(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5813121号
(P5813121)

(45)発行日　平成27年11月17日(2015.11.17)　(24)登録日　平成27年10月2日(2015.10.2)

(51)Int.Cl.		F I		
G01N 27/02	(2006.01)	G01N	27/02	A
G01N 27/74	(2006.01)	G01N	27/74	

請求項の数 10　(全 16 頁)

(21)出願番号	特願2013-533809(P2013-533809)
(86)(22)出願日	平成23年10月12日(2011.10.12)
(65)公表番号	特表2013-539864(P2013-539864A)
(43)公表日	平成25年10月28日(2013.10.28)
(86)国際出願番号	PCT/NO2011/000291
(87)国際公開番号	WO2012/050460
(87)国際公開日	平成24年4月19日(2012.4.19)
審査請求日	平成26年5月30日(2014.5.30)
(31)優先権主張番号	20101411
(32)優先日	平成22年10月12日(2010.10.12)
(33)優先権主張国	ノルウェー(NO)

(73)特許権者　513091319
ハマーテック　エーエス
ノルウェー，　エヌ－５８９９　ベルゲン，　ファントフト　ポストボクス　１４
(74)代理人　100107456
弁理士　池田　成人
(74)代理人　100148596
弁理士　山口　和弘
(74)代理人　100123995
弁理士　野田　雅一
(72)発明者　ハマー，　アーリング，　エー.
ノルウェー，　エヌ－５８９９　ベルゲン，　ファントフト　ポストボクス　１４，
ケア／オブ　ハマーテック　エーエス

最終頁に続く

(54)【発明の名称】水分測定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

管（２０）を通る流体流中に存在する水分を測定するための水分測定装置（１０）であって、

動作中、励起信号（６０）を発生する発生器（５０）と、

前記管（２０）の周りに配置された、前記励起信号（６０）によって励起されて共振し且つ前記管（２０）を通る前記流体流と相互作用するように構成されたコイル装置（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）と、

前記管（２０）の中に存在する水分を測定するために前記コイル装置（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）から共振信号を受け取るように構成された信号プロセッサ（８０）と

を含み、

前記コイル装置（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）が少なくとも３：１である長さ対直径比を有する共振コイル（３０Ｂ）を含み、

前記共振コイルが少なくとも１０回の巻き数を含む、水分測定装置（１０）において、

前記発生器（５０）は、パルス６０間の周期よりも短いパルス継続時間を有するパルスを発生し、

当該水分測定装置（１０）が、前記管（２０）の中に潜在的な水和物形成向けの状態を監視するように構成され、

前記管の中に存在する少量の水の測定が、潜在的な早期の水和物形成を示すことを特徴とする、水分測定装置（１０）。

【請求項２】
前記発生器（５０）が、一時的な一連の励起パルスになるように前記励起信号を発生するように構成されることを特徴とする、請求項１に記載の水分測定装置（１０）。
【請求項３】
動作中、前記管（２０）及びその関連するコイル装置（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）が、前記コイル装置（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）を遮蔽するための静電シールド（４０）で取り囲まれる、請求項１又は２に記載の水分測定装置（１０）。
【請求項４】
前記信号プロセッサ（８０）が前記水分の塩分に無関係に前記管（２０）の中の前記水分を計算することができるよう、前記管（２０）の内側の壁の低周波導電率及び温度を感知し、且つ、対応するセンサ信号を前記データプロセッサ（８０）に提供するためのセンサ装置（１００）をさらに含む、請求項１～３のいずれか一項に記載の水分測定装置（１０）。
【請求項５】
前記コイル装置（３０）が、励起コイル、共振コイル及びピックアップコイル（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）を含み、前記励起コイル（３０Ａ）が前記発生器（５０）に結合され、前記ピックアップコイル（３０Ｂ）が前記信号プロセッサ（８０）に結合され、前記管（２０）の中の水分に敏感な共振特性を提供するために前記共振コイル（３０Ｂ）が同調コンデンサ（Ｃ）に結合される、請求項１～４のいずれか一項に記載の水分測定装置（１０）。
【請求項６】
前記コイル（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）が、個々に絶縁されたリッツ線、絶縁金属テープのうちの少なくとも１つから製造される、請求項５に記載の水分測定装置（１０）。
【請求項７】
前記発生器（５０）及び前記信号プロセッサ（８０）のうちの少なくとも１つが、動作中、前記管（２０）及びそのコイル装置（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）から空間的に離隔されるように構成される、請求項１～６のいずれか一項に記載の水分測定装置（１０）。
【請求項８】
前記管（２０）が、ポリカーボネート重合体、アクリル重合体、ＰＥＥＫのうちの少なくとも１つから製造される、請求項１～７のいずれか一項に記載の水分測定装置（１０）。
【請求項９】
水分測定装置（１０）で管（２０）を通る流体流中に存在する水分を測定する方法であって、前記水分測定装置（１０）は、前記管（２０）の中に潜在的な水和物形成向けの状態を監視するように構成され、管の中に存在する少量の水の測定が潜在的な早期の水和物形成を示す、方法であって、
（ａ）発生器（５０）を使用して、動作中、励起信号（６０）を発生させ、それにより前記管（２０）の周りに配置されたコイル装置（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）を励起し、それにより前記管（２０）を通る前記流体流と相互作用させる、ステップと、
（ｂ）前記管（２０）の中に存在する水分を測定するために前記コイル装置（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）から共振信号を信号プロセッサ（８０）で受け取るステップであって、前記コイル装置（３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ）が少なくとも３：１である長さ対直径比を有する共振コイル（３０Ｂ）を含み、前記共振コイル（３０Ｂ）が少なくとも１０回の巻き数を含む、ステップと
を含む方法において、
前記励起信号のパルスが、パルス間の周期よりも短いパルス継続時間を有することを特徴とする、方法。
【請求項１０】
コンピュータに請求項９記載の方法を実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、水分測定装置（ｗａｔｅｒ ｃｏｎｔｅｎｔ ｍｅａｓｕｒｉｎｇ ａｐｐａｒａｔｕｓ）に関し、例えば、流体流中の水分を監視するための、例えば水和物堆積形成（ｈｙｄｒａｔｅ ｄｅｐｏｓｉｔ ｆｏｒｍａｔｉｏｎ）の状態が潜在的に生じ得る流体流中の水分を監視するための、水分測定装置に関する。さらに、本発明は、流体流中の水分を測定する方法に関し、例えば、水和物堆積形成が潜在的に生じ得る状態の流体流中の水分を測定する方法に関する。さらに、本発明は、機械可読媒体に記録されたソフトウェア製品に関し、ソフトウェア製品は、前記方法を実施するための計算ハードウェア上で実行することができる。
【背景技術】
【０００２】
励起されると複数の対のコイルによって生成される磁界及び電界が交差する流体領域の位相特性を決定するために、互いに異なる応答を示す、交流信号を使用して励起される線の一対のコイルを使用することが知られている。このようなコイルは、従来、比較的少ない巻き数、例えばそれぞれ１０回未満の巻き数を有しており、それらの共振特性、例えば共振Ｑを測定することによって数パーセントの精度内で流体組成を測定することができる。コイルの対は敏感であり、例えば水、油、砂粒子及びスカムが潜在的に同時に流体中に存在し得る場合に、生産ドリルホールから抽出される流体を監視するために使用されている。公開されている国際ＰＣＴ出願第ＷＯ２００４／０２５２８８Ａ１号、「Ｍｅｔｈｏｄ ａｎｄ ａｒｒａｎｇｅｍｅｎｔ ｆｏｒ ｍｅａｓｕｒｉｎｇ ｃｏｎｄｕｃｔｉｖｅ ｃｏｍｐｏｎｅｎｔ ｃｕｒｒｅｎｔ ｏｆ ａ ｍｕｌｔｉｐｈａｓｅ ｆｌｕｉｄ ｆｌｏｗ ａｎｄ ｕｓｅｓ ｔｈｅｒｅｏｆ」、発明者Ｅｒｌｉｎｇ Ｈａｍｍｅｒに、流体領域の位相特性を決定するための装置が記載されている。
【０００３】
近年の問題は、地質学上の油埋蔵量が急速に枯渇し始めており、油会社は、世界の油の需要に合致するために、困難で、且つ、費用のかかる海洋掘削及び生産の問題に戻らなければならないことであり、世界の需要は、現在、１日当たり８５００万バレルの油と等価であると推定されている。例えばノルウェーの北方に位置しているバレント海に存在している、新たに発見された多くの油田及びガス田は、油に対するガスの比率が既に発見されている油田及びガス田に期待される比率より高い比率を含んでいることが分かっている。従って過酷な運転条件、例えば低い周囲運転温度、例えば０℃未満の条件がしばしば課せられる北緯における拡大範囲ガス生産を監視する必要があることが分かっている。
【０００４】
ガス生産が遭遇している近年の問題は、水和物堆積の自然形成であり、この水和物堆積は管を完全に詰まらせ、従ってガスの生産を脅かし、延いては関連する財政上の損失を伴うことがある。水和物の形成は、ガス炭化水素分子が例えばそれらの水素原子の強力な分極によって水分子の酸素原子を攻撃し、そのために炭化水素分子が水分子内に封入されて微小水和物氷晶を形成する場合に生じ、この微小水和物氷晶は、沈殿して上記水和物堆積によって管を詰まらせる原因になることがある。管は、最初は管の内側の壁から詰まり始め、最終的には管の中心領域を遮ることになる。水和物氷晶が内側の壁に堆積し始めると、水和物結晶核生成が促進され、従って水和物による詰まりは、潜在的に、例えば数分以内に急速に形成され得る。さらに、管の詰まりは、形成されると、どちらかと言えばその除去が困難であることがしばしばであり、場合によっては費用のかかる「ピギング」即ち熱処理を実施しなければならない。水和物の形成を防止するための従来の手法は、ガスの流れに添加剤を含むことである。しかしながら添加剤の使用には費用がかかり、また、添加剤は、潜在的にガス流中におけるある程度の汚染の原因になることがある。
【０００５】
管内における水和物の形成を感知するための近年のセンサ及び関連する測定機器は、複

雑で、且つ、高価であり、従ってそれらをガス生産システムに設置することができる場所が限定されている。従ってガス管及びパイプに沿った、水和物堆積の潜在的な形成を検出することができる測定機器を便利に備えることができる多くの場所は、従来の水和物測定機器の費用のためにその設置が妨げられている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

本発明の目的は、例えば水和物堆積が潜在的に生じやすい状態を検出するための、費用有効性がより高く、且つ、より頑丈な水分測定装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本発明の第１の態様によれば、特許請求の範囲の請求項１で特許請求されている水分測定装置が提供される。すなわち、管を通る流体流中に存在する水分を測定するための水分測定装置であって、装置が、動作中、励起信号を発生するための発生器と、管の周りに配置された、励起信号によって励起されて共振し、且つ、管を通る流体流と相互作用するように構成されたコイル装置と、管の中に存在する水分を測定するためにコイル装置から共振信号を受け取るように構成された信号プロセッサとを含み、コイル装置が少なくとも３：１である長さ対直径比を有する共振コイルを含み、また、共振コイルが少なくとも１０回の巻き数を含むことを特徴とする、水分測定装置が提供される。

【０００８】

本発明は、装置が、管の中に存在する、例えば潜在的な早期水和物形成を示す少量の水を測定することができる点で有利な発明である。

【０００９】

任意であるが、発生器は、一時的な一連の励起パルスを含むように励起信号を発生するように動作することができる。

【００１０】

任意であるが、共振コイルは、少なくとも１５回の巻き数を使用し、より好ましくは少なくとも２０回の巻き数を使用し、さらに好ましくは少なくとも２５回の巻き数を使用する。

【００１１】

任意であるが、水分測定装置は、動作中、管及びその関連するコイル装置が、コイル装置を遮蔽するための静電シールドで取り囲まれるように実施される。

【００１２】

任意であるが、水分測定装置は、信号プロセッサが水分の塩分に無関係に管の中の水分を計算することができるよう、管の内側の壁の低周波導電率及び温度を感知し、且つ、対応するセンサ信号を信号プロセッサに提供するためのセンサ装置をさらに含む。

【００１３】

任意であるが、水分測定装置は、コイル装置が、励起コイル、共振コイル及びピックアップコイルを含み、励起コイルが発生器に結合され、ピックアップコイルが信号プロセッサに結合され、また、管の中の水分に敏感な共振特性を提供するために共振コイルが同調コンデンサ（Ｃ）に結合されるように実施される。さらに任意であるが、これらのコイルは、個々に絶縁されたリッツ線、絶縁金属テープのうちの少なくとも１つから製造される。さらに任意であるが、これらのコイルは、それらの表面の電気抵抗を小さくするために、それらの周囲の外部表面に銀めっきが施される。

【００１４】

任意であるが、水分測定装置は、発生器及び信号プロセッサのうちの少なくとも１つが、動作中、管及びそのコイル装置から空間的に遠くに離れるように構成されるように実施される。

【００１５】

任意であるが、水分測定装置は、管の中に潜在的な水和物形成が生じ得る状態を監視す

るように構成される。
【００１６】
任意であるが、水分測定装置は、管が、ポリカーボネート重合体、アクリル重合体、ＰＥＥＫ重合体のうちの少なくとも１つから製造されるように実施される。ＰＥＥＫ重合体は、ビスフェノレート塩のジアルキル化によるステップ成長重合化によって得られる。通常、ＰＥＥＫは、４，４’－ジフルオロベンゾフェノンと、炭酸ナトリウムを使用した除プロトン化によってインサイチューで生成されるヒドロキノンのジソジウム塩との反応によって製造される。ＰＥＥＫの製造には、例えばジフェニルスルホンなどのポーラアプロティック溶媒中で約３００℃の温度で実施される反応が使用される。ＰＥＥＫは半晶質熱可塑性であり、高温に保持される優れた機械的特性及び耐薬品性特性を有している。ＰＥＥＫは３．６ＧＰａのヤング率を示し、また、その引張り強さは、９０ＭＰａから１００ＭＰａの範囲である。さらに、ＰＥＥＫは、約１４３℃の温度のガラス転移温度を有しており、また、約３４３℃の温度で融解する。さらに、ＰＥＥＫは、熱劣化並びに有機環境及び水環境の両方による腐食に対して高度に耐性である。しかしながらＰＥＥＫは、ハロゲン及び強いブレンステッド酸及びルイス酸、並びに高温のいくつかのハロゲン化化合物及び芳香族炭化水素によって腐食する。
【００１７】
本発明の第２の態様によれば、管を通る流体流中に存在する水分を測定する方法であって、
（ａ）　発生器を使用して、動作中、励起信号を発生させ、それにより管の周りに配置されたコイル装置を励起し、それにより管を通る流体流と相互作用させる、ステップと、
（ｂ）　管の中に存在する水分を測定するためにコイル装置から共振信号を信号プロセッサで受け取るステップであって、コイル装置が少なくとも３：１である長さ対直径比を有する共振コイルを含み、また、共振コイルが少なくとも１０回の巻き数を含む、ステップと
を含むことを特徴とする方法が提供される。
【００１８】
本発明の第３の態様によれば、機械可読媒体に記録されたソフトウェア製品が提供され、ソフトウェア製品は、本発明の第２の態様による方法を実施するための計算ハードウェア上で実行することができる。
【００１９】
次に、本発明の実施形態について、単なる例にすぎないが以下の線図を参照して説明する。
【図面の簡単な説明】
【００２０】
【図１】本発明による水分測定装置の一実施形態を示す図である。
【図２】図１の装置内で解析される信号を示す図である。
【図３Ａ】装置の流体流管に水が存在しない場合に、図１の装置のピックアップコイルから発信される信号を示す図である。
【図３Ｂ】装置の流体流管に湧き水が含まれている場合に、図１の装置のピックアップコイルから発信される信号を示す図である。
【図４】図１の装置の流体流管の水分の関数としてのＱを表すパラメータ（タウ、τ）の変化を示す図である。
【図５】塩を含んだ溶液に対する図１の装置の感度を示すグラフである。
【図６】装置の感知管の中に存在する塩を含んだ溶液中の塩の重量に対する図１の装置の感度を示すグラフである。
【図７】本発明による水分測定装置の雑音源を示す略図である。
【図８】本発明による水分測定装置を実施する場合に使用するための電子回路を示す略図である。
【図９】駆動共振ω_0及び非駆動固有共振ω_nを示す、図７及び図８に関連する装置の感

知共振コイル装置の共振特性を示す図である。
【図１０】図７及び図８に関連する装置の感知コイル装置の測定されたＱのサンプルを示す図である。
【図１１】図７及び図８に関連する装置の感知コイル装置の共振特性を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００２１】
添付の線図では、下線が引かれた番号は、その下線が引かれた番号がある品目の上に置かれているか、或いはその下線が引かれた番号がある品目に隣接していることを示すために使用されている。下線が引かれていない番号は、その下線が引かれていない番号を連結している線によって識別されている品目に関連している。番号に下線が引かれていない場合及び関連する矢印が付随している場合、その下線が引かれていない番号は、その矢印が指している品目全体を識別するために使用されている。
【００２２】
円筒状の導体コイルは、インダクタンス及びこのような導体コイルに関連する分布キャパシタンスのために電気的な共振を示すことはよく知られており、このような「分布キャパシタンス」が、本発明による共振回路同調コンデンサに寄与した。この分布キャパシタンスは巻線間キャパシタンスに対応している。さらに、コイルによって展開される磁束のためにインダクタンスが生じる。しかしながら、上で言及したように、このようなコイルが数パーセントの誤差偏差に対して提供することができるのは多相混合測定のみであることが従来から認識されている。潜在的な水和物形成の状態を測定するためには、数ピーピーエム（ｐ．ｐ．ｍ．）の濃度まで水分を測定しなければならない。従って従来の実践では、電気的な共振コイルは、水和物関連の測定を正確に実施するための使用には全く適していないと見なされている。
【００２３】
本発明の案出に関連する実験研究によれば、驚くべきことには、十分な数の巻き数及びコイルの直径に対して適切な関係でその長さを有するコイルを適切に励起することにより、数ピーピーエム（ｐ．ｐ．ｍ．）程度の低い濃度まで水分の測定を実施することができる。このような高い精度の測定は、図１に示されている水分測定装置を利用して実行可能であり、水分測定装置は一括して１０で示されている。装置１０は、例えばポリカーボネート、アクリル系又はＰＥＥＫプラスチック材料から製造された重合体材料管２０を含み、このような重合体材料は、数ＭＨｚの周波数で比較的小さい誘電損を示すように選択される。管２０は、好ましくは、７０ｍｍから９０ｍｍの範囲の内径ｄを有しており、また、巻線を備えた長さは、２８０ｍｍから３２０ｍｍの範囲であるが、装置１０は、９０ｍｍを超えるより大きい直径への適合が可能である。管２０は、その第１の端部に、単一の巻き数を備えた励起コイル３０Ａを備えている。管２０の中央部分には、３０回から５０回の範囲の巻き数を備えた共振コイル３０Ｂが提供されており、この共振コイル３０Ｂは、任意であるが、３２ｐＦの値のコンデンサＣを使用して終端され、実際上は例えば巻き数が３４回のコイル３０Ｂが良好に機能することが分かっている。コンデンサＣは、好ましくは、数ＭＨｚの動作周波数で小さい誘電損を示す高品質コンデンサであり、例えば高品質セラミックコンデンサ、マイカ誘電体コンデンサ又は気密空芯コンデンサである。その関連するコンデンサＣに結合された共振コイル３０Ｂは、数ＭＨｚ程度、例えば１ＭＨｚから５ＭＨｚの範囲の共振周波数を示すように動作することができるが、必要に応じて他の動作周波数を使用することも可能である。共振コイル３０Ｂは、好ましくはコイル３０Ｂが１：３から１：５の範囲の直径：長さ比を有するよう、長さｌに沿って一様に巻かれている。任意であるが、１：５より大きい比率を使用することができる。好ましくは、コイル３０Ｂは、そのＱに悪影響を及ぼして、管２０に存在する微小量の水に対する装置１０の感度を低下させることになるコイル３０Ｂ内の導体浸透厚効果を小さくするために、リッツ線（即ち個々に絶縁されたより線）で巻かれているか、或いは関連する絶縁材を備えた薄い銅テープで巻かれている。任意であるが、コイル３０Ｂの共振Ｑを大きくするために、コイル３０Ｂの巻線の外部導電表面に銀めっきが施される。さらに、管２０は、

単一の巻き数を備えたピックアップコイル３０Ｃを同じく含む。コンデンサＣは、好ましくは、例えば、動作中、管２０を通って流れる、水和物堆積が生じることが期待される状態のガス中の水分の最も正確な測値を得るために、図に示されているようにコイル３０Ｂに空間的に極めて接近して位置している。管２０及びそのコイル３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃは、アルミニウムシート、ステンレス鋼、等々から製造された外部周囲遮蔽シールド４０を備えている。好ましくは、このシールドは、管２０の中に起こり得る圧力に耐えることができるように設計されている。任意であるが、シールド４０を製造するために使用されるアルミニウムシートは、１ｍｍ未満、好ましくは、０．５ｍｍ未満の厚さを有している。別法又は追加として、管２０及びそのコイル３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃのための外部繊維ガラス又は炭素複合遮蔽が使用される。

【００２４】

励起コイル３０Ａは、例えば、パルス継続期間τ_p及びパルス繰返し周波数f_pを有する一時的な一連のパルス６０を出力するように動作することができる発生器５０に結合されている。好ましくは、パルス継続期間τ_pは、パルス６０間の周期、即ち

【数１】

$$\frac{1}{f_p}$$

より少なくとも１桁だけはるかに短い。

【００２５】

ピックアップコイル３０Ｃは、２本の良好に遮蔽された同軸ケーブル７０を介して、動作中にピックアップコイル３０Ｃに誘導される信号を解析し、対応する解析結果を生成するためのソフトウェア製品を実行する計算ハードウェアを使用している信号処理装置８０に接続されている。処理装置８０は、例えば管２０の中に存在しているわずかに数ピーピーエム（ｐ．ｐ．ｍ．）程度の水分レベルを潜在的に追跡するために、管２０の中に存在する水分の濃度を示す解析結果をディスプレイ９０に提供するように動作することができる。任意であるが、処理装置８０は、水和物堆積が生じ得る状態を識別するために、水分濃度、温度及び管２０の内側の表面の導電率を監視するように構成される。

【００２６】

コイル３０Ｂの共振特性は、管２０の中に存在する水の性質が塩を含んでいるか否かによって強力に影響される。塩溶液中の塩含有量は、溶液の凍結温度に影響を及ぼし、従って溶液が炭化水素、例えばメタン又はプロパンと共に存在している場合、水和物堆積が生じ得る温度に影響を及ぼす。塩を含んだ溶液は、その性質が高い導電性であるため、装置１０は、管２０の内側の表面に追加のセンサ装置１００を含まなければならず、このセンサ装置１００は、管２０の内側の表面の温度Ｔを測定するための温度センサ、及び動作中、管２０の内側の表面に形成される膜の導電率σを測定するための表面導電率センサを含む。図２は、処理装置８０に運ばれる、センサ装置１００に関連する信号を示したものである。処理装置８０は、式１で表されている計算を実施するようにプログラムされている。

【数２】

$$w = F(Q, f_r, T, \sigma, P) \qquad \text{式１}$$

上式で、

ｗ＝水分濃度

Ｐ＝管２０の中の圧力

Ｑ＝励起されるコイル３０Ｂの共振のＱ

Ｔ＝管２０の内側の表面の温度

σ＝管２０の内側の表面に形成される水分の膜の低周波導電率又は直流導電率

Ｆ＝実験較正測定から決定される変換関数
である。
【００２７】
関数Ｆは、好ましくは、処理装置８０のコンピュータメモリ内で実施されるルックアップ表として実施される。任意であるが、関数Ｆは、測定データを引き出すために一連の実験試験を実施し、次に、関数Ｆを連続可変関数として提供するために中間測値を数学的捕外法によって合成することによって実験的に決定される。別法としては、センサ装置１００の理論的考察から解析的に関数Ｆを引き出すことも可能である。Ｑは、図３Ａ及び図３Ｂに示されている一時的な信号減衰特性の包絡線から決定され、信号は、実質的に式２で表される。
【数３】

$$s = v_0 e^{\frac{t}{\tau}} \sin \omega t \qquad \text{式２}$$

上式で、
ｓ＝ピックアップコイル３０Ｃに誘導される信号
ｖ０＝信号ｓの振幅係数
τ＝コイル３０Ｂの電気的な共振から生じる応答信号の指数関数的減衰時定数
ω＝コイル３０Ｂの共振周波数
ｔ＝時間
である。
【００２８】
センサ装置１００は、様々な異なる方法で実施することができる。例えば導電率を測定するためのセンサ装置１００の電極は、管２０の内部円周表面の周りの環状リング電極として実施することができ、また、管２０の細長く伸びた軸に沿った方向に配置することができる。別法又は追加として、導電率を測定するためのセンサ装置１００の電極は、管２０の内部表面への水和物の不均質な堆積を感知するための限られた角度範囲のセクタとして実施することも可能である。好ましくは、導電率感知電極は、装置１０によって提供される水和物形成測値が、管２０に接続されている他の管の測値を可能な限り代表するよう、管２０の他の部分と同様の濡れ特性を有するように選択され、或いは処理される。同様に、センサ装置１００の温度センサは、管２０の中の温度勾配を感知するために空間的に配置される１つ又は複数の個別の温度センサとして実施することができる。式１を計算するために、感知構造１００の複数の温度センサからのいくつかの温度測値の集合又は平均を使用することができる。管２０の内側の表面は、好ましくは、内側の表面への水和物堆積の非代表的堆積を回避するために滑らかである。
【００２９】
図３Ａ及び図３Ｂは、コイル３０Ｂが示す、ピックアップコイル３０Ｃを使用して感知された共振特性を示したものである。本発明の好ましい実施形態では、コイル３０Ｂは、好ましくは３４回の巻き数を有しており、また、任意であるが、３２ｐＦの値のキャパシタンスを有するコンデンサＣを使用して同調される。別法としては、コイル３０Ｂは１５回の巻き数を有しており、また、任意であるが、１００ｐＦの値のキャパシタンスを有するコンデンサＣを使用して同調される。図３Ａ及び図３Ｂに示されている非散乱波形を得るためには、励起コイル３０Ａの適切なインピーダンス整合が極めて有利であり、インピーダンス整合は、コイル３０Ｂ内のより高次の共振、例えばコイル３０Ｂの主共振周波数より約１桁高い周波数、例えばコイル３０Ｂが約３．５ＭＨｚの基本共振を有している場合であれば約３５ＭＨｚの周波数における励起を小さくするフィルタに対応している。図２に示されている、直列に接続された５０Ω、３３Ωの抵抗と、これらの抵抗の間の中間点で信号接地に接続された１０００ｐＦのコンデンサとを備えたＴ－構造を含んだ整合要素（ｍａｔｃｈｉｎｇ　ｅｌｅｍｅｎｔ）は、実験研究から、装置１０に対して良好に機能することが分かっている。図３Ａの比較的高いＱ共振は、管２０に水が存在していない

ことに対応しており、一方、図３Ｂは、管２０が多量の淡水を含んでいる場合に生じるより低いＱ応答に対応している。処理装置８０によって実行されるＱの正確な測定により、ピックアップコイル３０Ｃからのピックアップ信号を処理する際に、装置１０は、管２０の中の極めて低い濃度の水分を検出することができ、例えば数ピーピーエム（ｐ．ｐ．ｍ．）の濃度の水分を検出することができる。また、図４は、装置１０の極めて高い感度を示したもので、管２０の中に存在する微量の水βを表す横座標軸、及びピックアップコイル３０Ｃを介して感知されたコイル３０Ｂの共振のＱを表す測定パラメータ（タウ、τ）を提供する縦座標軸を有するグラフである。

【００３０】

追ってより詳細に説明するように、コイル３０Ｂを励起して共振させることにより、本発明によるＱ測定を介して、コイル３０Ｂによって囲まれている領域に水和物形成が生じ得るか否かを確証するための指示が提供される。Ｑ測値は、好ましくはコイル３０Ｂの固有非駆動Ｑから決定され、つまり励起コイル３０Ａの有限駆動インピーダンスによって生じる妨害がない状態で決定される。ピックアップコイル３０Ｃは、好ましくはコイル３０Ｂに対して大きいインピーダンスを示すように配列され、従ってコイル３０Ｂの共振に対する影響を無視することができる。好ましくは、励起コイル３０Ａは、コイル３０Ｂを励起して共振させるために瞬間的に駆動され、次に励起コイル３０Ａを「開路」することによってコイル３０Ｂの共振が自然に減衰し、従ってコイル３０Ａを励起してもコイル３０ＢのＱが影響されることはなく、つまりコイル３０Ｂは、固有共振周波数ω_nを有するその固有共振を示すことができる。コイル３０Ｂの固有共振を監視することにより、装置１０の測定精度を改善することができる。装置１０では、コイル３０ＢのＱ測定は、連続駆動方式又はパルス共振励起方式のいずれかで実施することができ、或いはこのような測定技法を織り交ぜて使用することができる。

【００３１】

装置１０によれば、そのパルス励起動作方式により、発生器５０及びデータプロセッサ８０を管２０及びその関連するコイル３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃ並びに任意選択のセンサ装置１００から空間的に遠隔に位置づけることができる利点が提供される。このような柔軟性は、データプロセッサ８０及び発生器５０に関連する電子要素に悪影響を及ぼすことになる高温で管２０を動作させなければならない場合に極めて有利である。装置１０は、広範囲にわたる用途に使用することができる。例えば装置１０は、海底水和物処理装備に、分離タンク、ダウンドリルホールに、気候変化炭素税基金設備に関連する二酸化炭素捕獲及び隔離システムに、化学産業に、宇宙探測機、等々に使用することができる。装置１０に使用される測定方法については、追ってより詳細に説明する。

【００３２】

装置１０は、水和物堆積の存在を直接測定するようには動作することはできないが、管２０の中に存在する水分濃度の決定と相俟って、導電率、温度及び圧力の測定された状態に基づいて、水和物堆積形成（水和物氷晶）の可能性の指示を提供することができることは理解されよう。任意であるが発生器５０は、周期単一パルスの代替として、複数のパルスの繰返しバーストによってコイル３０Ａを励起するように動作することも可能であり、このようなバースト励起により、コイル３０Ｂ内のより高次の共振を励起する傾向の減少と相俟って、装置１０の中で生じる、電子的に生成される雑音に対してより良好な信号対雑音比（Ｓ／Ｎ）を達成することができる。

【００３３】

図１では、周囲遮蔽シールド４０は、以上の説明ではアルミニウムから製造された周囲遮蔽シールド４０が説明されている。別法としては、遮蔽４０は、輸送及び動作中に装置１０が遭遇するガス及び液体に耐えることができる、認識されているタイプの鋼から製造される。管２０の外側の表面と遮蔽４０の間の領域は、好ましくは、約１の相対透過率を示す機械的に頑丈な絶縁材料が充填され、例えばコイル３０Ａ、３０Ｂ、３０Ｃは、好ましくは炭化水素重合体材料樹脂、例えばエポキシ材料又はポリウレタン材料中に適切に封入する（即ち「ポッティングする」）ことができる。任意であるが、遮蔽４０は、繊維ガ

ラス、炭素繊維又は他の強力な重合体の構造要素を含み、例えば、管２０の中の圧力に耐えることができ、従って動作中に管２０を破裂させることになる起こり得ない事象に対して機器１０を構造的に長持ちさせることができるステンレス鋼から製造される。

【００３４】

もう一度式１を参照すると、装置１０は、その性質が一般に認識されていない希薄特性を測定するように動作する。例えば図４の曲線の曲がり５００は、不正確な測値ではなく、個々の水分子の双極子モーメントより何桁も大きい、より大きい瞬時双極子モーメントを形成するための分極水分子のグループの自然瞬時整列によって生じる真正緩和効果である。このようなより大きい双極子モーメントは、氷晶の形成で観察される。図５には、管２０の中の塩を含んだ溶液の割合が変化する際にコイル３０Ｂが示すＱに関するグラフが示されている。横座標軸４００は、管２０内に存在する塩を含んだ溶液の百分率を表しており、また、縦座標軸４１０は、コイル３０Ｂの共振の時定数タウ、τを表しており、コイル３０ＢのＱは、時定数タウ、τから直接計算することができる。図５から、最小Ｑは、塩を含んだ割合βが約０．５％の場合に、０．５％未満、即ち５０００ｐ．ｐ．ｍ．未満の高い感度で生じることが観察され、装置１０を使用して、数十ｐ．ｐ．ｍ．以内まで、塩を含んだ溶液の存在を区別することができる。

【００３５】

図６には、管２０の中の塩を含んだ溶液に対する装置１０の応答が示されており、横座標軸５００は、管２０の中に存在する塩を含んだ溶液中の塩の百分率重量を表しており、また、縦座標軸５１０は時定数タウ、τを表している。コイル３０Ｂの共振特性は、溶液中に存在する約３重量％の塩（塩化ナトリウム、ＮａＣｌ）で、最大Ｑに対応する他と全く異なるピーク５２０を示し、塩百分率が３％を超えると、溶液の導電率が大きくなるため、それに応じてＱが小さくなり、また、３％未満の濃度では、上で言及した、大きい有効双極子モーメントを生成するための水分子の自然瞬時分極整列によって生じる緩和効果のため、同じくＱが小さくなる。０％の塩重量含有量と３％の塩重量含有量の間では、塩含有量が増加するにつれて、高度に分極した水素原子（陽子）を遮蔽する塩素原子によって大きい瞬時有効双極子モーメントを形成するための水分子の自然連携が妨害され、従って塩含有量の増加に応じてＱが徐々に大きくなる。図５及び図６は、いずれもゼロ近辺で急激に変化する測定特性を示しており、この急激な変化は、淡水又は塩を含んだ溶液の量を追跡するための優れた測定特性を装置１０に付与している。このような測定特性は、例えば沖合のガス生産及び処理設備の管を詰まらせることになる水和物堆積が形成される潜在的な危険が存在する状態を識別するのに適している。

【００３６】

図７には、装置１０の中で生じる雑音の源が概略的に示されている。これらの雑音源は、コイル３０ＢのＱを測定することができる精度に影響を及ぼす。コイル３０ＢのＱは、その取り囲まれている領域が乾いたガスで充填されると最大になり、これは、便宜上、Q_{dry}と呼ばれている。微少量の淡水又は塩を含んだ水がこの取り囲まれている領域に導入されると、コイル３０ＢのＱが小さくなり、これは、便宜上、Q_{wet}と呼ばれている。例えばコイル３０Ｂの巻線抵抗は温度Ｔによって変化し、その結果、ＱQ_{dry}は温度Ｔによって影響される。従って式１に固有であるのは、式３で表されている引き算関数である。

【数４】

$$w = F\left(\left(Q_{dry}(T) - Q_{set}(T)\right), f_r, T, \sigma, P\right) \qquad \text{式３}$$

【００３７】

Q_{dry}（Ｔ）は、正確な測定によって決定することができる。Q_{wet}（Ｔ）は、装置１０が実際に使用される際に決定される。Q_{dry}及びQ_{wet}は、比較的大きい数字になり、例えば１００又はそれ以上の程度になることがあり、従ってｐ．ｐ．ｍ．程度の感度で水の発生を検出するためには、高い精度で測定しなければならないことは理解されよう。このような精度は雑音によって影響され、また、使用中、変動効果が装置１０の中

に生じる。

【００３８】

図７では、装置１０の中で生じる雑音の源は、コイル３０Ｂによって取り囲まれた管２０によって取り囲まれた空間領域の流れの乱れによって生じるＱに影響を及ぼす第１の雑音源６００を含む。このような流れの乱れは、図３Ａ及び図３Ｂに示されている信号減衰の時間期間内ではほぼ一定であるが、例えば数秒又は数分の監視期間の間、コイル３０ＢのＱを測定する毎に変化する。ピックアップコイル３０Ｃから信号を受け取る電子増幅器６１０内に生じる電子雑音Ｅ１が生じ、比較的一定であるが、この電子雑音Ｅ１は、増幅器６１０の動作温度によって影響される。好ましくは、増幅器６１０は、その電子雑音Ｅ１を小さくするためにペルチエ要素又は低温エンジンによって冷却される。増幅器６１０から出力信号を受け取るディジタル電子回路６２０は、電子雑音Ｅ２、例えば量子化雑音の原因になり、この雑音は、好ましくは、構成要素の適切な設計選択によって低減され、例えば増幅器６１０からの増幅アナログ信号を対応するディジタルサンプリングデータに変換するための高分解能ＡＤＣ要素を使用することによって低減される。雑音源６３０、６４０、６５０は、それぞれ導電率測定、温度測定及び圧力測定と結合しており、また、腐食（即ち変動効果）、電気化学効果及び電子要素の経年変化によって生じることがある。実際には、雑音源６００は優勢であり、また、好ましくは、管２０の中の水の存在を検出する場合、ｐ．ｐ．ｍ．測定精度結果を得るためには、本発明による測定技法に対する新規な手法が必要である。

【００３９】

コイル３０Ｂの共振Ｑの測定は、好ましくは、図８に示されている回路を使用して実施される。この回路は、一括して７００で示されており、また、ピックアップコイル３０Ｃから信号を受け取るための上記増幅器６１０、増幅器６１０の出力信号$Ｓ_1$を受け取るための位相検出器７１０、位相検出器７１０の位相誤差出力信号$Ｓ_2$を受け取るための位相積分器７２０を含んだゲート化位相固定ループ（ＰＬＬ）を含み、位相積分器７２０は、必要に応じて積分器７２０の出力信号$Ｓ_3$を固定するための関連するゲート化スイッチ７３０、位相積分器７２０の出力信号$Ｓ_3$によって制御される電圧制御発振器（ＶＣＯ）７４０、発振器（ＶＣＯ）から出力信号$Ｓ_4$を受け取るための駆動増幅器７５０、及び駆動増幅器７５０の出力信号$Ｓ_5$を受け取るための、励起コイル３０Ａに結合されたスイッチ７６０を備えている。また、位相検出器７１０に位相基準信号ϕ_kを提供し、スイッチ７３０、７６０にゲート化信号Ｇを提供し、また、信号$Ｓ_1$を受け取るためのマイクロプロセッサ８００が含まれている。マイクロプロセッサ８００は、機械可読データ記憶媒体に記録された、装置１０によって測定された水分を表す出力を生成するためのソフトウェア製品を実行するように動作することができる。

【００４０】

位相積分器７２０は、アナログ要素によって実施されるか、或いはディジタル的に実施され、また、積分器７２０の出力信号$Ｓ_3$を瞬間的に一定に保持し、それにより信号$Ｓ_4$の出力周波数を瞬間的に一定に維持するためのスイッチ７３０を備えている。任意であるが、発振器７４０は信号$Ｓ_4$の正弦波を合成し、その出力が、安定した高周波基準から引き出され、例えば発振器７２０の一部を形成している高安定水晶発振器から引き出される。

【００４１】

動作中、回路７００は、２つのモード、即ち第１の励起モード及び第２の測定モードで機能する。第１の励起モードでは、コイル３０Ｂの駆動共振周波数ω_0を見出すために発振器７３０が掃引され、次にマイクロプロセッサ８００によって位相信号ϕ_kが調整され、それにより信号$Ｓ_1$の振幅がその最大振幅に調整され、これは、スイッチ７６０を閉じて信号$Ｓ_5$を励起コイル３０Ａに結合することによって生じる。信号$Ｓ_1$の最大振幅が達成されると、コイル３０Ｂはその駆動共振周波数ω_0で共振する。

【００４２】

次に、回路７００はその第２のモードで動作し、マイクロプロセッサ８００から制御さ

れるスイッチ７３０を使用して発振器７３０が周波数ω_0に固定され、任意であるが、その固有非駆動共振周波数ω_nを予測するために、発振器７４０が少し低い周波数、つまりコイル３０Ａ、３０Ｃが、事実上、開路する周波数に調整される。マイクロプロセッサ８００は、次に、スイッチ７６０を介して、１つ又は複数のパルスを使用して、なるべくなら周波数ω_nでパルスを発信して励起コイル３０Ａを励起し、延いてはコイル３０Ｂを励起し、次にスイッチ７６０を開き、それによりコイル３０Ｂは、周波数ω_nでの固有共振を示し、減衰包絡線は、図３Ａ及び図３Ｂに示されている減衰包絡線に類似し、この減衰包絡線から、例えば図３Ａ及び図３Ｂに示されている減衰包絡線の間、信号S_1をディジタル化し、且つ、解析するためにマイクロプロセッサ８００を使用してＱの測度を引き出すことができる。第２のモードが後続するこの第１のモードは、好ましくは、図７の雑音源６００がほぼ一定である時間期間内に実施される。

【００４３】

図９は、固有共振周波数ω_nと比較したコイル３０Ｂの駆動共振周波数ω_0の差を示したものである。信号S_1の振幅は縦座標軸８３０に沿って示されており、また、信号S_5の駆動周波数は横座標軸８２０に沿って示されている。

【００４４】

第２のモードがすぐ後に続くこの第１のモードを複数回にわたって繰り返すことにより、測定時間期間の間に一連のＱ測値Q_1、．．．Q_mが得られる。上で言及した、管２０の中に生じる乱流雑音及び電子雑音のため、これらの一連のＱは、一般に、マイクロプロセッサ８００によって計算された、図１０に示されている発生のガウス－ベル周波数分布の中に入っている。横座標軸９００は、信号S_5から近似的に決定された共振の周波数を表しており、また、縦座標軸９１０は、ｇ（Ｑ）で表されるＱのサンプルQ_1、．．．Q_{m-1}中の所与のＱの発生の周波数を表している。図に示されている結果では、マイクロプロセッサ８００は、次に説明するように、測定された一連のＱQ_1、．．．Q_mに対して解析的処理を実施することにより、式１に使用するための最も代表的なＱを決定している。

【００４５】

マイクロプロセッサ８００によって実施される信号処理では、９２０、９３０によって示されている下側及び上側の結果は、好ましくは無視される、即ち切頭され、また、領域９４０に存在しているより中央のＱ結果を使用して、式１に使用するための信頼性の高いＱの測度が引き出される。例えば上側及び下側の結果９２０、９３０は、図１０のＱ分布の上側及び下側の四分位に対応している。第１の処理方法では、領域９４０の結果を平均して、コイル３０Ｂの固有共振周波数ω_nにおけるＱの代表的な値が引き出される。代替の第２の処理方法では、領域９４０のＱ結果に対して、自己相関ピークにおけるＱの最良の測値を極めて正確に画定する１つ又は複数の自己相関が施される。このような手法により、機器１０のマイクロプロセッサ８００は、コイル３０ＢのＱの代表的な値を極端に正確に決定することができ、この正確な決定により、引き続いて式１を使用して、コイル３０Ｂの近傍の管２０内に存在する水を潜在的にｐ．ｐ．ｍ．精度で測定することができる。

【００４６】

要約すると、回路７００は、好ましくは、固有共振ω_nにおけるコイル３０ＢのＱを測定し、次に、対応するＱ測値を処理して確率的な誤差を除去するように動作することができ、それにより式１を使用して、高い精度、例えば潜在的にｐ．ｐ．ｍ．精度で管２０の中に存在する水を測定することができる。

【００４７】

代替として、回路７００を他の方法で使用してコイル３０ＢのＱを測定することも可能である。例えば、周波数ω_0におけるコイル３０Ｂの駆動ピーク共振を見出すために回路７００が調整され、次に、例えば－３ｄＢポイントに対応し、また、次に任意であるが、管２０内に存在する水ｗを計算するために、確率的な影響を修正して式１に使用するためのＱの最終測度を引き出すために上で言及したように処理される、得られたＱ測値Q_1、

．．．Q_mに対応する、コイル３０Ｂの共振未満の位相間隔及び／又はコイル３０Ｂの共振を超える位相間隔の間を切り換えるために、位相制御ϕ_kによって提供される位相調整がマイクロプロセッサ８００によって加えられる。図１１は、このような連続非パルス測値を示したもので、横座標軸９５０は位相を表しており、また、縦座標軸９６０は、例えば、それぞれ励起周波数ω_l、ω_0、ω_uに対応する、それぞれ－４５°、０°、＋４５°の動作制御位相に対応する－３ｄＢポイント、０ｄＢポイント、－３ｄＢポイントに対する信号S_1の振幅を表しており、コイル３０ＢのＱの測度は、周波数ω_l、ω_0、ω_uから容易に計算することができる。

【００４８】

以上から、ｐ．ｐ．ｍ．の精度で水分を測定するための機器１０の動作には、誤差源を小さくし、それにより信頼性が高く、且つ、正確なＱの測値を引き出すことができ、その測値から微量の水ｗの存在を正確に、且つ、高い信頼性で計算することができるようにするために、最新の信号処理技法の使用と共に、コイル３０Ｂを適切に設計しなければならないことは理解されよう。

【００４９】

上で説明した本発明の実施形態に対する修正は、特許請求の範囲によって定義されている本発明の範囲を逸脱することなく可能である。本発明を説明し、また、特許請求するために使用されている、「含む」、「備える」、「組み込む」、「からなる」、「有する」、「～は」などの表現には、非排他的に、つまり明確に説明されていない品目、構成要素又は要素の存在を同じく許容するべく解釈されることが意図されている。また、単数形の参照は、複数形に関連して解釈すべきである。特許請求の範囲の括弧の中に含まれている数字符号には請求項の理解を促進することが意図されており、どのようなことがあっても、これらの請求項によって特許請求される主題を制限するものと解釈してはならない。

【図１】

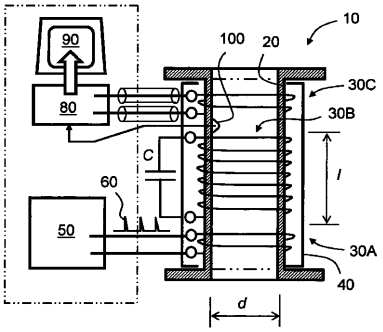

FIG. 1

【図２】

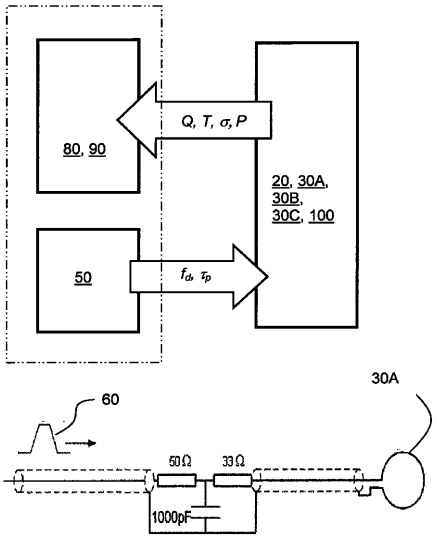

FIG. 2

【図３Ａ】

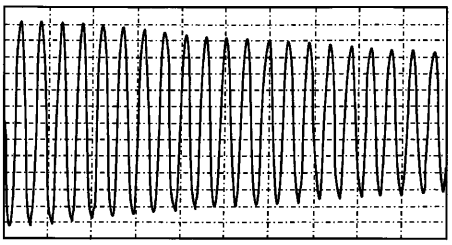

FIG. 3A

【図３Ｂ】

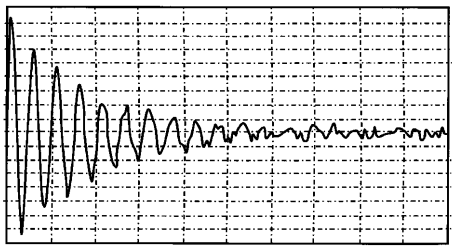

FIG. 3B

【図４】

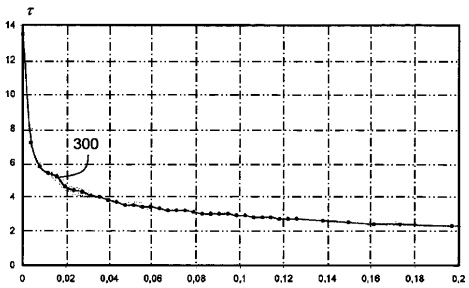

FIG. 4

【図５】

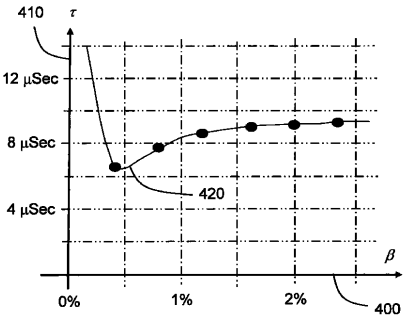

FIG. 5

【図６】

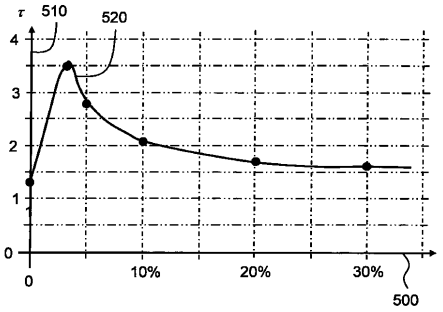

FIG. 6

【図７】

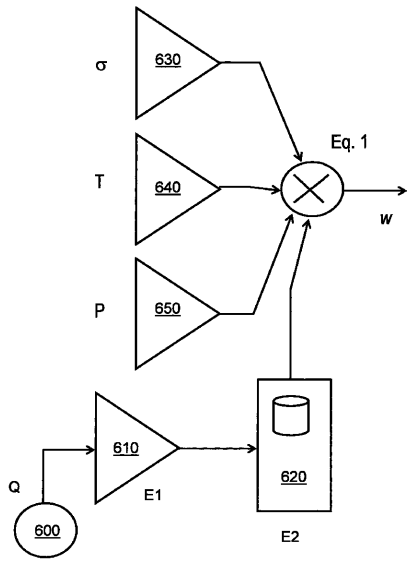

FIG. 7

【図８】

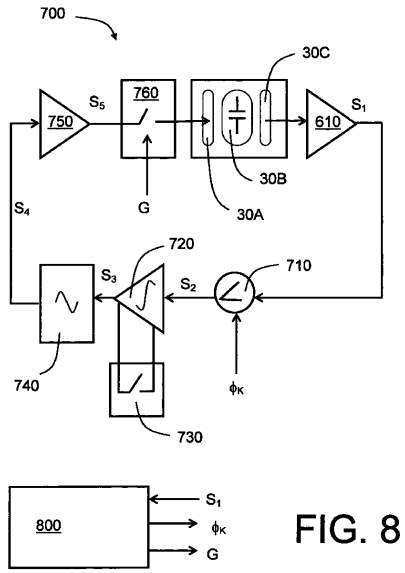

FIG. 8

【図９】

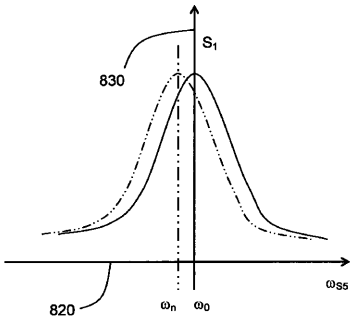

FIG. 9

【図１０】

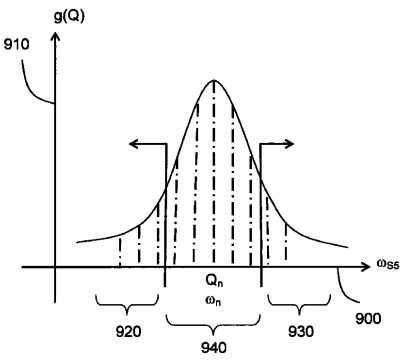

FIG. 10

【図１１】

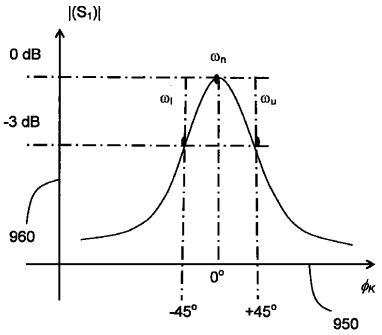

FIG. 11

フロントページの続き

審査官　田中　洋介

(56)参考文献　特開平０７－０７７５０６（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０５５８５７２９（ＵＳ，Ａ）
特開昭５５－１１９０５２（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２４９５５３（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００４／０２５２８８（WO，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ　２７／００－２７／２４