

逆解析を用いた空調吹き出し口の最適風向決定法の改良

1. はじめに 逆問題の解決手法に「随伴変数法」に基づく逆解析¹⁾がある。随伴変数法は局所最適解の発見に適するが、GA (遺伝的アルゴリズム) のように、大局最適解の発見には不向きである。本研究では、逆解析を用いて GA 等の全範囲探索を実施した場合と同等の「最適風向」を導くことを目標とする。既報²⁾では、空調の吹き出し口風向の最適化について、予め簡単な非定常解析で大局最適解から遠くはないであろう初期風向を決定することで、全範囲探索を実施した場合と同等の「最適解」を導く可能性を提示した。ただし既報²⁾では、上下の角度変化に限定した上、対応可能な角度は吹き出し面の法線方向から 50° 程度の範囲に限られる制限があった。

本卒業研究では、等温場条件において任意領域に到達する気流速度の向上を目標とした逆解析を実施し、従来方式に以下の点を改良することで提案手法の完成度向上を図る。

- 1) 水平から真下まで 90° の角度変化を可能とするエアコン吹き出し口の構築
- 2) 上下・左右の吹き出しを可能とした風向最適化

2. 共通解析条件

本研究では、(株)アドバンスドナレッジ研究所の CFD ソフト FlowDesigner13 を使用。解析条件を表 1 に示す。

表 1 CFD 解析条件

乱流モデル	アルゴリズム	移流項差分スキーム	メッシュ
標準 k-e モデル	SIMPLEC 法	べき乗法 (power)	構造格子

3. CFD 解析に関する事前検討

3.1 解析概要 最適化を行う上での解析条件を検討する。室内モデルを図 1、エアコン近傍の様子を図 2 に示す。

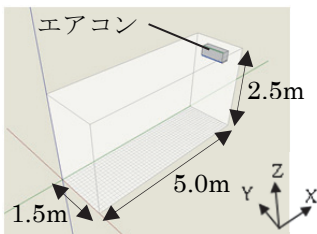


図 1 室内モデル

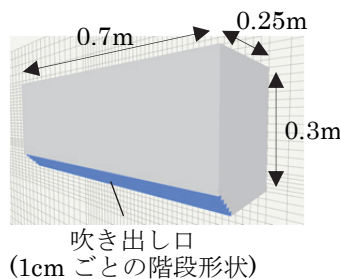


図 2 エアコン格子モデル

3.2 格子に関する検討(解析条件は表 2 に示す)

既報²⁾では吹き出し口付近の格子の切り方が幾らか粗く、横長格子では立方体格子に比べて、格子の長手方向に流れが伝わりやすくなる格子依存性が見られた(図 3 参照)。そこで、吹き出し口付近の格子の切り方を整えて

(吹き出し口 1cm、吹き出し口周辺 2cm 幅で解像)定常 CFD 解析を行い、比較を行った。解析条件を表 2 に示す。結果、本検討での格子では両者の差は縮まったが横長格子に若干の格子依存性が見られた(図 4 参照)。以降の検討では立方体格子を用いる。

表 2 CFD 解析条件

エアコン	吹き出し風量	10.08 m ³ /min
	吹き出し角度	30°
CFD 解析	収束判定	10 ⁻⁵
格子数(立方体)	1,337,700 (x:65 y:196 z:105)	
格子数(横長)	1,041,180 (x:67 y:140 z:110)	

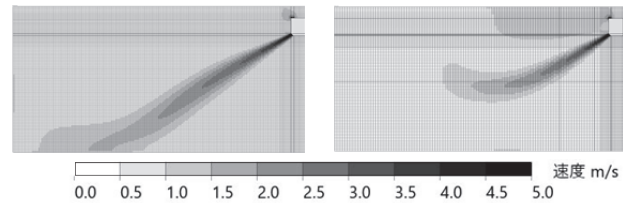


図 3 既報²⁾での立方体格子(左)と横長格子(右)の速度分布

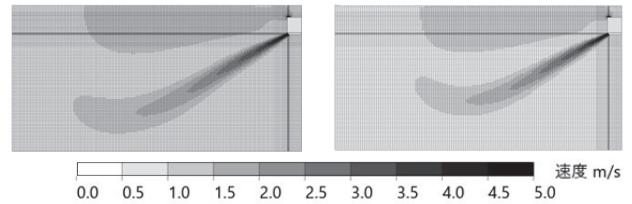


図 4 本報での立方体格子(左)と横長格子(右)の速度分布

3.3 斜め吹き出しの再現(解析条件は表 2 に準ずる)

吹き出し面がフラットな場合、風向が法線方向から約 50° を超えると明らかに不自然な結果となる。この場合、水平成分が多い場合と真下成分が多い場合

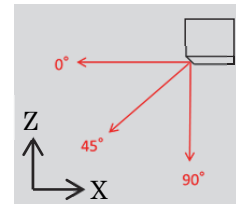


図 5 上下吹き出し角度

でエアコン吹き出しの仕様を変え、必要が生じてしまう。本検討では吹き出し口を階段形状で再現し、吹き出し角度 0° (吹き出し面を横面に配置)、90° (吹き出し面を下面に配置)で解析を行い、フラットの場合と比較して斜め吹き出し気流を再現できるか検証する。吹き出し風量は 2.4 m³/min とする。結果、吹き出し角度 0° (図 6 参照)、90° (図省略)ともにほぼ等しい結果となり、斜め吹き出しを再現できた。

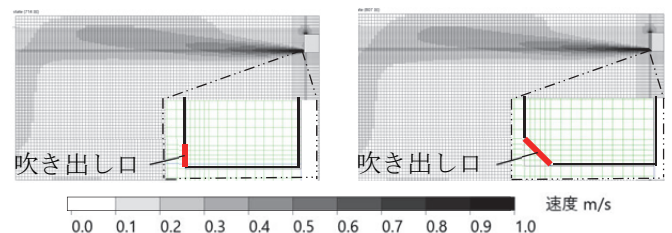


図 6 横吹き出し口(左)と本検討の吹き出し口(右)の速度分布

4. 上下・左右の最適風向決定法

4.1 解析概要

住宅のリビング程度の居室を想定して評価領域風速の最大化を目指す風向最適化を試みる。室内モデルを図7に示す。上下の変化では吹き出し口格子の鉛直面にX方向成分、吹き出し口格子の水平面にはZ方向成分の風速を定義して、これらの合成ベクトルを常に一定とさせながら、0°から90°まで可変とする。左右の変化は吹き出し口格子の鉛直面、水平面共に法線方向成分の風速を固定して、接線方向成分のみを変えることで180°全てに可変とする。風向最適化手法の流れを図8に示す。

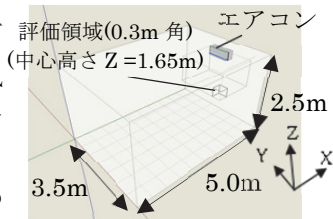


図7 室内モデル

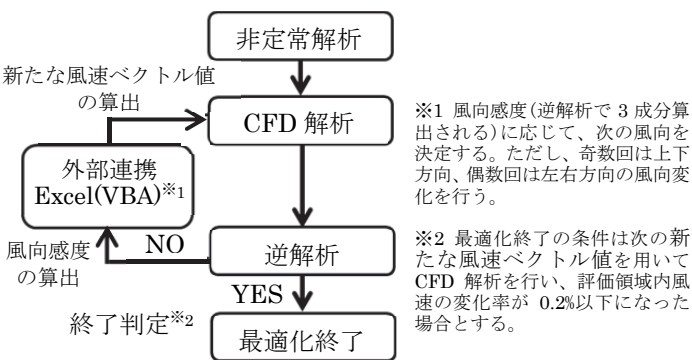


図8 最適化のフローチャート

4.2 上下・左右方向の風向最適化

解析条件を表3に示す。初期変化は5°とし、最適風向を超えたら1つ前に戻り3°、1°と変化させる。初期風向は上下風向角45°、左右風向角65°、評価領域内平均風速は0.036m/sであった。最適化結果を図9に示す。最適風向はCFD解析、逆解析を11回繰り返した結果、上下風向角19°(図5参照)、左右風向角50°(図10参照)という結果になり、評価領域内平均風速は0.456m/sとなった。初期風向時よりも風速は格段に大きくなっている。

エアコン	風量	3.4 m ³ /min
	初期風向	上下:45° 左右:65°
CFD解析	計算回数(上限)	2000回
	収束判定	10 ⁻⁴
逆解析	計算回数(上限)	2000回
	収束判定	10 ⁻⁴
評価領域内 目標風速		1.5m/s
格子数	817,800(x:94 y:116 z:75)	

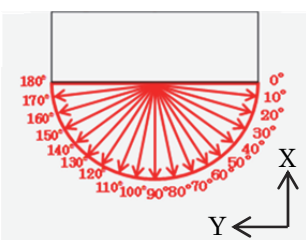
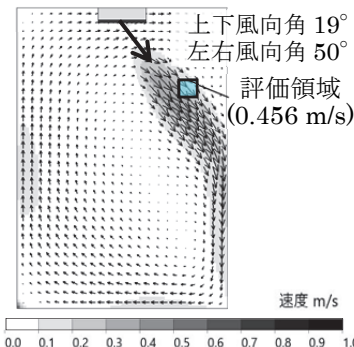


図9 最適化結果(Z=1.65m) 図10 左右方向吹き出し角度

4.3 障害物がある状態での風向最適化

障害物がある状態で風向最適化を行う。1)初期風向を適当に決めた場合と、2)非定常解析で初期風向を決定した場合との最適化結果の比較を行う。室内モデルを図11に示す。

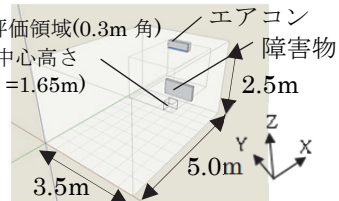


図11 室内モデル

1) 解析条件を表3と同様にして解析を行う。最適化結果を図12に示す。最適風向はCFD解析、逆解析を3回繰り返した結果、上下風向角40°、左右風向角60°となり、評価領域内平均風速は0.080m/sとなった。
2) 非定常解析(表5参照)を行い、初期風向を決定する。比較的粗いピッチ(上下左右15°ずつ)で風向を段階的に変え、評価領域内の風速が最大の結果(図省略)となった上下風向角30°、左右風向角75°を初期風向とし、風向最適化を行う。最適化結果を図13に示す。

最適風向は最適化2回目の上下風向角25°、左右風向角80°という結果になり、評価領域内平均風速は0.173m/sとなった。この結果より障害物がある状態での風向最適化は、非定常解析を用いて初期風向を決定することにより、全範囲探索を実施した場合と同等の最適風向を導くことができたと考えられる。

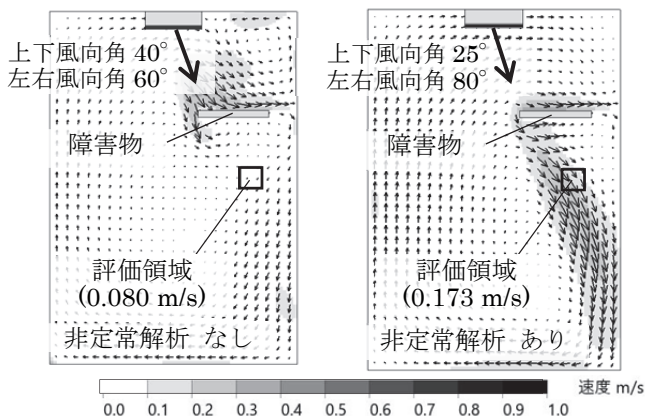


図12 最適化結果(Z=1.15m) 図13 最適化結果(Z=1.15m)
表5 解析条件

吹き出し風速	1.0m/s
経時変化(刻み時間 0.2 秒)	3min ごとに風向変化

5. まとめ 吹き出し可能範囲の拡大を可能とする吹き出し面の構築を行い、風向最適化手法の風向可変範囲を左右方向へ拡張させた。また、障害物がある状態での風向最適化手法を提案し、解析例を提示した。今後は、放射解析を含めた温度場の解析を検討する。

参考文献

- 1) 桃瀬一成, 池島薫, 感度解析に基づく熱対流場設計支援システムの開発(変分法に基づく感度解析), 空気調和衛生工学会大会 E-11, P. 403-406, 2006. 9
- 2) 長谷川翔也, 河野良平ら: 逆解析を用いた空調吹き出し口の最適風向決定法の確立, 日本建築学会学術講演梗概集, NO.40509, 2016.8

(河野研究室)