

# 既存住宅の省エネルギー改修に関する研究

環境研究グループ 上席研究員 桑沢 保夫

## 目次

- I はじめに
  - II 研究の背景
  - III 既存住宅の省エネルギー性能の診断
    - 1) ヒアリングの実施
    - 2) 建物の建設年代から推定
    - 3) 図面で判断
    - 4) 実況見分
  - IV 省エネルギー改修の施工性検証実験
    - 1) 改修実験用試験体の概要
    - 2) 実験概要
    - 3) 施工性検証実験
    - 4) 施工コストの試算
  - V 省エネルギー改修の性能検証実験
    - 1) 実験概要
    - 2) 気密性能の検証
    - 3) 断熱性能の検証
  - VI おわりに
- 参考文献

## I はじめに

現在、二酸化炭素排出量の削減は、あらゆる分野において大変重要な課題である。これに対し新築住宅に関しては、多くの省エネルギー手法が提案・実用化されるとともに、省エネルギー化を促進する法律も制定され、新しい住宅ほど省エネルギーに関する性能が上がってきているといえる。しかし、一方で既存住宅の省エネルギー化に関しては、その重要性が指摘されているにもかかわらず、なかなか進んでいないのが現状である。

そこで独立行政法人建築研究所では、既存住宅の省エネルギー性能診断手法の整理や、各種の省エネルギー改修に関して、その省エネルギー効果や居住環境の向上効果、また施工性・コストなどについて実験や調査を踏まえて検討してきたので、そ

の成果の一部について紹介する。

## II 研究の背景

地球温暖化防止は今や世界の大きな課題であり、日本も先進国としてこの問題に対応すべく、官民をあげて様々な取り組みを開始しているところである。日本においては、温室効果ガスの9割はエネルギー起源の二酸化炭素なので、温暖化防止対策は省エネルギーに換言されると言ってもよい。日本の場合、特に民生部門（業務用および家庭用のエネルギー消費に起因する部分）のエネルギー消費の増加が著しく、この部門の省エネルギーが喫緊の課題であることは間違いないところである。

こういった中で、新築住宅に関しては、多くの省エネルギー手法が提案・実用化されるとともに、省エネ法が強化されて、

全般的にみれば新しい住宅ほど省エネルギーに関する性能が上がっているといえる。しかし、一方で日本の4700万戸の住宅のうち、70%（3290万戸）は平成4年以前の断熱レベルの低い住宅であると言われている。したがって、既存住宅の省エネルギー化が重要な課題だが、なかなか進んでいないのが現状である。その理由としては、費用対効果を正当に提示できないために、消費者に断熱改修などの効果を十分に認識してもらえないことが一番大きいものと考えられる。例えば、断熱性・気密性を向上させる省エネルギー改修は、省エネルギー効果を高めるだけではなく、一般に温熱環境の改善にも大きな効果を発揮し、居住性を高めることになるが、こうした温熱環境の改善効果は、エネルギーコストなどのように数値で簡単に提示することができないため、発注者の理解をなかなか得られないケースが多い。

そこで、工務店や設計事務所に属する住宅生産の現場に直接携わることの多い建築実務者、すなわち必ずしも環境・設備計画分野の専門家ではない一般の住宅設計者に対して、既存住宅を省エネルギー改修するための実用的な技術情報を提供することを目的としたガイドラインの作成を目標に、独立行政法人建築研究所では、既存住宅の省エネルギー性能診断手法の整理を行うとともに、各種の省エネルギー改修に関して、その省エネルギー効果や居住環境の向上効果、また施工性・コストなどについて実験や調査を踏まえて検討してきた。

以下では、上記に示す検討してきた内容の中でも、既存住宅の省エネルギー性能の診断と、省エネルギー改修の施工性・コスト、改修による建物の熱性能への効果について示す。

### III 既存住宅の省エネルギー性能の診断

既存住宅を省エネルギー改修するにあたってはまず、その建物の性能診断を実施する必要がある。そこで、まずは実用的な診断方法について以下にまとめた。

#### 1) ヒアリングの実施

ヒアリングは、最も重要な事前確認のひとつと考えられる。この段階では、建て主の寒さ、暑さに関する日常生活の会話から、建物の問題点を特定することができる。例えば、ヒアリングで玄関が非常に寒いとの意見が有り、原因を確認したところ、上り框の下端が床下空間に直接つながっていたといったことがあった。これは、通常見えない部分であり建て主も気付かないことであるが、ヒアリングから特定できた改修のポイントであった。

また、日常生活において階段の上り下りで温度差を感じるこ

とや、夜間になっても2階が涼しくならないなど、様々な改修ポイントが明らかになる。さらに、生活のパターンなども話し合うことによって、部分改修が向いているか、全体改修が必要なのか、その方向性を確認することもできる。こうした情報は、後に見積を作成して減額案が必要になった際にも、改修メニューの優先順位を決定する重要な情報となる。

#### ■ヒアリング項目の例

##### ①家族構成

##### ②ライフステージ

- ・各部屋の使用状況（何年使うか等）
- ・子供達が家を出る時期

##### ③生活スタイル

- ・部屋ごとの在室時間
- ・暖冷房の使い方、機器の種類等
- ・洗濯物の部屋乾しの頻度
- ・換気扇の使用状況（浴室、トイレ、キッチン等）

##### ④温熱環境に対する感覚

- ・家族内での暑さ寒さに関する感覚
- ・暑さや寒さを感じる場所や時間帯
- ・ヒートショック対策の必要性

##### ⑤省エネルギーに関する関心

- ・エアコン、照明の消し忘れ
- ・エアコンの設定温度

#### 2) 建物の建設年代から推定

建設年代からその当時の平均的な住宅像をもとに、建物の断熱性や気密性を推定することができる。建物の質や性能は、建設年代が新しいほど向上している。対象建物の建設された年代の平均的な性能は、技術や建材開発の発展によるものの他に、法規や金融の融資条件（住宅仕様）、建設される地域などに影響され異なっている。

表1は、その手がかりとなる既存住宅の断熱性能に関する実態調査を平成11年省エネルギー基準における地域区分でIV地域について実施した結果である。調査物件数は多くないが、部位ごとの仕様（仕上材と断熱材）の大まかな傾向をつかむことができた。こうした情報を参考に現在までに設計もしくは施工してきた建物の主な仕様について、推定する方法もある。

#### 3) 図面で判断

建物の現況を調査する前に、図面などでその設計内容を確認することが重要である。図面として残されているものは、建物が古くなればなるほど少なくなるが、例えば、確認申請図書や見積図面（契約図面）などが残されている場合がある。事前に建て主に用意してもらい、仕上表や矩計図をみて断熱材の有無と種類、サッシとガラスの種類などを確認する。その図面から得られた情報を基に、建物全体の断熱性能を判断することができる。実際には、現場と図面と異なる場合があるため、あくまでも小屋裏や床下などの実況見分を省略することはできないが、事前に建物の性能を推定・診断する手法のひとつである。

また、調査で分かった断熱材の仕様を用いて、住宅の保温性能を示す熱損失係数（Q 値）を計算することができる。その結果から改修前の建物性能を推定することができる。

#### 4) 実況見分

改修手法を選択するにあたっては、設計図書のみでは情報が不十分なため、実況見分による状況の把握が重要である。本来、躯体の省エネ性能は適切な施工が為されることを前提として得られるものであるが、対象の改修物件が建築された当時、特に温暖地では断熱・防露施工に対する認識が薄く、表 2 に示す壁と床の取合いなどの施工状況を確認する必要がある。

床周りに関しては断熱材及び防湿層の有無に加え、壁との取合い部の隙間の有無を確認する。特に和室では畳を剥がすことによって取合いだけでなく、和室の畳下地板（荒板）の隙間の程度も確認することが出来る（図 2）。和室以外でも在来軸組工法の床では根太の乾燥収縮等によって巾木と床の取合いに隙間が生じており、これらの隙間を把握することは気密性能を向上させるうえで重要である。また、小屋裏や床下換気口の面積が住宅金融支援機構の仕様を満たしているか、地盤防湿は適切に行われているか等も、断熱改修後の耐久性を維持するうえで不可欠である。

壁に関しては、階間や小屋裏から断熱材の施工状況を確認することが勧められる。写真（図 3）のように防湿欠損がある場合は、改修後に換気の励行など内部結露防止のための対策が必要である。

階間については、断熱区画内である階間空間と下屋との取合いの処理を確認することが重要である。また、屋根の小屋裏換気口の有無は床下換気口と同様に住宅金融支援機構の仕様を目安とするが良い。

また、後から設置されたエアコンの配管工事の際に断熱材を

巻き込んだり、施工不良による断熱材の垂れや欠落等、部分的に断熱材が欠損していたりすることがある。断熱材が使用され始めたころは、居室に設置するといった考えから、押入れ上部や廊下、トイレなど居室以外の部分には、充填されていない場合もあるので、そのような点にも注意して確認する必要がある。

表 1 典型的な在来木造住宅モデルの仕様（IV地域） n=65

	1945～1981	1982～1991	1992～1998	1999～2003
屋根	和瓦	和瓦	コロニアル	洋瓦
天井	軟質繊維板	クロス	クロス	クロス
	GW10 K t=25	GW10 K t=50	GW10 K t=100	GW16 K t=160
外壁	ラスモタル・リシ	ラスモタル・リシ	サイディング	サイディング
	GW10 K t=50	GW10 K t=50	GW10 K t=100	GW16 K t=100
内壁	化粧合板	クロス	クロス	クロス
開口部	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ シングルガラス	アルミサッシ ペアガラス
	フローリング	フローリング	フローリング	フローリング
床	無断熱	XPS (1B) t=20	XPS (1B) t=50	XPS (3B) t=45

年代区分は、省エネルギー基準が制定・改定された年を参考に設定した。

表 2 実況見分が必要な部位の一覧

分類	部位	確認箇所
床	床	隙間の有無（和室は畳を剥がして取合い及び荒床を確認）
	床下	断熱材及び防湿層の有無 床下換気口の有無 木材の劣化・腐朽状況
	地盤	基礎形状（ベタ基礎か独立基礎） 地盤防湿等
壁	外壁	断熱材・防湿層の有無（床下及び階間空間より確認） 通気止めの有無（床下及び小屋裏空間より確認）
	間仕切壁	通気止めの有無（床下及び小屋裏空間より確認）
天井	階間	下屋取合いの断熱材・防湿層の有無（階間空間より確認）
	小屋裏	断熱材・防湿層の有無 木材の劣化・腐朽状況 小屋裏換気口の有無

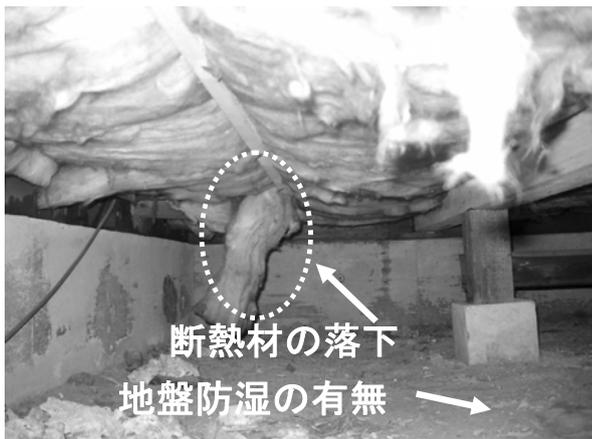


図1 床周りの実況見分の事例



図4 壁の実況見分の事例

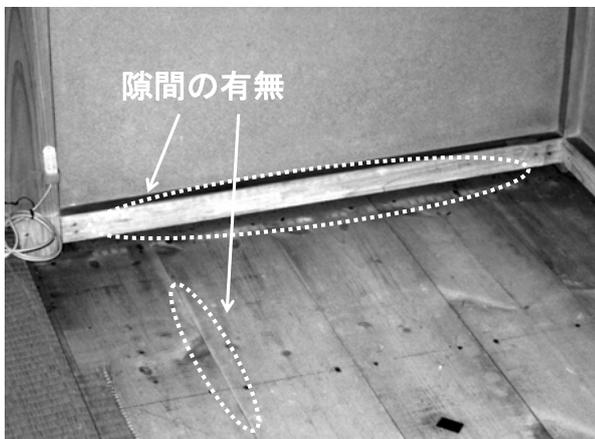


図2 床周りの実況見分の事例



図5 エアコン設置工事の際に生じた断熱欠損の例

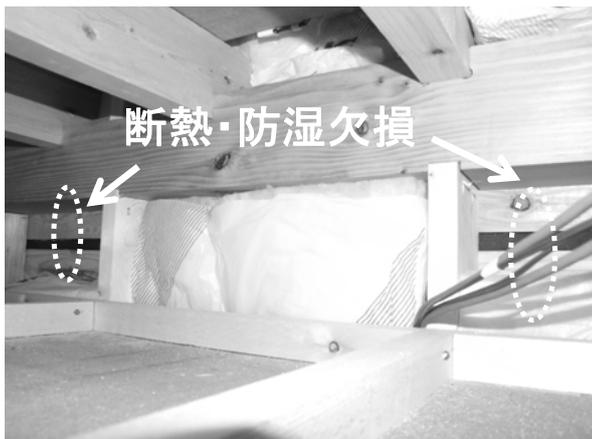


図3 壁の実況見分の事例



図6 挿入れ上部の断熱欠損の例

#### IV 省エネルギー改修の施工性検証実験

各種の省エネルギー改修に関して、まずはその施工性に関して検討するために、実験用の試験体を用いて実際に各種の改修を実施した。

##### 1) 改修実験用試験体の概要

試験体は、在来軸組みの木造住宅を模したもので概ね20年ほど前の建物仕様（断熱性能、内外仕上げ、基礎形状）を想定し、設計・施工されている。ただし、内装については実験を前提とした状態（合板をビス止め、若しくは、内装下地のまま）であるため、それらを考慮し実際の現場との関係を見据えながら検証を行うものとした。

基礎は、土間コンクリートとまさ土の2種類とした。（図12）これは、基礎の違いによる施工性、温湿度性状の変化等について検証するためである。そのため基礎の人通口は、異なる基礎が接する部分で押し出し法ポリスチレンフォームによって塞ぎそれぞれ区切られた状態とした。

表3 改修実験用試験体の基礎データ

所在地	茨城県つくば市建築研究所内（IV地域）	
建物規模	延床面積：134.98㎡ （1階：80.33㎡、2階：54.65㎡）	
仕上げ	外装	屋根：和瓦（北側下屋根板金）、 外壁：ラスモルタル
	主な内装（LDK）	床：フローリング t=12mm 壁：ラワン合板 t=5.5mm 天井：ラワン合板 t=5.5mm （キッチンのみ プラスタボード t=9.5mm）
	基礎	土間コンクリート：LD 西側、廊下、水廻り まさ土敷き：LD 東側、和室、キッチン
断熱仕様	外壁：グラスウール10k t=50mm、 サッシ：アルミサッシ・ シングルガラス（パッキン加工）	

##### 2) 実験概要

###### ① 施工性検証の視点

施工性検証では、部位毎に異なる改修手法によって断熱材を施工し、それぞれの特徴を把握することを目的とした。また、設計者や施工者がユーザーに対して最適な改修手法を提案するための情報を整理すると共に、性能検証の実施に向けて実験棟に適した手法を調査することとした。

###### ② 施工性検証のポイント

実験における主な検証ポイントは、施工手間（作業性、断熱材の設置状況、作業時間と人数、その他）の実態把握と、そこから求められる歩掛りの検討、コスト試算である。

・施工手間の検証では、作業状況の確認（搬入の容易性、断熱材の切断や設置の容易性、ズレ・たるみ・隙間の有無、落下防止材・枠廻り材の設置状況など）、作業工程（各工種に要する時間と人工）、専門的な技術・資格等を要するか否かを確認した。

・歩掛りの検証では、施工実験における労務量や作業効率を元に各改修手法の参考歩掛りを試算した。また、使用した材料費、施工手間から算出した歩掛り、人工賃等から施工コスト（㎡単価）の試算を行った。

・その他として、解体時の分別容易性（復旧する際に確認）、リサイクル性（リサイクル材、リサイクルできる材質、その他）、ノンフロン材、室内空気質関連の表示（F☆☆☆☆）を確認し、また現場の工事進捗に応じて起こる課題を記録した。

###### ③ 施工者の選択

確実な現場検証を実施するためには、事前に施工の流れや注意点について、ヒアリングによる確認が不可欠である。さらに、手本となる施工現場を収録する必要があるため経験が豊富な断熱専門業者による施工を原則とした。ただし、断熱専門業者の施工可能な範囲が限られるため、サッシの枠廻りや木下地などの木工事が発生する改修メニューは工務店による施工とし、現場での作業状況に差が生じないように、施工者は常に同様の業者とした。

###### ④ 施工時のチェックリスト

施工性検証実験を行う際に、監理者の視点に差異が無く前述の検証ポイントを監理し各手法毎に比較検討するため、チェックリストを作成し必要なデータを現場で記録した。

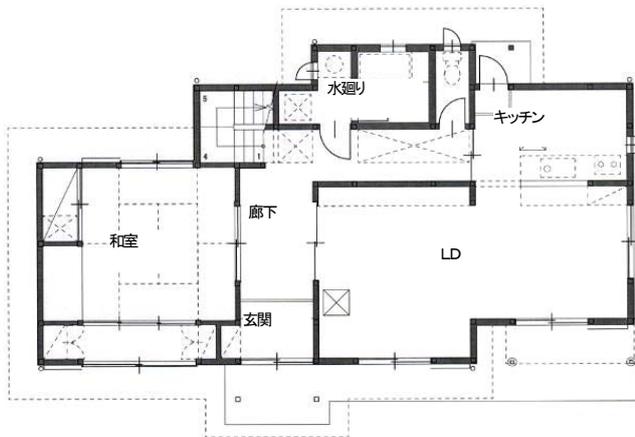


図7 1階平面図



図8 2階平面図



図9 外観写真(南・東面)



図10 外観写真(北・西面)



図11 内観写真(LD)

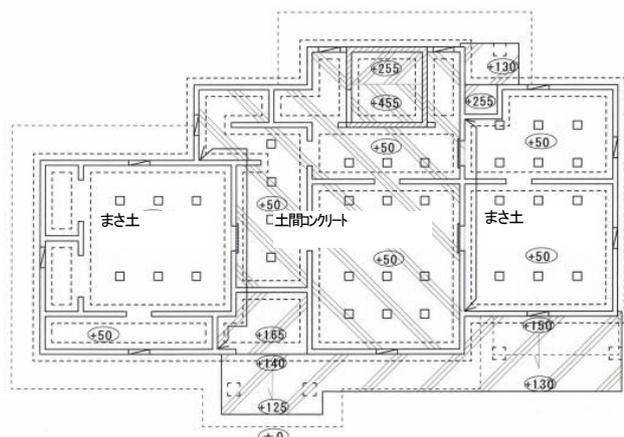


図12 基礎伏図

### 3) 施工性検証実験

#### ① 施工性検証実験のメニュー

施工性検証実験を実施する工法は、既往調査における断熱改修メニューの中から、実験棟で施工可能なメニューを絞り込んだ。その際、基本的な方針として、新築時と同様の施工状況となる改修工法は除外した。また、実務の現場で実績のある工法も考慮に入れ検討を行った。

上記検討により、実験棟での改修メニューを表4の通りとした。断熱専門業者により①②間仕切壁・外壁の上端部気流止め③床下断熱材充填⑥階間断熱材敷込み工事を、工務店により④外壁・間仕切壁の断熱材張付け⑤階間断熱材張上げを、サッシ業社により⑦開口部ガラス交換の施工を行った。

施工箇所は、実験棟のLD、及びキッチンを対象とし部分断熱改修の実施とした。気流止めの施工については建物全体を対象とした実験を行った。

#### ② 気流止め施工実験

床下から外壁及び間仕切壁下部にグラスウール（以下 GW）10K50mm を 450mm 程度の長さにカットして挿入した。土台と根太の隙間や根太間の隙間（約 50mm）から挿入する際、間柱が障害となり挿入し難い部位があった。特に和室は、畳の厚さ分だけ根太の設置高さが一般のフローリングより下がるため、根太と土台が平行に設置されている壁際は、土台との隙間が15mm程しかなく挿入し難い状況であった。施工が困難な部位は見られたが、予定範囲は全て設置し、延べ人数 9 人の作業員で総延長 69.1m を 3 時間 55 分で完了した。机上では予定していなかった施工部位として、和室の畳下地の荒板と敷居下端の隙間（約 30mm）や階段の側板と壁の隙間があげられる。

小屋裏から外壁及び間仕切壁上部に挿入した気流止めは、現場製作の圧縮 GW である。高性能 GW16K150mm (395×430) をビニル袋に詰め、掃除機で袋の中の空気を吸引し作成する製品である。圧縮された状態で間柱間（約 420 mm）に挿入し、袋に傷

を付けて再び膨張し固定される。設置にかかる手間は非常に少なく効率的であったが、一連の製作作業にかかる時間は、小屋裏で挿入する作業よりも手間となった。ただし、実務の現場では、間柱間隔が一定でない可能性があるため、現場で採寸しその場で製作できるメリット（隙間無く挿入できること）は重要であった。小屋裏での作業性は良く施工が困難な部位も無かったため、延べ人数 9 人の作業員で総延長 79.7m を 3 時間 25 分で完了した。

床下の気流止めを挿入する隙間は、根太の設置方向や、根太と間柱の位置関係によって変化するため、柔軟性のあるグラスウールを裁断して丸めた部材は、作業がしやすく、細かな隙間を塞ぐことができた。ただし、指が入らないほど狭い場所には、補助的に現場発泡ウレタン等を充填する必要がある。小屋裏に使用した圧縮 GW は、床下よりも施工性が良く短時間で完了したが、製作にかかる時間の短縮が課題となった。

下屋廻りについても施工実験を行ったが、

表4 施工性検証実験のメニュー

部位	実験改修手法	使用した断熱材
間仕切壁、外壁の上下端部 (小屋裏、床下)	①床下から気流止めを設置する。	①-1:グラスウール 10K 50mm サイズ 430×1370 壁用 →450mm 程度にカットし挿入
	②小屋裏から気流止めを設置する。	②-1:圧縮グラスウール 高性能 16K 150mm サイズ 390×430 →専用のビニル袋に入れて、掃除機で空気を抜き取り圧縮、挿入後にビニル袋を一部カットし膨張させる
床	③床はそのまま、床下から断熱材を充填する。	③-1:グラスウールボード 32K 80mm サイズ 263×910 切欠き 60mm →既製品サイズのまま挿入
		③-2:押し出し法ポリスチレンフォーム 30mm(根太間)+30mm(大引間)、サイズ 914×1824 →根太、大引間寸法に現にてカットし設置
		③-3:押し出し法ポリスチレンフォーム 30mm+30mm/2枚重ね(大引間)、サイズ 914×1824/ →大引間寸法に現にてカットし、2枚張り合わせた状態で設置
外壁、間仕切壁	④内装材を下地として、その上から断熱材を張付ける。	④-1:押し出し法ポリスチレンフォーム 20mm サイズ 914×1824 →壁の寸法(割付)に応じてカットし設置
階間	⑤天井材を下地として室内側から断熱材を張上げる。	⑤-1:押し出し法ポリスチレンフォーム 20mm サイズ 914×1824 →天井の寸法(割付)に応じてカットし設置
	⑥天井に開口(450×450)を開け断熱材を挿入し、敷設する。	⑥-1:グラスウール 16K 100mm サイズ 430×1370 壁用 →既成品サイズのまま挿入
開口部	⑦既存ガラスをアタッチメント付きペアガラスに交換する。	⑦-1:アタッチメント付きペアガラス 3mm+A6mm+3mm

階間に通じる下がり壁部分の封鎖や外壁（桁下）への挿入など、作業空間が狭く非常に困難な施工部位であった。実務の現場では設置できない個所がでてくる可能性が高い。また、床下や小屋裏は、床下収納庫や押入の天井から進入することができるが、下屋廻りは天井に点検口等が無い場合、進入口を開ける必要があるため、断熱工事だけの単独工事ではなくなる。進入口の復旧やクロスや張替えなどが発生するため、水廻りの修繕などの道連れ工事として実施される部位と考えられる。



図 15 階段の側板に挿入

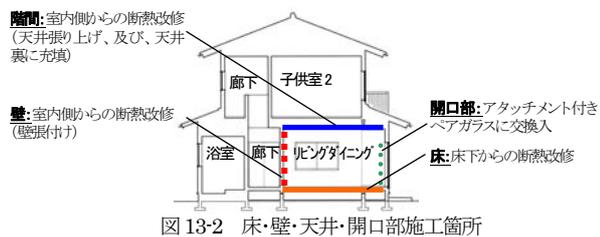
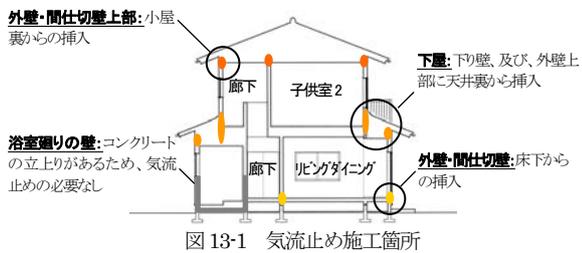


図 16 圧縮 GW の製作



図 14 床下の気流止め



図 17 小屋裏の気流止め

### ③ 床下断熱改修施工実験

床下からGWボードを充填する改修工法は、事例の多い工法である。断熱材の設置状況は、特に隙間等の問題も無く順調に施工することができた。GWボードは、根太間充填用に切欠き付きでプレカットされているため、定尺の部分は、現場での加工が無く、廃棄物の量は最小限に抑えられた。また、柔軟性のある材質のため、少々きつめでも根太間に押し込むことができ、かつ、狭小部や配管廻りなどでも隙間無く充填することが可能であった。

断熱材の支持方法は、新築時に床上から設置する金物を使用したため、現場で2次加工する必要があった。また、金物にビスを通し仰向けの状態で取り付ける作業に問題があり時間のロスに繋がった。そこで、作業時間の短縮と固定の簡略化を考慮して実験の途中から梱包用のPPバンドによる支持を試行した。PPバンドの場合は、タッカーを利用して留めつけるため、仰向けの状態でも作業性は良く一度に複数の根太下に固定することができ効率的であった。床下断熱改修は、延べ人数8人の作業員で総面積34.8㎡を5時間20分で完了した。

床下断熱改修の課題は、断熱材の固定方法であった。通常は支持金物の他、長ビスやくぎ、栈木を使用するが、今回試行したPPバンドは支持方法のひとつとして有効であることを確認できた。改修専用の部材として、バンド状の製品の検討も必要と考えられる。また、部屋の壁際などで根太の間隔が一定でない場合、床下での採寸と加工場への伝達が行われた。採寸、伝達、加工、搬入の一連の作業で伝達ミスによる寸法間違い等が発生し時間のロスを生じた。そこで、断熱材を設置する前に、作業員全員で床下のサイズを採寸した後、定尺部分を先行的に設置し、その間に不定形部分の加工を進める手順の方が、より効率的な施工が可能になると考えられる。

### ④ 開口部改修施工実験

アタッチメントによるペアガラス化は、通常のガラス交換と同等であるため、施工上の問題は特になかった。ただし、既存サッシの障子にはめ込む際に、溝に入り難い箇所があった(採寸した寸法の問題)。また、アタッチメントガラス(FL3+A6+FL3)設置に伴う荷重増加によるサッシへの負荷についても、既存サッシが網入りガラス $t=6.8\text{mm}$ に対応できる製品であったため問題にはならなかった。また、実験ではパッキンの取替えは行わなかった。延べ人数2人の作業員で4ヶ所のガラス交換を2時間で完了した。



図18 根太間への断熱材挿入



図19 PPバンドによる支持

アタッチメントガラスを設置する場合、網戸との取り合いを確認する必要がある。実験ではアタッチメントと網戸が干渉しなかったため空気層を6mm取れたが、既存サッシに緩衝する場合は空気層を5mmに変更し設置する必要がある。また、アタッチメント部分によって、上下左右共に20mmほど有効開口面積が狭くなるのがデメリットであった。



図20 サッシ障子の分解



図21 施工後のサッシ

表5 実験結果による参考歩掛り

	作業人数	延長面積	労務量 作業時間	作業率	参考歩掛り	備考
床下: 気流止め 工事	6人	41.9m	2時間25分	17.3m/h	0.043	外壁廻り
	3人	27.2m	1時間30分	18.1m/h	0.021	間仕切 壁廻り
小屋裏: 気流止め 工事	6人	44.6m	1時間50分	24.3m/h	0.031	外壁廻り
	3人	35.1m	1時間35分	22.1m/h	0.017	間仕切 壁廻り
床下: GWボード 充填工事	4人	15.0㎡	3時間20分	4.1㎡/h	0.122	金物 固定
	4人	19.8㎡	2時間00分	10㎡/h	0.050	PPバンド 固定
開口部: アタッチメント 工事	2人	4ヶ所	2時間00分	2ヶ所/h	0.125	掃出し2 ヶ所、窓 台2ヶ所

#### 4) 施工コストの試算

##### ① 歩掛りの検討

施工性検証実験の結果から手法毎の特徴を把握すると共に、実験における労務量や作業率を元に断熱改修工事の参考歩掛りを検討した(表5)。歩掛りは、実験の作業人数と労務量から導いた作業率を1日当たり(8時間)の作業量に換算し、その値を施工人数で割り1人当たりの1日の作業量を求め、各単位当たりの値を算出した。この係数を原単位として、施工者は改修工事の工程計画や見積りを行うことができる。例えば、手法毎の参考歩掛りに労務費を掛けることにより、工事単価を簡易的に算出することが可能である。ただし、断熱改修の場合は、根拠となる作業率が、工事の慣れなどによって異なる可能性がある。例えば、経験の少ない工務店が同じ作業をした場合、今回と同様の成果が得られないことは予測できる。また、床下の気流止めの工事からも、作業人数の違いで外壁廻りの方が非効率であることが分かる。従って、今後の課題は、前提条件や係数などが、実務の現場と乖離が無いのか、引き続き検証することが不可欠である。

#### V 省エネルギー改修の性能検証実験

次に各種の省エネルギー改修に関して、その性能をを検討するために、施工性検証実験と同じ試験体を用いて実際に各種の改修を実施し効果を測定した。

##### 1) 実験概要

夏季に初期性能を測定した後、中間期に施工性を検証する実験を実施してから一旦初期状態に復旧、冬季に再び初期性能を測定し、再度各部位の順に改修を行って、そのたびに性能を確認する手順とした。

対象とする改修手法としては、床下からの気流止め(全体)、小屋裏からの気流止め(全体)、床断熱(GW32K80mm(ボード状切欠き加工品)根太間:LDKのみ)、階間空間への断熱材敷設(LDKのみ)、開口部のガラス交換(LDK)と、間仕切り壁への発泡ビーズ吹き込み(LDKのみ)を性能検証のための改修手法として選択し、順に施工していく途中で気密性能、熱性能などについて測定した。また、気密性能に関しては施工性検証実験として実施した気流止め改修の合間にも測定を実施した。

##### 2) 気密性能の検証

###### ① 測定方法

測定は、表6に示す改修段階において行った。また、測定部

位としては、住宅全体のほか、LDK、和室等の部屋ごと、さらに壁と床もしくは天井の接合部などの個別部位も対象とした。なお、部屋ごとの気密性能測定の際には隣室等への開口部をシールして行い、個別部位の場合には対象部位だけを養生テープで覆って行った。測定では、内部の圧力を外気に対し-10～-50Paとなる様に送風機のファンの回転数をファン用インバーターにて制御し、その時の試験棟内外差圧と通気量等を記録した。測定した各差圧と通気量の対数プロットの最小二乗法により回帰直線を求め、総相当隙間面積 $\alpha A$  (cm<sup>2</sup>)と隙間特性値 $n$ を求めた。なお、住宅全体の場合には5回、部屋ごとの場合には3回の測定を行い、その平均値を測定値とした。なお、隙間特性値 $n$ は、いずれも1.5～1.7程度であった。

表6 気密性能測定時期

改修段階	測定日
改修前（夏季初期状態）	2006.8.6 - 12
気流止め施工中および施工後	2006.8.22 - 25
復帰後（冬季初期状態）	2007.1.12 - 14
気流止め施工後	2007.1.19 - 22
LDKの床断熱・窓ガラス交換後	2007.3.7 - 9
LDKの間仕切り・天井断熱後	2007.3.10 - 15

## ② 測定結果および考察

### ・性能検証実験時の気密性能の変化（部屋ごと）

図22に性能検証実験時の各改修段階における、部屋ごとの相当隙間面積の変化を示す。夏季初期状態と冬季初期状態を比較すると一気に相当隙間面積が増加しているが、これは木巾と床の隙間が夏季にはほとんど無かったものが、冬季には大きく広がっているなどの点から、使用されていた木材の乾燥による収縮が大きく影響していると考えられる。ほかには、その間に行われた改修施工実験により少しずつ隙間が広げられた可能性もある。

その後の改修では、通気止め実施後にはどの部屋でも相当隙間面積が減少した。特に和室での気密性能の変化が大きく、和室の壁と床もしくは天井の接合部位などにすき間の大きかったことがうかがわれる。

床断熱とガラス交換の施工後には、LDKの相当隙間面積の増加がみられるが、これはガラス交換に伴い窓周辺の隙間が増加したことが大きな要因と考えられる。

### ・性能検証実験時の気密性能の変化（LDKの部位ごと）

図23に性能検証実験時の各改修段階における、LDKの部位ごとの相当隙間面積の変化を示す。外壁および間仕切り壁の廻り縁と天井下地の隙間が特に大きい。床断熱とガラス交換の施工後には、窓の相当隙間面積が増加しており、LDKの相当隙間面積の増加の原因と考えられる。エアコンについては、その取り付けにあたって冷媒管を通すための開口をエアコンの背後の壁面に開けたが2箇所エアコンのどちらも15～20cm<sup>2</sup>程度の相当隙間面積であり、無視できない隙間のあることがわかった。

## ③ 施工性検証実験時の気密性能の効果

図24に施工性検証実験の気流止め施工の各段階における住宅全体の相当隙間面積の変化を示す。あらかじめ別に測定した開口部の相当隙間面積、2階の天井や1階和室の畳などの気流止めに影響されない躯体の相当隙間面積、壁目地などの壁仕上げを施すことによって気密化される相当隙間面積も同時に示す。また、床下換気口および土台と基礎の間にある隙間を目張りした結果も同時に示す。図から、気流止め施工の範囲を広げていくに従って、徐々に気密性の高まっていく様子がわかる。特に和室の妻部分への気流止めの効果が最も大きく、次には間仕切り壁への気流止めが効果を有していた。気流止め施工をすべて実施した後は、壁と天井や壁と床の接合部位やコンセントボックスなどの気流止めにより気密化されると考えられる隙間は、残された相当隙間面積の半分以下となっているが、通常は壁紙などで仕上げられた際に気密化される壁目地などを除くと、残された隙間の中で、その比率はまだ大きい。

木造戸建て住宅の断熱改修を実験住宅で実際に実施し、その際の気密性能の変化を測定した。その結果床下と小屋裏からの気流止めによる気密性能向上への効果の度合いを示したほか、乾燥に伴う木材自身の収縮によるとみられる隙間の増大が大きいこと、廻り縁と天井下地の間の隙間が大きいこと、窓ガラスの交換により隙間の増大することがあるといった点などがわかった。

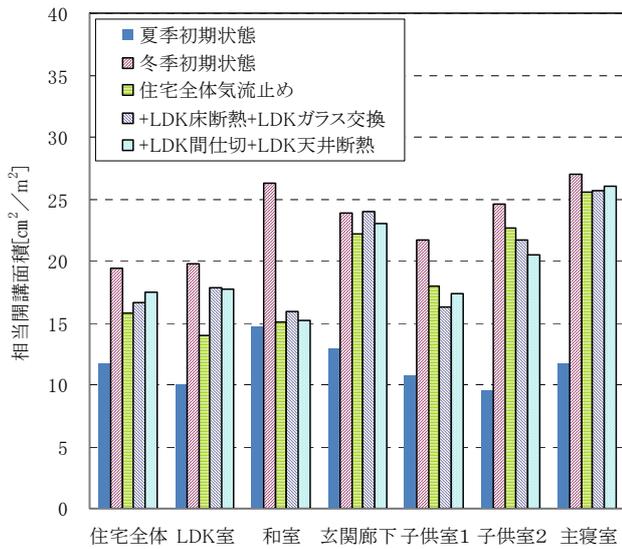


図 22 性能検証実験時の相当隙間面積の変化 (部屋ごと)

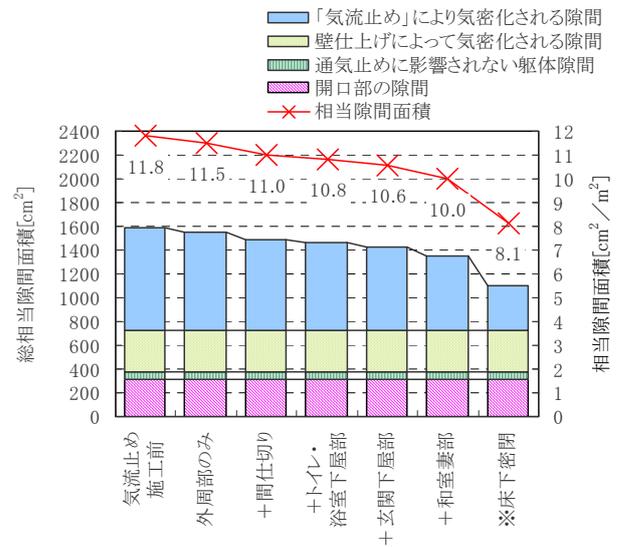


図 24 施工検証実験時の相当隙間面積の変化

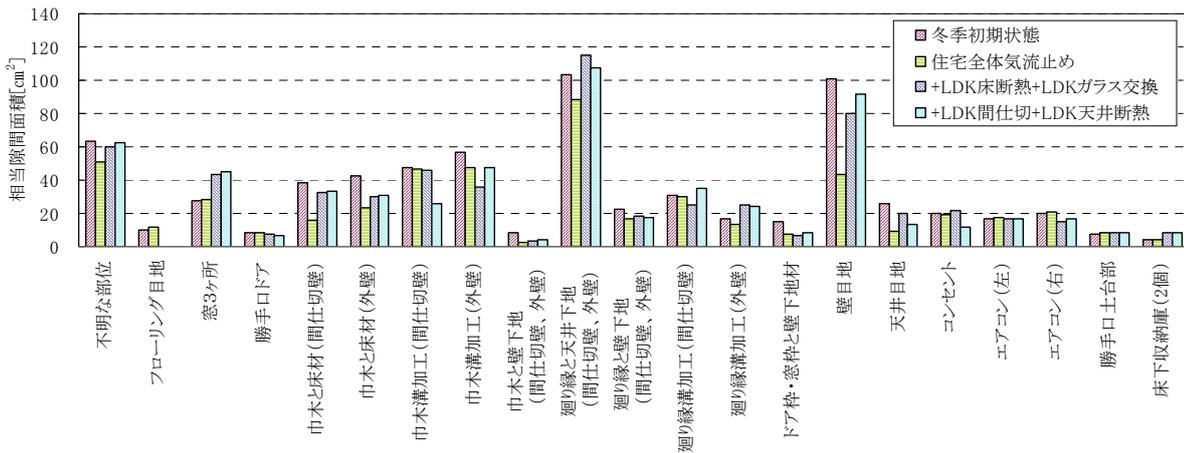


図 23 性能検証実験時の相当隙間面積の変化 (LDK の部位ごと)

### 3) 断熱性能の検証

#### ① 測定対象とする改修手法

表 4 に示した断熱改修手法のうち

- ①-1 (床下からの気流止め：全体)、
- ②-1 (小屋裏からの気流止め：全体)、
- ③-1 (床断熱、GWボード 32k80 mm根太間：LDK のみ)、
- ⑥-1 (階間空間への断熱材敷設：LDK のみ)、
- ⑦-1 (開口部のガラス交換：3-A6-3)：LDK のみ)

と、そのほかに

間仕切り壁への発泡ビーズ吹き込み (LDK のみ)

を断熱改修手法として選択し、順次施工しながら熱性能 (熱損失係数) について測定した。

#### ② 測定概要

Q 値の実測評価を表 7 に示す改修状況において実施した。本実測評価による Q 値の同定に必要な測定項目は、外気温、水平面 SAT 温度、室温 (グローブ温度)、消費電力の 4 項目である。室温は各室で測定し、それらを気積で加重平均し同定用の 1 個の室温とする。温度データの測定インターバルは 10 分間隔、消費電力データは 1 分間隔である。電気ヒーターにより一定熱量の内部発熱を測定期間中継続し、住宅内が均一な温度分布にな

るように同時にファンで室内空気の攪拌を実施した。なお、開口部のカーテンは閉じた状態である。測定状況を図 25 に示す。

### ③ Q 値の同定方法

本実測で用いた Q 値の同定方法は、松尾の濾波法<sup>1), 2)</sup>である。この方法は、(1)式で与えられる予測室温と実測室温の平均誤差が最少になる様に、式中の未定係数を定める方法である。未定係数が定まれば、Q 値は(2)式によって与えられる。本同定では SAT は水平面だけを用いたので、(1)式における方位数は 1 である。

$$\begin{aligned} \theta_{R,n} - r\theta_{R,o} = & \phi_o (\theta_{o,n} - r^n \theta) + \phi_i \sum \theta_{o,n-j} r^{j-1} \\ & + \sum a_k \left\{ \phi_o (\Delta\theta_{k,n} - r^n \Delta\theta_{k,o}) + \phi_i \sum \Delta\theta_{k,n-j} r^{j-1} \right\} \\ & + (b_o - br) H_n + br(1-r) \sum H_{n-j} r^{j-1} \end{aligned} \quad (1)$$

$$Q = 1 / (b_o \cdot S) \quad (2)$$

記号

$\theta_{Ri}$  : i 時の室温 (°C)

$r, a_k, b_o, b$  : 未定係数

$\theta_{oi}$  : i 時の外気温 (°C)

$\Delta\theta_{ki}$  : i 時の(SAT)<sub>k</sub>- $\theta_o$  (°C) (kが外面方向の場合)

Q : 熱損失係数 (W/m<sup>2</sup>K)

S : 延床面積 (m<sup>2</sup>)

$\phi_o = 1 - \{1 / \lambda \Delta t(1-r)\}$

$\phi_i = 1 / \lambda \Delta t(1-r)^2$

### ④ 測定結果および考察

表 7 に示した測定 1 の測定結果と同定状況を図 26 と図 27 に示す。図 28 と図 29 は測定 3 に対する結果である。図 27 と図 29 において、 $\Delta Q$  は同定した Q 値の信頼性に関わる指標であり、 $\Delta Q$  が小さいほど同定値の信頼性が高いことを示している。通気止め施工前冬季初期状態の測定では、 $\Delta Q$  は発熱開始後 55 時間後に最小値 (0.403W/m<sup>2</sup>・K) を取るので、その時点の Q 値 (3.491W/m<sup>2</sup>・K) を同定値とした。同様に気流止め施工後の測定では  $\Delta Q$  は発熱開始後 32 時間後に最小値 (0.004W/m<sup>2</sup>・K) を取るので、その時点の Q 値 (3.330W/m<sup>2</sup>・K) を同定値とした。表 28 に全ての測定結果をまとめて示す。

上記測定 1 と測定 3 の結果から気流止めによる実験住宅の断熱性の向上は Q 値で 0.16 [W/m<sup>2</sup>K]、5%向上した。測定 1 (冬

季初期状態)での気密性能 C 値は 19.4、住宅全体気流止め施工後の測定 3 時点では C 値 15.8 である。Q 値改善量の 0.16 [W/m<sup>2</sup>K]は気密性向上による漏気低減と、グラスウール断熱材内部の気流低減による断熱性向上の二つの点によると考えられる。金属製雨戸の効果については、雨戸を閉じた測定 2 は測定 1 と同値であり、また同様の測定比較となる測定 6 と測定 7 でも Q 値の値は同等であった。これより金属製雨戸による断熱性能の向上は本実験のような戸建て住宅では効果が見られなかった。

測定 8 の断熱雨戸は厚さ 10 mm・熱伝導率 0.0020 [W/mK]の真空断熱材を雨戸に張付けた断熱仕様の雨戸である。測定 6 と測定 8 の Q 値同定結果から、断熱雨戸による Q 値低減効果は 0.47 [W/m<sup>2</sup>K]であり、断熱性能の改善効果が大きい。断熱雨戸の導入は交換作業のみで可能であり、住宅に対する工事が不要なことから、断熱改修手法のひとつとして有効であると考えられる。

表 7 Q 値測定時の断熱改修内容

測定No.	断熱改修内容	測定日
測定 1	改修前 (冬季初期状態)	2006.12/24 - 12/29
測定 2	改修前 (冬季初期状態)	
	雨戸閉じ	2006.12/19 - 12/23
測定 3	気流止め施工後	2006.1/27 - 1/31
測定 4	LDK の床断熱	2006.2/6 - 2/10
測定 5	LDK の窓ガラス交換後	2006.2/23 - 2/26
測定 6	LDK の間仕切り壁	
	・天井断熱施工後	2006.3/29 - 4/2
測定 7	測定 6 の状態で雨戸閉じ	2006.3/25 - 3/28
測定 8	測定 7 の状態で	
	雨戸を断熱雨戸に交換	2006.4/3 - 4/9

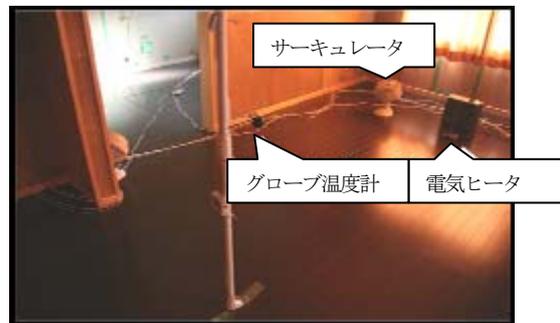


図 25 熱損失係数の測定状況

## VI おわりに

既存住宅の省エネルギー性能診断手法を整理し、また各種の省エネルギー改修に関して、実験によりその施工性や省エネルギー効果について検討した例を紹介した。

なお、今回紹介した実験用の試験体による改修以外にも、実住宅における省エネルギー改修について詳細に調査した結果なども交え、各種改修手法の詳細や、省エネルギー効果の推計等を実務者向けにとりまとめた「省エネルギー住宅への改修ガイドライン」を近く発表する予定である。

## 参考文献

- 1) 松尾陽・斉藤平蔵：現場測定にもとづく住宅熱特性の推定、日本建築学会環境工学論文集、第3号、pp.13-18,1981
- 2) 永村一雄：熱的作用からみた建物躯体・人的生理の諸特性、東京理科大学博士学位論文、1988

表 28 熱損失係数測定結果

測定No.	測定時の状態	熱損失係数 $\Delta Q$ 値	
		測定値 [W/m <sup>2</sup> ・K]	$\Delta Q$ 値 [W/m <sup>2</sup> ・K]
測定 1	改修前 (冬季初期状態)	3.49	0.403
測定 2	改修前 (冬季初期状態) 雨戸閉	3.49	0.235
測定 3	気流止め施工後	3.33	0.004
測定 4	LDK の床断熱	3.30	0.546
測定 5	LDK の窓ガラス交換後	3.24	0.149
測定 6	LDK の間仕切壁・ 断熱施工後	3.12	0.507
測定 7	測定 6 の状態で雨戸閉じ	3.16	0.174
測定 8	測定 7 の雨戸を 雨戸に交換	2.65	0.089

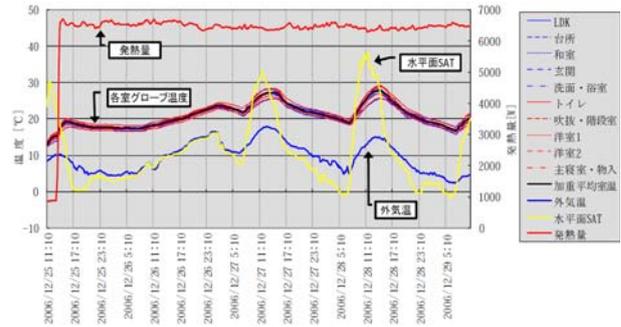


図 26 測定 1 改修前の測定データ

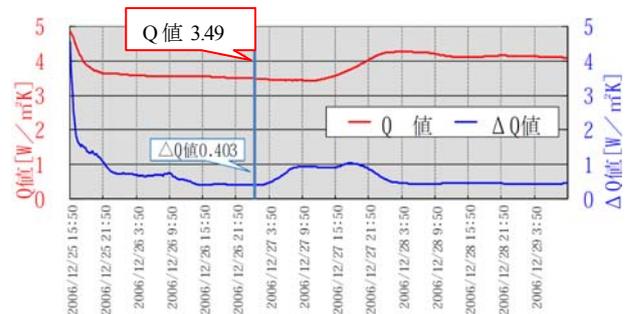


図 27 時系列同定結果

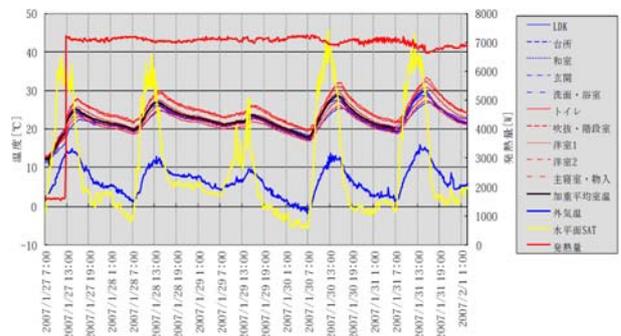


図 28 測定 3 気流止め施工後の測定データ

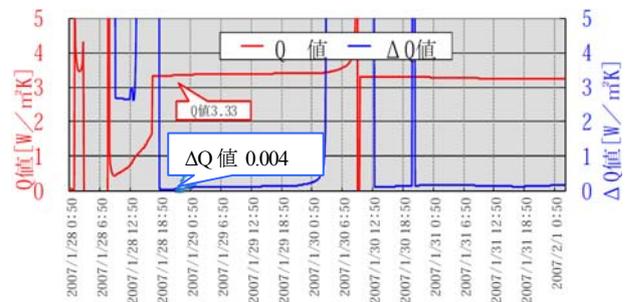


図 29 時系列同定結果