

学 位 論 文 題 名

北海道の住宅における暖房・給湯システムの
効率評価に関する研究

学位論文内容の要旨

社団法人北海道消費者協会・石油連盟の北海道消費者協会会員を対象とした調査によると、戸建住宅では、暖房及び風呂加熱用に約 9 割の世帯が、また、給湯用に 8 割強の世帯が灯油を使用している。集合住宅においても、暖房用に 8 割弱の世帯が、風呂加熱用に 3 割の世帯が、また、給湯用に 2 割強の世帯が灯油を使用している。

このように灯油は、北海道の住宅において、生活に欠かせないエネルギー源である。

近年の原油価格の高騰による灯油価格の上昇は、北海道民の生活に大きな経済的影響を与えている。

また、寒冷な北海道では暖房用に多くのエネルギーを必要とし、地球温暖化防止の観点から、北海道の家庭における暖房用エネルギーの削減は、北海道民に課せられた喫緊の課題である。

このような状況にあつて、道民は省エネルギーへの取り組みを強めているが、北海道の家庭の多くで採用されている石油暖房システムや給湯システムについての運転実態はほとんど把握されておらず、北海道独自の省エネルギー方策についての定量的な情報はほとんどない状況にある。

本研究は、高断熱・高気密住宅の普及が著しい北海道における、独自の生活システムといっても過言ではない石油暖房・給湯システムの運転実態を把握し、効率評価を行うことによって、省エネルギーに関するデータを整備し、北海道民の暮らしの安定と、温暖化防止のための環境負荷削減に資することを目的としたものである。

本論文は、5 章より構成されており、第 1 章では、本研究の背景と目的を述べ、既往の研究と本研究の位置付け、本論文の構成を示した。

第 2 章では、札幌市及び近郊に建つ、石油セントラル暖房システムを採用した構法の異なる 5 件の高断熱・高気密住宅を選定し、気密性能試験、住宅内温湿度測定、並びに、セントラル暖房システムの詳細な実測調査を行った。相当隙間面積は、気密性の確保が容易なツーバイフォー工法住宅が $0.33\text{cm}^2/\text{m}^2$ と最も小さく、在来木造が $1.1\sim 1.7\text{cm}^2/\text{m}^2$ で次世代基準を満足していたが、気密性の確保が難しい鉄骨造では $3.2\text{cm}^2/\text{m}^2$ と大きく、さらに様々な工夫により気密性を向上させる必要があること。平均内外温度差と暖房熱量から算定した熱損失係数は $0.94\sim 1.59\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ であり、暖房用エネルギー消費削減のためには、さらなる高断熱・高気密化に加え、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こと。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、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であること。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ており、これは、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ことから、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ことなどが分かった。

第3章では、暖房システムの石油暖房ボイラに的を絞り、市場の大部分を占める3機種(気化式、回転霧化式、圧力噴霧式)について、それぞれ2台、計6台を選定し、実験室実験による詳細な性能評価を行うとともに、一次エネルギー消費量算出に必要な性能評価方法を提案した。熱媒体(水と不凍液)の違い、送水温度(基本的に40℃、60℃、80℃で実験。6台中2台は50℃、60℃、75℃。)の違い、周囲温度の違いによるボイラ効率の違いはみられなかった。ボイラ効率を燃焼方式別にみると、気化式が80~60%、回転霧化式が82~60%、圧力噴霧式が85~70%であった。ボイラ効率のさらなる向上のためには、灯油ガス化用電気ヒーターの稼働を必要としない比例制御域(連続燃焼域)を広くする必要があることが分かった。また、石油ボイラは負荷率の小さなところでも効率の低下が少ないことが特徴であるが、改正省エネ法の「住宅事業建築主の判断の基準」では、負荷率の小さなところでの効率低下が大きくなる分数式近似が適用されており、実態と異なっている。そこで、ここでは、性能評価式として、実験結果から得られた追従性の良い2次式近似とすることを提案した。

第4章では、北海道の家庭における石油給湯の省エネルギー方策を検討するために、北海道で普及している従来型石油給湯機及び今後普及が期待される省エネルギー性の高い潜熱回収型石油給湯機の詳細なモニター調査を実施した。調査対象機器は、従来型追焚付石油給湯機、従来型給湯専用石油給湯機、潜熱回収型追焚付石油給湯機、同じく潜熱回収型給湯専用石油給湯機の4機種を選定した。従来型追焚付石油給湯機の給湯使用時のみの給湯機効率は60~70%程度で、省エネルギー機器として販売されている潜熱回収型給湯機は70~85%の効率となっており、従来型機器より10%以上の効率向上がみられた。給湯専用機においても、潜熱回収型の方が従来型より効率が12%高くなっていた。給湯の省エネルギーを図るためには、一層の給湯量の削減は当然として、このような効率の高い給湯機を採用することも重要であることが分かった。日給湯行為数に対する30秒未満の給湯行為数は、全体の6割程度を占めるが、30秒未満の給湯量は日給湯量の4~7%と少なく、日平均給湯機効率の低下に及ぼす影響は0.5%程度と小さい結果となった。しかし、30秒未満の給湯行為による灯油消費量は、5%程度を占めており、このような短時間給湯を削減することが給湯の省エネルギーに重要であることが分かった。また、日平均出湯温度を低下させた場合は、従来型と潜熱回収型は同じ省エネルギー効果であるが、日平均給湯量を削減した場合は、潜熱回収型の方が従来型より大きな省エネルギー効果となることが分かった。

ここでは、さらに今後の普及が予想される、札幌市と旭川市に設置された2台の寒冷地仕様CO₂冷媒ヒートポンプ給湯機の運転実態調査を行った。極寒の旭川市においても、問題なく利用できることが確認され、冬期の期間平均成績係数は、ヒートポンプ単体で1.3~1.6、総合で0.7~1.0という結果を得た。成績係数が低いのは、対象とした機器がまだ出始めの頃のものであったためであるが、総合効率を向上させるためには、機器の効率向上と同時に、貯湯槽の暖房空間への設置や断熱性の強化による熱損失の防止が重要であることが分かった。

第5章は総括であり、本研究で得られた検討結果及び知見を取りまとめた。さらに、今後の研究によって解決すべき課題を整理し、展望を述べた。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	羽 山 広 文
副 査	教 授	長 野 克 則
副 査	教 授	横 山 眞太郎
副 査	准教授	森 太 郎

学 位 論 文 題 名

北海道の住宅における暖房・給湯システムの 効率評価に関する研究

社団法人北海道消費者協会・石油連盟の北海道消費者協会会員を対象とした調査によると、戸建住宅では、暖房及び風呂加熱用に約 9 割の世帯が、給湯用に 8 割強の世帯が灯油を使用している。集合住宅においても、暖房用に 8 割弱の世帯が灯油を使用している。

このように灯油は、北海道の住宅において、生活に欠かせない重要なエネルギー源であるが、北海道の家庭の多くで採用されている石油暖房システムや給湯システムの運転実態はほとんど把握されておらず、北海道独自の省エネルギー方策についての定量的な情報はほとんどない状況にある。

本研究は、北海道独自の生活システムといっても過言ではない石油暖房・給湯システムの運転実態を把握し、効率評価を行うことによって、省エネルギーに関するデータを整備し、北海道民の暮らしの安定と、温暖化防止のための環境負荷削減に資することを目的としたものである。

本論文は、5 章より構成されており、第 1 章では、本研究の背景と目的を述べ、既往の研究と本研究の位置付け、本論文の構成を示した。

第 2 章では、札幌圏に建つ、石油セントラル暖房システムを採用した構法の異なる 5 件の高断熱・高気密住宅を選定し、気密性能試験、住宅内温湿度測定、並びに、セントラル暖房システムの詳細な実測調査を行った。その結果、相当隙間面積は、気密性の確保が容易なツーバイフォー工法住宅が最も小さかった。しかし、気密性の確保が難しい鉄骨造は $3.2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と大きく、さらに様々な工夫により気密性を向上させる必要があることが分かった。また、暖房用エネルギー消費削減のためには、室温管理の徹底とともに、さらなる高断熱・高気密化に加え、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ことが分かった。さらに、過大な熱源容量による頻繁な暖房ボイラの発停が観察されており、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ことなどが分かった。

第3章は、第2章の暖房システムの運転実態を受け、さらに詳細な石油暖房ボイラの特性を把握するために、市場の大部分を占める3機種(気化式、回転霧化式、圧力噴霧式)について、それぞれ2台、計6台を選定し、実験室実験による詳細な性能評価試験を行った。その結果、ボイラ効率のさらなる向上のためには、灯油ガス化用電気ヒーターの稼働を必要としない比例制御域(連続燃焼域)を広くする必要があることが分かった。また、石油ボイラの性能評価式として、実験結果から得られた追従性の良い2次式近似とすることを提案した。

第4章では、北海道の家庭における石油給湯の省エネルギー方策を検討するために、北海道で普及している従来型石油給湯機及び今後普及が期待される省エネルギー性の高い潜熱回収型石油給湯機の詳細なモニター調査を実施した。その結果、従来型追焚付石油給湯機の給湯使用時のみの給湯機効率は60~70%程度で、潜熱回収型給湯機は70~85%の効率となっており、従来型機器より10%以上の効率向上がみられた。給湯専用機においても、潜熱回収型の方が従来型より効率が12%高くなっていた。給湯の省エネルギーを図るためには、給湯量の削減とともに、このような効率の高い給湯機を採用することも重要であることが分かった。また、日給湯行為数に対する30秒未満の給湯行為数は、全体の6割程度を占めるが、30秒未満の給湯量は日給湯量の4~7%と少なく、日平均給湯機効率の低下に及ぼす影響は0.5%程度と小さい結果となった。しかし、30秒未満の給湯行為による灯油消費量は、5%程度を占めており、このような短時間給湯を削減することが給湯の省エネルギーに重要であることが分かった。

ここでは、さらに今後の普及が予想される、札幌市と旭川市に設置された2台の寒冷地仕様CO₂冷媒ヒートポンプ給湯機の運転実態調査を行った。その結果、極寒の旭川市においても、問題なく利用できることが確認され、冬期の期間平均成績係数は、ヒートポンプ単体で1.3~1.6、総合で0.7~1.0という結果を得た。成績係数が低いのは、対象とした機器がまだ出始めの頃のものであったためであるが、総合効率を向上させるためには、機器の効率向上と同時に、貯湯槽の暖房空間への設置や断熱性の強化による熱損失の防止が重要であることが分かった。

第5章は総括であり、本研究で得られた検討結果及び知見を取りまとめた。さらに、今後の研究によって解決すべき課題を整理し、展望を述べた。

これを要するに、本論文は、北海道の住宅で採用率の高い石油暖房・給湯システムの運用実績の調査結果からその特性と課題を科学的に解明し、今後の省エネルギーの方向性を明らかにしたものであり、建築環境学および建築設備学の発展に大きく寄与するものである。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。