

審査の結果の要旨

氏名 張 蕾

本論文は、「Nucleation Site Interaction in Pool Boiling on Artificial Surfaces (人工面のプール沸騰における気泡核干渉)」と題し、原子力、熱交換システム、電子部品の冷却等における核沸騰現象である気泡核干渉に関し実験的に研究し、特に、干渉の基本機構、干渉領域、加熱面の影響、伝熱特性等を明らかにしたものであり、論文の構成は全 7 章よりなっている。

第 1 章は「Introduction(序論)」であり、従来の沸騰研究を概観し、沸騰伝熱の素過程として気泡の生成(核生成)、気泡の成長や離脱、気泡核の干渉が重要であるが大変複雑であること、特に気泡核干渉の問題が十分に解明されていないこと、これらの問題の解明が本研究の研究目的であるが、加熱面を単純化した人工沸騰面を採用するのが問題解明の一つの有効な方法であることから、本実験では人工沸騰面を採用すると述べている。

第 2 章は「Experimental Setup and Preliminary Experiments (実験装置及び予備実験)」であり、まず、プール核沸騰実験を行うための装置と実験方法について述べ、次に予備的に行った実験の結果について記している。すなわち、本実験は大気圧下の水のプール飽和沸騰実験であるが、沸騰面を下方からレーザ加熱すると共に、加熱面裏面の温度分布と変動を放射温度計で測定するシステムであり、この方式は従来にない新しいものである。そして、気泡の挙動は高速度カメラで観察している。次に、沸騰面に付与する人工キャビティに関しては、キャビティの形状の影響について研究した高木(1999)らの研究から、円筒形のキャビティが発泡安定性、製作経費の廉さから最適であるとして、円筒形キャビティの口径と深さをさまざまに変えた実験を行ってキャビティサイズの影響について調べている。そしてその実験から、キャビティ口径は気泡挙動や加熱面の温度変動にあまり顕著な影響をもたないこと、しかしキャビティ深さは大きな影響をもち、深さが深いほど気泡挙動が安定で規則的であることを見出し、これらの予備的実験によって、本研究の主題である気泡核干渉に関する実験では、口径が $10\ \mu\text{m}$ 、深さが $80\ \mu\text{m}$ の円筒キャビティを採用するとしている。

第 3 章は「Study on the Mechanisms of Nucleation Site Interactions (気泡核干渉の機構)」であり、2 個の対キャビティを設けたシリコン面(厚さ 0.2mm)を用いて、キャビティ間隔を 1mm から 8mm まで種々変化させて沸騰実験を行い、気泡の合体、離脱などの挙動および加熱面の温度変動を詳細に調べ、気泡核の干渉に影響する主たる要素と干渉の機構および干渉領域などについて考察した結果について調べている。その結果、気泡核の干渉に影響する因子として(1)気泡間の流動干渉、(2)気泡核間の熱干渉、(3)気泡の合体が

考えられること、本研究ではそれらを影響因子 'H'、影響因子 'T'、影響因子 'C' と名づけている。実験によれば、気泡の離脱周期はキャビティ間隔によって複雑、特徴的に変化する。そこで、キャビティ間隔を気泡の基準離脱直径で無次元表示し、この無次元キャビティ間隔による気泡核干渉の違いについて種々考察しているが、その結果として、気泡核干渉の基本機構は前記3つの影響因子の競合と支配関係によって4つの領域に区分できることを明らかにしている。

第4章は「Effects of Heated Wall Properties on Nucleation Site Interactions (加熱面特性の影響)」であり、加熱面の熱伝導性や熱容量(加熱面厚さ)の気泡核干渉に及ぼす影響について研究した実験の結果について記している。すなわち、まず、材質による違い(影響)を調べるため、加熱面を銅製として実験を行っている。次に、加熱面厚さの影響を調べるため、厚さ 2.0mm のシリコン面を用いて実験し、第3章の結果(厚さが 0.2mm のシリコン面の実験)を検証しているが、銅面の高熱流の場合は干渉領域の値は変化するものの、気泡核干渉の基本機構に変化はなく、結論としては第3章の結果に一般性のあることを確認している。

第5章は「Discussion about the Mechanisms of Nucleation Site Interactions (気泡核干渉の機構に関する討論)」であり、気泡核干渉の機構に関連した諸問題について考察した結果について記している。すなわち、無次元気泡核間隔の定義の妥当性と普遍性、熱流束の気泡核干渉に及ぼす影響を、数値的なモデル計算などを援用して論じている。とくにここでは、加熱面の物性と熱流束の気泡核干渉領域に及ぼす影響について具体的、定量的に考察している。その結果、影響因子の 'H' と 'T' が同時に支配的となる領域の境界値は、加熱面熱流束が小さいほど、また加熱面の熱伝達率が高いほど、加熱面の厚さが薄いほどキャビティ間隔(無次元キャビティ間隔)が小さい側に移動することを明らかにしている。

第6章は「Heat Transfer Characteristics on the Artificial Boiling Surfaces (人工沸騰面の伝熱特性)」であり、人工キャビティ面の伝熱特性について、実験から得られた幾つかの情報について記しているが、本研究で一部行ったマルチキャビティ人工面の実験結果などを参考に、応用上重要な機能性沸騰面の創製について建議している。

第7章は「Conclusions (結論)」であり、上記の研究を総括し、得られた主要な結果について纏めている。

以上要するに、本論文は、学術的のみならず実用的にも重要なプール沸騰の気泡核干渉の機構について、一連の実験的研究を行い、工学的に有用な成果を得たものであり、熱工学の、特に沸騰伝熱研究の発展に寄与するところ大である。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。