

エネルギー消費性能の評価法

— 省エネ基準の評価法拡張と評定スキームの構築 —

国土交通省国土技術政策総合研究所住宅研究部建築環境研究室主任研究官

宮田 征門

1. 研究の背景と目的

平成29年4月より、2,000㎡以上の非住宅建築物については、建築物省エネ法（建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律、平成27年法律第53号）に基づく省エネルギー基準への適合が義務化された¹⁾。建築物のエネルギー消費量の削減は、エネルギー資源に乏しいわが国にとって喫緊の課題であり、国際問題である地球温暖化対策や災害発生時等の電力需給対策にも繋がる重要な課題であるため、今後も更なる規制強化が予想される。このような動きの中、国土技術政策総合研究所では、(国研)建築研究所と協力し、省エネルギー基準への適合性判定を支援するオンラインプログラム「エネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版）」（以下、「Webプログラム」という。）を開発し、公開している²⁾。このプログラムについて、元々は省エネルギー基準という最低水準を満たすかどうかを公平かつ簡便に判断することがプログラムの主目的であったが、近年は基準への適合性の判定だけではなく、より高い性能の建築物を対象としたラベリング制度（建築物省エネルギー性能表示制度、BELS、ベルス）のための評価ツールとしても使用されるようになった。つまり、基礎的な省エネルギー技術だけではなく、より高度な技術を採用した先進的な建築物をも適切に評価することが求められるようになってきた。そこで、国土技術政策総合研究所では、現状のWebプログラムでは技術的な検討が不足しており十分な評価ができない先進的な技術（特に、自動制御技術、未利用エネルギー活用技術）について、実態調査やシミュレーションによる解析を実施して評価方法を作成し、Webプログラムの機能拡張を行った。また、省エネルギー効果の根拠の一般化が困難な技術を対象として、その性能を評定し、省エネルギー基準の評価に活用で

きるスキームの構築を行った。本稿では、これらに関する研究の成果を報告する。

2. 研究の内容

(1) 高度な自動制御技術の評価法の開発

建築物のエネルギー消費は主として建築設備（空調設備や照明設備等）によるものであるが、このエネルギー消費量を削減するためには、高効率な機器を採用するだけではなく、機器を無駄なく効率よく動かす技術（自動制御技術）の普及も重要である。図-1は空調設備の変流量制御の例を示しているが、自動制御技術が適切に普及することにより、更なる大幅な省エネルギー化が可能である。自動制御技術の普及を阻害している要因は、①先進的で開発途上の技術であるため、その技術の定義（規格）が明確ではないこと、②その導入効果を定量的に評価するための技術的知見が不足していることである。そこで、各種自動制御技術について、その定義を明確に規定したうえで、各々の省エネルギー効果を定量的に評価する方法を開発した。

(2) 未利用エネルギーを活用した建築設備システムの評価法の開発

建築物の更なる省エネルギー化を目指して、未利用熱エネルギー（地中熱、井水、河川水等）を活用した高度な空調・給湯システムが普及しつつある。国土交通省の総合技術開発プロジェクト「電力依存度低減に資する建築物の評価・設計技術の開発（平成25～27年）」では、最も普及しているボアホール（ボーリング孔）型の地中熱利用システムを対象として、詳細な性能解析プログラムを開発して様々な仕様について解析を行い、その結果を集積して、設計時にエネルギー消費性能を評価する簡易手法を開発した。この成果は、非住宅建築物の省エネルギー基準の評価手法に組み込まれ、平成

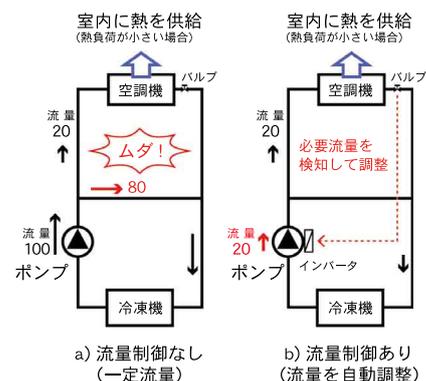


図-1 自動制御技術の例（空調設備の変流量制御）

28年4月、Webプログラムに反映された。

一方、近年、更に高効率かつ経済性の高いシステム（杭利用型、水平埋設型、井水や河川水等の直接利用型等）が登場しつつあるが、これらは現状の基準では評価できない。そこで、これらのシステムを対象として、シミュレーションおよび実測調査を実施して性能を分析し、前述のボアホール（ボーリング孔）型と同様に、省エネルギー基準用のエネルギー消費性能評価法を開発した。

(3) 先進的な技術の評定スキームの構築

前述のとおり、現状のWebプログラムは、省エネルギー基準の適合性判定において白か黒かを公平に判断することを主目的として開発された行政ツールであるため、①確認申請時には概略の仕様しか決まらず施工段階において当該建築物の条件に合わせて仕様を決定していく技術、②採用事例が少なく検証が不十分で実態としての性能が明らかではない技術、③JIS等によって、その定義や性能値が規格化されていない技術については、現状のWebプログラムでは評価ができない。しかし、最先端の建築物には、このような特徴を持つ先進的な技術が多く採用さ

れているため、これら技術の性能を評定し、省エネルギー基準の評価に活用できるスキームを構築した。

3. 高度な自動制御技術の評価法の開発

(1) 自動制御技術の分類および定義の作成

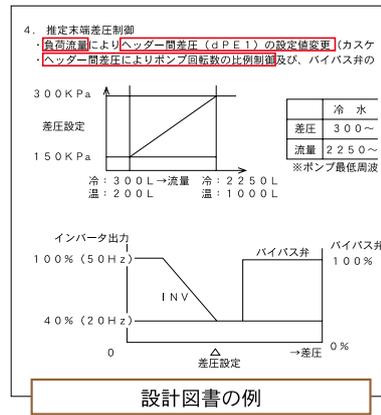
まず、自動制御技術の普及を阻害している要因の1つである「先進的で開発途上の技術であるため、その技術の定義（規格）が明確ではない」を解消するために、建築物の設計図書を調査し、自動制御技術の分類および定義を作成した。特に、現状の省エネルギー基準では評価が出来ない自動制御技術を対象として、建築確認申請時点の設計図書にどの程度の仕様を記すことが慣例であるか等も含めて調査を行った。

本研究では、計14物件の設計図書を収集し、自動制御技術の分類および定義の作成を行った。同じ制御でも、様々な動作方式がある（例えば、同じ流量制御でも1つのセンサーで制御するもの、複数センサーで細かく制御するもの等があり、効果は異なる）。本研究では、自動制御技術が導入されている実物件の設計図や竣工図の分析を行い、更に設計者や機器製造者へのヒアリング調査を実施して、各種自動制御技術について動作方式を具体的に書き起こし、その機能を分類して整理した。結果の一例を図-2に示す。

(2) 標準的な自動制御技術の評価法の構築

前述の各種自動制御技術の動作方式の分類調査で明らかにしたとおり、同じカテゴリの自動制御技術であっても様々な動作方式があり、その方式によって省エネルギー効果は異なる。しかし、現状の省エネルギー基準では方式毎のエネルギー削減効果の差異は評価できず、一番効果の少ない方式を仮定して評価を行っている（過小評価している）。そこで、本研究では、今後普及の見込みがある標準的な自動制御技術を対象として、方式毎に省エネルギー効果を差別化して評価する方法の構築を行った。

成果の一例として、照明設備における「明るさ検知制御」の検討結果を示す。ここで、省エネルギー基準における「明るさ検知制御」とは「天井等に設置されたセンサーにより室内の明るさを検知し、



○二次ポンプの変流量制御（4つの方式）

方式	何をセンシングするか	何を制御するか	省エネ性
A	ポンプ吐出圧力	ヘッダー間バイパス弁の開度	×
B	ポンプ吐出圧力	ポンプ回転数+ヘッダー間バイパス弁の開度	△
C	負荷流量	ヘッダー間差圧の設定値+ポンプ回転数	○
D	末端空調機の圧力差	ヘッダー間差圧の設定値+ポンプ回転数	◎

情報を抽出し分類と定義を作成

図-2 自動制御技術の分類（変流量制御の例）

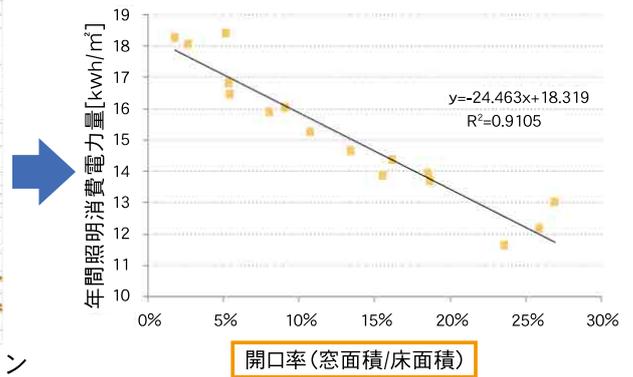
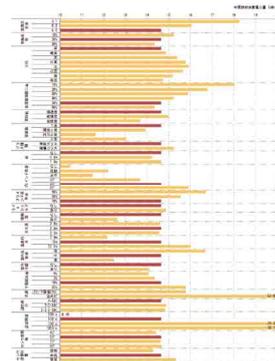


図-3 明るさ検知制御の省エネルギー効果の解析

その値に応じて照明器具の出力を制御すること」であると定義した。昼光計算シミュレーション (Radiance) による解析を行い、昼光利用時の明るさ検知制御の効果は、大きくは開口率（床面積あたりの窓面積）と自動制御ブラインドの有無が影響することを明らかにし（図-3）、この結果を踏まえて開口率毎にエネルギー削減率を定めた（表-1）。また、この制御が有効に機能するための照明器具の要件、併用される自動制御ブラインドの機能要件等を併せて整理し、審査機関により適切に評価が可能となるように資料を整備した。

4. 未利用エネルギーを活用した建築設備システムの評価法の開発

(1) 地中熱交換器の分類と定義

地中熱交換器の種類毎に地盤との熱交換性能は異なるため、種類毎に評価法を作成する必要があるが、そのためには、熱交換器の種類に関する明確な定義が必要になる。特に、本研究の成果は省エネルギー基準の評価方法として活用するため、熱交換器に関する高度な知識までは持たない審査者（登録省エネ判定機関）

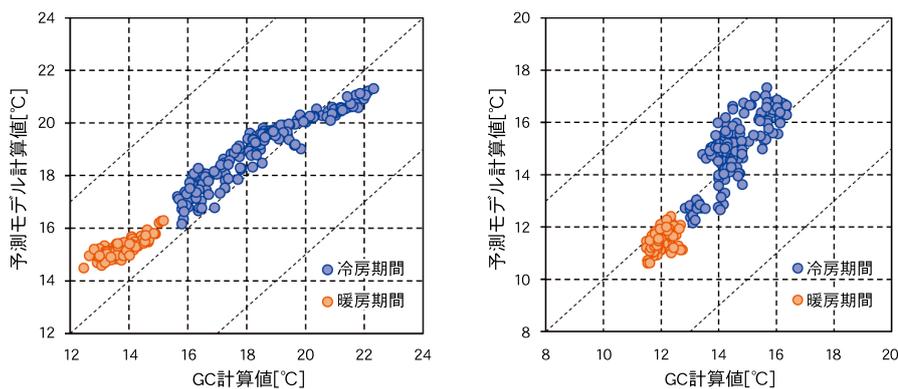
表-1 明るさ検知制御の動作方式毎のエネルギー削減率

選択肢	適用条件	削減率
調光方式 W15	開口率15%以上	0.85
調光方式 W15BL	開口率15%以上 自動制御ブラインド有	0.78
調光方式 W20	開口率20%以上	0.80
調光方式 W20BL	開口率20%以上 自動制御ブラインド有	0.70
調光方式 W25	開口率25%以上	0.75
調光方式 W25BL	開口率25%以上 自動制御ブラインド有	0.63

が図面をみて迷いなく区別できるように、明確なルールを作る必要がある。本研究では、建築設備設計者、施工者、学識者にヒアリングを行い、代表的な方式を見出し、これらについてその定義を作成した。ヒアリング調査等の結果に基づき作成した地中熱交換器の分類と定義を図-4に示す。充填材の種類、単一熱交換器中のパス数（1つの地中熱交換器の中に熱媒を通す経路の数）、ボアホール孔径（杭利用の場合は杭径）によって分類をすれば、現在、わが国で採用されている代表的な地中熱交換器はほぼ網羅して分類できることが判った。

本計算方法における地中熱交換器の種類	シングルUチューブ	ダブルUチューブ	大口径固体充填				間接型水充填		直接循環型水充填		
充填材	珪砂、豆砂利、コンクリート等(固体)						水等(液体)				
単一熱交換器中のバス数	1バス	2バス以上	1バス以上								熱交換器中の充填水と直接交換
ボアホール孔径杭径	200mm以下		200mm超						-		
地中熱交換器の例											
名称	シングルUチューブ	ダブルUチューブ	スパイラルチューブ	U字状チューブ	既成コンクリート杭(固体充填)	鋼管杭(固体充填)	場所打ち杭	既成コンクリート杭(水充填)	鋼管杭(水充填)	二重管(同軸)	
方式	ボアホール	ボアホール	ボアホール	ボアホール	杭	杭	杭	杭	杭	ボアホール	
水平断面図(例)											
垂直断面図(例)											
材質 孔径・杭径 (例)	高密度ポリエチレン(Uチューブ) 孔径100~200mm	高密度ポリエチレン(Uチューブ) 孔径110~200mm	高密度ポリエチレン 孔径約500mm以上	架橋ポリエチレン管 孔径約300mm以上	杭：コンクリート 内管：高密度ポリエチレン(Uチューブ) 孔径約500mm以上	杭：スチール 内管：高密度ポリエチレン(Uチューブ) 孔径約200mm以上	杭：鉄筋コンクリート 内管：高密度ポリエチレン(Uチューブ) 孔径：約500mm以上	杭：コンクリート 内管：高密度ポリエチレン(Uチューブ) 孔径約500mm以上	杭：スチール 内管：高密度ポリエチレン(Uチューブ) 孔径約200mm以上	外管：スチール 内管：ポリエチレン、塩ビなど 孔径約200mm以下	
充填	珪砂、豆砂利、コンクリート	珪砂、豆砂利、コンクリート	珪砂、豆砂利	珪砂、豆砂利、コンクリート	珪砂	珪砂	コンクリート	水	水	水	
熱媒	水・不凍液	水・不凍液	水・不凍液	水・不凍液	水・不凍液	水・不凍液	水・不凍液	水・不凍液	水・不凍液	水	

図-4 省エネ基準の評価法における地中熱交換器の分類と適用条件



を算出する式を開発した。

まず、性能解析プログラム (Ground Club。以下、「GC」という。) を利用して理論計算を行い、実際の地中熱交換器長 l と相当熱交換器長 l' の比 (相当熱交換器長換算係数) l を算出する。換算係数 l は熱交換器の種類、直径に係る寸法 d 、地盤の有効熱伝導率 λ の関数として算出した。作成した関数を図-5に示す。ここで、 d は地中熱交換器断面の直径に係る寸法であり、図-5に定義を示す。この換算係数の妥当性を検証するために、4つの実システムを対象として検証実験を行った。結果の一例を図-6に示す。開発した評価方法は概ね精度良く実態の性能を捉えていることを確認した。

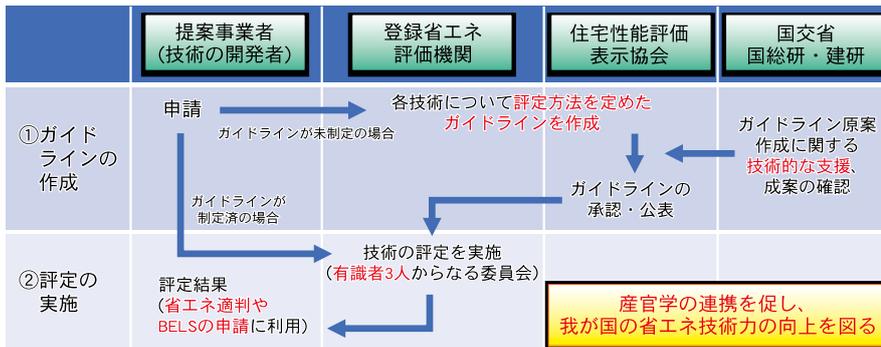
(2) 地盤との熱交換量を推定する式の開発

現状の基準では評価できない「大口径固体充填」「間接型水充填」「直接循環型水充填」の3種類を対象として評価式の開発を行った。既往研究において、ボアホール型の地中熱交換器の性能は、相当

熱交換器長 (地盤の有効熱伝導率 $\lambda = 2.0 \text{ W/(mK)}$ におけるダブルUチューブと熱的に同等の熱交換器長) を算出することで推定できることが判っている。本研究でもこの成果を利用して、「大口径固体充填」「間接型水充填」「直接循環型水充填」の3種類について相当熱交換器長

【参考文献】

- 1) 宮田征門、省エネルギー基準の適合義務化 基準適合性判定プロセスおよび判定方法の概要、ベース設計資料、No173、pp47-50、2017
- 2) 国総研資料 No. 973：平成28年省エネルギー基準（平成28年1月公布）関係技術資料 エネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版）解説 <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0973.htm>
- 3) (一社)住宅性能評価・表示協会：任意評定、https://www.hyoukakyoukai.or.jp/nini_hyoutei/index.html



図ー7 任意評定制度のスキーム

5. 先進的な技術の評定スキームの構築

例えば、自動制御技術については、当該建築物の気象条件や運用条件等に応じてカスタマイズすれば、大きな省エネルギー効果を得ることが期待されるが、一方で、その効果は一般化しにくく、設計時点における定量的な評価は難しい（つまり、省エネルギー基準の評価法として組み込みにくい）。そこで、登録省エネ評価機関を活用した評定スキーム（任意評定制度）を新たに構築し、各建築物特有の条件を踏まえた先進的な取り組みを個別に評価できるようにした。

本研究で構築した任意評定制度のスキームを図ー7に示す。任意評定制度は、現状の省エネルギー基準の評価方法では評価ができない技術について、予め定めたガイドラインに基づいて当該技術の性能を試験（もしくは計算）し、その試験結果の妥当性を任意評定実施機関（登録省エネ評価機関であり、かつ(一社)住宅性能評価・表示協会に登録された機関）が承認すれば、当該技術の性能値を使用して省エネルギー基準の一次エネルギー消費量計算をすることが可能になるスキームであるとした。ガイドラインは技術毎に作成するものとし、任意評定の対象とする技術の定義と範囲、性能を算出する試験方法（試験体の仕様や試験体数、試験実施機関に求められる能力等）や計算方法（シミュレーションによる計算の場合は、そのシミュレーションに求められる機能や計算条件等の規定）等を規定することとした。

具体的には次のような特徴を持つ技術が評定の対象となり得ると想定し、幾つかの代表的な技術についてガイドラインの構築に関わる検討を行った。

- ①省エネ効果が、その個別の建物の使われ方に依存する自動制御技術
 - ・人感センサーによる在室検知制御
- ②未利用エネルギー（井水熱、温泉熱等）を活用する技術（建設地毎に井水や温泉水等の温度は異なり、一般化が困難）
 - ・井水を利用したヒートポンプ熱源システム
 - ・温泉水等を活用した給水加温システム
- ③仕様が複雑で確認申請時点の設計図に詳細な仕様を記すことが難しい自動制御技術
 - ・空調機の給気風量最適化制御

6. 研究成果の活用

本研究の成果のうち、「高度な自動制御技術の評価法の開発」と「未利用エネルギーを活用した建築設備システムの評価法の開発」については、省エネルギー基準への適合性を判定する「エネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版）」に反映され、省エネルギー基準やBELSのための評価に使用されている。また、「先進的な技術の評定スキームの構築」については、平成29年3月15日付の技術的助言（国住建環第215号、国住指第4190号）で制度が規定され、平成29年7月より運用開始（事務局：(一社)住宅性能評価・表示協会）されている³⁾。

【謝辞】

本報の成果は、国土技術政策総合研究所の事項立て課題「自動制御技術によるエネルギー削減効果の評価法の開発（平成28～30年）」および基礎重点課題「未利用熱エネルギーを活用した建築設備システムの評価法に関する検討（平成28～29年）」によるものである。