

低GWP冷媒を用いたヒートポンプサイクルの性能評価 に関する実験的研究

福田, 翔

<https://hdl.handle.net/2324/1441290>

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3,4）

博士論文要約

論文題名：低 GWP 冷媒を用いたヒートポンプサイクルの性能評価に関する実験的研究

氏 名：福田 翔

所 属：九州大学大学院総合理工学府 環境エネルギー工学専攻
熱エネルギー変換システム学研究室

冷凍空調分野においては、オゾン層破壊保護の観点から CFC 系冷媒が廃止され、HCFC 系冷媒は廃止の予定であり、地球温暖化防止の観点から HFC 系冷媒が規制の対象となっている。そのため、二酸化炭素やアンモニアに代表される GWP の低い自然系冷媒に注目が集まり、それらの自然系冷媒を用いた機器がいくつか実用化されてきたが、冷凍空調分野のすべての機器に対して最適な代替冷媒とは言えない。このような状況下で、最近、大気中において分解しやすく GWP が自然冷媒と同等程度に低い HFO 系冷媒が世界的に注目されている。また、一方で、ヒートポンプ技術は投入電力に対して数倍の加熱源を提供できる省エネルギー技術として認識されつつあり、今後、より広い分野への展開が期待されている。

本論文は、以上の背景をふまえて、HFO 系冷媒の一つである R1234ze(E) に注目し、その単体および混合物を家庭用ヒートポンプサイクルの次世代代替冷媒として使用することおよび HFO 系冷媒の R1234ze(E)、R1234ze(Z) および R1234ze(E) に微量 R32 を添加した混合物を高温用ヒートポンプの冷媒として使用することの可能性を探求したものである。

以下、全 5 章で構成される本論文の内容を説明する。

第 1 章では、冷凍空調分野を取り巻く現状、ならびに非共沸混合冷媒を用いたヒートポンプサイクルの特性と従来の研究について概説するとともに、本論文の意義と目的を示した。

第 2 章では、本研究で用いたヒートポンプサイクルの実験装置と実験方法、計測機器の精度、実験条件、ならびにサイクル特性の評価方法についてまとめた。なお、実験装置は、インバータ制御された密閉式圧縮機、二重管式凝縮器、電子膨張弁および二重管式蒸発器から構成されている。

第 3 章では、ヒートポンプサイクルの基本特性を把握するために、サイクル内で生じる不可逆損失、サイクル充填量および熱負荷がサイクル特性に及ぼす影響、圧縮機諸効率の特性および非共沸混合冷媒循環組成の特性について考察した。その結果、以下のことを明らかにした。(1)成績係数は、サイクルを構成しうる必要最低限の充填量から充填量を増加させることにより向上し、ある充填量以上になると低下し始める。すなわち成績係数が最大となる充填量が存在する。また、充填量の増加に伴う成績係数の向上は充填量の増加に伴う膨張弁における不可逆損失の減少が主な要因である。(2)圧縮機効率の特性、と熱交換器の性能の兼ね合いで、システム全体の成績係数が最大となる熱負荷が存在する。また成績係数が最大となる熱負荷は、用いる冷媒の物性によって変化する。(3)インバータ効率は用いるインバータと圧縮機相性および圧縮機回転数によって決定され、モータ効率を含む圧縮機効率および断熱圧縮効率は用いる冷媒によって異なり、特に冷媒と圧縮機油との相性が大きな原因である。(4)非共沸混合冷媒の循環組成は、充填組成に対して高沸点成分が少なく、低沸点成分が多くなる。これは、二相域において低沸点成分を多く含む気相の速度が高沸点成分を多く含む液相の速度に比して早く、二相域全体における低沸点成分の比率が充填組成における低沸点成分の比率に比して低くなるためである。また、循環組成と充填組成の差異は、熱源条件の温度が高くなるほど小さくなるが、これはサイクルの作動圧力が上昇するほど、二相域の気液速度比が低下するためである。

第4章では、家庭用および高温用ヒートポンプサイクルの冷媒として新規低GWP冷媒が使用できるかどうかを明らかにするために、実験条件、冷媒の種類などがサイクルの性能に及ぼす影響を考察した。まず、疑似共沸混合冷媒 R410A、単一成分冷媒 R32、単一成分冷媒 R1234ze(E)、2成分非共沸混合冷媒 R32/R1234ze(E)および3成分非共沸混合冷媒 R744/R32/R1234ze(E)について、暖房および冷房条件下で行ったヒートポンプサイクルの実験結果より、以下のことを明らかにした。

(1)暖房条件においてシステム全体の成績係数の最大値は、R32/R1234ze(E) (80/20 mass%)の結果が最も大きく、R32、R32/R1234ze(E)(50/50 mass%)、R32/R1234ze(E)(43/57 mass%)、R410A、R744/R32/R1234ze(E)(4/43/53 mass%)、R32/R1234ze(E)(28/72 mass%)、R744/R32/R1234ze(E) (9/29/62 mass%)、R1234ze(E)の結果の順で低下する。

(2)冷房条件においてシステム全体の成績係数の最大値は、R32/R1234ze(E)(50/50 mass%)の結果が最も大きく、R32/R1234ze(E)(43/57 mass%)、R744/R32/R1234ze(E)(4/43/53 mass%)、R32/R1234ze(E)(28/72 mass%)、R32/R1234ze(E) (80/20 mass%)、R32、R410A、R1234ze(E)、R744/R32/R1234ze(E)(9/29/62 mass%)の結果の順で低下する。

(3)熱源流体の温度変化に応じて非共沸混合冷媒の組成を調整することで、温度すべり(露点と沸点の温度差)を最適化することにより、非共沸混合冷媒の成績係数を高くすることができる。

(4)圧力損失を除外したシステムにおける成績係数は、暖房および冷房条件のいずれにおいてもR32/R1234ze(E)(50/50 mass%)の結果が最も大きい。

(5)本実験における暖房および冷房条件では、R32/R1234ze(E)(80/20 mass%)、R32/R1234ze(E)(50/50 mass%)および R32/R1234ze(E)(43/57 mass%)を用いたサイクルはR410Aを用いたサイクルよりも高い成績係数を示す。

(6)GWPが300程度のR32/R1234ze(E)(43/57 mass%)およびR744/R32/R1234ze(E)(4/43/53 mass%)の体積能力はR410Aよりも若干低いが、成績係数はR410Aと同等である。

(7)GWP=194のR32/R1234ze(E) (28/72 mass%)については、成績係数はR410Aとほぼ同じであるが、体積能力は低い。一方、GWP=197のR744/R32/R1234ze(E)(9/29/62 mass%)に関しては、体積能力はR410Aとほぼ同じであるが、成績係数は低い。

ついで、単一成分冷媒 R1234ze(E)、単一成分冷媒 R1234ze(Z)および2成分非共沸混合冷媒 R32/R1234ze(E)(5/95 mass%)について、高温条件下で行ったヒートポンプサイクルの実験結果および熱力学的解析より、以下のことを明らかにした。

(1)熱源の温度レベルを暖房条件から30 Kほど昇温させた高温条件では、作動圧が上昇して、蒸発器、凝縮器および連絡配管内の圧力損失が減少し、成績係数は向上する。この特性は高沸点冷媒のほうが顕著である。

(2)R1234ze(E)は高温熱源が70~80℃程度の高温用ヒートポンプに適しており、標準沸点がR1234ze(E)に比して29 Kほど高いR1234ze(Z)は熱源温度がより高温側で作動するヒートポンプに適している。

(3)R1234ze(E)にR32をわずかに添加したR32/R1234ze(E)(5/95 mass%)は、R1234ze(E)単体の場合に比して、成績係数および体積能力のいずれも高い値となる。これは非共沸混合冷媒の温度すべりと冷媒の高圧化によるものである。

第5章は、本論文の総括である。