(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年1月11日(11.01.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/008535 A1

(51) 国際特許分類:
E21B 43/26 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/024072

(22) 国際出願日： 2017年6月30日(30.06.2017)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2016-132815 2016年7月4日(04.07.2016) JP

(71) 出願人: 国立研究開発法人産業技術総合研究所(**NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY**) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関一丁目３番１号 Tokyo (JP).

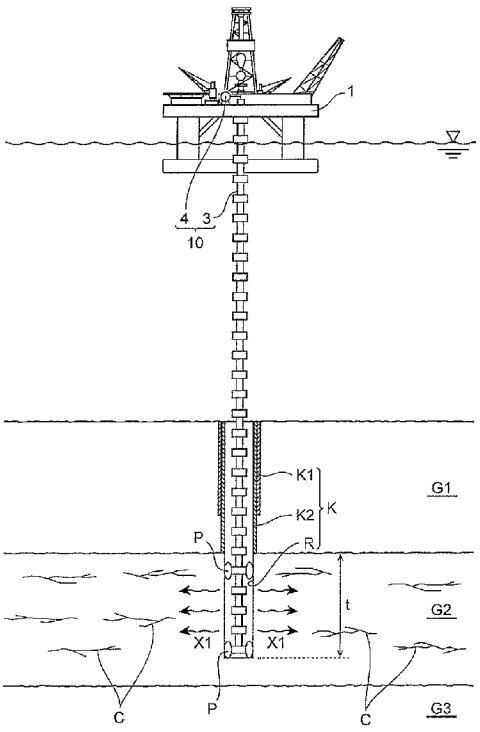
(72) 発明者: 今野 義浩 (**KONNO Yoshihiro**); 〒0628517 北海道札幌市豊平区月寒東２条１７丁目２番１号 国立研究開発法人産業技術総合研究所 北海道センター内 Hokkaido (JP). 神裕介(**JIN Yusuke**); 〒0628517 北海道札幌市豊平区月寒東２条１７丁目２番１号 国立研究開発法人産業技術総合研究所 北海道センター内 Hokkaido (JP). 長尾 二郎(**NAGAO Jiro**); 〒0628517 北海道札幌市豊平区月寒東２条１７丁目２番１号 国立研究開発法人産業技術総合研究所 北海道センター内 Hokkaido (JP). 内海 崇(**UCHIUMI Takashi**); 〒0628517 北海道札幌市豊平区月寒東２条１７丁目２番１号 国立研究開発法人産業技術総合研究所 北海道センター内 Hokkaido (JP). 眞城 一憲(**SHINJO Kazunori**); 〒0628517 北海道札幌市豊平区月寒東２条１７丁目２番１号 国立研究開発法人産業技術総合研究所 北海道センター内 Hokkaido (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人平木国際特許事務所(**HIRAKI & ASSOCIATES**); 〒1056232 東京都港区愛宕二丁目５－１ 愛宕グリーンヒルズＭＯＲＩタワー３２階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) **Title:** HYDRAULIC FRACTURING METHOD AND HYDRAULIC FRACTURING SYSTEM FOR GAS HYDRATE LAYERS

(54) 発明の名称： ガスハイドレート層における水圧破砕方法と水圧破砕システム



(57) **Abstract:** The purpose of the invention is to provide a hydraulic fracturing method and a hydraulic fracturing system for gas hydrate layers that can form a crack in the gas hydrate layer using a hydraulic fluid that does not contain additives and that can maintain good permeability in the gas hydrate layer without injecting proppant. Provided is a hydraulic fracturing method for gas hydrate layers wherein a pipe 3 that extends to a prescribed depth t at which a crack is to be formed in a gas hydrate layer G2 and though which a pressurized fluid flows is constructed in the ground, and a crack C is formed at the prescribed depth by injecting, at the prescribed depth in the gas hydrate layer G2, the pressurized fluid for which the pressurized fluid pressure P (MPa) has been adjusted to a range of (2.9 + P0) (MPa) ≤ P (MPa) < P1 (MPa) where P0 (MPa) is the minimum stress at the prescribed depth and P1 (MPa) is the internal pressure resistance of the pipe 3.

WO 2018/008535 A1

［続葉有］

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：添加物を含まない圧力流体を用いてガスハイドレート層に亀裂を形成するとともに、プロパントを注入することなくガスハイドレート層の良好な浸透性を維持することを可能としたガスハイドレート層における水圧破砕方法と水圧破砕システムを提供すること。ガスハイドレート層Ｇ２のうち、亀裂を形成したい所定深度ｔまで延びて圧力流体の流通する配管３を地盤内に施工し、所定深度における最小応力がP0(MPa)であり、配管３の内部耐圧力がP1(MPa)の場合に、圧力流体の圧力P(MPa)が(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整された該圧力流体をガスハイドレート層Ｇ２の所定深度に注入し、該所定深度にて亀裂Ｃを形成する、ガスハイドレート層における水圧破砕方法である。

明　細　書

発明の名称 ：

ガスハイドレート層における水圧破砕方法と水圧破砕システム

技術分野

[0001] 本発明は、ガスハイドレート層に圧力流体を供給してガスハイドレート層の一部を破砕するガスハイドレート層における水圧破砕方法と水圧破砕システムに関するものである。

背景技術

[0002] ガスハイドレート層（自然界では主にメタンハイドレートを含む層であるが、ブタンハイドレートなどのその他の天然ガスを含む層を包含する）は、水分子からなる格子内にガス分子が包接された低温高圧条件下で安定な固体結晶である。低温高圧条件を満たす永久凍土下や海底下においてガスハイドレートの存在が確認されており、メタン分子など天然ガス成分を主成分とするガスハイドレートは、石油や石炭に代わる非在来型エネルギー資源として研究・開発が鋭意進められている。

[0003] ガスハイドレートを胚胎する地層（ガスハイドレート層）から資源としてガスを生産する手法として、減圧法が提案されている。この減圧法では、坑井をガスハイドレート層まで掘削して導通させ、坑井内に流入した水をポンプでくみ上げることでガスハイドレート層を減圧する。減圧されたガスハイドレートは分解し、発生したガスと水が坑井に向かって流動するため、坑井を通してガスを生産することが可能になる。

[0004] この減圧法を適用するには、非特許文献１に記載があるように、ガスと水が流動できるだけの浸透性をガスハイドレート層が有していなくてはならない。仮にガスハイドレート層の浸透性が低い場合は、浸透性を向上させる手法を併用することが求められる。

[0005] 一方、近年活発化しているシェールガスやシェールオイルの開発では、浸透性の低いシェール層に高圧水等の圧力流体を注入してシェール層を破砕す

る（水圧破砕）ことにより、浸透性を向上させてシェールガスやシェールオイルの流動を可能にしている。

[0006] この水圧破砕では、地層に形成した人工的な亀裂（フラクチャー）が閉塞するのを防止するべく、プロパントとよばれる支持材を圧力流体とともに注入する。このプロパントとしては、砂やセラミックなどの原料が粒状に加工されたものが一般に用いられている。

[0007] また、注入する圧力流体には、プロパントを亀裂内に十分に行きわたらせる効果を持たせるため、水にポリマーや油等の添加物を加えることで粘性を上げたものが用いられる。

[0008] 上記するガスハイドレート層においても、浸透性を向上させる手法としてこの水圧破砕の適用が検討されている。

[0009] 従来の水圧破砕は、浸透性の低い固結した岩体への適用を想定して開発されたものである。そして、近年は、シルトなどの細粒成分が閉塞してできた坑井周辺の低浸透率部へ流路を作成することを目的に、未固結の堆積層にも適用されるようになってきた。しかし、未固結の堆積層は、従来の水圧破砕が対象としてきた岩体に比べ、一般的に浸透率が大きく、また、粒子間の結合力が弱いという特徴を有している。

[0010] ガスハイドレート層は、永久凍土下や海底浅層の未固結堆積層に存在することが知られている。ガスハイドレート層の浸透率や粒子間の結合力は、従来の水圧破砕が対象としてきた岩体とは大きく異なっており、従来の水圧破砕の技術をそのままガスハイドレート層に適用することは困難である。

[0011] ここで、特許文献１には、$CaCl_2$、または$CaBr_2$、またはそれらの混合物の過飽和の温水をガスハイドレート層に注入し、人工的に亀裂を形成させる手法が記載されている。

[0012] また、特許文献２には、質量比で10%～75%のアルカリ金属のギ酸塩、または酢酸塩、またはそれらの混合物からなる水溶液を、ガスハイドレート層に注入し、人工的に亀裂を形成させる手法が記載されている。

[0013] また、特許文献３には、液化ガスを注入することでガスハイドレート層に

亀裂のネットワークを形成させ、その後に熱を与えることでガスハイドレートを分解しガスを回収する手法が記載されている。

[0014] また、特許文献４には、ガスハイドレート層に水平方向の亀裂を形成させ、導電性のプロパントを亀裂内に充填して通電することにより、ガスハイドレートからガスを取り出すための熱を生成させる手法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0015] 特許文献1：米国特許第４４２４８６６号明細書

特許文献2：米国特許第７０９３６５５号明細書

特許文献3：米国特許第７１９８１０７号明細書

特許文献4：米国特許第６１４８９１１号明細書

非特許文献

[0016] 非特許文献1：Ｋｏｎｎｏ，Ｙ．，Ｍａｓｕｄａ，Ｙ．，Ｈａｒｉｇｕｃｈｉ，Ｙ．，Ｋｕｒｉｈａｒａ，Ｍ．，ａｎｄ Ｏｕｃｈｉ，Ｈ．，Ｅｎｅｒｇｙ Ｆｕｅｌｓ ２０１０，２４，１７３６－１７４４

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0017] 従来の水圧破砕では、ガスハイドレート層内に形成した亀裂を支持（保持）するべく、添加物を加えて粘性調整がおこなわれた圧力流体を用いてプロパントを注入する必要があった。しかしながら、添加物には環境に負荷を与えるものがあること、また、添加物とプロパントを扱うための機器の設置が必要になり、当該機器の設置に手間がかかることや、添加物とプロパントを扱うための工程が増えて工期が長期化する等、従来の水圧破砕には環境面での課題や経済的な課題があった。

[0018] 上記する各特許文献のうち、特許文献１及び特許文献２に記載の技術では注入する流体に添加物を加えており、また、特許文献３では注入する流体に液化ガスを用いていることから、上記の課題を内包している。

[0019] また、特許文献４に記載の技術ではプロパントを用いており、特許文献１～３と同様に上記の課題を内包している。

[0020] このように、ガスハイドレート層内に形成した亀裂を支持（保持）するためにはプロパントを用いる必要があると従来は考えられており、プロパントを用いないでガスハイドレート層に形成した亀裂を保持する発想は一切ない。

[0021] 本発明は上記する問題に鑑みてなされたものであり、添加物を含まない圧力流体を用いてガスハイドレート層に亀裂を形成するとともに、プロパントを注入することなくガスハイドレート層の良好な浸透性を維持することを可能とし、もって、環境面での課題や経済的な課題を回避しながらガスハイドレート層を水圧破砕することのできる、ガスハイドレート層における水圧破砕方法と水圧破砕システムを提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0022] 前記目的を達成すべく、本発明によるガスハイドレート層における水圧破砕方法は、ガスハイドレート層のうち、亀裂を形成したい所定深度まで延びて圧力流体の流通する配管を地盤内に施工し、前記所定深度における最小応力がP0(MPa)であり、前記配管の内部耐圧力がP1(MPa)の場合に、前記圧力流体の圧力P(MPa)が(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整された該圧力流体を前記ガスハイドレート層の前記所定深度に注入し、該所定深度にて亀裂を形成するものである。

[0023] 本発明の水圧破砕方法は、ガスハイドレート層のうち、亀裂を形成したい所定深度における最小応力がP0(MPa)、配管の内部耐圧力がP1(MPa)の場合に、圧力P(MPa)が(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整された圧力流体を注入することにより、形成された亀裂を保持するためのプロパントも該プロパントを行きわたらせるための添加物も含まない圧力流体を用いた場合でも、亀裂を十分に保持することができ、ガスハイドレート層内の有効浸透率を格段に向上させることを可能とした方法である。

[0024] 上記する圧力流体の圧力範囲のうち、下限値の(2.9＋P0)(MPa)は本発明者

等による検証実験によって特定されたものである。

[0025] このように、上記数値範囲の圧力を有する圧力流体をガスハイドレート層に適用することで形成された亀裂を良好に保持できる理由は、メタンハイドレート等のガスハイドレート特有の地盤性状との関連性である。具体的には、シェールオイル層などでは層が固結していることから、この固結した層に亀裂を形成した場合、亀裂が閉塞するのを防止するべくプロパント等の提供が必要となる。一方、メタンハイドレート層は、粒径が100～200μmの範囲のものを中心とした大きさの未固結の堆積物粒子から形成されており、濡れた砂を凍らせたような地層をなしている。メタンハイドレート層に亀裂を入れると、メタンハイドレートを介して互いに固着していた砂がはがれるため、亀裂面が部分的に崩れ、さらに減圧することで、亀裂周辺のメタンハイドレートが優先的に分解（凍っていた部分が融解）し、亀裂面がさらに崩れる。崩れた部分から生じた砂が、プロパントの代わりの役割を果たし、形成された亀裂を保持すると考えられるためである。なお、シェールオイル層は固結しているため、亀裂が入ったとしても層がずれる程度で、メタンハイドレート層のように亀裂から粒子が発生することはない。

[0026] このように、ガスハイドレート層に亀裂を生じさせる最適な圧力流体の圧力範囲が(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲であり、この圧力流体の注入にてガスハイドレート層に形成された亀裂の保持をガスハイドレート層の亀裂面から生じた砂が保証するものである。

[0027] ここで、適用する圧力流体は、プロパントを亀裂内に行きわたらせるための添加物を含んでいない、水、海水、淡水あるいは蒸留水のいずれか一種を挙げることができる。さらに、このような添加物等を含んでいないことから、圧力流体はプロパントを含む必要もない。この「添加物」とは、既述するように、ポリマーや油等を意味する。

[0028] ここで、「亀裂を形成したい所定深度」とは、ある層厚のガスハイドレート層において、特定の深度の場合はその深度が所定深度となり、所定深度が一定の高さ範囲を対象とする場合はその上下限の深度が所定深度となる。後

者の場合、圧力流体を注入する箇所は、一定の高さ範囲の上限位置から下限位置まで複数箇所に及ぶ場合もあれば、一定の高さ範囲の中間位置を注入箇所に設定する場合もある。

[0029] また、本発明はガスハイドレート層における水圧破砕システムにも及ぶものであり、この水圧破砕システムは、ガスハイドレート層に圧力流体を供給してガスハイドレート層の一部を破砕するガスハイドレート層における水圧破砕システムであって、ガスハイドレート層のうち、亀裂を形成したい所定深度まで延びて圧力流体の流通する配管と、前記圧力流体を前記所定深度に供給する供給装置と、を備え、前記所定深度における最小応力がP0(MPa)であり、前記配管の内部耐圧力がP1(MPa)の場合に、前記供給装置において、前記圧力流体の圧力P(MPa)が(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整されるものである。

[0030] ここで、圧力流体の流通する配管としては、その全部もしくは一部の側方に圧力流体が吐出する吐出孔を有しており、下端が閉塞している形態が挙げられる。また、供給装置としてはポンプ等が挙げられる。適用される供給装置による圧力流体の注入圧力P(MPa)が(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整されて本システムが適用される。

[0031] たとえば、海上に浮遊式掘削装置を停泊させ、海底面からガスハイドレート層まで坑井を造成し、造成された坑井に掘削船からガスハイドレート層まで延びる鋼管等の配管を配設する。

[0032] 掘削船にポンプ等の供給装置が搭載されており、上記する注入圧力P(MPa)に調整された圧力流体を、配管を介してガスハイドレート層において亀裂を形成したい所定深度に注入することができる。

[0033] 本発明の水圧破砕システムを適用することで、添加物を含まない圧力流体を使ってガスハイドレート層に亀裂を形成するとともに、プロパントを注入することなく、ガスハイドレート層の良好な浸透性を維持することが可能になる。

発明の効果

[0034] 以上の説明から理解できるように、本発明のガスハイドレート層における水圧破砕方法と水圧破砕システムによれば、ガスハイドレート層のうち、亀裂を形成したい所定深度における最小応力がP0(MPa)、配管の内部耐圧力がP1(MPa)の場合に、圧力P(MPa)が(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整された圧力流体を注入することにより、亀裂を保持するプロパントも該プロパントを行きわたらせる添加物も含まない圧力流体を適用した場合でも、ガスハイドレート層に亀裂を効果的に形成できるとともに、形成された亀裂を十分に保持することができ、ガスハイドレート層における良好な浸透性を保証することができる。したがって、プロパントや添加物を用いた場合に生じ得る、環境に負荷を与えるといった課題や、添加物とプロパントを扱うための工程が増えて工期が長期化する等の経済的な課題を解消しながら、ガスを効果的に回収することができる。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]本発明の水圧破砕方法を説明したフロー図である。

[図2]図１に続いて水圧破砕方法を説明したフロー図であって、本発明の水圧破砕システムをともに示した図である。

[図3]図２に続いて水圧破砕方法を説明したフロー図である。

[図4]水圧破砕を模擬した室内実験その１の結果のうち、１回目の圧力流体の注入の際の時間－圧力関係図である。

[図5]水圧破砕を模擬した室内実験その１の結果のうち、２回目の圧力流体の注入の際の時間－圧力関係図である。

[図6]実験で用いたコア試料の上端からの距離ごとのX線CT画像図である。

[図7]コア試料に形成された破壊モードを示したX線CT画像図である。

[図8]水圧破砕を模擬した室内実験その２の結果の時間－圧力関係図である。

発明を実施するための形態

[0036] 以下、図面を参照して本発明のガスハイドレート層における水圧破砕方法と水圧破砕システムの実施の形態を説明する。なお、海底地盤の層構成については図示例以外にも多様に存在し、ガスハイドレート層が傾斜したり湾曲

している層形状の場合もあり得る。また、掘削装置は図示例の装置に限定されるものではなく、着底型リグ、甲板昇降型リグ、船型リグなど、多様な掘削装置が適用可能である。

[0037] （ガスハイドレート層における水圧破砕方法と水圧破砕システムの実施の形態）

図１は本発明の水圧破砕方法を説明したフロー図であり、図２は図１に続いて水圧破砕方法を説明したフロー図であって、本発明の水圧破砕システムをともに示した図であり、図３は図２に続いて水圧破砕方法を説明したフロー図である。

[0038] 図１で示すように、海底には、上層Ｇ１，ガスハイドレート層Ｇ２，下層Ｇ３が成層をなしている。本発明の水圧破砕方法をガスハイドレート層Ｇ２の所定深度に適用して人工的な亀裂（フラクチャー）を形成し、ガスハイドレート層Ｇ２の浸透性を向上させてガスハイドレートから発生したガスの流動を促進させる。

[0039] まず、海上に半潜水型の浮遊式掘削装置１を停泊させ、浮遊式掘削装置１からドリルビット２を海底地盤内に降下させ、ドリルビット２で地盤を所定深度まで掘削した段階で坑壁防護用のケーシングＫ１を設置し、ケーシングＫ１とその背面の地盤の間にセメントを注入してケーシングＫ１の固定を図る。

[0040] 次に、上層Ｇ１のケーシングＫ１以深においては、ケーシングＫ１よりも小径のケーシングＫ２をケーシングＫ１の内側に設置し、ケーシングＫ２とその背面の地盤の間にセメントを注入してケーシングＫ２の固定を図る。

[0041] ガスハイドレート層Ｇ２において、水圧破砕方法を適用して人工的な亀裂を形成したい所定深度ｔまでドリルビット２で地盤を掘削し、ガスハイドレート層Ｇ２内においてはケーシングを設置することなく、裸坑Ｒを造成し、ケーシングＫ１、Ｋ２および裸坑Ｒからなる坑井Ｋが施工される。

[0042] 次に、図２で示すように、浮遊式掘削装置１から坑井Ｋ（裸坑Ｒ）の下端まで延び、少なくとも裸坑Ｒ内にある箇所の側方に多数の吐出孔が開設され

、下端が閉塞した鋼管からなる配管３を配設し、配管３と裸坑Ｒのアニュラス部の上下二箇所において硬質ゴム製のバルーンからなるパッカーＰを設置して、配管３の裸坑Ｒ内固定を図るとともに上下二箇所のパッカーＰにてその間の空間を圧力的に隔離する。

[0043] 浮遊式掘削装置１には配管３を介して圧力流体をガスハイドレート層Ｇ２に提供するための供給装置である注入ポンプ４が搭載されており、これら配管３と注入ポンプ４から水圧破砕システム１０が構成される。

[0044] ここで、ガスハイドレート層Ｇ２の所定深度ｔにおける最小応力がP0(MPa)であり、配管３の内部耐圧力がP1(MPa)の場合に、注入される圧力流体の圧力P(MPa)を(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整し、この範囲に圧力調整された圧力流体を配管３を介してガスハイドレート層Ｇ２に注入して（Ｘ１方向）亀裂Ｃを形成する。

[0045] 注入する圧力流体は、水、海水、淡水あるいは蒸留水のいずれか一種からなり、ポリマーや油等からなる添加物もプロパントも含んでいない。

[0046] 上記する圧力範囲内の圧力流体をガスハイドレート層Ｇ２の所定深度ｔに注入することにより、亀裂Ｃを保持するプロパントもこのプロパントを行きわたらせる添加物も含まない圧力流体を適用した場合でも、ガスハイドレート層Ｇ２に亀裂Ｃを効果的に形成できるとともに、形成された亀裂Ｃを十分に保持することができ、ガスハイドレート層Ｇ２における良好な浸透性を保証することができる。

[0047] メタンハイドレート層等のガスハイドレート層Ｇ２は、未固結の堆積物粒子から層が形成されており、濡れた砂を凍らせたような地層をなしている。メタンハイドレート層Ｇ２に亀裂Ｃを入れると、メタンハイドレートを介して互いに固着していた砂がはがれるため、亀裂面が部分的に崩れ、さらに減圧することで、亀裂周辺のメタンハイドレートが優先的に分解し、亀裂面がさらに崩れ、崩れた部分から生じた砂が発生する。そのため、メタンハイドレート層Ｇ２では、この発生した砂がプロパントの代わりの役割を果たし、形成された亀裂Ｃを発生した砂が保持すると考えられることから、亀裂Ｃを

保持するプロパントもこのプロパントを行きわたらせる添加物も不要となる。

[0048] 所定量の圧力流体をガスハイドレート層Ｇ２に注入した後、配管３に繋がる不図示のバルブを閉制御して配管３を閉塞することにより、配管３の閉塞をおこない、ガスハイドレート層Ｇ２内の圧力挙動を不図示の圧力センサにて計測し、計測結果を随時観測しながら、ガスハイドレート層Ｇ２を構成する未固結の堆積物粒子によって亀裂Ｃが支持されるのを待つ。

[0049] ガスハイドレート層Ｇ２内の圧力が低下して一定値に収斂したことをもって、ガスハイドレート層Ｇ２を構成する未固結の堆積物粒子によって亀裂Ｃが支持されたことと同定できる。

[0050] 未固結の堆積物粒子によって亀裂Ｃが支持されたことが確認できたら、水圧破砕用の配管３を坑井Ｋから撤去し、図３に示すように、裸坑Ｒ内に金属製もしくは多孔質性の砂防護スクリーン５を設置する。さらに、排水管６をその下端が裸坑Ｒの下方位置まで延びた状態で設置するとともに、ガス管７をその下端が裸坑Ｒの上方位置まで延びた状態で設置する。

[0051] 排水管６内のバルブを閉じた状態から開放することにより、図３で示すように、砂防護スクリーン５を介して坑井Ｋ内にはガスハイドレート層Ｇ２内から地下水Ｗが流入する（Ｘ２方向）。この地下水Ｗの流入において、崩れた砂は砂防護スクリーン５によって裸坑Ｒ内に浸入するのが防止される。

[0052] 排水管６内には不図示の汲み上げポンプが内蔵されており、この汲み上げポンプを作動させて坑井Ｋ内の地下水Ｗを排水管６内に吸い込み、地下水Ｗを海上に汲み上げる（Ｘ３方向）。

[0053] 地下水Ｗの汲み上げにより、ガスハイドレート層Ｇ２が減圧される。ガスハイドレート層Ｇ２が減圧されることでガスハイドレートが分解し、発生したガスと地下水Ｗが裸坑Ｒに向かって流動する。砂防護スクリーン５を介して裸坑Ｒ内に流入してきたガスをガス管７を介して地上に送ることにより（Ｘ４方向）、ガスの生産が実行される。

[0054] なお、図示例は、圧力流体を注入する配管３と地下水汲み上げ用の排水管

６を別途の配管にておこなう形態であるが、同一の配管にて圧力流体の注入と地下水の汲み上げをおこなう形態であってもよい。

[0055] 図示するガスハイドレート層Ｇ２における水圧破砕方法と水圧破砕システム１０によれば、亀裂Ｃを保持するプロパントもこのプロパントを行きわたらせる添加物も含まない圧力流体を適用した場合でも、ガスハイドレート層Ｇ２に亀裂Ｃを効果的に形成できるとともに、形成された亀裂Ｃを十分に保持することができ、ガスハイドレート層Ｇ２における良好な浸透性を保証することができる。そのため、プロパントや添加物を用いた場合に生じ得る、環境に負荷を与えるといった課題や、添加物とプロパントを扱うための工程が増えて工期が長期化する等の経済的な課題を解消しながら、ガスを効果的に回収することができる。

[0056] （水圧破砕を模擬した室内実験その１とその結果）

本発明者等は、水圧破砕を模擬した室内実験その１をおこない、ガスハイドレート層に効果的に亀裂を形成するための圧力流体の最適な圧力範囲を特定することとした。

[0057] 本実験では、アルミ合金で形成され、軸圧と周圧をそれぞれ独立に制御できる3軸応力付加型の圧力セルを用いて室内実験をおこなった。また、コア試料における亀裂の形成状況はX線CT装置にて撮像し、観察した。

[0058] 実験手順は以下の通りである。すなわち、含水させた豊浦砂をゴムスリーブ内に詰め、直径50 mm、長さ69.9 mmの円筒状のコアを作成した。圧力セルの軸圧を2.1 MPa、周圧を1.1 MPaに制御し、有効応力を維持しながらメタンガスを4.1 MPaまで加圧した。そして、温度をおよそ276 Kに低下させることでメタンハイドレートを生成した。メタンハイドレート生成後、蒸留水で残留ガスを排除することにより、メタンハイドレート飽和率が72%、水飽和率が28%のメタンハイドレート胚胎砂を作成した。ここで、孔隙圧、軸圧、周圧をそれぞれ、4.1 MPa、6.1 MPa、5.1 MPaに設定し、温度をおよそ276 Kに制御した。水圧破砕のため、コア試料上端の3 mm径の圧入孔から蒸留水を5 ml/分で計10 mlに至るまで圧入し、この間、軸圧・周圧は一定に保持した。水圧破

砕の前・後、および再拘束によって亀裂が閉じた後の各ステップでX線CTによる観察をおこなうとともに、水の有効浸透率を計測した。

[0059] （実験結果）

本実験では、圧入を２回実施した。図４，５はそれぞれ、１回目と２回目の圧力流体の圧入の際の時間－圧力関係図であり、図６は実験で用いたコア試料の上端からの距離ごとのX線CT画像図であり、図７はコア試料に形成された破壊モードを示したX線CT画像図である。

[0060] １回目の圧入では、圧入圧が装置の安全上限9.0 MPaまで上昇した。その結果、装置の安全制御によって、圧入レートは初期の5 ml/分から0.5 ml/分近くまで一度低下したが、徐々に上昇に転じ、最終的には5 ml/分に回復した。この間、圧入圧は9.0 MPaに維持された。

[0061] X線CTによる観察の結果、コア試料の上端から0～20 mmの範囲に、圧入孔を起点とする小さい亀裂が確認された。

[0062] 孔隙圧を初期状態に戻すことでコアを再拘束した。およそ１日後に実施したX線CTによる観察では、形成された亀裂は閉じていた。

[0063] ２回目の圧入は１回目の圧入からおよそ１日後に実施した。２回目の圧入では、圧入圧が8.0 MPaに達したところで急激に低下に転じた。この間、圧入レートは5 ml/分に維持された。

[0064] X線CTによる観察の結果、１回目の圧入で形成された亀裂（コア試料の上端から0～20 mm）が再度開いて広がり、コア試料の下端（コア上端から25～60 mm）に向けて拡大したことが明らかになった。

[0065] いくつかのつながった亀裂が、最小主応力に直交する方向のコア試料の長手方向に向けて発達した。亀裂はまっすぐでかつ薄層状であり、屈曲が少なく、コア試料の半径方向に形成された。

[0066] 以上の結果より、メタンハイドレート胚胎砂では、8.0～9.0 MPaで亀裂が形成され、その圧力は最小主応力（この実験では周圧）である5.1 MPより2.9～3.9 MPa高い圧力であることが明らかになった。

[0067] 本実験結果に基づき、ガスハイドレート層において亀裂を形成したい所定

深度における最小応力がP0(MPa)の際に、圧力流体の圧力P(MPa)を(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)の条件となるように圧力制御し、圧力流体の注入を実行することとした。

[0068] また、圧力流体の圧力が当該圧力流体が流通する有孔配管の内部耐圧力未満であることも必須であることに鑑み、有孔配管の内部耐圧力がP1(MPa)の場合に、圧力流体の圧力P(MPa)を(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整してガスハイドレート層の所定深度に注入することとした。

[0069] また、本実験にて観察されたコア試料に形成された破壊モードを図７に示す。

[0070] 図７で示すように、本破壊モードは引張り破壊であった。引張り破壊における超過破砕圧（破砕圧と最小主応力の差）は、引張強度に相関があると言われているものの、ハイドレート胚胎砂の引張強度はこれまで報告されていない。一方、メタンハイドレート単体の引張強度は、実験(W. Jung, and J. C. Santamarina, Hydrate adhesive and tensile strengths, Geochem. Geophys. Geosyst., 2011, 12, Q08003.)や分子動力学計算（J. Wu, F. Ning, T. T. Trinh, S. Kjelstrup, T. J.H. Vlugt, J. He, B. H. Skallerud, and Z. Zhang, Mechanical instability of monocrystalline and polycrystalline methane hydrates, Nature Communications, 2015, 6, Article number: 8743.）による研究結果が報告されており、この中で、ハイドレートの引張強度は、その結晶度や結晶粒径に依存することが示唆されており、結晶度や結晶粒径が様々な実験ではサブMPaオーダー、それらが均一な分子動力学計算ではサブGPaオーダーの値が報告されている。砂層中のメタンハイドレートの結晶度や結晶粒径は様々であると考えられることから、本実験で得られた超過破砕圧2.9～3.9 MPaは、既往の実験で報告されているメタンハイドレート単体の引張強度（サブMPaオーダー）と整合するはずだが、実際はそれよりも一桁高い値であった。

[0071] 既往の実験と本実験の違いは有効応力の有無であることから、ハイドレート胚胎砂の引張強度は、結晶度、結晶粒径、ハイドレートのモホロジー、ハ

イドレート飽和率、および有効応力に依存すると考えられる。理論的には、引張り破壊が生じた際の超過破砕圧は有効応力に依存しないが、本実験の結果は、ハイドレート胚胎砂の超過破砕圧が有効応力に依存する可能性を十分に示している。

[0072] 次に、水圧破砕の前後、および再拘束によって亀裂が閉じた後の水の有効浸透率を圧力緩和試験および流動試験を通して計測した。

[0073] まず、水圧破砕の前（初期）の水の有効浸透率は、0.00080 mD(ミリダルシー)であった。次に、１回目の水圧破砕後の水の有効浸透率は、0.014 mDであった。次に、2回目の水圧破砕後の水の有効浸透率は、4.6 mDであった。

[0074] ２回目の水の有効浸透率はコア試料を再拘束した後に計測した値であり、この際に亀裂は閉じていた。このことから、亀裂を保持するためのプロパントがなくても、水圧破砕によって上昇した有効浸透率が維持されることが明らかになった。また、ハイドレートの固着や再生成による影響も本実験の時間軸では認められなかった。

[0075] （水圧破砕を模擬した室内実験その２とその結果）

本発明者等は、水圧破砕を模擬した室内実験その２をおこなった。この室内実験の実験方法とその詳細は室内実験その１とほぼ同様である。その結果を図８に示す。

[0076] 図８より、最小主応力（この実験では周圧）である5.1 MPより3.3 MPa以上高い圧力の圧力流体にて注入圧力の低下が確認され、(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)の範囲の圧力範囲が本実験でも保証されている。

[0077] 以上、本発明の実施の形態を図面を用いて詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲における設計変更等があっても、それらは本発明に含まれるものである。

符号の説明

[0078] １…浮遊式掘削装置、２…ドリルビット、３…配管、４…注入ポンプ（供給装置）、５…砂防護スクリーン、６…排水管、７…ガス管、１０…水圧破砕システム、Ｇ１…上層、Ｇ２…ガスハイドレート層（メタンハイドレート

層）、Ｇ３…下層、Ｋ…坑井、Ｋ１，Ｋ２…ケーシング、Ｒ…裸坑、Ｐ…パッカー、Ｃ…亀裂

請求の範囲

[請求項1] ガスハイドレート層のうち、亀裂を形成したい所定深度まで延びて圧力流体の流通する配管を地盤内に施工し、

前記所定深度における最小応力がP0(MPa)であり、前記配管の内部耐圧力がP1(MPa)の場合に、前記圧力流体の圧力P(MPa)が(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整された該圧力流体を前記ガスハイドレート層の前記所定深度に注入し、該所定深度にて亀裂を形成する、ガスハイドレート層における水圧破砕方法。

[請求項2] 前記圧力流体が、添加物とプロパントを含んでいない、水、海水、淡水あるいは蒸留水のいずれか一種からなる、請求項１に記載のガスハイドレート層における水圧破砕方法。

[請求項3] ガスハイドレート層に圧力流体を供給してガスハイドレート層の一部を破砕するガスハイドレート層における水圧破砕システムであって、

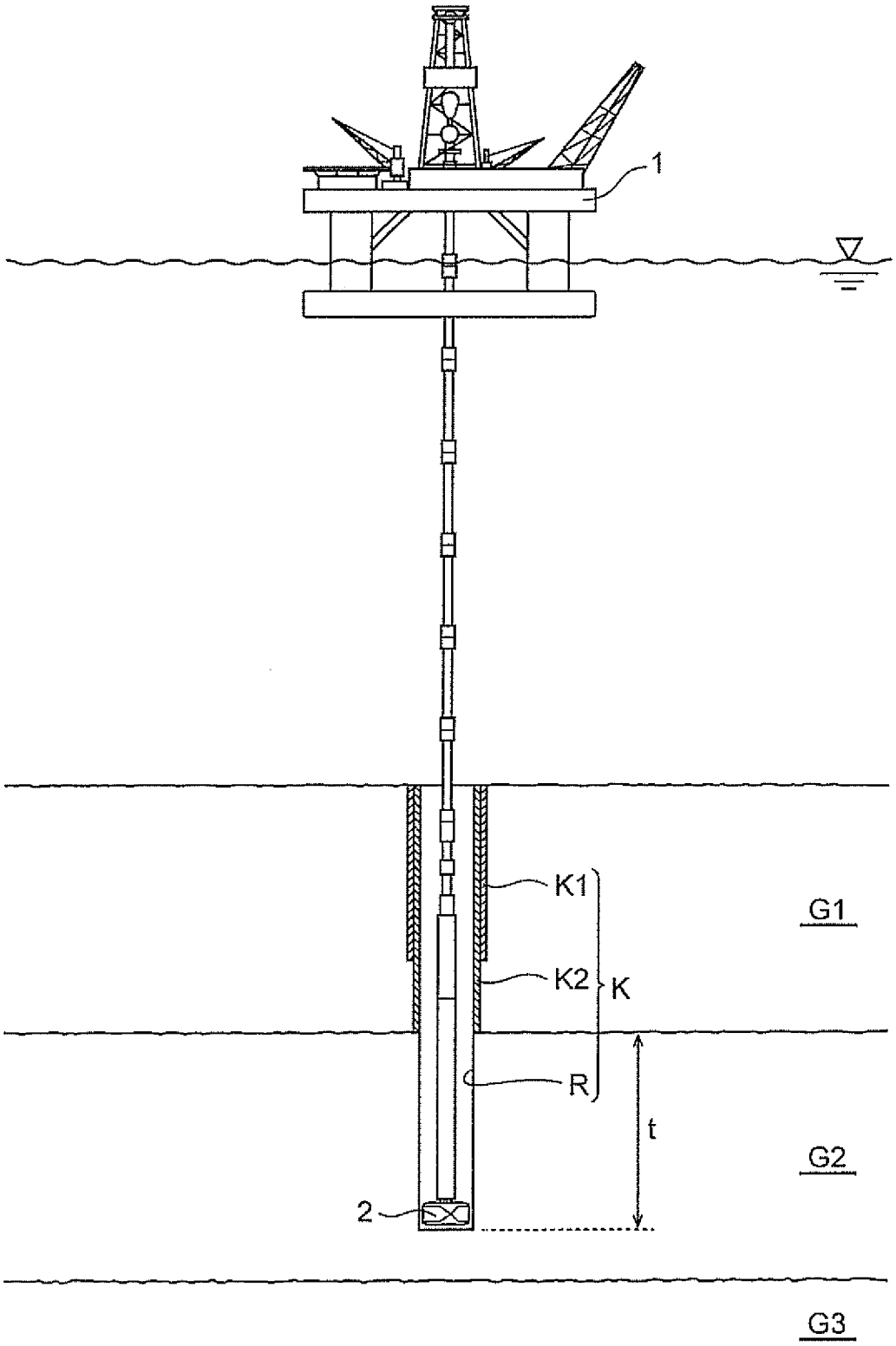
ガスハイドレート層のうち、亀裂を形成したい所定深度まで延びて圧力流体の流通する配管と、

前記圧力流体を前記所定深度に供給する供給装置と、を備え、

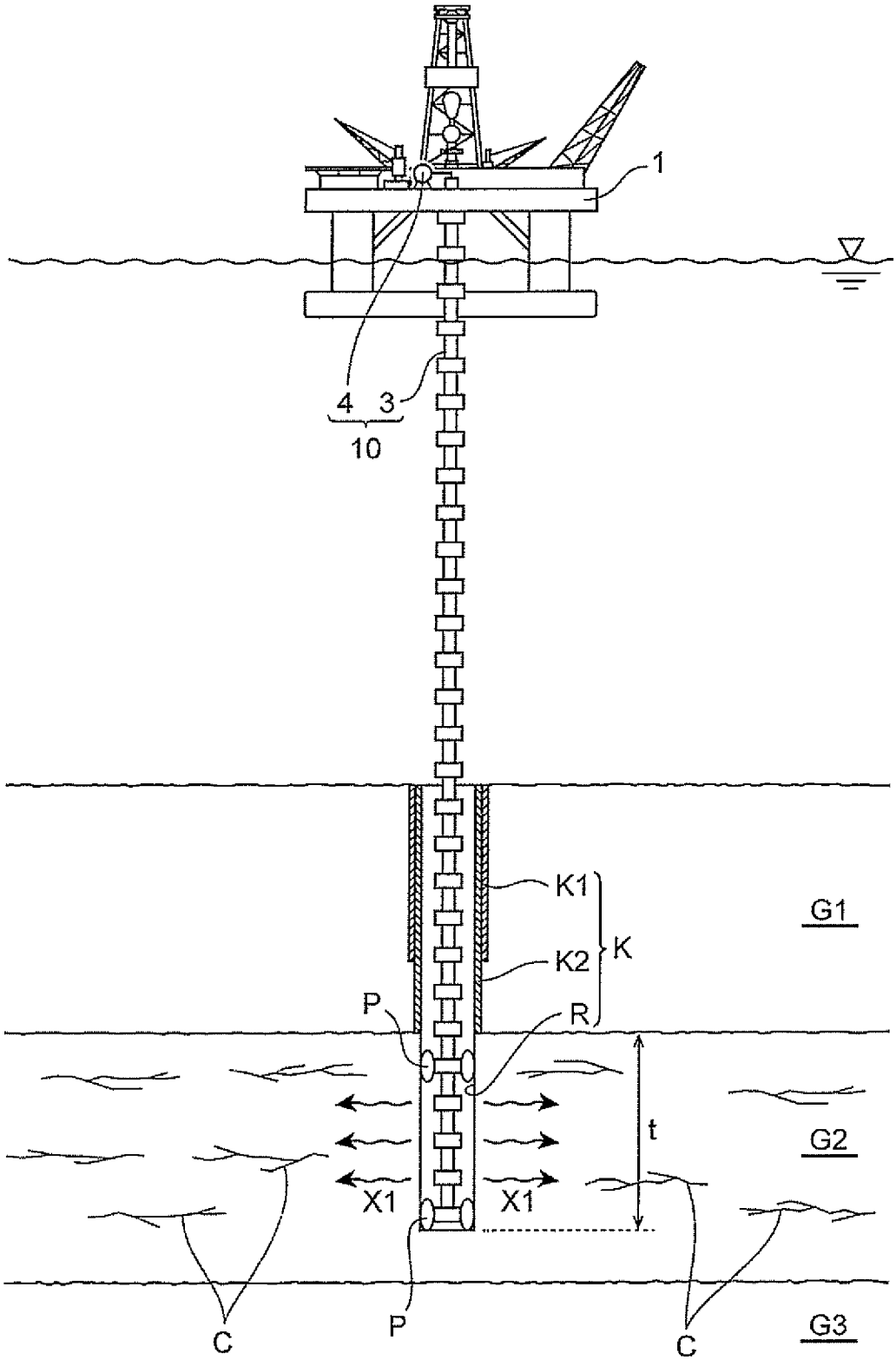
前記所定深度における最小応力がP0(MPa)であり、前記配管の内部耐圧力がP1(MPa)の場合に、前記供給装置において、前記圧力流体の圧力P(MPa)が(2.9＋P0)(MPa)≦P(MPa)＜P1(MPa)の範囲に調整される、ガスハイドレート層における水圧破砕システム。

[請求項4] 前記圧力流体が、添加物とプロパントを含んでいない、水、海水、淡水あるいは蒸留水のいずれか一種からなる、請求項３に記載のガスハイドレート層における水圧破砕システム。

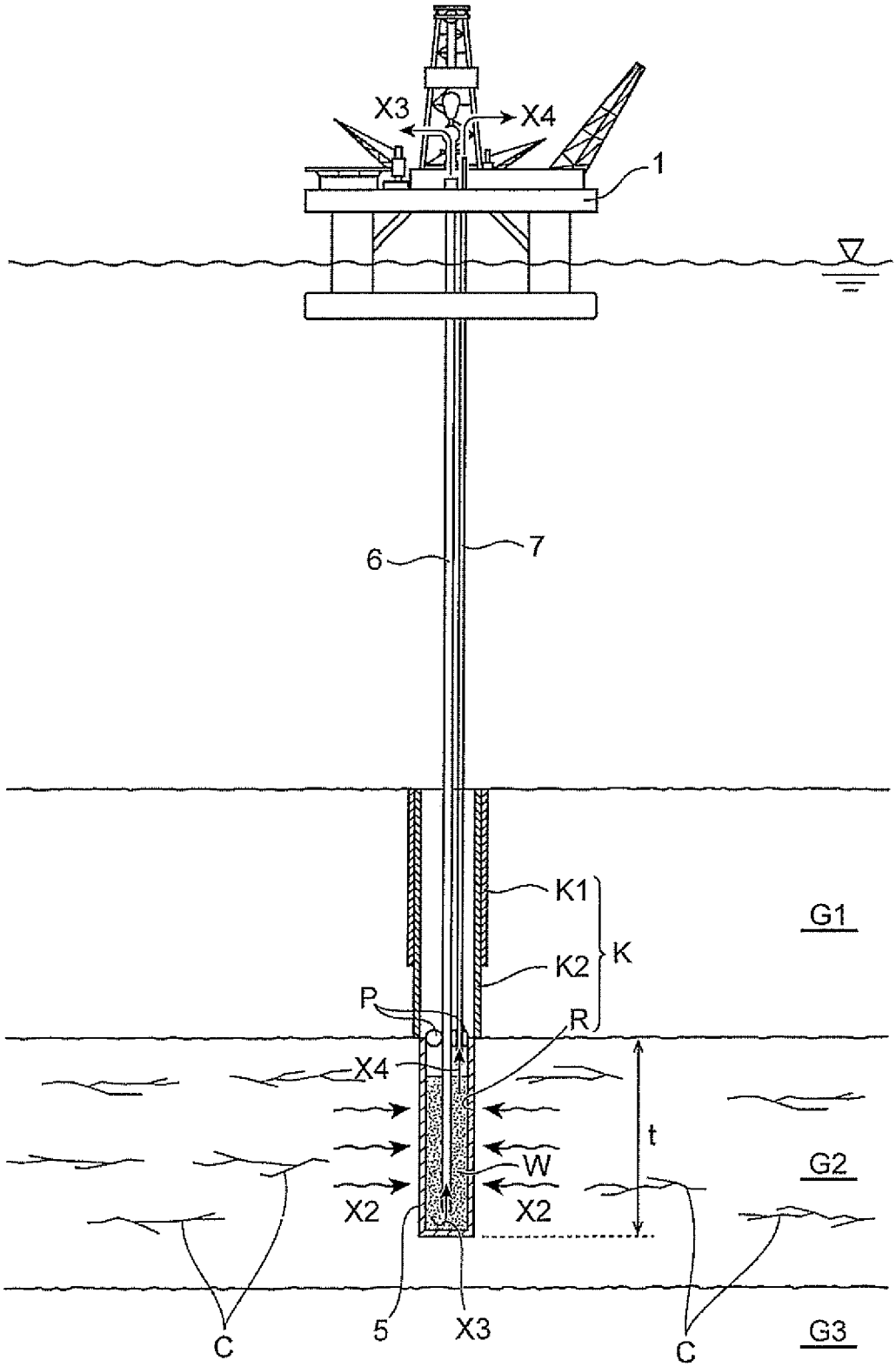
[図1]



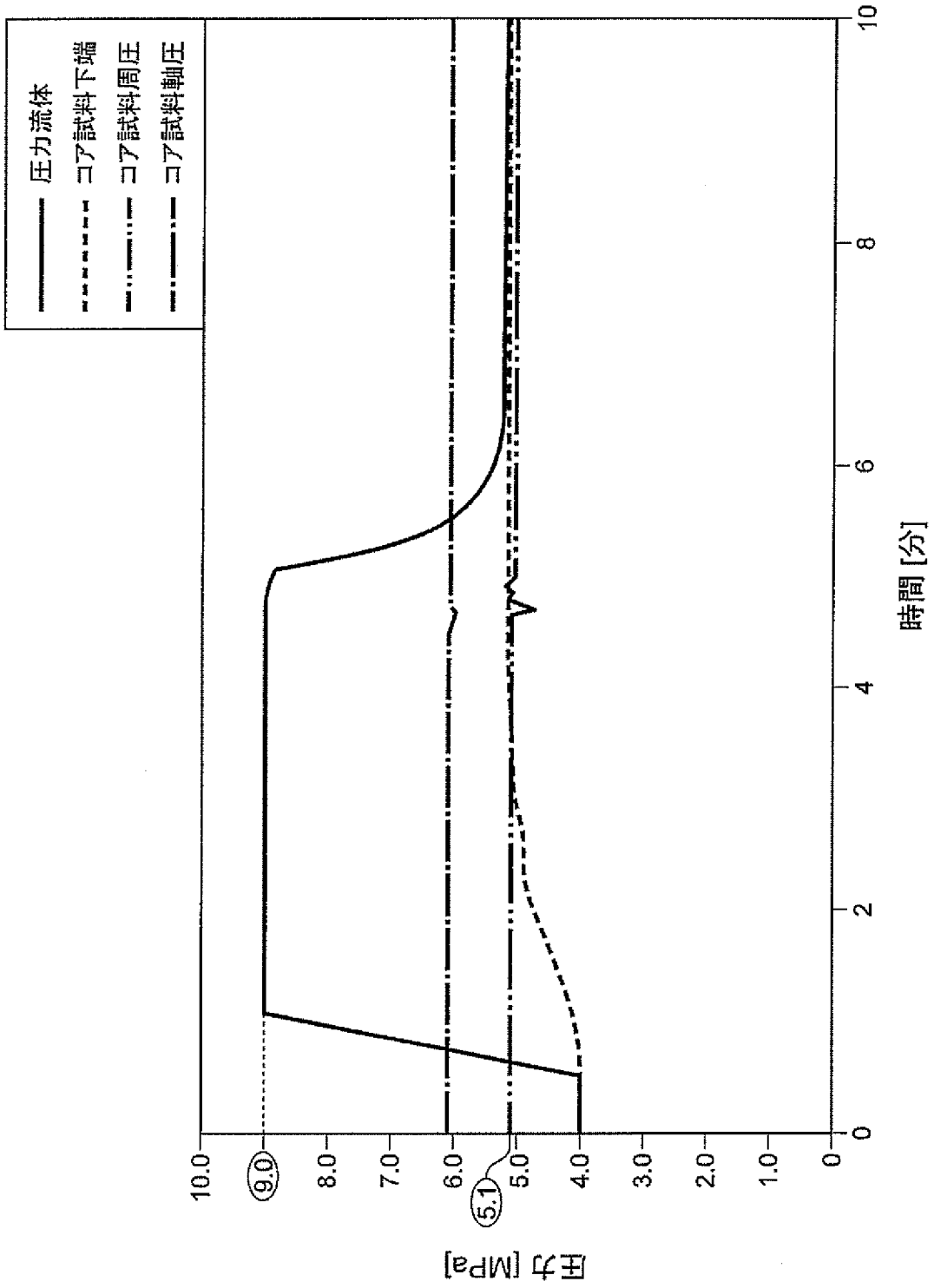
[図2]



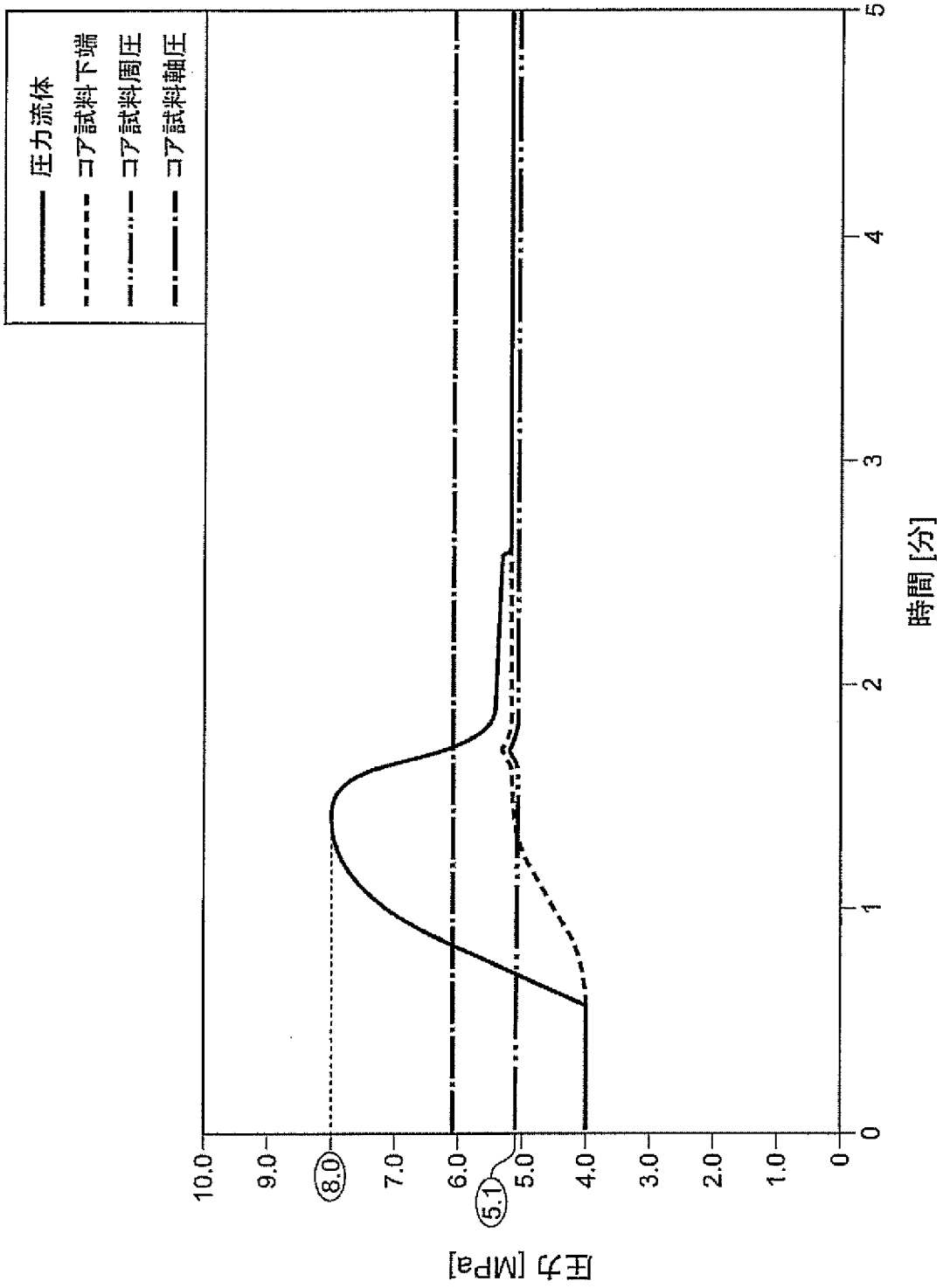
[図3]



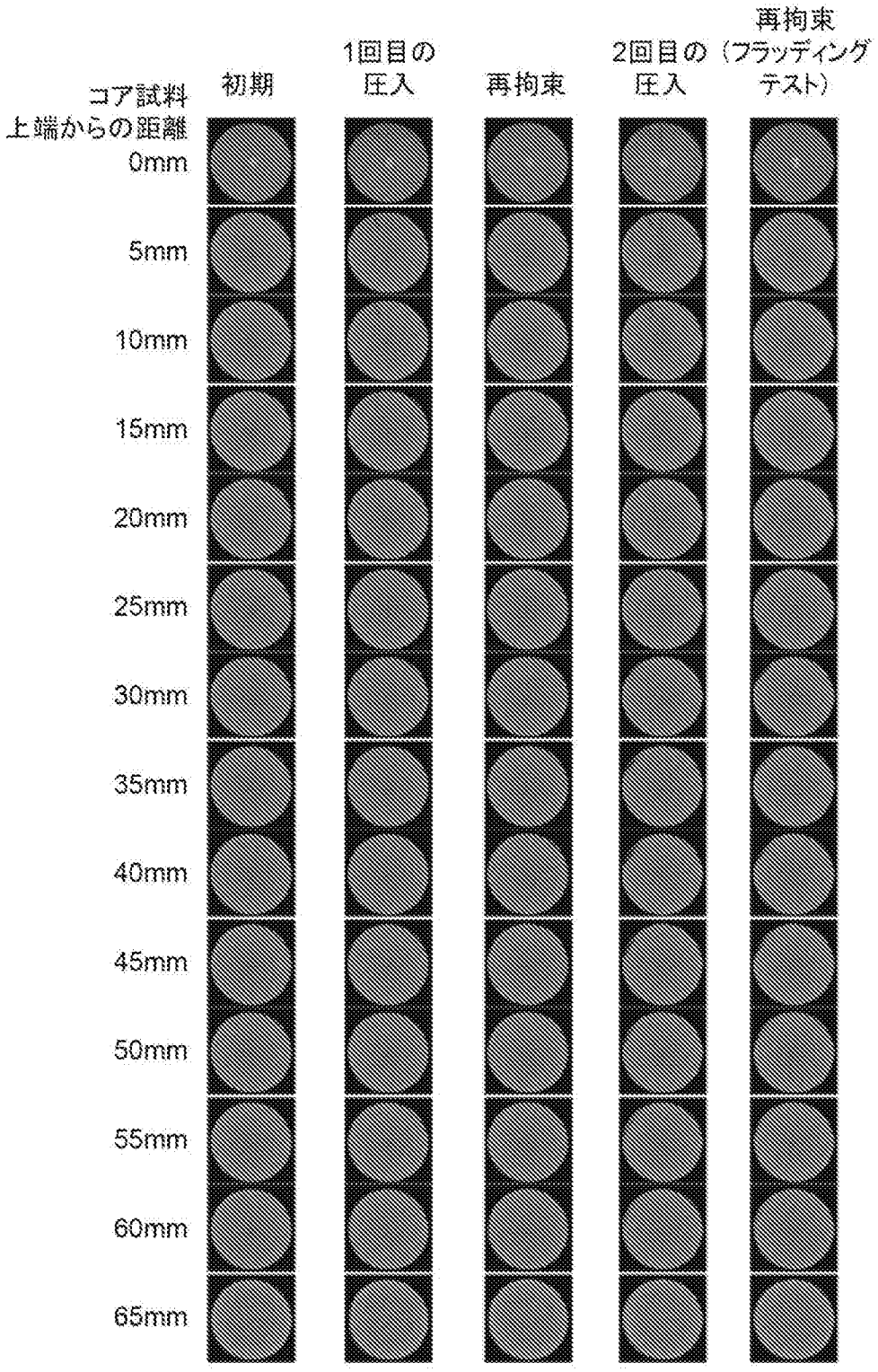
[図4]


圧力流体
コア試料下端
コア試料周圧
コア試料軸圧
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.1
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0
0
2
4
6
8
10
圧力 [MPa]
時間 [分]

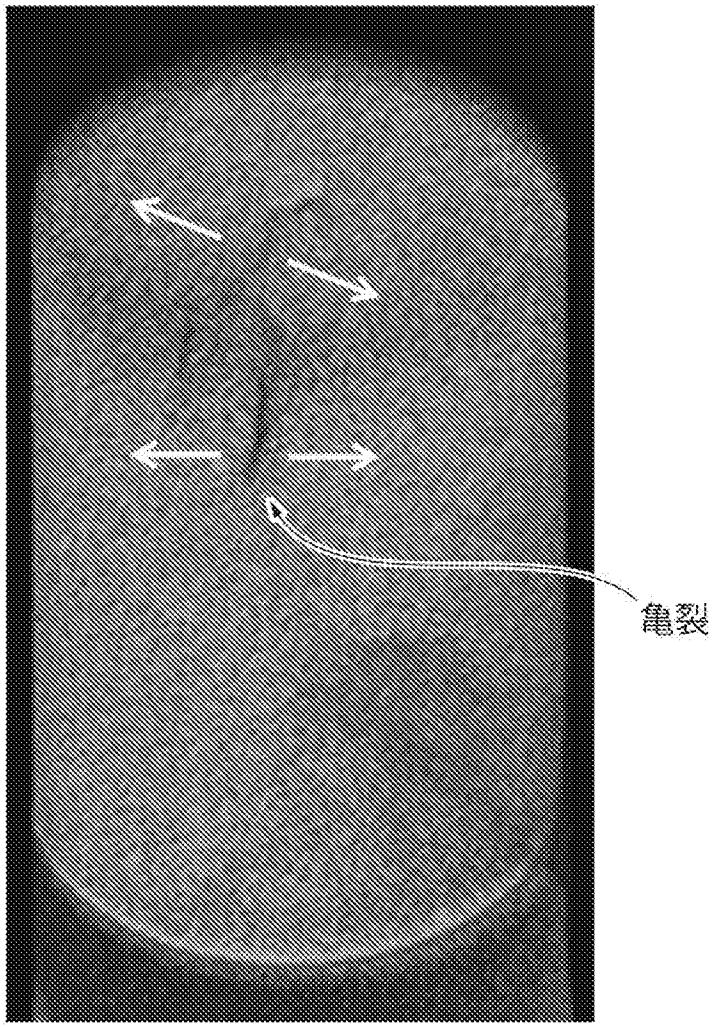
[図5]


圧力流体
コア試料下端
コア試料周圧
コア試料軸圧
10.0
9.0
8.0
7.0
6.0
5.1
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0
0
1
2
3
4
5
圧力 [MPa]
時間 [分]

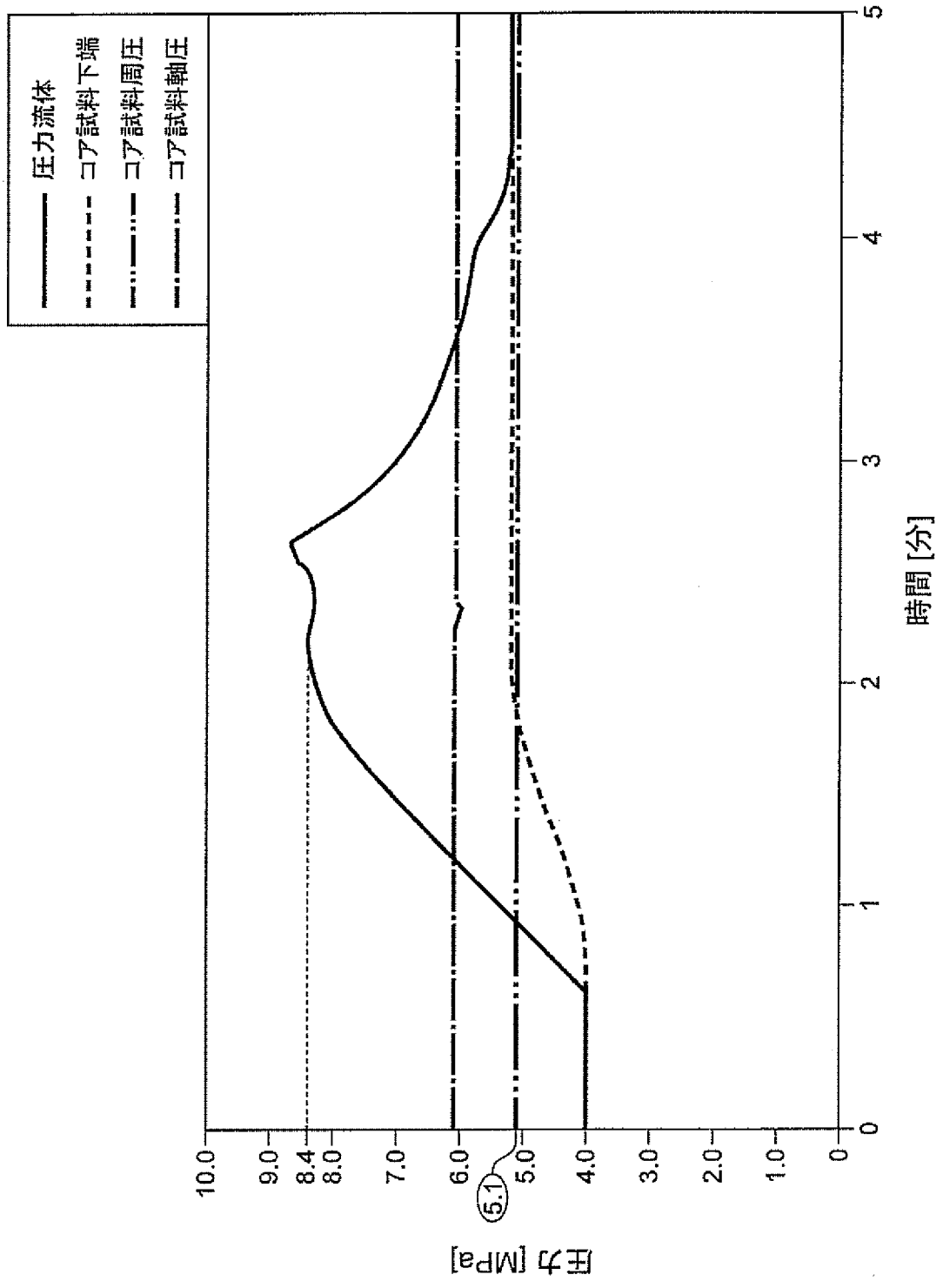
[図6]


コア試料
上端からの距離
初期
1回目の圧入
再拘束
2回目の圧入
再拘束（フラッディングテスト）
0mm
5mm
10mm
15mm
20mm
25mm
30mm
35mm
40mm
45mm
50mm
55mm
60mm
65mm

[図7]



[図8]


圧力流体
コア試料下端
コア試料周圧
コア試料軸圧
圧力 [MPa]
10.0
9.0
8.4
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0
(5.1)
0
1
2
3
4
5
時間 [分]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/024072

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
E21B43/26(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
E21B43/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2016-108867 A (Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.), 20 June 2016 (20.06.2016), paragraphs [0031] to [0070]; fig. 1 to 9 (Family: none)	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 September 2017 (21.09.17)	03 October 2017 (03.10.17)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０２４０７２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　E21B43/26(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　E21B43/26

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2016-108867 A（三井造船株式会社）2016.06.20, 段落[0031]-[0070],図1-9（ファミリーなし）	1-4

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２１．０９．２０１７	０３．１０．２０１７

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｂ　３２０１
須永　聡
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２３７