

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-520007

(P2017-520007A)

(43) 公表日 平成29年7月20日(2017.7.20)

(51) Int.Cl.
G 0 1 N 27/26 (2006.01)F 1
G 0 1 N 27/26 3 5 1 B

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2017-520768 (P2017-520768)	(71) 出願人	516389547 アナラトム インコーポレイテッド アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 089 サニーヴェール ウェデル ドラ イヴ 562 スイート 4
(86) (22) 出願日	平成27年6月26日 (2015. 6. 26)		
(85) 翻訳文提出日	平成29年2月24日 (2017. 2. 24)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/038184		
(87) 国際公開番号	W02015/200899		
(87) 国際公開日	平成27年12月30日 (2015. 12. 30)	(74) 代理人	100086771 弁理士 西島 孝喜
(31) 優先権主張番号	62/017, 799	(74) 代理人	100088694 弁理士 弟子丸 健
(32) 優先日	平成26年6月26日 (2014. 6. 26)	(74) 代理人	100094569 弁理士 田中 伸一郎
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100067013 弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100109070 弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 構造体を作用電極として扱う直線分極抵抗可撓性センサ及び方法

(57) 【要約】

構造体それ自体を電気化学的測定手段の一部として使用することにより構造体の腐食を監視するシステム及び方法が開示される。ある実施形態によれば、構造体の腐食を直接監視するための直線分極抵抗 (LPR) センサ装置が提供される。ある革新によれば、センサ装置は、反対電極、基準電極、及び監視される構造体より成る作用電極のような3つの電極を備えている。更に別の実施形態では、各電極は、ポリイミドのようなポリマーの柔軟性基板ケーブル上に構成され、各電極は、貴金属、例えば、金メッキされた銅、又は環境への露出により外面が酸化しない金属系から製造される。

【選択図】 図1

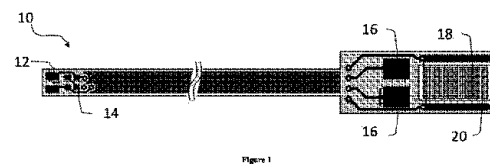


Figure 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

構造体の腐食を監視するシステムにおいて、
複数の電極を含む直線分極抵抗（LPR）センサ、

前記 LPR センサに結合された計装回路であって、第 1 電極と接地とにまたがる印加電位をセットし、そのセットされた電位を選択的にイネーブル及びディスエーブルし、及び電位を測定すべき 2 つの電極を選択するように構成された計装回路、及び

前記計装回路に結合されたマイクロコントローラ回路であって、前記印加電位を発生し、開路基準電位を測定し、前記選択された電極にまたがる電位を測定し、前記印加電位を調整し、及び前記測定された電位に基づいて分極抵抗を決定するように構成されたマイクロコントローラ回路、
を備えたシステム。

10

【請求項 2】

前記計装回路に結合された複数の LPR センサを更に備えた、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記複数の電極は、作用電極、基準電極及び反対電極を含む、請求項 1 又は 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記基準電位は、前記反対電極と作用電極との間で測定される、請求項 1 から 3 のいずれかに記載のシステム。

20

【請求項 5】

前記第 1 電極は、反対電極である、請求項 1 から 4 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 6】

前記計装回路は、更に、電位を測定すべき 2 つの電極を選択するように構成されたスイッチを含む、請求項 1 から 5 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 7】

前記スイッチは、シングルプル・ダブルスロースイッチである、請求項 1 から 6 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 8】

前記マイクロコントローラ回路は、更に、前記スイッチを動作するように構成される、請求項 1 から 7 のいずれかに記載のシステム。

30

【請求項 9】

前記計装回路は、更に、前記セット電位を選択的にイネーブル及びディスエーブルするように構成されたスイッチを含む、請求項 1 から 8 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 10】

前記マイクロコントローラ回路は、更に、前記スイッチを動作するように構成される、請求項 1 から 9 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 11】

前記計装回路は、更に、前記印加電位をセットするように構成された増幅器を含む、請求項 1 から 10 のいずれかに記載のシステム。

40

【請求項 12】

前記増幅器は、電圧ホロワ増幅器である、請求項 1 から 11 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 13】

前記マイクロコントローラ回路は、更に、前記印加電位を発生するために前記増幅器に信号を供給するように構成される、請求項 1 から 12 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 14】

前記マイクロコントローラ回路は、更に、前記印加電位を発生するために前記増幅器に信号を供給するように構成される、請求項 1 から 12 のいずれかに記載のシステム。

50

【請求項 15】

前記計装回路は、更に、前記マイクロコントローラ回路から信号を受信し、その受信信号をアナログ信号に変換し、及びそのアナログ信号を前記増幅器に供給するように構成されたデジタル／アナログコンバータ（DAC）を更に含む、請求項1から14のいずれかに記載のシステム。

【請求項 16】

前記マイクロコントローラ回路は、更に、前記印加電位を発生するために前記増幅器の利得を制御するように構成される、請求項1から15のいずれかに記載のシステム。

【請求項 17】

前記計装回路は、更に、前記基準電位及び前記LPRセンサからの測定された電位信号をデジタル信号に変換し、そしてそのデジタル信号を前記マイクロコントローラ回路に供給するように構成されたアナログ／デジタルコンバータ（ADC）を含む、請求項1から16のいずれかに記載のシステム。

10

【請求項 18】

前記マイクロコントローラ回路は、前記LPRセンサのどれがアクティブであるか決定するように構成される、請求項1から7のいずれかに記載のシステム。

【請求項 19】

前記マイクロコントローラ回路は、
前記計装回路を経て電位を測定すべき2つの電極を選択し、
前記計装回路を経て前記セット電位をディスプレイし、
前記計装回路を経て前記開路電位を測定し、
前記計装回路を経て前記セット電位をイネーブルし、
前記セット電位を固定増分ステップでセットし、
セット電位ごとに、前記印加電位を測定し、
その測定された印加電位ごとに、その測定された電位を評価して、前記開路電位に対するその値を決定し、
前記開路電位对各評価された測定電位の直線適合に基づいて分極抵抗を決定し、及び
前記分極抵抗に基づいて腐食率、全腐食、濡れ時間及び塩度の時間、の少なくとも1つを計算する、
ことにより、腐食を決定するように構成される、請求項1から18のいずれかに記載のシステム。

20

30

【請求項 20】

前記マイクロコントローラ回路に結合されたメモリを更に備えた、請求項1から18のいずれかに記載のシステム。

【請求項 21】

前記メモリは、フラッシュメモリである、請求項1から20のいずれかに記載のシステム。

【請求項 22】

前記メモリは、前記腐食の決定に使用される定数を記憶する、請求項1から21のいずれかに記載のシステム。

40

【請求項 23】

前記マイクロコントローラ回路は、前記決定された分極抵抗、腐食率、全腐食、濡れ時間及び塩度の時間の少なくとも1つを前記メモリに記憶するように構成される、請求項1から22のいずれかに記載のシステム。

【請求項 24】

前記マイクロコントローラ回路に結合されたネットワークモジュール及び外部データベースの少なくとも1つを更に備えた、請求項1から23のいずれかに記載のシステム。

【請求項 25】

前記ネットワークモジュール及び／又は外部データベースは、前記決定された分極抵抗、腐食率、全腐食、濡れ時間及び塩度の時間の少なくとも1つを送信するように構成され

50

る、請求項 1 から 24 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 26】

前記計装回路は、更に、前記印加電圧をセットするように構成された増幅器を含む、請求項 1 から 25 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 27】

前記マイクロコントローラ回路は、
前記増幅器を高利得にセットし、
前記 2 つの電極間に前記開路電位より X ボルト低い電位を印加し、
前記測定された印加電位がクリップされるかどうか決定し、
前記測定された印加電位がクリップされるときには、前記増幅器の利得を下げ、
前記測定された印加電位がクリップされないときには、前記測定された印加電位が前記開路電位より X ボルト未満だけ高いかどうか決定し、
前記測定された印加電位が前記開路電位より X ボルト以上高いときには、前記印加電位を除去し、及び

前記測定された印加電位が前記開路電位より X ボルト未満だけ高いときには、前記 2 つの電極間の印加電位を Y ボルト増加する、
ことにより、前記セット電位を固定増分ステップでセットするように構成される、請求項 1 から 25 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 28】

各電極は、不活性材料で形成される、請求項 1 から 26 のいずれかに記載のシステム。 20

【請求項 29】

前記基準電極及び反対電極は、それらの間に小さな分離距離又はギャップを伴う楕型対である、請求項 1 から 28 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 30】

前記反対電極及び基準電極は、薄い／多孔性の絶縁材料を使用することにより前記構造体から電氣的に絶縁される、請求項 1 から 29 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 31】

前記多孔性材料は、前記反対電極と基準電極と構造体との間に電解液を自由に通過させることができる、請求項 1 から 30 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 32】

前記作用電極は、前記構造体に物理的接触しない、請求項 1 から 31 のいずれかに記載のシステム。 30

【請求項 33】

前記作用電極は、前記作用電極と前記構造体との間に配置された薄い導電性転写テープを使用して前記構造体と電氣的接触する、請求項 1 から 32 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 34】

前記導電性転写テープは、腐食を防止するために前記導電性転写テープと前記構造体との間の界面として非腐食性接着材を使用する、請求項 1 から 33 のいずれかに記載のシステム。 40

【請求項 35】

腐食は、質量ロス (mg) 又は単位表面積当りの質量ロス (mg / cm^2) として計算される、請求項 1 から 34 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 36】

腐食は、質量ロス／単位表面積／単位時間 (例えば、 $\text{mg} / \text{cm}^2 / \text{yr}$) に関する率として報告される、請求項 1 から 35 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 37】

腐食及び／又は腐食率は、前記マイクロコントローラによりオンボードで、又は監視される構造体に対する分極抵抗測定値及び既知の材料定数を使用してオフラインで計算される、請求項 1 から 36 のいずれかに記載のシステム。 50

【請求項 38】

前記濡れ時間及び塩度は、前記反対電極と基準電極との間の抵抗を測定しそして実験的に導出された校正曲線を適用することにより計算される、請求項 1 から 37 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 39】

構造体の腐食を監視するシステムにおいて、

作用電極、基準電極及び反対電極を含む直線分極抵抗（LPR）センサ、

前記 LPR センサに結合された計装回路であって、前記反対電極と接地にまたがる印加電位をセットするように構成された増幅器、そのセットされた電位を選択的にイネーブル及びディスエーブルするよう構成された第 1 スイッチ、及び電位を測定すべき 2 つの電極を選択するように構成された第 2 スイッチを含む計装回路、及び

前記計装回路に結合されたマイクロコントローラ回路であって、前記印加電位を発生し、開路基準電位を測定し、前記選択された電極にまたがる電位を測定し、前記印加電位を調整し、及び前記測定された電位に基づいて分極抵抗を決定するように構成されたマイクロコントローラ回路、を備えたシステム。

【請求項 40】

前記計装回路に結合された複数の LPR センサを更に備えた、請求項 39 に記載のシステム。

【請求項 41】

前記基準電位は、前記反対電極と作用電極との間で測定される、請求項 39 又は 40 に記載のシステム。

【請求項 42】

前記第 2 スイッチは、シングルプル・ダブルスロースイッチである、請求項 39 から 41 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 43】

前記マイクロコントローラ回路は、更に、前記第 1 スイッチ及び第 2 スイッチの少なくとも一方を動作するよう構成される、請求項 39 から 42 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 44】

前記増幅器は、電圧ホロワ増幅器である、請求項 39 から 43 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 45】

前記マイクロコントローラ回路は、更に、前記印加電位を発生するために前記増幅器に信号を供給するように構成される、請求項 39 から 44 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 46】

前記マイクロコントローラ回路は、更に、前記印加電位を発生するために前記増幅器に信号を供給するように構成される、請求項 39 から 44 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 47】

前記計装回路は、更に、前記マイクロコントローラ回路から信号を受信し、その受信信号をアナログ信号に変換し、及びそのアナログ信号を前記増幅器に供給するように構成されたデジタル／アナログコンバータ（DAC）を更に含む、請求項 39 から 46 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 48】

前記マイクロコントローラ回路は、更に、前記印加電位を発生するために前記増幅器の利得を制御するように構成される、請求項 39 から 47 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 49】

前記計装回路は、更に、前記基準電位及び前記 LPR センサからの測定された電位信号をデジタル信号に変換し、そしてそのデジタル信号を前記マイクロコントローラ回路に供給するように構成されたアナログ／デジタルコンバータ（ADC）を含む、請求項 39 から 48 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 50】

前記マイクロコントローラ回路は、前記 L P R センサのどれがアクティブであるか決定するように構成される、請求項 39 から 49 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 51】

前記マイクロコントローラ回路は、
前記計装回路を経て電位を測定すべき 2 つの電極を選択し、
前記計装回路を経て前記セット電位をディスプレイし、
前記計装回路を経て前記開路電位を測定し、
前記計装回路を経て前記セット電位をイネーブルし、
前記セット電位を固定増分ステップでセットし、
セット電位ごとに、前記印加電位を測定し、
その測定された印加電位ごとに、その測定された電位を評価して、前記開路電位に対するその値を決定し、
前記開路電位对各評価された測定電位の直線適合に基づいて分極抵抗を決定し、及び
前記分極抵抗に基づいて腐食率、全腐食、濡れ時間及び塩度の時間、の少なくとも 1 つを計算する、
ことにより、腐食を決定するように構成される、請求項 39 から 50 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 52】

前記マイクロコントローラ回路に結合されたメモリを更に備えた、請求項 39 から 51 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 53】

前記メモリは、フラッシュメモリである、請求項 39 から 52 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 54】

前記メモリは、前記腐食の決定に使用される定数を記憶する、請求項 39 から 53 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 55】

前記マイクロコントローラ回路は、前記決定された分極抵抗、腐食率、全腐食、濡れ時間及び塩度の時間の少なくとも 1 つを前記メモリに記憶するように構成される、請求項 39 から 54 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 56】

前記マイクロコントローラ回路に結合されたネットワークモジュール及び外部データベースの少なくとも 1 つを更に備えた、請求項 39 から 55 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 57】

前記ネットワークモジュール及び／又は外部データベースは、前記決定された分極抵抗、腐食率、全腐食、濡れ時間及び塩度の時間の少なくとも 1 つを送信するように構成される、請求項 39 から 56 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 58】

前記マイクロコントローラ回路は、
前記増幅器を高利得にセットし、
前記 2 つの電極間に前記開路電位より X ボルト低い電位を印加し、
前記測定された印加電位がクリップされるかどうか決定し、
前記測定された印加電位がクリップされるときには、前記増幅器の利得を下げ、
前記測定された印加電位がクリップされないときには、前記測定された印加電位が前記開路電位より X ボルト未満だけ高いかどうか決定し、
前記測定された印加電位が前記開路電位より X ボルト以上高いときには、前記印加電位を除去し、及び
前記測定された印加電位が前記開路電位より X ボルト未満だけ高いときには、前記 2 つの電極間の印加電位を Y ボルト増加する、

ことにより、前記セット電位を固定増分ステップでセットするように構成される、請求項 39 から 57 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 59】

各電極は不活性材料で形成される、請求項 39 から 58 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 60】

前記基準電極及び反対電極は、それらの間に小さな分離距離又はギャップを伴う楕型対である、請求項 39 から 59 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 61】

前記反対電極及び基準電極は、薄い／多孔性の絶縁材料を使用することにより前記構造体から電氣的に絶縁される、請求項 39 から 60 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 62】

前記多孔性材料は、前記反対電極と基準電極と構造体との間に電解液を自由に通過させることができる、請求項 39 から 61 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 63】

前記作用電極は、前記構造体に物理的接触しない、請求項 39 から 62 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 64】

前記作用電極は、前記作用電極と前記構造体との間に配置された薄い導電性転写テープを使用して前記構造体と電氣的接触される、請求項 39 から 63 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 65】

前記導電性転写テープは、腐食を防止するために前記導電性転写テープと前記構造体との間の界面として非腐食性接着材を使用する、請求項 39 から 64 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 66】

腐食は、質量ロス (mg) 又は単位表面積当りの質量ロス (mg / cm^2) として計算される、請求項 39 から 65 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 67】

腐食は、質量ロス／単位表面積／単位時間 (例えば、 $\text{mg} / \text{cm}^2 / \text{yr}$) に関する率として報告される、請求項 39 から 66 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 68】

腐食及び／又は腐食率は、前記マイクロコントローラによりオンボードで、又は監視される構造体に対する分極抵抗測定値及び既知の材料定数を使用してオフラインで計算される、請求項 39 から 67 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 69】

前記濡れ時間及び塩度は、前記反対電極と基準電極との間の抵抗を測定しそして実験的に導出された校正曲線を適用することにより計算される、請求項 39 から 68 のいずれかに記載のシステム。

【請求項 70】

構造体の腐食を監視するシステムにおいて、

反対電極、基準電極、及び監視される構造体より成る作用電極を各々含む複数の直線分極抵抗 (LPR) センサ、及び

前記 LPR センサの各々から測定値を読み取るようにプログラムされた電子的コントローラであって、第 1 電圧の印加電位を印加し、そしてその印加電位を、前記第 1 電圧より高い範囲の第 2 の値だけ増加する電子的コントローラ、を備えたシステム。

【請求項 71】

構造体の腐食を監視する方法において、

マイクロコントローラ回路に結合された計装回路を経て電位を測定すべき 2 つの電極をマイクロコントローラ回路で選択し、前記 2 つの電極は、直線分極抵抗 (LPR) センサ

10

20

30

40

50

の複数の電極から選択され、

前記計装回路を経てセット電位を前記マイクロコントローラ回路でディスプレイし、
前記セット電位は、第1電極と接地とにまたがる印加電圧であり、

前記計装回路を経て開路電位を前記マイクロコントローラ回路で測定し、

前記計装回路を経て前記セット電位を前記マイクロコントローラ回路でインーブルし、

前記セット電位を固定の増分ステップにおいて前記マイクロコントローラ回路でセットし、

各セット電位に対して、前記印加電位を前記マイクロコントローラ回路で測定し、

各測定された印加電位に対して、前記測定された電位を前記マイクロコントローラ回路で評価して、前記開路電位に対するその値を決定し、

前記開路電位对各評価された測定電位の直線適合に基づいて分極抵抗を前記マイクロコントローラ回路で決定し、及び

前記分極抵抗に基づいて腐食率、全腐食、濡れ時間及び塩度の時間、の少なくとも1つを前記マイクロコントローラ回路で計算する、
ことを含む方法。

【請求項72】

前記セット電位を固定増分ステップでセットすることは、

前記増幅器を高利得にセットし、

前記2つの電極間に前記開路電位よりXボルト低い電位を印加し、

前記測定された印加電位がクリップされるかどうか決定し、

前記測定された印加電位がクリップされるときには、前記増幅器の利得を下げ、

前記測定された印加電位がクリップされないときには、前記測定された印加電位が前記開路電位よりXボルト未満だけ高いかどうか決定し、

前記測定された印加電位が前記開路電位よりXボルト以上高いときには、前記印加電位を除去し、及び

前記測定された印加電位が前記開路電位よりXボルト未満だけ高いときには、前記2つの電極間の印加電位をYボルト増加する、

ことを含む、請求項71に記載の方法。

【請求項73】

前記分極抵抗に基づく腐食率、全腐食、濡れ時間及び塩度の時間、の少なくとも1つをメモリに記憶することを更に含む、請求項71又は72に記載の方法。

【請求項74】

前記決定された分極抵抗、腐食率、全腐食、濡れ時間及び塩度の時間、の少なくとも1つを、ネットワークモジュール及び外部データベースの少なくとも1つを経て送信することを更に含む、請求項71から73のいずれかに記載の方法。

【請求項75】

複数のLPRセンサのどれがアクティブであるか決定し、そしてアクティブなLPRセンサを、電極を選択するセンサとして選択することを更に含む、請求項71から74のいずれかに記載の方法。

【請求項76】

腐食を、質量ロス(mg)又は単位表面積当りの質量ロス(mg/cm²)として計算する、請求項71から75のいずれかに記載の方法。

【請求項77】

腐食を、質量ロス/単位表面積/単位時間(例えば、mg/cm²/yr)に関する率として報告する、請求項71から76のいずれかに記載の方法。

【請求項78】

腐食及び/又は腐食率を、前記マイクロコントローラによりオンボードで計算するか、又は監視される構造体に対する分極抵抗測定値及び既知の材料定数を使用してオフラインで計算する、請求項71から77のいずれかに記載の方法。

【請求項79】

前記濡れ時間及び塩度を、前記反対電極と基準電極との間の抵抗を測定しそして実験的に導出された校正曲線を適用することにより計算する、請求項 7 1 から 7 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8 0】

構造体の腐食を監視する方法において、

複数の直線分極抵抗 (L P R) センサの腐食を測定し、各 L P R センサは、作用電極と、基準電極と、ポリイミドより成り電極を取り巻き且つ電極に結合されそしてそれに腐食不動態化を与えるマウント材料とを各々含み、そのマウント材料は、電極の露出側壁をカバーしてその側壁を保護し、電極の頂面に関連した腐食に関する直線分極腐食測定技術を使用して確立される電極の腐食抵抗は、広い範囲の腐食状態にわたって直線的であり、

各 L P R センサから開路電位を測定し、

前記開路電位より第 1 電圧だけ低い印加電位を印加し、及び

前記第 1 電圧より 1 0 % ないし 2 0 % 高い第 2 の値だけ前記印加電位を増加する、ことを含む方法。

【請求項 8 1】

電子回路は、 μ L P R 可撓性センサのアレイから読みを収集する計装回路を含む、請求項 8 0 に記載の方法。

【請求項 8 2】

印加電位信号を発生し、印加電流を構成し、そして基準電位及び印加電流測定値を読み取る請求項 8 0 又は 8 1 に記載の方法。

【請求項 8 3】

前記計装回路は、前記印加電位信号をアナログ信号に変換し、そして前記基準電位及び印加電流測定値をデジタル化するデジタル／アナログコンバータを含む、請求項 8 0 から 8 2 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8 4】

前記計装回路は、仮想接地に対して前記反対電極にまたがる前記印加電位をセットするのに使用される電圧ホロワ増幅器を含む、請求項 8 0 から 8 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8 5】

前記計装回路は、前記印加電圧をディスエイブルするのに使用されるスイッチを含む、請求項 8 0 から 8 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8 6】

前記計装回路は、どの電極間で前記基準電位を測定するか決定するのに使用されるシングルプル・ダブルスロースイッチを含む、請求項 8 0 から 8 5 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8 7】

前記計装回路は、前記反対電極と作用電極との間、又は前記基準電極と作用電極との間で前記基準電位を測定する差動増幅器を含む、請求項 8 0 から 8 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8 8】

前記計装回路は、前記印加電流を測定する選択可能な利得をもつトランスレジスタンス増幅器を含む、請求項 8 0 から 8 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8 9】

前記電子回路は、データ収集、データ処理、送信及び記憶を整合するマイクロコントローラ回路を含む、請求項 8 0 から 8 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9 0】

前記マイクロコントローラ回路は、前記印加電流及び基準電位から抵抗を計算し、それにより生じる値を読み取り、そしてそれらの値をメモリに記憶する回路コンポーネントを含む、請求項 8 0 から 8 9 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9 1】

前記メモリは、内部フラッシュメモリである、請求項 8 0 から 9 0 のいずれかに記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 9 2】

外部データバスを通してセンサデータがダウンロードされ又は取得される、請求項 8 0 から 9 1 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9 3】

アンテナを経てデータを送信するためにワイヤレスモジュールを使用してセンサデータがダウンロードされ又は取得される、請求項 8 0 から 9 2 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9 4】

前記マイクロコントローラ回路は、測定のために印加電位信号を発生する、請求項 8 0 から 9 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9 5】

前記マイクロコントローラ回路は、 μ L P R 可撓性センサのアレイに質問しそして前記計装回路を経て読みを収集する、請求項 8 0 から 9 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9 6】

前記マイクロコントローラ回路は、チャンネル選択を経てどのセンサがアクティブであるか決定する 1 組のマルチプレクス型スイッチを含む、請求項 8 0 から 9 5 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9 7】

前記スイッチがデフォルト位置（常閉）にあるときには、前記マイクロコントローラ回路は、構造体に対して直線分極抵抗を計算する、請求項 8 0 から 9 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9 8】

前記スイッチが別の位置にあるときには、前記マイクロコントローラ回路は、前記センサの反対電極及び作用電極に対して直線分極抵抗を計算する、請求項 8 0 から 9 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9 9】

不活性材料（例えば、金メッキされた銅、ニッケル、等）で形成された 3 つの電極を備え、第 1 電極は反対電極であり、第 2 電極は基準電極であり、そして第 3 電極は作用電極である、腐食センサ。

【請求項 1 0 0】

前記基準電極及び反対電極は、それらの間に小さな分離距離又はギャップを伴う櫛型対である、請求項 9 9 に記載のセンサ。

【請求項 1 0 1】

前記反対電極及び基準電極は、薄い／多孔性の絶縁材料を使用することにより前記構造体から電氣的に絶縁される、請求項 9 9 又は 1 0 0 に記載のセンサ。

【請求項 1 0 2】

前記多孔性材料は、前記反対電極と基準電極と構造体との間に電解液を自由に通過させることができる、請求項 9 9 から 1 0 1 のいずれかに記載のセンサ。

【請求項 1 0 3】

前記作用電極は、前記構造体に物理的接触しない、請求項 9 9 から 1 0 2 のいずれかに記載のセンサ。

【請求項 1 0 4】

前記作用電極は、前記作用電極と前記構造体との間に配置された薄い導電性転写テープを使用して前記構造体と電氣的接触する、請求項 9 9 から 1 0 3 のいずれかに記載のセンサ。

【請求項 1 0 5】

前記導電性転写テープは、腐食を防止するために前記導電性転写テープと前記構造体との間の界面として非腐食性接着材を使用する、請求項 9 9 から 1 0 4 のいずれかに記載のセンサ。

【請求項 1 0 6】

腐食は、質量ロス（m g）又は単位表面積当りの質量ロス（m g / c m²）として計算

10

20

30

40

50

される、請求項 99 から 105 のいずれかに記載のセンサ。

【請求項 107】

腐食は、質量ロス／単位表面積／単位時間（例えば、 $\text{mg} / \text{cm}^2 / \text{yr}$ ）に関する率として報告される、請求項 99 から 106 のいずれかに記載のセンサ。

【請求項 108】

腐食及び／又は腐食率は、前記マイクロコントローラによりオンボードで、又は監視される構造体に対する分極抵抗測定値及び既知の材料定数を使用してオフラインで計算される、請求項 99 から 107 のいずれかに記載のセンサ。

【請求項 109】

前記濡れ時間及び塩度は、前記反対電極と基準電極との間の抵抗を測定しそして実験的に導出された校正曲線を適用することにより計算される、請求項 99 から 108 のいずれかに記載のセンサ。

10

【請求項 110】

前記第 3 の、作用電極は、監視される構造体である、請求項 99 に記載のセンサ。

【請求項 111】

不活性材料（例えば、金メッキされた銅、ニッケル、等）で形成された 3 つの電極を備え、第 1 電極は反対電極であり、第 2 電極は基準電極であり、そして第 3 電極は、監視される構造体でもある作用電極である、腐食センサ。

【請求項 112】

構造体の腐食を監視するセンサ装置において、

20

反対電極、基準電極、及び監視される構造体より成る作用電極を各々含む複数の直線分極抵抗（LPR）センサ、及び

前記 LPR センサの各々から測定値を読み取るようにプログラムされた電子的コントローラであって、第 1 電圧の印加電位を印加し、そしてその印加電位を、前記第 1 電圧より高い範囲の第 2 の値だけ増加する電子的コントローラ、を備えたセンサ装置。

【請求項 113】

前記範囲は、前記第 1 電圧より約 10 % ないし約 20 % 高い、請求項 112 に記載の装置。

【請求項 114】

30

前記基準電極及び反対電極は、それらの間に小さな分離距離又はギャップを伴う楕型対である、請求項 112 又は 113 に記載の装置。

【請求項 115】

前記反対電極及び基準電極は、薄い／多孔性の絶縁材料を使用することにより前記構造体から電氣的に絶縁される、請求項 112 ないし 114 のいずれかに記載の装置。

【請求項 116】

前記多孔性材料は、前記反対電極と基準電極と構造体との間に電解液を自由に通過させることができる、請求項 112 ないし 115 のいずれかに記載の装置。

【請求項 117】

40

ポリマーの柔軟性基板ケーブル上に各々構成された 3 つの電極を備え、

各電極は、貴金属、例えば、金メッキされた銅、又は環境への露出により外面が酸化しない金属系から製造され、

最初の 2 つの電極は、楕型形態で配置され、

第 3 の電極は、最初の 2 つの電極から約 10 mm 以下に配置され、且つ電極と構造体との間に電氣的接触を形成することにより構造体への電氣的接触をなし、

既知の物理的定数の関数として腐食率を発生し、且つ前記 3 つの電極を使用して電解溶液と構造体との間で測定される分極抵抗を測定する、センサ装置。

【請求項 118】

前記柔軟性基板ケーブル（可撓性ケーブル）は、前記一対の電極と監視される構造体との間に多孔性スクリーン又はメンブレン材料を含む、請求項 117 に記載の装置。

50

【請求項 1 1 9】

前記スクリム又はメンブレンは、前記櫛型電極と構造体との間に電氣的絶縁を与える、請求項 1 1 7 又は 1 1 8 に記載の装置。

【請求項 1 2 0】

前記濡れ時間及び塩度は、ルックアップテーブルから、及び前記櫛型電極対間の抵抗を測定して、計算される、請求項 1 1 7 ないし 1 1 9 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 2 1】

前記ポリマーの柔軟性基板ケーブルは、ポリイミドで作られる、請求項 1 1 7 ないし 1 2 0 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 2 2】

前記最初の 2 つの電極は、約 1 ないし約 1 0 ミルの厚み及び約 0.1 mm ないし約 2 0 mm の長さで製造される、請求項 1 1 7 ないし 1 2 1 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 2 3】

前記最初の 2 つの電極は、約 1 0 ミル以下の分離距離で製造される、請求項 1 1 7 ないし 1 2 2 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 2 4】

前記構造体への電氣的接触は、前記第 3 電極と前記構造体との間に導電性転写テープ（例えば、1 ミル厚み等）を配置することにより形成される、請求項 1 1 7 ないし 1 2 3 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 2 5】

前記可撓性ケーブルは、接着材の使用により前記構造体に取り付けられる、請求項 1 1 7 ないし 1 2 4 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 2 6】

当接ジョイント又はラップジョイント構成の前記センサ配置は、ジョイントそれ自体により与えられる保持力で行われる、請求項 1 1 7 ないし 1 2 5 のいずれかに記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

関連出願の相互参照：本願は、参考としてここにそのまま援用する 2 0 1 4 年 6 月 2 6 日出願の米国プロビジョナル特許出願第 6 2 / 0 1 7 , 7 9 9 号の利益／優先権を主張するものである。

【0 0 0 2】

本発明は、一般的に、構造体それ自体を電気化学的測定手段の一部として使用することにより構造体の腐食を監視するシステム及び方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 3】

腐食センサは、次の分類、即ち直接的又は間接的、及び侵入的又は非侵入的により区別される。直接的な腐食監視は、酸化・還元反応の直接的な結果として発生される電流又は電位のような応答信号を測定する。通常の直接的腐食監視技術は、例えば、腐食クーポン、電気抵抗（E R）、電気インピーダンス分光学（E I S）、及び直線分極抵抗（L P R）技術である。一方、間接的な腐食監視技術は、腐食プロセスの結果を測定するもので、最も一般的な間接的技術の 2 つは、超音波テスト及び X 線撮影である。侵入的な測定は、構造体にアクセスすることを必要とする。腐食クーポン、E R、E I S 及び L P R プローブは、構造体にアクセスしなければならないので、侵入的である。非侵入的技術は、超音波テスト及び X 線撮影を含む。

【0 0 0 4】

これらの方法は、各々、利点と欠点を有する。腐食クーポンは、最も信頼できる物理的証拠を与える。不都合なことに、クーポンは、通常、労力に関して著しい時間を要求し、そしてそれにより与えられる時間平均化データは、リアルタイム又はオンライン腐食監視には利用できない。E R プローブは、金属ロスの基本的測定を与えるが、クーポンとは異

10

20

30

40

50

なり、金属ロスの値は、必要以上の頻度でいつでも測定することができ、一方、プローブは、その場において、構造体に永久的に露出される。欠点として、ERプローブは、監視される構造体の材料特性で校正する必要がある。LPR技術の利点は、腐食率の測定が瞬間的に行われることである。これは、基本的な測定が金属ロスであったり腐食率を決定するのにある程度の露出時間が必要であったりするクーボン又はERよりパワフルなツールである。LPR技術の欠点は、比較的清潔な水性電解質環境でしか首尾良く遂行できないことである。EISは、運動的（腐食率）及び機械的の両情報を与える非常にパワフルな技術である。EISの使用に関連した主な欠点は、計装が複雑であると共に、各周波数スイープに要求される時間が長いために現場での使用が時々困難なことである。更に、データの解釈も困難である。最後に、超音波テスト及びX線撮影は、非破壊的及び非侵入的な手段を通して腐食を検出しそして測定する（深さ）のに使用することができる。超音波テスト及びX線撮影装置に伴う欠点は、腐食クーボンと同じで、労力に関して著しい時間を要求すると共に、リアルタイム又はオンラインの腐食監視に使用できないことである。

10

【0005】

又、構造体の劣化を監視するために種々の微細加工センサ装置が存在する。そのような装置は、第1フィンガを有する第1電極と、第2フィンガを有する第2電極を含む。第2フィンガは、第1フィンガから最大約1mm離れて位置される。第1電極と第2電極との間に流れる電流は、それら電極の劣化の程度に相関される。

【0006】

本明細書の一部を構成する添付図面は、本発明の種々の実施形態及び観点を例示するもので、以下の説明と共に、本発明の原理を例示する上で役立つ。

20

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】ここに述べる革新の1つ以上の観点によるマイクロ直線分極抵抗可撓性センサの概略図である。

【図2】ここに述べる革新の1つ以上の観点により構造体に取り付けられたマイクロ直線分極抵抗可撓性センサの概略図である。

【図3】ここに述べる革新の1つ以上の観点によるセンサ装置に使用される計装増幅回路の回路図である。

【図4A】ここに述べる革新の1つ以上の観点により埋設ハードウェアに接続された例示的可撓性回路装置のブロック図である。

30

【図4B】ここに述べる革新の1つ以上の観点により埋設ハードウェアに接続された例示的可撓性回路装置のブロック図である。

【図5A】ここに述べる革新の1つ以上の観点により直線分極抵抗又は濡れ時間及び塩度から腐食率を計算するための例示のプロセスを示すフローチャートである。

【図5B】ここに述べる革新の1つ以上の観点により直線分極抵抗又は濡れ時間及び塩度から腐食率を計算するための例示のプロセスを示すフローチャートである。

【図6】ここに述べる革新の1つ以上の観点によりラップジョイント例に対してターフェル定数を校正するのに使用されるターフェル曲線の規範的プロットである。

【図7A】ここに述べる革新の1つ以上の観点により直線分極抵抗の測定値から変換された腐食率対時間の規範的プロットである。

40

【図7B】ここに述べる革新の1つ以上の観点により直線分極抵抗の測定値から変換された腐食率対時間の規範的プロットである。

【図7C】ここに述べる革新の1つ以上の観点により直線分極抵抗の測定値から変換された腐食率対時間の規範的プロットである。

【図8】ここに述べる革新の1つ以上の観点により直線分極測定値対時間から計算された全質量ロス及び洗浄後に測定された質量ロスの誤差バーとしての腐食の規範的プロットである。

【図9】ここに述べる革新の1つ以上の観点によりセンサ装置を使用して測定質量ロスと推定質量ロスを比較した規範的プロットである。

50

【図10】ここに述べる革新の1つ以上の観点により4つの異なる温度条件に対して2つの橢型電極間で測定された測定抵抗対相対的湿度の校正データを示す。

【図11】ここに述べる革新の1つ以上の観点により2つの橢型電極間で測定された測定抵抗対塩度の校正データを示す。

【発明を実施するための形態】

【0008】

添付図面に実施例が示された本発明について以下に詳細に説明する。以下の説明で述べる実施形態は、本発明による全ての実施形態を表わすものではない。むしろ、それらは、本発明の革新に関連した幾つかの観点による幾つかの実施例に過ぎない。可能な限り、同じ又は同様の部分を指すために図面全体にわたり同じ参照番号が使用される。

【0009】

構造体の腐食を直接監視するための直線分極抵抗（LPR）センサ装置のシステム及び方法が提供される。ここに述べる幾つかの革新によれば、例えば、センサ装置は、3つの電極を含む。更に別の実施形態では、各電極は、ポリイミドのようなポリマー柔軟性基板ケーブル上に構成され、各電極は、貴金属、例えば、金メッキされた銅、又は環境露出により外面が酸化されない金属系から製造される。種々の規範的实施形態によれば、最初の2つの電極は、約1から約10ミルの厚み及び約0.1mmから約20mmの長さで製造される。更に、そのような電極対は、約10ミル以下の分離距離をもつ橢型形態で構成される。柔軟基板ケーブル（可撓性ケーブル）は、一对の電極と、監視される構造体との間に多孔性スクリム又はメンブレンを含む。そのようなスクリムは、更に、橢型電極と構造体との間に電氣的絶縁を与える。第3電極は、最初の2つから約10mm以下に配置され、そして電極対構造体との間に導電性転写テープ（例えば、1ミル厚み等）を配置することにより構造体に電氣的接触される。可撓性ケーブルは、接着材を使用することにより構造体に取り付けられるか、或いは当接ジョイント又はラップジョイント構成で配置する場合には、ジョイントそれ自体により保持力が与えられる。腐食は、既知の物理的定数から、及び3つの電極を使用して電解溶液と構造体との間で測定される分極抵抗を測定することにより、計算される。更に、濡れ時間及び塩度は、ルックアップテーブルから、及び橢型電極対間の抵抗を測定して、計算される。

【0010】

更に、ここに述べる実施形態は、構造体の腐食を監視するためのシステム及び方法について記述する。そのようなシステムは、複数のLPRセンサ、電子的コントローラ、マルチプレクスネットワーク、及びポリイミド可撓性回路担体に取り付けられた電子的コンポーネントを備えている。各LPRセンサは、作用電極及び基準電極を含む。電子的コントローラは、各LPRセンサからの測定値を読み取るようにプログラムされる。マルチプレクスネットワークは、コントローラが各LPRセンサをアドレスしそして電子的コンポーネントがLPRセンサをコントローラとマッチングできるようにする。ポリイミド可撓性回路担体は、不動態化された金属相互接続部及びボンドパッドを備え、これには、LPRセンサ、電子的コンポーネント、電子的コントローラ、及びマルチプレクスネットワークが取り付けられる。

【0011】

他の実施形態によれば、センサ装置を準備するシステム及び方法が設けられる。例えば、そのような方法は、互いに実質的に平行な平面内に第1表面及び第2表面を有する導電性材料を設けることを含む。更に、ある実施形態では、第1表面は、第1フィンガを有する第1電極及び第2フィンガを有する第2電極でフォトリソグラフィック的にパターン化され、そしてパターン化された電極は、第1表面と第2表面との間で部分的にエッチングされる。部分的にエッチングされた導電性材料は、第1表面が担体に接触するように担体にマウントされ、そして加熱接合される。第2表面は、第1表面のエッチング部分と整列される第1及び第2電極でパターン化され、そしてそれらパターンは、第1及び第2電極が形成されるまでエッチングされる。

【0012】

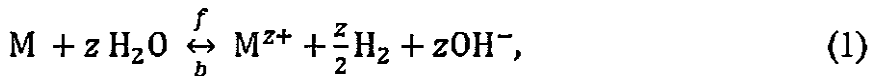
直線分極抵抗

金属と電解溶液との界面で酸化及び還元反応が生じることにより金属が分解するときに金属の腐食が生じる。このプロセスは、電気化学的な半反応、即ち（１）電解液における金属の分解及び電子の放出を伴う陽極（酸化）反応、及び（２）大気中の酸素、 O_2 、 H_2O 、又は酸中の H^+ イオンのような電解種による電子の獲得を伴う陰極（還元）反応により生じる。陽極反応サイトから陰極反応サイトへの電子の流れは、腐食電流を生成する。通常的环境下では、この電気化学的に生じる電流は、検出範囲以下であるが、外部電位を短時間印加すると、それらの値を正確に測定して、分極曲線を得ることができる。外部電位を印加すると、陽極及び陰極電流が指数関数的に増加し、分極曲線から瞬時腐食率を確認することができる。これらの分極曲線をそれらの直線領域へ外挿することで腐食電流が与えられ、これを使用して腐食率が計算される。

10

【0013】

直線分極抵抗（LPR）の電気化学的技術を使用して腐食プロセスが研究される。というのは、腐食反応は、金属の表面に生じる電気化学的反応だからである。近代の腐食研究は、ワグナー及びトラウド(Wagner and Traud)により仮定された混合電位理論の概念をベースとするもので、これは、正味腐食反応が、独立して生じる酸化及び還元の和であると述べている。水性媒体の存在中で金属が腐食する場合には、腐食プロセスを次のように書き表すことができる。

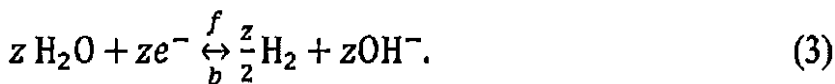


20

但し、 z は、金属の原子当りに失われる電子の数である。この反応は、陽極（酸化）反応



及び陰極（還元）反応



の結果である。

【0014】

30

陽極及び陰極反応は金属表面上の多数のサイトで生じそしてそれらのサイトは位置及び時間に対する動的な統計学的分布で変化すると仮定する。従って、金属表面の腐食中に、陽極サイトでは電子のロスに伴い金属イオンが形成され、そしてそれら電子は、次いで、水の分子により消費されて水素分子を生成する。混合電位理論に基づいて説明される陽極サイトと陰極サイトとの相互作用は、電流（反応率）及び電位（駆動力）を使用して良く知られた関係により表わされる。前記一対の電気化学反応（陽極式2及び陰極式3）に対して、印加電流 I_a と印加電位 E_a との関係は、バトラー・ボルマー(Butler-Volmer)式に従う。

$$I_a = I_{corr}(\exp[2.303(E_a - E_{corr})/\beta_a] - \exp[-2.303(E_a - E_{corr})/\beta_c]), \quad (4)$$

40

但し、 β_a 及び β_c は、各々、陽極及び陰極ターフェル形態における分極曲線 $\partial E_a / \partial \log_{10} I_a$ の勾配により与えられる陽極及び陰極ターフェルパラメータであり、そして E_{corr} は、腐食又は開路電位である。

【0015】

腐食電流 I_{corr} は、直接測定することができない。しかしながら、 β_a 及び β_c の先験的知識を、分極抵抗として知られた小信号分析技術と共に使用して、 I_{corr} を間接的に計算することができる。直線分極とも称される分極抵抗技術は、 E_a が $E_{corr} \pm 10 \text{ mV}$ 変動されたときに I_a の小信号変化を推定する実験的電気化学的技術である。この範囲にわたって生じる曲線の勾配は、分極抵抗

$$R_p \triangleq (\partial E_a / \partial I_a) |_{|E_a - E_{corr}| \leq 10 \text{ mV}} \quad (5)$$

である。

【0016】

A STM規格G59は、分極抵抗を測定するための手順を概説している。動電位、電位ステップ、及び電流ステップ方法を使用して、 R_p を計算することができる。動電位スイープ方法は、 R_p を測定するための最も一般的な方法である。動電位スイープは、典型的に0.125 mV/sの低いスキャン率で $E_{corr} \pm 10 \text{ mV}$ 間の E_a を印加することにより行われる。それにより生じる E_a 対 I_a 曲線の直線適合を使用して R_p が計算される。

【0017】

印加電流 I_a は、合計印加電流であって、電極面積で乗算されず、従って、式(5)で定義される R_p は、 Ω の単位を有することに注意されたい。 $|E_a - E_{corr}| / \beta_a \leq 0.1$ 及び $|E_a - E_{corr}| / \beta_c \leq 0.1$ とすれば、第1次テイラー級数展開

$$\exp(x) \approx 1 + x$$

を式4及び式5に適用すると、次のようになる。

$$I_{corr} = B/R_p, \quad (6)$$

但し、 $B = \beta_a \beta_c / (2.303(\beta_a + \beta_c))$ は、比例定数である。それ故、 R_p 、 β_a 及び β_c が分かると、任意の瞬間に I_{corr} を直接決定することができる。腐食による質量ロス M_{loss} (グラム)は、ファラデー定数 F 、酸化反応中に金属の原子当りに失われる電子の数 z 、原子量 AW 、及びサンプル周期 T と共に I_{corr} から計算される。

$$M_{loss} = BT_s(AW/zF)\Sigma R_p^{-1}. \quad (7)$$

【0018】

A STM規格G59は、ターフェル勾配 β_a 及び β_c を測定するための手順を概説している。まず、 E_{corr} が開路電位から測定される。次いで、 E_a が $E_{corr} - 250 \text{ mV}$ に初期化される。次いで、典型的に0.125 mV/sの低速スキャン率で E_a を $E_{corr} - 250 \text{ mV}$ から $E_{corr} + 250 \text{ mV}$ へ増加することにより動電位スイープが行われる。次いで、 E_a 対 $\log_{10} I_a$ に対してターフェル曲線がプロットされる。 β_a 及び β_c の値は、直線外挿された陽極及び陰極電流の勾配から推定される。

【0019】

ここに述べる幾つかの実施形態は、構造体それ自体の腐食ではなくセンサに対してローカルな構造体と同じ材料の腐食率のみを測定することにより2つの電極間で腐食を間接的に測定するのではなく、電極構造体に電解腐食を導入せずに3電極装置を使用して構造体の腐食を直接監視する。その1つの利点は、測定される腐食量又は質量ロスが電極の厚みにより制限されず、それ故、例えば、1ないし20ミルの厚みを有する前記電極は、数ミリメートル以上の腐食質量ロスを測定することができる。付加的な利点は、センサが不活性金属で製造されるので、濡れ時間及び塩度を一對の楕型電極にわたって独立して測定できることである。

【0020】

電極

図1は、本発明の1つ以上の観点によるマイクロ直線分極抵抗可撓性センサの概略図である。図1は、腐食による構造体の劣化を直接監視するのに有用な、可撓性ケーブル回路10に配置されたマイクロ製造のセンサ装置を示す。この装置は、3つの電極16、18及び20を備えている。各電極は、貴金属、典型的に、金メッキされた銅より成る可撓性回路上に製造される。作用電極16は、反対電極及び基準電極から10 mm以下に配置される。基準電極18及び反対電極20は、1ないし10ミルの厚み及び0.1ないし20 mmの長さで製造される。これらの電極は、10ミル以下の分離距離で楕型形態に構成される。基準、反対及び作用電極は、ジャンパ14の使用により再構成される。

【0021】

可撓性ケーブルの取り付け

図2は、ここに述べる革新の1つ以上の観点により構造体に取り付けられる例示的なマイクロ直線分極抵抗可撓性センサの概略図である。図2の μ LPR可撓性センサ10は、作用電極16と構造体26との間に~1ミル厚みの導電性転写テープ22を配置することにより構造体に電氣的接触する。作用電極との間に導電性接触をなす他の方法は、受けられるオーミック接触が得られ且つプロセスが可撓性ケーブルに影響を及ぼさない限り導電性エポキシ又は半田を使用することである。 μ LPR可撓性センサ10は、基準電極18及び反対電極20の両方と構造体26との間に絶縁／多孔性スクрим材料24を含む。 μ LPR可撓性センサ10は、接着材の使用を通して構造体26に取り付けられるか、或いは当接ジョイント又はラップジョイント構成で配置する場合には、ジョイントそれ自体により保持力が与えられる。

10

【0022】

アナログ計装

図3は、ここに述べる革新の1つ以上の観点によるセンサ装置に使用される計装増幅回路の回路図である。図3は、電子的計装28の回路図である。印加電位信号は、マイクロプロセッサ30により発生され、そしてデジタル／アナログコンバータ(DAC)32を使用してアナログ信号に変換される。電圧ホロワ増幅器34は、バーチャル接地に対して反対電極20にまたがる印加電位をセットするのに使用される。スイッチ40は、印加電圧をディスエイブルするのに使用される。シングルプル・ダブルスロースイッチ36は、どの電極間で基準電位を測定するか決定するのに使用される。スイッチ36が通常閉じているとき、基準電位は、反対電極20と作用電極16との間で測定される。スイッチ36が別の状態にあるとき、基準電位は、基準電極18と作用電極16との間で測定される。両方の場合に、基準電位は、差動増幅器38を使用して測定される。更に、印加電流は、マイクロプロセッサ30により構成できる選択可能な利得44をもつトランスレジスタンス増幅器42を使用して測定される。それにより得られる基準電位及び印加電流測定値は、アナログ／デジタルコンバータ(ADC)46によりデジタル化され、そしてマイクロコントローラ30により読み取られる。スイッチ36がデフォルト位置(常閉)にあるとき、マイクロコントローラ30は、構造体26に対して直線分極抵抗を計算する。或いは又、スイッチ36が別の位置にあるとき、マイクロコントローラ30は、センサ10の反対電極20及び作用電極16に対して直線分極抵抗を計算する。図3に示されたマイクロコントローラ30の特定例は、TI MSP-430であるが、一般的なマイクロコントローラユニットも、ここに述べる機能を果たす。

20

30

【0023】

埋設ハードウェア

図4A及び4Bは、ここに述べる革新の1つ以上の観点により埋設ハードウェアに接続された例示的可撓性回路装置のブロック図である。図4Aは、埋設ハードウェアシステム48の図である。マイクロコントローラ40は、上述したデータ収集及びデータ処理、データ伝送、及びデータ記憶を整合する。例えば、マイクロコントローラ(例えば、TI MSP-430等)は、 μ LPR可撓性センサ10のアレイに質問し、そして計装回路28を通して読みを収集する。ある実施形態では、マイクロコントローラは、1組のマルチプレクス型スイッチ50を通してどのセンサがアクティブであるかチャンネル選択により決定する。マイクロコントローラ40は、印加電流及び基準電位から抵抗を計算し、そしてそれにより得られる値をメモリ52に記憶する。図4Bに示す特定の実施形態では、マイクロコントローラ40は、印加電流及び基準電位から抵抗を計算し、そしてそれにより得られる値を内部フラッシュメモリ52に記憶する。図4A及び図4Bの両方を参照すれば、センサデータは、外部データバス54を通してダウンロードされ又は取得されるか、或いはワイヤレスモジュール56を使用してアンテナ58を経てデータを送信する。電源60は、内部バッテリー、充電型バッテリー(リチウムイオンのような)、及び／又はエネルギーハーベスティングエレメントを含む外部電源からの電力より成る。

40

【0024】

50

信号測定

図 5 A は、ここに述べる革新の 1 つ以上の観点により直線分極抵抗又は濡れ時間及び塩度から腐食率を計算するための例示的フローチャートである。計装増幅器から分極抵抗を測定するプロセスが図 5 A の例示的フローチャートに示されている。先ず、シングルプル・ダブルスロースイッチ 36 は、LPR を、構造体 26 に対して又は LPR センサ 10 の反対電極 20 と作用電極 16 との間で測定するように構成される（ステップ 63）。開路電位は、印加電圧がディスエイブルされたときに基準電位として測定される（ステップ 64）。電流増幅器の利得は、最初、高にセットされる（ステップ 65）。次いで、印加電位がイネーブルされ、開路電位より低い X ボルトでスタートして限定時間中の固定増分ステップでセットされる（ステップ 66）。ある実施形態によれば、各ステップ間の時間量は、5 ms ないし 100 ms の範囲であり、使用される増幅回路及び電極構成に基づいてこの範囲に必ずしも限定されない。このステップが適用されると、それにより生じる信号から印加電流が測定されると共に、基準電極と作用電極との間で基準電位が測定される（ステップ 67）。両波形から複数のサンプルが取得され、そしてノイズを減少するために一緒に平均化される（ステップ 68）。次いで、測定された印加電流は、クリッピングに対して評価される（ステップ 69）。この例示的实施形態によれば、印加電流が増幅器の上の範囲又は下の範囲の 5 % 以内である場合には、電流利得が下げられそして測定が繰り返される（ステップ 70）。さもなければ、印加電位は、X ボルトより低く開路電位より高いかどうか決定するために評価される（ステップ 71）。もしそうであれば、印加電位は、Y ボルト増加され、ここで、例えば、 $X/10 < Y < X/5$ であり、印加電流及び基準電位の別の測定がなされる（ステップ 72）。さもなければ、スキャンが完了し、印加電位がディスエイブルされる（ステップ 73）。記録された印加電流及び基準電位測定値／データポイント対のポイントが全て検証される。不規則性（例えば、増幅器でクリップされた）を示すエラーデータポイントが省略される（ステップ 74）。次いで、直線適合を遂行するために有効データポイントの数が少なくとも 3 であることを確保するためのチェックがなされる（ステップ 75）。もしそうであれば、検証された基準電位対印加電流データポイントの直線適合を遂行することにより分極抵抗が決定される（ステップ 76）。さもなければ、分極抵抗が N/A として報告される（ステップ 77）。両方のケースにおいて、得られた分極抵抗値は、内部メモリに記憶される（ステップ 78）。最終的に、スイッチ 40 を使用する電極構成に基づいて、記憶された定数から腐食率及び全腐食又は濡れ時間及び塩度が計算される（ステップ 79）。

【0025】

図 5 B は、ここに述べる革新の 1 つ以上の観点により直線分極抵抗又は濡れ時間及び塩度から腐食率を計算するための別の例示的フローチャートである。計装増幅器から分極抵抗を測定するプロセスが図 5 B の例示的フローチャートに示されている。先ず、シングルプル・ダブルスロースイッチ 36 は、LPR を、構造体 26 に対して又は LPR センサ 10 の反対電極 20 と作用電極 16 との間で測定するように構成される（ステップ 63）。開路電位は、印加電圧がディスエイブルされたときに基準電位として測定される（ステップ 64）。電流増幅器の利得は、最初、高にセットされる（ステップ 65）。次いで、印加電位がイネーブルされ、開路電位より低い 10 mV でスタートして限定時間中の固定増分ステップでセットされる（ステップ 566）。各ステップ間の時間量は、5 ms ないし 100 ms のどこかにセットされる。このステップが適用されると、それにより生じる信号から印加電流が測定されると共に、基準電極と作用電極との間で基準電位が測定される（ステップ 67）。両波形から複数のサンプルが取得され、そしてノイズを減少するために一緒に平均化される（ステップ 68）。次いで、測定された印加電流は、クリッピングに対して評価される（ステップ 69）。この例示的实施形態によれば、印加電流が増幅器の上の範囲又は下の範囲の 5 % 以内である場合には、電流利得が下げられそして測定が繰り返される（ステップ 70）。さもなければ、印加電位は、10 mV より低く開路電位より高いかどうか決定するために評価される（ステップ 571）。もしそうであれば、印加電位は、1 - 2 mV 増加され、印加電流及び基準電位の別の測定がなされる（ステップ 5

72)。さもなければ、スキャンが完了し、印加電位がディスエイブルされる（ステップ73）。記録された印加電流及び基準電位測定値／データポイント対のポイントが全て検証される。不規則性（例えば、増幅器でクリップされた）を示すエラーデータポイントが省略される（ステップ74）。次いで、直線適合を遂行するために有効データポイントの数が少なくとも3であることを確保するためのチェックがなされる（ステップ75）。もしそうであれば、検証された基準電位対印加電流データポイントの直線適合を遂行することにより分極抵抗が決定される（ステップ76）。さもなければ、分極抵抗がN/Aとして報告される（ステップ77）。両方のケースにおいて、得られた分極抵抗値は、内部メモリに記憶される（ステップ78）。最終的に、スイッチ40を使用する電極構成に基づいて、記憶された定数から腐食率及び全腐食又は濡れ時間及び塩度が計算される（ステップ79）。

10

【0026】

例1：ラップジョイントを使用する腐食率の検証

サンプルをある長さにカットし、サンプルの両面の縁に接近してステンシルスタンプで独特のマークを付けた。次いで、アルカリ洗浄剤T U R C O 4 2 1 5 N C - L T - 5 0 g / Lを65℃で35分間使用して、サンプルを洗浄した。その後に、サンプルをタイプIV試薬グレードの脱イオン水ですすぎ、そして20%（v/v）硝酸溶液に15分間浸漬した。次いで、サンプルを脱イオン水で再びすすぎ、空気乾燥した。重量を最も近い第5有効数字まで記録し、そしてサンプルをデシケータに保管した。マッシングの後、サンプルをラップジョイント構成で組み立て、そして2ミルのエポキシ系プライマー及び2ミルのポリウレタンで被覆した。

20

【0027】

腐食のない制御サンプルを、腐食したサンプルと同じ洗浄プロセスを受ける前及び後に計量して、洗浄手順から生じる金属ロスの程度を決定した。腐食したサンプルをナイロンの剛毛で軽くブラッシングした。次いで、腐食したサンプルをT U R C O 4 2 1 5 N C - L T - 5 0 g / Lの溶液に65℃で1時間入れた。その後に、A S T M G 1、即ち腐食テスト試料を準備し、洗浄しそして評価する標準的慣例に従い、50mLの85%（v/v）磷酸、20gの三酸化クロム、及び1000mLにするための試薬水の溶液に90℃で10分間サンプルを入れた。次いで、20%（v/v）の硝酸に20℃で5分間サンプルを入れた。サンプルを、先ず、脱イオン水ですすぎ、次いで、エタノールですすいだ。すすぎに続いて、サンプルを空気乾燥し、デシケータに保管した。

30

【0028】

変更型B 1 1 7塩水噴霧テスト、特に、A S T M G 8 5 - Aテストを実行するサイクリック腐食チャンバーで腐食テストを遂行した。このテストは、2つの1時間ステップより成るものであった。第1ステップは、サンプルを塩水噴霧に25℃で1時間露出させるものであった。噴霧を構成する電解溶液は、0.05%の塩化ナトリウム及び0.35%の硫酸アンモニウムを脱イオン水に含むものであった。このステップの後に乾燥ステップがあり、内部環境を35℃へ加熱しながらチャンバーから噴霧をバージした。チャンバーの隔壁に延長ケーブルを通すことで密封チャンバーの外部に位置するA N 1 1 0に可撓性センサのための電氣的接続を行った。温度、相対湿度及びL P Rデータを1分間隔で取得した。第1サイクルの間に、A S T M規格G 5 9に従いポテンショスタット（ガムリ・リファレンス600）を使用してターフェル係数を取得した。図6は、ここに述べる革新の1つ以上の観点によりラップジョイント例に対するターフェル定数を校正するのに使用されるターフェル曲線の規範的なプロットである。係数は、図6に示す E_a 対 $\log_{10} I_a$ プロットから外挿された。

40

【0029】

この実験の結論において、ラップジョイントを環境チャンバーから除去し、そして分解した。分解に続いて、アルミニウムパネル上のポリウレタン及びエポキシ被覆を、メチルエチルケトンを含む溶液中にそれらを入れることにより除去した。30分の浸漬の後に、パネルを除去し、そして脱イオン水ですすいだ。これらパネルは、65℃での50g / l

50

のTurco 4215NC-LTの常時攪拌溶液への35分間浸漬で再びアルカリ洗浄した。これに続いて、脱イオン水ですすぎ、そして400g/lの三酸化クロムを含む85%燐酸の90℃溶液に10分間浸漬した。燐酸処置に続いて、パネルを脱イオン水ですすぎ、25℃の20%硝酸溶液に5分間入れた。次いで、プレートを脱イオン水ですすぎ、エタノールに浸漬し、そしてヒートガンで乾燥した。この洗浄プロセスを、パネルの質量値が安定化するまで繰り返した。図7A、B、Cは、ここに述べる革新の1つ以上の観点により異なる腐食環境を受ける3つの個別の試料における直線分極抵抗測定値から換算された腐食率対時間の規範的プロットである。腐食率は、図6に示す材料特性及びターフェル定数を使用して直線分極抵抗から計算された。

【0030】

図8は、ここに述べる革新の1つ以上の観点により直線分極測定値対時間から計算された全質量ロス及び洗浄後に測定された質量ロスの誤差バーとしての腐食の規範的プロットである。腐食率は、図8に示す質量ロスの尺度対時間として全腐食に換算された。

【0031】

図9は、ここに述べる革新の1つ以上の観点によりセンサ装置を使用して測定質量ロスと推定質量ロスを比較した規範的なプロットである。前記値は、次いで、図9に示すように、腐食プロセスの前及び後にクーポンを計量することにより慣習的な質量ロス測定を通して測定された値と比較された。その結果は、センサから推定された腐食がクーポンから測定された実際の腐食の実験的エラーに一致することを示している。

【0032】

例2：濡れ時間測定値の検証

図10は、ここに述べる革新の1つ以上の観点により4つの異なる温度条件に対して2つの櫛型電極間で測定された測定抵抗対相対的湿度の規範的な校正データを示す。定義によれば、濡れ時間とは、相対的湿度が少なくとも80%であるときに経過する時間量である。図10は、4つの異なる温度条件に対して相対的湿度の異なる値について反対電極と基準電極との間で測定される抵抗値間の関係を示す。校正された環境温度/湿度チャンバー(Test Equity 123H)を使用してデータを収集した。濡れ時間は、相対湿度が少なくとも80%であるポイントに対応する抵抗のスレッシュホールド値をセットすることにより決定される。次いで、濡れ時間は、抵抗がスレッシュホールドより低いと記録された時間量として計算される。校正データによれば、スレッシュホールドは、温度に基づき7MΩないし9MΩで変化する。温度変化が小さく、例えば、20℃ないし30℃である場合には、抵抗スレッシュホールドを80%湿度(±4%)に対応する8.5MΩ(±4%)にセットすることができる。温度変化が大きく、例えば、20℃ないし50℃である場合には、抵抗スレッシュホールドを80%湿度(±7%)に対応する8MΩ(±15%)にセットすることができる。現場で適用する場合には、このエラーを受け入れることができる。というのは、ほとんどの場合に、装置の電極間に水が存在するときには相対湿度が100%又は飽和に近いからである。

【0033】

例3：塩度測定値の検証

図11は、ここに述べる革新の1つ以上の観点により2つの櫛型電極間で測定された測定抵抗対塩度の校正データを示す。定義によれば、塩度は、1リットル(又は1キログラム)の水に溶解した塩の量(グラム)の比として測定される。又、単位は、パーツ・パー・サウザンドで表すこともできる。図11は、500mLの蒸留水を入れた攪拌棒をもつビーカーに8個の個別のセンサを配置した実験からの校正データを示す。化学天秤を使用して塩化ナトリウムFcc/uspgレード99.8%を計量し、そしてビーカーに増分量で追加した。櫛型電極間で測定された平均抵抗を標準偏差と共に計算し、そして図11に抵抗対塩度として対数座標にプロットした。抵抗対塩度対数の直線適合から実験的関係を導出した。この関係を使用して、抵抗の尺度から塩度を推論することができる。

【0034】

他の観点

文脈上明らかに他のことが要求されない限り、この説明全体にわたり且つそのどこかに現われる「備え(comprise)」、「備えている(comprising)」等の語は、排他的又は徹底的な意味ではなく、包括的な意味として解釈されるべきであり、即ち「含むが、それに限定されない」という意味である。又、単数又は複数を使用する語は、各々、複数又は単数も含む。更に、「ここでは」「以降」「上」「下」という語、及び同様の意味をもつ語は、本出願全体を指すもので、本出願の特定の部分を指すものではない。2つ以上のアイテムのリストを指して「又は(or)」という語が使用されるとき、その語は、次の全ての解釈、即ちリスト内のいずれかのアイテム、リスト内の全てのアイテム、及びリスト内のアイテムの任意の組合せ、を網羅している。

【0035】

10

以上、本発明の現在好ましいと考えられる幾つかの実施形態を特に説明したが、本発明に関与した当業者であれば、ここに示して説明した種々の実施形態の変更や修正が、本発明の精神及び範囲から逸脱せずになされ得ることが明らかであろう。従って、本発明は、法律の適用規定により要求される程度に限定されるだけとする。

【符号の説明】**【0036】**

- 10：可撓性ケーブル回路（ μ L P R可撓性センサ）
- 14：ジャンパ
- 16：作用電極
- 18：基準電極
- 20：反対電極
- 22：導電性転写テープ
- 24：絶縁／多孔性スクリム材料
- 26：構造体
- 28：電子的計装
- 30：マイクロプロセッサ
- 32：デジタル／アナログコンバータ（D A C）
- 34：電圧ホロワ増幅器
- 36、40：スイッチ
- 40：マイクロコントローラ
- 42：トランスレジスタンス増幅器
- 44：選択可能な利得
- 46：アナログ／デジタルコンバータ（A D C）
- 48：埋設ハードウェアシステム
- 52：メモリ
- 54：データバス
- 56：ワイヤレスモジュール
- 58：アンテナ
- 60：電源

20

30

【図 1】

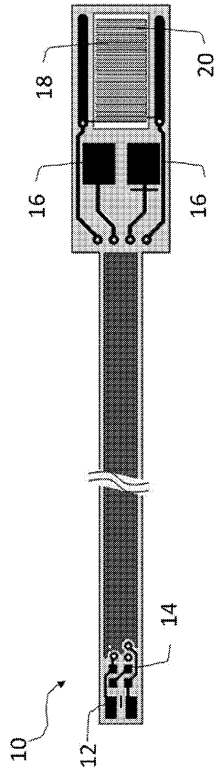


Figure 1

【図 2】

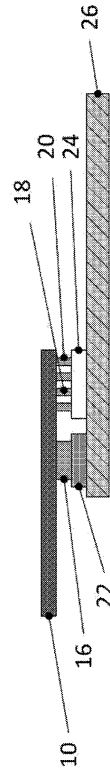


Figure 2

【図 3】

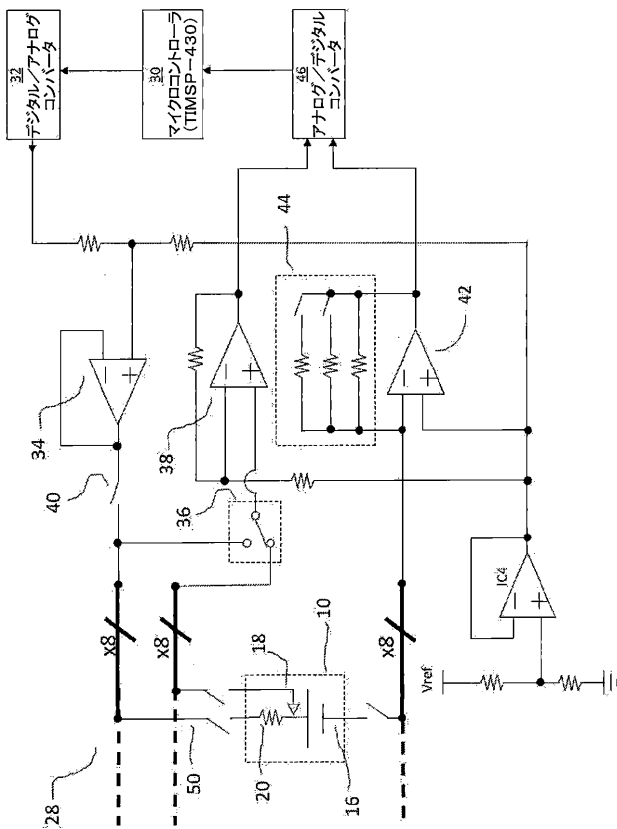


Figure 3

【図 4 A】

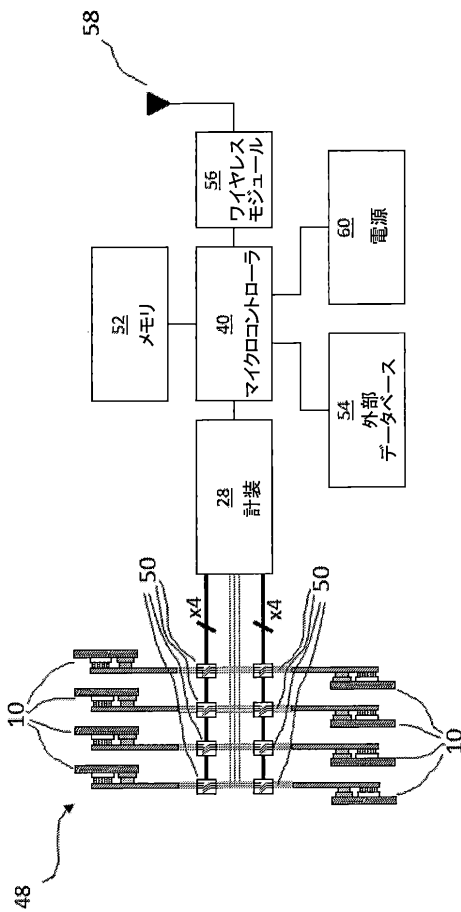


Figure 4A

【図 5 A】

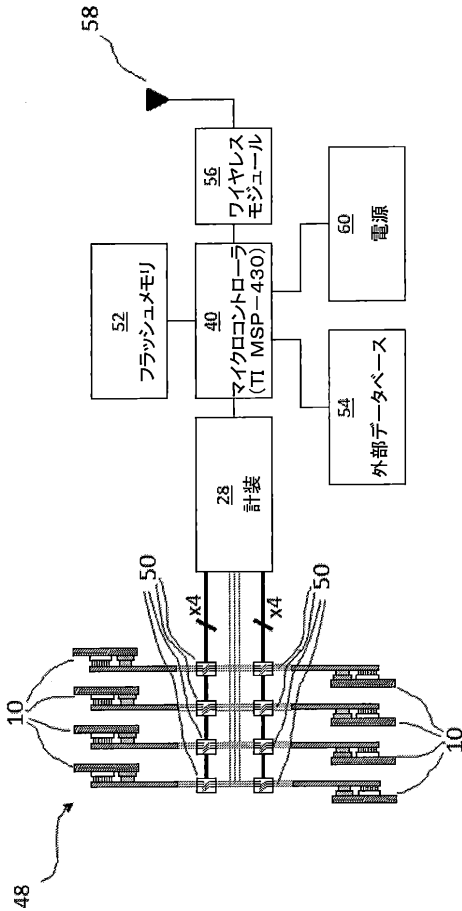


Figure 4B

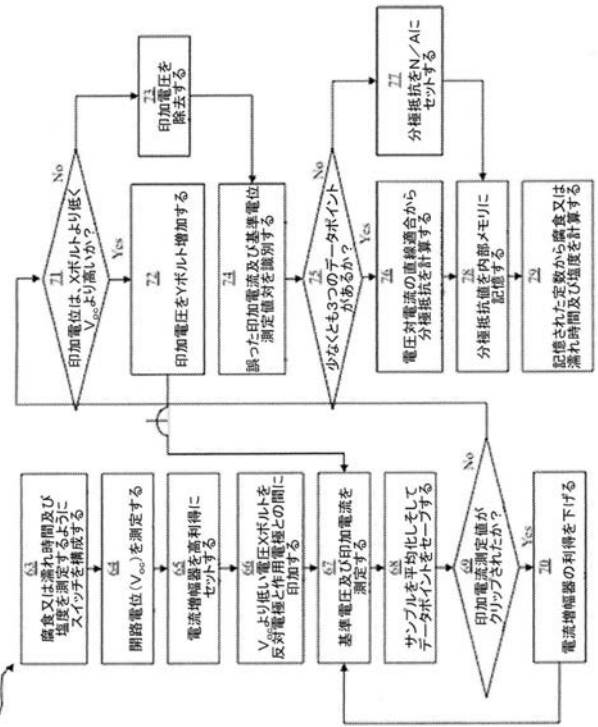


Figure 5A

【図 5 B】

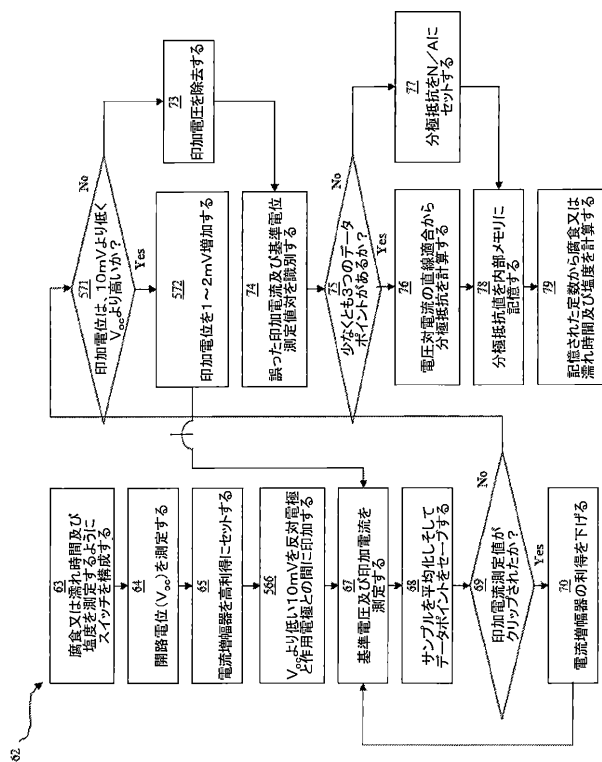


Figure 5B

【図 6】

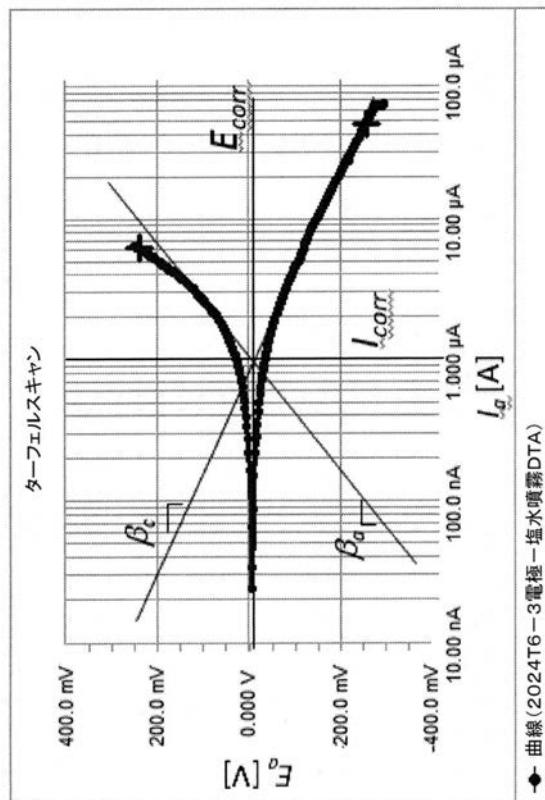
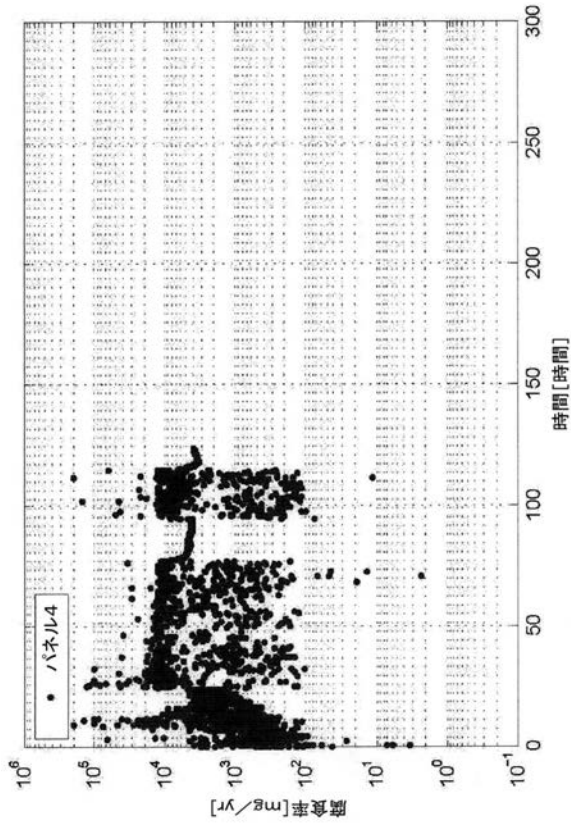
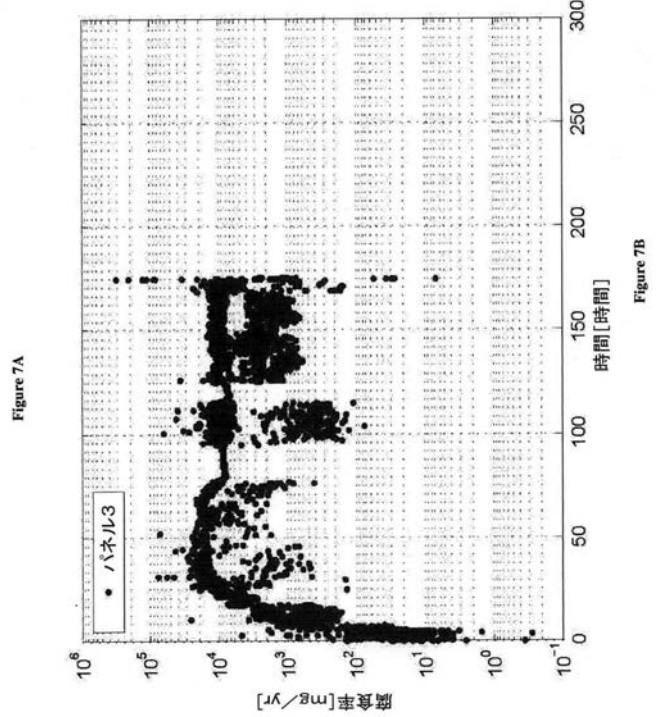


Figure 6

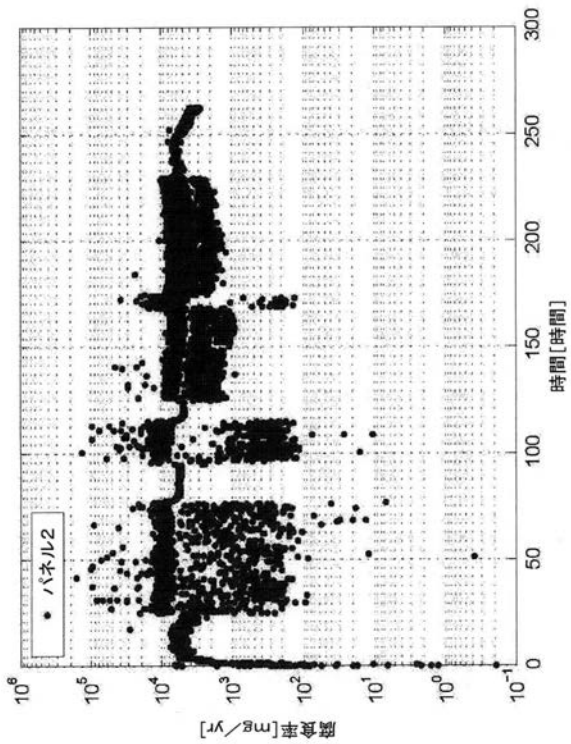
【図 7 A】



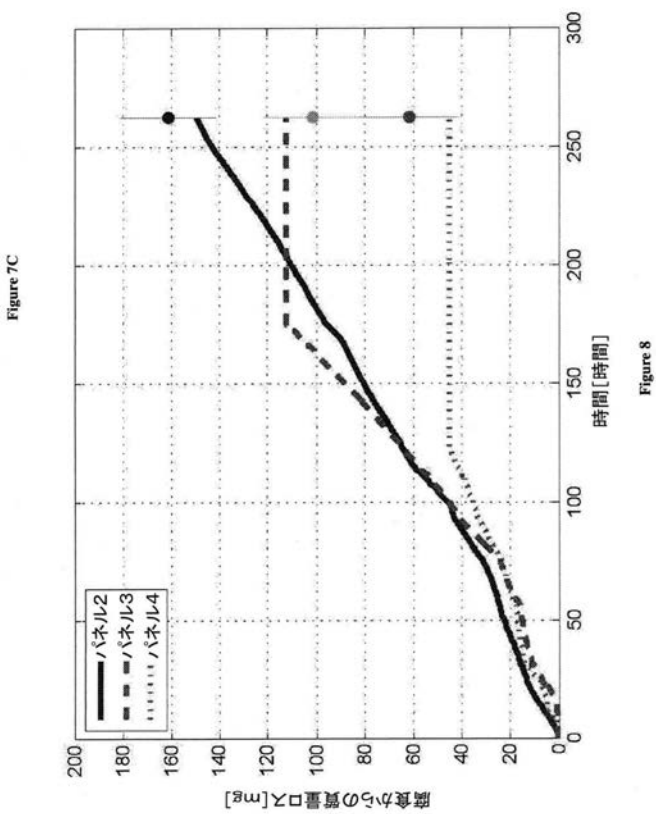
【図 7 B】



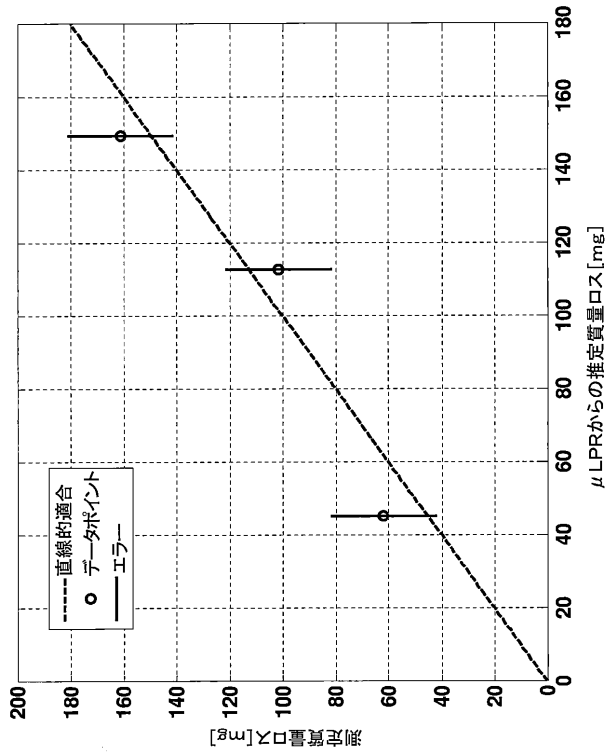
【図 7 C】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

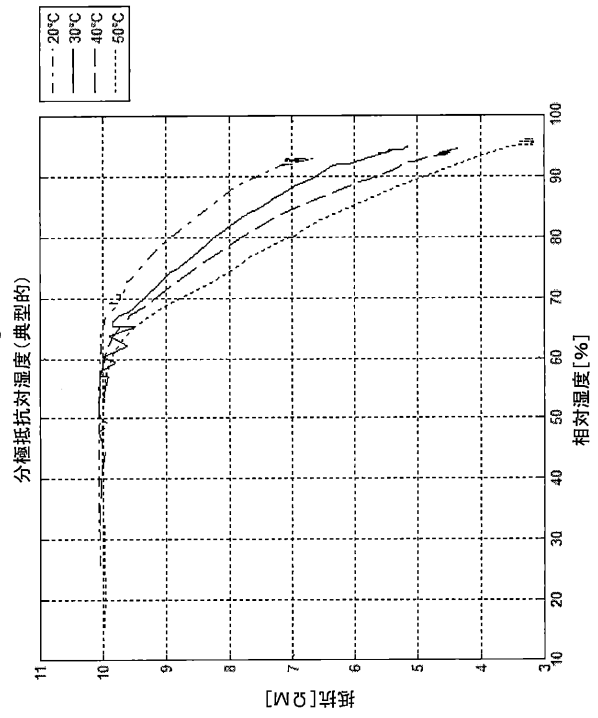


Figure 10

【図 11】

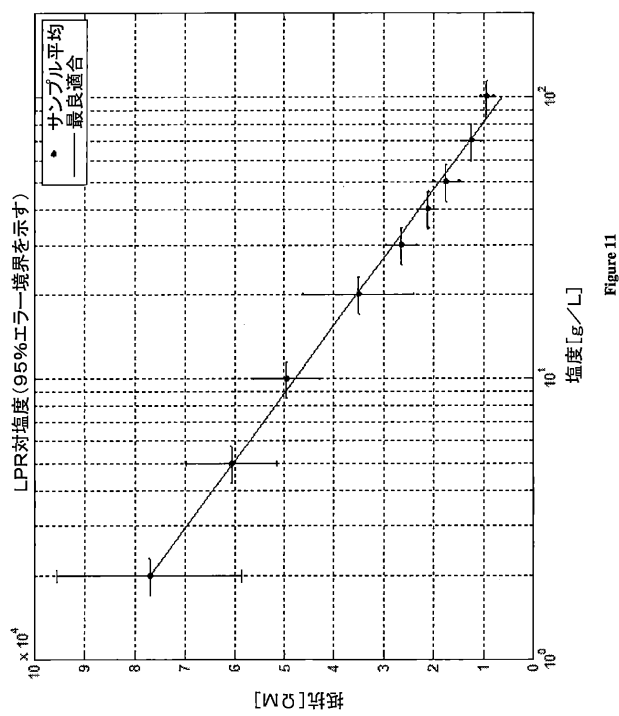


Figure 11

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US15/38184

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - G01N 17/02, 27/04, 27/30 (2015.01) CPC - G01N 17/02, 27/045, 27/30 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) IPC(8): G01N 17/02, 27/04, 27/20, 27/30 (2015.01) CPC: G01N 17/02, 27/045, 27/20, 27/30 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PatSeer (US, EP, WO, JP, DE, GB, CN, FR, KR, ES, AU, IN, CA, INPADOC Data); Google; Google Scholar; ProQuest; KEYWORDS: monitoring corrosion structure linear polarization resistance LPR electrodes circuitry sensor potential ground select enable disable reference adjust		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X — Y — A	US 2002/0190729 A1 (WILSON, A.) December 19, 2002; abstract; figures 2A-2C; paragraphs [0044-0068]	1-2 — 3/1-3/2, 38, 69 and 111 — 70, 79
Y — A	US 5,310,470 A (AGARWALA, V. et al.) May 10, 1994; figure 2; column 4, lines 6-24	3/1-3/2, 38, 69 and 111 — 70, 79
A	US 2006/0006137 A1 (NIBLOCK, T.) January 12, 2006; abstract; figures 2 and 9; paragraphs [0021, 0036, 0039]	70, 79
☐ 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 29 October 2015 (29.10.2015)		Date of mailing of the international search report 01 DEC 2015
Name and mailing address of the ISA/ Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300		Authorized officer Shane Thomas PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US15/38184

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☒ Claims Nos.: 4-37, 39-68, 71-78, 80-97, 99-109, 112-115, 117-125
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See Extra Sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-2, 3/1-3/2, 38, 69-70, 79 and 111

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/US15/38184

****-Continued from Box III-****

Claims 2 and 3 are objected to under PCT 66.2(a)(v) as lacking clarity under PCT Article 6 because claims are indefinite for the following reason:

Claim 2 includes "or any other claim herein", which causes lack of antecedent basis issues for depending from subsequent claims. For the purpose of this opinion, "or any other claim herein" is interpreted to be omitted to restore clarity and antecedent basis.

Claim 3 includes "The system of claim 1, claim 2, or any other claim herein", which causes lack of antecedent basis issues for depending from subsequent claims. For the purpose of this opinion, "The system of claim 1, claim 2, or any other claim herein" is interpreted as "The system of claim 1 or claim 2" to restore clarity and antecedent basis.

This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be examined, the appropriate additional examination fee must be paid.

Group I: Claims 1-3, 38, 69, 70, 79, and 111 are directed toward a system for monitoring corrosion in a structure, the system comprising: a linear polarization resistance (LPR) sensor comprising a plurality of electrodes, instrumentation circuitry, an applied potential across a first electrode and ground, selectively enable and disable the set potential, microcontroller circuitry, measure an open circuit reference potential, measure the potential across the selected electrodes, adjust the applied potential, and determine a polarization resistance based on the measured potentials.

Group II: Claims 98, 110, and 116 are directed toward a corrosion sensor device comprising three electrodes, each electrode configured on a polymer flexible substrate cable; wherein each electrode is fabricated from an inert/noble metal, wherein the first two electrodes are arranged in an interdigitated fashion; wherein the third electrode is placed about 10 mm or less from the first two electrodes and makes electrical contact to the structure by forming an electrical contact between the electrode and structure; wherein the sensor device produces a corrosion rate as a function of known physical constants and by measuring the polarization resistance measured between the electrolytic solution and the structure using the three electrodes.

The inventions listed as Groups I and II do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1 because, under PCT Rule 13.2, they lack the same or corresponding special technical features. Group I has at least a linear polarization resistance (LPR) sensor, instrumentation circuitry, a potential applied across a first electrode and ground, an open circuit reference potential that Group II does not have. Group II has at least an electrode configured on a polymer flexible substrate cable, each electrode is fabricated from an inert/noble metal, the first two electrodes are arranged in an interdigitated fashion, and the third electrode is placed about 10 mm or less from the first two electrodes that Group I does not have.

The common technical features of Groups I and II are at least a corrosion sensor comprising electrodes including a working electrode, counter electrode, and a reference electrode, and a corrosion rate. These common features are disclosed by US 5,188,715 A to CHEN, T et al. (hereinafter "Chen"). Chen discloses a corrosion sensor (corrosion probe (corrosion sensor), column 1, lines 6-12) comprising electrodes including a working electrode (working electrode 14, figures 2-3, column 6, lines 2-6), counter electrode (counter electrode 18, figures 2-3, column 6, lines 2-6), and a reference electrode (reference electrode 16, figures 2-3, column 6, lines 2-6), and a corrosion rate (measuring a corrosion rate, column 5, lines 58-60 and column 6, lines 6-8).

Since the common technical feature is previously disclosed by the Chen reference, these common features are not special and so Groups I and II lack unity.

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100120525

弁理士 近藤 直樹

(74)代理人 100139712

弁理士 那須 威夫

(72)発明者 ブラウン ダグラス ダブリュー

アメリカ合衆国 ペンシルヴァニア州 1 7 8 5 7 ノーサンバーランド エセックス レーン
2 6 7

(72)発明者 コノリー リチャード ジェイ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2 1 2 6 サンディエゴ ウェストビュー パークウェイ
1 1 7 6 8 アpartment 4 2

(72)発明者 ダール デュエイン アール

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 4 0 4 フォスター シティ ムーンセール レーン
1 2 1 6

(72)発明者 アガーワラ ヴィノード エス

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 8 9 サニーヴェール ウェデル ドライヴ 5 6 2
スイート 4