

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-212623

(P2015-212623A)

(43) 公開日 平成27年11月26日(2015.11.26)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード(参考)  
 GO 1 N 27/02 (2006.01) GO 1 N 27/02 Z 2 GO 6 0

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 21 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2014-94405 (P2014-94405)                  (22) 出願日 平成26年5月1日(2014.5.1)</p>	<p>(71) 出願人 000006013                  三菱電機株式会社                  東京都千代田区丸の内二丁目7番3号                  (74) 代理人 110001461                  特許業務法人きさ特許商標事務所                  (72) 発明者 栗木 宏徳                  東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三                  菱電機株式会社内                  (72) 発明者 宮 一普                  東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三                  菱電機株式会社内                  (72) 発明者 古川 誠司                  東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三                  菱電機株式会社内                  Fターム(参考) 2G060 AA06 AA19 AF06 AG11 EA08                  FB01 HA02 HC07 HC15</p>
---	---

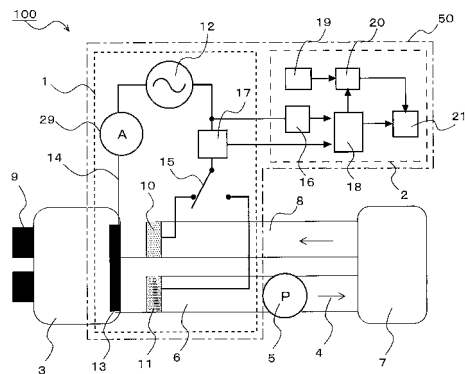
(54) 【発明の名称】 水質センサー及びこれを備えた冷却システム

(57) 【要約】

【課題】 腐食の発生及びスケールの形成の有無を判定することができる水質センサー及びこれを備えた冷却システムを提供することを目的としている。

【解決手段】 循環路において熱交換部の上流側に配置される低温側検知電極及び熱交換部の下流側に配置される高温側検知電極を有する検知電極と、検知電極から予め設定された間隔を隔てて配置される対極と、低温側検知電極又は高温側検知電極と対極との間に、周波数可変の交流電圧を印加する交流電源と、検知電極と対極との間のインピーダンス値に基づいて、循環路の腐食発生及び循環路のスケール形成の有無を判定する制御部と、を有するものである。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

液媒体が流れる循環路を備え、前記循環路に熱交換部が配置される循環システムに搭載される水質センサーであって、

前記循環路において前記熱交換部の上流側に配置される低温側検知電極及び前記熱交換部の下流側に配置される高温側検知電極を有する検知電極と、

前記検知電極から予め設定された間隔を隔てて配置される対極と、

前記低温側検知電極又は前記高温側検知電極と前記対極との間に、周波数可変の交流電圧を印加する交流電源と、

前記検知電極と前記対極との間のインピーダンス値に基づいて、前記循環路の腐食発生及び前記循環路のスケール形成の有無を判定する制御部と、

を有する

ことを特徴とする水質センサー。

10

## 【請求項 2】

前記制御部は、

前記交流電源の複数の周波数領域における前記インピーダンス値に基づいて、前記循環路の腐食発生及び前記循環路のスケール形成の有無を判定する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の水質センサー。

## 【請求項 3】

前記制御部は、

前記交流電源の第 1 の周波数領域の前記インピーダンス値及び前記第 1 の周波数領域よりも高い第 2 の周波数領域の前記インピーダンス値に基づいて、前記循環路の腐食発生及び前記循環路のスケール形成を判定する

ことを特徴とする請求項 2 に記載の水質センサー。

20

## 【請求項 4】

前記制御部は、

前記低温側検知電極と前記対極との間における前記第 1 の周波数領域の前記インピーダンス値に基づいて、前記腐食発生に係る溶存酸素が発生していると判定する

ことを特徴とする請求項 3 に記載の水質センサー。

## 【請求項 5】

前記制御部は、

前記高温側検知電極と前記対極との間における前記第 1 の周波数領域の前記インピーダンス値に基づいて、前記腐食発生に係る塩化物イオン及び金属イオンのうちの少なくとも一方が発生していると判定する

ことを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の水質センサー。

30

## 【請求項 6】

前記制御部は、

前記高温側検知電極と前記対極との間における前記第 2 の周波数領域の前記インピーダンス値に基づいて、前記スケール形成に係る溶存二酸化炭素が発生していると判定する

ことを特徴とする請求項 3 ~ 5 のいずれか一項に記載の水質センサー。

40

## 【請求項 7】

前記制御部は、

前記第 1 の周波数領域は、

1 Hz 以下の範囲であり、

前記第 2 の周波数領域は、

1 Hz より大きく、1 kHz よりも小さい範囲である

ことを特徴とする請求項 3 ~ 6 のいずれか一項に記載の水質センサー。

## 【請求項 8】

前記低温側検知電極と前記対極との接続と、前記高温側検知電極と前記対極との接続とを切り替える切替スイッチをさらに有する

50

ことを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の水質センサー。

【請求項 9】

前記循環路の腐食発生及び前記循環路のスケール形成を判定する際に利用される前記インピーダンス値の閾値を設定する閾値設定部をさらに有する

ことを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の水質センサー。

【請求項 10】

被冷却体を冷却する冷却装置と、

冷却媒体を放熱する放熱器と、

前記冷却装置と前記放熱器との間を冷却媒体が循環するように前記冷却装置及び前記放熱器に接続された配管と、

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の水質センサーと、

を備えた

ことを特徴とする冷却システム。

【請求項 11】

前記水質センサーの対極は、

前記冷却装置に配置され、

前記水質センサーの低温側検知電極は、

前記冷却装置に前記冷却媒体が流入する側の前記配管に、前記対極から予め設定された間隔を隔てて配置され、

前記水質センサーの高温側検知電極は、

前記冷却装置から前記冷却媒体が流出する側の前記配管に、前記対極から予め設定された間隔を隔てて配置されている

ことを特徴とする請求項 10 に記載の冷却システム。

【請求項 12】

前記水質センサーの低温側検知電極は、

前記冷却装置に前記冷却媒体が流入する側の前記配管の下流側に配置され、

前記水質センサーの高温側検知電極は、

前記冷却装置から前記冷却媒体が流出する側の前記配管の上流側に配置されている

ことを特徴とする請求項 10 又は 11 に記載の冷却システム。

【請求項 13】

前記配管は、

前記低温側検知電極及び前記高温側検知電極が配置された部分の径が大きくなるように形成されている

ことを特徴とする請求項 10 ~ 12 のいずれか一項に記載の冷却システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、水質センサー及びこれを備えた冷却システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

CPU、LSI、インバータなどの電子機器・パワー半導体などの被冷却体の冷却に適用する冷却装置として、水などの液体を冷却媒体に用いた水冷式冷却装置が知られている。この冷却装置は、熱伝達率の良い金属であるアルミニウムや銅を構成材料とし、冷却媒体が効率よく被冷却体と熱交換するために設計された流路を配置し、その流路の中に冷却媒体を流通させることで、被冷却体を冷却する。

【0003】

この冷却装置をたとえば車両用電源システムに適用する場合、流れる冷却媒体には、通常は不純物混入の少ないイオン交換水とエチレングリコールなどの凝固点の低い有機溶媒を加えた不凍液からなる混合液を装置メーカー、自動車メーカー、メンテナンスメーカーなどが適用し、管理する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 4 】

その一方で、ユーザーが自身で冷却媒体を交換する場合があります、その際に上記イオン交換水ではなく水道水を使用する可能性がある。水道水には、塩化物イオン、金属イオンや溶存酸素などの腐食因子が含まれている。このため、ユーザーが水道水を用いた場合、この腐食因子によって冷却装置、特に冷却媒体流路を構成する金属が腐食されてしまい、流路に貫通孔が形成されてしまったり、腐食性物質が流路に析出してしまったりする。流路に貫通孔が形成されると冷却媒体が冷却装置から漏れ、また、腐食性物質が流路に析出すると冷却装置における熱伝達率の低下及び流路目詰まりに繋がる。

## 【 0 0 0 5 】

また、水道水にはカルシウムイオンや溶存二酸化炭素などのスケール形成因子も含まれている。スケール形成因子は、冷却媒体の流路の表面にて炭酸カルシウム（スケール）を形成し、流路の表面に付着する。スケールが流路に付着すると、冷却装置における熱伝達率の低下、流路の目詰まりに繋がる。

10

## 【 0 0 0 6 】

このように冷却媒体に水道水が使用される場合、金属で構成される流路及び冷却装置に対して液漏れ及び流路目詰りなどが発生し、冷却装置の性能低下、性能不良に繋がるため、冷却媒体の液性を適正に管理する必要がある。

## 【 0 0 0 7 】

そこで、金属材料の劣化度合いを抑制するため、金属材料と同材料の電極のインピーダンスを測定し、その電極に接する冷却媒体の液性を把握することにより、冷却媒体の腐食に関する液性変化を検知する技術が開示されている（たとえば、特許文献 1 参照）。

20

## 【 0 0 0 8 】

また、スケールについては、熱交換器にて温度と電気抵抗を測定することにより温度による電気抵抗特性の変化を管理することにより、熱交換器表面へのスケール形成を検知する技術が開示されている（たとえば、特許文献 2 参照）。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 特開平 7 - 1 0 3 6 8 7 号公報

【 特許文献 2 】 特表 2 0 0 9 - 5 2 8 5 0 4 号公報

30

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 1 0 】

特許文献 1 に記載の技術では、鋼管材料が腐食することについては検知することができるが、スケールの形成については検知することができない。また、特許文献 2 に記載の技術では、鋼管材料にスケールが形成することについては検知することができるが、腐食については検知することができない。

## 【 0 0 1 1 】

本発明は、以上のような課題を解決するためになされたもので、腐食の発生及びスケールの形成の有無を判定することができる水質センサー及びこれを備えた冷却システムを提供することを目的としている。

40

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 1 2 】

本発明に係る水質センサーは、液媒体が流れる循環路を備え、循環路に熱交換部が配置される循環システムに搭載される水質センサーであって、循環路において熱交換部の上流側に配置される低温側検知電極及び熱交換部の下流側に配置される高温側検知電極を有する検知電極と、検知電極から予め設定された間隔を隔てて配置される対極と、低温側検知電極又は高温側検知電極と対極との間に、周波数可変の交流電圧を印加する交流電源と、検知電極と対極との間のインピーダンス値に基づいて、循環路の腐食発生及び循環路のスケール形成の有無を判定する制御部と、を有するものである。

50

## 【発明の効果】

## 【0013】

本発明に係る水質センサーによれば、上記構成を有しているため、腐食の発生及びスケールの形成の有無を判定することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0014】

【図1】本発明の実施の形態1に係る水質センサー及びこれを備えた冷却システムの概要構成の一例を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態1に係る水質センサーの検知電極の表面における電極反応を模擬させた一般的な電氣的等価回路を示す図である。

【図3】本発明の実施の形態1に係るスケール形成により形成された電極表面被膜とインピーダンスの相関に係る簡易モデルを示す図である。

【図4】本発明の実施の形態1に係る冷却システムの性能劣化現象の検出領域を検知電極の曝される温度と検知電極に印加する交流電圧の周波数によって整理した図である。

【図5】本発明の実施の形態1に係る水質センサーの診断動作を示すフローチャートである。

【図6】本発明の実施の形態1に係る検知電極のインピーダンス応答について腐食イオン混入プロセスを経時変化として示した図である。

【図7】本発明の実施の形態1に係る検知電極のインピーダンス応答についてカルシウムイオン及び二酸化炭素混入プロセスを経時変化として示した図である。

【図8】本発明の実施の形態1に係る検知電極のインピーダンス応答について酸素混入各プロセスを経時変化として示した図である。

【図9】本発明の実施の形態1に係る検知電極のインピーダンス応答について腐食反応とスケール形成反応に関係のない外乱因子の混入プロセスを経時変化として示した図である。

【図10】本発明の実施の形態2に係る高温検知電極のインピーダンス応答について鉄イオン混入プロセスを経時変化として示した図である。

【図11】本発明の実施の形態2に係る高温検知電極のインピーダンス応答についてカルシウムイオン及び二酸化炭素混入プロセスを経時変化として示した図である。

【図12】本発明の実施の形態3に係る冷却媒体の流速とスケール形成速度の相関を示したグラフである。

【図13】本発明の実施の形態3に係る検知電極を組み込んだ冷却装置を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0015】

以下、本発明に係る水質センサー及びこれを備えた冷却システムの実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下に説明する実施の形態によって本発明が限定されるものではない。また、図1を含め、以下の図面では各構成部材の大きさの関係が実際のものとは異なる場合がある。

## 【0016】

実施の形態1

図1は、本実施の形態1に係る水質センサー50及びこれを備えた冷却システム100の概要構成の一例を示す図である。

本実施の形態1に係る水質センサー50は、腐食の発生及びスケールの形成の有無を判定することができる改良が加えられたものである。

## 【0017】

<冷却システム100について>

冷却システム100は、被冷却体9を冷却する冷却装置3と、冷却装置3に接続された循環用配管6及び循環用配管8と、冷却媒体4（液媒体）を搬送するのに利用される循環ポンプ5と、循環用配管6及び循環用配管8に接続されたラジエーター7（放熱器）と、を有している。また、冷却システム100は、冷却装置3、循環用配管8、循環ポンプ5

10

20

30

40

50

、ラジエーター 7 及び循環用配管 6 が接続されて形成された、冷却媒体 4 が循環する循環路 F を有している。さらに、冷却システム 100 は、循環路 F を流れる冷却媒体 4 に含まれる腐食因子及びスケール形成因子により、循環路 F に腐食が発生すること及び循環路 F にスケールが形成（付着）されることを検知する水質センサー 50 を有している。

【0018】

ここで、被冷却体 9 は、たとえば、CPU、LSI、インバータなどの電子機器、パワー半導体などに対応するものである。また、腐食因子とは、冷却システム 100 を構成する冷却装置 3 などの金属材料を腐食するものであり、たとえば、塩化物イオン、溶存酸素、鉄イオン、銅イオンなどに対応するものである。また、スケール形成因子とは、冷却システム 100 を構成する冷却装置 3 などに析出するスケールのもととなるものであり、たとえば、溶存二酸化炭素、カルシウムイオンなどに対応するものである。

10

【0019】

冷却システム 100 は、たとえば車両用電源システムといった冷却媒体が循環する循環系を有するシステムに用いられるものである。なお、本実施の形態 1 では、冷却システム 100 について説明するが、それに限定されるものではなく、各種の循環システムに適用することもできる。たとえば、給湯暖房システム、空調システムなどといった熱媒体が循環する循環路を有するシステムに適用することができる。

【0020】

水質センサー 50 は、循環路 F に腐食が発生すること及び循環路 F にスケールが形成されることの両方を検知して判定することができるものである。水質センサー 50 は、後述するように、電極などを有するセンサー部 1 と、センサー部 1 の電気的信号が出力されるコントローラー部 2 とを有している。水質センサー 50 は、検知電極 30 と検知電極 30 に対向配置される対極 13 を有し、これらの電極がたとえば、循環用配管 6 及び循環用配管 8 と冷却装置 3 との接続部に配置されるものである。水質センサー 50 の詳細については、後述する。

20

【0021】

冷却装置 3 を含む冷却システム 100 を流れる冷却媒体 4 は、循環ポンプ 5 の駆動力により循環用配管（下流側）6 を経由してラジエーター 7 に流れる。ラジエーター 7 内にて冷却媒体 4 は放熱操作により冷却され、温度の低い冷却媒体となり循環用配管 8 を経由して冷却装置 3 へと流れる。

30

【0022】

冷却装置 3 の流路内に入った冷却媒体 4 は、冷却装置 3 に取り付けられた被冷却体 9 と熱交換することにより被冷却体 9 を冷却し、自身は温められて冷却装置 3 の出口へと流れる。温められた冷却媒体 4 は、再度、循環ポンプ 5 の駆動力により循環用配管 8 を経由してラジエーター 7 内へと送り込まれる。水質センサー 50 は、この循環サイクルを運転している間に動作し、循環路 F の腐食発生及びスケール形成（スケール付着）の有無を判定している。なお、循環ポンプ 5 が停止して循環サイクルの運転が停止しているときに、水質センサー 50 が循環路 F の腐食発生及びスケール形成の有無を判定していてもよい。

【0023】

循環路 F に性能劣化因子（腐食因子及びスケール形成因子）が混入すると、水質センサー 50 で算出されるインピーダンス値が変化する。そこで、水質センサー 50 は、電気化学インピーダンス測定を利用して、冷却媒体 4 に混入した性能劣化因子に起因する、循環路 F の腐食発生及びスケール形成の有無を判定している。

40

【0024】

なお、冷却システム 100 の運転時の冷却媒体 4 の温度については、被冷却体 9 の種類によっても異なる。たとえば、車載用電源システムの場合には、通常運転では 65 程度である。冷却装置 3 の入口と出口とにおける冷却媒体 4 の温度差は、それぞれ 15 程度である。すなわち、冷却装置 3 の入口では冷却媒体 4 の温度が 50 程度であり、冷却装置 3 の出口では冷却媒体 4 の温度が 80 程度である。そして、冷却装置 3 内の流路では、この流路の最上流側（入口）から最下流側（出口）に向かって 50 から 80 程度の

50

温度勾配を形成する。

【 0 0 2 5 】

< 水質センサー 5 0 の構成 >

図 1 に示すように、水質センサー 5 0 は、冷却システム 1 0 0 の循環路に設置されるセンサー部 1 と、センサー部 1 の検出結果に基づいて循環路を循環する液媒体中の腐食イオン及びスケールを形成する溶存ガスの発生を判定するコントローラー部 2 とを有している。センサー部 1 とコントローラー部 2 とは電氣的に接続されている。

【 0 0 2 6 】

センサー部 1 は、交流電源 1 2 と、低温側検知電極 1 0 及び高温側検知電極 1 1 を有する検知電極 3 0 と、検知電極 3 0 に対向配置される電極である対極 1 3 と、交流電源 1 2、検知電極 3 0 及び対極 1 3 などと接続するリード線 1 4 と、低温側検知電極 1 0 及び高温側検知電極 1 1 の接続を切り替える切替スイッチ 1 5 と、センサー部 1 の回路電流を検知する電流計 2 9 とを有している。

そして、センサー部 1 は、交流電圧に対する電流応答から抵抗成分（インピーダンス）を抽出する電気化学インピーダンス測定を利用し、腐食イオン及びスケールを形成する溶存ガスなどに起因する循環路 F の腐食発生及びスケール発生を検知するためのものである。すなわち、センサー部 1 は、検知電極 3 0 及び対極 1 3 に対して交流電源 1 2 の交流電圧を印加し、冷却システム 1 0 0 の性能劣化と関連する検知電極 3 0 及び対極 1 3 の抵抗成分に係る出力をコントローラー部 2 に与えるものである。そして、コントローラー部 2 は、センサー部 1 からの出力に基づいてインピーダンスを演算し、循環路 F への性能劣化因子の混入に起因する循環路 F の腐食発生及びスケール形成の有無を判定している。

【 0 0 2 7 】

検知電極 3 0 は、自身の抵抗成分を含めた対極 1 3 間におけるインピーダンスを測定するのに利用される電極である。検知電極 3 0 は、冷却装置 3 の上流側に配置される低温側検知電極 1 0 と、冷却装置 3 の下流側に配置される高温側検知電極 1 1 とを有している。検知電極 3 0 は、冷却システム 1 0 0 の冷却装置 3、循環用配管 6 及び循環用配管 8 に使用される金属材料と同材料から構成されている。

検知電極 3 0 は、冷却装置 3、循環用配管 6 及び循環用配管 8 に使用される金属材料に応じて銅、アルミ、ステンレス鋼などで構成するとよい。対極 1 3 は、冷却媒体 4 を介して検知電極 3 0 に電流を流すための電極である。対極 1 3 は、検知電極 3 0 から予め設定された間隔を隔てて対向配置されているものである。また、対極 1 3 は、化学的安定性が高く電流が流れても腐食しにくい金属から構成されている。具体的には、対極 1 3 は、金、白金、チタン、銅、ステンレス鋼など電気化学的に貴な（自身で化学反応を起こしにくい）金属で構成するとよい。

【 0 0 2 8 】

交流電源 1 2 は、検知電極 3 0 及び対極 1 3 に対して交流電圧を印加するものである。交流電源 1 2 は、たとえばインバータなどを有し、周波数が可変になっているものである。この交流電源 1 2 は、リード線 1 4 を介して検知電極 3 0 及び対極 1 3 に接続されている。交流電源 1 2 で印加する交流電圧の値については、電圧が高いほど電流応答の感度がよくなるが、一方で電極反応が進行しやすくなるため、最適化するとよい。電流応答の感度と電極反応の進行の抑制とを両立させるためには、交流電源 1 2 の印加電圧は、たとえば 1 0 m V 以上 1 0 0 m V 以下とするとよい。

【 0 0 2 9 】

コントローラー部 2 は、印加電圧検出部 1 6、電流検出部 1 7、演算部 1 8、閾値設定部 1 9、制御部 2 0、及び、表示部 2 1 を有している。

印加電圧検出部 1 6 は、交流電源 1 2 が検知電極 3 0 に印加した交流電圧を検出し、その電圧値を演算部 1 8 に出力するものである。電流検出部 1 7 は、交流電圧に対する電流応答を検出し、その電流値を演算部 1 8 に出力するものである。演算部 1 8 は、印加電圧検出部 1 6 及び電流検出部 1 7 から出力された電圧値及び電流値に基づいて、検知電極 3 0 におけるインピーダンス値を演算するものである。

## 【 0 0 3 0 】

閾値設定部 19 は、性能劣化因子が発生したとの判定に関するインピーダンス値の閾値を設定するものである。なお、この閾値については後述の「水質センサー 50 の動作説明」に記載する。

## 【 0 0 3 1 】

制御部 20 は、演算部 18 により演算されたインピーダンス値と、閾値設定部 19 から出力された冷却システム 100 の性能劣化に関するインピーダンス閾値とを比較して、循環路 F の腐食の発生及び循環路 F のスケールの形成の有無を判定するものである。また、制御部 20 は、この判定結果に係るデータを表示部 21 に出力する。表示部 21 は、制御部 20 から出力されたデータに基づいて、循環路 F の腐食の有無及びスケールの形成の有無の判定結果を表示し、ユーザーに知らせる。

10

## 【 0 0 3 2 】

電流計 29 は、検知電極 30、対極 13、切替スイッチ 15 及びリード線 14 などを有する回路に交流電圧を印加した時に回路を流れる電流を検出するためのものである。

## 【 0 0 3 3 】

< 検知電極 30 上での表面反応について >

ここでは冷却媒体 4 に対して性能劣化因子が混入した際の腐食反応とスケール形成反応について説明する。

本実施の形態 1 に係る冷却システム 100 の循環用配管 6 及び循環用配管 8 を構成する金属材料には、密度、機械特性そして加工性などの観点から、たとえばアルミニウムが使用される。アルミニウムを利用して循環路 F の一部を構成し、その流路中を冷却媒体 4 が流れる場合、冷却媒体 4 中に循環路 F の性能劣化因子が混入すると腐食反応などが進行する。腐食反応の進行により、循環用配管 6 及び循環用配管 8 に貫通孔が形成され冷却媒体 4 が漏れる、あるいは腐食生成物が循環路 F 内に堆積し、結果として目詰りが生じるなどの現象により冷却システム 100 の冷却性能が低下する。

20

## 【 0 0 3 4 】

冷却システム 100 の性能劣化因子として腐食イオン、すなわち冷却装置 3 に接続されるラジエーター 7 などを構成する金属イオン（鉄イオン、銅イオン）、塩分由来の塩化物イオンが冷却媒体 4 中に混入し、アルミニウム表面に到達するとアルミニウムの腐食反応が進行する。

30

さらに、冷却媒体 4 中に溶存する酸素によってもアルミニウムの酸化反応、腐食反応が促進される。その腐食反応の進行速度は系の温度に依存し、高温ほど上記腐食イオンの活性度が上昇し、腐食反応の進行速度は大きくなる。その進行速度と温度相関については、以下に示すアレニウスの反応速度式が成り立つ。

## 【 0 0 3 5 】

すなわち注目する反応の反応速度定数  $k$  について、

$$k = A \exp(-E_a / RT)$$

ここで、 $A$  は温度に無関係な定数である頻度因子、 $E_a$  は 1 mol あたりの活性化エネルギー、 $R$  は気体定数、 $T$  は温度である。

## 【 0 0 3 6 】

上記のように、腐食反応の反応速度定数は温度上昇に伴い増加する。結果として腐食反応の進行速度はアレニウスの反応速度式にしたがって大きくなる。一方、溶存酸素濃度と温度の関係に注目する。気体である酸素の溶解度は温度上昇とともに小さくなることから、系の温度が上昇すると溶存酸素による腐食反応の進行速度は小さくなる。

40

## 【 0 0 3 7 】

冷却システム 100 の性能劣化因子として、塩化物イオン、金属イオンなどの腐食因子による金属材料の腐食進行とともに金属材料表面へのスケール形成が挙げられる。スケールの付着は冷却媒体 4 中に含まれる成分のうち、溶存している二酸化炭素が系にて飽和濃度に達して気体となったときにその二酸化炭素ガス（溶存ガス）と同じく系に含まれるカルシウムイオンとが反応して、スケールが形成され成長する。このスケール形成反応につ

50



いても温度依存性を有する。温度が高いほど溶存する二酸化炭素は減少するため、気体としての二酸化炭素は増加する。気体としての二酸化炭素が増加すると、カルシウムイオンと反応してスケールが形成される反応が促進される。すなわち、検知電極 30 の曝される雰囲気について温度が高いほどスケール形成反応は促進される。

【0038】

上述の腐食反応とスケール形成反応は温度によってその進行が変わるため、冷却装置 3 を搭載した冷却システム 100 内に検知電極 30 を配置する際に、温度分布を考慮しておくことは重要である。検知電極 30 は冷却装置 3 の入口側と出口側とにそれぞれ設置されている。すなわち、低温側検知電極 10 は、冷却装置 3 に冷却媒体 4 が流入する側の配管である循環用配管 8 の最下流側に寄るように配置されている。また、高温側検知電極 11 は、冷却装置 3 から冷却媒体 4 が流出する側の配管である循環用配管 6 の最上流側に寄るように配置されている。冷却装置 3 内にて被冷却体 9 と熱交換するためにラジエーター 7 で冷やされた冷却媒体 4 は、冷却装置 3 内にて被冷却体 9 によって温められ冷却装置 3 の出口から流出する。したがって、冷却装置 3 内の温度と比較した際に、検知電極 30 の温度を上限下限とする温度範囲内に冷却装置 3 の温度が収まることになる。すなわち、低温側検知電極 10 の位置が、冷却システム 100 内にて最も温度の低くなる部分であり、高温側検知電極 11 の位置が、冷却システム 100 内にて最も温度の高くなる部分である。すなわち、冷却装置 3 から流出したばかりの冷却媒体 4 の温度が一番高い。また、ラジエーター 7 を通過して放熱し、循環用配管 8 を通ってさらに放熱し、冷却装置 3 に流入する手前の冷却媒体 4 の温度が一番低い。

10

20

【0039】

このように、検知電極 30 は、腐食反応及びスケール形成反応が促進されやすい位置に配置されているため、水質センサー 50 は、より高感度に冷却システム 100 の腐食発生及びスケール形成の有無を検知することができるようになっている。

【0040】

< 検知電極 30 のインピーダンス応答について >

図 2 は、本実施の形態 1 に係る水質センサー 50 の検知電極 30 の表面における電極反応を模擬させた一般的な電氣的等価回路を示す図である。ここでは性能劣化因子混入に伴うインピーダンス応答への影響について記載する。

電気化学インピーダンス測定では、電極界面を模擬させた電氣的等価回路モデルを組み立てて電極の表面状態・電極反応を評価する。図 2 における電氣的等価回路全体のインピーダンス  $Z_{total}$  は、以下に説明する、 $C$ 、 $R_s$ 、 $R_{ct}$ 、 $Z_w$  が含まれる。 $C$  は電気二重層形成に関する容量であり、表面被膜に蓄えられる電荷の影響を考慮したものである。 $R_s$  は溶液抵抗であり、電解液抵抗、電極の電子抵抗を考慮したものである。 $R_{ct}$  は電荷移動抵抗であり、電極反応のうち電子授受に関わる抵抗成分である。 $Z_w$  はワールブルグインピーダンスであり、電極反応のうち物質移動・拡散移動に関わる抵抗成分である。

30

【0041】

図 2 の電氣的等価回路に対して交流電圧を印加し、その電流応答からインピーダンスを検出する。この検出したインピーダンスについて、印加する角周波数  $\omega$  に依存した以下の式 (1) 及び式 (2) が成立する。

40

【0042】

【数 1】

$$Z_{total} = R_s + \frac{1}{\frac{1}{Z_c} + \frac{1}{R_{ct} + Z_w}} \dots (1)$$

【0043】

【数 2】

$$Z_c = \frac{1}{j\omega C} \dots (2)$$

【0044】

式(1)及び式(2)により、以下の式(3)が成立する。

【0045】

【数 3】

$$Z_{total} = R_s + \frac{1}{j\omega C + \frac{1}{R_{ct} + Z_w}} \dots (3)$$

10

【0046】

この式(3)において、 $\omega \rightarrow 0$ とすると $Z_{total}$ は $R_s$ に、 $\omega \rightarrow \infty$ とすると $Z_{total}$ は $R_s + R_{ct} + Z_w$ に近づく。高周波数領域では、溶液抵抗 $R_s$ に関する情報であり、印加する交流電圧の極性反転が速いために電極反応に関係のない電子抵抗がインピーダンスとして現れる。低周波数領域では、溶液抵抗に加えて電荷移動抵抗とワールブルグインピーダンスに関する情報が加わり、印加する交流電圧の極性反転が遅いために電極表面での反応、ここでは腐食反応が進行し、その進行速度が大きいほど抵抗が小さくなる。

【0047】

20

そして、中周波数領域では溶液抵抗、電荷移動抵抗、ワールブルグインピーダンスの他に電気二重層形成のための容量成分に関する情報が得られ、電気二重層容量は電極表面に形成された表面被膜、ここではスケール形成反応に対応する。スケール形成による電気二重層容量の変化、それに伴うインピーダンス変化について説明する。

【0048】

図3は、本実施の形態1に係る水質センサー50のスケール形成により形成された電極表面被膜とインピーダンスの相関に係る簡易モデルを示す図である。図3に示す簡易モデルは、電極面積 $A$ の電極に対して、誘電率 $\epsilon$ 、厚み $l$ の誘電体で表される電極表面被膜が挟まれている。インピーダンス測定における電極表面被膜の抵抗変化は、上述の式(2)から容量成分(キャパシタンス)で表すことができ、この系のキャパシタンスについては以下の式が成り立つ。

30

【0049】

【数 4】

$$C = \frac{\epsilon A}{l} \dots (4)$$

【0050】

図3に示す電極-スケール形成モデルにおいて、スケール形成様子が変化すると容量成分が変化する。具体的には、電極表面にスケールが形成され成長した場合、スケール厚みは増大し、式(4)において系のキャパシタンス $C$ は減少することがわかる。 $C$ が減少すると、上述した式(2)、(3)において $Z_c$ 、 $Z_{total}$ はそれぞれ増加する。すなわち、電極表面にスケールが形成され、成長すると、容量成分を表す中周波数領域のインピーダンスが増加する。

40

【0051】

<インピーダンス応答の周波数依存性・温度依存性>

ここでは交流電圧印加時の周波数と検知電極の温度による電極表面反応、それに伴うインピーダンス応答への影響について記載する。塩化物イオンや金属イオンなどの腐食イオン混入により腐食反応が進行すると電極表面での反応抵抗が減少、上記式(1)及び式(3)の電荷移動抵抗 $R_{ct}$ 及びワールブルグインピーダンス $Z_w$ が減少する。これは、低周波数領域で現れる抵抗成分であり、かつ高温ほど腐食イオンの活性度が高くなるために

50

その影響（抵抗の減少度合い）が大きい。冷却媒体 4 に酸素が溶け込んだ場合においても、腐食反応が進行すると同様に低周波数領域にて表れる反応抵抗成分が減少する。

#### 【0052】

酸素は高温ほど溶解度が低下するので、高温ほど冷却媒体中の酸素濃度は低く腐食反応は進みにくい。結果として、インピーダンス変化（減少度合い）は小さい。一方、冷却媒体 4 に含まれるカルシウムイオン及び二酸化炭素混入によりスケールが付着した場合、電極表面に炭酸カルシウムを主成分とするスケールが表面被膜として形成され、電極のインピーダンスは増加する。スケール形成反応は高温ほど促進されるため、そのインピーダンス応答も追隨して増加する。

#### 【0053】

性能劣化因子を検知するインピーダンス応答の周波数領域について記載する。腐食因子もしくは酸素による腐食反応を検知するインピーダンス応答の「低周波数領域」としては、1 Hz 以下が好ましい。スケール形成を検知するインピーダンス応答の「中周波数領域」としては、1 Hz よりも大きく、1 kHz よりも小さいことが好ましい。低周波数領域は、第 1 の周波数領域に対応し、中周波数領域は、第 1 の周波数領域よりも高い第 2 の周波数領域に対応している。

#### 【0054】

以上より、冷却システム 100 の性能劣化として挙げられる腐食反応及びスケール形成は、検知電極 30 の曝される温度と検知電極 30 に印加する交流電圧の周波数とで区別されることがわかる。図 4 は、本実施の形態 1 に係る冷却システム 100 の性能劣化現象の検出領域を検知電極 30 の曝される温度と検知電極 30 に印加する交流電圧の周波数によって整理した図である。

#### 【0055】

図 4 に示すように高温かつ低周波数領域では腐食因子（塩化物イオン及び金属イオンなど）による腐食反応が検出される領域、高温かつ中周波数領域ではスケール形成因子（カルシウムイオン及び溶存二酸化炭素など）によるスケール形成反応が検出される領域である。また、低温かつ低周波数領域では腐食因子（溶存酸素）による腐食反応が検出される領域である。なお、図 4 の低温かつ中周波数領域における外乱因子の影響については、後段の「外乱因子の影響」にて記載する。また、それぞれ検出領域の選別に注目して、水質センサー 50 を制御すればよく、これらの最適化は後述の「水質センサー 50 の動作説明」にて記載する。

#### 【0056】

< 外乱因子の影響 >

水質センサー 50 では、検知電極 30 に対して交流電圧を印加し、その電流応答を測定することによりインピーダンス応答を監視する。印加する交流電圧が 10 ~ 100 mV と微小であり、それに対する電流応答も  $\mu$ A オーダーと微小であることから、検出されるインピーダンス応答は磁気、電界などの外乱因子の影響を受けやすい。外乱因子の影響を除去するためにノイズフィルターを回路に組み込む、遮蔽板を取り付ける、などの対策が取られるが、外乱因子の影響をより高い基準にて除去しようとするといずれの対策についても設備機器を新しく整える場合が多く、コスト上昇に繋がる。ここでは、インピーダンス応答変化について性能劣化因子の混入検知と外乱因子を選別する方法について記載する。

#### 【0057】

外乱因子によるインピーダンス応答の変化は、高温側検知電極 11 及び低温側検知電極 10 のいずれの周波数領域にも表れ、その変化は可逆的である。高温側検知電極 11 の中周波数領域及び低周波数領域と、低温側検知電極 10 の低周波数領域とは、それぞれ性能劣化因子の検出に使用されている。そこで、これらの領域以外の領域である、低温側検知電極 10 の中周波数領域におけるインピーダンス応答の変化を利用する。低温側検知電極 10 の中周波数領域におけるインピーダンス応答は、塩化物イオンなどの腐食イオン及び溶存酸素などによる腐食反応、溶存二酸化炭素などによるスケール形成反応のいずれに対しても変化せず、外乱（ノイズ）のみに応答する。

10

20

30

40

50

したがって、制御部 20 は、低温側検知電極 10 の中周波数領域にて検知したインピーダンス値の変化が経時と共に検知前の状態に復帰した場合には、外乱因子が混入したという判定をする。たとえば、予め高温側検知電極 11 における低周波領域のインピーダンス応答が減少（変化）していても、制御部 20 は、外乱因子に混入によるインピーダンス応答の変化のために、腐食イオンが発生しているとは判定しない。

【0058】

<水質センサー 50 の動作説明>

上述のように温度及び印加交流電圧の周波数によって、検知できる冷却装置 3 の性能劣化因子の混入と劣化現象を選別できることが分かった。さらに外乱因子によるインピーダンス応答への影響についても除去でき、上述の性能劣化因子を正確に検知できることが分

10

【0059】

図 1 にて、冷却装置 3 入口側にはラジエーター 7 にて冷却された冷却媒体 4 が流入し、冷却装置 3 にて被冷却体 9 と熱交換し、高温となった冷却媒体 4 が冷却装置 3 出口から流出する。冷却装置 3 出口に取り付けられた高温側検知電極 11 は低温側検知電極 10 と比較すると高温となり、冷却装置 3 入口に取り付けられた低温側検知電極 10 は高温側検知電極 11 と比較すると低温となる。高温側検知電極 11 では腐食イオンによる腐食とスケール形成が促進され、低温側検知電極 10 では冷却媒体 4 への溶存酸素の溶け込み量増加により腐食が促進される。

20

【0060】

上述のように配置された検知電極 30 の動作について説明する。図 5 は、本実施の形態 1 に係る水質センサー 50 の診断動作を示すフローチャートである。コントローラ部 2 は、切替スイッチ 15 を制御して交流電源 12 と高温側検知電極 11 とが接続されるように切替スイッチ 15 の接続を切り替える（ステップ S1）。

コントローラ部 2 は、低周波数領域のインピーダンスに関する出力をセンサー部 1 より受け付ける（ステップ S2）。次に、コントローラ部 2 は、中周波数領域のインピーダンスに関する出力をセンサー部 1 より受け付ける（ステップ S3）。

【0061】

高温側検知電極 11 にて各周波数領域におけるインピーダンス応答を測定した後に、コントローラ部 2 は、切替スイッチ 15 を制御して高温側検知電極 11 側から低温側検知電極 10 側へ接続を切り替える（ステップ S4）。

30

コントローラ部 2 は、低周波数領域のインピーダンスに関する出力をセンサー部 1 より受け付ける（ステップ S5）。次に、コントローラ部 2 は、中周波数領域のインピーダンスに関する出力をセンサー部 1 より受け付ける（ステップ S6）。

【0062】

コントローラ部 2 は、ステップ S2 及びステップ S3 で得られた高温側検知電極 11 の各周波数領域におけるインピーダンス応答のデータと、ステップ S5 及びステップ S6 で得られた低温側検知電極 10 の各周波数領域におけるインピーダンス応答のデータとに基づいて表 1 に示すようなインピーダンス応答結果テーブルを作成する（ステップ S7）

40

。表 1 では、たとえば高温側検知電極 11 についての低周波数領域のインピーダンス値が、閾値設定部 19 の設定した閾値よりも低くなった場合の例を示しており、それを受けて「減少」と表示される。このインピーダンス応答結果テーブルの作成により、インピーダンス応答のデータを整理することができる。

【0063】

【表 1】

高温側 検知電極	低周波数	減少
	中周波数	変化せず
低温側 検知電極	低周波数	変化せず
	中周波数	変化せず

【 0 0 6 4 】

コントローラ部 2 は、表 1 に示すインピーダンス応答結果テーブルと、表 2 に示す冷却システム 1 0 0 の性能劣化判定テーブルとを比較し、メンテナンス作業の要否を判定する（ステップ S 8 ）。表 2 に示す性能劣化判定テーブルは、コントローラ部 2 に予め記憶されている。

なお、表 2 に示す性能劣化判定テーブルの外乱因子の列は、低温側検知電極 1 0 の中周波数領域のインピーダンス応答が変化している場合を示している。つまり、高温側検知電極 1 1 の低周波数及び中周波数領域と低温側検知電極 1 0 の低周波数領域のインピーダンス応答は低温側検知電極 1 0 の中周波数領域のインピーダンス応答に追随して変化するため、かっこ書きで記載している。

【 0 0 6 5 】

【表 2】

20

		冷却システムにおける性能劣化種類							
		腐食イオン	スケール形成	溶存酸素腐食	腐食イオン スケール形成	腐食イオン 溶存酸素腐食	スケール形成 溶存酸素腐食	溶存酸素腐食 腐食イオン スケール形成	外乱因子混入
高温側 検知電極	低周波数	減少	変化せず	変化せず	減少	減少	変化せず	減少	(変化)
	中周波数	変化せず	増加	変化せず	増加	変化せず	増加	増加	(変化)
低温側 検知電極	低周波数	変化せず	変化せず	減少	変化せず	減少	減少	減少	(変化)
	中周波数	変化せず	変化せず	変化せず	変化せず	変化せず	変化せず	変化せず	変化
メンテナンス作業		要	要	要	要	要	要	要	不要

30

【 0 0 6 6 】

表 1 の例では、コントローラ部 2 は、インピーダンス応答結果テーブル及び性能劣化判定テーブルに基づいて、腐食の発生によりメンテナンス作業が必要であると判定する。

【 0 0 6 7 】

このように、水質センサー 5 0 では、低温側検知電極 1 0 及び高温側検知電極 1 1 の各周波数領域におけるインピーダンス応答の変化から、塩化物イオン、金属イオンなどの腐食イオン、溶存酸素、及び溶存二酸化炭素などが循環路 F の冷却媒体 4 に混入したことに起因する腐食発生及びスケール形成の有無の判定をする。

【 0 0 6 8 】

コントローラ部 2 は、メンテナンス作業が必要であると判定すると表示部 2 1 に表示する（ステップ S 9 ）。ユーザーは、これらの混入物の有無の判定から冷却媒体 4 の交換、冷却システム 1 0 0 を構成する配管の洗浄や部品交換により冷却媒体 4 のメンテナンスを行えばよい。

【 0 0 6 9 】

さらに、これらのインピーダンス応答に変化があった際に、同時に低温側検知電極 1 0 の中周波数領域におけるインピーダンス応答にて変化があった場合には、外乱因子の混入と判定する。先程の低温側検知電極 1 0 及び高温側検知電極 1 1 にて検知した性能劣化因子混入の検知と分別して液性の管理判定プロセスへと移行する。液性の管理判定後、再度切替スイッチ 1 5 により高温側検知電極 1 1 側の検知に移行し、上述のデータ取得、混入診断、そして液性管理判定サイクルを繰り返す。すなわち、上述したステップ S 2、ステ

50

ップ S 3 及びステップ S 5 において、腐食発生及びスケール形成に対応するインピーダンス応答があったとしても、ステップ S 6 において外乱因子の混入に対応するインピーダンス応答があった場合には、腐食発生及びスケール形成があるとの判定をせず、再度、ステップ S 1 に戻って液性管理判定サイクルを繰り返す。

【 0 0 7 0 】

以上のように、高温側検知電極 1 1 及び低温側検知電極 1 0 におけるインピーダンス応答の周波数依存性を測定することにより、腐食反応及びスケール形成反応の要因となる性能劣化因子から検知に対する外乱因子を除去した上で、それぞれの因子の混入有無を診断し、その結果から冷却媒体 4 の液性を管理することが可能となる。

【 0 0 7 1 】

さらに、冷却装置 3 内の冷却媒体の温度は、入口側に配置された低温側検知電極 1 0 の冷却媒体よりも高く、出口側に配置された高温側検知電極 1 1 の冷却媒体よりも低い。温度が高いほど腐食イオンによる腐食反応及びスケール形成反応が促進され、温度が低いほど溶存酸素による腐食反応が促進されることを考慮すると、検知電極 3 0 での反応が最も促進されている場所であり、検知電極 3 0 よりも冷却装置 3 内にて性能劣化が進むことがないと考えられる。すなわち検知電極 3 0 でのインピーダンス応答を測定すれば、冷却装置 3 内の性能劣化を早期に検知することができる。

【 0 0 7 2 】

< 各性能劣化因子及び外乱因子におけるインピーダンス応答 >

図 6 ~ 図 9 は、図 1 に示す水質センサー 5 0 の検知電極 3 0 にて冷却装置 3 に対する各性能劣化因子あるいは外乱因子が冷却媒体 4 に混入した際のインピーダンス応答について各プロセスを経時変化として示した図である。また、図 6 ~ 図 9 では、インピーダンス応答の値について、監視する 4 つのインピーダンス応答のうち高温側検知電極 1 1 における中周波数領域のインピーダンス応答を 1 とした時の値で表している。各プロセスについて図 6 ~ 図 9 を用いながら説明する。

【 0 0 7 3 】

( 腐食因子 : 腐食イオン )

検知電極 3 0 の各周波数領域におけるインピーダンス応答の監視と共に冷却媒体 4 の循環を開始する。冷却システム 1 0 0 への性能劣化因子混入がない場合、いずれのインピーダンス応答も変化がなく、一定値を示している。

【 0 0 7 4 】

ここで、冷却システム 1 0 0 の運転に伴い、冷却装置 3 に対する性能劣化因子として、ラジエーター 7 に起因の鉄イオンあるいは塩分由来の塩化物イオンなどの腐食イオンが混入した場合に注目し、検知電極 3 0 のインピーダンス応答の経時変化を図 6 に示す。これらの腐食イオンが冷却媒体 4 と共に冷却装置 3 に到達すると、高温側検知電極 1 1 において電極表面の腐食反応が促進される。

【 0 0 7 5 】

高温側検知電極 1 1 におけるインピーダンス応答の周波数依存性をコントローラー部 2 にて取得した際に、低周波数領域にてこの腐食反応の促進によるインピーダンス値の低下を検知する。水質センサー 5 0 では、このインピーダンス値の減少をもって、腐食発生を検知する。

さらに、中周波数領域、並びに、切替スイッチ 1 5 にて低温側検知電極 1 0 側での監視に切り替えた後に低温側検知電極 1 0 におけるインピーダンス応答の低周波数領域、中周波数領域いずれにおいても運転初期からの変化は検出されず、鉄イオンあるいは塩化物イオンによる腐食反応が発生していることを表示部 2 1 に出力する。この表示に基づいて冷却媒体の液性を管理、たとえば交換を行えばよい。

【 0 0 7 6 】

なお、検知するインピーダンスの低下度合の閾値としては、初期値に対して 5 % 以上であることが好ましく、1 0 % 以上であればなお好ましい。さらに測定する時間間隔としては、連続的に測定を行う場合と冷却システム 1 0 0 のメンテナンス時期を考慮した定期的

10

20

30

40

50

な測定を行う場合が挙げられる。それぞれの取得データについて図 6 に実線及び丸印によるプロットで示す。いずれの場合も腐食因子混入時期を検出できることがわかる。

【 0 0 7 7 】

(スケール形成因子：カルシウムイオンなど)

次に、冷却システム 100 の運転に伴い、冷却装置 3 に対する性能劣化因子として、カルシウムイオン及び二酸化炭素が混入した場合に注目し、検知電極 30 のインピーダンス応答の経時変化を図 7 に示す。カルシウムイオン及び二酸化炭素が冷却媒体 4 と共に冷却装置 3 に到達すると、高温側検知電極 11 の表面に炭酸カルシウムを主成分とするスケール形成反応が進行し、さらに、高温側検知電極 11 が高温に曝されることによりその反応が促進される。インピーダンス応答としては中周波数領域にてその容量成分が減少するた

10

【 0 0 7 8 】

さらに低周波数領域、並びに、切替スイッチ 15 にて低温側検知電極 10 側での監視に切り替えた後に低温側検知電極 10 におけるインピーダンス応答の低周波数領域、中周波数領域いずれにおいても運転初期からの変化は検出されず、カルシウムイオン及び二酸化炭素混入によるスケール形成反応が進行していることを表示部 21 に出力する。この表示に基づいて冷却媒体 4 の液性を管理、たとえば交換を行えばよい。

【 0 0 7 9 】

なお、検知するインピーダンスの増加度合の閾値としては、初期値に対して 5 % 以上であることが好ましく、10 % 以上であればなお好ましい。先ほど同様、測定間隔について、連続測定の場合を実線、定期的に測定の場合を丸印プロットにて図 7 に示す。いずれの場合もスケール形成因子の混入時期を検出できることがわかる。

20

【 0 0 8 0 】

(腐食因子：酸素)

次に、冷却システム 100 の運転に伴い、冷却装置 3 に対する性能劣化因子として冷却システム 100 を構成する金属の腐食因子である酸素が混入した場合に注目し、検知電極 30 のインピーダンス応答の経時変化を図 8 に示す。冷却媒体 4 中の溶存酸素が冷却装置 3 に到達すると低温側検知電極 10 において電極表面の腐食反応が促進される。

【 0 0 8 1 】

したがって、高温側検知電極 11 におけるインピーダンス応答では運転初期と比較して低周波数領域、中周波数領域ともに変化がない。しかし、切替スイッチ 15 により切り替えられた低温側検知電極 10 側におけるインピーダンス応答では、低周波数領域にて減少することがわかる。中周波数領域では高温側検知電極 11 同様、変化が認められない。

30

【 0 0 8 2 】

以上より、コントローラ部 2 では、酸素の混入があると判定し、表示部 21 にその旨を表示する。この判定もしくは表示に基づいて冷却媒体 4 の液性を管理、たとえば液の交換あるいは脱気を行えばよい。なお、検知するインピーダンスの低下度合の閾値としては、初期値に対して 5 % 以上であることが好ましく、10 % 以上であればなお好ましい。先ほど同様、測定間隔について、連続測定の場合実線、定期的に測定の場合を丸印プロット

40

【 0 0 8 3 】

(外乱因子)

冷却システム 100 の性能劣化因子としては以上であるが、性能劣化因子とは関係のない外乱因子についても留意する必要がある。たとえば、冷却システム 100 の傍にて大電流を取り扱う装置が稼働した場合、あるいは熱源があった場合に、それらが発する電磁気、熱によって検知電極 30 のインピーダンス応答は変化する。この電磁気、熱などによるインピーダンス応答に基づいて腐食発生の検知をしてしまうと、誤検知に繋がる。

【 0 0 8 4 】

50

ここでは、性能劣化因子とは関係のない外乱因子が検知電極 30 のインピーダンス応答に影響を与える場合について注目し、検知電極 30 のインピーダンス応答の経時変化を図 9 に示す。冷却装置 3 の性能劣化因子と関係のない外乱因子が検知電極 30 に到達した場合、検知電極 30 におけるインピーダンス応答の低周波数領域、中周波数領域いずれにも変化を同じ値だけ影響を及ぼし、外乱因子到達前の状態に復帰する。これらをコントローラ部 2 にて監視し、外乱因子の混入と診断し、性能劣化因子と区別する。

#### 【0085】

診断プロセスとしては、高温側検知電極 11 におけるインピーダンス応答の周波数依存性取得時に低周波数領域もしくは中周波数領域のインピーダンス変化を検知した際に、切替スイッチ 15 により、低温側検知電極 10 でのインピーダンス応答の監視へと移行する。同様に、コントローラ部 2 は、インピーダンス応答の変化が中周波数領域にてであると判定すれば、外乱因子の混入と診断し、表示部 21 に出力する。

10

#### 【0086】

この場合は、性能劣化因子の混入ではないので冷却媒体 4 の液性を管理せず、検知電極 30 におけるインピーダンス応答の測定を続ければよい。外乱因子の場合の測定間隔としてはその応答が可逆的であるため、連続測定ではその変化をそのまま検知することが可能であるが、メンテナンスなどで定期的に測定する場合、1 回の測定では定常状態からの変化を検知することはできない。

#### 【0087】

メンテナンス時にその場で 2 回以上好ましくは 3 回以上、さらに好ましくは一定時間連続的に測定することにより定常状態と変化した状態を比較することによって外乱因子の混入を検知する。図 9 に連続測定の場合を実線にて、定期的に測定（メンテナンス時にその場で 3 回測定）の場合を丸印プロットにて示す。いずれの場合も外乱因子の混入時期を検出できることがわかる。

20

#### 【0088】

実施の形態 2 .

実施の形態 2 では、実施の形態 1 と共通する構成については同一符号を付し、相違点について中心に説明する。実施の形態 2 では、低周波数領域を 1 Hz 以下とし、中周波数領域を 1 Hz よりも大きく、1 kHz よりも小さいことが好ましいことについて調査した結果を説明する。

30

#### 【0089】

実施の形態 1 で説明したように、腐食因子もしくは酸素による腐食反応を検知するインピーダンス応答の「低周波数領域」としては、1 Hz 以下が好ましい。スケール形成を検知するインピーダンス応答の「中周波数領域」としては、1 Hz よりも大きく、1 kHz よりも小さいことが好ましい。なお、水質センサー 50 の構成については実施の形態 1 における図 1 と同じであるので図 1 を用いて説明する。

#### 【0090】

検知電極 30 のインピーダンス応答が変化する場合としては、まず冷却システム 100 における性能劣化現象として溶存酸素による腐食反応と、塩化物イオン及び金属イオンなどの腐食イオンによる腐食反応と、溶存二酸化炭素及びカルシウムイオンによるスケール形成反応とが挙げられる。また、検知電極 30 のインピーダンス応答が変化する場合としては、性能劣化現象とは関係のない外乱因子によるものが挙げられる。このように、検知電極 30 のインピーダンス応答が変化する場合としては、4 つの反応、因子が挙げられる。

40

#### 【0091】

このうち性能劣化現象とは関係のない外乱因子は可逆的であり、いずれの周波数にも同じように影響するものであり、周波数によるインピーダンス応答に特有の影響を与えないため、今回の調査の対象からは外すこととした。また、溶存酸素による腐食反応と腐食イオンによる腐食反応は要因は異なっても電極の腐食反応であることには変わりなく、いずれも低周波数領域のインピーダンス応答にて同様の変化を示す。

50



すなわち、インピーダンス応答の周波数依存性を考える場合、これらの反応は同じ反応として考慮することができる。以上より、ここではインピーダンス応答の周波数依存性を調査するにあたり、腐食反応とスケール形成反応に対するインピーダンス応答を考慮する。

#### 【0092】

腐食反応によるインピーダンス応答変化は上述のとおり、低周波数領域において顕著となる。高温側検知電極11にて意図的に金属イオンとして鉄イオンを混入させた後のインピーダンス応答の周波数依存性を図10に示す。図のインピーダンス値(縦軸)については、混入前を100としたときの値としている。図10より、2Hz以上のインピーダンス応答では鉄イオンを混入させても変化はほとんどなく、検知時期を検出することができなかつたのに対して、1Hz以下になるとインピーダンス応答が減少している様子を確認した。

10

#### 【0093】

この減少度は周波数が小さくなるほど顕著となり、低周波数化は検知精度の向上につながるが、一方で周波数が小さくなるとその逆数である周期は長くなる、すなわち計測に費やす時間が長くなる。周波数の最適化にあたっては、検知精度と計測時間を両立することが好ましく、具体的な周波数範囲としては、0.1Hz以上、1Hz以下であることが好ましい。

#### 【0094】

スケール形成反応によるインピーダンス応答変化は上述のとおり中周波数領域において顕著となる。低温側検知電極10にて意図的にカルシウムイオン及び二酸化炭素を混入させた後のインピーダンス応答の周波数依存性を図11に示す。

20

図11のインピーダンス応答(縦軸)については、混入前のインピーダンス値を100としたときの値としている。図11より、1kHz以上あるいは1Hz以下のインピーダンス応答では二酸化炭素を混入させても変化はほとんどなく、カルシウムイオン及び二酸化炭素混入時期を明確に検知することができなかつた。一方、1Hzより大きく、1kHzより小さい領域でのインピーダンス応答の変化により混入時期を検知できることがわかつた。この増加度については、10Hz以上100Hz以下にてより顕著となつた。

#### 【0095】

このように、水質センサー50では、低周波数領域が1Hz以下に設定され、中周波数領域が1Hzよりも大きく、1kHzよりも小さく設定されているため、腐食発生及びスケール形成を高精度に検知することができる。

30

#### 【0096】

実施の形態3.

実施の形態3では、実施の形態1、2と共通する構成については同一符号を付し、相違点について中心に説明する。実施の形態1では、低温側検知電極10は、循環用配管8の最下流側に寄るよう配置され、高温側検知電極11は、循環用配管6の最上流側に寄るよう配置されているため、腐食反応などが促進されていた。本実施の形態3では、冷却システム100Aの循環用配管6A及び循環用配管8Aのうちの検知電極30Aが配置されている部分の径を大きくしている。これにより、さらに腐食反応及びスケール形成を促進させ、腐食発生及びスケール形成について早期の発見を実現できるようになっている。また、径を大きくした分、検知電極30Aの大きさも検知電極30より大きくしている。

40

#### 【0097】

冷却装置3内を流れる冷却媒体4の流速が性能劣化に繋がる腐食反応とスケール形成反応の反応速度に影響を及ぼす。冷却媒体の流速とスケール形成速度との相関についてまとめたグラフを図12に示す。図12より、冷却媒体の流速が小さいほどその反応速度は大きいことが分かる。

#### 【0098】

この特性を生かすため、本実施の形態3に係る水質センサー50Aでは、循環用配管6

50

A及び循環用配管8Aのうちの検知電極30を設置する配管部の断面積(管径)を大きくする。すなわち、本実施の形態3に係る冷却システム100Aの水質センサー50Aでは、検知電極30Aを配置する配管部の断面積を大きくし、検知電極30Aにてより腐食反応及びスケール形成反応を促進させているものである。図13に示すように、循環用配管6A及び循環用配管8Aのうちの検知電極30Aが配置されている部分の断面積は、その他の部分の断面積よりも大きくなっており、その分、冷却媒体の流速は小さくなる。

【0099】

図12からもわかるように、流速が小さいほど腐食反応及びスケール形成反応の反応速度は大きくなるため、早期に冷却システム100Aの性能劣化を検知電極30Aにて判定することができる。循環用配管6A及び循環用配管8Aのうちの検知電極30Aが配置されている部分の断面積の大きさについては、その他の部分よりも大きければ大きいほど冷却媒体4の流速を小さくすることができるため、装置設計との兼ね合いからその大きさを決定するとよい。

10

【0100】

実施の形態4.

図1に示す水質センサー50により冷却システム100において適正に液性を管理することが可能である。本実施の形態4では、車両用電源システムの運転モードにおける温度サイクルと起動停止の組み合わせを模擬した循環試験を実施し、その効果を検証する。

以下に循環試験の詳細について説明する。本実施の形態に係る水質センサー50及びそれを搭載した冷却システム100については、実施の形態1における図1と同様であるので図1を用いて説明する。

20

【0101】

図1においてラジエーター7は放熱部すなわち冷却部であり、被冷却体9は熱源であることから、冷却システム100の稼働時には、冷却媒体4は系内の場所によって温度分布を持つ。被冷却体9を搭載する冷却装置3に対して、循環用配管(下流側)6に取り付けられた高温側検知電極11では冷却システム100の中で最も高温となり、循環用配管(上流側)8に取り付けられた低温側検知電極10では冷却システム100の中で最も低温となる。

【0102】

また、熱源となる冷却装置3の中心部近傍及び冷却部となるラジエーター7の中心部近傍の冷却媒体4温度はどちらも両検知電極温度の中間値を取ることになる。本実施の形態4に係る循環系では冷却装置3の中心部近傍及びラジエーター7の中心部近傍での冷却媒体4温度は65、高温側検知電極11における冷却媒体4温度は80、低温側検知電極10における冷却媒体4温度は50となった。

30

【0103】

一方、冷却システム100の停止時は被冷却体9及びラジエーター7においても熱の授受はなく、結果として、冷却システム100における冷却媒体4温度はどの場所においても均一となり外気温に等しくなる。本実施の形態に係る冷却システム100停止時において、冷却媒体4温度はどの場所においても均一で20となった。

【0104】

このように冷却システム100の起動と停止により、各場所における冷却媒体4温度が変化することが分かる。本実施の形態4に係る車両用電源システムの運転モードにおける起動停止組み合わせを模擬した循環試験として、冷却システム100の起動時間を8時間、停止時間を16時間とした起動停止サイクルを2000サイクル実施し、水質センサー50を起動させた場合と起動させない場合をそれぞれ比較してその機能について確認した。

40

【0105】

水質センサー50を起動させた場合については、センサーが腐食因子混入を検知した際に冷却媒体4を交換する操作をメンテナンスとして組み込んだ。起動させない場合については、交換操作なしにて対応した。冷却媒体4としては、脱気させた水道水模擬水を使用

50

した。

【0106】

その結果、水質センサー50を起動させない場合については250サイクル過ぎた時点で循環ポンプ5が機能しなくなり、冷却システム100の運転が停止した。冷却システム100停止後の系内を調査した結果、低温側検知電極10及びその近傍の配管表面にてスケール形成により流路が閉塞している様子を確認した。また、高温側検知電極11にて貫通には至っていないが塩化物イオン及び金属イオンが付着したことによる局部腐食が発生していることを確認した。(図示せず)一方、水質センサー50を起動させた場合、2000サイクル経過後についても循環試験が止まることなく、また腐食による水漏れもなく良好に運転が継続されている様子を確認した。以上より、水質センサー50を起動させることにより冷却媒体4の液性が適正に管理されていることが確認できた。

10

【0107】

実施の形態5.

本実施の形態5では、実施の形態1、2で説明した冷却システム100を車両用電源システムに適用し、水質センサー50を実際に起動させて、その性能劣化抑制効果について調べた。具体的な動作を以下に記載する。

【0108】

車両用電源システムにて水質センサー50を起動させるにあたって、自動車整備工場などで車両外部に配置した測定装置により検知電極のインピーダンスを測定する場合と車両に測定装置を組み込んで検査頻度を高める場合を考える。

20

【0109】

前者の場合、自動車の定期点検にて中周波数及び低周波数の交流電圧を印加し、その電流応答を検知し、その印加電圧と電流応答からインピーダンスを算出しデータとして集積できる測定装置を検知電極30及び切替スイッチ15に接続することによって冷却システム100の性能劣化診断を行う。

【0110】

後者の場合、水質センサー50及びコントローラー部2は自動車制御部、たとえばIPUなどの制御コンピューターに交流電源12及びコントローラー部2を組み込んだ形とする。この場合は、制御部20にて、常時インピーダンス応答データの取得が可能であるので、運転パネル部などに警告表示機能を搭載すればより精度の高いメンテナンスが可能となる。

30

【0111】

以上、水質センサー50を起動させて冷却媒体4の液性を管理した結果、冷却システム100を開放して溶存酸素を混入させる、塩化物イオン及び金属イオンを混入させる、二酸化炭素を混入させるといった操作を行うと、水質センサー50が正常に機能し、冷却装置3の性能劣化を抑制するために冷却媒体4の液性を管理できることを確認した。

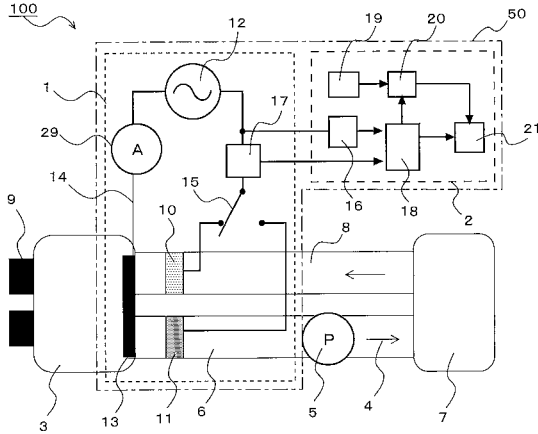
【符号の説明】

【0112】

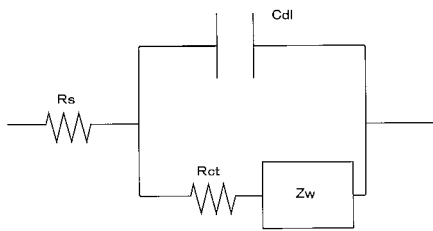
1 センサー部、2 コントローラー部、3 冷却装置、4 冷却媒体、5 循環ポンプ、6 循環用配管、6A 循環用配管、7 ラジエーター、8 循環用配管、8A 循環用配管、9 被冷却体、10 低温側検知電極、11 高温側検知電極、12 交流電源、13 対極、14 リード線、15 切替スイッチ、16 印加電圧検出部、17 電流検出部、18 演算部、19 閾値設定部、20 制御部、21 表示部、30 検知電極、30A 検知電極、50 水質センサー、50A 水質センサー、100 冷却システム、100A 冷却システム、A 電極面積、C キャパシタンス、F 循環路、Rct 電荷移動抵抗、Rs 溶液抵抗、Ztotal インピーダンス、Zw ワールブルグインピーダンス、k 反応速度定数、l 厚み、 $\omega$  誘電率、 $\omega$  角周波数。

40

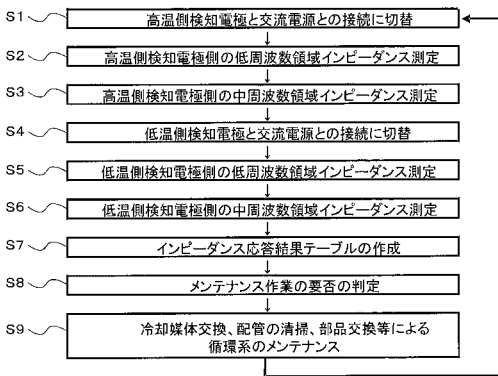
【 図 1 】



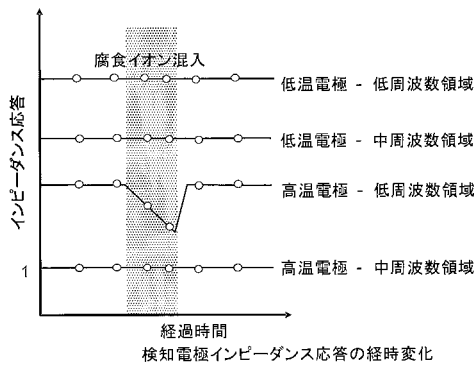
【 図 2 】



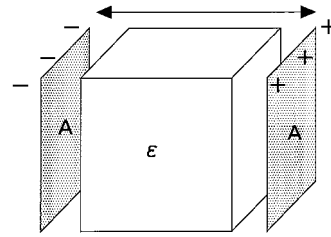
【 図 5 】



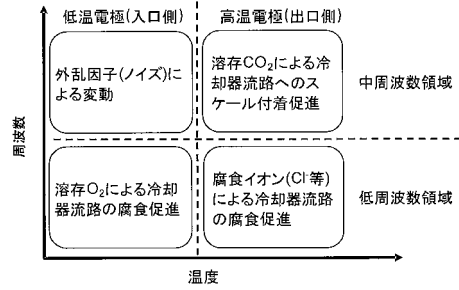
【 図 6 】



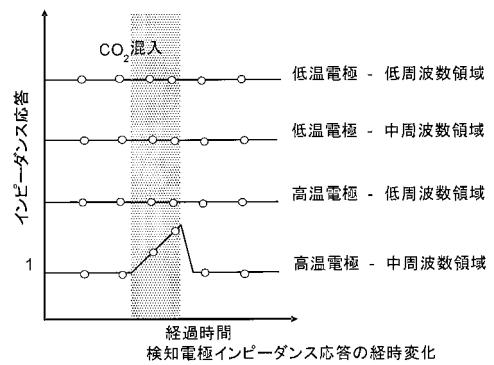
【 図 3 】



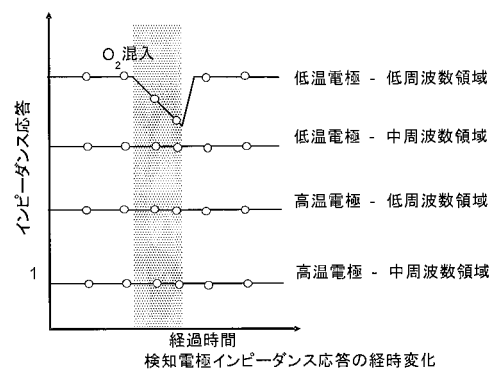
【 図 4 】



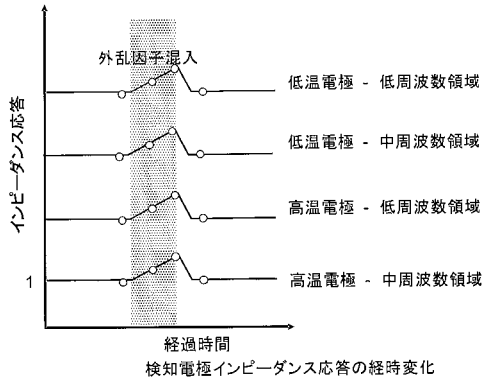
【 図 7 】



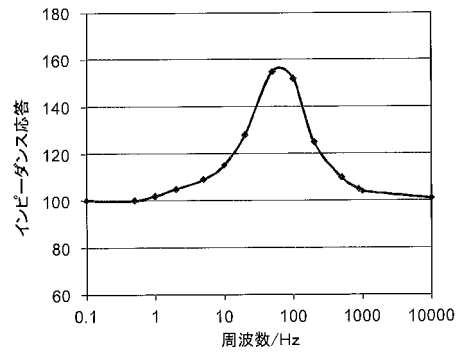
【 図 8 】



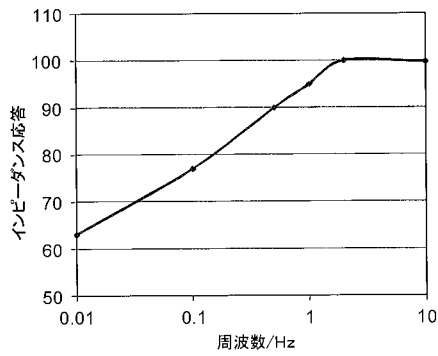
【 図 9 】



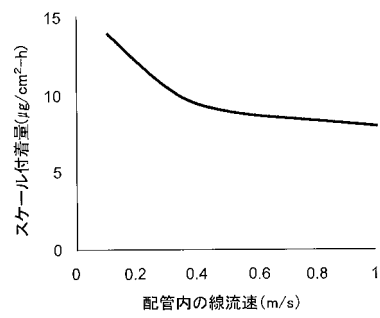
【 図 1 1 】



【 図 1 0 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】

