



高機能化するガラスは
災害に強く、省エネにも貢献
建物の機能維持に
重要な役割を担う

東京大学
教授・博士（工学）
清家 剛先生

地球環境にやさしい住まいづくりに欠かせない高機能ガラス。
建築の研究に携わる研究者のみなさまに、現在と未来の建築物や、窓について語っていただきました。

Profile

清家 剛（せいけ つよし）

教授・博士（工学）

大学院新領域創成科学研究科

社会文化環境学専攻

東京大学工学部建築学科卒業後、東京大学大学院へ進み、工学系研究科建築学専攻修士課程を修了。東京大学工学部建築学科助手を経て、1999年4月より現職。日本建築学会所属。JASS17ガラス工事改定小委員会委員、安全・安心ガラス設計施工指針改定委員会委員長などを務めている。



▶ 過去の災害から建物における法規・規制が大きく変化を遂げた

——清家先生のガラスとの関わりと、建物の災害調査に携わられたきっかけをお教えてください。

大学院在学時から、ガラスを使った開口部をどう設計するかについて関わってきました。ガラスメーカーの方と最初に仕事をしたのは、ビルのファサードガラスの耐震性についての研究会です。

その後、私が30歳の時に阪神・淡路大震災が発生し、私の恩師である坂本功先生（現東京大学名誉教授）が現地調査に入るになりました。坂本先生はガラスや天井など非構造部材の耐震の専門であり、木造建築物に関する大家ですが、地震の被害が甚大であったため、木造建築物の被害調査に専念せざるをえなくなりました。私は坂本先生より指示を受け、地震が発生した2日後の1月19日には現地入りし、ガラスなどの非構造部材の被害調査を開始したのです。それまでガラスの製造方法や特性などは研究をしていましたので、壁やガラスをいかに安全に設計すべきか、という知識はありました。ですが私にとって、この調査が非構造部材の耐震性能について本格的に取り組むきっかけになりました。ガラスだけでは防災は語れず、建物が防災に関してどのような目標を持ち、どのような安全性を目指すのかという視点が重要です。私は阪神・淡路大震災以降、多くの地震災害の調査に関わり、建物の耐震性や安全性がダイナミックに変化する時代を知ることができました。

——日本で起こった幾多の災害を通して、建物、中でもガラスに関する考え方が徐々に変わってきたと聞きました。

建物における安全性の考え方は、大きく3つあります。第一は「人命保護」で、命を守ることが最重要です。第二は「財産保護」。例えばガラスが割れたとしても建物が使い続けられれば財産が残ります。第三は建物を「機能維持（継続使用）」することで、建物の耐震性能が向上するとガラスも割れず、天井も落ちないため、継続した使用が可能に。この「機能維持（継続使用）」が最終目標になってきています。



——過去の大きな地震被害から、法規・規制が順次整備され、ガラスをはじめ建物の高機能化が進んだと伺いましたが、その代表的なものを教えてください。

確かにその傾向はあります。それぞれの災害ごとに説明しましょう。

◆1978年 宮城県沖地震

1978年に宮城県沖を震源とするM7.4の地震が発生しました。この地震では多くの住宅や建築物の構造が壊れ、ガラスも数多く割れました。この地震をきっかけに、1981年に現在の耐震設計の基本となる新耐震設計法が建築基準法で定められました。同年5月以降に確認申請された建物は新耐震設計法に則っているため、ある程度安全とされています。しかしながら、30年以上経過した今でも、建築基準法の耐震のクライテリア（判断基準）は1981年当時のままとなっています。

◆1995年 阪神・淡路大震災

1995年に兵庫県南部地震と命名された淡路島北部エリアを震源とするM7.3の地震が1月17日に発生しました。この地震では、1981年に定められた新耐震設計法より前に建築された建物が数多く倒壊し、多くの方が亡くなりました。対策として古い建物を建て替える、あるいは耐震補強をする方向性が示され、1995年10月に耐震改修促進法が制定されました。古い建物の耐震改修を行うようになったことが一つめの大きな流れです。

また阪神・淡路大震災では、建築基準法を守っていても壊れた建物が多くありました。新耐震設計法以前に建てられた建物の被害に比べると、それ以降に建てられた建物の被害ははるかに少なかったのですが、壊れた建物があったことで阪神・淡路大震災以降、建築基準法を守るだけでなく、免震、制震など、より耐震性能を強くするために高いクライテリアの必要性が論じられたのです。結果、私も作成に関わった「官庁施設の総合耐震計画基準（現官庁施設の総合耐震・対津波計画基準）」が1996年に制定されました。この基準には3つのランクがあり、例えば病院や防災拠点にはⅢ類の建築基準法を守るレベルではなく、Ⅱ類（建築基準法の1.25倍）やⅠ類（同1.5倍）が必要という、より高いレベルの耐震性が示されました。2000年頃から定着し、公共施設はⅡ類、重要な公共施設はⅠ類で建てられています。この考え方は、2000年4月に施行された「住宅の品質確保の促進等に関する法律」にも反映され、住宅における耐震等級として、等級1（建築基準法を守るレベル）、等級2（建築基準法の1.25倍）や等級3（同1.5倍）が示されています。この震災をきっかけに、公共施設の構造をより強くすることが一般化し、さらには民間施設や住宅にも波及したことで耐震基準が上がったことが、二つめの大きな流れです。

◆2011年 東日本大震災

2011年に宮城県沖と福島県沖の3つの震源によるM9.0の地震が3月11日に発生しました。この地震では、建物が継続使用できなくなるリスクが初めて露わになり、「機能維持（継続使用）」の重要性が注目されました。阪神・淡路大震災をきっかけとした対策によって、この地震では建物が大きく倒壊することは極めて少なかったのですが、天井が脱落したケースが2000件以上あったといわれており、それによって70人以上の方がケガをされ、5人の方が亡くなりました。これをきっかけに、天井が脱落しない対策に注目が集まりました。最重要視される「人命保護」の観点を踏まえると、大きな地震の際に建物の構造が壊れなくても、人が亡くなる原因として高いところから重いものが落ちることが挙げられます。東日本大震災をきっかけに、外壁、ガラス、天井が高いところから落ちないような設計手法の必要性について議論され始めました。

結果、2014年4月に「天井脱落対策に係る一連の技術基準告示（国土交通省平成25年告示第771号他）」が施行され、高さ6m超、広さ200㎡超で、重さが2kg/㎡を超える天井は特定天井と定義され、建築基準法で厳しい耐震基準を設けることになりました。

この天井に関する基準は、前述した「人命保護」、「財産保護」、「機能維持（継続使用）」の中の「人命保護」を担保するために施行されたと言えます。

一方、この地震では、外壁やガラスが破損し高いところから落ちてきた事例も多くありましたが、幸い人命を損ねた事例はなかったといわれています。外壁やガラスを壊さない、割らない、落とさないための耐震基準は以前から存在し、既に「人命保護」は担保されていたことも理由のひとつです。しかしながら、以前の古い基準で建てられた建物において、外壁やガラスの破損事例が多く発生したことも事実で、このような古い建物を今後できるだけなくしていくことが、今の大きな流れだと考えています。

上述の通り、人命を損ねるリスクはなくなりつつあるため、目指すところはガラスが1枚も割れず、天井が落ちないことで「機能維持（継続使用）」が図られる、かつ「財産保護」ができていることです。

東日本大震災以降、建物として何も壊れないことがクライテリアになってきたことが、三つめの大きな流れです。

——2016年に起きた熊本地震では、さらに「機能維持（継続使用）」の重要性が浮き彫りになったと伺いました。

熊本県北東部付近を震源とするM6.5とM7.3の地震（ともに震度7）が2回、4月に発生しました。東日本大震災以降、建物として何も壊れないことをクライテリアとする考え方が浸透しつつある中で、この地震では「機能維持（継続使用）」の必要性が浮き彫りになりました。

多くの古い建物が残っていた結果、使用不能となった施設は多数で、5つの市庁舎が防災拠点として使えなくなりました。宇土市役所は大破、他の4つの役所も何らかの被害があり使えなかったのです。私は八代市役所に行き、現地の状況を確認すると建物は倒壊していなかったのですが、安全性を考慮して防災拠点としては使用されていませんでした。住民の方々に対応するため他の場所で業務を再開しようと、職員の方たちが必死に荷物を運び出していたのです。

また、市町村が管理しているほとんどの総合体育館で天井が落下、あるいは落下の危険があり避難所として使用できなくなっていたため、代わりに近隣の学校の体育館を避難所として使用していました。これは東日本大震災の被害から、学校建築ではほとんどの体育館の天井を撤去していたためです。

この地震のあと「機能維持（継続使用）」が話題になり、学校の避難所としての機能をより強化することを目的とした委員会が設置され、私も参画しました。避難所として継続使用できなかった総合体育館の事例を踏まえ、熊本地震以降、さらに「機能維持（継続使用）」の重要性が注目されるようになったのです。

また、東日本大震災以降、レジリエンスという言葉が使われはじめ、建物が壊れず人々が生活を続けられるようにすべきとの考え方にも注目が集まりました。災害時に避難所に行くよりも、自宅やオフィスに居続けられる方が良いという考え方は、さらに熊本地震で新たな大きな流れになりました。

レジリエンスという言葉が浸透しつつある理由は、東日本大震災や熊本地震などの大きな地震を受け、自宅での備蓄の必要性を含め、みなさんの安全意識が高まってきたことも大きいと思います。



▶ 採光だけでなく子どもたちの安全や災害、そして省エネにも大きな役割を果たすガラス

——子どもたちの安全性を担保するために、学校で使用されるガラスに関する施策がとられてきたと聞きました。

昭和61年5月、当時の建設省住宅局建築指導課監修で「ガラスを用いた開口部の安全設計指針」が発行されました。人体衝突が起こりやすいガラス開口部を対象とした安全なガラスの選定方法の指針として定められており、合わせガラス、強化ガラスなどが安全ガラスとして示されています（平成3年2月改訂版発行）。

学校においては、透明なガラスに子どもがぶつかり、割れてケガをすることが危険とされたため、この指針で示された安全ガラスが広く使用されるようになり、具体的には強化ガラス、またはガラスにフィルムを貼るという2つの解決方法がとられました。

ガラスにフィルムを貼る解決方法は、ガラスが割れたとしても、ひび割れの部分を含めフィルムに密着するため、破片が飛散せず形状が残ること、また割れてひび割れたガラスが塊となり落ちたとしても、建物の1階なら落下高度が低く、大きなケガにつながらないため有効な方法と言えます。ただし、2階など上層階の場合は、大きく重いガラスの塊が落下すると落下高度が高く、大きなケガにつながるため解決方法として有効とは言えません。

強化ガラスについては一般のガラスよりも強度があり、ガラスに子どもがぶつかってもなかなか割れないこと、万が一強化ガラスに衝突して割れたとしても、ガラスが鋭利な形状にならず粒状に割れるため、子どものケガのリスク軽減につながり有効な方法だと言えます。ただし、ガラスにフィルムを貼る解決策は既存の建物の対策としてはやむをえませんが、約7年に1度フィルムを貼り替える必要があり、ランニングコストのかかることから個人的には推奨できません。

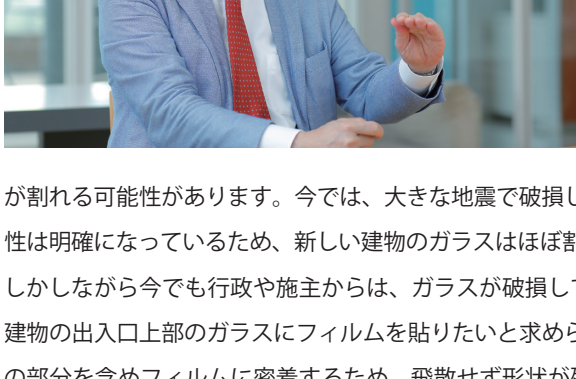
その後、強化ガラスとガラスにフィルムを貼る2つの解決方法以外に、合わせガラスが推奨され始めました。合わせガラスは、2枚のガラスの間にフィルム状の材料を挟んで接着したガラスです。一般のガラスより強度があり、ガラスに子どもがぶつかってもなかなか割れないこと、万が一衝突してガラスが割れてもひびが入る程度で、ひび割れの部分も含めフィルム状の材料に密着し、破片が飛散せず形状を維持したままで抜け落ちないため、子どものケガのリスク軽減につながります。合わせガラスは2枚のガラスを使用するため、このガラスを装着できる大きめのサッシを使用する必要があり、イニシャルコストは高くなりますが、ガラスが割れない限りメンテナンスなどランニングコストが発生しないため、特に新築時には合わせガラスをお薦めています。

なお、合わせガラスは泥棒がガラスを割って建物に侵入しようとしてもガラスに孔をあけることが難しいため、防犯ガラス（「防犯性能の高い建物部品目録」に掲載・公表された防犯建物部品）としても選ばれています。

（参考）板硝子協会が学校向けに推奨するガラス

学校・公共施設用ガラス	強化LOW-E 合わせ複層ガラス	強化LOW-E 複層ガラス	防災安全合わせガラス (60ミル)	安全合わせガラス (30ミル)	強化ガラス
商品					
省エネ	○	○	×	×	×
防災	○	△	○	○	△
防犯	○	×	○	○	×
安全	○	○	○	○	○

——時代の変遷で災害に寄与するガラスは大きな変化を遂げたのですか。



が割れる可能性があります。今では、大きな地震で破損しないための技術的な設計・施工方法が確立され、ガラスの耐震性は明確になっているため、新しい建物のガラスはほぼ割れないと考えてよいと思います。

しかしながら今でも行政や施主からは、ガラスが破損してもガラスとフィルムが一体化し、即落下しないという判断で、建物の出入口上部のガラスにフィルムを貼りたいと求められる場合があります。先述の通りガラスが割れても、ひび割れの部分を含めフィルムに密着するため、飛散せず形状が残ってくれますが、2階など上層階から大きく重いガラスが塊になって落下する可能性があり、私は間違っていると考えます。

一方、地震の変形でガラスが割れる可能性はほぼありませんが、家具が倒れたり、照明が揺れたり、天井が壊れてガラスにぶつかって割れることがあるため、これらを防ぐ設計は重要だと思います。

また、ガラスが鋭利な形状で割れることや、割れて落下することで大きなケガにつながらないようにするための対応策としては、先述の通り「ガラスを用いた開口部の安全設計指針」があり、中でも合わせガラスが最も優れているので、対策が必要な箇所への使用を推奨しています。

なお、ガラスの手すり用途としても、ガラスを蹴ったり、ガラスにモノがぶつかっても割れにくい強化ガラスを2枚使った合わせガラスが多く使われています。手すり用途に限らず、他の部材でもデザイン上透明感のあるガラスが重宝され、様々な建物で合わせガラスが使用され普及しています。

さらに、2000年代に入って以降、これまで台風が来なかった地域に台風が直撃し、建物の設計の想定に入っていない竜巻もたびたび被害を起こすようになっています。これらによる強風で瓦などの飛来物が衝突し、建物の外壁やガラスが破損する被害が増えています。

先述しましたが、建物の「人命保護」、「財産保護」、「機能維持（継続使用）」を考えた時に、「人命保護」については壊れない限り建物にとどまる、あるいは避難所に行けば命を守ることができます。しかし、「財産保護」及び同じ建物に住み続けられる「機能維持（継続使用）」については、台風などの強風の場合、隣接する建物の屋根が飛ぶといったこともあるため、完全に防ぐことは難しいところ です。

台風など強風時には、建物の外装全段で、外装が飛ばないようにするための基準を守ることが大切です。また、瓦、ガレージ部材などが飛び、隣接する建物の外壁やガラスに衝突して破損させてしまうことを避けるため、特に台風の時は、進路や風速予測を確認し、事前に雨戸を閉めるなどの対策が重要だと思います。

なお、予測できない竜巻を含めた対策として自己防衛するという意味では、ガラスの安全性のレベルを上げ、飛来物が衝突してもなかなか割れず、割れてもひびが入る程度で抜け落ちない合わせガラスが優れています。特に防災拠点となる施設の重要な部屋については、「機能維持（継続使用）」のために、万が一モノが衝突しても割れにくい合わせガラスを適切に使うことが大事だと考えています。

合わせガラスについては、「安全ガラス」、「防災ガラス」などのキーワードで整理が進められ、アメリカの「LARGE MISSILE IMPACT TEST (ASTM E1996)」、オーストラリア・ニュージーランドの「CYCLONE TEST (AS/NZS 1170.2)」など、ハリケーンなどに対応した耐衝撃規格をもとに、日本における性能評価試験方法として、JIS R 3109：2018「建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法」が導入されました。この試験方法は、構造材として使用される細長いツーバイフォー材をガラスにぶつけて評価しますが、1枚ガラスやフィルムを貼ったガラスに比べ、合わせガラスは圧倒的に性能が高く、ツーバイフォー材はガラスを貫通しません。

強風による飛来物がガラスに衝突し貫通すると、ガラスが抜け落ち一気に部屋に強風が入るため、家具などは激しく壊れ室内は使えなくなります。さらに、建物のガラスが1枚でも抜け落ちると、強風が室内に入り内圧が上昇することで屋根が飛ぶ可能性もあり、建物のガラスは1枚も割れてほしくはないと言えます。そのため真に「財産保護」を目指すには、台風などの強風による飛来物に対して効果を発揮する合わせガラス、特に防災安全合わせガラス（※）を採用することが非常に大きな意味を持ちます。

頻繁に台風が来る地域では、その必要性を理解し、台風対策として合わせガラスを使用することに抵抗感がないと思います。ですが、めったに台風が来ない地域に対しては、台風の危険性や大きな被害の可能性を示し、合わせガラスを使用したいと思っていただけるような働きかけも重要です。いつ大きな台風が来るかわからない中で、どのようなレベル、どのような手立てを使って建物の安全性を高めるかを決めることは、大変難しい問題になっています。

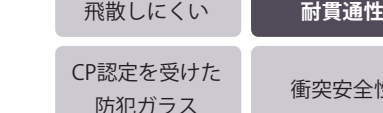
地震は日本中どこで発生してもおかしくないこととして理解され、対策の必要性に納得感を持ってもらえますが、めったに台風が来ない地域で、強風対策として合わせガラスの必要性を広く理解してもらうことは、現状ではまだ難しいと思います。

公共施設については、過去の大きな地震被害を踏まえ、クライテリアが上がってきたことと同様、地域によらず大型台風被害が発生する可能性を認識しているため、ガラスのクライテリアを上げてもらえるのではと考えています。

（※）一般財団法人ベタリーピングにおける優良住宅部品（BL-bs部品「防災安全合わせガラス」）の認証を受けた合わせガラス及び合わせ複層ガラス。



（一財）ベタリーピング（注）



（一財）ベタリーピング（注）が認定した「優良住宅部品」のうち、より良い社会の実現に資する特徴を持つ製品には、「BL-bsマーク」が貼付されます。



公正・中立な第三者機関として、住宅をはじめとする建築物の設計、施工、部品、材料に関する評価、試験、登録等の事業及び調査研究事業を誠実に実行する、国土交通省の認可を受けた一般社団法人です。

（参考）板硝子協会では、合わせガラスについて、以下呼称としています

フィルム状の材料（中間膜）	板硝子協会呼称	一般名称
60mil（約1.5mm）以上	防災安全合わせガラス	合わせガラス
30mil（約0.8mm）以上60mil未満	安全合わせガラス	
30mil未満	合わせガラス	

（参考）JIS R 3109：2018「建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法」による結果

フロントガラス	細入りガラス	強化ガラス	防災安全合わせガラス
鋭利な破片となり破損し、形状をとどめず、貫通孔が生じる	同左	粒状に破損し、形状をとどめず、貫通孔が生じる	ひびは入るが、形状をとどめ、貫通孔は生じない

（参考）板硝子協会加盟3社が製造、販売する防災安全合わせガラスは、第3者評価機関（一般社団法人）ベタリーピングよりBL-bs認証を付与されています

——窓ガラスは、防災だけではなく省エネにも寄与するものですか。カーボンニュートラルの観点からも教えてください。

現在、2050年にカーボンニュートラルを目指す政府の方針を受け、今まで以上に省エネに注目が集まっています。最も簡単な省エネ対策は、開口部、特にガラスが大きな弱点となるため、ガラスの断熱性能をできるだけ壁の性能に近づけることが基本だと考えます。2006年竣工の私の職場である大学の建物では、複層ガラスを主に北面に使い、日射を取り込みたい南面は単板ガラスを使っているため、今後のさらなる省エネ対策としては南面に内窓を設置し二重サッシにする、あるいは複層ガラスに改修することによって、断熱性能が上がることは分かっています。

省エネ、カーボンニュートラル達成のために、ガラスは最初に手をつけるべきものですが、断熱性能を上げるためにアルミサッシからアルミ樹脂複合サッシや樹脂サッシに窓ごと改修する場合には、省エネだけではなく安全性に関する性能も上げることが考慮し、省エネと安全性を同時に有するガラスの選択が必要だと考えます。

また、建物全体の断熱性能を担保するためにはガラスを小さくすべきだと考えがちですが、防災面を考えると、私は大きなガラスが必要だと思います。災害が発生し停電となった建物でも、日中は大きなガラスを通して光が入ることで、問題なく部屋を使うことができます。また防災拠点においては、例えば雨が降り出したことも分らないまま、的確かつスピーディーな指示が出せない事態は問題なので、外の状況が一目で把握できる開口部のガラス面積が大きい建物が防災拠点としても優れていると思います。さらに、停電した場合、限りある電気は携帯電話の充電や夜間の暖冷房に使用したいため、昼間の照明に電気を使用しないように光が入ることは大事だと思います。また、昼間の照明や冬場の暖房を節電できる可能性を考えると、断熱性が高くかつ大きなガラスは、防災拠点に限らず住宅でも大切だと思います。実際、寒い季節に発生した東日本大震災では、停電し暖冷房機器が使用できなかったにも関わらず、断熱性が高い建物では人の熱だけで過ごすことができたと聞きました。そのため、防災拠点における重要な部屋や住宅の一部屋だけでも合わせガラスかつ複層ガラスを使用し、防犯性能と省エネ性能を担保しておくことは必要だと思います。

——最後に、先生の思い描くガラスの未来は。

建物に大きな窓があり、透明なガラスから室内に光が入ることについて、気持ちが悪いと思う人はあまりいないはずで、特に、四季があり気候が良い日本では、ガラスを通して外と良い関係を築く室内空間がとても大事だと思います。より快適な室内空間づくりのために、設計者が大きなガラスを上手に使っていくことが必要でしょう。

私は個人的に北向きの大きな窓が大好きです。北向きの大きな窓からは強い日射が入らないためブラインドを設置する必要がなく、近辺の建物南面の外装に反射する太陽光が間接光となり、明るく快適に過ごすことができるからです。ガラスが高機能化し、窓としての断熱性能が上がったことで、昔は寒く設置をためらった北向きの大きなガラスも、快適な室内空間づくりの一助になるなどの手立てが増えました。

あらためて、設計者は使う人の好み、ライフスタイル、求める性能などを意識した上で窓を設計すべきで、結果として、建物、方位、使う人と設計する人の組み合わせによって、ガラスにはまだまだ多様な、高機能化する可能性があると思います。

ただし、ガラスの防災性能や省エネ性能が上がり設計の手立てが増えたことについて、「官庁施設の総合耐震計画基準」におけるⅠ類、Ⅱ類、Ⅲ類のようなクライテリアをつくること、クライテリアをつくるだけではなく施主や設計者に対して、クライテリアとその使い方を分かりやすく伝えることが、高機能ガラスの普及につながっていると思います。

（参考）防災と省エネ機能を同時に有するガラス

防災安全合わせガラス

災害時の避難所となる学校などでのレジリエンス向上のために、在宅避難も可能にする窓ガラス。

BL-bs 防災安全合わせガラス
品名 安全合わせガラス
規格保証・耐震安全性確保付

優良住宅部品(BL-bs部品) 認定を取得しました。

優良住宅部品(BL-bs部品)は、品質・性能、アフターサービス等に優れた住宅部品です。

優れた断熱性能と遮熱性能で、カーボンニュートラルに貢献する、地球に優しい窓ガラス。

Low-E膜
アルゴンガス
Low-Eガラス
スペーサー
封着材
乾燥材

Low-E膜
アルゴンガス
Low-Eガラス
スペーサー
封着材
乾燥材

エコガラス 防災安全合わせガラス仕様

「防災安全合わせガラス」の防災性能と「エコガラスS」の省エネ性能を併せ持った窓ガラス。

BL-bs 防災安全合わせガラス
品名 安全合わせガラス
規格保証・耐震安全性確保付

優良住宅部品(BL-bs部品) 認定を取得しました。

優良住宅部品(BL-bs部品)は、品質・性能、アフターサービス等に優れた住宅部品です。