

「審査の結果の要旨」の概要

- | | |
|-----------------|--|
| 1. 課程・論文博士の別 | 課程博士 |
| 2. 申請者氏名（ふりがな） | 党 超鋌 （とう ちょうびん） |
| 3. 学位の種類 | 博士（工学） |
| 4. 学位記番号 | 博工 第 5562 号 |
| 5. 学位授与年月日 | 平成 15 年 6 月 12 日 |
| 6. 論文題目 | Cooling Heat Transfer of Supercritical Carbon Dioxide
(超臨界二酸化炭素の冷却伝熱に関する研究) |
| 7. 審査委員会委員 | (主査) 東京大学 教授 飛原 英治
教授 庄司 正弘
教授 笠木 伸英
助教授 丸山 茂夫
助教授 王 劍鋒 |
| 8. 提出ファイルの仕様等 | 提出ファイル名 使用アプリケーション OS |
| (1) オリジナル文書ファイル | 党超鋌審査.doc word2000 windows2000 |
| (2) テキストファイル | 党超鋌審査.txt |
| (3) 画像ファイル | なし |

[別紙2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 党 超鋌

地球温暖化の防止のために、ヒートポンプの作動媒体として長年使われてきたフルオロカーボンに代わる媒体として、自然界に存在する物質である自然作動媒体が注目されている。それら媒体の中でも二酸化炭素は無害、不燃であるなど安全性の点で優れているため、ヒートポンプ給湯器へ応用され、今後普及することが期待されている。二酸化炭素の臨界点温度は 31.1°C と通常のフルオロカーボンの臨界点温度より相当低く、大気環境温度に近いため、ヒートポンプサイクルに適用すると、高圧側圧力は臨界点を超え、冷却プロセスは臨界点を越える超臨界状態である。超臨界物質の物性は臨界点近傍において急激に変化する特徴を有し、擬臨界点と呼ばれる低圧比熱が最大になる状態点で最大の熱伝達率を示す。従来、超臨界ボイラの設計のために超臨界流体の加熱熱伝達率については多くの実験研究および理論的研究がなされているが、冷却系の研究は少ない。近年、ヒートポンプへの二酸化炭素の応用が注目されて以来、少しずつ研究が進んでいるが、冷却系の実験は難しく、高精度な実験研究はほとんどない。したがって、系統的な冷却熱伝達実験結果の取得とそれに基づいた理論的検討が待たれているとあってよい。

本論文は7つの章からなる。第1章で研究の背景とこれまで報告されてきた超臨界流体の加熱系および冷却系熱伝達率と圧力損失に関連する理論と実験についてまとめられている。

第2章では、実験装置の詳細が述べられている。二酸化炭素を循環するときに油などの不純物を溶解しないように、ポンプを用いて循環している。試験伝熱管は、内径 1 mm から 6 mm の銅製平滑直管で、試験部長さは 0.5 m である。伝熱管の周りに冷却水を流して冷却し、熱伝達率及び圧力損失を計測している。

第3章には実験条件とデータ処理方法が記述されている。熱流束の範囲は $6\sim 33\text{ kW/m}^2$ 、質量流束の範囲は $200\sim 1200\text{ kg/m}^2\text{ s}$ 、圧力は $8\sim 10\text{ MPa}$ で、二酸化炭素の伝熱管の入口温度は $20\sim 70^{\circ}\text{C}$ である。熱伝達率の定義に際しては、流体と管壁の代表温度差を定義する必要がある。定物性流体の場合は対数平均温度差を用いるのが理論的に正しいが、変物性流体の場合は条件によっては大きな誤差を招く。本実験条件の下では、 1 mm 管を除き、対数平均温度差を用いることができることを示し、 1 mm 管の場合は誤差を招かない代表温度の定義法を提案している。

第4章には実験結果が示されている。熱伝達率に及ぼす管径の影響、熱流束の影響、質量流束の影響、圧力の影響が系統的に示されている。擬臨界点近傍の熱伝達率のピークは圧力が臨界圧力に近いほど大きく、質量流束が大きいほど大きい。また、熱流束の影響が小さいのは単相流の熱伝達特性に類似している。また、これら結果から、冷却過程における代表温度として、液バルク温度と管壁温度の代数平均である膜温度をとると、膜温度が擬臨界点となる地点で、熱伝達率が極大値をもつことを示している。これら知見に基づいて、Gnielinski の熱伝達整理式における物性値の温度の取り方について最も誤差の少ない方法を提案している。

第5章では、低レイノルズ数型 $k-\epsilon$ 乱流モデルを用いた数値予測と実験結果の比較が行われている。混合距離モデル (BR モデル) と三つの低レイノルズ数 $k-\epsilon$ モデル (JL モデル, LS モデルと MK モデル) を用いて定物性流体条件, 超臨界流体加熱条件及び超臨界流体冷却条件で比較している。四つの計算モデルは定性的に同じ傾向を示しているが, LS モデルの計算結果は実験値よりかなり小さい。更に加熱過程に比べ, 冷却過程ではこのずれが大きくなる。MK モデルでは熱流束が高いほど熱伝達率が上がる傾向を示している。この矛盾は Goldmann の理論を利用してある程度緩和できることを示している。JL モデルでは壁座標 y^+ のような物性で無次元化したパラメータを含んでいないため, 変物性伝熱へ適用する際に特別な考慮は要らない。一方, BR モデルと MK モデルでは f_μ の中に y^+ がパラメータとして含まれている。冷却条件では, 壁面より離れる方向に密度と動粘性が小さくなるため, BR モデルと MK モデルで予測した乱流エネルギーの成長は定物性状態より速くなる傾向がある。この結果から, 超臨界流体の冷却熱伝達の予測にあたっては, JL モデルが最も適していることを明らかにしている。

第6章ヒートポンプサイクルにおいて冷媒を循環している圧縮機には潤滑油が含まれており, 二酸化炭素の少量の潤滑油が混入し, 伝熱性能や圧力損失特性に影響を与えるのではないかと考えられている。本論文では, 0.5%の潤滑油を混入した場合の熱伝達率や圧力損失が系統的に測定されている。この微量の油の混入により熱伝達率は20~30%低下することが実験により示され, 油の一部が管壁の周りを層をなして流れていると仮定したモデル計算で凡そ定性的に説明できることを示している。

第7章では, 結論をまとめている。

以上のように, 超臨界二酸化炭素の冷却過程の熱伝達率を広い実験条件下で系統的に且つ高精度に測定し, 微量の潤滑油を添加した場合の熱伝達率の測定を同時に行ったのは世界で初であり, 熱伝達のメカニズムを考える上で貴重なデータとなっている。また, 超臨界流体の冷却熱伝達を Jones-Launder 乱流モデルを用いると高精度に予測できることを示したことは工学的に重要である。これらの知見は工学および工業技術の進展に寄与するところが大きい。

よって, 本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。