

ZEBのセーフティ・セキュリティ性能

EHS&S 研究センター長 大島 一 夫

Keyword：省エネルギー，リスク，自然災害，犯罪，テロ

1. はじめに

国内では、オフィスビルなどの業務部門のエネルギー消費が増加したまま高止まり傾向にあるため、エネルギー消費の少ない建物の積極的な普及が望まれ、ZEB (Net Zero Energy Building) への取り組みが進められている。

ZEBは、建物躯体や設備の省エネルギー性能の向上、再生可能エネルギー・未利用エネルギーの活用、地域内でのエネルギーの面的（相互）利用の対策を組み合わせることにより、エネルギーを自給自足し、化石燃料などから得られるエネルギー消費量がゼロ、あるいは概ねゼロとする建築物のことをいう。

ZEB実現のために使用される様々な技術については、省エネルギー性能だけでなく、自然災害リスクや犯罪リスクに対する性能（セーフティ・セキュリティ性能）、経済性、保守性、更新性なども求められる（図1）。ここではこれらのうち、ZEBのセーフティ・セキュリティ性能について考察する。

2. 自然災害リスク・犯罪リスク

日本は世界有数の「地震国」で、四方を海に囲まれた狭い国土に世界の約1割の地震が集中して発生している。2011年には国内観測史上最大の巨大地震「東北地方太平洋沖地震」が、2016年には熊本地震が発生し、今後、南海トラフ巨大地震や首都直下地震などの発生が危惧されている。自然災害リスクには、このような地震とそれに伴う津波だけでなく、豪雨や台風、洪水、がけ崩れ・地すべり、高潮、豪雪、火山噴火、落雷など多くのリスクがある¹⁾。

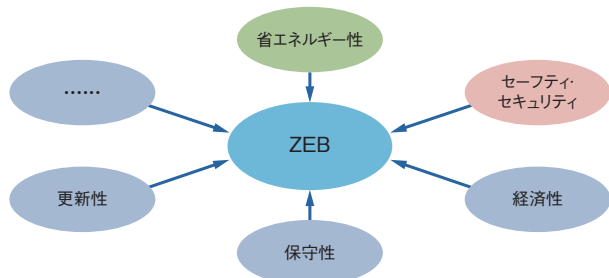


図1 ZEBに求められる性能

消防白書にまとめられている国内で発生した自然災害のうち、2000年以降の非住宅建築物の被害棟数を図2に示す。毎年自然災害により5千棟前後の非住宅建築物が被害を受けているが、特に2004年には新潟県中越地震、台風23号、新潟福島豪雨、2007年には新潟県中越沖地震、2011年には東日本大震災などにより、年間3万棟から8万棟以上の非住宅建築物が被害を受けている。

ベルギーのルーヴァン・カトリック大学では、世界の自然災害のデータベースを整備している。ここで自然災害は、地球物理、気象、水文、気候、生物、地球外に起因するもので、下記のいずれかに該当するものである。

- ・10人以上の死者
- ・100人以上の被災者
- ・緊急事態の宣言
- ・国際救助の要請

このデータベースから作成した、国内の1900～2018年の自然災害の種類の発生件数を図3に、自然災害の発生件数と災害1件あたりの平均被害額の関係を図4に示す。

図3より、自然災害発生件数では、台風によるものが136件で1番多く、地震動、その他洪水が続いている。図4より、津波は発生頻度は少ないが、ひとたび発生すると被害は大きく、平均152億米ドルの被害額となり、これに続いて高潮による被害が平均37億米ドル、地震動による被害が平均34億米ドルとなっている。

今後、気候変動により洪水と暴風雨による損害が増加するということも報告されている。

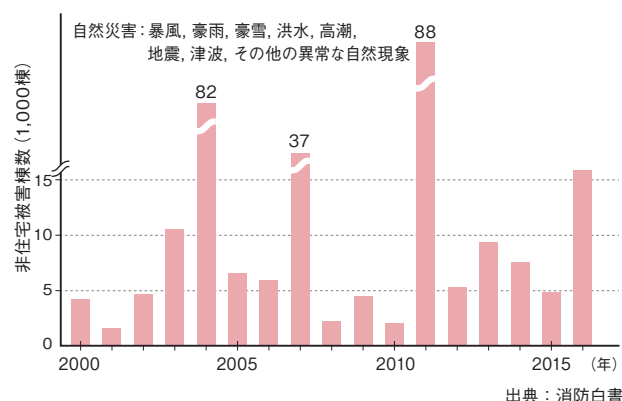
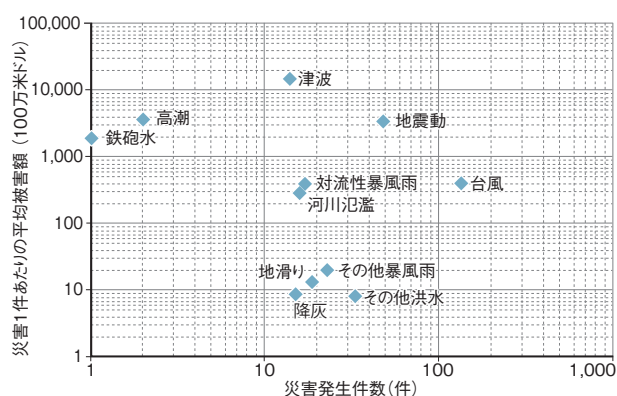
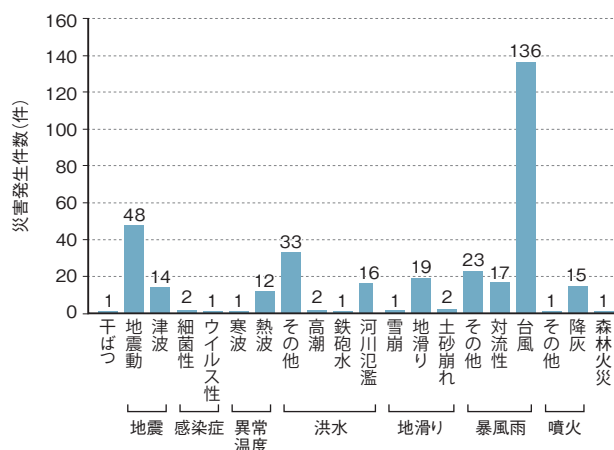


図2 国内の自然災害による非住宅建築物の被害棟数



一方、欧米では大規模テロが発生し、国内でも地下鉄サリン事件などのテロが発生している。米国では2001年のニューヨーク世界貿易センタービルへのテロ以来、建物のオーナーやワーカーは建物の安全により注目するようになってきている。

このように自然災害やテロなどの犯罪が起きることが想定される中、ZEBを実現する技術においても、自然災害や犯罪に対応できる性能をできるだけ備えておく必要がある。環境負荷を最小にしながら建物やそこで働くワーカーなどの安全を確保する設計が求められている。

3. 自然災害・犯罪リスク対策技術

ZEBに採用されている省エネルギー技術を表1に示す。

一方、自然災害発生時には、地震動、停電、断水、寒さ、暑さ、強風、洪水、火山灰などのリスクが、犯罪では不審者の接近、爆発、外気の汚染などのリスクが考えられる。

このようなリスクに対して、ZEBの技術でそのまま対応できたり緩和できたりする（シナジー）項目にSを、ZEBの技術によって自然災害や犯罪リスクが高まること（トレードオフ）が懸念されるために対策が必要と考えられる項目にTを付した³⁾（表2）。これらについて以下に説明する。

表1 ZEBを実現する省エネルギー技術

負荷の抑制	設備システムの高効率化など
断熱材	照明
Low-E複層ガラス	LED・有機EL照明
エアフローウィンドウ	タスク・アンビエント照明
高断熱サッシ	空調
クールチューブ	高効率空調機
ルーバー・庇	放射冷暖房
自然換気	タスク・アンビエント空調
外気冷房	デシカント空調
昼光利用	搬送
ブラインド制御	VAV・VWV
ライトシェルフ	大温度差送水
光ダクト	高効率ポンプ
採光窓フィルム	熱源
採光クロス（光の拡散・反射）	高効率冷凍機
蓄エネルギー	高効率ボイラ
蓄電	コージェネレーションシステム・燃料電池
蓄熱	給湯
再生可能エネルギーなど	ハイブリッド給湯 （太陽熱+高効率ヒートポンプ）
太陽光発電	BEMSの利用
太陽熱利用	エネルギー管理
河川水利用	最適制御
下水熱利用	面的利用
地中熱利用	建物間融通
	清掃工場排熱利用

3.1 地震動リスク対策

地震動に対しては、太陽光発電設備、太陽熱集熱設備、蓄電池設備などの設備機器やダクト・配管の耐震固定を行う。ZEB技術として使用されるようになってきている光ダクトや光ディフューザーなどに対しても、耐震固定が必要になる。また太陽熱を蓄える貯湯タンクでは、水の質量が大きいため、地震時に大きな外力がかかる。このため貯湯タンク基礎部分の耐震対策が必要になる。また、貯湯タンク内部の水が地震時に揺れてスロッシングを起こし、貯湯タンクを壊すことも考えられるので、これへの対策も必要になる。

3.2 停電リスク対策

太陽光発電設備をオンサイトで備えていれば、停電時にもビル内に電力を供給できる。

一方で、太陽光発電の供給電力に見合うように電力の供給先を制限したり、商用電源が停止しても自立してビル内に給電できるようにしたりしておくことが必要になる。

また昼光利用の備えがあれば、外が明るい間はビル内の照度を確保でき、太陽光発電などの供給電力をより長時間重要な負荷に供給できる。

3.3 断水リスク対策

断水時には、一般的には地下にある大容量蓄熱槽の水をトイレの洗浄などの雑用水に利用できる。2011年の東日本大震災でも、実際に蓄熱槽の水がトイレの洗浄に使われた例があった。

蓄熱槽の水を雑用水に利用できるように配管をしておくことも考えられるが、その際は上水と混ざらないように（クロスコネクションが起こらないように）する必要がある。また蓄熱槽容量に見合うように、給水先を制限することが必要になる。

改修しないまでも、断水時に蓄熱槽のマンホールから水をバケツでトイレに運ぶこともできる。この場合に備えて、マンホールに落下防止網を設置しておくことも必要となる。

3.4 寒さ・暑さリスク対策

冬期に災害が発生して電気やガスの供給が止まると、暖房が行えなくなるが、高断熱で蓄熱・集熱、自然採光による日射熱取得などが行えれば、室内環境を一定の水準以上に維持できる。

2011年の東日本大震災の際にも、住宅での例であるが、高断熱仕様では外気温度が $-5\sim-8^{\circ}\text{C}$ でも室内温度は $16\sim 20^{\circ}\text{C}$ に保たれていた。一方、低断熱仕様の住宅では、夜間の室内温度が 6°C だったり、日中、外気温度の方が室内温度より $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 暖かかったり、室内温度が外気温度と同じというような結果になっている⁴⁾。

夏期や中間期の災害では、自然換気、日射遮蔽や緑化により、暑さ対策が行える。

3.5 強風リスク対策

自然採光のために大型のガラス窓が採用されるが、強風時の飛来物によりガラスが飛散する可能性がある。窓フィルムを貼付すればガラスを強化すると共に、破壊された場合にも窓ガラスの飛散を防止する役割を果たす。

同時に太陽熱による熱負荷やグレアを低減する機能を持つ窓フィルムを採用すれば、省エネルギー性や快適性が増すことになる。台風などの強風時には、ポルトガルのZEBプロジェクトSolar21⁵⁾で採用されているような外部ブラインドは、室内側のブラインドより日射負荷に対して効果はあるが、強風の被害を受けやすい。耐風性の高い外部ブラインドの採用や、強風時の巻き上げなどを行う必要がある。また、庇の方がブラインドより耐風性については優れていると考えられる。フランスのZEBプロジェクトElithisタワー⁵⁾で使用されているような日射遮蔽用のシェードも、強風時の飛散物対策になると考えられる。

建物の屋上や、屋根に設置された太陽光パネルが強風により飛散する被害も発生している。多くは太陽光パネルが専用架台から外れるものである。このような被害を防止するために、架台部材の強度や太陽光パネルの固定部の強度試験が正しく行われているかを確認すると共に、固定部の亀裂・変形の有無を点検し、必要に応じて補強する必要がある。

建物周囲の緑化は強風を緩和する効果がある一方、人工地盤上の樹木は強風で倒れないよう対策を行う必要がある。

3.6 洪水リスク対策

国土交通省の地下空間における浸水対策ガイドライン⁶⁾には、換気口は設定浸水高さ以上の高さに設けるか、防水板などにより閉鎖できるようにとある。地中熱利用冷房用や自然換気用の外気取り入れ口で、浸水したとき被害が発生することが予想される場合には、このガイドラインに従う必要がある。

電気自動車は、停電時の電力供給や電力のピークカットのために、蓄電池の充電電力をビルに供給することが可能であるが、「電気自動車・プラグインハイブリッド自動車のための充電設備設置にあたってのガイドブック」⁷⁾には、電気自動車充電用コンセントの設置位置について、

表2 ZEB技術と自然災害・犯罪リスク

ZEB技術	リスク											
	地震動	停電	断水	寒さ	暑さ	強風	洪水	噴煙	不審者接近	大気汚染	爆発	...
高断熱				S								
外気利用 自然換気					S		T	T		T		
採光	T	S		S		T					T	
日射遮蔽					S	S/T						
集熱	T			S								
蓄熱	T		S	S							S	
発電	T	S				T	T	T				
蓄電	T	S					T					
緑化・池					S	S/T			S/T		S	
...												

操作性や浸水防止の観点から地上高1m前後とすることが考えられ、積雪地の屋外駐車場の場合にはさらにコンセントを高い位置に設置することも考えられるとある。コンセント位置については、これに従った設置が必要となる。

スウェーデン・ストックホルムの港湾地区ロイヤル・シーポートでは、2030年までに化石燃料を一切使わない港町につくり変える再開発プロジェクトが進められている。この敷地では気候変動による豪雨対策を視野に入れており、土地の2m以上のかさ上げ、大容量の排水設備などが要求され、地区全体での洪水対策が行われている⁸⁾。

3.7 火山灰リスク対策

日本は世界有数の地震国であると同時に有数の火山国で、111の活火山がある。火山はいったん噴火すると火山近傍はもちろん、広域にわたる火山灰の降灰で甚大な被害をもたらす。特に都市部への降灰は、交通機能の麻痺、発電設備や送電設備の障害による停電、上下水道の機能不全をもたらす。

太陽光発電設備も降灰により発電できなくなる。降灰が落ちていたら、太陽光パネルの清掃を行い、火山灰は袋に入れて回収してもらう必要がある。

中間期や夏期、夜間などに外気冷房を行っている例も多いが、火山噴火の際に火山灰を取り入れてしまう危険性があるため、外気取り入れを停止し、開口を閉鎖する必要がある。アイスランドのデータセンターの例では、取り入れ外気中に噴煙が検知されると、火災早期検知システムを利用して外気取り入れを停止するようにしている。

3.8 犯罪リスク対策

環境配慮のために敷地周囲を緑化することにより、重要建物を人目につにくくしたり、テロなどによる爆発の影響を最小限にできる効果がある。一方で視界を妨げることになる点にも配慮する必要がある。敷地外周部に池を設ければ、建物周囲の温度を下げる効果があると共に、車両や歩行者によるアクセスを制限できる。

自然換気は電力を必要としないため、停電時や電力ひっ迫時にも、居住者は快適な環境を維持できる。一方、外部の汚染物質やCBR（化学、生物、放射性）物質を取り込むことになる。これらを室内に取り込まないようにするためには、外部の汚染物質濃度が高い場合やテロの危険性が高い場合には自然換気用の換気口はもちろん、外気取り入れ口や排気口を閉鎖する対策が必要になる。

日中に得られる太陽熱を集熱して蓄熱し、夜間に利用して省エネルギーを図る蓄熱壁（トロンブウォール）は、鉄筋コンクリートで構成されていれば、テロなどによる爆発を防御することが可能になる。

4. おわりに

ZEBなど建物の省エネルギーを図るための取り組みが進められている。これらに採用される技術には、省エネルギー性はもちろんのこと、自然災害や犯罪のリスクに対応できるようにしておく必要がある。

自然災害発生時には、地震動、停電、断水、寒さ、暑さ、強風、洪水、火山灰などのリスクが、犯罪では不審者の接近、爆発、外気の汚染などのリスクが考えられる。

このようなリスクに対して、ZEBの技術でそのまま対応できたり緩和できたりする項目（シナジー）と、ZEB技術によって自然災害や犯罪リスクが高まることが懸念される項目（トレードオフ）について考察を行った。

今後、省エネルギーのための取り組みと共に、各種自然災害や犯罪リスクにも対応できるように検討を行うておく必要がある。

【参考文献】

- 1) NTTファシリティーズ総合研究所EHS&S研究センター 編著：施設のリスクマネジメントハンドブック、日経BPコンサルティング、2017.7
- 2) EM-DAT: The Emergency Events Database - Universite catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, Belgium Created on: February 08, 2018
- 3) R. Paradis et al. Balancing Security/Safety and Sustainability Objectives, WBDG, <http://www.wbdg.org/resources/balancing-securitysafety-and-sustainability>, 2018.2.7
- 4) 南：ライフラインが断たれたときの暖房と室温低下の実態調査、建築技術、pp.58～59, 2011.10
- 5) 大島一夫、海藤俊介：ビルの省エネルギー、ZEBに向けた国内外の動向、NTTファシリティーズ総研レポート、No.25, pp.35～40, 2014.6
- 6) 国土交通省：地下空間における浸水対策ガイドライン、http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/chika/index.html, 2018.2.14
- 7) 経済産業省、国土交通省：電気自動車・プラグインハイブリッド自動車のための充電設備設置にあたってのガイドブック、2017.6, <http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evphv/material/pdf/guidebook.pdf>, 2018.2.16
- 8) 大島一夫、杉浦正爾：欧州のスマートシティ・施設における環境・エネルギーへの取り組み、NTTファシリティーズ総研レポート、No.24, pp.82～87, 2013.6



おおしま かずお
大島 一夫

EHS&S 研究センター長
博士(工学)、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

Synopsis

Safety and Security Performance of ZEBs

Kazuo OSHIMA

The unrelenting increase of energy consumption by facilities such as office building in Japan has given rise to the promotion of ZEB (Zero Energy Building) initiatives. The diverse technologies used to realize ZEBs are required to realize not only energy saving performance, but also elements such as performance to cope with the disaster and crime risks (safety and security performance), economy, maintainability and renewability. Among these various considerations, this paper examines the safety and security performance of ZEBs.

Japan is prone to a great many natural disaster risks including earthquakes, tsunami, heavy rain, typhoon, flooding, landslides, high tides, heavy snow, volcanic eruptions and lightning. On the other hand, large-scale acts of terrorism are a threat in Europe and America, and such acts have also been perpetrated in Japan, an example of which was the release of sarin gas in the subway. Building owners and office workers are becoming ever more the focus of attention to the safety of the buildings.

Some energy-saving technologies used in ZEBs are able to cope with or mitigate the risk of events such as natural disasters or crimes such as acts of terrorism as they occur (synergy) and other technologies require measures to handle such risks amid concerns over their exacerbation (trade-off).

Measures to deal with seismic motion need to be able to secure elements such as light ducts and light diffusers that have come to be used as ZEB technologies against earthquakes and cope with large external forces and sloshing in tanks that store solar heat.

To deal with power outage risks, installation of photovoltaic power generation equipment enables the supply of power in buildings during power outages. The use of daylight-utilizing equipment ensures lighting in the building during daylight hours and longer supply of power from sources such as photovoltaic power generators to critical loads.

To cope with suspension of water supply, water in heat storage tanks can be used for various purposes such as flushing toilets.

To cope with the cold and heat, acquiring solar heat in the event of a disaster in winter by means of heat storage and accumulation and natural lighting with high insulation makes it possible to maintain indoor environments better. Measures such as natural ventilation, solar shading and greening can be applied to control heat in the event of disasters in the summer, or interim seasons.

Large glass windows for natural lighting may be broken during a typhoon, producing flying glass shards. To deal with the risk of typhoons, applying films to windows not only reinforces the glass, but also serves to prevent the production of flying glass shards even if windows break.

Coping with floods requires measures such as setting up inlets for external air for purposes such as cooling using geothermal heat and natural ventilation at locations higher than the set flood level or enclosed with waterproof plates. If power supply to the building using electric vehicle storage batteries is available, power outlets used to charge batteries need to be installed at locations higher the flood level.

To deal with volcanic ash, if photovoltaic power generation equipment becomes inoperable due to volcanic ash, photovoltaic panels need to be cleaned after the ash has settled and collected in bags. If air conditioning uses outside air, the outside air intake must be stopped and openings blocked.

As anti-crime measures, while greening of the periphery of the premises as an environmentally-friendly measure protects important buildings from prying eyes and is effective in minimizing the effects of explosions resulting from acts of terrorism, on the other hand, consideration must also be given to the aspect of obstruction of the line of sight. In addition, natural ventilation also presents the risk of drawing in substances such as pollutants or CBR (chemical, biological radioactive agents). To prevent the intake of such matter, in places where, for example, there is a high concentration of pollutants outside, or there is a serious threat of terrorism, measures need to be taken to block ventilation ports used for natural ventilation needless to say, but also exhaust ports. In reinforced concrete buildings, thermal storage walls (Trombe wall) can serve to provide protection from explosions resulting from acts of terrorism.

As can be seen from the above, as well as energy-saving initiatives, consideration also needs to be given to the ability to deal with risks posed by events such as natural disasters and crime.