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

特許第6356228号
(P6356228)

(45)発行日　平成30年7月11日(2018.7.11)　(24)登録日　平成30年6月22日(2018.6.22)

(51)Int.Cl.		F I		
G21C 9/00	(2006.01)	G21C	9/00	100
G21C 17/00	(2006.01)	G21C	17/00	M
G01N 27/16	(2006.01)	G01N	27/16	C
G01N 27/18	(2006.01)	G01N	27/18	

請求項の数 10　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願2016-516921 (P2016-516921)
(86)(22)出願日　平成26年9月24日 (2014.9.24)
(65)公表番号　特表2016-532079 (P2016-532079A)
(43)公表日　平成28年10月13日 (2016.10.13)
(86)国際出願番号　PCT/EP2014/070408
(87)国際公開番号　WO2015/044228
(87)国際公開日　平成27年4月2日 (2015.4.2)
審査請求日　平成29年9月13日 (2017.9.13)
(31)優先権主張番号　102013219294.0
(32)優先日　平成25年9月25日 (2013.9.25)
(33)優先権主張国　ドイツ(DE)

(73)特許権者　501315289
アレヴァ　ゲゼルシャフト　ミット　ベシュレンクテル　ハフツング
Ａｒｅｖａ　ＧｍｂＨ
ドイツ連邦共和国　９１０５２　エアランゲン　パウル－ゴッセン－シュトラーセ　１００
(74)代理人　100075166
弁理士　山口　巖
(74)代理人　100133167
弁理士　山本　浩
(72)発明者　ヒル、アクセル
ドイツ連邦共和国　６４５８９　シュトックシュタット、アン　デア　シュロスミューレ　９

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ガス混合物の組成の定量分析方法およびその関連の測定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

測定装置（２）により、ガス混合物、特に原子力設備のコンテインメント（４）の雰囲気のガス混合物の組成を定量分析するための方法であって、その測定装置（２）が、

・　第１の測定ブリッジを有する熱伝導率検出器（１６）と、

・　第２の測定ブリッジを有する反応熱検出器（１４）と、

・　共通な評価ユニット（２６）と

を含み、前記評価ユニット（２６）において、前記二つの測定ブリッジに生じるブリッジ電圧に基づいて、水素（H_2）の含有量を決定すると同時に酸素（O_2）の含有量を決定する、方法。

【請求項２】

前記評価ユニット（２６）において、両測定ブリッジに生じるブリッジ電圧に基づいて、水素（H_2）の含有量について、異なった方法で２つの測定値を求める、請求項１記載の方法。

【請求項３】

１０Ｖｏｌ％よりも高い水素濃度の場合に、酸素（O_2）の含有量を、反応熱検出器（１４）の測定ブリッジのブリッジ電圧に対する経験的に決定された較正曲線から、直接的に求める、請求項１又は２記載の方法。

【請求項４】

２．５Ｖｏｌ％よりも低い水素濃度の場合に、

・　前記熱伝導率検出器（１６）で測定されたガス混合物の熱伝導率と、
・　前記反応熱検出器（１４）での較正によって求められたガス混合物の水素濃度と、
・　温度センサ（３０）により求められたガス混合物の温度とから、
酸素濃度を決定し、その評価のために、ガス混合物内に存在する水蒸気の蒸気圧を、飽和の前提条件下で前記温度から求める、請求項１乃至３のいずれか１つに記載の方法。
【請求項５】
１０Ｖｏｌ％よりも低い水素濃度の場合に、加熱された二酸化ジルコニウム測定セル（９２）から取り出されるガルバニック電圧を測定することによって、酸素（O_2）の含有量を冗長度をもたせた方法で決定する、請求項１乃至４のいずれか１つに記載の方法。
【請求項６】
前記熱伝導率検出器（１６）又は前記反応熱検出器（１４）により求められた水素濃度が、１０Ｖｏｌ％よりも高い場合に、前記二酸化ジルコニウム測定セル（９２）の加熱を遮断する、請求項５記載の方法。
【請求項７】
ガス混合物、特に原子力設備のコンテインメント（４）の雰囲気のガス混合物の組成を定量分析するための測定装置（２）であって、その測定装置（２）が、
・　第１の測定ブリッジを有する熱伝導率検出器（１６）と、
・　第２の測定ブリッジを有する反応熱検出器（１４）と、
・　共通な評価ユニット（２６）と
を含み、前記評価ユニット（２６）が、請求項１乃至４のいずれか１つに記載の方法を実施するように構成されている、測定装置。
【請求項８】
・　前記測定装置（２）が、測定ガスによって環流される２つの触媒活性の測定セル（６２，６２ａ）を有し、該測定セル（６２，６２ａ）が、測定ガスによって環流される２つの触媒不活性の測定セル（６６，６６ａ）と共に、前記反応熱検出器（１４）の測定ブリッジを構成し、
・　前記測定装置（２）が、測定ガスから隔離された触媒不活性の測定セル（７０，７０ａ）を有し、該測定セル（７０，７０ａ）が、測定ガスによって環流される前記２つの触媒不活性の測定セル（６６，６６ａ）と共に、前記熱伝導率検出器（１６）の測定ブリッジを構成している、請求項７記載の測定装置。
【請求項９】
１０Ｖｏｌ％よりも低い水素濃度の場合に、前記評価ユニット（２６）において酸素（O_2）の含有量を多様的にかつ冗長度をもたせて決定するために、加熱可能なジルコニウム測定セル（９２）を有する、請求項７又は８記載の測定装置。
【請求項１０】
請求項７乃至９のいずれか１つに記載の測定装置（２）を有する、重大事故時における原子力発電所（６）のコンテインメント（４）内の雰囲気の監視装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、ガス混合物の組成、特に原子力設備のコンテインメント雰囲気中のガス混合物の組成を定量分析するための方法に関する。さらに、本発明はその方法を実施するのに適した装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
核燃料が貯蔵される原子力設備（例えば、原子力発電所、処理設備、中間貯蔵設備）においては、事故又は故障時に、その都度の事故や、場合により導入される対策に関係して、場合によっては大量の水素放出を覚悟しなければならない。その際に、存在する酸素との反応をコントロールできなければ、格納容器もしくはコンテインメントを危険にさらす爆燃が起こり、あるいは爆轟さえも起こり得る。

【０００３】
特に、場合によっては炉心溶融が生じる比較的重大な事故の際には、コンテインメント内部において非常に高濃度（例えば、３０Ｖｏｌ％）の水素放出が起こり、格納容器に大きな漏れがあると、福島の事故の際に起きたように、取り巻く原子炉建屋の中への、この水素の大量放出も起こり得る。
【０００４】
コンテインメントの完全性維持のために存在する保護対策（例えば、触媒式再結合器の作用）を監視するために、ならびに「過酷事故（シビアアクシデント）」対策（例えば、不活性化対策および／又はコンテインメント・ベンティング）を実行に移す前に、コンテインメント雰囲気および隣接原子炉建屋部分の可燃性に関係するパラメータを認識する必要がある。
【０００５】
特に、不活性化されたコンテインメント（一般に、沸騰水型原子炉コンテインメント）において、その状態を評価して、場合によっては必要とする的確な対策を実行に移すためには、水素濃度のほかに不活性状態の維持が重要であり、従って同時に酸素濃度の変化を認識することが重要である。
【０００６】
基本的には、コンテインメント雰囲気中へのH_2放出を早期に認識することが、事故経過を評価して実行すべき対策を計画するために重要である。従って、下方測定範囲（発火下限までの範囲）においては、広域にわたる事故範囲（＞１０Ｖｏｌ％）においてよりも高い測定精度が必要である。
【０００７】
H_2測定は、この理由から、安全性に関連した重要性を有し、通常は冗長度をもたせて（即ち、個々の誤差に対して安全度を増すように）実施される。
【０００８】
コンテインメント雰囲気もしくは事故経過を評価する従来の測定システムは、H_2測定のために、建屋隔離弁を有する高価な試料採取システムと、水蒸気凝縮および復水排出のための高価なガス処理システムとを必要とする。H_2およびO_2の濃度を測定するために、それぞれ決められた機能と相応のデータ処理用電子ユニットとを有する２つの別個のセンサが必要である。
【０００９】
コンテインメント外部に導かれる比較的大きい試料流および該試料流の放射能は、センサおよび該センサの電子装置の放射線に対する適性を阻害し、又はそれらの使用の適性認定を全く不可能にする。
【００１０】
さらに、これらのシステムは、高い電気エネルギー需要を有するか、水蒸気を凝縮するための冷却水を必要とするかの少なくともいずれか一方である。しかし、エネルギー供給は、特に全電源喪失状態を仮定しなければならない場合には、問題があり、もしくは保証できない。
【００１１】
水蒸気の凝縮により、H_2又はO_2濃度を真の濃度に逆算しなければならないことは、即ち、間接的な決定しか可能でないことは、特に欠点である。従って、それは、もはや直接的な測定ではない。この方法により実際に支配している濃度を決定／算定するためには、さらに圧力測定および温度測定が必要である。
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【００１２】
本発明の課題は、上述の欠点を回避する、ガス混合物の組成を定量分析するための方法を提供することにある。特に、原子力設備における重大事故時に起きるような困難な状況下でも、ガス混合物の発火領域および燃焼特性を特徴づける物理的パラメータの簡単で確

実なできるだけ直接的な決定を可能にしなければならない。

【００１３】

さらに、本発明の課題はその方法を実施するために好適な装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【００１４】

方法に関しては、上記課題は、本発明によれば、請求項１記載の特徴事項によって解決される。装置に関しては、上記課題は請求項７の特徴事項によって解決される。

【００１５】

本発明による構想は、ホイートストンブリッジ回路の抵抗測定に基づく２つの測定方法を組み込んでいることで、即ち、冗長度をもたせた、かつ多様なH_2測定を可能にし、その測定が付加的に同時のO_2成分の測定／評価を可能にしていることで、現状の従来技術とは相違する。

【００１６】

一方の測定ブリッジは触媒による反応熱原理（ＷＴ検出器）に基づいて動作し、他方の測定ブリッジは熱伝導率原理（ＷＬ検出器）に基づいて動作する。熱伝導検出器および反応熱検出器の信号が、増幅および評価のために１つの評価用電子装置に導かれる。１つの電子装置が複数のセンサの処理をすることができる。

【００１７】

放射線に対して耐久性を有する二つの測定室が、１つの耐圧性かつ耐熱性のセンサハウジング内にあって、耐震性に互いに補強されていることが好ましい。両測定室は、焼結金属から成る１つの膜を介してコンテインメント雰囲気に接続されている。被測定可燃性ガスである水素（代替として、一酸化炭素）および酸素が、主として拡散によって測定セル内へ運ばれる。

【００１８】

付加的に、その測定現場には、例えば抵抗温度測定法又はサーモ電圧測定法に基づく温度センサがあり、その温度センサは、例えば、蒸気含有量を決定するために飽和蒸気条件の前提のもとに使用することができる。

【００１９】

水素濃度の測定は、ＷＬ検出器およびＷＴ検出器によって多様化かつ冗長化した方法で行われることが好ましい。

【００２０】

発火下限までの下方測定範囲においては、事故初期に必要な比較的高い測定精度（例えば、＋／－０．２５Ｖｏｌ％）を有するＷＴ法によって、測定が行われる。

【００２１】

雰囲気の酸素含有量がH_2／O_2混合物の化学量論的組成よりも低い場合に、ＷＴ検出器のホイートストンブリッジ回路の測定値は、酸素測定のための較正曲線により評価される。従って、O_2濃度を直接測定することができる。

【００２２】

比較によって、（測定精度／測定誤差の考慮下で）両測定ブリッジの信号が等しいという結果がもたらされる場合には、ＷＬ検出器による測定ガスの総合熱伝導率の測定から、有利な方法でO_2濃度を間接的に求めることができる。このために、コンテインメント内の雰囲気組成の個別伝導率の割り当てに関して妥当な仮定が基礎におかれる。初期の空気濃度が既知であるので、N_2濃度を、H_2測定および蒸気濃度から決定することができる。その蒸気濃度は、飽和蒸気条件を仮定することにより、温度測定から決定することができる。従って、O_2決定の誤差は、主としてH_2測定の誤差に依存し、H_2含有量が正確に測定されるほど小さくなる。

【００２３】

従来技術に対する本発明構想の主な利点は、次のとおり要約することができる。

- １つのセンサヘッドにおいて冗長度をもたせた、かつ多様的な水素測定、
- H_2爆燃範囲（０～１０Ｖｏｌ％）と広域範囲（１００Ｖｏｌ％まで）との組み

合わされた測定、
・ H_2測定に酸素が必要でない（特に、不活性化されたコンテインメントにとって重要）、
・ 発火下限範囲における高い精度（４Ｖｏｌ％において例えば＋/－０．２５Ｖｏｌ％）、
・ O_2濃度の同時の測定および／又は評価、
・ それにより、発火領域および燃焼特性の評価が可能（爆燃、爆轟）、
・ ５Ｖｏｌ％よりも低いO_2濃度およびH_2過剰を伴う不活性化されたコンテインメント内の直接的なH_2／O_2測定、
・ 現場での測定、
・ コンテインメント外への放射能導出が必要でない、
・ コンテインメント隔離弁が必要でない、
・ 測定ガス処理が必要でない、
・ 有機体部品を使用する必要がないので、放射線に対する耐久性が高い、
・ 「過酷環境」（コンテインメント）内に耐久性のない電子装置が存在しない、
・ 低エネルギー消費（＜５００Ｗ）であり、「全電源喪失」時に自立バッテリーユニットによって給電可能である、
・ 低い故障確率、
・ 高速の測定サイクル（オンライン測定）、
・ 小さい占有スペース、
・ 複雑性の少ない測定技術、
・ 少ない投資コスト、
・ 簡単に追加装備が可能である、
・ 較正が簡単である。

【００２４】
以下において、本発明の実施例を図面に基づいてさらに詳細に説明する。図面は非常に単純化された概略図で示されている。

【図面の簡単な説明】

【００２５】
【図１】図１は原子力発電所のコンテインメント内の雰囲気中のガス混合物に含まれるガス成分の濃度、ここでは水素および酸素の濃度を測定するための測定システムを示す概略図である。
【図２】図２は図１による測定システムにおいて使用可能な抵抗ブリッジの格別に有利な実施形態の原理図である。
【図３】図３は図１による測定システムの反応熱センサの較正曲線を有するダイアグラムである。

【発明を実施するための形態】

【００２６】
図１に概略図で示す測定装置２は、まず第１に、特に原子力設備６においてコンテインメント４とも称される安全封じ込めの雰囲気内の測定ガス中の水素（H_2）および酸素（O_2）の含有量を同時に決定するために使用されている。格納容器８とも称されるコンテインメント殻壁自体は、ここでは部分的にしか示されていない。

【００２７】
測定装置２は、そのためにコンテインメント４の内部に空間的に互いに直近配置された２つの測定室１０，１２を含んでいる。これは、１つの空間測定点での局所的な測定と言えるように、コンテインメント４の広がりに対して相対的に両測定室１０，１２の間隔が非常に小さい、特に１０ｃｍよりも小さいことを意味する。

【００２８】
一方の測定室、即ち測定室１０は、触媒による燃焼又は再結合の原理に基づいて動作する１つの触媒作用による反応熱検出器（Waermetoenungsdetektor）、略してＷＴ検出器１

４又はＷＴＤのセンサヘッドを構成している。他方の測定室１２は、１つの熱伝導率検出器、略してＷＬ検出器１６又はＷＬＤ（又はThermal Conductivity Detectorなる英語名に基づく略称、ＴＣＤ）のセンサヘッドを構成している。

【００２９】

この実施例において、両測定室１０，１２は、１つの共通な電気接続室１８に取り付けられている。この電気接続室１８から出発して、電気接続線２０（信号線および給電線）が、障害に対して強い接続プラグ２２と、格納容器８における耐圧性のケーブル貫通部２４とを介して、コンテインメント４の外部に配置された電子評価ユニット２６へ案内されており、この評価ユニット２６は、内臓電源又は外部電源を備えている。コンテインメント４を貫通案内されている接続線２０は、例えば鉱物絶縁ケーブルによって実現されている。その区分けは、前記測定原理を実現するために必要でかつ比較的放射線に対して耐久性のある丈夫な電気的な測定セルだけをコンテインメント４の内部の測定室１０，１２内に配置し、評価電子装置の敏感な構成要素をコンテインメント４の外部に配置するように、選ぶことが適切である。

【００３０】

両測定室１０，１２の放射線に敏感でない複数の測定セルが、それぞれ１つの耐圧耐熱性の容器内にあり、耐震的に互いに補強されている。測定室１０，１２は、それぞれ１つの焼結金属から構成し得る膜２８を介して、コンテインメント雰囲気と流れ的に結合されている。被測定ガスは、主に拡散によって測定室１０，１２に運ばれる。

【００３１】

コンテインメント４の内部におけるＷＴ検出器１４およびＷＬ検出器１６の直近空間には、放射線に対して強い温度センサ３０が配置されており、この温度センサ３０に測定ガスが作用する。その温度センサ３０の接続線は、同様に電気接続室１８と格納容器８のケーブル貫通部２４とを介して電子評価ユニット２６に案内されている。温度検出器３０は、例えば熱電対によって構成される。

【００３２】

図示されていない変形例では、ＷＴ検出器１４およびＷＬ検出器１６と、場合によって温度センサ３０とを、１つの共通な測定室に組み込むことができる。

【００３３】

ＷＬ検出器１６は、典型的には、少なくとも２つの同一構成の測定セル３２，３４を有する１つの金属ブロックを含んでいる。これらのうち一方の測定セル３２は、分析すべきガス、試料ガス又は測定ガスによって貫流される。他方の測定セル３４は、その貫流する測定ガスから永続的に隔離されているが、その代わりに既知の一定のままの組成を有する純粋なガスによって貫流されることが好ましい。測定空間に対して隔離されたこの測定セル３４は基準測定のために使用される。

【００３４】

両測定セル３２，３４内には、それぞれ１つの、例えば白金、タングステン、ニッケル又はそれらの合金からなる熱線条（フィラメントとも称する）が存在し、その熱線条は、それを取り囲む検出器ブロックよりも高い温度に加熱される。従って、熱線条から包囲ガス流を通した検出器ブロックへの連続的な熱流が生じ、その熱流は、ガスの熱伝導率（従って、ガスの組成）に依存する。従って、測定ガスの組成の変化が、測定セル３２での温度変化をひき起こし、それに伴い熱線条の電気抵抗変化をひき起こす。それゆえ、その測定原理は、基準ガス流に対する試料ガス流の熱伝導率差の連続的な測定に基づいている。

【００３５】

測定および基準セル３２，３４を相互に接続してホイートストンブリッジ回路を構成することによって、両熱線条の温度差を電圧差として測定して記録することができる。その場合に、両測定セル３２，３４の熱線条は、１つの分圧器の如く配置された２つの電気抵抗を成しており、それらの電気抵抗は、その中間にあるブリッジ分岐を介して、並列接続された１つの分圧器とで、相互にバランス調整される。そのようにして測定された検出器信号は、１次近似で、試料濃度、ここでは例えば測定ガス中のH_2の濃度に比例する。

【００３６】
図１に示す実施形態では、測定室１２内に全部で４つの測定セル３２，３２ａ，３４，３４ａが配置されており、それらの測定セルは、２つ１組で、測定セルおよび基準セルとして協働する。従って、各分圧器抵抗回路にはそれぞれ１つの測定セルと１つの基準セルとが配置されており、両分圧器抵抗回路は、一方の対角線を介して動作電圧を供給され、他方の対角線において（ブリッジ分岐において）電圧測定ユニットを介して相互にバランス調整される。その電圧測定ユニットは、熱伝導率評価モジュール３６の形で、コンテインメント４の外部に配置された評価ユニット２６内に組み込まれている。
【００３７】
全部で２つの測定セル３２，３４を有する図示されていない代替的な実施例では、測定セルと基準セルとから構成された分圧器に対向する分圧器を２つの固定抵抗から構成し、これらの固定抵抗を外部に取り出し、特に外部の評価ユニット２６内に配置するとよい。
【００３８】
ＷＴ検出器１４は同様に公知の方法で動作する。
【００３９】
測定室１０の膜２８、特に多孔質の焼結金属板の形の膜２８を通して、測定ガスが測定室１０中に達する。そこには抵抗線条によって構成された２つの発熱体があり、それらの発熱体は、加熱電圧の印加によって、約５００～６００℃の動作温度に加熱される。発熱体の１つであるペリスタ４０は、その表面が触媒４２で被覆されているので、場合によって存在する水素（H_2）は、同時に酸素（O_2）が存在するならば、触媒作用により燃焼もしくは無火炎再結合して、水蒸気（H_2O）となる。その結果生じる温度上昇は、ペリスタ４０の熱線条において電気抵抗の増大をもたらす。第２の発熱体である補償器４４は、化学的に不活性の膜で被覆されており、ペリスタ４０に対する基準抵抗として使用されている。両発熱体の温度変化をもたらす温度や湿度等の周囲条件の影響は、このようにして補償される。
【００４０】
ペリスタ４０および補償器４４によって構成されている測定セル４６，４８における再結合反応時に発生する抵抗値差は、ＷＬ検出器１６の場合と同様に、ホイートストン測定ブリッジを介して測定される。そのために、図１に示した実施例では、第２の分圧器抵抗回路の両抵抗５０，５２が外部に取り出されて、外部の評価ユニット２６内に配置されている。ブリッジ電圧の測定は反応熱評価モジュール５４において行われる。
【００４１】
特に無停電電源（ＵＳＶ）の原理に基づいて構成されている自立の電流／電圧供給ユニット５６が、ブリッジ回路および評価モジュールの電流／電圧供給を引き受ける。
【００４２】
供給管９０を介して、試験および較正目的で、明確な既知の組成を有する試験ガスを測定室１０，２０に導入することができる。
【００４３】
熱伝導率評価モジュール３６および反応熱評価モジュール５４において取得されたブリッジ電圧は、例えば直接にこれらのモジュールおよび／又は後続接続された測定データ処理モジュール５８において、さらに以下に記載するように処理される。
【００４４】
ＷＴ検出器１４およびＷＬ検出器１６が２つの測定ブリッジを有する１つの共通な回路内に組み込まれている抵抗ブリッジ回路の格別に有利な実施例が、図２に概略的に示されている。
【００４５】
二重ブリッジ回路６０が、２つの同様の触媒活性の測定セル６２，６２ａを有する。両測定セル６２，６２ａは測定ガスによって環流もしくは貫流されるが、このことが流路６４によって模式的に示されている。さらに、この二重ブリッジ回路６０は、２つの同様の触媒不活性の測定セル６６，６６ａを有する。両測定セル６６，６６ａは測定ガスによっ

て環流もしくは貫流されるが、このことが流路６８によって模式的に示されている。その代替として、適切に選ばれた最小間隔によって、触媒活性の測定セルと触媒不活性の測定セルとの熱的混信が回避されている場合には、それらの測定セルが、１つの共通な測定ガス流路に配置されていてもよい。さらに、なおも２つの同様の触媒不活性の測定セル７０，７０ａが存在し、これらの測定セル７０，７０ａは測定ガスから隔離されているが、このことが、周囲に対して閉じられた、特に基準ガスを充填された基準空間７２への配置によって、模式的に示されている。

【００４６】

配線は、測定ガスによって環流される上側の触媒活性の測定セル６２，６２ａに対しても、測定ガスに対して閉じられた下側の触媒不活性の測定セル７０，７０ａに対しても、測定ガスによって環流される中央の触媒不活性の測定セル６６，６６ａが基準セルとして使用できるように選ばれている。測定ガスによって環流される中央の触媒不活性の測定セル６６，６６ａは、一方では測定ガスによって環流される上側の触媒活性の測定セル６２，６２ａと一緒に反応熱原理に基づく検出器（ＷＴ検出器１４）を構成し、他方では測定ガスに対して閉じられた下側の触媒不活性の測定セル７０，７０ａと一緒に熱伝導原理に基づく検出器（ＷＬ検出器１６）を構成する。「上側」、「下側」および「中央」なる呼称は、図面の簡単な理解のためにのみ使用されているにすぎず、測定セルの実際の空間的位置の限定を内容とするものでないことは言うまでもない。

【００４７】

具体的には、測定ガスによって環流されるそれぞれ１つの触媒活性の測定セル（例えば、６２）が、それに斜に対向していて測定ガスによって環流される触媒不活性の測定セル（例えば、６６ａ）と共に、ＷＴ検出器１４の一方の分圧器を構成しており、この分圧器は、ブリッジ分岐７４を介して、両分圧器のうちの他方の分圧器に結合されている。ブリッジ分岐７４中にはＷＴブリッジ電圧を測定するための電圧測定装置７６が接続されている。ブリッジ回路の電圧供給は電圧源７８によって行われる。

【００４８】

測定セル６６，６６ａおよび７０，７０ａを有する鏡像のように配線されたＷＬ検出器１６にも、上述の構成が同様に当てはまる。ここでは電圧源８０が測定ブリッジの電圧供給を引き受け、ブリッジ分岐８２中に、ＷＬブリッジ電圧を測定するための電圧測定装置８４が接続されている。

【００４９】

考えられ得る他の実施例に対するこの回路の主な利点は、複数のセンサへ案内しなければならないケーブルが少ないことにある。

【００５０】

ＷＬ検出器１６の感度は比較的低いので、このＷＬ検出器は、この例では、１０Ｖｏｌ％よりも高く３０Ｖｏｌ％までの、さらには１００Ｖｏｌ％までの上方測定範囲（いわゆる広域事故範囲）におけるH_2濃度の測定に使用するのが好ましい。

【００５１】

さらに、ＷＬ検出器１６は、１０Ｖｏｌ％よりも低い下方測定範囲におけるH_2濃度の大まかな測定にも使用することができ、特にＷＴ検出器１４との比較測定および整合性調整にも使用できる。

【００５２】

特に、測定ガス中に酸素が僅かしか又は全く存在しない場合に、ＷＬ検出器１６により測定ガス中のH_2濃度を測定することができる。これは、上述のとおりＷＬ検出器１６の機能が測定ガス中のO_2の存在に関係しないために可能である。このような酸素欠乏状態は、確実にＷＴ検出器１４により認識できる。というのは、そこで通常行われる触媒作用による再結合が、測定ガス中の酸素含有量が十分であることに依存しているからである。

【００５３】

結局は、ＷＬ検出器１６によって測定されるH_2濃度は、以下にさらに説明するように、ＷＴ検出器１４と連携した触媒支援によるO_2濃度の決定のための入力量として使用さ

れる。

【００５４】

ＷＴ検出器１４は、再結合反応の導入および維持のために十分なO_2含有量、特に少なくとも化学量論的なO_2含有量の場合に、１０Ｖｏｌ％よりも低い下方測定範囲におけるH_2濃度を測定するために使用することが好ましい。従って、まさに重大事故の初期段階において、H_2放出の確実かつ迅速な認識ならびに相応の濃度経過の監視が可能にされている。

【００５５】

H_2／O_2再結合の効率は、測定ガス中の両ガス成分の含有量に関係し、従ってＷＴ検出器１４によって測定されるブリッジ電圧も測定ガス中の両ガス成分の含有量に関係するので、原理的にＷＴ検出器１４の助けによりO_2濃度も決定することができる。

【００５６】

これは、十分に高いH_2濃度、例えば１０Ｖｏｌ％よりも高いH_2濃度の場合に、直接的な方法で、一方ではH_2濃度に依存しかつ他方ではO_2濃度に依存するブリッジ電圧の特性曲線に基づいて可能であり、それらの特性曲線は、以前の経験に基づく一連の実験により求められ、場合によっては理論的に根拠づけられる。要するに、上述のH_2高濃度領域におけるO_2濃度の測定は、ＷＴ検出器１４における触媒反応の測定信号を較正することによって行われる。

【００５７】

これが、図３に具体的に例示されている。そこでは、概略的に、ＷＴ検出器１４において測定されたｍＶ単位のブリッジ電圧Ｕが、Ｖｏｌ％単位のO_2濃度Ｃ（O_2）の関数として示されており、しかも曲線群パラメータとしての３つの異なるH_2濃度（１０Ｖｏｌ％、２０Ｖｏｌ％および３０Ｖｏｌ％）について示されている。図示された区間では曲線経過がほぼ直線的である。従って、H_2濃度が、特にＷＬ検出器１６の測定値によって既知である場合には、測定されたブリッジ電圧より、曲線群から（場合によっては補間法によって）O_2濃度を一義的に読み取ることができる。

【００５８】

H_2濃度の関数としてのブリッジ電圧について、曲線群パラメータとしてO_2濃度を用いることにより、類似の特性曲線を求めることができる。

【００５９】

例えば２．５Ｖｏｌ％よりも低い僅かなH_2濃度、従って低下した触媒反応の場合に、O_2濃度の決定は、ＷＬ検出器１６で測定ガスの総合熱伝導率を測定することによって、かつ個別伝導率およびガス濃度を補助的仮定のもとで解明することによって、特に飽和蒸気条件の仮定のもとで温度測定を介して蒸気濃度を決定することによって、間接的かつ準解析的に行われる。

【００６０】

この場合に、評価は、例えば次の仮定に基づく。

【００６１】

コンテインメント内に先ず空気（air）が２９３Ｋの周囲温度で存在し、それから事故開始時に先ず主として水素（H_2）および水蒸気（H_2O）が放出されるところから出発する場合に、コンテインメント内での質量保存を仮定すると、濃度Ｃおよび圧力ｐについて、次の関係が成り立つ。

(1) Ｃ（ｔｏｔａｌ）＝Ｃ（ａｉｒ）＋Ｃ（H_2）＋Ｃ（H_2O）＝１

(2) ｐ（ｔｏｔａｌ）＝ｐ（ａｉｒ）＋ｐ（H_2）＋ｐ（H_2O）

【００６２】

最初に存在する空気は主として酸素（O_2）および窒素（N_2）から成り、コンテインメント内の酸素濃度は事故の経過中に酸化反応によって変化するのに対して、窒素は不活性であり、その反応経過に関与しない。最初に存在する空気の窒素成分はよく知られているように約７９％である。

(3) Ｃ（N_2）＝０．７９Ｃ（ａｉｒ）

【００６３】
ＷＬ検出器１６の助けにより測定される測定ガスの総合熱伝導率は、それらの成分H_2、O_2、N_2およびH_2Oの個別伝導率の合算値に良好に近似する。
(4) λ（ｔｏｔａｌ）＝λ（H_2）Ｃ（H_2）＋λ（O_2）Ｃ（O_2）
＋λ（N_2）Ｃ（N_2）＋λ（H_2O）Ｃ（H_2O）
【００６４】
ただし、λは文献から公知の固有熱伝導率を表す。
【００６５】
さらに、個別濃度は、個々の成分の分圧によって次のとおり表すことができる。
(5) Ｃ（O_2）＝ｐ（O_2）／ｐ（ｔｏｔａｌ）
(6) Ｃ（H_2）＝ｐ（H_2）／ｐ（ｔｏｔａｌ）
(7) Ｃ（H_2O）＝ｐ（H_2O）／ｐ（ｔｏｔａｌ）
【００６６】
空気の分圧は、理想気体法則ｐ＝ｋＴにより、次のとおり近似することができる。
(8) ｐ（ａｉｒ）＝１ｂａｒ*Ｔ／２９３Ｋ
【００６７】
ただし、Ｔは、温度センサ３０により測定される測定ガス温度を表す。定数ｋは、周囲温度２９３Ｋ（＝２０℃）における１ｂａｒの周囲圧力で正規化した。
【００６８】
さらに、飽和蒸気条件（液相と蒸気相とが平衡にあるときの平衡蒸気圧）を前提とする場合には、測定された温度の関数として水蒸気H_2Oの分圧を標準テーブルから検索することができる。
(9) ｐ（H_2O）＝p_{steam}（Ｔ）
【００６９】
ここで方程式(1)～(3)および(5)～(9)を方程式(4)に代入して酸素濃度を求めるならば、直接に測定できる量λ（ｔｏｔａｌ）、Ｃ（H_2）およびＴと、文献から既知のパラメータλ（H_2）、λ（O_2）、λ（N_2）、λ（H_2O）ならびに同様に既知の水蒸気H_2Oの飽和蒸気圧曲線だけに関係する算術式が得られる。
(10) Ｃ（O_2）＝Ｆ（λ（ｔｏｔａｌ），Ｃ（H_2），Ｔ，λ（H_2），λ（O_2），λ（N_2），λ（H_2O））
【００７０】
このようにして、Ｃ（O_2）＞Ｃ（H_2）およびＣ（H_2）＜約２．５Ｖｏｌ％なる前提条件のもとで、ＷＬ検出器１６の測定値λ（ｔｏｔａｌ）と、上述と類似の較正方法により得られるＷＴ検出器１４の測定値Ｃ（H_2）と、温度センサ３０の助けにより得られる測定ガスの温度Ｔの測定値とから、酸素濃度Ｃ（O_2）を求めることができる。
【００７１】
主な誤差成分が測定されたH_2濃度に起因するという付加的な前提条件下でのガウス近似の標準誤差計算によって、測定誤差（標準偏差）に関して、次の関係がもたらされる。
(11) ΔＣ（O_2） （λ（H_2）／λ（O_2））ΔＣ（H_2） ７ΔＣ（H_2）
【００７２】
従って、O_2濃度に関して求められる値が、H_2濃度に関する測定誤差よりも約７倍高い誤差を含むことは、確かに避けがたい。それでもこれは、重大事故の初期段階における実際の状態によって裏付けされた前提条件のもとでは、道理にかなった近似である。
【００７３】
上述の評価および算定は、この課題のために相応のハードウェアおよび／又はソフトウェアによって強化された測定データ評価モジュール５８において、適切な方法で自動的に実行される。
【００７４】
両検出器１４および１６によって供給される測定値の整合性調整と、与えられた状況下で最適な評価方法の自動選択とを、上述の基準に基づいて行うことが好ましい。

【００７５】
上記の説明から分かるように、１０Ｖｏｌ％よりも低い小さいH_2濃度範囲では、触媒反応熱法に基づくO_2濃度の決定、又は熱伝導率と触媒反応熱との組合せによるO_2濃度の決定は、特に１５Ｖｏｌ％よりも高いO_2濃度の範囲において不正確になる。これは、特に、雰囲気中（少なくともセンサヘッド周囲）の全H_2含有量が触媒反応によって変換されたときに起こり得る。
【００７６】
この種の状況において、雰囲気中に水素が少ししかないか又は全くない場合にも、確実に比較的高精度でO_2濃度を決定できるように、ＷＬ／ＷＴ測定セルに追加して、二酸化ジルコニウム測定セル９２がセンサヘッド内に組み込まれていると有利である。この場合に、周囲に対して気密に封止したセンサヘッド室内に、測定のために必要な基準ガス（特に、空気）がある。例えば電気的な発熱体により加熱される二酸化ジルコニウム膜９４が、その基準ガスをコンテインメント雰囲気から隔離する。
【００７７】
動作態様は次のとおりである。約６５０℃の温度から二酸化ジルコニウム（ZrO_2）において次の基礎的な物理的過程が生じる。
・　ZrO_2が酸素イオンを分離し、酸素のための固体電解質になる。電流源の印加によって周囲の酸素がZrO_2を通して運ばれる。
・　そのZrO_2が上述の温度において電解質のように作用するので、そのZrO_2素子の境界面に酸素圧力差が存在する場合に、ガルバニック電圧（いわゆるネルンスト電圧）を測定することができる。
【００７８】
それによって、加熱されたZrO_2測定セル９２の助けにより、基準ガスに対する相対的な周囲雰囲気中の酸素含有量をポテンショメータ方式で求めることができる。相応の測定信号が付加的な信号線９６を介して評価ユニット２６に導かれ、そこで評価され、従って測定雰囲気中のO_2含有量が決定される。
【００７９】
従って、上述の小さいH_2濃度の範囲（＜１０Ｖｏｌ％）においては、ZrO_2に基づく測定が冗長度をもたせた測定法として有効であり、O_2測定範囲全体（通常０～２５Ｖｏｌ％）にわたって高い精度を達成することができる。
【００８０】
１０Ｖｏｌ％よりも高いH_2濃度の場合に、都合の悪いO_2濃度では、上記温度におけるZrO_2測定によって、H_2成分の自発的変換が生じる（爆鳴気反応、発火）。このプロセスを避けるために、１０Ｖｏｌ％よりも高いH_2含有量では、共通な評価電子回路によって、ZrO_2に基づく測定が遮断され、特にZrO_2膜９４の加熱用の発熱体が動作停止させられる。このために必要なH_2濃度の測定値は、熱伝導率測定法によって提供されることが好ましい。１０Ｖｏｌ％よりも高いH_2濃度範囲では、上述したようなＷＬ／ＷＴ測定法によるO_2濃度測定が実行される。
【００８１】
測定装置２は、ここでは今まで専ら原子力発電所のコンテインメント雰囲気の監視との関連で説明したが、その他の原子力設備、例えば中間貯蔵設備又は処理設備にも使用可能であることは自明である。さらに、水素および酸素の放出を覚悟しなければならない、従って爆鳴気爆発の危険が存在するあらゆる工業設備において、用途が考えられ得る。この測定原理は、結局、触媒作用により互いに再結合することのできる他のガスにも転用することができる。
【符号の説明】
【００８２】
２　測定装置
４　コンテインメント
６　原子力設備

８	格納容器
１０	測定室
１２	測定室
１４	ＷＴ検出器
１６	ＷＬ検出器
１８	電気接続室
２０	接続線
２２	接続プラグ
２４	ケーブル貫通部
２６	評価ユニット
２８	膜
３０	温度センサ
３２，３２ａ	測定セル
３４，３４ａ	測定セル
３６	ＷＬ評価モジュール
４０	ペリスタ
４２	触媒
４４	補償器
４６	測定セル
４８	測定セル
５０	固定抵抗
５２	固定抵抗
５４	ＷＴ評価モジュール
５６	電流／電圧供給ユニット
５８	測定データ処理モジュール
６０	ブリッジ回路
６２，６２ａ	測定セル
６４	流路
６６，６６ａ	測定セル
６８	流路
７０，７０ａ	測定セル
７２	基準空間
７４	ブリッジ分岐
７６	電圧測定装置
７８	電圧源
８０	電圧源
８２	ブリッジ分岐
８４	電圧測定器
９０	供給管
９２	二酸化ジルコニウム測定セル
９４	二酸化ジルコニウム膜
９６	信号線

【図１】

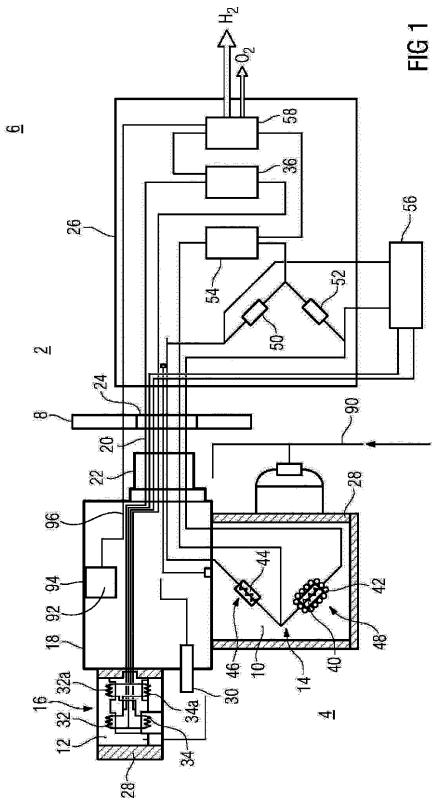

FIG 1

【図２】

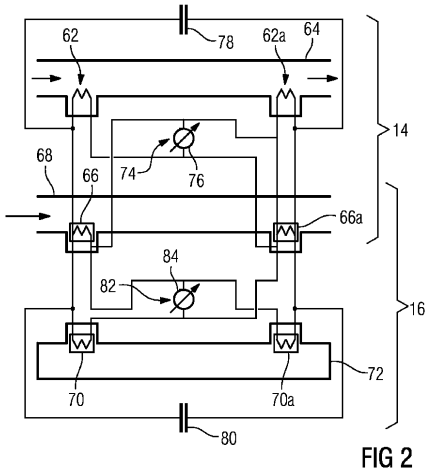

FIG 2

【図３】

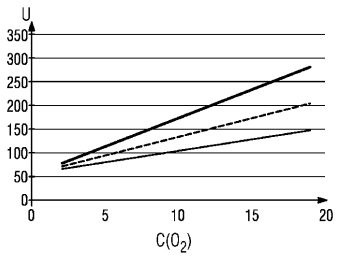

FIG 3

フロントページの続き

審査官　道祖土　新吾

(56)参考文献　特開昭６０－１５７０８５（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０４２２６６７５（ＵＳ，Ａ）
特開昭５７－０７０４３５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２７５９９５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６１－０４１９４４（ＪＰ，Ａ）
特開昭６０－０４２６９０（ＪＰ，Ａ）
特表２０００－５１１６３６（ＪＰ，Ａ）
特開昭５６－１２４８２８（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００７／０９９９３３（WO，Ａ１）
特開２００４－０６１２１４（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－２０７８７９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ２１Ｃ　　９／００
Ｇ２１Ｃ　１７／００
Ｇ０１Ｎ　　１／２２
Ｇ０１Ｎ　２５／２０
Ｇ０１Ｎ　２５／２６
Ｇ０１Ｎ　２５／２８
Ｇ０１Ｎ　２５／３０
Ｇ０１Ｎ　２５／３６