北海道における新築戸建て住宅の断熱および設備仕様調査

一次エネルギー消費量の推定と設備の選択要因に関する考察

THERMAL INSULATION AND EQUIPMENT PERFORMANCE
OF A NEWLY BUILT DETACHED HOUSE IN HOKKAIDO

Estimation of primary energy consumption and selection factors for house equipment

立松 宏一*, 廣田 誠一**, 高倉 政寛***, 月館 司***
鈴木 大隆***, 羽山 広文*****Koichi TATEMATSU, Tomohito HIROTA, Masahiro TAKAKURA,
Tsukasa TSUKIDATE, Hirotaka SUZUKI and Hirofumi HAYAMA*

The thermal performance and equipment type specified for a newly built house were investigated as benchmarks to enable the selection of appropriate insulation and equipment specifications.

The prevalence of electric heater installations for space heating and hot water supply decreased in 2012, compared to 2011. However, it is estimated that the primary energy consumption is high in particularly cold areas of Hokkaido, because this type of equipment remains common in these areas. Because there is an initiative to contractors when the equipment type is determined, it is important to provide appropriate information to these contractors.

Keywords : Questionnaire Survey, Heating Installation, Hot-water Apparatus, Energy-saving Standard, Primary Energy, Cost
実態調査, 外皮平均熱貫流率, 暖房, 給湯, 省エネルギー基準, コスト

1. はじめに

住宅の省エネルギー性能は断熱および設備の仕様によって大きく左右される。従来の住宅の省エネルギー基準¹⁾は、適合義務基準ではないものの、断熱性能に関する判断基準になってきた。また、北海道においては、道の民間住宅施策として推進してきた「北方型住宅」において、2010年に熱損失係数 $Q \leq 1.3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ （換気熱回収は算定上含めない）を一要件とする「北方型住宅 ECO」を設定、さらに札幌市では2012年に創設した「札幌版次世代住宅基準」で $Q \leq 0.5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ の等級を設けるなどの誘導施策もあり、従来の住宅の省エネルギー基準に比べて断熱性能が極めて高い住宅の建設も一部で進んでいる。

住宅設備については、石油およびガスを熱源とした潜熱回収型機器や電気ヒートポンプ式の機器が普及するなど、熱効率の向上が進んでいる。また、北海道においては、1990年制定の北方型住宅基準において集中暖房を原則とするなど²⁾、住宅の耐久性や居住環境向上の観点からセントラルヒーティングの普及を推進してきており、暖房・給湯の方式や熱源種別は多様化している。換気設備についても2003年のシックハウス対策の義務化を契機として、様々な機器が市場展開されている。

この間、2008年をピークとする燃料価格高騰により、暖房・給湯設備の電化が進んだ。その際、蓄熱暖房器、電気式パネルヒーター、電気温水器など電気ヒーター式の機器が多く採用されたことから、住宅の熱損失が小さくなりつつも、一次エネルギー消費量が増加していることが問題となった³⁾。その後、2011年の東日本大震災を契機に、北海道では2012年夏から節電要請が実施され、熱源としての電気に対する意識は再び変化している。

このような中、2009年1月告示の住宅事業建築主の判断基準⁴⁾では、住宅の省エネルギー性能が断熱・遮熱性能のみではなく、暖房、冷房、換気、照明、給湯の各設備が消費する年間の一次エネルギー消費量として規定され、2013年改正の住宅・建築物の省エネルギー基準⁵⁾では、この考え方がすべての住宅に拡大された。

以上のように、現在は住宅の省エネルギーに関わる情勢が目まぐるしく変わる移行期にあると言える。したがって、エネルギーに関する政策目標、既存のエネルギー供給システム、ユーザーのニーズなどとの整合を図りながら、適切な断熱・設備仕様の選択を行うことができるよう誘導を行っていく必要があり、そのためには、住宅の断熱・設備仕様の現状や選択要因を把握し、今後の方向性を検討することが必要である。

本論文は、参考文献25)の内容に新たな調査結果と考察を加えて加筆し、まとめたものである。

* 北海道立総合研究機構北方建築総合研究所 工修

** 北海道立総合研究機構北方建築総合研究所

*** 北海道立総合研究機構北方建築総合研究所 博士(工学)

**** 北海道大学大学院工学研究院 教授・博士(工学)

Hokkaido Research Organization Northern Regional Building Research Institute, M. Eng.

Hokkaido Research Organization Northern Regional Building Research Institute

Hokkaido Research Organization Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

既往の資料として、断熱仕様については、住宅金融支援機構の住宅仕様実態調査報告⁹⁾や断熱材出荷統計を利用した断熱水準の推定事例⁷⁾がある。住宅設備についても業界団体による出荷統計^{8),9)}や、インターネットによるアンケート調査事例¹⁰⁾がある。また、既存統計資料の分析により、灯油、ガス、電力の消費構成には明確な地域性があることがわかっている^{11),12)}。しかしながら、一般住宅を対象に建設地や事業者属性を明らかにした調査は行われておらず、年々変化していると考えられる住宅の断熱・設備仕様や、北海道内におけるエネルギー消費量の地域性までは把握することができていない。

特にエネルギー消費量への影響が大きい住宅設備の選択要因については、エンドユーザーを対象としたアンケートによる調査事例¹³⁾があるものの、誘導を図る観点では、住宅建設事業者と建築主のどちらに選択の主導権があるのかという点での実態把握も必要と考えられる。

図1 調査内容と本文の各項目の関係

会社名	(市町村名)	平成24年(1月~12月)の新築戸建住宅施工総数	()棟(※S造、RC造を除く)	戸建
連絡先	担当者 (電話)			

・調査対象は昨年で平成24年(1月~12月)建設の道内新築戸建住宅(木造)についてお答えください。一棟でも施工実績があればご協力をお願いいたします。(※平成25年ではありませんので、お気を付け下さい)
 ・仕様が複数ある場合は、施工数の多い順に2番目に多い仕様までについて回答してください。種類は番号表から該当する番号を選び回答欄にご記入ください。
 ・住戸内で異なる仕様を用いている場合は、面積が大きいなど主たる仕様についてお答えください。

壁・屋根・天井・床・基礎の断熱材の番号表

①高性能グラスウール ⑩ビーズ法ポリスチレンフォーム板
 ②グラスウールボード ⑪フェノールフォーム板
 ③吹込グラスウール (ネオフォーム、フェノボード等)
 ④ロックウール ⑫硬質ウレタンフォーム板
 ⑤吹込ロックウール (アキレスボード等)
 ⑥吹込セルローズファイバー ⑬吹付ウレタン
 ⑦押出法ポリスチレンフォーム ⑭その他 (製品名:)
 ⑧2種b (※107a-b, ※107f-a) ⑨2種b
 ⑨1種b (※107a-b, ※107f-a) ⑩1種b

窓の仕様の番号表

①樹脂または木枠 普通ペアガラス
 ②樹脂または木枠 Low-Eペアガラス ガス無し
 ③樹脂または木枠 Low-Eペアガラス ArまたはKr ガス封入
 ④樹脂または木枠 Low-Eトリプルガラス ArまたはKr ガス封入
 ⑤その他()

暖房設備の番号表

①温水暖房(石油) ⑨エアコン
 ②温水暖房(電気ヒーター) ⑩VIVIDO・ECO ONE
 ③温水暖房(電気ヒートポンプ) ⑪エコウィル
 ④温水暖房(ガス(従来型)) ⑫エコジョーズ+コレモ
 ⑤温水暖房(ガス(エコジョーズ)) ⑬灯油ストーブ
 ⑥ヒートポンプ式セントラル空調 ⑭薪・ペレットストーブ
 ⑦電気蓄熱暖房機 ⑮その他()
 ⑧電気式パネルヒーター

給湯設備の番号表

①ガス瞬間式(従来型) ⑥電気温水器
 ②ガス瞬間式(エコジョーズ) ⑦エコキュート
 ③石油瞬間貯湯式 ⑧暖房と同じ
 ④石油瞬間式(従来型) ⑨その他()
 ⑤石油瞬間式(エコフィール)

換気設備の番号表

①ダクト式(第1種) ⑥壁付け同時給排気型ファン
 ②ダクト式(第1種熱交換あり) (熱交換あり)
 ③ダクト式(第2種) ⑦壁付け給気型ファン
 ④ダクト式(第3種) ⑧壁付け排気型ファン
 ⑤壁付け同時給排気型ファン ⑨その他()

1. 断熱仕様

部位	質問	最も施工数の多い仕様	2番目に多い仕様(違う仕様がある場合)
外壁	1. 軸組内(柱間)の断熱材の種類と厚さ	種類() 厚さ() mm	種類() 厚さ() mm
	2. 付加断熱の断熱材の種類と厚さ	種類() 厚さ() mm	種類() 厚さ() mm
屋根 天井	3. 屋根断熱または天井断熱の断熱材種類と厚さ (両方該当する場合は、主なもののみ記入してください)	一方のみ記入 屋根断熱 種類() 厚さ() mm 天井断熱 種類() 厚さ() mm	一方のみ記入 屋根断熱 種類() 厚さ() mm 天井断熱 種類() 厚さ() mm
	4. 基礎断熱または床断熱の断熱材種類と厚さ (両方該当する場合は、主なもののみ記入してください)	一方のみ記入 基礎断熱 種類() 厚さ() mm 外周土間下 種類() 厚さ() mm 床断熱 種類() 厚さ() mm	一方のみ記入 基礎断熱 種類() 厚さ() mm 外周土間下 種類() 厚さ() mm 床断熱 種類() 厚さ() mm
窓	5. 窓の断熱仕様	種類() 空気層の厚さ() mm ※トリプルの場合は合計厚さを記入	種類() 空気層の合計厚さ() mm ※トリプルの場合は合計厚さを記入
	6. この仕様の様数をお答えください。	() 棟	() 棟
	7. 「最も施工数の多い仕様」と「2番目に多い仕様」の、断熱工事(窓含む)に関する差額	一坪当たり()円 増・減(どちらか〇)	

2. 設備仕様

種類	質問	最も施工数の多い仕様	2番目に多い仕様
暖房	1. 暖房設備の種類 (住戸内で複数種類の暖房機を設置している場合は複数回答可)	種類() 棟数() 棟	種類() 棟数() 棟
給湯	2. 給湯設備の種類	種類() 棟数() 棟	種類() 棟数() 棟
換気	3. 換気設備の種類	種類() 棟数() 棟	種類() 棟数() 棟
計測	4. エネルギー計測装置(HEMS、見える化装置) (設置の場合のみ記入)	メーカー・商品名() 棟数() 棟	メーカー・商品名() 棟数() 棟

3. アンケート

(1) 外壁の断熱仕様として、コストを抜きにして、お客さんにおすすめしたい仕様をお答えください。
 軸組内(柱間): 種類() 厚さ() mm、 付加部: 種類() 厚さ() mm ※種類は断熱材の番号表の数字を記入してください

(2) 設備(暖房・給湯)の種類は主に誰が提案していますか (1つだけ〇をつけてください)
 ①施工業者が提案する ②どちらかという施工業者が提案する ③どちらかというお客さんが提案する ④お客さんが提案する

(3) 暖房設備と給湯設備のどちらの種類が先に決まりますか (1つだけ〇をつけてください)
 ①暖房設備がはじめに決まる ②給湯設備がはじめに決まる ③同時に決まる

(4) 設備(暖房・給湯)の種類が最終的に決まる要因は何ですか (もっともあてはまる番号に1つだけ〇をつけてください)
 ①設備価格・施工コスト ②燃料代・電気代 ③設備業者の関係 ④安定性・メンテナンスのしやすさ

図2 調査票の内容

そこで本研究では、住宅の断熱・設備仕様の現状や、選択要因を把握することを目的に、道内に建設された新築戸建て住宅を対象とした実態調査を行った。さらに、一次エネルギー消費量を推計するとともに、特に一次エネルギー消費量への影響が大きい、暖房・給湯設備の選択要因に関する考察を行ったので報告する。

図1に調査内容と本文の各項目の関係を示す。外皮平均熱貫流率(以下、「 U_A 値」という)と一次エネルギー消費量の推定は、建物形状など各種仮定に基づくため、仮定した条件はそれぞれ該当する項目(3.と5.)で示している。

2. 調査方法

2.1 調査対象

調査は2010年から2012年に新築された木造戸建て住宅を対象として3か年にわたり実施した。このうち、本報では2012年の新築住宅を主な分析対象とし、一部動態把握のため、2011年新築住宅のデータも扱う。なお2010年と2011年新築住宅の調査結果は既報^{14),15)}にとりまとめている。

2.2 調査票の配布及び回収方法

調査は、住宅建設事業者に調査票を郵送して実施した。調査票の送付先は、(株)北海道住宅通信社の「北海道住宅データバンク」を参考に、各年に戸建住宅で1棟以上の建築確認を受けた全事業者とし、当該事業者が1年間に建設した住宅についてまとめて回答を求めた。

図 4 各部位の熱貫流率算出上の断面構成

図 5 U_A 値の推定に用いる各部位の面積・周長（実住宅 157 件）

2011 年の調査結果を併せて示すが、平均値では差がなかった。また、住宅の省エネルギー基準で規定されている U_A 値基準（1、2 地域 $U_A \leq 0.46 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ 、3 地域 $U_A \leq 0.56 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ）を満たす割合は 1、2、3 地域それぞれ 89%、90%、99% となった。

図 7 に建設事業者の規模（年間建設棟数）別と所在地別の推定 U_A 値を示す。平均値は棟数による加重平均で算出している。また、当該カテゴリーとその他のカテゴリーで母平均の差の検定^{注 4)}を行い、有意水準 0.01 または 0.05 で有意差があったカテゴリーに**、* を付している。

事業者規模別（図 7(a)）では、建設棟数の少ない事業者で U_A 値のばらつきがやや大きく、平均値は年間建設棟数 4 棟～50 棟の事業者がやや小さい（断熱性能が高い）傾向がある。

事業者所在地別のグラフ（図 7(b)）には、札幌市を含む空知・石狩・後志の平均 U_A 値と暖房負荷が同等となる各地域の U_A 値を併せて示す。暖房負荷計算には室内取得熱を考慮したデグリーデー法¹⁷⁾を用い、デグリーデーや日射量は 2000 年版の標準年 EA 気象データ¹⁸⁾をもとにした文献値¹⁹⁾を用いた。計算地点は各地域で人口が最大の都市（図 3 に示している都市）、その他の条件は表 2 に示すとおりとした。平均 U_A 値には地域差が見られるが、上川・留萌・宗

谷、オホーツク、釧路・根室の各地域では、気候の違いによる暖房負荷の差を埋め合わせるほどの断熱性能の違いはないことがわかる。ただしパッシブソーラーなどの手法により暖房負荷の差を解消している住宅もあるかもしれないが、 U_A 値推定の際の仮定では建物形状の地域差を考慮していないため、今回の分析では反映されていない。

図 6 推定した U_A 値の度数分布（棟数割合）

(a) 事業者規模（年間建設棟数）別

(b) 事業者所在地別

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

図 7 カテゴリー別の推定 U_A 値

表 2 図 7 の同等 U_A 値の計算に用いた各係数

項目	値	根拠
外皮面積 $[\text{m}^2]$	347	図 5 に示す住宅の平均値
換気対象容積 $[\text{m}^3]$	324	
窓面積(南面) $[\text{m}^2]$	11.6	
窓面積(東西面計) $[\text{m}^2]$	8.9	
暖房期の窓の日射熱取得率	0.33	Low-E 複層ガラス(日射取得型)の日射熱取得率 $0.64 \times$ 取得日射量補正係数 0.51
室内発生熱 $[\text{W}]$	621	文献 ³⁾ による調理・照明ほかの実測値に人体発熱 120 W (4 人、在室率 0.5 を想定) を加算
室温設定 $[\text{C}]$	21.7	文献 ³⁾ による 12 月～2 月の居間および主寝室実測値の平均値

4. 設備仕様の調査結果

4.1 使用設備の内訳

図8に設備仕様の調査結果を示す。2011年新築と2012年新築住宅の採用設備を比較すると、電気ヒーター式熱源機の温水暖房、電気蓄熱暖房器、電気式パネルヒーター、電気ヒーター温水器といった電気ヒーター式の機器の減少が顕著である。一方、潜熱回収型のガス機器が大きく増加している。ルームエアコンディショナー（以下、「エアコン」という）は採用率が小さいものの、暖房設備として

の採用が増加している。以前は北海道で多く普及していた石油熱源の暖房、給湯設備は採用が極めて少なくなっている。

4.2 事業者規模と設備仕様の関係

図9には、暖房、給湯、換気の各設備仕様について、事業者規模（年間建設棟数）、事業者所在地、事業者平均推定 U_A 値（第1仕様について図5の157通りの各部位面積で算出した U_A の平均値）との関係を示す。また、設備仕様の凡例は、煩雑になるのを避けるため、従来型と潜熱回収型の区別や熱交換の有無を区別せずに、複数

図8 設備仕様の調査結果（2011年と2012年の比較）

図9 事業者属性別の設備仕様（棟数割合）

の設備をまとめて示している。

図 9 上段のとおり、事業者規模別で見ると、年間建設棟数 11 棟以上の事業者で集中暖房の採用が多い。集中暖房の多くは暖房・給湯併用のガス潜熱回収型熱源機（通称エコジョーズ）を使用しており、結果としてこれらの事業者でガス給湯器の採用が多くなっている。電気ヒーターを使用した暖房設備は 51 棟以上の事業者で採用率が 2 割程度にとどまるが、その他の事業者では約 4 割で採用されている。エアコンは 4～10 棟の事業者を主として、中規模事業者での採用が目立つ。一方、灯油ストーブと石油給湯器は 3 棟以下の小規模事業者で比較的多く採用されている。

4.3 地域性

図 9 中段のとおり、集中暖房は建設地が全道にわたる大規模事業者のほとんど、また空知・石狩・後志の 7 割以上で採用されているが、その他の地域では半数以下であり、オホーツク、十勝、釧路・根室では 2～3 割と、地域差が極めて大きい。

この地域差について参考とするため、都市ガスの普及率と価格、灯油価格、暖房デGREEーを表 3 に示す。都市ガスは LP ガスに比べて同一熱量で 4～6 割程度安価であるため²⁰⁾、都市ガスの普及率がガスを熱源とする設備の使用割合に影響することが考えられる。そこで、地域別のガス熱源の暖房設備または給湯設備の使用割合を目的変数、表 3 に示す都市ガス普及率と都市ガス料金を説明変数として重回帰分析を行った結果を図 10 に示す。給湯設備については、都市ガス料金との相関がなかったため説明変数から除いた。都市ガスの普及率や価格がガス熱源設備の使用割合に影響を与えている可

表 3 都市ガスの普及率・料金、灯油価格、暖房デGREEー

振興局	都市ガス普及率	都市ガス料金 [円/月]	灯油価格 [円/L]	暖房デGREEー D ₁₈₋₁₈ [K日]
石狩・空知・後志	35%	9,393	89.7	3,587
胆振・日高	26%	10,094	93.1	3,849
渡島・檜山	29%	9,262	98.1	3,419
上川・留萌・宗谷	32%	8,396	93.9	4,270
オホーツク	12%	9,198	94.6	4,478
十勝	19%	11,346	90.9	4,247
釧路・根室	45%	7,932	95.9	4,264

算出根拠

都市ガス普及率：文献21)による2011年度末のメーター取付け個数を2012年3月の住民基本台帳世帯数(供給区域外を含む当該振興局全域の世帯数)で除した値。

都市ガス料金：文献20)による2009MJ/月(LPガス20m³の熱量相当)使用時の料金(税込)。複数の供給事業者数がある場合はメーター取付け個数による加重平均値とする。

灯油価格：文献22)による多量買い、配達料込み、税込の価格。市町村別の値の世帯数による加重平均値とする。

D₁₈₋₁₈：暖房温度18℃のときの暖房度日数。図3に記載の都市の標準年EA気象データ¹⁸⁾による。

図 10 ガス熱源設備の使用割合に関する重回帰分析の結果

能性はあるものの、空知・石狩・後志では都市ガス普及率と比べてガス熱源設備の採用率が高い、釧路・根室は都市ガス普及率が最も高く料金も低いにもかかわらずガス熱源設備の採用率が低いなど、必ずしも都市ガスの供給状況だけでは説明できない点がある。灯油価格についてはガスに比べて地域差が少ない。

集中暖房の少ない地域について見ると、比較的温暖で暖房デGREEーが小さい胆振・日高、渡島・檜山においては、エアコンや電気ヒートポンプ給湯器（通称エコキュート）の使用割合が他地域に比べ多い。エアコンのみで暖房を行うケースは渡島・檜山で 27%と突出しているが、胆振・日高でも「電気式パネルヒーター+エアコン」（「その他」に含まれる）の組み合わせが 20%を占めている。一方、上川、オホーツク、十勝、釧路・根室では、電気蓄熱暖房器、電気式パネルヒーターといった電気ヒーター式の暖房機器や電気ヒーター温水器を 5～6 割で採用している。

換気設備はダクト式が全体の過半を占めるが、渡島・檜山では約 4 割と少ない。ダクト式の第一種換気設備は大規模事業者と上川・留萌・宗谷で多く採用されている。

4.4 U_A値と設備仕様との関係

図 9 下段のとおり、1、2 地域の省エネ基準を満たす中で最も基準値に近い U_A 値 0.46W/(m²K)以下のカテゴリーとトップランナーと言える 0.31W/(m²K)以下のカテゴリーでは、集中暖房やダクト式第一種換気設備など、比較的システム価格が高くなりやすい設備の採用が多く、住宅の断熱水準によって採用設備は双峰型の分布をなしている。これは、U_A ≤ 0.46W/(m²K)のカテゴリーに大規模事業者の多くが含まれていることと、断熱性能の高い住宅では設備も高効率の機器が採用される傾向があることに起因すると考えられる。一方、U_A 値が 0.46W/(m²K)を超える事業者は、電気ヒーター式の設備や壁付け式第三種換気設備など低価格の設備機器を比較的多く採用する傾向が見られる。

5. 地域別の一次エネルギー消費量の推定

5.1 検討の目的

設備仕様の調査結果の事業者属性による分析から、地域による採用設備の傾向に違いが大きいことがわかった。特に電気ヒーター式の設備が多く採用されている地域では、一次エネルギー消費量が大きくなることが予想される。そこで、調査により把握した断熱・設備仕様により、地域別の一次エネルギー消費量の推定を行う。

5.2 各種条件の仮定と一次エネルギー消費量の推定方法

断熱仕様と暖房、給湯、換気の各設備仕様は互いに関連付けせずにそれぞれの代表仕様を調査しているが、表 1(c)を参照すると第 1 仕様の回答棟数が合計棟数の 8～9 割を占めているため、各事業者の第 1 仕様同士の組み合わせで検討しても概ねの傾向は把握できると考えられる。このことから、以下では各社の第 1 仕様で検討を行う。

計算条件を表 4 に示す。表 4(a)に記載のとおり、事業者ごとに断熱仕様（平均 U_A 値）、設備仕様、所在地の省エネルギー基準上の地域区分を反映させ、一次エネルギー消費量を計算する。事業者ごとの棟数は、各設備第 1 仕様の棟数のうち最小値を用いることとする。

計算には住宅の省エネルギー基準の告示に沿った計算方法として公開されている「住宅・住戸の省エネルギー性能の判定プログラム

Version 1.12」²³⁾を用い、表 4(b)のとおり計算条件を設定する。日射取得熱量は外壁、天井、屋根の熱貫流率を U_A 値で線形回帰し、ガラスを日射取得型の Low-E 複層ガラス、取得日射量補正係数を 0.51 として、 m_H 値を U_A 値の一次関数で表現する^{注5)}。設備の省エネルギー対策を行わないとした場合に特に効率が低く計算される石油およびガス熱源の給湯機については文献¹⁶⁾を参考に効率を設定し^{注6)}、その他の設備は「特に省エネルギー対策をしていない」を選択する。また、プログラムに選択肢がある設備の種類以外は「その他の機器」を選択する。なお、暖房一次エネルギー消費量は地域区分、設備仕様ごとに U_A 値の 2 次関数による近似式で算出する^{注7)}。省エネルギー基準への適合は冷房、照明、家電などその他設備、発電量を加えた合計で判断されるが、ここでは調査対象とした暖房、給湯、換気に関する一次エネルギー消費量に限りて計算を行う。

5.3 一次エネルギー消費量の推定結果

図 11 に推定した一次エネルギー消費量の内訳を示す。省エネルギー基準値は地域区分と暖房設備の仕様により異なるが、それぞれの棟数で加重平均した値を示している。電気ヒーター式の設備を使用すると一次エネルギー消費量が非常に大きくなる影響で、暖房、給湯とも平均値としては省エネ基準値を上回っている。換気設備も熱交換換気設備の影響により基準値を上回っている。

図 12 は事業者所在地別の一次エネルギー消費量推定値である。また図 7 と同様に Z 検定の結果を*印で示している^{注4)}。地域による差は大きく、標準偏差の範囲内でも、消費量の少ない空知・石狩・後志、渡島・檜山と、主に省エネルギー基準の地域区分で 1 地域に所在する振興局では 3 倍以上の差がある。暖房、給湯、換気に関する

一次エネルギー消費量の合計で省エネルギー基準値を満たす割合は、1、2、3 地域でそれぞれ 27%、60%、69%と推定され、1 地域で特に低い。

図 13 は特に一次エネルギー消費量が多い 1 地域について、電気ヒーター式の設備の使用有無と一次エネルギー消費量の関係を示している。暖房、給湯における電気ヒーター式設備の使用有無により、一次エネルギー消費量が大きく変わることがわかる。給湯、暖房のいずれかに電気ヒーター式の設備を使用している場合は、暖房、給湯、換気の合計で省エネルギー基準値を満たすケースがなかった。

以上のように、採用される設備の傾向の違いにより、一次エネルギー消費量に大きな地域差が生じ、特に電気ヒーター式の設備が多く使用されている地域では、省エネルギー基準を満たさない可能性のある住宅が多いことがわかった。

図 11 一次エネルギー消費量の内訳

表 4 計算条件

(a)事業者ごとに変更する条件		
項目	設定	
U _A 値	第1仕様について図5の157通りの組み合わせで計算した平均U _A 値	
設備仕様	暖房、給湯、換気の各設備第1仕様の組み合わせ	
地域区分	事業者が所在する市町村の省エネルギー基準上の地域区分 (大規模事業者は2地域に所在するとして扱う)	
棟数	暖房、給湯、換気の各設備第1仕様の棟数の最小値	
(b)共通の設定条件		
分類	項目	設定
面積	主たる居室の面積[m ²]	57.11
	その他の居室の面積[m ²]	47.13
	床面積の合計[m ²]	135.08
	外皮面積[m ²]	347.3
日射取得	単位日射強度あたりの暖房期日射熱取得量(m _H 値) [W/(W/m ²)]	1地域 5.61U _A +4.80 2地域 5.48U _A +4.52 3地域 5.49U _A +4.50
	蓄熱の利用	利用しない
暖房設備	温水式暖房の配管	断熱配管を採用する
	エアコン、灯油ストーブ、温水暖房の熱源機	特に省エネルギー対策をしていない
給湯設備	機器効率	石油従来型77.8%、石油潜熱回収型89.7%、ガス従来型78.2%、ガス潜熱回収型90.5%、その他機器は効率を入力しない
	ふろ機能の種類	ふろ給湯機(追焚あり)
	配管方式	先分岐方式
	水栓	2バルブ水栓以外のその他の水栓
	節湯措置	採用しない
	浴槽の保温措置	高断熱浴槽を使用しない
	太陽熱利用給湯設備	採用しない
	換気設備の省エネルギー対策の有無および種類	特に省エネルギー対策をしていない
換気設備	換気回数	0.5回/h
	第一種換気設備の場合における有効換気量率	1.00

図 12 事業者所在地別の一次エネルギー消費量推定値

図 13 1 地域の設備仕様と一次エネルギー消費量

6. 設備仕様の選択要因

6.1 設備仕様の選択要因に関する調査結果

先に見たように、設備仕様の地域性には気候(暖房デグリーデー)や都市ガスの供給状況が関係していると考えられる。一方、個々の住宅においては、いくつかの選択肢の中から、事業者や建築主の意向により採用する設備が決定されていると考えられる。

図 14 に設備(暖房・給湯)仕様の選択要因に関する調査結果を示す。事業者を対象とした調査結果ではあるが、図 14(a)を見ると、85%が「事業者が提案」または「どちらかという事業者が提案」と回答している。暖房設備と給湯設備では同時に決まるケースが過半数だが、どちらかが先に決まる場合は暖房が優先することが多い(図 14(b))。最終決定要因はコスト関係が 8 割以上を占めている(図 14(c))。

6.2 設備仕様の選択要因に関する考察

設問では暖房と給湯設備を区別していないため、図 15 に示す各社第 1 仕様の設備の組み合わせのうち、10 社以上で回答のあった組み合わせを対象に、それぞれの設備仕様の提案者と最終決定要因の傾向を考察する。図 16 に、図 14 の凡例に括弧書きで示した点数により数値化した、設備仕様の提案者と最終決定要因の位置関係(平均値)を示す。最終決定要因については、イニシャルコストに相当する「設備価格・施工コスト」と運用コストに相当する「燃料代・電気代」のみに着目している。

設備仕様の提案はいずれの組み合わせでも事業者側に主導権があることがわかる。特にヒートポンプ熱源の機器は事業者側の提案が強く、エアコンで暖房を行う方式はもっぱら事業者からの提案で選択されていると考えられる。一方、コストに関しては、設備によってイニシャルコストで決まる場合と運用コストで決まる場合とに分かれている。特にエアコンや電気ヒートポンプ給湯器は運用コストが最終決定要因になっているケースが多い。逆に、温水暖房(石油)や灯油ストーブ、電気式パネルヒーター、石油瞬間給湯器(従来型)など従来型の機器は、初期コストが優先しており、建築主側の提案によることが比較的多い傾向がわかる。

7. まとめ

本研究では、北海道内の住宅建設事業者を対象に新築戸建住宅の断熱および設備仕様の実態調査を実施し、一次エネルギー消費量の推定と設備仕様の選択要因に関する考察を行った。得られた主な結論は次のとおりである。

- (1) 各部位の断熱仕様の調査結果から外皮断面構成や各部位面積などを仮定し U_A 値の推定を行った。その結果、2012 年新築戸建て住宅で U_A 値基準を満たす割合は 1、2、3 地域それぞれで 89%、90%、99%と推定された。また、地域間で建物形状を同一とする仮定のもとでは、 U_A の平均値には地域差が見られるものの、気候による暖房負荷の差を埋め合わせるほどの断熱性能の違いはない。
- (2) 2011 年新築と 2012 年新築の戸建て住宅に採用された設備を比較すると、電気ヒーター式の設備の減少が顕著である一方、潜熱回収型のガス機器が大きく増加している。エアコンは採用率が小さいものの、暖房機器としての採用が増加している。
- (3) 設備仕様と事業者属性との関係を分析した結果、特に事業者所在地による設備仕様の違いが大きく、空知・石狩・後志で集中暖

図 14 設備(暖房・給湯)の選択要因(回答事業者の割合、N=513)

図 15 主な暖房・給湯設備の組み合わせと回答事業者数

図 16 暖房、給湯設備の組み合わせによる選択要因の傾向

房が多いこと、渡島・檜山、胆振・日高で暖房用のエアコンや電気ヒートポンプ給湯器の普及が進んでいること、上川・留萌・宗谷、オホーツク、十勝、釧路・根室で電気ヒーター式の機器が依然として多く採用されていることがわかった。

(4) 省エネルギー性能の判定プログラムを用いて各種仮定に基づき一次エネルギー消費量を推定した結果、暖房、給湯、換気の合計で省エネルギー基準を満たすのは、1、2、3 地域それぞれ 27%、60%、69%と、 U_A 値基準の達成率よりも低いことがわかった。特に、1 地域では電気ヒーター式の設備の使用割合が大きいことにより、一次エネルギー消費量が大きくなっている。

(5) 設備仕様の提案に際しては事業者に主導権があることがわかった。特に暖房用のエアコンなど新たな設備は事業者によって普及が進んでいると考えられることから、事業者に対して適切な情報を提供していくことが重要である。

なお、本研究で推定した U_A 値や一次エネルギー消費量は、建物形状や仕様の各種仮定に基づくものであり、省エネルギー基準に準拠した算定方法が複数示されている場合には、採用する算定方法によっても異なる結果が得られることに留意する必要がある。

謝辞

本研究は道受託研究「北海道型ゼロエミッション住宅に関する研究」の一環として実施した。また、調査に当たっては、道内の住宅建設事業者のみなさまに多大なご協力をいただきました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) エネルギーの使用の合理化に関する建築主等及び特定建築物の所有者の判断の基準，平成 11 年 3 月 30 日通商産業省・建設省告示第 2 号
- 2) 北方型住宅の設計と施工，北海道建築士会，p.78，1991.1
- 3) 立松宏一，福島明，鈴木大隆，月館司，廣田誠一，高倉政寛，池田裕雅：北海道における高断熱戸建て住宅の温熱環境とエネルギー消費の実態 熱損失係数が $1.3\text{W/m}^2\text{K}$ レベルの住宅を主たる対象とした調査，日本建築学会環境系論文集，No.679，pp.713-720，2012.9
- 4) 住宅事業建築主の新築する特定住宅の外壁，壁等を通しての熱の損失の防止及び住宅に設ける空気調和設備等に係るエネルギーの効率的利用のために特定住宅に必要とされる性能の向上に関する住宅事業建築主の判断基準，平成 21 年 1 月 30 日経済産業省・国土交通省告示第 2 号
- 5) 住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準，平成 25 年 1 月 31 日経済産業省・国土交通省告示第 1 号
- 6) フラット 35 住宅仕様実態調査報告，住宅金融支援機構，<http://www.jhf.go.jp/about/research/>，参照 2014.6.9
- 7) 砂川雅彦，小坂信二：断熱材出荷統計を利用した既築住宅の省エネルギー基準別戸数の推計手法，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.211-212，2005.9
- 8) ガス石油機器の販売実績と予測，日本ガス石油機器工業会，<http://www.jgka.or.jp/industry/toukei/kougyo-toukei/hanbai-jisseki/>，参照 2014.6.9 閲覧
- 9) 家庭用エアコン・業務用エアコン・ガスヒートポンプエアコン，家庭用ヒートポンプ給湯機の月ごとの国内出荷の推移，日本冷凍空調工業会，<http://www.jraia.or.jp/statistic/>，参照 2014.6.9
- 10) 岸田真一，中村美紀子，三浦尚志，桑沢保夫，石婷：アンケートによる住宅設備・機器の使用状況に関する実態調査，その 1 調査の目的・概要および調査方法，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.987-988，2010.9
- 11) 三浦秀一：全国における住宅の用途別エネルギー消費と地域特性に関する研究，日本建築学会計画系論文集，No.51，pp.77-83，1998.8
- 12) 福代和宏：二人以上世帯エネルギー源別年間消費量の地域性の要因，空気調和・衛生工学会論文集，No.145，pp.9-19，2009.4

- 13) 久米薫，海藤俊介，松野勉，横尾昇剛，岡建雄：住宅設備・部材の選択要因に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2，pp.1407-1408，2010.9
- 14) 立松宏一，廣田誠一，鈴木大隆，福島明：持続可能な地域のための住まいづくりに関する研究，その 11 北海道の新築戸建て住宅を対象とした断熱仕様調査，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.85，pp.223-226，2012.6
- 15) 立松宏一，廣田誠一，鈴木大隆，遠藤卓，福島明：持続可能な地域のための住まいづくりに関する研究，その 13 北海道の新築住宅の断熱・設備仕様調査，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.86，pp.229-232，2013.6
- 16) 平成 25 年住宅・建築物の省エネルギー基準解説書編集委員会：平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説（Ⅱ 住宅），建築環境・省エネルギー機構，2013.5
- 17) 堀江悟郎，荒谷登，本間宏，横平昭：木造住宅の自然温度，日本建築学会論文報告集号外，p.421，1966.10
- 18) 拡張アメダス気象データ 1981-2000，日本建築学会，2005.8
- 19) 北方型住宅の熱環境計画，北海道建築技術協会，2010.1
- 20) 家庭用ガス料金一覧表，経済産業省北海道経済産業局，<http://www.hkd.meti.go.jp/hokpg/infopen/kateiyou.htm>，更新 2013.12.5，参照 2014.6.9
- 21) 第 120 回（平成 25 年）北海道統計書，北海道 <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/tuk/920hsy/13.htm>，参照 2014.6.9
- 22) 灯油・LP ガス・ガソリン価格調査 2012 年 3 月分，北海道消費者協会，<http://www.syouhisya.or.jp/research.html>，参照 2014.6.9
- 23) 住宅・住戸の省エネルギー性能の判定プログラム Version 1.12，建築研究所，<http://house.app.lowenergy.jp/>，参照 2014.6.9
- 24) 高倉政寛，伊庭千恵美，遠藤卓，長谷川雅浩，鈴木大隆：持続可能な地域のための住まいづくりに関する研究，その 6 新築戸建住宅の属性（工法，仕様等），日本建築学会北海道支部研究報告集，No.84，pp.409-414，2011.7
- 25) 立松宏一，高倉政寛，月館司，鈴木大隆：北海道内の新築戸建て住宅の断熱・設備仕様実態調査，その 2 設備種別の実態把握と決定要因に関する考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学 I，pp.1005-1006，2014.9

注

- 注 1) 調査票の選択肢から熱伝導率が一意に決まらない主な断熱材について、断熱材の性能差がもたらす推定誤差の参考とするため、熱伝導率を複数ある規格値のうち本文の計算に使用した値から最も乖離した値に置き換えて平均 U_A 値を計算した結果を付表 1 に示す。変更前の平均 U_A 値（図 6 に記載の平均 U_A 値を小数点以下第 3 位まで記載すると $0.392\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ）に対し、それぞれの断熱材で熱伝導率を変更したことによる平均 U_A 値の変化は 1%以内である。
- 注 2) 2011 年 2 月に道内の住宅建設事業者を対象に実施した調査²⁴⁾では、木造軸組工法が 73.1%、枠組壁工法が 26.4%、その他木造が 0.5%の新築棟数割合となっているが、本調査では工法を尋ねていないため、すべて木造軸組工法の熱橋面積比率を用いた。なお、文献¹⁰⁾には熱貫流率の簡略計算方法として、木造軸組工法と枠組壁工法に分けて熱橋面積比率が示されており、すべて木造軸組工法の熱橋面積比率で算出した平均 U_A 値 $0.392\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ に対し、両工法の熱橋面積比率を用い上記の棟数割合による加重平均（その他木造は考慮しない）で算出した平均 U_A 値は $0.394\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ である。
- 注 3) U_A 値は建物外皮の各部位面積を用いて算出するため、実住宅の各部位面積の実態を反映させる必要がある。そこで、建築主から了解を得た北方型住宅を対象に各部位面積を図面から調査し計算に用いた。参考に、調査で得られた「断熱仕様（679 仕様）」と「各部位面積の組み合わせ（157 通り）」の一方を平均値で固定して計算した U_A 値の累積度数を付図 1 に示す。 U_A 値の度数分布や標準偏差は、住宅形状のばらつきを考慮したほうがより現実になく考えたため、図 6～図 7 の分析では住宅形状 157 通りで計算を行った結果を用いた。ただし、地域別の建物形状傾向の違いは反映できていない。
- 注 4) 各カテゴリーにおいて、当該カテゴリーと当該カテゴリーを除くその他カテゴリーをまとめた標本の 2 群で母平均の差の検定を行った。検定方法は Z 検定（両側）とした。なお、平均値や標準偏差は棟数を考慮して算出したが、p 値はサンプルサイズが大きくなるほど小さくなる傾向があるため、サンプルサイズは実回答数（図 7 は 679、図 12 は 471）と

して検定を行った。

注 5) 暖房一次エネルギー消費量を U_A 値の関数として表すため、 m_0 値の計算に必要な外皮の熱貫流率は調査データの線形回帰により U_A 値の一次関数で求めることとした。ガラスの日射熱取得率は本調査において Low-E 複層ガラスの採用率が 90%と大部分であったため、日射取得型の Low-E 複層ガラスの値 0.64 を用いることとした。取得日射量補正係数は、住宅の省エネルギー基準に準拠した簡易な計算方法として、庇の有無にかかわらず適用可能な定数が示されている¹⁰⁾。この係数は、暖房負荷が安全側（暖房負荷が増大する）で算出されるよう、日除けの条件が厳しく想

定されている。方位別面積は図 5 に示す住宅の平均値を用いた。

注 6) 文献 16)の p.909、p.924 に記載されている各社給湯機器の効率を参考に、平均的な値として設定した。

注 7) 付図 2 にエアコンと温水暖房（ガス潜熱回収型）を例に、 U_A 値と暖房一次エネルギー消費量の関係を示す。暖房一次エネルギー消費量は U_A の 2 次関数によりよく近似できるため、各地域区分で U_A の最小値、平均値、最大値の 3 点で暖房一次エネルギー消費量を算出して 2 次関数の係数を求めておき、計算に用いた。近似式の係数一覧を付表 2 に示す。

付表 1 断熱材の性能差による U_A 値推定への影響

断熱材の種類	熱伝導率置き換え前(本文の計算値)		熱伝導率置き換え後		④/②
	規格	熱伝導率 [W/(mK)](①)	規格	熱伝導率 [W/(mK)](③)	
高性能グラスウール	16K相当	0.038	24K相当	0.036	99.0%
ビーズ法ポリスチレンフォーム	特号	0.034	4号	0.043	100.9%
吹付けウレタンフォーム	A種1	0.032	A種3	0.040	100.5%

付図 1 U_A 値の累積度数

付図 2 U_A 値と暖房一次エネルギー消費量の関係（1 地域、熱交換なし）

付表 2 暖房一次エネルギー消費量の近似式の係数一覧（a、b、c は付図 2 中に記載の近似式の係数）

地域区分 熱交換機有無	1地域						2地域						3地域					
	なし			あり			なし			あり			なし			あり		
係数	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
温水(石油)	36,417	161,411	34,274	2,815	185,419	12,447	54,057	132,883	30,422	-3,571	170,497	8,672	7,070	117,831	22,981	-818	128,922	7,024
温水(電気ヒーター式)、電気式パネルヒーター	84,461	335,888	50,321	40,975	365,543	7,788	68,040	307,660	38,270	43,286	320,054	3,330	29,666	238,447	29,090	31,191	242,319	-61
温水(電気ヒートポンプ式)	-39,222	180,307	16,750	-39,115	189,107	-1,357	51,110	124,291	25,773	-36,034	186,880	-92	21,584	89,371	6,277	36,255	76,360	-1,740
温水(ガス従来型)	35,495	156,476	32,506	3,887	179,021	11,456	54,103	127,786	28,914	-1,798	164,015	7,907	7,330	113,900	21,631	310	123,984	6,315
温水(ガス潜熱回収型)	30,673	141,711	25,173	9,931	156,135	7,314	51,809	114,498	22,321	11,112	138,148	5,222	10,231	100,481	16,219	13,482	99,613	4,792
ダクト式セントラル空調機(ヒートポンプ式)	-53,984	195,336	26,061	-32,052	192,499	8,147	-24,679	148,557	19,103	-19,321	152,506	3,692	-25,332	123,245	7,453	-25,752	128,995	-5,284
電気蓄熱暖房器	103,728	358,204	50,340	59,553	387,668	4,104	78,265	327,247	36,035	65,161	330,068	55	35,932	253,859	26,147	42,971	252,443	-4,207
エアコン	72,767	57,265	32,959	22,289	93,644	16,307	71,111	42,476	26,252	-9,036	98,939	8,141	805	55,251	15,450	-9,027	68,839	5,588
灯油ストーブ	26,774	93,476	26,311	1,731	118,579	9,239	34,911	78,167	21,426	-3,698	109,364	5,164	2,867	68,827	15,365	-2,752	80,252	3,626
その他の暖房設備機器	32,511	167,386	34,155	3,386	188,549	12,413	48,976	139,780	30,212	-2,795	173,753	8,615	2,867	68,827	15,365	-2,752	80,252	3,626

THERMAL INSULATION AND EQUIPMENT PERFORMANCE
OF A NEWLY BUILT DETACHED HOUSE IN HOKKAIDO
Estimation of primary energy consumption and selection factors for house equipment

Koichi TATEMATSU^{}, Tomohito HIROTA^{**}, Masahiro TAKAKURA^{***},
Tsukasa TSUKIDATE^{***}, Hirotaka SUZUKI^{***} and Hirofumi HAYAMA^{****}*

^{*} Hokkaido Research Organization Northern Regional Building Research Institute, M. Eng.

^{**} Hokkaido Research Organization Northern Regional Building Research Institute

^{***} Hokkaido Research Organization Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

^{****} Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

The energy efficiency of housing depends largely on equipment and insulation specifications. In recent years in Hokkaido, housing units with very high thermal insulation performance have been built through various public incentives. Furthermore, there was a spike in fuel prices in 2008, and reductions in electricity consumption were required following the Great East Japan Earthquake of 2011. In 2013, the energy conservation standards for housing were defined by not only thermal insulation performance but also the primary energy consumption of heating, cooling, ventilation, lighting, and hot water supply.

Therefore, the policy framework for energy conservation in housing is currently undergoing rapid change, and is considered to be in a transitional phase. Hence, it is necessary to encourage contractors and householders to select appropriate insulation and equipment specifications, while achieving the complementary policy objectives on energy savings, energy infrastructure, and user needs.

In this study, we investigated the thermal insulation performance and equipment type in a newly built detached house in Hokkaido, and we conducted an estimation of primary energy consumption and considerations of the selection factor of house equipment specifications.

The results were as follows:

- (1) The insulation specifications obtained for each section of the insulation system were used to estimate the U_A value with regard to energy conservation standards. In 2012, the U_A criteria for newly built detached houses were achieved in 89%, 90%, and 99%, of cases in areas 1, 2, and 3, respectively. In addition, the average U_A value shows regional differences, but none compensate for the disparity in heating load due to climatic considerations.
- (2) A comparison of the equipment that was installed in 2012 and 2011 demonstrated that although there were significantly fewer installations of electric heaters, the quantity of condensing-type gas instantaneous water heaters greatly increased. Furthermore, the number of air conditioners for room heating was increased, despite the low penetration rate.
- (3) We analyzed the relationship between contractor attributes and equipment type. The choice of equipment type shows particularly large variation based on the contractors' location (subprefecture). Central heating is often used in Ishikari, Sorachi, and Shiribeshi. On the other hand, there is widespread use of heat-pump water heaters and room air conditioners for heating in Oshima, Hiyama, Iburi, and Hidaka, whereas electric heating equipment is often used in Kamikawa, Rumoi, Soya, Okhotsk, Tokachi, Kushiro, and Nemuro. It is plausible that these regional characteristics could result from climate, and from the rates and penetration of city gas.
- (4) We used a computer program for energy conservation standards to calculate primary energy consumption based on several assumptions. The achievement rates for primary energy consumption criteria were estimated to be 27%, 60%, and 69% in areas 1, 2, and 3, respectively. These achievement rates are lower than those for U_A . In particular, primary energy consumption increased in area 1, due to the large proportion of homes in which electric heaters were installed.
- (5) It was found that the contractor was responsible for selecting equipment specifications. Consequently, because contractors tend to specify newer types of home heating and hot-water equipment, it is important to provide them with appropriate information.

(2014年6月10日原稿受理, 2014年10月15日採用決定)