

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06682

研究課題名（和文）建物内給水温度の推定法

研究課題名（英文）Estimation method of water temperature in buildings

研究代表者

岩本 静男（Iwamoto, Shizuo）

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：20213316

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：給湯設備による消費エネルギーを精度よく推定するために、給水温は重要な入力条件である。本研究は、これまでほとんど検討されたことのない、建物内の給水温を長期実測によって求めた。さらに実測結果による精度検証のうえで、水道水温、給水量、受水槽等の周囲気温を含めて、給湯設備への給水温度の体系的な計算方法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発される推定方法は、給湯設備システムのエネルギーシミュレーションに関する重要な入力条件の一つである給水温を精度よく整えることができる。他のソフトウェアとの連携も視野に入れて開発されており、その計算法は発表論文により公表されている。さらに本研究による妥当な給水温を用いることで、より詳細に給湯設備の熱源を評価できることから、省エネルギー基準の算定にも利用可能である。また、より省エネルギーとなる熱源の選択や制御にも活用でき、給湯熱源運転制御のシミュレーションへの活用が期待できる。さらに、建物内の雑用水の水温でも推定可能となることから給湯設備以外にも応用できる。

研究成果の概要（英文）：The water supply temperature is an important input condition in order to estimate the energy consumption of the hot water supply system more accurately. In this research, the water supply temperature in the building, which has not been studied so far, was obtained by long-term measurement. And after verifying the calculation result compared with the measurement results, the calculation method of water supply temperature to hot water supply system was constructed.

研究分野：建築環境工学・建築設備

キーワード：給水温 推定式 水道水温 給湯設備

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

世界的に民生利用のエネルギーを減らすことが重要視されており、我が国では民生部門で40%近いCO<sub>2</sub>削減が閣議決定されている。民生部門には住宅や建物の利用エネルギーが含まれるため、ますます省エネルギーが必要となる。住宅ではもとより建物であっても給湯設備にかかわる消費エネルギーが大きい。これを削減するには、次の3つのポイントが重要である。

- (1) 熱源の高効率化、多様化
- (2) 給湯配管、熱源配管システムの保温
- (3) 給湯負荷の削減・節湯器具の採用

このうち熱源については多々の取り組みが始まっており、バイオマス系燃料利用、太陽熱利用、コージェネレーションなどの排熱利用、が注目されている。空気熱源や地下水、河川水熱源のヒートポンプに加えて、燃焼式ボイラーと組み合わせたハイブリッド熱源も利用されている。

コージェネレーション排熱利用や太陽熱利用、ヒートポンプ型の熱源では貯湯槽を有することが多いが、これらの貯湯槽を有する給湯設備システムでは、槽内の水温分布が熱源効率に関係する場合がある。貯湯槽に入る給水温が給湯熱源の効率を左右する。また給水の温度により湯水混合栓における給湯負荷が左右されるため、重要な入力条件である。

しかし、この給水温度はほとんど計測されておらず、水道水温ですら計測結果は限られており、一般に利用できるようなかたちに整理されていない。計測結果から水道水温を設定できないため、何らかの方法で水道水温、給水温を推定する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究は、給湯設備による消費エネルギーをより精度よく推定するために、実測による精度検証のうえで、水道水温、給水量、受水槽等の周囲気温を含めて、給湯設備への給水温度の体系的な計算方法を構築することを目的とする。

水道水温以外の給水温については、これまでほとんど検討されたことがなく、本計算法により給湯設備による消費エネルギーはより高精度で予測できるようになると期待できる。また雑用水水温の推定にも使えるため、屋根散水、フリークーリングなど他の設備シミュレーションにも応用できる。

### 3. 研究の方法

本研究は3年計画であり、水道水温の推定法、給水量の推定法、受水槽等の周囲気温の推定法を含む給水温の計算法を構築する。このために下記3つの研究計画を立てた。

#### (1) 給水温計算法構築

本研究の柱である。既存の水道水温推定法を用いて水道水温を得る。水槽周囲気温の推定法、給水量の算定法を活用して、既往の研究成果(後述参照)の計算法をもとに給水温計算法を構築する。計算に必要な条件は、給水量、水道水温、受水槽周囲気温である。

#### (2) 実測による精度検証

本研究で構築する計算法の妥当性を検証するために、実測結果との比較が望ましい。既存の検証もあるが短期間であり、年間に及ぶ実測結果が望ましい。そこで、本研究では、研究代表者が所属する神奈川大学(以下、本学)の学内施設を実測対象とした。学内施設部の協力も得ており、安全かつ確実に計測結果を得られるよう配慮した。

当初、給水量や水温を直接計測する予定にしていたが、建物の衛生管理と実験者の安全管理等の観点から手作業による計測を避けて、既存のBEMSによる自動計測に変更し、対応可能な施設として、建物用途と給水方式の違いも考慮して、事務棟・研究棟の本館、講義棟の20号館、講義・実験棟の23号館の計3棟とした。

計測項目は、元々BEMSの測定項目にある給水用ポンプ発停に加えて、ポンプ下流側に水温センサを挿入して給水温を、受水槽設置室内の壁面に空調用サーモスタットを設置して周囲気温を、それぞれBEMSで計測した。また水道本館から受水槽に補給される日時を特定するために23号館の受水槽の定水位弁の開閉信号を、2018年4月から計測した。その結果はほぼ常時開であり、計算条件に追加して再検討した。なお、給水量については日時別の詳細は計測せず、常時大学施設部で計測している月一度の量水器目視による値を用いることとした。

#### (3) 他のソフトウェアとの連携を考慮した計算法公開

上記(1)と(2)を実施し、課題を抽出し、解決を図りながら、本計算法の公開の準備を行う。最小限でもTRNSYSに使えるようなモジュールの開発を計画したが、結果的には計算法そのものはいくつかの数式で表示できるものであり、Excelでも実行できる程度である。計算法公開は論文による方法で十分となっている。

### 4. 研究成果

5. の主な発表論文等の番号を用いて記述する。

#### (1) 実測と計算法の比較

発表論文7・8で計算法を紹介している。水道水温が得られれば、そこから受水槽を経て給水栓に至るものとする。本研究では受水槽の出口水温を妥当に推定できれば、高置水槽も同様の計算法が利用できるとして検討を始めている。

発表論文5・6にて本学3棟の計測方法の詳細を記している。ポンプの下流側に設けた水温センサによる水温、ポンプの発停信号、受水槽周囲気温と毎月の給水量の結果を示し、1日単位で妥当に給水温を得る方法を記している。

実測においては安全確保の観点から水道水温を直接実測できないため、水道水温を何通りか

で推定している。本学近隣に給水しているのは西谷浄水場であり、①横浜市水道局の上水道水質課に依頼して入手した西谷浄水場の浄水温実測値を元に、土日祭日等の欠測日は線形補間で補ったもの、②西谷浄水場では相模川から取水しており、その水源地と横浜市の気象データから浄水場浄水温を推定できる既往の計算法により推定した水温、③横浜市の気象データから作成した10日間移動平均の日外気温から①の実測値を用いて回帰分析により求めた一次式で近似した水道水温、の3通りを用いた。

発表論文4では測定開始の2017年9月から2018年5月までの9カ月、発表論文1~3で2018年の年間の実測結果を用いて検討を行っており、およそ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内で予測できることを示した。発表論文3で示した計算結果と実測結果の年間平均の絶対誤差は、高置水槽方式による23号館の場合、①の実測値による場合は $0.723^{\circ}\text{C}$ 、②の既往計算式による場合は $0.959^{\circ}\text{C}$ 、③の簡易な近似式による場合は $0.745^{\circ}\text{C}$ となった。計算入力条件である、水道水温、時刻別の給水量、水槽の断熱仕様、水槽周囲気温を設定することができれば、建物内の給水温は妥当に推定できることがわかった。

既往研究では建物内の給水温は、水道水温も重要であるが給水スケジュールや受水槽の周囲気温の影響も見られた。本研究による年間の計測結果によりその程度を確認できた。実測対象の3棟は年間を通して利用される施設であり、水利用は比較的頻繁である。また、水道水温が何より重要であることを再確認した。今後は妥当かつ簡易に水道水温を推定する方法を確立する必要がある。

本研究では大学施設という限定はあるものの、実際の建物の給水温を計測できた。その結果からも知見を得ることができた。ポンプ運転により給水温は受水槽の水温より高くなることはあっても低くなることはほとんどないこと、発表論文1・3では給湯設備の入力条件として日最低水温を給水温とすると、水利用の頻繁な建物にあっては給水温は受水槽周囲の環境にほとんど影響を受けることなく水道水温で代用できること、1・20号館ではポンプ直送方式が用いられているが水栓での圧力を保持するためポンプはから運転（圧力保持のためであって水は流れていない）を繰り返しており、そのまきつ熱で水温が $1^{\circ}\text{C}$ 以上上昇すること、23号館では高置水槽方式が用いられており、計測結果は容易に扱えるが、停止中でも周囲気温や外気温の影響を受けて水温が変動し、また季節差があること、ポンプが定常運転となるので最近の文献で提案されている単位給水量あたりの消費電力 $[\text{kW}/\text{m}^3]$ も算出可能であること、などである。

## (2) 計算法の汎用化

実測との比較により本計算法の妥当性は確認できたが、一般に利用できる計算法とするためには計算条件を整える必要がある。この計算法に必要な条件は、計算時間間隔、給水量、水道水温、受水槽仕様、受水槽周囲気温である。

計算時間間隔を1時間程度に取るか実測と同様に1分とするかで計算量は大きく変化するが、基本的な考え方は同様である。一般に給水量は、日給水量に対する時刻比率で与えられ、計算間隔を1時間にすると文献資料が活用できる。この場合、各時刻の給水量は日給水量 $\times$ 時刻比率として与えることができる。現在、日給水量の平均値等は利用人員数などから原単位で与えることができるが、変動量に関する情報が無い。仮にシミュレーションを行うとなると日給湯量も日給水量も365日で一定値に設定せざるを得ない。業務用の建物における平均的な日給水量は計測データもあって充実しつつあるが、その変動に関する研究も重要と思われる。

水道水温については、本研究ではいくつかの知見を得た。

- ① 可能であれば浄水場の浄水計測データを入手すること
- ② 浄水場の原水と建物周辺の気象データから水道水温を推定する既往の計算法でも $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 程度の誤差で済むことがわかったが、計算は煩雑である。
- ③ 建物周辺の日平均外気温を気象データから入手し、その10日間移動平均の一次式で日水道水温を妥当に推定できることが分かった。ただし、実測に基づいて一次式の係数を求める必要があり、本研究では浄水場水温を入手できたために係数をたやすく求められたが、汎用性があるかどうか、確認する必要がある。

受水槽仕様については、設計情報から得ることができる。受水槽の結露防止の観点からある程度の断熱は行われており、受水槽壁面の保温仕様等から伝熱係数等を設定できると思われる。

受水槽周囲気温は一般に計測も設定もされておらず、推定は困難である。当初は空調室と機械室の簡易な2室モデルを構築することを計画していたが、実測値に基づいて推定式を提案できた。本研究では3棟の機械室気温を計測しており、一例ではあるが1階、地下1階、地下2階にある窓等の開口部のない機械室の日平均気温を、日平均外気温の一次式で近似できることを発表論文2で示した。これは他の伝熱シミュレーションにも活用できる成果と思われる。

## (3) 計算法の公開

以上より本研究の計算法は汎用的に利用できることが示された。その計算法は発表論文7・8に示されており、そう複雑なものではない。時間間隔を1時間とした年間8,760時間計算であってもExcel等の表計算ソフトで十分実行できることを示した。

## (4) 本研究の成果のまとめと今後の課題

以上、本研究の成果をまとめる。

- ① 学内施設の3棟について、受水槽のポンプ下流側に水温センサを設けて建物内給水温の実測を行い、1年間にわたる実測結果をまとめて公表した。
- ② 既往の計算方法を用いて、上記の計測結果による検証を行った。水道水温を妥当に設定する

ことで年間平均絶対誤差 1℃以内で推定できることを示した。また水使用の頻繁な建物にあっては、給湯設備のための給水温は、受水槽などの周囲環境の影響を受けることなく、日水道水温で十分評価できることを示した。

③ 実測例、計算例の乏しい建物内機械室の気温の実測を行い、推定式を提案して公表した。

今後の課題としては、水道水温の簡易な予測法の確立が挙げられる。また、給湯設備による消費エネルギーのシミュレーションのためには、日給水量・給湯量の日変動や時刻変動を考慮した給水スケジュールの設定が必要となろう。

以上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Shizuo Iwamoto et al.
2. 発表標題 The prediction method of supply water temperature for energy simulation of hot water supply system Part3 A comparison between annual results of measurement and calculation of a building in Kanagawa University
3. 学会等名 CIB-W062 Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩本静男、傳法谷郁乃、坂上恭助
2. 発表標題 大学校舎における給水温実測 第2報 2018年実測結果の分析
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩本静男、傳法谷郁乃、坂上恭助
2. 発表標題 建物内給水システムにおける給水温の予測法（第3報）大学施設の受水槽水温の計測値と計算値 年間比較
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shizuo Iwamoto
2. 発表標題 The prediction method of supply water temperature for energy simulation of hot water supply system Part2 Comparison between results of measurement and calculation of buildings in Kanagawa University
3. 学会等名 CIB-W062 Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩本静男
2. 発表標題 大学校舎における給水温実測 第1報 実測概要と 2017年の実測結果
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩本静男
2. 発表標題 建物内給水システムにおける給水温の予測法 (第2報) 大学施設の受水槽水温の計測値と計算値の比較
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shizuo Iwamoto
2. 発表標題 Study on Numerical Prediction of Supply Water Temperature in the Building
3. 学会等名 ASWPT' 17 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shizuo Iwamoto
2. 発表標題 The prediction method of supply water temperature for energy simulation of hot water supply system
3. 学会等名 CIB-W062 (国際学会)
4. 発表年 2017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	傳法谷 郁乃  (Dempoya Ayano)  (00782301)	神奈川大学・工学部・助教    (32702)	