



dz18604 石津莉穂

# VRによる気流の可視化に関する研究

## Keywords

VR 気流 CradleViwer  
アンケート 主成分分析  
JMP

## 1. 研究背景・目的

室内の気流、CO2の分布などは通常は目には見えないものである。しかしこれらが室内環境に及ぼす影響は極めて大きい。

近年建築分野においてもバーチャルリアリティ（以下VR）が新たな空間呈示手法として注目を集めている。現在では様々な分野においてVR技術が多用されつつある。

本研究では、実際に存在する小規模の会議室をCFDによる数値流体解析を行い、空調換気設備から出る気流の流れを表す流線（以下流線）・粒子の拡散特性（以下粒子）・室内の圧力をCFD解析の結果を閲覧するビューワソフト（以下CradleViwer）を用いてVR（Virtual Reality）による可視化を行う。VRは印刷物や平面図などの2次元媒体による提示に比べ、より現実に近い体験ができるため、より臨場感のあるものが提示できる。

細かい部分まで認識することができるため、室内環境の可視化・体験化を行い、分析結果の詳細な把握が可能となる。これにより、室内環境の改善・向上が期待できる。一方で、VRのような広視野映像が観測者に与える心理的影響は臨場感だけではなく疲労、恐怖感もあると考えられる。

これらを調査するため、VRを装着した被験者（25人）に対しアンケート調査し評価を行う。通常のPCモニター画面と見やすさの比較も行う。またそこで得られた回答のお互いの関係性を調べるため、各設問に対して主成分分析を行い、その傾向を調査した。

## 2. 研究方法

### 2.1対象建築物の概要

解析対象とした部屋は一般的な小規模の会議室であり、机椅子は可動式である。

窓は片面のみであり殆ど開閉はできない。

表1に対象とした会議室の概要、図1に平面図を示す

### 2.2 手法

#### (1) 使用するVRについて

本研究ではVIVE社のVIVECOSMOS（写真1）を使用し、VR環境を作る。これは6つのセンサーカメラにより、より高度なトラッキングの精度を有し、合計解像度2880×1700ピクセルのディスプレイにより、繊細かつ綺麗な映像を映し出すことが可能となっている。

表1 解析対象とした会議室の概要

	会議室
床面積	92㎡
天井高	3m
定員	28人

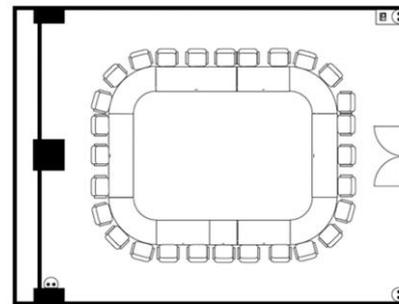


図1 会議室 平面図



写真1 VIVECOSMOS

#### (2) VRによる可視化

CFD解析にて得られたデータをVRにて可視化するためにCradleViewerを用いて書き出す必要がある。

CradleViewerとはCFD解析の結果についての閲覧を可能とした無料ビューワソフトである。使用するメモリがCFD上よりも少なく済むため、3次元的な計算結果の確認を、搭載メモリの少ないPC上でも比較的快適に行うことができる。またスマートフォンで利用することも可能

であり、通常PC版の無料配布もされている。そのため、本研究では汎用性・利便性を鑑みてこのソフトを使用する事としている。

解析対象とした会議室に、数値流体解析により、その流線を、また拡散する粒子の挙動や圧力の変動を算出し、風の流れや粒子の拡散傾向を提示する事とした。

流線について、CradleViewerを用いて書き出したものを、図2、粒子について、図3、圧力について、図4、にそれぞれ通常のモニターに出力したものを示す。

流線について、かなり複雑な状態となっているため、見やすくするために色を付けており、流れる速さ等は表していない。

粒子について、会議室にいる人間のうち一人の口から放出されたと仮定したものを表し、粒子を赤色にすることで表している。また、粒子の流れはかなり速いため、0.01秒を1サイクルとし、10000サイクル、100秒間の様子を表示している。

圧力に関して粒子と同じ条件で表示している。

### (3) アンケート調査の実施

CradleViewerを用いてVRによる可視化をしたものを観測者25名に装置を装着してもらいアンケート調査を実施する。

PC画面とVRの比較、その他9項目についての五段階評価を行う。評価、項目、についてそれぞれ、表2、表3に示す。

### (4) JMPによる主成分分析

主成分分析とは三次元を上回る、多くの変数を持った高次元データにおいて、変数間の相関があることを利用し、できるだけ情報を減らすことなく、次元を減らすことである。アンケートで得られた結果の関係性を調査するためJMPを用いた主成分分析を行う。JMPとはデータ分析のためのソフトウェアであり、数値が並んだ表や静的なグラフからは得られない洞察を得ることが可能である。Excel上にデータをまとめインポートすることで主成分分析を行う。

今回の調査では、すべての設問に対し主成分分析を行い、その結果から関係性のある項目に注目し考察を行う。

## 3 結果

### 3.1 VRによる可視化の結果

CradleViewerを用いてVRによる可視化を行った結果、VRを通すことでより現実に近い空間を体験することに成功した。VRを通して見ることでできる映像は3Dの立体映像となるため、図として表せないの、PC上に2画面の状態でも表示されるものを、例として流線を図5に示す。二画面で表示され散るものは、VRの左右のレンズに映っているものを表している。

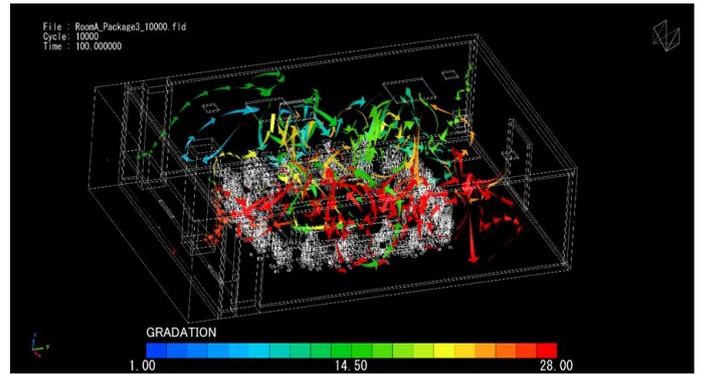


図2 流線 CradelViewer

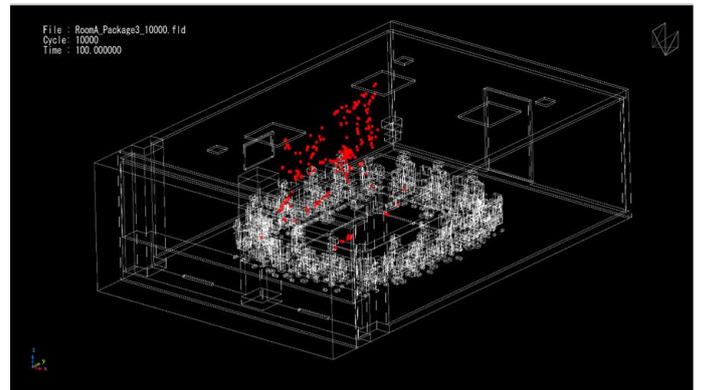


図3 粒子 CradelViewer

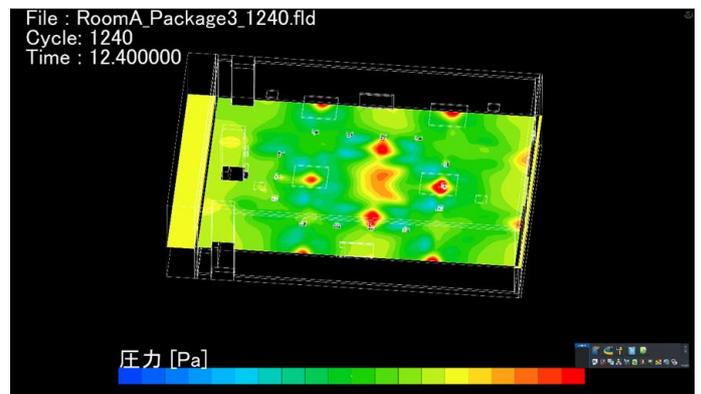


図4 圧力 CradelViewer

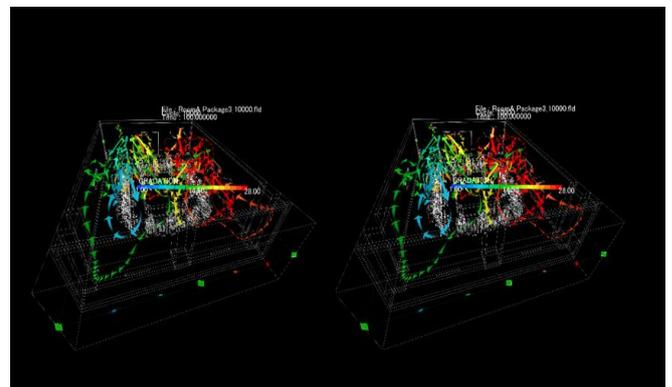


図5 流線

VRを通した空間では会議室のサイズ、場所を変更動かすことができるため実際に部屋の中にいるような感覚を経験することができたと考える。

今回背景を黒以外に設定してしまうと解析モデルが背景と同化し見えなくなってしまうため、今回は背景を黒に設定している。

### 3-2 アンケート調査の結果

この研究において行われたアンケートの設問を表2および表3に示す。

このアンケートによって得られた回答の単純集計結果を図6に示す。このアンケートの結果から、流線と粒子に関する設問の回答がかなり似ていることが読み取れる。また画面酔い、恐怖感に関する設問の回答もかなり似ていることが読み取れる。

このことから、主成分分析の結果はこの二つの関係性については真逆の関係性が見られると予測できる。

設問8の恐怖感に関する質問において、恐怖感を感じたと答えた観測者に自由文章形式で返答してもらい、どこに恐怖感を感じたかをその結果を表4に示す。

### 3-3 アンケート結果に対する主成分分析の結果

全てのアンケート設問に対してについて主成分分析を行った結果を図8に示す。図8において各直線の角度により関係性を示しており、直角に近い角度ほど関係性がないことを示している。このことから設問3、6、10に関しては左右との角度が90度に近いため、これらの回答は他の回答と独立しており関係性を持たないことがわかる。また、設問2、4、5にあたる臨場感、気流、粒子の見やすさに関しては同じような回答が多いことがわかる。設問7、8、9にあたる恐怖感、画面酔いに関しては多少の違いはあるものの、似たような回答が多いことがわかる。気流、粒子の二つのグラフと、恐怖感、画面酔いのグラフを比べると、ほとんど真逆に伸びていることが読み取ることができ、このことから、気流、粒子を見やすいと回答している観測者は、恐怖感、画面酔いを感じなかったと回答し、どちらかといえば見にくい、見にくいと回答した観測者は、恐怖感を感じ、画面酔いするという回答をしたという傾向があるということが分かった。

表2 アンケート項目に対する5段階評価の内容

回答番号	評価内容
1	当てはまる
2	まあまあ当てはまる
3	どちらかといえば当てはまる
4	どちらかといえば当てはまらない
5	当てはまらない

表3 アンケート項目

設問番号	設問内容
1	PCとVRどちらが見やすかったか
2	臨場感を感じたか
3	操作しやすかったか
4	見やすかったか（流線）
5	見やすかったか（粒子）
6	見やすかったか（圧力）
7	画面酔いしたか
8	恐怖感を感じたか（1~3を回答した場合記述）
9	目に負担を感じたか
10	装置はつけやすかったか

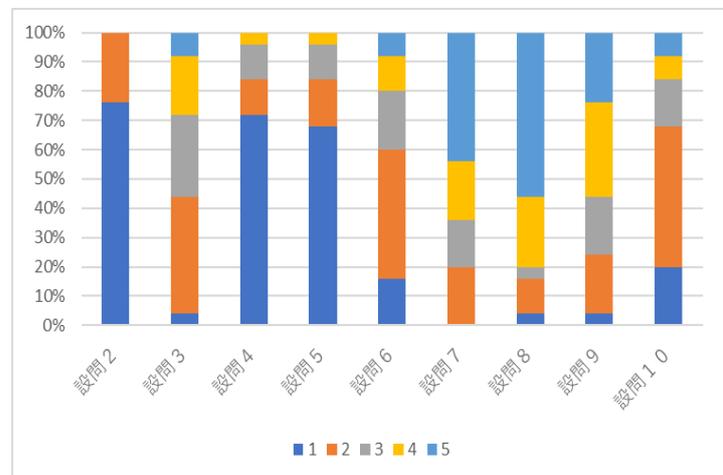


図6 各設問ごとにおける評価の数

#### 4. 考察

空間を提示する方法として、VRのほうが見やすい、臨場感がある、と答えた観測者がほとんどであることから、有効な手段であることは間違いないと考えられるが、画面酔いする、または恐怖感を感じるという被験者がいた。装置のつけやすさ、目への負担に関してマイナスの回答が少ないことから、VRの性能は低くないと考えられる。今後の課題として、可視化された映像の、画面酔い、恐怖感が軽減されるようにするために、画面酔いに関しては、自分で操作すると操作に慣れるまでの間に画面酔いをしてしまう可能性が高い。そのため、自分で操作するのではなく、あらかじめ操作し録画した映像をVRを通して被験者に見てもらおうという方法をとることで改善される可能性があると考えられる。

恐怖感に関して、粒子に関することが多く挙げられた。色を赤ではなく、その他の色を使用すること、または提示の方法を更に探索することによる表示の検証を行う必要があることが分かった。

空間が黒く底がないということに関して、今回背景を黒以外にしてしまうと解析モデルが背景に同化して見えなくなってしまうので背景を黒にすることでしかVRによる可視化を行えなかったため、今後は背景を白や青などの黒以外の背景で表現することができるように検討する必要があると考える。

協力してくれた観測者が操作のしやすさについて約半数が操作しにくい、と回答していることから、今回に引き続きVIVECOSMOSを使用するのであれば、より簡潔で理解のしやすい説明方法に加え、コントローラーの感度の調整が必要となってくると考える。またいかに簡単に操作することのできるVRユニットを使用するかである。さらに可視化した映像を現実の空間とリンクさせ、映し出すこと、これを拡張現実（AR:Augmented Reality）と呼ぶ、できれば、より臨場感のある空間の呈示が可能になると考えられる。

また今回の目的の一つであった、室内環境の改善、向上についての結論を得るために、解析した結果だけをもとに検討するのではなく、実際に計測等を行い検討する必要があると考える。

#### まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- ・VRを使用した空間の呈示は、より現実に近い空間を体験することができることが確認できた。
- ・可視化の改善事項として、背景を黒以外で表示すること、粒子の色の変更することにより恐怖感の軽減を行う。コントローラーの感度の調節による画面酔いの軽減を行う。

・今回は、空間を体験するという目的で調査を行ったが、室内環境の向上改善のために使用するためには情報が不足していたため、結論には至らなかった。そのため今後は、温熱、湿度など別の条件を与えたモデルの解析を行い、今回得られた解析の結果と比較し、さらにそれをVRで見ることにより、より細かい変化などを見ることができればこの結論を得ることができるのではないかと考える。

また今回の会議室よりも規模の大きい建築物を対象として解析可視化を行うと今回のアンケートとはまた違った回答が得られると考えられる。

#### 参考文献

- 1). 特別会議室A | 神戸商工会議所のコンベンション施設（貸会議室・テナント）(kcci-convention.com)
- 2). 主成分分析とは何なのか、とにかく全力でわかりやすく解説する | CCT-recruit (cct-inc.co.jp)
- 3). VIVE Cosmos 概要 | VIVE 日本

表7 恐怖感の内容

	内容
1	粒子が近づいてくるのが恐怖
2	粒子の色と形
3	粒子が迫ってくる場所
4	空間が黒いため下を向いても真っ暗で底がなく怖い

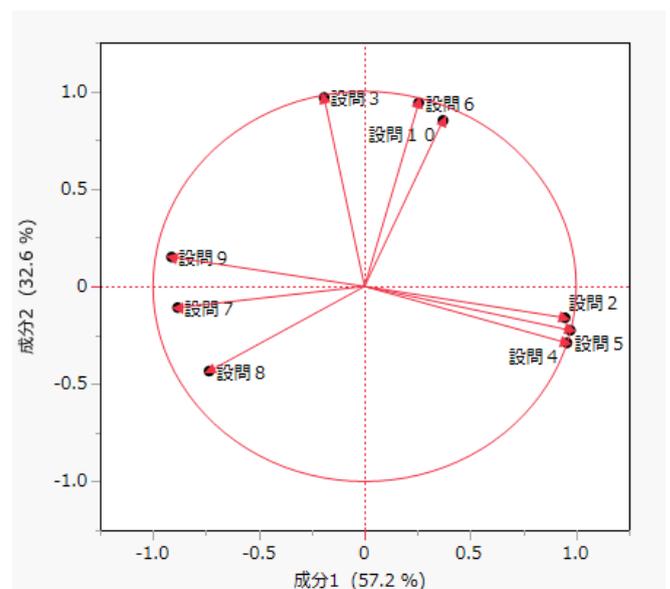


図8 主成分分析の結果