

2. 夏季を対象とした室内温熱環境改善に有効な空調機器の検討

Study on Air Conditioning Equipment Effective for Improving Indoor Thermal Environment in Summer

勝俣 佳奈*¹ 森本 圭祐*² 坂野 秀之*³

要 旨

西面が全面ガラス張りとなっている L 字型の室において、夏季における室内温熱環境を日射解析及び数値流体解析によって定量的に評価した結果、不快な暑さを感じる在室者の割合が全体の約 20～30% 発生する可能性があることを確認した。この結果をふまえ、空調機器の能力は変更せず吹出位置・吹出風量等を再検討し、空調機器によるエネルギー使用量を増加させる事なく、室内温熱環境の改善を図った。再度、同解析によって室内温熱環境を検証したところ、不快な暑さを感じる在室者が全体の約 10% まで減少することとなった。

キーワード：省エネルギー／環境解析／室内温熱環境／空調機器

1. はじめに

建築物の省エネルギー化が必須となっている中、パッシブ建築技術や高効率建築設備機器の導入が進んでいる。建築物を省エネルギー化する上で設備機器の消費エネルギーの低減は必須事項である。しかし、夏季の西面からの熱負荷が過大である、または室が矩形ではない等の、室内の温熱環境に対する懸念事項がある場合、空調機器の容量に余裕を持たせた安全側の設計となる場合が多く、消費エネルギー量低減の観点から望ましくないと考えられる。

本報では、夏季の室内温熱環境に対する懸念事項を持つ建物に対して日射解析及び数値流体解析を行ったのち、室内温熱環境の快適性を向上させる改善案を検討し、その効果を同解析によって検証した結果を報告する。本報において検討対象としたのは、パッシブ建築技術として西面及び北面に水平庇を採用した、西面が全面ガラス張りの L 字型の室を持つ建築物（図-1）である。

陽高度が低い夕方では日射遮蔽効果が低減する。そのため、本報は検討対象を西面からの日射負荷が大きい夏季 16 時とし、日射解析及び数値流体解析を行った。夏季における西面からの日射負荷低減方法として、縦ルーバーの設置といったパッシブ建築技術や外皮性能の向上等も検討されるが、当該建築物においては大幅な建築的改変が困難であった。そのため、本報の改善案では空調機器の運用方法、吹出口位置等に着目し、消費エネルギー量の増加を抑えるため空調機器の容量を変更せずに室内温熱環境の改善を図ることとした。なお、室内温熱環境の改善を図る前のものは以下初期案と表記する。

2. 当該建築物の概要

当該建築物は三重県鈴鹿市に所在する地上 1 階建ての事務所である。解析対象室は図-1 でハッチングされた西面全面ガラス張りの L 字型の室である。なお、西面ガラスにはロールスクリーンが設置されている。

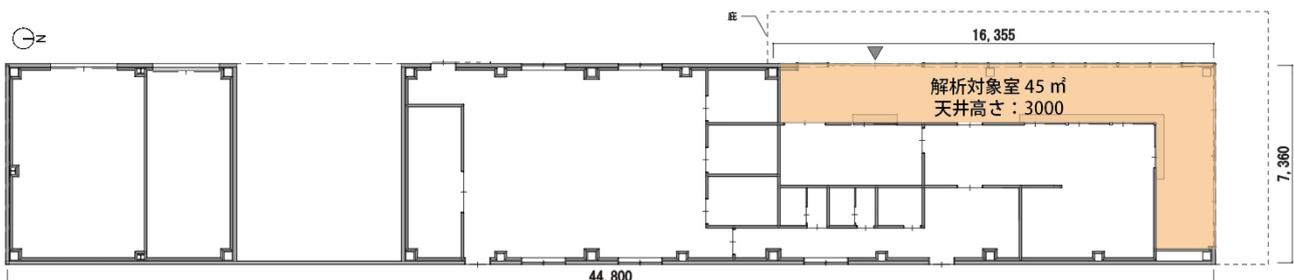


図-1 当該建築物 1 階平面図

*¹ 技術研究所 GCD グループ *² 建築事業本部建築技術部 技術研究所 GCD グループ

*³ 名古屋支店建築部 兼 設計部 兼 技術研究所 GCD グループ

3. 初期案の室内温熱環境

初期案の解析対象室について表-1 の条件で日射解析及び数値流体解析を行い、予測平均温冷感申告(以下 PMV) を用いて室内温熱環境を評価した。PMV とは温熱快適性の指標であり、 $-0.5 < PMV < +0.5$ が快適推奨域とされる¹⁾。解析対象室の詳細を図-2、PMV の解析結果を図-3 に示す。解析の結果、解析対象室内では PMV が約 0.7~1.0 となっている箇所が多くみられ、初期案では西日の影響が大きく、不快な暑さが発生する可能性があることが分かった。

4. 改善案の日射解析及び数値流体解析による検討

4.1 改善案

初期案の結果をふまえ、空調機器によるエネルギー使用量を抑さえつつ室内温熱環境の快適性を向上させるための改善案を作成した。改善案では PMV を快適推奨域である $-0.5 < PMV < +0.5$ を目指す。

改善案では、熱的条件が不利な箇所に吹出口を配置し直し、給気は全熱交換器給気を空調機に取り込んでから吹き出す方式に変更とした。初期案からの変更点は以下の3点である。その効果を再度日射解析及び数値流体解析によって検証を行った。

- ① 空調機の吹出口位置を調整。
- ② 初期案では解析対象室の4つの空調機吹出口で同一となっていた吹出風量を、改善案では熱的条件が不利な箇所に風量を多く設定し、吹出風量を調整。ただし、吹出風量の合計は初期案と同じとした。
- ③ 初期案では全熱交換機の給気と空調機の給気は各々吹出口から送風されていたが、改善案では全熱交換機の給気を空調機に送り温度調節した後に吹き出す方式に変更。

4.2 検討方法

改善案の解析対象室に対して日射解析及び数値流体解析を行った。室内環境の評価項目は、温度・気流速度・空気齢・空気余命・PMV・予測不快者率(以下 PPD) の6要素を評価項目とした。なお、温度・気流速度・PMV・PPD 解析については当該建築物全体と外部の地面を含めたモデルを作成し解析を行い(図-4)、空気齢・空気余命の解析については解析対象室のみのモデルを作成し解析を行った(図-5)。

表-1 解析条件：初期案

設計外気温度	34.9℃	日射解析時設定地域	三重県四日市
設計外気相対湿度	55%	解析日時	6/21 16:00
設計室内温度	26℃	折半屋根熱通過率	0.58 w/m ² ・K
設計室内相対湿度	60%	外壁断熱材	GW24K・t=50
全熱交換器風量	350 m ³ /h	吹出口 (VL) 風量	550 m ³ /h・4箇所
全熱交換器給気温度	28.492℃	吸入口 (CL) 風量	2,200 m ³ /h・1箇所
全熱交換器温度交換効率	72%	空調機給気温度	12℃
空調機吹出風量	1870 m ³ /h	空調機給気相対湿度	90%

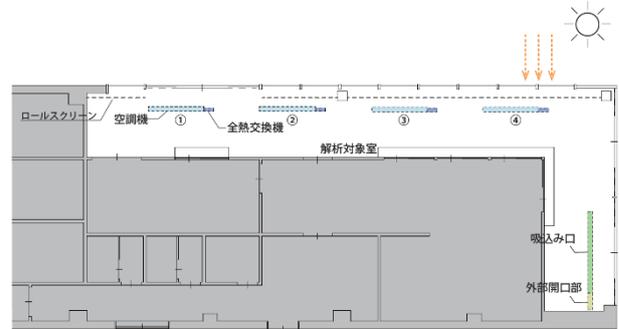


図-2 解析対象室詳細：初期案

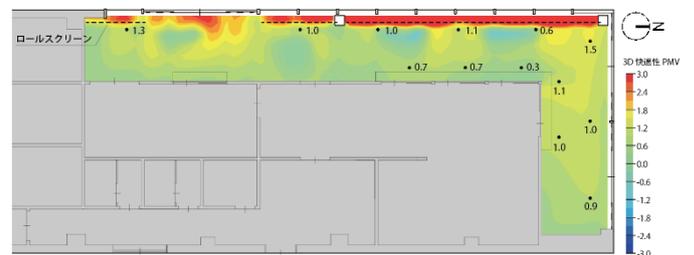


図-3 PMV 解析結果 (FL+1500)：初期案

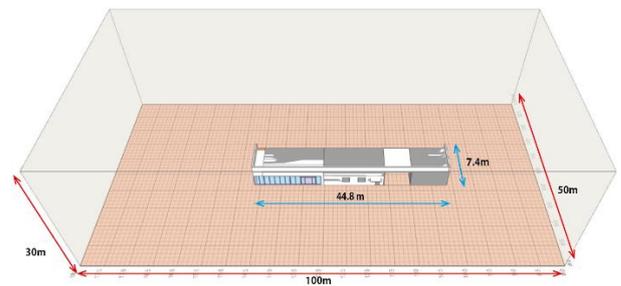


図-4 モデル化建物と解析領域：当該建築物 + 外部

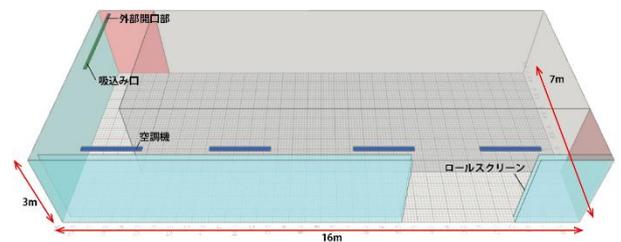


図-5 モデル化建物と解析領域：解析対象室

表-2 解析条件：改善案

設計外気温度	34.9℃	日射解析時設定地域	三重県四日市
設計外気相対湿度	55%	解析日時	6/21 16:00
設計室内温度	26℃	折半屋根熱通過率	0.58 w/m ² ・K
設計室内相対湿度	60%	外壁断熱材	GW24K・t=50
空調機給気温度	14℃ (初期計画案では12℃)	吹出口 (VL) 風量	表3を参照
空調機給気相対湿度	90%	吸入口 (CL) 風量	2,200 m ³ /h

表-3 空調機吹出風量：改善案

吹出口①	吹出口②	吹出口③	吹出口④
780 m ³ /h	420 m ³ /h	420 m ³ /h	600 m ³ /h

(初期計画案では 550 m³/h・4箇所)

ここで以下の用語を定義し、概説を行う。

空気齢：空気の新鮮さを表す指標。空気の流入口から室内のある点まで到達するのに要する時間を表す。数値が小さいほど室内空気が新鮮²⁾。

空気余命：空気の新鮮さを表す指標。室内のある点から空気の流出口まで到達する時間を表す。数値が小さいほど換気効率が良い²⁾。

PPD：温熱快適性の指標。ある環境の中で、その環境を不満足と感じる人の割合。PMV=0の環境ではPPD = 5%となり、暑くも寒くもない状態であっても全員を満足させるものではない¹⁾。

4.3 日射解析及び数値流体解析の概要

日射解析及び数値流体解析は「FlowDesigner2022 (アドバンスドナレッジ研究所)」を使用した。数値流体解析において乱流モデルはレイノズル平均モデル(高レイノズル数型/標準k-εモデル)とし、解析で使用する水平面日射量 J_H (式1)はフーガの式(式2)、永田の式(式3)を用いて解析日時・太陽高度より算出した。なお、日射量の算出には三重県四日市市の緯度経度(北緯:35.6878 東経:139.722)を使用した。

温度・気流・PMV・PPD解析の解析領域は、当該建築物を中心として短辺×長辺長さを50m×100m、高さ方向を30mとし、その解析メッシュ分割数は146×272×54(要素数は約210万)である(図-4)。空気齢・空気余命解析では、解析領域の短辺×長辺長さを7m×16m、高さ方向を3mとし、解析メッシュ分割数は67×154×29(要素数は約30万)である(図-5)。空気齢・空気余命解析においては解析領域の短辺及び長辺の端数は切り捨てとした。前者の解析時は解析計算の安定化を図るため、観測点高さ10m・風速1m/sの西向きの風を与え、対象区域を郊外住宅地(べき指数 $\alpha=0.2$)と仮定した。改善案の解析条件を表-2、表-3、に変更点を赤枠で示し、解析対象諸室の改善後の平面図を図-6に示す。なお、本解析はすべて定常解析で行った。

$$J_H = J_{DH} + J_S \quad \dots (1)$$

$$J_D = J_{D0} P^{(1/\sin h)} \quad \dots (2)$$

$$J_S = \sin h (J_{D0} - J_D)(0.66 - 0.32 \sin h) \cdot [(0.5 + (0.4 - 0.3P) \sin h)] \quad \dots (3)$$

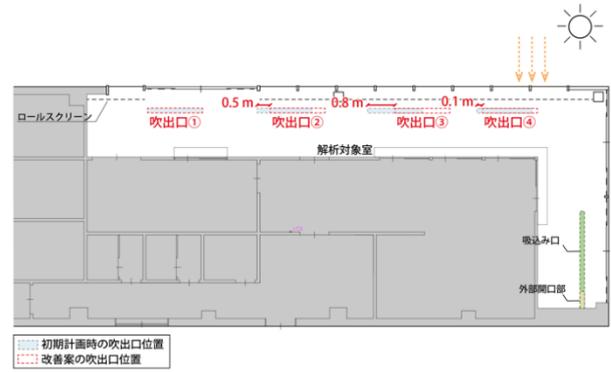


図-6 解析対象室詳細:改善案

ここで

J_H ：水平面全天日射量

J_{DH} ：水平面直達日射量 $J_{DH} = J_D \sin(h)$

J_S ：天空日射量

J_D ：法線直達日射量

h ：太陽高度

J_{D0} ：大気圏外日射量 $J_{D0} = J_0 [1 + 0.033 \cos(2\pi n/365)]$

J_0 ：太陽定数 $J_0 = 1367 \text{ w/m}^2$

n ：日数

p ：太陽透過率 $p = 0.7$

5. 改善案の室内温熱環境評価

改善案の解析対象室における温度・気流速度・PMV・PPD・空気齢・空気余命解析結果を初期案の解析結果と並列し示す。なお、図版の左が初期案、右が改善案の結果である。

(a) 温度

温度解析の結果を図-7に示す。初期案は室内の温度は25～26℃前後となっている箇所が多くみられ、特に入口ドア付近、室の北東部がやや温度が高い結果であった。改善後では初期案に温度がやや高い箇所付近の吹出風量(吹出口①・④)を増加させたことにより、室全体の室温は23～25℃前後となる箇所が多くなり、全体的に約2℃下がる結果となった。初期案にみられた温度が高い箇所が改善された。

(b) 気流速度解析

気流速度解析の結果を図-8に示す。初期案の室内の気流速度はほとんどの場所で0.5 m/sとなっており、ドラフト感は少ないといえた。改善案では吹出風量の増加に伴い吹出口①・④の吹出風速が増加したが、気流速度解析の結果より、室内の気流速度はおおむね0.5 m/sとなっており室内気流速度の基準値内であることを確認した。

(c)PMV

PMVの結果を図-9に示す。初期案は3節で述べた通り、PMVは約0.7~1.0となっている箇所が多くみられたが、改善案では室内の多くの場所が $-0.5 < PMV < +0.5$ の範囲内に収まる結果となった。温度解析の結果と同様に、初期案にPMVの数値が高い結果となっていた入口ドア付近、室の北東部で特にPMVの改善がみられた。

(d)PPD

PPDの結果を図-10に示す。初期案は室内で不快な暑さを感じる在室者の割合が全体の約20~30%発生する可能性があったが、改善案ではそれが約10%まで改善する結果となった。初期案に特に値の大きかった北~北東部の値がより改善している。PMVと同様に一部数値の高い箇所もみられるが、外皮近傍や入口ドア付近は

在室者が長時間滞在する箇所ではないため、実用上在室者への影響は少ないと考えられる。

(e)空気齢

空気齢の結果を図-11に示す。初期案は入口付近及び室北東部分で新鮮空気の届きにくい箇所がみられたが、前述の通り、吹出口①の吹出風量を増加させたことから改善案では入口付近にも新鮮空気が届くようになった。室北東部の新鮮空気が届きにくいエリアは、改善案ではやや範囲が狭くなったものの解消には至らなかった。

(f)空気余命

空気余命の結果を図-12に示す。改善案では初期案と比較し室全体で空気余命値が小さくなり、空気齢の解析結果もふまえて、室内において新鮮空気が通りやすくなり、換気効率の改善が確認された。空気齢の解析結果(図-11)で

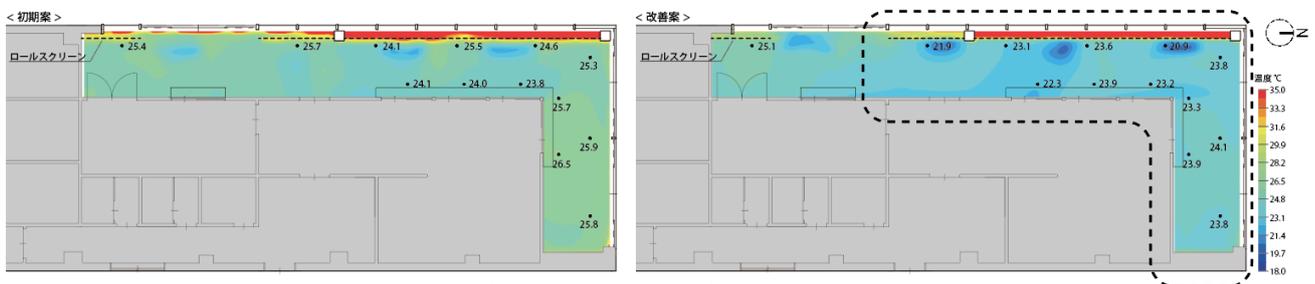


図-7 温度解析結果(FL+1500)：初期案(左) 改善案(右)

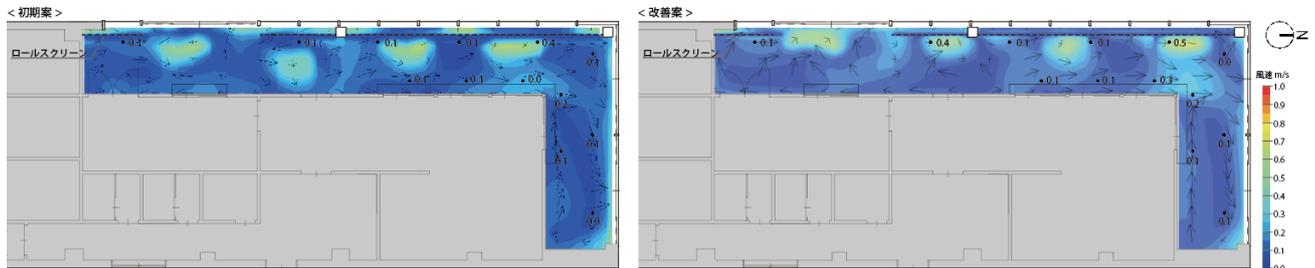


図-8 気流速度解析結果(FL+1500)：初期案(左) 改善案(右)

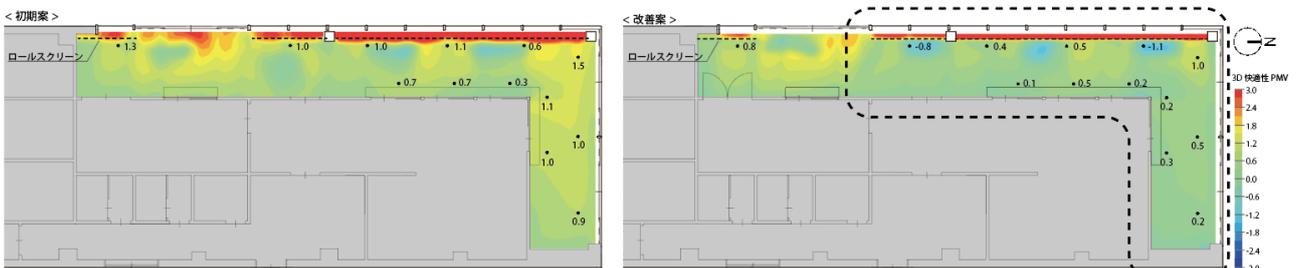


図-9 PMV解析結果(FL+1500)：初期案(左) 改善案(右)

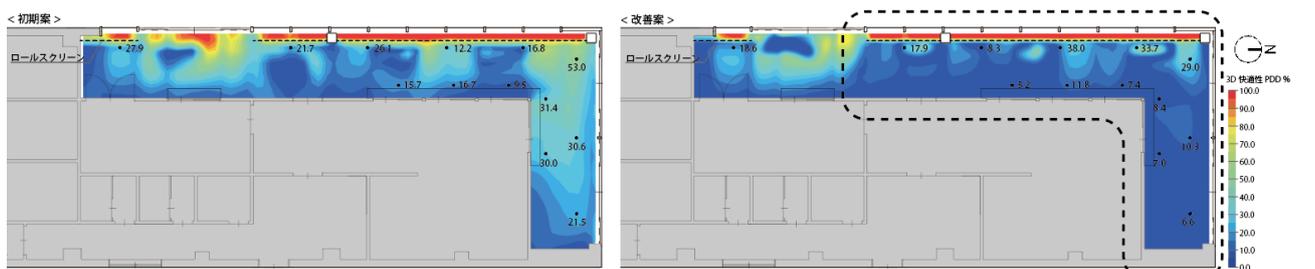


図-10 PPD解析結果(FL+1500)：初期案(左) 改善案(右)

は室北東部に新鮮空気が届きにくい箇所が確認されたが、空気余命の解析結果より、新鮮空気は届きにくいものの空気余命値が小さいことから空気の排出はされやすく、空気の滞留が起こりにくいエリアであることが分かった。改善案の操作は室内温熱環境の改善だけでなく、室内空気質の改善にも寄与していることを確認した。

6. まとめ

本報では、西面が全面ガラス張りとなっている L 字型の室を持つ建築物に対して、夏季における室内温熱環境を環境解析によって検証し、不快な暑さが発生する可能性を示した。この結果をふまえ改善案を作成し、日射解析及び数値流体解析によってその効果を確認したところ、夏季における室内温熱環境に改善の傾向がみられ、室内で不快な暑さを感じる在室者の割合は初期案の約 20～30%から約 10%まで改善した。一部不快な暑さを感じる可能性がある箇所もあるが、概ね外皮近傍や入口付近であり在室者が長時間滞在する場所ではないため、実用上在室者への影響は少ないと考えられる。また、本報の検証では室内温熱環境の改善に重点を置いたものであったが、空調機器の吹出位置・吹出風量の調整により室内気流分布が改善され室内空気質の改善にも寄与する結果となった。

本報では大幅な建築的改変・空調機器の容量をしない条件で、夏季における室内温熱環境改善の一案を示した。本報は夏季の検証に留まったため、冬季の改善案や夏季と冬季両方にバランスの良い空調機器の配置計画についても同様の検討が今後必要である。

[参考文献]

- 1) 川島範久：環境シミュレーション建築デザイン実践ガイドブック 自然とつながる建築をめざして，彰国社，2022
- 2) 田中俊六，他：最新建築環境工学[改定 4 版]，井上書院，2018

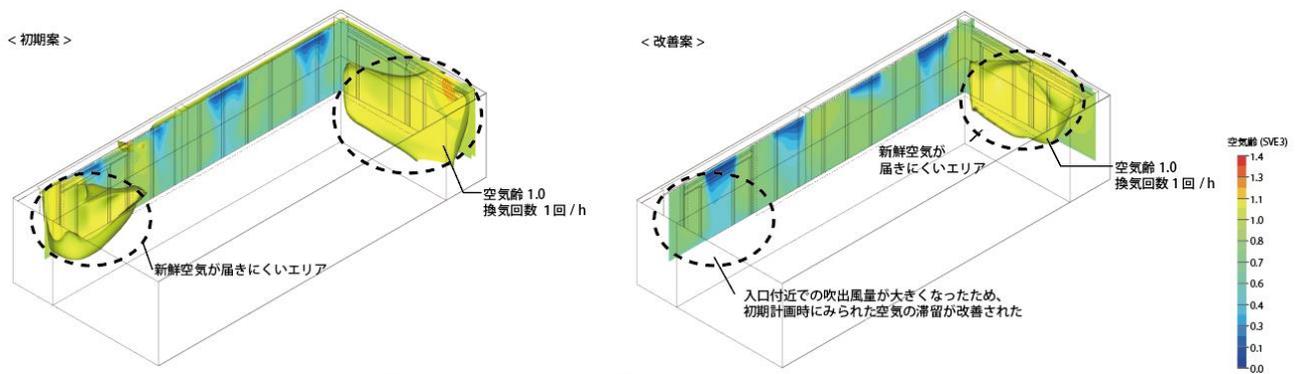


図-11 空気齢解析結果：初期案(左)改善案(右)

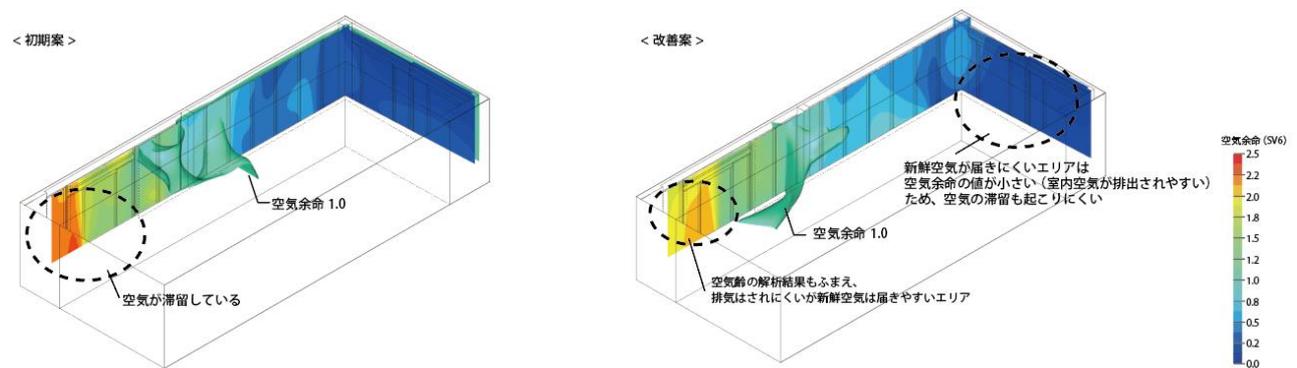


図-12 空気余命解析結果：初期案(左)改善案(右)