

大ドーム建築の環境保全計画

Environmental Protection Planning in Large-scale Domes

高井 啓 明*

Hiroaki Takai

1. はじめに

建築設備に携わる者から見たドーム建築の環境保全計画について述べることにする。

ドーム建築における環境保全を考えるに当たって、主要な課題は次のようなものになると思われる。

- ・最小限のエネルギー消費で大空間の温熱環境を維持する計画とすること
- ・年間を通じてエネルギー消費を抑える計画とすること
- ・大空間を構成する外皮の熱的性能を工夫すること
- ・水資源やごみ、建設解体資材、廃土などのリサイクルを行うこと
- ・都市インフラ等への負荷軽減の配慮を行うこと
- ・維持管理、更新修繕などに配慮した計画とすること
- ・今後、ライフサイクルの視点からエネルギーやコストを評価し計画していくこと

このような環境保全に関する課題は、ドーム建築の計画実施においては多くのむずかしさを抱えている。それは大空間ゆえの環境コントロールのむずかしさであったり、建設コストの問題であったり、運用や維持管理上の問題であったりすると思われる。

以降に、今までに建設された大規模ドームの事例をもとに、環境保全に関わりのある実施計画や計画案を概説し、環境保全という大きなテーマに対する試みのいくつかを紹介することにする。

2. ドームの省エネルギーと環境保全

ドームの多くは不特定多数の人々が使用する施設であり、多くのエネルギー・水資源が消費され、熱や排水などを建物外へ放出する。一度に大量の消費が行われる施設でもあり、都市インフラに与える影響も大き

い。

また、大空間を有する施設であり、このような大きな建物を長期にわたって運用し維持していく必要がある。そのような観点から、省エネルギーと環境保全に配慮し、環境負荷を極力抑えた建物とすることが大切である。

2.1 ライフサイクルのコストとエネルギーを考慮した計画

建物の建設、運用、更新、解体に至るライフサイクルを通じて、投資されるコストと地球環境に与える環境負荷の両面を、極力抑えるような計画を検討する必要がある。主な検討項目は次のようなものである。

- ・自然エネルギー利用
- ・熱回収・排熱利用
- ・高効率熱源システム
- ・水のリサイクル
- ・居住域空調
- ・気流利用の環境制御
- ・省資源
- ・エコマテリアル
- ・長寿命化
- ・保守管理費用の低減

省資源は、建設時の建設資材や解体時の廃棄物量を減らしたり、運用時の水資源の節約を図ることなどである。エコマテリアルは、環境負荷の少ないリサイクル材の使用を検討することである。長寿命化は、建物の寿命を長期に設定し、寿命の長い材質の資材、部材・機器を選定したり、設備などの更新性のよい建築計画を行うことなどである。

2.2 自然エネルギー利用

スポーツやアミューズメント空間としてのドーム建築は、自然光や自然通風など、明るさや季節感、屋外との一体感などを体験することが、競技者にとっても観客にとっても求められることが多い。

一方、このような自然エネルギー利用は、省エネル

* ㈱竹中工務店 設計部設備課長
〒104 東京都中央区銀座8-21-1

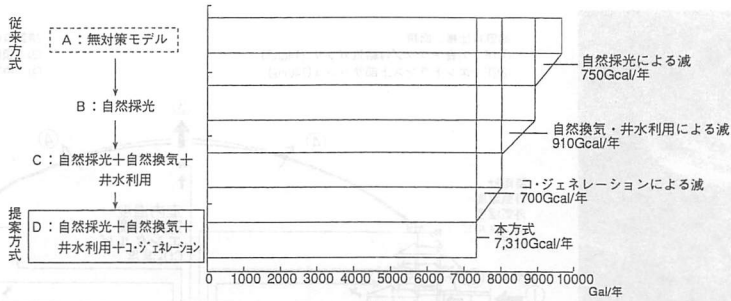


図-1 方式による年間エネルギー消費量の比較例 (1次エネルギー換算)

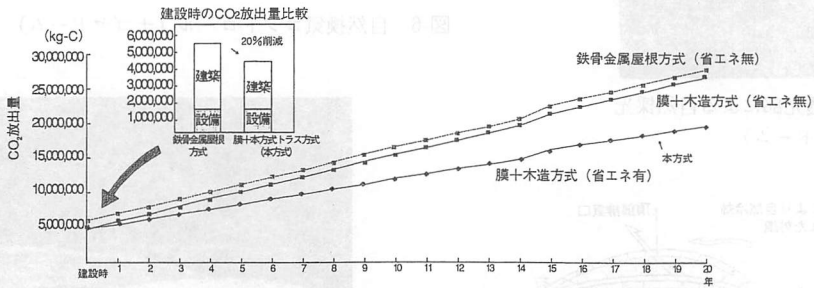


図-2 20年ライフサイクルCO₂放出量の比較例

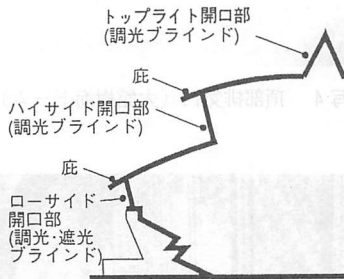


図-3 自然採光の組合せ例

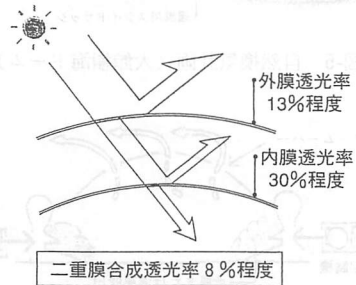
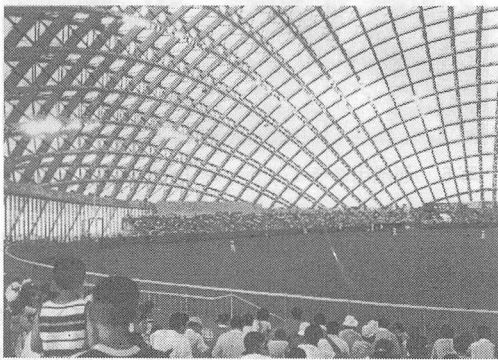


図-4 膜屋根による自然採光の例



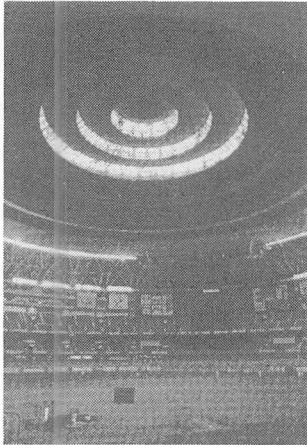
写1 膜屋根による自然採光 (大館樹海ドーム)



写2 屋根透光部による自然採光 (ナゴヤドーム)

ギー・環境保全の観点から望ましいもので、照明・空調換気のエネルギー消費を大幅に削減する。

このようなことから、ドーム建築でも自然利用を積極的に図ることが重要である。項目としては次のよう



写3 屋根透光部による自然採光
(大阪ドーム)

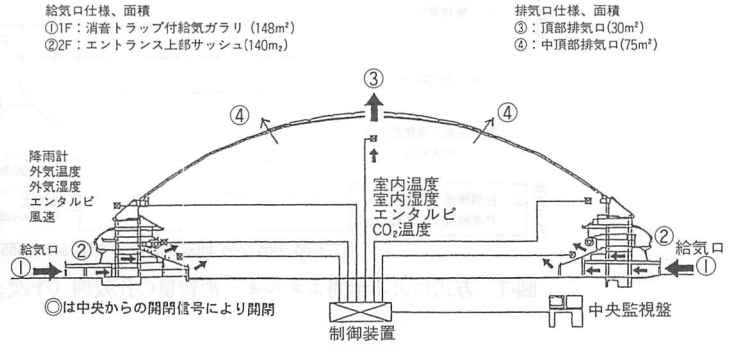


図-6 自然換気コントロール (ナゴヤドーム)

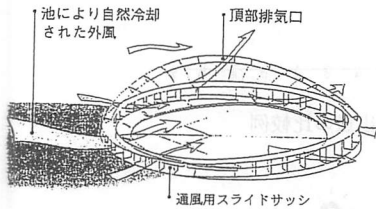
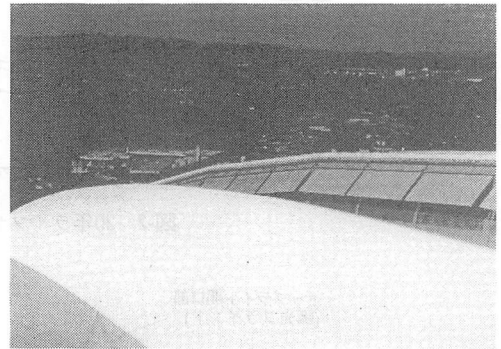


図-5 自然換気計画 (大館樹海ドーム)



写4 頂部排気口 (大館樹海ドーム)

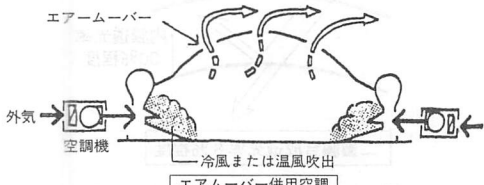
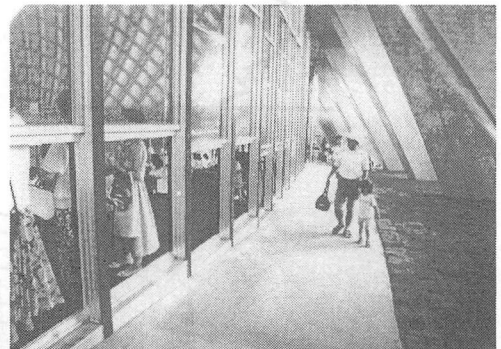


図-7 自然換気 (エアムーバー併用空調) (大阪ドーム)

なものがある。

- ・自然採光
- ・自然換気
- ・パッシブソーラーシステム

自然採光は、ガラスやポリカーボネイト、膜などの透光性を主体に利用することになるが、採光の位置(トップ、ハイサイド、ローサイドなど)やガラスや膜の透光率などを検討し、自然光で効率的にバランスよく、床面照度や天井・壁面輝度が得られるように計画しなければならない。また、屋根のトップライトにガラスなどの透明採光部をとり、膜をその下部の天井材として用いて拡散光にする方法も考えられる。スポーツ以外の目的を持つ建物では、遮光が求められる場合



写5 通風用スライドサッシ (大館樹海ドーム)

があるので、計画の初期段階で条件を明確にする必要がある。

自然換気は、夏期・中間期の恒風向を把握し、最も頻度の高い方向に沿って、建物外壁レベルに自然通風の給気開口、排気開口を設けるとよい。開口部は相当の面積を必要とし、メンテナンスや運用上の問題もあるので、ゲートを代用する計画から専用の電動開閉機構を設ける計画までさまざまな事例がある。屋根頂

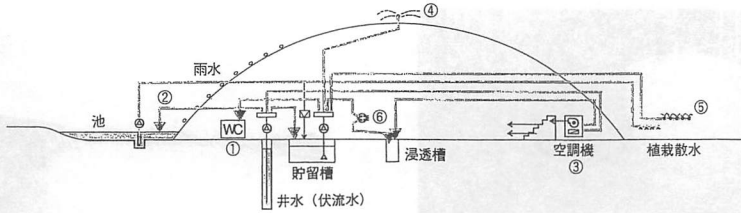


図-8 井水・雨水利用計画例

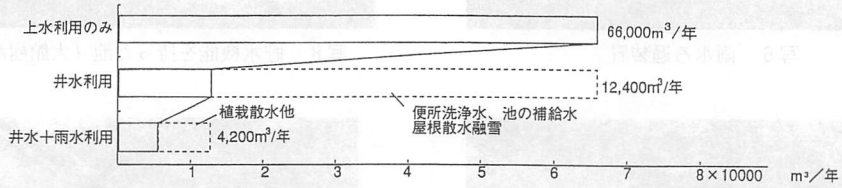


図-9 年間水使用量に関する節水効果度の予測例

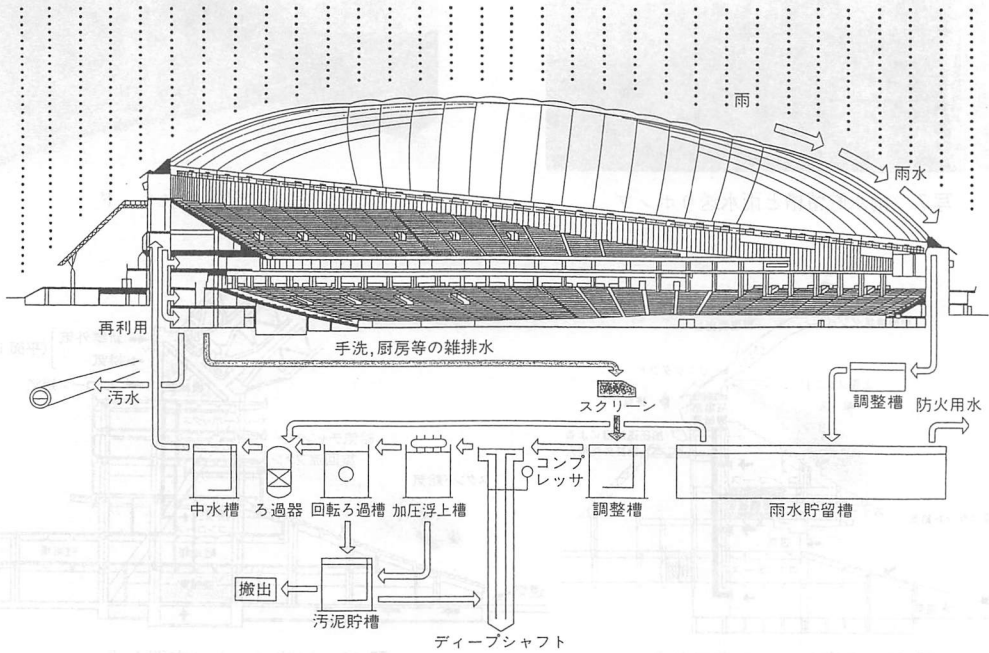


図-10 中水・雨水利用 (東京ドーム)

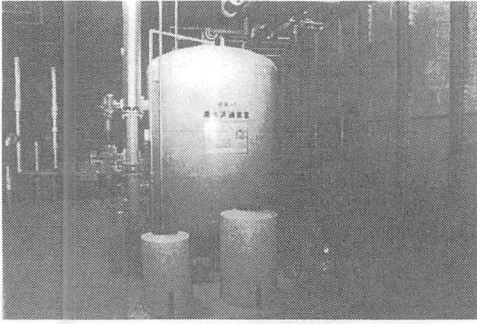
部の排気開口は、無風時でも温度差による自然換気が行え、また熱溜まりの排気が行えるので、適切な量を確保することが望ましい。特に意匠面や建築ディテールとの調整が必要となるので、綿密な共同計画を必要とする。

パッシブソーラーは、二重膜などの風道を利用し空気を流通させ天井面からの放射熱を軽減させる方法、冬期南面側のインナーガーデンに太陽熱を集熱するような方法、夏期に屋根散水を行い天井面の冷却を行う

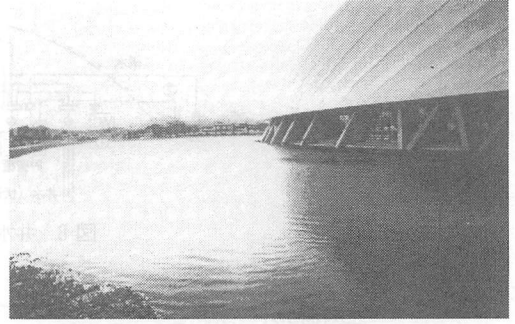
方法などが考えられる。建築計画との一体化が多く求められるので、結果としての形態や方法はさまざまなものになると考えられる。

2.3 熱回収・排熱利用

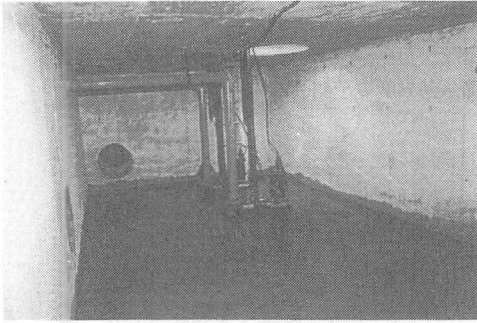
ドーム施設のような多熱負荷型の施設のデメリットをメリットに変えるためには、熱回収や排熱利用による省エネルギーを考える必要がある。方法としては次のようなものがあり、負荷特性に見合うように、項目を選択し計画を行うことによって大きな効果を上げる



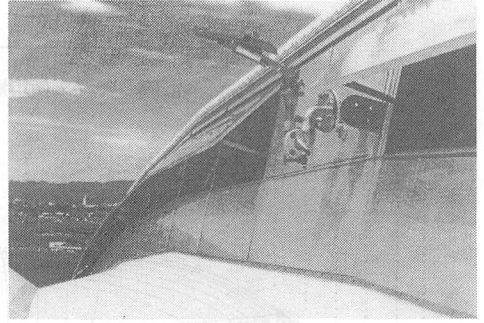
写6 雨水ろ過装置



写8 貯水機能を持った池 (大館樹海ドーム)



写7 雨水貯留槽と雨水送りポンプ



写9 屋根散水ヘッド

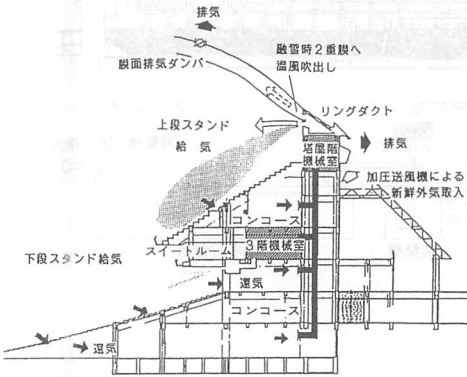


図-11 東京ドームの空調方式

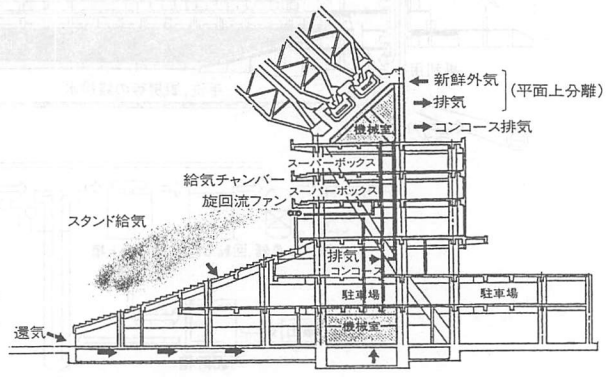


図-13 福岡ドームの空調方式

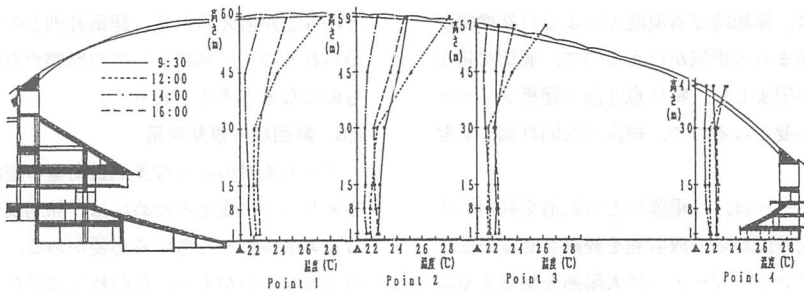


図-12 冷房時の垂直温度分布 (東京ドーム)

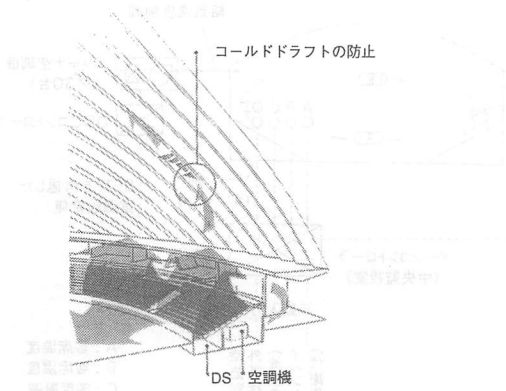


図-14 温風送風計画 (大館樹海ドーム)

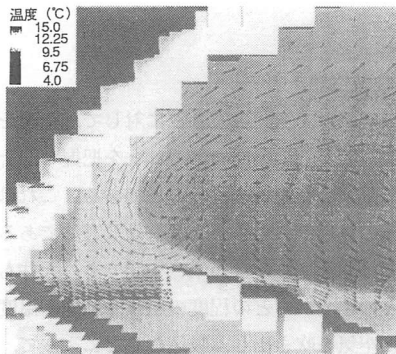


図-15 暖房時の温度分布・断面と気流の流れ (大館樹海ドーム)

ことができる。

- ・給気・排気の熱回収 (空調機の全熱交換器)
- ・コジェネレーション (電力・熱の併給)
- ・清掃工場の排熱利用温水プール
- ・温泉熱の多段階利用など

2.4 水のリサイクル

大規模に観客を収容する施設になると、水の消費量が莫大なものとなる。特に便所での使用量が多い。

また、施設の建築的規模が大きくなると、集中降雨時の雨水排水流出量も膨大なものとなり、これを極力抑え、都市設備を保護することが必要となる。このようなことから、水資源の有効利用、周辺への雨水流出抑制などを行うことが大切である。

雨水利用は、広大な屋根に降る雨を地下貯水槽に貯め、便所洗浄水や植栽散水に再利用するシステムである。地下ピットを利用することによって雨水を貯留し、少ない投資で大きな効果を上げることができる。

排水再利用は、手洗い・厨房排水などの雑排水を中

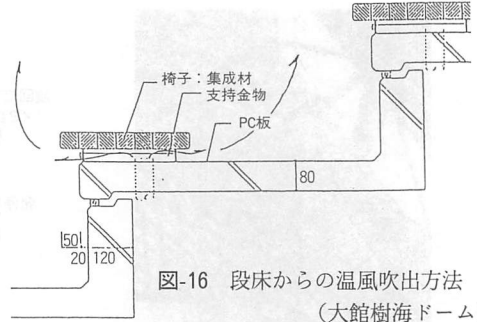


図-16 段床からの温風吹出方法 (大館樹海ドーム)

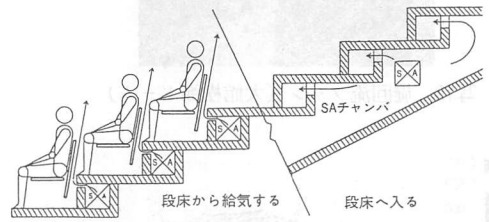
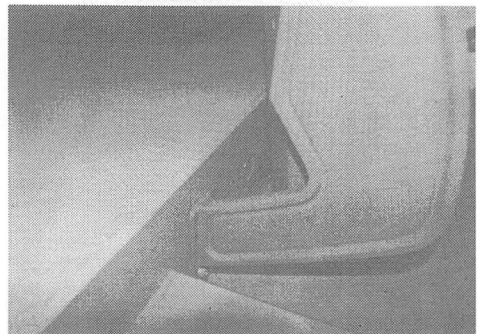
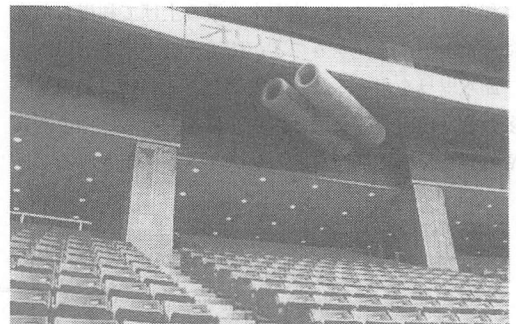


図-17 段床を利用した吹出方式



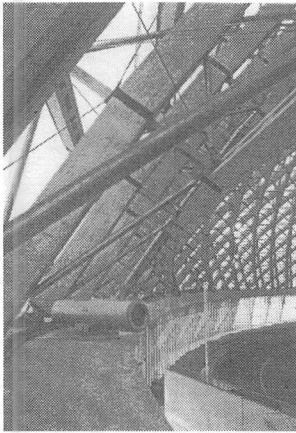
写10 吹出口 (大阪ドーム)



写11 旋回流ファン (福岡ドーム)

水プラントで処理し、便所洗浄水や植栽散水に再利用するシステムである。自治体によっては、これを広域中水として供給するところもある。

井水利用は敷地内の地下水を利用して、冷房、涼房、



写12 巡回流ファン（大館樹海ドーム）

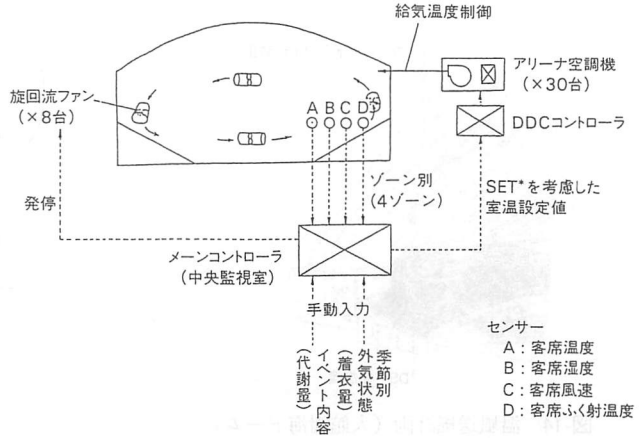


図-19 温制御システムの概念図（福岡ドーム）

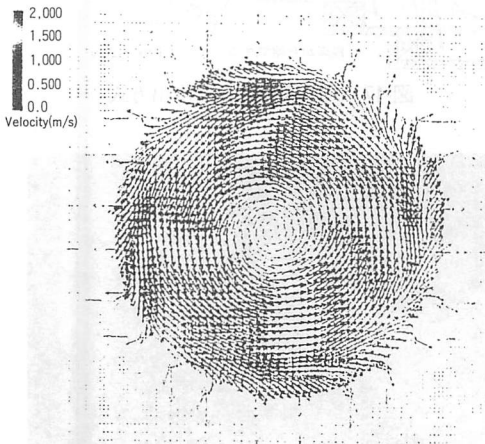


図-18 巡回流ファンによる気流予測（福岡ドーム）

雑用水、屋根散水などに用いるシステムである。熱的に利用する場合には、地下水を汲み上げて利用した後、また地下に還元することが環境保全上望ましい。

節水器具を用いることも大切である。特に使用量の多い客用便所の器具には、洗浄量を抑える仕様の器具やセンサー感知洗浄などのシステムが採用されるケー

スが多い。

2.5 居住域空調

居住域空調は、空間の大きさに対して、空調を行うべき対象空間がその一部であることを把握し、その対象空間に限定した空調を行うことである。これは省エネルギーの見地からもきわめて有効な方法である。

大空間は間仕切りのない単一空間であり天井も高いため、どの場所からどの程度の風量、風速、温度、角度で空調空気を吹き出し、吸込むことによって、効率的かつ居住域全域の空調を実現していくのかを考える必要がある。客席傍席で上方より吹出す方法、客席段床で吹出す方法、客席下部に放熱器を設け暖房する方法、客席最下部スリットなどで吸込む方法など、各種の方法とバリエーションが考えられる。

2.6 気流利用の環境制御

大空間における居住域は、競技者や観客の居るエリアである。このエリアは執務環境とは異なり、応援をしたり、コンサートや展示会では体を動かしたりする空間であり、比較的許容範囲の広い室内環境と快適性の設定が可能となる。

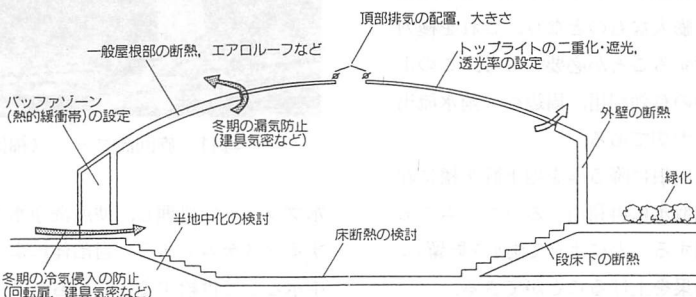


図-20 省エネルギーの視点から見たドーム大空間の建築計画

そのようなことから、居住域の風速を比較的速くして、体感を向上させ、一方では室内温度を高めに設定した“気流利用の環境制御”を行う考え方がある。室内温度は必ずしもオフィス並みの26℃設定とはせず、28℃程度の設定とし、さらに居住域エリアに気流を発生させるハードのシステムと組み合わせる。室温設定を上げることができれば、外気負荷削減などの省エネルギーを図ることができる。

吹出しノズルを用いた例は、代々木体育館、ミュンヘン水泳プールなどに見られ、大空間に対する大風量ノズル吹出しは一般的な方法となっている。

さらに、バルセロナスポーツホール、福岡、ナゴヤ、大館では、気流発生装置として、独立したファンを円周方向に数台設置し、循環する空気の流れをつくっている。

制御面では、温度・湿度だけでなく風速や放射温度などを計測し、総合環境指標による空調制御を行う考え方もあり、福岡ドームで実施している。

内部空間の形状やノズル、ファンを利用して気流を発生させる方法に加えて、自然換気と併用し、自然な風の流れにより採涼感を得たり、自然換気の駆動力を利用する方法も有効と考えられる。

2.7 建築と設備のインテグレーション

最後に、建築的な計画と設備・環境的な計画をうまく統合し、省エネルギーや環境保全を実現することを検討する必要がある。このインテグレーションが実は一番重要であり、建築設計者、設備設計者が各々の担当範囲を超えて協働することなしに、このようなインテグレーションを行うことはむずかしい。例えば次のような項目が考えられる。

- ・バッファゾーン
- ・断熱計画
- ・漏気防止
- ・頂部排気
- ・緑化

バッファゾーンは、大空間の居住域となる客席部やアリーナ床面に面して、他用途の室を配置し、熱的な緩衝帯を構成して、外部の熱的な影響を低減するもので、人の体感を向上させるのに非常に有効な方法である。半地下化したり、地中に埋めるなどといったことも考えられる。

断熱計画は、外壁面・屋根の断熱や開口部ガラスの二重化など、大空間の熱負荷を軽減し、またコールド

ドラフトを防止して快適性を確保するために必要であり、バランスよく検討を行う必要がある。

漏気防止は、特に冬期において、高天井のため外部から冷たい大量の隙間風が流入し、上部へ排出される。その気流発生を防止するための計画である。そのためには、建物周囲の開口部、頂部開口のディテールなどの気密を工夫し、回転扉の採用も検討する必要がある。

頂部排気は、自然換気に用いる屋根頂部の換気用モーターの建築的な計画である。屋根の構造や形状・意匠に大きく影響を与える場合も多く、各種の検討と調整を要する。

緑化は、屋上や壁面を熱負荷軽減の目的で利用するもので、建築物自体を緑化する場合だけでなく、南面植栽などの計画も熱的効果がある。

3. おわりに

ドーム建築は、開放的な大空間を創出することに最大の特徴がある。前述したように、環境・設備の面からは積極的に利用すべき項目もあれば、デメリットにならないように工夫すべき項目もある。

今後、ドームの大空間建築は、膜を用いた単一な屋根形式のみならず、金属断熱屋根やガラスなどの透明材料との組合せ、さまざまな天井材との組合せが行われ、膜のメリットを活かしながら多様な空間を創出していくものと思われる。そのような中で、環境・設備の計画並びに施工に携わる私たちが、熱・音・光などの環境や設備の面から、適切な評価と計画・施工対応を行い、建築・構造との統合を目指していくことが大切と思われる。

参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会編：建築設備集成9，スポーツ施設—計画・設計—
- 2) 高井ほか：東京ドームの設備計画と実施（その1～3），空気調和・衛生工学，64-1，4，5
- 3) 荒川ほか：福岡ドームの空気調和・衛生設備，空気調和・衛生工学，69-12
- 4) 高井：ドーム空間の環境・設備，日本建築学会近畿支部講習会97.3.21「ドーム空間の世界」テキスト
- 5) 小西他：スポーツ施設の設備計画・実施例（ナゴヤドーム），空気調和・衛生工学会主催平成7年度講習会（H7.11.22）テキスト「最新の設備計画と実施例」
- 6) 大高：大阪ドーム—大規模コンプレックスドーム，空気調和・衛生工学会主催平成9年度技術講演会（東京，H9.7.14）テキスト