

滴定実験によるさびの発生・成長過程の観察

Observation of Rust Formation and Growth through Titration Experiments.

高濱元史

Motofumi Takahama

機械素材研究所 システム制御グループ

本研究では、鉄鋼表面に水滴を周期的に滴下することでさびの発生・成長を促し、Raspberry Pi とカメラにより 48 時間にわたり画像を取得した。得られた画像を用いて、グレースケールおよび HSV 変換による画像処理を行い、さびの面積変化を定量化した。その結果、初期にはさびが時間に比例して成長し、25 時間以降は進行が緩やかになる傾向が確認された。以上の実験を通して、画像解析による腐食評価の方法を検討した。

1 はじめに

鉄鋼材料は、その強度や加工性、コストパフォーマンスに優れることから、建築、自動車、インフラなど多岐にわたる分野で広く使用されている。しかしながら、鉄鋼の大きな課題として「さび（腐食）」の発生が挙げられる。さびは材料の強度や外観を著しく損なうだけでなく、構造物や機械装置の寿命低下や事故の原因ともなりうるため、その発生メカニズムの理解と対策が重要である。

これまでにも、さびの発生条件や進行を抑制するための表面処理・防食技術について多くの研究がなされてきた。しかし、さびの発生や成長がどのように進行していくのかを、時間経過とともに定量的かつ視覚的に捉える研究は限定的である。

さびの発生・成長についての近年の研究成果として、国土技術政策総合研究所は、AI を用いてさびを分類する技術を報告している¹⁾。また、2025 年 4 月に日本電信電話株式会社は、画像から腐食の進行を予測する技術を発表した²⁾。これらの技術のように、画像と AI により防食技術は発展していくと思われる。また、株式会社神戸製鋼所の小澤氏は、放射光と機械学習による腐食初期に関する詳細な報告をされた³⁾。腐食初期のさび種ごとの分布を可視化することができており、さびの成長の挙動解明が期待される。これらの技術の発展により防食技術がより発展していくことが期待される。

本研究では、滴定実験を通じて鉄鋼表面におけるさ

びの生成過程を可視化し、定量的に評価することを目的とする。特に、画像取得装置として Raspberry Pi およびカメラモジュールを用いることで、低コストで継続的な観察を行い、腐食の挙動を捉えることを試みた。

2 実験方法

2.1 さびの発生・成長過程の画像取得

本実験では、水滴を一定間隔で滴下し、時間の経過とともに発生・成長するさびの様子を観察・記録することを目的とした。図 1 に示すように、滴下装置、観察用カメラ、および制御用コンピュータから構成される装置を自作した。

滴下にはチューピングポンプ（AS ONE TP-1937D）を用い、貯水タンクに貯めた水道水を 1 時間に 1 滴の間隔で試験片表面に滴下した。ポンプの動作は外部のタイマーを用いて制御をおこない周期的滴下とした。試験片には鉄製の平板を用い、腐食が自然に進行するよう、あえて無処理の表面を使用した。また、水滴が

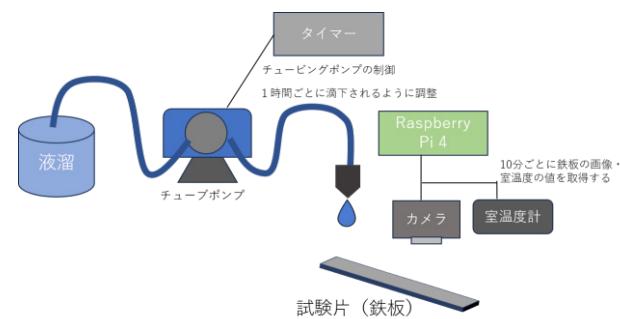


図1 さびの発生・成長過程の画像取得実験

一方向に流れやすいよう、鉄板には約3度の傾斜を設けた。

画像取得には、Raspberry Pi 4 8GB にカメラモジュール(fosa 社製 OV5467 1080p)を接続し、10分ごとに自動的に撮影を行いビットマップ画像にして保存した。カメラは鉄板の表面を撮影できるよう、一定距離(約10cm)を保って固定した。

2.2 さびの成長速度評価

取得した画像からさびの面積を算出し、成長速度を求めるにした。取得した画像に対して二値化処理を行い、画像上のさびの面積を算出した。以上の画像処理はOpenCVとPythonを用いて行った。最終的に、各画像に対してさびの面積(ピクセル数)を算出し、時間経過との関係をグラフ化、成長速度を評価した。

3 結果と考察

3.1 さびの発生・成長過程の画像取得

実験により約48時間分の画像を取得した。図2にさびが発生した初期の画像を示す。最初の滴下によって生じた水滴が乾燥し、鉄板表面にさびが形成されていく様子が観察された。水滴の乾燥後20分までは黒ずんだ色をしていましたが、30分後には褐色に変化した。一般的に、鉄は湿潤環境から乾燥、脱水のサイクルを経るとさびが生成される。今回の実験でも水滴が乾燥した後にさびは生成され、これは、水滴に含まれた鉄イオン、水酸化物イオンが大気中の酸素と結びつき反応したためと考えられた。

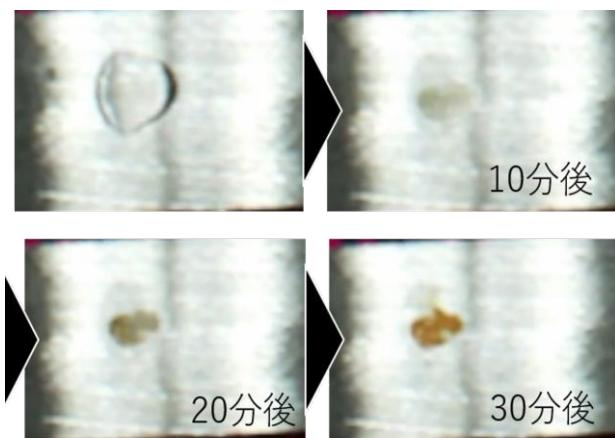


図2 発生初期の錆の画像

3.2 画像処理によるさびの輪郭算出

取得した画像をすべて8bitのグレースケールのモノクロ画像に変換し、各画像に対して閾値を求めるアルゴリズムとして大津の二値化を用いた。図3は滴下開始から約6時間後の画像を処理した結果である。二値化した際に、さびだけでなく鉄板の明暗を輪郭として算出している。このままでは、さびの面積のみ算出する際に、取扱いが煩わしい。



図3 グレースケール画像から求めたさびの輪郭

そこで、取得した画像を色相、彩度、明度がそれぞれ8bitのHSV色空間に変換し二値化を行った。変換した画像を確認しながら値を調整し、色相を5~30、彩度を80以上、明度を20以上の画素をさびとみなした。図4は実験開始から30時間後の画像に対して処理を行った結果である。鉄板の明暗に依らずさびの輪郭をとらえることができた。今回の実験ではグレースケールからの二値化に比べHSV色空間での二値化が適していると考えられた。



図4 HSV画像から求めたさびの輪郭

3.3 さびの成長速度評価

滴下実験開始から各画像上におけるさびの面積を算出した(図5)。画像によるばらつきがあるが、初期は経過時間に比例してさびが成長していく様子が見られた。一方で、25時間過ぎたあたりから面積増加が緩やかになったため、25時間前後のデータで回帰直線を求めた。25時間より前では傾きは $644 (\text{px}^2/\text{h})$ であり、25時間より後では $153 (\text{px}^2/\text{h})$ であった。すでに形成されたさびが水滴に比べて大きくなり、結果として新たに水分が付着する鉄板の面積が減ったことで、腐食の進行が遅くなったと考えられた。

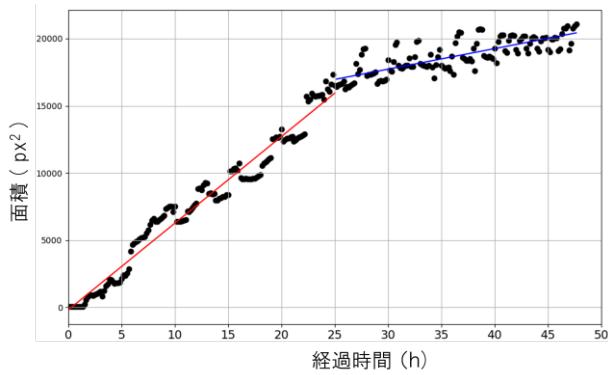


図5 画像におけるさびの面積の経時変化

4 おわりに

本研究では、滴下実験を通じて鉄板におけるさびの発生、成長の可視化と定量化を試みた。Raspberry Pi 4 とカメラモジュールを用いた低成本の観測装置を作成し、約 48 時間にわたり 10 分ごとの画像取得を行った。

また、OpenCV を用いた画像処理により、さびの成長の可視化、定量化の基礎実験となった。グレースケール画像と HSV 色空間画像による二値化処理を比較した。今回の実験では HSV 色空間画像による二値化処理のほうが、より精度の高いことが分かった。

県内の企業の品質管理に応用ができれば幸甚である。また、腐食に関わらず画像処理の技術は今後も活用していくべきだ。

文 献

- 1) 白戸真大, 手間本康一, 吉延広枝; AI による対候性材の錆の特徴分析, 国総研レポート 2024, p44-45.
- 2) 日本電信電話株式会社, ニュースリリース, 「世界初、鋼材を使用したインフラ施設の画像から腐食の進行を予測する技術を確立～道路橋等の様々な施設の将来状態を把握し、点検周期と補修時期を最適化することで保全コストを縮減」
<https://group.ntt.jp/newsrelease/2025/04/30/250430a.html>
- 3) 小澤敬祐, 機械学習を用いたイメージング放射光解析によるさび分布可視化, 表面技術, Vol. 75, No10, p8-12 (2024).