

# 解説

J. Jpn. Soc. Colour Mater., 91 [10], 327-331 (2018)

## 塗料の乾燥過程におけるシワ形成の数理モデル

工藤和恵\*†・下川倫子\*\*

\*お茶の水女子大学基幹研究院自然科学系 東京都文京区大塚2-1-1 (〒112-8610)

\*\*福岡工業大学工学部知能機械工学科 福岡県福岡市東区和白東3-30-1 (〒811-0295)

† Corresponding Author, E-mail: kudo@is.ocha.ac.jp

(2018年8月8日受付, 2018年8月27日受理)

### 要 旨

塗料の乾燥過程において重ね塗りをした際に、シワが出現する場合がある。このシワ形成を弾性薄膜の座屈現象としてとらえ、数理モデル化する。この数理モデルを用いると、シワ形成の条件および初期段階の現象を説明できる。数値シミュレーションによって、シワが形成される様子を再現することもできる。一方で、シワが発達してからの現象に関しては、モデル改良の余地がある。観察される現象のどの部分に注目するかによって、適切な数理モデル化の方法は異なることに注意が必要である。

キーワード：塗膜, 数理モデル, シワ形成

### 1. はじめに

塗装の際に、塗料の重ね塗りをを行うことがあるだろう。しかし、下塗りした塗料が完全に乾燥する前に重ね塗りをすると、塗膜表面にシワが発生する場合がある。たとえば合成樹脂塗料の場合は、塗膜の乾燥過程で重合が起こり、高分子の網目構造ができる。完全に硬化する前に重ね塗りをしてしまうと、上塗りした塗料から染み出した溶剤が、下塗り塗膜の網目構造に入り込み、塗膜が膨潤する。これによって塗膜に応力がかかり、シワの発生につながる。つまり、シワの発生を力学的な視点からとらえると、塗膜の座屈現象として扱うことができる。

本稿では、塗膜を弾性薄膜とみなした数理モデルについて解説する。これを用いると、シワ形成の条件を比較的シンプルな形で説明できる。また、シワが形成される様子を数値シミュレーションで再現することもできる。実際の計算結果を示した

後に、実験と数理モデルによる解析の比較<sup>1)</sup>について紹介する。

### 2. 実験による観察

塗料を実際に重ねて塗ってしまうと、下塗りした塗膜と上塗りした塗膜の変形の区別がつかなくなり、シワ形成の本質をとらえるのが難しくなる。ここでは、下塗りした塗膜の変形に焦点を絞るために、上塗り塗料の代わりに溶剤のみを塗布する。手順としては、金属基板に塗料を塗布し乾燥させた後、透明な溶剤を滴下する。図-1の左図は、その実験の模式図をあらわしている。右図は、実験で観察された塗膜の写真である。厚さ1.0 mmの銅板に、塗料を130 μmの厚みで塗布し、30℃の恒温槽で24時間乾燥したものに、溶剤のキシレンを滴下して150秒後に撮影した<sup>1)</sup>。

数理モデル化の際に重要になる実験結果の概要を、簡単に述べておく。まず、乾燥時間が短すぎると、溶剤の滴下によって塗膜が溶けてしまう。乾燥時間が長すぎると、滴下した溶剤が揮発するだけでシワは形成されない。すなわち、ある限定された乾燥時間の領域でのみ、シワの形成が観察される。また、溶剤の滴下からシワ形成までの時間は、乾燥時間に依存して長くなる傾向がある。

シワ形成の初期には小さなシワが発生する。そして、シワ同士が結合しながら成長する。シワの形状が時間変化するた



〔氏名〕 くどう かずえ  
〔現職〕 お茶の水女子大学基幹研究院自然科学系 准教授  
〔趣味〕 プログラミング  
〔経歴〕 2005年お茶の水女子大学大学院博士後期課程修了(博士(理学))。2005年大阪市立大学大学院工学研究科 日本学術振興会特別研究員 (PD)。2008年お茶の水女子大学お茶大アカデミックプロダクション特任助教を経て、2012年より現職。



〔氏名〕 しもかわ みちこ  
〔現職〕 福岡工業大学工学部知能機械工学科 助教  
〔趣味〕 自然散策  
〔経歴〕 2009年九州大学大学院博士後期課程修了(博士(理学))。2009年摂南大学理工学部助教。2011年千葉大学先進科学センター特任助教を経て、2013年より現職。

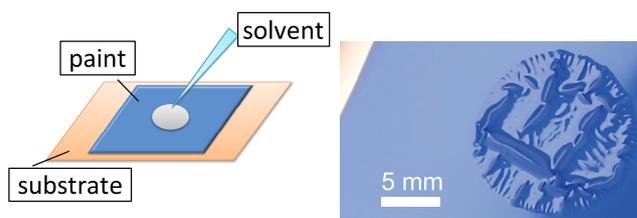


図-1 Schematics of an experimental setup (left) and the picture of wrinkles on a paint layer (right).

【図表について】電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai-char/ja/