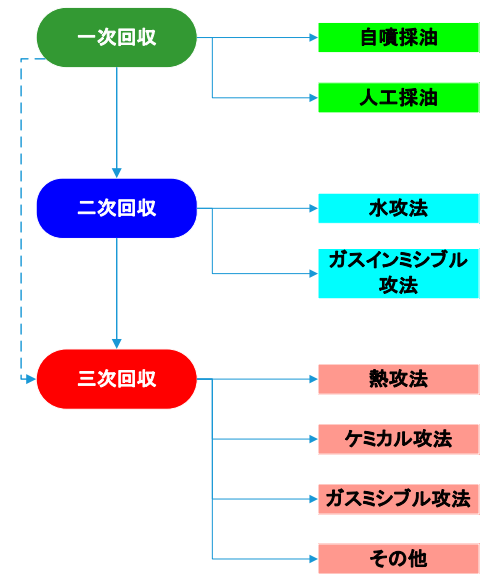


## 二・三次回収技術

油は地下の岩石粒子の隙間に高圧の状態が存在しており、貯留層に坑井を掘削して、貯留層と地表を坑井で導通させると、坑井内部との圧力差によって、岩石の隙間から坑井内に向けて油が流入し生産が開始されます。この様に、貯留層に手を加えず、自然の排油エネルギーだけで生産を行う状態のことを**一次回収**と呼びます（流体が坑口まで自噴せず、ポンプやガスリフトなどの人工採油手法を適用した場合でも、貯留層には手を加えていないため一次回収に含まれます）。ただし、この状態で流体の生産を継続すると、貯留層の圧力は低下を続け、流体を地表まで押し上げる力が失われてくるため、やがて生産を継続することが出来なくなってしまいます。一次回収における油の回収率(=貯留層から回収した油の量/貯留層に初期に存在した油の量)は、貯留層により異なりますが、通常の場合～30%程度です。

こうした状況を打開するために、通常の場合、貯留層の圧力が低下してくると、貯留層の圧力がある一定値以下に低下しないように、水やガスを圧入しながら油・ガスを生産します。これを**二次回収**と呼びます。水を圧入する場合を**水攻法**と呼び、ガスを圧入する場合を**ガスインシブル攻法**と呼びます（ガスを圧入する場合の呼称が「ガスインシブル攻法」なのは、三次回収のガスシブル攻法と区別し、貯留層の圧力保持を主目的とすることを明らかにするためです）。二次回収を適用した段階での油の回収率は通常の油層で30～40%程度です（依然として6割～7割程度の油は取り残してしまっています）。

ここから、さらに熱を加えたり、化学的な薬剤を投入して、回収率を向上しようとする試みが**三次回収**です。ただし、状況によっては二次回収を経ずに適用されることもあり、近年では**Enhanced Oil Recovery (EOR)**と呼ばれることの方が多くなってきています。これにより、油の回収率を40～60%程度まで向上させることが出来ますが、二次回収に比べて費用がかかる場合が多いため、その適用は油価との兼ね合いで慎重に判断されるのが一般的です。



### 二次回収のメカニズム

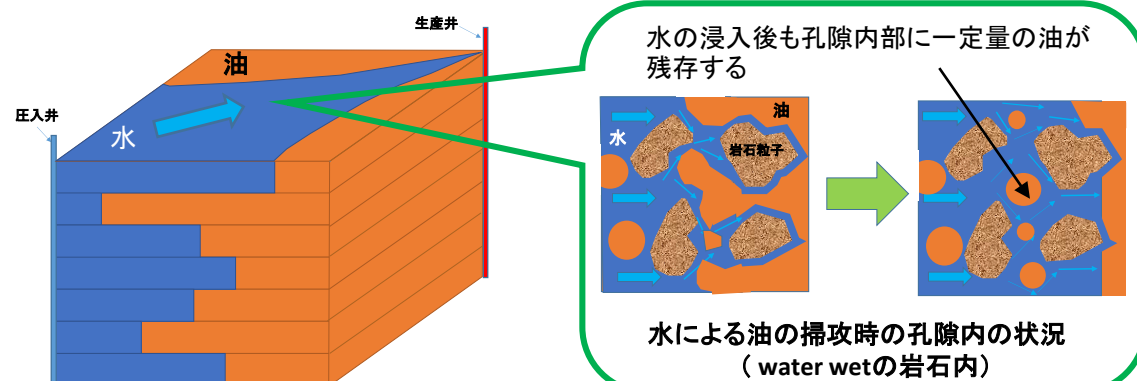
二次回収をかけたとしても、油の回収率が多くの場合、30～40%にとどまるのはなぜでしょうか？これには二つの主な理由があります。

一つ目は、**地層の不均質性**の存在です。圧入流体が貯留層の全域にわたって均質に浸透するわけではないということです。貯留層内において、孔隙内の流体の流れやすさは均一ではないため（層毎に異なりますし、同一層内でも大きく異なる場合があります）、圧入流体は流れやすい地点を優先的に通過して生産井に到達（**ブレイクスルー**）してしまいます。一旦、ブレイクスルーが生じると、生産流体中の圧入流体の比率が急激に上昇し、油を効率的に生産することが出来なくなってしまうため、浸透性の悪い（圧入流体が浸透しなかった）部分の油を取り残すこととなります。

二つ目は、**不動油飽和率**の存在です。岩石の孔隙中では、圧入流体が通過した部分の油が、圧入流体で100%置換されるわけではありません。界面張力やそれに起因する毛管圧力の影響により、一定量の油（孔隙体積の10%～35%程度）が孔隙内に取り残されます。

これら2つの要因が組み合わさって、二次回収の回収率は、30～40%程度にとどまるわけです。たとえば仮に、貯留層の50%程度の体積が圧入流体で掃攻出来たとして、掃攻部分に残留する油が孔隙体積の25%程度、生産開始時から孔隙内に存在していた水の割合が平均で孔隙体積の20%程度だとすると、二次回収での油の回収率は、約34%となります。

$$\text{掃攻体積} \times (1 - \text{初期水飽和率} - \text{不動油飽和率}) / (1 - \text{初期水飽和率}) = 0.5 \times (1 - 0.2 - 0.25) / (1 - 0.2) = 0.34375$$



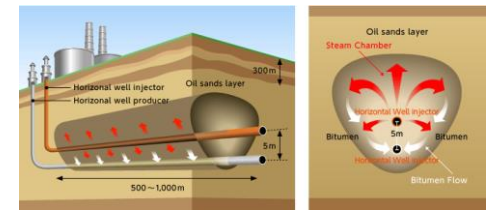
水による油の掃攻時の坑井間の掃攻状況例（レイヤーにより異なる掃攻効率）

### 三次回収の種類

三次回収は、1)熱攻法、2)ケミカル攻法、3)ガスシブル攻法、4)その他（低塩分濃度水圧入法、微生物攻法等）の4種類に大別され、貯留層の性質に応じて最適な方法が選択されます。

#### 熱攻法

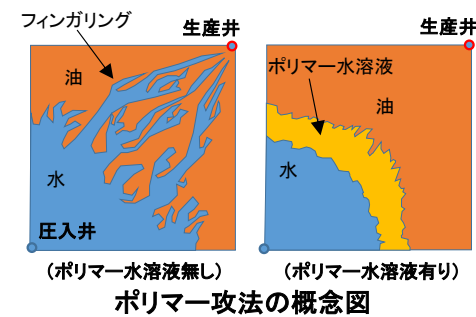
熱攻法は、貯留層内に水蒸気等を圧入して油を加熱し、油の流動性をあげることで油の生産を促す回収法のことです。通常の油層に対して、二次回収後にさらなる回収率向上を目指して適用されることよりも、油の流動性がほとんど無く一次回収すら出来ない重質油層に対して、生産の初期から適用されることがほとんどです。熱攻法の種類には、1本の坑井から水蒸気を出し入れするHuff&Puff法、2本の水平坑井を平行に配置し、上部から水蒸気を圧入して、下部から油を生産する**SAGD法**など複数の手法が存在しています。



SAGD法の概念図  
出典:「石油資源開発ホームページ」  
[http://www.japex.co.jp/english/business/ep\\_o/oilsands\\_sagd.html](http://www.japex.co.jp/english/business/ep_o/oilsands_sagd.html)

#### ケミカル攻法

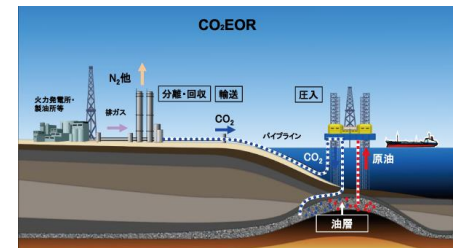
ケミカル攻法は、1)**ポリマー攻法**と2)**界面活性剤・アルカリ攻法**の2種類に大別されます。前者は粘性の高いポリマー水溶液を圧入することで、（フィンガリングと呼ばれる置換フロントの不安定化現象を防いだり、浸透性の高い層のみを圧入流体が掃攻するのを防いだりして、）掃攻エリアの拡大を図るために用いられます。一方、後者は、界面活性剤もしくはアルカリ溶液を圧入することで、水/油の界面張力を変化させるとともに、岩石のぬれ性を変化させることで、掃攻時に孔隙内に残留する油を減少させるために用いられます。これらを、単独、もしくは併用して適用することで、二次回収における回収率低下要因を低減させることが出来ます。



ポリマー攻法の概念図

#### ガスシブル攻法

ガスシブル攻法は、貯留層内に高圧でガスを圧入し、ガスと貯留層内の油の間に**ミシブル**と呼ばれる状態（2種類の異なる流体間で界面張力が消失して、あたかも1種類の流体として振る舞う状態）を作りだし、圧入流体の掃攻時に、（界面張力や毛管圧力の影響により）孔隙内に残留する油を減少させ、油の回収率を向上させる手法です。近年では、圧入ガスに二酸化炭素を用いる**炭酸ガスシブル攻法 (CO2 EOR)**が、大きな注目を集めています。二酸化炭素は、ミシブル状態を作り出すのに必要な圧力が低いことに加え、工場や発電所の排ガスとして発生したものを利用すれば、地球温暖化の主要因である二酸化炭素が空气中に放出されるのを防ぐこともでき、地球温暖化の抑止にも貢献できるからです。



（出展「JOGMECホームページ」  
[http://www.jogmec.go.jp/oilgas/technology\\_004.html](http://www.jogmec.go.jp/oilgas/technology_004.html)）