

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5149959号

(P5149959)

(45) 発行日 平成25年2月20日(2013.2.20)

(24) 登録日 平成24年12月7日(2012.12.7)

(51) Int.Cl.

F I

E 2 1 B 36/04 (2006.01)

E 2 1 B 36/04

E 2 1 B 43/16 (2006.01)

E 2 1 B 43/16

請求項の数 18 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2010-504263 (P2010-504263)	(73) 特許権者	390023685
(86) (22) 出願日	平成20年4月18日 (2008.4.18)		シェル・インターナショナル・リサーチ
(65) 公表番号	特表2010-525196 (P2010-525196A)		・マーチャツピー・ベー・ウイ
(43) 公表日	平成22年7月22日 (2010.7.22)		SHELL INTERNATIONAL
(86) 国際出願番号	PCT/US2008/060743		E RESEARCH MAATSCHA
(87) 国際公開番号	W02008/131171		PPIJ BESLOTEN VENNO
(87) 国際公開日	平成20年10月30日 (2008.10.30)		OTSHAP
審査請求日	平成23年4月11日 (2011.4.11)		オランダ国 2596 ハーエル, ザ・ハ
(31) 優先権主張番号	60/925,685		ーグ, カレル・ヴァン・ピラントラーン
(32) 優先日	平成19年4月20日 (2007.4.20)		30
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100140109
(31) 優先権主張番号	60/999,839		弁理士 小野 新次郎
(32) 優先日	平成19年10月19日 (2007.10.19)	(74) 代理人	100075270
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 小林 泰

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地下累層用の並列ヒーターシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

地下累層における炭化水素含有層中に配置された実質的に水平方向の又は傾斜した複数のヒーター部分を備えた地下累層の加熱システムであって、

前記ヒーター部分のうち2ヒーター部分の少なくとも一部が互いに実質的に平行であり、

地下累層中の前記ヒーター部分のうち少なくとも2ヒーター部分の端部が、前記少なくとも2ヒーター部分の端部に実質的に垂直に方向付けられた実質的に水平な又は傾斜した電気導体に電氣的に接続される、地下累層の加熱システム。

【請求項 2】

前記実質的に水平な又は傾斜した電気導体がヒーター部分の中性線又は帰線である、請求項 1 に記載の加熱システム。

【請求項 3】

前記少なくとも2ヒーター部分が並列にて電気接続される請求項 1 又は 2 に記載の加熱システム。

【請求項 4】

前記少なくとも2ヒーター部分が直列にて電気接続される請求項 1 又は 2 に記載の加熱システム。

【請求項 5】

前記少なくとも2ヒーター部分の端部が、マウストラップ連結器、溶融金属、及び／又

は爆着を用いて前記実質的に水平な又は傾斜した電気導体に接続される請求項 1 又は 2 に記載の加熱システム。

【請求項 6】

前記実質的に水平な又は傾斜した電気導体が、前記少なくとも 2 ヒーター部分の端部が挿入されるチューブである請求項 1 又は 2 に記載の加熱システム。

【請求項 7】

前記ヒーター部分の少なくとも 1 つが、前記ヒーター部分において選択温度に到達したときその熱出力を自動的に低減するよう構成される請求項 1 又は 2 に記載の加熱システム。

【請求項 8】

10

前記ヒーター部分のうち少なくとも 2 ヒーター部分の少なくとも大部分が互いにほぼ平行である請求項 1 又は 2 に記載の加熱システム。

【請求項 9】

炭化水素含有層の処理方法であって、
請求項 1 又は 2 に記載の加熱システムを用いて加熱する段階と、
前記加熱システムから前記炭化水素含有層の一部に熱を移動させる段階とを含む前記処理方法。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の加熱システムを形成する方法であって、
前記地下累層中に第 1 の坑井を形成する段階であって、前記坑井の一部が実質的に水平か又は傾斜している前記段階と；

電気導体を前記第 1 の坑井内に配置する段階と；

前記地下累層中に少なくとも 2 つの追加の坑井を形成する段階であって、前記追加の坑井の端部が前記第 1 の坑井と交差し、また、現場での熱処理プロセスにより熱処理されるべき炭化水素層を通過する第 1 の追加の坑井部分の少なくとも大部分が、前記炭化水素層を通過する第 2 の追加の坑井部分の少なくとも大部分と実質的に平行である前記段階と；
前記追加の坑井の少なくとも 1 つの中にヒーター部分を配置する段階と；

前記第 1 の坑井内にて前記ヒーター部分と前記電気導体を接続する段階とを含む前記方法。

【請求項 11】

30

前記第 1 の坑井中の電気導体がヒーター部分の中性線又は帰線である請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

他の追加の坑井の少なくとも 1 つの中に第 2 のヒーター部分を配置し、前記ヒーター部分が並列に電気接続されるように前記追加の坑井中の前記ヒーター部分を接続する段階を更に含む、請求項 10 又は 11 に記載の方法。

【請求項 13】

他の追加の坑井の少なくとも 1 つの中に第 2 のヒーター部分を配置し、前記ヒーター部分が直列に電気接続されるように前記追加の坑井内で前記ヒーター部分を接続する段階を更に含む、請求項 10 又は 11 に記載の方法。

40

【請求項 14】

マウストラップ連結器、溶融金属、及び／又は爆着を用いて前記ヒーター部分の端部が 1 つの前記電気導体に接続される請求項 10 又は 11 に記載の方法。

【請求項 15】

前記第 1 の坑井中の前記電気導体が、前記ヒーター部分の端部が挿入されるチューブである請求項 10 又は 11 に記載の方法。

【請求項 16】

前記ヒーター部分を用いて前記地下累層の少なくとも一部を加熱する段階を更に含む請求項 10 又は 11 に記載の方法。

【請求項 17】

50

他の追加の坑井の少なくとも1つの中に第2のヒーター部分を配置し、前記ヒーター部分からの熱が前記地下累層内において前記第2のヒーター部分からの熱と重ね合わされるように前記ヒーター部分を用いて前記地下累層の少なくとも一部を加熱する段階を更に含む、請求項10又は11に記載の方法。

【請求項18】

前記ヒーター部分が、前記ヒーター部分において選択温度に達したときその熱出力を自動的に低減するよう構成される請求項10又は11に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

背景

1. 発明の分野

一般に本発明は、炭化水素を含有した層など地下の様々な層から炭化水素、水素、及び／又は他の生成物を産出するための加熱方法及び加熱システムに関する。また、特定の態様は、地下の層を加熱するための並列ヒーターシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

2. 関連技術の説明

地下の層から得られる炭化水素は、しばしばエネルギー資源、供給原料、及び消費者製品として用いられる。利用可能な炭化水素資源の枯渇の問題や、製造された炭化水素の品質全体の低下の問題から、利用可能な炭化水素資源について更に効率的な回収、処理及び／又は使用が開発されてきた。現場で炭化水素物質を地下の層から取り出すプロセスを用いてもよい。炭化水素物質を更に容易に地下の層から取り出すために、地下の層中の炭化水素物質の化学的及び／又は物理的な特性を変える必要があるかもしれない。化学的及び物理的な変化としては、取り出し可能な流体を生成する現場での反応、層中の炭化水素物質についての組成変化、溶解度の変化、密度変化、相変化、及び／又は粘性変化が挙げられる。限定するものではないが、流体は、気体、液体、乳濁液、懸濁液、及び／又は液体流に類似の流れ特性を有する固体粒子の流れとし得る。

20

【0003】

坑井を層中に形成してもよい。特定の態様では、ケーシング又は管システムを坑井中に配置又は形成してもよい。特定の態様では、拡張可能チューブを坑井内で用いてもよい。現場でのプロセス中に層を加熱するために、坑井中にヒーターを配置してもよい。

30

【0004】

オイルシェール層の加熱については、Ljungstromへの米国特許第2,923,535号、及びVan Meursらへの米国特許第4,886,118号に記載されている。オイルシェール層中のケロゲンを熱分解するためにオイルシェール層に熱を加えてもよい。層の浸透性を高めるために熱で層を破碎してもよい。浸透性が増すと層流体が産出井まで移動でき、該流体をオイルシェール層から取り出すことができる。例えば、Ljungstromにより開示された特定のプロセスでは、燃焼を開始するために好ましくは予熱段階からそのまま高温の間に酸素含有ガス状媒体が透水層に取り込まれる。

40

【0005】

地下層を加熱するために熱源を使用してもよい。放射及び／又は伝導により地下の層を加熱するために電気ヒーターを使用できる。電気ヒーターは要素を抵抗加熱できる。Germainへの米国特許第2,548,360号；Eastlundらへの米国特許第4,716,960号；及びVan Egmondへの米国特許第5,065,818号には、坑井中に配置された電気加熱要素が記載されている。Vinegarらへの米国特許第6,023,554号には、ケーシング中に配置された電気加熱要素が記載されている。この加熱要素はケーシングを加熱する放射エネルギーを発生する。

【0006】

Van Meursらへの米国特許第4,570,715号には、電気加熱要素が記載

50

されている。この加熱要素は、導電性コアと、その周囲の絶縁材の層と、その周囲の金属シースとを有する。この導電性コアは高温にて相対的に低い抵抗を有し得る。絶縁材は、高温にて相対的に高い電気抵抗、圧縮強度、及び熱伝導率の特性を有し得る。絶縁層により、コアから金属シースへのアークの発生が防止できる。金属シースは、高温にて相対的に高い引張強さ及びクリープ抵抗の特性を有し得る。Van Egmondへの米国特許第5,060,287号には、銅ニッケル合金のコアを有する電気加熱要素が記載されている。

【0007】

ヒーターは鍛ステンレス鋼から製造してもよい。Maziaszらへの米国特許第7,153,373号及びMaziaszらへの米国特許出願公開第US2004/0191109号には、鍛造マイクロ組織又は微粒状シート若しくは箔として改質された237ステンレス鋼が記載されている。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記において概説したように、炭化水素を含有した層（以下、「炭化水素含有層」ともいう）から炭化水素、水素、及び／又は他の生成物を経済的に産出するためのヒーター、方法及びシステムを開発する多大な努力が注がれてきた。しかしながら、現在のところ、炭化水素、水素、及び／又は他の生成物を経済的に産出することができない炭化水素含有層がなお多く存在する。よって、炭化水素、水素、及び／又は他の生成物を種々の炭化水素含有層から産出する改善された加熱方法及びシステムに対する必要性が依然として存在する。

20

【課題を解決するための手段】

【0009】

概要

一般に、ここに記載の態様は地下の層を処理するためのシステム、方法、及びヒーターに関する。一般に、ここに記載の態様はまた、新たな構成要素を備えたヒーターにも関する。このヒーターは、ここに記載のシステム及び方法を用いることにより得ることができる。

【0010】

30

特定の態様では、本発明は1又は複数のシステム、方法、及び／又はヒーターを提供する。特定の態様では、地下の層を処理するためにこれらのシステム、方法、及び／又はヒーターが用いられる。

【0011】

特定の態様では、本発明は、地下累層における炭化水素含有層中に配置された実質的に水平方向の又は傾斜した複数のヒーター部分を備えた地下累層の加熱システムであって、前記ヒーター部分のうち2ヒーター部分の少なくとも一部が互いに実質的に平行であり、地下累層中の前記ヒーター部分のうち少なくとも2ヒーター部分の端部が、前記少なくとも2ヒーター部分の端部に実質的に垂直に方向付けられた実質的に水平な又は傾斜した電気導体に電氣的に接続される、地下累層の加熱システムを提供する。

40

【0012】

別の態様では、特定の態様の特徴が他の態様の特徴と組み合わせられてもよい。例えば、1つの態様の特徴をその他のいずれかの態様の特徴と組み合わせてもよい。

【0013】

別の態様では、ここに記載の方法、システム、又はヒーターのいずれかを用いて地下の層の処理が実行される。

【0014】

別の態様では、ここに記載の特定の態様に更なる特徴を追加してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0015】

50

以下の詳細な説明及び添付の図面を参照すれば、本発明の効果が当業者には明らかになるであろう。

【0016】

【図1】炭化水素を含有した層の加熱段階を示す。

【0017】

【図2】炭化水素を含有した層を処理するための現場での熱処理システムの一部の態様の概略図である。

【0018】

【図3】炭化水素層中においてバスバーに連結された実質的に水平な複数のヒーターの態様を示す。

10

【0019】

【図4】炭化水素層中においてバスバーに連結された実質的に水平な複数のヒーターの態様を示す。

【0020】

【図5】コネクタによりヒーターに連結されたバスバーの態様を示す。

【0021】

【図6】コネクタとセントライザー（centralizer）によりヒーターに連結されたバスバーの態様を示す。

【0022】

【図7】バスバーに連結するコネクタの断面図である。

20

【0023】

【図8】バスバーに連結するコネクタの三次元図である。

【0024】

本発明は種々の変更を行ったり代替の形式をとったりできるが、例としてその特定の態様について図面に示し明細書において詳細に説明する。図面は縮尺どおりではないかもしれない。しかしながら、図面とその詳細な説明は本発明を開示した特定の形式に限定するものではなく、逆に本発明は添付の特許請求の範囲に記載の本発明の思想及び範囲内にあ

るすべての変更、等価物及び代替物を含むものであることに留意すべきである。

【発明を実施するための形態】

【0025】

30

一般に以下の記載は、層中の炭化水素を処理するためのシステム及び方法に関する。炭

化水素生成物、水素、及びその他の生成物を得るために、これらの層を処理できる。

【0026】

「交流（AC）」とは、実質的に正弦波状に方向を逆転する時間的に変動する電流をいう。ACにより、強磁性導体において表皮効果の電気の流れが発生する。

【0027】

「キュリー温度」は、その温度を超えると強磁性体がその強磁性特性のすべてを失う温度である。キュリー温度を超えてその強磁性特性のすべてを失うことに加えて、強磁性体は、増大する電流が強磁性体を流れるとその強磁性特性を失い始める。

【0028】

40

「流体圧力」は層中の流体により作られる圧力である。「地盤圧力」（しばしば「地盤応力」という）は、上に横たわる岩盤の単位面積当たりの重量に等しい層中の圧力である。「静水圧」は水柱によって加えられる層中の圧力である。

【0029】

「累層（又は層）（formation）」は1以上の炭化水素含有層、1以上の非炭化水素層、オーバーバーデン（overburden）、及び／又はアンダーバーデン（underburden）を含む。「炭化水素層」とは累層において炭化水素を含有した層をいう。炭化水素層は非炭化水素物質及び炭化水素物質を含み得る。「オーバーバーデン」及び／又は「アンダーバーデン」は1以上の異なる種類の不浸透性物質を含む。例えば、オーバーバーデン及び／又はアンダーバーデンは岩石、頁岩、泥岩、又は湿性／緊密な炭酸塩を含み得る。現場での

50

熱処理プロセスの特定の態様では、オーバーバーデン及び／又はアンダーバーデンは、相対的に不浸透性であり且つ現場での熱処理プロセス中に温度に影響されない炭化水素含有層（1又は複数）を含むことができ、その結果、オーバーバーデン及び／又はアンダーバーデンの炭化水素含有層の特性がかなり変化する。例えば、アンダーバーデンは頁岩又は泥岩を含んでもよいが、アンダーバーデンは現場での熱処理プロセス中に熱分解温度まで加熱することはできない。場合によっては、オーバーバーデン及び／又はアンダーバーデンはいくらか浸透性を有してもよい。

【0030】

「層流体」とは層中に存在する流体をいい、熱分解流体、合成ガス、移動性の炭化水素、及び水（蒸気）を含み得る。層流体は非炭化水素流体だけでなく炭化水素流体も含み得る。「移動性流体」とは、層の熱処理の結果として流れることができる、炭化水素を含有した層中の流体をいう。「産出流体」とは、当該層から取り出された流体をいう。

10

【0031】

熱源は、実質的に伝導及び／又は放射による熱伝達によって層の少なくとも一部を加熱する任意のシステムである。例えば、熱源は、例えば導管中に配置された絶縁導体、細長部材、及び／又は導体などの電気ヒーターを含み得る。熱源はまた、層の外部又は内部で燃料を燃焼させることにより熱を発生するシステムを含み得る。これらのシステムは、地表バーナー、ダウンホールガスバーナー、分散型無炎燃焼器、及び分散型天然燃焼器とし得る。特定の態様では、1以上の熱源に供給される熱又は該熱源で発生される熱は、他のエネルギー源から供給し得る。この他のエネルギー源が層を直接加熱してもよいし、層を直接的又は間接的に加熱する媒体を移動させるためにそのエネルギーを用いてもよい。層を加熱する1以上の熱源は異なるエネルギー源を使用できることが分かる。よって、例えば、所与の層に対して、いくつかの熱源が電気抵抗ヒーターから熱を供給し、いくつかの熱源が燃焼から熱を供給し、いくつかの熱源が1以上のその他のエネルギー源（例えば、化学反応、太陽エネルギー、風力エネルギー、バイオマス、又はその他の再生可能なエネルギー源）から熱を供給できる。化学反応は、発熱反応（例えば酸化反応）を含み得る。熱源はまた、ヒーター井戸などの加熱場所に近接したゾーン及び／又は該加熱場所を包囲したゾーンに熱を供給するヒーターを含み得る。

20

【0032】

「ヒーター」は、井戸又は坑井に近接した領域内で熱を発生するための任意のシステム又は熱源である。ヒーターは、限定するものではないが、電気ヒーター、バーナー、層中の物質若しくは該層から産出される物質と反応する燃焼器、及び／又はそれらの組み合わせとし得る。

30

【0033】

一般に「炭化水素」は主に炭素原子と水素原子とから形成される分子として定義される。炭化水素は、限定するものではないが例えばハロゲン、金属元素、窒素、酸素、及び／又は硫黄など他の元素を含んでもよい。炭化水素は、限定するものではないが、ケロゲン、ピチューメン、焦性瀝青、オイル、天然鉱物、及びアスファルタイトとし得る。炭化水素は地中の鉱物マトリックス中又はそれに隣接して存在し得る。マトリックスとしては、限定するものではないが、堆積岩、砂、シリシライト（silicilytes）、炭酸塩、珪藻土、及びその他の多孔質媒体が挙げられる。「炭化水素流体」は、炭化水素を含んだ流体である。炭化水素流体は、水素、窒素、一酸化炭素、二酸化炭素、硫化水素、水、及びアンモニアなどの非炭化水素流体を含むか、そのような非炭化水素流体を伴うか、又はそのような非炭化水素流体中に混入させ得る。

40

【0034】

「現場での変換プロセス」とは、熱源から炭化水素含有層を加熱し、当該層の少なくとも一部の温度を熱分解温度よりも高くすることで、熱分解流体を当該層中で生成するプロセスをいう。

【0035】

「現場での熱処理プロセス」とは、熱源を用いて炭化水素含有層を加熱し、当該層の少

50

なくとも一部の温度を炭化水素含有物質の流動性流体、ビスブレーキング、及び／又は熱分解を生じる温度よりも高くすることで、移動性流体、ビスブレーキング流体、及び／又は熱分解流体を当該層中で生成するプロセスをいう。

【0036】

「絶縁導体」とは、電気を通すことができる細長物質であって、電気的な絶縁材により全体的又は部分的に覆われたものをいう。

【0037】

「熱分解」とは、熱を加えることにより化学結合が破壊されることである。例えば、熱分解は、熱のみにより化合物を1以上の他の物質に変換することを含み得る。熱を層の一部に移動させて熱分解を起こすことができる。

10

【0038】

「熱分解流体」又は「熱分解生成物」とは、実質的に炭化水素の熱分解中に生成された流体をいう。熱分解反応により生成された流体を、層中の他の流体と混合してもよい。この混合物は熱分解流体又は熱分解生成物と考えられる。「熱分解ゾーン」とは、反応させられるか又は反応して熱分解流体を形成する一定容量の層（例えば、タールサンド層などの比較的浸透性の層）をいう。

【0039】

「熱の重ね合わせ」とは、熱源間の少なくとも1つの場所での層の温度が熱源によって影響されるように、層の選択された領域に2以上の熱源から熱を与えることをいう。

【0040】

20

一般に「温度制限ヒーター」とは、例えば温度コントローラ、電源レギュレータ、整流器、又はその他の装置などの外部制御機器を使用することなく、特定の温度より上に熱出力を調節する（例えば、熱出力を抑制する）ヒーターをいう。温度制限ヒーターは、AC（交流）又は変調（例えば、「チョップド」）DC（直流）駆動の電気抵抗ヒーターとし得る。

【0041】

「伝熱流体」は、標準温度及び標準圧力（STP）（0℃及び101.325 kPa）にて熱伝導率が空気より大きい流体を含む。

【0042】

「熱伝導率」は、物質の2つの表面間に温度差が与えられた場合に定常状態においてこれら2つの表面間に流れる熱の速度を示す物質の特性である。

30

【0043】

地層の「厚さ」とは、地層面に垂直な地層断面の厚さをいう。

【0044】

「時間的に変動する電流」とは、強磁性導体において表皮効果の電気の流れを生成すると共に、時間変化する大きさを有する電流をいう。時間的に変動する電流としては、交流（AC）と変調された直流（DC）とが挙げられる。

【0045】

温度制限ヒーターの「ターンダウン比」とは、所与の電流についてキュリー温度より下で最高のAC又は変調されたDC抵抗と、キュリー温度より上で最低の抵抗との比をいう。

40

【0046】

「U字形の坑井」とは、層中の第1の穴から当該層の少なくとも一部を通して層中の第2の穴を通して抜け出るように延びる坑井をいう。この場合、坑井は単にほぼ「V」又は「U」字形にしてもよく、その際に「U字形」と考えられる坑井について「U」の「脚部」は互いに平行である必要はなく、又は「U」の「底部」に対して垂直である必要はない。

【0047】

「グレードアップ」とは炭化水素の品質を上げることである。例えば、重質炭化水素をグレードアップすることにより、重質炭化水素のAPI比重が増加し得る。

50

【0048】

「坑井 (wellbore)」なる用語は、掘削又は層中への導管の挿入により層中に作られた穴をいう。坑井は実質的に円形の断面形状、又は別の断面形状を有し得る。「井戸」及び「穴」なる用語は、層中の穴をいうときには、「坑井」なる用語と交換可能に使用できる。

【0049】

層中の炭化水素は種々の方法で処理して多くの様々な生成物を生成できる。特定の態様では、層中の炭化水素を段階的に処理する。図1は炭化水素含有層の加熱段階を示す。図1はまた、収量 (「Y」) [層からの層流体の1トン当たりの石油換算バレル数 (y軸)] 対加熱された層の温度 (「T」) [摂氏 (x軸)] の一例を示す。

10

【0050】

メタンの脱離と水の蒸発が第1段階の加熱中に起こる。第1段階による層の加熱は出来るだけ迅速に行なってもよい。例えば、初めは炭化水素含有層が加熱されると、層中の炭化水素が吸収されたメタンを脱離する。脱離されたメタンを当該層から産出できる。炭化水素含有層が更に加熱されると、炭化水素含有層中の水が蒸発する。水は特定の炭化水素含有層中にて層中の細孔容積の10%~50%を占め得る。その他の層中では、水は細孔容積のより大きな部分又はより小さな部分を占める。一般に、水は層中で160℃~285℃にて600kPa~7000kPaの絶対圧力にて蒸発させる。特定の態様では、蒸発した水は層中の湿潤性を変化させ、且つ/又は層の圧力を高める。湿潤性の変化及び/又は圧力の増加は、層中での熱分解反応又はその他の反応に影響し得る。特定の態様では、蒸発水を層から産出する。別の態様では、蒸発水は、層中又は層外にて蒸気抽出及び/又は蒸留を行なうために用いられる。水を取り出して層中の細孔容積を増大させることにより、細孔容積中に炭化水素を収容するスペースが増大する。

20

【0051】

特定の態様では、第1段階の加熱の後、層中の温度が (少なくとも) 初期の熱分解温度 (例えば第2段階として示されている温度範囲の下端の温度) に到達するように、層を更に加熱する。層中の炭化水素は第2段階の全体を通じて熱分解され得る。熱分解温度の範囲は層中の炭化水素の種類に依存して変わる。熱分解温度の範囲は250℃~900℃の温度を含み得る。所望の生成物を生成するための熱分解温度の範囲は、熱分解温度の全範囲の一部のみとしてもよい。特定の態様では、所望の生成物を生成するための熱分解温度の範囲は、250℃~400℃の温度又は270℃~350℃の温度を含み得る。層中の炭化水素の温度が250℃~400℃の温度範囲をゆっくりと上げられたなら、熱分解生成物の生成は温度が400℃に近づいたとき実質的に完了し得る。所望の生成物を生成させるために、熱分解温度の範囲において1日当たり5℃未満、1日当たり2℃未満、1日当たり1℃未満、又は1日当たり0.5℃未満の速度で炭化水素の平均温度を上昇させてもよい。複数の熱源を用いて炭化水素含有層を加熱すると、熱源のまわりに温度勾配が形成されるので、熱分解温度の範囲を通して層中の炭化水素の温度をゆっくり上げることができる。

30

【0052】

所望の生成物のための熱分解温度範囲における温度の上昇速度は、炭化水素含有層から産出される層流体の質と量に影響を与え得る。所望の生成物のための熱分解温度範囲を通して層の温度をゆっくり上昇させると、層から高品質で高いAPI比重の炭化水素を産出できる。所望の生成物のための熱分解温度範囲を通して層の温度をゆっくり上昇させると、層中に存在する大量の炭化水素を炭化水素製品として取り出すことができる。

40

【0053】

現場での熱処理の特定の態様では、温度範囲を通してゆっくり温度を上げる代わりに、層の一部を所望の温度に加熱する。特定の態様では、所望の温度は300℃、325℃、又は350℃である。その他の温度を所望の温度として選ぶこともできる。熱源からの熱を重ね合わせるにより、所望の温度を比較的速く効率的に層中に形成できる。熱源から層中へのエネルギー入力、層中の温度を実質的に所望の温度に維持するように調節で

50

きる。層の加熱部分は、熱分解が衰えて層からの所望の層流体の生産が非経済的なものとなるまで、実質的に所望の温度に維持される。熱分解を受ける層の部分は、1つの熱源のみからの熱伝達により熱分解温度範囲に至らしめられる領域を含み得る。

【0054】

特定の態様では、熱分解流体を含んだ層流体が層から産出される。層の温度が上がるにつれ、産出される層流体中の凝縮可能な炭化水素の量が減少し得る。高温では、層は主にメタン及び／又は水素を産出し得る。炭化水素含有層が熱分解範囲の全体にわたって加熱されるならば、層は熱分解範囲の上限にかけて少量の水素のみを産出し得る。利用可能な水素のすべてが使い尽くされた後は、一般に層から最小量の流体が産出される。

【0055】

炭化水素の熱分解の後、大量の炭素といくらかの水素が依然として層中に存在し得る。層中に残っているかなりの部分の炭素が、層から合成ガスの形で産出できる。合成ガスの生成は、図1に図示された第3段階の加熱中に起こり得る。第3段階は、合成ガスを生成できる十分な温度に炭化水素含有層を加熱することを含み得る。例えば、合成ガスは約400℃～約1200℃、約500℃～約1100℃、又は約550℃～約1000℃の温度範囲内で生成し得る。合成ガス生成流体が層に取り込まれたときの層の加熱部分の温度が、層中で生成される合成ガスの組成を決める。生成された合成ガスは、層から産出井（1つ又は複数）を介して取り出すことができる。

【0056】

炭化水素含有層から生成される流体の全エネルギー量は、熱分解及び合成ガスの生成を通して相対的に一定のままであり得る。相対的に低い層温度での熱分解中、生成される流体のかなりの部分が、高いエネルギー量を有する凝縮可能な炭化水素であり得る。しかしながら、熱分解温度がより高くなれば、より少量の層流体が凝縮可能な炭化水素を含み得る。より多くの非凝縮性の層流体が層から生成され得る。生成される流体の単位体積当たりのエネルギー量は、主に非凝縮性の層流体の生成中にわずかに減少し得る。合成ガスの生成中、生成される合成ガスの単位体積当たりのエネルギー量は、熱分解流体のエネルギー量と比較してかなり減少する。しかしながら、生成される合成ガスの体積は多くの場合実質的に増加するので、減少したエネルギー量を補う。

【0057】

図2は炭化水素含有層を処理するための現場での熱処理システムの一部の態様についての概略図である。現場での熱処理システムはバリア井戸200を含んでもよい。バリア井戸は処理領域のまわりにバリアを形成するために用いられる。バリアにより、流体が処理領域に流入すること及び／又は処理領域から流出することが防止される。バリア井戸として、限定するものではないが、排水井戸、真空井戸、捕獲井戸、注入井戸、グラウト井戸、凍結井戸、又はこれらの組み合わせが挙げられる。特定の態様では、バリア井戸200は排水井戸である。排水井戸は液体の水を取り除き、且つ／又は加熱される層又は加熱されている層の一部に液体の水が入るのを防止できる。図2に図示された態様では、バリア井戸200は熱源202の一方の側だけに沿って延びているが、一般にバリア井戸は層の処理領域を加熱するために使用された又は使用される熱源202のすべてを取り囲む。

【0058】

熱源202は層の少なくとも一部中に配置される。熱源202としては、例えば絶縁導体、導管内導体型ヒーター、地表バーナー、分散型無炎燃焼器、及び／又は分散型天然燃焼器などのヒーターが挙げられる。熱源202としては、他の種類のヒーターも挙げることができる。熱源202は層の少なくとも一部に熱を与えて層中の炭化水素を加熱する。供給管路204を通してエネルギーを熱源202に供給できる。供給管路204は、層を加熱するのに用いられる熱源（1つ又は複数）の種類に依存して構造が異なってもよい。熱源用の供給管路204は、電気ヒーターに電気を送るか、燃焼器に燃料を輸送するか、又は層中を循環する熱交換流体を輸送することができる。特定の態様では、現場熱処理法のための電気を原子力発電所（1つ又は複数）により供給してもよい。原子力を用いることにより、現場熱処理法における二酸化炭素の排出を削減又は排除できるかもしれない。

10

20

30

40

50

【0059】

産出井206は層から層流体を取り出すのに用いられる。特定の態様では、産出井206は熱源を含む。産出井の熱源は、産出井にて又は産出井付近にて層の1以上の部分を加熱できる。現場での熱処理プロセスの特定の態様では、産出井1メートル当たり産出井から層に供給される熱量は、熱源1メートル当たり層を加熱する熱源から層に加えられる熱量より少ない。

【0060】

特定の態様では、産出井206中の熱源により、層から層流体の気相除去が可能となる。産出井にて又は産出井を介して加熱することにより、(1)産出流体がオーバーバーデンに近接した産出井の中を移動しているときに産出流体の凝縮及び／又は還流を防止し、(2)層中への入熱を増大させ、(3)熱源を用いない産出井と比べて産出井からの産出速度を高め、(4)産出井中での高炭素数化合物(C₆以上)の凝縮を防止し、及び／又は(5)産出井にて又はその近くでの層の浸透性を高めることができる。

10

【0061】

層中の地下圧力は、層中で生成される流体圧力に対応するかもしれない。層の加熱された部分の温度が高くなるにつれ、流体の熱膨張、流体生成の増加、及び水の蒸発によって加熱部分の圧力が高くなるかもしれない。層からの流体の除去速度を制御することにより、層中の圧力を制御できるかもしれない。層中の圧力は、複数の異なる場所にて、例えば産出井にて若しくはその近くにて、熱源にて若しくはその近くにて、又は監視井戸にて測定してもよい。

20

【0062】

特定の炭化水素含有層においては、該層からの炭化水素の産出は、層中の少なくともいくつかの炭化水素が熱分解されるまで禁止される。選択された品質の層流体である場合には、層流体を層から産出してもよい。特定の態様では、選択された品質として、少なくとも20°、30°、又は40°のAPI比重が挙げられる。少なくともいくつかの炭化水素が熱分解されるまで産出を禁止することにより、軽質炭化水素への重質炭化水素の変換を増やすことができる。初期産出を禁止することにより、層からの重質炭化水素の産出を最小化できる。多量の重質炭化水素を産出するには、高額な設備を要し且つ／又は産出設備の寿命を短くするかもしれない。

【0063】

30

熱分解温度に達しかつ層からの産出が可能になった後、産出される層流体の組成を変え且つ／又は制御し、層流体中の非凝縮性流体に対する凝縮性流体の割合を制御し、及び／又は産出されている層流体のAPI比重を制御するために、層中の圧力を変化させてもよい。例えば、圧力を下げると、凝縮性流体成分の産出をより多くすることができる。凝縮性流体成分はオレフィンをより大きな割合で含有し得る。

【0064】

特定の現場熱処理法の態様では、層中の圧力を、API比重が20°より大きい層流体の産出を促進するのに十分なだけ高く維持してもよい。層中の圧力を高く維持することにより、現場熱処理中の層沈下を防止できる。圧力を高く維持することにより、層からの流体の気相産出を容易にすることができる。気相産出により、層から産出された流体を輸送するのに用いられる収集導管のサイズを小さくできる。圧力を高く維持することにより、地表にて層流体を圧縮して収集導管で処理施設まで輸送する必要性が低減又は除去できる。

40

【0065】

驚くべきことに、層の加熱部分における圧力を高く維持することにより、品質が高くかつ相対的に小さい分子量の炭化水素を多量に産出することができる。産出された層流体が選択された炭素数より上の最小量の化合物を有するように、圧力を維持してもよい。選択される炭素数は、25以下、20以下、12以下、又は8以下とし得る。いくつかの高炭素数化合物は、層中の蒸気中に伴出するかもしれず、蒸気と共に層から除去し得る。層中の圧力を高く維持することにより、蒸気中における高炭素数化合物及び／又は多環炭化水

50

素化合物の伴出を防止できる。高炭素数化合物及び／又は多環炭化水素化合物は、かなりの期間、層中において液相のまま残り得る。このかなりの期間により、化合物が熱分解して低炭素数化合物を形成するのに十分な時間が得られる。

【0066】

産出井206から産出された層流体は、収集管208を介して処理施設210に輸送できる。層流体はまた熱源202から産出し得る。例えば、熱源付近の層中の圧力を制御するために熱源202から流体を産出し得る。熱源202から産出された流体は、配管又はパイプを介して収集管208に輸送してもよいし、産出した流体を配管又はパイプを介して処理施設210に直接輸送してもよい。処理施設210としては、分離装置、反応装置、品質改善装置、燃料電池、タービン、貯蔵容器、及び／又は産出された層流体を処理するその他のシステム及び装置が挙げられる。処理施設は、層から産出された炭化水素の少なくとも一部から輸送燃料を形成することもできる。特定の態様では、輸送燃料はJP-8などのジェット燃料とし得る。

10

【0067】

特定の態様では、実質的に水平な（又は傾斜した）複数のヒーターが、地下の層内の実質的に水平な1つのバスバーに連結される。実質的に水平な複数のヒーターを地下で1つのバスバーに連結することにより、層の地表でのヒーターの全設置面積、及び層中に掘る井戸の数が低減される。加えて、層においてより多くを熱処理して炭化水素を回収するように（例えば、層中で加熱されない深さ部分がより少なくなるように）、ヒーターを連結するのに用いられる地下空間の大きさを最小にできる。1つのバスバーに連結されるヒーターの個数と間隔は、限定するものではないが、処理領域の大きさ、層の垂直厚さ、層の加熱要件、層中の地層数、及び地上の電源の容量制限などの要因に依存して変わり得る。

20

【0068】

図3は炭化水素層216内においてバスバー214A、Bに連結された実質的に水平な複数のヒーター212A、Bの態様を示す。ヒーター212A、Bは炭化水素層216のオーバーバーデン中の部分218を有する。部分218は例えば銅又は銅覆炭素鋼などの高い導電率と低い熱損失の電気導体を含み得る。ヒーター212A、Bは実質的に垂直な部分によって炭化水素層216に入った後、炭化水素層216内においてヒーターが実質的に水平な部分を有するように方向を変える。炭化水素層216内のヒーター212A、Bの実質的に水平な部分により、熱の大部分を炭化水素層に加えてもよい。ヒーター212A、Bは、層内で互いにほぼ平行に離れて配置されたバスバー214A、Bに連結してもよい。

30

【0069】

特定の態様では、ヒーター212A、Bは剥き出しの金属加熱要素を含む。特定の態様では、ヒーター212A、Bは剥き出しの金属製の温度制限加熱要素を含む。加熱要素としては、強磁性物質、例えば410ステンレス鋼のような9重量%～13重量%のクロムステンレス鋼、T/P91又はT/P92、409ステンレス鋼、VM12（Vallourec and Mannesmann Tubes、仏国）などのクロムステンレス鋼、又は温度制限ヒーターとして使用するための鉄コバルト合金が挙げられる。特定の態様では、加熱要素は、複合温度制限加熱要素、例えば410ステンレス鋼と銅の複合加熱要素又は347H、鉄、銅の複合加熱要素である。炭化水素層216内におけるヒーター212A、Bの実質的に水平な部分は、約100m以上、約500m以上、又は約1000m以上で約6000m以下の長さを有し得る。

40

【0070】

特定の態様では、2群のヒーター212A、Bが互いに近接して地下に入った後、炭化水素地層216内で分かれて互いに離れる。2以上の群のヒーターの地表部分を互いに近接して配置させることにより、ヒーターの地上の設置面積が小さくなり、1群の地上施設を両群のヒーターに使用できる。

【0071】

特定の態様では、ヒーター212A又は212Bの各群が1つの変圧器に接続される。

50

特定の態様では、該群における3つのヒーターがトライアド構成にて接続される（各ヒーターが三相変圧器の相の1つ（A、B、又はC）に接続され、バスバーが変圧器の中性又は中心点に接続される）。三相変圧器の各相を、各群のヒーターにおける2以上のヒーターに接続してもよい（例えば、位相Aをヒーター212Aの群における5個のヒーターに接続してもよい）。特定の態様では、ヒーターが単相変圧器に（直列又は並列の構成にて）接続される。

【0072】

図4は炭化水素層216内においてバスバー214A、Bに接続された実質的に水平な複数のヒーター212A、Bの態様を示す。この態様では、2群のヒーター212A、Bが、層の地表にて離れた場所で該層に入る。ヒーター212A、Bは炭化水素層216内で互いの方向に分かれて、ヒーターの端部が互いに向かい合って方向付けられる。ヒーター212A、Bは、互いに近接してほぼ平行に配置されたバスバー214A、Bに接続し得る。地上でのバスバーの設置面積が小さくなるように、バスバー214A、Bを互いに近接して地下に入れてもよい。

10

【0073】

特定の態様では、ヒーター212A、Bが直列又は並列にて単相変圧器に接続される。ヒーター列において極性（電流の流れ方向）を互い違いにして、各ヒーターがその隣接ヒーターと反対の極性を有するように、ヒーターを接続してもよい。さらに、バスバーの極性が互いに反対になる（いずれの時点でも各バスバーにおいて電流が反対方向に流れる）ように、ヒーター212A、Bとバスバー214A、Bを電氣的に接続してもよい。ヒーターとバスバーをそのように接続することにより、層中への電流漏洩及び／又は層を通しての電流漏洩が防止される。

20

【0074】

図3及び4に示されるように、ヒーター212Aをバスバー214Aに電氣的に接続し、ヒーター212Bをバスバー214Bに電氣的に接続してもよい。バスバー214A、Bをヒーター212A、Bの端部に電氣的に接続し、ヒーターの帰線接続又は中性線接続としてもよい（バスバー214Aをヒーター212Aとの中性線接続とし、バスバー214Bをヒーター212Bとの中性線接続とする）。バスバー214A、Bを、図3に示されるようにヒーター212A、Bを有する坑井の経路に対して実質的に垂直に形成された坑井内に配置してもよい。バスバー214A、Bの井戸とヒーター212A、Bの坑井とが交差するように、傾斜掘り及び／又は磁気操縦を用いてもよい。

30

【0075】

特定の態様では、ヒーター212A、Bが、「マウストラップ」型コネクタ220を用いてバスバー214A、Bに接続される。特定の態様では、ヒーター212A、Bをバスバー214A、Bに接続するために、ここに記載のもの又は当該技術において公知のものなどの他の連結器が用いられる。例えば、ヒーターとバスバーとを電氣的に接続するために、溶融金属又は液体の導電性流体を（坑井内の）接続空間に充填してもよい。

【0076】

図5は、コネクタ220によりヒーター212に接続されたバスバー214の態様についての拡大図である。特定の態様では、バスバー214は炭素鋼又は他の導電性の金属を含む。特定の態様では、高い導電率の導体又は金属がバスバー214に接続されるか、又はバスバー214中に含まれる。例えば、バスバー214は銅で覆われた炭素鋼を含み得る。

40

【0077】

特定の態様では、ヒーター212及び／又はバスバー214を配置又はガイドしてヒーターとバスバーを接続できるように、セントライザー又は他の集中化装置が用いられる。図6は、コネクタ220とセントライザー222によりヒーター212に接続されたバスバー214の態様についての拡大図である。コネクタ220がヒーターとバスバーを容易に接続するように、セントライザー222がヒーター212及び／又はバスバー214を配置できる。ヒーターとバスバーとをコネクタ220により接続できるように、セ

50

ントライザー 222 がヒーター 212 及び／又はバスバー 214 の適当な間隔を保証できる。セントライザー 222 は、ヒーター 212 及び／又はバスバー 214 がコネクタ 220 の位置又はその近くにて坑井の側面に接触することを防止できる。

【0078】

図 7 はバスバー 214 に接続するコネクタ 220 の断面図である。図 8 はバスバー 214 に接続するコネクタ 220 の三次元図である。（コネクタがバスバーの周りをつかむ前の）バスバー 214 に近接してコネクタ 220 が示されている。コネクタがヒーターとの電気的な接触を維持しつつヒーターの端部の周りで回転できるように、コネクタ 220 がヒーターに接続されるか、又は直接取り付けられる。特定の態様では、コネクタとヒーターの端部が振られてバスバーとの正しい位置関係に置かれる。コネクタ 220 はコレット 224 を含む。コネクタがバスバー 214 上に押圧されてコレットがバスバー上をスライドする際にコレットの形状がコネクタの頭部を回転させるように、コレット 224 が成形される（例えば、はす切り又は螺旋状の外形）。コレットがバスバー上をスライドした後にコレットがバスバー 214 を押さえつけるように、コレット 224 をばね押ししてもよい。このようにして、コネクタ 220 はコレット 224 を用いてバスバー 214 をクランプする。コネクタがバスバー 214 とコネクタに取り付けられたヒーターとを電氣的に接続するように、コレット 224 を含めてコネクタ 220 は導電性物質から作られる。

10

【0079】

特定の態様では、図 7 及び 8 に示されるように爆発要素がコネクタ 220 に加えられる。バスバーをヒーターに爆着させるためにバスバー 214 とヒーターを適切な位置に配置するため、コネクタ 220 が用いられる。爆発要素をコネクタ 220 上に配置してもよい。例えば、爆発要素をコレット 224 の一方又は両方に配置してもよい。ヒーターがバスバーと金属結合するようにコネクタ 220 をバスバー 214 に爆着させるために、爆発要素を用いてもよい。

20

【0080】

特定の態様では、バスバー 214 の軸方向に沿って爆着が適用される。特定の態様では、爆着プロセスは自浄プロセスである。例えば、爆着プロセスにより、爆発中に構成要素の間から空気及び／又は破片を追い出すことができる。特定の態様では、爆発要素が指向性爆薬の爆発要素である。指向性爆薬の爆発要素を用いて爆発エネルギーを所望の方向に集中させてもよい。

30

【0081】

本発明の種々の態様の更なる変更及び代替態様については、この明細書を参照すれば当業者には明らかである。したがって、この明細書は単なる例示として解釈されるべきであり、本発明を実行する一般的な方法を当業者に教示するためのものである。ここに記載の本発明の形式は現在のところ好ましい態様として考えられているものであると理解されたい。要素及び材料はここに記載のものと置換してもよく、部分及びプロセスは逆にしてもよく、本発明の特定の特徴は独立に使用してもよく、これらすべては本発明についての明細書の記載から当業者には明らかとなろう。ここに記載の要素については、特許請求の範囲に記載の本発明の思想及び範囲を逸脱することなく変更できる。加えて、独立にここに記載の特徴は特定の態様では組み合わせてもよいことが分かる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0082】

【特許文献 1】 米国特許第 2, 923, 535 号

【特許文献 2】 米国特許第 4, 886, 118 号

【特許文献 3】 米国特許第 2, 548, 360 号

【特許文献 4】 米国特許第 4, 716, 960 号

【特許文献 5】 米国特許第 5, 065, 818 号

【特許文献 6】 米国特許第 6, 023, 554 号

【特許文献 7】 米国特許第 4, 570, 715 号

50

【特許文献 8】米国特許第 5, 0 6 0, 2 8 7 号

【特許文献 9】米国特許第 7, 1 5 3, 3 7 3 号

【特許文献 1 0】米国特許出願公開第 U S 2 0 0 4 / 0 1 9 1 1 0 9 号

【符号の説明】

【0 0 8 3】

2 0 0 …バリア井戸

2 0 2 …熱源

2 0 4 …供給管路

2 0 6 …産出井

2 0 8 …収集管

2 1 0 …処理施設

2 1 2 A、2 1 2 B …ヒーター

2 1 4 A、2 1 4 B …バスバー

2 1 6 …炭化水素層

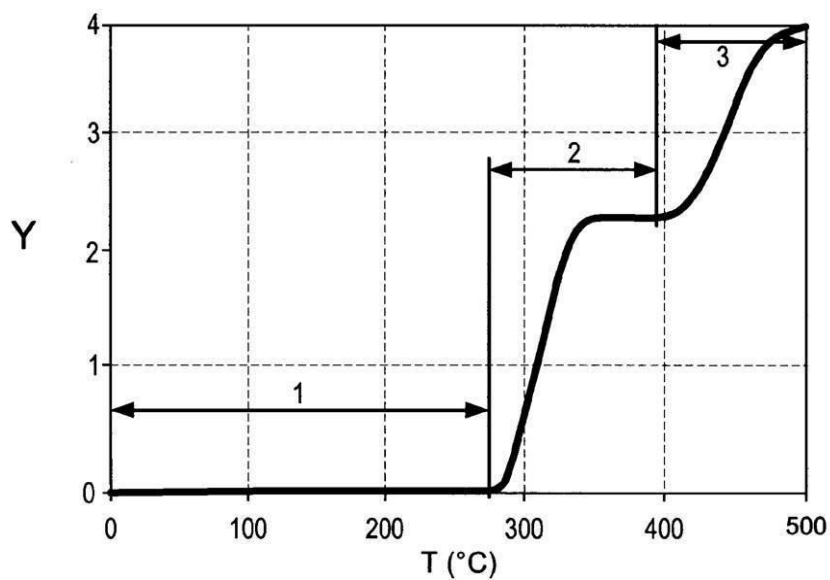
2 2 0 …コネクタ

2 2 2 …セントラライザー

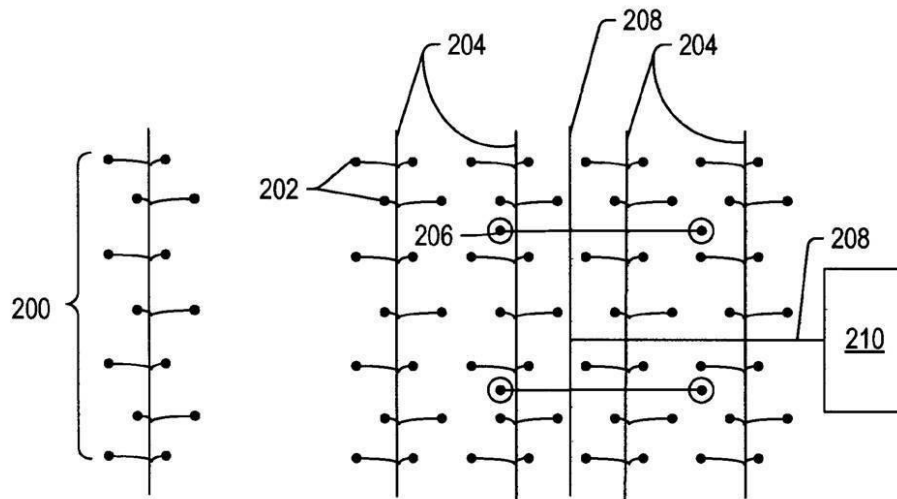
2 2 4 …コレット

10

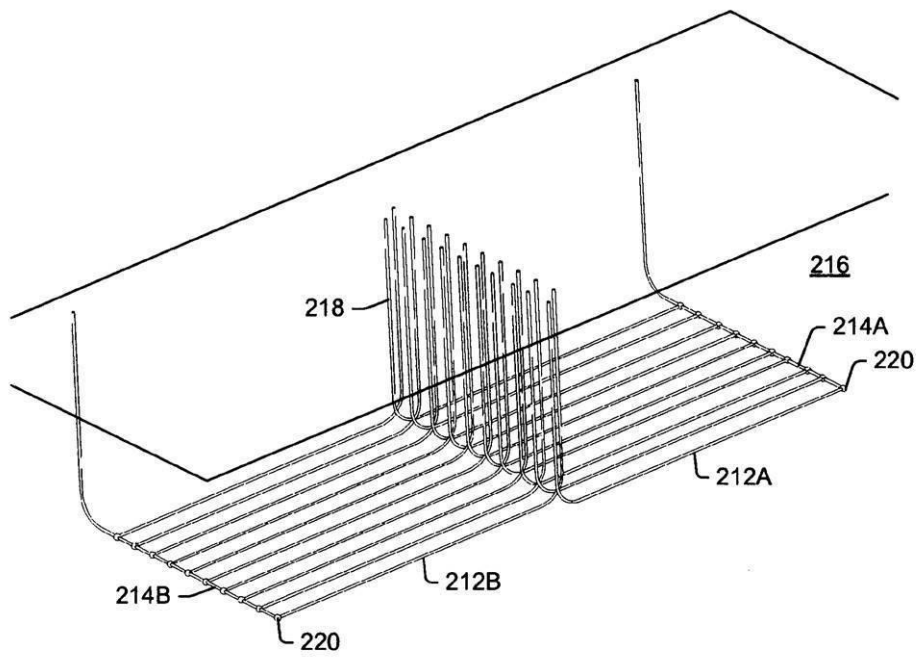
【図 1】



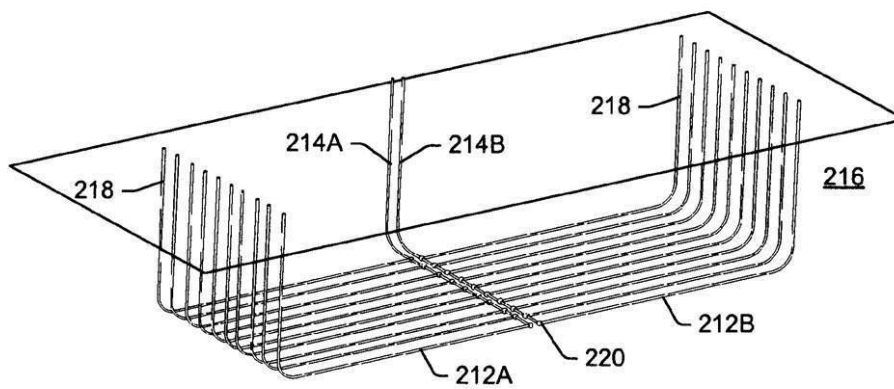
【図 2】



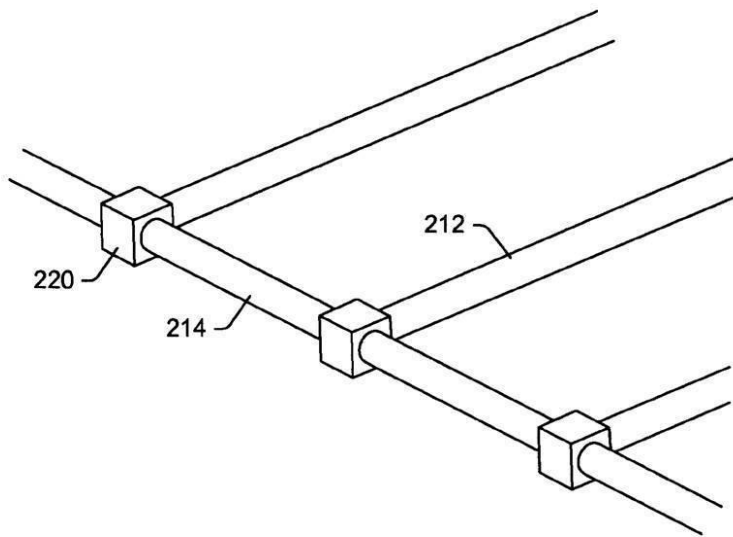
【図 3】



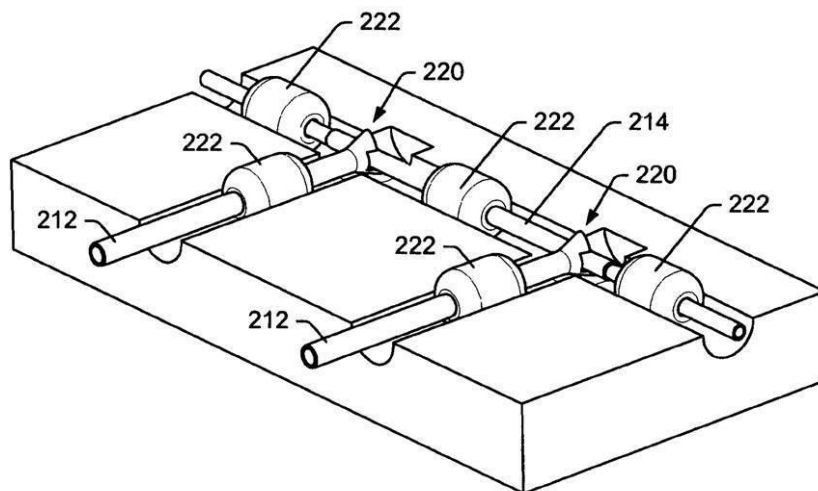
【図 4】



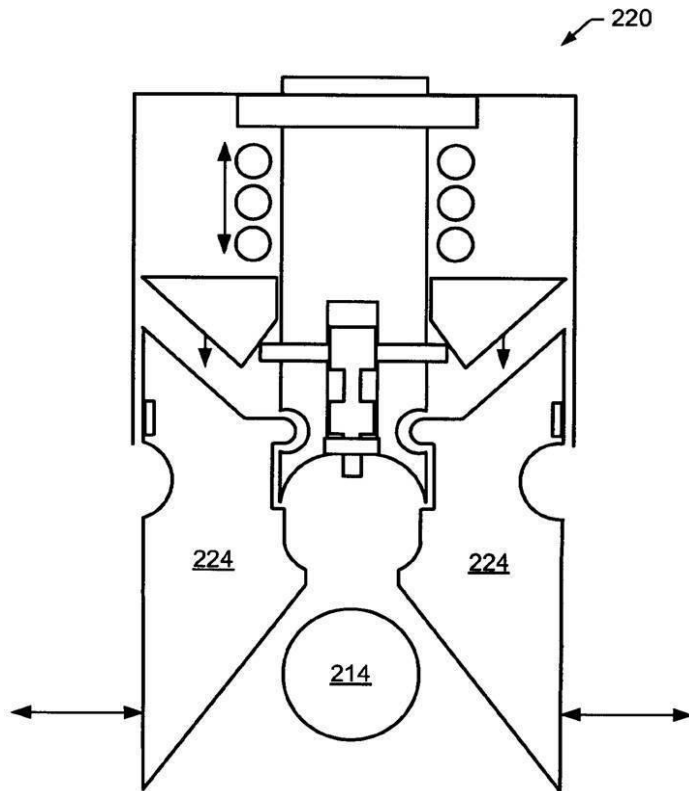
【図 5】



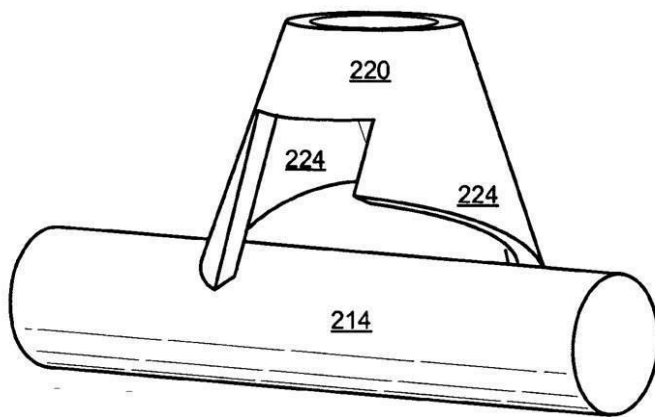
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

- (74)代理人 100096013
弁理士 富田 博行
- (74)代理人 100092967
弁理士 星野 修
- (74)代理人 100094008
弁理士 沖本 一暁
- (74)代理人 100122644
弁理士 寺地 拓己
- (74)代理人 100137039
弁理士 田上 靖子
- (74)代理人 100182394
弁理士 野口 勝彦
- (74)代理人 100093919
弁理士 奥村 義道
- (72)発明者 クリストファー・ケルヴィン・ハリス
アメリカ合衆国 テキサス州 77004 ヒューストン クロフォード ストリート 5202
アパートメント 22
- (72)発明者 ジョン・マイケル・カラニカス
アメリカ合衆国 テキサス州 77019 ヒューストン クロッカー ストリート 1005A
- (72)発明者 スコット・ヴィン・ヌグイエン
アメリカ合衆国 テキサス州 77005 ヒューストン ビゾネット ストリート 3000
ナンバー 7311

審査官 藤澤 和浩

- (56)参考文献 特開昭59-018893 (JP, A)
米国特許出願公開第2006/0213657 (US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
E21B 36/04
E21B 43/16