

海洋における CO₂ のマルチパイプ放出による希釈特性

日本大学大学院生産工学研究科
 日本大学大学院総合科学研究科
 日本大学生産工学部
 日本大学大学院総合科学研究科

学生会員 ○赤堀 翼
 学生会員 中村倫明
 正会員 落合 実
 正会員 和田 明

1. はじめに

大気中に排出される CO₂ を抑制するため、様々な対策が考案されている中、本研究は CO₂ 抑制技術の海洋隔離技術に着目し海底パイプラインを用いた CO₂ 放出手法の有効性について検討する。

既往の知見¹⁾から放出流量・放出速度・放出形状・パイプ間隔等のパラメータを変化させることによって放出口近傍の流動と希釈特性に違いが生ずると考えられるため、本研究ではパイプ間隔と放出速度(内部フルード数)をパラメータとして変化させ、数値計算を行い、CO₂ の希釈特性を検討する。

2. 数値解析の概略

本計算では図-1 に示すように、海底からの鉛直重力噴流として計算を行った。計算は赤枠の範囲のみ行いその他はシンメトリーとした。本研究ではマルチパイプ 5 本を用いて海水に CO₂ を放出する。深度は海洋生物への影響を考慮し、比較的生物への影響が低いと考えられている中層域(1500m)に CO₂ を放出することを想定する。定常非圧縮性粘性流れ場を対象とし、標準 K-ε 乱流モデルを用いて解析を行った。密度は次の UNESCO の海水の状態方程式(1)を用いる。

$$\rho(S,T,O)=\rho(S,T,O)/\{1-\rho/K(S,T,\rho)\} \quad (1)$$

ここで、 ρ ; 海水密度 (kg/m³)、 S ; 塩分濃度 (‰)、 T ; 温度(K)、 O ; 圧力(Pa)で定義する。放出内部フルード数は次式(2)により定義する。

$$Fr_0=\frac{W_0}{\sqrt{(\Delta\rho/\rho_0)gD}} \quad (2)$$

ここで、 Fr_0 ; 放出内部フルード数、 W_0 ; 放出流速 (m/s)、 ρ_0 ; 海水密度(kg/m³)、 g ; 重力加速度(m/s²)、 D ; パイプ径(1m)、 $\Delta\rho=|\rho-\rho_0|$ とする。

計算条件は表-1 に示すように case1~8 であるが、case5~8 は既往^{2,3)}の研究結果を引用したもので放水

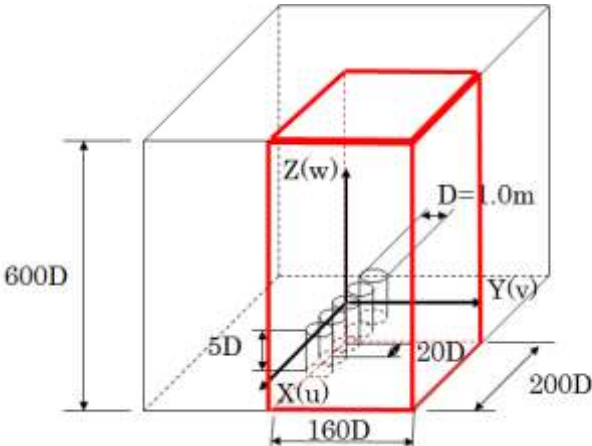


図-1 計算領域の概略図

表-1 計算条件

case	Wo(m/s)	CO ₂ (0/00)	Fr ₀	間隔
1	13.22	1.45	25.84	20D
2	6.01	1.45	11.75	
3	3.00	1.45	5.86	
4	26.44	1.45	51.67	
5	13.22	1.45	25.84	5D
6	6.01	1.45	11.75	
7	3.00	1.45	5.86	
8	26.44	1.45	51.67	

口間隔を W=5D の計算領域は H=300D、L=140D、B=100D で計算を行っている。計算条件は case1~4 と case5~8 は放水口間隔のみ異なるが放出条件は同じである。

3. 解析結果

計算時間 300 秒後の解析結果を以下にまとめる。

図-2 に完全混合となる鉛直高さを示す。図-3 に case1~case8 における CO₂ の希釈率を示す。また、図-4 に放出口間隔が 20D の場合の放出口からの各断面における CO₂ 濃度分布を、図-5 に放出口間隔 5D の場合の CO₂ 濃度分布を同様に示す。

(1) 完全混合

5本のパイプから放出された鉛直噴流の流速や CO_2 濃度が干渉混合し、断面の水平分布形が単一管と同様のガウス分布となる。このような状態を本文では完全混合と定義する。

(2) 放出内部フルード数の影響

CO_2 濃度分布は、放出距離が大きくなると単一管と同様な形になり、内部フルード数が小さいほど単一管と同様になるまでの距離が短く、大きいと距離が長くなった。

また、図-3 から20Dでは内部フルード数の違いによって希釈率に違いが見られるが、5Dでは内部フルード数による違いが小さいことが確認された。

(3) 放出口間隔の影響

図-4,5 から、放出口からの距離が $Z/D=20$ の時では、放水口間隔が5Dではマルチパイプから放出された CO_2 が相互干渉を起こすが、放水口間隔が20D場合では相互干渉がほとんど見られない。

一方、 $Z/D=120$ の時では放水口間隔が5Dの場合、マルチパイプ放出による効果は小さくなり、ガウス分布系に近い完全混合状態にあるが、放水口間隔が20D場合では分布系は完全混合の状態ではなく、マルチパイプ放出による相互干渉の影響を受けている。

以上のことから、マルチパイプの間隔が広い場合、完全混合距離までの距離が長い。また、パイプの間隔が広いと、放出口から近距離では単一管からの噴流の影響が大きく、パイプ間に濃度の低い箇所が現れることが確認された。

4. まとめ

本研究では、 CO_2 海洋隔離におけるマルチパイプ放出口近傍の流速および CO_2 濃度の数値解析を行った。その結果、特定の放出口間隔に対して特徴的な希釈効果が表れる放出内部フルード数が確認できた。今後は、より多くの放出口条件と放出条件で解析を行い、効率よく CO_2 を希釈できる放出形式を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 片野尚明ほか、スロット型およびマルチタイプ型放水口による温排水の水温低減化に関する研究、電力中央研究所報告・研究報告：377021
- 2) 落合 実：深層海域における放出二酸化炭素の初期希釈について（第62回年次学術講演会）
- 3) 落合 実：深層海域における放出 CO_2 の初期希釈特性（第63回年次学術講演会）

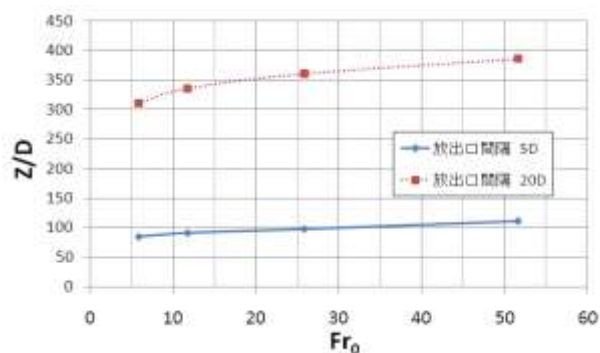


図-2 完全混合までの鉛直距離

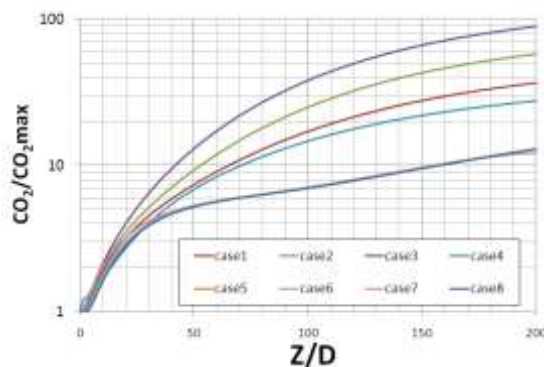


図-3 CO_2 の希釈率 (case1~case8)

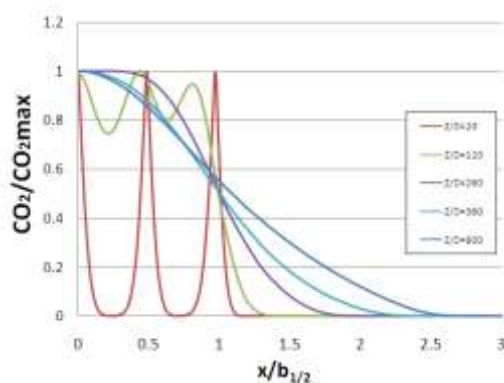


図-4 CO_2 濃度分布 (case1)

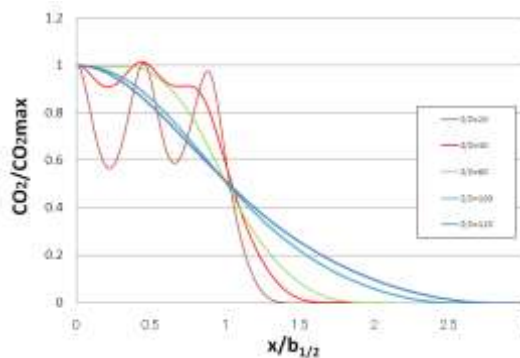


図-5 CO_2 濃度分布 (case5)