

# チッピングによる 自動車用塗膜の破壊挙動

Film Destruction Of Automotive Coatings  
By Chipping Damage



自動車塗料本部  
技術開発部  
水谷豊  
Yutaka  
Mizutani

## Summary

We have successfully observed the critical moment by high-speed photography how the automotive multi-layer coating film breaks down due to stone chipping by using a steel ball impact test machine, and it enabled us to analyze the sequence of the action how the impact energy acts to cause the detachment of the coated film and/or is actually consumed as the impact vibration.

As regards the performance of coated film against stone chipping, it is essential to design a coating with the aimed physical properties at a target film build. In the current anti-chipping systems, there are two chipping primer available as a satisfying undercoat to be applied prior to primer surfacer, either a thin film of 5  $\mu$  m dry or a thick-build type of 150  $\mu$  m dry. There would, however, be a possibility to eliminate the chipping primers by using a single coat primer surfacer that is designed for the superior anti-chipping performance because of the improved physical properties of the film such as adhesion strength, elongation and tensile strength, etc. at a target film build.

## 要 旨

自動車用塗装複層膜のチッピングによる破壊挙動を、高速鉄球打ち付け試験機による高速度撮影にて観察し、チッピングの衝撃エネルギーが塗膜破壊と衝撃振動による付着破壊または振動吸収に費やされる様子を捕らえることができた。

チッピングに対する塗膜物性については、目標膜厚での物性値が重要であり、現状のチッピング対策であるチッピングプライマーは薄膜型は5 $\mu$ m、厚膜型は150 $\mu$ m程度を中塗層の下に塗装することにより狙いの物性を達成している。中塗塗膜に着目した場合、狙い膜厚での付着力・伸び率・強度等の物性値の調整により中塗膜単独で目標とするチッピング性が達成できる可能性がでてきた。

## 1. はじめに

自動車の走行時に跳ね上げられた石等による衝突で塗膜が損傷を受ける現象がチッピングであるが、局部的に塗膜が破壊され剥離するため塗装外観が著しく損なわれるだけでなく、金属素地まで到達するような場合は金属の腐食（錆）が進行するため耐チッピング性は自動車用塗膜の重要な性能の一つである。

塗膜の物理的性質の耐チッピング性への寄与についての研究は以前より継続されている<sup>1)</sup>が、自動車用塗膜は、通常は電着／中塗／上塗（2C1B系が主流）で構成されており複層であることと、塗膜へのダメージが高速度の衝突物で且つ種々の条件下で起こるため、耐チッピング性に優れた塗膜およびその塗膜構成についてはまだ解明すべき点が多い。

本報告では、高速鉄球打ち付け試験による塗膜破壊の瞬間を観察すると共に、複層系の塗膜としてあるべき方向性について、特に中塗層に着目して考察する。

## 2. 現状のチッピング対策

自動車ボディー塗装系でチッピングを受け易い部位は、ドア下部やフード先端、時にはルーフ先端に及ぶ。良好な耐チッピング性を得るには塗装系のどこかの層で飛び石の衝突エネルギーを吸収、拡散させる必要がある。電着塗膜は防錆性、上塗塗膜は光沢、耐候性、耐酸性雨性等を追求する結果剛直で伸びの低い塗膜になってしまうため、耐チッピング性は中塗層での対応が中心となっている。フードやルーフ先端はチッピングプライマーである高伸び率の薄膜層(5 $\mu$ m)を、ドア下部や底部には、ウレタン系やPVC系の厚膜層(100~200 $\mu$ m)を電着と中塗の間に挟み込むことにより衝撃を緩和している。図1には、自動車のチッピング対策とし

てのチッピングプライマー塗布部位を示す。

近年、自動車ラインのVOC削減、工程短縮による省エネルギー、生産コスト削減を目指し、チッピングプライマーのような付帯工程を削除し中塗層だけで耐チッピング性を維持できる塗装系の開発も望まれている。

## 3. チッピングによる塗膜破壊挙動

実際のチッピングによる塗膜の破壊挙動を観察するために、図2に示す高速鉄球打ち付け試験機を用い高速度撮影することにより、鉄球が塗膜に衝突する瞬間から塗膜が破壊する様子を観察する事ができた。装置及び撮影、解析は拓殖大学笠野教授グループの協力のもとに行った。

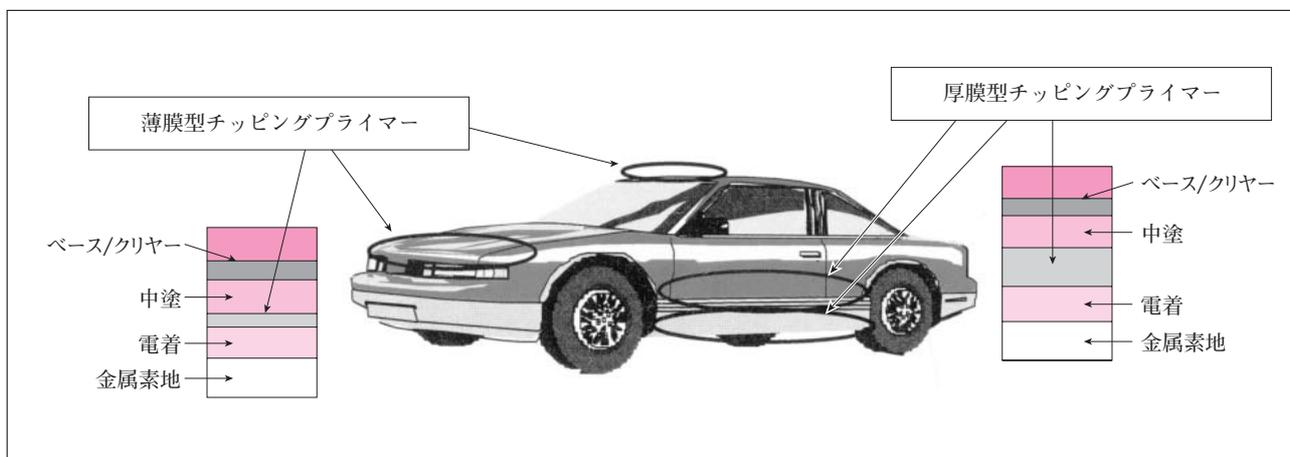


図1 自動車チッピング対策部位

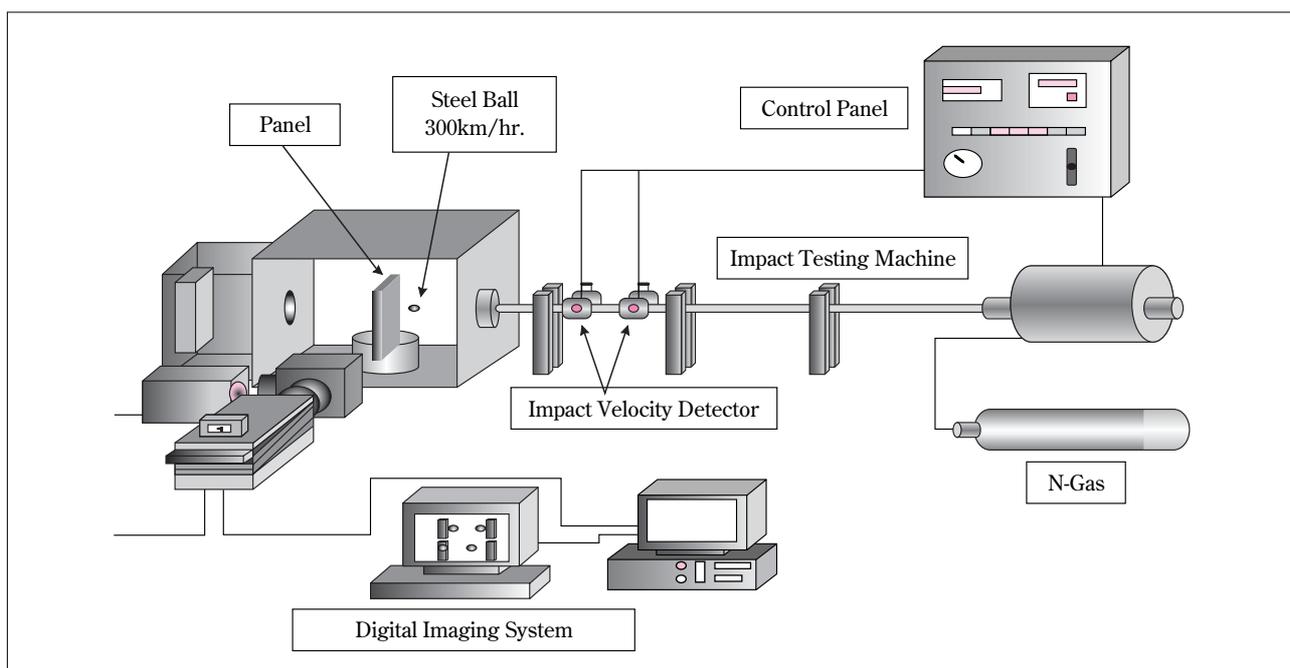


図2 高速度撮影付き高速鉄球打ち付け試験機

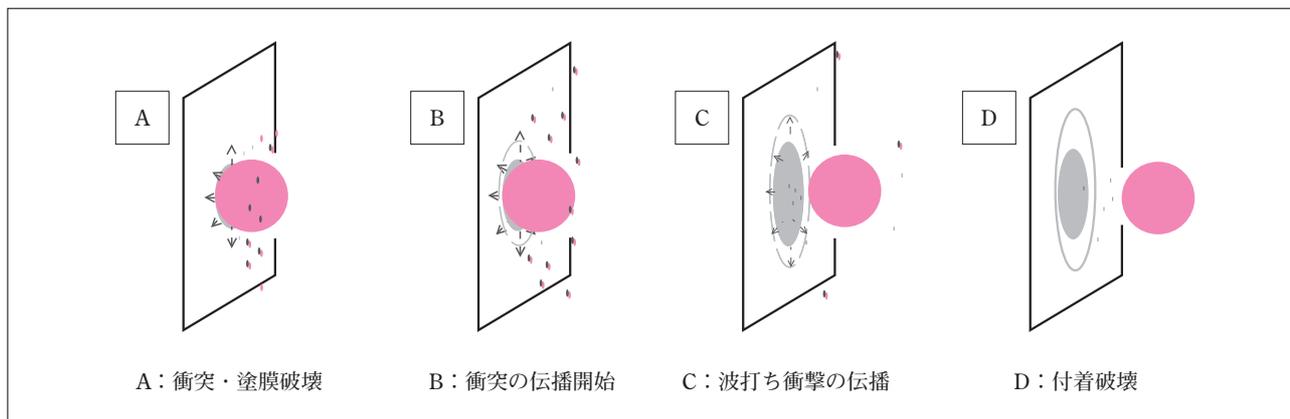


図3 鉄球打ち付け試験での塗膜破壊のイメージ図

図3にその撮影結果を示すが、実際の写真では判読しにくいいためイラスト図を示す。図3の各写真は40 $\mu$ 秒間隔で撮影されている。

- A：鉄球が衝突した瞬間。塗膜破壊が起こる。
- B：塗膜破壊が継続し、塗膜に衝撃の伝播が始まる。
- C：鉄球が反発すると共に塗膜が波打ち衝撃の伝播が明らかとなる。
- D：衝撃伝播による波打ちにより、付着破壊(塗膜浮き)が発生している。付着性良好なものは破壊がおこらず元に回復する。

この観察によりチップング衝撃エネルギーは、塗膜の破壊と衝撃の伝播振動による付着破壊または振動吸収に費やされる様子が明らかになった。

#### 4. チップング試験方法と評価

塗膜試験としてのチップング性は各種の衝撃試験機により評価されてきたが、代表的な一つにグラベロ試験機を用い塗膜破壊面積と個数を目視評価する方法がある。ここでは、破壊面積と個数の評価ratingを10段階(数字が大きいほど

良好)で評価すると共に、破壊がどの塗膜層まで及んでいるかを観察した。

試験はグラベロ試験機にて7号碎石100gを3kg/cm<sup>2</sup>の圧力で噴射させ、塗板温度-20℃、塗板角度90°を標準条件として行った。目視の破壊面積と個数を10段階で評価すると現状レベルはチップングプライマー有りの塗装系でrating 6~7であり良好であるが、現在塗料開発中のものの最終目標は、チップングプライマー無しで rating 8以上で且つ銅板素地への到達が無いことである。

#### 5. チップングに対する中塗層の役割・機能

##### 5.1 クッション層の役割

前述したように現在のチップング対策は電着/中塗間にクッション層を用い、チップング衝撃を緩和している。図4には先述の装置を用いて薄膜型チップングプライマー有無での塗装膜の破壊の様子を別の高速度ビデオカメラで撮影した写真を示す。チップングプライマー有りの系では明らかに鉄球が衝突した瞬間の塗膜破壊及び衝撃伝播による付着破壊も小さくなっており衝撃緩和効果を示している。

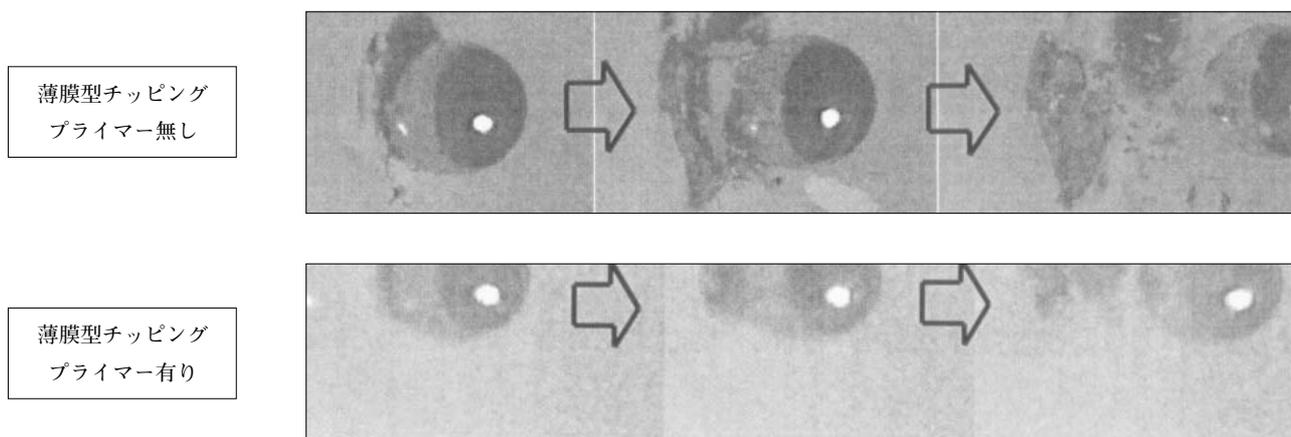


図4 薄膜型チップングプライマー有無による塗膜破壊

表1 チッピングプライマーのチッピング性と引張り強度

| チッピングプライマー<br>タイプ         | チッピングプライマー<br>膜厚 | チッピング性 |      |      | 伸び率<br>%  | 破断強度<br>kgf/cm <sup>2</sup> |
|---------------------------|------------------|--------|------|------|-----------|-----------------------------|
|                           |                  | Rating | 目視評価 | 鋼板到達 |           |                             |
| 薄 膜 型                     | 5 $\mu$ m標準      | 7      | ○    | ○    | (48)      | (200)                       |
|                           | 20 $\mu$ m       | 5      | △    | ○    | 190       | 205                         |
|                           | 上層薄膜/20 $\mu$ m  | 6-7    | ○    | ○    |           |                             |
| 厚 膜 型                     | 20 $\mu$ m       | 4      | △X   | △    | (1.5)     | (90)                        |
|                           | 150 $\mu$ m標準    | 8      | ○    | ○    | 15        | 114                         |
| 無 し                       | —                | 4      | △X   | X    | —         | —                           |
| 通常の中塗のみ                   | 20 $\mu$ m       | —      |      |      | 2.2       | 650                         |
| ( ) : 表記膜厚では測定不可能のため膜厚換算値 |                  |        |      |      | 測定温度：-20℃ |                             |

表1には現在用いられている電着・中塗・上塗塗装系でのクッション層の膜厚とチッピング性、及び引張り試験強度特性(-20℃測定)を示す。

薄膜型チッピングプライマーは-20℃の低温でも非常に良い伸び特性を示し、チッピングプライマー無しと比べ目視評価と鋼板到達阻止への効果は非常に大きい。しかし、チッピングプライマーを厚膜にして20 $\mu$ mの膜厚を塗布すると5 $\mu$ mの標準膜厚に比べ目視評価、ratingがともに劣る結果となった。これはチッピングプライマーの膜厚が厚くなると、チッピングプライマーを含む塗膜層が衝撃時に受ける変形が大きくなるため塗膜破壊が起こり易くチッピングが劣るものと考えられる。そこで上層(上塗/中塗)を薄膜にすれば、変形による破壊体積が減少するため目視評価は良好になる。

一方、厚膜型を薄膜塗装してもチッピングレベルの著しい低下があり、厚膜型チッピングプライマーは標準とする150 $\mu$ mの膜厚時に適度な変形量と物性を保つことにより良好なチッピングレベルを維持できる材料設計になっているといえる。

5.2 中塗塗膜モデル

中塗の伸び率、強度、付着力の塗膜物性を変動させるモデル塗膜を作成しチッピング性との相関を検証した。実験はチッピングプライマー無しの塗装系で行い、中塗/上塗の付着力の影響を少なくするため、中塗をプレヒートし(80℃×10分)、上塗を塗装後焼付を行った。

表2に結果を示す。中塗の電着(ED)への付着力が弱い場合、鋼板到達はなく電着/中塗界面の付着破壊が引き起こる。伸び率が小さいものは破断強度が大きくても目視評価が劣り、伸び率が大きく塗膜強度が確保されると目視評価は良好になる。更に膜厚を上げることにより鋼板素地への到達を防ぐことができる。

このように塗装系において中塗の物性値を塗装膜厚を加味して設計することにより、目標とするチッピングレベルの実現の可能性があることを示している。

表2 中塗物性モデルとチッピング性(チッピングプライマー無し)

| 中塗モデル     | 中塗膜厚       | 伸び率<br>% | 破断強度<br>kgf/cm <sup>2</sup> | ED付着力<br>kgf/cm    | チッピング性 |      |      |
|-----------|------------|----------|-----------------------------|--------------------|--------|------|------|
|           |            |          |                             |                    | Rating | 目視評価 | 鋼板到達 |
| 低伸び・低付着力  | 25 $\mu$ m | 2.6      | 560                         | 2.8                | 4      | △X   | ○ED  |
| 低伸び・高付着力  | 25 $\mu$ m | 3.1      | 662                         | 5.0                | 5      | △    | X    |
| 高伸び・高付着力  | 25 $\mu$ m | 31       | 270                         | 4.1                | 6      | ○    | △    |
|           | 40 $\mu$ m | 47       | 290                         | 4.0                | 7      | ○    | ○    |
| 高伸び・低付着力  | 25 $\mu$ m | 46       | 23                          | 1.8                | 3      | X    | ○ED  |
| 測定温度：-20℃ |            |          |                             | ED付着力：サイカス法による切削強度 |        |      |      |

## 6. まとめ

自動車用塗装複層膜のチップングによる破壊挙動を高速鉄球打ち付け試験にて直接的に観察することができた。衝撃エネルギーは塗膜破壊と衝撃振動による付着破壊及び振動吸収に費やされる様子をこの観察で捕らえることができた。

チップングに対する塗膜物性については、単位体積(面積)当りの物性値だけではなく目標膜厚での物性値が重要である。この点で現状のチップング対策塗膜であるチップングプライマーは薄膜型は $5\mu\text{m}$ 、厚膜型は $150\mu\text{m}$ 程度で狙いの物性を達成していることが判明した。このようなデータを基に中塗膜単独で狙いとする膜厚での付着力・伸び率・強度等の物性値の調整により目標とするチップング性を達成できる可能性がでてきた。

最後になりましたが、本チップングによる塗膜破壊挙動の観察と解析に多大なるご協力をいただきました拓殖大学先端工学研究センター 笠野英秋教授とその研究室の方に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 佐藤忠明、粕川高久、中畑顕雅、御堂河内奨:塗料の研究、No.129、p2(1997)