

# 体育館における温度成層型空調に関する研究



CFD 体育館 気流  
 温熱環境 温度成層型空調 床吹出し

AJ16058 澤野 詩帆  
 担当教員 西村 直也

## 1. 研究の背景と目的

2020年、東京オリンピックが開催される。オリンピックで行われる33競技の1つにバドミントンがある。近年、日本人選手の活躍に伴い、バドミントンはメディアでも取り上げられることが増えてきている。バドミントンは約5グラムという非常に軽いシャトルを打ち合い、得点を競う競技である。気流が競技の進行に影響を及ぼすことがあるため、競技を行う場合、競技場の窓やドアを閉め切った状態にしなければならない。ゆえに、夏場には、気流の少なさ、室内温湿度の上昇が原因で熱中症などの体調不良を引き起こす原因となる。日本バドミントン協会が提示している競技規則によると、『空調調節装置使用により生じる気流は、極力避けるものとするが、競技会場(観覧席を含む)の温度環境維持のため、止むを得ないと判断した場合は外気を遮断していることを条件として使用を認める。なお、この判断はその大会の競技役員長(レフェリー)によってなされる。』とある。また、空気調和・衛生工学会によると、バドミントンを行うスポーツ施設の風速は0.15[m/s]以下を設計条件として挙げている。

本研究では、競技場の規模に対してその利用人数に変化が生じた場合にも、快適な空間を保つことができる空調設計指標を構築することを目的とし、調査には熱流体解析(CFD)ソフトを使用して解析を行った。競技場内に観客、競技者、審判がいることを想定し、競技場の利用人数の変化にも対応する吹出し速度を調査する。なお、本研究における快適な空間とは、風速における設計条件を満たした上で、観客、競技者、審判が滞在する空間の温度が目標温度以下である空間のことを指す。

また、空調設計指標の構築と同時に省エネルギー化を目指し、温度成層型空調を活用する。温度成層型空調は大空間向けの空調システムであり、空気の密度差を利用するため下層空間のみ冷房する際に省エネルギー効果を得ることができる。

## 2. 研究方法

### (1) 解析対象のモデル化

一般的な学校の体育館でよく見られるコート数が6面張れる規模のモデルから、スポーツ施設で見られる8、12面張れる規模のモデルを想定し、3種類の解析モデルを作成した。その

詳細を表1に示す。各解析モデルは、既存の競技場を参考に寸法は設定した。また、より正確な温熱環境を調査するために、観客及び競技者、外壁にそれぞれ表2に示すような熱量を持たせた。

### (2) 解析条件

解析モデルの収容率が100%、60%、30%時において、吹出し速度2.0[m/s]、1.0[m/s]、0.5[m/s]、0.25[m/s]の場合の温度及び気流速度を解析する。

### (3) 評価方法

温度及び気流速度の二点について評価する。目標温度を26[°C]と設定し、床面から1[m]高さにおける温度が26[°C]以下であるかどうかを評価する。また、この時温度成層が形成されているかを温度コンター図から読み取った。気流速度は、床面から1[m]、3[m]、5[m]、7[m]高さにおいて0.15[m/s]以下であるかどうかを評価する。

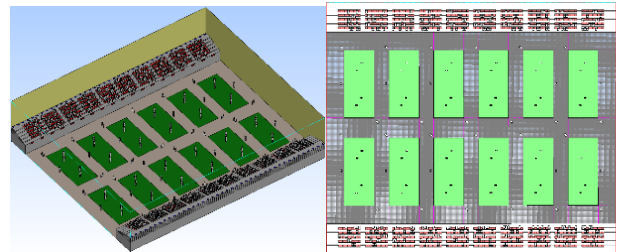


図1 解析モデル(12面)

表1 解析モデル 詳細

コート数(面)	体育館			外壁面積(m <sup>2</sup> )					吹出し口			吸込み面積				
	幅(m)	奥行(m)	高さ(m)	東	西	南	北	天井	幅(m)	奥行(m)	台数(台)	幅(m)	奥行(m)	台数(台)		
12	50	58	13	1000	754	754	650	650	2900	2	450	450	42	481		
										1			82		450	962
										0.5			164		700	1925
										0.25			700		208	2887
8	50	40.6	13	600	527.8	527.8	650	650	2030	2	450	450	26	438		
										1			52		450	876
										0.5			102		700	1751
										0.25			700		130	2627
6	44.9	31.5	13	200	409.5	409.5	583.7	583.7	1414.4	2	450	450	12	361		
										1			24		450	722
										0.5			46		700	1443
										0.25			700		58	2165

表2 解析条件

	外壁[W]				人間[W]			総発熱量[W]	
	東	西	南	北	天井	観客	審判		競技者
12	2532	1363	1491	994	16480	150000	5400	19200	197460
8	1748	941	1491	994	11379	150000	3600	12800	122953
6	1356	730	1339	892	7928	150000	2700	9600	54546

### 3. 解析結果

#### (1) 温度に関して

部分的に 26[°C]を超えてしまう箇所はあったが、かけ離れた値を示した箇所は無く、どの解析モデルの場合もおおむね 26[°C]以下の値を示した。また、収容率が低くなるにつれ温度は下がる傾向があった。温度成層に関しては、解析モデルの収容率と吹出し速度により、各成層の幅と温度は変化したが、いずれの場合も温度成層の形成を確認することができた。

#### (2) 気流に関して

ほとんどの解析モデルにおいて、床面から1[m]高さにおける気流速度は 0.15[m/s]を超えてしまう箇所が多く見られ、高さが高くなるにつれ、流速は落ちる傾向があった。これは、吹出し口から放出される気流が観客席から床面まで下降していくことにより下降気流が生じ、流速が上がってしまったことが原因と考えられる。この結果に伴い、0.15[m/s]を超える箇所のある高さで収容率 60%時における流速分布を調査するため、箱ひげ図を作成した。これにより、0.15[m/s]を超える気流の範囲は 0～25%であることがわかった。

### 4. 結論

本研究で設定した吹出し速度では、結果に目立った相関関係は見られず、設計指標を構築するには設定条件の幅を広げる必要があることが判明した。温度に関してはおおむね目標設定温度を満たし、温度成層の形成も確認することに成功した。一方で、気流に関しては床面からの高さが高くなるにつれ、徐々に速度は落ちたが完全に 0.15[m/s]以下を満たす吹出し速度はなかった。

今後の課題として 2 点が挙げられる。一つ目は、吹出し速度の速度を本研究で設定した速度より、さらに早いものと遅いもので解析しなおすことである。速度の幅を広げることで、流速が 0.15[m/s]を完全に超えてしまう吹出し速度あるいは、どの地点においても 0.15[m/s]未満を満たす吹出し速度を発見することが可能になると考えられる。二つ目は、吹出し口の位置を変更することである。本研究では、観客席後方に吹き出し口を設置したが、それにより競技場床面に向かって下降気流が生じてしまい、床面での流速が上がってしまった。これに対して、競技場床面に吹き出し口を設置することで下降気流をある程度抑えられるのではないかと考えられる。また、本研究室においては、GA(遺伝的アルゴリズム)の使用による吹き出し口の最適パターンの算出なども行っている。これを活かした設置位置の選定方法も考えられる。

#### 引用・参考文献

- 1) 空気調和衛生工学便覧 3 空気調和設備設計篇
- 2) はじめての建築環境工学
- 3) 競技規則 2018 年 8 月 1 日一部改訂 - 日本バドミントン協会

<https://www.badminton.or.jp/rule/files/rule2018.pdf>

表 3 温度結果

風速[m/s]	12面			8面			6面				
	収容率[%]	温度[°C]	温度成層	風速[m/s]	収容率[%]	温度[°C]	温度成層	風速[m/s]	収容率[%]	温度[°C]	温度成層
2	100	26.5	○	2	100	26.5	○	2	100	24	△
	60	24	○		60	23.5	○		60	23	おおむね○
	30	23	○		30	21.5	○		30	21.5	○
1	100	27	おおむね○	1	100	25	○	1	100	24	○
	60	23.5	おおむね○		60	23.5	○		60	23	○
	30	21.5	○		30	21.5	○		30	21.5	おおむね○
0.5	100	26.5	○	0.5	100	26.5	○	0.5	100	25	△
	60	23	×		60	23.5	○		60	23.5	△
	30	21.5	おおむね○		30	21.5	おおむね○		30	22.5	△
0.25	100	26	○	0.25	100	24	○	0.25	100	25.5	△
	60	23.5	○		60	22	○		60	24	△
	30	21	○		30	21	おおむね○		30	23	おおむね○

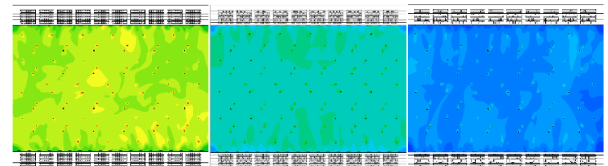


図 2 12 面 1[m]における温度結果 (左から収容率 100%、60%、30%)

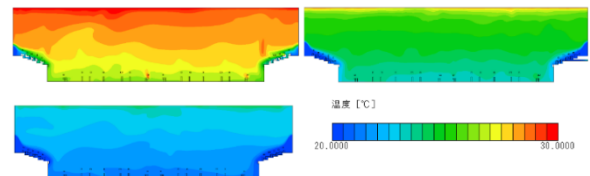


図 3 12 面 1[m]における温度成層結果 (左から収容率 100%、60%、30%)

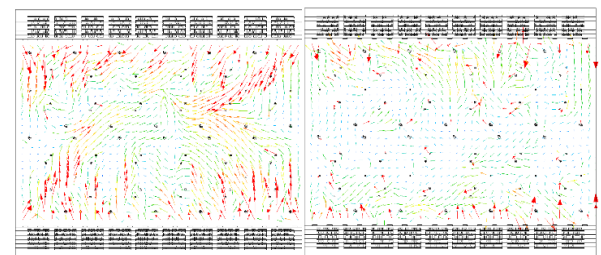


図 4 12 面 1[m/s] 収容率 100%(床面からの高さ 1[m]、3[m])

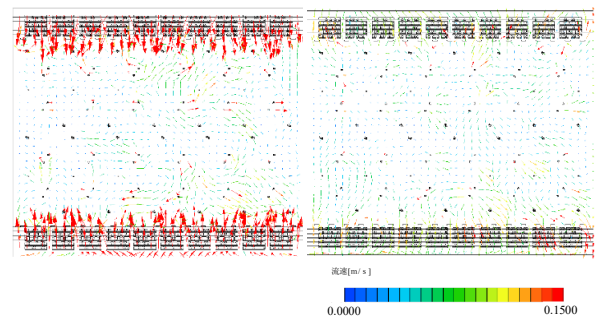


図 5 12 面 1[m/s] 収容率 100%(床面からの高さ 5[m]、7[m])

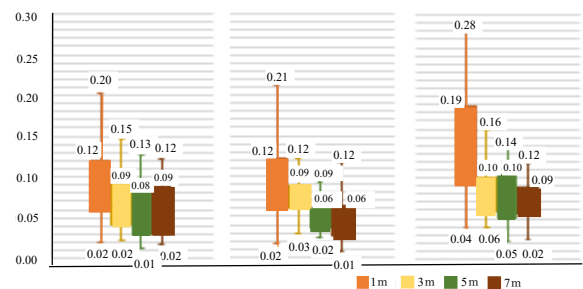


図 6 収容率 60% 1[m/s]における流速分布