

## 非共溶性混合媒体の核沸騰熱伝達

大西, 俊輔

<https://doi.org/10.15017/1398350>

---

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：全文ファイル公表済



氏名・(本籍・国籍)	おおにししゅんすけ 大西俊輔 (佐賀県)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	工博甲第2263号
学位授与の日付	平成25年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学府 航空宇宙工学専攻
学位論文題目	非共溶性混合媒体の核沸騰熱伝達
論文調査委員	(主査) 教授 大田 治 彦 (副査) 教授 麻生 茂 教授 北川 敏 明

## 論 文 内 容 の 要 旨

本研究では二相流体ループを用いた冷却システムへの適用を踏まえて、沸騰用混合冷媒に着目し2成分の非共溶性混合媒体を用いたプール沸騰実験を行い、その沸騰熱伝達特性を明らかにするとともに非共溶性混合媒体の使用に対する有用性を提案する。本論文は以下の6章より構成される。

第1章では近い将来における半導体冷却の問題点と二相流体ループの必要性を明らかにした。冷却システムへの求められる条件としては限界熱流束の増大、伝熱面表面温度の低下、沸騰開始時における伝熱面表面温度のオーバーシュートの低減と大気圧以上での作動が重要と考えられた。

第2章では沸騰熱伝達に関する気泡成長、核沸騰熱伝達、限界熱流束とサブクール度による限界熱流束の増大に関する既存研究を纏め、沸騰冷媒に着目して共溶性非共沸混合媒体、非共溶性混合媒体と非共溶性混合媒体の乳濁液に関する既存研究を調査した。また非共溶性混合媒体の液-液界面における気泡挙動についての既存研究をまとめ、気泡による両媒体の物理的混合の効果とその要因について調査した。

第3章では非共溶性混合媒体の核沸騰熱伝達に対して予測される特性をまとめ、沸騰冷媒に最適な組み合わせを提示した。非共溶性混合媒体が気液相平衡状態にある場合、質量分率に関わらず一定の平衡温度になり、その値はそれぞれの媒体の飽和温度よりも低くなり、それぞれ媒体がサブクール状態となることを確認した。

密度と飽和温度の組み合わせおよび加熱前における伝熱面上の層厚さの違いにより非共溶性混合媒体による沸騰系を4つに分類し、それぞれの特徴を纏めた。この結果、層厚さが小さい高密度低沸点媒体と層厚さが大きい低密度高沸点媒体の組み合わせにおいて、より優れた沸騰熱伝達特性が期待できることがわかった。この場合、低沸点媒体がバーンアウトを起こした後も、その層厚さが小さいため上層から高沸点媒体が流入することにより、高沸点媒体の沸騰熱伝達が支配的な領域へ移行し、高熱流束域までの除熱が可能となった。限界熱流束に対しては、低沸点媒体の高い分圧により高沸点媒体が圧縮される結果、高沸点媒体に対して高いサブクール度を自動的に設定できるので、大きな増大が見込まれた。また沸騰開始にはサブクール度の小さい高密度低沸点媒体が伝熱面に接触しているため、伝熱面表面温度のオーバーシュートは小さいと予測された。

2成分間の溶解度に着目すると動作温度内で互いに溶解しない不溶性混合媒体と動作温度内で部分的に溶解する部分可溶性混合媒体に分類でき、不溶性混合媒体において上述の非共溶性混合媒体の特徴が明確になると考えられた。このように層厚さが小さい高密度低沸点媒体と層厚さが大きい低密度高沸点媒体の組み合わせによる不溶性混合媒体に対してより優れた沸騰熱伝達特性が期待でき、これらについて核沸騰熱伝達に関する実験を行い、その結果を整理して評価を行った。

第4章では水平上向き伝熱面を用いたプール核沸騰の実験において、実験装置、実験手順とデータ処理方法について明らかにした。試験媒体として高密度低沸点媒体にFC72, Novec649, Novec7200を、

低密度高沸点媒体にWater, n-Propanol, i-Propanolを選定した。不溶性混合媒体についてはFC72/Water, Novec649/Water, Novec7200/WaterとFC72/n-Propanolの組み合わせを、部分可溶性混合媒体についてはFC72/i-Propanolの組み合わせに対して実験を行い、溶解度の存在が非共溶性混合媒体に与える影響に関しても比較を行った。加熱前における液相状態の両成分媒体層厚さの合計を100mmに揃え、加熱前的高密度低沸点媒体の層厚さ $H_1$ を0mm, 5mm, 10mm, 50mmと変化させて実験を行い、 $H_1$ の効果を調べた。

第5章では上述の不溶性混合媒体と部分可溶性混合媒体に対して、熱流束に対する伝熱面表面温度とバルク液体との温度差、熱伝達係数、伝熱面表面温度のそれぞれの関係、および限界熱流束の測定結果を示した。加熱前における高密度低沸点媒体の液層厚さが大きい場合、不溶性混合媒体と部分可溶性混合媒体ともに核沸騰熱伝達特性は高密度低沸点媒体単成分のそれと類似の傾向になった。一方で加熱前における高密度低沸点媒体の層厚さが小さい場合、核沸騰熱伝達特性は熱流束の増大により、インターミディエイトバーンアウトを境に低沸点媒体支配領域と高沸点媒体支配領域に分けられた。低沸点媒体支配領域において非共溶性混合媒体の熱流束と伝熱面表面温度の関係は低沸点媒体単成分のそれとほぼ一致した。一方、高沸点媒体支配領域における熱伝達係数については、液体の平衡温度が高サブクールになるため見掛け上の伝熱劣化が生じた。しかし実際には液体の平衡温度そのものが低いことと、低沸点媒体気泡による高沸点媒体の対流や沸騰の促進により伝熱面表面温度は高沸点媒体単成分のそれに比べて低下することが明らかとなった。低沸点媒体の高い分圧により高沸点媒体が圧縮される結果、高沸点媒体に対して高いサブクール度が自動的に設定され、限界熱流束値の増大となって現れた。またインターミディエイトバーンアウトによる低沸点媒体支配領域から高沸点媒体支配領域への遷移状態は、低沸点媒体の層厚さに対応した気泡成長サイズとTaylor不安定の最危険波長の大小関係や、蒸気吹き出し速度の大小により説明された。

第6章では本論文の総括として、本研究で得られた成果を要約した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、沸騰を用いた冷却システムの著しい性能向上を目的として、熱媒体としてこれまでに注目されることがなく、またその沸騰特性がほとんど明らかにされていなかった非共溶性混合媒体に着目し、実験的手法によりその熱伝達特性を明らかにしたものであり、多くの冷却システムに求められる限界熱流束の増大、冷却面温度の低減、沸騰開始冷却面温度の低減、加圧系での作動などの優れた熱伝達特性を同時に実現できることを具体的に示した点、さらにこれらの理由と高性能沸騰冷却を実現するための最適化の指針を示した点において、熱工学上寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。