

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：14303

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656149

研究課題名(和文) 吸収粒子を含む水乱流を用いた二酸化炭素ガスの高効率吸収・輸送システム

研究課題名(英文) A highly efficient absorption/transportation system of carbon dioxide gas using turbulent water flow with adsorption particles

研究代表者

萩原 良道 (Hagiwara, Yoshimichi)

京都工芸繊維大学・工学科学研究科・教授

研究者番号：50144332

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、鉛直ダクト内乱流水流に二酸化炭素気泡と二酸化炭素吸着粒子を導入して、二酸化炭素ガスの吸収と輸送および二酸化炭素吸着粒子の輸送を、連続して高効率で行う方法の確立を目的とする。乱流水流の吸収による二酸化炭素気泡の体積が減少することを明らかにした。二酸化炭素気泡とゼオライト粒子の衝突の画像を撮影し、運動を解析した。気泡周りの温度分布の非接触測定を試みた。フェーズフィールド法を用いて、気泡内の二酸化炭素の静止水への溶解率が時間とともに減少することを予測した。

研究成果の概要(英文)：This research aims at establishing a method which performs absorption of carbon dioxide gas and transportation of dissolved gas and carbon-dioxide adsorption particles by turbulent water flow in a vertical duct.

It was found that the volume of carbon dioxide bubbles reduced with time by the absorption of turbulent flow. The images of the collision of carbon dioxide bubbles and zeolite particles were captured, and the motion of the particles was analyzed. A non-contact measurement of the temperature distribution in the circumference of the carbon dioxide bubbles was tested. The decrease in the dissolution rate of carbon dioxide in bubbles to ambient water with time was predicted by using a phase-field method.

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：熱工学 環境技術 低炭素化技術 物質移動 混相流

1. 研究開始当初の背景

我が国の最重要課題の一つに低炭素化技術の開発と確立がある。低炭素化技術には、現在排出され続けている二酸化炭素ガスの回収に関する高効率な新技術が含まれる。研究開始以前には、静止した水に二酸化炭素気泡を吹き込んで吸収させる方法、粒子に直接ガスを吸収・吸着させる方法、などが検討されていた。しかしながら、これらの吸収用の水や粒子の動きが少ないため、効率が低い。効率を高めるために水や粒子輸送させることは、研究開始当初には、ほとんど検討されていなかった。

研究代表者は、30年にわたり、水流中に気泡、不溶性液滴、あるいは固体粒子を混入させた場合の流動や熱物質伝達の特徴を、実験と数値シミュレーションにより明らかにしてきた。これらの成果と他者の成果をレビューし、2つの国際会議(6th Int. Symp. on Turbulence, Heat and Mass Transfer, 7th Int. Conf. on Multiphase Flow)の基調講演において発表した。これらのレビューでは、液乱流中の固体粒子の運動の予測に極めて有効な新しい無次元数も提案しており、講演はきわめて高い評価を得た。さらに、レビューの一部は学術誌に掲載された(Y. Hagiwara, *Flow, Turbulence and Combustion*, Vol. 86 (2011), pp.343 - 367)。

研究代表者は、低炭素化技術の開発と確立という要請と、研究成果を踏まえて、吸着粒子を含む水乱流中に二酸化炭素気泡を入れ、二酸化炭素の回収と輸送を連続して高効率で行う方法の確立の必要性を痛感した。

2. 研究の目的

ダクト内乱流水流に二酸化炭素気泡と二酸化炭素吸着粒子を導入して、二酸化炭素ガスの吸収と輸送および二酸化炭素吸着粒子の輸送を、連続して高効率で行う方法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

フェーズフィールド法を用いて、溶解により小さくなる二酸化炭素気泡の数値シミュレーションを行う。吸着粒子の運動の予測を試みる。

現有のビデオカメラを用いて、二酸化炭素気泡を撮影し、連続撮影画像をPCに保存する。保存画像を画像処理することにより、気泡の形状変化と運動を調べる。また、吸着粒子の運動も同様の方法により調べる。さらに、水流の速度場についても、水に混入させたトレーサー粒子の運動を用いて調べる。

画像処理結果を分析して、二酸化炭素気泡の水流への吸収、吸着粒子と気泡との相互作用、などを考察する。可能であれば、二酸化炭素ガスの吸収と輸送および二酸化炭素吸着粒子の輸送を連続して高効率で行う方法

の指針を示す。

4. 研究成果

二酸化炭素気泡、吸着粒子、水流に関して、以下の結果を得た。

4.1 二酸化炭素気泡

鉛直ダクト内の下向き乱流水流の吸収による二酸化炭素気泡径の変化を調べた結果、基本的に体積が減少することを明らかにした(図1参照)。また、ミラーと高速度ビデオカメラを用いて気泡を2方向から撮影する方法において、ミラーにより反射した画像と直接取得した画像の間の光路差を少なくし、気泡画像より鮮明にすることに成功した。これにより、気泡体積の測定精度を向上させた。

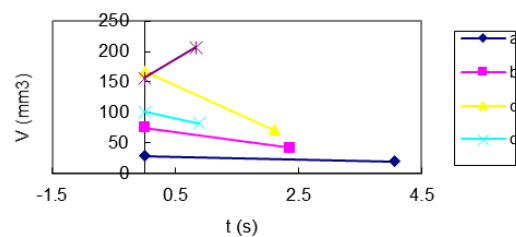


図1 二酸化炭素気泡の体積の時間変化

4.2 吸着粒子

二酸化炭素気泡とゼオライト粒子の衝突の画像を撮影し、運動を解析することに成功した(図2参照)。この衝突は、気泡周りの二酸化炭素濃度場をかくはんして、二酸化炭素の溶解を促進することを示唆する。

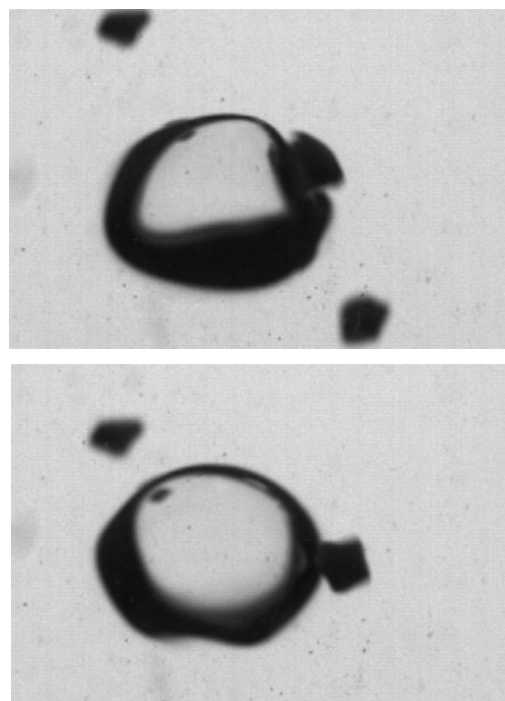


図2 二酸化炭素気泡と吸着粒子の衝突

4.3 水流

水流の速度場については、計測が可能であることを確認したが、吸着粒子や気泡の計測への影響を減らす工夫が必要であることが明らかになった。

二酸化炭素が吸着した粒子を希薄塩水流により再生しながら輸送する過程を検討したが、希薄塩水流における二酸化炭素の吸収に関する結果がほとんどなく、吸収量への溶質の影響が不明であることが明らかになった。したがって、今後、希薄塩水流における二酸化炭素気泡の吸収量の測定が必要である。

二酸化炭素気泡の水への吸収は、水温が低いほど促進されるので、気泡周りの温度分布の測定を試みた。この測定には、近赤外光の吸収が温度に依存することを利用した。測定結果は、誤差の影響により微小な温度差の測定は困難であるが、勾配のある平均温度場の計測の可能性はあることを示した。

4.4 二酸化炭素気泡の数値シミュレーション

フェーズフィールド法を用いて、吸収により小さくなる二酸化炭素気泡の数値シミュレーションに成功した。そのときの二酸化炭素の静止水への溶解率が時間とともに減少することを予測した(図3参照)。

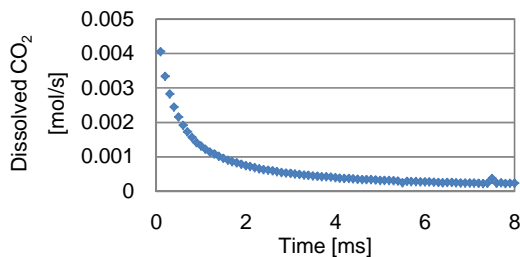


図3 二酸化炭素の溶解率の時間変化

さらに、液中の二酸化炭素濃度の変化の予測を行い、結果の妥当性を明らかにした(図4参照)。

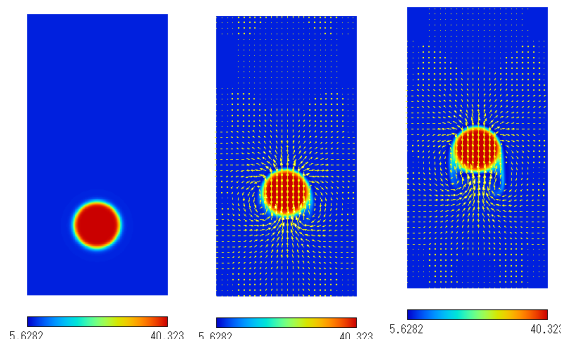


図4 二酸化炭素濃度のカラーコンター

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0件)

[学会発表](計5件)

Y. Hagiwara, H. Fujii, K. Sakurai, T. Kuroda and A. Kitagawa, Motion of descending solid particles and local flow around the particles in downward turbulent water duct flow (Keynote), ASME/JSME/KSME Fluids Engineering Conference, 2011年7月25日, 浜松市, アクトシティ・浜松コンgresセンター.

Y. Hagiwara, H. Fujii and A. Kitagawa, Experimental verification for the prediction of particle path and particle Reynolds number using local Stokes number, 7th International Symposium on Turbulence, Heat and Mass Transfer, 2012年9月25日, イタリア, パレルモ市, パレルモ大学.

萩原 良道, 藤井 秀仁, 北川 石英, 局所の速度と時間スケールを用いた粒子運動予測に対する実験的検証, 日本機械学会流体工学部門講演会, 2012年11月17日, 京都市, 同志社大学.

K. Horikane, R. Yamasaki, T. Mimura, A. Kitagawa and Y. Hagiwara, Interaction among rising bubbles, falling adsorption particles and downward water flow, 8th International Conference on Multiphase Flow, 2013年5月27日, 韓国, チェジュ市, チェジュコンベンションセンター.

木下 輝彦, 萩原 良道, 高木 知弘, Phase-Field 法を応用した水中二酸化炭素気泡の溶解に関する数値計算, 日本機械学会第26回計算力学講演会, 2013年11月2日, 佐賀市, 佐賀大学.

[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

<http://www.cis.kit.ac.jp/~kitagawa/>

6．研究組織

(1)研究代表者

萩原 良道 (HAGIWARA YOSHIMICHI)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授

研究者番号：5 0 1 4 4 3 3 2

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：