

6章 省エネルギー建築へのガイドラインのポイントと課題

6.1 省エネルギーのためのポイント

本書の第3章では、業務建築物即ち非住宅建築物の省エネルギー性能との関係の深い要因を列挙し、第4章ではそれら要因についてどのような設計や施工上の配慮を行うことで実効性をもって省エネルギー性能の向上に結びつけられるかについて解説した。

そして、第5章では、6地域に建つ事務所ビルを対象に、建築物省エネ法のために開発された一次エネルギー消費量計算プログラムである標準計算法のウェブプログラムを適用し、計算結果について考察を加えた。

3章から5章における導出された省エネルギー性能向上のために重要と考えられる諸点を改めて整理すると次のようなことになると言える。

ポイント1：空調設備の各構成部の容量設計は明確なルールに則って合理的に行うべきこと。

空調設備のエネルギー消費の多寡に大きな影響を有するのは、放熱部、外気取入れ部、熱搬送部及び熱源部のそれぞれを構成する機器の能力の限界点、即ち容量に等しい条件におけるエネルギー消費量（一般的には標準とされる運転条件における電力や燃料の消費量の値であり、定格エネルギー消費量と称されることもある）である。その定格値の合計に年間空調時間を乗じて得られるエネルギー消費量の総和が、その建物の空調エネルギー消費量の上限となっている。

その上限を抑えることが省エネルギー化の第一歩と考えられるため、空調エネルギー消費量の低減のためには、放熱部（空調機、ファンコイルユニット、室内機など）、外気取入れ部（外気取入れや排気のための送風機など）、熱搬送部（水や空気を媒介として熱を搬送するためのポンプや送風機など）及び熱源部（熱源、補機、冷却塔設備など）に求められる容量を、明確な理論とデータに則って決定することが極めて重要である。

「能力不足にならなければよい」、「大は小を兼ねる」といった大雑把な考えの下に容量の決定を行った場合、省エネルギー設計としては致命的な躓きとなると言える。

5章では、国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修による「建築設備設計基準」に則って各部の必要能力（容量）を求めている。「明確な理論とデータ」は同基準に限るものではないが、合理的・科学的な理論に沿って明文化されたものでなければならず、加えて公開されていることが望ましい。

空調設備の各部について容量設計を論理的に行うことで、少なくとも6地域の事務所ビルの空調エネルギー消費量基準値の達成は相当程度容易になると考えられる。

ポイント 2 : 空調設備の各部のエネルギー効率をより高いものとする。

以下のような空調設備の各部のエネルギー効率をより高いものとする必要がある。

- ・ 定格エネルギー効率（一次エネルギー換算、燃焼機器の場合は高位発熱量基準）の高い熱源の採用
- ・ 冷温水の熱源への戻り温度の安定化による熱源効率の維持
- ・ 単位熱処理能力又は単位送風機動力当たりの消費電力の小さい空調機、ファンコイルユニット、全熱交換換気ユニット、送風機等の採用
- ・ ダクト及び配管のサイズを上げること等による圧力損失の低減、送風機及びポンプ動力の低減
- ・ 現状では情報不足のため電動機出力で代替せざるを得ないことの多い電動機及びインバータの消費電力の把握、即ち使用条件下における電動機及びインバータシステムの効率の把握、及び同効率に基く評価による高効率な電動機及びインバータシステムの選択
- ・ 全熱交換器の有効換気量率の向上による換気動力の低減、及び全熱交換効率の向上による外気負荷の低減

ポイント 3 : 空調設備の各部の部分負荷時のエネルギー効率向上のための対策をとること。

空調設備の各部が処理することのできる最大の空調負荷が発生した場合には、ポイント 1 で言及した容量に等しい条件におけるエネルギー消費量が発生する。その抑制はポイント 1 でカバーできる。しかし、実際には容量に達する空調負荷の発生頻度は少なく、空調設備の各部は部分負荷の状況で使用されることが多い。

そうした部分負荷の状況に応じて、各部のエネルギー消費量を、いわゆる容量条件下のエネルギー消費量よりも小さく抑えるための対策、換言すれば部分負荷条件下でのエネルギー効率を高く維持するための対策が重要である。

部分負荷効率の維持向上については以下のような構成部について配慮が必要となる。

- ・ 熱源
- ・ 空調機の送風機制御（変風量制御）、冷却塔の送風機制御（同左）
- ・ 二次ポンプ、一次ポンプ、冷却水ポンプの制御（変流量制御）

なお、第 5 章の事例に見られたような冷房負荷と暖房負荷の不均衡が生じ得る、気象条件と建物用途の組み合わせがあることから、小さい方の負荷を処理する期間においても、熱源を初めとする各部の部分負荷効率が維持できるよう配慮が必要である。

ポイント 4 : トイレや機械室等の換気が同フロアの居室の換気に及ぼす影響を最小限とすること。

非住宅建築物は在室者密度が比較的大きいため外気取入れに起因する空調外気負荷の低減が必要となる。全熱交換換気はそのための有用な手段であるが、その熱回収効果は外気量と排気量の比率に関係し、排気量を外気量となるべく同等に維持する（給排気量比率を 1 にできる限り近づける）必要がある。そのため、同一階のトイレや機械室等において第三種換気設備による排気量が過大となって、全熱交換器の給排気量比率が大きくならないように、第一種換気の採用、補給気（自然換気口）の確保、換気量を必要最小限とすること、それらの室の換気設備の設置後にインバータ等を利用して換気量の調節

を行うこと、などに配慮する。

ポイント 5 : 外気取入れ量安定化の対策をとった上で、デマンド換気により換気負荷を低減すること。

現状のウェブプログラムではデマンド換気、即ち在室者数の変化による必要換気量の変化に対応した換気量制御の評価は未導入である。その理由は、デマンド換気の設計基準、すなわち空調設備のパターンに応じて、どのような構成要素が必要なのか、どのようなセンサをどこに設置し、その信号によって構成要素をどのように制御しなければならないかの要件として明確なものが未整備なためである。また、構成要素についての試験方法の整備も必要であろう。

しかし、外気取入れ及び排気のための送風機は、余裕を持って設計施工される場合が少なくないと考えられ、還気の二酸化炭素濃度を検知してその値が許容範囲を維持するように外気取入れ量を制御することは、換気負荷の削減及び送風機自体のエネルギー消費量の削減に貢献する。従って、設計基準及び構成要素の特性値に留意して、信頼性の高いデマンド換気を実施することが重要である。

ポイント 6 : 竣工前に風量・流量の量及びバランスの調整、送風機・ポンプの出力調整を行うこと。

中央式空調設備の場合には、ダクト及び配管の設計は施工段階で圧力損失が増加しても機能するよう、安全側の設計がなされがちである。また、机上計算のみで枝経路の風量や流量を予測することは困難である。したがって、各放熱部の設計流量や風量を実現するためには、竣工前の試験及び調整が不可欠であり、余裕を見て選定された機器の出力をインバータにより低減微調整すること、枝ダクト及び枝管の風量及び流量が各放熱部に求められる値に調整を行って記録し保存する必要がある。

変風量及び変流量制御を行う場合には、電動機の周波数制御下限と、上述の低減微調整の結果決まった周波数との間みに制御幅が限定されることに留意する必要がある。従って、電動機の周波数制御下限の設定に際しては製造者との綿密な情報交換が必要である。

ポイント 7 : 外皮断熱性の確保による特に冬期の室内温熱環境分布の均一化を図ること。

冬期には外壁近くの外周部（ペリメータ）において暖房負荷が発生しがちであるのに対して、内部（インテリア）では内部発熱に起因して冷房負荷さえ発生しがちな状況となる。ペリメータとインテリアの間に隔壁が無ければ両者の空気はある程度混合し、ペリメータの寒さはある程度緩和されるものの、温度の異なる両方向の気流は上下温度分布の形成源にもなり得る。

ペリメータ内においては、熱損失の大きな窓や外壁が存在すると暖房需要は増加し、たとえそのための加熱量がファンコイルユニットからの温風で供給されたとしても、上下温度分布解消と足元の温度維持のためには大きな風量と送風機が必要となり、放熱部や搬送部のエネルギー消費量の増加を惹起しかねない。

このように、断熱性能の低い外皮の場合には、熱の収支だけでは解決できない問題を残すため、最低でも複層ガラスと躯体部分の一層の断熱が重要となる。

ポイント 8 : 外皮気密性の確保を図ること。

空調設備計画において外皮における漏気を無視する傾向が存在する。しかし、高さもある非住宅建築物では、作用する風圧力も内外温度差に起因する煙突効果も大きくなり、扉、サッシ周りやカーテンウォールの接合部などの気密性向上が欠かせない。思わぬ漏気によって空調負荷が増大し、空調設備の能力不足が生じることは避けなければならない。あるいは、漏気の危惧から過大な容量設計することもあり得る。

また、空調機を用いた空調方式では、給気及び還気の場所の間に隔壁がある状況下では、空調対象室が加圧されることもあり、その場合には風圧や煙突効果に加えて漏気を促進する恐れが生じる。また、ある程度湿気を持った空気が躯体内部に漏入することは冬期における内部結露を発生させるリスクもある。

カーテンウォールの場合の気密性等級（4章 4.1(2)）を参考にすると、最上位グレードであれば内外差圧が 10Pa（4m/s の気流の圧力相当）のときで壁面積 1m² 当たり 0.5m³/h、すなわち 5 章の計算対象とした事務所ビルの標準階事務室 1（階高分の外壁面積 279.2 m²）の場合で 140m³/h 程度の漏気となる。一方、A-4 等級の気密性であるとする、内外差圧 10Pa において壁面積 1m² 当たり 2m³/h、空間全体では外壁から 560m³/h 程度の漏気が生じる。この室の空調機からの給気量は 4800m³/h であったから、1 割以上に相当する。空調機方式による空調を行う場合に、風量収支を設計通りに維持しようと思えば、本来は少なくとも A-4 等級を上回る外皮気密性は必要であろう。

また、5 章の計算事例のケース 4・5 のように、居室（事務室）からトイレ等の第三種換気対象室への換気経路の存在する場合には、居室と廊下との界壁に十分な通気経路を設ける必要がある。

ポイント 9 : 高効率照明器具、タスク・アンビエント照明及び昼光利用制御の採用

高効率照明器具である LED の普及は比較的高い照度を必要とする類いの非住宅建築物のための省エネルギーにとり福音とも言える技術革新である。すべての照明器具を LED 等の高効率照明器具とすべきと言える。

また、JIS や学会規準等で推奨照度が示されているが、幅をもって提示されることがあるため、推奨される照度範囲中のどこを維持照度とするか熟慮が必要と言える。維持照度は必要となる光束と比例関係にあり、より高い維持照度を設定することは照明器具の効率等の他の条件を一定とすると消費電力は比例して増加することとなる。

高効率照明器具の採用と合わせてタスク・アンビエント照明手法の採用が推奨される。ただし、同手法を採用する場合には、空間の明るさ感を確保する工夫が必要となるほか、タスク照明の質の配慮などが必要となる。明るさ感の確保に要する照明器具及びタスク照明の器具によるエネルギー消費量の把握と照明エネルギー消費への影響の考慮も今後は必要となろう。

さらに、明るさセンサを利用した昼光利用及び照明制御、在室者の有無を人感センサ等で感知して行う照明制御も有効活用すべきである。

このように照明エネルギー消費量の削減を図る場合には、内部発熱の減少による空調負荷の変化について検討を行う必要がある。部分負荷率の冷房時における低下と暖房時における上昇が生じるため、部

分負荷効率の維持のために、容量設計方法や台数分割方法の再確認も必要となろう。

ポイント 10 : 給湯需要の多い建物における中央式給湯設備の高効率化の工夫

ホテル等の宿泊施設や病院においては給湯エネルギー消費の占める割合が多くなる。それらの用途の建物の給湯需要について、局所式給湯設備で対応する場合には、潜熱回収型給湯機や自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機の採用、節湯器具の採用、給湯配管径の小口径化などに配慮を要する。

中央式給湯設備を採用する場合には、給湯配管及び返湯管の管径選定を合理的に行うこと、貯湯槽容量及び熱源能力の決定についても合理的に行って、過大なものとするのを避けるべきである。熱源に関しては定格最大能力におけるエネルギー効率とともに、部分負荷条件におけるエネルギー効率についても配慮が必要である。特にボイラ等の場合にはターンダウン比がなるべく大きな機種を選定すべきと言える。また、循環ポンプの能力についても過大なものにならないよう注意をする必要がある。

なお、中央式給湯設備では、温水循環配管や貯湯槽からの熱損失や循環ポンプの動力の低減対策が必要となるため、給湯需要が小さくかつ館内の場所が分散している場合には、総合的に判断して電気瞬間湯沸器の採用も検討すべきである。

ポイント 11 : 再生可能エネルギー源の導入

非住宅建築物には、照明器具、電動機、圧縮機、コンセント接続のOA機器などによる大きな電力需要が存在し、しかも昼間に大きい。ウェブプログラムでは、太陽光発電による発電量は、太陽電池アレイのシステム容量(kW)、その設置方位及び傾斜角によって計算される。また、建設地の年間日射量地域区分(A1~A5)を入力することで地域の日射量を算入して発電量は計算される。

真南に設置した場合の傾斜角による発電量の違いは、20°~30°はほぼ変わらないが、90°の場合には6割程度に減少するため、設置場所については初期コストの回収年数などを考慮して決定すべきと言える。

また、再生可能エネルギー源の利用方法としては太陽光発電以外にも、太陽熱給湯、地中熱利用ヒートポンプなどの選択肢がある。ウェブプログラムではこれらも評価可能となっており、導入検討の際には計算結果が参考になるとと思われる。

6.2 今後に向けた課題

(1) 省エネルギー建築のための設計法改善の課題

前節において省エネルギーのための 11 のポイントについて述べたが、各ポイントに関係して、今後における設計法改善の課題を挙げる事ができよう。

ポイント 1 に関する課題：

設計者は、建築設備を構成する機器類の容量決定のための方法を決めて、設計時に履行することが重要である。空調設備の空気や水の搬送経路における圧力損失の算定に使用するデータは必ずしも十分ではないと考えられ、欠落したデータの整備は研究機関や部材供給メーカーの課題と言えよう。給湯設備の設計においては、4.2 節(1)ウ項にあるように 80 年も前のデータを参照せざるを得ない状況もある。省エネルギー設計のための容量設計の重要性がクローズアップされた今、改めて容量設計のための種々のデータについての検証と必要に応じた更新が課題であろう。

建築設備の設計には、初期段階における概略の設計と施工に着手するための詳細な設計があるが、最終的な容量設計は各部分の配置や仕様を押さえた上で行う必要がある。それらが未定の段階において容量設計を行なった場合には、過度に安全側の仮定値を用いることが避けられず、不必要な大きさの機器選定となるリスクが極めて大きくなる。その点に配慮した実務を設計者側も施工者側も履行できるような慣習を作る必要があろう。

ポイント 2 に関する課題：

空気や水の搬送のための機器、即ち送風機やポンプのエネルギー消費量を合わせると熱源のそれに匹敵することがあり、設計段階での効率の確認が欠かせない。それらの効率に関する情報を、設計者に分かり易い形で整理することは主に研究開発者にとっての課題と言える。単位風量 (m^3/h) 及び単位流量 (L/分) を搬送するために要する送風機及びポンプが必要とする軸動力又は電動機の消費電力の形による評価が課題である。電動機の消費電力は、電動機定格軸動力に対する運転点における軸動力の比率(部分負荷率)及びインバータシステムの効率を特定しなければ評価困難なものであり、電動機及びインバータの特性に関する定量化方法の整備が課題となっている。

ポイント 3 に関する課題：

空調及び給湯のための熱源の効率に与える部分負荷運転の影響に関する知見と評価方法をより一層明らかにすることが課題である。容量設計を適切に行ったとしても、熱源は大半の時間を低負荷で運転されることは不可避であり、そうした部分負荷条件下における熱源の効率の評価は、研究開発者に課せられた重要な課題と言える。電動機及びインバータシステムについても部分負荷条件下における効率の評価方法の整備が求められている。

ポイント 4 に関する課題：

非住宅建築物の空調負荷に占める外気負荷の比重は無視できない。そのため熱交換換気設備による熱

回収への期待は大きいものの、熱交換素子を通過する給気と排気の同等性が著しく損なわれた場合には、本来の全熱交換器の熱交換効率を発揮させることが困難となる。そのため、空調設備設計者は、フロア毎の給気量及び排気量のバランスを考えて、熱交換換気設備を通過する給気と排気の同等性の確保に努めなければならない。

ポイント 5 に関する課題：

デマンド換気、特に外気導入量の二酸化炭素濃度制御手法のための設計要件の明確化は、研究開発者にとっての課題と言える。全熱交換換気ユニットの場合には、還気の二酸化炭素濃度を感知して、給気及び排気送風機の風量を増減させる制御方法を標準化し、性能の試験評価方法の整備を合わせて行う必要がある。その点は製造者及び研究開発者の課題と言える。空気調和機の外気取入れ部の場合には、まず外気導入量及び排気量の安定化とデマンド換気制御のための送風機や VAV ユニットの配置や制御方法に関する標準化が、空気調和機の製造者及び研究開発者の課題と言える。

ポイント 6 に関する課題：

現状において空調設備の竣工前における試運転調整が十分に行われているとは言いがたい。建物の使用開始直前は現場のスケジュールは非常に窮屈であるのが通常であって試運転調整のための時間を確保しがたいのと同時に、本来は試運転調整に活用されるべき計測制御システムの稼働が遅れた場合には試運転調整作業の効率が低下することも関係する。しかしながら、空調設備に期待される省エネルギー性能は十分な試運転調整が行われなければ実現することは困難であり、全体計画を見直すことも含めて現場施工監理上の課題対応が求められる。

ポイント 7 及びポイント 8 に関する課題：

外皮の断熱性及び気密性の重要性に関する認識の改善が設計者にとっての課題と言える。

ポイント 9 に関する課題：

タスク・アンビエント照明手法における空間の明るさ感確保のための照明器具の設計手法について、その整備が研究開発者にとっての課題と言える。

ポイント 10 に関する課題：

中央式給湯設備の容量設計のための基礎的データには古いものも使用されているため、妥当性の検証と必要に応じた調査とデータの整備が研究開発者によつての課題と言える。それとともに、給湯エネルギー消費量の算定法の精緻化も重要な課題である。

ポイント 11 に関する課題：

給湯需要の比較的大きい建物用途における太陽熱給湯設備の設計上の注意点の検討及びケーススタディーを通じた検証を試みる事が研究開発者を中心に行われる必要がある。また、地中熱利用による空調や給湯のための熱源エネルギー消費量に関する算定法は整備が進んでいるが、ケーススタディーを通じて効果検証の進捗に課題が残されており、研究開発者が今後取り組む必要がある。

(2) 省エネルギー設計における評価ツールの活用に向けた課題

本書の第5章では、主として建築物省エネルギー法のために開発されてきた一次エネルギー計算プログラム（ウェブプログラム）を用いて、事務所ビルの省エネルギー設計事例の評価を行って、様々な要因とエネルギー消費量の多寡との間の関係性について考察を加えた。3章及び4章の考察結果にその結果を加えて、省エネルギー設計におけるポイントを整理することができた。

ここで改めて考えると、省エネルギー設計とは、使用される段階での実際のエネルギー消費量を削減する目的で行われるべきものである。であるならば、設計案の作成と評価の繰り返しによって最終的な設計に辿り着く過程において、評価という行為は重要な役割を担うはずであり、推測されるエネルギー消費量が増えるか減るか、目安となるエネルギー消費量を達成したか否かという判断を可能せしめるエネルギー消費量の推定方法が不可欠なはずであるとの結論に到達する。

しかしながら、現状において、ウェブプログラムが、省エネルギー設計のためのエネルギー消費量の推定方法として使用されているケースは限定的であると言わざるを得ない。PAL/CECが尺度であったかなり以前まで遡って、省エネルギー基準のための計算は、設計が完了した後で、義務となっている法的な手続きのために行われてきたと言えなくないか。第5章の表5-36に示された基準への適合率を見ればわかるように、よほど特別な設計をしない限り設計終了後に計算すれば基準適合の目的のためには満足な評価値が得られるのである。

(3) 基準適合を超えた省エネルギー化を支援する公的制度における評価ツールの活用の課題

このように、適合義務に関しては上述のような設計と評価の乖離が生じていると言わざるを得ないが、建築物省エネルギー法及びその改正された法においては、「業務その他部門」におけるCO₂排出量削減のために他の制度の設立と運用が進むような仕掛けがなされている。

法第7条では建築物の販売や賃貸を行う事業者の省エネ性能表示の努力義務を規定し、呼応して2016年国土交通省告示489号では表示に関する指針が規定されている。建築物省エネルギー性能表示制度（BELS）は、この指針に沿い一般社団法人住宅性能評価・表示協会が指針・規定・方法書を定めた制度であり、一次エネルギー消費量の算定結果、基準値からの削減パーセンテージ、削減率に応じた数の星、第三者認証であるか自己評価であるかの区別がプレートに表示されるものである。

BELS等の取得を要件として、省エネルギー性能の高い非住宅建築物の建設を経済的に支援する仕組みとして経済産業省の実施するZEB実証事業を挙げることができる。ZEBとは言うまでもなくゼロエネルギービルのことであるが、再生エネルギーによってエネルギー消費量を100%キャンセルする完全なZEBに加えて、基準値から50%以上の削減を達成した場合を、Nearly ZEB又はZEB Readyとして、また削減率が50%を下回るが30%以上の建物をZEB Orientedと定義して支援の対象としている。

このように評価ツールは、基準適合判定のみではなく、むしろより高い省エネルギー性能を評価する

ために活用され始めており、本書の読者にとってはそうした活用方法のほうが身近なのであろう。

ちなみに、第5章のケース2からケース5はいずれも基準値からの50%以上の削減を達成するものであり、235kWの太陽電池を屋根面に設置可能（発電容量1kW当たりパネル面積を5m²とすると、約1200m²の設置面積が必要となる。屋上には冷却塔や室外機などの設置も必要になるため、実現するには工夫が必要。）とすればいずれのケースであっても基準値から75%の削減が可能となる（パワーコンディショナー効率を既定値の0.928、南向き傾斜角30°と仮定）。

(4) 評価ツールに対する設計施工実務者からの意見の収集と反映

本書は、国立研究機関と一般社団法人建築環境・省エネルギー機構が中心となり、産業界及び学会の技術者の参画を得て実施している共同研究として初めて非住宅建築物の省エネルギー設計施工を総合的に扱ったガイドラインである。住宅を扱ったガイドラインは2005年以降出版してきたが、それに遅れること15年を要して出版にこぎ着けたものである。時間を要した理由をあげつらえばきりが無いが、ひとつだけ挙げるとすれば非住宅建築物及びその設備が極めて多様であり、関係する技術者の職種や所属する産業も多様であり多層をなしているためであったと言える。

省エネルギー建築の実現と普及のために必要な知見やデータを本書において集積し公開することが可能となったものの、経験的な裏付けや実証が不足気味のものもなお存在している。刊行後は本書を何からの形で使用した講習会の類いが企画されることと推測されるが、そうした場も通じて設計施工実務者からの意見を収集し、本書の今後の進化において咀嚼し、検証し、反映させていただくことが大切かと思われる。