



THERMAL ENGINEERING

TED Newsletter No. 23 Nov. 5, 1997

ニュースレターの会誌掲載について

第75期 熱工学部門長

高城 敏美
(大阪大学工学部)



熱工学部門では、年3回ニュースレターを発行し、部門登録会員に直接郵送でお届けしていたが、今回、はじめて郵送のかわりに本会誌に掲載させていただくことになった。この試みを実行するにいたった経緯についてご説明し、会員各位のご理解を願う次第である。

情報の伝達は部門の重要な役割の一つである。その媒体の主役がニュースレターであり、その企画、編集は部門広報委員会(清水昭比古委員長、佐藤勲幹事)が担当し、これまで、部門登録会員6500余名に郵送してきた。しかし、部門の収支決算によると、本部からの部門交付金の大部分(90%)がその郵送費のみに費やされている。この状況は登録会員数の多い部門では同様である。この状況を軽減する方策として、ニュースレターの本会誌掲載が故土方邦夫前熱工学部門長から発案され、部門協議会(竹野忠夫委員長、矢部彰幹事)および関連理事会の審議を経て実現された。

ニュースレターの本会誌掲載の効果として、部門交付金の有効活用とともに、その一部が掲載料として本部へ還元

されることによる本部財政への寄与もある。さらに重要なことは、各部門が関連する分野が多岐にわたるようになっており、部門の枠にとらわれない情報の交流が必要となっていることである。本会誌掲載のニュースレターの内容をできるだけ広い会員各位の役に立つ内容になるように指向すれば、会誌掲載がより有意義になると考えている。

熱工学部門では、近年、部門ソフトウェア委員会(瀧本昭委員長、小林健一幹事)が担当するインターネットのホームページの充実にも力を注ぎ、すでに多くの情報を掲載しつつあるのでご参照いただきたい。速報性を必要とする情報、会議の詳細な案内やプログラム、ニュースレターのバックナンバー等の容量の大きい情報の伝達に適しており、今後、ますます日常的にインターネットを利用することが予想されるので、ホームページによる情報伝達の範囲が広がろう。従来型のニュースレター、会誌掲載およびホームページを三位一体とした情報伝達媒体として、それぞれの特徴や役割に応じた編集を行うことによって、有効な情報伝達を行うことを目指している。

特集：熱工学の直面するCO₂問題地球温暖化低減のためのCO₂海洋貯留の意義

岡崎 健

(東京工業大学炭素循環素材研究センター)

人間の快適な生活や高度な産業活動を支えている基盤はエネルギーである。そのエネルギー源の大部分、世界的に見て90%を石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料の燃焼に依存しており、その消費量のここ数十年での驚異的な急増が、地球温暖化や酸性雨をはじめとする地球環境問題を引き起こしている。また、化石燃料の大量消費により燃料資源の枯渇も目前に迫っている。このような現実を量的にも正しく認識した上で、われわれは地球環境問題への対応を考えていかななくてはならない。地球温暖化の主要因の一つとされているCO₂は毎年全世界で200億トン、日本で10億トン排出している。一見きれいではあるが例えば植林や微生物による光合成、あるいは太陽エネルギー利用の普及などだけでは、その一部に対してさえも到底対処できる量ではない。

一般論として、CO₂排出抑制対策としては、(1)省エネルギーとエネルギー利用効率の向上、(2)炭素分の少ない軽質燃料への燃料転換と燃料改質、(3)自然エネルギーの利用拡大、(4)原子力エネルギーの利用拡大、(5)CO₂の固定化などの人工処理、などが考えられる。しかし、(2)は中長期的に見て石油・天然ガスの枯渇により石炭への依存度が増大せざるを得ないことから無理があるし、(3)は先に述べたように膨大な化石燃料消費に比べて寄与が小さすぎる。また、(4)は是非必要であり技術的にも可能ではあるが、最近の事故例に見るように種々の困難さが残る。これらに対し(1)は最も現実的であり、まず取り組まなくてはならないことは当然である。現に、石炭ガス化複合発電(IGCC)などの石炭火力発電の高効率化を目指した多数の大型プロジェクト、工業地帯からの排熱を近隣地域の冷暖房に有効利用(コージェネレーション)するとともにその広域化をはかり、エネルギー利用率の格段の向上をめざしたプロジェクト、さらに水素利用国際クリーンエネルギーシステム(WE-NET)などのプロジェクトが進行している。しかし、これらが実現してもエネルギー消費の増大に伴うCO₂排出量の増加を補って余りあることは難しい。そうなると、長期的には(5)の大量のCO₂を高速で固定し大気から隔離する技術が必要になるものと考えられ、今から検討が進められている。もちろん、このような処理には新たな

エネルギー消費を伴うため、例えば新鋭火力発電所の送電端効率40%がCO₂分離により38%に、回収・処理で35%程度に低下すると見積もられており、これを補う高効率発電システムとの併用が要求される。

大量のCO₂の人工的な固定法の代表的な例として、膨大なリザーバーとしての海洋を用いる海洋貯留や地中隔離などがあるが、海洋貯留の方がはるかに大きいCO₂貯留ポテンシャルを持っている。海洋貯留法には、燃焼プラントから排出されるCO₂を液化・微粒化して1000 m程度の中層に溶解・急速希釈させる中層溶解法と、液体CO₂が海水より重くなる3000 mより深い深海底の窪地にプール状に長期間隔離貯留する深海底貯留法とがある。いずれも液体CO₂と海水の海面にクラスレートハイドレートという結晶状の膜が形成され、これがCO₂の溶解挙動に大きな影響を与えるが、この特殊な状況下での物質移動現象に対する定量的な基礎データがこれまでほとんどなかった。筆者らの研究室では、実験的・理論的にこの問題に取り組んでおり、液体CO₂の溶解速度に及ぼす温度、圧力、流速の影響、ブルームやウェイク内での溶解挙動、さらにはクラスレートを伴う液体CO₂プールからの溶解速度などについて定量的なデータが蓄積されつつある。また、クラスレートの生成機構や安定性に対する分子動学的解析、クラスレートを伴う系でのCO₂の溶解度に対する化学熱力学的検討なども行っている。これらのデータや知見に基づき、中層溶解および深海底貯留に対するシミュレーションを行い、例えば100万kW級の石炭火力発電所から排出されるCO₂の10年分の量を1 km × 1 km程度で深さ100 mの窪地に深海底貯留でき、しかもクラスレートハイドレート膜が再溶解を抑制するため200年以上の貯留が可能であることなどを明らかにしている。これがさらに海洋循環を通して大気中に出るまでには、千年のオーダーを要すると考えられている。ただしこの海洋貯留技術が実用化されるためには、海洋の生態系への影響が問題にならないことが確認され、国際的なコンセンサスが得られることが必須条件である。

この問題を重点的に検討するため、「二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術研究開発」の国際共同プロジェクトが通産省・NEDOの主導により本年度から開始されている。CO₂放流点周辺域環境影響予測技術と観測船による海洋調査の二つの委員会により構成され、当面は航走船舶方式による中層溶解を対象として、液体CO₂の送り込み、放流・溶解・急速希釈技術、海洋生物への影響などについて、新たな実験を含め具体的な幅広い検討が行われることになっている。

二酸化炭素の海洋固定技術 (輸送現象から眺めた二酸化炭素問題、 ミクロからマクロまで)

齋藤 隆之

(工業技術院資源環境技術総合研究所)
梶島 岳夫(大阪大学工学研究科)

1. はじめに

動物の生存に必要なエネルギー(標準代謝量)は、体重の3/4に比例する¹⁾。ヒトの生存には、約70Wのエネルギーが必要である。しかし、我々現代人は、100倍近い体重を持つゾウの標準代謝量を上回るエネルギーを消費する。しかも、その多くを石炭、石油等の化石燃料を燃焼することにより得、大気に排出される二酸化炭素総量は、年間260

億トンにも達する²⁾。

二酸化炭素の排出抑制には、省エネの推進、エネルギー効率の飛躍的向上、省エネ型ライフスタイルへの移行等を第一に行わなければならない。さらに、これらとは別の対策技術を並行して進めることが重要である。二酸化炭素の海洋固定は、緊急避難的措置として、ヨーロッパ、米国、日本で真剣に議論され、技術開発から環境影響評価までを網羅する研究が進められている³⁾。

2. 二酸化炭素の海洋固定方法と熱・物質輸送現象

地球を通信衛星に乗って眺めれば、地球から宇宙空間への熱放射、太陽熱の吸収、大気循環、海洋循環という時空間的に大規模スケールの熱・物質輸送に支配される世界と見えるはずである。海洋には、緯度と季節により変化するが、表層、中層、深層の成層構造が存在する。海面で吸収された二酸化炭素は、生物ポンプ (marine snow) と化学ポンプ (炭酸イオンや炭酸水素イオンとなり、流動によって輸送) とにより海洋に固定される。日本近海の高緯度地域は、大気から海洋への二酸化炭素フラックスが極めて大きいことが最近の海洋観測により明らかにされた⁴⁾。ここでは、風波による気液界面現象が物質輸送に大きな役割を果たしている。

海洋が有する膨大な二酸化炭素吸収容量と海洋の成層構造 (深くに沈めた液塊は容易に浮上しない⁵⁾。)に着目したのが「二酸化炭素の海洋固定」である。

水深約 3300 m より深い深海底に液体 CO₂ を貯留する方法 (深海底貯留) 中深層水に直に液体二酸化炭素を放流する方法 (直接深層水放流) が提案されている。放出された液体 CO₂ の界面は、CO₂ ガスハイドレートという氷状の薄い膜となる。図 1 に示すように、水分子が作る籠型構造中に CO₂ 分子が取り込まれ、CO₂ 過飽和、高圧、低温な条件下で安定な物質となる。ガスハイドレートの生成は発熱、崩壊は吸熱反応である。固体膜で覆われた液滴と液相の液・液二相流が形成され、熱、物質、運動量の交換が行われる。また、分子スケールから連続体スケールまでの現象を同時に扱わなければならないことから、極めて興味深い熱流動現象である。

しかし、これらの海洋固定方法は、煙道ガスからの CO₂ の高純度分離・回収、液化、貯蔵、輸送、深海への送り込みに膨大なエネルギーを必要とする。トータルの所要エネルギーは発電量の半分近くを占めるほどである。そのうえ、エネルギーをかけて液化した CO₂ をそれが有するエネ

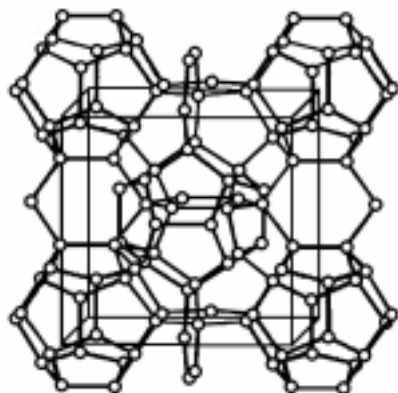


図1 ガスハイドレートの籠型構造 (白丸は水の酸素分子、黒棒は水素結合を表す)

ルギーとともに海洋に捨て去る結果となる。

3. ガスリフト効果を利用した CO₂ の海洋固定技術

エネルギーをかけずに浅海で CO₂ を海水に溶解させ、かつ深海に確実に送り込む方法はないのであろうか? 筆者らは、図 2 に示す G L A D (Gas Lift Advanced Dissolution) system を考案した^{6),7)}。水深 200 ~ 400 m で溶解管内に CO₂ ガスを吹き込むと、気泡は溶けながら上昇する。この時、ガスリフト作用により管内に新鮮な海水が流入し、強い上昇流が起こる。筆者らが行った室内実験によれば、吹き込まれた CO₂ ガスのほぼ 99% が溶解する。また、数値解析により大規模なシステムの数値解析を行った結果、内径 500 mm の管で発電量 1 万 kW あたりに排出される CO₂ ガスを水深 3000 m 以深に送り込むことが可能であった。

G L A D の性能は、気泡と乱流渦との強い相互作用および気泡乱流の大規模な構造により決まる。CO₂ 気泡の溶解は若干の発熱を伴うから、気泡乱流における熱、物質、運動量の交換を扱うことになる。筆者らは、これらの解明を実験と数値解析により進めるとともに、G L A D システムの実用化研究を進めている。

4. おわりに

地球温暖化現象ならびに二酸化炭素の海洋固定に関しては、種々の意見がある。本当に温暖化が起こるのか、二酸化炭素を海に捨てても悪影響はないのかと言う意見である。これらに対して、きちんとした答えを返すことが重要である。また、我々自身がエネルギー多消費型のライフスタイルを改める努力を忘れてはならない。人間も、地球における物質やエネルギーの循環に組み込まれた存在なのであるから。

参考文献

- 1) 本川達雄、中央公論社、中公新書「ゾウの時間ネズミの時間」
- 2) IPCC, Climate Change 1994, Cambridge University Press (1995)
- 3) 例えば、ICCDR3 など。
- 4) Watanabe, Y., Harada, K., and Ishikawa, K., J. Geophys. Res., Vol.99, 195, (1994)
- 5) Ryuichi Nagaosa and Takayuki Saito, to be published in

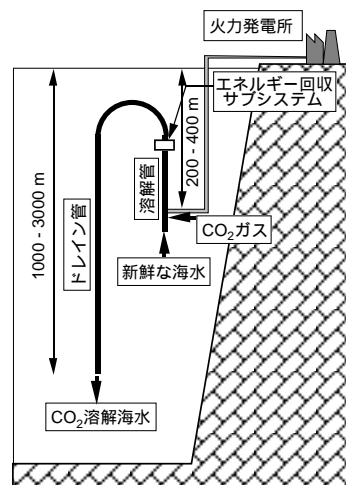


図2 G L A D システムの概念図

CO₂ ハイドレート系の熱物性

横山 千昭 (東北大学反応化学研究所)

1. はじめに

我々はCO₂の深海貯留技術の確立を目的として、CO₂ハイドレートの生成速度の測定実験を一昨年から行ってきている。実験データの解析にはハイドレートが生成するような条件下におけるCO₂+水混合流体系の熱物性値が必要不可欠となる。特に、実際規模のCO₂貯留操作を実験室で実施することは不可能であるため、計算機シミュレーションが必要不可欠である。そのため、この分野の研究はかなり進んでいる。計算機シミュレーションの精度を大きく左右するのが熱物性であるが、残念ながら熱物性に関する検討は十分であるとは言えない。そこで、ここでは我々のこれまでの研究過程において感じた熱物性の重要性について中心的に述べたい。

2. ハイドレート生成実験

我々が行っているCO₂ハイドレート生成の実験方法は定温定圧ガス吸収法である¹⁾。使用した実験装置の概略をFig. 1に示した。この方法より求められる生成速度はパイプラインを用いてCO₂を深海底に放出した場合の放出口におけるハイドレートの生成挙動を予測するのに有効である。具体的には次のような手順で実験を行う。高压容器に水(または海水)を入れ、次にCO₂を加圧し、CO₂の過飽和状態を作る。攪拌を開始することによって、ハイドレート生成を促す。ハイドレートの生成が始まるとCO₂が消費されるため高压容器内の圧力が減少し始める。この圧力減少をセンサーで検知して、一定圧力になるように外部にある高压シリンジからCO₂を高压容器内に供給する。この供給量からハイドレートの生成量を決定する。圧力が常に一定になるように制御する点にこの方法の特徴がある。得られたCO₂の供給量からハイドレートの生成速度を求めるためには速度論モデルが必要となる。

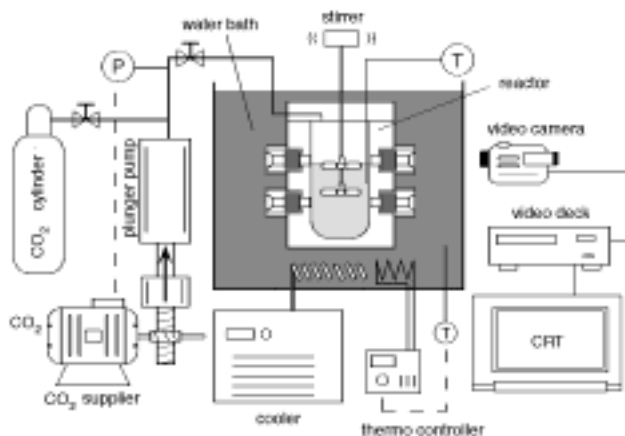


Fig. 1 CO₂ハイドレート生成実験装置

3. ハイドレート生成速度モデル

この実験は高压の攪拌槽内における結晶成長実験である。考えなければならない現象としては、CO₂が水に溶解する過程、ハイドレートの核発生、バルクの水から核表面へのCO₂の移動過程、核表面でのハイドレート成長過程、ハイドレート粒子の合体、分裂過程などがある。これらの現象を解析するモデルとしてEnglezosらのモデルがある²⁾。モデルは八田のCO₂の反応吸収理論と核発生・結晶成長理論を組み合わせたものである。モデル計算に必要な熱物性としては、相平衡関係、密度、溶解度、CO₂のフガシティー、拡散係数、粘性率などがある。また、ガス吸収における物質移動係数やハイドレート生成速度定数なども必要になる。相平衡関係のデータは実験条件を決定するのに必要であり、溶解度やCO₂のフガシティーのデータはハイドレート生成における過飽和度の計算で重要となる。密度は拡散係数や粘性率などの輸送物性の算出において必要である。また、拡散係数や粘性率は八田数やハイドレート粒子の粒子径の算出などで必要になる。ハイドレート生成は温度、圧力条件や攪拌条件に大きな影響を受ける。このことは、モデルによる解析結果を考察する上で、使用する熱物性値に対して要求される精度が高くなければならないことを意味する。

4. CO₂ハイドレート系の熱物性研究例

CO₂+水混合系の相平衡関係、密度、溶解度については古くから多くの研究報告がある。特に、相平衡関係に関しては天然ガスに関係した研究者によって様々な気体のハイドレートが安定に存在可能なP-T領域を示すデータが報告されている³⁾。また、CO₂+水混合系に対する状態方程式や相平衡の推算法についても多くの研究例がある。ただし、CO₂+海水混合系においては実測データはそれほど多くはなく、今後の研究課題となっている。

また、熱伝導率、拡散係数、粘性率などの輸送物性については実測データが不足しており、実測データの信頼性も低いのが現状である。ところで、粘性率と拡散係数の間には理論的にも密接な関係があり、どちらか一方が分かれば他の物性値はある程度の精度で推算可能である。粘性率と

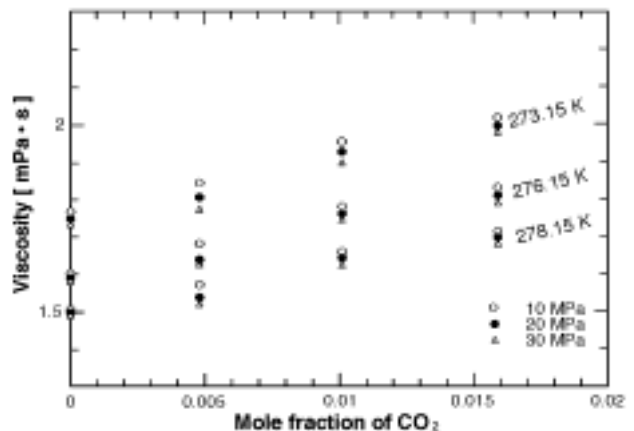


Fig. 2 CO₂+H₂O系の高压液体の粘性率

拡散係数を比較した場合、実験的には粘性率の測定の方が容易であり、得られるデータの精度も高い。そこで、我々は、これまでの実績に基づいてCO₂ + 水混合系の粘性率を、最近提案した落針法の装置を用いて測定を行っている⁴⁾。測定結果の一例をFig. 2に示した。CO₂が溶解することによって溶液の粘性率が増加していることが分かる。実験条件下において純粋のCO₂の粘性率は水の粘性率よりも小さな値を示す。従って、この系では混合によって純成分よりも高い粘性率を示していることになる。このような挙動を、これまで高圧液体の粘性率の計算用に提案されている粘性率式でこの系の粘性率を計算するとCO₂の濃度が高くなるにつれて粘性率は単調に減少する。実験値を再現するためにはCO₂と水との分子間相互作用パラメータを導入しなければならないことが分かった。今後、このパラメータの物理的意味についての検討が必要になる。また、ハイドレート生成実験において圧力は一定になるように制御しているが、液体の温度は我々の装置では、CO₂が気体の場合の実験で2～3度上昇し、圧力が高い液体CO₂の実験では5～8度も上昇する。現在この温度上昇を極力小さくするための対策を考えているが、CO₂ + 水混合系やCO₂ハイドレートの比熱、熱伝導率が分かれば、非等温下におけるCO₂ハイドレート生成実験を解析するモデルを構築することができる。熱伝導率や比熱のデータはほとんど無いようである。また、実際のプロセス設計においてはハイドレート生成によって発生する熱の解析が重要になるように思われる。

5. まとめ

ここでは、CO₂を深海域に貯留する際に、CO₂と海水の接触によってハイドレートが生成する場合の状況を予測するためのハイドレート生成実験において必要となるCO₂ハ

イドレート系の熱物性に関する研究について述べた。実際のプロセスにおいて一旦CO₂ハイドレートが生成した後の挙動、例えば、ハイドレートの分解挙動などについても知る必要がある。また、ハイドレート内の水やCO₂分子の拡散係数、ハイドレートの熱伝導率、ハイドレートの密度についてのデータはほとんど見当たらない。ハイドレートは生成条件によってその構造や組成が異なる。測定に使用するサンプルはハイドレート、氷、水から構成される複雑な混合系であり、その組成は一義的には決定できないという不確かさがある。このような複雑混合系の熱物性の測定においては試料の調製方法や物性測定法そのものについて、新しいアイデアを取り入れた実験的検討が必要と考えている。

温室効果ガスであるCO₂の大気中の濃度をできる限り長期間にわたって低く抑えることは、地球環境問題において重要な課題である。そのための緊急避難的な対策法としてCO₂の海洋貯留技術が考えられているわけである。この方法の実用可能性を明確にするためには熱物性値の正確なデータが必要不可欠であり、CO₂ハイドレート系は熱物性研究において、最もチャレンジアブルな研究対象の一つになっていると考える。

引用文献

- 1) 河瀬泰穂、熊谷昭文、横山千昭：化学工学会第62年会、小金井、O316 (1997)
- 2) Sloan, E. D.: Clathrate Hydrate of Natural Gases, Marcel Dekker, Inc. (1990)
- 3) Englezos, P. et al.: Chem. Eng. Sci., 42, 2647 (1987)
- 4) 熊谷昭文、横山千昭：化学工学会第62年会、小金井、B213 (1997)

二酸化炭素の深海底貯留法

綾 威雄（船舶技術研究所）

二酸化炭素問題の本質

CO₂深海底貯留法の特徴と研究の現状を述べる前に、今日我々が直面しているCO₂問題の本質を考えてみる。

原油を構成する石油系炭化水素を燃焼させた際に生じるCO₂の重量は、炭素原子一つに対して二つの酸素原子が結びつくため、生成水を除いても、元の原油の3倍を越える。従って、一日当たり20万トン級タンカー3隻弱分の原油を輸入し、そのほとんどを何らかの形で燃焼させている我が国が大気に排出している化石燃料起源のCO₂を全て回収液化すると、20万トンタンカー8隻分にもなる。もちろんこの全てを処理する必要はないが、地球温暖化傾向の抑制・緩和に寄与するに要する処理量は、極めて膨大となる。しかも、我が国は、世界のCO₂排出量の4%台を占めているに過ぎない。これらの事実から、今日のCO₂問題の本質の一つは、処理量の超大量性にあることが分かる。

海洋は、大気の約430倍の分子数を有しており、先に解説のあった溶解法とこれから述べる貯留法は、いずれもCO₂問題の本質である超大量性に対応可能な処理法であ

る。

地球温暖化傾向に国際的な関心が高まって以来、地球温暖化に関連したキーワードを並べた研究課題の提案が雨後の竹の子のように増えている。しかし、この超大量性を十分満足しないものが少なからず見受けられることは残念である。

二酸化炭素深海底貯留法の考え方

溶解法は、溶解拡散後のCO₂濃度の増加が極くわずかであることに着目した方法であるのに対し、貯留法は、深海底の窪地などにCO₂を液体またはクラスレート・ハイドレート(以降、単にハイドレートという)として溜めることにより、溶解をできるだけ抑制しようとする方法である。液体CO₂は水より圧縮性が大きく、約2700m以深で海水より重くなる。そのため、従来、貯留法の適用深度は3000m以深で十分と考えられていた。しかし、このように溜められた液体CO₂の上方には、CO₂溶解海水からなる密度成層が形成されるため、貯留CO₂が密度的に安定となるには、深度3500m以深が求められる。

貯留法は、溶解法より高深度を対象とするため、経済的には若干不利であるが、CO₂を大気から隔離する期間を、2000年程度といわれる海洋の鉛直循環周期より長く設定す

ることができるという大きな利点がある。

図1は、このような考えの基に描かれた貯留法概念を示している。ところで、CO₂は深度500~900m以深(深度の違いは、海域による温度差による)では、海水と反応してハイドレートとなるが、CO₂海洋処理研究が始まった8年ほど前は、従来のハイドレート研究がメタンなどの天然ガス輸送配管の閉塞防止を目的として行われてきたという歴史的経緯もあり、相平衡図以外、貯留法の実現性検討に必要なデータはほとんどなかった。

また、ハイドレートは氷に似た結晶構造をしていることから、CO₂の完全固定化法として期待され、CO₂深海固定法などといった言葉が使われた時期もあった。しかし、筆者らが行った溶解実験などから、回りの海水中CO₂濃度が低ければ、ハイドレート膜で被われたCO₂液泡の溶解速度は、ハイドレート膜で被われていない場合より、高々2~3分の一程度に抑制されるに過ぎないことが明らかにされた。この現象は、CO₂と海水間の界面に生成されるハイドレート膜が、内部の液体CO₂の溶出を抑制しているかのように見えることから、膜抵抗説などが提案された。しかし、液泡が小さくなくても、ハイドレート膜は透明で常にピンと張っていること(しわが現れない) 図2に示すように、ハイドレート共存下のCO₂溶解度は、温度の低下とともに減少し、その温度依存性は、ハイドレート膜で被われたCO₂液泡の溶解速度の温度依存性に酷似しているこ

と、実測の溶解速度から逆算したハイドレート膜外面のCO₂濃度が、図2の溶解度と一致すること、などの事実から、液体CO₂-海水界面に一旦生成されるハイドレート膜は、図2で示される溶解度と回りのCO₂濃度との差をドライビングフォースとする拡散支配により溶解することに決着した。なお、膜厚さは、この溶解速度に見合って定まる(回りの濃度が高く、溶解速度が小さくなると、その分膜厚さは増加する)。

一方、図3に示すように、CO₂ハイドレートの溶解性を前提に、貯留法概念が直ちに修正された。つまり、深海底の窪地の途中まで液体CO₂を満たし、窪地上方空間にCO₂溶解海水からなる密度成層を形成させることにより、上方へのCO₂フラックスを極力抑えようとするものである。この密度成層が絶対安定であれば、CO₂フラックスは分子拡散程度が期待されるが、実際には密度成層中の鉛直方向のdiffusivityが溶出速度を決定づけられると思われる。しかしながら、CO₂界面が直接新鮮な深海水に触れる場合に比較して、溶解速度を大きく抑制することができる。また、CO₂フラックスを0にできない以上、一定流量でCO₂を貯留サイトに供給し続ける場合、供給量に見合って、貯留湖の界面積に限界が存在することも重要なポイントである。

このような貯留法の実現性検討に当たっては、界面に形成されるハイドレート膜の機械的強度や長期間安定性など、解明すべき多くの課題が残されている。

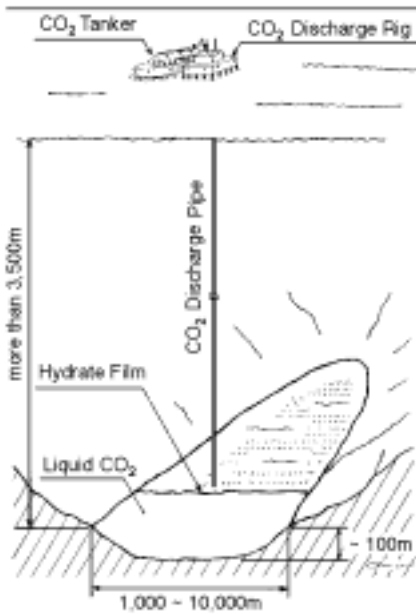


図1 CO₂深海底貯留法の基本概念

海洋行政との関わり

海洋投棄は、国際海事機関(IMO)で定められた方法(ロンドン条約やマーポール条約)に従って行われている。陸上からの投棄を含む一般投棄を規制している現在のロンドン条約では、投棄できない物質が定められており、CO₂はこれまで投棄物質と考えられていなかったこともあり、投棄不能物質のリストには載っていない。溶解法も貯留法もその実行に当たっては、安全性と有効性が確認されなければならないのは当然であるが、少なくとも、現在のロンドン条約で見ると、CO₂の海洋投棄(溶解法も貯留法も、投棄には違いない)は違法とはならない。

ところが、1996年12月8日、IMO総会はロンドン条約をリバースリスト方式(投棄可能物質をリストに載せる)へ移行させる改正案を採択した。この改正条約が発効するには2/3以上の加盟国が批准する必要があるが、これまでのところ、批准国は少数にとどまっている。海洋投棄量が世界一の我が国では、新条約が規制方式を180度転換させ

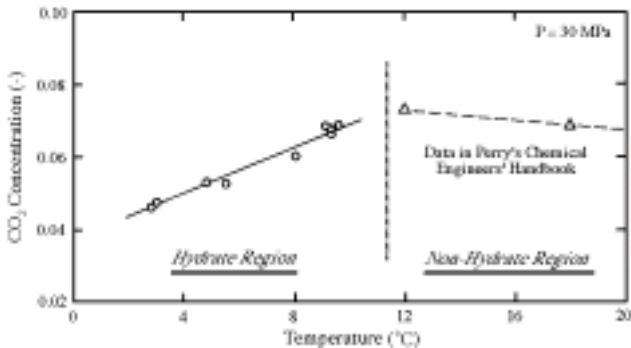


図2 ハイドレートと共存するCO₂の溶解度

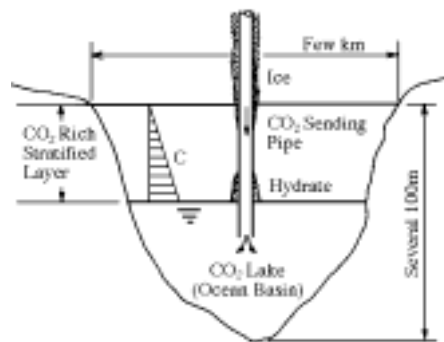


図3 CO₂ハイドレートの溶解性を考慮した新貯留法

ることから、環境庁主体の勉強会が続けられている。しかし、いずれは海洋投棄がリバースリスト方式により規制されるものと考えられ、それまでに、CO₂をリストに載せるための十分な科学的バックデータを蓄積しておく必要がある。

ハイドレート生成域における溶解度の2元性

不思議なことではあるが、ハイドレート生成領域にあっても、CO₂液泡は必ずしもハイドレート膜で被われるとは限らない。ハイドレート生成平衡温度からのサブクール度が5 K以内であれば、ハイドレート膜を生成させるのにむしる工夫がある。これは、ハイドレート生成のための核生成に時間(分子間接触の確率の問題?)がかかるためと考えられている。ハイドレート膜で被われていないCO₂液泡の溶解速度の温度依存性が、非ハイドレート生成域から外挿される溶解度の温度依存性とほぼ一致することから、ハイドレートが生成されるまでは、CO₂の溶解度は非ハイドレート生成域からの外挿値に等しいものと考えられる。つまり、ハイドレートと共存しない場合の溶解度は、ガスの準安定な溶解度を示すのに対し、ハイドレート共存下の溶解度は、固体としてのハイドレートの安定溶解度となり、ハイドレート生成域では、溶解度に2元性が存在する。

CO₂液泡溶解現象の解釈を巡って、CO₂海洋処理研究者らを悩まし続けてきたこの溶解度の2元性は、溶解法を含むCO₂海洋処理法を評価する上で極めて重要である。即ち、ハイドレートが生成されている地点近傍は、ハイドレート共存溶解度を示すことは間違いがないとして、その地点からある距離以上離れた海中の溶解度はガスの溶解度となるはずである。しかし、その距離を見積もる方法が不明である。この問題に挑戦して頂ける読者がおられることを願うものである。

その他の貯留法

紙面の都合上、典型的な貯留法に絞って解説してきたが、その他の重要な貯留法について極く簡単に紹介する。
ハイドレート貯留法: CO₂ハイドレートの正確な密度についてのデータは不足しているが、1.1 gr/cm³程度と考えられており、海水より十分重いことから、CO₂ハイドレートが非溶解性であれば非常に望ましい貯留法である。しかし、CO₂ハイドレートの溶解性が明らかとなった今、その魅力は減少した。また、液体CO₂をハイドレート化すると容積が3倍以上になることも不利な点である。
ハイドレートゲスト分子置換法: 海底下の堆積層中にメタ

ンハイドレート層が存在する海域が世界的に広く分布している。CO₂の方がメタンよりハイドレート生成活性度が高いことを利用して、ハイドレートを構成する水分子のかごの中に閉じこめられたゲスト分子のメタンと外部のCO₂分子を置換させようとする方法がハイドレートゲスト分子置換法である。メタンハイドレート層の存在自体、その場所が地質年代を通して安定であったことを証明しており、CO₂深海底貯留法に対する懸念の一つである、地殻変動や火山活動の心配はほとんどない。この方法には、置換時間の大幅な短縮化など、解決すべき工学的課題が多く残されているが、新エネルギーの確保とCO₂対策を同時に解決させようとする一石二鳥の狙いがあり、研究の前進を期待したい。

絶対安定貯留法: 液体CO₂の密度が、CO₂ハイドレートの密度より大きくなれば、海水との界面に形成されるハイドレート膜がちぎれて沈降を繰り返す心配もなくなる。この密度条件(海水 < CO₂飽和溶解海水 < CO₂ハイドレート < 液体CO₂)を満足する深度は、CO₂ハイドレートの密度を上述の値と仮定すると、約6000 m以深となり、適用可能海域は海溝など極めて限られる。また、海溝は地殻変動が活発と考えられ、長期貯留に適しているか心配である。

ドライアイス法: ドライアイスは海水より十分重い(気泡を含む市販品で、1.4 gr/cm³程度)ため、CO₂をドライアイスとして海上から投棄する方法が考えられる。この方法は、CO₂タンカーの設計上のネックとなっている1 MPa程度の大型液体CO₂タンクや、CO₂を深海底まで送り込む設備が不要であるなど、技術的に実現が容易であるという利点がある。しかし、ドライアイスは、沈降途中で一部が昇華または溶解し、残りは深海底に達する。深海底に到達したドライアイスは海水からの熱供給を受けてやがて液体となる。従って、この方法は、結果的には溶解法と貯留法とが混在したものとなり、評価が他の方法より困難となる。さらに、ドライアイスの製造に余分なエネルギーが必要となる。

以上、地球温暖化傾向を緩和させる上で有望な工学的オプションの一つであると期待されているCO₂深海底貯留法にまつわる話題や研究の現状・問題点を概観した。また、我が国は、これまでのところ、CO₂海洋処理研究では世界の先頭を走っているが、CO₂問題の解決には世界的な同意と協調のもとに行われなければ実効性に乏しいことは論を待たず、我が国だけがいい子ぶってはならないのではなからうか。

講演会案内

第5回 ASME-JSME 熱工学合同会議 論文募集

開催場所 米国サンディエゴ San Diego Princess Resort on
Misson Bay ホテル
開催期日 1999年3月15日(月) - 3月19日(金)

会議は口頭発表形式で、一般論文発表に加え、キーノート、パネルディスカッション、オープンフォーラム、ビデオセッション等が行われる予定です。また、論文集はCD-ROM出版となります。論文内容は熱工学に関連した基礎および応用的なトピックスとして、例えば、以下に示す内容などが含まれます。

Thermal properties; Heat conduction; Forced convection

heat transfer; Turbulent heat transfer; Natural convection; Condensation; Multi-phase flow and heat transfer; Thermal problems in space technology; Heat Transfer in rotating machines; Fluidized bed heat transfer; Cooling of electronic equipment; Heat and mass transfer in porous media; Energy storage; Boiling heat transfer; Measurement and data processing; Cryogenic heat transfer; Active techniques for heat transfer augmentation; Combustion fundamentals; Combustion technologies; Heat transfer in fires; Bio-heat and mass transfer; Heat exchangers; Heat pump and refrigerations; Heat transfer and fluid flow in manufacturing and materials processing; Microscale heat transfer; Radiation heat transfer; Energy conversion systems; Thermal problems in the environment; and Heat transfer education.

募集要領 500字程度の英文アブストラクトをJSME側の委員長宛に送付下さい。

アブストラクトには、論文タイトル、キーワード(数語)、著者名、所属、連絡先住所、電話、Fax、E-mailアドレスを必ず記入して下さい(E-mailによる投稿も受け付けます)。

送付先 〒113 東京都文京区本郷7-3-1
 東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻
 庄司 正弘
 Tel:03-3812-2111 Ext. 6406、Fax:03-5800-6987
 E-mail: shoji@photon.t.u-tokyo.ac.jp,
 または a-j99@photon.t.u-tokyo.ac.jp (投稿用)

アブストラクト締切 1998年3月2日(月)
 アブストラクト採否通知 1998年4月1日(水)
 論文原稿締切 1998年6月15日(月)

この会議に関する最新の情報は日本機械学会熱工学部門のホームページに掲載する予定です。

<http://ted.mech.titech.ac.jp/TED/tedj.html>

内容問合せ先

〒223 横浜市港北区日吉3-14-1
 慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科
 菱田 公一
 Tel. 045-563-1141 Ext. 3130、Fax. 045-562-7625
 E-mail; hishida@sd.keio.ac.jp

国際会議案内

(会議名 会場 問合せ先)

- 1997/11/16 ~ 21 The 1997 International Mechanical Engineering Congress and Exposition: The Winter Annual Meeting of ASME TED Newsletter No. 20
- 1997/11/30 ~ 12/3 第10回輸送現象国際会議 TED Newsletter No. 20
- 1998/6/8 ~ 12 International Symposium on Heat and Mass Transfer in Biological and Medical Engineering, BIOTRANSPORT'98 トルコ、クシャダス 石黒 博(筑波大学構造工学系) Tel. 0298-53-5267, Fax. 0298-53-5207, e-mail: ishiguro@kz.tsukuba.ac.jp
- 1998/8/23 ~ 28 第11回国際伝熱会議 韓国、慶州

藤田恭伸(九州大学工学部) Tel. 092-642-3471, e-mail: fujita@mech.kyushu-u.ac.jp, ホームページ: <http://ihtc.snu.ac.kr>

1999/3/15 ~ 19 第5回ASME-JSME熱工学合同会議 TED Newsletter No. 23

インターネットによる熱工学関連行事のご案内

インターネットのホームページを利用できる方は、機械学会関連行事とASME関連行事をそれぞれ下記のホームページで見ることが出来ますのでお試し下さい。

機械学会関連: <http://ted.mech.titech.ac.jp/TED/tedcal.html>

ASME関連: <http://www.asme.org/conf/confers.html>

また、国際会議、講演会に関する情報をお持ちの方は、熱工学部門広報委員会(幹事 佐藤)までお知らせ下さい。

広報委員会より

本号の熱工学部門ニュースレターは、部門長のご挨拶にもあり、部門のニュースレターを学会誌に掲載する最初のケースとなりました。熱工学部門に登録されておられる方々以外の会員の皆様の目に触れることになるという緊張感に加えて、原稿の締切がこれまでより2カ月近く早くなり、広報委員会としてはいつもに増してバタバタしてしまいました。幸い、特集の執筆者の先生方のご協力によって、内容の濃いニュースレターを作ることができたと

自負しております。

悲しいお知らせですが、豊橋技術科学大学の竹一友先生が航空機事故に巻き込まれてご逝去されました。新聞・テレビ等の報道でご承知の通り、竹一先生はJICAから派遣されてインドネシアを移動中でした。心よりご冥福をお祈りいたします。

なお、本ニュースレターに対するご意見、ご要望は、日本機械学会熱工学部門広報委員会までお寄せください。

第75期 広報委員会

委員長 清水昭比古(九州大学) 幹事 佐藤 勲(東京工業大学)
 委員 池田裕二(神戸大学)、森 幸治(大阪大学)、北村健三(豊橋技術科学大学)、山田 純(山梨大学)、石黒 博(筑波大学)、塚田隆夫(東北大学)、平澤茂樹((株)日立製作所)、水上 浩((株)東芝)