

住宅・建築の省エネルギー性能評価手法の高度化
—省エネ基準の技術的根拠に向けた研究—
環境研究グループ 上席研究員 桑沢保夫

住宅・建築の省エネルギー性能評価手法の高度化 —省エネ基準の技術的根拠に向けた研究—

環境研究グループ 上席研究員 桑沢 保夫

目次

- I はじめに
- II 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況
 - 1) 温室効果ガス削減目標
 - 2) 省エネ基準の変遷
 - 3) 現行基準において検討が必要な点
- III 住宅の省エネルギー性能評価手法に関する研究開発
 - 1) 実測調査による検証
 - 2) 設備等に関する性能評価手法の例
 - ①日射熱の利用
 - ②容量可変型エアコン
- IV 業務用建築の省エネルギー性能評価手法に関する研究開発
 - 1) 実測調査による一次エネルギー消費量評価手法の検証
 - 2) 外皮性能の総合評価手法の開発と検証
- V おわりに
 - 参考文献

I はじめに

建築研究所では、住宅・建築の省エネルギーに関する研究を実施してきた。その成果の多くは、省エネ法の技術的根拠として活用されている。以下では、住宅・建築に関する省エネ法を取り巻く状況と、それに対応して建築研究所において実施してきた、もしくは今後実施していく予定の研究内容の例について紹介する。

II 研究の背景：省エネ基準を取り巻く状況

1) 温室効果ガス削減目標

2015年11月30日から12月13日に、フランス・パリで開催されていたCOP21（国連気候変動枠組条約第21回締約国会議）で、2020年以降の温暖化対策の国際枠組み「パリ協定」を採択した。このパリ協定では、主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新すること、共通かつ柔軟な方法でその実施状況を報告し、レ

ビューを受けること等とされている。これに対して日本は、「技術的制約、コスト面の課題などを十分に考慮した裏付けのある対策・施策や技術の積み上げによる実現可能な削減目標として、国内の排出削減・吸収量の確保により、2030年度に2013年度比▲26.0%（2005年度比▲25.4%）の水準（約10億4,200万t-CO₂）にする」との目標を示した。その具体的な内容をみると、業務その他部門、家庭部門のいずれも40%削減とされている。電力を発生させる際のエネルギー転換部門で28%削減としている点も考慮する必要はあるが、いずれにしるこの目標の達成には、住宅・建築に関して大幅な省エネルギーが期待されている。

2) 省エネ基準の変遷

①住宅

住宅に関する省エネルギー基準は1980年に制定後1992年、1999年に改正されてきた。基本的には住宅の断熱性に関わる基準で、徐々に熱的性能が高い（熱損失係数

が小さい) 値を求めるようになってきた(図 1)。しかし、断熱性を高めることは暖冷房のためのエネルギー消費量を減らすことには効果があるものの、東京や大阪などの温暖な地域では暖冷房のためのエネルギー消費量は住宅全体の 1/4 程度であることから、地球温暖化対策等で住宅における、より一層の省エネルギー化を実現するためには、給湯や照明などその他の用途におけるエネルギー消費量の削減も必要となってきた。そこで 2013 年(平成 25 年)には断熱性能だけではなく、暖冷房・給湯・換気・照明および太陽光発電設備の性能等を考慮した一次エネルギー消費量で判断される形に大きく様変わりした。

②業務用建築物

業務用建築物に関する省エネルギー基準は住宅と同じく 1980 年に制定後、数度に渡って改正されてきた。基本的には建物の外皮性能と設備の省エネルギー性能に関するものである。建物の外皮に関わるものとしては PAL(年間熱負荷係数)が用いられている。設備の省エネルギー性能に関するものは CEC(エネルギー消費係数と呼ばれ、CEC/AC(空調)・CEC/V(換気)・CEC/L(照明)・CEC/HW(給湯)・CEC/EV(エレベーター設備))に分かれていた。これら CEC はそれぞれのエネルギー用途でエネルギー効率などの程度になるかを個別に判断するもので、建物全体における総合的なエネルギー消費量を評価するものではない。

しかし、住宅と同じく 2013 年(平成 25 年)には、建物全体における総合的なエネルギー消費量を評価する形に大きく様変わりした。また、それに併せて外皮基準も PAL*と呼ばれる新しい値に変わった。

3) 現行基準において検討が必要な点

2013 年に施行された現行基準(以下では「平成 25 年基準」)では、住宅・業務用建築のいずれも使用状況等に関する一定の想定を基で、一次エネルギー消費量を算出している。つまり、実際の使用状況とは必ずしも一致しないため、算出された消費量と実態の消費量に乖離を生じる。そこで、建物等の使用時間や、給湯の温度などと言った使い方を規定することはできないので、想定された条件による計算値と実態値の乖離がなるべく小さくなるように条件を決める必要がある。基準の作成時にはそのときの最新情報をできる限り収集して検討しているが、必ずしも十分な情報量であったとは言えないため、実態を確認しておく作業は必要とされている。

また、各種の機器等に関してそのエネルギー消費量を定めるためには、その機器の性能値を知る必要がある。しかし、新しい機器など性能値を決める公的な規格が存在しない機器も多くあり、その場合には、建築研究所における実験等で確認された性能値のうち比較的低い値で計算せざるを得ない。つまり、それらの性能差を評価できない状況にあり何らかの対策が必要とされている。

以下では、これらの検討に対して必要とされている技術的根拠に関わる、建築研究所における研究内容の例を紹介

する。

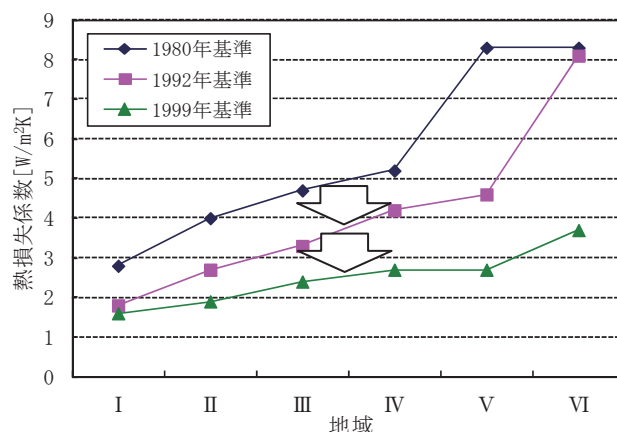


図 1 熱損失係数基準値の変遷

表 1 業務用建築物の省エネルギー基準の変遷

1980年	建築の省エネ基準を制定。 2000 m ² 以上の事務所建築の省エネ措置 (PALとCEC/ACのみ)を建築確認時に行政窓口の判断でチェック。
1993年	CEC/V,L,HW,EVが追加される。病院、学校も対象に。
1999年	基準値を強化(京都議定書への対応)。
2002年	住宅を除く2000 m ² 以上の建築に対して、省エネ措置の届出(新築・増改築)を義務化。
2003年	仕様基準(ポイント法)の制定:届出の義務化への対応
2006年	2000 m ² 以上の住宅にも省エネ措置の届出を義務化。 2000 m ² 以上の全建築に、大規模修繕の際の省エネ措置と定期報告を義務化。
2009年	2000 m ² 以上の全建築に省エネ措置を「義務化」
2010年	300 m ² 以上の全建築に省エネ措置の届出を義務化

Ⅲ 住宅の省エネルギー性能評価手法に関する研究開発

1) 実測調査による検証

①目的

平成 25 年基準では、住宅・建築物ともに外皮性能と一次エネルギー消費量を指標として建物全体の省エネルギー性能を評価している。本基準の施行に伴い、今後外皮及び省エネルギー性能の高い住宅の普及が予想されるが、こうした住宅において年間を通じエネルギー消費の実態を調査した事例は少ない。また、省エネルギー基準適合住宅のエネルギー消費を詳細に把握することは、今後省エネルギー基準における一次エネルギー消費推計の与条件を検討する際に有用と考えられる。

本調査では、省エネルギー基準適合住宅のエネルギー消費実態を明らかにすることを目的に、温暖地（5 地域）における省エネルギー基準適合住宅 3 件を対象にエネルギー消費の計測調査を実施した。

②調査概要

計測世帯は、群馬県高崎市近辺の 3 物件である。選定にあたっては、近年建てられた住宅であること、太陽光発電等のエネルギー利用効率化設備を設置していないこと、家族構成が 3～5 人である世帯を選定した。

調査期間は 2013 年 10 月～2014 年 11 月の約 1 年間である。主な調査内容を下記にまとめる。

(1)住宅の属性調査

計測世帯の住宅図面より、外皮平均熱貫流率 (UA 値)、冷房期の外皮平均日射熱取得率 (η_A 値) を計算した。また、住宅の省エネルギー基準における評価値を計算するための指標として、単位温度差あたりの外皮熱損失量 (q 値)、単位日射強度あたりの冷房期の日射熱取得量 (mC 値)、単位日射強度あたりの暖房期の日射熱取得量 (mH 値) を計算した。外皮性能値はいずれの住宅も外皮性能の基準値に適合していた。なお、住宅の外皮性能の水準を確認するため、各室の実現温度も併せて計測した。

(2)エネルギー消費の実測調査

計測世帯で使用されている電力・ガス・灯油の使用実態を測定するため、電力測定器 (スマートゲートウェイ等計測装置一式) やガス流量計 (GasCT)、灯油流量計 (クロメイト) を対象世帯に設置して使用状況を把握した。家電製品及び照明器具等の型番や消費電力等の仕様は、現地で調査した。

各用途の推計は下記の通りである。A 邸は FF 暖房機の吹き出し口温度とコンロ周辺温度を計測し、暖房・給湯・厨房のガス消費量を用途推計した。B 邸は暖房用温水配管温度、給湯配管温度、追焚配管温度を計測し、暖房・給湯のガス消費量を用途推計した。照明は器具別の消費電力とアンケート調査による使用時間から推計した。

(3)住まい方や設備・機器の設定等に関する調査

エネルギー消費に影響を与える要因分析のため、世帯属性や実測世帯の設備機器や家電製品等の使用状況や電気・ガス等の使用量に関するアンケートを実施した。

住宅の属性調査と住まい方設備・機器の設定等に関する調査結果の概要を表 2 に示す。

表 2 調査対象住宅の概要

略称	A 邸	B 邸	C 邸
建築年	2009 年	2013 年	2013 年
住宅規模	132.49 m ²	138.28 m ²	149.05 m ²
外皮平均熱貫流率 (UA 値)	0.76	0.52	0.50
冷房期の外皮平均日射熱取得率 (η_A 値)	2.74	2.04	1.98
単位温度差あたりの外皮熱損失量 (q 値)	255.8	180.54	188.25
単位日射強度あたりの冷房期日射熱取得量 (mC 値)	9.25	7.03	7.51
単位日射強度あたりの暖房期日射熱取得量 (mH 値)	17.58	11.26	14.53
家族人数	3	3	4
家族構成	夫婦+子 (幼児)	夫婦+子 (幼児)	夫婦+子 2
暖房設備	ガス FF 暖房機/ エアコン	ラジエータ (石油熱源)	電気蓄熱暖房機
給湯設備	ガス潜熱回収型給湯機	石油従来型給湯機	電気ヒートポンプ式給湯機
厨房設備	ガスコンロ	ガスコンロ	IH

③年間一次エネルギー消費量

住宅の一次エネルギー基準に適合しているかを確認するため、省エネ基準の評価¹⁾に用いられている算定用プログラムを用い、調査対象住宅の一次エネルギー評価を行った。算定用プログラムの入力に用いた設定条件を表 3 に示す。調査対象住宅は 3 件ともに吹き抜けを有する住宅で、主たる居室の面積は吹き抜けを含む面積とした。A 邸と B 邸では、吹き抜けを利用し、リビングに設置された FF 暖房機 (A 邸) と 1 階床下に設置されたラジエータ (B 邸) で住宅全体の暖房を賄っているため、その他居室の暖房設備は設置なしとした。同様にリビングのエアコン 1 台で住宅全体を冷房しているため、その他居室の冷房設備は設置なしとした。なお、B 邸の暖房設備は、床下にラジエータを配置し、断熱区画内に設置した配管により温水を供給している。省エネ基準では現在このようなシステムの評価はできないため、表 3 のとおり、室内にパネルラジエータが設置されているものとして計算した。

計測世帯の実測値及び、一次エネルギー評価における基準値と設計値を図 2 に示す。調査対象住宅はいずれの住宅も省エネルギー基準適合住宅であることが確認できた。3 世帯ともに実測値は設計値より小さく、要因としては、設計値の標準モデルより家族人数が少なく子の年齢も若いこと、また設備機器の使い方が異なることなどが考えられる。なお、3 世帯の年間一次エネルギー消費量は既往調査結果²⁾による世帯人数別のエネルギー消費量の平均値に比べても小さくなっていった。3 世帯の実績値を比較すると、C 邸の年間一次エネルギー消費量が最も大きく、その要因として暖房消費量が他 2 世帯に比べて 2 倍ほど大きくなっている。C 邸の評価値においても電気蓄熱暖房機の使用による暖房消費量が大きく、実績値でも同様の傾向が確認された。

図 3 に用途別の構成比を示す。既存統計³⁾と比較すると A 邸はほぼ同じ構成比となっていた。B 邸は、冷房の割合が小さく、機器の使い方が影響していると考えられる。機器の使い方に関しては次報にて報告する。C 邸は電気蓄熱暖房機を使用しているため、他 2 世帯や既存統計よりも暖房の割合は大きくなっていった。

表 3 算定用プログラム入力用データ

略称	A 邸	B 邸	C 邸	
暖房設備	主たる居室	FF 暖房機 82.5%	石油パネルラジエータ 86% 断熱被覆あり	電気蓄熱暖房機
	その他の居室	設置なし	設置なし	エアコン区分(は)
冷房設備	主たる居室	エアコン区分(い)	エアコン 区分(い)	エアコン区分(は)
	その他の居室	設置なし	設置なし	エアコン区分(は)
換気設備	第 3 種換気(省エネ対策なし)	第 3 種換気(省エネ対策なし)	第 3 種換気(省エネ対策なし)	
給湯設備	ガス給湯機 95% 節湯器具等なし 追い焚きあり	石油給湯機 86% 節湯器具等なし 追い焚きあり	電気ヒートポンプ式給湯機 JIS 効率 3.0	
照明設備	主たる居室	白熱灯あり	白熱灯あり	白熱灯なし
	その他の居室	白熱灯あり	白熱灯なし	白熱灯なし
	非居室	白熱灯あり	白熱灯あり	白熱灯なし 人感センサーあり
エネルギー利用効率化設備	なし	なし	なし	

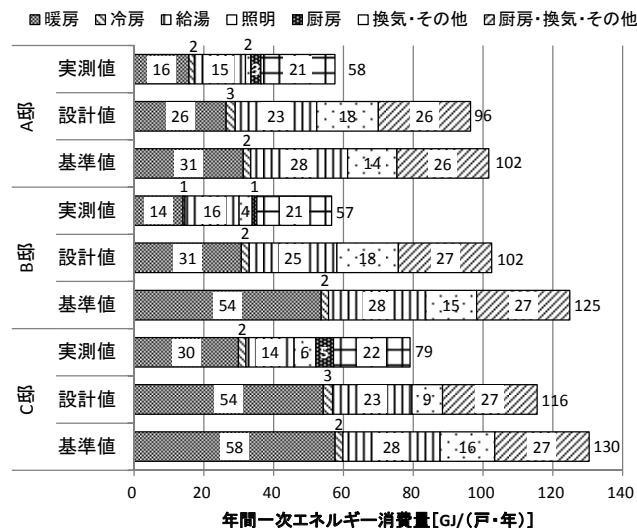


図 2 年間一次エネルギー消費量(実測値・評価値)

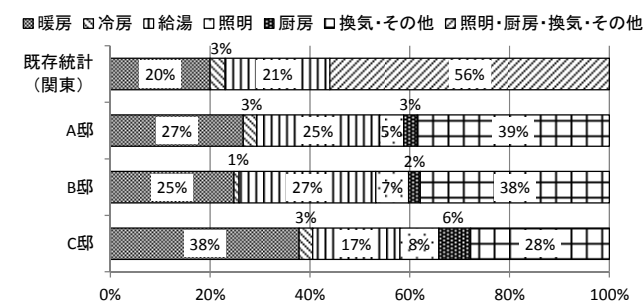


図 3 用途別一次エネルギー消費構成比の比較
(既存統計には 2013 年関東の 2 人以上世帯のデータを引用)

④設備の保有状況

表 4 に計測世帯の設備の保有状況を示す。A 邸は電気/ガス併用世帯であり、暖房は主にガス FF 暖房機で行っている。ガス給湯器は潜熱回収型給湯機を使用している。保有する主な家電機器は、省エネルギー基準で標準設備と想定されている冷蔵庫、テレビ等の主要機器に加え、ワインクーラーを使用している。

B 邸は電気/ガス/灯油併用世帯であり、暖房設備は床下に配置されたラジエータ(石油熱源)を用いている。冷房設備のエアコンは冷房能力 8.0kW と大容量の機器である。給湯設備は従来型の石油給湯暖房機である。厨房設備はガスコンロに加え食器洗い乾燥機を使用している。主な家電機器は、冷蔵庫等の主要機器に加えマッサージ機を使用している。

C 邸は全電化住宅である。暖房設備は電気蓄熱暖房機を使用している。給湯設備はヒートポンプ式給湯機、厨房設備は IH キッキングヒーターである。主な家電機器のうち、電気炊飯器はコンロ炊きに変更したため、計測期間の途中から使用していない。除湿機は季節に応じ使用されている。

表 4 設備の保有状況

	A 邸	B 邸	C 邸
暖房設備	ガス FF 暖房機/エアコン	ラジエータ(石油熱源)	電気蓄熱暖房機
冷房設備	エアコン	エアコン	エアコン
給湯設備	ガス給湯機	石油給湯機	ヒートポンプ式給湯機
厨房設備	ガスコンロ	ガスコンロ 食器洗い乾燥機	IH キッキングヒーター
主な家電機器	冷蔵庫、電気ポット、電子レンジ、電気炊飯器、テレビ、パソコン、洗濯機、ドライヤー、温水暖房便座、ワインクーラー、電気カーペット	冷蔵庫、電気ケトル、電子レンジ、電気炊飯器、テレビ、パソコン、洗濯機、ドライヤー、温水暖房便座、空気清浄機	冷蔵庫、電気ケトル、電子レンジ、電気炊飯器、テレビ、パソコン、掃除機、洗濯機、ドライヤー、温水暖房便座、除湿機

⑤月別用途別一次エネルギー消費量

図 4~図 6 に各世帯の月別用途別エネルギー消費量を示す。A 邸は 11 月から 4 月にかけて暖房を行い、この間暖房消費量が増加している。全体のエネルギー消費量に占める割合は、最も暖房消費量が多い 2 月で 55% である。冷房消費量は 7 月が 603MJ/月、8 月が 975MJ/月であり、全体に占める割合は 7 月が 16%、8 月が 25% である。給湯消費量は冬期が他の期間と比較して大きく、1 月が 1,945MJ/月で最大である。A 邸は冬に台所、洗面所でもお湯を利用しており、さらに冬は給水温度が低く沸き上げにエネルギーを要するため、冬期に給湯消費量が大きくなっている。厨房消費量、照明、換気・他は各月一定のエネルギー消費量で推移している。

B 邸は 11 月から 3 月にかけて暖房消費量が大きくなり、1 月が 4,446MJ/月で最大である。冷房時はエアコンを省エネ自動運転モードで運転しており、さらに冷房効率を高めるために平日は終日カーテンを閉めている。このような使用環境の下で、冷房消費量は 7 月が 236MJ/月、8 月が 343MJ/月と A 邸と比較し低水準の消費量となっている。

給湯は冬期に消費量が大きい傾向であり、1月が1830MJ/月で最大である。なお、B邸も冬期に台所、洗面所でお湯を利用しており、湯はりの設定温度も冬期42℃、夏期39℃と冬期の方が高い。厨房は100MJ/月前後で推移している。

C邸は蓄熱暖房機で暖房を行っており、暖房消費量が最大の月は7,407MJ/月と他の世帯の暖房消費量の2倍近い水準である。冷房は5月から10月と他世帯と比較し長期間使用している。最も冷房消費量の多い月は8月で975MJ/月使用し、全体に占める割合は24%である。給湯消費量は冬期に大きい傾向であり、2月の2,048MJ/月が最大である。C邸はIHクッキングヒーターを用いているが、厨房消費量は各月400MJ/月前後で推移しており、ガスコンロを用いる他の2世帯より消費量が多い。

⑥機器別電力消費量

本調査では家電機器の電力消費量を計測しており、月別用途別一次エネルギー消費量で示した「照明・換気・他」の内訳が把握可能である。図7～図9に各世帯の家電機器の電力消費量を示す。

A邸は冷蔵庫が各月60～100kWh/月を消費しており、電力多消費機器となっている。月別に見ると冷蔵庫は夏期に電力消費量が大きくなる。電気ポットは冬期に電力消費量が大きくなり、10kWh/月超を消費している。テレビは9～18kWh/月の水準で推移している。ワインクーラーは夏期に電力消費量が多い。8月は30kWh/月消費しており、他の照明・家電を除くと冷蔵庫に次いで電力消費量が多い機器である。他の照明・家電は冬期に電力消費量が大きくなっている。冬期は日照時間が短く、照明を長時間使用していることなどが要因と考えられる。

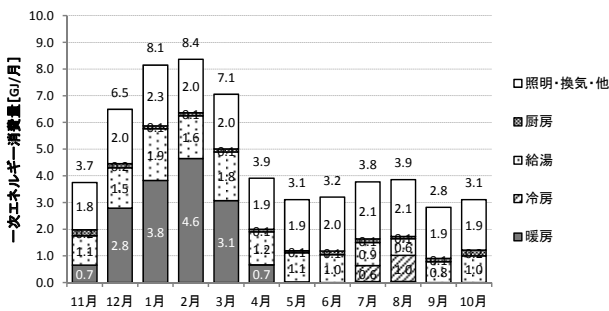


図4 月別用途別一次エネルギー消費量 (A邸)

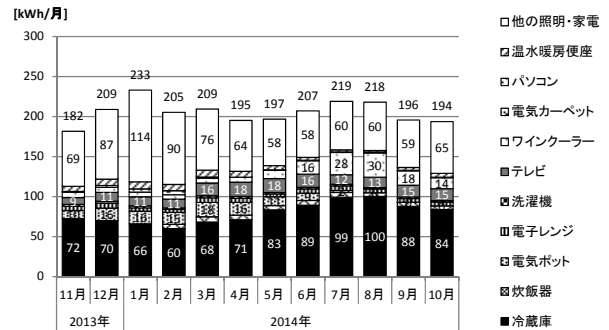


図7 機器別電力消費量 (A邸)

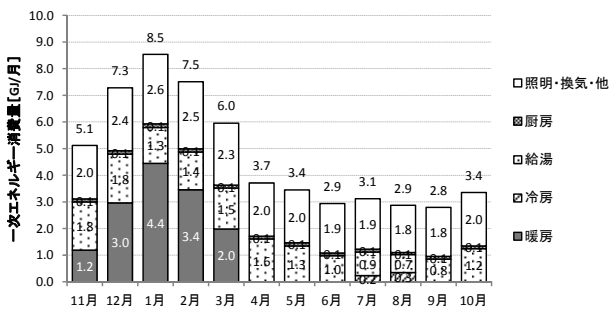


図5 月別用途別一次エネルギー消費量 (B邸)

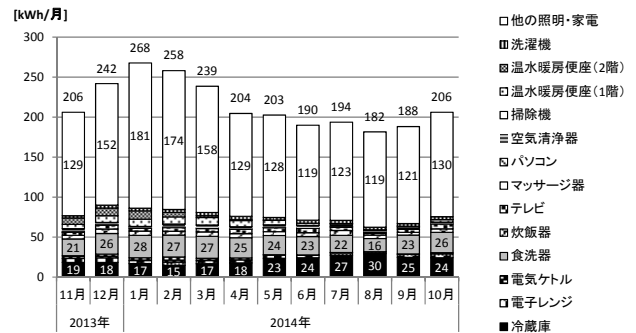


図8 機器別電力消費量 (B邸)

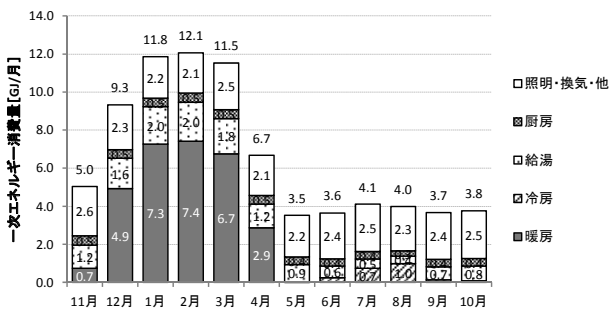


図6 月別用途別一次エネルギー消費量 (C邸)

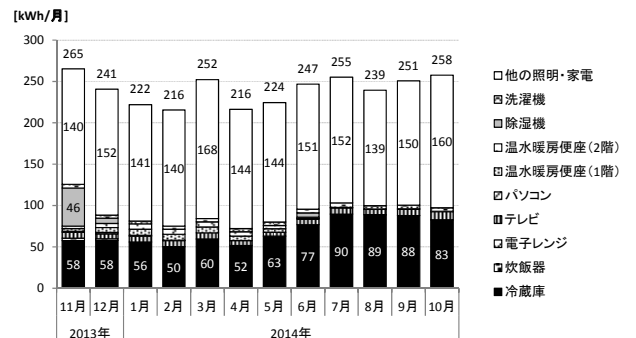


図9 機器別電力消費量 (C邸)

B 邸は冷蔵庫が毎月 15～30kWh/月の電力を消費している。なお、B 邸の冷蔵庫は 2012 年製の新しい製品であり、他世帯と比較し電力消費量は低水準である（他の 2 世帯は 2005 年以前の製品）。食洗機も電力多消費機器であり、毎月 16～28kWh/月で推移している。冷蔵庫、食洗機の他に電力多消費機器がないため、他の照明・家電の割合が大きい。他の照明・家電は A 邸同様冬に消費量が大きい傾向である。

C 邸も冷蔵庫が電力多消費機器であり、50～83kWh/月で推移している。除湿機は 11 月のみ電力消費量が 46kWh/月と大きい。他に電力消費量が多消費の機器は見られない。他の照明・家電は毎月 140～160kWh/月で推移しているが、他世帯のように季節による傾向は見られない。

⑦まとめ

温暖地（5 地域）の住宅を対象に実測調査を行った。本報では、調査結果より調査対象住宅が省エネルギー基準に適合しているかを確認し、年間一次エネルギー消費実態、用途別・機器別のエネルギー消費の傾向を示した。省エネルギー基準適合住宅においても、保有する暖房設備や家電製品の新旧によってエネルギー消費量に差が見られることが明らかになった。こうした設備の保有状況や使い方は地域により異なることが予想されるため、今後は温暖地以外の地域においても設備の使用状況やエネルギー消費の実態を明らかにすることが必要である。

2) 設備等に関する性能評価手法の例

①日射熱の利用

(1)概要

建物の熱負荷は、定常状態であれば主に外皮の熱的性能、室内の設定条件、外界気象、内部発熱によって決まり建物の蓄熱の影響は無いが、通常は非定常状態であることから蓄熱も影響を有している。しかしながら、省エネルギー型住宅の設計・評価手法をまとめた「自立循環型住宅への設計ガイドライン⁴⁾」や、平成 25 年基準⁵⁾では、蓄熱量に関しては $170\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ を境界としてそれ以上を蓄熱有り、それ未満を蓄熱無し、と判断するのみで、それ以外の熱容量の変化や日射熱の取得状況に伴う暖房熱負荷の変化の状況に関しては示されていない。

蓄熱による効果を様々なエネルギー消費の用途と同列で比較して、冬季の住宅全体におけるエネルギー消費の削減を考える場合には、様々な地域や建物性能等の条件における暖房負荷への影響という観点で検討する必要がある。しかし、これまでの研究ではそれらを条件とした際の暖房熱負荷について網羅的に検討し、定量的な評価手法を提案している例は見られない。

そこで、温暖地に建てられた戸建て住宅を対象とし、蓄熱による暖房負荷に与える影響を外皮の熱性能、日射熱の取得状況、地域、暖房方式、蓄熱容量等をパラメータとした熱負荷シミュレーションを網羅的に行うことで検討し、その簡易な評価手法を提案する。なお、計算上、蓄熱容量

は住宅全体（未入居の状態では家具等は含まない）を対象としているが、その変化については日射熱の蓄熱を考慮し、床面の熱容量を変化させることで検討した。

(2)計算方法

a) 計算対象住戸

計算対象とした住戸は、自立循環型住宅への設計ガイドラインに示されている一般モデルで、建築面積 69.56m^2 、床面積 120.07m^2 の木造 2 階建て住宅である。

b) 暖房熱負荷計算の条件

表 5 に暖房熱負荷計算の条件を示す。断熱性能は、平成 4 年、平成 11 年の各省エネ基準にほぼ相当するように設定した断熱レベル（それぞれ Q 値で、 $1.44, 2.55[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$ ）、平成 4 年と平成 11 年の省エネ基準による断熱レベルの中間くらい（Q 値で $2.03[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$ ）、平成 11 年の省エネ基準を超える 2 段階の断熱レベル（それぞれ Q 値で、 $3.08, 4.11[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$ ）とした 5 種類の Q 値を設定した。日射取得の条件（窓付属品）は、平成 25 年に改正された省エネルギー基準における評価を支援するためのツール（算定用 WEB プログラム）において、暖房及び冷房の一次エネルギー消費量を計算する際に用いる暖冷房負荷データの計算条件に合わせて設定した。蓄熱容量は、住宅自体（未入居の状態では家具等は含まない）の熱容量に加えて、 $0\sim 255[\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$ に相当する熱容量が、1 階と 2 階の居室の床全面に均等に配置されているとして計算した。想定した居住者は両親と子供 2 人、設定温度は暖房時 20°C で、これらの設定に加えて居住者の在室状況、内部発熱、空調・換気のスケジュールは「住宅事業建築主の判断の基準」および「平成 25 年省エネルギー基準」で設定されているものと同様に参考文献⁵⁾に示されている。気象データは、拡張アメダス気象データの標準年（1981 年～1995 年）を用いた。また、暖房熱負荷の計算には、AE-Sim/Heat を使用した。

表 5 暖房熱負荷計算の条件

項目	条件数	内容
地域	2	5 地域（宇都宮）、6 地域（岡山）
外皮の断熱性能（Q 値）	5	4.11, 3.08, 2.55, 2.03, 1.44 $[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$
日射取得の条件（窓付属品）	3	窓付属品無し、レースカーテン、外付けブラインド
主開口の方位	5	S, S-45°, S-15°, S+15°, S+45°
暖房方式	2	全館連続、居室間歇
蓄熱容量（床面への追加分）	11	0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 255 $[\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$

※地域は平成 25 年省エネルギー基準による地域区分主開口の方位が S 以外の場合は、蓄熱容量（床面への追加分）を 4 種類(0, 100, 180, 255 $[\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$)に限定した。レースカーテン、外付けブラインドは閉のまま固定である。

(3)計算結果

主な計算結果を以下に示す。

5地域と6地域では蓄熱容量（床面への追加分）に関わらずより寒冷な外気条件である5地域の方が3~4[GJ/年]暖房熱負荷が大きくなった（図10）。また、蓄熱容量（床面への追加分）が100[kJ/(m²・K)]よりも小さくなると、どちらの地域でも若干暖房熱負荷が増えた（Q値2.55、窓付属品無し、居室間歇、主開口方位Sの場合）。この条件では、窓付属品無しのため日射取得を期待でき、蓄熱容量（床面への追加分）を0の場合よりも増やした場合の方が、取得した日射熱を暖房負荷の削減により役立てることができると考えられる。

外皮の断熱性能に関しては（図11）、Q値が小さいほど蓄熱容量の増加により暖房熱負荷の減少が大きくなった（6地域、窓付属品無し、居室間歇、主開口方位Sの場合）。この条件では、Q値が小さいほど蓄熱した日射熱を暖房時間帯に利用しやすくなるためであると考えられる。

窓付属品による日射取得の条件の違いについて、蓄熱容量の増加に伴う暖房熱負荷の変化（図12）を見ると、3種類の窓付属品の中で日射取得量が最も少ない外付けブラインドの場合には増加、レースカーテンの場合にはあまり変わらず、日射取得量が最も多い窓付属品無しの場合には減少した（6地域、Q値2.55、居室間歇、主開口方位Sの場合）。これは暖房方式が居室間歇であることから、非暖房時に日射熱等により蓄熱されて暖房時に放出される熱と、暖房時に蓄熱されて非暖房時に放出される熱を比べたときに、窓付属品無しのように取得できる日射熱が多ければ前者の方が多くなり熱負荷の低減、外付けブラインドのように少なければ後者が多くなり熱負荷の増加となるためである。

主開口部の方位の違いについては（図13）、SとS±15°ではあまり差がないが、方位がSから離れるに連れて暖房熱負荷が大きくなった（6地域、Q値2.55、窓付属品無し、居室間歇の場合）。暖房期には真南の垂直面への日射量が最も多くなることを反映していると考えられる。

暖房方式の違いについては（図14）、全館連続の方が2.5倍程度の暖房熱負荷となっている。いずれも蓄熱容量の増加によって暖房負荷が減少しているが、全館連続の方がその傾向が顕著である（6地域、Q値2.55、窓付属品無し、主開口方位Sの場合）。この計算条件では、居室間歇の場合には、蓄熱された日射熱による暖房負荷削減と、暖房を行っていない時間帯に放熱される熱を暖房時に蓄熱することによる暖房負荷増加の差が小さかったのに対して、全館連続では後者がないため暖房負荷削減量が居室間歇よりも大きくなり、この様な結果になったと考えられる。

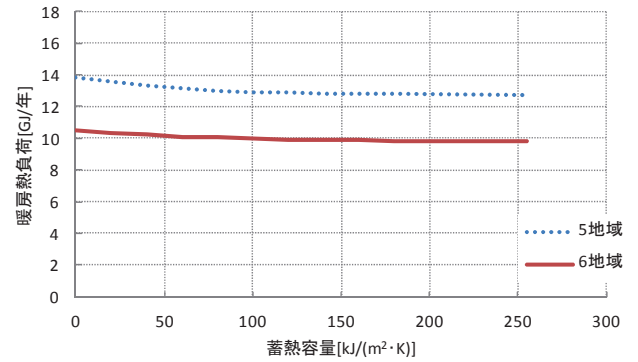


図10 地域による暖房熱負荷の違い
(Q値2.55、窓付属品無し、居室間歇、主開口方位Sの場合)

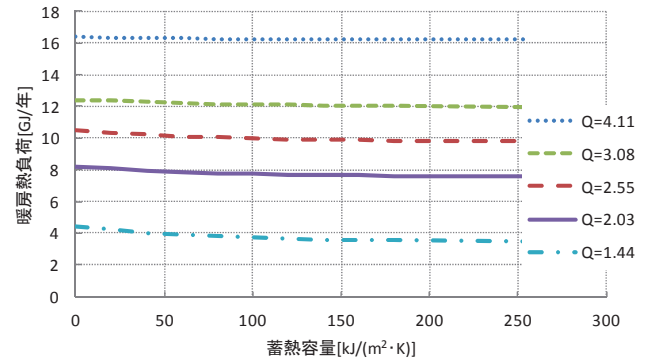


図11 外皮の断熱性能による暖房熱負荷の違い
(6地域、窓付属品無し、居室間歇、主開口方位Sの場合)

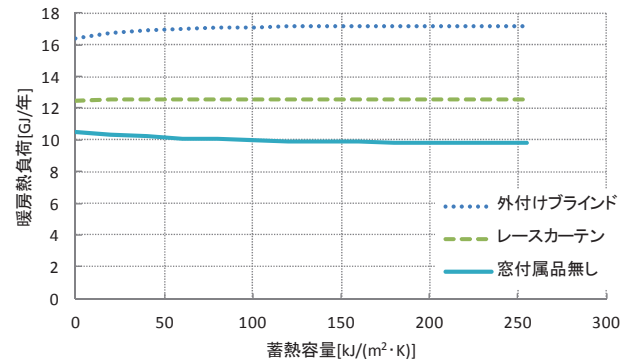


図12 日射取得の条件による暖房熱負荷の違い
(6地域、Q値2.55、居室間歇、主開口方位Sの場合)

(4)蓄熱等が暖房熱負荷に与える影響の検討

以上に示した計算結果を基に、気象条件による日照状況の違いや、周辺の立地状況の違いによる影響も考慮した、蓄熱量と暖房熱負荷の関係等から、簡易な評価手法について検討した。

a) 蓄熱時の暖房熱負荷の予測式

まず、表5に示したQ値、日射の取得状況、蓄熱容量のバリエーション以外でも暖房熱負荷を予測することを

可能とするため、(3)に示した計算結果の予測式を検討した。

地域、暖房方式、蓄熱容量ごとに、主開口方位 S の場合の計算結果（暖房熱負荷）を目的変数、 Q 値と日射取得係数（単位日射強度あたりの暖房期の日射熱取得量 $[W/(m^2)]$ ）を住戸の床面積の合計 $[m^2]$ で除した値、 μ_H ）を説明変数として重回帰を行った（式(1)）。その結果、いずれも重相関係数が 0.98 を超える値となった。なお、日射取得係数は AE-Sim/Heat における暖房熱負荷計算時に、同プログラムで計算された値（付表 1）を使用した。

次に、上で求められた Q 値と日射取得係数の重回帰係数および定数項（式(1)の $a_Q(S)$, $a_{\mu_H}(S)$, $b(S)$ ）を、地域、暖房方式ごとに、なるべく単純な形で相関が高くなるように分布の状況から判断し、蓄熱容量（床面への追加分）の 2 次式で回帰した（式(2)~(4)）。なお、相関係数は $a_Q(S)$, $a_{\mu_H}(S)$ ではいずれも 0.9 以上あったが、 $b(S)$ は 0.6~0.8 の間であった。

図 15、図 16 には AE-Sim/Heat による計算値と、上記の方法による予測値の関係の例を示す。図に示した以外の条件でも重相関係数は、暖房方式が居室間歌の場合には 0.98、全館連続の場合には 0.99 をそれぞれ超える値となった。

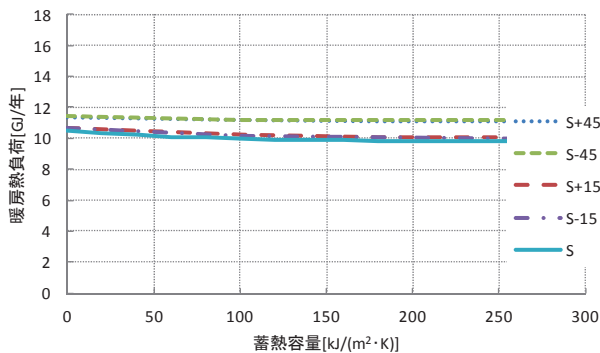


図 13 主開口の方位による暖房熱負荷の違い
(6 地域、 Q 値 2.55、窓付属品無し、居室間歌の場合)

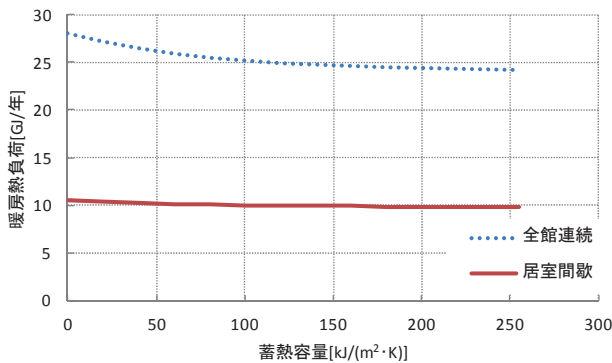


図 14 暖房方式による暖房熱負荷の違い
(6 地域、 Q 値 2.55、窓付属品無し、主開口方位 S の場合)

$$HL = a_Q(S) Q + a_{\mu_H}(S) \mu_H + b(S) \quad \text{式(1)}$$

HL : 暖房熱負荷[GJ/年]

S : 蓄熱容量（床面への追加分）[kJ/(m²·K)]

Q : 熱損失係数[W/(m²·K)]

μ_H : 暖房期日射取得率

$$a_Q(S) = \alpha_Q S^2 + \beta_Q S + \gamma_Q \quad \text{式(2)}$$

$$a_{\mu_H}(S) = \alpha_{\mu_H} S^2 + \beta_{\mu_H} S + \gamma_{\mu_H} \quad \text{式(3)}$$

$$b(S) = \alpha_b S^2 + \beta_b S + \gamma_b \quad \text{式(4)}$$

$a_Q(S)$, $a_{\mu_H}(S)$, $b(S)$: 回帰係数および定数項

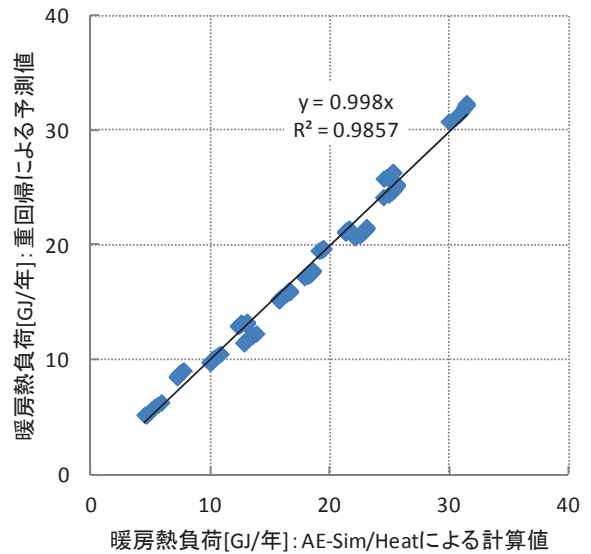


図 15 暖房熱負荷の重回帰による予測の例
(5 地域、居室間歌の場合)

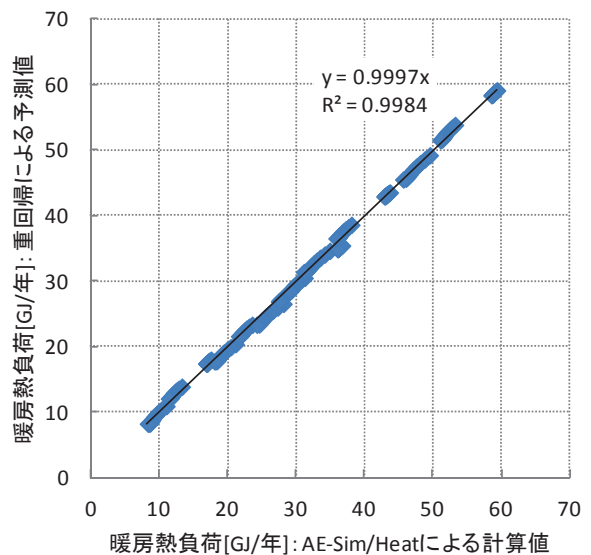


図 16 暖房熱負荷の重回帰による予測の例
(6 地域、全館連続の場合)

b) 暖房期日射取得量に関する検討

暖房期日射取得量は、気象条件による日照状況の違いや、周辺の立地状況の違いにより影響される。気象条件による日照状況の違いに関しては、省エネルギー基準の暖房期日射量地域区分（H区分）を参照して以下の様に検討した。まず、5, 6地域における各H区分の地点のAMeDASデータから暖房期日射量を求めて、H3区分以外で平均的と思われる地点を代表地点として任意に決め（表6）、各地域区分ごとに暖房熱負荷計算に用いた宇都宮、岡山が含まれるH3区分^{注2)}との暖房期日射量の比（以下では、この比を「暖房期日射量比」とする）を暖房期日射取得係数に乗じることでその影響を考慮することとした。

日射取得係数の算出には、日射取得に障害となる建物等が周囲にないことを想定している。そこで、注に示す文献^{注3)}から周辺の立地状況の違いによる影響を郊外で0.95、密集していない都市部で0.88、密集した都市部で0.58を、それぞれ隣棟遮蔽係数として暖房期日射取得係数に乗じることで、気象条件による日照状況の違いと同様にその影響を考慮することとした。

以下では、暖房期日射取得係数に暖房期日射量比と隣棟遮蔽係数を乗じた値を「 μ_H^* 」とする。

c) 主開口の方位による影響の検討

AE-Sim/Heatにおける暖房熱負荷の計算結果を基に、暖房方式ごとに主開口方位がSと異なる場合における暖房熱負荷の増分を、 μ_H^* をQ値で除した値の自然対数に比例し、主開口方位がSの時には0でSからの角度（ $\pm 45^\circ$ の範囲）に応じて大きくなるように以下の式(5)のように考え、これを変形した式(6)の左辺を目的変数として重回帰で予測した。なお、地域区分により分けた場合と分けなかった場合の決定係数の差は小さかったため5地域と6地域の区別はしなかった。

表6 各H区分で任意に選定した代表地点と暖房期日射量

地域区分	H区分	暖房期日射量 [MJ/(m ² ・年)]	選定した代表地点
5地域	H1	2015.0	富山県 高岡市
	H2	2320.0	滋賀県 東浅井郡虎姫町
	H3	2575.3	栃木県 宇都宮市
	H4	2926.3	茨城県 那珂郡緒川村
6地域	H1	1487.5	福井県 丹生郡越廼村
	H2	1683.3	福岡県 飯塚市
	H3	1843.1	岡山県 岡山市
	H4	1999.4	三重県 桑名市
	H5	2143.9	静岡県 磐田郡佐久間町

注)5地域 H3区分と6地域 H3区分は、暖房熱負荷計算に用いた気象データの地点であり、任意に選定した代表地点ではなく参考値である。

図17、図18にはAE-Sim/Heatによる計算値と、上記の方法による予測値の関係を示す。居室間歇、全館連続のいずれの場合も増分の比較的低い部分に集まっている領域と、比較的高い部分にやや広がって分布している領域（点線で囲った部分）に分かれている。後者の計算条件を確認すると断熱性能が最も高く、窓付属品無しで、主開口の方位をS $\pm 45^\circ$ とした場合である。この様な条件では断熱性が高いことから暖房熱負荷が小さく、日射による影響が大きいため、主開口方位を変えた場合の取得日射熱の変化が暖房熱負荷の増分に与える影響が大きいのを示している。この条件については回帰式による予測精度が低く、AE-Sim/Heatによる計算値よりも予測値の方が大きな値となったが、蓄熱などによる暖房負荷削減を目指す観点からは安全側の値であると言える。そこで、以下の簡易な評価手法ではこの予測式を用いることとした。

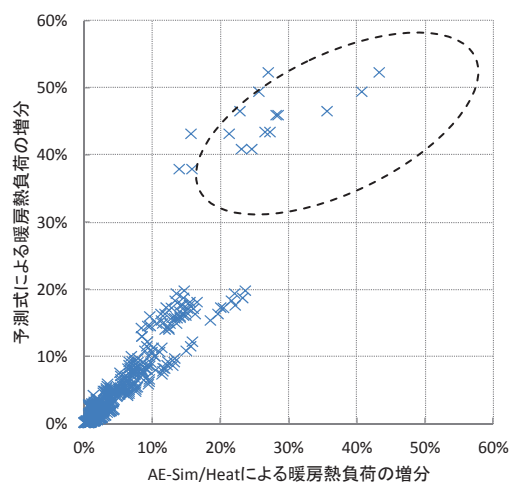


図17 主開口方位を変えた場合の熱負荷増分のAE-Sim/Heatによる計算値と予測値の関係（居室間歇の場合）

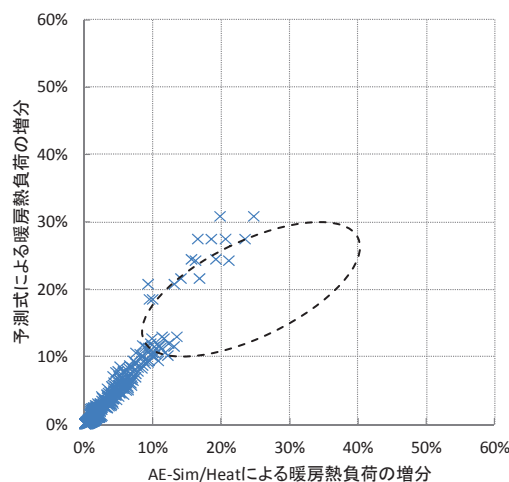


図18 主開口方位を変えた場合の熱負荷増分のAE-Sim/Heatによる計算値と予測値の関係（全館連続の場合）

$$dHL = \exp(a_{\mu H Q} \mu_H^* / Q + a_S S + b) \times (1 - \cos(\theta))$$

式(5)

$$\log_e(dHL / (1 - \cos(\theta))) = a_{\mu H Q} \mu_H^* / Q + a_S S + b$$

式(6)

dHL : 主開口方位が S の時の熱負荷に対する増分
 μ_H^* : 当該住宅の主開口方位を南とした場合の暖房期日射取得率に暖房期日射量比と隣棟遮蔽係数を乗じた値
 Q : 熱損失係数[W/(m²・K)]
 S : 蓄熱容量(床面への追加分) [kJ/(m²・K)]
 θ : 主開口方位の真南からのずれ角度
 $a_{\mu H Q}, a_S, b$: 重回帰係数および定数項

d) 暖房熱負荷の削減率の簡易な評価手法

暖房期日射取得量の増大は暖房熱負荷の削減、Q 値の増大は暖房熱負荷の増大にそれぞれ寄与すると考えられることと、簡易な評価方法とすることを鑑みて、式(1)による予測値を基に、基準となる条件からの暖房熱負荷の削減率(正の場合には削減、負の場合には増加)と、蓄熱容量(床面への追加分)、対象条件での μ_H^* と基準となる条件の時の $\mu_H^*(= \mu_H^*_s)$ の差を Q 値で除した値の関係を求めた。

基準となる条件は蓄熱容量(床面への追加分) 0、窓付属品はレースカーテン、主開口の方位は、S±15°とし、地域、Q 値、暖房方式、H 区分、隣棟遮蔽係数はそれぞれ対象条件とした。対象条件では、地域、Q 値、暖房方式を表 1 にある条件、H 区分、隣棟遮蔽係数を c) に示した条件(前者は 4 もしくは 5 条件、後者は 3 条件)、主開口の方位を S±15°、S±30°とした場合の結果を図 19～図 22 に示す。なお、5 地域と 6 地域では、結果に大きな違いが見られなかったため、両者を合わせて示してある。(削減率がマイナスの場合は増加を示す。)

図の右端に近い領域では断熱性が高く、日射取得が多いことを示しているが、このときにはいずれの場合も基準状態と比べて 40%程度の削減率を示している。また、詳しく見ると図の右端の付近では蓄熱容量(床面への追加分)が 200[kJ/(m²・K)]付近で最大の削減率を示している。

居室間歇の場合には、等削減率線は横軸が負の領域では右に凸となっており、詳しく見ると図の左端の付近では蓄熱容量(床面への追加分)が 200[kJ/(m²・K)]付近で最小の削減率を示している。つまり、居室間歇の場合には、断熱性が低く日射取得が少ない場合には蓄熱をしない方が有利、逆に断熱性が高く日射取得が多い場合には蓄熱をした方が有利にそれぞれ働くことが示されている。これは、断熱性が低く日射取得が少ないと、熱容量を増やすことで非暖房時間に持ち越す熱まで熱負荷として追加されてしまうが、横軸が 0.004 を超えるくらいに断熱性が高く日射取得が多ければ、蓄熱容量をある程度増やすことにより追加されてしまう熱負荷よりも、非暖房時に蓄熱された日射熱により暖房時に削減される熱負荷が上回って、結果的に暖房熱負荷削減率を大きくすることができることを示している。

一方、全館連続の場合には、横軸が負の領域では蓄熱容量は、削減率にあまり影響していない。これは常に一定の室温としているため蓄熱部分も常に一定の温度となっているためである。しかし、日射熱が多く室内に取り込まれる条件では、蓄熱容量を大きくすると室内に取り込んだ日射熱を一旦吸収した後に徐々に放出することで、設定室温よりも高くなる時間が短くなり、暖房熱負荷削減率を大きくすることができることを示している。また、主開口部の方位の違いでは、いずれの暖房方式でも S±15°に比べて S±30°の方がやや削減率が小さくなっている。これは、基準の S±15°より、S±30°では取得できる日射量が減少するためである。

横軸でプラスの領域にするためには、基準となる条件に比べて μ_H を大きくする、つまり基準となっている住宅に比べてより多くの日射が取り込めるような開口条件とする必要がある。具体的には開口面積を大きくする、日照のある時間帯に窓付属品を無くすなどがある。後者については日照があるときにカーテンを開けることができるよう、外部からの視線が気にならない外構計画とすることや、リビングを 2 階以上にする事などが考えられる。また、H 区分や隣棟遮蔽係数の面から暖房期日射取得量が多い場合や Q 値が小さい場合には、横軸の絶対値がより大きな値となるので、横軸がプラスの領域であれば蓄熱容量の増加によって暖房熱負荷削減率をより大きくすることが期待できる。

(5)まとめ

温暖地に建てられた戸建て住宅を対象とし、蓄熱による暖房負荷に与える影響を外皮の熱性能、日射熱の取得状況、地域、暖房方式、蓄熱容量等をパラメータとして網羅的に熱負荷シミュレーションを行い蓄熱による暖房負荷に与える影響の簡易な評価手法を示した。

なお、ここで示した評価手法は、比較的簡易な方法を目指したため、とくに主開口の方位による影響に関しては条件によってはやや大きめの誤差(20%程度)を含んでいるが、蓄熱などによる暖房熱負荷削減を目指す観点からは安全側の値である。

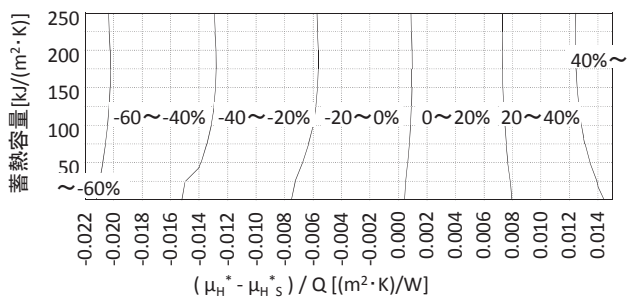


図 19 暖房熱負荷削減率と、蓄熱容量(床面への追加分)、 $(\mu_H^* - \mu_{H^*s}) / Q$ 値の関係 (居室間歇、主開口方位 $S \pm 15^\circ$ の場合)

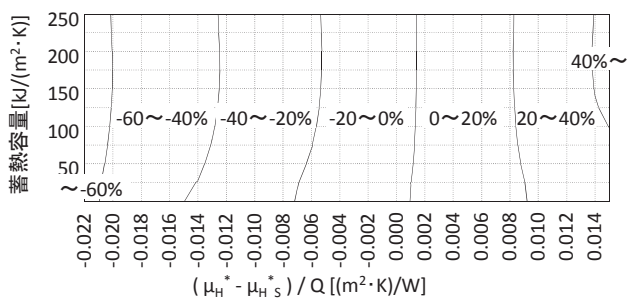


図 20 暖房熱負荷削減率と、蓄熱容量(床面への追加分)、 $(\mu_H^* - \mu_{H^*s}) / Q$ 値の関係 (居室間歇、主開口方位 $S \pm 30^\circ$ の場合)

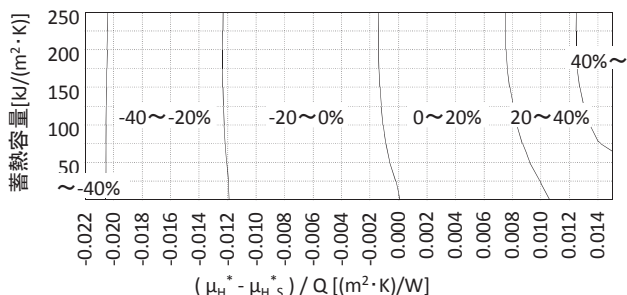


図 21 暖房熱負荷削減率と、蓄熱容量(床面への追加分)、 $(\mu_H^* - \mu_{H^*s}) / Q$ 値の関係 (全館連続、主開口方位 $S \pm 15^\circ$ の場合)

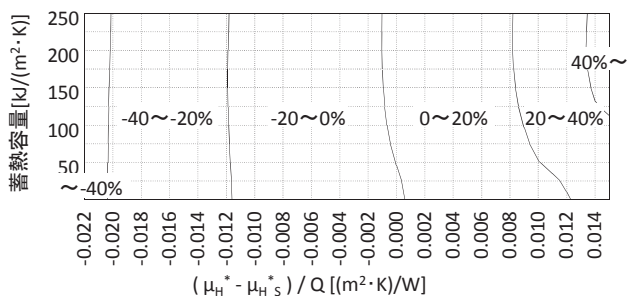


図 22 暖房熱負荷削減率と、蓄熱容量(床面への追加分)、 $(\mu_H^* - \mu_{H^*s}) / Q$ 値の関係 (全館連続、主開口方位 $S \pm 30^\circ$ の場合)

②容量可変型エアコン

(1)概要

平成 25 年基準では、住宅の断熱性能だけでなく、空気調和設備や給湯設備などの建築設備を含めて総合的な評価をするために「住宅で消費される一次エネルギー消費量」を指標とする基準となり、設備を含めた一層の省エネルギーが求められている。

ライフサイクルでの CO_2 発生量をマイナスにする住宅の可能性の検討を目的として、建築研究所内に建設された LCCM 住宅デモンストレーション棟 (以下「LCCM 住宅デモ棟」) においては断熱性能や日射遮蔽等の技術を用いて、住宅の暖冷房負荷がより小さくなるような設計がなされている。一方、ルームエアコンディショナ (以降エアコン) は暖冷房負荷が小さい場合には、連続運転できないことなどからエネルギー消費効率が低下してしまうことがわかっていたり。そこで、LCCM 住宅デモ棟では負荷計算を実施して、想定される暖冷房負荷に対して小さな暖冷房能力を有するエアコン (能力不足が生じる時間を全運転時間の 20% 程度許容する) を設置することにより、一部処理能力の不足を許容することで、さらなるエネルギー消費量の削減を図る手法が採用されていた⁶⁾。

近年、暖冷房処理能力不足を許容することなく、コンプレッサのシリンダ容量を可変にすることで、低負荷時でも高効率な運転が可能な機器が一般に流通するようになった。そこで、本機種を LCCM 住宅デモ棟に導入して効果検証実験を行い、平成 23 年度に実施した従来エアコンを用いた実験結果⁷⁾と比較を行ったので報告する。

(2)実験概要

LCCM 住宅デモ棟において生活行動等に基づいた内部発熱を与えたうえで、エアコンを在室スケジュールに従って運転させた、年間を通じた無人のフィールド実験により機器特性を把握した。また、計測は平成 26 年 8 月～平成 27 年 3 月に実施した。

(3)実験装置

a)住宅

LCCM 住宅デモ棟の概要を以下に示す。

延床面積 142 m^2 (43 坪)

間取り 3 LDK (4 人家族を想定)

構造 木造在来工法 地上 2 階建

Q 値 1.98 W/ m^2K (計算値)

(次世代省エネルギー基準 II 地域相当として計画)

C 値 1.2 cm^2/m^2 (計測値)

b)エアコン

LCCM 住宅デモ棟の全居室(3 台)に、負荷計算の結果から概ね必要とされた能力 (能力不足が生じる時間が全運転時間の 5% 未満とする) を持つエアコンを新たに設置した。なお、機器には 5.0kW が無いため、最も能力の近い 5.6kW を選択した。機器能力を表 7 に設置状況を図 24 に示す。

c)計測装置等

本取組において比較対象としている電力ならびに室内温湿度を計測するために、電力量計と温湿度計を設置した。なお、LCCM 住宅デモ棟の持つ最新建築のデモンストラーション棟という側面を損なわないよう、特に温湿度計については設置点数や方法を限定した。計測箇所を表 8、各種設置状況を図 25 に示す。電力は 5 秒、温湿度はエアコン関連が 10 秒その他を 5 分、日射量は 10 秒間隔のサンプリングとし、必要に応じて平均・積算処理を行った。

また、H23 年度の実験は、居住実験であったことから温湿度の計測についても、三脚を用いて部屋中央にセンサを設置するなど、空間の温湿度を正しく計測できるように配慮がなされていた。しかし、今年度は人が常駐しない計測であり、見学等への配慮により、机上に直接設置する簡易な方法であったことから、日射や家具表面温度の影響などが見られたため、比較にはエアコンが動作している時は常に空気が流れており、実際の空気温度に近いと考えられるエアコン吸込口の温度を用いた。

また、宅内における模擬負荷を与えるために、菊水電子製 PCZ1000A（設定範囲 50W～1000W）2 台を 1F 北側スペースへ設置した。設置状況を図 26 に示す。

(3)実験方法

a)実験条件

各居室は LCCM 住宅デモ棟の設計思想に沿うように、また H23 年度の実験と可能な限り同様の条件となるように、室内を仕切る引戸を閉める等、空調対象の空間の最適化を行った。ただし、今年度は無人実験のため、夏期の通風利用をするための窓開けや、冬期日中の積極的な日射利用のための間仕切りの開閉は実施していない。室内に設置されている負荷装置（機器）の運転方法を表 9 に示す。なお、フィールド実験であり外気条件をコントロールできないことから特に期間を定めず、年間にわたり可能なかぎり連続してデータを取得した。

b)内部発熱

エアコン以外の機器等から発生する内部発熱については、過去の実験同様に省エネ法で用いられている平日の生活パターンを繰り返し、模擬負荷装置を用いて与えた。実験用の負荷パターンを図 27 に示す。

表 7 エアコンの設置場所と機器能力

場所	H23 実験時	今回設置	必要能力
1F_LDK	2.8 kW	5.6 kW	5.0 kW
2F_西	2.2 kW	2.2 kW	2.2 kW
2F_東	2.2 kW	4.0 kW	4.0 kW

表 8 計測概要

計測項目	点数	備考
外気温湿度	1 点	おんどとり RTR-5
室内温湿度	16 点	おんどとり RTR-5
エアコン室内機吸込・吹出温湿度	各エアコン 1 点	おんどとり RTR-500
エアコン室外機吸込温湿度	各エアコン 1 点	おんどとり RTR-500
エアコン消費電力	各エアコン	HIOKI2331, 2332
室内ファン回転数	各エアコン	おんどとり RTR-500
傾斜面日射	1 点	(株)プリード CMP-3B

表 9 使用機器の運転方法

機器	運転方法
模擬負荷装置	省エネ法の内部発熱パターンで制御
エアコン	省エネ法の在室スケジュールで ON-OFF 制御
24 時間換気	連続運転



図 23 LCCM 住宅デモ棟外観

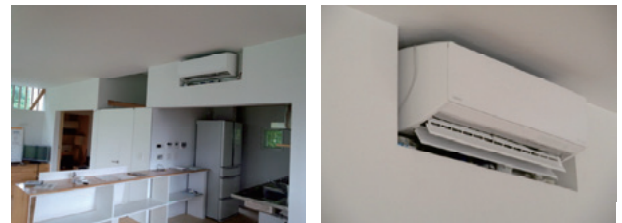


図 24 機器設置状況 1F-LDK



図 25 室内温湿度の計測状況（左：H23、右：今回）



図 26 模擬負荷発生装置

c) エアコン動作

エアコンは、省エネ法で用いられている平日の生活パターンにおいて、各居室に居住者が在室している時間に運転させ、不在の場合に停止する間欠運転とした。なお、本実験では内部の温湿度状況によらず、常にエアコンを運転させた。また、エアコンの運転設定は省エネ法における室内条件と同じ冬期 20℃、夏期 27℃に、風量は自動とし、風向を冷房時は水平、暖房時は垂直に付属のリモコンを用いて設定した。エアコンの冷房（夏期）および暖房（冬期）の運転スケジュールを図 28 に示す。

(4) 実験結果

a) 室内環境

暖冷房能力の大きなエアコンを導入したことによる、室内環境の改善効果を確認するために比較を行った。フィールド実験のため、外気温度や日射量などの外気条件が比較的似通った日を抽出した。代表日を表 10 に示す。

a)-1 夏期比較

夏期の実験結果を図 29 に示す。

はじめに前提条件を整理する。実験条件として、H23 年度は居住実験であったため夜間等は通風を行っており、午前中のエアコン運転開始時間が遅くなっていること、エアコン運転開始時の室内温度が高い点が異なる。また、外気温度について午前中は同程度だが、今年度のほうが 14 時以降最大で 3 度以上高い状態であった。

つぎに室内環境を比較する。機器の運転開始時（緑囲）部分において、今年度はすぐに目標温度以下に温度を下げることであった。たとえば 12 時の運転において、運転開始後 13 分間で開始直後に 31℃あった温度が目標値の 27℃を下回った。さらに、運転中（橙囲）も目標温度より低い温度を継続して保つことができていた。同じ 12 時の運転において、H23 年度では 30℃程度を維持するにとどまったが、今年度では目標付近の 26℃程度を維持できており、その差は 4℃程度であった。

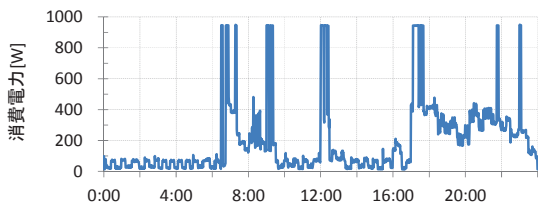


図 27 実験用負荷パターン（エアコン除く）

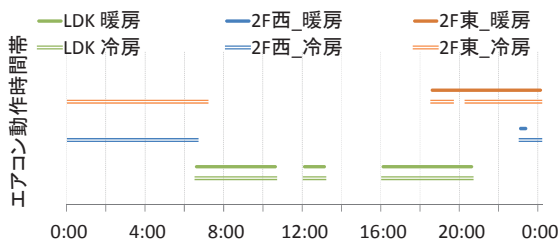


図 28 エアコン運転スケジュール

今年度のほうが空調負荷は大きい状況であったが、室内環境をより快適な状態に保つことができていた。

a)-2 冬期比較

冬期の実験結果を図 30、図 31 に示す。

表 10 各期における代表日

時期	H23 年度試験	今年度試験
夏期	H23 年 8 月 7 日	H26 年 8 月 22 日
冬期	H24 年 1 月 29 日	H27 年 1 月 29 日

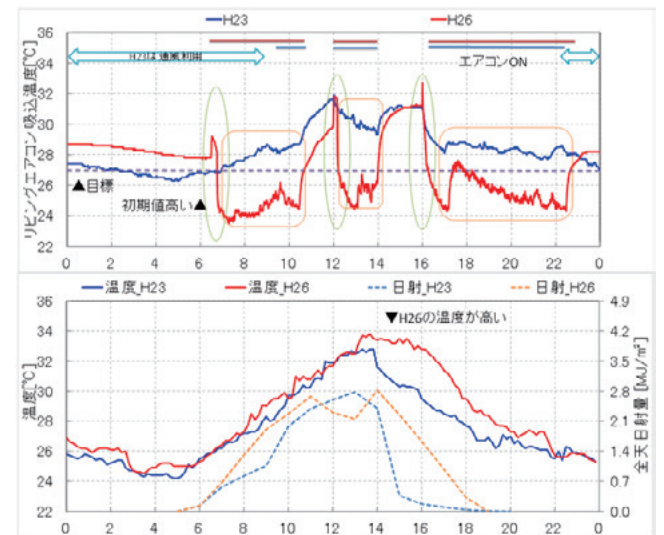


図 29 室内環境の比較（夏期）

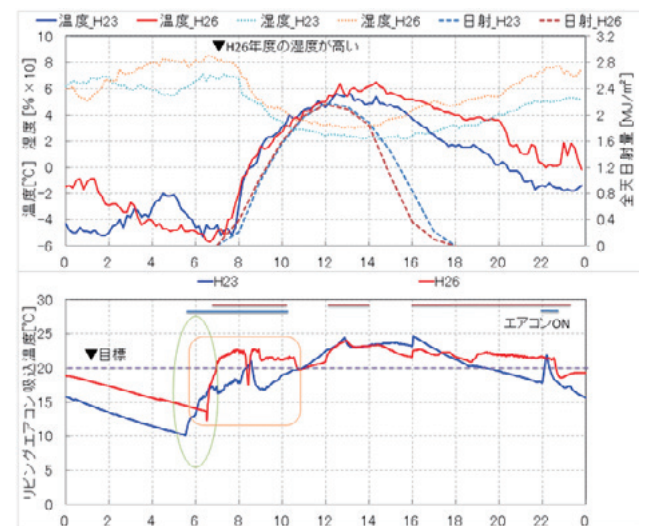


図 30 室内環境の比較（冬期）

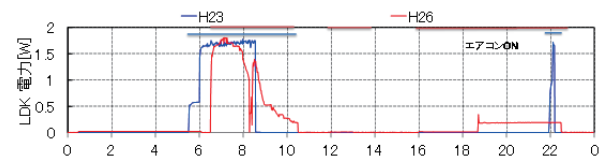


図 31 エアコン消費電力(冬期)

はじめに前提条件を整理する。前日の影響があり夜間は若干温度がずれているが、エアコンの運転開始時はほぼ同条件となっている。また、14時以降はH23年度のほうが2℃ほど低い状態であった。また、H23年度は、日射の積極的な取得や体感に応じたエアコン使用をしていることから、ほぼ午前中のみでの使用であった。そこで、午前中の時間帯に絞り比較を実施した。

つぎに、室内環境を比較する。室内環境は機器の運転開始時(緑囲)部分において、今年度は温度上昇が早く目標温度に到達していた。例えば、運転開始後27分間で開始直後に13℃であった温度が目標の20℃を上回った。さらに、運転中(橙囲)もおおむね目標温度より高い温度を維持できていた。例えば、H23年度では9時前に20℃を超えるがその後再び下回ってしまうが、今年度は、20℃程度を維持できており、その差は4℃程度であった。

また、エアコン消費電力を図31に示す。室内温度が目標値を超えるとH23年度は停止するが、今年度は消費電力が徐々に低下している。電力と能力は比例の関係を持つことから、室内温度等に応じ暖房能力を低負荷まで変化させ室内温度一定に保っていたと考えられる。なお、比較日には発生しなかったが、H23年度は停止後室内温度が低下すると、再度1500W程度で発停していた。

なお、今年度は外気湿度が高かったため9時前にデフロストが発生し、室内温度の低下がみられた。

ほぼ同様な前提条件のもとで今年度のほうが室内環境をより快適な状態に保つことができていた。

b)CO₂排出量

日ごとの外気条件とCO₂排出量の関係を確認した。なお、設備見学や実験調整による人の出入り等の外乱がある日は除いた。また、CO₂排出量は電力消費量から電力CO₂排出量原単位0.561 kg-CO₂/kWh⁸⁾を用いて計算した。

b)-1 夏期

結果を図32に示す。冷房時の日ごとのCO₂排出量は日平均外気温度でよく説明できるといえる。なお、エアコンのサーモOFFが多く発生しており本来冷房を必要としないと考えられる、外気温度が冷房の設定温度である27℃を下回る、26℃未満のデータは除外した。また、冷房実験の日平均データを表11に示す。なお、日平均運転時間はLCCM住宅に設置された3台の実験期間中の全運転時間を実験日数で除して求めた。

今年度のほうが排出量は多かったが、この原因は、a)-1に示したように今年度のほうが達成された室内温度が目標温度に近く(やや低め)制御されていたこと、および表5に示すように、H23年度の実験は居住者が窓開け等を行いエアコンの使用時間を少なくしており、運転時間に約6倍の差があったためである。

また、表11より期間平均しても図32で示したCO₂排出量と気温の関係が成立しているといえる。

b)-2 冬期

結果を図33に示す。暖房の日ごとのCO₂排出量は、

全天平均日射量の日積算値で説明できる。今年度のほうが排出量は少なかった。

c)年間比較

前項の近似式(図32、図33)より、年間CO₂排出量を算出した。結果を表12に示す。検討には拡張アメダス1981-2000収録の「茨城県長峰」の気象データを用いた。

暖房時の排出量削減効果は高くほぼ半減させることができた。一方で、冷房時は、a)-1に示したように空調により得られる室内環境や運転時間に大きな違いがあることから、直接比較は適当でないと考えられる。そこで、従来機と同じ日平均運転時間とした結果(表括弧内)を比較すると、差は約10%となりほぼ同様のCO₂排出量で室内環境を改善できたといえる。また、年間で比較すると同じ冷房運転時間ではCO₂排出量を約5割削減させることができた。なお、運転時間を同等とせずすべての在室時間で冷房を使用した場合でも約3割削減できた。

表11 冷房実験の平均データ

実験年度	日平均運転時間	日平均CO ₂ 排出量	日平均気温
H23年度	5.4時間	3.5 kg/h	28.7℃
H26年度	31.5時間	6.6 kg/h	27.7℃

表12 住宅全体における空調によるCO₂排出量の比較

CO ₂ 排出量[kg-CO ₂]	従来機	本機器
冷房	27.3	203.7(35.2)
暖房	997.6	499.1
年間	1024.9	702.8(534.3)

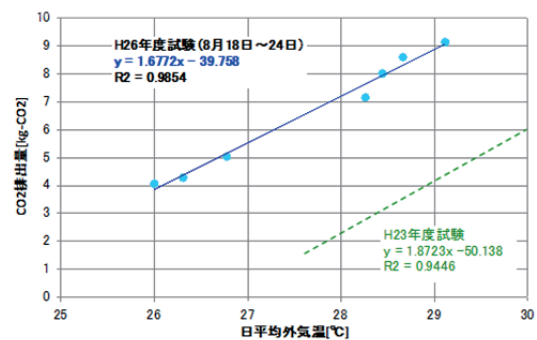


図32 外気温度とCO₂排出量の関係(夏期)

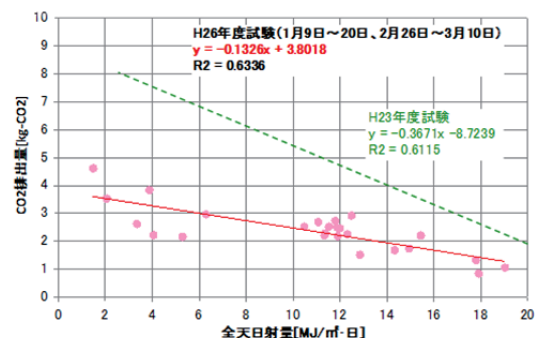


図33 日射量とCO₂排出量の関係(冬期)

(5)まとめ

可変容量エアコンを用いることで、①夏期冬期とも立ち上がりの迅速さと温度維持の観点から快適な室内環境が実現され、②CO₂排出量も年間5割程度削減された。

IV 業務用建築の省エネルギー性能評価手法に関する研究開発

1)実測調査による一次エネルギー消費量評価手法の検証

①概要

平成25年基準では、一次エネルギー消費量に関する基準が規定されており、設計建物の一次エネルギー消費量が、基準以下となることが求められている。基準に基づいた一次エネルギー消費量算定ツールの一つとして、「一次エネルギー消費量算定用Webプログラム」(以降、Webプログラム)が建築研究所から公開されている。しかし、Webプログラムと実運用では建物使用条件に差異があるため、Webプログラムの計算値と実績値を単純に比較することはできない。

そこで、実建物の仕様を基に、Webプログラムの計算値とエネルギー消費量実績値の比較を行い、その差異について確認した。更に、Webプログラムの計算値を、実建物の運用条件を基に補正することを試みた。

②検討手順

表13に示す検討対象建物で、Webプログラムを用いた一次エネルギー消費量の計算を行い、実績値との比較を行った。次に、設備の運転時間などの運用条件の違いを確認し、計算値と実績値の差異の要因を検討した。その上で、照明点灯時間、空調運転時間、換気運転時間等の実運用の条件にて計算値の補正を行い、補正した計算値と実績値の比較を行った。

表13 分析対象建築物

建物用途・名称	所在地	延床面積 [m ²]	竣工年	熱源設備種別
事務所A	東京都	21,000	2003	水蓄熱システム、ガス焚き冷温水発生機
飲食(物販)A	東京都	230,000	2012	地域熱供給施設
ホテルA	大阪府	51,000	1984	蒸気吸収式冷凍機+小型蒸気ボイラ
病院A	東京都	130,000	2009	コージェネレーションシステム
学校A	東京都	62,000	2005	地域熱供給施設
学校B	東京都	20,000	2008	空気熱源ヒートポンプ+GHP
物販店舗B	大阪市	33,000	1992	吸収式冷温水発生機、空冷ヒートポンプ(個別分散式)
事務所D	青森県	5,000	1974	水冷式パッケージエアコン、蓄熱式電気温水発生器
事務所E	新潟県	8,000	1992	HPチャラー水蓄熱+空冷HPパッケージ
病院B	岩手県	23,000	2004	吸収式、水冷チャラー、貫流蒸気ボイラ、外置機+水熱源PAC
事務所F	札幌市	59,000	2010	地域冷暖房(冷水・温水)、ターボ冷凍機、ダブルバンドル型ターボ冷凍機、水蓄熱
ホテルB	札幌市	61,000	1982	蒸気吸収式冷凍機、炉間煙管蒸気ボイラー
病院C	札幌市	17,000	2010	空冷チャラー、真空式温水機、空冷HPパッケージ

③実績値と計算値の比較

分析対象建物の単位延床面積当たりの年間一次エネルギー消費量(以降、一次エネルギー消費原単位)の実績値とWebプログラムの計算値の比較結果のうち、温暖地の建物を図1、寒冷地の建物を図2に示す。実績値に対する計算値の差異の割合は、一部の建物を除き20%以内となっており、消費先別の割合も概ね同様の傾向であり、計算値が実績値を再現できていると思われる。ただし、温暖地の物販・飲食店舗A、物販店舗B、東北地区の事務所E、北海道地区の病院Cは、差異が大きい結果となった。物販・飲食店舗Aは、差異が30%と実績値に比べ計算値が小さくなっており、照明・コンセント系統の差異が大きい。実績値には装飾照明などが含まれていることが一因と思われる。物販店舗Bは、差異が46%と実績値に比べ計算値が大きくなっており、照明・コンセント系統の差異が大きい。実績値では照明とコンセント系統を分離することは困難であるが、計算値のコンセント系統のエネルギー消費量が実績値より過大であることが考えられる。事務所Eは、差異が70%と実績値に比べ計算値が大きくなっているが、事務所Eの実績値は2014年度のものであり、節電対策を積極的に実施している建物であるため、実績値が小さくなっていることが原因である。病院Cは差異が47%と実績値に比べ計算値が小さくなっている。これは、実績値には、融雪や医療用の蒸気など、Webプログラムの計算値に含まれない、エネルギー消費量が含まれているためと思われる。

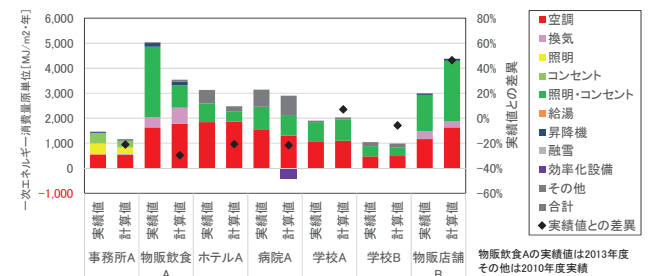


図34 実績値と計算値の比較(温暖地)

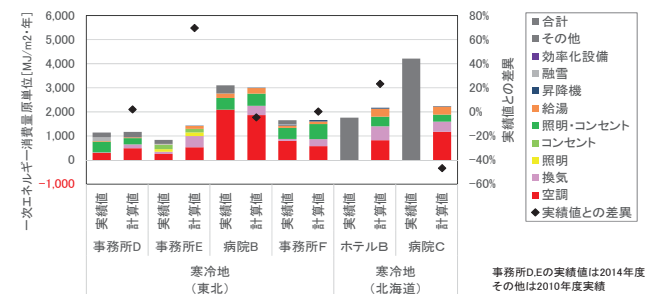


図35 実績値と計算値の比較(温暖地)

④事務所Aの差異の要因分析及び補正の実施

事務所Aは、実績値と計算値の差異が21%で計算値が小さかった。また、消費先別の内訳では、照明用電力消費量は計算値が小さく、換気用電力消費量は計算値が大きい結果となった。この差異は、前述したようにWebプログラムと実運用では、建物の運用条件が異なることが主な要因であると思われる。つまり、Webプログラムで設定されている標準室使用条件と、実建物の空調・照明・換気の運用時間や、在室人数、機器、照明などの内部発熱量・スケジュールが、実運用と異なるためと思われる。そこで、Webプログラムの計算結果を、実運用の運転時間に合わせる補正を試み、実績のエネルギー消費量との比較・検討を行った。

(1) 照明用エネルギー消費量

図37に、照明一次エネルギー消費量の計算値（補正なし）と実績値の比較を示す。計算値は、照明は平日のみが点灯している設定のため、実績値も平日のみの照明一次エネルギー消費量を示している。計算値は3,766GJであるのに対し、実績値は7,182GJとなっており、約1.9倍大きい値となっている。そこで、実運用での照明点灯時間に相当する照明一次エネルギー消費量を算出し、実績値と補正した計算値を比較した。図36に示す照明電力変動の基準階事務室の実績値より、実運用での照明点灯時間は、平日では17時間程度と推定できる。一方、Webプログラムの照明点灯時間は13時間である。

図37中に点灯時間を実運用時間相当に補正した計算値と実績値の照明一次エネルギー消費量の比較を示す。補正した計算値は実績値に近づく傾向にある。しかしながら、実績値と補正した計算値には、差異が残っている。差異が残る原因としては、実績値と補正計算値の比較は、建物全体の照明一次エネルギー消費量で比較しているため、実績値の照明点灯時間の代表として選定した基準階の点灯時間と、その他の階の照明点灯時間に違いがあることが考えられる。また、照明制御による効果が、計算値と実績値とで一致していないことなども考えられる。対象建物の事務室には、在室検知制御、スケジュール制御、初期照度補正制御、昼光連動調光制御が採用されているが、対象建物における照明制御の効果が、Webプログラムに設定されている照明制御におけるエネルギー削減係数の効果となっていないことが考えられる。参考として、Webプログラムにて照明制御がなかった場合の照明エネルギー消費量を計算した結果を、図37中に示す。照明制御がない場合の計算値は、実績値と概ね同等の結果となった。昼光連動調光制御による効果が減少していると考えられる。照明機器の調光制御の効果が減少する原因として、蛍光灯の管球の経年劣化があげられるが、その他の原因として、安定器の劣化、照度センサーの劣化等が考えられる。

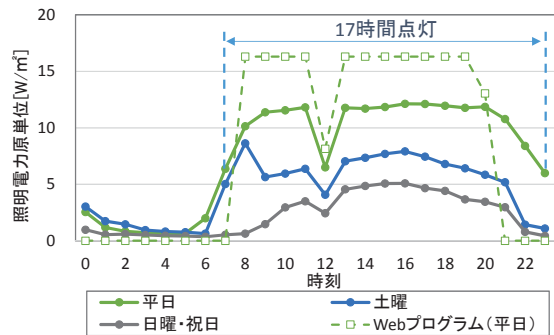


図36 時刻別平均照明電力変動（基準階事務室実績値）

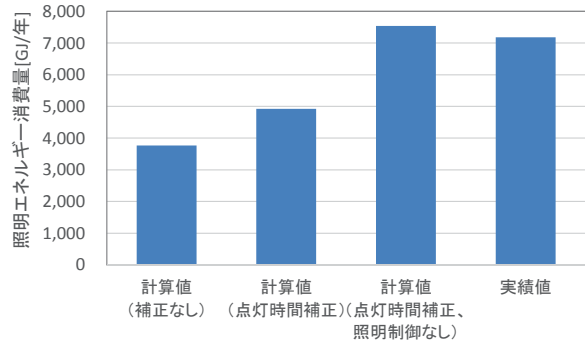


図37 照明一次エネルギー消費量の比較（平日のみ）

(2) 空調用エネルギー消費量

図39に、計算値（補正なし）と実績値の空調一次エネルギー消費量の比較を示す。計算値は、空調は平日のみが運転している設定のため、実績値も平日のみの空調一次エネルギー消費量を示している。計算値は11,115GJであるのに対し、実績値は8,899GJとなっており、約20%小さい値となっている。そこで、実運用での空調運転時間に相当する空調一次エネルギー消費量を算出し、実績値と補正した計算値を比較した。

計算に使用されている基準の空調運転時間は、事務室で7時～20時の14時間である。一方、実運用の空調運転時間は、図38に示した建物全体の空調機の電力消費量の時刻別変動より推定した。空調機の電力消費量より、空調運転時間は、9時～19時の11時間と想定される。一部の室では22時までの使用も推定できるが、多くの室は、19時までの使用であると想定した。

図39に補正した計算値と実績値の空調一次エネルギー消費量の比較を示す。運転時間を実運用に補正した計算値は、概ね実績値と一致する結果となった。

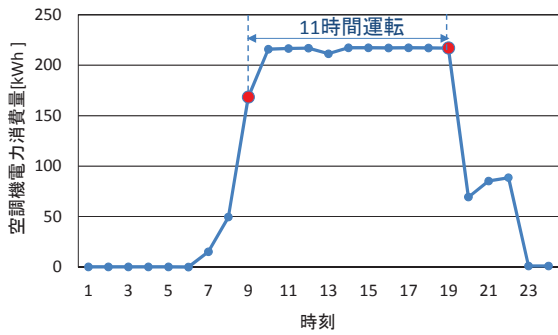


図 38 時刻別平均空調機電力消費量変動（平日のみ）

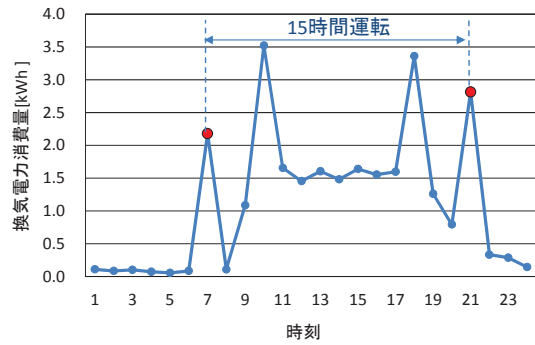


図 40 時刻別平均換気電力消費量変動（平日のみ）

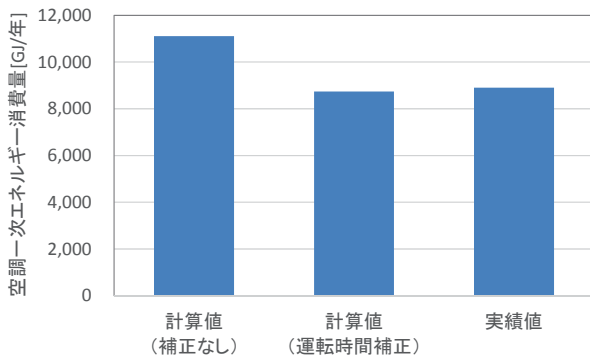


図 39 空調一次エネルギー消費量の比較（平日のみ）

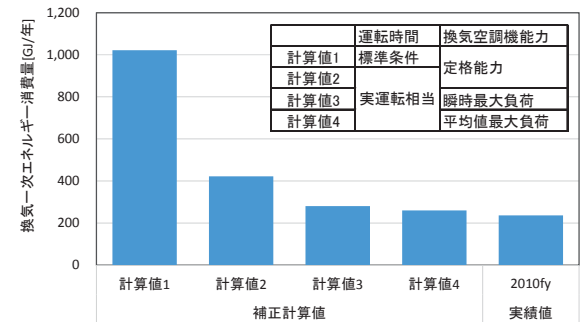


図 41 換気一次エネルギー消費量の比較

(3) 換気用エネルギー消費量

図 41 に、計算値と実績値の換気一次エネルギー消費量の比較を示す。計算値は、換気設備は平日のみ運転しているため、実績値も平日のみの換気エネルギー消費量を示している。計算値は、1,022GJ であるのに対し、実績値は 237GJ となっており、約 77%小さい値となっている。計算に使用されている基準の換気運転時間は、機械室で 24 時間運転の設定である。一方、実運用の換気運転時間は、図 40 に示した建物全体の換気設備の時刻別平均電力消費量変動より、7 時～21 時の 15 時間と想定した。換気設備の有する室は、便所、機械室、電気室、PBX 室等がある。図 41 に補正した計算値と実績値の換気一次エネルギー消費量の比較を示す。運転時間を実運用相当に補正した計算値は、実績値に近づく傾向にある。しかし、補正した計算値と実績値の換気一次エネルギー消費量には、差異が残っており、その原因としては、換気空調機のある室において、計算値で換気空調機の能力が過大設定されていることが考えられる。

換気空調機の能力を、換気空調機の定格能力から、実運用の瞬時最大負荷、または平均値最大負荷として、補正した計算結果を図 41 に示す。換気空調機の能力を、実運用時の最大負荷とすることによって、実績値に近いエネルギー消費量となることが分かった。

(4) 建物全体のエネルギー消費量

前項までの実運用の運転時間相当での補正などを行った結果を図 42 に示す。計算値を補正することによって、より実績値に近いエネルギー消費量となった。空調エネルギー消費量は、補正前の計算値は、実績値に比べ約 25% 大きかったが、補正後は 2% の差異となった。換気エネルギー消費量は、補正前は 4 倍以上計算値が大きい結果であったが、補正後は 10% 程度の差異となった。換気エネルギー消費量のみでは差異はまだ大きい、建物全体のエネルギー消費量に占める割合が少ないため、この差異は、建物全体のエネルギー消費量への影響は少ないと思われる。照明エネルギー消費量は、補正前の計算値は、約 48% 小さかったが、補正により 1% の差異となった。

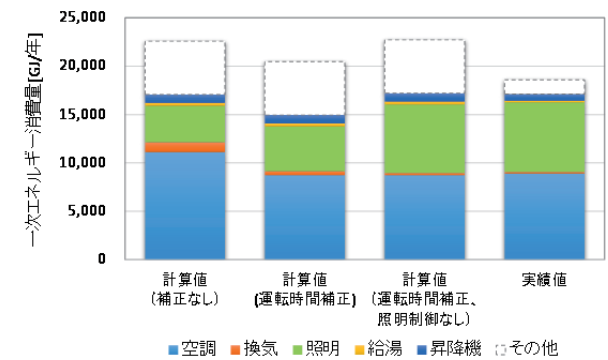


図 42 実績値と計算値（補正前後）の比較

本検討では、給湯、昇降機、その他（OA 機器等）のエネルギー消費量に関する検討は実施していない。その他のエネルギー消費量を除いた建物全体のエネルギー消費量の合計値は、結果として補正前後とも計算値と実績値が概ね同等の結果となっている。しかし、補正を行うことによって、消費先ごとのエネルギー消費量は、補正により実績値に近いエネルギー消費量となった。

2) 外皮性能の総合評価手法の開発と検証

①背景と目的

建築物における省エネルギーの重要性が高まる中、平成25年に省エネルギー基準が改正された。この基準は実際に建てられた多くのオフィスビルにおける実態調査結果がもとになっているが、オフィスビルの計測は制約が多く、色々な省エネルギー技術が実際のところどのような性能を発揮しているのか検証する必要がある。一方、執務空間の省エネルギーを実現し、さらに快適な室内環境とするための技術については解明されていない課題が多く残っている。

そこで、模擬オフィス実験室を構築し、熱・光・音のすべてを考慮した省エネルギー性と快適性を検討することができる室内環境の総合評価法の開発を開始した。昼間の執務室を想定した実験室において、熱・光・音環境の測定環境を同時に構築し、建物外皮の壁面断熱改修や、様々な窓・空調・照明の仕様や設定を変えることで、それらがエネルギー消費と室内環境にどのような影響を及ぼすかについて、詳細に測定・実験を行う。

この実験により、例えば昼間の室内の快適な温度や湿度の熱環境、窓がまぶしくなく眺望と明るさが確保できる光環境、騒音の少ない快適な音環境を確保しながら、空調・照明エネルギーを削減できるオフィスの外皮仕様と設備設定などについて示すことが可能になる。

②模擬オフィス実験室の概要

(1)隣室との境界壁の断熱

外皮に面しない壁については、断熱材を付与して、隣室からの影響を抑えた。断熱は、天井懐内を含め、床から屋根下までに断熱材（グラスウール（24kg/m³）50mm）を敷設した。

(2) 空調機

複数の空調システムを用意して、それらの温熱環境に与える影響について検討する。空調機の仕様を表14に示す。また、空調機の配置状況を図45に示す

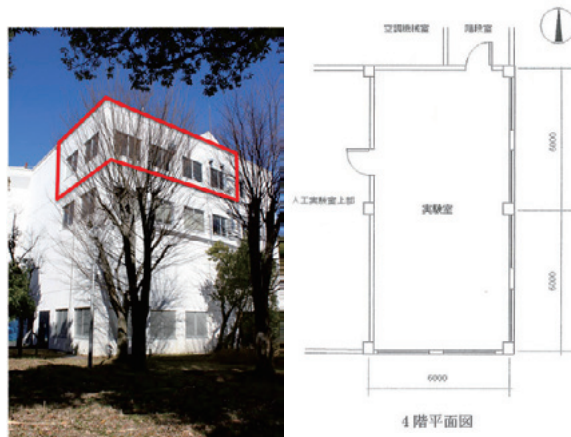


図 43 実験室の概観および平面図



図 44 実験室の内観

表 14 空調機の仕様

インテリア空調	室外機 RZZP80CBT
	室内機 FHMP80CB × 2 台
ペリメーター空調① (ローボーイ)	室外機_RXYP160CA
	室内機_FXYLP28MA × 6 台
ペリメーター空調② (天井吹き)	室外機_RZZP50CBT
	室内機_FHMP50CB
換気装置①	全熱交換器 (VKMP50HM) × 1 台
換気装置②	調湿換気装置 (HDMP50C)

ペリメーター空調②および換気装置②は次期工事

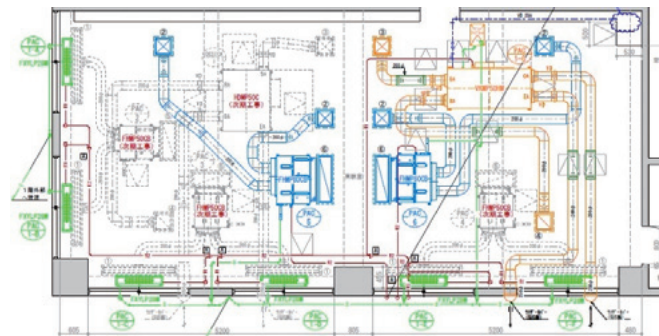


図 45 空調機の配置

インテリア空調 (青)、床置きローボーイ (緑)、外気処理ユニット (オレンジ)

(3)照明設備

調光ゾーンは2系統とし、明るさセンサーによる調光を可能とした。

(4)気密性能の測定

目張りによる条件を変えて、気密性能の測定を実施した(2015年3月3日)。

(5)遮音性能

JIS A 1430:2009「建築物の外周壁部材及び外周壁の空気遮音性能の測定方法」の付属書JB(参考)「内部音源による測定方法」に準拠して、遮音性能の測定を実施した(2015年3月4日)。測定結果としては、遮音性能:Dr-15で、東側窓、南側窓ともにほぼ同じ遮音性能であった。

以上の測定結果から、外部交通騒音を想定し、室内音圧レベルを表16に示す条件で試算した。結果を表17に示す。計算結果を日本建築学会推奨基準による室内騒音の評価に当てはめると、表18に示す様になった。

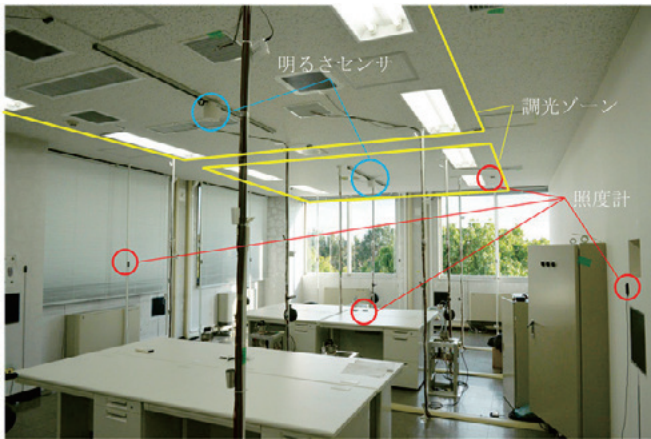


図 46 明るさセンサー等の配置

表 15 気密性能測定時の条件と測定結果

条件	目張り位置	C 値 [cm ² /m ²]	総相当開口面積 [cm ²]
1	入口鉄扉と窓枠、天井換気扇、アルミサッシ下枠 1/2、 召合框下部	4.1	296
2	窓枠、天井換気扇	5.5	396
3	天井換気扇	—	—

条件3は測定不能(必要な圧力差がつかなかった)

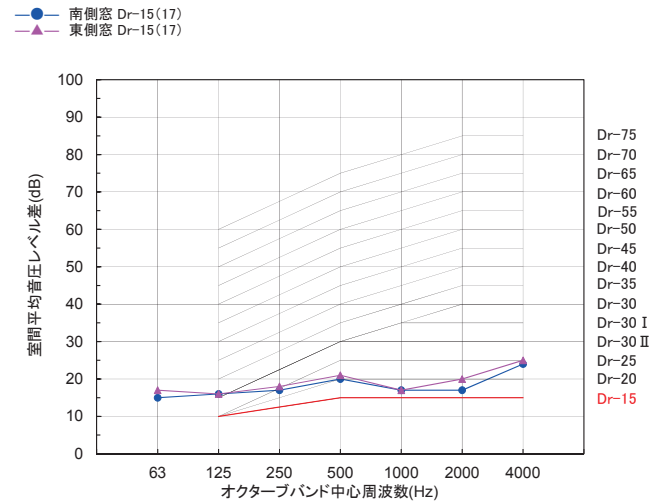


図 47 遮音性能の測定結果

表 16 室内音圧レベルの計算条件

外部交通騒音	幹線道路、区道を想定
対象室	本実験室と同寸法 (2階と10階にある場合を想定)
遮音性能	測定結果
室内吸音率	一般的な事務室を想定

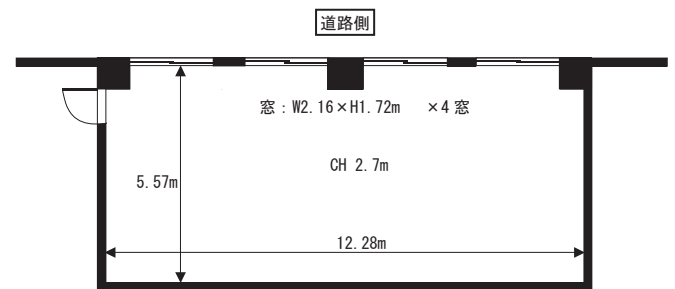


図 48 対象室

表 17 計算結果

位置	外部交通騒音の音圧レベル (dB)						騒音レベル	備考
	オクターブバンド中心周波数(Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	
幹線道路沿い 2階相当	72.8	66.1	66.6	64.1	63.5	58.6	51.6	67.3
幹線道路沿い 10階相当	68.4	64.3	62.2	60.4	59.2	54.0	46.1	63.0
区道沿い 2階相当	65.9	61.3	56.9	53.8	50.5	46.4	38.3	55.8
区道沿い 10階相当	64.1	58.6	54.6	51.0	47.6	43.2	34.9	52.9

表 18 日本建築学会推奨基準による室内騒音の評価

想定計算位置	騒音レベル (dBA)	日本建築学会推奨基準	
		N 値	適用等級
幹線道路沿い 2階相当	52.8	N-55(53)	級外
幹線道路沿い 10階相当	48.7	N-50(49)	3級
区道沿い 2階相当	41.7	N-40(40)	1級
区道沿い 10階相当	39.0	N-35(37)	特急

(6)今後の研究方針

事務所建物を対象とした外皮性能の総合評価方法の開発を目指し、今後この実験室を用いて主に以下の様な研究を実施する予定である。

- ①音・熱・光のすべてを考慮した総合評価手法の開発
- ②外皮がエネルギー消費量に与える影響の解明
- ③昼光利用効果の最適化技術の検討

①では、現在の外皮における性能と、断熱改修を行ったあとの性能を比較し、どのような差が生じるかを明らかにして、外皮はどうあるべきかを考えて、総合評価手法の開発に向けて情報を蓄積する。②では、従来の1質点系の考え方では、熱負荷を過小評価していることが考えられ、外皮性能と空調方式によって、実現する室内温熱環境(空間の質)がどのように変わるかを確認する。③では、照度センサーの位置による効果率及び視環境の変化等を確認する。

V おわりに

以上では、主に建築研究所において実施してきた、もしくは今後実施していく予定の研究内容のうち、いくつかの例を紹介した。これらのほかにも各種設備機器の性能確認など多くの研究を実施しており、それらの成果は随時公表されている。

今後は、室内環境とエネルギー消費との関わりや、居住者の行動などに関しても研究範囲を広げていく予定で、それらの成果は省エネルギー性能評価方法の向上に対して有益な技術的情報として活用される見込みである。

参考文献

- 1) 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; 国土交通省国土技術政策総合研究所, 建築研究所監修:「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」, II 住宅, 2013 年 5 月
- 2) 環境省:「家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査 試験調査(関東甲信)」, 年間エネルギー種別エネルギー消費量, 2014 年 9 月
- 3) 榊住環境計画研究所:「家庭用エネルギー統計年報」, 2015 年 1 月
- 4) 建築環境省エネルギー機構:「自立循環型住宅への設計ガイドライン入門編」, 2012.5
- 5) 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構, pp13-17, 2009.3
http://ees.ibec.or.jp/documents/img/kaisetsu200903_all_ver2.pdf (参照 2015.8.26)
- 6) LCCM 住宅デモンストレーション棟における居住実験結果. 高瀬ら. 2013 年 6 月, 日本建築学会技術報告集, 19 巻, 42 号, pp661-664.
- 7) LCCM 住宅の設計手法 デモンストレーション棟を事例として. 編集 LCCM 住宅研究・開発委員会. 株式会社建築技術, 2012 年.
- 8) 環境省ホームページ. H20 年度における CO2 排出原単位の代替値
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11956>.

謝辞

本論の作成に当たって以下の基準整備促進補助事業の課題における建築研究所との共同研究の成果等を参照・引用しました。関係各位に謝意を表します。

「住宅のエネルギー消費量に影響を与える設備機器の使い方等の実態調査」(2013 年度)

「非住宅建築物に導入される設備仕様及びその使い方に関する実態調査」(2013 年度)