

学 位 論 文 の 要 旨

超臨界 CO₂-CO₂ カスケード式冷凍システムによる高効率冷凍機の開発

氏 名 山口 幸雄 印

今日、地球環境保護は世界共通の重要な課題であり、国際的な地球環境問題の改善に対する取り組みが行われている。環境問題の中で地球温暖化は早急な対策が必要な、重要問題となっている。オゾン層保護に関する枠組条約や、地球温暖化防止枠組条約は、各国でオゾン層保護や温暖化防止に向けた活動を国際条約という形で目標を明確にしている。オゾン層を破壊するハイドロフルオロカーボンや、地球温暖化に悪影響を与えるハイドロクロロフルオロカーボンなどの冷媒を使用する冷凍空調業界では、依然オゾン破壊係数（以降 ODP と記す）や地球温暖化係数（以降 GWP と記す）の高い冷媒が使用されているのが現状であり、環境影響の小さい物質への対応が求められている。このような背景の中、冷凍空調の分野では、ODP が 0 で、GWP の低い冷媒への恒久的な代替化に関する研究が進められている。例えば家庭用の冷蔵庫は、プロパンやシクロペンタンなどの炭化水素（以降 HC と記す）を冷媒に用いた製品が世界各地で使用されている。また、食品流通業界で使用されているショーケースや冷凍冷蔵機器には、HC や CO₂ を冷媒として使用する機器の導入が開始されている。さらには、冷蔵・冷凍倉庫やアイスリンクなどの大型冷蔵機器ではアンモニアや CO₂ を冷媒として使用する機器の導入が進められようとしている。

本件研究では、恒久的代替冷媒の内、主に CO₂ 冷媒に関するものを中心に議論し、地球温暖化や、オゾン層保護に有効な CO₂ 冷凍機の開発を行う必要性を示した。

第二章では、CO₂ 冷凍システムの課題を解決するために、CO₂ 冷凍システムの効率改善に有効な内部熱交換器の最適化を行った。その実験の結果、CO₂ 単段冷凍システムにおける最適な内部熱交換器の選定と、それによるシステム効率が HFC 冷凍システムと同等に得られることを示した。しかし、CO₂ 単段冷凍システムでは、高外気温時におけるシステム効率が HFC 冷凍システムに劣る。よって次に、更なる効率改善を行うために、現在までにほとんど研究されていない CO₂-CO₂ カスケード式冷凍システムの検討を行った。研究の中ではカスケード式冷凍システムの各々の冷凍回路の運転圧力を最適化し、既存冷凍システムとの効率比較を行った。シミュレーションの結果、CO₂-CO₂ カスケード式冷凍システムによって、全ての外気温域で既存の単段 HFC 冷凍システムの効率を上回る結果をえた。また、コンビニエンスストアの什器を使用した電力消費効率の比較実験でも、シミュレーション同様に CO₂-CO₂ カスケード式冷凍システムの優位性を確認す

ることができた。

第三章では、CO₂-CO₂カスケード式冷凍システムを世界各地の気候条件に合わせた最適化を実施し、年間を通じたシステム効率を既存システムと比較を行った。これまでの研究では世界各地での平均気温を用いて冷凍システムの効率を比較した例はあるが、本研究のように、各地域の月別の最高気温、平均気温、最低気温を用いて詳細にシステムの効率をシミュレーションした例はほとんどない。

研究の結果、従来はCO₂冷凍機器の赤道付近地域への適用が不可能とされていたが、CO₂-CO₂カスケード式冷凍システムの最適化設計によって、世界の主要な各地域において既存システムと比べシステムの運転効率を高めることが出来ることを明らかにした。また、冷媒漏洩による地球温暖化直接影響だけでなく、冷凍機の電力消費に伴う温暖化間接影響も提言することが出来ることを示した。

学 位 論 文 の 要 旨

Development of super critical CO₂–CO₂ cascade refrigeration system for improvement of energy efficiency

Yukio YAMAGUCHI 印

Today, preserve the environment is the commonly important issue for the entire world. And some international program has been proceeding to improve the environment issue. Global warming issue which is most important in the environmental issues is required to conduct the provision. Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer and United Nations Framework Convention on Climate Change obligate to achieve regulations to every nation. The refrigeration industrial sector uses Hydro chlorofluorocarbon which has Ozone layer Depleting Potential (ODP) and Hydrofluorocarbon which has high Global Warming Potential (GWP) as refrigerant. This fact makes negative impact to environment. Therefore these refrigeration industry are required to change its refrigerant to environmental friendly refrigerant which has “ODP=0”, and lower GWP. From these reason, refrigeration industrial sector studies new refrigerant which has no ODP and very low GWP. For example, domestic refrigerator which uses Hydrocarbon (HC) are getting popular especially Japan and Europe. And refrigeration system for retail supermarket uses Hydrocarbon and Carbon dioxide as refrigerant. On top of that, big refrigeration system for Refrigerated warehouse and skate rink uses Ammonium and Carbon dioxide as refrigerant. These technologies are penetrating to around the world.

This study discussed regarding CO₂ refrigerant which is most likely alternative refrigerant. And this study alleges that it is necessary to develop the CO₂ refrigeration system which makes effort to improve the Ozone layer protection issue and Global warming issue.

In the second capture, this study conducts optimization of Suction line heat exchanger which makes effort to improve the efficiency of CO₂ refrigeration system. After that improvement, this study developed CO₂-CO₂ cascade refrigeration system which has not been studied in the past papers. During this development, the optimization of every operating pressure was studied to maximize energy efficiency. And then the efficiency was compared with some existing refrigeration systems.

In the third capture, this study tried to optimize the CO₂-CO₂ cascade system to match to

yearly conditions around the world and then compared energy efficiency at related cities. Almost of previous studies simulation of energy efficiency by using related average temperature. However CO₂ refrigerant is very sensitive to ambient temperature. Therefore this study uses not only monthly average temperature but also maximum and minimum temperature for the simulations.

This study identified the better efficiency of the CO₂-CO₂ cascade refrigeration system that has been optimized its design than existing HFC refrigeration system at most of the city around the world. As a result of this study's improvement on energy efficiency, CO₂-CO₂ cascade refrigeration system makes effort to reduction of global warming affects.