

アルミニウムシャシ部品の電食予測技術

Galvanic Corrosion Prediction Technology for Aluminum Parts of Chassis

水 上 貴 博*

Takahiro MIZUKAMI

要 旨

アルミニウムシャシ部品の電食深さをシミュレーションによって予測可能とすることで、評価時間を短縮することができる。このシミュレーション技術は、腐食環境に合わせた分極曲線を入力することで、発生する腐食電流から、電食により減少したアルミニウムの体積を計算し、腐食深さを出力する。これにより、従来 5000 時間かかっていた腐食試験を、約 20 分のシミュレーションで代替し、市場で発生する電食深さを短時間で予測可能にした。

ABSTRACT

The time for evaluations can be reduced because it is now possible to predict corrosion by simulation of the depth of galvanic corrosion in aluminum chassis parts. Based on input of polarization curves conforming to the specific corrosion environment, this simulation technology is able to calculate the reduction in aluminum volume due to galvanic corrosion from the corrosion current, and to output the depth of corrosion. It can replace corrosion tests previously requiring 5000 hours with a simulation of approximately 20 minutes, making it possible to predict the depth of galvanic corrosion occurring in the market in a short period.

1. 緒言

自動車車体の軽量化手法の一つとして、鉄材料からアルミニウム材料へ置換する方法があるが、腐食しやすい環境で使用されるサスペンション部品等では、電食（異なる材料の電位差による腐食）の発生が予想されるため、耐食性の評価方法が課題となっている。サスペンション部品の開発では、市場との相関がとれている腐食条件を備えた促進試験装置による確認や、テストコース走行時の腐食状況の確認で、耐食性を評価している。しかし、その試験期間には数か月を要するため、それに代わる、より短期間で、同等の評価ができる方法が必要とされた。CAE (Computer Aided Engineering) を利用する方法の中から、既存の電食シミュレーションソフト（みずほ情報総研製の 3D-Cafe⁽¹⁾）を選択したが、同ソフトは、海水中のような浸漬環境を計算するソフトのため、それとは異なる車両環境で発生する電食は、再現できなかった。

そこで、車両環境を再現するため、3D-Cafe を利用した周辺プログラムを開発した。このプログラムは、市販のシミュレーションソフトへ、新たに環境の変化に対応する機能を追加し、車両環境のような、さまざまに変化する腐食環境に対応可能とした。また、車両の腐食環境が浸漬環境ではなく、薄い水膜に覆われている状態であることに着目し、シミュレーションに入力するパラメータを、水膜環境を模した条件下で測定した。それによって、実際に電食した試験片の深さや形状を、シミュレーションで再現可能とした。本プログラムは、従来の腐食促進試験に代わるシミュレーション技術であり、今回その再現性を実証できたので報告する。

2. 電食のメカニズム

電食とは、異なる電位の金属が接触した状態で、腐食環境下におかれたとき、電位の低い金属が優先的に腐食する

*四輪 R&D センター

現象であり、異種金属接触腐食ともいう。各種金属の海水における電位列⁽²⁾を Fig. 1 に示す。

Fig. 1 からわかるように、アルミニウムは鉄よりも電位が低い。この時アルミニウムは卑であり、鉄は貴であるという。アルミニウムと鉄が接触した状態で塩水溶液のような腐食環境下におかれると、式 (1)、(2) であらわされる反応によってアルミニウムから鉄へ電子が移動し、アルミニウムが優先的に腐食する電食が発生する。



式 (1) の反応は鉄表面上で起こる反応で、カソード反応といい、式 (2) の反応はアルミニウム表面上で起こる反応で、アノード反応という。さらに、電子の移動により発生する電流は腐食電流と呼ばれる。腐食電流は、鉄、アルミニウム、塩水溶液、鉄の順番で形成される回路を流れている。また、腐食電流をカソード面積、およびアノード面積で割った値を、それぞれカソード電流密度、アノード電流密度という。

鉄とアルミニウムの電食の場合、カソード支配型の電食のため、式 (1) の反応が腐食反応を支配している。その時の電流密度は、鉄とアルミニウムの分極曲線から読み取ることができる。

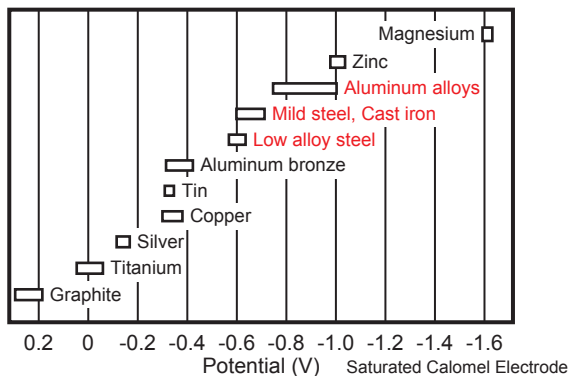


Fig. 1 Corrosion potential in sea water

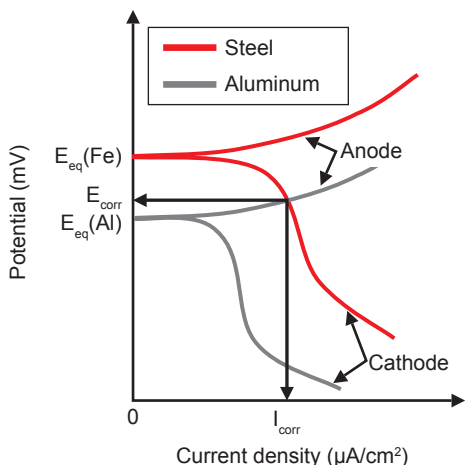


Fig. 2 Polarization curve

鉄とアルミニウムの分極特性を Fig. 2 に示す。分極曲線はアノード分極曲線とカソード分極曲線に分けられる。アノード分極曲線とカソード分極曲線の電流の符号は逆だが、通常は見やすくするために絶対値で表示している。腐食電流が 0 となる点は、鉄、アルミニウムそれぞれの平衡電位 $E_{eq}(\text{Fe})$, $E_{eq}(\text{Al})$ である。また、鉄のカソード曲線と、アルミニウムのアノード曲線が交差する点は電食発生時の腐食電位 E_{corr} であり、その時の電流密度が、電食が発生している時の電流密度 I_{corr} である。

3. 電食シミュレーションの理論

電食は、異種金属が接触した時の腐食電流が原因で発生する。従って、電食をシミュレーションするためには、腐食電流を計算する必要がある。本研究で使用した市販のシミュレーションソフト (3D-Cafe) は、メッシュごとの腐食電流を、境界要素法 (BEM) によって計算するソフトである。ここでシミュレーションソフトの基礎理論を紹介する⁽³⁾。

まず、鉄ボルトとアルミニウム材料が溶液 (塩水) で覆われている系を考える。Fig. 3 にその模式図を示す。

図中の溶液部分を領域 Ω とする。電流密度 i 、溶液の電気伝導度 κ 、内部電位 ϕ は以下の関係を満足する。

$$\text{div} i = 0 \quad (3)$$

$$i = -\kappa \text{grad} \phi \quad (4)$$

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (5)$$

また、内部電位 ϕ と分極測定時の外部電位 E との関係は、式 (6) である。

$$\phi = -E \quad (6)$$

次に、領域 Ω の境界条件を考える。図に示したように、溶液と空気の境界を Γ_n 、溶液と鉄ボルトとの境界を Γ_C 、アルミニウム材料との境界を Γ_A とする。

溶液と空気の境界 Γ_n では、電流のやり取りは無いため、電流密度は 0 である。また、 Γ_C , Γ_A 上では、ある電位 ϕ に応じた電流密度となっている。以上のことから、以下の境界条件が与えられる。

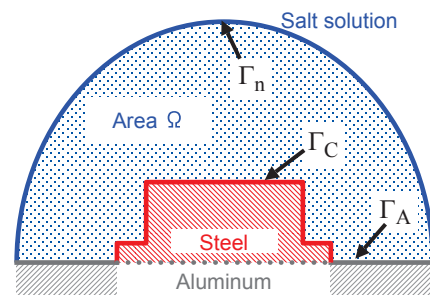


Fig. 3 Model of galvanic corrosion

Table 1 CCT conditions

Order	State	Salt concentration	Temperature	Humidity	Duration time
1	Salt spray	5 wt%	35 °C	98%	1 hr
2	Drying		50 °C	30%	2 hr
3	Wetting		35 °C	95%	3 hr

Table 2 Measurement conditions

Order	State	Salt concentration	Temperature
1	Salt spray	5 wt%	35 °C
2	Drying	26 wt%	50 °C
3	Wetting	26 wt%	35 °C

$$\Gamma_n \text{ 上で } i=0 \quad (7)$$

$$\Gamma_A \text{ 上で } \phi=f_A(i) \quad (8)$$

$$\Gamma_c \text{ 上で } \phi=f_c(i) \quad (9)$$

ここで与えられている $f_A(i)$, $f_c(i)$ は分極測定によって実測される非線形の関数である。

これらの境界条件のもとで支配方程式 (5) を解く。 $N \times N$ の行列を $[H]$ および、 $[G]$ とすると、以下の境界積分方程式が得られる。

$$\kappa[H]\{\phi\}-[G]\{i\}=\{0\} \quad (10)$$

修正ニュートン・ラフソン法を用いて、式 (10) の解が収束するまで計算すると、各要素の電位 ϕ と電流密度 i がわかるので、ファラデーの法則により、各要素の腐食量を得ることができる。

以上の理論をもとに、市販のシミュレーションソフトは作成されているが、一つの腐食環境に対して一つの解を出力する仕様のため、自動車の腐食環境のようなさまざまな変化する腐食環境へ応用しようとした時、新たな機能を追加する必要がある。

また、腐食電流から腐食深さをシミュレーションしているため、腐食電流が関係しない腐食減量、例えば粒界腐食によって結晶粒が脱落してしまうような現象による腐食減量は計算できない。その場合、得られた腐食減量に補正係数をかけて計算する必要がある。本研究では、変化する腐食環境をシミュレーションするため、個々の腐食環境の計算結果を積算して、最終的な電食深さを出力するルーチンプログラムを作成した。

4. 入力するモデルとパラメータの設定

4.1. シミュレーションを実施する腐食環境

入力するモデルとパラメータの設定は、シミュレーションを実施する腐食環境に合わせて設定する必要がある。本稿では、一例として、実車の錆環境に近い CCT (Cyclic corrosion tester) 試験のデータをもとに、入力するモデル

とパラメータの設定方法を検討した事例を示す。

モデルおよびパラメータ設定の比較で用いた CCT 試験条件を Table 1 に示す。

塩水は噴霧過程で供給されるが、乾燥や湿潤状態でも試験片に付着している。乾燥過程では、水分が蒸発することで塩濃度は濃縮し飽和していると考えられる。また、湿潤過程では、塩の潮解性によって吸湿し、飽和塩水濃度になっていると考えられる。

従って、飽和している時の塩濃度を 26 wt% とし、入力するパラメータを測定する環境を Table 2 のように定めた。

シミュレーション結果で出力されるデータは、腐食電流密度 (mA/cm^2)、電位 (mV)、腐食速度 (mm/year) である。電食深さおよび形状は、腐食速度と CCT の試験時間の積から得ることができる。従って、入力するモデルやパラメータは、実際に測定した腐食電流密度と電食深さ、および形状と比較し、検証する。

4.2. 入力モデルの設定

まず、シミュレーションを実施するためには、モデルの設定が必要である。今回は、鉄とアルミニウムの電食をシミュレーションするので、 Γ_n は塩水溶液の表面、 Γ_c は鉄の表面、 Γ_A はアルミニウムの表面となる。以後の解析は、アルミニウムの板材に M10 ボルトが締結されている状態を想定して実施した。解析モデルを Fig. 4 に示す。このモ

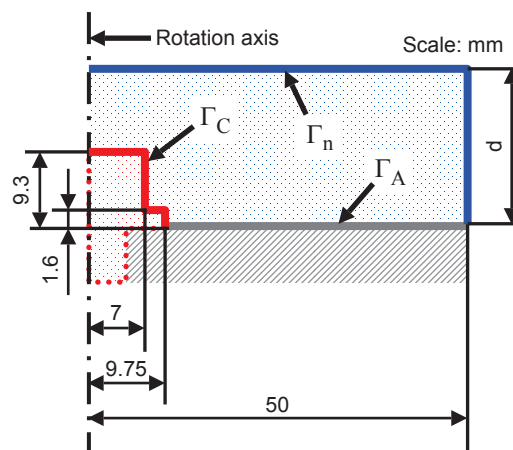


Fig. 4 Simulation model

Table 3 Electrical conductivity

Salt concentration	Temperature	Electrical conductivity
5 wt%	35 °C	9.56 S/m
26 wt%	50 °C	49.47 S/m
26 wt%	35 °C	40.03 S/m

Table 4 Physical values for materials

Material	Ionic valence	Specific gravity (g/m ³)	Mass (g/1 mol)
Aluminum	3	2.69×10^{-3}	26.982
Steel	2	7.86×10^{-3}	55.845

デルは、試験片のボルト中心線を軸対象の対象軸と捉え、放射方向距離を変数とする1次元シミュレーションモデルである。塩水溶液が鉄ボルトとアルミニウム板を覆い、鉄境界線とアルミ境界線の接点が、鉄ボルト接触部である。塩水溶液の厚さ d (以後、水膜厚さと呼ぶことにする) は、CCT 試験後の形状測定結果と比較して設定した。

4.3. 入力パラメータの設定

4.3.1. 分極特性

鉄とアルミニウムの分極特性を得るため、分極測定試験を実施した。50 × 15 × 2 mm の試験片を、腐食試験対象の素材から採取した。採取した試験片は # 600 エメリ研磨紙で研磨し、1 cm² の試験面を残してシリコンゴムでマスキングした。参照電極は Ag/AgCl を使用した。分極は、電圧を 0.02 V/min でスイープさせて測定した。分極測定は Table 2 の条件の溶液で測定した。測定した分極曲線を用いてシミュレーションした結果を、CCT 試験中に実測した腐食電流密度と比較して検証した。

4.3.2. 溶液の電気伝導度

Table 3 に Table 2 で示した各腐食環境溶液の電気伝導度測定結果を示す。

4.3.3. 材料の物性値

Table 4 に、イオン価数、比重、1 mol 当たりの質量を示す。

5. 腐食促進試験

5.1. 試験材料

アルミニウム材料は A356⁽⁴⁾、鉄ボルト材料は SCM435⁽⁵⁾ を用いた。

5.2. 腐食促進試験方法

腐食促進試験はスガ試験機製の CCT を用いた。腐食促進試験は、Table 1 に示した条件の 1 から 3 を順番に繰り返す方法で実施した。試験片は試験機の中で 75° 傾けた状態で設置した。

5.3. CCT 試験中の腐食電流測定

Fig. 5 に、腐食電流測定用の試験片断面図を示す。電線を付けた鉄ボルトとアルミニウム板を、テフロンシートで接触面を絶縁して締結し、腐食電流測定用の試験片とした。この試験片を用いて、CCT 試験中の腐食電流を、無抵抗電流計で測定した。

5.4. CCT 試験中の電食部の酸素濃度測定

CCT 試験中のアルミニウムの電位を知るため、電食部分と一般部 (電食していない部分) の酸素濃度を測定した。測定は、CCT 試験を 1728 時間実施した後の試験片で実施した (Fig. 6)。測定装置は、Presens 社製ニードル式酸素濃度計 MicroxTX3 を用いた。試験片の鉄ボルト接触部分から 1.5 mm と 5 mm の場所に ϕ 0.5 mm の穴をあけ、裏面よりニードル式酸素濃度計を挿入した。その状態で 1 日間の CCT 試験で腐食状態を安定させた後、酸素濃度を測定した。

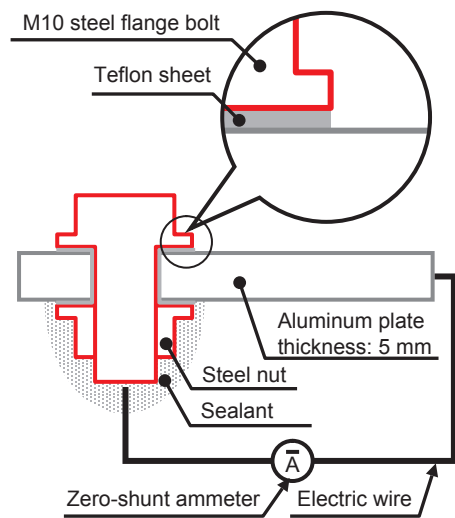


Fig. 5 Cross-section of test piece for corrosion current measurement

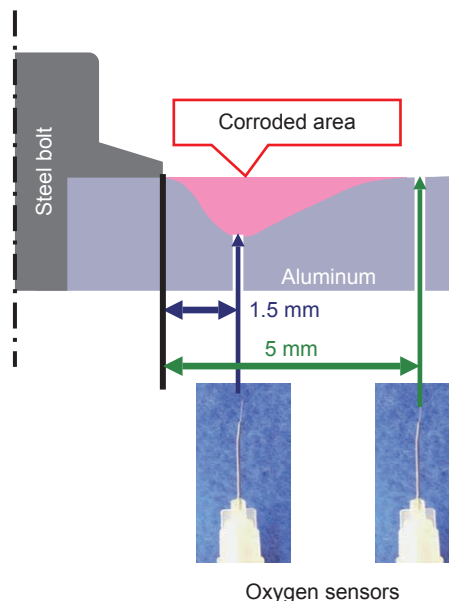


Fig. 6 Measurement of oxygen concentration

5.5. CCT 試験後の腐食形状測定

腐食試験後、試験片のボルトを外し、アルミニウム板上の腐食生成物 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) を除去した。腐食生成物除去溶液は、蒸留水 10 L に H_3PO_4 85 wt% 1 L と CrO_3 340 g を加えて調整した。調整した溶液にアルミニウム板を浸漬し、60 °C に加熱しながら超音波洗浄した。除去状態を 1 時間ごとに確認し、除去が完了したアルミニウム板を水道水で洗浄した。洗浄後に乾燥させた試験片アルミニウム板の腐食形状を、非接触三次元形状計測装置 Conoscan3000 (Optical Metrology Ltd. 製) を用いて測定した。同一半径を持つ各同心円周上の平均電食深さと、その円周のボルト接触部からの距離との関係を、シミュレーション結果と比較した。

6. 実測値との対比によるモデルおよびパラメータの設定

6.1. 水膜厚さモデルの設定

Fig. 4 の解析モデルを用い、水膜厚さが変化した時のシミュレーション結果への影響を Fig. 7 に示した。縦軸は最大腐食深さを 1 とした時の割合で、横軸は鉄ボルトの接触部分からの距離である。水膜が薄くなると、鉄ボルトとの接触部分に電食が集中する傾向がある。この現象は、電線が細くなるにつれ電気抵抗が大きくなるのと同じように、水膜が薄くなると電気抵抗が大きくなるため、腐食電流が鉄接触部近傍に集中して流れたためと考えられる。そのため、腐食範囲は水膜が薄くなると狭くなる。ここで、Fig. 8 のように鉄接触部から最大腐食深さの 5% 以上の腐食深さ

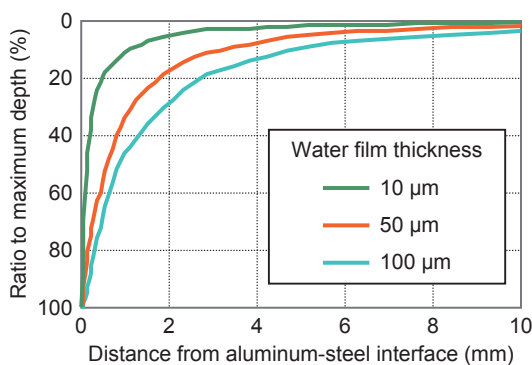


Fig. 7 Influence of water film thickness on simulation

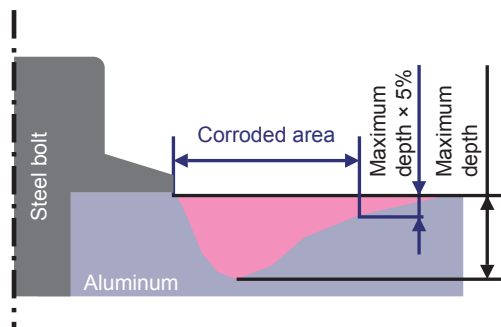


Fig. 8 Definition of corroded area

Table 5 Comparison of corrosion current density

Condition	Simulation	Measured value
Salt spray	20 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	120 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
Drying	10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
Wetting	10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

を示す範囲を腐食範囲と定義した。CCT 試験を 816 時間実施した試験片の電食部分の形状測定結果を Fig. 9 に示す。この試験片の腐食範囲は 3.1 mm である。また、先ほどの Fig. 7 で示した結果を、水膜厚さと腐食範囲で整理すると、Fig. 10 となる。Fig. 10 から腐食範囲 3.1 mm と一致する水膜厚さを読み取ると、30 μm である。従って、シミュレーションモデルの水膜厚さは 30 μm と設定した。

6.2. パラメータの設定

6.2.1. 鉄の分極曲線

Table 5 は、Table 2 の条件で測定した分極曲線を用いてシミュレーションした腐食電流密度の値と、CCT 試験中の腐食電流密度の測定値を比較した結果である。

シミュレーション結果の腐食電流密度が低いことがわかる。シミュレーションに使用した塩水噴霧時の分極曲線

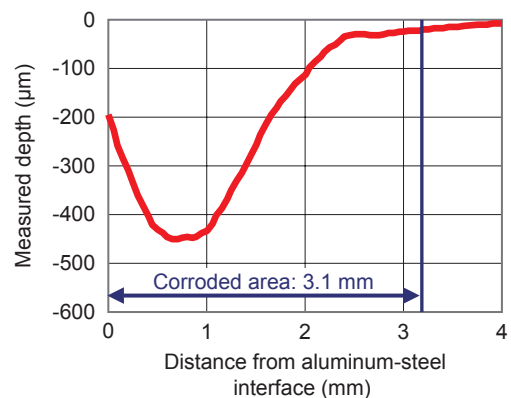


Fig. 9 Corrosion profile after 816-hour CCT test

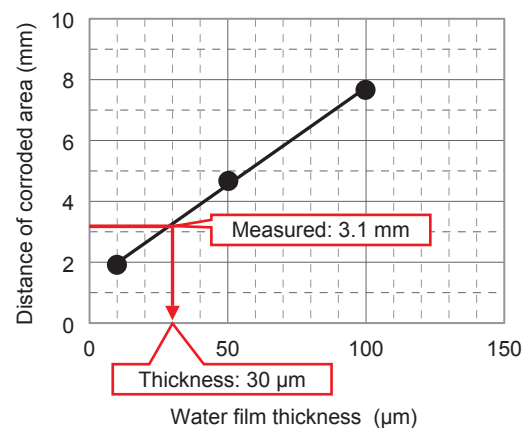


Fig. 10 Water film thickness versus distance of corroded area

を Fig. 11 に示す. この図から, 塩水噴霧時の腐食電位は -670 mV , その時の腐食電流は $20\text{ }\mu\text{A}/\text{cm}^2$ であることがわかる. 鉄のカソード曲線と, アルミニウムのアノード曲線が交差する付近の鉄の分極曲線は, 電位の変化に対して電流密度がほとんど変化しない領域である. この領域の電流は酸素拡散電流と呼ばれ, 鉄表面で還元される酸素消費量は, 溶液中を拡散してくる酸素供給量と平衡を保っている. 従って, 酸素の供給量が多ければカソード反応は活性化し, 少ないと抑制される.

Fig. 12 のように, 分極曲線の測定は試料を塩水に浸漬する必要があるため, バルク溶液で測定している. バルク溶液とは, 試験容器に溶液を満たした状態の溶液を指す.

それに対し, CCT 試験中の試料に付着している塩水は, Fig. 13 のように試料表面上に薄い水膜を形成している. この状態を, 水膜環境と呼ぶことにする.

水膜環境ではバルク溶液環境に比べ, 水と空気が接する界面からカソード反応界面までの酸素拡散に必要な距離が短いため, カソード反応による酸素消費を補う酸素拡散量は多い⁽⁶⁾. そのためカソード反応が活発になり, 酸素拡散電流が大きくなっていると考えられる.

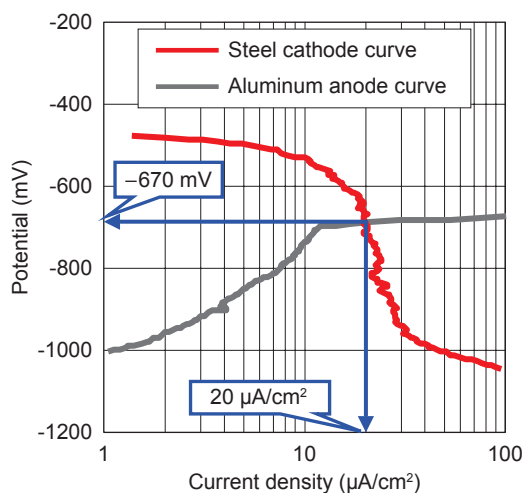


Fig. 11 Potential versus current density in galvanic corrosion

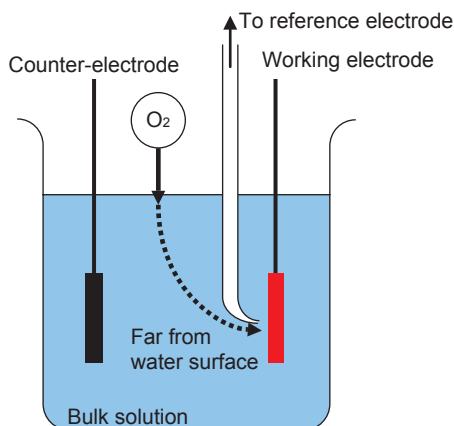


Fig. 12 State of salt solution for polarization measurement

電食が発生している時, カソード反応は鉄の表面上で起きているため, この現象で影響を受けるのは, 鉄の分極曲線である. 一方, 電食によるアルミニウムの溶解反応は, アノード反応であるため, 影響はほとんど無い.

水膜環境をシミュレーションするためには, 水膜環境下の分極曲線を入力する必要があるが, 水膜環境下の分極特性を直接的に測定する手段は無いため, バルク溶液に過酸化水素を添加した. それにより, 酸素供給量に関しては, 等価な疑似水膜環境を形成し, その分極曲線を測定することで, 実際の水膜環境下における分極曲線を推定した.

過酸化水素は, 式 (11) のように分解して, 鉄表面上で消費する酸素を補給, もしくは, 式 (12) のように鉄表面上で直接還元して, カソード反応を促進する.



Table 2 の条件の溶液に過酸化水素を添加して, 鉄の分極特性を測定した. Fig. 14 のように, 過酸化水素の添加量の増加とともに, 酸素拡散電流密度が増加した.

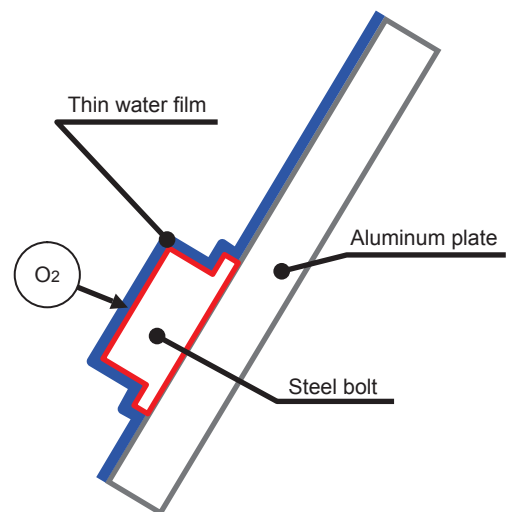


Fig. 13 State of salt solution for CCT

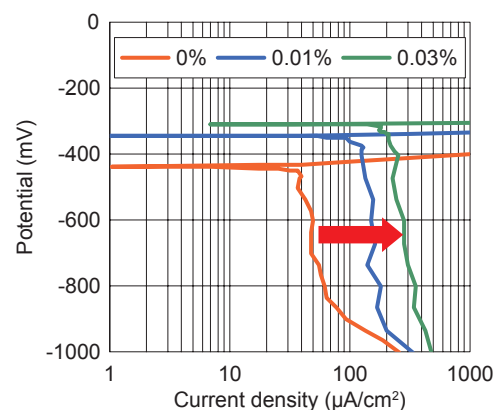


Fig. 14 Polarization characteristic when hydrogen peroxide is added

Table 6 Simulation results for current density using polarization curves measured at different hydrogen peroxide concentrations

Condition	Salt concentration	Measured value	Hydrogen peroxide concentration	Simulated value
Salt spray	5 wt%	120 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	0.0075%	123 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
Drying	26 wt%	100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	0.015%	96 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
Wetting	26 wt%	100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	0.015%	103 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

Fig. 15 に、過酸化水素濃度を変えて得た各分極曲線における、腐食電位が -670 mV の時の、腐食電流密度の過酸化水素濃度依存性を示す。過酸化水素濃度と、電流密度は一次式の関係にある。Table 5 の実測値、 $120\text{ }\mu\text{A}/\text{cm}^2$ および $100\text{ }\mu\text{A}/\text{cm}^2$ に相当する過酸化水素濃度は、Fig. 15 より 0.0075% および 0.015% と読み取れる。その過酸化水素濃度で測定した分極曲線を入力した時の、腐食電流密度のシミュレーション結果を Table 6 に示す。過酸化水素を適度に添加した溶液で測定した分極曲線を用いることで、シミュレーションの腐食電流密度を、実測値に近づけることができた。

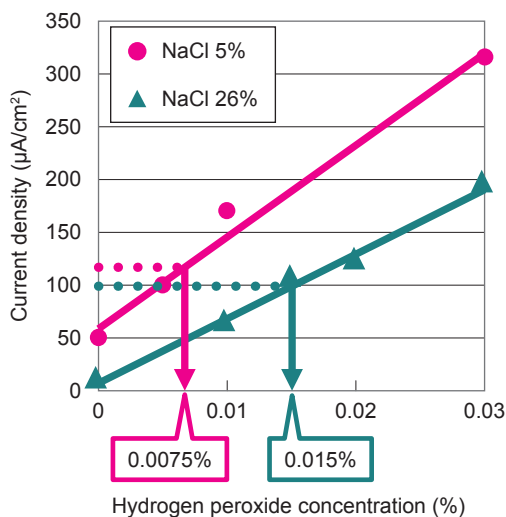


Fig. 15 Hydrogen peroxide concentration versus current density

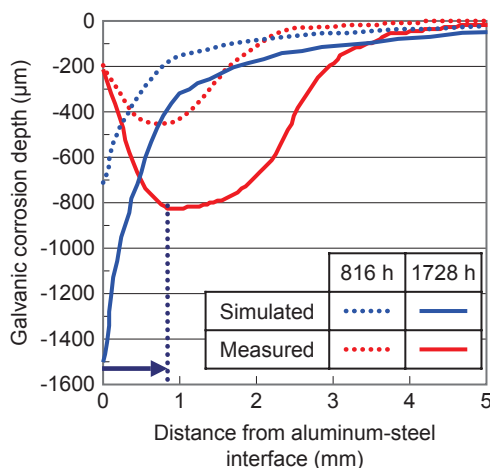


Fig. 16 Comparison of corrosion profiles

6.2.2. アルミニウムの分極曲線

シミュレーション結果と CCT 試験を 816 および 1728 時間実施した試験片の形状測定結果を Fig. 16 に示す。横軸は鉄ボルト接触部からの距離、縦軸は電食深さを表す。シミュレーションで得られた最大電食部は、鉄ボルト接触部であるのに対し、実測で得られた最大電食部はそこから離れていた。

実験で使用したアルミニウム材料の鉄接触部から最大電食深さまでの距離と、その時の電食深さの関係を Fig. 17 に示す。最大電食深さ $x(\text{mm})$ と鉄ボルト接触部からの距離 $y(\text{mm})$ は、式 (13) の関係にあり、電食深さの増加とともに、最大電食部の位置は、鉄とアルミニウムの接触部分より遠くへ移動していた。これは、鉄ボルト接触部から離れた位置が、鉄ボルト接触部より腐食しやすいことを示している。

$$y = 0.77x + 0.06 \quad (13)$$

ここで、アルミニウムの電食の深い部位が、通気差腐食や孔食に似た状況にあると仮定すると、鉄表面上やアルミニウムの電食の浅い部位で発生するカソード反応で酸素が消費され、アルミニウムの電食の深い部分では、酸素濃度が低く、電位が低い状態になっていると推定できる。実際に電食している部分の酸素濃度を 5.4. 節の方法で測定した結果を Fig. 18 に示す。電食で深くなっている部分（鉄ボルト接触部分から 1.5 mm ）では、電食が発生している時（塩水噴霧時: A、塩水が乾燥するまで: B、湿潤で塩が潮解した時: C）は、電食部分の酸素濃度は 0% であり、電食部

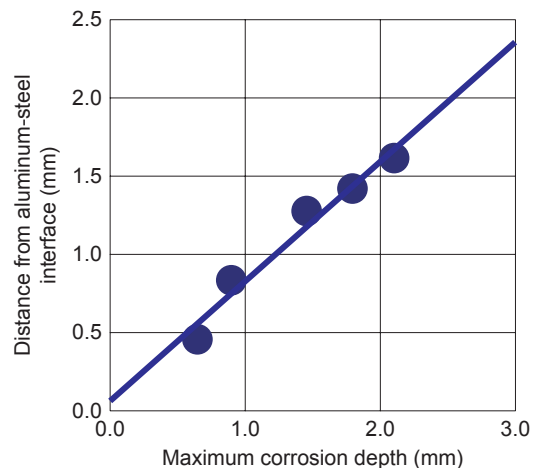


Fig. 17 Maximum corrosion depth versus distance from aluminum-steel interface

分の酸素濃度が低かった。酸素濃度が0%の時の分極特性は、分極測定時の溶液を N_2 ガスで十分置換(脱気)してから測定することで得られる。

従って、Fig. 17の関係から得られた経験式(13)を用いて、アルミニウムの電食の深い部分に酸素濃度が0%の分極曲線を新たに設定するプログラムを、作成したルーチンプログラムに追加した。但し、Fig. 17の関係は経験式のため、材料種ごとに実測する必要がある。

6.2.3. 補正係数の設定

電食部分のマイクロ組織をFig. 19に示す。電食は粒界に沿って進みやすく、一部の結晶は母相から分離しているため、分離した結晶は、腐食生成物と共に除去されてしまう。先に説明した通り、このシミュレーションソフトは、腐食電流に依存しない腐食減量は計算できないため、補正係数を設定する必要がある。理論的な電食による重量減と腐食生成物除去後の重量減をFig. 20に示す。理論的な腐食による重量減は、CCT試験中の各条件を通して平均的な腐食電流を0.25 mAとして、ファラデーの法則に従って計算した。腐食生成物除去後の重量減は、形状測定した腐食体積から計算した。この図から、CCT試験後の試験片で測定した重量減は、腐食電流から換算した理論値の2.0倍である

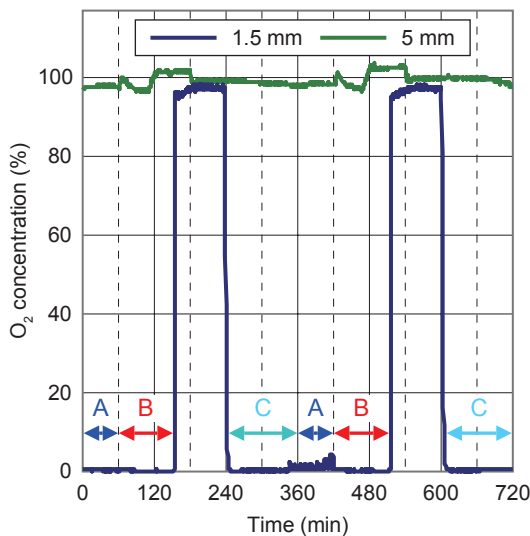


Fig. 18 O_2 concentration

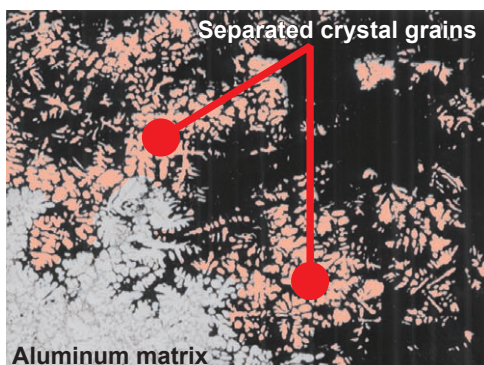


Fig. 19 Microstructure of area with galvanic corrosion

ことがわかった。従って、シミュレーション結果の腐食減量に対する補正係数を2.0と設定した。

6.2.4. シミュレーション結果

これまでに得られた結果を踏まえて、シミュレーションプログラムを作成した。CCT試験を2880時間および5084時間実施した試験片の腐食形状と、シミュレーション形状を比較した結果をFig. 21に示す。

シミュレーション形状は、実測した形状とよく一致している。今回開発したルーチンプログラムにより、CCT5084時間分の結果を、約20分で計算が可能になり、電食形状、および電食深さを再現することができた。

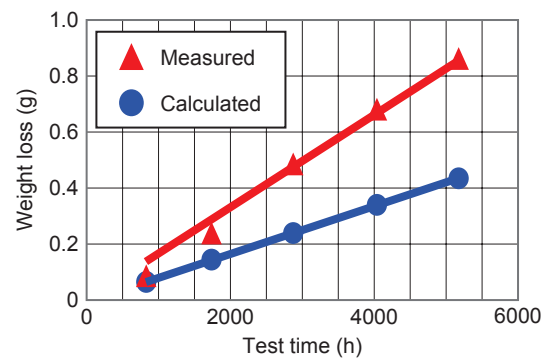


Fig. 20 Measured and calculated weight loss versus CCT testing time

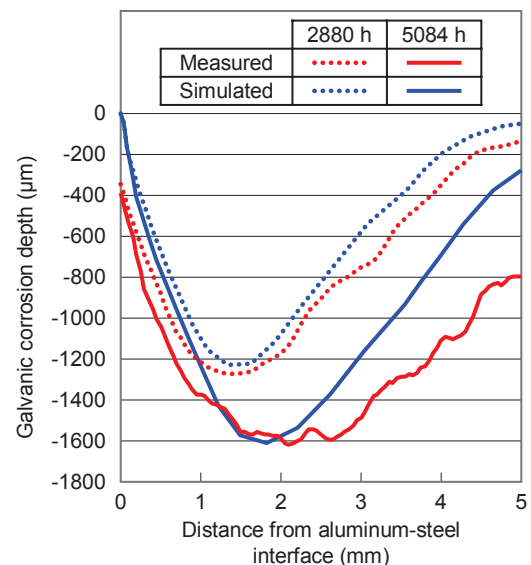


Fig. 21 Simulated and measured profiles

7. 結言

アルミニウム部品の電食を予測することを目的として、CCT試験をシミュレーションする技術を開発した。その結果を以下にまとめた。

(1) 水膜環境のモデル化

シミュレーションモデルの水膜厚さが厚くなると、腐食範囲が広がる性質があるため、モデルの厚さを30 μm とした結果、実際の腐食範囲と一致した。

(2) 鉄の分極曲線

カソード反応を活性化するため、分極測定時のバルク溶液に過酸化水素を添加した結果、水膜環境下の腐食電流密度と一致した。

(3) アルミニウムの分極曲線

電食の深い部分に酸素濃度 0% 時 (N_2 脱気) の分極曲線を設定することで、腐食しやすい環境を再現した結果、実際に測定した電食形状と一致した。

(4) 粒界腐食の影響

電食後の試験片形状から計算した電食量と、実測した腐食電流から換算した腐食量を比較することで、補正係数を設定した結果、実際に測定した電食深さと一致した。

作成したルーチンプログラムは、CCT5084 時間分の結果を、約 20 分で計算し、電食形状、および電食深さを再現した。

開発したシミュレーションソフトは、入力する分極特性や電気伝導度を腐食環境に合わせることで、さまざまな環境に対応可能である。本手法は、3D-cafe に限らず、分極曲線を用いて腐食電流をシミュレーションするソルバ全般に応用可能である。

参考文献

- (1) <http://www.mizuho-ir.co.jp/solution/research/digital/manufacture/fushoku/index.html>, 2010/6/25
- (2) 宮坂松甫:「腐食防食講座—海水ポンプの腐食と対策技術—」第 1 報:腐食の基礎と海水腐食の特徴, エバラ時報, No.220, p.32(2008)
- (3) 青木繁, 天谷賢治, 宮坂松甫:境界要素法による腐食防食問題の解析, 裳華房, p.17(1998)
- (4) 日本工業規格 JIS H 2211:1960, 鋳物用アルミニウム合金地金
- (5) 日本工業規格 JIS G 4053:2003, 機械構造用合金鋼鋼材
- (6) 防錆・防食技術総覧編集委員会, 防錆・防食技術総覧, 産業技術サービスセンター, p.99(2000)

■ 著 者 ■



水上 貴博