

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-17498
(P2015-17498A)

(43) 公開日 平成27年1月29日(2015.1.29)

(51) Int.Cl.
E21B 7/15 (2006.01)

F1
E21B 7/15

テーマコード(参考)
2D129

審査請求有 請求項の数7 O L (全63頁)

(21) 出願番号 特願2014-191026 (P2014-191026)
 (22) 出願日 平成26年9月19日(2014.9.19)
 (62) 分割の表示 特願2011-523959 (P2011-523959)
 の分割
 原出願日 平成21年8月19日(2009.8.19)
 (31) 優先権主張番号 61/090,384
 (32) 優先日 平成20年8月20日(2008.8.20)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 61/153,271
 (32) 優先日 平成21年2月17日(2009.2.17)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 61/106,472
 (32) 優先日 平成20年10月17日(2008.10.17)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 511045486
 フォロ エナジー インコーポレーティッド
 FORO ENERGY INC.
 アメリカ合衆国 80120 コロラド州
 , デンバー, スイート 500, サ
 ウスパーク サークル 8020
 (74) 代理人 100083895
 弁理士 伊藤 茂
 (72) 発明者 モックスリー, ジョエル, エフ.
 アメリカ合衆国 80204 コロラド州
 , デンバー, #4シー ワジー スト
 リート 1301

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザーによってボーリング孔を掘り進めるためのレーザー掘削設備

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 レーザーによって地中にボーリング孔を開けるためにレーザーエネルギーの出力を維持しながら長い距離に亘って伝送する設備、装置及び方法を提供する。

【解決手段】 レーザー掘削設備において、ボーリング孔内に配置されるようにされた坑底アセンブリであって、レーザービームのパターンを所定のレーザービームパターンに整形するビーム整形光学素子1406、及びビーム整形光学素子1406をレーザービームの中心軸線周りで回転させる手段、を備えており、所定のレーザーパターンが、中心軸線に交わる線状の形状であり、且つ、中心軸線と交わる位置から外側に離れるにしたがって略線形に増加するエネルギー付与と分布を有し、ビーム整形光学素子1406が一定速度で回転されることにより、所定のレーザーパターンが中心軸線周りで一定速度で回転されて、ボーリング孔の底面に略均一のエネルギー付与と分布が形成される。

【選択図】 図14B

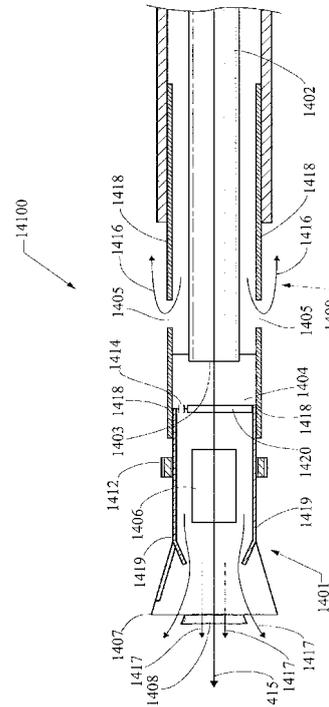


FIG. 14B

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

レーザーによってボーリング孔を掘り進めるためのレーザー掘削設備であって、
レーザー供給源と、
近位端及び遠位端を有し、前記近位端が前記レーザー供給源に光学的に接続され、前記レーザー供給源からのレーザービームを前記近位端で受けて前記遠位端にまで伝送するレーザー伝送ケーブルと、

前記レーザー伝送ケーブルの前記遠位端に接続され、前記ボーリング孔内に配置されるようにされた坑底アセンブリであって、前記レーザー伝送ケーブルの前記遠位端から出射されるレーザービームのパターンを所定のレーザービームパターンに整形するビーム整形光学素子、及び該ビーム整形光学素子を前記レーザービームの中心軸線周りで回転させる手段、を有する坑底アセンブリと、を備えており、

前記所定のレーザーパターンが、前記中心軸線に交わる線状の形状であり且つ前記中心軸線と交わる位置から外側に離れるにしたがって略線形に増加するエネルギー付与分布を有し、

前記ビーム整形光学素子が前記手段によって一定速度で回転されることにより、前記所定のレーザーパターンが前記中心軸線周りで一定速度で回転されて、前記ボーリング孔の底面に略均一のエネルギー付与分布が形成されるようにされた、レーザー掘削設備。

【請求項 2】

前記坑底アセンブリが、前記レーザー伝送ケーブルの前記遠位端を保持する第 1 のハウジングと、該第 1 のハウジングに対して回転可能に取付けられた第 2 のハウジングと、をさらに備え、前記ビーム整形光学素子が前記第 2 のハウジング内に取付けられており、前記回転させる手段が前記第 2 のハウジングを前記第 1 のハウジングに対して前記中心軸線周りで回転させるようにされた、請求項 1 に記載のレーザー掘削設備。

【請求項 3】

前記第 2 のハウジングの先端部に設けられ、前記ボーリング孔の前記底面に機械的に接触して該底面の岩石物質を取り除くようにされた機械的アセンブリをさらに備える、請求項 2 に記載のレーザー掘削設備。

【請求項 4】

前記機械的アセンブリが、ローラーである、請求項 3 に記載のレーザー掘削設備。

【請求項 5】

前記第 1 及び第 2 のハウジング内に流体を供給する流体供給源をさらに備え、
前記第 1 のハウジングの外周面に第 1 の出口ポートが設けられ、前記第 2 のハウジングの先端部に第 2 の出口ポートが設けられており、前記流体が、前記第 2 の出口ポートからは前記ボーリング孔の前記底面に向かって下方に放出され、前記第 1 の出口ポートからは前記ボーリング孔の頂部に向かって上方に放出されるようにされた、請求項 2 乃至 4 の何れか一項に記載のレーザー掘削設備。

【請求項 6】

前記レーザー供給源が複数のレーザーからなる、請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載のレーザー掘削設備。

【請求項 7】

前記レーザー供給源からの前記レーザービームの出力が少なくとも 20 kW であり、
前記レーザー伝送ケーブルが、少なくとも 0.305 km の長さを有する光ファイバである、請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載のレーザー掘削設備。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は所望の作業を行なうためのレーザーエネルギーの出力を維持しながら長い距離に亘って伝送される高出力レーザーエネルギーを使用してボーリング孔を前進させる方法、装置及び設備に関する。特に、本発明は、地中にボーリング孔を開け且つ前進させるため及

10

20

30

40

50

び該ボーリング孔内で他の作業を行なうために高出力レーザーエネルギーを供給することに関する。

【0002】

(関連出願)

本願は、2008年8月2日に出願された“System and Methods for Borehole Drilling (ボーリング孔を開けるための設備及び方法)”という名称の米国仮特許出願第61/090,384号、2008年10月3日に出願された“Methods to Optically Pattern to Chip Rock Formations (岩層を削り取るために岩石に光学的にパターンを形成するための設備及び方法)”という名称の米国仮特許出願第61/102,730号、2008年10月17日に出願された“Transmission of High Optical Power Levels via Optical Fibers for Applications such as Rock Drilling and Power Transmission (削岩、動力伝送のような用途のための光ファイバを介する高い光学出力レベルの伝送)”という名称の米国仮特許出願第61/106,472号及び2009年2月17日に出願された“Method and Apparatus for an Armored High Power Optical Fiber for Providing Boreholes in the Earth (地中にボーリング孔を設けるための強化高出力光ファイバのための方法及び装置)”という名称の米国仮特許出願第61/153,271号に基づく優先権を主張している。これらの出願による開示の内容は、これらに言及することにより本明細書に参照として組み込まれている。

10

【背景技術】

【0003】

本発明は、“Method and Apparatus for Delivering High Power Laser Energy Over Long Distance (長い距離に亘って高出力レーザーエネルギーを伝送するための方法及び装置)”という名称の同時係属中の米国特許出願第_____号(代理人書類番号13938/9 Foro s1a)、“Apparatus for Advancing a Wellbore using High Power Laser Energy (高出力レーザーエネルギーを使用して坑井を前進させるための装置)”という名称の米国特許出願第_____号(代理人書類番号13938/10 Foro s2)、“Methods and Apparatus for Delivering High Power Laser Energy to a Surface (表面に高出力レーザーエネルギーを伝送するための方法及び装置)”という名称の米国特許出願第_____号(代理人書類番号13938/9 Foro s3)、“Methods and Apparatus for Removal and Control of Material in Laser Drilling of a Borehole (ボーリング孔のレーザー穿孔における物質の排出及び制御のための方法及び装置)”という名称の米国特許出願第_____号(代理人書類番号13938/9 Foro s4)において更に詳細に開示されている設備、装置及び方法と組み合わせて使用することができる。これらの出願は、本願と同時に開示され、これらの開示内容全体は、これらに言及することにより本明細書に参照として組み入れられている。

20

30

【0004】

地表及び地中に存在する資源にアクセスするために、地表及び地中即ち地面にボーリング孔が形成されている。このような資源としては、石油及び天然ガスのような炭化水素、水及び熱水井を含む。地熱エネルギー源があるボーリング孔はまた、地下にある物質及び地層を研究、標本採取、調査するために地面に形成されることがある。これらはまた、ケーブル及びその他のこのような部材を地下に配置するための通路を形成するために地面に形成されることもある。

40

【0005】

ボーリング孔という用語は、坑井、さく井、井戸孔のような地面に形成されて幅よりも長く延びたいかなる孔も含み、またこのようなタイプの地中の狭く長い通路を規定するために当該技術において一般的に使用され且つ知られているその他の用語も含む。ボーリング孔は一般的にはほぼ垂直方向に向いているが、垂直から水平まで及び水平を含む角度に向けられても良い。従って、ボーリング孔は、水平な向きを表している水平線を使用して、0°すなわち垂直ボーリング孔から90°、すなわち水平ボーリング孔及び例えば踵及びつま先のような90°より大きい角度の孔までの範囲の向きとすることができる。ボーリング孔は更に、種々の向きの区画又は区分を有していても良く、これらの区画は弓状で

50

あっても良く、傾斜堀が採用される場合に一般的に見られる形状であっても良い。従って、ここで使用されているように他の用語が特に付与されない限り、ボーリング孔の“底”、ボーリング孔の“底”面及びこれらと似た用語は、ボーリング孔の端部すなわちボーリング孔の開口部、地面又はボーリング孔の始まり部分からボーリング孔の経路に沿った最も遠いボーリング孔の部分を指している。

【0006】

ボーリング孔を前進させるという表現は、ボーリング孔の長さを長くすることを意味している。従って、水平のボーリング孔以外では、ボーリング孔を前進させることによってボーリング孔の深さも増す。ボーリング孔は、一般的に回転掘削ビットを備えている機械的な穿孔機を使用することによって形成され且つ前進せしめられる。掘削ビットは、地面及び地中へと伸長しており且つ回転して地面に孔を形成する。一般的には、掘削作業を行なうためにはダイヤモンドチップ工具が使用される。この工具は、材料の剪断強度を超える十分な力で、切削されるべき岩又土に押し付けられなければならない。従って、一般的な切削作業においては、岩または土の剪断強度を超える機械的な力とその物質にかけられる。地中から切削される物質は、一般的には、切削物すなわちデブリスとして知られており、これは、地中との熱的作用又は機械的相互作用によって生じる岩石の破片、微粉、岩石繊維及びその他の物質及び構造物である。これらの切削物は、典型的には、液体、泡状物又は気体である流体を使用することによってボーリング孔から排出される。

10

【0007】

ボーリング孔を前進させることに加えて、ボーリング孔を形成する際又はそれに関連して他の形態の作業、例えば調査作業及び完成作業が行なわれる。これらの形態の作業としては、例えば、ケーシングの切断及び孔開け並びに井栓の取り外しがある。井戸ケーシング又はケーシングは、坑井を整列させるために使用される管状物又はその他の部材を指している。井栓は、ボーリング孔を充填し且つ塞ぐためにボーリング孔内に配置される構造物又は部材である。井栓は、物質がボーリング孔内に流れ込むのを阻止し又は制限することを目的とするものである。

20

【0008】

典型的には、孔を開けることすなわち掘削作業は、需要の多い資源がボーリング孔内へ流れ込むことができるように、ケーシング及びボーリング孔に開口部例えば窓又は小孔を形成するために孔開け工具を使用することを含んでいる。従って、孔開け工具は、このような開口部又は小孔を形成するために、ケーシング及びボーリング孔の側面に発射体を形成又は打ち込むための爆発充填物を使用することができる。

30

【0009】

ボーリング孔を形成し且つ前進させる上記の一般的な方法は、機械的な技術又は機械的な掘削技術と称される。なぜならば、これらは、掘削装置例えば掘削ビット又は孔開け工具と地面又はケーシングとの間に、地面又はケーシングを切削するのに必要な力を伝送させるための機械的相互作用を必要とするからである。

【0010】

ボーリング孔を形成し且つ前進させるための使用に、レーザーを適応できることが理論上確認されている。従って、レーザー供給源からのレーザーエネルギーは、破碎、熱解離、溶融、蒸発及びこれらの現象の組み合わせによって岩石及び土を切削するために使用することができる。溶融は、岩石及び土を固体から液体状態へと変態させることを含んでいる。蒸発は、岩石及び土が固体状態又は液体状態から気体状態へと変態することを含んでいる。破碎は、岩石を局所的な熱誘導応力作用によって粉々にすることを含んでいる。熱解離は、分子レベルでの化学結合の破壊を含んでいる。

40

【0011】

今日まで、レーザーを使用してボーリング孔を地中で前進させることができ且つレーザーを使用して坑井内で穿孔を行うことができる装置、方法又は設備を提供するためにこれらのレーザー掘削理論を開発し且つ実行することに成功した人は誰もいないと思われる。更に、今日まで、レーザーを使用してボーリング孔の底から岩石及び土を効率良く切削し

50

排出するためのパラメータ及びこれらのパラメータに適合させるのに必要とされる設備を開発した人は誰もいないし、レーザーを使用して坑井の効率の良い掘削のためのパラメータ及びこれらのパラメータに適合させるのに必要とされる設備を開発した人は誰もいないと思われる。更に、レーザーを使用しボーリング孔を地中深く約0.09 km (300 ft)、0.15 km (500 ft)、0.30 km (1000 ft)、1 km (3280 ft)、3 km (9840 ft) 及び5 km (16,400 ft) を超える深さまで前進させるのに必要とされるパラメータ、設備又は方法は誰も開発していないと思われる。特に、このようなパラメータ、設備又は方法は誰も開発していないし、ボーリング孔を地中で前進させるために高出力レーザーエネルギー例えば1 kW又はそれを超える高出力レーザーエネルギーの供給のためのパラメータ、設備又は方法を開発し実行した人は誰もいないと思われる。

10

【0012】

機械的な掘削は進歩し且つ多くのタイプの地層において有効であるが、玄武岩及び花崗岩のような比較的硬い地層にボーリング孔を形成するための高効率の装置は依然として開発の必要があると考えられている。従って、本発明は、玄武岩及び花崗岩のような比較的硬い岩層に効率の良い方法でボーリング孔を前進させるためにレーザーを使用するためのパラメータ、設備及び技術を提供することによって、この必要性に対する解決方法を提供する。

【0013】

地中内のボーリング孔の内側に存在する環境及び遠く離れた場所は、極めて苛酷であり且つ光ファイバ、光学素子及び収納容器を必要とする。従って、ボーリング孔特に極めて深いボーリング孔内に光ファイバ、光学素子及び収納容器を配備するための方法及び装置が必要とされている。かかる装置は、これらの部材及び全ての関連する構成部材がボーリング孔内に存在する汚れ、圧力及び温度に耐え且つ抵抗し、長距離に亘って高出力のレーザービームを伝送するときに供給する出力の損失を克服し又は緩和することを可能にするであろう。本発明は、長距離に亘る高出力レーザービーム伝送装置を提供することによってこれらの必要性に対処している。

20

【0014】

ボーリング孔内で、約0.09 km (300 ft)、約0.15 km (500 ft)、約0.30 km (1,000 ft)、約1 km (3,280 ft)、約3 km (9,843 ft) 及び約5 km (16,400 ft) より長い距離に亘って光ファイバ内を下方へ高出力レーザービームを伝送すること、非直線現象による光出力の損失を最小化すること、光ファイバの端部での光出力の効率の良い伝送を可能にすることは、望ましかったけれども本願以前には決して得られなかったと思われる。従って、ボーリング孔内のA地点からB地点まで(A地点とB地点との間の距離は約0.5 km (1,640 ft) より長い)の高出力エネルギーの高効率伝送が長い間望まれていたが、本発明以前においては決して得ることができず、特に、ボーリング孔の掘削作業において決して得られたことがなかったと思われる。

30

【0015】

機械的手段によって表面から動力を給送する一般的な掘削装置は、孔が開けられている岩石の剪断力を越える力を岩石に対して供給しなければならない。レーザーは、実験室内における実験室条件下ではこのような硬い岩石を効率良く破碎し且つ削り取ることができることを示し、このような硬い岩石を機械的な掘削よりも優れた正味の速度で切削することができることが理論上想定されているが、今日まで、このような硬い岩石を切削するのに十分な出力で約0.5 km (1,640 ft) より深いボーリング孔の底部までレーザービームを送り込むことを可能にし且つ一般的な機械的掘削と等価又はそれ以上の速さでこのような硬い岩石を単独で切削させる装置、設備又は方法は誰も開発していないと思われる。当該技術のこの欠点は、基本的且つ長期に亘って未解決の問題であると思われる。本発明はこの未解決の問題に対する解決方法を提供している。

40

【発明の概要】

50

【0016】

従って、本発明は、掘削技術におけるこれらの及びその他の必要性に答えて、それに対する解決方法を提供する。本発明は、とりわけ、誘導ブリルアン散乱(SBS)現象例えばFM変調レーザー又はスペクトルビーム結合レーザー供給源のような帯域幅拡張レーザー供給源の干渉性を損なわせることによってSBSを抑制して0.30km(1,000ft)を超える長い光ファイバを介する高い出力の効率の良い伝送を可能にすること、0.30km(1,000ft)を超える長い光ファイバを介する光出力の伝送の効率の良い給送を可能にするために広域化された帯域幅を有する削岩用のファイバレーザー、ディスクレーザー又は高輝度半導体レーザーの使用法、0.30km(1,000ft)を超える長い光ファイバを介する出力の伝送を可能にするために誘導ブリルアン利得(SBG)を抑制するように広域化された帯域幅を有する位相配列レーザー供給源を使用する方法、スプールが回転している間にレーザービームによってスプールの中心軸線からファイバに出力が供給されるのを可能にするファイバスプーリング技術、機械的に動く構成要素を使用する必要が無い状態でファイバを繰り出す方法、坑内の圧力に耐える外皮内に多数のファイバを束ねて一体化する方法、ファイバの全長に沿った損失に打ち勝つために能動的なファイバ部分と受動的なファイバ部分とを使用する方法、ファイバ、レーザーヘッド及び収容部の孔の下方への重量を支えるために浮揚性ファイバを使用する方法、より高い掘削効率を達成するために岩に所定の模様を形成するためにマイクロレンズ、非球面光学素子、アキシコン又は回折光学素子を使用する方法、光ファイバを介して0.30km(1,000ft)を超えて出力を伝送した後に光出力を電気出力に戻すためにヒートエンジン又は同調太陽電池を使用する方法を提供する。

10

20

【0017】

コスト効率が良い速度でボーリング孔を前進させるため、特に、花崗岩、玄武岩、砂岩、白雲石、砂、塩、石灰岩、流紋岩、珪岩、頁岩を含む岩盤にコスト効率の良い速度で孔を開けるための高出力レーザーのエネルギーを伝送することができるように、深いボーリング孔の底まで高出力レーザーエネルギーを給送することができる装置及び方法を開発することが望まれている。より具体的には、花崗岩及び玄武岩のような硬い岩盤に従来の一般的な機械的掘削作業に優る速度で孔を開けるための高出力のレーザーエネルギーを伝送する能力を備えた設備及び方法を開発することが望まれている。本発明は、とりわけ、本明細書において教示されている設備、装置及び方法を提供することによって、これらの要求を解決する。

30

【0018】

従って、硬い岩石内でボーリング孔を前進させるために、掘削リグ、掘削プラットフォーム、ボーリング用やぐら、スナップ用プラットフォーム又はコイル巻き管掘削リグと組み合わせて使用するための高出力レーザー掘削設備が提供されている。この設備は、高出力レーザーエネルギーの供給源であって、少なくとも10kWの出力、少なくとも約20kWの出力又はそれ以上の出力を有するレーザー供給源と、所定のエネルギー付与分布をボーリング孔面に供給する構造とされ且つ所定のレーザーショットパターンを供給する構造とされた光学アセンブリを備えた坑底アセンブリと、前記の坑底アセンブリをボーリング孔内へと下方へ前進させるための手段と、少なくとも約0.15km(500フィート)、少なくとも約0.30km(1,000フィート)、少なくとも約0.914km(3,000フィート)、少なくとも約1.2km(4,000フィート)又はそれ以上の長さを有し且つ前記レーザー供給源と光学的に接続されており且つ前記坑底アセンブリと光学的に接続している孔下方高出力レーザー伝送ケーブルと、前記坑底アセンブリと光学的に接続されている孔下方ケーブルと、を備えている。

40

【0019】

更に、掘削リング、掘削プラットフォーム、スナップ用プラットフォーム、ボーリング用やぐら又はボーリング孔を前進させるためのコイル巻き管の掘削リグと組み合わせて使用するための高出力レーザー掘削設備も提供されている。この設備は、高出力レーザーエネルギー供給源であって、少なくとも5kW、少なくとも約10kW、少なくとも約15kW及

50

び少なくとも約 20 kW 又はそれ以上の出力を有するレーザービームを提供することができ且つ少なくとも 1 つのレーザーを備えているレーザー供給源と、ボーリング孔面に所定のエネルギー付与分布のレーザーエネルギーを供給し且つ所定のレーザーショットパターンを供給する構造とされ且つボーリング孔内にある物質を機械的に取り除く手段を備えている坑底アセンブリと、該坑底アセンブリをボーリング孔内へと下方へ前進させるための手段と、ボーリング孔を前進させる際に使用するための流体供給源と、長さが少なくとも約 0.3 km (1,000 フィート) であり且つ前記レーザー供給源と光学的に接続されており且つ前記光学アセンブリと光学的に接続されている孔下方高出力レーザー伝送ケーブルと、前記流体供給源と流体連通している坑底アセンブリと、を備えており、これによって、高出力レーザーエネルギーがボーリング孔の開口部から少なくとも 0.3 km (1,000 フィート) の距離にあるボーリング孔内の場所のボーリング孔の表面に高出力レーザーエネルギーが提供されるようになされている。

10

【0020】

更に、掘削リング、掘削プラットフォーム、ボーリング用やぐら、スナップ用プラットフォーム又はボーリング孔を前進させるためのコイル巻き管の掘削リグと組み合わせて使用するための高出力レーザー掘削設備も提供されている。この設備は、高出力レーザーエネルギーの供給源と、ボーリング孔表面にエネルギー付与分布を付与する構造とされており且つレーザーショットのパターンを付与する構造とされている光学アセンブリを備えている坑底アセンブリとを備えており、該光学アセンブリは、流体を誘導する手段と、坑底アセンブリをボーリング孔内を下方へ前進させる手段と、孔下方高出力レーザー伝送ケーブルであって前記レーザー供給源と光学的に接続されており且つ前記の坑底アセンブリと光学的に接続されている孔下方ケーブルと、前記流体供給源と流体連通状態にある流体を誘導する手段とを備えている。この設備は、ボーリング孔の表面にレーザーエネルギーを照射して岩石を切削し、破碎し又は削り取ることができ且つボーリング孔から前記の切削、破碎又は削り取りによって形成された廃棄物を前記誘導手段の作用によってボーリング孔及びレーザー照射領域から排出する。この設備においては、前記誘導手段は、流体増幅器、出口ポート、気体誘導手段、流体誘導手段、及びエアナイフのうちの 1 以上及びこれらの組み合わせとすることができる。

20

【0021】

付加的に坑底レーザーアセンブリも提供されている。該レーザー底孔アセンブリは、第一の回転ハウジングと、該第一の回転ハウジングが回転可能に組み合わせられている第二の固定ハウジングと、レーザービームを伝送することができ且つ近位端と遠位端とを備えており且つ該近位端がレーザー供給源からレーザービームを受け取るようになされており且つ前記遠位端が光学アセンブリと光学的に組み合わせられた光ファイバケーブルと、前記第一の回転ハウジングに固定されていて該固定された部分が前記第一のハウジングと一緒に回転するようになされている前記光学アセンブリの少なくとも一部分と、前記第一の回転ハウジングに固定されていて前記アセンブリが前記第一のハウジングと一緒に回転し且つ回転した際にボーリング孔の表面に機械的な力をかけることができるようになされた機械的アセンブリと、前記第一のハウジング及び第二のハウジングと組み合わせられた流体経路であって遠位の開口部と近位の開口部を備え且つ該遠位の開口部が流体をボーリング孔の表面に向かって排出するようになされていて廃棄物の排出のための流体が該流体経路によって運ばれ且つ前記遠位の開口部からボーリング孔に向かって排出されてボーリング孔から廃棄物を取り除くようになされた前記流体経路と、を備えている。

30

40

【0022】

更に、坑底レーザーアセンブリが提供されている。該坑底アセンブリは、回転する第一のハウジング、該第一のハウジングが回転できるように組み合わせられている第二のハウジングと、第一の部分と第二の部分とを備えている光学アセンブリと、レーザービームを伝送する光ファイバケーブルであって近位端とを遠位端とを有し且つ該近位端はレーザー供給源からレーザービームを受け取るようになされており且つ前記近位端は前記光学アセンブリと光学的に組み合わせられおり且つ前記ファイバの近位端と遠位端とは前記第二の

50

ハウジングに固定されている光ファイバケーブルと、前記第一の回転ハウジングに固定されている前記光学アセンブリの第一の部分と、前記第二の固定ハウジングに固定されていて前記光学アセンブリの第一の部分が前記第一のハウジングと一緒に回転するようになされた前記光学アセンブリの第二の部分と、前記第一の回転ハウジングに固定されていて前記第一のハウジングと一緒に回転するようになされ且つ回転したときにボーリング孔の表面に機械的な力をかけることができる機械的アセンブリと、前記第一のハウジング及び第二のハウジングと組み合わせられた流体経路であって遠位の開口部と近位の開口部とを備えており且つ遠位の開口部は流体をボーリング孔の表面に向かって排出するようになされており且つ前記第一の回転ハウジングに固定されていて廃棄物を排出するための流体が前記流体経路によって運ばれ且つ前記遠位の開口部からボーリング孔の表面に向かって排出されてボーリング孔から廃棄物を取り除くようになされており、前記第一のハウジングが回転したときに、前記光学アセンブリの第一の部分、前記機械的アセンブリ及び近位の流体開口部が実質的に同時に回転するようになされている。

【0023】

更に、坑底レーザーアセンブリが提供されている。該坑底レーザーアセンブリは、高出力レーザービームを提供する手段と、レーザービームが移動する光路を提供している光アセンブリと、前記光路に沿って高圧領域を形成するための空気流チャンバと、前記高圧領域から廃棄物を取り除くための吸引ポンプとして機能するポートを備えている前記坑底アセンブリのハウジングを通る空気流と、を備えている。

【0024】

更に、これらの設備及びアセンブリは、更に、回転レーザー光学素子、機械的回転相互作用器具、回転流体供給手段（これらの器具のうちの1つ又は3つの全てと一緒に回転する）と、ビーム整形光学素子と、ハウジングと、廃棄物を取り除くための液体を誘導するための手段と、レーザー経路をデブリスが無い状態に保つための手段と、廃棄物とレーザービームとの干渉を減らすための手段と、スキャナーを備えている光学素子と、機械的隔離器具と、円錐形の隔離器具と、掘削ビットを備えている機械的アセンブリと、スリーコーンドリルビットを備えている機械的アセンブリと、PDCビットかPDC工具かPDC切削工具かを備えている機械的アセンブリと、を備えている。

【0025】

更に、地中にボーリング孔を掘るための設備が提供されている。該設備は、高出力レーザー供給源と、坑底アセンブリと、前記レーザー供給源からのレーザービームが前記坑底アセンブリへと伝送されるようにレーザー供給源を前記坑底アセンブリと光学的に接続しているファイバとを備えており、前記坑底アセンブリは、ボーリング孔の底面にレーザービームを供給する手段を備えており、該レーザービームを供給する手段は、ビーム出力付与光学素子を備えており、前記坑底アセンブリから供給されるレーザービームは、ほぼ均一なエネルギー付与分布でボーリング孔の底面を照射する。

【0026】

更にレーザーを使用してボーリング孔を前進させる方法が提供されている。該方法は、高出力レーザービーム伝送手段をボーリング孔内へ前進させるステップであって前記ボーリング孔は底面と頂部開口部と前記底面と前記頂部開口部との間に延びている少なくとも約0.3 km (1,000 フィート) の長さを有しており且つ前記レーザービーム伝送手段は遠位端と近位端と該遠位端と近位端との間に延びている長さを有しており且つ前記遠位端はボーリング孔を下方へ前進せしめられ且つ前記レーザービーム伝送手段は高出力レーザーエネルギーを伝送するための手段からなる前記高出力レーザービームを前進させるステップと、高出力レーザービームを前記レーザービーム伝送手段の近位端に供給するステップと、前記レーザービームの出力のほぼ全てを前記伝送手段の長さに沿って下方へ伝送してビームが前記遠位端から出て行くようにするステップと、レーザービームを前記遠位端から坑底レーザーアセンブリ内の光学アセンブリまで伝送するステップであって前記坑底レーザーアセンブリはレーザービームをボーリング孔の底面へと誘導するステップと、所定のエネルギー付与分布をボーリング孔の底に供給してボーリング孔の底部とのレーザ

ービームの相互作用に部分的に基づいてボーリング孔の長さが増大するようにするステップと、を含んでいる。

【0027】

更に、ボーリング孔のレーザーによる掘削中にボーリング孔からデブリを取り除く方法が提供されている。この方法は、ある波長を有し且つボーリング孔内を下方へ且つボーリング奥の少なくとも0.3km(1,000フィート)にある面へ少なくとも約10kWの出力を有するレーザービーム(このレーザービームは面領域を照射し且つ照射領域面から物質を押し除ける)を誘導するステップと、ボーリング孔内及びボーリング孔面へと流体(該流体はレーザーの波長を伝えることができ、誘導された流体は第一及び第二の流路を有しており、該流体は前記流路内を流れて照射領域から押し除けられた物質を照射領域でのレーザー照射に干渉しない十分な速度で取り出し、第二の流路内を流れて押し除けられた物質をボーリング孔から取り除く)を誘導するステップと、を含んでいる。更に上記の方法はまた、照射領域を回転させ、第一の流路内の流体を回転方向へ誘導し、第一の流路内にある流体を前記回転方向と反対の方向に誘導し、第三の流路、第三の流路及び第一の流路を回転方向に誘導し、第三の流路及び第一の流路を前記回転方向と反対方向に誘導し、第一の流路内の流体を照射領域へ直接誘導し、第一の流路内の流体を照射領域近くへ誘導し、第一の流路内の流体を回転位置前方の照射領域近くへ誘導する。

10

【0028】

ボーリング孔のレーザーによる掘削中にボーリング孔からデブリを取り除く更に別の方法も提供されている。この方法は、少なくとも約10kWの出力を有するレーザービームをボーリング孔の面へと誘導するステップと、ボーリング孔の面領域を照射するステップと、照射領域から物質を押し除けるステップと、流体を供給するステップと、流体をボーリング孔内の第一の領域へと誘導するステップと、流体を第二の領域へと誘導するステップとを含んでおり、前記の誘導された流体は、押し除けられた物質がレーザー照射と干渉しない十分な速度で押し除けられた物質を照射領域から取り除き、前記流体は押し除けられた物質をボーリング孔から取り除く。この別の方法は更に、照射領域としての第一の領域と、坑底アセンブリの側壁上の第二の領域と、前記第一の領域の近くの第二の領域及びボーリング孔の底面上に位置している第二の領域と、該第二の領域がボーリング孔の底面に配置されているときに前記第一の領域の近くにある前記第二の領域と、照射領域へと誘導される第一の流体と、第二の領域へと誘導される第二の流体と、ガスである第一の流体と、液体である第二の流体と、水性液である第二の流体と、を含んでいる。

20

30

【0029】

ボーリング孔のレーザーによる掘削作業中にデブリをボーリング孔から取り除く別の方法が提供されている。この方法は、レーザービームをボーリング孔面へと誘導するステップと、ボーリング孔面領域を照射するステップと、照射領域から物質を押し除けるステップと、流体を供給するステップと、第一の流路内の流体をボーリング孔内の第一の領域へと誘導するステップと、第二の流路内の流体を第二の領域へと導くステップと、第二の流路内の流体の流れを増幅するステップとを含んでおり、誘導された流体は、押し除けられた物質がレーザーによる照射と干渉しないようにする十分な速度で前記押し除けられた物質を照射領域から取り除き、前記増幅された流体は押し除けられた物質をボーリング孔から取り除く。

40

【0030】

更に、地中にボーリング孔を開けるための坑底レーザーアセンブリが提供されている。このアセンブリは、ハウジングと、レーザービームを整形するための光学素子と、レーザービームをボーリング孔の面を照射するように給送する開口部と、前記ハウジングに設けられた第一の流体開口部と、前記ハウジングに設けられた第二の流体開口部とを備えており、前記第二の流体開口部は流体増幅器を備えている。

【0031】

更に、ボーリング孔を前進させるための高出力レーザー掘削設備が提供されている。この設備は、レーザービームを提供することができる高出力レーザーエネルギーの供給源と、

50

管アセンブリであって、遠位端と近位端とを有する少なくとも0.15km(500フィート)の管と、ボーリング孔を前進させる際に使用するための流体供給源とを備えており、前記管の近位端は、前記流体供給源と流体連通して前記管の近位端から該管の遠位端まで前記管と組み合わせられて流体が搬送されるようになされており、前記管の近位端は、前記レーザー供給源と光学的に接続されていてレーザービームが前記管と組み合わせられて搬送されるようになされており、前記管は、高出力レーザー伝送ケーブルを備えており、該伝送ケーブルは遠位端と近位端とを備えており、該近位端は前記レーザー供給源と光学的に接続されていてレーザービームが前記ケーブルによって該ケーブルの前記近位端から遠位端まで伝送されるようになされている前記管アセンブリと、前記管の遠位端と光学的且つ流体的に接続している坑底レーザーアセンブリであってハウジングと光学アセンブリと流体誘導用開口部とを備えているレーザー坑底アセンブリとを備えている。この設備は、エアナイフとしての流体誘導用開口部、流体増幅器としての流体誘導装置、複数の流体誘導装置、複数の流体誘導装置を含む坑底アセンブリ、第一のハウジングと第二のハウジングとからなるハウジングであって前記流体誘導開口部が前記第一のハウジング内に配置されているハウジング、モーターのような前記第一のハウジングを回転させる手段をも補充されている。

10

【0032】

更に、ボーリング孔を前進させるための高出力レーザー掘削設備も提供されている。該設備は、レーザービームを供給することができる高出力レーザーエネルギー供給源と、遠位端と近位端とを有している少なくとも0.15km(500フィート)の管を備えた管アセンブリと、ボーリング孔を前進させるために使用される流体供給源とを備えており、前記管の近位端が前記流体源と流体連通して流体が管の近位端から遠位端まで管に伴って搬送されるようになされており、管の近位端がレーザー供給源と光学的に接続されていてレーザービームが管に伴って伝送されるようになされており、該管は高出力レーザー伝送ケーブルを備えており、前記伝送ケーブルは遠位端と近位端とを有しており、近位端はレーザー供給源と光学的に接続されていてレーザービームがケーブルによってケーブルの近位端から遠位端まで伝送されるようになされており、該設備は更に、前記管の遠位端と光学的に及び流体的に接続されている坑底レーザーアセンブリ、及び廃棄物を取り除くための流体的誘導手段をも備えている。

20

【0033】

更に、このような設備は、坑底レーザーアセンブリ内に配置された前記流体誘導手段、廃棄物がレーザービームと干渉するのを減らす手段を備えている坑底レーザーアセンブリ、回転レーザー光学素子を備えている該坑底レーザーアセンブリ、回転レーザー光学素子と回転流体誘導手段とを備えている坑底レーザーアセンブリを備えている。

30

【0034】

当業者は、これらの明細書及び図面に記載されている教示に基づいて、本発明を実施するためのこれらの教示の種々の実施例及び具体例があることを認識するであろう。従って、上記発明の概要の欄に含まれている実施形態は、いずれにしてもこれらの教示を限定することを意味するものではない。

【図面の簡単な説明】

40

【0035】

【図1】 図1は、地中、ボーリング孔及びボーリング孔を前進させるための本発明の装置の一つの実施例を示している断面図である。

【図2】 図2はスプールの図である。

【図3A】 図3Aはクリール(巻糸軸架)の図である。

【図3B】 図3Bはクリールの図である。

【図4】 図4はレーザーの構造を示す概略図である。

【図5】 図5はレーザーの構造を示す概略図である。

【図6】 図6はスプールと回転光カプラーの斜視破断図である。

【図7】 図7はレーザーファイバ増幅器の概略図である。

50

- 【図 8】図 8 は坑底アセンブリの斜視破断図である。
- 【図 9】図 9 は L B H A の一部分の断面図である。
- 【図 10】図 10 は L B H A の一部分の断面図である。
- 【図 11】図 11 は L B H A を示している図である。
- 【図 12】図 12 は流体出口の斜視図である。
- 【図 13】図 13 は、エアーナイフアセンブリ流体出口の斜視図である。
- 【図 14 A】図 14 A は L B H A の斜視図である。
- 【図 14 B】図 14 B は図 14 A の L B H A の線 B - B に沿った断面図である。
- 【図 15 A】図 15 A は、レーザービームによる玄武岩照射の例を示している図式的な図
ある。 10
- 【図 15 B】図 15 B は、レーザービームによる玄武岩照射の例を示している図式的な図
ある。
- 【図 16 A】図 16 A は、均一分布かガウス分布のビーム中心を中心として回転せしめら
れた楕円形スポットのエネルギー付与分布を示している図である。
- 【図 16 B】図 16 B は、均一分布かガウス分布のビーム中心を中心として回転せしめら
れた楕円形スポットのエネルギー付与分布を示している図である。
- 【図 17 A】図 17 A は、回転していない状態のエネルギー付与分布の図である。
- 【図 17 B】図 17 B は、図 17 A のエネルギー付与分布を提供するビームの回転の際の平
らで且つ均一なエネルギー付与分布を示している図である。
- 【図 18 A】図 18 A は光学アセンブリを示している図である。 20
- 【図 18 B】図 18 B は光学アセンブリを示している図である。
- 【図 18 C】図 18 C は光学アセンブリを示している図である。
- 【図 18 D】図 18 D は光学アセンブリを示している図である。
- 【図 19】図 19 は光学アセンブリを示している図である。
- 【図 20】図 20 は光学アセンブリを示している図である。
- 【図 21 A】図 21 A は光学アセンブリを示している図である。
- 【図 21 B】図 21 B は光学アセンブリを示している図である。
- 【図 22】図 22 は多回転レーザーショットパターンを示している図である。
- 【図 23】図 23 は楕円形状のショットを示している図である。
- 【図 24】図 24 は矩形形状のスポットを示している図である。 30
- 【図 25】図 25 はマルチショットのショットパターンを示している図である。
- 【図 26】図 26 はショットパターンを示している図である。
- 【図 27】図 27 は L B H A を示している図である。
- 【図 28】図 28 は L B H A を示している図である。
- 【図 29】図 29 は L B H A を示している図である。
- 【図 30】図 30 は L B H A を示している図である。
- 【図 31】図 31 は L B H A を示している図である。
- 【図 32】図 32 は L B H A を示している図である。
- 【図 33】図 33 は L B H A を示している図である。
- 【図 34】図 34 は L B H A を示している図である。 40
- 【図 35】図 35 は L B H A を示している図である。
- 【図 36】図 36 は L B H A を示している図である。
- 【実施例】
- 【0036】
- 本発明は、概して、レーザーによって地中にボーリング孔を開ける際に使用する方法、
装置及び設備に関し、主に、このようなボーリング孔を地中深く効率の良い前進速度で前
進させるレーザー装置、方法及び設備に関する。本発明は底部が極めて深い場合でさえも
ボーリング孔の底まで高出力レーザーエネルギーを到達させる手段を備えているので、高効
率の前進速度を得ることができる。
- 【0037】 50

従って、一般的に且つ例示として、図1には、大地1002にボーリング孔1001を形成するための高効率のレーザー掘削装置1000が示されている。ここで使用されている“大地”という用語は、(特に言及されていない限り)考えられる最も広い意味で使用されており、且つ限定的ではないが、花崗岩、玄武岩、砂岩、白雲石、砂、塩、石灰石、流紋石、珪岩、頁岩のような岩層を含む地中に存在するか見出される地面、岩のような天然物質、コンクリートのような人工的なものを含む。

【0038】

図1は、地表1030の破断斜視図及び大地1002の地下の破断図を示している。一般的であるが例示として、ケーブル1004及び1005によってレーザー1006に電力を供給する電源1003と、レーザー1006のための冷却機1007とが設けられている。レーザーは、レーザービーム即ちレーザーエネルギーを供給し、このレーザービームはレーザービーム伝送手段1008によってコイル巻き管1009のスプールへ搬送される。流体1010の供給源が提供される。流体は、流体搬送手段1011によってコイル巻き管1009のスプールへ搬送される。

10

【0039】

コイル巻き管1009のスプールは、回転してコイル巻き管1012を前進させたり後退させたりする。従って、レーザービーム伝送手段1008及び流体搬送手段1011は、回転結合手段1013によってコイル巻き管1009のスプールに取り付けられている。コイル巻き管1012は、レーザービームを流体コイル巻き管の長さ方向に沿って坑底アセンブリ1014へと伝送する手段すなわち“長距離高出力レーザービーム伝送手段”を備えている。コイル巻き管1012はまた、流体をコイル巻き管1012の全長に沿って坑底アセンブリ1014まで運ぶ手段をも備えている。

20

【0040】

更に、注入管1016を保持してボーリング孔1001内でのコイル巻き管1012の動きを補助する支持構造1015が設けられている。更に他の支持構造を使用することができ、このような構造は、例えばボーリング用のやぐら、クレーン、マスト、三脚若しくは他の類似したタイプの構造又はこれらの混成体及び組合せ体とすることができる。ボーリング孔は地表1030から比較的深い深さまで前進するので、分流機1017、吹出し防止装置(BOP)1018及び流体及び/又は切削処理装置1019の使用が必要となるかもしれない。コイル巻き管1012は、装入機1016から分流機1017、BOP1018、坑口1020を介してボーリング孔1001内へ通される。

30

【0041】

流体がボーリング孔1001の底1021へと供給される。流体は、坑底アセンブリ1014から又はその近くから排出され、とりわけボーリング孔を前進させることによって生じる掘削くずを、搬送し、上方へと戻し、ボーリング孔から運び出すために使用される。従って、分流機1017は、流体が掘削くずを搬送して戻るときに、コネクタ1022を介して流体及び/又は掘削屑処理装置1019へと運ぶように流体を誘導する。この処理装置1019は、廃棄物が外部環境内へ流出するのを防止し、廃棄物を分類し且つ洗浄し、流体が窒素であった場合のように環境的且つ経済的に許容される場合には洗浄された流体を空气中へ散逸させ又は洗浄された流体を流体供給源1010へ戻し、別のやり方として、使用済みの流体を後処理及び/又は廃棄のために溜めておくことを目的としている。

40

【0042】

BOP1018は、井戸の潜在的な吹出しのようなボーリング孔内での高圧現象が生じた場合に、ボーリング孔の複数レベルの緊急遮断及び/又は封じ込めを行うように機能する。BOPは坑口1020に固定されている。坑口は次いでケーシングに取り付けられる。簡素化のために、ケーシング、ハンガー及びセメントのようなボーリング孔の構造的構成要素は示されていない。これらの構成要素が、ボーリング孔の深さ、タイプ及び地質並びにその他の要因に基づいて使用され且つ異なるものになることが理解される。

【0043】

50

コイル巻き管 1012 の坑底端部 1023 は、坑底アセンブリ 1014 に結合されている。坑底アセンブリ 1014 は、レーザービーム 1024 を対象とする目標、すなわち図 1 の場合にはボーリング孔 1001 の底 1021 に照射するための光学系を含んでいる。坑底アセンブリ 1014 は例えば流体を給送するための手段をも備えている。

【0044】

従って一般的に、この設備は、レーザーにレーザービームの形態のレーザーエネルギーを生成させることによってボーリング孔を形成し且つ / 又は前進させるように作動する。次いで、レーザービームは、レーザーからスプールを通してコイル巻き管へと伝送される。この場所で、次いで、レーザービームは坑底アセンブリへと伝送され、地表及び / 又はボーリング孔に向けられる。地表及び / 又はボーリング孔に接触すると、レーザービームは、岩及び土を掘削するか或いは作用してボーリング孔を形成し且つ / 又は前進させるのに十分な出力を有している。この接触点のレーザービームは、十分な出力を有しており、従来の機械的な掘削動作に匹敵するか又はこれより優れたボーリング孔の掘削ができるように岩及び土へと誘導される。土及び岩の種類及びレーザービームの特性に応じて、この掘削は、粉碎、熱解離、融解、蒸発及びこれらの現象の組み合わせによって生じる。

10

【0045】

現在の理論と関連付けられていないが、今のところ、レーザーと物質との相互作用によってレーザーと流体又は媒体との相互作用が惹き起こされてレーザー照射された領域が除去されると考えられている。従って、レーザー照射によって表面事象がもたらされ、表面にぶつかる流体がデブリスすなわち掘削屑及び廃棄物質を照射領域から迅速に搬送する。流体は更に、大規模又は小規模で、照射領域、照射後の領域並びにボーリング孔から又は例えば孔開けの場合のように切削されている材料から熱を奪い取ると考えられている。

20

【0046】

流体は次いで掘削屑をボーリング孔から上方へ搬送する。ボーリング孔が前進すると、コイル巻き管は繰り出されてボーリング孔内へと更に降ろされる。このようにして、坑底アセンブリとボーリング孔の底との間に適切な距離を維持することができる。例えば壁を覆うために坑底アセンブリがボーリング孔から取り外される必要がある場合には、スプールが巻かれてコイル巻き管がボーリング孔から引っ張られるようにする。更に、レーザービームは、坑底アセンブリによって又はボーリング孔の下方に配置されている他のレーザー誘導手段によって誘導され、孔開け、制御された孔開け、ケーシングの切削及び栓の除去のような作業を行う。この設備はまた、そのサイズ及び重量が従来の機械的リグよりも小さいので、移動トレーラーやトラックに容易に搭載することができる。

30

【0047】

ボーリング孔の外側にレーザーが配置されている図 1 に示された一般的なタイプの設備においては、レーザーは、ボーリング孔に相応する地質内に存在すると考えられている土及び岩内へ及びこれらの中にボーリング孔を前進させるような所望の機能を果たすのに十分なエネルギーを供給することができる高出力レーザーとすることができる。選択されるレーザー発生源は、コアの小さいファイバすなわち約 50 ミクロンの光ファイバ内への送り込みを容易にするために低 M^2 値の単一モードレーザー又は低次マルチモードレーザーである。しかしながら、大きなコアのファイバが好ましい。レーザー供給源の例としては、ファイバレーザー、化学レーザー、ディスクレーザー、薄膜レーザー、高輝度ダイオードレーザーのみならずこれらのレーザー供給源のスペクトルビームの組み合わせ又は個々のレーザー供給源の輝度を増すためにこれらの供給源のコヒーレントな位相に配列されたレーザーがある。

40

【0048】

例えば、図 4 は、誘導ブリルアン散乱 (SBS) 現象によって制限される色ごとに所定量の出力を割り振ることによってファイバ内下方へ高出力エネルギーを伝送することを可能にするレーザー供給源のスペクトルビームの組み合わせを示している。従って、第一の波長 "x" (x は 1 ミクロンより小さい) を有している第一のレーザー供給源 4001 が図 4 に示されている。x + 1 ミクロン (1 は波長の所定のシフトであってプラス又はマ

50

イナスとすることができる)の第二の波長を有している第二のレーザー4002が示されている。x + 1 + 2ミクロンの第三の波長を有している第三のレーザー4003と、x + 1 + 2 + 3ミクロンの波長を有している第四のレーザー4004とが示されている。これらのレーザービームは、ビーム結合器4005によって結合されて光ファイバ4006によって伝送される。スペクトルを有している結合されたビームは符号4007で示されている。

【0049】

例えば、図5は、レーザーの周波数変調された位相配列を示している。このように、直接的又は間接的に周波数変調できる主発振器が提供されており、該発振器は、個々のレーザーによって達成することができるよりも高い出力の複合ビームを形成するためにレーザー又は増幅器を注入同期するために使用される。従って、同じ波長を有するレーザー5001、5002、5003及び5004が設けられている。これらのレーザービームは、ビーム結合器5005によって結合され且つ光ファイバ5006によって伝送される。レーザー5001、5002、5003及び5004はFM変調されている主発振器5008と組み合わせられている。あるスペクトルを有している結合されたビームが5007で示されており、はFM変調の周波数偏移である。このようなレーザーは米国特許出願第5,694,408号に開示されており、この開示はこれに言及することによってその全体を参照として本明細書に援用する。

10

【0050】

レーザー供給源は、低次モード供給源($M^2 < 2$)とすることができ、従って集束されて100ミクロン以下のモード直径を有している光ファイバとされている。50ミクロン~6ミクロンの範囲の小さいモードフィールド直径を有している光ファイバは伝送損失が最も小さい。しかしながら、これは非線形現象の開始点とできる限り大きな直径が要求される一方でできるだけ小さな伝送損失が要求される光ファイバ面の物理的損傷とのバランスがとられるべきである。

20

【0051】

レーザー供給源は、約1kW~約20kW、約10kW~約20kW、少なくとも約10kW、好ましくは約20kW以上の総出力を有するべきである。更に、上記の総出力域を可能とするために種々のレーザーの組み合わせを使用することができる。更に、レーザー供給源は、曲げ性とファイバの製造可能長さに関して良好な大きいmmミリラドのビームパラメータを有しているべきであり、従って、ビームパラメータは約100mmミリラド、単一のモードから約50mmミリラド、約50mmミリラド未満、約15mmミリラド未満、最も好ましくは12mmミリラドとすることができ、更に、レーザー供給源は少なくとも10%の光電効率と、少なくとも約50%の光効率と、少なくとも約70%の光効率を有しており、光効率が高ければ高いほど他の全てのファクタは等しいのが好ましく、少なくとも約25%であるのが好ましい。レーザー供給源は、パルスモードか又は連続波(CW)モードで作動する。レーザー供給源はファイバ結合できるのが好ましい。

30

【0052】

花崗岩及び玄武岩のような硬い岩盤を含む地質内でボーリング孔を前進させるためには、次の表1に記載されている規格のIPG 20000 YBを使用することが好ましい。

40

【表 1】

表 1 光学特性

特性	試験条件	記号	最小値	代表値	最大値	単位
動作モード			CW, QCW			
極性			ランダム			
定格出力		P _{NOM}	20000*			W
出力調整範囲			10		100	%
射出波長	P _{OUT} =20 k W		1070		1080	nm
射出線幅	P _{OUT} =20 k W			3	6	nm
オン/オフ切替時間	P _{OUT} =20 k W			80	100	μ秒
出力変調速度	P _{OUT} =20 k W				50	kHz
出力安定性	8時間以上 T _{WATER} =一定			1.0	2.0	%
給送ファイバコア直径			200			μm
ビームパラメータ生成給送ファイバ	200μm	BPP		12	14	mm *mrad
ファイバ長さ		L		10		m
ファイバケーブル曲げ半径 無応力時 応力時		R	100 200			mm
出力端子			IPG HLC-8 コネクタ (QBH と互換性あり)			
目標レーザー波長			640		680	nm
目標レーザー出力			0.5		1	mW

*レーザーから50メートル以内の距離にあるコネクタにおいて試験した出力

パラメータ	試験条件	最小値	代表値	最大値	単位
動作電圧(3相)		440	480	520	VAC
周波数		50/60			Hz
消費電力	P _{OUT} =20 k W		75	80	k W
動作温度範囲		+15		+40	°C
湿度 調節器無し 内蔵調整器	T<25°C T<40°C			90 95	%
保存温度	水無し	-40		+75	°C
寸法 H×W×D	NEMA-12;IP-55	1490×1480×810			mm
重量			1200		kg
配管		NPT ねじ付きステンレス鋼及び/又はプラスチックの管			

【0053】

ケーシングの切削動作、栓の取り外し動作、孔開け動作のためには、レーザーは、上記したレーザーのいずれであっても良く、更に坑井の改修動作及び完全な坑井掘削動作のためにのみ使用されるより小さいあらゆるレーザーとすることができる。

【0054】

図1の構造及び本発明において使用するための好ましいレーザーとして上記したものの他に、高効率レーザー掘削設備において使用するためのレーザーの他の構造が想定できる。従って、レーザーの選択は、目的とする用途又は望ましい動作パラメータに基づく。平均出力、比出力、放射照度、動作波長、励起光源、ビームスポットの大きさ、照射時間、関連する比エネルギーが、レーザーを選択する際に考慮に入れられる。岩盤の種類などの掘削される物質もまたレーザーの選択に影響する。例えば、岩の種類は、探査されている資源の種類に関係がある。石灰石や花崗岩のような硬い岩は一般的に熱水源に伴うものであり、一方、砂岩や頁岩は一般的にガス資源又は石油資源に伴う。従って、例示として、レーザーは固体レーザーでも良いし、ガスレーザー、化学レーザー、色素レーザー又は金属蒸気レーザーとしても良いし、半導体レーザーとしても良い。更に、レーザーは、キロワットレベルのレーザービームを発生させても良いし、パルスレーザーとしても良い。レーザーは更に、Nd:YAGレーザー、CO₂レーザー、赤外ダイオードレーザーのようなダイオードレーザー、イッテリビウム添加多層クラッドファイバレーザーのようなファイバレーザーであっても良い。赤外ファイバレーザーは800nm~1600nmの波長域の光を射出する。ファイバレーザーには、ホルミウム、エルビウム、イッテリビウム、ネ

オジウム、ジスプロシウム、プラセオジウム、ツリウム、又はこれらの組み合わせの希土類元素を含む能動的利得媒体が添加される。1以上のタイプのレーザーの組み合わせを設置しても良い。

【0055】

本発明において有用なタイプのファイバレーザーは、一般的に二重コアファイバの周りに形成される。内側コアは、希土類元素すなわち ytterbium、erbium、thulium、holmium、又はこれらの組み合わせによって作ることができる。光学的利得媒体は、1064nm、1360nm、1455nm、及び1550nmの波長を射出し且つ回折が制限され得る。光ダイオードは、内側コア内の希土類元素イオンを励起するために外側コア（一般的に内側クラッド型と称される）に結合される。外側コアはマルチモードの導波管とすることができる。内側コアは、2つの目的すなわち高出力レーザーをガイドする機能と励起された希土類元素イオンによって高出力レーザーに利得を付与する機能とを果たす。外側コアの外側クラッドは損失を減らし且つファイバを保護するために低屈折率ポリマーからなる。典型的な励起レーザーダイオードは、約915~980nm（一般的には940nm）の範囲内で放射する。ファイバレーザーは、IPG Photonics（IPGフォトリクス）又はSouthampton Photonics（サウスハンプトン フォトリクス）によって製造されている。IPG photonicsによる高出力ファイバは、多重送信されると50kWの出力を発生することが実証されている。

10

【0056】

使用時には、1以上のレーザーによって発生され又は照射された1以上のレーザービームは、岩などの物質を粉砕し、蒸発させ又は融解させる。レーザービームは、1つ又は複数の波形によってパルスにされるか又は連続的であっても良い。レーザービームは、岩盤などの物質の例えば熱伝導率を含む特性により岩盤内に熱応力を誘起する。レーザービームはまた、岩盤の内層面内の水分の過熱蒸気の爆発によって機械的応力をも誘起する。機械的応力はまた、物質の原位置にある鉱物の一部分が熱分解及び昇華することによっても誘起される。レーザーと物質との境界部又はその下方における熱的及び/又は機械的応力は、岩などの物質の粉砕を促進する。同様に、レーザーは、坑井のケーシング、セメント又はその他の物体に所望通りに作用を及ぼすために使用される。レーザービームは、レーザービームがレーザー照射領域と称される面と接触している場所の面に作用する。レーザー照射領域は、所望の結果を得るのに必要とされる予め選択された形状及び強度分布を有しており、このレーザー照射領域はレーザービームスポットとも称される。あらゆる深さ及び/又は直径のボーリング孔が、例えば多数の場所又は層を粉砕することによって形成される。従って、一例として、レーザーと岩との間の相互作用を高めるために、連続した点に狙いが定められる又は効果的なパターンの点に狙いが定められる。レーザー又はレーザービームの位置又は向きは、レーザーと物質との間の相互作用が岩の除去において最も効率が良くなって、所望の領域に亘って合理的に作用するように動かされ又は誘導される。

20

30

【0057】

更に、1以上のレーザーを孔下方すなわちボーリング孔の下方に配置することができる。従って、特定の要件及び動作パラメータに応じて、レーザーはボーリング孔内の如何なる深さに配置しても良い。例えば、レーザーは、比較的地表近くに維持しても良いし、ボーリング孔内の奥深くに位置決めしても良いし、ボーリング孔内の一定の深さに維持しても良いし、ボーリング孔が深くなるにつれて増分する深さに配置しても良い。従って、更に別の例として、レーザーは、作用を受ける岩などの物質からある一定の距離に維持される。レーザーが孔下方に配備される場合には、レーザーは、ボーリング孔に合う形状及び/又は大きさとされる。幾つかのレーザーは、孔下方で使用するための他のものよりも良好に適合させることができる。例えば、幾つかのレーザーの大きさは孔下方での使用に不相当であると考えられるが、このようなレーザーは下方孔で使用できるように加工するか又は改造することができる。同様に、レーザーの出力又は冷却もまた孔下方での使用に合わせて改造することができる。

40

50

【 0 0 5 8 】

設備及び方法は、一般的に、レーザーを保護するための1以上の構造を備えていても良い。このことは、地表ユニット及び孔下方ユニットの両方における苛酷な環境のためには重要となる。従って、一以上の実施例によれば、ボーリング孔掘削装置は冷却装置を備えている。冷却装置はレーザーを冷却する機能を果たす。例えば、冷却装置は、孔下方レーザーを例えば外気温度以下の温度又はレーザーの動作温度まで冷却することができる。更に、レーザーは、収着冷却を使用して赤外ダイオードレーザーの動作温度例えば約20～約100まで冷却される。ファイバレーザーの場合には、その動作温度は約20～約50である。作動中のダイオードレーザーの温度より高い温度に達したときにレーザーを冷却するために低温の液体を使用することができる。

10

【 0 0 5 9 】

熱はまた液体熱伝導剤によって孔内を上方に、すなわちボーリング孔から地表へと送られても良い。この熱伝導剤は、次いで、孔上方で比較的溫度が低い液体と混ぜ合わせられることによって冷却される。1又は複数の熱拡散ファンがレーザーダイオードに取り付けられて、赤外ダイオードレーザーから熱を拡散させる。冷却剤として流体を使用しても良く、外部冷却剤を使用することもできる。

【 0 0 6 0 】

孔下方用途においては、レーザーは適当な材料内に収納されることによって、孔下方の圧力及び環境から保護される。このような物質としては、鋼、チタン、ダイヤモンド、タングステンカーバイド等がある。赤外ダイオードレーザー又はファイバレーザーのためのファイバヘッドは、赤外線透過性の窓を有していても良い。このような透過性の窓は透過性を保持しつつ孔下方の環境に耐えることができる材料によって作られる。このような材料の一つは、サファイア又はこれに類似の特性を有する他の材料である。1以上の赤外ダイオードレーザー又はその他のレーザーは、サファイアによって全体を覆うことができる。一例として、赤外ダイオードレーザー又はファイバレーザーは、レーザービームが射出される部分以外はダイヤモンド、タングステンケーブル、鋼及びチタンによって作ることができる。

20

【 0 0 6 1 】

孔下方の環境においては、一例として、赤外ダイオードレーザー又はファイバレーザーは掘削作業中にボーリング孔と接触しないことが更に提案されている。例えば、孔下方レーザーはボーリング孔の壁から距離をあけて配置される。

30

【 0 0 6 2 】

図1に示されている一般的なタイプの設備において、レーザーを冷却するために使用される冷却機は、レーザーのサイズ、レーザーの効率、動作温度、及び環境位置に応じた冷却能力を有するように選択され、冷却機はこれらのパラメータの全体に亘って動作するように選択されるのが好ましい。好ましくは、20kWのレーザーに対して有用な冷却機は、表2に記載されている以下の仕様を有している。

【 0 0 6 3 】

【表 2】

表 2

冷却機	PC400.01-NZ-DIS	
60Hz 動作のための技術的データ		
IPG-レーザー型	YLR-15000, YLR-20000	
総冷却能力	60.0kW	
冷却剤	R407C	
必要な空気流量	26100m ³ /時間	
設置	屋外設置	
コンプレッサの数	2	
ファンの数	3	
ポンプの数	2	10
作動限界		
設計動作温度	33℃ (92F)	
動作温度最小値	(-) 20℃ (-4F)	
動作温度最大値	39℃ (102F)	
保存温度最小値 (空の水タンク)	(-) 40℃ (-40F)	
保存温度最大値	70℃ (158F)	
タンク容積 調整水	240リットル (63.50ガロン)	
タンク容積 DI水	25リットル (6.61ガロン)	
60Hz 動作のための電氣的データ		
ヒーター無し状態での設計出力消費量	29.0kW	
ヒーター有り状態での設計出力消費量	33.5kW	20
消費電力最大値	41.0kW	
電流最大値	60.5A	
ヒューズ最大値	80.0A	
開始電流	141.0A	
接続電圧	460V/3Ph/PE	
周波数	60Hz	
許容接続電圧	+/-10%	
寸法、重量、騒音レベル		
空タンク状態での重量	900KG (1984 lbs)	
5m離れた位置での騒音レベル	68dB (A)	
幅	2120mm (83 1/2インチ)	
深さ	860mm (33 7/8インチ)	
高さ	1977mm (77 7/8インチ)	30
水道水回路		
冷却能力	56.0kW	
水の出口温度	21℃ (70F)	
水の入口温度	26℃ (79F)	
温度の安定性	+/-1.0K	
水流量 対 使用可能水圧	3.0バールで135ℓ/分 (44 PSIで35.71 GPM)	
水流量 対 使用可能水圧	1.5バールで90ℓ/分 (21 PSIで23.81 GPM)	
脱イオン水回路		
冷却能力	4.0kW	
水の出口温度	26℃ (79F)	
水の入口温度	31℃ (88F)	
温度の安定性	+/-1.0K	
水流量 対 使用可能水圧	1.5バールで20ℓ/分 (21 PSIで5.28 GPM)	
水流量 対 使用可能水圧	4.0バールで15ℓ/分 (58 PSIで3.96 GPM)	40
オプション (含まれている)		
二周波数型 400V/3Ph/50Hz 460V/3Ph/60Hz		

【0064】

図 1 に図示されている一般的なタイプの設備においては、レーザービームは、レーザービーム伝送装置によってコイル巻き管のスプールへ伝送される。このような伝送装置は、

各端部にQBHコネクタを備えている市販の工業用硬質光ファイバケーブルによって作られる。

【0065】

2つの基本的な巻き取り方法があり、そのうちの一つは単にホイールの外周に巻き付けられた導管を備えたホイールであるスプールを使用する方法である。例えば、このコイル状に巻き付けられた導管は中空の管とすることができ、これは1本の光ファイバであっても良く、光ファイバの束であっても良く、外装光ファイバであっても良く、他のタイプの光伝送ケーブルであっても良く、上記した光伝送ケーブルを含んでいる中空の管であっても良い。

【0066】

この構造のスプールは中空の中心軸を備えており、この中空の中心軸において光出力が光ファイバの導入端部へ伝送される。ビームはスプールの中心から下方へ射出され、このスプールは、ファイバが送り出されるときにスプールが傾くのを防止するために水平方向が垂直方向において精密な軸受上に載置されている。スプールの約 $+/-10$ マイクロラジアン角度公差が維持されることが理想的であり、これは、好ましくは光軸をスプールの回転軸線から隔離し且つ/又は独立させることによって得られる。ビームは、ファイバ内へ射出される際に射出レンズのフーリエ変換面内でファイバと共に回転するレンズによって射出される。この射出レンズは、レーザービームに対するレンズの位置での動きに感応しないが、導入されるレーザービームの傾きに対して感応する。ファイバ内に射出されるビームは、射出レンズに対してファイバの動きに感応しない射出レンズのフーリエ変換面内ではファイバに対して静止している。

【0067】

第二の方法は、糸巻き軸架すなわちクリールに似た固定スプールを使用し、ファイバがスプールから繰り出される際にファイバが捻れないように保つために、ファイバが繰り出されるときにレーザーヘッドを回転させる方法である。ファイバがその長さに沿った相応する捩れ量を許容するように設計されている場合には、これは好ましい方法である。この第二の方法を使用すると、ファイバがスプールの周りに予め巻き付けられており、次いでファイバがスプールから繰り出されるときに、ファイバは真っ直ぐにされ、ファイバ及びドリルヘッドはファイバが繰り出されるときに回転される必要はない。ファイバを孔の下方に向かって吊り下げている一連のテンションが設けられており、孔が坑底からデブリスを取り除くための水で満たされている場合には、次いで、ファイバは、ファイバの重量を支えている浮揚性のケース内に収納され、そのケース内に孔の全長に亘って収納される。坑底アセンブリが回転せず且つファイバが捩られ且つ捩りによる歪み状態に配置されている状況においては、本明細書に教示されているSBSを減じるという更に別の利点がある。

【0068】

図1に図示されている一般的なタイプの装置においては、コイル巻き管のスプールは、以下の例示的な長さ、即ち、 $1\text{ km } (3, 280\text{ ft}) \sim 9\text{ km } (29, 528\text{ ft})$ 、 $2\text{ km } (6, 561\text{ ft}) \sim 5\text{ km } (16, 404\text{ ft})$ 、少なくとも $5\text{ km } (16, 404\text{ ft})$ 、及び約 $5\text{ km } (16, 404\text{ ft}) \sim$ 少なくとも約 $9\text{ km } (29, 528\text{ ft})$ の長さのコイル巻き管を備えている。スプールは、 2.875 鋼管を使用した標準的なタイプのスプールとすることができる。例えば市販のスプールとしては、典型的には $4 \sim 6\text{ km}$ の $7.30\text{ cm } (2.7/8\text{ "})$ 鋼管がある。 $2.54\text{ cm} \sim 7.30\text{ cm } (1\text{ " } \sim 2.7/8\text{ "})$ の範囲の市販サイズの管が入手可能である。

【0069】

スプールは、標準タイプの $7.30\text{ cm } (2.7/8\text{ "})$ の中空鋼管すなわちコイル巻き管を備えているのが好ましい。本明細書で更に説明するように、コイル巻き管は、レーザービームを坑底アセンブリへと伝送する少なくとも1つの光ファイバを内部に備えている。光ファイバに加えて、このコイル巻き管はまた坑底での他の目的のために又はボーリング孔から地表に向かって上方へ物質又は情報を伝達して戻すための他のケーブルをも支

10

20

30

40

50

持できる。コイル巻き管はまた、流体又は流体を搬送するための導管を支持することもできる。光ファイバ及びコイル巻き管内に光ファイバ及びその他のケーブルを保護し且つ支持するために安定装置を採用しても良い。

【0070】

スプールはQBHファイバとコリメータとを備えていても良い。振動隔離手段はスプールの構造内特にファイバのスリップリングのためには望ましい。従って、例えばスプールの外側プレートがデルリン(Delrin:登録商標)製のプレートによってスプール支持部材に取り付けられ、一方、内側プレートはスプール上に浮いており且つピンがアセンブリを回転させる。ファイバのスリップリングは固定ファイバであり、これは回転スプールハブを横切って回転ファイバへと出力を伝える。

10

【0071】

スプールを使用しているときには、スプールの機械的な軸が光出力を光ファイバの入力端から遠位端へ伝送するために使用される。このことにより、光出力を供給する外部ファイバとスプール上に取り付けられている光ファイバとの間の安定した整合を維持するために、精密な光学的支持装置(ファイバのスリップリング)が必要とされる。レーザーはスプールの内側に取り付けることができ、又は図1に示されているようにスプールの外部に取り付けるか若しくは多数のレーザーが使用される場合には内部位置と外部位置との両方が使用されても良い。内部に取り付けられたレーザーはプローブ用レーザーとすることができ、このプローブ用レーザーは装置の分析及び監視並びに設備によって行われる方法のために使用することができる。更に、検知及び監視装置は、スプールの回転部材の内部に配置されるか、さもなければこのスプールの回転部材に固定されていても良い。

20

【0072】

更に、回転しているコイル巻き管をレーザービーム伝送手段1008に結合する回転する結合手段と回転しない流体搬送手段1011とが設けられている。図2に例示されているように、コイル巻き管2009のスプールは2つの回転結合手段2013を備えている。前記の結合手段のうち的一方は光学的回転結合手段2002を備えており、他方は流体回転結合手段2003を備えている。光学的回転結合手段2002は、流体回転結合手段2003と同じ構造とすることができ、又はこれらは別個のものとして行うことができる。従って、2つの別個の結合手段を使用することが好ましい。例えば孔下方プローブのためのケーブルのような他のケーブルを操作するために、付加的な結合手段をも付加することができる。

30

【0073】

光学的回転結合手段2002は、支持面2005、2006によって中空の精密な基底軸2004に結合されている。レーザー伝送手段2008は光学的回転結合手段2002によって中空軸2004に光学的に結合されており、光学的回転結合手段2002はレーザービームがレーザー伝送手段2008から中空軸2004内へ伝送されるのを可能にしている。光学的回転結合手段は、例えば、QBHコネクタ、精密コリメータ及び回転ステージによって構成され、例えばプレシテック(Precitec)社製のコリメータをニューポート(Newport)社製回転ステージを介して別のプレシテック社製のコリメータに接続し、さらにQBHコリメータに接続したものによって構成することができる。光学的回転結合内に過剰な熱が蓄積した結果、温度を所望の高さに維持するために冷却がなされる。

40

【0074】

中空軸2004は、次いで、レーザービームを中空軸2004の開口部2007へ伝送する。開口部2007は光カプラー2010を備えており、光カプラー2010は、中空軸2004をコイル巻き管2012の内側に配置されている長距離高出力レーザービーム伝送手段2025に光学的に結合している。従って、このようにして、レーザー伝送手段2008、中空軸2004及び長距離高出力レーザー伝送手段2025は、回転可能状態で光学的に結合されていて、レーザービームがレーザーから長距離高出力レーザービーム伝送手段2025へと伝送される。

【0075】

50

回転スプールのための光学的接続の更に別の例が図6に示されている。図6には、スプール6000とスプール6000のための支持部材6001とが図示されている。スプール6000は、荷重支持軸受け6002によって支持部材6001に回転可能状態で取り付けられている。入力ケーブル6003は、レーザービームをレーザー供給源（この図面には図示されていない）から光ケーブル6005へと伝送する。レーザービームは、コネクタ6005を出て光学素子6009及び6010を通り光ケーブル6006内へ入る。光ケーブル6006は出力ケーブル6004に光学的に接続されている。光ケーブル6005は、好ましくは、無負荷支持軸受け6008によってスプールに取り付けられており、一方、光ケーブル6006は、部材6007によってスプールと一緒に回転できるようにスプールに取り付けられている。このようにして、スプールが回転するとき、スプールとコイル巻き管との重量は荷重支持軸受け6002によって支持され、一方、回転可能な光カップリングアセンブリは、レーザービームが回転しないケーブル6003からスプールと一緒に回転するケーブル6004へと伝送されるようになされている。

【0076】

コイル巻き管の回転スプールを使用することに加えて、図1及び2に示されているように、長距離高出力レーザービーム伝送手段を伸ばしたり巻き上げたりする別の手段は固定スプール又はクリール（糸巻き軸架）である。図3A及び3Bに例示的に示されているように、固定のクリール3009が提供されており、クリール3009は内部に長距離高出力レーザービーム伝送手段3025が巻かれた状態で備えている。この手段はレーザービーム伝送手段3008に結合されており、レーザービーム伝送手段3008はレーザー（この図には示されていない）に結合されている。このようにして、レーザービームは長距離高出力レーザービーム伝送手段内へ伝送され、この手段はボーリング孔内下方へと配備することができる。同様に、長距離高出力レーザービーム伝送手段は、クリール上のコイル巻き管内に含まれていても良い。従って、この長距離手段は、本明細書に提供されているタイプの外装光ケーブルである。クリールを使用する際には、光ケーブルは配備されるときに扱われるという事実について考慮すべきである。この考慮すべき点に対処するために、坑底アセンブリ又はレーザー掘削ヘッド自体は光ケーブルを扱われない状態に保つためにゆっくりと回転され、光ケーブルは予め扱われ、そして光ケーブルは捻れに耐えるように設計される。

【0077】

流体の供給源は、ガス、液体、発泡剤であっても良く、又は、多数の機能を有している設備であっても良い。流体はボーリング孔の前進において多くの目的を果たすことができる。上述のように、流体は、主としてボーリング孔の底から、例えば一般的に掘削流体又は掘削泥と称されるような掘削屑を取り出すために使用され、レーザービームの経路及び出力と干渉しないように坑底アセンブリ内のレーザー光学系の端部とボーリング孔の底との間の領域を掘削屑が無い十分にきれいな状態に保つために使用される。また、非圧縮性流体又は圧力下の圧縮性流体の場合には更にレーザー光学系と坑底アセンブリとを冷却する機能を果たすこともできる。該流体は更に、ガス及び流体の流れ込みを防止するために、坑井内に静水圧を形成するための手段を提供する。

【0078】

従って、流体の種類並びに流体供給設備を選ぶ際には、とりわけ、レーザーの波長、光学素子アセンブリ、ボーリング孔の地質学的条件、ボーリング孔の深さ、及びボーリング孔のレーザーによる前進によって形成される掘削屑を取り除くのに必要とされる掘削屑の除去速度が考慮されなければならない。流体による掘削屑の除去速度が設備のボーリング孔の前進速度を制限する要因でないことは極めて望ましい。例えば、本発明において採用することができる流体としては、一般的な掘削泥、水（ただし、レーザーの光路内には存在しない条件で）、及びハロゲン化炭素（ハロゲン化炭素はクロロトリフルオロエチレン（PCTFE）の低分子量ポリマーである）、油及び窒素のようなレーザーを伝達できる流体がある。これらの流体が採用され、好んで選択され、大気圧から数百×6.9 kPa（数百psi）までの圧力範囲で2～3 CFMから数百CFMまでの流速で給送されるこ

とが好ましい。これらの流体を組み合わせたものが使用される場合には、流速は、光路の伝達機能を維持するという目的とデブリスを除去するという目的とのバランスがとられるように採用されるべきである。

【0079】

岩質の検知、岩質の試験、岩質のボーリング及び地中のボーリング孔の形成、前進及び試験に関する他の類似した用途の目的のためには、長距離高出力レーザービーム伝送手段は、約1 kW～約20 kW、約10 kW～約20 kW、少なくとも約10 kW、好ましくは約20 kW以上の平均光出力をボーリング孔内下方へ伝送するための外装ケース内の1本又は複数本の光ファイバであるのが好ましい。外装光ファイバは、内部に1本、2本、1～10本、少なくとも2本、2本を超える本数、少なくとも50本、少なくとも約100本、最も好ましくは2～15本の光ファイバを備えている0.64 cm (1/4")のステンレス鋼管を備えているのが好ましい。これらは約500ミクロンのコア径の基準ステップ屈折率型ファイバであるのが好ましい。

10

【0080】

現在のところ、工業用レーザーは、不所望なゴミ及び廃石が光ファイバの周囲に入り込むのを防止するために、ファイバの周囲に巻き付けられた鋼及び鋼製の外被を包囲しているポリマー製の外被によって被覆されている高出力光ファイバを使用していると思われる。ファイバの破損を検知するために、光ファイバは金属製の薄いコーティングによって被覆されているか又は細いワイヤがファイバに沿って延びている。ファイバの破損は外装の破壊をもたらし且つオペレータに危険な状況を惹き起こすので危険である。しかしながら、このタイプのファイバの保護は、一般的な環境条件用に設計されておりボーリング孔の苛酷な外部環境に耐えることはできない。

20

【0081】

石油工業及びガス工業のためのファイバ光センサーは、外装されていない状態や外装された状態で配備される。現在のところ現在利用可能な外装されていない方法は本願によって考えられている高出力用途に対しては受け入れられないものであると考えられる。なぜならば、高い光出力を導く方法及び光ファイバの破壊を検知する方法（これらは両方とも信頼性が高く且つ安全な設備にとっては重要である）が考慮されていないからである。光ファイバを外装するための現在の方法は、光ファイバをステンレス鋼管内に収納し、ファイバを炭素によって被覆して水素の移動を防止し、最後にファイバへの衝撃を和らげ且つ外部からの水素を吸収するゼラチンを間に充填する方法である。しかしながら、このような外装は、小径コアの光ファイバ（50ミクロン）及び1ワット未満の低出力レベルの高出力の場合にのみ行なわれて来た。

30

【0082】

従って、ボーリング孔の苛酷な環境内で有用である高出力ファイバを提供するために、新規な外装されたファイバ及び方法が提供されている。従って、50ミクロンに等しいかそれより大きい直径、75ミクロンに等しいかそれより大きい直径、最も好ましくは、100ミクロンに等しいかそれを超える直径の1本の大径コアの光ファイバ又は複数の光ファイバを金属管内に収納し、各ファイバが炭素コーティングと共にポリマーコーティングを備え、配備中に相互に擦れたときにファイバを緩衝するテフロン（登録商標）コーティングをも備えさせることが提案されている。従って、ファイバ又はファイバの束は、150ミクロンより大きいか等しい直径から約700ミクロンまでの直径、700ミクロンから約1.5 mmの直径又は1.5 mmを超える直径を有することができる。

40

【0083】

カーボンコーティングは、10ミクロンから600ミクロンを超える大きさまでの厚み範囲とすることができる。ポリマー又はテフロン（登録商標）のコーティングは10ミクロンから600ミクロンを超える範囲内とすることができる。このようなコーティングの好ましいタイプは、アクリレート、シリコン、ポリイミド、PFA、及びその他ものである。カーボンコーティングはファイバに隣接させることができ、ポリマー又はテフロン（登録商標）のコーティングがそれに付加される。ポリマーコーティング又はテフロン（登

50

録商標)コーティングは、配備中におけるファイバの曲がり減らすために最後に適用される。

【0084】

幾つかの非限定的な実施例においては、ファイバ光学素子は、1本のファイバ当たり10kW以下、1本のファイバ当たり20kW以下、1本のファイバ当たり50kW以下及びそれ以上までの出力を伝送する。これらのファイバは所望の如何なる波長又は波長の組み合わせをも伝送することができる。幾つかの実施例においては、ファイバが伝送できる波長の範囲は約800nm~2100nmであるのが好ましい。ファイバは、一つのファイバと次のファイバとの間に適切な一定間隔を維持するために、コネクタによって次のファイバに結合することができる。例えば、ファイバ同士は、岩の表面などの物質を照射するときに隣接の光ファイバからのビームスポットが特定の光ファイバの5.08cm(2")下方にあって重ならないように相互に結合させることができる。ファイバは所望のコアの大きさとすることができる。幾つかの実施例においては、コアの大きさは約50ミクロン~1mm又はそれ以上の範囲とすることができる。ファイバは単一モード又はマルチモードとすることができる。マルチモードの場合には、幾つかの実施例の開口数は0.1~0.6の範囲である。ビームの品質のためには開口数は小さいのが好ましく、比較的大きな開口数は、接合面での損失が少ない状態でより大きな出力を伝送することが比較的容易である。幾つかの実施例においては、1060nm~1080nm、1530nm~1600nm、1800nm~2100nmからなる波長の光を射出するファイバレーザー、800nm~2100nmの光を射出する色素オードレーザー、10,600nmの光を射出するCO₂レーザー、1064nmの光を射出するNd:YAGレーザーを光ファイバに結合させることができる。幾つかの実施例においては、ファイバの水分を少なくすることができる。ファイバは、例えば、ポリイミド、アクリレート、カーボンポリアミド、及びカーボンとデュアルアクリレート又はその他の材料との組合せによって被覆することができる。高温が必要とされる場合には、摂氏300度を超える温度で作動させるためにポリイミド又はその誘導材料が使用される。ファイバは、中空コアのフォトニック結晶又は中実コアのフォトニック結晶とすることができる。中空コアのフォトニック結晶を使用している幾つかの実施例においては、ファイバは、1500nm又はそれより長い波長での吸収損失を最小にすることができる。

10

20

【0085】

複数の光ファイバを束ねて出力密度を高めるための多数の構造とすることができる。1本の束を形成している光ファイバは、各ファイバは数百万ミリワット又はマイクロワット出力まで、束としては200ワットからキロワット出力からの範囲とすることができる。幾つかの実施例においては、複数の光ファイバを2.5kW未満の出力で束ね且つ重ね合わせて出力を段階的に下げている。出力は、1本の束内の出力密度を、例えば好ましくは10kWまで、より好ましくは20kWまで、更に好ましくは50kW又はそれ以上まで増すように重ね合わせることができる。出力を段階的に下げたり上げたりすることによって、光ファイバ内の出力密度及びビームスポットのサイズを大きくしたり小さくしたりすることができる。ほとんどの例においては、出力を重ね合わせて光ファイバ内を伝送する出力がファイバ光学素子の臨界出力の閾値を超えることがないようにしつつトータルの出力を増大させることは有利である。

30

40

【0086】

一例として、次の表3に記載されている構造を提供する。

【0087】

【表3】

表3

束の直径	束内のファイバの数
100ミクロン	1
200ミクロン-1mm	2~100
100ミクロン-1mm	1

50

【 0 0 8 8 】

ファイバの連続性を検査するために光ファイバに沿って例えば6.35mm(1/4")ステンレス管内に1本の細いワイヤを入れても良い。別の方法として、光ファイバの連続性を監視することができるように、十分な厚みの金属コーティングが適用される。しかしながら、これらの方法は、ファイバの長さが1kmを超えると問題があり試験及び監視の実際的な方法を提供しない。

【 0 0 8 9 】

表3に示されている構造の長さは、1m以上、1km以上、2km以上、3km以上、4km以上、5km以上にすることができる。これらの構造は、約0.5kW~約10kW、1kW以上、2kW以上、5kW以上、8kW以上、10kW以上、及び好ましくは少なくとも約20kWのレベルの出力がその中を伝送されるように使用することができる。

10

【 0 0 9 0 】

長距離少なくとも1kmのボーリング孔内を又はケーブル内を下方へ出力を伝送する際に、ファイバ内に3つの出力損失の原因、すなわちレーリ散乱と、ラマン散乱と、ブリルアン散乱とが存在する。第一のレーリ散乱はファイバ内の不純物によるファイバ固有の損失である。第二のラマン散乱は、ファイバの振動分子から出るストークス波又は反ストークス波内の誘導ラマン散乱をもたらす。ラマン散乱は、優先的に前方方向で生じ且つ発生源の本来の波長から+25nmまでの波長シフトをもたらす。第三の発生機構であるブリルアン散乱は、本来の光源光の高い電場(ポンピング)によって形成されるファイバ内の音響波から前方へ伝搬するポンピングの散乱である。第三の発生機構は大きな問題であり且つ長い距離に亘って高出力を伝送する際に大きな困難を生じさせ得る。ブリルアン散乱は誘導ブリルアン散乱(SBS)を生じさせる。ブリルアン散乱(SBS)においては、励起光は、ファイバ内で本来の光源周波数から約1GHz~約20GHzの範囲内の周波数シフトで優先的にファイバの後方に向かって散乱される。この誘導ブリルアン作用は、正しい条件が付与されている場合に入射励起光のほぼ全てを後方散乱させるのに十分な強さであり得る。従って、この非線形現象を抑えることが望ましい。SBSの閾値を決定する4つの主要な変数、すなわち、利得媒体(ファイバ)の長さ、光源レーザーの線幅、内部を励起光が伝搬するファイバの自然ブリルアン線幅、ファイバのモード電界直径が存在する。典型的な条件下及び典型的なファイバにおいては、ファイバ長さは出力の閾値に反比例し、従ってファイバが長ければ長いほど閾値は小さくなる。出力の閾値は、入射励起光が高いパーセンテージで散乱して正のフィードバックが起って散乱過程によって音響波が発生されるとき出力として規定されている。これらの音響波は次いで更なるSBSを誘発するゲートとして作用する。ひとたび出力閾値を超えると、散乱光の急激な増加が生じ、更に高い出力を伝送する能力が著しく低下する。この散乱光の急激な増加は、追加される如何なる入力も前方に向かって伝送されない最大伝送出力として規定されている時点まで、出力の急激な低下を伴って継続する。従って、最大伝送出力はSBS閾値に依存するが、ひとたびSBS閾値に達すると、最大伝送出力は入力の増大と共に増大することはない。

20

30

【 0 0 9 1 】

従って、本明細書に提供されている、SBS及び誘導ラマン散乱現象のような非線形散乱現象を抑制する新規で独特な手段、出力閾値を増大させるための手段、最大伝送出力を増大させるための手段は、とりわけ、ボーリング孔を前進させるために長い距離に亘って高出力レーザーエネルギーを伝送するために使用するために記載されている。

40

【 0 0 9 2 】

モード電界直径は、伝搬光源レーザーの過度の減衰を生じさせることなく実用的に出来るだけ大きくする必要がある。大きなコアの単一モードファイバは、現在のところ30ミクロン以下のモード直径のものが入手可能であるが、典型的には曲がりによる損失が大きく且つ伝搬損失が所望より大きい。50ミクロンのモード電界直径を有するコアの小さいステップ型屈折率ファイバは重要度が高い。なぜならば、このファイバは、固有損失が低

50

く、送り出し流束量が著しく小さく、偏波面維持性でないことによりSBS利得が低いからである。このファイバはまた、マルチモード伝搬定数及び大きなモード電界直径をも有している。これらのファクタの全てがSBS出力閾値を効率良く増大させる。結局、レーリ散乱による損失を有する比較的大きなコアのファイバは、比較的長距離に亘って高出力を伝送するための可能性のある解決方法であり、この場合、モード電界直径は50ミクロン又はそれ以上であるのが好ましい。

【0093】

次に考慮すべき点は、ファイバの本来のブリルアン線幅である。ブリルアン線幅が広くなるにつれて散乱利得ファクタは減少する。ブリルアン線幅は、ファイバの長さに沿って温度を変えること、ファイバ上の歪みを調整すること、及びファイバ内に音響振動を生じさせることによって広くすることができる。ファイバに沿って温度を変えることによって、ファイバの屈折率の変化が生じ、ファイバ内の原子の暗振動(kT)によってブリルアンスペクトルの幅が効率良く広げられる。ポーリング孔の下方への用途においては、ファイバに沿った温度は、本明細書に示されている深さの範囲の地熱エネルギーにファイバが曝される結果として自然に変化する。最終的な結果としてSBS利得が抑制される。ファイバの長さに沿った温度勾配の適用は、ファイバのブリルアン線幅を広げることによってSBSを抑制する手段とすることができる。例えば、このような手段としては、薄膜加熱要素又はファイバの長さに沿った可変断熱材を使用してファイバに沿った各点での実際の温度を制御する方法がある。適用される熱勾配及び温度分布は、限定的ではないが、ファイバの長さに沿った線形の関数、段階的な関数、及び周期的な関数とすることができる。

10

20

【0094】

ファイバ上の非線形散乱現象の抑制のために歪みを調整する方法を行なうことができるが、これらの手段はファイバが歪みを受けている状態で外被内にファイバを固定する方法に限定されない。支持部材間の各部分を選択的に引っ張ることによって、ブリルアンスペクトルは本来の中心周波数から赤色側にシフトするか又は青色側にシフトしてスペクトルが効率良く広げられ且つ利得が減じられる。ファイバがテンションから自由にぶら下がるようになされている場合には、歪みが孔の頂部から孔の底部に向かって変化し、ブリルアン利得スペクトルが効率良く広げられ且つSBSが抑制される。ファイバに歪みを適用する手段としては、限定的ではないが、ファイバを擦る方法、ファイバを引っ張る方法、ファイバに外部圧力をかける方法、及びファイバを曲げる方法がある。従って、例えば上記したように、ファイバを曲げる方法はクリールを使用することによって行うことができる。更に、ファイバの捻れは回転動作を付与するように設計されている坑下方のスタビライザを使用することによってもたすことができる。ファイバの引っ張り、例えば上記したようにファイバの長さに沿って支持部材を使用することによって行うことができる。孔下方への圧力によってファイバの長さに沿った圧力勾配が付与され、このようにして歪みが惹き起こされる。

30

【0095】

ファイバの音響的変調によってブリルアン線幅を変えることができる。ファイバの長さに沿って圧電性結晶のような音波発生器を配置し且つこれらを所定の周波数で変調させることによって、ブリルアンスペクトルを広げてSBS利得を効率良く下げることができる。例えば、結晶、スピーカ、機械的振動装置、又はファイバ内に音響振動を惹き起すその他の機構が、SBS利得を効率良く抑えるために使用できる。更に、音響放射は、予め形成されている穴から圧縮された空気を逃がして口笛作用をもたすことによって生じさせることができる。

40

【0096】

光源の線幅とブリルアン線幅との相互作用によって利得機能が部分的に規定される。光源の線幅を変えることによって利得機能が抑えられ且つSBSのような非線形現象が抑えられる。光源の線幅は、例えば、FM変調又は一例が図5に示されている近接した波長同士が結合された光源によって変えることができる。従って、ファイバレーザーは、多数の手段によって直接FM変調させることができ、一つの方法は、ファイバ媒体内に屈折率の

50

変化を生じさせる圧電素子によってファイバを単に引っ張ってレーザーのキャビティの長さの変化を生じさせてファイバレーザーの本来の周波数にシフトをもたらす方法である。このFM変調方法は、比較的ゆっくりとした機械的及び電氣的な構成要素によってファイバレーザーの極めて広帯域の変調を行なうことができる。これらのレーザー光源をFM変調させる更に直接的な方法は、ビームをニオブ酸リチウムのような非線形結晶内を通過させて位相変調モードで作動させ且つ利得を抑えるのに望ましい波長で位相を変調させる方法である。

【0097】

更に、誘導ブリルアン散乱を抑えるためにレーザー光源のスペクトルビームの組み合わせを使用することができる。従って、ここに記載されているような間隔で相互に隔てられた波長のビームは、結果的に得られる音響波同士の干渉によって誘導ブリルアン散乱を抑えることができ、これは誘導ブリルアンスペクトルの幅を広げ、従って比較的低い誘導ブリルアン利得をもたらすことができる。更に、多くの色を使用することによって、各色内でのSBS現象を制限することによってトータルの最大伝送力を増大させることができる。このようなレーザー装置の例が図4に示されている。

10

【0098】

ラマン散乱は、光路内に波長選択性のフィルタを設けることによって抑えることができる。このフィルタは、反射フィルムか透過フィルタか吸収フィルタとすることができる。更に、光ファイバコネクタはラマン散乱除去フィルタを含むことができる。更に、ラマン散乱除去フィルタはファイバと一体化することができる。これらのフィルタは、限定的ではないが、二色フィルタ又はブラッグ格子フィルタのような透過格子フィルタ又は刻線格子のような反射格子フィルタとすることができる。同様に、後方へ伝搬するラマンエネルギーに対しては、ファイバの全経路内に組み込まれている能動的なファイバ増幅器に励起エネルギーを導入するための手段が考えられる。この手段は、例えば、除去フィルタをラマン放射線を抑制してラマン利得を抑えるカプラーと組み合わせる方法を含むことができる。更に、ブリルアン散乱は同様に濾波によって抑えることができる。ファラデーアイソレータを例えば設備内に一体化することができる。ブリルアン散乱周波数となるように調整されたブラッグ回折格子反射器もまたカプラー内に一体化してブリルアン放射線を抑えることができる。

20

【0099】

距離に応じるファイバ内の出力損失を解消するために、レーザーの能動的な増幅を使用することができる。能動的なファイバ増幅器は、ファイバ内の損失を相殺するために光ファイバに沿った利得を供給することができる。例えば、能動的なファイバ部分を十分な励起光が能動的なすなわち増幅された部分に供給される受動的なファイバ部分と組み合わせることによって、受動的な部分の損失が相殺される。このようにして、信号増幅を設備内に組み込むための手段が提供される。図7には、このような手段の一例が示されている。この手段は、例えば-1dBの損失を有する第一の受動的なファイバ部分8000と、例えば利得が+1dBの伝搬信号出力を提供するために外側クラッド内に導入されるファイバ増幅器8002と光学的に組み合わせられた励起光源8001とを備えている。ファイバ増幅器8002は任意にカプラー8003に光学的に結合される。カプラー8003は、隙間を開けて配置するか又は融合させることができ且つ任意に受動的なファイバ部分8004に光学的に結合されている。この構造は、長さ、出力損失及び孔下方の条件を変えるために多数回繰り返すことができる。更に、ファイバ増幅器は、伝送長さ全体に亘って伝送ファイバとして機能することができる。励起光源は、種々のポーリング孔形状のために、孔上方構造、孔下方構造、又は孔上方構造と孔下方構造との組み合わせとすることができる。

30

40

【0100】

更に別の方法は、多数のレーザー光源の密集した波長のビームの組み合わせを使用して個々のレーザーの本来の線幅の何倍もの有効な線幅を形成してSBS利得を効率良く抑える方法である。ここで、各々が所定の波長及び所定の波長間隔で作動する多数のレーザー

50

が、例えば回折格子によって相互に重ねられる。回折格子は、透過性又は反射性とすることができる。

【 0 1 0 1 】

光ファイバ又はファイバの束は、高圧及び高温に耐えることができるように耐環境シールド内に収納することができる。ケーブルは、海底を横切るように配置され且つ孔に水が充填された場合に浮揚する海底ケーブルに似た構造とすることができる。このケーブルは、ファイバの出力処理能力及び経済的な掘進率を達成するのに必要とされる出力に応じて、ケーブル内に設けられた1本の光ファイバ又は多数本設けられた光ファイバによって構成することができる。野外において、数kmの光ファイバがボーリング孔の下方に向かって送り込まなければならないことがわかる。ファイバケーブルは、比較的浅い深さに対しては比較的短い長さが使用され従って比較的高いレベルの出力が給送され、結果として比較的高い掘進率が達成されるように、長さを変えて作ることができる。この方法は、ファイバが、ファイバケーブルの長さを超える深さまで移行されるときには入れ替える必要がある。別の方法として、コネクタがファイバを最小損失で接続したり再接続したりできるように十分に低い損失で作ることができる場合には、一連のコネクタを採用することができる。

10

【 0 1 0 2 】

表4及び5には、例示的なケーブル構造についての高出力伝送結果が示されている。

【 0 1 0 3 】

【表4】

20

表4

入力	ファイバの長さ	束の直径	束内のファイバの数	出力
20 kW	5 km	500ミクロン	1	15 kW
20 kW	7 km	500ミクロン	1	13 kW
20 kW	5 km	200ミクロン～1mm	2～100	15 kW
20 kW	7 km	200ミクロン～1mm	2～100	13 kW
20 kW	5 km	100～200ミクロン	1	10 kW
20 kW	7 km	100～200ミクロン	1	8 kW

【 0 1 0 4 】

【表5】

30

表5 (能動的増幅付き)

入力	ファイバの長さ	束の直径	束内のファイバの数	出力
20 kW	5 km	500ミクロン	1	17 kW
20 kW	7 km	500ミクロン	1	15 kW
20 kW	5 km	200ミクロン～1mm	2～100	20 kW
20 kW	7 km	200ミクロン～1mm	2～100	18 kW
20 kW	5 km	100～200ミクロン	1	15 kW
20 kW	7 km	100～200ミクロン	1	13 kW

【 0 1 0 5 】

光ファイバは、ボーリング孔への前進及びボーリング孔からの取外しをするために、コイル巻き管の内側に配置されるのが好ましい。このようにして、コイル巻き管は、この管が坑井内へと降される際の主要な荷重担持及び支持構造となる。極めて深い坑井内では、管はその長さによる大きな重量を担持する。例えば6.35mm(1/4")ステンレス鋼管内に収納されている光ファイバの束を含むファイバをコイル巻き管内に保護し且つ固定するためには、安定器具が望ましい。従って、コイル巻き管の長さに沿って種々の間隔でコイル巻き管の内側に支持部材を配置することができ、この支持部材は光ファイバをコイル巻き管に対して定位置に固定し又は保持する。しかしながら、これらの支持部材は、流体がコイル巻き管内を流れている場合には流体の流れと干渉するか別の場合には妨害するべきではない。市販されており入手可能な安定化装置としてELECTROCOIL(登録商標)システムがある。上記したこれらの支持構造は、非線形現象の抑制のためにフ

40

50

ファイバに歪みを付与するために使用される。

【0106】

光ファイバを管内に配置することは好ましいけれども、更に、ファイバは、管と平行に伸長していること、管に取り付けられていること、管と平行に伸長し且つ該管に摺動可能状態に取り付けられていること、又は第一の管と関連付けられているか若しくは関連付けられていない第二の管内に配置されることによって、管と組み合わせても良い。このように、レーザーエネルギー、流体、並びにその他のケーブル及び機具のボーリング孔内への送り込みを最適化するために管状物の種々の組み合わせを採用することができることがわかるはずである。更に、光ファイバを区分に分け且つ掘削パイプの一般的なストランドと共に使用することができ、従って、接続可能な管状の掘削パイプの外側に嵌め込まれた一般的な掘削リグと一緒に使用することが容易である。

10

【0107】

掘削作業中及び特に深い掘削動作例えば1 kmを超える深さの掘削動作中に、ボーリング孔の底の状態を監視すると共に長距離高出力レーザービーム伝送手段の途中の状態及び該伝送手段内の状態を監視することが望ましい。従って、連続的に監視され且つファイバの遠位端から反射されファイバの連続性を判定するために使用される光パルス、パルス列、又は連続する信号の使用方法が更に提供されている。更に、光ファイバの連続性を判定するための手段として、照射面からの蛍光を使用する方法が提供されている。高出力レーザーは、岩などの物質を光発光する点まで十分に加熱する。発光した光は、連続的に監視して光ファイバの連続性を判定する手段とすることができる。この方法は、光がファイバに沿って一方向に伝搬しなければならないだけなので、パルスをファイバ内で伝送する場合よりも速い。更に、プローブ信号を外装が設けられたファイバの束の遠位端まで高出力信号と異なる波長で送るための別個のファイバを使用し、高出力光ファイバ上の戻り信号を監視することによってファイバが完全であることを判断することができる方法が提供されている。

20

【0108】

これらの監視信号は、該監視信号を分析装置内へ導くために波長選択性フィルタを孔上方又は下方においてファイバ経路内に配置できるように高出力信号とは異なる波長で伝送される。例えば、この波長選択性のフィルタは、本明細書に記載されているクリール又はスプール内に配置しても良い。

30

【0109】

このような監視を補助するために、光スペクトル分析器又は光学的時間領域反射率計又はこれらの組み合わせを使用しても良い。この分析器は600 nm～1.7ミクロンの波長範囲と10 Hzで90 dBmから1 MHzで-40 dBmの騒音レベルと、1 nmの分解能で70 dBのダイナミックレンジと、1200 nmの最大掃引幅を有しているAnritsu MS 9710C (製品名) 光スペクトル分析器とAnritsu CMA 4500 OTDR (製品名) とが使用できる。

【0110】

反射光に対する射出光の比を監視することによってレーザー掘削動作効率も測定することができる。融解、粉碎、熱分解又は蒸発を受けている物質は、種々の比率の光を反射したり吸収したりする。反射光に対する射出光の比は物質によって変わり、この方法によって物質のタイプの分析が更に可能となる。従って、反射光に対する射出光の比を監視することによって、物質のタイプ、掘削効率、又はこれらの両方を判定することができる。この監視は、孔上方位置、孔下方位置、又はそれらを組み合わせた位置で行なうことができる。

40

【0111】

更に、出力の孔下方監視装置のような種々の目的で、電力の発生が、ボーリング孔の底又はその近くを含むボーリング孔内でなされる。この電力発生は、掘削泥又はその他の下方流体によって駆動される発電機、光を電力に変換する手段、及び熱を電力に変換する手段を含む当業者に公知の装置を使用することによってなされる。

50

【 0 1 1 2 】

坑底アセンブリは、レーザー光学系、流体の給送手段、及びその他の装置を備えている。一般的に、坑底アセンブリは、長距離高出力レーザー伝送手段の出力端（遠位端とも称される）と、好ましくはレーザービームをボーリング孔を前進させるために除去されるべき土又は岩へと又は掘削されようとしているその他の構造物へと導くための光学系を備えている。

【 0 1 1 3 】

当該設備と特に坑底アセンブリとは、1以上の光学的マニピュレータを備えている。光学的マニピュレータは、例えばレーザービームを岩のような掘削物質へと導くか又は位置決めすることによってレーザービームを制御する。幾つかの構造においては、光学的マニピュレータは、岩などの物質を掘削するためにレーザービームを意図的にガイドする。例えば、ボーリング孔の壁又は岩からの空間距離並びに衝突角度が制御される。幾つかの構造においては、1以上の旋回可能な光学的マニピュレータが、1以上の反射ミラー又はガラス反射器によって1以上のレーザービームの方向及び空間幅を制御する。別の構造においては、光学的マニピュレータは、光電スイッチ、電気活性ポリマー、検流計、圧電体及び/又は回転モーター/リニアモーターによって旋回させることができる。少なくとも一つの構造においては、赤外ダイオードレーザー又はファイバレーザー光学ヘッドは、垂直軸線を中心に回転して開口部の接触長さを増大させることができる。比エネルギー、比出力、パルスレート、継続時間等のような種々のプログラム可能な値は、時間の関数として導入することができる。従って、エネルギーを適用する場所は、意図的に決めプログラムし実行して、陥入及び/又はレーザーと岩との相互作用の程度を高め且つボーリング孔の前進の全体の効率を高め且つボーリング孔の完成にとって重要な経路のステップの数を減らすことを含むボーリング孔の完成のための全効率を高めることができる。光学マニピュレータを制御するために1以上のアルゴリズムを使用することができる。

【 0 1 1 4 】

従って、例えば図8に示されているように、坑底アセンブリは、上方部分9000と下方部分9001とを備えている。上方部分9000は、コイル巻き管の下方端部、掘削パイプ、又は坑底アセンブリを下げたりボーリング孔から回収したりするためのその他の手段に結合されている。更に、これは、スタビライザ、掘削カラー、又はその他のタイプの孔下方アセンブリ（図示されていない）に結合され、これらの部材は、次いで、坑底アセンブリを下げたりボーリング孔から回収したりするために、コイル巻き管の下方端、掘削パイプ、又はその他の手段に結合されている。上方部分9000は更に、高出力エネルギーをボーリング孔内を下方へ且つ該手段の下方端部9003へ伝送するための手段9002を備えている。図8においては、この手段は4本の光ファイバの束として示されている。上方部分9000はまた、空気増幅ノズル9005をも備えており、該空気増幅ノズル9005は、流体例えばN₂の100%にまで至る部分を排出させる。上方部分9000は、レーザービームに対して透過性であり且つ下方部分9001内のビーム整形光学素子9006のための瞳面を形成する密閉チャンバ9004によって下方部分9001に結合されている。下方部分9001は回転するように設計されており、このようにして、例えば、楕円形状のレーザービームスポットはボーリング孔の底近くで回転させることができる。非層流及び乱流を使用することもできるけれども、下方部分9001は、その下方端部に流体及び2つの硬質ローラー9008、9009のための層流出口9007を備えている。

【 0 1 1 5 】

使用時には、例えば10kWを超える高エネルギーレーザービームがファイバ9002に沿って下方へ進行し、ファイバ9003の端部から出て、密閉されたチャンバ及び瞳面9004内を進んで光学素子9006内へ入り、該光学素子において成形され且つ集光されて楕円形スポットとされる。レーザービームは、次いで、ボーリング孔の底部にぶつかり、岩及び土を粉碎し、溶融させ、熱分離させ、且つ/又は蒸発させ、このようにしてボーリング孔を前進させる。下方部分9001は回転しており、この回転によって楕円形レー

10

20

30

40

50

ザースポットがボーリング孔の底の近くで回転する。この回転はまた、ローラー 9008、9009 がレーザーによって結晶化されるか或いは流体単独の流れによっては除去できないほど十分に固定されている物質を物理的に取り除くことができるようにさせる。流体の層流のみならずローラーの作用によって掘削屑がレーザー経路から除去されてきれいにされ、掘削層は、次いで、空気増幅器 9005 からの流体の作用のみならず層流穴 9007 の作用によってボーリング孔内を上方へと運ばれる。

【0116】

一般的に、LBHA は、孔下方周囲の状態に耐えることができる外側ハウジングと、高出力レーザービームの供給源と、レーザービームを整形し且つボーリング孔、ケーシング又は地層の所望の面へ導く光学系とを備えている。この高出力レーザービームは、約 1 kW よりも大きいか、約 2 kW ~ 約 20 kW か、約 5 kW より大きいか、約 5 kW ~ 約 10 kW か、好ましくは少なくとも約 10 kW か、少なくとも 15 kW か、少なくとも約 20 kW とすることができる。このアセンブリは更に、流体をボーリング孔内の所望の位置へ給送し且つ誘導するための設備と、物質面へ向かうレーザービーム経路内のデブリスを減らし又は制御し又は管理するための設備と、光学系の温度を制御し又は管理する手段と、光学系の周囲の圧力を制御し又は管理する手段と、該アセンブリのその他の構成要素と、監視及び測定設備及び装置と、一般的な機械的な掘削動作において使用される他のタイプの坑底設備と、を備えているか又はこれらと関連付けられている。更に、LBHA には、光学系がビームを整形し且つ伝搬させるのを可能にする手段が組み込まれており、この手段は、レーザーが伝搬しつつある環境の屈折率を制御する手段を備えている。従って、ここで使用されている用語は、それらの最も広い意味で使用され且つ能動的及び受動的手段並びに設計的選択肢及び材料選択肢をも包含していることが理解できる。

10

20

【0117】

LBHA は、約 0.5 km (1,640 ft) 以上、約 1 km (3,280 ft) 以上、約 3 km (9,830 ft) 以上、約 5 km (16,400 ft) 以上、並びに約 7 km (22,970 ft) を含めそれ以下及びそれ以上の深さのボーリング孔内に見られる状態に耐えるものと推察されるはずである。ボーリング孔の掘削すなわち前進が行なわれている間、ボーリング孔内の所望の位置には、粉塵、掘削液、及び/又は掘削屑が存在する。従って、LBHA は、これらの圧力、温度、流れ、及び状態に耐えることができ且つ LBHA 内に備えられているレーザー光学系を保護することができる材料によって作られていなければならない。更に、LBHA は、レーザー光学系の作動及びレーザービームの給送の際の状態の不都合な作用を管理しながら、孔下方の温度、圧力、流れ及び状態に耐えるように設計され且つ加工されていなければならない。

30

【0118】

LBHA はまた、これらの深さ及びこれらの深い孔下方の環境内に存在する厳しい状況下で高出力レーザーエネルギーを処理し且つ伝送できるように作られなければならない。従って、LBHA 及びその光学系は、1 kW 以上、5 kW 以上、10 kW 以上、及び 20 kW 以上のエネルギーを有するレーザービームを処理し且つ伝送できなければならない。このアセンブリ及び光学系はまた、0.5 km (1,640 ft) 以上、約 1 km (3,280 ft) 以上、約 3 km (9,830 ft) 以上、約 5 km (16,400 ft) 以上、並びに約 7 km (22,970 ft) を含みそれ以下及びそれ以上の深さで、このようなレーザービームを伝送することが出来なければならない。

40

【0119】

LBHA はまた、長期間に亘ってこれらの極端な孔下方環境において作動できなければならない。坑底アセンブリを下降させたり上昇させたりすることは、トリッピングイン及びトリッピングアウトと称されている。坑底アセンブリがトリッピングイン及びトリッピングアウトされている間は、ボーリング孔は前進されない。従って、坑底アセンブリがトリッピングインされるかトリッピングアウトされる必要がある回数を減らすことによって、ボーリング孔を前進させるための即ち坑井を掘削するための臨界経路が減少され、このような掘削のコストが減じられる。(ここで使用されている臨界経路とは、坑井を完成さ

50

せるために連続してなされなければならないステップの最も少ない数を指している。) このコストの節約は、掘削の効率評価の増大に相当する。従って、坑底アセンブリをボーリング孔から取り出す必要がある回数を減らすことは、坑井を掘削するのにかかる時間及びこのような掘削のコストの低減に直接的につながる。更に、ほとんどの掘削動作は掘削のリグの稼働率に基づくので、ボーリング孔を完成する日数を短縮することによって実質的な商業的利益が提供される。従って、LBHA及びそのレーザー光学系は、1 kW以上、5 kW以上、10 kW以上、及び20 kW以上のエネルギーを、約0.5 km (1,640 ft) 以上、約1 km (3,280 ft) 以上、約3 km (9,830 ft) 以上、約5 km (16,400 ft) 以上、及び約7 km (22,970 ft) を含めそれ以下及びそれ以上の深さに、少なくとも約1/2時間以上、少なくとも約1時間以上、少なくとも約2時間以上、少なくとも約5時間以上、少なくとも約10時間以上、好ましくはボーリング孔の前進における他のあらゆる制限ファクタよりも長い時間に亘って処理し且つ給送することが出来なければならない。このようにして、本発明のLBHAを使用することにより、ケーシング動作及び完成動作のみに関するものに対するトリッピング動作の割合を少なくして坑井を掘削するためのコストを著しく低減させることができる。

【0120】

このように、一般的に掘削屑除去装置は石油掘削設備において使用されるものの典型的なものとする事ができる。これらの装置としては、例示的にシェールシェーカがある。更に砂落とし装置及び沈泥除去装置及びその次に遠心分離機が使用されても良い。この装置の目的は、流体が再循環され再使用されるように掘削屑を除去することである。流体すなわち循環媒質が水ではなく気体である場合には、噴霧装置も使用することができる。

【0121】

図9にはLBHA構造の一例が図示されており、この図面においては2つの流体出口ポートが示されている。この例は、流体増幅器特にこの図面ではボーリング孔から物質を除去するための空気増幅器技術を採用している。従って、第一の出口ポート9103と第二の出口ポート9105とを備えたLBHA9101の断面図が示されている。改造されている第二の出口ポートは、空気を増幅するための手段又は流体増幅手段を提供している。第一の出口ポート9103はまたレーザービーム及びレーザー経路のための開口部をも提供している。第一の流体流路9107と第二の流体経路9109とが設けられている。更に、第二の流体流路9109と組み合わせられた境界層9111が設けられている。第一の出口9103とボーリング孔の底9112との間の距離は距離Yによって示されており、第二の出口ポート9105とボーリング孔の側壁9114との間の距離は距離Xによって示されている。第二のポート9105の上面9115に湾曲部を備えていることは、ボーリング孔の周囲に沿って湾曲し且つボーリング孔内を上方へと移動する流体の流れを提供するためには重要である。更に、下面9119の角度が付けられている面9117によって形成される角度9116を有することは、同様に、境界層9111を流体の流れ9109と関連付けるためには重要である。第二の流路9109は、主として廃棄物質をボーリング内上方へ且つ該ボーリング孔から排出するように応答できる。第一の流路9107は、主として光路をデブリスに対して光学的に開口した状態に保ち且つ経路内のデブリスを減らすように応答でき且つ廃棄物質をLBHAより下の領域からその側面へ及び第二の流路9109によってボーリング孔から運び出すことができる場所へ移動させるように応答できる。

【0122】

第一の流路と第二の流路との間の流量比は、第一の流路に対してほぼ100%、つまり1:1から、1:10、1:100まででなければならないと現在のところ考えられている。更に流体増幅器の使用は例示的であり、LBHAすなわち一般的にはレーザーによる掘削は、このような増幅器が無い状態で採用されることは理解されるべきである。更に、流体ジェット、エアナイフ、又は類似の誘導手段を、LBHAと関連付けて又は増幅器と組み合わせる又は増幅器の代わりに使用しても良い。増幅器の使用法の更に別の例は、増幅器を、ボーリング孔の直径が変化している位置又はLBHAと管との間の結合部の

ような管とボーリング孔の変化とによって形成されている環状領域に位置決めする方法である。更に、増幅器、ジェット若しくはエアナイフ、又は同様の流体誘導装置を如何なる個数で使用しても良いし、このような器具を使用しなくても良いし、このような器具を一对にして使用しても良いし、このような器具を複数個使用しても良いし、これらの器具を組み合わせて使用しても良い。レーザー（及びレーザーと機械的装置との相互作用）によって形成される掘削屑又は廃棄物質は、これらをボーリング孔から除去するためには、ボーリング孔内を上昇する流体の流れを超える終端速度を有していなければならない。従って、例えば掘削屑が、砂岩廃棄物質に対しては約4 m / 秒～約7 m / 秒、花崗岩廃棄物質に対しては約3 . 5 m / 秒～約7 m / 秒、玄武岩廃棄物質に対しては約3 m / 秒～8 m / 秒、石灰石に対しては1 m / 秒未満の終端速度を有している場合に、これらの終端速度を超えなければならない。

10

【0123】

図10にはLBHAの例が示されている。第一のポート103及び第二のポート105を備えているLBHA100の一部が示されている。この構造においては、第二のポート105は、図9の例の構造と比較して、LBHAの底に向かって下方へ移動されている。第二のポートは、図面からわかるように2つの経路すなわち基本的な水平経路113と垂直経路111とを備えている流路109が設けられている。流路107も設けられており、この流路は主としてレーザー経路をデブリスが無く光学的にきれいに保つためのものである。流路113及び107は、相互に結合されて経路111の一部となっている。

20

【0124】

図12には回転出口ポートの例が示されており、この回転出口ポートは、LBHAの一部とするか若しくはLBHAと組み合わせることができ又はレーザー掘削において使用することが出来る。開口部1203を備えたポート1201が設けられている。このポートは矢印1205の方向に回転する。流体は、次いで該ポートから2つの異なる角度方向に向けられた流路内へ押し出される。これらの流路は、両方とも概して回転方向に向けられている。従って、第一の流路1207と第二の流路1209が設けられている。第一の流路は、出口の回転方向に関して及び対して角度“a”を有している。第二の流路は、出口の回転方向に関して及び対して角度“b”を有している。このようにして、流体は、ナイフ又はプッシャのように作用し物質の除去を補助する。

30

【0125】

図12の例示的な出口ポートは、互いに反対の回転方向の流れ1207と1209とを提供する構造とされており、出口は、ある回転方向の流れ1207と、該回転方向と反対方向の流れ1209とを提供する構造とされている。更に、出口は、同じ異なる流れの角度a及びbを提供する構造とされており、これらの流れの角度は、90°～ほとんど0°の範囲、約80°～10°の範囲、約70°～20°の範囲、約60°～30°の範囲、約50°～40°の範囲とすることができ、“a”は“b”と異なる角度及び/又は方向である変数からなる。

40

【0126】

図13には、LBHAと組み合わせられたエアナイフ構造の例が示されている。従って、LBHA1313と組み合わせられているエアナイフ1301が示されている。このようにして、エアナイフとそれに関連する流体の流れは、流れの角度と位置との両方に関して所定の方法で導くことができる。更に、エアナイフに加えて、流体ジェットのような他の流体誘導及び給送装置を採用しても良い。

40

【0127】

本発明の利点、使用方法、作動パラメータ、及び用途を例示的で且つ限定的ではなく更に例示するために、以下に示唆されている例示的な研究結果を提供する。

【0128】

例1

【0129】

花崗岩及び石灰岩に対して0 . 05秒、0 . 1秒、0 . 2秒、0 . 5秒及び1秒の試験

50

的露呈時間を使用する。出力密度は、ビームスポットの直径（円）を変えることによって変え、0.5 kW、1.6 kW、3 kW、5 kWの時間平均出力を有する12.5 mm × 0.5 mmの楕円領域を使用する。連続波ビームに加えてパルス出力も粉碎領域に対して試験する。

【表6】

実験用設定	
ファイバレーザー	IPG Photonics 製の5 kWイッテルビウム添加多層クラッドファイバレーザー
白雲石／横紋花崗岩	30.5×30.5×12.5cm 又は 12.5×12.5×12.5cm(12"×12"×5"又は5"×5"×5")
岩の大きさ	
石灰岩	30.5×30.5×12.5cm 又は 12.5×12.5×12.5cm (12"×12"×5"又は5"×5"×5")
ビームスポットサイズ (又は直径)	12.5mm(0.3585"),0.5mm(0.0625"),2.54mm(0.1")
照射時間	0.05s, 0.1s, 0.2s, 0.5s, 1s
時間平均出力	0.25 kW, 0.5 kW, 1.6 kW, 3 kW, 5 kW
パルス	40~600 1/s で 0.5 J/パルス~20 J/パルス

10

【0130】

【表7】

例2

例1の一般的なパラメータを砂岩及び頁岩を使用して繰り返す。 実験用設定	
ファイバレーザー	IPG Photonics 製の5 kWイッテルビウム添加多層クラッドファイバレーザー
ペリアの灰色（又は黄色）砂岩	30.5×30.5×12.5cm 又は 12.5×12.5×12.5cm (12"×12"×5"又は5"×5"×5")
頁岩	30.5×30.5×12.5cm 又は 12.5×12.5×12.5cm (12"×12"×5"又は5"×5"×5")
ビームタイプ	CW／平行化されたもの
ビームスポットサイズ（又は直径）	12.5mm×0.5mm (0.0625"),2.54mm(0.1")
出力	0.25 kW, 0.5 kW, 1.6 kW, 3 kW, 5 kW
照射時間	1s, 0.5s, 0.1s

20

30

【0131】

例3

【0132】

岩のような物質からなる矩形ブロックを切削する能力を、ここに開示されている設備及び方法に従って実証する。設定は下の表に示されており、岩のブロックの端部は押縁として使用する。花崗岩、砂岩、石灰岩、及び頁岩（可能な場合）のブロックを、各々ブロックの端部においてある角度で粉碎する（押縁近くでの岩の切削）。次いで、ビームスポットを切削された岩から新しく形成された押縁の他の部分へと連続して移動させて押縁の頂面を岩の端部から破壊して剥がす。約2.54 cm × 2.54 cm × 2.54 cm（1" × 1" × 1"）サイズの岩の粒子の切削が目的である。適用するSP及びSEは、予め記録されている粉碎データ及び上記の実験1及び2から収集した情報に基づいて選択する。岩を切削するためのROPを決定して、岩を所望の仕様となるように切削する能力を判定する。

40

【表 8】

実験用設定	
固定	
ファイバレーザー	IPG Photonics 製の 5 k W イッテルビウム添加多層クラッドファイバレーザー
白雲石／ベリアの花崗岩 岩の大きさ	30.5×30.5×30.5cm(12"×12"×12")及び 30.5×30.5×61cm(12"×12"×24")
石灰岩	30.5×30.5×30.5cm(12"×12"×12")及び 30.5×30.5×61cm(12"×12"×24")
ベリアの灰色（又は黄色）砂岩	30.5×30.5×30.5cm(12"×12"×12")及び 30.5×30.5×61cm(12"×12"×24")
頁岩	30.5×30.5×30.5cm(12"×12"×12")及び 30.5×30.5×61cm(12"×12"×24")
ビームタイプ	CW／粉砕領域で平行化されたパルス化されたもの
定格出力	粉砕領域（砂岩に対しては 2.6kJ/cc 以下で 920W/cm ² 以下及び石灰岩に対しては 0.52kJ/cc 以下で 4 k W/cm ² 以下）
ビームサイズ	12.5mm×0.5mm
照射時間	実験 1 及び 2 を参照
パージ	189 l/min 窒素流

10

【 0 1 3 3 】

例 4

【 0 1 3 4 】

多重ビームによる切削を実証する。2つの隔置されたレーザービームによってもたらされた岩のような物質の粉砕の重なりを試験する。2つのレーザービームを、下の実験設定に記されているように、0.51cm(0.2")、1.27cm(0.5")、2.54cm(1")、3.81cm(1.5")の距離で相対的に離して移動させる。花崗岩、砂岩、石灰岩、及び頁岩を各々使用する。各物質について所定の切削領域で切削することによって岩の破壊を試験する。パージガスを考慮する。岩の破壊は岩の切片を削り取るために重ねられる。目的は、所望の2.54cm×2.54cm×2.54cm(1"×1"×1")サイズの岩の切削片をもたらすことである。ある隔てた距離における2つのビームによる岩の切削は、効率良く切削できる最適な粒子サイズを決定し、粉砕する粒子サイズ及び最適なROPについての情報を提供する。

20

【表 9】

実験用設定	
ファイバレーザー	IPG Photonics 製の 5 k W イッテルビウム添加多層クラッドファイバレーザー
白雲石／ベリアの花崗岩 岩の大きさ	12.5cm×12.5cm×12.5cm(5"×5"×5")
石灰岩	12.5cm×12.5cm×12.5cm(5"×5"×5")
ベリアの灰色（又は黄色）砂岩	12.5cm×12.5cm×12.5cm(5"×5"×5")
頁岩	12.5cm×12.5cm×12.5cm(5"×5"×5")
ビームタイプ	CW／粉砕領域で平行化されるかパルス化されたもの
定格出力	粉砕領域（砂岩に対しては 2.6kJ/cc 以下で 920W/cm ² 以下及び石灰岩に対しては 0.52kJ/cc 以下で 4 k W/cm ² 以下）
ビームサイズ	12.5mm×0.5mm
照射時間	実験 1 及び 2 を参照
パージ	189l/min 窒素流
2つのレーザービーム間の距離	5.08mm,12.5mm,25.4mm,38.1mm(0.2", 0.5", 1", 1.5")

30

40

【 0 1 3 5 】

例 5

【 0 1 3 6 】

岩のような物質を、一つのパターンで切削する能力を実証するために、多重ビームによる多数の箇所の粉砕を行なう。以下のパラメータを使用して、種々のタイプの岩について種々のパターンを評価する。ほぼ1cm×15.24cmの直線スポット、ほぼ15.24cmの長軸とほぼ1cmの短軸とを有する楕円のスポット、直径1cmの単一の円形ス

50

ポット、スポットの間隔がスポットの直径にほぼ等しい直径が1cmのスポットの列、直線に沿って隔置されている正方形に隔置された4つのスポットを使用したパターンをラインに沿って隔置した。レーザービームはショット配列パターンで岩の表面に給送する。レーザーは、粉砕が起こるまで射出され、次いでパターン状に次のショットへと誘導され、次いでこのプロセスによって粉砕が生じるまで繰り返して射出させる。直線パターン及び楕円形パターンでの動きにおいては、スポットは実質的にそれらの中心軸線を中心に回転される。スポットの列からなるパターンにおいては、スポットは、それらの中心軸線を中心に回転され且つ面上を動く時計の針のように軸点を中心に回転される。

【表10】

実験用設定	
ファイバレーザー	IPG Photonics 製の5kWイッテルビウム添加多層クラッドファイバレーザー
白雲石/ベリアの花崗岩 岩の大きさ	30.5×30.5×30.5cm 又は 30.5×30.5×12.5cm(12"×12"×12"又は12"×12"×5")
石灰岩	30.5×30.5×30.5cm 又は 30.5×30.5×12.5cm(12"×12"×12"又は12"×12"×5")
ベリアの灰色(又は黄色)砂岩	30.5×30.5×30.5cm 又は 30.5×30.5×12.5cm(12"×12"×12"又は12"×12"×5")
頁岩	30.5×30.5×30.5cm 又は 30.5×30.5×12.5cm(12"×12"×12"又は12"×12"×5")
ビームタイプ	CW/粉砕領域で平行化されるか又はパルス化されたもの
定格出力	粉砕領域(砂岩に対しては2.6kJ/cc以下で920W/cm ² 以下及び石灰岩に対しては0.52kJ/cc以下で4kW/cm ² 以下)
ビームサイズ	12.5mm×0.5mm
照射時間	実験1及び2を参照
ページ	1891/min 窒素流

10

20

【0137】

上記の例及び詳細な教示から、一般的に、1以上のレーザービームは、光学的マニピュレータを使用して岩のような物質をパターン状に粉砕し、切削し、蒸発させ、又は溶融させることができることがわかる。このようにして、岩は、粉砕によってパターン状にされて岩の部片を削り取るために岩石破片を取り巻いている岩の亀裂を形成する。レーザービームのスポットサイズは、高出力で岩と相互作用したときに、ある角度で岩を粉砕し、蒸発させ、又は溶かすことができる。更に光学的マニピュレータ設備は、2以上のレーザービームを制御して、目標とされている岩の部片の近くの点にぴったりと適合するように、ある角度で集束される。次いで、粉砕は、目標の岩に重なっており且つ取り巻いている岩の亀裂を形成して、目標の岩を切削し、例えば徐々により大きな岩の除去を可能にする。このようにして、レーザーエネルギーによって、2.54cm(1インチ)までの深さで2.54cm(1インチ)以上の幅の岩の部片又はそれ以上の岩の部片を切削することができる。もちろん、岩盤のタイプ及び最も有効な技術の計画的な決定のようなファクタに応じて、より大きな又はより小さな岩の部片を切削することができる。

30

【0138】

本発明のレーザー掘削設備及び装置を使用して行うことができる掘削計画案の例示的で簡素化された計画が例示的に示されている。

【0139】

40

【表 1 1】

掘削計画例 1

	深さ	岩のタイプ	掘削タイプ／坑底レーザー出力
掘削 44.5cm(17・1/2 インチ)孔	地表～0.914km(3000 ft)	砂及び頁岩	従来の機械的掘削
作動 33.97cm(13・3/8 インチ)ケーシング	長さ 0.914km(3000 ft)		
掘削 31.11cm(12・1/4 インチ)孔	0.914km(3000 ft)～	玄武岩	40 kW
作動 24.45cm(9・5/8 インチ)ケーシング	長さ 2.44km(8,000 ft)		(最小値)
掘削 20.96cm(8・1/2 インチ)孔	2.44km(8,000 ft)～3.35km(11,000 ft)	石灰石	従来の機械的掘削
作動 17.78cm(7 インチ)ケーシング	長さ 3.35km(11,000 ft)		
掘削 15.88cm(6・1/4 インチ)孔	3.35km(11,000ft)～4.27km(14,000ft)	砂岩	従来の機械的掘削
作動 12.7cm(5 インチ)ライナー	長さ 0.914km(3000 ft)		

10

【 0 1 4 0 】

【表 1 2】

掘削計画例 2

	深さ	岩のタイプ	掘削タイプ／坑底レーザー出力
掘削 44.45cm(17・1/2 インチ)孔	地表～0.152km(500ft)	砂及び頁岩	従来の機械的掘削
作動 8.57cm(13・3/8 インチ)ケーシング	長さ 0.152km(500ft)		
掘削 31.11cm(12・1/4 インチ)孔	0.152km(500ft)～0.12km(4,000ft)	玄武岩	40 kW (最小値)
作動 24.45cm(9・5/8 インチ)ケーシング	長さ 0.12km(4,000ft)		
掘削 21.59cm(8・1/2 インチ)孔	0.12km(4,000ft)～3.35km(11,000ft)	玄武岩	20 kW (最小値)
作動 17.78cm(7 インチ)ケーシング	長さ 3.35km(11,000ft)		
掘削 15.88cm(6・1/4 インチ)孔	3.35km(11,000ft)～4.27km(14,000ft)	砂岩	従来の機械的掘削
作動 12.7cm(5 インチ)ライナー	長さ 0.914km(3,000ft)		

20

【 0 1 4 1 】

更に、1以上のレーザービームは、岩のような物質をパターン状に粉砕することによって岩から押縁を形成することが出来る。1以上のレーザービームは、この押縁の周囲の岩の亀裂を形成している押縁に対してある角度で岩を粉砕して押縁を取り囲んでいる岩の部片を削り取ることが出来る。押縁を形成するために、2以上のビームが岩を削り取っても良い。レーザービームは、押縁の周囲の岩の亀裂を形成している押縁に対してある角度で岩を粉砕して岩を更に削り取ることが出来る。1以上の岩の押縁が形成されて押縁の近くの岩の部片が切削された後に、1以上のレーザービームによって又は押縁が無い状態では粉砕によって1つの点の近くに2つのビームを集束させることによって、多数の岩を同時に切削することができ、更に、切り溝形成として知られている技術を利用することもできる。

30

【 0 1 4 2 】

本発明に教示に従って、ファイバレーザー又は液晶レーザーは、赤外レーザーダイオードによって、750nm～2100nmの波長範囲内で任意に励起させることができる。ファイバレーザー又は液晶レーザーは、赤外ダイオードレーザーの波長において赤外ダイオードレーザーからファイバレーザー又は液晶レーザーへ伝送する光ファイバによって支持されるか又は該光ファイバによって接続されている赤外ダイオードレーザーから孔下方へと伸びている。ファイバケーブルは、シリカ、P M M A / 過弗素化ポリマー、中空コアのフォトニック結晶、又は単一モード若しくはマルチモードの中実コアのフォトニック結晶のような材料によって作ることが出来る。従って、光ファイバは、コイル巻き管内に収納されていても良いし又は堅牢な掘削ストリング内であっても良い。一方、光は、赤外ダイオードレンズで地表からファイバレーザー又は液晶レーザーへと孔下方へ伝送される。

40

50

1以上の赤外ダイオードレーザーは地表にあっても良い。

【0143】

レーザーは、コイル巻き管か又は堅牢な掘削ストリングによって作られている導管によって坑井内へ搬送される。出力ケーブルが設けられていても良い。循環設備も設けられていても良い。循環設備は、液体又は気体を孔下方へ送るために剛性が可撓性の管を有している。岩の掘削屑を地表まで上昇させるために第二の管が使用される。パイプは、導管内の気体又は液体を別のパイプ、管、又は導管へと送るか搬送する。気体又は液体は、レーザーヘッドから岩のデブリスのような物質を除去することによってエアナイフを形成している。ラバル管のようなノズルが備えられていても良い。例えば、加圧された気体又は液体を供給するために、ラバル型のノズルを光学ヘッドに取り付けても良い。掘削泥をレーザー経路から押し出すために、加圧された気体又は液体は、赤外ダイオードレーザーの作動波長又はファイバレーザー光を伝達可能である。導管内に設けられている付加的な管は、大気温度よりも低い温度の液体を孔下方に向かってある深さまで送って導管内のレーザーを冷却することができる。1以上の液体ポンプを使用して、非圧縮性流体を地表に向かって引く圧力を孔上方へ向かってかけることによって、掘削屑及びデブリスが地表へ戻される。

10

【0144】

坑井内の掘削泥は、可視波長、近赤外波長、及び中赤外波長を伝達可能な特性を有し、レーザービームは掘削泥によって吸収されることなく岩まで続いた綺麗な光路を有している。

20

【0145】

更に、分光サンプルデータが検知され且つ分析される。放射されている岩の熱分析は掘削と同時に進められる。分光分析試料は、レーザー誘導破壊微分分光法によって収集される。パルス化された出力は、赤外ダイオードレーザーによってレーザーと岩との衝突点へ供給される。光は、赤外ダイオードレーザーに取り付けられている単一波長検知器によって分析される。例えば、ラマンシフトされた光はラマン分光計によって測定される。更に、例えば、2～3モードファイバのブラッグ回折格子を使用している調整可能なダイオードレーザーが、イッテリビウム、ツリウム、ネオジウム、ジスプロシウム、プラセオジウム、又は活性媒質としてのエルビウムを使用することによって流体試料の同波数帯域を分析するために配備されている。幾つかの実施例においては、計量化学式又は最小二乗平均適合法を使用してラマンスペクトルが分析される。温度、比熱、及び熱拡散率が判定される。少なくとも一つの実施例においては、データはニューラルネットワークによって分析される。ニューラルネットワークは掘削中にリアルタイムで更新される。ニューラルネットワークデータからダイオードレーザー出力を更新することにより、岩盤タイプ内の掘削性能が最適化される。

30

【0146】

検層のための坑井地測航法装置には、掘削装置が備えられているか又は組み合わされている。例えば、磁力計、3軸加速度計、及び/又はジャイロスコープが備えられていても良い。レーザーに関して説明したように、地測航法装置は、例えば、鋼、チタン、ダイヤモンド、又はタンゲステンカーバイドによって外装されていても良い。地測航法装置は、レーザーと共に又は別個に外装されていても良い。幾つかの実施例においては、地測航法装置からのデータは、デジタル信号プロセッサによって、装置の孔下方での移動方向を指示する。

40

【0147】

高出力光ファイバの束は、例えば、赤外ダイオードレーザー又はファイバレーザーから孔下方へ吊り下げられる。ファイバは、レーザーから岩盤へ出力を伝送するためにダイオードレーザーに接続されている。少なくとも一つの実施例においては、赤外ダイオードレーザーは、800mm～1000mmの波長範囲でファイバ接続される。幾つかの実施例においては、ファイバの光学ヘッドはボーリング孔と接触しない。ケーブルは、中空コアのフォトニック結晶ファイバ、シリカファイバ、又は単一モード若しくはマルチモード

50

あるPMMA/過弗素化ポリマーを含んでいるプラスチック光ファイバとすることができる。幾つかの実施例においては、光ファイバはコイル巻き管又は硬質管によって外被されている。光ファイバは、掘削屑を循環させるために気体又は液体を適用するための第一の管を備えた導管に取り付けられる。第二の管は、レーザーヘッドからデブリスを除去するために、例えばラバル管ジェットに気体又は液体を供給する。幾つかの実施例においては、光ファイバの端部は、旋回可能な光学マニピュレータ及びミラー又は結晶反射器からなるヘッド内に入れられている。ヘッドの外被はサファイア又はこれと関連する材料によって構成される。光学マニピュレータは光学ファイバヘッドを回転させるために設けられている。幾つかの実施例においては、赤外ダイオードレーザーは、ボーリング孔内の光ファイバの上方にあるチタン、ダイヤモンド、又はタングステンカーバイドによって完全に被覆されている。他の実施例においては部分的に被覆されている。

10

【0148】

単一の又は多数のファイバからなる光ケーブルは、微分分光試料採取のために岩のような物質の赤外ダイオードレーザー誘起から受け取った近赤外、中赤外、及び遠赤外の波長になるように調整される。光学ヘッド掘削部の上方の赤外ダイオードレーザーによって出力を供給される第二の光学ヘッドは、情報用ライナーを被覆している。第二の光学ヘッドは赤外ダイオードレーザーから伸長しており、光は光ファイバ内を伝送される。幾つかの形態においては、光ファイバはコイル巻き管によって保護されている。赤外ダイオードレーザーの光学ヘッドは鋼及びコンクリートの覆いを貫通している。少なくとも一つの実施例においては、第一の赤外ダイオードレーザーの上方の第二の赤外ダイオードレーザーは、掘削の際に情報ライナーを覆っている。

20

【0149】

一以上の形態によれば、孔下方のファイバレーザー又は赤外ダイオードレーザーは、孔下方に配置されたときに、光が管と接触する状態となることなく、コヒーレントな光を中空管内を下方へ伝送する。中空の管は如何なる材料によっても作っても良い。幾つかの構造においては、中空管は、鋼、チタン、又はシリカによって作られている。ミラー又は反射性の結晶が中空管の端部に配置されて、平行にされた光を掘削されている岩の表面のような物質へと誘導する。幾つかの実施例においては、光学マニピュレータは、光電スイッチ、電気的活性ポリマー、検流計、圧電素子、又は回転モーター/リニアモーターによって旋回させることが出来る。掘削屑を上昇させるために循環装置が使用される。1以上の流体ポンプを使用し、孔の上方に向かって圧力をかけて非圧縮性の流体を地表へ引き上げることによって掘削屑が地表へ戻される。幾つかの構造においては、光ファイバは、二つの管によって導管に取り付けられる。一つの管は、掘削屑を循環させるために気体または液体を適用し、もう一つの管は、レーザーヘッドからデブリスを除去するために気体または液体をラバル管ジェットへ供給する。

30

【0150】

本発明の更に別の実施例には、約1km~約5km又はそれ以上の深さまで地面にボーリング孔を形成するための掘削リグが提供されている。この掘削リグは、1つ乃至複数の被覆されている光ファイバからなり且つボーリング孔の深さに等しいかそれ以上の長さを有し、レーザー光源と光学的結合を維持しつつ束を巻き取ったり伸ばしたりする手段を有している。本発明の更に別の実施例においては、束を伸ばし且つレーザービームをボーリング孔内の一点特にボーリング孔の底又は底の近くの点へ給送する方法が提供されている。外装された光ファイバ給送束を介して部分的にレーザービームをボーリング孔へ給送することによって、1km、2km、及び5kmを含み5kmまでの深さまでボーリング孔を前進させる方法も更に提供されている。

40

【0151】

本発明による新規で且つ革新的な外装付きの束(束はここに記載した単一又は複数のファイバとすることができる)並びにこれと組み合わせられた巻き取り及び送り装置及び方法は、掘削、ボーリング孔の完成、及び関連し且つ組み合わせられる作業のための一般的な掘削リグ及び装置と共に使用することが出来る。本発明の装置及び方法は、掘削リグ並び

50

に例えば探鉱及び油田開発作業における装置と共に使用できる。従って、これらは、例えば限定的ではないが、陸上リグ、陸上移動リグ、固定式リグ、船上リグ、掘削船、昇降プラットフォーム、及び半潜水リグと共に使用できる。これらは、坑井を前進させる作業、坑井を完成させる作業、及び産出用覆いに穴を開けることを含む改修作業において使用できる。これらは更に、窓開け、パイプの切断、及び坑井内深くに位置している場所、装置、又は構成要素ヘレーザービームを給送することが有利又は有用である用途において使用することが出来る。

【0152】

従って、例えばLBHA全体が図14A及び14Bに示されている。上方部分1400と下方部分1401とを備えているLBHA14100が示されている。上方部分1400はハウジング1418を備えており、下方部分はハウジング1419を備えている。LBHA14100、上方部分1400、下方部分1401、及び特にハウジング1418、1419は、深い孔下方環境の厳しい状態に耐え且つ内部に含まれている構成部品のいずれをも保護する材料によって作られ且つ構造的な設計とされていなければならない。

10

【0153】

上方部分1400は、コイル巻き管、掘削パイプ、又はLBHA14100を、ボーリング孔内へ降下させたり、ボーリング孔から回収したりするためのその他の手段に結合されている。更に、該上方部分は、スタビライザ、掘削カラー、又はその他の形態の孔下方アセンブリ(図示されていない)に結合され、これらは次いで、コイル巻き管、掘削パイプ、又はLBHA14100をボーリング孔内へと降下させたりボーリング孔から回収したりするためのその他の手段に結合されている。上方部分1400は更に、装置1402を、含むか、結合されるか、或いは光学的に関連付けられている。装置1402は、高出力レーザービームをボーリング孔内下方へと伝送して、ビームが装置1402の下方端部1403から出て、最終的にLBHA14100を出てボーリング孔の対象とする面にあたるようになされている。高出力レーザービームのビーム経路は矢印1415によって示されている。図14A及び14Bにおいては、装置1402は単一の光ファイバとして示されている。上方部分1400はまた空気増幅ノズル1405をも備えており、この空気増幅ノズル1405は、掘削流体例えば N_2 を排出して、とりわけ、ボーリング孔内上方への掘削屑の除去を補助する。

20

【0154】

上方部分1400は更に、回転動作を提供するための装置1410に取り付けられるか結合されるか或いは関連付けられている。このような手段は、例えば、孔下方モーター、電動モーター、又は泥用モーターである。このモーターは、回転軸、駆動シャフト、駆動列、歯車、又はLBHA14100の下方部分1401に回転動作を伝えるためのその他のこのような装置1411に結合されている。下に位置している装置を図示するために図面に示されているように、ハウジング又は保護カウリングを駆動装置を覆うように或いはこれとモーターとに関連付けて配置して、デブリス及び苛酷な孔下方状態から保護するようにしても良いことがわかる。このようにして、モーターは、LBHA14100の下方部分1401を回転させることが出来る。泥用モーターの例はCAVO4.3cm(1.7")直径の泥用モーターである。このモーターは、長さが約17.8cm(7ft)であり且つ次の仕様を有している。すなわち、149N-m(110ft-lbs)フルトルクで7馬力を有し;モータースピード0~700rpmであり;モーターは、泥、空気、 N_2 、ミスト、又は泡状物質上で作動でき;180SCFM、3447~5515kPaゲージ圧(500~800psiゲージ圧)低下があり;支持装置の長さは3.65m(12ft)まで伸び;10:1ギヤ比で0~70rpm能力を提供することができ;可能な設置状態でLBHAの下方部分1401を回転させる能力を有している。

30

40

【0155】

LBHA14100の上方部分1400は密閉チャンバ1404によって下方部分1401に結合されている。密閉チャンバ1404は、レーザービームに対して透過性であり且つ下方部分1401内のビーム整形光学素子1406へのレーザービームの妨害されな

50

い伝搬を許容するための瞳面 1420 を形成している。下方部分 1401 は回転できるように設計されている。密閉チャンバ 1404 はポート 1414 を介して下方部分 1401 と流体連通している。ポート 1414 は、きれいな伝達流体好ましくは気体が上方部分 1400 から下方部分 1401 へ流れるのを許容するが逆の流れは許容しない一方向弁であるか、又は孔下方環境内の所望の流れ及び流体の分布の特定の要件に適合する別のタイプの圧力及び/又は流量調整弁であっても良い。例えば図 14A には、矢印 1416 によって示されている第一の流体経路と矢印 1417 によって示されている第二の流体経路 1417 とが示されている。図 14A 及び 14B の例においては、第二の流体流路は層流であるが、乱流を含む他の流れを利用することもできる。

【0156】

下方部分 1401 は、モーター 1410 から回転力を受け取るための手段を備えており、この手段は、この図の例においては、下方部分のハウジング 1419 の近くに配置されているギヤ 1412 及び回転軸 1411 の下方端部に配置されている駆動ギヤ 1413 である。回転力を伝達するための他の装置を採用しても良く、モーターは下方部分に直に配置しても良い。レーザービームスポットの回転又は移動を補助するために、光ファイバ又は高出力レーザービームを LBHA へと孔内を下方へ伝搬させる他の手段に、同時に過度の回転又は捻り力を付与しない状態で、LBHA の一部分の回転を付与する等価装置を採用することが出来ることはわかる。このようにして、レーザービームスポットはボーリング孔の底で回転することができる。下方部分 1401 は、流体が LBHA 14100 から出て行くための層流出口 1407 と 2 つの硬質ローラー 1408, 1409 とをその下方端部に備えている。この例においては層流が想定されているけれども、非層流及び乱流を付与しても良いことはわかるはずである。

【0157】

2 つの硬質ローラーは、タングステンカーバイド、クロム - コバルト - ニッケル合金若しくはその他の類似材料などの硬質表面コーティングを有するステンレス鋼又は鋼によって作られている。これらはまた、レーザーによって熱的に劣化した岩を機械的に掘削する手段をも備えている。これらは、長さが約 2.54 cm (1 インチ) ~ 約 10.16 cm (4 インチ) 好ましくは約 5.08 ~ 7.62 cm (2 ~ 3 インチ) の範囲内とすることができ且つ 15.24 cm (6 インチ) 又はそれ以上の大きさとしても良い。更に、比較的大きな直径のボーリング孔を掘削するための LBHA においては、これらは直径が 25.4 ~ 60.96 cm (10 ~ 24 インチ) 又はそれ以上の範囲であっても良い。

【0158】

図 14 は高出力レーザービームの経路 1415 を提供している。このレーザービーム経路は、LBHA 14100 に入り、レーザービームスポット整形光学素子 1406 を通り、次いで LBHA を出てボーリング孔の面上の対象とする目標にぶつかる。更に、必要とされないけれども、ビームスポット整形光学素子はまた、スポットに回転部材を提供することもでき、その場合には、ビーム回転及び整形スポット光学素子であると考えられる。

【0159】

使用時には、例えば 15 kW を超える高エネルギーレーザービームは、LBHA 14100 内に入り、ファイバ 1402 内を下方へ進み、ファイバ 1403 の端部から出て密閉チャンバ 1404 及び瞳面 1420 内を進んで光学素子 1406 内へ入り、ここで整形され且つスポットに集束され、光学素子 1406 は更にスポットを回転させる。レーザービームは、次いで潜在的に回転可能な形態でボーリング孔の底を照射して照射された岩及び土を粉碎し、削り取り、溶融させ、且つ/又は蒸発させ、このようにしてボーリング孔を前進させる。下方部分は回転し、この回転によって、ローラー 1408, 1409 がレーザーによってたらされた物質或いは掘削流体の流れ自体によっては除去できないほど十分に固定されているあらゆる物質が物理的に押しのけられる。

【0160】

掘削屑は経路 1417 に沿った流体の流れ並びにローラー 1408, 1409 の作用によってレーザー経路から除去され、掘削屑は、次いで、空気増幅器 1405 並びに層流穴

10

20

30

40

50

1407からの掘削流体の作用によってボーリング孔内を上方に向かって搬送される。

【0161】

図14のLBHAの構造は例示的なものであり、その構成部品のその他の形状を同じ結果を達成するために利用できることはわかる。従って、モーターは、上方部分よりはむしろ下方部分に配置されても良いし、光学系を回転させるだけでハウジングは回転させない状態で上方部分に配置しても良い。光学系は更に、上方部分と下方部分との両方に配置されており、回転のための光学素子は回転する部分に配置されている。モーターは、下方部分に配置されているが光学素子とローラーとを回転させるだけである。この後者の構造においては、上方部分と下方部分とは同じに、すなわちLBHAに対して1つの部分のみが存在するようにすることができる。従って、例えば、LBHAの内側部分は、外側部分が10
静止している間に回転するか又はその逆とすることができ、同様に、頂部/又は底部は、回転し又は類似した方法で頂部及び/又は底部が回転するか又はレーザービームスポットがボーリング孔の底で動かされるようにする手段を設けるために、回転構成部品と非回転構成部品とを採用しても良い。

【0162】

光学素子1406は、レーザービームが光学系の中を通過するときに出力の損失を避けるか又は最小にするように選択されるべきである。光学系は更に、孔下方の環境内に存在する厳しい状態を少なくともこれらの状態がハウジング1419によって軽減されない程度まで処理するように設計されるべきである。この光学系は、上記した種々の出力分布及び形状のレーザービームスポットを提供することが出来る。光学系は更に上記した1つの10
兆候スポット又は多くのスポットを提供する。

【0163】

掘削は、乾燥した環境又は湿った環境において行なうことができる。重要なファクタは、レーザーから岩の表面までの経路は、岩の表面へのレーザービームの給送と干渉するデブリス及び粉塵粒子又はその他の物質が出来るだけ実質的に除去されて綺麗に保たなければならない。高輝度レーザーの使用によって、プロセスヘッドに別の利点が提供される。プロセスヘッドにおいては、最後の光学系から加工物質までの長い離隔距離は、高圧の光学窓をきれいに保ち且つ掘削プロセスを通して無傷の状態に保つことに対して重要である。ビームは静止状態に配置するか、又は機械的、光学-機械的に、電子-光学的に、電気機械的に、若しくは上記のあらゆる組み合わせによって動かして、関心のある地中領域30
を照射することが出来る。

【0164】

一般的に且つ更に別の例として、LBHAは、例えば部分ハウジングによって作られたハウジングを備えていても良い。これらの部分ハウジングは、一体であっても良いし、別々であっても良いし、取り外し可能に固定結合されても良いし、回転可能であっても良いし、又はこれら部分ハウジング間のこれらのタイプの関係の一以上の組み合わせであっても良い。LBHAは、コイル巻き管、掘削パイプ、又はLBHAをボーリング孔内を降下させたりボーリング孔から回収したりする他の手段に結合されていても良い。更に、これは、スタビライザ、掘削カラー、又はその他のタイプの孔下方アセンブリに結合され、これらは次いで、コイル巻き管、掘削パイプ、又は坑底アセンブリをボーリング孔へと降下40
させたり回収したりする他の装置に結合される。LBHAは、高出力エネルギーをボーリング孔から伝送する関連する装置を備えている。

【0165】

LBHAはまた、これと関連付けられるか又は内部に設けられた掘削流体を処理し且つ給送するための手段を備えている。これらの手段は部分ハウジングの幾つか又は全てと関連付けられる。更に、ボーリング孔内の物質を除去し且つ/又は誘導するために、機械的な掻き取り手段例えばPDCビットが設けられているが、他のタイプの公知のビット及び/又は機械的掘削ヘッドもまた、レーザービームと組み合わせて使用することも出来る。これらのスクレーパ又はビットは、ボーリング孔の面又は部分と機械的に相互作用して、必要に応じてこのようなボーリング孔の物質をほぐし、除去し、掻き取り、又は処理する50

。これらのスクレーパは、約 2.54 cm (1 インチ) 未満から約 50.8 cm (20 インチ) までとすることが出来る。使用時には、例えば 15 kW を超える高エネルギーのレーザービームが、光学系を通過してファイバ内を下方へ進み、次いで LBHA の下方端部から出てボーリング孔の意図された部分又はその中に含まれている構造物を照射し、このようにして照射された物質を粉砕し、溶融させ、且つ/又は蒸発させ、このようにしてボーリング孔を前進させるか或いはこのように照射された物質の除去を補助する。

【0166】

図 15 A 及び 15 B には、レーザービームとボーリング孔面との相互作用の例のグラフ状表示が示されている。従って、レーザービーム 1500、ビーム照射領域 1501 すなわちボーリング孔の壁又は底 1502 上のスポット (ここで使用されているように、積極的に提供されていない限り、“スポット” という用語は円に限られない) が示されている。更に図 15 B には、相互作用の更に詳細な表示及び照射領域内に形成されている応力を分類している対応するチャート 1510 が示されている。チャート 1510 は、 10^8 N/m^2 のミーゼス型応力 (von Mises Stress) を示しており、このミーゼス型応力内の断面線及び濃淡部は、13.8 MPa (2000 psi) の孔下方状態及び 65.6 (150 F) の温度下で、 2 kW/cm^2 の流束量を有しているビームによって 30 ミリ秒の照射時間で照射された領域に形成される応力に対応している。これらの状態においては、玄武岩の圧縮強度は、 $2.6 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ であり、皮膜引張強さは、約 $0.66 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ である。従って、約 $4.722 \sim 5.211 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ の比較的高い応力の第一の領域 1505 と、孔下方の状態の玄武岩の圧縮応力又はこれを超える相対応力である約 $2.766 \sim 3.255 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ の第二の領域 1506 と、孔下方の状態の圧縮応力にほぼ等しい約 $2.276 \sim 2.766 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ の第三の領域 1507 と、約 $2.276 \sim 2.766 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ の皮膜引張強さより更に大きい孔下方状態での玄武岩の圧縮応力未満である比較的低い応力である第四の領域 1508 と、孔下方状態での玄武岩の皮膜引張強さに等しいか又はほぼ等しい相対応力である約 $0.320 \sim 0.899 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ の第五の領域 1509 と、が示されている。

【0167】

従って、ボーリング孔内の応力の最大量を効率良い方法で得るためのビームとボーリング孔との相互作用の縦断面図及びボーリング孔の前進速度の増加を得ることが出来る。従って、例えば、均一分布か又はガウス分布であるビームについて、その中心点を中心に楕円スポットが回転される場合のエネルギー付与分布図が図 16 A 及び 16 B に示されている。この図には、ビームの中心点からのボーリング孔の領域が x 軸 1601 及び y 軸 1602 として示されており、付与されたエネルギーの量は z 軸 1603 上に示されている。この図から、ボーリング孔に対するエネルギー付与に非効率な場所が存在することがわかり、この場合、ボーリング孔 1605 及び 1606 の外側部分は前進速度に対する制限ファクタである。

【0168】

従って、ビームが回転したときにほぼ平坦で均一な付与分布を得るためには、ビームの付与の分布を改造することが望ましい。このような好ましいビーム付与の分布の例が図 17 A 及び 17 B に示されている。図 17 A は、回転が無い状態での 1 回転すなわち 360 度回転せしめられたときのエネルギー付与の分布を示しており、この分布は、x 軸 1701 と y 軸 1702 と z 軸 1703 上のエネルギーとを有している。このエネルギー付与分布はほぼ均一と考えられる。

【0169】

この好ましいビームエネルギー分布を得るために、LBHA と共に使用できる光学アセンブリの例が提供されている。x 軸 1801 と y 軸 1802 と z 軸 1803 とを有している例が図 18 A ~ 18 D に示されており、この図においては、複数の光線 1807 を有しているレーザービーム 1805 が示されている。レーザービーム 1805 は、入射曲面 1811 と射出曲面 1813 とを有しているコリメータレンズ 1809 を有している光学アセンブリ 1820 へ入射する。更に、アキシコンレンズ 1815 と窓 1817 とが設けられ

ている。例 1 の光学アセンブリは、ビームスポットをボーリング孔の面 1 8 3 0 に適用するために、実質的ガウス分布、ガウス分布、又は超ガウス分布を有している入力ビームからの所望なビーム強度分布を提供している。

【 0 1 7 0 】

更に別の例が図 1 9 に示されており、この例は、図 1 7 A の所望のビーム強度分布と、レーザービームからボーリング孔の面への均一な分布を有する図 1 7 B のエネルギー付与とを有する光学アセンブリ 1 9 2 0 を有している。従って、この例には、均一な分布と光線 1 9 0 7 とを有しているレーザービーム 1 9 0 5 が提供されており、レーザービーム 1 9 0 5 は球面レンズ 1 9 1 3 に入射し、球面レンズ 1 9 1 3 はファイバの孔下方端部からのレーザーの出力を平行にし、ビームは次いで球面レンズ 1 9 1 3 を出てトロイダル形状レンズ 1 9 1 5 に入射し、トロイダル形状レンズ 1 9 1 5 は、x 軸の出力を有して楕円ビームのミラー軸を形成する。ビームは次いで、トロイダル形状レンズ 1 9 1 5 から出て一对の非球面トロイダル形状レンズ 1 9 1 7 に入射し、非球面トロイダル形状レンズ 1 9 1 7 は、y 軸強度分布を描くための出力を y 軸内に有して、像面に対する瞳面を形成する。このビームは、次いで、レンズ 1 9 1 7 を出て外部環境から光学系を保護している平らな窓 1 9 1 9 に入射する。

10

【 0 1 7 1 】

所定のエネルギー分布を提供するための更に別のアセンブリの例が図 2 0 に示されている。コリメータレンズ 2 0 9 に入射する光線 2 0 7 を有しているレーザービーム 2 0 5 と、楕円であるのが好ましいスポット形状形成レンズ 2 1 1 と、マイクロ光学アレイ 2 1 3 とが設けられている。マイクロ光学アレイ 2 1 3 は、マイクロプリズムアレイ又はマイクロレンズアレイとすることができる。更に、マイクロ光学アレイは、特に図 1 7 の分布のような所定のエネルギー付与分布を提供するように設計されている。

20

【 0 1 7 2 】

更に別の例が図 2 1 A 及び 2 1 B に示されており、この例は、所定のビームパターンを提供するための光学アセンブリを提供している。従って、ファイバ 2 1 4 0 の孔下方端部から射出され且つコリメータレンズ 2 1 0 9 に入射する光線 2 1 0 7 を有しているレーザービーム 2 1 0 5 と、マイクロ光学素子又はマイクロ光学素子に対する集合光学素子とすることが出来る回折光学素子 2 1 1 1 とを有しており、回折光学素子 2 1 1 1 はパターン 2 1 2 0 を形成し、必ずしも必要ではないが、パターン 2 1 2 0 は再投影レンズ 2 1 1 3 を通ってパターン 2 1 2 1 を形成する。

30

【 0 1 7 3 】

更に、ボーリング孔の面を複数のスポットによって多回転パターンで照射するためのショットパターンが形成されている。従って、図 2 2 には、ボーリング孔の底面 2 2 0 1 を照射する第一の対のスポット 2 2 0 3 , 2 2 0 5 が示されている。この第一のスポットの対は、矢印 2 2 0 4 によって示されている回転方向（ここでは、逆方向の回転も想定できる）に第一の回転軸線 2 2 0 2 を中心に回転する。ボーリング孔の底面 2 2 0 1 を照射する第二の対のスポット 2 2 0 7 , 2 2 0 9 が示されている。この第二のスポットの対は、矢印 2 2 0 8 によって示されている回転方向（ここでは、逆方向の回転も想定できる）に軸線 2 2 0 6 を中心に回転する。スポットの各対におけるスポット間の距離は同じであっても異なっても良い。第一及び第二の回転軸線は、矢印 2 2 1 2 によって示されている回転方向（回転方向 2 2 0 8 , 2 2 0 4 と反対方向であるのが望ましい）にボーリング孔 2 2 1 2 の中心を中心として同時に回転する。必須ではないけれども、回転方向 2 2 0 8 及び 2 2 0 4 は時計方向であり、回転方向 2 2 1 2 は反時計方向であるのが好ましい。このショットパターンはほぼ均一なエネルギー付与をもたらす。

40

【 0 1 7 4 】

図 2 3 には、上に例示した、中心 2 3 0 1、長軸 2 3 0 2、ミラー軸 2 3 0 3 を有している例に関して説明した一般的なタイプの楕円形のショットパターンが示されている。このように、スポットの主軸は、概してボーリング孔の直径に対応しており、約 7 6 . 2 c m (3 0 インチ)、5 0 . 8 c m (2 0 インチ)、4 4 . 5 c m (1 7 . 1 / 2 インチ)

50

、34 cm (13・3/8インチ)、31・1 cm (12・1/4インチ)、24・4 cm (9・5/8)インチ、21・6 cm (8・1/2インチ)、17・8 cm (7インチ)、及び15・9 cm (6・1/4インチ)の公知の又は考えられる直径範囲のボーリング孔の直径に対応している。

【0175】

更に、図24には、ボーリング孔の中心の周りを回転する矩形のスポット2401が示されている。図25には、所望のエネルギー付与分布を提供するために、ボーリング孔に対して回転させ、走査し、又は動かすことができる複数の独立したショット2502を有しているパターン2501が示されている。図26には更に、ボーリング孔の底に沿ってラスタ走査方式2602で走査される四角形のショット2601が示されているが、円形、四角形、又はその他の形状のパターンで走査しても良い。

10

【0176】

1以上の態様に従って、1以上の光ファイバの遠位ファイバ端部はパターンに配列される。多重送信されるビーム形状は、十字形状、X形状、ビューファインダ形状、矩形形状、六角形状、列状の線、又は、線、四角形及び円筒形が種々の距離で組み合わせられ若しくは隔置されている関連した形状からなる。

【0177】

1以上の態様に従って、1以上の屈折レンズ、回折素子、透過格子、及び/又は反射レンズが付加されて、パターン状に配置されている光ファイバから射出するビームスポットからのビームスポットパターンを、集束させ、走査させ、且つ/又は変化させる。1以上の屈折レンズ、回折素子、透過格子、及び/又は反射レンズが、ビーム整形光学素子から射出された光からの1以上の連続的なビーム形状を、集束させ、走査させ、且つ/又は変化させるために付加されている。横断している光学経路面内のビームスポット整形レンズの後方にコリメータが配置されている。コリメータは、非球面レンズ、凸レンズからなる球面レンズ系、厚い凸レンズ、負のメニスカスレンズ、及び両凸レンズ、非球面分布及び色消しダブレットを有している屈折率勾配型レンズとすることができる。このコリメータは、前記した材料、石英ガラス、ZnSe、SFガラス、又は関連する材料によって作ることが出来る。コリメータは、反射率又は透過率を下げるか又は上げるためにコーティングされる。前記の光学素子はパージ液体又はパージガスによって冷却される。

20

【0178】

ここで使用されているレンズ及び光学素子という用語は、最も広い意味で使用されており、従って、反射素子、透過素子、又は屈折素子のような機能を要するあらゆる光学素子をも示している。

30

【0179】

幾つかの態様においては、屈折率が正のレンズはマイクロレンズである。マイクロレンズは、焦点距離を長くしたり短くしたりするために光伝搬面内で旋回させることができ且つビームを伝搬させるために光伝搬面に対して直角である。マイクロレンズは、1以上の光ファイバ、光ファイバの束の対、ファイバレーザー、ダイオードレーザーから入射光を受け取ってこれを多数の焦点に集光させ且つ1以上のコリメータ、正の屈折レンズ、負の屈折レンズ、1以上のミラー、回折及び反射光ビーム拡大器、及びプリズムから光を受け取り且つそれを送り出す。

40

【0180】

幾つかの態様においては、屈折光学素子ビームスプリッタを屈折レンズと組み合わせて使用することが出来る。回折光学素子ビームスプリッタは、上記した形状及びパターンを含む二重ビームスポット又はパターン状ビームスポットを形成する。

【0181】

地中にボーリング孔を形成する装置及び方法も付加的に提供されている。この装置及び方法は、レーザービームを所定のエネルギー付与分布によってボーリング孔の底面にレーザービームを提供するための手段を含んでおり、前記レーザービームは坑底アセンブリから供給される3つのレーザービームを含んでおり、この3つのレーザービームは、所定の工

50

エネルギー付与分布、すなわち、ボーリング孔の面の外側領域に向けて付勢される所定のエネルギー付与分布、ボーリング孔の面の内側領域に向けて付勢される所定のエネルギー付与分布、異なるエネルギー付与分布を有する少なくとも2つの同心領域を含む所定のエネルギー付与分布、散乱されたレーザーショットパターンによって提供される所定のエネルギー付与分布、機械的除去装置によって適用される機械的応力に基づく所定のエネルギー付与分布、機械的手段によってかけられる機械的な力に反比例して対応する領域内の異なるエネルギーのうちの少なくとも2つの領域を有している所定のエネルギー付与分布、のうちのいずれか又はこれらの組み合わせによってボーリング孔の底面を照射する。

【0182】

レーザーを使用してボーリング孔を前進させる方法も更に提供される。この方法は、高出力レーザービーム伝送手段をボーリング孔内へ前進させるステップ（前記ボーリング孔は、底面、頂部穴、少なくとも約0.3 km（1000フィート）の底面と頂部穴との間の距離を有し、前記伝送手段は、遠位端、近位端、及び遠位端と近位端との間の長さを有し、遠位端はボーリング孔内を下方へ前進させ、前記伝送手段は、高出力レーザーエネルギーを伝送する手段を備えている）と、前記伝送手段の近位端に高出力レーザービームを供給するステップと、前記レーザービームの出力のほぼ全てを伝送手段の長さに沿って下方へ伝達してビームが前記遠位端から出て行くようにするステップと、レーザービームを前記遠位端からレーザー坑底アセンブリ内の光学アセンブリへと伝送するステップであって、前記レーザー坑底アセンブリはレーザービームをボーリング孔の底面へと誘導するようにする前記伝送するステップと、所定のエネルギー付与分布をボーリング孔の底に付与してボーリング孔の長さが部分的にボーリング孔の底とレーザービームとの相互作用に基づいて増大されるようにするステップと、を含んでいる。

【0183】

更に、レーザーを使用してボーリング孔を前進させる方法が提供されている。この方法においては、レーザービームが実質的に均一なエネルギー付与分布でボーリング孔の底面へ誘導されて、ボーリング孔の長さがレーザービームとボーリング孔のとの相互作用に基づいて部分的に増大される。

【0184】

1以上の態様に従って、光学的パターンを使用した岩盤を削り取るためのレーザー掘削方法が開示されている。この方法は、1以上のレーザービームスポット、ビームスポットパターン、及びビーム形状を、重ならない距離で且つタイミングパターンで岩を照射して、粉碎し、溶融させ、又は蒸発させて岩石破片の岩破碎を生じさせる重ね合わせ熱応力岩破碎を誘発するステップを含んでいる。単一の又は多数のビームスポット並びにビームパターン及び形状が、屈折光学系及び反射光学系又は光ファイバによって形成される。光学的パターン、パターンのタイミング、及び非重畳ビームスポットとビーム形状との間の空間距離は、固有波長での岩タイプの熱吸収、光学系を位置決めする休止時間、及び岩の除去による干渉によって制御される。

【0185】

幾つかの態様においては、レーザービームスポットの出力は、岩の表面上にビームスポットを再配置される際の休止時間中に、減じられないか、適度に減じられるか、十分に減じられる。幾つかの態様においては、岩盤を削り取るために、2つのレーザービームスポットが岩の表面を走査し且つ5.08 cm（2インチ）未満の固定された位置に分離されていて重なっていない。これら2つのビームスポットの各々は、 $0.1 \text{ cm}^2 \sim 25 \text{ cm}^2$ のビームスポット面積を有している。2つのレーザービームスポットが岩盤上の次に続くレーザー切削位置へ移動される際の休止時間は、0.05ミリ秒～2秒の範囲である。これら2つのレーザービームスポットが次の位置へ移動される際に、それらの出力は、休止時間中に、減じられないか、適度に減じられるか、完全に減じられる。

【0186】

1以上の態様に従って、ビームスポットパターンは、格子パターン、矩形格子パターン、六角格子パターン、列状の直線パターン、円形パターン、三角格子パターン、十字格子

パターン、星形格子パターン、スイベル格子パターン、ビューファインダ格子パターン、又は関連する幾何学的形状のパターンの3つ以上のビームスポットからなる。幾つかの態様においては、ビームスポットパターン内の各レーザービームスポットは、 $0.1\text{ cm}^2 \sim 25\text{ cm}^2$ の範囲の面積を有している。1以上の態様においては、岩盤を切削するために、ビームスポットパターン内の各レーザービームスポットに隣接しているレーザービームスポットは全て 5.08 cm (2インチ)未満の固定された位置に分離されていて重なっていない。

【0187】

幾つかの態様に従って、1以上のビームスポットパターンが岩を切削するために使用される。1以上のビームスポットパターンが次のレーザー切削位置に位置決めされる際の休止時間は、 0.05 ミリ秒 ~ 2 秒の範囲内である。1以上のビームスポットパターンの出力は、休止時間中に、減じられるか、適度に減じられるか、又は完全に減じられる。ビーム形状は、十字形状、六角形状、らせん形状、円形状、三角形状、星型形状、線形状、矩形形状、又は関連する連続ビームスポット形状からなる幾何学的形状を形成する連続ビームスポットである。

10

【0188】

幾つかの態様によれば、岩盤を切削するために、直線または非直線のいずれかの1つのラインに対して直線または非直線のいずれかの1以上の隣接するラインを 5.08 cm (2インチ)未満の固定された間隔を開けて且つ重ならないように位置決めして使用される。岩盤を切削するために、岩の表面を2以上のビーム形状によるレーザー照射が使用されても良い。1以上のビームスポット形状を次に続くレーザー照射位置へ移動させるときの休止時間は、 0.05 ミリ秒 ~ 2 秒である。

20

【0189】

1以上の態様によれば、1以上の連続するビーム形状の出力は、休止時間中に、減じられるか、適度に減じられるか、完全に減じられる。岩表面は、1以上のビームスポット形状の1以上のレーザービームスポットパターンで照射するか又は1若しくは2のビームスポットを1以上のビームスポットパターンで照射される。幾つかの態様においては、1以上のビーム形状及びビームスポットパターンの最大直径及び外周は、岩盤を井戸仕上げするように掘削するときに切削するボーリング孔のサイズである。

30

【0190】

1以上の態様によれば、効率の良いボーリング孔の掘削のための岩石破片を削り取るのを促進するために岩の亀裂が形成される。幾つかの態様においては、多くの岩石破片が削り取られるのを可能にするための岩の亀裂を形成するために、ビームのスポット、形状、及びパターンが使用される。岩の亀裂は計画的にパターン化される。少なくとも幾つかの態様においては、岩盤の掘削は、1以上の重なっていないビームのスポット、形状、及びパターンを適用して岩の亀裂を形成することを含んでいる。1以上のビームのスポット、形状、及びパターンの選択は、一般的に、目的とする用途又は所望の作動パラメータに基づいている。平均出力、比出力、タイミングパターン、ビームスポットのサイズ、照射時間、関連する比エネルギー、及び光学的発生要素は、1以上のビームスポット、形状、又はパターンを選択する際の考慮すべき点である。岩盤の種類のような掘削されるべき物質もまた、岩盤を削り取るために選択される1以上のビームスポット、形状、又はパターンに影響を及ぼす。例えば、頁岩は、砂岩と異なる比率で光を吸収し熱に変える。

40

【0191】

1以上の態様によれば、岩は、1以上のビームスポットによってパターン化される。少なくとも一つの実施例においては、一つの位置から次に続く位置へと移動するビームスポットは、あるタイミングパターンで岩面をレーザー照射すると考えられる。ビームスポットは所望の距離だけ隔置することが出来る。幾つかの非限定的な態様においては、一つのビームスポットと隣接のビームスポットとの間の固定された位置は重ならないようにすることができる。少なくとも一つの実施例においては、隣接するビームスポット間の距離は 5.08 cm (2インチ)未満である。

50

【0192】

1以上の態様によれば、岩は、1以上のビームスポットによってパターン化される。幾つかの態様においては、ビーム形状は、1以上の幾何学的パターンを形成する連続的な光学的形状である。パターンは、線状、十字形状、ビューファインタ形状、スイベル形状、星形状、矩形形状、六角形状、円形状、楕円形状、くねった曲線形状、又はその他の所望の形状又はパターンの幾何学的形状とすることが出来る。ビーム形状の構成要素は、所望の距離で隔置することが出来る。幾つかの非限定的な態様においては、線形若しくは非線形の各ライン間及び線形若しくは非線形の互いに隣接するライン間の固定位置は、5.08cm(2")未満であり且つ重なっていない。

【0193】

1以上の態様によれば、岩は、ビームパターンによってパターン化される。ビームパターンは、線、十字、ビューファインダ、スイベル、星、矩形、六角形、円、楕円、くねった線、を含むビームスポットの格子または列からなる。一つのビームパターンのビームスポットは所定の距離で隔置されていても良い。幾つかの非限定的な態様においては、ビームスポットパターン内の各ビームスポットと隣接のビームスポットとの間の固定された位置は、5.08cm(2")未満であり且つ重なっていない。

【0194】

1以上の態様によれば、走査されるビームスポットは所望の面積を有している。例えば、幾つかの非限定的な態様においては、この面積は、約 0.1cm^2 ～約 25cm^2 の範囲内である。ビームラインは、直線であるか非直線であるかによらず、所望の特定の直径と特定の所望の出力分布とを有している。例えば、幾つかの非限定的な態様における特定の直径は約 0.05cm^2 ～約 25cm^2 の範囲内である。幾つかの非限定的な態様においては、ラインの最大長さは、直線であるか非直線であるかによらず、掘削されるボーリング孔の直径である。如何なる所望の波長を使用しても良い。幾つかの態様においては、例えば1以上のビームスポットの波長、形状、又はパターンは、 800nm ～ 2000nm の範囲である。1以上のビームスポットと形状とパターンとの組み合わせが可能であり且つ実施可能である。

【0195】

1以上の態様によれば、タイミングパターン及び岩を切削する位置は、公知の岩切削スピード及び/又は岩除去装置に基づいて変えることができる。一つの実施例においては、1以上のビームスポットのパターンを次に後続するレーザー照射位置に対して配置させる際の走査休止時間は、0.05ミリ秒～2秒の範囲内とすることが出来る。別の実施例においては、光ファイバ又はスペクトル技術を使用するカメラによって岩の高さを撮像して、削り取るべきピークの岩の領域を判定することが出来る。次いで、タイミングパターンは、岩の最も高い山部から、信号処理、ソフトウェア認識、及び光学レンズ系に対する数値制御を使用して規定された高さの上方の最も下方の山部まで削り取るように較正することが出来る。別の実施例においては、タイミングパターンは、岩除去装置によって規定することが出来る。例えば、流体を岩盤の左側から右側に向かって掃引させて光学ヘッドをきれいにし且つ掘削屑を上昇させる場合には、1以上のビームスポット、形状若しくは岩盤をレーザー照射するパターンに対する干渉を避けるために、タイミングは岩を左から右に向かつて削り取るか又はその逆とすべきである。別の例においては、岩が気体又は液体の噴射ノズルによって除去される場合には、中央部分の岩が最初に削り取られ、次いで、岩の切除方向は中央から離れる方向とすべきである。幾つかの態様においては、岩の除去速度は休止時間を規定する。

【0196】

1以上の態様によれば、岩の表面は、ヘッドをきれいにし且つ孔下方の掘削屑を上昇させるために使用される気体又は液体によって影響を受けるかもしれない。一つの実施例においては、光学要素からの熱及び孔下方の光ファイバ又はダイオードレーザーからの損失は、ボーリング孔の温度を上昇させるために使用できる。これによって粉碎を惹き起こすのに必要とされる温度が下げられて岩の粉碎がより容易になる。別の実施例においては、

10

20

30

40

50

液体は切削位置を浸し、この状態においては、液体は回転されて迅速に蒸発し且つ膨張し、この急速な膨張によって熱的衝撃が生じて岩内の亀裂の成長が促進される。別の実施例においては、有機物、揮発性成分、鉱物、又はレーザーエネルギーからの迅速で且つ選択的な加熱を受けるその他の物質が急速に膨張し、この急激な膨張によって熱的衝撃が生じた岩内の亀裂の成長が促進される。別の実施例においては、高屈折率の流体が屈折率の低い液体の2つの流れの間に挟まれる。岩を除去するために使用される流体は、光を誘導するための波長として作用することが出来る。流体又は別の気体より低い固有の屈折率を有する気体を使用される。

【0197】

例示として且つ本発明の教示を更に示すために、熱衝撃は、一つのビームスポット、形状、又はパターンと別のビームスポット、形状、又はパターンとの間でレーザー照射出力が変動し得る。幾つかの非限定的な態様においては、熱衝撃は 10 kW/cm^2 の連続レーザー照射出力密度に達する。幾つかの非限定的な態様においては、熱衝撃は例えばパルス当たり 10 ナノ秒で 10 MW/cm^2 のパルス化されたレーザー照射出力密度までに達する。幾つかの態様においては、2以上のビームスポット、形状、及びパターンは、岩に熱衝撃を与えるための異なる出力レベルを有している。このようにして、岩表面のレーザー照射同士の間温度勾配が形成される。

10

【0198】

例示として且つ本発明のこの教示を更に実証するために、光学ヘッドすなわち光学アセンブリとビームショットパターンすなわちLBHAの一部としてLBHAと一緒に使用されるか又はLBHAによって提供される照射パターンの例が示されている。図27は、レーザービーム形状、パターンを使用した岩盤切削方法を示している。碁盤縞のライン2702を形成している光ビーム2701の形状のレーザー照射パターンが岩2704の岩表面2703に照射される。ビームスポット形状間の距離は重ならない。なぜならば、応力と熱の吸収によって元々存在している岩の亀裂が重なるようにされて岩石破片の剥離を誘発するからである。これらの岩石破片2705は、岩盤から剥がれるか又は破裂する。

20

【0199】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図28は、岩盤2802の剥離の際に液体又は気体の流れ2801を掃引することによる岩石破片の除去する方法を示している。岩石破片は重なっていないビームスポット形状のライン2803, 2804, 2805のパターン2806によって削り取られる。光学ヘッド2807は光ファイバの束2810に光学的に関連付けられており、光学要素系を備えている光学ヘッド2807が岩の表面2808を照射する。気体または液体の流れ2801を左から右へ掃引することによって、表面に対する熱衝撃によって削り取られた岩石破片2809が持ち上がる。

30

【0200】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図29は、岩盤2901を削り取る際に光学ヘッドから誘導された液体又は気体の流れによって岩石破片が除去される状態を示している。岩石破片は、重なっていないビームスポット形状のライン2903, 2904, 2905のパターン2902によって削り取られる。光学要素系を備えている光学ヘッド2907が岩の表面2908を照射する。岩石破片からなるデブリス2909は、気体又は液体2911を流しているノズル2915によって岩盤の中心から外に向かって掃引される。光学ヘッド2907は、回転モーター2920に取り付けられた状態で且つ光ファイバ2924がパターン状に互に隔てられた状態で示されている。光学ヘッドはまた、集束させることが必要な場合にz軸方向の動作を可能とするためのレール2928をも備えている。光学的な屈折及び反射光学素子がビーム経路を形成している。

40

【0201】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図30は、xy平面内で岩盤を削り取るためのレーザー照射ビームスポット又は形状を走査させる光学ミラーを示している。従って、ポーリング孔内のケーシング3023に関して、第一の回転モーター3001、パターン状の複数の光ファイバ3003、ジンバル3005、第二の回転モーター30

50

07、第三の回転モーター3010、が設けられている。第二の回転モーター3007は、ステッピングモーター3011と、それに関連付けられたミラー3015とを備えている。第三の回転モーター3010は、ステッピングモーター3013と、それに関連付けられたミラー3017とを備えている。光学素子3019は、光ファイバ3003に光学的に組み合わせられており且つ光路3021に沿ってレーザービームを供給することができる。ジンバルは、Z軸を中心に回転し且つミラーをXY平面内に再配置させる。ミラーは、ステッピングモーターに取り付けられていてステッピングモーターとミラーとをXY平面内で回転させる。この実施例においては、光ファイバは、光学素子によって操作される3つのビームスポットを形成しており、これらのビームスポットは、パターン状にある距離だけ隔てられて重ならない状態で岩盤を走査して岩の剥離を生じさせる。他の光ファイバのパターン、形状、又はダイオードレーザーを使用することもできる。

10

【0202】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図31は、岩盤を削り取るために多数のビームの焦点を形成するためにビームスプリッタレンズを使用する方法を示している。パターン状のファイバ3101と、矢印3103によって示されているZ方向の動きを提供するためのレール3105と、ファイバコネクタ3107、DOE/ROE3115を含むビーム拡大器3119、正のレンズ3117、コリメータ3113、ビーム拡大器3119を備えている光学ヘッド3109と、が示されている。このアセンブリは、面3125を有している岩盤3123に光路3129に沿ってパターン状のスポット3131として1以上のレーザービームを給送することができる。光ファイバ同士は、パターン状にある距離だけ離隔されている。ビーム拡大器とコリメータとからなる光学素子系は、正のレンズに取り付けられている屈折光学素子に光を送って多数のビームスポットを多数の焦点に集束させる。ビームスポット間の距離は、重なっておらず且つ剥離を生じさせる。この図面においては、レールはZ軸上を移動して光路を集束させる。ファイバ同士はコネクタによって結合されている。同じく光学素子は、この図面に示されている光ファイバ（この図面においては1以上の光ファイバ）の各々に取り付けることができる。

20

【0203】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図32は、岩盤を削り取るためのパターンを整形するためにビームスポット整形レンズを使用する方法を示している。光ファイバの列3201と光学ヘッド3209とが設けられている。光学ヘッドは、矢印3205によって示されているようにZ方向への移動を容易にするためのレール3203と、ファイバコネクタ3207と、ファイバ3201によって伝送されるレーザービームを整形するための光学アセンブリ3211とを備えている。光学ヘッドは、レーザービームを光路3213に沿って伝送して、別個であるが交差している格子状のパターンのラインを有しているレーザービームショットパターン3215によって面3219を照射することができる。光ファイバ同士は、コネクタによってパターン状に互いにある距離だけ隔てられて相互に結合されている。光ファイバは、ビームスポットを、光ファイバに取り付けられているビームスポット整形レンズに向けて射出する。ビームスポット整形レンズは、この図では、重なっているラインを形成して岩盤上に三目並べ型のレーザーパターンを形成している。光ファイバの束からなる線は、ビームスポットを集束させるためにZ軸上を移動するレールに取り付けられている。

30

40

【0204】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図33は、剥離を生じさせるために岩盤にレーザービームのパターンを集束させるためのF-シタ対物レンズを使用する方法を示している。光学ヘッド3301と、回転を付与するための第一のミラー3303と、複数の光ファイバ3305と、ファイバを所定のパターン3309に配置するコネクタ3307とが設けられている。レーザービームは、ファイバを出て光路3311に沿って進み、F-シタ光学系3315を通して岩の表面3313をショットパターン3319状に照射する。Z方向の動きを付与するためのレール3317も更に示されている。コネクタによってパターン状に結合されている光ファイバは、光学ケーシングヘッドに取り

50

付けられているジンバルによってZ軸内で回転される。次いで、ビーム径路はF - シータ対物レンズによって岩盤に向けて再集束される。ビームスポット同士は、岩盤内に岩の剥離を誘発するためある距離だけ離隔されており重なっていない。ビームスポットサイズを集束させるために、光ファイバとZ軸内で動くF - シータ対物レンズとにレールが取り付けられている。

【0205】

これら例においては、Z方向の動きを提供するためのレールは例示的に設けられていること、及びZ方向の動きすなわちボーリング孔の底に向かう又は底から離れる動きは、例えばスプールを巻き上げたり繰り出したりするか又はLBHAをボーリング孔内へ前進させるか又はLBHAをボーリング孔から取り出すために使用される掘削ストリング（紐）を上昇させたり降下させたりするための他の手段によって得られることはわかる。

10

【0206】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図34は、岩の剥離を生じさせるためにビーム整形光学系に取り付けられている光ファイバの機械的な制御方法を示している。複数のファイバの束3401と、出力ケーブル3403に回転動作を付与するための第一のモーター3405と、光学ヘッド3404と、レール3407とが設けられている。更に、第二のモーター3409と、ファイバコネクタ3413と、ビームを整形するための各ファイバのためのレンズ3421とが設けられている。レーザービームは、ファイバを出て光路3415に沿って進み、岩の表面3419を複数の個々のライン形状のショットパターン3417で照射する。光ファイバ同士は、コネクタによってパターン状に結合されており且つZ軸を中心に回転するジンバルモーターに取り付けられている。Z軸内で移動するモーターにレールが取り付けられている。これらのレールは、光学ヘッドケーシング及び支持レールに構造的に取り付けられている。出力ケーブルはモーターに動力を付与する。この図面においては、光ファイバは、ビームスポットをビームスポット整形レンズに向けて射出し、ビームスポット整形レンズは、岩の剥離を誘発するために岩盤に対して3つの重なっていないラインを形成する。

20

【0207】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図35は、ビーム整形ラインを形成するために複数の光ファイバを使用する方法を示している。レーザーエネルギーの供給源3501を備えている光学アセンブリ3511と、出力ケーブル3503と、ジンバルとして取り付けられている第一の回転モーター3505と、第二のモーター3507と、Z方向の動きのためのレール3517とが設けられている。複数のファイバの束3521も設けられており、各束は複数の個々のファイバ3523を収容している。束3521は、コネクタ3525によって所定の位置に保持されている。各束3521は、ビーム整形光学系3509と光学的に関連付けられている。レーザービームは、ビーム整形光学系3509を出て光路3515に沿って進んで面3519を照射する。モーター3507、3505は、複数のビームスポットを複数の所定の且つ所望のパターンで面3519上を動かす機能を提供する。面3519は、底面、側面又はボーリング孔内のケーシングのようなボーリング孔の面である。複数の光ファイバが、コネクタによってパターン状に結合されており且つZ軸を中心に回転するジンバルに取り付けられている。Z軸内を動くレールがモーターに取り付けられている。これらのレールは、光学ヘッドケーシング及び支持レールに構造的に取り付けられている。出力ケーブルがモーターに動力を付与する。この図においては、複数の光ファイバが、重なっていない3つのラインを形成しているビームスポット整形レンズに向けてビームスポットを岩盤に向けて射出する。このビーム形状は岩の剥離を誘発する。

30

40

【0208】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図36は、1つの軸上で回転される多数のビームスポットを形成するために複数の光ファイバを使用する方法を示している。レーザー供給源3601と、ジンバルに取り付けられている第一のモーター3603と、第二のモーター3605と、Z方向の動きを提供する手段3607とが設けられている

50

。更に、複数のファイバの束 3 6 1 3 と、複数の束 3 6 1 3 を配置するためのコネクタ 3 6 0 9 とが設けられている。レーザービームは、ファイバを出て、表面を、発散し且つ交差するレーザーショットパターンで照射する。光ファイバは、コネクタによって互いにある角度で結合され、レール上を Z 軸内で動く第二のモーターに取り付けられているジンバルに取り付けられているモーターによって回転される。モーターは、出力ケーブルによって動力を受け取る。レールは、光学的ケーシングヘッドに取り付けられており且つレールビームを支持している。この図では、コリメータは、複数の光ファイバから射出されるビームスポットをビームスプリッタへと送る。ビームスプリッタは、正の屈折レンズに取り付けられている屈折光学素子である。ビームスプリッタは、岩盤を削り取るために、重ならない距離で岩盤への多くのビームスポットの集束を形成する。集束はレールによって Z 軸上で再配置される。

10

【 0 2 0 9 】

例示として且つ本発明の教示を更に実証するために、図 1 1 は、ビームパターンと X Y 走査装置とによって岩の表面を走査する方法を示している。レーザービームのための光路 1 1 0 1 と、スキャナー 1 1 0 3 と、回折光学系 1 1 0 5 と、コリメータ光学系 1 1 0 7 とが設けられている。光ファイバは、ビーム拡大器ユニットによって拡げられ且つコリメータによって集束されたビームスポットを屈折光学素子に向けて射出する。屈折光学素子は、X Y スキャナーユニットの前方に配置されてビームスポットのパターン又は形状を形成している。ガルバノミラー 1 1 0 9 によって制御される 2 つのミラーからなる X Y スキャナーは、岩の表面 1 1 1 3 を照射して剥離を誘発する。

20

【 0 2 1 0 】

上記の説明から、当業者は、本発明の基本的な特性を容易に確かめることができ、本発明の精神及び範囲から逸脱することなく、本発明に種々の変更及び / 又は改造を施して、それを種々の用途及び状態に適用することができる。

【 符号の説明 】

【 0 2 1 1 】

- | | | |
|----------------------------|----------------------|-----------------|
| 1 0 3 第一のポート、 | 1 0 5 第二のポート、 | 1 0 7 流路、 |
| 1 0 9 流路、 | 1 1 1 垂直経路、 | 1 1 3 水平経路、 |
| 2 0 5 レーザービーム、 | 2 0 7 光線、 | |
| 2 0 9 コリメータレンズ、 | 2 1 1 スポット形状形成レンズ、 | |
| 2 1 3 マイクロ光学アレイ、 | | |
| 1 0 0 0 レーザ掘削装置、 | 1 0 0 1 ボーリング孔、 | |
| 1 0 0 2 地中、 | 1 0 0 3 電源、 | |
| 1 0 0 4 , 1 0 0 5 ケーブル、 | 1 0 0 6 レーザー、 | |
| 1 0 0 7 冷却機、 | 1 0 0 8 レーザービーム伝送手段、 | |
| 1 0 0 9 コイル巻き管、 | 1 0 1 1 流体搬送手段、 | 1 0 1 2 コイル巻き管、 |
| 1 0 1 3 回転結合手段、 | 1 0 1 4 坑底アセンブリ、 | |
| 1 0 1 5 支持構造、 | 1 0 1 6 注入管、 | 1 0 1 7 分流機、 |
| 1 0 1 8 吹出し防止装置 (B O P)、 | 1 0 1 9 切削処理装置、 | |
| 1 0 2 0 坑口、 | 1 0 2 1 ボーリング孔の底、 | |
| 1 0 2 2 コネクタ、 | 1 0 2 3 コイル巻き管の坑底端部、 | |
| 1 0 2 4 レーザービーム、 | 1 0 3 0 地表、 | |
| 1 1 0 1 光路、 | 1 1 0 3 スキャナー、 | |
| 1 1 0 5 回折光学系、 | 1 1 0 7 コリメータ光学系、 | |
| 1 1 0 9 ガルバノミラー、 | 1 1 1 3 岩の表面 | |
| 1 2 0 3 開口部、 | 1 2 0 2 ポート、 | |
| 1 2 0 7 第一の流路、 | 1 2 0 9 第二の流路、 | |
| 1 3 0 1 エアーナイフ、 | 1 3 1 3 L B H A、 | |
| 1 4 0 0 上方部分、 | 1 4 0 1 下方部分、 | |

30

40

50

1 4 0 2	ファイバ、	1 4 0 3	ファイバ、	
1 4 0 4	密閉チャンバ、	1 4 0 5	空気増幅ノズル、	
1 4 0 6	ビーム整形光学素子、	1 4 0 7	層流出口、	
1 4 0 8	, 1 4 0 9 硬質ローラー、	1 4 1 0	モーター、	
1 4 1 1	回転軸、	1 4 1 2	ギヤ、	1 4 1 3 駆動ギヤ、
1 4 1 4	ポート、	1 4 1 7	第二の流体経路、	
1 4 1 8	ハウジング、	1 4 1 9	ハウジング、	
1 4 2 0	瞳面、	1 4 1 0 0	LBHA、	
1 5 0 0	レーザービーム、	1 5 0 1	ビーム照射領域、	
1 5 0 2	ボーリング孔の壁又は底、	1 5 0 5	第一の領域、	10
1 5 0 6	第二の領域、	1 5 0 7	第三の領域、	
1 5 0 8	第四の領域、	1 5 0 9	第五の領域、	1 5 1 0 チャート、
1 6 0 1	x 軸、	1 6 0 2	y 軸、	1 6 0 3 z 軸、
1 6 0 5	, 1 6 0 6 ボーリング孔、			
1 7 0 1	x 軸、	1 7 0 2	y 軸、	1 7 0 3 z 軸、
1 8 0 1	x 軸、	1 8 0 2	y 軸、	1 8 0 3 z 軸、
1 8 0 5	レーザービーム、	1 8 0 7	複数の光線、	
1 8 0 9	コリメータレンズ、	1 8 1 1	入射曲面、	
1 8 1 3	射出曲面、	1 8 1 5	アキシコンレンズ、	
1 8 1 7	窓、	1 8 2 0	光学アセンブリ、	20
1 8 3 0	ボーリング孔の面、	1 9 2 0	光学アセンブリ、	
1 9 0 5	レーザービーム、	1 9 0 7	光線、	
1 9 1 3	球面レンズ、	1 9 1 5	トロイダル形状レンズ、	
1 9 1 7	一对の非球面トロイダル形状レンズ、			
1 9 1 9	窓、			
2 0 0 2	光学的回転結合手段、	2 0 0 3	流体による回転結合手段、	
2 0 0 4	基底軸、	2 0 0 5	, 2 0 0 6 支持面、	
2 0 0 7	開口部、	2 0 0 8	レーザー伝送手段、	
2 0 0 9	コイル巻き管、	2 0 1 0	光カプラー、	
2 0 1 2	コイル巻き管、	2 0 1 3	回転結合手段、	30
2 0 2 5	長距離高出力レーザービーム伝送手段、			
2 1 4 0	ファイバ、	2 1 0 5	レーザービーム、	
2 1 0 9	コリメータレンズ、	2 1 1 1	回折光学素子、	
2 1 1 3	再投影レンズ、	2 1 2 0	パターン、	
2 1 2 1	パターン、	2 2 0 1	ボーリング孔の底面、	
2 2 0 2	第一の回転軸線、	2 2 0 3	, 2 2 0 5 第一の対のスポット、	
2 2 0 7	, 2 2 0 9 第二の対のスポット、			
2 2 1 2	ボーリング孔、	2 3 0 1	中心、	
2 3 0 2	長軸、	2 3 0 3	ミラー軸、	
2 4 0 1	矩形形状のスポット、	2 5 0 2	複数の独立したショット、	40
2 6 0 1	四角形のショット、	2 6 0 2	ラスタ走査方式、	
2 7 0 1	光ビーム、	2 7 0 2	碁盤縞のライン、	
2 7 0 3	岩表面、	2 7 0 4	岩、	2 7 0 5 岩石破片、
2 8 0 1	液体又は気体の流れ、	2 8 0 2	岩盤、	
2 8 0 3	, 2 8 0 4 , 2 8 0 5	ビームスポット形状のライン、		
2 8 0 7	光学ヘッド、	2 8 0 8	岩の表面、	
2 8 0 9	岩石破片、			
2 9 0 1	岩盤、	2 9 0 2	パターン、	
2 9 0 3	, 2 9 0 4 , 2 9 0 5	ビームスポット形状のライン、		
2 9 0 7	光学ヘッド、	2 9 0 8	岩の表面、	50

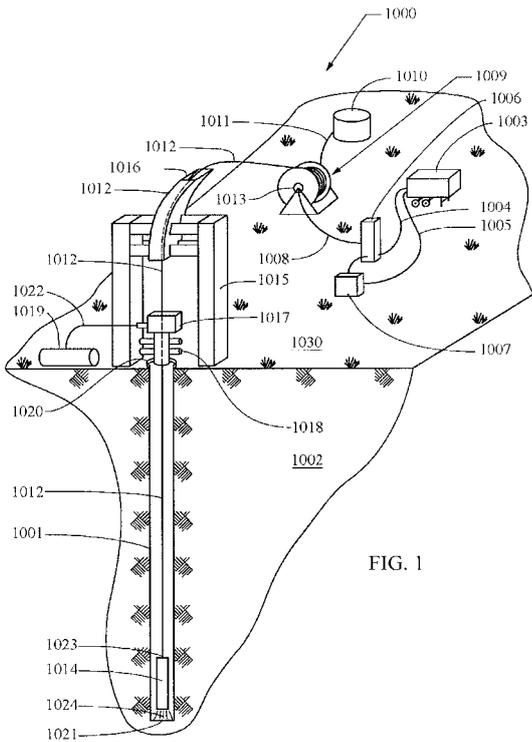
2 9 0 9	デブリス、	2 9 1 1	気体又は液体、	
2 9 1 5	ノズル、	2 9 2 0	回転モーター、	
2 9 2 4	光ファイバ、	2 9 2 8	レール、	
3 0 0 1	第一の回転モーター、	3 0 0 3	パターン状の複数の光ファイバ、	
3 0 0 5	ジンバル、	3 0 0 7	第二の回転モーター、	
3 0 0 8	レーザービーム伝送手段、			
3 0 0 9	固定のクリール、	3 0 1 0	第三の回転モーター、	
3 0 1 1	ステッピングモーター、			
3 0 1 3	ステッピングモーター、			
3 0 1 5	ミラー、	3 0 1 7	ミラー、	3 0 1 9
3 0 2 1	光路、	3 0 2 3	ボーリング孔内のケーシング、	光学素子、
3 0 2 5	長距離高出力レーザービーム伝送手段、			
3 1 0 1	パターン状のファイバ、	3 1 0 5	レール、	
3 1 0 7	ファイバコネクタ、	3 1 0 9	光学ヘッド、	
3 1 1 3	コリメータ、	3 1 1 4	ビーム拡大器、	
3 1 1 5	DOE / ROE、	3 1 1 7	正のレンズ、	
3 1 1 9	ビーム拡大器、	3 1 2 3	岩盤、	
3 1 2 5	面、	3 1 2 9	光路、	
3 1 3 1	パターン状のスポット、	3 2 0 1	光ファイバの列、	
3 2 0 3	レール、	3 2 0 7	ファイバコネクタ、	20
3 2 0 9	光学ヘッド、	3 2 1 1	光学アセンブリ、	
3 2 1 3	光路、	3 2 1 5	レーザービームショットパターン、	
3 2 1 9	面、	3 3 0 1	光学ヘッド、	
3 3 0 3	第一のミラー、	3 3 0 5	複数の光ファイバ、	
3 3 0 7	コネクタ、	3 3 0 9	パターン、	
3 3 1 1	光路、	3 3 1 3	岩の表面、	
3 3 1 5	F - シータ光学系、	3 3 1 9	ショットパターン、	
3 3 1 7	レール、	3 4 0 1	複数のファイバの束、	
3 4 0 3	出力ケーブル、	3 4 0 4	光学ヘッド、	
3 4 0 5	第一のモーター、	3 4 0 7	レール、	30
3 4 0 9	第二のモーター、	3 4 1 3	ファイバコネクタ、	
3 4 1 5	光路、	3 4 1 7	ライン形状のショットパターン、	
3 4 1 9	岩の表面、	3 4 2 1	レンズ、	
3 5 0 1	レーザーエネルギーの供給源、			
3 5 0 3	出力ケーブル、	3 5 0 5	第一の回転モーター、	
3 5 0 7	第二のモーター、	3 5 0 9	ビーム整形光学系、	
3 5 1 1	光学アセンブリ、	3 5 1 5	光路、	
3 5 1 7	レール、	3 5 1 9	面、	
3 5 2 1	複数のファイバの束、	3 5 2 3	ファイバ、	
3 5 2 5	コネクタ、	3 6 0 1	レーザー供給源、	40
3 6 0 3	第一のモーター、	3 6 0 5	第二のモーター、	
3 6 0 7	Z方向の動きを提供する手段、			
3 6 0 9	コネクタ、	3 6 1 3	複数のファイバの束、	
4 0 0 1	第一のレーザー、	4 0 0 2	第二のレーザー、	
4 0 0 3	第三のレーザー、	4 0 0 4	第四のレーザー、	
4 0 0 5	ビーム結合器、	4 0 0 6	光ファイバ、	
4 0 0 7	ビーム、			
5 0 0 1 , 5 0 0 2 , 5 0 0 3 , 5 0 0 4	レーザー、			
5 0 0 5	ビーム結合器、	5 0 0 6	光ファイバ、	
5 0 0 7	ビーム、	5 0 0 8	主発振器、	50

- | | | | |
|------------|----------------|------------|------------|
| 6000 | スプール、 | 6001 | 支持部材、 |
| 6002 | 荷重支持軸受け、 | 6003 | 入力ケーブル、 |
| 6004 | 出力ケーブル、 | 6005 | 光カプラー、 |
| 6006 | 光カプラー、 | 6007 | 部材、 |
| 6008 | 無負荷支持軸受け、 | 6009, 6010 | 光学素子、 |
| 8000 | 第一の受動的なファイバ部分、 | 8003 | カプラー、 |
| 8002 | ファイバ増幅器、 | | |
| 8004 | 受動的なファイバ部分、 | | |
| 9000 | 上方部分、 | 9001 | 下方部分、 |
| 9002 | 伝送するための手段、 | 9003 | 下方端部、 |
| 9004 | 瞳面、 | 9005 | 空気増幅ノズル、 |
| 9006 | ビーム整形光学素子、 | 9007 | 層流出口、 |
| 9008, 9009 | 硬質ローラー、 | | |
| 9101 | LBHA、 | 9103 | 第一の出口ポート、 |
| 9105 | 第二の出口ポート、 | 9107 | 第一の流体流路、 |
| 9109 | 第二の流体経路、 | 9111 | 境界層、 |
| 9112 | ボーリング孔の底、 | 9114 | ボーリング孔の側壁、 |
| 9115 | 上面、 | 9116 | 角度、 |
| 9117 | 角度が付けられている面、 | 9119 | 下面 |

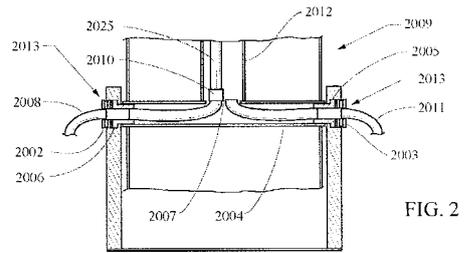
10

20

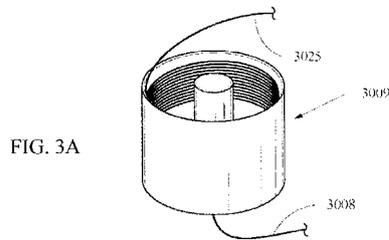
【図1】



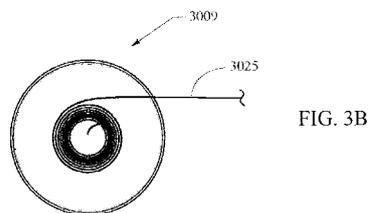
【図2】



【図3A】



【図3B】



【 図 4 】

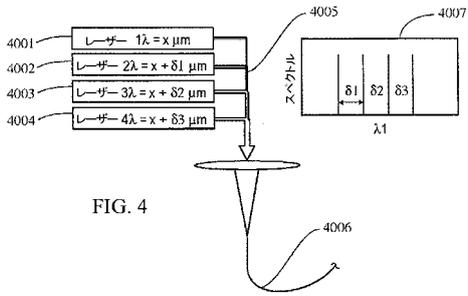


FIG. 4

【 図 5 】

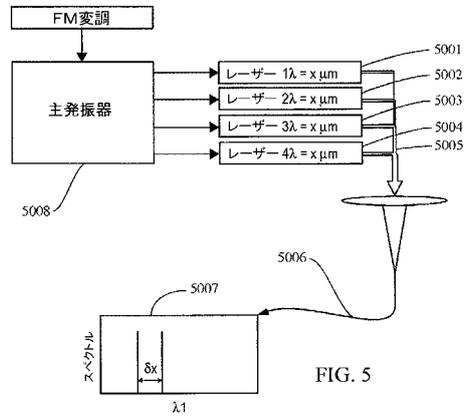


FIG. 5

【 図 6 】

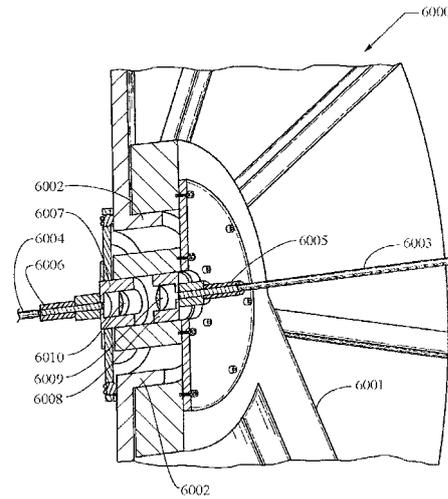


FIG. 6

【 図 7 】

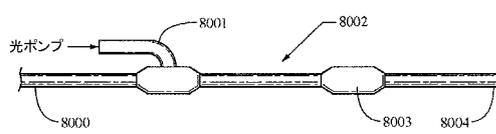


FIG. 7

【 図 8 】

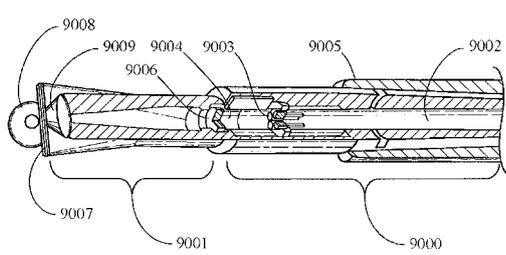


FIG. 8

【 図 9 】

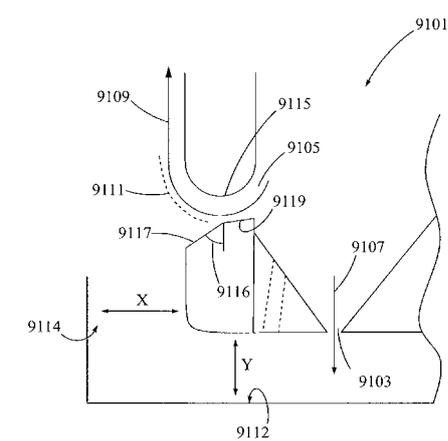


FIG. 9

【 図 10 】

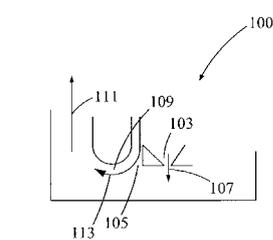


FIG. 10

【 図 1 1 】

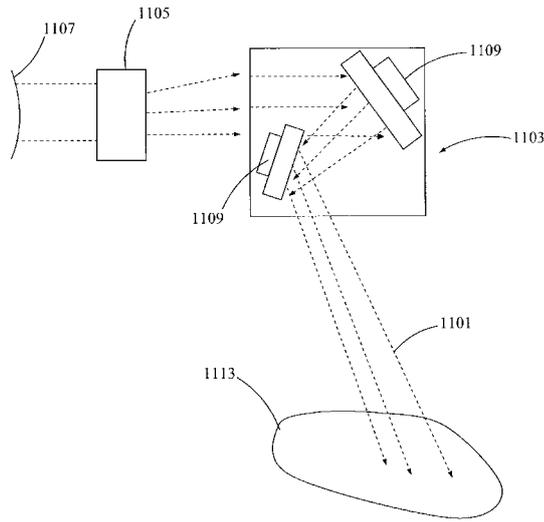


FIG. 11

【 図 1 2 】

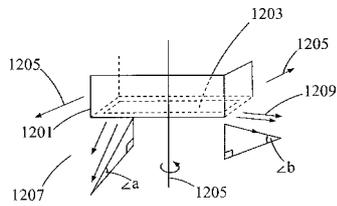


FIG. 12

【 図 1 4 B 】

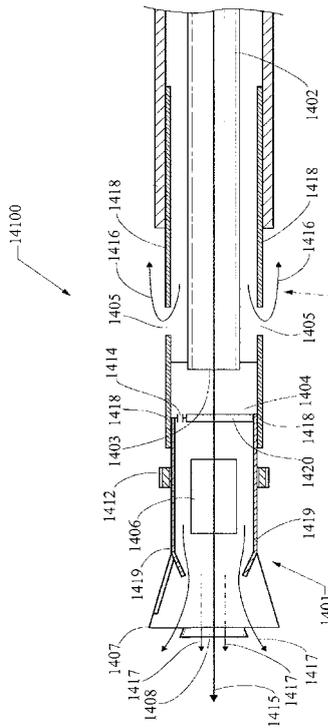


FIG. 14B

【 図 1 3 】

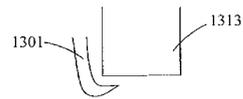


FIG. 13

【 図 1 4 A 】

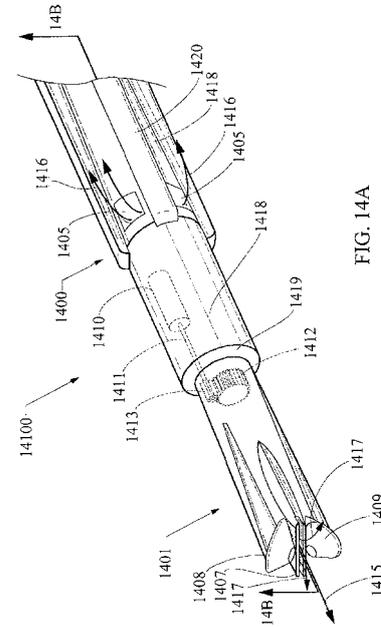


FIG. 14A

【 図 1 5 A 】

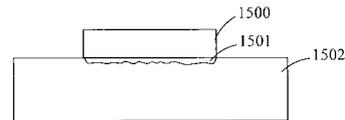


FIG. 15A

【 図 1 5 B 】

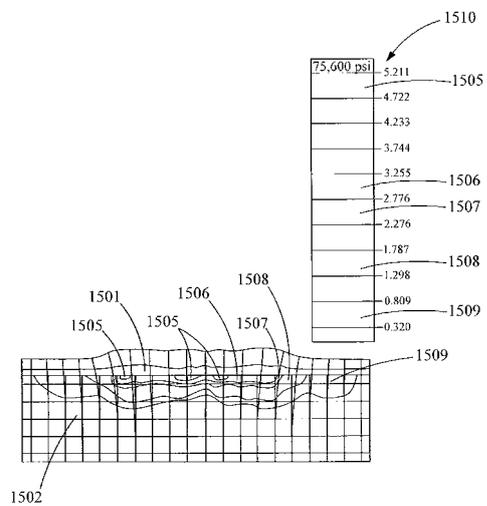


FIG. 15B

【図16A】

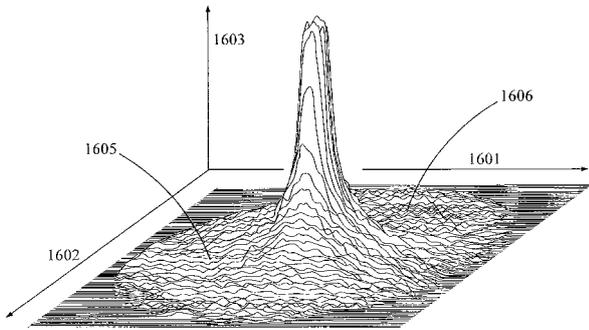


FIG. 16A

【図16B】

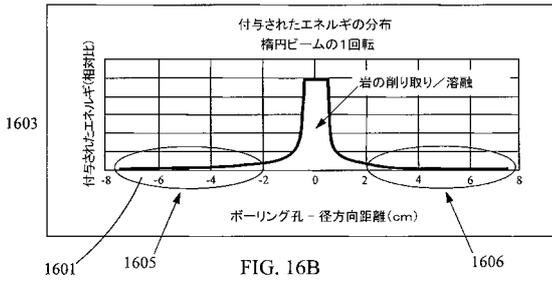


FIG. 16B

【図17A】

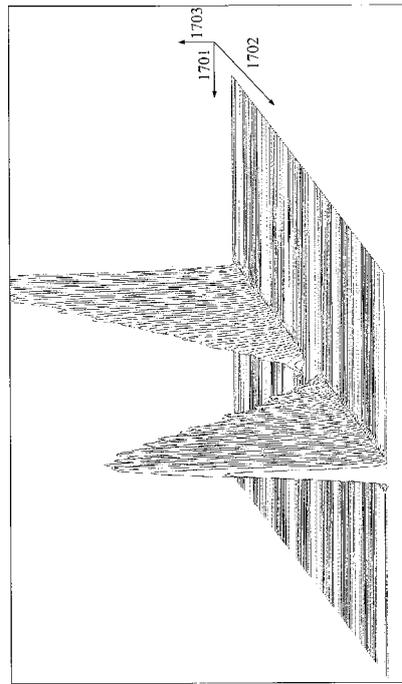


FIG. 17A

【図17B】

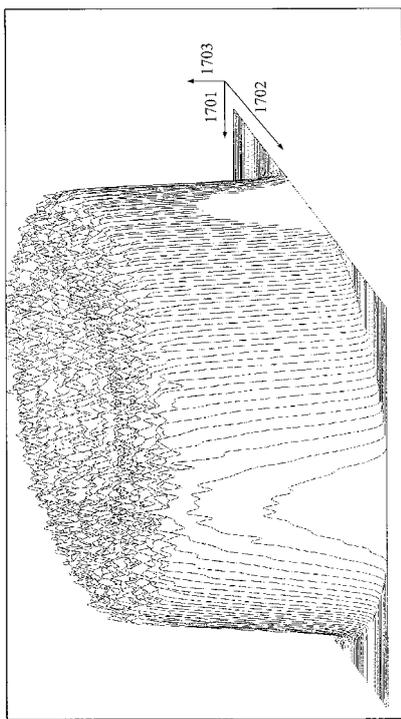


FIG. 17B

【図18A】

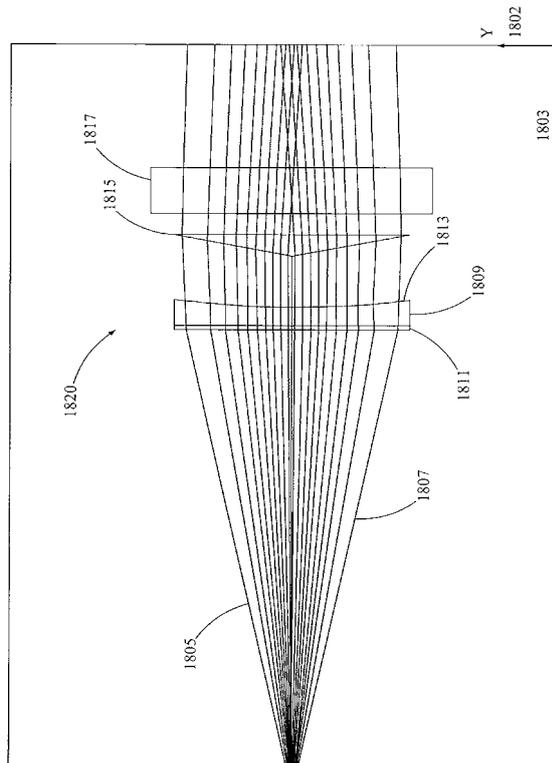
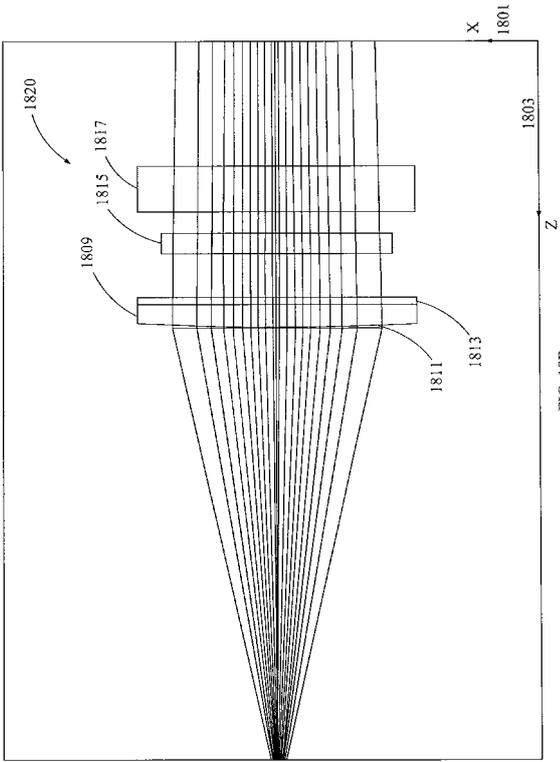
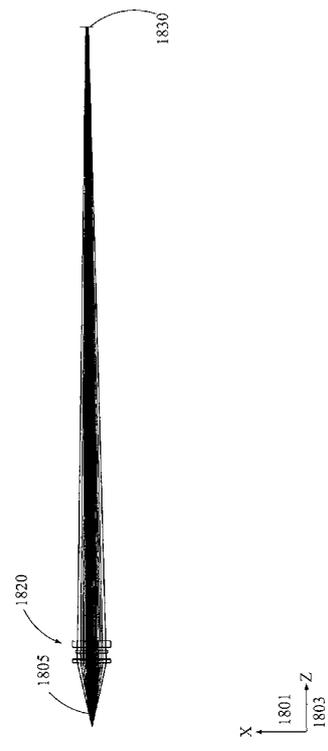


FIG. 18A

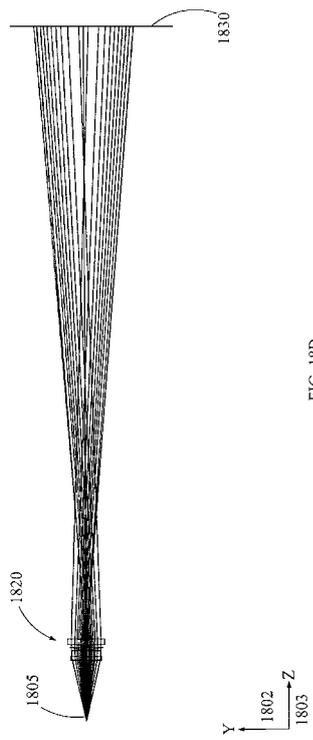
【 18 B 】



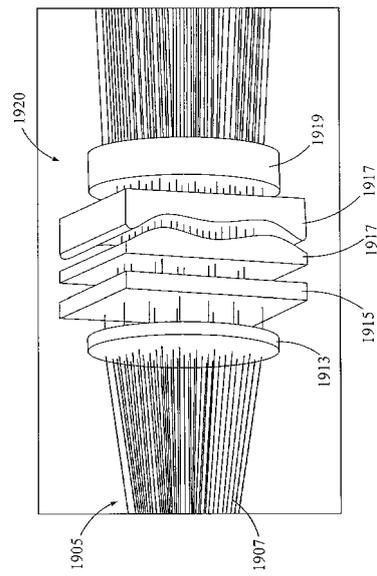
【 18 C 】



【 18 D 】



【 19 】



【 図 2 0 】

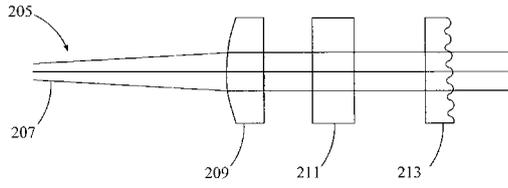


FIG. 20

【 図 2 1 B 】

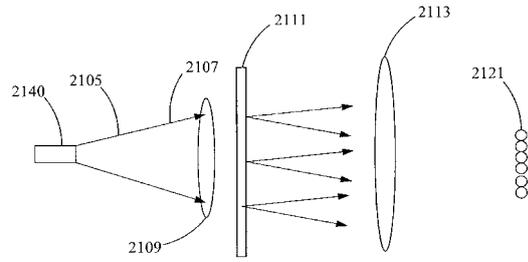


FIG. 21B

【 図 2 1 A 】

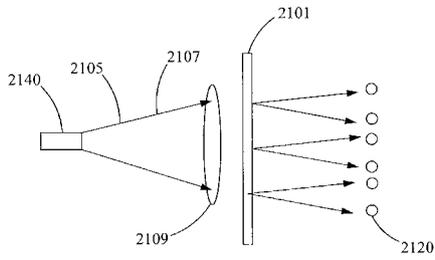


FIG. 21A

【 図 2 2 】

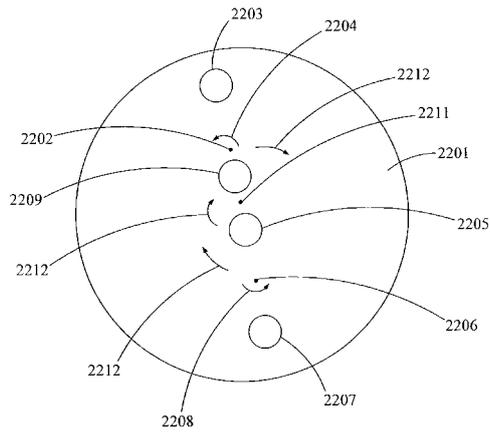


FIG. 22

【 図 2 4 】

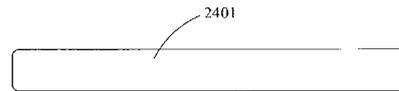


FIG. 24

【 図 2 3 】

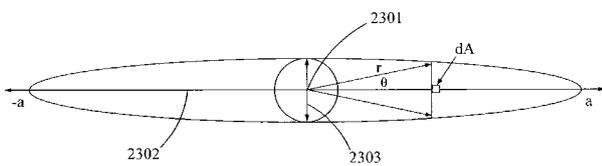


FIG. 23

【 図 2 5 】

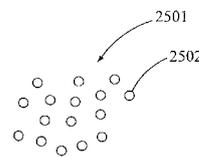


FIG. 25

【 図 2 6 】

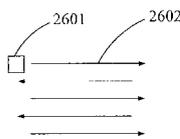


FIG. 26

【 図 2 7 】

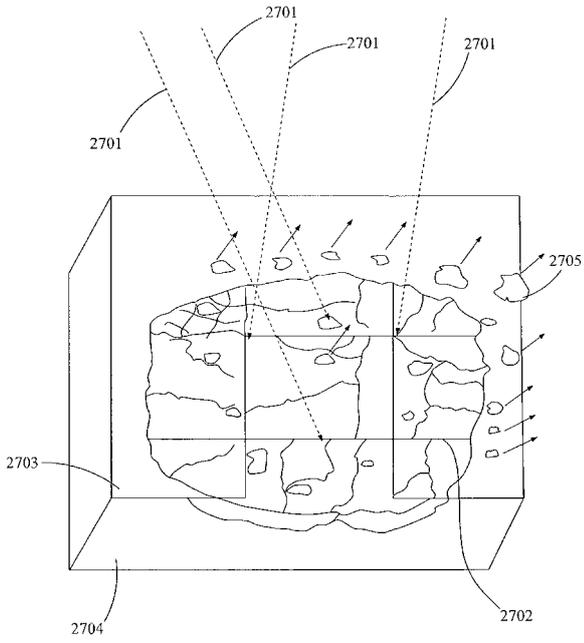


FIG. 27

【 図 2 8 】

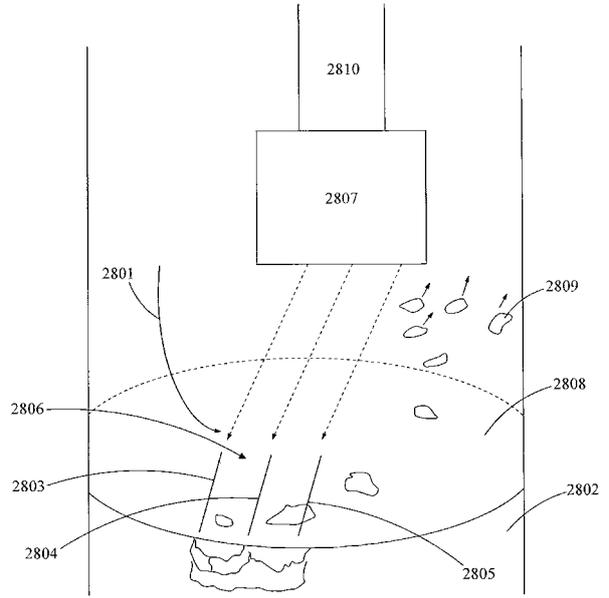


FIG. 28

【 図 2 9 】

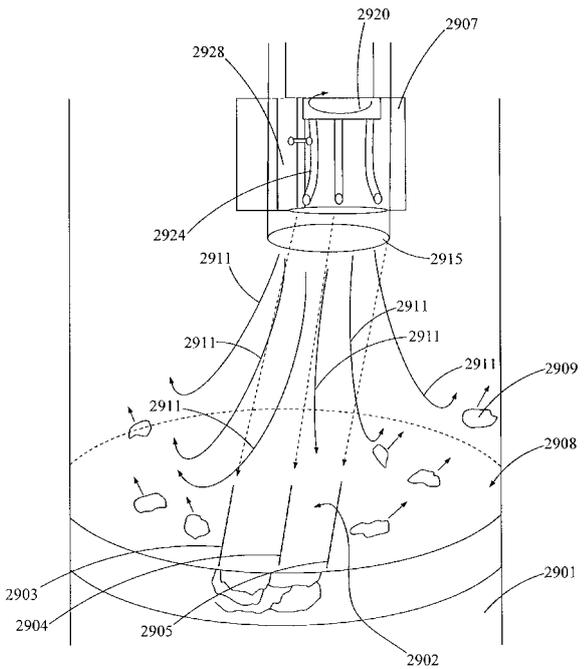


FIG. 29

【 図 3 0 】

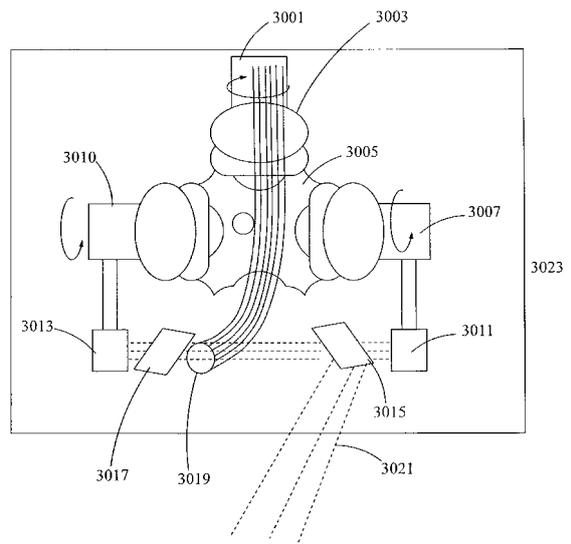


FIG. 30

【 図 3 1 】

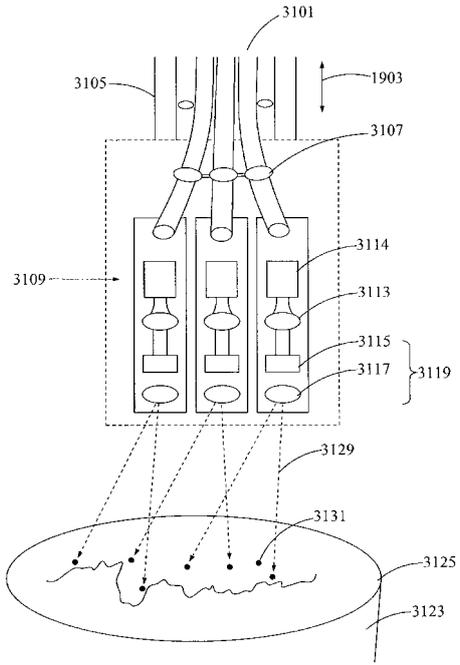


FIG. 31

【 図 3 2 】

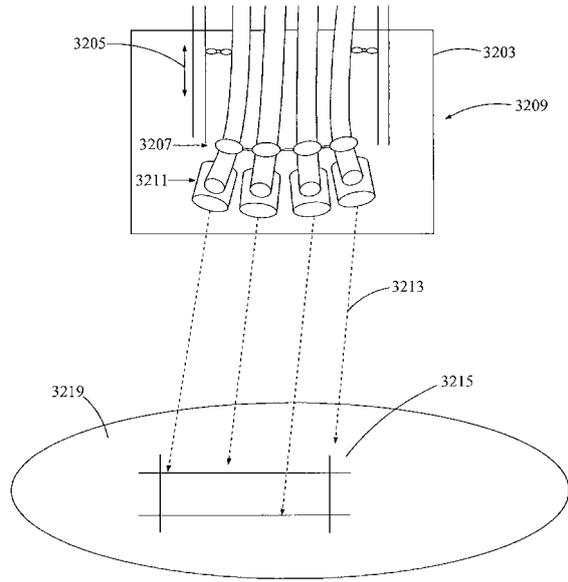


FIG. 32

【 図 3 3 】

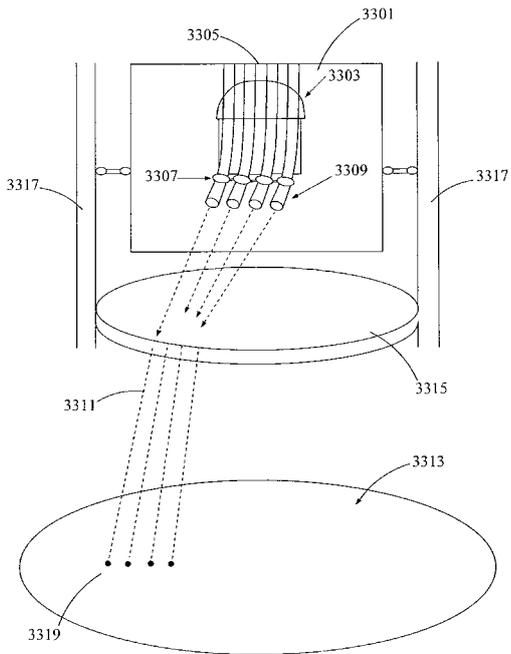


FIG. 33

【 図 3 4 】

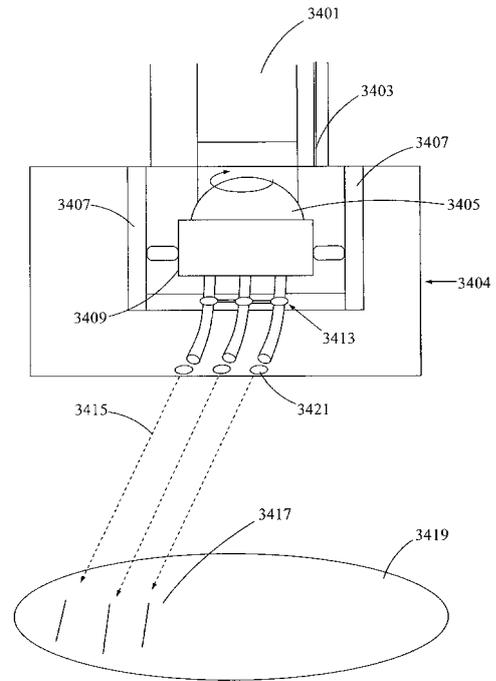
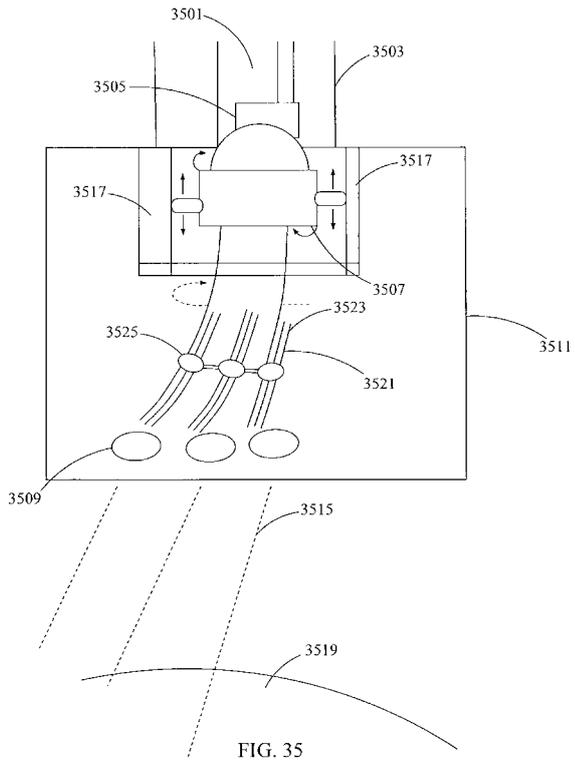
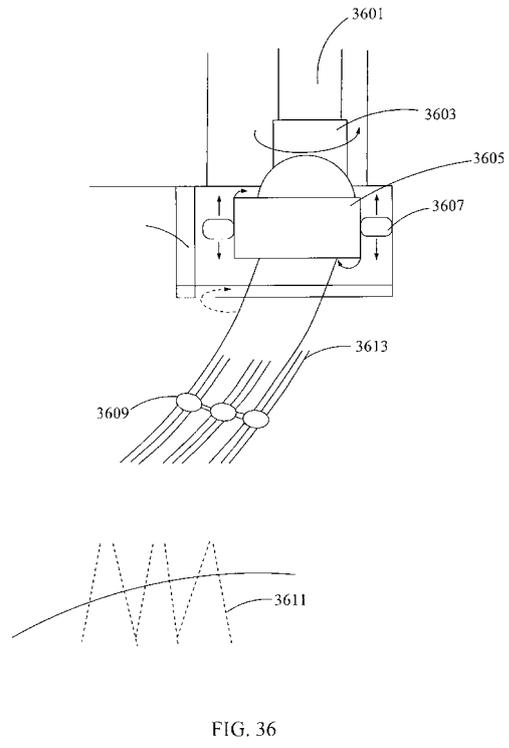


FIG. 34

【 図 3 5 】



【 図 3 6 】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 61/102,730

(32)優先日 平成20年10月3日(2008.10.3)

(33)優先権主張国 米国(US)

(72)発明者 ランド, マーク, エス.

アメリカ合衆国 80202 コロラド州, デンバー, #301 ウィワッタ ストリート
1401

(72)発明者 リンズラー, チャールズ, シー.

アメリカ合衆国 80205 コロラド州, デンバー, #105 21 ストリート 101
5

(72)発明者 フェアクロス, ブライアン, オー.

アメリカ合衆国 80439 コロラド州, エバーグリーン, ブルック フォレスト レーン
7664

(72)発明者 コブリック, エシャヤ

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州, シャロン, ガーデン ストリート 11

(72)発明者 ゼディカー, マーク, エス.

アメリカ合衆国 63304 ミズーリ州, ウェルドン スプリング, メルリン ドライブ
315

Fターム(参考) 2D129 AA00 AB26 BA28 CB18 DC23 EB04 FA01 HB02 HB05