

北海道の高断熱・高気密住宅におけるセントラル暖房システムの 運転実態に関する調査

SURVEY ON THE ACTUAL OPERATION AND THE PERFORMANCE OF CENTRAL HEATING SYSTEM FOR HIGHLY INSULATED AND AIRTIGHT HOUSES IN HOKKAIDO

藤原陽三*, 絵内正道**, 鈴木憲三***, 羽山広文****

Yozo FUJIWARA, Masamich ENAI, Kenzo SUZUKI
and Hirofumi HAYAMA

In order to search trends in further energy saving in highly insulated and airtight houses in Hokkaido, Japan, an actual-condition investigation on a central-heating system fitted in five such houses, each with different methods of construction, was performed. The results were obtained as follows.:1)The equivalent leakage area value of a steel frame construction was $3.2\text{cm}^2/\text{m}^2$ that was less than a two-by-four construction($0.33\text{cm}^2/\text{m}^2$) and a conventional wood construction($1.1\text{-}1.7\text{cm}^2/\text{m}^2$).It is important to be improved air-tightness of steel frame construction houses by various construction methods. 2) Heat loss coefficient estimated from these experimental results was $0.94\text{-}1.59\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. To reduce energy consumption for heating,it will become more important to improve thermal-insulation properties and air tightness.3) The heating-system efficiency obtained from these experimental results was in the range of 72 to 93%. Although the ratio of actual boiler capacity to demanded heat-source capacity extrapolated from actual measurements ranges from two to three times,the effect on system efficiency was less than 10%.However it is necessary to include this 10% in the task of planning a heating system .

Keywords:central heating system,highly insulated and airtight house,heat loss coefficient of residential houses,boiler efficiency

セントラル暖房システム, 高断熱高気密住宅, 熱損失係数, ボイラ効率

1. はじめに

暖房・給湯用に多量のエネルギー消費を必要とする北海道においては、高断熱かつ高気密な省エネルギー住宅の普及が進んでいる。

しかし、このような住宅においては、暖房空間の広がりや室内温熱環境の安定化、給湯箇所数の増加などにみられる生活の向上等により、エネルギー消費が減少しない傾向が見受けられ、さらなる高断熱・高気密化の推進、建築計画上の日射利用、室温を下げるなどの暮らし方の転換、暖房システムの高効率化など、より一層の省エネルギー化を図る必要がある。

本調査は、省エネルギーに関心の高い住宅メーカーが提供している工法の異なる高断熱・高気密住宅5軒を選定し、高断熱・高気密住宅におけるさらなる省エネルギー化の方策を検討するために、詳細なモニター調査を実施したので、その結果を報告する。

2. 実測調査

2.1 調査対象住宅の選定

ハウスメーカー数社に事前に聞き取り調査を行ったところ、北海道においては、1998年時点で運用されていた平成4年の省エネルギー基準を上回る性能の住宅が既に建設されており、さらに引き続き高断熱・高気密化が進められているとのことであった。そこで、本調査では、平成4年基準のI地域の基準である熱損失係数 $1.74\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ を1割程度上回る $1.5\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 程度を調査対象住宅の選定基準とした。札幌では、一般に、 140m^2 程度の高断熱・高気密住

宅で年間の暖房用に1,500L程度(年間単位面積当たり10L強の消費量)の灯油が使用されているといわれており、ここでの選定基準はこれを上回る住宅性能を想定したものである。

世帯構成については、夫婦と子供2名程度の一般的な家族構成とし、測定期間中に子供が成人して家を出るなどの可能性が少ない高校低学年以下の子供がいることや、世帯主が地場企業勤務で通勤がないことなど、人員構成の変化の可能性が少ない世帯を選定した。また、構法は在来木造2戸、ツーバイフォー2戸、鉄骨造1戸とした。

2.2 調査世帯の概要

選定した調査対象住宅の概要を表1に示す。調査対象住宅の建設年次は、1997年がD邸、E邸の2戸、1998年がA邸、B邸、C邸の3戸であった。測定開始時に入居して間もない世帯がA邸、B邸の2戸、半年経過していたのがC邸、1年半経過していたのがD邸とE邸の2戸であった。

2.3 調査方法

(1) 暖房システム測定方法

暖房システムにおける計測点と計測間隔を表2に、計測フローを図1に示す。暖房システムの計測点は、ボイラから室内への往き返り温水温度と流量、灯油消費量、ボイラ電力量で、それぞれ2分間隔で計測を行った。

温水温度測定はシート状熱電対を用いた。また、灯油消費量測定はパルス発信機能付の灯油メーターを、ボイラの電力量測定はパルス発信機能のついた電力量計を用いた。

* 北海道大学大学院工学研究科 博士後期課程・修士(工学)

** 北海道大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)

*** 北海道工業大学工学部建築学科 教授・博士(工学)

**** 北海道大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)

Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., M. Eng.

Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

表1 モニター住宅の概要

仕様		A邸	B邸	C邸	D邸	E邸	
居住者	場所	江別市野幌	札幌市新琴似	千歳市文京	江別市見晴台	札幌市東苗穂	
	構法	在来木造	在来木造	ツーバイフォー	ツーバイフォー	鉄骨造	
	床面積	1階床面積	62.94 m ²	78.26 m ²	66.24 m ²	71.50 m ²	53.94 m ²
		2階床面積	62.94 m ²	50.93 m ²	59.62 m ²	64.05 m ²	49.50 m ²
		延床面積	125.88 m ²	129.19 m ²	125.87 m ²	135.55 m ²	103.44 m ²
	熱損失係数	1.49 W/(m ² ·K) (熱橋:未算入)	1.29 W/(m ² ·K) (熱橋:算入)	1.40 W/(m ² ·K) (熱橋:算入)	1.43 W/(m ² ·K) (熱橋:算入)	1.64 W/(m ² ·K) (熱橋:算入)	
	居住開始年月	1998年10月	1998年9月	1998年3月	1997年3月	1997年4月	
	家族構成	大人2人, 子供2人 (高校生1, 中学生1)	大人2人, 子供2人 (幼稚園1, 幼児1)	大人2人, 子供3人 (小学生1, 幼児2)	大人2人, 子供1人 (幼児1)	大人2人, 子供2人 (幼稚園1, 幼児1)	
住まい方	共働き	夫人と子供が在宅	夫人と子供が在宅	共働き(夜勤あり)	夫人と子供が在宅		
周囲の状況		両隣住宅無し	両隣住宅有り	両隣住宅無し	両隣住宅有り	両隣住宅無し	
暖房機器	暖房ボイラ	熱源	灯油	灯油	灯油	灯油	灯油
		定格出力	8.14kW	10.47kW	11.40kW	7.56kW	6.28kW
		循環ポンプ	10L/min×5m	15L/min×5m	40L/min×5m	10L/min×5m	15L/min×5m
		実循環水量	約14 L/min	約8 L/min	約20 L/min	約11 L/min	約15 L/min
		燃烧方式	ガス化比例制御	ガス化2段燃烧	ガス化比例制御	セミガス化	ガス化2段燃烧
		灯油消費量	0.965~0.405 L/h	1.214~0.728 L/h	1.4~0.9 L/h	0.9 L/h	0.728~0.485 L/h
		消費電力(燃烧時)	72 W	33 W	105 W	150 W	28 W
	消費電力(点火時)	600 W	685 W	600 W	165 W	685 W	
	放熱器(温水パネルヒーター)設置数	11ヶ所	8ヶ所	11ヶ所	8ヶ所	9ヶ所	
	給湯蛇口個数	4ヶ所	5ヶ所	6ヶ所	6ヶ所	4ヶ所	
設備 換気	換気方式	第3種	第1種	第3種	第3種	第3種	
	換気種類	セントラル	セントラル	セントラル	セントラル	セントラル	
	運転	24時間運転	24時間運転	24時間運転	24時間運転	手動ON-OFF	

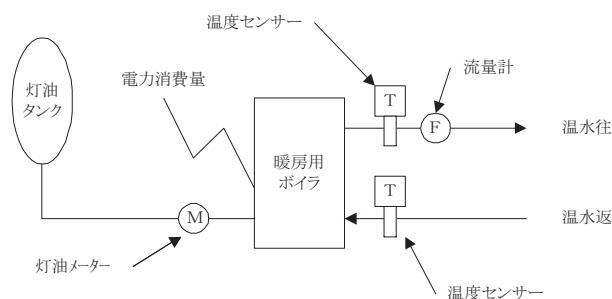


図1 暖房システム測定フロー

分間隔で温湿度を測定した。また、外気温度についても、小型温度ロガーを日射の影響を受けない場所に設置し、30分間隔で測定した。ただし、MRT算出に必要な周壁平均温度測定は、モニターへの負担が大きいためここでは行っていない。

(3) 気密性能及び換気状況測定

各住戸の気密性能測定を減圧法で行った。また、各住戸間の換気性状の目安として居間を対象にして「ガス濃度減衰法」によって自然換気回数を推定した。トレーサーガスは二酸化炭素を用いた。

さらに、各住戸の機械換気風量の測定を行った。測定は換気風量測定用のボックスを用い、外壁に設けられた給排気口の風量を熱線風速計で測定し、風量を算出した。

2.4 測定期間

測定期間は、1998年10月から2000年3月までである。

2.5 調査結果

(1) 気密性能と換気性状

各住戸の相当隙間面積、居間換気回数、常時の機械換気風量測定結果を表3に示す。相当隙間面積は、D邸(ツーバイフォー)が最も小さく0.33cm²/m²となっており、気密性が高い。次いで、A邸(在来木造)の1.13cm²/m²、B邸(在来木造)1.52cm²/m²、C邸(ツーバイフォー)1.72cm²/m²となっており、E邸(鉄骨造)は3.23cm²/m²と比較的大きな値であった。また、A邸からC邸の居間の換気回数は、機械換気を運転した状態での測定であり、D邸は、測定器具と屋外の排気口の形状が折り合わず、測定が出来なかったが、機械換気は常時行われていた。また、E邸は、常時、換気を行っていなかった。測定結果、換気回数は、D邸とE邸は0.5回/hとなっており、A~C邸は0.2回/h未満であった。

表2 計測項目と測定器, 測定間隔

計測項目	測定機器	測定間隔
温水温度	シート状熱電対(T-CC熱電対)	2分
ボイラ灯油消費量	ギヤ式灯油メーター(オーバル:LSN40)	2分
ボイラ電力量	積算電力量計(コーナー札幌)	2分
温水流量	羽根車式流量計(愛知時計電機:ND20)	2分
室内温湿度	小型温湿度ロガー(ティアンドデイ:TR-72)	30分
外気温度	小型温度ロガー(ティアンドデイ:TR-51)	30分
風量測定	風量測定器(コーナー札幌:KNS-230)	-

(2) 室内温湿度, 外気温度

北海道のセントラル暖房の住宅では玄関や廊下、洗面、トイレなどにも温水パネルヒーターが設置されることが多く、住戸全体が暖房空間となっている。また、廊下や階段などの移動空間は居間空間と一体とすることも多く、暖房されない非居室は少ない。ここでは、住戸内の温湿度を代表する空間として、各住宅とも居間、廊下、和室、子供部屋、寝室等の4~5室に小型温湿度ロガーを設置し、30

表3 相当隙間面積, 居間換気回数, 常時機械換気風量

住宅名と構法	A邸(在来木造)	B邸(在来木造)	C邸(ツブイフォー)	D邸(ツブイフォー)	E邸(鉄骨造)
相当隙間面積 [cm ² /m ²]	1.13	1.52	1.72	0.33	3.23
居間換気回数 ^{※1} [回/h]	0.13	0.19	0.12	0.52	0.53
機械換気風量 [m ³ /h]	60	160	94	未測定	未測定

※1. 居間換気回数は機械換気を運転中に得たものである。

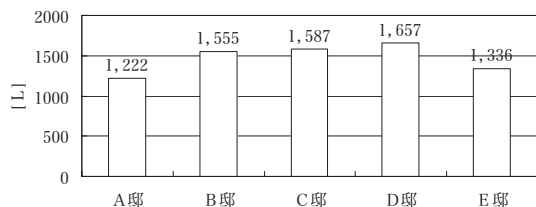


図2 年間暖房用灯油消費量

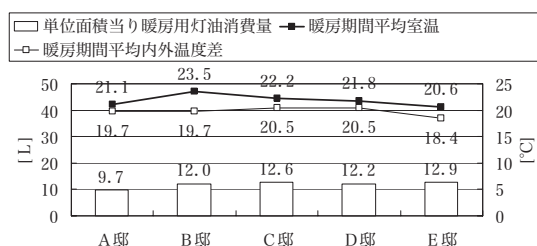


図3 年間単位面積当り暖房用灯油消費量, 暖房期間平均室温と平均内外温度差

測定当時は建築基準法による換気量の確保の義務はなかったが、D邸では現行基準法で規定されている0.5回/hの換気回数が常時確保されていた。

(2) 暖房用灯油消費量と平均室温, 平均内外温度差

各戸の月別暖房用灯油消費量と平均室温を表4に、年間暖房用灯油消費量の実績を図2に、単位面積当り灯油消費量と暖房期間平均室温及び平均内外温度差を図3に示す。5戸のモニター住宅の暖房期間は、概ね、10月から翌年の5月までの、実質7ヶ月間であった。暖房期間平均室温は、20.6~23.5°Cとなっている。また、暖房期間平均内外温度差は、18.4~20.5°Cとなっており、平均室温の低いE邸が最も小さくなっている。

年間の暖房用灯油消費量はA邸が最も少なく1,222L/年で、最も多かったのがC邸の1,657L/年であった。単位面積当りの暖房用灯油消費量についてみてもA邸が9.7L/年と最も小さい。これは、A邸が気密性能が高く、換気量が比較的少なく、室温が低く保たれたためである。

表4 月別暖房用灯油消費量と平均室温

年月	A邸		B邸		C邸		D邸		E邸	
	灯油消費量 [L]	月平均室温 [°C]	灯油消費量 [L]	月平均室温 [°C]	灯油消費量 [L]	月平均室温 [°C]	灯油消費量 [L]	月平均室温 [°C]	灯油消費量 [L]	月平均室温 [°C]
1999年4月	114.1	21.6	128.8	24.4	182.0	22.4	173.6	23.2	120.9	21.2
5月	46.3	20.9	62.9	24.1	92.9	22.6	115.3	23.4	56.8	21.3
6月	0.0	-	0.9	-	6.0	-	7.6	-	0.0	-
7月	0.0	-	0.0	-	0.0	-	1.1	-	0.0	-
8月	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-
9月	3.3	-	4.7	-	6.7	-	18.2	-	0.0	-
10月	49.7	21.3	90.7	24.9	97.5	23.1	112.9	22.8	40.2	20.8
11月	148.5	20.9	180.1	24.1	197.5	22.6	192.0	22.1	143.1	20.7
2000年12月	244.7	21.1	281.1	22.2	264.3	21.8	271.3	21.0	256.7	19.5
1月	238.5	20.9	296.6	22.8	271.1	20.8	282.0	20.4	279.6	20.2
2月	201.8	20.7	276.2	22.8	256.2	22.1	267.6	21.0	243.1	20.8
3月	175.4	21.0	233.0	22.3	213.0	22.2	215.6	20.3	195.9	20.6
合計	1,222.3	21.1	1,555.0	23.5	1,587.2	22.2	1,657.2	21.8	1,336.3	20.6

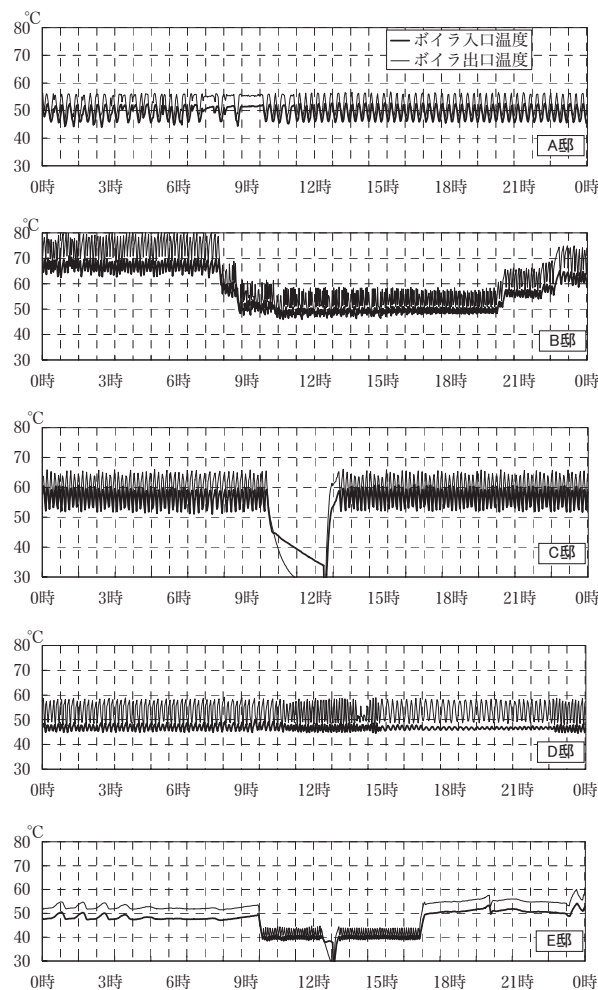


図4 ボイラ出入口温度変動(1月30日)

めである。D邸は、他の4戸と比べ気密性能が高いが、常時換気を行いつつ換気量を多く設定していたこと、共働きであり、どちらも夜勤があるため家にいる時間が短く内部発生熱が少なかったことなどが要因となり、単位面積当りの暖房用灯油消費量が大きくなっている。D邸で熱交換換気が採用されていれば、暖房用灯油消費量はより少なくなったと思われる。

全体的に、単位面積当りの暖房用灯油消費量は、住宅性能から期待される値より大きくなっている。これは、測定年が例年よりも寒冷であったこと、モニター住宅の室温が高めに維持されたことがその要因として挙げられる。

(3) 暖房システム運転状況

モニター住宅における1月30日のボイラ入口及び出口の温水温度変動を図4に示す。この日は、ほぼ1日を通して0°C以下となった寒い日であり、各住宅のボイラはほぼ一日中運転されている。各住宅のボイラ出入口温水温度変動をみると、E邸の一定時間及びA邸の僅かな時間を除いて、全てノコギリ状の温度変動をしており、ボイラが頻りに on-off を繰り返しているのが分かる。

各住戸のボイラは、A邸、C邸が100%から60%程度の負荷率で比例制御が行われるガス化比例制

御方式のものが使用されており、B邸、E邸では、100%—60%—0%とステップ上に制御されるガス化2段燃焼方式のボイラが採用されている。D邸は、ガス化方式に比べ点火時の消費電力の小さいセミガス化方式のボイラが設置されている。ガス化比例制御ボイラは、比例制御範囲内では負荷に応じた容量で運転されるが、その範囲を下回った場合は、on-off 運転となる。住宅の実負荷よりも大きな容量のボイラが設備されており、さらに、比例制御範囲以下の負荷が主であったため on-off 運転となり、ノコギリ状の温度変動となったものである。

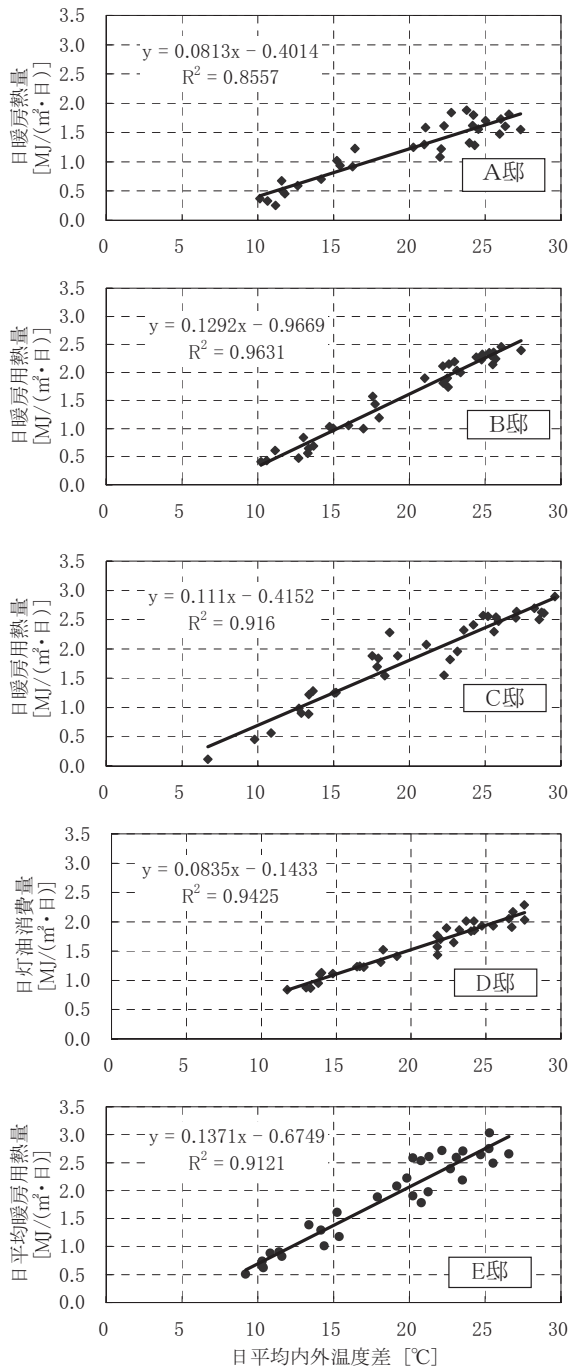


図5 週単位日平均内外温度差と日平均暖房用熱量の関係(日によるバラツキを防ぐため、日平均値を週単位に集計し、週7日で割返したもの)

また、B邸、E邸では日中温水温度が下げられているが、これは、室温が上昇したため、住まい手が随時送水温度を下げたものである。また、外気温度の比較的高い暖房開始時期や終了時期などは、夜間はボイラを停止しているところも多い。このような居住者の行動は、過去の経験から灯油消費量を一定の範囲内に収めようとする意識から生じている。

(4) 自然温度差と熱損失係数

各戸の10月1日から翌年3月31日までの週単位の日平均暖房熱量と日平均内外温度差の関係を図5に示す。週単位の日平均としたのは週中、週末の生活様式や、日による日射や内部発生熱のバラツキを抑えるためである。日平均内外温度差と日暖房熱量の回帰直線を図中に示す。各邸とも日平均内外温度差と日平均暖房熱量とは、強い相関関係にあることが分かる。

図の回帰直線の傾きは内外温度差1°C当りの暖房熱量、即ち、建物の熱損失係数を表し、また、横軸切片は無暖房時の室温上昇、即ち、自然温度差を表す。それぞれの回帰直線から求めた自然温度差と熱損失係数を表5に示す。

回帰直線から求めた自然温度差は、B邸が7.5°Cと最も大きくなっている。これは、子供が小さく洗濯等の給湯や風呂追焚の頻度が多く、それが内部取得熱要因となっていること、また、吹き抜けとなっている居間の大きな窓から十分な日射が確保されていたことによる。D邸の自然温度差が小さいのは、共働きであるため日中ほとんど人がいなかったこと、隣家の住戸が近接し、日照があまり良くなかったことによる。また、A邸の自然温度差が4.9°Cと比較的大きいのは、周囲が空き地で日照が良かったためである。

回帰直線から求めた熱損失係数は、B邸を除く住戸で計画値のものよりも小さな値となっている。これは、A、C邸に関しては、換気量が0.1~0.2回/hと少ないこと、E邸は常時換気が行われていなかったことが要因としてあげられる。また、D邸は、常時、機械換気で0.5回/hの換気が確保されていたが、表3に示したように、D邸の気密性能が他よりも高いことから伺えるように、気密性の確保しやすいツーバイフォー構法であったことや精度の高い施工が行われたため、高い断熱性と気密性が達成されている。

表5 週単位日平均内外温度差と暖房消費熱量の関係から求めた自然温度差と熱損失係数

住宅名	A邸	B邸	C邸	D邸	E邸
自然温度差 [°C]	4.9	7.5	3.7	1.7	4.9
熱損失係数 [W/(m²・K)]	0.94	1.49	1.28	0.97	1.59

(5) 日射量による自然温度差

図6は、B邸について札幌管区気象台における全天日射量の10MJ/(m²・日)未満の日とそれ以上の日の日平均内外温度差と日平均暖房熱量の関係をみたものである。10MJ/(m²・日)で分けたのは、この年の暖房期間の平均全天日射量がおおよそ10MJ/(m²・日)であったためである。

全天日射量が10MJ/(m²・日)以上ある日の自然温度差は7.6°Cであり、10MJ/(m²・日)未満の日は6.1°Cとなっており1.5°Cの差がある。この差は、図2に示したB邸の暖房期間平均内外温度差の8%

に相当する。したがって、省エネルギーのためには、冬期の日射の確保は極めて重要である。

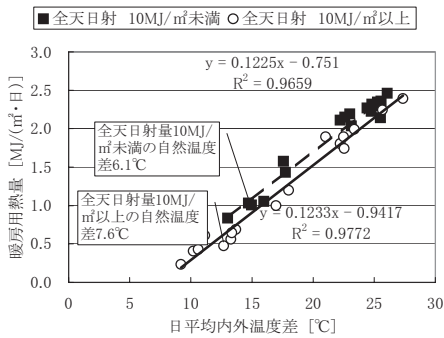


図 6 B邸の全天日射量の違いによる週単位日平均内外温度差と日平均暖房用熱量の関係（日によるバラツキを防ぐため、日平均値を週単位に集計し、週 7 日で割返したもの）

(6) 暖房システムにおける部分負荷とボイラ効率

ボイラの定格灯油消費量に対する時間平均灯油消費量を灯油負荷率と呼ぶこととする。灯油負荷率とボイラで消費された灯油のみを対象としたボイラ効率の関係と、灯油消費量と電力量の両方を対象としたボイラ総合効率の関係を、1 時間平均、24 時間平均、72 時間平均でみたものを図 7～9 に示す。

1 時間平均でみた図 7 では、全体的にバラツキが大きくなっている。一般に温水セントラル暖房システムでは、いくつかの系統に分けて配管されており、各系統の負荷は一定ではなく、また、温水の流れも放熱器に設けられた自力式のバルブによって制御され複雑な

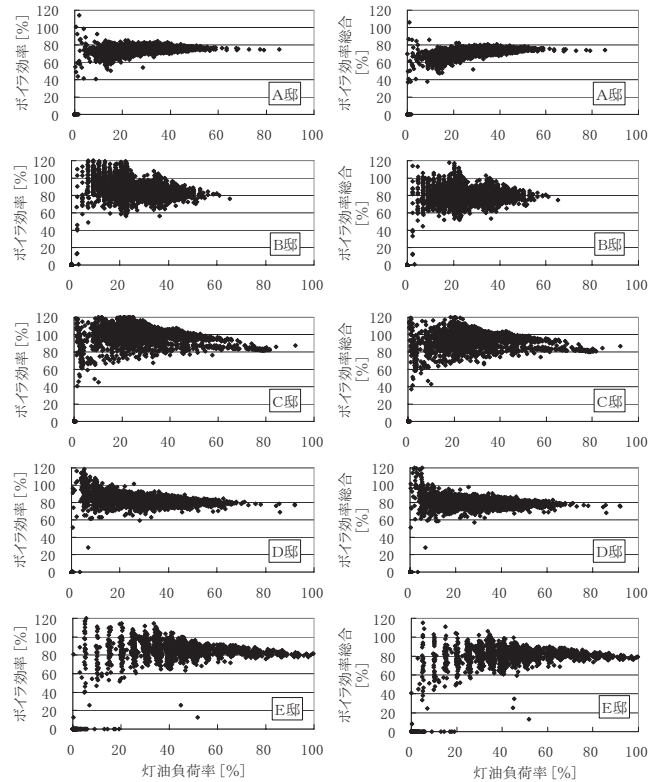


図 7 定格灯油消費量に対する 1 時間平均灯油負荷率と灯油消費のみを対象としたボイラ効率と電力量を含むボイラ総合効率

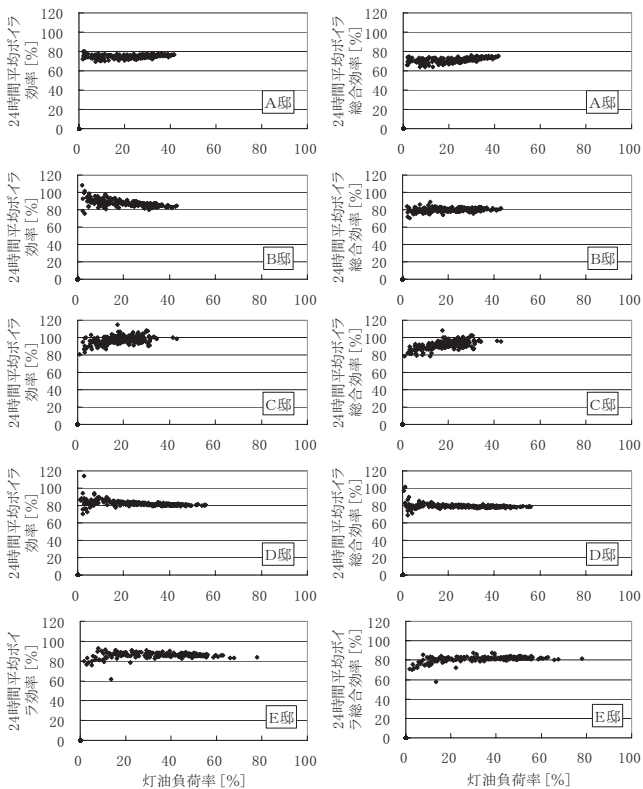


図 8 定格灯油消費量に対する 24 時間平均灯油負荷率と灯油消費のみを対象としたボイラ効率と電力量を含むボイラ総合効率

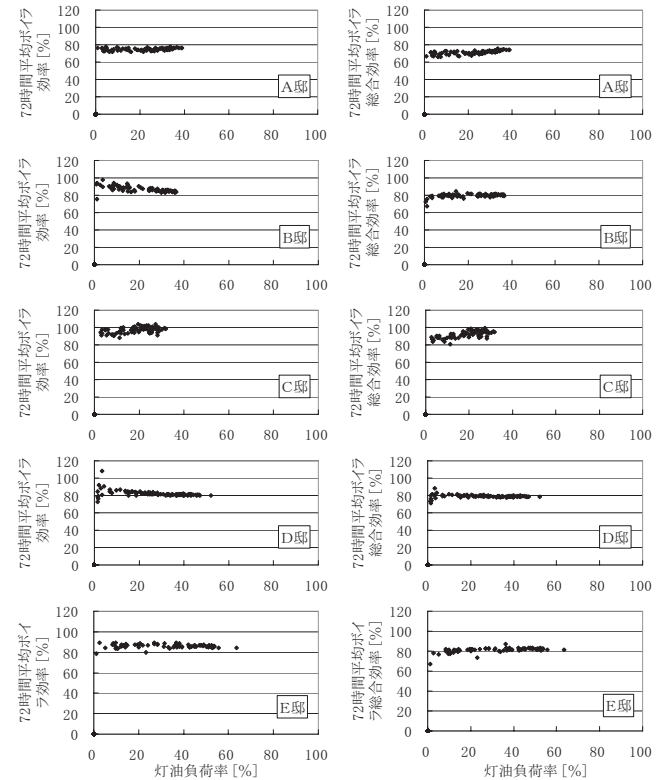


図 9 定格灯油消費量に対する 72 時間平均灯油負荷率と灯油消費のみを対象としたボイラ効率と電力量を含むボイラ総合効率

系となっており、この時間遅れの影響を取り除くためには長いタイムスパンで解析を行うことが有効である。

そこで、ここでは、システムの時間遅れの影響を取り除くために長時間について整理した。24時間で整理した図8と、72時間で整理した図9では、時間遅れの影響が小さくなっており、C邸を除き、ボイラ効率率は80%前後に収斂している。灯油消費のみを対象としたボイラ効率と電力量を含むボイラ総合効率を比べると、灯油負荷率の高いところではほぼ同じであるが、灯油負荷率の低いところではボイラ総合効率率が灯油消費のみの効率より低くなっており、ボイラの電力消費量の影響を受けていることが分かる。

モニター住宅のボイラは全て灯油をガス化するもので、着火時はガス化のための灯油加熱に電気ヒーターが使用される。ボイラで使用される電力量の多くが灯油加熱用の電力量であると思われる。電気ヒーターは炉内部に設置されているため、灯油加熱用の電気は結果的に温水加熱に使用されたとみてよい。

さらに、図8, 9では、一般に予想される、灯油負荷率の低いところにおけるボイラ効率の低下はみられない。

灯油ボイラの場合、ボイラ温水入口温度が設定値以下になると燃焼が開始され、温水出口温度が設定値になるまで燃焼が続けられる。この1サイクルの運転は、図10に示すように、燃焼が開始されてから温水出口温度が設定値になるまで一定時間(図10のA邸では10分程度)定格燃焼が継続される。このため、燃焼開始時の低い効率はその後の定格燃焼によって吸収され、定格効率に近いボイラ効率が確保される。灯油負荷率が低い場合でも、この1サイクルの運転が基本となっているため、ボイラ効率は低下しない。もちろん、灯油負荷率が高い場合は、定格燃焼時間が長くなるため、ボイラ効率はさらに定格効率に近くなる。

また、C邸の効率が高くなっているが、これは熱電対等の僅かな測定誤差の影響によるものと思われる。

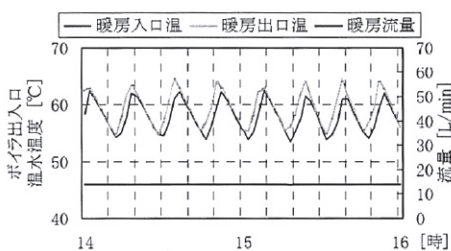


図10 A邸のボイラ出入口温水温度変動と循環流量

(7) 年間ボイラ効率

年間暖房熱量と年間暖房用灯油消費量、年間ボイラ使用電力量を用いて、灯油のみを対象とした年間ボイラ効率と、電力量を含む年間ボイラ総合効率を算出した。結果を表6に示す。

年間ボイラ効率は、C邸が最も高いが、前述のように測定誤差が考えられることから、C邸以外の4住戸について考察を行う。

C邸以外の4住戸で最もボイラ効率の高いの

はB邸とE邸で86%となっている。しかし、電力量を含む年間ボイラ総合効率は、連続燃焼が多く、灯油ガス化用電力量が少ないE邸の方が1.6%高い81.8%となっている。また、灯油ガス化にあまり電力を使用しない方式のD邸では、ボイラ単体の効率は81.5%とB邸、E邸より低いが、ボイラ総合効率は79%と、B邸とほぼ同じ値となっている。ボイラで使用される電力量は、年間500kWhから1,100kWhとなっており、灯油と電力量を合わせた年間投入熱量の2~6%を占めている。

E邸のボイラ容量は、実測結果から算出した必要熱源容量の1.3倍となっており、モニター住宅の中で最も小さく、連続暖房に適した容量であったため効率が高くなっている。B邸は、ボイラ容量が実測で求めた必要熱源容量の1.8倍となっているが、ガス化2段燃焼方式(0%-60%-100%制御)のボイラを使用しており、この種のボイラはメーカーへの聞き取り調査によると60%時の運転効率がよく、on-offの頻度の多いB邸では60%程度での運転が長かったため効率が高くなったと考えられる。しかし、発停が頻繁に行われた結果、電力量が最も多くなっており、ボイラ総合効率はE邸を下回っている。

一方、A邸の効率が低いのは、熱源容量が必要容量より2.3倍と大きかったためである。

また、ガス化にあまり電力量を必要としないセミガス化ボイラを使用するD邸の電力量を他の住戸と比較すると、電力量の差は大きく、電気料金にすると発停の多いB邸とでは年間約1万4千円の差

表6 年間暖房用ボイラ効率の算出

モニター住宅	A邸	B邸	C邸	D邸	E邸
①年間暖房用灯油消費量[L]	1,222	1,550	1,583	1,657	1,336
②年間ボイラ使用電力量[kWh]	540	1,141	816	519	683
③年間投入熱量 ^(注1) (=①×36.7MJ/L+②×3.6MJ/kWh)[MJ]	46,798	61,002	61,049	62,698	51,504
④年間投入熱量における電力量の占める割合[%]	4.2	6.7	4.8	3.0	4.8
⑤年間二次側暖房熱量[MJ]	33,626	48,906	56,929	49,561	42,135
⑥年間ボイラ効率(=⑤÷(①×36.7MJ/L))[%]	75.0	86.0	98.0	81.5	85.9
(参考)カログによる定格効率[%]	82.7	84.6	79.9	82.4	84.6
⑦年間ボイラ総合効率(電力量含むボイラ効率)[%]	71.9	80.2	93.3	79.0	81.8
⑧年間ボイラ総合効率における電力量の寄与率[%](=②×3.6MJ/kWh÷③×⑦)	3.0	5.4	4.5	2.4	3.9
⑨実測から得られた熱損失係数を用いて算出した必要熱源容量 ^(※1) [kW]	3.55	5.79	4.85	3.93	4.93
⑩既設ボイラ能力と必要熱源容量の比(=表1ボイラ定格出力÷⑨)	2.3倍	1.8倍	2.3倍	1.9倍	1.3倍
⑪設計計算熱損失係数から算出した熱源容量 ^(※1) [kW]	5.63	5.00	5.29	5.82	5.09
⑫既設ボイラ能力と設計計算熱損失係数から求めた熱源容量との比(=表1ボイラ定格出力÷⑪)	1.4倍	2.1倍	2.2倍	1.3倍	1.2倍
⑬D邸との年間ボイラ使用電力量の差[kWh]	21	622	297	-	164
⑭⑬の使用電力量差による電力料金の差額 ^(注2) [円/年]	472	13,970	6,670	-	3,683

(注1) 灯油発熱量は、36.7MJ/Lとした。

(注2) 電力料金は22円46銭(北海道電力 従量電灯料金 120~280kWhまでの料金)とした。

(※1) 室温20°C、外気温-10°Cとし(内外温度差30°C)として算出した。

となっている。このように経費の観点からも熱源容量の適正化と燃焼等に係わる電力量の削減が必要である。

以上のことから、効率の良い運転を行うためには、必要熱源容量に近い容量のボイラを選定することが、重要になってくる。

(8) 暖房熱源容量設定の考え方について

設計時計算熱損失係数を用いて内外温度差を 30℃（外気-10℃、室内 20℃）として求めた熱源容量（以降、計算熱源容量とする）と既設ボイラ能力の割合を表 6 に示す。B 邸、C 邸は計算熱源容量の 2 倍以上となっているが、A 邸、D 邸、E 邸は 1.2~1.4 倍の容量となっており、ボイラ容量算定において計算熱源容量に対し極端な割増はみていないことがわかる。同じ表 6 に示した実測から推計して得られた熱損失係数を用いて算出した必要熱源容量と比べると、施工が良く設計値より実測推計値の方が小さくなっている A 邸、D 邸では、結果的にボイラ容量が必要容量の 2 倍前後と過大となったため、年間のボイラ効率が若干低くなっている。

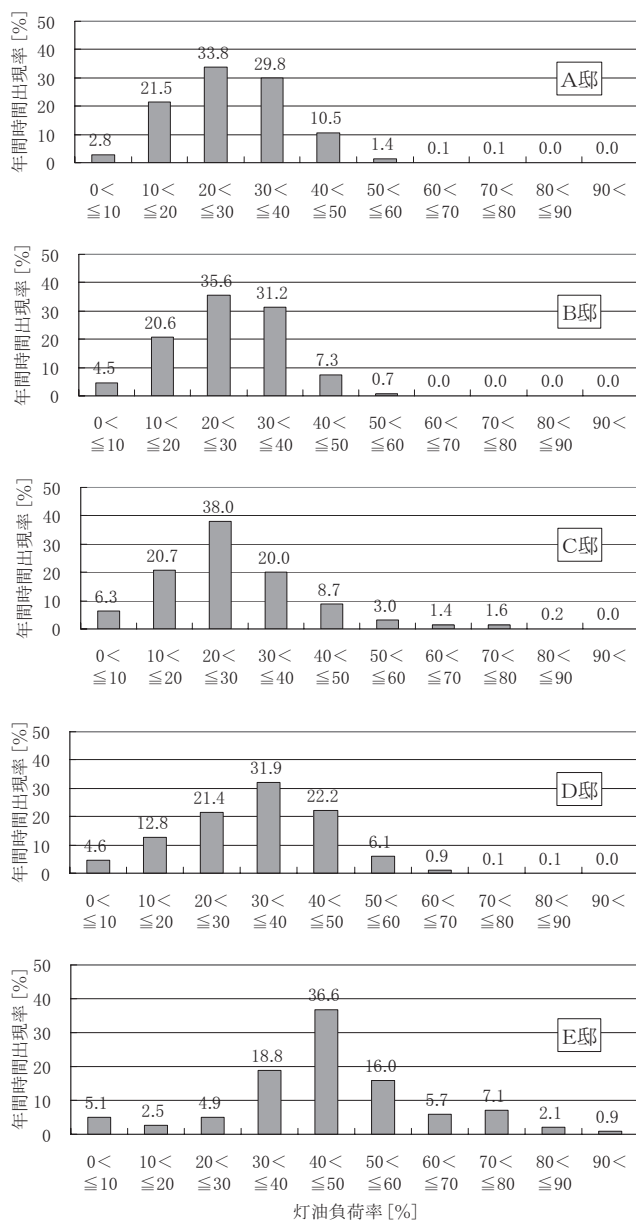


図 11 灯油負荷率と年間時間出現割合

適正な暖房用熱源容量設定のためには、建設される住宅の熱的性能を正確に把握することが重要である。

年間の時間毎の灯油負荷率と出現時間割合を示した図 11 を見ると、ボイラ容量が大きい A 邸、B 邸、D 邸では灯油負荷率 50% 以下での運転が 9 割以上を占めており、ボイラ容量はかなり余裕があることが分かる。ボイラ容量が必要熱源容量に近い E 邸は、ボイラ負荷率が 50% を超える運転時間が 32% を占めており、他の住宅では見られない 90% 以上の運転も見られるが、90% 以上の年間運転時間割合は 1% 以下であり、この容量でも余力がある。C 邸がボイラ負荷率 50% 以上のところでの運転がみられるのは間欠運転によるためである。

以上のことより、設計時における熱源容量の選定においては、E 邸に見られるように 2~3 割の余裕を見込むことで十分な容量が確保される。このように熱源容量の割増を小さくすることによって、ボイラ容量の多少の違いによるコスト差は僅かであるためイニシャルコストの大きな削減は期待できないが、若干のコスト削減と、年間のボイラ効率の向上による省エネルギー効果が期待できる。また、頻繁な on-off による電気消費量の削減を図ることも可能である。

また、C 邸のように間欠運転を行う住宅においては、暖房時間の 98% はボイラ負荷率 70% 以内に入っていることから、ボイラ容量の 7 割程度の容量（ボイラ容量 11.04kW × 70% = 7.73kW）で暖房負荷に対応することが出来る。この容量は表 6 の実測から得られた熱損失係数を用いて算出した熱源容量の 1.6 倍の容量に相当しており、間欠運転においては必要熱源容量に対し 6 割程度の割増で十分な容量が確保できる。

3. まとめ

本調査では、寒冷地に建つ平成 4 年の省エネルギー基準の性能を上回る高断熱・高气密住宅における住宅性能及び暖房システムの実測調査を行い、以下の結果が得られた。

(1) 実測住宅の相当隙間面積

鉄骨造は一般に構法上気密性能を確保することが難しいが、本調査で測定した相当隙間面積においてもツーバイフォー構造の D 邸が 0.33cm²/m²、在来木造の A 邸、B 邸が 1.1~1.7cm²/m²であったのに対し、鉄骨造の E 邸は 3.2cm²/m² と大きかった。今後、様々な工夫により気密性能を向上させる必要がある。ただし、気密性能の高い住宅においても換気量の確保が必要であり、多量のエネルギー消費が予想されることから、熱交換換気などの省エネルギー手法の採用が欠かせない。

(2) 住宅の熱的性能と自然温度差

平均内外温度差と暖房熱量から算出した熱損失係数は 0.94~1.59W/(m²・K) となっており、熱損失係数の最も小さな住宅（A 邸）の暖房用灯油消費量が最も少なかった。しかし、一方で、A 邸と熱損失係数が同値の D 邸は暖房用灯油消費量がモニター住宅中最大となった。これは、A 邸に比べ日射が少なく、また、共働きであったため内部発生熱も少なく、自然温度差が小さかったためである。暖房用エネルギー消費を少なくするためにはさらなる高断熱・高气密化に加え、地域特性（日照時間）や日射受熱量に対する建物の方位に対する配慮等をより一層高めなければならない。

(3) 住まい方と暖房用灯油消費量

暖房期間は7ヶ月に及び年間灯油消費量は1.2~1.6kLであった。居住者は家計負担を考慮して、灯油消費量がこの範囲内に収まるように、室温が高いときは送水温度下げたり、外気温の高い時期は夜間にボイラを止めるなどの暖房行動を取っている。気密性能が低く熱損失の大きな住宅では、常時使用していない部屋の室温設定を低くするなどして、年間暖房費用の増大を避けている。しかし、一方で、灯油消費量を少なくすることの可能な熱的性能の高い住宅において、全室で高い室温設定を行っているために灯油消費が削減されない状況が多々見受けられる。したがって、熱的性能の高い住宅においても、暖房用エネルギー削減のためには、室温管理の徹底が重要になってくる。

(4) 熱源容量の考え方

設計時における熱源容量の選定においては、E邸に見られるように2~3割の余裕を見込むことで十分な容量が確保される。また、設計熱源容量に対する割増を小さくすることによって若干のインシヤルコストの低減と、ボイラ効率の向上による省エネルギー、並びに頻繁なon-offによる電気消費量の削減を図ることができる。C邸のように間欠運転を行う住宅においては、必要熱源容量に対し6割程度の割増で年間のほぼ全ての暖房負荷に対応することが可能である。

(5) ボイラ効率

実測結果から得られたボイラ総合効率は72~93%であった。実測結果から推計した必要熱源容量と実際のボイラ能力の割合は1.3~2.3倍となっていたが、必要熱源容量に対する割増の違いによるボイラ総合効率への影響は1割に満たなかった。しかし、今後の省エネルギー設計を考えると、この1割を暖房設備計画の課題にする必要がある。

また、ほとんどの実測住戸において、過大な熱源容量による頻繁な発停が観察された。頻繁な発停は、機器寿命の短縮、電力消費と電気料金の増大、ボイラ総合効率の低下に結びつく。適正熱源容量の選定、低出力機器の開発や低電力でガス化が可能な機器等の開発が必要である。

謝辞

本調査は、(株)石油産業技術研究所の委託調査事業によって実施したものです。北海道の高断熱・高気密住宅における暖房システムの実態把握を行うための貴重な機会を与えて頂きました。ここに記して謝意を表します。

また、モニター調査においてお世話になりました関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 荒谷登：住居の熱環境計画への研究，1973.9
- 2) 足立直之，赤林伸一，吉野博，真保聡裕，坊垣和明，澤地孝男：住宅におけるエネルギー消費量と住まい方に関する実態調査 新潟市におけるエネルギー需要構造に関する研究 その1，日本建築学会計画系論文集，No.465，pp.49-59，1994.11
- 3) 吉野 博，長友宗重，石川善美，松本真一：戸建住宅8棟の熱損失係数に関する同時測定と設計値との比較，日本建築学会計画系論文集，No.473，pp.7-14，1995.7

- 3) 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，D-2，pp.1003-1004，2000.9
- 4) 長谷川兼一，吉野博，松本真一：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，日本建築学会計画系論文集，No.557，pp.49-56，2002.7
- 5) 長谷川兼一，吉野博，石川善美，松本真一，源城かほり，竹内仁哉：熱環境から見た冬期の居住性能に関する地域特性の推移 東北地方都市部を対象とした20年間の変化，日本建築学会環境系論文集，No.593，pp.33-40，2005.7
- 6) 村上周三，坊垣和明，田中俊彦，羽山広文，吉野博，赤林伸一，井上隆，飯尾昭彦，鈴木修一，尾崎明仁，石山洋平：全国の住宅80戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査 対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量，日本建築学会環境系論文集，No.603，pp.93-100，2006.5
- 7) (株)藤原環境科学研究所：(株)石油産業技術研究所委託調査事業 平成11年度北海道における灯油有効利用に関する調査報告書，2000.3
- 8) (株)藤原環境科学研究所：(株)石油産業技術研究所委託調査事業 平成12年度北海道における灯油有効利用に関する調査報告書，2001.3

(2007年9月25日原稿受理，2008年2月25日採用決定)