

# 既設大規模空間への 空調設備設置に関する検討について

池田 泰<sup>1</sup>

<sup>1</sup>兵庫県県土整備部住宅建築局設備課（〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通 5-10-1）

ビーンズドームは立体鋼管トラスを用いた国内最大級の屋内テニス場である。平常時は屋内テニス場として利用されているが、災害時には広域防災拠点の一部としての機能を担うことになっている。今回、新たにドーム内に空気調和設備を設置することとなったが、その設計においては、大規模空間をいかにして空調するかという技術的検討に加えて、平常時、災害時の施設運用方法を変更せずにこれまで通りとすること、建築物の持つ高い意匠性に配慮することが設計条件として求められていた。本論文では、これらの技術的課題や設計条件に対する検討内容とその結果について報告する。

キーワード 大規模空間、空気調和設備、置換換気空調、改修

## 1. はじめに

ビーンズドームは兵庫県三木市に位置する三木総合防災公園内にある屋内テニス場である（図-1）。その構造は立体鋼管トラスを用いたドームで、内部は面積 16,167m<sup>2</sup>、最大高さ 22.85m の大規模空間であり、屋内テニス場としては国内最大級のものとなっている。

また、その設計は建築家の遠藤秀平氏によるものであり、非整形曲面ドーム屋根を始めとした特徴的な意匠と、屋根面の緑化による周辺環境との調和が国内外から高く評価され、2012年には公共建築賞優秀賞にも選ばれている。

三木総合防災公園は、平常時は地域スポーツ振興の拠点として利用されているが、緊急・災害時には、隣接する広域防災センターと一体となって兵庫県全域の広域防災拠点として機能することとなっている。

ビーンズドームも平常時は地域のテニス教室や大規模大会等に利用されているが、東日本大震災などの災害時には広域防災拠点の一部として救援物資の荷捌き場所に利用されたほか、2017年

には災害時における地域住民の避難所にも指定されている。

今回ビーンズドームにおいて、これまでの施設利用実績をふまえ、今後のより高い品質での「平常時の地域スポーツ振興、テニスの大規模大会の開催」と「緊急・災害時の防災拠点、避難所」として活用されることを目的に、ドーム内に新たに空気調和設備を設置することとなった。本論文では、この設計において課題となった内容及びその検討結果について報告する。

## 2. 設計において配慮が求められる事項

ビーンズドームの内部にはセンターコート1面、サブコート8面の計9面のテニスコートを有しており、大規模大会時にはセンターコート周囲の通路に観客席を増設することによって、最大2400人まで観戦できるようになっている（図-2）。

また、ドーム内部は柱のない大規模空間である



図-1 ビーンズドーム外観

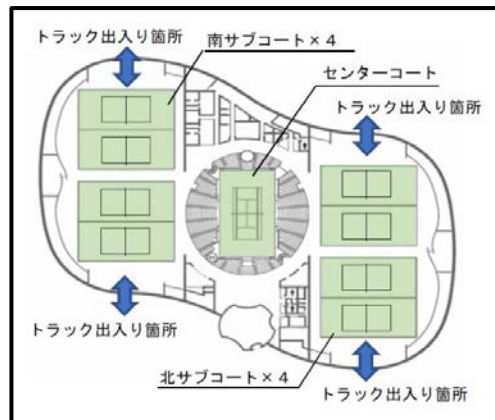


図-2 ドーム内のコート配置



図-3 ビーンズドーム内観

ため、誰がどこで何をしているかがひと目で把握でき、人や物の情報を効率よく整理することができる(図-3)。このため、災害時には消防・警察等の応援要員の集結・宿泊場所、近隣住民の避難場所、救援物資の集積・仕分け場所として利用されることとなっており、サブコート部分の床面はフォークリフトやトラックなどの車両が往来出来る床仕様になっている。

今回の設計にあたっては、空気調和設備設置後も上記の施設運用方法を変えずにこれまで通りの運用が出来るようにすることが求められた。このため、観客席の増設場所、荷捌き作業空間、ドーム内の車両通路幅、床仕様などを変更せずに空調機器を設置しようとする、ドーム内の殆どの部分は空調機器、配管等の設置場所として利用できないこととなった。

また、前述したとおり、ビーンズドームは、その特徴的な意匠(デザイン)が国内外から高く評価されている建築物である。このため、今回新たに設置する空調機器、配管等については、建築物の持つデザイン性を損なわないことが求められ、その外観についても慎重な検討が必要となった。

### 3. 大規模空間における空調設備の設計

大規模空間の空調設備は、事務所建築の空調設備と異なり、対象となる空間の巨大さや形状の多様性により、その設計手法が確立していない。

このため今回の設計においては、設計の途中段階から室内の気流分布、温度分布等のコンピューターシミュレーションを重ね、空調効果や問題の有無を確認し、設計内容の修正を繰り返しながら設計を進めることとした。

なお、今回の設計条件としては、主に平常時のテニス大規模大会時における施設利用を対象として各種負荷計算や気流分布等の検討を行い、災害時の応援要員や避難者の受け入れについては、設置された空調設備能力の範囲内で対応するものとした。

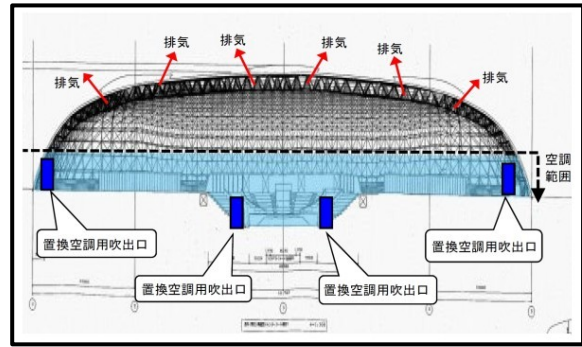


図-4 ドーム内冷房イメージ

#### (1) 冷房方式の検討

大規模な室内空間を冷房しようとする場合には、「大型の吹出ノズルを複数配置して冷風を勢よく吹き、空間全体を均等に冷房する」という方式が一般的である。

だが、大規模空間における人の活動範囲は地上から数メートルの範囲だけであり、「空間全体を均等に冷房する」という方式にしてしまうと、人が活動することのない範囲までも冷房することになり、無駄の多い冷房方式となってしまう。

そこで、大規模空間に適した冷房方式として、「置換換気空調」という方式が考案されている。これは置換換気空調専用の吹出口から、大規模空間にゆっくりと染み出すように冷風を送る冷房方式である。冷えた空気は暖かい空気より比重が大きく、空間の低いところに溜まる性質がある。

このため、冷えた空気を大規模空間に染み出すように送ると、空間内にあった暖かい余剰空気は空間上部へと押し出され、地上から数メートルの範囲が冷えた空気ですみ込まれる。このようにして、「置換換気空調」は人の活動範囲だけを冷たい空気に置き換えることにより、大規模空間においても効率的に冷房と換気を行うことができる。

また、ビーンズドームは屋外の既設機械室とセンターコートが地下管廊で結ばれており、その地下管廊に敷設された換気ダクトを通じて、新鮮空気をセンターコート付近に送ることにより換気を行っている。この際に、ドーム内の余剰空気は屋根上部の開口部から排気されており、これは上記の置換換気空調を導入した場合と同様の空気の流れであった。このため、置換換気空調を導入する場合は、既設の換気ダクトや屋根上部の開口などの既設給排気経路の再利用による工事費の低減が見込まれた。

これらを総合し、冷房方式については、「置換換気空調」を採用する方向で検討を進めた(図-4)。

#### (2) 暖房方式の検討

冬季の暖房において、夏季の置換換気空調と同様に人の活動範囲のみを集中的に暖房する方法



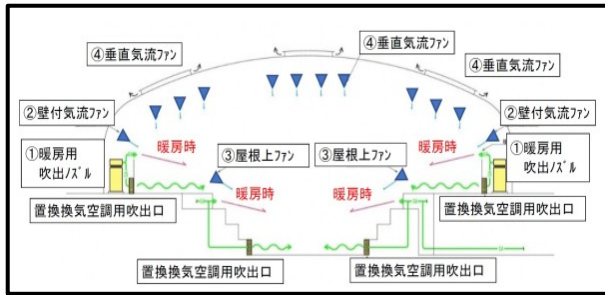


図-5 ドーム内暖房イメージ

としては、床暖房や床吹出方式の暖房などがある。しかし、ビーンズドームでこれらの暖房方式を導入するには、広い範囲の床面に機器やダクト等を埋め込む必要があり、膨大な量のコンクリート床の研り掘削作業を伴う工事となる。その上、機器やダクトを埋め込んだ床面は、車両の通行に適した耐荷重の確保が難しく、冷暖房時の伝熱による床面の変形や亀裂、テニスコートとしての床仕様からの逸脱なども懸念され、必要となる膨大な工事費や長い工事期間も考慮すると現実的な方法ではなかった。

このため今回の設計では、コート周辺に横からの吹出ノズルを分散配置する従来の暖房方式を前提として検討を行った。以下に今回の設計において検討した暖房方式のイメージ図を示す(図5)。

暖房方式としては、ドーム内各所に暖房用吹出ノズル(①)設けて暖気を供給しつつ、供給した暖気が効率的にテニスコート部分に到達するように、壁付気流ファン(②)やドーム内の諸室棟、事務所の屋根に屋根上ファン(③)を設置することを検討した。また、ドーム内に供給された暖気は室内の空気と比べて暖かく軽いため、比重の違いにより空間上部に上昇してしまう。そこで、供給された暖気ができるだけ長く人の活動範囲に滞留するよう、天井面に複数の下向きの垂直気流ファン④を設置することを検討した。

これらの①～④の機器の設置効果については、それぞれの機器を設置した場合と設置しなかった場合のシミュレーションを行って検討した。例として①～④を全て設置した場合の温度分布のシミュレーション結果(図-6)と風速分布のシミュレーション結果(図-7)を示す。

図-6の温度分布のシミュレーション結果より、①～④の機器を全て設置した場合、センターコート部分及びサブコート部分共にほぼ均一な温度分布となることがわかったが、図-7の風速分布のシミュレーション結果を見ると、センターコートの一部で風速の高い部分が生じる結果となった。

通常の屋外テニスコート上でこのような極端に偏った風速分布が生じることは考えにくく、この偏った風速分布がセンターコートにおけるテニスのプレーへの支障となることが懸念された。

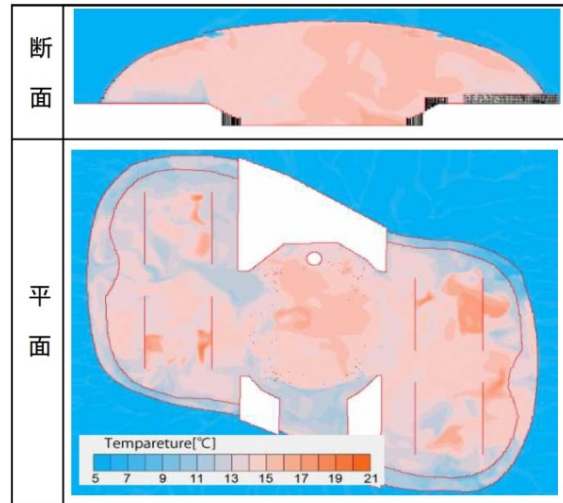


図 6 温度分布のシミュレーション結果

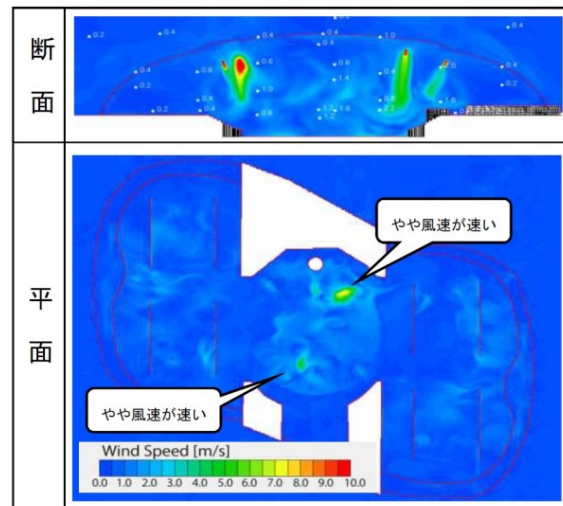


図-7 風速分布のシミュレーション結果

そこで、屋根上ファン③を設置しない条件で再度シミュレーションを行ったところ、ほぼ均一な温度分布となった上で、極端な偏りの無い気流分布になるシミュレーション結果となったため、設置を検討していた屋根上ファン③については今回の設計では設置しないこととした。

#### 4. 既設デザインとの調和

今回の設計においては、新たに設置する機器が建築物の持つ高いデザイン性を損なわないことが求められていた。だが、図面から既設デザインと調和しているかどうかを読み解くことは非常に難しく、その判断も個人の感性による部分が大きいため、担当者だけでは設計の良否を判断することは難しかった。

そこで今回は、機器や配管の設置について、複

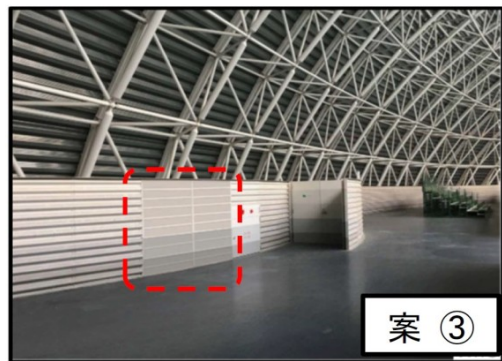
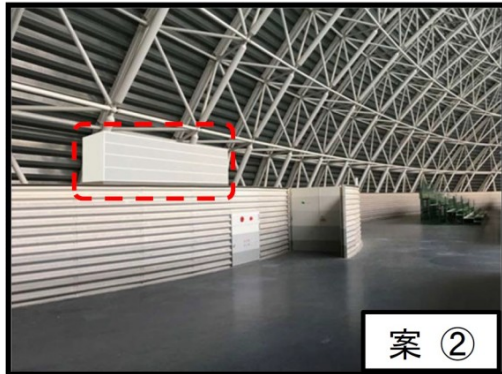
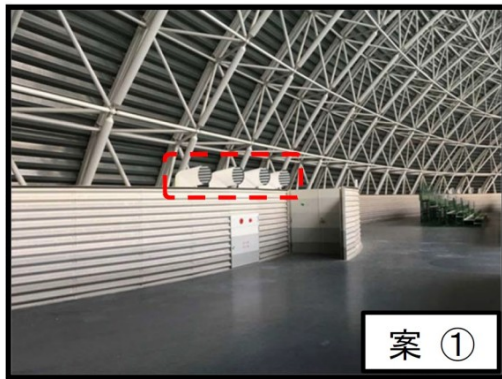


図-8 置換空調吹出口設置方法の検討案

数の設置形状、カラーパターンを考案し、そのそれぞれについてドーム内部の写真と合成した設置イメージ図を作成して複数の関係者と協議することにより、既設デザインとの調和についての検討を行った。

またその過程においては、当初のデザイン思想を崩さないよう、当初の設計者である遠藤秀平氏からも意見やアドバイスを頂きながら設計を進めた。次にその具体的な検討例を示す(図-8)。

図8はドーム内に設置する空調吹出口の設置方法の検討例である。ビーンズドーム内の外壁付近にはコルゲート板が配置されており、このコルゲート板と外壁との間がメンテナンススペースとなっている。今回の設計ではこのメンテナンススペースに隠れるように設置した空調機からサブコート側への吹出口の設置方法について、複数の案を作成して検討を行った。

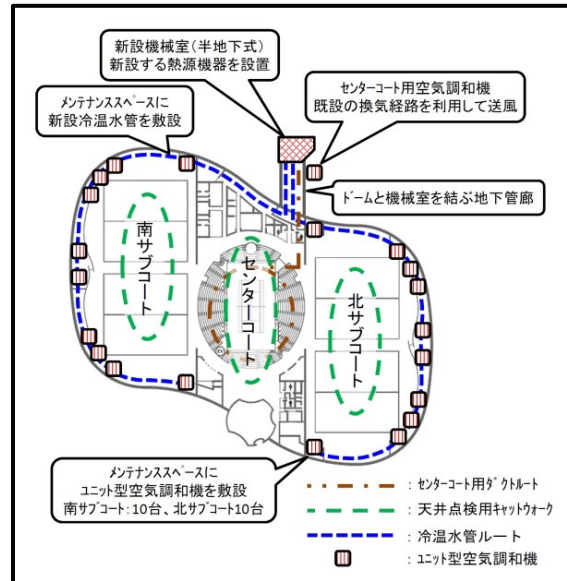


図-9 空調機器配置図

案①と案②は配置されているコルゲート板を加工せず、コルゲート板の上部よりノズル型の吹出口や角型の置換空調用吹出口を設置した場合のイメージ図である。案③はコルゲート板を一部撤去し、そこに既設のコルゲート板と大きさ、色を合わせた置換換気空調用の吹出口を設置したイメージ図である。

検討当初は既設建築物の持つデザイン性を損なわないよう、ドーム内部を取り囲むように配置されているコルゲート板の撤去を行わない案①又は案②で検討をしていた。だが、設置後のイメージ図を複数作成して検討した結果、案③のようにコルゲート板を一部撤去し、その周辺のコルゲート板と馴染むように調整した吹出口を設置した方が既設建築物の持つデザイン性を損なわないと考え、案③の方法で設置することとした。

## 5. 空調設備設置工事の設計概要

今回検討した設計の概要を示す(図-9)。

増設する空調熱源機器やポンプ類は、屋外に新たに設ける機械室に設置する。なお、機械室は景観に配慮して半地下式の機械室とした。

センターコート部分については、既設機械室に新たに設けるユニット型空気調和機により行い、既設の換気ダクト経路を再利用して冷温風を送風するものとした。

サブコート部分については、ドーム内外壁付近のメンテナンススペースに冷水管及びユニット型空気調和機(北サブコート用10台、南サブコート用10台)を設置して空調を行うこととした。

【主要機器】

吸収式冷温水機 (灯油焚)	1台	冷房能力：1,400kW	屋外機械室
		暖房能力：1,100kW	
温水ヒーター (灯油焚)	2台	定格出力：930kW	屋外機械室
ユニット型空調和機 (センターコート用)	1台	33,300m <sup>3</sup> /h	屋外機械室
ユニット型空調和機 (北サブコート用)	10台	12,000m <sup>3</sup> /h	ドーム内 メンテナンススペース
ユニット型空調和機 (南サブコート用)	10台	12,000m <sup>3</sup> /h	ドーム内 メンテナンススペース
垂直気流ファン (センターコート用)	30台	1,476m <sup>3</sup> /h × 100Pa	センターコート 天井点検用キャットウォーク
垂直気流ファン (北サブコート用)	22台	630m <sup>3</sup> /h × 100Pa	北サブコート 天井点検用キャットウォーク
垂直気流ファン (南サブコート用)	22台	630m <sup>3</sup> /h × 100Pa	南サブコート 天井点検用キャットウォーク

【最大熱負荷】

冷房時最大負荷	1,149[kW]	FL+3m以下を空調範囲
暖房時最大負荷	2,653[kW]	屋内全域を空調範囲

【設計条件(参考)】

屋内温湿度	夏季	温度：28℃、湿度：50%
	冬季	温度：15℃、湿度：40%
屋外温湿度	夏季	9時 温度：31.0℃、湿度：69%
		12時 温度：33.1℃、湿度：61%
		14時 温度：33.8℃、湿度：59%
		16時 温度：33.6℃、湿度：60%
	冬季	温度：-0.5℃、湿度：50%

また、冬季の暖房時に暖気ができるだけ長く人の活動範囲に滞留することを目的として、垂直気流ファン(センターコート用30台、北サブコート用22台、南サブコート用22台)を天井点検用キャットウォークに設置するものとした。

熱負荷については、冬季はドーム内全域(FL+22mまで)を空調範囲として熱負荷計算を行ったのに対し、夏季は置換換気空調を採用したことにより人の活動範囲のみ(FL+3mまで)を空調範囲として計算を行った。

その結果、夏季の冷房時最大負荷(1,149kW)は、冬季の暖房時最大負荷(2,653kW)の43%程度に抑えられる計算結果となった。また、冷房時最大負荷よりも暖房時最大負荷が大幅に大きくなったため、熱源は冷房時最大負荷に見合った能

力の吸収式冷温水機を冷熱源として採用し、暖房時の熱源の能力不足分については、温水ヒーターを熱源に追加して賄う設計とした。

6. 今後の検証課題

今回の設計で採用した置換換気空調は、兵庫県が管理する施設では初めての採用であり、設計における検討段階で期待している空調効果やランニングコストなどについては、運用段階にてデータ収集を行い検証していく必要がある。

また、今回これまで非空調空間であったドーム内に新たに空調設備を設置するもので、空調設備を設けたことによる騒音や結露などの二次的な悪影響が生じる恐れがある。これらについても、運転状況を注意深く観察し、二次的な悪影響が生じた場合には、その対策方法に関する検討も行う必要がある。

7. まとめ

今回、「平常時と災害時におけるそれぞれの施設運用方法を変えることなく、大規模空間に新たに空調設備を設置する」という設計上の制約が非常に多い中で、無駄の少ない効率的な空調設備を設けることができるような様々な検討を行った。

現有資産の有効活用の点からも、今後は「より効率的で合理的な行政サービスの提供のために、既設建物に竣工当初とは異なる新たな役割や行政機能を持たせる」という事例が増えると思われるが、このような設計事例は数が少なく、事業が始まってから担当者が手探りで設計手法や検討方法を模索し、事業を進めることが多いと考える。

よって、今回のような特殊な設計・検討を行った過程は、その後の検証も含めて積極的に研究会等で情報発信し、組織及び自治体間でそれらの知見を共有・蓄積していくことが、職員の技術力及び行政サービスの向上につながると考える。