



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



北海道における木造住宅の一外断熱構法の研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2012-05-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 飯田, 雅史 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1133

北海道における木造住宅の
—外断熱構法の研究

橋田 雅史

①

北海道における木造住宅の
一外断熱構法の研究

平成5年 10月

飯田 雅史

論文内容の要旨

本論文は北海道の戸建住宅が耐久性と室内環境の両面で抱えている問題点に着目し、それらを解決するための一方法として在来木造住宅の木軸組の外側より気密・防湿層、断熱層を形成する外断熱構法を提案し、施工性と環境性能の観点から論じたものであり7章で構成されている。

第1章は北海道の住宅の現状を分析し問題点を明かにすることにより、在来木造軸組構法で建設される住宅に対して外断熱構法を適用することの意義を既存の断熱構法と対比させつつ述べるとともに、本論文で論ずる外断熱構法の概要を説明している。

第2章は本構法に基くモデル住戸を計画・建設し、一連の施工過程を分析しその特性を明かにしている。

第3章は前章の住宅について実生活に使用されている条件下で木材含水率、気密性、外断熱を施した床下部分の温度などを約2年間測定することにより、本構法が意図した軸組の耐・腐朽性向上が実現されていることを確認している。同時に居住環境に関しても室温の測定結果を分析することにより、外断熱を適用したときの熱容量増大による室温環境の改善を明かにしている。さらに、在来構法によって建てられた既存の住宅における測定結果と比較することにより、本構法の特徴を明かにしている。

第4章は建設会社7社により本構法で建設された形態の異なる17戸の施工を分析することにより、外壁の歩掛かりを明かにし、さらに外壁施工時の工数について外壁面積と出入隅の数より重回帰分析を行い、その関係をあきらかにするとともに、構法ならびに形態の違いに起因する気密性の要因を分析している。

第5章は本構法における現場の作業を軽減させる目的で、外壁および屋根のパネル化を試み、パネル作製の方法、軸組とパネルの取付、ジョイントの処理方法を開発し、実際に一住戸を建設し施工過程を分析した。さらに竣工後の室温、木材含水率、気密性を計測し、性能に差のないことを確認している。

第6章は構法と住戸形態の異なる計344戸（戸建住宅、木造賃貸アパート、集合住宅、本構法を適用した戸建住宅）を対象として、暖房時の室温の感じ方、結露の被害、燃料消費量に関するアンケート調査を行ない、本構法適用住戸の環境性能の優位性を明かにした。

第7章の結論は本論文において明らかにした事項をまとめている。

TITLE

A Method of Thermal Insulation for Wooden Houses in Hokkaido
That Applies Vapor/Air Barrier and Insulation Mats from the Outside of the Wooden
Frame

NAME Masashi Iida

ABSTRACT

This paper presents a construction method of thermal insulation for traditional Japanese wooden houses in which vapor/air barrier and insulation mats are applied from the outside of the wooden frame. The method seeks to solve the problem of Hokkaido detached houses' poor durability and indoor environment. The paper's 7 chapters discuss the practicability of the construction method and its impact on the living environment.

Chapter 1, "Introduction," analyzes the serious problems of houses in Hokkaido and emphasizes the necessity of adopting the method of insulating traditional Japanese wooden houses from the outside of the wooden frame in place of using the traditional method of thermal insulation. It also summarizes the new method.

Chapter 2 is titled "Summary and results of the on-site construction method of thermal insulation that uses glass wool applied from the outside of the wooden frame,". It analyzes the construction process using a model house built with this method.

Chapter 3, "Living-environmental performance of the model house," reports the water content of the wooden frame, air-tightness, and the temperature of the crawl space where formed polystyrene boards were attached from the outside of the basement. The two years of measurement data are from the model house described in the previous chapter.

The measurements showed improvements in durability and anti-deterioration that nearly met the goals of the method. Analysis of indoor temperature proved that this temperature was improved by the increase in thermal capacity caused by adopting the insulation method of this study. The characteristics of this method became clear when compared with measurements from houses constructed with the traditional method.

Chapter 4, "Analysis of the construction process of houses which adopted this method," analyzes the construction process at the site where 17 houses of different shapes were built. They were built by 7 different builders who applied the proposed method. The outer wall percentage was determined; then a regression equation for determining man-days at the time of constructing outer walls was obtained and its efficiency was confirmed. One primary factor, air-tightness, which depends on the different construction methods and of the houses, was analyzed.

Chapter 5, "Evaluation of panelized construction's practicability and performance," reports analysis and tests of a way to decrease work at the building site by using panels for roofs and outer walls. A method of making panels, and installing wooden frames, panels and joints was developed, and the process of constructing a house in this way was analyzed. The indoor temperature, water content and air-tightness of the house were measured after construction to demonstrate that the performance of this panel method was almost the same as that of the on-site construction method.

Chapter 6, "Resident's evaluation of this method," analyzes the indoor thermal conditions, the damage caused by dew condensation, and fuel consumption based on queries to 344 residents of different types of houses (detached houses, wooden rental apartment houses, multi-unit houses, and detached houses constructed with this method). The evaluation by the residents of houses constructed with the method reported in this paper proved to be the most positive of all.

Chapter 7, "Conclusion," summarizes the research conclusions.

目次

	ページ
第 I 章 序論	1
1 - 1 研究の背景	1
1 - 2 研究の目的と対象	18
第 II 章 現場施工型グラスウール	
外断熱構法の概要と施工結果	37
2 - 1 現場施工型外断熱の構法的計画	37
2 - 2 モデル住戸の施工	46
2 - 3 施工の分析	56
2 - 4 まとめ	66
第 III 章 モデル住戸における環境性能	69
3 - 1 住戸各部の温度	69
3 - 2 気密性	83
3 - 3 木材含水率	87
3 - 4 燃料消費量	99
3 - 5 まとめ	101
第 IV 章 本構法を採用した住宅団地	
建設時の調査分析	109
4 - 1 建設会社と調査団地の概要	109
4 - 2 外断熱住戸の概要と調査方法	111
4 - 3 住戸の施工調査	124
4 - 4 工事費	134
4 - 5 気密性	138
4 - 6 まとめ	146

第 V 章	パネル化した本構法の	
	施工性と性能評価	.....147
5 - 1	パネル化の概念	.....149
5 - 2	パネル化の計画	.....150
5 - 3	パネル化住戸	.....153
5 - 4	施工の分析	.....162
5 - 5	性能評価	.....167
5 - 6	まとめ	.....175
第 VI 章	入居者側から見た本構法の評価	.....177
6 - 1	調査概要	.....177
6 - 2	対象住戸の属性	.....179
6 - 3	暖房	.....182
6 - 4	室温評価	.....184
6 - 5	結露	.....185
6 - 6	まとめ	.....187
第 VII 章	結論	.....188
謝辞		.....192
関連論文リスト		.....193

第 I 章 序論

1-1 研究の背景

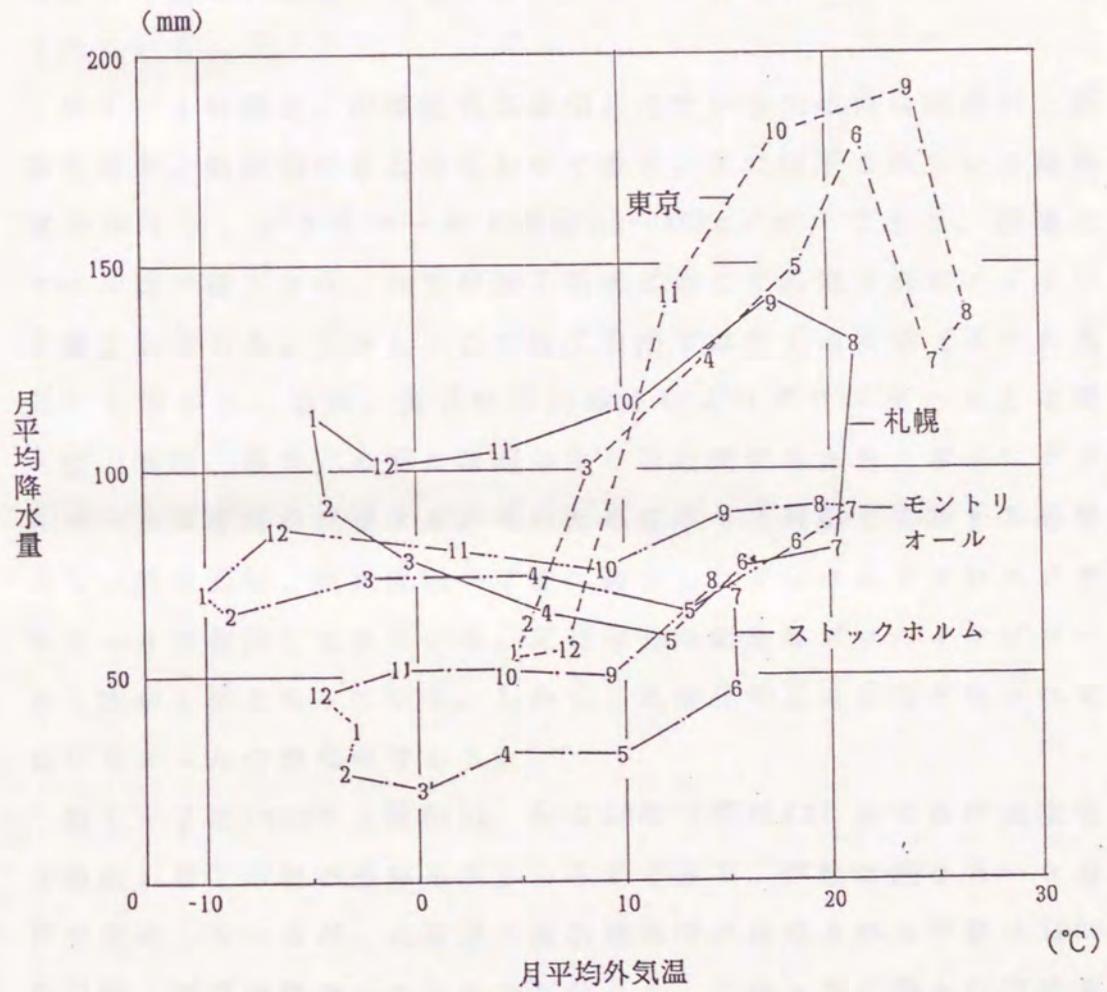
北海道の戸建木造住宅は寒冷多雪という自然条件の下にある。図 1-1 は札幌、東京、ストックホルム（スウェーデン）、モントリオール（カナダ）の月平均気温と、月平均降水量の関係を示したものである。この図から札幌の冬期外気温はストックホルム、モントリオールなどと同じく寒冷となっていることが分かる。こうした気候の差異はその地域の住宅の在り方に大きな影響を与えるものであり、北海道では冬の寒冷積雪への対応が必要となるのは言うまでもない。

北大、荒谷 登¹⁾は「日本の伝統的な住居の対応は湿潤気候に重点があり湿気に対する開放系の住居で、ヨーロッパや北米は冬型の対応を重視している温度に対する閉鎖系の住居である」と述べられており、筆者も寒冷地での住宅は防寒という観点に立てば開放の造りは明らかに不合理であり、冬に対応した閉鎖の造りが必要であると考えられる。

北海道内の戸建住宅は明治初期の開拓以降、本州の伝統的な開放系の構法（伝統的在来木造構法）により建設され今日に至っている。しかし、その結果は冬期間、石炭ストーブ一台による部分暖房で一時的に寒さをしのぎ、その期間を耐えて過ごすしか手だてはなかった。さらに過酷な気象条件のため、本州に比較して耐用年数は短く、建て替えによる経済的な負担も増大することとなり、引いては社会資本の蓄積も進まない結果となった。

1950年代以降、良質、多様な断熱材（グラスウール、押出発泡ポリスチレン板、硬質ウレタン）が開発、戸建住宅にも施工されだし、暖房機器も石炭ストーブから石油ストーブに移行した。だが、第1次、2次の石油ショックではエネルギーが有限であることを身をもって知らされる結果となった。現在、北海道で求められている戸

建の住宅像はこのような、隙間だらけの断熱性能の劣った住宅ではなく、少ないエネルギー消費量で全室暖房が可能な高气密、高断熱性能を有した耐久性のある戸建住宅である。



注) 昭和64年度理科年表より作成。

図 1 - 1 北方圏各都市の月平均気温と降水量の関係

断熱材と施工方法

次に道内戸建住宅における最近の建物各部位の断熱仕様を概観することとする。床、外壁、グラスウール厚さ100ミリ、天井、グラスウールあるいはブローイングウール厚さ200ミリ以上、窓はPVCサッシ、ペアガラス(3-12-3)使用、が標準となっており、的確な断熱材の施工が要求されるに従い、様々な断熱材、施工方法が開発されている。

表1-1は現在、戸建住宅に使用されている代表的な断熱材と断熱方法を、部位別にまとめたものである。主に使用されている断熱材の多くは、グラスウール(密度 $12\sim 16\text{kg}/\text{m}^3$)であり、現場にロール状で搬入され、大工が施工箇所に応じて必要寸法にカットして施工している。しかし、この施工方法では大工の手間(2~3人工)も掛かり、切断、採寸の不的確さによりグラスウールと木部(柱、間柱、根太)の間に隙間が生じる危険性もある。さらにグラスウールは皮膚を刺激する。そのため近年では現場で切断する必要のない間柱間隔、根太間隔の寸法に適合したプレカットされたグラスウールが普及してきている。天井部分の断熱はブローイングウール工法が主流となっている。しかし、気密化の工夫は殆どなされてはいなかったのが現状である。

図1-2は1980年(昭和55)から88年(昭和63)までの戸建住宅(持家)着工戸数の推移を示したものである。戸数は約2万~3万戸で変化しているが、北海道の高断熱基準が適用された戸数は1986年以降、着実に増加しているのが分かる。このように徐々にではあるが断熱にたいする重要性が認識されつつあると言える。

既存の道内木造戸建住宅の暖房に関する現状は、道立寒地建築研究所(現在、寒地住宅都市研究所、以下、寒研とする)の報告²⁾によると、平均像は床面積 $90\sim 100\text{m}^2$ 、暖房面積 $30\sim 36\text{m}^2$ 、暖房期間の灯油消費量はドラム缶(200リットル入り)9.3~9.5本というデータが示されている。それは住宅面積の3分の1程度だけを部分的に採暖して、不便に耐えて節約した結果であり、断熱と気密化の成果

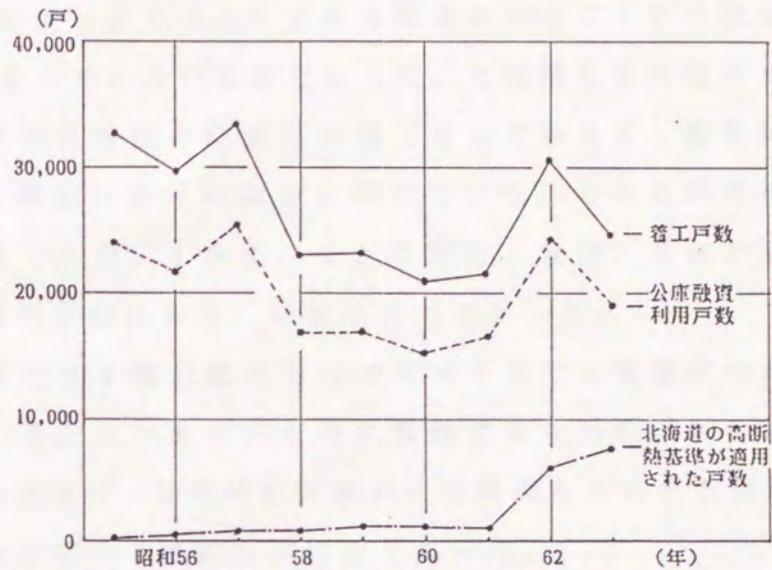
が十分に発揮されていないことが分かる。例えば、スウェーデンの断熱基準を札幌の平均規模の戸建住宅に当てはめてみると、全室暖房で一冬の暖房期間の燃料消費量はドラム缶5本以下で済むような住宅となる。それは現在の平均像に対し、暖房面積は3倍で、燃料は半分以下となるような数値である。

図1-3は住宅金融公庫が行なった調査項目（公庫の建替融資対象住宅）の、建て替え時の解体住宅の使用年数を、地域別に集計したものである。北海道は他の地域に比較して年数は短く、中国、四国に比べると12年ほどの差があり、北海道の寒冷積雪という気象条件が戸建住宅の耐久性に大きく影響していることが分る。

さらに、寒研の報告³⁾によれば、「道内の木造戸建住宅は古い建物ほど劣化が進んでいるとは限らず、建物の断熱仕様によっては建築年代が新しいほど結露に係わる劣化の発生率が高い」、と記されている。つまり断熱だけが進み、正しい防湿施工が伴わない時の外壁廻りの内部結露、あるいは床下部分の通気不足による土台、床廻りの腐朽などの問題が発生しているものと捉えることができる。

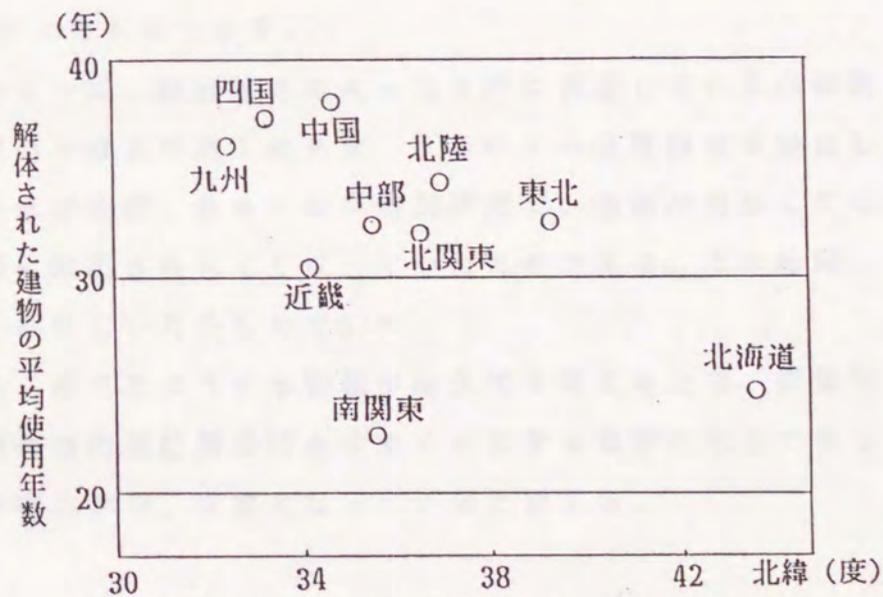
表1-1 戸建住宅の断熱材とその施工方法

断熱材	形状	対象部位	取付位置、取付方法、施工者
グラスウール	板状	天井 外壁 床	天井懐への敷き込み：大工 間柱間への挿入：大工 根太間への挿入：大工
	片状	天井 外壁	天井懐への吹き込み：専門業者 (ブローイング工法) 間柱間への吹き込み：専門業者 (BIB工法)
押出發泡 ポリスチレン	板状	屋根 外壁 布基礎	屋根下地面に釘で張り付け：大工 軸組の外側に釘で張り付け：大工 布基礎内、又は外側にコンクリート同時打ち込み、あるいは接着材で後張り：基礎工、左官
ウレタン	液状	外壁	間柱間に注入：専門業者
	板状	外壁	軸組の外側に釘で張り付け：大工



注) 北海道住宅都市部建築指導課調査資料 (平成元年度) より作成。

図 1 - 2 北海道の戸建住宅 (持家) 建設戸数の推移



注) 住宅金融公庫マーケット調査資料 (昭和63年度) より作成。

図 1 - 3 地域別に見た解体された住宅の平均使用年数

表1-2、図1-4～9は1985年から91年にかけて行なった、戸建木造住宅の外壁の内部結露実態調査とその状況をまとめたものである。調査対象住宅はいずれも築後約10年であり外観の老朽化はほとんど進んでいない状態であった。その結果を列記すると、

- ① A宅は外壁の防湿材が施工されておらず、断熱材の施工状況も隙間が多く的確さに欠けていた。そのため外壁まわりの軸組（土台、1階桁、1、2階柱、筋違）全体が極めてひどい腐朽状態にあり、被害は甚大であった。
- ② B宅は1階北壁部分のパネル下部での被害が大きかった。この理由はパネルを土台に緊結するためのボルト取付け部分での防湿材、断熱材の欠損が何の処理もされず放置されており、その部分での結露が原因であった。
- ③ C宅は外壁の防湿材が施工されている（1、2階ふところは未施工）にもかかわらず、A宅とほぼ同じ状態の被害状況であった。これはA宅の外装材が若干、透湿性のあるモルタルなのにたいし、C宅は透湿性のないアルミサイディングを使用しており、結露水の蓄積が進み、そのため軸組の腐朽につながったものである。

このように、結露被害にあった3戸に共通している点は防湿材、断熱材の不確実な施工にあり、さらにその結露被害を助長しているのは外壁が密閉、あるいは半密閉状態で、結露が発生しても結露水が外部に放出されにくくなっていたためである。その結果、軸組を湿潤、腐朽にいたらしめていた。

以上、述べたように木軸組の耐久性を考える上で、防湿材の連続性の確保は内部結露を防止するために最も重要な項目であり、その方策の確立が今、必要となっていると言える。

表 1 - 2 結露調査住宅の概要と結果一覧

	A	B	C
建設地	札幌市豊平区	札幌市豊平区	札幌市厚別区
調査年次	昭和60年7月	昭和61年7月	平成3年6月
建設年次	昭和48年 (築後12年)	昭和51年 (築後10年)	昭和57年 (築後9年)
構造	在来木造二階建	木質系パネル構法 二階建	在来木造二階建
延面積	145 m ²	136 m ²	183 m ²
家族構成	夫婦2人+子供2人	夫婦2人+子供2	大人5~7人 (寄宿舍に利用)
主な被害 状況	外壁回りの主要軸 組の腐朽。 全体的にモルタル下地 板の腐朽。 被害の大きい部位の 木材は手で触れただ けで碎ける状態。 ガラスは湿潤し、 一部落下。	北側1階外壁パネル 下部の腐朽。 アコボルトとパネルの ジョイント部分での錆発 生。 パネル内ガラスの落 下。	外壁に面している主 要軸組の腐朽。 外装材(アルミサッシ 等)裏面での結露。 1、2階懐部分での 断熱材不足と防湿層 の欠損による内部結 露の発生。



図 1 - 4 A 宅のモルタルを剥した状態。外観は異常が認められなかったが、下地板の腐朽が進んでいる状態。



図 1 - 5 A 宅の主要軸組の状態。柱、桁の腐朽が認められ、構造的にも危険な状態。



図 1 - 6 B 宅外観。外からは特に異常は認められない。



図 1 - 7 B 宅 1 階北側外壁パネル内部。内部結露によりパネル下部の構造用合板、下枠が腐朽している状態。



図 1 - 8 C 宅の外装（アルミサイディング）を剥した状態。一部断熱材が不足し、軸組の腐朽が進行している。



図 1 - 9 C 宅外装材裏面に取り付けられていたグラスウールの状態。7月にもかかわらず、結露水が断熱材を湿潤させている。

在来木造構法の特長

本節では現在の在来木造構法の特長を気密性、断熱性の観点から述べてみたい。在来木造構法の気密性については防湿材（ポリフィルム）を気密材に兼用し、その施工精度を高めることによって気密性能の向上を図っている。しかし、現在の在来構法で高断熱、高气密化を進めるには構造上問題があり、室蘭工大、鎌田紀彦⁴⁾は研究の中で詳しく述べられている。それらの点を具体的に指摘すると以下の様になる。なお、（）内数字は札幌市内の平均的な戸建住宅（10戸）より算出した各部分の平均値である。

- ① 1、2階床と外壁との取り合わせ部分（延べ100～105m）の気密・防湿材の取り合いに隙間が生じ易く、そのため隙間風が室内に侵入しやすくなる（図1-10、11）。
- ② 外壁の上（桁まわり）下（土台まわり）（延べ60～65m）が開放されているため、壁内通気が発生し易くなる。
- ③ 間切壁の上下（延べ70～76m）が開放しているため壁内通気による熱損失が大となる。
- ④ 天井の気密・防湿材と外壁、間仕切壁の取り合い部分（延べ100～105m）に隙間が発生し易く、そのため室内の暖かい空気が1、2階ふところ、小屋裏へ流失する。
- ⑤ さしかけ屋根の天井と外壁の取り合い部分では気密・防湿材の施工がしにくい。
- ⑥ 断熱材が施工される柱間には、筋違、内装下地材、電気コンセントが取り付けられるため、均一な断熱材の施工をするには手間（下地、筋違と断熱材の当たる部分に全てカッターで切れ目を入れ表面を平滑にする）がかかり、その作業を怠るとそれらの隙間部分で壁内通気が発生し易くなる。
- ⑦ 外壁部分に取り付けられる電気配線（延べ20～22m）、電気コンセント（10～13箇所）、1階床部分の給排水（5箇所）、ユニットバス廻りの断熱材、気密・防湿材の連続性が確保しづらい。
- ⑧ 柱間に施工可能な断熱材の厚さには限度がある。

図1-12はこれらの事項を具体的に示しまとめたものである。



図1-10 在来構法住宅の防湿材を施工中。



図1-11 外壁と2階床部分の気密・防湿材（ポリフィルム）と、断熱材の納まり状態。気密・防湿材が欠損し、断熱材の連続性を保つには容易ではない。

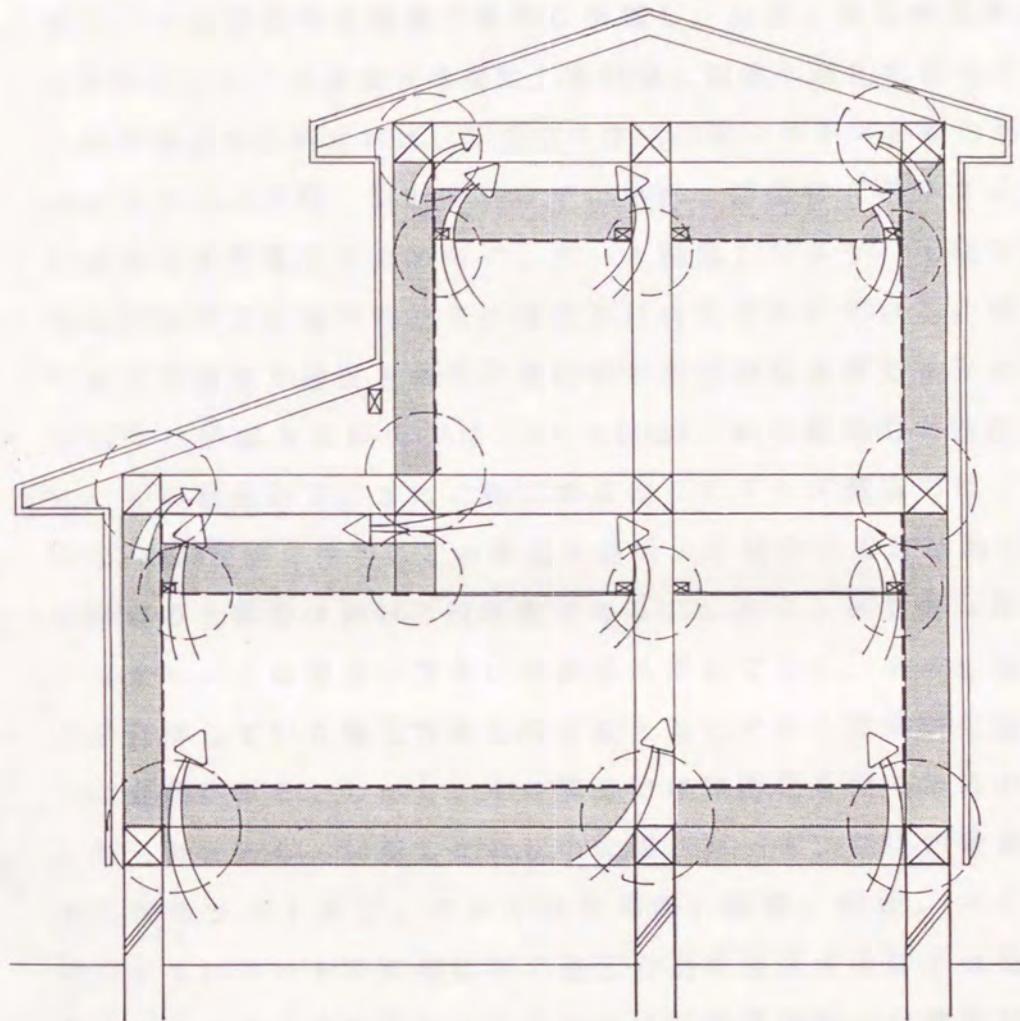


図 1 - 12 在来木造構法住宅の断熱、気密に関わる欠陥部位
(参考文献 4 を基に作成)

既往の構法研究

北海道における戸建木造住宅の気密、断熱に関する構法研究としては、寒地住宅都市研究所、北大、室蘭工大鎌田研究室の一連の研究⁴⁾がある。鎌田研究室ではこの研究の中で在来木造住宅の気密性能向上の必要性を北海道で最初に指摘し、以後、気密性能向上を主な目的とした「新在来木造構法」を開発、提案し現在に至っている。

その構法を要約すれば、「現在の住宅生産システムを極力活かし、あまり大工の手間、材料をかけずに気密・防湿材（ポリフィルム）の連続性を確保するためのディテール開発」であり、現在では道内で約7000戸の新築戸建住宅に適用され成果をあげている。図1-13⁵⁾はこの構法で建設された戸建住宅の相当隙間面積をまとめたものであり、平成2年以後では $1.0\sim 3.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ の高気密な性能を有しているのが分かる。また、施工業者のヒアリング調査では、「平均的な 120m^2 程度の住宅にこの構法を適用した場合の工数は約10人工、材料費の上昇分は約10万円程度である」、とのことであった。

つまり、この構法の良さは経済性に優れており、さらに現在の大工が習得している施工方法を殆ど変えることなく作業が可能なところに意義がある。しかし、この構法では気密化を図るためのポイントが土台まわり・胴差しまわりの先張りシート、間仕切壁後施工、桁上端のシート押え、さらに柱貫通部、配管、配線、コンセントボックスに用いる気密補助材の施工と工事項目が少なくはなく、当然ながらそれら全てを施工しなければ気密性能向上が期待できないところに問題があると思われ、もっと施工項目を減らした単純明快な気密化の方法が開発されるべきであると筆者は考える。

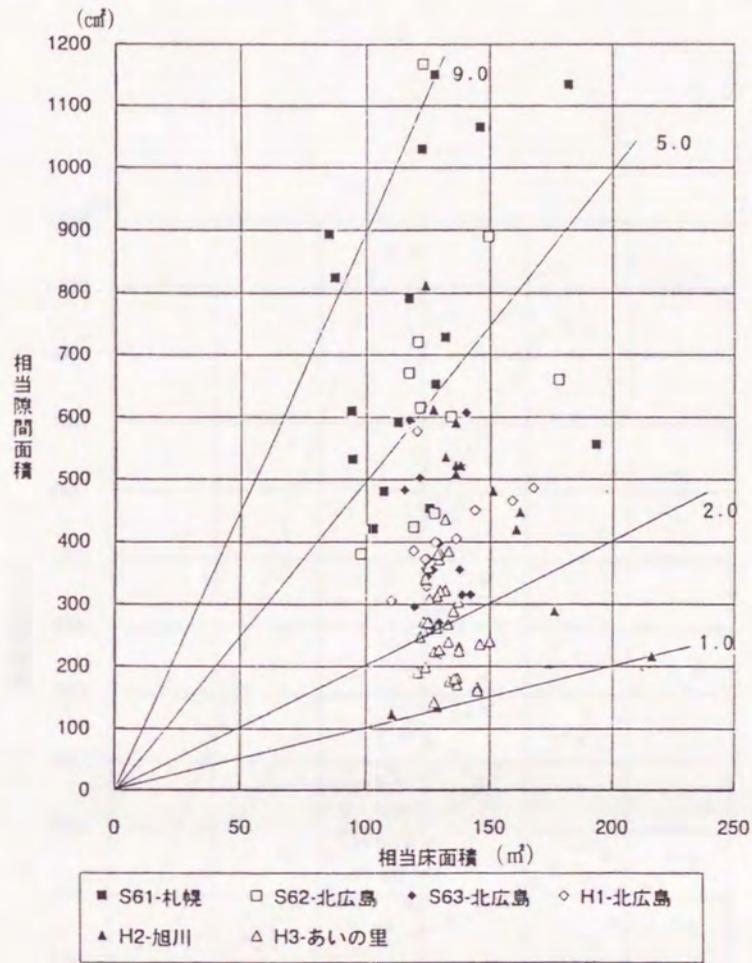
一方、戸建木造住宅に外断熱構法を適用している例は現在、2種類ほどありそれぞれ断熱材メーカーが主導している。一つは断熱材に押出発泡ポリスチレン板を使用し、外壁に76ミリ、屋根に100ミリの材料を直接、軸組に張り付ける構法（SHS構法）で、当初、木材の乾燥収縮による隙間発生のため気密性能は大きく変動していたが、最近では柱の外側に気密・防湿材（ポリフィルム）を施工し気

密性能の向上を図っている。

この構法による戸建住宅の相当隙間面積をまとめたのが図1-14⁵⁾で、気密・防湿材を施工した最近の値は $2.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以下となり、気密性能は改善されつつある。この構法のコストは施工業者*のヒアリング調査から「 120m^2 程度の戸建住宅では在来構法の住宅に比較して材料費で約100万円、工数で約8人工程度増加する。」とのことであった。しかし、使用している押出発泡ポリスチレンは 80°C 以上になると溶解するため、火災時あるいは夏期快晴時の屋根材（鉄板）下部の高い温度にさらされた場合に問題がでてくる。また、同じ断熱性能のグラスウールに比較してコストが約3倍ほどあるため、今後、これらの点で改良の余地が残されていることを指摘しておきたい。

もう一方は1992年（平成4）頃に発表された構法（AP構法）で、断熱材にウレタンボードを使用し柱の外側より張り、さらに現場発泡ウレタンをボードの上から施工する方法となっているが施工事例、気密性に関してはまだ学会では公表されていないため評価は差し控える。

* 施工業者は2社で共に札幌市内にあり、主に戸建住宅を建設している。一つは年間10～15戸をSHS構法で建設し、10戸程度を在来木造構法で施工している。一方は年間10戸程度をSHS構法で行ない、20戸程度を在来構法で建設している。



注：△印は新在来構法の住宅であるが他は現・在来構法と新・在来構法が混在している。

図 1 - 13 現、あるいは新在来構法で建設された戸建住宅の相当隙間面積
(参考文献 5 より転載)

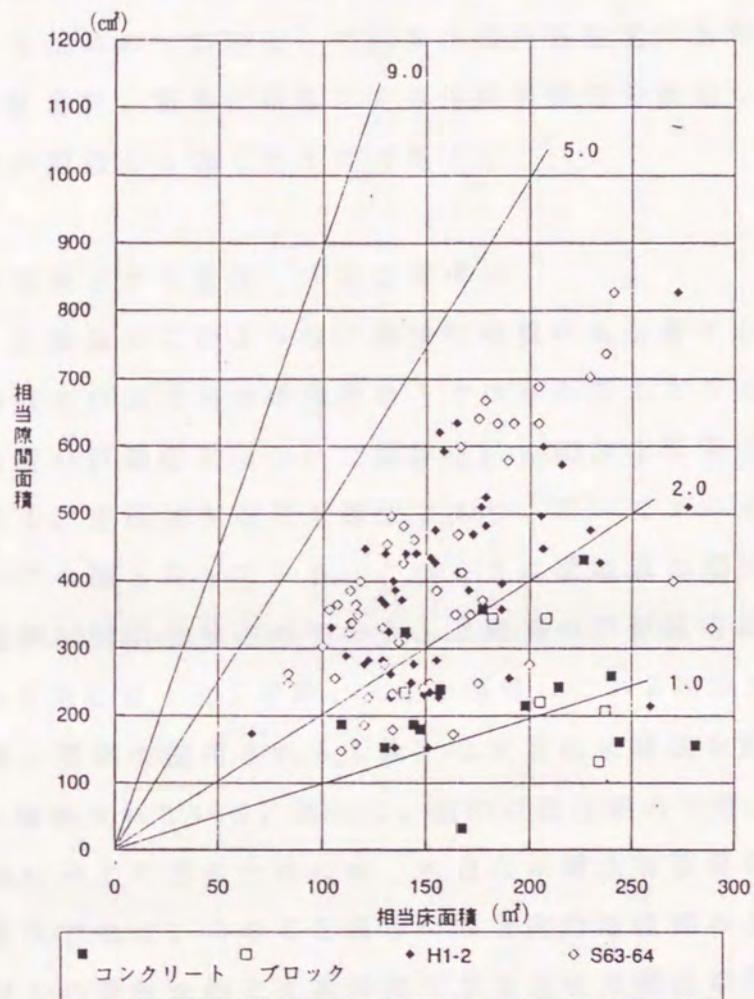


図 1 - 14 SHS構法で建設された戸建住宅の相当隙間面積
 (参考文献 5 より転載)

1 - 2 研究の目的と対象

本論文は以上、述べたような背景から北海道の戸建木造住宅が軸組の耐久性と室内環境の両面で抱えている問題点に着目し、それらを解決するための一方法として在来木造戸建住宅の木軸組の外側より気密・防湿材、断熱材を施工する外断熱構法を提案し、施工性と環境性能の観点から論じたものである。

1. 研究対象とする構法 - 木造在来構法

では、北海道のこのような戸建住宅の現状を改善するためにはどのような構法の戸建住宅を研究対象とすべきか考えてみたい。図1-15は北海道の戸建住宅について躯体構法の割合を年度別にまとめたものである。主流は木造在来構法であり、次いで2×4構法、木質系プレハブの順となっている。このように北海道の躯体構法は木造在来構法が80%以上を占めており、北海道の戸建住宅の生産システムに関わる諸要素（大工の数、大工の保持している建設技術、建材、その物流、現場で使用される工具）は木造在来構法を維持、保全するように構築されている。従って、道内戸建住宅の気密、断熱性能、耐久性能の向上を図るためには、木造在来構法を改善していくことが必須条件であり、このこと抜きには道内戸建住宅の改善は考えにくい。以上の背景を踏まえ本研究では木造在来構法の戸建住宅を研究対象とする。表1-3は各躯体構法の特徴をまとめたものである。

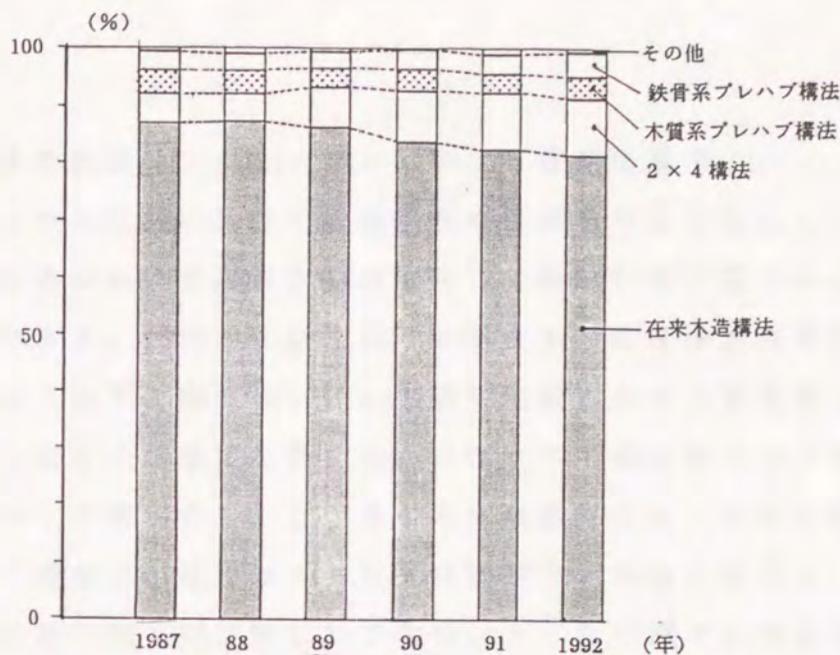


図 1 - 15 年度別に見た北海道の戸建住宅の躯体構法別比較

表 1 - 3 北海道内戸建住宅の躯体構法の特徴一覧

特徴		
木質系	在来	日本の伝統的住宅構法。軸組木材の防腐を主目的とし、建物の通風を図り、湿気を内部に留めないよう配慮されている。 断熱材の位置 外壁：柱間、床：1階床面…床下は外部空間。 天井：天井面…小屋裏は外部空間。
	2x4	北米で発達した枠組壁構法。枠組の外側より構造用合板を打ち付けた壁と床で構成されている。 断熱材の位置 外壁：柱外側、床：1階床面…床下は外部空間 天井：天井面…小屋裏は外部空間。
	パネル	特定の住宅メーカーによって開発された構法。両面から構造用合板を張った木製パネルを用いて壁、床、天井を構成し、柱、梁などの軸組は用いていない。各パネルの接合方法は接着剤と釘を使用している。 断熱材の位置 外壁：壁パネル内側、床：1階床パネル内部…床下は外部空間。天井：天井パネル内部…小屋裏は外部空間。
鉄骨系	パネル	軽量鉄骨を軸組に使用した構法。壁、床、天井をパネル化しているメーカーもある。 断熱材の位置 外壁：柱間、床：1階床面…床下は外部空間。 天井：天井面…小屋裏は外部空間。
	ユニット	軽量鉄骨ラーメン構造のユニットボックスに各種の設備や仕上げを工場で装着し、現場の施工はボックスのボルト接合工事程度で済ます構法。 断熱材の位置 外壁：柱間、床：1階床面…床下は外部空間。 天井：天井面…小屋裏は外部空間。

2. 気密、断熱性能－スウェーデンにおける性能を基準

次に対象とする住居の気密・断熱性能の目標を考えてみたい。図1-16は北海道における戸建住宅の推移を、断熱性能の観点からまとめたものである。1953年（昭和28）に制定された北海道寒地住宅建設等促進法（以下、寒住法）は、本道で建設される公営住宅、公庫住宅など、国の公的融資を受けたものはすべて簡易耐火以上の防寒住宅（ブロック住宅など）とすることを義務付けた。それ以前の道内住宅の一般像は、屋根はトタン又は葺き、外壁は板張り、外窓は1重の引違い窓（雨戸無し）であり、まったく寒さに無防備な構造であった。1960年代（昭和40）に入り安価な断熱材の供給が始まり、寒住法の改正が1969年（昭和44）に行なわれ、熱貫流率による断熱基準が盛り込まれ、公庫融資の対象外であった木造住宅にも融資範囲が拡大され、木造住宅の防寒化はようやく一般化した。さらに、1973年（昭和48）、78年（昭和53）の二度のオイルショックは再び建物の断熱性能を見直す強いきっかけとなった。1979年（昭和54）には、いわゆる「省エネ法、住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する設計および施工の指針」により基準が強化され、再び1993年に改正、強化され現在に至っている。北海道庁は政策として1980年（昭和55）、持ち家建設資金融資制度の中に高断熱住宅制度を設け、さらに1990年に北方型住宅認定基準を設置し、より高い戸建住宅の断熱強化を図っている。

北海道と同程度の寒冷地である北欧、北米の断熱性能基準¹⁰⁾をみると、第一次オイルショック以降、各国の断熱基準はそれぞれの実状に応じて強化された。図1-16（下）はカナダ、スウェーデンの断熱基準の中から、札幌程度の寒冷地域に適用されている値をまとめたものである。カナダは1978年、新築建物に関する省エネルギー規準を作成、国内の断熱基準を暖房度日により5地域に分けている。その主な内容は①建物の屋根（天井）、外壁、床の熱抵抗値の規定②二重ガラスにすべき建物や、建物全体に対する窓面積の割合に対する規定③窓など開口部の気密性に関する規定、などである。その

後、1983年（昭和58）にR-2000プロジェクトを開始し、高断熱、高气密住宅の普及を目指している。気密性の規定は定められた圧力差（50Pa）のもとで、換気回数1.5回以下であることが示されている。

スウェーデンでは国内を外気温度に応じて四分割し、建物の規準を定めており、①屋根（天井）、外壁、床、窓の最大許容熱貫流率の規定②窓面積の大きさの上限規定③気密性、などが建築規準に盛り込まれている。特に気密性に関しては、内外圧力差によって生ずる漏気量を規定している。

北海道庁は1990年（平成2）、さらに北海道内の戸建住宅の断熱、気密性能向上を図るために北方型住宅の基準を作成し建物各部位の断熱性能基準を強化（外壁：0.3kcal/m²h°C、床：0.3、天井：0.2、外窓：2.0）、気密性については相当隙間面積を5 cm²/m²以下と定めた。しかし、諸外国の寒冷地に比較してまだ低水準であることは明かである。これらのことを考慮して、本論文ではスウェーデンにおける基準を一応の目安とする。

3. 断熱材料－グラスウール

図1-17は日本における主な断熱材の製造開始時期と生産量の推移^{7,8)}をまとめたものである。グラスウール、硬質ウレタン、押出発泡ポリスチレンは1950年（昭和25）以降生産が開始され、徐々に生産量は増しているのが分る。主に戸建住宅に使用されているグラスウールに着目すると、オイルショック以降、生産量は順調に増加傾向にあり、これは断熱の重要さが認識され始めているものと捉えることができよう。

研究開始当時（1986年）、容易に入手が可能な断熱材はグラスウール（16kg/m³、熱伝導率 0.034kcal/mh°C）と押出発泡ポリスチレン（25～29kg/m³、熱伝導率 0.032）があったが、グラスウールはコストの面で押出発泡ポリスチレンの約1/3程度と優れており、ほぼ同じ熱伝導率であるため本研究では断熱材にグラスウールを使用することとした。

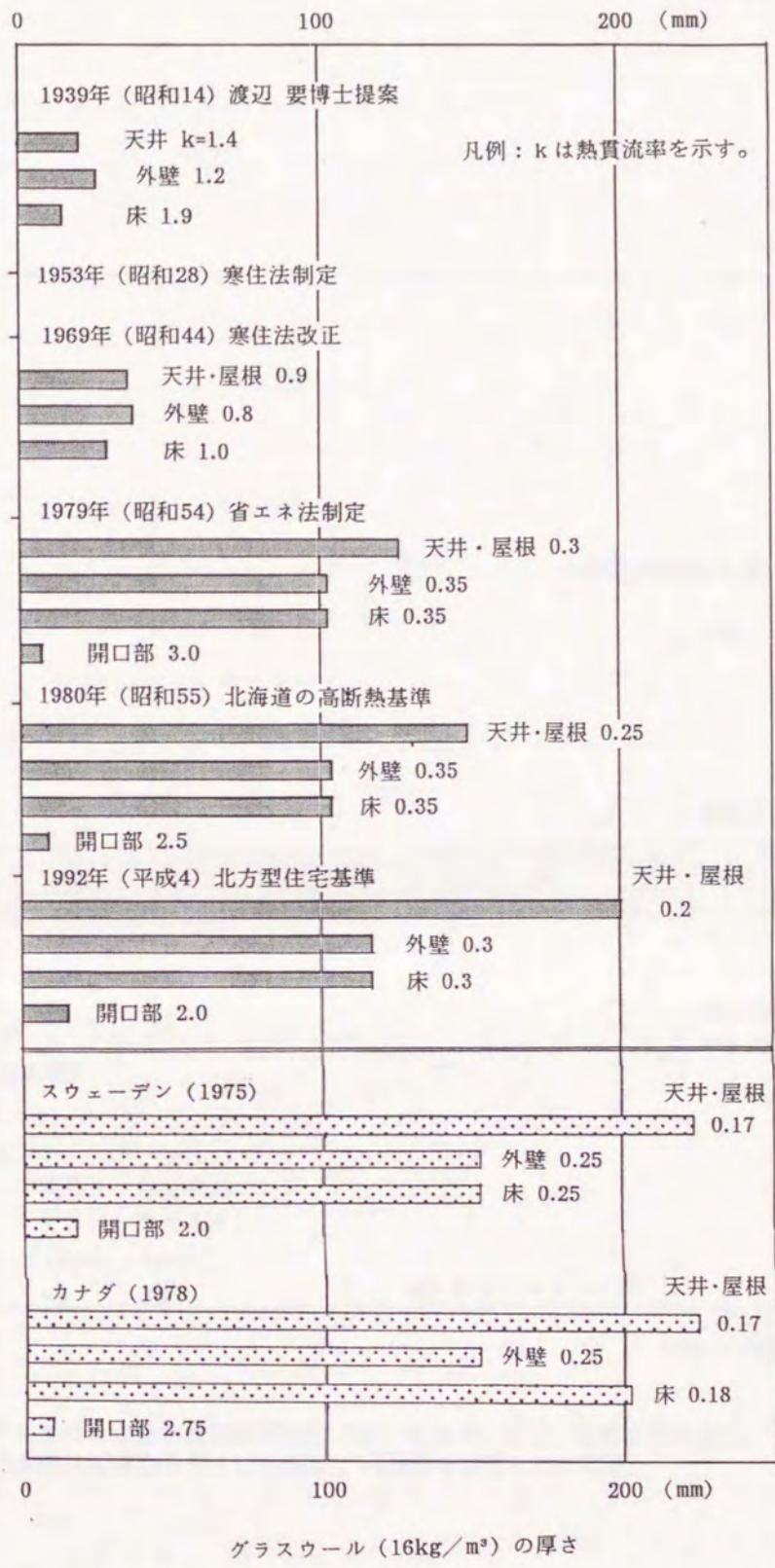
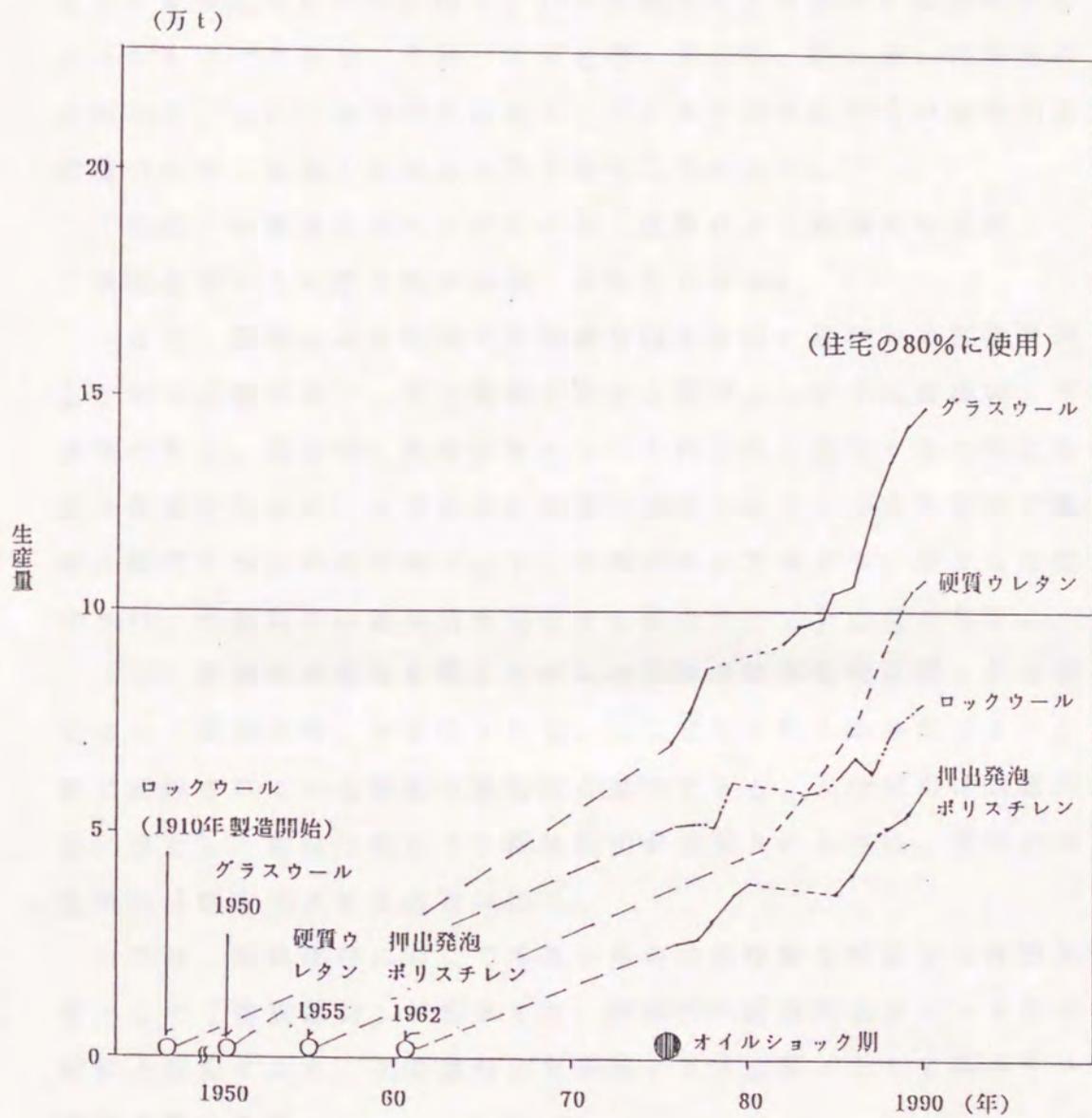


図1-16 断熱基準の変化(北海道、札幌地域)と、カナダ
スウェーデン(札幌地域と同程度の寒冷地域、
の断熱基準比較



注) データは日本住宅建築研究社刊「省エネルギー住宅・建築資料全集」、日本建材産業協会刊「1993年度、建材統計要覧」より引用。

図 1 - 17 日本における主な断熱材の製造開始時期と生産量の推移

4. 断熱構法－外断熱構法

では、構法から見た「建物に対する要求」とはどのような項目があるかを考えてみたい。図1-18は建物に対する要求を概念的にまとめたものであり、大別して安全性、居住性、耐久性、経済性に分かれる。ここで本研究が対象としている戸建木造住宅の温熱空気環境の中の「保温」に焦点を当て推考してみたい。

「保温」の要求を満たすためには「換気による熱損失の低減」と「建物各部からの貫流熱の低減」が条件となる。

つまり、換気による熱損失の低減を図るには、建物の気密性を向上させる必要があり、その機能を有する部材として「気密部材」が要求される。具体的に気密部材をシート状材料と仮定すると気密性能を維持するためには連続性の確保が要求される。つまり部材の性能を維持するための部材（以下、性能部材と定義する）がさらに要求され、具体的には重ね目を処理する接合テープが必要となる。

一方、貫流熱の低減を図るためには建物の断熱性能の向上が必要となり「断熱部材」が要求される。ここで具体的に断熱部材を一般的に使用されている繊維系断熱材と仮定すると、この材料は繊維内部に停止した乾燥空気により断熱性能が維持されるため、材料内の空気の移動を防止する必要がある。

つまり、断熱部材に対して外部からの空気移動を防止する性能部材として「防風部材」が要求され、具体的に防風部材をシート状の材料と仮定すると、その重ね目を処理する性能部材として接合テープが必要となる。

さらに断熱部材には内部結露防止のため室内側からの湿流に対する保護が必要となる。つまり部材の性能を保護するための部材（以下、保護部材と定義する）として「防湿部材」が同時に要求され、防湿部材を具体的にシート状の材料とすると、その防湿性能を維持するため材料の連続性の確保が要求され性能部材として接合テープが必要となる。

このように木造戸建住宅の「保温」要求を達成するためには「気

密」に対しては気密部材とその性能部材が必要であり、「断熱」に対しては断熱部材とその性能部材として防風部材、さらにその性能部材が必要であり、保護部材として防湿部材とその性能部材が必要であると言える。図1-19はこれらの構成部材の関係をまとめたものである。

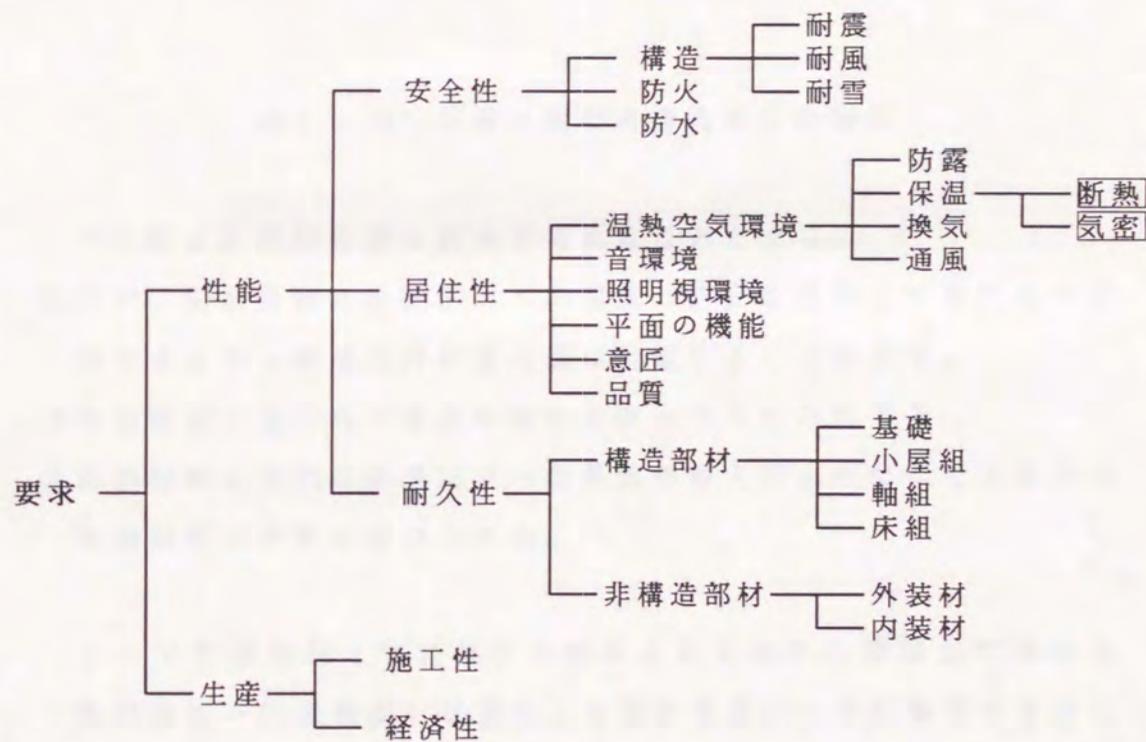


図1-18 外断熱構法に関わる建物に対する要求項目の概要

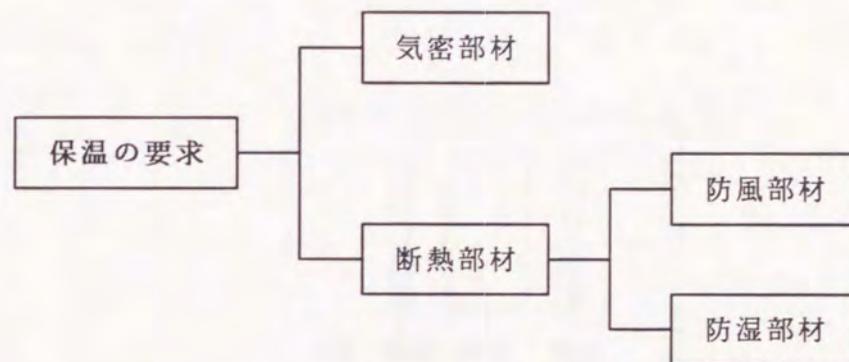


図 1 - 19 保温に関わる構成部材の関係

では次に各部材の組み合わせを考えることとする。

- ① 先ず、防湿部材は断熱部材への湿流の防止を目的とするための部材であるから断熱部材の室内側に位置することになる。
- ② 気密部材は室内外の空気の移動を防止するためにある。
- ③ 防風部材の目的は断熱部材への外気の侵入防止のためであるから断熱部材の外側に設けられる。

ここで防湿部材と気密部材に要求される条件を整理してみると「気密機能＋防湿機能」が備わった部材を選択すれば兼用できることが分かる。具体的には戸建木造住宅の防湿材にはポリエチレンフィルムを使用しており、この材料は気密機能も有しているため本研究では気密・防湿部材とし整理する。

以上、論じたように4つの部材の組合せ方は室内側より、気密・防湿部材、断熱部材、防風部材と決定される。しかし、実際の建物はこれらの部材のみで構成されるわけではなく、さらに「構造部材、仕上げに必要な部材」を組合せる必要がある。これらの部材は室内

側より内装部材、内装下地部材、構造部材、外装下地部材、外装部材となる。さらにコンセント、配管類の設備部材も加わる。図1-20は外壁を例に取り必要な構成部材をまとめたものである。

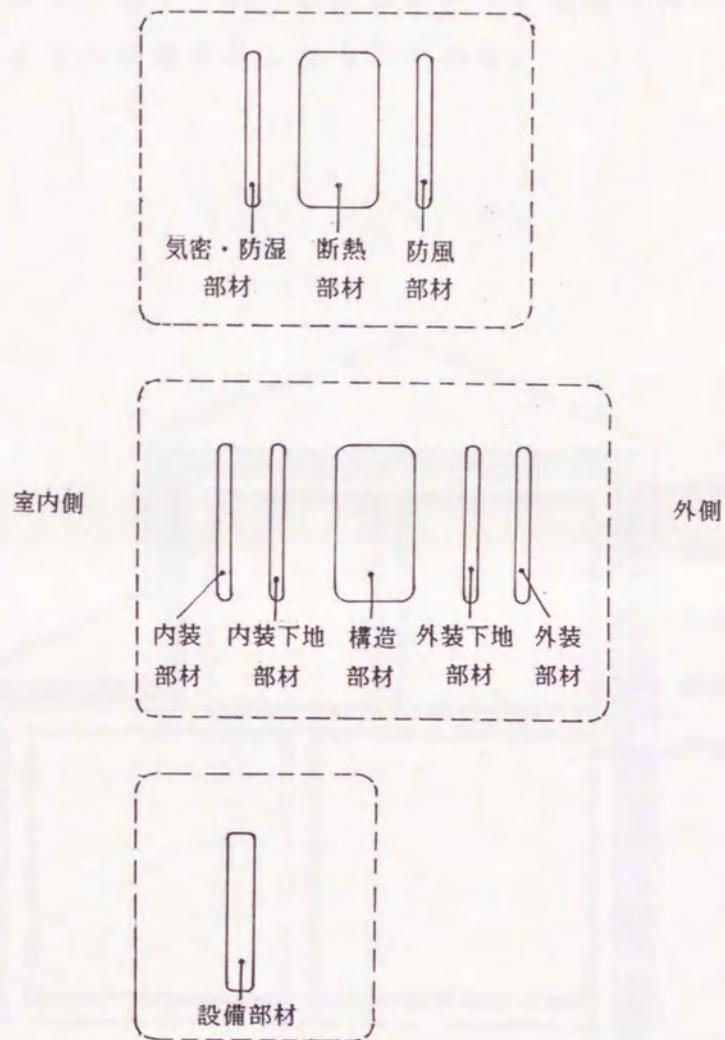


図1-20 外壁の各構成部材とその組み合わせ

では、次に部材の組合せを気密性の向上の視点に立って論を進めたい。これら部材の組み合わせには、①「気密・防湿、断熱部材」が「構造部材」の外側に位置する場合（ケース1）、②「気密・防湿、断熱部材」が「構造部材」の室内側に位置する場合（ケース2）、③「気密・防湿部材」が「構造部材」に組み込まれる場合（ケース3）が考えられる。図1-21~23は各ケースを建物に適用した場合の各部材の納まりの状態を示したものである。

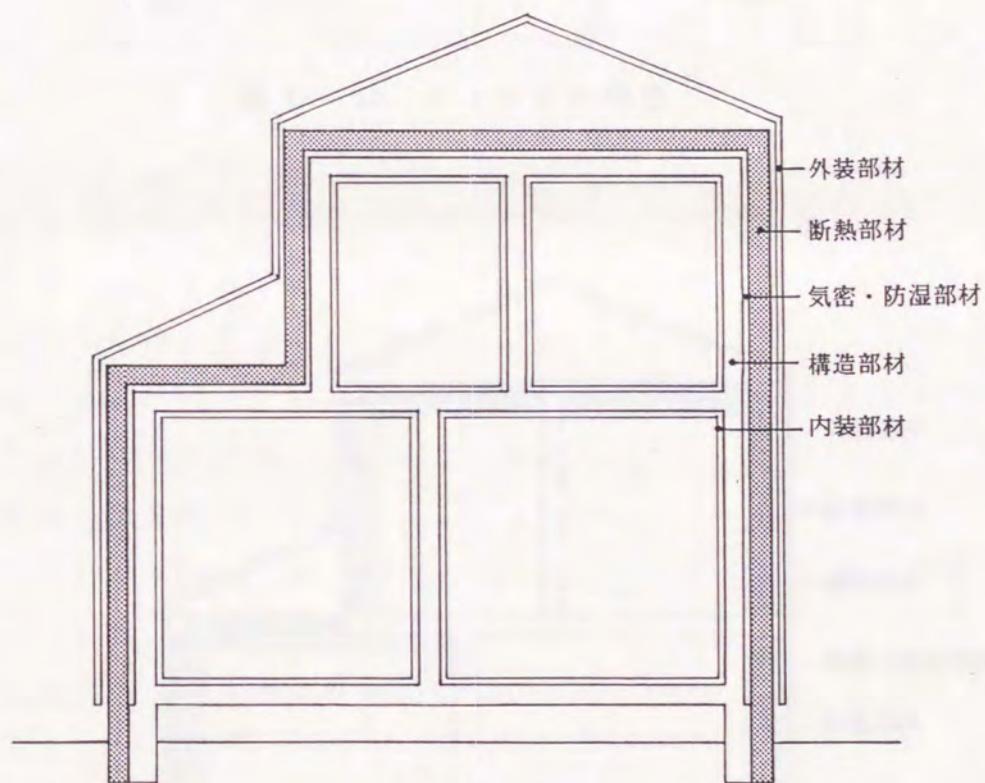


図1-21 ケース1の場合

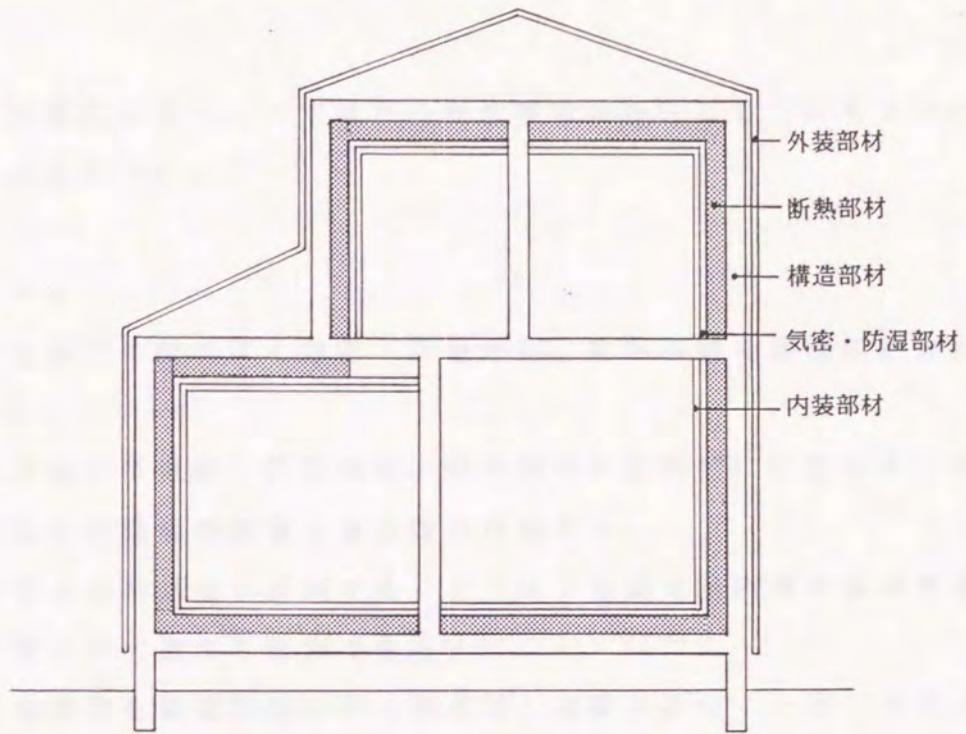


図 1 - 22 ケース 2 の場合

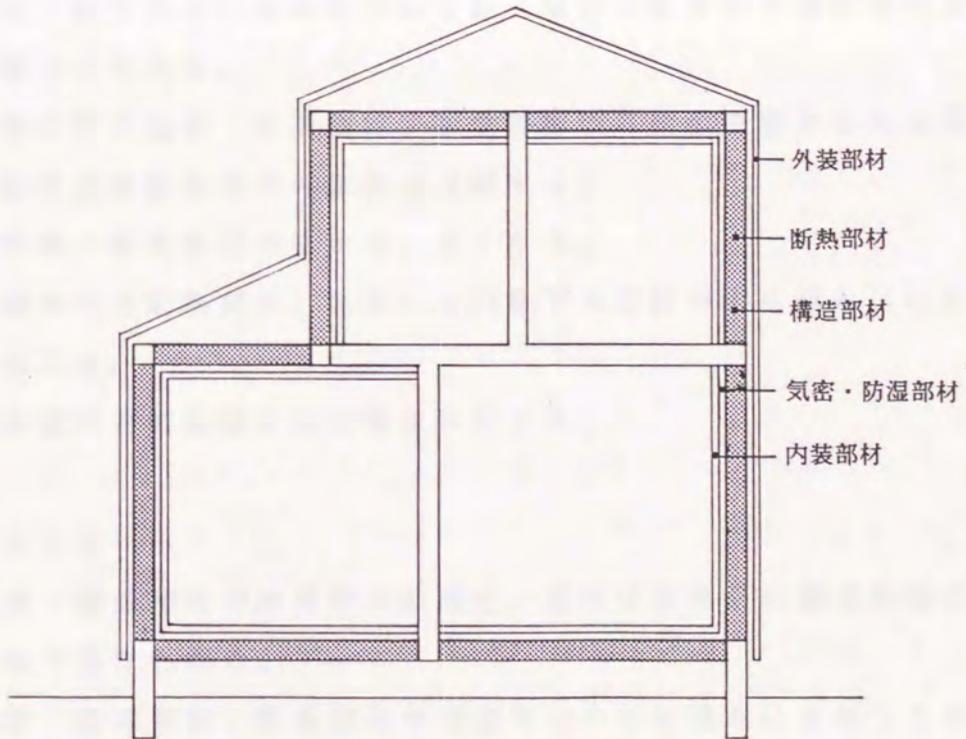


図 1 - 23 ケース 3 の場合

次に具体的に各ケースではどのような事項が特性として言えるのかをまとめてみたい。

「ケース1」

- ① 構造部材に関係なく気密・防湿部材、断熱部材の連続性が保持される。
- ② 構造部材は気密・防湿部材、断熱部材の室内側に位置するため構造部材の温湿度環境は室内側に同調する。
- ③ 外側より布基礎を断熱することで床下空間を室内側の温湿度環境空間として扱うことができる。
- ④ 設備部材を構造部材の中（軸組間）に組み込むことができる。
- ⑤ 壁厚は構造部材と断熱部材分の厚さが加わったものとなる。

「ケース2」

- ① 気密・防湿部材の連続性が床部分、間仕切壁部分の構造部材の接合部で失われる。
- ② 構造部材が気密・防湿部材、断熱部材の外側に位置するため構造部材の温湿度環境が外気側に同調する。
- ③ 室内側が断熱部材の厚さ分、狭くなる。
- ④ 設備部材を断熱部材、あるいは内装下地部材の中に組み込む必要が生じる。
- ⑤ 構造部材と断熱部材分の厚さが生じる。

「ケース3」

- ① 気密・防湿部材の連続性が床部分、間仕切壁部分の構造部材の接合部で損なわれる。
- ② 気密・防湿部材、断熱部材が構造部材の中に組み込まれるため壁の厚さは構造部材分のみとなる。
- ③ 設備部材を断熱部材、あるいは内装下地部材の中に組み込む必

要が生じる。

この様に「ケース3」が現在、木造在来構法で行なわれている気密・防湿部材、断熱部材と構造部材の組み合わせ方に類似している。

このように、最も気密性を確保し易いのは「ケース1」、つまり構造部材の外側に気密・防湿部材を組合わせたものであると言える。

では具体的に「ケース1」を住宅に適用した場合の特性を推考する。長所としては以下の事項が考えられる。

- ① 構造体の外部より気密・防湿材を施工するため、連続性を確保しやすくなり、気密化が確実となる。
- ② 主要軸組が気密・防湿材、断熱材の室内側となるので内部結露の被害から全く開放されて耐久性の面で有利となる。
- ③ 設備関係の配管、配線は中空となった柱間を利用して施工でき、断熱材、気密・防湿材を欠損しないで済む。
- ④ 軸組と断熱材を分離することにより、今後、それぞれの現場施工の低減を図ることが可能となる。
- ⑤ 布基礎を外断熱することにより床下部分が室内環境となり、床部分を貫通する給排水管、ユニットバス廻りの気密・防湿、断熱工事の施工が不用となる。

一方、短所としては以下の事項が上げられる。

- ① 建設業者に対する新しい構法の情報伝達が必要になる。
- ② 複雑な平、立面の建物への適用は施工の面から手間が増加する。
- ③ 断熱材の施工中の降雨対策が必要となり、施工が天候に左右される。
- ④ 断熱材を外部に施工するための材料、大工の手間、工期が在来木造構法に比べて多くかかる。

図1-24はこの「ケース1」を実際の住宅に適用した場合の特性

の概要をまとめたものであり、以下、本研究ではこの構法を「外断熱構法」とする。

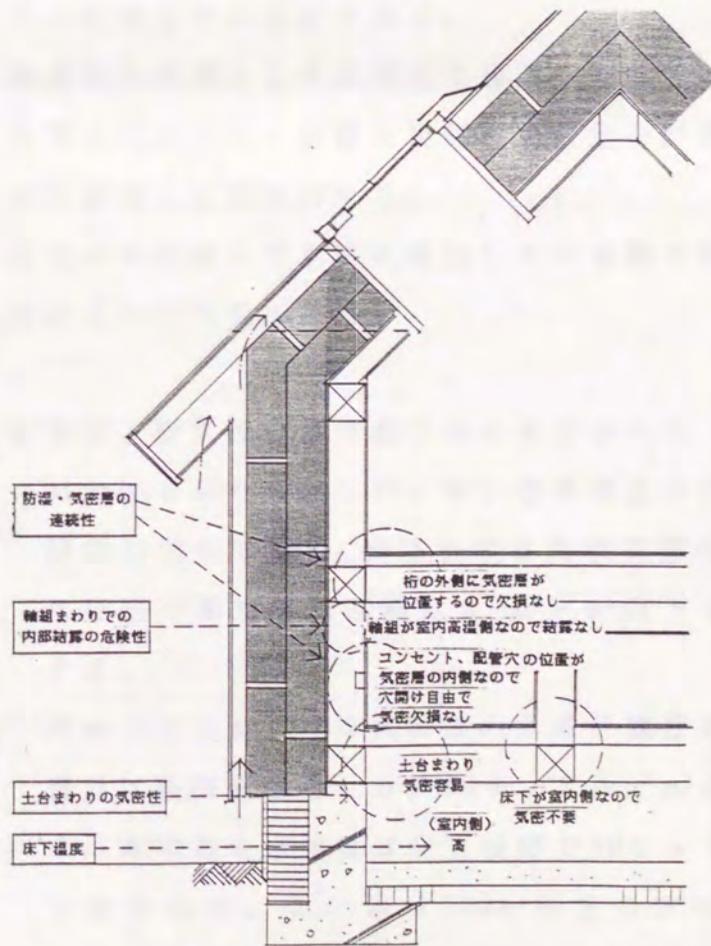
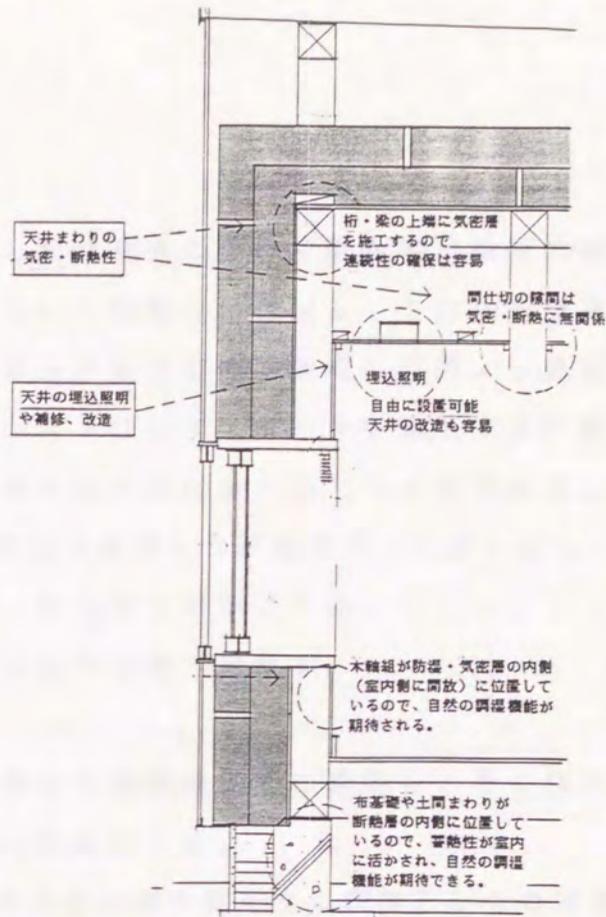


図 1 - 24 外断熱構法住宅の特性概要

5. 研究の目的

本論文は前述した北海道の戸建木造住宅が軸組の耐久性と室内環境の両面で抱えている問題点に着目し、それらを解決するための一方法として在来木造戸建住宅の木軸組の外側より気密・防湿材、断熱材としてローコストなグラスウールを施工する外断熱構法を提案し、施工性と環境性能の観点から論じたものである。

調査対象は本構法を適用した戸建住戸（21戸）とし、その施工性、気密性、断熱性、耐久性を明かにする。
その具体的目的は以下の通りである。

- ① 施工性・・・本構法を実際の住宅に適用し、その作業性、工数、コストを分析する。
- ② 気密性・・・相当隙間面積を気密性の指標としその経年変化を捉え、さらに気密性の要因を探る。
- ③ 断熱性・・・断熱性の指標として本構法を適用した住宅（以下、外断熱住宅とする）の暖房用燃料消費量を計測し暖房負荷計算値と比較検討する。
- ④ 耐久性・・・住宅の木軸組の含水率に着目しその挙動を明かにし腐朽防止の可能性を探る。

次に気密性、断熱性、耐久性の各性能目標をまとめると

- ① 気密性能・・・気密性を余り考慮していない在来構法の住宅の相当隙間面積は $5 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$ 以上あるため本構法を適用した住宅の相当隙間面積は $3 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$ 以下を目標値とする。
- ② 断熱性能・・・前述のように1970年代の道内木造戸建住宅の燃料消費量は暖房面積当たり約 $56 \text{ リットル} / \text{m}^2$ となっている。本項目の目標値は全室暖房で $10 \text{ リットル} / \text{m}^2$ 以下を目指す。この値は 100 m^2 程度の住宅では $1000 \text{ リットル} / \text{暖房期間}$ 以下となる数値であり、同じ寒

冷地のスウェーデン程度の値となる。

- ③ 耐久性能・・・通年の木軸組の含水率変動値が腐朽の恐れが少ない
20%以下¹⁰⁾となることを目標とする。

外断熱構法によって建設された戸建住宅の性能の比較対象として、
在来木造構法によって建設された戸建住宅についても同様の測定を
行うこととする。しかし、在来戸建住宅は建設年次、外窓、断熱の
仕様によって気密性能、断熱性能に大きく差があるため、本研究で
は建設年次が1970年代後半以前の古い住宅を「旧・在来構法住宅」、
1970年代後半より現在まで建設されている、外窓にPVCサッシを使
用し気密性が向上している住宅を「現・在来構法住宅」、さらに気
密性に配慮して気密・防湿材の施工に工夫を施している住宅を「新
・在来構法住宅」と、3分類し本文中で区別することとする。表1
- 4に各章で研究対象とした外断熱住宅(21戸)、在来戸建住宅
(13戸)とその性能測定項目の一覧を示す。

表1-4 研究対象の戸建住宅と主な測定項目

	外断熱構法住宅		在来構法住宅	
	住宅名	主な研究項目	住宅名	主な研究項目
2章	A宅	施工過程 工事費	a～b宅 (2戸)	工事費
3章	A～C宅 (3戸)	木材含水率 室温 気密性能 床下まわりの温湿度 燃料消費量	c～d宅 (2戸)	気密性能 木材含水率 床下まわりの温湿度
4章	D～T宅 (17戸)	施工過程 工事費 気密性能	e～m宅 (9戸)	気密性能
5章	U宅	施工過程 室温 気密性能 木材含水率 燃料消費量		

第1章の参考文献

- 1) 荒谷 登：風土と建築、寒地建築教材概論編、日本建築学会北海道支部、pp.26-27、彰国社、昭和57年12月
- 2) 上野 栄、ほか6名：寒地住宅の省エネルギー化に関する研究、調査研究報告、北海道立寒地建築研究所、昭和61年8月
- 3) 西川 忠、ほか3名：木造住宅の耐久性能評価に関する研究、調査研究報告集、北海道立寒地建築研究所、pp.179~186、1983年3月
- 4) 鎌田紀彦、ほか3名：寒地住宅としての木造在来構法の改良に関する研究、日本建築学会北海道支部、No56、pp.9-12、昭和58年3月
- 5) 気密化住宅の換気設計、日本建築学会北海道支部寒地住宅研究連絡特別委員会 監修、(財)北海道建築指導センター、平成4年3月
- 6) 住宅・建築省エネルギー機構編：ヨーロッパにおける住宅・建築省エネルギー事情82、昭和57年11月
- 7) 建築用断熱・防露技術資料、情報開発、昭和58年
- 8) 1993年度、建材統計要覧：日本建材産業
- 9) 新建築学大系 24 構法計画、彰国社、昭和60年3月
- 10) 木材工業ハンドブック、丸善、昭和61年5月

第Ⅱ章 現場施工型グラスウール外断熱構法の

概要と施工結果

本章では先ず、前章で論じた「外断熱構法」を具体的に戸建住宅に適用するための気密・断熱計画、施工計画について述べ、その計画に基づいて設計、建設したモデル住戸の施工性を述べる。なお、本章で示す現場施工型外断熱構法は将来のパネル化を見据えたものである。

2-1 現場施工型外断熱の構法的計画

①断熱材の厚さ

筆者が目標とする外壁の熱貫流率¹($0.25\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 以上)を達成するためにはグラスウールの厚さで150ミリ以上必要となる。現実には150ミリの厚さのグラスウールは国内では生産されていない。100ミリ+50ミリの組み合わせが考えられるが、50ミリ厚さの断熱材は北海道では殆ど流通していない。さらに施工状況による断熱性能低下も考慮する必要がある。以上の事項を踏まえ、将来の断熱強化の展望も含めて外壁の断熱材厚さは100ミリ2層の計200ミリとした。天井、及び屋根の場合も同じ理由でグラスウール、又はブローイングウールとなる。

②布基礎の断熱材と厚さ

グラスウールは吸水性があり土中に用いるには不向きであるため、押出発泡ポリスチレン板を使用し、厚さについてはコストの面と、外気に接する面積が外壁に比べて少ないため100ミリとした。

③気密・防湿材

気密・防湿材には最も入手が可能で安価なポリフィルムを使用することとした。ポリフィルムを施工する場合、直接、軸組の外側に

施工する場合と下地を介して施工する場合が考えられる。その長短所をまとめたのが表 2-1 である。この表より確実にポリフィルムが平坦に施工でき、粘着テープで重ね目の処理が容易に可能なのは下地材がある場合であり、ない場合は施工不良となる可能性があるため本構法では下地材を使用することとした。

④ 下地材

下地材は当然、面材となるが在来構法ではパーティクルボード、シーリングボード、構造用合板などを軸組に張り付けると筋違の替わりとして使用できる(表 2-2¹⁾)。本構法ではこの点に着目し、ポリフィルムの下地材として構造用合板を使用することとした。この理由は構造用合板は手に入り易く、耐力壁の有効倍率も 2.5 倍と他の材料に比較して大きいためである。

⑤ ポリフィルムの下端の処理

ポリフィルムをそのまま放置すると土台まわり、構造用合板の下端に隙間が生じ気密性を損なう可能性があるため、ブチル系シーリング材で基礎、合板に密着させ、さらにベニア板で押えつけるディテールとした。その概要を図 2-1 に示す。

表 2-1 下地材の有無によるポリフィルムの施工特性

	長 所	短 所
ポリフィルムを直接軸組の外側より張った場合	下地材の材料、施工が不用。	ポリフィルムはシート状のため、旨く張れない可能性がある。 ポリフィルムにたるみがあるとガラスウールとの間に隙間が生じる恐れがある。 ポリフィルムの重ね目の処理箇所には下地が必要。 施工中、風により仮止め箇所からポリフィルムが破損する恐れがある。
下地材を用いてポリフィルムを外側より施工した場合	ポリフィルムの施工が容易。 下地があるためポリフィルムの重ね目の処理が簡単に出来る。 現場でポリフィルムを破った場合の処理が簡単。	下地材、取付手間が必要。 工期が延びる。

表 2 - 2 耐力壁に使用できる材料とその倍率
(参考文献 1 より転載)

耐力壁の種類		有効倍率	
(1)	厚さ 1.5 cm, 幅 9 cm の木材(大貫)または径 9 mm 以上の棒鋼	1.0	
(2)	厚さ 3 cm, 幅 9 cm の木材 (柱三つ割り)	1.5	
(3)	厚さ 4.5 cm, 幅 9 cm の木材 (柱二つ割り)	2.0	
(4)	9 cm 角の木材 (柱同寸)	3.0	
(5)	(1)から(3)までに掲げる筋かいをたすき掛けに入れた筋かい	(1)から(3)までのそれぞれの数値の2倍	
(6)	(4)に掲げる筋かいをたすき掛けに入れた筋かい	0.5	
(7)	土塗壁または木ずり等を間柱および柱の片側に打ちつけた壁	0.5	
(8)	木ずり等を柱および間柱の両面に打ちつけた壁	1.0	
(9)	(1)から(5)までに掲げた筋かいと(7)または(8)に掲げた壁とを併用した壁	(1)から(6)までのそれぞれの数値と(7), (8)または(9)の数値との和	
(10)	構造用合板 (耐候措置を施した場合厚 5 mm 以上, その他の場合厚 7.5 mm 以上)	N50 間隔 15 cm 以下	2.5
(11)	パーティクルボード (厚 12 mm 以上)		2.5
(12)	ハードボード (厚 5 mm 以上)		2.0
(13)	硬質木片セメント板 (厚 12 mm 以上)		2.0
(14)	フレキシブル板 (厚 6 mm 以上)	GN 40 間隔 15 cm 以下	2.0
(15)	石綿バーライト板 (厚 12 mm 以上)		2.0
(16)	石綿珪酸カルシウム板 (厚 8 mm 以上)		2.0
(17)	炭酸マグネシウム板 (厚 12 mm 以上)		2.0
(18)	パルプセメント板 (厚 8 mm 以上)		1.5
(19)	石こうボード (厚 12 mm 以上) [外壁用を除く]		1.0
(20)	シーリングボード (厚 12 mm 以上)	SN 40, 間隔外周 10 cm 以下, その他 20 cm 以下	1.0
(21)	ラスシート (角波亜鉛鉄板厚 0.4 mm 以上, メタルラス厚 0.6 mm 以上)	N38 間隔 15 cm 以下	1.0
(22)	木材脚縁 (断面 1.5 cm × 4.5 cm 以上, 間隔 31 cm 以下—柱, 間柱, 横架材に N50 打ち) に (10)~(21) を打ち付け	N32 間隔 15 cm 以下	0.5
(23)	(10)~(21) のうち一つと (22) のうち一つとの併用		それぞれの数値の和
(24)	(10)~(21) のうち一つまたは (22) のうち一つと (1)~(9) のうち一つとの併用		それぞれの数値の和 (ただし 5 を超えるときは 5)
(25)	(23) と (1)~(6) のうち一つとの併用		5

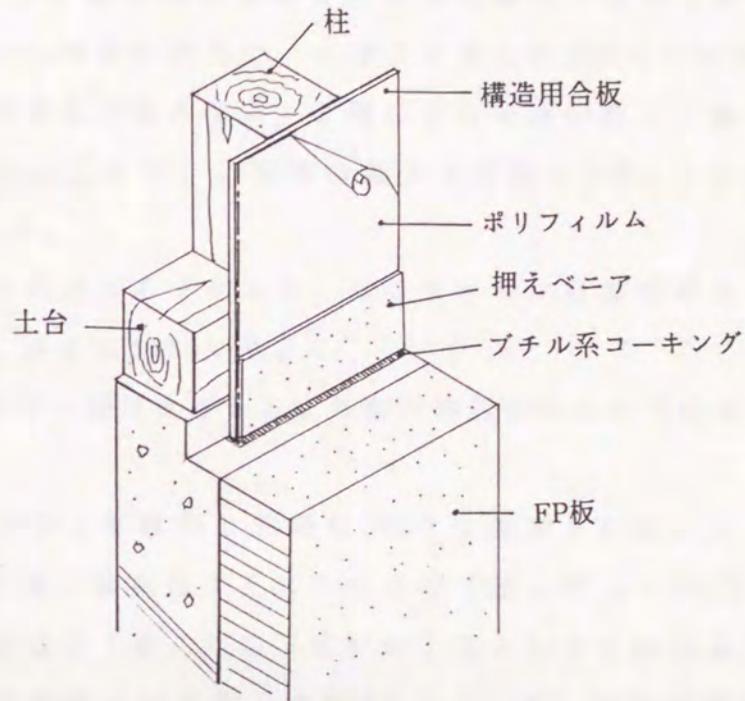


図 2 - 1 ポリフィルムの土台部分の納まり

⑥ 断熱材を納める方法（枠材）

先ず断熱材のサイズであるがグラスウール生産工場では「巾は890ミリで一定であるが、長さについては、1350ミリ以上だとカット費は不用で出荷が可能」とのことであった。このことを踏まえて、断熱材を保持するための材料を選ぶ必要がある。材料としては木材、軽量鉄骨、プラスチックが挙げられるが大工が施工することを前提とすると木材を用いるのが適当と考えた。次に、断熱材を納めるためとサイディング取り付けのための木枠材は縦枠材と横枠材が必要であり、この取付寸法は以下の条件で決定される。

1. 外装材（サイディング）の下地材の間隔は450ミリ。
2. グラスウール落下止めの横枠は1層目と2層目の二つに分けることとした。横枠は外装材を止める胴縁の下地材となるため間隔は600ミリ前後が適当で、1層とすると巾200ミリの巾広材が600ミリ間隔に必要となる。2層にすれば室内側の1層目の間隔は600ミリ以上となり、材積の減少と安価な100ミリ巾の枠材が使用できる。
3. 工場が対応できるグラスウールのサイズには制限があり、巾は890ミリ、長さは1350ミリ。
4. 縦枠の間隔を開けすぎると、外壁下地材がたわむ可能性がある。

これらの条件より縦枠の間隔は900ミリ程度とした。グラスウール落下止め1層目横枠はグラスウールの寸法に従って1350ミリ間隔とし、2層目横枠（兼、外装下地材の下地となる）間隔は定尺グラスウール材を半分にした場合の675ミリとした。また1層目と2層目の横枠は断熱材施工時に生ずる可能性のある隙間が直接に外気に接するのを防止するため目違いとした。

図2-2に枠組みの基本パターンを、図2-3に出入隅の枠組み基本パターンを示す。縦枠は200ミリの巾が必要であるが、このサイズの巾広板は流通している製材サイズとは異なり、入手するためには製材所に特別注文の必要があった。そのため本構法では幅100ミリ、厚さ30ミリ、長さ1800ミリの容易に入手可能な製材を用い、波釘、接着剤で縦枠を作製することとした。そのため同じ材積で約30%のコストダウンが図れた。

縦枠と横枠の納まりはこのままでは突き付けとなるため現場での作業性はよくない。そのため縦枠には横枠を納めるための溝をあらかじめ掘り、横枠取付の作業性の向上を図った。以上のように計画された枠材を現場で加工するのは現実的ではないため、工場であらかじめ作製し、現場に搬入することとした。

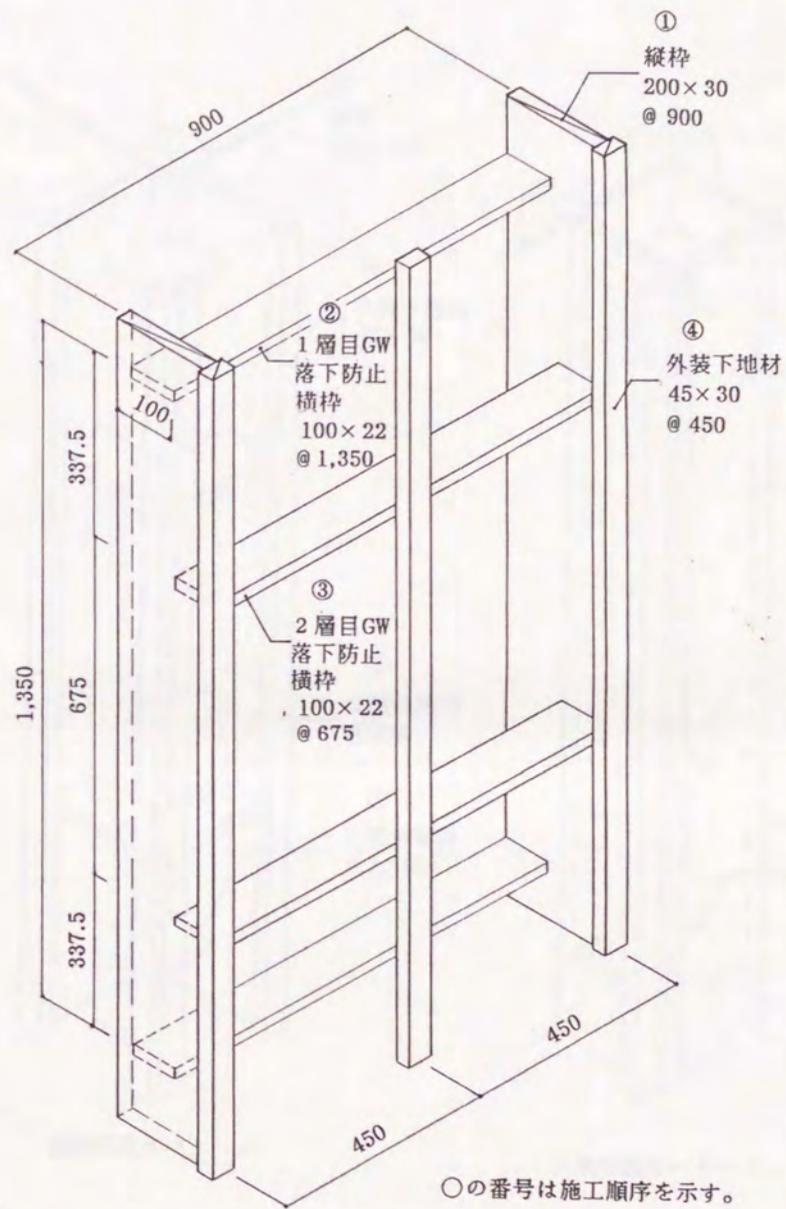
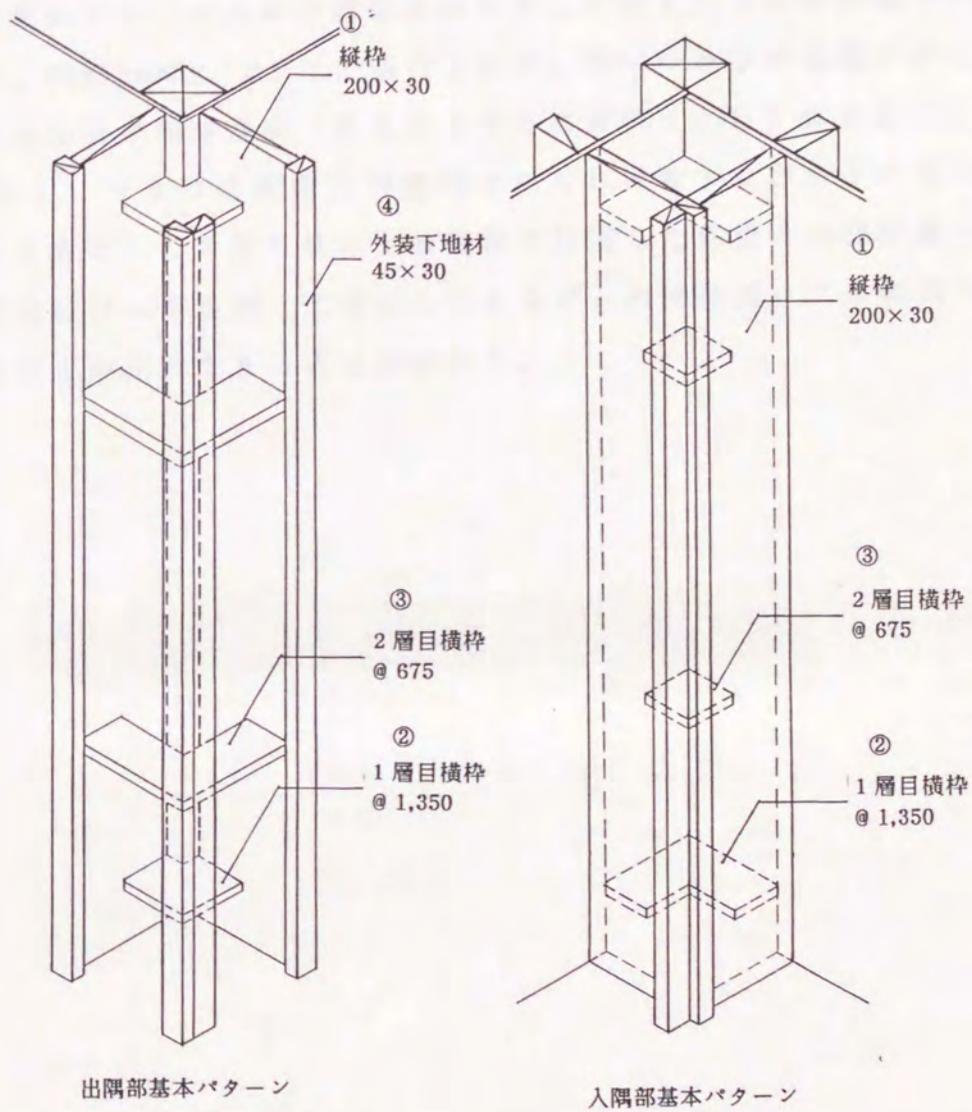


図 2 - 2 外壁の断熱材を施工するための枠組み基本パターン



○の番号は施工順序を示す。

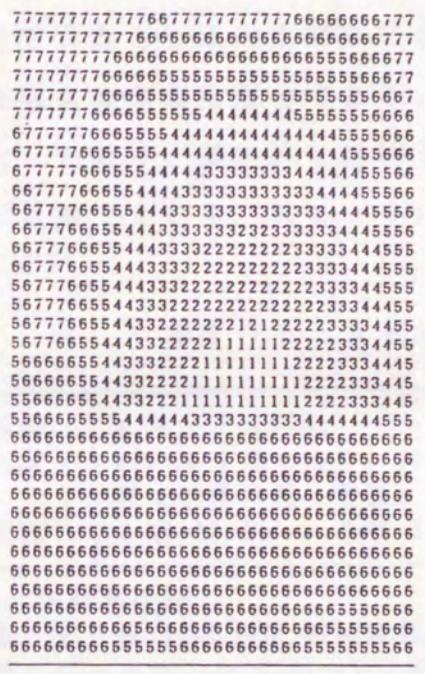
図 2 - 3 外壁、出入隅の枠組み基本パターン

外壁の内部結露の検討

図2-4は札幌の場合を例に取り、定常計算によって算出された本構法の外壁の月別、旬別の結露検討結果をまとめたものであり、この結果はポリフィルムの透湿抵抗に対して施工による性能低下²⁾を考慮、 $60\text{m}^2\text{hmmHg/g}$ とした場合である。図中の数字は右側に示した外壁各部分の相対湿度（例えば6であれば60～69%）に対応し、100%以上、つまり結露発生可能域とになれば数字は表示されないように定めた。この図を見ると本構法で計画した外壁の内部結露の発生可能域は一年を通じて発生しておらず、内部結露による軸組の腐朽の防止が期待できることが分かる。

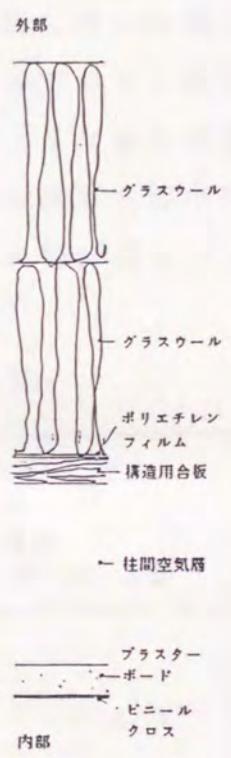
材料の特性

材料名	厚さ(m)	熱抵抗	透湿抵抗
1シツナイカ`フ	0.00000	0.12500	0.06000
2フ`ラスタ-ホ`ート	0.00900	0.05300	3.03800
3ハシラマ クウキソウ	0.10500	0.20600	0.52300
4コウソ`ウヨウコ`ウハン	0.00900	0.05800	1.27500
5ホ`リエチレンフィルム	0.00010	0.00000	60.00000
6ク`ラスウ-ル	0.10000	3.22600	0.24400
7ク`ラスウ-ル	0.10000	3.22600	0.24400
8ソウキソウ	0.00000	0.05000	0.02000



・7・8・9・10・11・12・1・2・3・4・5・6・月

内部湿度分布

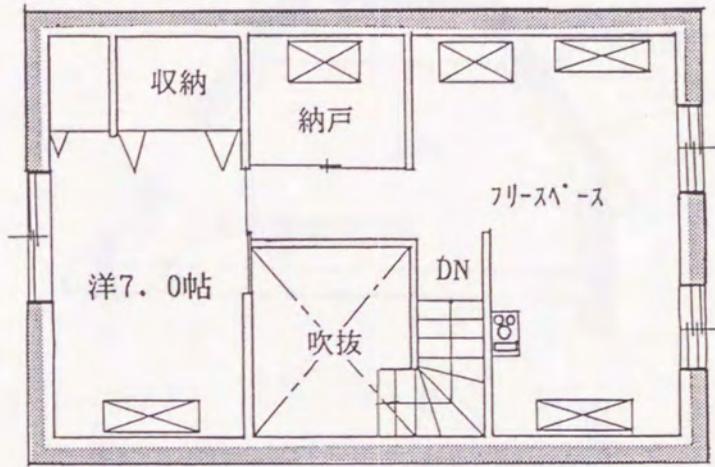


外壁断面

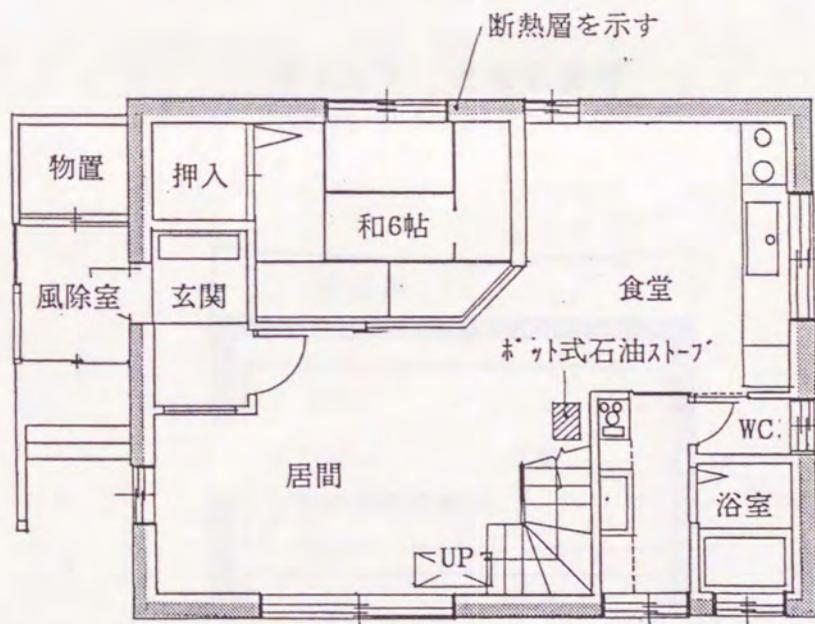
凡例：図中の数字、例えば5は相対湿度50～59%を示す。

注、暖房期間の室内温湿度は20℃、50%に想定。外気温は札幌気象台のデータを使用した。

図2-4 本構法の外壁の内部結露検討結果



2階



1階

図 2 - 6 A 宅各階平面図

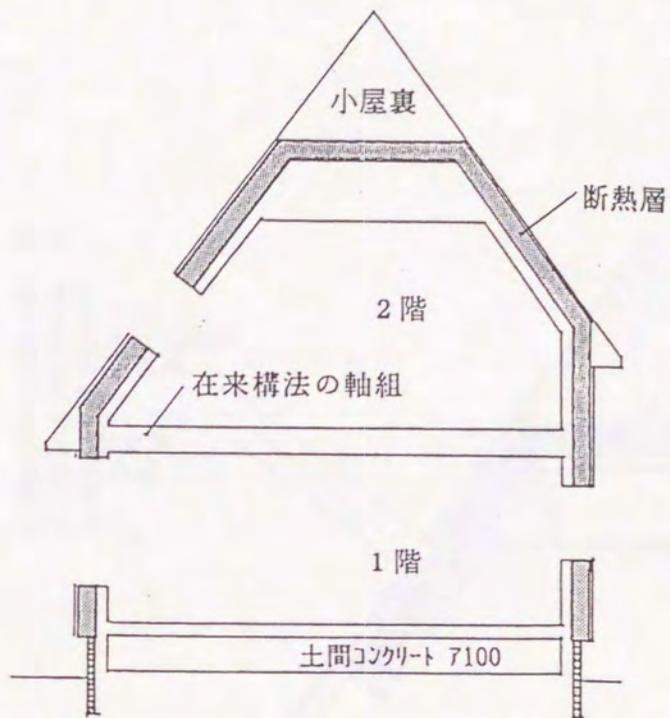


図 2 - 7 A 宅 断 面 図

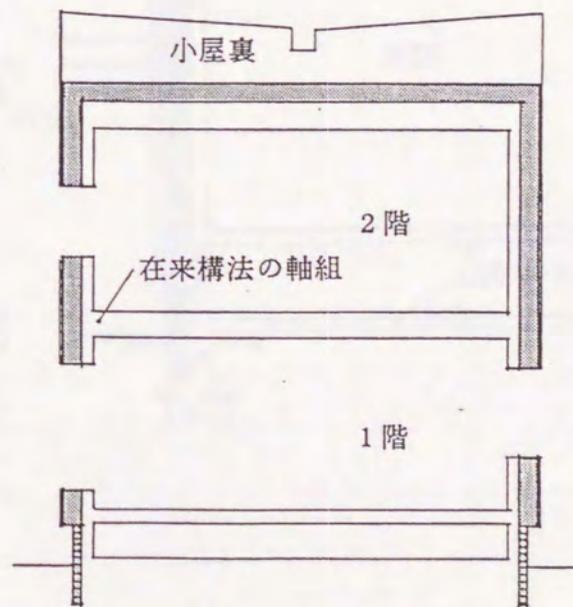


図 2 - 8 無 落 雪 屋 根 の 場 合

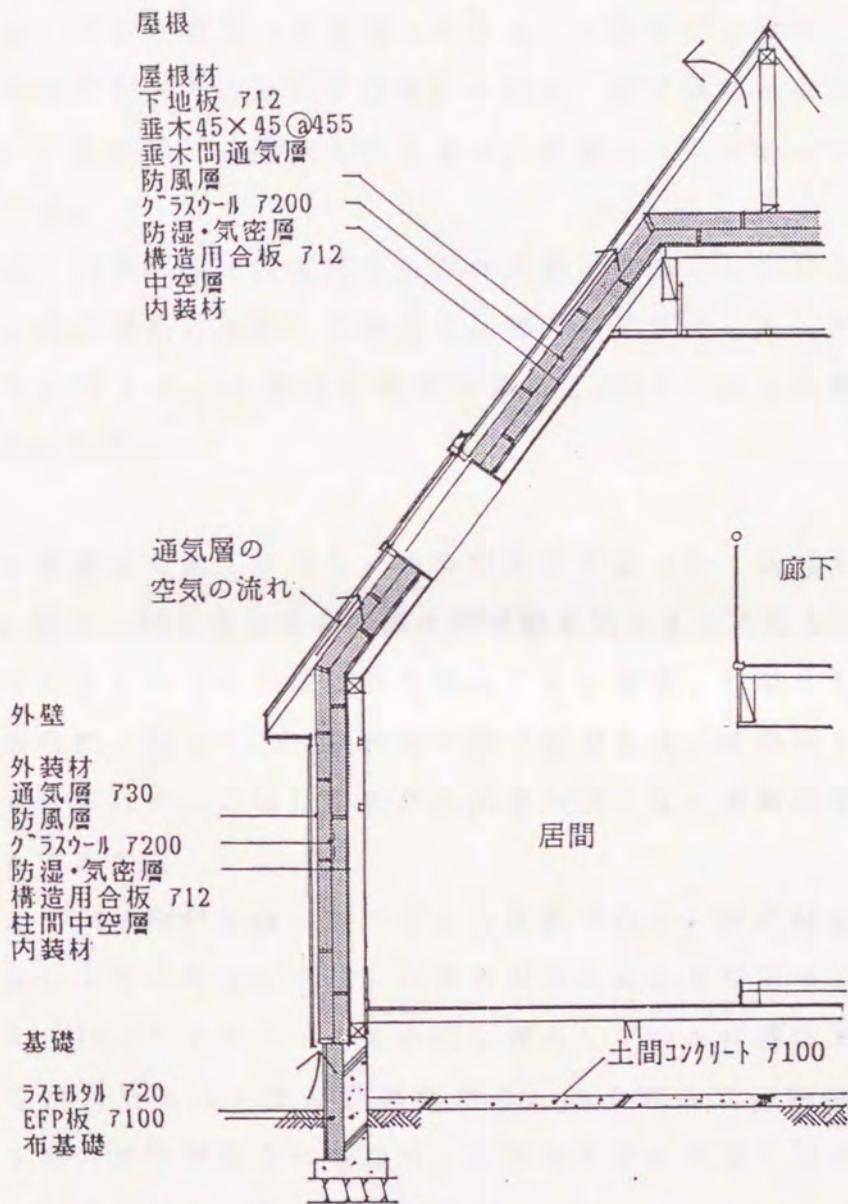


図 2 - 9 A 宅 矩 計 図

図2-10は布基礎外部に押出発泡ポリスチレン板（厚さ100ミリ）をコンクリート同時打込みとし、型枠を脱型した状態である。このため基礎コンクリートが熱的に室内側となり、戸建木造住宅の欠点の一つである熱容量不足を補うものと考えられる。1階床部分には断熱材を施しておらず床下も室内とみなし、1階床面にガラリ（900×600）を設け室内との通気を積極的に図り、床下換気口は設置していない。さらに床下地面からの放湿は、土間コンクリートにより防止している。

図2-11は防湿・気密材を合板の外側より施工しているところである。在来構法と比較して容易に、確実にポリフィルムが施工されている。ジョイント部分の処理は重ね目100ミリ以上を確保、テープ止めとした。

次に断熱材を施工するための枠材組立てについて検討することとする。図2-12は本住宅の各面の枠材組立図をまとめたものであり、各部材はあらかじめ作成された図面により積算、作製され、現場に搬入された。図2-13は縦枠材の加工図であり、縦枠は7つのパーツに分けられた。これは長物だと荷姿が良くなく運搬に不向きであるためである。

図2-14は枠材を取り付けている状態である。縦枠材は構造用合板を介して柱、間柱、下地材に斜め釘打ちにより緊結される。

図2-15はグラスウールを枠間に挿入している状態であり、窓廻りは定尺材をカットする必要がある。この時点での降雨はグラスウールに大きな障害となるため、工事は天候に留意しながら迅速にかつ、入念に施工しなければならない。

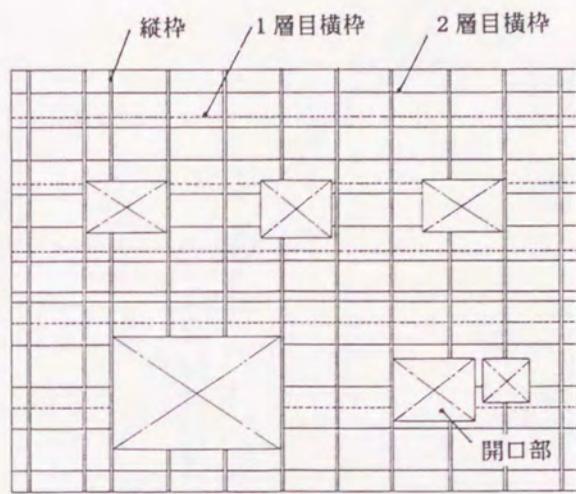
図2-16は断熱材が施工され、防風材（高密度ポリエチレン不織布：透湿性はあるが水滴は通さない性質がある。）を張り、屋根下地材を取り付けている状態である。この後、外壁は通気層確保兼、外装材下地として縦胴縁（45×30）を450ミリ間隔で取り付け、外装材を施工。屋根は垂木、下地板を張り屋根材を葺くこととなる。



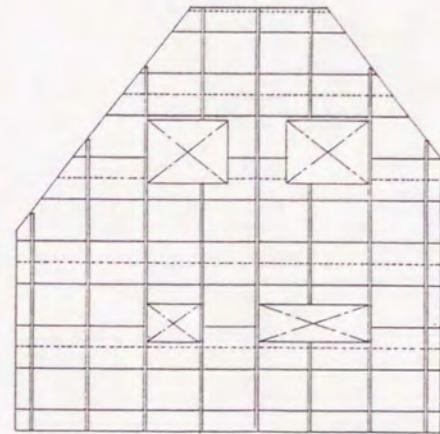
図 2 - 10 布基礎が断熱材（FP板 7100）で外断熱された状態。手前、土間コンは風除室の部分で断熱の外となる部分



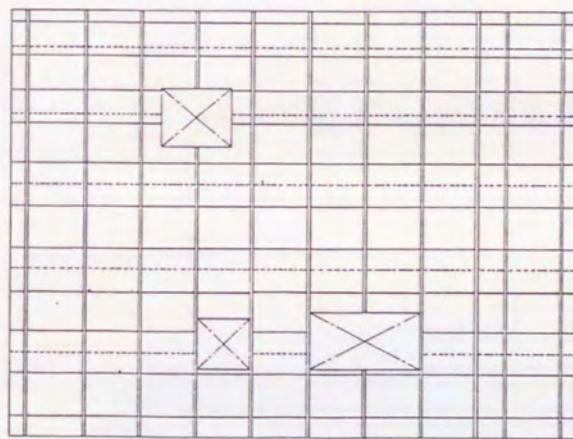
図 2 - 11 気密・防湿材を外側より施工。窓枠はこの時点で取り付けられている。



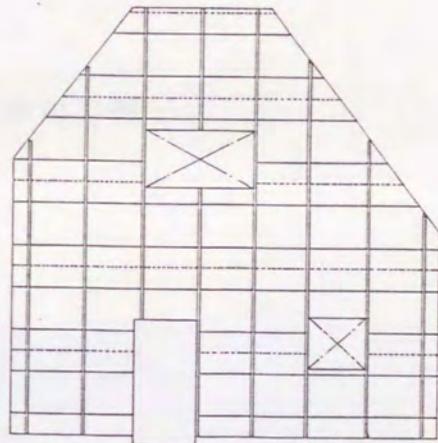
南面



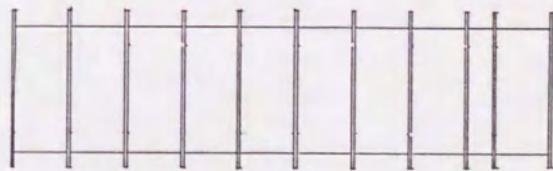
東面



北面



西面



天井面

図 2 - 12 A 宅各面の枳材組立図

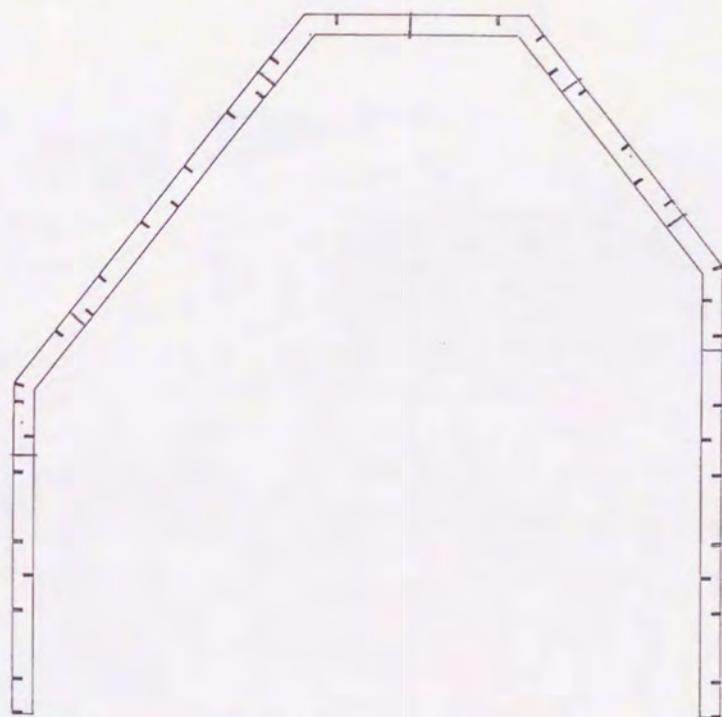


図 2 - 13 A 宅の縦枿加工図



図 2 - 14 枿材が施工されている状態。



図 2 - 15 枠を組んだのち、断熱材を 2 層、計 200 ミリを施している状態。



図 2 - 16 断熱工事、防風材取付工事が終了。
屋根下地を施工中。



図 2 - 17 竣工後の南西面外観。

2 - 3 施工の分析

本節では本住宅の気密・防湿、断熱に関連した工事の施工とそのコストについて分析する。

構造用合板張り付け

図2-18は外壁、屋根の構造用合板の張り付け出来形図を示したものである。合板は定尺材(1820×910)のまま現場に搬入され、施工には大工3人があたり張り付け方法は金槌で釘を使用し柱、間柱に緊結された。合板は取付位置、枚数に応じて足場に小型ウインチで荷揚げされ、その場所で電動丸のこを使用しカットされ張り付けられて行った。表2-4に外壁、屋根各面の使用合板枚数をまとめた。

外壁について見ると定尺板が32枚、開口部廻り、傾斜部分がある妻壁側の加工が必要な板(カット板)が74枚となりカット板が70%を占めていた。

屋根では定尺板が22枚、カット板が43枚でカット板が66%程となり、外壁よりも割合はやや低下しているものの、加工が必要な合板が半数以上を占めているのが分かる。

工数は外壁では3人工(歩掛かり、35.3枚/1人工)、屋根では4人工(16.7枚/1人工)、計7人工が必要であった。

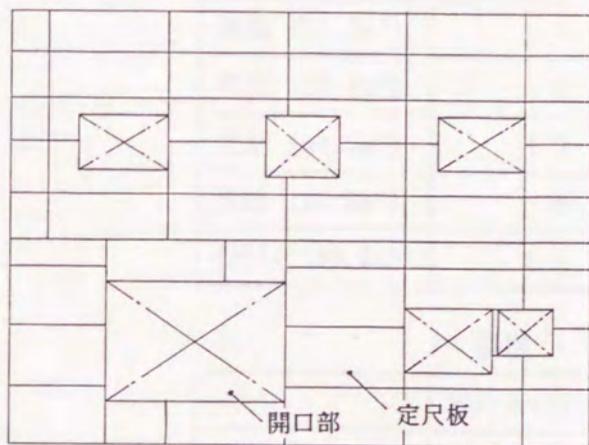
歩掛かりをみると外壁が屋根に比べて半分以下となっている。

合板張り作業終了後、断熱材施工用枠取付のための親墨を各面中央部に垂直方向に打つ作業が行なわれた。

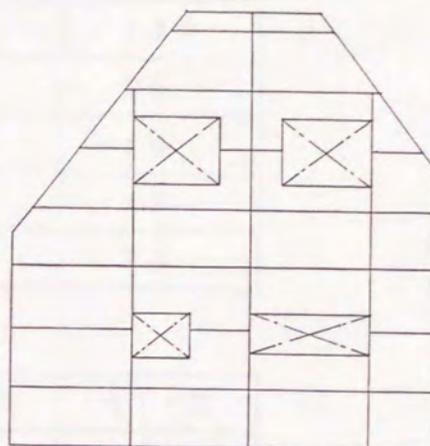
この工程での今後の改善点として以下の事項があげられる。

- ① 屋根の合板張り作業の歩掛かりを改善するには専用の足場を開発する必要がある。
- ② 合板の加工手間を削減するために、設計段階で可能な限り開口部の位置に留意し、定尺板を用い易いように配慮する。
- ③ 合板を取り付けるのに多量の釘(定型板1枚につき最低35本必

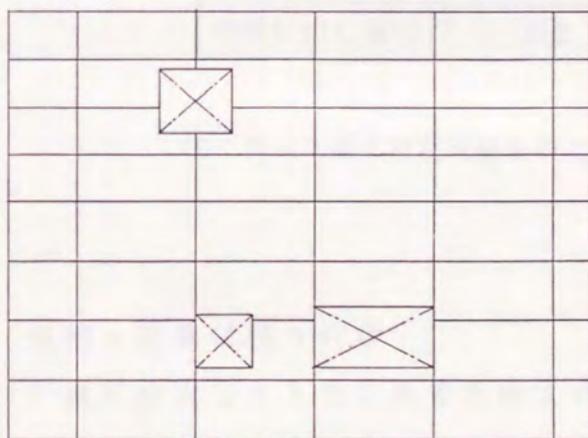
要) を使用するため、金槌ではなく作業効率の良い電動釘打機
を用意する。



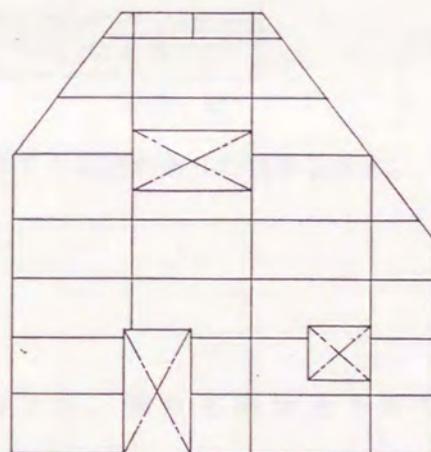
南面



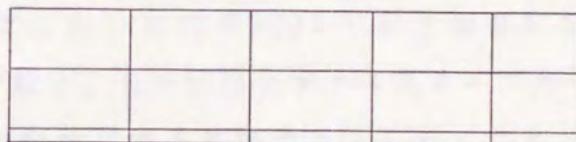
東面



北面



西面



天井面

図 2 - 18 A 宅各面の構造用合板張り付け出来形図

表 2 - 4 外壁と屋根の構造用合板枚数一覧

外壁

	定尺板(910×1820)	カット板
南面 (17.8m ²)	4	17
東面 (30.7m ²)	8	20
北面 (54.5m ²)	12	18
西面 (30.6m ²)	8	19
合計(133.6m ²)	32	74

屋根

	定尺板(910×1820)	カット板
南面 (54.5m ²)	8	22
北面 (38.5m ²)	6	16
天井面(26.7m ²)	8	5
合計(119.7m ²)	22	28

単位：枚

注：カット板とは定尺板をのこで切断する必要があった合板を示す。

気密・防湿材張り付け

施工は大工2人で、先ず外壁より開始され、張り方向は上下とした。一方が下(地面)でロール状になったポリフィルム(厚さ0.1ミリ、幅1800ミリ)を押え、片方が上に引き上げていき、必要な長さになるとカッターナイフでカットし、タッカーで仮止めを行なった。この要領で、合わせ目を100ミリ以上確保しながら外壁全体を気密・防湿材で被い、合わせ目はブチル系テープで丁寧に処理した。

屋根の張り方向は下端より横張りとした。これは万一の場合の屋根材からの漏水に備えてである。作業は片方がロールを持ち、一方が端部を引きながら所定の長さにカット、仮止めを行なったあと、テープ処理をし半日で終了した。

この作業でのポイントは屋根面での足場確保にあり、作業員がフィルムで足を滑らせ落下の恐れがあるため仮設梯子を用いながら仮止めを行った。また、風が吹くとフィルムがあおられるためその点にも留意する必要があった。気密・防湿材下部のシーリング施工（延べ30m）は足場も不要で確実な施工が期待できた。この作業には半日かかり、計2人工が必要であった。

断熱材挿入用枠組立

本工事の施工手順は以下の通りである。

- ① 施工する面の中心より屋根と外壁の取合い縦枠を基準墨に合わせて斜め釘打ちで合板を介して柱、間柱に緊結する。
- ② 縦枠の溝に1層目の横枠をはめ込みながら順次、縦枠を取り付ける。
- ③ 縦枠の溝に2層目の横枠を取り付ける。
- ④ コーナー横枠を取り付ける。

表2-5は各面に取り付けられた枠材の本数をまとめたものである。施工は、先ず、枠材を必要箇所に配分するためにウインチで各面、各高さの足場の上に荷揚げすることから開始され、このために2人工が必要であった。枠の切断には手のこを使用した。これは切断する部材が表2-5で示すように外壁で約18%、屋根で22%程度であり、電動のこを使用すると電源コードの配線が必要なため作業効率が低下すると考えたからである。

縦枠と1層目の横枠の取付けには大工2人が組で作業にあたり、片方が縦枠を保持し、一方が横枠を納めながら緊結していく作業となった。2層目の横枠取付けは、枠が小さく縦枠の溝に納めたのち、釘止めとなるため、1人で作業が可能となる。この要領で外壁が6人工、屋根が6人工、コーナー部分が1人工で、枠の小運搬の2人工も含めてこの作業には計15人工の工数が必要であった。

取付け部材数は、外壁では382枚（47.8枚／1人工、16.7m²／1人

工)、屋根が207枚(29.6枚/1人工、17.1m²/1人工)であったが、屋根の枚数が外壁の枚数よりも少ないにも関わらず、外壁と屋根で同じ工数がかかったことについて、大工は「急勾配屋根(返り3寸)では足場が外壁の場合に比較して不安定であり、さらに桷材の運搬も屋根面を移動するため、外壁よりは作業が遅れた」と述べていた。

以上、この作業でのまとめとしては、

- ① 桷材の工場搬出時に、各面に必要な部材をまとめ、現場に搬入することにより、現場では仕分けを省略することができる。
- ② 急勾配屋根の桷組みに際して、桷材の小運搬を、足場を含めて考慮する必要がある。

表2-5 外壁と屋根の桷材取付け枚数一覧

外壁

	縦桷		1層目横桷		2層目横桷	
	定尺材	カット材	定尺材	カット材	定尺材	カット材
南面 (17.8m ²)	7	8	13	3	42	5
東面 (30.7m ²)	6	5	22	7	57	8
北面 (54.5m ²)	10	2	24	3	60	6
西面 (30.6m ²)	6	3	21	6	55	11
合計 (133.6m ²)	29	18	80	19	214	22

屋根

	縦桷		1層目横桷		2層目横桷	
	定尺材	カット材	定尺材	カット材	定尺材	カット材
南面 (54.5m ²)	8	6	22	4	53	10
北面 (38.5m ²)	10	2	16	4	34	9
天井面(26.7m ²)	11	0	0	0	16	2
合計 (119.7m ²)	29	8	38	8	103	21

単位：枚

注：カット材とは定尺材をのこで切断する必要があった桷材をさす。

断熱材挿入

施工に使用したグラスウールの幅は枠間（890ミリ）に合わせてあるが、2層目のグラスウール、及び開口部まわりの材料はカットする必要がある。表2-6に外壁、屋根に要したグラスウールの枚数をまとめた。本構法では断熱材施工時の降雨に対して最も注意を払わなければならないため、施工は天候を見て大工3人で屋根面より開始した。グラスウールをウインチで足場に荷揚げし、そのうち1人が切断専門、2人が採寸、断熱材挿入の役割となった。この工程での工数は、屋根（212枚）に3人工（71枚／1人工）、外壁（362枚）に4人工（91枚／1人工）、計7人工が必要であった。

幸い、本工事は天候に恵まれ施工は順調であったが、急な降雨時の対策としては養生シートを用意しておく必要がある。

以上、この作業のまとめとしては

- ① 2層目の断熱材（675ミリ×890ミリ）の枚数が全体で約100枚ほどあり、工場であらかじめこのサイズに切断し、現場に供給可能であれば2層目の切断に要する工数（2人工）が低減できる。
- ② 1層目の断熱材挿入時に2層目の横枠が作業の障害となる部分もあり、今後はその枠を仮止めしておく必要がある。

防風材張り付け

防風材の施工は、屋根、外壁の各面ごとに断熱材挿入工事が終了したのち、断熱材の養生を兼ねて直ちに行なわれた。防風材の施工要領は以下の通りである。

- ① 大工2人でロール状（幅900ミリ）になっている防風材を外壁では上下方向、屋根では横方向に片方が材料を持ち、一方が引きながら所定の面積に広げてカットする。
- ② タッカーで枠に止め、合わせ目（100ミリ以上）をテープで処理する。

この作業に要した工数は2人工であった。この工数を低減するためには気密・防湿材のように、1800ミリ程度の幅の広い製品が市場

に供給されることが望まれる。

表 2 - 6 外壁と屋根の断熱材使用枚数一覧

外壁

	1 層目 (1350×890)		2 層目 (675×890)	
	定尺材	カット材	定尺材	カット材
南面 (17.8m ²)	7	2 2	1 5	2 5
東面 (30.7m ²)	1 6	2 0	3 7	2 9
北面 (54.5m ²)	2 1	2 0	4 8	1 9
西面 (30.6m ²)	1 8	1 7	3 8	2 2
合計 (133.6m ²)	6 2	6 7	1 3 8	9 5

屋根

	1 層目 (1350×890)		2 層目 (675×890)	
	定尺材	カット材	定尺材	カット材
南面 (54.5m ²)	1 4	1 7	3 9	2 7
北面 (38.5m ²)	7	2 0	3 2	1 6
天井面(26.7m ²)	9	1 1	9	1 1
合計 (119.7m ²)	3 0	4 8	8 0	5 4

単位：枚

注：カット材とは定尺材をカッターで切断する必要があった材を示す。

以上、本構法の気密・防湿材、断熱材の施工について述べたが、では本構法は現・在来構法と比較して、どの程度人工数が増加し、その工事項目は何であるかを探る必要がある。図2-19は同じ工事項目で本住宅と現・在来構法住宅の工数を比較したものである。比較対象とした在来戸建住宅は全く同じ形態の住宅ではないが、延床規模が同じ程度の切妻屋根で総2階建て（天井の断熱方法はブローイング工法）である。その結果をまとめると以下のようなになる。

- ① 気密・防湿、断熱工事に要した総工数は本構法住宅で33人工、現・在来構法住宅では12～13人工で、その差は20～21人工となった。この主因はグラスウールの枠取り付け工事と挿入工事であることが分かる。
- ② 工期について検討してみると、本構法では大工2人組では10日間、3人組では7日間程度の日数が必要となり、工期短縮を図るためには前述の工事の施工改善がポイントとなろう。

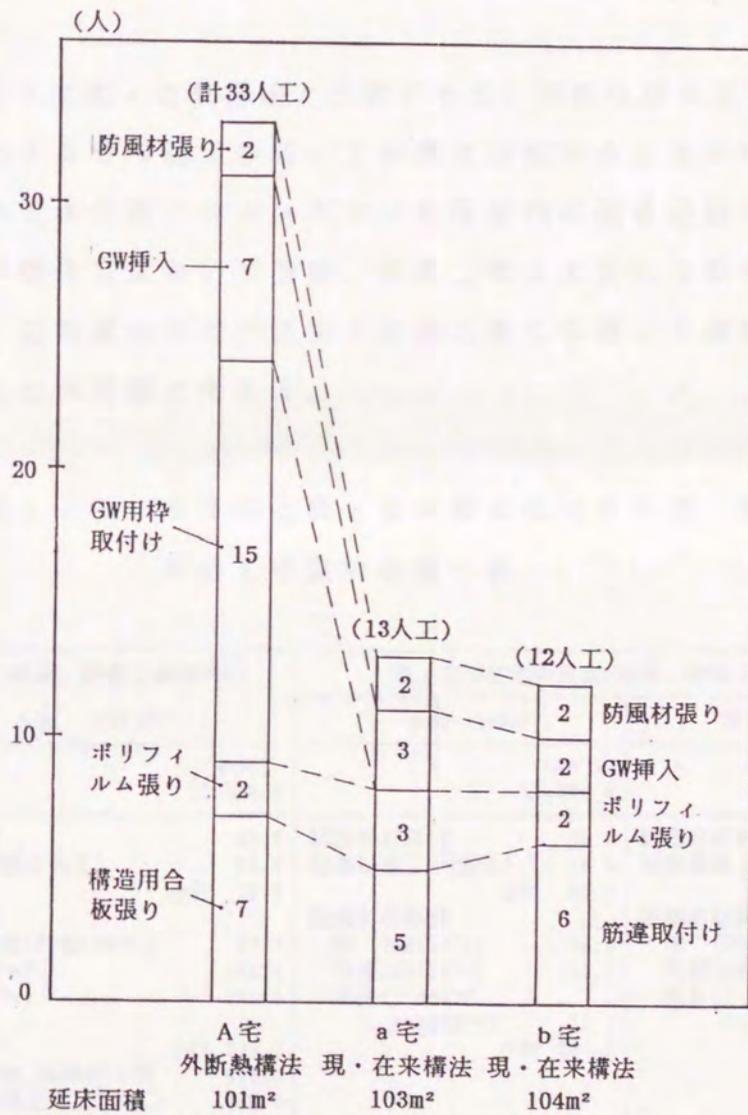


図 2 - 19 工事別に見た本構法住宅と
現・在来構法住宅の工数比較

表2-7は本住宅の気密・防湿、断熱工事費と、前述の現・在来構法住宅のそれとを比べたものである。合板張り付け工事費と筋違取付け工事費は殆ど同じである。本住宅は96.7万円、後者では断熱仕様が若干良いA社が39.5万円、B社が33.3万円であった。この差は主に断熱材挿入用枠材料費とその取り付け手間賃が大きく、断熱材材料費の差は6～11万円である。また、本住宅の総工事費に対する気密・断熱工事費は約7.2%、現・在来住宅では2.9～3.3%であった。

このように現・在来構法と比較すると、当然ながら本構法の気密、断熱強化する分の施工手間、工事費は増加することになる。このことについては今後、コストダウンを積極的に図る必要があるが、寒冷地の戸建住宅において気密、断熱工事は本質的な部分であり、むしろ現・在来構法の方が気密・断熱工事に手間、工事費をかけ過ぎることが問題と考える。

表2-7 本住宅と現・在来構法住宅の気密・防湿、断熱工事費の比較一覧

A宅の気密・防湿、断熱工事費内訳 施工・A社 (101㎡)	現・在来住宅の気密・防湿、断熱工事内訳	
	A社 (103㎡)	B社 (104㎡)
総工事費 (千円) 13,500.0	(千円) 12,000.0	(千円) 11,400.0
防湿層材料費 46.0	防湿層材料費 60.0	防湿層材料費 74.0
防湿層施工手間(2人工) 24.0	防湿層施工手間(3人工) 36.0	防湿層施工手間(2人工) 24.0
小計 70.0	小計 96.0	小計 98.0
断熱材材料費	断熱材材料費	断熱材材料費
布基礎外断熱(FP板100 [㏄]) 92.0	床 (GW150 [㏄]) 40.0	床 (GW100 [㏄]) 30.0
外壁(GW200 [㏄]) 106.0	外壁(GW130 [㏄]) 152.0	外壁(GW100 [㏄]) 91.0
屋根(GW200 [㏄]) 125.0	天井(フ ^ロ -イ ^ソ グ ^ク ク ^ハ 200 [㏄]) 71.0	天井(フ ^ロ -イ ^ソ グ ^ク ク ^ハ 200 [㏄]) 90.0
小計 323.0	小計 263.0	小計 211.0
断熱層形成用縦、横枠材料費 310.0		
同 枠組立て(15人工) 180.0		
小計 490.0		
断熱材施工手間(7人工) 84.0	断熱材施工手間(3人工) 36.0	断熱材施工手間(2人工) 24.0
合計 967.0	395.0	333.0
単位面積(㎡)当り単価 133.7	116.5	109.6
気密・防湿、断熱工事費/総工事費 7.2(%)	3.3	2.9

注)・大工、一人工の単価は1.2万円(昭和62年時)で算出。

・A、B社のグラスウールは標準の16kg/m³を使用。

・A社の外壁グラスウールは100ミリに30ミリの高密度グラスウール(32kg/m³)を付加。

・B社の断熱工事は断熱材を施工する専門会社に委託。

2-4 まとめ

本章で得られた知見を以下にまとめる。

- ① 気密・防湿材の確実な施工のため下地材として構造用合板を使用した。その結果、気密・防湿材の施工は順調に行なわれたと言える。
- ② 断熱材の厚さは200ミリとし、その断熱材厚さとサイディング下地を兼ねた枠組みを提案した。その施工に要した工数は枠取り付けで15人工、断熱材挿入で7人工、合計22人工であった。本構法の工数の低減を図るためには枠組立て施工の改善が必要であると言える。
- ③ 気密・防湿、断熱施工に要した費用は総工事費の約7%（現・在来住宅は約3%）で、現・在来住宅に比較して約60万円の増額となった。この増加分の約50%は断熱材挿入用の枠材費であり、施工の面で費用が大きかったのは枠取付け工賃の18万円である。なお、SHS構法とのコスト比較については、本住戸、一戸ではデータが少ないため第4章で詳しく述べたい。
- ④ 施工中の問題点としては、断熱材の施工が天候に左右される可能性が大きい。

第 2 章の参考文献

- 1) 杉山英男、中田和夫：木構造の設計、オーム社、昭和56年8月
- 2) 斎藤平蔵：建築気候、共立出版、昭和55年5月
- 3) 北海道の気象、(財)日本気象協会北海道本部、昭和58年7月

付 2 - 1 構造用合板を用いた場合の壁量チェック

① 地震力にたいする壁量

$$\begin{array}{ll}
 2 \text{ 階} & \text{桁方向} & \circ R_{2x} = 2x L_e / A_2 \\
 2 \text{ 階} & \text{梁間方向} & \circ R_{2y} = 2y L_e / A_2 \\
 1 \text{ 階} & \text{桁方向} & \circ R_{1x} = 1x L_e / A_1 \\
 1 \text{ 階} & \text{梁間方向} & \circ R_{1y} = 1y L_e / A_1
 \end{array} \dots (1)$$

$\circ R_{1x}$: i 階の桁方向壁率 (cm/m^2)
 $\circ R_{1y}$: i 階の梁間方向壁率 (cm/m^2)
 $1x L_e$: i 階の桁方向有効壁率 (cm/m^2)
 $1y L_e$: i 階の梁間方向有効壁率 (cm/m^2)
 A_1 : i 階の床面積 (m^2)

② 風圧力にたいする壁量

$$\begin{array}{ll}
 2 \text{ 階} & \text{桁方向} & w R_{2x} = 2x L_e / w A_{2x} \\
 2 \text{ 階} & \text{梁間方向} & w R_{2y} = 2y L_e / w A_{2y} \\
 1 \text{ 階} & \text{桁方向} & w R_{1x} = 1x L_e / w A_{1x} \\
 1 \text{ 階} & \text{梁間方向} & w R_{1y} = 1y L_e / w A_{1y}
 \end{array} \dots (2)$$

$w R_{1x}$: i 階の桁方向壁率 (cm/m^2)
 $w R_{1y}$: i 階の梁間方向壁率 (cm/m^2)
 $1x L_e$: i 階の桁方向有効壁率 (cm/m^2)
 $1y L_e$: i 階の梁間方向有効壁率 (cm/m^2)
 $w A_{1x}$: 風方向が桁方向の時の i 階部分にたいする見付け面積 (m^2)
 $w A_{1y}$: 風方向が梁間方向の時の i 階部分にたいする見付け面積 (m^2)

③ A 宅についての計算結果

$$\begin{array}{ll}
 \circ R_{2x} = 3456 / 47.2 = 36.6 > 15 & w R_{2x} = 3456 / 21.6 = 200.0 > 50 \\
 \circ R_{2y} = 1920 / 47.2 = 40.7 > 15 & w R_{2y} = 1920 / 37.6 = 51.1 > 50 \\
 \circ R_{1x} = 2810 / 55.1 = 51.0 > 29 & w R_{1x} = 2810 / 54.5 = 51.6 > 50 \\
 \circ R_{1y} = 3825 / 55.1 = 69.4 > 29 & w R_{1y} = 3825 / 72.4 = 52.8 > 50
 \end{array}$$

以上の様に各条件で必要壁量を満たしている。

第三章 モデル住戸における環境性能

本章の目的は前章の住戸（A宅）を対象として、①本住戸各部の温湿度、②気密性能、③軸組の含水率、④燃料消費量の計測を通して住戸の性能を明らかにすることにある。

3-1 住戸各部の温度

本節では季節別の室温変動と外断熱された床下温度変動について述べてみたい。本住宅（A宅）の住まい方はごく一般的であり、夏の暑い時期は窓を開け換気により涼を得て、冬の暖房期間は在宅時に暖房（ポット式石油ストーブ使用）を使用し就寝時には停止するというパターンである。

夏期の室温変動

図3-1は夏期の本住宅の代表的な室温変動をまとめたものであり、この図より以下のことが言える。

- ① 1階室温（居間中央、FL+1000、記号1）について見ると、外気温（記号0）が30℃を越える日も、それより約3～4℃ほど低く推移している。
- ② 2階室温（廊下中央、FL+1000、記号2）は、1階に比べると平均約3℃ほど高い傾向を示している。A宅は傾斜窓（天窗）を南側に3箇所、設置しており、そのため日射による影響が大きいことが要因と考えられる。この改善策としては窓の外側（外部）にブラインドなどの日除けを設けること、が挙げられる。
- ③ 床下（居間南側、記号3）は24℃前後で良く安定している。
- ④ 室内湿度は60～70%で変動し、床下の土間コンクリート面、及び布基礎部分の表面結露は認められず乾燥状態となっていた。

冬期の室温変動

図3-2は冬期の典型的な室温測定結果であり、その特性を列記すると、

- ①暖房時間帯の1階（記号1）、2階（記号2）の温度差は1～2℃と極めて小さく良好な状態となっている。
- ②外気温（記号0）は-3～-15℃で変動している。間欠暖房時の暖房停止後の室温低下について見ると、約16℃までしか室温は下がっていない。朝の起床時にこの程度の室温が維持されていれば、生活は快適なものになると考える。
- ③床下（記号3）はやや暖房の影響が見られ15～19℃で変動しているが旧、あるいは現・在来住宅のように氷点下にはなっていない。つまり外断熱された床下での給水管凍結の危険性は非常に低いため水落しが不要となり、住宅の維持・管理の労力低減が図れることになる。実際に本住宅では一度も水落しを行ってはいない。
- ⑤室内湿度は40～50%で安定、良好な状態であった。

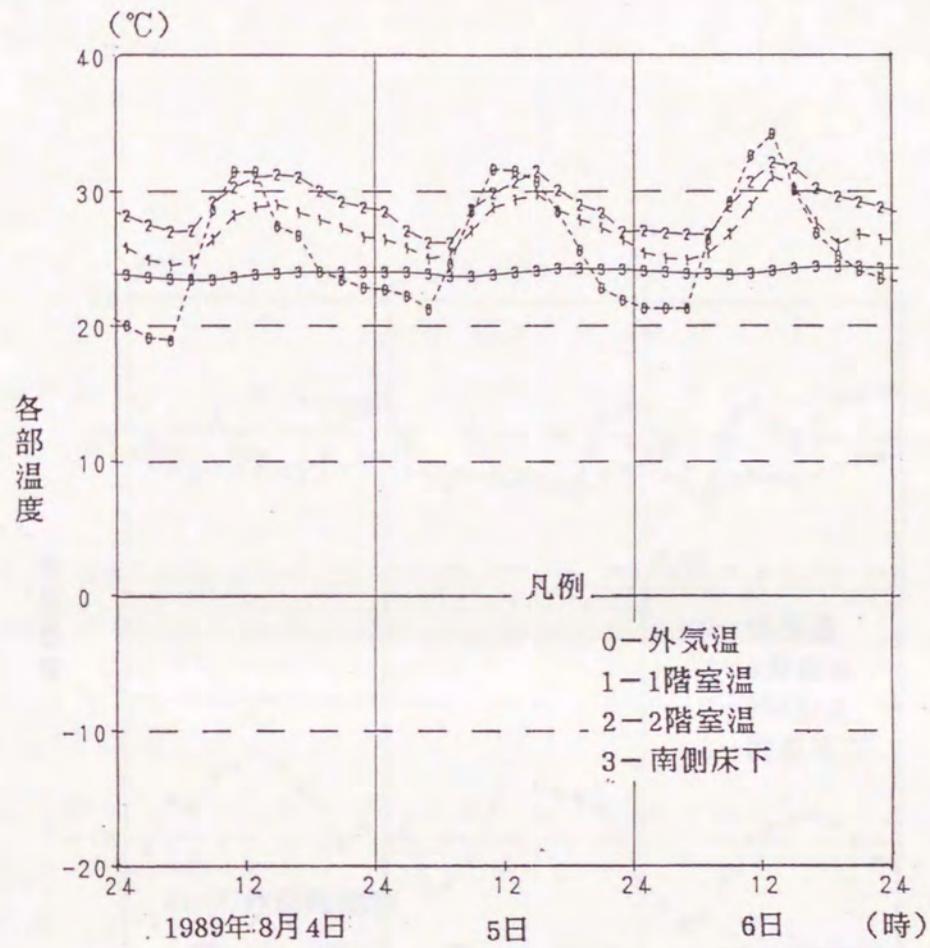


図 3 - 1 A 宅の夏期の各部温度変動

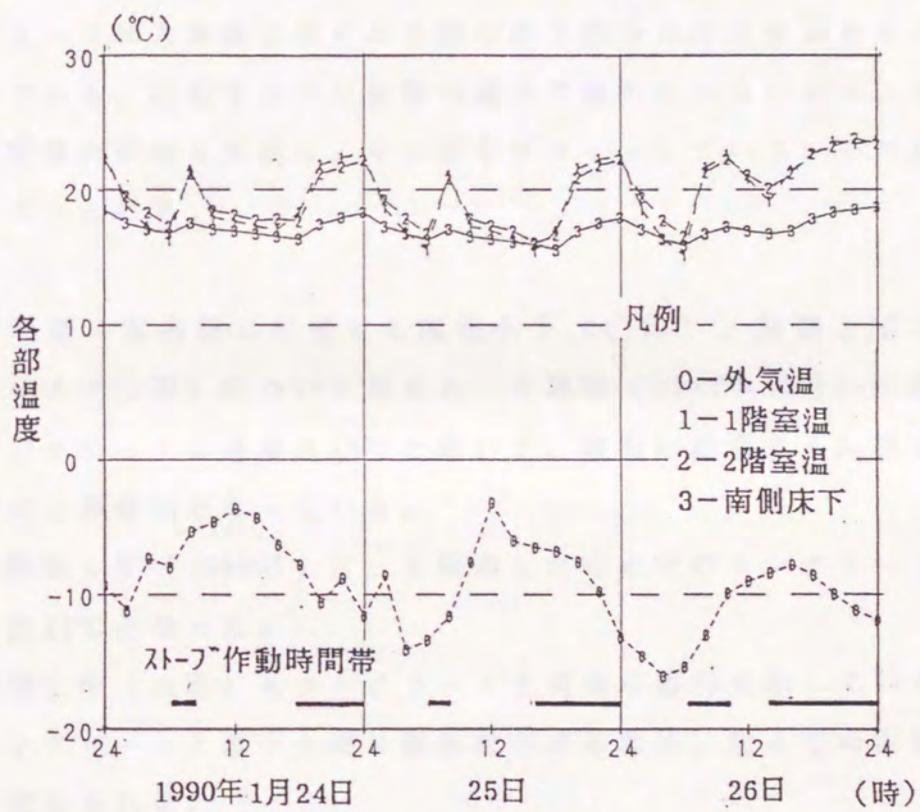


図 3 - 2 A 宅の冬期の各部温度変動

床下の温度変動

次に外断熱を施された床下部分温度の変動について述べてみたい。床下面は地表面からの水蒸気の発生抑止と熱容量の増大を兼ねて、土間コンクリート厚さ120ミリ、その下に押出発泡ポリスチレン板厚さ30ミリを施している。

図3-3に温度センサー取付位置を示す。また建物北側の地中（GL-450）にも温度センサーを取り付け床下土中温度との比較を行った。

図3-4は入居後2年6カ月間の床下部分の温度変動をまとめたものである。各測定点の日変動の温度変動巾は小さいため、5日間の測定値の平均を算出し、その値をプロットしている。その結果を以下にまとめる。

- ①断熱層の室内側に位置する南側床下（□印）、南側土間コンクリート（○印）について見ると、入居時（1987年12月）付近ではコンクリートの温度は13℃と低いですが、時間が経過するに従い緩やかに上昇傾向となっている。
- ②入居後1年（1989年1月）を経過した時点でのコンクリート温度は約17℃となった。
- ③南側土中（△印）もコンクリートと同様な傾向を示しているが、コンクリートと床下土間に断熱材があるため、約4℃の温度低下が認められる。
- ④しかし、外部の土中温度（▲印）と比較すると、その変動巾、及び、温度の低下も小さいことが分かる。

● 外部土中温度 深さGL-450

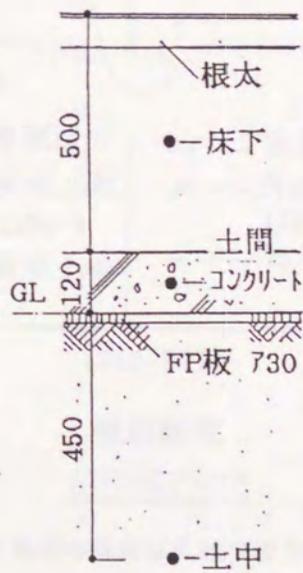
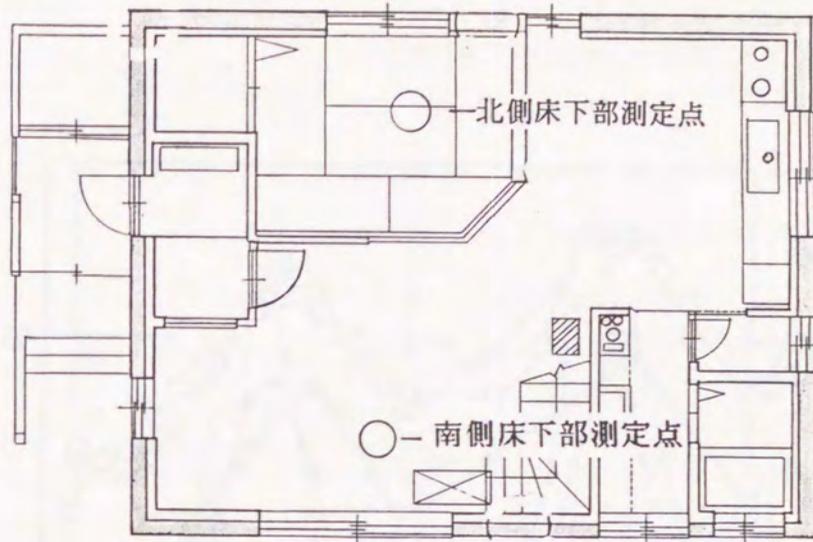


図 3 - 3 床下の温度測定位置

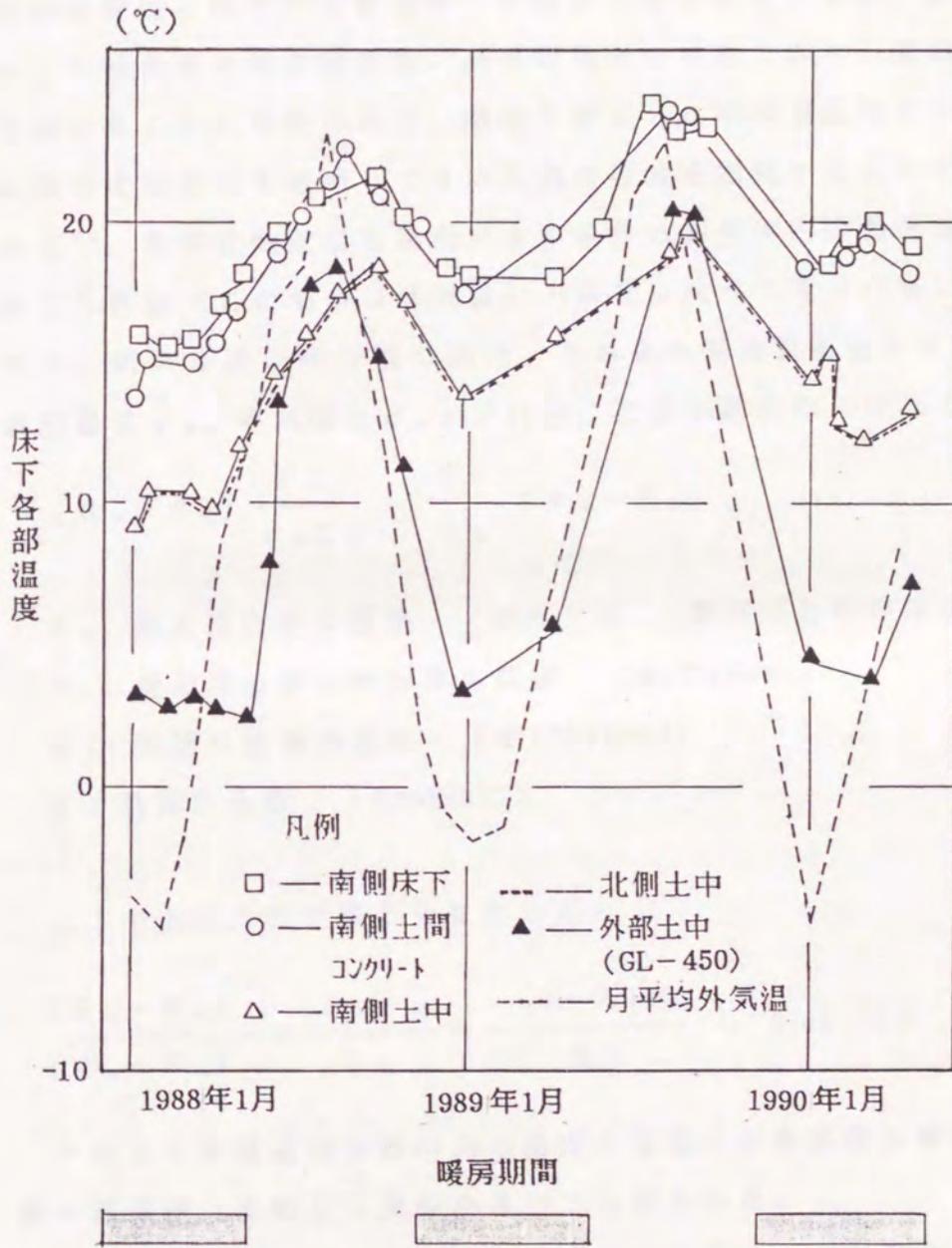


図 3 - 4 A 宅の床下温度変動

住戸の室温低下と熱容量

ここでは本住戸の熱容量がどの程度、室温低下に影響を与えているかを述べることにする。外断熱構法を適用することにより新たな熱容量が付与され、それらは床下の布基礎と土間コンクリート、1階床に使用されている構造材、外壁に使用されている柱、間柱の半分、外断熱用の構造用合板、断熱材用枠の半分であり、室温降下を低減することに効果がある。暖房を停止した時の室温降下に関しては集中定数近似を適用してその大概の特性を把握することが可能である¹⁾。集中定数近似を適用できる条件は蓄熱体内の温度差が蓄熱体と外界温（この場合は外気温）との差に比べて充分小さいことである。例えば構造用合板の場合、その室内側表面温度を θ_c 、外側表面温を θ_s 、外気温を θ_o とすれば、次式が近似的に求まる。

$$(\theta_c - \theta_s) \frac{F_o}{r_o L_o} \approx \frac{F_o}{R_o} (\theta_s - \theta_o)$$

F_o : 構造用合板の面積 (m²) L_o : 構造用合板の厚さ (m)

r_o : 構造用合板の熱伝導比抵抗 (mh²C/Kcal)

R_o : 外壁の熱貫流抵抗 (m²h²C/kcal)

q : 熱損失係数 (Kcal/h²C)

ここで上式の温度差の比を求めると

$$\frac{(\theta_c - \theta_s)}{(\theta_s - \theta_o)} \approx \frac{L_o r_o}{R_o} \approx \frac{9 \times 0.009}{5.7} \approx 0.01 \ll 1$$

このように構造用合板中央の温度と室温との温度差は室温と外気温の温度差に比較して充分小さいことがわかる。

一方、内装材に関しては、内部側の表面温を θ_{s1} 、室内側表面温を θ_{s0} とすると近似的に次式が得られる（室温 > 床下温の場合）。

$$\left(\frac{F_o}{r_o L_o} + \frac{F_i}{r_i L_i} \right) (\theta_{s1} - \theta_{s0}) \approx (q - q_o) (\theta_{s0} - \theta_o)$$

$$\frac{(\theta_{s1} - \theta_{s0})}{(\theta_{s0} - \theta_o)} \approx \frac{(q - q_o)}{\frac{F_o}{r_1 L_1} + \frac{F_1}{r_1 L_1}} = \frac{113.9}{266 + 142} = 0.005 \ll 1$$

F_o : 構造用合板の面積 (m²) F_1 : 内装材の面積 (m²)

r_1 : 室内側内装材の熱伝導比抵抗 (mh²C/Kcal)

L_1 : 室内側内装材の厚さ (m) q : 熱損失係数 (Kcal/h²C)

q_o : 外壁の熱損失係数 (Kcal/h²C)

土間コンクリートに関しては次のように推定できる。まず、このコンクリートの蓄熱が室温形成に関与するのはこの部位から床を通して室内への熱の流入がある場合で次の熱収支が成立する。

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

ここで Q_1 : 土間コンクリートから室内への熱流入

Q_2 : 上記以外の内装材等から室内への熱流入

Q_3 : 屋外への熱流出

各部位の室温降下の割合、 $d\theta/dt$ は各部位が干渉する形でも似た値となると仮定すると、後述する(付表3-1)のように Q_1 と Q_2 に係わる熱容量 (C_1 、 C_2) はほぼ等しいので

$$Q_1 \left(= C_1 \frac{d\theta}{dt} \right) \text{ と } Q_2 \left(= C_2 \frac{d\theta}{dt} \right) \text{ はほぼ同程度の値であること}$$

となり、 Q_1 の概略値は次のように表現できる。

$$Q_1 \approx Q_3 / 2$$

$$\text{ここで } Q_1 \approx \frac{F_r}{R_r} (\theta_o - \theta_1)$$

$$Q_3 = q' (\theta_1 - \theta_o)$$

$$q' = q - q_o - q_r$$

F_r : 床面積 (= 土間コンクリート表面積、 m^2)

R_r : 土間コンクリート表面から室内までの熱抵抗 ($m^2h^\circ C/kcal$)

θ_o : 土間コンクリート表面温度 ($^\circ C$)

θ_i : 室温 ($^\circ C$)、 q' : 基礎部の熱損失係数

$$\frac{(\theta_o - \theta_i)}{(\theta_i - \theta_o)} = \frac{q' R_r}{2 F_r}$$

一方、土間コン内部の温度差 $\Delta \theta_c$ は次式で推定される。

$$\frac{F_c}{r_c L_c} \Delta \theta_c \cong \frac{F_r}{R_r} (\theta_o - \theta_i)$$

ここで r_c : コンクリートの熱伝導比抵抗 ($mh^\circ C/Kcal$)

L_c : コンクリートの厚さ (m)

従って

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \theta_c}{\theta_i - \theta_o} &= \frac{r_c L_c (\theta_o - \theta_i)}{R_r (\theta_i - \theta_o)} = \frac{r_c L_c}{R_r} \cdot \frac{q' R_r}{2 F_r} \\ &= \frac{r_c L_c q'}{2 F_r} \end{aligned}$$

$$r_c = 1.4、L_c = 0.12、q' = 98.6$$

$$\therefore \frac{\Delta \theta_c}{\theta_i - \theta_o} = \frac{1.4 \times 0.12 \times 98.6}{2 \times 60} = 0.14 \ll 1$$

従って室温降下の大局を把握する上で土間コンクリート内部の温度差を無視しても差し支えない。

まず、室温と構造体温は同一とし、外気温は一定と仮定すると、熱平衡式として次式が得られる。

$$q(\theta_1 - \theta_0)dt = C_r d\theta_1$$

上式を解いて

$$\theta_1 = \theta_0 + (\theta_{10} - \theta_0) \exp(-t/T_c)$$

$$T_c = C_r / q$$

θ_1 : 内部および構造体の温度 (°C)

θ_{10} : 暖房停止直後の構造体の温度 (°C)

θ_0 : 外気温 (一定) (°C)

T_c = 建物冷却の時定数 (h)

C_r = 建物の熱容量 (kcal/°C)

q = 熱損失係数 (kcal/h°C)

ここで冷却の時定数は断熱材の内側に位置する全ての部材の熱容量を付表3-1に示す。全熱容量を適用して算出される時定数は次のようである。この時定数は長期間、暖房を停止したときに参考になる。

本住戸の全熱容量: $C_r = 9393 \text{ kcal/°C}$ (算出は付表3-1参照)

本住戸の熱損失係数 $q = 137.3 \text{ kcal/h°C}$ (算出は付表3-2参照)

$$T_c = 9393 / 137.3 = 68.4 \text{ (h)}$$

さて日常生活において間欠暖房時の室温低下例は図3-2に示されている。暖房停止時間中は床下の温度は室温より低いので布基礎と土間コンクリート分の熱容量の室温降下への寄与は小さい。従ってこの部分の熱容量を除外して時定数を算出すると次のようになる。

$$T_c = (9393 - 3896) / 137.3 = 40.0 \text{ (h)}$$

図3-2より各階室温の時定数を求めると、1階は33時間で2階は50時間、平均すると41.5時間となり推定値に近い。

外断熱に起因する熱容量の増大による時定数の増加、すなわち室

温降下の緩和は内断熱と比較すると明確になる。本住戸を現・在来構法で建設した場合を仮定すると、その熱容量は上記の熱容量から次の熱容量、すなわち断熱材用枠の半分、1、2階外壁の柱、間柱の半分、構造用合板分、基礎と土間コンクリートとすると、結局、内断熱の時の熱容量は次のようになる。(算出は付表3-1参照)

$$9393 \text{ kcal/}^\circ\text{C} - 5689 \text{ kcal/}^\circ\text{C} = 3704 \text{ kcal/}^\circ\text{C}$$

熱損失係数が本住戸と同じと仮定すれば、冷却の時定数は以下のようになる。

$$T_e = 3704 / 137.3 = 27.0 \text{ (h)}$$

室温停止時の室温降下は次式で表される。

$$\theta_{i(t)} = \theta_o + (\theta_{i0} - \theta_o) \exp(-t/T_e)$$

但し、 $t < T/2$ の時は近似的に次式で表される。

$$\theta_{i(t)} = \theta_{i0} - (\theta_{i0} - \theta_o) t / T_e$$

いま設定室温を 20°C 、外気温を -10°C とする。

$$\theta_{i(t)} = 20 - 30t / T_e$$

暖房停止8時間後の室温 $\theta_{i(8)}$ は、外断熱($T_e = 40 \text{ h}$)と内断熱($T_e = 27 \text{ h}$)でそれぞれ次のようになる。

$$\text{外断熱: } \theta_{i(8)} = 20 - 30 \times 8 / 40 = 14 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\text{内断熱: } \theta_{i(8)} = 20 - 30 \times 8 / 27 = 11 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

以上のように外気温が -10°C の時、8時間の暖房停止の場合、外断熱は内断熱より 3°C も高くなることが予想される。

次に長期間の暖房停止時について検討してみたい。暖房停止 t 時間後の室温は以下の式で推定できる。この時外断熱は前述のように全熱容量が対象となるため、時定数は 68.4 時間となる。一方、内断

熱の熱容量は変わらず時定数は27.0時間である。

$$\text{外断熱} : \theta_1(t) = \theta_0 + (\theta_{10} - \theta_0) \exp(-t/88.4)$$

$$\text{内断熱} : \theta_1(t) = \theta_0 + (\theta_{10} - \theta_0) \exp(-t/27.0)$$

ここで室温が凍結の恐れのある0℃になる時間に着目し、その時間を算出する。

$$\text{外断熱} : 0 = -10 + (20 + 10) \exp^{-t/88.4} \quad t = 59.9 \quad (\text{h})$$

$$\text{内断熱} : 0 = -10 + (20 + 10) \exp^{-t/27.0} \quad t = 15.6 \quad (\text{h})$$

外断熱は59.9時間、内断熱は15.6時間で、その差は

$$59.9 - 15.6 = 44.3 \quad \text{時間}$$

となり、殆ど2日間程度近くとなる。このように外断熱は内断熱に比較して室内の凍結に対しては有利となることがわかる。

図3-5は本住戸の暖房を停止した3日間の室温降下をまとめたものである。この図には外断熱と内断熱の室温降下の推定も加えてある。この図より以下の事項が分かる。

- ① 外断熱の推定値(○印)と1階室温の動きを見ると、12月31日の夜間から1月1日までは概ね推計値と一致しているが、1月1日12時では日射の影響を受けて推計値より2℃ほど高くなっている。このように現実には日射、内部発熱の影響により、室温が0℃となる時間はさらに伸びることとなる。
- ② 外断熱と内断熱の推定値(●印)を比較すると、外断熱は48時間後(1月2日24時)でも7℃ほどを保っているが、内断熱では1℃まで降下し、その差は6℃と開いている。

以上述べたように、外断熱構法は従来の木造住宅が抱えていた熱容量が小さいという弱点を大きく改善する上でも効果があると言える。

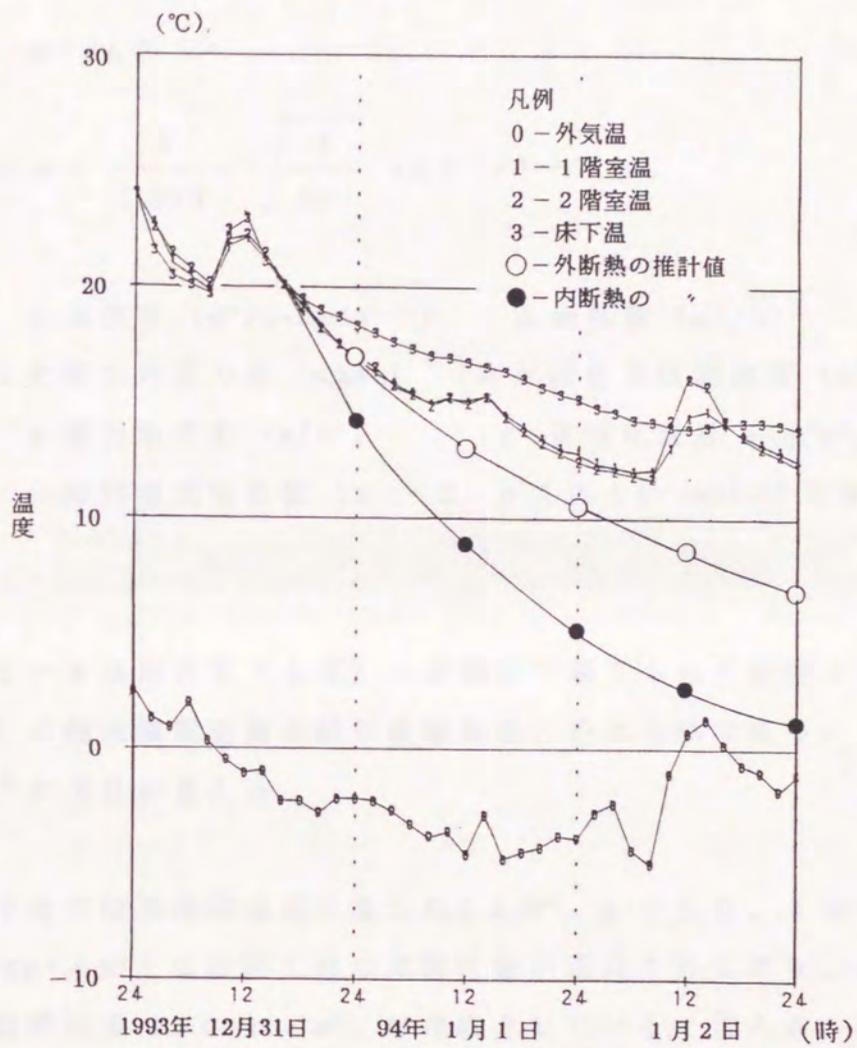


図 3 - 5 A 宅の暖房停止時の室温変動

3 - 2 気密性

続いて、気密性について述べたい。気密性能の指標として通気率を計測し相当隙間面積を算出した。算出式²⁾を以下に示す。

$$Q = a \Delta P^{1/n}$$

$$\alpha A = \frac{1}{3,600} \sqrt{\frac{\gamma}{2g}} a \Delta P^{1/n-1/2}$$

a: 通気率 ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{mmAq}^{1/n}$) Q: 通気量 (m^3/h)

ΔP : 室内外圧力差 (mmAq) αA : 総相当隙間面積 (m^2)

g: 重力加速度 (m/s^2) γ : 空気比重量 (kg/m^3)

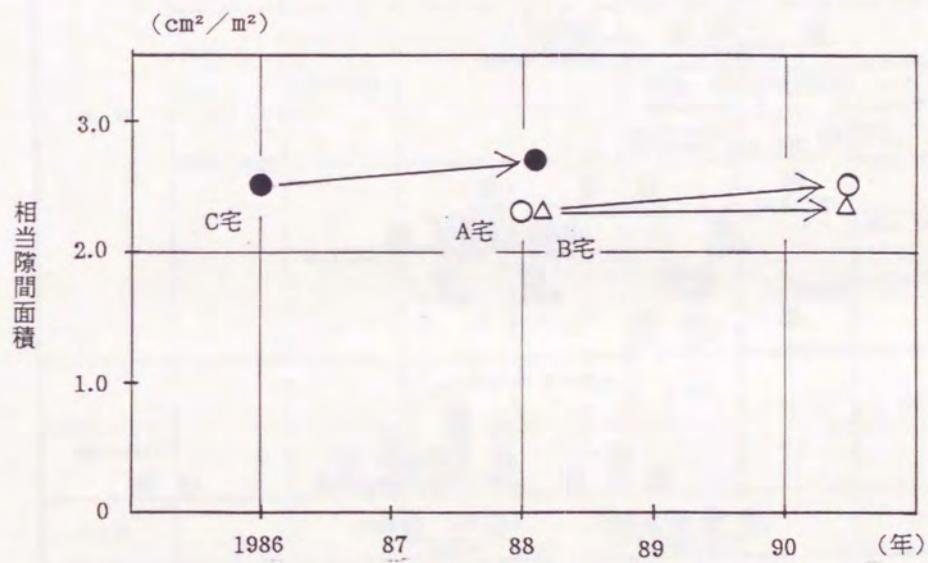
n: 隙間通気特性値 $1 \leq n < 2$ αA は $\Delta P = 1 \text{mmAq}$ 時で算出。

図3-6は本住宅(A宅)と本構法で建てられた住宅2例(B、C宅)の相当隙間面積の経年変動をまとめたものである。この図より以下の項目が言える。

- ① 本住宅の相当隙間面積は竣工時 $2.3 \text{cm}^2/\text{m}^2$ であり、2年後でも $2.5 \text{cm}^2/\text{m}^2$ とほぼ竣工時の気密性能が維持されており、目標とした気密性能 ($3.0 \text{cm}^2/\text{m}^2$) は達成されていると言える。
- ② B宅(2年3カ月)、C宅(2年)の相当隙間面積についても本住宅と同様に殆ど変動は見られない。
- ③ 従って本構法を適用した戸建住宅の相当隙間面積は極めて安定し、竣工時の気密性能が十分に確保されていると言える。

図3-7は相当隙間面積を1から6のグレードにわけ各種住宅の相当隙間面積の計測値をまとめたもの³⁾であり、図に本住宅の相当隙間面積をプロットすると、グレードは2となり高い気密性が得ら

れているのが分る。図によれば、スウェーデンの戸建住宅はグレード1～3、カナダの戸建住宅は2～4、日本の戸建木造在来住宅は4～6に分類されてる。



注) B宅：北見市 木造2階建 延床面積 120m²
 C宅：札幌市 木造2階建 延床面積 102m²

図3-6 A、B、C宅(本構法)の相当隙間面積の経年変動

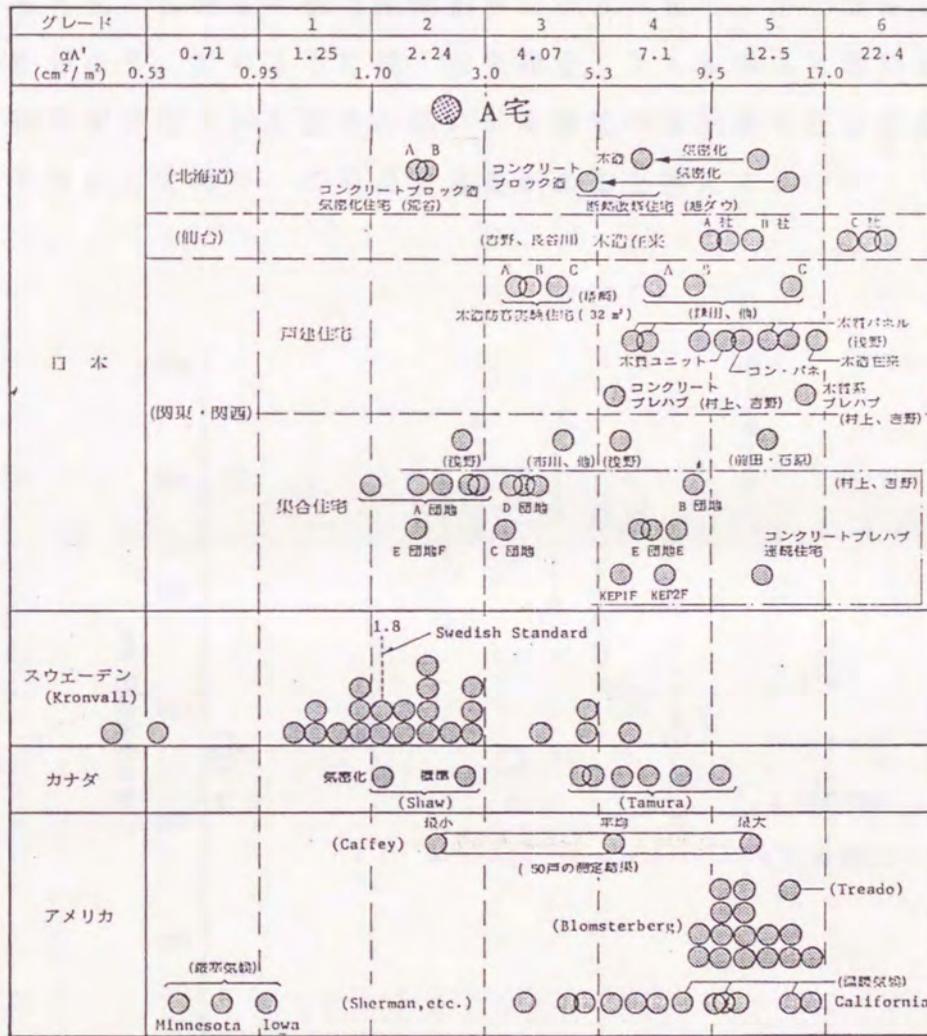
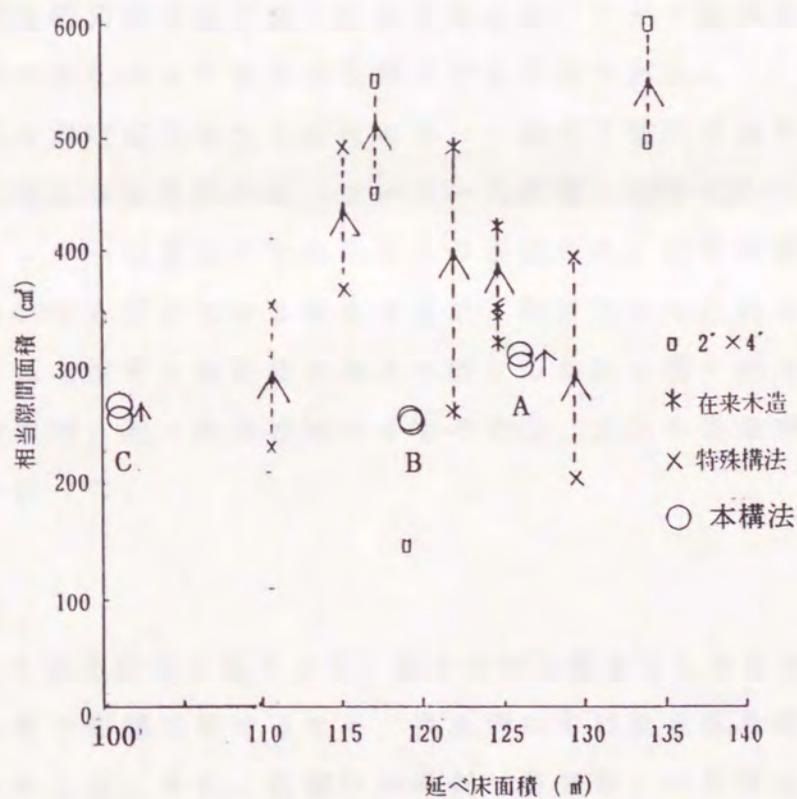


図 3 - 7 各種住宅の気密性能グレード

図3-8は福島ら⁴⁾が行った、現・在来構法と2×4構法の戸建住宅、9戸の相当隙間面積の経年変動調査をまとめたものである。この結果によれば、竣工から1年後には隙間量は100cm²以上、増大したことを報告しており、これは木材の乾燥収縮が大きく影響していると考えられる。この図に本構法のA、B、C宅を記入(○印)すると他に比較して相当隙間面積は小さい値で、かつ安定しているのが分かる。このように現・在来構法、2×4構法は経年変化による隙間量の増大の可能性が高いが本構法の隙間量の経年変動は殆どなく安定しており、この点で意義があると言える。



(参考文献4より転載した図に本構法住宅を記入)

図3-8 在来住宅の隙間相当面積の経年変動

3 - 3 木材含水率

本節では軸組の耐久性の指標とした含水率の挙動について述べる
こととする。

測定方法

さて、木材含水率の測定方法には全乾重量法、推定的方法、電気
的方法などがある⁵⁾。全乾重量法は試験体を採取、乾燥させ、その
重量差により含水率を求める方法であり、推定的方法は測定対象木
部の近傍温湿度より、含水率を推定する方法である。そのため測定
対象の柱など、壁内に組み込まれる軸組材にはそれらの方法は適さ
ない。電気的方法は測定材に針を埋め込み、リード線を介してその
電気抵抗の変化により含水率を測定する方法である。

本研究の測定部位は仕上げ材によって隠れる軸組であり、そのた
め電氣的測定方法を用いた（コーナー札幌製、KNR-024-90）。本住
宅の各センサーは建設中にあらかじめ設置され、測定期間は1988年
1月より90年6月までの2年6カ月で、測定は2カ月おきに行われ
た。さらに本住宅の軸組含水率と比較するために現・在来構法のc
宅の柱含水率、旧・在来構法のd宅の土台、大引の含水率について
も計測を行った。

測定部位

図3-9は本住宅の各センサー取り付け位置を示したものである。
建物は日射の影響を受けるため、南北別に木材含水率の変動を検討
することにした。また、各部材の外側（外気側）が高含水率になる
可能性があるため、その面にセンサーを取り付けた。測定対象は主
要軸組である土台外側、1階柱外側（FL+1,000）、棟木、垂木（垂
木間は屋根部分の通気層に利用）、根太、1階外壁通気層確保用の
外装下地胴縁（30×45）、さらに本住宅で含水率が高くなることが
考えられる北西出隅部の土台と柱の外側である。

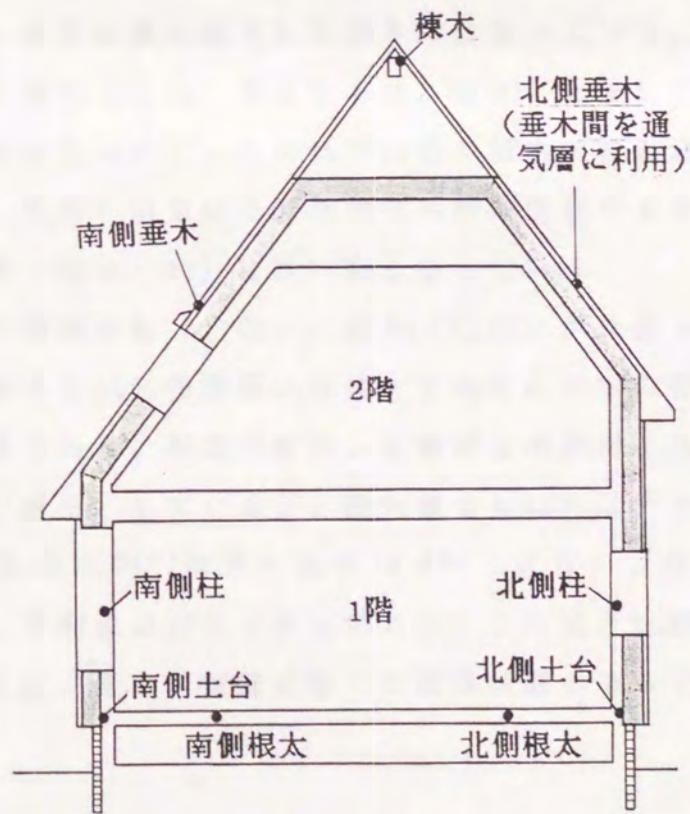
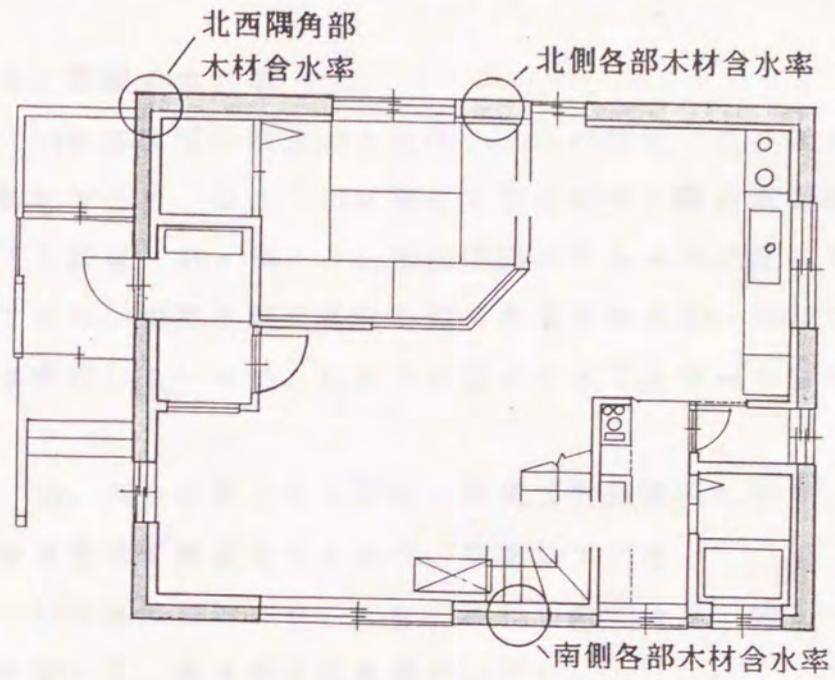


図 3 - 9 A 宅の木材含水率測定位置

柱、垂木、胴縁の含水率

図3-10は本住宅の南北別1階柱、北西の隅柱、及び棟木の含水率の変動をまとめ、図3-11は同じく南北別の1階通気層確保用の外装材下地胴縁(30×45)と、屋根面垂木の含水率の変動をまとめたものである。使用された木材の当初の含水率は20~25%で、特に乾燥材は使用していない。これらの図より以下の事項が言える。

- ① 図3-10、11の各材とも入居後1年間は乾燥傾向にあり、その後は多少の季節変動はあるものの、安定している。
- ② 図3-10は主に柱材についてまとめたものであり、図3-11の各材と比較して、含水率の変動幅が小さい。
- ③ 全体的に図3-10を見ると、入居時が冬期であり暖房が開始されたため各含水率は急激に下がり、その後、暖房が停止された4月から10月までは8~10%で安定し、10月以降はまた暖房が開始されたため、さらに値は低下して約5%になっている。
- ④ 図3-10の棟木(□印)の含水率は、柱材と比較して冬にやや高くなる傾向が見られる。これは本住宅の棟木は柱と同じ軸組材であっても、気密・防湿材と断熱材の外側に位置するためであり、むしろ垂木(図3-11)に近い動きをしている。
- ⑤ 図3-11の南側胴縁(○印)、垂木(□印)が北側のそれに比べて測定当初より10%程度低いのは、工事中に日射の影響を受け乾燥した結果である。測定開始後、北側材は南側材に比べて7~8%ほど高い値を示しているが、最大値でも13%以下である。
- ⑥ 札幌の気乾含水率^{*)}は最大値が16.5%(7月)、最小値が13%(4月)、平均値は15%となっており、この値と比較して測定対象となった柱、垂木、胴縁は極めて乾燥状態にあると言える。

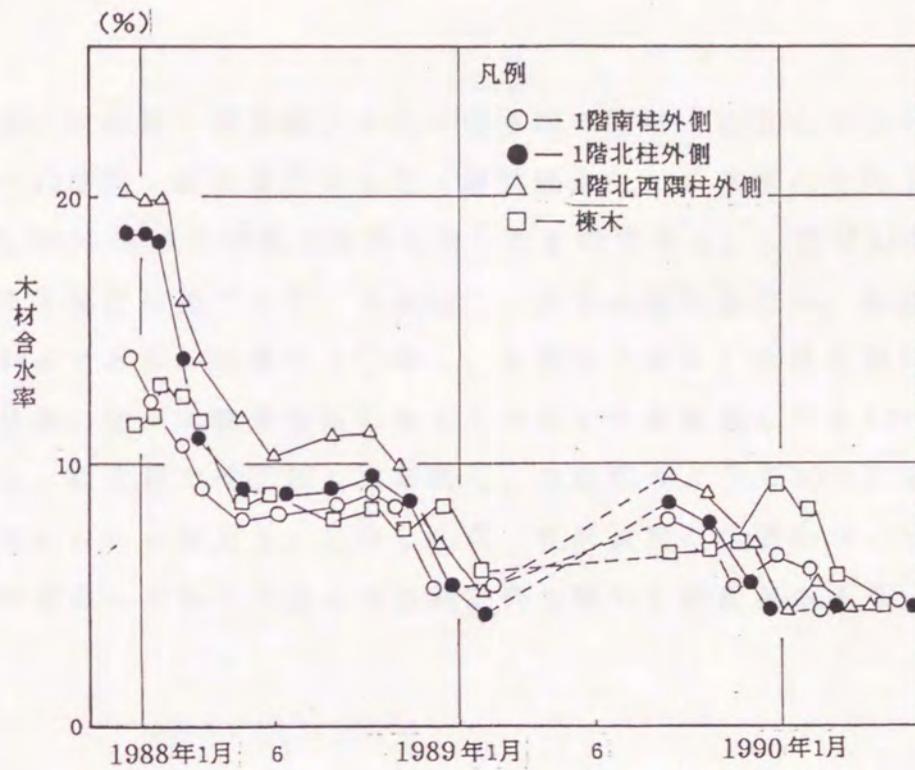


図 3 - 10 軸組の木材含水率の変動

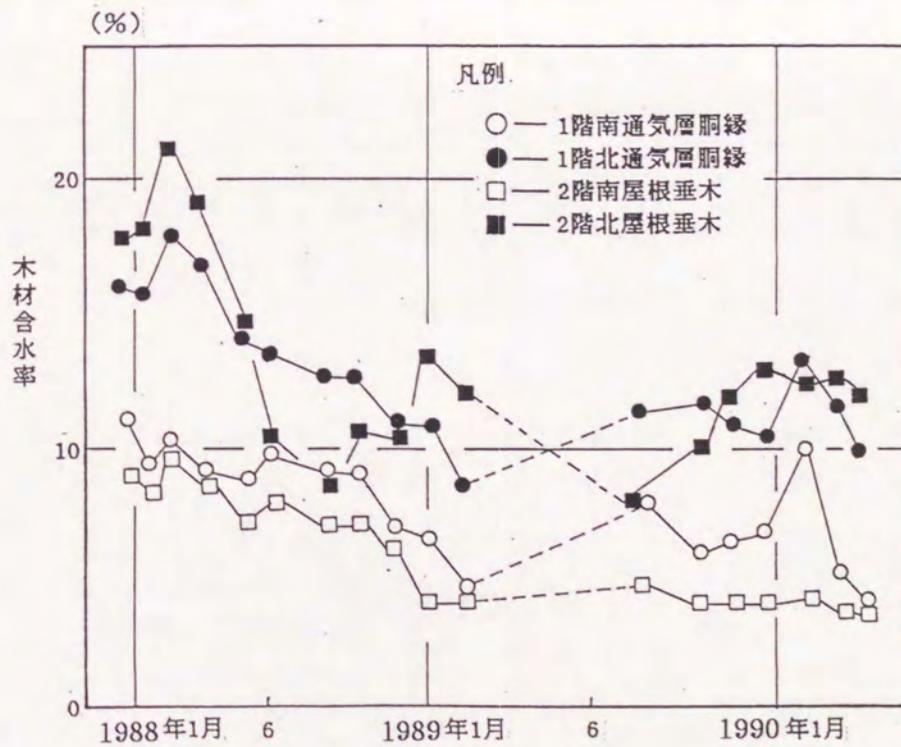


図 3 - 11 垂木、外壁下地胴縁の木材含水率変動

では、次に現・在来構法の柱の含水率の変動と比較してみたい。
図3-12は現・在来構法のc宅（通気層なし）の平面とその1階柱
（FL+1,000）の含水率測定結果を示したものである。c宅は1982年、
札幌市手稲区に建てられ、2階建て、屋根は無落雪型式、延床面積
は約94㎡である。南側柱（○印）、北側柱（●印）の含水率はとも
に入居後、徐々に乾燥傾向にあるものの1年を経過しても13～19%
であり、南北別では北側の方が高く、本住宅のように10%以下には
なっていないのが分る。しかし、現・在来構法の住宅については実
測例がほとんどなく今後さらに測定例を増やす必要がある。



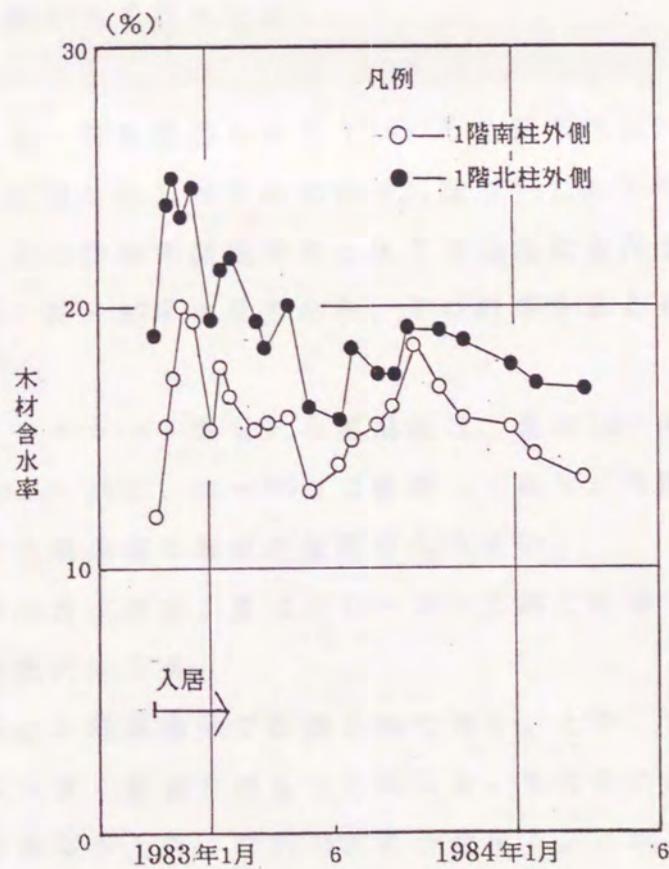
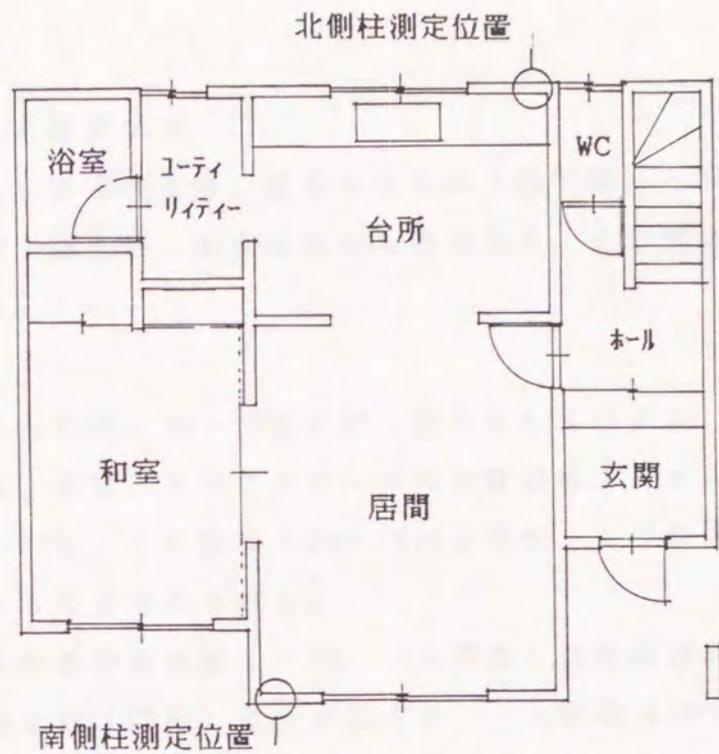


図 3 - 12 c 宅の 1 階柱測定位置と含水率の変動

土台、根太の木材含水率

図3-13は本住宅の土台、根太の含水率（図下部）と季節別の床下温湿度変動（図上部）をまとめたものであり、この図より以下の事項が言える。

- ① 床下湿度は入居時、68～78%と高い値を示しているが、これは新築時の木材、建材、コンクリートからの放湿によるものであり、夏には75～80%、1年後には35～45%となり、この時点で定常状態になったものと考えられる。
- ② 土台、根太の含水率は図3-10、11に類似した乾燥傾向を示している。南側土台（□印）についてみると、入居時は20%であったが、6月には15%まで低下、10月まであまり変化はなく、暖房が開始されてからさらに値は減少し、1989年1月では10%までとなり、乾燥状態にあるのが分る。

図3-14は旧・在来構法のd宅（1971年札幌市西区に建設）の平面、床下測定位置を示したものであり、図3-15にd宅の南北別に見た土台、大引の含水率調査結果と床下の温湿度変化を示す。測定期間は1986年7月～87年9月である。その結果をまとめると、

- ① 床下（グランドカバー無し）の温湿度は、夏は15～20℃、70～95%、冬は-0.5～10℃、60～80%で推移しており、外断熱を施した床下に比べて高湿度で温度の変動巾も大きい。
- ② 土台、大引の含水率は、夏には20～26%と高く湿潤し、冬は12～16%と乾燥傾向にある。

d宅の床下は1階床部分で断熱されており、土台、大引の含水率は床下環境に大きく影響されることになる。そのため夏の高温多湿期には木材含水率が上昇、腐朽の恐れが強まる。これに対し外断熱を施した本住宅の床下は、室内とほぼ同じ温湿度条件となるため、d宅ほどの含水率の上昇は見られない。

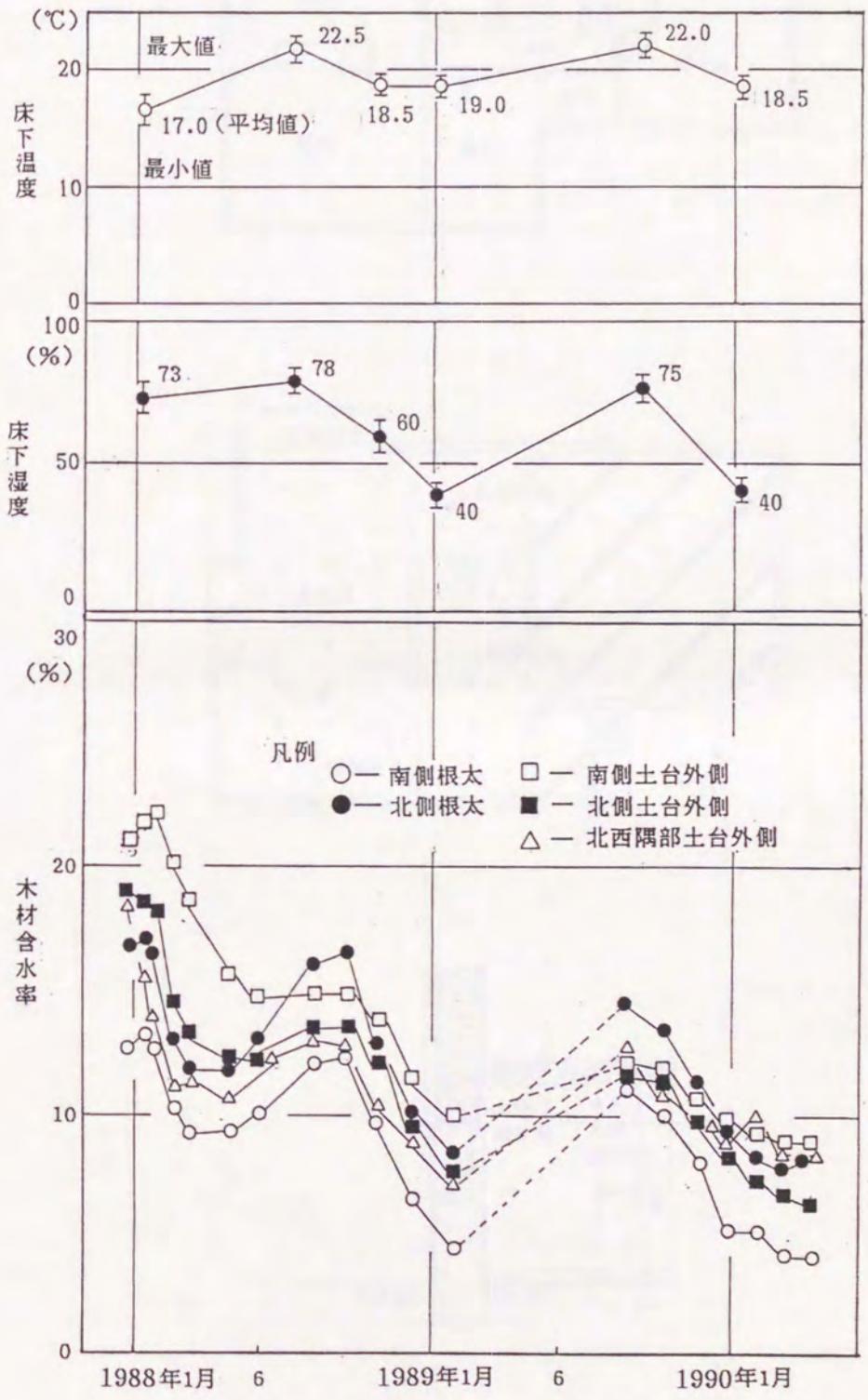


図 3 - 13 A 宅の土台、根太含水率と床下温湿度変動

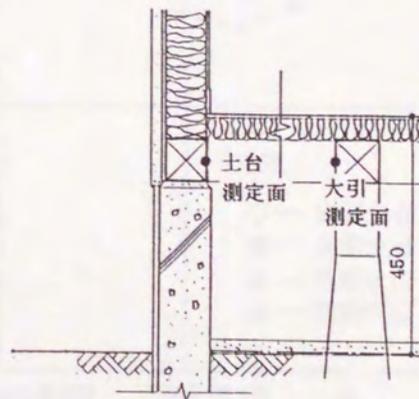
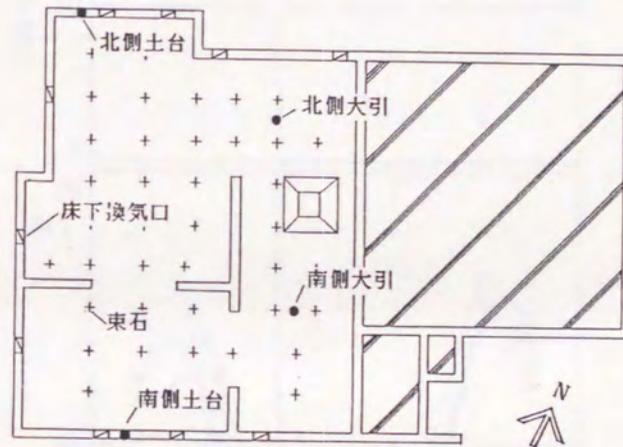
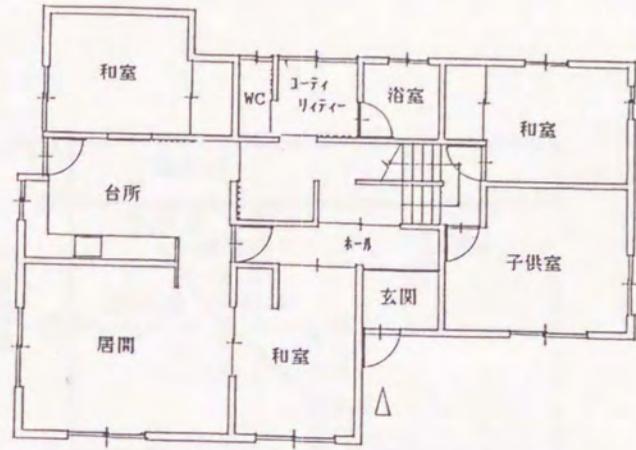


図 3 - 14 d 宅の概要と木材含水率測定位置

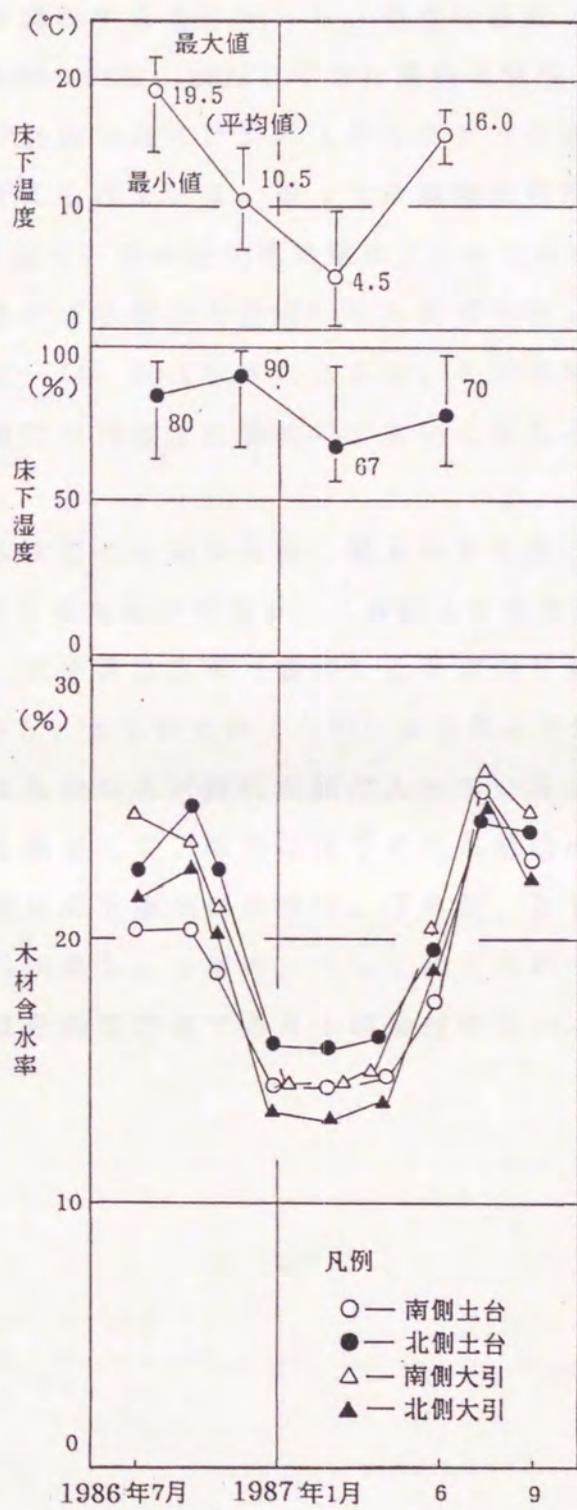


図3-15 d宅の土台、大引含水率変動と、
床下温湿度変動

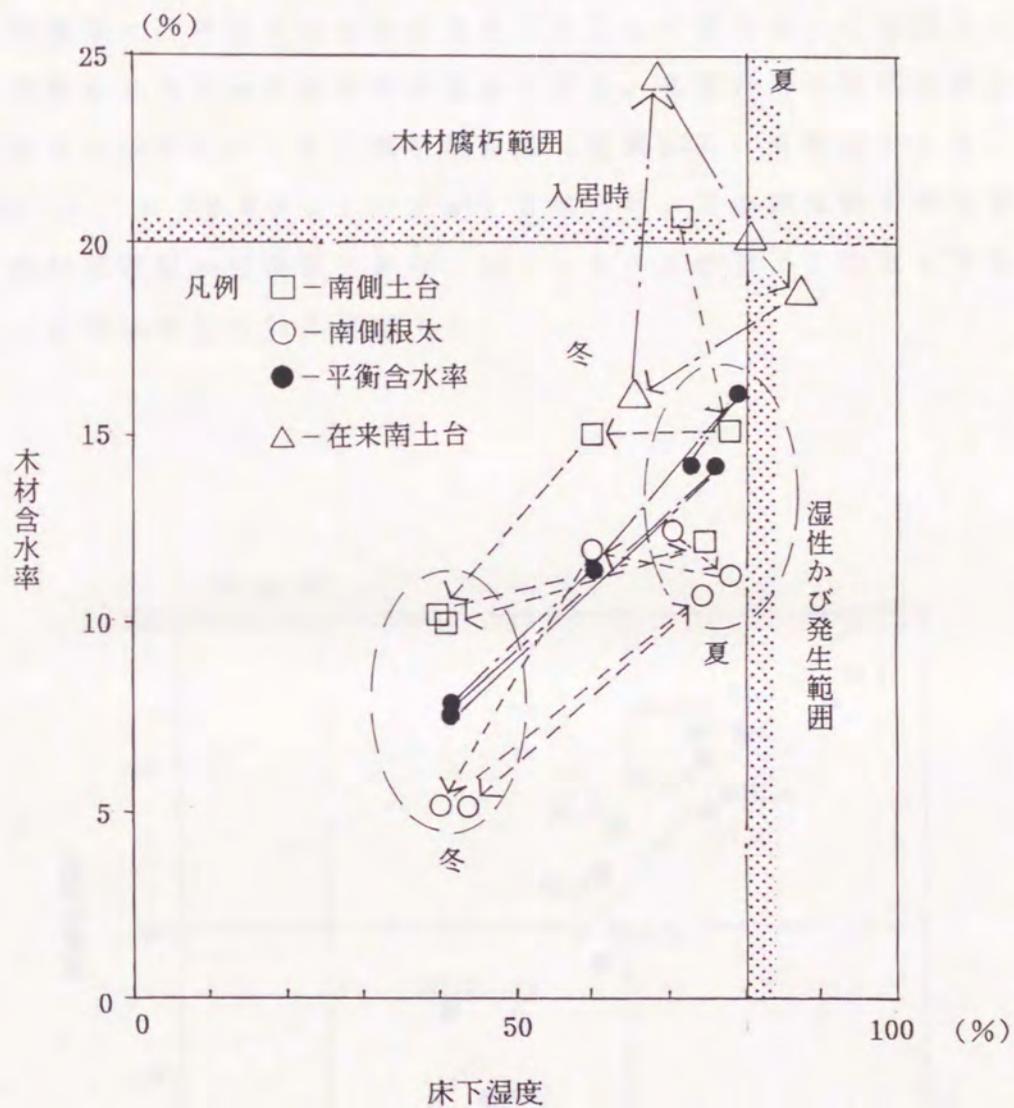
木軸組の腐朽の検討

さて、木材が腐朽する条件として、適当な温度（24～35℃）、水分（最適含水率30～90%、20%以下では腐朽は発生しない）、空気、養分（木材）が必要であり、これらのうち1つの要素でも欠くと腐朽しない¹⁾と考えられている。従って木軸組の含水率を下げることは軸組の腐朽を抑え、その耐久性を増すことにつながることになる。

この観点に立てば本構法を適用した本住宅の柱、土台、根太の含水率の値は図3-10、13に示されるよう、入居後半年以降は15%以下で推移し、腐朽の可能性は極めて小さいと言える。

図3-16は本住宅とd宅の土台、根太の含水率と木材の平衡含水率²⁾の関係をまとめたものである。この図より本住宅の土台（□印）と根太（○印）は平衡含水率（●印）とほぼ同じ変動を示しているのが分る。しかし、d宅の土台（△印）はこれらの動きとは異なり、一時的ではあるものの木材腐朽範囲に入っている。

以上の事項を踏まえて、筆者は床下を在来構法のように1階床面で断熱し布基礎に床下換気口を設け、「外部」として扱うのではなく、布基礎を外断熱し、「室内」として扱うのが土台、根太の耐久性を高めるには有効な方法であると結論付けたい。

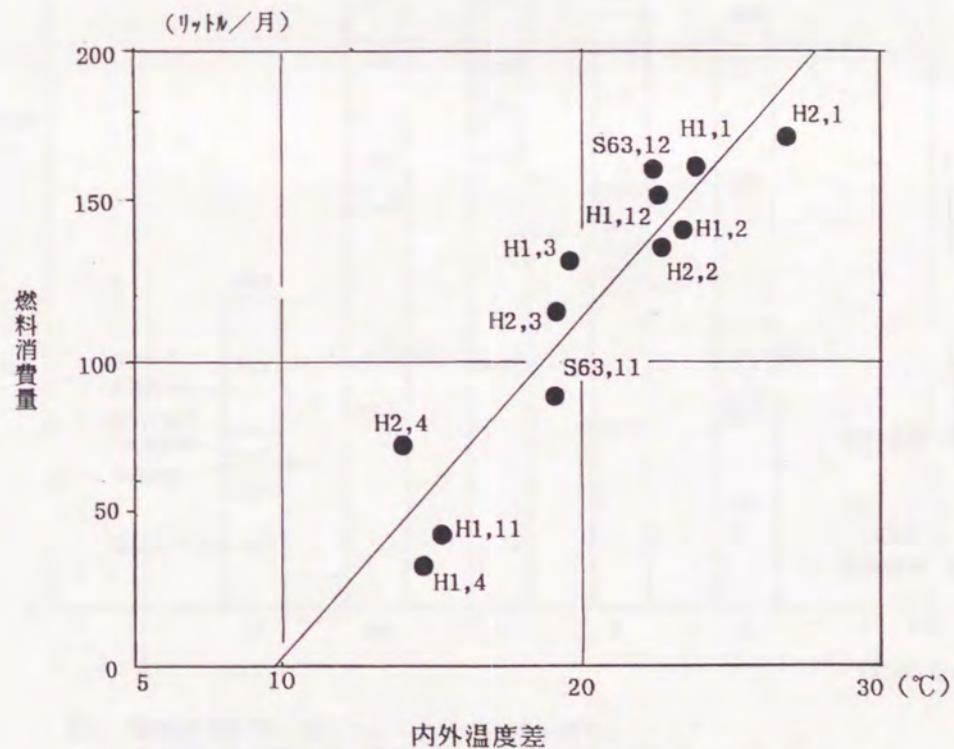


注) 木材腐朽範囲のデータは木材保存ハンドブック(昭和36年、昭晃堂刊)、
湿性かび発生範囲のデータは建築気候(斎藤平蔵著、共立出版刊)よりそれぞれ引用。

図3-16 土台、根太の木材含水率と床下湿度の関係

3 - 4 燃料消費量

本住宅の断熱性の指標として暖房期間中の燃料消費量の計測を行った。図3-17は本住宅の1988年11月から90年4月までの月別燃料消費量と内外温度差の関係をまとめたものである。この図より燃料消費量と内外温度差の相関直線を求め、札幌の月平均外気温との関係より本住宅の一冬の燃料消費量（室温22℃）を算出すると、約696リットル（5.9リットル/m²）となった。この値は第I章で示した燃料消費量の目標値である「10リットル/m²以下」の値を下まわり、目標は達していると言える。

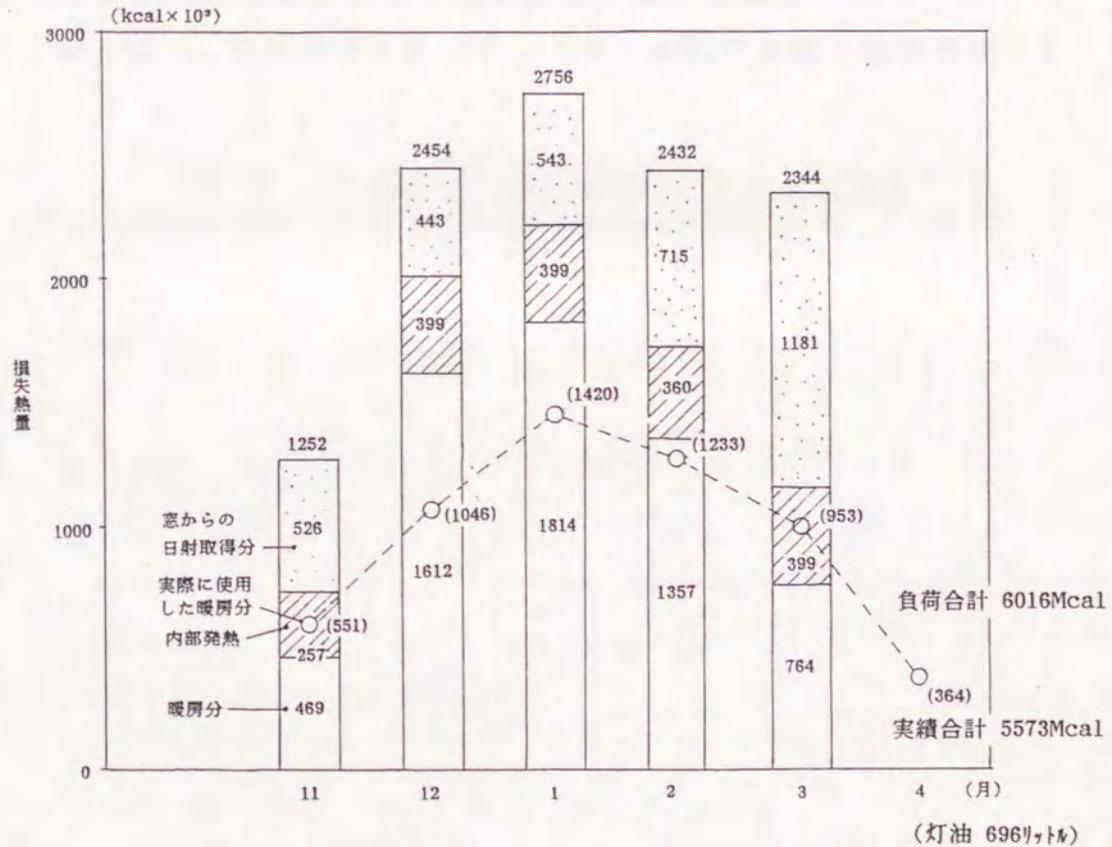


注) 図中の記号で例えば、S63、12は昭和63年12月、H2、3は平成2年3月を示す。

図3-17 A宅の燃料消費量と内外温度差の関係

次に計算による暖房負荷と実際の暖房負荷について検討してみたい。図3-18は本住宅の月別の燃料消費量と暖房負荷との関係を示したものである。この図より以下の事項が言える。

- ① 暖房負荷より算出した暖房に必要な熱量と使用した熱量を比べると12月、1月ではやや差が見られるものの、概ね一致していることが分る。
- ② 本住宅の損失熱量に対する暖房に必要な熱量の割合は52%程度であり、残りは日射取得熱量（約31%）、内部発熱（17%）でおぎなっていることになる。



注) 暖房負荷計算に用いたデータは以下の通り。
 外気温、日射量：日本気象協会編、「北海道の気象」より引用。
 内部発熱量：通産省編、「住機能向上製品対策調査報告書」より引用。
 換気回数：相当隙間面積より0.3回/hと設定。
 室温：実測より22℃と設定。

図3-18 A宅の暖房負荷と燃料消費量の比較

3 - 5 まとめ

本章で得られた知見を以下に要約する。

- ① 本構法を適用した本住戸の柱、土台の含水率は入居後約1年間で急激に低下、以後、乾燥傾向を示し15%以下で推移している。このことより本住戸の軸組の腐朽に対する危険は極めて小さいと言える。
- ② 本住戸の相当隙間面積の経年変動はほとんどなく安定し、その値は $2.5\text{cm}^2/\text{m}^2$ と高气密な値となっていた。
- ③ 本住宅の暖房期間中の燃料消費量は、暖房面積当り約6リットル $/\text{m}^2$ となり、目標値である10リットル $/\text{m}^2$ 以下の値を確保できた。

第3章の参考文献

- 1) 窪田英樹ほか2名：室温変動解析における集中定数近似、空気調和・衛生工学会北海道支部第20回学術講演論文集、pp.29-32、昭和61年3月
- 2) 日本建築学会編：建築設計資料集成 1（環境）、pp.155、丸善、昭和53年6月
- 3) 村上周三、吉野博：住宅の気密性に関する調査研究、日本建築学会論文報告集、第325号、pp.104~115、昭和58年3月
- 4) 福島明、ほか3名：住宅の気密性能の実態と簡易気密測定法、日本建築学会北海道支部研究報告集No63、pp.145~148、平成2年3月
- 5) 満久宗麿：木材の乾燥、実用木材加工全書2、森北出版、昭和43年12月
- 6) 木材工業ハンドブック、丸善、昭和61年5月
- 7) Kollmann, F. : Tech. des Holzes und Holzw. 1, 1951
- 8) 気密化住宅の換気設計、日本建築学会北海道支部寒地住宅研究連絡特別委員会、(財)北海道建築指導センター、平成4年3月
- 9) 金山公夫：寒冷地におけるソーラーシステムの技術解説と実用化資料集、第一インターナショナル、昭和56年6月
- 10) 北海道の気象、(財)日本気象協会北海道支部、1982年4月
- 11) 建築設計資料集成2、日本建築学会、昭和43年5月
- 12) 理科年表、1980年度、丸善

付表 3 - 1 熱容量の算出

材料名	
木材	1階 床：土台 0.55(m³)、大引 0.46、根太 0.37 1階天井下地：0.40 外壁：柱 0.70、間柱 0.18、胴縁 0.22 間仕切壁：柱 0.31、間柱 0.12、胴縁 0.19 小計 3.50 m³
	2階 床：桁 0.33 (m³)、梁 0.79、根太 0.38 2階天井下地：0.03 外壁：柱 0.41、間柱 0.10、胴縁 0.18 間切壁：柱 0.25、間柱 0.10、胴縁 0.08 小計 2.65 m³
	小屋組 桁 0.80 (m³)、梁 0.54、下地 0.88 小計 2.22 m³
	GW用木枠の半分 0.81 (m³) 小計 0.81 m³
	合計 9.18 m³
	$9.18 \text{ m}^3 \times 388 \text{ kcal/m}^3\text{°C} = 3562 \text{ kcal/°C}$
構造用合板	$253 \text{ m}^2 \times 0.009 \text{ m} = 2.28 \text{ m}^3$ $2.28 \text{ m}^3 \times 266 \text{ kcal/m}^3\text{°C} = 606 \text{ kcal/°C}$
内装材	ﾌﾟﾗｽﾀｰﾎﾞｰﾄﾞ 1階壁、天井 163 m²、2階壁、天井 134 m² $(163+134) \times 0.009 = 2.67 \text{ m}^3$ $2.67 \text{ m}^3 \times 204 \text{ kcal/m}^3\text{°C} = 545 \text{ kcal/°C}$
	ﾌｵｰﾑ 1階 41 m² 2階 37 m² $(41+37) \times 0.012 = 0.94 \text{ m}^3$ $0.94 \text{ m}^3 \times 204 \text{ kcal/m}^3\text{°C} = 192 \text{ kcal/°C}$
	集合煙突用軽量ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ 0.15 m²×6.8 m=1.02 m³ $1.02 \text{ m}^3 \times 447 \text{ kcal/m}^3\text{°C} = 456 \text{ kcal/°C}$
家具	木製本棚 0.27 (m³) 木製机 0.08 (m³) $0.27+0.08=0.35$ $0.35 \text{ m}^3 \times 388 \text{ kcal/m}^3\text{°C} = 136 \text{ kcal/°C}$
ｺﾝｸﾘｰﾄ	土間ｺﾝｸﾘｰﾄ 6.5 m³、布基礎ｺﾝｸﾘｰﾄ 1.6 m³ 合計 8.1 m³ $8.10 \text{ m}^3 \times 481 \text{ kcal/m}^3\text{°C} = 3896 \text{ kcal/°C}$
	合計 9393 kcal/°C

A宅を在来の断熱とした時の熱容量減少分

GW木枠用の半分 0.81 (m³)、土台 0.55、根太 0.37、大引 0.46 1階柱、間柱の半分 0.35、0.09、2階桁 0.17、 2階柱、間柱の半分 0.21、0.05 合計 3.06 m³ $3.06 \text{ m}^3 \times 388 \text{ kcal/m}^3\text{°C} = 1187 \text{ kcal/°C}$
構造用合板分 606 kcal/°C
土間、布基礎ｺﾝｸﾘｰﾄ分 3896 kcal/°C
合計 5689 kcal/°C

付表 3 - 2 熱損失係数の算出

① 建物各部からの損失熱量

部位名	熱貫流率 (kcal/m ² h°C)	面積 (m ²)	損失熱量 (kcal/h°C)
布基礎	0.29	30.0	8.7
土間床	0.09	41.1	3.7
基礎立上り	0.32	9.0	2.9
外壁	0.175	133.6	23.4
屋根	0.175	119.7	20.9
窓	1.9	19.2	36.5
天窗	2.6	3.7	9.6
玄関戸	0.86	2.00	1.7
計			107.4

② 換気による損失熱量

$$332 (\text{m}^3) \times 0.3 (\text{回/h}) \times 0.3 (\text{kcal/m}^3\text{°C}) = 29.9 (\text{kcal/h°C})$$

換気回数の推定は参考文献 7 の「換気回数は相当隙間面積の約 1/10が目安」に従った。

③ 熱損失係数

$$q = 107.4 + 29.9 = 137.3 (\text{kcal/h°C})$$

付表 3 - 3 暖房負荷の手順

1. 基礎の熱貫流の計算

$$K_L = 1.014 e^{-A} \quad A = 0.75 R_w^{0.32} + 0.172 R_F^{0.42} \quad \dots (1)$$

$$K_F = 0.126 e^{-C} \quad C = 0.15 R_w^{0.3} + 0.12 R_F \quad \dots (2)$$

K_L : 外周部の熱貫流 (kcal/mh°C)

K_F : 中央部の熱貫流 (kcal/m²h°C)

R_w : 基礎断熱の熱抵抗 (m²h°C/kcal)

R_F : 土間下断熱の熱抵抗 (m²h°C/kcal)

2. 建物各部位の熱貫流率

部位名	熱貫流率 (kcal/m²h°C)	部位名	熱貫流率
屋根	0.175	外窓	1.90
外壁	0.175	天窓	2.56
基礎	$K_L = 0.29 \quad K_F = 0.09$	玄関戸	0.86

熱損失係数 137 (kcal/h°C)

3. 損失熱量の算出

$$H = \Sigma K_F S_P (\theta_i - \theta_o) + c \gamma \cdot n V (\theta_i - \theta_o) \quad \dots (3)$$

H : 全損失熱量 (kcal)、 K_F : 各部位の熱貫流率 (kcal/m²h°C)

S_P : 各部位の面積 (m²)、 θ_i : 室温 (°C)、 θ_o : 外気温 (°C)

c : 空気の比熱 (kcal/kg°C)、 γ : 空気の比重 (kg/m³)

n : 換気回数 (回/h)、 V : 居室気積 (m³)

4. 取得日射量の計算

算出方法は参考文献 8 の手順によった。

① 太陽常数の計算

$$I_o = 1164 - 39 \sin w + 9 \cos w$$

$$w = 360 \times (285 - n) / 365 \quad (1月1日 \sim 3月20日まで)$$

$$w = 360 \times (n - 80) / 365 \quad (3月21日以降)$$

I_o : 太陽定数 = 1164 Kcal/m²h n : 1月1日からの積算日数

② 太陽高度と方位角の計算

$$\sinh = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t$$

$$\sin A = \cos \delta \sin t / \cosh$$

h: 太陽高度 A: 方位角 ϕ : その地点の経度

δ : 赤緯 t: 時角

③ 入射角の計算

$$\cos i = \sinh \cos \theta + \cosh \sin \theta \cos (A - \alpha)$$

i: 入射角 θ : 地平面からの傾斜角

α : 建物の方位角 (南面 $\alpha = 0^\circ$ 、西面 90° 、東面 -90° 、北面 180°)

④ 法線面直達日射量の計算

$$I_D = I_0 P^m$$

$$m = 1 / \sinh$$

I_D : 法線面直達日射量 P: 透過率

透過率は理科年表(1980度)より引用

⑤ 傾斜面直達日射量の計算

$$I_{ID} = I_D \cos i$$

I_{ID} : 傾斜面直達日射量

⑥ 天空日射量の計算

$$I_s = \frac{1}{2} I_0 R \frac{1-R}{1-1.4 \sinh \times \ln R}$$

I_s : 天空日射量 $R = P^m$

⑦ 傾斜面天空日射の計算

$$I_{IS} = I_s \frac{1 + \cos \theta}{2}$$

⑧ 水平面全天日射量の計算

$$I_T = I_D \sinh + \frac{1}{2} I_o R \frac{1-R}{1-1.4 \sinh \times \ln R}$$

⑨ 傾斜面全天日射量の計算

$$I_{IT} = I_{ID} + I_{IS} = I_D \cos i + I_s \frac{1 + \cos \theta}{2}$$

⑩ 計算結果

例：1月15日の時間別各面の全天日射量

時	水平面	南面	西面	東面	北面
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	45	77	18	100	18
9	214	380	54	355	54
10	326	564	57	347	57
11	395	665	56	224	56
12	419	699	55	56	55
13	396	666	222	56	56
14	327	565	346	57	57
15	215	383	356	54	54
16	47	81	105	19	19
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
計	2384	4081	1269	1268	425

単位：Kcal/m²h

⑪ 実測値の分配

⑩で得られた日射量の比で実測平均値（参考文献10のデータ）の全天日射量を分配し、各壁面に当たる全天日射量を推計。

⑫ 窓面に対する全天日射の入射角より透過率を決定し、室内への取得熱量を計算、暖房期間中の窓からの取得日射量の推計を行なう。ガラス面での透過率は参考文献11より引用

計算結果例（3重窓の場合）

月	南面	西面	東面	北面
10	13305	10841	9855	7392
11	25879	21086	19169	14377
12	22209	18096	16451	12338
1	26741	21789	19808	14856
2	36025	29354	26685	20014
3	56655	46163	41967	31475
4	62722	51107	46461	34846
5	26463	21563	19603	14702

単位：Kcal/m²月

⑬ 暖房負荷計算結果（A宅の場合）

月	10	11	12	1	2	3	4
暖房日数	10	30	31	31	28	31	20
損失熱量 (×10 ³ kcal)	354	1252	2454	2756	2432	2344	966

注) 暖房日数は日本建築学会北海道支部編「寒地建築教材」より引用。

第IV章 本構法を採用した住宅団地建設時の調査分析

第II、III章ではモデル住宅（A宅）を通して本構法の施工性を分析し、気密性能の経年変動を明らかにした。しかし、その結果は特定の住宅事例に限られているため、建設会社あるいは住宅の形態などによって、施工性、気密性に影響が出てくることが考えられる。現実には建設会社における気密、断熱性能の重要さの認識には隔たりがあるのが実状であり、さらに施工管理、技術の差もある。本章の目的は異なった建設会社（7社）により、本構法で建設された17戸の戸建住宅（D～T）について住宅別に本構法に関わった工数と工事費を調査し歩掛りを把握し、さらに本構法の気密性能を探ることにある。

4-1 建設会社と調査団地の概要

では、団地建設にあたった建設会社の概要について述べてみたい。本構法に関する研究会が1987年に組織され、その研究会会員の建設会社7社が団地住戸の建設にあたった。表4-1に各建設会社の社員数、年間売上高、主な業務内容を示した。各建設会社はすべて札幌圏にあり主に現・在来構法で注文住宅を建設、販売している。大別してHo、Ta、Ki、Su社は住宅販売会社で施工は協力会社に委託している。他のYa、Ha、Sa社は大工を常用雇いとし、自社で営業を行い注文を得て直接、施工を行なっている。各社の工事量の規模について見ると、北海道内では中規模な会社（300戸／年）から小規模（10戸／年）なものまでと多岐にわたり、あまり片寄りがない。

団地の戸数は17戸で建設場所は札幌市北区屯田町である。各住戸は建売住宅として計画され施工は1989年（平成元年）8月より開始、12月に竣工した。

本構法で住戸を建設した経験のあるのはHo、Ta、Ki、Yaの4社で他のHa、Su、Sa社は今回が初めての施工であった。現場担当となっ

た各社の大工はいわゆる「棟梁」クラスであり「見習い大工」ではない。施工に当たっては本構法のマニュアルを各建設会社の現場担当者に配布し、筆者が施工に際しての留意点の説明を行った。特に断熱材の施工時は天候に配慮しながら作業を進めるよう要請した。

表 4 - 1 建設会社の概要

会社名	社員数(従業員数)	年間売上高	主な業務内容	建設住戸名
Ho社	24 (0)	50~60(億)	土地付注文住宅販売、施工は協力会社委託。年150~200戸。	D、E、F G、H
Ta社	15 (0)	10~15	注文住宅を販売、施工は協力会社に委託。年50~80戸。	I、J、K L、M
Ki社	18 (0)	4~5	主に増改築を行っている。新築住宅は年5~6戸程度。	N、O
Ya社	15 (18)	6~7	注文住宅を建設、販売。増改築も行う。年30~40戸。	P、Q
Ha社	2 (5)	2~3	注文住宅、木造7 ^ハ -トを施工。年15~18戸。	R
Sa社	4 (11)	3~4	注文住宅、木造7 ^ハ -トを施工。年40~50戸。	S
Su社	96 (0)	50~60	注文、建売住宅を販売。施工は協力会社依頼。年300~350戸。	T

4-2 外断熱住戸の概要と調査方法

図4-1は調査対象住戸17戸(D~T)の配置とその概要を示したものである。住戸の設計はそれぞれの建設会社が行ない、木造2階建、延床面積は約92~108m²(約28~33坪)の範囲である。屋根の形態は切妻屋根(5戸)、無落雪屋根(7戸)、切妻と無落雪併用屋根(5戸)の3種類である。E、G、H、R、の4戸はほぼ同一の平、立面で総2階建、屋根断熱の仕様である。

各住戸の基本的な断熱仕様は研究会で統一した。建物各部の断熱仕様は、基礎-押出発泡ポリスチレン板厚さ100ミリ(布基礎外断熱)、外壁-グラスウール100ミリ2層、計200ミリ、天井-ブローイングウール厚さ200ミリ以上、屋根断熱の場合はグラスウール200ミリとなっている。外窓は、金属膜コーティング処理したペアガラス(3-12-3)以上の断熱性能があるものである。

施工調査方法は施工期間中(1989年8月~12月)、建設現場に毎日出向き、各戸ごとに作業の進捗状況に応じて作業内容、工数を記録し、その施工過程を把握した。

図4-2~7に代表的な住戸2例の図面をまとめた。図4-2~4は平、立面に凹凸のない総2階建てであるE戸の平面、立面、矩計図、図4-5~7は無落雪屋根で平面、立面に比較的凹凸が多いD戸の平面、立面、矩計図である。図4-8は竣工した各住戸の外観をまとめたものである。

D : 1F 60.0㎡ 2F 40.6㎡ 計100.6㎡
 無落雪屋根 気積:315.6㎡
 暖房:F.F式石油ストーブ
 他の住宅に比べて凸凹が多い。

E : 1F 49.7㎡ 2F 49.7㎡ 計 99.4㎡
 三角屋根 気積:342.6㎡
 暖房:F.F式石油ストーブ
 屋根面断熱。

R : 1F 46.4㎡ 2F 46.4㎡ 計 92.8㎡
 三角屋根 気積:320.5㎡
 暖房:F.F式石油ストーブ
 屋根面断熱。

S : 1F 58.0㎡ 2F 45.5㎡ 計103.5㎡
 無落雪屋根 気積:321.5㎡
 暖房:温風暖房機(熱交換換気
 装置組込み)

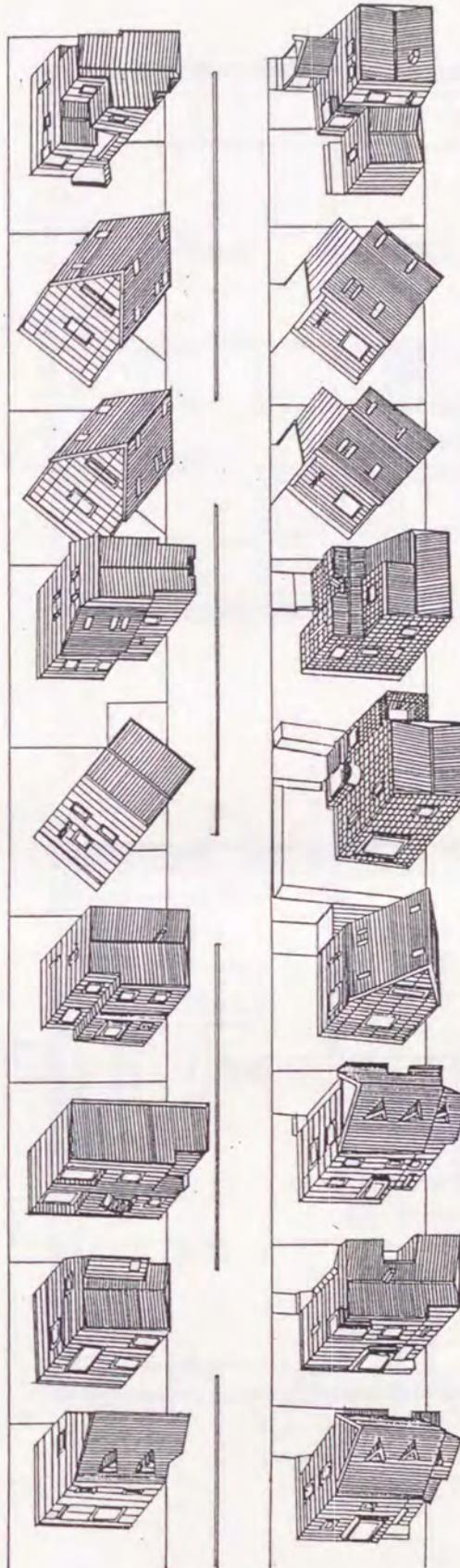
T : 1F 51.8㎡ 2F 61.6㎡ 計113.4㎡
 無落雪屋根 気積:322.3㎡
 暖房:温水床暖房、H*構造19-併用

I : 1F 53.0㎡ 2F 38.9㎡ 計 91.9㎡
 無落雪屋根 気積:315.5㎡
 暖房:※式石油ストーブ
 他の住宅に比べて凸凹が多い。

J : 1F 55.5㎡ 2F 39.8㎡ 計 95.3㎡
 無落雪屋根 気積:300.2㎡
 暖房:F.F式石油ストーブ
 屋根面断熱。

N : 1F 53.5㎡ 2F 53.5㎡ 計107.0㎡
 無落雪屋根 気積:339.4㎡
 暖房:F.F式石油ストーブ
 天窓利用のトップライト

O : 1F 46.8㎡ 2F 47.2㎡ 計 94.0㎡
 三角屋根 気積:299.0㎡
 暖房:※式石油ストーブ
 屋根面三角形突起物は小屋裏換気口。



F : 1F 65.8㎡ 2F 41.1㎡ 計106.9㎡
 無落雪屋根 気積:329.5㎡
 暖房:※式石油ストーブ
 他の住宅に比べて凸凹が多い

G : 1F 49.7㎡ 2F 49.7㎡ 計 99.4㎡
 三角屋根 気積:342.6㎡
 暖房:F.F式石油ストーブ
 屋根面断熱。

H : 1F 46.4㎡ 2F 46.4㎡ 計 92.8㎡
 三角屋根 気積:320.3㎡
 暖房:F.F式石油ストーブ
 屋根面断熱

Q : 1F 66.1㎡ 2F 36.7㎡ 計102.8㎡
 無落雪屋根 気積:320.5㎡
 暖房:F.F式石油ストーブ
 一部傾斜屋根

P : 1F 58.6㎡ 2F 59.4㎡ 計118.0㎡
 無落雪屋根 気積:274.5㎡
 暖房:F.F式石油ストーブ
 高基礎で車庫を組み込んでいる

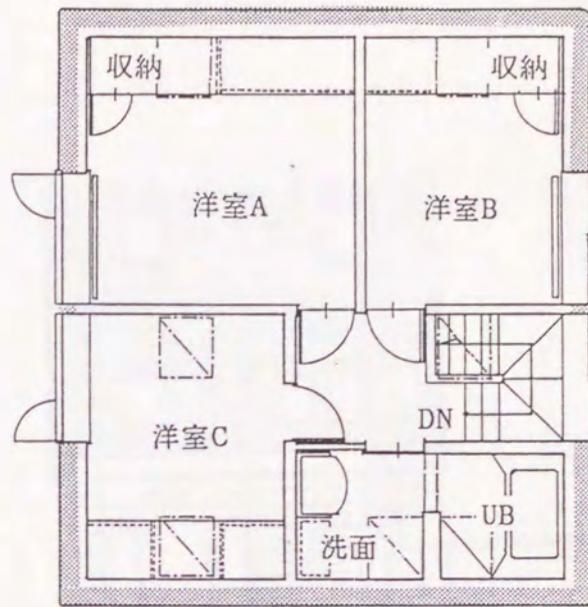
H*構造のため、調査対象から除外

K : 1F 58.0㎡ 2F 42.3㎡ 計100.3㎡
 無落雪・三角併用屋根 気積:328.4㎡
 暖房:※式石油ストーブ
 屋根面三角形突起物は小屋裏換気口

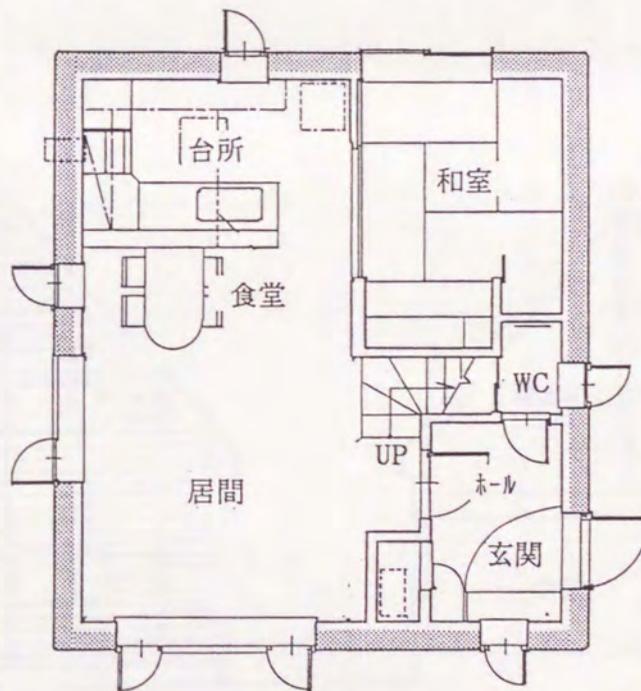
L : 1F 58.0㎡ 2F 42.3㎡ 計100.3㎡
 無落雪屋根 気積:328.4㎡
 暖房:※式石油ストーブ
 凸凹が多め

M : 1F 53.0㎡ 2F 38.7㎡ 計 91.9㎡
 無落雪・三角併用屋根 気積:315.5㎡
 暖房:※式石油ストーブ
 屋根面三角形突起物は小屋裏換気口

図4-1 外断熱住戸団地の外観、配置とその住戸概要



2階平面

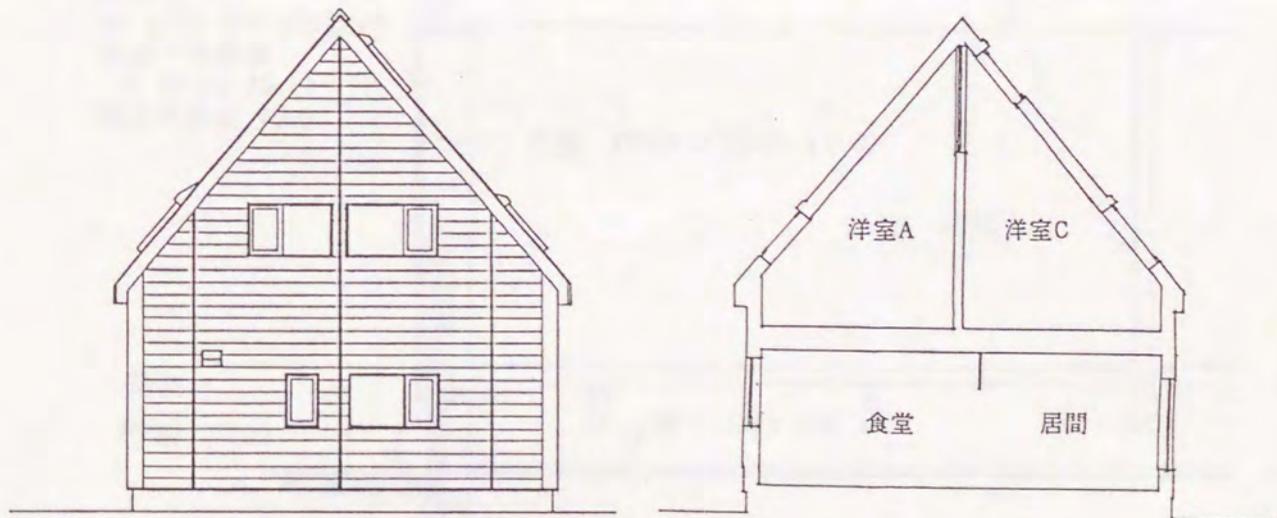


1階平面

図4-2 E戸平面図



南侧立面



西侧立面

断面

图 4 - 3 E 户立面、断面图

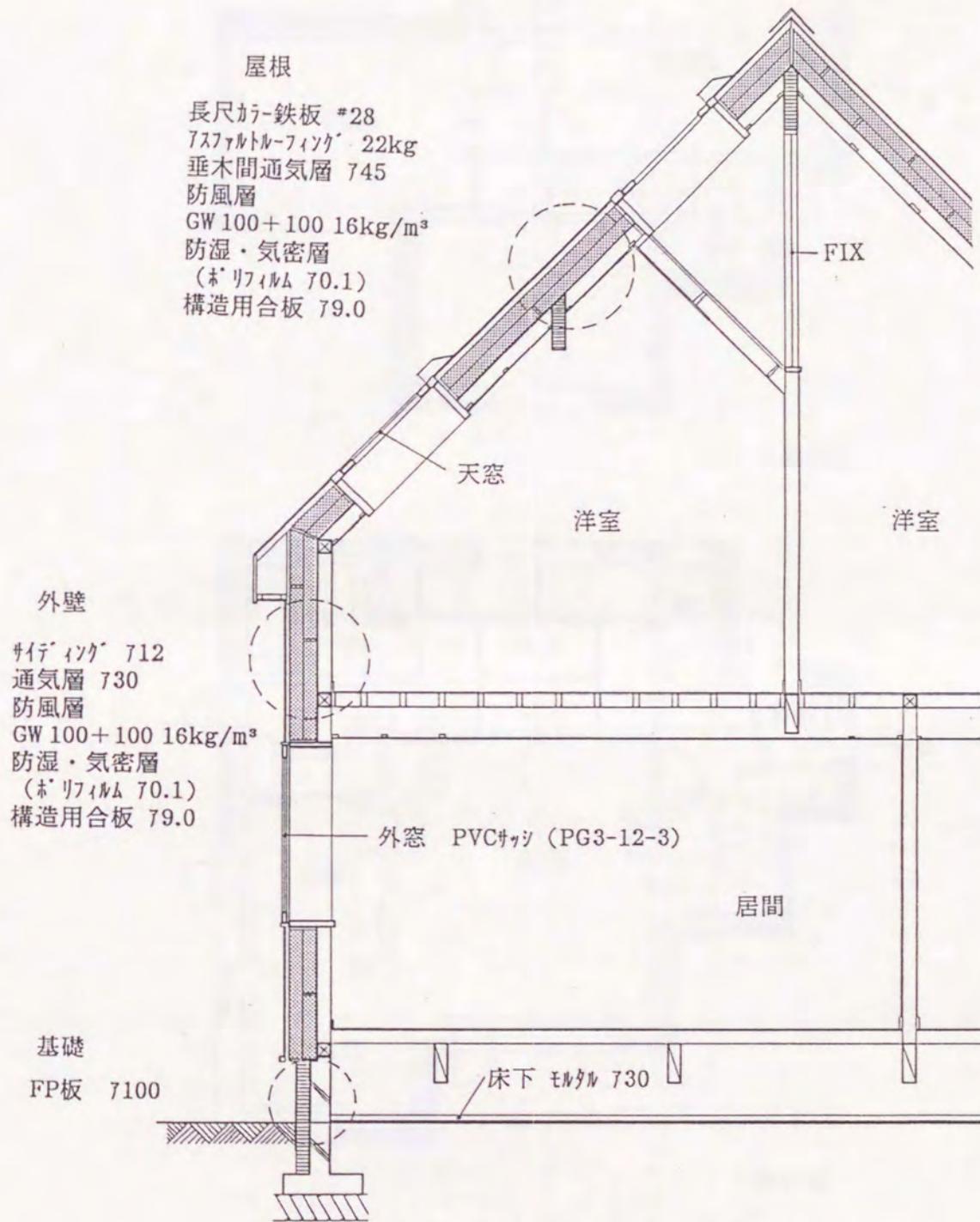
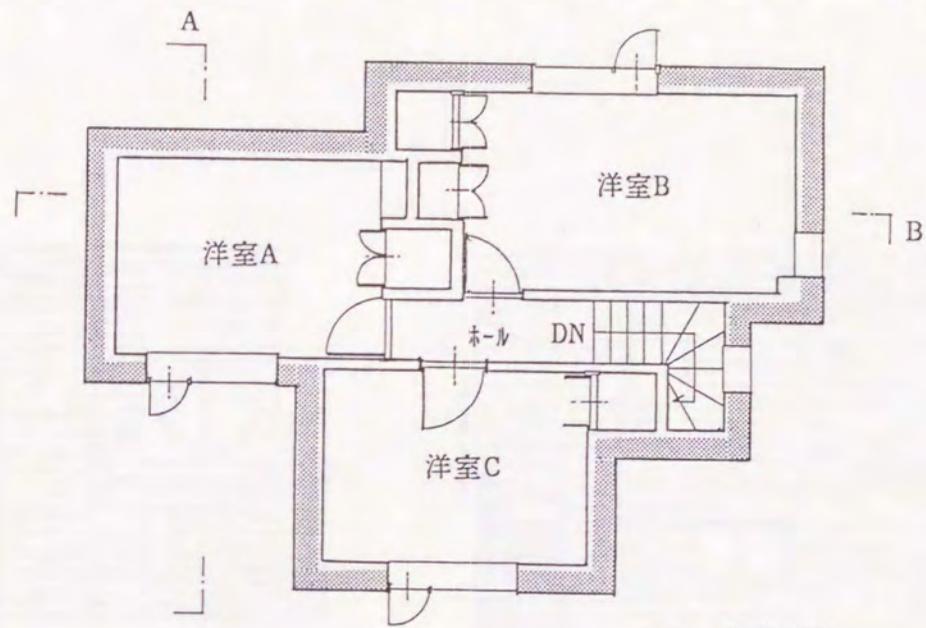
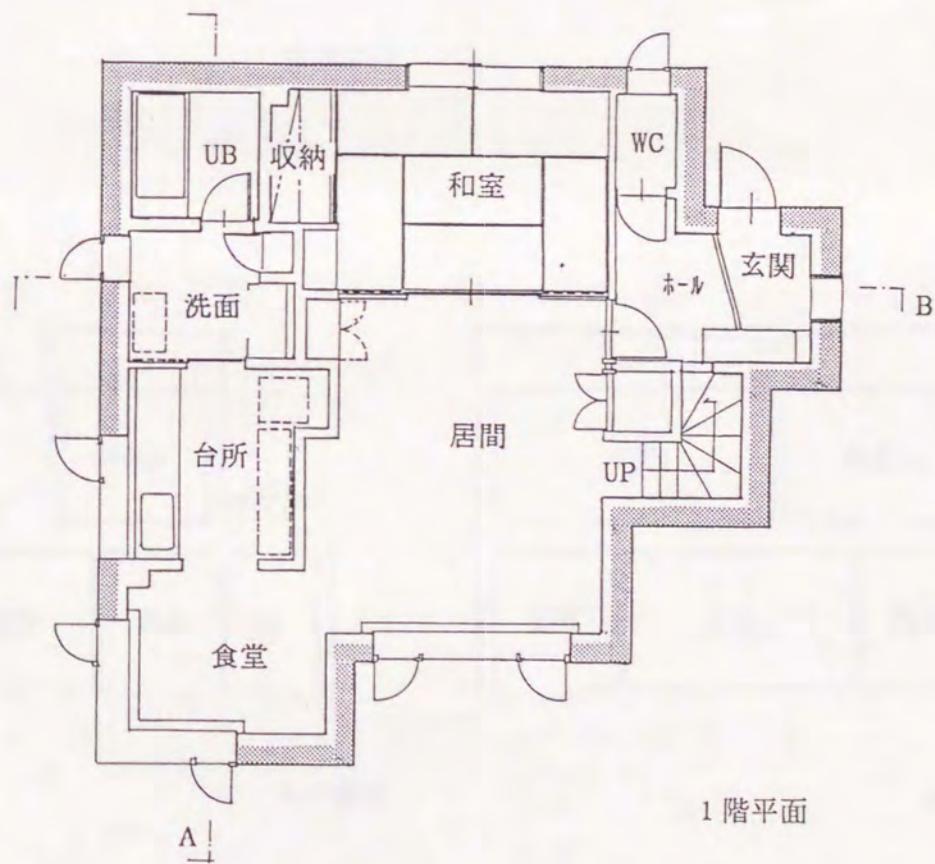


図 4 - 4 E 戸 矩 計 図

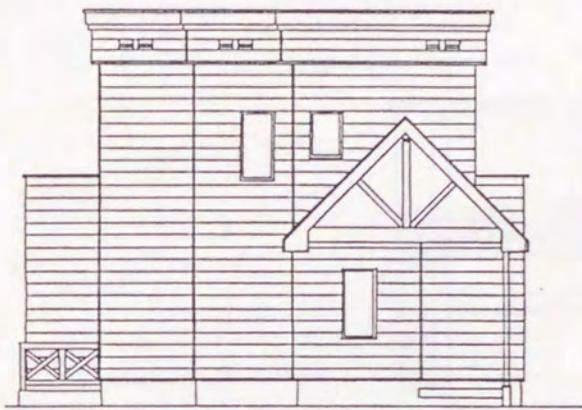


2階平面

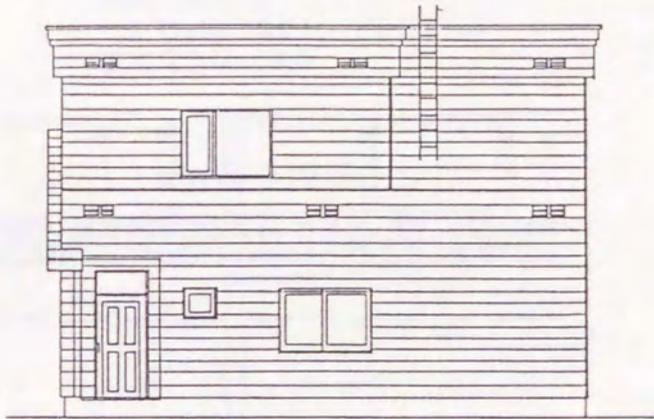


1階平面

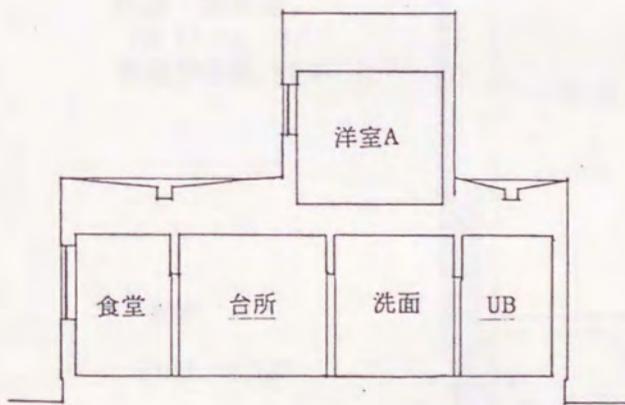
図 4 - 5 D 戸 平面 図



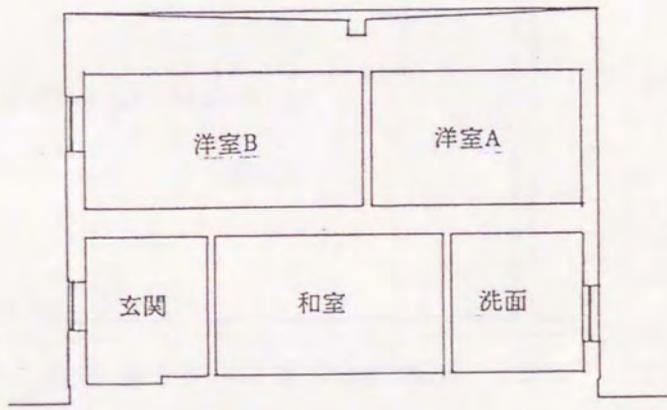
東側立面



北側立面



A-A 断面



B-B 断面

图 4 - 6 D 户立面、断面图

屋根

長尺ガル鉄板 #28
 アスファルト樹脂フィング 22kg
 野地板 712

フローリングウール 7300
 防湿・気密層
 (ホリフィルム 70.1)
 構造用合板 79.0

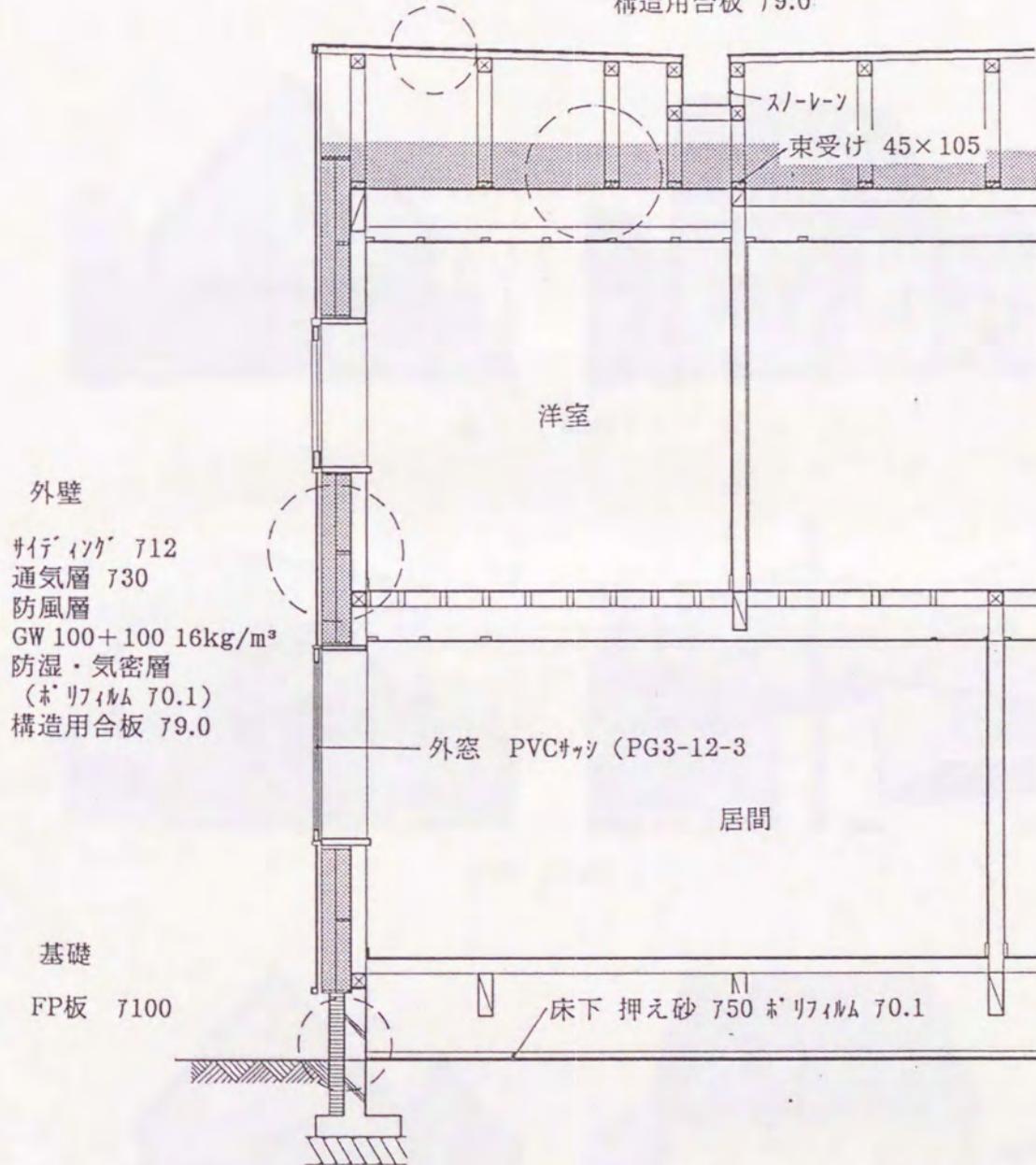


図 4 - 7 D 戸 矩 計 図



D 戸 (Ho社)



E 戸 (Ho社)



F 戸 (Ho社)



G 戸 (Ho社)

図 4 - 8 - 1 各住戸の外観



H 戸 (Ho社)



I 戸 (Ta社)



J 戸 (Ta社)



K 戸 (Ta社)

図 4 - 8 - 2 各住戸の外観



L 戸 (Ta社)



M 戸 (Ta社)



N 戸 (Ki社)



O 戸 (Ki社)

図 4 - 8 - 3 各住戸の外観



P 戸 (Ya社)



Q 戸 (Ya社)



R 戸 (Ha社)



S 戸 (Su社)

図 4 - 8 - 4 各住戸の外観



T 戸 (Sa社)

図 4 - 8 - 5 各住戸の外観

4 - 3 住戸の施工調査

桷材取付枚数

表4-2と表4-3は無落雪屋根形式14戸と屋根断熱を行なった3戸の外壁面積（断熱施工がされた分）と屋根面積、断熱材挿入のための桷材枚数と本構法に関連した各施工に要した工数をまとめたものである。断熱材用の桷材は1つの工場で作製された。各現場の桷材搬入は第2章の施工状況を踏まえて、住戸の各外壁面に使用される桷材をあらかじめ分けて配送し極力、現場での桷材の小運搬を行わないように配慮した。

図4-9は外壁面積と桷材枚数の関係を示したものである。この図より以下のことが言える。

- ① 桷材取付枚数は外壁面積が増加するに従い増加するが、2つのグループに分けられる。
- ② これらのグループは外壁面積あたり25枚/m²と30枚/m²前後となっており、これは住戸の形態によるものと言える。
- ③ 25枚/m²のグループを見ると、これら5戸（E、G、H、R、T）はすべて総2階建てで平面は矩形である。
- ④ 30枚/m²前後、あるいは30枚/m²以上の住宅は8戸あり、すべて総2階建てではなく平面にも凹凸が多い形態となっている。これは住宅の出入隅が多くなると外壁面積が同じでも取付桷材の枚数が増加することを意味していると言える。

以上より、本構法では総2階建て、平面に凹凸がない住宅の桷材枚数は外壁面積あたり25枚/m²程度であるが、そうではない場合は30枚/m²前後の桷材が必要になると言える。

表 4 - 2 天井断熱仕様（13戸）の
外壁に関わった工数一覧

建設会社名	住戸名	外壁面積 (m ²)	枠取付 枚数	各工事に要した工数（人工）					
				気密・ 防湿材	構造用 合板	枠材 組立	GW 挿入	防風 材	合計 工数
Ho社	D	187	584	3	7	10	6	2	28
	F	173	563	2	6	10	6	2	26
Ta社	I	170	520	2	4	7	4	2	19
	J	171	503	2	3	6	3	2	16
	K	183	542	2	5	11	7	2	27
	L	184	542	2	4	9	5.5	1.5	22
	M	170	502	2	5	9	6	2	24
Ki社	N	180	519	2	5	9	5	1	22
	O	168	495	2	5	10	5	1	23
Ya社	P	187	522	2	4	8	4	2	20
	Q	169	538	2	5	10	6	2	25
Su社	S	153	538	2	7	14	7	2	32
Sa社	T	204	494	1.5	4	8	3	1.5	18

表 4 - 3 屋根断熱仕様（4戸）の外壁、
屋根に関わった工数一覧

建設会社名	住戸名	面積 (m ²)	枠取付 枚数	各工事に要した工数（人工）						
				気密・ 防湿材	構造用 合板	枠材 取付	GW 挿入	防風 材	小計	合計 工数
Ho社	E	79	214	1	2	4	2	1	10	21
		134	372	1	2	5	2	1	11	
	G	79	214	1	3	5	2	1	12	23
134	372	1	2	5	2	1	11			
Ha社	H	78	208	1	2	3	2	1	9	19
		132	370	1	2	4	2	1	10	
Ha社	R	78	208	1	4	7	4	1	17	32
		132	370	1	3	7	3	1	15	

注：下段の数字は外壁の面積、工数を示す。

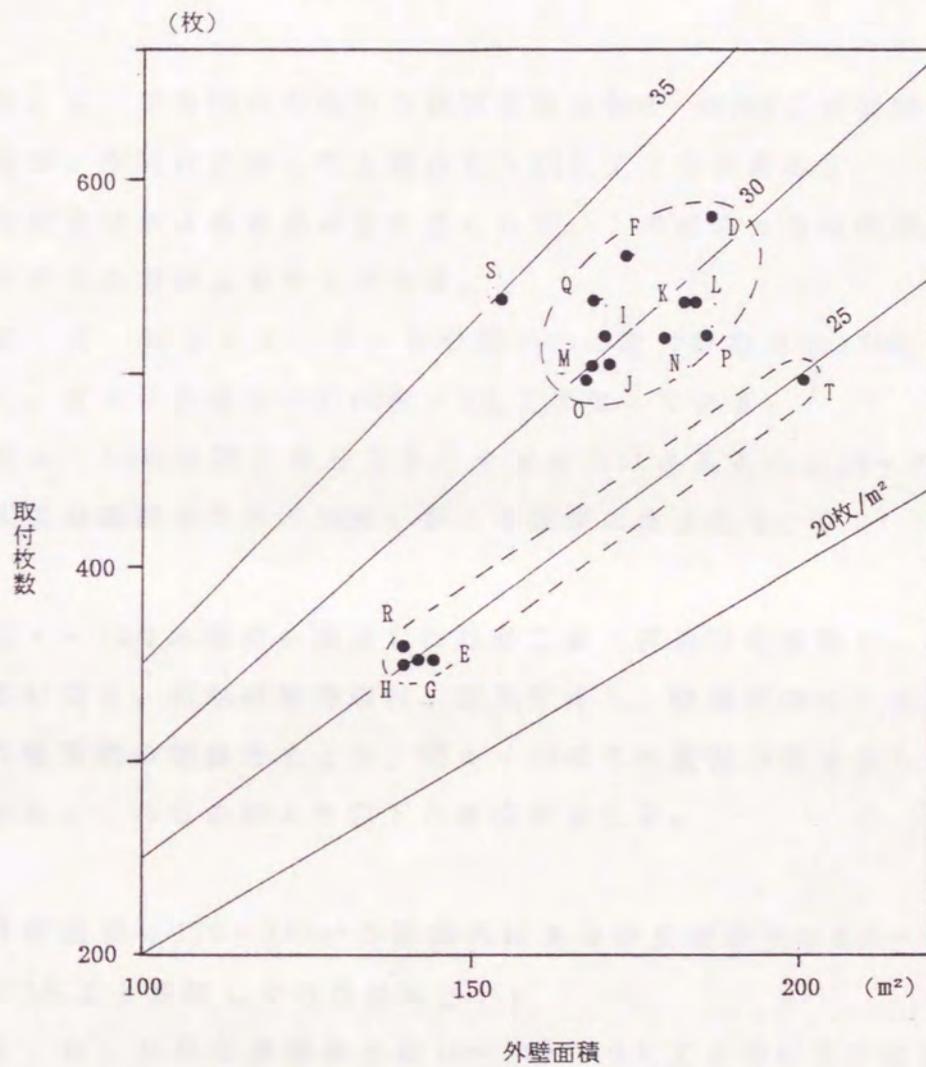


図 4 - 9 外壁面積と取付棒枚数の関係

外壁の歩掛り

歩掛かりについては施工経験の有無による差が出るため、施工経験のある4社の住戸(14戸)を分析対象とした。図4-10は会社別に外壁の枠取付工数と枚数の関係を示したもので、図4-11はその度数をまとめたものである。これらの図より以下の事項が読み取れる。

- ① E、G、Hを除いた住戸の取付枚数は500~600枚とほぼ同一であるが、取付けに要した工数は6~11人工と巾がある。
- ② 建設会社による差異は余り見られず、このばらつきは建物の形態と捉えた方がよさそうである。
- ③ E、G、Hはコンパクトな形態のため取付枚数は約370枚と少なく、さらに歩掛りは約80枚/1人工となっている。
- ④ 図4-11の度数分布を見るとやはり巾はあるものの50~70枚/1人工の範囲で7戸(50%)がこの範囲に含まれる。

図4-12は本構法に関連した外壁工事(構造用合板張り、防湿・気密材張り、断熱材用枠取付、断熱材挿入、防風材張り)の総工数と外壁面積の関係をまとめ、図4-13はその度数分布を示したものである。これらの図より以下の事項が言える。

- ① 外壁面積は170~187m²の範囲内にあるが歩掛かりは6.5~13.0m²/1人工と変動しその巾は大きい。
- ② E、G、H戸の歩掛かりは12~13m²/1人工と他の住戸に比較して高い値を示している。これは3戸が総2階建てで平面に凹凸がない単純な形態をしていることが大きな要因である。
- ④ 図4-13の度数分布を見ると6~7m²/1人工が14戸中、6戸(43%)、さらに範囲を広げて6~9m²/1人工とすると9戸(64%)がこの範囲内となり、このあたりが本構法の外壁の歩掛りと言えるであろう。

屋根の歩掛り

施工経験のあるHo社が3戸（E、G、R）に屋根断熱を施した。これらの住戸は殆ど同じ平、立面の住戸で、施工した大工は3人組みで、3戸の気密、断熱施工を順番に行った。さらに屋根面に使う材料についても足場に材料ステージを設け、材料の小運搬の低減を図っていた。これらのことを踏まえて屋根断熱した場合の歩掛りをHo社の3戸で求めると $9.6\text{m}^2/1\text{人工}$ となる。しかし、サンプル数が3戸であるため今後さらにサンプル数を増やす必要がある。

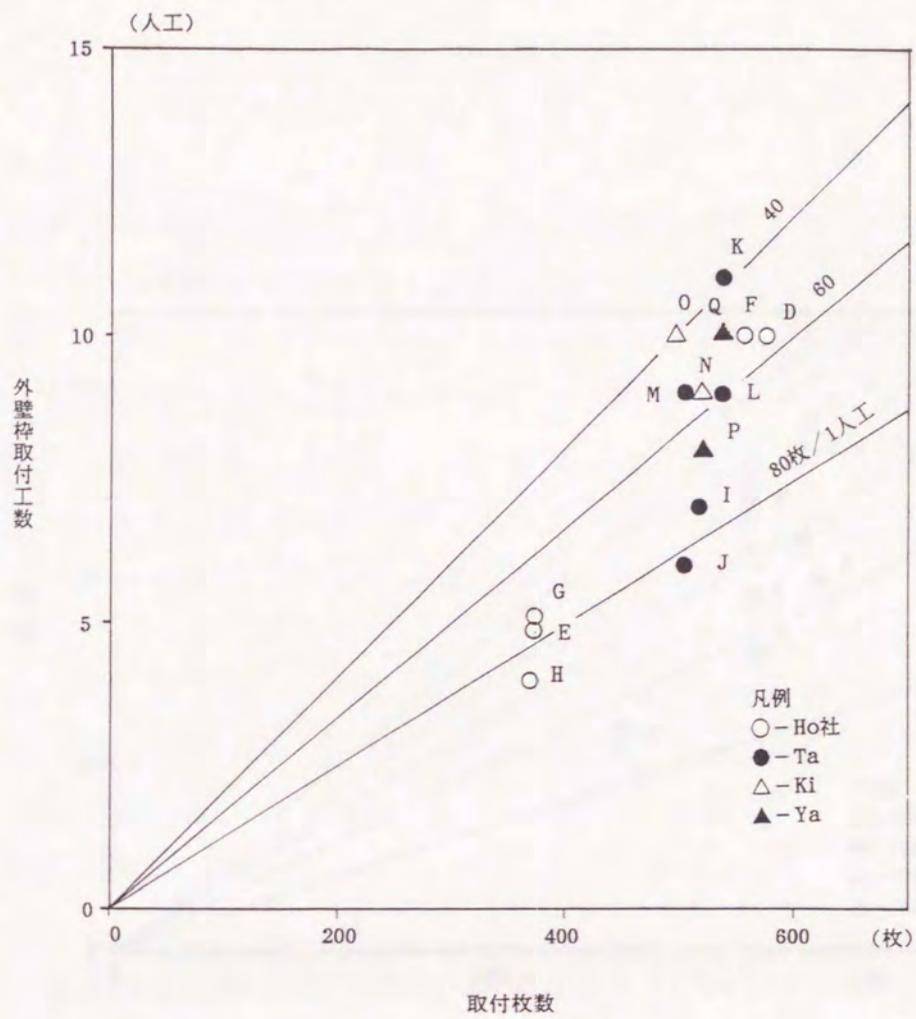


図 4 - 10 外壁枠取付工数と枠枚数の関係

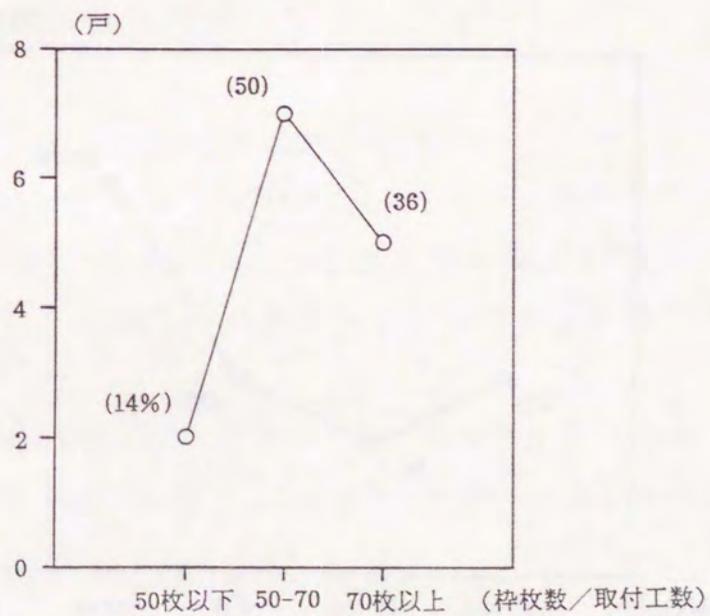


図 4 - 11 外壁枠取付枚数の歩掛かり度数分布

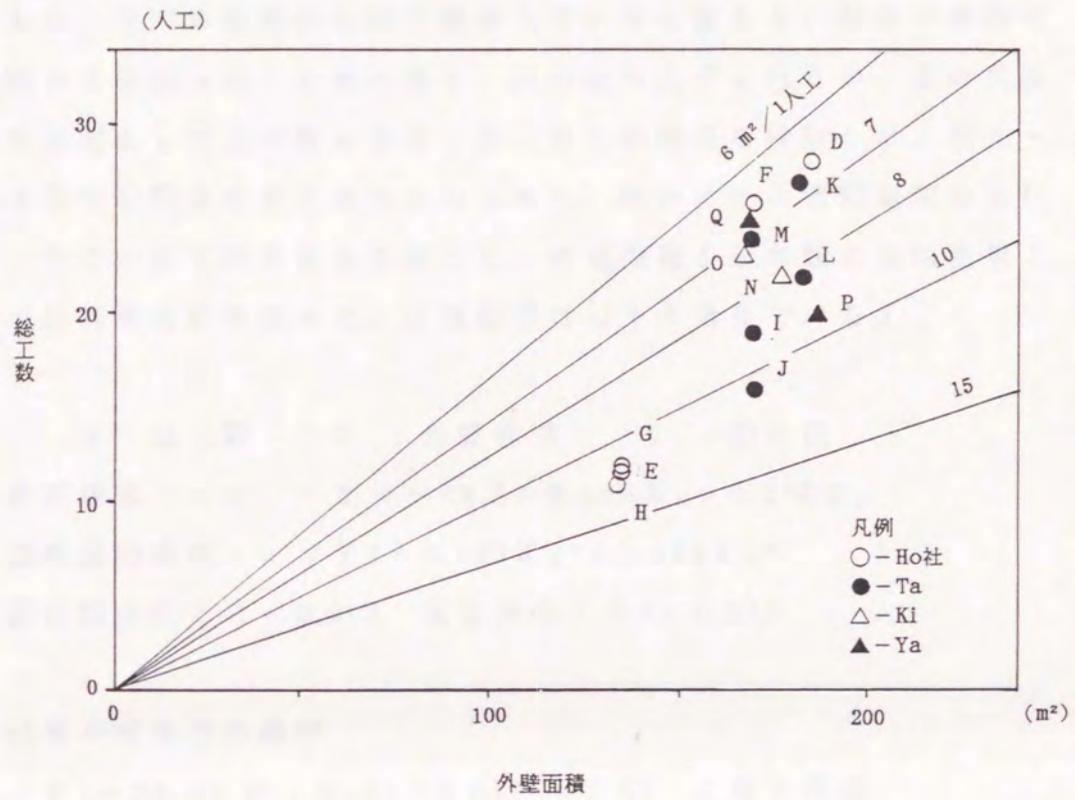


図 4 - 12 総工数と外壁面積の関係

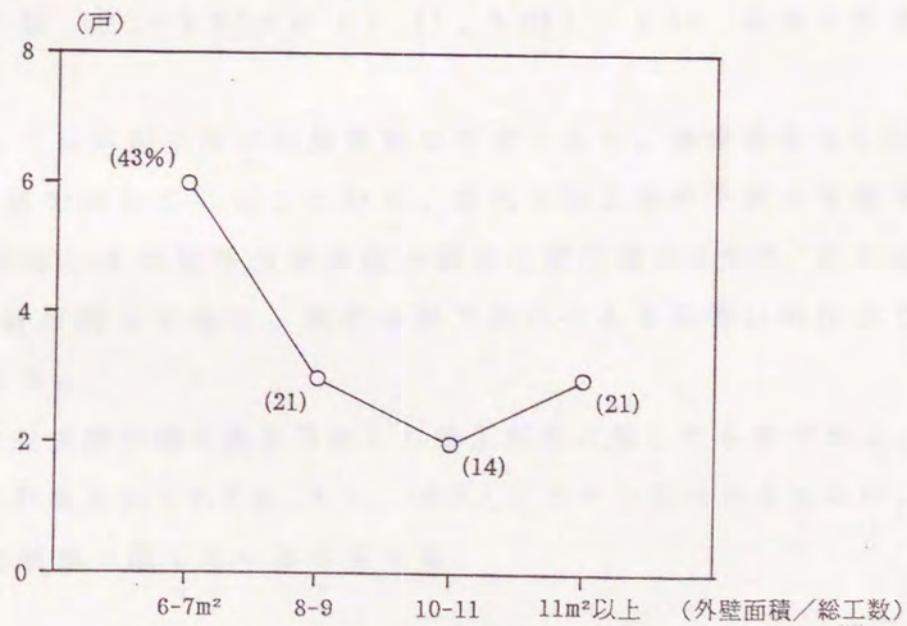


図 4 - 13 外壁歩掛かりの度数分布

工数の予測

本構法の外壁を施工するための総工数は前述のように外壁面積とともに、住戸の形態にも深く関係していると言える。形態の複雑さに関わる要因は出入り隅の長さ、辺の数が上げられるが、その代表的な要因として辺の数に着目し総工数との関係を検討した。図4-14は両者の関係をまとめたものであり、明かに正の相関が認められる。そこで総工数を目的変数とし、外壁面積と辺の数を説明変数として重回帰分析を試みた。計算結果は以下の通りである。

Y : 総工数 X₁ : 外壁面積 X₂ : 辺の数

重回帰式 $Y = -12.8 + 0.156 X_1 + 0.218 X_2$

標準重回帰式 $Y^* = 0.500 X_1^* + 0.468 X_2^*$

重相関係数 : $R = 0.903$ 決定係数 : $R^2 = 0.815$

回帰の有意性の検討

$F_0 = 24.3 > F(2, 11; 0.01) = 7.21$ 1%で有意

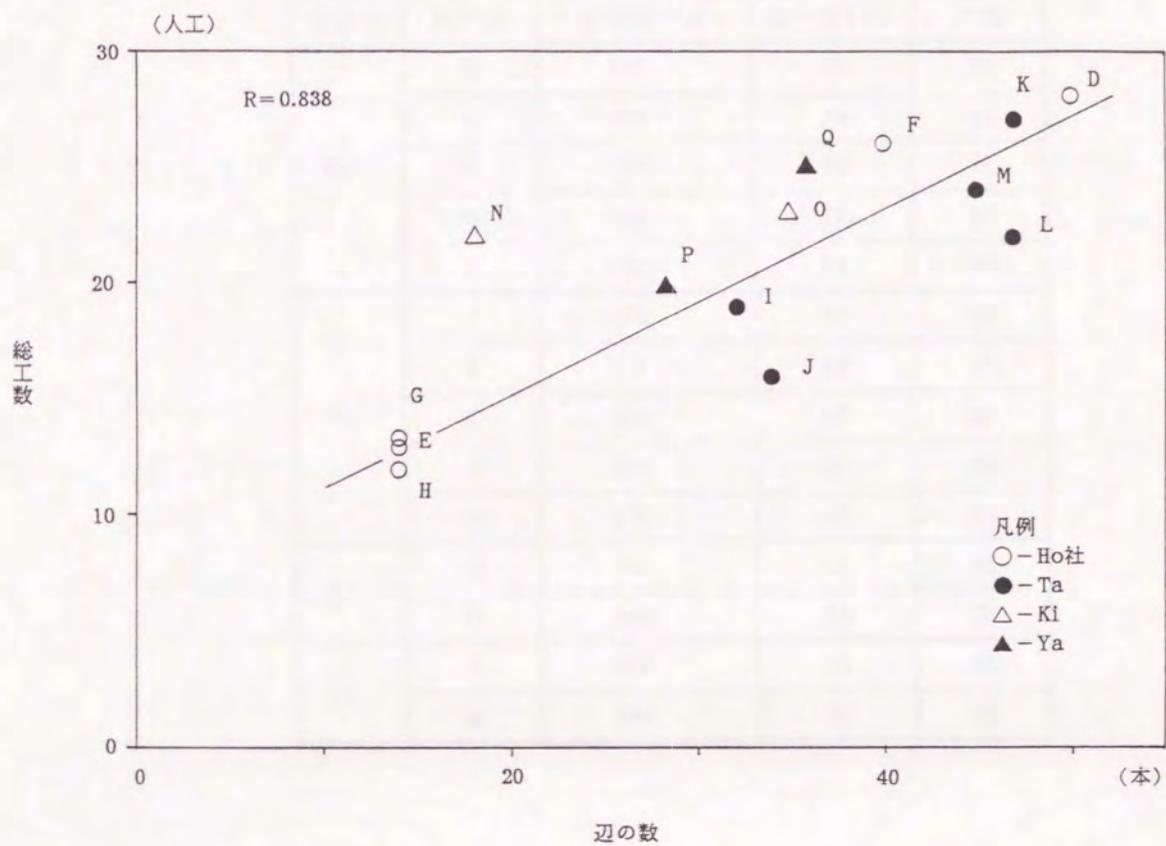
回帰係数の有意性の検討

外壁面積 : $F_0 = 6.69 > F(1, 11; 0.05) = 4.84$ 5%で有意

辺の数 : $F_0 = 5.87 > F(1, 11; 0.05) = 4.84$ 5%で有意

上述のように回帰式及び回帰係数は有意であり、決定係数も0.815と大きな値を示していることから、本式は総工数の予測に有効であると言える。また標準回帰係数の値は外壁面積が0.500、辺の数が0.468とほぼ同じであり、両者の総工数に与える影響は同程度であると言える。

表4-5は実際の総工数と予測した総工数を比較したものである。J、L、Q戸はそれぞれ5.2、4.1、-3.7人工とやや差はあるものの、他の住戸は概ね一致していると言える。



辺の数の算出方法

例 - 1戸

水平方向 (△印) 22本

垂直方向 (○印) 11本

計33本

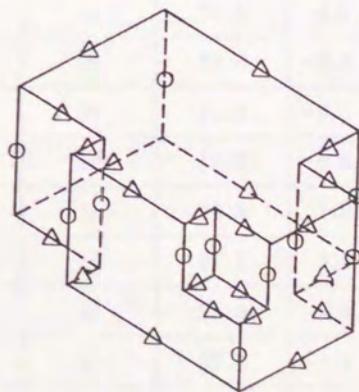


図4-14 総工数と各住戸の辺の数との関係

表 4 - 4 各住戸の総工数、外壁面積、辺の数一覧

会社名	住戸名	外壁面積 (m ²)	辺の数(本)	工数
Ho	D	187	50	28
	E	134	14	11
	F	173	40	26
	G	134	14	11
	H	132	14	10
Ta	I	170	33	19
	J	171	34	16
	K	183	47	27
	L	184	47	22
	N	170	45	24
Ki	M	180	18	22
	O	168	35	23
Ya	P	187	26	20
	Q	169	36	25

表 4 - 5 実際の総工数と予測した総工数の比較一覧

会社名	住戸名	工数 (人工)	予測工数 (人工)	残差
Ho	D	28	27.2	-0.8
	E	11	11.1	+0.1
	F	26	22.8	-3.2
	G	11	11.1	+0.1
	H	10	10.8	0.8
Ta	I	19	20.8	1.8
	J	16	21.2	5.2
	K	27	25.9	-1.1
	L	22	26.1	+4.1
	N	24	23.5	-0.5
Ki	M	22	19.1	-2.9
	O	23	21.0	-2.0
Ya	P	20	21.9	+1.9
	Q	25	21.3	-3.7

4-4 工事費

本節では本構法がコストの面で現・在来構法と比較してどの程度アップするのかを探ってみたい。しかし、工事費は大工の労務費、建材の仕入れ値段、建設会社の経費で決定される。また、それらは建設会社の規模、建材の使用量によっても変動する。従ってこれらの結果は一つの目安と考えたい。

表4-6は住戸各部位について、現・在来構法に比較したコストアップ分の工事費（実費）をまとめたものである。

各住戸の断熱材を外壁、屋根に取り付けるための枠材費はあまり差が見られなく、その増加分は30~40万円となっている。

枠材取付け手間には巾があり、5戸以上の施工経験のあるHo、Ta社は10~20万円増で済んでいるが、初めて本構法を行なったHa社は約25万円、Su社は約34万円と高い傾向にあると言える。

図4-15に各住戸の延床面積当たりの増加工事費をまとめた。全体的な傾向として7,000円/m²前後の範囲内に8戸が位置しているが、Su社のS戸とHa社のR戸が10,000円/m²となり最も高くなった。これは初めての施工で工数が多かったことが要因である。しかし、Sa社のTが初めてにも関わらず7,500円/m²とあまり高くならなかったのは、大工が気密、断熱工事を他の現場より若干遅らせて施工の要領を理解し、さらに現場管理者の工事の段取りが行き届いたためである。

このことより本構法の施工経験の有無による手間の増大は、住戸を1戸程度建設することにより解消できることが期待できる。

屋根断熱まで行なったR戸を除く3住戸（E、G、H）は他に比べて1,000円/m²ほど割高で約8000円/m²となっている。

また第2章のA宅では約6000円/m²であったが、今回は約17%ほどコストが上昇した。これは本住宅団地建設がいわゆる「バブル景気」の時期の施工となったことが主因である。

次に同じ外断熱構法である SHS構法と本構法とのコストを、現・在来構法住戸を基準としてその増加工事費で比較してみたい。モデル住戸として総二階建て延床面積 120m^2 の戸建住宅を想定する。

表 4 - 7 より延床面積当たりの現・在来構法住戸に対する本構法の平均増加工事費は $7360\text{円}/\text{m}^2$ であるので、その工事費を延床面積 120m^2 に乗ずる。 $7360\text{円}/\text{m}^2 \times 120\text{m}^2 = 88\text{万円}$

しかし、この工事費には天井断熱分が含まれていないため、さらにその分（ブローイング 200ミリ 、 $1000\text{円}/\text{m}^2$ ）を加える。

$$60\text{m}^2 \times 1000\text{円}/\text{m}^2 + 88\text{万} = 94\text{万円}$$

この 94万円 が本構法の増加工事費となる。

一方、SHS住戸は第 1 章で述べたように現・在来構法住戸に対する予想増加分を以下のような単価でかりに仮定し、算出すると

$$100\text{万} + 8\text{人工} \times 1.5\text{万}/1\text{人工} = 112\text{万円}$$

となり、本構法住戸との差額を求めると、

$$112\text{万} - 94\text{万} = 18\text{万円}$$

となる。しかし、本構法と SHS構法では断熱性能が異なるため、その分に相当する本構法の減少分を次の仮定に基づいて計算する。

枠材分 - 30% 減、 枠材取付手間 - 20% 減

断熱材 - 30% 減、 断熱材取付手間 - 50% 減

その減少分は表 4 - 7 の各工事別の平均工事費により算出する。

$$\begin{aligned} & (0.3 \times 3380\text{円}/\text{m}^2 + 0.2 \times 1510\text{円}/\text{m}^2 + 0.3 \times 1650\text{円}/\text{m}^2 \\ & + 0.5 \times 490\text{円}/\text{m}^2) \times 120\text{m}^2 = 25\text{万円} \end{aligned}$$

従って、本構法と SHS構法との差額は

$$18\text{万} + 25\text{万} = 43\text{万円}$$

と求まる。

このように、同じ外断熱構法の SHS構法との比較では、同じ断熱性能の 120m^2 程度の住戸を想定すると、本構法の方が 43万円 程度安価となる可能性がある。

表 4 - 6 本構法に要した増加工事費一覧

住宅名		基礎	枠材	枠材取 付手間	外壁断 熱材分	屋根断 熱材分	断熱材 取付手 間	差額 合計
Ho 社	D	3.0	42.5	20.0	10.1	-	6.0	81.6
	E	3.6	33.3	21.0	13.2	8.2	4.0	83.3
	F	4.2	34.4	15.0	20.4	-	6.0	80.0
	G	3.6	33.3	17.0	11.8	7.2	4.0	76.9
	H	3.5	31.5	19.0	11.8	7.1	4.0	76.9
Ta	I		38.1				3.0	69.4
	J		36.9				2.0	67.2
	K	3.3	37.0	10.0	15.0	-	7.5	72.8
	L		41.5				5.3	75.1
	M		35.6				6.0	69.9
Ki	N	2.0	33.2	10.7	15.0	-	4.5	65.4
	O	1.3	30.1	9.4	20.0	-	4.5	65.3
Ya	P	4.0	34.3	24.8	17.5	-	6.0	86.6
	Q	3.5	32.4	26.0	18.3	-	6.0	86.2
Ha	R	3.8	31.5	25.5	15.0	9.3	7.5	92.6
Su	S	5.4	36.0	34.4	29.7	-	7.5	113.0
Sa	T	5.9	28.9	20.0	21.0	-	3.0	78.8

(単位:万円)

- 注1) 屋根断熱材分の-印はブローイング工法を施した住戸である。
 2) Ta社、5戸の枠材取付手間と外壁断熱材分が同一金額なのは
 大工との契約によるものである。

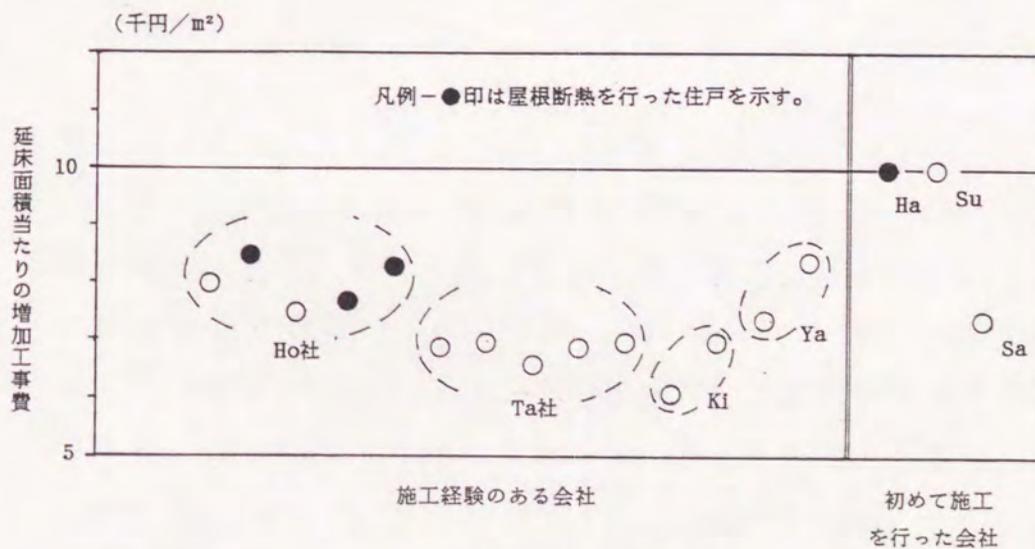


図 4 - 15 建設会社別に見た延床面積当たりの増加工事費

表 4 - 7 延床面積あたりの増加工事費一覧

住宅名		基礎	枠材	枠材取 付手間	外壁断 熱材分	断熱材 取付手 間	合計
Ho 社	D	300	4220	1990	1000	600	8110
	F	330	3220	1400	1910	560	7420
Ta	I	330	3770	990	1480	300	6870
	J	350	3870	1050	1570	210	7050
	K	300	3410	920	1380	690	6700
	L	300	3820	920	1380	490	6910
	M	330	3520	990	1480	590	6910
Ki	N	190	3100	1000	1400	420	6110
	O	140	3200	1000	2130	480	6950
Ya	P	340	2910	2100	1480	510	7340
	Q	340	3150	2530	1780	580	8380
Su	S	480	3170	3030	2620	660	9960
Sa	T	520	2550	1760	1850	260	6940
平均		330	3380	1510	1650	490	7360

単位 (円/延床面積)

注) 屋根断熱を行なっている E、G、H、R 戸は除いている。

4 - 5 気密性

本節では各住戸の気密性能について述べてみたい。本構法住戸の気密性を現・在来構法と比較するため、9戸の現・在来住戸（e～m）の調査も合わせて行なった。その住戸概要を表4-8に示す。現・在来住戸は1989～90年（平成元～2年）にかけ札幌市内に建設され、木造2階建て、延床面積は110～120㎡、屋根は無落雪形式と切妻屋根形式となっている。建設会社はHo、Su社で共に外断熱構法の施工も行なっている。

図4-16は本構法住戸（○印）と現・在来住戸（△印）の相当隙間面積と延床面積との関係を示したものである。この図より以下のことが言える。

- ① 本構法住戸の相当隙間面積は $1.1 \sim 3.8 \text{ cm}^2 / \text{ m}^2$ の変動幅があるが、 $2.0 \sim 3.0 \text{ cm}^2 / \text{ m}^2$ の間に10戸（59%）が含まれており、さらに4戸（24%）が $2.0 \text{ cm}^2 / \text{ m}^2$ 以下となり、当初の目標値である $3.0 \text{ cm}^2 / \text{ m}^2$ 以下となっているのが分る。しかし、3戸（18%）は $3.0 \sim 4.0 \text{ cm}^2 / \text{ m}^2$ の範囲内となった。
- ② 現・在来住戸の相当隙間面積は $2.3 \sim 4.5 \text{ cm}^2 / \text{ m}^2$ で、全体的に本構法住戸のそれよりも値は大きく、かつ広範囲に分布している。

では、建設会社では気密性能に差があるのかを調べてみることにする。図4-17は建設会社別に相当隙間面積をまとめたものであり、建設会社にあまり関係なく相当隙間面積は変動していると言える。

このように本構法は「ある程度の建設会社（大工）」であれば「相当隙間面積 $3.0 \text{ cm}^2 / \text{ m}^2$ 以下の戸建住宅」を建設することが十分に可能であり、本構法の重要な特性の一つであると言える。

図4-18は1990年から93年にかけて竣工時の本構法住戸と、他の気密化構法住戸の相当隙間面積をまとめたものである。本構法住戸

を見ると1.0～3.0cm²/m²の範囲内となっているが、92、93年では徐々に気密性能も高まり2.0cm²/m²以下の住戸も増加してきている。これは施工方法が熟知された結果と見ることができよう。また、新・在来構法住戸、SHS構法住戸も高气密な値となっている。しかし、現・在来構法住戸の気密性能はこれらの気密化構法住戸に比較して2.5～5.0cm²/m²とやや劣っており、このあたりが限界と言える。

表4-8 調査対象の現・在来構法住戸の概要

調査住宅		建設年次	延床面積 (m ²)			気積 (m ³)	屋根形態
			1F	2F	計		
Ho社	e	平成2年	88.0	45.4	113.4	292.6	無落雪屋根
	f	〃	59.1	58.3	117.4	299.4	無落雪傾斜
	g	〃	69.3	43.7	113.0	291.5	無落雪屋根
Su社	h	平成元年	67.1	52.2	119.3	309.4	無落雪屋根
	i	〃	66.3	46.4	112.7	302.4	〃
	j	〃	60.4	60.4	120.8	310.3	〃
	k	〃	69.4	43.1	112.5	297.4	三角屋根
	l	〃	62.5	55.9	118.4	291.5	〃
	m	〃	73.9	47.2	120.4	307.7	〃

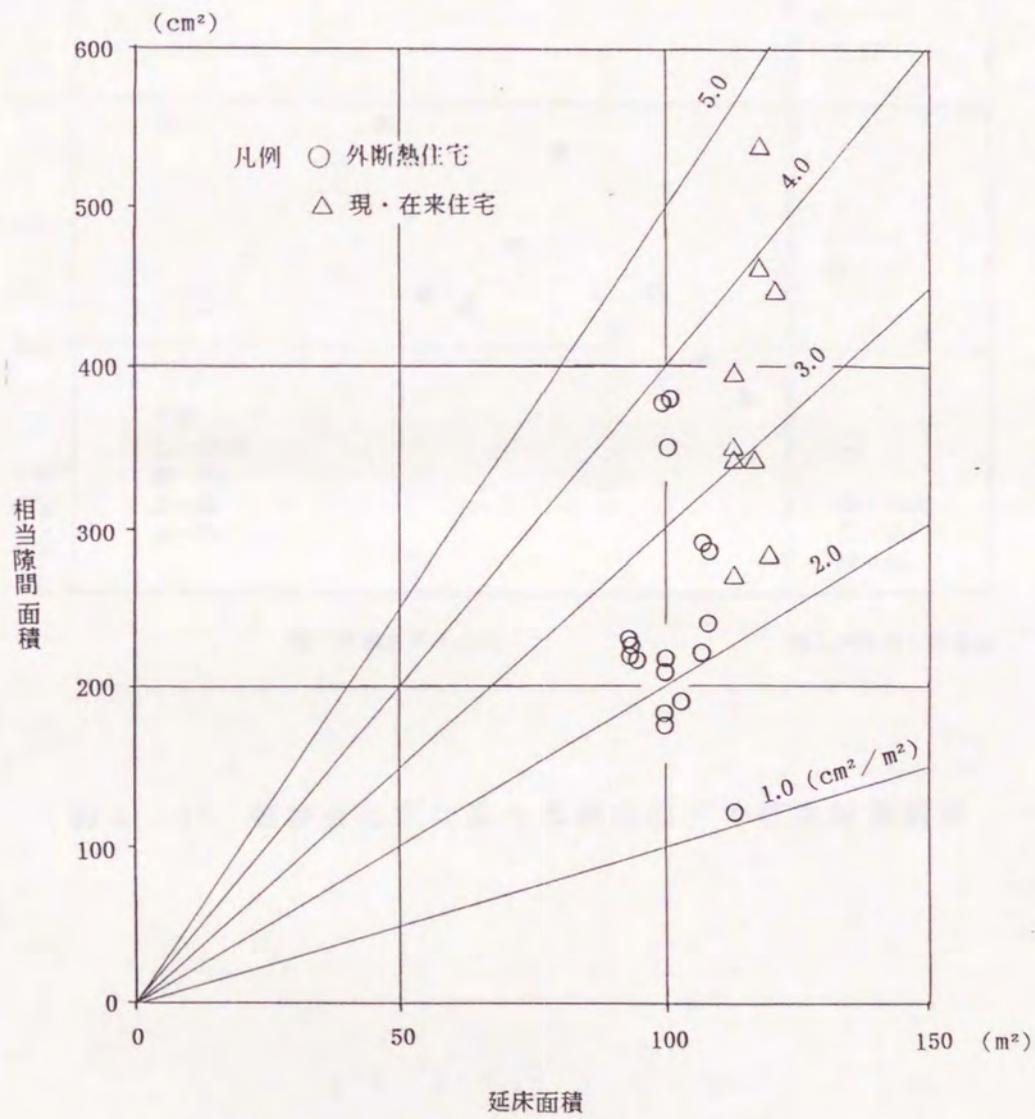


図 4 - 16 本構法と現・在来構法別に見た
延床面積と相当隙間面積の関係

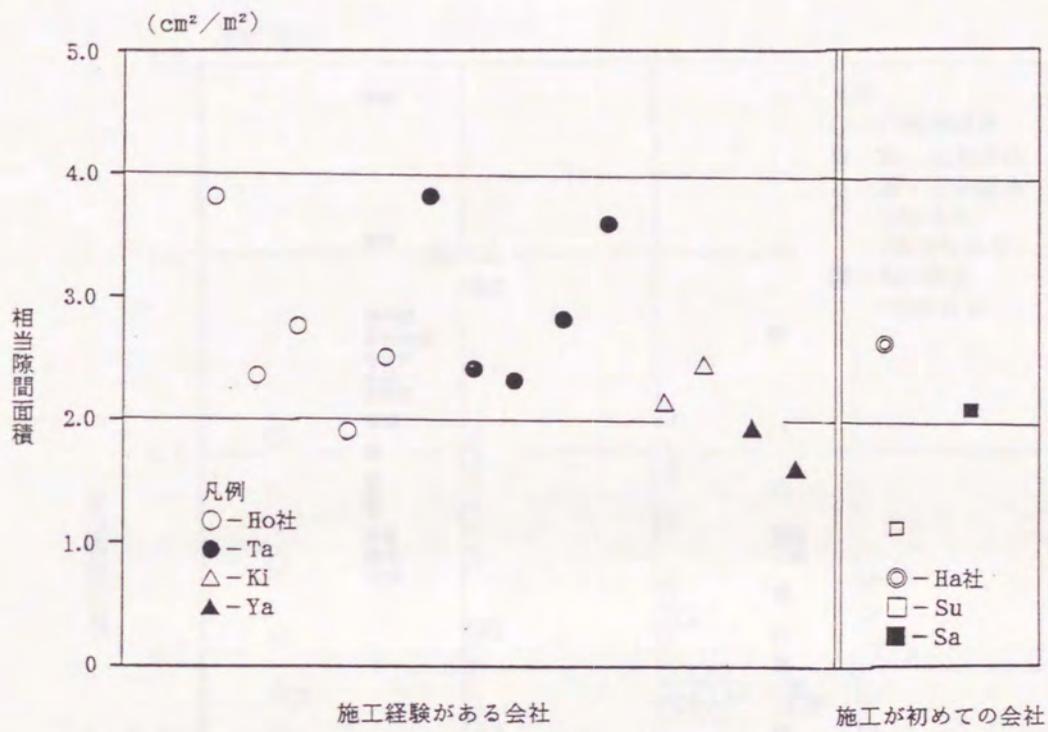
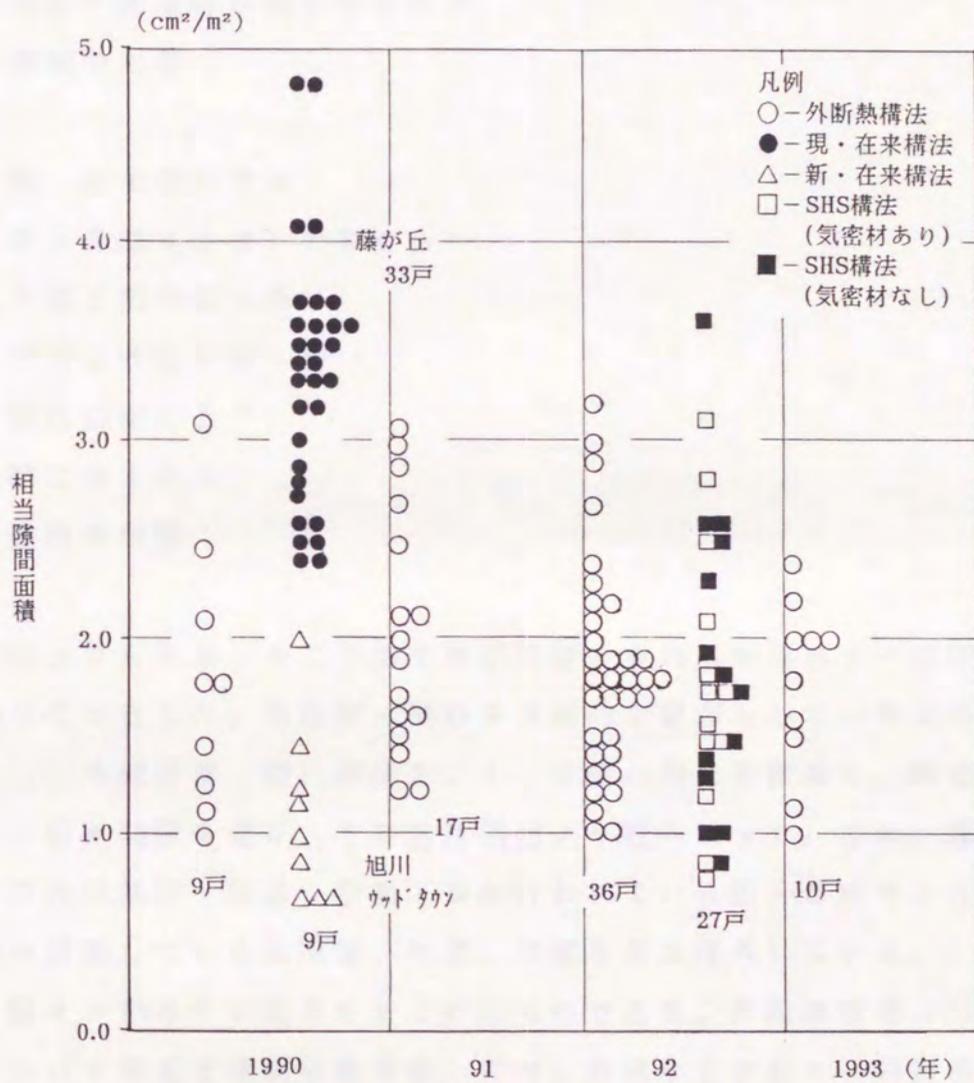


図 4 - 17 建設会社別に見た本構法住戸の相当隙間面積



注、日本建築学会北海道支部研究委員会（寒地住宅研究連絡特別委員会）の基礎資料より引用。

図 4 - 18 本構法住戸と他構法住戸の
相当隙間面積（入居時）比較

気密性の要因

戸建木造住宅の気密性を左右する要因は構法によって異なる。本構法住宅の気密性に関わる箇所としては

- ① 気密・防湿材と基礎が接する部分
- ② 開口部まわり
- ③ 気密・防湿材の合わせ目部分
- ④ 建物の形態

現・在来構法では

- ① 床と外壁（土台）の取り合い
- ② 外壁と桁の取り合い
- ③ 天井と外壁の取り合い
- ④ 間仕切壁の上下
- ⑤ 開口部まわり
- ⑥ 建物の形態

が上げられる。そこで相当隙間面積とそれらの項目との相関を調べることとした。気密性に関わる具体的な要因として、外周の土台長さ、外壁面積、開口部長さ、1、2階の間仕切壁長さ、気積、天井、延床面積を選び、その値は図面より読み取った。なお、算出対象部分は気密・防湿、断熱工事が行われている部分だけであり、住宅に付随している風除室、物置、車庫などは除外している。

図4-19はその結果をまとめたものである。外断熱住宅（○印）についてみると相関係数が高いのは、外周の土台長さ（相関係数0.81、寄与率65.6%）、次いで外壁面積（0.68、46.2%）となっており、その他の項目についての相関係数は、0.5以下となっている。現・在来住宅（●印）については、最も値が高いのは開口部長さ（0.60、36.0%）、次に外周の土台長さ（0.58、33.6%）であり、他は0.5以下である。

図4-20は各住戸の相当隙間面積と土台長さの関係をまとめたも

のである。相関係数は0.81とやや低いものの関係がありそうである。

以上より、本構法の気密性の大きなポイントは土台まわり、つまり、基礎と土台部分の気密・防湿材の確実なシーリング施工にありそうである。しかし現・在来住宅について見ると、そのような大きな要因は見られず、これは在来構法の気密性には、土台、開口部まわり、間仕切壁の上下と、多岐の要因が総合的に関わっていることを示唆しており、気密性能を向上させるためには、これらすべてに留意して施工しなければならないことを意味しているものと言える。

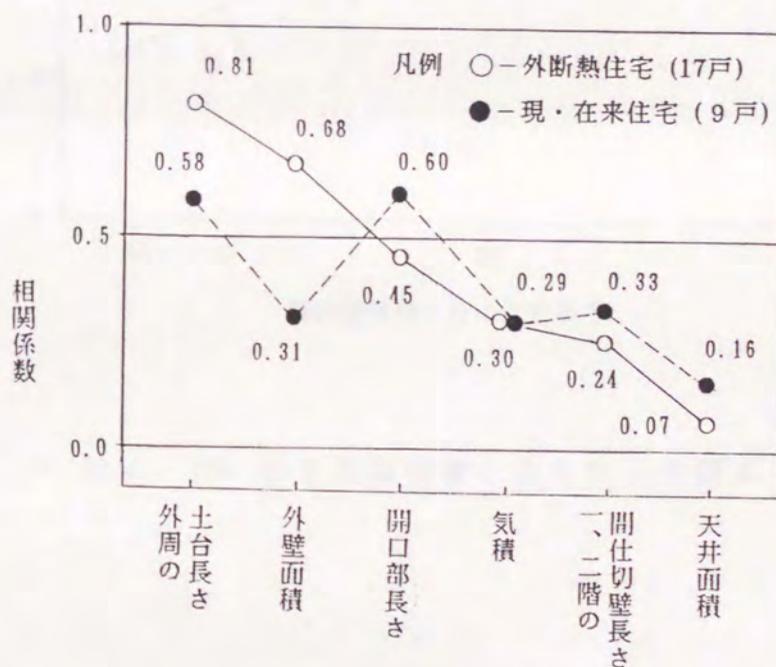


図4-19 構法別に見た相当隙間面積と気密性に関わる要因との相関係数の比較

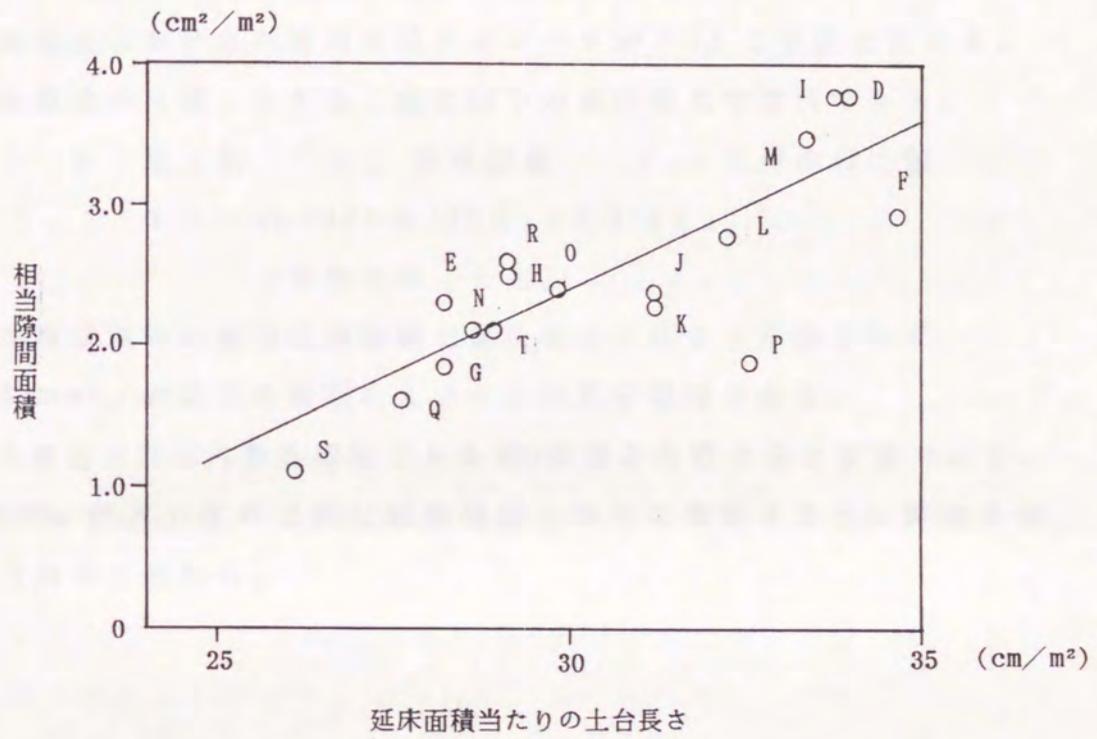


図 4 - 20 相当隙間面積と土台長さの関係

4 - 6 まとめ

本章で得られた知見を以下に列記する。

- ① 外壁の取付枠枚数は、平面に凹凸がない矩形で総2階建ての場合は25枚/m²、その他は30枚/m²前後となる。
- ② 本構法における外壁の歩掛りは6～9 m²/1人工程度と言える。
- ③ 本構法の外壁に対する工数は以下の重回帰式で算出できる。

Y : 総工数 X₁ : 外壁面積 X₂ : 住戸の辺の数

$$Y = -12.737 + 0.155 X_1 + 0.219 X_2$$

(有意水準 : 1%)

- ④ 本構法住戸の相当隙間面積は建設会社にあまり左右されず、3.0cm²/m²以下の範囲に入ることが充分期待できる。
- ⑤ 本構法は同じ外断熱構法であるSHS構法と比較すると安価であり、120m²程度の住戸で同じ断熱性能とかりに仮定すると、差額は40万円ほどとなる。

第V章 パネル化した本構法の施工性と性能評価

本章の目的は本構法の現場作業量の低減を目指し外壁、屋根のパネル化を計画、パネル作製の方法、軸組とパネルの取付方法、ジョイント処理を開発し、その構法を適用した一住戸の施工過程を分析し、さらに竣工後、性能として室温、気密性の経年変動、土台の木材含水率、燃料消費量を明らかにすることにある。

図5-1は戸建住宅建設に関連が深い大工、左官、建具工の推計労働者数¹⁾の推移を、1971年度(昭和46年)を100%として全国と北海道についてまとめたものである。各職種は総て減少傾向を示しており、大工の減少率に注目すると1990年度(平成2年)の全国の減少率は25%程度であるが、北海道では56%と激減している。

図5-2は全国の大工、左官、土工の平均年齢²⁾の推移をまとめたもので各職種の平均年齢は上昇傾向となっている。1971年から90年までの一般成人男子(16~65歳)の平均年齢²⁾は2.8歳の増加となっているが大工の増加年齢は7.5歳となっており、このことは若い建設労働者が育っていないものと解されよう。

従ってこのように将来、大工数が減少しかつ平均年齢も増加する傾向が継続するとすれば、数少ない高齢化した大工が外廻りの作業量の多い本構法を施工するのは容易ではないと言える。

このような背景を踏まえ気密、断熱性能を低下させず、断熱工事の施工があまり天候に左右されなく、かつ技能職に頼ることが少ない本構法の改善を図る必要があると言える。

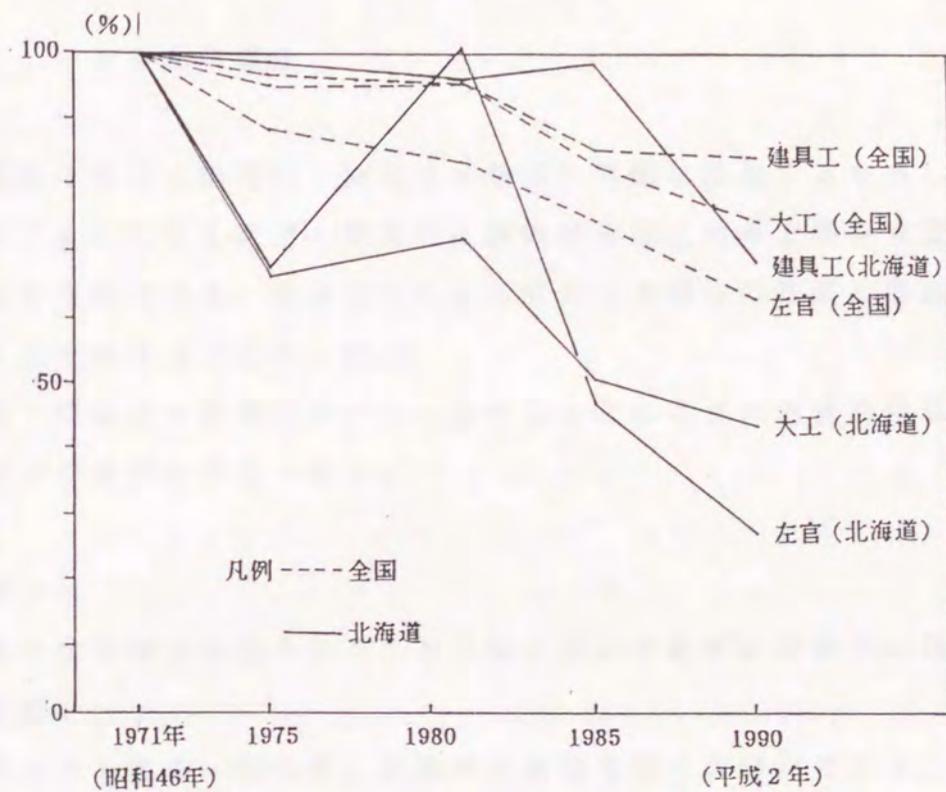


図 5 - 1 職種別に見た推計労働者数の推移

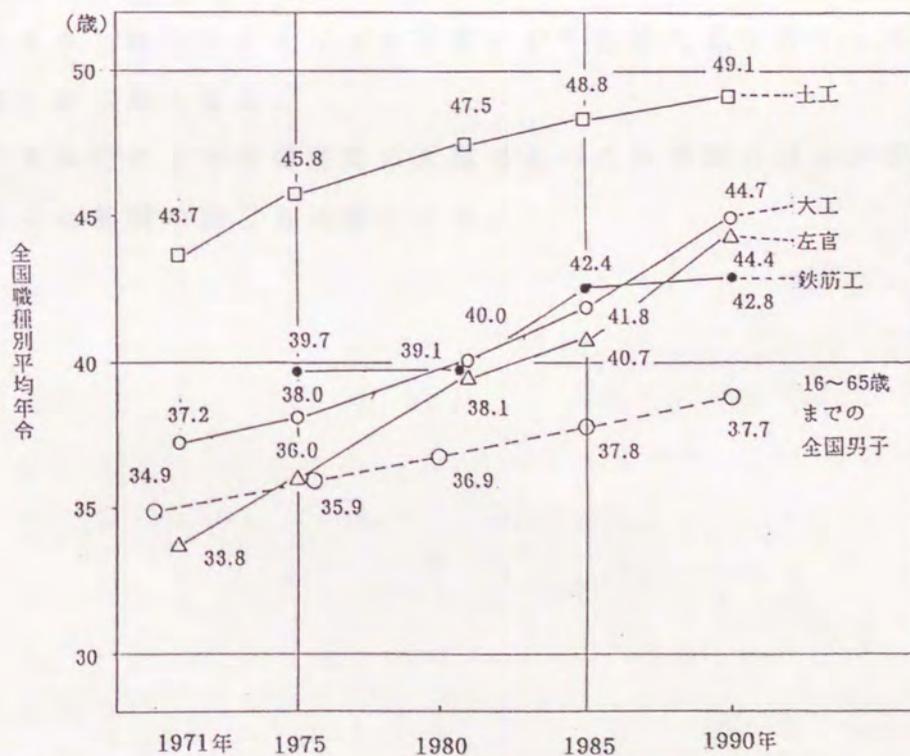


図 5 - 2 職種別に見た推計労働者の平均年齢の推移

5 - 1 パネル化の概念

本構法は気密・防湿材、断熱材が軸組の外側に位置するため、軸組を施工する工程と気密・防湿材と断熱材を施工する工程を分離することが可能である。筆者はこの点に着目し本構法の外壁と屋根のパネル化を試みることにした。

気密・防湿材と断熱材をパネル化することによりその波及効果として以下の事項が考えられる。

生産面では

- ① パネルは工場生産されるため天候に左右されず、計画的に作製が可能。
- ② 現場よりも気密・防湿材、断熱材の確実な取り付けができる。

施工面では

- ① 現場作業量の低減で現場作業不足の解消が期待できる。
- ② パネルと軸組のジョイント方法により熟練大工でなくともパネル取付が可能となる。
- ③ パネル化により小雨程度の天候でもパネルの取り付けが可能で、さらに冬期の施工も可能になる。

5-2 パネル化の計画

パネルサイズ

パネルの大きさはパネルを使用する戸建住宅をどのように生産、建設するかに関わってくる。東大、内田祥哉³⁾も述べているように、大型パネルでも建設戸数が100戸と大きい場合には100枚、生産することになり量産化へつながる。しかし、数戸の場合には専用のパネルとなり他の戸建住宅への転用の容易ではない。小型パネルとした場合には数戸でも標準パネル枚数が増加し、量産が可能となる。

次に運搬、施工について考えると、揚重機械を使用するか、否かにより、パネルサイズと施工方法が大きく左右される。車両によるパネルの搬送（高さは地上より2.7m以下、長さはある程度、自由）にも制限がある。一方、気密性を考慮した場合、中型以下のパネルはジョイント部分が多くなり気密性の確保が容易ではなくなる可能性がある。

これらのことを踏まえ、本研究では気密性を重視し施工時のジョイント長さが少ない、中型パネル（1.8m×6.5m程度）を使用することとした。

軸組とパネルのジョイント

図5-3に開発した柱と外壁パネルのジョイントを示す。パネルのジョイント部分の室内側にはパネルのクリアランス処理のため柱が位置するように計画した。しかし、一般に戸建住宅に使用されている柱、梁の構造材（えぞ松、とど松）は建設後の乾燥により曲り、反り、捻れが発生し易くそのため軸組が変形し、パネルのジョイント部分で隙間が発生する可能性がある。気密性を維持するためには変形が少ない乾燥材を軸組に使用する必要があり、本研究では軸組に乾燥材である集成材を使用する計画とした。

パネルと柱の緊結方法はパネル側板に受け金物（プレート厚さ3.2ミリ加工品、取付間隔 1,000ミリ）を取り付け、あらかじめ柱に

加工されたボルト穴を利用してボルト（13φ）とナットで柱に緊結する方法である。パネル間のクリアランス（巾、50ミリ）はパネルを固定した後、現場発泡のウレタンを注入する。

室内側の柱面には締め付けボルトの頭部が露出するように計画している。これは竣工後、パネル側板の乾燥収縮が予想されるためそのときのボルトの増し締めを可能なように配慮し、さらに増改築の必要が生じた場合にはこのボルトを緩め、パネルを取り外すことにより施工を容易にすることも考慮している。屋根についても外壁と同じディテールを用い施工の繁雑さを無くすよう努めた。

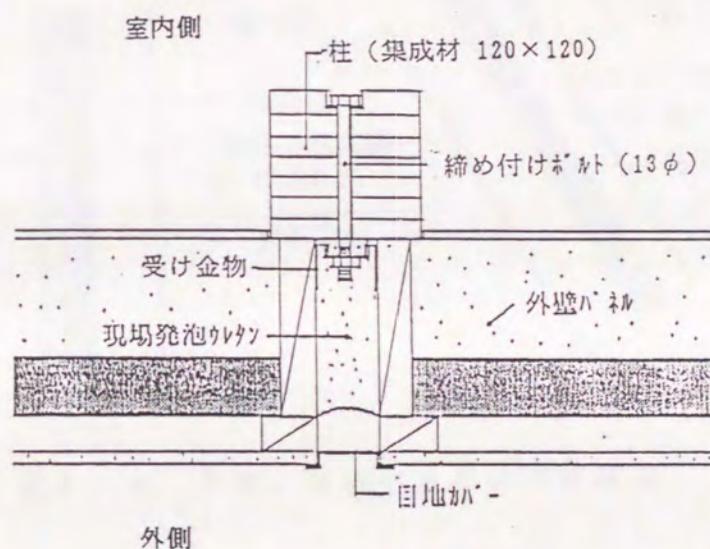


図5-3 柱と外壁パネルのジョイント平面

パネルの内部構成

図5-4に外壁と屋根パネルの内部構成を示す。断熱材にはグラスウール、押出発泡ポリスチレン、硬質ウレタンが代表的であるが、本研究に協力して頂けた会社はウレタンパネルの作製工場があり、その工場を活用することとした。しかし、ウレタンは他の断熱材に比較して高価（厚さ100ミリで4000円/m²）なため、本研究ではウレタンとグラスウールの複合板を開発した。

その組合せは内部結露の防止のため室内側にウレタン、外気側に

高密度グラスウールとした。パネルの作製方法は工場で木枠を組んだのちグラスウールを敷き込みウレタンを注入する方法である。こうすることにより木枠とウレタン、グラスウールが密着しパネルの剛性は高まる。しかし、 $16\text{kg}/\text{m}^3$ のグラスウールはウレタン注入時、発泡にムラが生じたため、 $32\text{kg}/\text{m}^3$ の高密度グラスウールを使用することとした。図5-5は試作したパネルの断面である。

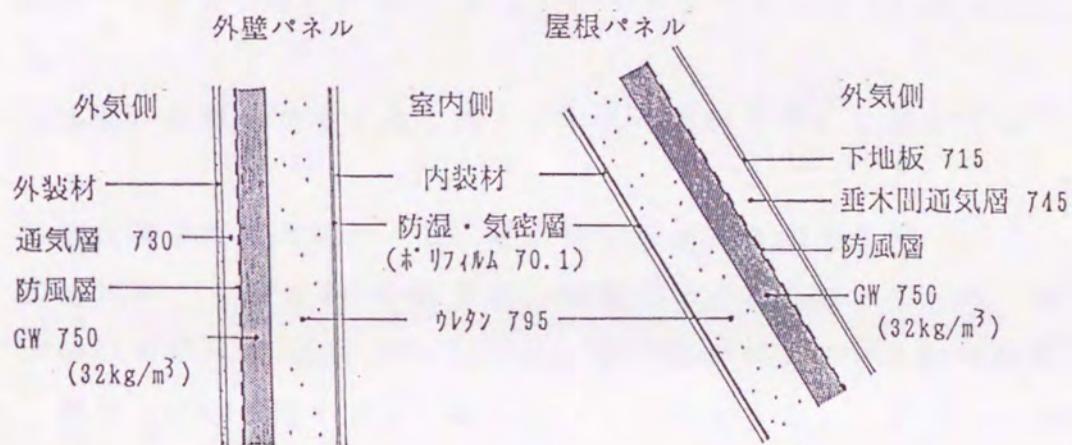


図5-4 外壁、屋根パネルの内部構成

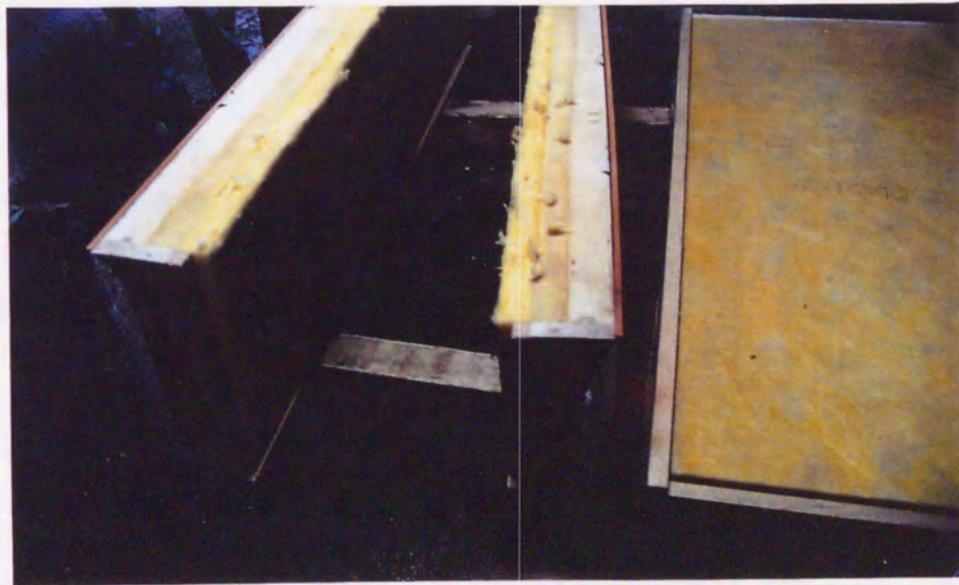


図5-5 試作されたパネルの断面

5-3 パネル化住戸

住戸の概要

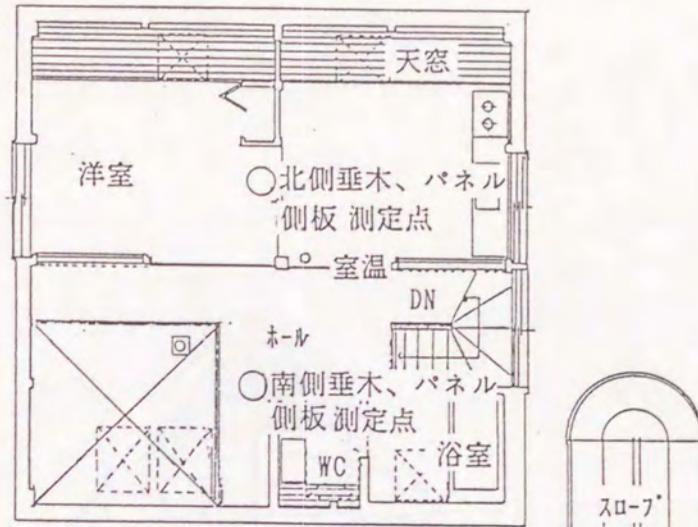
ここでは前述の項目に沿って計画・建設されたU宅について述べることにする。表5-1は計画したU宅の概要をまとめたものである。図5-6にU宅の各階平面、図5-7に立面、図5-8に矩計図を示す。

U宅は1988年、札幌市西区西野に建設され、地下室付きの総2階建てで延床面積は151.5m²である。以下に本住宅の特性をまとめる。

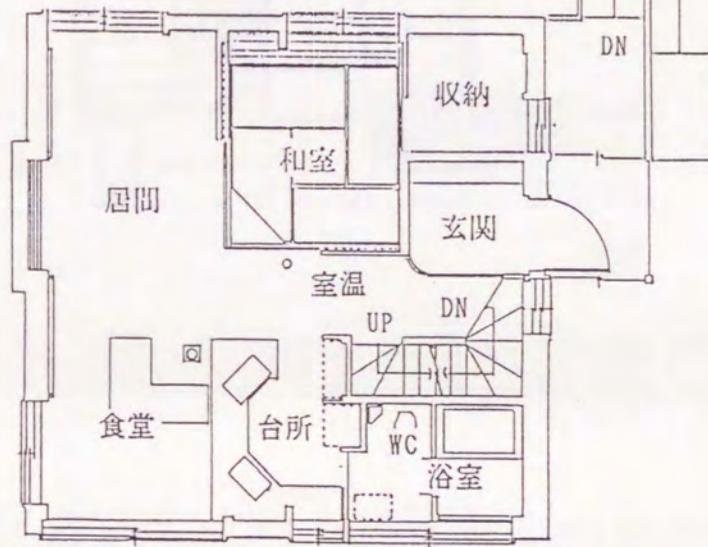
- ① 外壁、屋根をパネル化し易くするため単純な平、立面となっている。
- ② 軸組構造は在来構法とし、柱、梁、筋違に集成材を使用。
- ③ 長尺材（4～8m）の柱を用い軸組の部材数を減らし、桁、梁のせいを統一（300ミリ）し、柱と梁、桁のジョイントには複雑な仕口、継手を用いず箱金物を利用した納まりとし、大工の現場作業の低減を図っている。

表5-1 U宅の概要

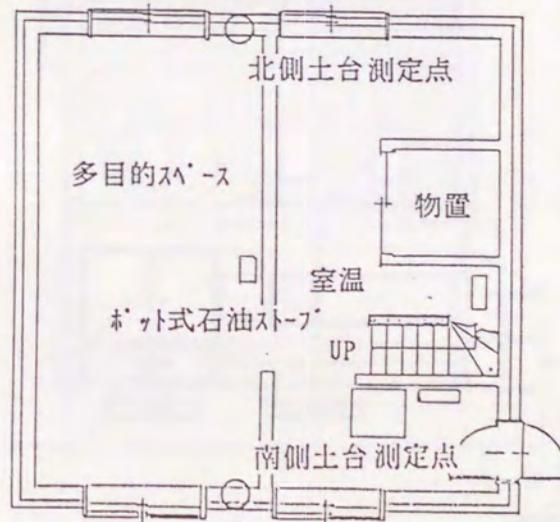
建設地	札幌市西区西野
建設年次	1988年（昭和63）4月～8月
床面積	地階：53.0m ² 1階：53.0m ² 2階：45.5m ² 計 151.5m ²
構造	在来木造2階建、主要軸組は集成材
各部の断熱仕様	基礎 : 布基礎外断熱 FP板 7100 外壁パネル：外側 GW 750 (32kg/m ³)と 室内側 ウレタン 795 (38kg/m ³)の複合板 屋根パネル：外壁と同じ 窓 : 外側 引違い7mmサッシ (単板ガラス 72.5) (ハネル 室内側 気密性に配慮した木製引違窓 組込み) (金属膜コーティング仕様A ⁷ ガラス 3-12-3)
家族構成	夫婦2人+幼児1人



2階

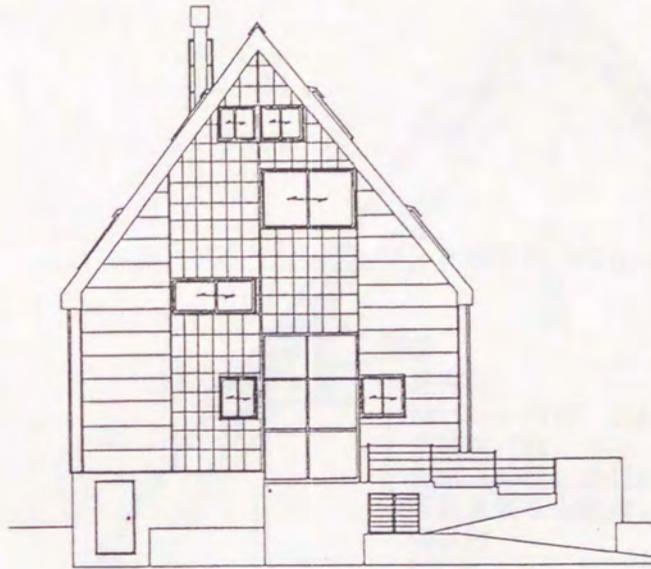


1階

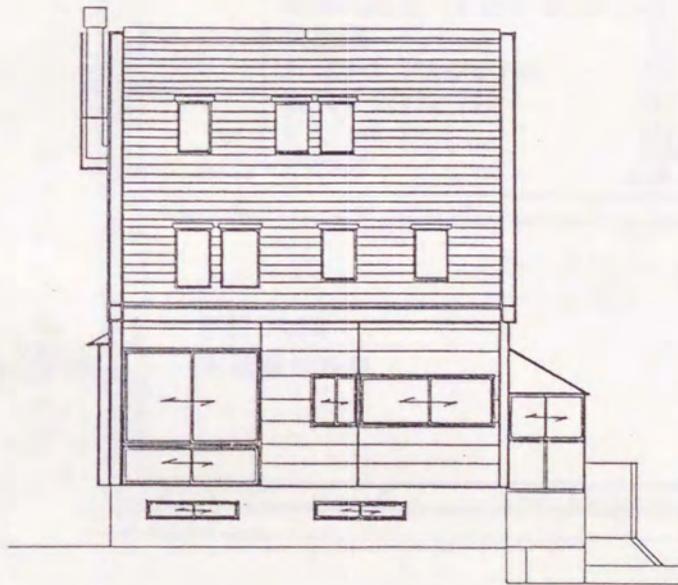


地階

図 5 - 6 U 宅 各階平面図



南面



東面

图 5 - 7 U 宅 立面图

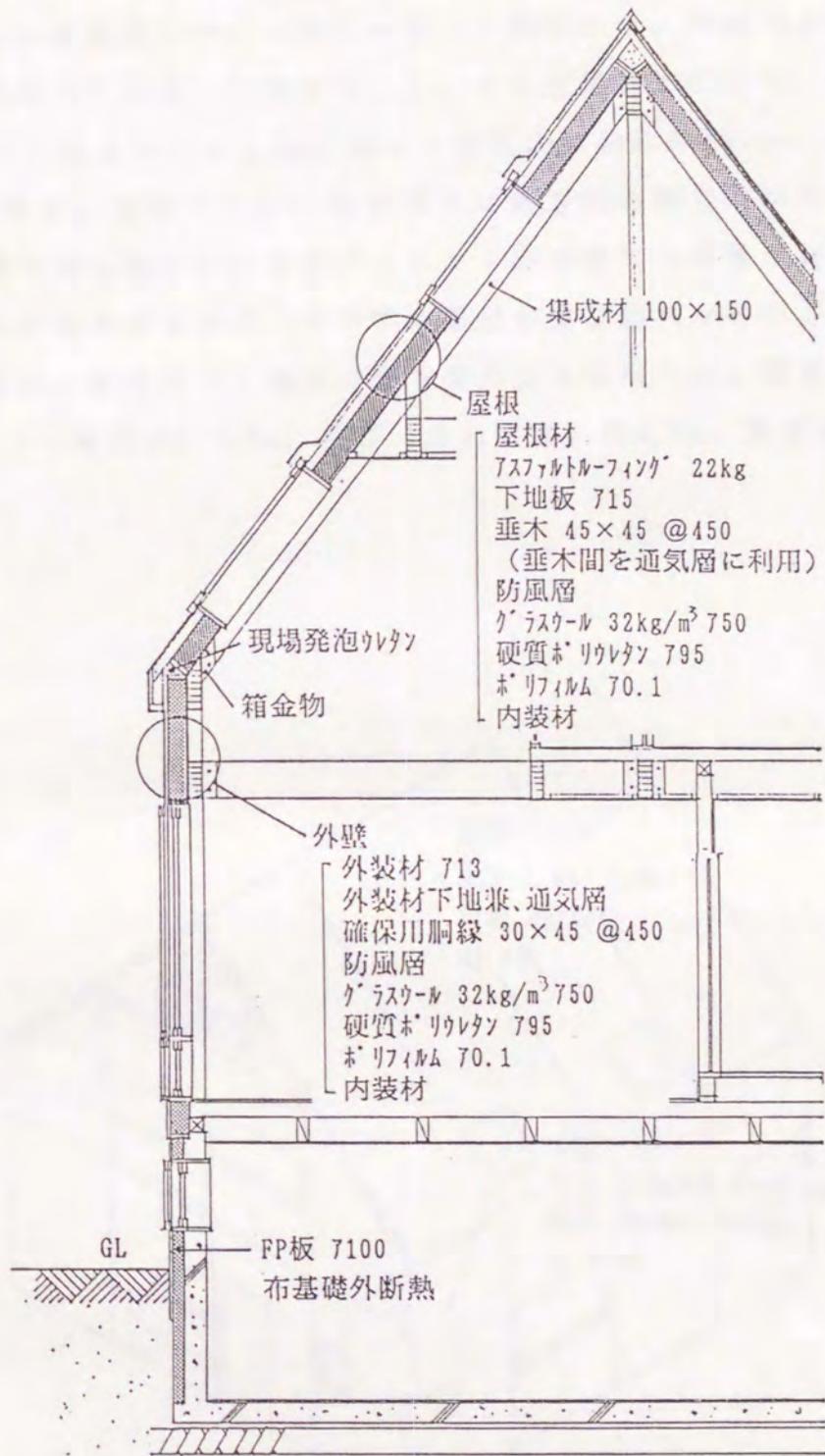


図 5 - 8 U 宅 矩 計 図

パネルの割付

図5-9に本住宅のパネル割付アイソメ図を示す。外壁パネルの割り付け方向は柱に沿った縦方向とし、その枚数は27枚となった。大きさは巾(桁方向)約1.8m、高さ(柱方向)約3.0~3.5m、重量約210kgである。屋根パネルの割付方法は横方向と縦方向が考えられるが、横方向に割り付けるとジョイント部分総てに母屋が必要となり、さらに取り付け時にパネル中央部分が撓む恐れがある。そのため割り付けは縦方向とし軸組は登り梁形式を採用した。屋根パネルは8枚、巾(棟方向)1.8m、長さ(流れ方向)約6.5m、重量約250kgである。

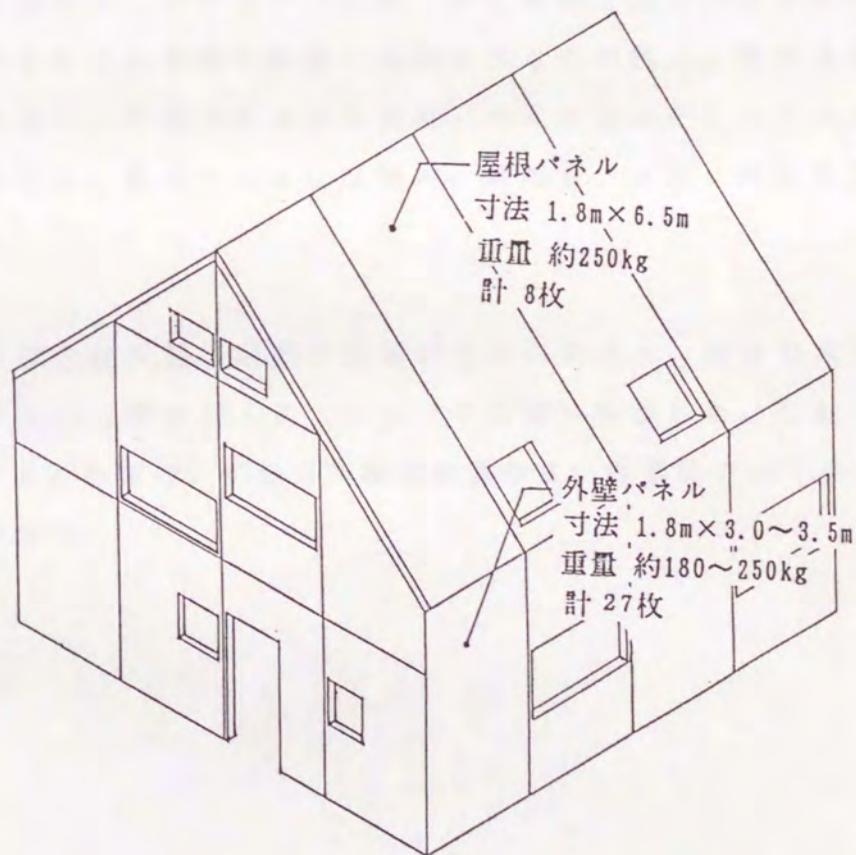


図5-9 パネル割付アイソメ図

パネル作製

図5-10は屋根パネル作製状況を示し、図5-11は完成した外壁パネルの側面を示したものである。工場でのパネル作製工程は、2段階に分かれた。初めの工程はグラスウールとウレタンの断熱複合板の作製で大工は作業を行っていない。その手順を以下に示す。

- ① 先ず、木枠の中に板状のグラスウール（ 32kg/m^3 ）を配置する。
- ② プレス装置で圧力を加えながらウレタンを吹き込む。
- ③ ウレタンの二次発泡を防止するため約24時間、圧力が加えた状態で養生を行なう。
- ④ ウレタンが所定の箇所に充填されているかを検査する。

次の工程は大工がパネルに建材、受け金物を取り付ける作業である。各パネルには現場作業量の低減を図るため極力、建材を取り付けることとし、外壁パネルは外装材（サイディング）とアルミサッシ、内装材を、屋根パネルには垂木、野地板、天窓、内装材を取り付けた。

前半の複合板作製は順調に作業が行なわれたが、後半の大工が関わった作業の工数は28人工（4人で7日間）を要した。しかしこの工数はパネル作製のための専用設備装置がない作業所での「手造り」の工数である。



図 5 - 10 屋根パネルの組立状況、
開口部には天窓が付けられる



図 5 - 11 外壁パネルにサイディングを施工後、
側板に受け金物を取付けた状態

軸組の加工

表5-2は使用した集成材と箱金物のリストで、集成材は合計56本、箱金物は54個となった。図5-12は本住戸の主要軸組と箱金物の組立概要をまとめたものである。軸組の加工作業には柱に箱金物を取り付けるための欠き込み、材料の切断で7人工が必要であった。集成材の柱、梁の仕口は複雑な加工の不必要ないわゆる「ぶつ切り」である。

現・在来戸建住宅（30～35坪）の軸組の墨付け、加工には15～17人工程が必要なたため、その差8～10人工程が低減できたことになる。これは「継手、仕口の加工がほとんどなかった」、「部材数が低減された」、「外壁部分の間柱に使用される土台、桁のほぞ加工がなかった」ことによるものと言える。

表5-2 使用した集成材と箱金物リスト

集成材			箱金物	
棟木	100×300×3,600	2(本)	棟木～柱用	4(個)
登り梁	100×150×5,800	10	登り梁～母屋用	20
桁	100×300×3,600	8	桁～柱用	16
母屋	100×300×3,600	4	2階梁～柱用	8
2階梁	100×300×3,600	4	その他	6
〃	100×270×3,600	3		
柱	210×210×8,000	1		
〃	150×150×4,000	4		
〃	150×150×8,000	2		
柱	120×120×2,500	8		
筋違	90×90×3,000	10		

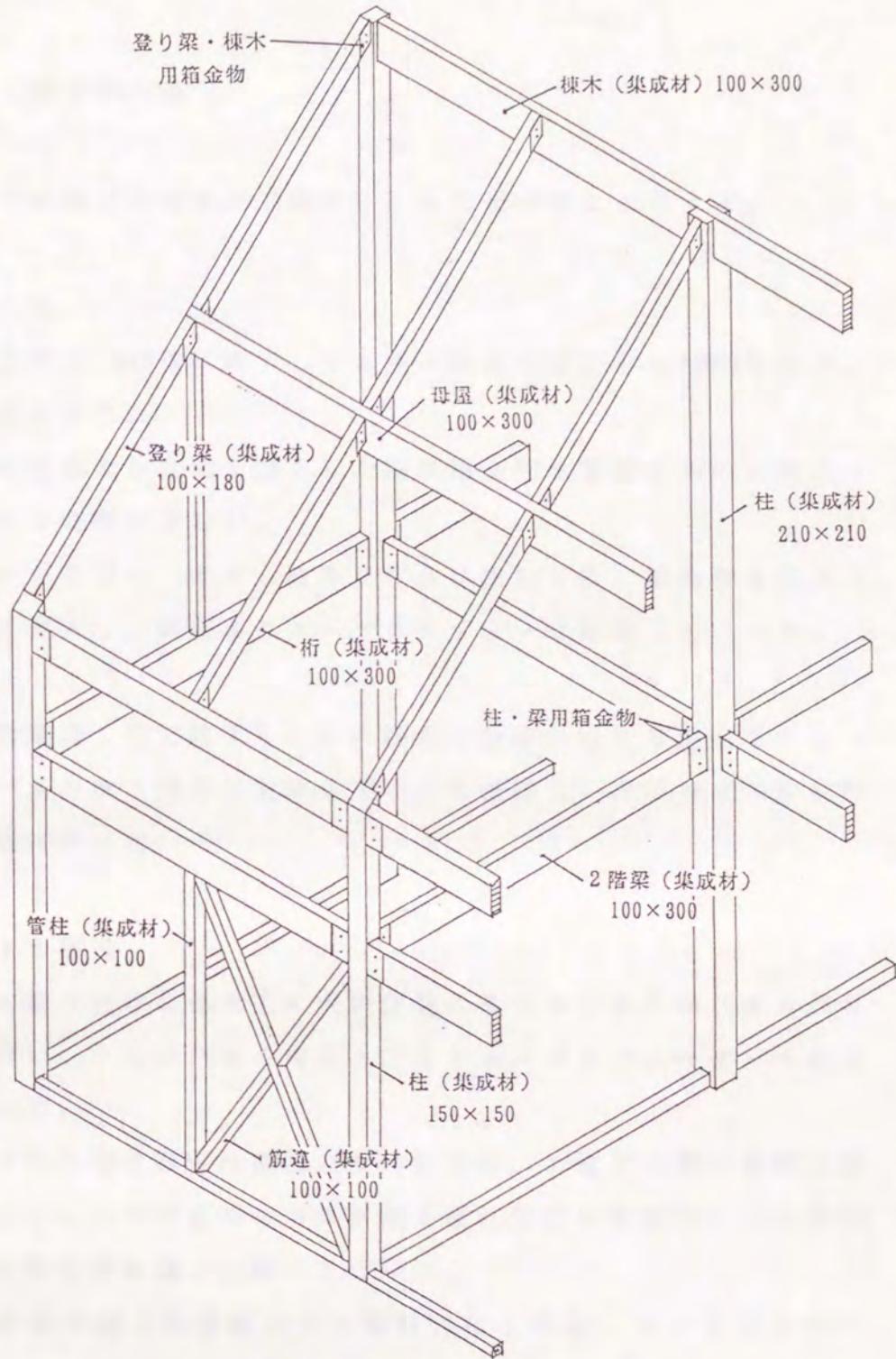


図 5 - 12 主要軸組と箱金物の配置概要

5 - 4 施工の分析

ここでは施工状況を施工順序に従って述べることにする。

軸組建込み

- ① 基礎工事は1987年に終了しており、軸組の建込みは1988年4月より開始された。
- ② 現場に軸組と箱金物を搬入し、柱に箱金物を緊結するのに大工4人で約2時間を要した。
- ③ クレーンを用い、先ず、柱を立ち上げ続いて桁、梁を箱金物に上部より挿入し、両側よりコーチスクリューで緊結していった。

この作業は1日で終了し、この時点で軸組の建て方精度をチェックし、パネル取り付けに支障がないかを確認し、次のパネル取り付けの作業に移った。

外壁パネル取付

パネル取り付けには大工4人が作業にあたり、3人がパネル取り付けを行い、1人がパネルの吊上げとクレーンオペレーターへの指示を行った。

- ① パネル取り付け順序は南面より開始され、1枚ずつ受け金物と釘で仮止めし、その面のパネルが総て取り付けられた後、パネルの不陸の程度を確認し本締めを行った。
- ② この要領で総ての外壁パネル取付に1日間、4人工が必要であった。

この作業でのポイントは緊結用のボルトと受け金物の締め付けにあった。パネル間のクリアランスが巾50ミリ、深さが150ミリのため金物をスムーズに取り付けるためにはやや狭く、場所によっては暗い箇所もあったため、今後の問題点として残った。

屋根パネルの取付

- ① 屋根パネルも外壁同様、4人の大工で作業を行った。
- ② 取付要領は外壁パネルと同じであるが、外壁パネルに比較して長い(6.5m)ためにクレーンでの吊上げ作業はより慎重を期した。
- ③ 屋根パネルは傾斜のある登り梁に取り付けられるため、仮止めを丁寧に行わないとパネルが滑り落ちる危険があり、そのため取り付けには1枚当たり約40~50分を要した。
- ④ 作業中にやや風が強くなり、吊上げ中のパネルが回転し、一時作業を中断することもあったがこの作業は1日間で終了した。

この作業はほぼ順調に行われたが、外壁パネルに比べて屋根パネル取付けは高位置での作業となるためパネル1枚当たりの取付に要する時間は外壁パネル(約15分/1枚)に比べて平均4倍ほど必要であった。また、作業を行った大工は通常、戸建住宅を建設している大工でクレーンオペレーターへの指示、及び中型パネルの吊上げ作業には精通しておらず、軸組建込みは問題なく作業は進行したが、パネル取付工程はややぎこちなく、今後この作業には「鳶工」が適しているようである。

ジョイント処理

パネル取付作業が終了した後、パネル間のクリアランスにはウレタン工事専門業者2人がウレタンを注入した。外壁部分の作業は順調に行われたが、屋根面での作業は一時、風が強くなりウレタンが周辺へ飛散する可能性があり、作業は中断することもあったが1日間で終了した。この時点で外まわりの工事は外壁出隅、棟部分の処理、軒天張り、屋根材の取付を残すのみとなる。

図5-15は大工が関わった本住宅と現・在来構法の住宅（施工データは第2章を使用）の各施工内容と、その工数を比較したものである。総工数は本住宅と現・在来住宅ではほぼ同じであるが、現場作業分について見ると本住宅では15人工、現・在来住宅では34人工と19人工の差がある。また作業所分では本住宅が35人工、現・在来住宅では16人工となった。このことよりパネル化した本住宅は現・在来住宅に比較して現場作業は半分以下となるが、その分は作業所に移っていると言える。

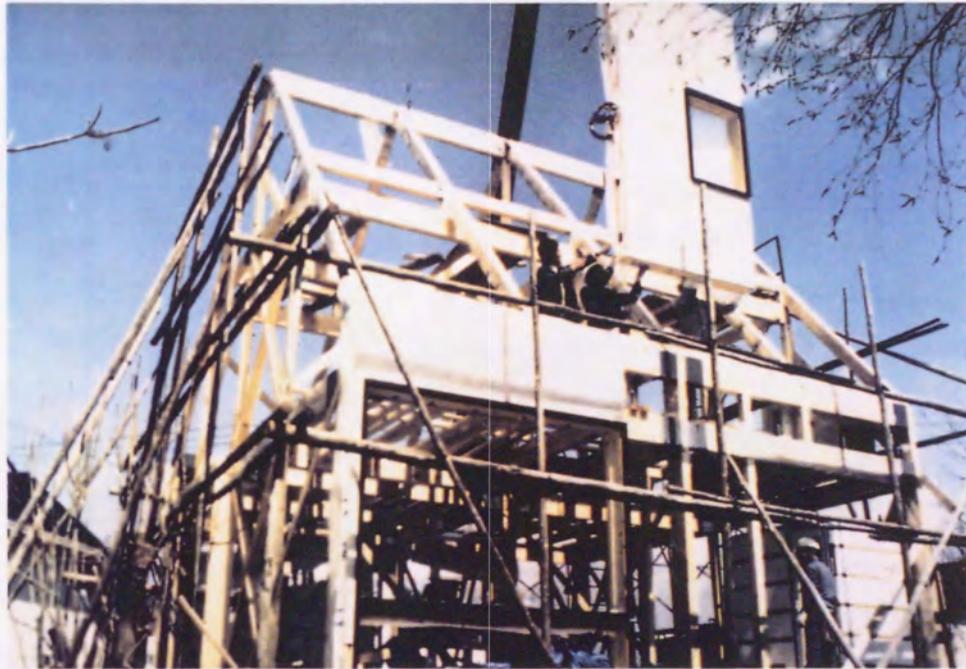


図 5 - 13 外壁パネルの取付状況



図 5 - 14 竣工後のU宅 北東面外観

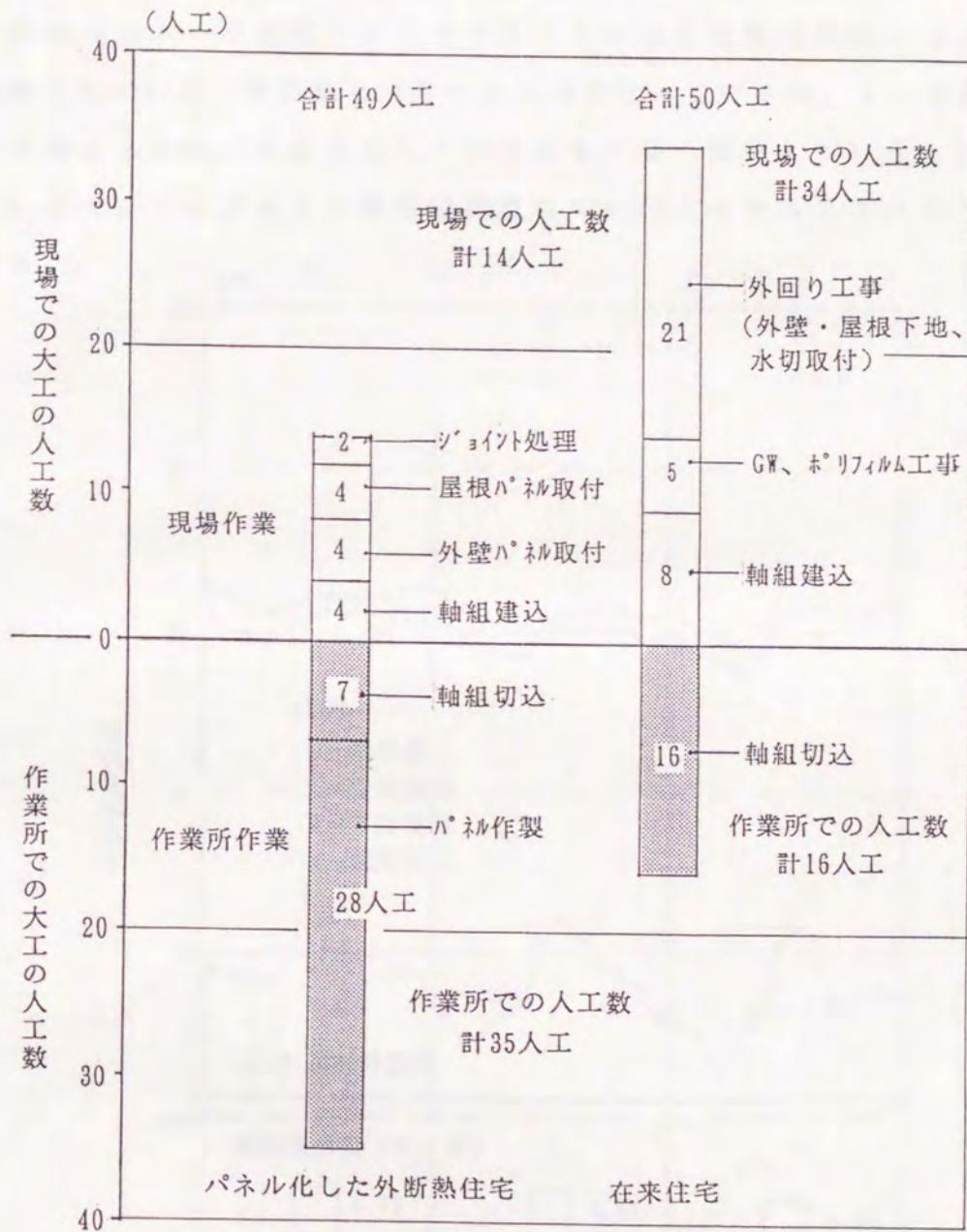


図5-15 本構法住宅(U宅)と現・在来構法住宅の
工事別に見た工数の比較

5 - 5 性能評価

冬期の室温変動

図5-16に冬期の室温変動と1日毎の燃料消費量を示す。本住戸の暖房設備は地下室に設置されたポット式石油ストーブであり、微小燃焼（ストーブ付属のサーモスタットにより温度は制御）で連続運転されている。外気温は $-8 \sim 2^{\circ}\text{C}$ で変化しているが、1、2階、地下室ともに殆ど温度差はなく 20°C 前後で良く安定していると言える。また、1日当たりの燃料消費量は $4.2 \sim 5$ リットルほどとなっている。

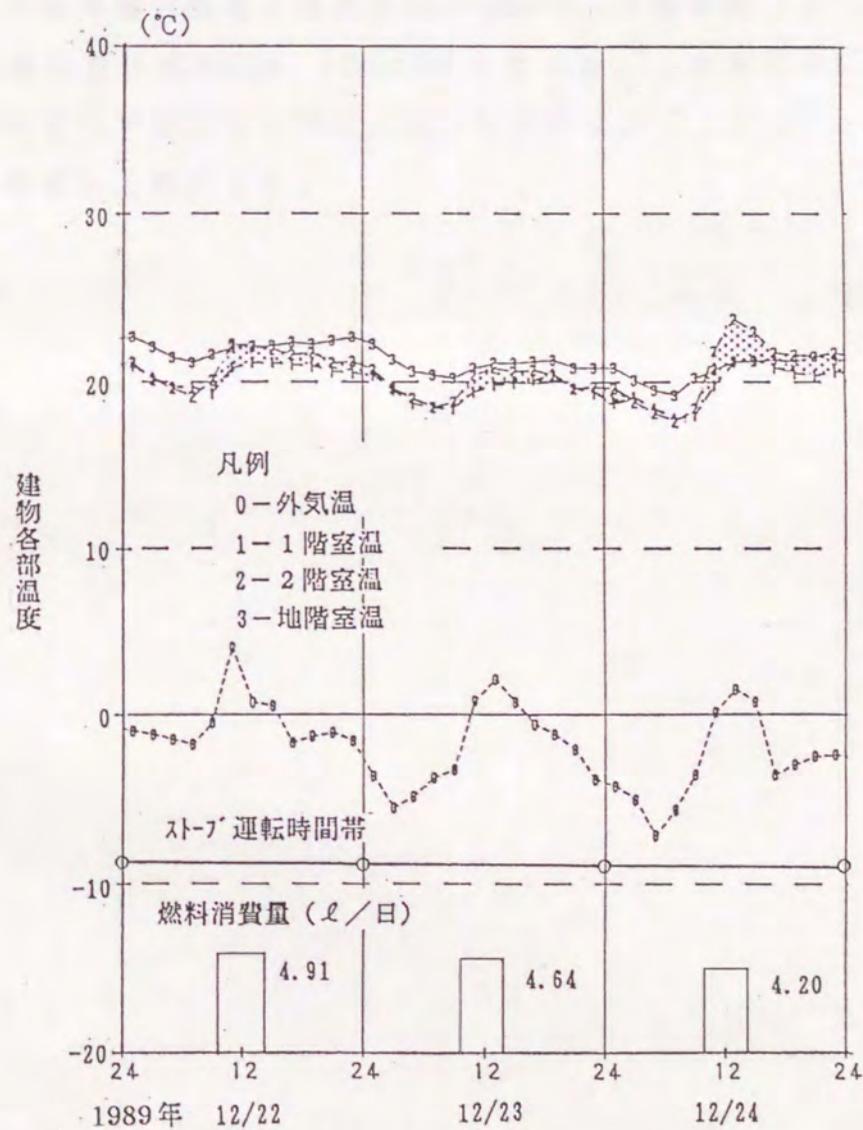


図5-16 冬期の室温と燃料消費量の変動

夏期の室温変動と冷房

図5-17に夏期の冷房の有無別に見た本住戸の室温変動を示す。冷房のない期間（8月1～3日）について見ると、全体的な傾向として1、2階は外気温の影響を受けて変化巾は大きいが、地下室はコンクリートの熱容量の影響により23℃付近で安定している。外気温が30℃以上（8月2日）のとき、1階は約26℃であるが2階は約30℃と高めになっているのが知れる。

冷房を入れた期間（8月4～6日）では1、2階とも室温は低下し、その傾向は2階に顕著に表れ室温が改善されているのが分かる。その時の使用電力量は1日当り12～13kwで、冷房期間（7～8月）の実績電力量は約390kw、12,000円となった。この点については、北海道の在来戸建住宅の冷房に関する資料はほとんどなく、今後、比較検討する必要がある。

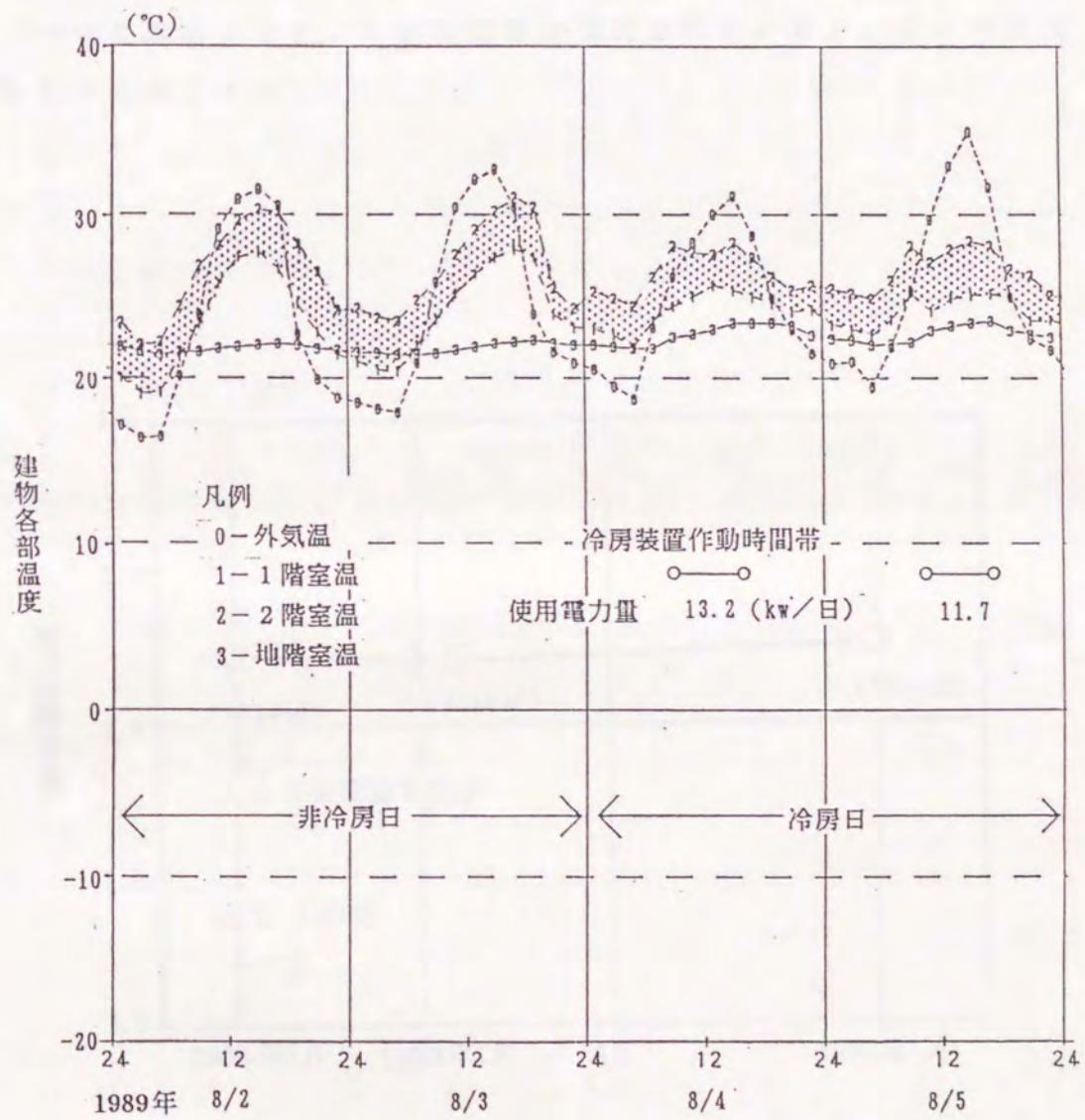


図5-17 冷房の有無別に見た室温変動と使用電力量

気密性

図5-18は本住戸の竣工直後から半年後、及び1年半後の相当隙間面積の変動をまとめたものである。竣工直後の相当隙間面積は $2.45\text{cm}^2/\text{m}^2$ であったが、1年半後でも $2.50\text{cm}^2/\text{m}^2$ とほとんど変動がなく安定し、高气密性が保持されていると言える。これは軸組に集成材を使用したため「軸組の乾燥収縮が原因の隙間の発生がない」、「パネル間のジョイントの気密性が保持されている」、ことが要因としてあげられる。

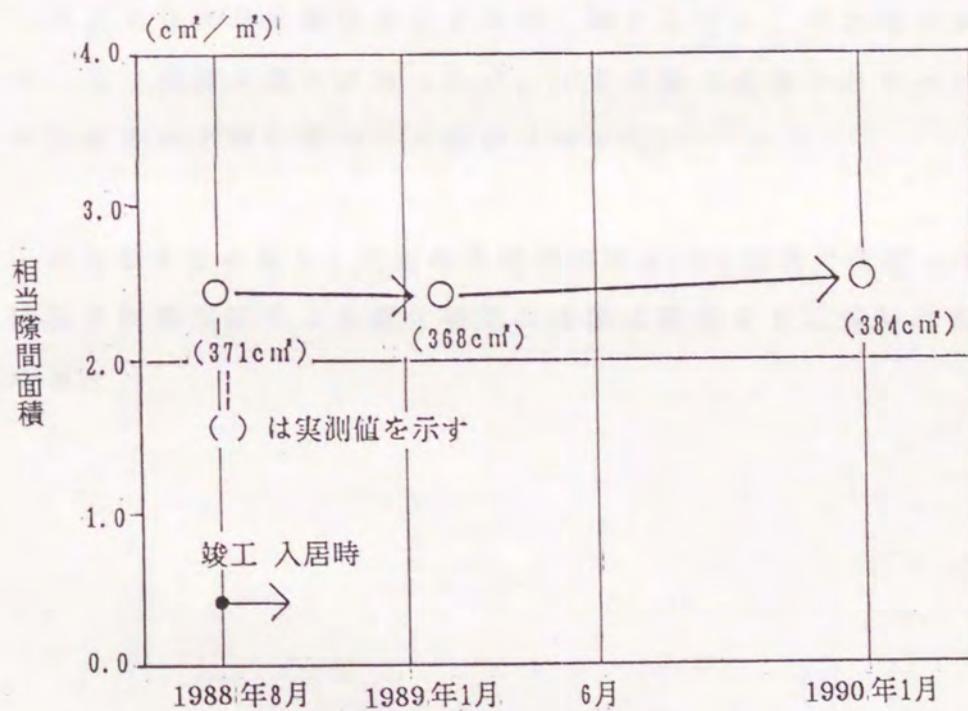


図5-18 相当隙間面積の変動

木材含水率

図5-19は南北別の土台の外側面、図5-20は南北別の垂木(45×45)とパネル側板の木材含水率の変動を示したものである。この図より以下の事項が言える。

- ① 各部材の含水率はすべて10%前後あるいはそれ以下で推移しており、木材の腐朽の恐れがあるとされる20%を下まわっている。
- ② 土台は南北ともほぼ同じ変動傾向を示し、高温多湿の夏は若干、含水率が11~13%に上る傾向にあり南側の方が低目である。
- ③ 垂木、及びパネル側板の含水率は土台よりも安定傾向を示し、各部の南側が日射の影響を受けて北側よりも乾燥している。

竣工より3カ月後にボルトの増し締めを行い、その時はネジ山1から2つ程度の緩みがあったが、1年半後の点検ではすべてのボルトはほとんど増し締めの必要がなかった。

以上をまとめると、土台の木材含水率は10%前後で安定しており、軸組の乾燥収縮による締付強度の変動は発生する可能性は低いと言える。

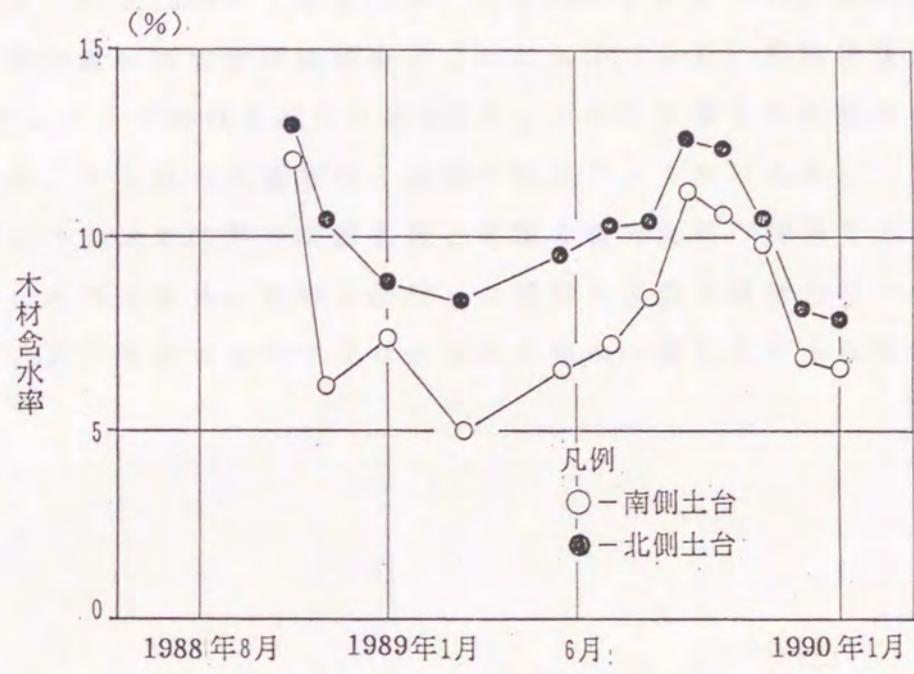


図 5 - 19 南北別の土台木材含水率の変動

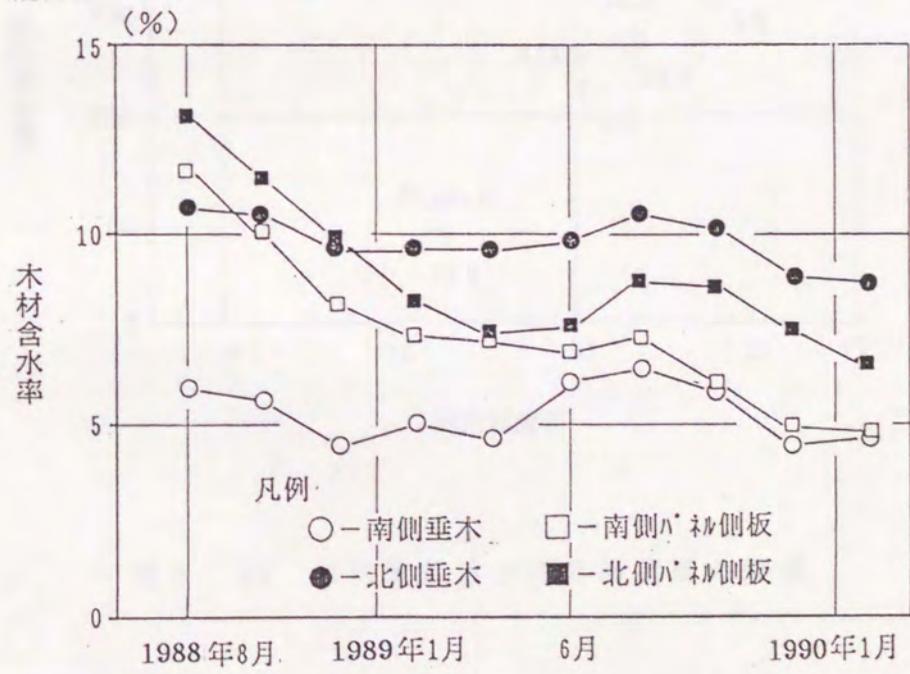


図 5 - 20 南北別の垂木、パネル側板の木材含水率の変動

燃料消費量

図5-21は1988年（昭和63年）から89年4月までの、内外温度差と月別の燃料消費量の関係をまとめたものである。燃料消費量は約630リットル（暖房面積当り約4.2リットル）で最も外気温の低下する1月、2月頃の消費量は1日当たり約6リットルである。

図5-22は本住戸の暖房負荷と実際の暖房負荷の関係を月別にまとめたものである。実際に使用した燃料と必要な暖房分について見ると12月、3月ではやや異なるものの概ね一致していると言える。

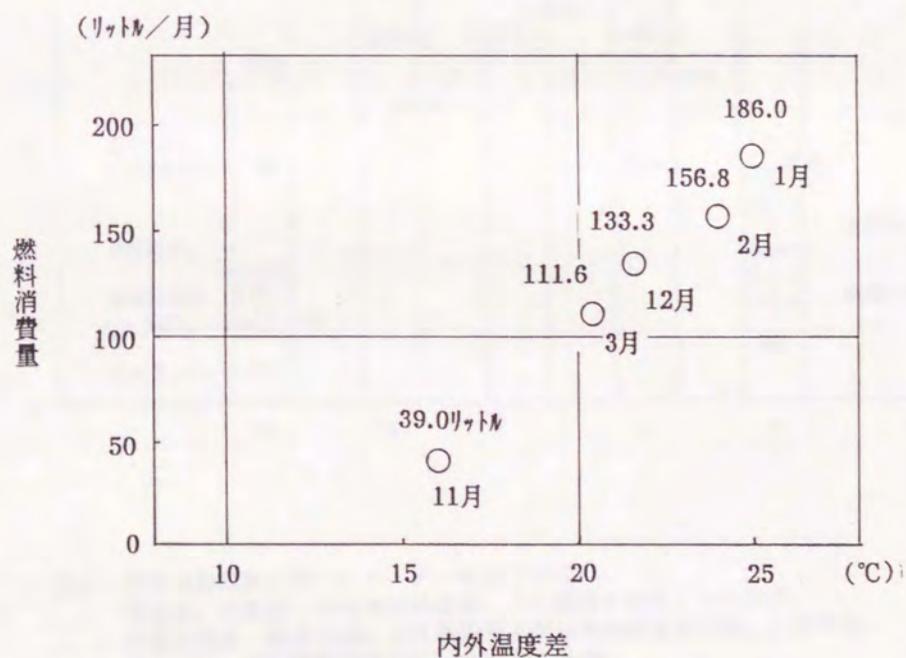
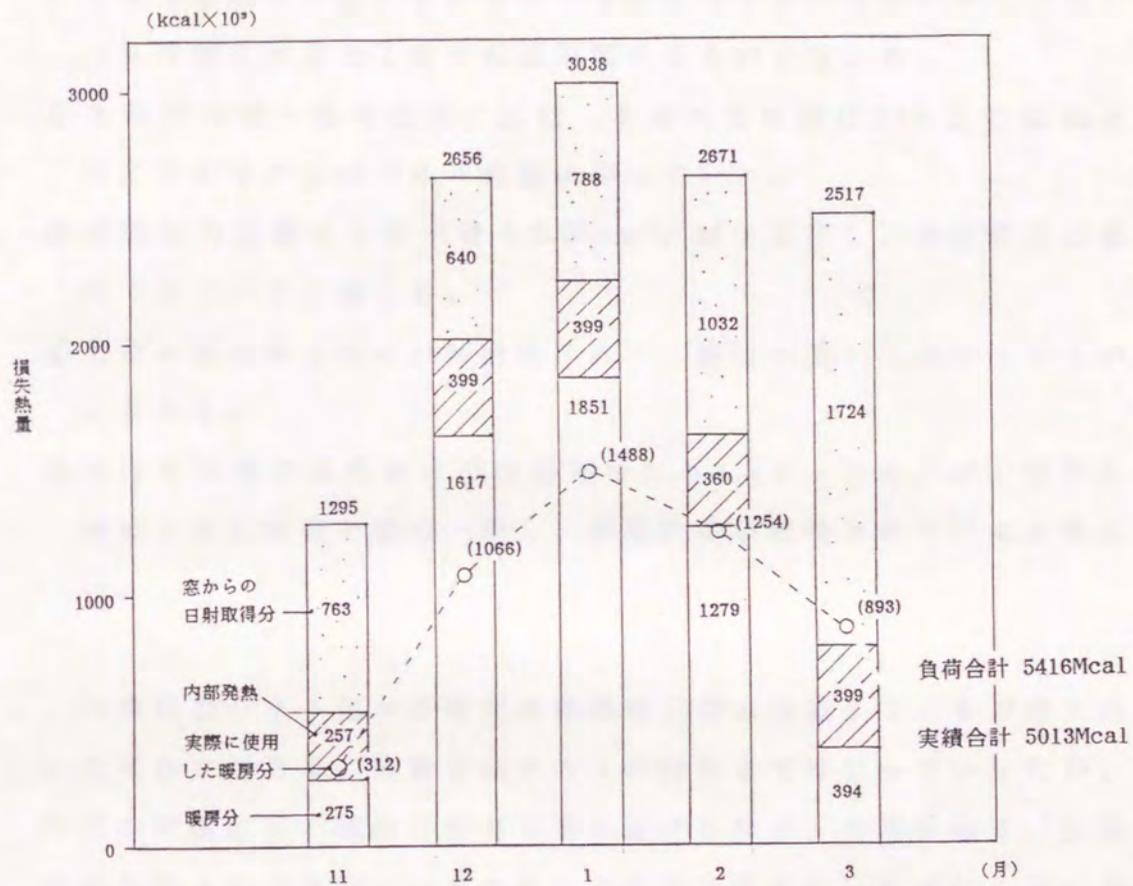


図5-21 燃料消費量と内外温度差の関係



注) 暖房負荷計算に用いたデータは以下の通り。
 外気温、日射量：日本気象協会編、「北海道の気象」より引用。
 内部発熱量：通産省編、「住機能向上製品対策調査報告書」より引用。
 換気回数：相当隙間面積より0.3回/hと設定。
 室温：実測より22℃と設定。

図 5 - 22 暖房負荷と燃料消費量の関係

5 - 6 まとめ

本章の結果は以下にまとめられる。

- ① 外壁、屋根パネルの作製は「手造り」で28人工を要した。今後、パネル専用の生産システムができればパネルの作製は大工でなくとも作業は可能で工数の低減が図れるものと言える。
- ② 本住戸は現・在来住宅に比較して現場作業量は20人工の低減となったがその分はパネル作製に移っていた。
- ③ 隙間相当面積は1年半後も $2.50\text{cm}^2/\text{m}^2$ で安定し、気密性能は維持できていると言える。
- ④ 土台の含水率は通年10%前後であり、腐朽の恐れは極めて小さいと言える。
- ⑤ 本住宅の燃料消費量は暖房面積当たり $4.2\text{リットル}/\text{m}^2$ で暖房負荷による計算値と概ね一致し、断熱性能が維持されていると言える。

本構法のパネル化への研究は現場施工型に比較して、まだ緒に付いたばかりである。本章ではコストの分析までは至らなかったが、今後の戸建住宅の建設技能者不足は避けられず、今回の施工、性能分析を踏まえてさらにパネル化への研究を進めなければならないと考えている。

第 5 章の参考文献

- 1) 労働大臣官房政策調査部編：屋外労働者職種別賃金調査報告、
労働大臣官房政策調査部、昭和46年～平成2年5月
- 2) 国勢調査：昭和45～平成2年
- 3) 内田祥哉：建築生産のオープンシステム、彰国社、昭和52年8
月

第VI章 入居者から見た本構法の評価

本章の目的は4種類の住戸（木造戸建住宅、木造賃貸アパート、RC集合住宅、本構法住宅）にアンケート調査を行い、主に住戸の室温の感じ方、結露の被害、燃料消費量を比較分析し、居住者側から見た本構法住宅（以下、外断熱住宅とする）の評価を明かにすることにある。

6-1 調査概要

アンケート調査は主に札幌市内で1990年10～12月にかけて行なわれた。図6-1はアンケートを配布した札幌市の各地区の位置をまとめたものであり、建設年次が偏らないよう配慮した。表6-1は配布地区と配布部数、及び回収部数をまとめたもので、配布対象住戸は戸建木造住宅、木造賃貸アパート（以下、木賃アパートとする）、RC集合住宅と外断熱住宅の4種類である。

アンケートの配布、回収方法は直接、各戸を訪問し後日、回収する方法を取った。本構法で建設された住戸は札幌市と江別市に建設された22戸を調査対象とした。

配布総数は452部で回収総数は344部、回収率は約76%で回収総数の住戸の約77%が持家である。

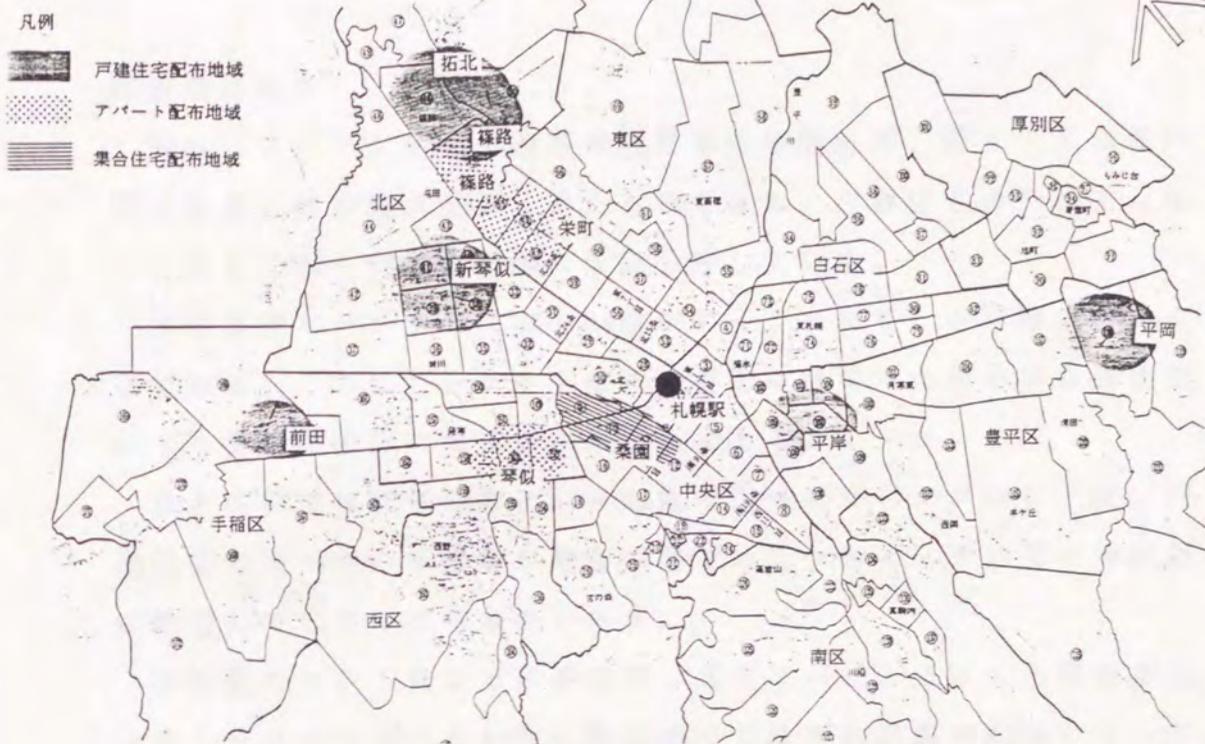


図 6 - 1 アンケート配布地区

表 6 - 1 アンケート配布地区と回収結果一覧

居住形態	配布地区	配布部数	回収部数	回収率(%)
戸建住宅	北 区-篠路	40	36	94.4
	拓北	20	20	
	新琴似	30	28	
	手稲区-前田	30	29	
	豊平区-平岡	40	37	
	平岸	20	20	
	計	180	170	
木造賃貸 アパート	東 区-栄町	70	35	45.0
	北 区-篠路	30	15	
	西 区-琴似	20	4	
	計	120	54	
集合住宅	中央区-桑園	130	98	75.4
外断熱住宅	札幌市、江別市	22	22	100.0
合計		452	344	76.1

6 - 2 対象住戸の属性

回答者の属性

図6-2はアンケート回答者の世帯主年齢分布、図6-3は住戸別に家族人数の構成をまとめたものである。戸建住宅の世帯主は他に比較して35～74歳の範囲にほぼ分布している。

木造賃貸アパートでは35～44歳がピークであり、若年層がほとんどである。これはアンケート配布を昼間に行なったため単身者世帯よりも妻帯者世帯に配布されたためである。

集合住宅では35～44歳と55～64歳の二つにピークがあり丁度、戸建住宅のピークの年齢層が集合住宅では二つのピークの間の年齢層に位置しているのが特徴的である。

家族数について見ると戸建住宅、木賃アパートでは4人家族が最も多くそれぞれ37%と44%、集合住宅では2人家族が43%となっている。各住宅の平均家族数は戸建住宅では3.73人、木賃アパートでは3.35人、集合住宅では2.91人である。

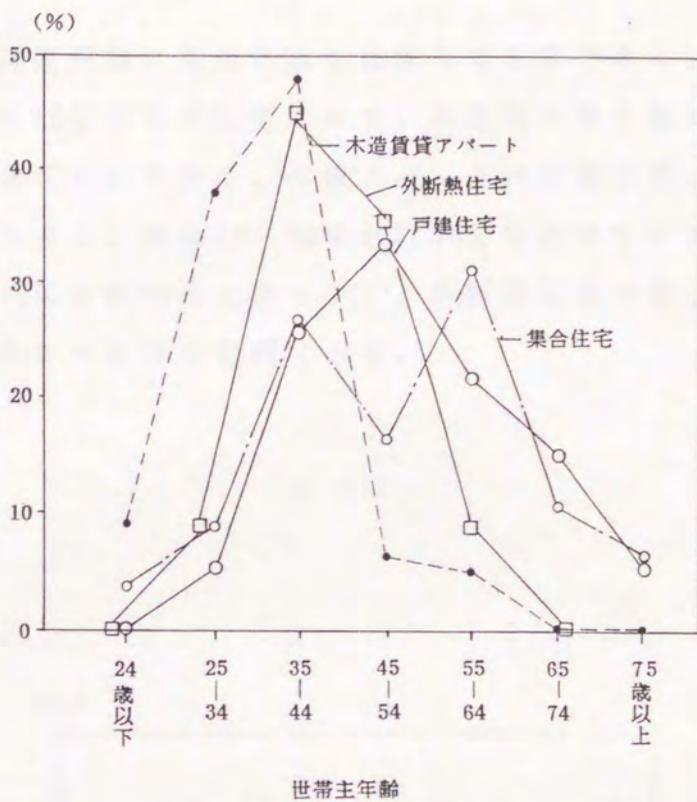


図 6 - 2 世帯主年齢の比較

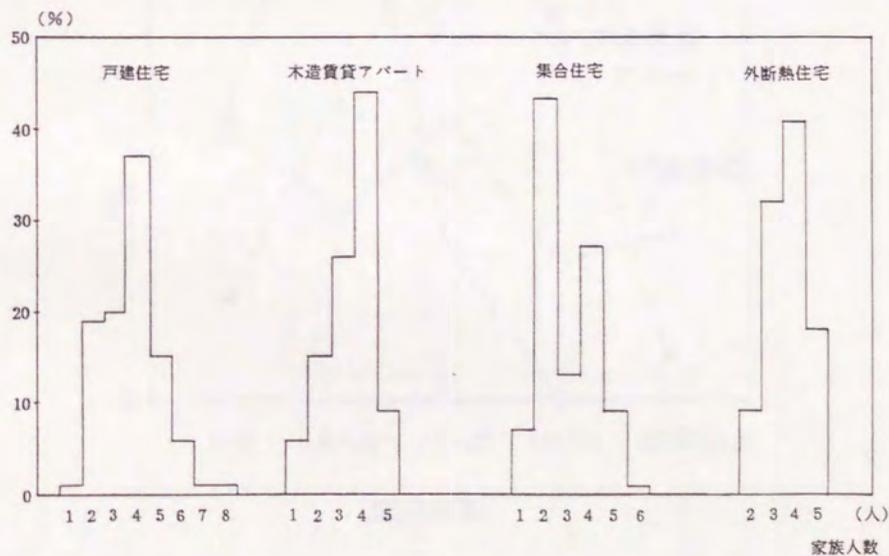


図 6 - 3 家族数の比較

築後年数

図6-4は住戸別に築後年数を比較したものである。戸建住宅の約70%は築後15年以下の住宅であり、本研究の第1章で分類した現・在来構法住宅に該当する。木賃アパートは戸建住宅、集合住宅に比較してやや古く、築後16~20年が約40%を占めている。集合住宅は築後6~10年が約60%と最も多く、外断熱住宅は新しい構法のためすべて築後0~5年の範囲である。

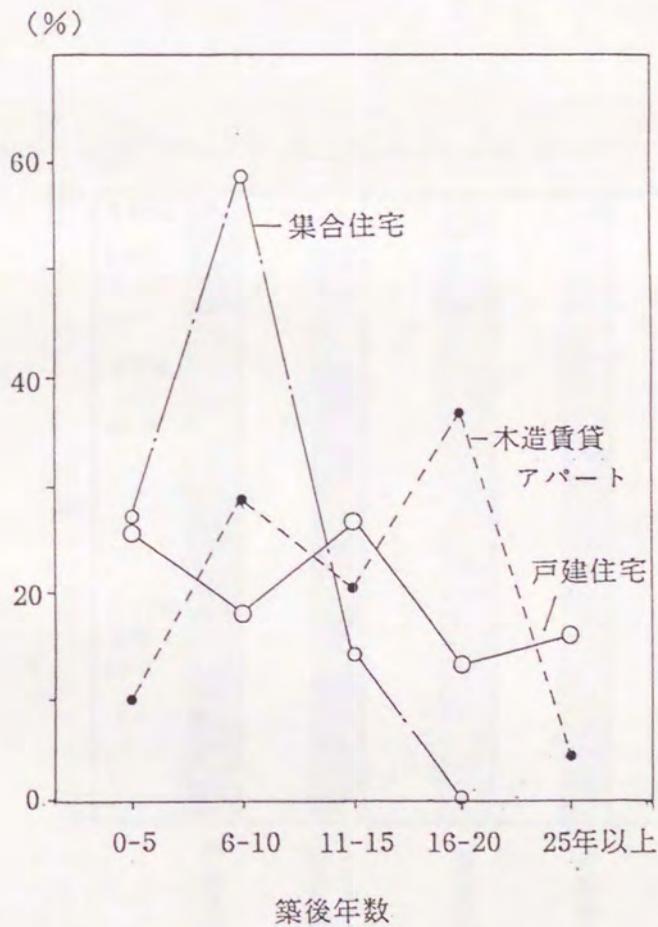


図6-4 各住戸の築後年数の比較

6 - 3 暖房

暖房形式

図6-5は住戸別に暖房形式(機器)をまとめたものである。全体的な傾向として部分暖房がまだ主流であると言える。戸建住宅はポット式石油ストーブが50%で最も多く、次いでF.F式石油ストーブ(31%)、セントラルヒーティング(16%)の順である。

木賃アパートはポット式石油ストーブが71%を占め、セントラルヒーティングは皆無でほとんど暖房に対して配慮がなされていないことが伺える。集合住宅は81%がF.F式石油ストーブ、残りの19%がセントラルヒーティング、ポット式石油ストーブの回答はない。

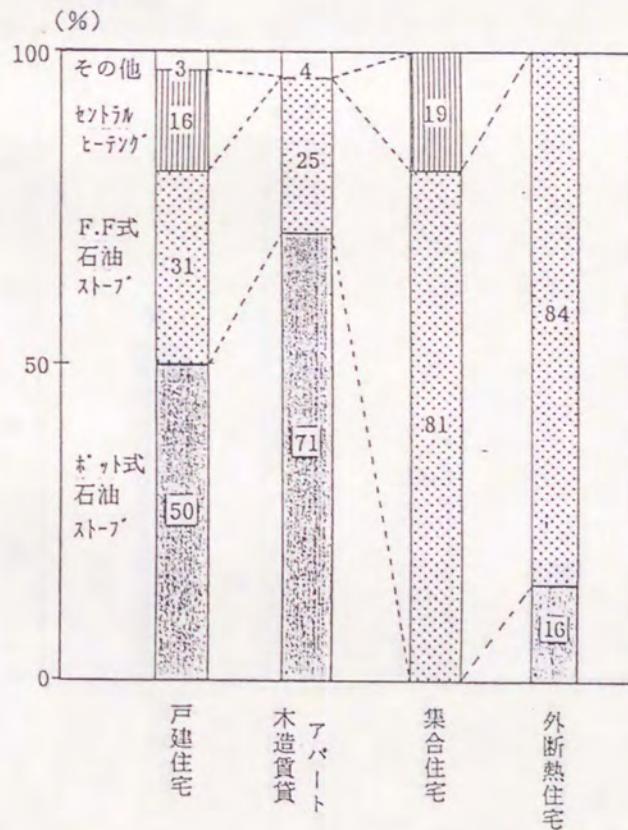


図6-5 各住戸の暖房形式(機器)の比較

燃料消費量

図6-6は住戸別に見た暖房面積（日常生活で常に暖房が行われている居室の面積）当たりの燃料消費量を比較したものである。木賃アパートが42.7リットル/m²と最も多く建物の断熱性能の低さが分かる。次いで、戸建住宅について見ると26.7リットル/m²で、第1章で述べた寒研の調査（1977～78年）の値、平均約57リットル/m²に比較して大きく改善されている。これは、本調査の対象戸建住宅は1980年代が中心であるのに対して、寒研の調査対象住宅は1970年代が中心であり、本調査の戸建住宅の年代が新しいためである。集合住宅は13.0リットル/m²である。これに対して外断熱住宅は8.7リットル/m²で最も少なく、これは他の住戸タイプより外断熱住宅の断熱、気密性能が優れていることによるものと言える。

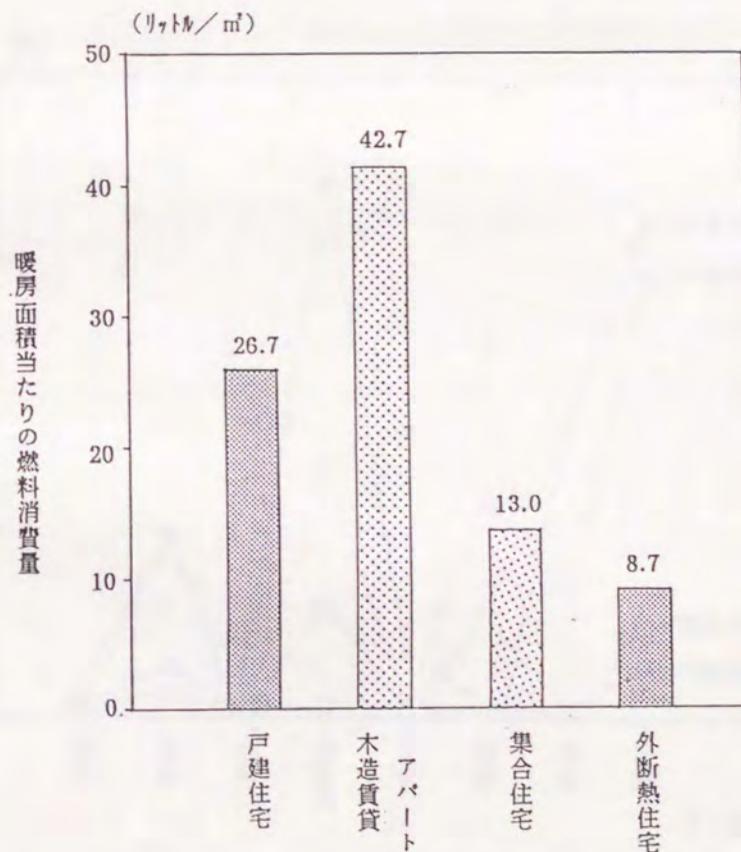


図6-6 各住戸の燃料消費量の比較

6 - 4 室温評価

図6-7は「いつも寒さを感じる部屋」についてまとめたのである（複数回答）。全体的に見て集合住宅は各室とも低い割合を示し、次に外断熱住宅、戸建住宅、木賃アパートの順となっている。各住戸の内訳を見ると、戸建住宅は玄関が34%と高い割合を示し、次いで便所19%、階段17%、寝室16%の順となっている。木賃アパートは便所41%、玄関38%、浴室22%、寝室14%の順である。このように木賃アパートは暖房している居間以外はいつも寒さを感じ、他の住戸に比べて最も室温環境評価が低いと言える。

外断熱住宅について見ると、階段、便所が8%となっているが、同じ戸建住宅に比較してみると室温評価は高く、むしろ集合住宅の評価に近いものになっていると言える。

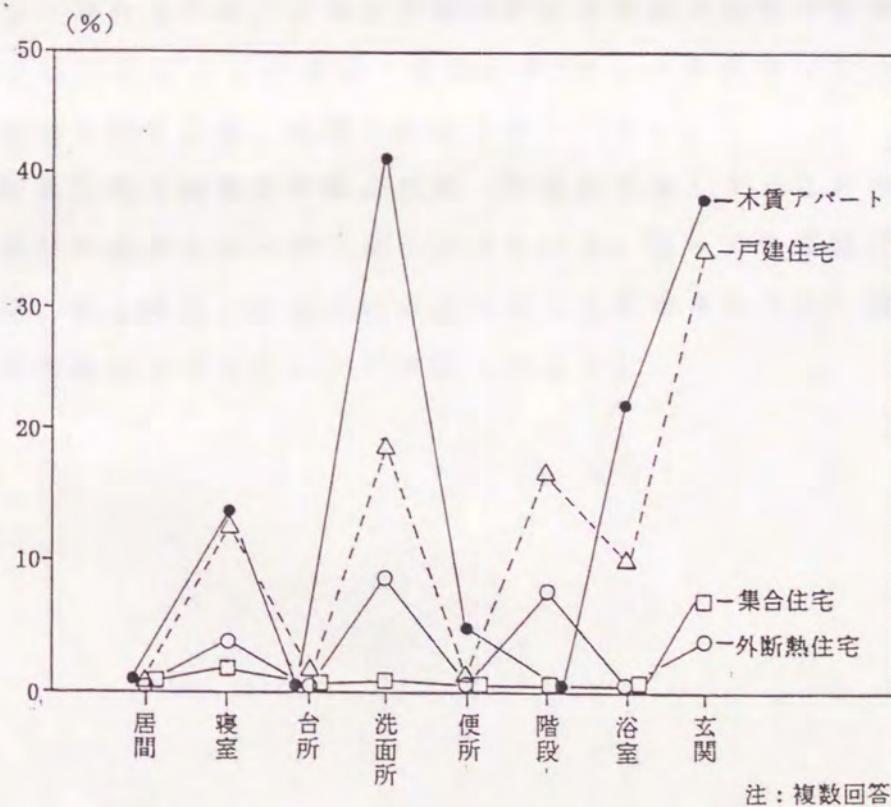


図6-7 住戸別に見た「寒い」と感じる部屋の割合

6 - 5 結露

図6-8は住戸別に結露の有無をまとめたものである。木賃アパートと外断熱住宅は高い割合を示し次に集合住宅37%、戸建住宅は36%である。

図6-9は「結露が有る」と答えた場合の「結露が発生した箇所（複数回答）」についてまとめたものである。それぞれの部位で割合の高いのは木賃アパートで、窓が39%、外壁32%、集合住宅の窓が36%となっている。戸建住宅では窓、外壁が約20%であり、外断熱住宅では窓が55%となっている。

外断熱住宅の結露の内訳を見ると75%が築後1年未満のものであり、使用している窓は通常のPVCサッシと気密性を考慮した木製引違い二重窓（外側はアルミサッシ）である。築後2年以上でも結露が発生している住宅は二重窓を使用しており、外側のアルミサッシの部分で認められた。これは木製窓の気密性能が木枠の乾燥、収縮で低下していることが原因である。PVCサッシを使用している外断熱住宅は2年目以降、結露は認められていない。

外断熱住宅は軸組の外側に気密・防湿材を施工するため柱、梁、木下地材の余剰水分が室内側に放出される。従って外断熱住宅の工事時期、竣工時期、使用木材の含水率にも影響されるが、竣工時が最も室内湿度が高まることが主因と言える。

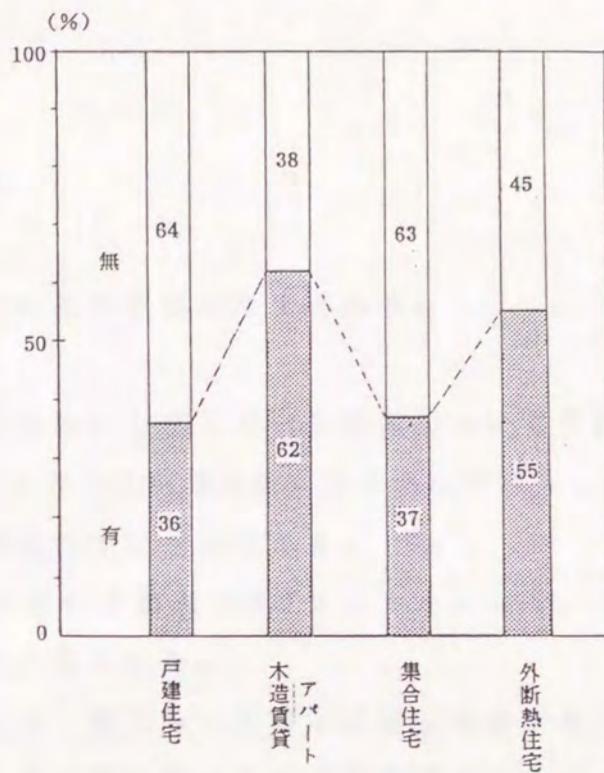


図 6 - 8 住戸別に見た結露発生の有無について

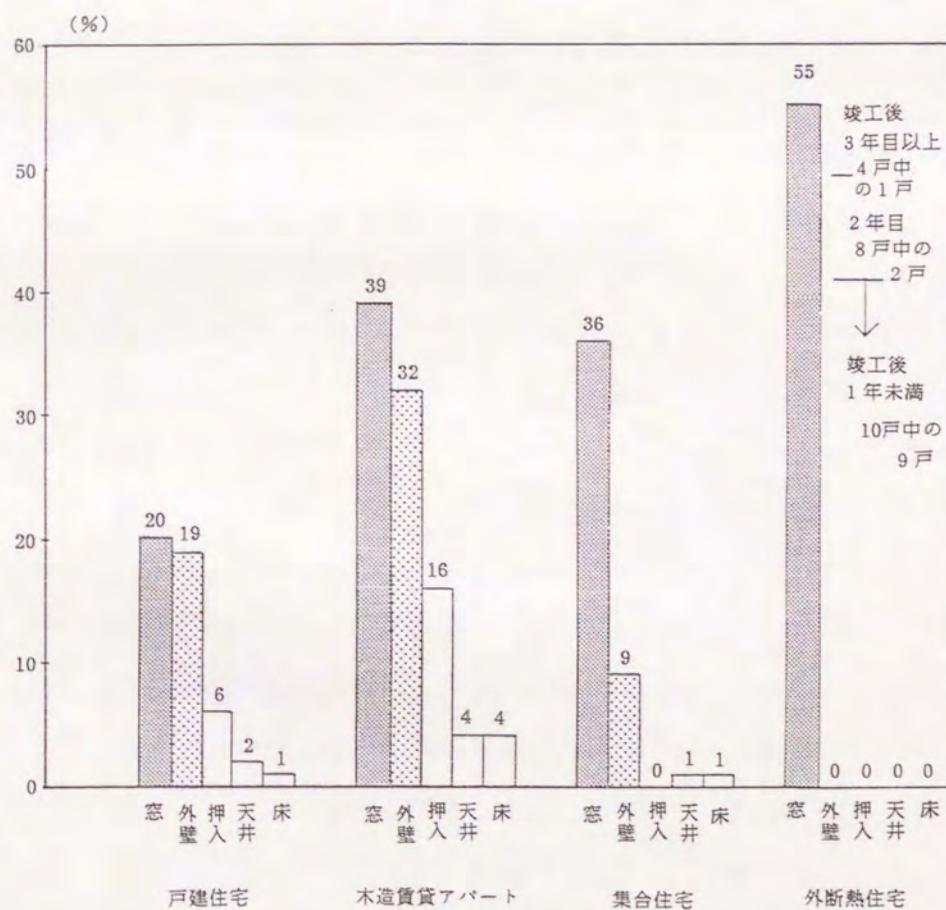


図 6 - 9 部位別に見た結露発生場所の比較

6 - 6 まとめ

本章で得られた知見を以下にまとめる。

- ① 本構法住戸では寒いと感じている居室についての評価は現・在来戸建住宅よりもむしろRC集合住宅のそれに近いものとなっており、高い評価が得られていると言える。
- ② 本構法住戸の燃料消費量は8.7リットル/㎡で、RC集合住宅よりも少ない結果が得られた。
- ③ 結露については、竣工時に窓のみに表面結露が発生しているが、年数が経過するに従い減少する傾向が認められた。これは軸組の外側から気密・防湿材を施工するため、工事水や木材、建材からの余剰水分が室内側に放出されるためであると言える。

第Ⅶ章 結論

本研究は北海道の木造戸建住宅が耐久性と室内環境の両面で抱えている問題点に着目し、それらを解決するための一方法として在来木造住宅の木軸組の外側より気密・防湿材、断熱材を施工する外断熱構法を提案し、施工性と環境性能の観点から論じたものであり6章にわたって分析、考察を展開した。本章では各章で得られた知見を総括して本研究の結論とする。

第1章「序論」では、北海道の木造戸建住宅の現状を分析し問題点を明かにすることにより、現・在来木造軸組構法で建設される住宅に対して外断熱構法を適用することの意義を既存の断熱構法と対比させつつ述べるとともに、本論文で論ずる外断熱構法の概要を説明している。

第2章「現場施工型グラスウール外断熱構法の概要と施工結果」では、本構法に基づくモデル住宅を計画・建設し、一連の施工過程を分析しその特性を明かにしている。その結果をまとめると

- ①気密・防湿材の確実な施工のため下地材として構造用合板を使用した。その結果、気密・防湿材の施工は順調に行なわれたと言える。
- ②外壁の断熱材を施工するためにサイディング下地を兼ねた枠組みを提案し、その施工に要した工数は枠取り付けで15人工、断熱材挿入で7人工、合計22人工を要した。本構法の工数の低減を図るためには枠組立て施工の改善が必要であると言える。
- ③気密・防湿、断熱施工に要した費用は総工事費の約7%（現・在来住宅は約3%）で、現・在来住宅に比較して約60万円の増額となった。この増加分の約50%は断熱材挿入用の枠材費であり、施工の面で費用が大きかったのは枠取付け工賃の18万円である。
- ④施工中の問題点としては、断熱材の施工が天候に左右される可能

性が大きい。

第3章「モデル住戸における環境性能」では、2章の住戸について実生活に使用されている条件下で気密性、木材含水率、外断熱を施した床下部分の温度などを約2年間測定することにより、本構法が意図した耐久性向上に関わる性能が実現されていることを確認した。同時に居住環境に関しても燃料消費量・室温の測定結果を分析することにより目標とした性能がほぼ達成されていることを論じている。その結果を列記すると

- ① 本構法を適用した本住戸の柱、土台の含水率は15%以下で推移しており、軸組の腐朽に対する危険は極めて小さいと言える。
- ② 本住戸の相当隙間面積の経年変動はほとんどなく安定し、その値は $2.5\text{cm}^2/\text{m}^2$ で高气密な値となっていた。
- ③ 本住戸の暖房期間中の燃料消費量は、暖房面積当り約6リットル $/\text{m}^2$ で、目標値である10リットル $/\text{m}^2$ 以下の値を確保できた。

第4章「本構法を採用した住宅団地建設時の調査分析」では、建設会社7社により本構法で建設された形態の異なる17戸と現・在来構法で建設された9戸の計26戸の住戸を調査対象として、本構法の施工過程を分析するとともに、構法の違いに起因する気密性能を明かにしている。その結果をまとめると

- ① 本構法における外壁の歩掛りは $6\sim 9\text{m}^2/1$ 人程度と言える。
- ② 本構法の外壁に対する工数は以下の重回帰式で算出できる。

Y : 総工数 X₁ : 外壁面積 X₂ : 住戸の辺の数

$$Y = -12.8 + 0.156 X_1 + 0.218 X_2$$

- ③ 本構法住戸の相当隙間面積は建設会社にあまり左右されず、 $3.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以下の範囲に入ることが充分期待できる。
- ④ 総二階建て、 120m^2 のモデル住戸に対してSHS構法と本構法を適用した時の工事費を比較すると、本構法の方が40万円程度安価となる。

第5章「パネル化した本構法の施工性と性能評価」では、本構法における現場の作業を軽減させる目的で外壁および屋根のパネル化を試み、パネル作製の方法、軸組とパネルの取付、ジョイントの処理方法を開発し、実際に一住戸を建設し施工過程を分析した。さらに竣工後の室温、木材含水率、気密性を計測し性能に差のないことを確認した。その結果をまとめると

- ① 外壁、屋根パネルの作製は「手造り」で28人工を要した。
- ② 本住戸は現・在来住宅に比較して現場作業量は20人工の低減となり、その分はパネル作製に移っていた。
- ③ 相当隙間面積は1年半後でも $2.50\text{cm}^2/\text{m}^2$ で安定し、気密性能は維持できていると言える。
- ④ 土台の含水率は通年10%前後であり、腐朽の恐れは極めて小さいと言える。
- ⑤ 本住宅の燃料消費量は $4.2\text{リットル}/\text{m}^2$ で暖房負荷による計算値と概ね一致し、断熱性能が維持されていることを確認した。

第6章「入居者側から見た本構法の評価」では、構法と住戸形態の異なる計344戸（戸建木造住宅、木造賃貸アパート、RC集合住宅、本構法を適用した戸建住宅）を対象として、暖房時の室温の感じ方、結露の被害、燃料消費量に関するアンケート調査を行ない、本構法適用住戸の環境性能の優位性を明かにした。

- ① 本構法の住戸では「寒いと感じている居室」についての評価は現・在来戸建住宅よりもむしろRC集合住宅のそれに近いものとなっており、高い評価が得られていると言える。
- ② 本構法の住戸の燃料消費量は約 $8.7\text{リットル}/\text{m}^2$ で、RC集合住宅よりも少ない結果が得られた。
- ③ 結露については、竣工時に窓のみに表面結露が発生しているが、築後年数が増加するに従い減少する傾向が認められた。これは軸

組の外側から気密・防湿材を施工するため、工事水や木材、建材からの余剰水分が室内側に放出されるためであると言える。

以上、6章にわたる考察の結果を簡潔にまとめて次の6項目を本研究の結論としたい。

- ① 本構法を適用した住戸の相当隙間面積は $3.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以下の気密性能が期待でき、かつ経年変動もほとんどないと言える。
- ② 暖房期間中の燃料消費量は $10\text{リットル}/\text{m}^2$ 以下の値が期待できる。
- ③ 軸組の木材含水率は腐朽の恐れのない 15% 以下となり耐久性があると言える。
- ④ 現場施工型外断熱構法における外壁の歩掛りは $6\sim 9\text{m}^2/1人$ 工程度と言える。
- ⑤ 現場施工型外断熱構法の外壁に対する工数は以下の重回帰式で算出できる。

Y : 総工数 X_1 : 外壁面積 X_2 : 住戸の辺の数

$$Y = -12.8 + 0.156 X_1 + 0.218 X_2$$

- ⑥ パネル化した外断熱構法については、性能面では現場施工型と遜色がないことが確認できた。これを踏まえて、今後、更にパネルとジョイントの開発を進め、パネル型外断熱構法の確立を目指したい。

謝辞

本研究を進めるにあたっては、室蘭工業大学、窪田英樹教授には論文作成のみならず、研究に対する在り方を学ばせていただき、終始、あたたかいご指導とご鞭撻を賜りました。ここに謹んで感謝の意を捧げる次第であります。

室蘭工業大学、泉 清人教授には論文全体にわたり貴重な示唆を頂きました。ここに心より感謝の意を表します。

室蘭工業大学、後藤知以教授、穂積 準教授、入江正之助教授には審査を通じて貴重な御助言と御指導を頂き、心から感謝の念を表します。

室蘭工業大学、鎌田紀彦助教授には、取りまとめに際しての具体的なご指導を賜りました。ここに心より感謝の意を表します。

北海道工業大学、菊地弘明教授には、北海道工業大学に赴任後「寒地住宅」の研究テーマを頂き、以後約12年間、常にご指導賜りました。ここに心より感謝の意を申し上げます。

丸彦渡辺株式会社の多くの方々からは、在職中のあいだ施工に関する多くの知識を受け、構法研究の基礎を造ることができました。このことは本研究に大いに活かすこととなりました。

まがりなりにもこの様に論文をまとめることができたのは測定、調査などに協力頂いた多数の北海道工業大学、建築工学科卒業生のおかげであり、ここに謝意を表します。

また、施工の調査、アンケート調査では多数の方々からのご協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

関連論文リスト

1. 研究論文

- 1) 飯田雅史、菊地弘明：木造軸組外側気密・断熱構法の計画と性能－北海道における木造住宅外断熱構法に関する基礎的研究（その1）、日本建築学会計画系論文報告集第415号、pp.29-38、1990年9月
- 2) 飯田雅史、菊地弘明：木造軸組外側気密・断熱構法の各種性能の経年変化－北海道における木造住宅外断熱構法に関する基礎的研究（その2）、日本建築学会計画系論文報告集第425号、pp.47-53、1991年7月
- 3) 飯田雅史、菊地弘明：木造軸組外側気密・断熱住宅の施工性と気密性能、－北海道における木造住宅外断熱構法に関する基礎的研究（その3）、日本建築学会計画系論文報告集第434号、pp.61-69、1992年4月
- 4) 飯田雅史、菊地弘明：パネル化した木造軸組外側気密・断熱住宅の構法計画と性能、－北海道における木造住宅外断熱構法に関する基礎的研究（その4）、日本建築学会計画系論文報告集第439号、pp.65-72、1992年9月
- 5) INSULATION PANEL CONTAINING A VAPOR BARRIER AND ITS APPLICATION TO THE WOODEN HOUSE FRAME FROM THE OUTSIDE: Hiroaki Kikuchi, Masashi Iida, Indoor Air '93, Proceedings vol.6. 195-200. 1993,7

2. 口頭発表

2. 1 海外

- 1) AN AIR-TIGHTNESS HOUSE INSULATED FROM THE OUTSIDE OF THE WOODEN FRAME: Masashi Iida, Hiroaki Kikuchi, Innovative Housing '93, Abstract Book. pp.59. 1993,6
- 2) A HOUSE WITH INSULATED PANELS FIXED THE OUTSIDE OF THE WOODEN FRAME: Hiroaki Kikuchi, Masashi Iida, Innovative Housing '93, Abstract Book. pp.59. 1993,6

2. 2 国内

- 1) 飯田雅史、菊地弘明：断熱改修 F氏宅の場合（ブロック造）、日本建築学会北海道支部研究報告集No54、pp.81-84、昭和56年3月
- 2) 飯田雅史、菊地弘明：既存ブロック造住宅の断熱改修について、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）、pp.995-996、昭和56年9月
- 3) 遠藤順一、飯田雅史ほか3名：各種試験壁内の木部含水率の変化について（その1 木片含水率の実測結果及び内外の透湿抵抗を変えた場合の結露推計結果）、日本建築学会北海道支部研究報告集No55、pp.13-16、昭和57年3月
- 4) 遠藤順一、飯田雅史ほか4名：各種試験壁内の木部含水率の変化について（その2 実測値による熱的性状解析と理論的にみた各種工法の結露域と湿度分布）、日本建築学会北海道支部研究報告集No55、pp.17-20、昭和57年3月
- 5) 城裕一、飯田雅史ほか4名：寒地住宅の燃料費略算法について（その1 略算に必要なデータ）、日本建築学会北海道支部研究報告集No55、pp.21-24、昭和57年3月

- 6) 城 裕一、飯田雅史ほか4名：寒地住宅の燃料費略算法について（その2 略算図表と検証）、日本建築学会北海道支部研究報告集No55、pp.25-28、昭和57年3月
- 7) 飯田雅史ほか3名：ブロック造外断熱実施例について－S氏宅の場合－、日本建築学会北海道支部研究報告集No55、pp.29-32、昭和57年3月
- 8) 遠藤順一、飯田雅史ほか3名：壁内結露について（その1・各種試験壁内木片含水率と温度変化）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.785-786、昭和57年10月
- 9) 飯田雅史ほか3名：壁内結露について（その2・外壁の内・外の透湿抵抗を変えた場合の結露と湿度分布）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.787-788、昭和57年10月
- 10) 飯田雅史ほか2名：ブロック造外断熱実施例について（S氏宅の場合）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1427-1428、昭和57年10月
- 11) 飯田雅史ほか2名：実験住宅－O宅の場合－、日本建築学会北海道支部研究報告集No56、pp.1-4、昭和58年3月
- 12) 池本章、飯田雅史ほか2名：外壁内木部の含水率変化について、日本建築学会北海道支部研究報告集No56、pp.45-48、昭和58年3月
- 13) 遠藤順一、飯田雅史ほか2名：外壁の内部結露について、日本建築学会北海道支部研究報告集No56、pp.49-52、昭和58年3月
- 14) 遠藤順一、飯田雅史ほか4名：北海道における住宅の地域性に関する基礎的研究（その1）、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp.1037-1038、昭和58年9月
- 15) 佐藤文彦、飯田雅史ほか4名：北海道における住宅の地域性に関する基礎的研究（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp.1039-1040、昭和58年9月

- 16) 飯田雅史ほか5名：北海道における住宅の地域性に関する基礎的研究（その3）、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp.1041-1042、昭和58年9月
- 17) 米山 仁、飯田雅史ほか3名：実験住宅（RC造外断熱の場合）、日本建築学会北海道支部研究報告集No57、pp.37-40、昭和59年3月
- 18) 飯田雅史ほか4名：公的集会施設の外断熱と性能評価、日本建築学会北海道支部研究報告集No57、pp.41-44、昭和59年3月
- 19) 遠藤順一、飯田雅史ほか2名：室温変動の予測（住宅の室温略算法とその結果の検討）、日本建築学会北海道支部研究報告集No57、pp.73-76、昭和59年3月、
- 20) 長谷川文雄、飯田雅史ほか5名：北海道における住宅の地域性に関する基礎的研究（その4）全道の日照時間分布、及びアクティブな太陽熱利用の可能性（札幌の場合）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1329-1330、昭和59年10月
- 21) 飯田雅史ほか3名：外断熱を利用した公的施設の性能評価－東神楽町農村環境改善センターの場合－、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.1333-1334、昭和59年10月
- 22) 田村浩一、飯田雅史ほか5名：実験住宅－RC造外断熱の場合－、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.1335-1336、昭和59年10月
- 23) 飯田雅史ほか2名：中札内村農村環境改善センターの性能評価－その1－、日本建築学会北海道支部研究報告集No58、pp.85-88、昭和60年3月
- 24) 田村浩一、飯田雅史ほか3名：各種壁体の性能評価、日本建築学会北海道支部研究報告集No58、pp.5-8、昭和60年3月
- 25) 丹羽隆雄、飯田雅史ほか2名：実験住宅－Na宅の場合－、日本建築学会北海道支部研究報告集No58、pp.25-28、昭和60年3月

- 26) 遠藤順一、飯田雅史ほか3名：実験住宅85（CH宅）冬の場合、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.639-640、昭和60年10月
- 27) 菊地弘明、飯田雅史：外張りパネルシステム工法－OPS工法－（実験住宅－Su宅の場合・札幌）、日本建築学会北海道支部研究報告集No59、pp.29-32、昭和61年3月
- 28) 丹羽隆雄、飯田雅史、菊地弘明：実験住宅－KA宅の場合・下川町－、日本建築学会北海道支部研究報告集No59、pp.93-96、昭和61年3月
- 29) 遠藤順一、飯田雅史、菊地弘明：実験住宅－SI宅の場合・札幌市－、日本建築学会北海道支部研究報告集No59、pp.97-100、昭和61年3月
- 30) 飯田雅史ほか2名：中札内村農村環境改善センターの性能評価（その2）、日本建築学会北海道支部研究報告集No59、pp.101-104、昭和61年3月
- 31) 遠藤順一、飯田雅史、菊地弘明：外側パネルシステム(OPS)工法－1工法と実施住宅の概要について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.613-614、昭和61年8月
- 32) 飯田雅史ほか2名：外側パネルシステム(OPS)工法－2 実施住宅の計測結果について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.615-616、昭和61年8月
- 33) 飯田雅史ほか4名：実験住宅・札幌Fu宅の場合（OPS工法）、日本建築学会北海道支部研究報告集No60、pp.45-48、昭和62年3月
- 34) 遠藤順一、飯田雅史ほか3名：実験住宅・札幌Ar宅の場合（OPS工法）、日本建築学会北海道支部研究報告集No60、pp.49-52、昭和62年3月
- 35) 長谷川文雄、飯田雅史ほか3名：実験住宅・北見Os宅の場合（OPS工法）、日本建築学会北海道支部研究報告集No60、pp.53-56、昭和62年3月

- 36) 菊地弘明、飯田雅史ほか1名：実験住宅・陸別K社・社宅の場合（OPS工法）、日本建築学会北海道支部研究報告集No60、pp.57-60、昭和62年3月
- 37) 飯田雅史ほか2名：木造外断熱工法の施工性について、日本建築学会北海道支部研究報告集No61、pp.65-68、昭和63年3月
- 38) 遠藤順一、飯田雅史ほか2名：実験住宅Ha、Ii宅の場合 - 札幌 -、日本建築学会北海道支部研究報告集No61、pp.69-72、昭和63年3月
- 39) 池本章、飯田雅史ほか2名：木造外断熱住宅の気密性について、日本建築学会北海道支部研究報告集No61、pp.73-76、昭和63年3月
- 40) 飯田雅史ほか4名：木造軸組外側断熱を適用した寒地住宅（その1）施工性、日本建築学会大会学術講演梗概集E、pp.743-744、昭和63年10月
- 41) 遠藤順一、飯田雅史ほか3名：木造軸組外側断熱を適用した寒地住宅（その2）断熱性、日本建築学会大会学術講演梗概集E、pp.745-746、昭和63年10月
- 42) 池本章、飯田雅史ほか3名：木造軸組外側断熱を適用した寒地住宅（その3）気密性、日本建築学会大会学術講演梗概集E、pp.747-748、昭和63年10月
- 43) 飯田雅史ほか3名：パネル化した木造外断熱工法 - 札幌・茨戸3×5及び4×4の場合 -、日本建築学会北海道支部研究報告集No62、pp.77-80、平成元年3月
- 44) 池本章、飯田雅史ほか2名：パネル化した木造外断熱工法 - 札幌・西野K宅の場合 -、日本建築学会北海道支部研究報告集No62、pp.81-84、平成元年3月
- 45) 遠藤順一、飯田雅史ほか2名：軸組を集成材とした木造外断熱工法 - 帯広・S宅の場合 -、日本建築学会北海道支部研究報告集No62、pp.85-88、平成元年3月

- 46) 池本章、飯田雅史ほか2名：木造軸組外側断熱工法による住宅 その1 帯広、軸組を集成材とし断熱・気密工事を現場施工とした場合、日本建築学会大会学術講演梗概集E（九州）、pp.655-656、平成元年10月
- 47) 遠藤順一、飯田雅史ほか2名：木造軸組外側断熱工法による住宅 その2 札幌、外壁、屋根をパネル化した場合、日本建築学会大会学術講演梗概集E（九州）、pp.657-658、平成元年10月
- 48) 飯田雅史ほか3名：木造軸組外側断熱工法による住宅 その3 札幌、茨戸 外壁、屋根をパネル化し、寒中施工を行なった場合、日本建築学会大会学術講演梗概集E（九州）、pp.659-661、平成元年10月
- 49) 池本章、飯田雅史ほか3名：パネル化した木造外側断熱構法－札幌・西野K宅の場合－ その2、日本建築学会北海道支部研究報告集No63、pp.189-192、平成2年3月
- 50) 飯田雅史ほか4名：パネル化した木造外側断熱構法－札幌・屯田の場合－、日本建築学会北海道支部研究報告集No63、pp.193-196、平成2年3月
- 51) 遠藤順一、飯田雅史ほか2名：木造軸組外側断熱構法の施工性と気密性能、日本建築学会北海道支部研究報告集No63、pp.197-200、平成2年3月
- 52) 飯田雅史、菊地弘明：パネル化した木造外側断熱構法の住宅について－札幌・屯田の場合－、日本建築学会大会学術講演梗概集E（中国）、pp.739~740、平成2年10月
- 53) 飯田雅史、菊地弘明：木造軸組外側気密・断熱住宅の気密性について、日本建築学会北海道支部研究報告集No64、pp.433~436、1991年3月
- 54) 菊地弘明、飯田雅史：パネル化した木造軸組外側気密・断熱構法－札幌・西野・Ha宅の場合、日本建築学会北海道支部研究報告集No64、pp.429~432、1991年3月

