

氏 名	菊 地 義 弘 きく ち よし ひろ
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 1102 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 53 年 11 月 24 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	AN EXPERIMENTAL STUDY OF SODIUM BOILING FOR FAST REACTOR SAFETY (高速炉の安全性のためのナトリウム沸騰に関する実験的研究)

論文調査委員 (主 査)
教 授 岐 美 格 教 授 櫻 井 彰 教 授 大 石 純

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、液体ナトリウムを冷却材とする高速炉の安全性を解析するために必要な資料を得ることを目的として、高速炉の燃料棒を模擬したヒータ・ピンを内蔵するチャンネルにおけるナトリウムの沸騰について、実験的研究を行った結果をまとめたもので、緒論、7章、結論、付録から成っている。

緒論では、ナトリウム沸騰を、事故の段階から、(1)局所沸騰、(2)チャンネル・ボイディング、(3)蒸気爆発にわけ、それぞれについて説明するとともに、本論文においては、(1)と(2)を扱うことを述べている。

第1章では、1本のヒータ・ピンを有する円環流路を一定流量、一定入口温度のもとで流動するナトリウムの沸騰開始に関する実験を行い、沸騰開始時の伝熱面過熱度はナトリウム流速が大きいほど小さくなること、またボイド・パターンは多気泡スラグモデルか、均質二相流モデルに似たものであることを示している。

第2章は、第1章と同様の実験を、7本組のヒータ・ピンを有するチャンネルについて行ったもので、非沸騰状態でのピン表面温度の分布は、著者の開発した NORMAL コードによる計算値とほぼよい一致を示すこと、ならびに第1章の結果と同様の結果を示している。

第3章では、第1章と同じチャンネルについてナトリウム沸騰の実験を行い、狭い流路内のナトリウムでも、水と同様に安定した局所沸騰領域が存在し、熱流束を増すと、二相流は気泡流、スラグ流、環状流と変わり、また沸騰音響レベルは、初め急に大きくなるが、極大値をとった後すこし減少して一定になること、沸騰時には出口流量が大きくゆらぐこと、気泡発生サイクルと気泡の等価直径との積は一定になることなどを示している。

第4章は、7本組のヒータ・ピンを有するチャンネルの中心部6サブチャンネルを閉塞した場合の局所沸騰に関する実験を行ったもので、非沸騰状態での閉塞物による温度上昇は、他の研究者の LOCK コードによる計算値とほぼよい一致を示すこと、局所沸騰状態では流動の不安定性はみられないが、飽和沸騰状態になると、気泡が上流側へも拡がり、入口流量が減少し、遂にはドライアウトに至ること、沸騰が開

始すると大きな沸騰音が発生し、その音響レベルは水の核沸騰時のそれよりずっと大きく、また 7kHz の近くに極大値を持つこと、出口流量のゆらぎが大きいこと、気泡発生サイクルと気泡等価直径との積は一定であることなどを示している。

第5章は、第1章と同じチャンネルについて、一定熱流束のもとで、ナトリウム流量喪失下のチャンネル・ボイディングに関する実験を行ったもので、沸騰開始時の伝熱面過熱度に及ぼす伝熱面温度の上昇率の効果は見られないこと、発泡時の圧力上昇は伝熱面過熱度に相当する蒸気圧上昇と比較的よく一致し、蒸気消滅時の圧力パルスは再流入液柱の衝突速度が速いほど大きく、ナトリウム・ハンマ解析による値より小さいこと、ボイド・パターンは単気泡スラグ噴出モデルを用いて著者の開発した NAIS-P2 コードによる計算値とかなりよく一致すること、残留液膜厚さは伝熱面過熱度が大きくなるにつれて、0.29mm から 0.05 mm まで薄くなることなどを示している。

第6章は、第5章と同様の実験を、第2章と同じチャンネルについて行ったもので、伝熱面過熱度は 190K 以下の範囲に散らばり、伝熱面温度の上昇率の明確な効果はみられないこと、チャンネル内に存在する温度勾配のために、沸騰領域が初め中心サブチャンネルに限られ、その後ゆっくり拡大するので、1本のヒータ・ピンの場合と異なり、2次元の沸騰計算コードを開発する必要があることを指摘するとともに、発泡時の圧力上昇は伝熱面過熱度に相当する蒸気圧上昇より低いが、蒸気消滅時の圧力パルスについては第5章のそれと同様な結果を得ている。

第7章は、第2章と同じチャンネルについて、一定ナトリウム流量のもとで、発熱率を過渡的に増加したときのチャンネル・ボイディングに関する実験を行ったもので、沸騰領域が中心サブチャンネルから拡大してゆくの、やはり2次元の沸騰計算コードの開発が必要であることを指摘するとともに、発泡時の圧力上昇や、蒸気消滅時の圧力パルスについては、第6章と同様な結果を得ている。

以上の結果を要約するとともに、ナトリウム沸騰に関して今後さらに研究すべき課題を指摘して結論としている。

付録は、NAIS-P2, NORMAL, 及び LOCK 計算コードについて述べたものである。

論文審査の結果の要旨

液体ナトリウムを冷却材とする高速炉の安全性を解析するためには、チャンネル内の流れが異物によって一部閉塞されたり、ナトリウムの流量が喪失されたり、燃料での発熱率が増大したりするような事故のもとで生じる可能性のあるナトリウム沸騰について研究する必要がある。この観点から、著者は、高速炉の燃料棒を模擬した1本、ならびに7本組のヒータ・ピンを内蔵するチャンネルを用いて、流路の局所閉塞、ナトリウムの流量喪失、及び発熱率の過渡的増大のそれぞれにともなう、ナトリウム沸騰開始に至る状態、ならびに沸騰中の状態について、ヒータ・ピンの温度、ナトリウムの温度・流量・圧力、気泡の発生周期と大きさ、ボイドの拡がりの様相、二相流の流動様式、音響レベル、残留液膜の厚さなどを、主として実験により詳細かつ系統的にしらべている。本論文において得られた成果の主なものは次の通りである。

(1) 非沸騰状態でのヒータ・ピン表面温度の分布は、著者の開発した NORMAL コードによる計算値

とはばよい一致を示す。また非沸騰状態での閉塞物による温度上昇は、他の研究者の LOCK コードによる計算値とはばよい一致を示す。

(2) 沸騰開始時の伝熱面過熱度は、190K 以下の範囲に散らばり、伝熱面温度の上昇率の明確な効果はみられない。また、ナトリウム流速が大きいほど小さくなる傾向がある。

(3) 局所沸騰状態では流動の不安定性はみられないが、飽和沸騰状態では、気泡が上流側へも拡がり、入口流量が減少し、遂にはドライアウトに至る。

(4) 沸騰が開始すると、大きな沸騰音が発生し、その音響レベルは、水の核沸騰の場合よりずっと大きく、熱流束を増すと、初め急に大きくなるが、極大値をとった後すこし減少して一定になる。また、7kHz の近くに極大値を持つ。沸騰の早期検出の可能性がある。

(5) 沸騰が開始すると、ナトリウムの出口流量は大きくゆらぐ。発泡時の圧力上昇は、伝熱面過熱度に相当する蒸気圧上昇より低く、蒸気消滅時の圧力パルスは、再流入液柱の衝突速度が速いほど大きく、ナトリウム・ハンマ解析による値より小さい。

(6) 気泡発生サイクルと気泡等価直径との積は一定である。ボイドの拡がりの様相は、1本ピンの場合は単気泡スラグ噴出モデルを用いた著者の NAIS-P2 コードによる計算値とかなりよく一致するが、7本組のピンの場合は、チャンネル内に存在する温度勾配のため、沸騰領域が初め中心サブチャンネルに限られ、その後ゆっくり拡大するので、2次元の沸騰計算コードの開発が必要である。

(7) 残留液膜厚さは、伝熱面過熱度が大きくなるにつれて、0.29 mm から 0.05 mm まで薄くなる。

以上要するに、本論文は高速炉燃料集合体を模擬したチャンネル内のナトリウム沸騰に関する実験的研究を行い、高速炉の安全性の解析に有用な多くの新しい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。