

「省エネルギーと安全・安心」の シナジー・トレードオフ

街づくりリサーチ部

大島 一夫

[Keyword]

ZEB 自然災害 リスク BEMS 降灰 感染症

1. はじめに

本レポートでは、建築物に求められる「省エネルギー性能」と「安全・安心に関わる性能」のシナジーとトレードオフについて述べる。ここで、安全・安心とは、自然災害リスクや犯罪リスクに対する安全・安心を指す。省エネルギー性能が自然災害リスクや犯罪リスクに対応できるのであれば、これをシナジーと呼ぶことにし、リスクに対して脆弱なので対策が必要になるのであれば、これをトレードオフと呼ぶ。

2. ZEB

2.1 ZEBに求められる性能

ZEBに求められる性能については、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（安全・安心性能）、経済性、保守性、更新性などが求められる（図1）。

本レポートでは、これらのうち、ZEBの省エネルギー性能と安全・安心性能について考察する。

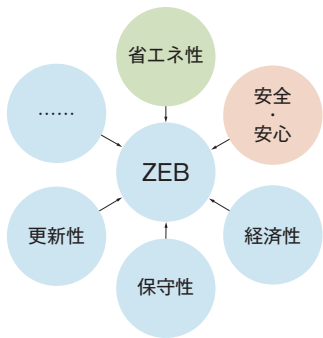


図1 ■ ZEBに求められる性能

2.2 ZEBを実現する省エネルギー技術

ZEBを実現する省エネルギー技術を表1に示す。

建築側で備える技術としては、外皮断熱、緑化、日

表1 ■ ZEBを実現する省エネルギー技術 赤字：本レポートで紹介

建築省エネルギー技術	
外皮断熱	
緑化	
日射遮蔽	水平庇・ブラインド
自然通風利用	
昼光利用	トップライト・ハイサイドライト 光ダクトシステム
配置計画（アトリウム、ボイド等）	
設備省エネルギー技術	
空調設備	熱源機器・システムの高効率化 冷却塔制御 搬送設備の高効率化 高効率空調機 蓄熱システム コージェネレーションシステム 個別分散システムの高効率化 全熱交換器 外気冷房システム CO ₂ 濃度による外気量制御
照明設備	照度の適正化 高効率照明 照明制御
換気設備	高効率電動機 送風量制御
給湯設備	高効率機器 節湯システム
昇降機	WVF制御 電力回生制御
受変電設備・コンセント	
エネルギーマネジメント	BEMS
再生可能エネルギー技術	
太陽光発電	系統連系型 防災型（蓄電池併設） 独立型
風力発電	

文献1）をもとに作成

射遮蔽、自然通風、昼光利用などがあり、建築設備側で備える性能としては、空調、照明、換気、電気などの省エネルギー化、エネルギーマネジメントシステムによる省エネルギー制御などがある。また、再生可能エネルギー設備を設置することもある。

3. 自然災害リスク

3.1 国内の自然災害による被害状況

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、新潟福島豪雨により、また2007年には新潟県中越沖地震、2011年には東日本大震災により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。

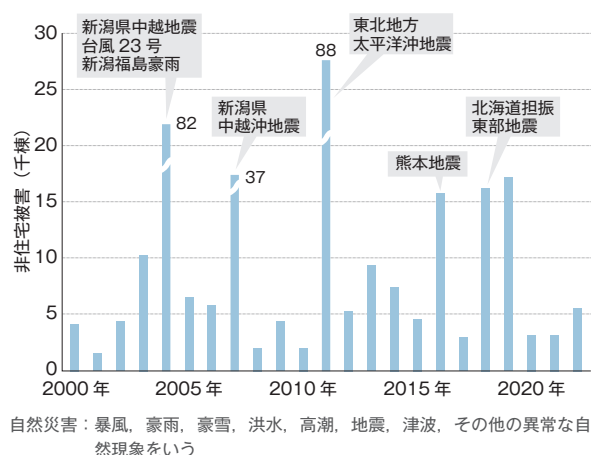


図2 ■ 国内の自然災害による被害状況 (非住宅)

3.2 国内の自然災害発生件数と平均被害額

国内の1900~2018年の自然災害の種類別の発生件数と平均被害額を図3、4に示す。

国内の自然災害の発生件数は、台風による被害が突出して多く、次いで地震が多いことがわかる。ウイルス性の感染症は1件となっているが、2018年までのデータなのでCovid-19は含まれていない。

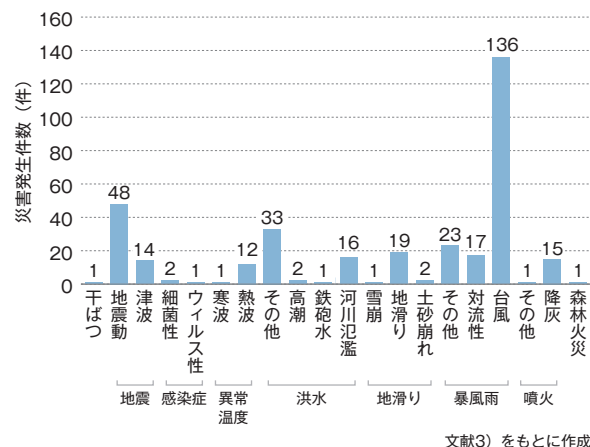
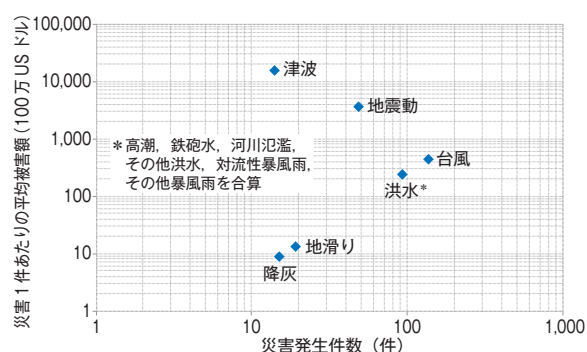


図3 ■ 国内の自然災害発生件数 (災害別, 1900~2018年)

図3の災害発生件数を横軸に、縦軸に災害1件あたりの平均被害額を100万USドルの単位で表したグラフを図4に示す。同図では高潮、鉄砲水、河川氾濫等を、洪水としてまとめて示した。

津波、地震動、台風は左上から右下にプロットされる。発生頻度が少ないが被害額が大きいリスクや、被害額がそこまで大きくないが発生頻度が多いリスクは、他のリスクより優先して対策をとることが必要になる。これに従うと、降灰リスクへの備えの対策の優先度が下がってしまうことになる。しかし火山噴火の間隔は数百年から数万年間隔といわれており、これを考慮すると、発生頻度は非常に少ないが、一旦噴火すると甚大な被害額になる噴火への備えは重要である。



出典：EM-DAT: The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, Belgium

図4 ■ 国内の自然災害の発生件数と災害1件あたりの平均被害額 (1900~2018年)

3.3 自然災害による被害

1) 暴風

平成30年（2018年）台風21号によって、大阪の超高層ビルの窓ガラスが飛来物で割れる被害が発生した⁴⁾。窓ガラスが飛来物で割れるようなことが起きると、ガラスの破片でけがをしたり、電子機器が雨で濡れて使えなくなったり、書類が屋外に吸い出されてしまうといったリスクが考えられる。超高層ビルではないが、この台風では大阪のマンションの上層階で、飛来したスレート材が窓ガラスを突き破り、破片が当たった方が亡くなっている。

2) 降灰

富士山が噴火すると、首都圏にどの程度の降灰があるのかのシミュレーションが行われている⁵⁾。

シミュレーションでは、過去の噴火の降灰分布を再現できるように、いくつかのパターンを計算しているが、人口や資産が比較的多い地域に降灰が集中するケースについてもその結果が示されている。新宿区付近では、15日間の累積で約10cmの降灰となる。

火山灰は雪のように溶けることがなく、下水管を詰まらせる恐れがあるため、下水に流すこともできない。ガラス質なので眼に入ると眼を傷める。少しの降灰でもクルマはスリップして走れなくなり、水分を含むと電気伝導性が生じてショートの原因になるなど、非常にやっかいな物質である。

3) 停電

2018年9月北海道胆振東部地震では北海道全域がブラックアウトした。もしこの停電が冬季に発生していたら、暖房の供給が止まり、凍死者が多く出たのではないかとみられている。2019年台風15号では、千葉県が長期間の停電に見舞われた。この停電では完全に復旧するまで19日間かかり、残暑のなか多くの人がエアコンを使えず、長期間にわたる停電の影響で熱中症などにより8人の方が亡くなっている。

多くの機器が電気で動くようになり、CO₂低減のためにさらなる電動化の取り組みも行われており、長

時間停電への備えは重要になっている。

4) 感染症

感染症は社会に大きな影響を与えると以前から警告されてきたが、新型コロナウイルス感染症が、全世界にこれほどまでに大きな影響を与えるとは想定していなかった。

新型コロナウイルス感染症の日本での新規感染者数は周期的に増加している。2023年5月に感染症の分類が2類から5類に移行して、全数調査から定点観測になったが、この傾向は変わらない⁶⁾。新型コロナウイルス感染症への対策はもちろん、新たな感染症への備えも重要になる。

4. 省エネルギー技術とリスク

4.1 シナジーとトレードオフ

3章では自然災害によるリスクの例を示した。このようなリスクに対して、ZEBの省エネルギー性能でそのまま対応できたり緩和できたりする項目にS（シナジー）を、ZEBの省エネルギー性能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ために対策が必要と考えられる項目にT（トレードオフ）をつけた（表2）。

4.2 シナジーとトレードオフの事例

1) 外皮断熱×寒さ（S）

高断熱ビル（U値<0.25W/（m²K））の事例では、空調停止後の室温低下は1日あたり1.5℃で、その間の外気温度は最低で-12℃、平均でも-5℃であった⁴⁾。

ZEBのような省エネルギービル、高断熱ビルは、エネルギーリソースが不足して空調機を稼働できない状況においても室温の変化が緩やかになることから、レジリエンスの観点からも効果を発揮、すなわちシナジーを発揮することになる。

2) 緑化×暑さ（S）

ZEBの省エネルギー技術としてあげられている緑化は、日射を遮蔽したり、蒸散作用により表面温度を下げたりして、暑さ対策に効果を発揮、すなわちシナ

表2 ■ 省エネルギー技術とリスク

■ : 事例紹介

省エネ技術	リスク										
	地震動	洪水	暴風	降灰	停電	断水	寒さ	暑さ	不審者	爆発	感染症
外皮断熱	—	—	—	—	—	—	S	S	—	—	—
緑化	—	S	S/T	—	—	T	—	S	S/T	S	—
日射遮蔽	—	—	S	—	—	—	—	S	—	—	—
昼光利用	T	—	—	—	S	—	—	—	—	—	—
空調機	T	—	—	T	T	T	S	S	—	—	—
蓄熱（壁）	T	—	—	—	—	—	S	S	—	S	—
CGS	T	—	—	T	S	T	S	S	—	—	—
全熱交換器	T	—	—	T	—	—	S	S	—	—	T
外気冷房	—	—	T	T	—	—	—	S	—	—	—
BEMS	T	T	—	S	S	S	S	S	—	—	S
太陽光発電（蓄電池）	T	T	—	—	S	—	—	—	—	—	—

S: ZEB技術が効果を発揮できる
T: ZEB技術に対策が必要

ジーを発揮する。

緑化はこれ以外にも良好な景観の形成、洪水の軽減、生き物の保全などに効果を発揮する。

3) 日射遮蔽×暴風（S）

日射遮蔽は、暴風時に飛来物を防ぐ効果、すなわちシナジーを発揮する。

4) 昼光利用×地震動（T）

光ダクトは、外壁で集光された太陽光をダクトを通して室内に導くことによって照明エネルギーの節減を図る。

光ダクトは、空調用ダクトと同じように地震時の揺れ対策を施す必要があるため、光ダクトによる昼光利用と地震動はトレードオフの関係になる。

5) 空調機×降灰（T）

空調室外機、冷却塔、エアフィルタがどのくらいの累積降灰量で運転できなくなるのか実験で測定している⁸⁾。

累積降灰量が概ね5cmを超えると、空調室外機、冷却塔、エアフィルタの被害確率はほぼ100%となる。3.3節2)の富士山噴火の新宿区での累積降灰量が10cmになることから、空調機と降灰はトレードオフの関係になる。

6) 蓄熱×爆発（S）

ガラス窓に透過型の太陽電池を貼って、透過した太

陽光をレンガやコンクリートでできた蓄熱壁に蓄熱する外壁モジュールがある。

蓄熱した太陽エネルギーを夜間に放熱させることで、暖房用のエネルギーを節減できる。この質量のある蓄熱壁により、近くで爆発があっても室内の安全を守ることができ、シナジーを発揮する。

7) CGS×地震動（T）

CGSはエネルギーの利用効率を高めるが、エンジンや発電機・周辺機器の耐震対策をとらないと地震時に運転ができなくなる。すなわちCGSと地震動はトレードオフの関係になる。

8) 全熱交換機×感染症（T）

全熱交換機は、排気のエネルギーを熱交換して給気側に移動させて省エネルギーを図る。一方で排気側に含まれる細菌やウイルスも給気側に移動するリスクがある。

このため、パージセクターの位置確認や、シールの劣化点検、給気側より排気側の圧力が低くなるようなファン位置の選定、リーク試験などが必要になる。

このように、全熱交換機と感染症はトレードオフの関係になる。

9) 外気冷房システム×降灰（T）

データセンターでは、外気冷房システムにより空調用エネルギーの節減を図るケースがある。

火山の近くにあるデータセンターでは降灰のリスクがあるため、外気取り入れガラリに高感度煙感知器の配管を敷設して、降灰を検知すると外気の取り込みを停止する対策を行っている。

このように外気冷房システムは、降灰とはトレードオフの関係になる。

10) BEMS×降灰（S）

BEMSによる省エネルギー制御は一般的に行われているが、火山の降灰がある施設では、噴火と降灰を監視するカメラを設置して、降灰時にはBEMSにより空調用冷却水のブロー水量を増やす制御を行っている⁹⁾。

このようにBEMSの制御機能は、降灰のリスクに対してシナジーを発揮する。

11) 太陽光発電（蓄電池併設）×停電（S）

蓄電池を備えた太陽光発電設備では、電力料金の安い夜間電力で蓄電池を充電し、電力料金の高い昼間に太陽光発電の電力と併せてピークカットやピークシフトを行っている。

この太陽光発電設備を利用して、停電時には、非常に必要な負荷に対して、昼間は太陽光発電で給電しながら余剰電力で蓄電池を充電し、太陽光発電の電力で賄えない時間帯に蓄電池から給電が行える。

このように蓄電池を備えた太陽光発電は、停電にも効果を発揮、すなわちシナジーを発揮する。

5. おわりに

ZEBを実現する省エネルギー技術、自然災害による被害例（リスク）について紹介した。次に省エネルギー技術とリスクのシナジーとトレードオフ例として、外皮断熱と寒さ、緑化と暑さ、日射遮蔽と暴風、昼光利用と地震動、空調機と降灰、蓄熱と爆発、CGSと地震動、全熱交換機と感染症、外気冷房システムと降灰、BEMSと降灰、太陽光発電（蓄電池）と停電を示した。

ZEBの省エネルギー性能と、自然災害リスクや犯罪リスクがトレードオフの関係になる場合には、リス

クの発生頻度と、リスクが発生したときの被害額を勘案して、発生頻度が高く、事業への影響が大きいリスクから対応策をとることになる。また、すべてのリスクを回避したり低減したりすることができるわけではないので、これらについては保険などによるリスクの移転やリスクが残っていることを伝えるリスクの受容などを図ることが必要になる（図5）。

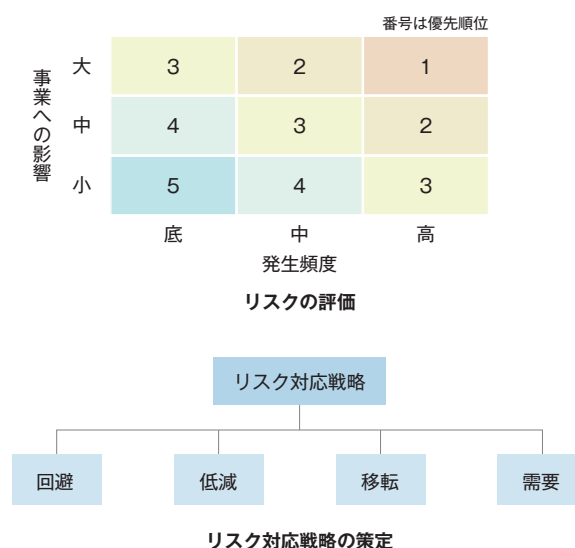


図5 ■ リスクの評価と対応戦略

[参考文献]

- 1) ZEBロードマップフォローアップ委員会編著：ZEB設計ガイドラン【ZEB Ready・中規模事務所編】
- 2) 総務省消防庁：令和6年版消防白書
- 3) EM-DAT：The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, Belgium
- 4) 丸山 敬（日本風工学会）：平成30年台風21号による強風・高潮災害の実態，日本学術会議主催学術フォーラム/第7回防災学術連携シンポジウム，平成30年夏に複合的に連続発生した自然災害と学会調査報告，2019.3
- 5) 中央防災会議防災対策実行会議大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ：大規模噴火時の広域降灰対策について―首都圏における降灰の影響と対策―富士山噴火をモデルケースに～（報告）（令和2年4月7日公表）別添資料1降灰シミュレーションのパラメータと計算結果，2020.4
- 6) 厚生労働省：新型コロナウイルス感染症に関する報道発表資料（発生状況等）2023年6月～，<https://covid19.mhlw.go.jp/>，2024.11.20
- 7) 北村俊貴：地方都市の中小規模オフィスにおけるレジリエンスに関する取り組み紹介，空調調和衛生工学，p.31，Vol.98，No.3，2024.3
- 8) 諏訪 仁ほか：火山噴火の降灰による建物被害評価法，空調調和衛生工学，p.51，Vol.98，No.3，2024.3
- 9) 増田哲男ほか：南九州地区総合病院の省エネルギーシステムに関する実績・性能評価（第1報）建物概要と省エネルギーシステム計画，空調調和衛生工学会大会学術講演論文集，第8巻，pp.369～372，2016



■ 大島 一夫 Kazuo Oshima

街づくりリサーチ部上席研究員，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，日本建築学会・空気調和・衛生工学会会員，街づくり，環境，リスクマネジメントに関わる調査研究に従事

■ Abstract

Synergy and trade-offs between energy efficiency and safety & security
Kazuo Oshima

This paper demonstrates the synergy and trade-offs between the energy efficiency performance and safety and security performance required of buildings.

Here, safety and security refer to those aspects related to natural disaster risks and crime risks. If energy efficiency performance

can address natural disaster risks and crime risks, we will refer to this as synergy. If energy efficiency performance is vulnerable to risks and countermeasures are necessary, we will refer to this as a trade-off.

This report introduces energy efficiency technologies for achieving ZEB and examples of damage caused by natural disasters (risks). Next, as examples of synergies and trade-offs between energy efficiency technologies and risks, we showed the following: exterior insulation and cold, greening and heat, solar radiation shielding and strong winds, daylight utilization and seismic motion, air conditioners and ash fall, heat storage and explosions, CGS and seismic motion, total heat exchangers and infectious diseases, outdoor air cooling systems and ash fall, BEMS and ash fall, and solar power generation (with battery storage) and power outages.