住宅における暖冷房エネルギー消費量の計算プログラムの開発

DEVELOPMENT OF CALCULATION PROGRAM FOR HEATING AND COOLING ENERGY IN RESIDENTIAL HOUSE

三浦尚志 — * 1 細井昭憲 — * 2
桑沢保夫 — * 3 月館 司 — * 4
羽原宏美 — * 5 中村美紀子 — * 6
澤地孝男 — * 7

Hisashi MIURA — * 1 Akinori HOSOI — * 2
Yasuo KUWASAWA — * 3 Tsukasa TSUKIDATE — * 4
Hiromi HABARA — * 5 Mikiko NAKAMURA — * 6
Takao SAWACHI — * 7

キーワード：
暖冷房, エネルギー消費量, 計算プログラム, 住宅

Keywords:
Heating and cooling, Energy consumption, Calculation program, Residential house

We developed a calculation program for heating and cooling energy in residential house. By using this program, energy consumption of the heating and cooling appliances (room air conditioner, hot water heating system, FF heating system, central heat pump HVAC system and electrical floor heating system) can be calculated every hour from the input data such as the specification of the appliances, outdoor condition and pre-calculated heating and cooling load. This paper represents the overview of the program interface, input data and output data, and its calculation model, and shows the calculated primary energy as the example of the results.

1. はじめに

住宅のエネルギー消費量の削減は社会的に喫緊の課題であり、京都議定書達成計画¹⁾では、具体的にCO₂排出量の削減目標が掲げられている。この例にも見て取れるように、省エネ措置を効率的に推進するためにエネルギー消費量を定量的に把握することは、これからの必須の技術であるといえる。

本研究は、住宅のエネルギー消費量のうち暖冷房のエネルギー消費量を予測する手法について述べる。暖冷房のエネルギー消費量を予測計算しようとする研究は古くから行われており、特に暖冷房エネルギー消費量を求める第1段階としての暖冷房負荷計算に関する研究は随分古くからなされ、今日に至っては暖冷房負荷を容易に求めることができるプログラムも整備されてきた^{例えば 2), 3)}。一方で、計算された暖冷房負荷からエネルギー消費量を計算する試みも少なからずなされてきたが^{例えば 4), 5)}、暖冷房負荷とエネルギー消費量との関係、いわゆる機器効率に関しては、機器の制御やメカニズムが非常に複雑であるため、これまで十分な精度で予測されてきたとは言い難い。しかし、最近に限って言えば、例えばエアコンの実働効率の計算方法に関する研究^{6)~8)}に見られるように、暖冷房設備の機器効率に関する研究も多く見られるようになってきた。

以上の背景により、様々な暖冷房方式のエネルギー消費量を幅広く計算できることを目標に、我々は自立循環型住宅開発プロジェクトにおける実験結果⁹⁾や既往文献^{8), 10)~12)}を参考として、図1に掲げる暖冷房設備について暖冷房負荷からエネルギー消費量を計算するプログラムを開発したので概要について報告する。

2. 対象とする暖冷房設備

対象とする暖冷房設備を図1に示す。温水暖房設備は二次側放熱器と配管、熱源機の3つの構成部分から成り、熱源機1台につき種類の異なる二次側放熱器を複数台接続可能であり、その組み合わせも自由に選択可能である。

図1 本プログラムで扱う暖冷房設備

¹⁾ 国土技術政策総合研究所 主任研究官・博士 (工学)
(〒305-0802 つくば市立原1)

²⁾ 熊本県立大学 准教授・博士 (工学)

³⁾ 御建築研究所 上席研究員・博士 (工学)

⁴⁾ 北方建築総合研究所 科長・博士 (工学)

⁵⁾ 広島工業大学 助教・博士 (工学)

⁶⁾ 佛住環境計画研究所 博士 (工学)

⁷⁾ 御建築研究所 グループ長・工博

¹⁾ Senior Researcher, National Institute for Land and Infrastructure Management, NILIM, Dr. Eng.

²⁾ Assoc. Prof., Prefectural Univ. of Kumamoto, Dr. Eng.

³⁾ Senior Researcher, Building Research Institute, Dr. Eng.

⁴⁾ Chief, Hokkaido Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

⁵⁾ Assistant Prof., Hiroshima Institute of Technology, Dr. Eng.

⁶⁾ Senior Researcher, Jyukankyo Research Institute Inc., Dr. Eng.

⁷⁾ Group Reader, Building Research Institute, Dr. Eng.

3. 暖冷房設備に関する入力パラメータ

本計算プログラムで扱う暖冷房設備は、部屋ごとに1台設置する場合（図2a）と家全体で1台設置する場合（図2b）に分けられ、後者の家全体で1台設置する場合は温水暖房設備とヒートポンプ式セントラル空調システムが該当する。温水暖房設備の場合、部屋ごとに二次側放熱器の仕様と熱源機までの配管の仕様を選択する。各機器に必要な入力パラメータを表1に示す。

図2 暖冷房設備の単位の考え方

表1 対象とする機器と計算に必要なパラメータ

対象とする機器		入力パラメータ
1) ルームエアコンディショナー		暖房定格COP、暖房定格能力、暖房最大能力、冷房定格COP、冷房定格能力、冷房最大能力
2) 温水暖房設備	① 二次側放熱器	A ファンコンベクタ 連続運転時*1の最小能力、最大能力、連続運転時*1の最小電力消費量、最大電力消費量 B パネルコンベクター 暖房能力、暖房能力計測時の温水温度 C 床暖房パネル 敷設面積、負荷低減率*2、上面放熱率*3、(上面)最大放熱量、能力設定時の温水温度
	② 配管	熱損失係数、断熱区画内*4での長さ、断熱区画外での長さ
	③ 熱源機	A 石油熱源機 定格効率、定格能力、ファン消費電力比*5、定格ポンプ消費電力 B ガス熱源機 定格効率、定格能力、ファン消費電力比*5、定格ポンプ消費電力 C 電気ヒーター熱源機 定格ポンプ消費電力 D ヒートポンプ熱源機 定格能力、定格消費電力、最大能力 <全熱源機共通> 送水温水温度(複数指定可能)
3) FF暖房設備		最大能力、最低連続燃焼能力*6、定格効率、定格消費電力、断続時消費電力*7
4) ヒートポンプ式セントラル空調システム		暖房定格能力、暖房定格消費電力、冷房定格能力、冷房定格消費電力
5) 電気ヒーター式床暖房		敷設面積、負荷低減率*2、上面放熱率*3、単位面積あたり上面最大放熱量

*1 燃焼のON/OFFが発生しない運転をいう。
*2 室内温熱環境の面から放射暖房は対流式暖房よりも室内設定温度を下げる
ことができ、その結果暖房負荷が減ることを勘案した係数である。
*3 床暖房パネルに投入した熱量のうち居室に放熱される熱量の割合。
*4 例えば階段空間や縦配管スペースを指す。
*5 熱源機の燃焼室からの排熱にかかるファンの消費電力が燃料消費量に比例すると仮定した時の比率である。
*6 燃焼のON/OFFが発生しない連続運転時の能力の下限值。
*7 燃焼のON/OFFが発生した際に、燃焼室の加熱に用いられるヒーターの消費電力であり、ここでは一定値を用いている。

4. 入力項目と出力項目

本プログラムは別途負荷計算ソフト等で1時間ごとおよび部屋ごとに計算された暖冷房負荷（冷房の場合は顕熱負荷と潜熱負荷）と運転のON/OFF、およびその時の外気温湿度を読み込んで、暖冷房機器のエネルギー消費量を計算する。

出力結果は、一次エネルギー消費量に加え、未処理負荷、処理負荷、および、選択した暖冷房設備の種類によってその他の項目が、1時間ごとおよび各部屋に設置された機器ごとに出力される。入力項目と出力項目を表2に示す。

表2 入力項目と出力項目

入力項目	<ul style="list-style-type: none">・外気温湿度・外気湿度（暖房時）・各部屋の暖冷房負荷（冷房の場合は顕熱負荷および潜熱負荷）
出力項目	<ul style="list-style-type: none"><ルームエアコンディショナー><ul style="list-style-type: none">・暖房効率・暖房消費電力量・暖房一次エネルギー消費量・冷房効率・冷房未処理顕熱／潜熱負荷・冷房消費電力量・冷房一次エネルギー消費量<温水暖房設備（熱源機）><ul style="list-style-type: none">・熱源機燃料消費・熱源機未処理負荷・一次エネルギー消費量<温水暖房設備（各部屋の放熱器ごと）><ul style="list-style-type: none">・放熱器処理負荷・放熱器熱損失・配管熱損失<FF暖房設備><ul style="list-style-type: none">・断続運転時の処理負荷・未処理負荷・燃料消費量<ヒートポンプ式セントラル空調システム>（ルームエアコンディショナーと同じ）<電気ヒーター式床暖房><ul style="list-style-type: none">・放熱器処理負荷・放熱器熱損失・一次エネルギー消費量・暖房未処理負荷・暖房処理負荷・冷房処理顕熱／潜熱負荷・冷房処理負荷・熱源機消費電力量・放熱器未処理負荷・放熱器消費電力量・処理負荷・消費電力量・一次エネルギー消費量・放熱器未処理負荷・放熱器消費電力量

5. エネルギー消費量の計算ロジック

本節では、各暖冷房設備および機器の計算ロジックについて述べる。ただし、本プログラムが対象としている設備・機器は幅広いため、ここでは概要を述べるにとどめ、詳細は既往文献¹³⁾を参考にされたい。

5.1. 暖冷房設備および機器の処理負荷と未処理負荷

暖房設備による処理負荷は、暖房設備の最大処理負荷あるいは、温水暖房の二次側放熱器の最大処理負荷を上限として、暖房負荷と等しいとする。暖房負荷が最大処理負荷を超える場合は、超えた分を未処理負荷として扱う。この未処理負荷は、電気ストーブ等の補助的暖房器具により処理されることが想定されるため、次の時刻に繰り越さず、そのまま「未処理負荷」として計算結果のファイルに出力される。

暖房運転開始直後（運転立ち上がり時）については、暖房負荷が大きく、未処理負荷も大きくなるため、本評価方法では、立ち上がり時に発生する未処理負荷はタイマー運転を使用するなどして暖房設備の運転開始時間を早めることで対応可能であるととらえ、暖房運転開始直後は暖房設備の最大処理能力の2倍まで負荷を処理する

ことができると仮定する(図3)。その際、暖房設備は、最大能力で動くとして、最大能力でのエネルギー効率を採用する。

冷房負荷や処理負荷、未処理負荷を扱う際、それぞれ顕熱負荷と潜熱負荷を区別する。冷房設備による処理負荷は、冷房設備の最大処理負荷を上限として冷房負荷と等しいとする。冷房負荷が最大処理負荷を超える場合は、超えた分を未処理負荷として扱い、次の時刻に繰り越す(図4)。その際、最大処理負荷の顕熱比は冷房負荷の顕熱比に等しいとした。ただし、次の時刻に冷房設備が稼働していない場合、未処理負荷は自然に消滅するものとして値が破棄される。

図3 暖房運転時の処理負荷および未処理負荷の考え方

図4 冷房運転時の処理負荷および未処理負荷の考え方

5.2. 温水暖房設備以外の暖冷房設備の計算方法

1) 計算フロー

計算方法のフローを図5に示す。本フローは部屋ごとおよび1時間ごとに繰り返し計算される。初めに、外気温湿度および設備・機器の仕様から最大処理能力が計算される(プロセス①)。外気温湿度を必要とするのは、ヒートポンプの最大能力が室外機周囲の温湿度に影響を受けるためであり、FF暖房設備や電気ヒーター式床暖房については、最大処理能力は機器の仕様のみで決まる。求めた最大処理能力をもとに、暖冷房負荷を処理負荷と未処理負荷に分ける(②)。次に、外気温湿度と機器の仕様から、処理負荷を入力とする機器の効率特性(関数)を決定する(③)。決定された機器の効率特性(関数)に処理負荷を代入することで、暖冷房に消費された一次エネルギー消費量を求める(④)。なお、一次エネルギー消費量(評価値)とは、暖冷房機器で消費される一次エネルギー消費量に未処理負荷を処理する一次エネルギー消費量を加えた値である。暖房の場合、未処理負荷は電気ストーブ等の補助暖房器具で処理されることを想定しており(⑤)、未処理負荷を一次エネルギーに換算した値を加えている。冷房の場合、未処理負荷は次の時刻に繰り越されるため(⑤)、加算は行われない。

図5 計算フロー(温水暖房設備以外の暖冷房設備)

2) 個々の設備および機器モデル

ルームエアコンディショナーの効率特性(関数)について図6に示す。外気温湿度によって効率特性(関数)が変動するモデルとなっている。最大消費電力は外気温湿度にかかわらず一定とする。また、外気温湿度によって効率が変動し、外気温湿度によって最大能力が変動するモデルとなっている。なお、図6はデフロスト運転が行われない場合の関数であり、外気温湿度からデフロストが起きると判定された場合は、処理能力が低下するモデルとなっている。

図6 ルームエアコンディショナーの効率特性関数

図7 ヒートポンプ式セントラル空調システムの効率特性関数

で基準化した能力(能力比)と定格消費電力で基準化した消費電力(消費電力費)の関係を図7に示す。

FF式暖房設備については、処理負荷と燃料消費量との関係を表す燃焼効率は処理負荷にかかわらず一定とし、ファンの消費電力のみ処理負荷に比例することとした。本計算ではポット式の設備を想定してモデル化したため、断続運転時に燃焼室を電気ヒーターで暖めることを想定し、その分の消費電力を断続運転時において加算した。

電気ヒーター式床暖房は、処理暖房負荷に床裏への熱損失を加え、合計値を一次エネルギー消費量に換算した値とした。

5.3. 温水暖房設備の計算方法

1) 計算フロー

温水暖房設備のエネルギー消費量の計算は、放熱系統（放熱器と配管のセット）の計算と、熱源機の計算に分けられる。放熱系統の計算は系統ごとになされ、それぞれ必要とされる熱量と未処理負荷、送水時間等が計算される。ここで計算された値を用いて熱源機の計算を行い、一次エネルギー消費量等を計算する。

図8に放熱系統の計算フローを示す。まず、送水温度と放熱器の仕様から放熱器の最大処理能力が計算される（プロセス①）。求めた最大処理能力をもとに、暖房負荷を処理負荷と未処理負荷に分け、送水時間を計算する（②）。通常、放熱器からの放熱量の調整は、送水温度ではなく送水の発停によって行われる。1時間のうちどの程度の時間送水していたかを表すのが送水時間である。次に処理負荷から放熱器投入熱量を計算する（③）。放熱器が床暖房の場合、床裏からの熱損失があるため、処理負荷にこの熱損失を加えたものが放熱器投入熱量であり、床暖房以外の放熱器においては両者の値は等しい。次に、配管の仕様や配管周りの空気温度、送水時間から配管熱損失を計算する（④）。配管周りの空気温度は階間など断熱区画内においては居室温度に等しいとし、床下など断熱区画外においては省エネルギー基準¹⁴⁾を参考に、居室温度と外気温度を3:7で按分した値とした。ここで求めた配管熱損失に放熱器投入熱量を加え、1系統あたりに必要とされる熱量を求める（⑤）。

図8 計算フロー（温水暖房設備の放熱器および配管）

図9に熱源機の計算フローを示す。まず、系統ごとの計算結果から、熱源機の出力、未処理負荷の合計、熱源機の送水時間を求める（プロセス①）。熱源機の出力は1系統あたりに必要とされる熱量をすべての系統について合計した値とする。未処理負荷の合計も同様に各系統の未処理負荷を足した値とする。熱源機の送水時間については、放熱器毎に発停のタイミングが異なるなどそのメカニズムは

非常に難しいが、ここでは全系統を比較して最も長い送水時間を採用した。次に熱源機の最大処理能力を外気温湿度と熱源機の仕様から計算する（②）。外気温湿度はヒートポンプ式の熱源機を計算する場合のみ必要とされる。この熱源機の最大処理能力を上限として、熱源機出力を決定する（③）。次に、熱源機の送水時間および熱源機の仕様、外気温湿度から熱源機効率特性（関数）を計算する（④）。決定された機器の効率特性（関数）に熱源機の処理負荷を代入することで、熱源機で消費された一次エネルギー消費量が求まる（⑤）。なお、一次エネルギー消費量（評価値）とは、暖冷房機器で消費される一次エネルギー消費量に未処理負荷を処理する一次エネルギー消費量を加えた値であり、温水暖房の場合は各系統において合計された放熱器の未処理負荷と熱源機の未処理負荷が加算される。

図9 計算フロー（温水暖房設備の熱源機）

なお、放熱器の放熱量の制御は発停によって行われると上述したが、全体的に必要とされる放熱量が下がってきた場合に、自動的に送水温度を段階的に変える熱源機もあり、潜熱回収型ガス熱源機や温水用電気ヒートポンプ式熱源機などがこれにあたる。実際は、各部屋の温度や戻り温度などをセンシングして送水温度を決定する複雑な制御が取り入れられているが、ここでは図10のフローに示す簡単な方法で代用した。つまり、送水温度が何段階（図中では θ_1 、 θ_2 、 θ_3 の3段階）か決まっている場合に、まず一番低い送水温度で計算を行い、すべての系統および熱源機で未処理負荷が発生しなかった場合はこの計算結果を採用し、未処理負荷が出た場合は送水温度を1段階上げて再計算するという方法を採用した。

図10 送水温度の決定

2) 個々の設備および機器モデル

熱源機の効率特性は、ガス熱源機および石油熱源機については、送水温度によって決定され、温水用電気ヒートポンプ熱源機については、送水温度と外気温湿度によって決定される。図 11～図 13 にこれらの効率特性を示す。なお、電気ヒーター式熱源機については貯湯タイプが一般的であるため、貯湯タンクからの放熱ロスがあるが、簡単のため放熱ロスは勘案せず、熱源機出力に搬送ポンプ動力を加え、合計値を二次エネルギーに換算して計算した。また、ここで示す熱源機効率とは燃料消費量や消費電力量などの熱源機入力に対する熱源機出力の割合である。

図 11 ガス熱源機の効率特性

図 12 石油熱源機の効率特性

図 13 電気ヒートポンプ熱源機の効率特性

6. 入力インターフェースの概要

インターフェース画面および操作方法の詳細は既往文献¹⁵⁾を参考にさせていただき、ここでは概要のみを示す。図 14 は、ルーム

エアコンディショナーの設定画面である。まず、暖房負荷と冷房負荷ファイルを選択し（図中 A）、計算ケースを設定する（図中 B）。ここで、複数の計算ケースを設定することにより、一つの負荷パターンに対して複数の異なる暖冷房設備タイプや仕様を同時に計算することができる。機器の設定は画面中央で行い、あらかじめ仕様と名称を登録しておいた暖冷房設備を呼び出すことができる（図中 D）。暖冷房設備ごとに負荷を処理する部屋を選択する（図中 E）。なお、部屋は複数選択可能であり、LD と台所を 1 台の設備で暖冷房する場合などがこの場合にあたり、画面には「LD+台所」と表示される（図中 C）。最後に計算ボタン（図中 F）を押すと、選択した出力フォルダ（図中 A）に計算ケース（図中 B）ごとに CSV ファイルで時々刻々の暖冷房エネルギー消費量等が出力される。

図 15 に機器登録画面を示す。ここで、ルームエアコンディショナーやヒートポンプ式セントラル空調システムなどの暖冷房設備、あるいは温水暖房設備の二次側放熱器などの設備の一部について、その呼称や詳細な仕様をあらかじめ登録することができ、先に示した入力画面から呼び出すことができる。

図 14 プログラムの入力画面

名称	コメント	暖房定格COP	暖房定格能力W	暖房最大能力W	冷房定格COP	注
2.2kW COP3.0		3.81	2410	3080	3	22
2.2kW COP3.5		4.23	2410	3340	3.5	22
2.2kW COP4		4.64	2410	3610	4	22
2.2kW COP4.5		5.06	2410	3910	4.5	22
2.2kW COP5		5.47	2410	4240	5	22
2.2kW COP5.5		5.89	2410	4590	5.5	22
2.2kW COP6		6.3	2410	4970	6	22
2.8kW COP3		3.81	3430	4380	3	28
2.8kW COP3.5		4.23	3430	4750	3.5	28

図 15 機器登録画面

7. ケーススタディー

本プログラムで計算した暖房エネルギー消費量の結果例を図 16 に示す。暖房負荷を計算するにあたり、外気条件は省エネルギー基準¹⁴⁾における IVa 地域、住宅プランは自立循環型住宅平面プラン¹⁶⁾、断熱性能は省エネルギー基準における平成 11 年基準相当とした。居住者の生活スケジュールや内部発熱スケジュールは前出のプロジェクト^{9), 13)}を参考に設定した。また、熱交換器ありとは 75%の顕熱交換効率の機器を設置した場合を想定しており、熱交換器がある分だけ暖房負荷が減少している。なお、暖冷房の運転パターンとしてヒートポンプ式セントラル空調システムは全館を 24 時間連続して暖

冷房する「全館連続運転」を想定し、その他の暖冷房設備は居住者が在室しているときのみ暖冷房する「部分間欠運転」を想定した。暖冷房機器の詳細な設定は参考文献¹³⁾を参照されたい。

計算された結果を見ると、電気ヒーター式床暖房や電気温水式床暖房で電気ヒーター熱源の機器のエネルギー消費量が多い。その他の温水暖房設備やエアコン、FF 暖房設備などはほぼ同じエネルギー消費量となっているが、高効率エアコンのみエネルギー消費量が少し減る。

このように、本プログラムを用いて異なる暖冷房設備のエネルギー消費量を計算することが可能である。

8. まとめと今後の課題

本報では、図 1 に掲げる暖冷房設備を対象とした暖冷房エネルギー消費量の計算プログラムの概要と試算結果の例を示した。

今後、暖冷房の運転開始直後の機器効率などの計算方法の精緻化、および複数の暖房設備の使用などに対応した計算方法の拡張、より少ない入力条件で適切に機器の挙動を再現できるような計算方法の開発と評価指標や試験方法の提案を行っていく予定である。

9. あとがき

ここで開発したプログラムにより、外気温湿度やあらかじめ各部屋で 1 時間ごとに計算された暖冷房負荷を読み込んで、1 時間ごとのエネルギー消費量を計算することができる。これにより、暖冷房設備のエネルギー消費量の比較ができ、これに加えて各暖冷房機器で実現される室内環境やイニシャルコストを勘案して、暖冷房設備の選択の目安とすることができると思われる。

なお、本プログラムおよび計算ロジックや特性式の作成は、(財)建築環境・省エネルギー機構の「自立循環型住宅に係わる技術開発研究委員会」における暖冷房 TG (主査：細井昭憲) の研究の一環として実施し、暖冷房負荷の作成や本プログラムを用いたエネルギー消費量に関する検討は(財)建築環境・省エネルギー機構の「住宅省エネ性能検討委員会」における設備基準検討 WG (主査：澤地孝男) の研究の一環として実施した。

参考文献

- 1) 京都議定書目標達成計画, 2008.3
- 2) 建築環境・省エネルギー機構：SMASH for Windows
- 3) 山内設計室：INSIS AE-Sim/Heat
- 4) 佐藤誠，宇田川光弘：住棟セントラル暖房・給湯システムにおけるエネルギー消費量のシミュレーションによる検討，日本建築学会計画系論文集，No.522, pp.75~82, 1999.8
- 5) 羽原宏美，鳴海大典，小林誠治，下田吉之，水野稔：自然通風を行う住宅の室内温熱環境および空調エネルギー消費予測手法の開発，日本建築学会環境系論文集，No.582, pp.107~114, 2004.8
- 6) 浅間英樹，赤林伸一，坂口淳：家庭用エアコンの実使用時における成績係数に関する研究 -独立戸建て住宅 13 棟に設置されたエアコンの測定結果，日本建築学会環境系論文集，No.613, pp.35~40, 2007.3
- 7) 細川隆行，林徹夫，野村幸司：家庭用ルームエアコンディショナの冷房能

図 16 試算結果 (断熱レベルは平成 11 年基準相当・IVa 地域)

力特性に関する実験，日本建築学会環境系論文集，No.620, pp.51~58, 2007.10

- 8) 細井昭憲，澤地孝男，三浦尚志：人工気候室における測定結果に基づく冷暖房 COP の部分負荷特性 ルームエアコンディショナの冷暖房 COP およびエネルギー消費量に関する研究 その 1，日本建築学会環境系論文集，No.622, pp.65~72, 2007.12
- 9) 澤地孝男，堀祐治，細井昭憲，前真之，秋元孝之，桑沢保夫，三浦尚志，三木保弘，田島昌樹，齋藤宏昭，戸倉三和子，西澤繁毅，羽原宏美，青木正論，宇梶正明：省エネルギー効果検証を目的とした生活模擬手法を含む実験手法の提案 住宅のための省エネルギー手法の実験的研究に関する研究 その 1，建築学会環境系論文集，No.621, pp.69~76, 2007.11
- 10) 三浦尚志，澤地孝男，堀祐治，細井昭憲：定常状態における温水床暖房のエネルギー消費量の推定法，建築学会環境系論文集 No.626, pp.487~494, 2008.4
- 11) 月館ら：住宅用トータルエネルギー予測プログラムの開発，空気調和衛生工学会大会学術講演論文集，2008.8, pp.1489~1492
- 12) 月館ら：寒冷地の高性能住宅における空気熱源ヒートポンプ暖房の実測とシミュレーション，空気調和衛生工学会大会学術講演論文集，2009.9
- 13) (財)建築環境・省エネルギー機構：住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説
- 14) 「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と基準」及び「同設計及び施工の指針」
- 15) 三浦尚志，細井昭憲，桑沢保夫，月館司，羽原宏美，中村美紀子，澤地孝男：住宅における暖冷房エネルギー消費量の計算プログラムの開発，空気調和衛生工学会大会学術講演論文集，2009.9
- 16) 国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所監修，(財)建築環境・省エネルギー機構発行：自立循環型住宅への設計ガイドライン

[2009 年 6 月 19 日原稿受理 2009 年 8 月 28 日採用決定]