

# 環境に即した建築形状の設計

## — 寒暖差の大きな地域での体育館の提案 —

### Keywords

CFD 日射 形状  
環境 温度 設計

DZ20639

川中大惇

### 1. はじめに

環境性能の高い快適な空間を実現するためには、現代においては機械式空調のみならず、自然環境を効率よく取り入れるまたは遮断するなど、パッシブ手法による環境性能の向上を求めるべきである。しかし、現代における大抵の建築は意匠設計後に設備・環境設計を行っているという現状があり、建築が持つ環境に対するポテンシャルを引き出せていないと考えられる。

本研究では、環境技術が作る建築デザインをテーマとし、機械式空調を用いらず、建築の形状に焦点を当てることで、建築形状が持つ環境性能への可能性を探求し、今後の建築界に向け環境的に優れた形状の体系をつかむことを目的とする。そのための手法として、CFD（数値流体力学）解析を用いて環境的に優れた現存する建築物の環境性能評価から始まり、最終的には自身で作成した3Dモデルにて体育館用途の建築スタディを同様のCFD解析により評価し、そのプロセスを示す。

### 2. 現存する建築における環境性能の分析

#### 2.1 概要

本研究における環境に即した形状の作成を行うにあたって、現存する建築物の環境性能を分析・考察することで、これらを研究材料として用いることとした。写真1に示すパテオンと、写真2に示すトゥルツリを選出した。

#### 2.2 解析手法

本研究では解析を行う際、Hexagon社製の熱流体解析ソフトCradle CFD version2023.1を使用した。解析モデルについては、パテオンとトゥルツリの2種類を作成し、それぞれ夏と冬で非定常解析を行なった。それぞれの解析モデルについては図3.4に示す。解析条件はWeather Spark<sup>1)</sup>及びtimeanddata<sup>2)</sup>を基に、現地における1時間ごとの気候条件を割り出し、解析領域内と外部空間との境界面から吹く風の条件として、これらの1時間ごとのタイムテーブルを登録することによって、実際の気候条件を高精度で再現した。また、日射に関してはASHRAE2013のハンドブックから割り出したデータを基に算出している。

#### 2.3 解析結果

解析結果の一部を図1,2にて示す。



写真1 パテオン外観

写真2 トウルツリ外観

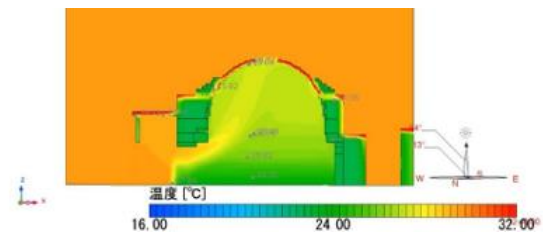


図1 パテオン夏室内温度

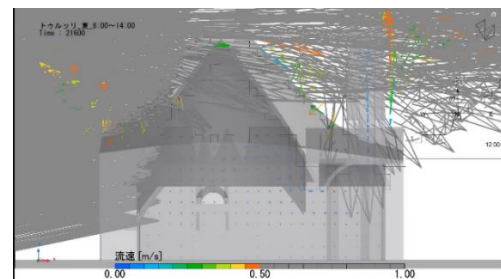
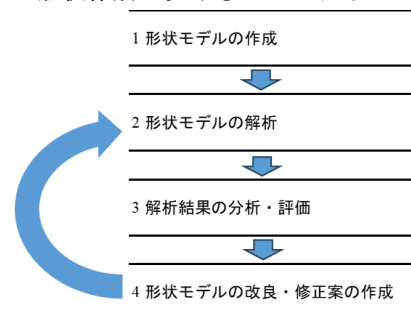


図2 トウルツリ夏室内気流

表1 体育館の設計条件

所在地	埼玉県熊谷市
用途	室内競技全般に利用できる体育館
建築面積	体育館の標準サイズである35m×41mを満たすこと
建物高さ	少なくとも35m×41mの範囲で12.5m以上確保する
使用する建築材料	コンクリートのみ
機械式空調機	一切設けない
構造的な性能	考慮しない
電気設備及び衛生設備	考慮しない

表2 形状作成におけるフローチャート



### (1) パンテオン

夏に関して室内下部の人が入る場所は19°C~24°Cの間で推移している。これはドーム屋根部分が日射による熱を吸収し、内部空間への輻射を防いでいるからであると考えられる。また、ドーム状の屋根に風が吹くことによる吸出し効果と、室内の温度成層からくる煙突効果により、室内の空気が循環していると考えられる。

### (2) トウルツリ

室内の気温は25~26°Cで推移し、これは屋根が厚い(約800mm)ことで断熱効果があり、さらに窓が小さいため室温が外気温の影響を受けづらいためであると考えられる。また、圧力差で室内の空気が循環しているのは煙突効果によるものであると考えられる。

### 2.4 既存建築からの考察

まず、パンテオンとトウルツリは両者とも屋根部材が現代の建築物と比べ厚く、日射熱の多くを吸収していると考えられる。また、日射を受ける角度によって表面温度に差が出ていることから、屋根の厚さや、季節ごとの日射角度に合わせた屋根形状を考える必要がある。加えて、建物上空を吹く風の誘因力によって引き起こされる気流の適切な利用法も考える必要がある。

## 3. 形状の設計と解析

### 3.1 設計条件

本研究では前章の考察を参考にし、環境的に優れた形状を持つ体育館建築の設計、提案のプロセスを試みた。体育館に焦点を当てた理由としては、床面積、天井高さがともに大きい大空間であり、機械式空調では膨大な負荷がかかることや、比較的形狀の自由が利くことを挙げる。また、設計の立地としては埼玉県熊谷市の平地を想定する。熊谷市は高温多湿な夏と低温乾燥で北西の風が強く冬から、寒暖差の激しい地域であるといえる。加えて、北部および西部に立つ山地から暖かい風が吹き下ろすフェーン現象によって夏場の最高気温が40°Cを超える日も存在する。これらを踏まえたうえで、設計する建物の設計条件について表1に示す。

### 3.2 形状設計の流れ

表2に示すフローチャートに沿って、体育館の形状を作成する。

1. 形状モデルの作成では、Hexagon社製の熱流体解析ソフト Cradle CFD version 2023.1 を用いて、形状の作成から必要な条件の入力までを行う。
2. 形状モデルの解析では、同ソフトを用いて作成した解析モデルの72時間分の非定常計算を行う。
3. 解析結果の分析・評価では、出力された時間ごとの画像ファイルを視覚化して読み取り、温度、気流、湿度、快適性指標(PMV)など、環境要素の中で評価指標としたものから、形状モデルの分析・評価を行う。

表3 解析日時と日射条件

観測地点		JAPAN
		KUMAGAYA
設定期間	夏	07/26/0:00~07/29/0:00
	冬	01/25/0:00~01/28/0:00
雲天係数		0.2

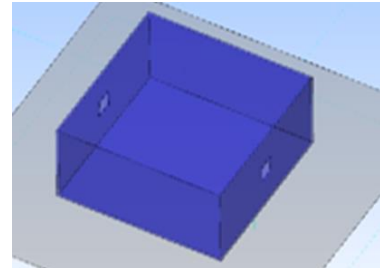


図3 モデル1 アイソメ図

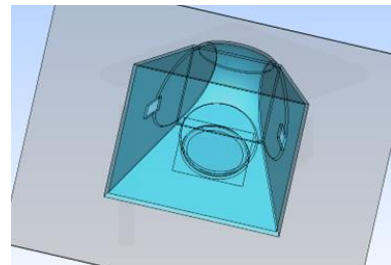


図4 モデル4 アイソメ図

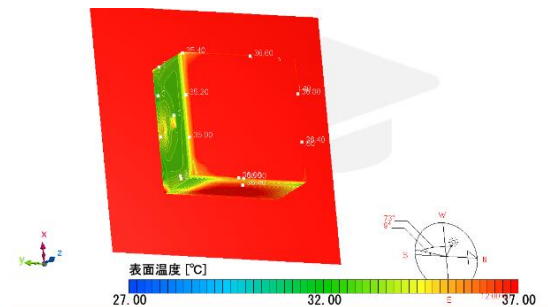


図5 モデル1夏 表面温度

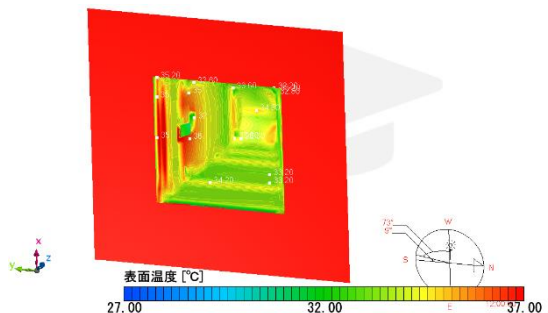


図6 モデル4夏 表面温度

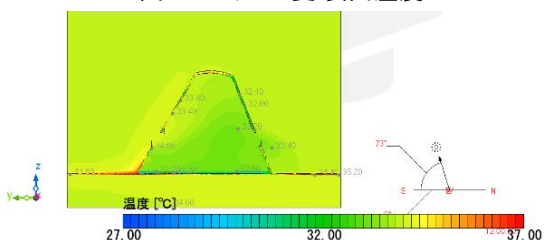


図7 モデル4夏 室内温度

4. 形状モデルの改良・修正案の作成では、3. の分析・評価からモデルを修正・改良し、新たなものを作成する。本研究ではこのフェーズを重ねることでより環境的性能の高い形状を作成することを目指す。

### 3.3 評価基準

本研究の設計において以下の3つの評価基準、

1. 外気温に対して室内温度が、夏はいかに低く、冬はいかに高く保てているか
2. 人が利用するエリアにPMVを0に近づけられるか
3. 不快感を要する程の気流や湿度が検出されていないかを用いる。

### 3.4 解析パラメータ

解析条件は第2章と同様の方法で調査し、1時間ごとのタイムテーブルを登録することによって、気候条件を入力した。解析日時と日射条件については表3に示す。

### 3.5 形状スタディと解析

結果の表示は建物の蓄熱を考慮し3日目正午に統一する。

#### (1) フェーズ1

形状スタディにおける最初のモデル作成となるため、最もシンプルなボックス型から側面の角度に変化をつけたモデル、加えて屋根頂部をアーチ型、ドーム型にしたモデルの計4種類を解析した。これらのうち2つを図3.4に示す。パネオンおよびトゥルッリにおける特徴的な気流や日射吸収を再現するため、モデル2-4では外壁厚さおよび屋根厚さを400~500mm程度とし、日射の方向面積を夏には最小限に、冬には最大限にする目的で南面の外壁を30°、北面の外壁を78°傾けて設定している。

解析結果の一部を図5~7に示す。まず、夏について表面温度を見ると屋根部分が平らであるモデル1では37°Cを超えているのに対し、ドーム状の屋根を持つモデル4では32°C~35°Cという結果になった。日射の入射角が小さい部分ほど表面温度が上昇しやすいことが分かる。また、室内温度に注目すると、モデル1では33°C~36°C、モデル4では32°C~34°Cとなった。これは天井面が熱いほど、その輻射熱により室内温度が上がっていると推測される。

#### (2) フェーズ2

フェーズ1の結果から、モデル4が最も優れていると判断したため、このフェーズではモデル4とモデル4から開口部の位置を変更したモデル5、6を比較する。モデル6については図8の通りであり、モデル5は開口部を地面付近に設け、モデル6は逆に開口部を屋根付近に設けた。

解析結果の一部を図9、10に示す。まず夏について、モデル4では室内温度が32°C~34°Cであるのに対し、高い位置に開口部を設けたモデル6では、31°C~33°Cとさらに低く保たれている。これは室内下部で上向きの気流が発生していることから、高い位置に流入した気流が誘因力となり、下の方の空気を押し上げることで温まった空気を逃がしていると考えられる。また冬について、外部で風

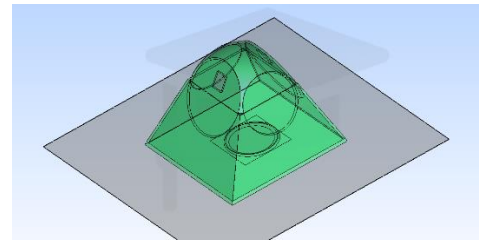


図8 モデル6 アイソメ図

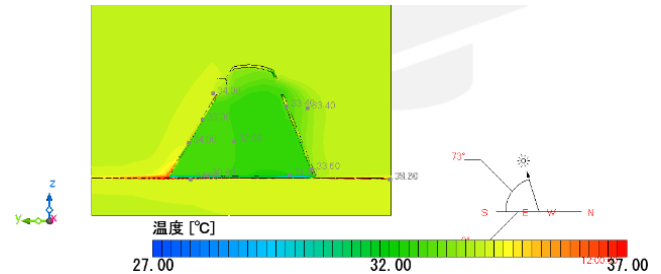


図9 モデル6夏 室内温度

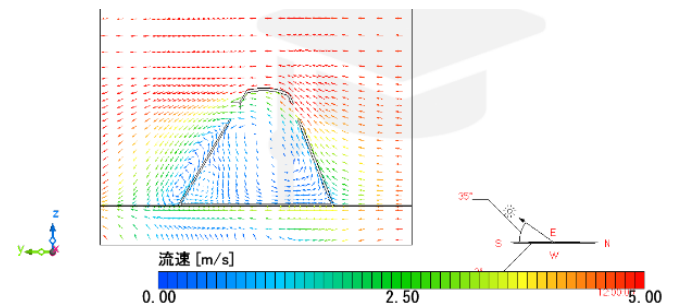


図10 モデル6冬 室内気流

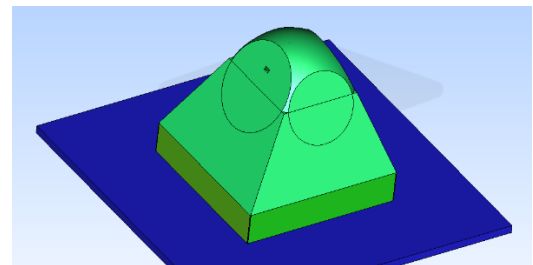


図11 モデル8 アイソメ図

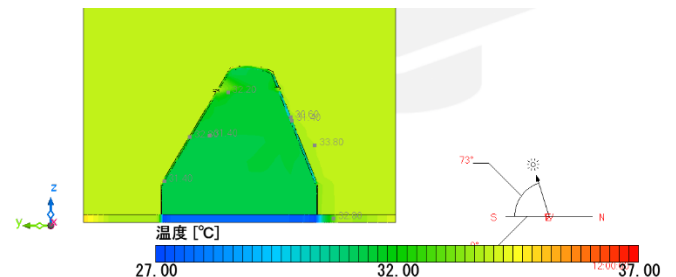


図12 モデル8夏 室内温度

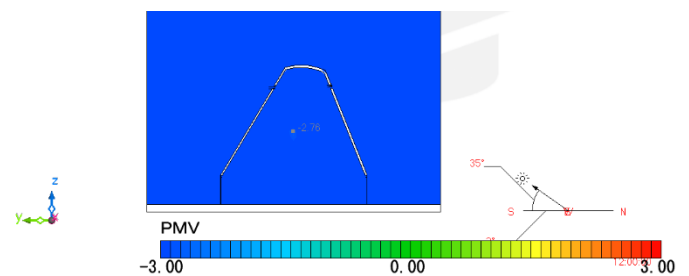


図13 モデル8冬 PMV

速5m/sの風が吹いている中、モデル6では風速1m/s以下で上向きの気流ができていることから開口部を高い位置に設けた方が望ましいと考えられる。

### (3) フェーズ3

モデル6の下に高さ10m、厚さ200mmの壁で囲った空間を追加し、日射吸収の精度を高めることを目的としたモデル7と、図11に示すそこから開口部のサイズを8分の1に縮小したモデル8作成した。

結果について図12、13に示す。夏の室内温度を見ると、モデル7は32°C~33°Cであるのに対し、モデル8では31°C~32°Cとなり、室内の気流に着目するとモデル7では1m/s程であるのに対し、モデル8では0.8m/s辺りで流れていることから、開口部が小さいモデル8の方が外気をより少ない量で適切に取り入れており、それによって室内温度も低く抑えられていると考えられる。冬に関してモデル8では室内の風速を抑える以外に、南面下部の外壁が上部よりも効率よく日射を吸収したことで、室内の温度もさらに上がりPMV(met=1.2 clo=1.2)がそれまでのモデルでは計算上-5と表示されていたが、初めて-3を超えた。

### (4) フェーズ4

図14に示すモデル9は、モデル8の東西南面の外壁上部から常温の水を流し、蒸発潜熱によって建物を冷却することで、夏における室内温度をより下げようを試みた。

結果を図15に示す。南面外壁の初期水分を設定している部分における壁内部の温度が31.4°Cであり、モデル8の同部分では32.8°Cとなっている。さらに、室内温度が29°C~30°Cで推移していることから、蒸発潜熱によってより低い温度で室内への輻射が行われていると分かる。

### (5) フェーズ5

図16に示すモデル10では蒸発潜熱の効果は残し、夜間の室内温度を外気温まで下げ、昼間の室内温度をより低く保つために、午後8時から10時間かけナイトパーズを行った。そのための開口部は南面外壁の下部に設けた。

その結果を図17、18に示す。ナイトパーズ用扉を上手く収められず、隙間風が流入し昼間の室内温度がモデル9よりも高くなった。一方、早朝の室内温度は外気温より0.5°C低く、モデル9と比較しても1.5°C低いことから、理論上はモデル10の方が環境的に優れていると考えられる。

## 4. まとめ

- 1) 現時点ではモデル10が最も環境的に優れている。
- 2) 太陽の動きを形状に細かく反映させることで、表面温度に5°C以上、室内温度に2°C以上の差が生まれる。
- 3) 開口部の位置や大きさで、PMVに0.2以上の差が出る。
- 4) 蒸発潜熱は昼間の室内温度を1.5°C程下げ、ナイトパーズは早朝の室内温度を外気と同等まで下げられる。

今後の課題としては、断熱等の他の建築要素も加味し、フェーズを重ねていくことが必要と考えられる。

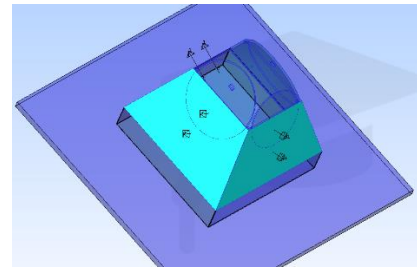


図14 モデル9 アイソメ図

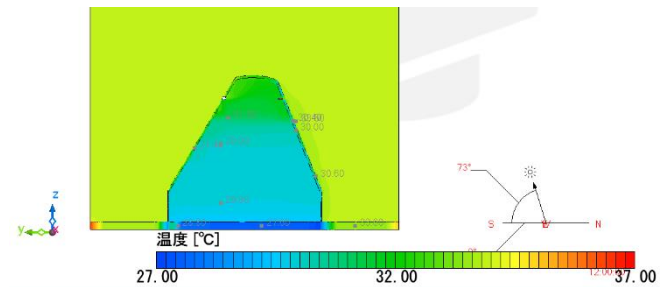


図15 モデル9夏 室内温度

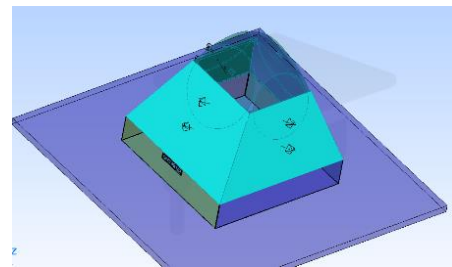


図16 モデル10 アイソメ図

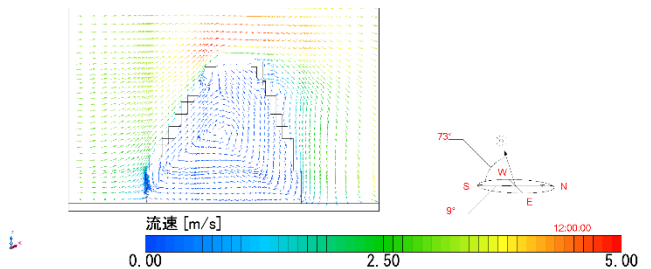


図17 モデル10夏 室内気流

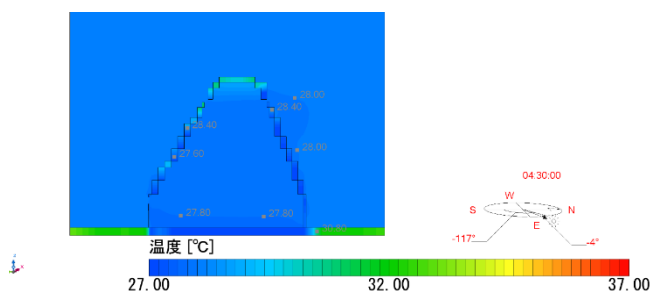


図18 モデル10夏 室内温度(3日目午前4時30分時点)

## 参考文献

- 1) weather spark <https://ja.weatherspark.com> 2023年9月28日閲覧
- 2) timeanddate <https://www.timeanddate.com/weather> 2023年9月28日閲覧
- 3) B・ルドフスキー 建築家なしの建築 鹿島出版会, pp.14-27, 1984年1月