

マルチエージェントによる二酸化炭素ガスの海洋溶解・浮上シミュレータおよび実験

日大生産工（院） ○正岡 享 日大生産工 村田 守
日大生産工 西 恭一 日大生産工 星野 和義 日大生産工 坂井 卓爾

1. 緒言

近年、温室効果ガスの代表である二酸化炭素（以下 CO_2 ）を抑制する試みが数多く検討されており、その一手法として、 CO_2 ガスの海洋溶解ある。これは、貯留された CO_2 ガスを船舶など利用し海洋へ運び、船舶から伸ばしたパイプより CO_2 ガスを放出することで泡状になった CO_2 ガスは、自身の浮力により浮上とともに海水に溶解する方法である。しかしながら、この手法は、放出する深度によっては海中へ溶け込まず大気中へ逆戻りしてしまい、効果が得られない恐れがある。そこで、実用化を進めるにあたり、シミュレーションを含む事前研究が必須となる。

本研究では、実際の環境に近い条件下での CO_2 単一粒子の挙動に関するシミュレーションを行う。これには、 CO_2 ガスの放出深度、 CO_2 ガスの直径、 CO_2 ガス同士の衝突による吸収・反発のことを考慮すると圧力などの影響により CO_2 ガスが液化する直前の500[m]から海面までの海域での挙動特性に関する数式が必要である。

この数式は以前の研究成果¹⁾より提案されているが、主に深い深度で成立する条件的な式であり、さらに、簡略している部分が多いため、浅い深度では誤差が大きいと想定される。そのため、実験による検証が必要であるが、実際の海域での検証は予算の都合上厳しいため、簡易的であるが6[m]の実験水槽塔を作成し、実際の値と比較検証を行うこととする。

2. シミュレータ概要

シミュレータは当研究室開発の並列・分散マルチエージェントプラットフォームであるafw（エージェントフレームワーク）²⁾を用いて作成されている。

このafwを用いたシミュレータはFig. 1に示すように、浮上と溶解に関する情報はガスエージェント、ガスエージェントを放出する機能はパイプエージェント、複数のガスが放出された場合の衝突判定を行う機能を持つ衝突判定エージェント、同期を行う機能を持つ同期エージェント、各エージェントの起動と初期設定を行う起動エージェントからなる。

ここでシミュレータの流れについて説明する。起動エージェントで初期条件（放出深度、ガスの個数、

ガス径など）を入力、その後、同期エージェント、衝突判定エージェント、パイプエージェントを作成する。パイプエージェントはガスエージェントを作成し、起動エージェントで指定された初期条件に関する情報をガスエージェントに送信する。ガスエージェントは、初期条件に関する情報を得てから、自身が保持する浮上および溶解に関する計算を行う。計算後、衝突判定エージェントに現在の自身の全情報を渡し、衝突判定エージェントにて他のガスとの衝突の有無を判定する。衝突が発生した場合はガスエージェントに戻って衝突条件にあう計算を再計算させ、発生しなかった場合は同期エージェントに受け取った情報を送る。送られた先の同期エージェントでは各ガスエージェントの行動が他のガスエージェントと大きく外れてしまう事を防ぐために起動中のガスエージェントの情報が全て到着するまで動作を一度停止する。全情報到着後、各ガスエージェントに情報を送信し、次のステップの計算を行わせる。また、同期エージェントでは情報の受信後、各ガスエージェントの動作時間を把握させている。その情報を元にガスの放出条件（放出個数、放出間隔）によっては、全ガスエージェントパイプエージェントに次のガスエージェントの放出を要請し、パイプエージェントに新たなガスエージェントの作成を行わせる。なおシミュレーションは、全てのガスが完全溶解もしくは大気へ放出されるまで計算を繰り返す。

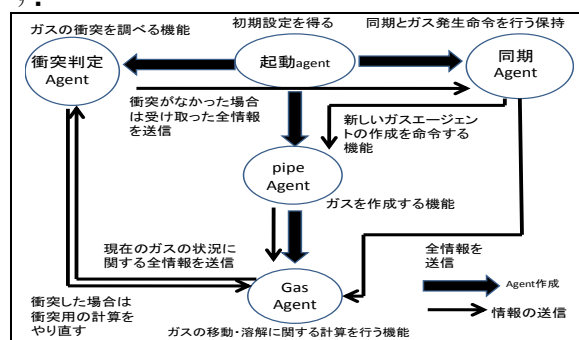


Fig. 1 Agent Model

Experiment and Agent-Oriented Simulator for Estimating Behavior of CO_2 in Current

Akira MASAOKA, Mamoru MURATA, Yasukazu NISHI, Kazuyoshi HOSHINO, and TAKUJI Sakai

3. 実験水槽塔

浅い深度における理論式作成のために実験水槽塔を作成した。実験水槽塔はFig. 2右部に示すCO₂ガスを溶解・浮上させるための水槽塔と、Fig. 2左部に示すCO₂ガスの挙動撮影用のビデオカメラを設置するカメラ塔の二塔から構成される。

3.1 水槽塔

CO₂ガスの挙動が視認しやすいよう材質にアクリルを採用し、アクリル部の諸元は300×400×6000[mm]、全長7110[mm]である。下部のバルブよりCO₂ガスを放出できる仕組みとなっている。

3.2 カメラ塔

CO₂ガスの溶解・浮上の様子を撮影するためにビデオカメラはSONY (HDR-FX1) を使用し、ステップモータを用いて昇降制御する。

4. 実験結果

水温25℃の条件下で実験を行った。実験結果をgas1, gas2, gas3, gas4としてFig. 3に速度の時間変化を、Fig. 4に直径の時間変化を示す。これらのガスは深度3.8[m]の地点を、(直径[mm], 速度[m/s])とみると、gas1から順にそれぞれ(9.99, 0.30), (9.60, 0.25), (6.29, 0.25), (1.67, 0.15)で通過し、gas1は17秒後に(5.72, 0.214), gas2は17秒後に(2.36, 0.214), gas3は19秒後に(1.96, 0.2), gas4は23秒後に(1.25, 0.15)で大気へ放出された。なお、測定開始深度が実験塔の長さと同じ短い理由であるが、CO₂ガス放出直後の実験水槽塔は気泡となった大量のCO₂ガスが水中に放出されてしまうため、他のCO₂ガスとの判別がつかず個々のガスの区別がつく深度3.8[m]から測定を開始したためである。

5. 簡易基礎式と実験値との比較

速度について以前の研究成果より提案された式を実装したシミュレータと実験結果の比較を行った。初期条件は実験で3.8[m]を通過した際に得られた直径の値と速度を使用し、計算間隔は以前の研究成果より適切であると判明している300[msec]とし、シミュレーションを行った。本来であれば、ここで実験結果との比較グラフを作成するべきであるが、すべてのガスが1計算ステップ(300[msec])以内に溶解してしまったため比較できなかった。また、仮にガスの径を各深度における実測値と置きかえて計算を行ったが、海面までの到達時間と到達時の速度の関係は、(時間[msec], 速度[m/s])として、gas1では(300, 9.96), gas2は(500, 13.0), gas3は(450, 4.25), gas4は(8700, 0.40)となり、こちらも実験結果と大幅に異なった。このため、新たに理論式を作成する必要があると考えられる。

6. きのか形状のgasの式

6.1 速度式

以前の研究成果で提案されていた式は気泡を球として式を考えていたが、気泡はきのか笠状に変形する。これに合う抵抗係数の式³⁾を使用し計算を行う。

6.2 実験結果との速度比較

6.1で示された式をシミュレータに導入し、実験結果との比較を行った。シミュレーションでは、初期条件として深度3.8[m]における実験値を使用し、計算間隔を300[msec]とした。このシミュレーションのgas1に対応するものをgas1simとし、以下、gas2はgas2sim, gas3はgas3sim, gas4はgas4simとし、結果をFig. 5にまとめる。これらのガスの大気へ放出されるとき経過時間と速度を(時間[s], 速度[m/s])としてまとめると、gas1simは(16.2, 0.187), gas2sim

は(17.4, 0.212), gas3simは(20.3, 0.164), gas4sim(27.6, 0.125)で大気へ浮上する結果となった。なお、本シミュレータは実験範囲内での溶解式が未完成であるため、直径は対応する深度における実験値を採用し速度計算を行っている。

Fig. 5より、実験結果とシミュレーション結果はほぼ等しく、実験範囲内では、きのか形状用の式が使用可能であることがわかる。

7. 結言

略。

8. 参考文献

- 1) 西 恭一, 田村 顕人, 辻 智也, 三井 和男, 日秋 俊彦, 川越 陽一, 中澤 公伯, マルチエージェントによる二酸化炭素ガスの潮流内溶解浮上に関するシミュレーション, 日本計算工学会論文集 2005年号, 論文番号 20050023, 2005
- 2) 藤代 孝男, 西 恭一, 村田 守, 星野 和義, 「エージェント指向のための並列分散プラットフォームの構築」, 日本機械学会 第22回計算力学講演会 pp.567-568, 2009/10/10
- 3) 化学工学会編, 化学工学便覧第6版, 丸善株式会社, 1999, 138-142

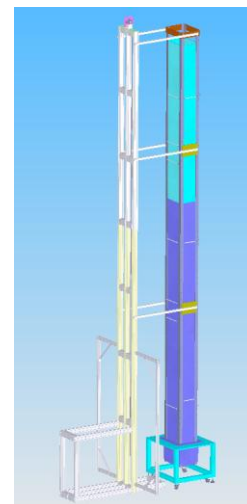


Fig. 2
Experimental
water tower

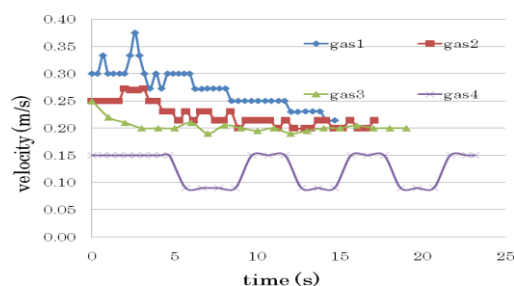


Fig.3 Experimental results of velocity

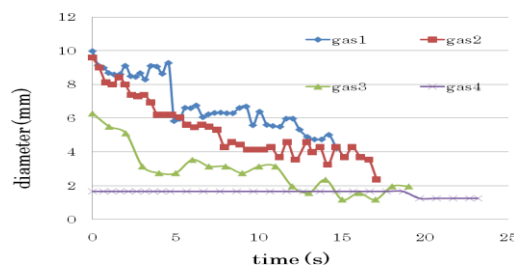


Fig.4 Experimental results of diameter

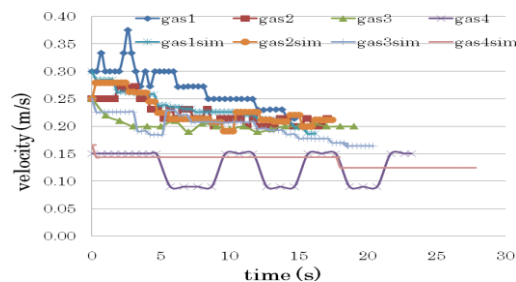


Fig.5 Comparison of experiment and new
simulator