

(論文)

導電性プレコートアルミニウム材の耐疵付き性へ及ぼす充填材の影響

Effect of Filler Type on Anti-scratch Properties of Electrical Conductive Pre-coated Aluminum Sheets



藤原直也*
Naoya Fujiwara



吉川英一郎*
Eiichiro Yoshikawa



服部伸郎**
Nobuo Hattori



塚越 智**
Satoru Tsukagoshi

Kobe Steel has developed an electrical conductive pre-coated aluminum sheet suitable for the casings in electronic machinery. The inclusion of anti-scratched properties during form processing and electro-conductivity to provide a ground for machinery to prevent false operation were achieved through the development of a new type of special film. In this paper, the effect of the filler type on the anti-scratch properties of this special film is introduced.

まえがき = 近年、ノートパソコンをはじめとする各種携帯用電子機器に対して小型軽量化が求められており、最近ではその総重量が1kg以下の超軽量ノートパソコンも珍しくない。このような状況の下、これらの機器に搭載されるDVDやCD-ROMドライブなどの各種電子部品に対しても軽量化が強く求められている。各種電子部品の筐体には数年前までは鋼板が用いられたが、現在では軽量化のため比重が鋼板の約1/3であるアルミニウム板材（以下、アルミ材と略す）にほぼ置き換わっている（写真1 CD-ROMドライブ筐体）。

これらの筐体はアルミ材のプレス成形加工により製造されるが、アルミ材は鋼板に比べ柔らかく疵がつきやすい。また、成形後のハンドリングの際に付着する作業者の指紋が目立ち、外観を損ねる問題がある。さらにアルミ材はステンレスよりは一般に安価であるが、鋼板に比べると材料費が高くなるため、部品単価を下げるための製造工程の簡略化が重要である。例えば、プレス油の洗

浄工程が不要となる速乾性プレス油での連続成形性が必要とされ、優れた潤滑性を有する材料が求められている。

こうした耐疵付き性・耐指紋付着性・潤滑性向上の要望を解決する手段として、アルミ材表面に有機あるいは無機皮膜による特殊表面処理を行う方法が良く知られている。しかし、一般に絶縁物である有機あるいは無機皮膜で処理されたアルミ材の表面は、当然のことながら電気絶縁体となるため、電子機器用途としては以下のような問題が生じる。

電子部品は、静電気や電磁波ノイズによる誤作動を防ぐため、筐体をアースすることが必要であり、そのため良好な導電性が求められている。絶縁性皮膜で被覆したアルミ材で製造された電子部品の筐体からアースを取るためには、皮膜の一部を除去してアース端子を設置すれば可能である。しかし、2次加工を施してわざわざアース端子を設けることはコスト面から好ましくなく、例えば、単に板バネなどの金属片を接触させただけで皮膜の上から導通が取れる筐体が望まれていた。

当社では、これら携帯用電子機器を主な用途に想定した導電性プレコートアルミニウム材を1998年ごろより開発し、スリム型CD-ROMドライブなど幅広い製品に採用いただいている。しかし、最近ではパソコンなどの性能向上に伴い、搭載機器の動作信頼性向上が一層求められるため、電気・電磁波ノイズ除去の要求レベルが高まり、その結果として無塗装のアルミ材に近い導通レベル（少なくとも0.5以下、望ましくは0.2以下）の性能を有するプレコートアルミ材が求められている。

このような要望に応えるため、当社は導電性プレコートアルミニウム材の性能向上に取り組んできた。本報では、アルミ材上へ塗装する皮膜の成分、構成及び厚さの最適化を検討した結果と、特に潤滑粒子の添加が耐疵付



写真1 CD-ROMドライブ筐体
Photo 1 CD-ROM drive case

*技術開発本部 化学環境研究所 **アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 アルミ板研究部

き性に及ぼす効果を中心に報告する。

1. 実験方法

1.1 使用したアルミ板

アルミ板素材として、表1に示す機械的性質を有するA5052-H34材を使用した。アルミ板素材には、塗装前処理としてクロム付着量が $0.02\text{g}/\text{m}^2$ のリン酸クロメート処理を施した。

1.2 皮膜の形成

塗装前処理の終了したアルミ板素材上に、ポリエステル系樹脂をメラミン系樹脂で硬化させた熱硬化性樹脂をマトリックスに、表2に記載の充填材を添加した皮膜を形成した。

アルミ板上への皮膜の形成は、前記の樹脂及び充填材を有機溶剤に溶解又は分散させた塗料を調整し、アルミ板にパーコータを用いて塗装後、素材到達温度230の加熱条件で焼付けて行った。塗布量は塗料濃度とパーコータ番手で調整し、特記した場合以外は乾燥後の皮膜重量で $0.35\text{g}/\text{m}^2$ とした。

表1 アルミ板素材の機械的性質
Table 1 Properties of aluminum

Tensile strength (MPa)	260
Yield strength (MPa)	215
Elongation (%)	10

表2 充填材種と粒径

Table 2 Species and diameter of filler

Filler species	Marks	Diameter of filler particle (μm)
Polyethylene wax	PE WAX	10
Polytetrafluoroethylene	PTFE 1	0.3
Polytetrafluoroethylene	PTFE 2	3.5
Molybdenum disulfide	MoS ₂	0.45
Titanium dioxide	TiO ₂	0.03
Colloidal silica	SiO ₂	0.02

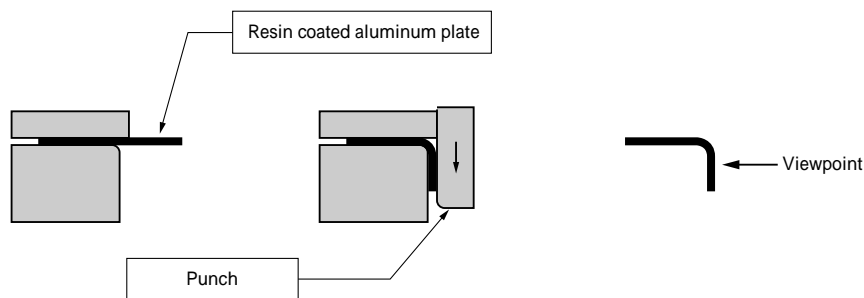
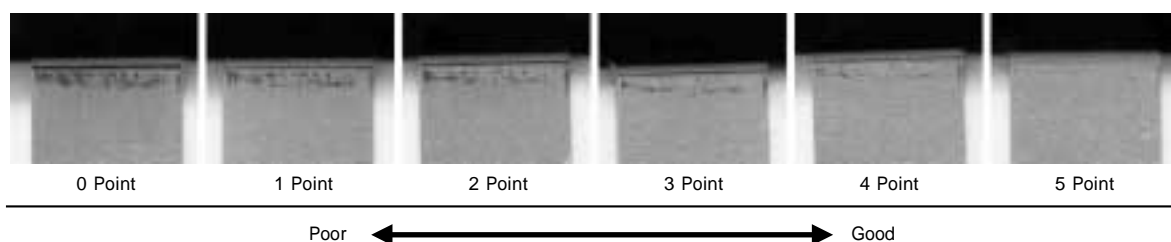


図1 耐疵付き性評価方法

Fig. 1 Measurement method of anti-scratched properties by bending form

表3 耐疵付き性評価基準

Table 3 Evaluation criterion of scratched example by bending form



1.3 耐疵付き性評価方法

図1に示す方法でアルミ板に剪断曲げ加工を行い、曲げ加工部分(金型ポンチとの摺動部分)の疵付き状態を目視にて評価した。加工面には速乾性プレス油(日本工作油(株)製 G-6216FA)を塗布した。耐疵付き性の評価基準を表3に示す。

1.4 導電性評価方法

先端半径が10mmの真鍮製電極を40gの荷重をかけてアルミ板に接触させ、もう一端は皮膜を除去してアルミ板素材に接触させ、両端の電気抵抗値を測定した。測定はA4サイズで20カ所実施し、その平均値により評価した。

1.5 摩擦係数測定方法

アルミ板上に鋼球を接触させ(荷重200g)、200mm/分の速度で表面を摺動させることにより摩擦係数を測定した(パウデン法)。

1.6 剥離強度測定方法

アルミ板面上に接着剤を塗布し、もう1枚のアルミ板と皮膜面同士を貼りあわせた。2枚のアルミ板が完全に接着した後、Tピール剥離試験を行い、剥離強度の測定と剥離面の観察を行った(図2)。

2. 試験結果と考察

2.1 導電性向上に向けた検討

2.1.1 皮膜厚さと導電性の相関

本質的に電気絶縁物である皮膜で表面を被覆されたア

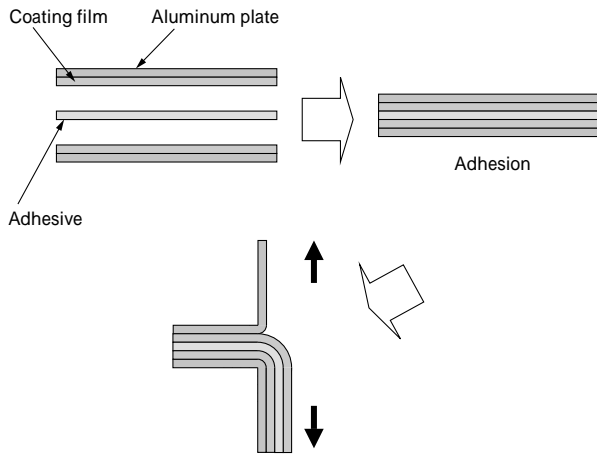


図2 剥離強度測定方法
Fig. 2 Measurement method of peel strength

ルミ材に対し、導電性を付与する方法として、皮膜を薄くし、アルミ板の表面粗さを利用して、粗面凸部が皮膜から露出するようにする、皮膜中に導電性を有する粒子を添加し、電気が流れる経路をつくる、などが考えられる。

前記の方法として、皮膜厚さと導電性の相関を調査した。皮膜厚さと電気抵抗値の相関を図3に示す。電気抵抗値は皮膜厚さの増加とともに増大し、導電性が低下した。特に皮膜重量が $1\text{g}/\text{m}^2$ （乾燥後の重量、以下記載を略す）以上の厚さの場合、電気抵抗値が目標レベル（=少なくとも0.5以下、望ましくは0.2以下）に及ばないことがわかった。なお、樹脂の比重が約1であることから、皮膜重量が $1\text{g}/\text{m}^2$ の場合の皮膜厚さは約 $1\mu\text{m}$ に相当している。

皮膜が厚い場合に電気抵抗値が上昇した理由として、アルミ板の粗面凸部が皮膜から露出し難くなり、電極との接触確率が減少したためと考えられる。

一方、皮膜が薄い場合に電気抵抗値が低減した理由として、当初のねらいどおり、アルミ板の一部が皮膜から露出しやすくなったものと考えられる。つまり、皮膜重量が $1\text{g}/\text{m}^2$ 以下の薄膜領域においては、皮膜がアルミ板

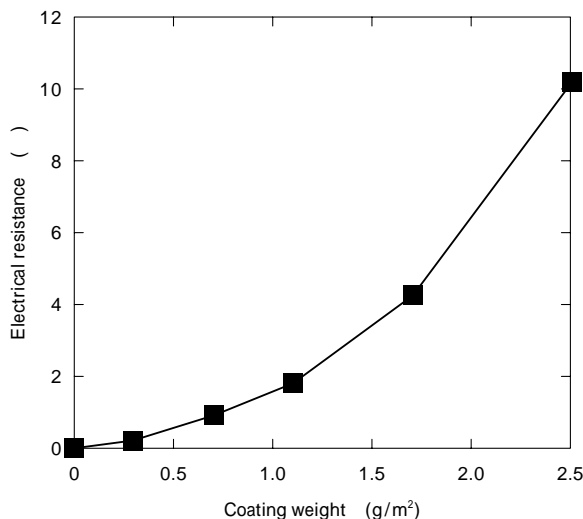


図3 皮膜厚さと電気抵抗値の相関
Fig. 3 Relation between coating weight and electrical resistance

表面を完全に被覆するには至らず、皮膜厚さが薄くなるほどアルミ板の粗面凸部が皮膜から露出する割合が増えるため、この部分から電流が流れやすくなって低い電気抵抗値が得られたものと考えられる¹⁾。

従って目標レベルの導電性を発現するためには、皮膜厚さを薄膜領域に管理することが必要である。

2.1.2 皮膜への導電性粒子の添加

前記の方法として、皮膜への導電性粒子の添加効果を検討した。アルミ板の粗面凸部の露出による電気抵抗値の低減効果と区別するため、本項での検討では、皮膜厚さを皮膜重量で $3\text{g}/\text{m}^2$ とした。皮膜に導電性粒子としてニッケル粉末（粉末形状：鱗片状、粒子径：幅 $20 \times$ 厚さ $1\mu\text{m}$ ）を添加した場合の、電気抵抗値とニッケル粉末の添加重量部（単位PHR、皮膜重量を100としたときのニッケル粉末重量）の相関を図4に示す。

ニッケル粉末添加量の増加とともにアルミ板の電気抵抗値は低減した。しかし、0.5以下まで低減することはなく、皮膜厚さを前項記載の薄膜領域に管理したニッケル粉末を含まないアルミ板の導電性には及ばないことがわかった。

従って、皮膜への導電性粒子の添加による方法では、今回の目標レベルの導電性を得ることが難しいものと判断した。

2.2 耐疵付き性向上に向けた検討

皮膜厚さを変化させたアルミ板について、剪断曲げ加工試験を行い、耐疵付き性と皮膜厚さとの相関を調査した。その結果を図5に示す。

剪断曲げ加工時の疵の付き難さは皮膜厚さと相関があり、皮膜厚さが厚くなるに伴い耐疵付き性が向上した。本節で検討した充填材を含まない皮膜の場合、疵が付き難い皮膜を形成するためには皮膜重量が $1\text{g}/\text{m}^2$ 以上（評点4）、望ましくは $2.5\text{g}/\text{m}^2$ 以上（評点5）であることが必要と考えられる。

他方、前述のようにアルミ板の電気抵抗値を目標レベルまで低減するためには、皮膜厚さを薄膜領域に管理することが必要であった。

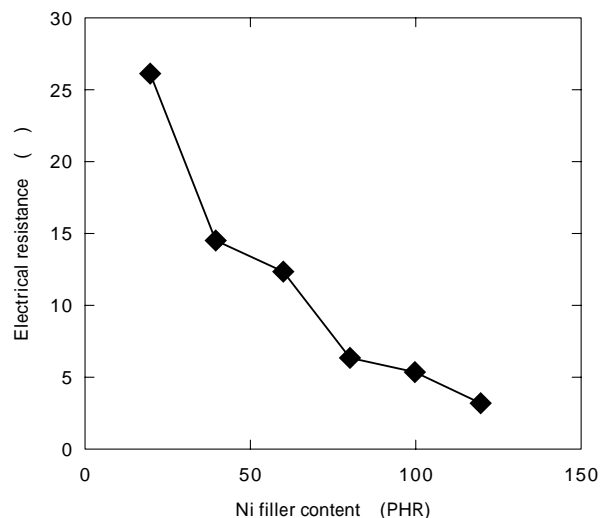


図4 ニッケル粉末添加量と電気抵抗値の相関
Fig. 4 Relation between Ni filler content and electrical resistance (PHR: Parts per hundred parts of resin)

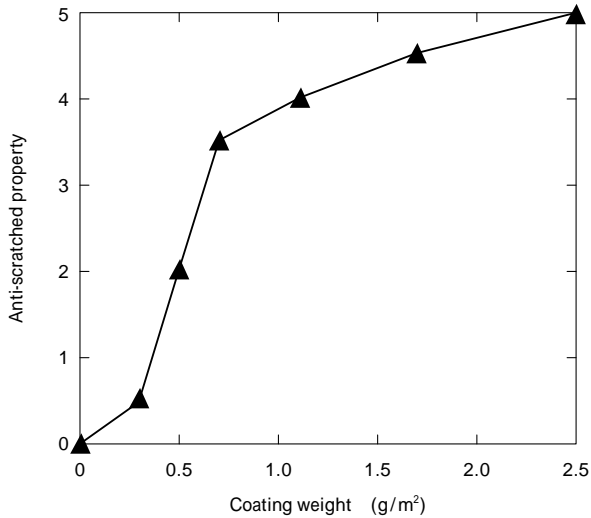


図5 皮膜厚さと耐疵付き性の相関

Fig. 5 Relation between coating weight and anti-scratched property

従って導電性と耐疵付き性を兼備した導電性プレコートアルミ板を得るためには、薄膜領域においても耐疵付き性に優れた皮膜構成を検討する必要があることが課題として明らかになった。

2.3 薄膜領域における耐疵付き性向上に向けた検討

2.3.1 充填材の添加効果

以上の結果を踏まえ、低い電気抵抗値と高い耐疵付き性の両立を目指して、皮膜に各種充填材を添加することにより、アルミ板の耐疵付き性の改善を試みた。電気抵抗値の一層の低減を図るため、以下の検討では、アルミ板の皮膜重量は0.35g/m²の薄膜領域とした。

検討は、皮膜を構成する樹脂100重量部に対し、表2記載の各種充填材を10重量部(ポリエチレンワックスは5重量部)添加したアルミ板を作製し、パウデン法による摩擦係数測定と、剪断曲げ加工時の耐疵付き性を評価した。その結果を図6に示す。

皮膜にポリエチレンワックスを添加した場合、摩擦係数は大きく低減したものの、耐疵付き性の改善効果はこれ以外の充填材を添加した場合に比べ小さかった。

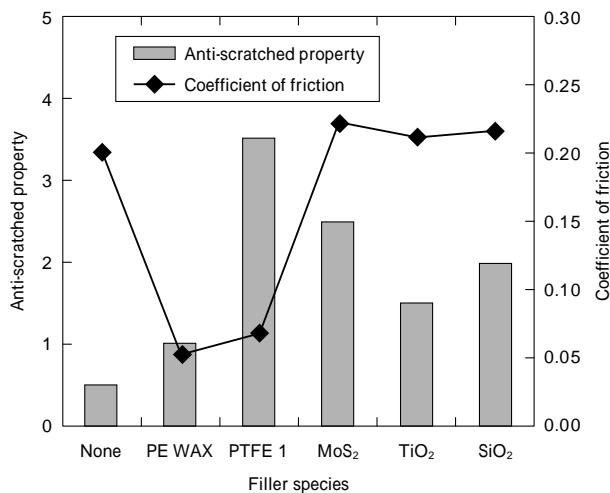


図6 各種充填材を添加したアルミ板の耐疵付き性と摩擦係数の評価結果

Fig. 6 Effect of filler species on anti-scratched property and coefficient of friction

一方、皮膜にワックス以外の各種充填材を添加することにより、耐疵付き性を改善させることが可能であり、中でもポリテトラフルオロエチレン粒子(以下PTFE粒子と略す)を添加した場合の改善効果が最も良好であった²⁾。

一般に、アルミ材表面への潤滑性付与(摩擦係数低減)によりプレス成形性は向上すると考えられるが、ポリエチレンワックス添加皮膜にみられたように、摩擦係数の低減のみでは剪断曲げ加工時の耐疵付き性の向上は困難であった。逆に、摩擦係数が低減しなかった二硫化モリブデン添加皮膜などのほうが良好な耐疵付き性が得られたことから、皮膜中に粒子状物質が存在することが耐疵付き性の改善に必要であると考えた。

なお、ポリエチレンワックスはこれ以外の充填材と異なり、粒子状物質としては存在しにくかった。その理由は、ワックスの融点(120)が皮膜形成時の焼付け温度より低く、融解しやすいためと考えられる。

粒子状物質の存在により耐疵付き性が改善した理由として、皮膜から充填材粒子が露出することにより加工面に充填材粒子が介在しやすくなり、剪断曲げ加工時における金型とアルミ材の直接接点の機会が減少したことや、シリカなどの添加により皮膜表面の硬度が向上して疵が生じにくくなったことなどが考えられる。

2.3.2 PTFE粒子径、添加量の効果

先の検討で耐疵付き性の向上に最も効果の高かったPTFE粒子の皮膜への添加について、添加粒子量及び粒子径の効果を調査した。アルミ材の耐疵付き性に及ぼすPTFE粒子添加量と粒子径の効果を図7に示す。

耐疵付き性に及ぼすPTFE粒子径の影響を見ると、大径品(3.5μm)より小径品(0.3μm)を添加したほうが耐疵付き性の改善効果が認められた。

その理由として、今回の実験における皮膜重量は0.35g/m²であり、皮膜の厚さに換算すると0.3~0.4μm程度しかない。粒子径が3.5μmのPTFE粒子を添加しても、皮膜厚さに比べて粒子径が約10倍も大きいため、図8に示す模式図のように皮膜中に粒子を十分に固定で

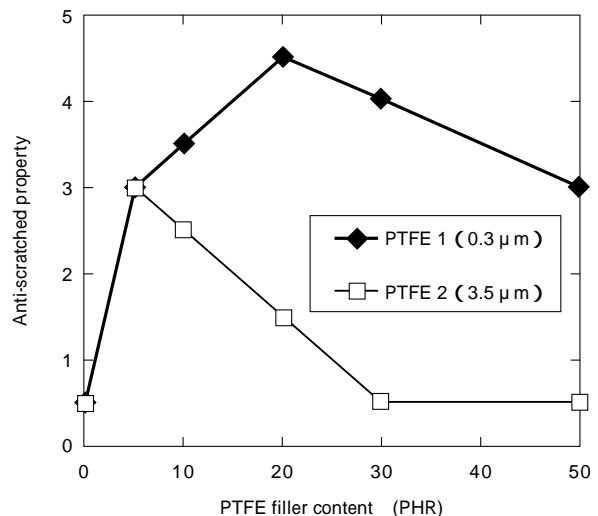


図7 PTFE添加量、粒子径と耐疵付き性の相関

Fig. 7 Effect of PTFE filler content and its particle diameter on anti-scratched property (PHR: Parts per hundred parts of resin)

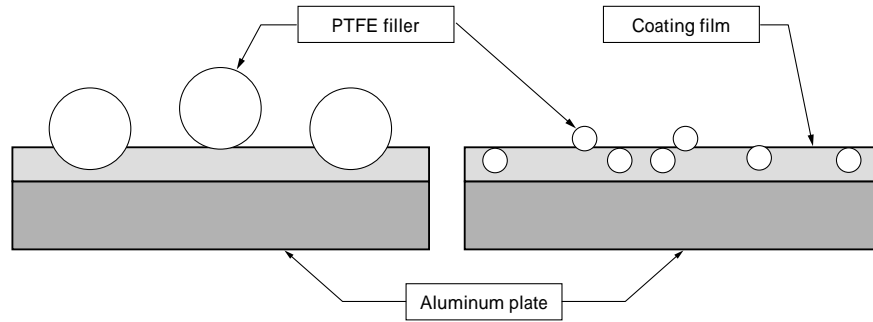


図 8 PTFE 粒子径の及ぼす影響 (模式図)

Fig. 8 Influence of PTFE filler diameter for anti-scratched property

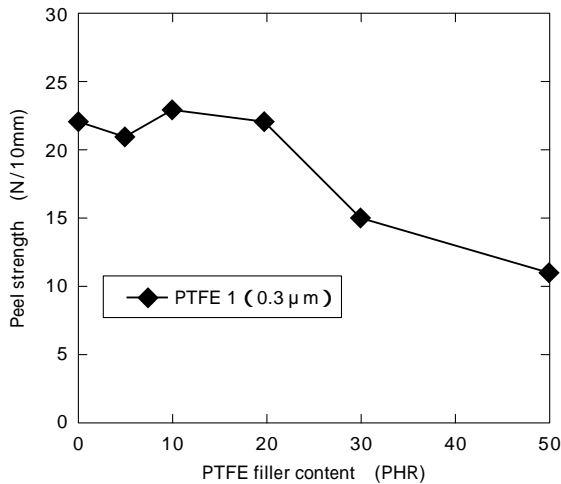


図 9 PTFE 添加量が剥離強度に及ぼす影響

Fig. 9 Effect of PTFE filler content and diameter on peel strength (PHR : Parts per hundred parts of resin)

きなかったことが考えられる。そのため、剪断曲げ加工時に粒子の脱落が容易に生じ、十分に耐疵付き性改善効果を発揮できなかったと考えられる。

耐疵付き性に及ぼす PTFE 粒子添加量の影響を見ると、粒径 $0.3\mu\text{m}$ の PTFE を使用した場合は、皮膜を構成する樹脂 100 重量部に対し、20 重量部の PTFE 粒子を添加した皮膜の耐疵付き性が最も良好であり、これより添加量が増減した場合は改善効果が低減する傾向が認められた。

その理由として、皮膜中の PTFE 粒子添加量が少なすぎる場合は、金型とアルミ材の直接接合機会が十分に減少しなかったため効果が十分に発現できず、逆に添加量が多すぎる場合は、PTFE 粒子部分が欠陥となり皮膜強度が低下したため、耐疵付き性が改善しなかったことが考えられる。

剥離強度と PTFE 添加量の相関を図 9 に示す。PTFE 添加量が 20 重量部を超えると剥離強度が低下することがわかった。剥離面を観察すると、PTFE 添加量が 20 重量部以下ではアルミ材と皮膜の界面で剥離が生じていたのに対し、30 重量部以上の場合には皮膜中で凝集破壊が生じていた。これは PTFE 粒子の過剰な存在が皮膜自体の強度を低下させたことを示唆しており、ひいては耐疵付き性の悪化を引起したものと考えられる。

最後に、PTFE 粒子を添加したアルミ板 (皮膜重量 $0.35\text{g}/\text{m}^2$) の導電性を図 10 に示す。PTFE 粒子の添加量にかかわらず、電気抵抗値は目標レベルにあることが確

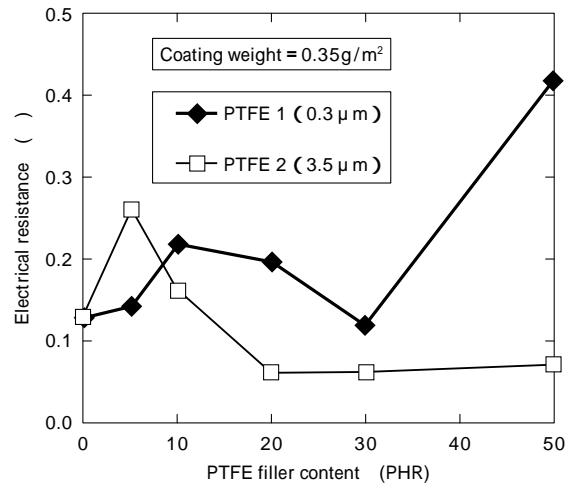


図 10 PTFE 添加量、粒子径と電気抵抗値の相関

Fig.10 Effect of PTFE filler content and diameter on electrical resistance (PHR : Parts per hundred parts of resin)

認できた。従って、皮膜厚さが薄膜領域にある場合は、粒子の有無にかかわらず、優れた導電性を得ることができるものと判断される。

むすび = 携帯用電子機器の筐体用途向けに開発した導電性プレコートアルミ材について、剪断曲げ加工時における耐疵付き性が高く、かつ優れた導電性を有する皮膜構成を検討した。その結果、1) 目標レベルの導電性を得るためには、皮膜厚さを薄膜領域に管理する必要がある、2) 前記の薄膜領域では耐疵付き性が不足する、3) 導電性と耐疵付き性の両立には、薄膜皮膜中に充填材、特に PTFE 粒子を含有させることが有効である、4) 添加する PTFE 粒子の添加量や粒子径には、最適領域が存在する、などを明らかにした。そして前記構成の皮膜の構成や膜厚を最適化することにより、導電性プレコートアルミ材の特性を向上させることができた。

参考文献

- 1) 服部伸郎ほか：軽金属学会第 103 回大会講演概要，(2002)，p.189.
- 2) 塚越 智ほか：軽金属学会第 104 回大会講演概要，(2003)，p.137.