

ネット・ゼロ・エネルギー・ビルに関する研究

－各国の動向と実現性について－

A Study on Zero Energy Buildings (ZEBs)

- Developments in other Countries and Feasibility -

岩下将也* 茂木正史*

要 旨

建物に必要なエネルギーを建物敷地内で賄う、ネット・ゼロ・エネルギー・ビルの実現に向けた取り組みが、世界的に進められており、各国が独自のロードマップを策定している。各国が策定しているロードマップをまとめ、それらを基に、世界と日本における ZEB の考え方について考察した。また、国内における現状と将来の標準的なオフィスビルをモデル化し、各モデル建物において、ZEB が実現可能となる建物の階数について検討した。屋上へ設置した太陽光パネルによる発電で、建物に必要なエネルギーを賄う場合、目標達成年において実現可能な建物階数は 3 階までであることがわかった。

キーワード：ZEB、省エネルギー、創エネルギー、シミュレーション

1. まえがき

化石燃料を燃焼させることで、二酸化炭素等の温室効果ガスが大気中で増加し、地球の放熱が妨げられ、気温が上昇する。これが原因となり、気候や生態系に不可逆的な変化をもたらされることを、地球温暖化問題と呼ぶ。近年、地球温暖化問題の解決は世界共通の課題となっており、化石燃料への依存を少なくした低炭素社会を、地球全体で実現する取り組みが始まっている。

建物に関連する民生部門のエネルギー消費量は大きく、日本では全体のエネルギー消費量の 1/3 以上を占めるに至る。低炭素化社会を実現するに当たって、建物の省エネルギー対策は必須の課題となっている。

このため、建物の低炭素化に向けた様々な技術の開発が進められている。その究極的な目標として、建物内で消費するエネルギーを建物敷地内の再生可能エネルギーで賄う、ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（以下 ZEB と称す）の構想が掲げられ、実現のための取り組みが進められている。

ZEB の構想に関して、先導している欧州連合(EU)では、EU 指令(EPBD : Energy Performance of Buildings Directive)に基づいて、加盟各国でロードマップを策定している。また、EU 以外の諸外国も ZEB についてのロードマップを策定しており、ZEB の実現は、日本を含む世界共通の目標となっている。

ZEB を実現するには、建物外皮の断熱・遮熱性能や、

設備機器の効率、太陽光発電パネルの発電効率などの機器効率の性能向上が求められるほか、設計時のエネルギー消費量の予測に基づく建築・設備の設計技術も必須となる。また、在室者の環境設定が見直されることも予想される。ZEB の実現に向けて、建築技術の向上、室環境のあり方の変化が迫られていくものと想定され、それらの技術の方向性や、ZEB の実現性を早期に明確化させる必要がある。

本報告では ZEB の実現に向けた各国の動向と、日本における ZEB の実現性、実現に向けた技術の方向性について検討した結果を紹介する。

2. 各国の ZEB の動向

欧州連合では、2003 年に施行された EU 指令において、加盟国共通の建物のエネルギーに関する基準類を決めており、2010 年には ZEB に関する項目を取り入れた改正案が制定された。

EU 指令が定めた ZEB の方針を以下に示す¹⁾。

- i. ZEB の定義は、「ZEB とは、エネルギー性能が非常に高い建物であり、建物の運営に必要なエネルギーが非常に少なく、そのほとんどは敷地内またはごく近い場所で得られる再生エネルギーで賄われる」とする。
- ii. 2020 年 12 月 31 日までにすべての新築建物は ZEB とし、2018 年 12 月 31 日以後の新しい公共建物は

* 技術研究所

ZEB とする

- iii. 加盟国は、公共建物を対象に率先して先導的事例としての ZEB を建設し、一般建物への普及を促進する
- iv. 各国の計画では、地域性を考慮するとともに、エネルギー性能の評価には、kWh/m²・年で示される 1 次エネルギー消費量を採用する。

これを受け、EU 加盟国は、それぞれ ZEB を目指した取り組みを始めた。また、EU 以外の諸外国でも ZEB の取り組みが始められることとなった。表-1 に各国のゼロエネルギー、省エネルギー化の目標を示す。

デンマークでは、2020 年までを目標にすべての新築建物でエネルギー消費量を 2006 年比 75%削減と定め、住宅において 20KWh/m²・年未満、非住宅において 25 KWh /m²・年未満の目標を設定している。エネルギー消費量の算定対象となる設備は、暖房、冷房、換気、給湯、照明であり、住宅では家電設備を、非住宅ではテナントの全設備を対象外としている。

フランスでは、2020 年までにすべての新築建物で、オンサイトの生産エネルギーが需要を上回ることを目標としている。エネルギー消費量の算定対象となる設備は暖房、冷房、換気、給湯、照明と他の補助システムである。

ドイツでは、2012 年には住宅と非住宅のエネルギー消費量の目標基準を 2009 年の基準の 30%減とし、2020 年には新築建物で化石エネルギーの利用をゼロにするという目標を定めている。2009 年に設定された基準 (EmEV2009) は、新築建物に採用されるが、その評価方法は、基準建物 (reference building) の性能との比較で行われる。

ノルウェーでは、エネルギー削減の目標は 5 年ごとに

更新し、2027 年に ZEB を実現する計画である。エネルギーの算定対象とする設備は、暖房、換気、冷房、給湯、その他である。また、テナントで消費する電力も含む。

イギリスでは、建築基準法により建築物の省エネルギー基準を義務化している。建物のゼロエネルギー化の取り組みは、2006 年に政府が 10 年以内にすべての住宅をゼロカーボン化すると宣言したことから始まった。住宅、非住宅および建物用途ごとに目標を立て、すべての新築建物を 2019 年までにはゼロカーボン化するとしている。

アメリカでは、連邦政府が規範となる省エネ基準を策定し、州レベルで義務化している。ZEB への取り組みはオバマ大統領の選挙公約や DOE (エネルギー省) の活動等により進められ、2007 年に 2050 年までにすべての新築、既存の業務用建物の ZEB を実現することが規定された。

日本では、経済産業省の「ZEB の実現と展開に関する研究会」において、ZEB の考え方が具体的に議論されることとなった。2009 年 11 月に発表された本研究会報告書では、国内における ZEB の考え方と、そのための課題、対応策がまとめられている。ここで取りまとめられた ZEB の考え方は、建物のエネルギー消費量を、オンサイトでの再生可能エネルギーによって賄うことを基本とし、オンサイトで十分な再生可能エネルギーを見込むことが困難な場合において、エネルギーの面的利用によって、地域でのゼロエネルギー化を満たすという内容となっている。

各国の ZEB の達成目標は、今後 10~20 年程度で新築の非住宅建物を、ゼロエネルギーもしくはゼロカーボン化するという内容で一致している。欧州の一部の国では、エネルギー消費量の算定対象となる設備機器を、建築設備に限定しているが、日本の ZEB 構想では OA 機器を含むすべての設備が対象である。非住宅においては、OA 機器の電力量の占める割合は大きいいため、より厳しい目標設定となる。また、日本では、建物内の人員密度や、就労時間も高いため、他国に比べエネルギー消費量が大きいことが予想される。そのため、日本で ZEB の実現していくには、独自の取り組みや技術開発が必須であると考えられる。

表-1 各国のゼロエネルギー、省エネルギー化の目標

国	達成目標年	ゼロエネルギー、省エネルギー化の目標(ビジョン)
EU	2020	12 月 31 日までにすべての新築建物で ZEB を実現
	2018	12 月 31 日までにすべての新築建物で ZEB を実現
デンマーク	2020	すべての新築建物で 2006 年に対しエネルギー消費量を 75%削減
フランス	2020	すべての新築建物でオンサイトエネルギーのエネルギーが需要を上回る
ドイツ	2020	新築建物の化石燃料使用量をゼロとする
ノルウェー	2027	すべての新築建物で ZEB
イギリス	2016	すべての新築住宅、新築の学校をゼロカーボン化
	2018	新築公共施設をゼロカーボン化
	2019	すべての新築非住宅建築物をゼロカーボン化
アメリカ	2030	新築されるすべての業務用建物で ZEB
	2040	既存の業務用建物の 50%で ZEB
	2050	すべての業務用建物で ZEB
日本	2020	新築公共建物で ZEB
	2030	すべての新築建物の平均で ZEB を実現

3. ZEB の実現性に関する検討

日本で掲げられている ZEB の達成目標について、2030 年を想定した建物・設備の技術性能の進歩のもとに、その実現性をエネルギー消費量のシミュレーションによって検討した。

3.1 検討方針

- a. 対象建物と平面プランの設定

対象建物は新築の標準的なオフィスビルとし、現在の

省エネルギー技術、将来の進歩した省エネルギー技術を導入した場合のエネルギー消費量をシミュレーションする。建物で ZEB を実現するには、オンサイトでの発電量を増大させ、建物のエネルギー消費量を、発電量以下にする必要がある。シミュレーションモデルは、現実的な建物を想定し、平均的な稼働時間、有効面積、設備を備えた一般的な民間オフィスビルとし、太陽光パネルによる発電によってエネルギー消費量を賄うものとする。建物の平面プランには「オフィス用標準問題」²⁾を用いる。

b. 検討ケースと技術性能の将来想定

図-1に検討ケースを示す。検討ケースは、基準となる現在の一般的なオフィスビルを想定した「標準オフィスモデル」と、これに現在の汎用的な省エネルギー技術を導入した「省エネオフィスモデル」、さらに「省エネオフィスモデル」に将来想定される設備効率や、エネルギー消費量の低減効果を反映させた「将来省エネオフィスモデル 1~4」の6種類とした。技術性能の将来想定値の設定には、表-2に示す建築研究開発コンソーシアム（以下、建築コンソと称す）における調査資料³⁾に示された値、表-3に示す経済産業省の ZEB 研究会の資料⁴⁾の中で示された 2030 年における建築・設備の将来想定条件を用いる。

再生可能エネルギーは、太陽光パネルの発電エネルギーとし、東京都の標準的な天候データを用いて、発電量を算出する。太陽光発電量の将来想定は、新エネルギー・産業技術総合開発機構の太陽光ロードマップ PV2030+⁵⁾で示されるモジュール発電電力を用いる。

図-1 検討ケース



表-3 「ZEBの実現と展開に関する研究会」における2030年の技術予想

パッシブ建築	高断熱、日射遮蔽
自然エネルギー利用	外気冷房、ナイトバージ、室内CO2濃度による外気取入量制御
高効率熱源	現状より2割程度高効率な熱源の開発
低消費熱源	インバータの全面的活用、高効率モータ、高効率ポンプ、高効率ファン、低摩擦損失配管
高効率照明	現状の消費電力量の1/3となる高効率照明器具の開発と照度設定、調光や点滅制御の全面採用
低消費OA機器	現状の消費電力量の1/2となるサーバー、1/12となるPCなど
その他電力消費	現状の消費電力量の1/3となる防犯用・防災用機器、待機電力機器
太陽光発電	屋上面積の2/3に、現状より2倍の変換効率のパネルを設置

3.2 シミュレーション概要

a. プログラム

エネルギー消費量のシミュレーションには、一般社団法人省エネルギーセンターの建物の原単位管理ツール ESUM⁶⁾を用いる。

b. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは地上階と屋上階、2層の基準階によって構成されている。基準階の平面プランと建物概要を図-2に示す。建物の稼働時間は、「非住宅建築物の環境関連データベース」⁷⁾の全国事務所建物の営業時間の平均値を参考に、12時間としている。空調の適用場所は執務室のみとし、ペリメーターエリアとインテリアエリアで空調設備を系統分けしている。

c. 各モデルの省エネルギー技術性能

表-5に各モデルごとの省エネルギー技術の性能を示す。図-1の検討ケースに従って適用する省エネルギー技術を定めている。「標準オフィスモデル」を基準とし、「省エネオフィスモデル」には汎用的に用いられている省エネルギー技術を適用している。「将来省エネオフィスモデル」には、表-2、表-3に示した将来想定をもとにし、対策を適用している。

d. 太陽光発電量の設定

太陽光発電は、建物の屋根全面に導入した場合と、屋根面に加え、開口部を除く外壁面全面に導入した場合について検討した。太陽光発電量は、以下の算定式より求めた。2010年、2030年のモジュール発電効率は表-4に示した値に基づく。また、年間日射量は拡張アメダス気象データの東京都標準年データを採用している。

表-2 2030年のエネルギー消費量低減率予想値

	空調	照明	OA
BAU シナリオ追加の施策なし	15%	13%	20%
A シナリオ追加の施策あり	23%	17%	27%
B シナリオ追加の施策あり	27%	22%	32%

表-4 太陽光発電パネルのモジュール発電効率目標値

目標年度	2017年	2025年	2050年
モジュール変換効率目標(%)	20%	25%	40%

太陽光発電量=S×e×C×E×L (MJ/年)

S：単位面積当たり年間日射量 (MJ/m²・年)

e：モジュール発電効率：15%、28%

C：各月温度補正：0.1

E：インバータ効率：0.95

L：蓄電ロス：0.9

3.4 エネルギー消費量のシミュレーション結果

各モデルのエネルギー消費量内訳結果を図-3に示す。各パターンのシミュレーション結果とその削減率を表-6に示す。

- i. 「標準オフィスモデル」のエネルギー原単位は1693MJ/m²年であり、一般的なオフィスのエネルギー原単位の中央値1724 MJ/m²・年⁷⁾と同等の結果となった
- ii. 「省エネオフィスモデル」のエネルギー原単位は1381MJ/年・m²となり、18.4%の削減効果があった。もっとも削減効果の大きい技術は、照明の高効率化で、

5.5%、続いて外皮の断熱化が5.4%という結果となった

iii. 「将来省エネオフィスモデル1」は、878MJ/m²・年となり、36.5%の削減効果が得られた。最も削減効果が大きい技術は、照明の高効率化2で、16.1%、続いて、OAの高効率化で11.7%という結果となった。また、照度設定の見直しによっても9.0%の削減効果が得られた。東日本大震災以降の節電の取り組みで、机上面照度を500lxに下げる場面が増えているが、作業面の視認環境が悪化したという報告は少なく、今後は設計基準照度の変更による省エネルギー対策も積極的に図られていくものと思われる

iv. 「将来省エネオフィスモデル2～4」は、BAU シナリオ、A シナリオ、B シナリオの順で、1209 MJ/m²・年、1137 MJ/m²・年、1085MJ/m²・年となり、いずれのモデルでも「将来省エネオフィスモデル1」に比べ削減効果は少なかった。特に照明・コンセントについての低減効果に違いが見られた

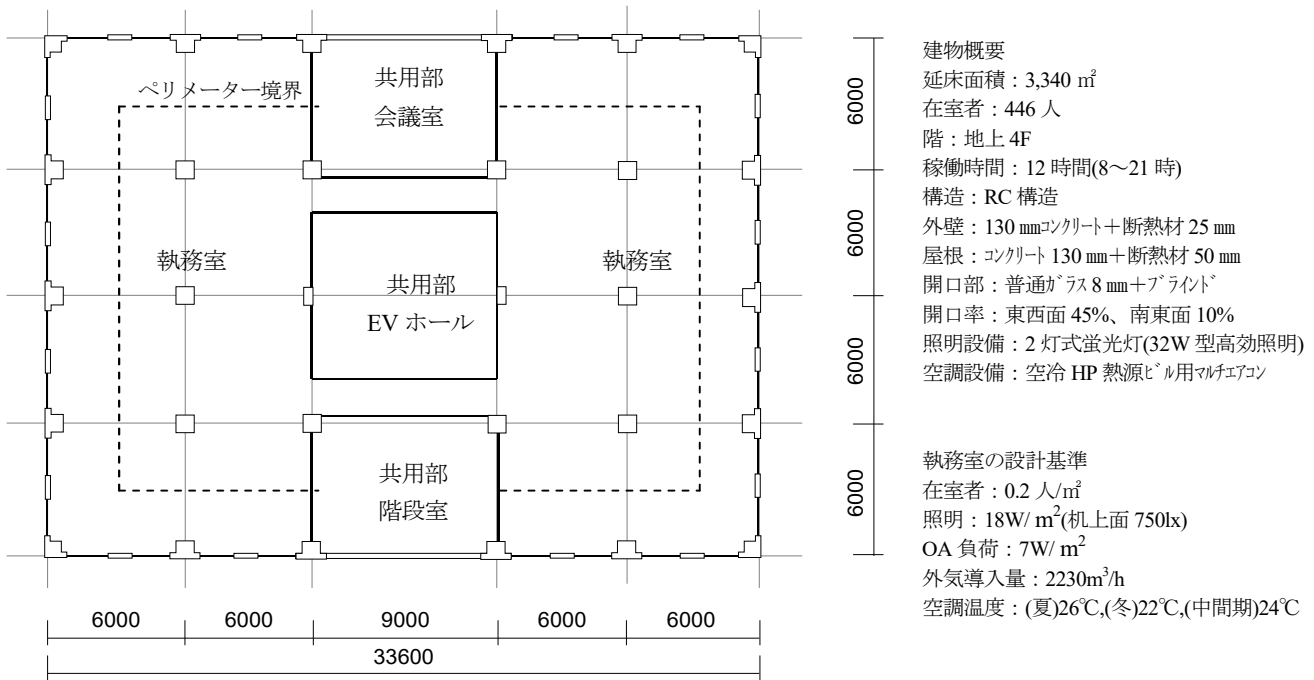


図-2 標準オフィスモデルの平面プランと建物概要

表-5 各モデルと省エネルギー技術性能

	標準オフィスモデル	省エネオフィスモデル		将来省エネオフィスモデル①		
		省エネ技術	内容	省エネ技術	内容	
外皮	外壁	RC内断熱 25mm	①外皮の高断熱化1	RC内断熱 50mm	⑥外皮の高断熱2	
	屋上	RC内断熱 50mm		RC内断熱 100mm		RC内断熱 200mm
	開口部	普通ガラス 8mm		LowE複層ガラス		-
空調設備	熱源	ビル用マルチエアコン COP3.4 空冷ヒートポンプ室外機	②空調の高効率化1	高効率型 COP3.5(冷) 4.5(暖)	⑦空調の高効率化2	
	室内機	ビル用マルチエアコン	-	-	ファン動力2割削減	
	換気設備	換気ファン	③全熱交換機の利用	全熱交換機の導入 (交換効率0.7)	⑧ファン搬送動力の低減	
照明コンセント	照明設備	高効率型照明(Hf) 100lm/W	⑨照明の高効率化1	LED照明 120lm/W	⑨照明の高効率化2	
	コンセント	執務室負荷 7W/m ² サーバ室 40W/m ²	-	-	⑩OAの高効率化	
運用・その他	空調設定温度	26°C、24°C	⑤クールビズ	28°C、22°C	-	
	照度設計基準	机上面照度 750lx	-	-	⑪照度の見直し	
	自然エネルギー利用	-	-	-	⑫日光利用による調光	

3.5 断熱材と空調エネルギー消費量の関係

標準オフィスモデルのペリメーターエリアを対象とした、開口部の仕様別の断熱厚と、空調エネルギー消費量の関係を図-4に示す。断熱厚が50mm以上では、空調のエネルギー消費量は変わらない。断熱性能が増すごとに、暖房負荷が減り、冷房負荷が増大している。これは断熱性能が増すことで、室内の内部発熱負荷の処理に大きなエネルギーが必要になるためである。もっとも省エネルギー化されたものは開口部にLow-E断熱ガラスとブラインドを設置したものであった。

3.6 ZEBの実現性

太陽光パネルの発電量と、エネルギー消費量原単位のシミュレーション結果を比較したものを図-5に示す。

発電量とエネルギー量が等しくなる建物階数を ZEB が可能な建物としている。

屋根全面に太陽光パネルを設置した場合、ZEB が可能な階数は、現在の「標準オフィスモデル」では実現不可、「省エネオフィスモデル」で1階まで実現できる結果となった。「将来省エネオフィスモデル1」では、3階まで ZEB が可能となった。「将来省エネオフィスモデル4」では、3階まで ZEB が達成可能となった。

屋根全面・外壁に太陽光パネルを設置した場合、「標準オフィスモデル」、「省エネオフィスモデル」で1階のみ ZEB が実現できる結果となった。「将来省エネオフィスモデル1」では、9階まで「将来省エネオフィスモデル4」では5階まで達成できることとなった。

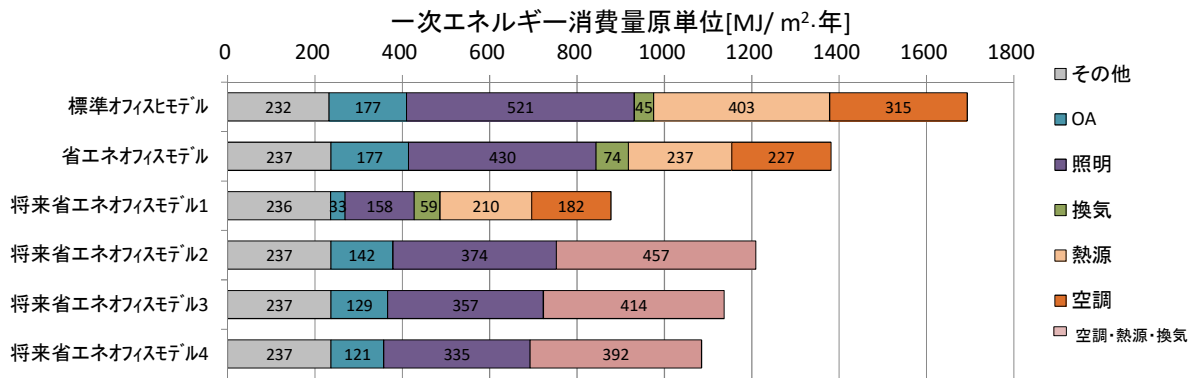


図-3 各モデルのエネルギー消費量内訳

表-6 各パターンのシミュレーション結果とその削減率

モデル名前	導入技術区分	各設備の一次エネルギー原単位[MJ/年m2]						全体 [MJ/年m2]	削減率	
		空調	熱源	換気	照明	OA	その他		標準オフィスモデル基準	省エネオフィスモデル基準
標準オフィスモデル	導入なし	315	403	45	521	177	232	1693	0.0%	
+省エネ技術	①外皮の高断熱化1	259	362	45	521	177	237	1601	5.4%	
+省エネ技術	②熱源の高効率化1	315	350	45	521	177	237	1646	2.8%	
+省エネ技術	③全熱交換機の導入	315	324	74	521	177	237	1648	2.6%	
+省エネ技術	④照明の高効率化1	307	404	45	430	177	237	1600	5.5%	
+省エネ技術	⑤クールビズの導入	282	376	45	521	177	237	1638	3.3%	
省エネオフィスモデル	①～⑤すべて導入	227	237	74	430	177	237	1381	18.4%	0.0%
+将来省エネ技術	⑥外皮の高断熱化2	223	232	74	430	177	237	1372	19.0%	0.7%
+将来省エネ技術	⑦空調の高効率化2	227	197	74	430	177	237	1342	20.7%	2.9%
+将来省エネ技術	⑧ファン搬送動力の低減	182	237	59	430	177	237	1321	22.0%	4.4%
+将来省エネ技術	⑨照明の高効率化2	205	239	74	228	177	236	1159	31.6%	16.1%
+将来省エネ技術	⑩OAの高効率化	208	238	74	430	33	236	1220	28.0%	11.7%
+将来省エネ技術	⑪照度の見直し	211	241	74	317	177	237	1257	25.8%	9.0%
+将来省エネ技術	⑫ペリメータ部の調光	227	237	74	417	177	237	1369	19.2%	0.9%
将来省エネオフィスモデル1	①～⑫すべて導入	182	210	59	158	33	236	878	48.2%	36.5%
将来省エネオフィスモデル2	BAUシナリオ		457		374	142	237	1209	28.6%	12.4%
将来省エネオフィスモデル3	Aシナリオ		414		357	129	237	1137	32.9%	17.7%
将来省エネオフィスモデル4	Bシナリオ		392		335	121	237	1085	35.9%	21.5%

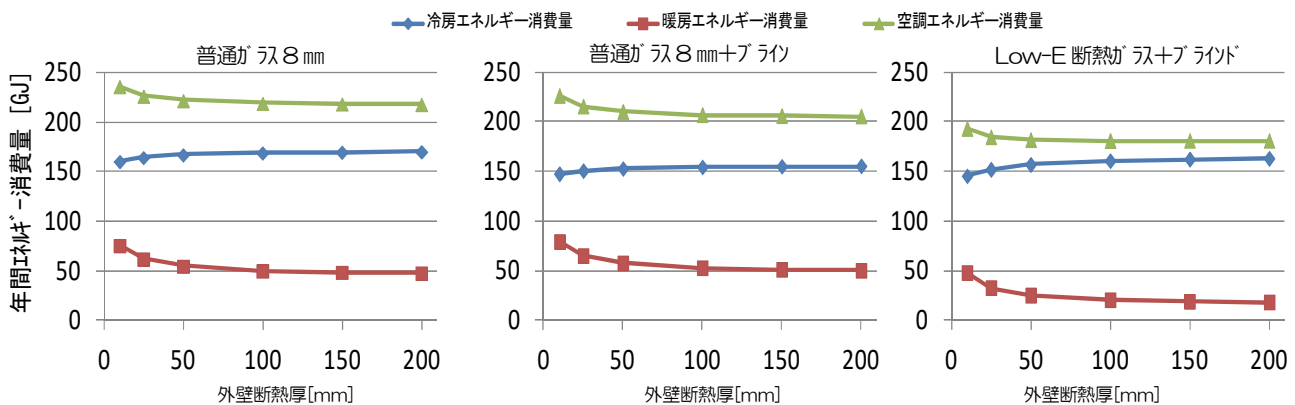


図-4 開口部の性能別の断熱材厚と、空調エネルギー消費量

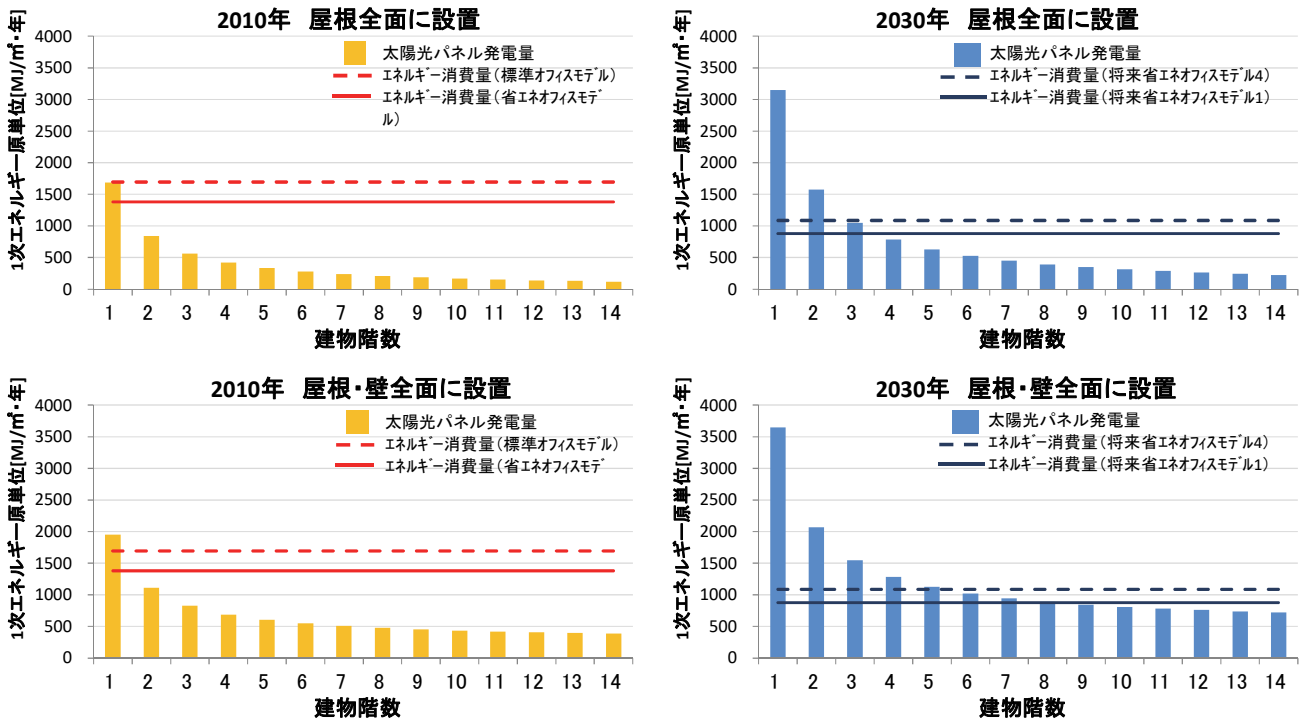


図-5 ZEBが実現可能な建物階数

4. まとめ

世界の ZEB の動向と、国内の ZEB の実現性についてわかったことを以下に示す。

- i. 各国の ZEB の達成目標は、今後 10~20 年程度で新築の非住宅建物を、ゼロエネルギーもしくはゼロカーボン化するという内容になっている
- ii. ZEB の考え方は各国で異なるが、日本の ZEB 構想は、他国に比べても野心的な内容となっており、実現のためには日本独自の技術などに取り組んでいく必要があるものと考えられる
- iii. ZEB を実現するための省エネルギー化対策では、設備の機器効率向上のほか、温度や照度の見直しなど、在室者環境の変更による削減効果も大きく、設定温度・照度などの在室者環境の見直しも進められていくと考えられる
- iv. 建築外皮の断熱厚が増えるにつれ、空調エネルギー消費量の削減効果は少なくなる。また、高断熱化が促進されることで、建物の内部発熱の抑制と処理が課題となる

V. 2030 年に ZEB が可能な建物階数は、太陽光パネルを屋根全面に設置した場合、3 階、壁面にも設置した場合で 10 階程度となった

5. あとがき

ZEB の実現には、再生可能エネルギー導入設備の適用効果を最大化するとともに、照明・空調等の建築設備のエネルギー消費量を最小化することが必要である。それには、太陽光パネルの発電効率の向上だけでなく、パ

ネル表面の温度上昇による発電効率の低下を抑制するための運用方法を考えていく必要がある。また、地中熱などのその他の自然エネルギー利用技術のさらなる普及も望まれる。省エネルギー技術では、設備の高効率化だけでなく、タスクアンビエント照明・空調などのような、在室者の要求する環境性能と、必要なエネルギー量の最適化を図る設計技術が普及していくものと思われる。これらの低炭素下技術と、その評価に取り組み、国の目標より早期の ZEB の実現を目指していきたい。

【参考文献】

- 1) European Council for an Energy Efficient Economy, 「Nearly zero energy buildings : achieving the EU 2020 target」、2011.2
- 2) 日本建築学会 環境工学委員会 熱分科会、「標準問題の提案 (住宅用標準問題, オフィス用標準問題)」、第 15 回熱シンポジウム, 1985 年
- 3) 建築研究開発コンソーシアム、「産業界における非住宅建築物の低炭素化に向けた取り組みと将来展望に関する調査報告書」、2011.3
- 4) 経済産業省、「ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) 実現と展開について」、平成 21 年 11 月
- 5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構、「太陽光発電ロードマップ(PV2030+)」、2009.6
- 6) 省エネルギーセンター、「業務用ビルのエネルギー原単位管理ツール ESUM ver.5」
- 7) 一般社団法人日本サステナブル協会、「非住宅建築物の環境関連データベース」、平成 22 年 12 月