

建築の省エネ性能評価と設計法の今後

— 既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発の重要性 —

環境研究グループ グループ長 澤地 孝男

同 上席研究員 桑沢 保夫

同 主任研究員 三木 保弘

同 研究員 宮田 征門

国土技術政策総合研究所 住宅研究部 主任研究官 三浦 尚志

目次

I はじめに

II 研究の背景・近年の動向

- 1) 地球温暖化対策のための国の目標設定
- 2) 環境エネルギー技術革新計画の見直し（平成 25 年）
- 3) 近年における国際的な目標設定及び展望
- 4) 民生部門対策のための研究開発に必要なこと

III 既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発

- 1) 既存技術の向上と普及（省エネ面における設計及び機器開発への支援）
- 2) 革新的技術の実効性検証、評価法の確立、そして普及まで
- 3) 住宅・非住宅建築物の新しい省エネルギー性能評価
- 4) 評価法共有の重要性、その設計における応用

IV おわりに

謝辞、参考文献

I はじめに

一般的な傾向として「技術開発」は、聞きなれない名前の技術、珍しい技術、原理のまだよくわかっていない技術を対象になされることのほうが多い。1970年代の石油危機、1980年代以降の地球温暖化問題に対処すべく、住宅やビルの省エネルギーという目的の達成のため、そうした研究開発への取り組みがなされてきたが、いよいよ状況の切迫した昨今において、目標達成の道筋を現実的に考えた結果として、普及の可能性があり、広く大きな省エネ効果が期待できるにも拘らず、最後のハードルを超えられないために効果が発揮できていない既存技術の向上と普及のための「技術開発」が注目されつつある。

II 研究の背景・近年の動向

1) 地球温暖化対策のための国の目標設定

地球温暖化対策の根幹である京都議定書(平成 17 年発効)の目標達成のため、政府は最初の京都議定書目標達成計画を平成 17 年 4 月に、その後改定案を平成 20 年 3 月に閣議決定した。表 1 は当時の目標値と、平成 25 年 11 月に発表された平成 24 年度の速報値及び京都議定書における日本の削減約束の達成見込みを示す。森林吸収量等を含めると目標達成は確実になったものの、民生部門（業務その他部門+家庭部門、表中太字表記）については結果が目標値を上回った。

表1 京都議定書目標達成計画(2008年3月)における2010年度の目標値と実際(結果)

排出量の単位はMtCO ₂	基準年	2005年度	2010年度の目標値(京都議定書目標達成計画,2008(平成20)年3月)	約束期間(2008-2012年度)の平均排出量の実際(結果)
エネルギー起源CO ₂	1,059	1,201	1,076~1,089	1,143
産業部門	482	452	424~428	416
業務その他部門	164	239	208~210	234
家庭部門	127	174	138~141	179
運輸部門	217	257	240~243	231
非エネルギー起源他	202	158	163	136
合計(①)	1,261	1,359	1,239~1,252	1,279
森林吸収量及び京都メカニズムクレジット(②)				122
結果(①-②)【基準年からの削減率(%)】 ※右欄のように②を算入することにより削減約束を達成。				1,157 【-8.2%】<削減約束-6%

(注)平成20年3月28日閣議決定「京都議定書目標達成計画(環境省)」及び「2012年度(平成24年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について」平成25年11月19日に基づき作成。

京都議定書と並行し、平成19年5月に当時の安倍総理は「世界全体の排出量を現状に比して2050年までに半減(クール・アース構想)を、平成20年に福田総理は「2050年までの長期目標として現状(2008年)から60~80%の削減」を掲げた。また平成21年、鳩山総理は「すべての主要国による、公平かつ実効性のある国際枠組みの構築」を前提に「1990年比で言えば2020年までに25%削減」を掲げた。これらの中長期目標は平成23年3月の東日本大震災と原子力発電所事故により見直しを余儀なくされたものの、平成25年11月、第2次安倍内閣は「2050年までの世界全体の温室効果ガスの排出量半減、先進国全体で80%削減を目指すという目標を達成することを改めて掲げる」とした(「美しい星への行動」攻めの地球温暖化外交戦略¹⁾)。この新たな戦略では、並行して見直された総合科学技術会議の「環境エネルギー技術革新計画」²⁾を重視し、計画の着実な実行が必要であるとされている。また、同計画ではIEAのETP2010及びETP2012³⁾が参考にされている。なお、2020年までの当面の温暖化効果ガス削減目標としては、原子力発電による効果を含めずに2005年度比で3.8%削減としている⁴⁾。

2) 環境エネルギー技術革新計画の見直し(平成25年)

上記の環境エネルギー技術革新計画(平成25年改訂案)では37種類の「革新的技術」が着目され、削減効果の大小、市場規模、官民の役割分担、技術の成熟段階に関して評価が行われている。37種類のうち、民生部門すなわち住宅及び非住宅建築物に係る8種類の環境エネルギー技術を抜粋し表2に示す。

住宅及び非住宅建築物に関しては、改訂前の技術革新計画(平成20年)においては「省エネ住宅(断熱材・断熱ガラス)」と表記、「民主導」かつ「市場に委ねる」とされ、また削減効果(2030年)については「3億トン未満」と少なく評価されていたが、改訂後は「省エネ住宅・ビル」と「ビル」が加えられるとともに「断熱材、断熱ガラス」といった外皮に対策を限定するような記述は削除され、役割分担は「民主導~官民共同」に、削減効果(2050年)は「10億トン以上」と変更されている。平成24年以降における住宅・ビル分野の省エネルギー基準の一次エネルギー消費量評価への以降が反映された結果と推測される。

表2 環境エネルギー技術の評価(民生部門関連のみを抜粋)²⁾

大分類	小分類	削減効果	市場規模	役割分担	成熟段階
生産供給	4. 太陽光発電	◎	◎	民~官	基~普及
	5. 太陽熱利用	◎	◎	民~官民	基~普及
消費需要	18. 革新的デバイス(照明含む)	◎	◎	民~官	応用~普及
	22. エネルギーマネージメントシステム	◎	◎	官民	応用~普及
	23. 省エネ住宅・ビル	◎	◎	民~官民	応用~普及
	25. 高効率ヒートポンプ	○	◎	民	応用~普及
需給統合	30. 燃料電池	○	○	官民	実証~普及
	31. 高性能電力貯蔵	-	○	民~官民	応用~普及
	32. 蓄熱・断熱等技術	△	○	民	応用~普及

(注)削減効果:◎は2050年における世界の温室効果ガス削減効果10億トン以上、○は3~10億トン、△は3億トン未満。市場規模は:◎は3兆円以上、○は0.3~3兆円、△は0.3兆円未満。役割分担:「民~官」は民主導~官主導、「民~官民」は民主導~官民共同、「官民」は官民共同、「民」が民主導の意。成熟段階:「基~普及」は基礎研究~普及性能向上、「応用~普及」は応用研究~普及性能向上、「実証~普及」は開発実証~普及性能向上の意。

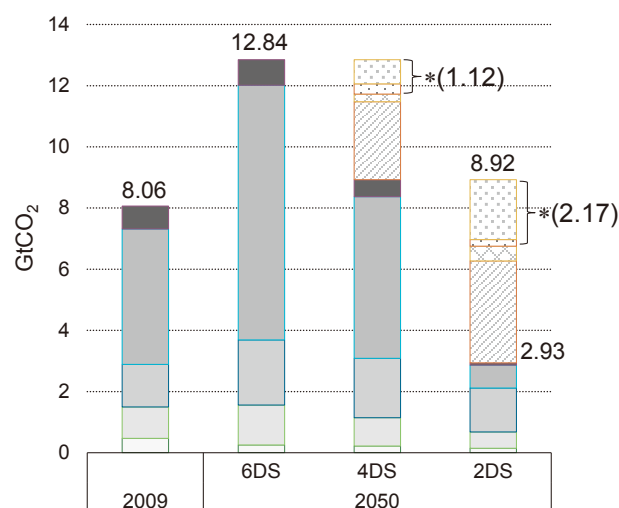
さらに、この計画の特徴は「革新的技術」を、既存技術を含めて整理し直し、「既存技術の向上と普及が重要である」と極めて現実的なロードマップを描いた点にあると言える。真新しい技術のみが革新なのではなく、既存技術で有望なものこそ普及に向けた技術革新を加えることが地球温暖化対策のために日本が為すべきことであるとしている。

3) 近年における国際的な目標設定及び展望

2005年のG8 グレンイーグル・サミットにおいて、IEA(国際エネルギー機関)は有望な温暖化対策を特定するようにG8から依頼を受け、それ以降数々のロードマップを作成し、2007年のハイリゲンダム・サミット及び2008年の洞爺湖・サミットにて成果を報告した。クール・アース構想の表明直後に開催されたG8ハイリゲンダム・サミット(平成19年6月)においては、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を少なくとも半減する

という長期目標の検討が表明され、翌年開催された G8 洞爺湖サミットではその長期目標が確認された。

我が国の目標設定「2050年までの世界全体の温室効果ガスの排出量半減、先進国全体で80%削減を目指す」はこのようなG8及びIEAによって設定された目標に調和したものとなっている。



CO₂ 排出の削減対策

- エネルギー効率向上
- 電力需要の削減
- 燃料の転換
- 電力の脱炭素化

} *

CO₂ 排出

- 地域供給熱
- 電力
- 天然ガス
- 石油
- 石炭

図1 IEAのエネルギー技術展望2012における建築部門の全世界のエネルギー起源二酸化炭素排出量の削減シナリオ(2050年)。6DSは既に採られている対策のみを実施した場合の2050年の排出量推定値であるが、これに専ら建築側の工夫である「エネルギー効率向上」及び「電力需要の削減」(図中の*印)による削減3.29Gtと「燃料の転換」及び「電力の脱炭素化」による削減6.62Gtを実現することによって2DS(2050年における温暖化を2°Cに抑えるシナリオ)を実現することができると思われる。

IEAは隔年で「エネルギー技術展望」(Energy Technology

Perspectives, 略してETP)を刊行しているが、ETP2012においては2009年をベースとして2050年における3つのシナリオ、すなわち2°C、4°C、6°Cの温暖化を抑えるための温暖化効果ガスの抑制シナリオが論じられている。目標にすべきとされている2°Cに温暖化を抑えるシナリオ(2DS)の達成には、以下の3分野の対策が必要不可欠とされている。

- 高度に統合された分散型スマートエネルギーシステム
- 電源の転換(Transforming)と低炭素化
- エネルギー効率の劇的な改善

2DSのため、建築部門(Buildings Sector)に関しては全世界で2009年において80億6千万トンであったエネルギー起源の二酸化炭素排出量(全分野の26%に相当)を、2050年には29億3千万トンに削減することが必要とされている(図1)。削減方策は、主として「エネルギー効率の向上」「電力需要の削減」及び「燃料の転換」「電力の脱炭素化」から成るが、後者は原子力発電、太陽電池等の普及によるエネルギー供給側の対策である。エネルギー消費側の省エネ対策である前者による削減目標は、32億9千万トンであり、現状(2009年)の排出量及び2050年の推定値(6DS)の各々約40%と約25%に相当する。

日本のようなOECD加盟のいわゆる先進国の建築部門が今後2050年に向けてどの程度の省エネルギーを実現する必要があるのかに関する明確な数値は他に見当たらない。そこで、それらの数字を足掛かりとするならば、太陽光発電と電力の二酸化炭素排出係数の低減を除外して現状の25(全世界で均等に削減を行うと想定した場合)~40%(専らOECD先進諸国において削減を行うと想定した場合)に相当するエネルギー消費の削減が必要、ということになる。

我が国の2050年における削減目標である80%は、6DSから2DSへの削減幅(77%)にほぼ近く、建築部門にも同じパーセンテージを想定するとすれば、省エネ対策によって凡そ27%の削減(▲80%×(1.12+2.17)÷(12.84-2.93))を、エネルギー供給側の対策によって53%の削減(▲80%×(12.84-2.93-1.12-2.17)÷(12.84-2.93))を実現すればよいことになる(2009年との比較で)。つまり、太陽電池を含むエネルギー供給側の工夫を別にして、需要側の建築外皮・設備・機器の工夫によって3割弱(27%)の省エネルギーの達成が2050年までに求められる、と解釈することができる。ただし、その割合は各々、新築、既築と合わせた数字である。

ところで、全世界の人口は、2009年に70億人弱であったが

2050年には約1.3倍の90億人強となるものと予想され、その間に収入はOECD諸国が約2倍弱に伸びるのに対して、ブラジルは3倍強、そして中国とインドは約7倍、その他の非OECD諸国が約2.5倍に伸びると予想されている(表3)。こうした人口及び経済力の変化は、家庭・住宅部門のエネルギー消費を押し上げる圧力となる。一方、業務用ビルの床面積の推定としては、2050年にインドが4.1倍、中国・インド・ブラジル以外の非OECD諸国が2.3倍になるのが目立つ。2DSの下では、このような人口増加、生活水準の向上、産業活動の活発化に抗して建築部門のエネルギー起源二酸化炭素排出量の削減が求められる。

表3 全世界の人口・収入・ビル床面積の変化予想(IEAの技術展望2012)

単位: 人口は億人 世帯数は億世帯 床面積は百万㎡	OECD諸国			非OECD諸国			
	北米	アジア オセアニア	ヨーロッパ	中国	インド	ブラジル	その他
人口(2009)	4.66	2.03	5.49	13.38	11.55	1.94	28.56
人口(2050)	6.11	1.93	5.88	13.06	16.92	2.23	46.94
2050/2009比	1.3倍	1.0倍	1.1倍	1.0倍	1.5倍	1.1倍	1.6倍
世帯数(2009)	1.57	0.79	2.30	3.85	2.49	0.50	7.02
世帯数(2050)	2.16	0.79	2.81	4.60	5.00	0.93	14.69
2050/2009比	1.4倍	1.0倍	1.2倍	1.2倍	2.0倍	1.9倍	2.1倍
1人当たり年 収[\$] 2009年	37104	32079	28956	7060	3184	10431	5587
1人当たり年 収[\$] 2050年	72817	63174	57281	48782	22294	35986	14328
2050/2009比	2.0倍	2.0倍	2.0倍	6.9倍	7.0倍	3.4倍	2.6倍
業務ビル床 面積(2009)	8928	2875	7804	9997	858	371	4390
業務ビル床 面積(2015)	9878	3127	8351	11397	1155	412	5055
業務ビル床 面積(2030)	12675	3816	9927	15750	1994	475	7105
業務ビル床 面積(2050)	14499	4451	10826	16365	3525	581	10256
2050/2009比	1.6倍	1.5倍	1.4倍	1.6倍	4.1倍	1.6倍	2.3倍

4) 民生部門対策のための研究開発に必要なこと

IEAはまた、建築分野における2DS達成に向けた計画を2013年に刊行し、各国に求められる行動を表4のようにまとめている⁵⁾。要改善分野の第一に省エネルギー基準の整備が挙げられ、次いで住宅を対象とした省エネルギー改修の実施、暖冷房換気・照明設備の技術開発と普及などが重要視されている。一方、IEAにおいて国際共同研究を実施することで研究開発を担っているエネルギー研究技術委員会(Committee on Energy Research and Technology, CERT)傘下で建築の省エネルギー関連の研究開発を実施している建築とコミュニティーのエネルギー・プロ

グラム(Energy in Buildings and Communities Programme, EBC)は、2014年から2019年までの研究計画において表5に示す5項目を優先度の高い研究テーマとして掲げている⁶⁾。研究計画全体を通じ「設計手法の確立」「建築設備・部材に関する透明性のある技術情報」「建物実使用条件の考慮」「実際のエネルギー消費量に関する知見の収集」「電力需要ピーク対策」「省エネ

表4 2DSの達成のために必要な建築分野における行動(IEA, Transition to Sustainable Buildings, 2013)

改善が求められる分野	当面の推奨事項
すべての国で全新建物に対して建築法規(省エネルギー基準)が施行されること。	寒冷地域における新建物の省エネルギー基準が継続的に強化されること。暑熱地域において、冷房負荷が3分の1程度に低減されること。
ヨーロッパ及びユーラシアのすべての国で住宅の大規模な省エネルギー改修が行われること。	高レベルな省エネルギー改修技術及び事業を市場で競争力を得るためのR&D
高効率の暖冷房換気システムに関するR&Dとそれらの普及	暖冷房設備のためのより高度な基準
照明効率向上のためのR&Dと基準化がなされること。	照明効率の向上のための法規が施行されること。
設備機器の効率向上が促進され規制がなされること。	機器と暖冷房設備の基準が、ライフサイクルで最小コストレベルのものに急速にシフトすること。
低炭素又はゼロカーボン技術が後半に普及すること。	さらにコスト効率の高い応用例に関するケーススタディーとR&D
分野横断的な政策と技術	廃熱及び再生エネルギーと組み合わせられた蓄熱システムを活用した現代的な地域暖房により、システム効率と自由度の増加がもたらされること。

表5 IEAのEBC(Energy in Buildings and Communities) Programmeの2014-2019研究計画における5つの優先課題

優先研究課題	内容
1. 統合化された建築設計	<ul style="list-style-type: none"> ・外皮と設備の組み合わせの最適化 ・建築設備・部材に関する透明性があり信頼できる技術情報が設計者に提供されること ・設計プロセスの確立 ・新技術開発においても実用性の重視が重要であり、新技術を適材適所で活用するための設計手法が合わせて開発される必要がある ・省エネ改修手法はコスト効率が高く、普及可能性の大きいことが重要 ・運用時の省エネが進むにしたがって重要性を増す建設時等のCO₂排出量低減のための科学的知見が重要
2. 建築設備	<ul style="list-style-type: none"> ・設計手法の確立、機器エネルギー効率向上、制御手法、初期調整 ・設計手法の標準化、機器規格の改善のための科学的根拠 ・電力需要ピーク対策、太陽光発電及びコージェネレーションの活用、建物とコミュニティーエネルギーシステムとの連携
3. 建築外皮	<ul style="list-style-type: none"> ・高性能断熱材及び窓の開発、気象条件及び建物使用条件に適合した外皮設計手法、外皮の気密化技術、自然換気技術、星光利用技術、複合機能を持つ先進的外皮技術 ・外皮の省エネルギー改修技術
4. コミュニティー規模の技術	<ul style="list-style-type: none"> ・コミュニティースケールの先進的エネルギーシステムの省エネルギー性能の検証 ・低溫熱源、再生エネルギー源の活用、自治体への知見の普及及び意思決定への支援
5. 実際のエネルギー消費量	<ul style="list-style-type: none"> ・建物使用条件を考慮した外皮及び設備の最適化 ・建物使用条件に関する知見の収集、実際のエネルギー消費量に関する知見の収集

改修手法」といった点が着目されるとともに、未知の技術の開拓というよりも既存技術を活用普及してゆく際の現実的な課題の克服に軸足が置かれ始めていると言える。

III 既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発

1) 既存技術の向上と普及（省エネ面における設計及び機器開発への支援）

前章Ⅱではここ2、3年における国内外での温暖化対策周辺の科学的知見や政策的判断について振り返ったが、国内外ともにそれ以前とは明らかに異なる傾向を読み取ることができる。すなわち、未知の、あるいは普及の途についていない新しい技術のみに依存するのではなく、建築物のエネルギー効率向上及びエネルギー需要の削減のための方法として、既存技術の大規模な普及のための技術開発に焦点を当てた極めて現実的な道を大きく取り上げている点である。そうした立場は自立循環型住宅技術及び設計ガイドラインの開発研究以来、建築研究所が採ってきた立場でもある。研究成果は既に、設計手法の提案とともに平成25年省エネルギー基準のための一次エネルギー消費量算定評価法及びプログラムに反映されているが、次節2)においては、既存技術が普及して省エネルギーのために実効性を発揮し得るためには多くの課題が存在していることを4つの事例（自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機、住宅における照明設備の省エネルギー設計法、ルームエアコン、ビル中央式空調の搬送動力低減手法）によって例証する。

2) 革新的技術の実効性検証、評価法の確立、そして普及まで

i. 事例1（自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機）

住宅用の給湯器として普及している自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機（いわゆるエコキュート）は2001年に世界で初めて発売された。それまでの電気ヒーターによる給湯器（電気温水器）に比べると高効率に湯を作れることなどから、急速に普及し、2013年10月には400万台を超える累積出荷台数となった。

建築研究所では国土技術政策総合研究所、東京大学などと連携し、省エネルギー住宅に関する研究の一環として各種の給湯機に関する実働時の効率を実験や実測により測定し、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機についても実機による測定を行った。しかしその過程においては、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機（図1）は、いわゆる貯湯式と呼ばれる給湯器で、瞬間式のように温水需要に応じてその場で湯を作ることができないため、あらかじめ家庭の過去の給湯使用量などから必要湯量を推測し、

湯を沸かす時刻や、量、沸き上げ温度などを決める制御が組み込まれており、その正確な実働性能を把握することは困難を極めた⁷⁾。

それでも、測定結果から自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機の実働効率に影響を与えているいくつかの重要な要因がわかってきた。一つは、貯湯温度である。レジオネラ菌対策のため60℃以上となるように沸き上げているが、時により高温で沸き上げることがあり、タンクからの放熱ロスが大きくなるとともに湯沸かしのエネルギー効率が低下する。ヒートポンプの実働効率は外気温と、取り出される温度（湯温）の差が小さいほど効率が高いので、沸き上げ温度を高いと効率は低下してしまう。この様に、沸き上げ温度の上昇は、放熱ロスの増大とヒートポンプ効率の低下でシステム全体の効率を大きく低下させてしまう。

湯を沸かす時間帯の制御も大きな要因である。発売当初からしばらくは電気温水器と同じ様に深夜電力のみを使って湯を沸かすモードが搭載されていたが、このモードを利用すると安価な深夜電力のみを利用するため電気料金は低下する一方で、昼間湯沸かしを避けるため多めに湯沸かしし（必然的に沸き上げ温度も高くなる）、給湯需要が生じる時間帯までタンクに貯めておかなければならないことから放熱ロスを大きくしてしまう

（図2の「最大沸上」）。このように制御によって放熱ロスとヒートポンプ効率に悪影響を与えてシステム全体の効率を大きく低下させてしまうため、最近の機種では深夜電力のみを使って湯を沸かすモードは姿を消している。

さらには、風呂の追い焚きも効率を下げる要因の一つで、実働効率には考慮する必要があることがわかった。

こうして得られた知見は「自立循環型住宅への設計ガイドライン」においてその一次エネルギー消費量の評価方法に活かされ、それは改正省エネ法やCASBEEなどにおける評価の根拠ともなった。また、同製品のためのJIS C 9220 家庭用ヒートポンプ給湯機の開発に際しても知見は活かされ、より実働性能に近い値がJIS効率として表示されるようになった。評価尺度が明らかになったことからメーカーもこれに合わせた開発を進め、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機の実働性能は向上し、同機のポテンシャルの発揮に大きく貢献したといえる。

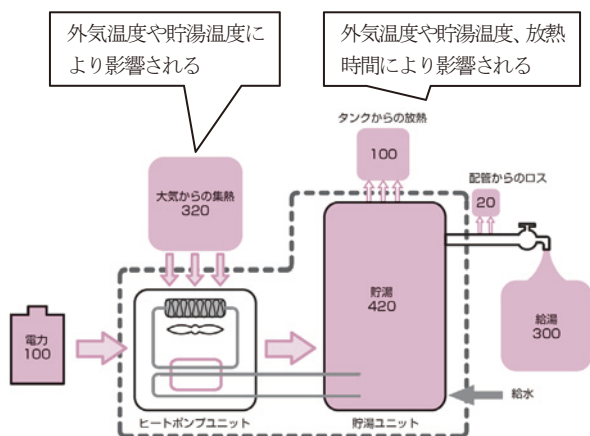


図1 自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機のしくみ¹²⁾

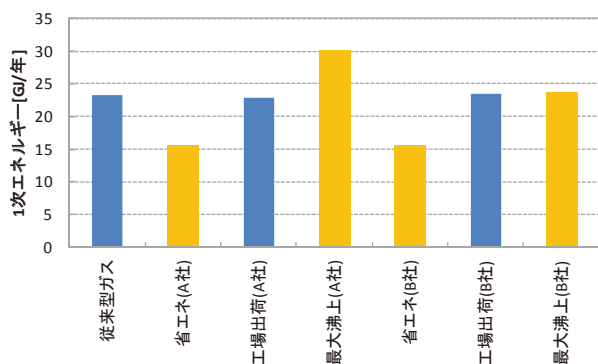


図2 一次エネルギー消費量のモードによる違い (2005年頃の製品を対象とした実験結果に基づく)¹²⁾

当時の工場出荷モードではいずれも従来型ガス給湯器とあまり変わらなかった。省エネモードにおいては従来型ガス給湯器よりもエネルギー消費量は少ないが、従来型ガス給湯器よりも増えてしまうモード(最大沸上)もあった。(A社は2005年製、B社は2006年製)

ii. 事例2 (住宅における照明設備の省エネルギー設計法)

空調で設定温度がエネルギー消費の多寡に影響があるのと同様に、照明においても、明るさ設定は重要である。住宅の明るさ設定には、JIS Z9110(2010) 照明規準総則で規定された、生活行為に応じた水平面照度(ルクス)が参照されることが多いが、同じ室でも生活行為に応じて必要とされる明るさは異なり、また、居住者の選択に対応できるように必要な明るさの幅が非常に広く設定されている。しかし、これまで、そのような明るさ設定に対応して細かく設計できる住宅用の一般的な方法はなく、ほとんどの生活行為に不満がない明るさ(100ルクス程度の平均床面照度)が得られる、室の広さに応じたカタログによる天井中央に設置する一つの照明器具の選択(適用量数表示

基準)による、非常に簡易な方法しかなかった。この従来の方法では明るさは正確に決めることができず、しかも天井・壁・床の反射率を考慮しない安全側の設定となり、たとえLED等の高効率の照明器具を選んだとしても、明るさは過剰になりやすく、対応する照明によるエネルギー消費量も過剰になりやすい(図3)。

そこで、建築研究所では、住宅室内の広さだけでなく、天井・壁・床の反射率も考慮し、設計したい明るさが得られる適切なランプの光束(光の量)を簡易に算定する方法(単位光束法)を開発した(図4)⁸⁾。単位光束法は、室の広さと反射率を考慮して、単位となる水平面照度50ルクスが得られるランプの光束(ルーメン)の表を用いた設計法であり、表の値を2倍、4倍とすることで、100ルクス、200ルクス等の必要な明るさに応じた設計を容易にする。住宅の室用途に応じた配光の異なる3種類の表が用意されている(表6)。

この単位光束法により、室の性状を考慮した明るさ設定を実現するために必要な光束が得られ、光束を住宅の標準的な機器の効率に相当するランプ効率、例えば70(lm/W)で割ると、省エネルギー評価の目安となる消費電力(ワット)が求められる。この標準的な光束と消費電力の設定は、平成25年省エネ基準の各室の標準的な光束と消費電力の算定に反映されている。

ただし、実際の蛍光ランプシーリングライトなどの照明器具は、ランプ光束が一定でも、器具の形状や材質が異なり、最終的な器具として放出する光束(器具光束)が異なる。ランプ光束と器具光束の比(器具効率)に関しては住宅の照明設計のための情報がほとんど存在しないため、複数の実器具の計測を行ったところ、器具効率は45%~65%とばらつきがあることがわかった。単位光束法では、シミュレーションによりランプ光束の値を設定し、器具効率は一定値を仮定していることなどから、算定結果と実測の比較検証が必要であると考えられた。そこで、8畳の室広さ、100ルクス相当のシーリングライトの場合に必要なランプ光束(天井・壁・床の反射率組み合わせ3種類の)を単位光束表から求めた値と、実験室内に設けた8畳大の空間に実際のシーリングライト器具で、器具効率が単位光束法の設定とほぼ同程度のものを設置し、100ルクスとなる時のランプ光束の値を計測した(ただし、反射率は各面とも45%で固定)。単位光束法及び実測結果に基づく必要光束を比較した結果を図3に示す。実験室の反射率構成は、空間設定の制約で天井・壁・床が均一の反射率の設定となっているが、平均反射率がほぼ同一の場合およそ比較は可能と考えられる。平均反射率45%

程度での単位光束法と実測のランプ光束の比較から、実測結果においてはランプ光束値が単位光束法による値よりも若干小さいことがわかる。

以上のように、単位光束法によって、明るさ設定と室性状を考慮することができるようになり、住宅照明の省エネのための標準的光量算定は一步前進したと言えるが、実際の器具効率の値のばらつきも考慮すると、更なる適正化の余地が残されている。新しいLED器具では、ランプと器具が分離できない一体の機器が主流となってきていることも考慮すると、今後、従来の器具と一体型器具の両者を含めて適切に評価・設計できるようにする方法が必要である。

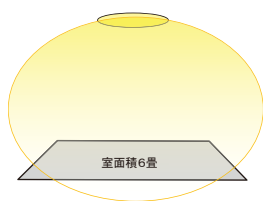


図3 適用量数表示基準による設計：広さだけによる照明設計は過剰な明るさと過剰な照明エネルギーになりやすい

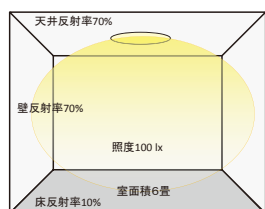


図4 単位光束法による設計：広さと反射率を考慮し明るさに応じた設計で、適切な明るさと適切な照明エネルギーとなる

表6 単位光束表（拡散配光器具の場合の表）

		2	4.5	6	8	10	12.5
面積 (畳)		2	4.5	6	8	10	12.5
開口 (m) × 奥行 (m)		1.82×1.82	2.73×2.73	2.73×3.64	3.64×3.64	3.64×4.55	4.55×4.55
単位光束 (lm)	室内反射率 (%) 70, 30, 10	2050	2750	3150	3650	4100	4650
	室内反射率 (%) 70, 50, 10	1600	2300	2700	3200	3650	4200
	室内反射率 (%) 70, 70, 10	1150	1850	2200	2700	3150	3700

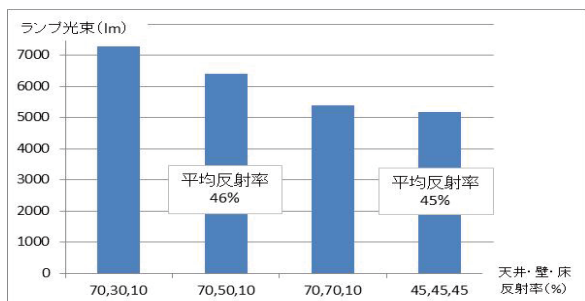


図5 単位光束法の実光源による検証例（100ルクスが得られる8畳用シーリング実器具との比較）

iii. 事例3（ルームエアコン）

ルームエアコンの各製品の省エネ性能は、通年エネルギー消費効率（APF：Annual Performance Factor）という指標で表示されている。これは、エアコンの容量を表す定格能力における効率と定格能力の半分の中間能力における効率とを、JIS C9612 で定められた計算式に則って算出された値であり、効率の試験方法も JIS B8615-1 によって定められている。この JIS B8615-1 により計測された定格能力時の効率を COP と言い、効率が APF で表記される以前はこの値が用いられていた。

一方で、ルームエアコンの効率は図6に示すように、外気温度や運転状況（能力）に大きく依存することが特徴であり、カタログ上の効率と実働時の効率は一致しない。これは、自動車の燃費と似ている。良く知られるように、自動車の燃費はカタログ上の値と実際では大きく異なり、それも渋滞の一般道を走っている場合と高速道路を走っている場合など運転状況に大きく依存する。エアコンの実際の効率を我々は実働性能と呼んでいる。JIS等で示される効率は、自動車で言うところのカタログ上の燃費に近く、各社のエアコン効率を比較する場合には非常に良い指標と言える一方で、例えばエアコンとガスFF暖房機など、異なる暖房方式の機器の省エネ性能を比較する際には、運転・試験条件等の与条件が各JISによって異なるため、JIS等で示される効率同士を比較することは意味をなさない。

そこで、建築研究所では、エアコンも含めた全ての暖冷房設備・機器について、様々な運転条件下における実働性能を把握し、シミュレーション等を用いて各機器を同条件で比較することに取り組んできた。

2005年頃から、エアコンの実働性能を把握することを目的として、居住者のエアコンの使い方や内部発熱等を模擬した集合住宅棟（図7）を建設し、エアコンの実働性能の計測を実施してきた。この実験は、居住者の機器の使い方をロボットにより再現できるのが特徴で、全く同条件で異なる機器の省エネ性能を実測し比較できるのが特徴である。さらに、集合住宅よりも暖房負荷が大きい状況の実働性能も把握するために、研究所敷地内に新たに戸建て住宅実験棟（図7）を建設し、エアコンの実働性能の計測を実施した。これら一連の検討成果は、現在、住宅における省エネルギー基準の評価方法に活かされている。

省エネルギー基準においては、エアコンの性能は設計一次エネルギー消費量（GJ/年）という指標で表わされる。これは、ある使い方をした時の年間のエネルギー消費量であり、一種のベンチマークであるといえる。ベンチマークであるという点では、

JIS で定められている通年エネルギー消費効率 (APF) と似ているが、住宅の建設地の気候の影響 (一般にエアコン等のヒートポンプ機器は外気温度が寒いと効率が低下し、外気温度が高いと効率が上昇する)、住戸の断熱水準など暖房負荷の多寡が効率に与える影響等を評価でき、さらに暖房方式の異なる設備・機器を同条件で比較できることが大きな特徴である (図8)。

現在、当研究所では、現行の JIS では考慮されていない断続運転を繰り返す低負荷領域における効率の評価や、冷房時の除湿性能の評価にも取り組んでいる。APF のように単一のわかりやすい指標はエアコン同士の効率を比較し、各社メーカーの技術開発を促すための指標という側面がある一方で、設計者や利用者にとっては、建設地の気候や使い方に応じて、エアコンの省エネ性能の良し悪しを評価すること、暖房方式の異なる設備・機器を一律に比較することがより重要である。今後は APF のような効率表記よりも、省エネ法で示される年間設計一次エネルギー消費量のような指標が、利用者側にとっては重要な指標になってくると思われる。

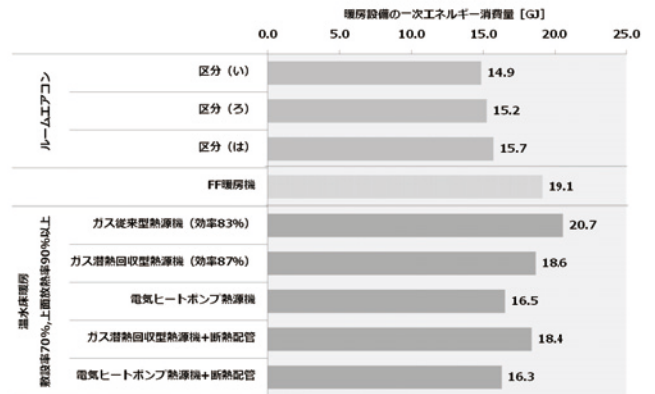


図8 省エネ基準における暖房設備の設計一次エネルギー消費量の計算例

※計算に用いた地域区分は6地域。一次エネルギー消費量は「主たる居室 29.81 m²」と「その他居室 51.43 m²」の合計。軸ラベルは「主たる居室」の暖房設備を表示。「その他の居室」の暖房設備は全てルームエアコン。

iv. 事例4 (中央式空調の搬送動力低減手法)

熱源機器が生成した冷温熱を空調対象室に搬送する「搬送系 (空気搬送系、水搬送系)」と呼ばれるシステム (図9) のエネルギー消費量は、何もエネルギー削減の工夫をしていないオフィスビルの場合、空調システム全体のエネルギー消費量の大半を占めることもあり得、その削減は重要な課題である。

搬送系動力低減手法の1つとして、負荷に応じて風(流)量を自動的に調整する「変風(流)量制御」があり、近年の建物のIT化とインバータの低価格化に伴い導入が徐々に増えつつある。しかし、実際のシステムにおいて導入効果を検証すると、必ずしも設計意図通りに動いておらず、期待された動力低減効果が得られていない場合も多い。図10は、国土交通省による平成23、24年度建築基準整備促進事業の調査項目36「空調システム等の最適制御による省エネルギー効果に関する実証的評価」による共同研究において、実際の建物に導入された空気搬送システムの冷房運転時の性能測定を行った結果である。Aビル (図10左)、Bビル (図10右) とともに変風量制御が導入されているが、Aビルのように省エネ効果が得られているシステムもある一方で、Bビルのように省エネ効果が得られていないシステムも少なからず存在した。室内への供給熱量を制御するためには、「給気風量」だけではなく「給気温度」も制御する必要があるが、Bビルでは低負荷時に風量を絞るのではなく給気温度を上げることが優先されてしまっており、搬送動力低減効果がほと

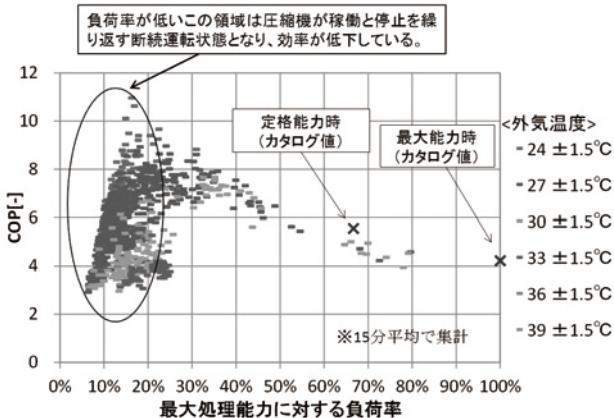


図6 負荷率と外気温度に対する効率の計測結果例 (冷房時) (実験概要や計測条件等については文献9) を参照されたい。



図7 建築研究所に建つ実働効率試験のための実験住戸 (左: 集合住宅、右: 戸建て住宅)

んど得られていない。

真に省エネ効果のある制御の普及のためには、省エネルギー基準などの設計時の評価において、例のように効果があるシステムとないものを差別化、識別できることが肝要である。しかし、現在の非住宅建築物の省エネルギー基準では、各種制御の導入効果を十分に差別化して評価するまでには到っていない。その主な理由は次のようなものと考えられる。

- ・ 非住宅建築物の中央式空調システム、特にその制御システムは、建物ごとに求められる機能が異なるため一品生産品であり、いわゆる「製品」としての定義（規格）にあいまいな点がある。例えば、「変風量制御」とはどのような機器で構成され、それらをどのように制御するシステムかという規格が存在しない。そのため、省エネルギー基準で厳密に扱うことが困難である。
- ・ 実態として、制御等の特徴によりどの程度の省エネルギー効果を発揮しているのかについて、客観的な論証が不足している。省エネルギー基準は学術的に確かであるべきであり、効果が不明瞭である技術については、評価の土俵に乗せるべきではない。現時点の省エネルギー基準ではこれまでの慣例で、例えば変風量制御など、その定義や効果が十分に明確ではない技術についても省エネルギー技術の1つとして評価に組み込んでいるが、本来は十分な実態分析を行って確実に効果がでると確認できた技術のみを評価対象とすべきである。

- ・ 省エネルギー基準で届出が義務付けられている「省エネルギー計画書」は、設計図書を基に作成するものであるが、非住宅建築物については、設計図書には機器の具体的な型番や制御ロジックに関する詳細な情報は記されず、これらは施工時に決定されることが多い。また、制御の細かな設定値については試運転調整時に決定されることが多く、また運用段階に入ってから、例えば居住者からの要望等に応じて変更されることもある。したがって、上述のAビル、Bビルの効果の差は、設計だけではなく施工や運用段階の作業に起因している可能性もあり、設計図書だけではこれらを差別化することは困難である。

ここでは中央式空調の搬送動力の評価を例に論じたが、これは一品生産である非住宅建築物の設備システム全体としての共通の課題であると考えられる。このように、非住宅建築物の省エネルギー基準については根本的な課題があり、これを解消するためには、まずは各省エネルギー技術の定義を明確にするためにも「規格」類を整備すること、定義された各技術について実態としての効果がどの程度あるのかを実建物で検証すること、そしてその制御が真に効果を発揮するためには設計時点でどのようなことに留意しなければいけないかを明確にすることを、改めてすべての技術について履行する必要があると言える。

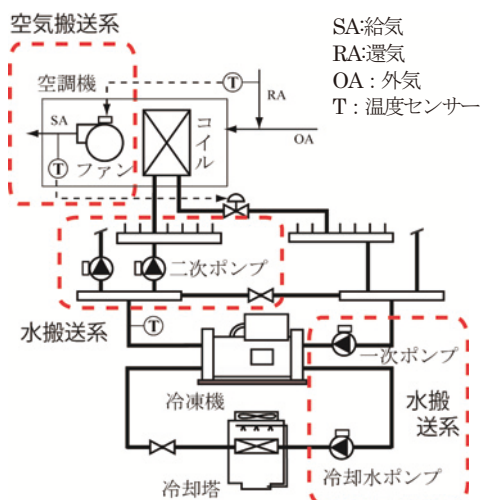


図9 中央式空調の搬送システム
空調機への還気温度によってファンの回転数を下げて動力エネルギー低減を意図している。加えて空調機コイルへの冷温水流量をバルブ開度の制御によって調節する。

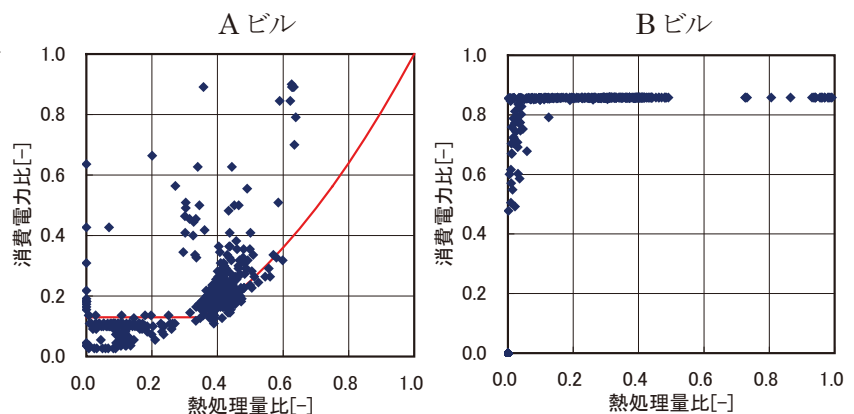


図10 変風量制御の実動特性計測結果

(左：エネルギー削減効果大きい例、右：エネルギー削減効果が小さい例)

建築関連の省エネ技術が普及に到る過程と革新的技術開発の局面

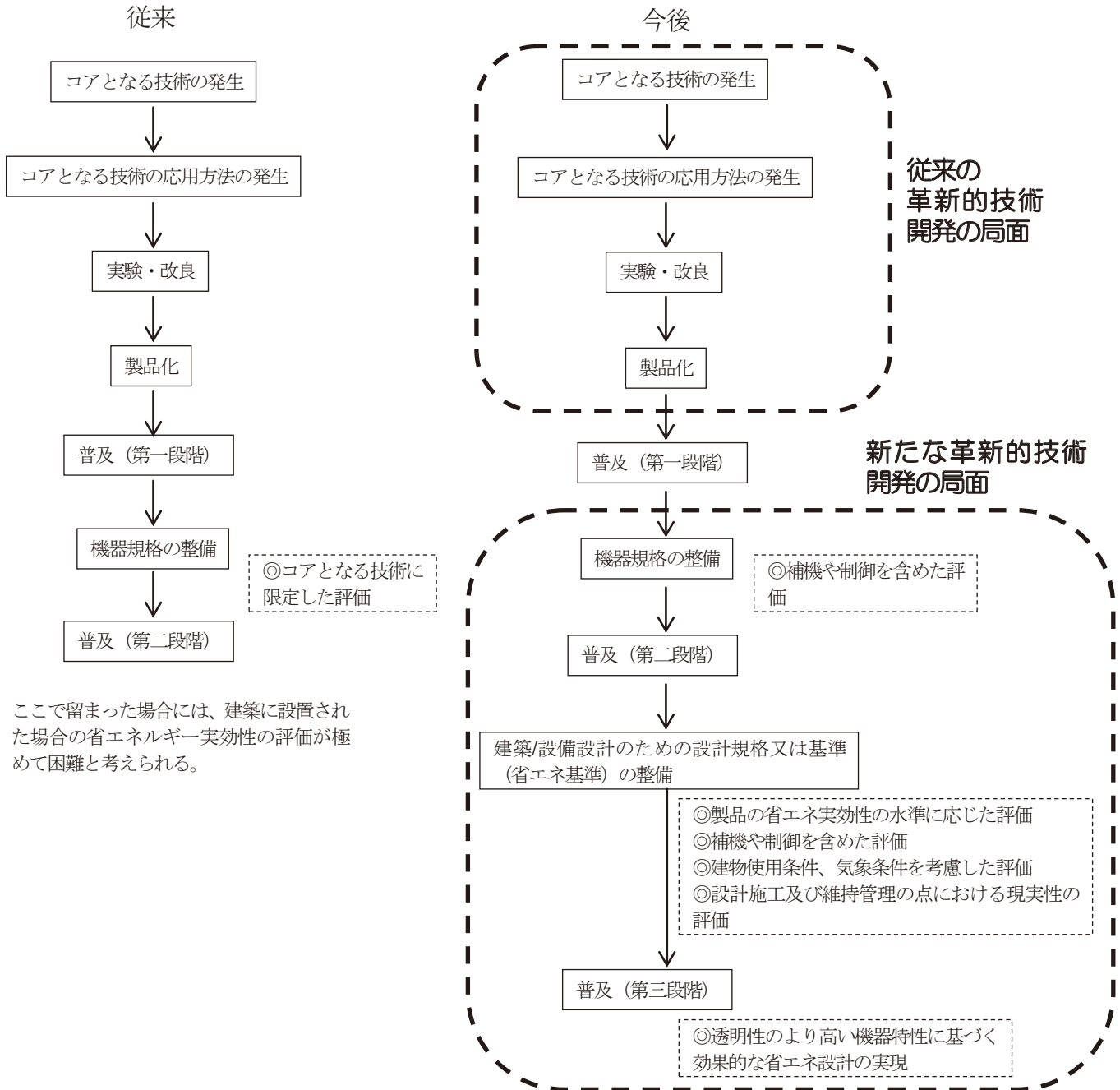


図 1 1 建築関連の省エネルギー技術の改良と普及に必要とされる革新的技術開発

v. 既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発

前項で例示したように、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機の場合、ヒートポンプ単体は燃焼式ボイラーに比して高い熱効率を持つものの、外気温及び沸き上げ温度に依存してシステムとしての効率は良くもなるし悪くもなる。制御方法やタンクの断熱性等を含めた評価方法が確立することによって初めて省エネルギー実効性を確保することが可能になったと言っても過言ではない。

住宅の照明設備の場合、蛍光灯のランプ効率やLED照明器具としての効率向上のみでは省エネルギー性を確保することは難しく、過剰な明るさと消費電力を回避するため、室に必要とされる明るさを充足するための光の量（光束）と照明設備により得られるそれとの比較、その際に生じる消費電力の妥当性を設計者が判断できる手段が必要不可欠である。

ルームエアコンの場合は、機器規格によって規定されている定格能力時の効率値 COP や APF 値のみでは実効効率を推定することが困難であり、効率の外気温及び負荷率依存性、断続運転状態の発生状況を考慮することがエネルギー消費量の推定には不可欠であることが確認されている。

最後に、中央式空調の搬送動力低減手法のひとつである変風量制御方式については、ダクトの開度を調節するダンパー及び送風機の風量を可変とする装置があるのみでは、必ずしも搬送動力の削減に結びつかないこと、手法による省エネ効果が発揮できる建物の機能や使用条件に何らかの制約があること、制御方法の良し悪しによって省エネルギー効果は大きく変わり得ることなどが明らかになっており、可変風量方式のシステム構成及び設計のバリエーションを明確にすること、各バリエーションに関して適用限界や設計条件に応じた省エネ効果の定量化が早急に必要とされている。

以上に示した例は、省エネルギー技術に関しては既存技術であっても、また製品化されている技術であっても、実際の省エネルギー効果が合理的に評価されているとは限らないことを示している。この点に関して今後において不可欠な研究開発のポイントを図11に示すが、省エネルギー技術の分野に関しては、コアとなる技術が開発され製品化されただけでは足りず、製品を建物に設置し、制御する方法を規定し、評価することが欠かせない。製品化あるいは当該製品に限った規格の整備までを従来の革新的技術開発であるとする、省エネルギー技術開発に今後求められるものは、その先の建築物に適用する場合の設計法を規定した上でのシステムとしての省エネルギー性能の評価

が今後の革新的技術開発であると言える。信頼できる評価結果があって技術の向上が図れると言える。

3) 住宅・非住宅建築物の新しい省エネルギー性能評価

周知のように、住宅及び非住宅建築物に共通して近年における省エネルギー性能評価は、国内外共通の傾向として、エネルギー消費量推定値（設計エネルギー消費量）を尺度とするものに集約されつつある。エネルギー用途（暖房、給湯・・・）や設備の種類を限定して、その設備に固有の尺度で評価するものではなく、設備の種類を横断的に、さらにエネルギー用途も横断的に、エネルギー消費量を共通の尺度として個々の設備機器の省エネルギーへの貢献を評価するものである。詳細については、建築研究所などが開発した算定方法（文献10）11）等を参照されたいが、こうした評価のためには図11右側に示す流れに沿った評価技術体系の整備を欠くことができない。このことが今後の省エネルギー性能評価があるべき姿であり、最大の特徴であると言える。先に示した事例を引き合いに出すならば、ヒートポンプ給湯機の JIS 効率、ルームエアコンの APF や COP、ランプ効率、可変風量方式の採用の有無だけの情報でエネルギー消費量の推定を行うことは不可能と言える。

4) 評価法共有の重要性、その設計における応用

住宅及び非住宅建築物の新しい省エネルギー性能評価は、個々の技術を建物に組み込む場合の設計法を、評価のための前提条件として必要とするが（個々の技術の組み込まれ方や制御の方法が決まらなければ建物のエネルギー性能向上の貢献が評価できないため）、同時に個々の技術に関する評価方法に加えて設計方法が明確になることによって技術の普及が加速され得る。建物のエネルギー性能の評価が広まるのと同時に合理的、定量的な設計方法の普及が期待される。住宅に関しては「自立循環型住宅への設計ガイドライン」¹²⁾をそうした設計方法に位置づけることができるが、個々の技術や設計仕様に関する省エネルギー性能評価法を活用することによって、技術や仕様の選択内容に応じた省エネルギー効果の推定を示すことによって設計実務者に対して設計法を提供している。

IV おわりに

本稿では、このところ10年以上にわたり建築研究所において実施してきた建物の省エネルギー性能評価法及び設計法の開発を顧みて、最も重要と思われる技術開発の共通項を抽出し、さらに今後の効率的な民生部門における温暖化効果ガスの削減を実現するための技術開発の方向性についてまとめた。

謝辞

本稿の作成に当たり、西澤繁毅氏及び赤嶺嘉彦氏（国土技術政策総合研究所）から支援を得た。また、住宅照明設備の設計に係る単位光束法の実験検証データに関しては加藤未佳氏（前建築研究所専門研究員、現金沢工業大学講師）、山口秀樹建築研究所研究員、伊藤大輔氏（ものづくり大学講師）にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1)外務省、経済産業省、環境省(2013)：攻めの地球温暖化外交戦略、<http://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000019458.pdf>
- 2)環境エネルギー技術革新計画に関する懇談会(2013)：環境エネルギー技術革新計画（改定案）、<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/kankyo/4kai/siryoy2.pdf>
- 3)IEA: Energy Technology Perspectives 2012
- 4)環境省(2013)：COP19に向けた温室効果ガス削減目標について、http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai27/siryoy1_1.pdf
- 5)IEA: Transition to Sustainable Buildings, Strategies and Opportunities to 2050, 2013
- 6)IEA EBC Programme: Strategic Plan 2014-2019, October 2013
- 7)前真之、三浦尚志、羽原宏美、堀祐治、桑沢保夫、秋元孝之、宇梶正明、澤地孝男：日変動と短時間出湯を考慮した実験用給湯消費モード 修正 M1 の設定とガス瞬間式給湯機の効率評価に関する実験的検討 住宅のための省エネルギー手法の実験的評価に関する研究その3、日本建築学会環境系論文集、第76巻、第659号、pp.49-57、2011年1月
- 8)松下進、三木保弘：単位光束法の提案 住宅における多灯分散照明方式に適した簡易照明設計法に関する研究単位光束法の提案、日本建築学会環境系論文集、第78巻、686号、pp.325-332、2013年4月
- 9)住吉大輔、荻野登司、三浦尚志、細井昭憲、澤地孝男：実験住宅における家庭用ルームエアコンの実働性能評価実験、ルームエアコンの性能評価に関する研究その1、日本建築学会環境系論文集、第78巻、第688号、pp.497-505、2013年6月
- 10)建築研究所（協力：国土技術政策総合研究所）：住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報、<http://www.kenken.go.jp/becc/index.html>
- 11)国土技術政策総合研究所、建築研究所監修、平成25年住宅・建築物の省エネルギー基準解説書編集委員会編集：平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説、I 非住宅建築物、II 住宅、2013年5月
- 12)国土技術政策総合研究所、建築研究所監修：自立循環型住宅への設計ガイドライン、入門編、蒸暑地板、準寒冷地板、建築環境省エネルギー機構、2010年～2012年
- 13)澤地孝男：民生部門エネルギー消費量及び二酸化炭素排出量の

削減対策に関する動向、建築研究所平成21年度講演会、<http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/h21/pdf/06.pdf>
14)村上周三他：特集マクロ経済分析を考慮した住宅・建築物の低炭素化に向けた技術の普及方策を政策提言、IBEC、No.192、2012年9月
15)中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会：中長期の温室効果ガス削減目標を実現するための対策・施策の具体的な姿（中長期ロードマップ）（中間整理）、2010年12月