(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年4月25日(25.04.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/084889 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 27/416 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/034343

(22) 国際出願日： 2023年9月21日(21.09.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2022-169087 2022年10月21日(21.10.2022) JP

(71) 出願人:日本碍子株式会社(**NGK INSULATORS, LTD.**) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号 Aichi (JP).

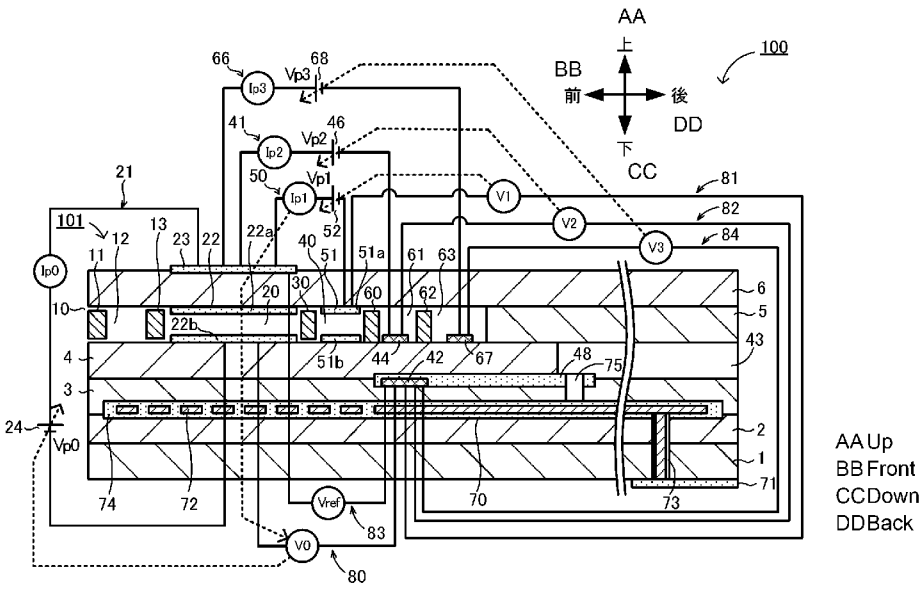
(72) 発明者: 渡邉 悠介 (**WATANABE Yusuke**); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 市川 大智 (**ICHIKAWA Daichi**); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人アイテック国際特許事務所 (**ITEC INTERNATIONAL PATENT FIRM**); 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦二丁目１６番２６号ＳＣ伏見ビル Aichi (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,

(54) **Title:** GAS SENSOR

(54) 発明の名称： ガスセンサ



(57) **Abstract:** A gas sensor 100 comprises a sensor element 101 and a control device. The sensor element 101 includes an element body, a first measurement pump cell 41, a second measurement pump cell 66, an auxiliary pump cell 50, and a reference electrode 42. The control device: controls the auxiliary pump cell 50 so that the voltage V1 between the reference electrode 42 and an auxiliary pump electrode 51 is at a target value V1*; controls the first measurement pump cell 41 so that the voltage V2 between the reference electrode 42 and a first measurement electrode 44 is at a target value

WO 2024/084889 A1

［続葉有］

EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能)：ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

V2*; controls the second measurement pump cell 66 so the voltage V3 between the reference electrode 42 and a second measurement electrode 67 is at a target value V3*; detects specific gas concentration on the basis of a pump current Ip2; and detects the carbon dioxide concentration in a gas being measured on the basis of a pump current Ip3 and a change in the pump current Ip2 that occurs when at least one of the target value V1* and the target value V2* is changed.

(57) 要約：ガスセンサ１００は、センサ素子１０１と制御装置とを備える。センサ素子１０１は、素子本体と、第１測定用ポンプセル４１と、第２測定用ポンプセル６６と、補助ポンプセル５０と、基準電極４２とを備える。制御装置は、基準電極４２と補助ポンプ電極５１との間の電圧Ｖ１が目標値Ｖ１＊になるように補助ポンプセル５０を制御し、基準電極４２と第１測定電極４４との間の電圧Ｖ２が目標値Ｖ２＊になるように第１測定用ポンプセル４１を制御し、基準電極４２と第２測定電極６７との間の電圧Ｖ３が目標値Ｖ３＊になるように第２測定用ポンプセル６６を制御し、ポンプ電流Ｉｐ２に基づいて特定ガス濃度を検出し、ポンプ電流Ｉｐ３と、目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊との少なくとも一方を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化に基づいて被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出する。

明　細　書

発明の名称 ： ガスセンサ

技術分野

[0001] 本発明は、ガスセンサに関する。

背景技術

[0002] 従来、自動車の排気ガスなどの被測定ガスにおけるＮＯｘなどの特定ガス濃度を検出するガスセンサが知られている。例えば、特許文献１には、酸素イオン伝導性の固体電解質層を含み被測定ガスを導入して流通させる被測定ガス流通部が内部に設けられた素子本体と、素子本体に配設された複数の電極とを備えたガスセンサが記載されている。このガスセンサでＮＯｘの濃度を検出する場合、まず、被測定ガス流通部のうちの酸素濃度調整室とセンサ素子の外部との間で酸素の汲み出し又は汲み入れが行われて、酸素濃度調整室の酸素濃度が調整される。酸素濃度が調整された後の被測定ガスは被測定ガス流通部のうちの酸素濃度調整室の下流側に設けられた測定室に到達する。測定室では、被測定ガス中のＮＯｘが、測定室に配設された測定電極の周囲で還元される。そして、測定電極と基準電極との間に生じる電圧Ｖ２が所定の目標値となるように測定用ポンプセルをフィードバック制御して測定電極の周囲の酸素を汲み出す。このときに流れるポンプ電流Ｉｐ２に基づいて、被測定ガス中のＮＯｘの濃度が検出される。

[0003] また、被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出するガスセンサも知られている。例えば、特許文献２に記載のガスセンサは、センサ素子の第１の内部空所において被測定ガス中の水蒸気成分および二酸化炭素成分が実質的に全て分解されるように第１の内部空所の酸素分圧を調整する。そして、水蒸気成分の分解によって生成した水素が第２の内部空所において選択的に燃焼するように第１測定用電気化学的ポンピングセルによって第２の内部空所に酸素を供給し、このときに流れる電流の大きさに基づいて被測定ガスに存在する水蒸気成分の濃度を特定する。また、このガスセンサは、二酸化炭素成分の

分解によって生成した一酸化炭素が選択的に燃焼するように第２測定用電気化学的ポンピングセルによって第２測定用内側電極の表面に酸素を供給し、このときに流れる電流の大きさに基づいて被測定ガスに存在する二酸化炭素成分の濃度を特定する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０２２－０９１６６９号公報

特許文献2：特許第５９１８１７７号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、被測定ガス中のＮＯｘ濃度と二酸化炭素濃度との両方を検出するガスセンサは知られていなかった。

[0006] 本発明はこのような課題を解決するためになされたものであり、被測定ガス中のＮＯｘ濃度と二酸化炭素濃度とを検出することを主目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明は、上述した主目的を達成するために以下の手段を採った。

[0008] ［１］本発明のガスセンサは、

酸素イオン伝導性の固体電解質層を有し、被測定ガスを導入して流通させる被測定ガス流通部が内部に設けられた素子本体と、

前記被測定ガス流通部のうちの第１測定室に配設された第１内側測定電極を含んで構成され、前記第１測定室の酸素を前記素子本体の外部に汲み出す第１測定用ポンプセルと、

前記被測定ガス流通部のうちの前記第１測定室よりも下流に位置する第２測定室に配設された第２内側測定電極を含んで構成され、前記第２測定室の酸素を前記素子本体の外部に汲み出す第２測定用ポンプセルと、

前記被測定ガス流通部のうち前記第１測定室よりも上流に位置する酸素濃度調整室に配設された内側調整電極を含んで構成され、前記酸素濃度調整室

の酸素濃度を調整する調整用ポンプセルと、

基準ガスと接触するように前記素子本体の内部に配設された基準電極と、

を有するセンサ素子と、

前記基準電極と前記内側調整電極との間の電圧である調整用電圧が調整用電圧目標値になるように前記調整用ポンプセルを制御して前記酸素濃度調整室の酸素濃度を調整する調整用ポンプ制御処理と、前記基準電極と前記第１内側測定電極との間の電圧である第１測定用電圧が第１測定用電圧目標値になるように前記第１測定用ポンプセルを制御して前記第１測定室の酸素を汲み出す第１測定用ポンプ制御処理と、前記基準電極と前記第２内側測定電極との間の電圧である第２測定用電圧が第２測定用電圧目標値になるように前記第２測定用ポンプセルを制御して前記第２測定室の酸素を汲み出す第２測定用ポンプ制御処理と、を行う制御装置と、

を備え、

前記制御装置は、前記第１測定室でＮＯｘを還元したときに発生する酸素を前記第１測定用ポンプ制御処理によって汲み出したときに流れる第１測定用ポンプ電流に基づいて、前記被測定ガス中のＮＯｘ濃度を検出し、

前記制御装置は、前記第２測定室で二酸化炭素を還元したときに発生する酸素を前記第２測定用ポンプ制御処理によって汲み出したときに流れる第２測定用ポンプ電流と、前記調整用電圧目標値と前記第１測定用電圧目標値との少なくとも一方を変化させたときの前記調整用ポンプ制御処理及び前記第１測定用ポンプ制御処理の実行中に流れる前記第１測定用ポンプ電流の変化と、に基づいて前記被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出する、

ものである。

[0009] このガスセンサでは、制御装置が、基準電極と内側調整電極との間の電圧である調整用電圧が調整用電圧目標値になるように調整用ポンプセルを制御して酸素濃度調整室の酸素濃度を調整する調整用ポンプ制御処理を行う。また、制御装置は、基準電極と第１内側測定電極との間の電圧である第１測定用電圧が第１測定用電圧目標値になるように第１測定用ポンプセルを制御し

て第１測定室の酸素を汲み出す第１測定用ポンプ制御処理を行う。制御装置は、基準電極と第２内側測定電極との間の電圧である第２測定用電圧が第２測定用電圧目標値になるように第２測定用ポンプセルを制御して第２測定室の酸素を汲み出す第２測定用ポンプ制御処理を行う。そして、制御装置は、第１測定室でＮＯｘを還元したときに発生する酸素を第１測定用ポンプ制御処理によって汲み出したときに流れる第１測定用ポンプ電流に基づいて、被測定ガス中のＮＯｘ濃度を検出する。また、制御装置は、第２測定室で二酸化炭素を還元したときに発生する酸素を第２測定用ポンプ制御処理によって汲み出したときに流れる第２測定用ポンプ電流と、調整用電圧目標値と第１測定用電圧目標値との少なくとも一方を変化させたときの調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理の実行中に流れる第１測定用ポンプ電流の変化と、に基づいて被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出する。このように、本発明のガスセンサは、第１測定用ポンプ電流に基づいてＮＯｘ濃度を検出し、第２測定用ポンプ電流に基づいて二酸化炭素濃度を検出する。ただし、被測定ガスが水を含んでいる場合、第２測定室では二酸化炭素だけでなく水も還元されるため、第２測定用ポンプ制御処理によって流れる第２測定用ポンプ電流は二酸化炭素濃度と水濃度とに基づく値となる。しかし、本発明者らは、調整用電圧目標値と第１測定用電圧目標値との少なくとも一方を変化させたときの第１測定用ポンプ電流の変化は、被測定ガス中の水濃度と相関があることを見出した。そのため、第２測定用ポンプ電流と、第１測定用ポンプ電流の変化と、に基づいて被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出することができる。以上のことから、本発明のガスセンサは、被測定ガス中のＮＯｘ濃度と二酸化炭素濃度とを検出することができる。

[0010] ［２］上述したガスセンサ（前記［１］に記載のガスセンサ）において、前記制御装置は、前記第１測定用ポンプ電流の前記変化に基づいて前記被測定ガス中の水濃度を検出してもよい。上述したように、調整用電圧目標値と第１測定用電圧目標値との少なくとも一方を変化させたときの第１測定用ポンプ電流の変化は被測定ガス中の水濃度と相関があるから、この変化に基づい

て被測定ガス中の水濃度も検出できる。この場合において、前記制御装置は、前記第２測定用ポンプ電流と前記検出された水濃度とに基づいて前記被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出してもよい。

[0011] ［３］上述したガスセンサ（前記［２］に記載のガスセンサ）において、前記制御装置は、前記第２測定用ポンプ電流に基づいて前記被測定ガス中の二酸化炭素濃度と水濃度との合計値を導出し、該合計値から前記検出された水濃度を差し引くことで前記被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出してもよい。こうすれば、比較的簡単な手法で二酸化炭素濃度を検出できる。

[0012] ［４］上述したガスセンサ（前記［１］～［３］のいずれかに記載のガスセンサ）において、前記制御装置は、前記調整用ポンプ制御処理によって流れる調整用ポンプ電流に基づいて、前記被測定ガス中の酸素濃度を検出してもよい。こうすれば、このガスセンサは被測定ガス中の酸素濃度も検出できる。

[0013] ［５］上述したガスセンサ（前記［１］～［４］のいずれかに記載のガスセンサ）において、前記酸素濃度調整室は、第１内部空所と、該第１内部空所よりも下流且つ前記測定室よりも上流に設けられた第２内部空所と、を有し、前記調整用ポンプセルは、前記第１内部空所の酸素濃度を調整する主ポンプセルと、前記第２内部空所の酸素濃度を調整する補助ポンプセルと、を有し、前記内側調整電極は、前記第１内部空所に配設され前記主ポンプセルの一部を構成する内側主ポンプ電極と、前記第２内部空所に配設され前記補助ポンプセルの一部を構成する内側補助ポンプ電極と、を有し、前記調整用ポンプ制御処理は、前記主ポンプセルを制御して前記第１内部空所の酸素濃度を調整する主ポンプ制御処理と、前記調整用電圧が前記調整用電圧目標値になるように前記補助ポンプセルを制御する補助ポンプ制御処理と、を含んでもよい。

[0014] ［６］上述したガスセンサ（前記［１］～［５］のいずれかに記載のガスセンサ）において、前記内側調整電極は、触媒活性を有する貴金属と、Ａｕと、を含んでもよい。こうすれば、内側調整電極がＡｕを含むことでＮＯｘ及

び二酸化炭素に対する触媒活性が抑制されるから、酸素濃度調整室でＮＯｘ及び二酸化炭素が還元されてしまうことを抑制できる。

[0015] ［７］上述したガスセンサ（前記［１］～［６］のいずれかに記載のガスセンサ）において、前記第１内側測定電極は、Ｒｈと、触媒活性を有するＲｈ以外の貴金属と、を含んでもよい。こうすれば、第１内側測定電極がＲｈを含むことで、第１測定室でのＮＯｘの還元を促進できる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]ガスセンサ１００の構成の一例を概略的に示した断面模式図。

[図2]制御装置９５と各セル及びヒータ７２との電気的な接続関係を示すブロック図。

[図3]目標値Ｖ１＊と水濃度とポンプ電流Ｉｐ２との関係を示すグラフ。

[図4]水濃度と目標値Ｖ１＊の変化に対するオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化の傾きとの関係を示すグラフ。

[図5]目標値Ｖ２＊と水濃度とポンプ電流Ｉｐ２との関係を示すグラフ。

[図6]水濃度と目標値Ｖ２＊の変化に対するオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化の傾きとの関係を示すグラフ。

[図7]制御ルーチンの一例を示すフローチャート。

[図8]水濃度と二酸化炭素濃度との合計値Ｃｓとポンプ電流Ｉｐ３との関係を示すグラフ。

[図9]傾きＧとポンプ電流Ｉｐ３と二酸化炭素濃度との対応関係を示すグラフ。

[図10]センサ素子２０１の断面模式図。

発明を実施するための形態

[0017] 次に、本発明の実施形態について、図面を用いて説明する。図１は、本発明の一実施形態であるガスセンサ１００の構成の一例を概略的に示した断面模式図である。図２は、制御装置９５と各セル及びヒータ７２との電気的な接続関係を示すブロック図である。このガスセンサ１００は、例えば内燃機関の排ガス管などの配管に取り付けられている。ガスセンサ１００は、内燃

機関の排ガスを被測定ガスとして、被測定ガス中の特定ガスの濃度を検出する。本実施形態では、ガスセンサ１００は特定ガス濃度としてＮＯｘ濃度，二酸化炭素濃度，水濃度，及び酸素濃度を測定するものとした。ガスセンサ１００は、長尺な直方体形状をしたセンサ素子１０１と、センサ素子１０１が備える各セル２１，４１，５０，８０～８４と、センサ素子１０１の内部に設けられたヒータ部７０と、可変電源２４，４６，５２，６８及びヒータ電源７６を有しガスセンサ１００全体を制御する制御装置９５と、を備えている。

[0018] センサ素子１０１は、それぞれがジルコニア（ZrO_2）等の酸素イオン伝導性固体電解質層からなる第１基板層１と、第２基板層２と、第３基板層３と、第１固体電解質層４と、スペーサ層５と、第２固体電解質層６との６つの層が、図面視で下側からこの順に積層された積層体を有する素子である。また、これら６つの層を形成する固体電解質は緻密な気密のものである。係るセンサ素子１０１は、例えば、各層に対応するセラミックスグリーンシートに所定の加工および回路パターンの印刷などを行った後にそれらを積層し、さらに、焼成して一体化させることによって製造される。

[0019] センサ素子１０１の先端部側（図１の左端部側）であって、第２固体電解質層６の下面と第１固体電解質層４の上面との間には、ガス導入口１０と、第１拡散律速部１１と、緩衝空間１２と、第２拡散律速部１３と、第１内部空所２０と、第３拡散律速部３０と、第２内部空所４０と、第４拡散律速部６０と、第３内部空所６１と、第５拡散律速部６２と、第４内部空所６３とが、この順に連通する態様にて隣接形成されてなる。

[0020] ガス導入口１０と、緩衝空間１２と、第１内部空所２０と、第２内部空所４０と、第３内部空所６１と、第４内部空所６３とは、スペーサ層５をくり抜いた態様にて設けられた上部を第２固体電解質層６の下面で、下部を第１固体電解質層４の上面で、側部をスペーサ層５の側面で区画されたセンサ素子１０１内部の空間である。

[0021] 第１拡散律速部１１と、第２拡散律速部１３と、第３拡散律速部３０とは

いずれも、２本の横長の（図面に垂直な方向に開口が長手方向を有する）スリットとして設けられる。また、第４拡散律速部６０及び第５拡散律速部６２は、第２固体電解質層６の下面との隙間として形成された１本の横長の（図面に垂直な方向に開口が長手方向を有する）スリットとして設けられる。なお、ガス導入口１０から第４内部空所６３に至る部位を被測定ガス流通部とも称する。

[0022] また、被測定ガス流通部よりも先端側から遠い位置には、第３基板層３の上面と、スペーサ層５の下面との間であって、側部を第１固体電解質層４の側面で区画される位置に基準ガス導入空間４３が設けられている。基準ガス導入空間４３には、ＮＯｘ濃度の測定を行う際の基準ガスとして、例えば大気が導入される。

[0023] 基準ガス導入層４８は、多孔質セラミックスからなる層であって、基準ガス導入層４８には基準ガス導入空間４３を通じて基準ガスが導入されるようになっている。また、基準ガス導入層４８は、基準電極４２を被覆するように形成されている。

[0024] 基準電極４２は、第３基板層３の上面と第１固体電解質層４とに挟まれる態様にて形成される電極であり、上述のように、その周囲には、基準ガス導入空間４３につながる基準ガス導入層４８が設けられている。また、後述するように、基準電極４２を用いて第１内部空所２０内，第２内部空所４０内，第３内部空所６１内，及び第４内部空所６３内の酸素濃度（酸素分圧）を測定することが可能となっている。基準電極４２は、多孔質サーメット電極（例えば、ＰｔとＺｒO_2とのサーメット電極）として形成される。

[0025] 被測定ガス流通部において、ガス導入口１０は、外部空間に対して開口してなる部位であり、該ガス導入口１０を通じて外部空間からセンサ素子１０１内に被測定ガスが取り込まれるようになっている。第１拡散律速部１１は、ガス導入口１０から取り込まれた被測定ガスに対して、所定の拡散抵抗を付与する部位である。緩衝空間１２は、第１拡散律速部１１より導入された被測定ガスを第２拡散律速部１３へと導くために設けられた空間である。第

２拡散律速部１３は、緩衝空間１２から第１内部空所２０に導入される被測定ガスに対して、所定の拡散抵抗を付与する部位である。被測定ガスが、センサ素子１０１外部から第１内部空所２０内まで導入されるにあたって、外部空間における被測定ガスの圧力変動（被測定ガスが自動車の排気ガスの場合であれば排気圧の脈動）によってガス導入口１０からセンサ素子１０１内部に急激に取り込まれた被測定ガスは、直接第１内部空所２０へ導入されるのではなく、第１拡散律速部１１、緩衝空間１２、第２拡散律速部１３を通じて被測定ガスの圧力変動が打ち消された後、第１内部空所２０へ導入されるようになっている。これによって、第１内部空所２０へ導入される被測定ガスの圧力変動はほとんど無視できる程度のものとなる。第１内部空所２０は、第２拡散律速部１３を通じて導入された被測定ガス中の酸素分圧を調整するための空間として設けられている。係る酸素分圧は、主ポンプセル２１が作動することによって調整される。

[0026] 主ポンプセル２１は、第１内部空所２０に面する第２固体電解質層６の下面のほぼ全面に設けられた天井電極部２２ａを有する内側ポンプ電極２２と、第２固体電解質層６の上面の天井電極部２２ａと対応する領域に外部空間に露出する態様にて設けられた外側ポンプ電極２３と、これらの電極に挟まれた第２固体電解質層６とによって構成されてなる電気化学的ポンプセルである。

[0027] 内側ポンプ電極２２は、第１内部空所２０を区画する上下の固体電解質層（第２固体電解質層６および第１固体電解質層４）、および、側壁を与えるスペーサ層５にまたがって形成されている。具体的には、第１内部空所２０の天井面を与える第２固体電解質層６の下面には天井電極部２２ａが形成され、また、底面を与える第１固体電解質層４の上面には底部電極部２２ｂが形成され、そして、それら天井電極部２２ａと底部電極部２２ｂとを接続するように、側部電極部（図示省略）が第１内部空所２０の両側壁部を構成するスペーサ層５の側壁面（内面）に形成されて、該側部電極部の配設部位においてトンネル形態とされた構造において配設されている。

[0028] 内側ポンプ電極２２と外側ポンプ電極２３とは、多孔質サーメット電極（例えば、Ａｕを１％含むＰｔとＺｒO_2とのサーメット電極）として形成される。なお、被測定ガスに接触する内側ポンプ電極２２は、被測定ガス中のＮＯｘ成分に対する還元能力を弱めた材料を用いて形成される。

[0029] 主ポンプセル２１においては、内側ポンプ電極２２と外側ポンプ電極２３との間に所望の電圧Ｖｐ０を印加して、内側ポンプ電極２２と外側ポンプ電極２３との間に正方向あるいは負方向にポンプ電流Ｉｐ０を流すことにより、第１内部空所２０内の酸素を外部空間に汲み出し、あるいは、外部空間の酸素を第１内部空所２０に汲み入れることが可能となっている。

[0030] また、第１内部空所２０における雰囲気中の酸素濃度（酸素分圧）を検出するために、内側ポンプ電極２２と、第２固体電解質層６と、スペーサ層５と、第１固体電解質層４と、第３基板層３と、基準電極４２によって、電気化学的なセンサセル、すなわち、主ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８０が構成されている。

[0031] 主ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８０における起電力（電圧Ｖ０）を測定することで第１内部空所２０内の酸素濃度（酸素分圧）がわかるようになっている。さらに、電圧Ｖ０が目標値となるように可変電源２４の電圧Ｖｐ０をフィードバック制御することでポンプ電流Ｉｐ０が制御されている。これによって、第１内部空所２０内の酸素濃度は所定の一定値に保つことができる。

[0032] 第３拡散律速部３０は、第１内部空所２０で主ポンプセル２１の動作により酸素濃度（酸素分圧）が制御された被測定ガスに所定の拡散抵抗を付与して、該被測定ガスを第２内部空所４０に導く部位である。

[0033] 第２内部空所４０は、あらかじめ第１内部空所２０において酸素濃度（酸素分圧）が調整された後、第３拡散律速部３０を通じて導入された被測定ガスに対して、さらに補助ポンプセル５０による酸素分圧の調整を行うための空間として設けられている。これにより、第２内部空所４０内の酸素濃度を高精度に一定に保つことができるため、係るガスセンサ１００においては精

度の高いＮＯｘ濃度測定が可能となる。

[0034] 補助ポンプセル５０は、第２内部空所４０に面する第２固体電解質層６の下面の略全体に設けられた天井電極部５１ａを有する補助ポンプ電極５１と、外側ポンプ電極２３（外側ポンプ電極２３に限られるものではなく、センサ素子１０１の外側の適当な電極であれば足りる）と、第２固体電解質層６とによって構成される、補助的な電気化学的ポンプセルである。

[0035] 係る補助ポンプ電極５１は、先の第１内部空所２０内に設けられた内側ポンプ電極２２と同様なトンネル形態とされた構造において、第２内部空所４０内に配設されている。つまり、第２内部空所４０の天井面を与える第２固体電解質層６に対して天井電極部５１ａが形成され、また、第２内部空所４０の底面を与える第１固体電解質層４には、底部電極部５１ｂが形成され、そして、それらの天井電極部５１ａと底部電極部５１ｂとを連結する側部電極部（図示省略）が、第２内部空所４０の側壁を与えるスペーサ層５の両壁面にそれぞれ形成されたトンネル形態の構造となっている。なお、補助ポンプ電極５１についても、内側ポンプ電極２２と同様に、被測定ガス中のＮＯｘ成分に対する還元能力を弱めた材料を用いて形成される。

[0036] 補助ポンプセル５０においては、補助ポンプ電極５１と外側ポンプ電極２３との間に所望の電圧Ｖｐ１を印加することにより、第２内部空所４０内の雰囲気中の酸素を外部空間に汲み出し、あるいは、外部空間から第２内部空所４０内に汲み入れることが可能となっている。

[0037] また、第２内部空所４０内における雰囲気中の酸素分圧を制御するために、補助ポンプ電極５１と、基準電極４２と、第２固体電解質層６と、スペーサ層５と、第１固体電解質層４と、第３基板層３とによって電気化学的なセンサセル、すなわち、補助ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８１が構成されている。

[0038] なお、この補助ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８１にて検出される起電力（電圧Ｖ１）に基づいて電圧制御される可変電源５２にて、補助ポンプセル５０がポンピングを行う。これにより第２内部空所４０内の雰囲気中

の酸素分圧は、ＮＯｘの測定に実質的に影響がない低い分圧にまで制御されるようになっている。

[0039] また、これとともに、そのポンプ電流Ｉｐ１が、主ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８０の起電力の制御に用いられるようになっている。具体的には、ポンプ電流Ｉｐ１は、制御信号として主ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８０に入力され、その電圧Ｖ０の上述した目標値が制御されることにより、第３拡散律速部３０から第２内部空所４０内に導入される被測定ガス中の酸素分圧の勾配が常に一定となるように制御されている。ＮＯｘセンサとして使用する際は、主ポンプセル２１と補助ポンプセル５０との働きによって、第２内部空所４０内での酸素濃度は約０．００１ｐｐｍ程度の一定の値に保たれる。

[0040] 第４拡散律速部６０は、第２内部空所４０で補助ポンプセル５０の動作により酸素濃度（酸素分圧）が制御された被測定ガスに所定の拡散抵抗を付与して、該被測定ガスを第３内部空所６１に導く部位である。第４拡散律速部６０は、第３内部空所６１に流入するＮＯｘの量を制限する役割を担う。

[0041] 第３内部空所６１は、あらかじめ第２内部空所４０において酸素濃度（酸素分圧）が調整された後、第４拡散律速部６０を通じて導入された被測定ガスに対して、被測定ガス中の窒素酸化物（ＮＯｘ）濃度の測定に係る処理を行うための空間として設けられている。ＮＯｘ濃度の測定は、主として、第３内部空所６１において、第１測定用ポンプセル４１の動作により行われる。

[0042] 第１測定用ポンプセル４１は、第３内部空所６１内において、被測定ガス中のＮＯｘ濃度の測定を行う。第１測定用ポンプセル４１は、第３内部空所６１に面する第１固体電解質層４の上面に設けられた第１測定電極４４と、外側ポンプ電極２３と、第２固体電解質層６と、スペーサ層５と、第１固体電解質層４とによって構成された電気化学的ポンプセルである。第１測定電極４４は、被測定ガス中のＮＯｘ成分に対する還元能力を、内側ポンプ電極２２よりも高めた材料にて構成された多孔質サーメット電極である。第１測

定電極４４は、第３内部空所６１内の雰囲気中に存在するＮＯｘを還元するＮＯｘ還元触媒としても機能する。

[0043] 第１測定用ポンプセル４１においては、第１測定電極４４の周囲の雰囲気中における窒素酸化物の分解によって生じた酸素を汲み出して、その発生量をポンプ電流Ｉｐ２として検出することができる。

[0044] また、第１測定電極４４の周囲の酸素分圧を検出するために、第１固体電解質層４と、第３基板層３と、第１測定電極４４と、基準電極４２とによって電気化学的なセンサセル、すなわち、第１測定用ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８２が構成されている。第１測定用ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８２にて検出された起電力（電圧Ｖ２）に基づいて可変電源４６が制御される。

[0045] 第２内部空所４０内に導かれた被測定ガスは、酸素分圧が制御された状況下で第４拡散律速部６０を通じて第３内部空所６１内の第１測定電極４４に到達することとなる。第１測定電極４４の周囲の被測定ガス中の窒素酸化物は還元されて（$2NO \rightarrow N_2 + O_2$）酸素を発生する。そして、この発生した酸素は第１測定用ポンプセル４１によってポンピングされることとなるが、その際、第１測定用ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８２にて検出された電圧Ｖ２が一定（目標値）となるように可変電源４６の電圧Ｖｐ２が制御される。第１測定電極４４の周囲において発生する酸素の量は、被測定ガス中の窒素酸化物の濃度に比例するものであるから、第１測定用ポンプセル４１におけるポンプ電流Ｉｐ２を用いて被測定ガス中の窒素酸化物濃度が算出されることとなる。

[0046] また、第１測定電極４４と、第１固体電解質層４と、第３基板層３と、基準電極４２とを組み合わせて、電気化学的センサセルとして酸素分圧検出手段を構成するようにすれば、第１測定電極４４の周りの雰囲気中のＮＯｘ成分の還元によって発生した酸素の量と基準大気に含まれる酸素の量との差に応じた起電力を検出することができ、これによって被測定ガス中のＮＯｘ成分の濃度を求めることも可能である。

[0047] 第５拡散律速部６２は、第３内部空所６１内の被測定ガスに所定の拡散抵抗を付与して、該被測定ガスを第４内部空所６３に導く部位である。第５拡散律速部６２は、第４内部空所６３に流入する二酸化炭素の量を制限する役割を担う。

[0048] 第４内部空所６３は、第３内部空所６１において窒素酸化物が還元された後、第５拡散律速部６２を通じて導入された被測定ガスに対して、被測定ガス中の二酸化炭素（CO_2）濃度の測定に係る処理を行うための空間として設けられている。二酸化炭素濃度の測定は、主として、第４内部空所６３において、第２測定用ポンプセル６６の動作により行われる。

[0049] 第２測定用ポンプセル６６は、第４内部空所６３に面する第１固体電解質層４の上面に設けられた第２測定電極６７と、外側ポンプ電極２３と、第２固体電解質層６と、スペーサ層５と、第１固体電解質層４とによって構成された電気化学的ポンプセルである。第２測定電極６７は、被測定ガス中の二酸化炭素成分に対する還元能力を、内側ポンプ電極２２よりも高めた材料にて構成された多孔質サーメット電極である。第２測定電極６７は、第４内部空所６３内の雰囲気中に存在する二酸化炭素を還元する二酸化炭素還元触媒としても機能する。

[0050] 第２測定用ポンプセル６６においては、第２測定電極６７の周囲の雰囲気中における二酸化炭素の分解によって生じた酸素を汲み出して、その発生量をポンプ電流Ｉｐ３として検出することができる。

[0051] また、第２測定電極６７の周囲の酸素分圧を検出するために、第１固体電解質層４と、第３基板層３と、第２測定電極６７と、基準電極４２とによって電気化学的なセンサセル、すなわち、第２測定用ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８４が構成されている。第２測定用ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８４にて検出された起電力（電圧Ｖ３）に基づいて可変電源６８が制御される。

[0052] 第３内部空所６１内の被測定ガスは、ＮＯｘ成分が還元され、還元により生じた酸素が第１測定用ポンプセル４１によってポンピングされた後、第５

拡散律速部６２を通じて第４内部空所６３内の第２測定電極６７に到達することとなる。第２測定電極６７の周囲の被測定ガス中の二酸化炭素は還元されて（$2CO_2 \rightarrow 2CO + O_2$）酸素を発生する。そして、この発生した酸素は第２測定用ポンプセル６６によってポンピングされることとなるが、その際、第２測定用ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８４にて検出された電圧Ｖ３が一定（目標値）となるように可変電源６８の電圧Ｖｐ３が制御される。第２測定電極６７の周囲において発生する酸素の量は、被測定ガス中の二酸化炭素の濃度に比例するものであるから、第２測定用ポンプセル６６におけるポンプ電流Ｉｐ３を用いて被測定ガス中の二酸化炭素濃度が算出されることとなる。

[0053] また、第２固体電解質層６と、スペーサ層５と、第１固体電解質層４と、第３基板層３と、外側ポンプ電極２３と、基準電極４２とから電気化学的なセンサセル８３が構成されており、このセンサセル８３によって得られる起電力（電圧Ｖｒｅｆ）によりセンサ外部の被測定ガス中の酸素分圧を検出可能となっている。

[0054] このような構成を有するガスセンサ１００においては、主ポンプセル２１と補助ポンプセル５０とを作動させることによって酸素分圧が常に一定の低い値（ＮＯｘの測定に実質的に影響がない値）に保たれた被測定ガスが第１測定用ポンプセル４１に与えられる。したがって、被測定ガス中のＮＯｘの濃度に略比例して、ＮＯｘの還元によって発生する酸素が第１測定用ポンプセル４１より汲み出されることによって流れるポンプ電流Ｉｐ２に基づいて、被測定ガス中のＮＯｘ濃度を知ることができるようになっている。また、二酸化炭素の還元によって発生する酸素が第２測定用ポンプセル６６より汲み出されることによって流れるポンプ電流Ｉｐ３に基づいて、被測定ガス中の二酸化炭素濃度を知ることができる。

[0055] さらに、センサ素子１０１は、固体電解質の酸素イオン伝導性を高めるために、センサ素子１０１を加熱して保温する温度調整の役割を担うヒータ部７０を備えている。ヒータ部７０は、ヒータコネクタ電極７１と、ヒータ７

２と、スルーホール７３と、ヒータ絶縁層７４と、圧力放散孔７５とを備えている。

[0056] ヒータコネクタ電極７１は、第１基板層１の下面に接する態様にて形成されてなる電極である。ヒータコネクタ電極７１を外部電源と接続することによって、外部からヒータ部７０へ給電することができるようになっている。

[0057] ヒータ７２は、第２基板層２と第３基板層３とに上下から挟まれた態様にて形成される電気抵抗体である。ヒータ７２は、スルーホール７３を介してヒータコネクタ電極７１と接続されており、該ヒータコネクタ電極７１を通してヒータ電源７６（図２参照）から給電されることにより発熱し、センサ素子１０１を形成する固体電解質の加熱と保温を行う。

[0058] また、ヒータ７２は、第１内部空所２０から第４内部空所６３の全域に渡って埋設されており、センサ素子１０１全体を上記固体電解質が活性化する温度に調整することが可能となっている。

[0059] ヒータ絶縁層７４は、ヒータ７２の上下面に、アルミナ等の絶縁体によって形成されてなる絶縁層である。ヒータ絶縁層７４は、第２基板層２とヒータ７２との間の電気的絶縁性、および、第３基板層３とヒータ７２との間の電気的絶縁性を得る目的で形成されている。

[0060] 圧力放散孔７５は、第３基板層３及び基準ガス導入層４８を貫通し、基準ガス導入空間４３に連通するように設けられてなる部位であり、ヒータ絶縁層７４内の温度上昇に伴う内圧上昇を緩和する目的で形成されてなる。

[0061] 制御装置９５は、図２に示すように、上述した可変電源２４，４６，５２，６８と、上述したヒータ電源７６と、制御部９６と、を備えている。制御部９６は、ＣＰＵ９７及び記憶部９８などを備えたマイクロプロセッサである。記憶部９８は、情報の書き換えが可能な不揮発性メモリであり、例えば各種プログラムや各種データを記憶可能である。制御部９６は、主ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８０にて検出される電圧Ｖ０、補助ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８１にて検出される電圧Ｖ１、第１測定用ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８２にて検出される電圧Ｖ２、第２測定用ポ

ンプ制御用酸素分圧検出センサセル８４にて検出される電圧Ｖ３、センサセル８３にて検出される電圧Ｖｒｅｆ、主ポンプセル２１にて検出されるポンプ電流Ｉｐ０、補助ポンプセル５０にて検出されるポンプ電流Ｉｐ１、第１測定用ポンプセル４１にて検出されるポンプ電流Ｉｐ２、及び第２測定用ポンプセル６６にて検出されるポンプ電流Ｉｐ３を入力する。また、制御部９６は可変電源２４，４６，５２，６８へ制御信号を出力することで可変電源２４，４６，５２，６８が出力する電圧Ｖｐ０，Ｖｐ１，Ｖｐ２，Ｖｐ３を制御し、これにより、主ポンプセル２１，補助ポンプセル５０，第１測定用ポンプセル４１，及び第２測定用ポンプセル６６を制御する。制御部９６は、ヒータ電源７６に制御信号を出力することでヒータ電源７６がヒータ７２に供給する電力を制御する。記憶部９８には、後述する目標値Ｖ０＊，Ｖ１＊，Ｖ２＊，Ｖ３＊なども記憶されている。制御部９６のＣＰＵ９７は、これらの目標値Ｖ０＊，Ｖ１＊，Ｖ２＊，Ｖ３＊を参照して、各セル２１，４１，５０，６６の制御を行う。

[0062] 制御部９６は、第２内部空所４０の酸素濃度が目標濃度となるように補助ポンプセル５０を制御する補助ポンプ制御処理を行う。具体的には、制御部９６は、電圧Ｖ１が一定値（目標値Ｖ１＊と称する）となるように可変電源５２の電圧Ｖｐ１をフィードバック制御することで、補助ポンプセル５０を制御する。目標値Ｖ１＊は、第２内部空所４０の酸素濃度がＮＯｘの測定に実質的に影響がない所定の低濃度となるような値として定められている。

[0063] 制御部９６は、補助ポンプ制御処理によって補助ポンプセル５０が第２内部空所４０の酸素濃度を調整するときに流れるポンプ電流Ｉｐ１が目標電流（目標値Ｉｐ１＊と称する）になるように主ポンプセル２１を制御する主ポンプ制御処理を行う。具体的には、制御部９６は、電圧Ｖｐ１によって流れるポンプ電流Ｉｐ１が一定の目標値Ｉｐ１＊となるように、ポンプ電流Ｉｐ１に基づいて電圧Ｖ０の目標値（目標値Ｖ０＊と称する）を設定（フィードバック制御）する。そして、制御部９６は、電圧Ｖ０が目標値Ｖ０＊となるように（つまり第１内部空所２０の酸素濃度が目標濃度となるように）可変

電源２４の電圧Ｖｐ０をフィードバック制御する。この主ポンプ制御処理により、第３拡散律速部３０から第２内部空所４０内に導入される被測定ガス中の酸素分圧の勾配が常に一定となる。目標値Ｖ０＊は、第１内部空所２０の酸素濃度が０％よりは高く且つ低濃度となるような値に設定される。また、この主ポンプ制御処理中に流れるポンプ電流Ｉｐ０は、ガス導入口１０から被測定ガス流通部内に流入する被測定ガス（すなわちセンサ素子１０１の周囲の被測定ガス）の酸素濃度に応じて変化する。そのため、制御部９６は、ポンプ電流Ｉｐ０に基づいて被測定ガス中の酸素濃度を検出することもできる。

[0064] 上述した主ポンプ制御処理及び補助ポンプ制御処理をまとめて調整用ポンプ制御処理とも称する。また、第１内部空所２０及び第２内部空所４０をまとめて酸素濃度調整室とも称する。主ポンプセル２１及び補助ポンプセル５０をまとめて調整用ポンプセルとも称する。制御部９６が調整用ポンプ制御処理を行うことで、調整用ポンプセルが酸素濃度調整室の酸素濃度を調整する。

[0065] さらに、制御部９６は、電圧Ｖ２が一定値（目標値Ｖ２＊と称する）となるように（つまり第３内部空所６１内の酸素濃度が所定の低濃度になるように）第１測定用ポンプセル４１を制御する第１測定用ポンプ制御処理を行う。具体的には、制御部９６は、電圧Ｖ２が目標値Ｖ２＊となるように可変電源４６の電圧Ｖｐ２をフィードバック制御することで、第１測定用ポンプセル４１を制御する。この第１測定用ポンプ制御処理により、第３内部空所６１内から酸素が汲み出される。

[0066] 第１測定用ポンプ制御処理が行われることで、被測定ガス中のＮＯｘが第３内部空所６１で還元されることにより発生した酸素が実質的にゼロとなるように、第３内部空所６１内から酸素が汲み出される。そして、制御部９６は、ＮＯｘに由来して第３内部空所６１で発生する酸素に応じた検出値としてポンプ電流Ｉｐ２を取得し、このポンプ電流Ｉｐ２に基づいて被測定ガス中のＮＯｘ濃度を算出する。

[0067] 記憶部９８には、ポンプ電流Ｉｐ２とＮＯｘ濃度との対応関係として、関係式（例えば一次関数又は二次関数の式）やマップなどが記憶されている。このような関係式又はマップは、予め実験により求めておくことができる。

[0068] さらに、制御部９６は、電圧Ｖ３が一定値（目標値Ｖ３＊と称する）となるように（つまり第４内部空所６３内の酸素濃度が所定の低濃度になるように）第２測定用ポンプセル６６を制御する第２測定用ポンプ制御処理を行う。具体的には、制御部９６は、電圧Ｖ３が目標値Ｖ３＊となるように可変電源６８の電圧Ｖｐ３をフィードバック制御することで、第２測定用ポンプセル６６を制御する。この第２測定用ポンプ制御処理により、第４内部空所６３内から酸素が汲み出される。

[0069] 第２測定用ポンプ制御処理が行われることで、被測定ガス中の二酸化炭素が第４内部空所６３で還元されることにより発生した酸素が実質的にゼロとなるように、第４内部空所６３内から酸素が汲み出される。そして、制御部９６は、二酸化炭素に由来して第４内部空所６３で発生する酸素に応じた検出値としてポンプ電流Ｉｐ３を取得し、このポンプ電流Ｉｐ３に基づいて被測定ガス中の二酸化炭素濃度を算出する。

[0070] 制御部９６は、ヒータ電源７６に制御信号を出力してヒータ７２の温度が目標温度（例えば８００℃）になるように制御するヒータ制御処理を行う。ここで、ヒータ７２の温度はヒータ７２の抵抗値の一次関数の式で表すことができる。そこで、ヒータ制御処理では、制御部９６はヒータ７２の温度とみなせる値（温度に換算可能な値）としてヒータ７２の抵抗値を算出して、算出した抵抗値が目標抵抗値（目標温度に対応する抵抗値）になるようにヒータ電源７６をフィードバック制御する。制御部９６は、例えばヒータ７２の電圧及びヒータ７２を流れる電流を取得して、取得した電圧及び電流に基づいてヒータ７２の抵抗値を算出することができる。制御部９６は、例えば３端子法又は４端子法によりヒータ７２の抵抗値を算出してもよい。ヒータ電源７６は、ヒータ７２に通電するにあたり、例えば制御部９６からの制御信号に基づいてヒータ７２に印加する電圧の値を変化させることで、ヒータ

７２に供給する電力を調整する。

[0071] 本発明者らは、ガスセンサ１００の目標値Ｖ１＊と被測定ガス中の水濃度とポンプ電流Ｉｐ２との関係を調べた。まず、被測定ガスとして、ベースガスが窒素であり、酸素濃度が０％、水濃度が３％、ＮＯ濃度が０ｐｐｍ、二酸化炭素濃度が０％である第１ガスと、水濃度を９％とした点以外は第１ガスと同じ組成である第２ガスと、水濃度を１５％とした点以外は第１ガスと同じ組成である第３ガスと、の３種類を用意した。次に、目標値Ｖ２＊を４００ｍＶとし、目標値Ｖ１＊を３００ｍＶとして、第１ガスに対して制御部９６が上述した調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理を行った場合のポンプ電流Ｉｐ２を測定した。なお、制御部９６は、上述したヒータ制御処理を開始してヒータ７２の温度が目標温度付近に到達してから調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理を開始し、その後にポンプ電流Ｉｐ２が安定した状態でポンプ電流Ｉｐ２の値を測定した。さらに、目標値Ｖ１＊を３５０ｍＶ，４００ｍＶ，４５０ｍＶに変更した点以外は上記と同様にして、各々の目標値Ｖ１＊の値に対応するポンプ電流Ｉｐ２を測定した。第２ガス及び第３ガスについても、上記と同様に各々の目標値Ｖ１＊の値に対応するポンプ電流Ｉｐ２を測定した。結果を図３に示す。図３は、目標値Ｖ１＊と被測定ガス中の水濃度とポンプ電流Ｉｐ２との関係を示すグラフである。図３の縦軸のポンプ電流Ｉｐ２は、記憶部９８に記憶されたポンプ電流Ｉｐ２とＮＯｘ濃度との対応関係を用いてポンプ電流Ｉｐ２をＮＯ濃度に換算した値（単位：ｐｐｍ）として示している。第１～第３ガスはいずれもＮＯ濃度が０ｐｐｍであるため、いずれの場合も理論的にはポンプ電流Ｉｐ２は０μＡとなるが、実際にはわずかにポンプ電流Ｉｐ２が流れる。このようなＮＯｘ以外の要因で流れるポンプ電流Ｉｐ２をオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔと称する。そのため、図３は目標値Ｖ１＊と被測定ガス中の水濃度とオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔとの関係を示している。オフセット電流は、ＮＯｘ濃度が０ｐｐｍでない場合のポンプ電流Ｉｐ２にも含まれる。

[0072] 図３に示すように、目標値Ｖ１＊とオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔとの間には直線的な相関があり、目標値Ｖ１＊が高いほどオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔは小さくなる傾向が確認された。また、目標値Ｖ１＊の変化に対するオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化の傾きについて、被測定ガス中の水濃度が高いほど傾きの絶対値が大きくなる傾向が確認された。図４は、図３に示したデータから算出された、被測定ガス中の水濃度と、目標値Ｖ１＊の変化に対するオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化の傾きと、の関係を示すグラフである。図４に示すように、水濃度とオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの傾きとの間には直線的な相関があり、水濃度が高いほどオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの傾きは小さくなる（負の絶対値が大きくなる）傾向が確認された。これらの結果から、目標値Ｖ１＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化（例えば目標値Ｖ１＊を変化させたときのオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化の傾き）に基づいて、被測定ガス中の水濃度を検出できることがわかる。この点は、本発明者らによって今回新たに見いだされた知見である。

[0073] 本発明者らは、図３と同様に、ガスセンサ１００の目標値Ｖ２＊と被測定ガス中の水濃度とポンプ電流Ｉｐ２との関係を調べた。具体的には、上記と同じ第１～第３ガスを用いて、目標値Ｖ１＊を３８５ｍＶとし、目標値Ｖ２＊を３００ｍＶ，３５０ｍＶ，４００ｍＶ，４５０ｍＶの４通りに変更して、図３のデータの測定と同様に各々の目標値Ｖ２＊の値に対応するポンプ電流Ｉｐ２を測定した。結果を図５に示す。図５は、目標値Ｖ２＊と被測定ガス中の水濃度とポンプ電流Ｉｐ２との関係を示すグラフである。図６は、図５に示したデータから算出された、被測定ガス中の水濃度と、目標値Ｖ２＊の変化に対するオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化の傾きと、の関係を示すグラフである。

[0074] 図５に示すように、目標値Ｖ２＊とオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔとの間には直線的な相関があり、目標値Ｖ２＊が高いほどオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔは大きくなる傾向が確認された。また、目標値Ｖ２＊の変化

に対するオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化の傾きについて、被測定ガス中の水濃度が高いほど傾きの絶対値が大きくなる傾向が確認された。図６に示すように、水濃度とオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの傾きとの間には直線的な相関があり、水濃度が高いほどオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの傾きは大きくなる（正の絶対値が大きくなる）傾向が確認された。これらの結果から、目標値Ｖ２＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化（例えば目標値Ｖ２＊を変化させたときのオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化の傾き）に基づいて、被測定ガス中の水濃度を検出できることがわかる。この点は、本発明者らによって今回新たに見いだされた知見である。

[0075] 以上のことから、目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊との少なくとも一方を変化させたときの、調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理の実行中に流れるポンプ電流Ｉｐ２の変化は被測定ガス中の水濃度と相関があるから、このポンプ電流Ｉｐ２の変化に基づいて水濃度を検出できることがわかる。本実施形態では、目標値Ｖ１＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化の傾きと被測定ガス中の水濃度との関係として、図４に示す直線的な関係を表す一次関数の式又はマップが記憶部９８に記憶されている。

[0076] なお、目標値Ｖ１＊及び目標値Ｖ２＊と、被測定ガス中の水濃度と、ポンプ電流Ｉｐ２（特にオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔ）と、の間に図３～図６に示した関係がある理由は、以下のように考えられる。

[0077] まず、被測定ガス中の水とオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔとの関係について説明する。被測定ガス中に水が存在する場合に調整用ポンプ制御処理（ここでは主ポンプ制御処理及び補助ポンプ制御処理）が行われると、可変電源５２の電圧Ｖｐ１によって補助ポンプ電極５１の周辺で水の少なくとも一部が分解されて水素（H_2）と酸素（O_2）が生じる。生じた酸素は補助ポンプセル５０によって補助ポンプ電極５１の周辺すなわち第２内部空所４０から汲み出されるが、生じた水素は少なくとも一部が第３内部空所６１に到達する。そして、第３内部空所６１に到達した水素が第３内部空所６１内の酸素と反応して水になるため、第１測定用ポンプ制御処理による第３内部空所

６１内の酸素の汲み出し量が減少する、すなわちポンプ電流Ｉｐ２が減少する。一方、被測定ガス中に水が存在する場合に第１測定用ポンプ制御処理が行われると、可変電源４６の電圧Ｖｐ２によって第３内部空所６１内の第１測定電極４４の周辺で水の少なくとも一部が分解されて水素（H_2）と酸素（O_2）が生じる。そのため、第１測定用ポンプ制御処理による第３内部空所６１内の酸素の汲み出し量が増加する、すなわちポンプ電流Ｉｐ２が増加する。このように、補助ポンプ電極５１の周辺で水から生じる水素によってポンプ電流Ｉｐ２は減少し、第１測定電極４４の周辺で水から生じる酸素によってポンプ電流Ｉｐ２は増大するから、被測定ガス中のＮＯｘに起因しないこれらのポンプ電流Ｉｐ２の減少量と増大量との和がオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔとして現れる。

[0078] そして、目標値Ｖ１＊が高いほど、すなわち第２内部空所４０の酸素濃度の目標値が低いほど、補助ポンプ制御処理によって電圧Ｖｐ１が高い値になりやすいから、電圧Ｖｐ１によって補助ポンプ電極５１の周辺で水が分解されて生じる水素が多くなり、ポンプ電流Ｉｐ２の減少量も多くなる。また、被測定ガス中の水濃度が高いほど、補助ポンプ電極５１の周辺で水が分解されて生じる水素が多くなるから、目標値Ｖ１＊の変化量に応じたポンプ電流Ｉｐ２の減少量、すなわち目標値Ｖ１＊の変化に対するポンプ電流Ｉｐ２の変化の傾きが急峻になる。すなわち傾きの絶対値が大きくなる。これらの理由により、図３及び図４に示した関係が表れると考えられる。

[0079] 同様に、目標値Ｖ２＊が高いほど、すなわち第３内部空所６１の酸素濃度の目標値が低いほど、第１測定用ポンプ制御処理によって電圧Ｖｐ２が高い値になりやすいから、電圧Ｖｐ２によって第１測定電極４４の周辺で水が分解されて生じる酸素が多くなり、ポンプ電流Ｉｐ２の増大量も多くなる。また、被測定ガス中の水濃度が高いほど、第１測定電極４４の周辺で水が分解されて生じる酸素が多くなるから、目標値Ｖ２＊の変化量に応じたポンプ電流Ｉｐ２の増大量、すなわち目標値Ｖ２＊の変化に対するポンプ電流Ｉｐ２の変化の傾きが急峻になる。すなわち傾きの絶対値が大きくなる。これらの

理由により、図５及び図６に示した関係が表れると考えられる。

[0080] 次に、ガスセンサ１００の制御部９６が被測定ガス中の特定ガス濃度（ここではＮＯｘ濃度，二酸化炭素濃度，水濃度，及び酸素濃度）の測定を行う処理の一例について説明する。図７は、制御部９６が実行する制御ルーチンの一例を示すフローチャートである。制御部９６は、このルーチンを例えば記憶部９８に記憶している。制御部９６は、例えば図示しないエンジンＥＣＵから起動指令を入力すると、この制御ルーチンを開始する。

[0081] 制御部９６のＣＰＵ９７は、制御ルーチンが開始されると、まず、上述したヒータ制御処理を開始する（ステップＳ１００）。続いて、ＣＰＵ９７は、上述した調整用ポンプ制御処理，第１測定用ポンプ制御処理及び第２測定用ポンプ制御処理を開始する（ステップＳ１１０）。このときの目標値Ｖ１＊及び目標値Ｖ２＊の値は、ＮＯｘ濃度を測定する際に用いる値として予め記憶部９８に記憶された値を用いる。次に、ＣＰＵ９７は、被測定ガス中の特定ガス濃度を導出する濃度導出タイミングであるか否かを判定する（ステップＳ１２０）。ＣＰＵ９７は、例えば所定時間経過毎や、エンジンＥＣＵから濃度導出指令を入力したときなどに、濃度導出タイミングであると判定する。

[0082] ステップＳ１２０で濃度導出タイミングであると判定すると、ＣＰＵ９７は、まず、ポンプ電流Ｉｐ０に基づいて酸素濃度を導出する酸素濃度検出処理を行う（ステップＳ１２５）。ＣＰＵ９７は、調整用ポンプ制御処理（ここでは特に主ポンプ制御処理）において、電圧Ｖ０が目標値Ｖ０＊となるように（つまり第１内部空所２０の酸素濃度が目標濃度となるように）主ポンプセル２１を制御するから、上述したようにポンプ電流Ｉｐ０に基づいて被測定ガス中の酸素濃度を導出できる。本実施形態では、ポンプ電流Ｉｐ０と酸素濃度との対応関係を表す関係式又はマップなどが実験により求められて、予め記憶部９８に記憶されている。ＣＰＵ９７は、ステップＳ１２５において、現在のポンプ電流Ｉｐ０と記憶部９８に記憶された対応関係とに基づいて、被測定ガス中の酸素濃度を算出する。

[0083] 続いて、ＣＰＵ９７は、目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊との少なくとも一方を変化させたときの調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理の実行中に流れるポンプ電流Ｉｐ２の変化に基づいて被測定ガス中の水濃度を検出する水濃度検出処理を行う（ステップＳ１３０，Ｓ１４０）。本実施形態では、ＣＰＵ９７は、水濃度検出処理において目標値Ｖ１＊を変化させ目標値Ｖ２＊は変化させないものとした。水濃度検出処理では、ＣＰＵ９７は、まず、目標値Ｖ１＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化の傾きＧを算出する（ステップＳ１３０）。具体的には、ＣＰＵ９７は、まず、現在のポンプ電流Ｉｐ２を測定して、目標値Ｖ１＊の変化前の状態のポンプ電流Ｉｐ２の値として取得する。次に、ＣＰＵ９７は、目標値Ｖ１＊を変化させて、ポンプ電流Ｉｐ２の値が安定するまで待ち、安定した後のポンプ電流Ｉｐ２を測定して、変化後の状態のポンプ電流Ｉｐ２の値として取得する。そして、変化の前後のポンプ電流Ｉｐ２の値の差分を変化の前後の目標値Ｖ１＊の差分で除すことで、傾きＧを導出する。なお、目標値Ｖ１＊を変化させてからポンプ電流Ｉｐ２が安定するまでの時間の長さはごく短時間（数ｍｓｅｃから十数ｍｓｅｃなど）であり、通常はこの間に内燃機関の排ガス中のＮＯｘ濃度の変化はほとんど生じない。そのため、目標値Ｖ１＊の変化の前後のポンプ電流Ｉｐ２の値の差分は、目標値Ｖ１＊の変化の前後のオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化量とみなすことができる。したがって、ステップＳ１３０で導出される傾きＧは、図３に示した直線の傾き及び図４の縦軸の値に相当する。そして、ＣＰＵ９７は、導出した傾きＧと記憶部９８に記憶された対応関係（上述した、目標値Ｖ１＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化の傾きと被測定ガス中の水濃度との対応関係）とに基づいて、被測定ガス中の水濃度を算出する（ステップＳ１４０）。ステップＳ１３０では、目標値Ｖ１＊の絶対値を大きくする方向に変化させてもよいし、絶対値を小さくする方向に変化させてもよい。ただし、変化の前後の値がいずれもＮＯｘ濃度の測定用に定められた目標値Ｖ１＊の絶対値以下であることが好ましい。例えば変化前の目標値Ｖ１＊がＮＯｘ濃度の測定用に定めら

れた目標値Ｖ１＊と同じ値であった場合は、目標値Ｖ１＊の絶対値を小さくする方向に変化させることが好ましい。こうすれば、電圧Ｖｐ１が高くなりすぎて補助ポンプ電極５１の周辺でＮＯｘの分解が生じてしまうことを抑制できるから、ＮＯｘ濃度の測定精度の低下を抑制できる。

[0084] ステップＳ１４０で水濃度を導出すると、ＣＰＵ９７は、目標値Ｖ１＊を変更前の値に戻す。すなわち目標値Ｖ１＊をＮＯｘ濃度の測定用に定められた値に戻す（ステップＳ１５０）。続いて、ＣＰＵ９７は、第１測定用ポンプ制御処理によって流れるポンプ電流Ｉｐ２を取得し（ステップＳ１６０）、取得したポンプ電流Ｉｐ２と記憶部９８に記憶された対応関係（上述した、ポンプ電流Ｉｐ２とＮＯｘ濃度との対応関係）とに基づいて、被測定ガス中のＮＯｘ濃度を導出する（ステップＳ１７０）。そして、ＣＰＵ９７は、ステップＳ１４０で導出した水濃度に基づいてステップＳ１７０で導出したＮＯｘ濃度を補正して、補正後のＮＯｘ濃度を導出する（ステップＳ１８０）。図３で示したように被測定ガス中の水濃度によってポンプ電流Ｉｐ２のオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔは変化する。そのため、被測定ガス中のＮＯｘ濃度が同じであっても、被測定ガス中の水濃度に応じてポンプ電流Ｉｐ２が変化する場合があり、導出されるＮＯｘ濃度に誤差が生じる場合がある。そこで、本実施形態では、ＣＰＵ９７は、ポンプ電流Ｉｐ２に基づくＮＯｘ濃度を、検出した水濃度に基づいて補正する。例えば、図３で目標値Ｖ１＊が３５０ｍＶの場合において、水濃度が３％の場合のオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔと比べると、水濃度が１５％の場合のオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔはＮＯｘ濃度換算で３ｐｐｍ分だけ大きい値になっている。そのため、例えば記憶部９８に予め記憶されたポンプ電流Ｉｐ２とＮＯｘ濃度との対応関係が、水濃度が３％である被測定ガスを用いて算出された関係である場合、実際の被測定ガスの水濃度が１５％のときには導出されるＮＯｘ濃度は実濃度よりも３ｐｐｍ分大きい値として算出されてしまう。そこで、ＣＰＵ９７は、ステップＳ１４０で導出された水濃度が１５％であった場合には、ステップＳ１７０で導出されたＮＯｘ濃度［ｐｐｍ］から補正量と

して３ｐｐｍを減じた値を補正後のＮＯｘ濃度として導出する。こうすることで、水濃度の相違によるオフセット電流Ｉｐ２ｏｆｆｓｅｔの変化分を相殺でき、補正後のＮＯｘ濃度は実濃度により近い値となる。このような水濃度とＮＯｘ濃度の補正量との対応関係は予め実験などにより求めて記憶部９８に記憶しておくことができる。ＣＰＵ９７は、ステップＳ１８０において、水濃度とこの対応関係に基づいて補正量を導出し、補正後のＮＯｘ濃度を算出する。なお、補正量を導出する代わりに、記憶部９８に水濃度とポンプ電流Ｉｐ２に基づくＮＯｘ濃度と補正後のＮＯｘ濃度との対応関係を記憶しておき、この対応関係に基づいて補正後のＮＯｘ濃度を導出してもよい。また、ＣＰＵ９７は、ステップＳ１７０で導出したポンプ電流Ｉｐ２を水濃度に基づいて補正し、補正後のポンプ電流Ｉｐ２に基づいてＮＯｘ濃度を導出してもよい。これらの方法も、水濃度に基づくＮＯｘ濃度の補正に該当する。

[0085] ステップＳ１８０でＮＯｘ濃度を導出すると、ＣＰＵ９７は、被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出する二酸化炭素濃度検出処理を行う（ステップＳ１９０，Ｓ２００）。具体的には、まず、ＣＰＵ９７は第２測定用ポンプ制御処理によって流れるポンプ電流Ｉｐ３を取得し（ステップＳ１９０）、取得したポンプ電流Ｉｐ３とステップＳ１４０で導出した水濃度とに基づいて被測定ガス中の二酸化炭素濃度を導出する（ステップＳ２００）。ここで、ＣＰＵ９７は、上述したように第２測定用ポンプ制御処理において電圧Ｖ３が目標値Ｖ３＊となるように（つまり第４内部空所６３の酸素濃度が目標濃度となるように）第２測定用ポンプセル６６を制御する。そのため、第２測定用ポンプセル６６に流れるポンプ電流Ｉｐ３は二酸化炭素に由来して第４内部空所６３で発生する酸素の量と相関がある。ただし、被測定ガスが水を含んでいる場合、第４内部空所６３では二酸化炭素だけでなく水も還元される。そのため、第２測定用ポンプ制御処理によって流れるポンプ電流Ｉｐ３は二酸化炭素濃度と水濃度とに基づく値となる。そこで、本実施形態では、ＣＰＵ９７はポンプ電流Ｉｐ３と水濃度とに基づいて二酸化炭素濃度を導出

する。例えば、被測定ガス中の水濃度と二酸化炭素濃度との合計値Ｃｓ［％］とポンプ電流Ｉｐ３との間には、図８に示すように直線的な相関関係がある。本実施形態では、このようなポンプ電流Ｉｐ３と合計値Ｃｓとの対応関係を表す関係式又はマップなどが実験により求められて、予め記憶部９８に記憶されている。ＣＰＵ９７は、ステップＳ２００において、現在のポンプ電流Ｉｐ３と記憶部９８に記憶されたこの対応関係とに基づいて合計値Ｃｓを算出し、算出した合計値ＣｓからステップＳ１４０で導出した水濃度を差し引いた値を、被測定ガス中の二酸化炭素濃度として導出する。このように、ポンプ電流Ｉｐ３は水濃度と二酸化炭素濃度との両方の影響を受けるが、目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊との少なくとも一方を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化が被測定ガス中の水濃度と相関があることを本発明者らが見出したため、これを利用してポンプ電流Ｉｐ３から二酸化炭素濃度を精度良く導出できることが新たに見出された。なお、被測定ガス中のＮＯｘは第４内部空所６３よりも上流の第３内部空所６１においてほぼ全てが還元され、還元により生じた酸素もほぼ全てが第１測定用ポンプセル４１によって汲み出されるため、被測定ガス中のＮＯｘ濃度はポンプ電流Ｉｐ３にはほとんど影響を与えない。

[0086] なお、合計値Ｃｓは、「水濃度が０％であると仮定した場合のポンプ電流Ｉｐ３に基づく二酸化炭素濃度」と言い換えることもできる。そのため、ポンプ電流Ｉｐ３に基づいて導出された合計値Ｃｓから水濃度を差し引くというステップＳ２００の処理は、ポンプ電流Ｉｐ３に基づいて導出された二酸化炭素濃度をステップＳ１４０で導出した水濃度で補正する処理であると言い換えることもできる。

[0087] ステップＳ２００の後、又はステップＳ１２０で濃度導出タイミングでなかった場合には、ＣＰＵ９７はＳ１２０以降の処理を実行する。以上のようにＣＰＵ９７が制御ルーチンを実行することで、被測定ガス中のＮＯｘ濃度，二酸化炭素濃度，水濃度，及び酸素濃度が繰り返し測定される。ＣＰＵ９７は、測定されたこれらの濃度の値をエンジンＥＣＵに出力したり、記憶部

９８に記憶したりする。

[0088] ここで、本実施形態の構成要素と本発明の構成要素との対応関係を明らかにする。本実施形態の第１基板層１と第２基板層２と第３基板層３と第１固体電解質層４とスペーサ層５と第２固体電解質層６との６つの層がこの順に積層された積層体が本発明の素子本体に相当し、第３内部空所６１が第１測定室に相当し、第１測定電極４４が第１内側測定電極に相当し、第４内部空所６３が第２測定室に相当し、第２測定電極６７が第２内側測定電極に相当し、内側ポンプ電極２２及び補助ポンプ電極５１が内側調整電極に相当し、電圧Ｖ１が調整用電圧に相当し、目標値Ｖ１＊が調整用電圧目標値に相当し、電圧Ｖ２が第１測定用電圧に相当し、目標値Ｖ２＊が第１測定用電圧目標値に相当し、ポンプ電流Ｉｐ２が第１測定用ポンプ電流に相当し、電圧Ｖ３が第２測定用電圧に相当し、目標値Ｖ３＊が第２測定用電圧目標値に相当し、ポンプ電流Ｉｐ３が第２測定用ポンプ電流に相当する。また、ポンプ電流Ｉｐ０が調整用ポンプ電流に相当し、内側ポンプ電極２２が内側主ポンプ電極に相当し、補助ポンプ電極５１が内側補助ポンプ電極に相当する。

[0089] 以上詳述した本実施形態のガスセンサ１００によれば、制御装置９５は、第１測定用ポンプ制御処理によって第１測定用ポンプセル４１を流れるポンプ電流Ｉｐ２に基づいて、被測定ガス中のＮＯｘ濃度を検出する。また、制御装置９５は、第２測定用ポンプ制御処理によって第２測定用ポンプセル６６を流れるポンプ電流Ｉｐ３と、被測定ガス中の水濃度（目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊との少なくとも一方を変化させたときの調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理の実行中に流れるポンプ電流Ｉｐ２の変化に基づく値）と、に基づいて被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出する。そのため、本実施形態のガスセンサ１００は、被測定ガス中のＮＯｘ濃度と二酸化炭素濃度とを検出することができる。

[0090] また、制御装置９５は、目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊との少なくとも一方を変化させたときの調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理の実行中に流れるポンプ電流Ｉｐ２の変化に基づいて被測定ガス中の水濃度を

検出する。そのため、ガスセンサ１００は被測定ガス中のＮＯｘ濃度及び二酸化炭素濃度に加えて水濃度も検出できる。さらに、制御装置９５は、ポンプ電流Ｉｐ３に基づいて被測定ガス中の二酸化炭素濃度と水濃度との合計値を導出し、導出した合計値からステップＳ１４０で検出された水濃度を差し引くことで、被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出する。これにより、制御装置９５は比較的簡単な手法で二酸化炭素濃度を検出できる。

[0091] そして、制御装置９５は、調整用ポンプ制御処理の一部である主ポンプ制御処理によって流れるポンプ電流Ｉｐ０に基づいて被測定ガス中の酸素濃度を検出する。そのため、ガスセンサ１００は被測定ガス中のＮＯｘ濃度及び二酸化炭素濃度に加えて酸素濃度も検出できる。

[0092] なお、本発明は上述した実施形態に何ら限定されることはなく、本発明の技術的範囲に属する限り種々の態様で実施し得ることはいうまでもない。

[0093] 例えば、上述した実施形態では、図７の制御ルーチンのステップＳ１３０において、ＣＰＵ９７は、目標値Ｖ１＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化の傾きＧに基づいて水濃度を導出したが、傾きＧに限らず目標値Ｖ１＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化に基づいて水濃度を導出すればよい。例えば、目標値Ｖ１＊の変化の前後におけるポンプ電流Ｉｐ２の変化量又は変化率に基づいて水濃度を導出してもよい。この場合は、ポンプ電流Ｉｐ２の変化量又は変化率と水濃度との対応関係を予め記憶部９８に記憶しておけばよい。

[0094] 上述した実施形態では、図７の制御ルーチンのステップＳ１３０において、ＣＰＵ９７は、目標値Ｖ１＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化の傾きＧに基づいて水濃度を導出したが、目標値Ｖ２＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化に基づいて水濃度を導出してもよい。例えば、ＣＰＵ９７は、目標値Ｖ１＊を変化させず目標値Ｖ２＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化の傾き（図５に示した直線の傾き及び図６の縦軸の値に相当）を導出し、導出した傾きに基づいて水濃度を導出してもよい。この場合は、目標値Ｖ２＊を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２の変化の傾きと水

濃度との対応関係（図６に示した直線の対応関係に相当）を予め記憶部９８に記憶しておけばよい。なお、目標値Ｖ２＊を変化させるときは、目標値Ｖ２＊の絶対値を大きくする方向に変化させてもよいし、絶対値を小さくする方向に変化させてもよい。ただし、変化の前後の値がいずれもＮＯｘ濃度の測定用に定められた目標値Ｖ２＊の値以上であることが好ましい。例えば変化前の目標値Ｖ２＊がＮＯｘ濃度の測定用に定められた目標値Ｖ２＊と同じ値であった場合は、目標値Ｖ２＊の絶対値を大きくする方向に変化させることが好ましい。こうすれば、電圧Ｖｐ２が低くなりすぎてポンプ電流Ｉｐ２が限界電流にならなくなることを抑制できるから、ＮＯｘ濃度の測定精度の低下を抑制できる。

[0095] ＣＰＵ９７は、水濃度検出処理において、目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊の両方を変化させたときのポンプ電流Ｉｐ２に基づいて水濃度を導出してもよい。この場合、目標値Ｖ１＊の変化によるポンプ電流Ｉｐ２の変化の方向と目標値Ｖ２＊の変化によるポンプ電流Ｉｐ２の変化の方向とが同じ方向になるようにすることが好ましい。例えば、目標値Ｖ１＊の絶対値を小さい値に変化させ且つ目標値Ｖ２＊の絶対値を大きい値に変化させれば、これらの変化はどちらもポンプ電流Ｉｐ２を増大させる方向に働く。あるいは、目標値Ｖ１＊の絶対値を大きい値に変化させ且つ目標値Ｖ２＊の絶対値を小さい値に変化させれば、これらの変化はどちらもポンプ電流Ｉｐ２を減少させる方向に働く。これらのいずれかの方法で目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊とを変化させれば、目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊の各々の変化量が小さくても、被測定ガス中の水に起因するポンプ電流Ｉｐ２の変化は比較的大きくなる。そのため、ポンプ電流Ｉｐ２の変化に基づいて水濃度を検出しやすい。なお、目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊の両方を変化させる場合には、ポンプ電流Ｉｐ２の傾きではなく例えばポンプ電流Ｉｐ２の変化量又は変化率を算出して、この変化量又は変化率に基づいて水濃度を導出すればよい。

[0096] 例えば、上述した実施形態では、ＣＰＵ９７は、Ｓ１４０で導出した水濃度とポンプ電流Ｉｐ３とに基づいて二酸化炭素濃度を導出したが、これに限

られない、ＣＰＵ９７は、水濃度自体を導出しない場合でも、目標値Ｖ１＊と目標値Ｖ２＊との少なくとも一方を変化させたときの調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理の実行中に流れるポンプ電流Ｉｐ２の変化と、ポンプ電流Ｉｐ３と、に基づいて二酸化炭素濃度を導出できる。例えばポンプ電流Ｉｐ２の変化を表す値として、ステップＳ１３０で導出した傾きＧを用いてもよいし、ポンプ電流Ｉｐ２の変化量又は変化率を用いてもよい。例えば傾きＧを用いる場合は、傾きＧとポンプ電流Ｉｐ３と二酸化炭素濃度との対応関係を予め実験により求めて記憶部９８に記憶しておけばよい。図９は、この対応関係の一例を示すグラフである。図９に示すように、この対応関係は、傾きＧの絶対値が大きいほど（＝水濃度が高いほど）二酸化炭素濃度が小さくなる傾向があり、且つ、ポンプ電流Ｉｐ３が大きいほど二酸化炭素濃度が高くなる傾向があるような関係となる。図９では、例えばポンプ電流Ｉｐ３が値Ａであり、傾きＧの絶対値が値Ｇ１であった場合、導出される二酸化炭素濃度は値Ｂとなる。また、ポンプ電流Ｉｐ３が同じ値Ａであっても、傾きＧの絶対値がＧ１より大きいＧ２，Ｇ３であった場合には（Ｇ１＜Ｇ２＜Ｇ３）、傾きＧの絶対値が大きいほど導出される二酸化炭素濃度の値は小さくなる。図９では３本の直線のみ示しているが、記憶部９８に記憶されている対応関係は、傾きＧの絶対値を細かく異ならせた多数の直線の関係を含んでいてもよい。あるいは、図９の対応関係に基づいてＣＰＵ９７が線形補間などの補間を適宜行いながら二酸化炭素濃度を導出してもよい。図９に示す対応関係の代わりに、水濃度が所定値（例えば０％）であると仮定した場合のポンプ電流Ｉｐ３と二酸化炭素濃度との対応関係である第１対応関係と、傾きＧと二酸化炭素濃度の補正量との対応関係である第２対応関係と、をそれぞれ記憶部９８に記憶しておいてもよい。この場合、ＣＰＵ９７は、ポンプ電流Ｉｐ３と第１対応関係とに基づいて導出される二酸化炭素濃度を、傾きＧと第２対応関係とに基づいて導出される補正量で補正する（例えば二酸化炭素濃度から補正量を差し引く）ことで、補正後の二酸化炭素濃度を導出してもよい。第２対応関係は傾きＧとポンプ電流Ｉｐ３の補正量

との対応関係としてもよい。この場合、ＣＰＵ９７は傾きＧと第２対応関係とに基づく補正量を用いてポンプ電流Ｉｐ３を補正して、補正後のポンプ電流Ｉｐ３と第１対応関係とに基づいて二酸化簡素濃度を導出すればよい。

[0097] 上述した実施形態では、ＣＰＵ９７はＮＯｘ濃度，二酸化炭素濃度，水濃度，及び酸素濃度を検出したが、少なくともＮＯｘ濃度と二酸化炭素濃度とを検出すればよい。例えば図７の制御ルーチンのステップＳ１２５及びＳ１４０の少なくとも一方を省略してもよい。また、図７の制御ルーチンにおいてＣＰＵ９７がＮＯｘ濃度，二酸化炭素濃度，水濃度，及び酸素濃度を検出する順序を入れ替えてもよいし、２種類以上の濃度の検出を並列的に行ってもよい。

[0098] 上述した実施形態では、ＣＰＵ９７は水濃度を用いてＮＯｘ濃度を補正したが、補正を行わなくてもよい。また、ＣＰＵ９７は、導出した水濃度がＮＯｘ濃度の測定精度に影響しないとみなせる所定の許容範囲内であるか否かを判定して、許容範囲内でなかった場合に、ＮＯｘ濃度を補正してもよい。

[0099] 上述した実施形態では、ステップＳ１１０以降は調整用ポンプ制御処理と第１測定用ポンプ制御処理と第２測定用ポンプ制御処理とを継続して実行したが、特にこれに限らずこれらの制御処理の少なくともいずれかを一時停止する場合があってもよい。例えばステップＳ１３０において、調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理を一時停止してから、目標値Ｖ１＊を変更後の値にして調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理を再開してもよい。

[0100] 上述した実施形態では、酸素濃度調整室は第１内部空所２０と第２内部空所４０とを有していたが、これに限らず例えば酸素濃度調整室がさらに別の内部空所を備えていてもよいし、第１内部空所２０と第２内部空所４０との一方を省略してもよい。同様に、上述した実施形態では調整用ポンプセルは主ポンプセル２１と補助ポンプセル５０とを有していたが、これに限らず例えば調整用ポンプセルがさらに別のポンプセルを備えていてもよいし、主ポンプセル２１と補助ポンプセル５０との一方を省略してもよい。例えば、主

ポンプセル２１のみで被測定ガスの酸素濃度を十分低くすることができる場合は、補助ポンプセル５０を省略してもよい。図１０は、補助ポンプセル５０を備えないセンサ素子の一例であるセンサ素子２０１の断面模式図である。図１０では、図１に示した構成要素と同じ構成要素については同じ符号を付して、詳細な説明を省略する。センサ素子２０１は、補助ポンプセル５０を備えず、第３拡散律速部３０及び第２内部空所４０も備えていない。そのため、第１内部空所２０と第４拡散律速部６０とが隣接している。また、センサ素子２０１は、補助ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８１も備えない。このように補助ポンプセル５０を省略したセンサ素子２０１を制御する場合、制御部９６は、調整用ポンプ制御処理として主ポンプ制御処理のみを行えばよい。また、主ポンプ制御処理では、上述したポンプ電流Ｉｐ１に基づく目標値Ｖ０＊の設定を省略すればよい。具体的には、所定の目標値Ｖ０＊を予め記憶部９８に記憶しておき、制御部９６は電圧Ｖ０が目標値Ｖ０＊となるように可変電源２４の電圧Ｖｐ０をフィードバック制御することで、主ポンプセル２１を制御すればよい。補助ポンプセル５０を省略する場合は、電圧Ｖ０が調整用電圧（上述した実施形態の電圧Ｖ１）に相当し、目標値Ｖ０＊が調整用電圧目標値（上述した実施形態の目標値Ｖ１＊）に相当する。そのため、ＣＰＵ９７は、目標値Ｖ０＊と目標値Ｖ２＊との少なくとも一方を変化させたときの調整用ポンプ制御処理及び第１測定用ポンプ制御処理の実行中に流れるポンプ電流Ｉｐ２の変化に基づいて、上述した実施形態と同様に水濃度を検出したり二酸化炭素濃度を検出したりすることができる。酸素濃度調整室が第１内部空所２０と第２内部空所４０の他にさらに別の内部空所を備えており調整用ポンプセルが３以上のポンプセルを有する場合は、３以上のポンプセルのうち最も下流側のポンプセルすなわち最も第１測定室の近くに配設されたポンプセルの制御処理における電圧の目標値が、調整用電圧目標値に相当する。また、３以上のポンプセルのうち最も上流側のポンプセルすなわち最もガス導入口１０の近くに配設されたポンプセルの制御処理によって流れる電流が、調整用ポンプ電流に相当する。

[0101] 上述した実施形態では、内側ポンプ電極２２は、Ａｕを１％含むＰｔとＺｒO_2とのサーメット電極としたが、これに限られない。内側ポンプ電極２２は、触媒活性を有する貴金属を含んでいればよい。触媒活性を有する貴金属としては、例えばＰｔ，Ｒｈ，Ｉｒ，Ｒｕ，Ｐｄの少なくともいずれかが挙げられる。ただし、上述した実施形態のように内側ポンプ電極２２は触媒活性を有する貴金属としてＰｔを含むことが好ましい。内側ポンプ電極２２は、触媒活性を有する貴金属とＡｕとを含むことが好ましい。補助ポンプ電極５１についても、内側ポンプ電極２２と同様に、触媒活性を有する貴金属を含んでいればよく、さらにＡｕを含むことが好ましい。内側ポンプ電極２２及び補助ポンプ電極５１がＡｕを含むことで、ＮＯｘ及び二酸化炭素に対する触媒活性が抑制されるから、第１内部空所２０及び第２内部空所４０でＮＯｘ及び二酸化炭素が還元されてしまうことを抑制できる。第１測定電極４４は、触媒活性を有する貴金属を含んでいればよい。第１測定電極４４は、Ｒｈと、触媒活性を有するＲｈ以外の貴金属（例えばＰｔ，Ｉｒ，Ｒｕ，Ｐｄの少なくともいずれか）と、を含んでいることが好ましい。第１測定電極４４は、ＲｈとＰｔとを含んでいることがより好ましい。第１測定電極４４がＲｈを含むことで、第３内部空所６１でのＮＯｘの還元を促進できる。外側ポンプ電極２３，基準電極４２及び第２測定電極６７は、それぞれ、上述した触媒活性を有する貴金属を含んでいればよい。各電極２２，２３，４２，４４，５１，６７は、それぞれ、貴金属と酸素イオン導電性を有する酸化物（例えばＺｒO_2）とを含むサーメットであることが好ましいが、これらの電極の１以上がサーメットでなくてもよい。各電極２２，２３，４２，４４，５１，６７は、それぞれ、多孔質体であることが好ましいが、これらの電極の１以上が多孔質体でなくてもよい。

[0102] 上述した実施形態では説明しなかったが、目標値Ｖ０＊及び目標値Ｖ１＊はそれぞれ３００ｍＶ以上４００ｍＶ未満の値が好ましい。目標値Ｖ０＊及び目標値Ｖ１＊がそれぞれ３００ｍＶ以上であれば、主ポンプセル２１及び補助ポンプセル５０が酸素濃度調整室の酸素を十分に汲み出すことができる

。目標値Ｖ０＊及び目標値Ｖ１＊がそれぞれ４００ｍＶ未満であれば、酸素濃度調整室でＮＯｘ及び二酸化炭素が還元されることを抑制できる。目標値Ｖ２＊は４００ｍＶ以上５００ｍＶ以下の値が好ましい。目標値Ｖ２＊が４００ｍＶ以上であれば、第１測定電極４４の周囲のＮＯｘを十分に還元させることができる。目標値Ｖ２＊が５００ｍＶ以下であれば、第３内部空所６１で二酸化炭素が還元されることを抑制できる。目標値Ｖ３＊は１０００ｍＶ以上１５００ｍＶ以下の値が好ましい。目標値Ｖ３＊が１０００ｍＶ以上であれば、第２測定電極６７の周囲の二酸化炭素を十分に還元させることができる。目標値Ｖ３＊が１５００ｍＶ以下であれば、電圧Ｖｐ３が高くなりすぎないため、センサ素子１０１が黒化して使用できなくなるのを抑制できる。センサ素子１０１の黒化は、高い電圧が印加されることで固体電解質内の酸素イオンが欠乏して、固体電解質の電子伝導が発現することで生じる。

[0103] 上述した実施形態では説明しなかったが、ガスセンサ１００は、ヒータ７２が７００℃以上９００℃以下の温度範囲の少なくともいずれかの温度に発熱したときにおける内側ポンプ電極２２，補助ポンプ電極５１，第１測定電極４４，及び第２測定電極６７の温度をそれぞれＴｐ，Ｔｑ，Ｔｍ１，Ｔｍ２とすると、温度Ｔｐ＞温度Ｔｑ＞温度Ｔｍ１且つ温度Ｔｐ＞温度Ｔｑ＞温度Ｔｍ２となるようにガスセンサ１００を構成することが好ましい。被測定ガス流通部から汲み出すべき酸素の量は主ポンプセル２１が最も多く、次いで補助ポンプセル５０が多く、第１測定用ポンプセル４１及び第２測定用ポンプセル６６は比較的少ないことから、上記の温度の大小関係を満たすことで主ポンプセル２１及び補助ポンプセル５０のポンピング能力を十分高くすることができる。温度Ｔｐ，Ｔｑ，Ｔｍ１，Ｔｍ２はいずれも、センサ素子１０１のクラックを抑制できるため１０００℃以下が好ましい。温度Ｔｐは、主ポンプセル２１が酸素を十分に汲み出すことができるため、６００℃以上が好ましい。温度Ｔｐは、第１内部空所２０でＮＯｘが還元されることを抑制できるため、９００℃以下が好ましい。温度Ｔｑは、補助ポンプセル５０が酸素を十分に汲み出すことができるため、６００℃以上が好ましい。温

度Ｔｑは、第２内部空所４０でＮＯｘが還元されることを抑制できるため、９００℃以下が好ましい。温度Ｔｍ１は、第１測定用ポンプセル４１がＮＯｘから生じた酸素を十分に汲み出すことができるため、５００℃以上が好ましい。温度Ｔｍ２は、第２測定用ポンプセル６６が二酸化炭素から生じた酸素を十分に汲み出すことができるため、６００℃以上が好ましい。温度Ｔｐ，温度Ｔｑ，温度Ｔｍ１，及び温度Ｔｍ２の調整は、例えばヒータ７２の形状や配置を調整することによって行うことができる。

[0104] 上述した実施形態では、外側ポンプ電極２３は、主ポンプセル２１における内側ポンプ電極２２と対になる電極（外側主ポンプ電極とも称する）としての役割と、補助ポンプセル５０における補助ポンプ電極５１と対になる電極（外側補助ポンプ電極とも称する）としての役割と、第１測定用ポンプセル４１における第１測定電極４４と対になる電極（第１外側測定電極とも称する）としての役割と、第２測定用ポンプセル６６における第２測定電極６７と対になる電極（第２外側測定電極とも称する）としての役割とを兼ねていたが、これに限られない。外側主ポンプ電極，外側補助ポンプ電極，第１外側測定電極，及び第２外側測定電極のうちのいずれか１以上を、外側ポンプ電極２３とは別に素子本体の外側に被測定ガスと接触するように設けてもよい。

[0105] 上述した実施形態では、センサ素子１０１の素子本体は複数の固体電解質層（層１～６）を有する積層体としたが、これに限られない。センサ素子１０１の素子本体は、酸素イオン伝導性の固体電解質層を少なくとも１つ含んでいればよい。例えば、図１において第２固体電解質層６以外の層１～５は固体電解質層以外の材質からなる層（例えばアルミナからなる層）としてもよい。この場合、センサ素子１０１が有する各電極は第２固体電解質層６に配設されるようにすればよい。例えば、図１の第１測定電極４４及び第２測定電極６７は第２固体電解質層６の下面に配設すればよい。また、基準ガス導入空間４３を第１固体電解質層４に設ける代わりにスペーサ層５に設け、基準ガス導入層４８を第１固体電解質層４と第３基板層３との間に設ける代

わりに第２固体電解質層６とスペーサ層５との間に設け、基準電極４２を第３内部空所６１よりも後方且つ第２固体電解質層６の下面に設ければよい。

[0106] 上述した実施形態では、制御部９６は、ポンプ電流Ｉｐ１が目標値Ｉｐ１＊となるように、ポンプ電流Ｉｐ１に基づいて電圧Ｖ０の目標値Ｖ０＊を設定（フィードバック制御）し、電圧Ｖ０が目標値Ｖ０＊となるようにポンプ電圧Ｖｐ０をフィードバック制御したが、他の制御を行ってもよい。例えば、制御部９６は、ポンプ電流Ｉｐ１が目標値Ｉｐ１＊となるように、ポンプ電流Ｉｐ１に基づいてポンプ電圧Ｖｐ０をフィードバック制御してもよい。すなわち、制御部９６は、主ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル８０からの電圧Ｖ０の取得や目標値Ｖ０＊の設定を省略して、ポンプ電流Ｉｐ１に基づいて直接的にポンプ電圧Ｖｐ０を制御（ひいてはポンプ電流Ｉｐ０を制御）してもよい。

[0107] 本出願は、２０２２年１０月２１日に出願された日本国特許出願第２０２２－１６９０８７号を優先権主張の基礎としており、引用によりその内容の全てが本明細書に含まれる。

産業上の利用可能性

[0108] 本発明は、自動車の排気ガスなどの被測定ガスにおけるＮＯｘ濃度及び二酸化炭素濃度を検出するガスセンサに利用可能である。

符号の説明

[0109] １ 第１基板層、２ 第２基板層、３ 第３基板層、４ 第１固体電解質層、５ スペーサ層、６ 第２固体電解質層、１０ ガス導入口、１１ 第１拡散律速部、１２ 緩衝空間、１３ 第２拡散律速部、２０ 第１内部空所、２１ 主ポンプセル、２２ 内側ポンプ電極、２２ａ 天井電極部、２２ｂ 底部電極部、２３ 外側ポンプ電極、２４ 可変電源、３０ 第３拡散律速部、４０ 第２内部空所、４１ 第１測定用ポンプセル、４２ 基準電極、４３ 基準ガス導入空間、４４ 第１測定電極、４６ 可変電源、４８ 基準ガス導入層、５０ 補助ポンプセル、５１ 補助ポンプ電極、５１ａ 天井電極部、５１ｂ 底部電極部、５２ 可変電源、６０ 第４拡散律

速部、６１　第３内部空所、６２　第５拡散律速部、６３　第４内部空所、６６　第２測定用ポンプセル、６７　第２測定電極、６８　可変電源、７０　ヒータ部、７１　ヒータコネクタ電極、７２　ヒータ、７３　スルーホール、７４　ヒータ絶縁層、７５　圧力放散孔、７６　ヒータ電源、８０　主ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル、８１　補助ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル、８２　第１測定用ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル、８３　センサセル、８４　第２測定用ポンプ制御用酸素分圧検出センサセル、９５　制御装置、９６　制御部、９７　ＣＰＵ、９８　記憶部、１００　ガスセンサ、１０１，２０１　センサ素子。

請求の範囲

[請求項1] 酸素イオン伝導性の固体電解質層を有し、被測定ガスを導入して流通させる被測定ガス流通部が内部に設けられた素子本体と、

前記被測定ガス流通部のうちの第１測定室に配設された第１内側測定電極を含んで構成され、前記第１測定室の酸素を前記素子本体の外部に汲み出す第１測定用ポンプセルと、

前記被測定ガス流通部のうちの前記第１測定室よりも下流に位置する第２測定室に配設された第２内側測定電極を含んで構成され、前記第２測定室の酸素を前記素子本体の外部に汲み出す第２測定用ポンプセルと、

前記被測定ガス流通部のうち前記第１測定室よりも上流に位置する酸素濃度調整室に配設された内側調整電極を含んで構成され、前記酸素濃度調整室の酸素濃度を調整する調整用ポンプセルと、

基準ガスと接触するように前記素子本体の内部に配設された基準電極と、

を有するセンサ素子と、

前記基準電極と前記内側調整電極との間の電圧である調整用電圧が調整用電圧目標値になるように前記調整用ポンプセルを制御して前記酸素濃度調整室の酸素濃度を調整する調整用ポンプ制御処理と、前記基準電極と前記第１内側測定電極との間の電圧である第１測定用電圧が第１測定用電圧目標値になるように前記第１測定用ポンプセルを制御して前記第１測定室の酸素を汲み出す第１測定用ポンプ制御処理と、前記基準電極と前記第２内側測定電極との間の電圧である第２測定用電圧が第２測定用電圧目標値になるように前記第２測定用ポンプセルを制御して前記第２測定室の酸素を汲み出す第２測定用ポンプ制御処理と、を行う制御装置と、

を備え、

前記制御装置は、前記第１測定室でＮＯｘを還元したときに発生す

る酸素を前記第１測定用ポンプ制御処理によって汲み出したときに流れる第１測定用ポンプ電流に基づいて、前記被測定ガス中のＮＯｘ濃度を検出し、

前記制御装置は、前記第２測定室で二酸化炭素を還元したときに発生する酸素を前記第２測定用ポンプ制御処理によって汲み出したときに流れる第２測定用ポンプ電流と、前記調整用電圧目標値と前記第１測定用電圧目標値との少なくとも一方を変化させたときの前記調整用ポンプ制御処理及び前記第１測定用ポンプ制御処理の実行中に流れる前記第１測定用ポンプ電流の変化と、に基づいて前記被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出する、

ガスセンサ。

[請求項2] 前記制御装置は、前記第１測定用ポンプ電流の前記変化に基づいて前記被測定ガス中の水濃度を検出する、

請求項１に記載のガスセンサ。

[請求項3] 前記制御装置は、前記第２測定用ポンプ電流に基づいて前記被測定ガス中の二酸化炭素濃度と水濃度との合計値を導出し、該合計値から前記検出された水濃度を差し引くことで前記被測定ガス中の二酸化炭素濃度を検出する、

請求項２に記載のガスセンサ。

[請求項4] 前記制御装置は、前記調整用ポンプ制御処理によって流れる調整用ポンプ電流に基づいて、前記被測定ガス中の酸素濃度を検出する、

請求項１～３のいずれか１項に記載のガスセンサ。

[請求項5] 前記酸素濃度調整室は、第１内部空所と、該第１内部空所よりも下流且つ前記測定室よりも上流に設けられた第２内部空所と、を有し、

前記調整用ポンプセルは、前記第１内部空所の酸素濃度を調整する主ポンプセルと、前記第２内部空所の酸素濃度を調整する補助ポンプセルと、を有し、

前記内側調整電極は、前記第１内部空所に配設され前記主ポンプセ

ルの一部を構成する内側主ポンプ電極と、前記第２内部空所に配設され前記補助ポンプセルの一部を構成する内側補助ポンプ電極と、を有し、

前記調整用ポンプ制御処理は、前記主ポンプセルを制御して前記第１内部空所の酸素濃度を調整する主ポンプ制御処理と、前記調整用電圧が前記調整用電圧目標値になるように前記補助ポンプセルを制御する補助ポンプ制御処理と、を含む、

請求項１～３のいずれか１項に記載のガスセンサ。

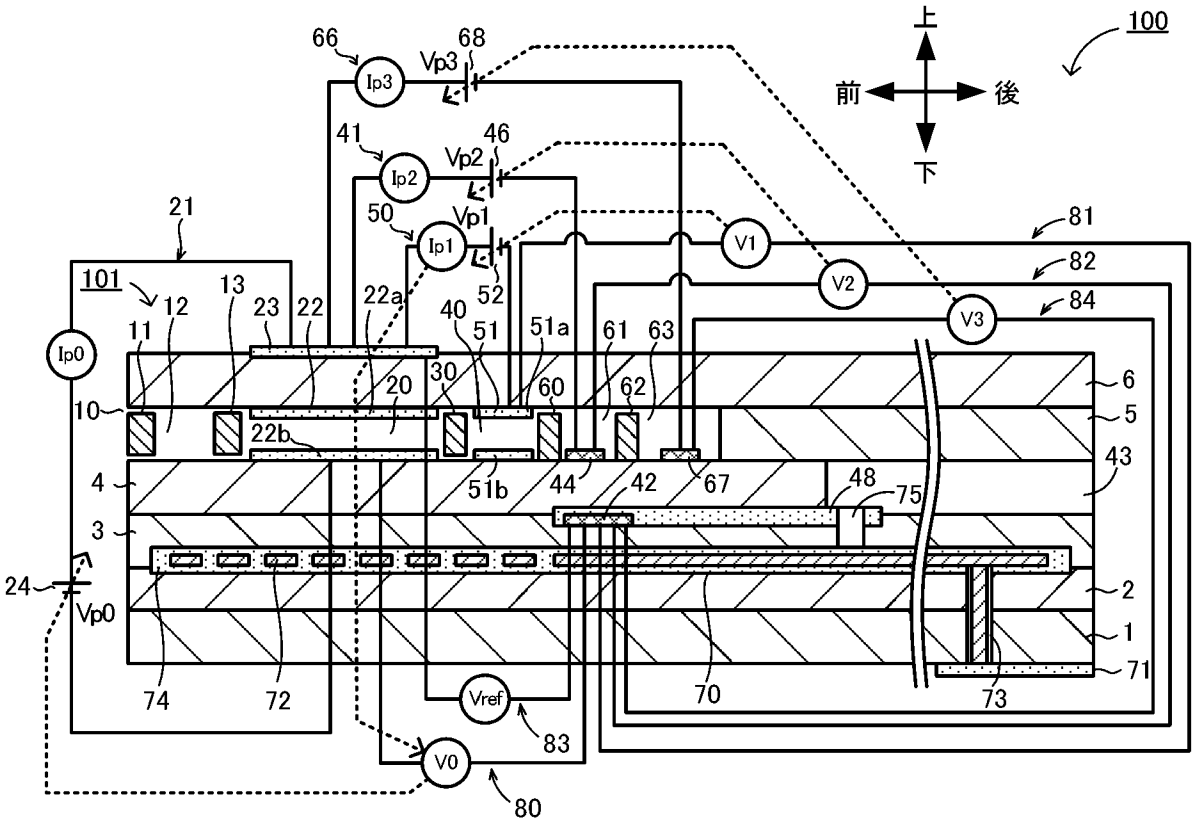
[請求項6] 前記内側調整電極は、触媒活性を有する貴金属と、Ａｕと、を含む、

請求項１～３のいずれか１項に記載のガスセンサ。

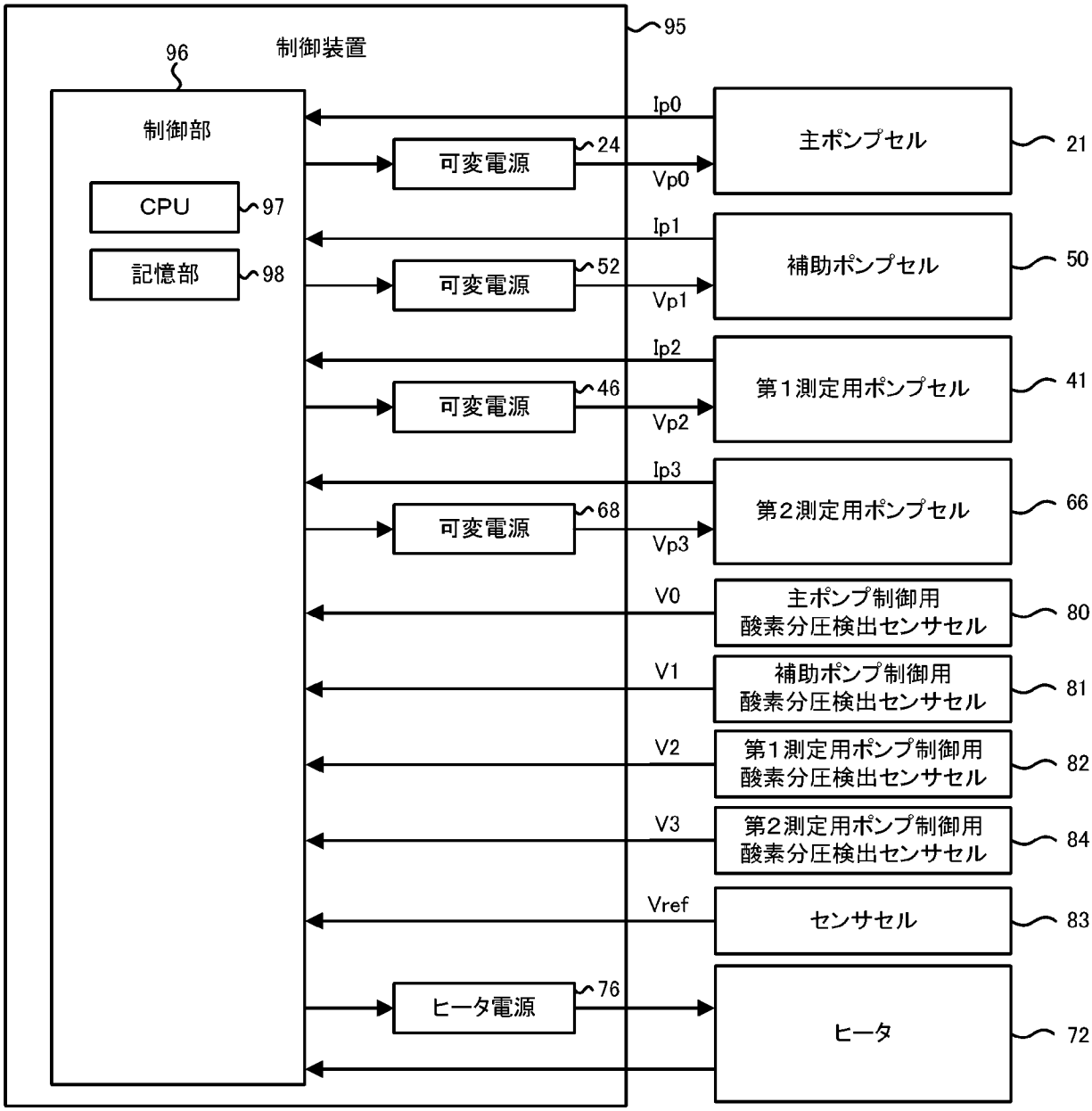
[請求項7] 前記第１内側測定電極は、Ｒｈと、触媒活性を有するＲｈ以外の貴金属と、を含む、

請求項１～３のいずれか１項に記載のガスセンサ。

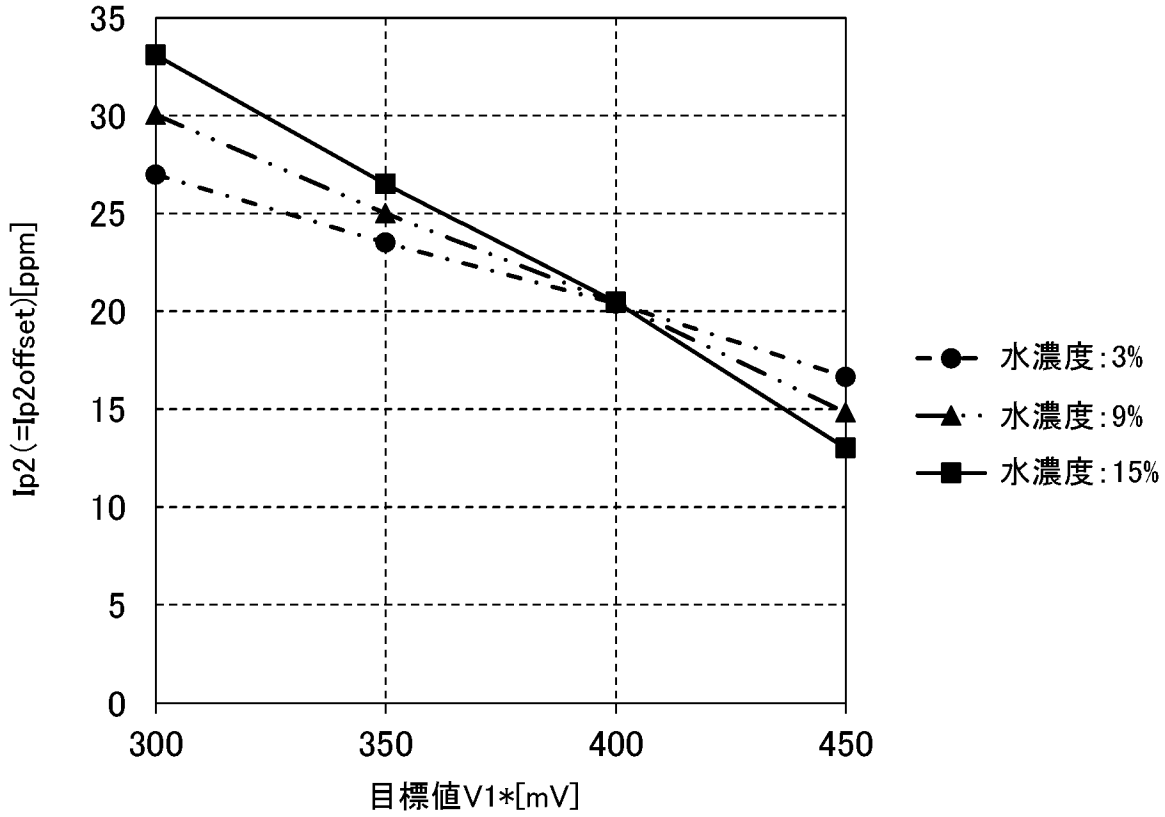
[図1]


100
上
前
後
下
66
68
Ip3
Vp3
41
46
Ip2
Vp2
50
Ip1
Vp1
52
V1
V2
V3
81
82
84
21
101
12
13
23
22
22a
40
51
51a
61
63
11
Ip0
20
30
60
62
6
5
10
22b
43
4
51b
44
42
67
48
75
3
24
Vp0
2
1
71
74
72
70
73
Vref
83
V0
80

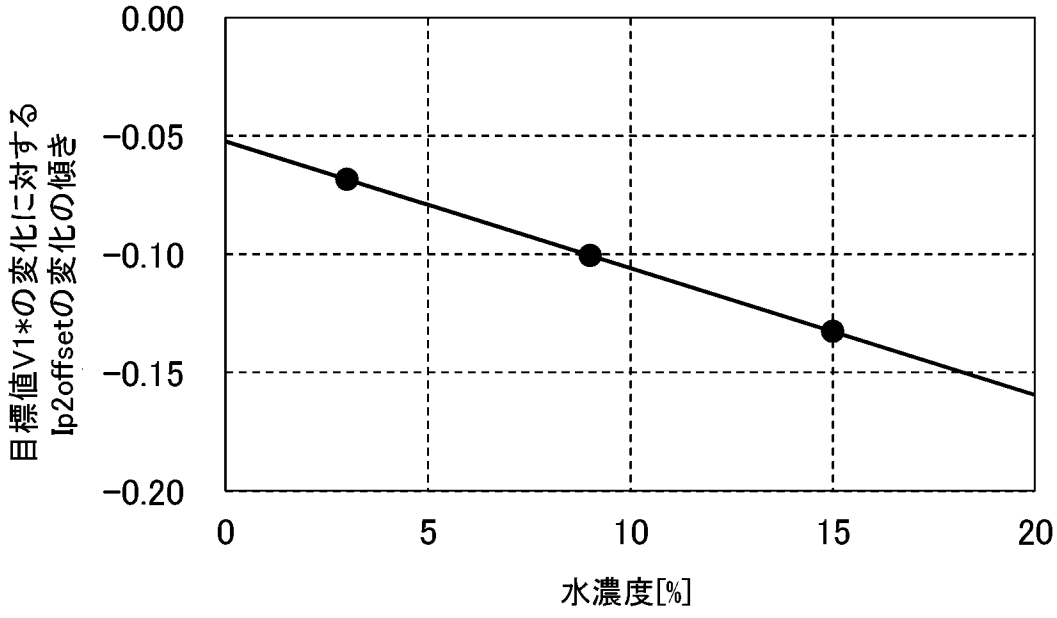
[図2]


95
制御装置
96
制御部
CPU
97
記憶部
98
可変電源
24
可変電源
52
可変電源
46
可変電源
68
ヒータ電源
76
Ip0
Vp0
Ip1
Vp1
Ip2
Vp2
Ip3
Vp3
V0
V1
V2
V3
Vref
主ポンプセル
21
補助ポンプセル
50
第1測定用ポンプセル
41
第2測定用ポンプセル
66
主ポンプ制御用
酸素分圧検出センサセル
80
補助ポンプ制御用
酸素分圧検出センサセル
81
第1測定用ポンプ制御用
酸素分圧検出センサセル
82
第2測定用ポンプ制御用
酸素分圧検出センサセル
84
センサセル
83
ヒータ
72

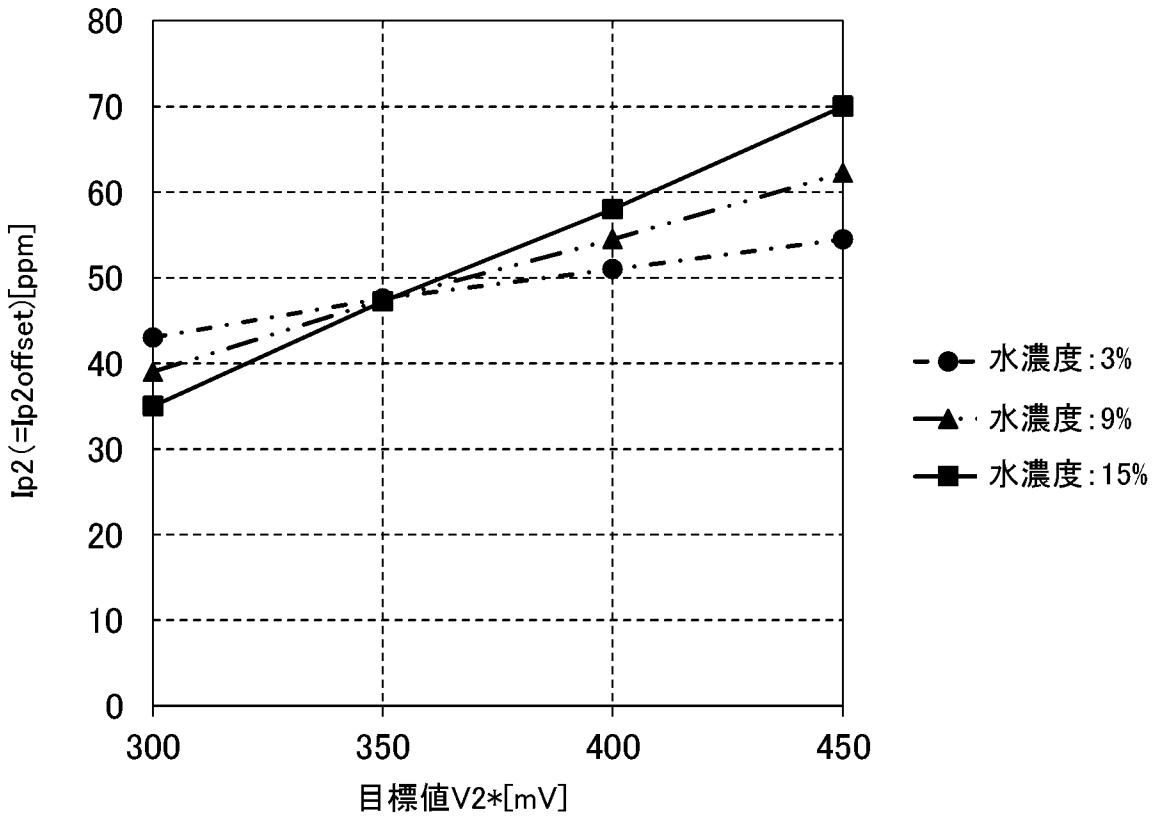
[図3]


35
30
25
20
15
10
5
0
300
350
400
450
Ip2(=Ip2offset)[ppm]
目標値V1*[mV]
水濃度:3%
水濃度:9%
水濃度:15%

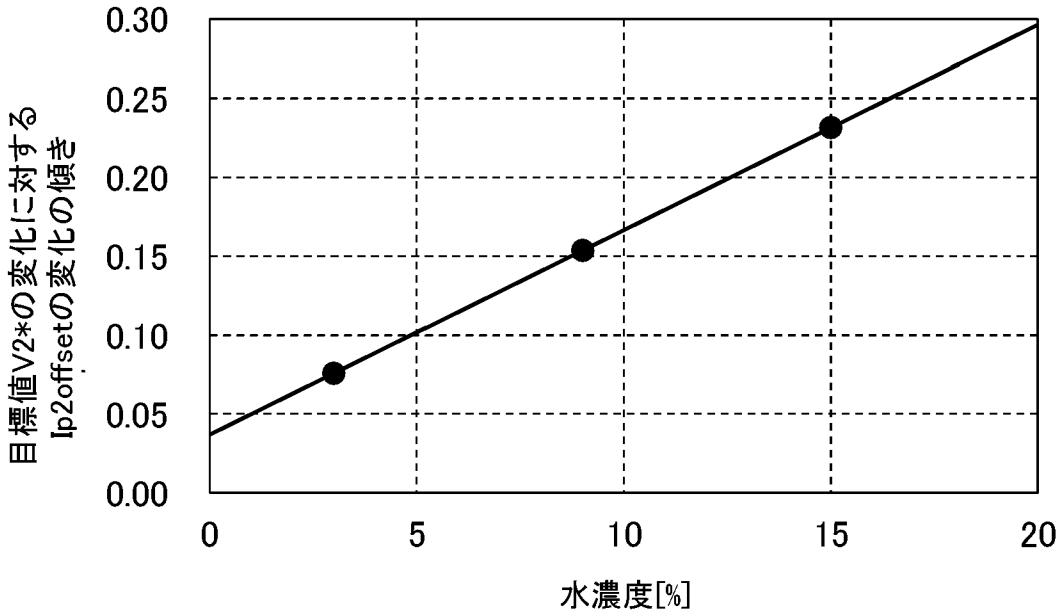
[図4]


0.00
−0.05
−0.10
−0.15
−0.20
0
5
10
15
20
目標値V1*の変化に対するIp2offsetの変化の傾き
水濃度[%]

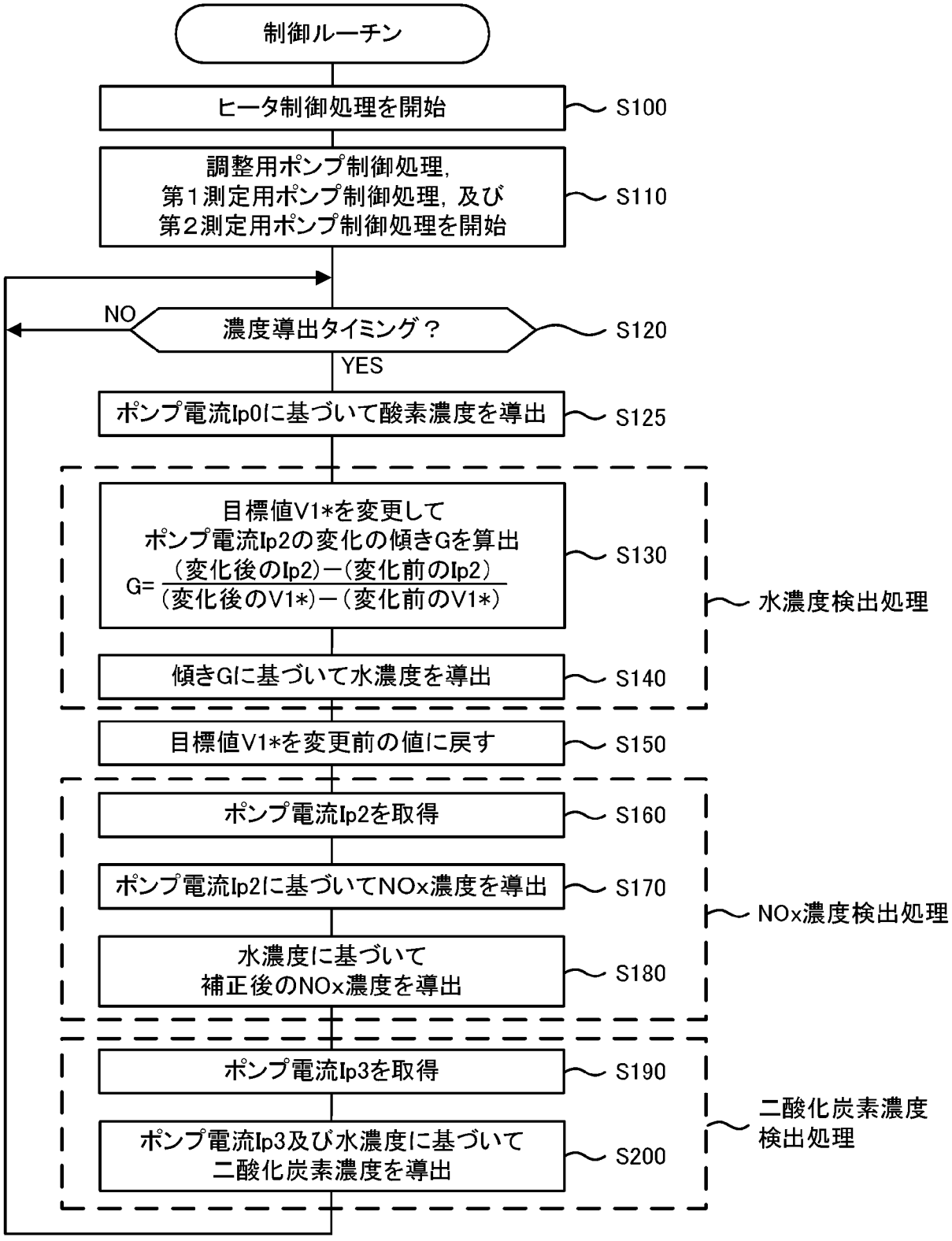
[図5]


80
70
60
50
40
30
20
10
0
300
350
400
450
Ip2(=Ip2offset)[ppm]
目標値V2*[mV]
水濃度:3%
水濃度:9%
水濃度:15%

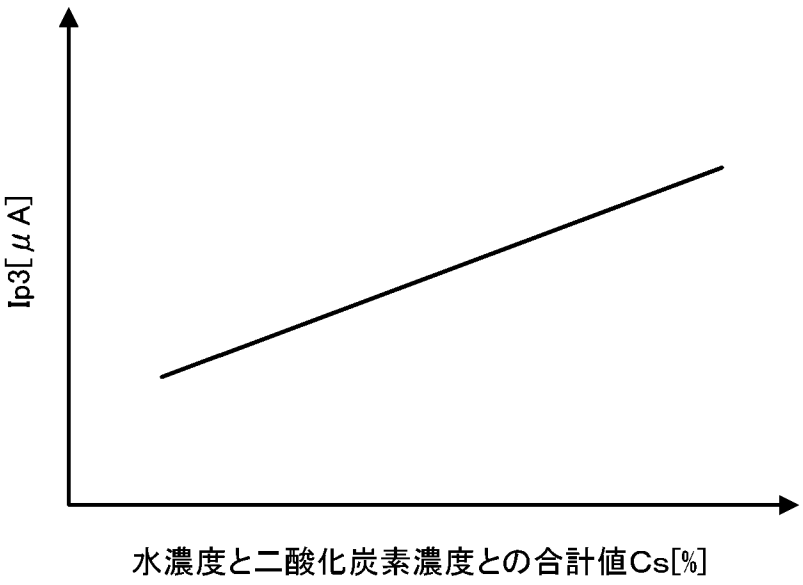
[図6]


0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
0
5
10
15
20
目標値V2*の変化に対するIp2offsetの変化の傾き
水濃度[%]

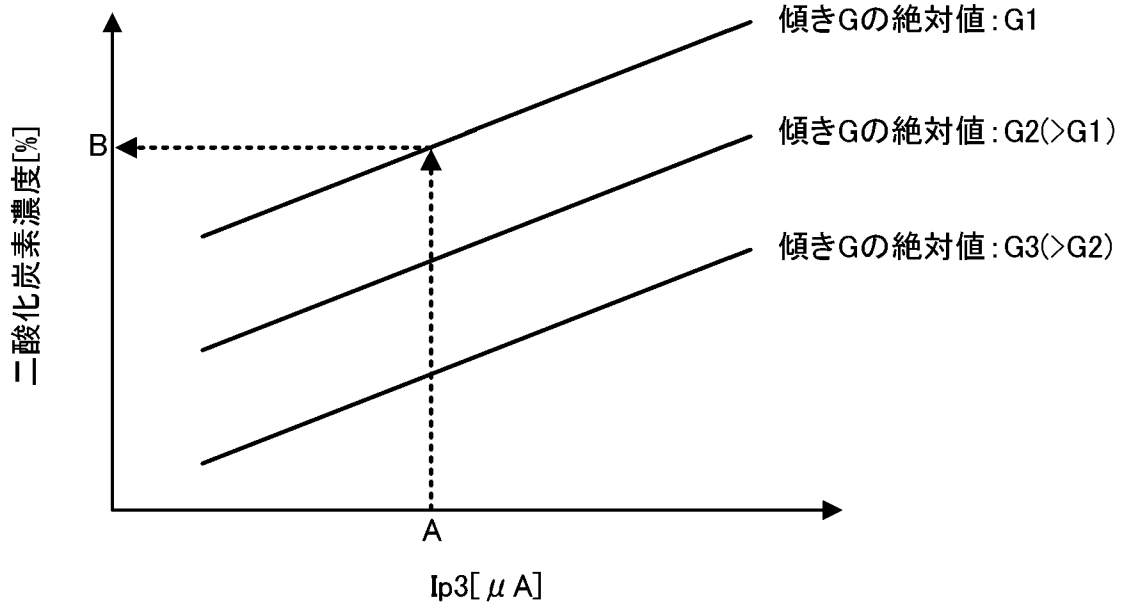
[図7]


制御ルーチン
ヒータ制御処理を開始
S100
調整用ポンプ制御処理，
第１測定用ポンプ制御処理，及び
第２測定用ポンプ制御処理を開始
S110
NO
濃度導出タイミング？
S120
YES
ポンプ電流Ip0に基づいて酸素濃度を導出
S125
目標値V1*を変更して
ポンプ電流Ip2の変化の傾きGを算出
G=（変化後のIp2）−（変化前のIp2）/（変化後のV1*）−（変化前のV1*）
S130
水濃度検出処理
傾きGに基づいて水濃度を導出
S140
目標値V1*を変更前の値に戻す
S150
ポンプ電流Ip2を取得
S160
ポンプ電流Ip2に基づいてNOx濃度を導出
S170
NOx濃度検出処理
水濃度に基づいて
補正後のNOx濃度を導出
S180
ポンプ電流Ip3を取得
S190
ポンプ電流Ip3及び水濃度に基づいて
二酸化炭素濃度を導出
S200
二酸化炭素濃度
検出処理

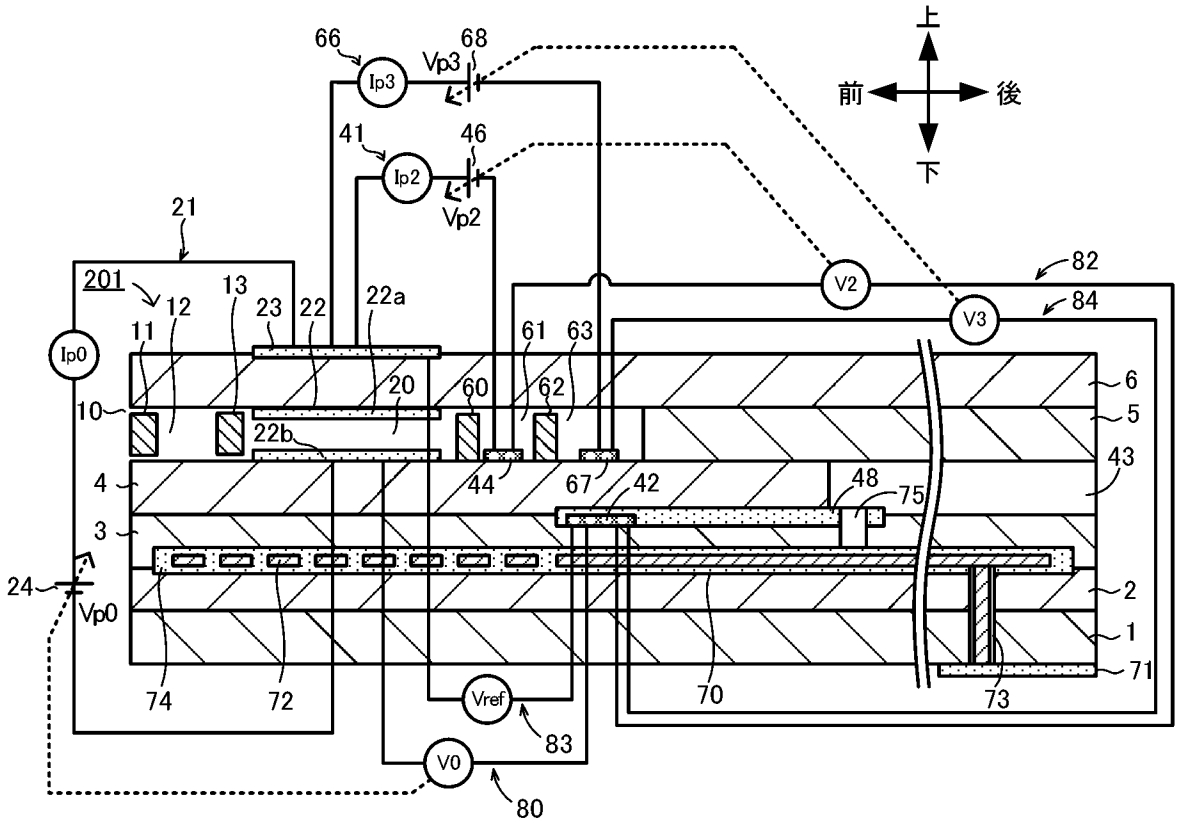
[図8]


Ip3[μA]
水濃度と二酸化炭素濃度との合計値Cs[%]

[図9]


傾きGの絶対値：G1
傾きGの絶対値：G2(>G1)
傾きGの絶対値：G3(>G2)
B
A
二酸化炭素濃度[%]
Ip3[μA]

[図10]


上
前
後
下
66
68
Ip3
Vp3
41
46
Ip2
Vp2
21
201
12
13
23
22
22a
11
61
63
82
V2
84
V3
Ip0
20
60
62
6
10
22b
5
43
4
44
67
42
48
75
3
24
Vp0
2
1
71
74
72
70
73
Vref
83
V0
80

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/034343

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 27/416(2006.01)i
FI: G01N27/416 331; G01N27/416 311J

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N27/416

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-142575 A (NGK INSULATORS LTD) 08 August 2016 (2016-08-08) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2004-518150 A (ROBERT BOSCH GMBH) 17 June 2004 (2004-06-17) entire text, all drawings	1-7
A	JP 10-221303 A (NGK SPARK PLUG CO LTD) 21 August 1998 (1998-08-21) entire text, all drawings	1-7
A	WO 2017/222001 A1 (NGK INSULATORS LTD) 28 December 2017 (2017-12-28) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2016-14655 A (NGK SPARK PLUG CO LTD) 28 January 2016 (2016-01-28) entire text, all drawings	1-7
A	JP 10-267885 A (NGK SPARK PLUG CO LTD) 09 October 1998 (1998-10-09) entire text, all drawings	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
18 October 2023	**31 October 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/034343

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2016-142575 A	08 August 2016	US 2016/0223487 A1 entire text, all drawings EP 3051282 A1 CN 105842311 A	
JP 2004-518150 A	17 June 2004	US 2004/0112765 A1 entire text, all drawings WO 2002/065113 A1	
JP 10-221303 A	21 August 1998	US 6214208 B1 entire text, all drawings EP 845670 A2	
WO 2017/222001 A1	28 December 2017	US 2019/0137441 A1 entire text, all drawings CN 109451749 A	
JP 2016-14655 A	28 January 2016	US 2015/0377822 A1 entire text, all drawings	
JP 10-267885 A	09 October 1998	US 2002/0017467 A1 entire text, all drawings EP 878709 A2	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/034343

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01N 27/416(2006.01)i
FI: G01N27/416 331; G01N27/416 311J

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01N27/416

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2016-142575 A (日本碍子株式会社) 08.08.2016 (2016-08-08) 全文,全図	1-7
A	JP 2004-518150 A (ローベルト ボツシユ ゲゼルシヤフト ミツト ベシユレンクテル ハフツング) 17.06.2004 (2004-06-17) 全文,全図	1-7
A	JP 10-221303 A (日本特殊陶業株式会社) 21.08.1998 (1998-08-21) 全文,全図	1-7
A	WO 2017/222001 A1 (日本碍子株式会社) 28.12.2017 (2017-12-28) 全文,全図	1-7
A	JP 2016-14655 A (日本特殊陶業株式会社) 28.01.2016 (2016-01-28) 全文,全図	1-7
A	JP 10-267885 A (日本特殊陶業株式会社) 09.10.1998 (1998-10-09) 全文,全図	1-7

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
18.10.2023	31.10.2023

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
大瀧　真理 2J 9812

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2023/034343

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2016-142575 A	08.08.2016	US 2016/0223487 A1 全文,全図 EP 3051282 A1 CN 105842311 A	
JP 2004-518150 A	17.06.2004	US 2004/0112765 A1 全文,全図 WO 2002/065113 A1	
JP 10-221303 A	21.08.1998	US 6214208 B1 全文,全図 EP 845670 A2	
WO 2017/222001 A1	28.12.2017	US 2019/0137441 A1 全文,全図 CN 109451749 A	
JP 2016-14655 A	28.01.2016	US 2015/0377822 A1 全文,全図	
JP 10-267885 A	09.10.1998	US 2002/0017467 A1 全文,全図 EP 878709 A2	