

膜式 CO₂ 除去装置を用いた空調方式に関する研究
ー実証実験による室内環境および省エネルギー性能の評価ー

建築学専攻
建築環境工学研究

MJ21041 小池 直樹
指導教員 秋元 孝之

1. 研究背景・目的

脱炭素社会に向けた省エネルギー対策の一つとして、建物の熱負荷削減が重要である。熱負荷は内部発熱負荷、構造体負荷、外気負荷の 3 つに大別され、外気負荷は地球環境問題により増加傾向にある。また、黄砂や PM_{2.5}をはじめとする大気汚染物質等の発生が問題となっており、換気時にこれらの物質の室内への侵入を防ぐことが重要である。これを踏まえ、換気量低減による外気負荷削減と汚染物質等の室内への侵入防止を両立するため、膜式 CO₂ 除去装置¹⁾ (以下、本装置) が開発された。

本研究では、本装置を用いた空調方式における実証実験により室内環境および省エネルギー性能を評価する。

2. 建物・システム概要

2.1 建物概要

研究対象建物は東京都千代田区に位置する 2021 年竣工の超高層ビルであり、4 階執務室に本装置が導入されている。室面積は 72.46 m²、天井高さは 2.6 m である。

2.2 膜式 CO₂ 除去装置概要

図 1 に膜式 CO₂ 除去装置、図 2 に透過膜断面模式図を示す。本装置のガス透過膜断面には直径約 5 nm の無数の細孔が貫通している。膜の内側に CO₂ 濃度の高い室内空気 (Feed ガス) を、外側に CO₂ 濃度の低い外気等の新鮮空気 (Sweep ガス) を流す。CO₂ や O₂ 等のガス成分は膜内外の分圧差に応じて細孔内を拡散透過し、CO₂ 等の不要なガス成分は室外へ除去され、O₂ 等の必要なガス成分は室内へ供給される。また、細孔径より粒子の大きい大気汚染物質等の室内侵入を防止できる。換気で排出が推奨される粒子は別途除去する必要がある。

2.3 空調システム概要

図 3 に空調システム概要を示す。4 階執務室の空調システムは本装置、外調機、FCU で構成されている。本装置 Feed ガスに室内空気を、Sweep ガスに電気室の空気を取り入れる。ビル内余剰空気である空調された電気室の空気を利用することで空調負荷低減が期待される。

3. 実験概要

3.1 温熱空気環境実測概要

図 4 に 4 階執務室平面図、図 5 にポール断面図、表 1 に実測項目を示す。本装置の吸込口付近 (①) および吹出口付近 (③)、外調機の吹出口付近 (②、④) の計 4 点に実測用ポールを設置した。測定間隔は 1 min である。なお、臭気は換気装置の運転前後で測定した。

3.2 実験方法

表 2 に実験 Case 概要を示す。実験は 2022 年夏期および冬期の計 7 日間、9:00~16:00 で行った。換気装置停止で被験者 10 人が入室後、室内 CO₂ 濃度が 1000 ppm

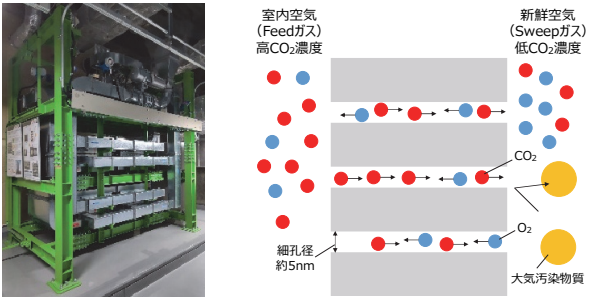


図 1 膜式 CO₂ 除去装置 図 2 透過膜断面模式図

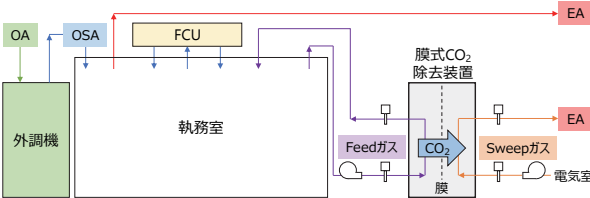


図 3 空調システム概要

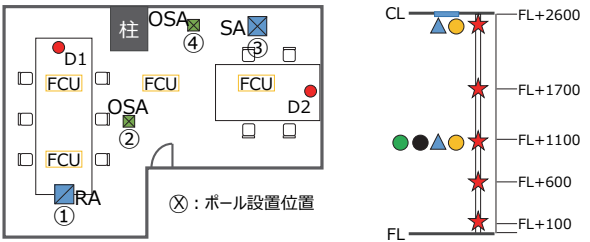


図 4 4 階執務室平面図 図 5 ポール断面図

表 1 温熱空気環境実測項目

凡例	測定項目	点数	測定機器
★	上下空気温度	5 点 × 4	Thermo Recorder
●	平面温湿度	1 点 × 2	RS-12, TR-72nw
●	グローブ温度	1 点 × 4	グローブ球, RTR-502
▲	気流速度	2 点 × 4	熱線式風速計
●	CO ₂ 濃度	2 点 × 4 + 2 点	TR-76Ui
●	臭気	3 点 (①~③)	XP-329ⅢR

表 2 実験 Case 概要

Case	夏期	冬期	膜式 CO ₂ 除去装置	外調機
1	7/23	12/3	965 Nm ³ /h (Sweep 電気室)	停止
2	7/24	12/10	965 Nm ³ /h (Sweep 外気)	停止
3	8/6	12/17	停止	300 m ³ /h
4	8/7		風量低減 (Sweep 電気室)	停止

表 3 換気装置運転時間の Sweep 入口温度・外気条件

Case	夏期平均温度 [°C]		冬期平均温度 [°C]	
	Sweep 入口	外気	Sweep 入口	外気
1	26.7	32.3	25.1	10.2
2	31.8	31.5	18.7	14.4
3		27.6		8.1
4	26.5	30.0		

を超えたことを確認し、在室人数に合わせた風量で本装置または外調機を運転した。Case2 では本装置 Sweep ガスを外気とし、Case4 では本装置風量を $750 \cdot 500 \cdot 250 \text{ Nm}^3/\text{h}$ と低減させた。なお、全 Case で FCU は終日運転し、設定温度は夏期 24.5°C 、冬期 24.0°C である。

4. 実験結果

4.1 Sweep 入口温度と外気条件

表 3 に Sweep 入口温度と外気条件を示す。温度は換気装置を運転した時間帯の平均値である。Case1 では Sweep 電気室のため、夏期は Sweep 入口平均温度が外気より低く、冬期は外気より高いことが確認された。

4.2 空気温度

図 6～8 に空気温度を示す。夏期は Case1 では本装置運転前後の③CL（吹出口付近）空気温度の変化が小さく、本装置運転による室内環境への影響が抑えられていた。Case2 では Sweep が外気のため Feed 出口温度が高く、Case1 に比べ本装置運転後の③CL 空気温度が高くなったと考えられる。Case1～4 で②FL+1100 mm（室中央）の空気温度は概ね 26.0°C となり、本装置運転時と外調機運転時で同程度の室内温度となった。

冬期は Case1 では Sweep が電気室のため Feed 出口温度が高く、本装置運転後の室内空気温度が上昇した。

4.3 CO₂ 濃度

図 9～図 11 に CO₂ 濃度を示す。②FL+1100 mm（室中央）の平衡時 CO₂ 濃度は、夏期 Case1 で約 650 ppm、冬期 Case1 で約 610 ppm、夏期 Case3 で約 800 ppm となった。また、Case2 では Sweep を外気としたことにより、Case1 より約 30 ppm 高くなった。夏期および冬期で、平衡時の CO₂ 濃度は本装置の運転により外調機運転時より低いことが確認された。

4.4 外気負荷削減効果

図 12 に外気負荷削減効果を示す。Case3 を基準とし、夏期は Case1 ($500 \text{ Nm}^3/\text{h}$) で 74%減、冬期は Case1 で 156%減となった。また、夏期 Case2 でも本装置の風量低減で Case3 より負荷削減となった。冬期 Case1 では Feed 出口温度が室温より高いため、暖房負荷削減により負荷は負の値となった。なお、Case4 で $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ の平衡時 CO₂ 濃度 1000 ppm 以下を確認したため、Case1 と 2 では風量を $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ とした際の負荷も算出した。また、条件を揃えるため Case3 では室内条件を Case2、外気条件を Case2 の Sweep 入口と補正した。

5. まとめ

本研究では膜式 CO₂ 除去装置を用いた空調方式について室内環境および省エネルギー性能の評価を行った。夏期および冬期で本装置の運転により、外調機運転時と同等以上の室内環境の形成が確認された。ピーク時の外気負荷は Sweep 電気室で外調機に比べ夏期 74%減、冬期 156%減となり、本装置および電気室の空調された空気を利用することによる外気負荷削減効果が示された。

【参考文献】

- 1) 梅本勝弥ほか：快適な室内環境を創出するガス透過膜を用いた新しい換気システムの開発「SEPERNA®」、クリーンエネルギー、pp.1-7, 2021.4

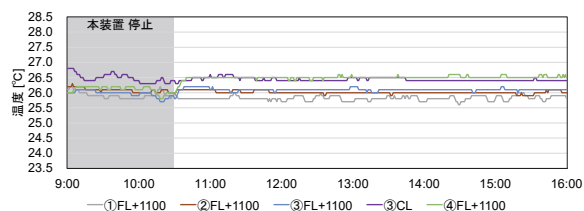


図 6 夏期 Case1 空気温度

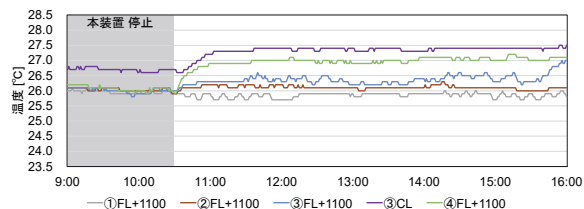


図 7 夏期 Case2 空気温度

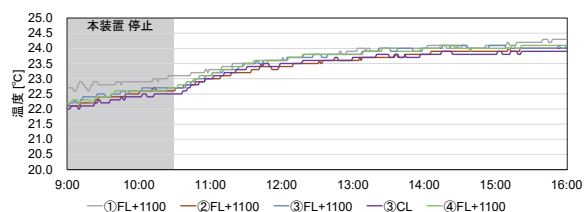


図 8 冬期 Case1 空気温度

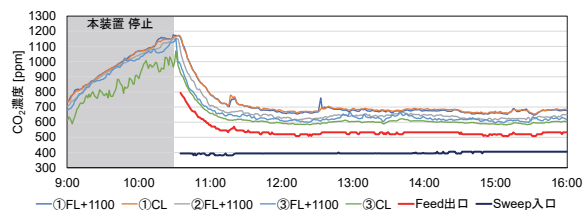


図 9 夏期 Case1 CO₂ 濃度

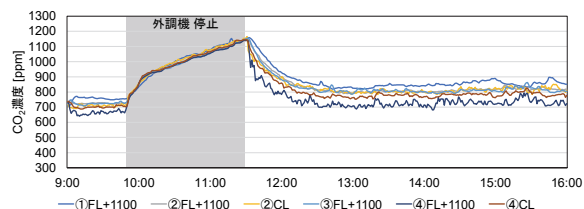


図 10 夏期 Case3 CO₂ 濃度

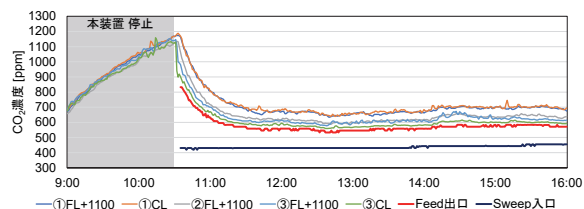


図 11 冬期 Case1 CO₂ 濃度

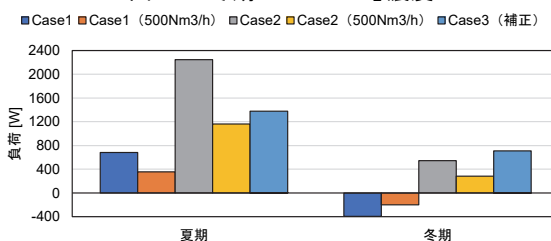


図 12 外気負荷削減効果（ピーク負荷比較）