について、危険側となる条件をシミュレーションにより明確化する。既存住宅の代表的壁体構成及び既往の断熱改修手法の整理し、解析対象の壁体及び改修手法の明確化をする。
- ・試験項目等：文献調査等、換気回路網計算

2) 壁内気流を想定する場合の外皮内部の湿害と壁体断熱性能に関する検討 (H26~28年度)

- ・ねらい：改修前後の住宅外皮の熱水分の解析から、湿害リスクの解析及び断熱性向上効果の把握を行う。改修時に必要となる防湿・気密施工についての知見を体系化する。
- ・試験項目等：壁内気流を考慮した壁体内熱水分計算

3) 部分改修時における非空調室の湿害の検討 (H26~28年度)

- ・ねらい：部分改修時における非空調室の湿害可能性を明らかにするために、様々な断熱仕様や換気方式を想定した解析を行う。計算結果から、非空調室における湿害防止手法を体系化する。
- ・試験項目等：質点系多数室熱水分シミュレーション

4) 断熱改修による暖冷房負荷削減効果の検証 (H26~H28年度)

- ・ねらい：断熱改修による効果として、2)～3) から得られた結果を基にシミュレーションを行い、暖房負荷の削減効果の例を示す。
- ・試験項目等：質点系多数室熱負荷シミュレーション

¹⁾ 環境研究部環境グループ ²⁾ 硝子繊維協会 ³⁾ 宮城学院女子大学 ⁴⁾ 砂川建築環境研究所

¹⁾ Environmental Research Division, Environment Group ²⁾ Glass Fiber Association ³⁾ Miyagigakuin Women's University

⁴⁾ Sunagawa Architectural Environmental Laboratory

3. 研究成果

1) 住宅外皮各部位の防露検討を行う上での適切な境界条件の検討 (H26~27 年度)

- ・ 既往研究で作成したプログラムを改良し、壁内気流が生じる住宅の断熱・防露性能を評価するための数値解析プログラムを構築した。
- ・ 気象条件や住宅仕様（換気方式、隙間分布等の条件等）が、壁内に発生する気流の量、結露の発生に与える影響を数値解析により把握し、2)以降の数値解析の条件を決定した。

2) 壁内気流を想定する場合の外皮内部の湿害と壁体断熱性能に関する検討 (H26~28 年度)

- ・ 数値解析により、暖冷房負荷を削減するために求められる気流止めの有効開口面積は壁長さ当たり 1 cm²/m 程度であり、内部結露の防止を図るために防湿外被材が付属するグラスウールの使用が有効なことを明らかにした。実験により、気流止めの施工方法が有効開口面積に及ぼす影響を把握し、気流止め材に必要な条件（図 1）や、適切な挿入方法を明らかにした。
- ・ 数値解析により、各種壁体の防露性能を評価した。改修後の外壁の結露リスクを抑えるためには、気流止めに加えて、室内側の防湿気密化、通気層の設置もしくは付加断熱層の設置が必要となること等が分かった。小屋裏の結露を防止するためには、小屋裏換気の有効開口面積を確保した上でビニルクロス等による天井の防湿気密化が必要であることが分かった。

3) 部分改修時における非空調室の湿害の検討 (H26~28 年度)

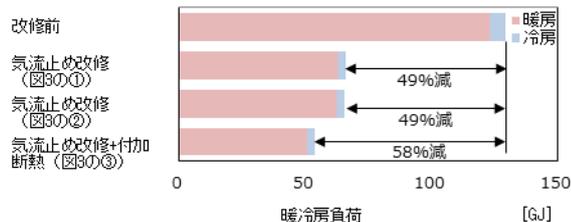
- ・ 部分改修を施した住宅の温湿度を数値計算により推定した。結露対策がない場合、非空調室の外壁に内部結露が発生する可能性があることを示した。結露リスクを抑えるため、気流止め、空調室の気密化等の対策が必要になることを示した。

4) 断熱改修による暖冷房負荷削減効果の検証 (H26~H28 年度)

- ・ 断熱改修の暖冷房負荷削減効果を試算した。札幌の気象条件では、気流止め改修により負荷を 5 割程度削減できること等を示した（図 2）。
- ・ 1) ~ 4) の検討を下に、断熱改修手法の提案を行った（図 3）。

材料	防湿外被材が付属するグラスウール
防湿外被材	厚さ30μm以内のもの
グラスウールの厚さ	厚さ140mm以上のもしくは二つ折りして厚さ140mm以上のもの
グラスウールの幅	幅が壁の内寸より10~45mm大きいものを挿入

図 1 気流止め材に必要な条件



計算条件：一部2階建て延べ床面積100㎡住宅モデル、付加断熱のケースではグラスウール32K品を75mm設置し通気層設置したことを想定。気象条件は札幌の平年値。冬季最低室温18℃、室内で4人世帯を想定。改修前は相当隙間面積9 cm²/m²、外壁 GW16K 100 mm、床 GW16K 100 mm、天井吹込み GW18K 200mm、間仕切り壁 無断熱 空気層 105 mm

図 2 断熱改修による暖冷房負荷の削減効果(札幌)

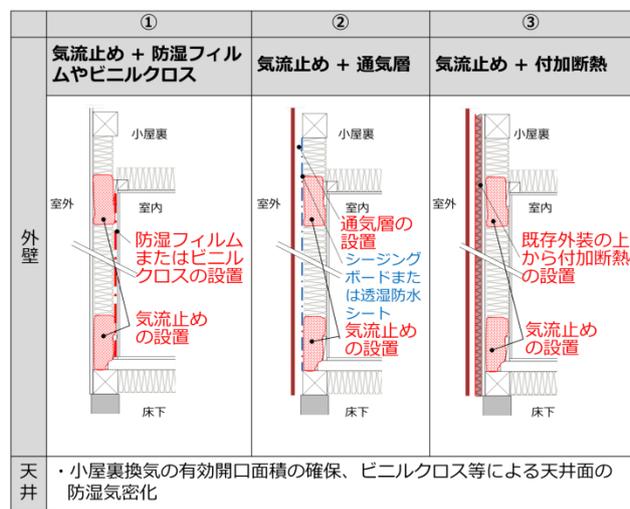


図 3 提案した断熱改修手法における外壁の天井の納まり (全体改修の場合、適用地域：北海道)

4. 今後の見通し

本研究の成果として得られた熱損失低減と結露防止に効果的な断熱改修手法について、住宅事業者等に対して情報発信していく。

目次

1. はじめに	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	2
1.3 研究が検討対象とする工法	2
1.4 本研究のフロー	2
2. グラスウールによる気流止めに関する実験	5
2.1 検討の目的と概要	5
2.2 壁体の有効開口面積の測定	6
2.3 グラスウールの透湿係数の測定	24
2.4 まとめ	26
3.改修前後の壁体の熱損失及び結露の性状把握のための数値計算	27
3.1 検討の目的と概要	27
3.2 壁体の熱損失及び結露性状の解析手法	27
3.3 計算条件と予備検討	31
3.4 改修による壁体の熱損失及び内部結露の性状変化に関する検討	47
3.4.1 北海道における検討	47
3.4.2 東京における検討	61
3.5 暖冷房負荷の削減効果	73
3.5.1 北海道における検討	73
3.5.2 東京における検討	77
3.6 まとめ	80
4. 部分断熱区画化の際の結露の防止と暖冷房負荷に関する検討	83
4.1 検討の目的と概要	83
4.2 暖房室から非暖房室への空気の移流量の低減方法に関する検討	83
4.3 非暖房室の結露防止の検討	89
4.3.1 北海道における検討	89
4.3.2 東京における検討	93
4.4 部分断熱区画化による暖冷房負荷の削減効果	96
4.4.1 北海道における検討	96
4.4.2 東京における検討	99
4.5 まとめ	102
5. 改修事例における結露と暖冷房負荷の試算	103
5.1 北海道における検討	103

5.2 東京における検討	105
5.3 まとめ	110
6. まとめ	111
6.1 各章のまとめ	111
6.2 改修手法の提案	113
6.2.1 北海道を対象とした改修手法の提案	116
6.2.2 東京を対象とした改修手法の提案	121

1. はじめに

1.1 研究の背景

住宅における良質な温熱環境形成と省エネルギー化に向けた課題の1つに、既存ストックにおける断熱改修の推進が挙げられる。

とりわけ気流止めの無い在来木造工法の住宅は熱損失量が多く、結露が生じやすく、温熱環境が良好とは言えない。こうした住宅のストックは1970～1980年代(図1-1)の建設物件を中心に大量に残存しているが、改修を行い利用し続ける住宅が多い実情を踏まえれば¹⁻¹⁾、¹⁻²⁾、より適切な改修工法を提案し普及していくことが重要と言える。

在来木造工法の壁内に生じる気流は、この工法が高温多湿な気候への適応を旨に培われ、壁体内が通気性を有して床下や小屋裏等とも連通していることに起因している。さらに北海道で1960年代頃からグラスウール等による断熱化が始まると、内部結露の問題も併発した。

当時の研究例を挙げると、上野ら¹⁻³⁾は、気流止め措置がない外壁において、繊維系の充填断熱材の押し込み過ぎ等が断熱性能の低下をもたらすことを実験により示した。

また、鎌田ら¹⁻⁴⁾は、屋外の実大実験により、防湿気密層の欠損や高湿な床下空気の外壁内への移流により内部結露が生じることを明らかにし、その対策として、通気層の設置、地盤防湿による床下空間の低湿化、壁内の気流止めなどを提案した。

この様な技術的背景を基に、鎌田ら¹⁻⁵⁾は、既存の在来木造工法の戸建住宅に対しての断熱改修手法を提案している。これは、外壁や間仕切壁の上下部への圧縮した裸グラスウールの挿入や発泡ウレタンの吹付けによる気流止め施工、外壁への付加断熱、躯体や開口部周りの気密化等である。また、相当隙間面積の低減、暖房負荷の低減効果等も明らかにした。

その後、新木造住宅技術研究協議会では、断熱改修手法の現場における実証や改良を図り、技術情報¹⁻⁶⁾としてまとめた。ここでの気流止め手法は、土台・胴差・桁などの周りの外装材を一部撤去し、壁内へ減圧圧縮したグラスウールを挿入後、カッター等で穴を開け復元することにより壁内気流を止めるものである。

壁内気流と熱損失の関係については、小南ら¹⁻⁷⁾が、実験室実験によって壁内気流を与えた様々な仕様の外壁の熱損失等を測定し、壁内気流による熱損失の増大量を明らかにしている。また、北谷ら¹⁻⁸⁾は、人工気象室内の実大住宅モデルを対象とした実験で、自然対流による壁内気流が発生する外壁の熱損失を熱流の計測結果から求め、上下とも気流止めがないもしくは上部のみ気流止めがある場合は20%程度、下部のみ気流止めがある場合は10%程度熱損失が増大することを示した。

こうした気流止めの手法は、実建物の改修現場へとフィードバックされている。しかし現状では改修前における防湿・断熱・通気層の有無等の仕様を踏まえつつ、複数考えられる気流止め等の改修方法から適切な方法を選択するための知見は不十分である。

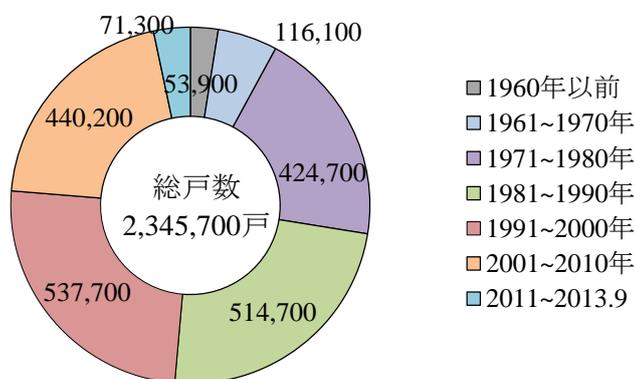


図 1-1 道内の年代別住宅ストック
(平成 25 年住宅・土地統計調査結果に基づく)

また、世帯人数の減少が1人あたりで見た暖房エネルギーの増加につながっている。世帯人数が1～2人に減少した既存戸建住宅が多数存在する中、暖房エネルギー削減効果が期待される改修工法の1つが部分断熱区画化である。しかし、この工法の普及に向けては、非暖房室における結露防止手法の提示が必須の課題となっている。

一方、前述の気流止めや部分断熱区画化といった改修工法と既存住宅仕様の様々な組み合わせを想定し、防露性と断熱性を具備する改修手法を明らかにするには、数値計算を含む技術的検討が欠かせない。

壁内気流の駆動力は室内外の温度差や外部風に依存するため流量が変動し、外気温や湿度等の変化に伴い結露の発生状況が変動することから、通年における内部結露防止策検討のためには非定常解析が必要である。これに対し向井ら¹⁻⁹⁾は、外壁内部の熱水分同時移動解析において、これまで一般的であった熱水分の拡散や蓄熱・吸放湿を対象とした解析に加え、壁内気流による移流成分を考慮した数値計算手法を提案し、その有効性を示した。

しかし、シミュレーションプログラムを含む評価手法には一層の発展が求められている。具体的に述べると、躯体内部には他の躯体や室内からの空気が移流し、相互に影響し合って熱湿気性状が形成されることなどから、計算モデルは住宅全体を対象とすべきである。加えて、壁内気流を考慮した躯体の熱損失や内部結露の評価に用いる指標についても、空気の移流量や結露発生時間、木材腐朽リスク等が考えられるものの、オーソライズ化に向けては研究の蓄積が必要な段階にある。

また、プログラムに入力する物性値も十分とは言えない。齋藤ら¹⁻¹⁰⁾は、数値計算による検討のために必要な壁体内に在る袋入りグラスウールの面内方向の通気抵抗を測定したが、グラスウールや周辺躯体の代表的仕様の場合の通気に関わる物性値を把握することが工法検討のために必要である。

1.2 研究の目的

本研究は在来木造工法の戸建住宅を対象に、防露と断熱に着目した躯体評価手法を検討し、気流止めと部分断熱区画化を主とする改修手法を提案することを目的とする。

1.3 研究が検討対象とする工法

本研究では改修前における防湿層と気流止め、通気層の有無、及び改修後における外張り・内張り断熱の有無、天井・屋根と床・基礎の断熱方法、機械換気の種類に着目し改修工法を整理した。このうち次の工法については、防露の可否や適切な仕様設計に関する知見が不足しているため、本研究の検討対象とする。

- ① 気流止めについて、充填断熱、充填＋外張り付加断熱、充填＋内張り付加断熱の外壁、および間仕切り壁を対象に、気流止め材であるグラスウールの仕様と施工方法を組合わせた、熱損失低減と防露に有効な工法の検討を行う。
- ② 上記①の検討を踏まえ、住宅全体を改修後の居住空間とする場合において暖房負荷低減効果の高い改修工法を検討する。
- ③ 部分断熱区画化については、上記①の検討結果を踏まえ、躯体の仕様と機械換気をパラメータとする防露手法の検討、及び暖房負荷低減効果の検討を行う。

1.4 本研究のフロー

研究のフローを図1-2に示す。

本研究では、まず気流止め手法について、定量化が不十分な壁体の有効開口面積を、実大モックアップを用いた実験により明らかにする(2章)。次に、改修前後の住宅の熱損失や結露の性状把握のた

めのシミュレーションプログラムを開発する（3章 3-2）。実験で得た有効開口面積のデータと開発プログラムを用い、各種の改修工法の場合における熱損失量や結露発生時間等を指標とする評価を行う（3章 3-3～3.4節）。また、住宅全体を改修後の居住空間とする場合における暖房負荷低減効果を推定する（3章 3-5節）。

次に、前述の計算プログラムを用いて、部分断熱区画化について、気流止め等の躯体仕様や機械換気が非暖房室への空気の移流量および結露の発生時間に及ぼす影響を推定し、防露に有効な工法を明らかにする。また、暖房エネルギー削減効果を推定する。（4章）

さらに、北海道と東京における断熱改修で想定される事例を取り上げ、結露発生や暖冷房負荷を確認した。（5章）

以上の結果を踏まえ、熱損失と防露に着目した評価手法、及び暖房エネルギー削減等に有効な改修工法を提案する。（6章）

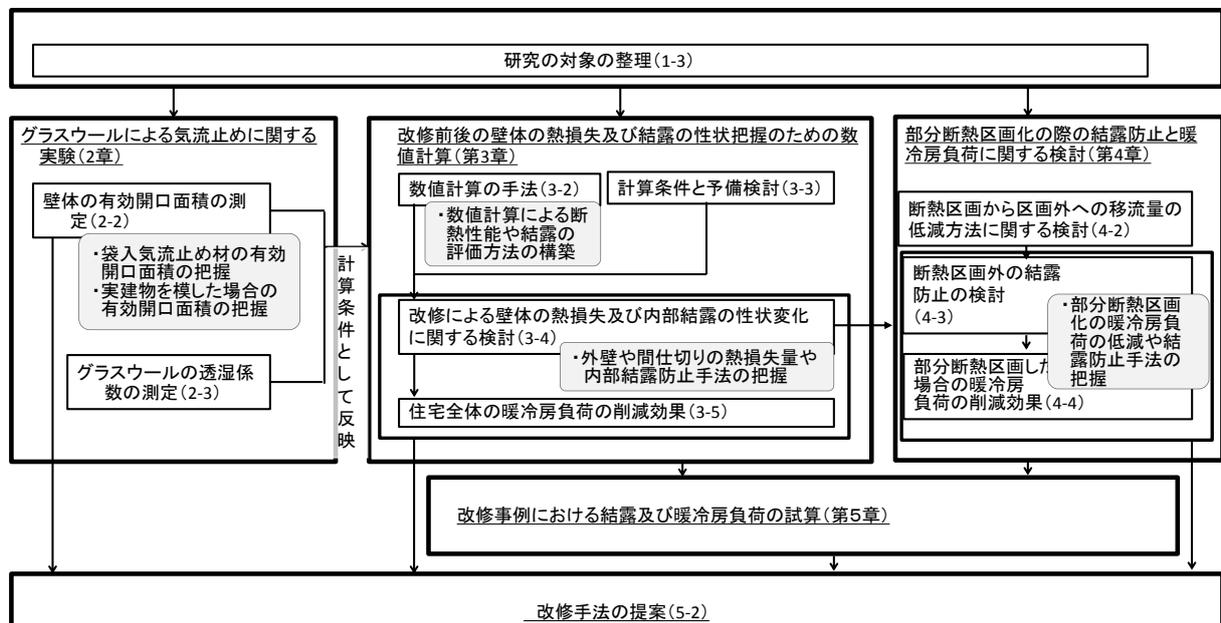


図 1-2 研究のフロー

【第1章参考文献】

- 1-1) 福田圭祐：北海道金融経済レポート 北海道における住宅取得需要の動向，日本銀行札幌支店ホームページ公開資料
- 1-2) 北海道 R 住宅ホームページ：<http://hokkaido-r.jp/column/index.php>
- 1-3) 上野栄，石川松四郎，福島明ら：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，北海道立寒地建築研究所調査研究報告，1983.3
- 1-4) 鎌田紀彦，鈴木大隆，廣田誠一：寒冷地における繊維系断熱材を充填した木造壁体の内部結露の防止手法に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文集，第513号，pp.39-45，1998.11
- 1-5) 鎌田紀彦，寺山哲夫，鈴木大隆ら：既存木造住宅の断熱改修による効果に関する研究，日本建築学会北海道支部研究報告集 No.59，pp.113-116，1986.3
- 1-6) NPO 法人新木造住宅技術研究協議会発行：新住協技術情報 第42号，2010.8
- 1-7) 小南和也，小早川香，鈴木大隆，伊庭千恵美，岩前篤：空気移動を考慮した断熱外壁の熱・湿気性能に関する基礎実験 その5 壁体の断熱性能の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp.219-220，2005.9
- 1-8) 小笠原一隆，北谷幸恵，鈴木大隆：北海道の既設木造戸建住宅の建築・居住者属性に応じた断熱改修手法に関する研究 その1 建築部位の熱性能試験，日本建築学会北海道支部研究報告集 第87号，pp.171-174，2014.6
- 1-9) 向井一将，銚井修一，小南和也ら：在来木造住宅の断熱壁体内における熱・湿気性状 空気流動を考慮した実大壁体実験の解析，日本建築学会環境系論文集 第623号，pp.17-22，2008.1
- 1-10) 齋藤宏昭，坂本雄三，澤地孝男，瀬戸裕直：木造断熱外壁の空隙における移流を考慮した湿気性状の解析 透気率及び隙間量の測定と2次元計算モデルの検証，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp.389-392，2006.9

2. グラスウールによる気流止めに関する実験

2.1 検討の目的と概要

気流止め工法は、土台周りや胴差、桁廻りなどの仕上げ材を一部撤去し、製品として市販されている気流止め用の部材（写真 2-1）もしくは、現場でグラスウールをポリエチレンなどの袋に入れて減圧圧縮して作成する圧縮グラスウール（以下、「専用部材」という、写真 2-2）を挿入する方法が提案・実践されている。専用部材は圧縮されて薄いため、狭い施工空間における作業性に優れている。

この様な気流止めを挿入した壁体の有効開口面積の定量化については、布井、廣田ら^{2-1), 2-2)}が在来木造の壁体モデルの実験により、壁の長さあたりの有効開口面積^{*1}0.14 cm²/m を報告している。

一方、これらの専用部材等以外にも、本州で市販されている防湿層が付属したグラスウール（以下、「袋入りグラスウール」という。）や北海道で主流の袋に入っていないグラスウール（以下、「裸グラスウール」という。）を気流止めとして使用できれば、気流止め工法の選択肢が広がる。しかし、これらの性能を定量化した事例はない。

※1 有効開口面積 αA :

内外圧力差 ΔP が 9.8Pa のときに、 $\alpha A = \sqrt{2\Delta P/\rho}$ で算出される。単位[m²]。 ρ は空気密度 [kg/m³]



写真 2-1 気流止め用の部材



写真 2-2 減圧圧縮した気流止め専用部材

本章では、これらの気流止め材を壁内に挿入した場合の有効開口面積の測定を以下の 4 つのステップ（STEP0～STEP3）に分けて行った。

- STEP0 有効開口面積の推定
- STEP1 気流止め材の有効開口面積の測定
 - 1) 裸グラスウールの基本性能
 - ・ 2枚重ね
 - ・ 奥行長さ
 - ・ グラスウールの種類
 - ・ 幅寸法
 - ・ 見かけの密度
 - 2) 2つ折りした場合の性能

- ・グラスウールの種類
- ・袋入りグラスウールのカット方法、挿入幅、奥行き長さ

STEP2 実建物を模した場合の有効開口面積の測定

- ・気流止めによる場合
- ・根太及び大引き間の床断熱による場合
- ・隙間の形成要因の推定

STEP3 測定実験の再現性の評価

また、壁体の結露に関する数値計算による検討に必要なグラスウールの透湿係数の測定を行う。

2.2 壁体の有効開口面積の測定

(1) 実験方法

実験には当研究所の水密気密試験装置（写真 2-3、図 2-1）を使用し、気流止め前後の圧力差と風量との関係を計測し、有効開口面積と隙間特性値を算出した。

圧力段階は 5, 10, 20, 30, 40, 50Pa で正圧と負圧の設定で、それぞれ定常になった時点での圧力差と流量を計測した。壁内部の圧力が高く、小屋裏や床下の圧力が低い状態を正圧とした。風量計の計測は一方方向のため、正圧と負圧測定時に試験体の方向を入れ替えるために、試験体の再設置とグラスウールの再施工を行っているが、施工方法が計測結果に影響を与えないようグラスウールの挿入で隙間が生じないように留意した。

各試験体で計測される隙間からの流量には、試験体枠からのものも含まれるため、試験に先立ち試験体枠の ΔP 、 Q の関係を計測し、各試験体の結果からこれを差し引いた。試験体には 0.91m の壁体間に間柱を入れたモデルとした。試験体の一例を図 2-2 に示す。



写真 2-3 水密気密試験装置外観

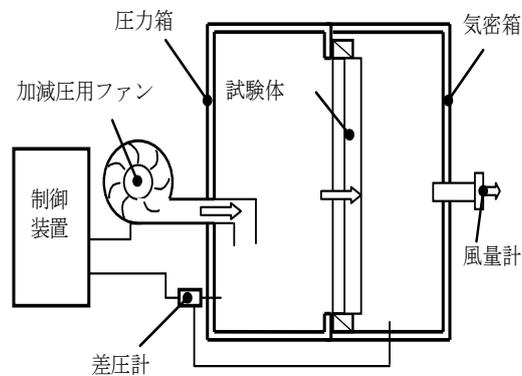


図 2-1 水密気密試験装置模式図

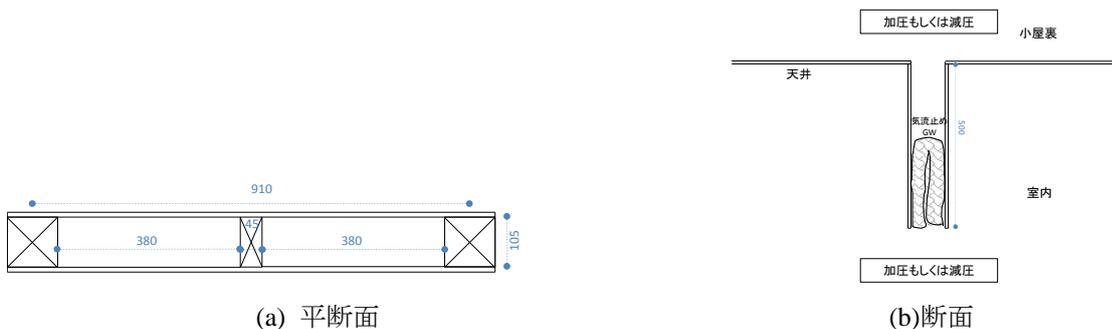


図 2-2 試験体図面

(2) STEP 0 有効開口面積の推定

既往の研究から、裸グラスウールを気流止めとして挿入した壁体の有効開口面積の推定を試みた。

文献^{2-3), 2-4)}で示されるグラスウールの透気率を図 2-3 に整理した。既往の測定は、グラスウールの繊維垂直方向（壁に垂直方向）に着目したものが多かった。グラスウールの繊維平行方向（壁の面内方向）の透気率は 0.0003~0.0005 程度であった。

105mm 幅の裸グラスウール（透気率 0.0003~0.0005）を挿入した壁体の有効開口面積を試算すると図 2-4 のようになった。105mm 幅の壁体にグラスウール 10~16K 程度を呼び厚さ通りに（圧縮しないで）奥行 300mm 充填すると、壁長さあたりの有効開口面積が 1.7~3.0cm²/m となった。奥行 100mm 以下では有効開口面積が 5cm²/m 以上となった。気流止めとして有効開口面積を小さくするには奥行長さを要する。グラスウールを圧縮して充填すると有効開口面積が小さくなると考えられるが、圧縮したグラスウールの透気率のデータがないため、次節以降で検討を行う。

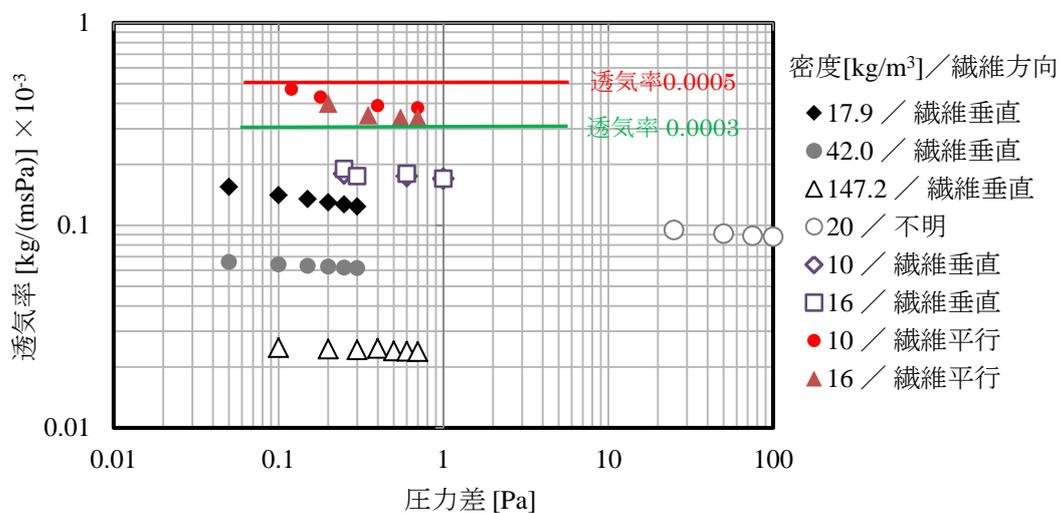


図 2-3 グラスウールの透気率に関する文献値（出典文献^{2-3), 2-4)}

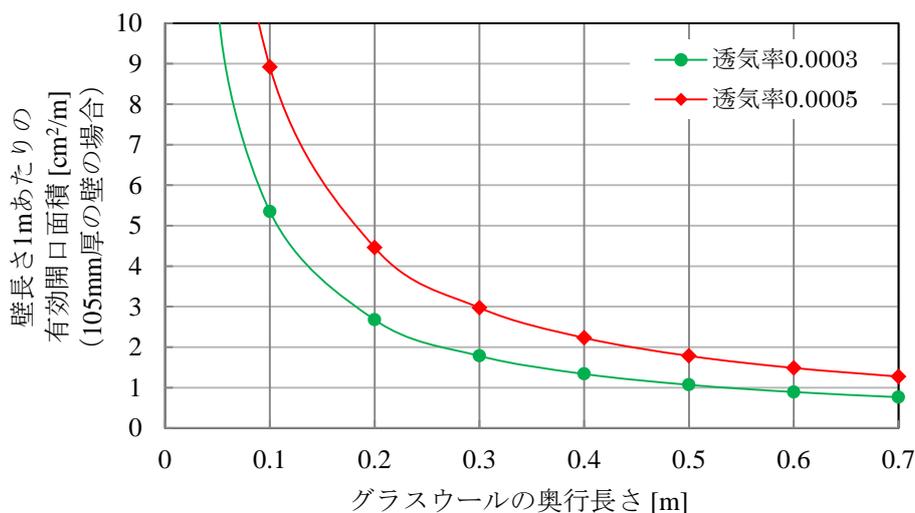


図 2-4 グラスウールの有効開口面積（文献の透気率から換算）

(3) STEP 1 気流止め材の有効開口面積

1) 裸グラスウールの基本性能

裸グラスウールを圧縮した気流止めに関する基礎的なデータを取得した。実際の壁体では壁体内部の貫や胴縁、釘が気流止め施工の阻害となり、有効開口面積を増大させる可能性があるが、ここではまず、裸グラスウールの基本性能を把握するための測定を行った。なお、グラスウールを圧縮して挿入する場合は2つ折りにはせず、同じ寸法の断熱材を2枚重ねで挿入した。

① 2枚重ね (図 2-5)

2枚重ねて圧縮し挿入することで、裸グラスウールが1枚に比べ有効開口面積が小さくなった。裸グラスウール 16K-100mm である CASE 1-1 の実験結果 ($2.7\text{cm}^2/\text{m}$) は透気率の文献値から推測される有効開口面積の範囲 ($1.7\sim 3.0\text{cm}^2/\text{m}$) 内に収まる値であった。

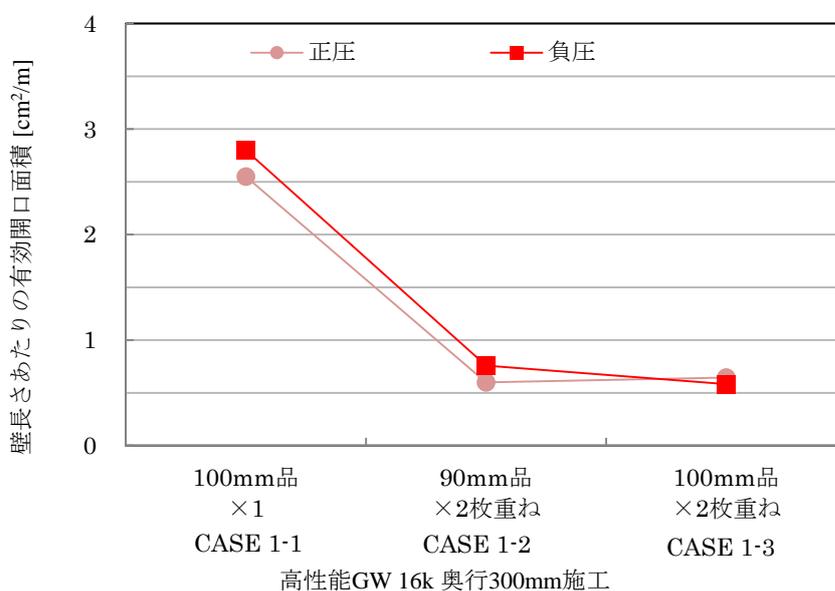


図 2-5 グラスウールの圧縮と有効開口面積の関係

② 奥行長さ (図 2-6)

裸グラスウール挿入の奥行を 100mm から 500mm まで 100mm ずつ長くした場合の有効開口面積を測定し、長くなるに従って小さくなることを確認した。これは、文献の透気率から試算した図 2-4 と同様の傾向であった。

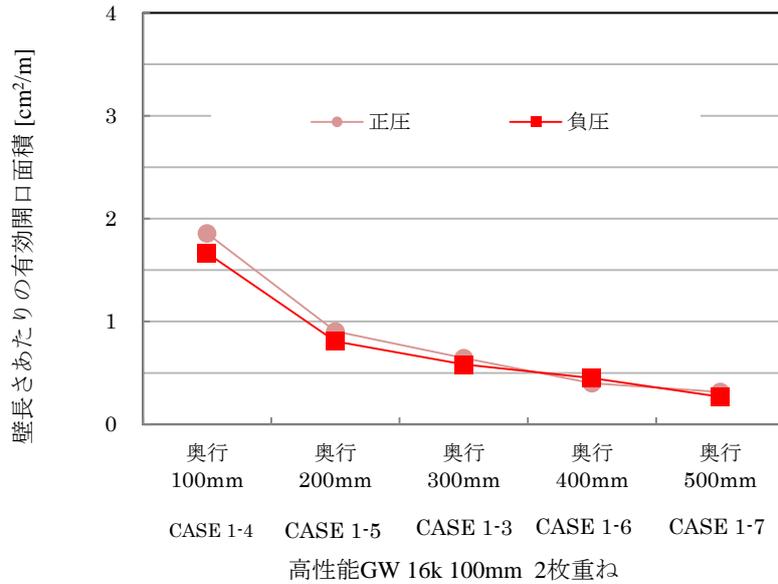


図 2-6 挿入する奥行長さと有効開口面積の関係

③ グラスウールの種類 (図 2-7)

GW10K よりも、密度が高い GWHG16K や GW24K の方が有効開口面積は小さくなった。GW24K は GWHG16K よりやや硬く、試験壁体の内面への密着性が低かったために有効開口面積が大きくなったと考えられる。

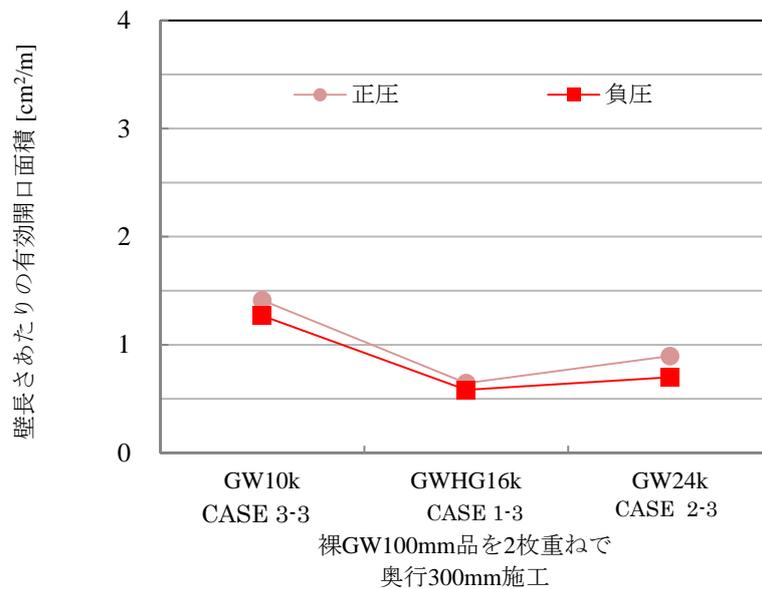


図 2-7 裸グラスウールの種類と有効開口面積の関係

④ 寸法 (図 2-8)

柱・間柱間の寸法が 380mm に対し、グラスウールの幅を同寸とした場合は、有効開口面積が大きくなった。これは、グラスウールと柱・間柱の間に隙間が生じるためと考えられる。また、挿入幅を大

きくしていくと、+40mm 程度までは有効開口面積はそれほど変わらないが、+60mm では大きくなる傾向が見られた。幅寸法が大きい場合に生じる隙間については(4) 3)で詳しく分析する。

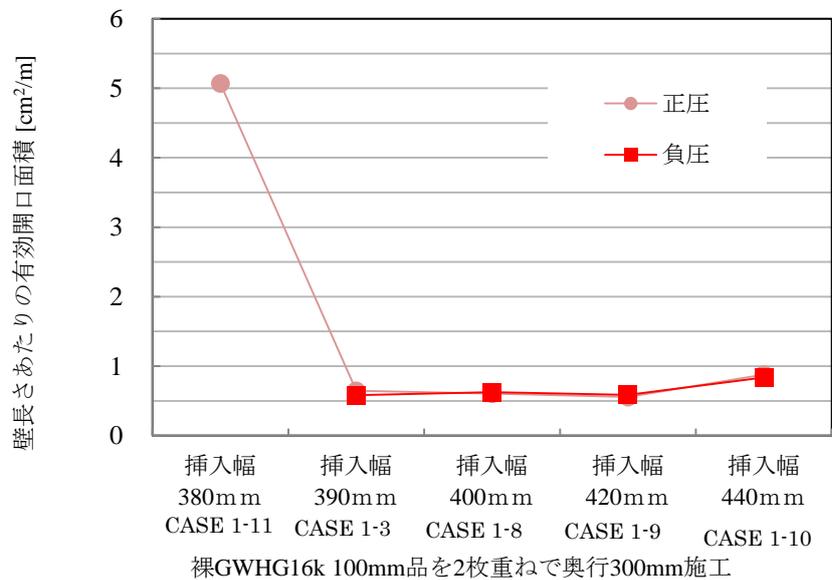


図 2-8 挿入幅と有効開口面積の関係 (柱・間柱間 380mm 間に挿入)

⑤ 見かけの密度 (図 2-9)

見かけの密度は、ガラスウールの製品密度に製品の呼び厚さと挿入枚数を乗じ、壁の厚みで割った値とした。見かけの密度が高くなると有効開口面積が小さくなる傾向がみられた。ただし、密度 30kg/m^3 程度で有効開口面積の低下が頭打ちとなった。

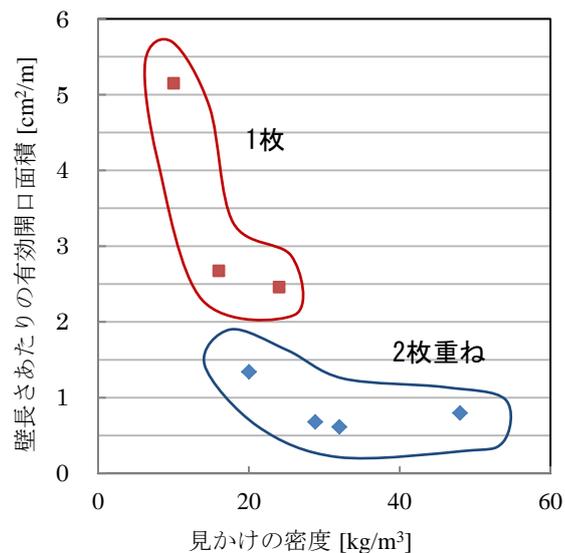


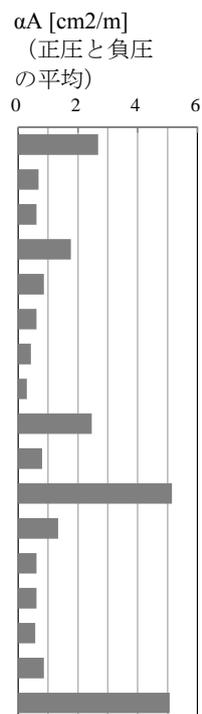
図 2-9 見かけの密度と有効開口面積の関係 (いずれも奥行長さ 300mm)

裸グラスウールの基本性能に関する実験から、裸グラスウールについては、密度が 16K 以上で厚さ 90mm 以上を 2 枚重ねで適切な挿入幅（柱間柱間の内寸+10~40 mm 程度）、奥行長さ方向を 300mm 以上とすれば、有効開口面積を 0.7cm²/m 程度以下に抑えられることが分かった。

測定結果の一覧を表 2-1 に示す。

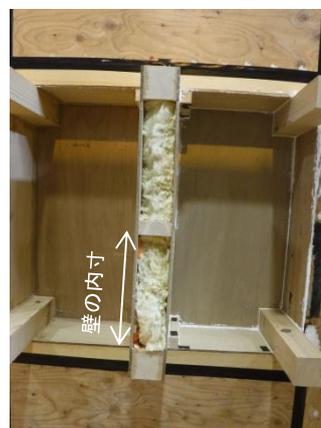
表 2-1 気流止めの有効開口面積一覧（STEP1 裸グラスウールの基本性能）

ケース名	種別	充填量	見かけの密度 [kg/m ³]	奥行 [mm]	挿入幅 [mm] (柱・間柱間の 内寸380mm)	結果			
						正圧		負圧	
						αA	n値	αA	n値
						[cm ² /m]		[cm ² /m]	
Case 1-1	GWHG 16K	100mm×1	16	300	390mm	2.55	1.13	2.80	1.13
Case 1-2		90mm×2	28.8	300		0.60	1.08	0.76	0.99
Case 1-3		100mm×2	32	300		0.65	1.03	0.58	1.01
Case 1-4		100mm×2	32	100		1.86	1.02	1.67	0.98
Case 1-5		32	200	0.90		1.00	0.81	1.00	
Case 1-3		32	300	0.65		1.03	0.58	1.01	
Case 1-6		32	400	0.40		1.08	0.45	1.02	
Case 1-7	32	500	0.32	1.02	0.27	0.97			
Case 2-1	GW 24K	100mm×1	24	300	2.51	1.07	2.41	1.06	
Case 2-3		100mm×2	48	300	0.90	1.10	0.70	0.95	
Case 3-1	GW 10K	100mm×1	10	300	5.07	1.11	5.23	1.02	
Case 3-3		100mm×2	20	300	1.41	1.06	1.27	0.98	
Case 1-3	GWHG 16K	100mm×2	32	300	390mm	0.65	1.03	0.58	1.01
Case 1-8		32	300	400mm	0.60	1.03	0.63	1.02	
Case 1-9		32	300	420mm	0.56	1.01	0.59	1.02	
Case 1-10		32	300	440mm	0.88	1.08	0.84	1.07	
Case 1-11		32	300	380mm	5.07	1.11	-	-	



2) 2つ折りした場合の性能

1)の実験では所定の厚みに切り出した裸グラスウールを 2 枚重ねとしたが、ここでは実際に施工することを想定して 2 つ折りの場合の性能を確認した（写真 2-4）。使用したグラスウールは裸品と袋入りである。



(a) 施工の状況

(b) 施工後の状況

写真 2-4 グラスウールの施工状況（CASE1-12）

実験で得られた結果を以下にまとめる。

① グラスウールの種類 (図 2-10)

裸グラスウールを2つ折りした場合の有効開口面積は、2枚重ねとした場合と同程度であった。袋入りグラスウールについては、袋であるポリエチレンフィルムの厚みが薄い(20 μ m)場合に有効開口面積が小さくなった。

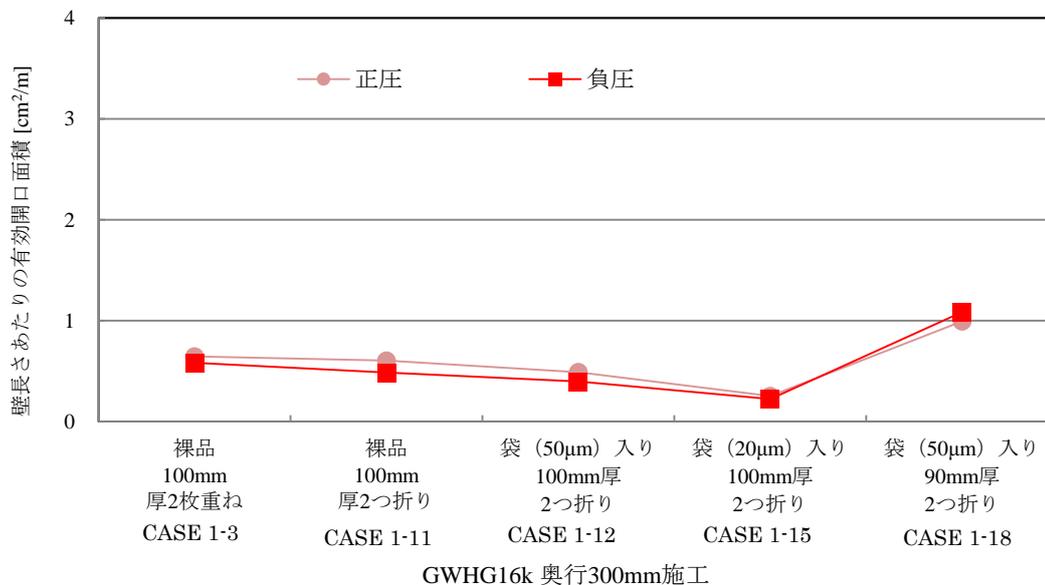


図 2-10 2つ折りグラスウールの有効開口面積

② 袋入りグラスウールのカット方法、挿入幅、奥行長さ (図 2-11)

柱・間柱間の寸法が 380mm に対し、435mm の袋入りグラスウールを3つの方法でカットして使用した場合の性能を確認した。

435mm そのままで二つ折りした場合は隙間が発生しやすく有効開口面積が大きくなった。巾を 390mm にカットした場合 (縦カット=奥行長さ 300mm、横カット=奥行長さ 217mm) はいずれも同程度の値となった。奥行長さが違うにも関わらず同程度の値となった理由は、有効開口面積が袋の通気抵抗により確保されているためと考えられる。

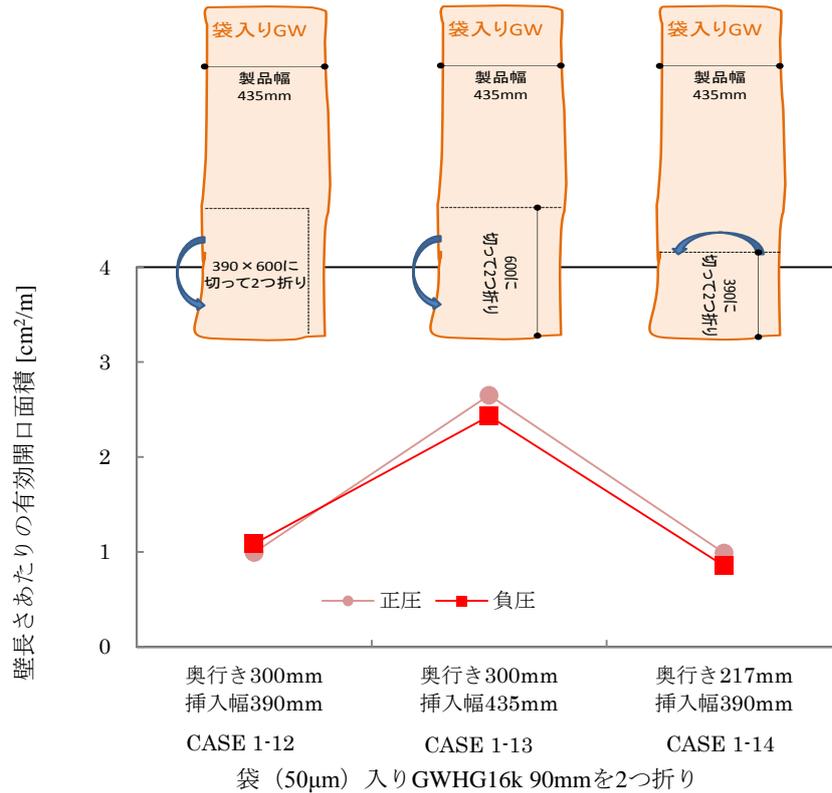


図 2-11 袋入りグラスウールの挿入幅と有効開口面積の関係 (CASE1-12~1-14)

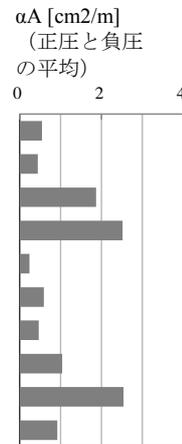
グラスウールを2つ折りにした実験から、気流止めとして密度16K以上で厚さ90mm以上の裸グラスウールを適切な挿入幅(柱間柱間の内寸+10mm程度)で、奥行長さ方向600mm以上を2つ折りで挿入すると、有効開口面積を0.6cm²/m程度以下に抑えられることが分かった。

袋の厚みで比較すると20μmの袋入りの有効開口面積が小さかった。20μmの袋入りで、密度16k以上で厚さ100mm以上を適切な挿入幅(柱間柱間の内寸+10~55mm程度)で、奥行長さ方向435mm以上を2つ折りで挿入すると、有効開口面積を0.7m²/m程度以下に抑えられることがわかった。

測定結果の一覧を表2-2に示す。

表 2-2 気流止めの有効開口面積一覧 (STEP1 2つ折りした場合)

ケース名	種別	気流止め材	見かけの密度 [kg/m ³]	奥行 [mm]	挿入幅 [mm] (柱・間柱間の内寸 380mm)	結果			
						正圧		負圧	
						αA [cm ² /m]	n値	αA [cm ² /m]	n値
Case 1-11	GWHG 16K	裸100mm厚2つ折り	32	300	390mm	0.60	1.00	0.49	0.99
Case 1-12		袋(50μm)入り	32	300	390mm	0.49	1.19	0.40	1.28
Case 1-13		100mm厚	32	300	435mm	1.64	1.42	2.09	1.61
Case 1-14			32	217.5	390mm	2.00	1.53	3.03	1.45
Case 1-15		袋(20μm)入り	32	300	390mm	0.25	1.10	0.22	1.08
Case 1-16		100mm厚	32	300	435mm	0.53	1.19	0.65	1.26
Case 1-17			32	217.5	390mm	0.51	1.18	0.42	1.38
Case 1-18		袋(50μm)入り	28.8	300	390mm	0.99	1.31	1.09	1.28
Case 1-19		90mm厚	28.8	300	435mm	2.65	1.55	2.43	1.47
Case 1-20			28.8	217.5	390mm	0.99	1.30	0.85	1.40



(4) STEP 2 実建物を模した場合の有効開口面積

1) 気流止めによる場合

STEP2 では、実建物を模した試験体を用いて測定を行い、壁体内部の形状要因や気流止めの施工しにくさの要因が有効開口面積に及ぼす影響を考察する（図 2-12）。

試験体平面と断面を

図 2-13 に示す。貫や釘は、過去の住宅図面、施工業者へのヒアリング及びせっこうボードの施工要領を参考に設定した。貫と釘は取り外せるようにし、これらの存在の有無の影響を検討した。

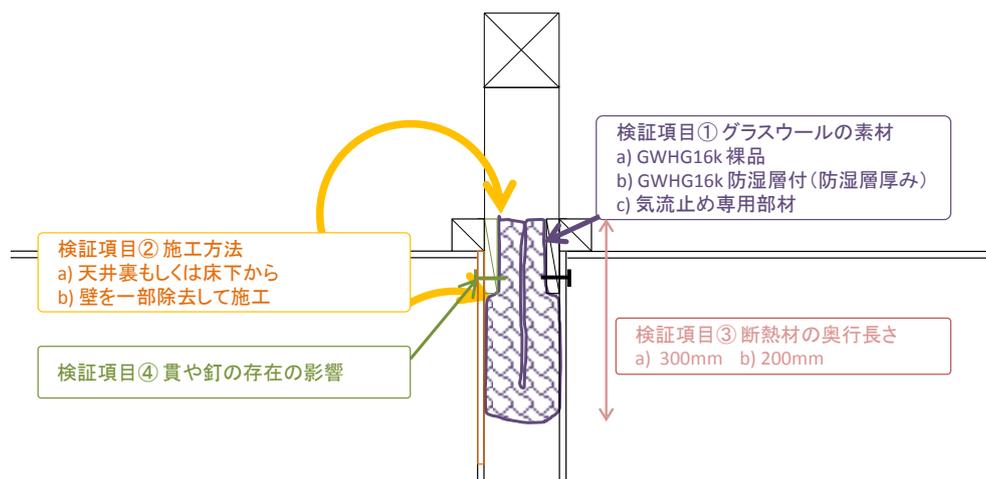


図 2-12 STEP2 の検討内容

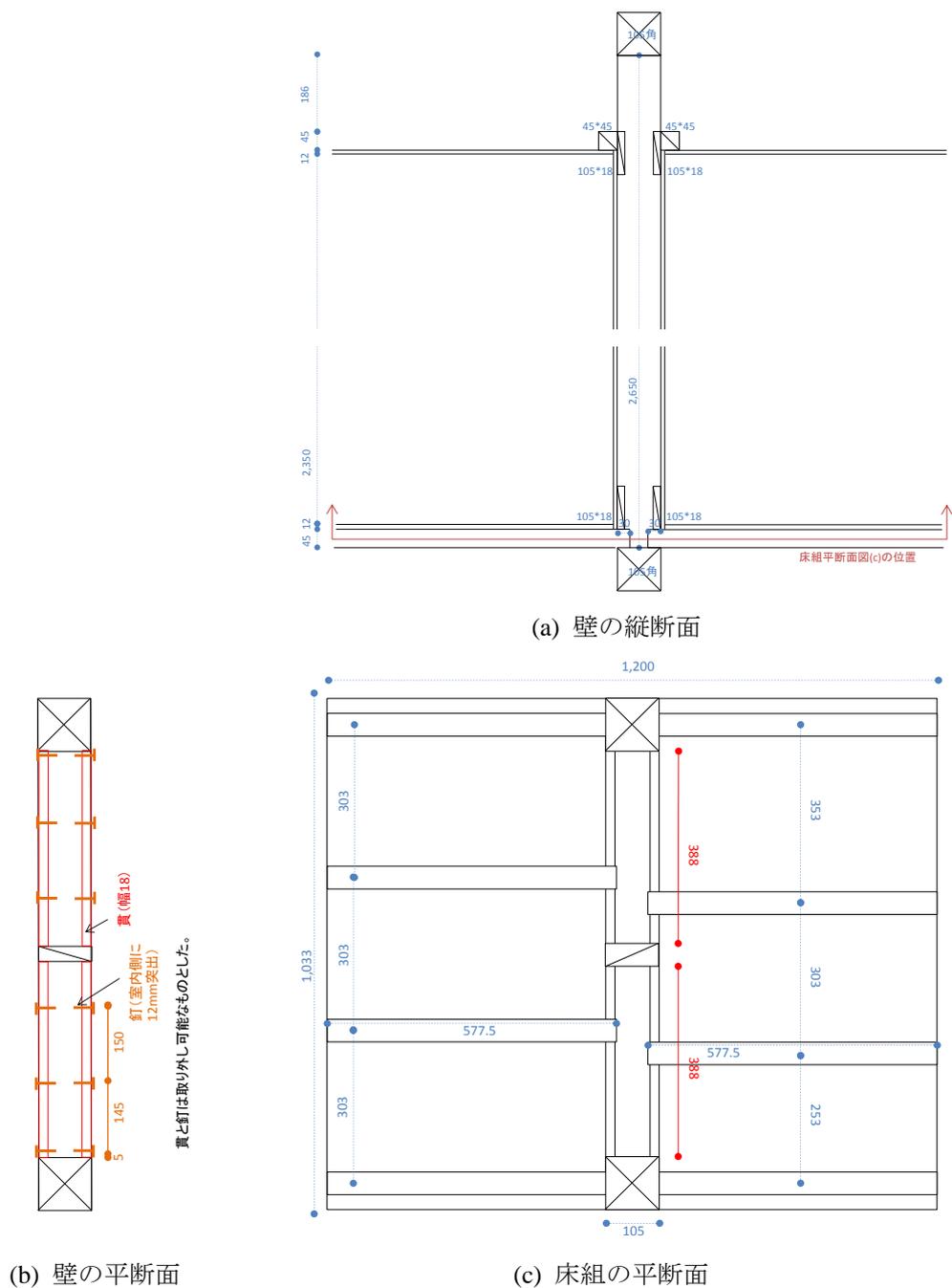


図 2-13 試験体図面

① 壁上部の気流止め

A. 小屋裏からの施工（奥行 300mm まで挿入）

全般的に、貫が無い STEP1 の実験に比べて、同じ気流止め材を用いた場合に有効開口面積が小さくなる傾向がみられた。これは、貫があることにより壁の見付幅が狭くなり、グラスウールの見かけの密度が高まったためと考えられる。施工に際しては、強く圧縮して挿入しなければならないので、気流止め材の挿入に力を要した。釘が突出している場合は、グラスウールが釘に引っかかるため、更に挿入が難しくなった。

a. 裸グラスウール（高性能16K）100mm 二つ折り（CASE 2-1～2-3、壁内部の貫と釘の状況が異なる）

壁内両面に貫と釘のある CASE2-3 は、裸品の高性能グラスウール 16K-100 mm を 2 つ折りして挿入することができず、1 枚のまま挿入した。この際、釘が手に刺さることが多く、現場での施工も困難を伴うと推察された。釘が突出している場合は、無い場合よりもやや有効開口面積が大きくなった。突出した釘により、袋入り製品では袋が破れ、裸品ではグラスウールが傷つくことが避けられなかった。

b. 厚みが 20 μm の袋入りグラスウール 100mm 二つ折り（CASE 2-4～2-6、壁内部の貫と釘の状況が異なる）

高性能グラスウールの場合に比べて、いずれも有効開口面積が小さくなった。特に、壁内の両面に貫と釘がある、CASE2-6 では、有効開口面積 0.49 cm^2/m に抑えられた。これは、袋が通気抵抗の役割を果たしたためと考えられる。

c. 厚みが 50 μm の袋入りグラスウール 100mm 二つ折り（CASE 2-7、2-8、壁内部の貫と釘の状況が異なる）

高性能グラスウール及び 20 μm の袋入りグラスウールに比べて有効開口面積が大きくなった。これは、後述するが、袋が厚くなったため、シワによる通気経路が形成されやすくなったためと考えられる。

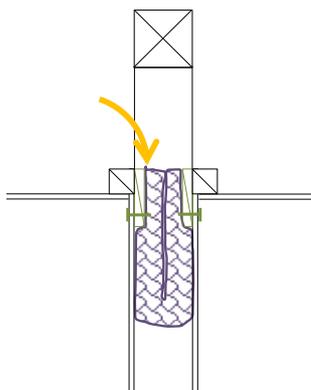


図 2-14 挿入方法



写真 2-5 挿入状況①



写真 2-6 挿入状況②



写真 2-7 挿入の完了状況

B. 小屋裏からの施工（貫から突出している釘まで挿入）（CASE 2-9～2-11、2-16、使用している気流止め材の種類が異なる）

前項では、釘がある状況でグラスウールや袋が破れても押し込んで挿入したが、ここでは、釘にぶつかるまでで止めることにした。挿入の奥行長さは 60 mm 程度である。

奥行長さは短いが、貫で壁の見付幅が小さくなることで、見かけの密度が高くなり有効開口面積をいずれも $1.0 \text{ cm}^2/\text{m}$ 以下に抑えられた。特に、厚みが $20 \mu\text{m}$ の袋入りグラスウール(CASE2-10)では、有効開口面積が $0.20 \text{ cm}^2/\text{m}$ となった。

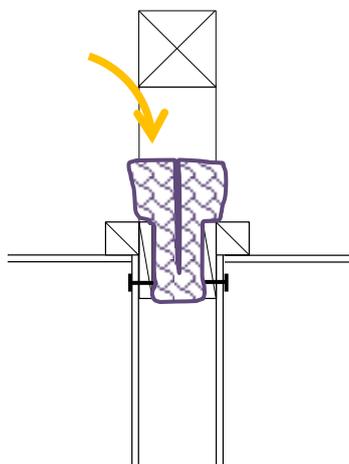


図 2-15 挿入方法



写真 2-8 挿入の完了状況

C. 小屋裏から専用部材の施工（奥行 300mm まで挿入）（CASE 2-14、2-15、使用している気流止め材の種類が異なる）

小屋裏から専用部材（防湿層厚み $30 \mu\text{m}$ 、写真 2-2）を挿入した。壁の内寸は 388mm、気流止め専用部材の平面寸法は $395 \times 425\text{mm}$ であったため、向きを変えて挿入して比較したが、あまり違いは見られなかった。

減圧圧縮され薄くなっても突出した釘を避けて奥行方向に深く挿入するのは難しく、挿入中に防湿層に穴が空くことがあった。厚み $20 \mu\text{m}$ の袋入りグラスウールと有効開口面積に大きな違いは見られなかった。



写真 2-9 挿入の完了状況



写真 2-10 挿入状況



写真 2-11 部材の圧縮状況

表 2-3 壁上部の気流止めを小屋裏から施工した場合

	壁内部		気流止め材			有効開口面積 $\alpha A(\text{cm}^2/\text{m})$	有効開口面積の小さい又は大きい理由	
	貫	釘	袋	種類	奥行き (mm)			幅 (mm)
2-1	なし	なし	なし	高性能 16K-100mm 二つ折り	300	435	0.56	
2-2	両側	なし	なし	高性能 16K-100mm 二つ折り	300	435	0.30	
2-3	両側	両側	なし	高性能 16K-100mm	300	435	1.59	2 つ折りは壁内へ挿入できなかつたため1枚とした。釘により施工が困難で隙間が増加する
2-4	片側	片側	20 μm	16K-100mm 二つ折り	300	435	0.49	
2-5	両側	なし	20 μm	16K-100mm 二つ折り	300	435	0.25	
2-6	両側	両側	20 μm	16K-100mm 二つ折り	300	435	0.49	
2-7	両側	なし	50 μm	高性能 16K-100mm 二つ折り	300	435	0.92	袋が厚いため、しわができて隙間が大きくなる
2-8	両側	両側	50 μm	高性能 16K-100mm 二つ折り	300	435	1.63	
2-9	両側	両側	なし	高性能 16K-100mm 二つ折り	60 (貫の釘にぶつかる所まで)	400	0.77	奥行長さは短い、貫で壁の見付幅が小さくなるため見かけの密度が高く有効開口面積が小さくなる。
2-10	両側	両側	20 μm	16K-100mm 二つ折り		400	0.20	袋が薄いためにシワができてづらく、有効開口面積が小さくなる。
2-11	両側	両側	50 μm	高性能 16K-100mm 二つ折り		400	0.87	
2-14	両側	両側	30 μm	気流止め専用部材 GW16k-140mm	425	395	0.42	
2-15	両側	両側	30 μm	気流止め専用部材 GW16k-140mm	395	425	0.50	
2-16	両側	両側	50 μm	高性能 16K-90mm 二つ折り	60	400	0.89	

D. 室内側からの施工（奥行 300mm まで挿入）（CASE 2-12、2-13、2-17、使用している気流止め材の種類が異なる）

小屋裏からの施工が不可能な場合も想定されるため、室内側の壁を一部撤去し、室内側からグラスウールを挿入する方法について検討した。

施工については、特に裸グラスウールの場合に、2 つ折りして壁内に挿入した状態で壁を閉じることが難しく、袋入りである必要性を感じた。

有効開口面積の測定結果は、小屋裏からの挿入の場合と大きな違いは見られなかった。

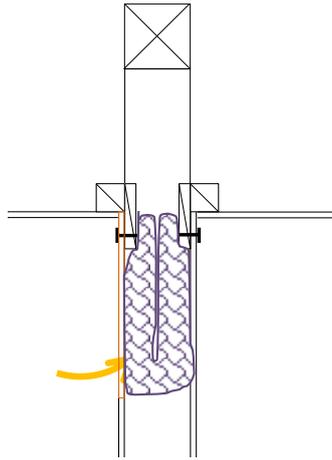


図 2-16 挿入方法



写真 2-12 挿入の完了状況

表 2-4 壁上部の気流止めを壁側面から施工した場合

	壁内部		気流止め材			有効開口面積 α A(cm ² /m)	有効開口面積の小さい又は大きい理由	
	貫	釘	袋	種類	奥行き (mm)			幅 (mm)
2-12	両側	両側	なし	高性能 16K-100mm 二つ折り	600	435	0.57	
2-13	両側	両側	20μm	16K-100mm 二つ折り	435	400	0.39	
2-17	両側	両側	50μm	高性能 16K-90mm 二つ折り	435	400	0.49	

②壁下部の気流止め

A. 床下からの施工

測定結果を表 2-5 に示す。いずれの仕様も有効開口面積 1 cm²/m 以上となった。

床下から根太間への気流止め材の挿入は、根太が障害となり、小屋裏から挿入するときのように壁体内部に完全に挿入できず、図 2-17 や写真 2-13、2-14 のような挿入状況になった。

裸グラスウールでは材料内部の透気量が大きいため、有効開口面積が大きくなった。袋入りグラスウールは、防湿層フィルムが薄い場合でも 1.2cm²/m 程度と他のケースに比べ有効開口面積が大きくなった。

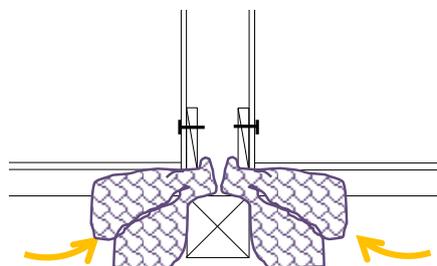


図 2-17 床下からの気流止め材の挿入状況の断面図



写真 2-13 床下からの気流止め挿入状況①



写真 2-14 床下からの気流止め挿入状況②

表 2-5 壁下部の気流止めを床下から施工した場合

	壁内部		気流止め材				有効開口面積 $\alpha A(\text{cm}^2/\text{m})$	有効開口面積の小さい又は大きい理由
	貫	釘	袋	種類	奥行き (mm)	幅 (mm)		
2-18	両側	両側	なし	高性能 16K-100mm 二つ折り	600	挿入する 壁の内寸 +10mm にカット して使用	2.13	挿入部分の形状が複雑な ため、躯体と気流止めの 間に隙間が生じやすいた め、有効開口面積が大き くなる。
2-19	両側	両側	20 μm	16K-100mm 二つ折り	435		1.21	
2-20	両側	両側	50 μm	高性能 16K-90mm 二つ折り	435		1.63	

床下からの気流止めの施工方法として、減圧圧縮した専用部材（425×395×140 mm、専用部材を圧縮すると厚みが小さくなるが、平面寸法はほとんど変化がない）を壁内部まで挿入することを試みたが、図 2-13(c)に示すように 300 mm 程度の間隔に配置された根太のほか、大引きや間柱が障害となって、挿入できなかった（図 2-18）。

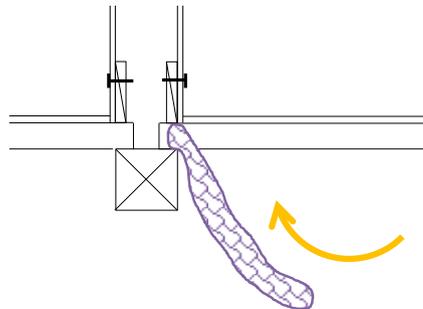


図 2-18 床下からの減圧圧縮部材の挿入

B. 室内側からの施工

床下からの気流止め材の挿入は難しく有効開口面積が小さくならなかったため、側面から挿入する方法が有効と考えられる。（図 2-19）。この方法については、壁上部の試験（CASE 2-12 と CASE 2-13）と同様の値になると想定できるため測定は実施しなかった。つまり有効開口面積は 0.49～0.57 cm^2/m 程度と想定される。

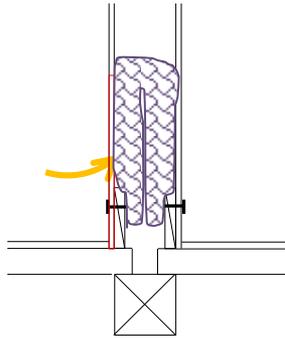


図 2-19 室内側からの気流止め材の挿入

2) 根太及び大引き間の床断熱による場合

①根太間の床断熱 (CASE 2-21)

グラスウールボード 32K を用いた床断熱による気流止め効果について検討を行った。測定の結果、図 2-20 の赤矢印で示すように、グラスウール内部を透気する量が多く、有効開口面積は $4.8 \text{ cm}^2/\text{m}$ となった。これは、前述したグラスウールの透気率 (図 2-3) から推定される有効開口面積と同程度 ($4 \text{ cm}^2/\text{m}$ 程度) であった。

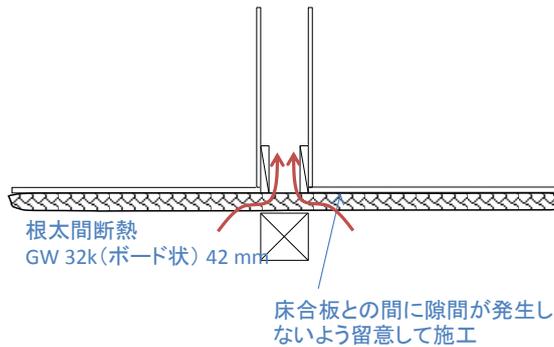


図 2-20 根太間のグラスウール



写真 2-15 根太間のグラスウール

②大引き間の床断熱 (CASE 2-22)

グラスウールボード 32K を用いた大引き間充填の床断熱による気流止め効果について検討を行った。その結果、グラスウール施工部分の端部及び平面部から透気し、有効開口面積が大きくなった ($18 \text{ cm}^2/\text{m}$)。これは、文献によるグラスウールの透気率 (図 2-3) から推定される有効開口面積と同程度 ($14 \text{ cm}^2/\text{m}$ 程度) の結果であった。

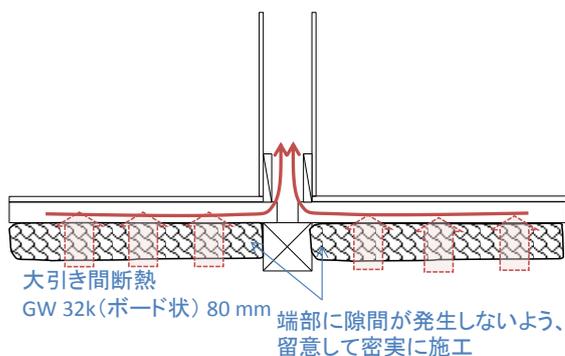


図 2-21 大引き間のグラスウール



写真 2-16 大引き間のグラスウール

表 2-6 壁下部の気流止めがない床断熱の場合

	壁内部		気流止め材				有効開口面積 $\alpha A(\text{cm}^2/\text{m})$	有効開口面積の小さい又は大きい理由
	貫	釘	袋	種類	奥行き (mm)	幅 (mm)		
2-21	両側	両側	なし	32K ボード 42mm	はめ込む部分の平面寸法+10mmにカットして使用		4.81	グラスウール内部で透気する。
2-22	両側	両側	なし	32K ボード 80mm			18.45	

3) 隙間の形成要因の推定

気流止めを挿入した壁体の有効開口面積が大きくなる主な要因は以下のように考えられる。

① 裸グラスウールの場合

材料内部での透気量が大きくなる。

② 袋入りグラスウールの場合

挿入時に壁体内面と気流止めが密着できずに隙間ができる。

①の防止対策としては、裸グラスウールを圧縮して挿入し見かけの密度を高めること、奥行長さを確保することのほか、それらが難しいときには袋入りグラスウールを用いることが考えられる。

ここでは、②の隙間ができる要因を詳細に把握するために、気流止めを透明の亚克力板で作成した壁体に挿入して観察した。写真 2-17 から写真 2-22 に、厚みが $50\mu\text{m}$ の袋入り、厚みが $20\mu\text{m}$ の袋入り、裸グラスウールのそれぞれについて、挿入幅が大きい場合（壁幅 389mm に対して挿入幅 435mm ）、挿入幅が適切な場合（壁幅 389mm に対して挿入幅 400mm ）の気流止め挿入状況を示す。

挿入幅が大きいケースでは、グラスウール本体もしくは袋にできるシワが、挿入幅が適切なケースに比べて深くなる。この傾向は厚みが $50\mu\text{m}$ の袋入りで顕著であった。シワが大きい場合は入り口側から出口側まで溝ができて連通する様子が目視で確認できたことから、有効開口面積の増大につながるものと考えられる。



写真 2-17 挿入幅が壁幅に対して大きい
(厚みが $50\mu\text{m}$ の袋入り)



写真 2-18 挿入幅が適切
(厚みが $50\mu\text{m}$ の袋入り)



写真 2-19 挿入幅が壁幅に対して大きい
(厚みが $20\mu\text{m}$ の袋入り)



写真 2-20 挿入幅が適切
(厚みが $20\mu\text{m}$ の袋入り)



写真 2-21 挿入幅が壁幅に対して大きい
(裸グラスウール)



写真 2-22 挿入幅が適切
(裸グラスウール)

(5) STEP 3 測定実験の再現性の評価

同一の施工者が繰り返し気流止め材を挿入して有効開口面積を測定し、測定実験の再現性を確認した。対象ケースはSTEP2で有効開口面積を小さく抑えることができたCASE 2-10（小屋裏側から袋入り気流止めを挿入）とCASE 2-13（室内側から壁を撤去して気流止めを挿入）とした。結果を表 2-7 に示す。

有効開口面積の標準偏差は2 ケースとも $0.07\text{cm}^2/\text{m}$ であった。

次に、同じケースで、5 人の施工者が気流止めを施工し、有効開口面積を比較した（表 2-8）。各施工者には、施工前にそれぞれのケースの気流止め材の挿入方法を説明するとともに、特に端部に隙間が生じない配慮をするように指示した。

有効開口面積の標準偏差は $0.04\text{cm}^2/\text{m}$ と $0.08\text{cm}^2/\text{m}$ となり、同一施工者による繰り返しと大きな違いはなかった。

同一施工者の繰り返し、施工者を変更した実験において、同一ケースにおける有効開口面積の平均値との差異の最大は、 $0.2\text{cm}^2/\text{m}$ 程度であった。

表 2-7 同一施工者の繰り返し試験結果

試験条件 ケース名	結果(正圧)													
	第1回		第2回		第3回		第4回		第5回		平均値		標準偏差	
	αA [cm ² /m]	n値												
CASE 2-10	0.27	1.3	0.17	1.2	0.22	1.2	0.20	1.2	0.36	1.2	0.24	1.2	0.07	0.0
CASE 2-13	0.30	1.2	0.31	1.2	0.37	1.2	0.45	1.2	0.49	1.2	0.38	1.2	0.07	0.0

表 2-8 異なる施工者による試験結果

試験条件 ケース名	結果(正圧)													
	施工者A		施工者B		施工者C		施工者D		施工者E		平均値		標準偏差	
	αA [cm ² /m]	n値												
CASE 2-10	0.27	1.3	0.14	1.0	0.24	1.0	0.22	1.0	0.23	1.1	0.22	1.1	0.04	0.1
CASE 2-13	0.30	1.2	0.15	1.2	0.30	1.4	0.18	1.2	0.36	1.2	0.26	1.2	0.08	0.1

2.3 グラスウールの透湿係数の測定

(1) 実験方法

JIS A1324「建築材料の透湿性能測定方法」の5.2 カップ法により、表 2-9 の4種類の試験体の測定を行った。

試験体は当研究所に搬入後、表 2-9 の所定のサイズに切り出し、23°C、RH50%の恒温恒湿槽で3日間の気乾養生をした。

養生完了後、図 2-22 の試験体を作成し、初期の質量を計測後、23°C、RH50%の恒温恒湿に保管した。

養生開始後は平日の1日2回（9時、17時ころ）質量を計測した。試験体の吸放湿の影響をみるためにブランクカップ（吸湿剤がないカップ）も作成し、質量の変化を計測した。

表 2-9 試験体概要

種別	メーカー	サイズ
高性能グラスウール 16K	旭ファイバー	300×300 [mm]
高性能グラスウール 24K		300×300 [mm]
高性能グラスウール 32K		300×300 [mm]
高性能グラスウール 64K		300×300 [mm]

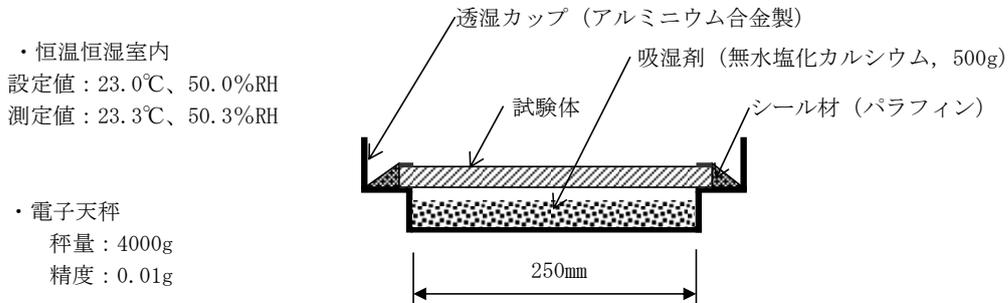


図 2-22 試験装置概念図

(2) 実験結果

各試験体の透湿量を図 2-23 に示す。各試験体とも透湿量が時間に比例する結果が得られた。プランクカップの質量変化は 1g 以下で、試験期間中の材料の吸放湿の影響は見られなかった。

透湿量から算出する透湿抵抗及び透湿係数を表 2-10 に示す。GW16K で透湿率が最も高くなった。GW16K の透湿率は 165[ng/(msPa)]であった。既往の文献では、平成 11 年省エネ基準解説書²⁻⁵⁾ 170[ng/(msPa)]、AIJES²⁻³⁾ 129[ng/(msPa)]である。本研究では安全側すなわちこれらのうちで最も数値が大きい透湿率 170[ng/(msPa)]で数値解析を進めていく。

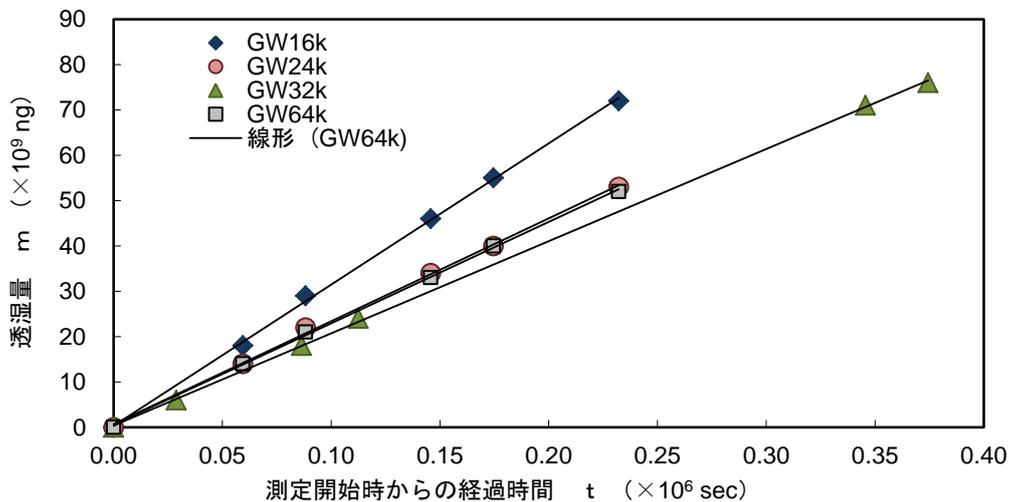


図 2-23 各試験体の透湿量

表 2-10 試験結果

	GW16K	GW24K	GW32K	GW64K
透湿量 G [ng/s]	3.12×10^5	2.29×10^5	2.02×10^5	2.23×10^5
透湿抵抗 Z_p [m^2sPa/ng]	3.02×10^{-4}	4.12×10^{-4}	4.63×10^{-4}	4.24×10^{-4}
透湿係数 W_p [$ng/(m^2sPa)$]	3307	2425	2159	2356
透湿率 μ [$ng/(msPa)$]	1.65×10^2	1.21×10^2	1.08×10^2	1.18×10^2

2.4 まとめ

グラスウールによる気流止めについて、以下の知見が得られた。

(1) 裸グラスウールによる気流止め

見かけの密度 32kg/m^3 (16K 品を 2 つ折り)、挿入幅を壁の内寸+10~40 mm 程度、奥行長さ 300mm を確保した場合の有効開口面積は $0.7\text{cm}^2/\text{m}$ 程度以下であった。(p.9, 図 2-6, CASE1-7)

壁体内部の釘等の障害物によって奥行長さを確保できない場合は有効開口面積が増大することがある。

(2) 袋入りグラスウールによる気流止め

見かけの密度 32kg/m^3 (16K 品を 2 つ折り)、厚み $20\mu\text{m}$ の袋入りで、挿入幅を壁の内寸+10~45mm 程度とした場合の有効開口面積は $0.7\text{cm}^2/\text{m}$ 程度以下であった。(p.13, 表 2-2, CASE1-15, 1-17)

薄い袋では気流止め挿入時のシワができづらく、気密性を高められるため、裸グラスウールよりも短い奥行長さで、有効開口面積を小さくできた。挿入幅が大きい場合、裸グラスウールよりも、有効開口面積が増大した。

(3) 壁上部の気流止め

壁の上部は、小屋裏から施工 (p.17, 図 2-15) もしくは室内側から内装材を一部撤去して施工 (p.19, 図 2-16) することで有効開口面積を抑えられた。

(4) 壁下部の気流止め

壁の下部は、床下からの施工では有効開口面積が $1.1\text{cm}^2/\text{m}$ 程度以上となった。室内側から内装材を一部撤去して気流止めを施工することでより有効開口面積を小さくすることができた。(p.19, 図 2-17)

気流止めを施工した壁体の有効開口面積は、施工のばらつきにより最大 $0.2\text{cm}^2/\text{m}$ 程度上下した。(1)~(2)の結果によれば、ばらつきを考慮しても $1.0\text{cm}^2/\text{m}$ 程度以下に施工できると考えられる。

気流止めの施工方法については、次章の数値計算による熱損失や結露の検討結果を踏まえて、提案を行う。

グラスウールの湿気伝導率の測定結果は、16K から 64K の密度で $108\sim 165[\text{ng}/(\text{msPa})]$ であった。

【第 2 章参考文献】

- 2-1) 布井洋二, 鈴木大隆, 本間義規ら: 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, 日本建築学会学術講演梗概集, D-2, pp.3-4, 2000.9
- 2-2) 廣田誠一, 鈴木大隆, 布井洋二ら: 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 その 2 部位, 部材の隙間特性の把握と既存測定データとの対比, 日本建築学会学術講演梗概集, D-2, pp.11-12, 2001.9
- 2-3) 日本建築学会: 建築材料の熱・空気・湿気物性値, 丸善, 2001.10
- 2-4) 齋藤宏昭ら: 木造断熱壁体の空隙における移流を考慮した湿気性状の解析—透気率及び隙間量の測定と 2 次元計算モデルの検証—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp389-392, 2006.9
- 2-5) 財団法人建築環境・省エネルギー機構発行: 住宅の省エネルギー基準の解説 第 7 刷, 2010.12

3. 改修前後の壁体の熱損失及び結露の性状把握のための数値計算

3.1 検討の目的と概要

壁内気流が発生する壁体の熱湿気性状は、他の部位からの移流の影響を受けるため、住宅全体を対象とした非定常解析から分析することが望ましいが、このような手法で検討された例はこれまでに少ない。ここでは、改修による熱損失の変化や内部結露を評価するための計算プログラムを構築し、断熱改修における気流止め、換気方式、防湿気密化、付加断熱による壁体の熱損失や内部結露の性状変化を検討するとともに、住宅全体の暖冷房負荷の削減効果を試算する。

3.2 壁体の熱損失及び結露性状の解析手法

提案する解析手法は、はじめに換気回路網解析で住宅全体の熱水分性状を解析し、得られた結果を境界条件とし壁体内部を解析するものである。

グラスウールには透気性があるため、材料内部の拡散だけでなく、移流により熱や水分が輸送される。近年の新築住宅では壁内気流の対策が講じられるため移流の影響は小さいが、改修対象となるような既存住宅では壁内気流対策が十分でなく、移流の影響が大きいと考えられる。

また、グラスウールのように透湿係数の高い材料を防湿層無しで用いる場合、材料内部における相対湿度の分布が大きいいため、住宅全体のような質点系の解析のみでは不十分となる。さらに、水分の拡散は熱に比べて遅いため、材料内部の水分の分布を把握するためには非定常解析を要する。

(1) 換気回路網解析による住宅全体の熱水分解析

住宅の室内、床下、小屋裏、壁内部をそれぞれ 1 つの質点とみなした換気回路網解析により移流成分を求め、一次元の非定常熱水分同時移動計算によって壁体の熱貫流、透湿成分を求める。概念図を図 3-1 に示す。計算手法の概略を以下に記す。なお、ここでは既往研究³⁻¹⁾で用いられた計算プログラムを改良して用いる。

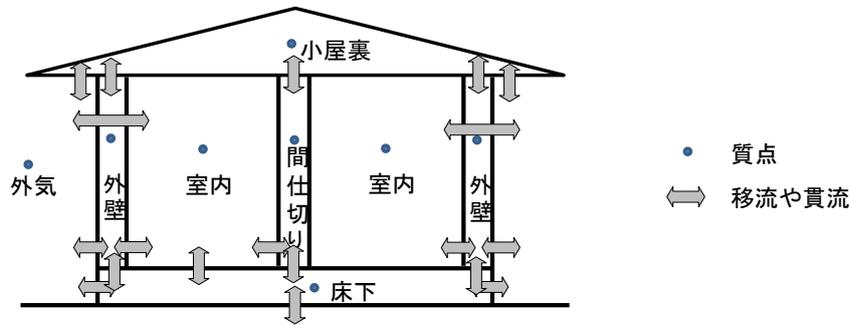


図 3-1 換気回路網解析の概念図

非定常熱水分同時移動の基礎式は以下の通りである。

$$\text{水分収支} \quad (\Phi_0 \rho_a + \kappa) \frac{\partial X}{\partial t} - v \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda' \nabla^2 X \quad (3.1)$$

$$\text{熱収支} \quad r\kappa \frac{\partial X}{\partial t} + (c\rho + rv) \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T \quad (3.2)$$

境界条件は湿気伝達率、熱伝達率により与える。 κ や v は、材料固有の平衡含水率曲線から求められる。

質点間の移流量 Q_{ij} は下式で計算する。

$$Q_{ij} = \alpha A_{ij} (2\Delta P / \rho_a)^{1/n} \quad (3.3)$$

それぞれの質点において移流量の収支は0になるので、

$$\sum_j Q_{ij} = 0 \quad (3.4)$$

ニュートン・ラフソン法により各質点の圧力と質点間の移流量を求める。この移流量に伴って、熱や水分が輸送されることとなる。

ここで、質点の圧力 P は、外部風による風圧力 P_w 、室内基準圧から高さ方向の圧力分布を考慮した P_h 、機械換気の圧力 P_m の和であり、下式で計算できる。

$$P = P_w + P_h + P_m \quad (3.5)$$

なお、 κ 、 ν 、 ρ は前ステップの温度と相対湿度から求める。

(2) 壁体内の熱水分の拡散や移流に関する解析

(1)の結果を境界条件として、壁内部の拡散と移流を考慮した非定常熱水分同時移動計算を行う (図 3-2)。計算手法³⁻²⁾の概略を以下に記す。

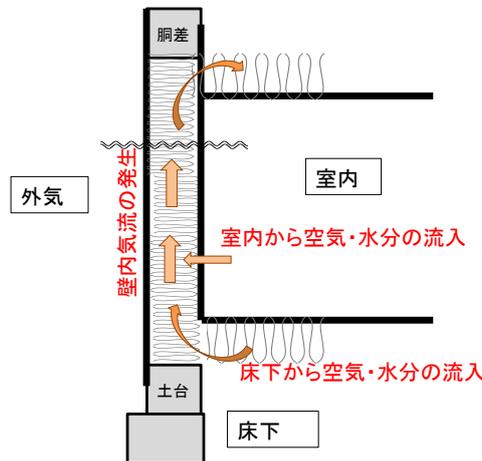


図 3-2 壁内気流のイメージ

移流と拡散を含めた各セルの水分収支、熱収支は以下ようになる。

$$\text{水分収支} \quad (\Phi_0 \rho_a + \kappa) \frac{\partial X}{\partial t} - v_t \frac{\partial T}{\partial t} = -\Phi_0 \rho_a v_{ma} \nabla X + \lambda' \nabla^2 X \quad (3.6)$$

$$\text{熱収支} \quad -r\kappa \frac{\partial X}{\partial t} + (c\rho + r v_t) \frac{\partial T}{\partial t} = -\Phi_0 c_{pma} \rho_{ma} v_{ma} \nabla T + \lambda \nabla^2 T \quad (3.7)$$

湿り空気の収支式は以下ようになる。

$$\Phi_0 \frac{\partial \rho_{ma}}{\partial t} + \Phi_0 \nabla (\rho_{ma} v_{ma}) = W \quad (3.8)$$

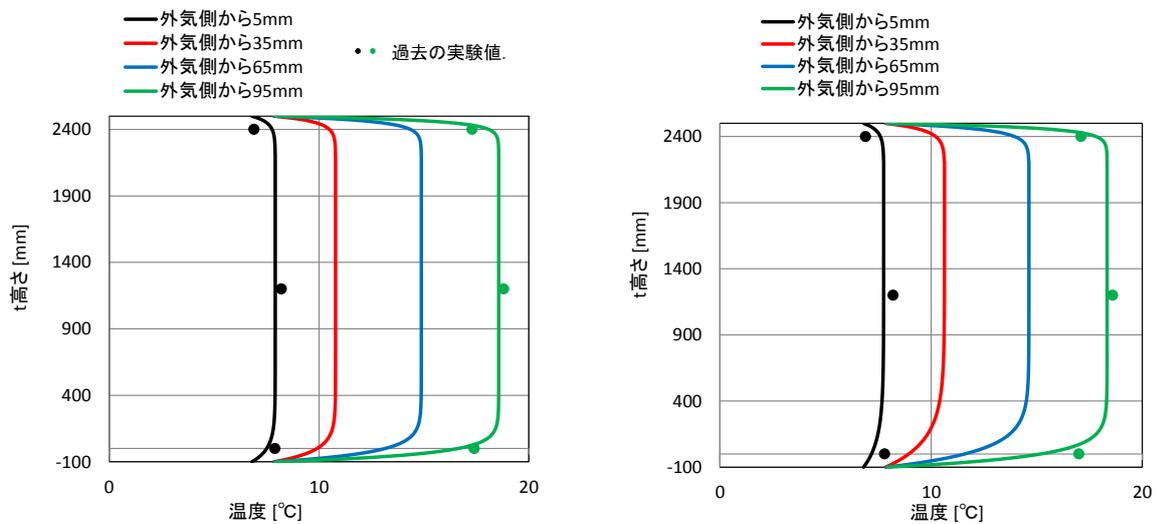
また、ダルシー式により風速 v_{ma} は下式で求められる。

$$v_{ma} = -\frac{k}{\Phi_0} \{ \nabla P_{ma} + g(\rho_{ma} - \rho_{ma,r}) \} \quad (3.9)$$

(1)の住宅全体の計算結果から、壁面での境界条件を熱と水分のフラックスで与え、移流については、床下及び天井裏等との連通部における流量を与えた。

(3) 妥当性の検証

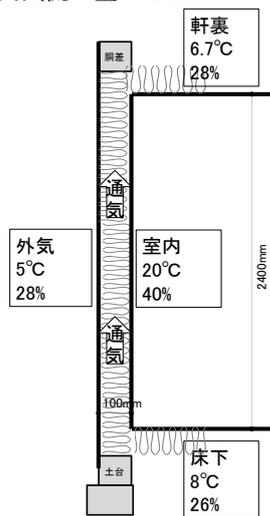
文献³⁻²⁾の実験結果と比較を行った。境界条件が一定の温湿度で、一定量の壁内気流を与えたときの壁体内部の温度分布を比較したところ、図 3-3 に示すように、実験値を概ね再現できることが確認できた。



(a) 壁内気流の量 1 l/min.

(a) 壁内気流の量 5 l/min.

【計算条件】



【外壁の構成】	
石膏ボード	9.5mm
グラスウール(熱伝導率0.044W/(mK))	100mm
高耐久繊維板	12mm
通気層	18mm
外装材	12mm

図 3-3 既往文献の実験値との比較による計算プログラムの検証

(4) 評価指標及び物性値

外壁や間仕切り壁からの熱損失の指標として、次式で表される室内外の単位温度差あたり、単位面積あたりの熱損失 U' を定義した。

$$U' = \frac{1}{A(t_{end} - t_{start})} \int_{t_{start}}^{t_{end}} \frac{q_w}{\Delta T_h} dt \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

評価期間は、平成 28 年住宅省エネルギー基準の各地域区分の暖房期間とした。

壁体からの熱損失 q_w は、壁体の室内側表面における貫流熱損失とし、面積 A は室内に面する壁体の表面積とした。外壁は室内側の面、間仕切り壁は両面の合計とした。熱損失 q_w には壁内気流の移流と移出の温度差による換気熱損失は含まない。

結露の指標として、外壁に生じる内部結露の年間の発生時間を用いた。外壁内部の熱水分性状は、各方位でメッシュごとに算出しているが、外壁のいずれかの部分で結露する時間を計上した。

また、計算に用いた物性値等を表 3-1 から表 3-3 に示す。

表 3-1 表面熱伝達率と湿気伝達率

	室内			屋外
	鉛直面	水平面		
		安定成層	不安定成層	
表面熱伝達率[W/(m ² K)]	9	7	11	23
湿気伝達率[kg/(m ² sPa)]	34.7×10 ⁻⁹	29.1×10 ⁻⁹	41.6×10 ⁻⁹	104×10 ⁻⁹

表 3-2 物性値

材料	密度 [kg/m ³]	比熱 [J/(kgK)]	熱伝導率 [W/(mK)]	湿気伝導率 [kg/(msPa)]	空隙率 [-]	平衡含水率 ψ は下式による。 $\psi = AHe^{-BH} + CH + D(e^{EH} - 1)$ (H は相対湿度、 $A-E$ は以下参照)				
						A	B	C	D	E
モルタル	1600	932	1.71	1.28E-06	0.327	3.76	0.019	-3.70	0.000851	4.40
コンクリート	2200	940	1.6	3.23E-07	0.22	0.16	1.46	-0.27	0.198902	0.885
構造用合板	500	1880	0.16	3.07E-07	0.22	10.13	0.22	-12.80	3.74E+00	0.844
防湿フィルム	665	1470	0.046	2.13E-10	0	0	0	0	0	0
せっこうボード	700	870	0.22	3.54E-06	0.70	0.348	5.57	0.063	2.19E-11	21.15
吹き込みGW13K	13	840	0.052	2.00E-05	0.99	0.855	0.372	-1.55	1.53E+00	0.496
吹き込みGW18K	18	840	0.052	2.00E-05	0.99	0.855	0.372	-1.55	1.53E+00	0.496
GW10K	10	840	0.050	2.00E-05	0.99	0.855	0.372	-1.55	1.53E+00	0.496
GW16K	16	840	0.045	2.00E-05	0.99	0.855	0.372	-1.55	1.53E+00	0.496
GWHG 16K	16	840	0.038	2.00E-05	0.99	0.855	0.372	-1.55	1.53E+00	0.496

表 3-3 窓の物性値

		仕様	熱貫流率 [W/(m ² K)]	日射熱取得率 [-]
寒冷地	改修前	二重窓 (アルミ枠単板ガラス・ 木製枠単板ガラス)	3.22	0.65
	改修後	ペア low ガラス Ar ガス空気層 12mm	2.33	0.46
温暖地	改修前	アルミ枠 単板 FL ガラス	6.51	0.70
	改修後	二重窓 (アルミ枠単板 FL ガラス)	4.65	0.65

3.3 計算条件と予備検討

(1) 計算条件

1) 住宅モデル

本研究では、断熱改修の主な対象を、1970年代後半から～1980年代に新築された在来木造工法の戸建住宅として想定する。解析対象とした住宅モデルを表 3-4 に示す。階数や延床面積等が異なる3パターンを設定した。1984～1985年新築の北海道内の8件の在来木造戸建住宅のプラン（平屋・2階建て含む、延床面積79～137m²）から求めた床面積に対する外壁や間仕切り壁の長さ、窓面積の比率を基に、壁長さや窓面積を設定した。

外部風を考慮して計算する場合、風圧係数は文献³⁻³⁾を参考に表 3-5 のように設定した。

表 3-4 解析対象住宅モデル

		① 平屋	② 一部2階 建て	③ 総2階 建て
延べ床面積 [m ²]		80	100	130
一階部分	面積 [m ²]	80	60	65
	窓面積 [m ²]	16.8	12.6	13.7
	南	12.0	9.0	9.8
	東西北	1.6	1.2	1.3
	外壁周長 [m]	37	33	34
間仕切り壁長さ [m]		24	18	19
二階部分	面積 [m ²]		40	65
	窓面積 [m ²]		8.4	13.7
	南		6.0	9.8
	東西北		0.8	1.3
	外壁周長 [m]		29	34
間仕切り壁長さ [m]			11	19

表 3-5 住宅の風圧係数

方向	風圧係数[-]	
風向に対する方位角	0°	0.63
	22.5°	0.60
	45°	0.42
	67.5°	0.05
	90°	-0.22
	112.5°	-0.30
	135°	-0.25
	157.5°	-0.18
180°	-0.15	
上面	-0.40	

2) 住宅の隙間分布

村上ら³⁻⁴⁾は、昭和50年代までの住宅全体の相当隙間面積の測定結果を多くレビューしている。測定結果に幅があるが、北海道を除く温暖地の在来木造工法の戸建住宅では気密性能グレード5（相当隙間面積12 cm²/m²程度）が中心であった。佐々木ら³⁻⁵⁾によると、寒冷地の在来木造工法の戸建住宅では相当隙間面積9 cm²/m²程度であった。

石川ら³⁻⁶⁾は、8件の木造住宅（そのうち在来構法は2件）におけるコンセント周り、開口部周り、換気扇周り、その他の目につかない隙間の割合を求めた。在来工法では、目につかない隙間の割合が60～75%と大きかったが、壁と床や天井部との取り合い部はこれに含まれる。松岡ら³⁻⁷⁾は、28件の住宅の気密性能を測定した。そのうちの14件は防湿層等がないなど気密施工が不十分で相当隙間面積4～7 cm²/m²であった。この住宅群の隙間の割合は、床・壁取り合い部に11.1%、天井・壁取り合い部に11.1%、開口部に21.4%、局所換気扇に8.9%、浴室換気扇・点検口に8.3%、コンセント・スイッチに6.5%、天井・床下点検口に6.5%、レンジフードに5.6%、和室に5.6%、配電盤に3.7%、その他（照明器具等）に11.3%分布した。

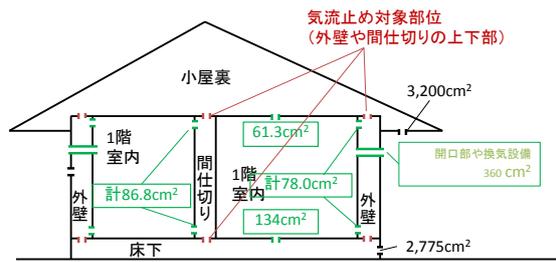
林ら³⁻⁸⁾は、在来木造工法等の木造住宅の断面模型を作成し、壁体内部の有効開口面積のほか、測定例が少ない1階天井裏と室内の間、下屋と下屋に隣接する空間との間などの部分の計測を実施した。測定結果を単位面積当たりもしくは取り合い部の単位長さ当たりの有効開口面積に整理すると表 3-6 の通りとなる。

表 3-6 文献 3-8)から換算した住宅躯体の有効開口面積

室1	室2	単位面積(長さ)当たりの相当隙間面積(文献値)	仕様
1階天井懐	1階居室	8.8 cm ² /m ²	石膏ボードt9.5
	2階居室	6.4 cm ² /m ²	フローリングt12、下地合板t12(目地:気密テープ貼り)
	下屋	119.0 cm ² /m	気流止めの措置無し
居室	1階外壁	3.3 cm ² /m	ビニルクロス、石膏ボードt9.5、GW10K t50
	1階間仕切り	2.9 cm ² /m	石膏ボードt12.5
	2階外壁	3.3 cm ² /m	ビニルクロス、石膏ボードt9.5、GW10K t50
	2階間仕切り	2.9 cm ² /m	石膏ボードt12.5
	天井	8.8 cm ² /m ²	ビニルクロス、石膏ボードt9.5、GW10K t50
	床下	19.2 cm ² /m ²	フローリングt12、下地合板t12(目地:気密テープ貼り)、FP板50mm
外壁	1階外気	7.0 cm ² /m	GW10K t50、透湿防水シート、通気層
	2階外気	7.0 cm ² /m	GW10K t50、透湿防水シート、通気層

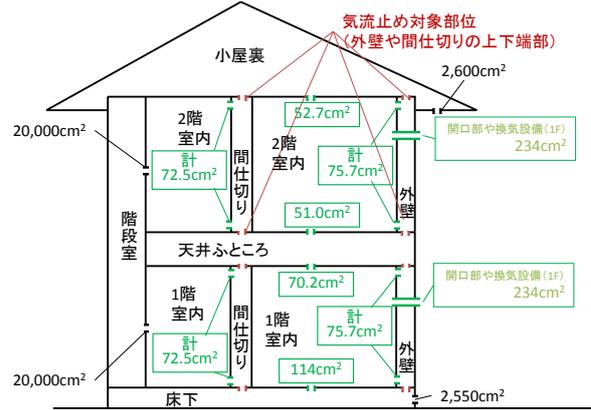
これら文献等を参考に、以下のように隙間分布を設定した。

- ① 木造住宅工事標準仕様書に基づき、床下換気口の有効開口面積を周長当たり 75cm²、軒天の有効開口面積を天井面積の 1/250 与えた。外壁と外気の間は、アスファルトフェルトとモルタル外装(透気率 3.3×10^{-7} kg/(msPa)、厚み 15mm)として、有効開口面積を 0 とした。
- ② 文献 3-6)の結果より、開口部には住宅全体の 20%、換気設備には住宅全体の 30%の割合で隙間が分布することとした。
- ③ 開口部と換気設備以外の室内に面する隙間については、文献 3-8)の結果より、表 3-6 の隙間量があることとした。
- ④ 以上を基に住宅各部に隙間を与え、換気回路網計算により相当隙間面積を求めると 9.0 cm²/m²となった。相当隙間面積が 9.0 cm²/m²以外のケースについては、室内に面する隙間を設定する相当隙間面積に比例させて与えた。ここで、外壁や開口部の隙間は周囲の上下部の長さに比例して与えた(図 3-4)。



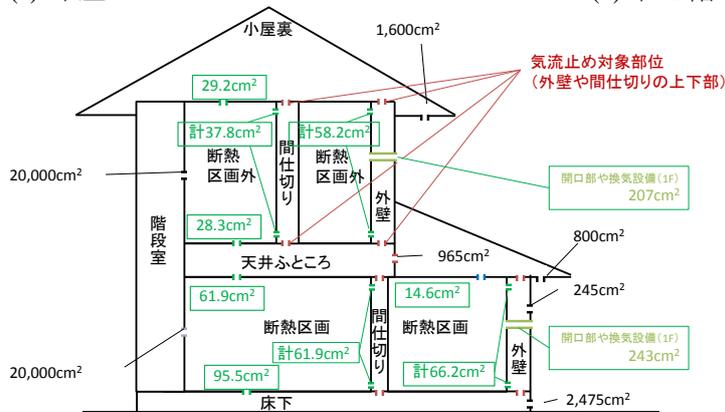
相当隙間面積 9.0 cm²/m²のときの数値
 緑色で囲んだ数値は相当隙間面積に比例して与えた。黒字の数値は固定。
 外壁や間仕切りの隙間は上下端部に均等に分布すると想定して与えた。
 開口部は高さ1.0mと2.0mの高さに均等に分布、換気設備は2.0mの高さに与えた。

(a) 平屋



相当隙間面積 9.0 cm²/m²のときの数値
 緑色で囲んだ数値は相当隙間面積に比例して与えた。黒字の数値は固定。
 外壁や間仕切りの隙間は上下端部に均等に分布すると想定して与えた。
 開口部は高さ1.0mと2.0mの高さに均等に分布、換気設備は2.0mの高さに与えた。

(b) 総2階建て



相当隙間面積 9.0 cm²/m²のときの数値
 緑色で囲んだ数値は相当隙間面積に比例して与えた。黒字の数値は固定。
 外壁や間仕切りの隙間は上下端部に均等に分布すると想定して与えた。
 開口部は高さ1.0mと2.0mの高さに均等に分布、換気設備は2.0mの高さに与えた。

(c) 一部2階建て

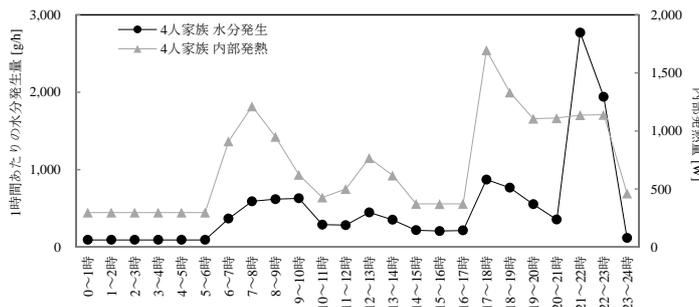
図 3-4 住宅各部の相当隙間面積の設定値

3) 予備検討の条件

予備検討の基本条件を表 3-7 に示す。気象データは、拡張 AMeDAS の標準年データを用い、札幌を代表として検討した。壁体仕様は寒冷地を想定したものとした。

表 3-7 予備検討の条件

気象条件	：札幌 外部風あり (表 3-5 に基づく風圧係数)	
住宅仕様	：平屋延べ床面積 80m ² 住宅モデル (詳細は表 3-4) 住宅の相当隙間面積 9 cm ² /m ² 、隙間の分布は図 3-4 による 気流止めがない場合は壁体の上下部は 500 cm ² /m、気流止めがある場合は 1 cm ² /m とし、袋入りグラスウール 200 mm を想定した熱抵抗と透湿抵抗を与えた。気流止めは外壁と間仕切りに対して行うこととする。 軒天の有効開口面積は天井面積の 1/250 (木造住宅工事標準仕様書に基づく) 床下換気口面積は周長当たり 75cm ² /m (木造住宅工事標準仕様書に基づく)	
断熱仕様	：床断熱、天井断熱とする。 外壁 せっこうボード 12mm, GW16K 100mm, モルタル 15mm (防湿層、通気層無し) 床 構造用合板 12mm, GW16K 100mm (防湿層無し) 天井 石膏ボード 12mm, 吹込み GW18K 200mm (防湿層無し) 間仕切り壁 せっこうボード 12mm, 中空層 105mm, せっこうボード 12mm 基礎 立上り部コンクリート 120mm	
室内条件	：温度	$T_{in} = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$ D は 1 月 1 日からの日数
	水分発生	空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 4 人家族の水分発生量 なし
	換気	第 3 種換気により 0.5 回/h 確保、その他に漏気が発生。



(2) 予備検討の結果

1) 住宅モデルの影響

住宅モデル（平屋、一部2階建て、総2階建て）が、住宅内の熱水分に及ぼす影響を検討した。

外壁周りの空気の移流量を図 3-5 に示す。気流止めが無いケースでは各階の壁体の上下端部の移流量が大きく、その変動も大きくなる。いずれのケースでも室内と壁内との間に移流が見られる。

住宅各部の温度の日平均値の推移を図 3-6 に、絶対湿度の日平均の推移を図 3-7 に、相対湿度の日平均の推移を図 3-8 に示す。冬季においては、1階の外壁床付近の絶対湿度は比較的低く、上部になるにつれて高くなる。外壁内部の主な加湿源は室内空気である。壁内気流が生じる場合、上部ほど室内空気が混ざり込むことで加湿される。ただし、相対湿度を見ると、外壁下部に低温の床下空気が流入するため、外壁の床付近で高くなることもある。

住宅全体の暖冷房負荷を図 3-9 に示す。それぞれの住宅モデルで、壁体上下部の有効開口面積の増加に伴い、暖冷房負荷の増大が見られた。

外壁の内部結露の発生時間を図 3-10 に示す。気流止めを想定する場合（壁体上下部の有効開口面積が $1\text{cm}^2/\text{m}$ 程度以下）、2階建ての住宅よりも平屋の住宅で結露時間が長くなった。室内の水分発生を同量とした場合、平屋の水分発生密度が高く、相対湿度が高まりやすいためと考えられる。

このことから以降は、気流止め改修後の結露リスクが高かった平屋を想定した解析を行う。

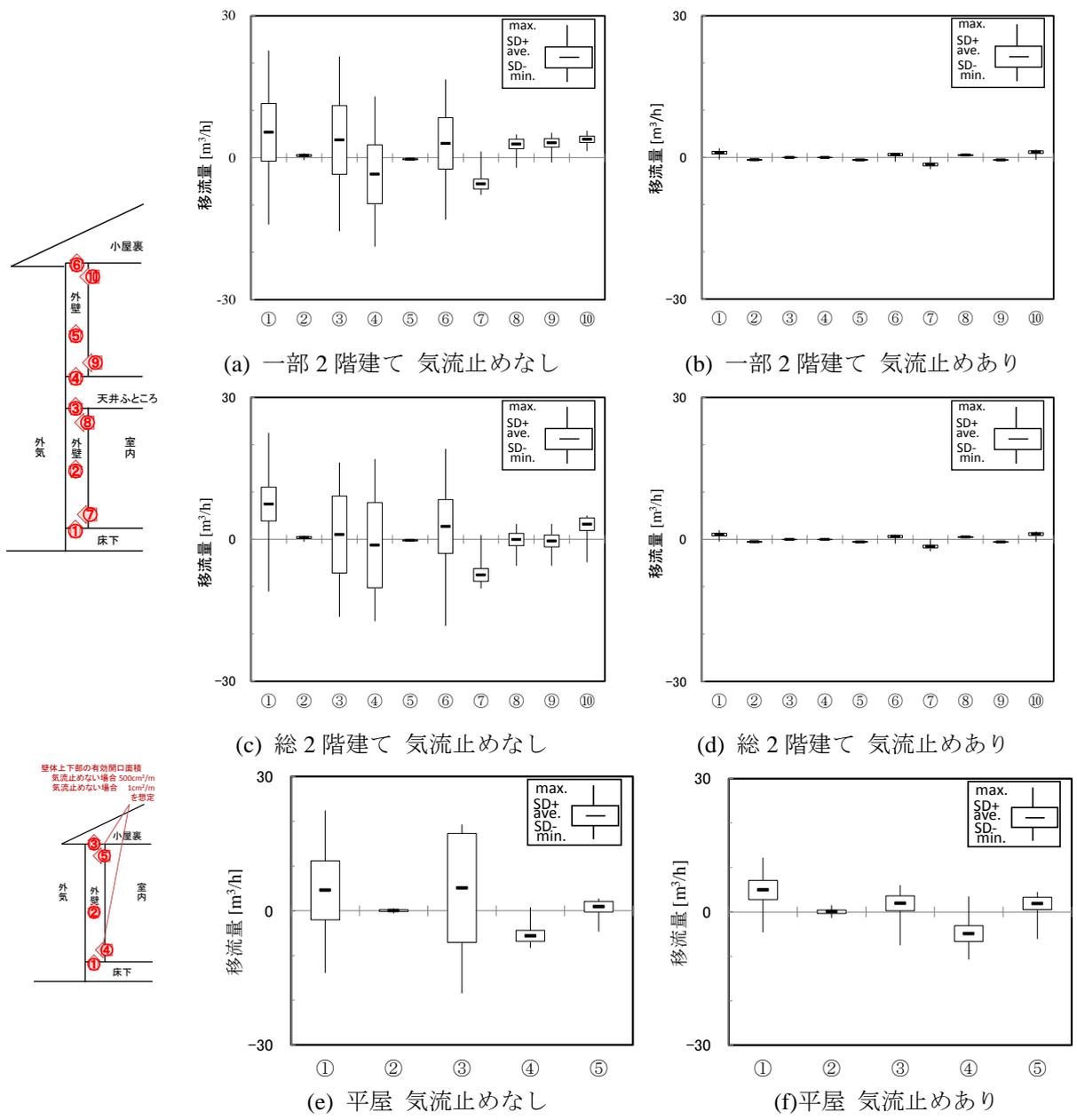
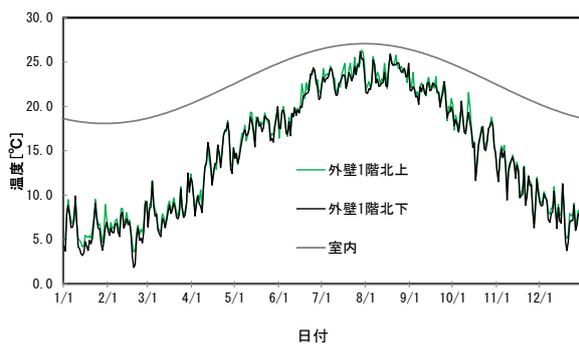
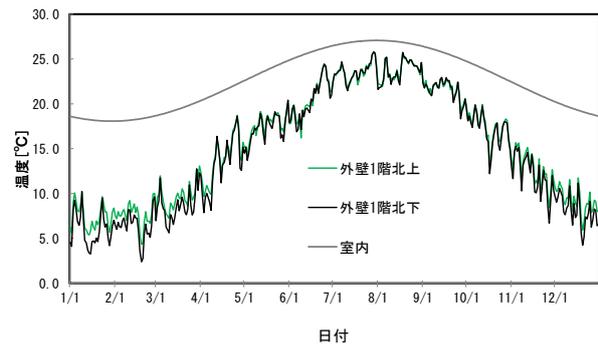


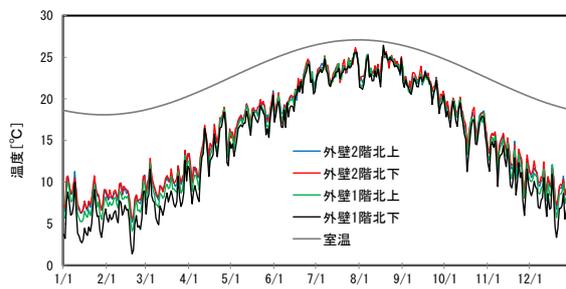
図 3-5 外壁（北側）周りの空気の移流量



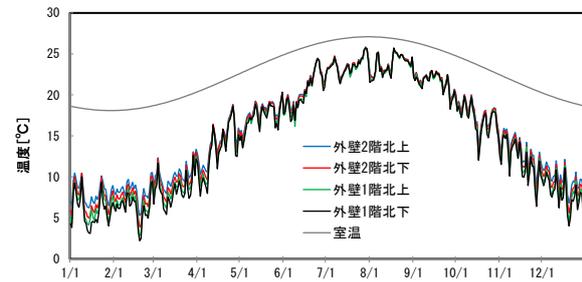
(a) 平屋建て住宅 気流止めなし



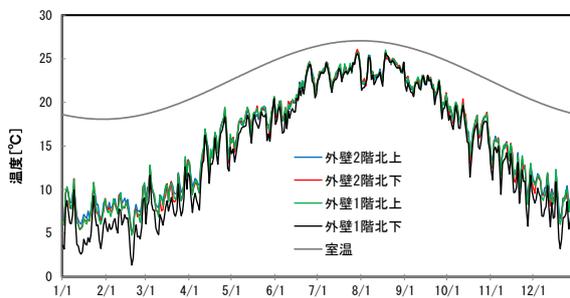
(b) 平屋建て住宅 気流止めあり



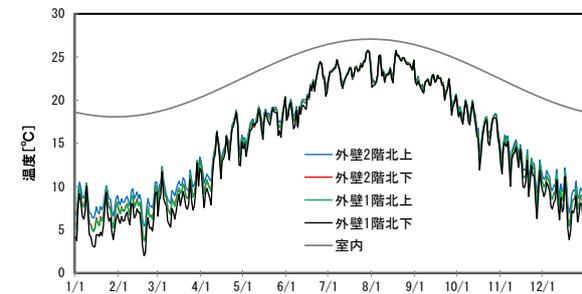
(c) 一部2階建て住宅 気流止めなし



(d) 一部2階建て住宅 気流止めあり

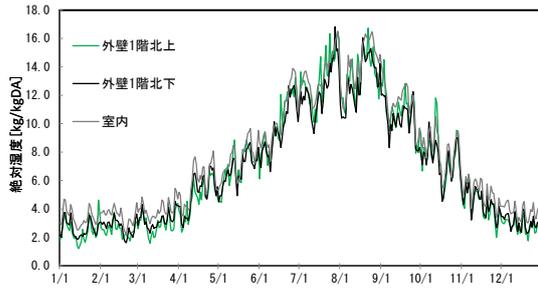


(e) 総2階建て住宅 気流止めなし

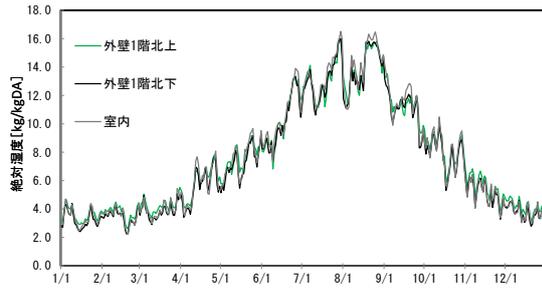


(f) 総2階建て住宅 気流止めあり

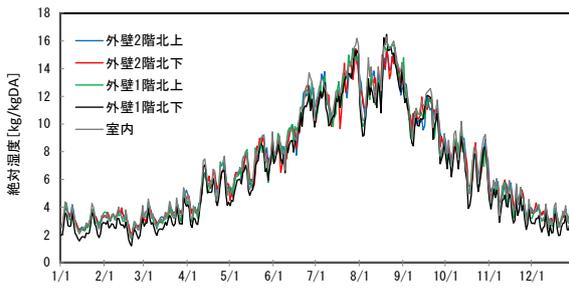
図 3-6 住宅各部の温度 (日平均値)



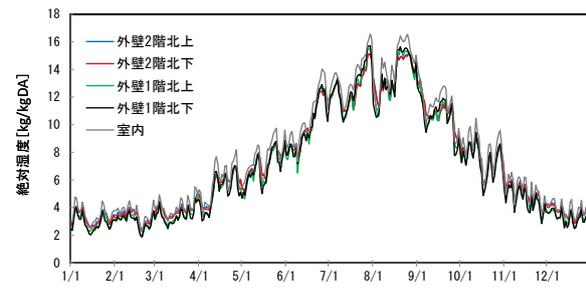
日付
(a)平屋建て住宅 気流止めなし



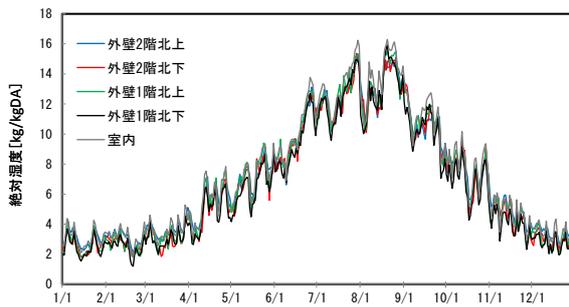
日付
(b)平屋建て住宅 気流止めあり



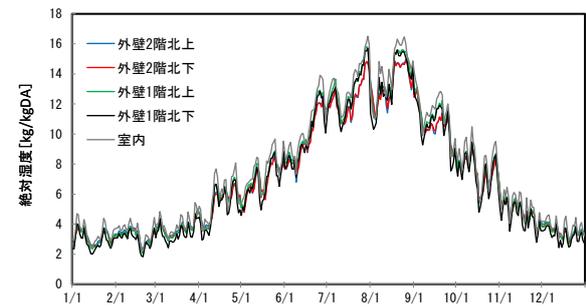
日付
(c)一部2階建て住宅 気流止めなし



日付
(d)一部2階建て住宅 気流止めあり

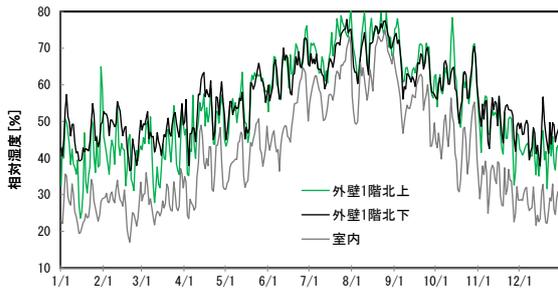


日付
(e)総2階建て住宅 気流止めなし

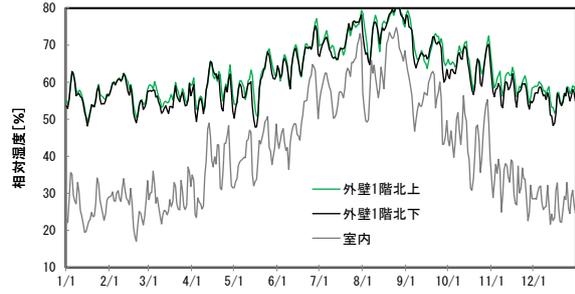


日付
(f)総2階建て住宅 気流止めあり

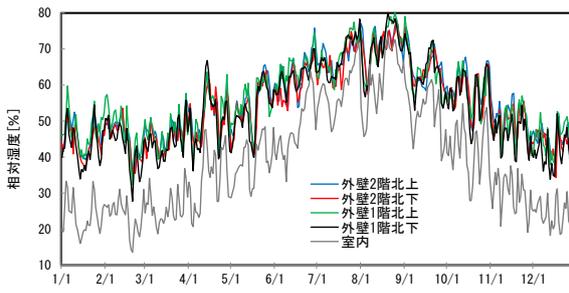
図 3-7 外壁各部の絶対湿度（日平均値）



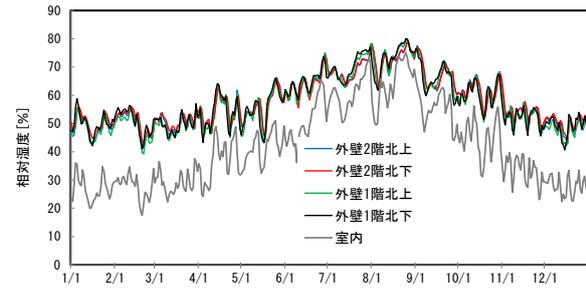
(a)平屋建て住宅 気流止めなし



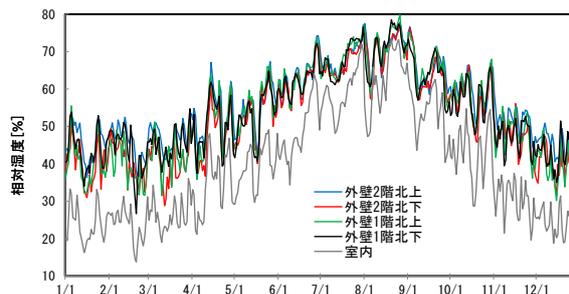
(b)平屋建て住宅 気流止めあり



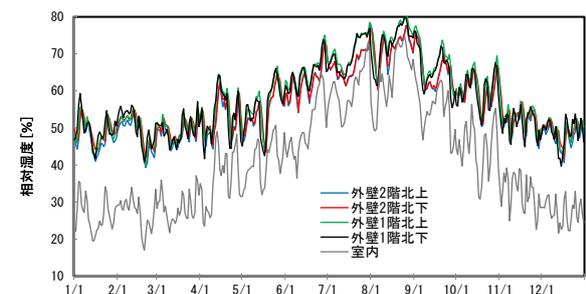
(c)一部2階建て住宅 気流止めなし



(d)一部2階建て住宅 気流止めあり



(e)総2階建て住宅 気流止めなし



(f)総2階建て住宅 気流止めあり

図 3-8 住宅各部の相対湿度 (日平均値)

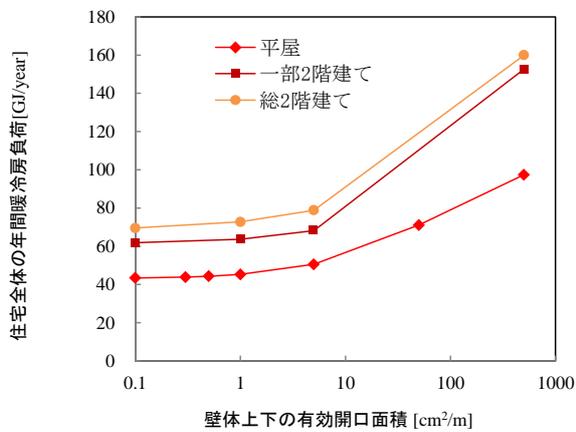


図 3-9 住宅モデルと暖冷房負荷

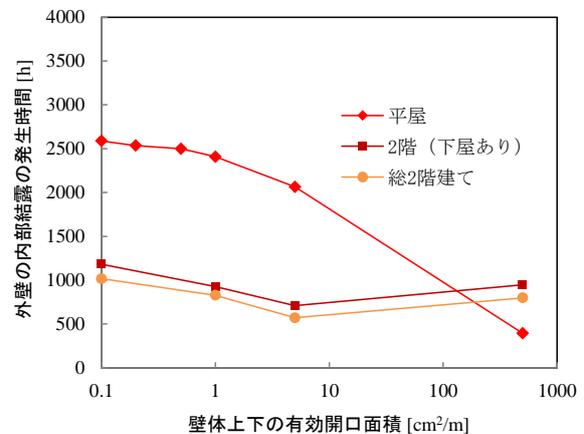


図 3-10 住宅モデルと外壁の内部結露の発生時間

2) 壁体上下の隙間分布の影響

外壁と間仕切り壁の有効開口面積を壁体の上部と下部に 5:5、1:9、9:1 の割合で与え、計算を行った。暖冷房負荷を図 3-11 に示す。暖冷房負荷については隙間分布の影響はほぼ見られなかった。

外壁の内部結露の発生時間を図 3-12 に、外壁の空気の移流量を図 3-13 に、壁体の温度を図 3-14 に示す。壁体下部に隙間が多いケースでは、内部結露の発生時間が多い傾向があった。これは、床下からの移流が多く、壁体温度が低下したためと考えられる。

このことから、以降の解析では、基本条件として上下 5:5 の隙間分布、防露を安全側で検討する際には上下 1:9 の隙間分布を想定することとした。

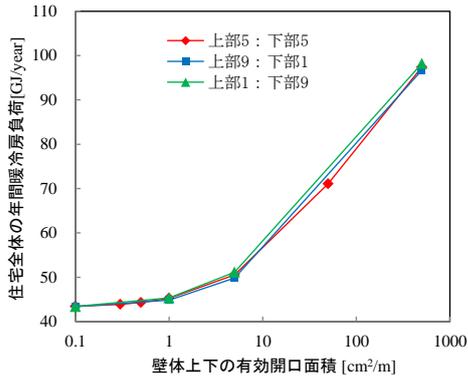


図 3-11 隙間の分布と暖冷房負荷

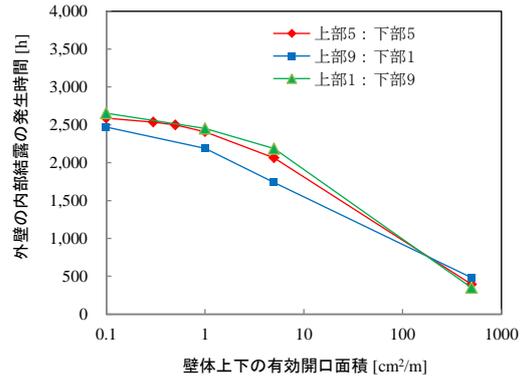
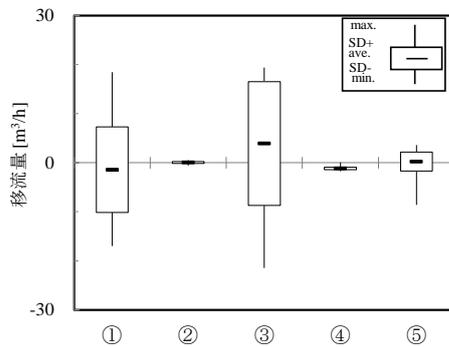
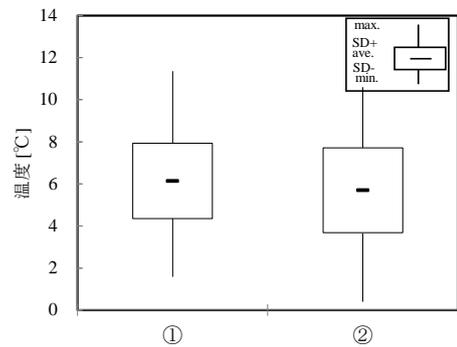


図 3-12 隙間の分布と外壁の内部結露の発生時間



(a) 隙間分布 上部 9:下部 1



(b) 隙間分布 上部 1:下部 9

図 3-13 1月の外壁（北側）の空気の移流量

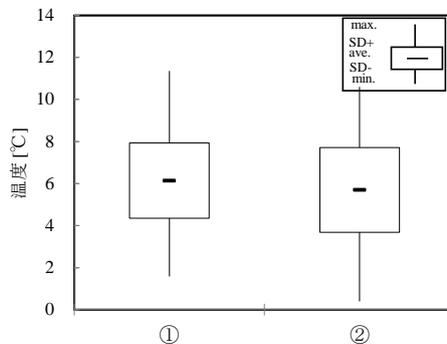


図 3-14 1月の壁体（北側・壁中央）の温度

3) 軒天の有効開口面積の影響

軒天の有効開口面積は、住宅金融支援機構の木造住宅工事標準仕様書に基づき天井面積の 1/250 と設定したが、既存住宅の実態としてそれ以下のこともある。そこで、小屋裏の有効開口面積を天井面積の 1/250, 1/500, 1/1000 とし、計算を行った。

軒天の有効開口面積と空気の移流量の関係を図 3-15 に、壁面の熱損失を図 3-16 に、内部結露の発生時間を図 3-17 に示す。有効開口面積が小さいと小屋裏周辺の空気の移流量が減り、壁内気流の量も低下し、壁面の熱損失量がわずかに小さくなった。また、壁内気流による排湿が減り、内部結露の発生時間がやや長くなる傾向がみられた。

このことから、以降の解析では、基本条件として 1/250、防露を安全側で検討する際には 1/1000 の有効開口面積想定することとした。

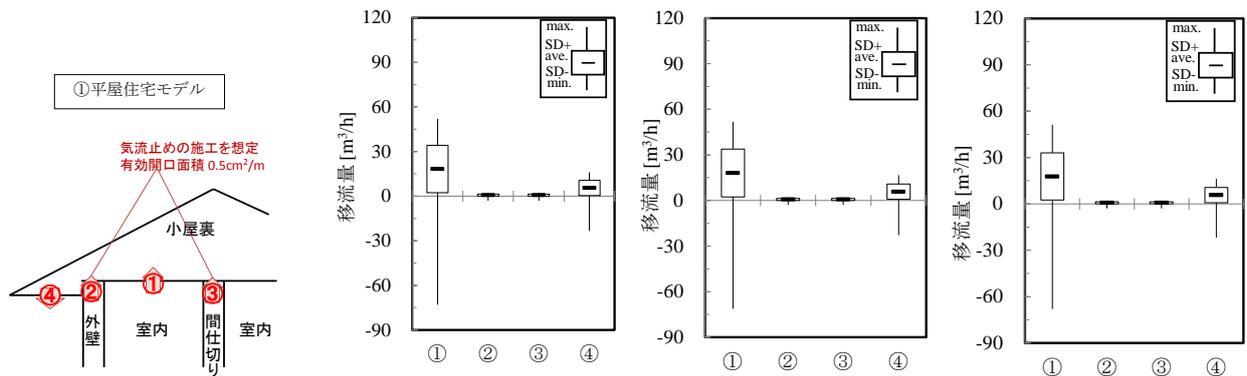


図 3-15 軒天の有効開口面積と換気量（1 月）の関係

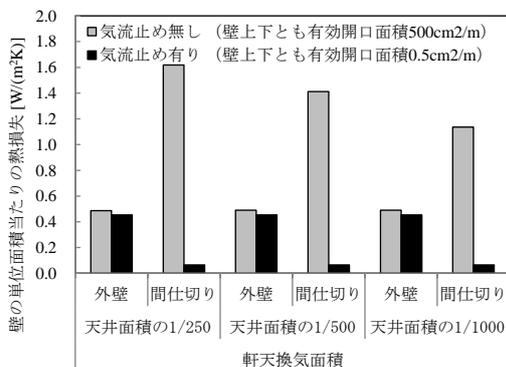


図 3-16 軒天の有効開口面積と壁面の熱損失

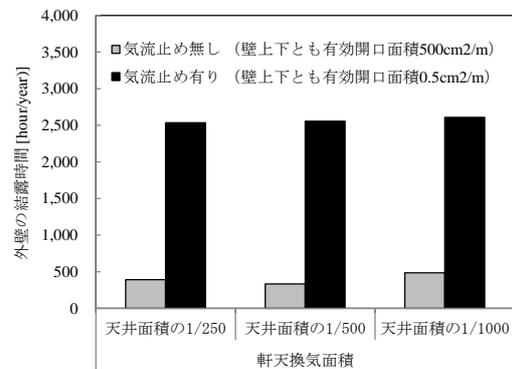


図 3-17 軒天の有効開口面積と外壁の内部結露の発生時間

4) 気象条件の影響

道内の3地点（旭川、札幌、函館）を対象に計算を行った。壁面の熱損失を図 3-18、図 3-19 に示す。壁面からの熱損失は、外気温が低い地域ほど大きくなるが、内外温度差当たりでみると同程度であった。

内部結露の発生時間は、図 3-20 に示すように、旭川で最も長くなった。結露が主に発生する冬季に外気温が低いことに起因すると考えられる。このことから、北海道を対象とした検討では、基本計算条件は札幌の気象条件、防露を安全側で検討する際には旭川の気象条件を用いた。

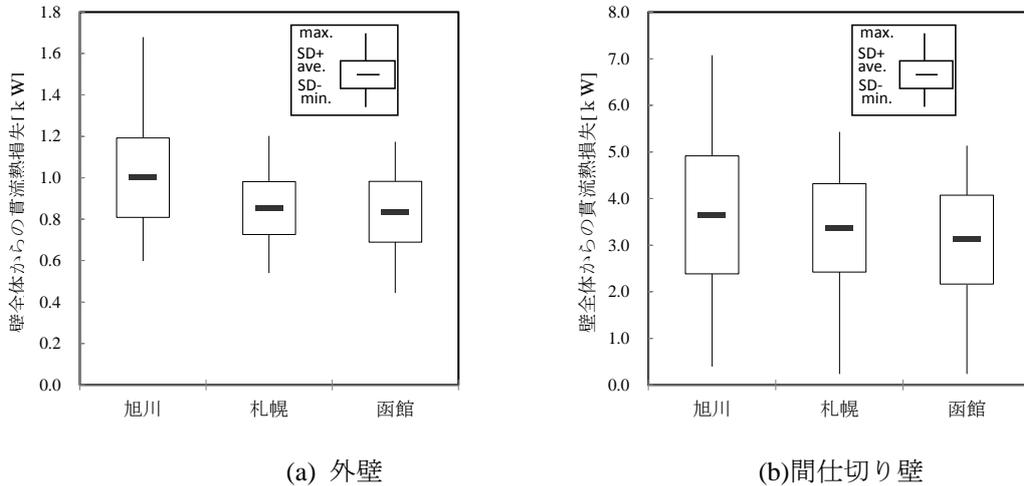


図 3-18 地域ごとの壁面からの熱損失（暖房期間平均）

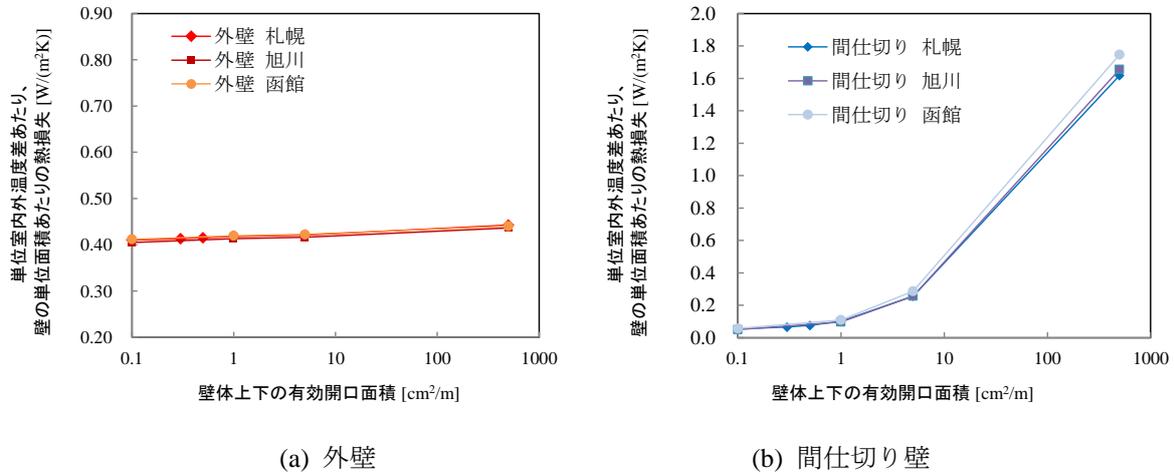


図 3-19 地域ごとの壁面の熱損失

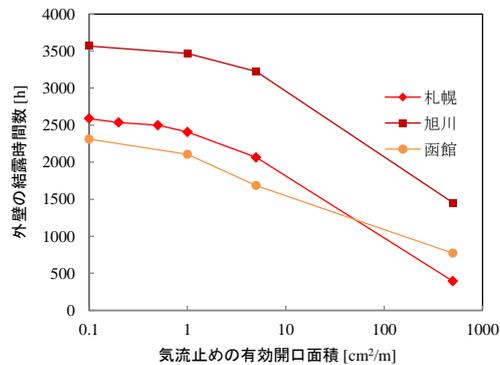


図 3-20 各地域の外壁の内部結露の発生時間

5) 外部風の影響

外部風の有無が壁体内の熱水分性状へ及ぼす影響を検討した。外壁（北側）周りの空気の移流量を図 3-21、間仕切り壁周りの空気の移流量を図 3-22 に示す。気流止めがない場合、外部風によって壁内気流の変動が大きくなり、気流止めを設置すると外部風の影響を受けづらくなることが確認された。

壁面の熱損失を図 3-23 に、内部結露の発生時間を図 3-24 に示す。外部風により間仕切り壁などの壁内気流の変動が大きくなるものの熱損失の平均値は同程度であった。

外部風がない場合は、外壁の内部結露の発生時間が大幅に長くなった。気流止めがある条件でも同様の傾向がみられた。特に、気流止めがあり、外部風がない場合、壁内の水蒸気が排湿されづらくなり、結露時間が長くなる。

このことから、基本計算条件は外部風を見込んだ条件とし、防露を安全側で検討する際には、屋根面で外部風を受けないことは現実的でないため、軒天は風圧力を受けることとし、他の部位では外部風を受けないこととした。

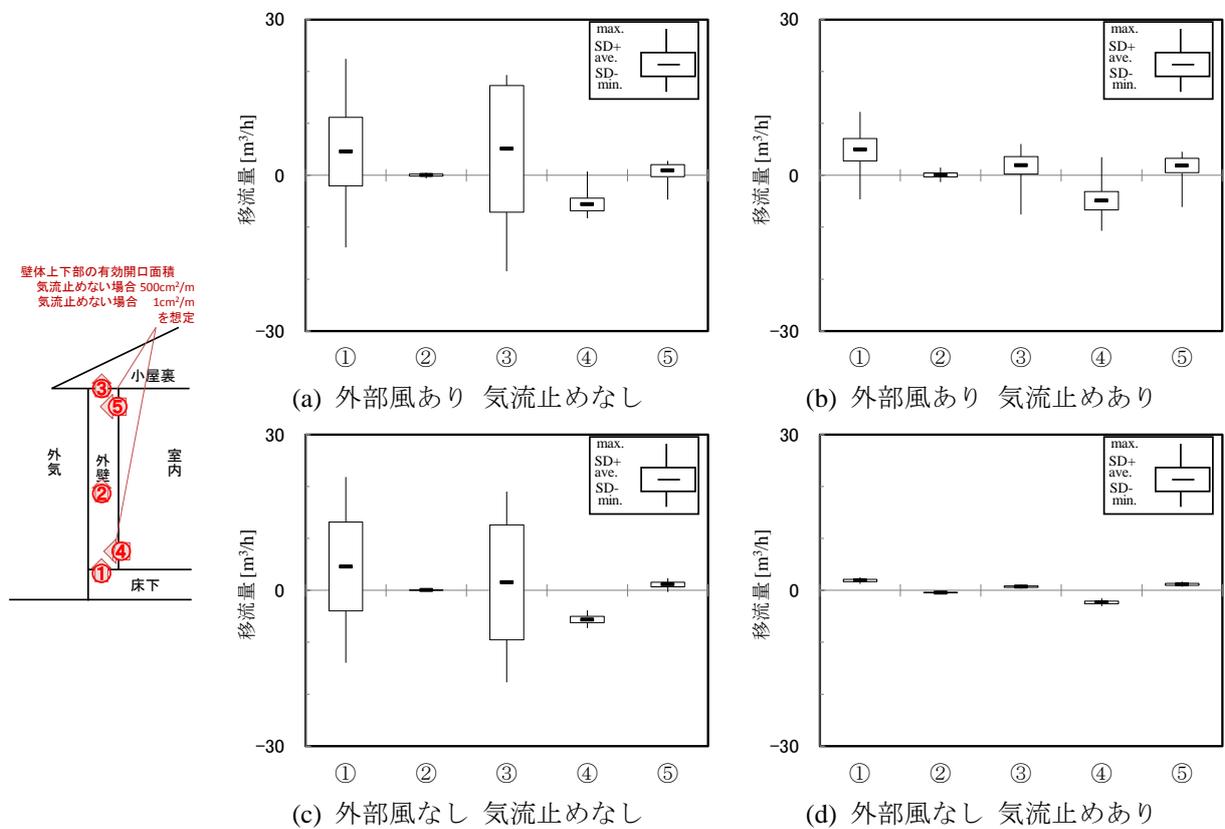


図 3-21 外部風の有無と1月の外壁（北側）の空気の移流量

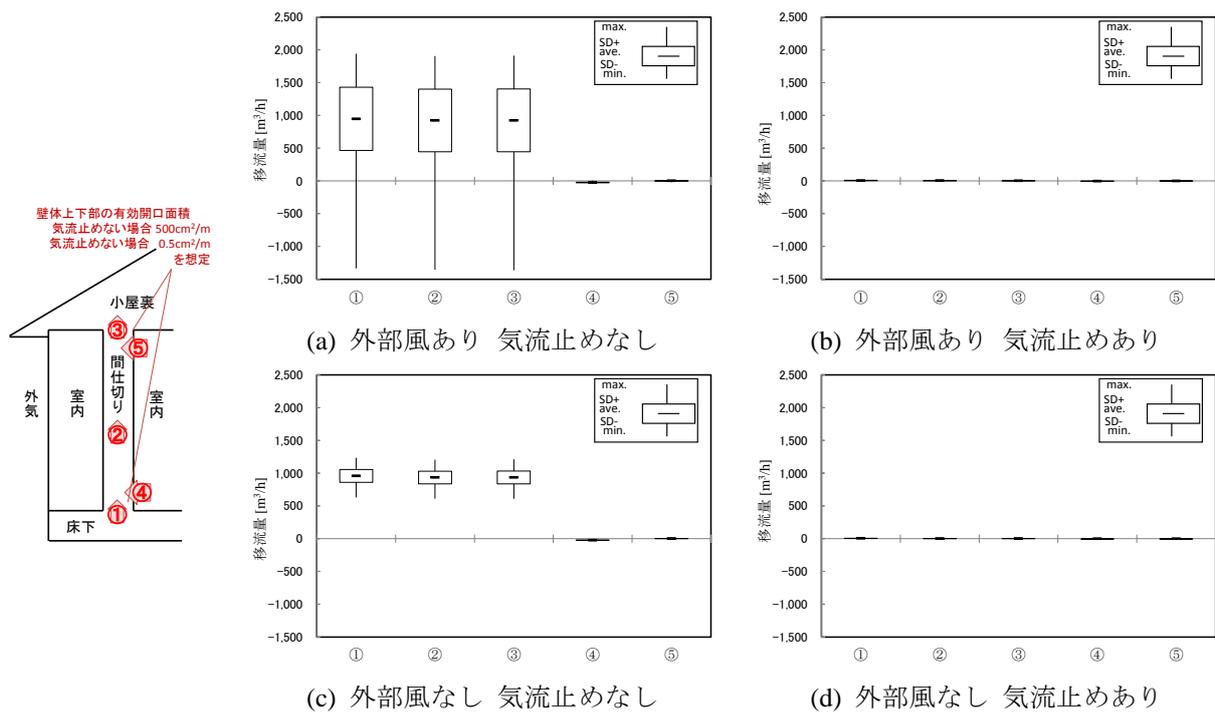


図 3-22 外部風の有無と間仕切り壁廻りの空気の移流量

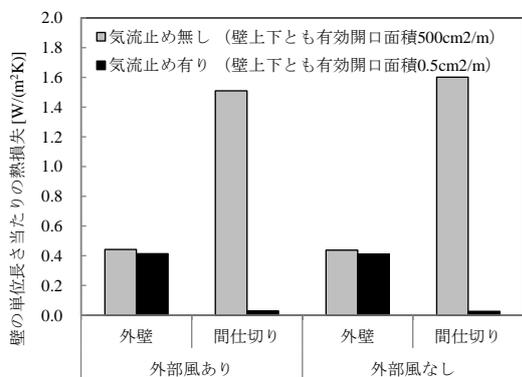


図 3-23 外部風の有無と壁面の熱損失

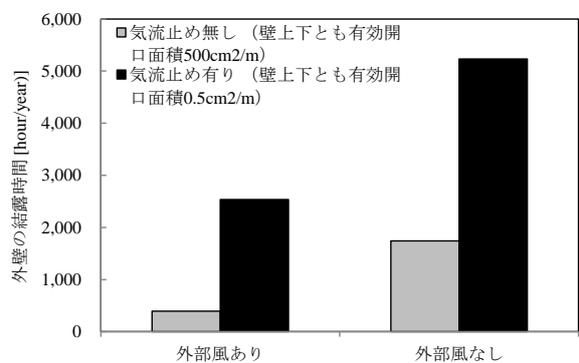


図 3-24 外部風の有無と外壁の内部結露時間

6) 水分発生量と室温の影響

4人世帯の生活スケジュールを想定した室内の水分発生量（基本条件）の1.5倍、0.5倍の条件で計算を行った。水分発生が多い要因としては、住まい方や世帯人数が多いことが考えられる。計算結果を図3-25に示す。室内の水分発生量が大きくなるにつれ、内部結露の発生時間が長くなることが確認できた。ただし、その時間数は気流止めの有無や壁体の仕様により大きく異なった。

次に、室温の設定を変更して計算を行った。室温は年間平均22.5℃とする振幅4.5℃のsin波のほか、12月~3月の室温を22℃、20℃、15℃に置き換えて比較した。15℃は、外気-10℃、室内相対湿度50%の条件で複層ガラスの表面に結露が発生する室温である。

壁面の熱損失を図3-26に、内部結露の発生時間を図3-27に示す。壁面からの内外温度差当たりの熱損失は、室温の低下に伴いやや低下したが、室温の低下により温度差換気の駆動力が低下したためと考えられる。

室温の低下に伴い外壁の温度が低下するため、外壁の内部結露時間は長くなった。

以降の解析で基本計算条件は、室温を年間平均22.5℃とする振幅4.5℃のsin波、4人世帯を想定した水分発生量とした。防露を安全側で検討する際には12月~3月の室温を15℃で4人世帯を想定した水分発生量の1.5倍を与えた。

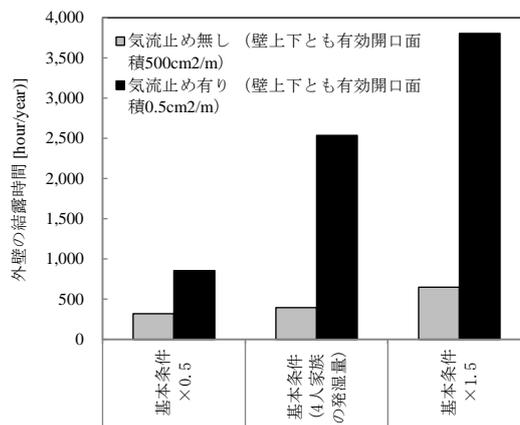


図 3-25 室内の水蒸気発生量と外壁の内部結露の発生時間

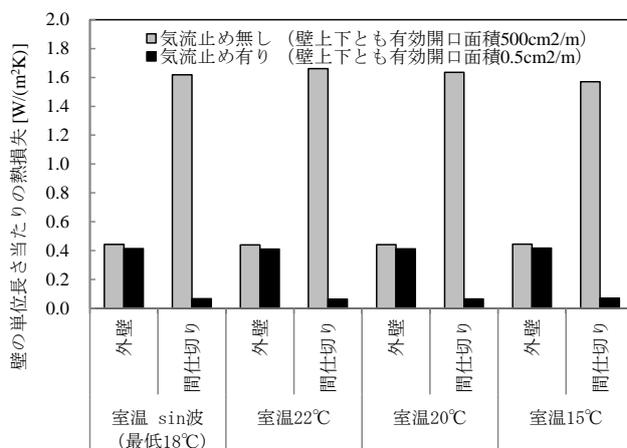


図 3-26 室温と壁面からの熱損失

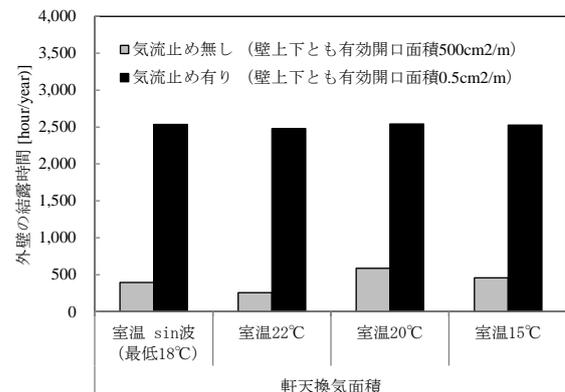


図 3-27 室温と外壁の内部結露の発生時間

7) 床下からの水分発生量の影響

断熱改修後は、床下における水分発生源を取り除くことが望ましいが、設備配管の漏水や雨水侵入により床下が高湿化する可能性がある。ここでは、床下に $10 \text{ g}/(\text{m}^2\text{h})$ の水分発生を与え、影響を確認した。ここでは、床下が換気されにくいように、外部風の風圧を床下換気口に与えない計算条件とした。

床下の相対湿度の変動を図 3-28 に示す。水分発生により床下の相対湿度が高まることが確認された。 $10 \text{ g}/(\text{m}^2\text{h})$ の水分発生を与えた場合、相対湿度が 100 % 近くで推移した。

外壁の内部結露の発生を図 3-29 に示す。床下の水分発生により、外壁の内部結露発生リスクが高まると言える。外壁の内部結露の防止については次節で検討する。

以降の解析で基本計算条件では、床下の水分発生がないことを想定した。防露を安全側で検討する際には、床下に $10 \text{ g}/(\text{m}^2\text{h})$ の水分発生を与えることとした。

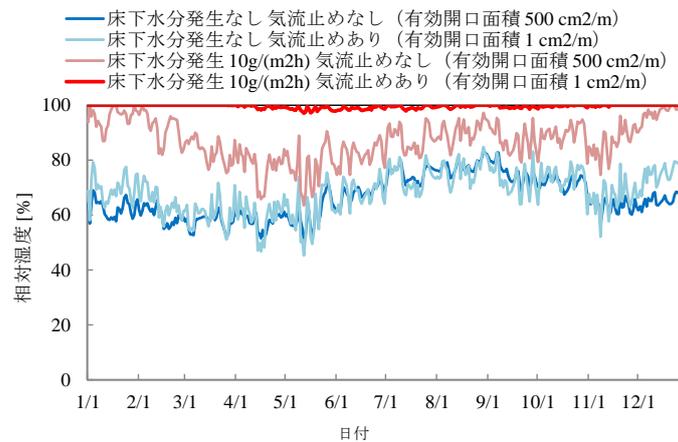


図 3-28 地盤からの水分発生量と床下の相対湿度

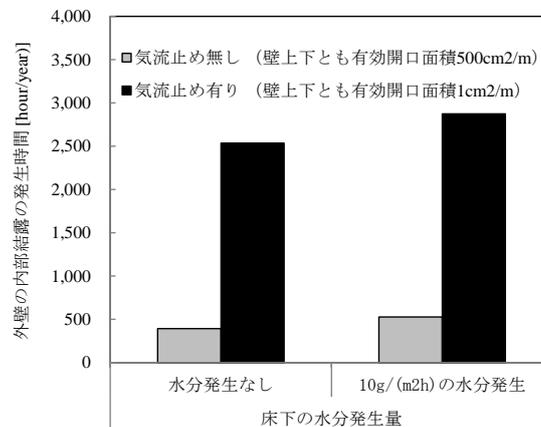


図 3-29 地盤からの水分発生量と外壁の内部結露発生時間

3.4 改修による壁体の熱損失及び内部結露の性状変化に関する検討

3.4.1 北海道における検討

(1) 計算条件

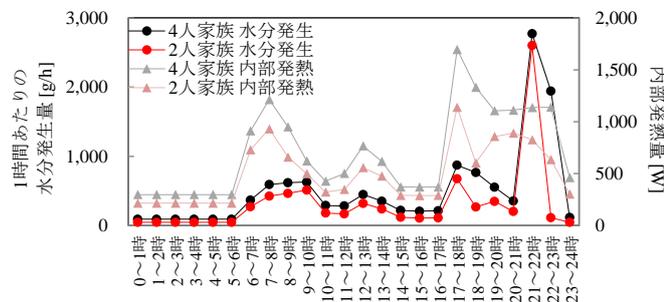
本節では壁体の熱損失及び結露について検討を行う。計算条件を表 3-8 に示す。

熱損失の検討には表 3-8 の「基本計算条件」を適用する。結露に関する検討を行う際は、防露を安全側で検討するために、「安全側計算条件」を適用する。

壁体の断熱や防湿気密仕様は表 3-8 に示した条件を基に、改修を想定して一部の仕様を変更した計算を行うが、その内容は各項で説明する。

表 3-8 計算条件

気象条件	【基本計算条件】札幌の拡張 AMeDAS 標準年気象データ 外部風あり (表 3-5 に基づく風圧係数) 【安全側計算条件】旭川の拡張 AMeDAS 標準年気象データ 外部風なし、ただし、屋根のみ外部風を受けることとする
住宅仕様	【共通計算条件】平屋延べ床面積 80m ² 住宅モデル (詳細は表 3-4) 床下換気口面積は周長当たり 75cm ² /m (木造住宅工事標準仕様書に基づく) 壁体上下部の有効開口面積が 500cm ² /m 特に条件の記載がない場合、気流止めを設置した壁体上下部の有効開口面積は 1 cm ² /m になることとし、壁体上下部にグラスウール 32K (16K を 2 倍に圧縮) 200mm の熱抵抗と袋 (付属防湿層) の透湿抵抗を与えた。気流止めは外壁と間仕切りに対して行うこととする。 【基本計算条件】軒天の有効開口面積は天井面積の 1/250 (木造住宅工事標準仕様書に基づく) 住宅の相当隙間面積が寒冷地 9 cm ² /m ² 、外壁室内側の隙間は床側:天井側に 5:5 分布 【安全側計算条件】軒天の有効開口面積は天井面積の 1/1000 住宅の相当隙間面積が寒冷地 9 cm ² /m ² 、外壁室内側の隙間は床側:天井側に 9:1 分布
断熱仕様	床断熱、天井断熱とする。 外壁 せっこうボード 12mm, GW16K 100mm, モルタル 15mm (防湿層、通気層無し) 床 構造用合板 12mm, GW16K 100mm (防湿層無し) 天井 せっこうボード 12mm, 吹込み GW18K 200mm (防湿層無し) 間仕切り壁 せっこうボード 12mm, 中空層 105mm, せっこうボード 12mm 基礎 立上り部コンクリート 120mm
室内条件	温度 【基本計算条件】 $T_m = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$ D は 1 月 1 日からの日数 【安全側計算条件】上記室温の 12 月~3 月を 15℃とする。
水分発生	【基本計算条件】空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 4 人家族の水分発生量 床下の水分発生なし 【安全側計算条件】4 人家族の水分発生量の 1.5 倍の水分発生量 床下に 10g/(m ² h)の水分発生
換気	【基本計算条件】第 3 種換気による 0.5 回/h に加えて、躯体からの漏気 【安全側計算条件】第 1 種換気による 0.5 回/h に加えて、躯体からの漏気 (一部のケースでは機械換気無しで計算)



(2) 気流止めの影響

気流止め改修による熱損失や内部結露の変化について検討する。

2章の検討より、気流止めを設置した壁体の有効開口面積は、施工のばらつきを考慮しても $1.0\text{cm}^2/\text{m}$ 程度以下に施工することができる。本節では、気流止めを設置した壁体の有効開口面積を $1.0\text{cm}^2/\text{m}$ と仮定し、熱損失もしくは結露防止への影響を検討していく。

気流止めがない場合は、単位長さ当たり $10\text{cm}\times 100\text{cm}$ の平断面の壁で流量係数 0.5 として $500\text{cm}^2/\text{m}$ 程度と推定される。また、断熱層は改修前後で変化がないと仮定する。

1) 壁体への影響

① 空気の移流量と熱損失

空気の移流量及び外壁の熱損失を検討した。計算条件は表 3-8 の「基本計算条件」とした。一部で示している東京での計算条件は、表 3-9 (p.61) で示す。

気流止め改修前後の外壁及び間仕切り壁周辺の冬季の空気移流量を図 3-30、図 3-31 に示す。気流止め施工後も移流はあるが、気流止めを施工した部分の移流量の変動が低下していることが確認された。図 3-31 にみられるように間仕切りの壁内気流の風速は、(a)の札幌では (b)の東京よりも大きかった。札幌では室内外の温度差が大きく浮力が大きかったためと考えられる。

外壁及び間仕切り壁上下部の有効開口面積と熱損失の関係を図 3-32、図 3-33 に示す。外壁では、上下部の有効開口面積が $500\text{cm}^2/\text{m}$ から $1\text{cm}^2/\text{m}$ になることで、熱損失が 5~11 %程度減少した。間仕切り壁では、上下部の有効開口面積が $500\text{cm}^2/\text{m}$ から $1\text{cm}^2/\text{m}$ になることで、熱損失が $1.1\sim 1.6\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ から $0.05\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ 程度まで減少した。間仕切り壁は、断熱材が充填される外壁に比べ、壁内部の抵抗が小さいために、気流止めにより通気量が大きく減少し、熱損失が小さくなった。札幌では東京よりも間仕切り壁の壁内気流の風速が大きいため、内外温度差当たりの熱損失も大きくなった。

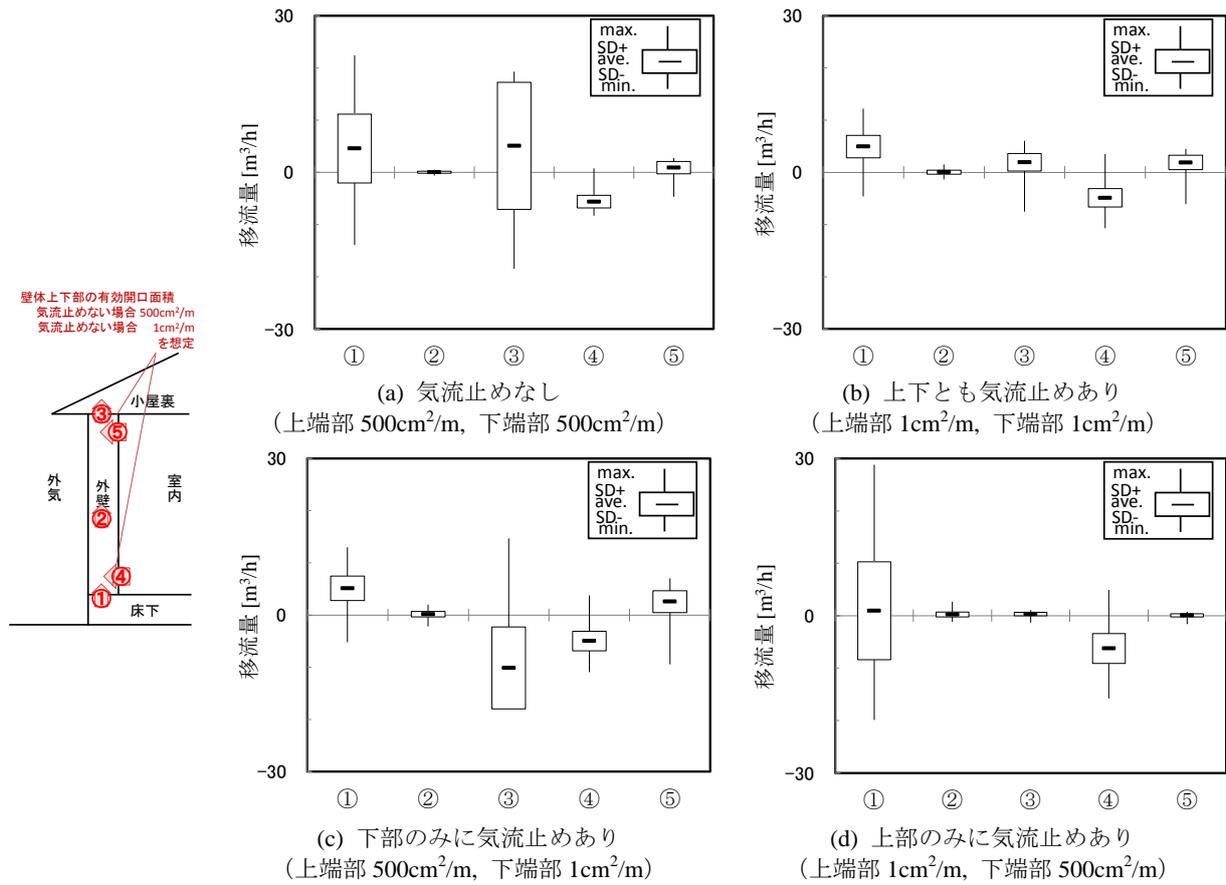


図 3-30 気流止めと外壁廻りの空気の移流量（札幌、北側、1月）の関係

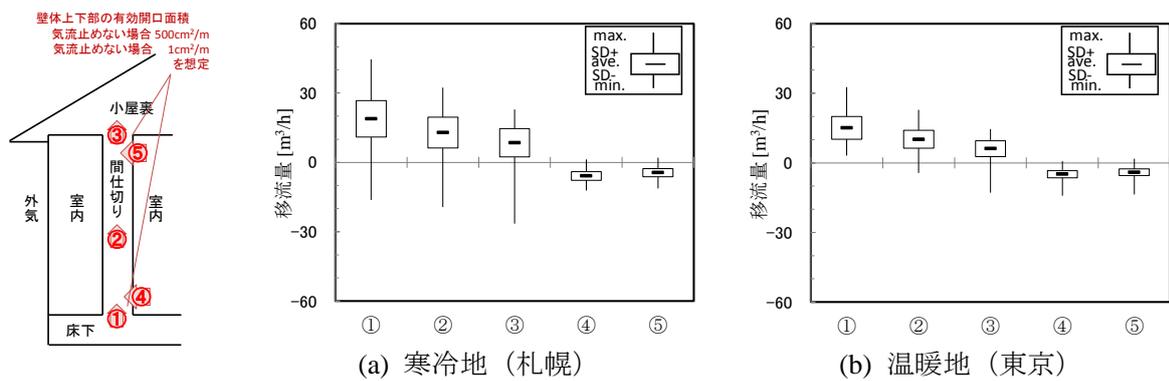


図 3-31 気流止めと間仕切り壁廻りの空気の移流量（1月）の関係

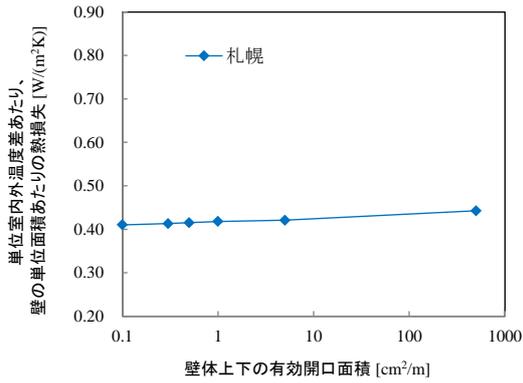


図 3-32 外壁上下部の有効開口面積と壁面の熱損失

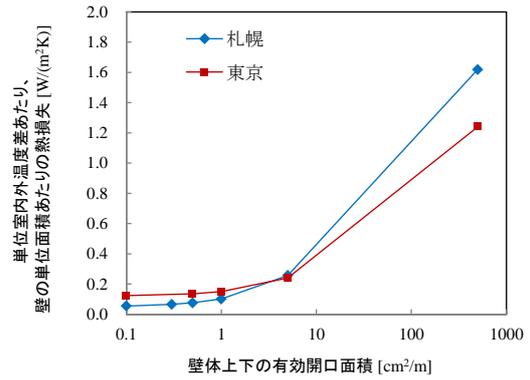


図 3-33 間仕切り壁上下部の有効開口面積と壁面の熱損失

② 内部結露

内部結露の発生時間を図 3-34 に示す。計算条件は表 3-8 の「基本計算条件」とした。札幌においては、外壁上下部の有効開口面積が小さくなると結露時間が増大する傾向がみられた。これは、上下部の有効開口面積が小さくなることで、壁内気流により排湿されなくなったためと考えられる。つまり、改修で気流止めのみを行うと結露のリスクが増大することがある

気流止めに使用するグラスウールの熱抵抗及び透湿抵抗と壁体の熱損失及び外壁の内部結露との関係を図 3-35、図 3-36 に示す。計算条件は表 3-8 の「基本計算条件」とした。気流止めの熱抵抗は 32K 200mm 厚を想定したが、完全断熱（熱抵抗を無限大と仮定した）の場合との差は 0.004W/(m²K)程度であった。また、内部結露の発生時間数の差は最大 1%程度と小さかった。本ケースの条件は気流止めだけの改修で防露対策が不十分であるため、壁の中の絶対湿度が高く、床下や小屋裏と近い値で推移したため、気流止めの透湿抵抗の差が現れにくかったと考えられる。気流止めの透湿抵抗については(4) 3 項でも検討を行う。

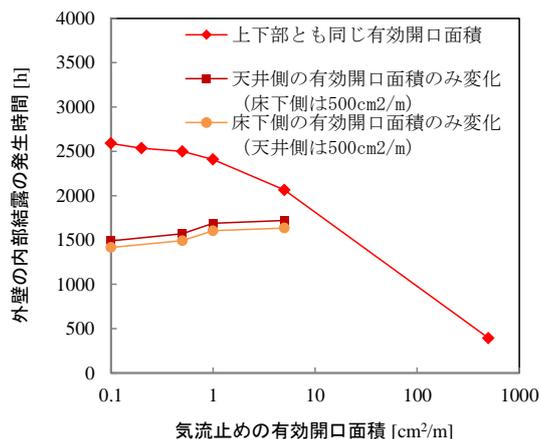


図 3-34 外壁上下部の有効開口面積と結露時間（札幌・基本計算条件）

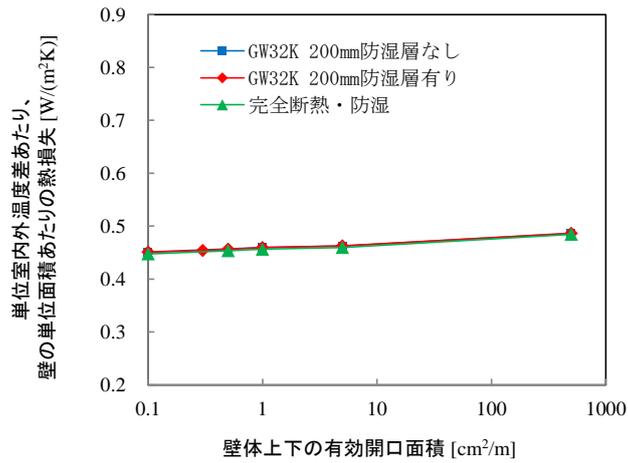


図 3-35 気流止めグラスウールの物性と壁体の熱損失（札幌）

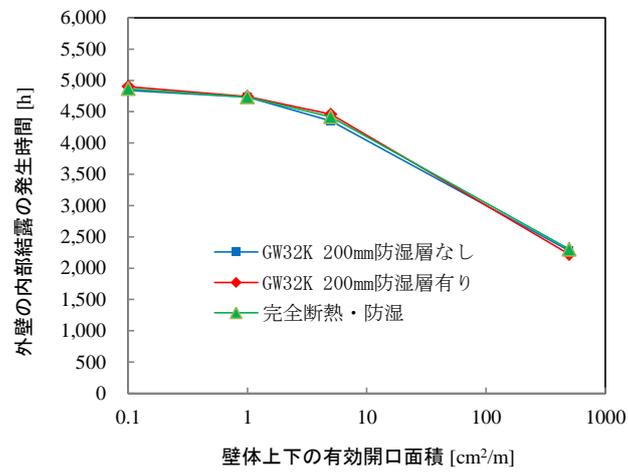


図 3-36 気流止めグラスウールの物性と外壁の内部結露（旭川の安全側計算条件）

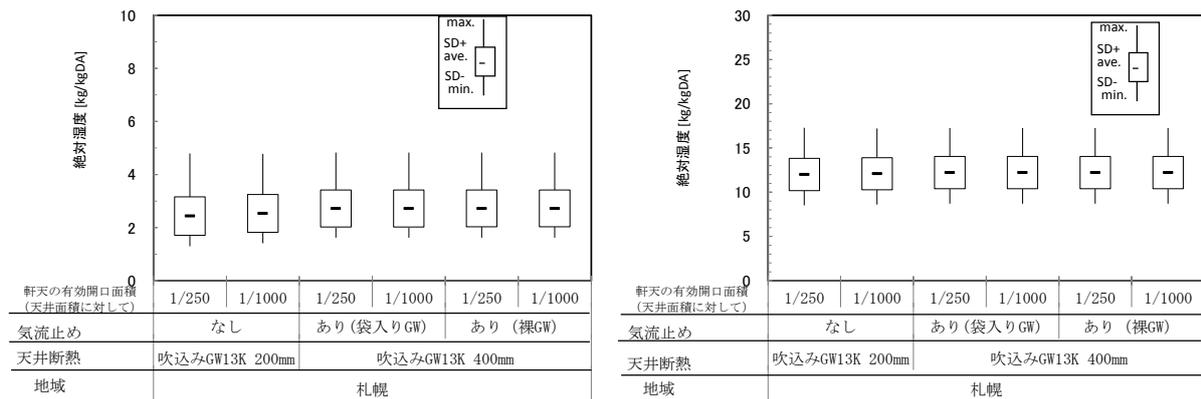
2) 小屋裏への影響

壁内気流の増減は壁体内部だけでなく小屋裏の熱湿気性状にも影響を及ぼす。ここでは、気流止めと小屋裏の湿度の関係について検討した。

気流止めと小屋裏の絶対湿度の関係を図 3-37 に示す。計算条件は、表 3-8 の「基本計算条件」とした。気流止めの施工によって小屋裏の絶対湿度が上昇した。これは、壁体内部を経由する室内からの水蒸気の移流は減少するが、他の部位からも含めて小屋裏に達した水蒸気が、小屋裏換気量の減少により外部に排出しにくくなったためと考えられる。気流止めの袋の有無の影響は小さかったが、これは水蒸気の輸送に関して、透湿よりも移流が支配的であったためと推測される。

結露の可能性が高い天井断熱層の室外側と野地板の室内側表面の相対湿度を図 3-38 と図 3-39 に示す。計算条件は、表 3-8 の「基本計算条件」とした。相対湿度では、野地板室内側表面の方が、天井断熱層の室外側表面よりも高く推移した。天井面積の 1/250 の軒天換気面積が確保されていれば相対湿度が最高 90%程度であるが、1/1000 程度であれば 100%に近づいた。

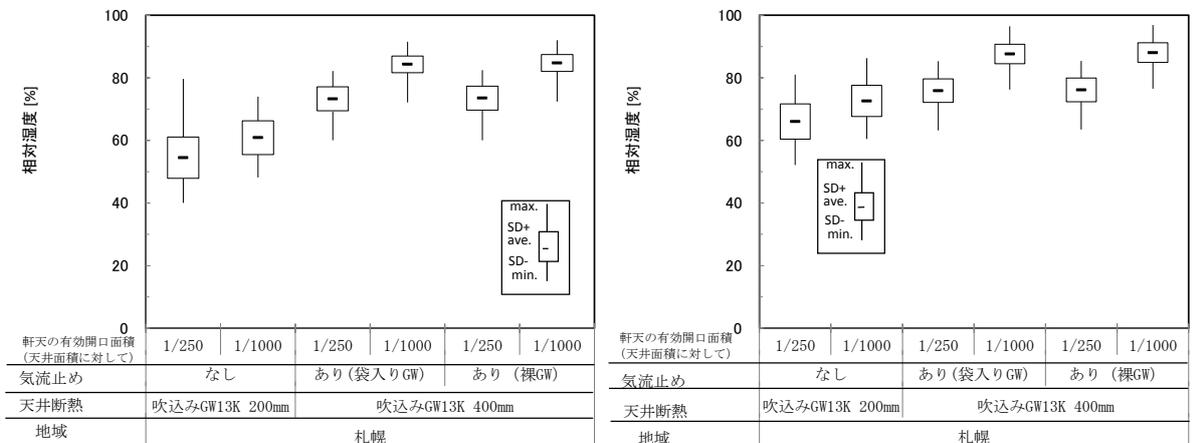
安全側計算条件を適用した旭川における野地板の室内側表面の相対湿度を図 3-40 に示す。気流止めの施工によって相対湿度 100%に達するケースが見られた。相対湿度 100%にしないための条件として、天井に防湿フィルムもしくはビニルクロスを施工して透湿抵抗を確保し、天井の有効開口面積を天井面積当たり $0.1\text{cm}^2/\text{m}^2$ にすることが求められた。そのため、以降の道内を対象とした解析では、天井にビニルクロスを施工し、天井の有効開口面積を天井面積当たり $0.1\text{cm}^2/\text{m}^2$ とすることを前提とした。



(a) 1月の絶対湿度

(b) 7月の絶対湿度

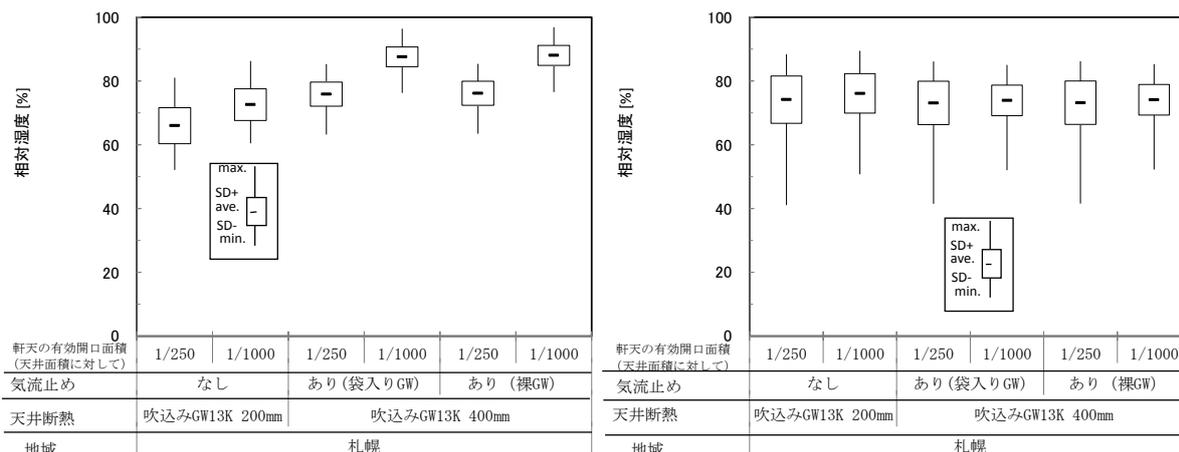
図 3-37 気流止めと小屋裏空間の絶対湿度 (基本計算条件)



(a) 1月の相対湿度

(b) 7月の相対湿度

図 3-38 気流止めと天井断熱層室外側の相対湿度 (基本計算条件)



(a) 1月の相対湿度 (b) 7月の相対湿度
 図 3-39 気流止めと野地板室内側の相対湿度 (基本計算条件)

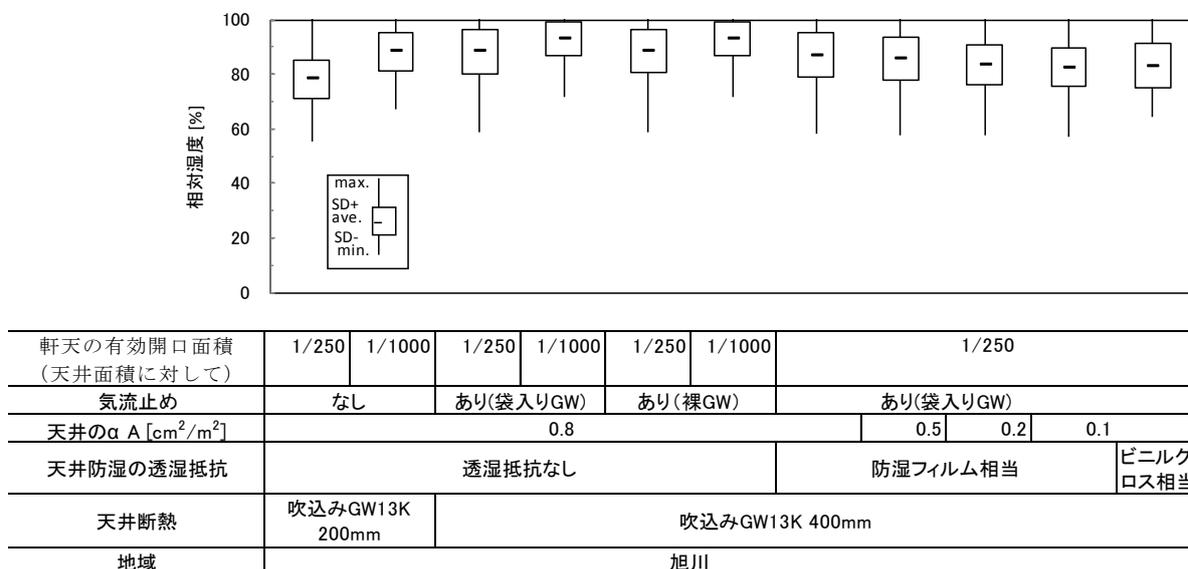


図 3-40 気流止めと野地板室内側の相対湿度 (安全側計算条件)

(3) 換気方式の影響

機械換気なしと第3種換気を比較する。機械換気なしのケースは、①換気装置が設置されていない、②入居者に機械換気の運転が停止される、③メンテナンス不良により機械換気の換気量低下する、のような状況として考えられる。計算条件は表 3-8 に示す「基本計算条件」とする。第3種換気は機械換気で0.5回/hの換気量を確保し、その他に漏気が発生する。

熱損失の比較を図 3-41 に示す。第3種換気の導入で換気量がやや増加し、暖冷房負荷がわずかに増大した。

結露時間の比較を図 3-42 に示す。第3種換気によって結露時間が減少する傾向がみられた。これは2つの原因があると考えられる。一つは、外壁内部の主な加湿源は絶対湿度が高い室内空気であるが、機械換気によって室内の湿度が低下した(図 3-43) ことである。もう一つは、室内が負圧になることで室内空気が外壁内部に移流しにくくなったことである。室内から外壁内部に流れる空気の移流量を図 3-44 に示すが、第3種換気により47%移流量が低減した。

機械換気は、壁体の表面結露の防止や空気質の確保のためにも導入すべき方法であるが、内部結露リスクの低減にも効果があることが分かる。

しかし、図 3-42 に示したように、気流止めと機械換気の導入のみでは改修後の結露を防止できない。

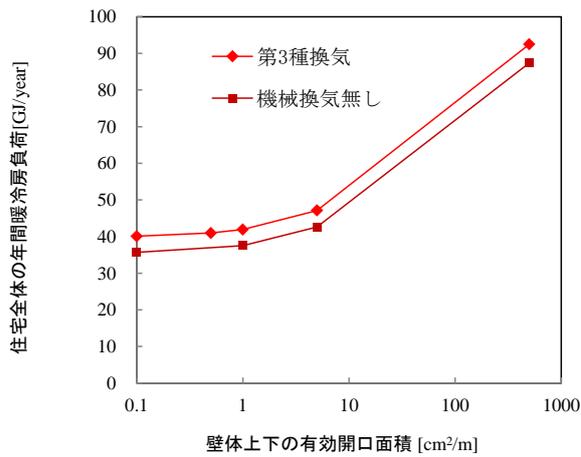


図 3-41 換気方式と暖冷房負荷 (札幌)

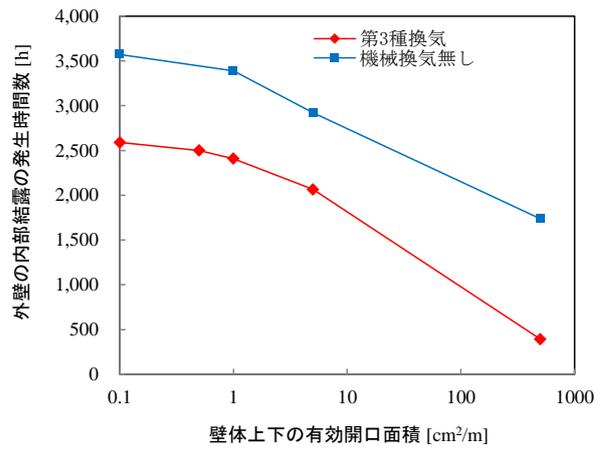


図 3-42 換気方式と内部結露の発生時間 (札幌)

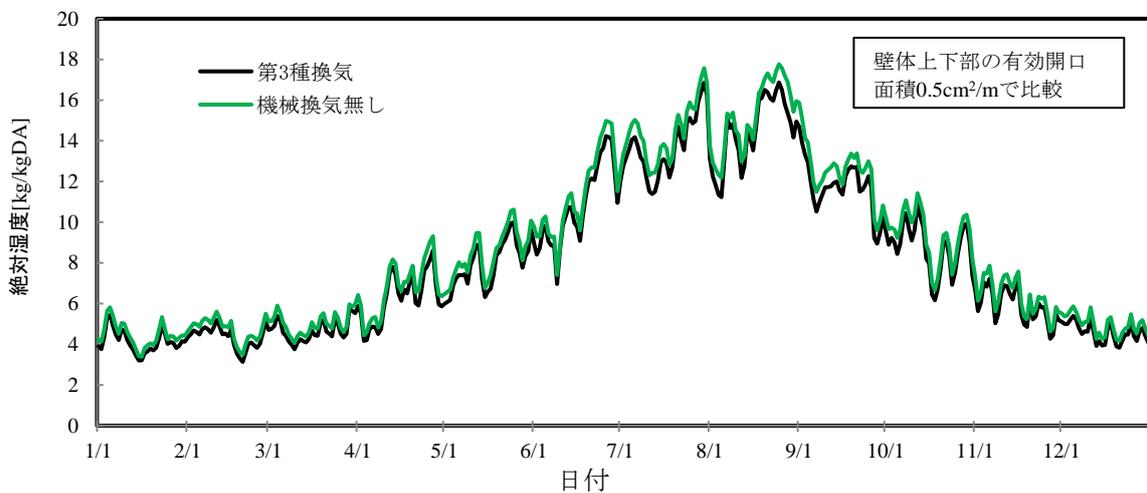


図 3-43 換気方式と室内の絶対湿度 (日平均値)

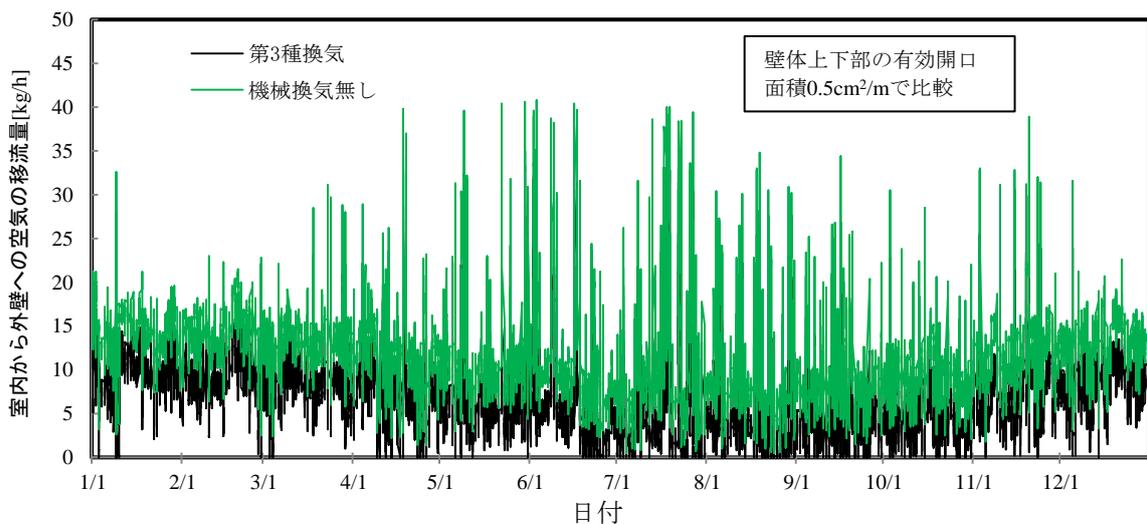


図 3-44 換気方式と室内から壁内への空気の移流量

(4) 防湿気密化の影響

防湿気密化による内部結露の防止等について検討する。

防湿と気密化は防湿フィルムの施工等により同時に達成されることが多いが、防湿と気密化それぞれの防露への寄与を把握するために、各パラメータを個別に検討した。

1) 気密性

まず、住宅全体の相当隙間面積を $3\sim 15\text{ cm}^2/\text{m}^2$ としたときの感度を確認した。計算条件は表 3-8 に示す「基本計算条件」とする。いずれも防湿層がない条件での比較である。室内に面する気流止め以外の各部位の有効開口面積は、相当隙間面積に比例して変動させた (図 3-4、p.33)。相当隙間面積は気流止めを設置していないときの値とした。

相当隙間面積の暖房負荷への影響を図 3-45 に、内部結露時間への影響を図 3-46 に示す。また、住宅の換気回数の変動を図 3-47 に示す。相当隙間面積が大きい条件では換気回数が多くなるため、暖冷房負荷がやや大きくなった。また、相当隙間面積が小さい条件で室内の換気回数が少ないために結露時間が長くなった。防湿性能を向上させずに気密性を高めるのみでは、漏気による湿気排出が減少するため内部結露発生リスクが高まると考えられる。

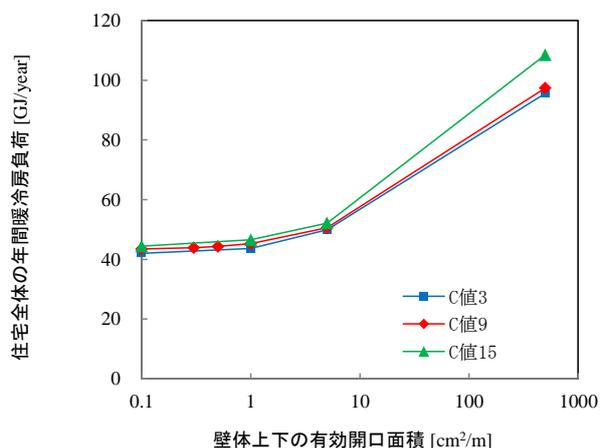


図 3-45 相当隙間面積と暖冷房負荷 (札幌)

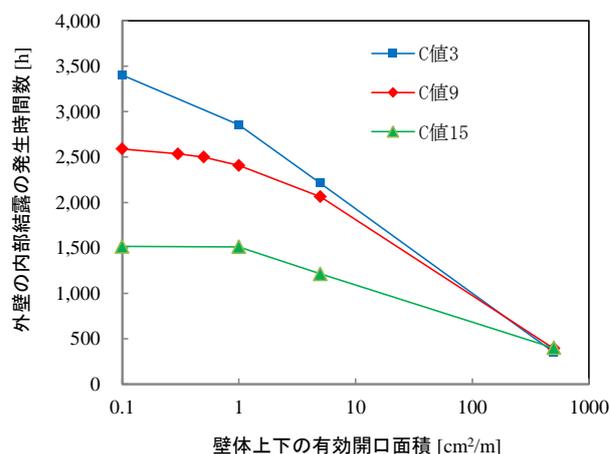


図 3-46 相当隙間面積と内部結露の発生時間 (札幌)

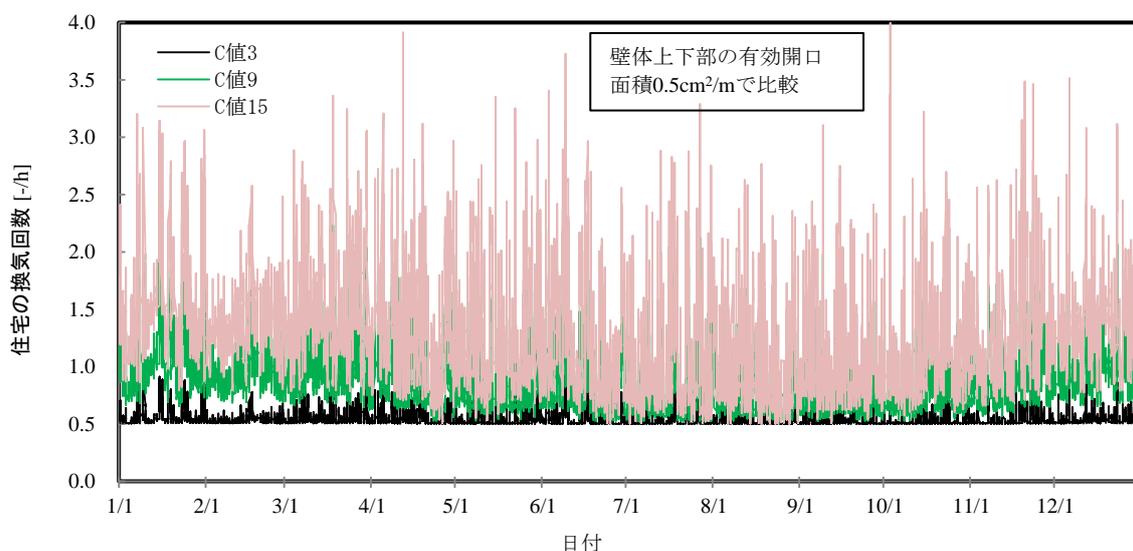


図 3-47 住宅の換気回数の変動

2) 防湿性

防湿フィルムもしくはビニルクロスによる壁体室内側の透湿抵抗の向上と内部結露の防止について検討した。

防湿フィルムは JIS A6930 の住宅用プラスチック系防湿フィルム B 種（透湿抵抗 $0.144 \text{ m}^2\text{sPa/ng}$ ）相当、ビニルクロスは透湿抵抗 $0.0079 \text{ m}^2\text{sPa/ng}^{3-10}$ と設定した。ここでは防湿層の施工によって気密性に変化はないと仮定した。

図 3-48 に示すように透湿抵抗の向上によって結露時間が短くなる傾向を確認できた。透湿抵抗の高い防湿フィルムの方が結露時間は短くなったが、結露する時間が 0 とはならなかった。これは、隙間から高湿な室内空気が壁内に移流するためであり、結露を防ぐためには防湿層の施工と併せ、気密性を高める必要があることが本数値解析においても確認された。また、防湿層を加えた場合、壁体上下部の有効開口面積 $1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ で内部結露がピークを迎えた。壁内気流は、低温空気の流入で結露発生を促進するほかに、時間帯や周囲の条件によっては壁体内の高湿な空気を排出することがあるため、有効開口面積と結露時間の傾向が異なるものと考えられる。

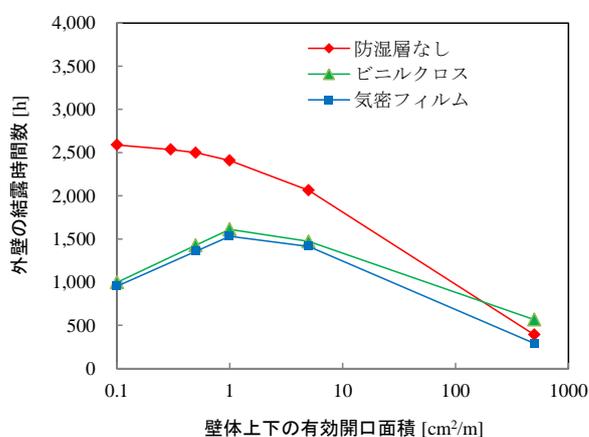


図 3-48 防湿層の施工と内部結露の発生時間

3) 防湿気密などを組み合わせた内部結露の防止

気密性能の確保と防湿層による透湿抵抗の確保それぞれについて検討したが、どちらかのみでは外壁の内部結露の防止に至らなかった。そこで、以下の 4 つをパラメータとする解析を行った。計算条件は表 3-8 の「安全側計算条件」とした。

① 外壁の有効開口面積

壁面積当たりの有効開口面積が $0.8 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ （寒冷地の改修前程度）、 $0.4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 、 $0.2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 、 $0.1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

② 外壁の透湿抵抗

- ・ JIS A6930 の住宅用プラスチック系防湿フィルム B 種（透湿抵抗 $0.144 \text{ m}^2\text{sPa/ng}$ ）
- ・ ビニルクロス相当（透湿抵抗 $0.0024 \text{ m}^2\text{sPa/ng}$ ）

③ 気流止めの材料

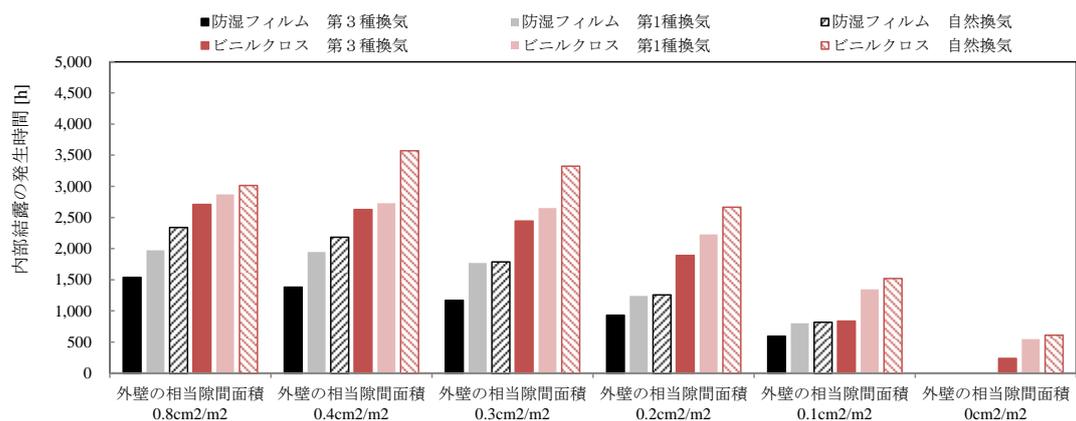
- ・ 裸グラスウール（透湿抵抗がグラスウールのみ）
- ・ 袋入りグラスウール（付属防湿層の透湿抵抗あり）

④ 換気方式

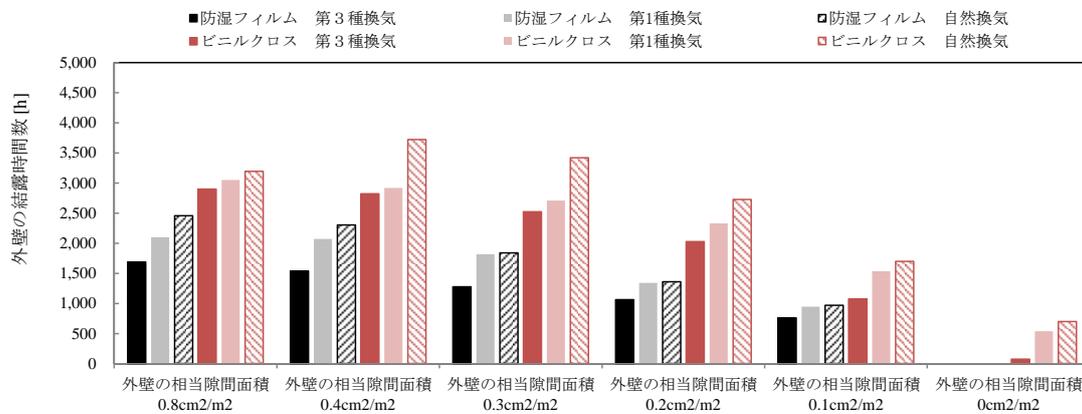
- ・ 第 3 種換気
- ・ 第 1 種換気
- ・ 機械換気無し

それぞれの防湿気密仕様における外壁の内部結露時間を図 3-49 に示す。壁体の防湿措置や気密化により結露時間を減らすことができた。しかし、外壁の有効開口面積 $0.1\text{cm}^2/\text{m}^2$ より大きい場合、いずれのケースでも内部結露の発生時間が 0 にならなかった。これは、壁体の外気側であるアスファルトフェルトとモルタルの透湿抵抗が高いために放湿されにくいことが原因と考えられる。実際には、ここで検討した仕様の外壁においても屋外と通じる隙間があることが考えられるが、本研究では、防露上安全な改修を実施するための検討を行っており、結露に対しやや厳しい条件を設定していることに留意する必要がある。

気流止めの材料で比較すると、袋入りの方が結露時間は短い。付属防湿層があることで、床下からの水蒸気の移動を抑えられたためと考えられる。



(a) 袋入りグラスウールによる気流止め



(b) 裸グラスウールによる気流止め

図 3-49 防湿気密仕様と外壁の内部結露時間

(5) 断熱材の追加の影響

次に、断熱材の追加による外壁の内部結露防止等について検討した。以下の2パターンの検討を行った。

- ① 既存外装のモルタルの上からグラスウールボード（以下、「GWB」という。）32K品の付加断熱、透湿防水シート、通気層 18 mm、サイディング 15 mm を追加
- ② 外壁室内側せっこうボードの内側に押出法ポリスチレンフォーム3種（熱伝導率 0.028 W/(mK)、以下、「XPS」という。）25 mm を追加

まず、①の付加断熱に関する検討結果を示す。

熱損失を検討した結果を図 3-50 に示す。計算条件は、表 3-8 の「基本計算条件」とした。付加断熱によって熱損失を大幅に軽減できる。しかしながら、壁内気流が発生する場合は、外張り断熱材の内側に冷気が入ってしまうため、断熱強化の効果が損なわれる。

外壁の内部結露の発生時間を図 3-51 に示す。計算条件は、表 3-8 の「基本計算条件」とした。前項などに示すように寒冷地では防湿気密が不十分の場合に内部結露が見られるが、付加断熱によって既存断熱層の外気側表面の温度が上がり結露が見られない。新規の外張り断熱材の表面においても、透湿防水層と通気層の施工によって湿気排出がされ、結露が見られない。

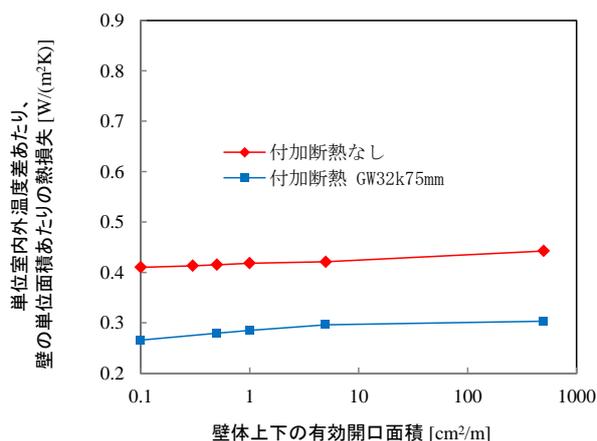


図 3-50 付加断熱の施工と外壁の熱損失

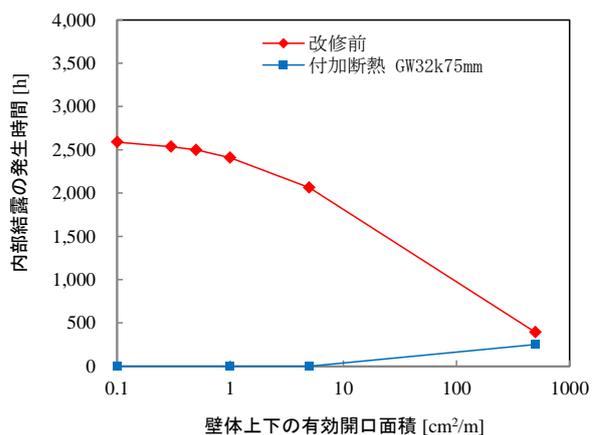


図 3-51 付加断熱の施工と内部結露の発生

また、外壁の内部結露について、設備配管の漏水や雨水の浸水により床下が高湿化する可能性を考慮し、床下の水分発生量 10 g/(m²h)等の安全側計算条件（表 3-8）を与えて計算した。このとき、床下の相対湿度は図 3-52 のように変動する。外部風を与えていないこともあり、床下水分発生を与えた場合に相対湿度が高く推移する。気流止めがある場合は床下の換気が減ることもあり、相対湿度が高くなる。外壁の内部結露の発生時間を図 3-53 に示す。気流止めが無い場合（壁体有効開口面積が 500 cm²/m）、床下が高湿である影響を受け、外壁の内部結露が発生するが、気流止めによりその影響は小さくなる。

改修の際には床下に水分発生源が無いよう配慮する必要があるが、万が一設備配管の漏水等で床下が高湿化する可能性を考慮し、気流止め設置により外壁の内部結露リスクを低減させる。

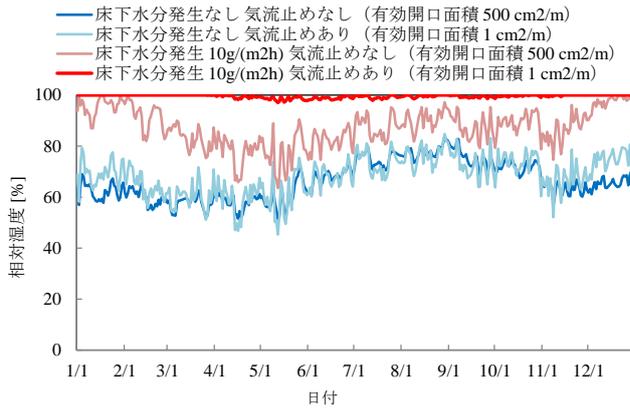


図 3-52 床下の水分発生量及び気流止めと床下の相対湿度（旭川の安全側計算条件）

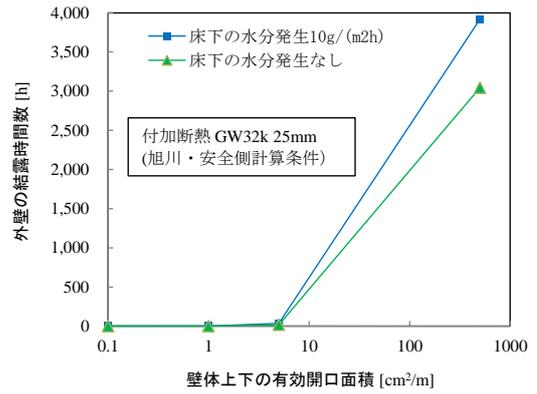


図 3-53 床下の水分発生と付加断熱時の内部結露の発生（旭川の安全側計算条件）

次に、②の室内側に断熱材を追加する場合について検討を行った。

外壁の内部結露の発生時間を図 3-54 に示す。計算条件は、表 3-8 の「基本計算条件」とした。改修前で気流止めが無い状態よりも、室内側に断熱材を追加することで、気流止めの有無に関わらず、内部結露時間が増大した。室内側への発泡プラスチック系断熱材の追加は、室内側の防湿性能の向上によるプラスの効果と既存断熱層の温度低下のマイナスの効果があるが、後者の影響が大きかったと考えられる。

これらのことから、外壁の結露防止のために、グラスウールボード 25mm 以上の熱抵抗のものを付加断熱した上で気流止めを行うことが有効である。

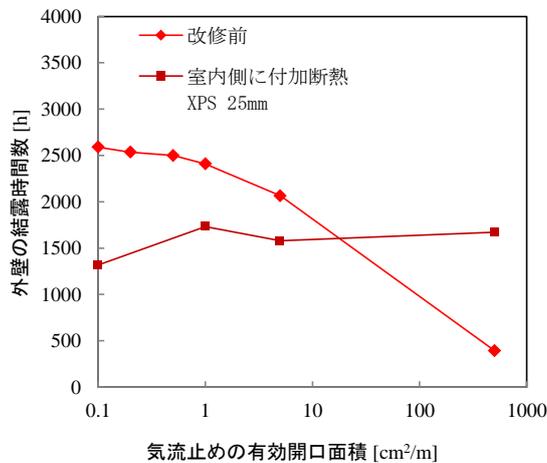


図 3-54 室内側への付加断熱の施工と内部結露の発生時間（札幌の気象条件）

(6) 外気側への放湿の影響

次に、壁内水分を外気側へ放湿させる内部結露防止対策として、通気層設置を検討した。

改修によって、断熱層外側のアスファルトフェルトとモルタル外装を撤去し、通気層（厚み 18mm、通気層の出入り口が外気と連通し、開口率 50%となることを想定）及びサイディング 15 mm を設置することは共通とし、以下の 3 パターンの条件を設けた。

- ① 外装下地が透湿防水シート
- ② 外装下地がシーリングボード
- ③ 外装下地が合板 12 mm と透湿防水シート

表 3-8 の「基本計算条件」を適用した場合の内部結露の外壁の発生時間を図 3-55 に示す。透湿防水シートもしくはシーリングボードの外装下地では壁体上下部の有効開口面積が $500 \text{ cm}^2/\text{m}$ のケースで、わずかな時間の内部結露が見られるものの、気流止めをすることにより見られなくなった。壁体の外気側へ放湿された効果が大きいと考えられる。外装下地が合板では結露が見られた。

また、外装下地が透湿防水シートもしくはシーリングボードの場合において、床下の水分発生量 $10 \text{ g}/(\text{m}^2\text{h})$ 等の表 3-8 の「安全側計算条件」を与えた場合の外壁の内部結露の発生時間を図 3-56 に示す。気流止めが無い場合（壁体有効開口面積が $500 \text{ cm}^2/\text{m}$ ）、高湿な床下の影響を受け、外壁の内部結露が発生するが、気流止めによりその影響は小さくなる。

これらのことから、外壁の結露防止のために、シーリングボードよりも透湿抵抗が小さい外装下地で通気層を設置した上で気流止めすることが、有効と考えられる。

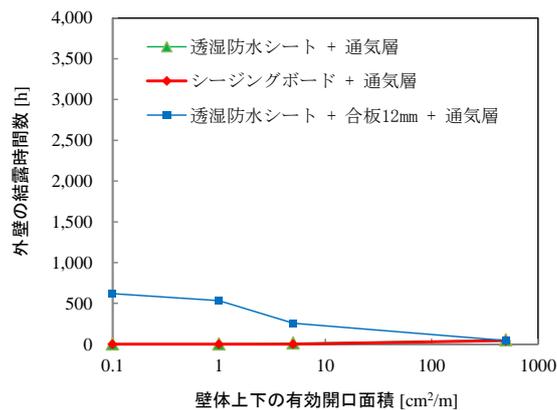


図 3-55 通気層の設置と外壁の内部結露の発生
(札幌、基本計算条件)

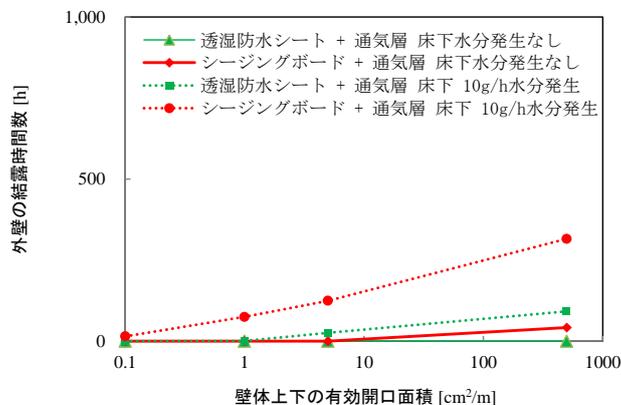


図 3-56 床下の水分発生、通気層の設置と外壁の結露の関係
(旭川、安全側計算条件)

3.4.2 東京における検討

(1) 計算条件

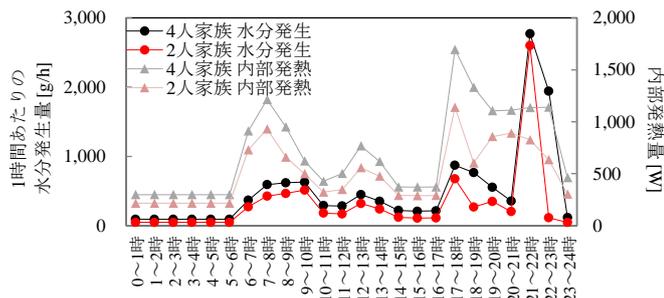
本節では壁体の熱損失及び結露について検討を行う。計算条件を表 3-9 に示す。

熱損失の検討には表 3-9 の「基本計算条件」を適用する。結露に関する検討を行う際は、防露を安全側で検討するために、「安全側計算条件」を適用する。

壁体の断熱や防湿気密仕様は表 3-9 に示した条件を基に、改修を想定して一部の仕様を変更した計算を行うが、その内容は各項で説明する。

表 3-9 計算条件

気象条件	<ul style="list-style-type: none"> 【共通計算条件】 東京の拡張 AMeDAS 標準年気象データ 【基本計算条件】 外部風あり (表 3-5 に基づく風圧係数) 【安全側計算条件】 外部風なし、ただし、屋根のみ外部風を受けることとする
住宅仕様	<ul style="list-style-type: none"> 【共通計算条件】 平屋延べ床面積 80m² 住宅モデル (詳細は表 3-4) 床下換気口面積は周長当たり 75cm²/m (木造住宅工事標準仕様書に基づく) 壁体上下部の有効開口面積が 500cm²/m 特に条件の記載がない場合、気流止めを設置した壁体上下部の有効開口面積は 1 cm²/m になることとし、壁体上下部にグラスウール 32K (16K を 2 倍に圧縮) 200mm の熱抵抗と袋 (付属防湿層) の透湿抵抗を与えた。気流止めは外壁と間仕切りに対して行うこととする。 【基本計算条件】 軒天の有効開口面積は天井面積の 1/250 (木造住宅工事標準仕様書に基づく) 住宅の相当隙間面積が 12 cm²/m²、外壁室内側の隙間は床側:天井側に 5:5 分布 【安全側計算条件】 軒天の有効開口面積は天井面積の 1/1000 住宅の相当隙間面積が 12 cm²/m²、外壁室内側の隙間は床側:天井側に 9:1 分布
断熱仕様	<ul style="list-style-type: none"> 【共通計算条件】 <ul style="list-style-type: none"> 床断熱、天井断熱とする。 外壁 せっこうボード 12mm, GW10K 50mm (袋入り), 空気層, アスファルトフェルト 0.7 mm, モルタル 15mm (通気層無し) 間仕切り壁 せっこうボード 12mm, 中空層 105mm, せっこうボード 12mm 基礎 立上り部コンクリート 120mm 【基本計算条件】 <ul style="list-style-type: none"> 床 構造用合板 12mm (防湿層無し) 天井 せっこうボード 12mm, GW10K 50 mm (防湿層無し) 【安全側計算条件】 <ul style="list-style-type: none"> 床 構造用合板 12mm, GW32K 80 mm (防湿層無し) 天井 せっこうボード 12mm, GW10K 50 mm + LFGW (吹込み) 13K 210 mm (防湿層無し)
室内条件	<ul style="list-style-type: none"> 【基本計算条件】 各日の 6:00~23:00 は暖冷房、23:00~6:00 は非暖冷房を想定した室温を与える。 暖冷房時の室温 $T_m = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$ 非暖冷房時の室温 $T_m = 7.0 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 20.0$ D は 1 月 1 日からの日数 【安全側計算条件】 非暖冷房室を想定して下記の室温を与える。 $T_m = 7.0 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 20.0$
水分発生	<ul style="list-style-type: none"> 【基本計算条件】 空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 4 人家族の水分発生量 床下の水分発生なし 【安全側計算条件】 4 人家族の水分発生量の 1.5 倍の水分発生量 床下に 10g/(m²h)の水分発生
換気	<ul style="list-style-type: none"> 【基本計算条件】 第 3 種換気による 0.5 回/h に加えて、躯体からの漏気 【安全側計算条件】 躯体からの漏気のみ



(2) 気流止めの影響

ここではまず、既存の在来木造住宅に対して気流止めのみを行う場合を想定し、1)では暖冷房負荷について、2)では外壁に着目して熱損失と内部結露の発生状況を検討した。

1) 住宅全体への暖冷房負荷への影響

住宅全体の暖冷房負荷への影響について検討を行った。計算条件は表 3-9 の「基本計算条件」とした。

想定した断熱材の施工状況を図 3-57 に示す。外壁の 50 mm 断熱は室内側に寄せて施工すべきであるが、既存住宅においては断熱材と室内側せっこうボードの間に空間ができ、壁内気流の経路となることが多いため、(a)のように断熱材が室外側に寄ることを想定した。また、外壁が無断熱の場合や断熱材が施工されていても施工不良により性能をほとんど発揮しないことも考えられるため、(b)では無断熱を想定した。

断熱材の施工状況を図 3-57 の(a)50mm 断熱及び(b)無断熱とし、壁体の上下部に気流止めをした場合の暖冷房負荷を図 3-58 に示す。気流止めが無い場合、横軸（壁体上下部の有効開口面積）の値が 500 cm²/m 程度と考えられる。(a)、(b)とも、気流止めによって外壁上下部の有効開口面積を小さくすることで、大幅に暖冷房負荷が低下した。

断熱材の施工状況を図 3-57 の(a)50mm 断熱とし、壁体の上下部いずれかに気流止めをした場合の暖冷房負荷を図 3-59 に示す。本検討で対象とした平屋住宅の場合は、片側だけの気流止めでも暖冷房負荷が削減できると推測された。ただし、3.5 (p.73～) で示すように、2 階建ての住宅においては、床側もしくは天井側だけの気流止めでは、負荷削減効果が小さいため、注意が必要である。

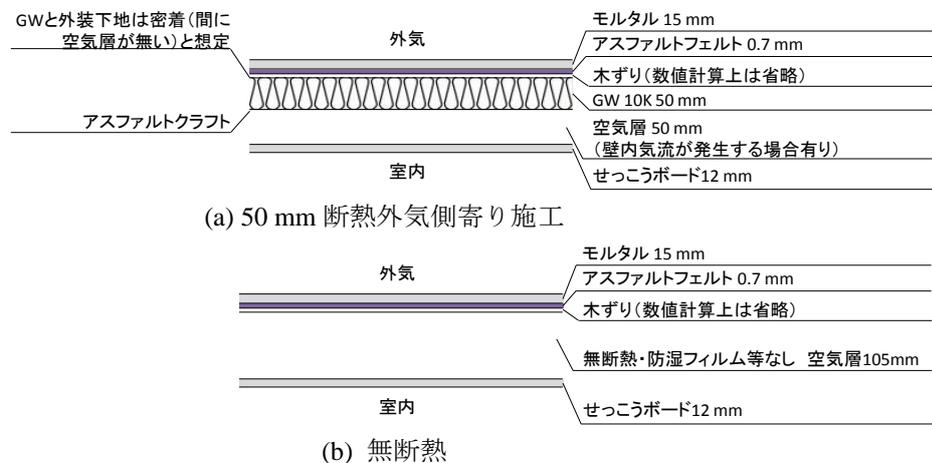
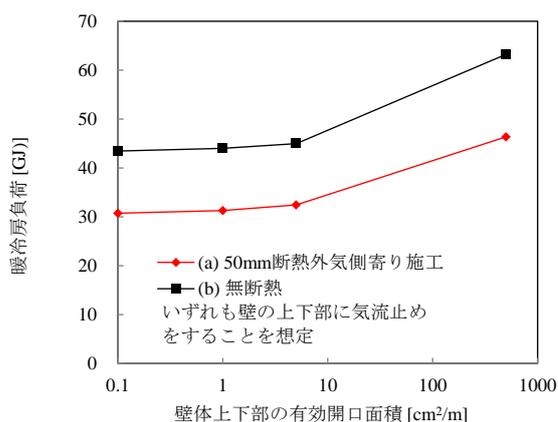
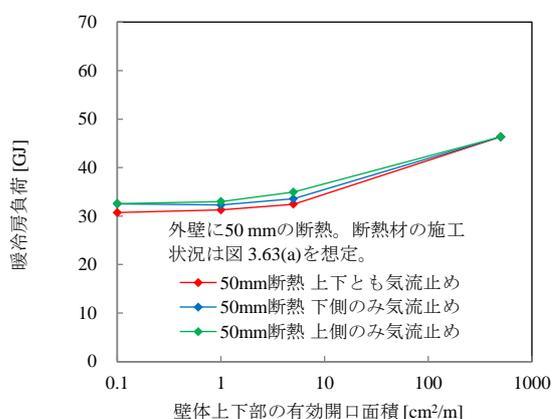


図 3-57 外壁の断熱材の施工状況の想定



主な計算条件：
 ・平屋の住宅
 ・気流止めは外壁と間仕切りの上下部ともに施工することとし、上下部の有効開口面積は同じ値とした。

図 3-58 外壁の施工状態及び上下部の有効開口面積と暖冷房負荷の関係



主な計算条件：
 ・平屋の住宅
 ・気流止めは外壁と間仕切りともに施工することとし、上下端部いずれかに気流止めする場合、気流止めしない端部の有効開口面積は500 cm²/mとした。

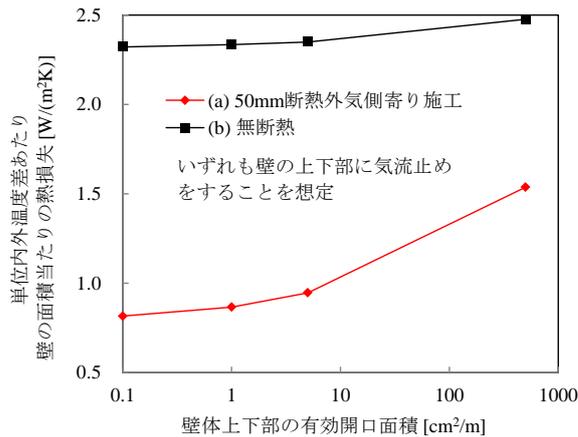
図 3-59 外壁の気流止めの位置と暖冷房負荷の関係

2) 壁体への影響

① 熱損失

ここでは外壁を対象として貫流熱損失を検討した。計算条件は表 3-9 の「基本計算条件」とした。

熱損失を図 3-60 に示す。(a)の結果から、気流止めによって外壁上下部の有効開口面積を小さくすることで、熱損失を大幅に低減できることが確認できた。(b)の結果から、無断熱の場合、気流止め改修後においても熱損失が大きい。無断熱や断熱が施工不良の場合の改修は、新規に充填断熱を行うか付加断熱を行った上で、気流止めを行うことが効果的と考えられる。



【p.30の再掲】

縦軸の熱損失 U' は次式による。

$$U' = \frac{1}{A(t_{end} - t_{start})} \int_{t_{start}}^{t_{end}} \frac{q_w}{\Delta T_h} dt \quad [W/(m^2K)]$$

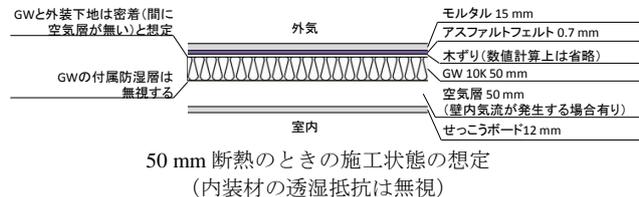
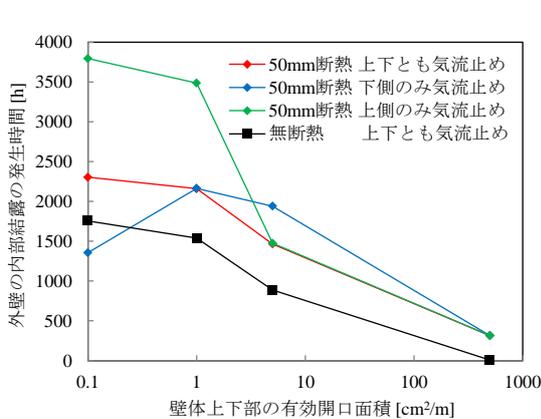
- ・壁体からの熱損失 q_w は、壁体の室内側表面における貫流熱損失。壁内を經由する換気熱損失は含まない。
- ・評価期間は、平成 28 年住宅省エネルギー基準の各地域区分の暖房期間。
- ・面積 A は室内に面する壁体の表面積。

図 3-60 外壁の施工状態及び上下部の有効開口面積と熱損失の関係

② 内部結露

外壁の内部結露発生時間を図 3-61 に示す。計算条件は表 3-9 の「安全側計算条件」とした。

いずれのケースにおいても、壁体上下部の有効開口面積が小さくなることで、すなわち気流止めを行うことで、内部結露の発生時間が増大した。50 mm 断熱と無断熱ケースの比較により、断熱化による内部結露発生リスク増大が確認できた。壁体上部のみの気流止めでは、高湿な床下空気が壁内に滞留し内部結露の可能性をさらに増大させることが示唆された。壁体下部のみの気流止めの場合においても、漏気や透湿により壁内に侵入する水分するが、気流止めにより排湿しにくくなることで内部結露の可能性が増大することが示唆された。



50 mm 断熱のときの施工状態の想定
(内装材の透湿抵抗は無視)

【内部結露の発生時間について（一部 p.30の再掲）】

外壁内部の熱水分性状は、各方位でメッシュごとに算出した。外壁の内部結露の発生時間は、外壁のいずれかの部分で結露する時間とした。内部結露は、断熱層の室外側表面の、外壁の床下側端部もしくは天井側端部で発生しやすい。なお、計算で木材の構造熱橋の二次元性は考慮していない。

図 3-61 外壁上下部の有効開口面積と結露時間（東京）

内部結露発生状況の時間変化として、各日の結露時間数を図 3-62 に示す。

冬季の結露は外気温が低い時間帯に継続的に発生し、夏季の結露は外気相対湿度が高い日に発生した。上下とも気流止めをする場合、特に冬季の結露が増加した。

本計算において、冬季、夏季の結露ともに、グラスウール断熱層の室外側の上下端部近くで、夜間に多く見られた。夜間に天空放射で壁体の室外側温度が低下することが結露の一因になっていると言える。

住宅の新省エネルギー基準と指針³⁻¹¹⁾等において、夏季結露の発生は一時的なもので、被害に結び付

きづらいと指摘されていることから、(3)以降では冬季の結露防止に着目した対策を検討していくこととする。

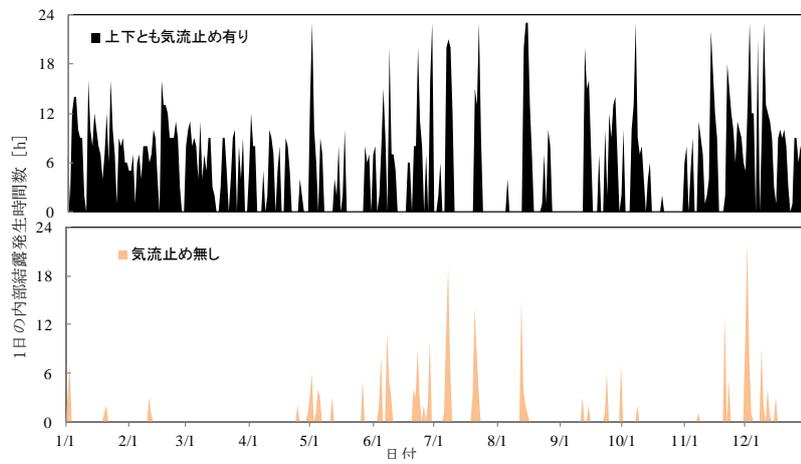


図 3-62 結露状況の時間変化

3) 小屋裏への影響

小屋裏の結露について検討を行った。計算条件は表 3-9 の「安全側計算条件」とした。

小屋裏において相対湿度が高くなりやすい部位である天井断熱の室内側及び野地板の室内側表面の相対湿度を図 3-63 に示す。温暖地においては、冬季のほか夏季における結露発生の可能性があるため、1月と7月の結果を示した。いずれの部位、期間においても改修前及び気流止め等の改修後に相対湿度 100% に達しなかった。前節の旭川での検討では、一部のケースで冬季に野地板室内側表面に結露が見られたが、東京では外気温が高く、小屋裏への水分流入や換気不足等による相対湿度の増加が小さかった。そのため、以降の東京を対象とした解析では、改修で天井の防湿気密施工を伴わないことを前提とした。

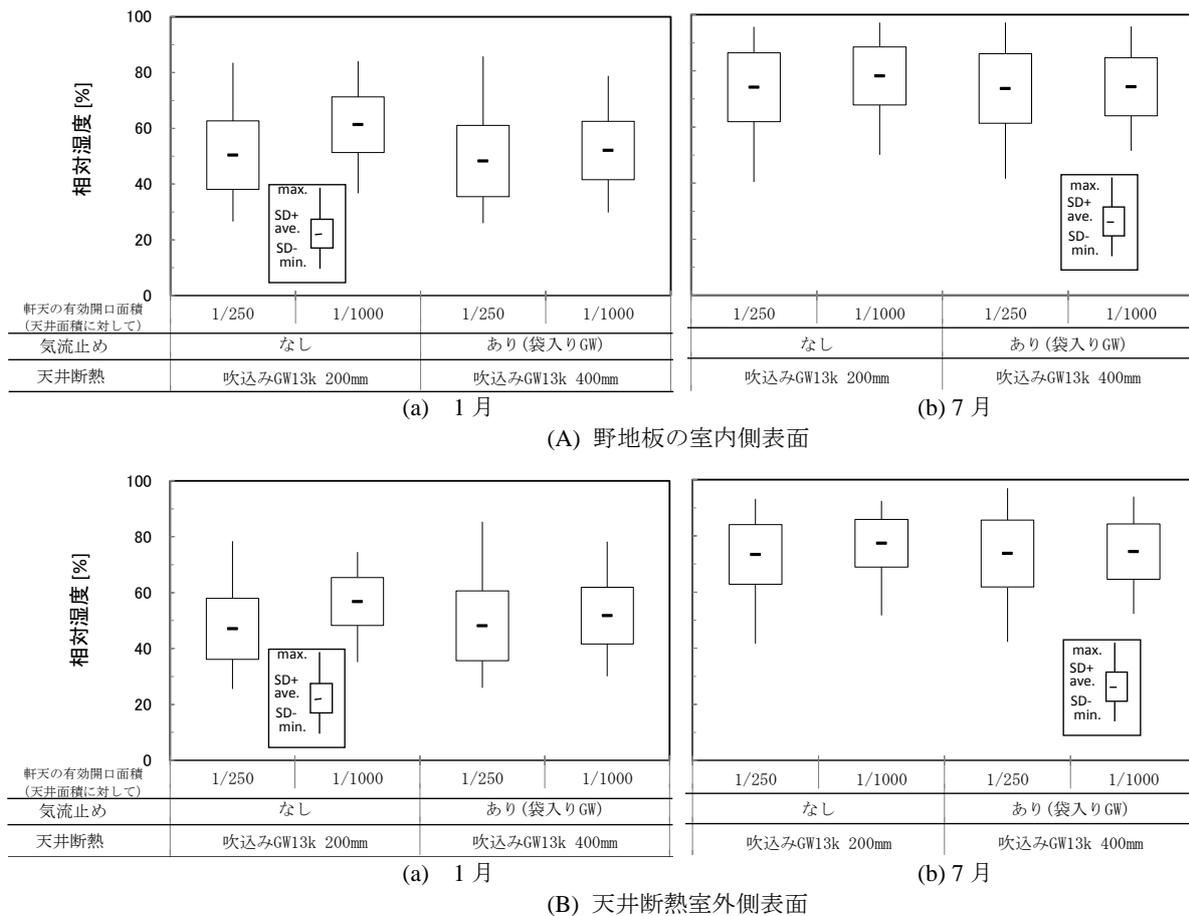


図 3-63 小屋裏の相対湿度

(3) 防湿気密化の影響

(2) 1)②の検討により気流止めをみの改修では外壁の内部結露のリスクが増大することが分かった。そこで、外壁室内側の防湿気密化等による内部結露防止について検討した。以降の(3)～(5)の検討では改修前として、図 3-61 の 50 mm 断熱の施工状態を想定した。計算条件は表 3-9 の「安全側計算条件」とし、以下の3つをパラメータとした。なお、3.4.1(4)の寒冷地の検討では、これら3つのパラメータに加え、気流止めの種類（袋入りもしくは裸グラスウール）についても検討を行ったが、袋入りグラスウールの方が外壁の内部結露防止に効果的であったことを踏まえ、ここでは袋入りグラスウールに絞って検討した。

① 外壁の有効開口面積

壁面積当たりの有効開口面積が $1.2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ （改修前程度）、 $0.4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 、 $0.2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 、 $0.1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

② 外壁の透湿抵抗

- ・ JIS A6930 の住宅用プラスチック系防湿フィルム B 種（透湿抵抗 $0.144 \text{ m}^2\text{sPa/ng}$ ）
- ・ ビニルクロス相当（透湿抵抗 $0.0024 \text{ m}^2\text{sPa/ng}$ ）

③ 換気方式

- ・ 第3種換気
- ・ 第1種換気
- ・ 機械換気なし

計算結果を図 3-65 に示す。

(a)に示すように、外壁上下部に気流止めを行った上で、防湿フィルムやビニルクロスによって外壁室内側の透湿抵抗を確保することで、内部結露のリスクが大きく低下する。外壁室内側の気密性が高まると、内部結露時間は減少したが、その差は小さかった。また、機械換気は、壁体の表面結露の防止や空気質の確保のためにも導入すべき方法であるが、内部結露リスクの低減にも効果があることが確認できた。内部結露防止の概念図を図 3-64 に示す。

(b)や(c)に示すように、外壁上下部のいずれかに気流止めを行った上で、防湿フィルムやビニルクロスによって外壁室内側の透湿抵抗を高めた場合、上下部ともに気流止めをした場合に比べて、内部結露の発生時間が長くなった。上下部いずれかの気流止めの場合では、外壁内部に移流により水分が侵入するため、防湿の効果は相対的に小さくなったためと考えられる。

そのため、結露リスク低減のためには、外壁上下部ともに気流止めをした上で、防湿フィルムやビニルクロスにより透湿抵抗を確保することが必要と考えられる。

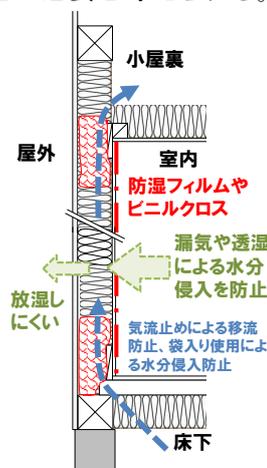
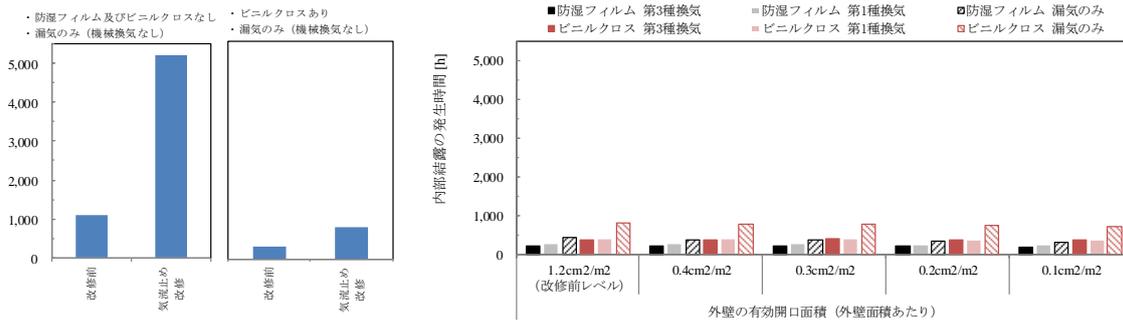
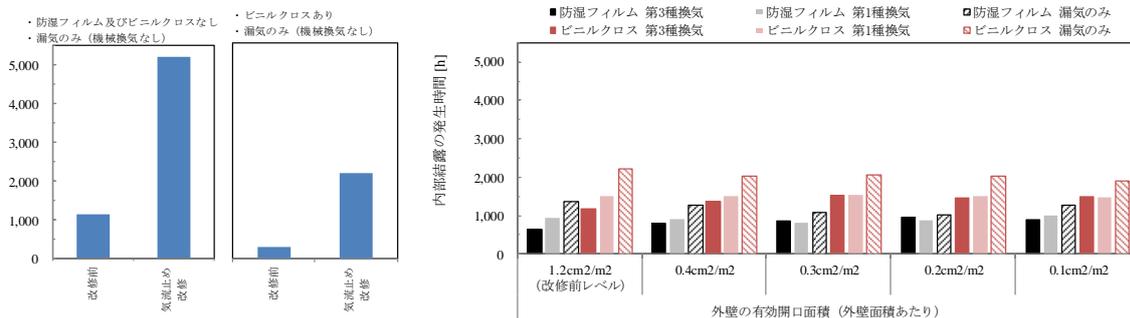


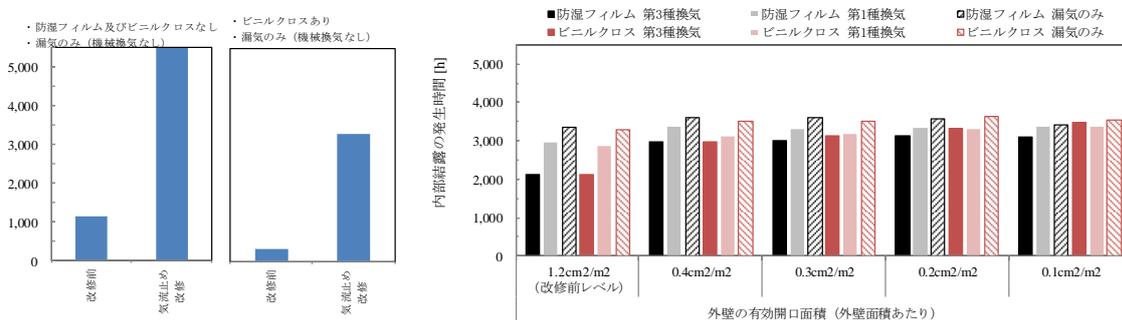
図 3-64 防湿気密化による結露防止の概念図



(a) 外壁の上下部とも気流止め



(b) 外壁の下部のみ気流止め



(c) 外壁の上部のみ気流止め

気流止めが無い場合は壁の上下部の有効開口面積が 500 cm²/m、
 気流止めが有る場合は壁の上下部の有効開口面積が 1 cm²/m とした。

図 3-65 防湿気密仕様と外壁の内部結露時間

(4) 断熱材の追加の影響

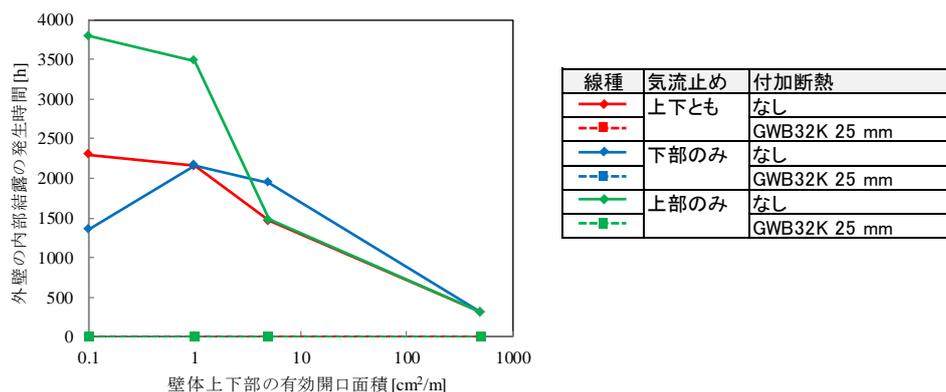
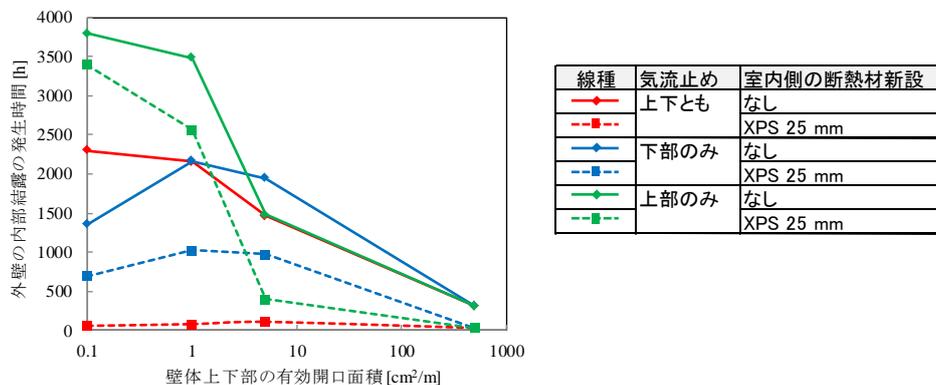
次に、断熱材の追加による外壁の内部結露防止について検討した。計算条件は表 3-9 の「安全側計算条件」とし、以下の2パターンの検討を行った。

- ① 外壁室内側せっぽうボードの内側に押出法ポリスチレンフォーム3種（熱伝導率 0.028 W/(mK)、以下、「XPS」という。）25 mm を追加
- ② 既存外装のモルタルの上からグラスウールボード（以下、「GWB」という。）32K 品 25 mm、透湿防水シート、通気層 18 mm、サイディング 15 mm を追加

①の計算結果を図 3-66 に、②の計算結果を図 3-67 に示す。

①の室内側に断熱材を追加した上で、外壁の上下部ともに気流止めを行うと、内部結露のリスクを大幅に低減できた。計算上、XPS の施工による気密性の向上は加味しなかった。内部結露リスクの低減は、XPS により外壁室内側の透湿抵抗が高まったことが要因である。上下いずれかの気流止めでは、移流の影響が大きくなるため、結露リスクが比較的大きかった。

②の室外側の付加断熱材を追加する場合、既存断熱層の温度が上昇することで相対湿度が低下する。付加断熱として GWB 32K 25mm 程度の熱抵抗があれば内部結露が見られなくなった。概念図を図 3-68 に示す。



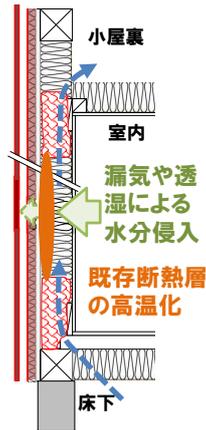


図 3-68 付加断熱の設置による結露防止の概念図

(5) 外気側への放湿の影響

次に、壁内水分を外気側へ放湿させる内部結露防止対策として、通気層設置を検討した。計算条件は表 3-9 の「安全側計算条件」とし、以下の 2 パターンの検討を行った。

- ① 既存外装のアスファルトフェルトとモルタルを撤去した上でシージングボード 9 mm、通気層 18 mm、サイディング 15 mm を追加
- ② 既存外装のアスファルトフェルトとモルタルを撤去した上で合板 12 mm、透湿防水シート、通気層 18 mm、サイディング 15 mm を追加

①の計算結果を図 3-69 に、②の計算結果を図 3-70 に示す。

①のシージングボード下地の通気層の場合、壁内から外気側へ放湿することで、結露リスクが大きく低下した。特に、上下部とも気流止めを行うケースでの結露リスク低下が顕著であった。シージングボードより透湿抵抗が小さい透湿防水シートが下地となる場合でも、同等以上の結露リスク低減効果が得られると考えられる。

②の合板下地の通気層の場合、放湿性が小さいためシージングボードよりも結露リスクの低減効果が小さかった。

よって、結露リスク低減のためには、シージングボード以下の透湿抵抗の材料を下地として通気層を設け、外壁の上下部に気流止めをすることが求められる。概念図を図 3-71 に示す。

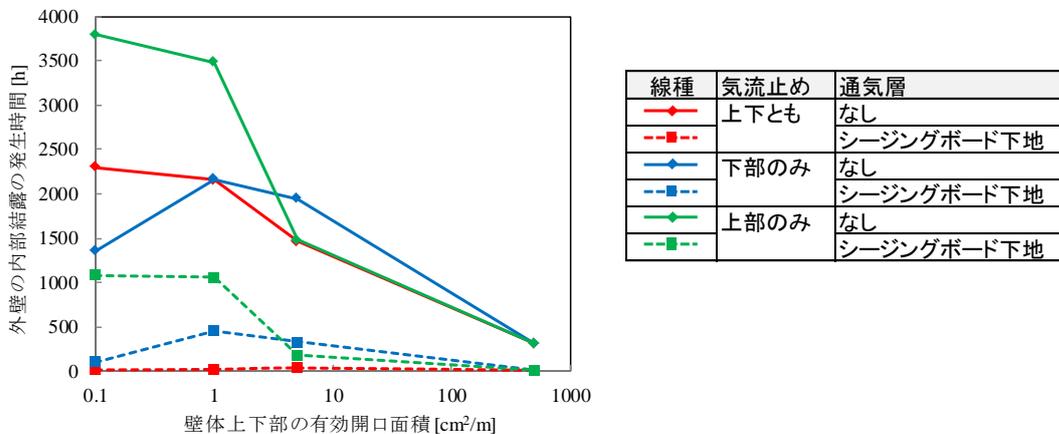


図 3-69 通気層（シージングボード下地）の設置と外壁の内部結露の発生

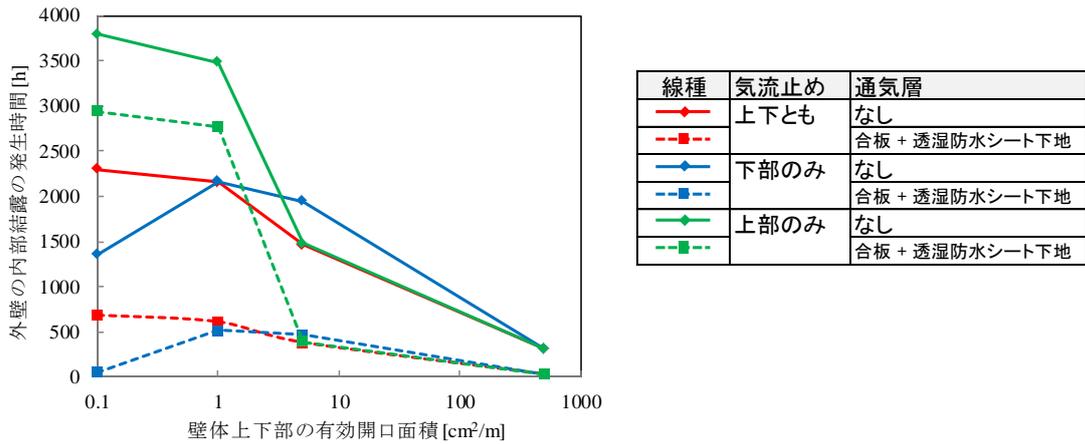


図 3-70 通気層（合板下地）の設置と外壁の内部結露の発生

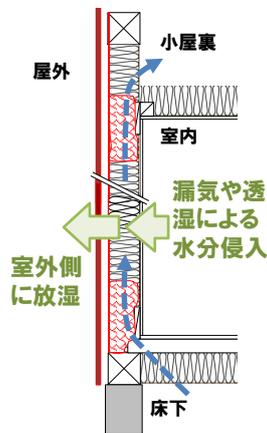


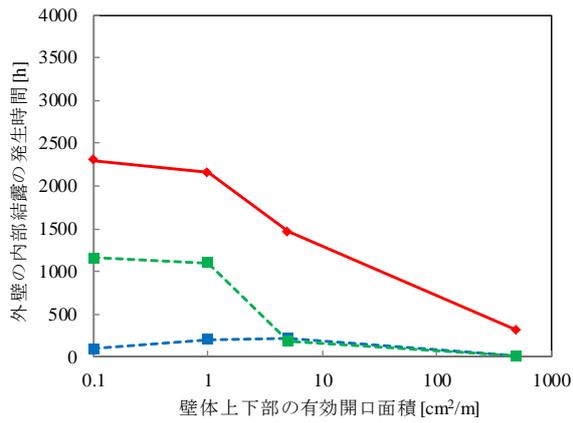
図 3-71 通気層の設置による結露防止の概念図

以上のように、上下部いずれかの気流止めに通気層を設置するのみでは、内部結露対策として不十分と考えられた。そこで、上下部いずれかの気流止め、通気層と併せて室内側にビニルクロスを設置する防露対策③及び④について検討を行った。

- ③ 既存外装のアスファルトフェルトとモルタルを撤去した上でシーリングボード 9 mm、通気層 18 mm、サイディング 15 mm を設置。さらに外壁室内側にビニルクロスを設置。
- ④ 既存外装のアスファルトフェルトとモルタルを撤去した上で合板 12 mm、透湿防水シート、通気層 18 mm、サイディング 15 mm を設置。さらに外壁室内側にビニルクロスを設置。

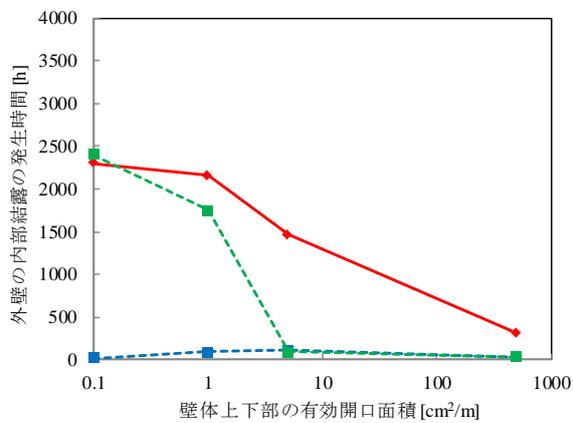
③の計算結果を図 3-72 に、④の計算結果を図 3-73 に示す。

③、④ともに、壁上部のみの気流止めの場合、結露時間が増大した。これは、高湿な床下から壁内に水分が移流する影響が大きいためと考えられる。壁下部のみの気流止めの場合、結露リスクが小さかった。ビニルクロスと通気層設置、それぞれ単独の対策では内部結露のリスク低減に不十分であったが、併せた対策とすることで効果が見られた。これらは平屋住宅を対象にした解析であるが、2階建て住宅でも同様に結露が見られなくなった。



線種	気流止め	通気層	室内側の防湿対策
—●—	上下とも	なし	なし
- -■- -	下部のみ	シージングボード下地	ビニルクロス
- -■- -	上部のみ	シージングボード下地	ビニルクロス

図 3-72 通気層（シージングボード下地）及びビニルクロスの設置と外壁の内部結露の発生



線種	気流止め	外装下地材	室内側の防湿対策
—●—	上下とも	なし	なし
- -■- -	下部のみ	合板 + 透湿防水シート	ビニルクロス
- -■- -	上部のみ	合板 + 透湿防水シート	ビニルクロス

図 3-73 通気層（合板下地）及びビニルクロスの設置と外壁の内部結露の発生

3.5 暖冷房負荷の削減効果

3.5.1 北海道における検討

(1) 計算条件

さまざまな改修パターンについて、暖冷房負荷を試算する。計算条件を表 3-10、表 3-11 に示す。暖冷房負荷削減のための手法は、気流止め、断熱層の追加、窓改修を想定した。改修に伴い必要となる内部結露対策（通気層の設置や天井の防湿気密化）も併せて実施することとした。また、改修前（Case 01）は換気が躯体からの漏気のみ、改修後（Case 02 以降）は機械換気による 0.5 回/h の換気に加え漏気の発生を考慮して算出した。

表 3-10 共通の計算条件

気象条件	札幌の拡張 AMeDAS 標準年気象データ（一部のケースで、旭川及び函館についても検討） 外部風あり（表 3-5 に基づく風圧係数）	
住宅仕様	2 階建て延べ床面積 100m ² 住宅モデル（詳細は表 3-4） 一部のケースでは平屋の延べ床面積 80m ² 住宅モデルで検討（詳細は表 3-4） 隙間の分布は図 3-4 に基づく。 気流止めがない場合は壁体の上下部は 500 cm ² /m、気流止めがある場合は 1 cm ² /m。材料は袋入りグラスウール 200 mm を想定し、熱抵抗と透湿抵抗を与えた。	
室内条件	温度	$T_m = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$ D は 1 月 1 日からの日数
	水分発生	空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 4 人家族の水分発生量 床下の水分発生は無し。
	内部発熱	空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 4 人家族の内部発熱

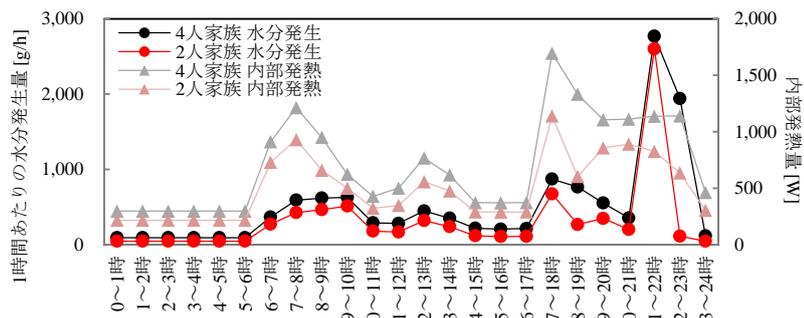


表 3-11 暖冷房負荷の検討ケース（北海道）

ケース	外壁		天井		1階床	基礎	窓		気流止め	相当隙間面積	換気	空調範囲
	1階	2階	1階	2階			1階	2階				
Case01-C (既存仕様)	せっこうボード 12mm GW16K 100mm アスファルトフェルト 0.7mm モルタル 15mm (防湿層、通気層無し)		せっこうボード 12mm		構造用合板 12mm GW16K 100mm (防湿層無し) (地盤防湿なし)	無断熱	二層複層 Low-E なし 樹脂サッシ		なし	9 cm ² /m ²	自然換気	全体
Case 02-C	既存+ 外装を撤去し、通気層を 設置		防湿フィルムの 設置		地盤防湿あり				間仕切り壁の上下部のみ 気流止め	天井の有効開口面積を 0.1cm ² /m ² に変更	第3種換気	第3種換気
Case 03-C									全てあり			
Case 04-C									1階壁下部のみ			
Case 05-C									2階壁上部のみ			
Case 06-C									1階壁下部のみ			
Case 07-C									2階壁上部のみ			
Case 08-C									全てあり			
Case 09-C									全てあり (1階床以外)			
			既存+ 吹込み GW18K 200mm						樹脂サッシ 二層複層 Low-E アルゴン 12mm (ガラス変更)			

Case02 以降の空欄は既存仕様のみを示す。

(2) 計算結果

1) 気流止めの位置と暖冷房負荷の関係

壁体上下部すべてに気流止めを設置した場合について、有効開口面積と暖冷房負荷の関係を図 3-74 に示す。いずれの住宅モデルにおいても有効開口面積の減少に伴う暖冷房負荷の削減効果が確認できた。有効開口面積が $1 \text{ cm}^2/\text{m}$ 程度以下では、暖冷房負荷に及ぼす影響が小さく、壁内気流による熱損失を概ね解消していると考えられる。

壁の一部に気流止めを設置した場合の暖冷房負荷を図 3-75 に示す。平屋の住宅であれば、壁体の上下部いずれかに気流止めを設置することで、上下部ともに設置したケースと同等の負荷削減が見られた。一方、2階建ての住宅における上下部いずれかのみの気流止めでは、上下部すべてに気流止めを施工した場合に比べて大幅に負荷が増加した。

間仕切り壁の上下部のみに気流止めを設置した場合、外壁を含めて気流止めを設置する場合と比べて暖冷房負荷削減率の差が 3~5% 程度であった。間仕切り壁の壁内気流の暖冷房負荷に及ぼす影響が大きいといえる。

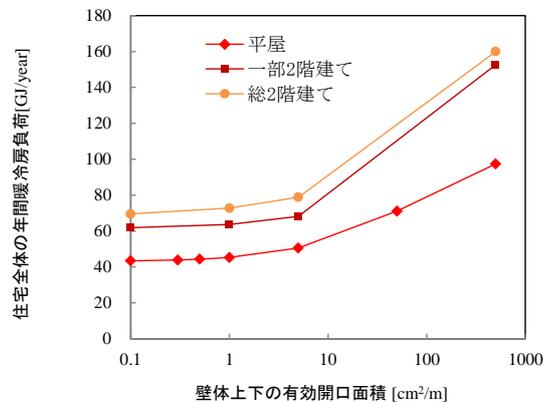
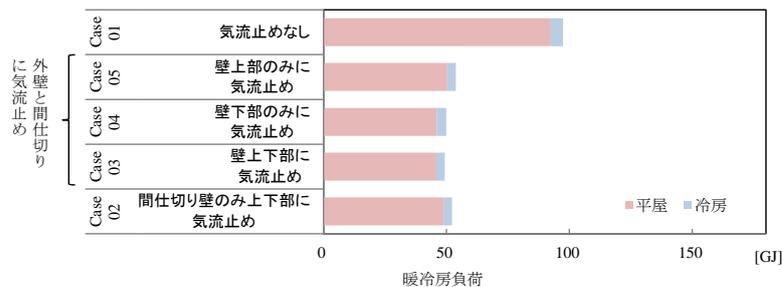
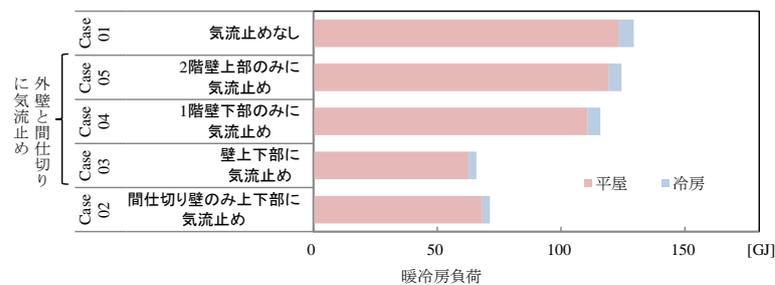


図 3-74 壁体上下部の有効開口面積と暖冷房負荷



(a) 平屋



(b) 一部2階建て

図 3-75 気流止めの位置と暖冷房負荷

2) 気流止め及び部分的な断熱層の付加

一部2階建ての住宅における、1階床下側もしくは2階天井への気流止めの設置、床もしくは天井の断熱強化を実施した場合の暖冷房負荷を図3-76に示す。寒冷地では改修による床断熱の付加が一般的でないため、試算から除外した。

図3-75と比較すると、適切な気流止めによる暖冷房負荷の削減が大きいことが確認できる。

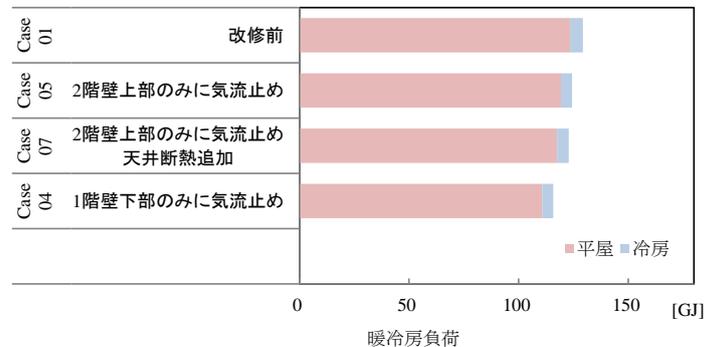


図 3-76 気流止め及び部分的な断熱層の付加と暖冷房負荷（一部2階建て住宅）

3) 気流止め及び断熱層の付加

道内3地点において以下の試算を行った（図3-78）。

- ① 改修前（Case 01）
- ② すべての壁の上下部に気流止めを設置（Case 02）
- ③ ②に加え、外壁に付加断熱を設置（Case 07）
- ④ ③に加え、床、天井、窓の断熱強化（Case 08）

札幌、旭川、函館では、暖冷房負荷の変化について同様の傾向がある。

すべての壁の上下部への気流止めによって、暖冷房負荷が、札幌では49%削減された。さらに、外壁へ付加断熱を施すことにより削減率は札幌で58%となった。

それらに加えて天井、床、窓を断熱強化することにより、札幌で67%削減された。

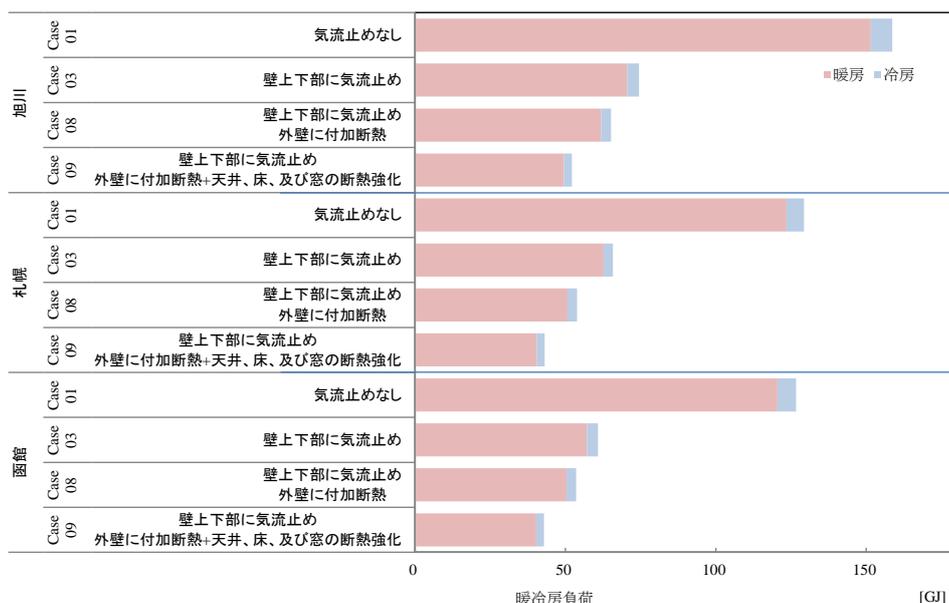


図 3-77 気流止め及び断熱層の付加と暖冷房負荷（一部2階建て住宅）

3.5.2 東京における検討

(1) 計算条件

前節の検討で結露が発生しないと考えられる改修ケースについて、暖冷房負荷を試算する。計算条件を表 3-12、表 3-13 に示す。暖冷房負荷削減のための手法は、気流止め、断熱強化、窓改修を想定した。また、改修前 (Case 01) は換気が躯体からの漏気のみ、改修後 (Case 02 以降) は機械換気による 0.5 回/h の換気に加え漏気の影響を考慮した。

表 3-12 共通の計算条件

気象条件	：東京の拡張 AMeDAS 標準年気象データ 外部風あり (表 3-5 に基づく風圧係数)	
住宅仕様	：2階建て延べ床面積 100m ² 住宅モデル (詳細は表 3-4) 隙間の分布は図 3-4 に基づく。 気流止めがない場合は壁体の上下部は 500cm ² /m。気流止めがある場合は壁体上下部の有効開口面積が 1cm ² /m で、袋入りグラスウール 200mm の気流止めを想定し、熱抵抗と透湿抵抗を与えた。	
室内条件	：暖冷房時の室温 $T_{in} = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$ 非暖冷房時の室温 $T_{in} = 7.0 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 20.0$ D は 1 月 1 日からの日数 6:00~23:00 は暖冷房時の室温、23:00~6:00 は非暖冷房時の室温を与える。	
水分発生	空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 4 人家族の水分発生量 床下の水分発生は無し。	
内部発熱	空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 4 人家族の内部発熱	

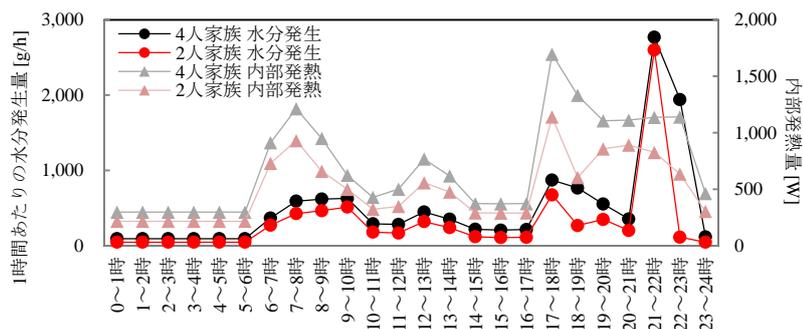


表 3-13 暖冷房負荷の検討ケース（東京）

ケース	外壁		天井		1階床	基礎	窓		気流止め	相当隙間面積	換気	空調範囲
	1階	2階	1階	2階			1階	2階				
Case01-W (既存仕様)	せっこうボード 12mm GW10K 50mm アスファルトフェルト 0.7mm モルタル 15mm (通気層無し) (p.62, 図 3-57(a)の施工状態)		せっこうボード 12mm	せっこうボード 12mm (防湿層無し)	構造用合板 12mm (防湿層無し)	無断熱	アルミサッシ 単板普通ガラス		なし	12 cm ² /m ²	漏気のみ	全体
Case 02-W	既存 + 室内側にビニルクロス設置 + シーディングボード下地の通気層 (サイディング 15mm) 設置								1階壁の下部のみ		第3種換気	
Case 03-W	既存 + 付加断熱 GWHG16K 89mm								なし			
Case 04-W	既存+ 室内側にビニルクロス設置								壁体の上下部			
Case 05-W	既存 + 付加断熱 GWHG16K 89mm											
Case 06-W	既存 + 外壁室内側に XPS3種 25mm 追加											
Case 07-W	既存 + 付加断熱 GWHG16K 89mm			既存 + 吹込み GW18K 210mm	既存 + GW32K 80mm			既存+ 内窓(アルミサッシ 単板普通ガラス)				

Case02以降の空欄は既存仕様のみを示す。

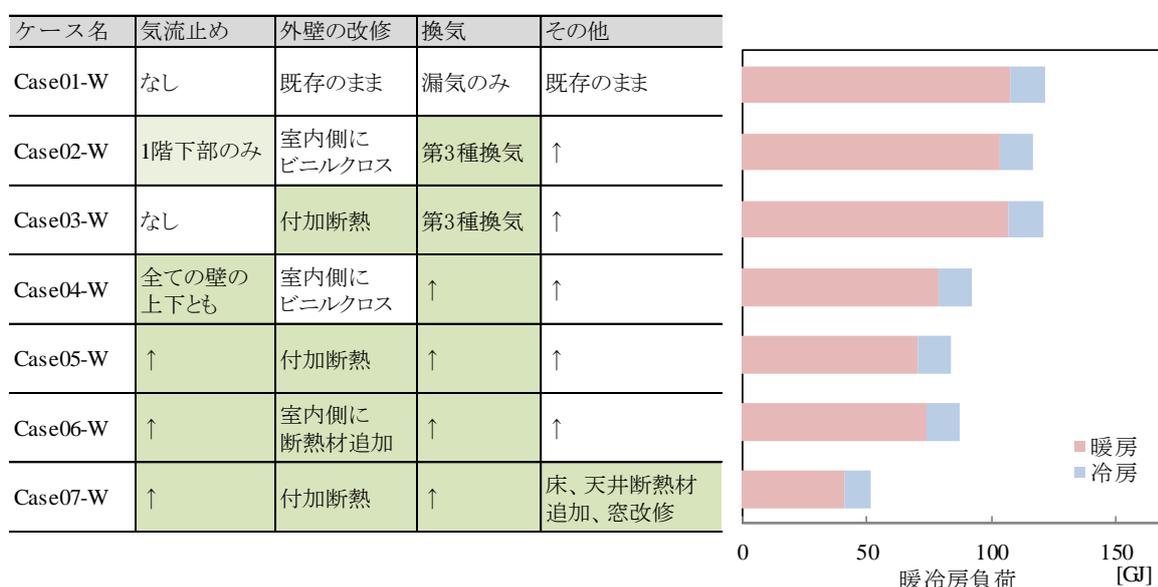
(2) 計算結果

暖冷房負荷の計算結果を図 3-78 に示す。

Case01-W と Case04-W の比較から、壁の上下部への気流止めによって 24%の暖冷房負荷が削減された。一方、Case01-W と Case02-W の比較から、1 階壁の下部のみの気流止めでは、4%の負荷削減にとどまった。Case03-W では外壁に付加断熱を施しているものの、気流止めがないために負荷削減効果がほとんどなかった。

Case01-W と Case05-W 及び Case06-W の比較から、壁の上下部への気流止めに加えて外壁に断熱材を加えることによって、30%程度まで暖冷房負荷の削減率が増加した。

さらに、Case01-W と Case07-W の比較から、壁の上下部への気流止め、外壁の付加断熱に加え、天井や床の断熱強化、窓の改修を施すことにより、58%まで暖冷房負荷の削減率が増加した。改修前仕様として、天井と床が無断熱、窓がアルミサッシの単板ガラスを想定したため、改修によりそれら断熱上の弱点を補うことで削減率が増加しやすかった。



3.6 まとめ

本章では、改修による熱損失の変化や内部結露を評価するための計算プログラムを構築し、断熱改修における気流止め、換気方式、防湿気密化及び付加断熱による壁体の熱損失や内部結露の性状変化を検討するとともに、住宅全体の暖冷房負荷の削減効果を試算した。主な結果を以下にまとめる。

- 1) 隙間分布、気象条件、水分発生量などの影響を検討し、防露上安全側の検討を行うための計算条件を決定した。
- 2) 気流止めの設置により壁面からの熱損失が減少する（間仕切り壁において特に顕著）ことを確認した。一方、防湿気密が不十分な壁体に対して気流止め改修のみを実施すると、壁体内の湿気が排出されにくくなり、内部結露のリスクが増大することを確認した。
- 3) 気流止めの設置によって小屋裏の換気量が減り、絶対湿度及び相対湿度が上昇する。東京では結露が見られなかったが、北海道の気象条件では小屋裏の野地板表面の結露発生の可能性が見られた。結露を防止するために、軒天換気面積を天井面積の 1/250 確保（住宅金融支援機構の木造工事標準仕様書相当）した上で、防湿フィルムによる天井防湿と天井の有効開口面積 $0.1\text{cm}^2/\text{m}^2$ とすることが求められた。
- 4) 既存の外壁は放湿性が小さい条件を設定したため、北海道においては気流止めと室内側の防湿もしくは気密化のみによる対応のみでは内部結露発生の危険性が見られた。東京においては気流止めとビニルクロスなどによる室内側の防湿により結露リスクを低減できた。
- 5) 気流止めに加えてグラスウールボード 25 mm 以上の付加断熱をすることで、既存の断熱層の温度が上がり内部結露が防止できた。東京では、押出法ポリスチレンフォーム等の透湿抵抗の高い断熱材を室内側に内貼りすることでも結露リスクを低減できた。
- 6) 壁体の外気側を透湿防水シートもしくはシーリングボードとする通気層の設置で外気側の放湿性を確保することにより、外壁の内部結露リスクを低減できた。
- 7) 袋入りグラスウール及び裸グラスウールによる気流止めを設置した外壁の内部結露等を比較したところ、裸グラスウールの場合は、床下や小屋裏の絶対湿度が外壁より低く保たれていれば、壁外への湿気の排出により、内部結露が抑制された。ただし、設備配管の漏水等で床下等が高湿化する場合まで考慮すると、袋入りグラスウールによる気流止めの施工が、壁内への湿気流入による内部結露リスクの低減につながると考えられる。
- 8) 暖冷房負荷の解析から、壁体上下部の有効開口面積が $1\text{cm}^2/\text{m}$ 程度以下とすることで、壁内気流による熱損失が概ね解消されると考えられる。
- 9) 住宅全体の暖冷房負荷を検討したところ、壁の上下部すべての気流止めを設置することで、改修前と比較し札幌で 49 %、東京では 24 % の削減効果が得られた。さらに、外壁へ付加断熱を施すことにより削減率は札幌で 58 %、東京で 30 % となった。
- 10) 2章の実験結果と本章の検討から、断熱改修において、壁体上下部の有効開口面積は袋入りグラスウールを用いて $1\text{cm}^2/\text{m}$ 以下にすることが有効である。

以上のことを、暖冷房負荷の低減もしくは結露防止のために求められる措置として整理する。

地域	目的	共通	暖冷房負荷の低減	結露の防止
共通		<ul style="list-style-type: none"> ・気流止めの有効開口面積は $1\text{cm}^2/\text{m}$ 以下にする ・気流止めは、壁体の上下部それぞれに、外壁及び間仕切りに対して行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・気流止めに加えて付加断熱等により断熱強化することで負荷削減が大きくなる ・気流止めがない状態で付加断熱等により断熱強化しても負荷削減効果が小さい 	<ul style="list-style-type: none"> ・気流止め材は袋入りのものを用いる。
北海道				<ul style="list-style-type: none"> ・天井面をビニルクロス等で防湿気密化し、天井面積の $1/250$ 以上の軒天換気面積を確保する ・以下のいずれかによって外壁の内部結露を防止する <ol style="list-style-type: none"> ①外壁室内側の防湿気密化 ②付加断熱による既存断熱層の低温化抑制 ③通気層設置による室外側への放湿
東京				<ul style="list-style-type: none"> ・以下のいずれかによって外壁の内部結露を防止する <ol style="list-style-type: none"> ①外壁室内側の防湿 ②付加断熱による既存断熱層の低温化抑制 ③通気層設置による室外側への放湿 ④外壁の室内側に押出法ポリスチレンフォーム等の透湿抵抗が高い断熱材を追加

【第3章参考文献】

- 3-1) 本間義規：繊維系断熱材を用いた非防湿天井断熱の防露性に関する検討 報告書，2008.8
- 3-2) 向井一将，銚井修一，小南和也ら：在来木造住宅の断熱壁体内における熱・湿気性状 空気流動を考慮した実大壁体実験の解析，日本建築学会環境系論文集 第 623 号，pp.17-22, 2008.1
- 3-3) 西澤繁毅ら：密集住宅地における戸建住宅の風圧係数分布の検討，日本建築学会学術講演梗概集 D-2, pp.795-796, 2005.7
- 3-4) 村上周三，吉野博：住宅の気密性能に関する調査研究，日本建築学会論文報告集 第 325 号，pp.104-115, 1983.3
- 3-5) 佐々木隆，荒谷登：北海道における住宅の気密性の現状について，日本建築学会大会学術講演梗概集，D 環境工学，1985.10
- 3-6) 石川 善美，吉野 博：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，日本建築学会学術講演梗概集，D 環境工学，pp.619-620, 1992.8
- 3-7) 松岡晃ら：改良木造軸組工法住宅に関する研究 その 1 部位別気密性能の実測と解析，日本建築学会学術講演梗概集.環境工学，pp.219-220, 1999.9
- 3-8) 林基哉ら：天井裏等の建物内部空間からの汚染物質の室内侵入 第 1 報 木造スライスモデルの相当隙間面積，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.833-836, 2005.8
- 3-9) 齋藤宏昭ら：木造断熱壁体の空隙における移流を考慮した湿気性状の解析—透気率及び隙間量の測定と 2 次元計算モデルの検証—，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2, pp389-392, 2006.9
- 3-10) 有馬孝禮：木材は環境と健康を守る，産調出版，1998.8
- 3-11) 建設省住宅局住宅生産課監修：住宅の新省エネルギー基準と指針，財団法人住宅・建築省エネルギー機構発行，1997.8

4. 部分断熱区画化の際の結露の防止と暖冷房負荷に関する検討

4.1 検討の目的と概要

部分断熱区画化では、暖房室内外の境界（以下、「断熱区画部位」という。）となる間仕切り壁や1階天井等に断熱材を施工し、階段室にはドア等を設けて暖房室内外の空気や熱の移動を抑制する。基本的には暖房室が生活空間となるため、非暖房室においては水分発生源がないものの暖房室からの高湿空気の移流による結露の発生が懸念される。

本節では非暖房室における結露防止手法について、数値計算による検討を行う。また、部分断熱区画化による暖冷房負荷の低減効果を把握する。

このうち結露防止手法に関する検討の概念図を図 4-1 に示す。高温多湿な空気は浮力により上昇することから、1階を暖房室、2階を非暖房室とする場合が結露の発生しやすい条件と考えられる。この点を考慮して本節の計算に用いる住宅モデルは、一部2階建ての延べ床面積 100m²の在来木造住宅（表 3-4）の、階段室を除く1階を暖房室（延べ床面積 60m²）とする。また、検討対象とする結露防止手法は、機械換気による暖房室内外の圧力差形成、及び躯体内部や1階天井面等といった移流経路の有効開口面積低減の2つに大別される。

立地については、冬期の寒冷地において温度差換気の駆動力が大きく移流量が大きくなる点を考慮し、札幌と旭川（寒冷地）、および東京（温暖地）とする。

4.2 節では、暖房室から非暖房室への移流量の低減方法を検討する。

4.3 節では、表面結露と内部結露の発生頻度等を推定し、結露防止対策について検討を行う。

4.4 節では、改修による暖冷房負荷の削減について試算を行う。

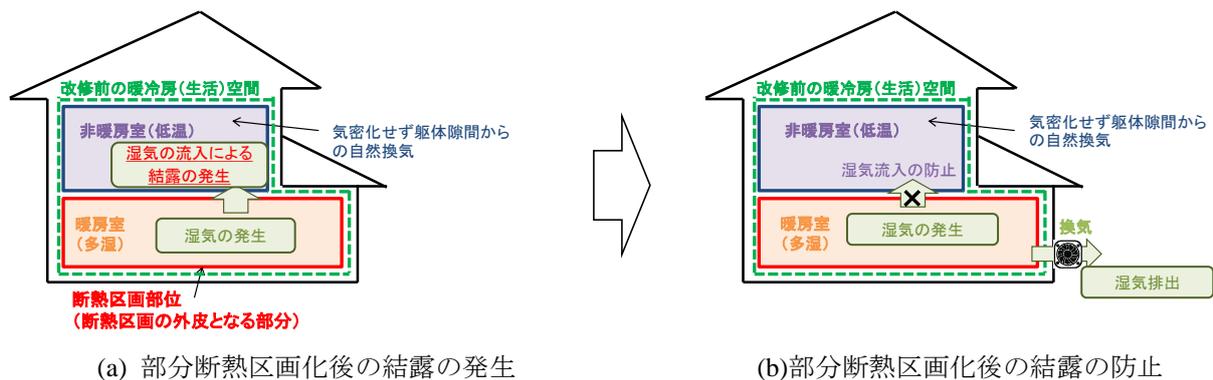


図 4-1 部分断熱区画化に関する検討の概念図

4.2 暖房室から非暖房室への空気の移流量の低減方法に関する検討

(1) 計算条件

本節では、換気方式、気流止めの位置、断熱区画部位の有効開口面積、非暖房室の室温のそれぞれが、暖房室から非暖房室への空気の移流量に及ぼす影響を明らかにする。

検討は定常計算により、前章で構築したプログラムを用いて定常の境界条件を3日間与え、定常解を得た。また、冬季を想定して暖房室の室温は20℃とし、外気温は旭川、札幌、東京のそれぞれで年間に下回る頻度が1%程度の-16℃、-10℃、2℃とした（図 4-3）。

計算条件を表 4-1、表 4-2 に一覧する。

表 4-1 のとおり、換気方式は第3種換気、第1種換気及び自然換気（機械換気が運転されていない状況）の3種類を比較した。機械換気の場合、暖房室全体の室容積に対して0.5回/hとなるように機械換気による風量を与え、その他に躯体隙間からの漏気が発生することとした。自然換気の場合は躯体隙間からの漏気のみとした。ここでの検討では、外部風の影響は無視した。

断熱区画部位の有効開口面積については、改修前の住宅の隙間分布を3.3(1)項で示した住宅の相当隙

間面積 15 cm²/m² の条件で与えた上で (図 4-2) 、空気の移流量に及ぼす影響が特に大きいと考えられる 1 階の天井とその他の部位のそれぞれについて有効開口面積が 1/2, 1/4, 1/6 となるように気密化した場合の効果を検討した (表 4-1) 。

気流止めは、施工位置が異なる 6 仕様を比較した。暖房室の気密化については、①階段室と暖房室の間、②1 階の天井、③その他の断熱区画部位、のそれぞれについて有効開口面積を複数設定し、感度を分析した。このうち①は階段室の 1 階部分に設けるドア等の有効開口面積を 1~200 cm² の幅で与えた。参考として、「シックハウス対策のための住宅の換気設備マニュアル」⁴⁾ に示される全体換気の経路のために室内ドアに確保する有効開口面積は 100~150 cm² (換気ガラリが設置されるドア、1 cm 程度のアンダーカットが設置されるドア、引き戸等) である。

非暖房室の室温については、実際には断熱仕様や気象条件等によるが、予備解析 (4.3 の解析) により札幌で最低 5 °C 程度であったことを参考に、ここでは 0 °C、5 °C、10 °C に設定した。

なお本計算では、外気温、暖房室及び非暖房室の室温は与条件とし、外壁や間仕切り壁内部および床下や小屋裏・天井ふところ内の温度は断熱性能等をパラメータとする計算から求めた。

表 4-1 計算条件

CASE 名	既存の気密性能	③ 暖房室の外皮の有効開口面積	② 1階天井の有効開口面積	気流止め	非暖房室の室温 [°C]	外気温 [°C]	換気方式	① 暖房室と階段室の間の有効開口面積 [cm ²]
CASE 01	C値15	図4-2の値	図4-2の値 ×(1/2, 1/4, 1/6)	1F壁上下	5	-10	第3種換気	20
CASE 02	C値15	図4-2の値	図4-2の値 ×(1/2, 1/4, 1/6)	1F壁上下	5	-10	自然換気	20
CASE 03	C値15	図4-2の値	図4-2の値 ×(1/2, 1/4, 1/6)	1F壁上下	5	-10	第1種換気	20
CASE 04	C値15	図4-2の値	図4-2の値 ×1/6	1F壁下のみ 1F壁上のみ 1F壁下と2F上 1F壁下と2F下 1F壁上下 1F壁上下と2F壁下	5	-10	第3種換気	20
CASE 05	C値15	図4-2の値	図4-2の値	1F壁上下	5	-10	第3種換気	1, 10, 20, 100, 200
CASE 06	C値15	図4-2の値 ×(1/2, 1/4, 1/6)	図4-2の値 ×1/6	1F壁上下	5	-10	第3種換気	20
CASE 07	C値15	図4-2の値	図4-2の値 ×1/6	1F壁上下	0 5 10	-10	第3種換気	20
CASE 08	C値15	図4-2の値 ×(1/2, 1/4, 1/6)	図4-2の値 ×1/6	1F壁上下	11	2, -16	第3種換気	20

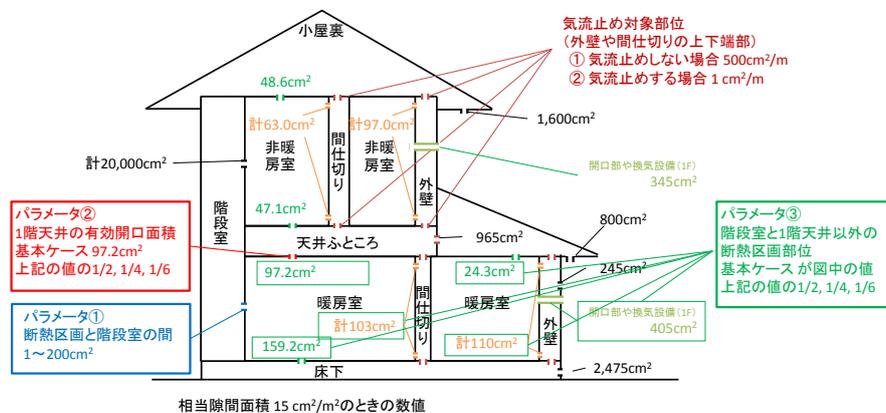


図 4-2 住宅各部の相当隙間面積

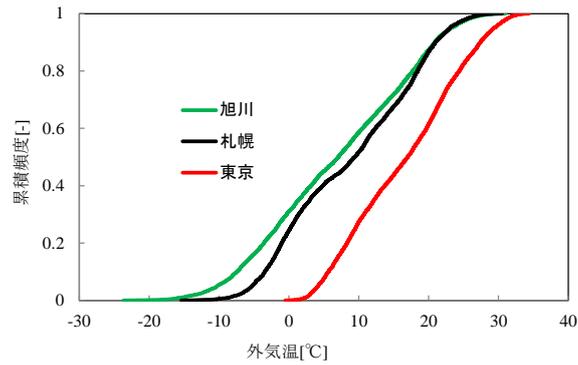


図 4-3 外気温の出現頻度

表 4-2 計算条件

住宅 プラン	: 一部2階建て延べ床面積 100m ² 住宅モデル (詳細は表 3-4)
相当隙間 面積	: 15cm ² /m、隙間の分布は図 4-2 による
躯体仕様	: 外壁と間仕切り壁の壁体上下部の有効開口面積は、気流止めがない場合が 500cm ² /m、気流止めがある場合が 1cm ² /m。仕様は以下の通りとする。
天井	せっこうボード 12mm, 吹込み GW18K 200mm
外壁	改修前 (2階) せっこうボード 12mm, GW16K 100mm, アスファルトフェルト 0.7mm、 モルタル 15mm (防湿層、通気層無し) ※木ずりは計算では省略する。 改修後 (1階) アスファルトフェルトとモルタル 15mm を撤去し、透湿防水層と通気層を設置 ※前章の検討より導出した、暖房室の内部結露発生を防止する仕様
間仕切り壁	せっこうボード 12mm, 中空層 105mm, せっこうボード 12mm
床	構造用合板 12mm, GW16K 100mm
基礎	立上り部コンクリート 120mm
床下	床下の水分発生なし

(2) 非暖房室への空気の移流量の計算結果

1) 換気方式の影響 (図 4-4、CASE01~03)

換気方式と非暖房室への移流量の関係について図 4-4 に示す。暖房室を減圧できる第 3 種換気で移流量を最も低く抑えられる。第 1 種と自然換気の移流量は同程度であった。

2) 1 階天井の有効開口面積の影響 (図 4-4、CASE01~03)

1 階天井の有効開口面積と非暖房室への移流量の関係を図 4-4 に示す。1 階天井を経由する移流量は 1 階天井の有効開口面積 (天井面積当たりの有効開口面積) にほぼ比例する。1 階天井の有効開口面積を $0.5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 程度まで抑えても移流が生じる。これは、暖房室内外の温度差により生じる空気の浮力が、第 3 種換気により生じる圧力を上回るためである。

3) 気流止めの位置の影響 (図 4-5、CASE04)

気流止めの位置と非暖房室への移流量の関係を図 4-5 に示す。1 階の壁の下部のみに気流止めを施工する場合は、1 階室内から外壁もしくは間仕切り壁を経由して非暖房室に移流する量が多い。1 階壁の上下部に気流止めを施工する場合は移流量を低減できた。特に、1 階壁上部の気流止めの有無が移流量に及ぼす影響が大きい。

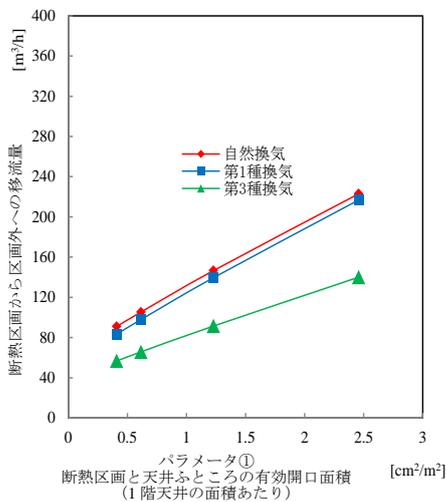


図 4-4 換気方式と移流量(CASE 01~03)

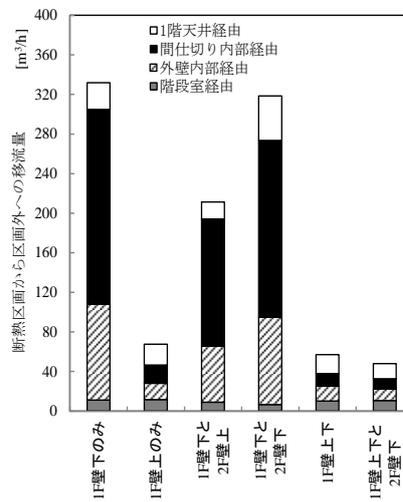


図 4-5 気流止めの位置と移流量(CASE 04)

4) 暖房室と階段室の間の有効開口面積 (図 4-6、CASE05)

暖房室と階段室の間の有効開口面積と非暖房室への移流量の関係を図 4-6 に示す。暖房室から階段室を経由した 2 階への移流量は、階段室と暖房室の間の有効開口面積にほぼ比例して増減すると推測される。

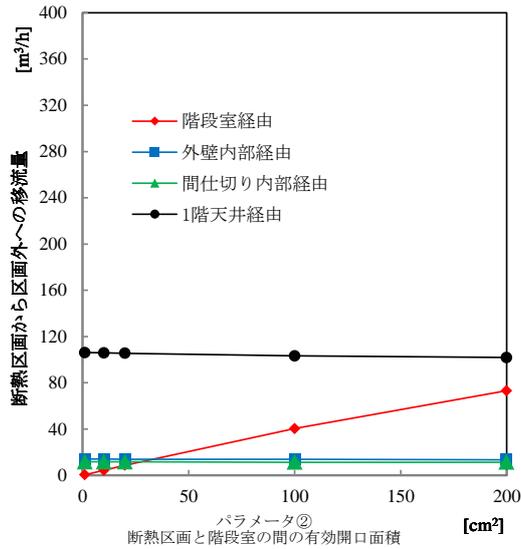


図 4-6 階段室の有効開口面積と移流量(CASE 05)

5) 1階天井以外の断熱区画部位の有効開口面積の影響 (図 4-7、CASE06)

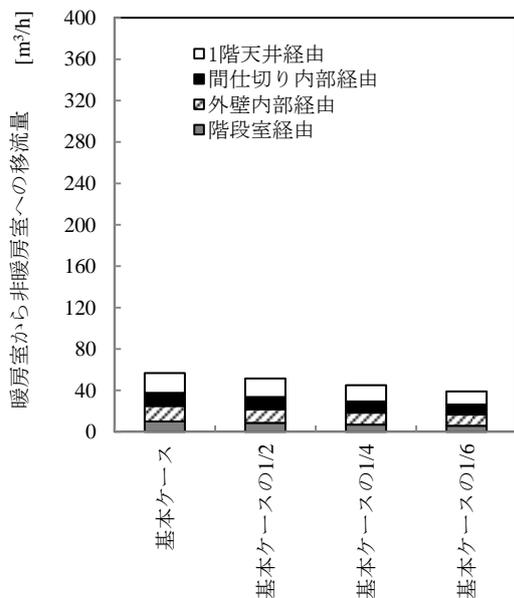
1階天井以外の断熱区画部位の有効開口面積と非暖房室への移流量の関係を図 4-7 に示す。有効開口面積の減少に応じて、移流量が低下した。ただし、暖房室全体の気密性向上は、広範な改修を要すると考えられる。

6) 非暖房室の室温の影響 (図 4-8、CASE07)

非暖房室の室温と非暖房室への移流量の関係を図 4-8 に示す。非暖房室の室温が高いほど、非暖房室の浮力が強まり移流量が若干大きくなった。

7) 外気温の影響 (図 4-9、CASE08)

外気温と非暖房室への移流量の関係を図 4-9 に示す。非暖房室の室温が高いほど、移流量が大きくなった。



パラメータ③ (階段室と天井横面以外の断熱区画部位、図4-2参照) の有効開口面積

図 4-7 1階天井以外の断熱区画部位の有効開口面積と移流量 (Case 06)

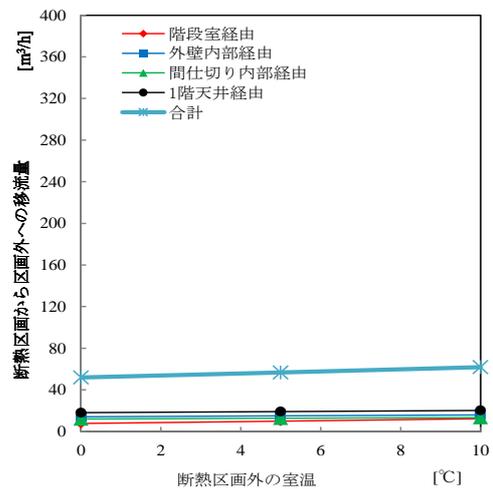


図 4-8 非暖房室の室温と移流量 (CASE 07)

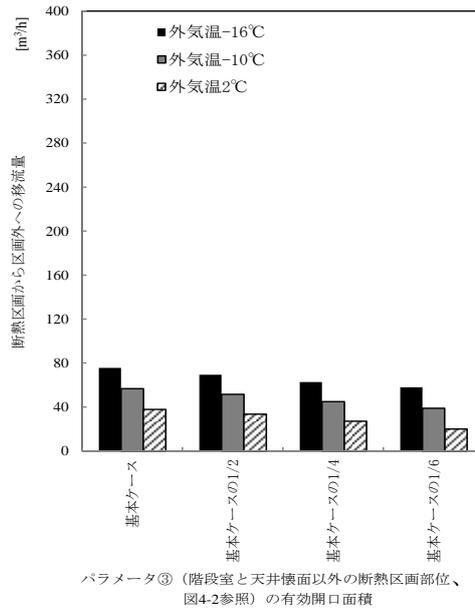


図 4-9 外気温と移流量(CASE 08)

以上のとおり、部分断熱区画化を行った場合における、躯体の気密化や機械換気による非暖房室への高湿空気の移流量低減効果を検討した。その結果、本検討条件においては移流量を 0 とする方法を見出せなかったものの、次の方法の移流量低減効果が高いと推測される。

- ① 断熱区画部位となる外壁と間仕切り壁の上下に気流止めを行う。
- ② 暖房室で第 3 種換気を行う。
- ③ 暖房室と階段室の間の有効開口面積を低減する。
- ④ 1 階天井の相当隙間面積を低減する。

以上の 4 点に着目し、非暖房室の結露の防止する要件を次節の検討において明らかにする。

4.3 非暖房室の結露防止の検討

4.3.1 北海道における検討

(1) 計算条件

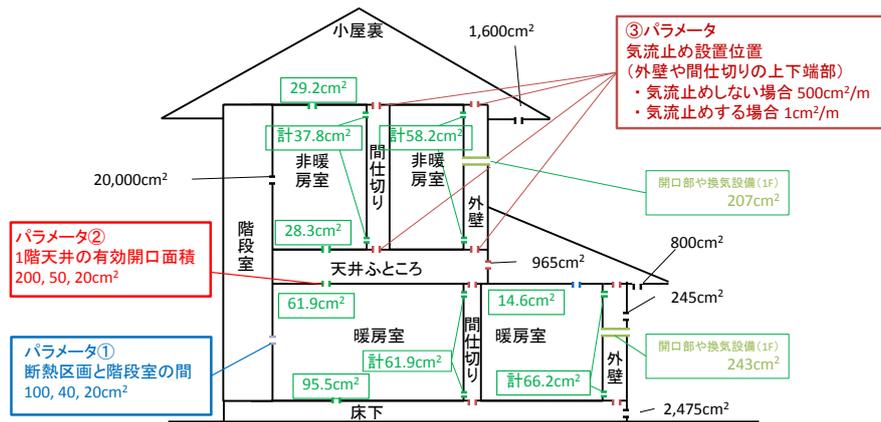
非暖房室における通年での結露発生頻度を推測し、防止方法を検討する。

計算条件を表 4-3 に示す。改修前の断熱仕様は、改修対象となる 1970 年代から 80 年代前半における住宅の一般的な仕様として想定した。また、部分断熱区画化に伴い、1 階天井に断熱材を新設することとする。これは暖房負荷低減に有効であるとともに、2 階の非暖房室の室温が低下して結露が発生しやすい条件となることを踏まえた設定条件である。

既存の住宅の相当隙間面積は 3.2 節の考え方と同じく、 $9 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と想定し、図 4-10 のように分布させた。

表 4-3 計算条件

気象条件	：札幌、旭川の拡張 AMeDAS 標準年気象データ 外部風あり（表 3-5 に基づく風圧係数）	
住宅プラン	：一部 2 階建て延べ床面積 100m^2 の住宅モデル（詳細は表 3-4）	
相当隙間面積	住宅の相当隙間面積が $9 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 。隙間の分布は図 4-10 による。 外壁室内側の隙間は床側:天井側に 5:5 分布	
躯体仕様	：外壁と間仕切り壁の壁体上下部の有効開口面積は、気流止めがない場合が $500\text{cm}^2/\text{m}$ 。気流止めがある場合が $1\text{cm}^2/\text{m}$ で、袋入りグラスウール 200mm の気流止めを想定し、熱抵抗と透湿抵抗を与えた。	
	外壁	改修前（2 階） せっこうボード 12mm 、GW16K 100mm 、アスファルトフェルト 0.7mm 、 モルタル 15mm （防湿層、通気層無し） ※木ずりは計算では省略する
		改修後（1 階） アスファルトフェルトとモルタル 15mm を撤去し、透湿防水層と通気層を設置。 ※前章の検討より導出した、暖房室の内部結露発生を防止する仕様 ※外装のサイディングは計算では省略する
	床	構造用合板 12mm 、GW16K 100mm （防湿層無し）
	2 階天井	せっこうボード 12mm 、吹込み GW18K 200mm （防湿層無し）
	間仕切り壁	せっこうボード 12mm 、中空層 105mm 、せっこうボード 12mm
	基礎	立上り部コンクリート 120mm
	床下	地盤防湿あり
室内条件	：温度	$T_m = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$ D は 1 月 1 日からの日数
	水分発生	空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 2 人家族の水分発生量
	換気	機械換気の場合、機械換気により 0.5 階/h の換気を確保。その他躯体の漏気あり。



相当隙間面積 $9.0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ のときの数値
 緑色で囲んだ数値は相当隙間面積に比例して与えた。黒字の数値は固定。
 外壁や間仕切りの隙間は上下端部に均等に分布すると想定して与えた。
 開口部は高さ1.0mと2.0mの高さに均等に分布、換気設備は2.0mの高さに与えた。

図 4-10 隙間面積の分布の設定

(2) 計算結果

1) 結露の発生しやすい場所の検討

結露の発生しやすい場所について検討を行う。

暖房室と階段室の有効開口面積が 200 cm^2 、1階天井の有効開口面積が 100 cm^2 、1階の壁の上下部に気流止めを設置した場合の札幌、旭川での暖房室内外の温湿度を図 4-11 に示す。通年において非暖房室の方が暖房室より室温が低いいため相対湿度が高く、また、冬季よりも夏季の相対湿度が高い傾向がある。

非暖房室の結露可能性が高い部位として、外壁（北側）の室内側表面及び断熱層一般部の外気側表面、天井断熱層の外気側表面、野地板の小屋裏側表面、ガラス（北側）表面に着目し、これらの部位における相対湿度の変動を図 4-12 に示す。

外壁の断熱層の外気側は室内空気が流入しやすく湿度が高くなりやすい壁の上部の推移を示した。その他の温度は、壁、天井、野地板、ガラスの各面内における温度むらを考慮せずに計算した。相対湿度は外壁断熱層の室外側表面、次いでガラス表面で高い。このうち特に結露の発生頻度が高いと推測された外壁断熱層に着目し、次の 2) の検討を行う。

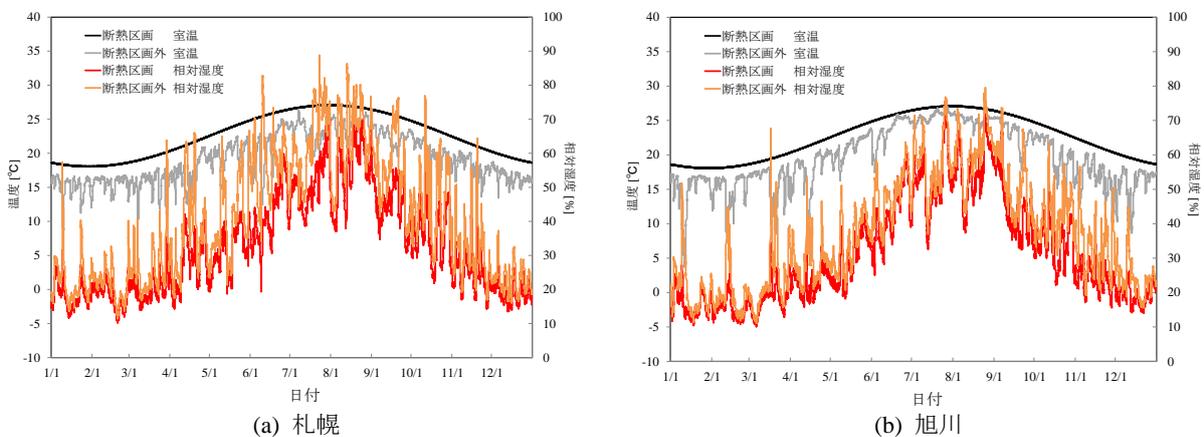


図 4-11 暖房室内外の温度と相対湿度

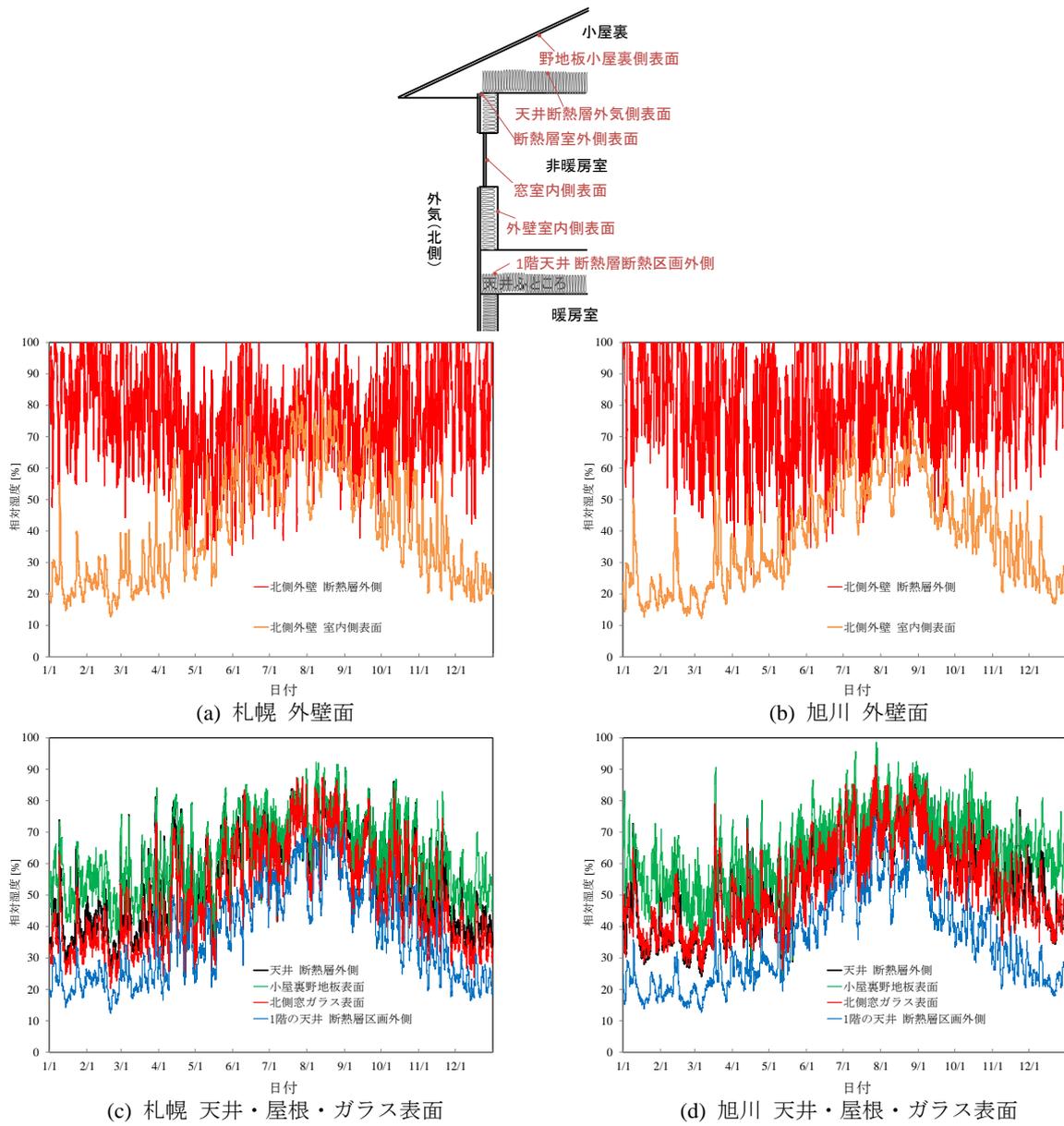


図 4-12 非暖房室各部の相対湿度

2) 非暖房室の外壁の内部結露の防止手法に関する検討

非暖房室の外壁の内部結露の防止手法について検討を行う。

気象条件は前項の検討で内部結露の発生時間が長くなった旭川とする。また、内部結露の防止手法は、前項の検討において移流量への影響が大きいと推測された以下の①～④とする。

①換気方式

第3種換気と第1種換気

②暖房室と階段室の間の有効開口面積

200cm²、50cm²、20cm²

③1階天井の有効開口面積

100cm²、40cm²、20cm²

④気流止めの設置位置

1階壁の上部、1階壁の下部、1階壁の下部と2階壁の上部、1階壁の下部と2階壁の下部、

1階壁の上下部、1階壁の上下部と2階壁の下部

それぞれのケースの内部結露の発生時間を図 4-13 に示す。1階天井の有効開口面積、および気流止めの設置位置の影響が大きい。

また、内部結露がみられなかった条件を表 4-4 に示す。

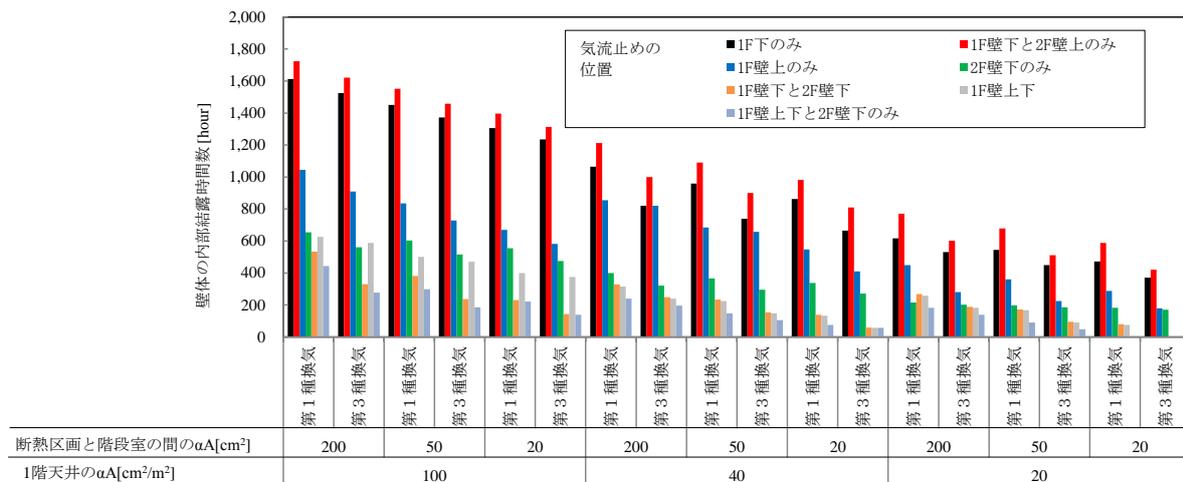


図 4-13 壁体仕様と結露時間の関係

表 4-4 外壁に内部結露がみられなかったケース

暖房室と階段室の間の有効開口面積 [cm ²]	1階天井の有効開口面積[cm ²]	換気方式	気流止め位置
20	20	第3種換気	1階壁の上下部
			1階壁の下部と2階壁の下部
			1階壁の上下部と2階壁の下部
		第1種換気	1階壁の上下部と2階壁の下部

4.3.2 東京における検討

(1) 計算条件

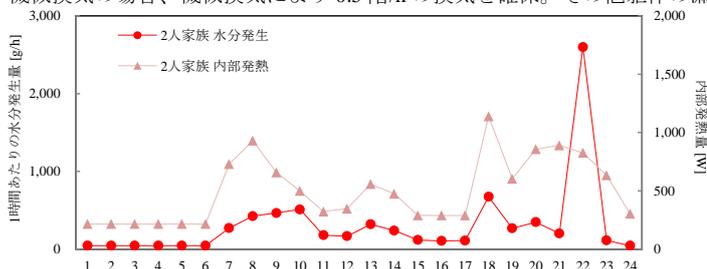
非暖房室における通年での結露発生状況を推測し、防止方法を検討する。

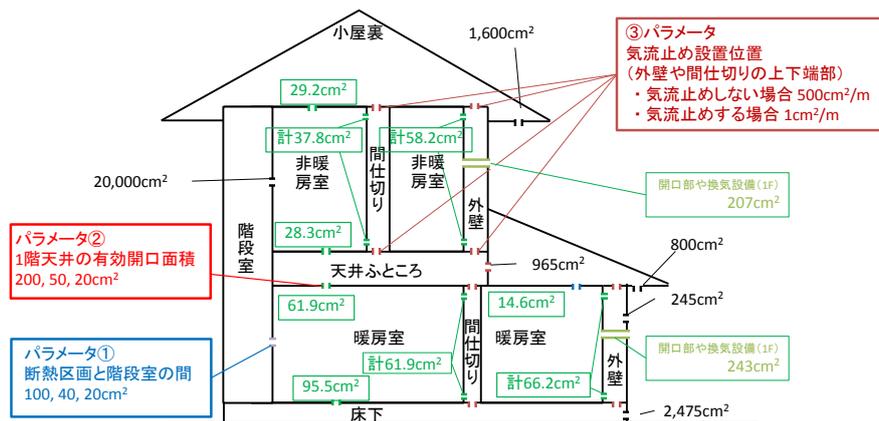
計算条件を表 4-5 に示す。改修前の断熱仕様は、改修対象となる 1970 年代から 80 年代前半における住宅の一般的な仕様として想定した。また、部分断熱区画化に伴い、1 階天井に断熱材を新設することとする。これは暖房負荷低減に有効であるとともに、2 階の非暖房室の室温が低下して結露が発生しやすい条件となることを踏まえた設定条件である。

既存住宅の相当隙間面積は 3.2 節の考え方と同じく $12 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と想定し、図 4-14 のように分布させた。検討パラメータは、①暖房室と階段室の間の有効開口面積、②1 階天井の有効開口面積、③気流止めの位置、④換気方式（第 1 種換気、第 3 種換気、機械換気なし）の 4 点とした。

表 4-5 計算条件

気象条件	：東京の拡張 AMeDAS 標準年気象データ 外部風あり（表 3-5 に基づく風圧係数）	
住宅プラン	：一部 2 階建て延べ床面積 100m^2 の住宅モデル（詳細は表 3-4）	
相当隙間面積	住宅の相当隙間面積が $12 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 。隙間の分布は図 4-14 による。 外壁室内側の隙間は床側:天井側に 5:5 分布	
躯体仕様	：外壁と間仕切り壁の壁体上下部の有効開口面積は、気流止めがない場合が $500\text{cm}^2/\text{m}$ 。気流止めがある場合が $1\text{cm}^2/\text{m}$ で、袋入りグラスウール 200mm の気流止めを想定し、熱抵抗と透湿抵抗を与えた。 各部位の仕様は以下の通りとする。 外壁 改修前（2 階） せっこうボード 12mm, GW10K 50mm（袋入り）、アスファルトフェルト 0.7mm、 モルタル 15mm（通気層無し） ※木ずりは計算では省略する 改修後（1 階） 改修前の壁体の室内側面に暖房室の防露のためにビニルクロスを追加 間仕切り壁 せっこうボード 12mm, 中空層 105mm, せっこうボード 12mm 基礎 立上り部コンクリート 120mm 床 構造用合板 12mm（防湿層無し） 2 階天井 せっこうボード 12mm（防湿層無し）	
室内条件	：温度 暖冷房時の室温 $T_m = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$ 非暖冷房時の室温 $T_m = 7.0 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 20.0$ D は 1 月 1 日からの日数 6:00~23:00 は暖冷房時の室温、23:00~6:00 は非暖冷房時の室温を与える。 水分発生 空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 2 人家族の水分発生量 床下に $10\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$ の水分発生 換気 機械換気の場合、機械換気により 0.5 階/h の換気を確保。その他躯体の漏気あり。	





相当隙間面積 $9.0 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ のときの数値
 緑色で囲んだ数値は相当隙間面積に比例して与えた。黒字の数値は固定。
 外壁や間仕切りの隙間は上下端部に均等に分布すると想定して与えた。
 開口部は高さ1.0mと2.0mの高さに均等に分布、換気設備は2.0mの高さに与えた。

図 4-14 隙間面積の分布の設定

(2) 計算結果

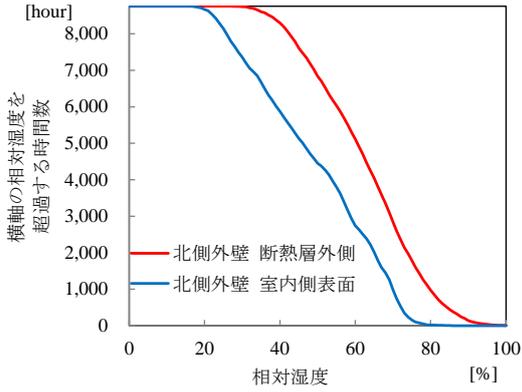
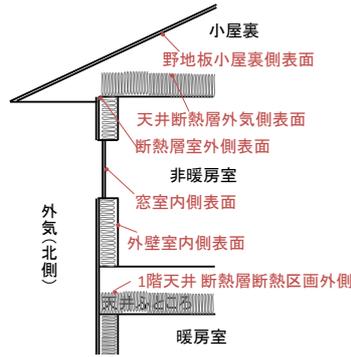
検討範囲の中で最も非暖房室へ空気が移流しやすい条件、①暖房室と階段室の間の有効開口面積 200 cm^2 (換気経路となる建具の気密レベル)、②1階天井の有効開口面積 100 cm^2 (改修前の気密レベル)、③気流止めなし、④機械換気なし、での各部の湿度を図 4-15 の(i)として示す。

非暖房室において、外壁断熱層の室外側表面及び窓ガラスの室内側表面で、一時的な結露が見られたものの、時間はごくわずかであった。

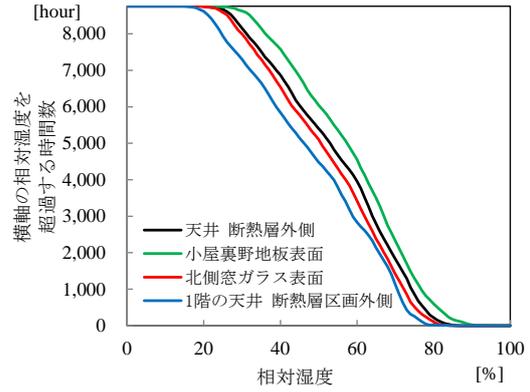
ただし、結露が発生しなかった理由として、気流止めがないことにより壁内の換気が活発であったことが要因の可能性があるため、気流止めを設置した場合 ((ii)1階の壁の上下部に気流止め、(iii)1階と2階の壁の下部に気流止め) の湿度についても検討を行った。結果を図 4-15 (ii), (iii)に示す。

これらのケースにおいても、一時的な結露が見られたものの、年間の結露発生時間は最大 20 時間程度で、継続的に発生するものではなかった。

このことから、非暖房室の結露防止のために求められることは、暖房室と階段室の間に有効開口面積 200 cm^2 (換気経路となる建具の気密レベル) で仕切ることと考えられる。

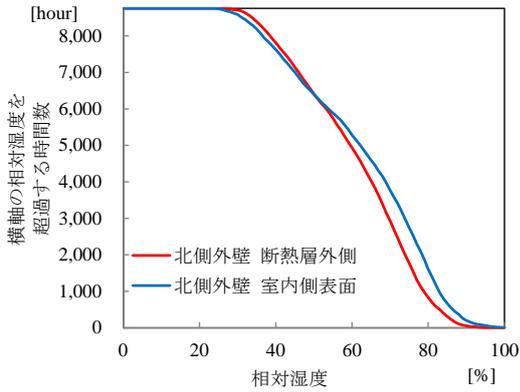


(i.a) 外壁面

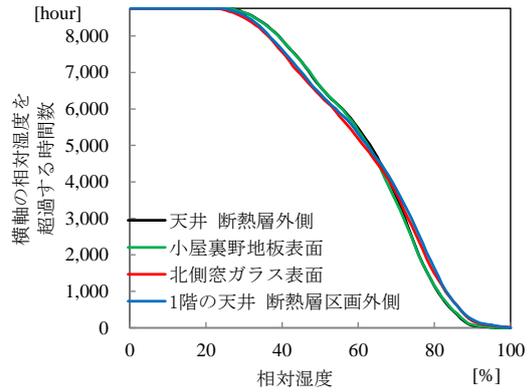


(i.b) 天井・屋根・ガラス表面

(i) 気流止め無し

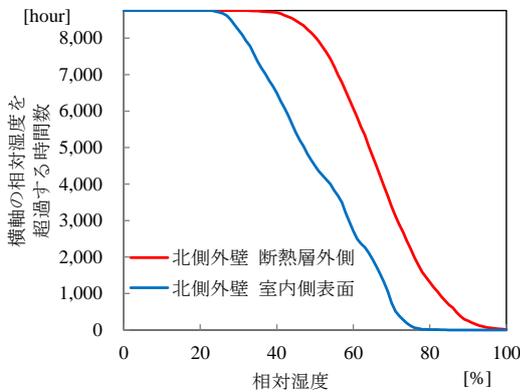


(ii.a) 外壁面

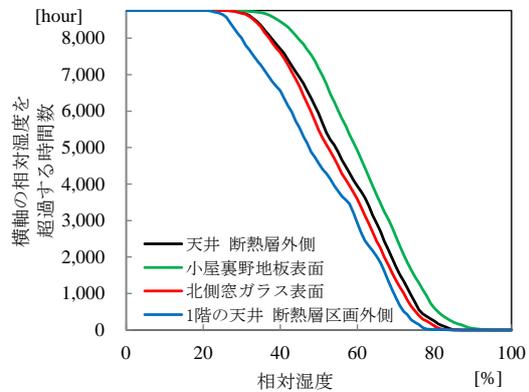


(ii.b) 天井・屋根・ガラス表面

(ii) 1階の壁の上下部に気流止め



(iii.a) 外壁面



(iii.b) 天井・屋根・ガラス表面

(iii) 1階と2階の壁の下部に気流止め

図 4-15 非暖房室各部の相対湿度

4.4 部分断熱区画化による暖冷房負荷の削減効果

4.4.1 北海道における検討

(1) 計算条件

部分断熱区画化を行う際の札幌での暖冷房負荷の削減効果を試算した。

共通の計算条件を表 4-6 に、各ケースの条件を表 4-7 に示す。改修前の相当隙間面積は $9 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ とし、図 4-10 のように分布させた。改修後は内部結露発生防止のため、暖房室の外壁に透湿防水層と通気層を設け、躯体各所に気流止めを設置し、暖房室と階段室の間及び1階天井の有効開口面積を 20 cm^2 に低減する。また、部分断熱区画化の効果を明らかとするため、新たな断熱は施工せずに空調範囲を1階に縮小（暖房室と階段室の間は 20 cm^2 とした。）する場合の負荷も試算した。

表 4-6 共通の計算条件

室内条件	温度	$T_m = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$	D は1月1日からの日数
水分発生	空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による。床下の水分発生は無し。		
	1,2階とも暖冷房範囲	2人家族の水分発生量	
	1階のみ暖冷房範囲	4人家族の水分発生量	
内部発熱	空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による。		
	1,2階とも暖冷房範囲	2人家族の内部発熱	
	1階のみ暖冷房範囲	4人家族の内部発熱	
換気	機械換気の場合、機械換気により0.5階/hの換気を確保。その他躯体の漏気あり。		

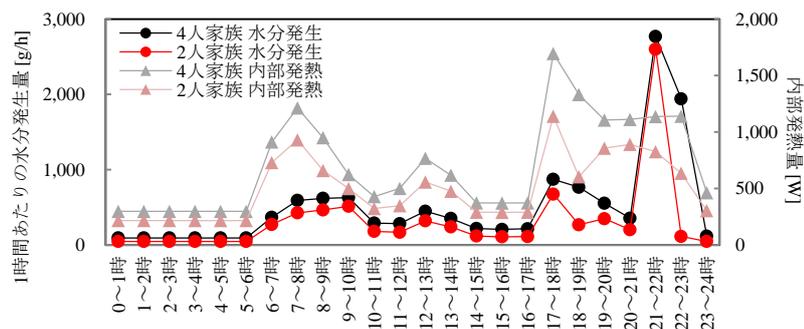


表 4-7 暖冷房負荷の検討ケース

ケース	外壁		天井		1階床	基礎	窓		気流止め	相当隙間面積	換気	空調範囲
	1階	2階	1階	2階			1階	2階				
Case01-C (既存仕様)	せっこうボード12mm GW16K 100mm モルタル15mm (防湿層、通気層無し)		せっこうボード12mm		構造用合板12mm GW16K 100mm (防湿層無し) (地盤防湿なし)	無断熱	アルミ単板+ 木製単板の 二重サッシ		なし	9 cm ² /m ²	自然換気	全体
Case 11-C											第3種換気 (非暖房室は自然換気)	1階のみ (部分断熱区画化)
Case 12-C	既存+ 通気層の設置				地盤防湿あり			1階壁 上下部	既存仕様に対して 以下の点を変更 ・暖房室と階段室の 間の有効明高面積 を20cm ² ・1階天井の有効開口面積を20cm ²			
Case12-2-C				1階壁の下部と2階壁の下部								
Case12-3-C				1階壁の上下部と2階壁の下部								
Case 13-C	既存+ 付加断熱 GW32K75mm		既存+ 吹込み GW18K 200mm					樹脂サッシ 二層複層 Low-E アルゴン 12mm 一重サッシ		1階壁 上部のみ		

Case02 以降の空欄は既存仕様のままを示す。

(2) 計算結果

1) 暖冷房範囲を縮小する影響 (図 4-16)

暖冷房範囲の縮小と暖冷房負荷の関係を図 4-16 示す。暖冷房範囲を住宅全体 (床面積 100m²) から 1 階 (床面積 60m²) に縮小し、暖房室と階段室を有効開口面積 20cm² となるように仕切ること (Case1-11)、暖冷房負荷の 3 割程度の削減が予想される。

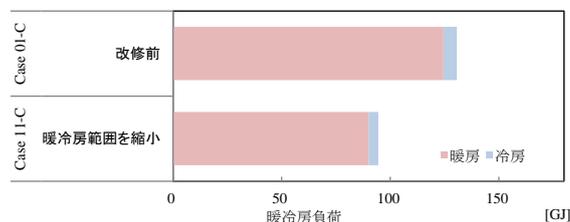


図 4-16 暖冷房範囲の縮小と暖冷房負荷の関係

2) 部分断熱区画化と気流止めの位置の影響 (図 4-17)

気流止めの設置位置を、4.2(1)節の検討において内部結露防止に有効と推測した 1 階壁の上下部 (Case12)、1 階壁の下部と 2 階壁の下部 (Case12-2)、1 階壁の上下部と 2 階壁の下部 (Case12-3) とし、暖冷房負荷を比較した結果を図 4-17 に示す。

いずれのケースも改修前と比較して暖冷房負荷が 6 割程度低減した。気流止めの設置位置による暖冷房負荷の差異は最大 2GJ であった。

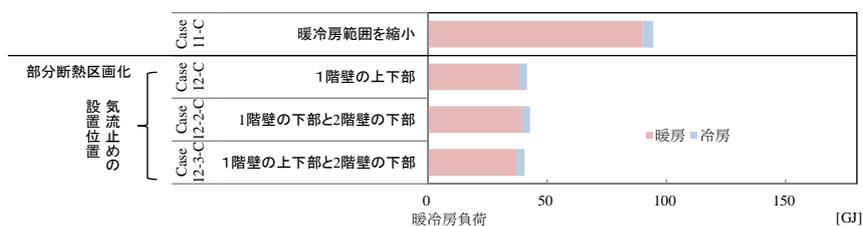


図 4-17 気流止めの設置位置と暖冷房負荷の関係

3) 部分断熱区画化と断熱層の追加の影響 (図 4-18)

1 階壁の上下部に気流止めを設置するケース、これに加えて外壁の付加断熱と 1 階天井の断熱を施工し、窓の高断熱化を行うケースの暖冷房負荷を、改修前と比較した結果を図 4-18 示す。

暖冷房負荷の削減率は 70% 程度であった。

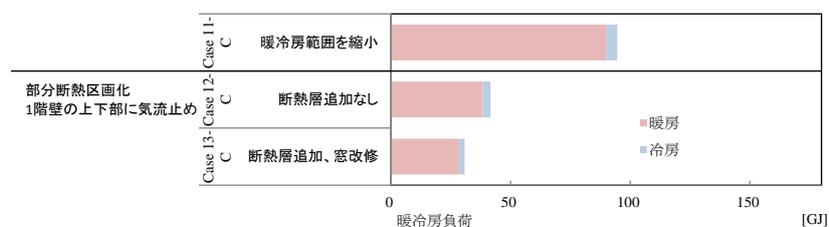


図 4-18 気流止めの設置及び断熱強化と暖冷房負荷低減の関係

4.4.2 東京における検討

(1) 計算条件

部分断熱区画化を行う際の暖冷房負荷の削減効果を試算した。

共通の計算条件を表 4-8 に、各ケースの条件を表 4-9 に示す。既存住宅の相当隙間面積は 3.2 節の考え方と同じく $12 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と想定し、図 4-10 のように分布させた。改修後は外壁の内部結露発生防止のため、暖房室の外壁の室内側にビニルクロス、もしくは付加断熱を施工することとした。また、部分断熱区画化の効果を明らかとするため、暖房室と階段室の間を有効開口面積 200 cm^2 で仕切り、暖冷房範囲を 1 階に縮小する場合の暖冷房負荷も試算した。

表 4-8 共通の計算条件

室内条件	: 温度	
	暖冷房時の室温	$T_{in} = 4.5 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 22.5$
	非暖冷房時の室温	$T_{in} = 7.0 \cos \frac{48\pi(D-212)}{8760} + 20.0$
		D は 1 月 1 日からの日数
	6:00~23:00 は暖冷房時の室温、23:00~6:00 は非暖冷房時の室温を与える。	
水分発生	空気調和・衛生工学会 SCHEDULE による 2 人家族の水分発生量 床下に $10\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$ の水分発生	
換気	機械換気の場合、機械換気により 0.5 階/h の換気を確保。その他躯体の漏気あり。	

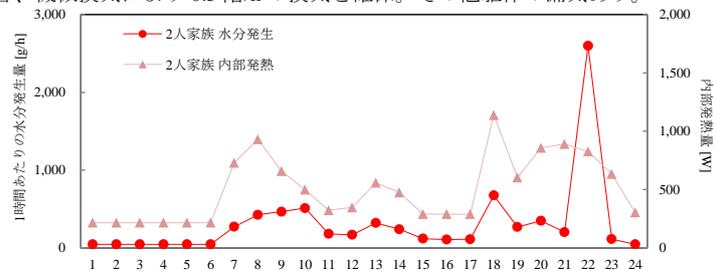


表 4-9 暖冷房負荷の検討ケース

ケース	外壁		天井		1階床	基礎	窓		気流止め	相当隙間面積	換気	空調範囲
	1階	2階	1階	2階			1階	2階				
Case01-W (既存仕様)	せつこうボード 12mm GW10K 50mm アスファルトフェルト 0.7mm モルタル 15mm (通気層無し) (p.62, 図 3-57(a)の施工状態)		せつこうボード 12mm (防湿層無し)		構造用合板 12mm (防湿層無し)	無断熱	アルミサッシ 単板普通ガラス		なし	12 cm ² /m ²	漏気のみ	全体
Case 11-W											第3種換気 (非暖房室は漏気のみ)	1階のみ
Case 12-W	既存+ 通気層の設置								1階壁 上下部			
Case 13-W	既存 + 付加断熱 GWHG16K 89mm		既存+ 吹込み GW18K 210mm		既存 + GW32K 80mm		既存+ 内窓 (アルミサッシ 単板普通ガラス)					

Case02 以降の空欄は既存仕様のままを示す。

(2) 計算結果

暖冷房負荷の計算結果を図 4-19 に示す。

Case01-W と Case11-W の比較から、1 階の空間と階段室を仕切り、暖冷房範囲を縮小することにより 27 % の暖冷房負荷が削減された。

Case01-W と Case12-W の比較から、上記の対策に加えて 1 階の壁の上下部に気流止めを施工して部分断熱区画化することで、58% まで暖冷房負荷の削減率が増加した。

さらに、Case01-W と Case13-W の比較から、部分断熱区画化に併せて、1 階部分の外壁の付加断熱、1 階天井や床の断熱強化、窓の改修を施すことにより、72 % まで暖冷房負荷の削減率が増加した。改修前仕様として、天井と床が無断熱、窓がアルミサッシの単板ガラスを想定したため、改修によりそれら断熱上の弱点を補うことで削減率が増加しやすかった。

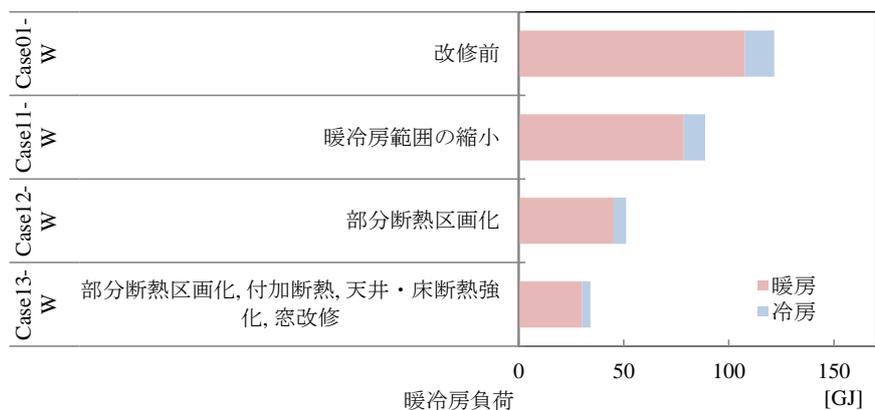


図 4-19 断熱改修と暖冷房負荷

4.5 まとめ

4.2 では定常計算によって暖房室から非暖房室への空気の移流量の低減方法を検討した。換気方式、1階天井の有効開口面積、気流止めの位置、暖房室と階段室の間の有効開口面積が移流量に影響を及ぼすことを示した。

4.3 では札幌、旭川、東京立地の場合において、通年の非定常計算により結露防止手法に関して検討した。東京では、気流止めによる対策のみで、内部結露発生リスクは見られなくなった。旭川では、非暖房室の外壁断熱層外気側で、次いでガラス室内側表面において結露発生の危険性が高いと推測された。

寒冷地において外壁断熱層を対象に内部結露を防止する条件を明らかにした(表 4-4)。第3種換気による結露防止の可否を検討したところ、抑制効果はあるものの換気のみでの結露防止は難しく、躯体の気密化が必須であることが分かった。結露への影響が少なからず推測された1階天井および階段室のドアについては、仕様や改修工法と有効開口面積との関係を示す既往資料が少なく、この点の解明は今後の課題となる。

4.4 では東京、札幌立地の場合における暖冷房負荷を試算した。部分断熱区画化で、気流止め等を施工することで、改修前の暖冷房負荷が7割低下する条件等を示した。

【第4章参考文献】

4-1) 一般社団法人ベターリビング：シックハウス対策のための住宅の換気設備マニュアル，2003.5

5. 改修事例における結露及び暖冷房負荷の試算

ここでは、具体的な改修事例を想定して、結露発生及び暖冷房負荷について検討した。

前章までの数値計算は、防露及び暖冷房負荷低減へ寄与する改修手法を明確化するため、パラメトリックな検討を実施した。これに対し、本章では、前章までの検討結果より防露や負荷削減の観点から効果的なものとそうでないと推察されるケースも含め、北海道と東京における断熱改修で想定される事例を取り上げ、結露発生及び暖冷房負荷を確認した。

5.1 北海道における検討

(1) 計算条件

検討ケースの一覧を表 5-1 に示す。

結露に関する検討は、表 3-8 で示した「安全側計算条件」を適用し、旭川の気象条件で平屋の住宅を対象にした。Case H100 のように住宅内を部分的に暖冷房するケースにおいては、平屋の住宅では非暖房室の結露の評価ができないため、一部 2 階建ての延べ床面積 100m²の住宅を対象にした。

暖冷房負荷に関する検討は、表 3-10 で示した条件を適用し、札幌の気象条件で一部 2 階建ての延べ床面積 100m²の住宅を対象にした。

いずれのケースにおいても外壁と天井にビニルクロスが設置されていることを想定した。換気は、改修前は漏気のみであるのに対し、改修後は漏気に加え第 3 種換気を想定した。改修する際に天井側に気流止めを行うときには天井断熱を強化することとした。

表 5-1 暖冷房負荷の検討ケース（北海道）

ケース	外壁		天井 (1階下屋部及び2階)	1階天井 (階間部)	1階床	気流止め	相当隙 間面積	換気	空調 範囲
	1階	2階							
Case H000 (既存 A)	ビニルクロス せっこうボード 12mm GW16K 100mm アスファルトフェルト 0.7mm モルタル 15mm (防湿層、通気層無し)		ビニルクロス せっこうボード 12mm 吹込み GW18K 200mm (防湿層無し)	ビニルクロス せっこうボード 12mm	構造用合板 12mm GW16K 100mm (防湿層無し)	なし	9 cm ² /m ²	漏気のみ	全体
Case H001	既存 A		既存 A + 吹込み GW18K 200mm	既存 A	既存 A	・最上階の外壁・間仕切りの上 部		第3種	全体
Case H002	既存 A		既存 A	既存 A	既存 A	・1階外壁・間仕切りの下部		第3種	全体
Case H003	既存 A		既存 A + 吹込み GW18K 300mm	既存 A	既存 A	・最上階の外壁・間仕切りの上 部 ・1階外壁・間仕切りの下部		第3種	全体
Case H100	既存 A		既存 A	既存 A	既存 A	既存 A		漏気のみ	1階のみ
Case H101	既存 A + XPS3b 25 mm (内貼り)		既存 A	既存 A	既存 A	・1階外壁・間仕切りの上下部		第3種	1階のみ
Case HB000 (既存 B)	ビニルクロス せっこうボード 12mm GW16K 100mm シーリングボード 9mm 通気層 12 mm サイディング 15mm		ビニルクロス せっこうボード 12mm 吹込み GW18K 200mm (防湿層無し)	ビニルクロス せっこうボード 12mm	構造用合板 12mm GW16K 100mm (防湿層無し)	なし		漏気のみ	全体
Case HB001	既存 B		既存 B + 吹込み GW18K 200mm	既存 B	既存 B	・最上階の外壁・間仕切りの上 部		第3種	全体
Case HB002	既存 B		既存 B	既存 B	既存 B	・1階外壁・間仕切りの下部		第3種	全体
Case HB003	既存 B		既存 B + 吹込み GW18K 300mm	既存 B	既存 B	・最上階の外壁・間仕切りの上 部 ・1階外壁・間仕切りの下部		第3種	全体

(2) 計算結果

各ケースにおける結露の発生時間と暖冷房負荷を図 5-1 にまとめる。

Case H000 は、通気層が無い改修前住宅を想定した。天井側の気流止めと天井断熱強化をした Case H001、床側の気流止めをした Case H002 では結露の発生リスクが高くなった。床側及び天井側の気流止め並びに天井断熱強化を行った Case H003 では結露の発生リスクが抑えられ、暖冷房負荷を改修前から 3 割程度削減できた。Case H003 は、1 階の天井側と 2 階の床側も含めて全ての壁体上下部に気流止めした場合 (3.5(2)3, p.76) における改修前からの暖冷房負荷削減率 49 % と比べると効果が小さいが、簡易的な手法として有効なことが分かった。

Case H100 は、改修前 (Case H000) の住宅仕様で暖冷房範囲を縮小したものである。暖房室に気流止めを行い、断熱材を追加すること (Case H101) で結露の発生リスクと暖冷房負荷を抑えられた。

Case HB000 は、外壁に通気層が設置された改修前住宅を想定した。外壁から室外側への放湿により、改修後 (Case HB001~Case HB003) の結露発生リスクが低い。天井側の気流止めと天井断熱強化をした Case HB001、床側の気流止めをした Case HB002 では改修前からの暖冷房負荷削減が小さいが、床側及び天井側の気流止め並びに天井断熱強化を行った Case HB003 では、暖冷房負荷を改修前から 3 割程度削減できた。

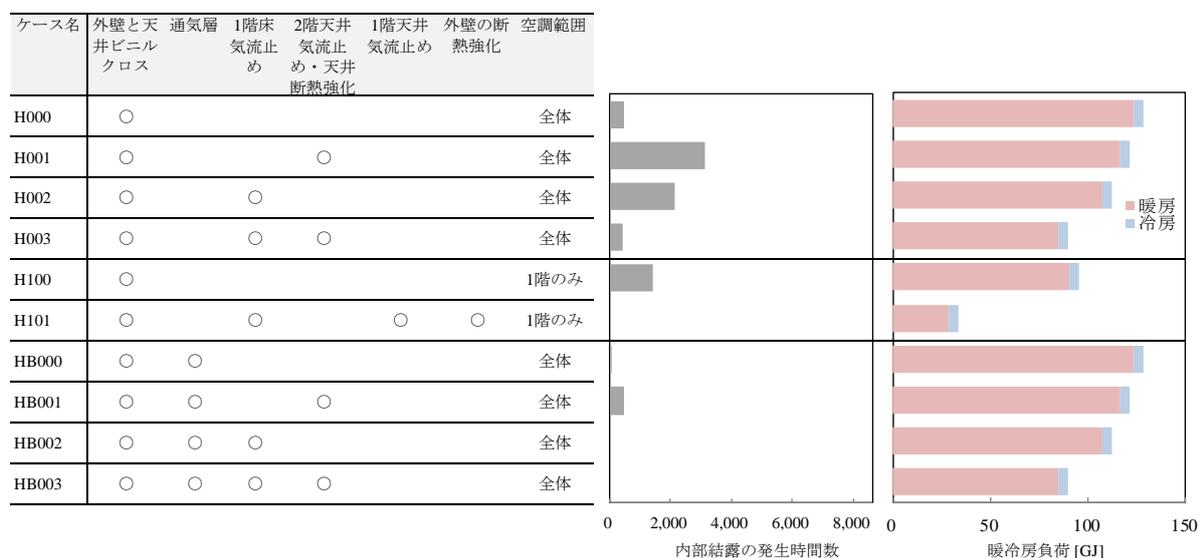


図 5-1 北海道における計算結果

5.2 東京における検討

(1) 計算条件

検討ケースの一覧を表 5-2 に示す。

結露に関する検討は表 3-9 で示した「安全側計算条件」を適用し、平屋の住宅を対象にした。Case TA100 のように住宅内を部分的に暖冷房するケースにおいては、平屋の住宅では非暖房室の結露の評価ができないため、一部 2 階建ての延べ床面積 100m² の住宅を対象にした。

暖冷房負荷に関する検討は表 3-12 で示した条件を適用し、一部 2 階建ての延べ床面積 100m² の住宅を対象にした。

いずれのケースにおいても、換気は結露検討の安全側をみて漏気のみとした。改修する際に床側の気流止めを行うときには床断熱を強化し、天井側に気流止めを行うときには天井断熱を新設することとした。

表 5-2 暖冷房負荷の検討ケース（東京）

ケース	外壁		天井 (1階下屋部及び2階)	1階天井 (階間部)	1階床	気流止め	相当隙 間面積	換気	空調 範囲
	1階	2階							
Case TA000 (既存 A)	ビニルクロス せっこうボード 12mm GW10K 50mm 木ずり (計算上省略) アスファルトフェルト 0.7mm モルタル 15mm (通気層無し) (p.62, 図 3-57(a)の施工状態)		ビニルクロス せっこうボード 12mm	ビニルクロス せっこうボード 12mm	構造用合板 12mm (防湿層無し)	なし	12 cm ² /m ²	漏気のみ	全体
Case TA001	既存 A		既存 A + 吹込み GW18K 300mm	既存 A	既存 A	・最上階の外壁・間仕切りの上 部		漏気のみ	全体
Case TA002	既存 A		既存 A	既存 A	既存 A + GW32K 80mm	・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TA003	既存 A		既存 A + 吹込み GW18K 300mm	既存 A	既存 A + GW32K 80mm	・最上階の外壁・間仕切りの上 部 ・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TA100	既存 A		既存 A	既存 A	既存 A	既存 A		漏気のみ	1階のみ
Case TA101	既存 A + XPS3b 25 mm (内貼り)		既存 A	既存 A	既存 A	なし		漏気のみ	1階のみ
Case TA102	既存 A + XPS3b 25 mm (内貼り)		既存 A	既存 A	既存 A	・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	1階のみ
Case TA103	既存 A + XPS3b 25 mm (内貼り)		既存 A	既存 A	既存 A	・1階外壁・間仕切りの上下部		漏気のみ	1階のみ

Case (既存 B) TB000	せっこうボード 12mm GW10K 50mm 木ずり (計算上省略) アスファルトフェルト 0.7mm モルタル 15mm (通気層無し) (p.62, 図 3-57(a)の施工状態)	せっこうボード 12mm	せっこうボード 12mm	構造用合板 12mm (防湿層無し)	なし	12 cm ² /m ²	漏気のみ	全体
Case TB001	既存 B	既存 B + 吹込み GW18K 300mm	既存 B	既存 B	・最上階の間仕切りの上部		漏気のみ	全体
Case TB002	既存 B	既存 B	既存 B	既存 B + GW32K 80mm	・1階間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TB003	既存 B	既存 B + 吹込み GW18K 300mm	既存 B	既存 B + GW32K 80mm	・最上階の間仕切りの上部 ・1階間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TB004	既存 B + GW32K 45mm 透湿防水シート 通気層 15mm サイディング 15mm	既存 B	既存 B	既存 B	なし		漏気のみ	全体
Case TB005	既存 B + GW32K 45mm 透湿防水シート 通気層 15mm サイディング 15mm	既存 B	既存 B	既存 B	・最上階の外壁・間仕切りの上 部 ・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TB006	既存 B + GW32K 45mm 透湿防水シート 通気層 15mm サイディング 15mm	既存 B	既存 B	既存 B	・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TB100	既存 B	既存 B	既存 B	既存 B	既存 B		漏気のみ	1階のみ
Case TB101	既存 B + XPS3b 25 mm (内貼り)	既存 B	既存 B	既存 B	なし		漏気のみ	1階のみ
Case TB102	既存 B + XPS3b 25 mm (内貼り)	既存 B	既存 B	既存 B	・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	1階のみ
Case TB103	既存 B + XPS3b 25 mm (内貼り)	既存 B	既存 B	既存 B	・1階外壁・間仕切りの上下部		漏気のみ	1階のみ

Case TC000 (既存 C)	ビニルクロス せっこうボード 12mm GW10K 50mm 木ずり (計算上省略) 合板 12 mm 通気層 12 mm サイディング 15mm (p.62, 図 3-57(a)の施工状態)	ビニルクロス せっこうボード 12mm	ビニルクロス せっこうボード 12mm	構造用合板 12mm (防湿層無し)	なし	12 cm ² / m ²	漏気のみ	全体
Case TC001	既存 C	既存 C + 吹込み GW18K 300mm	既存 C	既存 C	・最上階の外壁・間仕切りの上部		漏気のみ	全体
Case TC002	既存 C	既存 C	既存 C	既存 C + GW32K 80mm	・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TC003	既存 C	既存 C + 吹込み GW18K 300mm	既存 C	既存 C + GW32K 80mm	・最上階の外壁・間仕切りの上部 ・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TD000 (既存 D)	せっこうボード 12mm GW10K 50mm 木ずり (計算上省略) 合板 12 mm 通気層 12 mm サイディング 15mm (p.62, 図 3-57(a)の施工状態)	せっこうボード 12mm	せっこうボード 12mm	構造用合板 12mm (防湿層無し)	なし		漏気のみ	全体
Case TD001	既存 D	既存 D + 吹込み GW18K 300mm	既存 D	既存 D	・最上階の外壁・間仕切りの上部		漏気のみ	全体
Case TD002	既存 D	既存 D	既存 D	既存 D + GW32K 80mm	・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TD003	既存 D	既存 D + 吹込み GW18K 300mm	既存 D	既存 D + GW32K 80mm	・最上階の外壁・間仕切りの上部 ・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TE000 (既存 E)	せっこうボード 12mm GW10K 50mm 木ずり (計算上省略) シーリングボード 9 mm 通気層 12 mm サイディング 15mm (p.62, 図 3-57(a)の施工状態)	せっこうボード 12mm	せっこうボード 12mm	構造用合板 12mm (防湿層無し)	なし		漏気のみ	全体
Case TE001	既存 E	既存 E + 吹込み GW18K 300mm	既存 E	既存 E	・最上階の外壁・間仕切りの上部		漏気のみ	全体
Case TE002	既存 E	既存 E	既存 E	既存 E + GW32K 80mm	・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体
Case TE003	既存 E	既存 E + 吹込み GW18K 300mm	既存 E	既存 E + GW32K 80mm	・最上階の外壁・間仕切りの上部 ・1階外壁・間仕切りの下部		漏気のみ	全体

空欄は既存仕様のままを示す。

(2) 計算結果

各ケースの結露の発生時間と暖冷房負荷を図 5-2 にまとめる。

Case TA000 は、通気層がなく、外壁と天井の内装仕上げがビニルクロスの改修前住宅を想定した。天井側の気流止めをした Case TA001、床側の気流止めをした Case TA002 では結露の発生リスクが高くなった。床側及び天井側の気流止め並びに床断熱及び天井断熱を新設した Case TA003 では結露の発生リスクが抑えられ、暖冷房負荷を改修前から 3 割程度削減できた。

Case TA101 は改修前 (Case TA000) の住宅仕様で暖冷房範囲を縮小したものである。これに対して外壁室内側に断熱材を追加するのみ (Case TA101) では暖冷房負荷の削減量が小さいが、暖房室上下の気流止めも併せて行うこと (Case TA103) で、暖冷房負荷の削減量が大きくなった。また、外壁室内側に XPS のような透湿抵抗の高い断熱材を新設することで、結露リスクを抑えられた。

Case TB000 は、通気層がなく、透湿抵抗の低い外壁と天井の内装仕上げ (計算上は内装仕上げの透湿抵抗を無視) の改修前住宅を想定した。これに対して、改修後の Case TB001~Case TB003 においても有効な防湿措置が無いため、改修後の結露発生リスクが高かった。改修後に付加断熱を設置して既存断熱層の低温化を抑制する Case TB004~Case TB006 では結露発生リスクが低くなった。床側及び天井側の気流止め並びに床断熱及び天井断熱を新設した Case TB005 では結露の発生リスクが抑えられ、暖冷房負荷を改修前から 3 割程度削減できた。

Case TC000 は、通気層があり、外壁と天井の内装仕上げがビニルクロスの改修前住宅を想定した。天井側の気流止めをした Case TC001 では結露リスクが高いが、床側の気流止めをした Case TC002、床側及び天井側の気流止めをした Case TC003 では結露リスクが低くなった。Case TC003 では気流止めに併せて床断熱及び天井断熱を新設することで、暖冷房負荷を改修前から 3 割程度削減できた。

Case TD000 は、通気層があり、透湿抵抗の低い外壁と天井の内装仕上げ (計算上は内装仕上げの透湿抵抗を無視) の改修前住宅を想定した。これに対して、改修後の Case TD001~Case TD003 では、結露リスクがやや高くなった。これらのケースでは、通気層があるものの、既存断熱層の外側に合板が設置されているため放湿が不十分かつ、室内側のビニルクロスもないために防湿も不十分なためである。

Case TE000 は、Case TD000 の既存断熱層の外側の合板をシーリングボードに置き換えたものである。シーリングボードの透湿抵抗は合板よりも低い。そのため、Case TE シリーズの方が、Case TD よりも放湿性能が高く、改修後のケースの結露リスクが小さい。床側及び天井側の気流止め並びに床断熱及び天井断熱を新設した Case TE003 では結露の発生リスクが抑えられ、暖冷房負荷を改修前から 3 割程度削減できた。

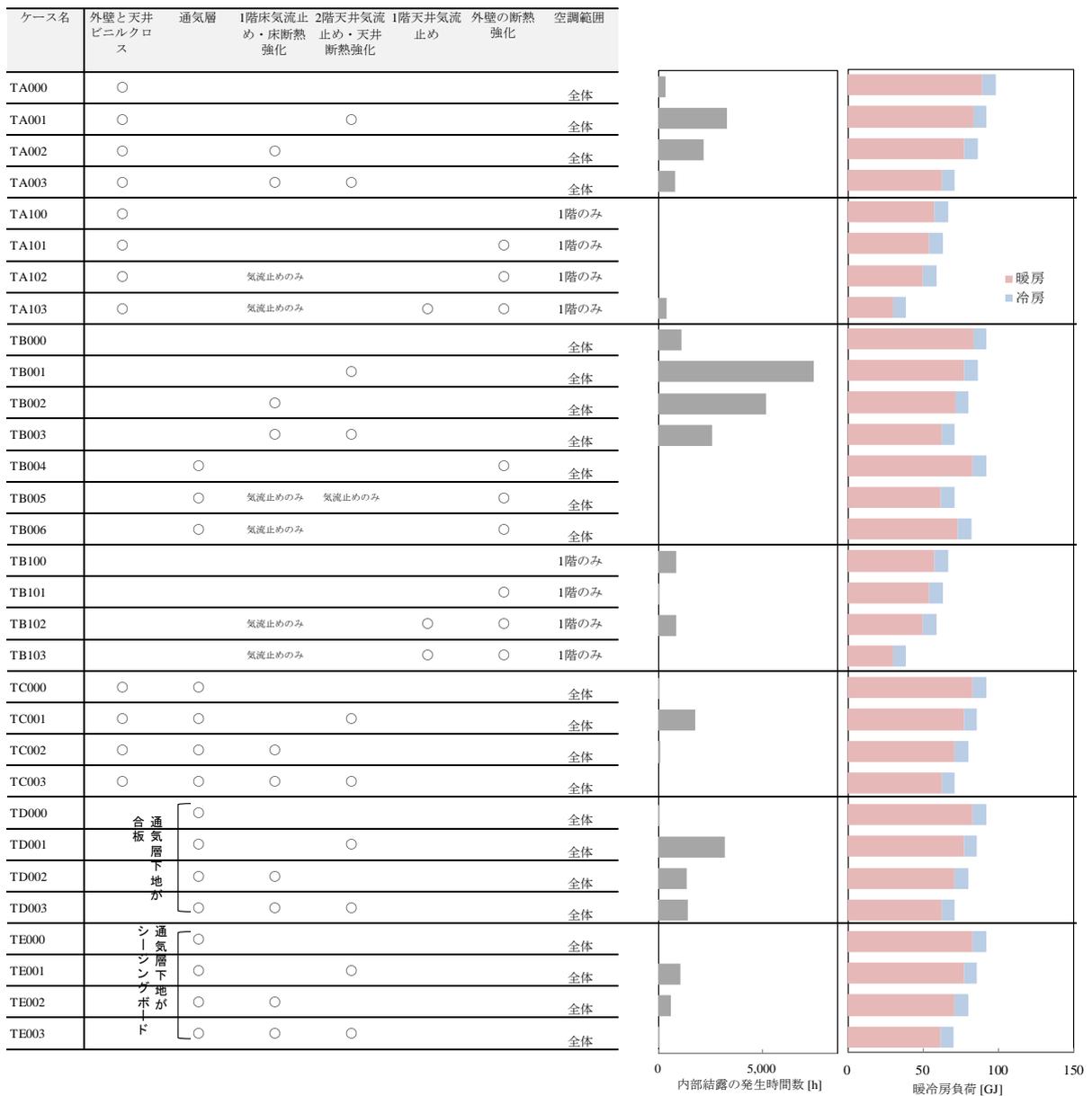


図 5-2 東京における計算結果

5.3 まとめ

具体的な改修事例を想定して、結露と暖冷房負荷の計算を行った。

結露と暖冷房負荷いずれについても、3~4章までに得られていたのと同様の傾向の結果を得ることができた。

1階床側及び2階天井側の気流止め並びに床断熱及び天井断熱を強化することで、暖冷房負荷を改修前から3割程度削減できた。これは、全ての壁の上下部に気流止めをする手法に比べ、暖冷房負荷の削減効果は劣る。しかし、簡易的な方法として改修手法の選択肢となり得ることが分かった。

6. まとめ

6.1 各章のまとめ

本研究では在来木造工法の戸建住宅における気流止めや部分断熱区画化等の断熱改修手法提案に向けた検討を行った。

第2章では、気流止めの材料として本州で市販されている防湿層が付属したグラスウール（以下、「袋入りグラスウール」という。）や北海道で主流の袋に入っていないグラスウール（以下、「裸グラスウール」という。）を用いる場合に関して、実大モックアップを用いた実験室実験を行い、施工性に関する検討を行うとともに、3～4章の数値解析で用いる壁体（外壁と間仕切り壁）上下部の有効開口面積の値を実測により把握した。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) グラスウールの種類による比較では、厚み 20～30 μm の袋入りグラスウールで有効開口面積が小さくなった。
- 2) 有効開口面積を低下させるため、袋入りグラスウールでは施工時にシワが形成されないようにすること、裸グラスウールでは 300mm 程度の奥行長さを確保して施工すること等が必要であった。
- 3) 施工時にシワを生じさせないためには、適切な挿入幅（壁体内寸より 10mm 大きい程度）とすることが重要であった。
- 4) 構造部材や壁内部に突出する釘が施工の障害となり、有効開口面積が増大することがあった。
- 5) 壁内部に突出する釘等により奥行長さが確保できない部位においては、袋入りグラスウールの施工が有効であった。

第3章では、改修前後の壁体や住宅の熱損失及び結露性状を把握するため、まず換気回路網による住宅全体の熱水分の解析と壁内部の拡散と移流を考慮した熱水分の解析を行う数値計算プログラムを構築した。次にこのプログラムを用い以下のことを明らかにした。

- 6) 気流止めの設置により壁面からの熱損失が減少することを確認した。間仕切り壁では熱損失の減少が顕著であった。
- 7) 気流止めの施工により、壁体の上下部の有効開口面積を 1 cm^2/m 程度以下とすれば、暖冷房負荷に及ぼす影響が小さくなり、壁内気流による熱損失が概ね解消された。
- 8) 気流止めの設置位置について検討したところ、平屋の住宅であれば壁体の上下部いずれかの気流止めを施工すれば、上下部ともに気流止めを設置する場合に近い暖冷房負荷となった。しかし、2階建て住宅においては1階下部のみや2階上部のみの気流止めでは、暖冷房負荷の削減率が1～2階の壁体上下部全てに気流止めを施工する場合の25%以下となった。
- 9) 防湿気密が不十分な壁体に対して改修時に気流止めのみを実施すると、壁体内の湿気が排出されにくくなり、外壁の内部結露のリスクが増大する可能性がある。
- 10) 気流止めの設置によって小屋裏の換気量が減り、絶対湿度及び相対湿度が上昇する。東京では結露が見られなかったが、北海道の気象条件では小屋裏の野地板表面の結露発生の可能性が見られた。結露を防止するために、軒天換気面積を天井面積の 1/250 確保（住宅金融支援機構の木造工事標準仕様書相当）した上で、防湿フィルムによる天井防湿と天井の有効開口面積 0.1 cm^2/m^2 とすることが求められた。
- 11) 既存の外壁は放湿性が小さい条件を設定したため、北海道においては気流止めと室内側の防湿もしくは気密化のみによる対応のみでは内部結露発生の危険性が見られた。東京においては気流止めとビニルクロスなどによる室内側の防湿により結露リスクを低減できた。
- 12) 気流止めに加えてグラスウールボード 25 mm 以上の付加断熱をすることで、既存の断熱層の温度が上がり内部結露が防止できた。東京では、押出法ポリスチレンフォーム等の透湿抵抗の高い断熱材を室内側に内貼りすることでも結露リスクを低減できた。

- 13) 壁体の外気側を透湿防水シートもしくはシージングボードとする通気層の設置で外気側の放湿性能を確保することにより、外壁の内部結露リスクを低減できた。
- 14) 袋入りグラスウール及び裸グラスウールによる気流止めを設置した外壁の内部結露等を比較したところ、裸グラスウールの場合は、床下や小屋裏の絶対湿度が外壁より低く保たれていれば、壁外への湿気の排出により、内部結露が抑制された。
- 15) ただし、設備配管の漏水等で床下等が高湿化する場合まで考慮すると、袋入りグラスウールによる気流止めの施工が、壁内への湿気流入による内部結露リスクの低減につながると考えられる。
- 16) 住宅全体の暖冷房負荷を検討したところ、壁の上下部すべての気流止めを設置することで、改修前と比較し札幌で49%、東京では24%の削減効果が得られた。さらに、外壁へ付加断熱を施すことにより削減率は札幌で58%、東京で30%となった。

表 6-1 それぞれの改修手法の内部結露の発生時間（旭川での安全側計算条件を適用した結果）

改修ケース	外装材の外側に施工する付加断熱	外装材	壁外側	外壁断熱	室内仕上げ	床及び天井と壁の取り合いの隙間	気流止め	結露時間※1 [h]
改修前	なし	モルタル15mm	アスファルトフェルト、木ずり	グラスウール16K100mm	せっこうボード	あり	なし	915
ケース NG1	なし	既存のまま	既存のまま	既存のまま	変更なし	あり	あり	4975
ケース NG1	なし	既存のまま	既存のまま	既存のまま	ビニルクロス	あり	あり	1811
ケース ①-1	なし	既存のまま	既存のまま	既存のまま	防湿フィルム	あり	あり	546
ケース ①-2	なし	既存のまま	既存のまま	既存のまま	ビニルクロス	隙間処理	あり	248
ケース NG3	なし	窯業系サイディング	通気層+透湿防水シート	既存のまま	変更なし	あり	なし	3043
ケース ②-1	なし	窯業系サイディング	通気層+透湿防水シート	既存のまま	変更なし	あり	あり	0
ケース ②-2	なし	窯業系サイディング	通気層+シージングボード	既存のまま	変更なし	あり	あり	0
ケース NG4	なし	窯業系サイディング	通気層+合板	既存のまま	変更なし	あり	あり	1315
ケース ③	グラスウールボード32K25mm以上	グラスウール16K100mm、アスファルトフェルト、モルタルは既存のまま 既存の上から付加断熱材、透湿防水層、通気層、窯業系サイディングを設置			変更なし	あり	あり	0

※1 結露時間の算定は安全側計算条件(表 3.8, p.47)

※2 気流止めは、袋入りグラスウール、有効開口面積は1cm²/mを想定。

※3 改修後のケースはすべて、小屋裏結露防止のための天井の防湿措置と気密化を想定。

第4章では、部分断熱区画化の際の非暖房室における結露防止手法の検討、及び暖冷房負荷低減効果の推定を、第3章で構築した数値計算プログラムを用いて実施した。

寒冷地において暖房室への第3種換気の導入による非暖房室での結露防止の可否を検討したところ、抑制効果はあるものの換気のみでの結露防止は難しく、壁体の気流止め、1階天井や暖房室と階段室の気密化と組み合わせた対策が必要であった。東京においては気流止めによる対策のみで結露リスクを低減できた。

さらに、札幌もしくは東京での検討では、部分断熱区画化と壁体の断熱性能の強化によって、暖冷房負荷が改修前から7割程度低下した。

第5章では、具体的な改修事例を想定し、結露の発生と暖冷房負荷について検討した。

1階床側及び2階天井側の気流止め（1階天井側と2階床側の気流止めは省く）並びに床断熱及び天井断熱を強化した条件では、暖冷房負荷を改修前から3割程度削減できた。これは、全ての壁の上下部に気流止めをする手法に比べ、暖冷房負荷の削減効果は劣る。しかし、簡易的な方法として改修手法の選択肢となり得ることが分かった。

6.2 改修手法の提案

本研究で提案する改修手法を、北海道と東京で共通する提案（6.2.1項）、北海道を対象とした提案（6.2.2項）、東京を対象とした提案（6.2.3節）に分けて述べる。

6.2.1 北海道と東京に共通する提案内容

まず、気流止めについて述べる。気流止め材の選択は、気流止めの有効開口面積、透湿抵抗、施工性の観点から考える。

気流止めの有効開口面積は $1\text{cm}^2/\text{m}$ 以下が求められる。袋入りグラスウールの場合、挿入幅を壁体内寸より $10\sim 45\text{mm}$ 程度大きくし、シワを形成させないことが特に重要であった。一方、裸グラスウールの場合、奥行長さを確保することが特に重要であったが、小屋裏から施工する際においては、釘が引っ掛かるなど壁の奥までの挿入が困難となり、有効開口面積が大きくなるがあった。

気流止めの透湿抵抗については、床下や小屋裏が低湿に保たれていれば、透湿抵抗が低い裸グラスウールを用いることで、外壁内部の湿気が他の部位へ拡散することにより、内部結露抑制につながる場合がある。一方、床下や小屋裏が高湿であれば、透湿抵抗が高い袋入りグラスウールを用いることで、外壁への湿気侵入を大きく低減できるため、漏水等により床下が高湿化した際のリスク低減につながる。

本研究では、いずれの部位にも適用可能であることと結露リスクを総合的に勘案し、袋入りグラスウールによる気流止めを提案する。

気流止めを施工する位置（図 6-1）は、全ての外壁の上下部、小屋裏に接する間仕切りの上部、床下に接する間仕切りの下部とする。階間部に接する外壁の部分（1階外壁の上部、2階外壁の下部）については、気流止めの施工が必須でないが、暖冷房負荷の削減効果を高めるために、気流止めを施工することが望ましい。

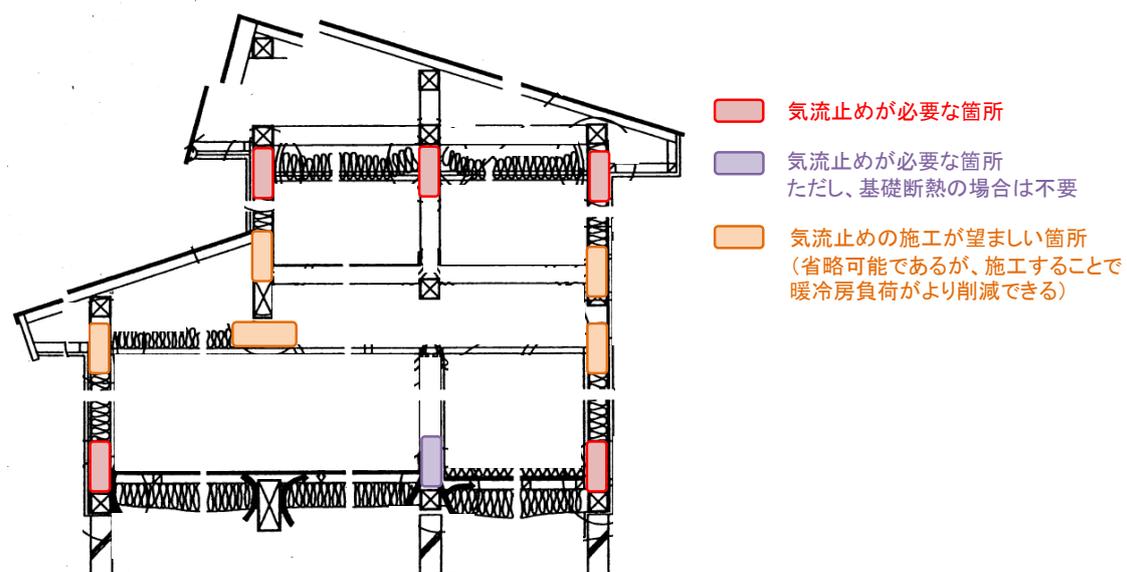


図 6-1 気流止めを施工する位置

気流止めの施工方法は以下による（図 6-2）。

◇ 壁体の下部の場合

床下からの施工では、根太等が障害となり壁体内部にグラスウールを挿入することができないため、室内側もしくは屋外側から壁の内装材等を撤去して気流止め材を挿入する。厚み 20~30 μ m 程度の袋入りグラスウールで、215mm 程度（430mm 程度の幅の製品を 2 つ折り）の奥行長さとし、壁の内寸+10~45 mm の挿入幅とする。

◇ 壁体の上部の場合

壁下部と同様に室内側もしくは屋外側から内装材等を撤去した上での施工ができるほか、小屋裏側からの施工も選択肢となる。小屋裏もしくは天井ふとりに施工に必要なスペースがあれば小屋裏側から施工する方法、それができない場合に仕上げ材を撤去する方法を採用することが考えられる。

小屋裏側から気流止めを施工する場合、壁内部に突出する釘が障害となり 60 mm 程度しか気流止めの奥行長さを確保できないことが考えられる。裸グラスウールでは 60 mm 程度の奥行長さでは有効開口面積 1cm²/m 以下の確保が難しい。厚み 20 μ m 程度の袋入りグラスウールで、壁の内寸+10~45 mm の挿入幅とし、最低 60 mm 程度の奥行きで挿入し、有効開口面積 1cm²/m 以下を確保する。

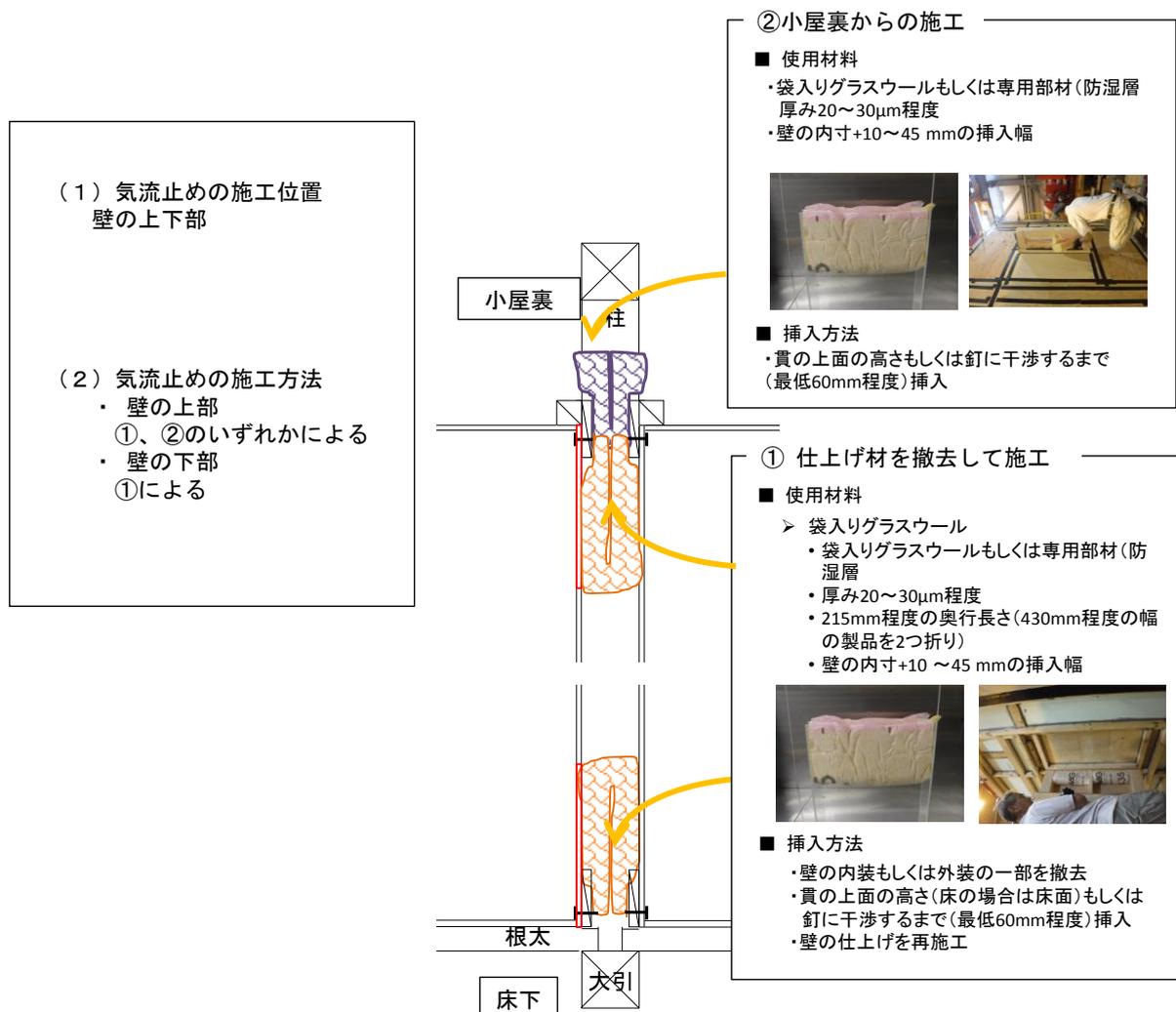


図 6-2 気流止めの施工方法について

6.2.2 と 6.2.3 では、暖冷房負荷を改修前から 20 %以上削減し、外壁の内部結露リスクを抑え、かつ小屋裏での結露発生を抑えることを条件に改修手法を提案するが、さらなる暖冷房負荷削減のため、床や天井への断熱材の追加、窓の改修をすることも考えられる。

6.2.2 北海道を対象とした改修手法の提案

改修手法の概要を表 6-2 に示す。

表 6-2 本研究で提案する改修手法一覧

(1)と(2)はいずれも実施する。		部分断熱区画化する場合においては、(1)、(2)に加え、(3)を実施する。
(1) 外壁・間仕切り壁	(2) 天井・小屋裏	(3) 断熱区画部位
<p>①～③のいずれかの防露対策を行うか、改修前に既に対策されていることを確認する</p> <p>① 外壁及び間仕切り壁への気流止め及び室内側の防湿・気密化</p> <p>② 外壁及び間仕切り壁への気流止め及び外張り付加断熱による既存断熱層の低温化抑制</p> <p>③ 外壁及び間仕切り壁への気流止め及び通気層設置による室外側への放湿</p>	<p>小屋裏換気の有効開口面積を確保及び天井面の防湿・気密化</p>	<p>非暖房室での結露防止のための気流止め、暖房室と非暖房室の境界部分の気密化等</p>

表中の(1)～(3)の詳細を以下に述べる。

(1) 外壁及び間仕切り壁の改修

内部結露リスクの低減と暖冷房負荷削減のための手法として、以下の3つが挙げられる。

① 外壁及び間仕切り壁への気流止めと室内側の防湿・気密化（図 6-3）

外壁及び間仕切り壁の気流止めを行う。外壁の内部結露のリスク低下させるため、以下の措置が必要となる。

- a. 外壁室内側への防湿フィルムの気密施工
- b. 外壁室内側へのビニルクロス（透湿抵抗 $0.0079 \text{ m}^2\text{sPa/ng}$ 以上）、隙間処理

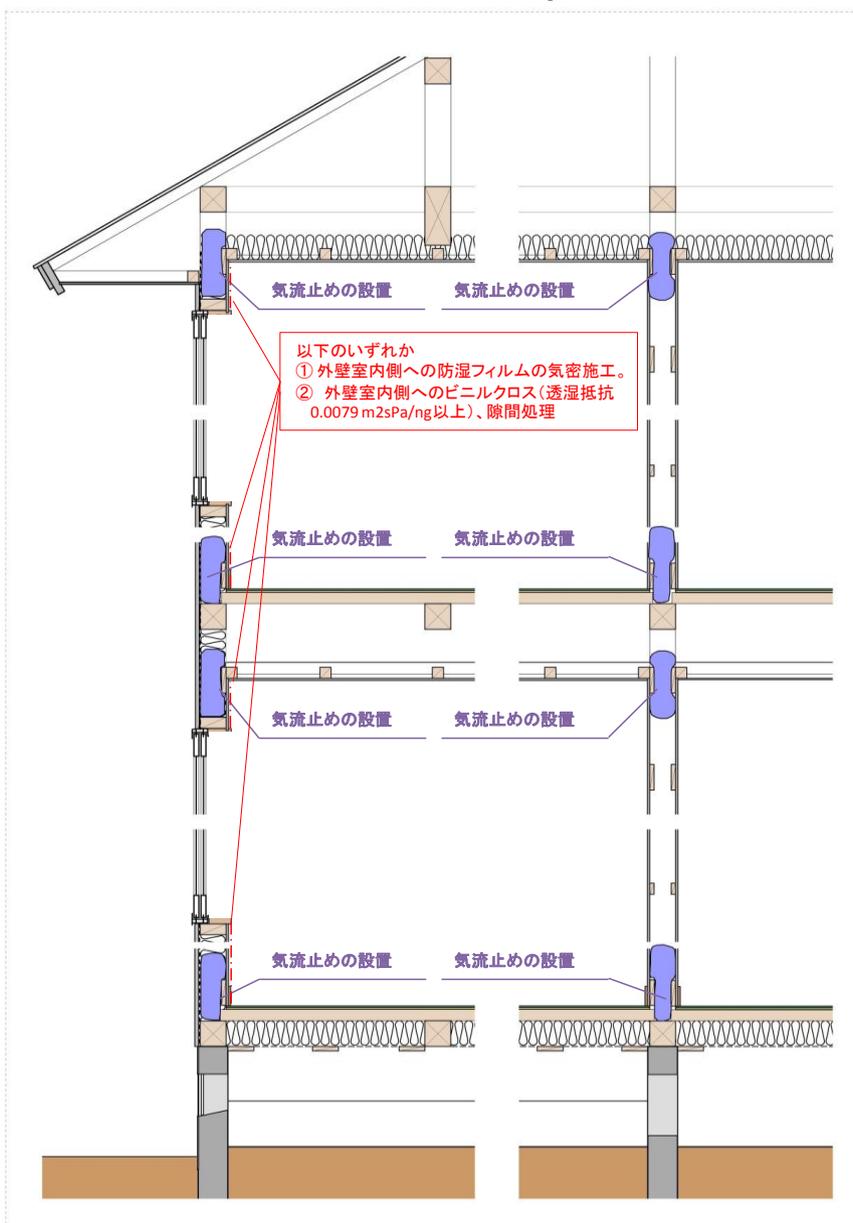


図 6-3 外壁及び間仕切り壁の気流止めと室内側の防湿・気密化

② 外張り付加断熱による既存断熱層の低温化抑制（図 6-4）

外壁及び間仕切り壁の気流止めを行う。さらに、既存の外装に外張断熱でグラスウールボード 32K 25mm 以上付加することで、既存断熱層の低温化を抑制し、内部結露を防止する。外張付加断熱層の内部結露を防止するために通気層を設置する。

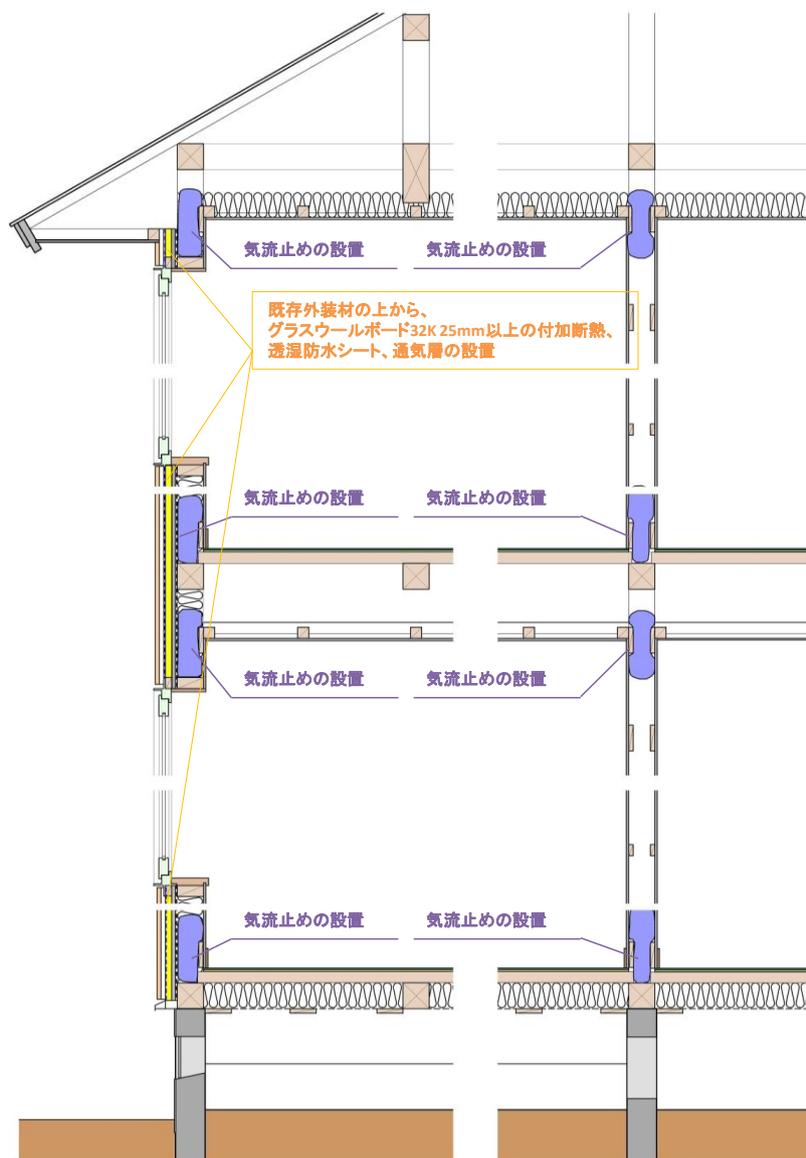


図 6-4 外壁及び間仕切り壁の気流止めと外張り断熱層と通気層の設置

③ 通気層の設置による外気側への放湿 (図 6-5)

外壁及び間仕切り壁の気流止めを行う。さらに、通気層設置によって断熱層の外気側へ放湿することで結露リスクを低減する。この場合、放湿性能を確保するため、断熱層の外側への合板の施工を避ける。

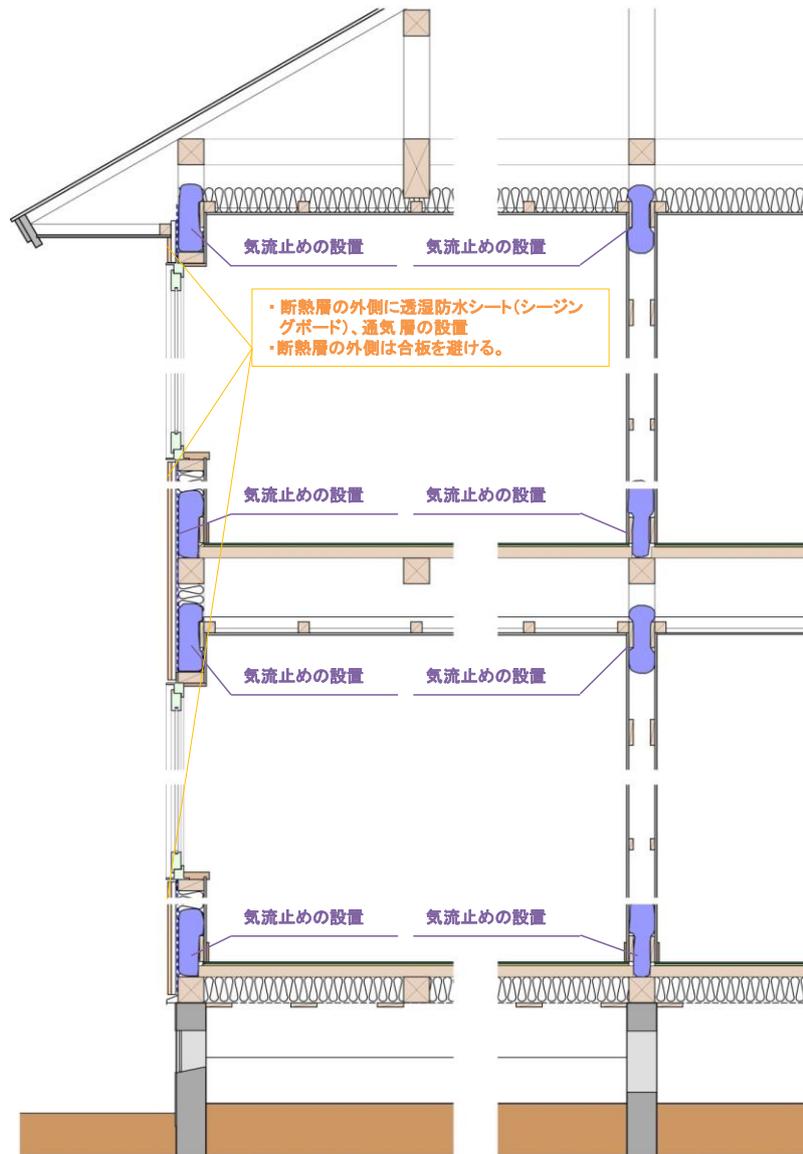


図 6-5 外壁及び間仕切り壁の気流止めと通気層の設置

(2) 天井・小屋裏の改修

気流止めの設置によって小屋裏の換気量が減り、小屋裏の野地板表面に結露が発生する可能性がある。これを防止するために、軒天換気面積を天井面積の1/250確保（住宅金融支援機構の木造工事標準仕様書相当）した上で、防湿フィルムもしくはビニルクロスにより天井防湿と天井の有効開口面積 $0.1\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以下とする。

(3) 断熱区画部位の改修

改修により暖冷房負荷をさらに削減し、改修コストを抑える手法として、部分断熱区画化がある。このとき、非暖房室における結露対策が必要となる。暖房室への第3種換気の導入による非暖房室での結露防止の可否を検討したところ、抑制効果はあるものの換気のみでの結露防止は難しく、気密化と組み合わせた対策が必要であった。

部分断熱区画化をする際は上記(1)（①～③いずれか）と(2)の手法により暖房室の結露対策を行うことに加え、非暖房室での結露を防止するため下表のいずれかの対策を行う。暖房室と階段室の間には気密性能が確保された建具の使用、1階天井には防湿フィルムやビニルクロスによる有効開口面積の低減が考えられる。

暖房室と階段室の間の有効開口面積 [cm ²]	1階天井の有効開口面積[cm ²]	換気方式	気流止め位置
20 [*]	20	第3種換気	1階壁の上下部
		第1種換気	1階壁の下部と2階壁の下部

※ JIS A4706 の気密性等級2～3の間に相当。

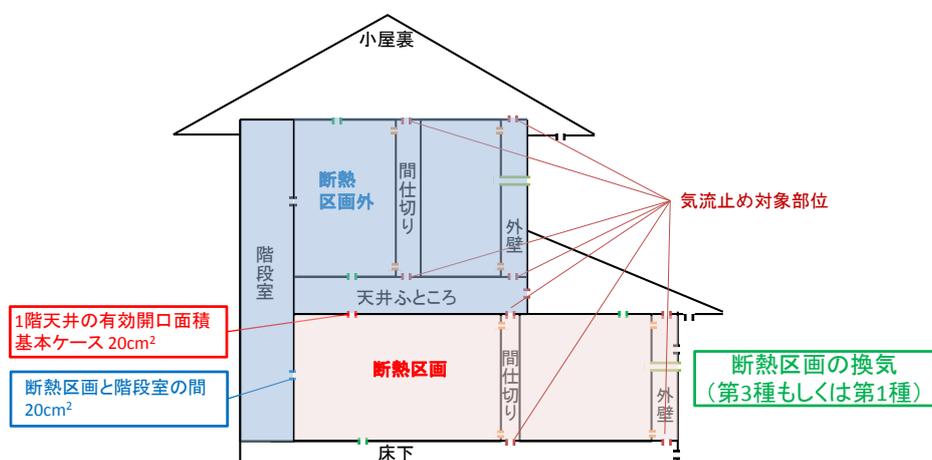


図 6-6 部分断熱区画化における非暖房室の結露対策

6.2.3 東京を対象とした改修手法の提案

改修手法の概要を表 6-3 に示す。

表 6-3 提案する改修手法一覧

(1) 外壁・間仕切り壁	(2) 天井・小屋裏	(3) 部分断熱区画化の際の結露対策
<p>①～④のいずれかの防露対策を行うか、改修前に既に対策されていることを確認する</p> <p>① 外壁及び間仕切り壁への気流止め及び室内側の防湿</p> <p>② 外壁及び間仕切り壁への気流止め及び外張り付加断熱による既存断熱層の低温化抑制</p> <p>③ 外壁及び間仕切り壁への気流止め及び防湿抵抗の高い断熱材の室内側への設置による防湿</p> <p>④ 外壁及び間仕切り壁への気流止め及び通気層設置による室外側への放湿</p>		<p>暖房室と非暖房室の境界部分を仕切る対策</p>

表中の(1)～(3)の詳細を以下に述べる。

(1) 外壁及び間仕切り壁の改修

暖冷房負荷と外壁の内部結露リスクの低減のための手法として、以下の4つが挙げられる。

① 外壁及び間仕切り壁への気流止めと室内側の防湿・気密化（図 6-7）

外壁及び間仕切り壁の気流止めを行う。外壁の内部結露のリスク低下させるため、以下の措置が必要となる。

- a. 良好な施工状態の袋入りグラスウールの付属の防湿外被材による気密化
- b. 外壁室内側へのビニルクロス（透湿抵抗 $0.0079 \text{ m}^2\text{sPa/ng}$ 以上）設置

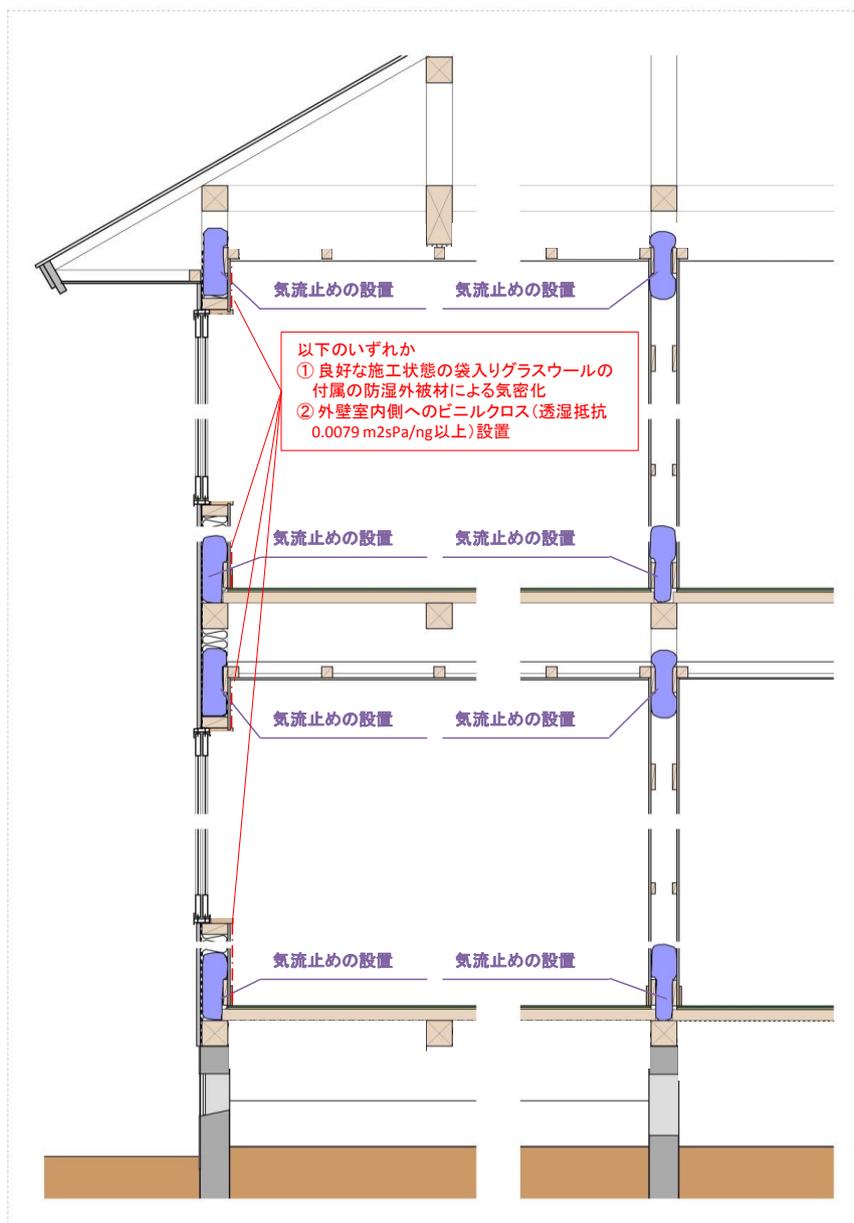


図 6-7 外壁及び間仕切り壁の気流止めと室内側の防湿・気密化

②外張り付加断熱による既存断熱層の低温化抑制（図 6-8）

外壁及び間仕切り壁の気流止めを行う。さらに、既存の外装に外張断熱でグラスウールボード 32K 25mm 以上付加することで、既存断熱層の低温化を抑制し、内部結露を防止する。外張付加断熱層の内部結露を防止するために通気層を設置する。

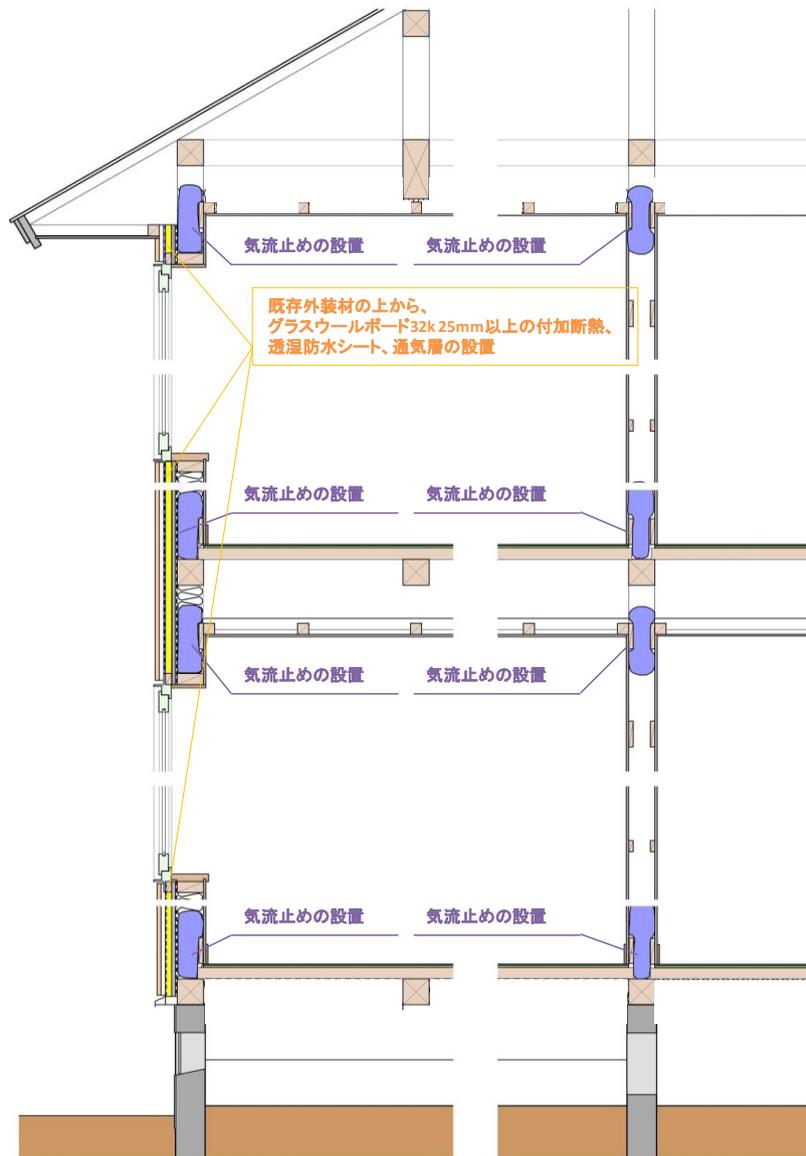


図 6-8 外壁及び間仕切り壁の気流止めと外張り断熱層と通気層の設置

③ 防湿抵抗の高い断熱材の室内側への設置による防湿（図 6-9）

外壁及び間仕切り壁の気流止めを行う。さらに、外壁の室内側に押出法ポリスチレンフォーム等の透湿抵抗が高い断熱材を付加することで、防湿する。

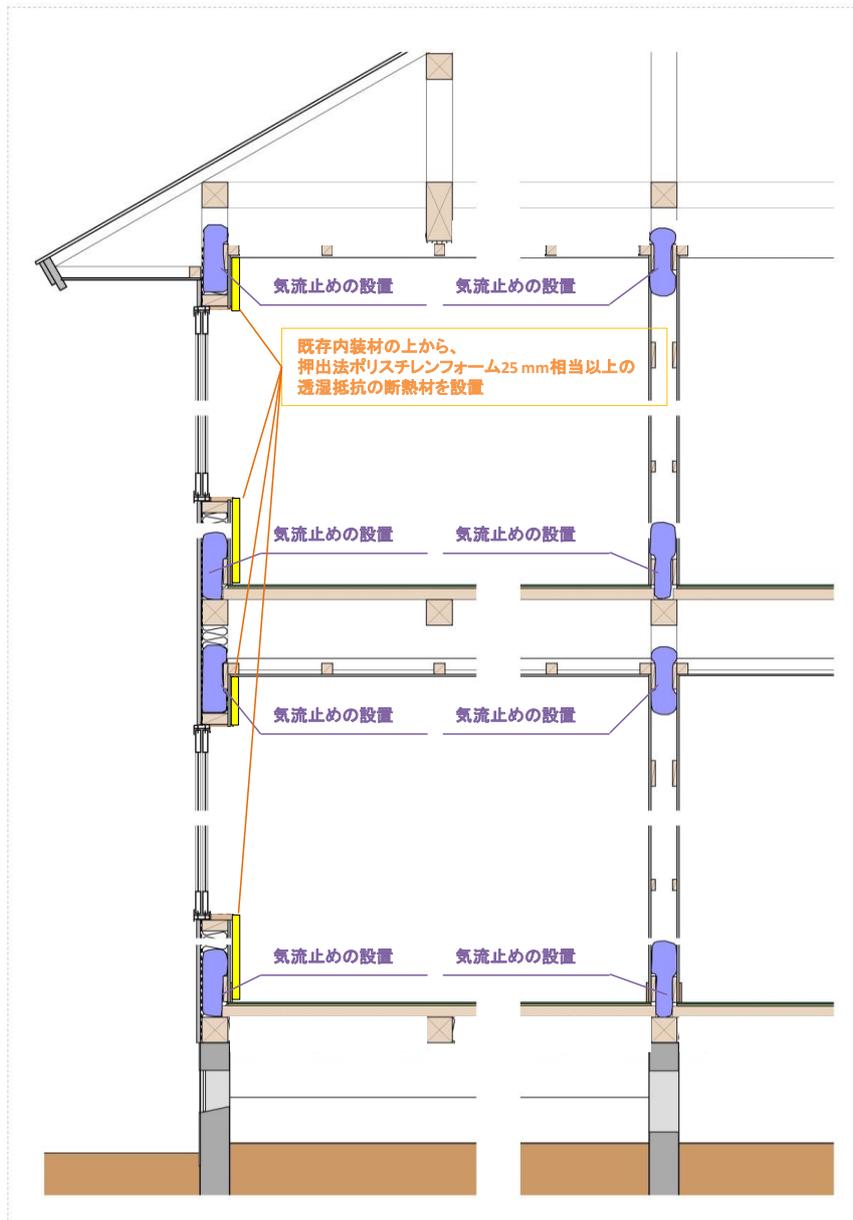


図 6-9 外壁及び間仕切り壁の気流止めと室内側への断熱材の設置

④ 通気層の設置による外気側への放湿（図 6-10）

外壁及び間仕切り壁の気流止めを行う。さらに、通気層設置によって断熱層の外気側へ放湿することで結露リスクを低減する。この場合、放湿性能を確保するため、断熱層の外側への合板の施工を避ける。

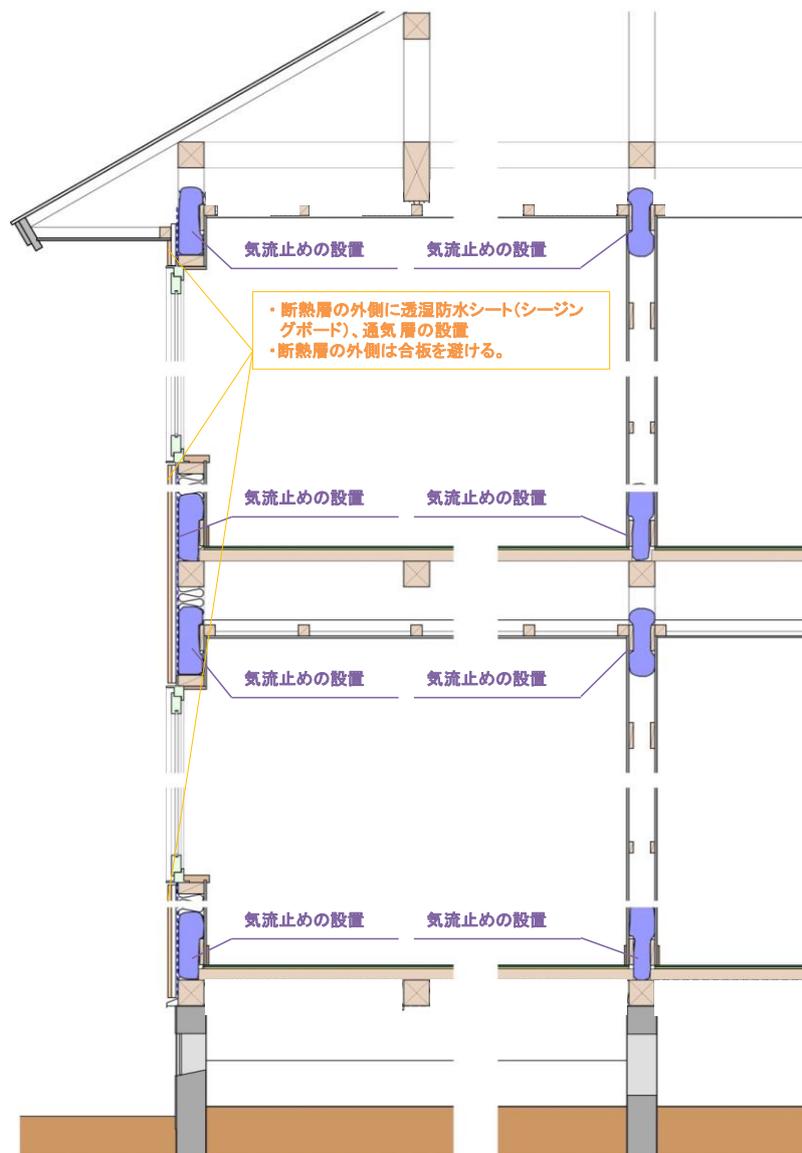


図 6-10 外壁及び間仕切り壁の気流止めと通気層の設置

(2) 天井・小屋裏の改修

北海道と異なり、東京では改修後の小屋裏における結露リスクが低いいため、改修前検査で既に被害が生じていなければ結露防止対策は不要である。

(3) 部分断熱区画化の際の結露防止

寒冷地と異なり、東京では改修後の非暖房室における結露リスクが低いために、非暖房室の結露防止のための対策は不要である。暖房室の結露防止対策は(1)による。

部分断熱区画化をする際は、暖房室と階段室等の非暖房室との間を、建具などで区画する。

【記号表】

A	: 壁面の面積[m ²]
q	: 熱損失[W]
H	: 相対湿度[%]
Q	: 風量[m ³ /s]
t	: 時刻
T	: 温度[K]
X	: 絶対湿度[kg/kgDA]
P	: 圧力
αA	: 有効開口面積 [cm ²]
Φ_0	: 材料の空隙率 [m ³ /m ³]
ρ_{ma}	: 空気密度 [kg/m ³]
κ	: 絶対湿度変化に対する水分容量[kg/m ³ /(kg/kgDA)]
ν	: 温度変化に対する水分容量[kg/m ³ /K]
v	: 空気速度[m/sec.]
λ'	: 水分伝導率[kg/m/sec/(kg/kgDA)]
λ	: 熱伝導率[W/(mK)]
c_p	: 材料の熱容量[J/(kg · K)]
r	: 水蒸気から液水への相変化熱 [J/kg]
$c_{\rho ma}$: 空気の定圧比熱[J/(kg · K)]
W	: 相変化水分量[kg/(m ³ · sec)]
k	: グラスウールの透気率[m ²]
g	: 重力加速度[鉛直方向-9.81 m/s ²]
μ_{ma}	: 空気の粘性係数