

住宅開口部のエネルギー性能 ～計算法によって性能向上を目指す～

伊丹 清

環境建築デザイン学科

住まいとエネルギー

「住まうという行為とXX」というテーマで、学部共通基礎科目である「環境科学概論Ⅱ」というオムニバス授業の3週分を2003年から当方が担当している。XXは、各週で気候、水、エネルギーと変化する。なぜ環境科学部に建築デザインの学科があるのか、という他学科の学生の疑問に少しでも答えるひとつのきっかけとしてもらいたいという思いがある。もちろん、建築デザインの学生にもしつかり(再)認識してもらう必要もある。その3週目に取り上げる住まいにかかわるエネルギー、特に開口部にかかわるエネルギーを研究のメインとしているので、ここに取りあげさせてもらう。

多くの人が活動するところでエネルギーも多量に消費され、都市部でのヒートアイランド現象を引き起こしている。住まいも人の活動がなされるうつわのひとつであり、都市周囲の郊外・住宅地であっても住まいでのエネルギー消費量を減少させることは重要である。日本の気候は四季に富み、その夏は暑く湿度が高く、冬は寒く湿度も低い。冬の室内は暖房だけでは乾燥することも多い。このような冷暖房の必要性が高い気候下にあっては、建物のエネルギー性能のよいことが求められる。

建物開口部のエネルギー性能

特に開閉が可能なドアやガラスとサッシ(=枠・障子)で構成される窓などの「開口部」は、断熱材を入れ込みやすい「外壁」(当方の分野では屋根や最下階の床を含む)と比べて、相対的に断熱性が悪い部位である。また、昼間は日光を室内に取り込みたいため開口部によく用いられるガラスは日射熱もよく通すという性質をもつ。このような建物内外を隔てる(外壁と開口部からなる)部分を我々の分野では建物「外皮」と呼んでおり、これら部位の断熱性と日射遮蔽性は、気密性^{注1}とともに外皮(エネルギー)性能としてその向上を図ることが重要とされている。

ただし、日射遮蔽性については夏期の日中に求められる性能であり、冬の日射は住宅などでは特に室内に取り入れて暖かさを得たり、暖房に使用するエネルギーを少なくするために有効活用しようとすることが多い。そうした点を考慮してこの性能については年間を通して日射熱取得性能という語を用いようとする考え方が普及しつつある。

サッシメーカーの最近のCMでよく取りあげられるように、窓・開口部にはいろいろなニーズがあり、また、夏期と冬期で相反するニーズを満たさなければならぬといったことの多い部位である。

省エネ基準の変遷(住宅用)

これら外皮性能の評価方法とその基準値は、1979(昭和54年)年に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(通称:省エネ法)が制定され、それを受けて策定された1980(昭和55)年「省エネルギー基準」が最初のものである。その後、1992(H4)年に「新省エネ基準」へ、1999(H11)年に「次世代省エネ基準」へと改正され、現在は2013(H25)年に改正された「平成25年基準」が適用されはじめている。改定の度に、地域・気候に応じて定められる要求性能の値が強化されてきている。また、外皮の部位毎に求めた断熱性能値「熱貫流率」と日射遮蔽性能値「日射熱取得率」に各部位の面積をかけて積算したものをを用いることで建物全体の性能値も算出されるが、平成25年基準までは延べ床面積当りで示した値をそれぞれ「熱損失係数」と「夏期日射取得係数」と呼んでいたが、平成25年基準からは外皮1m²の平均値でそれぞれの性能値を示した「外皮平均熱貫流率」と「冷房期の平均日射熱取得率」と呼ばれるものをを用いるようになり、「外皮性能」であることがより分かりやすくなっている。

外皮と熱橋

外壁部では柱・梁を含む部位とそれらで囲まれささえられる面材で構成される部位とで断熱性能は大きく異なるように、開口部の枠・障子部(以後、フレーム部)とガラス中央部とでは、断熱性能も日射遮蔽性能も大きく異なる。面材で構成される部位では性能値の計算は比較的簡便ではあるが、これら面材をささえる周囲の構造部材まわりの性能値を得るには、実態をモデル化して伝熱解析を行うか、実際の部材を用いた試験を行うなどして求める必要がある。また、これら面材をささえる構造部材は一般に熱を通しやすい金属などが用いられやすく、また面材部分で使用される断熱材が分断されがちな部位であることも多く、熱をよく通す部位「熱橋」となりやすいことから、これら部位の性能値も重要である。

開口部の透明部分であるガラスは、2枚のガラス

間の中空部を断熱層とする複層ガラスが、さらにはこの中空部での放射伝熱を少なくするLow-E複層ガラスや、中空層での対流伝熱を少なくするガス入りの複層ガラス、さらには、真空ガラスなどが開発・普及してくるなど、断熱性能の向上が図られてきている。一方、フレーム部でも熱遮断構造のアルミ製のものや樹脂製のものが断熱サッシとして開発されてきている。

熱橋解析プログラムの開発

これでやっと、開口部のエネルギー性能にかかわるこれまでの流れの中で、当方の行ってきたことが説明できそうである。

住宅の基礎断熱の方法を検討する目的で、当方の伝熱解析プログラム作成はスタートしたが、1990年ごろから住宅の外壁に見られる熱橋の計算を行うようになり、1992 (H4)年の「新省エネ基準」内の「(基準)熱橋係数」の算出にかかわることができた。続いて、玄関ドアの熱貫流率を算出する方法を検討する(財)ペタリービングの研究委員会((社)日本サッシ協会の委託,H5)の委員になり、開口部の熱橋解析に特化したプログラムの開発へと変わっていった。その後、この委員会は母体を(社)リビングアメニティ協会という住宅の設備や建材メーカーを協会員とするところに移して、開き窓、引違い窓、天窗・出窓を順に対象にしながらか算法の整備が進められるとともに、当方のプログラムもますます開口部用に特化していく。すなわち、フレーム部断面内に多く存在する中空部や、開閉する窓枠内外に生じる空隙部などを含むモデルの伝熱解析を行うものになっていった。

この頃には「TB2D/BEM」という名称をもつプログラムとなり、大手サッシメーカーにも研究用に使ってもらえるようになった。また、多くの実際の開口部製品のフレーム部の断熱性能(熱貫流率)の計算結果の蓄積がなされ、上述の研究委員会で日本の窓製品・開閉形式の特徴などを踏まえた計算法を確立していくことができた。その一方で、検証試験データは、同委員会に参加されていた国交省建築研究所(後に国総研*に所属が変わる)の倉山千春先生(2年前にガンで逝去された)が、サッシメーカーの委員の協力を得つつ、測定がなされていった。これらは本学の開学前後の頃のことである。

* 国総研：国土交通省国土技術政策総合研究所

1999 (H11)年の「次世代省エネ基準」の解説書に上記プログラムが紹介されたことから、これまでに順次開発を行っていたプレ・ポスト・プログラムを含めた解析ツールとして公開をすることとし、同

協会のホームページからダウンロードできるように無償とした。

日射遮蔽性能の解析機能の追加

2000年頃から、日射遮蔽性能の指標である日射熱取得率の計算機能を追加する試みを始める。ガラス部での透過成分を除けば、フレーム部断面モデルの外気側表面に、各面材の日射吸収率と日射の入射角に応じた発熱を与える条件下で、同じ伝熱解析を行えばよい。ただし、斜め入射する場合は、3次元場での入射角を用いることとするなど、工夫を加えている。

一方、(社)リビングアメニティ協会でも板硝子協会からの委員を加えた「遮熱性能計算法の研究委員会」が発足して、開口部の日射遮蔽性能の計算法を整備していくことになった。2004 (H16)年には同委員会の活動は終了し、委員会案としての計算法も完成を見ている。

同時期から国総研では、日射熱取得率の測定方法と装置の検討が始められた。

WindEyeとTB2D/BEM

フレーム部の断熱性能を求めるツールだけでは、省エネ基準の評価に開口部全体としての性能を入力するには、まだまだ手間がかかる。窓製品部材は同じでも開口の大きさによる性能は、ガラス部分の比率が変化することから異なってくる。また、フレーム部は同じでもガラス(特にスペーサをもつ複層ガラス)が異なると、フレーム部の熱橋としての効果が変化する。窓にはさまざまな日射遮蔽のための付属物が、ひさしやブラインド・カーテンなどが、付加されて使用されることも多く、昼夜で、あるいは夏期・冬期で取り外しや調整がされることも多い。開口部に求められる機能は、昼夜・季節で大きく異なってくるからである。

掃き出し窓や開閉できないFix窓など、形態や開閉形式、大きさもさまざまにあるのが開口部である。そういったさまざまなバリエーションもつ開口部の断熱性能や日射熱取得性能がどんな値になるのか、また、ニーズの違いによる可変性によってもこれら性能値はどれだけ変化するのか、を知りたいという要望があったため、同委員会ではWeb上で付加物も含めたさまざまな開口部の性能値を計算するツールの開発が進められることになった。ブラインドやカーテンのメーカー団体である(社)日本インテリアファブリックス協会からのメンバーを加えた「窓のエネルギー性能評価法検討委員会」で検討が行われ、「WindEye」というツールが鹿児島大学の二宮先生に

より開発がなされ、やはり(社)リビングアメニティ協会のホームページからウェブ・ツールとして利用可能になった。

このことにより、窓全体の性能値を計算するツールには、さまざまな開口部製品のフレーム部の性能値を含んだデータベースの充実が求められ、そのために当方のTB2D/BEMというツールは、複数のサッシメーカーの多くの商品群のフレーム部の計算に利用されることになった。登録すべき2種類の性能値(断熱性能値である熱貫流率と日射遮蔽性能値である日射熱取得率)のデータベースが充実することで、ユーザーが複数のサッシメーカーの多くの商品群の中からニーズに合わせてフレームを選択して、さまざまなガラスとの組み合わせられた窓全体の性能値を得ることができるようになる。ここでのユーザーには工務店等での設計など具体的な開口部製品の組み合わせを検討しつつ、省エネ基準を満たすように住宅全体を設計する人が想定されている。

断熱性能の計算法のJIS化

工務店などでの住宅の設計に際して、家全体での性能が省エネ基準をみたすかどうかを計算するために、さまざまなガラス、フレーム、ブラインドなどを組み合わせた窓の性能値をWebツールで得ることができるようにする一方、これら開口部のエネルギー性能値の信頼性を確保するため、これら性能値を計算する方法を規格化することも進められることになった。2011年に2部構成のJIS A 2102^{1),2)}として熱貫流率の計算法が制定され、これを機にTB2D/BEMとWindEyeという両ツールがJISの計算法に適応したものであるという第三者認証を、建材試験センター等の協力により得ることができた。このことにより、省エネ基準の計算にこれらツールが公式なものとして利用可能になったと同時に、フレーム部の熱性能の違いによる窓の熱性能値の変化・影響をやっと評価する方法が実用化されることとなった。

このJISはISO 10077-1³⁾及び同-2⁴⁾の翻訳JISという体裁をとってはいるが、日本独自の半外付けという開口部製品の外壁への設置形態を反映した附属書「JB 外窓と内窓との伝熱開口面積の異なる二重窓の熱貫流率(規定)」(JIS A 2102-1の附属書)をもつなど、JIS特有の部分も持つものになった。

また窓の断熱改修を促進させるべく省エネ住宅ポイント制度(2014 (H26)年から2年間)を実効性のあるものとするため、このJISの第1部(A2102-1)は改正を検討することとなった。すなわ

ち、採用された断熱改修の方法がどの程度、省エネ性能に及ぼすのかを計算する方法を定める必要が生じたため、「附属書JX 既存窓の情報がない場合の改修窓の熱貫流率(規定)」と「附属書JY ガラス交換^{註2)}によって改修された窓の熱貫流率の実用的な改善値(参考)」などを追加する改正が2015年6月になされている。

これらの附属書策定のための根拠としての計算結果、実用的な計算法の提案、および、文案の作成に当方のツールが活用されるとともに、当方も改正原案作成の分科会委員を担当した。

日射熱取得性能の計算法のJIS化

日射熱取得率の計算法についてもJIS化が進められることになった。こちらは部分的には既存ISOなどを取り込んだ部分はあるものの、オリジナルなJISとして案が策定され、2014年4月にJIS A 2103⁵⁾として成立している。また断熱性能のJISと同様に両ツールの第三者認証も得ている。

このJISの本文で規定されているフレーム部の評価方法は、ISO 10599⁶⁾に規定された簡易な方法であり、フレーム部の熱貫流率・フレーム部の平均日射吸収率などを用いて求めるものである。熱貫流率を用いることで、同様の伝熱解析をフレーム部について行う手間を省くことができる。その妥当性についてもしっかり検討が行われている。

その一方で、より詳細な解析を行ってフレーム部の日射熱取得率を得る方法を「附属書E(規定) フレーム日射熱取得率の詳細計算法」という形で追加している。メーカーの開発や研究用での利用を目的とした計算法についても、その方法を規定するためのものと言え、主に当方が案を作成した。

計算法のJIS化と同時進行する形で、日射熱取得率の測定法についてもJIS化が図られ、同時(2014年4月)にJIS A 1493⁷⁾として制定されている。この測定法とその装置は、2012年頃から中国と韓国が深く関心を示し国総研に視察に来るなど、測定装置が整備・設置を目的とする交流が進められ、日本の

表1 窓の熱性能に関するISO規格とJIS規格

評価法 規格	測定法		計算法	
	ISO	JIS	ISO	JIS
断熱性能(熱貫流率)	ガラス	ISO 10291 ISO 10293	なし	ISO 10292 JIS R 3107
	フレーム	なし	なし	ISO 10077-2 ISO 10599 JIS A 2102-2
	窓	ISO 12567-1 ISO 12567-2	JIS A 4710 JIS A 1492	ISO 10077-1 ISO 10599 JIS A 2102-1
日射熱取得性能	ガラス	なし	なし	ISO 9050 JIS R 3106
	フレーム	なし	なし	ISO 10599 JIS A 2103
	窓	ISO/DIS 19467	JIS A 1493	ISO 10599 JIS A 2103

(倉山先生の)指導のもと、両国に測定装置が整備・設置がされることになった。さらには、ISOには対応する規格がなかったため、(経産省委託事業の下)3カ国共同でISOにNP(New Proposal)提案することが合意され、2013年9月に提案、2014年12月にはISO/CD(Committee Draft)案が投票で承認され、現在TC163/SC1/WG17のメンバー各国でISO/DIS 19467として最終的な検討がなされている。(TC: Technical Committee, SC: Sub-Committee, WG: Working Group, DIS: Draft of International Standard)

一方、日射熱取得率の計算法についても日本からISO化の提案が検討されたものの、米国主導のISO 15099が既に存在すること、この規格で規定されている簡易計算法でまだまだ実用的には十分な精度を有していること、欧州各国ではまだまだ日射遮蔽性能(日射熱取得性能)に対するニーズがないこと、などを理由に断念することになりそうである。

まとめ

これら計算法が確立し普及することで、時間的にも経済的にも負担の大きい試験(測定)を行わずにより高性能な製品開発が可能となってきた。そのことは、より高性能な開口部製品がより安価で普及していくことを促し、住宅などでの省エネルギー性能が改修などによっても促進されていくことが期待される。

一方、日本発の日射熱取得率の計算法が引き金になって、ISOで詳細計算法が検討されるようになるためには、まず測定法がISO化により各国に普及が進み、測定データの蓄積がすすむことが必要であろう。特に東南アジア等の朝夕の日射熱の影響が大きい地域での規格の普及が期待される。加えて、より高性能な日射遮蔽性をもつガラスも普及していくことで、相対的にフレーム部の日射熱取得性能の高性能化が窓全体に大きく影響を及ぼすようになる必要もあるのだろう。

- 1) JIS A 2102-1 窓及びドアの熱性能 —熱貫流率の計算— 第1部：一般(2011年3月成立、2015年6月改正)
- 2) JIS A 2102-2 窓及びドアの熱性能 —熱貫流率の計算— 第2部：フレームの数値計算方法(2011年3月成立)
- 3) ISO 10077-1 (2006) Thermal performance of Windows, doors and shutters —Calculation of thermal transmittance— Part 1:Simplified method

- 4) ISO 10077-2 (2012) Thermal performance of Windows, doors and shutters —Calculation of thermal transmittance— Part 2:Numerical method for frames
- 5) ISO 15099 (2003) Thermal performance of Windows, doors and shading devices — Detailed calculations—
- 6) JIS A 2103 窓及びドアの熱性能 —日射熱取得率の計算— (2014年4月成立)
- 7) JIS A 1493 窓及びドアの熱性能 —日射熱取得率の測定— (2014年4月成立)

注1 気密性能：すきま風の生じにくさのこと。すきま風(=内外を移動する空気)が多ければ多くの熱を運び、冷暖房の熱損失量を増大させる。この性能は施工の優劣が大きく影響するため、測定法によって求める必要があり、計算法で得ることは困難という側面をもつ。

注2 ガラス交換による断熱改修：単板ガラス用の枠・障子部のガラス挿入部にアルミ製のアタッチメントを伴った複層ガラスをはめる工法。したがって、枠・障子+アタッチメントの部分が金属熱橋として作用する。複層ガラス化によってガラス部分は高性能化するものの、ガラス部分の面積は小さくなり、金属熱橋の部分の面積は増加するため、この断熱改修方法により窓全体としてはどの程度の性能向上が期待されるのかを、評価する必要があった。