

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6756466号  
(P6756466)

(45) 発行日 令和2年9月16日(2020.9.16)

(24) 登録日 令和2年8月31日(2020.8.31)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 N 27/22 (2006.01)  
 GO 1 N 17/04 (2006.01)  
 GO 1 N 17/00 (2006.01)  
 GO 1 N 33/38 (2006.01)  
 GO 1 N 33/2045 (2019.01)

GO 1 N 27/22  
 GO 1 N 17/04  
 GO 1 N 17/00  
 GO 1 N 33/38  
 GO 1 N 33/2045

33/2045

100

請求項の数 7 (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2015-155553 (P2015-155553)

(22) 出願日

平成27年8月5日(2015.8.5)

(65) 公開番号

特開2017-32515 (P2017-32515A)

(43) 公開日

平成29年2月9日(2017.2.9)

審査請求日

平成30年6月29日(2018.6.29)

(73) 特許権者 000000240

太平洋セメント株式会社

東京都文京区小石川一丁目1番1号

(74) 代理人 100114258

弁理士 福地 武雄

(74) 代理人 100125391

弁理士 白川 洋一

(72) 発明者 佐藤 達三

千葉県佐倉市大作二丁目4番2号 太平洋  
セメント株式会社中央研究所内

(72) 発明者 江里口 玲

千葉県佐倉市大作二丁目4番2号 太平洋  
セメント株式会社中央研究所内

審査官 蔵田 真彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】腐食センサおよび腐食検出方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

コンクリートまたは金属の腐食環境を検出する腐食センサであって、  
 腐食性を有する金属で板状、箔状または膜状に形成された検知部と、  
 耐腐食性を有する金属で形成され、前記検知部と対向する位置に設けられた対向電極と

、前記検知部および前記対向電極の間に設けられた誘電体と、

前記検知部に接続された第1の通電部と、

前記対向電極に電気的に接続された第2の通電部と、を備え、

前記検知部は、面積が  $300 \text{ mm}^2$  以上  $20,000 \text{ mm}^2$  以下であり、

10

前記検知部と前記対向電極とが対向する面積の変化に応じて電気特性が変化し、

前記検知部には、複数の貫通孔が設けられていることを特徴とする腐食センサ。

## 【請求項 2】

コンクリートまたは金属の腐食環境を検出する腐食センサであって、

腐食性を有する金属で板状、箔状または膜状に形成された検知部と、

耐腐食性を有する金属で形成され、前記検知部と対向する位置に設けられた対向電極と

、前記検知部および前記対向電極の間に設けられた誘電体と、

前記検知部に接続された第1の通電部と、

前記対向電極に電気的に接続された第2の通電部と、を備え、

20

前記検知部は、面積が 300 mm<sup>2</sup> 以上 20,000 mm<sup>2</sup> 以下であり、

前記検知部には、複数の貫通孔が設けられていることを特徴とする腐食センサ。

#### 【請求項 3】

前記貫通孔の平面形状は、円であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の腐食センサ。

#### 【請求項 4】

前記対向電極が、金属製の棒材であることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の腐食センサ。

#### 【請求項 5】

前記検知部に複数の前記第 1 の通電部が接続されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の腐食センサ。 10

#### 【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の腐食センサの第 1 の通電部と第 2 の通電部間と交流電界を印加し、

前記腐食センサの検知部が腐食することによる電気特性値の変化に基づいて、腐食センサの腐食進行状況を特定することを特徴とする腐食検出方法。

#### 【請求項 7】

請求項 1 から請求項 5 のいずれかに記載の腐食センサをコンクリート構造物に埋設または鋼構造物の鋼材の表面に絶縁して貼付し、前記腐食センサに交流電界を印加し、腐食進行状態を検出する腐食検出方法であって、前記腐食センサの検知部が腐食することによる電気特性値の変化に基づいて、腐食センサの腐食進行状態を特定することを特徴とする腐食検出方法。 20

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は、コンクリートまたは鋼材の腐食環境状態を検出する技術に関する。

##### 【背景技術】

##### 【0002】

コンクリート構造物中の鋼材は、コンクリートがアルカリ性環境を保持していることで鋼材表面に不動態皮膜を形成し、腐食から保護されている。しかしながら、例えば、空気中の二酸化炭素、下水道施設における硫酸、あるいは塩化物イオンなどの腐食因子がコンクリート中に侵入すると、この不動態皮膜が破壊され、コンクリート中にある水と酸素によって鋼材の腐食が開始する。また、鉄橋やプラントなどの鋼材を用いた構造物では、鋼材に錆が生じないように保護塗料が用いられている。 30

##### 【0003】

コンクリート構造物の鋼材が腐食すると、鋼材の体積膨張を生じ、その膨張圧でコンクリートにひび割れを生じ、ひび割れを通じてさらに腐食因子の侵入と外部からの水と酸素の供給によって鋼材の腐食は加速的に進行し、ついにはコンクリート構造物としての機能が保持できなくなる。

##### 【0004】

従って、鋼材の腐食が開始する前に腐食因子の侵入や鋼材の腐食開始を検知し、例えば、表面被覆などの対策で腐食因子や水と酸素のさらなる侵入を阻止して鋼材を腐食から守り、構造物の予防的な保全を図ることが重要となる。この問題に対し、従来から種々の腐食診断方法が提案されている。例えば、コア抜きを行なって腐食因子を分析する方法や、非破壊的に鋼材の自然電位や分極抵抗を測定する手法、化学センサやガスセンサにより腐食因子を検出する手法、鉄製の細線を模擬腐食部材としてコンクリートに埋設し、細線が断線したときに腐食を検出する手法などが知られている。 40

##### 【0005】

これらの腐食診断手法のうち、細線の断線によって腐食を検知する方法は、(a) 予めセンサを埋設することでコア抜きなどコンクリートを傷めることがない、(b) コンクリ 50

ート表面と鋼材の間に細線を深さに応じて数本設置することで表面からの腐食因子の侵入の時間依存性をモニタリングでき維持管理計画の立案を容易とする、(c)直接的に鉄の腐食を捉えるので腐食因子だけでなく水や酸素の供給状態をも含めた腐食の可能性を検知できる、(d)電気抵抗の変化を捉えるので極めて低消費電力での検出が可能で長期モニタリングに適する、というメリットがあり、細線切断を検出することによる腐食診断方法が、種々提案されている(例えば、特許文献1~3)。また、感度が高く、設計自由度を大きくするために、鉄箔材を用いた腐食センサも提案されている(特許文献4)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平8-094557号公報

10

【特許文献2】特開平8-233896号公報

【特許文献3】特許第3205291号公報

【特許文献4】特開2012-145330号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】“コンクリート中の塩化物浸透過程非破壊モニタリングシステムの開発研究 コンクリート工学年次論文集, Vol.23 NO.1, 2001”

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0008】

しかしながら、従来の腐食センサは、すべて電気抵抗を捉えるものである。導電率の高い鉄は、破断しなければ抵抗値に変化が現れにくく、センサの感度が線径や線幅等に依存しやすいという課題がある。また、腐食センサを単独で評価する場合は、腐食因子がコンクリート構造物内にどのくらい進展しているのかを把握することができない。さらに、検知部が破断すると、センサの機能が失われてしまう。

【0009】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、腐食の危険性と共に腐食環境の進展状況を把握することができ、高精度で、低コスト化を図ることができる静電容量型腐食センサおよび腐食検出方法を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0010】

(1)上記の目的を達成するために、本発明は、以下のよう手段を講じた。すなわち、本発明の腐食センサは、コンクリートまたは金属の腐食環境を検出する腐食センサであつて、腐食性を有する金属で板状、箔状または膜状に形成された検知部と、耐腐食性を有する金属で形成され、前記検知部と対向する位置に設けられた対向電極と、前記検知部および前記対向電極の間に設けられた誘電体と、前記検知部に接続された第1の通電部と、前記対向電極に電気的に接続された第2の通電部と、を備え、前記検知部は、面積が300mm<sup>2</sup>以上20,000mm<sup>2</sup>以下であることを特徴とする。

【0011】

40

このように、検知部および対向電極の間に設けられた誘電体を備えるので、腐食による検知部の面積の減少に応じて、誘電正接や静電容量等の電気特性が変化する。これにより、検知部の面積に応じて腐食環境進行状況を捉えることが可能となる。検知部の面積は、300mm<sup>2</sup>以上の面積を有することで、長期間センサとして計測することができる。さらに、コンクリート中に含まれる骨材が腐食因子の浸透を妨げた場合の影響を受けにくくすることができる。また、センサの面積を20,000mm<sup>2</sup>以下の面積とすることで、構造物中の鉄筋やコンクリートの性能に影響を及ぼさない大きさとして形成でき、製造や保管が容易になると共に、腐食を検知する場所への設置が容易となる。また、検知部に接続された第1の通電部を備えるため、検知部のどの部分が腐食したかを把握することができる。

50

**【0012】**

(2) また、本発明の腐食センサにおいて、前記検知部には、複数の貫通孔が設けられていることを特徴とする。

**【0013】**

このように、検知部には、複数の貫通孔を有するので、腐食因子が滞留し、検知部を腐食させ、さらに水平方向（横方向）への腐食反応も生じせしめるため、初期段階での腐食による断面欠損を促進する効果があることから、腐食因子に対する感度を高め、かつ腐食され易くすることができる。また、検知部の貫通孔のある箇所の腐食感度が高く、貫通孔のない箇所では腐食が進行しにくいため、これを選択的に組み合わせ、例えば、第1の通電部の近傍を貫通孔のない平面状の金属で構成し、検知部を貫通孔のある箇所とすれば、選択的に腐食する領域を形成することも可能となる。

10

**【0014】**

(3) また、本発明の腐食センサにおいて、前記貫通孔の平面形状は、円であることを特徴とする。

**【0015】**

このように、貫通孔の平面形状は、円であるので、エッチングによる形成において、形成精度や歩留まりが向上する。エッチングは、形成対象の形状として角が生じると、エッチングにおける金属溶解の応力によって、隅角部に亀裂が生じたり、エッチング液が隅角部に滞留して局所的に金属溶解が進行し、所定の形状が形成できない場合がある。貫通孔が円形である場合は、そのような応力が分散されやすく、また隅角部での滞留も生じないため、検知部の貫通孔の製作における形成精度や歩留まりが向上する。その結果、品質の安定化やコスト削減に資することが可能となる。

20

**【0016】**

(4) また、本発明の腐食センサは、前記対向電極が、金属製の棒材であることを特徴とする。

**【0017】**

このように、対向電極が、金属製の棒材であるので、薄い対向電極を作成する必要がない。棒状であるため、カード・シート状の形態を採る腐食センサよりも頑丈で破損しにくい。また、検知部の面積に対して対向電極をコンパクトにすることが可能となる。

30

**【0018】**

(5) また、本発明の腐食センサは、前記検知部に複数の前記第1の通電部が接続されていることを特徴とする。

**【0019】**

このように、検知部に複数の第1の通電部が接続されているので、いずれかの第1の通電部の周辺がすべて腐食してしまい、断線してしまったとしても、検知部と接続状態の他の第1の通電部が存在する可能性が高い。そのため、長期間継続して腐食検知を行なうことが可能となる。

**【0020】**

(6) また、本発明の腐食検出方法において、上記(1)から(5)のいずれかに記載の腐食センサの第1の通電部と第2の通電部間と交流電界を印加し、前記腐食センサの検知部が腐食することによる電気特性値の変化に基づいて、腐食センサの腐食進行状況を特定することを特徴とする。

40

**【0021】**

このように、検知部および対向電極の間に設けられた誘電体を備えるので、腐食による検知部の面積の減少に応じて、誘電正接や静電容量等の電気特性が変化するので、検知部の面積に応じて腐食環境進行状況を捉えることが可能となる。検知部の面積は、 $300\text{ mm}^2$ 以上の面積を有することで、長期間センサとして計測することができる。さらに、コンクリート中に含まれる骨材が腐食因子の浸透を妨げた場合の影響を受けにくくすることができる。また、センサの面積を $20,000\text{ mm}^2$ 以下の面積とすることで、構造物中の鉄筋やコンクリートの性能に影響を及ぼさない大きさとして形成でき、製造や保管が容

50

易になると共に、腐食を検知する場所への設置が容易となる。

【0022】

(7) また、本発明の腐食検出方法は、上記(1)から(5)のいずれかに記載の腐食センサをコンクリート構造物に埋設または鋼構造物の鋼材の表面に絶縁して貼付し、前記腐食センサに交流電界を印加し、腐食進行状態を検出する腐食検出方法であって、前記腐食センサの検知部が腐食することによる電気特性値の変化に基づいて、腐食センサの腐食進行状態を特定することを特徴とする。

【0023】

このように、鉄筋や鋼材に貼り付けるため、大きな取り付けスペースを確保する必要がなく、腐食センサ容易に取り付けることが可能となり、また、腐食センサの破損を回避することが可能となる。

10

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、検知部の面積に応じて腐食環境進行状況を捉えることが可能となる。すなわち、鉄箔や細線の切断による抵抗変化を検出する方式と比較して、板状、箔状または膜状の検知部の面積で腐食の現状をより正確に把握することが可能となる。また、検知部には、複数の貫通孔を有する領域が設けられているので、検知部の感度を向上させ、腐食され易くすることができる。これにより、腐食による検知部の面積の減少と実際の腐食状況とを正確に対応付けることが可能となり、測定感度を向上させることが可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】既存の抵抗式腐食センサと本発明の腐食センサとを比較した図である。

【図2】本実施形態に係る腐食センサの概念を示す図である。

【図3】第1の実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す図である。

【図4】第2の実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す図である。

【図5】第3の実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す図である。

【図6】本実施形態に係る腐食センサの製造方法を示すフローチャートである。

【図7A】実施例1を示す図である。

【図7B】実施例2を示す図である。

【図7C】実施例3を示す図である。

30

【図8】本実施形態に係るメッシュ形状のセンサと、貫通孔を有しないセンサとの比較例を示す図である。

【図9】メッシュ形状のセンサについて、面積が大きいセンサと面積が小さいセンサとの比較例を示す図である。

【図10】本実施形態に係る静電容量型腐食センサを塩水浸漬した際の測定周波数による各サイクルにおける静電容量値の違いを示す図である。

【図11】1サイクル経過後の静電容量値を腐食面積率0%の初期値として、面積減少率と静電容量との関係を理論値の実測値と併せて示した図である。

【図12】試験体の概要を示す図である。

【図13】モルタル試験体に埋設するセンサの概要を示す図である。

40

【図14】各サイクルで計測した誘電正接の結果を示す図である。

【図15】各サイクルで計測した静電容量の結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

【腐食センサの概要】

図1は、既存の抵抗式腐食センサと本発明の腐食センサとを比較した図であり、図2は、本実施形態に係る腐食センサの概念を示す図である。図1において、紙面に対して左側には、既存の抵抗式腐食センサを示す(a)。この既存の抵抗式腐食センサは、腐食の進行と共に変化する電気抵抗を検出するものであり、腐食因子の有無を判定するためには適している。しかし、その後の腐食の進展を検出することはできない。

50

## 【0027】

一方、図1において、紙面に対して右側には、本発明の腐食センサを示す(b)。この腐食センサは、図2に示したように、鉄箔で形成された検知部1と、安定金属膜で構成された対向電極3との間に樹脂フィルムで形成された誘電体5と、第1の通電部を構成するリード線15a、第2の通電部を構成するリード線15bとを備えている。なお、図2では、第1の通電部を構成するリード線15aを単一のものとして記載しているが、本発明は、これに限定されるわけではない。すなわち、第1の通電部を構成するリード線15aを複数備えていても良い。

## 【0028】

そして、腐食の進行と共に変化する静電容量や誘電正接、リアクタンス、並列等価抵抗等の電気特性を検出するものである。図1に示すように、(1)軸体コンクリートに塩分が浸透すると、(2)腐食因子が検知部に到達し、反応が始まる。そして、(3)検知部の断面欠損が生ずることによって、電気特性の変化を検知する。電気特性の変化を検知するため、腐食因子の有無のみならず、その後の腐食の進展度合いを評価することができる。本実施形態では、コンクリート中の鉄筋の腐食に対応する形状、寸法を規定すると共に、腐食センサの設置方法の自由度を高めて、腐食センサの適用範囲や活用方法を拡大する例を示す。

## 【0029】

## [腐食センサの測定原理]

平行平板導体(検知部)の誘電正接  $\tan \delta$  は、 $\delta$  : 角周波数、C: 静電容量、R: 直列等価抵抗との間に以下の関係がある。

$$\tan \delta = C R \quad \dots (1)$$

## 【0030】

平行平板導体(検知部)の静電容量Cは、平行平板導体の面積S、平行平板導体間の間隔dとの間に、以下の関係がある。

$$C = Q / V = S / d [F] \quad \dots (2)$$

ここで、 $\delta$  は、誘電率である。

## 【0031】

本実施形態に係る腐食センサは、この原理を用いる。すなわち、センサの検知部が腐食因子によって腐食していくと、対向する平行平板導体の面積が減少し、それに伴って電気特性が変化する。電気特性の変化度合いを捉えることによって、検知部の面積の減り具合、ひいては腐食の進行具合を把握することができる。

## 【0032】

また、腐食センサにおいて、留意すべき点は、以下の通りである。すなわち、検知部が、腐食因子と反応する材料である必要がある。次に、電気特性として静電容量を用いて腐食センサとして機能させるためには、断面欠損の発生が必要となるため、検知部が腐食により消失することが必要である。本実施形態では、検知部をごく薄い鉄箔で構成することでこれらの課題を解決した。また、検知部が、全面的に腐食して消失してしまうと、その後の腐食進展を評価することができなくなるため、全面消失するまで長期間を要する程度の大きさが必要となる。さらに、コンクリート中に埋設して使用するため、腐食センサの取り付け方法や方向を定める必要がある。また、コンクリートに使用される骨材の影響を排除するような寸法や形状を定める必要がある。

## 【0033】

## [第1の実施形態]

図3は、第1の実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す図である。この腐食センサ20は、鉄を圧延することにより作製され、3  $\mu m$  以上0.1 mm以下の厚さを有する検知部としての鉄箔部(検知部1)と、誘電体7と、鉄箔部に接続されたリード線9と、図示しない対向電極と、対向電極に接続されたリード線とを備える。鉄箔部の厚さを3  $\mu m$  以上0.1 mm以下としたのは、薄すぎるとセンサの取り扱い時に検知部にひび割れが生じやすく、厚すぎるとセンサの感度が低下する恐れがあるためである。また、検知部の面

10

20

30

40

50

積は、 $300\text{ mm}^2$  以上、好ましくはコンクリート中の最大骨材寸法  $G_{\max}$  の 2 乗の面積以上、より好ましくは  $700\text{ mm}^2$  以上である。検知部の面積を  $300\text{ mm}^2$  以上とすることで、検知部の急激な腐食反応の進行を抑制して、長期間センサとして計測することができる。

#### 【0034】

また、コンクリートに使用される骨材の最大寸法は、 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$  のふるいを通過する寸法、あるいは  $25\text{ mm} \times 25\text{ mm}$  のふるいを通過するものが使用されることが多いことから、検知部の面積を  $300\text{ mm}^2$  以上とすることで、骨材が検知部の直上にくることで生じる誤差要因などの骨材の影響を受けにくくすることができる。また、検知部の面積は、 $20,000\text{ mm}^2$  以下とすることが好ましい。センサの面積を  $20,000\text{ mm}^2$  以下とすることで、構造物中の鉄筋やコンクリートの性能に影響を及ぼさない大きさとして形成でき、製造や保管が容易になると共に、腐食を検知する場所への設置が容易となる。

#### 【0035】

リード線 9 を含む鉄箔部（検知部 1）または外縁部全体に、腐食しない材質で腐食防止膜を設けても良い。

#### 【0036】

##### 〔第2の実施形態〕

図 4 は、第 2 の実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す図である。この腐食センサ 10 は、カード形状（矩形）に形成されている。検知部 11 は、複数の貫通孔を有し、メッシュ状に形成された第 1 の領域、および貫通孔を有しない第 2 の領域で構成されている。第 2 の領域にはリード線 15 が接続されている。この腐食センサ 10 の寸法は、「 $50\text{ mm} \times 70\text{ mm}$ 」である。なお、第 1 の領域に設けられている複数の貫通孔の平面形状は、円である。これにより、センサの形成精度や歩留まりが向上する。

#### 【0037】

##### 〔第3の実施形態〕

図 5 は、第 3 の実施形態に係る腐食センサの概略構成を示す図である。この腐食センサ 13 は、第 1 の実施形態で示したカード形状（矩形）の検知部が連設された長軸形状に形成されている。検知部 14 には、複数の貫通孔を有し、メッシュ状に形成された領域および貫通孔を有しない領域が交互に連設するように設けられている。また、貫通孔を有しない領域の複数個所には、それぞれ、リード線 15 が設けられている。このように、複数のリード線 15 を設けることによって、検知部 14 のどこまでが腐食したのかを把握することが可能となる。また、一部のリード線の周囲が腐食して断線しても、他のリード線を用いて計測することが可能である。

#### 【0038】

図 5 の右半分の中央部は、金属で構成された検知部の貫通孔を有しない外周の一部に、貫通孔を設け、検知部の縦方向に腐食しやすい箇所を設けている。このように、腐食しにくい外周の一部に貫通孔を設けることで、当該箇所が他の外周と比較して腐食の進行も早くなる。従って、当該箇所が縦方向に腐食することで、中央部の通電部と右側の通電部が通電しなくなるため、複数の通電部で計測される電気特性に変化が生じるため、腐食が生じた位置を同定することが可能となる。

#### 【0039】

また、図 5において、リード線 15 の接続点 17 は、例えば、樹脂等の錆びない材料で被覆されている。この腐食センサ 13 の寸法は、「 $30\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ 」である。なお、本実施形態において、設けられている複数の貫通孔の平面形状は、円である。これにより、センサの形成精度や歩留まりが向上する。

#### 【0040】

##### 〔腐食センサの製造方法〕

図 6 は、本実施形態に係る腐食センサの製造方法を示すフローチャートである。まず、鉄を圧延して鉄箔を製造する（ステップ S 101）。鉄箔は、 $3\text{ }\mu\text{m}$  以上  $0.1\text{ mm}$  以下

10

20

30

40

50

の厚さを有するものとする。ここで、鉄箔は、蒸着やメッキにより形成される薄膜であっても良いし、板状に形成されていても良い。厚さを  $3 \mu\text{m}$  以上  $0.1\text{mm}$  以下としたのは、薄すぎるとセンサの取り扱い時に検知部にひび割れが生じやすく、厚すぎるとセンサの感度が低下する恐れがあるためである。

#### 【0041】

次に、鉄箔材とポリイミド材との貼り合わせを行ない(ステップS102)、センサパターンのレジスト印刷を行なう(ステップS103)。次に、ケミカルエッチングを行なう(ステップS104)。ここでは、貫通孔も形成される。次に、対向電極としての対極板を形成する(ステップS105)。ここでは、例えば、スパッタリング、金属蒸着、ブレーティング、金属塗料、金属板・金属箔の貼付などを用いることができる。次に、リード線の接続と防水加工を施し(ステップS106)、センサの外装を行なって(ステップS107)、終了する。

#### 【0042】

検知部としての鉄箔の面積は、腐食進行状況を段階的に捉えることができるよう、また、鉄箔の形状は、矩形としているが、本発明は、これに限定されるわけではない。検知部は鉄箔に変えて、腐食状態を測定したい材質と同じものに換えることができ、ステンレスやアルミニウム等の金属としても良い。

#### 【0043】

検知部としての鉄箔の領域には、複数の貫通孔が設けられ、メッシュ状に形成されている。このような複数の貫通孔が設けられているので、腐食が容易に進行し、一部が限定的に腐食して欠損した場合においても、鉄箔が島状に取り残されることが少なく、電気的な導通が確保され、検知部面積の減少量を電気特性の変化で正確に捉えることが可能となる。なお、図4および図5では、歩留まりの観点から、各貫通孔の形状を円形としているが、本発明は、これに限定されるわけではなく、矩形や他の形状とすることもできる。

#### 【0044】

また、検知部は、目的に応じて、腐食感度を高めるために貫通孔を設けた領域と、貫通孔のない領域を選択的に組み合わせることもできる。前記のように組み合わせて作成することにより、通電部近傍などの腐食による断面欠損が進行しにくい箇所や、あるいは腐食を早期に発生させる箇所を作成することができる。

#### 【0045】

式(2)から明らかなように、誘電率の大きさと鉄箔の面積の減少が、静電容量の減少に大きく関与するため、誘電体は、誘電率が3以上の誘電体であることが望ましく、その厚さは  $0.05\text{mm}$  ~  $2\text{mm}$  が望ましく、温度による変化が少ない誘電体が望ましい。これにより、センサの測定感度を向上させることができが可能となる。本実施形態では、誘電体をポリイミドフィルムで構成し、その誘電率を3.3とする。

#### 【0046】

また、対向電極は、耐腐食性が高い性能を有した金属が望ましい。鉄箔の腐食による減少を電気特性で捉えるためには、金属部の面積が変化しないことが前提である。対向電極には、金または白金、パラジウム等に代表される貴金属をはじめ、対象である金属よりイオン化傾向の小さく導電性を有した金属であり、鉄が対象の場合はパラジウム、銅、ニッケル等を用いることができる。また、圧延されたこれらの金属箔以外にもスパッタリングや蒸着、めっき等で成膜して形成する方法もある。対向電極の厚さは問わない。

#### 【0047】

なお、図5に示すように、リード線15を含む検知部14の外縁部には、腐食しない材質で腐食防止膜を設けても良く、例えば、樹脂や白金等の金属等を用いることができる。中でも、腐食進行状況を段階的に捉えるために樹脂等の絶縁体を用いることが好ましい。この樹脂は、塗布したりシールを貼り付けたりすれば良い。一方、金属とする場合は、金または白金の他、パラジウム、銅、鉛、スズ、ニッケル、またはこれらの合金等、被膜の材料である検知部より貴な金属を用いることが可能であり、湿式めっき法および乾式めっき法、あるいは蒸着により箔層を形成できる。金属を用いる場合は、検知部との電位差が

10

20

30

40

50

生じて腐食が早く進展するので、早期の腐食検知を行ないたい場合に有用である。

【0048】

また、外装材は、絶縁体で形成されることが好ましい。例えば、樹脂材料やセラミックである。導電材料の場合、外部のコンクリートと導通したり、交流計測において検知部の電気特性が不安定になる場合があるので好ましくない。腐食センサをコンクリート中に設置する場合は、結束線などで実鉄筋に固定し、施工中にセンサが移動したり脱落したりしないように固定する。また、接着剤などで鉄筋に貼り付けても良い。

【実施例1】

【0049】

図7Aは、実施例1を示す図である。カード形状の腐食センサ10をコンクリート構造物60のかぶり内に、コンクリート表面に対して平行となるように設置する。 10

【実施例2】

【0050】

図7Bは、実施例2を示す図である。長軸形状の腐食センサ13をコンクリート構造物61内の鉄筋62に沿わせて設置する。

【実施例3】

【0051】

図7Cは、実施例3を示す図である。長軸形状の腐食センサ13を棒状の基材63に巻き付けて、センサユニットとして使用する。基材63は、例えば、みがき棒鋼を用い、これに長軸形状の腐食センサ13を沿わせて設置する。このように、棒状のセンサ形状とすることにより、構造物中の鉄筋に沿わせて設置すること可能となるため、センサが破損しにくいことに加え、コンクリートの流し込みにおいて、コンクリートの型枠への充填を阻害することができないため、特段の配慮をせずに、構造物へ設置することが可能となる。この場合は、接着剤や塩化ビニル製のカプラ等を用いて鋼材と対向電極を絶縁することが好ましい。 20

【0052】

なお、棒状の基材を金属材料で形成し、誘電体と検知部を貼付し、リード線をその基材に接続することによっても、腐食センサを構成することが可能である。この場合、棒状の基材が対向電極を兼ねるため、壊れにくく、検知部の面積が大きくてもコンパクト化することが可能である。 30

【0053】

また、腐食センサ13を直接鉄筋等の鋼材に巻き付けることも可能である。この場合、センサが破損しにくいことに加え、コンクリートの流し込みにおいて、コンクリートの型枠への充填を阻害することができない。この場合は、構造物中の電気の影響を受ける恐れがあるので、接着剤や塩化ビニル製のカプラ等を用いて鋼材と対向電極を絶縁することが好ましい。

【0054】

【腐食センサの性能評価】

図8は、本実施形態に係るメッシュ形状のセンサと、貫通孔を有しないセンサとの比較例を示す図である。図8に示すように、経過時間（腐食サイクル）に応じて静電容量比が変化するが、貫通孔を有しないセンサは、腐食因子による反応時期が遅れ、感度が低下している。これに対して、メッシュ形状のセンサでは、腐食因子に対する感度が高く、経過時間に応じて、静電容量比が減少するため、腐食因子による反応時期が明確であり、腐食因子が浸透し、センサに到達した時期を把握しやすい。 40

【0055】

図9は、メッシュ形状のセンサについて、面積が大きいセンサと面積が小さいセンサとの比較例を示す図である。図9から明らかなように、経過時間に応じて、静電容量比が急激に減少する時期は、貫通孔を設けることによって、両者とも同一であるため、両者とも腐食因子による反応時期を明確に把握することが可能である。さらに、経過時間が大きくなると、面積が小さいセンサでは、相対的に早く最小値を示すのに対して、面積が大きい 50

センサでは、測定可能期間が大きい。従って、メッシュ形状を有するセンサは、長期的なモニタリングを行なう場合、検知部の面積が大きい方が好ましいと言える。

#### 【0056】

##### 〔鋼構造物への適用〕

測定対象となる金属構造物、例えば、鋼橋やプラント設備、街路灯、土中埋設管、タンク、船舶などに保護塗料を塗布する場合、塗布前の金属材料の表面に、本実施形態に係るセンサを接着剤等で貼付する。貼付する際は、構造物の電気状態の影響を受ける場合があるので、樹脂のテープ、シール、あるいは接着剤自体で絶縁することが好ましい。センサの検知部は、腐食状態を測定したい材質と同じものに換えることができ、鉄箔に変えてステンレスやアルミニウム等の金属とすれば良い。その後、金属構造物と同様に保護塗料を塗布する。ケーブルは保護塗膜の外部に出しても出さなくても良い。ケーブルを出さない場合は、そのまま塗膜の下にセンサを埋設し、測定する際は、センサを被覆している塗膜を剥離し、直接計測器を接続して、腐食に伴う電気信号を計測する。また、無線方式を用いて、電磁的に測定を行なっても良い。これにより、ケーブルを引き出した場合に生じる塗膜の欠陥を生じることなく、センサを設置することができる。

#### 【0057】

##### 〔腐食センサの性能評価〕

本発明者らは、本実施形態に係る腐食センサの測定周波数による静電容量値の違いを確認した。本実施形態では、直径22mmの鉄箔で鉄箔部を形成し、0.105mm厚のポリイミドフィルム（誘電率を3.3）上に接着し、ケミカルエッチングで貫通孔を形成した。また、誘電体としてのポリイミドフィルムの鉄箔接着面の反対側の面に、対向電極として金をスパッタリングで成膜した。貫通孔は、メッシュタイプと、複数のスリットを有するものとした。本発明者らは、3%のNaCl水溶液に本実施形態に係る腐食センサを浸漬させ、7日を1サイクルとして、1サイクル毎に腐食状態の目視観察を行なった。静電容量の計測は、浸漬液から腐食センサを一旦取り出し、表面に付着した水分を取り除いた後、ピンセット状のプローブにて鉄箔部の端部と対向電極との間の静電容量を計測した。計測条件は、LCRメーターを用いて、100Hz～100kHzまでの1Vの交流電界下にて実施した。実験で使用した装置は、以下の表の通りである。なお、目視による各サイクルの腐食面積は、1サイクル目は0%、2サイクル目は20%、3サイクル目は60%、4サイクル目は80%であった。

#### 【表1】

装置名	メーカー	型番
LCRメータ	安藤電機	AG-4311
テストリード	NF回路設計ブロック	2326A

#### 【0058】

図10は、本実施形態に係る腐食センサを塩水浸漬した際の測定周波数による各サイクルにおける静電容量値の違いを示す図である。図10において、いずれの周波数においても、試験実施前から1サイクル目で静電容量が上昇し、その後、静電容量が低下していくことが分かる。また、測定周波数が高くなるほど、各サイクルの差は若干小さくなる傾向があった。また、いずれのサイクルにおいても、測定周波数が高くなるに従って、静電容量が低下する傾向があった。従って、腐食面積と静電容量との相関性が高くなり、腐食進行状況が良く把握できるようになるためや、塩分に代表される電解質の腐食因子による変動要因を排除できるため、測定周波数は50kHz以上、さらには100kHz以上として測定するのが好ましい。

#### 【0059】

図11は、1サイクル経過後の静電容量値を腐食面積率0%の初期値として、面積減少率と静電容量との関係を理論値の実測値と併せて示した図である。図11には、本実施形態に係る腐食センサのうち、検知部がメッシュタイプとスリットタイプの両方が示されて

10

20

30

40

50

いる。2つの実線は、それぞれ、メッシュタイプとスリットタイプの理論値を示す。四角形のプロットがメッシュタイプの実測値を示し、三角形のプロットがスリットタイプの実測値を示す。図11に示すように、本実施形態に係る腐食センサの静電容量の計測値は、理論値とはずれがあるものの、腐食面積率と静電容量の相関は高い。特に、60%以上の腐食面積率は、理論的な腐食面積率と静電容量の関係に良く近似しており、静電容量の計測によって、精度良く腐食面積が把握することができると言える。従って、電気特性の中でも、腐食環境の進行状況を正確に捉えることができる静電容量を用いることが好ましい。

#### 【0060】

##### 【モルタル試験体を用いた促進試験による腐食センサの性能評価】

10

モルタル中における本実施形態に係る腐食センサの性能を確認することを目的に、塩分を練り込んだ試験体を用いて促進試験で評価した。

#### 【0061】

##### 【試験体の概要】

モルタル試験体は、水セメント比65%の1:3モルタルとし、塩化物イオン量で4.8 kg/m<sup>3</sup>となるようにNaClを添加した。図12は、試験体の概要を示す図である。ここでは、試験体を100mm×100mm×100mmのサイズとした。かぶり15mmの位置に腐食センサを埋設した水準(図12(b))と、腐食面積計測用に20mm×130mmの磨き棒鋼を埋設した水準(図12(a))を用意した。なお、試験体の表面は塩水浸透を行なう1面だけ残し、他の面をエポキシ樹脂で被覆した。

20

#### 【0062】

##### 【モルタル試験体に埋設するセンサ】

図13は、モルタル試験体に埋設するセンサの概要を示す図である。図13に示すように、腐食センサ100は、Oリング115でアクリルケース113との間隔が設けられ、エポキシ樹脂117でアクリルケース113に接着されている。この腐食センサ100は、試験体外部より誘電正接及び静電容量の計測を行なうため、リード線109を半田付ける、リード線109の接続部が腐食しないよう、鉄箔部103のみが表面に露出するように、アクリルケース113で外装され、ケース内部が樹脂121で充填されている。このように構成したのは、リード線の錆防止を図るためと、周りに充填されるコンクリート自体が誘電体で含水状態により誘電率が変動することから、その影響を回避するためである。また、センサをコンクリート充填時の衝撃から保護する意味もある。本実施形態では、アクリルケース113を用いたが、必ずしもこれを必要とするわけではなく、上記の目的を達成することができるのであれば、アクリルケース113を使用せずに、例えば、樹脂だけでも構わない。

30

#### 【0063】

##### 【モルタル試験体の促進試験条件】

促進試験の条件は、40℃で10%NaCl水溶液に2日間浸漬・60%RH環境下で5日間乾燥させる条件を1サイクルとし、合計10サイクルの促進試験を行なった。1サイクル終了毎にLCRメーターを用いて腐食センサの静電容量、誘電正接を測定した。計測条件は交流電圧1Vで、測定周波数は塩水浸漬実験の測定結果を参考に100kHz固定とした。図14は、M-1、M-2及びM-3の3個の同一のセンサについて各サイクルで計測した誘電正接の結果を示す図である。図15は、M-1、M-2及びM-3の3個の同一のセンサについて各サイクルで計測した静電容量の結果を示す図である。初期値は、試験体を脱型後、塩水に浸漬する前に計測した結果とした。

40

#### 【0064】

誘電正接は、M-2及びM-3が3サイクルから段階的な上昇が見られ、M-1が6サイクルから除々に上昇した。一方、静電容量は、M-2及びM-3が6サイクルから、M-1は7サイクルからの低下が見られ、M-1、M-2は段階的に低下していることがわかる。

#### 【0065】

50

以上説明したように、本実施形態によれば、検知部の面積に応じて腐食進行状況を捉えることが可能となる。すなわち、鉄箔や細線の切断による抵抗変化を検出する方式と比較して、板状、箔状または膜状の検知部の面積で腐食の現状をより正確に把握することが可能となる。また、検知部には、複数の貫通孔を有する領域が設けられているので、腐食環境の検知感度を高め、腐食され易くすることができる。その結果、検知部における腐食が、電気特性の変化を生じさせることができるとなる。これにより、腐食による検知部の面積の減少と実際の腐食状況とを正確に対応付けることが可能となり、測定感度を向上させることが可能となる。

【符号の説明】

【0066】

1 検知部

3 対向電極

5、7 誘電体

9 リード線

10、13、20、100 腐食センサ

11 検知部

14 検知部

15 リード線

15a 検知部のリード線

15b 対向電極のリード線

17 接続点

60 コンクリート構造物

61 コンクリート構造物

62 鉄筋

63 基材

103 鉄箔部

109 リード線

113 アクリルケース

115 Oリング

117 エポキシ樹脂

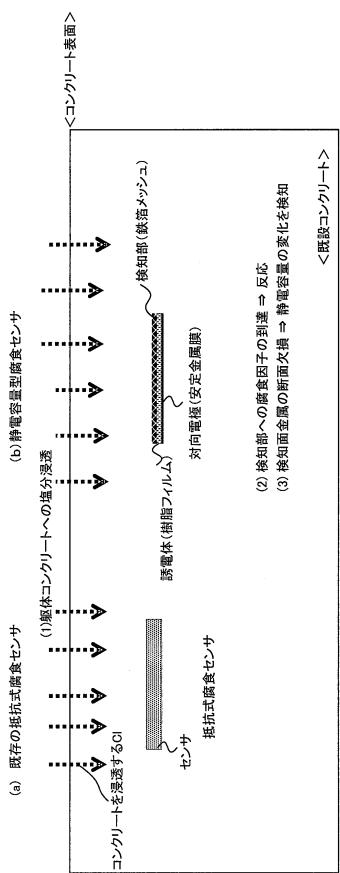
121 樹脂

10

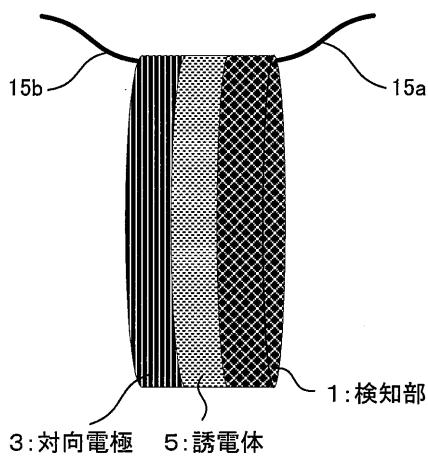
20

30

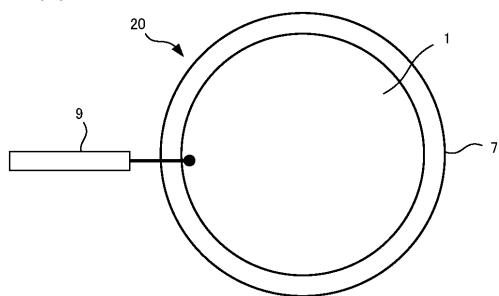
【図1】



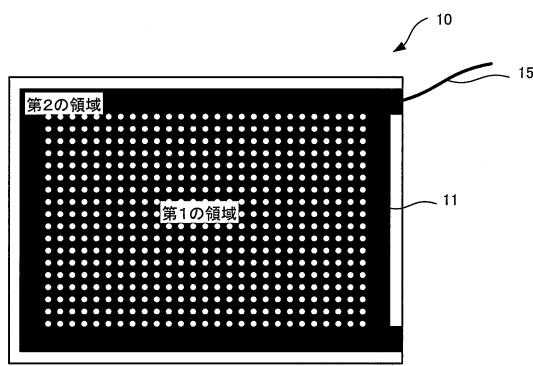
【図2】



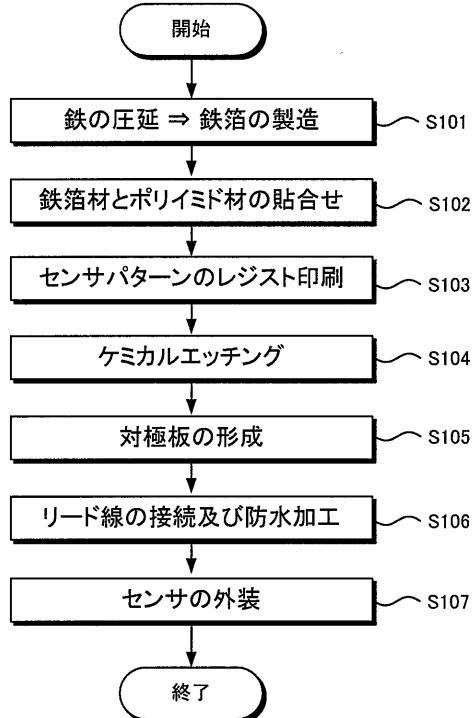
【図3】



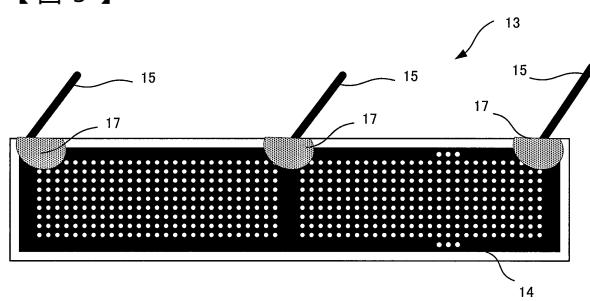
【図4】



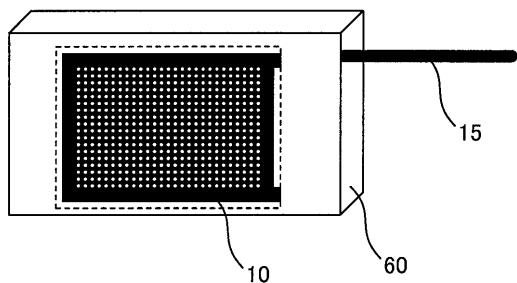
【図6】



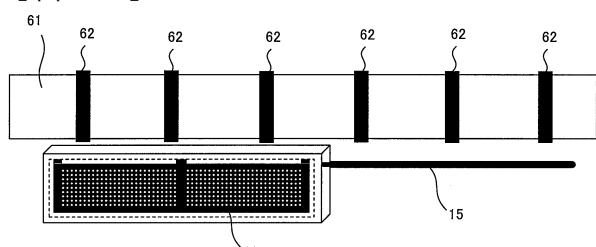
【図5】



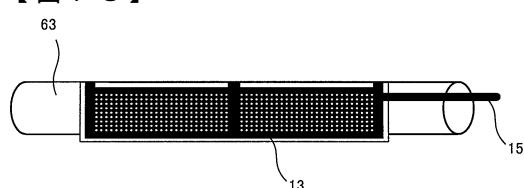
【図 7 A】



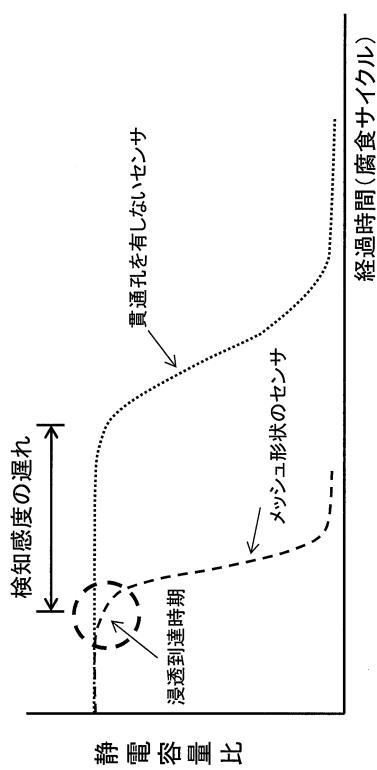
【図 7 B】



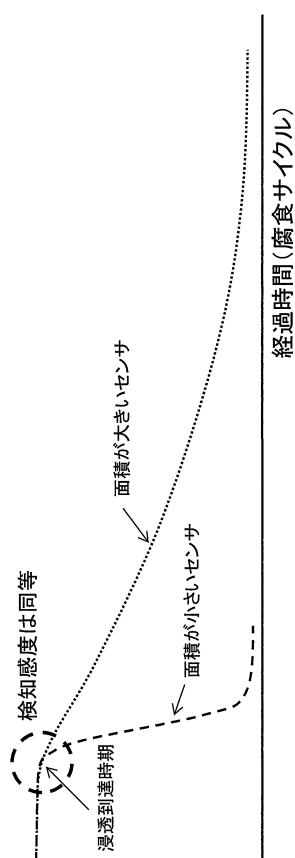
【図 7 C】



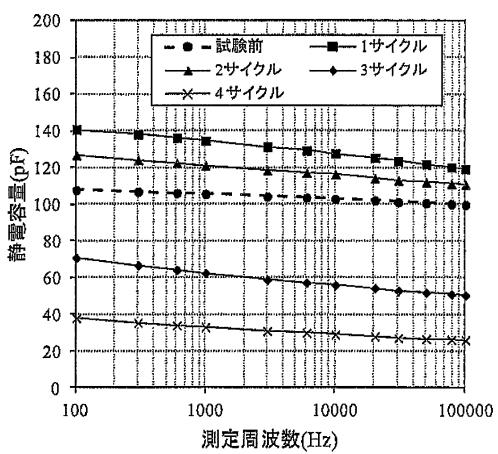
【図 8】



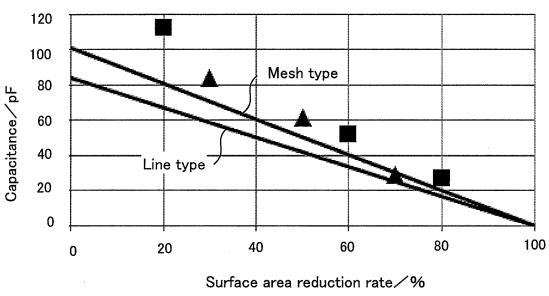
【図 9】



【図 10】

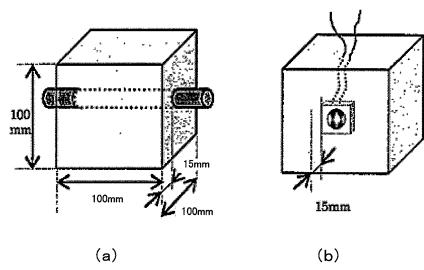


【図 11】

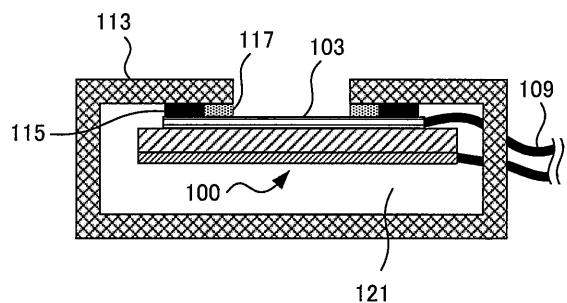


静電容量比

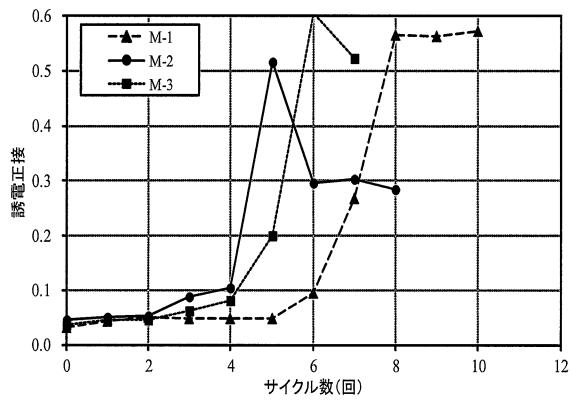
【図12】



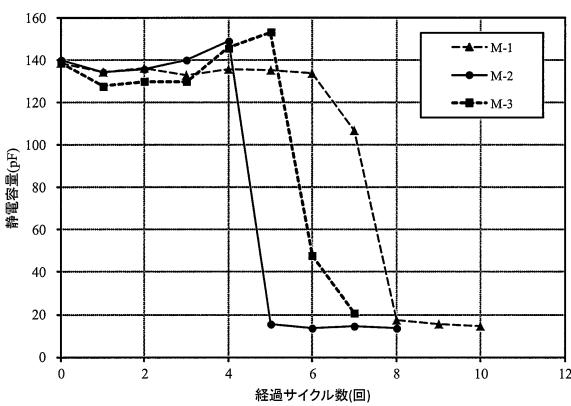
【図13】



【図14】



【図15】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 01 N 27/00 (2006.01) G 01 N 27/00 L

(56)参考文献 中国特許出願公開第102519865(CN, A)  
米国特許第06577140(US, B1)  
韓国登録特許第10-1293077(KR, B1)  
特開2014-126421(JP, A)  
特開2012-018018(JP, A)  
特開2008-128734(JP, A)  
特開2001-099777(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G 01 N 17/00 - 17/04, 27/00 - 27/24