

ビルの省エネルギー，ZEB に向けた国内外の動向

EHS&S 研究センター長 兼 情報システム技術本部長

EHS&S 研究センター研究主任 兼 環境技術部主任

大島 一夫

海藤 俊介

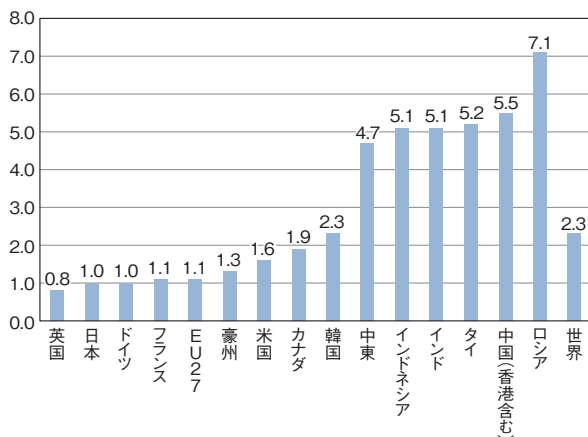
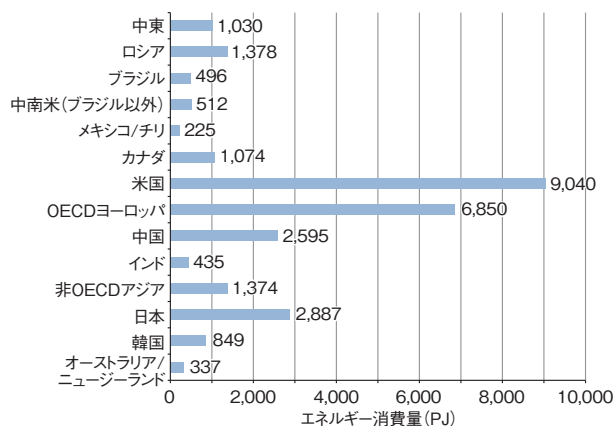
Keyword：省エネルギー，ZEB，自然採光，自然換気，太陽光発電，太陽熱，地中熱

1. はじめに

各国でエネルギー消費抑制に向けた取り組みが行われている。エネルギー効率（一次エネルギー供給/GDP）の高い先進国（図1）では、建築物がエネルギー消費の40%前後を占めているため、建築物に対する規制が強化されるとともに、省エネルギービル，ZEB（net zero energy building）への挑戦が行われている。

本稿では各国の非住宅建築物へのエネルギー規制の動向，省エネルギービルの事例を紹介する。

(指数 日本=1)

図1 GDP当たりの一次エネルギー総供給の主要国比較 (2010年)¹⁾図2 各国の非住宅建築物のエネルギー消費量 (2010年)²⁾

階数の相関を示す。比較として、2012年度における日本の非住宅建築物の着工ベースの相関を示す。

ZEB 事例と日本の非住宅建築物それぞれの延床面積と階数の相関を比べると、ZEB 事例の方が同じ階数であっても延床面積が大きい傾向にある。一般的に延床面積が大きいと建築物の空調ゾーンが広くなりエネルギー消費が増加する傾向にある。しかし、階数に対しての延床面積が大きいことから建築面積が広く、屋上を太陽光発電 (PV パネル) などの創エネ設備の設置に有効に利用できることから、建築面積の大きい方が ZEB 実現に有利に働く。また、平屋は ZEB 実現に40%の可能性があるのに対して階数が4階の場合には6%まで落ちるといふ試算もある⁴⁾。

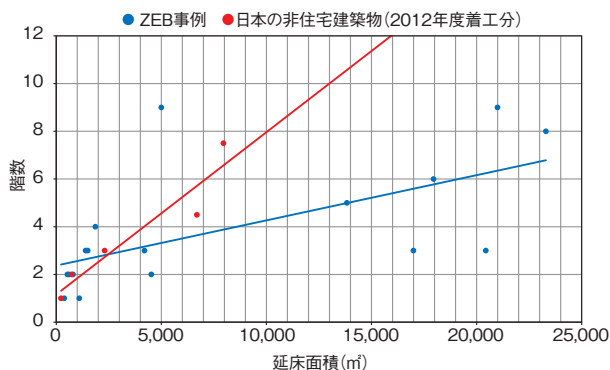
2. 各国の建築分野のエネルギー消費動向

2.1 各国の非住宅建築部門のエネルギー消費量

住宅・非住宅建築部門における年間エネルギー消費量は、世界で消費される総エネルギーの1/5以上を占める。図2に2010年における各国の非住宅建築物のエネルギー消費量を示す。2010年の世界の非住宅建築物の総エネルギー消費量は30,491 (PJ) であり、そのうち米国が約3割と、最も割合が大きい。先進国ほどエネルギー消費量が多い傾向にあり、世界的に今後ますます増加すると予想されている²⁾。

2.2 建物規模とエネルギー消費量の関係

図3に世界の非住宅建築物における ZEB, nZEB (nearly net zero energy building) 事例17件の延床面積と



日本の2012年度着工統計データは建築物の階数が1, 2, 3, 4~5, 6~9階の区分であることから、4~5, 6~9階については区分の中央値を採り、プロットした。また、ZEB 事例、日本の非住宅建築物のプロットについて近似直線をそれぞれ引いた

図3 延床面積と階数の相関³⁾

日本の事務所ビルのように建物規模が小規模の場合には、PVパネルなどの創エネ設備の取り付けが困難となり、オンサイトでの ZEB の実現は難しくなる。しかし、小規模であることは建築設備的に省エネに有利に働くことから、エネルギー効率をいかに向上させるかが重要となる。

3. 建築分野の省エネ規制，ZEB 動向

3.1 日本

1) 省エネルギー基準の改正

「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネ法）における住宅・建築物の省エネルギー基準が、建物全体の省エネルギー性能を「一次エネルギー消費量」によって評価する基準に改正された（非住宅の一次エネルギー消費量による指標の導入等は2013年4月1日、非住宅の外皮基準（PAL）改正等は2014年4月1日施行）。それまでの省エネ法では、非住宅建築物の外皮の断熱性能および個別設備の性能を別々に評価する基準のため、建物全体で一体的に評価できないことや、基準が「事務所」「ホテル」など建物用途ごとに設定されているため、複合建築物の省エネ性能を適切に評価できないといった課題があった。

表1に非住宅建築物の省エネルギー基準の見直し点を示す。大まかに次の3点が見直された。

- ①外皮の断熱性能および設備性能を総合的に評価する一次エネルギー消費量を導入（複合用途含め建築物全体の省エネ性能を比較することが可能）。
- ②非住宅建築物の外皮基準を PAL *（パルスター）に見直し（一次エネルギー消費量基準と「整合がとれた外皮基準」）。
- ③簡易評価法を見直し（非住宅モデル法）。

2) ラベリング制度

新築および既存の非住宅建築物を対象とした省エネルギー性能に特化したラベリング制度 BELS（building energy-efficiency labeling system）が³、2014年4月に開始された。CASBEE が総合的な環境評価であるのに

対し、BELS は一次エネルギー消費量に特化した指標で評価する。

3.2 欧米

EU 各国の建築物のエネルギー基準は、EU で施行された建物のエネルギー性能に関する指令（EPBD：energy performance of building directive）を受けて、エネルギー性能の要求事項やエネルギー性能証書の導入等の指令内容を履行するため強化されてきた。

フランスでは、BBC エフィネルジー（BBC-effinergie）と呼ばれる建築物の低消費基準を持つラベリング制度が普及している。新築建築物に対して単位延床面積当たりの年間平均一次エネルギー消費量50（kWh/m²/年）未満を基準としている。

英国では、2008年以降すべての不動産の売買、賃貸、建設に建築物の省エネ性能を証明するエネルギー性能証書（EPCs：energy performance certificates）が必要になっており、EPCs の格付けによって不動産の販売価格や賃貸価格が上昇するという結果が報告されている。

ポルトガルでは、EPBD（2002/91/CE）を受けて、2006年に建築物の技術的性能に関する基準法（RCCTE）が制定された。新築の事務所用途の年間一次エネルギー消費量は、407（kWh/m²/年）以下と定められている。

米国における建築物のエネルギー基準は、各州で定められている。非住宅建築物におけるエネルギー基準は、米国暖房冷凍空調学会（ASHRAE）が設定する標準基準「ASHRAE Standard 90.1」を最低基準として、それ以上に厳しいエネルギー基準の設定を検討するよう連邦政府の法律により求められている。

3.3 アジア

韓国では、2020年から ZEH（net zero energy house）の義務付け、2025年以降は ZEB を目標としている。

シンガポールでは、建築物の省エネ目標として2030年までにすべての建築物の80%で Green Mark 認証を取得することを目標としている。

ASEAN 加盟国では、APAEC（ASEAN plan of action for energy cooperation：ASEAN エネルギー協力活動計画）が実施されている。APAEC の“Capacity Building”プロジェクトとして、「主要産業」「ビル」「エネルギー管理基盤整備」の3つのプロジェクトから成る PROMEEC（promotion of energy efficiency and conservation）Project が日本と ASEAN の協力枠組みの下に実施されてきた。

4. ZEB 事例

世界のいくつかの ZEB 事例について紹介する。

表1 省エネ法改正点の概要⁵⁾

		改正前 (1999年基準)	改正後 (2013年度基準)* ¹
指標の見直し	外皮	PAL	PAL *
	設備	CEC	一次エネルギー消費量 【通常の計算法/主要室 入力法】* ²
5,000m ² 以下の 簡易評価法 の見直し	外皮	ポイント法(外皮) 簡易なポイント法(外皮)* ³	モデル建物法* ² (PAL *)
	設備	ポイント法(設備) 簡易なポイント法(設備)* ³	モデル建物法* ² (一次エネルギー消費量)

* 1：2013年基準の内容は、公布時期によって施行する時期が異なる
(経過措置後、すべて施行されるのは2015年4月)

* 2：主要室入力法は低炭素認定基準にも適用(モデル建物法は適用しない)

* 3：2,000m²以下に限る

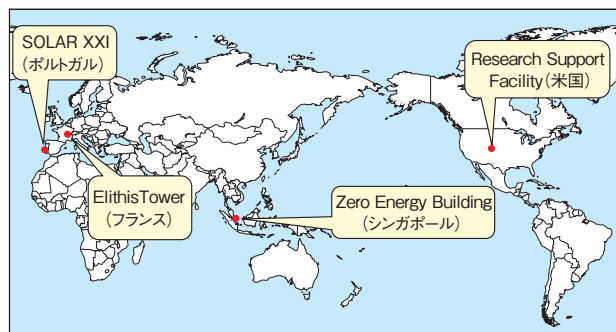


図4 紹介事例の所在地

4.1 Research Support Facility (米国)¹²⁾

竣工年：2010年，用途：事務所，データセンター
所在地：コロラド州ゴールデン，延床面積：26,000㎡
階数：3～4，認定評価：LEED プラチナ

米国エネルギー省 エネルギー効率・再生可能エネルギー局のオフィス，データセンターとして，国立再生可能エネルギー研究所（NREL）の敷地に建設された。パッシブ建築になるように計画され，エネルギー使用量（設計値）は104 (kWh/m²/年)（創エネルギーを含まない。以下，各事例とも同様）となる。建物は，平面的にH型に近い形状をしており，建物の奥まで太陽光を取り込め，執務者が窓から9.1m以内に座れるようにしている。

1) 創エネルギー

PVをビル屋上に450 (kW)，駐車場屋根に1,150 (kW)，合計1.6 (MW) 設置しており，PVによる年間の供給エネルギーは，単位延床面積当たり110 (kWh/m²/年) となる。

2) 省エネルギー

(1) 外皮

外壁は，5.1cmの断熱材を挟んで，室内側15cm，屋外側7.6cm厚のプレキャストコンクリートを用いている。窓は3層ガラスとし，南向きより北向きの窓をやや大きめにしている。

(2) 空調・換気

冷暖房は天井放射によって行い，換気は冷暖房とは別に床下から行うことで動力の大幅な削減を図っている。

南向きと北向きの下部窓は，手動あるいは自動で開閉して，自然換気が行えるようにしている。北向きの上部窓は自動開閉する。ワークステーションのタスクマネジャーにより執務者に窓を開けて自然換気をした方が良くかどうか知らせている。

蓄熱，蓄冷用に地下に迷路構造を設けている。冬期は外壁の外側に設けられた暗色の多孔金属パネル（太陽熱コレクタ）の多孔から空気を吸い込み（図5），パネル裏面で暖められた空気がこの迷路構造に送られる。この蓄熱により，取り入れ外気を2.8～5.6℃昇温（予熱）している。

(3) 採光・照明

南向きファサードの下部窓に庇を設け，上部窓に高反

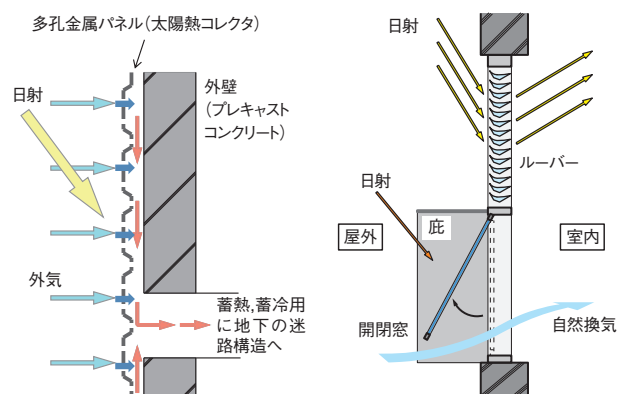


図5 外壁の概念図（断面）

図6 開口部の概念図（断面）

射のルーバーを設けて外光を室内深くまで取り入れている（図6）。ソフトな拡散光はグレアを起こさないため，北向きの窓には庇を設けていない。

外光が十分でない場合には，天井照明により机上照度が320 (lx) になるように設計している。照明は，マニュアルスイッチ，照度センサー，人感センサーのいずれかにより消点灯できる。このほか消費電力3WのLEDタスク照明を利用できる。この施設では執務者自らスイッチの入り切りを行うよう奨励し，これが行われない場合にセンサーによる消灯が行われる。

室内の壁と天井は反射率80%以上の塗装をし，個室用の高さ1.1mのローウォールやオフィス家具は，光を反射するように明るい色になっている。

外光が明るい時は，照明は完全消灯あるいは電力消費量を10%程度に低下させている。清掃は天井照明を点灯させなくても良いように昼間に行うようにしている。

太陽光による直接グレアを避けるように設計したが，天井のブライトスポット，照明器具，明るい背景などによる間接的なグレアの問題があり，このグレアを和らげるために，モニタ画面の明るさや角度の変更を奨励するとともに，窓面への光拡散フィルムの貼付，光拡散のための植物や，ワークステーションの壁へのスクリーン設置などを奨励している。執務者の職位によらず，背の高いパーティションは認めていない。

(4) その他

コンセント負荷は，実際の在席率が75%であるため設計時より小さい。一方，夜間のコンセント負荷は，机上の機器の電源が切られていないため小さくなっていない。

PCは，タワー型ではなくラップトップを使用している。複合機，冷蔵庫，コーヒーポット，タスクライトの数量やタイプをガイドラインで示して省エネルギーを図っている。

4.2 SOLAR XXI (ポルトガル)¹³⁾

竣工年：2006年，用途：事務所
所在地：リスボン，延床面積：1,500㎡，階数：3

リスボンの LNEG (laboratorio nacional de energia e geologia, I.P.) の敷地にデモ用プロジェクトとして建設された。ZEB を目指して冷暖房のパッシブシステムを採用している。本ビルのエネルギー使用量は43 (kWh/m²/年) である。

1) 創エネルギー

ビルのファサードに多結晶シリコン型 PV を 96m², 12kW, カーポート屋根にアモルファスシリコン型 PV を95m², 6kW, 薄膜 CIS 型 PV を110m², 12kW, 屋上に CPC 型 (複合パラボラ型) 太陽熱集熱器16m²を設置している。PV と太陽熱によるエネルギー供給量は, 単位延床面積当たり36 (kWh/m²/年) となる。

2) 省エネルギー

(1) 外皮

熱負荷を減らし, 熱的快適感を得るために外断熱を採用している。U 値 (W/m²/K) を外壁0.45, 屋根0.26, 二重窓3.5, 平均で0.88としている。ここでは再生可能エネルギー (PV, 太陽熱集熱器) の利用とともに, パッシブ技術を組み合わせた設計としている。南向きのファサードには冬期の暖房を補助する熱回収機能を持った PV を備えている (図7)。

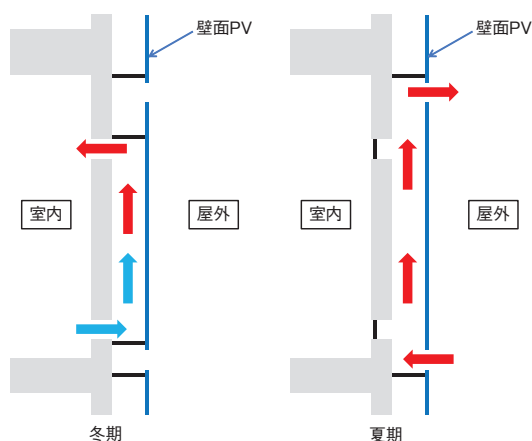


図7 ファサードにおける空気の流れのイメージ (断面)

(2) 空調・換気

アクティブな冷房システムは用いていない。夏期は冷房用にナイトパーズを行うとともに, 地中熱冷房システムを採用している。このシステムは, 直径30cm のチューブ32本を地中4.5m の位置に埋設し, 建物から15m 離れた位置から外気を取り入れ, チューブを通過する際に地中温度に近くなった空気を, 自然換気あるいは小型ファンによる強制換気でオフィスに供給する (図8)。室内に供給される空気は22~23℃となり, 室温が2~3℃低下する。地中温度は年間を通して13~19℃に保たれている。

ファサードの開口と中央ホールのスカイライトに設けた開口により, 横風と煙突効果を利用して自然換気を行っている。また, オフィスの扉に設けた調節可能な換気口とファサードの開口により屋内外の通風を行っている。

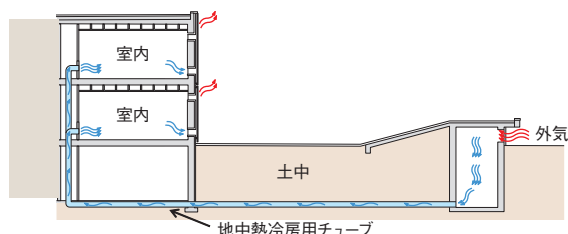


図8 地中熱冷房システムの概念図 (断面)

(3) 照明・採光

直接光を遮るために, 窓の外部に調節可能なベネシアンブラインドを設けている

中央ホールの採光は, スカイライトから行っている。

4.3 Zero Energy Building (シンガポール)^{14, 15)}

竣工年: 2009年, 用途: 事務所, 研修施設
所在地: シンガポール, 延床面積: 4,500m²
階数: 3, 認定評価: BCA Green Mark プラチナ

シンガポールの BCA (the building and construction authority) による, 東南アジアで初めてのゼロエネルギービル (ZEB) である。さまざまなグリーンビル技術を適用したテストベッドとするため, 既存の研修施設を改修した。自然換気, 自然採光によるパッシブ建築と PV の組み合わせにより, ZEB を目指している。エネルギー使用量は41 (kWh/m²/年) となる。

1) 創エネルギー

屋根, ファサード, 庇に不透明, 半透明の PV (単結晶シリコン型, 多結晶シリコン型, アモルファスシリコン型, 色素増感型) を合計1,295m², 171 kW を設置している。これらによる供給エネルギー量は単位延床面積当たり45 (kWh/m²/年) となる。

2) 省エネルギー

(1) 外皮・窓

ガラス窓は2層ガラスとして, 太陽光発電機能を持たせたもの, ECD (electrochromic display: 電界により変色するディスプレイ) を採用したものなどの比較を行っている。

(2) 空調・換気

換気ファンには可変回転数制御を使用し, AHU (空調機) は, シングルコイル+ダブルファン方式として, 外気取り入れファンと循環空気ファンの回転数を独立に制御し省エネルギーを図っている。居住域では二重床から低速で吹出しを行う置換空調を行っている。また, 二重床からダクトで冷却空気を机上に吹出している。

金属屋根とその上の太陽光パネルとの間に30cm の隙間を設け, ここで暖められた空気を煙突から排気する際に生じる浮力効果でスクールホールや教室の空気を誘引して自然換気を行っている (図9)。

モーションセンサーによるファン・照明制御, 照度セ

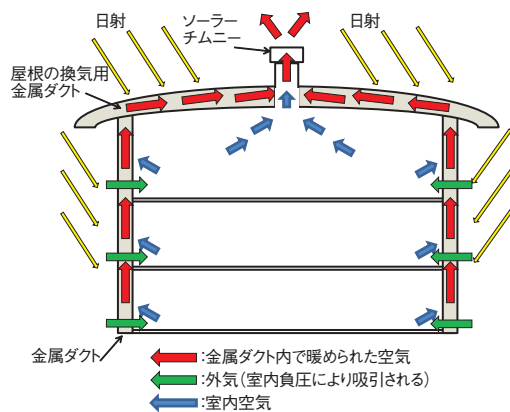


図9 自然換気方式の概念図（断面）

ンサーによる調光、CO₂センサーによる換気ファン制御を行っている。

（3）照明・採光

照明は43W 蛍光灯を22W 蛍光灯に替えるとともに、調光が可能なものとした。タスク灯にはLED を使用している。

採光についても複数の方式を採用している。外壁に光コレクタを設けて天頂光を集光し、高反射材を利用したミラーダクトにより室内に導き、天井の多孔から室内に供給している。この方式であればグレアは生じない。ライトシェルフは、高反射材で構成され、室内への外光取り入れと庇の役割を持たせている。屋根に取り付けられた鏡から光パイプを通してインテリア部に外光を導いている。鏡には回転式と固定式を採用し比較を行っている。

（4）その他

ビル設備の制御、モニタ、管理のためにビルマネジメントシステムを導入している。

4.4 Elithis Tower（フランス）¹⁶⁾

竣工年：2009年、用途：事務所
延床面積：4,500㎡、階数：10

Elithis Tower は、エネルギー使用量よりも創エネルギーが上回る ZEB である。また、建設コストが従来同規模のオフィスビルと比べて低コストである。2009年のエネルギー使用量の実績値は57 (kWh/㎡/年) である。

1) 創エネルギー

屋根に500㎡の PV パネルが水平に設置されている。

2) 省エネルギー

（1）外皮・窓

熱負荷に大きく影響する外皮面積を削減するため、平面計画を従来の長方形ではなく楕円形とすることにより、長方形に比べ外皮面積を約10%削減している。

（2）空調・換気

暖房は、大部分が太陽熱と内部発熱により賄われる。これらで賄うことができない分については木質ボイラーによって賄われ、ビル内の室温は21℃に保たれる。

冷房には、気化式冷房と高性能のヒートポンプが用いられる。また、放射冷房を行うための長方形カセットが天井に設置されている。

換気については、フランスの換気基準コード（事務所内1人当たり25 (m³/h)）に従い給排気が管理され、次の3つの運用モードにより管理されている。

- ・中間期（春・秋期間）および夏期の外気温が0℃以上の場合、AHU を運用しながら執務室内に外気導入を行い、建物中央のアトリウムから排気する。
- ・夏期の夜間においては AHU の運転を停止し、室内に外気を取り入れナイトパージを行う。
- ・冬期の外気温が0℃以下の場合、導入外気を顕熱交換するシステムに移行する。

（3）照明・採光

グレア防止を考慮したシェードを設置し、積極的に自然採光を行っている。事務スペースの天井照明は300 (lx) としている。夜間や天候により屋外が暗い場合は、人感センサーと照明センサーが連動して作動する。これらにより照明の消費電力は、2 (W/m²) と小さい。

5. まとめ

建築物の省エネルギー規制の動向と、省エネルギービルの事例を紹介した。省エネルギービル、特に ZEB では、建物形状の工夫とともに、自然換気、自然採光を極力取り入れた設計が各国で行われている。一方、創エネルギーとして太陽光発電、太陽熱、地中熱が積極的に利用されている。また、入居者に対しては省エネルギーのための情報提供やオフィス機器、備品購入の際のガイドラインを作成している。今後の ZEB 技術の動向に注目するとともに、運用段階での課題を明らかにしていく考えである。

〔参考文献〕

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：エネルギー白書2013, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2013/index.htm>, 2014.4.1
- 2) U.S. Energy Information Administration: INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2013, <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/buildings.cfm>, 2014.4.24
- 3) 総務省統計局：建築着工統計調査2012年度, http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&listID=000001110490&requestSender=search, 2014.4.1
- 4) Drury B. Craweley: The Drive for Net-Zero Energy Commercial Buildings, 2010 Department of Energy Project Management Workshop, March 9-10, 2010, Alexandria, VA
- 5) 国土交通省： https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk4_000005.html, 2014.4.2
- 6) JETRO：欧州各国の省エネルギー政策, 2010

- 7) 株式会社住環境計画研究所：米国・欧州における省エネルギー政策について，2013
- 8) Sustainable Buildings Centre, [http://www.sustainablebuildingscentre.org/buildings/codes/Portugal/National/non-residential/new/Regulamento%20das%20Caracter%C3%ADsticas%20de%20Comportamento%20T%C3%A9rmico%20dos%20Edif%C3%ADcios%20\(RCCTE\)](http://www.sustainablebuildingscentre.org/buildings/codes/Portugal/National/non-residential/new/Regulamento%20das%20Caracter%C3%ADsticas%20de%20Comportamento%20T%C3%A9rmico%20dos%20Edif%C3%ADcios%20(RCCTE)), 2014.4.24
- 9) 一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター：ニュースレター「APPROACH TOWARD ENERGY EFFICIENT BUILDING」, <http://www.hptcj.or.jp/Portals/0/ahpnw/Newsletter/%E2%98%851st%20AHPNW%20Newsletter%20Japanese.pdf>, 2014.4.24
- 10) Building and Construction Authority: the 2nd Green Building Masterplan, <http://www.bca.gov.sg/GreenMark/others/gbnp2.pdf>, 2014.4.24
- 11) 一般財団法人省エネルギーセンター, http://www.eccj.or.jp/sub_07/pub-doc.html, 2014.4.24
- 12) US Department of Energy: The Design-Build Process for the Research Support Facility, 2012
- 13) Helder Gonçalves et al.: SOLAR XXI A Portuguese Office Building towards Net Zero-Energy Building, March 2012, REHVA Journal
- 14) <https://www.bca.gov.sg/zeb/>, 2014.4.24
- 15) http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/events/High-Performance-Buildings-June-2013/Presentations/session4/47_lee_zeb_260613.pdf, 2014.4.25
- 16) Oscar Hernandez: Elithis Tower in Dijon, France, May 2011, REHVA Journal, p53-57 http://www.rehva.eu/fileadmin/hvac-dictio/03-2011/Elithis_Tower_in_Dijon_France.pdf, 2014.4.25



おおしま かずお
大島 一夫

EHS&S 研究センター長 兼 情報システム技術本部長
兼 市場戦略サービス部長
環境・エネルギー，FM 領域のコンサルティングに従事
工学博士，建築設備士，SHASE 技術フェロー，
認定ファシリティマネジャー，エネルギー管理士
日本建築学会，空気調和・衛生工学会，計測自動
制御学会会員



かいどう しゅんすけ
海藤 俊介

EHS&S 研究センター研究主任 兼 環境技術部主任
環境・エネルギー等のコンサルティングに従事
工学博士
日本建築学会，空気調和・衛生工学会会員

Synopsis

Domestic and Overseas Trends in Building Energy Conservation and ZEB

Kazuo OSHIMA

Shunsuke KAIDO

The annual amount of energy consumed in the field of residential and non-residential buildings accounts for approximately one-fifth of all energy consumed in the world and the outlook is for further increases in this level in the future. For this reason, initiatives are underway in many countries aimed at reducing the amount of operational energy and, in addition to reinforcing regulations pertaining to buildings, efforts are being made to meet the challenges posed by energy-conserving buildings and ZEBs (net zero energy buildings). This paper introduces trends in energy regulations for non-residential buildings and examples of energy-conserving buildings in each country.

We have focused on Japan, Europe, the U.S. and Asia as examples of energy conservation regulations in the field of building and trends in ZEBs in each country. We have addressed details of revisions to the Law Concerning the Rational Use of Energy and the labeling system “BELS” in Japan and energy conservation regulations in the U.S. and EU countries. In addition, turning to Asia, we have touched on undertakings implemented in Korea, Singapore and ASEAN countries.

We have introduced the following four initiatives as examples of non-residential ZEBs: (1) Research Support Facility (U.S.), (2) SOLAR XXI (Portugal), (3) Zero Energy Building (Singapore) and (4) Elithis Tower (France).

In the field of energy conserving buildings and ZEBs in particular, as well as ideas regarding the shapes of buildings, designs that make positive use natural ventilation and natural lighting are being implemented in each country. Meanwhile, proactive use is being made of photovoltaic energy generation, solar heat and geothermal heat in the creation of energy. In addition, we have also observed trends such as the provision of information on energy conservation to tenants and the creation of guidelines applying to the purchase of office machinery and equipment. As well as focusing on trends in ZEB technologies, in the future, we intend to attempt to elucidate issues at the stage of operation of such technologies.