結露による ACM センサの出力挙動

鈴木智康^{1)*}, 小野孝也¹⁾, 高橋 賢²⁾, 野田和彦²⁾

¹⁾ 株式会社シュリンクス

²⁾ 芝浦工業大学 工学部

Output Behaviors of the ACM Sensor for Condensation

Tomoyasu Suzuki^{1)*}, Takaya Ono¹⁾, Satoru Takahashi²⁾ and Kazuhiko Noda²⁾

¹⁾ Syrinx Co., Ltd

²⁾ College of engineering, Shibaura Institute of Technology

*責任著者 (Corresponding Author) 〒104-0061 東京都中央区銀座 7-17-5 (7-17-5 Ginza, Chuo-ku, Tokyo, 104-0061, Japan)

E-mail: suzuki@syrinx.co.jp

Various tests were conducted to reveal the relationship between the output behaviors of the Atmospheric Corrosion Monitor (ACM) sensor and the amount of corrosion from condensation that occurs as a physical phenomenon. As the sensor output at the time of condensation differs from the behavior when it is wet due to rain or water absorption of adhered sea salt, it was necessary to separately evaluate the behavior. As a result, in the respective phenomena, a relationship was confirmed between the sensor output and the amount of corrosion obtained by measurement in situ. Therefore, this may enable prediction of corrosion speed in a short period using the output of the ACM sensor.

Key words : ACM sensor, atmospheric corrosion, condensation, influence of temperature, semi-closed environment corrosion, in situ measurement

1. 緒 言

ACM (Atmospheric Corrosion Monitor) 型腐食センサ (以下, ACM センサと呼ぶ) は大気腐食環境で使用され¹⁾, 雨がかりのない状況下では Fe/Ag 対センサの出力電流より算出する日平均電流量から腐食速度を推定することができる^{2), 3)}. また, 雨がかりの状況下での腐食速度推定についての研究報告もあり⁴⁾, 溶液中での出力応答性・腐食速度推定について検討を行った結果も報告されている⁵⁾.

かつては ACM ロガーの検出限界が 0.1 nA であったが⁶⁾, 近年, ロガーの精度向上により分解能 1 pA の測定が可能となってきた. これにより, 飛来海塩や雨がかりのない腐食速度が極めて小さい環境下におけるモニタリングへの適用が増大したといえる. そのような空間では物理現象による結露が問題になることがある. 結露の腐食は腐食因子の痕跡を残さないので評価が難しいが, 結露に焦点をあてて ACM の出力解析を行った事例はない.

そこで, 結露時における ACM センサの出力と腐食量の関係を求めることを目的とし, 実験室的に作り上げた結露環境において試験・検討を行った.

2. ACM センサの構造と原理

2.1 ACM センサの構造

ACM センサの構造は Fig. 1 のとおりである. Fig. 1 の (a) はセンサを表面から見た図である. A-A' の断面は (b) に示す構造になっている. カソードと絶縁層はスクリー

Fig. 1 Schematic representation of the ACM sensor, (a) plane view and (b) enlarged view of cross section along the line A-A'

ン印刷で塗布できるので, 基板の種類を問わず ACM センサを製作することができる.

2.2 ACM センサの原理

Fe/Ag 対 ACM センサでは, 水膜が形成されると基板である Fe がアノードとなり電子を放出して腐食する. Fe-Ag 間を短絡電流測定装置に接続することで腐食情報は電流として取り出すことができる. ぬれ時間や腐食はこの原理を基に判断することが可能である.

3. 試 験 方 法

3.1 冷媒を使用した結露試験

相対湿度を 90% に保った恒湿槽内にアルミニウム製の箱を設置し, これに冷却水を循環させる仕組みを作った

(Fig. 2). この箱の外面に ACM センサを垂直になるよう貼付して計測を行った(Fig. 2 ①). また, 比較のために恒湿槽内雰囲気と同じ温度となる ACM センサの計測を行った(Fig. 2 ②). さらに, 電気抵抗法によって腐食量を計測した. 試験に供した RCM (Resistmetric Corrosion Monitor) センサは, 樹脂上に板厚 $200\mu\text{m}$ の ACM センサ基板と同じ炭素鋼を左右に並べ, 片側は防食マスキングを行ったものである(Fig. 3). このセンサに電流を流してマスクあり・なしの電圧降下を測定し, それぞれの抵抗を求める. マスキングなしの腐食した部分は電流が流れなくなり抵抗が高くなるため, これらの抵抗比からリアルタイムに腐食率を求めることができる. この RCM センサを, ACM センサ同様に箱に設置して計測を行った.

3.2 温水を利用した結露試験

容器内に脱イオン水を注ぎ, これを 45°C になるよう加熱した上部空間に ACM センサ, RCM センサを設置して 3.1 同様に計測を行った(Fig. 4). 同様に, 脱イオン水が 90°C の状態でも ACM センサの出力計測を行った.

4. 結果と考察

4.1 冷媒を使用した結露試験結果

ACM センサの出力電流ならびに, RCM センサにおける腐食量の経時変化を Fig. 5 に示す. グラフ内の写真は終了時点の ACM センサ外観である. ACM センサの出力は, $1\sim 100\text{ nA}$ 程度の範囲であった. 途中で出力が低下して 0 A となる箇所が存在するが, これは冷媒能力が低下して, 冷却水の温度が常温に向かったことで, ACM センサ表面の結露量が減ったためである. これらによ

Fig. 2 Illustrative diagram of condensation test using coolant

Fig. 3 RCM (Resistmetric Corrosion Monitor) sensor

り, 結露の発生と停止を出力電流で捉えられたといえる. この出力は ACM センサに脱イオン水を噴霧した場合に得られる出力と同等である. 結露水は大気中の水蒸気の凝縮であり脱イオン水同等の清浄さであることが確認できた.

RCM センサによる腐食量の変化は 100 時間経過後からほぼ線形に増加し, 1800 時間終了時点で $0.56\mu\text{m}$ であり, 腐食速度に換算すると約 $2.7\mu\text{m/y}$ であった.

90%の槽内に設置した ACM センサ出力電流の経時変化と終了時の ACM センサの写真を Fig. 6 に示す. ACM センサの出力は, ほぼ 10 pA 以下であった. 外観上もほとんど変化がない. 海塩等が付着していない場合, 高湿度環境であっても腐食はほぼないといえる.

Fig. 4 Illustrative diagram of condensation test using hot water

Fig. 5 Change in the output current of the ACM sensor and the amount of corrosion of the RCM sensor over time in the condensation test using coolant

Fig. 6 Change in the output current of the ACM sensor over time at 90% relative humidity

4.2 温水を利用した結露試験結果

温水上で40℃に保持したACMセンサの出力電流ならびに、RCMセンサにおける腐食量の経時変化と終了時のACMセンサの写真をFig. 7に示す。ACMセンサの出力は、10 nA~100 nAの範囲で推移した。

RCMセンサによる腐食量の変化は初期からほぼ線形に増加し、1800時間終了時点で1.26 μ mであり、腐食速度に換算すると約6.8 μ m/yで、先の結果に比べて2倍強であった。

4.3 結露と雨がかりのACMセンサ出力の関係

特にFig. 5やFig. 7のACMセンサの写真で明らかにセンサ表面の結露状態は、目視で容易に確認できるほどの水が付着していた。このように水がセンサを覆っている状態は、降雨と同じといえる。一般に降雨時のACMセンサ出力は1 μ Aをしきい値として区別しているが³⁾、上述したように物理現象としての結露におけるしきい値は0.1 μ A以下であったため、降雨時のぬれと結露とは区別できることがわかった。

4.4 結露におけるACMセンサ出力と温度、腐食量の関係

ACMセンサは腐食環境の変化を瞬時に捉えることができる⁷⁾。一方、RCMセンサは実際に腐食した腐食量を求めることができる。これらと比較することでACMセンサ出力から実際の腐食量推定が可能か検討するため、ACMセンサの出力から算出した日平均電気量[Q (C/day)]とRCMセンサによる腐食量とを温度別にFig. 8に整理した。これよりACM出力も腐食量も温度とともに増大し、これらの間に相関のあることがわかった。なお、グラフにおいて35℃と80℃にプロットされているデータが、それぞれ上で述べた45℃と90℃の試験結果に該当する。ともにセンサ自体の温度として整理を行った。

これらデータを種々の大気環境での腐食速度とACMセンサ出力の日平均電気量との関係図¹⁾にプロットしたものがFig. 9である。RCMセンサの腐食量は腐食速度CRに換算してある。これによると、室温での結露環境下の腐食速度は2.69 μ m/yで、関係図中の雨がかりのない大気環境での腐食速度式結露における日平均電気量(C/day)を代入して得られる14.7 μ m/yに合わないこと

Fig. 7 Change in the output current of the ACM sensor and the amount of corrosion of the RCM sensor over time in the condensation test using hot water

Fig. 8 Values of the average amounts of electricity per day of the ACM sensor and those of the amount of corrosion of the RCM sensor at the test temperature

Fig. 9 Relationship between the average amounts of electricity per day of the ACM sensor and the amount of corrosion of the RCM sensor in the condensation test

がわかった。

一方、「屋外におけるセンサ出力と腐食速度の関係」⁴⁾の雨がかり環境における腐食速度の式では、降雨時のセンサ出力を20%とすると最も相関係数が高くなると説明している。この式に結露の日平均電気量を代入すると1.28 μ m/yとなり、本試験の腐食速度とも異なることから、結露による腐食は大気環境や水溶液中での腐食と切り分けて整理する必要があるといえる。

5. 結 論

ACMセンサにおける結露時の出力挙動と腐食量の関係を明らかにするため種々の試験を行った。その結果は以下のように整理される。

- (1) 結露では温度によって腐食速度が異なることが分かった。ゆえに結露時間のみで腐食環境の評価はできないが、ACMセンサ出力と温度変化による結露時の腐食速度とは相関があるのでACMセンサでの結露腐食評価が可能と考える。
- (2) 結露時におけるACMセンサ出力は降雨時のしきい値より低いので、結露と降雨によるぬれをセンサ出力から区別できることがわかった。
- (3) ACMセンサ出力とRCMセンサ出力との照合において

① ACMセンサのその場測定(in situ)によって得られた出力と腐食量には相関が認められたので、ACMセンサ出力から短時間で結露での腐食速度の推定が可能と

考えられる

- ② ACM データ解析において、
- ・雨がかりのない大気腐食環境
 - ・雨がかりのある大気腐食環境
 - ・水溶液中での腐食環境
- と結露は切り離して考える必要がある。

参 考 文 献

- 1) T. Shinohara, M. Motoda and W. Oshikawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **54**, p.375 (2005).
- 2) W. Oshikawa, S. Itomura, T. Shinohara and S. Tsujikawa,

- Zairyo-to-Kankyo*, **51**, p.398 (2002).
- 3) S. Motoda, Y. Suzuki, T. Shinohara and S. Tsujikawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **47**, p.651 (1998).
- 4) W. Oshikawa, Y. Sasaki and T. Shinohara, Proc. 52nd Jpn. Conf. Materials and Environments, JSCE, p.53 (2005).
- 5) T. Ono and T. Suzuki, Proc. 64th Jpn. Conf. Materials and Environments, JSCE, p.347 (2016).
- 6) S. Motoda, Y. Suzuki, T. Shinohara and S. Tsujikawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **47**, p.651 (1998).
- 7) T. Ono, T. Suzuki and S. Takahashi, Proc. JSCE Materials and Environments 2018, JSCE, p.287 (2018).

(Manuscript received November 30, 2018;
in final form February 26, 2019)

要 旨

物理現象としての結露時における ACM (Atmospheric Corrosion Monitor) センサの出力挙動と腐食量の関係を明らかにするため種々の試験を行った。結露時のセンサ出力は降雨でのぬれや付着塩の吸水と比較して挙動が異なるため、切り分けて評価する必要があることがわかった。いずれの現象においても、その場測定 (in situ) によって得られた出力と腐食量には相関が認められたので、ACM センサ出力から短時間での腐食速度の推定が可能と考えられる。

キーワード ACM センサ, 大気腐食, 結露, 温度の影響, 準密閉空間腐食, その場測定