

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360396

研究課題名(和文) 固気混相流の壁面近傍挙動に及ぼす船体運動の影響に関する研究

研究課題名(英文) Study on effects of the ship motion on gas-solid flow behavior near the wall

研究代表者

村田 裕幸 (Murata, Hiroyuki)

独立行政法人海上技術安全研究所・その他部局等・グループ長

研究者番号：30415806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円、(間接経費) 4,140,000円

研究成果の概要(和文)：キャパシタンスCT法によって循環流動層ライザー断面のボイド率分布を計測し、横揺れ周期・振幅、空塔速度、鉛直方向位置の及ぼす影響を明らかにした。また、感温液晶シートによってライザー壁面温度を可視化することにより、横揺れ状態におけるライザー壁面の熱伝達分布、時間変動を明らかにした。さらに、PIV法により求めたライザー部壁面近傍の粒子降下速度、及び壁面熱伝達率の実験結果から、ライザー部壁面近傍の粒子挙動と熱伝達に関するモデルを提案し、その妥当性を検証した。一方、Euler-Granularモデルによる固気混相数値解析については、キャパシタンスCT法による実験結果との比較・検討を行った。

研究成果の概要(英文)：The electrical capacitance tomography technique was applied at the riser of circulating fluidized bed to visualize cross-sectional distribution of the particle and effects of the rolling period, the rolling amplitude, the superficial velocity and measurement position upon the particle distribution were clarified. Riser wall temperature was also visualized with the thermo-chromic liquid crystal, and heat transfer distribution and its time variation were investigated. Particle falling speed along the riser wall was measured with PIV method and, based on the experimental data, heat transfer model was proposed and its validity was verified.

Numerical simulation of gas-solid flow based on the Euler-Granular model was performed and numerical result was compared with the experimental data obtained with the electrical capacitance tomography technique.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：流動層 船体運動 CFD 流れの可視化

### 1. 研究開始当初の背景

船舶においては、船内スペースやエネルギー効率の観点から、排ガス浄化及び排熱回収をトータルに考慮した排ガス処理システムが望まれているが、船舶特有の重質燃料に起因する排ガス性状の悪さ( $SO_x$ やPM)が $NO_x$ 低減を図るSCR装置や排熱回収装置に悪影響を及ぼす。申請者らは、固気混相流の持つ高い伝熱性能と適切な粒子選択により気相～固相間の化学反応も期待できるという優れた特徴に注目して循環流動層を利用した排気脱硫と排熱回収を同時に行う船用排ガス処理システムの開発を行い、実機規模の陸上試験において排熱回収と80%以上の乾式脱硫が可能であることを確認した。さらに、循環流動層の固気混相流に及ぼす横揺れ・定傾斜の影響を実験的に検討し、装置全体の圧力損失は増大するものの、ライザー壁面の熱伝達が飛躍的に促進されることを見出した。

特殊な例を除けば、流動層は正立状態で稼働するため、横揺れ・定傾斜が及ぼす影響に関する研究は殆ど行われておらず、僅かに気泡流動層についての研究があるのみで、申請者らの研究を除いて、循環流動層に関して類似の研究は見当たらないのが現状である。

### 2. 研究の目的

本研究では船用排ガス処理システムの実用化・高度化に資するため、横揺れ・定傾斜が壁面近傍の固気混相流に及ぼす影響のメカニズムの詳細を明らかにすることを目的とする。

申請者らのこれまでの研究から、横揺れ・定傾斜が循環流動層のマクロな特性量(圧力損失・ライザー部熱伝達)に及ぼす影響が明らかになり、その原因がライザー壁面近傍の粒子下降流の時間的な変動に起因すること、及びその変動に支配的な影響を及ぼすのは重力の作用方向の変化であることが判明した。粒子下降流とライザー壁面との相互作用は固気接触だけでなく、壁面近傍の流れ構造そのものにも影響を及ぼすと考えられるが、現状では壁面近傍の粒子挙動を定量的に評価できないため、横揺れ・定傾斜が如何なるメカニズムによってライザー壁面の熱輸送現象に影響を及ぼすのかについて十分解明されたとはいえない。また、申請者らはEuler-Granularモデルによる3次元数値解析を実施しているが、比較すべきミクロな特性量に関する実験データが得られていないため、数値解析結果の妥当性を十分に検証できないままとなっている。これらの課題を解決し、横揺れ・定傾斜が固気混相乱流場に及ぼす効果を詳細に予測・制御することが可能となるためには、時間的に変動する循環流動層内の固気混相流のミクロな特性量について、高精度な計測が必要不可欠である。

### 3. 研究の方法

本研究では循環流動層コールドモデルに

よる実験に固気混相流可視化計測手法であるキャパシタンスCT法を適用してライザー部における固気混相流のボイド率分布を計測することにより壁面近傍の粒子挙動を詳細に検討し、横揺れ・定傾斜がライザー部壁面近傍の固気混相流に及ぼす影響のメカニズムについて明らかにする。

また、Euler-Granularモデルによる3次元数値解析を実施し、キャパシタンスCT法で得られた詳細な実験データと比較することにより、解析結果の妥当性を検証すると共に、数値解析コードのモデル上の課題について検討する。

なお、課題提案時には検討していなかったが、壁面近傍の粒子挙動を明らかにするという本研究課題の目的に鑑み、循環流動層ライザー部観察窓から観察する粒子下降流をPIV法により画像解析し、壁面近傍の粒子クラスターの移動速度を求める可視化実験、ライザー壁面の熱伝達率を2次的に評価すると共に、その時間変動を評価するため、温度により色相が変化する感温液晶シートを利用した可視化伝熱実験を合わせて実施した。

### 4. 研究成果

循環流動層コールドモデルライザー部にキャパシタンスCTセンサーを装着し、横揺れ周期・振幅、空塔速度、鉛直方向の測定位置をパラメータとしてライザー断面内のボイド率分布を計測した。また、DEM法による同一体系に対する3次元固気混相数値解析を実施した。その結果、横揺れによってライザー断面粒子分布の実験データに周期的な不均一が発生すること、ライザー断面粒子分布の周期的な不均一は数値解析でも確認されること、ライザー下部における粒子体積分率は、横揺れ状態の方が正立状態よりも大きいこと、横揺れ時のライザー断面内の粒子分布不均一はストークス数によって整理できることを明らかにした。

また、ライザー部壁面の熱伝達挙動を2次的に評価するため、ヒーターの裏側に感温液晶シートを貼付した可視化伝熱板をライザー部観察窓に装着し、ライザー壁面の熱伝達分布、及び横揺れ状態における時間変動を実験的に検討した。また、一次元非定常熱伝導解析を行って本計測手法の時定数を定量的に評価した。その結果、気泡流動状態、乱流流動状態におけるライザー下部では局所熱伝達率が鉛直方向に大きく変化するのに対し、ライザー中央部では局所熱伝達率はほぼ一様であること、横揺れを受けると粒子下降流が変動するため、熱伝達率も周期的に変動することが明らかになった。

さらに、ライザー部観察窓から粒子下降流を撮影し、得られた画像にPIV法を適用して壁面近傍の粒子降下速度を求めると共に、横揺れ周期・横揺れ振幅、空塔速度の及ぼす影響について検討し、壁面近傍の粒子挙動が横

揺れによって顕著に変化することを明らかにした。また、粒子降下速度をライザー壁面熱伝達の実験データと関連づけることにより、ライザー部熱伝達率を壁面近傍の粒子挙動から評価するモデルを提案し、その妥当性について検証した。

一方、Euler-Granular モデルによる固気混相流の3次元数値解析については、小型循環流動層コールドモデルを対象とした計算を実施した。また、キャパシタンス CT 法による固気混相流可視化実験結果との比較・検討を行った。

#### 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 3件)

H. Murata, H. Oka, M. Adachi and K. Harumi, Effects of the Ship Motion on Gas-Solid Flow and Heat Transfer in a Circulating Fluidized Bed, Powder Technology, Vol.231, (2012) pp.7-17

H. Murata, H. Oka, M. Adachi and K. Harumi, Corrigendum to “Effects of the Ship Motion on Gas-Solid Flow and Heat Transfer in a Circulating Fluidized Bed”, Powder Technology, Vol.254, (2014) p.114

T. Zhao, K. Liu, H. Murata, K. Harumi and M. Takei, Experimental and Numerical Investigation of Particle Distribution Behaviors in a Rolling Circulating Fluidized Bed, Powder Technology, Vol.258, (2014) pp.38-48

[学会発表](計 9件)

畠将太, サブコタ・アチュタ, 武居昌宏, 村田裕幸, 春海一佳, 循環流動層内における壁面近傍の粒子降下速度の計測, 第 17 回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム講演論文集, (2011-11) pp.29-31

畠将太, サブコタ・アチュタ, 武居昌宏, 村田裕幸, 春海一佳, 循環流動層内における壁面近傍の粒子降下速度の計測, 日本機械学会第 17 回動力・エネルギー技術シンポジウム, B224, (2012-6)

村田裕幸, 岡秀行, 春海一佳, 畠将太, サブコタ・アチュタ, 武居昌宏, 循環流動層ライザー部壁面近傍における粒子降下速度の PIV による計測, 第 82 回マリンエンジニアリング学術講演会, 213, (2012-9)

畠将太, サブコタ・アチュタ, 武居昌宏, 村田裕幸, 岡秀行, 春海一佳, 循環流動層内における壁面近傍の粒子降下速度の計測, 第 18 回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム

講演論文集, (2012-11) pp.28-31

中村祐樹, 趙桐, 武居昌宏, 村田裕幸, 春海一佳, 揺動する循環流動層における触媒粉体濃度分布のキャパシタンス CT 計測, 日本機械学会第 90 期流体工学部門講演会, 0517, (2012-11)

H. Murata, H. Oka, K. Harumi, S. Hata, A. Sapkota and M. Takei, Measurement of Descending Speed of Particles near the Riser Wall of a Circulating Fluidized Bed, Proc. AMEC2012, Taipei, Taiwan, (2012-12) Offshore - 03

村田裕幸, 岡秀行, 春海一佳, 感温液晶による循環流動層ライザー壁温分布の可視化, 第 83 回マリンエンジニアリング学術講演会, 317, (2013-9)

村田裕幸, 岡秀行, 春海一佳, 動揺する循環流動層ライザー壁温分布の感温液晶による可視化, 第 19 回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム講演論文集, (2013-11), pp.54-57

中村祐樹, 趙桐, 村田裕幸, 春海一佳, 武居昌宏, プロセス・トモグラフィ法による揺動する循環流動層内の粒子濃度分布のオンライン可視化計測 -角速度、層高さ、空塔速度と濃度分布-, 粉体工学会 2014 年度春期研究発表会, BP-9, (2014-5)

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田 裕幸 (海上技術安全研究所)

研究者番号：30415806

(2) 研究分担者

岡 秀行 (海上技術安全研究所)

研究者番号：80399518

(3) 研究分担者

武居 昌宏 (千葉大大学院)

研究者番号：90277385