



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on Factors Affecting the Quality of Life Based on a Closed Air-flow System [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	周, 子凌
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16189号
Issue Date	2024-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94058
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ziling_Zhou_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 周 子 凌

審査担当者 主査 准教授 三 品 具 文
副査 教 授 根 本 幸 児
副査 教 授 徂 徠 和 夫
副査 客員研究員 石 橋 晃（佐賀大学医学部）

学 位 論 文 題 名

Study on Factors Affecting the Quality of Life Based on a Closed Air-flow System
(クローズドエアフローシステムに基づく生活の質に作用する要因に関する研究)

博士学位論文審査等の結果について（報告）

近年、半導体製造時の微細塵粒子の除去、医療診断時の感染予防、さらには快適な生活環境のために、室内における空気質の向上が重要な問題となっている。しかしながら、従来型のクリーンルームでは、到達できる空気の清浄性やエネルギー効率にまだまだ改善すべき余地があり、今後の発展が待たれている状況にある。

本論文では、著者の所属するグループで考案された新しいタイプのクリーンルームであるクリーンユニットシステムプラットフォーム（CUSP）の実用化に向けて、その理論的な解析と実際の特性評価を行っている。従来型のクリーンルームは、高機能フィルタで花粉、微粒子など様々な不純物を取り除いた大量の大気を外界より取り込み、これを排出することにより清浄な空気質を実現する開放型のシステムであるのに対し、CUSP システムは、外界との喚気には分子交換膜を介して行い、室内の粒子は循環型の空気フィルタで除去する閉鎖型である点に特徴がある。

理論では、まず空気中の粒子密度の経時変化を、微分方程式を用いて解析している。この解析により、清浄度は時間とともに上昇し、ISO クラス 4 に相当する高清浄エリアが実現可能であることが示された。これは、従来の開放系システムと比較して高度な清浄度である。次に、室内の酸素濃度と二酸化炭素濃度の分析を行った。CUSP ではガス交換膜を介した換気方法を取り入れたので粒子や微生物の外部からの流れを完全に排除するとともにエネルギー消費の面では優れているが、ガス交換の特性を理論的に明らかにしておく必要がある。交換膜を介した拡散によるガス交換の特性をフィックの法則に従って定式化し拡散係数や膜の表面積などをパラメータとして分析し、所要の酸素濃度と二酸化炭素濃度を得るためのガス交換膜の最適化の考察を行っている。これらの理論的アプローチにより、従来の技術的制約を克服し、エネルギー効率と環境清浄度を両立させる新たなアプローチとして、閉鎖系による空気質制御の有効性が確かめている。

さらに、この高度な清浄度と高いエネルギー効率を持つ CUSP を、いくつかの具体的な閉鎖環境である、“テント”、“縦型仮眠ボックス”、“医者・患者結合型ブース”、“農作物栽培”“避難所用隔離スペース”などに応用しその特性を評価している。まず、これら閉鎖環境内で循環型の空気フィルタを使用した際の空気中の粒子数密度の変化を計測した。測定は、それぞれ $0.3\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}$ サイズの粒子に着目して行ったが、いずれの場合も予想どおりの粒子数密度の激減が確かめられた。次に、閉鎖環境内で燃焼を行った場合の、酸素濃度と二酸化炭素濃度の時間変

化の測定を行った。目的ごとに、適切な面積のガス交換膜を準備することにより、十分な量の二酸化炭素の排出と酸素の取り込みが行われることを確認している。“縦型仮眠ボックス”の研究では、ボックス内の粒子数密度、二酸化炭素濃度、酸素濃度、温度、湿度という環境パラメータの計測と同時に、被験者の脳波計測より睡眠段階の評価を行い、改善された空気質睡眠に与える影響を調べている。この研究成果は商品化されており、東京・原宿で『ネスカフェ 睡眠カフェ in 原宿』という形で一般に公開されている。

これを要するに、著者は、新しいタイプのクリールームシステムである CUSP についてその基礎特性を理論的に明らかにするとともに、その実際の応用例である、“縦型仮眠ボックス”などを実験的に評価し、CUSP の実用化に向けて貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。