

## 低GWP冷媒の水平ら旋溝付管内凝縮流および蒸発流に関する実験的研究

三島, 文也

<https://hdl.handle.net/2324/1500765>

---

出版情報：九州大学, 2014, 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 冷媒の水平ら旋溝付管内凝縮流および蒸発流に関する実験的研究

氏 名：三島 文也

所 属：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

1920 年代後半にフロンが開発され、CFC および HCFC が冷媒として使用されてきたが、現在では、オゾン層保護のためにそれらの生産および使用が規制され、HFC が CFC および HCFC の代替冷媒として広く使用されている。しかしながら、HFC についても地球温暖化係数 (GWP) が高いため、京都議定書において規制対象になっており、使用が制限され始めている。したがって、今後はオゾン層への影響が無く、地球温暖化への影響が小さい物質を次世代冷媒として選択する必要がある。現時点では、次世代冷媒候補として R1234yf, R1234ze(E), R1234ze(Z) などの HFO が挙げられるが、これらの冷媒は体積能力が低いため、家庭用空調機への使用を考えた場合、機器の大型化や性能低下を招いてしまう。そこで、R1234ze(E)を含む 2 成分混合冷媒 R32/R1234ze(E)および 3 成分混合冷媒 R744/R32/R1234ze(E)の使用が検討されている。

一方、現在の冷凍・空調機用熱交換器の伝熱管について見ると、冷媒の伝熱促進のためにはら旋溝付管が広く採用されており、ら旋溝付管内の現行冷媒の凝縮流および蒸発流における熱伝達特性および圧力損失特性は実験的に把握され、ら旋溝付管の溝形状は現行冷媒に対して最適化されている。しかしながら、次世代冷媒候補の R1234ze(E)や R1234ze(E)を含む非共沸混合冷媒に関しては、ら旋溝付管内の凝縮流および蒸発流の熱伝達特性と圧力損失特性はほとんど明らかにされていない。

以上の背景の下で、本論文では、ら旋溝付管内における HFO 系冷媒 R1234ze(E)、非共沸混合冷媒 R32/R1234ze(E)および R744/R32/R1234ze(E)の凝縮流および蒸発流伝熱実験を行い、その熱伝達特性と圧力損失特性を明らかにするとともに、それらの測定結果の予測に現行冷媒に対して提案されているら旋溝付管内の圧力損失および熱伝達に関する従来の相関式が適用可能であるかどうかを明らかにする。また、現行冷媒である R32, R410A および R134a についても凝縮流および蒸発流伝熱実験を行い、それらの既存冷媒と R1234ze(E)の測定結果を比較した。

以下、全 7 章で構成される本論文の内容を説明する。

第 1 章では、単一冷媒および非共沸混合冷媒を対象とした、水平ら旋溝付管内凝縮流および蒸発流における圧力損失と熱伝達に関する従来の研究を概説した。また、本論文の意義と目的を示した。

第2章では、実験装置および試験用旋溝付管の仕様について説明を行った。また、測定機器、測定方法、実験方法および実験条件について説明を行った。さらに、冷媒物性の算出方法について説明を行った。

第3章では、R32 および R1234ze(E)の水平旋溝付管内凝縮流における圧力勾配と熱伝達率の測定結果を報告し、現行冷媒の測定結果および従来提案されている圧力損失および熱伝達率の相関式による予測値との比較を行った。その結果、以下のことを明らかにした。(1) 旋溝付管のフィン数の増加に伴い、圧力勾配は増大する。(2) 圧力勾配は従来相関式で予測可能である。(3) 旋溝付管のフィン数の増加に伴い、管外伝熱面積基準の熱伝達率は上昇する。(4) 熱伝達率は従来相関式は測定値とおおむね一致するが、全湿り度域にわたっては予測できない。

第4章では、非共沸混合冷媒 R32/R1234ze(E)および R744/R32/R1234ze(E)の水平旋溝付管内凝縮流における圧力勾配および熱伝達率の測定結果を報告し、単一冷媒の測定結果との比較を行った。また、圧力勾配については単一冷媒に対して提案されている従来相関式との比較を行った。さらに、2成分および3成分非共沸混合冷媒の熱伝達および物質伝達特性の予測計算を行った。その結果、以下のことを明らかにした。(1) フィン数64の旋溝付管における圧力勾配は、フィン数48および58の旋溝付管に比して大きい。(2) 非共沸混合冷媒の圧力損失は単一冷媒に対する従来相関式で予測可能である。(3) 旋溝付管のフィン数の増加に伴い、R32/R1234ze(E)の管外径基準熱伝達率は上昇する。(4) 予測計算モデルによる熱伝達率の計算結果は、測定結果の誤差範囲内で一致する。

第5章では、R32 および R1234ze(E)の水平旋溝付管内蒸発流における圧力勾配と熱伝達率の測定を報告し、現行冷媒の測定結果および従来提案されている圧力損失および熱伝達率の相関式による予測値との比較を行った。その結果、以下のことを明らかにした。(1) R32の場合、フィン数の増加に伴って圧力勾配の測定値は増大する。一方、R1234ze(E)の場合、MF48の圧力勾配が最も小さく、MF58とMF64の圧力勾配は同程度である。(2) R32およびR1234ze(E)の旋溝付管内凝縮流の圧力損失は、従来提案されている相関式で予測可能である。(3) 管外伝熱面積基準の熱伝達率は、MF58、MF64、MF48の順に高い。(4) 比較を行った従来相関式では、熱伝達率を精度良く予測することはできない。

第6章では、非共沸混合冷媒 R32/R1234ze(E)および R744/R32/R1234ze(E)の水平旋溝付管内蒸発流における圧力勾配および熱伝達率の測定を報告し、それらの結果と単一冷媒の測定結果および従来提案されている圧力損失および熱伝達率の相関式による予測値との比較を行った。その結果、以下のことを明らかにした。(1) 旋溝付管のフィン数の増加に伴い、圧力勾配は増大する。(2) 非共沸混合冷媒の圧力損失は従来相関式で予測可能である。(3) 旋溝付管のフィン数の増加に伴い、管外伝熱面積基準の熱伝達率は上昇する。(4) 比較を行った従来相関式では、熱伝達率を精度良く予測することはできない。

第7章は、本論文の総括である。