

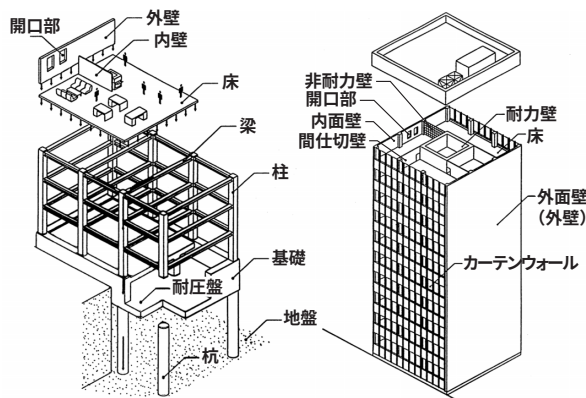
ファサードの領域と分類

株式会社LIXIL 総合研究所 新事業創造部

ゼロエネ建築グループ グループリーダー 石井 久史

1. 序

建築は、支えるものと仕切るものとに大別される(図1)。人間の身体に喩えるならば、支えるものは骨格を成す骨や筋肉、靱帯であり、仕切るものは差し詰め皮膚や脂肪に該当するのであろう。内臓などは、それらに守られながら体内環境をコントロールする設備機器といったところだろうか。どれも重要な役割を果たすことは言うまでもないが、ここでは、内外を仕切りながら繋げる皮膚の役割に相当するファサードについて、述べてみたい。

図1 建築の構成¹⁾

2. ファサードの領域

2.1 領域

建築において、ファサードというコトバをよく耳に思うと思う。ファサード「Facade」は、フランス語で建築の正面、正面玄関側の立面を意味する²⁾。最近では仏製英語として一般化され、わが国でも同じである。一方、ファサードと同義語的なものとして、エンベロープというコトバがある。エンベロープ「Envelope」は、外皮や覆いという意を示しており、ファサードと同じように浸透している。どちらも建物の外周部を意味するコトバの一つであるが、両者には領域の違いが明らかに存在する。

図2をご覧頂きたい。ファサードは建築の正面、正面玄関側の立面であることから、一般的には4立面の中で1立面だけが対象となるだろう。同様にエンベロープは、覆いという意味から、4立面とその上下面を合わせた6面が対象となるはずである。ここで、両者は類義的であるにも関わらず、その領域が必ずしも一致しないことに気付く。そこで、実効上のファサードというものを少し考えてみる。実効上のファサードとは、実務上の取扱い領域も踏まえた本質的なファサードとでもしておこう。そもそも、実務では1面だけがファサードというわけではなく、状況に応じてファサードの領域は変化する。また、建物周囲からの見え方や見栄えによってもファサード領域は同様に変化する。

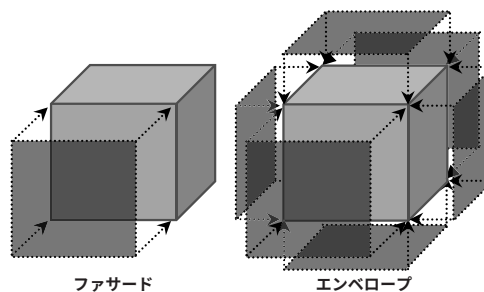


図2 外壁領域の概念

一方、エンベロープのように6面が対象ならば、地に接する床面もファサードということになってしまう。しかしながら、これが実務上の領域に含まれないことは誰しも納得しているはずである。そこで、建築的に魅せたい、もしくは見ることが出来る外壁が正面だけに限定されないのであれば、外壁面において視線に曝される全てをファサードとして捉えてはどうか。すなわち、実効上のファサードは、ファサードとエンベロープの間に位置すると考えられないだろうか。そこで、この考え方を明確にするために写真1のような事例を当てはめてみる。写真1のファサードは、4立面に加えて屋根面まで連続することで外壁面を構成している。ここに示す5面は、人々の目に曝される領域であり、どの面を取ってみてもファサードと認識せざるを得ないように映る。つまり、ファサードは、最小で

1面の場合も有り得るが、最大で5面(図3)まで想定されるわけであり、それらを踏まえた上で実効上のファサードを定義するならば、ファサード≒実効上のファサード<エンベロープと考えられる。



写真1 壁と屋根の一体性

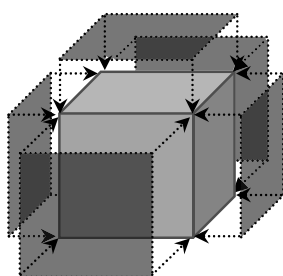


図3 ファサードの領域

2.2 職務上の領域

ところで、建築外壁の設計技術者は、世界的に見てファサードエンジニアと称され、建築における影響力は比較的大きい。では、わが国の場合はどうであろうか。よし悪しは別にして、分離発注によりファサードエンジニアリングの役割を示すことができなかったと思う。基本的に建築は、意匠設計者、構造技術者、設備技術者、施工管理者により構成され、それら以外は専門工事業という位置付けにある。それゆえに、この領域をカーテンウォール(以下: CW)メーカーなどが中心となり担ってきた訳だが、最近ではファサードへの関心度が増し、デザインの要素とそれを実現する構造的要素、さらには内外を仕切る環境装置としての役割を統括する働きとして、各種技術者と連携を図りながらファサードエンジニアの領域が確立されてきている。そのため、CWメーカーはファサードコントラクターへの変貌過程にあると考える。

3. ファサードの対象と分類

3.1 対象

ファサードは、建築の表層であり、内外を繋ぎ皮膚の役割を果たすような仕切るものにも該当すると説明した。その仕切るものは、支えるものとしての建築構造躯体との関係性が気になるところである。一般的に建築外周部は、構造的役割を果たすものも果たさないものも表層だけを捉えて一括りにファサードと呼称す

る場合がある。無論、どちらもファサードであることに変わりはないが、ファサードを構成する部位が構造的に寄与するのであれば、それは建築構造躯体と解釈されて然りであり、明確に区分しておく必要がある。そこで、ここでは非耐力壁のファサードを扱うことにする。非耐力壁となれば、上階の長期荷重を負担せず、また、短期荷重による層せん断力も見込まなくてよく、建築外周部に作用する風荷重や比較的軽微な荷重に留意すれば良い。そのため、構造設計や施工技術とファサードエンジニアの間で設計施工および責任範囲が明確となり何かと便利となる。

3.2 構成上の分類

ファサードは、その表情の豊かさから様々な構工法(以下: 構法と称す)にて構成されているように見えるが、実際は実にシンプルに構成されている。図4にファサードにおける構成上の分類を示す。

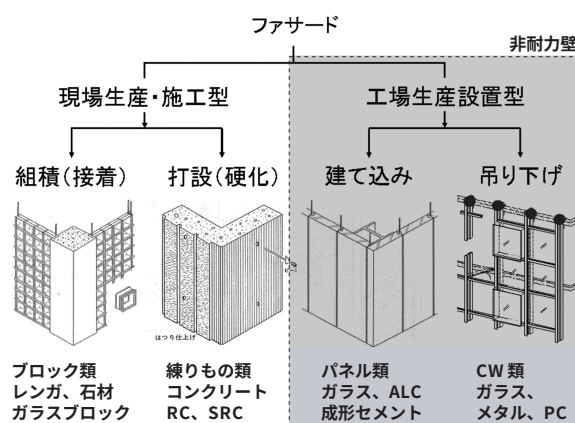


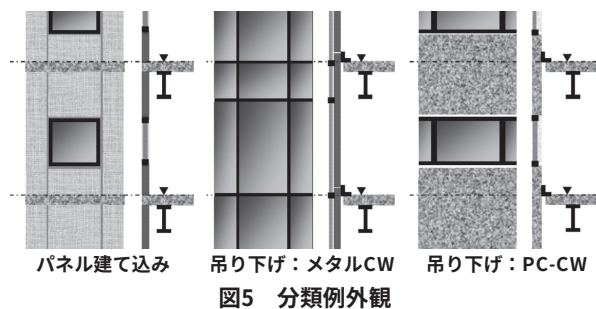
図4 ファサードにおける構成上の分類³⁾

ファサードを構成していくには、現場作業を主体とするものと、予め工場生産し品質や施工性を高めた上で現場にて取付け施工するものに分類される。普段目するのはパネルを建込む、もしくはCWを吊下げる形式のものであり、それらのほとんどは、非耐力壁のファサードである。もちろん、コンクリート打設により、その表層にタイルなど装飾を施したファサードも見かけるが、構造耐力を見込むものに該当する場合が多く、レンガなど(ガラスブロックは除く)組積造もまた然りであり、ここでは非耐力壁から除外する。

次に図5に示すパネル建込み形式と吊下げ形式を見ることとする。パネル建込み形式の構成は、板状部材を床スラブ上に設置することで面が構成される。そこに用いられる代表的な材料は、押出成形セメント板、ALC、ガラスなどが挙げられる。

一方、吊下げ形式は、CWに代表されるように金属フレームを主部材としている金属CWとコンクリートを主体としているPC(プレキャストコンクリート)-CWの二つに分類される。特に金属CWは、金属フ

レームやパネルおよびガラスなどで構成され、高層建築の外壁には数多く採用されている構法の一つである。CWは、スラブから吊下げられて面を構成するため、仮に面外剛性が小さくても、座屈に対して優位に働き、上下連続した面を構成しやすい特徴がある。



メタルCWの領域において、20年くらい前から新たなファサードの形態が出現している。それは、表層のガラスに極力フレームが存在しないファサードのことであり、ここでは、ガラスファサードと呼ぶことにする。ガラスファサードは、メタルCW(写真2 左)の一つに該当し、建築の低層部を中心に採用される傾向が高かった。しかし、最近では高層部に適用されたメタルCWの構成要素の一つとしてガラスファサード構法が採用されるなど、その領域は拡大しつつある。ガラスファサードは実務上メタルCWと呼ばれることは少なく、その逆も同じである。そのため、両者の間では、一定の線引きがなされてきたわけだが、ここで取り上げるガラスファサードとは、建築外壁において非物質化(フレームレス化)が図られた高透過な外壁を実現するための構法(写真2 右)と定義して扱うことにしたい⁴⁾。



写真2 ファサード形態の違い⁴⁾

4. 効果による分類

4.1 環境的側面からの分類

メタルCWやガラスファサードは、外壁構成上の分類として、表1や図6に示す三種類が存在する。一つ目は、シングルスキンであり、いわゆる一重の外壁を指す。二つ目は、主に日射遮蔽や断熱性能を高める目的で用いられているダブルスキンであり、二重の外壁を意味する。そして三つ目は、その間に位置付けされている簡易ダブルスキン⁵⁾であり、これは、基本性能

を担保する一重の外壁に対して外側もしくは内側に完全密閉されることのないスキンを設ける(恒常的スキンという意味ではない)ことで、簡便に熱的性能に寄与するものである。ここでは、代表的なものについて、その特徴などを簡単に説明したい。

表1 ファサードの分類と環境対応型ファサードの形態⁵⁾

	構成上の分類	種類・型	特徴など
ファサードの分類	シングルスキン	①パッシブ型	外気導入、IGU、断熱
		②アクティブ型	空調制御(エアバリア)
	簡易ダブルスキン	③パッシブ型	外ブラインド等
		④アクティブ型	エアフローウィンドウ
	ダブルスキン	⑤吹抜け型	密閉、上下開放
		⑥複数層型	複数層区画
		⑦各層型	各層区画、
		⑧回廊型	回廊区画
		⑨シャフト型	排熱部シャフト

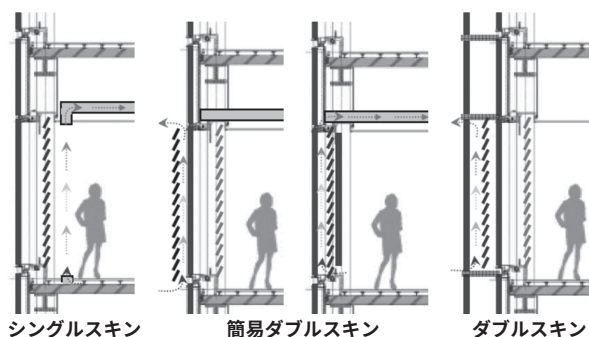


図6 ファサードの効果上の分類

基本的にメタルCW構法は、気密性・水密性を高めることで密閉型のファサードを構築し、空調設備により人工的ではあるが快適な環境を居住者に提供してきた。ファサードにおける熱取得や熱損失は、主にビジョン部(開口部)で生じるため、シングルスキンの熱的性能は当然高いとはいえない。それは、単にシングルスキンという物理状況に依存しているからである。その反面コストアドバンテージにより、最も採用実績が多いことも事実である。そのため、ビジョン部からの熱取得や熱損失をいかに和らげられるかがシングルスキンでの関心事の一つである。例えば、日射遮蔽を目的とするならば、ルーバー(写真3)や底によってある程度緩和できるし、断熱性を高めるのであれば熱橋を切るSSG(Structural Sealant Glazing: 図4)構法な

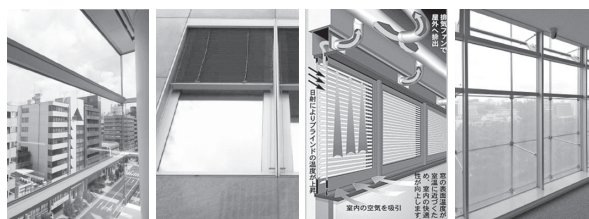


写真3 ファサード構成上の分類事例

ど断熱の採用が考えられる。既報⁶⁾では、SSGの採用でU値を10～57%も向上できることが報告されている。

メタルCWに組込む建材製品の工夫だけで、ある程度性能を損なわないようにすることも可能である。一番わかりやすいものとして、ビジョン部にLow-E(低放射)コートされたIGU(複層ガラス)を用いることであろう。また、無目部の開閉により内気排熱や外気導入をする窓もある。図7には無目材から定風量の外気導入を可能にした換気装置を示す。これは、定風量での外気取入れを可能とするものであり、風速変動に応じて自動的に駆動するフラップにより、人々の手を煩わすこと無く風量が制御される。また、それによって空調負荷だけに頼る機会も減らすことが可能となる。

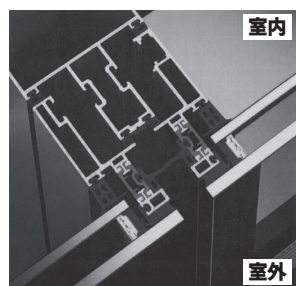


写真4 SSG構法

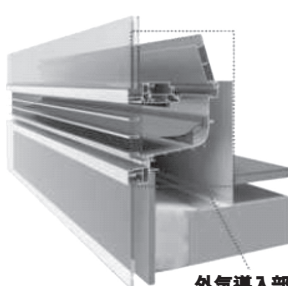


図7 定風量換気装置

簡易ダブルスキン⁵⁾は、基本的な性能を担保できているシングルスキンに必要な部位だけ簡便に二重化すること、もしくは密閉されることのないスキンを付与したものと定義する。例えば、外ブラインドや外ルーバーおよびエアフローウィンドウ(以下: AFW)は、それに該当する。

外ルーバーによる簡易ダブルスキンは、外部側に設けられた完全に密閉されないスキンである。そのため気密性や水密性は得られないが、夏期には日射遮蔽とルーバーが吸収した日射熱を外部側で放射し、熱負荷低減を図ることができる。しかし、風荷重や照明環境などに課題が残る。

AFWは、基本的にシングルスキンであるが、ビジョン部内側に半開放型のスキンが付与され、薄いキャビティを形成し室内のリーターンエアが換気設備に戻される仕組みによって熱負荷を低減する方法として知られている。このメカニズムを簡潔に述べれば、日射による熱エネルギーは外ガラスを透過したものがブラインドなどに吸収され、室内側へ放射される。夏期には室内の冷やされた空気がキャビティを通ることでこの熱を回収でき、冬期には室内の暖められた空気がキャビティを通りコールドドラフトを解消する。そのため、ペリメーターゾーンに近い部分で快適性が増す仕組みである。また、既報⁷⁾では、簡易ダブルスキンの新たな取組みとして、可動可変型ファサード(図8、写

真5)を紹介しており、外部ルーバーが可動可変することで熱性能を2倍向上⁸⁾させ、優位な運用が可能であると報告をしている。

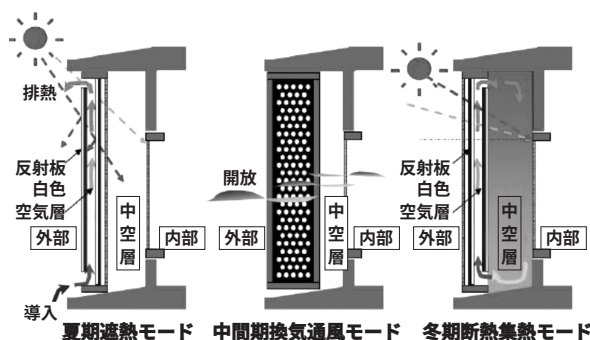


図8 簡易ダブルスキンの事例⁷⁾

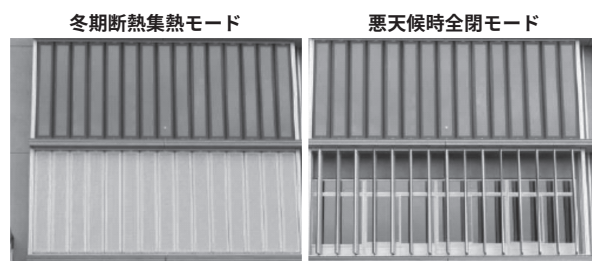


写真5 簡易ダブルスキンの実施事例⁷⁾

ダブルスキンは、性能を担保するスキンの外側にもう一層スキンを設けて熱環境に対応したファサードである。ダブルスキンは、吹抜け、複数層、各層、回廊およびシャフト型の5つに細分化される(表1)。

そもそもダブルスキンは、日除けルーバー保護のために既存スキンの外側にもう一層設けたことが始まりとされる。ダブルスキンは、夏期の日射をキャビティ内のブラインドに反射吸収させて放射による上昇気流により外部へ排熱する仕組みであり、冬期は断熱層を形成して熱効率を向上させる技法である。ここで、ダブルスキンの種類について表1に対応した外観を写真6示す。一口にダブルスキンといっても複数種あり、条件に応じて目的も変わるわけだが、詳細説明については文献⁵⁾を示して省略させて頂く。

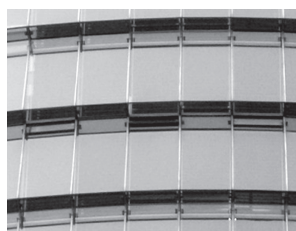
ダブルスキンには、デザイン、遮熱、遮光、断熱集熱および遮音のほか、高層ビルでの強風や降雨環境でも排熱処理が居室から直接行えるなど、熱負荷をペリメーター領域において、ある程度コントロールできる点はメリットであろう。しかしながら、吹抜け型や複数層型の場合には、キャビティ内での反響音や排熱による上階への影響および防火上の区画に関する課題もあり、イニシャルコストとは別にメンテナンスも含めた詳細な検討を施す必要がある。



⑤ 吹き抜け型密閉



⑤ 吹き抜け型上下開放



⑥ 複数階型



⑦ 各階型



⑧ 回廊型



⑨ シャフト型

写真6 ダブルスキンの種類⁵⁾

4.2 構造的側面からの分類

ファサードに適用されているガラスは、必ず何かに支持され、その支持部を介してガラスへの作用荷重を構造躯体へ円滑に伝達できる仕組みとしている。ガラスに作用した荷重は、ガラスが支持されている部分(ガラスの留め方)から支持架構(ガラスの支え方)へと伝達され、最終的には構造躯体(支えるもの)へ流れる。これは、地震荷重でも同様である。設計者は、これらが円滑に行えるように配慮する必要がある。ここでは、ファサード面材の支持形態とファサードを構成する上で必要な支持架構について簡単に説明する。

ファサードの支持形態としてガラスの留め方を表2に示す。ガラスの留め方は、デザインだけでなく構造的な意味合いも強い。ガラス四周を線上支持したものを線支持といい、最も適用例が多い。

線支持には物理的支持と化学的支持がある。前者はサッシやCW類で、後者はガラス方立やSSGである。

表2 ファサードにおけるガラスの留め方⁵⁾

	支持形態	構法種類	特徴など
ファサードの支持形態の分類	線支持	①サッシ	4辺フレーム支持
		②CW	2辺4辺フレーム支持
		③ガラス方立	2辺ガラス接着支持
		④SSG	2辺4辺フレーム接着支持
		⑤エッジ引掛け	軸力抵抗系 トラス
	部分支持	⑥部分支持	点支持 < 部分支持 < 辺支持
		⑦ガラス方立	部分ガラス接着支持
	点支持	⑧孔明け点支持	ガラス孔明け支持 ピン 剛節
		⑨挟込み点支持	ガラス孔明け不要挟込み支持

一方、線支持とは別に、写真7に示すような部分支持や点支持に関しては、構造要件が線支持とは異なり、ガラスに発生する主応力が局所的に大きくなる。そのため、取扱には注意が必要となる。しかし、上手く活用すればフレームレスでの透過性の高さや熱的性能向上が見込める可能性がある。



③ ガラス方立構法



④ SSG構法



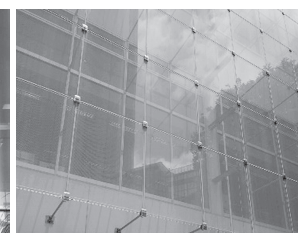
⑥ 部分支持構法



⑦ ガラス方立部分支持構法



⑧ 孔明け点支持構法



⑨ 挟込み点支持構法

写真7 ガラス留め方としての支持構法の種類^{5), 9)}

ガラスの支え方は、表3に示す3つに分類され、メタルCWでは単一系の方立が多く採用されている。方立は力学的にもシンプルで、事務所ビルの標準的のスパンに用いられる。ただし、同じ単一系でもガラス方立構法の方立ガラスは脆性材ゆえ、孔明け加工などが伴う仕様の場合は注意が必要となる。

表3 ファサードにおけるガラスの支え方⁵⁾

	支持形態	支持架構種類	特徴など
ファサードの支持架構の分類	単一系	①方立	曲げ抵抗系 単純梁
		②方立ガラス	曲げ抵抗系 単純梁
		③片持ち方立ガラス	曲げ抵抗系 片持ち梁
	組合せ系	④複合部材	曲げ抵抗系 重ね梁
		⑤トラス	軸力抵抗系 トラス
		⑥フィレンディール	曲げ抵抗系 ラーメン
	張力系	⑦テンショントラス	張力抵抗系 張力小剛性大
		⑧フィッシュボーン	張力抵抗系 張力相殺
		⑨テンセグリティトラス	張力抵抗系 圧縮材
		⑩ケーブルグリッド	張力抵抗系 張力大剛性小

一方、組合せ系では、吹抜け部など大スパンに対応できるフィーレンディールトラス(写真9)が多く採用されている。トラスと称されているが、曲げ抵抗系である。また、最近ではガラスと鋼材などの複合部材型⁵⁾支持架構も増えつつある。

張力系は、ケーブルやPC鋼棒による非抗压材に張力を導入し構造的安定性を図る支持架構である。例えば、ケーブルグリッドの場合、点支持構法と組み合わせることで圧倒的な透過性が得られる。しかしながら、境界構造へ与える影響や非線形性も含めた検討を要するため、通常設計より煩雑となる。また、同じ張力系でもテンショントラスは、導入張力が小さいがサグにより安定し、フィッシュボートトラスは圧縮材で導入張力をキャンセルできるなど、その特性の違いに注意が必要である。



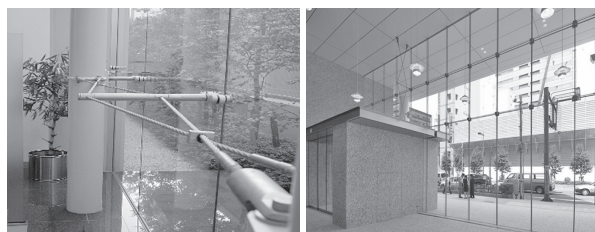
①方立支持

②方立ガラス支持



⑤トラス支持

⑥フィーレンディールトラス支持



⑦テンショントラス支持

⑩ケーブルグリッド支持

写真8 ガラスの支え方としての支持架構の種類^{5)、9)}

5. 結

本報では、ファサードの領域と分類を軸に、そのあり方とやり方を簡潔に説明した。ファサードを取り巻く状況は、多種多様であると感じて頂いたと思う。より良いファサードの実現には、条件に応じた総合的な判断が必要であり、技術の最適な適用と運用こそが重要ではないかと考える。

参考文献

- 1) 彰国社：「建築大辞典」，1979.9
- 2) カーテンウォール防火戸開口部協会：「カーテンウォールってなんだろう」，2003.4
- 3) 日本建築学会：「構造用教材」，2014.3
- 4) 石井久史：「ガラスファサードの設計法について 構造・材料の側面から」，GBRC Vol.37 No.1 pp 2-14，2012.1
- 5) 石井久史：「ガラスファサードの形態と構成方法について」，GBRC(Vol.36 No.1)，pp12-23，2011.1
- 6) 石井久史：「ガラスファサードにおける4辺SSG構法の適用可能性について」，GBRC(Vol.38 No.1)，pp2-9，2013.1
- 7) 石井久史、信太洋行、野城智也：「ZEBファサードとしての可動可変型簡易ダブルスキンに関する研究」，GBRC(Vol.38 No.4)，pp10-19，2013.10
- 8) H.Ishii, H.Shida and T.Yashiro：「Evaluating the thermal performance of a movable variable facade system using survey methods and calculations」，ICBEST 2014 Aachen Germany 2014.6
- 9) 日本鋼構造協会：「鋼構造建築のためのガラスファサード設計・施工ガイドブック」，2014.3

