

## C02ヒートポンプ給湯機用ガスクーラの高性能化に関する研究

松尾, 叔美

<https://hdl.handle.net/2324/1441291>

---

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：CO<sub>2</sub> ヒートポンプ給湯機用ガスクーラの高性能化に関する研究

氏 名：松尾 叔美

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

民生用エネルギー消費量の約 30 % を占める給湯部門においては、従来から燃焼式給湯器が広く使用されてきたが、それらは化石燃料を直接燃焼させ給湯を賄うため、地球温暖化防止や省エネルギー化の観点から大きな課題を抱えていると言える。そのため、我が国では、2000 年代初頭より新たな給湯システムの一つとして、CO<sub>2</sub> ヒートポンプ給湯機が実用化された。本給湯機はヒートポンプシステムを利用することで、従来の給湯器と比較してエネルギー変換効率を大幅に向上することが期待される。しかしながら、本給湯機は、深夜電力を利用し長時間かけて給湯を行うため、高圧側熱交換器（以下、ガスクーラ）内での給湯用水の流量は少なく流れが層流になる。そのため、給湯用水流路における熱伝達性能が低下することが技術的な課題となっている。給湯用水流路の伝熱促進のためにいくつかの伝熱管が開発されているが、その中のひとつとして表面に窪みを施した二本の管を捻り合わせたディンプルツイスト管がある。この管は二重管式熱交換器の内管として使用され、給湯用水流路（以下、環状流路）のみならず CO<sub>2</sub> が流れる流路（以下、内管流路）においても伝熱促進を行うことを目指したものである。しかしながら、ディンプルツイスト管の伝熱特性は十分には把握されていない。そこで本研究では、ディンプルツイスト管の窪み（ディンプル）や捻り（ツイスト）が、ガスクーラの環状流路および内管流路の熱伝達特性および圧力損失特性に及ぼす影響を明らかにするため、内管に、平滑直管、少ディンプル直管、多ディンプル直管、平滑ツイスト管およびディンプルツイスト管の 5 種類の試験伝熱管を用いた実験および数値解析を試みた。以下に、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、ガスクーラ給湯用水流路の伝熱促進、環状流路の伝熱特性および CO<sub>2</sub> 超臨界冷却における伝熱特性に関する従来の研究を概説するとともに、本論文の意義と目的を示した。

第 2 章では、平滑ツイスト管およびディンプルツイスト管を用いた CO<sub>2</sub> 超臨界冷却実験を行った。その結果、(1) 内管流路を流れる CO<sub>2</sub> の圧力損失はツイストおよびディンプル形状を施すことによって著しく増加する、(2) 擬臨界温度近傍において CO<sub>2</sub> の熱伝達係数はツイストおよびディンプル形状を施すことによって平滑管に比して増加するが、ディンプル形状による伝熱促進効果がより顕著である、(3) 内管内壁面基準の全熱抵抗については、ディンプルツイスト管の方が平滑ツイスト管よりも低い値を示すことを確認し、ディンプルツイスト管を用いることが、ガスクーラの熱交換性能の向上に繋がる有効的な手段であることを見出した。

第 3 章では、超臨界圧流体である CO<sub>2</sub> に代えて液単相の水を用いて給湯用水が流れる環状流路

の熱伝達特性を評価する簡便な実験方法「CO<sub>2</sub> 模擬水 - 給湯用水熱交換実験法」を考案し、平滑直管、少ディンプル直管、多ディンプル直管、平滑ツイスト管およびディンプルツイスト管の5種類の試験伝熱管を用いた CO<sub>2</sub> 模擬水 - 給湯用水熱交換実験を行った。その結果、(1) 環状流路の熱伝達係数は、ディンプルツイスト管、平滑ツイスト管、多ディンプル直管、少ディンプル直管、および平滑直管の順で高く、その順位は内管外壁温度の標準偏差の低い順と一致する、(2) 平滑ツイスト管での環状流路の熱伝達係数は、低レイノルズ数域から平滑直管よりも高い値を示すが、その差異はレイノルズ数の増加とともにわずかに減少する、(3) ディンプル直管での環状流路の熱伝達係数は、低レイノルズ数では平滑直管とほとんど同じであるが、レイノルズ数の増加に伴い平滑直管よりも高くなる、(4) ディンプルツイスト管での環状流路の熱伝達係数は、平滑直管に比して、低レイノルズ数域では主としてツイスト形状の効果により高い値を示し、レイノルズ数の増加に伴い、ディンプル形状による伝熱促進効果が付加されて、高レイノルズ数域においても高い値を示すことを明らかにした。

第4章では、第3章と同様に、5種類の試験伝熱管を用いた場合の環状流路の断熱圧力損失実験を行った。その結果、ツイスト管での環状流路の圧力損失は、平滑直管に比して大幅に増加し、ツイスト管にディンプルを付加することでさらに増加することを明らかにした。

第5章では、第3章と同様に、5種類の試験伝熱管を用いた場合の環状流路の給湯用水の流れの可視化実験を行った。その結果、(1) 3種類の直管では、外管内壁と内管外壁が隣接する部分に給湯用水がほとんど流れない領域が生じるが、この領域はレイノルズ数の増加に伴い狭くなる、(2) 2種類のディンプル直管では、上下に施したディンプルにより主流が乱され、特に、外管内壁と内管外壁が隣接する部分にもディンプルが施された多ディンプル直管では、高レイノルズ数域で、外管内壁と内管外壁が隣接する部分のディンプルを通過する流れが生じる、(3) 2種類のツイスト管では、流れはツイスト管に沿いながら次第に外側へ向い、外管内壁と内管外壁が隣接する部分の領域にも流れが生じる、(4) ツイスト管では、平滑直管よりも低レイノルズ数域において流れが乱れ始めることを確認した。

第6章では、平滑直管および平滑ツイスト管を内管とした場合の環状流路における給湯用水の局所的な流れおよび伝熱特性を数値解析した。その結果、(1) 平滑直管では、第5章の可視化実験と同様に、二本の内管外壁が隣接する部分および外管内壁と内管外壁が隣接する部分に給湯用水がほとんど流れない領域が生じ、その領域は給湯用水入口速度の増加とともに減少する、(2) 平滑ツイスト管では、平滑直管と異なり外管内壁と内管外壁が隣接する部分においても給湯用水の流れが生じる、(3) ツイスト角の増加に伴い、管周方向の局所熱伝達係数は増加し、環状流路の圧力損失も増加することを確認した。

第7章は、本論文の総括である。