

令和元年6月19日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14604

研究課題名（和文）クラスレートハイドレート法による海水淡水化技術の開発

研究課題名（英文）Development of Desalination Technology by Formation of Clathrate Hydrates

研究代表者

安田 啓太 (YASUDA, Keita)

琉球大学・工学部・助教

研究者番号：60760163

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：クラスレートハイドレート（以下ハイドレート）による海水淡水化技術の開発を目指して実験的研究を行った。ハイドレートは水とゲストと呼ばれる物質からなる固体化合物である。二酸化炭素をゲストとし、ハイドレート生成条件に対応する相平衡条件の測定および生成過程の観察を行った。その結果、二酸化炭素が他のゲストに比べてエネルギーコストを低減することが示唆され、塩分によりハイドレート生成過程に変化が生じることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では成果として、塩分を加えた場合のクラスレートハイドレート生成系の相平衡条件ならびに液体の水と気体の二酸化炭素からクラスレートハイドレートが生成する際に塩分の及ぼす影響が明らかになった。これらの成果はクラスレートハイドレート生成の物理化学の理解を深めるとともに、クラスレートハイドレート法による海水淡水化技術の構築に向けた基礎的情報でかつ根幹をなすもので、技術開発のあらゆる場面で利用され続けるものと期待される。

研究成果の概要（英文）：The experimental study was performed to develop the desalination technology utilizing clathrate hydrates. Clathrate hydrates are solid compounds composed of water and so-called guest materials. The phase equilibrium conditions corresponding to the formation conditions of clathrate hydrates were measured in the system of water and carbon dioxide. The visual observation of the formation process of carbon dioxide hydrates was also performed. It was suggested that carbon dioxide could reduce energy cost for desalination and salts vary the formation process of clathrate hydrates.

研究分野：熱工学

キーワード：海水淡水化 クラスレートハイドレート 熱工学 結晶工学 二酸化炭素

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球上の水分のうちおよそ 97 % は海水、2 % は氷床や氷河であり、淡水の占める割合はわずか 0.5 % である<sup>1</sup>。人類はこのうち表層付近にあるわずかな量を飲料水や産業用水、農業用水として利用してきた。しかしながら、近年、著しい人口増加、気候変動、産業活動の発展に伴って世界的に深刻な水不足に陥っている。この課題を解決するために様々な海水淡水化技術が検討され開発されてきた。現在確立された手法として多段フラッシュ法<sup>2</sup>や逆浸透法<sup>3</sup>などがある。一方でより効率の良い技術の開発が進められていて、その候補の一つにクラスレートハイドレート (以下ハイドレート) を用いたハイドレート法<sup>4,5</sup>がある。ハイドレート法は 1990 年代に実用化が検討され、一度は多段フラッシュ法や逆浸透法に効率の面で劣ると結論づけられた<sup>6</sup>。しかし、その後の海水淡水化技術以外のハイドレート関連技術の進展に伴いハイドレートという物質への理解が進み、2010 年代に入り各所でハイドレート法による海水淡水化を見直す動きが出てきている<sup>4,5</sup>。

ハイドレートは、水分子が水素結合によって作る籠状構造の内部に他の物質の分子 (ゲスト分子) が取り込まれてできる氷状の固体化合物である。ハイドレートは系の温度・圧力条件が相平衡温度・圧力条件よりも低温・高圧であるときのみ生成する。ハイドレートが生成・分解する条件や安定に存在することのできる条件は熱力学的な相平衡条件と対応関係がある。そのためハイドレート法による海水淡水化技術を進展させる上で、ハイドレートの相平衡条件を把握することは不可欠である。海水を用いてハイドレートを生成すると海水中の水のみがハイドレートに取り込まれ、塩分はハイドレートに取り込まれない。こうして生成されたハイドレートを分解することによって淡水を得ることができる。その一方でハイドレート生成過程において残っている海水の塩分濃度が上昇していく。相平衡条件は塩分濃度に依存するため、塩分濃度の変化に伴い相平衡条件も変化する。したがって遷移していく塩分濃度に対応した情報が必要である。

また、ハイドレート法の実用化にあたっては、ハイドレートが海水と共存する条件下でどのように生成するかを明らかにすることが重要である。そうした情報をもとに反応器の設計やハイドレート生成を行う条件が決定されるためである。

このように、ハイドレート法の効率を正確に評価し、その実現可能性を探るためには、海水淡水化技術に対応した系の熱物性である相平衡条件や動特性であるハイドレート生成過程の様子を明らかにすることが重要である。

### 2. 研究の目的

本研究では「1. 研究開始当初の背景」に記述した学術的背景を鑑みて、ハイドレート法による海水淡水化技術の実現可能性を探るため、熱物性と動特性の双方を明白にすることを目的として実験的研究を行った。

### 3. 研究の方法

実験は相平衡条件の測定と生成過程の観察実験を並行して行った。ハイドレート法による海水淡水化ではハイドレート生成が容易であり、なおかつ得られる淡水の飲料水としての安全性が高いため二酸化炭素が有力なゲスト物質の 1 つである<sup>4,5</sup>。そのため、いずれ実験も、ゲスト物質には二酸化炭素を用いた。相平衡条件の測定では、当初予定していた海水を模擬した塩化ナトリウム水溶液を用いた実験が予定よりも順調に進んだため、期間の後半では実海水の組成を再現した合成標準海水を用いた実験も行った。生成過程の観察実験は塩分のハイドレート生成に及ぼす影響を探るために純水および塩化ナトリウム水溶液を用いて実験を行った。

実験では二酸化炭素、塩化ナトリウム、合成標準海水の塩成分はメーカーから供給されたものをそのまま使用した。また、純水は水道水をもとに実験室で逆浸透純水製造装置を用いて精製し、使用した。相平衡条件の測定は、塩化ナトリウム水溶液系において塩分質量分率  $w_{\text{NaCl}} = 0.035\text{--}0.105$ 、合成標準海水系では塩分質量分率  $w_{\text{ss}} = 0.035\text{--}0.104$  において行った。合成標準海水は一般的な海水の組成をもと用意した。また、生成過程の観察実験では純水および  $w_{\text{NaCl}} = 0.200$  の塩化ナトリウム水溶液を用いた。塩分質量分率の不確かさは  $u(w) = 0.001$ 、拡張係数  $k = 1$  と見積もられる。いずれの実験も、ハイドレート法による海水淡水化技術でハイドレート生成時の温度条件として想定される 260 K–280 K の温度域で測定を行った。

相平衡条件を測定するために用いた実験装置の主要部はステンレス鋼製の容器で構成され、200 cm<sup>3</sup> の内容積をもつ。実験装置内の空気は真空ポンプを用いて取り除き、ゲストとなる二酸化炭素はガスボンベから供給する。実験装置には容器内の攪拌を行うための電磁攪拌機が取り付けられている。電磁攪拌機は外付けのモーターによって回転させる。実験装置の温度は温度調整された液槽に浸すことによって管理を行う。液槽内は質量分率  $w_{\text{eg}} = 0.5$  のエチレングリコール水溶液で満たされ、投げ込み式クーラーとヒーターによって温度が調整されている。容器内の温度を測定するために容器内には白金測温抵抗体 (Class A、アズワン株式会社製、測定不確かさ  $U(T) = 0.1$  K、拡張係数  $k = 2$ ) が取り付けられている。本研究で用いた白金測温抵抗体は株式会社佐藤計量器製作所にて校正されたサーミスタ測温体 (JCSS 校正証明書番号; 認校 151148) によって校正を行った。容器内の圧力はひずみゲージ式圧力変換器 (PHB-A-5MP、株式会社共和電業製、測定不確かさ  $U(p) = 0.011$  MPa、拡張係数  $k = 2$ ) によって測定することができる。白金測温抵抗体とひずみゲージ式圧力変換器によって測定された温度と圧力はそれぞ

れロガーに表示・記録される。

本研究では相平衡条件の測定方法として定容積法<sup>7</sup>を用いた。定容積法はバッチ状態の系の内部で温度調節によりハイドレートを生成・分解させ相平衡条件を決定する方法である。系の状態は温度・圧力の履歴によって判断する。はじめに、測定する系の相平衡条件について既知に知られているデータを用いたり予備実験を通じて概算し、その高温・低圧側、ハイドレートが不安定な領域に初期条件を設定する。その後、系をバッチ状態にして冷却する。系の温度が相平衡条件よりも十分に低温になるとハイドレートの生成が起こる。ハイドレートが生成すると気相のガスが取り込まれることによる圧力の低下が見られる。ハイドレートの生成は相平衡条件に近い圧力になるまで続くので、温度を一定に保ち系を定常化させる。その後、段階的に温度を上昇させ、各温度条件で定常状態を達成させる。すると、はじめのうちはハイドレートの分解に伴う大幅な圧力の上昇がみられる。ハイドレートがすべて分解すると系の圧力上昇は気液平衡の変化にともなわずかなものになる。このような操作を経て、ハイドレートが少量だけ存在する時の温度・圧力条件を相平衡条件として決定する。

ハイドレート生成過程の観察実験は主要部がガラス製の圧力容器を用いて行った。圧力容器の内容積は  $10 \text{ cm}^3$  である。圧力容器内部にあらかじめネオジウム磁石が入れられていて、外部から別のネオジウム磁石を操作することで内部を攪拌することができる。実験でははじめに大気圧下で純水もしくは塩化ナトリウム水溶液を容器に  $3 \text{ cm}^3$  程度供給した。その後、相平衡条件の測定実験と同様に、真空ポンプを用いた脱圧、ガスポンベから供給される二酸化炭素による加圧を行い、所定の圧力条件に設定した。圧力容器は、投込みクーラーとヒーターにより温度制御されたアクリル製のエチレングリコール水溶液槽に浸すことで温度調節を行う。エチレングリコールの質量分率は  $w_{\text{eg}} = 0.5$  である。圧力容器近傍に設置された白金測温抵抗体 (Class A、アズワン株式会社製、測定不確かさ  $U(T) = 0.1 \text{ K}$ 、拡張係数  $k = 2$ ) によって実験温度を測定することができる。容器内部の圧力はひずみゲージ式圧力変換器 (PG-100KU、株式会社共和電業製、測定不確かさ  $U(p) = 0.021 \text{ MPa}$ 、拡張係数  $k = 2$ ) によって測定する。実験は圧力  $p = 1.0 \text{ MPa} - 2.0 \text{ MPa}$  で、平衡温度よりも  $3 \text{ K} - 5 \text{ K}$  低温となる条件で行った。平衡温度の推定には本研究で得られた相平衡条件のデータを使用した。所定の温度・圧力に達したのちに、ネオジウム磁石を用いて内部を攪拌することでハイドレート生成を促した。その際のハイドレート生成過程および生成したハイドレートを液槽外部より CMOS カメラによって撮影した。

#### 4. 研究成果

塩化ナトリウム水溶液系および合成標準海水系における相平衡条件の測定結果を  $p-T$  線図上にプロットしたものを図 1 に示す。また、これまでに報告されているデータ<sup>8-14</sup> および純水系におけるデータ<sup>15</sup>、相平衡条件計算プログラムの CSMGem<sup>16</sup> で決定した相平衡条件もあわせて示す。

図 1 より、塩化ナトリウム水溶液/合成標準海水の塩分質量分率が高くなるにしたがって相平衡条件は低温・高圧側に遷移していることが読み取れる。塩化ナトリウム水溶液系/合成標準海水系の質量分率による相平衡条件の変化を定量的に評価するために本研究で測定したデータおよび Adisasmito et al.<sup>15</sup> ( $w_{\text{NaCl}} = 0$ : 純水) によるデータについて、Clausius-Clapeyron の式 (式 1) を変形して得られた式 2 を用いてフィッティングを行った。

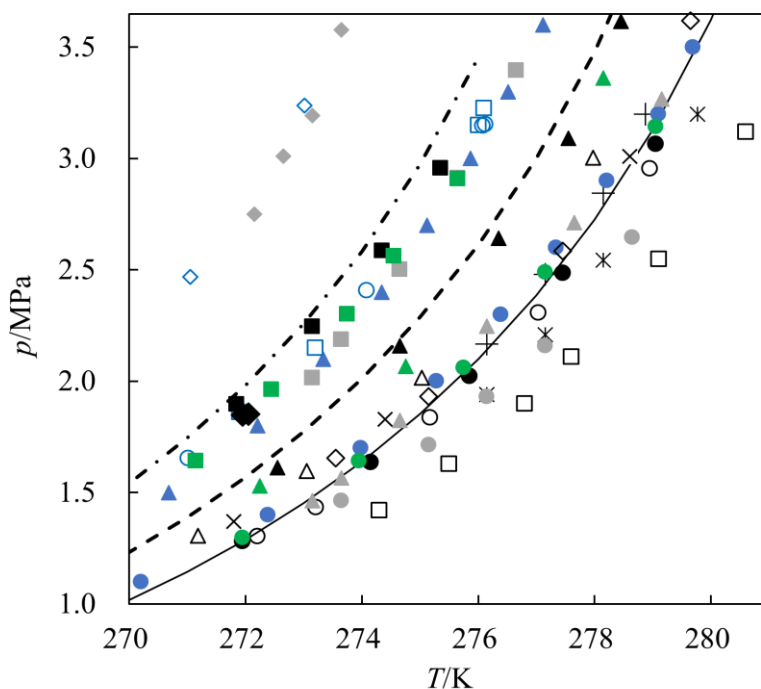


図 1 塩化ナトリウム水溶液/合成標準海水と共存する二酸化炭素ハイドレート生成系の相平衡条件。本研究: ●,  $w_{\text{NaCl}} = 0.0350$ 、▲,  $w_{\text{NaCl}} = 0.0700$ 、◆,  $w_{\text{NaCl}} = 0.1000$ 、■,  $w_{\text{NaCl}} = 0.1050$ 、●,  $w_{\text{ss}} = 0.0350$ 、▲,  $w_{\text{ss}} = 0.0700$ 、■,  $w_{\text{ss}} = 0.1035$ 。文献データ: □,  $w_{\text{NaCl}} = 0$ <sup>15</sup>、\*,  $w_{\text{NaCl}} = 0.02$ <sup>8</sup>、+,  $w_{\text{NaCl}} = 0.04$ <sup>8</sup>、●,  $w_{\text{NaCl}} = 0.02$ <sup>9</sup>、▲,  $w_{\text{NaCl}} = 0.05$ <sup>9</sup>、■,  $w_{\text{NaCl}} = 0.10$ <sup>9</sup>、◆,  $w_{\text{NaCl}} = 0.15$ <sup>9</sup>、○,  $w_{\text{NaCl}} = 0.0300 - 0.0302$ <sup>10</sup>、△,  $w_{\text{NaCl}} = 0.0500$ <sup>10</sup>、○,  $w_{\text{NaCl}} = 0.100 - 0.102$ <sup>10</sup>、◇,  $w_{\text{NaCl}} = 0.1500$ <sup>10</sup>、×,  $w_{\text{NaCl}} = 0.05$ <sup>11</sup>、●,  $w_{\text{NaCl}} = 0.0500$ <sup>12</sup>、▲,  $w_{\text{NaCl}} = 0.1000$ <sup>12</sup>、◇,  $w_{\text{NaCl}} = 0.055$ <sup>13</sup>、□,  $w_{\text{NaCl}} = 0.100$ <sup>14</sup>、実線,  $w_{\text{NaCl}} = 0.035$ <sup>16</sup>、破線,  $w_{\text{NaCl}} = 0.070$ <sup>16</sup>、一点鎖線,  $w_{\text{NaCl}} = 0.105$ <sup>16</sup>。

表 1 Clausius–Clapeyron の式に基づくフィッティングパラメーター:  $\ln(p/\text{MPa}) = a(T^{-1}/\text{K}^{-1}) + b$

$w_{\text{NaCl}}$	$a$	$b$	$R^2$	文献
0	$-9.345 \times 10^3$	34.41	0.9990	Adisasmitho et al. <sup>15</sup>
0.035	$-9.802 \times 10^3$	36.24	0.9997	本研究
0.070	$-1.017 \times 10^4$	37.77	0.9974	本研究
0.105	$-9.418 \times 10^3$	35.29	0.9995	本研究
$w_{\text{ss}}$	$a$	$b$	$R^2$	文献
0.035	$-9.446 \times 10^3$	34.99	0.9995	本研究
0.070	$-1.015 \times 10^4$	37.67	0.9972	本研究
0.104	$-9.497 \times 10^3$	35.53	0.9994	本研究

$$\frac{d \ln p}{d 1/T} = - \frac{\Delta H}{zR} \quad (1)$$

$$\ln(p/\text{MPa}) = a(T^{-1}/\text{K}^{-1}) + b \quad (2)$$

ここで $\Delta H$ はゲスト 1 mol あたりの生成・分解熱、 $z$ は圧縮係数、 $R$ は気体定数を表す。 $a$  および  $b$  は無次元のフィッティングパラメーターである。塩化ナトリウム水溶液系/合成標準海水系および純水系における決定したパラメーター $a$ 、 $b$  および決定係数  $R^2$  を表 1 に示す。フィッティングによって得られた経験式に測定した圧力範囲に収まる代表的な圧力 ( $p = 2.0 \text{ MPa}$ 、 $p = 2.5 \text{ MPa}$ ) をそれぞれ代入し、純水系と各質量分率による平衡温度差、すなわち凝固点降下度を比較した。その結果、 $w_{\text{NaCl}} = 0$  と  $w_{\text{NaCl}} = 0.105$  において  $p = 2.0 \text{ MPa}$ 、 $2.5 \text{ MPa}$  とともに  $5.0 \text{ K}$  の温度差であった。また  $w_{\text{ss}} = 0$  と  $w_{\text{ss}} = 0.104$  において  $p = 2.0 \text{ MPa}$ 、 $2.5 \text{ MPa}$  とともに  $4.6 \text{ K}$  の温度差であった。同様に他の濃度でも凝固点降下度は平衡圧力にあまり依存しなかった。これらの結果から純水と塩化ナトリウム水溶液系/合成標準海水系の凝固点降下度は圧力にあまり依存していないといえる。

二酸化炭素を用いたハイドレート法による海水淡水化技術を評価するために、塩化ナトリウム水溶液系における氷と二酸化炭素ハイドレート、シクロペンタンハイドレートの凝固点降下度とを比較した。本研究の結果と Haghghi et al.<sup>17</sup> が報告している  $w_{\text{NaCl}} = 0.01\text{--}0.18$  の範囲で測定された氷の凝固点降下度、Sakemoto et al.<sup>18</sup> と Kishimoto et al.<sup>19</sup> が報告しているシクロペンタンをゲスト物質としたハイドレートの凝固点降下度を図 2 に示す。図 2 よりハイドレートの凝固点降下度は氷よりも小さいことがわかった。これは氷よりもハイドレートの方がよりマイルドな条件で運用が可能であるということを示す。また二酸化炭素ハイドレートの凝固点降下度は高濃度領域においてシクロペンタンハイドレートの凝固点降下度よりも小さくなる傾向が見られた。

ハイドレート生成過程の観察実験のうち、 $p = 2.0 \text{ MPa}$ 、平衡温度  $T_{\text{eq}}$  と実験温度  $T_{\text{exp}}$  の差  $\Delta T_{\text{sub}} = 3.0 \text{ K}$  で行った際の観察画像を図 3 に示す。図 3a は純水系で、図 3b は塩化ナトリウム水溶液系 ( $w_{\text{NaCl}} = 0.200$ ) にて撮影した画像である。いずれの系においても、画像上部では気相、画面下部では液相とハイドレートが混在している。ハイドレート生成に伴い、気相側では圧力容器内壁を覆うようにハイドレートが生成し、液相側では気泡を覆うようにハイドレートが生成した。それに加えて、液相側では気体と接していないハイドレートも生成していることが確認できる。これらはいずれもネオジウム磁石による攪拌の効果で生成したものである。図 3a に示す純水系では、液相側において、

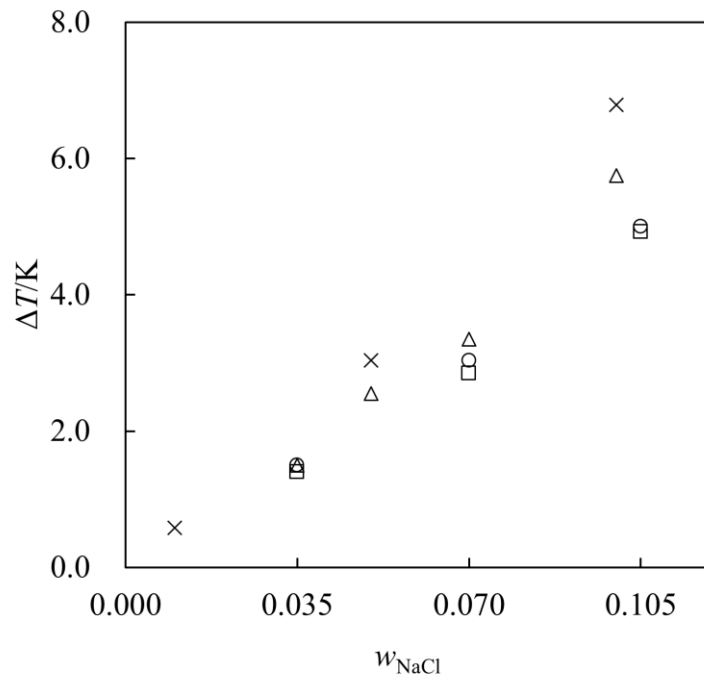


図 2 純水系と塩化ナトリウム水溶液系の平衡温度差。□: 二酸化炭素ハイドレート生成系、本研究 ( $p = 2.0 \text{ MPa}$ )。○: 二酸化炭素ハイドレート生成系、本研究 ( $p = 2.5 \text{ MPa}$ )。×: 氷の凝固点降下<sup>17</sup>。△: シクロペンタンハイドレート生成系<sup>18,19</sup>。

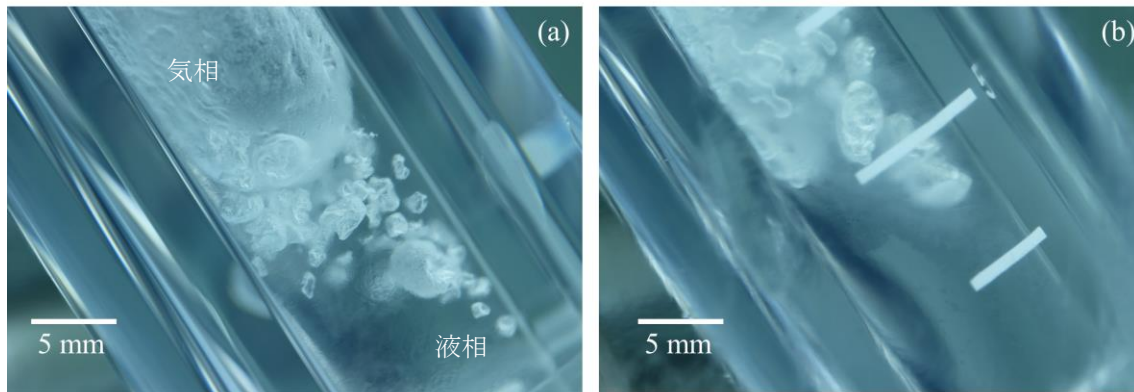


図3 生成した二酸化炭素ハイドレート。(a) 純水系、 $p = 2.0 \text{ MPa}$ 、 $T_{\text{exp}} = 274.2 \text{ K}$ 、 $T_{\text{eq}} = 277.2 \text{ K}$ 、 $\Delta T_{\text{sub}} = 3.0 \text{ K}$ 。(b) 塩化ナトリウム水溶液系、 $w_{\text{NaCl}} = 0.200$ 、 $p = 2.0 \text{ MPa}$ 、 $T_{\text{exp}} = 262.3 \text{ K}$ 、 $T_{\text{eq}} = 265.3 \text{ K}$ 、 $\Delta T_{\text{sub}} = 3.0 \text{ K}$ 。

気体と接触していないハイドレートは圧力容器下部に沈む様子が見られた。これは二酸化炭素ハイドレートの密度<sup>20</sup>が  $1140 \text{ kg/m}^3$  (173 Kにて測定)と純水の密度よりも大きいためであると考えられる。一方で、塩化ナトリウム水溶液系では気体と接していないハイドレートは沈まずに液相上部に浮遊していた。この要因として、液相が塩化ナトリウム水溶液であったためにその密度が大きくなっていったことが挙げられる。供給した塩化ナトリウム水溶液濃度が質量分率  $w_{\text{NaCl}} = 0.200$  と高かったうえに、ハイドレート中には塩化ナトリウムは取り込まれないため、ハイドレート生成に伴い、液相においてさらに塩分が高濃度化していたと想定される。このように、本研究では純水系では沈殿していたハイドレートが塩化ナトリウム水溶液系では浮遊している様子が観察された。ハイドレート法による海水淡水化では生成したハイドレートを反応容器から取り出してから分解させる必要がある。その際、ハイドレートが沈殿しているか浮遊しているかによって取り出すための機構が異なる。そのため、海水淡水化の運転条件においてハイドレートが沈殿するか浮遊するかを見極めることが重要である。特に、本研究で観測したように高塩分濃度になったときに現象に変化がみられる系においては注意を要すると考えられる。

#### 〈引用文献〉

- ① A.D. Khawaji, I.K. Kutubkhanah, J.-M. Wie, *Desalination*, Vol. 221, 2008, pp. 47–69
- ② H.T. El-Dessouky, H.M. Ettouney, Y. Al-Roumi, *Chem. Eng. J.*, Vol. 73, 1999, pp. 173–190
- ③ K.P. Lee, T.C. Arnot, D. Mattia, *J. Membr. Sci.*, Vol. 370, 2011, pp. 1–22
- ④ K.C. Kang, P. Linga, K. Park, S. Choi, J.D. Lee, *Desalination*, Vol. 353, 2014, pp. 84–90
- ⑤ S. Han, W. Kim, Y. Lee, B. Jun, Y. Kwon, *Desalination*, Vol. 395, 2016, pp. 8–16
- ⑥ R.A. McCormack, G.A. Niblock, U.S. Bureau of Reclamation Water Treatment Technology Program Report, No. 59, 2000
- ⑦ A. Danesh, B. Tohidi, W. Burgass, A.C. Todd, *Trans. IChemE.*, Vol. 72-A, 1994, pp. 197–200
- ⑧ D. Sun, J. Ripmeester, P. Englezos, *J. Chem. Eng. Data*, Vol. 61, 2016, pp. 4061–4067
- ⑨ A.Z. Guembaroski, M.A.M. Neto, D. Bertoldi, R.E.M. Morales, A.K. Sum, *J. Chem. Eng. Data*, Vol. 62, 2017, pp. 3445–3451
- ⑩ P.D. Dholabhai, N. Kalogerakis, P.R. Bishnoi, *J. Chem. Eng. Data*, Vol. 38, 1993, pp. 650–654
- ⑪ A.H. Mohammadi, W. Afzal, D. Richon, *J. Chem. Thermodyn.*, Vol. 40, 2008, pp. 1693–1697
- ⑫ K.M. Sabil, G. Witcamp, C.J. Peters, *Fluid Phase Equilib.*, Vol. 284, 2009, pp. 38–43
- ⑬ S.D. Larson, Dissertation, University of Illinois, 1955
- ⑭ B. Tohidi, A. Danesh, A.C. Todd, R.W. Burgass, *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 19, 1997, pp. 3257–3263
- ⑮ S. Adisasmito, R.J. Frank III., E.D. Sloan Jr., *J. Chem. Eng. Data*, Vol. 36, 1991, pp. 68–71
- ⑯ CSMGem, a Program Package Accompanying the Following Book: E.D. Sloan Jr., C.A. Koh, *Clathrate hydrates of Natural Gases*, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL., 2008
- ⑰ H. Haghighi, A. Chapoy, B. Tohidi, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 47, 2008, pp. 3983–3989
- ⑱ R. Sakamoto, H. Sakamoto, K. Shiraiwa, R. Ohmura, T. Uchida, *Cryst. Growth Des.*, Vol. 10, 2010, pp. 1296–1300
- ⑲ M. Kishimoto, S. Iijima, R. Ohmura, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 51, 2012, pp. 5224–5229
- ⑳ K.A. Udachin, C.I. Ratcliffe, J.A. Ripmeester, *J. Phys. Chem. B*, Vol. 105, 2001, pp. 4200–4204

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① Rihito Nakane, Eito Gima, Ryo Ohmura, Izuru Senaha, Keita Yasuda, *Phase Equilibrium Condition Measurements in Carbon Dioxide Hydrate Forming System Coexisting with Sodium Chloride Aqueous Solutions*, *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 査読有, Vol. 130, 2019, pp.

[学会発表] (計 1 件)

- ① Rihito Nakane, Eito Gima, Ryo Ohmura, Izuru Senaha, Keita Yasuda, Oral Presentation: Phase Equilibrium Condition Measurements in Carbon Dioxide Hydrate Forming System Coexisting with Sodium Chloride Aqueous Solutions, 4th International Congress on Water, Waste and Energy Management, 査読有, Madrid, Spain, July 18-20, 2018, abstract No. 069

[図書] (計 0 件)

なし

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

なし

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

なし

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

なし

## 6. 研究組織

記載事項なし

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号 (8 桁):

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名: