



図1に示すような点であると考えられる。家電機器の外板等については曲げ加工や張り出し加工が多く、プレコート鋼板でも十分成形可能であり、図2に示す樹脂の分子量、Tg（ガラス転移温度）、架橋密度などの項目を適切に設計したプレコート鋼板を用いることで、成形性を高めてきた。一方絞り加工の場合、加工歪みが大きい部位において、塗膜の光沢が低下し、加工歪みが小さい部位とのバランスが取れないことが問題となっていた。こうした絞り加工部の光沢低下は、従来のプレコート鋼板の設計思想では改善が困難であり、この点を改善すればプラスチックのプレコート鋼板化も進むと考えられる。

プラスチック部材	プレコート鋼板	
射出成形加工	絞り加工	
特性	問題点	課題
・成形の自由度が高い ・質感、表面外観(光沢等)	成形の自由度-分子量、Tg、樹脂の(一定レベルまで)種類で対応可	加工性に優れた光沢低下の少ない高加工プレコート鋼板の開発
	表面外観-特に加工ひずみによる光沢、色調の変化	

図1 プラスチックとプレコート鋼板の成形性の比較  
Fig.1 Comparison of formability of plastics and prepainted steel sheets.

塗膜の特性	①塗膜硬度		②塗膜加工法		③塗装性		上塗り塗膜の バランス
樹脂特性	低	高	低	高	不良	良	
樹脂の高橋密度	高	低	高	低	—	—	
樹脂のTg	高	低	高	低	—	—	
樹脂の分子量	高	低	高	低	—	—	① ② ③

図2 樹脂特性と塗膜の特性の関係  
Fig.2 Relation between characteristics of resin and properties of paint film.

### 3. 加工部の光沢低下の原因

図3に従来のプレコート鋼板の角筒絞り加工後の表面形状プロファイルを示す。加工前の塗膜表面の中心線平均粗さRaが0.2μmであるのに対し、加工後の塗膜面は0.7μmに増大している。加工前の合金化溶融亜鉛めっき表面のRa(0.8μm程度)が、加工後に1.4μmに増大していることから、原板の粗面化が塗膜面に反映され、塗膜表面の粗度の増大(=光沢低下)が生じたと考えられる。原板の粗面化は、絞り加工によりめっき層にクラックが発生したためと考えられる。

図4に高加工用プレコート塗料の遊離塗膜に伸び歪み

を与えたときの光沢保持率を示す。光沢保持率は延伸後の光沢値/延伸前の光沢値×100で算出した。伸び率の増大と共に光沢保持率も低下しており、加工後は塗膜自体の光沢も低下していることがわかる。これは樹脂の配向やネッキングなどによる屈折率の変化、あるいは塗膜最表層の樹脂の破断などによる塗膜が粗面化が影響したためと推察される。

以上から、加工による光沢低下のメカニズムは図5に示したように原板の粗面化による塗膜面の粗面化ならびに塗膜自体の光沢低下によると推定できる。

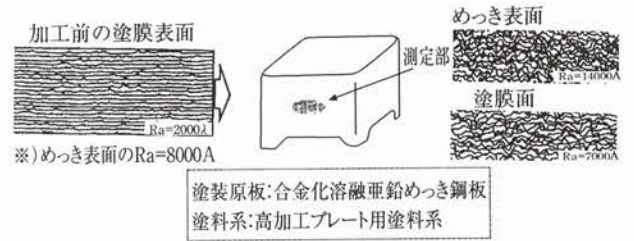


図3 絞り加工による塗装鋼板表面の粗面化  
Fig.3 Surface roughness of prepainted steel sheet after deep drawing.

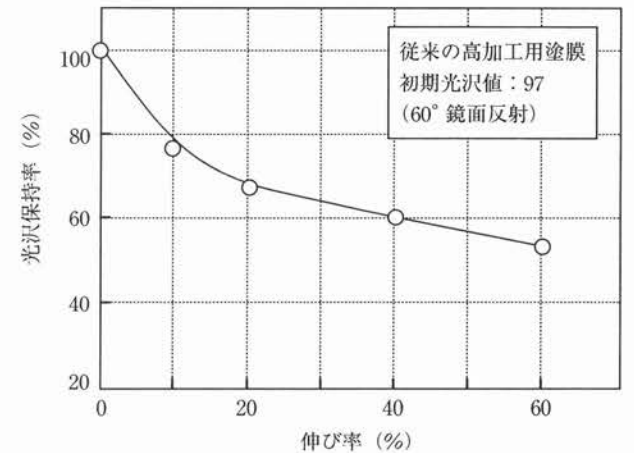


図4 1軸延伸後の遊離塗膜の光沢保持率  
Fig.4 Gloss retention of paint film after uniaxial tensile deformation.

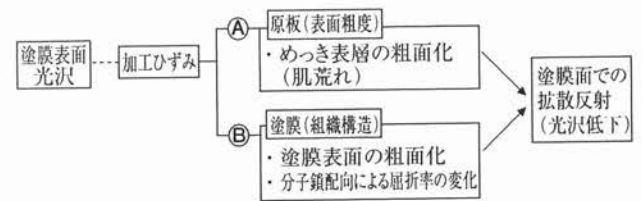


図5 塗装鋼板の光沢低下の要因  
Fig.5 Factors of gloss decrease.

### 4. 加工後の光沢低下を抑制するプレコート鋼板の開発

#### 4.1 塗装原板

加工後の原板の粗面化は延性の低いめっき層がクラックを生じるためと考えられる。図6に延伸後のめっき層のクラックの状態を、図7に延伸後のプレコート鋼板の塗膜光沢変化を示す。めっき層が脆く延性の低い合金化溶融亜鉛めっき鋼板では延伸後にめっき層の亀裂が発生し、塗膜の光沢も伸び率の上昇と共に低下している。一方、合金化溶融亜鉛めっき鋼板に比べ延性に優れた溶融亜鉛メッキ鋼板は、めっき層の割れが少ないため光沢低下が抑えられることがわかる。以上のように加工後の光沢低下抑制には塗装原板としてめっき層の延性に優れた溶融亜鉛系のめっき鋼板が好ましいと言える。

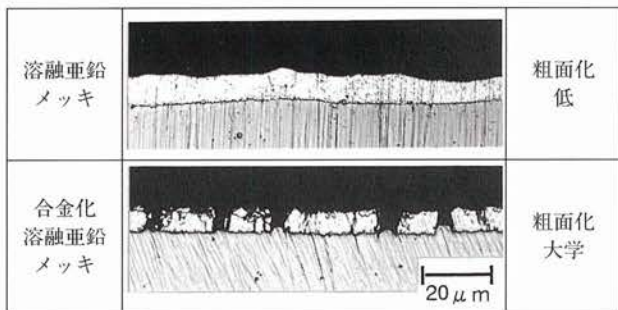


図6 30%伸び歪み付与後のめっき層断面  
Fig.6 Cross section of galvanized steel sheet and galvannealed steel sheet stretched by 30%.

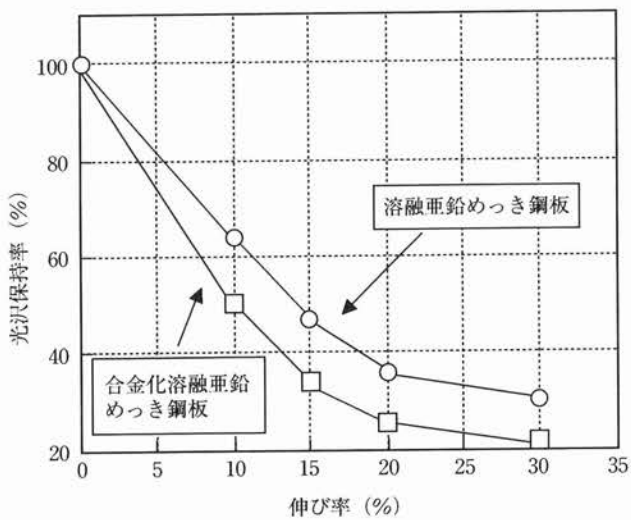


図7 1軸延伸後の塗装鋼板の光沢保持率(塗装原板の影響)  
Fig.7 Gloss retention of precoated steel sheet after uniaxial tension.

#### 4.2 上塗り塗膜

##### 4.2.1 塗膜の応力歪み特性と光沢保持率

加工後も光沢低下が少ない塗膜を開発するため、伸び

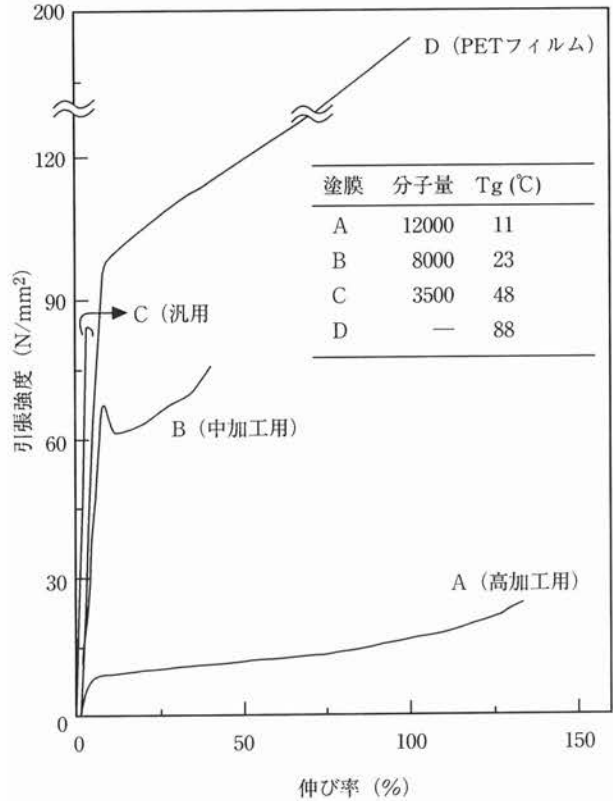


図8 供試塗膜の応力ひずみ曲線  
Fig.8 Stress-strain curves of paint films.

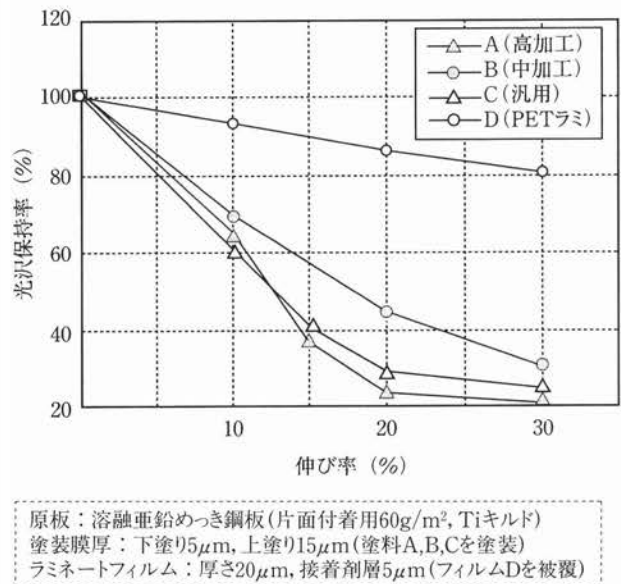


図9 1軸延伸後の光沢保持率(溶融亜鉛めっき)  
Fig.9 Gloss retention of precoated steel sheets after uniaxial tension.

率の異なる3種類のプレコート鋼板上塗り塗膜(A, B, C)およびポリエチレンテレフタレート(PET)フィルム(D)の応力歪み曲線と、それらを塗装またはラミネートしたプレコート鋼板の伸び歪み付与後の光沢保持率を測定した。

図8に各遊離塗膜またはPETフィルムの応力歪み曲線、図9にプレコート鋼板またはラミネート鋼板の光沢保持率を示す。塗膜伸び、破断強度などは特に光沢低下度との関係は認められないが、ラミネート鋼板は光沢保持率が高いことがわかる。

図10に塗膜の弾性率とプレコート鋼板またはラミネート鋼板の延伸後の光沢保持率との関係を示す。弾性率は延伸初期の応力～歪み曲線の傾きから求めた<sup>3)</sup>。図10において、破断伸びが低いCを除けば、弾性率の上昇に伴い、光沢低下を抑える効果が高くなると考えることが出来る。Cは供試サンプルのうち最も弾性率が高いが、塗膜割れを生じたため表面光沢が低下したものと考えられる。弾性率は物体の変形しにくさを表す量であり、弾性率が低い従来の加工用塗膜の場合、加工により塗装原板のメッキ層が粗面化すると、それに追従して塗膜も変形し光沢が低下するのに対し、弾性率の高い塗膜の場合には原板の粗面化に追従しにくく、光沢低下が少ないと考えることができる。

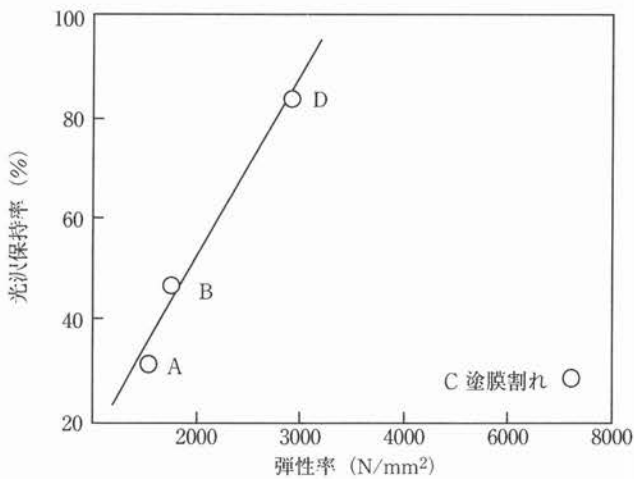


図10 塗膜の弾性率と光沢保持率  
Fig.10 Relation between modulus of elasticity of paint film and gloss retention of prepainted steel sheet.

表1 遊離塗膜の延伸後の光沢保持率

Table 1 Gloss retention of paint film after uniaxial tension.

サンプル	弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )	初期光沢 (60°鏡面反射)	光沢保持率(%)		
			10%伸び	20%伸び	40%伸び
PETフィルム	2900	115	97	95	92
高加工塗膜A	1100	97	78	68	59

また、表1に示したように弾性率の高い塗膜D(PETフィルム)は弾性率の低い塗膜A(高加工用塗膜)に比べ塗膜自身の光沢低下も少ないことがわかる。

#### 4.2.2 高弾性・高伸び塗膜の開発

加工後の光沢低下抑制には高弾性・高延伸特性を有するPETフィルムなどが有効である。しかし、これらフィルム用樹脂は塗料用溶剤に溶解しにくく、仮に溶解しても高粘度溶液となり、ロールコート法に用いるPCM用塗料としての使用は困難である。

また、現行の塗料用ポリエステル樹脂の塗膜の弾性率を高めるためには、架橋密度を高めた高橋かけ構造にする、あるいは低分子量樹脂を架橋させて高分子化する手法があるが、いずれも塗膜伸びの低下をもたらすため本用途には不向きである。

従って従来の塗料用樹脂の適用には限界があり、樹脂選定からの開発が重要なポイントとなる。

図11に塗料用以外の多くの樹脂系の中から予備検討により選定した2種類の樹脂を用いた塗膜EおよびFの応力歪み曲線ならびに弾性率を示す。弾性率はいずれも2000N/mm<sup>2</sup>以上で、塗膜伸びも100%以上あり、曲げ加工性0T~1Tが期待できる。これらは繊維用の樹脂を適用したものであり、樹脂中に微結晶構造を含む。塗膜に応力が加わった際にこの微結晶構造が変形に対する抵抗となり、擬似的な架橋効果として弾性率を高める効果を示すと考えることができる。塗膜Fは塗膜Eより微結晶構造が多い樹脂であり、より弾性率が高くなったと考えることができる。しかし、Fは経時的に伸びが低下することがわかった。塗膜Fは微結晶構造が過剰であったため樹脂全体での結晶化が進行し、伸びが低下したと考えられる。

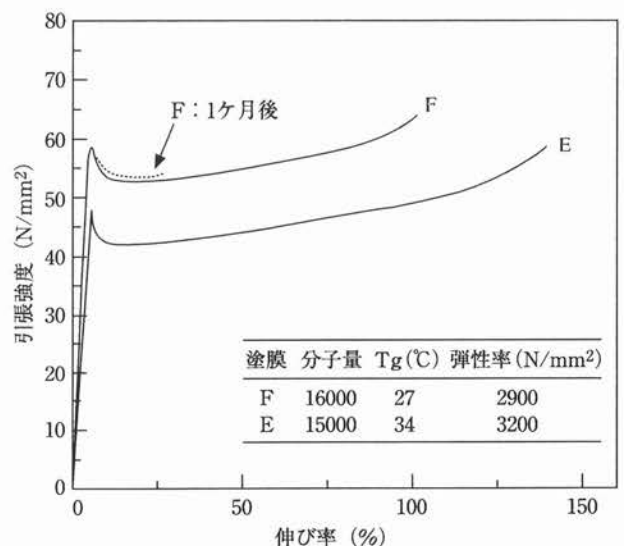


図11 開発塗膜の応力ひずみ曲線  
Fig.11 Stress-strain curve of developed paint film.

図12に開発塗料Eと従来の高加工用塗料Aの動的貯蔵弾性率の測定結果を示す。常温での動的貯蔵弾性率は開発塗料Eの方が高いが、およそ60℃以上のゴム領域では両者ほぼ同じになる。ゴム領域では分子鎖の動きが活発になるため微結晶構造による擬似的架橋効果が低下すると考えることができる。ゴム領域の貯蔵弾性率については、その極小値が高いほど架橋密度が高いと考えることができる<sup>4)</sup>。今回は明瞭な極小値は得られなかったが、

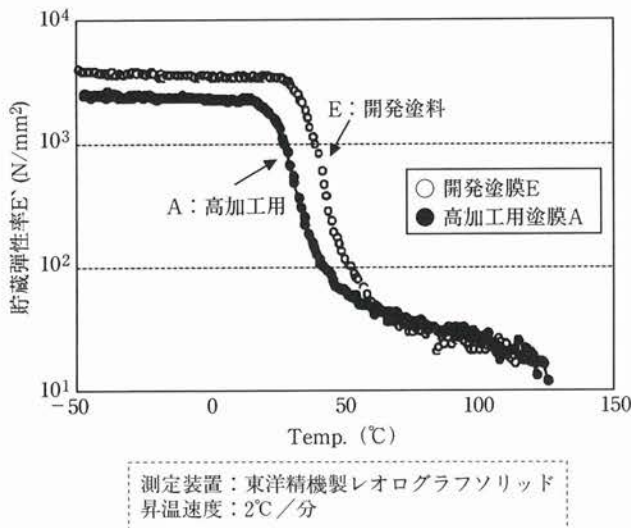


図12 動的貯蔵弾性率の温度分散  
Fig.12 Temperature dependence of dynamic storage modulus of paint film.

開発塗料E、高加工用塗料Aとも同じ挙動を示していることから、架橋密度は同等であり、塗膜伸びが確保できたと考えることができる。

開発塗料E、高加工用塗料Aを用いた延伸後の塗装鋼板および遊離塗膜の光沢保持率を図13に示す。開発塗料Eでは高加工用塗料Aに比べ光沢低下が抑えられることが確認できた。図14に示す延伸後の遊離塗膜の表面外観から、従来の高加工用塗料Aでは塗膜表面が大きく破断しているのに対して、開発塗料は塗膜表面の破断の程度が小さく、塗膜自体の光沢低下の抑制にも寄与したものと考えられる。

4.2.3 下塗り塗料

下塗り塗料についても上塗り塗料の結果を参考に、弾性率の高い樹脂を適用した。表2に高弾性下塗りと従来の低弾性下塗りを用いた場合の光沢保持率を示すが、下塗り塗膜も高弾性率化することで光沢低下が抑えられることがわかる。上塗り塗料は同一であるので、両者の光沢の差は原板の粗面化の反映しやすさの違いと考えることができる。

また、図15,16に塩水噴霧試験 (SST) による耐食性、湿潤試験 (BBT) による耐湿性の評価結果を示す。耐食性向上には下塗り塗膜への防錆顔料の増量が有効であるが、添加量が多すぎると下塗り塗膜から顔料が過剰に溶出、塗膜が膨潤し耐湿性が低下する。そこで無機系の顔料を添加し密着性を向上させた。これによりSST500時間後の下バリフクレ巾を2mmに抑え、BBT500時間後の塗膜フクレも抑制できた。

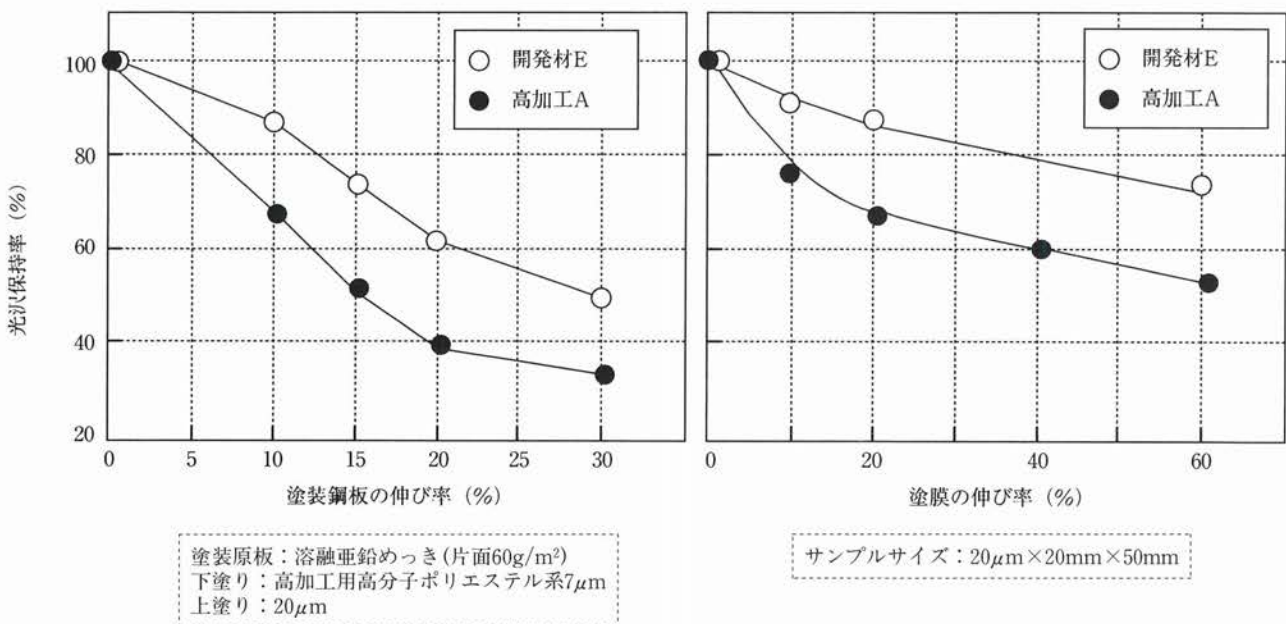


図13 1軸延伸後の鋼板および遊離塗膜の光沢保持率  
Fig.13 Gloss retention of developed precoated steel sheet and paint film after uniaxial tension.

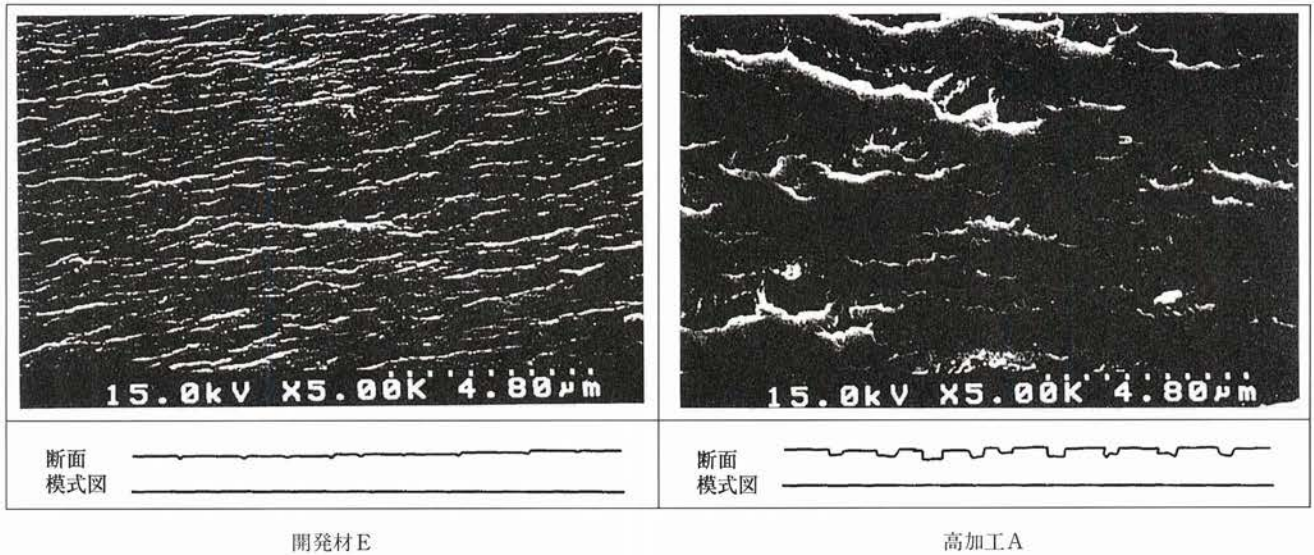


図14 90%延伸後の遊離塗膜のSEM像  
Fig.14 SEM Images of paint film after uniaxial tension.

表2 下塗り塗膜の特性と塗装板の光沢保持率  
Table 2 Properties of primer coating and gloss retention of coated steel.

サンプル	分子量 (Mn)	Tg (°C)	塗膜伸び (%)	弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )	光沢保持率 (%)	
					10% 伸び	20% 伸び
開発プライマー	13,000	30	20	8400	88	64
従来プライマー	24,000	26	120	1400	75	52

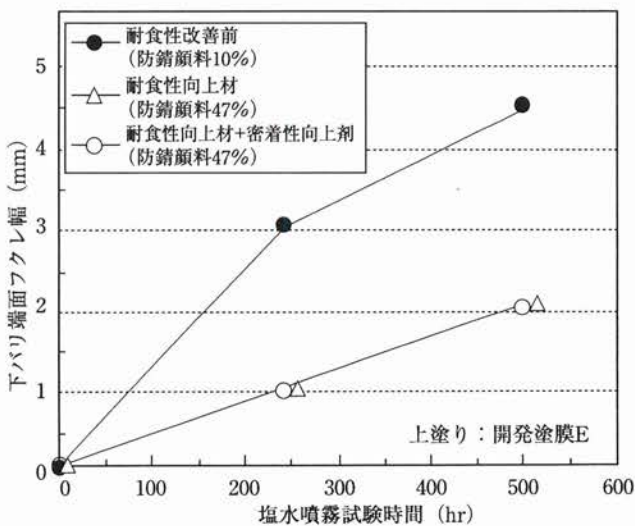


図15 耐食性試験結果  
Fig.15 Corrosion resistance of developed product.

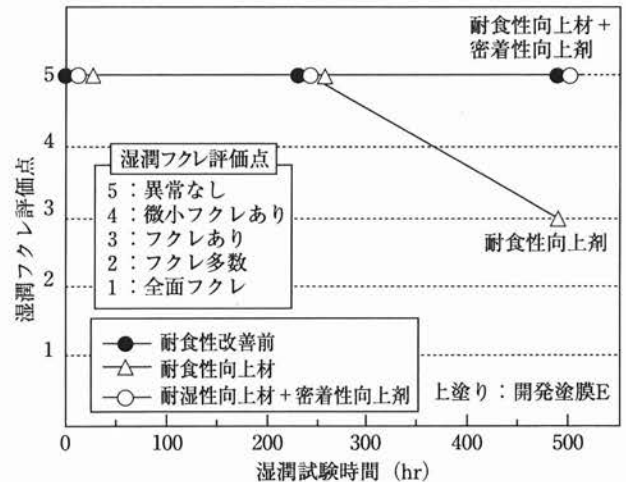


図16 耐湿性試験検討  
Fig.16 Humidity resistance of developed product.

## 5. 開発材の製品特性

### 5.1 一般的塗膜特性

表3に本開発材の一般的塗膜特性を示す。開発品は曲げ加工性0Tノークラックであり、従来の高加工用プレコート鋼板と同等の塗膜特性を示す。

### 5.2 プレス加工品の光沢低下度

図17に試験加工した炊飯器ボディの外観を、図18に各部位の光沢値の比を測定した。いずれも開発材の光沢低

下は少なく、質感の違いも低減されていた。

5.3 角筒絞り加工品の耐食・耐湿性

10mmR角筒絞り品の側面にクロスカットを入れ、耐湿性 (BBT 50℃ × 240時間), および耐食性 (SST 35℃ × 240時間) を評価した。表 4 に示すように、開発材はコーナー部、クロスカット部ともに異常は認められなかった。

以上のように、本開発材は加工歪みの大きい部位の光沢低下も少なく、耐食性、耐湿性も良好であり、各種絞り加工用途に適用可能と考えられる。今後、プラスチックの代替用途などを中心に用途展開を図っていきたい。

表 3 開発材の塗膜特性

Table 3 Properties of developed product.

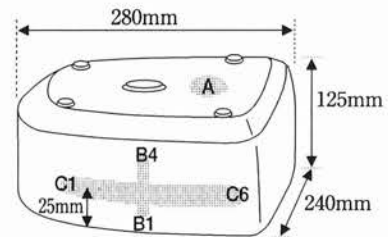
No.	項目	試験条件	試験結果	
1	光沢	JIS K 5400 60° 鏡面反射	91.8	
2	付着性	基盤目テープ剥離	100/100	
3	耐衝撃性	デュボン衝撃, 500g 50cm	異常なし	
4	加工性	20℃, 180° 折り曲げ/目視	OTノークラック	
5	塗膜硬度	鉛筆硬度/傷付き	H	
6	耐食性	SST240hr (JIS K 5600) 35℃, 5% NaCl	平面部	異常なし
			クロスカット部	0mm
			端面部	1mm
			OT加工部	異常なし
7	耐湿性	BBT240hr (JIS K 5600) 50℃, ≥95%PH	平面部	異常なし
			クロスカット部	0mm
			端面部	0mm
			OT加工部	異常なし



※無塗油成形品

図17 プレス加工品の外観

Fig.17 Appearance of test piece of press formability.



光沢比 (%) = 側面部各位の光沢/A部の光沢 × 100

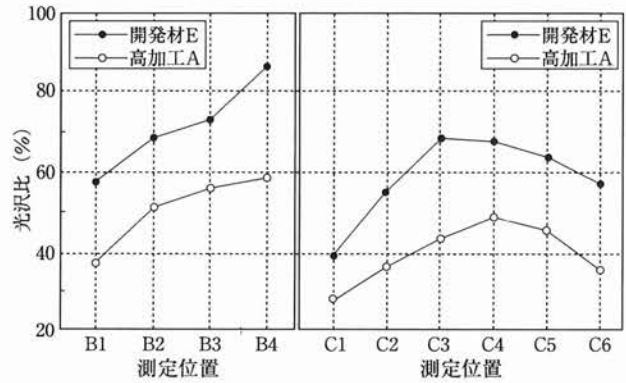
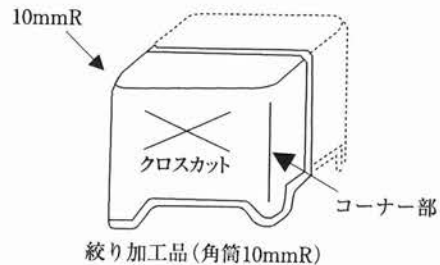


図18 絞り加工品の側面部の光沢比

Fig.18 Gloss ratios of side walls of deep drawn developed product.



絞り加工品(角筒10mmR)

表 4 絞り加工品の耐食, 耐湿試験結果

Table 4 Corrosion resistance and numidity resistance of developed product with deep drawn.

	SST240hr	BBT240hr
クロスカット部	0mm	0mm
コーナー部	異常なし	異常なし

6. 結 言

絞り加工後の光沢低下の少ないプレコート鋼板の開発を行った。加工後の塗膜光沢低下の機構, ならびに塗装原板のめっき層, 塗膜の応力歪み曲線等に注目して検討した結果を以下に示す。

(1) 加工部の外観低下は、めっき層のクラックなどの影響を受け、塗膜面が粗面化 (光沢低下) するこ

とが一因である。また、塗膜自体も延伸されることにより光沢が低下する。従って加工部の外観低下を抑えるにはめっき層の延性が高く、粗面化しにくい溶融亜鉛めっき系などの塗装原板と、原板の影響を受けにくい塗膜の組み合わせが必要である。

- (2) 従来のプレコート鋼板用塗膜と加工後の光沢の関係から、高弾性率、高延伸性を有する被覆膜を用いれば光沢低下を抑えることができることがわかった。弾性率が高い塗膜は原板の粗面化の影響を受けにくいため光沢低下が抑制されると考えられる。また、弾性率の高い塗膜は延伸後の塗膜自体の光沢低下も少ないことがわかった。
- (3) 加工後の光沢低下を抑えるため、筆者らは微結晶構造を含む樹脂を塗料に用いることで、高弾性率ならびに高延伸性を両立する塗料を見いだした。また、下塗り塗膜にも弾性率が高い塗膜を設けることが光沢低下を抑えるのに有効であった。
- (4) 開発材は加工後の光沢、耐食性、耐湿性なども良好であり、絞り加工用途向けに適した製品である。

#### 参考文献

- 1) 森本孝克, 第38回, 39回白石記念講座, 日本鉄鋼協会, (1999), 41
- 2) 村上碩哉, ふえらむ, 1, (1996), 596
- 3) 坪田 実, 色材, 62, (1989), 164
- 4) 藤谷俊英, 信藤健一, 塗料の研究, 22, (1985), 76