

愛知万博における 環境配慮と鉄骨建築

大阪万博から35年ぶり、我が国では2回目となる日本国際博覧会が愛知県で開催されている。今回の万博のテーマは自然の叡智であり、会場には、リユースを前提とした建築構造や、新しい環境技術の導入など、様々な環境配慮を試みたパビリオンが多数見られる。



時代を象徴する万博のテーマ

万国博覧会は、1851年にロンドンで開催された「ロンドン万博」が最初となっている。ロンドン万博で大きな話題を呼んだのは、「クリスタル・パレス」(水晶宮)という建築物であった。鉄とガラスで構成され、使用された鋳鉄は380トン、ガラスが30万枚という大型建築物であった。それまでの石や煉瓦を積み上げる建築とは異なり、工場で製造された製品を現地で組み立てるプレハブ工法を用いている。この工法は鋳鉄フレームとガラス板の大量生産技術が確立されたことにより実現された。ロンドン万博は、まさに「世界の工場」として発展したイギリスの工業力を示すものであった。これまでの万博の歴史を見ると、国威発揚、産業振興等を目的とし、工業化、近代化の最先端を示すことが多かった。しかし時代の要請を受け、万博は環境に対するメッセージ性の強い祭典として今、幕を開けている。

ロンドン万博から150年以上経た現在、愛知県名古屋東部丘陵で日本国際博覧会(愛知万博)が開催されている。21世紀を迎え、地球環境の保全が世界における喫緊の課題となるなか、愛知万博は自然の叡智をテーマに、循環型社会の形成とその実践に向けて、世界の人々がこの万博によって環境問題を考える機会となることを目指している。その姿勢は会場づくりに徹底されており、自然との共生をキーワードに様々な環境配慮が

試みられている。特に会場に多数建設された建築物には、環境負荷低減を目指し鉄を巧みに利用した例が多い。その一例として、会場内の環境配慮を図った鉄骨建築を紹介する。

リユースを前提にしたパビリオン建築

愛知万博の会場づくりには、3R(Reduce(リデュース、廃棄物の抑制)、Reuse(リユース、再使用)、Recycle(リサイクル、再資源化))が徹底された。今回の万博では、リサイクルより後利用に伴うエネルギー消費が低く抑えられるリユースを優先して設計したパビリオンが多く見られる。特に材料の選定では、強度や耐久性に優れ、再び利用することが可能な鉄鋼材料を構造材として採用した例が多い。

例えば、(社)日本ガス協会が出展するガスパビリオンでは、3R率95%以上の達成を目標とし、またCO₂発生量を抑制するためリユースを優先する方法が検討された。材料は、転用可能な一般形鋼(H形鋼、溝形鋼等)約400トンを採用している。この鉄骨のリユースを図るため構造は、解体が容易なピン接合(プレートとボルトによる接合)によるブレース構造となっている。また、接合は簡

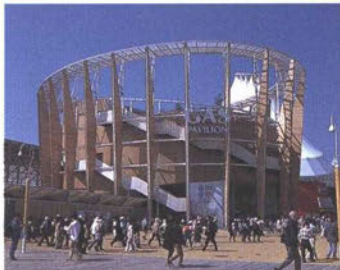
易結合金物を用いて鉄骨部材を接合することにより、鉄骨加工、溶接作業の低減や製作時のCO₂の削減、廃材の抑制が図られている。また、床に強化ベニヤ板を使用し建物の重量を減らすことで杭無し工法を採用することができ、これが掘削土の削減やCO₂の低減などに結びついている。

トヨタグループ館は、リユースを前提として構造材にC形鋼を採用している。これは一般的に建築物の下地材に使用される細い鉄骨で、構造材として利用するケースは珍しい。あえてこの材料を利用した理由は、構造材ほど厳しい品質が要求されない下地材であれば、リユースの際の用途の幅が広がるからである。また、細い部材を用いて細かく組み上げることで、建設時は足場として活用することもできる。接合には、摩擦力を利用して部材を接合する「摩擦締結工法」が考案された。この方法は2本または3本の部材を外側から2枚のプレートで挟み、プレート同士をボルトで締めて摩擦力で力を伝える。これにより部材は溶接やボルト穴の使用を極力避けて固定することができ、解体後、長い部材をそのままの形でリユースすることができる。

会期後、このパビリオンは、解体、分別回収が徹底して行われる予定で、すべての建設資材をリユース、リサイクルし、建設廃棄物を抑える計画が進められている。

リユースをめざしたパビリオン

ガスパビリオン（長久手会場）



解体が行いやすいシンプルな架構とし、また接合も簡易結合金物を用いて溶接加工を低減し、リユースを行いやすくしている。

三井・東芝館（長久手会場）



外装材に仮設資材を用いたユニークな例。使用されたのは建設現場で使用する足場用の単管で、パビリオンを覆うルーバーとして、意匠性の高い外観を形成している。会期後、仮設資材は回収されリユースされる。



ルーバーには、水が伝い流れるような仕掛けがある。夏期、ルーバーを通る風が、気化熱を奪われることによって体感温度の低下をもたらす「打ち水」の効果を狙っている。

世界最大級の壁面緑化

バイオラング（長久手会場）



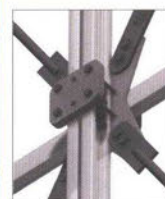
会場内には、様々な環境技術が見られるが、その中の一つが世界最大級の緑化壁「バイオラング」である。バイオラングとは生物（Bio）と肺（Lung）を組み合わせた造語で、鉄骨等で組み上げた幅150m、高さ25m、約3,500m²の壁面に、季節の草花や樹木が植え付けられている。植物の力による二酸化炭素の吸収や酸素の供給、夏期の気温の低下など、環境改善の働きが期待されている。最近では、都心部におけるヒートアイランド現象に対して屋上緑化が進められているが、壁面を緑化する効果についても注目が集まっている。今回の万博では、壁面緑化が環境に対しどのような効果を発揮するか、気象、熱、騒音防止、植物の生育など、様々な測定が行われている。測定データはモニターで来場者が直接見るできるようになっている。

様々な種類の植物を眺めながらバイオラングを通り抜けると、会場で歩きつかれた身がほっと安らぐ感覚をおぼえる。環境改善だけでなく、バイオラングには心理的な改善効果もあるようだ。

トヨタグループ館（長久手会場）



構造体が外部に露出した外観となっている。建物の中から見上げた際、上に向かってつれ部材が細く見え、建物の輪郭と景観との境界線が空に溶けこむような印象を狙っている。



摩擦締結工法
2本または3本の部材を外側から2枚のプレートで挟み、それをボルトで締めて摩擦力で力を伝えている。



グローバル・コモン（長久手会場）



地盤が良好な場所などは、コンクリを打たずにH形鋼を組み合わせた基礎を用いて解体を容易にしている。



公式参加国や国際機関が出展する展示空間は、グローバル・コモンと名付けられている。このパビリオンは、規格を統一したモジュール単位で（1モジュールは18×18×9m）建設されている。規格を統一することで組み立てと解体を容易にし、解体後のリユースを目指している。施工は、白い箱のようなモジュールが短工期で次々と建てられ、そこから各国が個性的な内外装に仕上げていくという方法が取られた。

瀬戸日本館 (瀬戸会場)

構 造: S造地上4階建 設 計: 山下設計
延べ床面積: 2,999m² 施 工: りんかい日産建設



自然との調和を図るため、外壁には日本初の準耐火性能を有する外壁木質パネルが使用されている。



鳥が衝突しないようガラス面を抑えたり、ルーバーを設けたりするなどの工夫が行われている。



屋根では、高分子樹脂をラミネートし耐久性や耐候性が高められたガルバリウム鋼板の上にヤシ殻マットを置き、そこに芝を植え屋根緑化が行われている。屋根緑化は周囲の景観に調和し、また建物の熱負荷を軽減する働きもある。



表面温度が30℃以上になると白濁する自律応答型調光ガラスを採用。日射量の低減を図っている。

森への環境負荷低減を目指した瀬戸日本館

愛知万博には、メインとなる長久手会場の他に、もうひとつ瀬戸会場がある。ここには「海上の森」と呼ばれる丘陵地帯があり、名古屋市中心部から約20kmの位置に豊かな自然が広がっている。当初ここは、愛知万博のメイン会場として想定されていたが、森を残したいという地域住民の意見から、規模が大幅に縮小された。このような経緯から、瀬戸会場のパビリオン建築は、海上の森への環境負荷を最小限に抑えることが要求された。

瀬戸日本館は、日本国政府が出展するパビリオンである。開催ホスト国として、環境配慮の模範例となるような建築物が目指された。設計においては、里山の地形を極力変えず、動植物への影響を最小限に抑え、景観と調和することが大きなテーマとなった。パビリオンの建設地は、南側と西側に里山が迫る狭大な丘陵地である。里山の地形の改変を抑えるため組柱は4本に集約され、柱の数を少なく抑えることで基礎の掘削量が低減されている。また建物は、四角形の1階の上に円筒形の2～4階が載ったような形状となっている。これは2階以上を張り出した形状とすることで、1階の設置面積を小さくし、土地への影響を小さくしている。

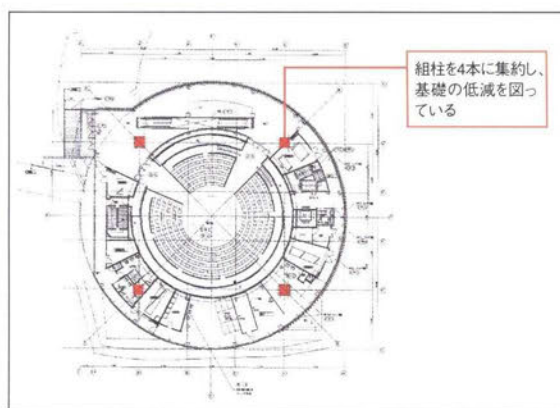
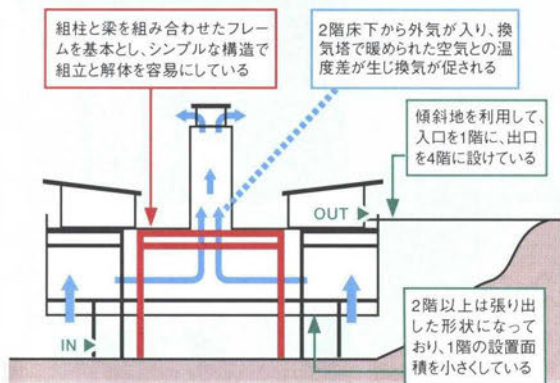
構造は鉄骨造の4階建で、組柱と大きな梁による一つのフレー

ムを基本とした、シンプルな構造とすることで施工や解体を容易にし、「里山に建物をそっと置いて、そっと片付ける」というイメージで作られている。材料はリユースやリサイクルが行いやすいように一般的に広く使用されているものが採用され、例えば組柱には近年ラーメン構造の柱等に多く採用されている冷間成形角形鋼管が使用され、梁等はSN材が使用されている。瀬戸日本館で使用された部材は、会期後、インターネット上の公募によりリユースが図られる予定である。

館内では、自然エネルギーを有効利用し、省エネルギーが図られている。室内の換気は、建物上部に設置された換気塔が太陽熱で暖められると、室内下部との温度差が生じて空気が流れ、自然換気が促される仕組みになっている。さらに、地下5m付近の地中温度が15～17℃で一定であることを利用して、外気を地下のパイプに通して冷やしてから、空調機に供給し、夏期の冷房エネルギーの低減を図っている。

ここでは連日、映像の上映や演劇の公演が行われており、芸術性の高い内容が評判を呼び、メイン会場から離れた位置にあるにもかかわらず指折りの人気パビリオンとなっている。瀬戸日本館の傍には小川が流れ、あたりにはカエルの声が響いている。里山に抱かれたパビリオンは、遠方から訪れるたくさんの来場者を豊かな自然とともに迎えている。

瀬戸日本館の概略図



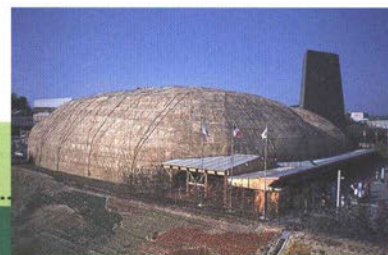
空中回廊に託す環境へのメッセージ

愛知万博のメイン会場である長久手会場には、グローバル・ループという空中回廊がある。この回廊は会場のメインストリートとなり、この回廊に沿うように世界のパビリオンエリアが形成されている。全長2.6km、標準幅21m、地表面からの距離は最も高いところで16mにもなる。この空中回廊は、自然の叡智をテーマとした今回の万博の環境配慮の考え方が結実した施設として注目を集めている。

長久手会場は元公園地を利用したもので、野球場やテニスコートなど、すでに開発された場所がパビリオンの建設予定地となった。これまでの万博会場は少なくとも100haの平地を会場用地として確保してきたが、長久手会場158haの半分は希少な動植物の生息地で、実際に建設可能な土地は70～80ha程度しかない。大阪万博(1970年)が350ha、上海万博(2010年(予定))が580haの用地を確保している例を見てもきわめて限られたスペースであることがわかる。さらに、約40mの高低差を持つ起伏に富んだ地形をしている。万博は広大な平地で

「打ち水」効果をねらう光触媒屋根

長久手日本館(長久手会場)



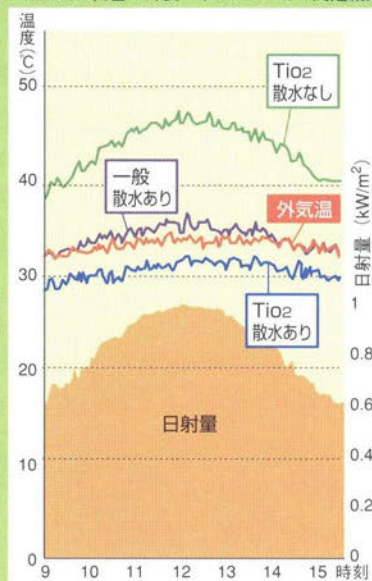
長久手日本館は、日本国政府が出展するもう一つのパビリオンである。ここでは、主に建築分野における新しい環境技術が種々取り入れられており、光触媒屋根はそのうちの一つである。

長久手日本館の屋根約1700m²には光触媒(TiO₂)をコーティングした屋根材が使用されている。我が国は光触媒技術で高い技術を保有しており、これまで、抗菌や脱臭、自浄作用などの光触媒機能が製品に応用されてきたが、今回は光触媒の放熱機能に着目した試みを行っている。

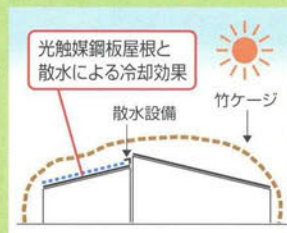
光触媒外装材に散水すると、超親水性能により部材表面に薄い水膜が形成される。そして水の蒸発潜熱により建物の外皮温度が低下する。通常、光触媒を使用していない外装材でも散水により同様の効果が得られるが、光触媒を使用した場合、その超親水性能により少量の水で効率よく放熱効果を得ることができる。現在、光触媒コーティングした塗装鋼板は開発されていないため、長久手日本館には、ホーロー鋼板に光触媒を焼付けコーティングしたものが使用された。散水は、細かく穴が開けられたホースにより、水が均一に流れ落ちるように工夫されている。その放熱効果を試算すると、室内を28℃とした場合の貫流熱量および室内表面温度は、一般の鋼板屋根では106.81W/m²、37.6℃、光触媒屋根では27.42W/m²、30.5℃となり、大幅な熱負荷軽減が見込まれている。光触媒を利用した放熱部材は、現在開発段階であり、解決すべき課題は有しているが、今回の長久手日本館での取り組みが、省エネルギーやヒートアイランド抑止技術の開発に役立つことが期待されている。

■屋根表面温度の比較

*グラフは2004年8月19日、快晴、最高気温35℃における白色の外装パネルについての測定結果



中川郷司(JFEスチール(株))、坂本義仁(JFE技研(株))「長久手政府館の屋根と光触媒利用放熱部材の開発」環境管理Vol.41, No.3(2005)より



この技術は現在、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「光触媒利用高機能住宅用部材プロジェクト」(平成15～17年)において、「光触媒利用放熱部材の研究開発」として開発が進められているものである。



グローバル・ループ(長久手会場)

構 造 : S造
 延べ床面積 : 総面積 55,662.78m²
 (高架部 44,499.44m²)
 (接地部 11,163.34m²)

設 計 : 菊竹清訓建築設計事務所・環境システム研究所JV
 施 工 : 大林・鴻池・鉄建・矢作JV、
 清水・東急・大末・徳倉JV、
 鹿島・飛鳥・ベクテル・名工JV



逆回転により撤去できる回転貫入鋼管杭



幾本もの鋼管が扇状に回廊を支える鉄扇構造。支点が集約され基礎が低減されている

行うのが一般的だが、今回はこのような条件の中での環境配慮が求められた。そこで空中回廊が考案されたのである。立体的にエリアを繋ぐという方法を用いれば、地形の改変を最小限に抑えながら、来場者は高低差のある地形をバリアフリーに移動することができる。こうして設計された空中回廊は、希少な動植物が生息するエリアを避けながら各エリアを繋ぐひょうたん型となっている。最大傾斜度は3度で、適宜水平箇所が設けられている。これは車椅子のスピードがつき過ぎないように安全性が考慮されたものである。

空中回廊の橋げたはユニークな構造をしている。鉄扇構造^{てっせん}と言われるもので、幾本もの柱が扇状に伸び回廊を支えている。これにより支点が集約され基礎の数が減り、掘削量が低減されている。また扇状に並ぶ柱は宙に浮かぶ浮遊感がイメージされており、意匠的な理由から、柱には圧迫感のない鋼管が採用されている。空中回廊に使用された柱(φ318.5mm)の総数は2000本以上で、一般構造用鋼管が採用されている。

柱の下の基礎に打設された杭は、回転貫入鋼管杭が採用されている。これは会期後、逆回転にすることで簡単に引き抜くことができるため、地中に残存することなく撤去できる。

この他にも空中回廊に使用された材料はリサイクルやリユースを考慮して、可能な限り鉄鋼材料が採用された。接合は溶接を抑え、ボルト接合を多用し解体を容易にしている。

この空中回廊により、愛知万博は池の数や土地の高低差、緑の比率を従来と変えずに会場を整備することができた。この他にも、コンクリート塊や建設発生木材の再資源化(目標95%)、会場整備に支障となる木の場合内移植、環境にやさしい素材の

利用、廃棄物発生量の削減など、自然を極力残す配慮が行われた。これまでの広大な平地を造成し会場整備を行う開発型の万博に比べ、このような会場づくりは、万博150年の歴史上初めての試みと言われている。

会場を訪れると、車椅子を利用した人や高齢者が空中回廊をゆったりと移動している様子が見られる。すぐ傍には緑が生い茂り、池の近くで涼をとる人がいる。かつての未来像を追い求めた万博会場とは異なり、自然との共生を謳う会場は和やかな雰囲気に満ちている。クリスタル・パレスやエッフェル塔などの派手なシンボルはないが、幾多の知恵が詰め込まれ実現した、人と自然が関わる風景こそが、今回の万博の目玉といっても過言ではないであろう。



- 取材協力 (財)2005年日本国際博覧会協会、東邦ガス(株)、トヨタ自動車(株)、三井・東芝館、中部地方整備局、(株)山下設計、(株)アサソー・ディ・ケイ、(株)環境システム研究所、鹿島建設(株)、JFEスチール(株)
- 取材・文 杉山 香里