

Title	PACを用いた膜天井放射空調の冷暖房性能及び設計手法に関する研究
Author(s)	前田, 龍紀
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/96094">https://doi.org/10.18910/96094</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 前田 龍 紀 )

論文題名 PACを用いた膜天井放射空調の冷暖房性能及び設計手法に関する研究

## 論文内容の要旨

建築において、在室者の快適性、運用時に加え建設時の脱炭素、建設業の労働人口・時間の減少に対応するための省人化・省力化工法が重要課題とされている。このような背景から、水配管だけでなくダクトが不要で搬送動力も小さい天井カセット型パッケージエアコン(以降PAC)が採用されることが多い一方で、快適性や意匠性が課題とされている。そこで本研究では、これらの課題解決を目指し軽量膜天井に着目し、PACを上部スラブに取付け、膜天井からの浸み出しによる対流空調に加え、天井内の熱(冷氣または暖気)溜りからの放射空調を行う膜天井放射空調方式を提案し、①膜天井材の選定と実験による検証、②冷暖房実大実験による特性把握と実用化の検証、③実験結果と数値シミュレーションモデルによる設計手法の提言を実施した。本論文は以下の全8章にて構成されている。

第1章では、本研究の背景となる建設業がかかえる課題とこれからの空調システムに求められるニーズについて述べた。また、既往の天井放射空調方式に関する実測事例やシミュレーションによる検討手法を示し、本研究で対象とする膜天井放射空調方式を提案し、本研究の有意性と目的を示した。

第2章では、膜天井材に求められる条件を整理し、膜天井として利用可能な各メーカーの膜材から2種類の膜材を選定した。省人化・省力化工法が確立されている方の膜材を用いて、浸み出し放射空調として実績のあるパンチングメタルとの吹出し(浸み出し)性能の冷房時の比較実験を行い、大差がないことを確認した。また、冷房時の気流シミュレーションを行い、膜上でのPACのショートサーキットの影響や適切なPAC運転制御方法が課題であることを示した。

第3章では、第2章と同じ膜材を用いて冷房実大実験を行い、膜からの浸み出しによる交換空気量は少なく、負荷変動への追従性の課題はあるが、上下温度差が3℃以内と均一な温度分布を実現できることを示した。また、実験結果と既往放射空調方式との比較から、室内温度分布は、既往の放射空調方式と同等であることが分かった。

第4章では、膜上下交換空気量を増やす方法と換気方式の検討を行うため、膜上と膜下の空気を強制的にファンで循環させた実大実験を実施した。その結果、膜上下交換空気量を強制的に増やすことで、水式の放射空調と同じ温熱環境を維持しつつ、PACの安定した運転や立上がり能力が確保できる可能性を示した一方で、実験を重ねていく中で、膜材の耐久性やメンテナンス性など実用化への課題を示した。

第5章では、実用化への課題をうけ、第2章で選定したもう一つの膜材を用いて冷房実大実験を行った。この膜は省人化・省力化効果は劣るが、通気流量が大きく、システム天井材に成型でき、実用性も高い。この結果、空調立上げ時の制御など設計手法に関する課題は残るが、冷房時に安定した温熱環境が実現できることを示した。また、通常の天井カセット方式との比較実験も行い、目論見通りのドラフトレス空間が実現できることを示した。また、PACの成績係数(COP)の算出結果から、ショートサーキットの影響による省エネ性の悪化はほとんど見られないことも示した。

第6章では、第5章と同じ膜材を用いて暖房実大実験を行い、通常の天井カセット方式との比較や、外皮負荷の効率的な除去を目的として、膜上の暖気を強制的に膜下へ降ろした場合の室内温熱環境の検証を行った。その結果、膜上下循環ファンを負荷に合わせて運転させることで、良好な温熱環境が得られることを示した。さらに、暖房時の数値シミュレーションモデルを確立するため、室内温度分布の計算方法について検討した結果、冷却面に沿った下降気流を算出し、風量・熱収支を解く計算方法にて、実測値を精度よく再現できることを示した。

第7章では、第3章から第6章までの実大実験結果及び考察から、実プロジェクトの設計に反映できるように、膜天井放射空調方式の建築計画、空調・換気計画を提案し、冷房時と暖房時の制御手法を具体的に示し、各設定値や機器容量の設定方法を示した。また、暑い・寒いといった人間心理に基づく生理反応でも、実験結果に基づく物理指標での考察通りの効果が実現できていることを被験者実験にて示した。

第8章では、本論文で得られた知見を総括した。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 前 田 龍 紀 )	
論文審査担当者	(職) 氏 名
	主 査 教授 山 中 俊 夫
	副 査 教授 下 田 吉 之
	副 査 准教授 小 林 知 広

## 論文審査の結果の要旨

建築において、在室者の快適性、運用時に加え建設時の脱炭素、建設業の労働人口・時間の減少に対応するための省人化・省力化工法が重要課題とされている。このような背景から、水配管だけでなくダクトが不要で搬送動力も小さい天井カセット型パッケージエアコン(以降 PAC)が採用されることが多いが、快適性や意匠性が課題とされている。そこで本研究では、これらの課題解決を目指し、軽量膜天井に着目し、PAC を上部スラブに取付け、膜天井からの浸み出しによる対流空調に加え、膜天井内の熱(冷気または暖気)からの放射効果を併用する膜天井放射空調方式を提案し、①膜天井材の選定と実験による検証、②冷暖房実大実験による特性把握と実用化の検証、③実験結果と数値シミュレーションモデルによる設計手法の提言を実施している。本論文は以下の全 8 章にて構成されている。

第 1 章では、研究の背景となる建設業がかかえる課題とこれからの空調システムに求められるニーズについて述べている。また、既往の天井放射空調方式に関する実測事例やシミュレーションによる検討手法が示され、本研究で対象とする膜天井放射空調方式を提案し、本研究の有意性と目的を示している。

第 2 章では、膜天井材に求められる要件を整理し、膜天井として利用可能な各メーカーの膜材から 2 種類の膜材を選定している。その上で、省人化・省力化工法が確立されている膜材を用いて、浸み出し放射空調として実績のあるパンチングメタルによる吹出し(浸み出し)性能の冷房時の比較実験を行い、同等の効果を持つことを確認している。また、冷房時の気流シミュレーションを行い、膜上での PAC 気流のショートサーキットの影響や適切な PAC 運転制御方法が課題であることを示している。

第 3 章では、第 2 章と同じ膜材を用いて実大冷房実験を行い、膜からの浸み出しによる交換空気量は多くはなく、負荷変動への追従性の課題はあるが、上下温度差が 3℃以内と均一な温度分布を実現できることを示した。また、実験結果と既存の放射空調方式との比較から、空気式でありながらも水式放射空調方式に近い温熱性能が実現できることを示している。

第 4 章では、膜上下交換空気量を増やす方法と換気方式の検討を行うため、膜上と膜下の空気を強制的にファンで循環させる実大実験を実施した。その結果、膜上下交換空気量をファンで強制的に増やすことで、水式の放射空調と同じ温熱環境を維持しつつ、PAC の安定した運転や立上がり能力が確保できる可能性を示している。同時に、実験を重ねていく中で、膜材の耐久性やメンテナンス性など実用化への課題も示している。

第 5 章では、実用化への課題解決のため、第 2 章で選定したもう一つの新しい膜材を用いて冷房実大実験を行っている。同膜は省人化・省力化効果は劣るものの、通気流量が大きく、システム天井材に成型でき、実用性も高い。実験の結果、空調立上げ時の制御など設計手法に関する課題は残るが、冷房時に安定した温熱環境が実現できることを示している。また、通常の天井カセット方式との比較実験も行い、目論見通りのドラフトレス空間が実現できることを示し

ている。また、PAC の成績係数(COP)の算出結果から、ショートサーキットの影響による省エネ性の悪化はほとんど見られないことも明らかになっている。

第 6 章では、第 5 章と同じ膜材を用いて暖房実大実験を行い、通常の天井カセット方式との比較や、外皮負荷の効率的な除去効果を目的として膜上の暖気をファンにより強制的に膜下へ降ろした場合の室内温熱環境の検討を行っている。実験の結果、膜上下循環ファンを負荷に合わせて運転させることで、良好な温熱環境が得られることを明らかにしている。さらに、暖房時の数値シミュレーションモデルを確立するため、室内温度分布の計算方法について検討した結果、冷却面に沿った下降気流を算出し、風量・熱収支を解く計算方法にて、実測値を精度よく再現できることを示している。

第 7 章では、第 3 章から第 6 章までの実大実験結果及びその考察から、実プロジェクトの設計に反映できるように、膜天井放射空調方式の建築計画、空調・換気計画を提案し、冷房時と暖房時の制御手法を具体的に示し、各設定値や機器容量の設定方法を示している。また、暑い・寒いといった人間の温冷感に基づく心理反応でも、実験結果に基づく物理指標での考察通りの効果が実現できていることを被験者実験にて示している。

第 8 章では、本論文で得られた知見を総括している。

以上のように、本論文は、新しい膜天井放射空調システムを提案し、実験による課題の抽出と解決を行うことにより実用的システムを提案しており、建築設備技術の発展に寄与するとともに、在室者の快適性や建設業の省人化・省力化、及び建設段階の脱炭素にも大きく貢献するものと考えられる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。