

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4806398号
(P4806398)

(45) 発行日 平成23年11月2日(2011.11.2)

(24) 登録日 平成23年8月19日(2011.8.19)

(51) Int.Cl.		F I			
H05B	3/00	(2006.01)	H05B	3/00	330Z
E21B	43/24	(2006.01)	E21B	43/24	
H05B	3/40	(2006.01)	H05B	3/40	B
			H05B	3/00	310D

請求項の数 14 (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2007-509692 (P2007-509692)	(73) 特許権者	590002105
(86) (22) 出願日	平成17年4月22日 (2005.4.22)		シエル・インターナショナル・リサーチ・
(65) 公表番号	特表2007-535100 (P2007-535100A)		マートスハツペイ・ペー・ヴェー
(43) 公表日	平成19年11月29日 (2007.11.29)		オランダ国、ザ・ハーグ・2596・ハー
(86) 国際出願番号	PCT/US2005/013923		・エル、カレル・ファン・ビュランドトラ
(87) 国際公開番号	W02005/106196		ーン・30
(87) 国際公開日	平成17年11月10日 (2005.11.10)	(74) 代理人	100062007
審査請求日	平成20年4月1日 (2008.4.1)		弁理士 川口 義雄
(31) 優先権主張番号	60/565,077	(74) 代理人	100114188
(32) 優先日	平成16年4月23日 (2004.4.23)		弁理士 小野 誠
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100140523
			弁理士 渡邊 千尋
		(74) 代理人	100119253
			弁理士 金山 賢教

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地下累層を加熱するために使用される温度制限加熱器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

強磁性部材(140)と、

前記強磁性部材(140)に電気結合された電気導体(144)とを備え、開口または近ドリルホール領域で熱を発生させる加熱器であり、

前記加熱器がほぼ前記強磁性部材(140)のキュリー温度およびそれ以上で減少した熱量を自動的に提供し、

a) 加熱器を使用している間、加熱器の力率が0.85超を維持するように前記強磁性部材(140)と前記電気導体(144)が電気結合され

b) 加熱器が少なくとも1.1のターンダウン比率を有し、

c) 前記強磁性部材(140)のキュリー温度未満の温度で電気導体(144)に流れる電流の大半が前記強磁性部材(140)によって生産される磁界によって制限されるように、前記強磁性部材(140)が前記電気導体(144)に電気結合され、

d) 電気導体(144)が、前記強磁性部材(140)のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度で、加熱器の熱出力の大半を提供し、

e) 強磁性部材(140)が、25で加熱器の電流の大部分を導通するように構成される

加熱器。

【請求項2】

加熱器が、前記強磁性部材(140)に電気結合された第2の電気導体(148)をさ

らに備えた、請求項 1 に記載の加熱器。

【請求項 3】

前記第 2 の電気導体 (1 4 8) が、導電率が強磁性部材 (1 4 0) および電気導体 (1 4 4) より大きい電気導体を備え、および / または前記第 2 の電気導体 (1 4 8) が、前記強磁性部材 (1 4 0) のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度の前記強磁性部材 (1 4 0) を支持するための機械強度を提供する、請求項 2 に記載の加熱器。

【請求項 4】

電気導体 (1 4 4) および強磁性部材 (1 4 0) が同心である、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 5】

電気導体 (1 4 4) が強磁性部材 (1 4 0) の少なくとも一部を取り囲んでいる、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 6】

加熱器が、交流 (A C) または変調直流 (D C) 電源に接続される、請求項 1 から 5 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 7】

加熱器が、前記加熱器に電流が印加されると、(a) 前記加熱器の温度が 1 0 0 を超え、また、選択された温度より低い場合、第 1 の熱出力を、(b) 前記加熱器の温度が前記強磁性部材 (1 4 0) のキュリー温度に到達し、また、キュリー温度を超えると、前記第 1 の熱出力より小さい第 2 の熱出力を、提供する、請求項 1 から 6 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 8】

電気導体 (1 4 4) が、強磁性部材 (1 4 0) のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度の前記強磁性部材 (1 4 0) を支持するための機械強度を提供する、請求項 1 から 7 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 9】

電気導体 (1 4 4) が耐食性物質である、請求項 1 から 8 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 1 0】

加熱器に最も近い熱負荷が 1 メートル当たり 1 ワット減少すると、前記加熱器が、動作温度を最大 1 . 5 高くまたは選択された動作温度に近い温度にする、請求項 1 から 9 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 1 1】

選択された温度を超えるか、または選択された温度に近くにおいて、加熱器が提供する熱の量が、前記選択された温度より 5 0 低い温度における熱出力の最大 1 0 % 以下の熱の量に減少する、請求項 1 から 1 0 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 1 2】

加熱器の長さが少なくとも 1 0 0 m である、請求項 1 から 1 1 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 1 3】

加熱器が、地下累層 (1 8 2) に熱を提供するように構成されたシステムに使用される、請求項 1 から 1 2 のいずれかに記載の加熱器。

【請求項 1 4】

炭化水素を含有する地下累層 (1 8 2) を加熱する方法であって、熱出力を提供するために請求項 1 から 1 3 のいずれか 1 項に記載の加熱器に電流を印加するステップ、

前記加熱器から前記地下累層 (1 8 2) の一部へ熱を伝達させ、炭化水素を熱分解生産物に変換するステップ、及び

熱分解生産物を生産するステップを含む方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に地下累層を加熱するための方法およびシステムに関する。特定の実施形態は、力率の大きい、炭化水素含有累層などの地下累層を加熱するための温度制限加熱器を使用するための方法およびシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

地下累層から得られる炭化水素は、エネルギー資源、供給材料および消費材としてしばしば使用されている。利用可能な炭化水素資源をより有効に回収し、処理し、および/または使用するためのプロセスの開発は、利用可能な炭化水素資源の枯渇に対する懸念および炭化水素の品質低下に対する懸念が引き金になっている。インサイチュプロセスを使用して地下累層から炭化水素物質を移送させることができる。地下累層から炭化水素物質をより容易に移送させるためには、地下累層中の炭化水素物質の化学的特性および/または物理的特性を変化させる必要がある。化学的变化および物理的变化には、累層中の炭化水素物質の、移送可能な流体を生産するインサイチュ反応、組成変化、溶解度変化、密度変化、相変化および/または粘度変化が含まれている。流体は、それらに限定されないが、液体流と類似した流動特性を有する気体、液体、乳濁液、泥状物および/または固体粒子の流れである。

10

【0003】

加熱器は、インサイチュプロセスの間、累層を加熱するためにドリルホールの中に配置することができる。Ljungstromに対する米国特許第2,634,961号、Ljungstromに対する米国特許第2,732,195号、Ljungstromに対する米国特許第2,780,450号、Ljungstromに対する米国特許第2,789,805号、Ljungstromに対する米国特許第2,923,535号、およびVan Meurs等に対する米国特許第4,886,118号に、ダウンホール加熱器を利用したインサイチュプロセスの実施例が示されている。

20

【0004】

熱源を使用して地下累層を加熱することができる。電気加熱器を使用して、放射および/または伝導によって地下累層を加熱することができる。電気加熱器は、素材を抵抗加熱することができる。Germainに対する米国特許第2,548,360号に、ドリルホール中の粘性油の中に配置された電気加熱素子が記述されている。この加熱器素子は、粘性油を加熱し、さらさらにすることによってドリルホールからのポンプによる汲み出しを可能にしている。Eastlund等に対する米国特許第4,716,960号に、固体の形成を防止するために、比較的電圧が小さい電流を配管を通して流すことによって石油井戸の配管を電氣的に加熱する方法が記述されている。Van Egmondに対する米国特許第5,065,818号に、加熱素子を覆うケーシングを使用することなく井戸のドリルホールにセメントで固められる電気加熱素子が記述されている。

30

【0005】

Van Meurs等に対する米国特許第4,570,715号に電気加熱素子が記述されている。この加熱素子は、導電性コア、絶縁体の周囲層および周囲金属シースを有している。導電コアは、高温で比較的小さい抵抗を有することができる。絶縁体は、電気抵抗、圧縮強さおよび高温で比較的大きい熱伝導特性を有することができる。絶縁層は、コアから金属シースへのアークの発生を抑制することができる。金属シースは、引張り強さおよび高温で比較的大きい耐クリープ性特性を有することができる。

40

【0006】

Van Egmondに対する米国特許第5,060,287号に、銅-ニッケル合金コアを有する電気加熱素子が記述されている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

50

いくつかの加熱器は、累層中のホットスポットによって破壊または故障することがある。累層中のホットスポットまたはホットスポットの近傍における加熱器の故障および/または累層の過熱を回避するためには、加熱器のあらゆるポイントに沿った温度が加熱器の最大動作温度を超えるか、または最大動作温度を超えそうになると、加熱器全体に供給される電力を小さくしなければならない。いくつかの加熱器は、加熱器が特定の温度限界に到達するまで加熱器の長さに沿った一様な熱を提供することができない。いくつかの加熱器は、地下累層を有効に加熱することができない。したがって、加熱器の長さに沿って一様な熱を提供し、地下累層を有効に加熱し、加熱器の一部が選択された温度に近づくと自動温度調整を提供し、および/または磁気特性が実質的に線形であり、また、選択された温度未満における力率が大きい加熱器を有することが有利である。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明により、強磁性部材と、強磁性部材に電気結合された電気導体とを備えた加熱器が提供される。電気導体は、強磁性部材のキュリー温度未満の間、熱出力を提供するように構成されており、また、25で加熱器の大半の電流が流れるように構成されている。加熱器が提供する熱の量は、ほぼ強磁性部材のキュリー温度に到達し、また、キュリー温度を超えると自動的に減少する。

【0009】

また、本発明によれば、上記発明と組み合わせて、(a)加熱器を使用している間、加熱器が0.85を超える力率、0.9を超える力率、または0.95を超える力率を維持するように強磁性部材と電気導体が電気結合され、(b)加熱器が少なくとも1.1、少なくとも2、少なくとも3または少なくとも4のターンダウン比率を有し、(c)電気導体への電流の流れの大半が強磁性部材によって生産される磁界によって強磁性部材のキュリー温度未満の温度に制限されるように強磁性部材が電気導体に電気結合され、(d)強磁性部材のキュリー温度またはキュリー温度に近くなるまでの間、電気導体によって加熱器の熱出力の大半が提供される。

20

【0010】

また、本発明によれば、上記発明の1つ以上と組み合わせて、(a)加熱器が、さらに、強磁性部材に電気結合された第2の電気導体を備え、(b)第2の電気導体が、導電率が強磁性部材および電気導体より大きい電気導体を備え、および/または第2の電気導体によって強磁性部材のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度の強磁性部材を支持するための機械強度が提供される。

30

【0011】

また、本発明によれば、上記発明の1つ以上と組み合わせて、(a)電気導体と強磁性部材が同心であり、(b)電気導体によって強磁性部材の少なくとも一部が取り囲まれる。

【0012】

また、本発明によれば、上記発明の1つ以上と組み合わせて、(a)電気導体によって強磁性部材のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度の強磁性部材を支持するための機械強度が提供され、(b)電気導体は耐食性材料である。

40

【0013】

また、本発明によれば、上記発明の1つ以上と組み合わせて、(a)加熱器に最も近い熱負荷が1メートル当たり1ワット減少すると、加熱器は、動作温度を最大1.5高くまたは選択された動作温度に近い温度にする、(b)ほぼ強磁性部材のキュリー温度に到達し、また、キュリー温度を超えると、加熱器が提供する熱の量がキュリー温度より50低い温度における熱出力の最大10%の熱の量に減少する。

【0014】

また、本発明によれば、上記発明の1つ以上と組み合わせて、加熱器セクションに電流が印加されると、加熱器セクションによって、(a)加熱器セクションの温度が100を超え、200を超え、400を超え、または500を超え、あるいは600を

50

超え、また、選択された温度より低い場合、第1の熱出力が提供され、(b)加熱器セクションの温度が選択された温度に到達し、また、選択された温度を超えると、第1の熱出力より小さい第2の熱出力が提供される。

【0015】

また、本発明によれば、上記発明の1つ以上と組み合わせ、(a)地下累層に熱を提供するように構成されたシステムに加熱器が使用され、(b)地下累層を加熱するための方法に加熱器が使用され、地下累層を加熱するための方法には、(1)熱出力を提供するために加熱器に電流を印加するステップと、(2)加熱器から地下累層の一部へ熱を伝達させるステップが含まれている。

【0016】

当業者には、以下の詳細な説明および添付の図面を参照することによって本発明の利点が明らかになる。

【0017】

本発明は、様々な改変および代替形態が可能であるが、添付の図面は、本発明の特定の実施形態を一例として示したもので、本明細書においてはそれらについて詳細に説明する。図面はスケール通りには描かれていない。しかしながら、図面および図面に対する詳細な説明は、開示されている特定の形態に本発明を制限することを意図したものではなく、それとは逆に、あらゆる改変、等価物および代替は、特許請求の範囲に定義されている本発明の精神および範囲の範疇に包含されることが意図されていることを理解されたい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

上記の問題は、本明細書において説明するシステム、方法および加熱器を使用して対処することができる。たとえば、加熱器は、強磁性部材および強磁性部材に電気結合された電気導体を備えている。電気導体は、強磁性部材のキュリー温度未満の間、熱出力を提供するように構成されている。また、電気導体は、25 で加熱器の大半の電流が流れるように構成されている。この加熱器が提供する熱の量は、ほぼ強磁性部材のキュリー温度に到達し、また、キュリー温度を超えると自動的に減少する。

【0019】

本明細書においてより詳細に説明する本発明の特定の実施形態は、累層中の炭化水素を処理するためのシステムおよび方法に関する。このような累層を処理することによって炭化水素生産物、水素および他の生産物が産出される。本明細書において使用されている用語は、次のように定義されている。

【0020】

「炭化水素」は、一般に、主として炭素原子および水素原子によって形成された分子として定義されている。また、炭化水素は、それらに限定されないが、ハロゲン、金属元素、窒素、酸素および/または硫黄などの他の元素を含有することができる。炭化水素は、それらに限定されないが、油母、ピチューメン、パイライト瀝青、油、天然鉱物およびアスファルトである。炭化水素は、地中の鉱物基質中または鉱物基質に隣接する位置に存在している場合もある。基質は、それらに限定されないが、堆積岩、砂、シリサイト、炭酸塩、ケイ藻岩および他の多孔質媒質を含有することができる。「炭化水素流体」は、炭化水素を含有した流体である。炭化水素流体は、同伴物を含有することができ、あるいは非炭化水素流体中に同伴させることができる(たとえば水素、窒素、一酸化炭素、二酸化炭素、硫化水素、水およびアンモニア)。

【0021】

「累層」には、1つ以上の炭化水素含有層、1つ以上の非炭化水素層、オーババーデンおよび/またはアンダバーデンが含まれている。オーババーデンおよび/またはアンダバーデンは、岩石、ケツ岩、泥岩または湿潤/緊密炭酸塩を含有することができる。インサイチュ変換プロセスのいくつかの実施形態においては、オーババーデンおよび/またはアンダバーデンは、炭化水素含有層または比較的浸透性で、インサイチュ変換処理の間、オーババーデンおよび/またはアンダバーデンの炭化水素含有層に重大な特性変化をもた

10

20

30

40

50

らす温度にさらされない炭化水素含有層を含有することができる。たとえば、アンダバーデンは、ケツ岩または泥岩を含有することができるが、アンダバーデンには、インサイチュ変換プロセスの間、熱分解温度までの加熱は許容されない。場合によってはオーババーデンおよび/またはアンダバーデンは、若干の浸透性があってもよい。

【0022】

「累層流体」および「生産流体」は、累層から移送された流体を意味しており、熱分解流体、合成ガス、軟化炭化水素および水（蒸気）を含有することができる。累層流体には、炭化水素流体ならびに非炭化水素流体が含まれている。

【0023】

「熱伝導流体」には、熱伝導率が、圧力が101kPaで温度が加熱器内の温度である空気の熱伝導率より大きい流体が含まれている。

10

【0024】

「加熱器」は、井戸または近ドリルホール領域に熱を生産するための任意のシステムである。加熱器は、それらに限定されないが、電気加熱器、循環熱伝達流体または蒸気、バーナ、累層中の物質または累層から生産される物質と反応する燃焼器および/またはそれらの組合せであってもよい。

【0025】

「温度制限加熱器」は、一般に、規定温度を超えると、温度コントローラ、電力調整器、整流器または他のデバイスなどの外部制御を使用することなく熱出力を調整する（たとえば熱出力を小さくする）加熱器を意味している。温度制限加熱器は、AC（交流）または変調（たとえば「チョップ」）DC（直流）によって電力が供給される電気抵抗加熱器であってもよい。

20

【0026】

「キュリー温度」は、それを超えると強磁性体が強磁性体のすべての強磁性特性を失う温度である。強磁性体は、キュリー温度を超えると強磁性体のすべての強磁性特性を失うだけでなく、強磁性体に流れる電流が大きくなると強磁性体の強磁性特性を無くし始める。

【0027】

「変調直流（DC）」は、時間で変化する、強磁性導体に表皮効果電気を流すことができるあらゆる電流を意味している。

30

【0028】

温度制限加熱器の「ターンダウン比率」は、キュリー温度を超える温度における最も小さいAC抵抗または変調DC抵抗に対するキュリー温度未満の温度における最も大きいAC抵抗または変調DC抵抗の比率である。

【0029】

「ドリルホール」という用語は、せん孔によって穿たれた累層中の孔または累層中へのコンジットの挿入を意味している。本明細書において使用されているように、累層中の開口を意味する場合、「井戸」および「開口」という用語は、「ドリルホール」という用語と交換可能に使用することができる。

【0030】

「絶縁導体」は、電気を導くことができる、全体または一部が電気絶縁体で覆われた細長い任意の材料を意味している。「自己制御」という用語は、あらゆるタイプの外部制御を必要とすることなく加熱器の出力を制御することを意味している。

40

【0031】

熱出力の小さい加熱システム、装置および方法のコンテキストにおいては、「自動的に」という用語は、このようなシステム、装置および方法が、外部制御（たとえば温度センサおよびフィードバックループを備えたコントローラ、PIDコントローラまたは予測コントローラなどの外部コントローラ）を使用することなく特定の方法で機能することを意味している。

【0032】

50

累層中の炭化水素は様々な方法で処理することができ、異なる多くの生産物を生産することができる。特定の実施形態においては、複数の段階でこのような累層が処理される。図1は、炭化水素を含有した累層の一部を加熱するいくつかの段階を示したものである。また、図1は、累層のトン当たりと等価のバレル単位の油の産出高(「Y」)(y軸)対加熱された累層の摂氏温度単位の温度(「T」)(x軸)の一例を示したものである。

【0033】

段階1の加熱中にメタンが脱着し、水が蒸発する。段階1を介した累層の加熱は、可能な限り迅速に実行する。累層が初期加熱されると、累層中の炭化水素が吸着メタンを脱着する。脱着メタンは、累層から生産することができる。累層がさらに加熱されると、累層中の水が蒸発する。水は、通常、600kPaないし7000kPaの絶対圧力で160と285の間で累層中で蒸発する。いくつかの実施形態においては、蒸発した水によって累層の湿潤性が変化し、および/または累層の圧力が高くなる。湿潤性が変化し、および/または圧力が高くなることによって累層中の熱分解反応または他の反応が影響を受ける。特定の実施形態においては、累層から蒸発水が生産される。他の実施形態においては、蒸発水を使用して蒸気が抽出され、および/または累層中または累層外で蒸留される。累層から水を除去し、累層中の孔隙量を多くすることによって孔隙量中の炭化水素の貯蔵空間が広がる。

【0034】

特定の実施形態においては、段階1の加熱の後、累層の一部の温度が(少なくとも)初期熱分解温度(たとえば段階2で示す温度範囲の下端の温度など)に達するように、累層の一部がさらに加熱される。段階2の間、累層中の炭化水素を熱分解させることができる。熱分解温度の範囲は、累層中の炭化水素のタイプによって様々である。熱分解温度の範囲には、250と900の間の温度が含まれている。所望する生産物を生産するための熱分解温度の範囲は、全熱分解温度範囲の一部のみを通して拡張することができる。いくつかの実施形態においては、所望する生産物を生産するための熱分解温度の範囲には、250と400の間の温度、250と350の間の温度、または325と400の間の温度が含まれている。累層中の炭化水素の温度を250から400までの温度範囲で徐々に上昇させる場合、温度が400に近くなった時点で熱分解生産物の生産を実質的に完了することができる。複数の加熱器を使用して累層を加熱することにより、熱分解温度範囲を通して累層中の炭化水素の温度を徐々に上昇させる熱の重畳を確立することができる。

【0035】

いくつかのインサイチュ変換実施形態においては、熱分解温度範囲を通して温度を徐々に加熱する代わりに、累層の一部が所望の温度まで加熱される。いくつかの実施形態においては、所望の温度は300である。いくつかの実施形態においては、所望の温度は325である。いくつかの実施形態においては、所望の温度は350である。他の温度を所望の温度として選択することができる。加熱器からの熱を重畳させることによって比較的速やかに、また、比較的効果的に所望の温度を累層中に確立することができる。累層の温度を所望の温度に維持するために、加熱器から累層に入力されるエネルギーを調整することができる。累層の加熱部分は、熱分解が衰退し、累層からの所望の累層流体の生産が非経済的になるまで実質的に所望の温度に維持される。累層の熱分解する部分は、1つの加熱器のみからの熱伝達によって熱分解温度範囲に到達する領域を含むことができる。

【0036】

特定の実施形態においては、熱分解流体を含有した累層流体が累層から生産される。累層の温度が上昇すると、生産された累層流体中の凝縮可能な炭化水素の量が減少する。累層は、極めて高い温度では主としてメタンおよび/または水素を生産する。熱分解の全範囲にわたって累層が加熱されると、累層は、熱分解範囲の上限に向かって微量の水素のみを生産する。利用可能な水素のほとんどが枯渇すると、最小量の流体が累層から生産される。

【0037】

炭化水素が熱分解した後も、大量の炭素および若干の水素が依然として累層の加熱部分に存在している。累層の加熱部分に残留する炭素の一部は、合成ガスの形で累層から生産することができる。合成ガスの生産は、図1に示す段階3の加熱中に生じる。段階3では、累層の加熱部分が合成ガスの生産を可能にする十分な温度まで加熱される。合成ガスは、400 から1200 まで、500 から1100 まで、または550 から1000 までの温度範囲で生産することができる。累層中に生産される合成ガスの組成は、合成ガスを生産する流体を累層に導入する際の累層の加熱部分の温度によって決まる。生産された合成ガスは、1つ以上の生産井戸を介して累層から移送することができる。

【0038】

図2は、炭化水素を含有した累層を処理するためのインサイチュ変換システムの一部の一実施形態を略図で示したものである。加熱器100は、累層の少なくとも一部の中に配置されている。加熱器100は、累層の少なくとも一部に熱を提供して累層中の炭化水素を加熱している。供給ライン102を介して加熱器100にエネルギーを供給することができる。供給ライン102の構造は、累層の加熱に使用される1つ以上の加熱器のタイプに応じて異なる構造にすることができる。加熱器のための供給ライン102は、電気加熱器に電気を送ることができ、燃焼器に燃料を輸送することができ、または累層中を循環する熱交換流体を輸送することができる。

【0039】

生産井戸104を使用して累層から累層流体が移送される。生産井戸104から生産された累層流体は、収集配管106を通して処理設備108へ輸送することができる。また、累層流体は、加熱器100から生産することも可能である。たとえば加熱器100から流体を生産して、加熱器に隣接する累層の圧力を制御することができる。加熱器100から生産された流体は、配管を通して収集配管106へ輸送することができ、または生産された流体を配管を通して直接処理設備108へ輸送することができる。処理設備108は、分離ユニット、反応ユニット、品位向上ユニット、ガスから硫黄を除去するユニット、燃料電池、タービン、貯蔵容器を備えることができ、および/または生産された累層流体を処理するための他のシステムおよびユニットを備えることができる。

【0040】

炭化水素を処理するためのインサイチュ変換システムは、障壁井戸110を備えることができる。障壁井戸を使用して処理領域の周りに障壁が形成される。この障壁によって処理領域への流体の流入および/または処理領域からの流体の流出が抑制される。障壁井戸は、それらに限定されないが、脱水井戸、真空井戸、捕獲井戸、注入井戸、グラウト井戸、凍結井戸またはそれらの組合せを備えている。いくつかの実施形態においては、障壁井戸110は脱水井戸である。脱水井戸は、液体水を除去することができ、および/または加熱すべき累層の一部または加熱中の累層への液体水の流入を抑制することができる。図2に示す実施形態においては、脱水井戸は、加熱器100の一方の側に沿ってのみ展開しているが、通常、脱水井戸は、累層を加熱するために、使用されるすべての加熱器100または使用すべきすべての加熱器100を取り囲んでいる。

【0041】

図2に示すように、累層中には、加熱器100だけではなく、1つ以上の生産井戸104が配置されている。累層流体は、生産井戸104を介して生産することができる。いくつかの実施形態においては、生産井戸104は加熱器を備えている。生産井戸内の加熱器は、生産井戸または生産井戸の近傍の累層の1つ以上の部分を加熱し、累層流体から気相を除去することができる。生産井戸からの液体を高温ポンピングする必要性を少なくすることができ、または除去することができる。液体の高温ポンピングを回避または制限することによって生産コストを著しく低減することができる。生産井戸を加熱することによって、または生産井戸を介して加熱することによって、(1)このような生産流体がオーバーデンに最も近い生産井戸の中を移動する際の生産流体の凝縮および/または還流を抑制することができ、(2)累層に入力される熱を大きくすることができ、および/または(3)生産井戸または生産井戸に最も近い累層の浸透性を大きくすることができる。いく

10

20

30

40

50

つかのインサイチュ変換プロセスの実施形態においては、生産井戸から累層に供給される、生産井戸の1メートル当たりの熱の量は、累層を加熱する加熱器から累層に印加される、加熱器の1メートル当たりの熱の量より少ない。

【0042】

加熱器のいくつかの実施形態は、加熱器が特定の状態に到達すると、加熱器または加熱器の一部への電力をターンオフするスイッチ（たとえばヒューズおよび/またはサーモスタット）を備えている。特定の実施形態においては、温度制限加熱器を使用して、累層中の炭化水素を加熱するための熱が提供される。

【0043】

温度制限加熱器は、インコンフィギュレーションであってもよく、および/または特定の温度で加熱器に自動温度制限特性を提供する物質を含有することができる。特定の実施形態においては、強磁性体が温度制限加熱器に使用されている。強磁性体は、強磁性体のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度で温度を自己制限することができ、強磁性体に交流が印加されると、キュリー温度またはキュリー温度に近い温度になると提供する熱の量が減少する。特定の実施形態においては、強磁性体は、他の物質（たとえば高度に導電性の物質、優れた強度の物質、耐食性の物質またはそれらの組合せ）に結合されており、様々な電気特性および/または機械特性を提供している。温度制限加熱器のいくつかの部分には、この温度制限加熱器の他の部分より小さい抵抗を持たせることができる（異なる幾何構造にすることによって、および/または異なる強磁性体および/または非強磁性体を使用することによって）。温度制限加熱器の一部を様々な物質で構成し、および/またはそれらの寸法を様々な寸法にすることにより、所望の熱を加熱器の個々の部分から出力させることができる。強磁性体を温度制限加熱器に使用することは、通常、スイッチまたは他の制御デバイスを温度制限加熱器に使用する場合より安価であり、また、信頼性が高い。

【0044】

温度制限加熱器は、場合によっては他の加熱器より信頼性が高い。温度制限加熱器は、場合によっては累層中のホットスポットによる破壊または故障が少ない。いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器は、累層を実質的に一様に加熱することができる。いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器は、加熱器の長さ全体に沿ってより大きい平均熱出力で動作させることにより、より効果的に累層を加熱することができる。温度制限加熱器は、加熱器の任意のポイントに沿った温度が加熱器の最大動作温度を超えた場合、または最大動作温度を超えようとしている場合に、典型的な定ワット数加熱器の場合とは異なり、加熱器の電力を加熱器全体に対して小さくする必要がないため、加熱器の長さ全体に沿ってより大きい平均熱出力で動作する。温度制限加熱器の、この加熱器のキュリー温度に近づいている部分からの熱出力は、加熱器に印加される交流の制御された調整を必要とすることなく自動的に減少する。熱出力は、温度制限加熱器の一部の電気特性（たとえば電気抵抗）の変化によって自動的に減少する。したがって加熱プロセスの大部分にわたって、より多くの出力が温度制限加熱器によって供給される。

【0045】

一実施形態においては、温度制限加熱器を備えたシステムは、交流または変調直流によって温度制限加熱器にエネルギーが供給されると、最初に第1の熱出力を提供し、次いで、温度制限加熱器の電気抵抗部分の温度がキュリー温度に近づき、またはキュリー温度に到達し、あるいはキュリー温度を超えると、提供する熱の量が減少する。温度制限加熱器は、坑口に供給される交流または変調直流によってエネルギーを供給することができる。坑口は、温度制限加熱器に電力を供給するために使用される電力源および他のコンポーネント（たとえば変調コンポーネント、変圧器および/またはコンデンサ）を備えることができる。温度制限加熱器は、累層の一部を加熱するために使用される多くの加熱器のうちの1つであってもよい。

【0046】

特定の実施形態においては、温度制限加熱器は、交流または変調直流が印加されると表

10

20

30

40

50

皮効果加熱器または近接効果加熱器として動作する導体を備えている。表皮効果によって導体の内部への電流浸入の深さが制限される。強磁性体の場合、表皮効果は導体の透磁率によって支配される。強磁性体の比透磁率は、通常、10と1000の間である（たとえば強磁性体の比透磁率は、通常、少なくとも10であり、場合によっては少なくとも50、100、500、1000またはそれ以上である）。強磁性体の温度がキュリー温度を超えて上昇すると、および/または印加される電流が大きくなると、強磁性体の透磁率が実質的に減少し、表皮作用の深さが急激に深くなる（たとえば表皮作用の深さは透磁率の平方根の逆数で深くなる）。透磁率が減少することにより、キュリー温度に近づき、またはキュリー温度に到達し、あるいはキュリー温度を超えると、および/または印加される電流が大きくなると、導体のAC抵抗または変調DC抵抗が小さくなる。温度制限加熱器が実質的に一定の電流源によって電力が供給されると、温度制限加熱器の、キュリー温度に近くなった部分、またはキュリー温度に到達した部分、あるいはキュリー温度を超えた部分は熱の散逸が減少する。温度制限加熱器のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度ではないセクションは、表皮効果加熱による支配が可能であり、したがって温度制限加熱器は、より大きい抵抗負荷によってより多くの熱を散逸させることができる。

10

【0047】

キュリー温度加熱器は、はんだ付け設備、医療アプリケーションのための加熱器およびオープン加熱素子に使用されている。Lamomeらに対する米国特許第5,579,575号、Henschenらに対する米国特許第5,065,501号、およびYagnikらに対する米国特許第5,512,732号に、これらの用途のいくつかが開示されている。Whitneyらに対する米国特許第4,849,611号に、反応コンポーネント、抵抗加熱コンポーネントおよび温度応答コンポーネントを備えた、間隔を隔てた複数の離散加熱ユニットが記述されている。

20

【0048】

温度制限加熱器を使用して累層中の炭化水素を加熱する利点は、所望する温度動作範囲にキュリー温度を有するように導体を選択されることである。所望の動作温度範囲内で動作させることにより、温度制限加熱器および他の設備の温度を設計限界温度未満に維持しつつ、累層中に実質的に熱を注入することができる。設計限界温度は、腐蝕、クリープおよび/または変形などの特性が悪影響を受ける温度である。温度制限加熱器の温度制限特性によって、累層中の低熱伝導率「ホットスポット」に隣接する温度制限加熱器の過熱および断線が抑制される。いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器は、熱出力を小さくするかまたは制御することができ、および/または温度制限加熱器に使用される物質に応じて、25、37、100、250、500、700、800、900を超える温度または最大1131までのより高い温度の熱に耐えることができる。

30

【0049】

温度制限加熱器に入力されるエネルギーを制限して温度制限加熱器に隣接する低熱伝導率領域に適応する必要がないため、温度制限加熱器を使用することにより、定ワット数加熱器より多くの熱を累層中に注入することができる。たとえばGreen River油母ケツ岩の場合、最低品位油母ケツ岩層および最高品位油母ケツ岩層の熱伝導率に少なくとも3倍の差がある。このような累層を加熱する場合、温度制限加熱器を使用することにより、低熱伝導率層の温度によって制限される従来の加熱器を使用する場合より実質的に多くの熱が累層に伝達される。従来の加熱器の長さ全体に沿った熱出力は、加熱器が低熱伝導率層で過熱して断線しないよう、低熱伝導率層に適応させなければならない。温度制限加熱器の場合、高い温度の低熱伝導率層に隣接する熱出力を小さくすることができるが、温度制限加熱器の温度が低い残りの部分は、依然として大きい熱出力を提供することができる。炭化水素累層を加熱するための加熱器は、通常、加熱器の長さが長い（たとえば少なくとも10m、100m、300m、少なくとも500m、1kmまたは最大10km）、キュリー温度またはキュリー温度に近い温度であるのは温度制限加熱器のごく一部にすぎず、温度制限加熱器の長さの大部分はキュリー温度未満で動作させることができる。

40

50

【 0 0 5 0 】

温度制限加熱器を使用することによって熱を効果的に累層に伝達することができる。熱が効果的に伝達されるため、累層を所望の温度に加熱するために必要な時間が短縮される。たとえばGreen River油母ケツ岩の場合、従来の定ワット数加熱器を使用した12m加熱器井戸間隔による熱分解には、通常、9.5年ないし10年の加熱が必要である。同じ加熱器間隔の場合、温度制限加熱器を使用することにより、加熱器設備の温度を設備設計限界温度未満の温度に維持しつつ、より大きい平均熱出力を出力することができる。温度制限加熱器によって提供される平均熱出力がより大きいため、定ワット数加熱器によって提供されるより小さい平均熱出力の場合と比較すると、より短期間で累層に熱分解が生じる。たとえばGreen River油母ケツ岩の場合、12m加熱器井戸間隔で温度制限加熱器を使用した場合、5年で熱分解が生じる。温度制限加熱器は、加熱器井戸が互いに接近しすぎている不正確な井戸間隔すなわちせん孔によるホットスポットの効力を打ち消す。特定の実施形態においては、温度制限加熱器を使用することにより、間隔が空きすぎている加熱器井戸に出力される電力を常に大きくすることができ、または互いに接近しすぎている加熱器井戸に出力される電力を制限することができる。また、温度制限加熱器は、オーババーデンおよびアングバーデンに隣接する領域により多くの電力を供給し、この領域における温度損失を補償することも可能である。

10

【 0 0 5 1 】

温度制限加熱器は、多くのタイプの累層に有利に使用することができる。たとえば、タールスンド累層または重炭化水素を含有した比較的浸透性の累層に温度制限加熱器を使用して、流体、流動化流体の粘性を小さくし、および/またはドリルホールまたはドリルホールの近傍あるいは累層中の流体の放射状流を強化するための制御可能な低温度出力を提供することができる。温度制限加熱器を使用して、累層の近ドリルホール領域の過熱による過剰コークスの形成を抑制することができる。

20

【 0 0 5 2 】

いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器を使用することにより、高価な温度制御回路を使用する必要性が除去されるか、または減少する。たとえば、温度制限加熱器を使用することにより、温度検層を実行する必要性および/またはホットスポットにおける潜在過熱を監視するための固定熱電対を加熱器上に使用する必要性が除去されるか、または減少する。

30

【 0 0 5 3 】

いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器は、標準の加熱器より製造が経済的である。典型的な強磁性体には、鉄、炭素鋼またはフェライトステンレス鋼が含まれている。このような物質は、絶縁導体（鉍物絶縁ケーブル）加熱器に典型的に使用される、ニッケルをベースとする加熱合金（ニクロム、Kanthal（商標）（Bulthen-Kanthal AB, Sweden）および/またはLOHM（商標）（Driver-Harris Company, Harrison, NJ）など）と比較すると安価である。温度制限加熱器の一実施形態においては、温度制限加熱器は、より低コストで、信頼性の高い加熱器にするために、絶縁導体加熱器として連続した長さで製造される。

40

【 0 0 5 4 】

温度制限加熱器のキュリー温度は、温度制限加熱器に使用される1つ以上の強磁性合金によって決まる。「American Institute of Physics Handbook」（第2版、McGraw-Hill、5-170~5-176頁）に、様々な金属のキュリー温度データがリストされている。強磁性導体は、複数の強磁性元素（鉄、コバルトおよびニッケル）のうちの一つ以上および/またはこれらの元素の合金を含有することができる。いくつかの実施形態においては、強磁性導体には、タングステン（W）を含有した鉄-クロム（Fe-Cr）合金（たとえばHCM12AおよびSAVE12（Sumitomo Metals Co., Japan））および/またはクロムを含有した鉄の合金（たとえばFe-Cr合金、Fe-Cr-W合金、Fe-Cr-V（バナジウム）合金、Fe-Cr-Nn（ニオブ）合金）が含まれている。3つの主要強磁

50

性元素のうち、鉄のキュリー温度は約770 であり、コバルト(Co)のキュリー温度は約1131 であり、ニッケルのキュリー温度は約358 である。鉄-コバルト合金は、鉄のキュリー温度より高いキュリー温度を有している。たとえば2重量%のコバルトを含有した鉄-コバルト合金のキュリー温度は約800 であり、12重量%のコバルトを含有した鉄-コバルト合金のキュリー温度は約900 であり、20重量%のコバルトを含有した鉄-コバルト合金のキュリー温度は約950 である。鉄-ニッケル合金は、鉄のキュリー温度より低いキュリー温度を有している。たとえば20重量%のニッケルを含有した鉄-ニッケル合金のキュリー温度は約720 であり、60重量%のニッケルを含有した鉄-ニッケル合金のキュリー温度は約560 である。

【0055】

合金として使用されるいくつかの非強磁性元素を使用すると、鉄のキュリー温度が高くなる。たとえば5.9重量%のバナジウムを含有した鉄-バナジウム合金のキュリー温度は約815 である。他の非強磁性元素(たとえば炭素、アルミニウム、銅、ケイ素および/またはクロム)を鉄または他の強磁性体と合金にし、キュリー温度を低くすることができる。キュリー温度を高くする非強磁性体とキュリー温度を低くする非強磁性体とを組み合わせて鉄または他の強磁性体と合金にし、所望のキュリー温度および他の所望の物理的特性および/または化学的特性を備えた物質を提供することができる。いくつかの実施形態においては、キュリー温度物質は、NiFe₂O₄などのフェライトである。他の実施形態においては、キュリー温度物質は、FeNi₃またはFe₃Alなどの二成分化合物である。

【0056】

磁気特性は、通常、キュリー温度に近づくと崩壊する。「Handbook of Electrical Heating for Industry」(C. James Erickson著、IEEE Press、1995年)に、1%炭素鋼(1重量%の炭素を含有した鋼)の典型的な曲線が示されている。透磁率は、650 を超える温度で損失を開始し、温度が730 を超えると完全に損失するようになる。したがって自己制限温度は強磁性導体の実際のキュリー温度より若干低くなる。1%炭素鋼に流れる電流の表皮作用の深さは、室温で0.132cm(センチメートル)であり、720 では0.445cmまで深くなる。720 から730 まで、表皮作用の深さは2.5cmを超える深さまで急激に深くなる。したがって1%炭素鋼を使用した温度制限加熱器の実施形態は、650 と730 の間で自己制限する。

【0057】

表皮作用の深さは、一般に、導電性物質中への交流または変調直流の有効浸入度で定義されている。通常、電流密度は、導体の外部表面から半径方向に沿った中心までの距離で指数的に減少する。電流密度が表面電流密度のほぼ1/eである深さは、表皮作用の深さと呼ばれている。直径が浸入度よりはるかに大きい円筒状固体ロッドの場合、または壁の厚さが浸入度より分厚い中空シリンダの場合、表皮作用の深さは、

$$(1) = 1981.5 * (/ (\mu * f))^{1/2}$$

= インチ単位の表皮作用の深さ
 = 動作温度における抵抗率(オーム-cm)
 μ = 比透磁率
 f = 周波数(Hz)

である。

【0058】

式1は、「Handbook of Electrical Heating for Industry」(C. James Erickson著、IEEE Press、1995年)から得られる。ほとんどの金属は、温度と共に抵抗率()が大きくなる。比透磁率は、通常、温度および電流によって変化する。補助的な式を使用して、温度および/または電流の両方に対する透磁率および/または表皮作用の深さの分散を評価することができる。電流に対する μ の依存性は、磁界に対する μ の依存性によるものである。

【 0 0 5 9 】

温度制限加熱器に使用される物質は、所望のターンダウン比率が提供されるように選択することができる。温度制限加熱器には、少なくとも1 : 1、2 : 1、3 : 1、4 : 1、5 : 1、10 : 1、30 : 1または50 : 1のターンダウン比率を選択することができる。もっと大きいターンダウン比率を使用することも可能である。選択されるターンダウン比率は、それらに限定されないが、温度制限加熱器が配置される累層のタイプおよび/またはドリルホールに使用される物質の温度限界を始めとする多くの要因によって決まる。いくつかの実施形態においては、補助的な銅または他の良好な電気導体を強磁性体に結合することによってターンダウン比率が大きくなる（たとえばキュリー温度を超える温度で抵抗をより小さくするために銅が追加される）。

10

【 0 0 6 0 】

温度制限加熱器は、加熱器のキュリー温度未満の間、最小熱出力（電力出力）を提供することができる。特定の実施形態においては、最小熱出力は、少なくとも400 W/m（1メートル当たりのワット）、600 W/m、700 W/m、800 W/mまたはそれより大きい最大2000 W/mである。温度制限加熱器は、温度制限加熱器のセクションの温度がキュリー温度に近づくかまたはキュリー温度を超えると、温度制限加熱器のセクション毎に熱出力の量が減少する。減少する熱の量は、キュリー温度未満の温度における熱出力より実質的に少なくすることができる。いくつかの実施形態においては、減少する熱の量は、最大400 W/m、200 W/m、100 W/mであり、0 W/mに近づけることも可能である。

20

【 0 0 6 1 】

いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器は、特定の動作温度範囲における温度制限加熱器の熱負荷に実質的に無関係に動作させることができる。「熱負荷」は、加熱システムから加熱システムの周囲へ熱が伝達される割合である。熱負荷は、周囲の温度および/または周囲の熱伝導率によって変化することを理解されたい。一実施形態においては、温度制限加熱器は、温度制限加熱器の一部に最も近い部分の熱負荷の1 W/mの減少に対して、温度制限加熱器の動作温度が最大1.5、1または0.5だけ高くなるよう、温度制限加熱器のキュリー温度またはキュリー温度を超える温度で動作する。

【 0 0 6 2 】

AC抵抗または変調DC抵抗および/または温度制限加熱器の熱出力は、キュリー温度を超えるとキュリー効果によって急激に減少する。特定の実施形態においては、キュリー温度を超える温度またはキュリー温度に近い温度における電気抵抗または熱出力の値は、キュリー温度未満の特定のポイントにおける電気抵抗または熱出力の値の最大1/2である。いくつかの実施形態においては、キュリー温度を超える温度またはキュリー温度に近い温度における熱出力は、キュリー温度未満の特定のポイント（たとえばキュリー温度より30低い温度、キュリー温度より40低い温度、キュリー温度より50低い温度、またはキュリー温度より100低い温度）における熱出力の最大40%、30%、20%、10%または10%未満（1%まで）である。特定の実施形態においては、キュリー温度を超える温度またはキュリー温度に近い温度における電気抵抗は、キュリー温度未満の特定のポイント（たとえばキュリー温度より30低い温度、キュリー温度より40低い温度、キュリー温度より50低い温度、またはキュリー温度より100低い温度）における電気抵抗の80%、70%、60%、50%または50%未満（1%まで）に減少する。

30

40

【 0 0 6 3 】

いくつかの実施形態においては、強磁性体の表皮作用の深さを変えるためにAC周波数が調整される。たとえば室温における1%炭素鋼の表皮作用の深さは、60 Hzで0.132 cm、180 Hzで0.0762 cmおよび440 Hzで0.046 cmである。加熱器の直径は、通常、表皮作用の深さの2倍より大きいため、より高い周波数を使用することによって（また、延いては直径がより小さい加熱器を使用することによって）加熱器のコストが減少する。固定幾何構造の場合、周波数が高くなるほどターンダウン比率が大

50

きくなる。より高い周波数におけるターンダウン比率は、より低い周波数におけるターンダウン比率に、より高い周波数をより低い周波数で割り、その平方根を掛けることによって計算される。いくつかの実施形態においては、100Hzと1000Hzの間、140Hzと200Hzの間または400Hzと600Hzの間の周波数で使用されている（たとえば180Hz、540Hzまたは720Hz）。いくつかの実施形態においては、高い周波数を使用することができる。1000Hzを超える周波数であってもよい。

【0064】

温度制限加熱器は、温度制限加熱器のキュリー温度に到達するまで実質的に一定の表皮作用の深さを得るために、温度制限加熱器が冷たい間はより低い周波数で動作させ、また、温度制限加熱器が熱くなるとより高い周波数で動作させることができる。しかしながら、電源、変圧器または周波数を交番させる電流変調器などの高価なコンポーネントの必要性がより少ないため、一般的には線路周波数加熱であることが好ましい。線路周波数は、電流の一般供給周波数である。線路周波数は、通常は60Hzであるが、電流の供給源に応じて50Hzまたは他の周波数であってもよい。固体可変周波数電源などの商用的に入手可能な設備を使用して、より高い周波数を生産することができる。三相電力を周波数が3倍の単相電力に変換する変圧器は、商用的に入手することができる。たとえば60Hzの高電圧三相電力をより低い電圧の180Hz単相電力に変換することができる。このような変圧器は、固体可変周波数電源より安価であり、より効率的にエネルギーを使用することができる。特定の実施形態においては、温度制限加熱器に供給される電力の周波数を高くするために、三相電力を単相電力に変換する変圧器が使用されている。

【0065】

特定の実施形態においては、変調DC（たとえばチョップDC、波形変調DCまたはサイクルDC）を使用して温度制限加熱器に電力を提供することができる。DC変調器またはDCチョップをDC電源に結合して変調直流出力を提供することができる。いくつかの実施形態においては、DC電源は、DCを変調するための手段を備えることができる。DC変調器の実施例の1つは、DC-DC変換器システムである。DC-DC変換器システムは、当分野で広く知られている。通常、DCが変調されるか、または所望の波形にチョップされる。DC変調のための波形には、それらに限定されないが、方形波、正弦波、変形正弦波、変形方形波、長方形波形および他の規則的な波形または不規則な波形が含まれている。

【0066】

変調DCの周波数は、通常、変調DC波形によって画定される。したがって変調DC波形を選択することによって所望の変調DC周波数を提供することができる。形状および/または変調DC波形の変調の速度（チョッピングの速度など）は、変調DC周波数を変えることによって変更することができる。DCは、一般に利用可能なAC周波数より高い周波数で変調することができる。たとえば変調DCは、少なくとも1000Hzの周波数で提供することができる。有利には、供給される電流の周波数をより大きい値にすると、温度制限加熱器のターンダウン比率が大きくなる。

【0067】

特定の実施形態においては、変調DC波形を調整または変更して、変調DC周波数が変更される。DC変調器は、温度制限加熱器を使用している間、任意の時間に、高電流または高電圧で変調DC波形を調整または変更することができる。したがって、温度制限加熱器に提供される変調DCは、単一周波数さらには限られた周波数値のセットに限定されない。通常、DC変調器を使用して波形を選択する場合、変調DC周波数の範囲を広くすることができるが、また、変調DC周波数の離散制御が可能になる。したがって変調DC周波数は、全く固有の値でより容易に設定することができ、それに対してAC周波数は、通常、線路周波数の増分値に限定されている。変調DC周波数を離散制御することにより、温度制限加熱器のターンダウン比率をより選択的に制御することができる。温度制限加熱器のターンダウン比率を選択的に制御することができるため、より広範囲の物質を使用して温度制限加熱器を設計し、構築することができる。

【 0 0 6 8 】

いくつかの実施形態においては、使用中、変調 DC 周波数または AC 周波数を調整して、温度制限加熱器の特性（たとえば温度または圧力などの地中の状態）の変化が補償される。温度制限加熱器に提供される変調 DC 周波数または AC 周波数は、評価済みのダウンホール状態に基づいて変更される。たとえばドリルホール内の温度制限加熱器の温度が上昇すると、場合によっては温度制限加熱器に提供される電流の周波数を高くし、延いては温度制限加熱器のターンダウン比率を大きくすることが有利である。一実施形態においては、ドリルホール内の温度制限加熱器のダウンホール温度が評価される。

【 0 0 6 9 】

特定の実施形態においては、変調 DC 周波数または AC 周波数を変更して温度制限加熱器のターンダウン比率が調整される。ターンダウン比率を調整して、温度制限加熱器の長さに沿って生じるホットスポットを補償することができる。ターンダウン比率は、たとえば温度制限加熱器が特定の位置で熱くなりすぎることによって大きくなる。いくつかの実施形態においては、変調 DC 周波数または AC 周波数を変更して、地中の状態を評価することなくターンダウン比率が調整される。

【 0 0 7 0 】

温度制限加熱器は、誘導負荷を生産することができる。この誘導負荷は、抵抗性熱出力の生産だけでなく、磁界を生産するために強磁性体によって使用される印加電流の一部によるものである。温度制限加熱器のダウンホール温度が変化すると、温度制限加熱器の強磁性体の磁気特性が温度によって変化するため、温度制限加熱器の誘導負荷が変化する。温度制限加熱器の誘導負荷は、温度制限加熱器に印加される電流と電圧の間の位相のずれの原因になることがある。

【 0 0 7 1 】

温度制限加熱器に印加される実際の電力の減少は、電流波形の時間のずれ（たとえば電流は、誘導負荷のために電圧に対して位相がずれている）によって、および/または電流波形のひずみ（たとえば非線形負荷によって導入される高調波による電流波形のひずみ）によって生じることがある。したがって位相のずれまたは波形のひずみのため、選択された量の電力を印加するためには、場合によってはもっと多くの電流が必要である。印加される実際の電力と、同じ電流が同相であり、また、ひずんでいない場合に伝送されることになる皮相電力との比率が力率である。力率は常に 1 以下である。波形に位相のずれまたはひずみが存在しない場合、力率は 1 である。

【 0 0 7 2 】

位相のずれのために実際に加熱器に印加される電力は、式 2 で表される。

【 0 0 7 3 】

$$(2) \quad P = I \times V \times \cos(\quad)$$

P は温度制限加熱器に印加される実際の電力、I は印加される電流、V は印加される電圧、 $\cos(\quad)$ は電圧と電流の間の位相角の差である。波形にひずみが存在しない場合、 $\cos(\quad)$ は力率に等しい。より高い周波数（たとえば少なくとも 1000 Hz、1500 Hz または 2000 Hz の変調 DC 周波数）では、位相のずれおよび/またはひずみに関わる問題は、より顕著である。

【 0 0 7 4 】

いくつかの実施形態においては、電圧および/または電流を調整して強磁性体の表皮作用の深さが変更される。電圧を高くし、および/または電流を小さくすることにより、強磁性体の表皮作用の深さを浅くすることができる。表皮作用の深さをより浅くすることによって温度制限加熱器の直径をより小さくすることができ、したがって設備のコストを低減することができる。特定の実施形態においては、印加される電流は、少なくとも 1 アンペア、10 アンペア、70 アンペア、100 アンペア、200 アンペア、500 アンペアまたはそれ以上の最大 2000 アンペアである。いくつかの実施形態においては、200 ボルトを超える電圧、480 ボルトを超える電圧、650 ボルトを超える電圧、1000 ボルトを超える電圧、1500 ボルトを超える電圧またはそれ以上の最大 10000 ボル

10

20

30

40

50

トの電圧の交流が供給される。

【0075】

一実施形態においては、温度制限加熱器は、外部導体の内側に内部導体を備えている。内部導体および外部導体は、中心軸の周りに放射状に配置されている。内部導体および外部導体は、絶縁層によって分離することができる。特定の実施形態においては、内部導体および外部導体は、温度制限加熱器の底で結合されている。内部導体を介して温度制限加熱器に電流を流し、外部導体を介して電流を戻すことができる。これらの導体のいずれか一方または両方が強磁性体を含有することができる。

【0076】

絶縁層は、酸化マグネシウム、酸化アルミニウム、二酸化ケイ素、酸化ベリリウム、窒化ホウ素、窒化ケイ素またはそれらの組合せなどの熱伝導率の大きい電気絶縁セラミックを備えることができる。絶縁層は、圧縮粉末（たとえば圧縮セラミック粉末）であってもよい。圧縮することによって熱伝導率を改善し、より良好な絶縁抵抗を提供することができる。より温度が低いアプリケーションの場合、たとえばフッ素樹脂、ポリイミド、ポリアミドおよび/またはポリエチレンでできた重合体絶縁材を使用することができる。いくつかの実施形態においては、重合体絶縁材は、過フルオロアルコキシ（PEA）またはポリエーテルエーテルケトン（PEEK（商標）（Victrex Ltd, England））でできている。絶縁層は、内部導体から外部導体への熱の伝達を促進するために実質的に赤外線透過するように選択することができる。一実施形態においては、絶縁層は、透明な石英砂である。絶縁層は、空気またはヘリウム、窒素または六フッ化硫黄などの非反応性ガスであってもよい。絶縁層が空気または非反応性ガスである場合、内部導体と外部導体の間の電気接触を禁止するように設計された絶縁スペーサを設けることができる。絶縁スペーサは、たとえば高純度酸化アルミニウムまたは窒化ケイ素などの他の熱伝導性電気絶縁材を使用して構築することができる。絶縁スペーサは、Nextel（商標）312（3M Corporation, St. Paul, Minnesota）、マイカテープまたはガラス繊維などの繊維状セラミック材であってもよい。セラミック材は、アルミナ、ケイ酸アルミナ、ホウケイ酸アルミナ、窒化ケイ素、窒化ホウ素または他の物質でできている。

【0077】

特定の実施形態においては、外部導体は、耐食性および/または耐クリープ性のために選択される。一実施形態においては、304H、347H、347HH、316H、310H、347HP、NF709（Nippon Steel Corp., Japan）ステンレス鋼またはそれらの組合せなどのオーステナイト（非強磁性）ステンレス鋼を外部導体に使用することができる。また、外部導体は、クラッド導体を備えることも可能である。たとえば、腐蝕を防止するために800Hまたは347Hステンレス鋼などの耐食性合金を強磁性炭素鋼チューブラの上に被覆することができる。高温強度を必要としない場合、いくつかのフェライトステンレス鋼のうちの一つなどの耐食性が良好な強磁性金属から外部導体を構築することができる。一実施形態においては、82.3重量%の鉄と17.7重量%のクロムのフェライト合金（キュリー温度678）によって所望の耐食性が提供される。

【0078】

「The Metals Handbook」（American Society of Materials（ASM））第8巻291頁に、鉄-クロム合金のキュリー温度対合金中のクロムの量のグラフが掲載されている。いくつかの温度制限加熱器の実施形態においては、個別の支持ロッドまたはチューブラ（347Hステンレス鋼でできている）が、鉄-クロム合金製の温度制限加熱器に結合されており、強度および/または耐クリープ性を提供している。支持材および/または強磁性体は、650で少なくとも20.7MPaの100,000時間クリープ破断強さが提供されるように選択することができる。いくつかの実施形態においては、100,000時間クリープ破断強さは、650で少なくとも13.8MPaであるか、または650で少なくとも6.9MPaである

10

20

30

40

50

。たとえば347H鋼は、650 または650 を超える温度で有利なクリープ破断強さを有している。いくつかの実施形態においては、100,000時間クリープ破断強さは、6.9MPaから41.3MPaに及ぶ範囲にわたっており、より長い加熱器および/またはより大きい大地応力または流動応力に対してはそれ以上である。

【0079】

内部強磁性導体および外部強磁性導体を備えた温度制限加熱器の実施形態においては、内部導体の外側および外部導体の内側に表皮効果電流経路が生じる。したがって、外部導体の内側の表皮効果電流経路に影響を及ぼすことなく、外部導体の外側をステンレス鋼などの耐食性合金で被覆することができる。

【0080】

表皮作用の深さは、キュリー温度の近辺で急激に深くなるため、キュリー温度で少なくとも表皮作用の深さの厚さを有する強磁性導体を使用することにより、強磁性体のAC抵抗を著しく小さくすることができる。特定の実施形態においては、強磁性導体が銅などの高度に導電性の物質で被覆されていない場合、導体の厚さを、キュリー温度近辺における表皮作用の深さの1.5倍、キュリー温度近辺における表皮作用の深さの3倍、さらにはキュリー温度近辺における表皮作用の深さの10倍以上にすることができる。強磁性導体が銅で被覆されている場合、強磁性導体の厚さは、キュリー温度近辺における表皮作用の深さと実質的に同じにすることができる。いくつかの実施形態においては、銅で被覆された強磁性導体の厚さは、キュリー温度近辺における表皮作用の深さの少なくとも3/4である。

【0081】

特定の実施形態においては、温度制限加熱器は、強磁性チューブラおよび非強磁性高導電率コアを備えた複合導体を備えている。非強磁性高導電率コアは、複合導体に必要な直径を小さくしている。たとえば複合導体は、厚さ0.298cmのフェライトステンレス鋼または炭素鋼がコアを取り囲んでいる直径0.575cmの銅クラッドのコアを備えた直径1.19cmの複合導体であってもよい。複合導体を使用することにより、キュリー温度近辺における温度制限加熱器の電気抵抗をより急激に減少させることができる。表皮作用の深さはキュリー温度の近辺で深くなるため、銅コアを備えることによって電気抵抗が極めて急激に減少する。

【0082】

複合導体は、温度制限加熱器の導電率を大きくすることができ、および/またはより低い電圧での温度制限加熱器の動作を可能にしている。一実施形態においては、複合導体の抵抗対温度プロファイルは、複合導体の強磁性導体のキュリー温度に近い領域未満の温度で比較的平らである。いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器の抵抗対温度プロファイルは、100と750の間または300と600の間で比較的平らである。また、たとえば温度制限加熱器の物質および/または物質の構成を調整することにより、他の温度範囲においても比較的平らな抵抗対温度プロファイルを得ることができる。特定の実施形態においては、複合導体の個々の物質の相対厚さは、所望の抵抗率対温度プロファイルが温度制限加熱器にもたらされるように選択される。

【0083】

図3~31は、温度制限加熱器の様々な実施形態を示したものである。これらの図のいくつかに示されている温度制限加熱器の実施形態の1つ以上の特徴は、これらの図に示されている温度制限加熱器の他の実施形態の1つ以上の特徴と組み合わせることができる。本明細書において説明されている特定の実施形態においては、温度制限加熱器は、60Hz ACの周波数で動作するように寸法化されている。温度制限加熱器の寸法は、温度制限加熱器を他のAC周波数で同様の方法で動作させるために、または変調DCを使用して同様の方法で動作させるために、本明細書において説明されている寸法から調整することができることを理解されたい。

【0084】

図3は、強磁性セクションおよび非強磁性セクションを有する外部導体を備えた温度制

10

20

30

40

50

限加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。図4および5は、図3に示す実施形態の横断面図を示したものである。一実施形態においては、強磁性セクション140を使用して累層中の炭化水素層に熱が提供される。非強磁性セクション142は、累層のオーババーデンに使用される。非強磁性セクション142は、オーババーデンに熱をほとんど提供しないか、または全く提供しないため、この非強磁性セクション142によってオーババーデンの熱損失が抑制され、加熱器の効率が改善される。強磁性セクション140は、409ステンレス鋼または410ステンレス鋼などの強磁性体を備えている。強磁性セクション140の厚さは0.3cmである。非強磁性セクション142は、厚さ0.3cmの銅である。内部導体144は銅である。内部導体144の直径は0.9cmである。電気絶縁体146は、窒化ケイ素、窒化ホウ素、酸化マグネシウム粉末または他の適切な絶縁体物質である。電気絶縁体146の厚さは、0.1cmないし0.3cmである。

10

【0085】

図6は、シースの内部に配置された強磁性セクションおよび非強磁性セクションを有する外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。図7、8および9は、図6に示す実施形態の横断面図を示したものである。強磁性セクション140は、厚さ0.6cmの410ステンレス鋼である。非強磁性セクション142は、厚さ0.6cmの銅である。内部導体144は、直径0.9cmの銅である。外部導体148には強磁性体が含まれている。外部導体148によって温度制限加熱器のオーババーデンセクションに若干の熱が提供される。オーババーデンに若干の熱を提供することにより、オーババーデン中における凝縮または流体の還流が抑制される。外部導体148は、外径3.0cm、厚さ0.6cmの409ステンレス鋼、410ステンレス鋼または446ステンレス鋼である。電気絶縁体146は、厚さ0.3cmの酸化マグネシウム粉末である。いくつかの実施形態においては、電気絶縁体146は、窒化ケイ素、窒化ホウ素または六角形型窒化ホウ素である。導電セクション150は、内部導体144を強磁性セクション140および/または外部導体148に結合することができる。

20

【0086】

図10は、強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。温度制限加熱器は、耐食性ジャケット内に配置されている。導電層は、外部導体とジャケットの間に配置されている。図11および12は、図10に示す実施形態の横断面図を示したものである。外部導体148は、3/4インチスケジュール(Schedule)80 446ステンレス鋼管である。一実施形態においては、導電層152は、外部導体148とジャケット154の間に配置されている。導電層152は銅の層である。外部導体148は、導電層152で被覆されている。特定の実施形態においては、導電層152は、1つ以上のセグメントを備えている(たとえば導電層152は、1つ以上の銅管セグメントを備えている)。ジャケット154は、1-1/4インチスケジュール80 347Hステンレス鋼管または1-1/2インチスケジュール160 347Hステンレス鋼管である。一実施形態においては、内部導体144は、マイカテープの層およびガラス繊維絶縁材を使用してニッケル被覆銅線をより合せた4/0MGT-1000ファーンケーブルである。4/0MGT-1000ファーンケーブルは、ULタイプ5107である(Allied Wire and Cable(Phoenixville, Pennsylvania)から入手することができる)。導電セクション150は、内部導体144とジャケット154を結合している。一実施形態においては、導電セクション150は銅である。

30

40

【0087】

図13は、外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。外部導体は、強磁性セクションおよび非強磁性セクションを備えている。温度制限加熱器は、耐食性ジャケット内に配置されている。導電層は、外部導体とジャケットの間に配置されている。図14および15は、図13に示す実施形態の横断面図を示したものである。強磁性セクション140は、厚さ0.9cmの409ステンレス鋼、410ステンレス鋼または446ステンレス鋼である。非強磁性セクション142は、厚さ0.9cmの

50

銅である。強磁性セクション140および非強磁性セクション142はジャケット154内に配置されている。ジャケット154は、厚さ0.1cmの304ステンレス鋼である。導電層152は、銅の層である。電気絶縁体146は、厚さ0.1cmないし0.3cmの窒化ケイ素、窒化ホウ素または酸化マグネシウムである。内部導体144は、直径1.0cmの銅である。

【0088】

一実施形態においては、強磁性セクション140は、厚さ0.9cmの446ステンレス鋼である。ジャケット154は、厚さ0.6cmの410ステンレス鋼である。410ステンレス鋼は、446ステンレス鋼より高いキュリー温度を有している。このような温度制限加熱器は、温度制限加熱器から周囲の累層および/または周囲のあらゆる水（たとえばブライン、地下水または地層水）へ電流が容易に流れないように電流を「抑制する」ことができる。この実施形態においては、強磁性セクションがキュリー温度に到達するまでの間、電流の大半が強磁性セクション140を通して流れる。強磁性セクション140がキュリー温度に到達すると、電流の大半が導電層152を通して流れる。ジャケット154（410ステンレス鋼）の強磁性特性によってジャケットの外部へ流れる電流が抑制され、また、電流が「保持」される。また、温度制限加熱器に強度を提供する厚さをジャケット154に持たせることも可能である。

10

【0089】

図16Aおよび図16Bは、強磁性内部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。内部導体144は、1インチスケジュールXXS 446ステンレス鋼管である。いくつかの実施形態においては、内部導体144には、409ステンレス鋼、410ステンレス鋼、Invar 36、合金42-6、合金52または他の強磁性体が含まれている。内部導体144の直径は2.5cmである。電気絶縁体146は、窒化ケイ素、窒化ホウ素、酸化マグネシウム、重合体、Nextelセラミック繊維、マイカまたはガラス繊維である。外部導体148は、銅または他の任意の非強磁性体、たとえばアルミニウムなどである。外部導体148はジャケット154に結合されている。ジャケット154は、304Hステンレス鋼、316Hステンレス鋼または347Hステンレス鋼である。この実施形態においては、熱の大半が内部導体144内で生産される。

20

【0090】

図17Aおよび図17Bは、強磁性内部導体および非強磁性コアを備えた温度制限加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。内部導体144には、446ステンレス鋼、409ステンレス鋼、410ステンレス鋼または他の強磁性体が含まれている。コア168は、内部導体144の内部に緊密に結合されている。コア168は、銅または他の非強磁性体のロッドである。コア168は、くみ出し操作に先立って、緊密嵌合内側内部導体144として挿入される。いくつかの実施形態においては、コア168および内部導体144は、共有押し出し成形結合されている。外部導体148は347Hステンレス鋼である。電気絶縁体146を圧縮するための延伸操作または圧延操作によって、内部導体144とコア168の間の良好な電気接触を保證することができる。この実施形態においては、キュリー温度に近づくまで、主として内部導体144内で熱が生産される。次いで、交流がコア168に浸入すると抵抗が急激に小さくなる。

30

40

【0091】

図18Aおよび図18Bは、強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。内部導体144は、ニッケルで被覆された銅である。電気絶縁体146は、窒化ケイ素、窒化ホウ素または酸化マグネシウムである。外部導体148は、1インチスケジュールXXS炭素鋼管である。この実施形態においては、主として外部導体148内で熱が生産されるため、電気絶縁体146の両端間の温度差が小さくなる。

【0092】

図19Aおよび図19Bは、耐食性合金で被覆された強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。内部導体144は銅である。外部導体148は、1インチスケジュールXXS 446ステンレス鋼管である。外部導体148は

50

ジャケット 154 に結合されている。ジャケット 154 は、耐食性材料（たとえば 347 H ステンレス鋼）でできている。ジャケット 154 は、ドリルホール内の腐蝕性流体（たとえば硫化ガスおよび肌焼ガス）からの保護を提供している。主として外部導体 148 内で熱が生産されるため、電気絶縁体 146 の両端間の温度差が小さくなる。

【0093】

図 20A および図 20B は、強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。外部導体は、導電層および耐食性合金で被覆されている。内部導体 144 は銅である。電気絶縁体 146 は、窒化ケイ素、窒化ホウ素または酸化マグネシウムである。外部導体 148 は、1 インチスケジュール 80 446 ステンレス鋼管である。外部導体 148 はジャケット 154 に結合されている。ジャケット 154 は、耐食性材料でできている。一実施形態においては、導電層 152 は、外部導体 148 とジャケット 154 の間に配置されている。導電層 152 は銅の層である。主として外部導体 148 内で熱が生産されるため、電気絶縁体 146 の両端間の温度差が小さくなる。導電層 152 を使用することにより、外部導体がキュリー温度に近づくと、外部導体 148 の抵抗を急激に小さくすることができる。ジャケット 154 は、ドリルホール内の腐蝕性流体からの保護を提供している。

【0094】

いくつかの実施形態においては、導体（たとえば内部導体、外部導体または強磁性導体）は、複数の異なる物質を含有した複合導体である。特定の実施形態においては、複合導体には複数の強磁性体が含まれている。いくつかの実施形態においては、複合強磁性導体には、放射状に配置された複数の物質が含まれている。特定の実施形態においては、複合導体は、強磁性導体および非強磁性導体を備えている。いくつかの実施形態においては、複合導体は、非強磁性コアの上に配置された強磁性導体を備えている。複数の物質を使用して、キュリー温度未満の温度領域で比較的平らな電気抵抗対温度プロファイルを得ることができ、および/またはキュリー温度またはキュリー温度に近い温度で電気抵抗率の急激な減少（大きなターンダウン比率の減少）を得ることができる。いくつかの事例においては、複数の物質を使用して、温度制限加熱器に複数のキュリー温度が提供される。

【0095】

複合電気導体は、本明細書において説明されている任意の電気加熱器実施形態の導体として使用することができる。たとえば、複合導体は、コンダクタインコンジット加熱器または絶縁導体加熱器の導体として使用することができる。特定の実施形態においては、支持導体などの支持部材に複合導体を結合することができる。キュリー温度またはキュリー温度に近い温度における強度を複合導体に依存することがないように、支持部材を使用して複合導体を支持することができる。支持部材は、少なくとも 100 m の長さの加熱器に使用することができる。支持部材は、良好な高温クリープ強さを有する非強磁性部材であってもよい。支持部材に使用される材料の例には、それらに限定されないが、Haynes（登録商標）625 合金および Haynes（登録商標）HR120（登録商標）合金（Haynes International、Kokomo、IN）、NF709、Incoloy（登録商標）800H 合金および 347H 合金（Allegheny Ludlum Corp.、Pittsburgh、PA）がある。いくつかの実施形態においては、複合導体の材料は、互いにおよび/または支持部材に直接結合されている（たとえばろう付け、冶金結合またはスウェージ結合されている）。支持部材を使用することにより、とりわけキュリー温度またはキュリー温度に近い温度で温度制限加熱器を支持する必要性から強磁性部材を解放することができる。したがって強磁性体の選択により柔軟性のある温度制限加熱器の設計が可能になる。

【0096】

図 21 は、支持部材を備えた複合導体の一実施形態の断面図を示したものである。コア 168 は、強磁性導体 166 および支持部材 172 によって取り囲まれている。いくつかの実施形態においては、コア 168、強磁性導体 166 および支持部材 172 は直接結合されている（たとえばまとめてろう付けされ、またはまとめて冶金結合されている）。一

実施形態においては、コア 168 は銅であり、強磁性導体 166 は 446 ステンレス鋼であり、支持部材 172 は 347 H 合金である。特定の実施形態においては、支持部材 172 はスケジュール 80 管である。支持部材 172 は、強磁性導体 166 およびコア 168 を有する複合導体を取り囲んでいる。強磁性導体 166 とコア 168 は結合されており、たとえば共有押し出し成形プロセスによって複合導体を形成している。たとえば複合導体は、直径 0.95 cm の銅コアを取り囲んでいる外径 1.9 cm の 446 ステンレス鋼強磁性導体である。1.9 cm スケジュール 80 支持部材の内側のこの複合導体は、1.7 のターンダウン比率をもたらしている。

【0097】

特定の実施形態においては、コア 168 の直径が強磁性導体 166 の一定の外径に対して調整され、それにより温度制限加熱器のターンダウン比率が調整される。たとえばコア 168 の直径は、強磁性導体 166 の外径を 1.9 cm に維持しつつ 1.14 cm まで大きくすることができ、それにより温度制限加熱器のターンダウン比率を 2.2 まで大きくすることができる。

【0098】

いくつかの実施形態においては、複合導体の導体（たとえばコア 168 および強磁性導体 166）は、支持部材 172 によって分離されている。図 22 は、導体を分離している支持部材 172 を備えた複合導体の一実施形態の断面図を示したものである。一実施形態においては、コア 168 は、直径 0.95 cm の銅であり、支持部材 172 は、外径 1.9 cm の 347 H 合金であり、強磁性導体 166 は、外径 2.7 cm の 446 ステンレス鋼である。このような導体によって少なくとも 3 のターンダウン比率が得られる。図 22 に示す支持部材は、図 21、23 および 24 に示す他の支持部材と比較すると、より大きいクリープ強さを有している。

【0099】

特定の実施形態においては、支持部材 172 は、複合導体の内側に配置されている。図 23 は、支持部材 172 を取り囲んでいる複合導体の一実施形態の断面図を示したものである。支持部材 172 は 347 H 合金でできている。内部導体 144 は銅である。強磁性導体 166 は 446 ステンレス鋼である。一実施形態においては、支持部材 172 は、直径 1.25 cm の 347 H 合金であり、内部導体 144 は、外径 1.9 cm の銅であり、強磁性導体 166 は、外径 2.7 cm の 446 ステンレス鋼である。このような導体によって、図 21、22 および 24 に示す同じ外径の実施形態のターンダウン比率より大きい 3 を超えるターンダウン比率が得られる。

【0100】

いくつかの実施形態においては、銅である内部導体 144 の厚さは、ターンダウン比率を小さくするために薄くなっている。たとえば、内部導体 144 の外径を 1.9 cm に維持したまま支持部材 172 の直径を 1.6 cm まで大きくすることによってコンジットの厚さが薄くなる。内部導体 144 の厚さをこのように薄くすることにより、より分厚い内部導体実施形態と比較すると、ターンダウン比率が小さくなる。しかしながら、少なくとも 3 のターンダウン比率が維持される。

【0101】

一実施形態においては、支持部材 172 は、内部導体 144 および強磁性導体 166 の内側のコンジット（すなわち管）である。図 24 は、支持部材 172 を取り囲んでいる複合導体の一実施形態の断面図を示したものである。一実施形態においては、支持部材 172 は、中心の孔の直径が 0.63 cm の 347 H 合金である。いくつかの実施形態においては、支持部材 172 は、プリフォームコンジットである。特定の実施形態においては、支持部材 172 は、複合導体を形成している間に支持部材の内側に溶解可能な物質（たとえば硝酸による溶解が可能な銅）を配置することによって形成される。溶解可能な物質が溶解し、導体がアSEMBルされると孔が形成される。一実施形態においては、支持部材 172 は、内直 0.63 cm、外径 1.6 cm の 347 H 合金であり、内部導体 144 は、外径 1.8 cm の銅であり、強磁性導体 166 は、外径 2.7 cm の 446 ステンレス鋼

10

20

30

40

50

である。

【0102】

特定の実施形態においては、複合電気導体は、コンダクタインコンジット加熱器の導体として使用されている。たとえば図25に示す導体174として複合電気導体を使用することができる。

【0103】

図25は、コンダクタインコンジット加熱器の一実施形態の断面図を示したものである。導体174はコンジット176内に配置されている。導体174は、導電性物質のロッド又はコンジットである。低抵抗セクション178は、導体174の両端に存在しており、これらのセクションにおける加熱をより小さくしている。低抵抗セクション178は、低抵抗セクション178内の導体174の断面積をより広くすることによって形成されているか、または抵抗がより小さい物質でできている。特定の実施形態においては、低抵抗セクション178は、導体174に結合された低抵抗導体を備えている。

10

【0104】

コンジット176は、導電性物質でできている。コンジット176は、炭化水素層182中の開口180に配置されている。開口180は、コンジット176を収容することができる直径を有している。

【0105】

導体174は、セントライザ184によってコンジット176内の中央に保持することができる。セントライザ184は、導体174をコンジット176から電氣的に分離している。セントライザ184は移動を抑制し、導体174をコンジット176内に適切に配置している。セントライザ184は、セラミック物質またはセラミック物質と金属物質の組合せでできている。セントライザ184は、コンジット176内における導体174の変形を抑制している。セントライザ184は、導体174に沿って約0.1m(メートル)と約3mまたはそれ以上の間の間隔で接触しているか、または間隔を隔てている。

20

【0106】

導体174の第2の低抵抗セクション178は、図25に示すように導体174を井戸水頭112に結合することができる。電力ケーブル186から導体174の低抵抗セクション178を介して導体174に電流を印加することができる。電流は、導体174からスライドコネクタ188を介してコンジット176へ流れる。コンジット176は、電流を電力ケーブル186に戻すために、オーババーデンケーシング190および井戸水頭112から電氣的に絶縁することができる。導体174およびコンジット176内で熱を生産することができる。生産された熱をコンジット176および開口180内で放射させ、炭化水素層182の少なくとも一部を加熱することができる。

30

【0107】

オーババーデンケーシング190は、オーババーデン192中に配置することができる。いくつかの実施形態においては、オーババーデンケーシング190は、オーババーデン192の加熱を抑制する物質(たとえば補強材および/またはセメント)で取り囲まれている。導体174の低抵抗セクション178は、オーババーデンケーシング190の中に配置することができる。導体174の低抵抗セクション178は、たとえば炭素鋼でできている。導体174の低抵抗セクション178は、セントライザ184を使用してオーババーデンケーシング190内の中央に保持することができる。セントライザ184は、導体174の低抵抗セクション178に沿って約6mないし約12mの間隔、つまりたとえば約9mの間隔で配置されている。一加熱器実施形態においては、導体174の低抵抗セクション178は、1つ以上の溶接によって導体174に結合されている。他の加熱器実施形態においては、低抵抗セクションは導体にねじ止め、ねじ止めおよび溶接、または結合されている。低抵抗セクション178は、オーババーデンケーシング190内では、ほとんどおよび/または全く熱を生産しない。パッキング194は、オーババーデンケーシング190と開口180の間に配置することができる。パッキング194をキャップ

40

50

としてオーババーデン 192 と炭化水素層 182 の接合部に使用することにより、オーババーデンケーシング 190 と開口 180 の間のアニユラスに物質を充填することができる。いくつかの実施形態においては、パッキング 194 は、開口 180 から地表 196 への流体の流れを抑制している。

【0108】

特定の実施形態においては、絶縁導体加熱器の導体として複合電気導体を使用することができる。図 26A および図 26B は、絶縁導体加熱器の一実施形態を示したものである。絶縁導体 200 は、コア 168 および内部導体 144 を備えている。コア 168 および内部導体 144 は複合電気導体である。コア 168 および内部導体 144 は、絶縁体 146 の内側に配置されている。コア 168、内部導体 144 および絶縁体 146 は、外部導体 148 の内側に配置されている。絶縁体 146 は、窒化ケイ素、窒化ホウ素、酸化マグネシウムまたは他の適切な電気絶縁体である。外部導体 148 は、銅、鋼または他の任意の電気導体である。

10

【0109】

いくつかの実施形態においては、図 27A および図 27B に示すように、外部導体 148 の外側にジャケット 154 が配置されている。いくつかの実施形態においては、ジャケット 154 は 304 ステンレス鋼であり、外部導体 148 は銅である。ジャケット 154 は、絶縁導体加熱器に耐食性を提供している。いくつかの実施形態においては、ジャケット 154 および外部導体 148 は、絶縁体 146 の上に延伸された、絶縁導体 200 を形成するためのプリフォーム条片である。

20

【0110】

特定の実施形態においては、絶縁導体 200 は、絶縁導体に保護（たとえば腐蝕保護および劣化保護）を提供するコンジット内に配置されている。図 28 においては、絶縁導体 200 は、絶縁導体をコンジットから分離しているギャップ 202 を備えたコンジット 176 の内側に配置されている。

【0111】

強磁性導体によってキュリー温度未満における抵抗性熱出力の大半が提供される温度制限加熱器の場合、電流の大半が磁界 (H) 対磁気誘導 (B) の関数が極めて非線形である物質（強磁性体）を通して流れる。これらの非線形関数は、強い誘導効果の原因になり、また、キュリー温度未満の温度で温度制限加熱器の力率が損失することになるひずみの原因になることがある。これらの効果によって温度制限加熱器の制御が困難になることがあり、また、余分な電流が地面および/またはオーババーデン電源導体を通して流れることになる。実施が高価および/または困難である場合、可変コンデンサまたは変調電源などの制御システムを使用してこれらの効果の補償を試行することができ、また、強磁性体を通して流れる電流によって抵抗性熱出力の大半が提供される温度制限加熱器の制御を試行することができる。

30

【0112】

特定の温度制限加熱器実施形態においては、電流の流れの大半が強磁性導体によって、強磁性導体のキュリー温度未満の温度またはキュリー温度に近い温度の強磁性導体に結合された外部電気導体（たとえばシース、ジャケット、支持部材、耐食性部材または他の電気抵抗性部材）に制限される。いくつかの実施形態においては、電流の流れの大半が強磁性導体によって他の電気導体（たとえば内部導体または中間導体（層と層の間の電気導体））に制限される。強磁性導体は、電流の流れの大半が強磁性導体のキュリー温度またはキュリー温度未満の強磁性導体の磁気特性によって外部電気導体に制限されるよう、温度制限加熱器の断面内に配置されている。強磁性導体の表皮効果によって電流の流れの大半が外部電気導体に制限される。したがって、温度制限加熱器の動作範囲のほぼ全体にわたって、大半の電流が実質的に線形抵抗特性を有する物質（たとえば外部電気導体）を通して流れる。強磁性導体の強磁性特性はキュリー温度を超えると消失するため、誘導効果および/またはひずみが著しく抑制されるか、または除去される。強磁性導体および外部電気導体は、温度制限加熱器の断面内に配置されているため、表皮効果によって電流の浸入

40

50

度が強磁性体の外部電気導体および強磁性導体のキュリー温度未満の温度の強磁性導体に制限される。したがって強磁性導体のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度までの間、外部電気導体によって温度制限加熱器の電気抵抗性熱出力の大半が提供される。

【0113】

電流の大半がキュリー温度未満の外部電気導体を通して流れるため、温度制限加熱器は、外部電気導体の物質の抵抗対温度プロファイルを少なくとも部分的に反映している抵抗対温度プロファイルを有している。したがって、外部電気導体の物質が線形の抵抗対温度プロファイルを有している場合、温度制限加熱器の抵抗対温度プロファイルは、強磁性導体のキュリー温度未満では実質的に線形である。特定の実施形態においては、外部電気導体の物質は、温度制限加熱器が強磁性導体のキュリー温度未満で所望の抵抗対温度プロ

10

【0114】

温度制限加熱器の温度が強磁性導体のキュリー温度に近づくかまたはキュリー温度を超えると、強磁性導体の強磁性特性のリダクションによって温度制限加熱器の導電断面のより広い部分を通して電流が流れる。したがって温度制限加熱器の電気抵抗が小さくなり、温度制限加熱器は、強磁性導体のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度では、提供する熱出力が自動的に小さくなる。特定の実施形態においては、導電性の高い部材（たとえば内部導体、コアまたは他のたとえば銅またはアルミニウムの導電性部材）は、強磁性導体および外部電気導体に結合されており、強磁性導体のキュリー温度またはキュリー温度を超える温度制限加熱器の電気抵抗を小さくしている。

20

【0115】

電流の流れの大半をキュリー温度未満の温度の外部電気導体に制限する強磁性導体には、キュリー温度またはキュリー温度に近い温度までの間、強磁性導体を使用して抵抗性熱出力の大半を提供している温度制限加熱器の強磁性導体と比較すると、比較的微小な断面を持たせることができる。キュリー温度未満では外部導体を使用して抵抗性熱出力の大半を提供している温度制限加熱器は、キュリー温度未満では強磁性体によって抵抗性熱出力の大半が提供される温度制限加熱器と比較すると、強磁性導体を通して流れる電流が小さいため、キュリー温度未満の温度では小さい磁気インダクタンスを有している。半径（ r ）における磁界（ H ）は、強磁性導体およびコアを通して流れる電流（ I ）を強磁性導体の半径（ r ）で割った値に比例している。

30

【0116】

$$(3) H = I / r$$

キュリー温度未満では外部導体を使用して抵抗性熱出力の大半を提供している温度制限加熱器の場合、強磁性導体を通して流れる電流はごく一部にすぎないため、温度制限加熱器の磁界は、電流の大半が強磁性体を通して流れる温度制限加熱器の磁界より著しく小さくなる。より小さい磁界では、比透磁率（ μ ）がより大きくなる。

【0117】

強磁性導体の表皮作用の深さ（ δ ）は、比透磁率（ μ ）の平方根に反比例する。

【0118】

$$(4) \delta = (1 / \mu)^{1/2}$$

40

比透磁率（ μ ）が大きくなると、強磁性導体の表皮作用の深さが浅くなる。しかしながら、温度がキュリー温度未満の場合、強磁性導体を通して流れる電流はごく一部にすぎないため、比透磁率が大きい強磁性体の場合、強磁性導体の半径（すなわち厚さ）を小さくして浅くなった表皮作用の深さを補償し、一方では、依然として、表皮効果によって電流の浸入度を強磁性導体のキュリー温度未満の温度の外部電気導体に制限することができる。強磁性導体の半径（厚さ）は、強磁性導体の比透磁率に応じて、0.3 mmと8 mmの間、0.3 mmと2 mmの間、または2 mmと4 mmの間にあることができる。強磁性導体の比透磁率が大きくなると、ターンダウン比率がより大きくなり、強磁性導体のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度の温度制限加熱器の電気抵抗がより急激に小さくなる。

50

【 0 1 1 9 】

比透磁率が大きい(たとえば少なくとも200、少なくとも1000、少なくとも 1×10^4 または少なくとも 1×10^5)および/またはキュリー温度が高い(たとえば少なくとも600、少なくとも700または少なくとも800)強磁性体(鉄、鉄-コバルト合金または低不純物炭素鋼など)は、高温で耐食性が小さくなり、および/または機械強度が小さくなる傾向がある。外部電気導体は、温度制限加熱器に高温における耐食性および/または高機械強度を提供することができる。

【 0 1 2 0 】

電流の流れの大半を強磁性導体のキュリー温度未満の外部電気導体に制限することによって力率の変化が小さくなる。キュリー温度未満の強磁性導体を通して流れる電流はごく一部にすぎないため、強磁性導体の非線形強磁性特性は、キュリー温度またはキュリー温度に近い温度を除き、温度制限加熱器の力率にはほとんど影響しないか、または全く影響しない。キュリー温度またはキュリー温度に近い温度であっても、強磁性導体がキュリー温度未満における抵抗性熱出力の大半を提供している温度制限加熱器と比較すると、力率に対する影響が抑制される。したがって、温度制限加熱器の誘導負荷の変化を調整して比較的大きい力率を維持するための外部補償(たとえば可変コンデンサまたは波形変調)の必要性が減少するかまたは除去される。

10

【 0 1 2 1 】

特定の実施形態においては、電流の流れの大半を強磁性導体のキュリー温度未満の外部電気導体に制限している温度制限加熱器は、温度制限加熱器を使用している間、0.85を超える力率、0.9を超える力率または0.95を超える力率を維持する。力率のリダクションは、すべて温度制限加熱器のキュリー温度に近い温度のセクションでのみ生じる。通常、使用中における温度制限加熱器のほとんどのセクションは、キュリー温度またはキュリー温度に近い温度ではなく、また、これらのセクションは、1.0に近い大きい力率を有している。したがって温度制限加熱器全体の力率は、温度制限加熱器のいくつかのセクションが0.85未満の力率を有している場合であっても、温度制限加熱器を使用している間、0.85を超える力率、0.9を超える力率または0.95を超える力率が維持される。

20

【 0 1 2 2 】

導電性の高い部材すなわち内部導体は、温度制限加熱器のターンダウン比率を大きくしている。特定の実施形態においては、導電性の高い部材の厚さを分厚くすることによって温度制限加熱器のターンダウン比率を大きくしている。いくつかの実施形態においては、外部電気導体の外径を小さくすることによって温度制限加熱器のターンダウン比率を大きくしている。特定の実施形態においては、温度制限加熱器のターンダウン比率は、2と10の間、3と8の間、または4と6の間である(たとえばターンダウン比率は、少なくとも2、少なくとも3または少なくとも4である)。

30

【 0 1 2 3 】

図29は、支持部材が強磁性導体のキュリー温度未満における熱出力の大半を提供している温度制限加熱器の一実施形態を示したものである。コア168は、温度制限加熱器の内部導体である。特定の実施形態においては、コア168は、銅またはアルミニウムなどの高度に導電性の物質である。強磁性導体166は、支持部材172とコア168の間の薄い強磁性体の層である。特定の実施形態においては、強磁性導体166は、鉄または鉄の合金である。いくつかの実施形態においては、強磁性導体166には、比透磁率の大きい強磁性体が含まれている。たとえば、強磁性導体166は、アームコインゴット鉄(Armco, Brazil)などの精製鉄であってもよい。若干の不純物を含有した鉄は、通常、400程度の比透磁率を有している。1450の水素ガス(H₂)中における焼きなましによる鉄の精製によって、 1×10^5 程度の値まで鉄の比透磁率が大きくなる。強磁性導体166の比透磁率を大きくすることにより、強磁性導体の厚さを薄くすることができる。たとえば非精製鉄の厚さは約4.5mmであるが、精製鉄の厚さは約0.76mmである。

40

50

【 0 1 2 4 】

特定の実施形態においては、支持部材 1 7 2 が強磁性導体 1 6 6 および温度制限加熱器を支持している。支持部材 1 7 2 は、強磁性導体 1 6 6 のキュリー温度に近い温度またはキュリー温度を超える温度で良好な機械強度を提供する物質を使用して構築することができる。特定の実施形態においては、支持部材 1 7 2 は耐食性部材である。支持部材 1 7 2 は、強磁性導体 1 6 6 の支持と耐食性の両方を提供することができる。支持部材 1 7 2 は、強磁性導体 1 6 6 のキュリー温度までの温度、および/またはキュリー温度を超える温度まで電気抵抗性熱出力を提供する物質でできている。

【 0 1 2 5 】

一実施形態においては、支持部材 1 7 2 は 3 4 7 H ステンレス鋼である。いくつかの実施形態においては、支持部材 1 7 2 は、導電性で良好な機械強度を有する耐食性の他の物質である。たとえば支持部材 1 7 2 は、3 0 4 H、3 1 6 H、3 4 7 H H、N F 7 0 9、Inco l o y (登録商標) 8 0 0 H 合金 (Inco A l l o y s I n t e r n a t i o n a l、H u n t i n g t o n、W e s t V i r g i n i a)、H a y n e s (登録商標) H R 1 2 0 (登録商標) 合金、または Inco n e l (登録商標) 6 1 7 合金であってもよい。いくつかの実施形態においては、支持部材 1 7 2 は、温度制限加熱器の一部に異なる合金を含有している。たとえば支持部材 1 7 2 の下部部分を 3 4 7 H ステンレス鋼にすることができ、支持部材の上部部分は N F 7 0 9 である。特定の実施形態においては、温度制限加熱器の所望の加熱特性を維持しつつ支持部材の機械強度を大きくするために、支持部材の異なる部分に異なる合金が使用されている。

【 0 1 2 6 】

図 2 9 に示す実施形態においては、強磁性導体 1 6 6、支持部材 1 7 2 およびコア 1 6 8 は、温度が強磁性導体のキュリー温度未満である場合に、電流の流れの大半の浸入度が強磁性導体の表皮作用の深さによって支持部材に制限されるように寸法化されている。したがって支持部材 1 7 2 は、強磁性導体 1 6 6 のキュリー温度までの温度、またはキュリー温度に近い温度まで温度制限加熱器の電気抵抗性熱出力の大半を提供している。特定の実施形態においては、図 2 9 に示す温度制限加熱器は、電気抵抗性熱出力の大半を提供するために支持部材 1 7 2 を使用していない他の温度制限加熱器より小型である(たとえば外径が 3 c m、2 . 9 c m、2 . 5 c m または 2 . 5 c m 未満である)。図 2 9 に示す温度制限加熱器は、抵抗性熱出力の大半が強磁性導体によって提供される温度制限加熱器に必要な強磁性導体のサイズと比較すると強磁性導体 1 6 6 が薄いため、より小型にすることができる。

【 0 1 2 7 】

いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器の支持部材および耐食性部材は異なる部材である。図 3 0 および 3 1 は、ジャケットが強磁性導体のキュリー温度未満における熱出力の大半を提供している温度制限加熱器の実施形態を示したものである。ジャケット 1 5 4 は耐食性部材である。ジャケット 1 5 4、強磁性導体 1 6 6、支持部材 1 7 2 およびコア 1 6 8 (図 3 0 の場合) または内部導体 1 4 4 (図 3 1 の場合) は、電流の流れの大半の浸入度が強磁性導体の表皮作用の深さによってジャケットの厚さに制限されるように寸法化されている。特定の実施形態においては、ジャケット 1 5 4 は耐食性の金属であり、強磁性導体 1 6 6 のキュリー温度未満における電気抵抗性熱出力を提供している。たとえばジャケット 1 5 4 は、8 2 5 ステンレス鋼、4 4 6 ステンレス鋼または 3 4 7 H ステンレス鋼である。いくつかの実施形態においては、ジャケット 1 5 4 は薄い厚さを有している(たとえば 0 . 5 m m 程度の厚さである)。

【 0 1 2 8 】

図 3 0 においては、コア 1 6 8 は、銅またはアルミニウムなどの高度に導電性の物質である。支持部材 1 7 2 は、3 4 7 H ステンレス鋼または強磁性導体 1 6 6 のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度における機械強度が良好な他の物質である。

【 0 1 2 9 】

図 3 1 においては、支持部材 1 7 2 は、温度制限加熱器のコアであり、3 4 7 H ステン

10

20

30

40

50

レス鋼または強磁性導体 1 6 6 のキュリー温度またはキュリー温度に近い温度における機械強度が良好な他の物質である。内部導体 1 4 4 は、銅またはアルミニウムなどの高度に導電性の物質である。

【 0 1 3 0 】

いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器を使用して、（たとえば生産井戸内の流体を加熱するため、地表パイプラインを加熱するため、またはドリルホール内または近ドリルホール領域の流体の粘性を小さくするための）より微小な温度加熱が達成されている。温度制限加熱器の強磁性体を変更することにより、より微小な温度加熱が可能になる。いくつかの実施形態においては、強磁性導体は、キュリー温度が 4 4 6 ステンレス鋼のキュリー温度より低い物質でできている。たとえば強磁性導体は、鉄とニッケルの合金であってよい。この合金には、3 0 重量%と 4 2 重量%の間のニッケルを持たせ、残りを鉄にすることができる。一実施形態においては、この合金は In v a r 3 6 である。In v a r 3 6 は、3 6 重量%のニッケルと残りが鉄の合金であり、キュリー温度は 2 7 7 である。いくつかの実施形態においては、合金は、たとえばクロム、ニッケルおよび鉄を含有した 3 つの成分の合金である。たとえば 6 重量%のクロム、4 2 重量%のニッケルおよび 5 2 重量%の鉄を合金に持たせることができる。強磁性導体は、1メートル当たり 2 5 0 ワットと 1メートル当たり 3 5 0 ワットの間の熱出力を提供するタイプの合金でできている。In v a r 3 6 の直径 2 . 5 c m のロッドは、キュリー温度で約 2 ないし 1 のターンダウン比率を有している。In v a r 3 6 合金を銅のコアの上に配置することによって、より直径の小さいロッドにすることができる。銅のコアによって大きいターンダウン比率が得られる。

10

20

【 0 1 3 1 】

温度制限加熱器が銅のコアまたは銅のクラッドを備えている場合、ニッケルなどの比較的耐拡散性の層で銅を保護することができる。いくつかの実施形態においては、複合内部導体は、銅のコアの上にニッケルのクラッドを備え、ニッケルのクラッドの上に鉄のクラッドを備えている。比較的耐拡散性の層によって、たとえば絶縁層を含む温度制限加熱器の他の層への銅の移動が抑制される。いくつかの実施形態においては、温度制限加熱器をドリルホールに設置している間、比較的浸透の層によって、ドリルホール内における銅の堆積が抑制される。

【 0 1 3 2 】

温度制限加熱器は、単相加熱器であっても三相加熱器であってもよい。三相加熱器実施形態においては、温度制限加熱器は、デルタ構成または Y 構成を有している。三相加熱器の 3 つの強磁性導体の各々は、内側が個別のシースであってもよい。導体と導体の間は、接合部分の内側の温度制限加熱器の底で接続することができる。3 つの導体は、接合部分の内側のシースから絶縁された状態を維持することができる。

30

【 0 1 3 3 】

いくつかの三相加熱器実施形態においては、共通外部金属シースの内側の絶縁材によって 3 つの強磁性導体が分離されている。3 つの導体は、シースから絶縁することができる。または 3 つの導体は、温度制限加熱器アセンブリの底でシースに接続することができる。他の実施形態においては、1 つの外部シースまたは 3 つの外部シースが強磁性導体であり、内部導体は非強磁性であってもよい（たとえばアルミニウム、銅または導電性の高い合金）。別法としては、3 つの非強磁性導体の各々が個別の強磁性シースの内側であり、導体と導体の間は、接合部分の内側の温度制限加熱器の底で接続される。3 つの導体は、接合部分の内側のシースから絶縁された状態を維持することができる。

40

【 0 1 3 4 】

いくつかの実施形態においては、三相加熱器は、個別のドリルホールに配置された 3 つの脚を備えている。脚は、共通接触セクション（たとえば中央ドリルホール、接続ドリルホールまたは溶液充填接続セクション）で結合することができる。

【 0 1 3 5 】

一実施形態においては、温度制限加熱器は、中空コアまたは中空内部導体を備えている

50

。温度制限加熱器を形成している層は穴を穿つことが可能であり、それにより流体（たとえば累層流体または水）をドリルホールから中空コアへ流入させることができる。中空コア内の流体は、中空コアを通して地表へ輸送することができる（たとえばポンプで汲み出すことができ、またはガスで揚送することができる）。いくつかの実施形態においては、加熱器／生産井戸または生産井戸として、中空コアまたは中空内部導体を備えた温度制限加熱器が使用されている。中空内部導体を通して蒸気などの流体を累層に注入することができる。

【実施例】

【0136】

以下、温度制限加熱器の非限定の実施例および温度制限加熱器の特性について説明する

10

【0137】

6フィートの温度制限加熱器エレメントが6フィートの347Hステンレス鋼キャニスタの中に配置された。温度制限加熱器エレメントは、直列構成でキャニスタに接続された。温度制限加熱器エレメントおよびキャニスタは、オープンの中に配置された。オープンを使用して温度制限加熱器エレメントおよびキャニスタが加熱された。一連の電流が様々な温度の温度制限加熱器エレメントに印加され、キャニスタを介して戻された。温度制限加熱器エレメントの抵抗および温度制限加熱器エレメントの力率が、電流が流れている間の測定から決定された。

【0138】

20

図32は、銅コア、炭素鋼強磁性導体および347Hステンレス鋼支持部材を備えた温度制限加熱器のいくつかの電流に対する実験測定抵抗対温度を示したものである。強磁性導体は、キュリー温度が770の低炭素炭素鋼である。強磁性導体は、銅コアと347H支持部材の間に挟まれている。銅コアの直径は0.5インチである。強磁性導体の外径は0.765インチである。支持部材の外径は1.05インチである。キャニスタは、3インチスケジュール160 347Hステンレス鋼キャニスタである。

【0139】

データ204は、300Aの60Hz AC印加電流に対する抵抗対温度を示したものである。データ206は、400Aの60Hz AC印加電流に対する抵抗対温度を示したものである。データ208は、500Aの60Hz AC印加電流に対する抵抗対温度を示したものである。曲線210は、10AのDC印加電流に対する抵抗対温度を示したものである。この抵抗対温度曲線は、強磁性導体のキュリー温度まで、またはキュリー温度の近くまで温度制限加熱器のAC抵抗が直線的に大きくなることを示している。キュリー温度の近くでは、AC抵抗は、AC抵抗とキュリー温度を超える温度におけるDC抵抗が等しくなるまで急激に小さくなる。キュリー温度未満の温度におけるAC抵抗の線形依存性は、これらの温度における347HのAC抵抗の線形依存性を少なくとも部分的に反映している。したがってキュリー温度未満の温度におけるAC抵抗の線形依存性は、電流の大半がこれらの温度における347H支持部材を通して流れることを示している。

30

【0140】

図33は、銅コア、コバルト-炭素鋼強磁性導体および347Hステンレス鋼支持部材を備えた温度制限加熱器のいくつかの電流に対する実験測定抵抗対温度を示したものである。コバルト-炭素鋼強磁性導体は、6重量%のコバルトを含有した、キュリー温度が843の炭素鋼導体である。強磁性導体は、銅コアと347H支持部材の間に挟まれている。銅コアの直径は0.465インチである。強磁性導体の外径は0.765インチである。支持部材の外径は1.05インチである。キャニスタは、3インチスケジュール160 347Hステンレス鋼キャニスタである。

40

【0141】

データ212は、100Aの60Hz AC印加電流に対する抵抗対温度を示したものである。データ214は、400Aの60Hz AC印加電流に対する抵抗対温度を示したものである。曲線216は、10AのDCに対する抵抗対温度を示したものである。この温

50

温度制限加熱器のAC抵抗は、前の温度制限加熱器より高い温度でターンダウンしている。これは、コバルトを添加することによって強磁性導体のキュリー温度が高くなったことによるものである。AC抵抗は、支持部材の寸法を有する347H鋼の管のAC抵抗と実質的に同じである。これは、電流の大半がこれらの温度における347H支持部材を通して流れることを示している。図33に示す抵抗曲線の形状は、概ね図32に示す抵抗曲線の形状と同じである。

【0142】

図34は、銅コア、コバルト-炭素鋼強磁性導体および347Hステンレス鋼支持部材を備えた温度制限加熱器の2つのAC電流に対する実験測定力率対温度を示したものである。曲線218は、100Aの60Hz AC印加電流に対する力率対温度を示したものである。曲線220は、400Aの60Hz AC印加電流に対する力率対温度を示したものである。力率は、キュリー温度近辺の領域を除いてほぼ「1」である。キュリー温度近辺の領域においては、非線形磁気特性および強磁性導体を通して流れる電流のほとんどが温度制限加熱器に誘導効果およびひずみをもたらし、力率を小さくしている。図34は、この温度制限加熱器が実験におけるすべての温度に対して0.85を超える力率の最小値を維持していることを示している。地下累層を加熱するために使用される温度制限加熱器のうち、任意の所与の時間ポイントにおいてキュリー温度に達しているのはごく一部にすぎず、また、使用中にこれらの部分の力率が0.85未満になることがないため、使用中における温度制限加熱器全体の力率は、0.85を超える力率（たとえば0.9を超える力率または0.95を超える力率）が維持される。

【0143】

銅コア、コバルト-炭素鋼強磁性導体および347Hステンレス鋼支持部材を備えた温度制限加熱器の実験データから、温度制限加熱器によって引き渡された最大出力を関数としたターンダウン比率が計算された。図35は、これらの計算の結果を示したものである。図35に示す曲線は、約2000W/mまでの温度制限加熱器出力に対して2を超えるターンダウン比率が維持されることを示している。この曲線を使用して、熱出力を持続可能な方法で効果的に提供するための温度制限加熱器の能力が決定される。図35に示す曲線に類似した曲線を有する温度制限加熱器は、温度制限加熱器の過熱または故障を抑制する温度制限特性を維持しつつ、十分な熱出力を提供することが可能である。

【0144】

図36は、温度制限加熱器の温度()対時間(hrs)を示したものである。温度制限加熱器は、2.5cmスケジュールXXH410ステンレス鋼管の内側の直径1.3cmの銅ロッドおよび0.325cmの銅シースを備えた長さ1.83mの加熱器である。温度制限加熱器は、加熱するためにオープンの中に配置された。温度制限加熱器がオープンの中に配置されると、温度制限加熱器に交流が印加された。2時間にわたって電流が大きくなり、400アンペアの比較的安定した値に到達すると、残りの時間の間、この値が維持された。温度制限加熱器の長さに沿った0.46m間隔の3つのポイントでステンレス鋼管の温度が測定された。曲線240は、オープン内の、温度制限加熱器の引込み部分に最も近い0.46mのポイントにおけるステンレス鋼管の温度を示したものである。曲線242は、温度制限加熱器の引込み部分から最も遠い、ステンレス鋼管の端部から0.46mのポイントにおけるステンレス鋼管の温度を示したものである。曲線244は、温度制限加熱器の中心点付近におけるステンレス鋼管の温度を示したものである。温度制限加熱器の中心のポイントは、厚さ2.5cmのFiberfrax(登録商標)(Unifrax Corp., Niagara Falls, NY)絶縁材の0.3mのセクション内にさらに密閉されている。この絶縁材を使用して、温度制限加熱器の上に低熱伝導率セクション(周囲への熱の伝達が遅いかまたは熱の伝達が禁止されたセクション(「ホットスポット」))が生産された。曲線244、242および240で示すように、温度制限加熱器の温度は、時間と共に高くなっている。曲線244、242および240は、温度制限加熱器の長さに沿った3つのすべてのポイントで、ほぼ同じ値まで温度制限加熱器の温度が高くなっていることを示している。得られた温度は、付加されたFiberfrax

max (登録商標) 絶縁材には実質的に無関係である。したがって温度制限加熱器の動作温度は、温度制限加熱器の長さに沿った3つの個々のポイントにおける熱負荷の相違(絶縁材による相違)にもかかわらず実質的に同じである。したがって温度制限加熱器は、低熱伝導率セクションの存在下においても、選択された温度限界を超えていない。

【0145】

図37は、2.5cm固体410ステンレス鋼ロッドおよび2.5cm固体304ステンレス鋼ロッドの温度()対対数時間(hrs)データを示したものである。定印加AC電流では、ロッドの各々の温度は、時間と共に高くなる。曲線246は、絶縁層の下に、304ステンレス鋼ロッドの外部表面に配置された熱電対のデータを示したものである。曲線248は、絶縁層のない304ステンレス鋼ロッドの外部表面に配置された熱電対のデータを示したものである。曲線250は、絶縁層の下に、410ステンレス鋼ロッドの外部表面に配置された熱電対のデータを示したものである。曲線252は、絶縁層のない410ステンレス鋼ロッドの外部表面に配置された熱電対のデータを示したものである。これらの曲線の比較は、304ステンレス鋼ロッド(曲線246および248)の温度の方が410ステンレス鋼ロッド(曲線250および252)の温度よりも急激に高くなっていることを示している。また、304ステンレス鋼ロッド(曲線246および248)の温度は、410ステンレス鋼ロッド(曲線250および252)の温度より大きい値に到達している。410ステンレス鋼ロッドの非絶縁セクション(曲線252)と410ステンレス鋼ロッドの絶縁セクション(曲線250)の間の温度差は、304ステンレス鋼ロッドの非絶縁セクション(曲線248)と304ステンレス鋼ロッドの絶縁セクション(曲線246)の間の温度差より小さい。304ステンレス鋼ロッドの温度は、実験の終了時には依然として高くなっており(曲線246および248)、一方、410ステンレス鋼ロッドの温度は安定している(曲線250および252)。したがって熱負荷変化(絶縁材による変化)の存在下においては、410ステンレス鋼ロッド(温度制限加熱器)の方が304ステンレス鋼ロッド(非温度制限加熱器)より良好な温度制御を提供している。

【0146】

数値シミュレーション(Fluent USA (Lebanon, NH)から入手することができるFLUENT)を使用して、温度制限加熱器の動作と3つのターンダウン比率が比較された。シミュレーションは、油母ケツ岩累層(Green River油母ケツ岩)中の加熱器に対して実施された。シミュレーション条件は、

- 長さ61mのコンダクティンコンジットキュリー加熱器(中央導体(直径2.54cm)、コンジット外径7.3cm)
- 油母ケツ岩累層に対するダウンホール加熱器試験現場品位プロファイル
- 直径16.5cm(6.5インチ)のドリルホール(三角空間上のドリルホールとドリルホールの間隔は9.14m)
- 820ワット/mの初期熱注入率まで200時間の出力ランブアップ時間
- ランブアップ後における定電流運転
- 加熱器のキュリー温度720.6
- 少なくとも0.14L/kg(35ガロン/トン)の油母ケツ岩品位に対して累層が膨張し、温度制限加熱器キャニスタと接触するであった。

【0147】

図38は、ターンダウン比率が2:1の温度制限加熱器の累層深度(m)を関数としたコンダクティンコンジット加熱器の中央導体の温度()を示したものである。曲線254~276は、加熱を開始してから8日ないし加熱を開始してから675日に及ぶ様々な時間における累層中の温度プロファイルを示したものである(254:8日、256:50日、258:91日、260:133日、262:216日、264:300日、266:383日、268:466日、270:550日、272:591日、274:633日、276:675日)。ターンダウン比率が2:1の場合、最も品位の高い油母ケツ

岩層中で466日が経過すると720.6のキュリー温度を超えた。図39は、ターンドウン比率が2:1の場合における累層を介した対応する加熱器熱流束(W/m)を油母ケツ岩品位(l/kg)プロファイル(曲線278)と共に示したものである。曲線280~312は、加熱を開始してから8日ないし加熱を開始してから633日に及ぶ様々な時間における熱流束プロファイルを示したものである(280:8日、282:50日、284:91日、286:133日、288:175日、290:216日、292:258日、294:300日、296:341日、298:383日、300:425日、302:466日、304:508日、306:550日、308:591日、310:633日、312:675日)。ターンドウン比率が2:1の場合、中央導体の温度が最も品位の高い油母ケツ岩層中でキュリー温度を超えた。

10

【0148】

図40は、ターンドウン比率が3:1の場合における累層深度(m)を関数とした加熱器温度()を示したものである。曲線314~336は、加熱を開始してから12日ないし加熱を開始してから703日に及ぶ様々な時間における累層を介した温度プロファイルを示したものである(314:12日、316:33日、318:62日、320:102日、322:146日、324:205日、326:271日、328:354日、330:467日、332:605日、334:662日、336:703日)。ターンドウン比率が3:1の場合、703日が経過するとキュリー温度に近くなった。図41は、ターンドウン比率が3:1の場合における累層を介した対応する加熱器熱流束(W/m)を油母ケツ岩品位(l/kg)プロファイル(曲線338)と共に示したものである。曲線340~360は、加熱を開始してから12日ないし加熱を開始してから605日に及ぶ様々な時間における熱流束プロファイルを示したものである(340:12日、342:32日、344:62日、346:102日、348:146日、350:205日、352:271日、354:354日、356:467日、358:605日、360:749日)。ターンドウン比率が3:1の場合、中央導体の温度がキュリー温度を超えることはなかった。また、ターンドウン比率が3:1の場合、中央導体の温度は、比較的平らな温度プロファイルを示した。

20

【0149】

図42は、ターンドウン比率が4:1の場合における累層深度(m)を関数とした加熱器温度()を示したものである。曲線362~382は、加熱を開始してから12日ないし加熱を開始してから467日に及ぶ様々な時間における累層を介した温度プロファイルを示したものである(362:12日、364:33日、366:62日、368:102日、370:147日、372:205日、374:272日、376:354日、378:467日、380:606日、382:678日)。ターンドウン比率が4:1の場合、678日が経過してもキュリー温度を超えることはなかった。ターンドウン比率が4:1の場合、中央導体の温度がキュリー温度を超えることはなかった。ターンドウン比率が4:1の場合、中央導体は、ターンドウン比率が3:1の場合の温度プロファイルより幾分か平らな温度プロファイルを示した。これらのシミュレーションは、温度制限加熱器の温度がより長い時間の間、より大きいターンドウン比率でキュリー温度またはキュリー温度未満の温度を維持することを示している。この油母ケツ岩品位プロファイルの場合、ターンドウン比率は少なくとも3:1であることが望ましい。

30

40

【0150】

シミュレーションは、油母ケツ岩累層中における温度制限加熱器と非温度制限加熱器の用途を比較するために実行された。直径16.5cm(6.5インチ)のドリルホールに配置されたコンダクティンコンジット加熱器(加熱器と加熱器の間隔は12.2m(40フィート))、累層シミュレータ(たとえばComputer Modelling Group, LTD.(Houston, TX)製のSTARS)、および近ドリルホールシミュレータ(たとえばABAQUS, Inc.(Providence, RI)製のABAQUS)のためのシミュレーションデータが作成された。標準のコンダクティンコンジット加熱器は、304ステンレス鋼導体およびコンジットを備えている。温度制限

50

コンダクティンコンジット加熱器は、導体およびコンジットのための、キュリー温度が760の金属を備えている。図43～45は、シミュレーションの結果を示したものである。

【0151】

図43は、20,000時間の運転後のシミュレーションのための、コンダクティンコンジット加熱器の導体部分の加熱器温度()対累層中の温度制限加熱器の深さ(m)を示したものである。加熱器の出力は、760に到達するまで820ワット/メートルに設定され、760に到達すると、過熱を禁止するために出力が抑制された。曲線384は、標準のコンダクティンコンジット加熱器の導体温度を示したものである。曲線384は、導体の温度変化が大きいこと、および導体の長さに沿って極めて多数のホットスポットが展開していることを示している。導体の温度の最小値は490であった。曲線386は、温度制限コンダクティンコンジット加熱器の導体温度を示したものである。図43に示すように、導体の長さに沿った温度分布は、温度制限加熱器の方が標準のコンダクティンコンジット加熱器より制御されている。また、温度制限加熱器の場合、導体の動作温度は730であった。したがって温度制限加熱器を使用した同様の加熱器出力の場合、より多くの熱入力を累層に提供することができる。

10

【0152】

図44は、油母ケツ岩を加熱するためのシミュレーションに使用された加熱器の加熱器熱流束(W/m)対時間(yrs)を示したものである。曲線388は、標準のコンダクティンコンジット加熱器の熱流束を示したものである。曲線390は、温度制限コンダクティンコンジット加熱器の熱流束を示したものである。図44に示すように、温度制限加熱器の熱流束は、標準の加熱器の熱流束より長い時間期間にわたって大きい値に維持された。より大きい熱流束によってより一様に累層を加熱することができ、また、より速やかに累層を加熱することができる。

20

【0153】

図45は、油母ケツ岩を加熱するためのシミュレーションに使用された加熱器の累積熱入力(kJ/m)(1メートル当たりのキロジュール)対時間(yrs)を示したものである。曲線392は、標準のコンダクティンコンジット加熱器の累積熱入力を示したものである。曲線394は、温度制限コンダクティンコンジット加熱器の累積熱入力を示したものである。図45に示すように、温度制限加熱器の累積熱入力は、標準の加熱器の累積熱入力より速く増加している。温度制限加熱器を使用してより速やかに累層中に熱を蓄積することにより、累層のレトルトに必要な時間を短くすることができる。油母ケツ岩累層のレトルトの着手は、約 1.1×10^8 kJ/メートルの平均累積熱入力で開始することができる。温度制限加熱器の場合、約5年で累積熱入力のこの値に到達しており、標準の加熱器の場合、9年と10年の間である。

30

【0154】

以上の説明から、当業者には、本発明の様々な態様の他の改変および代替実施形態が明らかである。したがって、以上の説明は、本発明を説明するためのものとしてのみ解釈すべきであり、以上の説明は、通常の方法における本発明の実践を当業者に教示することを目的としている。本明細書において示し、説明した本発明の形態は、現時点における好ましい実施形態として捕らえるべきであることを理解されたい。本発明の以上の説明を利用することができる当業者には明らかであるように、本明細書において例示し、説明した元素および物質にとって代わる元素および物質を使用することができ、部品およびプロセスは逆にすることが可能であり、本発明の特定の特徴は、それぞれ個別に利用することができる。本明細書において説明した元素は、特許請求の範囲に記載されている本発明の精神および範囲を逸脱することなく変更することができる。また、特定の実施形態においては、本明細書において個別に説明した特徴を組み合わせることができることを理解されたい。

40

【図面の簡単な説明】

【0155】

50

- 【図 1】累層中の炭化水素を加熱する段階を示すグラフである。
- 【図 2】累層中の炭化水素を処理するためのインサイチュ変換システムの一部の一実施形態を示す略図である。
- 【図 3】強磁性セクションおよび非強磁性セクションを有する外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 4】強磁性セクションおよび非強磁性セクションを有する外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 5】強磁性セクションおよび非強磁性セクションを有する外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 6】シースの内部に配置された強磁性セクションおよび非強磁性セクションを有する外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。 10
- 【図 7】シースの内部に配置された強磁性セクションおよび非強磁性セクションを有する外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 8】シースの内部に配置された強磁性セクションおよび非強磁性セクションを有する外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 9】シースの内部に配置された強磁性セクションおよび非強磁性セクションを有する外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 10】強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 11】強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 12】強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。 20
- 【図 13】外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 14】外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 15】外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 16 A】強磁性内部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 16 B】強磁性内部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 17 A】強磁性内部導体および非強磁性コアを備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 17 B】強磁性内部導体および非強磁性コアを備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 18 A】強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。 30
- 【図 18 B】強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 19 A】耐食性合金で被覆された強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 19 B】耐食性合金で被覆された強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 20 A】強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 20 B】強磁性外部導体を備えた温度制限加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 21】支持部材を備えた複合導体の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 22】導体を分離している支持部材を備えた複合導体の一実施形態を示す断面図である。 40
- 【図 23】支持部材を取り囲んでいる複合導体の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 24】コンジット支持部材を取り囲んでいる複合導体の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 25】コンダクティンコンジット加熱器の一実施形態を示す断面図である。
- 【図 26 A】絶縁導体加熱器の一実施形態を示す図である。
- 【図 26 B】絶縁導体加熱器の一実施形態を示す図である。
- 【図 27 A】外部導体の外側に配置されたジャケットを備えた絶縁導体加熱器の一実施形態を示す図である。
- 【図 27 B】外部導体の外側に配置されたジャケットを備えた絶縁導体加熱器の一実施形態を示す図である。 50

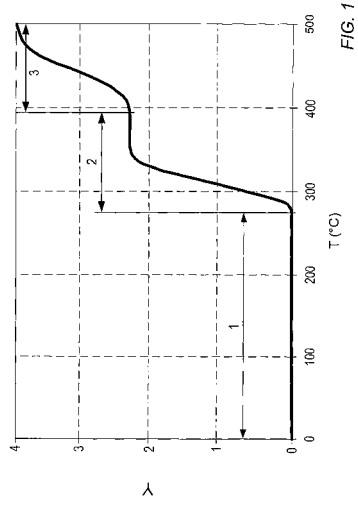
- 【図 2 8】コンジットの内部に配置された絶縁導体の一実施形態を示す図である。
- 【図 2 9】支持部材が強磁性導体のキュリー温度未満における熱出力の大半を提供している温度制限加熱器の一実施形態を示す図である。
- 【図 3 0】ジャケットが強磁性導体のキュリー温度未満における熱出力の大半を提供している温度制限加熱器の一実施形態を示す図である。
- 【図 3 1】ジャケットが強磁性導体のキュリー温度未満における熱出力の大半を提供している温度制限加熱器の一実施形態を示す図である。
- 【図 3 2】銅コア、炭素鋼強磁性導体およびステンレス鋼 3 4 7 H ステンレス鋼支持部材を備えた温度制限加熱器のいくつかの電流に対する実験測定抵抗対温度を示すグラフである。
- 【図 3 3】銅コア、コバルト - 炭素鋼強磁性導体およびステンレス鋼 3 4 7 H ステンレス鋼支持部材を備えた温度制限加熱器のいくつかの電流に対する実験測定抵抗対温度を示すグラフである。
- 【図 3 4】銅コア、炭素鋼強磁性導体および 3 4 7 H ステンレス鋼支持部材を備えた温度制限加熱器の 2 つの A C 電流に対する実験測定力率対温度を示すグラフである。
- 【図 3 5】銅コア、炭素鋼強磁性導体および 3 4 7 H ステンレス鋼支持部材を備えた温度制限加熱器の実験測定ターンダウン比率対引き渡された最大出力を示すグラフである。
- 【図 3 6】温度制限加熱器の温度対時間を示すグラフである。
- 【図 3 7】2 . 5 c m 固体 4 1 0 ステンレス鋼ロッドおよび 2 . 5 c m 固体 3 0 4 ステンレス鋼ロッドの温度対対数時間データを示すグラフである。
- 【図 3 8】ターンダウン比率が 2 : 1 の温度制限加熱器の累層深度を関数としたコンダクタインコンジット加熱器の中央導体の温度を示すグラフである。
- 【図 3 9】ターンダウン比率が 2 : 1 の場合における累層を介した加熱器熱流束を油母ケツ岩品位プロファイルと共に示すグラフである。
- 【図 4 0】ターンダウン比率が 3 : 1 の場合における累層深度を関数とした加熱器温度を示すグラフである。
- 【図 4 1】ターンダウン比率が 3 : 1 の場合における累層を介した加熱器熱流束を油母ケツ岩品位プロファイルと共に示すグラフである。
- 【図 4 2】ターンダウン比率が 4 : 1 の場合における累層深度を関数とした加熱器温度を示すグラフである。
- 【図 4 3】油母ケツ岩を加熱するためのシミュレーションに使用された加熱器の加熱器温度対深さを示すグラフである。
- 【図 4 4】油母ケツ岩を加熱するためのシミュレーションに使用された加熱器の加熱器熱流束対時間を示すグラフである。
- 【図 4 5】油母ケツ岩を加熱するためのシミュレーションにおける累積熱入力対時間を示すグラフである。

10

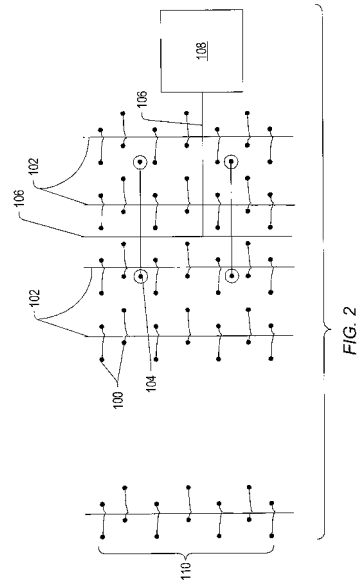
20

30

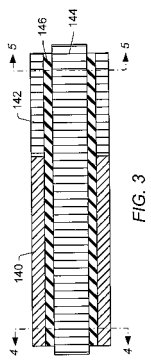
【 図 1 】



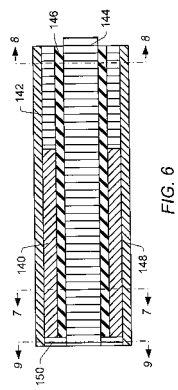
【 図 2 】



【 図 3 】



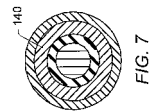
【 図 6 】



【 図 4 】



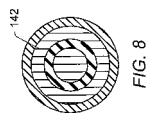
【 図 7 】



【 図 5 】



【 図 8 】



【 9 】

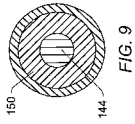


FIG. 9

【 10 】

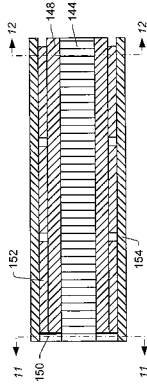


FIG. 10

【 11 】

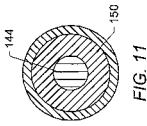


FIG. 11

【 15 】



FIG. 15

【 16 A 】

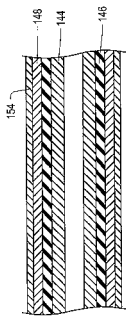


FIG. 16A

【 16 B 】

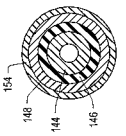


FIG. 16B

【 12 】

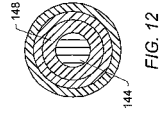


FIG. 12

【 13 】

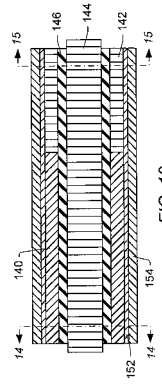


FIG. 13

【 14 】

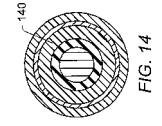


FIG. 14

【 17 A 】

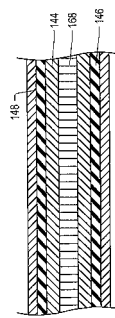


FIG. 17A

【 17 B 】

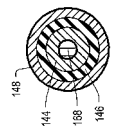


FIG. 17B

【 18 A 】

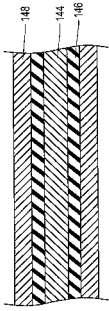


FIG. 18A

【 18 B 】

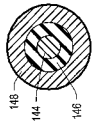


FIG. 18B

【 19 A 】

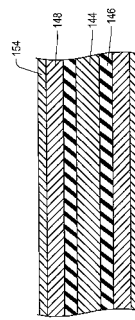


FIG. 19A

【 19 B 】

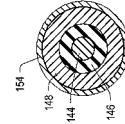


FIG. 19B

【 20 A 】

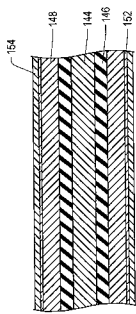


FIG. 20A

【 20 B 】

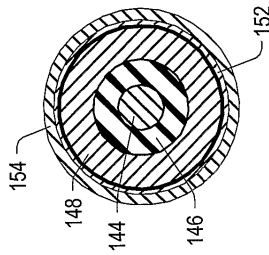


FIG. 20B

【 21 】

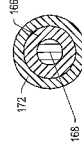


FIG. 21

【 22 】

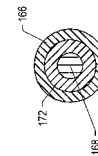


FIG. 22

【 23 】

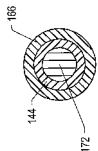


FIG. 23

【 24 】

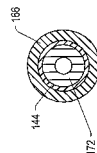


FIG. 24

【 25 】

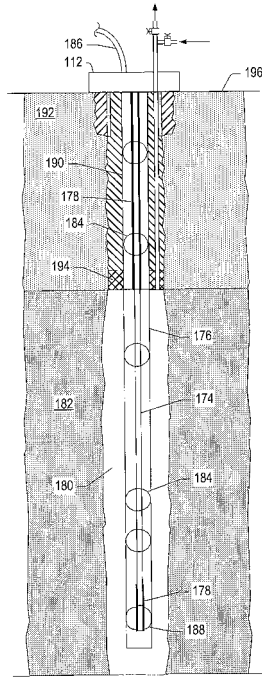


FIG. 25

【 26 A 】

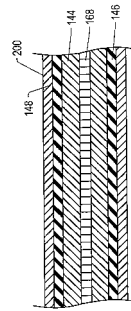


FIG. 26A

【 26 B 】

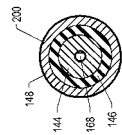


FIG. 26B

【 27 A 】

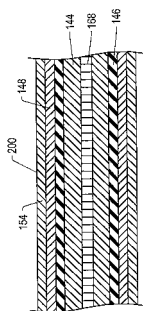


FIG. 27A

【 27 B 】

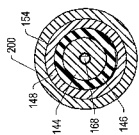


FIG. 27B

【 28 】

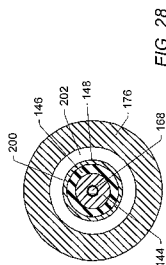


FIG. 28

【 29 】

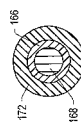


FIG. 29

【 30 】



FIG. 30

【 31 】



FIG. 31

【 3 2 】

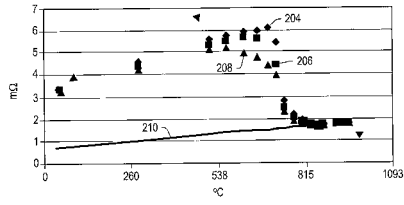


FIG. 32

【 3 5 】

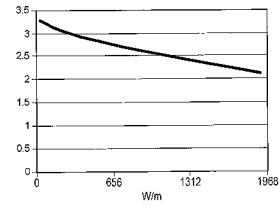


FIG. 35

【 3 3 】

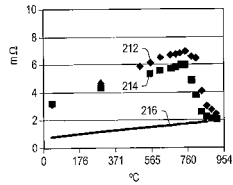


FIG. 33

【 3 6 】

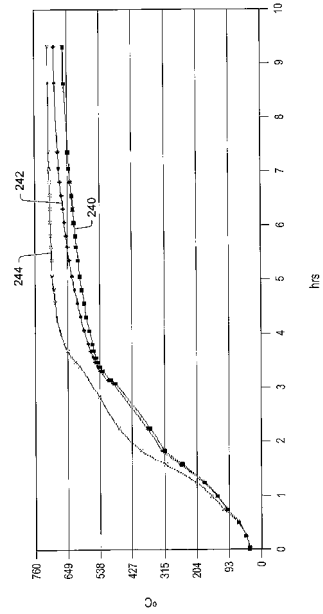


FIG. 36

【 3 4 】

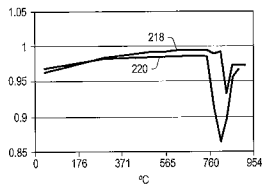


FIG. 34

【 3 7 】

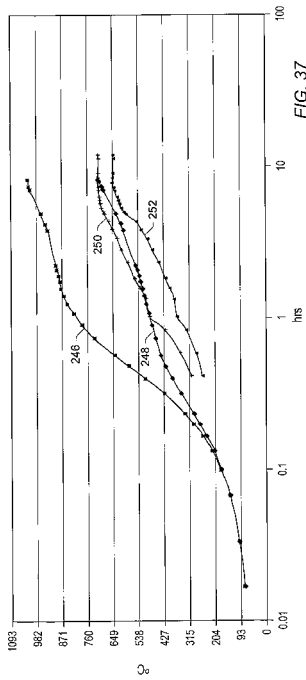


FIG. 37

【 3 8 】

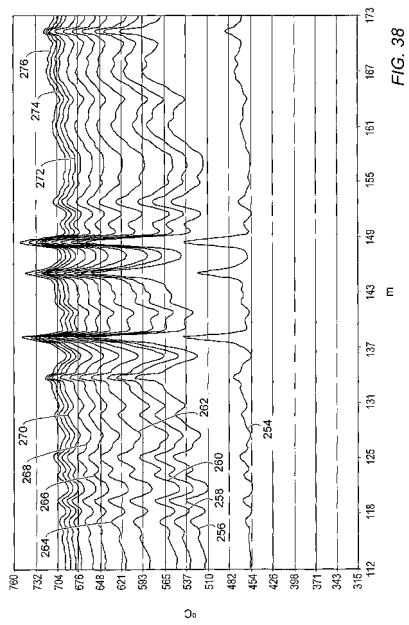


FIG. 38

【 39 】

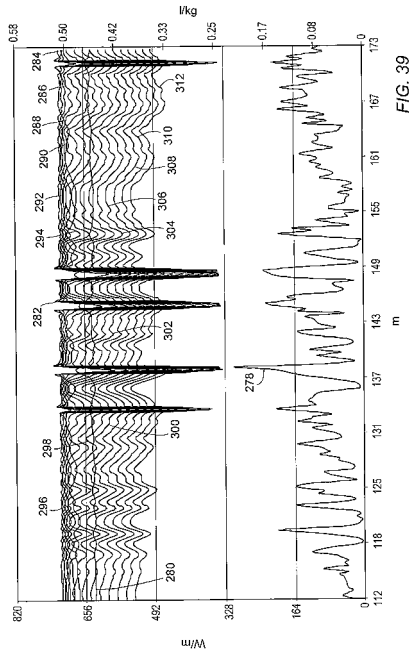


FIG. 39

【 40 】

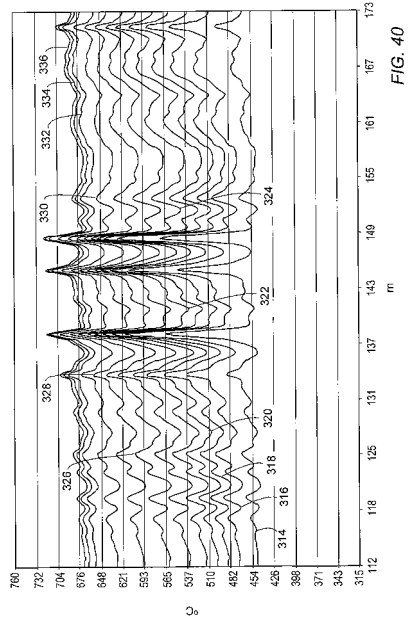


FIG. 40

【 41 】

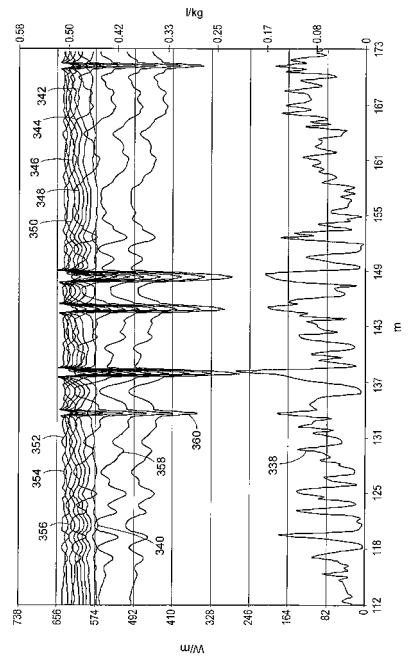


FIG. 41

【 42 】

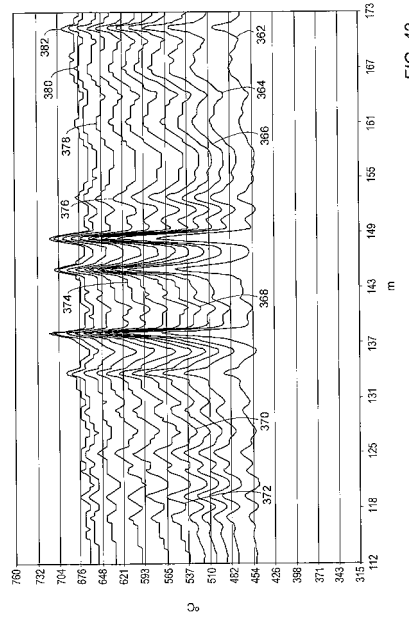


FIG. 42

【 4 3 】

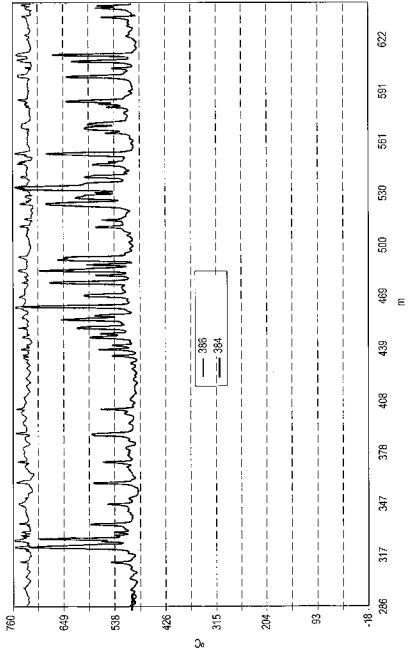


FIG. 43

【 4 4 】

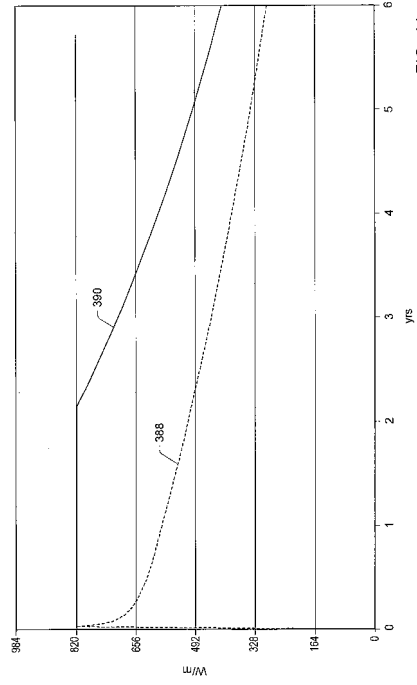


FIG. 44

【 4 5 】

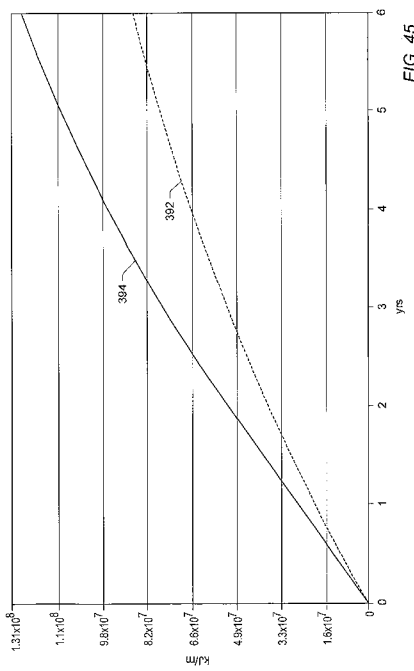


FIG. 45

フロントページの続き

- (74)代理人 100103920
弁理士 大崎 勝真
- (74)代理人 100124855
弁理士 坪倉 道明
- (72)発明者 ハリス, クリストファー・ケルビン
アメリカ合衆国、テキサス・77004、ヒューストン、クローフォード・ストリート・5202
、アパートメント・22
- (72)発明者 サンドバーグ, チェスター・レドリー
アメリカ合衆国、カリフォルニア・94303、パロ・アルト、トレヤ・コート・758
- (72)発明者 ビネガー, ハロルド・ジエイ
アメリカ合衆国、テキサス・77401、ベレア、ローレル・4613

審査官 中里 翔平

- (56)参考文献 国際公開第03/040513(WO, A2)
特開昭59-226490(JP, A)
特開平2-18559(JP, A)
特開昭62-296386(JP, A)
特公昭60-15108(JP, B2)
特表2007-534864(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05B 3/00
E21B 43/24
H05B 3/12
H05B 3/40