

○正 齋藤 隆之 (静岡大) 梶島 岳夫 (阪大)
正 土屋 活美 (徳島大) 小杉 佐内 (住金)

Takayuki SAITO, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu 432-8561, JAPAN

Takeo KAJISHIMA, Osaka University

Katsumi TSUCHIYA, Tokushima University

Sanai KOSUGI, Sumitomo Metal Industries, Ltd.

Abstract The global warming problem caused by increase of CO₂ in the atmosphere is getting tangible. Gas Lift Advanced Dissolution (GLAD) system has been newly developed to mitigate the global warming. The system dissolves low-purity CO₂ gas in seawater and sequesters CO₂ at the deep ocean. The present paper describes basic characteristics of the system for pure and low-purity CO₂ gases. Performance of dissolution, liquid phase velocity, mass transfer coefficient, profile of void fraction will be discussed as functions of the gas injection rate. In addition, a relationship between mass transfer coefficient and bubble interfacial dynamics in the system will be discussed.

Key Words: Carbon Dioxide, Sequestration, Multiphase Flow, Bubble, Mass Transfer, Digital Image Processing

1. はじめに

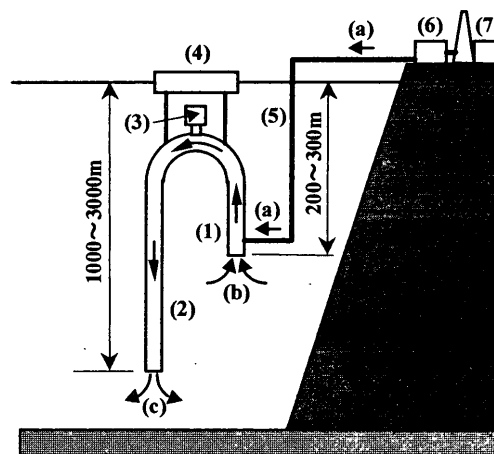
大気中二酸化炭素濃度の増加に起因する地球温暖化が顕在化しつつあることから、1970年代以降、二酸化炭素対策手法が種々提案されてきた。その1カテゴリーに液体二酸化炭素の海洋固定あるいは地中固定がある。これらの固定方法には、a) 燃焼排ガスから二酸化炭素を分離・回収するプロセス、b) 二酸化炭素を液化・一時貯蔵するプロセス、c) サイトへの輸送・固定プロセスが必要となる。高純度分離・回収と液化プロセスとを要することから、火力発電所を対象とした場合、固定に消費される全エネルギーは発電量の30~50%に達すると考えられている。所要エネルギーを低減するには、エネルギーを要しない分離・回収技術、低純度二酸化炭素に適応可能な固定技術、液化を要しない固定技術の開発が必要となる。

二酸化炭素海洋固定におけるブレークスルーを図るため、筆者らはFig. 1に示すGLAD (Gas Lift Advanced Dissolution) システム^{1),2),3),4)}を提案している。GLADは、ガスリフトポンプを利用して、低純度二酸化炭素ガスを深海に送り込み、固定するシステムである。本稿においては、同システムの基礎特性 (気泡溶解率、物質移動速度、液相速度、ボイド率分布) と送り込みガス量との関係を実験により明らかにする。

2. 実験・計測装置と方法

実験装置の概略をFig. 2に示す。溶解管を大気中に出したまま浸水させた時と同等の条件を得るために、2本の加圧管(4) (内径106.3mm, 全長8190mmのステンレス管)を溶解管(1) (内径25.0mm, 全長7690mmの亚克力管)に接続した。加圧管④内には、溶解管と同径かつ等しい長さの亚克力製ドレイン管(2)が内挿されている。ガス注入口(5)は19G注射針を溶解管と同一内径のステンレス短管に108本差込み、これを内径100mmのステンレス管で覆う二重構造とした⁵⁾。また、溶解管頂部には、未溶解ガス (主としてN₂, O₂) の排出弁(3)を設置した。

液相流量の測定には電磁流量計(A)、吹き込みガス流量の測定には質量流量計(E), (F)を使用した。また、管内静圧の測定には圧力変換器(B)を、管内温度の測定には熱電対(C)を用いた。気泡流の可視化には500フレーム/sの高速ビデオカメラ(D)を使用し、気泡群のshadow imageを捉えた。実験に先立ち、露出値の相違による気泡画像の膨張・収縮および撮影画像の



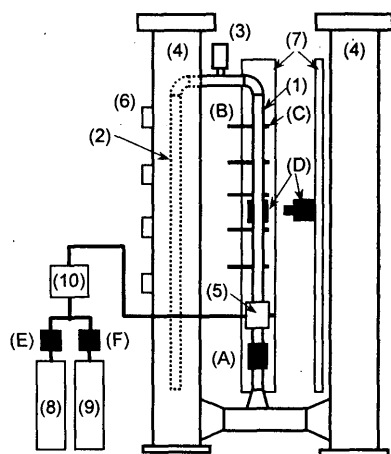
(1) Dissolution pipe, (2) Drainpipe, (3) Indissoluble gas releasing system, (4) Float, (5) Gas pipeline, (6) Compressor, (7) Fired power plant, (8) Control valves, (9) Accumulator, (a) Low-purity CO₂ gas (CO₂, N₂), (b) Ambient seawater, (c) CO₂-rich seawater

Fig. 1 Conceptual design of GLAD system

変形を定量評価するとともに寸法較正を実施した⁶⁾。気泡速度、気泡径、気泡界面積、気泡体積、気泡数密度を画像解析により求める⁷⁾。これらの結果と液相流量から気泡モル濃度、その時間微分値、液相ガス濃度 (溶解量を液相初期濃度に加算) を算出し、物質移動係数 k_L (m/s) を求めた。したがって、 k_L の評価には driven force として濃度差が考慮されている。

3. 結果と考察

3.1 二酸化炭素溶解率 二酸化炭素溶解・固定システムにとって、その溶解特性は重要な基本性能である。二酸化炭素ガス溶解率 R_D を $R_D = [C_B(z_0) - C_B(z)] / C_B(z_0)$ により定義する。Fig. 3に示す。 R_D は $z < 3$ において急激に増加し、その後一定値に漸近する。吹き込まれたCO₂ガスのほぼ98%が液相に溶解する。 R_D はガス吹き込み量の増加とともに減少するものの、本吹き込み条件下において、GLADシステムは低純度二酸化炭素ガスに対しても十分な溶解性能を有することがわかる。



(1) Dissolution pipe, (2) Drainpipe, (3) Indissoluble gas releasing device, (4) Pressure vessels, (5) Gas injector, (6) Observing windows, (7) Camera lifter, (8) CO₂-gas cylinder, (9) Pure-air cylinder, (10) Gas mixing accumulator, (A) Electromagnetic flowmeter, (B) Thermo couplers, (C) Pressure transducers, (D) High-speed video systems & strobes, (E) & (F) Mass flow controller

Fig. 2 Experimental setup

3.2 液相流速 気泡溶解性能とともに、液相流速 J_L (溶液送り込み量) も重要となる。Fig.4に、低純度二酸化炭素ガスにおける J_L と Q_{GT} との関係を示す。 Q_{GT} の増加とともに J_L は増加するが、 $Q_{GT} > 1.2$ では、 U_m が飽和傾向を示している。溶液送り込み性能としても満足いくべきものと考えられる。

3.3 物質移動速度 低純度二酸化炭素-清水系気泡流の物質移動速度 k_L の溶解管軸方向における分布⁷⁾をFig.5に示す。ガス吹き込み部より下流3m程度の部位までは、十分な気泡溶解速度が得られているが、この区間において k_L は急激に減少する。さらに下流域においては、 k_L は一定値に漸近する。この傾向は、高純度二酸化炭素ガス-清水系気泡流と同様である。ガス吹き込み付近における k_L をMotarjemi⁸⁾らの結果と比較するとほぼ同等あるいはそれ以上の値となっている (Motarjemiらは k_L に対する気泡径の影響をも論じている)。 $z > 3$ の区間においても溶液の二酸化炭素濃度は飽和には達していないことから、本研究における k_L の軸方向への減少は、気泡径の減少ならびに気泡乱流流動構造の変化によるものと考えられる。

3.4 気泡界面運動と物質移動速度 等価径数mmの気泡は変形運動することが知られている。筆者らは、 k_L に対して気泡界面運動が大きな影響を持つと考えている。すなわち、気泡界面運動と液相乱流渦との相互作用により物質移動速度が影響を受けると考えている。ガス吹き込み部近傍における気泡の中で、管壁と衝突し、せん断と衝突により大きな界面運動を繰り返す気泡を抽出、追尾した (強制変形気泡と呼ぶ)。その結果、強制変形気泡は衝突ならびにせん断の影響を受けない気泡 (自由気泡と呼ぶ) に比べ、アスペクト比の変化率が約40%大きく、かつ強制変形気泡の k_L は自由気泡のそれより約20%増加することがわかった。

4. まとめ

室内規模の装置による実験結果をとりまとめた。実機規模の装置特性の予測には、大口径管内の気泡乱流特性の解明、

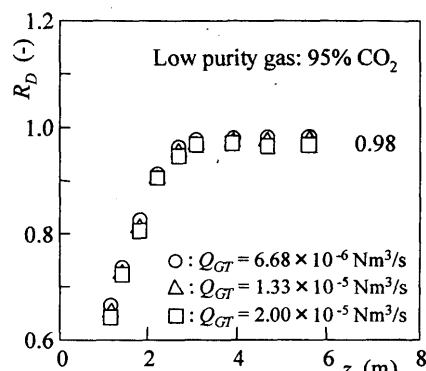


Fig. 3 Profile of gas absorption ratio

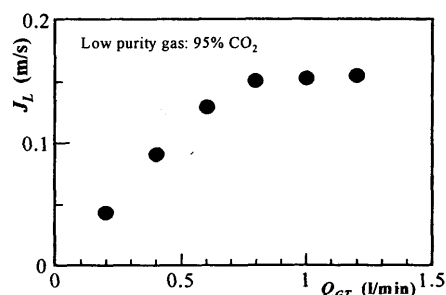


Fig. 4 Superficial velocity of CO₂ solution

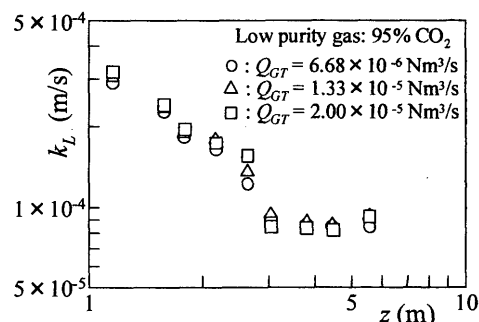


Fig. 5 Profile of mass transfer coefficient

予測等のスケールアップに関わる問題が多々残っている。今後は、これらの問題にも取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 齋藤隆之, 梶島岳夫: 気体二酸化炭素の海中溶解隔離方法及びその装置, 特許番号 2655818, (1997).
- 2) Saito, T. and Kajishima, T.: Method and Apparatus for Dissolving and Isolating Carbon Dioxide Gas under the Sea, US Patent No.5662837, (1997).
- 3) 齋藤隆之, 梶島岳夫, 土屋活美, 小杉佐内: 低純度二酸化炭素の海中溶解・分離・隔離法およびその装置, 特許番号 2958460, (1999).
- 4) Saito, T., Kajishima, T., Tsuchiya, K. and Kosugi, S.: A Method of Treating a carbon dioxide-containing gas, Applied to US, EU, Canadian and Australian Patent, (1999).
- 5) Saito, T., Kajishima, T., Nagaosa, R., Kitamura, M. and Matsui, G., ASME, *FED*, (1997).
- 6) Saito, T. and Kajishima, T.: ASME, *FEDSM99-7849*, (1999).
- 7) Saito, T., Kajishima, T., Tsuchiya, K. and Sanai, K.: *Chem. Eng. Sci.*, 54-21, 4945, (1999).
- 8) Motarjemi, M. and Jameson, G. J., *Chem. Eng. Sci.*, 33, 1415, (1978)