

カーボン捕集技術を応用した空調用取入れ外気のCO<sub>2</sub>濃度低減装置の提案

正会員 ○ 尹 奎英

カーボン捕集	ビル管法	CO <sub>2</sub> 濃度
取入れ外気	経済性評価	乾式吸着法

## 1. 研究の背景と目的

現行のビル管法は室内のCO<sub>2</sub>濃度を1,000ppm以下(学校環境衛生基準では1,500ppm以下)と規定している。また、外気のCO<sub>2</sub>濃度を350ppmと想定して、一人の必要新鮮外気量を算出すると、約30m<sup>3</sup>/h・人となる。なお、省エネ基準などでは一人当たり25m<sup>3</sup>/hとしている。

これに対して、近年、大気中のCO<sub>2</sub>濃度は上昇傾向にあり(図1)、主要都市におけるCO<sub>2</sub>濃度は450ppmを上回る地域も出始めている。このように、350ppmより高い濃度の外気を取り入れる場合、現行の外気導入量では、室内のCO<sub>2</sub>濃度を基準である1,000ppm以下とすることは不可能である。導入外気量を増やして対応するか、外気のCO<sub>2</sub>濃度を低減させて取り入れるかの方法を取る必要がある。

CO<sub>2</sub>濃度と人体への影響については古くから研究がされている。近年、とりわけ知的生産性などについて研究が進んでおり、CO<sub>2</sub>濃度と人体への影響が明らかになりつつある。例えば、室内CO<sub>2</sub>濃度が1,000ppmに比べて600ppmのときに知的生産性が向上される調査結果が報告されている<sup>2)</sup>。このように、室内CO<sub>2</sub>濃度の低減や制御に対する需要は今後高まるものと考えられる。

取り入れ外気量を増やす場合、外気負荷が増大してこれを処理するためのエネルギー消費を増やす結果となる。同じく、取り入れ外気のCO<sub>2</sub>濃度を下げる技術を導入した場合、それに伴うコスト増も発生することとなる。よって、今後、上記2つの対策のうち、経済性と環境面での優位性を考慮しながら優位な対策を選択していくことが望まれる。

そこで本研究は、現在の技術開発レベル下で経済性の面で優位性を分析するとともに、これからの技術開発の方向性を提示することを目的とする。

2. CO<sub>2</sub>捕集技術の経済性評価

まずここでは、CO<sub>2</sub>捕集技術の経済性評価を行う。表1に本検討に用いた諸条件を示す。一人あたりの必要導入量を30m<sup>3</sup>/hとした場合、年間導入外気量は43,530m<sup>3</sup>となり、これを処理するためのエネルギー使用量は年間2,338円となる。また、外気のCO<sub>2</sub>濃度が450ppmと想定した場合、必要となる外気取り入れ量は35.5m<sup>3</sup>/hであり、年間外気導入量は7,981m<sup>3</sup>の増加となり、51,511m<sup>3</sup>となる。これの処理に伴う年間エネルギー使用量は2,767円となり、435

円の増額となる。

従って、外気CO<sub>2</sub>濃度が450ppmのとき、取り入れ外気43,530m<sup>3</sup>を350ppmまで濃度を低減させるために必要なコストがこれを下回るのであれば、CO<sub>2</sub>濃度を低減させて取り入れる方が経済的に優れると言える。すなわち、CO<sub>2</sub>濃度が450ppmの外気1,000m<sup>3</sup>を350ppmに低下させるために必要な費用が10.0円未満となれば、CO<sub>2</sub>低下技術は経済性に優れると言える。言い換えれば、CO<sub>2</sub>の1トンを取り除くための費用が55,552円以下となれば、経済的優位性はある。したがって現在水準の4,000円台<sup>4)</sup>に比べれば十分な経済性優位性があると判断される。

3. 空調用取入れ外気のCO<sub>2</sub>濃度低減装置に適するカーボン捕集技術

Carbon Capture and Storage (CCS、カーボン捕集と貯蔵)に関する技術は、地球温暖化における有効な対策の一つとして位置付けられており、世界各地でその開発が進められている<sup>5)</sup>。ここで着目しているCO<sub>2</sub>捕集技術は、燃焼後捕集、純酸素捕集、燃焼前捕集に大別されて技術開発が行われている。とりわけ、燃焼後捕集技術は、比較的高い捕集率を実現できる技術として知られている。

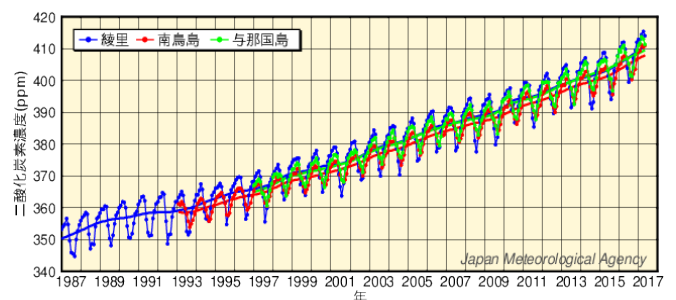
図1 気象庁の観測地点におけるCO<sub>2</sub>濃度の経年変化<sup>1)</sup>

表1 経済性評価に用いる諸条件

室内設定温湿度	夏期冷房：26℃/50%rh 冬期暖房：22℃/50%rh
空調運転(外気取入)時間	9時～17時(一日9時間) 土日祝日は運転停止
空調システム(一次)SCOP	年間：0.8 ※一次換算係数：9.76MJ/kWh
電力料金従量単価 <sup>3)</sup>	夏季：17.22円/kWh 夏季以外：16.08円/kWh

このことから本研究では、これらの開発技術の中から、燃焼前捕集技術に注目して検討を行うものとする。

燃焼前捕集技術には吸収、吸着、膜分離など様々な手法が存在する。また、エネルギー効率、費用対効果及び装置の大きさなどを考慮して、様々な手法の中から本研究提案に適合する方法を選定する必要がある。前述の代表的な3手法のうち、吸着による手法は装置の設置や運転が比較的容易で環境負荷及びエネルギー効率の面で優れるとされている。

よって、本研究では吸着手法を用いる捕集技術を有力技術とみて、これを採用して検討を進めて行くことを考えている。また、CO<sub>2</sub>吸着手法にはアミン溶液を用いる湿式吸着法と非アミン系の固体吸着剤を用いる乾式吸着法がある。空調システムへの適用を考慮すると、安全性の面において非アミン系の材料を用いる乾式吸着法が適していると考えられる。

乾式吸着法に用いる吸着剤は高い吸着性能に加えて、吸着物質への高い選択度、繰り返し使用における機械的強度が求められている。これまでの既往研究にみられる吸着剤としては、比表面積が広く、微細空隙が発達している多孔質のジェオライト、活性炭、アルミナ、シリカなどがある。また、CO<sub>2</sub>吸着率を向上させる目的で水酸化リチウム (LiOH) と配合する方法が検討されている<sup>9)</sup>。

以上のことより、本研究の対象とするCO<sub>2</sub>捕集技術として非アミン系の材料を用いる乾式吸着法がもっとも適していると考えられる。

#### 4. CO<sub>2</sub>低減装置の要求吸着性能と開発課題

既往研究において、ジェオライトやLiOHジェオライト複合体を用いたCO<sub>2</sub>吸着モジュールの吸着性能実験を行っているが<sup>9)7)</sup>、処理空気中のCO<sub>2</sub>濃度が1,000ppmから7,000ppmの比較的高いレベルを対象にしている。これに対して、本研究ではCO<sub>2</sub>濃度450ppm程度の取り入れ外気を処理対象とすることから、1,000ppm未満の濃度レベルに対しては、その吸着性能を詳細に検討する必要がある。また、要求される吸着性能を確保できるように吸着装置を開発する必要がある。

本研究で要求されるCO<sub>2</sub>吸着装置の吸着性能は、居室内のCO<sub>2</sub>濃度を法定基準値である1,000ppm以下に維持できるレベルと定める。このレベルは、取り入れた外気のCO<sub>2</sub>濃度が450ppmの場合、350ppmまで引き下げられる性能である。汎用の全熱交換器に装着することを想定した場合、処理外気量は200m<sup>3</sup>/h程度であり、33.8gのCO<sub>2</sub>捕集能力を有する装置の開発が求められることとなる。

これに加えて、Choら<sup>8)</sup>とWangら<sup>7)</sup>が示したジェオライトを用いた吸着モジュールの吸着性能は、39.6mg/g～58.5mg/gであり、約0.85kg～1.26kgのジェオライトを必要とする試算結果である。1kg前後のジェオライトを格納し

たCO<sub>2</sub>吸着装置は前述のとおり汎用の全熱交換器に装着できる機構にすることが求められる。さらに、ジェオライトの脱着(再生)方法についても検討し、吸着と脱着を繰り返し行える機構にすることが望ましい。

#### 5. まとめ

本研究は、大気中のCO<sub>2</sub>濃度上昇に対して、取り入れ外気量を増やすことなく、居室内のCO<sub>2</sub>濃度レベルを基準値以下に維持するための提案である。取り入れ外気のCO<sub>2</sub>濃度を低減させる技術として、カーボン捕集技術に着目して、まず経済性評価を行った。居室内のCO<sub>2</sub>濃度レベルを現状に維持するために、取り入れ外気量を増やした場合に発生する空調システムのランニングコスト増額に比べて、現況のカーボン捕集技術に係るコストはこれの1/10を下回ることから、経済性優位性が十分高いことがわかった。

また、本研究のCO<sub>2</sub>濃度低減装置に適するカーボン捕集技術を検討して、非アミン系の材料を用いる乾式吸着法がもっとも適していると判断された。さらに、CO<sub>2</sub>濃度低減装置に要求されるCO<sub>2</sub>吸着性能について検討し、定量的な要求性能を示すことができた。最後に今後の装置開発の課題を示した。

#### 【参考・引用文献】

- 1) 気象庁HP、気象庁の観測点における二酸化炭素濃度および年増加量の経年変化、[http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2\\_trend.html](http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html) (2017.10.30更新)
- 2) Usha Satish et. all., Is CO<sub>2</sub> an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO<sub>2</sub> Concentrations on Human Decision-Making Performance, *Environmental Health Perspectives*, volume 120, number, Dec. 2012
- 3) 東京電力エナジーパートナーHP、業務用電力(契約電力500kW未満)[http://www.tepco.co.jp/ep/corporate/plan\\_h/plan06.html](http://www.tepco.co.jp/ep/corporate/plan_h/plan06.html) (2018.3.31閲覧)
- 4) 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会、経済産業省、次世代火力発電に係る技術ロードマップ技術参考資料集、2016.8
- 5) IEA, *Technology Roadmap for Carbon capture and storage*, 2013 edition
- 6) Y. Cho et al., LiOH-embedded zeolite for carbon dioxide capture under ambient conditions, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 22(2015) 350-356, 2015
- 7) Y. Wang, M.D. LeVan, Adsorption Equilibrium of Carbon Dioxide and Water Vapor on Zeolites 5A and 13X and Silica Gel: Pure Components, *J. Chem. Eng. Data* 54 (10), pp. 2839-2844, Nov. 2009

#### 【謝辞】

本研究の推進にあたりご助言をいただいた、韓国中央大学工科大学柳洪善教授、柳在永教授に感謝の意を表す。