

# フォトリアルなサイバー空間構築を支えるCG技術 変形を伴う塗膜における経年劣化のビジュアルシミュレーション

石飛 晶啓 中山 雅紀 藤代 一成

## 1. 背景と目的

経年劣化は現実世界において普遍的な現象であり、CGでこれを表現する手法である、**ウェザリング**の研究はこれまでも数多く存在している。

特に、劣化による視覚的変化が顕著かつ最も身近な例である金属を対象としたウェザリング手法は多く存在する。しかし、**現実の金属には防腐剤が塗布されることがほとんどであるにも関わらず、提案されているウェザリング手法の大半は塗膜の影響を考慮していない。**

本研究では、**金属物体上の塗膜を直接的な対象としたウェザリング手法を提案する。**現実世界における塗膜の劣化の例と、本手法を用いて塗膜の劣化をシミュレーションした結果の比較を図1に示す。



図1: 現実世界における塗膜の劣化(左)と提案手法を用いたシミュレーション結果(右)の比較

## 2. 提案手法

### 2.1 変形

本手法では**塗膜を三角ポリゴンメッシュで表現し、これを変形することで亀裂と剥離を表現する。**メッシュは均質性と不規則性を両立しているものを想定する。

メッシュで表現された塗膜にはたらく力学的作用を考慮するため、図2に示す基本モデルに基づいて力学パラメタを設定する。このモデルでは、**隣接するポリゴンは互いに畳み合い、なおかつ引き合うように力を加える。**

ポリゴンメッシュは図3に示すような**ハーフエッジ構造**をとっており、頂点、面、半稜線で構成されるものとする。頂点には**吸着力**、面には**張力**、半稜線には**結合力と揚力**を、それぞれ設定する。吸着力は頂点が基板から受ける力であり、実行時に徐々に低下していく。張力は面が周囲の半稜線にかける力である。結合力は半稜線がペアとなる半稜線との結合を断つのに必要な力であり、揚力は向かい合う頂点に加える力である。そして、これらのパラメタに基づき、頂点の**分離**、稜線の**断裂**、ポリゴン面の**剥離**の順で劣化を進行させる(図4)。

(a) **分離**: 頂点が周囲の半稜線から受ける揚力の和が吸着力を上回ると頂点が分離する。変形は行わない。

(b) **断裂**: 半稜線のペアにおいて、両端の頂点が分離しており、かつ両側の面から受ける張力の和が結合力を上回ったときに断裂が起きる。断裂時にはモデルに細い穴をあける。

(c) **剥離**: ポリゴン面の周囲の三本の半稜線のうち、二本が断裂した場合に、頂点を移動して塗膜を剥離させる。三本とも断裂している場合は面を削除する。

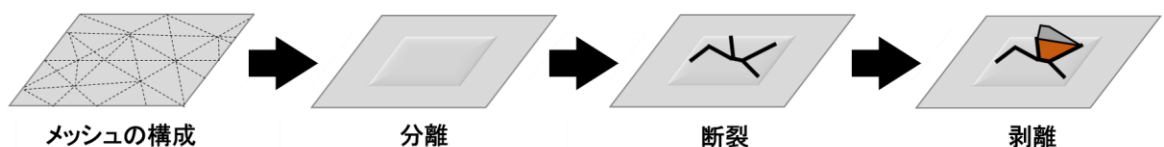


図4: 提案手法における劣化の流れ

### 2.2 汚れの表現

劣化した塗膜を写実的に表現するには、外的作用による塗膜の汚れを考慮する必要がある。そこで、雨の作用による**流れ錆**と大気中の塵による**黒ずみ**を表現する。流れ錆を表現するために、各頂点に錆の量を示すパラメタを設定する。このパラメタの値は剥離箇所直下において急激に上昇し、下方に向かって伝搬する。

塵の量に関するパラメタも同様に設定し、シミュレーションが進むに従ってその値が増加するようにする。増加速度は、モデルの下部や、上を向いている面、溝となる箇所で大くなるようにする。

錆の量が多いほど、その頂点周辺におけるモデルの色を茶色に近くなるようにし反射率を低下させる。塵の量が多いほど、黒く変色させて反射率を低下させる。

### 2.3 劣化の制御

各頂点ごとに吸着力と受ける揚力の差を計算し、この値に応じて頂点の色を変化させることで、**剥離しやすい箇所を可視化**することができる。さらに、部分的に吸着力を操作することで、**剥離箇所を制御**することができる。

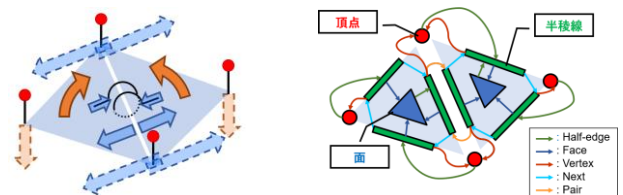


図2: 基本モデル

図3: ハーフエッジ構造

# フォトリアルなサイバー空間構築を支えるCG技術 変形を伴う塗膜における経年劣化のビジュアルシミュレーション

石飛 晶啓 中山 雅紀 藤代 一成

## 3. 結果

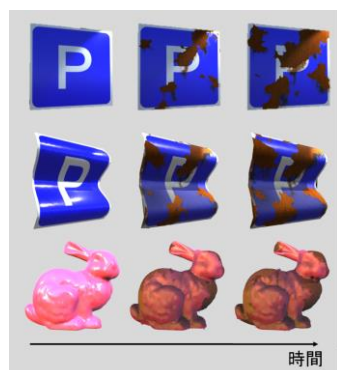


図5: 本手法によるウェザリングの結果



図6: 劣化箇所を指定した場合のシミュレーション結果

本手法を用いたシミュレーションの結果を図5に示す。単純な平板や曲面だけでなく、閉曲面かつ複雑な形状の3Dモデルにおいても、剥離箇所のまだら模様やその周辺の亀裂が表現されていることが確認できる。また、剥離箇所から塗膜表面をつたって錆が流出している。

外部入力によって剥離の進行を制御した場合のシミュレーションした結果を図6に示す。下段で青く示されている箇所は外部入力によって剥離が抑制されていることを表している。シミュレーションを進めると塗膜は徐々に剥離していくが、指定した箇所では残存し続けることが確認できる。

本手法では塗膜に焦点を当てているため、金属物体の劣化については特別な処理は行わなかった。テクスチャのブレンドを利用して金属の劣化を簡単に表現し、加えて被写界深度を調整した結果を図7に示す。これにより印象的な画像を生成できているが、本手法と金属の劣化に関する既存研究を組み合わせることで、さらなる写実性の向上が期待できる。



図7: 本手法を用いて作成したシーン

## 4. まとめと今後の課題

本研究では、力学的作用を考慮したポリゴンメッシュの変形による、対話的な塗膜剥離シミュレーション手法を提案し、現実世界に見られるような剥離箇所のまだら模様や、その周辺の亀裂を表現できることを確認した。また、外的作用による塗膜の汚れとして、剥離箇所からの流れ錆と、塵による黒ずみに注目し、これを表現する方法を提案した。

メッシュの再分割アルゴリズムを開発することで、より多様なモデルに本手法を対応させることが今後の課題となる。さらに、光や水分による塗料の化学的な変質や、外的な衝撃による傷を考慮することで、より多くの環境における塗膜の経年劣化を表現できると考えている。

**謝辞** 本研究の一部は、科研費基盤研究(A)17H00737の支援により実施された。

### 公開文献

- [1] 石飛 晶啓, 中山 雅紀, 藤代 一成: 「Visual simulation of weathering coated metallic objects」, 招待講演, Visual Computing 2020 発表予稿集, pp. 15:1—15:4, オンライン開催, 2020年12月2日—4日
- [2] Akinori Ishitobi, Masanori Nakayama, Issei Fujishiro: “Visual simulation of weathering coated metallic objects,” *The Visual Computer (Special Issue of CG International 2020)*, Vol. 36, No. 10, Article No. 35, pp. 2383—2393, August 2020 (online publication) [doi: [10.1007/s00371-020-01947-w](https://doi.org/10.1007/s00371-020-01947-w)]
- [3] Akinori Ishitobi, Masanori Nakayama, Issei Fujishiro: “A deformation method for simulating coating degradation while taking mechanical behavior into account,” *2019 International Conference on Cyberworlds (CW)*, Kyoto, Japan, October 2—4, 2019 [doi: [10.1109/CW.2019.00066](https://doi.org/10.1109/CW.2019.00066)]
- [4] 石飛 晶啓, 中山 雅紀, 藤代 一成: 「経年劣化による塗膜剥離のビジュアルシミュレーション」, 情報処理学会第81回全国大会講演論文集(4), pp. 125—126 (2ZC-08), 福岡大学七隈キャンパス(福岡県福岡市), 2019年3月14日—16日, 学生奨励賞受賞