

# THE 2<sup>ND</sup> INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON “APPLICATION OF NANO-GEOSCIENCES IN PETROLEUM ENGINEERING”

**Chairperson** : Toshifumi MATSUOKA  
**Date** : November 26-27, 2012  
**Place** : Shiran-kaikan, Kyoto University

**Organized by** Kyoto University, China University of Petroleum, Institut Teknologi Bandung, Kyoto University Global COE Program “Global Center for Education and Research on Human Security Engineering for Asian Megacities”.

**Co-organized by** JAPEX (Japan Petroleum Exploration Company Limited), JOGMEC (Japan Oil, Gas and Metals National Corporation), Schlumberger, VPI (Vietnam Petroleum Institute).

**Invited Persons:** Amos Nur (Professor, Stanford University, USA), Sergio D. Kapusta (Chief Scientist of Materials, SHELL EP Inc., USA), Edo S. Boek (Senior Lecturer, Imperial College London, UK), Kyriakos D. Papadopoulos (Professor, Tulane University, USA), Satoru Takahashi (Director, EOR Research Division, JOGMEC TRC, Japan), Valerio Parasiliti Parracello (ENI E&P, Italy), Peng Bo (Professor, China University of Petroleum, China), Sumihiko Murata (Kyoto University, Japan), Keng C. Chou (Professor, University British Columbia, Canada), Ryuzo Tanaka (Advanced Technology and Research Institute, JPEC, Japan), Masato Morimoto (AIST, Japan), Takaaki Uetani (INPEX, Japan), Sunao Takagi (Project Director, EOR Research Division, JOGMEC TRC, Japan), Susan L. Stipp (Professor, University of Copenhagen, Denmark), Masaei Ito (Schlumberger), Takashi Akai (JOGMEC TRC, Japan), Le Ngoc Son (Vietnam Petroleum Institute, Vietnam), Phan Ngoc Trung (Vice Director, Vietnam Petroleum Institute, Vietnam), Tadayoshi Tarui (Kyoto University, Japan), Stefan Iglauer (Lecturer, Curtin University of Technology, Australia), Shuichiro Hirai (Professor, Tokyo Institute of Technology, Japan), Takeshi Tsuji (Associate Professor, Kyushu University, Japan), Laura Hamm (Lawrence Berkeley National Lab, USA), Mingyuan Li (Professor, China University of Petroleum, China), Tetsuo Sakka (Professor, Kyoto University, Japan), Caetano R. Miranda (Professor, Universidade Federal do ABC, Brazil), Ryo Murakami (Lecturer, Konan University, Japan).

**Number of Participants:** around 52 persons.

**Presenters:** altogether 29 technical presentations.

## Purpose

The purpose of the second symposium is to share and discuss the recent research achievements in the application of Nano-Geosciences to the petroleum engineering such as Enhanced Oil Recovery (EOR), shale gas exploration, and the CO<sub>2</sub> Capture & Storage (CCS) for sustainable energy supply which is essential for human security. Many researchers and experimentalists who were interested in the Nano-Geosciences and a direct comparison from the molecular and multi-scale simulations have joined in this symposium.

## Achievement and Results

The second symposium on “Application of Nano-Geosciences in Petroleum Engineering” was held at Shiran-kaikan Kyoto University, on 26-27th November 2012. This symposium was organized by Kyoto University, China University of Petroleum, Institut Teknologi Bandung (ITB), and Global COE Program “Global Center for Education and Research on Human Security Engineering for Asian Megacities”. The chairman of the organizing committee was Prof. Toshifumi Matsuoka from Kyoto University. Dr. Yunfeng Liang, an Assistant Professor of Kyoto University, has coordinated the Symposium. Around 52 participants who

attended the symposium were researchers (including professors, postdocs and students) and engineers from different institution and company among the world (Australia, Brazil, Denmark, China, California, Italy, London, Canada, Japan, Indonesia and Vietnam).

The symposium was opened by Prof. Toshifumi Matsuoka. He welcomed all the participants and highlighted the importance of the application of nano-geosciences in the petroleum engineering for our common future.

After the opening session, there were presentation sessions followed by questions and answers at the end of each presentation. There were 29 presentations categorized into 6 (six) topics: (1) Characterization of the pore structure and multiphase flow in porous media; (2) EOR techniques and its fundamentals; (3) Special lecture on nano-geosciences and nanotechnology; (4) Flows in fractured media and shale gas exploration; (5) CO<sub>2</sub> geo-sequestration; and (6) Oil-water-rock interactions. For each topic, one or two keynote speakers from university and petroleum industry gave special lectures to the audience. There were 6 presentations as the special lectures were given by:

1. Dr. Sergio D. Kapusta presented “Nanotechnology Applications in Oil and Gas Exploration and Production”.

Sergio has summarized the challenges in oil and gas industry in one sentence: “Deliver twice the amount of energy with half the emissions of CO<sub>2</sub> and the consumption of water”. He explained how to respond to the challenges of the new energy future with available nanotechnologies which poses challenges to the energy industry and at the same time it offers great opportunities.

2. Dr. Edo S. Boek presented “Multi-scale Flow Experiments, Imaging and Simulation”. He explained the pore scale models for imbibition of CO<sub>2</sub> and analogue fluids in etched micro-model experiments and direct Lattice Boltzmann flow calculations. In the spontaneous imbibition micro-fluidic experiments, Edo and his group observed that the throat in closest proximity fills up first, instead of following Young-Laplace filling rules. This finding has potentially important consequences for calculation of residual saturation of CO<sub>2</sub> at the core scale, which is determined by spontaneous imbibition of brine following CO<sub>2</sub> injection. Further, Edo has shown how to gain insights of oil molecules in-place from his in-house NMR setup.
3. Prof. Susan L. Stipp presented “Nanometer Scale Insights into Controls on Surface Wetting”. Using surface spectroscopy (mostly X-ray photoelectron spectroscopy, XPS) to investigate composition, scanning probe microscopy (mostly atomic force microscopy, AFM) to observe surface forces and computational methods (density functional theory, DFT and molecular dynamics, MD) to explore bonding relationships, Susan and her group (NanoGeoScience Group) have shown that the wetting behavior of typical reservoir rocks is heterogeneous at lateral scales of nanometers and that adhesion forces and surface composition vary, depending on the composition of the fluid in contact. The Copenhagen NanoGeoscience group has been able to see some hints for understanding how low-salinity water flooding enhances oil recovery from the reservoirs.
4. Dr. Masaei Ito presented “Novel CNT-Polymer Nanocomposites Used in Oilfield for HPHT Sealing System”. The key challenges in exploiting the untapped oil in hotter, deeper reservoirs are high pressure and high temperature (HPHT). Masaei has presented a novel sealing material based on a CNT (Carbon Nanotubes) / rubber nano-composite, which was successfully developed

and quickly communalized by Schlumberger and Shinshu University for the use in exploring and producing oil and gas from the extremely HPHT reservoirs.

5. Prof. Amos Nur presented “Digital Rock Physics for Shales”. He explained the application of Digital Rock Physics for shales characterization. Three key technologies (that have evolved rapidly over the last decade) were highlighted in Amos’ talk: One is high-resolution diagnostic imaging methods that permit detailed examination of the internal structure of rock samples over a wide range of scales and down to tens of nanometer. The second is advanced numerical methods for simulating complex physical phenomenon and the third is high speed, massively parallel computation using powerful graphical processing units (GPU’s) that were originally developed for computer gaming and animation.
6. Prof. Caetano R. Miranda presented “Characterization of Hydrocarbon and Nanoparticle Adsorption on Mineral Surfaces through Advanced First Principles Techniques”. According to Caetano, it is now possible to assign the peaks in the NMR spectra for all structures studied. He could observe a chemical shift differentiation in atoms located on different sites (bulk and surface) for both calcite and silica systems. In addition, the presence of hydrocarbon molecules also modified the chemical shift of adsorbed Ca and Si sites with respect to the pristine and isolated surfaces. This may offers us an effective way to detect the hydrocarbon molecules adsorped on the mineral surfaces, which are not visible by other methods.

After the successful second symposium was carried out, finally the symposium was closed by Prof. Toshifumi Matsuoka. He mentioned that the comprehensive thoughts from all the presenters were very interesting. In general, he concluded the contribution of nano geoscience in the petroleum engineering relating to the Enhanced Oil Recovery (EOR), Shale gas and the CO<sub>2</sub> Capture & Sequestration (CCS). Prof. Toshifumi Matsuoka announced that Kyoto University will organize the third symposium in 2013. The audiences also were warmly invited to participate and support the upcoming symposium.

## 第二回 石油工学におけるナノジオサイエンスの適用に関するシンポジウム

- 議長 : 松岡 俊文  
開催日時 : 2012年11月26日 ~ 2012年11月27日  
開催場所 : 京大会館
- 主催 : 京都大学、バンドン工科大学、京都大学グローバル COE プログラムアジア・メガシティの人間安全保障工学拠点  
共催 : JAPEX (石油資源開発)、JOGMEC (独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構)、Schlumberger、VPI (ベトナム石油研究所)。  
招待者 : Amos Nur (Professor, Stanford University, アメリカ), Sergio D. Kapusta (Chief Scientist of Materials, SHELL EP Inc., アメリカ), Edo S. Boek (Senior Lecturer, Imperial College London, イギリス), Kyriakos D. Papadopoulos (Professor, Tulane University, アメリカ), 高橋悟 (Director, EOR Research Division, JOGMEC TRC, 日本), Valerio Parasiliti Parracello (ENI E&P, イタリア), Peng Bo (Professor, China University of Petroleum, 中国), 村田澄彦 (Kyoto University, 日本), Keng C. Chou (Professor, University British Columbia, カナダ), 田中隆三 (Advanced Technology and Research Institute, JPEC, 日本), 森元正人 (AIST, 日本), 上谷高明 (INPEX, Japan), 高木是 (Project Director, EOR Research Division, JOGMEC TRC, 日本), Susan Stipp (Professor, University of Copenhagen, デンマーク), 伊藤正栄 (シユルンベルジェ), 赤井崇嗣 (JOGMEC TRC, 日本), Le Ngoc Son (Vietnam Petroleum Institute, ベトナム), Phan Ngoc Trung (Vice Director, Vietnam Petroleum Institute, ベトナム), 樽井直良 (Kyoto University, 日本), Stefan Iglauer (Lecturer, Curtin University of Technology, オーストラリア), 平井秀一郎 (Professor, Tokyo Institute of Technology, 日本), 辻健 (Associate Professor, Kyushu University, 日本), Laura Hamm (Lawrence Berkeley National Lab, アメリカ), Mingyuan Li (Professor, China University of Petroleum, 中国), 作花哲夫 (Professor, Kyoto University, 日本), Caetano R. Miranda (Professor, Universidede Federal do ABC, ブラジル), 村上良 (Lecturer, Konan University, 日本).

- 参加者数 : 約 52 名  
発表者数 : 計 29 名

### 目的

第二回となる本シンポジウムの目的は石油の増進回収(EOR)、シェールガス開発、二酸化炭素地中貯留(CCS)などの人類の持続可能なエネルギー供給に不可欠な石油工学技術に対する「ナノジオサイエンス」の適応について、最新の研究成果を共有、議論することにある。本シンポジウムには「ナノジオサイエンス」また分子・マルチスケールシミュレーションに関心のある多くの研究者・技術者が参加した。

### 概要と成果

第二回「石油工学におけるナノジオサイエンスの適用に関するシンポジウム」は2012年11月26、27日芝蘭会館にて、松岡俊文教授(京都大学)を代表者、梁雲峰助教(京都大学)を進行役とし、京都大学、バンドン工

科大学、京都大学グローバル COE プログラム「アジア・メガシティの人間安全保障工学拠点」によって主催された。52名に及ぶ参加者は様々な部局、様々な国々(オーストラリア、ブラジル、デンマーク、中国、カリフォルニア、イタリア、ロンドン、カナダ、日本、インドネシア、ベトナム)の教授、ポスドク研究員、学生を含む研究者とエンジニアで構成された。

シンポジウムのオープニングでは、松岡俊文教授が参加者を歓迎するとともに未来の石油工学におけるナノジオサイエンスの重要性を強調した。

オープニングの後、発表セッションが開始された。発表セッションでは発表後に質疑応答の時間が設けられた。合計26人の発表者が6つのトピックに別れて発表を行った。6つのトピックはそれぞれ：(1)多孔質体における多孔質構造及び混相流の特性 (2) EOR 技術とその基

礎 (3)ナノジオサイエンスとナノテクノロジーに関する特別講演 (4)フラクチャ内流体流とシェールガス開発 (5)二酸化炭素地中貯留 (7)油 - 水 - 鉱物間相互作用である。それぞれのトピックについて大学や石油業界から1~2人の招待後援者が特別講演を行った。特別講演は以下の6名である。

1. Sergio D. Kapusta 博士は「石油・ガス探査、開発に対するナノテクノロジーの適応」について発表した。博士は石油業界の挑戦を「エネルギー量を二倍にし、二酸化炭素の排出と水の消費を半分に」という一言でまとめた。彼はどのようにして利用可能なナノテクノロジーを用いて未来の新しいエネルギーへの挑戦にこたえていくかについて説明し、そしてそれはエネルギー業界にとって難問であると同時にすばらしい機会であると述べた。
2. Edo S. Boek 博士は「マルチスケール流体実験、イメージングとシミュレーション」というタイトルで発表を行った。彼は CO<sub>2</sub> のインビジョンのポアスケールモデルやエッチングされたマイクロモデル内のアナログ流体実験そして格子ボルツマン法の説明を行った。自発的なインビジョンを行うマイクロ流体実験について、博士とそのグループは最も狭い流路が Young-Laplace 則に従わずに満たされる現象を観察した。この発見は CO<sub>2</sub> の圧入後の塩水の自発的なインビジョンによって決定されるコアスケールにおける CO<sub>2</sub> の残存飽和度を計算する際に重要な結果をもたらす。さらに、Edo は室内の NMR 設備からどのようにして油分子の洞察を行うかについて発表した。
3. Susan L. Stipp 教授は「表面濡れコントロールに関するナノスケール観察」について発表した。表面の構成成分を調べるための表面分光（主に X 線光電子分光計）、表面観察のための走査型プローブ顕微鏡（主に AFM）また結合関係を考察するための計算化学（DFT、MD）を用いることで、教授とそのグループ（NanoGeoScience グループ）は典型的な貯留岩の濡れ性は接触している流体の構成によって、ナノメータスケールで不均質であることや、粘着力や表面の構成が多様であることを示した。コペンハーゲンの NanoGeoScience グループは低濃度塩水が石油の回収を増進させるメカニズムを理解するためのヒントを得ることができた。
4. Masaei Ito 博士は「新しいナノ CNT ポリマーの HPHT シール油田への適応」について発表を行った。未開

発の高温大深度貯留層の開発に関して、高温高压条件（HPHT）への対策が鍵となる。Masaei は新しいカーボンナノチューブとラバーのナノ合成物を基本とするシール物質を発表した。そしてその物質はシュルンベルジェと信州大学によって HPHT における石油、ガス炭鉱、生産につかうため開発が成功し、急速に普及した。

5. Amos Nur 教授は「シェール開発のためのデジタル岩石物理学」について発表を行った。彼はデジタル岩石物理学の頁岩特性評価への応用について説明し、ここ十年で急速に発展している3つのテクノロジーを示した。1つ目は岩石サンプルの内部構造（~10nm）を詳細に明らかにするための高解像度イメージング技術である。2つ目は複雑な物理現象を再現するための新しい数値計算法、3つ目はゲームやアニメーション技術から発展した高機能 GPU を用いた高速並列計算である。
6. Caetano R. Miranda 教授は「第一原理計算による炭化水素、ナノ粒子の鉱物表面吸着特性評価」について発表した。教授は現在では研究されたすべての構造の NMR スペクトルのピークを評価できると述べた。彼はカルサイト、石英表面上の様々な場所に存在する原子に対して化学シフトの違いを観察することに成功した。加えて、理想的な表面に関しては、炭化水素の存在は吸着点における Ca・Si 原子の化学シフトを修正する結果が得られた。これはその他の方法で見ることができない鉱物表面に吸着した炭化水素を特定する方法に貢献するかもしれない。

シンポジウムが成功のうちに終了して、プレゼンターによる興味深い発表の数々に対する松岡俊文教授の感謝の言葉によってシンポジウムは閉幕した。教授はまた、石油の増進回収(EOR)、シェールガス開発、二酸化炭素地中貯留(CCS)に関係の深い石油工学におけるナノジオサイエンスの貢献度は高いと結論付けた。最後に松岡教授は第三回のシンポジウムの開催を案内した。聴衆は暖かく次回の参加と支援を歓迎した。

## **SOME PHOTOS FROM THE SYMPOSIUM**



Photo session with all participants at Shiran-kaikan



Photo session with all participants in front of Clock Tower Building

**Presentation Session (November 26<sup>th</sup>, 2012)**



Prof. Toshifumi Matsuoka



Dr. Sergio D. Kapusta

**Opening and Special Lecture on NanoTechnology**



Dr. Edo S. Boek



Prof. Kyriakos D. Papadopoulos



Hirotsu Yamabe



Shinya Tsuji

**Topic 1: Characterization of the Pore Structure and Multiphase Flow in Porous Media**



Valerio P. Parracello



Prof. Peng Bo



Satoshi Iwasaki



Dr. Sumihiko Murata



Prof. Keng C. Chou



Ryuzo Tanaka



Masato Morimoto



Takaaki Uetani



Yohei Mikami

**Topic 2: EOR Techniques and Its Fundamentals**

**Presentation Session (November 27<sup>th</sup>, 2012)**



Prof. Susan L. Stipp



Dr. Masaei Ito

**Topic 3: Special Lecture on Nano-Geosciences and Nanotechnology**



Prof. Amos Nur



Takashi Akai



Le Ngoc Son



Tadayoshi Tarui

**Topic 4: Flows in Fractured Media and Shale Gas Exploration**



Dr. Stefan Iglauer



Prof. Shuichiro Hirai



Dr. Takeshi Tsuji

**Topic 5: CO<sub>2</sub> Geo-Sequestration**



Laura Hamm



Prof. Mingyuan Li



Kazuya Kobayashi



Prof. Tetsuo Sakka



Prof. Caetano R. Miranda



Ryo Murakami

**Topic 6: Oil-Water-Rock Interactions**

## Activities During Symposium



## Activities After Symposium

