

氏 名	水 上 紘 一 みず かみ こう いち
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1206 号
学位授与の日付	昭 和 54 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	A Basic Study of Transient Heat Transfer Concerning Nuclear Reactor Safety (原子炉の安全性にかかわる過渡熱伝達の基礎的研究)

論文調査委員 (主査) 教授 桜井 彰 教授 岐美 格 教授 大石 純

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、軽水冷却熱中性子炉などにおける反応度事故時に炉内燃料体表面で想定される時間依存の熱入力に起因する過渡的な非沸騰及び沸騰熱伝達と、それに関連する現象について、実験的及び理論的に行った研究成果をまとめたものであって、6章より成っている。

第1章及び第2章では、熱入力の種々なる時間変化に対して適用可能な熱伝導方程式の近似解を提案している。第1章では、境界熱流束が時間の関数として与えられる場合を扱っている。先づ、従来の積分法及びピオ法を検討することによって、印加された熱流束の変化の仕方の主要な影響が、時間依存の熱流束で定義される換算時間によって表わされる場合が多くあることを示した。次に、経過時間のかわりに換算時間を用いて熱伝導方程式を書きなおし、2つの特殊な場合として急上昇近似及びステップ近似を導いている。さらに急上昇近似において近似精度を向上させる逐次近似法を提案し、いくつかの例について厳密解と比較して、1回あるいは2回の繰返しにより実用上十分な精度の近似解が求まる事を示し、適用範囲についても検討している。

第2章では、境界温度上昇が時間の関数として与えられる場合を扱っている。境界温度の変化の仕方の主要な影響は、温度により定義される換算時間によって表わされ、副次的な影響は換算時間の1次時間微分及びさらに高次の時間微分により表わされると仮定している。半無限固体と片面で一定熱伝達率をもつ板状固体に対して近似解を求めると共に厳密解と比較し、近似精度が十分に高いことを示している。

第3章及び第4章では、非定常自然対流について論じている。第3章では、非定常熱入力に依って生じる熱伝達に関する実験結果と、その解析について述べている。静水中に鉛直に置かれた白金発熱板を計算機制御された電流で加熱し、指数関数状に増加する発熱率を与えた場合の発熱体表面から水への熱伝達係数を測定している。発熱率が急増する場合の熱伝達係数は、水は動かないとした熱伝導方程式から求められる値と一致し、発熱率の増加が緩やかになると自然対流の影響が表われ、熱伝達係数は、熱伝導方程式から求まる値より大きく、さらに緩やかになると自然対流熱伝達係数と一致する傾向を明らかにし、この

関係を表わす実験式を提示している。又、ステップ状の熱流束変化に対する Siegel の熱伝達様相分類基準を発展させ、実験式と結合させて時間依存の熱入力に対して適用しうる基準を提案している。

第4章では、発熱板鉛直方向のある位置において純熱伝導による熱伝達がいづ終るか、そして熱入力の変化の仕方が、それにどのように影響するかを、はじめ下端にあった流体がその位置に達したときに対流の影響が現われるという Goldstein と Briggs の方法に依り明らかにしている。鉛直半無限平板の表面における温度や熱流束が時間と共にベキ関数状あるいは指数関数状に上昇する場合について解析を行い、換算時間を導入して一般的な熱入力変化に対して適用できる近似式を導いている。

第5章では、大気圧下で静水中の白金発熱板に指数関数状発熱率を与えた場合の過渡沸騰現象を論じている。初期気泡過熱度、過渡沸騰熱伝達、過渡 DNB (Departure from Nucleate Boiling) 熱流束、過渡極大熱流束などが冷却水サブクール度をパラメータとして測定されている。過渡 DNB 熱流束及び極大熱流束は、発熱率上昇周期が短い程、各々の定常値より大きい値を示すことを明らかにし、この関係を表わす実験式を提示している。又、定常極大熱流束以上の熱流束で準定常核沸騰状態が、ある寿命をもって存在することを明らかにし、その寿命を測定している。さらに、過渡 DNB 熱流束点迄の発熱率を、その点のステップ発熱率に換算した時間と過渡 DNB 熱流束の関係が発熱率の波形に無関係に定まることを明らかにし、この結果をもとにして任意の単調増加発熱率に対して過渡 DNB 熱流束を予測する方法を提案している。

第6章では、等温液体中での気泡核の安定性と非凝縮性気体の影響について論じている。気泡核の状態を安定、準安定、不安定に分け、その条件を導いている。次に、沸騰開始は、気泡核の状態が安定あるいは準安定から不安定に変るとき起きるという前提を加えたものを、新しい沸騰開始条件としている。一例として、この沸騰開始条件を円錐形キャビティ内の気泡核に適用し、非凝縮性気体が気泡核を安定にすること、及び沸騰と発泡とが区別できることを示している。

### 論文審査の結果の要旨

原子炉重大事故時の炉内燃料体表面における過渡的な熱伝達問題の解明は、原子炉事故解析にとって重要な課題の一つである。本論文は、軽水冷却熱中性子炉における反応度事故など重大事故時に炉内燃料体表面で想定される時間依存の非定常入力に起因する非沸騰及び沸騰熱伝達と、それに関連する現象の実験的及び理論的研究であって、得られた主な研究成果は次の通りである。

(1) 境界熱流束及び境界温度が時間の関数として与えられる場合、経過時間のかわりに熱流束及び温度で定義される換算時間を用いて熱伝導方程式を書きなおし、熱伝導方程式の近似解法を提案した。この方法は、温度分布を仮定する必要がなく、逐次近似法に依り近似精度の向上が可能である。

(2) 静水中に鉛直に置かれた発熱板に指数関数状に増加する発熱率を与えた場合の熱伝達係数を測定し、発熱率が急増する上昇周期が短い場合の熱伝達係数は、水は動かないとした熱伝導方程式から求められる値と一致し、発熱率の変化が緩やかな上昇周期の長い場合の熱伝達係数は、自然対流熱伝達係数と一致する傾向を明らかにし、この関係を表わす実験式を提示した。又、ステップ状の熱流束変化に対する Siegel の熱伝達様相分類基準を発展させ、実験式と結合させて時間依存の熱入力に対して適用しうる基準

を提案した。

(3) 鉛直半無限平板の表面における温度や熱流束が時間と共にベキ関数状あるいは指数関数状に上昇する場合について、純熱伝導による熱伝達の終了条件を解析し、換算時間を導入することに依り一般的な熱入力変化に適用しうる近似式を提示した。

(4) 静水中の発熱板に指数関数状あるいは直線状に増加する発熱率を与えた場合の過渡沸騰現象を実験的に考察し、初期気泡過熱度、過渡沸騰熱伝達、過渡 DNB 熱流束及び過渡極大熱流束に関する多くの知見を得た。特に、定常極大熱流束以上の熱流束で準定常核沸騰状態が或る寿命をもって存在することを解明すると共に、寿命と準定常熱流束の関係を明らかにした。又、過渡 DNB 熱流束点迄の発熱率を、その点のステップ発熱率に換算した時間と過渡 DNB 熱流束の関係が発熱率の波形に無関係に定まることを明らかにして、任意の単調増加発熱率に対する過渡 DNB 熱流束を予測する方法を提案した。

(5) 等温液体中の気泡核の状態を安定、準安定、不安定に分けて、その条件を導き、非凝縮性気体が気泡核を安定化することを示し、新しい沸騰開始条件を提案した。この沸騰開始条件によって、これまで、あいまいであった沸騰と発泡の区別を明らかにした。

以上要するに、本論文は、原子炉重大事故の炉内熱伝達問題に関する過渡的な非沸騰及び沸騰熱伝達と、それに関連する現象について基礎的に考察し、原子炉事故解析に必要とする新しい基礎的な知見を与えたものであり、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。