

Thu. Oct 27, 2022

Room-B

Natural resource exploitation

[1B07-1B10] Natural resource exploitation (1)

Chair:Takaaki Uetani(INPEX Corp.)

1:00 PM - 2:30 PM Room-B (12C Conf. room)

[1B07] [Invited] Scales of time and space in sequence stratigraphy

○Koichi Hoyanagi<sup>1</sup> (1. Shinshu University)

1:00 PM - 1:45 PM

[1B08] Development of induced-seismicity prediction model using joint element - application to carbon dioxide sequestration -

○Koki Katayama<sup>1</sup>, Kenji Furui<sup>1</sup>, Kimikazu Tsusaka<sup>2</sup> (1. Waseda University, 2. INPEX Corp.)

1:45 PM - 2:00 PM

[1B09] Evaluation of Permeability for Multi-Component Packed Beds Containing Swellable Polymer Particles

○MIZUHO IDO<sup>1</sup>, Furui Kenji<sup>1</sup> (1. WASEDA University )

2:00 PM - 2:15 PM

[1B10] Modeling and flow simulation of a volcanic reservoir: Application of multiple uncertainty analysis for decision making

○Yusuke Takai<sup>1</sup>, Shinichi Koshi<sup>1</sup>, Takefumi Shibuya<sup>1</sup>, Ryo Yuasa<sup>1</sup>, Ryo Wakizono<sup>1</sup> (1. Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.)

2:15 PM - 2:30 PM

Natural resource exploitation

[1B11-1B15] Natural resource exploitation (2)

Chair:Hiroyuki Nakagawa(Japan Petroleum Exploation Co., Ltd.)

2:45 PM - 4:00 PM Room-B (12C Conf. room)

[1B11] Evaluation of roughness due to calcite dissolution in crude oil/brine/rock system: Implications for low salinity water flooding

○Yueqi Wang<sup>1</sup>, Xingjuan Hao<sup>1</sup>, Yogarajah Elakneswaran<sup>1</sup>, Takeshi Hasegawa<sup>1</sup> (1. Hokkaido University)

2:45 PM - 3:00 PM

[1B12] Agile uncertainty evaluation for field development with multiple high quality history matched models using cloud computing

○DAIKI WATANABE<sup>1</sup>, YUTA TOSUJI<sup>1</sup>, HIROTATSU

YAMABE<sup>2</sup> (1. JX Nippon Oil & Gas Exploration Corporation, 2. Schlumberger)

3:00 PM - 3:15 PM

[1B13] Study on improvement of shale permeability by chemical

○Ryu Okamoto<sup>1</sup>, Yuichi Sugai<sup>1</sup>, Ronald Nguele<sup>1</sup>, Takehiro Esaki<sup>1</sup> (1. Kyushu University)

3:15 PM - 3:30 PM

[1B14] Study on enhanced oil recovery using nano-emulsion

○Masakazu Hayama<sup>1</sup>, Ronald Nguele<sup>1</sup>, Yuichi Sugai<sup>1</sup>, Takehiro Esaki<sup>1</sup> (1. Kyushu University)

3:30 PM - 3:45 PM

[1B15] Next generation MEOR (in situ Oil to Gas) Technology

○Haruo Maeda<sup>1</sup>, Konomi Suda<sup>1</sup>, Masayuki Ikarashi<sup>2</sup>, Hiroki Iwama<sup>2</sup>, Hideyuki Tamaki<sup>1</sup>, Susumu Sakata<sup>1</sup>, Daisuke Mayumi<sup>1</sup> (1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. INPEX Corporation)

3:45 PM - 4:00 PM

Fri. Oct 28, 2022

Room-B

Natural resource exploitation

[2B01-2B04] Natural resource exploitation (3)

Chair:Masanori Kurihara(Waseda Univ.)

9:00 AM - 10:00 AM Room-B (12C Conf. room)

[2B01] Trial of automated cuttings description based on image recognition

○Yuta Mizutani<sup>1</sup>, Takuya Harada<sup>1</sup>, Takashi Nanjo<sup>2</sup>, Takuya Ishimaru<sup>2</sup>, Yoshitami Fujisawa<sup>3</sup>, Shota Inoue<sup>3</sup>, Hiroataka Sakai<sup>3</sup>, Kenta Watanabe<sup>3</sup> (1. JX Nippon Oil & Gas Exploration Corporation, 2. Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, 3. ITOCHU Techno-Solutions Corporation)

9:00 AM - 9:15 AM

[2B02] Numerical methods using Deep Neural Network in airborne electromagnetic exploration

○Takumi Ueda<sup>1</sup>, Tamaki Nishino<sup>1</sup>, Kengo Nakanishi<sup>1</sup> (1. Waseda University)

9:15 AM - 9:30 AM

[2B03] Development of wellbore stability analysis model considering discontinuity in shale formations

○Sata Tetsu<sup>1</sup>, Furui Kenji<sup>2</sup> (1. Waseda University, 2.  
Graduate School of Creative Science and Engineering,  
Waseda University)

9:30 AM - 9:45 AM

[2B04] Transition of Environmental and Social  
Management Measures, and Initiatives as a  
Business Operator

Taiki Inoshita<sup>1</sup>, ○Ryohei Anzai<sup>1</sup>, Yasuaki Kigushi<sup>1</sup> (1.  
INPEX Corporation)

9:45 AM - 10:00 AM

---

Natural resource exploitation

[2B05-2B09] Natural resource exploitation (4)

Chair:Tomoyuki Suzuki(JX Nippon Oil &Gas Exploration Corp.)

10:15 AM - 11:30 AM Room-B (12C Conf. room)

---

[2B05] A quantitative approach to evaluate the effect  
of temperature and homogenizing conditions on  
crude oil emulsion stability

○Xingjuan Hao<sup>1</sup>, Mai Shimokawara<sup>2</sup>, Yoshitake Kato<sup>2</sup>,  
Ryuta Kitamura<sup>2</sup>, Yogarajah Elakneswaran<sup>1</sup> (1.

Hokkaido University, 2. JOGMEC)

10:15 AM - 10:30 AM

[2B06] Influence of inorganic solids on the formation  
and stability of crude oil emulsions as a function  
of temperature history

○TOKIMA HATTORI<sup>1</sup>, Xingjuan Hao<sup>1</sup>, Yoshitake Kato<sup>2</sup>,  
Mai Shimokawara<sup>2</sup>, Ryuta Kitamura<sup>2</sup>, Yogarajah  
Elakneswaran<sup>1</sup> (1. Hokkaido University, 2. JOGMEC)

10:30 AM - 10:45 AM

[2B07] MIC cases and immersion tests of metals in  
industrial water of LNG reciving plant

○Toshiyuki Sunaba<sup>1</sup>, Hirotaka Mizukami<sup>1</sup>, Satoshi  
Wakai<sup>3</sup>, Yasuyuki Miyano<sup>2</sup> (1. INPEX Corpoiration, 2.  
Akita University, 3. JAMSTEC)

10:45 AM - 11:00 AM

[2B08] Crisis management at INPEX

○Atsuhiro MOROE<sup>1</sup>, Takahiro TERANISHI<sup>1</sup>, Masaki  
INOUE<sup>1</sup> (1. INPEX CORPORATION)

11:00 AM - 11:15 AM

[2B09] Considering history of Japan's oil development  
industry

○Masaru Ihara<sup>1</sup> (1. JOGMEC)

11:15 AM - 11:30 AM

Natural resource exploitation

## [1B07-1B10] Natural resource exploitation (1)

Chair:Takaaki Uetani(INPEX Corp.)

Thu. Oct 27, 2022 1:00 PM - 2:30 PM Room-B (12C Conf. room)

---

### [1B07] [Invited] Scales of time and space in sequence stratigraphy

○Koichi Hoyanagi<sup>1</sup> (1. Shinshu University)

1:00 PM - 1:45 PM

### [1B08] Development of induced-seismicity prediction model using joint element - application to carbon dioxide sequestration -

○Koki Katayama<sup>1</sup>, Kenji Furui<sup>1</sup>, Kimikazu Tsusaka<sup>2</sup> (1. Waseda University, 2. INPEX Corp.)

1:45 PM - 2:00 PM

### [1B09] Evaluation of Permeability for Multi-Component Packed Beds Containing Swellable Polymer Particles

○MIZUHO IDO<sup>1</sup>, Furui Kenji<sup>1</sup> (1. WASEDA University )

2:00 PM - 2:15 PM

### [1B10] Modeling and flow simulation of a volcanic reservoir: Application of multiple uncertainty analysis for decision making

○Yusuke Takai<sup>1</sup>, Shinichi Koshi<sup>1</sup>, Takefumi Shibuya<sup>1</sup>, Ryo Yuasa<sup>1</sup>, Ryo Wakizono<sup>1</sup> (1. Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.)

2:15 PM - 2:30 PM

## シーケンス層序学における時間空間スケール

## Scales of time and space in sequence stratigraphy

ほやなぎ こういち  
(信州大学) ○保柳康一

## はじめに

1970年代から1990年代にかけて、地質学分野の中で堆積物と堆積岩を扱う堆積学、堆積地質学は大きな学問的進展をみた。それは、堆積相解析からシーケンス層序学への歩みである。

地球科学全体では1960年代にプレートテクトニクス理論が成立して、パラダイムの転換を果たしていた。同時期に堆積物の研究では海洋からの情報によって、深海底に堆積する砂層であるタービダイトの運搬・堆積機構が解明され、それが堆積相解析へとつながっていった。これら2つのパラダイム転換の端緒を作ったのは、コロンビア大学ラumont地球観測所の海洋地質学者であるHeezen博士であった。海洋の音波探査などの地球物理的情報と海洋から得られた地層そのものの研究との融合がこのパラダイム転換をつくったといえる。1968年にグローマー・チェレンジャー号によって始まった海洋科学掘削は、プレートテクトニクスを証明し、海洋の連続的な掘削コア採取による年代層序の高精度化など20世紀末から21世紀初頭の地球科学の黄金期を作った。

## 震探層序学からシーケンス層序学へ

地震波を用いた震探断面は大露頭全体を覆う程度（空間的に約10 m）の解像度であるとされる（例えばMial, 1990）。一方、地層を肉眼で観察する際は、露頭の高さはせいぜい10 m程度であり、掘削によって得られるコアも10 m単位であることが多い。すなわち、震探断面上では露頭全体もしくは掘削されたコア全体の情報が一つの反射面として認識されていることになる。さらに、上下方向の空間的隔離は、地質学では時間となる。海底扇状地など堆積速度の速いところでも

1m/1000年程度なので、震探断面の時間的解像度は数万年程度となる。

シーケンス層序学は、震探断面の反射面を時間面として捉えた1970年代のサイスミック〈震探〉層序学から発展して、1980年代にPeter Vail やHenry Posamentier などによって成立した。1サイクルの相対的海水準変動がつくる海退-海進-海退によって形成された上下2つの不整合面（シーケンス境界）とその間の地層のパッケージを堆積シーケンスとして1つの単位とする。このように層序単位を相対的海水準変動の1サイクルに対応して設定する。一方、相対的海水準変動は、テクトニックな地盤の上下変動とユースタティックな海水準変動との和からなるので、テクトニクスと汎世界的海水準変動を地層から議論することが可能になる。この考え方をを用いて、三畳紀以降の汎世界的海水準変動曲線が1987年に発表されている（Haq et al., 1987）。しかし、この海水準変動曲線が示す海水準変動の1サイクルは50万年から数百万年で、私たちが知る氷河性海水準変動曲線（例えば、Lisiecki and Raymo, 2005）が示す数万年から10万年周期とは異なるものである。

## 海水準変動の階層性と堆積シーケンスの特徴

Vail (1991) は海水準変動には6の異なる周期からなるオーダーが存在するとした（表）。

表 ユースタシーのオーダーとその周期とその主な成因（保柳ほか, 2006）

オーダー	周期	原因	
低次 ↑ ↓ 高次	第1次	50 m.y. 以上	大陸の分裂・収束による海洋容積変化
	第2次	3 - 50 m.y.	プレート運動速度変化による海洋容積変化
	第3次	0.5 - 3 my.	気候変動による海水量の変化? 詳細不明
	第4次	50 ky. - 0.5 my.	ミランコヴィッチ・サイクルによる気候変動にともなう海水量の変動
	第5次	30 - 80 ky.	
	第6次	10 - 30 ky.	

このうち、Posamentier and Vail (1988)が示した堆積シーケンスと海水準変動は震探断面や地質図作成のための調査に基づく断面図から得られる第3次オーダーと呼ばれるものである。一方、詳細な地質調査や掘削コアを用いてシーケンス層序学解析をおこなうと第6~4次周期にあたる1~50万年周期の堆積シーケンスが見出され、氷河性海水準変動との関連を議論することが出来る。相対的海水準変動をつくっている堆積盆地のテクトニックな沈降は、基本的に一定で直線的である。したがって、数万年間に100 m以上の上昇・降下を繰り返す氷河性海水準変動に対して、堆積盆沈降速度が影響を持つことはない。例えば、シーケンス境界形成時期は、第3次オーダーでは沈降速度の影響により海水準低下期になるが、4次より高次ではその影響がなく海水準の最も低い時期になる。このように、シーケンス層序学で紹介されている第3次オーダーの理論が氷河性海水準変動が成因の堆積シーケンスに適応出来ないことがある。

### 震探断面とコア解析の対比

氷河性海水準変動がつくる数万年周期の堆積シーケンスは、より長い周期の堆積シーケンスに内包される。露頭、コアの解析で見出された数万年周期の高次堆積シーケンスを広域的に追跡するためには、これを地質断面図や震探断面に位置づけ、第3次オーダー堆積シーケンスと対比しなければならない。掘削コアを用いた場合、震探断面は縦軸が往復走時で示されており、コア深度との対比には地層の地震波速度 ( $V_p$ ) による変換が必要となる。コア中にある様々な不連続面から、シーケンス境界（不整合面）や海進面を見出し、さらに震探断面の反射波列端の解析からこれらの面を識別して時間と深度の変換をおこない両者を対比することになる。しかし、両者は震探断面の解像度と深度変換の際の前提などが影響してかなり困難である。それでも、シーケンス層序学的な解析に進むかどうかにかかわらず、岩相や年代を決定するためにはコアなど地層の採取が必要で、さらにその結果の面的な広がりを知るた

めには、広域的な像を提供する震探断面との対比は必須である。その精度を上げるためにも、シーケンス層序学的に解釈されたコア中の不連続面と震探断面中の反射面を間違いなく対比することが重要である。異なった面との対比を避けるためにも、コアと震探断面のシーケンス層序学による解析は有用である。

### まとめ

様々な解析をおこなう上で、スケールの異なる情報を総合化する必要がどの分野でも生じる。シーケンス層序学では、堆積シーケンスを形成する周期によってシーケンス境界の形成時期が異なるなど、スケールの違いによる差異が生じることも留意しなければならない。

また、シーケンス層序学は、相対的海水準変動という広域的な要因による記録が地層中に残されていることを示し、震探断面など広域的な地層イメージとコアなどとして実際に得られた地層との橋渡しを提供した。地下のより正確な理解は、資源探鉱における基礎である。その理解のためにもシーケンス層序学の概念は重要である。

### 文献

- Haq, et al., 1987, Science, 235, 1156-1167.  
 保柳ほか, 2006, フィールドジオロジー 4, シーケンス層序と水中火山岩, 共立出版, 180p.  
 Lisiecki and Raymo, 2005, Paleoceanography, 20.  
 Mial, 1990, Principles of Sedimentary Basin Analysis, Springer-Verlag, 668p.  
 Posamentier and Vail, 1988, SEPM, Spec. publ., 42, 155-181.  
 Vail et al., 1991, Cycles and Events in Stratigraphy, Springer-Verlag, 617-659.

## ジョイント要素を用いた誘発地震予測モデルの開発

（早稲田大学\*・株式会社 INPEX\*\*）かたやま こうき ふるい けんじ つさか きみかず  
 ○片山 滉基\*・古井 健二\*・津坂 仁和\*\*

## 1. 緒言

CCS に対する懸念材料の一つとして、CO<sub>2</sub> 地下圧入による誘発地震の発生が挙げられる。本研究では、地盤の初期地圧や断層の力学的特性を考慮した三次元有限要素法 (FEM) 誘発地震予測モデルを開発した。2013 年に米国 Decatur CCS プロジェクトで観測された微小振動データを解析し、モデルの妥当性を検証した。

## 2. 研究手法

## 2.1 三次元 FEM 誘発地震予測モデル

本研究では汎用の FEM モデルに 2 物体の接触/剥離/破壊を模擬することができるジョイント要素<sup>1)</sup>を導入し、誘発地震予測モデルを開発した。FEM モデルでは、初期地圧から岩盤の初期ひずみを算出し、圧入層の孔隙圧変化による周辺岩盤の応力変化を計算している。ジョイント要素 (断層) の破壊条件はクーロンの破壊基準を使用し、ジョイントの剛性から破壊後の滑り量を計算した。また、円盤型き裂開口・滑り変位の解析解と比較することでモデルの妥当性を検証した。

## 2.2 Case Study (Decatur CCS プロジェクト)

Case Study では、Kaven らの先行研究<sup>2)</sup>を基に、FEM モデル構築に必要な貯留層性状や断層の位置や傾斜角・走向などのパラメータ、CO<sub>2</sub> 圧入量を設定した。まず、岩盤の初期応力状態における断層の安定性から断層のせん断強度を決定した。次に、CO<sub>2</sub> 圧入量から推定される貯留層の孔隙圧変化量を計算し、孔隙圧変化による荷重を岩盤に負荷し、断層の破壊判定と滑り変位計算を行った。推定されるマグニチュードの大きさは FEM モデルで算出された断層の滑り量を基に計算した。また、貯留層圧力変化が断層へ伝播する場合と、圧力変化は完全に遮断される場合の 2 つのケースを比較し、誘発地震のリスク評価を行った。

## 3. 結果および考察

初期応力条件での断層の安定性から断層のせん断強度を 33.75 psi と設定した。図 1 は断層面の相対変位を示すが、貯留層の孔隙圧を 400 psi 上昇させたケース (図 1a) では断層面で比較的大きな滑り変位を生じることが分かった。FEM モデルで計算された断層の相対変位から予想されるマグニチュードは Mw=-0.52 と推定された。解析対象深度の断層で報告されている微小振動の大きさは Mw=-1.13~1.26 の間<sup>2)</sup>であったので、本研究で開発された誘発地震予測モデルの計算結果の妥当性を確認できた。次に、貯留層の孔隙圧変化が断層へ伝播したケース (図 1b) を解析した結果、予想される地震の大きさは Mw=-0.06 と増加した。この結果より、断層へ CO<sub>2</sub> が流入した場合より大きな誘発地震が発生することが示唆された。

a) 断層の孔隙圧変化なし b) 断層の孔隙圧変化あり

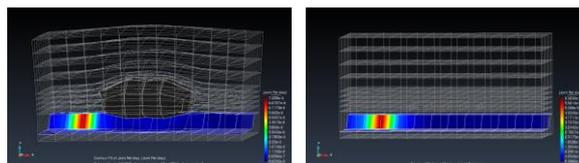


図 1 断層の相対変位

- 1) G. Beer. 1985. An Isoparametric Joint/Interface Element for Finite Element Analysis. International Journal for Numerical Methods in Engineering.
- 2) J. O. Kaven, S. H. Hickman, A. F. McGarr, and W. L. Ellsworth. 2015. Surface Monitoring of Microseismicity at the Decatur, Illinois, CO<sub>2</sub> Sequestration Demonstration Site. Seismological Research Letters.

## 膨潤性ポリマー粒子を含む多成分粒子孔隙体の浸透率評価

(早稲田大学) ○井戸 瑞歩<sup>いどう みずほ</sup>・古井 健二<sup>ふるい けんじ</sup>

## 1. 緒言

シェール開発では、岩盤へ複数のフラクチャーを効率的に発生させるため、フラクチャーを一時的に閉塞させる Diverting Agent (DA) とよばれる粒状物質が圧入流体に添加される。近年、水溶性樹脂の一種であるブテンジオールビニルアルコールコポリマー(BVOH)が、北米 Permian 盆地などのフィールドで適用され、良好な結果が報告されている (Ikebata, 2022)。本研究では、円柱形に成形した BVOH ペレットと球形ガラスビーズを混合し、DA のフラクチャー閉塞現象における BVOH 粒子の膨潤性や吸着性の影響について評価を行った。

## 2. 研究手法

まず、BVOH ペレットとガラスビーズの混合試料を容器に詰め、質量を測定し、容器の容積、試料の比重から混合体の孔隙率を測定した。鈴木ら (1984) の多成分系粒子の空間率推定モデルを用いて、ペレット・ガラスビーズ混合体の孔隙率を算出した。実験で測定された孔隙率とモデルによる計算値を比較し、ペレットを含有した孔隙体にも鈴木らのモデルが適用可能であることを確認した。

次に、アクリル製変水位試験装置を用いて透水試験を行った。試験装置にペレット・ガラスビーズ混合試料を設置し、溶液が透過する様子をビデオカメラで撮影し、透過時間から浸透率を測定した。透水試験では、グアーガムの添加量を調整し粘度の異なる 2 種類の溶液を用意し、BVOH ペレットを含む水準では試料を溶液に浸し膨潤させた状態で透水試験を行った。

修正コゼニー・カルマンの式を用いて比表面積と孔隙率から混合体の浸透率を算出し、透水試験より測定された浸透率の値と比較し、ペレット粒

子の膨潤・吸着の影響を評価した。

## 3. 結果および考察

透水実験で測定された浸透率は、孔隙率と正の相関関係があり、比表面積とは負の相関関係が見られることが分かり、修正コゼニー・カルマンの式から予測される結果と一致した。粘度が低い溶液では、実験値とモデルによる推定値との差が大きくなる傾向があり、データのばらつきの大きさは孔隙率と相関が見られたため、実験中の透過速度が大きくなると実験誤差の原因として表れていることが考えられる。一方で、グアーガムを添加した高粘性溶液では、透過速度は小さくなり、実験値とモデルの推定値の差は小さくなることが分かった。

DA 試料が BVOH ペレットを含有している場合、ペレットの膨潤度が大きくなると、孔隙率と浸透率はともに小さくなる結果となった。これは、ペレットに使用されている BVOH 樹脂の膨潤により、流体の流路である孔隙が閉塞されたためであると考えられる。

また、グアーガム添加の有無の水準を比較すると、グアーガムを添加した時の方が浸透率の変化率は大きい結果となり、グアーガムの存在がペレット膨潤による孔隙の閉塞に影響を与えることが明らかとなった。

---

1. Ikebata, K., et al. 2022. Design and Analysis of Improved Swelling and Degradable Diverting Agent for Multistage Hydraulic Fracturing. SPE Prod & Oper 37: 414–430. doi:

<https://doi.org/10.2118/209784-PA>

2. 鈴木道隆・八木章・渡辺球夫・大島敏男、1984、3 成分球形粒子ランダム充填層の空間率の推定

## 貯留層モデリング：

### 追加開発意思決定のための複合的不確実性評価

(石油資源開発)○高居 勇佑<sup>たかい ゆうすけ</sup>, 古志 真一<sup>こし しんいち</sup>, 渋谷 岳史<sup>しぶや たけふみ</sup>, 湯浅 亮<sup>ゆあさき りょう</sup>, 脇園 遼<sup>わきのの りょう</sup>

#### 1. 緒言

油ガス田開発において、プロジェクト価値最大化のために、油ガス貯留層挙動の理解に基づいて作成された貯留層モデルを用いて将来予測を行い、開発計画策定を行う。貯留層モデル作成のために取得できるデータは限られるため、各パラメータの不確実性を取り入れた複数の具現像を作成し、将来予測の振れ幅を示すことが意思決定において重要となる。

当社ガス田において、近年掘削した坑井の生産挙動から貯留層の不均質性・不確実性が従来の想定よりも高いことが示唆された。そこで、これまで着目していた岩相分布の不均質性に加え、貯留層のあらゆる不確実性を取り込むことを目指し、貯留層モデル作成のワークフロー更新を実施した。

#### 2. 適用手法

貯留層の複雑さや不確実性を考慮に入れるため、新たに複合的不確実性評価を導入した。この手法では貯留層モデルを構成する種々のパラメータの不確実性を一括して取り込み、複数の具現像を作成する。ワークフローを作成するために必要なポイントは以下である。

- ①貯留層イメージに基づくベースモデル作成
- ②各パラメータの不確実性を把握
- ③振れ幅に基づき網羅的・効率的にモデルを

作成する

#### ④実測値とマッチするモデルの抽出

これらのうち、③ではラテン超方格サンプリングにより各パラメータの振れ幅を網羅的にカバーしつつ、効率的に複数具現像を作成することができ、従来と比べ、モデル作成時間の短縮を実現した。④では目的関数を用いて誤差評価を行い、生産実績とモデル計算値のマッチングが良好な具現像を抽出した。

以上の手法により各パラメータの不確実性を網羅し、生産実績を再現できる貯留層モデルを複数個抽出できた。

#### 3. 結果

従来法では岩相分布のみに着目していたのに対し、今回貯留層の複数の解釈・可能性を取り込んだことで、表現できる不確実性の幅が増え、追加開発の意思決定を合理的にすることができるようになった。従来1具現像を得るのに数ヶ月要していたが、新規ワークフローにより数10具現像を数ヶ月で作成できるようになり評価を効率的に進めることに貢献した。

謝辞

本稿の公表を許可した石油資源開発(株)に謝意を表す。

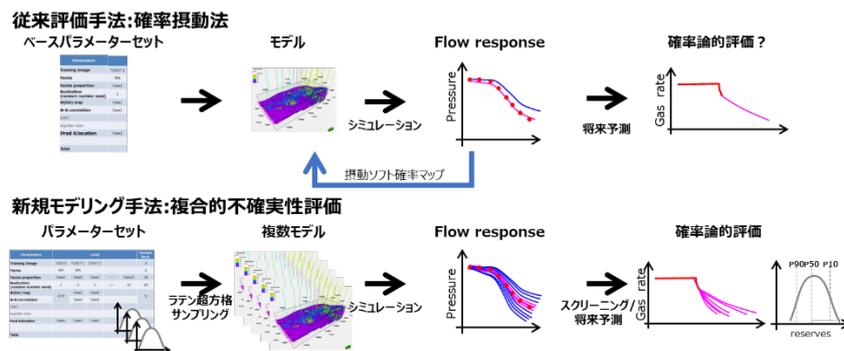


図.今回新たに作成したワークフロー概略図

Natural resource exploitation

## [1B11-1B15] Natural resource exploitation (2)

Chair: Hiroyuki Nakagawa (Japan Petroleum Exploration Co., Ltd.)

Thu. Oct 27, 2022 2:45 PM - 4:00 PM Room-B (12C Conf. room)

---

### [1B11] Evaluation of roughness due to calcite dissolution in crude oil/brine/rock system: Implications for low salinity water flooding

○ Yueqi Wang<sup>1</sup>, Xingjuan Hao<sup>1</sup>, Yogarajah Elakneswaran<sup>1</sup>, Takeshi Hasegawa<sup>1</sup> (1. Hokkaido University)

2:45 PM - 3:00 PM

### [1B12] Agile uncertainty evaluation for field development with multiple high quality history matched models using cloud computing

○ DAIKI WATANABE<sup>1</sup>, YUTA TOSUJI<sup>1</sup>, HIROTATSU YAMABE<sup>2</sup> (1. JX Nippon Oil & Gas Exploration Corporation, 2. Schlumberger)

3:00 PM - 3:15 PM

### [1B13] Study on improvement of shale permeability by chemical

○ Ryu Okamoto<sup>1</sup>, Yuichi Sugai<sup>1</sup>, Ronald Nguete<sup>1</sup>, Takehiro Esaki<sup>1</sup> (1. Kyushu University)

3:15 PM - 3:30 PM

### [1B14] Study on enhanced oil recovery using nano-emulsion

○ Masakazu Hayama<sup>1</sup>, Ronald Nguete<sup>1</sup>, Yuichi Sugai<sup>1</sup>, Takehiro Esaki<sup>1</sup> (1. Kyushu University)

3:30 PM - 3:45 PM

### [1B15] Next generation MEOR (in situ Oil to Gas) Technology

○ Haruo Maeda<sup>1</sup>, Konomi Suda<sup>1</sup>, Masayuki Ikarashi<sup>2</sup>, Hiroki Iwama<sup>2</sup>, Hideyuki Tamaki<sup>1</sup>, Susumu Sakata<sup>1</sup>, Daisuke Mayumi<sup>1</sup> (1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. INPEX Corporation)

3:45 PM - 4:00 PM

## Evaluation of roughness due to calcite dissolution in crude oil/brine/rock system: Implications for low salinity water flooding

(Hokkaido University\*) ○Yueqi Wang\* · Xingjuan Hao\* · Takeshi Hasegawa\* · Yogarajah Elakneswaran\*

### 1. Introduction

Low salinity water flooding (LSWF) has been considered as a cost-effective and environmentally friendly technique for enhanced oil recovery (EOR) in carbonate reservoirs. Changes in surface roughness and oil-brine-rock interactions play an important role in the contact angle and thus wettability alteration in LSWF. In this study, atomic force microscopy (AFM) was used to measure the surface roughness of calcite in high and low salinity water. Moreover, the contact angle of the calcite in the brines was measured. Finally, influence surface roughness caused by calcite dissolution in LSWF on the contact angle was evaluated.

### 2. Materials and methods

A high salinity (HS) water was prepared with 1 mol/L NaCl and 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub>. A 100 times dilution of HS water was selected as a low salinity (LS) water. The calcite base was immersed in the brines and equilibrated for 24 h before the measurement of surface roughness by AFM. The same base, which was used in AFM measurement, was used to measure the contact angle in the brines in order to evaluate the roughness on contact angle. A crude oil with acid number of 1.84 mg KOH/g was used in the contact angle measurement which was recorded when there was negligible change in the measured data. PHREEQC was used to analysis the calcite dissolution in the brines.

### 3. Results and Discussion

The surface roughness variation due to calcite dissolution in HS and LS brines are shown in Fig. 1 and Fig. 2. The surface roughness increased significantly in LS (from 5.12 nm to 24.02 nm) as

clearly seen in AFM images as well. This indicates that the calcite dissolution is higher in LS as compared to HS brine. The experimental results were confirmed by PHREEQC calculations where a twofold dissolution was obtained in LS comparing to HS. The measured contact angle of calcite surface after dissolution in the brines is shown in Fig. 3. The higher surface roughness induced by the dissolution of calcite in LS shows a lower contact angle. For example, a contact angle of 96.5° was observed in LS whereas HS gives 122.7°. This confirms that surface roughness variation due to calcite dissolution impacts the contact angle changes and thus wettability alteration in LSWF. The influence of pH and calcium concentration on surface roughness and contact angle was also evaluated.

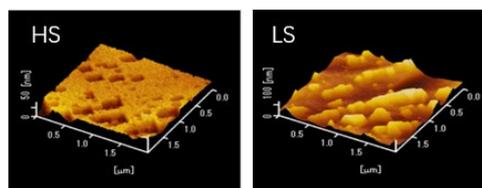


Fig.1. AFM image of calcite surface in HS and LS

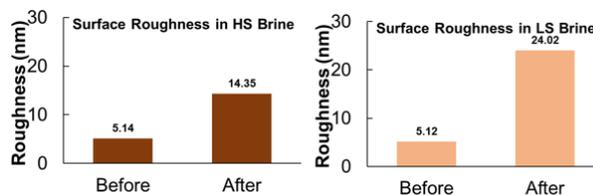


Fig.2. Change of calcite surface roughness in HS and LS

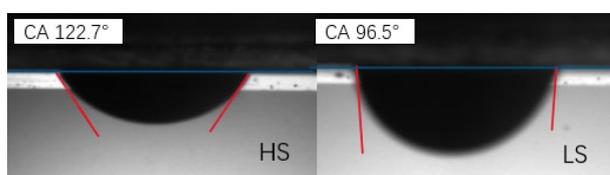


Fig.3. Contact angle in HS and LS

# Cloud computing を用いた 複数のヒストリーマッチングモデルの作成と不確実性評価

(JX 石油開発\*・Schlumberger\*\*) ○渡辺 大輝\*・塔筋 雄太\*・山邊 浩立\*\*

## 1. 緒言

巨額の投資金額が伴う追加開発プロジェクトにおいて、期待される追加生産量の不確実性を定量的に評価することは、適切な意思決定を行う上で特に重要である。過去の生産履歴を再現したモデル（以下、HM モデル）による貯留層シミュレーションで生産予測することが一般的であるが、ヒストリーマッチング作業は逆解析である性質上 HM モデルは多数存在し、生産予測結果は用いる HM モデルに左右される。しかしながら、コンピューター性能やスタディ期間の制限などを背景に、数個の代表 HM モデルで生産予測をすることも多く、不確実性の評価が十分でない可能性が懸念される。この問題を解決するため、Schlumberger 社のクラウドサービス DELFI の適用を試みた。本発表では、評価ワークフローを中心に、不確実性評価スタディの概要を報告する。

## 2. 手法

Schlumberger 社の提供する DELFI では、クラウド上に存在する HPC（High Performance Computing）や豊富なシミュレーターライセンスを利用できる。そのため、1 ケース辺りの計算時間の短縮化、複数ケースの並行計算が可能となり、HM 作業時間の大幅な短縮が期待される。また、DELFI 上では同社が提供する様々なソフトウェアが利用できる。この特徴を最大限に活用し、以下の 3 つにより更なる作業の短縮化を図った。

(ア) INTERSECT（高性能シミュレーター）による効率的な数値計算

(イ) Petrel を用いた Preprocessing（ケース作成、不確実要素の変数化）

(ウ) MEPO（最適化ソフトウェア）を用いた自動 HM・Postprocessing（相関表、可視化）

なお、MEPO による自動 HM では進化的戦略 (Evolution Strategy) を用いた。

変数は、相対浸透率曲線のエンドポイントと曲率、岩石圧縮率、OWC、帯水層の大きさ、断層の導通性などの合計 25 個を用いた。また、OOIP、ならびに、砂の連続性を変化させた 3 つの地質モデルを作成し、地質モデルの不確実性も一部考慮している。これら 3 つの地質モデルを基に HM を実施する 3 つのベース貯留層モデルを作成し、目的関数（各坑井での計算値と実績値の誤差）を最小化するように変数を調整した。自動 HM の結果、3 か月という短期間で、各地質モデルにて目的関数が十分小さい 30 個の HM モデルを得ることに成功し、最終的に合計 90 個の HM モデルを生産予測に用いた。

## 3. 結果

各変数の不確実性範囲について、事前分布、ならびに、HM の結果得られた事後分布を確認した。圧力挙動に大きな影響を与える変数（例えば、生産井近傍の断層の導通性）については、HM 前と比較し不確実性範囲が狭まっているのが確認できた。

また、90 個の HM モデルで、a) 追加開発なし、b) 追加開発実施、の 2 ケースの生産量を予測した。Fig. 1 に示すように、各ケースの生産予測結果の不確実性、ならびに、追加開発投資による増産量の不確実性が確率論的に評価された。本スタディで適用した評価手法は、クラウド技術を用いて不確実性評価が効率化された一例と捉えており、他フィールドでの評価作業にも適用可能だと考えている。

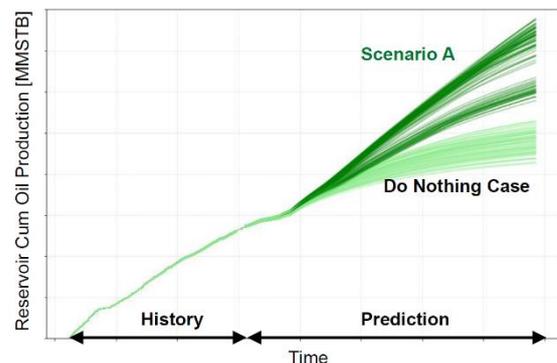


Fig. 1. Cum. Oil Production by 90 HM model

## ケミカルによるシェールの浸透性改善に関する検討

(九州大学\*) ○岡本 隆\*・菅井 裕一\*・ンゲレ ロナルド\*・江崎 丈裕\*

## 1. 緒言

近年注目を集めるシェールガスは、回収困難な超低浸透性の頁岩層中に賦存しているが、水平坑井掘削技術および水圧破砕技術の発達によりガスの回収が可能となった。しかしながら生産減退率が高く、回収率も約20%に留まると言われており、回収率の向上が課題である。一般に、シェールガスの生産においては、適時水圧破砕が繰り返されて頁岩層の浸透性が維持されるが、水の大量消費、化学物質による地下水の汚染、ならびに誘発地震などのリスクが指摘されている。本研究では、頁岩層の浸透性維持・向上のためのよりマイルドな方法としてケミカルの利用に着目し、化学処理による頁岩の浸透性の改善を検討した。

## 2. 実験

先行研究の結果から、頁岩の溶解に有効なケミカルとしてギ酸を選定した。本研究では、宮城県石巻産の頁岩コアに対して、ギ酸による溶解前後のマトリクスとフラクチャーの浸透率の変化をそれぞれ測定した。

まず、ギ酸による頁岩マトリクスの浸透性の改善を想定して、ギ酸（1 mol/L）に浸漬した頁岩コア（ $\phi=25.1$  mm, L=60 mm）の浸漬前後の浸透率の比較実験を行なった。続いて、水圧破砕により頁岩層に形成されるフラクチャー部分の浸透性改善を想定した実験として、頁岩コア（ $\phi=44.5$  mm, L=70 mm）を流体が流れる方向に沿って切断し、切断面同士を合わせて作製した模擬フラクチャーコア内にギ酸（1 mol/L）を流通させ、その前後の浸透率の比較実験を行なった。

## 3. 結果及び考察

マトリクスの浸透率比較実験は、3本のコアを対象に行なった。図1に、その結果を示す。

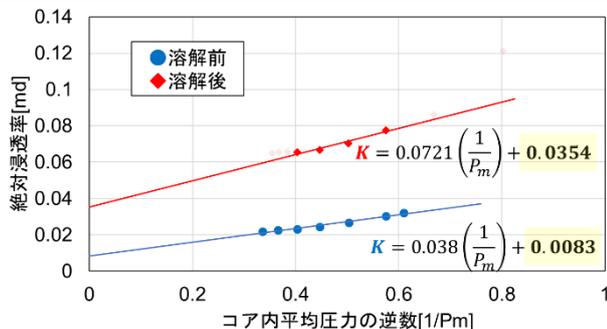


図1 ギ酸浸漬前後の頁岩コアの絶対浸透率

本実験においては、測定に使用した空気の入圧圧力に応じてみかけの絶対浸透率が変化するた

め、このみかけの絶対浸透率を直線近似した際の切片にあたる Klinkenberg 浸透率を用いて比較した。図1のように、ギ酸浸漬後のコアの Klinkenberg 浸透率は浸漬前の約4.4倍に増加した。さらに、その他2つのコアも3.3倍、1.9倍に改善され、ギ酸による溶解が頁岩マトリクスの浸透性向上に有効であることが示された。

続いて、模擬フラクチャーコアの浸透性改善実験の結果を図2に示す。本実験では、開口幅が異なる模擬フラクチャーコア内に水、ギ酸、水の順に流通させ、ギ酸流通前後の水圧入時の浸透率を比較した。

図のように、2つのコアとも絶対浸透率は約2倍に改善されており、ギ酸による溶解がフラクチャーの浸透性改善にも有効であると示された。(1)を見ると、ギ酸圧入開始直後に浸透率が急激に低下しているが、これは、ギ酸と頁岩の反応によって発生したガスがフラクチャー内にガス相を生成したことで、見かけの浸透率が下がったためと推察された。(2)では、ギ酸から再び水の圧入に切り替えた際に浸透率が低下しているが、これはギ酸濃度の低下に伴い生じた沈殿によるものと推察された。

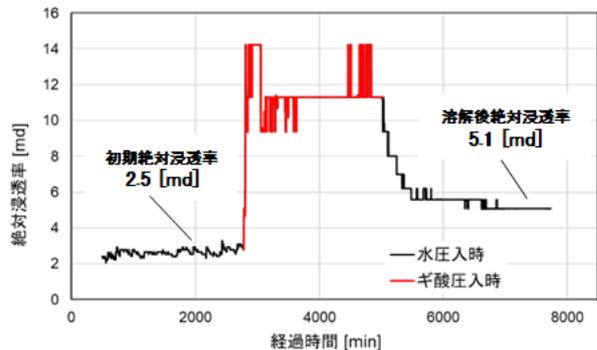
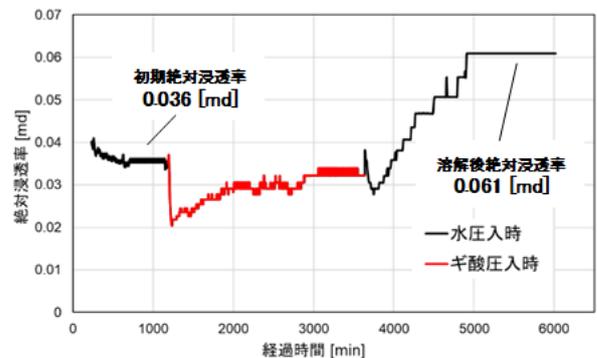


図2 ギ酸圧入による模擬フラクチャーの絶対浸透率の変化（上：(1)、下：(2)）

# ナノエマルションを用いた 石油増進回収技術に関する検討

(九州大) ○はやままさかず葉山理一, すがいゆういちNguele R, えさきたけひろ菅井裕一, 江崎丈裕

## 1. 背景・目的

エマルションを用いた石油増進回収（Enhanced Oil Recovery, EOR）では、水溶液中に油が微粒子状で分散しているエマルションを、優先流路が形成された油層に圧入することで採油増進を図る。エマルション中に無数に分散している油滴が油層内の優先流路を塞ぐことで浸透率の不均質性が改善され、掃攻効率が向上する。この手法では、エマルションを調製する際に界面活性剤などの化学薬剤を使用するため、経済性や油層内における安定性が課題である。これらの課題を解決するためには、界面活性剤ではなく固体微粒子のみを用いて調製したエマルションであるピッカリングエマルション（Pickering Emulsion, PE）が有効であると考えた。本研究では、イオン交換水、シリカナノ粒子、軽質鉱油を用いて PE を調製し、その EOR 適用性を実験的に検討した。

## 2. 実験方法

調製した PE の安定性を評価するために、PE を常温常圧下で 2 週間保管し、外観の観察および光学顕微鏡による観察を行った。また、光学顕微鏡を用いて撮影した画像データをもとに PE 中に分散している油滴の粒度分布を測定した。

次に、PE の油に対する界面特性を評価するために、3 種類の試料溶液（PE、PE を調製する際に用いたシリカナノ流体（Si-NF）、イオン交換水（DI））と重質鉱油との間の界面張力を測定した。

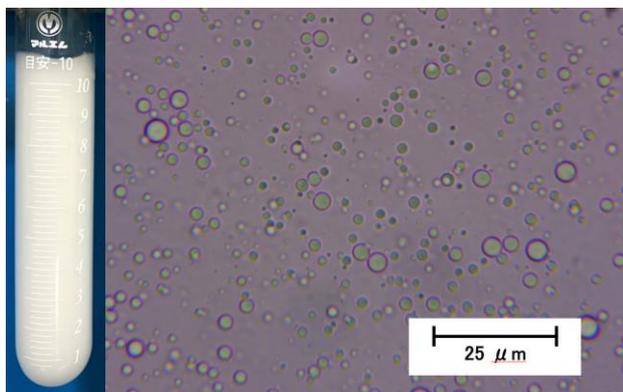


図 1. 本研究で調製した PE(写真左)と光学顕微鏡で撮影した PE(写真右)

## 3. 結果・考察

PE 中に分散している油滴の粒度分布の経時変化を図 2 に示す。平均粒径は調製直後では  $1.33 \mu\text{m}$ 、1 日経過後では  $0.96 \mu\text{m}$ 、7 日経過後では  $0.53 \mu\text{m}$  と小さくなっており、これは PE 中に分散していた粒径の大きな油滴が時間の経過とともに密度差により生じた浮力で浮上し消失したことを意味する。この浮上により、ピーク粒径が時間の経過とともに小さな粒径側にシフトした。油層内の孔隙はおおよそ数ミクロンであるため、PE による優先流路の閉塞効果は時間の経過とともに小さくなると考えられる。

試料溶液と重質鉱油との間の界面張力の測定結果を図 3 に示す。PE に関しては調製後時間をおいて複数回測定した。PE の界面張力は時間の経過とともに少しずつ小さくなるものの、Si-NF や DI よりも大きいことがわかった。また、この値は界面活性剤を用いて調整された従来のエマルションよりも大きい値である。しかし、エマルションによる EOR の主たる採油増進機構は浸透率の不均質性の改善であるため、界面張力が改善されなかったことによる原油回収率の低下は軽微であると考えられる。

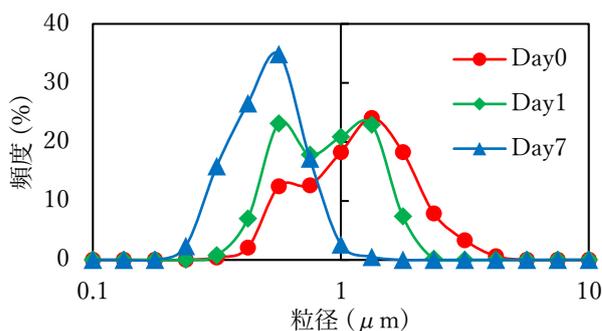


図 2. PE の粒度分布の経時変化

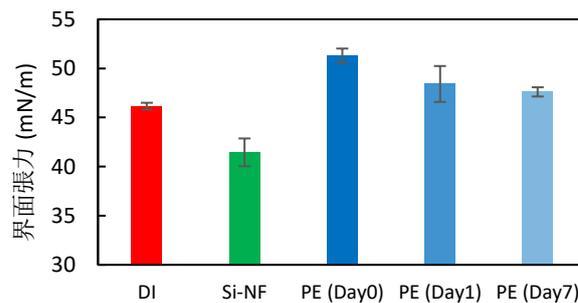


図 3. 試料溶液と重質鉱油との間の界面張力

## 次世代 MEOR（原位置原油分解メタン生成）技術の開発

（産総研\*・INPEX\*\*）○<sup>まえだはるお</sup>前田治男\*・<sup>すだこのみ</sup>須田好\*・<sup>いからしまきゆき</sup>五十嵐雅之\*\*・<sup>いわまひろき</sup>岩間弘樹\*\*・<sup>たまきひでゆき</sup>玉木秀幸\*

<sup>さかたすすむ</sup>坂田将\*・<sup>まゆみだいすけ</sup>眞弓大介\*

### 1. はじめに

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、石油・ガス業界には逆風が吹き荒れている。一方で、水素や再生可能エネルギー利用への完全移行に至るまでの今後数十年間は、化石燃料、その中でも石炭や石油と比べると低環境負荷の天然ガスの利用は上昇傾向（石炭、石油利用からガス利用へのシフト）となるであろうと考えられている。我々は、特に開生産が終焉を迎えた油田の回収困難な残存原油を、地下油層で得られた微生物（メタン菌単独）と安価な栄養源を圧入することにより地下原位置にて原油を効率よく分解しメタン（天然ガスの主成分）に変換、貯蔵、生産する手法を高圧培養実験により確立したので「次世代 MEOR 技術」として紹介する。

### 2. 実験及び評価手法

山形県新堀油田の油層から、嫌氣的に採取した流体試料（常在微生物を含む油層水）、さらには、秋田県八橋油田から、同じく嫌氣的に採取した流体試料（常在微生物を含む油層水と原油）を用い、地下油層と同温度・同圧力（55℃、5MPa）条件下で砂粒充填による孔隙模擬環境を設定したシリンダー容器により、種々の条件下での培養実験を行い、メタン生成量及び原油組成さらには微生物叢の変化を調査した。さらに当該培養実験系のうちメタン生成が活性化された系では、原油分解メタン生成に関わる微生物を特定するため数代にわたる継代培養を実施し、当該系に培養集積された微生物群のメタゲノム解析、メタトランスクリプトーム解析等を行い原油分解メタン生成における代謝経路、関与微生物の評価を実施した。

### 3. 成果

栄養源添加培養系では、反応当初は油層水自体に含有する酢酸からのメタン生成、さらには培養後約4か月経過した時点から原油分解とみられるメタン生成が観測された。当該メタン生成は、培養後の原油組成を比較した結果、既に参考文献(1)(2)等で報告したように、トルエン分に加え、新たに長鎖の直鎖アルカンも分解され、微生物分解に由来するメタン生成と確認された。すなわち、適切な栄養源を

添加する事で、原油分解によるメタン生成反応を促進することが示された。一方、同様の実験条件で砂粒充填系と非充填系とを比較してみると、砂粒充填系のみ原油分解メタン生成が確認され、当該メタン生成反応には孔隙環境が有利な条件であることも再確認された。さらに数代にわたる継代培養系に培養集積された微生物を対象として、メタゲノム解析やメタトランスクリプトーム解析に代表されるいわゆるメタオミクス解析により、メタン生成古細菌である *Ca. Methanoliparum* が原油を分解し直接メタンを生成しているとの新たな結果を得た。すなわち原油分解メタン生成には、我々が国内小規模油田である新堀油田の油層内において採取した古細菌が、原油を分解し、直接メタンの生成に寄与していることが明らかとなった。

### 4. まとめ

地下高温高圧下孔隙環境を模擬した培養実験により、新堀油田から得られたメタン生成古細菌が単独で原油を分解し、メタン生成を誘起することが実証された。従来、微生物による原油分解メタン生成は原油を分解する細菌類とメタン生成古細菌の共生反応によるものと考えられており、今般、原油を分解し直接メタンを生成することが可能なメタン生成菌の存在を明らかにしたことは画期的な成果と考えられる。これにより、当該 MEOR プロジェクトにおける微生物の利用取り扱いが飛躍的に容易となり、残存原油のメタン変換によるガス回収の商業化が将来的に視野に入るものと期待される。

### 参考文献

- (1)「Methanogenic crude oil degradation induced by an exogenous microbial community and nutrient injections」, K. Suda et al, J. Pet. Sci. Eng. 201, 108458. 1-8 (2021)
- (2)「原油を分解するメタン生成菌を発見」, 眞弓大介他, 日本微生物生態学会 第34回大会一般発表 (2021)
- (3)「微生物原油分解 EOR フィールドパイロットに向けて」, 岩間弘樹他 石油技術協会誌 第 83 巻 第 6 号 (2018)

Natural resource exploitation

## [2B01-2B04] Natural resource exploitation (3)

Chair: Masanori Kurihara (Waseda Univ.)

Fri. Oct 28, 2022 9:00 AM - 10:00 AM Room-B (12C Conf. room)

---

### [2B01] Trial of automated cuttings description based on image recognition

○Yuta Mizutani<sup>1</sup>, Takuya Harada<sup>1</sup>, Takashi Nanjo<sup>2</sup>, Takuya Ishimaru<sup>2</sup>, Yoshitami Fujisawa<sup>3</sup>, Shota Inoue<sup>3</sup>, Hiroataka Sakai<sup>3</sup>, Kenta Watanabe<sup>3</sup> (1. JX Nippon Oil & Gas Exploration Corporation, 2. Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, 3. ITOCHU Techno-Solutions Corporation)

9:00 AM - 9:15 AM

### [2B02] Numerical methods using Deep Neural Network in airborne electromagnetic exploration

○Takumi Ueda<sup>1</sup>, Tamaki Nishino<sup>1</sup>, Kengo Nakanishi<sup>1</sup> (1. Waseda University)

9:15 AM - 9:30 AM

### [2B03] Development of wellbore stability analysis model considering discontinuity in shale formations

○Sata Tetsu<sup>1</sup>, Furui Kenji<sup>2</sup> (1. Waseda University, 2. Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University)

9:30 AM - 9:45 AM

### [2B04] Transition of Environmental and Social Management Measures, and Initiatives as a Business Operator

Taiki Inoshita<sup>1</sup>, ○Ryohei Anzai<sup>1</sup>, Yasuaki Kigushi<sup>1</sup> (1. INPEX Corporation)

9:45 AM - 10:00 AM

## AI 画像認識技術によるカッティングス記載自動化の試み

(JX 石油開発\*・JOGMEC\*\*・CTC\*\*\*) ○水谷<sup>みずたに</sup> 雄太<sup>ゆうた</sup>・原田<sup>はらだ</sup> 拓哉<sup>たくや</sup>・南條<sup>なんじょう</sup> 貴志<sup>たかし</sup>・  
石丸<sup>いしまる</sup> 卓也<sup>たくや</sup>・藤澤<sup>ふじさわ</sup> 好民<sup>よしみ</sup>・井上<sup>いのうえ</sup> 翔太<sup>しょうた</sup>・酒井<sup>さかい</sup> 博隆<sup>ひろたか</sup>・渡辺<sup>わたなべ</sup> 健太<sup>けんた</sup>

### 1. 緒言

坑井現場では、掘削時の岩片（カッティングス）を顕微鏡で観察し、その特徴をレポートでまとめる「カッティングス記載」作業がある。凡例と見比べて記載内容を決めるが、技術者の目と感覚に依るところが大きく、レポート内容は属人的なものとなっている。また、技術者は非常に多忙であり、空き時間を見つけて本作業を進めているのが現状である。本発表では、上記二点の課題意識から、属人性の低減および作業効率化を目指し、画像認識技術によってカッティングス記載業務の自動化を試みた。

### 2. 手法

本検討では画像認識技術を適用するため、視覚から判断できるカッティングス記載項目の自動化を試みた。具体的には、カッティングスの顕微鏡画像を入力として、岩相（岩石種の割合）、色調（各岩石種の色）、粒度（砂岩粒子の大きさ）、淘汰度（粒度のそろい具合）、球形度（砂岩粒子の形状がどれだけ球形か）および円磨度（砂岩粒子の角がどれだけ丸まっているか）の6項目の自動評価を試みた。

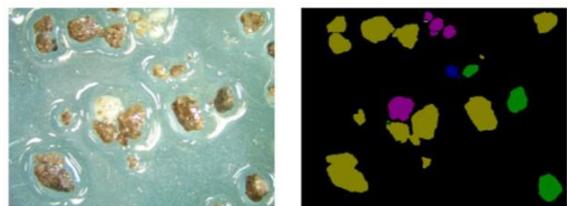
評価手順としては、まず、顕微鏡画像中の岩片、粒子の形状を高分解能に抽出し、どの岩石種に対応するかクラス分類する（図1）。今回は、セマンティックセグメンテーションと呼ばれる深層学習による画像認識技術を採用し、岩片の抽出およびクラス分類を行った。このクラス分類結果に対して、画像解析、統計処理等を適用すれば、上記6項目が評価できる。例えば、岩石種ごとに画像中に占める面積を算出し、その割合を計算すれば、その結果が岩相評価結果となる。

### 3. 成果と課題

前項のアルゴリズムをもとに、岩相評価など6項目を自動評価できるソフトウェアを開発した。ただし、本ソフトウェアを用いた岩相評価結果と実際のカッティングスレポートを比較すると、評価結果に乖離があった。その原因の一つとして、画像中の岩片を岩石種に応じてクラス分類する深層学習モデルに用いた教師データが挙げられる。本検討では、5名の技術者が教師データを作成したが、技術者間で評価が分かれる粒子もあり、データセットとして整合していない可能性が示唆された。

評価結果の精度に関する課題はあるが、本ツールの運用法としては、業務支援ツールとして活用することが一つ考えられる。具体的には、本ツールで簡易的に評価し、技術者がQCした上でレポートを作成するという作業フローである。当初課題であった業務効率化、属人性の低減につき、改善が期待できるだろう。

図1：（左）入力する顕微鏡画像、  
（右）各粒子を岩石種に応じて分類した結果  
黒：背景、紫：石英粒子、黄：砂岩、  
緑：シルト岩



### 謝辞

本事業は JOGMEC「石油天然ガス開発事業におけるデジタル技術適用に関する研究支援事業」の補助を受け、実施いたしました。記して感謝申し上げます。

## 電磁探査における深層ニューラルネットワークを用いた逆解析の適用可能性

(早稲田大学 創造理工学部\*) ○上田匠\*, 西野玉城\*, 中西賢吾\*

## 1. 研究概要

空中電磁探査法 (Airborne EM: AEM) は、空中からヘリコプターなどを用いて、地下情報を含む電磁場を測定する電磁探査法である。通常、観測データに対して正規化非線形最小二乗法などの逆解析によって地下比抵抗構造を推定するが、データ数が多いため解析には時間を要し、また、悪条件問題のため初期モデル依存などの課題がある。本研究では深層学習の一種を用いた電磁探査の逆解析手法<sup>1)</sup>を開発し、国内の地熱地帯における AEM 探査の解析に適用して評価を行った。

## 2. 観測データと深層学習による解析

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) による AEM データ<sup>1)</sup>に対して、深層学習解析コード<sup>2)</sup>を開発して逆解析を実施した。電磁探査の観測データと飛行高度を未知数 (既知変数) とし、地下比抵抗値を目的変数 (未知変数) としたネットワークモデルを構築した。本研究ではネットワークモデルとして DNN と CNN を結合させたモデルを実装している。また、教師データとしては、乱数を用いて様々な比抵抗値の地下構造を 40000 データセット用意し AEM に対応した人口データを生成し学習に利用した。テストデータに対する損失関数が十分減少することを確認した上で、北海道登別地域で JOGMEC が取得した AEM データに対して逆解析を適用した。

## 3. 結果と考察

図 1 に、JOGMEC が取得した AEM データ (北海道・登別地域) に対する、本研究で開発した DNN+CNN 及び既存手法<sup>1)</sup>の逆解析結果を示す。解析結果断面の下端 (黒点線) は電磁応答の浸透深度の目安とされる探査深度 (Depth of Investigation, DoI) である。

地表から 200m 程度までは 500 Ωm 以上の高比抵抗領域が広がり、その下部には 200 Ωm 程度の低比抵抗部が存在しているという構造が、DNN+CNN 及び既存手法のいずれでも同様の傾向として確認できる。DNN+CNN による解析は、学習時間を含めても既存の非線形最小二乗法よりも数 10~100 倍以上高速であり、初期モデルにも依存しない。よって、多量の観測データを扱う AEM の逆解析手法として有効であると考えられる。

## 謝辞

AEM データの利用と解析結果の発表を了承いただいた JOGMEC に御礼申し上げます。

- 1) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (2017): 平成 28 年度「地熱資源ポテンシャル調査のための広域空中物理探査」業務報告書
- 2) 西野玉城・上田匠 (2021): 深層ニューラルネットワークを用いた周波数領域空中電磁探査データ逆解析の改良と実装, 公益社団法人物理探査学会学術講演会講演論文集, 145, 17-20.

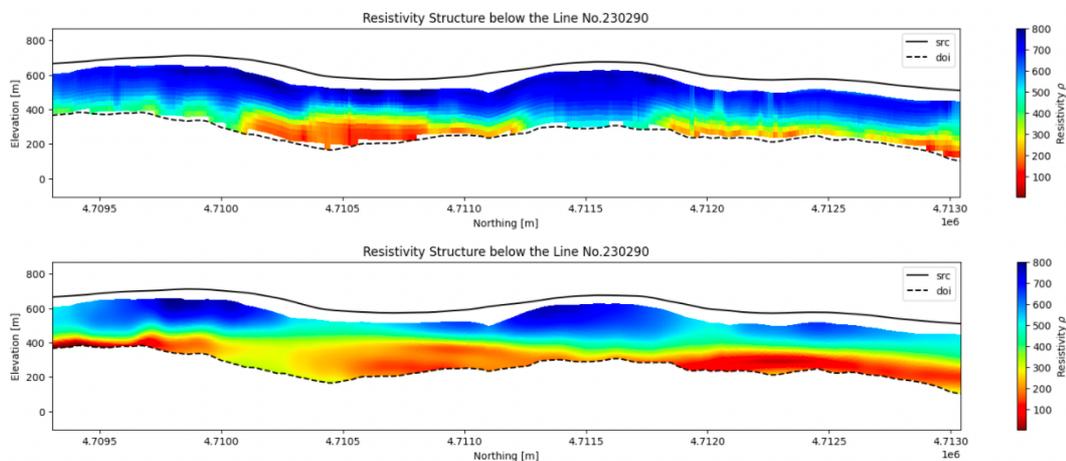


図 1 JOGMEC による AEM データに対する逆解析結果 (上) 開発した DNN+CNN (下) 既存の非線形最小二乗法

## 頁岩層の不連続面分布を考慮した坑井安定性解析モデルの開発

(早稲田大学\*) ○佐田 哲\*・古井 健二\*

## 1. 緒言

頁岩層の掘削では、坑壁崩壊や逸泥などの掘削障害が数多く報告されており、頁岩に含有される節理や層理、き裂といった弱面の分布や力学的特性が坑壁安定性に大きな影響を与えることが指摘されている（山本,2000）。本研究では、層理面を有する岩盤についてクラックテンソル理論を用いて等価連続体へ置換し、有限要素法モデルによる坑井安定性解析を行い、様々な応力状態、クラックの走向・傾斜において、安全に掘削するための泥水比重条件について検討を行った。

## 2. 研究手法

## 2.1 クラックテンソル法を用いた三次元有限要素法モデル

Odaら（1984）は、力学的弱面が均質に分布する岩盤について、巨視的な応力とひずみの関係から、弱面を有する岩盤を等価な異方性弾性体として定式化するクラックテンソル法を提案した。

本研究では、クラックテンソルを導入した応力ひずみ関係式を汎用の有限要素法プログラムへ導入し、坑井周辺の応力や変位の計算と岩盤の破壊判定を行うモデルを開発した。き裂を含む岩石の一軸圧縮試験の解析解と比較することで、数値モデルの妥当性を確認した。

## 2.2 最適泥水圧の検討

貯留層内に、任意の方向の層理面が一様に分布し、解析領域の中心に坑井が位置すると仮定しモデルを設定した。岩石の基質部と層理面には、内部摩擦角やせん断強度などの破壊判定で使用される力学的パラメータを個別に設定し、坑壁の表面には泥水圧による荷重を負荷し、岩石の破壊を生じる最小泥水圧の大きさを算出した。また、弱面の傾斜を0～90度、走向を0～360度の間で変化させ、最小泥水圧がどのように変化するかについて考察した。

## 3. 結論および考察

層理面の傾斜を0～90度に変化させ、走向を0度に固定した場合の最小泥水圧を図1に示す。傾斜角が0～30度までは岩石の基質部で破壊を生じたため、最小泥水圧は一定の値となっている。層理面の傾斜角が40～90度のケースでは、傾斜が大きくなるにつれて層理面で破壊が起こりやすくなり、最小泥水圧の値が大きくなることが分かった。一軸圧縮試験の解析解では、軸荷重方向に対してき裂の傾斜角が60度付近のとき、破壊に必要な軸荷重の値が最小となることが知られている。しかし、坑壁の安定性解析においては、坑壁周辺の応力集中の影響で岩石破壊が発生する場所が層理面の走行や傾斜で複雑に変化するため、傾斜角が大きくなるにつれて、坑壁の安定性が低下する結果となった。これらの結果より、層理面の傾斜・走向は坑井周辺の岩石の安定性に大きな影響を与えることと、地圧の大きさや層理面の幾何学的特性の組み合わせで最適な泥水圧が変化することが示唆された。

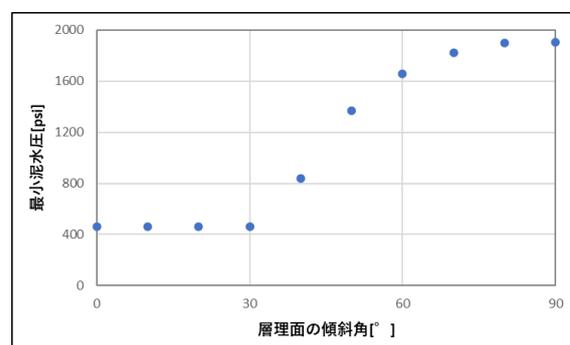


図1 層理面の傾斜角と最小泥水圧の関係

- 1) 山本晃司、2000、石油開発における孔壁不安定に対する取り組み、石油技術協会誌。
- 2) Masanobu Oda, 1984, Similarity rule of crack geometry in statistically homogeneous rock masses, Mechanics of Materials 3.

## 環境社会管理の変遷及び 資源開発事業者としての取組み

(株式会社 INPEX)○安齋 竜平・井下 太貴・木籾 安哲

### 1. はじめに

環境問題は、産業革命以降の経済や社会の急速な発展に伴う局所的な環境汚染から、酸性雨、熱帯雨林減少、気候変動、海洋汚染といった地球規模の環境問題へと変遷している。これに伴い、環境政策も、特定の排出源に対して排出基準を定めて遵守を義務付ける直接規制的手法から、事業者の自主的取組みを推進する施策手法に変遷している。特に、地球規模の環境問題への対応においては、事業者による自主的取組みが重要な要素と認識されており、昨今のSDGs、ESG投資、TCFDやTNFD等の非財務情報開示の潮流を生み出していると言える。

係る状況下、石油・天然ガス開発事業者としての環境社会管理の取組みについて紹介する。

### 2. コーポレートにおける環境社会管理

当社では、環境安全方針を上位文書とするHSEマネジメントシステム（以下、HSE MS）を構築している。コーポレートにおける環境社会管理については、このHSE MSの下、方針に基づいたコーポレート環境目標を設定し、この目標達成のためのコーポレート環境管理計画を策定し、実行することで全社的な環境社会管理を推進している。

当社は、日本、オーストラリア、インドネシア、UAE、米国でオペレータ事業を展開しており、事業のフェーズ、立地環境、適用される環境法規制も異なる。したがって、各事業拠点で特定された環境リスクと共に、当社における全社的な環境に関する重要課題（マテリアリティ）を勘案の上、各事業拠点の環境担当と密に協議・連携し、全社的な目標や計画を策定し、実行している。

### 3. プロジェクトにおける環境社会管理

当社の各プロジェクトでは、コーポレートのHSE MSの要求事項に従う形でプロジェクトのHSE MSを構築し、これを運用している。HSE MSの構成要

素のうち、リスク管理はプロジェクトのHSEを推進する上で重要な要素であり、環境社会管理においても同様である。

プロジェクトにおける環境社会のリスク管理手法としては、ENVID（Environmental Impact / Risk Identification）や環境社会影響評価（以下、ESIA）がある。特に、新規開発プロジェクトでは、ESIAの実施を求められるが、当社では、事業実施国におけるESIA法制度の要求事項のみならず、当社が自主基準としているIFC Performance Standardsの要求事項も考慮したESIAを実施し、本影響評価結果に基づき、環境面や社会面の管理計画、並びにモニタリング計画を策定、実行している。

上述のとおり、当社は、日本国内のみならず、海外においてもオペレータ事業を展開しているが、海外においては、従来からの大気、水質、騒音、廃棄物等の環境面に関する管理だけでなく、生態系や生物多様性、さらに、場合によっては少数民族等についても十分な配慮が必要となる。

また、既存プロジェクトにおいても、操業に伴う環境リスクを定期的に特定、分析及び評価し、対応状況をレビューしており、これら一連の活動を管理計画に含めて管理している。

### 4. 地球環境課題への対応を見据えた管理へ

上述のとおり、当社では、事業活動に伴う環境面や社会面への負の影響の回避・低減に努めてきているが、今後は、ミティゲーションヒエラルキーに基づき、正の影響（ポジティブインパクト）の創出にも注力していく必要があると考えている。また、気候変動、生物多様性、水リスク等の地球環境課題に適切に対応するために、当社事業における「リスクと機会」を特定し、全社的な取組みを推進することで、資源開発事業者として、持続可能な開発に資することを目的としている。

Natural resource exploitation

## [2B05-2B09] Natural resource exploitation (4)

Chair: Tomoyuki Suzuki (JX Nippon Oil & Gas Exploration Corp.)

Fri. Oct 28, 2022 10:15 AM - 11:30 AM Room-B (12C Conf. room)

---

### [2B05] A quantitative approach to evaluate the effect of temperature and homogenizing conditions on crude oil emulsion stability

○ Xingjuan Hao<sup>1</sup>, Mai Shimokawara<sup>2</sup>, Yoshitake Kato<sup>2</sup>, Ryuta Kitamura<sup>2</sup>, Yogarajah Elakneswaran<sup>1</sup> (1. Hokkaido University, 2. JOGMEC)

10:15 AM - 10:30 AM

### [2B06] Influence of inorganic solids on the formation and stability of crude oil emulsions as a function of temperature history

○ TOKIMA HATTORI<sup>1</sup>, Xingjuan Hao<sup>1</sup>, Yoshitake Kato<sup>2</sup>, Mai Shimokawara<sup>2</sup>, Ryuta Kitamura<sup>2</sup>, Yogarajah Elakneswaran<sup>1</sup> (1. Hokkaido University, 2. JOGMEC)

10:30 AM - 10:45 AM

### [2B07] MIC cases and immersion tests of metals in industrial water of LNG receiving plant

○ Toshiyuki Sunaba<sup>1</sup>, Hirotaka Mizukami<sup>1</sup>, Satoshi Wakai<sup>3</sup>, Yasuyuki Miyano<sup>2</sup> (1. INPEX Corporation, 2. Akita University, 3. JAMSTEC)

10:45 AM - 11:00 AM

### [2B08] Crisis management at INPEX

○ Atsuhiko MOROE<sup>1</sup>, Takahiro TERANISHI<sup>1</sup>, Masaki INOUE<sup>1</sup> (1. INPEX CORPORATION)

11:00 AM - 11:15 AM

### [2B09] Considering history of Japan's oil development industry

○ Masaru Ihara<sup>1</sup> (1. JOGMEC)

11:15 AM - 11:30 AM

## A quantitative approach to evaluate the effect of temperature and homogenizing conditions on crude oil emulsion stability

(Hokkaido University\* · JOGMEC\*\*) ○Xingjuan Hao\* · Mai Shimokawara\*\* ·

Yoshitake Kato\*\* · Ryuta Kitamura\*\* · Yogarajah Elakneswaran\*

### 1. Introduction

Water-in-oil (W/O) emulsion is highly undesirable in petroleum industry as it can cause pressure drop, pump malfunctions, enhanced corrosion of processing equipment, production capacity decrease, overused consumption of transportation energy, and cleanup difficulties. Many studies were carried out to analyze factors affecting crude oil emulsion stability. However, most studies were limited to ideal model oil. Few studies have evaluated emulsion stability quantitatively as well. There is still a lack of understanding on crude oil emulsion stability and influencing factors. In this study, the effect of temperature and homogenizing conditions on emulsion stability was quantitatively evaluated for different kinds of crude oils.

### 2. Experimental

Four types of crude oils (Oil A, Oil B, Oil C, and Oil D) with different properties and de-ionized (DI) water were used. Crude oil emulsion was prepared at oil volume ratio of 10%. The emulsion was formed by homogenizing crude oil with DI water under different conditions including temperature, homogenizing speed, and homogenization time. Thereafter, the samples were allowed to rest at the corresponding temperature for 24 h, and then the resolved water was separated by centrifugation at the speed of 10,000 rpm for 5 minutes. The volume of resolved water was measured for evaluating emulsion stability quantitatively. Moreover, the W/O emulsions obtained after centrifugation were observed by microscopy.

### 3. Results and Discussion

The stability of crude oil emulsion was significantly

affected by temperature and homogenizing conditions, which can cause the amount of resolved water in oil emulsion systems (Fig.1.). It means that the lower percentage of Resolved water indicates the higher crude oil emulsion stability. With increasing the temperature (20°C~50°C), the stability of emulsion formed by different oils changed in different trends, which was considered due to the changes of interfacial tension and crude oil viscosity. The interfacial tension changes mainly depend on crude oil properties, especially total acid number (TAN) and total base number (TBN). It should be noted that increasing homogenizing speed produced more external energy for emulsion formation and consequently its stability. Fig. 2 shows Oil A W/O emulsions formed at different homogenizing speeds. Higher external energy contributed to more emulsion particles formed and stabilized.

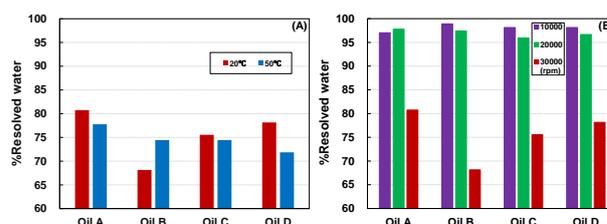


Fig.1. Variation of %Resolved water in different systems with condition changes. (A) temperature; (B) homogenizing speed

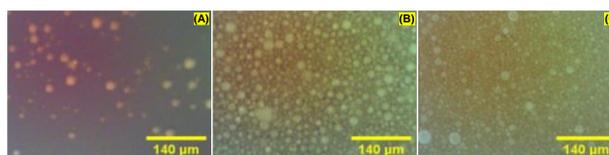


Fig.2. Micrographs of W/O emulsion obtained after centrifugation formed by Oil A at different homogenizing speeds. (A) 10,000 rpm; (B) 20,000rpm; (C) 30,000 rpm

保管温度の変化に伴う無機粒子の存在下における  
原油エマルジョンの生成と安定性

(北海道大学\*・JOGMEC\*\*) ○服部秋真\*・Xingjuan. Hao\*

加藤是威\*\*・下河原麻衣\*\*・北村龍太\*\*・Yogarajah. Elakneswaran\*

## 1. 緒言

日本では安定供給を目的とした国家による原油備蓄が行われている。そんな原油備蓄における課題の一つに原油-水系エマルジョンの生成がある。この現象はタンク内に洗浄水が混入することや移送時に原油が攪拌されること等を原因としており、備蓄原油の有効体積の低下、圧力変化等による設備損傷の一因となる。これらへの対策のためエマルジョン生成に関わる因子の理解が必要である。エマルジョンは pH、イオン強度、温度など様々な要因に左右されることが報告されており<sup>1)</sup>、岩石鉱物由来等の無機粒子の存在がエマルジョンの安定化に大きな役割を果たすことも知られている。本研究では無機粒子の存在に着目し、粒子が原油表面に吸着することによって、エマルジョンに与える影響を評価した。

## 2. 実験

### 2.1 試料

本研究では原油と溶液の体積割合を 1:9 として作成したエマルジョンを使用した。無機粒子として Kaolinite と Calcite の 2 種類を用いた。

### 2.2 実験方法

作成したエマルジョンを対象に遠心分離試験を行うことにより、エマルジョン層の高さ及び分離水の体積を評価した。エマルジョン生成後の温度条件の変更(20°C, 50°C)、無機粒子(Kaolinite, Calcite)の添加による計 4 種類のエマルジョン生成量の時間経過に伴う変化を調査した。さらにこれら実験結果をもとに、分散層の凝集速度定数  $k$  を導入し、エマルジョン層の時間変化のモデリングを行った。

### 2.3 モデル概要

提案されているエマルジョン層に含まれる分散相である溶液の流出に注目した下記の微分方程式<sup>2)</sup>を本実験の条件へ適応させ、モデリングを行った。

$$\frac{dM_w}{dt} = m_{w,out}$$

$$m_{w,out} = kAh\phi(t)\rho \cdots (*)$$

$M_w$  : 時間  $t$  でのエマルジョン層中の分散水質量

$m_{w,out}$  : エマルジョン層から排出される水の質量流量

$k$  : エマルジョン層中の溶液の凝集速度定数

$A$  : エマルジョン層の断面積

$h$  : エマルジョン層の高さ

$\phi$  : エマルジョン層中の含水率

$\rho$  : 溶液の密度

上式を解き、 $t=0$  における高さを 1 とした時間  $t$  におけるエマルジョン層の無次元高さを算出した。

## 3. 実験結果及び考察

各時点におけるエマルジョン層の高さについて実験値とモデルによる計算値を Figure1 に示す。エマルジョン生成後間もない時点ではモデルと実験値の乖離が大きくなっている。本モデルではエマルジョン層の崩壊のみに注目した方程式を用いたが、早期段階ではエマルジョンの崩壊と追加生成が並行して生じているためにこの乖離が生まれたと考えられ、モデルの改良が必要である。定数  $k$  を除く変数はすべて実験値であり、それらの値を基に、フィッティングによって凝集速度定数を決定している。この定数は Figure1 においてモデルの傾きを決定する大きな要因である。また式(\*)よりこの値が大きいかほどエマルジョンの脆弱性が高いことが示唆される。したがって凝集速度定数の増加を伴う、つまりグラフの傾きが大きくなる温度上昇及び、Kaolinite の添加はそれぞれ原油の粘性の低下、分散層の凝集促進により、エマルジョンの不安定化に寄与していると考察した。対して正の表面電荷を持つ Calcite の添加は原油-水界面への吸着により、エマルジョンを安定化させる要因になると結論付けた。

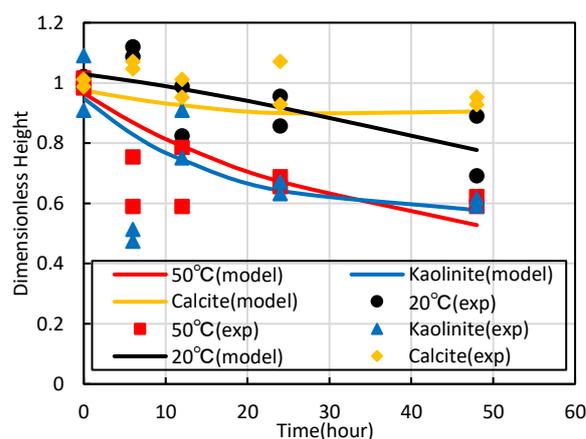


Figure1. 時間経過によるエマルジョン生成量の変化

- 1) A. Sadia et al. 石油技術協会誌, 86, 423-424 (2021)
- 2) Michaela K. McGurn, et al. The Canadian journal of chemical engineering (2017)

## LNG 基地における工業用水で発生した微生物誘起腐食事例と浸漬試験

(INPEX\*, 秋田大\*\*, JAMSTEC\*\*\*) ○<sup>すなばとしゆき</sup>砂場敏行\*, <sup>みずかみひろたか</sup>水上裕貴\*, <sup>みやのやすゆき</sup>宮野泰征\*\*, <sup>わかいさとし</sup>若井暁\*\*\*

## 1. 緒言

LNG 受入れ基地の工業用水設備系において、炭素鋼やステンレス鋼に腐食が発生した。腐食が発生した環境条件や腐食の形態から MIC(微生物誘起腐食)と推定された。本発表では、腐食事例と実機で行った浸漬試験を報告する。

## 2. 腐食事例

Fig. 1 に示す SUS403(16Cr-0Ni)製の弁体と鋳鉄(FCD-S)製の弁箱で構成された逆止弁では、SUS403 ではすき間腐食が、FCD-S に局部及び全面腐食が発生した。その他、炭素鋼製熱交換器では局部腐食が、ステンレス製熱交換器ではすき間腐食が生じた。



Fig.1 逆止弁腐食状況(左: SUS403, 右: FCD-S)

工業用水は河川水由来で、塩化物イオン 30 ppm, pH7.4, 導電率 20 mS/m と一般的な工業用水の基準を満たした淡水であり、ステンレス系材料では腐食が生じないマイルドな環境である。しかし、工業用水系の設備は 40 °C程度で微生物が繁殖しやすい温度域であった。そこで、工業用水系の腐食模擬と腐食機構の解析を目的とした現場での長期浸漬試験を行った。

## 3. 浸漬試験

試験材として FCD-S, 亜鉛メッキ鋼板, SS400, SUS(403, 304, 316)を用いた。試験片は板状(20×50 mm)とし 600 番まで湿式研磨した。試験片は工業用水の受水ピット水面より 1.5 m 以深に浸漬した。また、一部材料においては腐食電位測定も実施した。浸漬後 1, 3, 6, 14, 22 ヶ月経過後に試験片を回収, ASTM G1-03 に準拠し腐食生成物を除去し, 重量測定および表面観察を実施した。また、別途試験片表面に付着した微生物を回

収し DNA を指標とした群集構造解析を行った。

## 4. 浸漬試験結果及び考察

浸漬期間 22 ヶ月での腐食速度は、FCD-S および SS400 とともに全面腐食速度が 0.1 mm/y 強であり、特段高い値とはならなかった。また SUS403 では Fig. 2 および 3 に示す激しい局部腐食が認められており、実機での腐食が再現された。孔食内部の腐食形態は一様ではなく、異なる腐食形態が観察された。これら腐食形態の違いが微生物による腐食かは特定できなかったが、孔食内部における硫黄(S)の濃縮が EPMA 分析より確認されたことから SRB(硫酸塩還元菌)等の微生物が関与したと推察される。

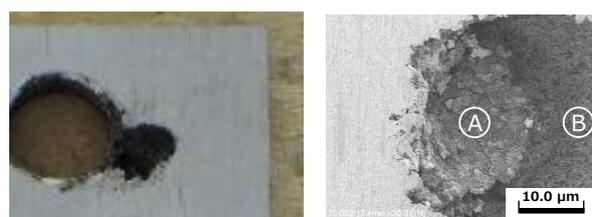


Fig. 2 浸漬 6 ヶ月後の SUS403 表面と SEM 像

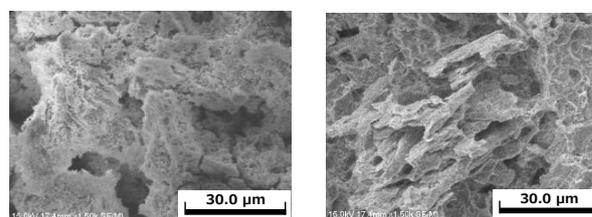


Fig. 3 局部腐食内部の SEM 像(左: ①, 右: ②)

FCD-S や SS400 の微生物群集構造解析から、鉄酸化能を持つ *Dechloromonas* 属細菌が環境水より多く検出された。また、局部腐食した SUS403 と目立った腐食が無かった SUS304 とでは異なる微生物群集構造が確認された。

## 5. まとめ

- 実機プラントの工業用水に炭素鋼およびステンレス鋼の長期浸漬試験を実施し、実際の MIC を再現された。
- SUS403 の孔食内部では SRB 等によると推定される硫黄の濃縮と SUS304 と異なる群集構造が確認された。

## INPEX における危機管理の取り組みについて

(株式会社 INPEX HSE ユニット) ○ 諸江功裕・寺西孝裕・井上正喜

### 1. はじめに

株式会社 INPEX は、エネルギーの開発・生産・供給を持続的な形で実現するため、豪州やアブダビ、新潟など世界 20 数か国で探鉱・開発・生産プロジェクト等各種事業を展開している。近年の気候変動問題や低炭素社会への移行という経済社会の大きな変化の波が押し寄せる中、業務の中核であった石油・天然ガス上流事業に加えて CC(U)S や水素等新たな事業分野に取り組んでいる。この中でも、引き続き事業の安全確保及び環境保全が最優先との姿勢のもと、全社一丸となって HSE の取り組みに取り組んでいる。本発表では、安全確保及び環境保全を達成するため当社がどのように危機管理に取り組んでいるか紹介する。

### 2. 石油業界の危機管理の取り組み

2010 年のメキシコ湾原油流出事故を契機として、業界団体の IPIECA と IOGP は、業界 19 社協力のもと Joint Industry Program を立ち上げた。当社も参画したこの取り組みの中では、事故の教訓を踏まえて再発防止や効果的な対応の知見が整理され、Good Practice Guidelines や Technical Reports が発行された。特に緊急時対応の枠組みについては、米国由来の緊急時対応の仕組みである Incident Command System (ICS) が事故対応上非常に有効に機能したことを受け、業界標準として、各社が ICS を踏まえた緊急時対応の仕組みを導入することが推奨された。

### 3. INPEX の危機管理体制

上記で紹介した国際的な取り組みを踏まえ、当社でも ICS を取り入れた危機管理体制を準備している。当社では HSE マネジメントシステムを整備して Health、Safety 及び Environment に関して各事業体を管理している。危機管理も HSE が所掌しており、「緊急時対応要領」という文書を整備して各事業体が

取り組むべき要求事項を取りまとめている。各事業所はその要求事項に基づき、事業所の特性に応じた緊急時対応文書を整備している。当社危機管理の代表的な特徴として①Tiered Response、また上記②ICS によるオールハザードアプローチが挙げられるため、特にこれらの内容について紹介する。また各種緊急時対応文書の策定や定期的な訓練の実施、COVID-19 対応や 2019 年の台風 19 号といった当社における取り組み・実対応についても、その内容を紹介する。

### 4. 新たな脅威への備えの強化

2021 年に米コロニアルパイプラインがサイバー攻撃を受けて操業が停止したように、サイバー空間からの攻撃による操業停止については、エネルギー業界もその標的の一つとなっている。当社ではこうした事象を危機管理上の新たな脅威と捉えて万が一の備えを強化しており、こうした取り組みについて内容を紹介する。

当社ではエネルギーの安定供給という社会的使命を果たすため、引き続き危機管理の強化についても積極的に取り組んでいく。(了)

## 2B09 日本の石油開発産業史を考える

Considering history of Japan's oil development industry

（石油天然ガス・金属鉱物資源機構）○伊原 賢（いはら まさる）

日本書紀に「天智7年(668年)、越の国(現在の新潟県)からもえる水・もえる土が近江大津宮に献上された」とある。その後、石油が実際に燃料やエネルギー源として認識され、活用され始めたのは、19世紀後半以降となる。電灯が普及する20世紀初頭ころには、製造産業の工業化が進み、エネルギー源が石炭利用の蒸気機関から石油を燃料とする内燃機関に転換し、石油の需要が飛躍的に増え始めた。石油の重要性が認識され始めたのである。

我が国の近代的石油開発の黎明期は、以下にまとめられよう。

◆1871年：石坂周三が「長野石炭油会社」を設立。米国から綱式掘削機を2基購入し、1873年、日本で最初の石油掘削を長野善光寺の北方にて実施、結果は不成功。

◆1872年：明治政府の大鳥圭介が米国石油産業を視察。

◆1876年：ライマン(B. S. Lyman)による日本国内の油田調査の開始。

◆1888年：日本石油設立。

◆1891年：日本石油が、新潟県尼瀬海岸にて綱式機械掘りにより出油し、日本における近代石油産業の誕生。

第1次世界大戦では、飛行機、戦車の登場、戦艦(蒸気機関から内燃機関)の登場により、石油はますます必要不可欠な戦略物資となった。そして、第2次世界大戦になると、戦略物資となった石油が戦争のきっかけの一つともなったのである。

第二次世界大戦後の石油産業では、南方へ動員された石油技術者の帰国、と米軍占領時代(1945年～1952年)に占領軍司令部(GHQ)の天然資源局(NRS)による指導が特筆される。

1955年以降の展開に目を移すと、同年、石油及び可燃性天然ガス資源開発促進委員会(PEAC)による「石油資源総合開発に関する答申」に基づく「国内石油及び可燃性天然ガス開発5ヵ年計画」が開始され、1958年にアラビア石油、1961年に石油鉱業連盟が設立された。

先人の努力の賜物となる日本の主な油・ガス田を示す。



1970年代に入ると、日本企業の海外の油・ガス田開発は東南アジアや中東を中心に展開した。著者は1995年から1999年にかけて、UAEのザクム油田で洋上現場作業や油層シミュレーションを通じた油層管理に従事した。毎月、油層毎の残存可採埋蔵量の計算・調整に産油国の意向を受け、細心の注意を払っていた。石油人としてモチベーションがかなり高かったことが思い出される。

第2次世界大戦後の石油産業は、中東の時代、産油国による石油ショック、21世紀を迎え新たな資源ナショナリズムの台頭、エネルギー安全保障の必要性和、相変わらず石油は国際政治の中心となった。

脱炭素化社会への移行が叫ばれる現在においても、一次エネルギーとしての化石燃料資源の存在なくして経済活動を語ることはできなるとすれば、新しい油ガス田の発見のため、また、隠れた埋蔵量の発見のため、そして油ガス田の性状の正しい理解のために、新しい技術の適用だけにとどまらず、さまざまな方向から問題を解き明かす努力が今後必要だろう。一方2021年後半から化石燃料をめぐる需給のミスマッチが、石油や天然ガス、石炭の同時多発的な価格上昇を引き起こした。世界では脱炭素時代、エネルギー転換に係る争奪戦は続くのだろう。「石油の世紀」とも呼ばれた20世紀からエネルギーの円滑な主役交代を乗り切る広角で着実な戦略は本当に描けるのだろうか。

