

IT時代の計測・制御技術の動向(3)

住宅における環境・エネルギー計測手法

佐藤 誠 システック環境研究所 正会員

キーワード：計測システム(Measurement System), ワイヤレスデータロガー(Wireless Data Logger), 遠隔データ回収(Remote Data Collection)

はじめに

昨今、化石燃料の枯渇や地球温暖化問題がさげばれるなか、エネルギー消費量の削減がたいへん重要なものとなってきた。エネルギー消費のトレンドは、産業部門が2度のオイルショック以降それほど増加していないのに対し、民生・運輸部門ではエネルギー消費量の上昇傾向に歯止めの効かない状況となっている。このため、我が国の省エネルギーを進めていくためには、民生・運輸部門のエネルギー消費量削減が重要である。民生部門のエネルギー消費構造は、住宅用と非住宅用とがおおむね半々である。

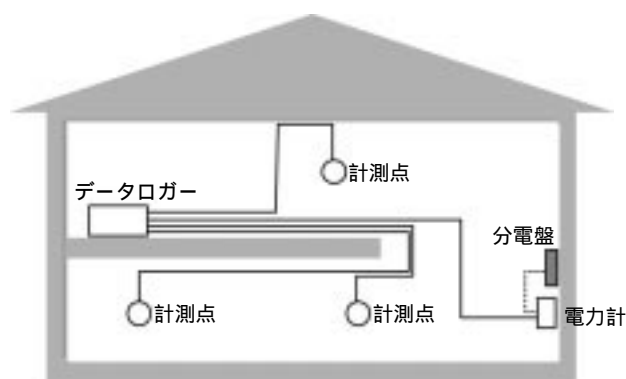
住宅用の省エネルギー手法としては、建物自体の断熱・気密などの熱性能を向上させる方法と設置される住宅設備機器の効率を向上させる方法が考えられるが、どちらの手法を設計に反映させた場合であっても意図した性能が実現されているかを確認することが必要となる。住宅の性能を確認するには、住宅の温熱環境やエネルギー消費量を測定する必要があり、今後ますます測定の需要が高まるものと考えている。

ここでは、住宅の温熱環境やエネルギー消費量の計測手法について、筆者が住宅の測定に携わった1995年ごろからの十数年間の変遷から最新の測定方法までをセンサではなく、データを収集するための計測システムの視点から広く述べるものである。

1. 計測システムの変遷

1.1 集中配置したデータロガーによる計測の時代

筆者が初めて住宅の温熱環境、エネルギー消費量測定を実施した1990年代中ごろは、実測といえたいへん大がかりな作業であった。データロガーなどがたいへん高価であり、1点の温度測定に要する費用が比較的高かったため、十分に実験計画を練らなければならなかった。図-1に示すようにパソコンとデータロガーの設置場所を決定し、計測点からデータロガーまでのワイヤリング経路を決めてそれぞれのセンサに必要な導線の長さを確定する。余談であるが、パソコン業界ではこのころ登場したWindows 95を搭載したパソコンが市場に出回り、これと通信速度9600 bpsのデータロガーとをシリアルケーブルで接続し、Visual Basicの開発環境を用いてデータを回収、表示



- 1) ケーブルが膨大で誤配線が多い
- 2) 家中をケーブルが這い回る
- 3) 居住状態での測定が難しい

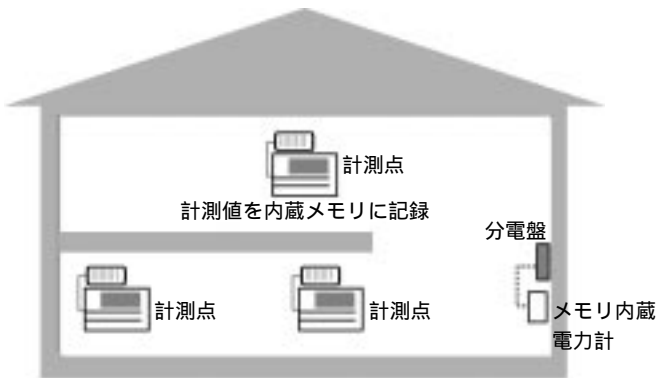
図-1 集中配置したデータロガーの計測システムイメージ

するプログラムを自作した記憶がある。当時はパソコンの能力にデータロガーの処理能力が追従できず、タイミングを取ることにたいへん苦労したものである。

実際のセンサ設置作業は、測定ポイントからデータロガーまで熱電対やシールド線が家中を這い回り、たいへん見苦しいものであった。このため、実際の居住状態にある住宅で長期にわたって測定することは居住者の負担からほぼ不可能であり、居住状態の住宅での測定は建物の躯体内部を導線経路とする手法を取らざるを得ないが、この場合は現場における建築工事との兼ね合いから予想以上の経験や労力を必要とする。また、壁体内には電気関連のケーブルも多く、配線の経路に注意しないと想像以上のノイズによって計測値が振動することもあるので注意が必要である。

1.2 データロガーの分散型配置

その後、温熱環境やエネルギー消費量の測定手法は、大規模な測定を除いて分散型の計測・記録計を用いて行うことが主流となっている。なかでもポータブル型の温湿度データロガーでは、図-2に示すように、センサと計測・記録計とがユニットとなっており、記録用に揮発性メモリを内蔵しているため、温度計測値と湿度計測値とをあらかじめ設定しておいたインターバルで内蔵メモリに記録していく。内蔵メモリに記録されたデータは、パソコンとデータロガーとをシリアルもしくはUSBのケーブルで接続し、パソコンへとコピーする方法である。測定をした場所



- 1) 測定後は小型データロガーをパソコンに接続して測定データをコピーする
- 2) 居住状態の住宅を測定しデータだけを回収する場合、計測点までパソコンを持っていきデータをコピーするのが煩わしい

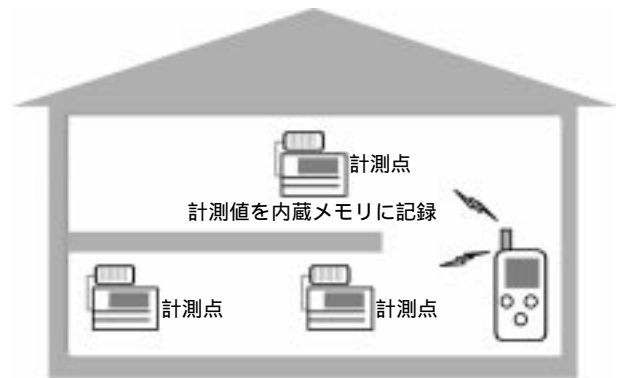
図-2 分散型データロガーを用いた計測イメージ

に置くだけなので、非常に簡易に測定が可能である。発売当初の機種ではメモリ容量が小さく、かつ乾電池の接触不良や誤ってスイッチを切断した場合に内蔵メモリが消去されるなどの不都合があったが、その後のバージョンアップによってこれらは改善されている。

分散型で配置する場合は、1.1で述べた集中配置型とは異なり、各室の室温を測定する場合などに各室からデータロガーまで熱電対やシールド線などのケーブルを這わせる必要がなく、比較的長期の測定を行ったとしても居住者の生活への支障が軽減されている。

1.3 データロガーの無線時代

前節で示した分散型のデータロガーを用いて実際の現場で測定をする場合、家中をケーブルが這い回ることにはなくなったが、内蔵メモリ容量を使い切った場合や欠測に対するリスク回避のために測定中のデータ確認を行う場合のように、データロガーは撤去せずにデータだけを回収するときに面倒が生じる。分散型データロガーでは、データロガーが設置されている場所までノートパソコンなどを持参し、シリアルないしUSBのケーブルを接続して回らなければならないため、測定点数が多くなると思わぬ労力を要する。現在では、図-3に示すように、データ回収の煩わしさから解放されるワイヤレスタイプのものが開発・販売され、現場では非常に重宝している。これは、分散型データロガーの内部メモリに記録された測定データを無線で専用の受信機に収集することができるものであり、全点のデータを受信機に収集した後に受信機とパソコンをケーブル接続してメモリに記録されているデータを受信機からパソコンへとコピーする方法である。このシステムは、測定現場での作業量を劇的に減少させている。ワイヤレスタイプは、居住状態にある住宅の測定をするときの恩恵が大き



- 計測点までデータを回収に行かなくても記録データを収集することができるため、居住者の負担が軽減できる

図-3 データロガーの無線対応

い。一般居住状態の場合、居住者の協力なしには実測自体困難であるが、ワイヤレスタイプのデータロガーを用いれば建物の内部にまで入り込む必要がなくなり、玄関などですべての室のデータを収集することが可能なため居住者への負担は相当軽減される。1.1で述べた、集中的に配置するデータロガーを使用する計測システムでは考えられなかった計測が可能となっている。

1.4 電力計も無線の時代へ

これまで述べたような家庭用の温熱環境計測手法の無線化の波は、温度計に限った話ではない。(財)省エネルギーセンターが普及活動している“省エネナビ”は、分電盤の主幹ブレーカーに取り付けたCTから計測器に測定値を読み込み、計測器からリビングなどに設置した表示・記録装置へと無線で測定値を転送する。表示・記録装置では受信した測定値をデジタル表示し、過去の実績値と比較することによって居住者の省エネルギー行動を啓発する役割をする。表示・記録装置には、内蔵メモリにデータを記録する機能があり、オプションのケーブルとソフトを用いて内蔵データをパソコンに収集することができる。もともと現状のエネルギー消費量を居住者に表示する目的として開発されたものであることから、データの収集作業は残念ながら無線化されてはいない。もしもデータの収集も行いたい場合には、分電盤などにパルス発信機能付きの電力計を設置し、ワイヤレスタイプのパルスカウンタを採用すれば無線でのデータ回収が可能となる。

最近の機種では、分電盤にCTを設置せず、コンセントと家電機器との間に計測器を挟むタイプも開発され、分電盤における回路単位の消費電力ばかりではなく、コンセント単位の計測ができる機種もある。また、表示・記録装置についても計測値のグラフ表示や太陽光発電のパワーコンディショナに内蔵して消費電力ばかりでなく、太陽光発電の発電量、売買電力量の表示も備えた高機能な機種も開発

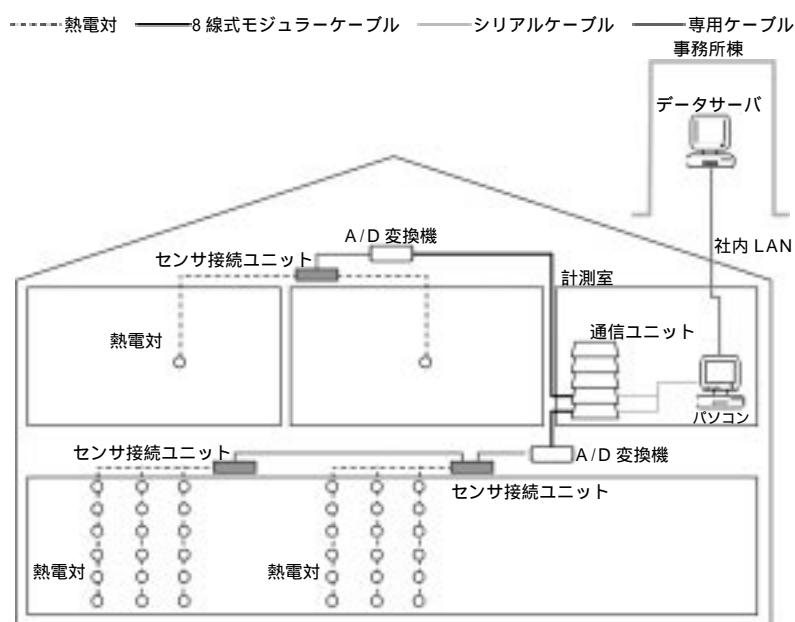


図4 T社の住宅試験棟計測システム

されている。

1.5 測定値の遠隔収集システム

実測を行ううえでは、確実に正確なデータを収集することがたいへん重要になり、欠測などは極力避けなければならない。測定上の失敗で最も多いのは計測器不具合（センサの断線や計測用パソコンの異常停止など）などによってデータが記録されていないケースである。例えば、12でも示したが、かつての分散型データロガーでは揮発性のメモリを使用していたため、使用する乾電池の接触不良や不注意によってスイッチをOFFにしてしまった場合、それまで記録してきた測定値はすべて消滅する仕様となっていた。これらに対応するために、現場に行かなくても収集データを確認する需要が高まっている。古くは計測用のパソコンと事務所などのパソコンをアナログの電話回線で接続して通信してきたが、パソコンの処理能力の向上やデータロガーの能力向上によって、短いインターバルで膨大な計測をすることが多くなり、転送するデータ量も多くなってきたため、アナログ回線による通信では実質不可能となってきた。最近では光ファイバーやADSLのようなブロードバンドで接続することが多い。ブロードバンドを用いると、データ転送だけでは飽き足らず、実験装置の設定を遠隔で変更し、その場に行かずにいろいろなケースの実験を行えるようなシステムも構築するようになってきた。ただし、ブロードバンドを使用する場合には、計測用のパソコンもインターネットに接続していることとなるため、セキュリティ対策を万全に行う必要がある。

2. 最新の計測システム事例

ここでは、筆者が計測システムの構築に携わった事例を2例紹介する。

2.1 蒸暑地域における住宅計測システム

本物件は、蒸暑地域に適した省エネルギー住宅の開発を目的としたプロジェクトの一環として、その性能を実証するために建設された木造戸建て住宅の計測システムである。計測システムについても設計段階から検討されていたため、建設時に壁体などにセンサを埋め込むことで室内側へのケーブル露出を極力避けている。このため、実験住宅でありながら建設した工務店は、モデルハウスとしても利用することが可能となっている。しかしながら、データロガーの設置位置を1階の階段下収納の1箇所としたために、多くのセンサケーブルをすべて階段下までワイヤリングする必要があったため、熱電対などが非常に長く必要となった。計測項目としては、各室の温湿度や吹抜け部分の垂直温度分布に加え、通気層内には温湿度計や風速計を埋め込んでおり、通気層の効果を検証することができる。また、本物件では床暖房ができるように改造したCO₂冷媒ヒートポンプ給湯機や全館ダクト式のセントラル暖冷房が採用されており、これらの効率測定も行えるようなシステムとなっている。CO₂冷媒ヒートポンプ給湯機に関しては、タイマーを用いて仮想的に給湯を行い、各系統に流量計や温度センサを設置することでCO₂冷媒ヒートポンプ給湯機のCOPを測定した。また、ダクト式セントラル暖冷房システムでは、ヒートポンプのインバータ周波数を記録することで実使用状態におけるCOPの測定を行った。計測ポイントは全部で104点であり、1分間隔で収集・記

録している。

当社からは遠く離れた地域での測定であったため、それほど頻繁には現場を訪れることができなかったことから欠測などによる被害が最小限に抑えられるように、1日1回PHSを用いた遠隔操作により、東京の本社へとデータを転送するシステムを構築した。

2.2 T社の住宅試験棟²⁾

本物件は、同一プラン、同一断熱性能の2棟の木造住宅である。2.1に示したノウハウを生かして計測システムを構築した。

本物件も前節の物件と同様にセンサ類をすべて壁体内部に隠ぺい(蔽)している。前節の物件のシステムでは、階段下にデータロガーを設置したために熱電対やシールド線などのケーブルを引き回すのに多大な労力を要したことを教訓とし、本物件では図-4に示すようにパソコンとの通信部分とセンサをつなぎこむユニットとが遠隔して設置できるタイプのデータロガーを採用し、このつなぎこみをするユニットを小屋裏や階間部分に分散設置することによって熱電対のワイヤリングなどの労力を相当軽減することができた。計測ポイントは室温や躯体内部温度、表面温度に加え、室内湿度や壁体内部温湿度、室内風速なども測定している。住宅設備システムに関しては、機器の出入り口温度や流量、エネルギー消費量であり、全部で1棟あたり380点を1分間隔で測定している。

収集した測定データは、LANを通じて隣接する事務所棟に送られ、自動集計ツールやグラフ描画ツールを用いて事務所にいながらにしてリアルタイムでのデータの閲覧が可能となっている。また、本物件の特徴としては、家電機器や人体を模擬した発熱機器、照明、給排水電磁弁、エアコンなどをパソコンからスケジュールに則り自動制御することができるため、両棟において実際の居住状態を再現させたうえでの実験が可能となり、より実態に即したデータの収集が可能となっている。

3. 住宅用測定システムのこれから

住宅用の計測システムはここ数年で飛躍的に進歩しており、10年前にはまず不可能であった非常に短いインターバルでの測定(秒単位)や数百点にも上る測定も可能となっている。これらの進歩はとどまることを知らず、現在でも進化を続けているが、計測の原点に戻ると以下のような点を再度考え直す必要があるのではないかと考えている。

3.1 膨大なデータ処理に要する労力

データロガーやパソコンの能力が向上したことから大量のデータを取得することが可能になったが、膨大な収集データは人間の目で見切れない量となることから、表計算ソフトなどを用いて統計処理をすることが多い。表計算ソ

フトを用いて手作業で分析することが困難なほど膨大なデータ量の場合には、専用のプログラムを作成して自動化する必要が生じている。これまでのように、研究者に求められる能力としては、取得したデータを表計算ソフトなどで集計し分析を行うだけではなく、効率的にデータを処理するプログラミングの能力も必要とされるようになってきたため、技術者の適正も変わってきている。

3.2 センサの校正

筆者の場合、これまで構築してきた大規模な計測システムなどの測定値については、すべての点の校正を行うことはほとんどなかった。例えば、500点の温度を測定するようなシステムの場合、夜間の冷暖房をしていない状態での測定値温度変動やほかの点の測定値との大小関係などから測定値の妥当性を確認するといったことを行うか、もしくはセンサの成績書をそのまま信用して測定値が真値であるとして分析を行うことが多かった。しかしながら、例えばセンサやデータロガーなどの誤差が1%以下であっても、熱量演算結果についてこれらの誤差が複合的にかかわってくることになるため、思わぬ大きさの誤差を含んだ測定値で分析する危険性があった。現在では、重要なポイントについては温度計であれば基準温度計、流量計であれば重量との比較などを用いて校正を行うことを心がけている。

まとめ

住宅用の温熱環境、エネルギー消費量を測定する方法について、筆者が本分野にかかわってからの変遷や計測システムの事例を述べた。

参考文献

- 1) 澤田武男：省エネナビの開発とその効果，エネルギー・資源，21(6)(2000)，pp.66～71
- 2) 佐藤芳幸・飯村 龍・草刈和俊・森村和三・小深田 徹：建物性能・設備性能・住まい方を考慮した住宅の省エネ性と快適性に関する研究(第1報)実験住宅の概要，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2003/9)

(2005/11/18 原稿受理)



佐藤 誠 さとうまこと
昭和46年生まれ/出身地 埼玉県/専門 環境工学/
学位 博士(工学)