

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14893

研究課題名（和文）低塩分濃度水攻法における塩水中イオン成分の貯留層特性及び濡れ性への影響

研究課題名（英文）The effect of ion components in the injection brine on the relative permeability and the wettability in Low Salinity Water Flooding

研究代表者

阿部 一徳 (Abe, Kazunori)

秋田大学・国際資源学研究所・助教

研究者番号：50746782

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：低濃度塩水を石油貯留層に圧入して油回収率を増加させる手法において、圧入塩水の塩分濃度及びイオン成分が貯留層特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、岩石コアを用いた掃攻試験や貯留層特性の評価実験を実施した。低塩分濃度水（NaCl塩水、CaCl₂塩水、MgCl₂塩水）を砂岩もしくは炭酸塩岩コアに圧入することで3～8%程度の増油効果を確認した。相対浸透率及び接触角測定から、圧入塩水の塩分濃度の低下に伴い、貯留岩表面における水濡れ性の増加傾向、及び残留油飽和率の低下が観測され、塩分成分・濡れ性・増油効果の相関関係が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低塩分濃度水攻法は環境調和性に優れた対費用効果の高い手法の一つである。低塩分濃度水の塩分濃度やイオン成分と貯留層特性の相関性を明らかにすることは、これまで不明瞭であった増油機構の解明や適用可能な貯留層条件の理解にも一助となることが期待される。今後も本邦に安定供給が必要となる化石燃料に関して可採埋蔵量増加に貢献するには、複雑な条件下での現象も正しく理解し、既存技術の有効性を検討したうえで、適切に技術の高度化を図る必要がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify the effects of salinity concentration and its ionic components on the reservoir characteristics in low salinity water flooding through a special core analysis. In the core flooding, low salinity water (NaCl, MgCl₂, CaCl₂) was injected into the sandstone or carbonate plug core, resulting in an oil recovery factor of about 3 to 8%. From the relative permeability curve and contact angle measurement, the low salinity water has the effect on the reductions of residual oil saturation and the wettability alteration towards more water-wet on the sandstone and carbonate rock.

研究分野：資源開発工学

キーワード：石油増進回収法 資源開発 低塩分濃度水攻法 貯留層特性 濡れ性 相対浸透率

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

石油貯留層を対象とした低濃度塩水圧入による増進回収技術は、経済性の高さから需要が増しているが、増進メカニズムについては不明瞭な点が多く、例えば、低濃度塩水を貯留層内に圧入したときに、貯留層特性または濡れ性に生じる変化を把握し、その原理を理解しておく必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、圧入する塩水中のイオン成分に焦点をあて、貯留層を対象としたコア掃攻試験を実施し、イオン成分を変化させたときの相対浸透率または濡れ性との関係を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

実験試料に砂岩もしくは炭酸塩岩を用いて、圧入塩水の塩分濃度及びイオン成分を変化させたときの、貯留層特性及び濡れ性への影響を評価する。事前準備として、岩石試料の基礎物性値（ガス浸透率、孔隙率、細孔径分布等）の測定、及び鉱物組成分析を実施する。また、流体分析として、粘度や油水間の界面張力（Wilhelmy 法）等を測定する。本実験で相対浸透率測定及び掃攻試験に用いた装置の概略図を図 1 に示す。各試験時は、Hassler 型コアホルダに岩石試料（1 × 2 インチ）をセットし、側圧 2,000psi、コアホルダ温度 60 °C 以下で実施した。掃攻試験は次の 2 つのケースを実施している； 1 次掃攻流体として油層水（岩石試料を飽和させた塩水）による油掃攻を実施し、定常状態に到達後、2 次掃攻流体として低塩分濃度水を圧入し追加油回収率を評価した、1 次掃攻流体として油層水による油掃攻を実施し、2 次掃攻以降は、段階的に塩分濃度を減少させ、追加油回収率の塩分濃度依存性を確認した。初めに砂岩コアを対象として、NaCl 塩水（40,000ppm 以下）と油（n-デカン）の相対浸透率を定常法により測定した。続いて、低濃度塩水（塩分濃度 5,000ppm 以下）中のイオン成分（Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺等）を調整し、相対浸透率への影響を確認した。濡れ性の評価には、塩水-岩石-油の 3 相での接触角測定を用いて、大気圧・室温下で実施した。相対浸透率曲線や濡れ性の結果を基に掃攻試験を実施し、増油効果や圧力挙動を確認した。また、炭酸塩岩コアについては、砂岩の試験結果を基に、岩石表面の濡れ性及び掃攻試験の NaCl 塩水濃度依存性を中心に検討した後、砂岩の結果と合わせて、塩水濃度及び成分を変化させたときの相対浸透率や濡れ性との関係について検討した。

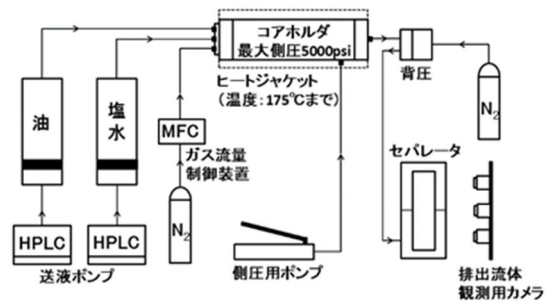


図 1 掃攻試験装置の概略図

4. 研究成果

本実験で使用した砂岩コアの窒素ガス浸透率は 200 ~ 300mD であり、粘土鉱物の含有量は 8 ~ 10%程度を示す。粘土鉱物としては Illite、Montmorillonite、Kaolinite 等、膨潤性や疎水性を示す鉱物の存在が X 線回折法 2 / スキャンから同定された。

砂岩コアを対象とした、NaCl 塩水（40,000ppm 以下）と油（n-デカン）の相対浸透率曲線（水飽和率（ S_w ）-相対浸透率（ k_r ））から、塩分濃度の低下に伴い、油相対浸透率（ k_{ro} ）の増加及び残留油飽和率の減少、岩石表面の濡れ性が親水性側に強まる傾向が認められた（図 2）。相対浸透率曲線の結果を基に、塩分濃度の異なる圧入塩水を用いた多段階の掃攻試験を実施した。岩石試料を飽和した 40,000ppm の NaCl 塩水を圧入した際の油回収率は 19.3%となり、続いて塩分濃度を段階的に減少させながら（30,000ppm、20,000ppm、10,000ppm、1,000ppm）掃攻試験を実施したところ、追加油回収率は 15.6%となった（図 3）。結果としては 10,000ppm 以下での追加油回収率が高い傾向が示されたが、低塩分濃度条件では岩石コアへの圧入圧力の増加が観測されるケースもあり、砂岩中の膨潤性を有する粘土鉱物（Montmorillonite 等）含有量によっては、塩分濃度の調整が必要となることが示唆さ

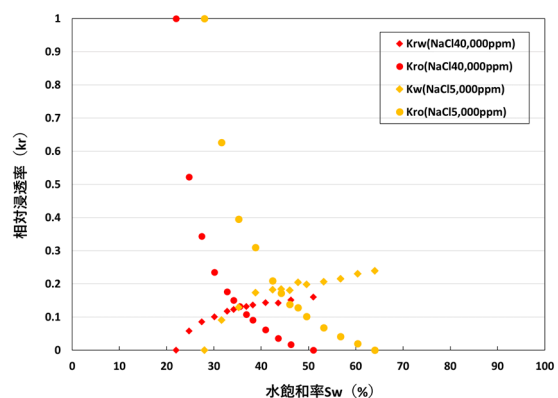


図 2 NaCl 塩水（塩分濃度：40,000ppm、5,000ppm）と n-デカンの相対浸透率曲線

れた。増油効果と濡れ性との関係を評価するために、塩水-岩石-油の3相において接触角測定を実施した。塩分濃度の低下に伴い、油の接触角が線形的に増加する傾向が観測され、砂岩表面の濡れ性がより強い親水性へシフトすることが認められた。濡れ性変化の要因としては、砂岩に関しては表面電荷が負に増大することで、岩石-油界面での静電的反発増加による水層拡大の影響や、疎水性を示す含有粘土鉱物(Kaolinite等)が脱着、もしくは粘土鉱物表面が親水性にシフトしたことが考えられる。なお、本試験で用いた水相の塩水(40,000ppm以下)、油相のn-デカンにおいて、塩分濃度やイオン成分を変化させたときの油水間の界面張力はほぼ一定であることから、濡れ性の変化が増油効果の主要因と考えられる。

次に、低塩分濃度水のイオン成分の検討として、CaCl₂ 塩水、MgCl₂ 塩水を用いて、NaCl 塩水との比較試験を実施した。相対浸透率曲線からは同塩分濃度条件下(5,000ppm)において、Na⁺と比較して、Ca²⁺とMg²⁺を有する塩水のほうが、貯留岩表面における水濡れ性の増加傾向、及び残留油飽和率の低下が僅かながら観測された。掃攻試験における低塩分濃度水を5,000ppm程度に調整し、含有イオン成分としてNa⁺、Ca²⁺、Mg²⁺を調整した。NaClとMgCl₂による掃攻試験結果については、低塩分濃度塩水による追加油回収率はいずれの場合も3%程度となり、増油効果はあるものの、イオン成分の違いによる有意な差は見られなかった。接触角測定においても、NaClとMgCl₂低塩分濃度水を用いた場合、岩石試料を飽和した塩分濃度(40,000ppm)と比較して、いずれの場合も濡れ性が親水性側にシフトしているが、NaClとMgCl₂に有意な差は生じていない。一方で、圧入塩水のpHについてはNaCl塩水やCaCl₂塩水ベースの場合は5.8~6.3の中性付近であるのに対して、MgCl₂塩水についてはpH9.3付近を示していることからアルカリ攻法に近い効果が、濡れ性や増油効果に対して副次的に作用している可能性もあり、今後は原油等を用いた試験も追加検討の必要がある。また、CaCl₂低塩分濃度水に関しては、接触角測定結果より濡れ性改質効果が比較的強く、掃攻試験においてもCaCl₂低濃度塩水を圧入した際に増油効果が大きく、追加油回収率が8%程度となっている。岩石-油間のイオン交換が促進された結果と考えられるが、本試験では油相にn-デカンもしくはパラフィン系オイルを用いているため、今後の追加検討として、極性油や重質成分を含む原油を用いた試験も必要と考えられる。

炭酸塩岩(石灰岩)には、300mD程度の比較的均質な試料、60mD~100mD程度の不均質(孔隙分布が広域に及ぶ)試料を用いており、いずれの含有鉱物もCalciteが主体である。均質な炭酸塩岩試料に対して、岩石試料を飽和した40,000ppmのNaCl塩水を圧入した際の油回収率は39.7%となり、続いて塩分濃度を段階的に減少させながら(30,000ppm、20,000ppm、10,000ppm、1,000ppm)

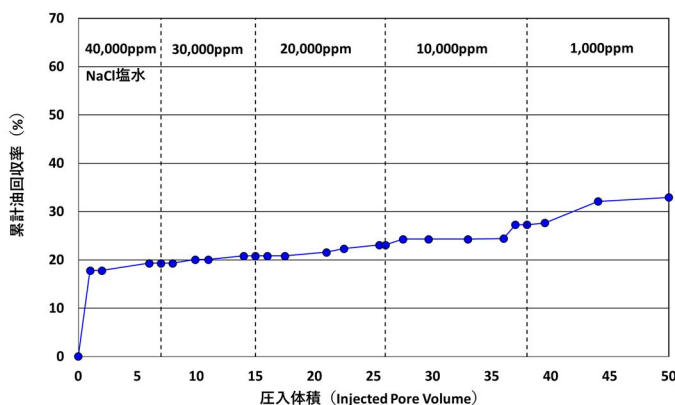


図3 砂岩コアを用いた掃攻試験における油回収率のNaCl 塩水濃度依存性(1,000ppm~40,000ppm)

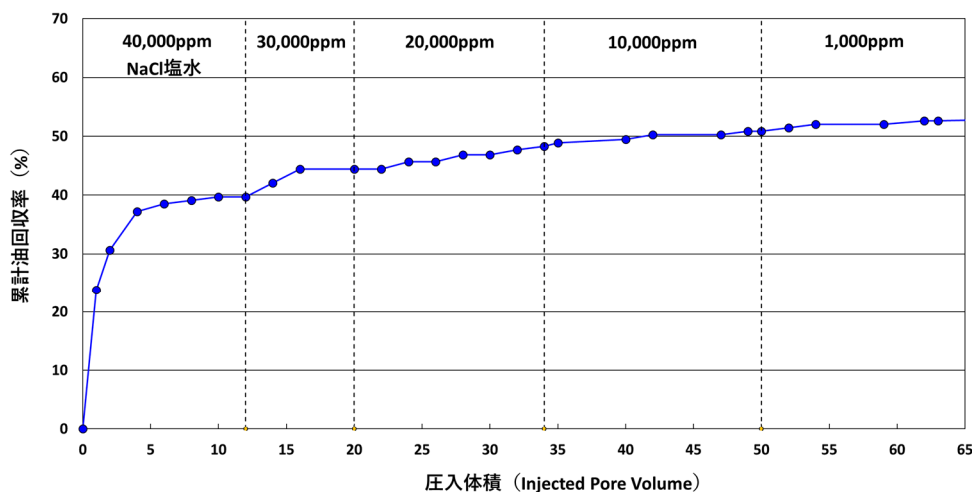


図4 炭酸塩岩コアを用いた掃攻試験における油回収率のNaCl 塩水濃度依存性(1,000ppm~40,000ppm)

掃攻試験を実施した結果、追加油回収率は 13.7%となった(図 4)。一方で、不均質な試料の場合は、追加油回収率が 5.3%となり、均質な岩石試料と比較して回収率は低いものの、増油効果は確認されている。砂岩と同様に接触角測定を実施したところ、いずれの試料においても塩分濃度の低下に伴い、岩石表面の水濡れ性が強まる傾向が認められた。また、炭酸塩岩については、掃攻試験時の排出液の pH が 9 程度までシフトしたことから、Calcite 溶解による水濡れ性への変化、及び Calcite の表面電荷(正)が低下したことで、油との静電氣的結合力が低下し、増油が生じたことが示唆された。本研究では、岩石及び流体試料の表面電荷の簡易評価として、ゼータ電位測定を実施しているが、濡れ性変化の要因の詳細を理解するためには含有粘土鉱物の種類を追加検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 一 優作、阿部一徳、藤井光、長縄成実
2. 発表標題 低塩分濃度水攻法における二価カチオンが油-水相対浸透率曲線に与える影響
3. 学会等名 第50回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 猪俣泰祐、一優作、阿部一徳、藤井光、長縄成実
2. 発表標題 Amott 試験における低塩分条件下SiO ₂ ナノ粒子分散媒を用いた 岩石濡れ性の評価
3. 学会等名 2020年度石油技術協会春季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 一優作、阿部一徳、今泉徹也、藤井光、長縄成実
2. 発表標題 低塩分濃度水攻法における地層中イオン成分が油-水相対浸透率曲線に与える影響
3. 学会等名 2020年度石油技術協会春季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部一徳、一 優作
2. 発表標題 低塩分水攻法における塩水中イオン成分が相対浸透率に与える影響
3. 学会等名 第49回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 一優作、阿部一徳、藤井光、長縄成実
2. 発表標題 低塩分濃度水攻法におけるイオン成分の相対浸透率への影響
3. 学会等名 2019年度石油技術協会春季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子源太、阿部一徳、藤井光
2. 発表標題 低塩分濃度水攻法における地層中イオンの相対浸透率への影響
3. 学会等名 平成30年度石油技術協会春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 七尾純平、金子源太、阿部一徳、藤井光
2. 発表標題 地層水中のイオン成分が岩石コアの油掃攻効果に与える影響の評価
3. 学会等名 平成29年度石油技術協会春季講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考