

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4977766号
(P4977766)

(45) 発行日 平成24年7月18日(2012.7.18)

(24) 登録日 平成24年4月20日(2012.4.20)

(51) Int.Cl. F I
G O I F 1/60 (2006.01) G O I F 1/60

請求項の数 7 (全 17 頁)

| | | | |
|---------------|-------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2009-554012 (P2009-554012) | (73) 特許権者 | 391015052 |
| (86) (22) 出願日 | 平成20年3月17日 (2008.3.17) | | エンドレス ウント ハウザー フローテック アクチエンゲゼルシャフト |
| (65) 公表番号 | 特表2010-521690 (P2010-521690A) | | Endress + Hauser Flowtec AG |
| (43) 公表日 | 平成22年6月24日 (2010.6.24) | | スイス国, シーエイチー4153 ライナツハ, バーゼル ラント 1, ケーゲンシュトラーセ 7 |
| (86) 国際出願番号 | PCT/EP2008/053135 | (74) 代理人 | 100074099 |
| (87) 国際公開番号 | W02008/113774 | | 弁理士 大菅 義之 |
| (87) 国際公開日 | 平成20年9月25日 (2008.9.25) | (72) 発明者 | ドラーム, ヴォルフガング |
| 審査請求日 | 平成21年9月17日 (2009.9.17) | | ドイツ連邦共和国, エーアディング 85435, アム ホーホライナッカー 82 |
| (31) 優先権主張番号 | 102007014469.7 | | |
| (32) 優先日 | 平成19年3月22日 (2007.3.22) | | |
| (33) 優先権主張国 | ドイツ (DE) | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気誘導流量測定装置の、予知保全のための方法および/または電気伝導率測定のための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁気誘導流量測定装置の予知保全のための方法、および/または、磁気誘導流量測定装置を通して流れる媒体の電気伝導率を決定するための方法であり、前記磁気誘導流量測定装置は、以下の構成要素、すなわち、

測定管軸に対して基本的に横方向に、測定管を貫通する磁場を生じる磁石系と、

規定の静止電位を持ち、前記磁場に基本的に垂直に位置する前記測定管の領域内に配置される、前記媒体に結合する少なくとも二つの測定電極と、

前記測定電極内に誘導される測定電圧に基づいて、前記媒体の体積流量もしくは質量流量に関する情報を供給する、制御/評価ユニットと、
を含み、

第一の周波数 (f1) を持つ第一のパルスシーケンスと、第二の周波数 (f2) を持つ第二のパルスシーケンスであって、時間ドメインから周波数ドメインへの変換後、側波帯が強く減衰される第一および第二のパルスシーケンスが励起信号として利用される励起信号であって、第一の周波数 (f1) を持つ第一の励起信号と、第二の周波数 (f2) を持つ少なくとも一つの第二の励起信号、または、少なくとも二つの周波数 (f1、f2) を含む励起信号が、前記測定電極 (4、5) に印加され、前記複数もしくは一つの励起信号の平均値が、前記測定電極 (4、5) の電極電位の平均値に少なくともおよそ一致するようになっており、

前記測定電極 (4、5) と基準電位との間で測定される少なくとも一つのインピーダンス値に基づいて、前記媒体 (11) の導電率 () および/または前記測定電極 (4、5) の表

面上の変化が検出され、

前記測定電極（４、５）と基準電位との間で測定される少なくとも一つのインピーダンス値を少なくとも二つの周波数（ f_1 、 f_2 ）を含む励起信号を用いて測定する場合に、少なくとも二つの周波数（ f_1 、 f_2 ）においてそれぞれ測定されるインピーダンス値に等価回路図が適用され、前記等価回路図は、前記測定電極（４、５）の静電容量をあらわすキャパシタ（ C ）と、前記測定電極（４、５）の電位と基準電位との間の前記媒体（１１）の抵抗（ R_M ）をあらわすオーム抵抗（ R_M ）との並列接続、ならびに、周波数非依存位相を持ち前記オーム抵抗（ R_M ）と直列接続する電気素子（ CPE ）とから構成され、素子（ CPE ）は次のインピーダンスによって記載され、

【数１】

$$Z_{CPE} = \frac{1}{Q \cdot (2\pi f \cdot i)^n}$$

前記式中の f は、測定電極（４、５）に印加される周波数を表し、 n および Q は、二つの周波数非依存パラメータであり、 Q は、値が 1 であるときに物理単位ファラッドを有するインピーダンス Z_{CPE} の定数を表し、 n は、前記媒体と電解質との間に形成された電気二重層が電氣的挙動を有する理想的な静電容量であるときに値が 1 となる 1 より小さい乗数を表し、

少なくとも二つの周波数（ f_1 、 f_2 ）においてそれぞれ測定されたインピーダンス値の実数部および虚数部に基いて、二つの周波数非依存パラメータ（ n 、 Q ）および抵抗（ R_M ）が確認され、または、 k をセル定数とし、前記測定電極（４、５）と基準電位との間で測定されたインピーダンス値を Z とすると、 $k / |Z|$ で表される前記媒体の導電率（）が確認される

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

所定の時間間隔において、流量測定が中断され、最後に測定された流量値が記憶もしくは凍結され、

前記流量測定の第一の中断時に、第一の周波数（ f_1 ）を持つ第一の励起信号が前記測定電極（４、５）に印加され、前記流量測定の第二の中断時に、第二の周波数（ f_2 ）を持つ少なくとも一つの第二の励起信号が前記測定電極（４、５）に印加される、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記少なくとも一つのインピーダンス値が確認される、一つもしくは複数のパルスシーケンスの最適周波数（ f_1 、 f_2 、...）は、前記媒体の関数として決定される、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

異なる周波数を持つ少なくとも二つの連続するパルスシーケンスにおいて、前記インピーダンス値が所定の許容範囲内で等しい場合、前記確認されるインピーダンス値に基づいて前記媒体（１１）の導電率が確認される、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

所定の時間間隔において、周波数非依存パラメータの実値（ Q_{act} ）は、前記流量測定装置（１）の所定の開始点において確認される目標値（ Q_{des} ）と比較され、前記実値（ Q_{act} ）と前記目標値（ Q_{des} ）との間のずれが所定の許容範囲を超える場合、前記測定電極（４、５）の表面上の変化が信号で伝えられる、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記確認されるインピーダンス値の位相値が最小値に達するまで、前記パルスシーケンスの周波数（ f ）は漸進的に変化され、前記位相値が最小である前記パルスシーケンスの周波数において、関連する前記インピーダンス値の振幅値は、抵抗（ R_M ）を決定するため

10

20

30

40

50

に、あるいは、前記媒体(11)の導電率を決定するために利用される、
ことを特徴とする請求項4に記載の方法。

【請求項7】

前記媒体(11)の導電率()は流量と同時に提供される、
ことを特徴とする請求項6に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気誘導流量測定装置の予知保全のための方法、および/または、長手方向
軸の方向に磁気誘導流量測定装置の測定管を通して流れる媒体の電気伝導率を測定するた
めの方法に関する。磁気誘導流量測定装置は、以下の構成要素を含む。 10

測定管軸に対して基本的に横方向に、測定管を貫通する磁場を生じる磁石系

規定の静止電位を持ち、磁場に基本的に垂直に位置する測定管の領域内に配置される
、媒体に結合する少なくとも二つの測定電極

測定電極内に誘導される測定電圧に基づいて、測定管内の媒体の体積流量もしくは質
量流量に関する情報を供給する、制御/評価ユニット

【0002】

対応する磁気誘導流量測定装置は、PROMAGの商品名で販売され流通しているものなど、
複数の実施形態で出願人から購入可能である。

【背景技術】

【0003】

DE 103 56 007 B3には、追加機能を提供する磁気誘導流量測定装置が記載されている。
この追加機能を実現するために、測定電極と、基準電極もしくは充填レベルモニタリング
電極との間に電流が印加される。その場合、測定電極間の電圧が測定され、印加電流に対
する測定電圧の比から、第一の抵抗値が確認される。その後、第一の測定電極を第二の測
定電極に置き換え、上記方法のステップが繰り返されることによって、第二の抵抗値が得
られる。確認された二つの抵抗値の差もしくは商を作成することによって、作成された比
もしくは差が所定の値域外にあるときには、二つの測定電極のうち一方の臨界配置(kr
itische Belegung)が検出される。この流量測定装置の場合における欠点は、電流の印加
によって、測定電極の各々が静止電位から外れてしまうこと、すなわち静止電位シフトが 30
あることである。引き続き正確な流量測定を実行できるようにするためには、再度平衡状
態に達するまで待機する必要がある。利用可能な測定時間は短いため、流量測定装置の測
定精度は低下してしまう。

【0004】

EP 0 336 615 B1は、流量測定装置の測定管を通る媒体の流量と、媒体の電気伝導率の
同時計測を可能にする電磁流量測定装置を開示している。この流量測定装置は、冒頭で列
挙した構成要素を含む。既知の流量測定装置に加えて、この欧州公報に開示された方法は
、二つの測定電極からの流量測定信号として作成される出力信号と同様に、媒体の導電率
をあらゆる導電率信号を作成する手段を含む。この目的のため、磁石系の矩形波の交流励
磁信号に加えて、磁石系に印加される励起信号の各半周期の開始時毎に、対応する制御を 40
介して、電気パルスを作成するための手段が提供される。

【0005】

US 6,804,613は、流量に関する情報に加えて、空の管、測定電極に付着している付着物
、もしくは測定管を通して流れる媒体の電気伝導率を検出するための情報も確認すること
ができる電磁流量計を開示している。この目的のため、それぞれ二つの測定電極のうち
一方と、接地電極との間に、診断信号が印加される。対応する診断信号発生器は、定電流
源もしくは定電圧源のいずれかであり、診断信号発生器は交流信号を使用し、その周波数
は、磁石系のための励起回路で使用される励起周波数の整数倍である。加えて、磁石系
の励起周波数を診断信号の周波数と同期させる診断回路が提供される。特に、媒体の導電率
、もしくは測定電極上の付着物の形成は、測定電極間の抵抗の測定を介して、もしくは、 50

測定電極と接地電極との間の抵抗の測定を介して、計測される。

【0006】

既知の方法における欠点は、測定される液体の抵抗が、媒体の導電率と固有の関係にあると想定されることである。高導電率の領域においては、導電率測定セルの測定範囲は、測定電極から液体への相転移によって制限される。相転移のインピーダンスは、理想的な場合にのみ純容量性に挙動する。すなわち、実際の場合には、相転移のインピーダンスはオーム部分も有する。この部分が媒体のオーム抵抗と比較してもはや無視できない場合には、測定される媒体の導電率は誤差を含んでしまう。その結果、導電率測定セルの測定範囲は上限を持つ。

【0007】

この問題を解消する目的で、EP 0 990 984 B1は、液体媒体の電気伝導率を計測するための改良された測定セルを開示している。特にこの場合、液体媒体はpH電極用の較正液である。ここでは、液体内に及ぶ測定セルのインピーダンスは、交流電圧の少なくとも二つの周波数値において確認される。確認されたインピーダンス値から、等価回路図に基づいて、周波数非依存パラメータと抵抗値が計測され、それらから導電率が確認される。等価回路図は、測定セルの静電容量をあらわすキャパシタと、測定セル内の液体の目標抵抗をあらわすオーム抵抗との並列接続、ならびに、周波数非依存位相を持ち、オーム抵抗と直列接続する電気素子から構成される。少なくとも二つの周波数値の各々の場合において、測定セルのインピーダンスの実部と虚部が確認される。確認された値から、引き続き、周波数非依存パラメータと、目標抵抗が計算される。こうして、電気伝導率の計算が行われる。

【発明の概要】

【0008】

本発明の目的は、流量測定値に加えて、媒体の導電率、もしくは測定電極における物理変化に関する正確な情報が提供されるように、流量測定装置を具体化することである。

【0009】

この目的は、第一の周波数を持つ第一の励起信号と、第二の周波数を持つ少なくとも一つの第二の励起信号、または、二つの周波数を持つ励起信号が、測定電極に印加され、複数もしくは一つの励起信号の平均値が、測定電極の電極電位の平均値に少なくともおおよそ一致するようになっており、測定電極と基準電位（接地電極、接地リングなど）との間で測定される少なくとも一つのインピーダンス値に基づいて、媒体の導電率もしくは測定電極における変化が検出される、という特徴によって実現される。測定電極における変化は、付着物形成もしくは腐食のいずれかによって引き起こされ得る。

【0010】

好ましくは、励起信号は、第一の周波数を持つ第一のパルスシーケンスと、第二の周波数を持つ第二のパルスシーケンスとして印加される。二つのパルスシーケンスは、好ましくは二つの連続する測定周期で測定電極に印加され、本明細書では、それぞれ磁場のスイッチングに対して同期的もしくは非同期的に印加されることが好ましい。当然ながら、パルスシーケンスがそれぞれ印加される二つの測定周期は、直接的に交互に続く必要もなければ、既に述べたように、磁場のスイッチングに同期する必要もない。むしろ、パルスシーケンスは磁場のスイッチングに対して同期的にも非同期的にも、測定電極に印加され得る。パルスシーケンスは、例えば矩形波パルスのシーケンスである。しかしながら、他のタイプのパルスシーケンス、例えば正弦波パルスが、本発明に関連して適用されてもよい。

【0011】

本方法の別の実施形態では、複数の周波数、すなわち周波数スペクトルを持つ疑似ノイズが、励起信号として利用される。対応する励起信号は、デジタルなホワイトノイズと称される。同様に、個々のパルスは矩形波をあらわすことが好ましい。別の試験信号および/または励起信号として、測定課題にそれぞれ最適に適合し得るマルチトーン信号が考慮される。

10

20

30

40

50

【0012】

測定精度を改良するために、時間ドメインから周波数ドメインへの変換後、側波帯が強く減衰される信号を、励起信号として利用することが有利であることがわかっている。

【0013】

本発明の方法の有利な実施形態に従って、以下のようなステップが取られる。

所定の時間間隔において、流量測定が中断され、最後に測定された流量値が記憶もしくは凍結される。

流量測定の第一の中断時に、第一の周波数を持つ第一の励起信号が測定電極に印加され、流量測定の第二の中断時に、第二の周波数を持つ第二の励起信号が測定電極に印加される。

少なくとも一つの確認されたインピーダンス値に基づいて、導電率が計測される、あるいは、測定電極上で変化が起こったかが検出される。

【0014】

特に、一つのパルスシーケンス、もしくは、インピーダンス値が確認される周波数が異なる少なくとも二つのパルスシーケンスの、最適周波数および/または最適振幅値が、媒体の関数として確認されることが提供される。好ましくは、測定電極に印加される信号の周波数は、10 Hz から最大で10 kHzまでである。一実施形態では、例えば60 Hz、110 Hz、440 Hz、および1.1 kHzという四つの周波数が選択される。周波数を選択する際には、それらがグリッド周波数もしくは磁場のスイッチング周波数と一致しないように特に注意を払うべきである。導電率を計測するために選択される周波数の数が多いほど、インピーダンスの絶対値スペクトルと位相スペクトル、従って導電率がより正確に確認され得る。

【0015】

最も簡単な場合には、インピーダンス値の実部のみ、すなわち絶対値が、導電率の計測のために利用される。この目的のため、引き続き、異なる周波数を持つ少なくとも二つのパルスシーケンスが測定電極に印加される。インピーダンス値の絶対値が許容限界内で等しい場合には、測定は、インピーダンス値の絶対値がほぼ一定であり、従って導電率に関数従属する領域で行われることが想定される。こうして、媒体の導電率に関して信頼できる証明がなされ得る。

【0016】

あるいは、パルスシーケンスの周波数は漸進的に変化される。絶対値に加えて、さらに、インピーダンス値の位相値もまた確認され得る。インピーダンスの位相シフトが最小である周波数において、対応するインピーダンスの絶対値が、導電率の計測のために利用される。当然ながら別の選択肢として、全周波数スペクトルにわたるインピーダンス値を確認すること、ならびに、そこから導電率と、測定電極上の変化とを高い精度で計測することも考えられる。

【0017】

従って、本発明の方法の有利な一実施形態では、少なくとも二つの周波数において、振幅値もしくは振幅スペクトル、または、インピーダンス値の実部と、位相値もしくは位相スペクトル、または、対応するインピーダンス値の虚部が決定され、実部と虚部に基づいて、周波数非依存パラメータ、特に n 、 Q 、および抵抗、もしくは媒体の導電率が確認されることが提供される。原則として、この目的のためには、EP 0 990 894に記載の通り、異なる周波数において二つの測定値を作成すれば充分である。作成される測定値の数が多いほど、導電率の決定における測定誤差は小さくなる。

【0018】

その場合、それぞれ確認されたインピーダンス値に等価回路図が適用されるような手順が好ましく、等価回路図は、測定電極の静電容量をあらわすキャパシタと、測定電極の電位と基準電位との間の媒体の目標抵抗をあらわすオーム抵抗との並列接続、ならびに、周波数非依存位相を持ちオーム抵抗と直列接続する電気素子 Z によって形成され、素子 Z は以下のインピーダンスによって説明され、 n と Q は二つの周波数非依存パラメータである。

【0019】

【数 2】

$$Z_{CPE} = \frac{1}{Q \cdot (2\pi f \cdot i)^n}$$

ここで、 f は、測定電極に印加される励起信号の周波数を表す。また、周波数非依存パラメータ n は1よりも小さい。理想的な静電容量の場合には、 n は1に等しい。第二の周波数非依存パラメータ Q は物理単位ファラッドを持つ。 n が1に等しくない場合、パラメータ Q に関連する物理単位は存在し得ない。CPEは、周波数の関数として実験的に記録される挙動を純粋に説明する要素として役立つ。

【0020】

加えて、本発明の方法の有利な一実施形態では、所定の時間間隔において、周波数非依存パラメータ Q の実値が、流量測定装置の所定の開始点において確認される Q の目標値と比較され、 Q の実値と目標値との間のずれが所定の許容範囲を超えるとときに、測定電極の表面上の変化が信号で伝えられることが提供される。この変化は、測定電極上の付着物形成、もしくは測定電極上の腐食のいずれかに起因し得る。

【0021】

既に述べたように、確認されたインピーダンス値の位相値（虚部）が最小値に達するまで、パルスシーケンスの周波数は漸進的に変化され、位相値が最小であるパルスシーケンスの周波数において、関連するインピーダンス値の振幅値（実部）は、媒体の抵抗の決定もしくは導電率の決定のために利用されることが、されに提供される。好ましくは、プロセスモニタリングのために役立つ媒体の導電率値は、流量測定値と同時に提供される。特に、これに関して、流量測定値は各測定周期中に提供され、一方導電率値はより長い約1 msの間隔で利用可能であることが提供される。センサー診断、従って特に測定電極上の変化のモニタリングは、より長い時間間隔でなされてもよい。ここでは、完全な周波数スペクトルの測定を実行することが有意義であり、この手順はそれに対応して時間を消費する。測定電極上の変化は比較的長い時間にわたって生じるため、その目的のために必要な振幅スペクトルおよび/または位相スペクトルの時間集約的評価を用いることが可能である。測定電極上の付着物形成もしくは腐食は、履歴データの比較によって検出され得る。

【図面の簡単な説明】

【0022】

ここで本発明は、添付の図面に基づいてより詳細に説明され、図面中の図は以下を示す。

【図1】本発明の方法が実現される磁気誘導流量測定装置の略図である。

【図2】二つの並列測定電極を持つ測定装置の略図である。

【図3】電解質溶液の電気伝導率が測定される際の、端子電圧 E_T に対する直流 i の関数従属性を示すグラフである。

【図4】形成される電気二重層の略図である。

【図5】磁気誘導流量測定装置を用いる測定の場合における、測定電極と接地電極との間の電場力線の略図である。

【図6】本発明の方法に従って、導電率と測定電極上の物理変化とを確認するための等価回路図である。

【図7 a】媒体の異なる電気伝導率について、インピーダンスの絶対値対周波数のグラフ表示である。

【図7 b】媒体の異なる電気伝導率について、インピーダンスの位相対周波数のグラフ表示である。

【図8】本発明の方法を実行するための好ましい回路の図である。

【図9】磁場を反転させるためのスイッチング周波数に重畳される、周波数 f_1 の励起信号を示す図である。

【図10】測定電極に印加される励起信号の図である。

【図11】分圧器の回路図である。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0023】

図1は、本発明の装置1の一実施形態の略図を示す。媒体11は測定管軸3の方向に測定管2を通過して流れる。媒体11は少なくともともわずかに電気伝導性である。

【0024】

測定管2は裏張りで内側を覆われており、裏張りは非導電性材料で作られ、高度に科学的耐性および/または機械的耐性を有してもよい。

【0025】

媒体11の流れ方向に垂直に方向付けられる磁場Bは、例えば直径方向に配置される二つのコイル配置6、7、すなわち二つの電磁石などの磁石系によって生じる。磁場Bの影響下では、媒体11内にある電荷キャリアは、極性に依りて、二つの逆向きに分極した測定電極4、5に移動する。測定電極4、5上に生じる測定電圧は、測定管2の断面にわたって平均した媒体11の流速に比例する。すなわち、これは測定管2内の媒体11の体積流量、例えば体積流量率などの測定尺度である。さらに測定管2は、例えばフランジなどの接続部材を介して、媒体11が通過して流れるパイプシステム（不図示）に接続される。

【0026】

図示の場合においては、二つの測定電極4、5は媒体11に直接接触するボタン型測定電極である。当然ながら、ピン電極や、任意の他の既知の種類測定電極もまた、本発明に関連して適用されてもよい。

【0027】

測定電極4、5は、接続線12、13を介して制御/評価ユニット8に接続される。コイル配置6、7と制御/評価ユニット8との間の接続は、接続線14、15を介して実現される。制御/評価ユニット8は、接続線16を介して入力/出力ユニット9に接続される。制御/評価ユニット8にはメモリユニット10が付随する。

【0028】

本発明に従い、既知の磁気誘導流量測定装置を用いて電気伝導率 が確認される。ここで、基本的には次のことが言える。測定された均質媒体のコンダクタンスGと電気伝導率 の間の関係を得るために、関連する測定装置の形状を知る必要がある。通常は、測定装置の形状はセル定数kと称される一定の数値によって説明することができる。

【0029】

図2に図示されているような二つの板状電極のブロック型配置では、導電率 は次式のように決定され、次の定義を適用する。

：電気伝導率 (S/cm)

G、R：測定されたコンダクタンス (S)、抵抗 (オーム)

k：セル定数 (1/cm)

A：電極の面積 (cm²)

L：二つの電極の間隔

【0030】

【数3】

$$\chi = \frac{L}{A} \cdot G = k \cdot G = \frac{k}{R}$$

【0031】

他の形状の場合、特に磁気誘導流量測定装置内に存在する形状の場合、セル定数kは、電場力線のシミュレーションによって、もしくは既知の導電率の校正溶液を用いた測定によって確認される。測定電極4、5と接地電極19との間における、磁気誘導流量測定装置1を用いる測定の場合の電場力線は、図5に概略的に示される。

【0032】

そうした場合に問題となるのは、電解質溶液の電気伝導率 の測定を直流電圧で実行することができないということである。これは、それに伴う直流電流が、化学反応に関連す

10

20

30

40

50

る測定電極上のイオンの放電を引き起こすためである。一般にこの反応が起こるためには、一定の最低電圧 E_z が必要である（これについては図3も参照のこと）。最低電圧 E_z は、例えば媒体や温度など、様々な変数に依存する。この非線形の挙動のために、直流電圧で測定を実行することは不可能である。

【0033】

この影響は、いわゆる電気二重層が媒体と電解質との間に形成されて、容量性挙動を示すことに基づいて説明され得る。これは図4に概略的に示される。直流電圧の代わりに、適切な周波数と振幅（ ≤ 100 mV）の交流電圧を用いる場合には、二重層の静電容量のインピーダンスを、媒体11のオーム抵抗に対して小さく保つことができる。

【0034】

電気二重層は理想的な静電容量の電氣的挙動を持たないが、その代わりに、電気化学では定位相素子（CPE）と称されるネットワーク素子によって近似的に説明することができる。

【0035】

CPEの複素インピーダンス Z は次のようにあらわすことができる。

【0036】

【数4】

$$Z_{CPE} = \frac{1}{Q \cdot (2\pi f \cdot i)^n}$$

【0037】

ここで周波数非依存パラメータ n は1よりも小さい。理想的な静電容量の場合には、 n は1に等しい。第二の周波数非依存パラメータ Q は物理単位ファラッドを持つ。 n が1に等しくない場合、パラメータ Q に関連する物理単位は存在し得ない。CPEは、周波数の関数として実験的に記録される挙動を純粹に説明する要素として役立つ。

【0038】

磁気誘導流量測定装置を用いる導電率測定のために有用な等価回路図は、図6に図示される。CPEは二重層静電容量 C_D に対して仮定される。

【0039】

等価回路図を用いて導電率が確認され、適切な環境ではさらに追加の変数が確認される。追加の変数は、例えば媒体11と接触する測定電極4、5における変化などである。この変化は、測定電極4、5の表面上の付着物形成もしくは腐食によってもたらされ得る。

【0040】

等価回路図は、二つの分岐を持つ並列接続から構成され、そのうちの一方は浮遊容量 C_S を持つキャパシタによって形成される。もう一方の分岐は、抵抗 R_M と周波数依存素子CPEとの直列接続から構成される。抵抗 R_M は媒体11のオーム抵抗をあらわす。その場合、素子CPEは、測定電極4、5と媒体11との間の相転移で起こるプロセスをあらわす、もしくはシミュレートする。

【0041】

従ってモデルの計算式は次のようになる。

【0042】

【数5】

$$Z = \frac{\frac{1}{C_S \cdot 2\pi f \cdot j} \cdot \left\{ \frac{1}{Q \cdot (2\pi f \cdot i)^n} + R_M \right\}}{\frac{1}{C_S \cdot 2\pi f \cdot j} + \frac{1}{Q \cdot (2\pi f \cdot i)^n} + R_M}$$

【0043】

図7 aと7 bには、様々な導電率毎に、周波数の関数として絶対値と位相がプロットされている。パラメータには、磁気誘導流量測定装置に典型的な次の値が与えられた。

【0044】

【数6】

$$C_s = 200 \text{ pF}; Q = 8E - 6; n = 0.8; k = 1/\text{cm}$$

【0045】

図7 aに図示されるように、絶対値対周波数のプロットは顕著なプラトーを示し、これは基本的に媒体の抵抗 R_M によって決定される。このプラトーは位相シフトの最小値に相関する。

10

【0046】

導電率を確認するために、異なる方法が利用可能である。

かくして、励起信号のための適切な周波数 f の固有基準として最小位相が使用され得る。

位相情報を利用できない場合には、その付近ではインピーダンスの絶対値がほとんど変化しないような周波数 f_n を見つけて選択するための検索方法が適用され得る。

高精度の導電率の決定のためには、図6のモデルの完全な同定が必要とされる。その目的のためには、全部で四つの独立パラメータ、すなわち Q 、 n 、 C_s 、 R_M が決定されなければならないので、少なくとも二つの複素インピーダンス測定（各測定は二つの独立変数を提供する）が、異なる周波数 f_1 、 f_2 において必要とされる。パラメータ Q 、 n 、 C_s は、測定電極から電解質への遷移系の状態や、測定電極用の接続ケーブルなどを反映するので、診断目的で評価され得る。計算によって非線形方程式系が導かれ、これは既知の数値法で解くことができる。

20

【0047】

図7 a、7 bは、高い導電率を決定するために高周波数が必要であることを示す。既知の導電率測定装置の場合、セル定数 k は各測定範囲毎に単純に適合される。磁気誘導流量測定装置の場合、セル定数 k は流量測定装置1によって固定して予め決定されるため、これは不可能である。しかしながら導電率の決定は、既に述べたように、モデルの同定によって実現され得る。これに関して、励起信号の試験周波数を最小位相の領域にシフトすることも必要ない。

30

【0048】

加えて、図7 aと7 bのグラフに見られるように、高導電率の領域では、もはや測定は浮遊容量 C_s によって影響されない。従ってモデルは、 R_M とCPEから構成される直列接続に簡略化することができる。するとインピーダンスの式は次のようになる。

【0049】

【数7】

$$Z = \frac{1}{Q \cdot (2\pi f \cdot i)^n} + R_M$$

【0050】

40

加えて、パラメータ n のよい近似として値0.8が使用され得る。これは、この値が実験的決定に基づいて確認される値を極めてよく反映するからである。しかしその場合、この0.8の値は、測定電極4、5に付着物が無いときにのみうまく適合するということに限定して留意しなければならない。

【0051】

その後ある周波数 f において複素インピーダンスを測定すると、線型方程式系を解くことによって、パラメータ Q と R_M を決定することができる。

【0052】

本発明に従って、磁気誘導流量測定装置1、例えば出願人から購入可能な装置Promag 55の場合、導電率測定は流量測定と交互に実行される。その場合導電率測定は、流量測定が

50

妨害されることを可能な限り避けるために、可能な限り短い時間で行うべきである。試験信号もしくは励起信号として、適切な周波数と振幅の短パルスシーケンスが使用される。

【 0 0 5 3 】

本発明の方法の有利な実施形態が図 8 に示される。その場合、インピーダンス Z は決定される変数である。Rxはこの実施形態において、磁気誘導流量測定装置1が、爆発の危険がある領域で使用できるという要件を満たすために役立つ、技術的に必要な抵抗である。この抵抗は、実際の測定対象 Z と直列になっている。

【 0 0 5 4 】

導電率測定を実行するためには、パルス発生器23によって矩形波パルスが流量測定のための励起信号にオフセットなしで畳重されて、畳重された励起信号が電極電位に加えられ、流量を確認するための実際の測定電極信号は、A/D変換器21を用いて測定中に連続的に記録される。

10

【 0 0 5 5 】

図 8 と並行して、図 9 にタイミング図が概略的に示される。励起信号もしくは試験信号は、比較的短い区間2の最中にのみ、測定電極4、5に印加される。

【 0 0 5 6 】

好ましくは、測定は三つの区間に分割される。

1. 区間1では、電極電位が測定され、現在の電極電位の平均値が作成される。
2. 区間2では、スイッチ22が閉じられ、パルス発生器23が、所定周波数 f の矩形波パルスシーケンスを作り出す。パルスの発生は、磁場Bのスイッチングと同期的に、もしくは非同期的になされてもよい。図示された場合では同期的である。畳重された励起信号のオフセット電圧は、区間1で計算される平均値に等しく設定される。このように、重畳励起信号によって、電極電位は平衡からほとんど外れることがない。
3. 区間3では、スイッチ22が開かれ、A/D変換器21を用いて記録されたデータが評価される。

20

【 0 0 5 7 】

区間2からの、A/D変換器21のデータの評価は、次の方法に従って行われる。

1. データブロックに、正弦波変調および余弦波変調のFIRフィルタ関数を乗じる。最も簡単な場合、FIRフィルタ関数は矩形窓であってよく、これは1ベクトルに相当するので省略される。FIRフィルタ関数によって、評価された信号の帯域幅が制御され得る。Promag 55の場合には、回路制約のために、パルス発生器とA/D変換器は同期的に駆動されない。従って、実際の伝送周波数と実測周波数は、互いにいくらかずれている。評価方法が周波数範囲において過度に選択的に作用する場合、評価に誤差が生じてしまう。

30

【 0 0 5 8 】

このようにして、インピーダンスの実部と虚部に対して次の式が得られる。

【 0 0 5 9 】

【数 8】

$$\operatorname{Re}(H_1) = \sum_{k=0}^{N-1} \operatorname{sig}(k) \cdot \sin\left(2\pi \frac{f_p}{f_T} k\right) \cdot \operatorname{FIR}(K)$$

$$\operatorname{Im}(H_1) = \sum_{k=0}^{N-1} \operatorname{sig}(k) \cdot \cos\left(2\pi \frac{f_p}{f_T} k\right) \cdot \operatorname{FIR}(K)$$

 f_p : パルス周波数 f_T : A/D変換器のサンプリング周波数 $\operatorname{Re}(H_1)$: 複素変数Hの実部 $\operatorname{Im}(H_1)$: 複素変数Hの虚部 $\operatorname{sig}(k)$: 区間2の測定信号 N : サンプリング点の数におけるブロックの長さ $\operatorname{FIR}(k) = 0.54 - 0.46 \cdot \cos(\pi \cdot (2 \cdot (k-1) + 1) / N)$ はいわゆるHammingフィルタである

【0060】

2. 複素変数 H_1 は、パルス振幅 A_p で除され、さらに、測定電子機器の伝送挙動をあらわす周波数依存複素変数 H_E で除される。

【0061】

【数 9】

$$H_2 = \frac{H_1}{A_p \cdot H_E(f_p)}$$

【0062】

3. 図11に示されるように、インピーダンス Z 、 R_x および R_v は分圧器を形成する。

【0063】

【数 10】

$$v = \frac{Z + R_x}{Z + R_x + R_v}$$

【0064】

Z を解くと、次式が得られる。

【0065】

【数 11】

$$Z = R_v \cdot \frac{v}{1-v} - R_x$$

$$v = H_2$$

【0066】

4. 媒体11の導電率は、測定精度の範囲内で、次式に従って複素インピーダンスの絶対値から計算され得る。

【0067】

【数 12】

$$\mathcal{X} = \frac{k}{|Z|}$$

【0068】

10

20

30

40

50

6. 計算結果から、次の測定用の矩形波パルスパケットのパラメータが計算される。

【0069】

加えて、次の手順が利用される。

1. この方法は、少ない数の試験周波数（例えば5個の周波数、 f_1 、... f_5 ）に限られる。この方法は、平均周波数と平均振幅から開始する。

2. この周波数において、媒体の抵抗 R_M に対する第一の値が得られる。

3. 周波数 f_i と、 R_M の間隔限界とから構成されるテーブルに基づいて、新たな試験周波数 f_n が得られる。その場合、テーブルは仮定モデルの絶対値対周波数をおおまかにマップする。適切な間隔限界であれば、この方法は常に励起信号にとって適切な周波数へと収束する。

4. インピーダンス Z において推測されるパルス振幅は、分圧器の式によって計算され、励起信号の振幅は、最大100 mVがインピーダンス Z に印加されるように設定される。

【0070】

好ましくは、本発明に従って、振幅スペクトルのみ、もしくは振幅スペクトルと位相スペクトルが、媒体11の導電率を確認するために利用される。振幅スペクトルおよび/または位相スペクトルの挙動がわかれば、媒体11の導電率は、関数従属性のために一意的に決定可能である。媒体11の異なる導電率は、基本的には、図7aの絶対値スペクトルをy軸方向に平行移動させる。絶対値スペクトルが一定である周波数範囲がわかれば、導電率は高精度で決定され得る。

【0071】

さらに位相スペクトルが利用される場合、導電率の確認はさらに精度を増す。その場合は、位相値が最小値を示す振幅値において導電率が確認される。

【0072】

導電率の確認は、基本的に、測定管2を通る媒体11の流量の確認と同時に行われる。

【0073】

導電率を決定することに加えて、本発明の方法は、測定電極4、5における物理変化を検出するためにも使用され得る。この目的のため、所定の時間間隔において、周波数非依存パラメータ Q の実値が、流量測定装置1の所定の開始時点で確認される Q の目標値と比較される。図7aと7bに示される曲線を可能な限り正確に再現し、ひいては Q を正確に確認するために、異なる周波数において可能な限り多くのインピーダンス値が決定される。測定電極4、5における腐食もしくは付着物形成は、通常、突然起こるのではなく、むしろ潜在的に起こる。これは、比較的長い時間間隔において、“予知保全”のための情報を提供するために十分である。

【0074】

現在の Q 値を確認する上で、目標値からのずれがあり、そのずれが所定の許容範囲外にある場合は、もはや許容されない変化が測定電極4、5の表面上に生じていると解釈され得る。この変化は、既に述べたように、測定電極4、5における付着物形成によって生じ得る。しかしながら、腐食から生じる測定電極4、5の表面上の変化にも関連し得る。検出された変化は、オペレーターに信号で伝えられる。所定の許容範囲を超える場合は、流量測定装置1の機能的能力がもはや保証されないので、警報が発せられる。このように、本発明の方法は、流量測定装置1を通して流れる媒体の導電率の追加測定に加えて、予知保全の分野に属する情報も提供する。

10

20

30

40

【 図 1 】

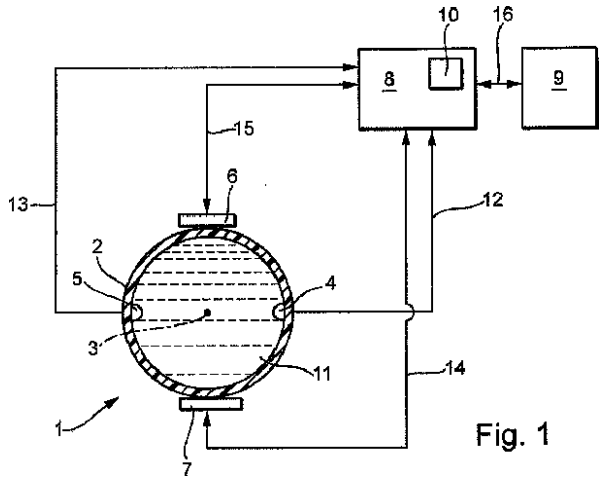


Fig. 1

【 図 5 】

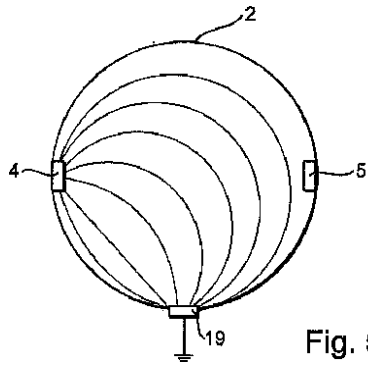


Fig. 5

【 図 2 】

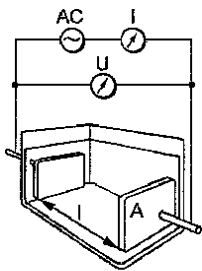


Fig. 2

【 図 6 】

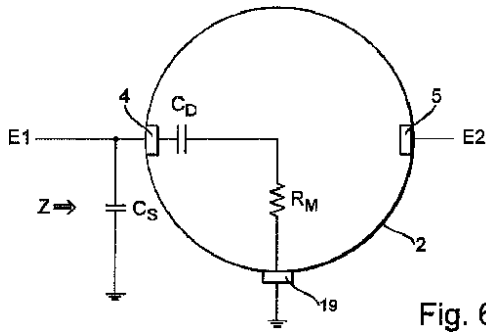


Fig. 6

【 図 8 】

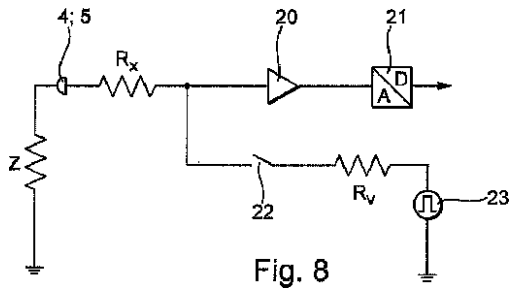


Fig. 8

【 図 1 1 】

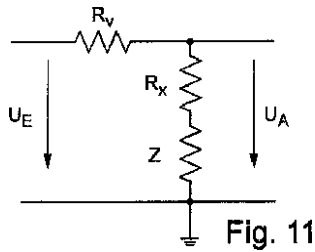
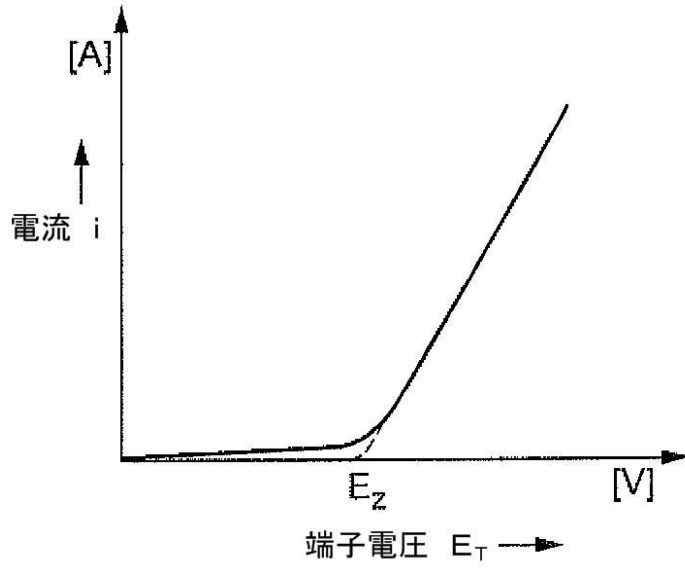


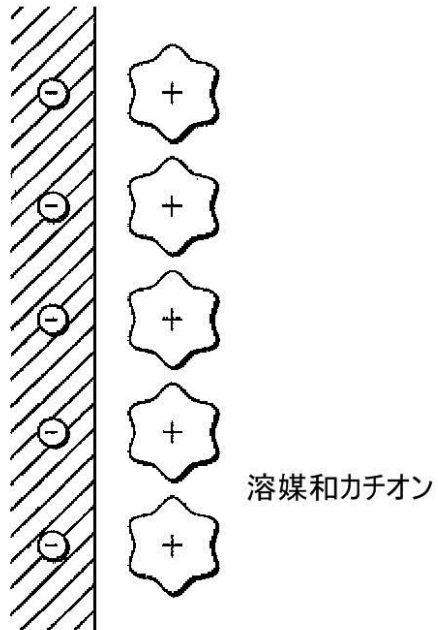
Fig. 11

【図3】

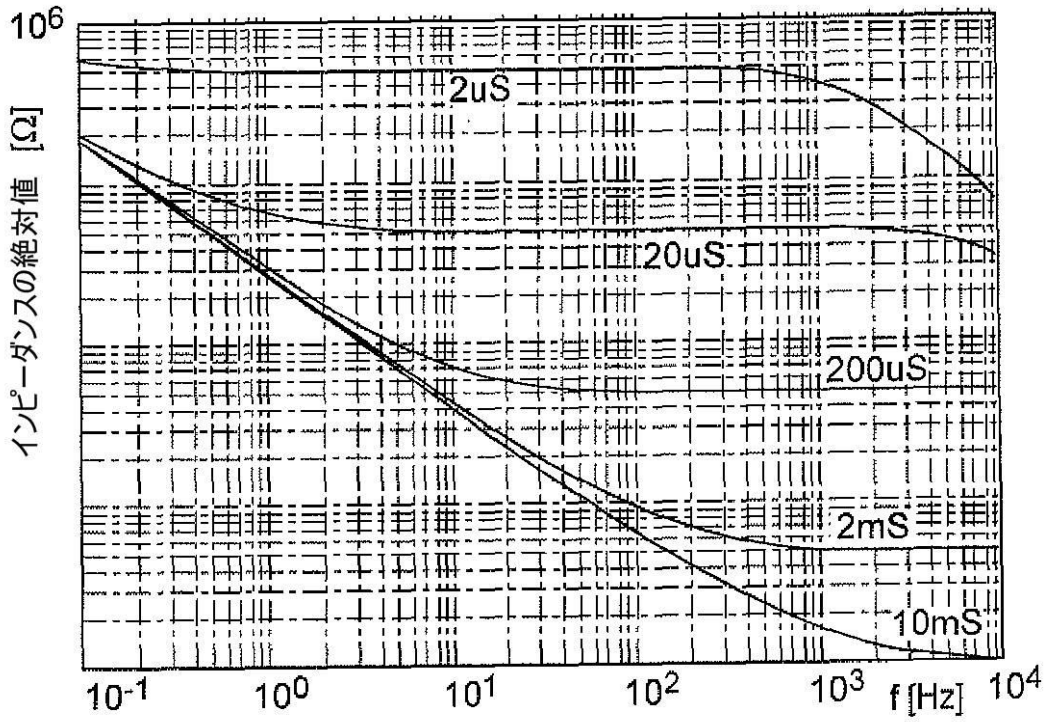


【図4】

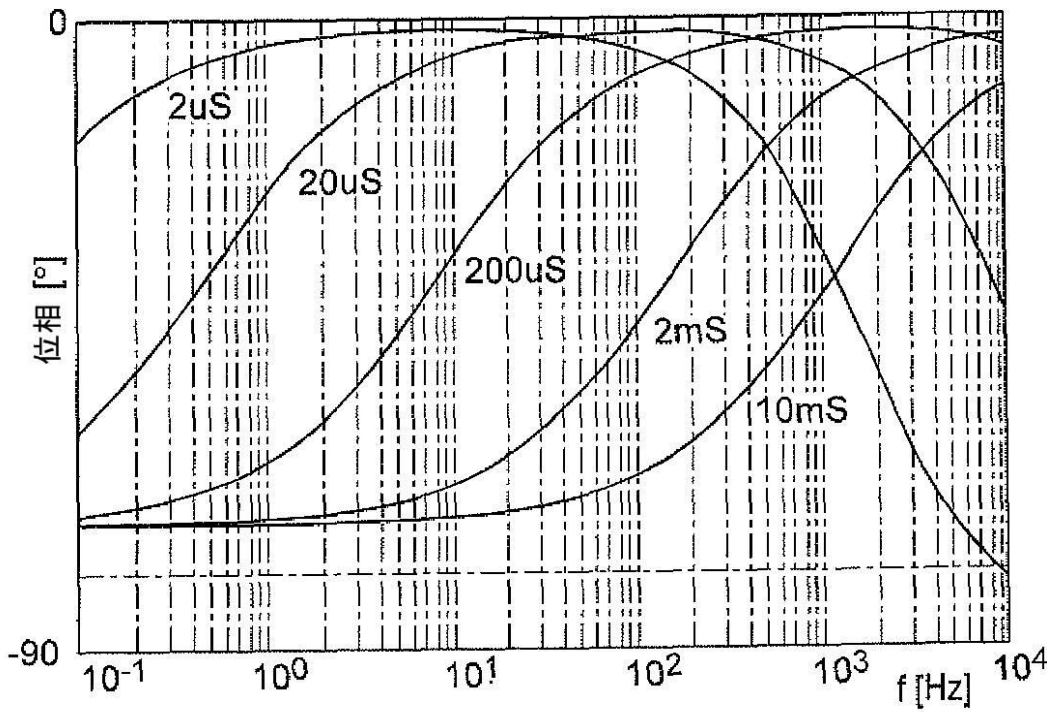
外部電圧源によって
負に帯電した電極



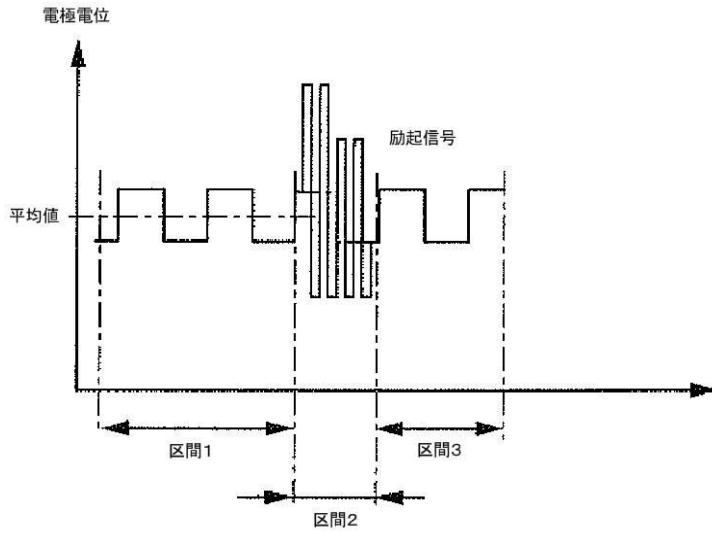
【図7a】



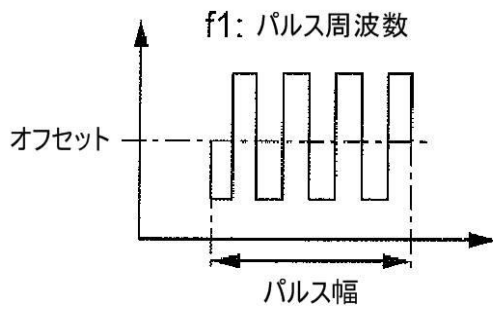
【図7b】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

- (72)発明者 ルーファー, ハイッツ
スイス国, シーエイチ 4 1 4 3 ドルナツハ, ラインガルテンヴェーク 2
- (72)発明者 シュマルツリート, フランク
ドイツ連邦共和国, フライジング 8 5 3 5 6, カタリーナ ガイスラー シュトラーセ 1 2

審査官 藤原 伸二

- (56)参考文献 特開2003-097986(JP, A)
特開平09-210745(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01F 1/56-1/90