

京都大学	博士 (工学)	氏名	村 田 裕 幸
論文題目	周期的非定常性を伴う自然対流および強制対流系における熱流動場に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、船用エネルギー機器の安全性評価を目的として、船体運動に起因する非定常性を持った対流現象、すなわち強制対流系における基本的な流動場、自然対流系における複雑な熱流動場、および固気混相の強制対流系における複雑な熱流動場について論じた結果をまとめたものであって、8章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、船用のエネルギー機器においては船体運動に起因して非定常性を持った流れ場が発生することを述べ、非定常性を持った対流現象の船用エネルギー機器の安全性評価における重要性について議論し、本論文において上記3種類の熱流動場を対象とした経緯について述べている。</p> <p>第2章では、強制対流場のうち実用上の見地から有意義と考えられる流れ方向に周期性を持つ流れ場の基礎的な例として、角柱列を挿入した平行平板間流れの二次元非定常流れを取り上げ、その非定常数値解析において空間的周期境界条件を適用することの妥当性について検討している。その結果、単位領域に周期境界条件を適用する解析手法は限られた流動条件でのみ物理的に妥当であり、計算結果の一意性は流れの特性量により判別できることを明らかにしている。さらに、流れの特性量と流れ場の幾何形状パラメータとの関連性から計算結果の一意性存在条件が幾何形状のパラメータにより予測できることを示している。</p> <p>第3章では第2章と同一体系の脈動流について PTV (Particle Tracking Velocimetry) 法による可視化実験を実施し、脈動周期のカルマン渦発生周期に対する相対的長さ、及び脈動振幅の大きさによって流れ場の挙動を論じている。また、2章で開発したコードを利用して脈動流の二次元非定常数値解析を実施し、数値解析結果の流量変動と圧力勾配の挙動が実験結果とほぼ一致していることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、船用炉の事故時における安全性評価の観点から、一体型船用炉の自然循環炉心冷却に及ぼす横揺れ運動の影響を明らかにするため、模擬実験を実施している。その結果、横揺れ運動によってホット・レグ、コールド・レグの一次冷却水流量が時間的に周期変動するのに対し、炉心流量は時間的に変動しないこと、ホット・レグ、コールド・レグにおける流量変動の横揺れ周期に対する依存性から流量変動が横揺れ運動の加速度変動によって起こることを明らかにしている。さらに、炉心流量が横揺れ周期により変化することを明らかにし、この変化が自然循環駆動力と全圧力損失の横揺れ周期に対する変化によって間接的に起こると結論づけ、その妥当性を炉心流量の変化を予測する一次元解析モデルと実験結果との比較により検証している。</p> <p>第5章では、第4章で対象とした系の炉心部における熱伝達について検討している。その結果、炉心部熱伝達が横揺れ運動により促進されること、炉心部の熱伝達率は横揺れ運動の慣性力、及び浮力の支配の程度によって (1) 横揺れ運動の慣性力が支配的な領域、(2) 熱伝達が横揺れの慣性力と自然対流の複合効果に影響される領域、(3) 熱伝達が自然対流のみに影響される領域の3つに分類されることを明らかにしている。</p>			

氏名	村田裕幸
----	------

第6章では、循環流動層を利用した小型・高性能な船用排熱回収システムの開発という観点から、循環流動層の固気混相流動挙動に及ぼす横揺れ運動の影響を明らかにするため、模擬実験を実施している。実験の結果、横揺れ運動によりライザー一部の粒子下降流が周期的に変動し、ライザー底部の粒子滞留量が増加する結果、全圧力損失が正立時に比べて顕著に増加することを明らかにしている。また、系の全圧力損失が横揺れ周期に殆ど影響を受けないのに対し、横揺れ振幅は影響を及ぼすことから、系の挙動に支配的な影響を及ぼすのは横揺れ運動に伴う重力加速度の作用方向の変化であると結論づけている。

第7章では、第6章で対象とした系のライザー一部熱伝達について検討している。その結果、横揺れ運動に伴う粒子下降流の周期的変動により粒子の壁面への接触が促進されるため、ライザー中央部、上部の熱伝達率は増大すること、ライザー下部では横揺れによりライザー底部の粒子量が増大するため、熱伝達率が顕著に増大することを明らかにしている。さらに、定傾斜状態におけるライザー下側壁面の熱伝達率についても検討し、傾斜により粒子流下量が増大すると共に、壁面への粒子接触が促進されるため、熱伝達率は傾斜により顕著に増大することを明らかにしている。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、船用エネルギー機器の安全性評価を目的として、船体運動に起因する非定常性を持った対流現象、すなわち強制対流系における基本的な流動場、自然対流系における複雑な熱流動場、および固気混相の強制対流系における複雑な熱流動場について論じた結果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 流れ方向に周期性を持つ二次元非定常流れの数値解析において、単位領域に周期境界条件を適用する解析手法は限られた流動条件でのみ物理的に妥当であること、計算結果の一意性は流れの特性量により判別できることを明らかにした。さらに、流れの特性量と流れ場の幾何形状パラメータとの関連性から計算結果の一意性存在条件が幾何形状のパラメータにより予測できることを示した。
2. 一体型船用炉の横揺れ自然循環においては、横揺れ運動の加速度変動によってホット・レグ、コールド・レグの一次冷却水流量が時間的に変動することを明らかにした。一方、炉心流量は時間的に変動しないが、横揺れ周期に対する自然循環駆動力と全圧力損失の変化により炉心流量は横揺れ周期により変化することを明らかにした。
3. 一体型船用炉の横揺れ自然循環における炉心部熱伝達が横揺れ運動により促進されること、炉心部の熱伝達率が横揺れ運動の慣性力、及び浮力の支配の程度によって3つの領域に分類されることを明らかにした。
4. 横揺れ運動を受ける循環流動層においては、横揺れ運動によりライザー一部の粒子下降流が周期的に変動し、ライザー底部の粒子滞留量が増加する結果、全圧力損失が正立時に比べて顕著に増加することを明らかにし、その支配要因は横揺れ運動に伴う重力加速度の作用方向の変化であると結論づけた。
5. 横揺れ運動を受ける循環流動層ライザー一部における熱伝達が横揺れ運動によって顕著に増加することを明らかにした。さらに、定傾斜状態におけるライザー下側壁面の熱伝達率が傾斜角の増大に伴って次第に増大することを明らかにした。

本論文は、周期的非定常性を伴う熱流動場における様々な特性を明らかにしており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年1月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。