

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                    |    |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 博士（ 工学 ）                                                                                                                                                           | 氏名 | 西 尾 淳 |
| 論文題目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Modeling of Gas-Liquid Distribution and Circulating Composition in Multi-Split Air Conditioners with Zeotropic Refrigerants<br>(非共沸冷媒を用いるマルチ空調機における気液分配と循環組成のモデル化) |    |       |
| (論文内容の要旨)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                    |    |       |
| <p>本論文は、複数室内機を有するマルチ空調機の内部を循環する非共沸冷媒の流動・伝熱特性に関する実験的・数値的研究をまとめたものであり、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景および既往研究との関連性について概観し、本研究の目的と重要性について述べている。</p> <p>第2章では、マルチ空調機の主要な構成要素である圧縮機、熱交換器、膨張弁、配管、および冷媒貯留部の内部を循環する冷媒の気液相割合と組成割合の変動について、数値計算と実験の両面から検討している。数値計算では、空調機内を循環する冷媒の質量、運動量、およびエネルギーに関する各機器の基礎方程式を整理し、これらの基礎方程式を高沸点冷媒と低沸点冷媒を混合した複数の成分からなる非共沸冷媒に適用可能な形に拡張している。さらに、空調機の運転状態に応じて冷媒貯留部の液相割合が変化するマルチ空調機特有の現象に着目し、気液平衡状態を仮定して系全体の質量保存を解く一次元モデルを構築している。一方、実験では、室外機1台と室内機4台からなるマルチ空調機において、光学計測手法による冷媒の組成割合の計測を行い、冷媒貯留部の液相割合と系内を循環する冷媒の組成割合の関係を調べている。</p> <p>この結果、本一次元モデルが妥当であることを、非共沸冷媒を用いる空調機の冷房運転時における、系内を循環する冷媒の組成割合の測定値との比較により確認している。また、空調機の運転状態の変化に伴い冷媒貯留部の液相割合が増加すると、系内を循環して室内熱交換器を流れる冷媒の低沸点冷媒割合が増加する現象を、本一次元モデルが定量的によく再現することを示している。さらに、室内熱交換器における低沸点冷媒割合が増加することで、空調機の性能が大きく低下し得ることを実験的に示し、空調機設計における組成割合予測の重要性を示している。</p> <p>第3章および第4章では、室内熱交換器の低沸点冷媒割合に大きな影響を及ぼす因子である、水平主管から分岐する複数の枝管出口における気液相割合を、それぞれ下向きおよび上向き方向の分岐について数値的に調べている。計算では、主管および枝管内の気液二相流に対してLES (Large-Eddy Simulation) -VOF (Volume of Fluid) 法を適用し、枝管出口の気液相割合を既往の実測値と比較している。また、下向き分岐では主管の入口冷媒の質量流量と気相割合を、上向き分岐では枝管長をそれぞれ変化させるパラメータスタディを行い、枝管出口の気液相割合の変化を調べている。さらに、LES-VOF 解析で得られた結果を計算コストの低い一次元モデルで再現するためのモデリングフレームワークを構築している。</p> <p>この結果、LES-VOF 解析が、水平主管からの下向き分岐および上向き分岐の双方の条件に対して枝管出口の気液相割合を良好に再現可能であることを示している。また、下向き分岐では、液相が重力によって流下しやすいため、上流で分岐する枝管ほど液相割合が高いこと、主管入口の質量流量または気相割合を増加させることで主管内の流速が増加するため、下流の枝管の液相割合が増加することを明らかにしている。一</p> |                                                                                                                                                                    |    |       |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |        |    |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----|-------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 博士（工学） | 氏名 | 西 尾 淳 |
| <p>方，上向き分岐では，重力が液相の上昇を抑制するため，複数の枝管が液相で満たされて液柱を形成することや，枝管長が長いほど少数の枝管に気相が集中し，気相の摩擦圧力損失と液柱高さによる圧力変動が釣り合う傾向があることを示している．さらに，LES-VOF 解析を用いたパラメータスタディにより，下向き分岐では液相レイノルズ数と液相フルード数が，上向き分岐では分岐後の高低差が，それぞれ枝管における気液相割合の支配因子であることを明らかにしている．加えて，これらの支配因子を用いた一次元モデルを数ケースの LES-VOF 解析の結果から効率よく作成する実用的なプロセスを構築し，枝管の本数や枝管長が異なる条件に拡張可能な定式化を行っている．</p> <p>第 5 章では，下向き分岐配管に合流部と絞り（小孔）を加えた実機模擬系を対象に，枝管に設けられた絞りの位置および直径を変化させることによる気液相割合の変化を LES-VOF 解析により調べている．また，LES-VOF 解析の結果をもとに，絞りの影響を考慮した新たな一次元モデルを構築している．さらに，LES-VOF 解析および一次元モデルにより得られた枝管出口の気液相割合をもとに組成割合を算出し，これらを枝管の出口側に位置する室内熱交換器の性能解析に入口境界条件として与えることで，系全体の性能に及ぼす気液相割合の影響を調べている．</p> <p>この結果，絞りを有する系においては，従来から用いられる局所の液相レイノルズ数と液相フルード数に加えて，系入口の気相レイノルズ数が気液相割合を支配することを明らかにしている．また，これらの支配因子を用いた新たな一次元モデルが，LES-VOF 解析により得られた枝管出口の気液相割合を良好に再現可能であることを示している．さらに，室内熱交換器における冷媒の流動，蒸発，および室内空気から冷媒への熱輸送を解く熱流体解析において，LES-VOF 解析と本一次元モデルの結果をそれぞれ入口境界条件として与えた場合の両者の熱交換器性能はよく一致することから，本一次元モデルを用いることで熱交換器を含めた系全体の性能予測が可能であることを示している．</p> <p>第 6 章は結論であり，本論文で得られた成果について要約するとともに，今後の研究課題についても言及している．</p> |        |    |       |