

平成 22 年 3 月 5 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760143

研究課題名（和文） 高密度高速度表面温度・表面熱流束同時計測システムの開発

研究課題名（英文） Measurements of surface temperature and surface heat flux in boiling phenomenon

研究代表者

劉 維（Liu Wei）

日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究副主幹

研究者番号：70446417

研究成果の概要：

沸騰のメカニズムを理解するために、表面温度、表面熱流束を高密度かつ高速度で同時計測できるシステムを開発した。本計測システムは、高密度に配置した熱電対素子を伝熱ブロック内部に二層に渡り装着する技術を開発し、高速度で熱起電力を記録する一次系と、二層での多チャンネルの熱起電力データから、加熱面表面温度と熱流束の変化を計測するための逆問題解析を含む2次系から構成される。一次系の伝熱ブロック内部温度計測のために、共同陽極を持つ微細T型熱電対を開発した。本計測システムを用いて、沸騰サイクルにおける気泡真下の表面熱流束と表面温度を計測した。大きな気泡の形成に伴う表面温度の低下および表面熱流束の上昇を計測できた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	0	2,400,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	270,000	3,570,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

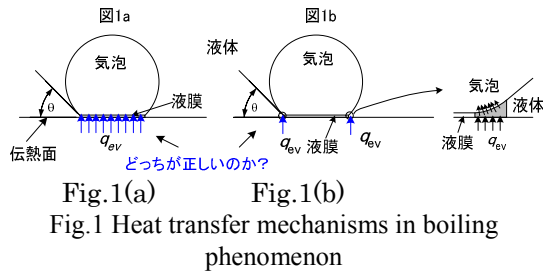
キーワード：沸騰、温度計測、熱流束計測

1. 研究開始当初の背景

核沸騰は、単相と比べて極めて高い熱伝達率となるため、沸騰水型原子炉、熱交換器、ボイラー等の基幹技術として多くの研究がなされ、今なお、その重要性は変わっていない。核沸騰は、気泡の生成、成長、離脱の現象により、複雑な熱伝達機構が存在するため、伝熱面からの熱伝達は、時間軸を入れた四次元空間内で部分的に集中したり拡散したりして

いる点が特色である。この複雑さにより、従来の核沸騰熱伝達の評価には、時間的・空間的な平均量を用いた巨視的実験相関式が主流であったが、適用範囲が制限されるという限界がある。近年では、気泡の生成、成長や離脱過程における伝熱機構を考えに入れた熱伝達理論式、半理論式の研究が盛んになってきた。例えば、気泡成長中蒸発による熱伝達モデルとしては、蒸発による熱伝達 q_{ev} の与え方

に関して、気泡と壁の間に取り残されたマイクロ液膜にかけてどこでも均一に蒸発する液膜均一理論(図 1(a))と液-気-固三相接触線上に蒸発が集中する楔状集中理論(図 1(b))がある。これらの理論のうち、どちらがより現実に即しているかを評価するには、時間的・空間的に変化する熱伝達量を高分解能で記録した実験データが必要である。しかし、既存の計測技術では、必要な詳細データを取得することが極めて困難であったため、既存のモデルは検証できず、すべて仮説の域を出ることができなかつた。



2. 研究の目的

本研究は、従来の計測システムでは困難な伝熱面表面温度、表面熱流束を高密度かつ高速度で同時計測できるシステムを開発し、沸騰現象を理解するための基礎データを取得することを目的とする。

3. 研究の方法

本計測システムは、高密度に配置(間隔 500 μm で 5mm に渡って 10 本分)した熱電対素子を伝熱ブロック内部に二層に渡り装着する技術を開発し、高速度(2KHz で同期)で熱起電力を記録する一次系と、二層で計 20ch の熱起電力データから、加熱面表面温度と熱流束の変化を計測するための二次元円筒座標系逆問題解析を含む 2 次系から構成される。そして、計測した高空間分解能、時間分解能の表面温度・表面熱流束データと沸騰現象の高速度、高解像度ビデオカメラによる同期記録データを基に、核沸騰周期における熱伝達機構の物理を理解し、沸騰基礎データを取得する。

4. 研究成果

(1) 計測システムの開発

一次系の温度計測に関して、本計測システムは微細熱電素線の陽極を共有することによって、配線数を減らし、熱電対の高密度配置を達成しようとした。その手順として、まず直径 10mm、高さ 4mm の銅ブロックの上下表面に 0.5mm のピッチで計 20 の溝を掘り、 $\Phi 76\mu\text{m}$ のコンスタンタン素線をかしめてその溝に仮固定した。次に電気メッキを用いて銅ブッ

ク上下表面に銅の膜(0.7mm)を成長させ、測温コンスタンタン素線を銅ブロック内部にしっかりと固定した。そしてその上下表面を研磨し、スパッタ製膜により薄い銅膜、チタン膜および金膜を施した。この薄い銅膜は各素線熱電対の共通陽極として使った。その結果、伝熱表面から深さ 0.0031mm と 4.905mm の二層にかけて、間隔 500 μm で半径 5mm に渡ってそれぞれ 10 本の T 型微細熱電対を配置することができた。

(2) 実験およびその結果

Fig.2 に実験装置の概要を示す。上部伝熱ブロックには上記開発した T 型微細熱電対を配置した銅ブロックを用いる。実験は大気圧、飽和の条件で、カトリージヒータの出力をパラメータにして実施した。高速度カメラを用いて沸騰サイクルの撮影も行った。温度データの収録速度は 1000~2000Hz であった。

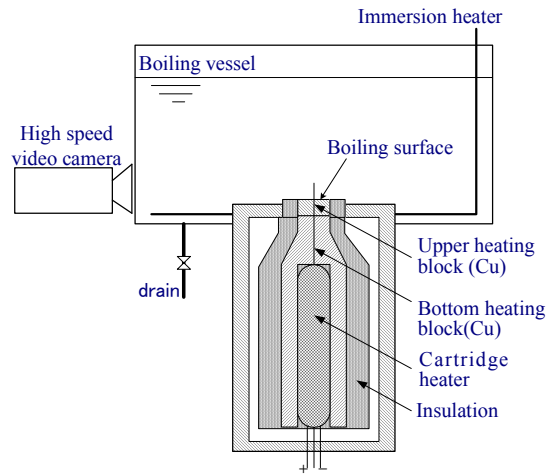


Fig. 2 Image of experimental facility

実験結果の一例を Fig.3 に示す。T1 と T2 はそれぞれ沸騰表面から 0.0031mm および 4.905mm の深さで、半径 0.2mm のところの計測温度である。Fig.3 から、沸騰表面に近い T1 は沸騰サイクルにおける温度変化を追従できることが分かった。また、高速度カメラの記録画像との比べることにより、Fig.3 に示した大きな温度変化は大きな気泡の形成および離脱に対応するものと分かった。

そして、Fig.3 に示したデータを用いて、逆問題解析を行った。得られた表面熱流束・表面温度を Fig.4 に示す。大きな気泡の形成に伴って、表面熱流束の上昇および表面温度の降下を計算することができた。

(3) 今後の課題:

実験終了後、伝熱表面を観察したところ、スパッタ処理から得られた薄い金属膜が大きく破損したことが分かった。また、開発した共同電極を持つ微細熱電対は大変デリケートであり、実験終了後は半分以上が切れてし

まったことも分かった。その原因の一つは上記の金属膜の破損にあると思われる。今後、沸騰中に破損しない強い膜つくりは課題の一つである。

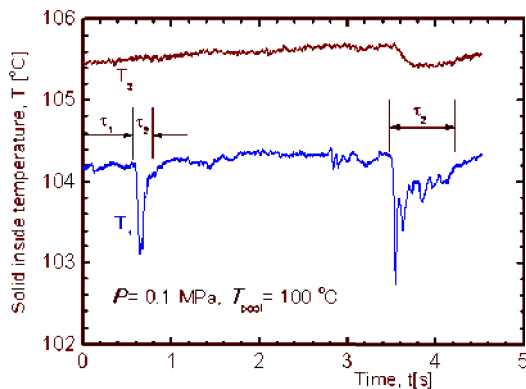


Fig.3 Measurement of inner block temperature with the special micro thermocouples

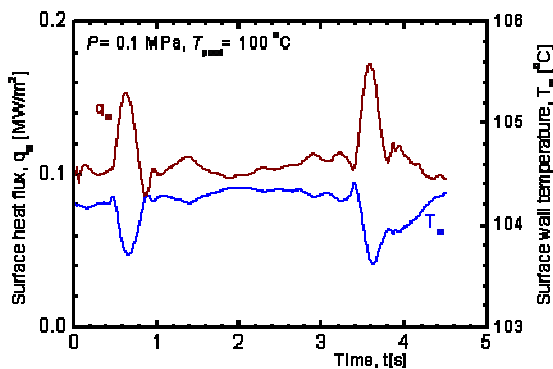


Fig.4 Measurements of surface temperature and surface heat flux in pool nucleate boiling

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 件) 0 件

〔学会発表〕 (計 件) 1 件

[1] Measurement of surface heat flux and surface temperature in Nucleate Pool Boiling Using Micro-Thermocouples, Wei Liu and Kazuyuki Takase, Proceedings of the 17th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE17, July 12 - 16, 2009, Brussels, Belgium

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

6. 研究組織

(1) 研究代表者 劉 維 (Liu Wei)

(日本原子力研究開発機構・

原子力基礎工学研究部門・研究副主幹)

研究者番号：70446417

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：