

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6327730号
(P6327730)

(45) 発行日 平成30年5月23日(2018.5.23)

(24) 登録日 平成30年4月27日(2018.4.27)

(51) Int.Cl. F I
E 2 1 B 43/00 (2006.01) E 2 1 B 43/00 A
E 2 1 B 43/26 (2006.01) E 2 1 B 43/26

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-566362 (P2016-566362)	(73) 特許権者	504117958
(86) (22) 出願日	平成27年12月21日(2015.12.21)		独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/085714		東京都港区虎ノ門二丁目10番1号
(87) 国際公開番号	W02016/104448	(74) 代理人	100064908
(87) 国際公開日	平成28年6月30日(2016.6.30)		弁理士 志賀 正武
審査請求日	平成29年5月1日(2017.5.1)	(74) 代理人	100108578
(31) 優先権主張番号	特願2014-259427 (P2014-259427)		弁理士 高橋 詔男
(32) 優先日	平成26年12月22日(2014.12.22)	(74) 代理人	100106909
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 棚井 澄雄
		(72) 発明者	林 嘉久
			東京都港区虎ノ門二丁目10番1号 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水溶性天然ガスの採掘方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

砂岩層と泥岩層とが上下に隣り合って存在する地層構造を有するガス田からの水溶性天然ガスの採掘方法であって、

前記ガス田に掘削された圧入井を通じて前記ガス田にガスを圧入することにより、前記泥岩層中のメタンを前記ガスと置換する工程と、

前記ガスと置換された前記メタンを、前記ガス田に掘削された生産井を通じて採取する工程と、

前記ガスの圧入に続き、前記圧入井を通じて前記砂岩層に水を圧入する工程とを備え、

前記ガスは前記圧入井から前記砂岩層に圧入され、

前記砂岩層内の地層水と、前記砂岩層に圧入された前記水との間に、前記水に先んじて圧入された前記ガスのセルが画成され、

前記砂岩層に対する前記水の加圧を維持することにより、前記セルが前記圧入井から前記生産井に向けて移動し、

前記セルの移動の過程で、前記泥岩層中のメタンが前記セル内の前記ガスと置換され、

前記セル内のガス相に移動した前記メタンが、前記地層水と共に前記生産井を通じて採取される水溶性天然ガスの採掘方法。

【請求項2】

前記砂岩層への前記ガスの圧入及び前記水の圧入が交互に行なわれることにより、前記砂岩層内に複数の前記セルが画成され、

10

20

前記砂岩層に対する前記ガス又は前記水の加圧を維持することにより、複数の前記セルが前記圧入井から前記生産井に向けて移動する、請求項 1 に記載の水溶性天然ガスの採掘方法。

【請求項 3】

前記砂岩層に圧入すべき水は塩分を含む請求項 1 又は 2 に記載の水溶性天然ガスの採掘方法。

【請求項 4】

砂岩層と泥岩層とが上下に隣り合って存在する地層構造を有するガス田からの水溶性天然ガスの採掘方法であって、

前記泥岩層に、該泥岩層の広がる方向に向けて、前記ガス田に掘削された圧入井から水平坑を掘削する工程と、

前記圧入井及び水平坑を通じて前記泥岩層にガスを圧入することにより、前記泥岩層中のメタンを前記ガスと置換する工程と、

前記ガスと置換された前記メタンを、前記ガス田に掘削された生産井を通じて採取する工程とを備え、

前記水平坑に前記ガスが圧入され、前記泥岩層中のメタンが、前記水平坑に圧入された前記ガスと置換され、

前記ガスと置換された前記メタンが前記砂岩層に移動し、前記生産井を通じて採取される水溶性天然ガスの採掘方法。

【請求項 5】

前記泥岩層に割れ目を生じさせる工程をさらに備え、前記ガスを前記圧入井から前記割れ目に圧入する請求項 4 に記載の水溶性天然ガスの採掘方法。

【請求項 6】

前記圧入井を前記生産井として使用する請求項 5 に記載の水溶性天然ガスの採掘方法。

【請求項 7】

前記ガスは炭酸ガスを含む請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の水溶性天然ガスの採掘方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、水溶性天然ガス田から天然ガスを採掘する方法に関する。

本願は、2014年12月22日に日本に出願された特願2014-259427号に対して優先権を主張し、その内容をここに援用する。

【背景技術】

【0002】

近年、シェールガスやメタンハイドレートなどの非在来型天然ガス資源が注目を集めている。米国では、頁岩に含まれるシェールガスの採掘技術が確立されて飛躍的に生産量が増加し、世界のエネルギー事情を大きく変化させるムーブメント（いわゆるシェールガス革命）が起こっている。日本でも、海底に氷に似た状態で保存されているメタン、すなわちメタンハイドレートの試掘が成功し、商業的な開発に向けて大きな期待が寄せられている。

【0003】

日本では、メタンハイドレートの他にも、水溶性天然ガスの採掘が行なわれている。水溶性天然ガスの産出する地域は日本各地に存在するが、中でも千葉県を中心とした南関東一帯には、南関東ガス田と呼ばれる日本最大の水溶性天然ガス田が存在する。

【0004】

水溶性天然ガスは、太古の昔に砂や泥と一緒に海底に堆積した動植物等の生体有機物をバクテリアが分解するときに見えるメタンガスが、地層水に溶け込んだ状態で存在するものと考えられている（非特許文献1を参照）。水溶性天然ガス田には、砂岩層と泥岩層とが相互に隣り合って存在する層（砂泥互層）が形成されており、その砂岩層及び泥岩層に

10

20

30

40

50

は、上記のメタンガスが溶け込んだ地層水が含まれている。

【0005】

南関東ガス田の水溶性天然ガスは、鹹水（かんすい）と呼ばれる塩化ナトリウムなどの塩分を含む地層水に溶け込んでおり、南関東ガス田では、砂岩層に含まれる鹹水を生産井に設けた水中ポンプなどを使って汲み上げている。地上に汲み上げられた鹹水は大気圧下に曝気することでメタンガスを放出する。

鹹水を採取するにあたっては、水中ポンプの作用に加えて、帯水層である砂岩層に、生産井とは別に設けた圧入井を通じて炭酸ガス（ CO_2 ）又は炭酸ガス溶解水を圧入して砂岩層に含まれる鹹水を加圧し、生産井を通じて砂岩層から水溶性天然ガスを含む地層水を汲み上げる方法が提案されている（例えば、特許文献1及び非特許文献2を参照）。

ちなみにこの地域で採取される鹹水には通常の海水の約2000倍という高濃度のヨウ素が含まれており、商業的に開発されて国内のヨウ素生産量の約80%を占めている。

【0006】

水溶性天然ガス田において生産されるメタンガスの量と水量との比率は、メタンガスを含む砂岩層の圧力、温度に対する飽和ガス/水比に符合する。このことから、水溶性天然ガス田において生産される天然ガスはほとんどが帯水層である砂岩層から回収された鹹水に含まれるメタンガスであり、泥岩層に含まれるメタンガスではないと考えられる。

一方、南関東ガス田の一部地域では、飽和ガス水比を超えたメタンガスが生産されており、このことから泥岩層内の遊離ガスが砂岩層内に流動するのではないかという、いわゆる泥岩説が唱えられている。この泥岩説を検証する実験研究の結果、生産ガス水比が大きくなる拳動は泥岩から遊離メタンガスが供給されることによって生じていると考察されている（非特許文献3）。

【0007】

また、新潟地方の水溶性ガス田では、生産を停止した坑井において再び生産が可能になった場合、一時的に高いガス水比で生産される現象が確認された。このような現象の要因は、上記の泥岩説を踏まえて推察すると、泥岩層内から移動したメタンガスが砂岩層内に自由度の高い状態で存在し、周辺と比べて比較的地表から浅い地層にあるその坑井に移動、集積したことによると考えられる。

【0008】

泥岩層は軟質な泥岩からなり、メタンの浸透率は0.002~0.008mdと砂岩に比べて非常に小さいが、空隙率は30~40%であり砂岩層と同様の値を示す。泥岩層内の空隙には、メタンガスが溶け込んだ地層水が含まれていると考えられる。また、泥岩層には多様な鉱物粒子が含まれており、それら鉱物粒子の周囲には多量のメタン分子が吸着されていると考えられる。

このように泥岩層内に存在するメタンは、鉱物粒子への吸着量及び空隙を満たす水への溶解量が飽和状態になると、砂岩層に移動して鹹水に溶解すると考えられる。

【0009】

泥岩層内のメタン量は、非特許文献4のデータを引用すると、泥岩層深度1000m、空隙率40%の場合、泥岩層1立方メートル当たり吸着量は10立方メートル、空隙内を満たした水中の溶解量は0.8立方メートルと見積もられた。泥岩層に存在する吸着メタンと溶解メタンの総量は、砂岩層1立方メートル当たり存在する溶解メタン量0.8立方メートルを上回ると推測される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2008-82023号公報

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】メタン生成アーケア（古細菌）、金子 信行、石油技術協会誌 第68巻第5号（平成15年9月）

10

20

30

40

50

【非特許文献2】 Ian Taggart, SPE124630, Extraction of Dissolved Methane in Brines by CO2 Injection: Implication for CO2 Sequestration

【非特許文献3】 室内実験による茂原型ガス産出挙動の検証、小勝武、田崎義行、石油技術協会誌 第66巻第2号(平成13年3月)

【非特許文献4】 Wei Y., Kamy S, Tadeusz P., Evaluation of Gas Adsorption in Marcellus Shale, SPE-170801-Ms(2014)P6-7

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

水溶性天然ガス田において生産されるメタンガスの量と水量との比率は、メタンガスを含む砂岩層の圧力、温度に対する飽和ガス/水比に符合する。このことから、水溶性天然ガス田において生産される天然ガスはほとんどが帯水層である砂岩層から回収された鹹水に含まれるメタンガスであり、泥岩層に含まれるメタンガスではないと考えられる。

10

【0013】

上記のように、泥岩層にもメタンガスが多く存在すると推測されるが、現在の生産方法では、泥岩層に存在するであろうメタンガスを採掘するには至っていない。その要因としては、泥岩層内のメタンの存在に関する研究が進んでおらず、その結果、それを回収する技術についても提案がされていないことが挙げられる。

本発明は上記の事情を考慮してなされたものであり、水溶性天然ガス田において、砂岩層からだけでなく、泥岩層に含まれるメタンガスの採掘を可能にする水溶性天然ガスの採掘方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第一の態様は、砂岩層と泥岩層とが上下に隣り合って存在する地層構造を有するガス田からの水溶性天然ガスの採掘方法であって、前記ガス田に掘削された圧入井を通じて前記ガス田にガスを圧入することにより、前記泥岩層中のメタンを前記ガスと置換する工程と、前記ガスと置換された前記メタンを、前記ガス田に掘削された生産井を通じて採取する工程と、前記ガスの圧入に続き、前記圧入井を通じて前記砂岩層に水を圧入する工程を備える。当該第一の態様において、前記ガスは前記圧入井から前記砂岩層に圧入され、前記砂岩層内の地層水と、前記砂岩層に圧入された前記水との間に、前記水に先んじて圧入された前記ガスのセルが画成され、前記砂岩層に対する前記水の加圧を維持することにより、前記セルが前記圧入井から前記生産井に向けて移動し、前記セルの移動の過程で、前記泥岩層中のメタンが前記セル内の前記ガスと置換され、前記セル内のガス相に移動した前記メタンが、前記地層水と共に前記生産井を通じて採取される。

30

【0016】

本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第一の態様においては、前記砂岩層への前記ガスの圧入及び前記水の圧入が交互に行なわれてもよい。これにより、前記砂岩層内に複数の前記セルが画成される。そして、前記砂岩層に対する前記ガス又は前記水の加圧を維持することにより、複数の前記セルが前記圧入井から前記生産井に向けて移動する。

40

【0017】

本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の上記第一の態様において、前記砂岩層に圧入すべき水は塩分を含む水(例えば鹹水、海水)であることが好ましい。

【0018】

本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第二の態様は、砂岩層と泥岩層とが上下に隣り合って存在する地層構造を有するガス田からの水溶性天然ガスの採掘方法であって、前記泥岩層に、該泥岩層の広がる方向に向けて、前記ガス田に掘削された圧入井から水平坑を掘削する工程と、前記圧入井及び水平坑を通じて前記泥岩層にガスを圧入することにより、前記泥岩層中のメタンを前記ガスと置換する工程と、前記ガスと置換された前記メタンを、前記ガス田に掘削された生産井を通じて採取する工程とを備える。当該第二の態様にお

50

いては、前記水平坑に前記ガスが圧入され、前記泥岩層中のメタンが、前記水平坑に圧入された前記ガスと置換され、前記ガスと置換された前記メタンが前記砂岩層に移動し、前記生産井を通じて採取される。

【0019】

本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第二の態様は、前記泥岩層に割れ目を生じさせる工程をさらに備える。当該第二の態様において、前記ガスを前記圧入井から前記割れ目に圧入することにより、前記泥岩層中のメタンが、前記割れ目に圧入された前記ガスと置換されて採取される。

【0021】

本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の上記第一、第二のいずれの態様においても、前記ガスは炭酸ガスを含むことが好ましい。

10

【0022】

本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の上記第二の態様においては、前記圧入井を前記生産井として使用してもよい。その場合、前記割れ目に圧入した前記ガスは、前記圧入井を通じて回収される。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、砂岩層からだけでなく、泥岩層に含まれるメタンガスをも採掘することが可能となる。これにより、水溶性天然ガス田における天然ガスの可採埋蔵量を増やすことができ、地下資源を有効に活用することができる。

20

また、泥岩層に圧入すべきガスとして炭酸ガスを採用し、炭酸ガスの地下還元を行うことで地球温暖化の阻止抑制を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第一の実施形態を示す図であって、圧入井及び生産井が掘削されたガス田の地下構造を概略的に示す断面図である。

【図2】圧入された炭酸ガスと泥岩層との間において起こるメタンの置換についての説明するための模式図である。

【図3】地中への炭酸ガスの圧入によるメタンの脱着作用を裏付けるために行った実験により明らかとなった、炭酸ガス濃度とメタン脱着率との関係を示すグラフである。

30

【図4】本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第二の実施形態を示す図であって、圧入井及び生産井が掘削されたガス田の地下構造を概略的に示す断面図である。

【図5】本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第三の実施形態を示す図であって、生産井を兼ねる圧入井が掘削されたガス田の地下構造を概略的に示す断面図である。

【図6】本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第四の実施形態を示す図であって、水平坑を含む圧入井が掘削されたガス田の地下構造を概略的に示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

(第一実施形態)

本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第一の実施の形態について、図1から図3を参照して説明する。

40

本発明の第一の実施形態による水溶性天然ガス田を図1に示す。同ガス田の地下には、砂岩層1と泥岩層2a, 2b(2)とが交互に隣り合って存在する層(砂泥互層)が形成されている。帯水層である砂岩層1内の空隙には、メタンガスが溶け込んだ地層水が含まれている。泥岩層2には砂岩と同程度の空隙が存在し、その空隙にもメタンガスが溶け込んだ地層水が含まれている。また、泥岩層2には多様な鉱物粒子が含まれており、それら鉱物粒子の周囲には多量のメタン分子が吸着されている。上述したように、泥岩層2には、砂岩層1内に存在する量を上回るほどのメタンガスが存在すると推測される。

【0026】

水溶性天然ガス田には、メタンガスが存在する地層に炭酸ガスを圧入するための圧入井

50

10が、上層の泥岩層2aを貫通して砂岩層1に達する深さに掘削されている。また、メタンガスが存在する地層からメタンガスを含む地層水を汲み上げるための生産井20が、圧入井10と同様に砂岩層1に達する深さに掘削されている。圧入井10及び生産井20は、メタンガスを含む地層水の存在が見込める領域を挟み、その領域に対して適切な距離を空けて設置されている。圧入井10、生産井20の深さはどちらも砂岩層1よりも深い泥岩層2bに達している。

【0027】

圧入井10の地上に露出したケーシング11の上端には、バルブ12を介して炭酸ガスの供給装置13と、塩分を含む水の供給装置14とが接続されている。

炭酸ガス供給装置13はコンプレッサを含み、炭酸ガスの供給源16から供給される炭酸ガスを、同コンプレッサを使って100気圧若しくはそれ以上に圧縮し、ケーシング11を通じて砂岩層1に圧入する。ケーシング11の管壁には、砂岩層1の深度レベルに穿孔11aが形成されており、炭酸ガスは穿孔11aを介して砂岩層1に供給される。

【0028】

なお、上記炭酸ガスとは、不可避不純物を除く主要な組成物がCO₂のみからなる高純度炭酸ガスに限らず、不可避不純物を除く主要な組成物として比較的高濃度のCO₂を含むものであってもよい。また、ここで使用すべき炭酸ガスの起源としては、発電所や工場など、操業の過程でいわゆる化石燃料を消費してCO₂を多量に排出する施設が想定される。

また、炭酸ガスは、砂岩層1の深度レベルに供給される状態では気相ではなく液相、若しくは超臨界の状態に変化する。つまり、地下に供給されたCO₂は気相とは限らず、液相又は超臨界相を含むと考えられる。この点は地中のメタンについても同様であるが、下記の説明では便宜上「炭酸ガス」、「メタンガス」と表現する。

【0029】

塩分を含む水の供給装置14は加圧ポンプを含み、塩分を含む水の供給源17から供給される水を、同ポンプを使って炭酸ガスに付与される圧力と同等レベルにまで加圧し、ケーシング11を通じて砂岩層1に供給する。炭酸ガス供給装置13による炭酸ガスの圧入、及び塩水供給装置14による塩水の圧入は、バルブ12を介して選択的に行われる。

【0030】

炭酸ガス供給装置13を使って砂岩層1に圧入すべきガスには、上記の炭酸ガスではなく空気等から分離・回収される窒素ガス、又はアルゴンガスを使用してもよい。しかしながら、これらを使用する場合、ガス分子の水に対する溶解度は炭酸ガスに比べて非常に小さい。そのため、砂岩層1に圧入された窒素ガス又はアルゴンガスは水中への溶解が期待できず、水から遊離したメタンガスと混合した状態で生産井側に流動するので、後ほどこれらのガスをメタンガスから分離する必要がある。塩水供給装置14を使って砂岩層1に圧入すべき塩水としては、生産井20を通じて地下から汲み上げた鹹水を再利用してもよいし、沿岸部であれば海水を利用してもよい。

【0031】

生産井20の地上に露出したケーシング21の上端には、バルブ22を介して地層水とメタンガスとの分離装置23が接続されている。分離装置23は、パイプラインを介して天然ガスの生産プラント30に接続されている。また、分離装置23によってメタンガスを分離された地層水は、地層水の回収池31に排水されるようになっている。回収された地層水を上記のごとく地下圧入水として再利用してもよい。なお、採取される地層水(鹹水)に高濃度のヨウ素が含まれているガス田では、分離装置23は回収池31ではなく不図示のヨウ素生産プラントに接続されてもよい。

【0032】

上記のように圧入井10及び生産井20、並びにそれらの付帯設備を設置された水溶性天然ガス田においては、以下のようにして水溶性天然ガスの採掘が行なわれる。

まず、バルブ12を炭酸ガス供給装置13に切り替え、圧入井10のケーシング11に形成された穿孔11aを通じて砂岩層1に炭酸ガスを圧入する。所定量の炭酸ガスを砂岩

10

20

30

40

50

層 1 に圧入したら、バルブ 1 2 を塩水供給装置 1 4 に切り替え、同様にケーシング 1 1 の穿孔 1 1 a を通じて砂岩層 1 に塩水 W を圧入する。これにより、砂岩層 1 内には当初から砂岩層 1 内に存在していた地層水 W_0 と、圧入された塩水 W との間に、塩水 W に先んじて砂岩層 1 に圧入された炭酸ガスのセル C_1 が画成される。

【 0 0 3 3 】

セル C_1 は上下の泥岩層 2 a , 2 b にも接しており、セル C_1 と泥岩層 2 a , 2 b との間では炭酸ガスとメタンとの置換が起こる。詳述すると、図 2 に示すように、セル C_1 内の炭酸ガス (CO_2) の分子は上下の泥岩層 2 a , 2 b に含まれる地層水に溶解し、ヘンリーの分圧の法則に従って当初から泥岩層 2 a , 2 b の地層水に溶解していたメタンガス (CH_4) の分子と置換する。炭酸ガス分子との置換によって地層水から分離したメタン

10

ガスの分子は、泥岩層 2 a , 2 b からセル C_1 に移動する。
また、泥岩層 2 a , 2 b 内の地層水に溶解した炭酸ガスの分子は、泥岩層 2 a , 2 b に含まれる鉱物粒子 P に吸着されたメタンガスの分子と置換する。炭酸ガス分子との置換によって鉱物粒子 P から遊離したメタンガスの分子は、泥岩層 2 a , 2 b からセル C_1 に移動する。

さらに、上記のように地層水に溶解していたメタンガス、及び鉱物粒子 P から遊離したメタンガスに限らず、泥岩層 2 a , 2 b 内に様々な状態で存在しているメタンガスも炭酸ガスと置換し、泥岩層 2 a , 2 b からセル C_1 に移動する。

炭酸ガスとの置換により泥岩層 2 a , 2 b からセル C_1 にメタンガスが移動することで、セル C_1 内のガス相はメタンの濃度を増す。その一方で、炭酸ガスが泥岩層 2 a , 2 b

20

【 0 0 3 4 】

地中への炭酸ガスの圧入による上記の作用は、下記の実験でも理解できる。すなわち、閉じた空間にメタンを吸着した泥岩を置き、この閉空間に、混合比率の異なる四種のメタン/炭酸ガスの混合ガスを供給して、閉空間内の気相中の炭酸ガス濃度と、泥岩からのメタンの脱着率との関係を調べると、図 3 に示すグラフのように、気相中の炭酸ガス濃度が高いほど、泥岩への炭酸ガスの接触による泥岩からのメタンの脱着率も高いことが理解できる。また、メタン脱着率の変化については、気相中の炭酸ガス濃度を増加させると、炭酸ガス濃度が 80 mol % 付近までは緩やかな上昇曲線を描き、80 mol % を超えると、その上昇がさらに顕著になる傾向が読み取れる。加えて、炭酸ガス濃度とメタン脱着率との関係は、閉じた空間に供給される混合ガスの圧力にほとんど依存しないことも確認できる。

30

なお、本実験におけるメタン脱着率とは、純メタンの乾燥泥岩への吸着量に対する脱着量の比である。メタン脱着率は、そのままメタンの回収率に置き換えることができる。例えば、メタン 20 mol %、炭酸ガス 80 mol % の混合ガスと泥岩とが接触した場合のメタンの最終的な回収率は約 60 % である。

【 0 0 3 5 】

上記のプロセスを複数回 (本実施形態では 4 回) 繰り返すと、砂岩層 1 内には、塩水 W を満たされた領域を挟んで複数の炭酸ガスのセル $C_2 \sim C_n$ が画成される。セル $C_2 \sim C_n$ においても、上記のセル C_1 と同様に泥岩層 2 a , 2 b との間で炭酸ガスとメタンとの置換が起こり、自由な状態となったメタンガスが泥岩層 2 a , 2 b から各セルに移動する。

40

【 0 0 3 6 】

砂岩層 1 内に炭酸ガスのセル $C_1 \sim C_n$ が画成された状態で、引き続き砂岩層 1 に対し炭酸ガスまたは塩水の圧入を維持することにより、砂岩層 1 内には圧入井 1 0 から生産井 2 0 に向かう地層水の流れが生じる。生産井 2 0 においては、砂岩層 1 に作用する地圧に加えて、砂岩層 1 内の地層水の流れの作用により、砂岩層 1 からメタンガスを含む地層水を汲み上げることが可能になる。

【 0 0 3 7 】

50

生産井 20 を通じて地層水の汲み上げを実施すると、砂岩層 1 内の地層水の流れに伴い、砂岩層 1 内の炭酸ガスのセル $C_1 \sim C_n$ が圧入井 10 から生産井 20 に向けて移動する。セル $C_1 \sim C_n$ と泥岩層 2a, 2b との界面は、セル $C_1 \sim C_n$ の移動に伴い順次更新されるので、各セルと泥岩層 2a, 2b との間で起こる炭酸ガスとメタンとの置換は活性を失わず、結果的にセル C_1 内のガス相ではメタンの濃縮が促進される。セル $C_1 \sim C_n$ におけるガス相の組成は、生産井 20 に近づくほどメタン濃度を増し、相反して炭酸ガスの濃度を低下させる。

【0038】

ケーシング 21 の管壁には、砂岩層 1 の深度レベルに穿孔 21a が形成されており、セルが生産井 20 に至ると、セルの移動に伴い濃縮されたメタンガス及びその他の水溶性天然ガスが穿孔 21a を通じてケーシング 21 に流入し、砂岩層 1 から採取される。採取されたガスは、分離装置 23 により地層水から分離されたメタンガスとともに生産プラント 30 に搬送され、所望の加工が施されて商業的な需給に供される。

10

【0039】

上記のように、本発明の採掘方法の第一の実施形態によれば、砂岩層 1 からだけでなく、泥岩層 2a, 2b に含まれるメタンガスをも採掘することが可能となる。これにより、水溶性天然ガス田における天然ガスの可採埋蔵量を増やすことができ、地下資源を有効に活用することができる。

また、副次的な効果として、化石燃料を消費した結果として大気中に排出され、地球温暖化の原因のひとつとされる炭酸ガス（二酸化炭素）を地下に還元することで、地球温暖化の阻止抑制を図ることができる。

20

【0040】

ところで、上記第一の実施形態では圧入井 10 及び生産井 20 を 1 本ずつ掘削して水溶性天然ガスの採掘を行う例を示したが、圧入井 10 を通じて砂岩層 1 に炭酸ガス及び塩水を圧入すると、その進展は方向性をもちにくく全方向的に拡散することも予想される。したがってそのような場合を考慮して圧入井 10 を囲むように複数の生産井 20 を掘削し、それぞれの生産井 20 において天然ガスの採掘を行ってもよい。

【0041】

上記第一の実施形態では、砂岩層 1 内に複数のセル $C_1 \sim C_n$ を画成する例を示したが、ガス田の規模によってはセルをひとつとし、後方の塩水に対する加圧を維持することによりセルの移動を行ってもよい。

30

【0042】

砂岩層 1 内に供給する塩水には、ポリアクリルアミド、グアガム等の既知の増粘剤を水相に添加してもよい。塩水に増粘剤を添加して砂岩層 1 に対する塩水の抵抗を増加させ、砂岩層 1 中の塩水の進行速度を遅くすることにより、塩水に区画された炭酸ガスのセルと砂岩層 2a, 2b との接触時間が拡大する。その結果、炭酸ガスとメタンとの置換が、セルと砂岩層との接触時間の拡大に伴い活発に起こるので、メタンガス生産量の増大が期待できる。さらに、増粘剤の添加は砂岩層 1 内における炭酸ガスの意図しない進行、すなわち砂岩層 1 内において炭酸ガスが塩水を押しつけて進行し、セルの画成の用を為さなくなってしまうことをも防止する。

40

【0043】

(第二実施形態)

次に、本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第二の実施の形態について、図 4 を参照して説明する。

本発明の第二の実施形態においては、図 4 に示すように、泥岩層 2a に、層の広がる方向に割れ目 40 を生じさせる (fracturing)。その割れ目 40 に、圧入井 10 のケーシング 11 を通じて炭酸ガスを圧入すると、割れ目 40 と泥岩層 2a との間では、上記第一の実施形態と同様に炭酸ガスとメタンとの置換が起こる。すなわち、割れ目 40 に供給された高圧の炭酸ガスは泥岩層 2a に含まれる地層水に溶解し、その炭酸ガスの分子は、ヘンリーの分圧の法則に従って当初から泥岩層 2a の地層水に溶解していたメタンガス (CH

50

4) の分子と置換する。炭酸ガス分子との置換によって地層水から分離したメタンガスの分子は、泥岩層 2 a から割れ目 4 0 の空隙に移動する。

また、泥岩層 2 a 内の地層水に溶解した炭酸ガスの分子は、泥岩層 2 a に含まれる鉱物粒子 P に吸着されたメタンガスの分子と置換する。炭酸ガス分子との置換によって鉱物粒子 P から遊離したメタンガスの分子も、泥岩層 2 a から割れ目 4 0 の空隙に移動する。

炭酸ガスとの置換により泥岩層 2 a から割れ目 4 0 の空隙にメタンガスが移動することで、割れ目 4 0 内のガス相はメタンの濃度を増す。その一方で、炭酸ガスが泥岩層 2 a に含まれる地層水に溶解することで、割れ目 4 0 内のガス相は炭酸ガスの濃度を低下させるので、割れ目 4 0 内のガス相では相対的にメタンの濃縮が増加する。

【 0 0 4 4 】

10

炭酸ガスの圧入により、割れ目 4 0 内のガス圧力は砂岩層 1 内のガス圧力よりも高くなる。そのため、割れ目 4 0 内に溜まったメタンガスは泥岩層 2 a から砂岩層 1 に移動する。また、上記のように地層水に溶解していたメタンガス、及び鉱物粒子 P から遊離したメタンガスに限らず、泥岩層 2 a 内に様々な状態で存在しているメタンガスも、泥岩層 2 a から割れ目 4 0 の空隙に移動する。砂岩層 1 に移動したメタンガスは、生産井 2 0 での汲み上げに伴って地層水とともに砂岩層 1 内を移動して生産井 2 0 に至り、ケーシング 2 1 を通じて地層水とともに砂岩層 1 から採取される。採取されたガスは、分離装置 2 3 により地層水から分離されたメタンガスとともに生産プラント 3 0 に搬送され、所望の加工が施されて商業的な需給に供される。

【 0 0 4 5 】

20

上記のように、本発明の採掘方法の第二の実施形態によれば、砂岩層 1 からだけでなく、泥岩層 2 a に含まれるメタンガスをも採掘することが可能となる。これにより、水溶性天然ガス田における天然ガスの可採埋蔵量を増やすことができ、地下資源を有効に活用することができる。

【 0 0 4 6 】

ところで、上記第二の実施形態では砂岩層 1 よりも浅い泥岩層 2 a に割れ目 4 0 を生じさせているが、砂岩層 1 よりも深い泥岩層 2 b に割れ目を生じさせてもよいし、両方の泥岩層 2 a , 2 b に割れ目を生じさせてもよい。この場合、圧入井 1 0 は砂岩層 1 をも貫通して下層の泥岩層 2 b に達する深さに掘削されるべきである。

また、割れ目 4 0 内のガスが流動して砂岩層 1 を掃攻すると、その進展は方向性をもちにくく全方向的に拡散することも予想される。したがってそのような場合を考慮して圧入井 1 0 を囲むように複数の生産井 2 0 を掘削し、それぞれの生産井 2 0 において天然ガスの採掘を行ってもよい。

30

【 0 0 4 7 】

(第三実施形態)

次に、本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第三の実施の形態について、図 5 を参照して説明する。

本発明の第三の実施形態においては、圧入井が生産井としても使用されるため、図 5 に示すように、水溶性天然ガス田には圧入井 1 1 0 のみが掘削され、生産井は掘削されていない。圧入井 1 1 0 は上層の泥岩層 2 a に達する深さに掘削され、砂岩層 1 には達していない。圧入井 1 1 0 が生産井を兼ねるため、分離装置 2 3 は圧入井 1 1 0 に接続されている。

40

【 0 0 4 8 】

泥岩層 2 a に、上記第二の実施形態と同様に割れ目 4 0 を生じさせ、その割れ目 4 0 に圧入井 1 1 0 のケーシング 1 1 1 を通じて炭酸ガスを圧入すると、割れ目 4 0 と泥岩層 2 a との間では、上記第二の実施形態と同様に炭酸ガス分子とメタン分子との置換が起こり、割れ目 4 0 内のガス相は相対的にメタンの濃縮を増加させる。

【 0 0 4 9 】

ところで、上記第二の実施形態とは異なり、圧入井 1 1 0 は砂岩層 1 には達していないので、圧入井 1 1 0 に対する炭酸ガスの加圧を解除すれば、メタン濃度を増した割れ目 4

50

0内のガスはケーシング111を逆流して泥岩層2aから採取される。採取されたガスは、分離装置23により地層水から分離されたメタンガスとともに生産プラント30に搬送され、所望の加工が施されて商業的な需給に供される。

【0050】

上記のように、本発明の採掘方法の第三の実施形態によれば、泥岩層2aに含まれるメタンガスを、砂岩層1に含まれるメタンガスと共にではなくそれ単独でも採掘することが可能となる。これにより、例えば豊富なメタン含有量が確認できる泥岩層2が存在するものの、砂岩層1が水溶性天然ガスの採掘に不向きな地下構造のガス田であっても、泥岩層2から天然ガスを採掘することができ、地下資源を有効に活用することができる。

また、圧入井が生産井を兼ねるので、比較的小規模の天然ガス田に好適に用いることができる。

【0051】

(第四実施形態)

次に、本発明の水溶性天然ガスの採掘方法の第四の実施の形態について、図6を参照して説明する。

本発明の第四の実施形態においては、図6に示すように、泥岩層2aに達する縦坑の下端に水平坑を掘削して圧入井210とする。水平坑に挿通されるケーシング41には、多数の穿孔41aが形成されている。炭酸ガスを、圧入井210のケーシング41の穿孔41aを通じて泥岩層2aに圧入すると、炭酸ガスは泥岩層2aを介して砂岩層1に供給される。

なお、本実施形態では水平坑を上層の泥岩層2aにのみ掘削しているが、下層の泥岩層2bに掘削してもよいし、両方に掘削してもよい。

【0052】

泥岩層2aに炭酸ガスを圧入すると、泥岩層2a内では、上記第一の実施形態と同様に炭酸ガスとメタンガスとの置換が起こる。すなわち、ケーシング41の穿孔41aを介して泥岩層2aに供給された高圧の炭酸ガスは泥岩層2aに含まれる地層水に溶解し、その炭酸ガスの分子は、ヘンリーの分圧の法則に従って当初から泥岩層2aの地層水に溶解していたメタンガスの分子と置換し、地層水から分離する。

また、泥岩層2a内の地層水に溶解した炭酸ガスの分子は、泥岩層2aに含まれる鉱物粒子Pに吸着されたメタンガスの分子と置換し、鉱物粒子Pから遊離する。

炭酸ガスの圧入により、泥岩層2a内のガス圧力は砂岩層1内のガス圧力よりも高くなる。そのため、炭酸ガスと置換して自由な状態となったメタンガスは、泥岩層2aと砂岩層1との圧力差により泥岩層2aから砂岩層1に移動する。

また、鉱物粒子Pから遊離したメタンガスの分子も、泥岩層2aと砂岩層1との圧力差により泥岩層2aから砂岩層1に移動する。

さらに、上記のように地層水に溶解していたメタンガス、及び鉱物粒子Pから遊離したメタンガスに限らず、泥岩層2a内に様々な状態で存在しているメタンガスも、泥岩層2aと砂岩層1との圧力差により泥岩層2aから砂岩層1に移動する。

【0053】

ところで、上記のメタンガスの移動の過程において、メタンガスとともに炭酸ガスも移動する可能性があるが、砂岩層1に移動した炭酸ガスは、砂岩層1に存在する地層水(鹹水)に溶解しているメタンと分子置換を生じて地層水に溶解する。この結果、砂岩層1内には、泥岩層2aから移動したメタンガスと、砂岩層1内の地層水から遊離したメタンガスとに起因してメタン濃度の高いガス相が発生する。泥岩層2aから移動したメタンガスと、地層水から遊離したメタンガスの総量は、砂岩層1内の地層水に溶解するメタンの量を大きく上回ると推測される。

【0054】

砂岩層1内の高濃度のメタンガスは、生産井20での汲み上げに伴って地層水とともに砂岩層1内を移動して生産井20に至り、ケーシング21を通じて地層水とともに砂岩層1から採取される。採取されたガスは、分離装置23により地層水から分離されたメタン

10

20

30

40

50

ガスとともに生産プラント 30 に搬送され、所望の加工が施されて商業的な需給に供される。

【0055】

上記のように、本発明の採掘法の第四の実施形態によれば、上記第二の実施形態と同様に、砂岩層 1 からだけでなく、泥岩層 2 a に含まれるメタンガスをも採掘することが可能となる。これにより、水溶性天然ガス田における天然ガスの可採埋蔵量を増やすことができ、地下資源を有効に活用することができる。

【産業上の利用可能性】

【0056】

本発明は、泥岩層と砂岩層とが上下に隣り合って存在する地層構造を有するガス田からの水溶性天然ガスの採掘方法に関し、特に、今まで提案されてはいなかった泥岩層に含まれるメタンガスの採掘を可能にする方法に関する。

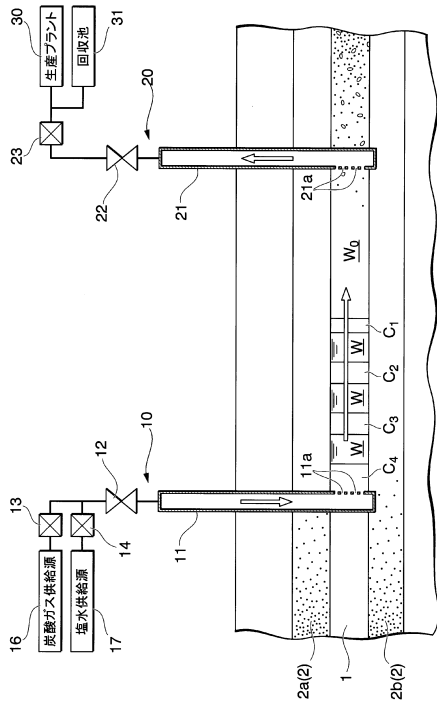
本発明によれば、水溶性天然ガス田における天然ガスの可採埋蔵量を増やすことができ、地下資源を有効に活用することができる。

【符号の説明】

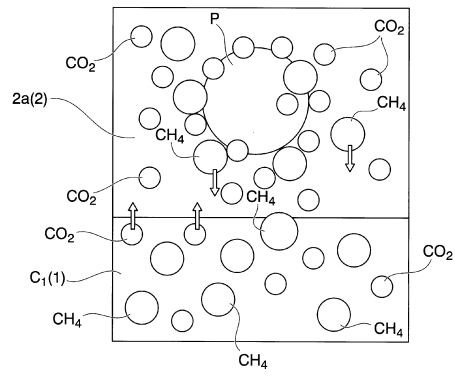
【0057】

- | | | |
|-----------------|-------------|----|
| 1 | 砂岩層、 | |
| 2 a , 2 b (2) | 泥岩層、 | |
| 1 0 | 圧入井、 | |
| 1 1 | ケーシング、 | 20 |
| 1 1 a | 穿孔、 | |
| 1 2 | バルブ、 | |
| 1 3 | 炭酸ガス供給装置、 | |
| 1 4 | 塩水供給装置、 | |
| 1 6 | 炭酸ガス供給源、 | |
| 2 0 | 生産井、 | |
| 2 1 | ケーシング、 | |
| 2 2 | バルブ、 | |
| 2 3 | 分離装置、 | |
| 3 0 | 天然ガス生産プラント、 | 30 |
| 3 1 | 地層水回収池、 | |
| 4 0 | 割れ目、 | |
| 4 1 | ケーシング、 | |
| 4 1 a | 穿孔、 | |
| 1 1 0 | 圧入井、 | |
| 1 1 1 | ケーシング、 | |
| 2 1 0 | 圧入井 | |
| $C_1 \sim C_n$ | セル、 | |
| P | 鉱物粒子、 | |
| W_0 | 地層水、 | 40 |
| W | 塩水 | |

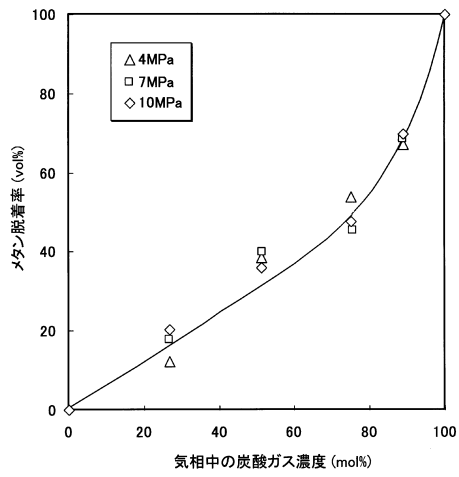
【図1】



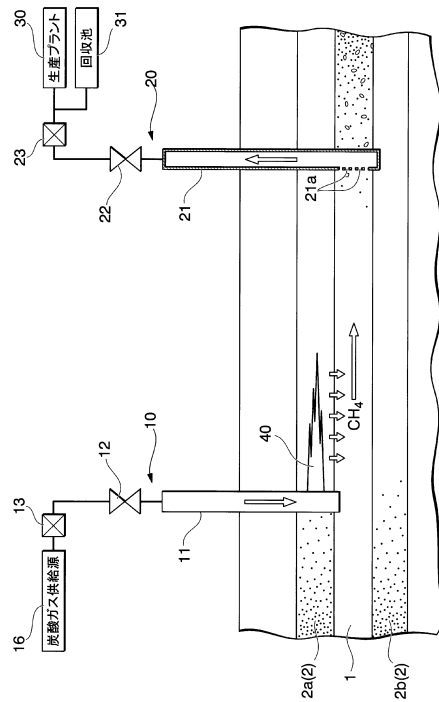
【図2】



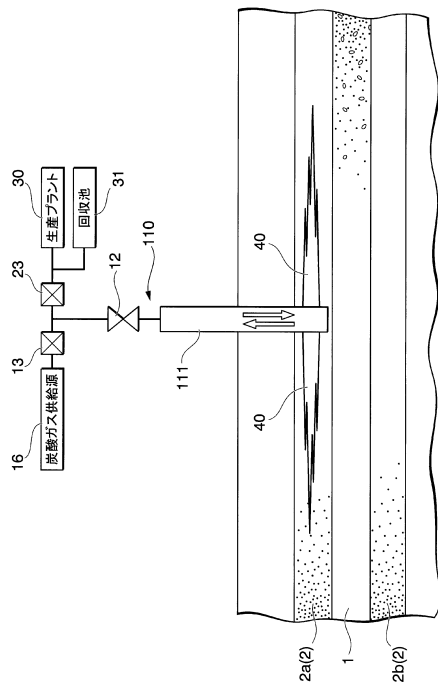
【図3】



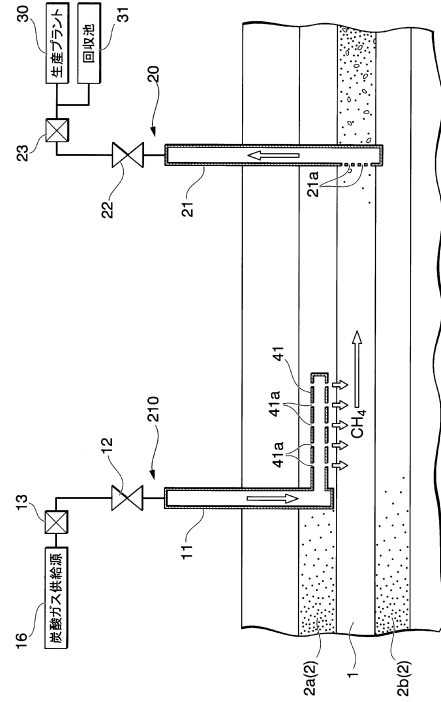
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

審査官 佐々木 創太郎

(56)参考文献 国際公開第2010/018844(WO, A1)
国際公開第2014/075071(WO, A2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

E21B 1/00 - 43/40

E21C 25/00 - 50/00

B01J 19/00