

# 炭素質エネルギー物質の調和的循環

Harmonic circulation of the carbon substance as energy resources

教授 金 放鳴  
Professor Fangming Jin



Our research interests are developments of effective and environmentally benign processes for organic resources such as biomasses, conventional and unconventional oil/gas. Concerning biomasses, we have developed a sustainable hydrogen production process by utilizing waste heat/geothermal energy, sulfur and biomasses. In this process, hydrogen is produced from alkaline water containing HS/S<sup>2-</sup> (raw materials) at relatively low temperatures of around 300 °C, and the raw materials are recovered at much lower temperatures of < 100 °C by using organic compounds from biomasses (e.g. glucose) as reducing agents. Concerning oil/gas, we have developed a new concept fracture network model simulator, GeoFlow, in order to investigate effective processes in developments of fractured oil/gas reservoirs. GeoFlow has revealed impacts of 3-D channeling flow in developments of fractured reservoirs. In addition, we have developed a new technique to obtain information of fracture flow characteristics from X-ray CT data of reservoir core samples at in-situ conditions. Moreover, we have developed an on-site upgrading process using super critical water for heavy oils (e.g. bitumen). We have studied phase behaviors in water/heavy oil systems by using a newly developed view cell, in order to optimize the upgrading process.

## 硫黄の循環的酸化還元による持続的水素製造プロセス

燃料電池は水素を燃料に発電し、使用済みの燃料を水へと処理する、クリーンで高い発電効率を得られる発電として期待されているが、化石資源以外を原料としてCO<sub>2</sub>を実質的に副生しない新たな水素製造技術が求められている。そこで当研究室では、原料として硫黄とバイオマス、エネルギーとして地熱や工場廃熱の利用を想定した、新しい水素製造プロセスの開発を目指している (Fig. 1)。本年は、この水素製造プロセスについて出光興産(株)との共同研究を実施し、日本地熱学会の学術講演会における研究成果発表や特許申請 (特願2010-212461) を行った。

新たに考案した水素製造プロセスでは、HS<sup>-</sup>もしくはS<sup>2-</sup>を含有するアルカリ水溶液を250°C~300°C程度に熱することにより水素を生成させる。そこで、水素生成反応におけるpHおよび温度の影響を明らかにした (Fig. 2)。通常この反応においては、原料のHS<sup>-</sup>もしくはS<sup>2-</sup>が消費されるため、そのままでは水素生成はやがて停止する。しかしながら本研究室で考案したプロセスを用いれば、バイオマス由来の還元性有機物を用いて原料を再生することにより、水素生成を持続させることができる。還元性有機物としてグルコースを用いた場合、原料を効率よく再生させるためには、グルコース濃度、添加するタイミング、反応温度および反応時間を精密に制御することが重要であることがわかった (Fig. 3)。本研究で明らかになった最適条件を用いると、水素生成反応において消費された原料をグルコースの還元性を利用した低温・短時間 (100°C未満・10分以内) の処理でほぼ完全に再

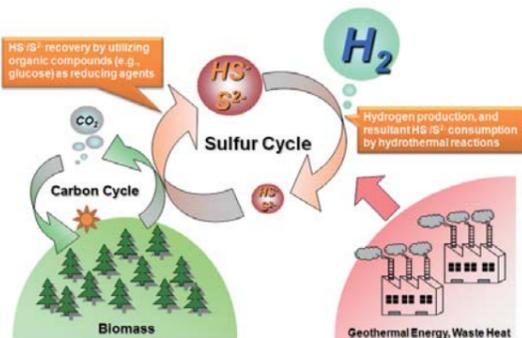


Fig. 1 Hydrogen production process by utilizing waste heat/geothermal Energy, sulfur and biomass.

生することができ、原料を再生した溶液からも水素が生成することを実証した。

## フラクチャー型貯留層の精密モデリング

北海道勇払ガス田やベトナムランドン油田では、堆積盆地の基盤となる花崗岩等に発達するフラクチャー (割れ目) から油ガスを生産している。このようなフラクチャー型の油ガス貯留層もしくは地熱貯留層を効率的に開発するためには、現実即した貯留層モデルを利用した適正生産プロセスの検討が重要である。そこで当研究室では、JAPEX、JOGMECおよびJAMSTEC等と協力しつつ、新しいモデルシミュレータの開発等様々な取り組みを進め、インドネシア・バリ島で開催されたWorld Geothermal Congress 2010等の国内外の学会等において成果を発表した (Fig. 4)。

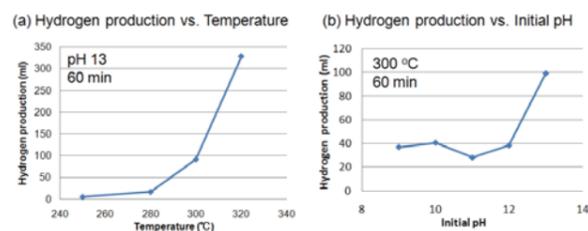


Fig. 2 Effects of temperature (a) and initial pH (b) on hydrogen production from Na<sub>2</sub>S aqueous solution.

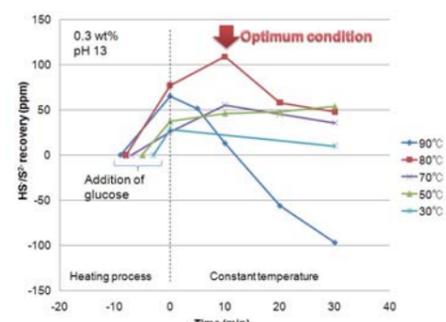


Fig. 3 Effects of temperature and reaction time on HS<sup>-</sup>/S<sup>2-</sup> recovery by glucose.



助教 渡邊 則昭  
Assistant Professor Noriaki Watanabe



Fig. 4 Oral presentation in the World Geothermal Congress 2010 (Bali, Indonesia).



Fig. 9 Newly developed experimental system for phase behaviors in water/heavy oil systems.

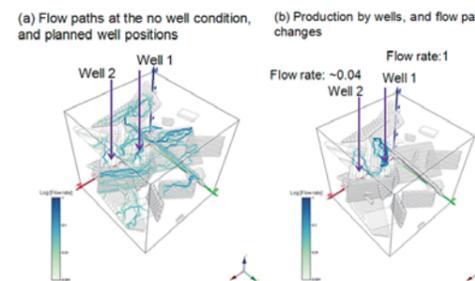


Fig. 5 Demonstration of 3-D channeling flow (a) and its impact on productivity (b) in a fracture network.

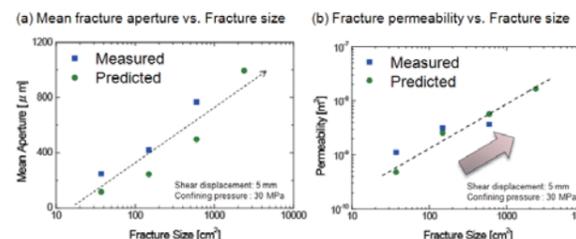


Fig. 6 Prediction of scale-dependencies in fracture aperture (a) and resultant fracture permeability (b).

これまでフラクチャーの間隙幅分布の不均質性を考慮可能なフラクチャーネットワークワークモデルシミュレータGeoFlowを開発し、貯留層内で三次元的な選択的流路形成 (Channeling Flow) が生じ



Fig. 7 Newly developed X-ray core holder made of a carbon fiber reinforced PEEK (PEEK-CF30).

ることや、この現象が貯留層開発において多大なインパクトをもつことを明らかにしてきた (Fig. 5)。本年は、より現実即した貯留層モデルを構築するために、ラボスケールのフラクチャーの間隙幅分布がフラクチャーの寸法によってどのように変化するのかを

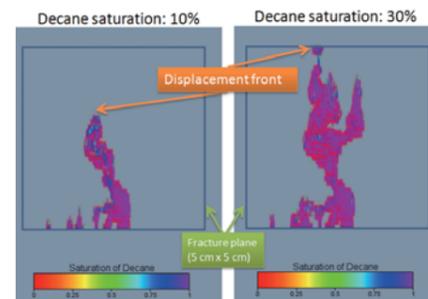


Fig. 8 Numerical simulation for displacement process of water by decane in a rock fracture.

象とした場合、貯留層モデルを構築するためにはボーリングコアからフラクチャーの間隙幅分布や、フラクチャーにおける流体の流動特性に関する情報を取得する必要があり、これまでにX線CTを用いた手法を独自に考案し、その実現可能性を示してきた。本年は、この手法を貯留層環境下 (応力下) のボーリングコアへ適用するために、新たに炭素繊維充填PEEK製コアホルダーを開発し (Fig. 7) し、応力下におけるフラクチャーの間隙幅分布の精密測定、この間隙幅分布を用いた非定常・二相流体流動解析が可能となった (Fig. 8)。

## 超臨界水を利用した重質油のアップグレーディング

カナダオイルサンドピチューメン等の重質油は、在来型の石油に匹敵する埋蔵量を有する石油資源であるが、在来型の石油と比較して格段に粘度が高いため、これまで開発困難なものであった。しかし近年では、スチーム攻法 (SAGD法) やSAGD法との併用が効果的な超臨界水を利用した低粘度化 (超臨界水改質) 技術に関する研究開発の進展により、重質油を油層から回収し、井戸元で低粘度化した後、製油所までパイプライン輸送することも困難ではなくなってきている。当研究室ではこれまでに日揮(株)と共同で、この井戸元での超臨界水を利用した重質油の改質 (オンサイトアップグレーディング) に関して様々な検討を実施している。本年は主に新たに開発した実験システムによる水/ピチューメン系における相挙動の解明に向けた取り組みを実施した。

これまでの研究により、内部観察が可能な反応容器 (View cell) を用いた実験システムを用いることにより、水の臨界点以上の温度・圧力条件下 (重質油の改質条件下) においても水/ピチューメン系は均一相を形成せず、Water-rich phaseとOil-rich phaseの2相に分離していることがわかってきた。しかしながら、既存の実験システムには、容器内の攪拌、圧力の微調整や分析用試料の採取ができないなど、相挙動を詳細に把握する上で問題点が多く存在した。そこで本年、攪拌および試料採取が可能なView Cellおよび窒素ガスによる圧力調整装置を開発し、新たな実験システムを構築した (Fig. 9)。このことにより、仕込み組成、温度、圧力を精密に制御した上で、Water-rich phaseとOil-rich phaseの試料を採取・分析できるようになり、ピチューメンの超臨界水改質における反応場が明らかになりつつある。

## Carbonの循環利用を目的としたバイオマスおよびCO2の資源化

本研究は、主として高温・高圧の水を反応媒体とする、バイオマスおよびCO<sub>2</sub>のリサイクル資源・エネルギー化を目的としている。これらの成果をまとめた論文はエネルギー・環境分野に評判が高い雑誌 (Energy & Environmental Science) に2編掲載され、CO<sub>2</sub>資源化に関する論文がRSC weekly RSC Publishing press packに選出された。また、関連する国際会議で数回招待講演をした。

## 国際学会等への参加

- World Geothermal Congress 2010 (インドネシア・バリ、4月)
- 16<sup>th</sup> Formation Evaluation Symposium of Japan (千葉、10月)