東北地方における断熱気密住宅のエネルギー消費量

—暖房用を中心とした実態調査と数値計算—

ENERGY CONSUMPTION OF WELL-INSULATED AND AIRTIGHT HOUSES
IN TOHOKU DISTRICT

—From the viewpoint of energy consumption for space heating—

長谷川 兼一*, 吉野 博**, 松本 真一***

Ken-ichi HASEGAWA, Hiroshi YOSHINO and Shin-ichi MATSUMOTO

Newly constructed residential houses in Japan are better insulated and more airtight than their predecessors to increase energy conservation. Although reduced energy consumption was expected, the energy performance of these buildings has not yet been measured. Therefore, the indoor environment and energy consumption in three hundred well-insulated and airtight houses newly constructed in the Tohoku District were investigated by a questionnaire survey. This paper firstly describes the buildings' energy consumption. Secondly, the relationship between energy consumption for space heating and the influencing factors on energy consumption is discussed and calculation by a multi-regression analysis method are presented. Thirdly, the influence of these factors on the heating load is estimated using computer simulations. The simulation method takes the multi-zone effects of heat transfer and air flow distribution into consideration. Computer simulation reveal that the well-insulated and airtight houses in the Tohoku District consume more energy for space heating than ordinary existing houses, in which only the living/dining room is heated (take-back effect). The results also show, that it would be possible to keep a comfortable indoor environment with less energy consumption than the ordinary houses, if the houses had an insulation comparable to R2000 houses in Canada.

Keywords: Well-insulated and airtight houses, Energy Consumption, Questionnaire survey,
Multi-variate analysis, Heating load, Calculation analysis

断熱気密住宅, エネルギー消費量, アンケート調査, 数量化分析, 暖房負荷, 数値計算

1 はじめに

近年の地球温暖化問題や快適性への追求に伴い, 住宅, 建築の省エネルギーに対する意識が高まりつつある。1999年3月に告示された“次世代省エネルギー基準”では, 断熱気密性能を含めて, 住宅が本来備えるべくシェルターとしての性能を強化するよう誘導されている。住宅の断熱気密化の必要性は, ①室内熱空気環境の質の向上, ②省エネルギー性の確保, ③結露防止・耐久性の向上, などから説明できるように, これは良質な住宅を確保するために最低限必要な建築的手法として位置付けられる。1995年度以降に公表されている住宅金融公庫の利用状況²⁾を参照すれば, 公庫融資を利用した住宅のうち省エネルギー住宅基準適合住宅は, 1995年度の22.1%から2000年度の63.3%と増加傾向にある。また, 住宅金融公庫が実施した調査³⁾によれば, 気密住宅の割合は全体で43.7%, 北海道で84.3%, その他の地域では30%~45%となっており, 全国的に住宅の断熱気密化の傾向は強まっているといえる。

一方で, 地球温暖化防止に対する我が国の施策を推進するに当たり, 住宅・建築部門でより一層の省エネルギー化が求められることは必至であるものの, 断熱気密化をその手段として普及させていく上で, 実際に断熱気密化された住宅のエネルギー消費量がどの程度であるかについての報告は少なく⁴⁾⁷⁾, 不明な点が多い。また, これ

まで, 1992年度基準(新省エネルギー基準), 1999年度基準(次世代省エネルギー基準)と断熱気密性能が段階的に強化されるに伴い, 断熱気密化は住宅の基本的性能として理解されるようになってきたが, その省エネルギー効果が明確に把握されているとは言い難い。元々, 北海道以外の地域では全室を暖房するような暖房形態ではなかったため, 住宅の断熱気密化と共に全室暖房が行われるようになれば, 暖房面積や暖房時間の増大により暖房エネルギー消費量が増加することが予想される。従って, エネルギー消費量を増大させることなく快適性を確保するためには, 断熱気密性能のレベルと関連づけて言及する必要がある。また, 各種設備機器の大型化や使用頻度が高まることから, 住宅全体のエネルギー消費量も増加する傾向にあることが予想され, エネルギー効率の高い家庭用機器の普及がさらに求められる。

筆者らは, 東北地方を中心として建設されている断熱気密住宅を対象としたアンケート調査を1993年に行い, 断熱気密化による室内熱空気環境の特徴やそれに関わる問題点について検討⁸⁾⁹⁾を行ってきた。本論文では, 先ず, 東北地方における断熱気密住宅を対象とした調査結果を基にして,

(1) エネルギー消費量の実態を明らかにするとともに, 暖房用エネルギーに寄与する要因について分析・考察を行う。

* 秋田県立大学システム科学技術学部 助教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural Univ., Dr. Eng.

** 東北大学大学院工学研究科 教授・工博

Prof., Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., Dr. Eng.

*** 秋田県立大学システム科学技術学部 教授・博士(工学)

Prof., Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural Univ., Dr. Eng.

次に、断熱気密化の効果を明確にするためには、東北地方での従来の暖房用エネルギー消費量と同等レベルで全室暖房が可能な断熱気密性能の程度を検討する必要がある。そこで、暖房負荷に関する数値計算を行い、暖房用エネルギー消費量に及ぼす住まい方などのばらつきの要因を統一した上で、

(2)断熱気密性能のレベルと暖房負荷との関連について、暖房形態の違いを考慮した上で検討を行う。

以上の2つの検討を通じて、断熱気密住宅の省エネルギー効果に関して考察を行ったので報告^{注1}する。

本論文にて行う数値計算は多室室温変動理論¹²⁾に基づいており、計算では、5段階の断熱気密性能及び、全室連続暖房と間欠部分暖房という2種類の暖房形態をパラメータとし、東北地方を中心とした地域の気象データを用いた。なお、断熱気密性能と暖房形態を考慮した計算は坂本¹³⁾、宇田川¹⁴⁾、渡辺^{15),16)}、石田¹⁷⁾よりなされており、坂本は、わが国の住宅の断熱化に対する施策について検討している。本計算では、札幌及び東北地方の都市を計算対象とし、気密性能を隙間量として入力し、換気計算を行った。

2 エネルギー消費量に関する実態調査

2.1 調査の概要

調査は1993年度の夏期と冬期に実施し、調査対象は主に東北地方を中心として建設されている断熱気密住宅^{注2}である。アンケートの配布は各地域の工務店・施工業者に対して居住者の紹介を依頼し、各業者を通じて行った。住宅の紹介を依頼する際には、1)断熱気密化された住宅^{注3}、2)全室暖房可能な住宅、3)計画換気がなされた住宅、4)入居後1年以上経過している住宅、の4条件を提示した。

アンケートの内容は、表1に示すようにエネルギー消費量と関連する要素が把握できるよう設問を設けた。エネルギー消費量は、2回の調査を通じて、1992年9月から1994年1月までの月毎の電気、ガス、石油の消費量の記入を居住者に依頼した。なお、本報にて扱う消費量は、データに欠落が少ない1993年2月～1994年1月の期間の値である。

表2に調査の対象地域と回収状況を示す。対象地域の分類に関しては、単純に都道府県別に分類している。回収数は夏期と冬期とで多少異なっているものの、全体の回収率は冬期で48%、夏期で46%となった。このうち、年間のエネルギー消費量が確認できた住宅は94件である。また、暖房用として灯油を用いている住宅のうち、年間消費量が把握できた住宅は110件である。

図1 年間エネルギー消費量の度数分布

表1 アンケート調査の内容

調査内容の分類	質問項目
引っ越し前の住宅に関する質問	床面積、構造、住戸形態、居間の窓、使用暖房器具、冬期の問題点、夏期の問題点
シェルター性能	建設時期、床面積、構造、気密工法、玄関扉の性能、断熱材の種類と厚さ、居間の窓
設備	暖房設備、冷房設備、換気設備、給湯熱源、台所レンジの熱源、台所換気扇の有無
住まい方	暖冷房設備・換気設備の使用状況、防暑の工夫、空気の汚れの対処、湿気の対処、住まい方の変化
エネルギー消費量	引っ越し前の住宅との比較、月別のエネルギー消費量
居住者特性	家族構成、年間収入、回答者の性別・年齢・職業、入居理由
問題点	暑さ、空気の汚れ、湿気、結露の有無、健康の変化、音

表2 アンケートの回収状況と使用データ件数

対象地域	配布数	回収数		使用データの件数	
		冬期	夏期	全体	暖房用のみ
北海道	50	26	21	6	3
東北地方	青森	107	74	25	31
	岩手	83	25	4	7
	秋田	197	100	32	41
	山形	41	16	3	11
	宮城	158	44	11	2
	福島	61	52	13	15
合計	697	337(48%)	324(46%)	94	110

2.2 対象住宅の概要^{注4}

住宅の床面積は、84.0～369.4m²の範囲にあり平均は160.7m²である。各部位の断熱性能は、データが欠落していた数件を除けば、新省エネルギー基準¹⁸⁾にて示されている“開口部以外の断熱材の熱抵抗の値”を満たしている。開口部はプラスチック製サッシと2枚ガラスが大半を占め、3枚ガラスの使用も見られる。暖房設備は灯油を熱源とするセントラル輻射暖房がほぼ半数であり、次に灯油FF式ヒータとなり、その他にはヒートポンプ式エアコン、深夜電力を用いた蓄熱式暖房機などとなっている。冷房は全体の6割が使用しておらず、使用しても間欠運転である。換気設備は全ての住宅で設置されており、第1種換気システムがほぼ半数を占めている。給湯熱源として灯油が全体の7割を占め、その他は電気、ガスである。

2.3 年間エネルギー消費量

(1)エネルギー源別消費量

各住宅の年間エネルギー消費量を算出するに当たり、電気：3.6MJ/kWh、都市ガス：15.1～46.0MJ/m³(地域毎の値を使用)、LPG：100.5MJ/m³、石油：37.26MJ/ℓとして熱量換算を行った。

図2 年間エネルギー消費量の各地域の比較

図3 東北地方の住宅におけるエネルギー源別消費量

図1に、年間エネルギー消費量の度数分布を示す。年間エネルギー消費量の平均は88.5GJ/aであるが、50~190GJ/aの広い範囲でばらついている。図は北海道札幌市の住宅も含めて示しているが、全体の平均は東北地方のみと大差ない。図2は、調査対象のエネルギー消費量を一般住宅^{注5}と比較したものである。いずれの地域も年間消費量は一般住宅を上回っており、青森県や山形県では一般住宅の2倍の値である。

図3に東北地方における住宅88件について、電気、ガス、灯油のエネルギー源別消費量を示す。また、表3には各タイプのエネルギー源別消費量の平均値を示す。ここでは、エネルギーの使用形態に従って5つのタイプに分類した。なお、冷房は電気を含めた。

Type1: 暖房・給湯を灯油、調理をガス、その他は電気。

Type2: 暖房・給湯を灯油、調理・その他を電気。

Type3: 暖房を灯油、給湯・調理をガス、その他を電気。

Type4: 暖房を灯油、給湯を電気、調理をガスまたは電気、その他を電気。

Type5: 全て電気(灯油を暖房用に使用する場合あり)。

表3における床面積当たりの消費量のうち、暖房・給湯を灯油で行うType1, 2は札幌市の断熱気密住宅の調査結果⁷⁾(611.1MJ/m²)に近く、エネルギー源別の割合も同じ傾向を示している。どのTypeについても、エネルギー消費量全体に占める暖房・給湯の割合が高くなっている。

図3における各住宅のエネルギー消費量のばらつきの原因には様々な要因が考えられるが、例えば、青森18や秋田22、山形2の灯油消費量が多い理由として、床面積や家族人数が影響していると推察される。特に、山形2は床面積が369.4m²、家族人数が8人となっている。Type3のガスは給湯・調理用として使用されており、青森24、秋田27の消費量が多く、光熱費は1万円/月を超えている。

図4に、Type1の住宅に関して、電気、ガス、灯油消費量と床面積との関係を示す。電気、ガス消費量の床面積との相関は比較的高く、住宅規模との関連が深いと推察される。Type1ではガスを調理のみに、電気を照明・機器などに使用しているため、この傾向は、住宅規模が増大するに伴い、ガスレンジの数やガス口径の増加や、電気機器の数が増えることにより説明できる。また、灯油消費量については床面積との関連があまり見られずばらついており、床面積以外の要因の影響も受けている。

表3 アンケートの回収状況と使用データ件数

	年間エネルギー消費量, GJ/a [GJ/m ² a]			
	電気	ガス	灯油	合計
Type1(60)	15.7 [95.4]	4.9 [30.0]	71.4 [433.6]	92.0 [559.0]
Type2(11)	20.4 [117.7]	0.0 [0.0]	75.5 [435.9]	95.8 [553.6]
Type3(7)	13.3 [100.2]	28.0 [210.9]	39.1 [294.4]	80.4 [605.4]
Type4(4)	37.0 [318.4]	1.5 [13.3]	39.4 [339.3]	77.9 [671.1]
Type5(6)	66.2 [405.2]	0.0 [0.0]	0.6 [3.4]	66.7 [408.6]
全体(88)	20.5 [135.1]	5.7 [36.1]	63.0 [397.4]	82.6 [568.6]

図4 エネルギー源別消費量と床面積との関係(Type1)

図5 各タイプにおける電力消費量と床面積との関係

Type1については電気消費量と床面積との関連が比較的高いことが確認できたため、図5に各Typeの電力消費量について床面積との関連を示す。Type1とType3では電気の使用が同じであるため、床面積との関連が同じ傾向を示している。Type2では調理用が含まれる分だけ回帰直線の傾きが若干大きくなっている。Type4, Type5では用途が増えるため、当然消費量が多くなるものの、床面積との関連は見られない。

(2)用途別エネルギー消費量

Type1の住宅に着目し、用途別エネルギー消費量の導出を試みた。Type1では調理用はガス消費量と等しいため、灯油消費量を暖房用と給湯用に分離することができれば、用途別エネルギー消費量を把握することができる。給湯用灯油消費量の算出に当たっては、家族人数との相関が高いことが確認できたため、家族人数を説明変数として各住宅の消費量を予測²⁶した。冷房用については電力消費量に含めたままとする。以上により用途別に分類された住宅は54件である。

図6に各住宅の用途別エネルギー消費量の平均値を他の住宅^{19),20)}とともに示す。調査住宅のエネルギー消費量の53.2%は暖房用、25.0%は給湯用、5.2%は調理用、16.4%が照明・動力・その他となっており、暖房用が占める割合が高い。この傾向は、一般住宅のデータ¹⁹⁾や澤地らの調査結果²⁰⁾と比較すると、北海道の住宅に近いことがわかる。暖房用は一般住宅の東北や仙台市の戸建住宅の値の約2倍となっており、これは暖房時間や暖房面積等の暖房形態が東北地方における従来の形態とは異なっていることに起因するものと考えられる。給湯用・調理用については、澤地らの調査結果²⁰⁾に近くなっている。

(3)暖房用エネルギー消費量

調査対象住宅のうち、暖房用エネルギーとして灯油を用いている住宅を抽出し、先に示した方法により暖房用エネルギー消費量を予測した。得られたデータは表2に示す通り110件である。図7に暖房用エネルギー消費量の度数分布を示す。暖房用エネルギー消費量は20~120GJ/aの範囲に分布しており、平均値は53.1GJ/aである。東北地方のみの平均値は52.9GJ/aと若干小さくなる。調査対象住宅の暖房用エネルギー消費量は、図6に示した一般住宅の消費量を上回るものが大半を占めており、北海道と同等かそれ以上の消費量を示している。

調査対象住宅の暖房用エネルギー消費量を、東北地方都市部と札幌の戸建住宅を対象とした調査結果²⁷⁾と比較すると図8のようになる。比較対象としたデータには給湯用エネルギー消費量が含まれているため、図には給湯用を含んだエネルギー消費量をあわせて示した。調査対象住宅のエネルギー消費量は全体的に多くなっているが、一般の戸建住宅よりもエネルギー消費量が低く抑えられている住宅も見られる。サンプル数の多い青森市、秋田市の住宅では、エネルギー消費量が一般の戸建住宅と比較して0.5~2倍にばらついており、住宅の断熱気密性能や住宅規模、住まい方などの違いが大きく影響していると考えられる。

図9に、断熱性能のレベルごとに分類した床面積当たりの暖房用エネルギー消費量の度数分布を示す。ここでは断熱性能として、壁に用いられている断熱材の熱抵抗値を用い、熱抵抗値の範囲により3つのグループに分けた。各グループの平均値は断熱性能が低いグループが高くなっているが、それぞれの分布には大きな差は見られ

図6 一世帯当たりの用途別エネルギー消費量の比較

図7 暖房用エネルギー消費量の度数分布

図8 暖房用エネルギー消費量の各都市ごとの比較

ず、統計的にも有意な差はない。暖房用エネルギーには、暖房時間や設定温度などの住まい方に関わる要因や気候条件等が影響していると考えられ、断熱性能のみでは十分に説明することは困難である。

2.4 暖房用灯油消費量に及ぼす因子の影響度

暖房用灯油消費量のばらつきに寄与する因子を把握するために、目的変数を暖房用灯油消費量、説明変数を暖房用灯油消費量と関連が深いと思われる18因子を選び、数量化理論I類による分析を行っ

図9 床面積当たりの暖房エネルギー消費量の度数分布

た。使用データは、図8に示した東北地方の調査対象住宅のうち調査結果に欠落のない98戸である。因子の選択に当たっては、因子間に多重共線性²⁸がないことを考慮している。

分析結果を図10に示す。重相関係数は0.70、寄与率は0.49である。灯油消費量のばらつきに最も強く影響を与える因子は床面積であり、床面積が大きいほどウェイトが高くなる傾向があり、暖房面積の増加に関連していると推察される。その他には、壁の熱抵抗値、暖房期間、暖房時間、家族人数、年収などが挙げられる。暖房期間、暖房時間が長いほどウェイトが高くなり、これらの生活行動が与える影響は大きいといえる。また、年収が多いほどウェイトが高い傾向が見られる。壁の熱抵抗値では1.7m²℃/W以下とそれ以上との差が顕著であるが、熱抵抗値が3.6m²℃/W以上のウェイトが最も低い訳ではない。これは、暖房エネルギー消費量を低減させるためには断熱性能の確保が効果的であるものの、ある程度性能が確保された場合には、暖房エネルギー消費量の差異はその他の要因の影響を受け易くなっている可能性が高い。

3 断熱気密性能と暖房形態が暖房負荷に及ぼす影響に関する数値計算

3.1 数値計算の概要

(1)計算方法 計算は、室内相互輻射と室間の相互換気を考慮した多数室室温変動理論¹²⁾に基づくプログラムを用いて行い、外気条件として標準気象データを用い、外壁面への温度励振には相当外気温度(SAT)を与えた。また、ガラス面からの透過日射には庇が落とす影面積を考慮した。

(2)計算条件 表4に計算条件を示す。本論文では、計算対象地域を札幌、秋田、盛岡、仙台、福島²⁹の5都市とした。

計算に用いたパラメータは、断熱気密性能と暖房形態である。断熱気密性能²⁹は、表5に示すように、一般住宅想定レベルからカナダR2000仕様相当レベル¹⁰までの5段階とし、各レベルは新省エネ基準にて定められている地域区分(本計算ではⅠ～Ⅲ地域が対象)ごとに、それぞれのレベルに相当¹¹するように断熱性能を設定した。また、気密性能は吉野の気密グレード表²⁴⁾を参考にして割り当てた。

暖房形態は、①全室連続暖房、②間欠部分暖房の2種類を想定し、①では、居間と台所では6:00~23:00、寝室では19:00~23:00に室温が20℃、それ以外の時間帯には室温が16℃になるように暖房する。その他の室では終日室温が16℃になるように暖房する。②では、居間のみ6:00~10:00及び17:00~23:00に室温が20℃になるように暖房を行い、それ以外の時間帯の室温は成り行き、とした。

(3)住宅モデル 図11に計算用住宅モデルの平面図を、表6にその概要を示す。計算用住宅モデルは学会標準問題の住宅モデル²⁵⁾を用い、夫婦

目的変数 暖房用灯油消費量 平均 1356ℓ_年
標準偏差 522ℓ_年
サンプル数 98戸
重相関係数 0.70 (寄与率 0.49)

因子	カテゴリ	反応数	カテゴリウェイト
床面積 (m ²)	~120	15	灯油消費量との偏相関係数 (0.439)
	120~140	14	
	140~160	22	
	160~180	16	
	180~200	16	
構造	在来木造	62	(0.228)
	2×4	23	
壁の熱抵抗値 (m ² ℃/W)	在来改良型	13	(0.262)
	~1.7	5	
	1.7~2.2	32	
	2.2~3.6	31	
	3.6~	30	
窓枠材料	プラスチック製	84	(0.207)
	木製	10	
	その他	4	
ガラス枚数	2重	94	(0.044)
	3重	4	
暖房器具	パネル式	56	(0.108)
	温風式	14	
	FF式	28	
暖房期間	~4ヶ月	3	(0.277)
	4~5ヶ月	19	
	5~6ヶ月	30	
	6~7ヶ月	34	
	7ヶ月~	12	
暖房時間タイプ	終日暖房	54	(0.256)
	間欠暖房	44	
暖房範囲	全室	80	(0.134)
	部分	18	
寒い場所の有無	ある	31	(0.072)
	ない	67	
補助暖房の有無	ある	87	(0.263)
	ない	11	
換気設備	第1種換気	50	(0.138)
	第3種換気	23	
	各室個別	25	
換気設備の運転	終日換気	64	(0.061)
	間欠換気	34	
結露の有無	ある	37	(0.120)
	ない	61	
家族人数	~3人	29	(0.313)
	4~5人	47	
	6人~	10	
年間収入 (万円)	~600	24	(0.279)
	600~800	18	
	800~1000	19	
	1000~1400	19	
着衣の状況(主人)	1400~	6	(0.032)
	薄着になった	73	
	以前と同じ	25	
着衣の状況(主婦)	薄着になった	72	(0.029)
	以前と同じ	26	

図10 暖房用灯油消費量の数量化Ⅰ類による分析結果

表4 計算条件

断熱気密性能	一般住宅想定	旧省エネ基準相当	新省エネ基準相当	次世代基準相当	カナダR2000仕様相当
暖房形態	連続全室暖房	連続全室暖房	連続全室暖房	連続全室暖房	連続全室暖房
	札幌、秋田、盛岡、仙台、福島の5都市				
	秋田、盛岡、仙台、福島の4都市				

表5 計算に用いた断熱気密性能(Ⅲ地域(仙台、福島)の場合)

断熱気密性能レベル	断熱材厚[mm]			気密性能 α A'[cm ² /m ²]	ガラス枚数
	天井	壁	床		
一般住宅想定	50(10K)	25(10K)	25(10K)	12.5	1
旧省エネ基準相当	65(10K)	45(10K)	40(10K)	7.1	2
新省エネ基準相当	100(10K)	100(10K)	100(10K)	4.1	2
次世代基準相当	200(10K)	100(16K)	100(16K)	1.25	2
カナダR2000仕様相当	400(16K)	180(32K)	200(32K)	0.41	3

()内は、ガラスウールの比重

図11 計算用モデルの平面図(左側:1階, 右側:2階)

表6 計算モデルの概要

条件	内容
構造, 階数	木造独立, 2階建て
床面積	125.9m ²
部屋数(屋根裏含む)	10室
壁面数	124面
壁体構成	文献(24)を引用
断熱材	表5に一例を示した
床仕上げ	カーペット, 畳
建具	木製ドア, ふすま
家具の熱容量	4.5kcal/m ³ °C(屋根裏除く)
窓の有効面積	21.5m ²
窓の外壁に対する割合	14.10%
家族構成	夫婦2人, 子供2人
集中換気システム (第1種換気)	熱交換換気システム (熱交換効率0.7, 換気量240m ³ /h)
台所換気扇	6:00~7:00, 17:00~18:00:200m ³ /h 12:00~13:00:100m ³ /h
カーテン	18:00~7:00は閉じる

と子供2人が居住していると想定し, 屋根裏を含めた部屋数は10, 計算用に分割した壁面数は124, 換気計算に使用した総開口数は62である。換気システムは第1種換気とし, 各室へ常時一定の換気量^{注12}が確保されるようにした。また, 各材料の物性値及び生活スケジュールは文献(26)に示したものをを用い, 室内での発熱は人体と機器・照明等^{注13}から行われるものとした。

外周部の隙間量は気密性能より求まる建物全体の隙間量を, 壁・床・天井部分の面積に応じて割り当てた。壁部分の隙間は窓面に分布するものとし, 各開口部の周長によって割り付け, 各開口部ごとの上下2点に隙間を設けた。住宅内におけるドア及びふすまの隙間量は文献(27)の値を用いた。また, 北側を除く各窓面には庇があるものとした^{注14}。

3.2 仙台市における暖房負荷

図12に仙台市における1月の暖房負荷の計算結果を示す。連続全室暖房を行った場合を見ると, 断熱気密性能レベルが向上するにつれて暖房負荷が低減し省エネルギー効果が現れている。また, 一般住宅想定レベルと旧省エネ基準相当レベルとの差は, 間欠部分暖房では0.3Gcalであり, 連続全室暖房と比較すると両レベルにおける暖房負荷の差は小さい。カナダR2000仕様相当レベルでは, 連続全室暖房を行っても間欠部分暖房よりも暖房負荷は小さい。

3.3 各都市における暖房負荷

図13に各都市における断熱気密性能レベルと1月の暖房負荷との関係を示す。東北地方各都市の場合, 間欠部分暖房の一般住宅想定レベルは, 新基準相当レベルの暖房負荷の2分の1程度である。前者を東北地方の一般住宅における暖房負荷と考えた場合, 先の図6に示した通り, 断熱気密住宅の暖房用エネルギー消費量が一般住宅の2倍程度であることと対応している。また, 北海道の一般住宅を旧基準相当レベルの暖房負荷と考えると, 東北地方の断熱気密住宅の暖房用エネルギー消費量が, 北海道並となっている状況と対応している。

各都市とも断熱気密性能レベルの違いにより, 暖房負荷にはばらつきが見られ, 旧基準相当レベルとカナダR2000仕様相当レベルとの間には, 3.0~15.5GJ/monthのばらつきが見られる。当然, 断熱気密性能レベルが向上するに伴い, 暖房負荷が低減しているが, 東北地方の従来の暖房形態と見なせる一般住宅相当レベル(間欠部分暖房)程度に暖房負荷を抑えるためには, 断熱

図12 仙台市における暖房負荷の計算結果

図13 各都市における暖房負荷の比較

気密性能を次世代基準相当レベルとカナダR2000仕様相当レベルの中間程度まで高める必要がある。筆者らは, 仙台市に建設されたカナダR2000仕様の断熱気密住宅を対象として実測調査²³⁾を行い, 年間の暖房用エネルギー消費量が15.3GJ/aであることを示した。図6を参照すれば, この値は仙台市の戸建住宅(23.9GJ/a)の6割程度であり, 住まい方の条件等の違いはあるものの, 今回の数値計算の結果とよく対応している。

4 まとめ

東北地方の断熱気密住宅を対象として, エネルギー消費量の実態やその要因について, 主に暖房用を中心として考察を行った。その結果, 以下のことがわかった。

- (1)年間エネルギー消費量は50~180GJ/aの範囲にばらついており, 平均値は88.9GJ/aである。この値は, 東北地方の一般住宅の値を

上回っている。

- (2)用途別エネルギー消費量は、53.2%は暖房用、25.0%は給湯用、5.2%は調理用、16.4%が照明・動力・その他であり、暖房用が占める割合が高い。
- (3)暖房用エネルギー消費量は20~120GJ/aの範囲に分布しており、平均値は52.9GJ/aである。暖房用エネルギー消費量は一般戸建住宅の約2倍となっており、北海道での消費量に近くなっている。この原因として、暖房時間や暖房面積等の暖房形態が東北地方における従来の形態とは異なっていることが考えられる。
- (4)暖房用エネルギー消費量にはばらつきが見られ、全体的には一般の戸建住宅よりも多くなっているが、半分程度に抑えられている住宅もあり、住宅の断熱気密性能や住宅規模、住まい方などの違いが大きく影響していると考えられる。
- (5)暖房用灯油消費量のばらつきに与える因子を検討するために、数量化I類による重回帰分析を行った。その結果、床面積、壁の熱抵抗値、暖房期間、暖房時間、家族人数、年収などの影響が強いことがわかった。
- (6)東北地方を中心として、住宅の断熱気密性能と暖房形態をパラメータとした数値計算を行った結果、東北地方の従来の一般戸建住宅程度に暖房負荷を抑えるためには、断熱気密性能を次世代基準相当レベル以上を確保し、カナダR2000仕様相当レベルに近づける必要がある。

あとがき

本研究の一部は1993年度(財)住宅総合研究財団研究助成(「東北地方における高断熱高気密住宅の健康性と省エネルギー性から見た評価」、代表者吉野 博、石川善美、猪苗代裕、内海康雄、久慈み子、鈴木 悟、澤田紘次、高島浩一郎、二郷 精、無江末次、山本里見、三浦秀一)によるものである。また、本調査は、日本建築学会・地域特性WG(1992年~1997年、幹事吉野 博、赤林伸一、石川善美、内海康雄、角舎輝典、佐々木隆、澤田紘次、八町雅康、松本真一、三浦秀一、山岸明浩、山下恭弘)並びに、住まいと環境東北フォーラム(理事長吉野 博)が行っている研究の一環である。アンケート調査用紙の作成にあたっては、関係各位に貴重な意見をいただいた。また、本調査の実施には、各工務店の方々にご協力頂いた。お世話になった方々に、心から感謝の意を表する次第である。

注

- 1)本論文は既発表論文(10,11)に加筆・修正を加えたものである。
- 2)断熱気密住宅の明確な定義はなされていないため、本論文では、断熱気密化されており、かつ、全室暖房と居室に機械換気が設置され常時換気が可能である住宅を断熱気密住宅と呼ぶものとする。
- 3)断熱気密化の程度は問わない。この条件は曖昧であるが結果として、回答の得られた住宅の断熱性能は、各県とも新省エネルギー基準にて示されている各部位の断熱材の熱抵抗の値を満たすものが全体の94%を占めた。また、気密性能について具体的な値は不明であるが、何らかの気密化は図られている。
- 4)住宅概要は既に報告済みであるため、詳細は省略する。本稿ではエネルギー消費量が確認できた94件について言及する。
- 5)家計消費年報の光熱費をもとに算出されたもの¹⁰⁾である。
- 6)灯油用途として、(i)暖房用、(ii)暖房用と給湯用、の2通り見られたため、(ii)について、暖房用と給湯用のエネルギー消費量を分離するため、文献(20)を参考に以下の手順により推定を行った。
- ①アンケート調査により得られたデータのうち月別消費量が得られた住宅のデータに注目し、非暖房期間である6月~9月の4ヶ月分の合計を算出する。この期

間の灯油消費量は全て給湯用であると仮定する。

- ②給湯用灯油消費量は、家族人数(3才以下の家族人数は0.5人)と比例関係にあるとみなし、推計式を求める。ここで用いたデータは24件分のデータであり、得られた推定式を次に示す。相関係数は0.86となった。

$$Y = 54.341 \cdot X$$

Y:給湯用灯油消費量[l], X:修正家族人数(3才以下は0.5人と勘定)[人]

- ③前式に修正家族人数を代入することにより給湯用灯油消費量を求め、年間灯油消費量との差をとることにより暖房用灯油消費量を算出する。
- 7)約900件の戸建住宅を対象とし、1992年に実施したアンケート調査²⁰⁾。一冬に使用する灯油消費量について質問し、灯油を暖房のみに使用している402件の住宅のデータを示した。
- 8)重回帰分析では説明変数間に高い相関が存在すれば線形モデルに適用できないため、多重共線性の検討が必要となる。
- 9)文献(22)を参考にして設定した。
- 10)厳寒地のカナダにおいて、政府が主体となって作成した仕様。文献(23)を参考に断熱材厚さを設定した。
- 11)カナダR2000仕様相当レベルは各地域とも同一とした。一般住宅想定レベルは、II地域とIII地域は同一とし、I地域はその2倍の断熱材厚とした。
- 12)居間:72m³/h、主寝室:48m³/h、予備室と小屋裏を除く室:24m³/h。
- 13)人体からの発熱は一人当たり65kcal/hとし、在室状況は付図1とした。また、機器・照明等からの発熱は付図2のように設定した。
- 14)底の出[cm]=(開口部の高さ+20cm)×0.4とした。

付図1 計算に用いた在室者のスケジュール

付図2 計算に用いた機器・照明等の発熱スケジュール

参考文献

- 1)建築環境・省エネルギー機構:住宅の次世代省エネルギー基準と指針, 1999年11月。
- 2)住宅金融公庫:平成12年度個人住宅規模規格等調査の概要, <http://www.jyukou.go.jp/>
- 3)住宅金融公庫:住宅・建築主要データ調査報告 平成11年度 一戸建住宅編一, 1999年12月。
- 4)大竹 賢, 井上 隆, 澤地孝男, 吉野 博, 鈴木憲三, 大野秀夫, 松原斎樹, 菅原敏晴, 北村地人:全国5都市における高断熱住宅の居住性に関する実態調査 その2 室温実測調査とエネルギー消費量調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1998年9月。
- 5)長谷川兼一, 吉竹秋宣, 黒柳博見, 山岸明浩, 河路友也, 山下恭弘:長野市を中心とした戸建住宅の居住環境データベースの活用—断熱気密住宅におけるエネルギー

- ギー消費量の実態一, 日本建築学会計画系論文集第521号, 1999年7月.
- 6) 石井慎二, 中田亜洲生, 本間英行, 鈴木憲三, 福島 明, 藤原陽三: 北海道における高断熱住宅の暖房給湯システムに関するエネルギー消費実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2000年9月.
- 7) 濱田靖弘, 中村真人, 落藤 澄, 村越千春, 鶴崎敬大, 横尾美雪, 成田涼子, 鳴原 亮, 長倉香織, 横山真太郎, 札幌における家庭用エネルギー消費量とその季節別変動に関する実測と調査, 空気調和・衛生工学会論文集 No.82, 2001年7月.
- 8) 吉野 博, 長谷川兼一: 高断熱高気密住宅における熱環境特性と居住者の健康に関する調査, 日本建築学会計画系論文集 第507号, 1998年7月.
- 9) 長谷川兼一, 吉野 博: 高断熱高気密住宅における居住者の乾燥感に関する冬期調査, 日本建築学会計画系論文集第509号, 1998年7月.
- 10) 吉野 博, 長谷川兼一: 東北地方を中心とした高断熱高気密住宅のエネルギー消費量に関する実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997年8月.
- 11) 長谷川兼一, 吉野 博, 東北地方を中心とした高断熱高気密住宅の暖房負荷に関する数値計算, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997年8月.
- 12) 長谷川房雄, 石川善美, 松本 博: 室内相互ふく射を考慮した多数室室温変動, 日本建築学会計画系論文報告集 第334号, 1983年1月.
- 13) 坂本雄三: わが国の住宅における期間暖冷房負荷と断熱化政策について, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 1991年10月.
- 14) 佐藤 誠, 宇田川光弘: 高断熱・高気密住宅における冷暖房負荷要素による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995年8月.
- 15) 川上 司, 渡辺俊行, 林 徹夫, 龍 有二, 赤司泰義, 渡辺康德: 地域性を考慮した住宅の断熱気密効果 その1 断熱気密性能が及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995年8月.
- 16) 渡辺康德, 渡辺俊行, 林 徹夫, 龍 有二, 赤司泰義, 川上 司: 地域性を考慮した住宅の断熱気密効果 その2 建物仕様及び住まい方が及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995年8月.
- 17) 石田建一: 工業化住宅の暖房負荷シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991年9月.
- 18) 住宅・建築 省エネルギー機構: 住宅の新省エネルギー基準と指針, 1992年6月.
- 19) 住環境計画研究所: 家庭用エネルギーハンドブック, 省エネルギーセンター, 1999年3月.
- 20) 澤地孝男, 坊垣和明, 吉野 博, 他7名: 用途別エネルギー消費量原単位の算出と推定式の作成 全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフスタイルに関する研究(第1報), 日本建築学会計画系論文報告集, 第462号, 1994年8月.
- 21) 吉野 博, 長谷川兼一: 熱環境から見た冬期の居住性能に関する地域特性の変化ー東北地方都市部を対象とした10年前の調査との比較ー, 日本建築学会計画系論文集 第499号, 1997年9月.
- 22) 住宅・建築・省エネルギー機構: 住宅の次世代省エネルギー技術基準の策定検討調査報告書, 1996年9月.
- 23) 吉野 博, 長友宗重, 石川善美, 松本真一, 内海修明, 長谷川兼一: カナダR2000仕様に基づいて建設された高断熱高気密住宅の熱空気環境に関する長期測定, 日本建築学会計画系論文集 第471号, 1995年5月.
- 24) 吉野 博: 住宅の気密性能とその基準に関する動向調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1990年10月.
- 25) 宇田川光弘: 標準問題の提案 住宅用標準問題, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会 第15回熱シンポジウム資料, 1985年9月.
- 26) 豊原範之, 長谷川房雄, 長友宗重, 吉野 博, 石川善美: 住宅における断熱・気密性能の向上が室内熱環境と暖房負荷に及ぼす影響・空間相互換気を考慮した多数室伝熱計算, 日本建築学会東北支部研究報告集, 1991年6月.
- 27) 渡辺 要: 建築計画原論 III, 丸善株式会社, 1965年4月.

(2002年2月10日原稿受理, 2002年4月10日採用決定)