304

気液界面における二酸化炭素の移動現象の可視化

赤松 祐也[○] (関西大学大学院), 米原 紀吉, 植村 知正 (関西大学)

井口 学, 熊谷 剛彦 (北大院)

Visualization of the transport phenomenon of the carbon dioxide in the gas-liquid interface

Yuya AKAMATSU, Noriyoshi YONEHARA, Tomomasa UEMURA

Manabu IGUCHI and Takehiko KUMAGAI

ABSTRACT

A dissolution phenomenon of carbon dioxide into water is visualized. The authors employed solution of calcium hydroxide to detect carbon dioxide. Chemical compound (calcium carbonate) visualizes behaviors of carbon dioxide rich water. Since rate of chemical dissolution is larger than the rate of physical dissolution, it is easy to observe mass transfer phenomenon at the gas-liquid interface. High resolution video camera (1024 * 1024 pixels) and back lighting are used for observation of the interfacial phenomenon. In a top view image of the interface, the pattern exhibits a structure composed with many small cells. And also in the side view image, many slender strings slowly stretch and sink toward downward

Keywords: Visualization, Chemical absorption, Gas-liquid interface

1. 研究背景

地球の温暖化対策を考える上で大気中の二酸化炭素の濃度増加を抑制する技術として、二酸化炭素の海洋への吸収を応用し人為的に積極的に行う二酸化炭素の海洋処分技術が今注目されている。これには、固体 CO_2 (ドライアイス) や CO_2 ハイドレート ($\text{CO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $n=6\sim7$) の状態で投棄する方法, 液体 CO_2 を中層水へ散布して分散希釈する方法, CO_2 溶解海水あるいは気体 CO_2 をパイプラインで適度な深度の海中へと導き放出過程で溶解を達成させ、周囲海水との密度差による自然のメカニズムで海洋深層まで沈降させる方法などがある。これらの二酸化炭素の海洋処分をより効率的に行うためには、まずは二酸化炭素の溶解・拡散挙動の正確な把握こそがこの技術の鍵となる。

2. 実験方法

2.1 反応吸収の利用

二酸化炭素の水への溶解度は 0.759 (吸収係数, 25℃) と低いため、物理吸収に加えて中和反応(式1)を利用して反応吸収を起こすことで二酸化炭素の溶解現象を促進させ、生成された炭酸カルシウム(白色固体)の動きを追うことで気液界面での現象を可視化する。

2.2 実験装置

Fig. 1に実験装置を示す。アクリル水槽(120×120×210 mm)内には水酸化カルシウム水溶液(0.12%)を、ガラス管内(外径φ27.5, 内径φ25.8)には炭酸ガスを満たす。気温および液温は 25℃前後に保たれるようにする。シャフトをまわすことでガラス管先端をふさぐステンレス板(厚さ1 mm)も回転し、ここに気液界面ができる。

Fig. 1 Experimental apparatus

3. 結果および考察

3.1 溶解した二酸化炭素の拡散挙動

撮影された画像により気液界面付近での化学反応で生成された炭酸カルシウムの挙動をみることで二酸化炭素の溶液に溶解後の拡散挙動を知ることができる。

Fig. 2 Development of CO₂ rich liquid flow

上図 a は、気液接触後 60 秒後の画像であり、気液界面の形成後に生まれた下方へのゆるやかな流れがみられる。生成した炭酸カルシウムは、先端を球状にし、滴り落ちるしずくのような動きをみせている。なお、背景光を利用した撮影であるため白色の炭酸カルシウムが黒く撮影されている。その後、界面からの下方への流れが管の中央部へと徐々に押し込まれてきている。これは、界面から下降していく溶液の流れに対し、側面から界面にあらたな溶液を補給しようとする溶液の流れによるものである。b は 160 秒後であり、気液界面から生ずる下方に向けての流れは落ち着き、定常状態となる。

3.2 二酸化炭素の溶け込み量

二酸化炭素が溶液中に溶け込むと界面はその分上昇し、経過時間と溶け込み量は比例関係となる。界面上昇速度は 6.7×10^{-3} (mm/s) であり、単位時間当たりの CO₂ 溶け込み量は $1.7(\text{mm}^3/\text{s})$ となる。(これは二酸化炭素を水酸化カルシウムではなく水に溶解させた場合の 2.2 倍の値である) 単位時間・単位面積当たりの溶け込み量すなわち液側物質移動係数は、 $6.7 \times 10^{-3}(\text{mm/s})$ となる。

Fig. 3 Time history of dissolved CO₂ gas volume

3.3 界面を上から撮影した場合

ガラス管口を上部から覗き込むように撮影することで界面を面として撮影したものが Fig. 4 の画像である。二酸化炭素が水溶液中に反応吸収されるとき、それは界面において一様に進行するのではなく、多数の小領域をもって反応が進行する事がわかる。各画像の部分的な平均輝度値の時間変化が Fig. 5 である。外周部分は輝度値の変化が少ないが中央部は時間経過とともに減少しており中央部においては反応が進みやすいことを示す。

Fig. 4 Gas-liquid interface (top view)

Fig. 5 Mean brightness of circular sections

4. 結論

乱れ少なく瞬時に気液界面をつくりだすことで、気相中の二酸化炭素が水酸化カルシウムと反応して液中に溶解、次いで拡散していく様子を撮影した。そのとき、気液界面全体で均一に反応するのではなく多数の小領域に分かれて進行する様子を可視化した。