

Design factor in gas-lift advanced dissolution system for CO₂ sequestration into the ocean

小杉 佐内(住友金属)

○ 丹羽 健太郎(住友金属)

正 齋藤 隆之(静大工)

正 梶島 岳夫(阪大工)

正 濱荻 健司(住友金属)

Sanai KOSUGI, Sumitomo Metal Ind., Ltd., Honshiocho 8-2, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan

Kentaro NIWA, Sumitomo Metal Ind., Ltd., Honshiocho 8-2, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan

Takayuki SAITO, Shizuoka University, Johoku 3-5-1, Hamamatu-shi, Shizuoka, Japan

Takeo KAJISHIMA, Osaka University, Yamadaoka, Suita-shi, Osaka, Japan

Kenji Hamaogi, Sumitomo Metal Ind., Ltd., Sunayama 16, Hasaki-machi, Ibaraki, Japan

1 緒言

二酸化炭素に代表される温室効果ガスの削減は、将来の地球環境対策の根幹であり、二酸化炭素の海洋固定は大量処理可能な技術として有望視されている。この一環として、(財)地球環境産業機構(RITE)により液化二酸化炭素の海洋固定技術の開発^{1),2)}が行われてきたが、液化のための著大なエネルギー消費と貯留・放流時における海水の酸性化が懸念されている。そこで、低純度二酸化炭素ガスを対象としてエネルギー消費、海水の酸性化を抑制する GLAD(Gas Lift Advanced Dissolution)システム^{3),4)}が発明された。

このシステムの中核は、Fig. 1 に示すように逆 J 字管である。長さ 200 m 程度の短脚の先端は水深 200-400 m に、長脚の先端は水深 1000 m 程度に配置される。排ガスから分離回収された後、海底パイプラインで圧送されて短脚(溶解管)先端から吹き込まれた二酸化炭素ガスが、ガスリフトポンプ効果を生じ、その結果、溶解管先端からは新鮮な海水が流入すると共に、1000 m 以上の深さにある長脚(沈降管)先端からは二酸化炭素が溶けた海水が放流される。なお、逆 J 字管の頭頂部からは、二酸化炭素以外の未溶解ガスが分離され、系外に排出される。こうして二酸化炭素が数百年の単位で深海に貯留・固定される。

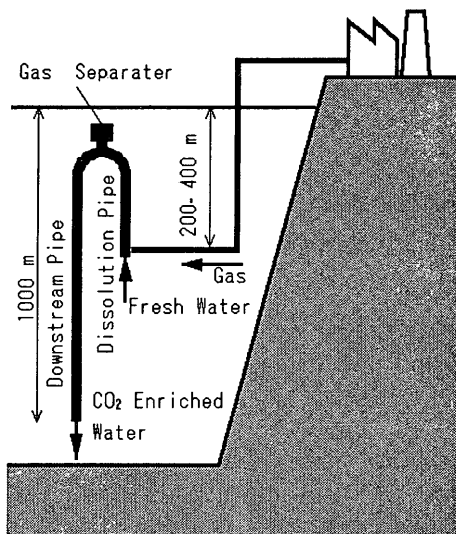


Fig. 1 Concept of GLAD System

このような大規模構造物の設計を行うために、上記プロセスの数値解析モデルが既報⁵⁾で提案されている。本報では、溶解部分の記述面でのモデル改良と、それを用いて設計因子の相互関係の検討を行う。

2 解析モデル

既報の一次元モデル⁵⁾は、溶解管を気液二相流、沈降管を液単相流としたドリフトフラックスモデルであるが、各解析格子内に存在する気泡を、それと等価な体積を持つ 1 個の球として扱っている。このため、気泡数が多いとき、気泡の総表面積が現実よりも著しく小さく評価され、気体の溶解量を少なく評価してしまう問題がある。そこで、気泡数密度の保存式を新たに追加して、各解析格子内の気泡数を計算し、気相と液相の接触面積を気泡単体の表面積の和とすることで溶解項の修正を行った。さらに、吹込気体として低純度二酸化炭素の混合ガスを扱えるよう、気体の成分分圧を考慮できるモデルとした。

吹込気体を二酸化炭素と窒素との二成分気体としたとき、(1)~(4)式が成立する。(1)(2)は、気相各成分の質量保存の式、(3)は気泡数密度の保存式、(4)は物質移動量の式である。ここで、 α は気相占有率 (-)、 Γ_g は物質移動量 (kg/m³s)、 ρ は密度 (kg/m³)、 C_s は気液界面における二酸化炭素濃度 (mol/m³)、 k_l は物質移動係数 (m/s)、 M はモル質量 (kg/kmol)、 n_b は気泡数密度 (ヶ/m³)、 q は気相の吹込量 (kg/m³s)、 r_b は気泡径 (m)、 u_g は気相流速 (m/s) とした。

$$\frac{\partial(\alpha_{CO_2} \rho_{CO_2})}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_{CO_2} \rho_{CO_2} u_g)}{\partial z} = q_{CO_2} - \Gamma_g \quad \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial(\alpha_{N_2} \rho_{N_2})}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_{N_2} \rho_{N_2} u_g)}{\partial z} = q_{N_2} \quad \dots \dots (2)$$

$$\frac{\partial n_b}{\partial t} + \frac{\partial(u_g n_b)}{\partial z} = n_{in} \quad \dots \dots (3)$$

$$\Gamma_g = 4\pi r_b^2 n_b k_l M_{CO_2} C_s \quad \dots \dots (4)$$

長さ 7.742 m、径 0.0254 m の溶解管と長さ 7.041 m、径 0.0254 m の沈降管を持つ GLAD 模型を水深 0.5 m に設置して、水深 7.37 m の位置より純度 100 % の二酸化炭素ガスを吹き込んだ実験結果と数値解析結果の比較を Fig. 2 に示す。これを見ると、既報のモデルに比べて大きく精度が向上していることが分かる。

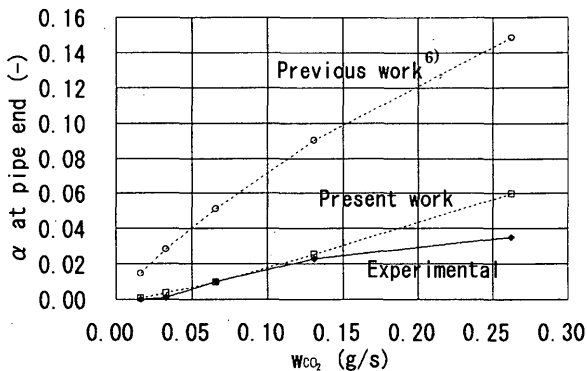


Fig. 2 Comparison of the numerical results with the experimental one

3 解析結果

自然環境保護の見地から、GLADシステムのような二酸化炭素の海洋貯留設備を設計する際には、貯留先における環境影響を考慮する必要がある。そこで、海水の酸性化の程度を見るため、海水中の二酸化炭素濃度を推定した。

溶解管の径を 10 m、長さを 200 m とし、沈降管の径を 10 m、長さを 1000 m とし、純度が 60~90 % の二酸化炭素ガスを 10~30 kg/s 初期気泡径 5 mm で吹き込んだ場合の解析結果を Fig. 3 に示す。これより、吹込ガス中の二酸化炭素純度を下げることにより、海水中の二酸化炭素濃度を低減できることがわかる。なお、沈降管先端の海水中の二酸化炭素濃度 C (mol/m³) は、二酸化炭素吹込量を w_{CO_2} (kg/s)、液流速を u_l (m/s) としして下式より算出される。

$$C = \frac{w_{CO_2} / M_{CO_2}}{u_l \times \pi D^2 / 4} \dots \dots \dots (5)$$

次に、二酸化炭素吹込量が 20 kg/s で溶解管および沈降管の径が 5 から 20 m まで変化させた場合の解析結果を Fig. 4 に示す。この結果、溶解管および沈降管の径を大きくすることでも海水中の二酸化炭素濃度を低減できることがわかる。

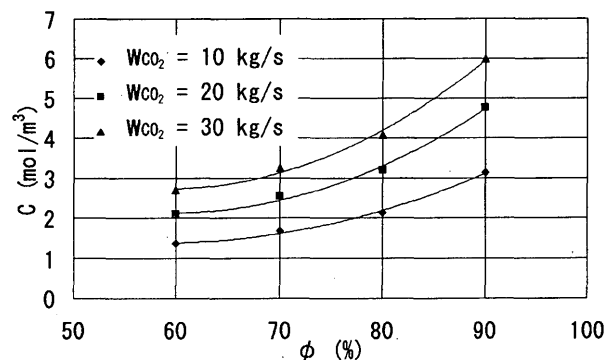


Fig. 3 Influence of the CO₂ purity on the CO₂ concentration

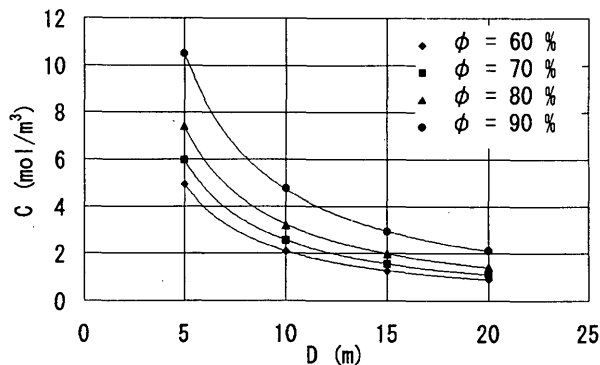


Fig. 4 Influence of the pipe diameter on the CO₂ concentration

4 結言

気相の溶解項を気泡数密度の保存式を用いて評価することにより、解析モデルの精度が大幅に改善された。また、本数値解析モデルを用い、実規模プロセスの解析の結果、放流先における海水中の二酸化炭素濃度は、混合ガス中の非溶解ガス成分濃度と溶解管・沈降管の径を適当に選定することにより調整可能であることが判明した。今後、大規模な設備での実験結果による解析モデルの検証と、本解析モデルを用いた設備の最適設計とを行う予定である。

5 参考文献

- 1) Komiyama, H. (1995). Ocean CO₂ Sequestration at the Depths Larger Than 3700 m, Energy Convers. Mgmt, Vol.36, No.6-9, p.p.551-554
- 2) Ohsumi, T. (1993). Prediction of Solute Carbon Dioxide Behavior around a Liquid Carbon Dioxide Pool on Deep Ocean Basin, Energy Convers. Mgmt, Vol.34, No.9-11, p.p.1059-1064
- 3) Kajishima, T., Saito, T., Nagaosa, R. & Kosugi, S. (1997). A Gas-Lift Method for CO₂ Disposal into the Ocean, Energy, 22-2/3, p.p. 257-262
- 4) 齋藤・梶島, 特許番号 2655818 および US Patent No. 5662837 (1997)
- 5) Kajishima, T. & Saito, T. (1996). Numerical Simulation of Unsteady Flow in Air-Lift Pump, JSME, Ser.B, Vol.39, No.3, p.p.525-532
- 6) Saito, T., Kajishima, T. & Nagaosa, R. (1996). Highly Efficient Disposal of CO₂ into the Ocean by Gas-Lift Method, American Chemical Society, Vol.41, No.4, p.p.1441-1446