

研究室紹介

# 東京工業大学 炭素循環エネルギー研究センター 平井・津島研究室

平井 秀一郎、津島 将司

東京工業大学 炭素循環エネルギー研究センター  
〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

## 1. はじめに

東京工業大学の炭素循環エネルギー研究センターは、平成4年に文部省の省令センター、炭素循環素材研究センターとして発足したのが始まりである。このセンターは、大気中へのCO<sub>2</sub>削減の基盤研究を推進することを目的として新設された。発足当初は機械系と化学系の2講座でスタートし、機械系の講座の教授が現在の水素エネルギー協会会長の岡崎健氏であった。教授・助教授が計4名のセンターも、2年に1回のペースで国際会議を主催し、平成13年度までの10年の時限をクリアして、平成14年度から名称を炭素循環エネルギー研究センターとして、現在に至っている。発足当初より、「化石燃料の使用を前提」とする、CO<sub>2</sub>削減技術の開発が短中期的には現実的であることを中心とした研究を推進している。現在は、教授・准教授計5名3講座の体制で化石燃料の使用を前提とした太陽熱利用、太陽電池、バイオマス、燃料電池、CO<sub>2</sub>隔離の分野に展開している。

平井・津島研究室では、これらの分野の中で主に「水素・燃料電池」と「CO<sub>2</sub>地中・隔離」とを統合化したシステム構築をターゲットとした、主にハード面からの研究を推進している。

## 2. 研究内容

### 2.1 概要

化石燃料を一次エネルギーの出発点としながらも、火力発電所などの大型定置型エネルギーシステムから排出されるCO<sub>2</sub>は大気に放出せずに地中に隔離することが可能である。一方、自動車などの小型分散型CO<sub>2</sub>排出源においては、燃料電池自動車の高効率エネルギー変換によるCO<sub>2</sub>削減に加えて、化石燃料から水素へ転換する際

に発生するCO<sub>2</sub>を回収・隔離することで、大気中へのCO<sub>2</sub>排出の大幅な削減が可能になる。このようなエネルギーシステムを図1に示す。実現のために、我々の研究室では、分散型エネルギーシステムにおける水素利用技術としての燃料電池に関する研究、ならびにCO<sub>2</sub>地中貯留の研究を現在ではメインに推進している(図1)。

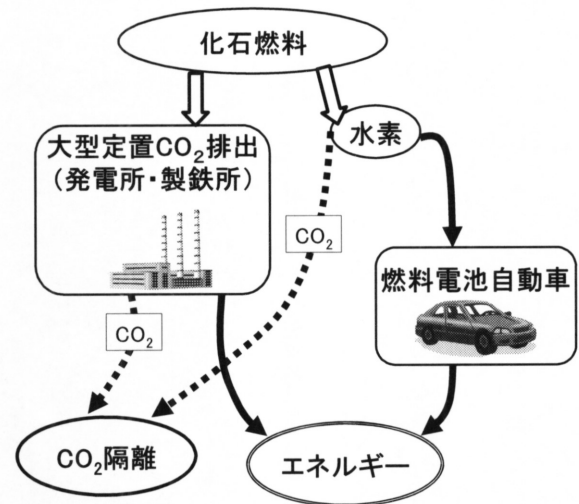


図1. 大型定置CO<sub>2</sub>排出と小型分散型を統合した環境調和型エネルギーシステム

### 2.2 先進的可視化技術

CO<sub>2</sub>地中隔離と燃料電池は、一見すると大きく異なる研究対象のようであるが、いずれも、熱および物質の輸送、相変化、化学反応などが、多孔質のような複雑な媒体の中で生じる現象を対象としている点で多くの共通点がある。従来までは、このような対象に対してバルクで特性をとらえることが多かったが、我々の研究室では直接可視化する計測技術の開発にチャレンジしている。

### 2.3 MRI

医療用などで広く用いられる磁気共鳴イメージング(MRI)という計測法を工学上への応用として、当研究

室には、平成7年度に購入したMRI 1号機と平成19年度年度の2号機がある。図2の写真に写されているのは、2号機の方である。MRIは、 $H_2O$ 分子中に含まれる、Hの濃度を画像として計測するものである。固体高分子形燃料電池においては、電解質として使用される固体高分子陽イオン交換膜の含水状態が電池性能に大きく影響を及ぼす。しかしながら、高分子膜は非常に薄いだけでなく、電池の内部に位置しているため直接的な可視化が困難であった。燃料電池内部の固体高分子膜中の水分分布の計測に世界ではじめて成功したものを図3に示す。これにより、燃料電池の発電ともなつて、膜内に水分の濃度勾配が形成されることを示し、電解質膜内部における電気浸透と濃度拡散の影響を明らかにした。

MRI計測技術は、 $CO_2$ 地下貯留の研究においてもその有用性が実証されている。我々は、地下環境を模擬した多孔質内での $CO_2$ と水の挙動について、MRIを用いることで、はじめて観察に成功した。その結果、図4に示されるように、水分で満たされた砂岩内に $CO_2$ が注入さ

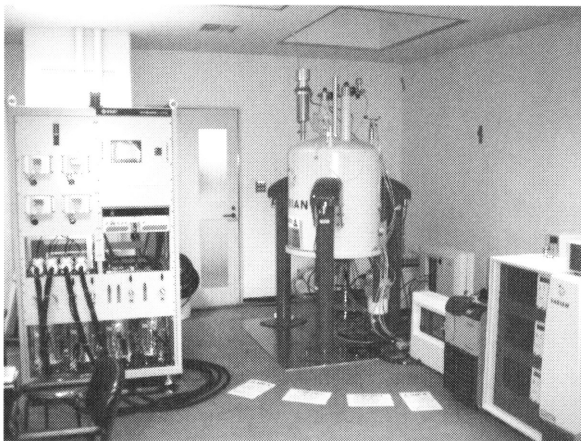


図2. MRI計測システム

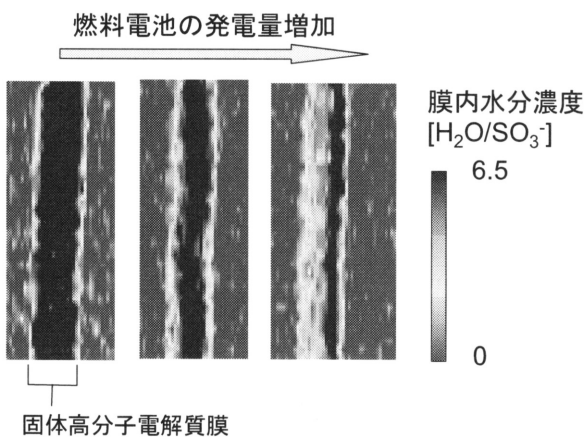
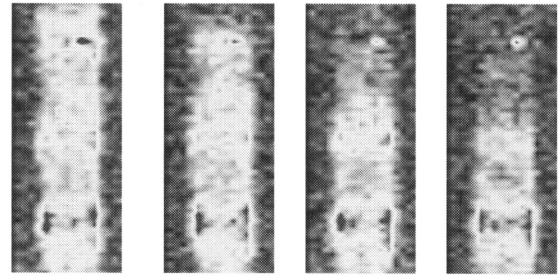


図3. 固体高分子膜内水分計測のMRI計測

れ、砂岩内を浸透する様子が、水の領域が減少することにより表されている。



水100% 1min 2min 3min

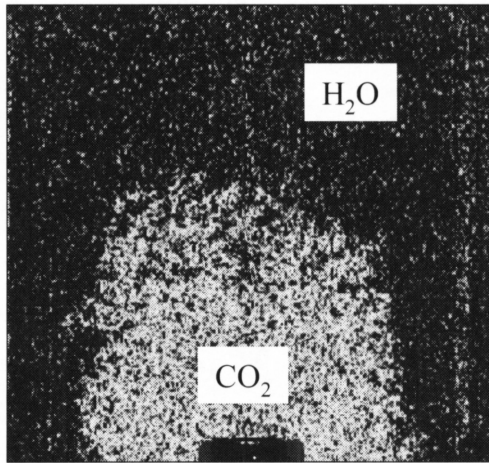
図4.  $CO_2$ 地中隔離のMRI計測

(上部より注入された $CO_2$ により水の領域が減少)

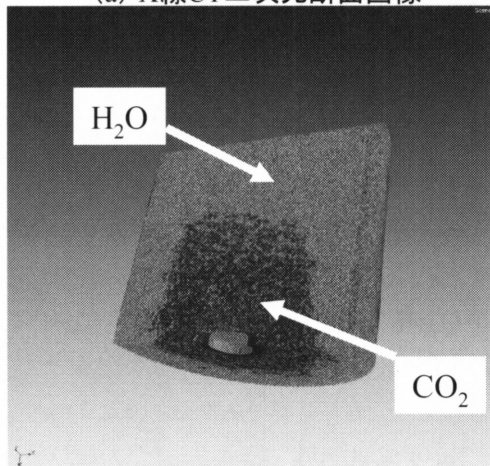
## 2.4 X線CTと軟X線

MRIに入れる砂岩のサンプルは、MRIのサンプルを挿入する穴径の関係から、10mm程度の小さいものとなる。このことが、 $CO_2$ 地中隔離において、砂岩内で $CO_2$ が浮力により上昇という現象をとらえるのを困難にしている。この現象を捉えるのには、より大きな系で内部可視化ができるシステムが必要であり、このようなことから、X線CTが平成20年度に導入された。X線が砂岩、水、 $CO_2$ と3つの物質で吸収される度合いが異なることを利用して計測するもので、砂岩のサンプルの径が50mm程度であっても可視化が可能である。図5に示されるのは砂岩内に注入した液体 $CO_2$ の可視化例である。

一方、燃料電池は膜以外にも、膜の周囲に配列されている触媒層や拡散層の液水の挙動を可視化することが総合的に水分の物質移動を解明するのに重要である。MRIは、電磁波がこれらの触媒層や拡散層にはいっていかないため、計測が困難であり、通常、用いられるX線では、原子番号が大きい元素の方が、質量吸収係数が大きくなるため、白金(原子番号78)などを含んだ燃料電池では、水に対してコントラストが付きにくい。しかしながら、軟X線は波長をより低エネルギー側に寄った波長を使用するため、水に対する感度が増加する。この手法を用いて計測した拡散層内の液水分布計測の例を図6に示す。図中、円形の領域は、燃料電池に設けられたX線可視化窓(直径約2mm)で、燃料電池のガス拡散層のファイバー構造内で、液体水が滞留・排出していく様子の可視化に成功している。



(a) X線CT二次元断面画像



(b) X線CT三次元画像

図5. X線CTを用いた砂岩内CO<sub>2</sub>計測

### 3. おわりに

エネルギーに係わる現象の研究は、燃料電池やCO<sub>2</sub>隔離に見られるようにより複雑な系での現象把握が重要になることが多い。これらにチャレンジするいくつかの手法を紹介した。

一方これらの分野は多くの研究分野の融合領域であり、多くの分野の研究者が協力して推進することが必要である。東京工業大学では、平成20年から小生を拠点リーダーとしたグローバルCOEプログラム「エネルギー学理の多元的学術融合」が採択され、融合的な研究の推進とともに、人材育成のための教育についても、大学をあげて推進している。

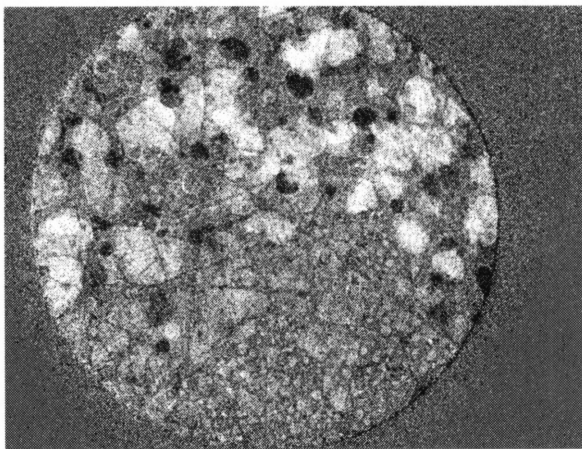


図6. 軟X線による燃料電池の拡散層内の液水分布の可視化（白い領域が液水の存在する場所）