

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04817

研究課題名（和文）多様化する給湯用熱源の一次エネルギー消費量算定

研究課題名（英文）A calculation method on primary energy consumption for various heat source of service water heating

研究代表者

岩本 静男（Iwamoto, Shizuo）

神奈川大学・建築学部・教授

研究者番号：20213316

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、水道水温の算定式を提案し、精度を確認して都市別に設定する。太陽熱予熱を考慮した算定も加える。さらに、ボイラとヒートポンプそれぞれの運転特性を含めた効率を算定する方法を提案する。これら2つの算定法を用いて、ハイブリッド熱源を含めた汎用的な算定法を構築することを目的とし、設計者が手軽に利用できる形で提供することを最終的な成果とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで十分な知見のなかった浄水温について、調査する方法、簡易に予測する方法を示し、都市別に設定できることを示した。また、給湯設備による一次エネルギー消費量を手軽に計算でき、多様な熱源による計算結果が得られることから、給湯設備の省エネルギー設計に寄与できると思われる。

研究成果の概要（英文）：This study proposes a formula for calculating the water temperature, checks its accuracy and sets it up for each city. It also adds a calculation that takes solar preheating into account. Furthermore, a method is proposed to calculate the efficiency of boilers and heat pumps, including their respective operating characteristics. Using these two calculation methods, the aim is to establish a general-purpose calculation method that includes hybrid heat sources, and the outcome is to provide it in a form that can be easily used by designers.

研究分野：建築環境工学

キーワード：給湯設備 給水温 熱源 一次エネルギー消費量 省エネルギー

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年ゼロエネルギービル（以下 ZEB）、ゼロエネルギーハウス（以下 ZEH）に関する研究開発が進んでおり、エネルギー基本計画（2014 年 4 月閣議決定）では「建築物については、2020 年までに新築公共建築物等で、2030 年までに新築建築物の平均で ZEB の実現を目指す」とする政策目標を掲げている。空気調和・衛生工学会では ZEB 先進事例集～ZEB in Japan を、建築設備技術者協会では日本の ZEB データベースを公開している。ZEB でも ZEH でもパッシブ設計や高効率設備による省エネルギー、太陽光発電（以下 PV）等による創エネルギーと蓄エネルギーの省・創・蓄エネルギーの 3 技術に支えられている。これらはすべて一次エネルギーで評価されるが、創エネルギーではほとんどの事例に PV が設置されている。太陽熱利用、地中熱利用、バイオマス燃料利用もあるが、ホテルや病院、老健施設など給湯が重要な建物では、給湯熱源は ZEB 達成に向けた課題の一つと思われる。

給湯設備では、給水設備からの給水を受けて加熱して湯を作り、配管で各給湯栓に配る。給湯設備による一次エネルギー消費量を算定するには、湯を作るための負荷と熱源・配管・貯湯槽による熱損失と循環ポンプの消費電力、が必要である。これまでの研究成果では、特に評価が困難なのは、給水温と熱源に関する事項である。

非住宅建物では給水を予熱して熱源の消費エネルギーを削減する方策をとる。その評価の際に重要となるのが給水温であるが、浄水場ですら必ずしも十分計測されていないので何らかの推定式が必要となる。

近年では熱源が多様化し、ヒートポンプ給湯機を用いることもある。一日の給湯量を夜間等で貯湯して用いることが多いが、貯湯運転時間以外でも貯湯する、別の熱源を用意する（以下、ハイブリッド熱源）などの対応をとる必要がある。これらの熱源の制御も重要な省エネルギー対策となるが、それを考慮した算定法は確立されていない。

2. 研究の目的

これらの機器の数値計算モデルについては簡易なものでも十分と思われるが、それらを自在に組み合わせて実行できるものとなると、高価な市販ソフトしかない。ボイラでは比較的定格効率に近い運転がなされると思われるが、部分負荷運転では定格効率より低い運転状況も示されており、適切に設計がなされないと熱源効率の低下を招くことになりかねない。

そこで、本研究は、

- ① 水道水温の算定式を提案し、精度を確認して都市別に設定できるようにする。さらに太陽熱予熱を考慮した算定も加える。
- ② ボイラ、ヒートポンプそれぞれの運転特性を含めた効率を算定する方法を提案する。の 2 つの課題を解決し、ハイブリッド熱源を含めた汎用的な算定法を構築することを目的とし、設計者が手軽に利用できる形で提供することを最終的な成果とする。

3. 研究の方法

上記 2 つの課題を解決するため、以下の研究項目を立てた。

(1) 給水温計算法

課題①に対して、標準気象データに応じた計算方法を示す。省エネルギー基準の地域区分 1～8 の代表地 8 市を対象とし、各地の浄水場のデータ調査、簡易計算式の提案と確認を行う。さらに太陽熱による給水予熱の計算モデルを組み込む。

(2) ボイラ計算法

課題②のボイラについて検討する。本研究では代表者の手元にある実測データを解析することで、実態を把握するとともに単純で実用的な計算式を提案する。

(3) ヒートポンプ計算法

課題②のヒートポンプについて検討する。現在の省エネルギー基準では冬季低温条件の COP を用いて計算するようになっているが、実態は不明瞭である。空調用熱源のヒートポンプとは運転条件も異なっており、同じ計算モデルは使いにくい。代表者の手元にある実測結果の解析や他の文献にあるデータ分析により実用的な計算式を提案する。

(4) 給湯システム計算法

課題①と②の成果を組み合わせて、熱源の運転制御やハイブリッド熱源を含めて、給湯設備をシステムとして捉えて構築できるようなソフトウェアにまとめる。実務者である研究協力者に、このソフトウェアの使い勝手評価を依頼し、使いやすいように改善する計画としている。

本研究による最大の成果は、給湯設備による一次エネルギー消費量を算定できる、汎用的なソフトウェアであり、設計者が手軽に利用できるように表計算ソフトの Excel を活用する。これにより設計者は、いくつもの省エネルギー手法による削減効果を手軽に確認することができ、給湯設備の省エネルギー設計に大いに寄与すると期待できる。

4. 研究成果

(1) 給水温計算法

課題①に対して、給水温を次式で近似できるものとし、浄水場の浄水温による重回帰分析により各係数を浄水場別に求めることとした。その際の誤差を平均絶対誤差で示し、瞬間式給湯機的能力表示に用いられる「号」の水温差 25℃に対して 4%に当たる 1℃を目安とした。

$$\theta = a_0 + b_0t + a_1 \sin\left(2\pi \frac{d}{365}\right) + b_1 \cos\left(2\pi \frac{d}{365}\right)$$

ここで、 θ は浄水温[°C]、 a_0 、 b_0 、 a_1 、 b_1 は係数、 t は 10 日間移動平均外気温[°C]、 d は通日である。

その結果、省エネルギー基準の地域区分 1~8 の代表地 8 市、さらに 47 都道府県の代表都市、政令指定都市の、合わせて 51 都市について同様の提案と確認を行った。多くの都市で年間平均誤差は 1°C 以内となった。これらの成果は国内外の学会で発表されている^(主な発表論文等)。

また現在住宅用に用いられている太陽熱利用給湯方式の計算法を精査し、業務用建物の給湯設備で用いられる給水予熱の計算モデルとして組み込んだ。住宅用では実測データと比較して十分検証がなされているが、業務用ではほとんどない。実測結果が得られれば比較・検討できるようになっている。

(2) ボイラ計算法

課題②のボイラについて検討する。本研究では実測データを解析したが、ボイラの種類によらずそのターンダウン比 (TDR) で図 1(a)のように近似できるとした。BEST の給湯設備による一次エネルギー消費量計算では TDR=5 の特性が用いられている。ここで、TDR とは定格燃焼量と最小燃焼量の比であり、大きいほど低負荷運転時の効率が高いことになる。

(3) ヒートポンプ計算法

ヒートポンプ給湯機による実測例に関する文献を集めて精査したところ^{9)~11)}、連続給湯運転時など安定して運転される場合はおよそカタログ値通りであることがわかった。そこで図 1(b)で示すように冬季、中間期、夏季の外気温 (それぞれ 7°C、16°C、25°C) によるカタログ値の直線近似で COP を算定する計算式を提案する。外気温が 25°C を超える場合は、安全側に夏季の COP で一定とした。本来は入口水温によっても COP は変化するが、今回は考慮していない。

ただし、給湯用であっても間欠運転になる場合や貯湯槽保温や配管加熱用のヒートポンプについては、部分負荷運転になることもあって COP 低下が懸念される。残念ながら十分なデータがないため今回は保温運転時のカタログ値に基づく同様の直線近似を用いている。これらは今後の課題として残された。

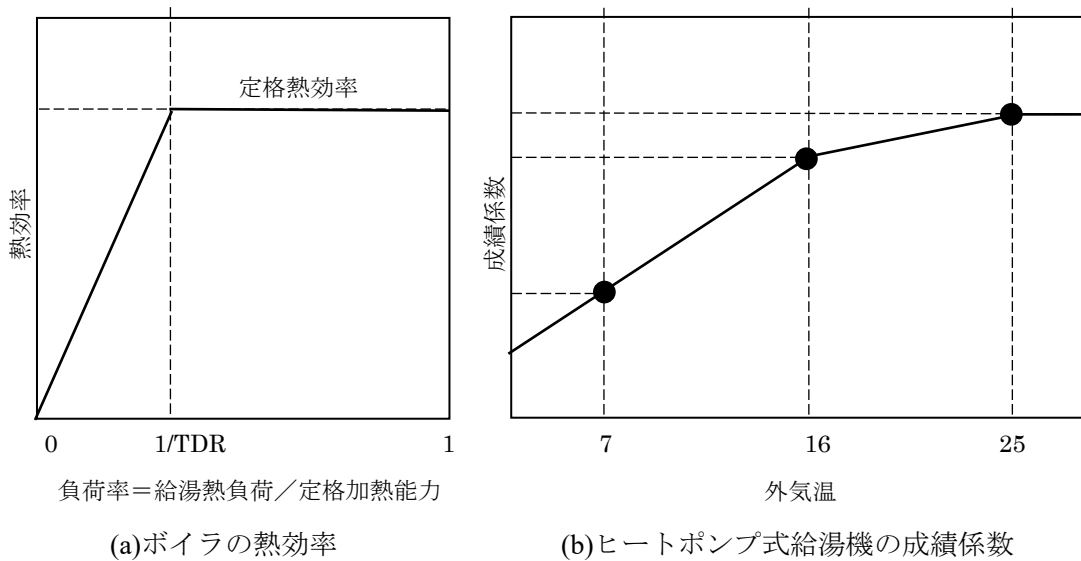


図 1 給湯熱源の効率

(4) 給湯システム計算法

上記計算法を組み合わせ、太陽熱利用、熱源の運転制御やハイブリッド熱源を含めて、給湯設備システムの計算法を構築し、表計算ソフトの Excel に組み込んでいる。主な計算法は、年間 1 時間間隔で 8,760 時間分の計算を行い、Excel 計算シートの 1 行で毎正時の計算を陽的に行うようにしている。各列に、ここでは 6 地域の気象条件から日射量、外気温、湿度などを転記し、給水温、配管内周囲気温、給湯量、出湯量、給湯熱負荷、貯湯槽熱負荷、配管熱損失などを計算し、熱源システム別に熱源の一次エネルギー消費量を求めるように組み立てている。

図 2 はその計算シートの一例である。今後、JSBC の自立循環型建築のウェブサイトなどを通して公開を予定している。本計算シートについて開発中に、何人かの実務技術者・設計者に協力を依頼し、使い勝手についてヒヤリングを行った。入力項目の整理、計算法の確認や修正、運転制御に関する知見などの意見をいただき、計算シートの修正を行っている。

単位	kJ/m2h		kJ/m2h		°C		°C		°C		°C		L/h		L/h		kJ/h		kJ/h		kJ/h		
計算メモ	太陽位置	太陽位置	日射量	6地域の外気条件	15.68	15.83	1.38	23.3	19.5	43°C基準時刻別給湯量	18,183,935	2,075,328,715	13,044,952	2,463,674,155	241,525,061	28,633,969	2317637.69						
年月日	時刻	太陽高度角	方位角	日射量	外気温度	結露	湿度	露点	風速	風向	風向	風向	風向	風向	風向	風向	風向	風向	風向	風向	風向	風向	
1月1日	1:00	0.00	-48.00	0.00	0.00	2.6	4.58781	0.0033	0.53474	22	12.3	4.5878	3437.511	554577.8159	2526.460294	587986.1663	32482.21176	3850.924032					
1月1日	2:00	0.00	-72.00	0.00	0.00	2.9	4.5762	0.0032	0.51862	22	12.4	4.5762	1444.751	233153.8304	1061.942662	247198.9497	32380.06644	3838.814208					
1月1日	3:00	0.00	-85.00	0.00	0.00	2.8	4.56772	0.0032	0.51862	22	12.4	4.5677	1245.475	201039.0437	915.5313504	213149.9434	32414.11488	3842.850816					
1月1日	4:00	0.00	-87.00	0.00	0.00	2.4	4.55924	0.0033	0.53474	22	12.2	4.5592	199.276	32173.34496	146.4951026	34111.55723	32550.30864	3858.997248					
1月1日	5:00	0.00	-79.00	0.00	0.00	2.4	4.54723	0.0033	0.53474	22	12.2	4.5472	846.923	136779.4518	622.6617488	145018.9412	32550.30864	3858.997248					
1月1日	6:00	0.00	-72.00	0.00	0.00	2.8	4.53663	0.0033	0.53474	22	12.4	4.5366	1693.846	273634.3195	1245.421667	290116.1968	32414.11488	3842.850816					
1月1日	7:00	0.00	-64.00	8.36	8.36	2.3	4.5285	0.0032	0.51862	22	12.15	4.7328	4732.805	764728.0336	3480.051482	810783.4249	32584.35708	3863.03856					
1月1日	8:00	8.00	-55.00	497.42	150.48	2.3	4.51719	0.0033	0.53474	22	12.15	5.1706	6327.013	1022621.115	4652.650275	1084196.801	32584.35708	3863.03856					
1月1日	9:00	17.00	-45.00	1747.24	309.32	3.7	4.50695	0.0033	0.53474	22	12.85	12.13	1693.846	273845.4841	1245.678592	290331.3399	32107.67892	3806.521344					
1月1日	10:00	25.00	-32.00	2645.94	309.32	5.9	4.50271	0.0033	0.53474	22	13.95	60	398.552	64441.32951	293.1076256	68320.05683	31358.61324	3717.715968					
1月1日	11:00	30.00	-18.00	2395.14	451.44	7.7	4.50447	0.0028	0.45408	22	14.85	4.5045	0	0	0	0	0	30745.74132	3645.057024				
1月1日	12:00	32.00	-2.00	2048.20	568.48	8.5	4.51366	0.003	0.48636	22	15.25	6.1699	647.647	104687.3638	9793.165243	2282224.975	30473.3538	3612.76416					
1月1日	13:00	31.00	14.00	2838.22	351.12	9.3	4.52426	0.0026	0.42178	22	15.69	6.4892	647.647	104658.5283	9791.836651	2281479.39	30200.96628	3580.841296					
1月1日	14:00	26.00	29.00	1617.66	539.22	9.8	4.5384	0.0026	0.42178	22	15.9	4.5384	0	0	0	0	0	30030.72408	3560.288256				
1月1日	15:00	19.00	42.00	509.96	418.00	9.6	4.55606	0.0026	0.42178	22	15.8	4.5561	0	0	0	0	0	30098.82096	3568.361472				
1月1日	16:00	10.00	53.00	560.12	209.00	8.9	4.57444	0.0033	0.53474	22	15.45	4.5744	0	0	0	0	0	30337.16004	3596.61728				
1月1日	17:00	0.00	62.00	150.48	41.80	7.9	4.59175	0.0033	0.53474	22	14.95	4.5918	0	0	0	0	0	30677.64444	3636.983808				
1月1日	18:00	0.00	70.00	0.00	0.00	6.9	4.60765	0.0035	0.56697	22	14.45	4.6077	1793.484	289195.4464	1317.853509	306595.7908	31018.12884	3677.349888					
1月1日	19:00	0.00	77.00	0.00	0.00	6.4	4.62285	0.0036	0.58307	22	14.2	4.6228	3487.33	562101.9283	2562.173706	595920.7045	31188.37104	3697.532928					
1月1日	20:00	0.00	85.00	0.00	0.00	6.4	4.63734	0.0037	0.59917	22	14.2	4.6373	6476.47	1043509.4996	4757.756468	1106288.704	31188.37104	3697.532928					
1月1日	21:00	0.00	87.00	0.00	0.00	6.4	4.655	0.0037	0.59917	22	14.2	4.655	3736.425	601747.4447	2744.472062	637949.7384	31188.37104	3697.532928					
1月1日	22:00	0.00	76.00	0.00	0.00	6.2	4.67479	0.0036	0.58307	22	14.1	4.6748	2540.769	408977.0978	1865.946804	433582.3563	31256.46792	3705.606144					
1月1日	23:00	0.00	56.00	0.00	0.00	6.1	4.69423	0.0035	0.56697	22	14.05	4.6942	4085.158	657237.5633	2999.683372	696779.1894	31290.51636	3709.642752					
1月1日	0:00	0.00	8.00	0.00	0.00	5.0	4.71337	0.0035	0.56697	22	13.95	4.7134	4384.072	704857.2478	3718.654301	747370.4055	31358.61324	3717.715968					

図2 開発されたExcelの主計算シート

【参考文献】

- 1) 尾崎永一、阿部敏郎、大林誠善、戸谷三郎、宮本和弘、業務用ヒートポンプ給湯システムの老健施設における実測調査、ヒートポンプユニットの実負荷運転効率に関する考察、2009年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集
- 2) 田邊智明、今任尚希、堀将人、野口春雄、宮本和弘、久保井大輔、塩谷圭一郎、業務用ヒートポンプ給湯システムの独身寮における実測調査（その1）給湯使用状況の計測、2009年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集
- 3) 田邊智明、今任尚希、堀将人、野口春雄、宮本和弘、久保井大輔、塩谷圭一郎、業務用ヒートポンプ給湯システムの独身寮における実測調査（その2）機器効率およびシステム稼動状況の分析、2009年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集
- 4) 伊東一敏、橋口賢治、片岡昌樹、戸谷三郎、宮本和弘、業務用ヒートポンプ給湯システムの工場厚生施設における実測調査、省エネ性・環境性の評価、2009年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集
- 5) 尾崎永一、阿部敏郎、大林誠善、芳野恵一、宮本和弘、業務用ヒートポンプ給湯システムの高齢者福祉施設における実測調査、ヒートポンプユニットの実負荷運転効率に関する考察、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2010
- 6) 田邊智明、今任尚希、野口春雄、宮本和弘、石川大地、塩谷圭一郎、独身寮における給湯使用実態と業務用ヒートポンプ給湯機の実効率について、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2010
- 7) 田邊智明、今任尚希、堀将人、業務用ヒートポンプ給湯システム独身寮での実使用事例、日本冷凍協会、冷凍、Vol.85、No.988、2010
- 8) 黒田幹彦、岡村雅則、業務用CO₂ヒートポンプ給湯機の納入事例、日本冷凍協会、冷凍、Vol.85、No.988、2010
- 9) 伊東一敏、片岡昌樹、吉野恵一、宮本和弘、業務用ヒートポンプ給湯システムの工場厚生施設における実測調査、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2010
- 10) 森口貴也、業務用給湯システムにおける貯湯槽の最適運用と制御装置の実証評価、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2012
- 11) 吉田茂、寒冷地でも対応できる業務用CO₂ヒートポンプ給湯機、日本冷凍協会、冷凍、Vol.89、No.1039、2014

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 大西玲暢、岩本静男、稲田朝夫、岡内 繁和、坂上恭助、趙旺熙、藤村和也、光 永威彦、呉光正	4. 巻 320
2. 論文標題 給湯設備設計用水道水温の予測 全国代表都市の水道水温	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 空気調和・衛生工学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 大西玲暢、岩本静男、稲田朝夫、岡内繁 和、坂上恭助、趙旺熙、藤村和也、光永 威彦、呉光正
2. 発表標題 給湯設備設計用水道水温の予測（第3報）全国代表都市の水道水温
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(空気調和・衛生工学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shizuo Iwamoto, Ayano Dempoya, Renon Ohnishi, Kyosuke Sakaue
2. 発表標題 The prediction method of supply water temperature for energy simulation of hot water supply systems Part 5: The influence of supply water temperature on the design of hot water supply system
3. 学会等名 the Proceedings of CIB-W062 Symposium, Taichung, Taiwan (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西玲暢、岩本静男、稲田朝夫、岡内繁 和、坂上恭助、趙旺熙、藤村和也、光永 威彦、呉光正
2. 発表標題 給湯設備設計用水道水温の予測（第2報）全国の県庁所在地と政令指定都市について
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(空気調和・衛生工学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shizuo Iwamoto, Ayano Dempoya, Renon Ohnishi, Kyosuke Sakaue
2. 発表標題 The prediction method of supply water temperature for energy simulation of hot water supply systems Part 4 Prediction methods of supply water temperature based on measurements in purification plants of 52 cities in Japan
3. 学会等名 the Proceedings of CIB-W062 Symposium, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩本静男、稲田朝夫、岡内繁和、坂上恭助、趙旺熙、藤村和也、光永威彦、呉光正
2. 発表標題 給湯設備設計用水道水温の予測(第1報)省エネルギー基準の全8地域に対する予測式
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(空気調和・衛生工学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤本 遼 (Fujimoto Ryo) (30986097)	神奈川大学・建築学部・助手 (32702)	
研究分担者	傳法谷 郁乃 (Dempoya Ayano) (00782301)	神奈川大学・付置研究所・研究員 (32702)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	児保 茂樹 (Koyasu Shigeki)	神奈川大学・付置研究所・研究員 (32702)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------