

熱硬化性プラスチック用 インモールドコーティングプロセス

In-Mold Coating Process for Thermosetting Plastics.

技術本部 技術開発第1部
Technical Research & Development Dept.



米持 建司
Kenji YONEMOCHI



大田 賢治
Kenji OOTA

1. はじめに

インモールドコーティング法(In-Mold Coating, IMC, 型内被覆)とは、プラスチック成形金型内で成形と同時に成形品表面に塗膜を形成する技術で、広義には下記の二つの方法がある。

あらかじめ金型に溶剤型塗料や粉体塗料を塗布し、塗膜を形成した後成形する「プリモールドコート法」と、プラスチック基材を成形した後、同一金型内に無溶剤型のIMC剤を注入し、成形品表面に塗膜を形成するインモールドコーティング法がある。

インモールドコーティング法にはさらに低圧(コンベンショナル)IMC法と、高圧注入IMC法があり、本稿では広く実用化されている高圧注入IMC法について概説する。

2. IMC法の歴史と種類

IMC法の歴史は、熱硬化性成形材料でありFRPの一種であるSMC(シートモールディングコンパウンド)による圧縮成形品の表面欠陥を効果的に改善する方法として、1970年代にゼネラルモーターズ社から提唱された。このIMC法は金型内に塗料を注入する際一旦金型を開き、成形品と金型面との隙間に塗料を注入し、再度金型を閉じその時の型締め圧力で成形品の表面を塗料で被覆する方法である。しかしながらこの方法ではIMC塗膜中に気泡やバリを巻き込んだり、抜き角度の小さな立ち壁面に塗布され難い等の欠点があった。このような

欠点を克服する方法として、成形サイクル中は金型を開けることなく、金型内圧力をかなり越える圧力でIMC剤を注入する高圧注入法(High Pressure Injection Process, HPIP)がシャーウイン・ウイリアムズ社(SW社)で開発され、当社ではこのHPIP法を技術導入し、自動車部品を中心に実用化してきた。

市場導入に当たっては、SW社からのノウハウのみならず国内の厳しい品質基準に合致すべく、IMC剤の改良およびIMCプロセスの最適化を行ってきた。またSMC圧縮成形分野以外にもHPIPを応用した技術開発を行った。

IMC法による塗膜形成は密閉された金型内において100%ソリッドに転換するラジカル反応でIMC剤を硬化させるので、環境対応、塗膜形成のためのエネルギー消費が少ない、資源の有効活用等環境負荷の小さな塗装方法と言える。

以下、HPIP法を中心に熱硬化性成形材料に対するIMC法について記述する。

3. HPIP法

3-1 IMC成形プロセス

IMC法の基本プロセスは、
プラスチック基材の成形
IMC剤の注入
IMC剤の硬化
金型から成形品の取り出しの各工程からなる。

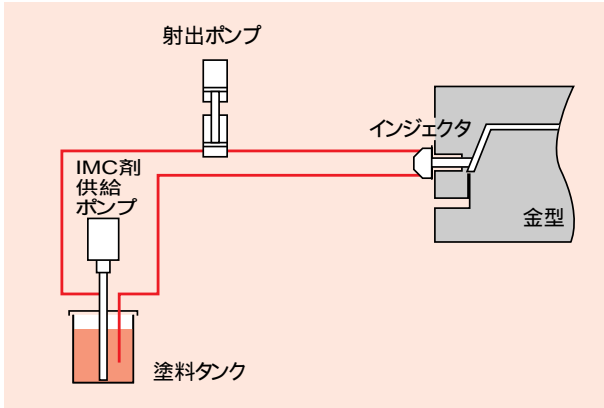


図1 HPIPのシステムデザイン

図1¹⁾にHPIPのシステムデザインを示す。成形の1サイクルは、成形材料が金型内にチャージされ、成形がスタートするとIMC剤供給ポンプから射出ポンプへ、1ショット分のIMC剤が計量供給される。次いで、IMC剤の注入圧力に耐えうる程度に成形材料が硬化した段階で、インジェクタのシャットオフピンが開き、射出ポンプの油圧シリンダが働き、ピストンが前進しIMC剤が金型内に高圧で注入される。このときのIMC剤注入圧力は型締め圧力、金型内の抵抗、成形品の形状、注入スピードに依存するが、最大350Kg/cm²、注入時間は2～8秒である。IMC剤注入完了後再びピンが閉じ、成形材料およびIMC剤が硬化完了し、成形品を金型から取り出し成形品の1サイクル終了となる。

3-2 IMCのための設備

高品質で安定的なIMC成形品を得るためには、ハード面(設備)とソフト面(成形技術)の両輪が揃ってはじめて可能となる。

IMCに必要な設備は、成形プレス機 IMC剤注入機 成形用金型からなる。

IMC剤の金型内での均一な流動を可能にするためにプレス機では型締め圧力の大きさとともに、プラスチック基材であるSMCをいかに均質なものに成形しておくかが重要である。そのためプレス機は多段圧力制御と平行維持機構を備えたものが望ましい。

IMC剤注入機は1ショット分の正確なIMC剤の計量、高圧で注入できること、注入スピードが制御できることが望ましい。

金型設計はIMC剤の流動性、コート性を左右する重

要な要素である。主なポイントは、

成形品形状：HPIP法はIMC剤の注入・流動圧力で成形材を圧縮しながら金型内を流動するので、抜き角度の無い垂直部もコートできる。膜厚は抜き角度、注入位置、成形材の硬化収縮率、成形品の肉厚および成形材の圧縮弾性率に依存する。成形品の抜き角度は脱型のし易さも考慮し、3度以上取ることが望ましい。

金型温度の均一性：IMC剤は熱硬化性であり、金型の熱によって硬化反応を開始するため、温度の均一性はIMC剤の流動性、塗膜品質、成形サイクルの面から重要である。

IMC剤の注入位置(インジェクタ取り付け位置)：インジェクタの取り付け位置はIMC剤の金型内流動パターンと密接な関係があり、注入位置の決定に当たって十分吟味する必要がある。注入位置決定の目安としては、(a)可能な限り直接製品面に取り付ける。ただし、取り付け部はノズルピン跡が残るため、外観の要求されるA級面に取り付ける場合は、鍵穴やエンブレム取り付け位置等を利用する。(b)製品面に直接取り付けられない場合は、製品面の外側に仮製品部を設ける。(c)可能な限り注入箇所は1ヶ所とする。IMC剤の流動可能な距離は、IMC剤のゲル化時間を調整することにより2m以上可能である。

シェアエッジ：シェアエッジ部のクリアランス(隙間)はIMC剤の漏れを防止する重要な働きを持っており、バリが厚すぎたり薄すぎたりする場合IMC剤の漏れにつながるため、基本的には50～100μmとする。

4. SMC成形品へのIMCプロセス

SMCは不飽和ポリエステル樹脂、低収縮剤、炭酸カルシウム、ステアリン酸亜鉛、ガラス繊維などを主成分とするシート状の成形材料で、強度が高く、耐熱性があり、プレス成形により大型部品の成形が可能であることから、ユニットバス、水タンクパネルなどの住宅設備、フロントリッド、エンジンフード、トランクリッドなどの自動車部品、レジャーボート部品などに広く使われている。

4-1 HPIP法における成形条件

図2²にHPIP法における標準的な成形パターンを示す。

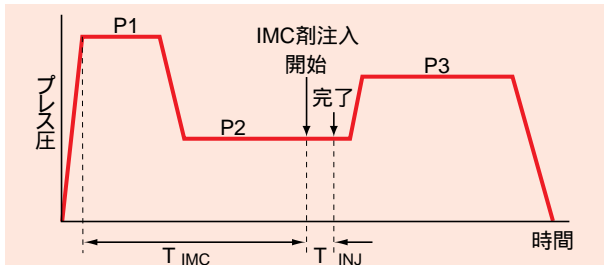


図2 HPIPの標準成形パターン

SMC材をP1の圧力で成形した後、型締め圧力をP2まで降下させ、SMC材がIMC剤の注入圧力、流動圧力に耐える程度にまで硬化したタイミング(T_{IMC})でIMC剤を注入する。注入完了後、再び成形圧力をP3まで昇圧し、SMC材およびIMC剤を硬化させた後成形品を金型から取り出す。

4-2 IMC剤の流動、塗膜品質に影響を及ぼす因子

4-2-1 注入タイミング(T_{IMC})

HPIP法ではSMC基材が半硬化状態でIMC剤を注入するため、注入が早すぎるとSMC基材の表面がIMC剤の注入圧力に耐えるだけの強度に達せず、IMC剤がSMC基材中にもぐり込んでしまう。逆に遅すぎるとSMC基材の硬化が進み圧縮性が低下するため、成形品の末端部のコート性の低下やフローマークの発生、注入抵抗の上昇などが生じ、著しい場合は注入できないこともある。

注入タイミングはSMC成形時の金型内樹脂圧力または金型変位の測定から、SMC基材の硬化特性を捉え決定することができる。図3に樹脂圧力、金型変位と時間との関係を示す。好ましい注入タイミングはSMC基材の硬化のピークを過ぎ収縮に移行した時点以降とする。

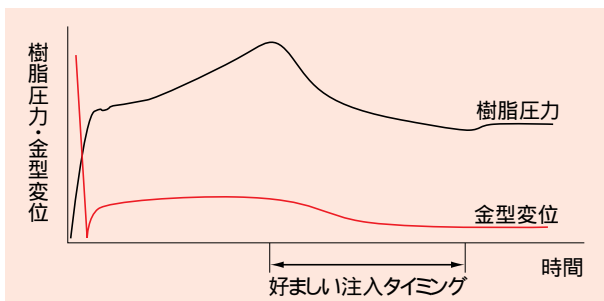


図3 IMC注入のタイミング

4-2-2 注入時の型締め圧力(P_2)

注入時の型締め圧力は成形品の形状、肉厚、IMC剤注入の位置やSMC基材の圧縮性によって異なる。平面部(プレスと平行)の多い成形品の場合は低圧で、立ち面の多い成形品では高めに設定する。

P_2 が高すぎると流動末端のフローマークが、低すぎるとIMC剤のショートショットやIMC塗膜中にガス溜まりが発生しやすくなる。通常は10~50Kgf/cm²とする。

4-2-3 注入後の型締め圧力(P_3)

注入後の型締め圧力は硬化塗膜の面品質(リブ・ボスのリードアウト、目視で見える凹凸)やSMC基材との付着性に影響する。 P_3 が高すぎるとリブ・ボス部がハンズ(凸)となり、低すぎるとヒケ(凹)となったり付着性が低下する。付着性を確保するためには P_3 は10Kgf/cm²以上を確保する必要がある。

4-2-4 SMC基材のチャージパタン、チャージ位置

SMC基材のチャージパタン、位置によっては成形品の密度に偏りを生じ、IMC剤の不均一流動となる。SMC基材のチャージパタン、位置は成形品の強度とも密接に関係し、十分検討の上決定する必要がある。

好ましい流動パタンと好ましくない流動パタンについて、ボンネット形状の金型内での流動過程のフローフロントを図4¹に示す。

その他IMCコート性に影響する要因については、図5²の特性要因図を参考願いたい。

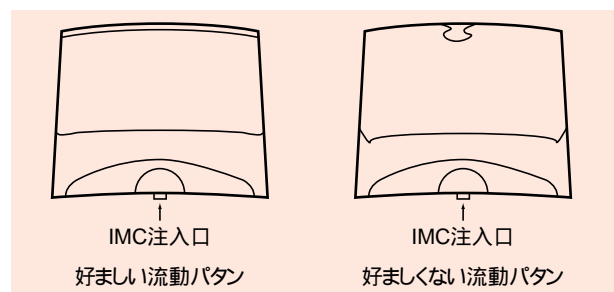


図4 流動過程のフローフロント

4-3 SMC成形品の塗装工程と塗膜性能

4-3-1 塗装工程

SMCのみの成形品とプライマー用IMC塗布成形品の塗装工程比較を図6²に示す。

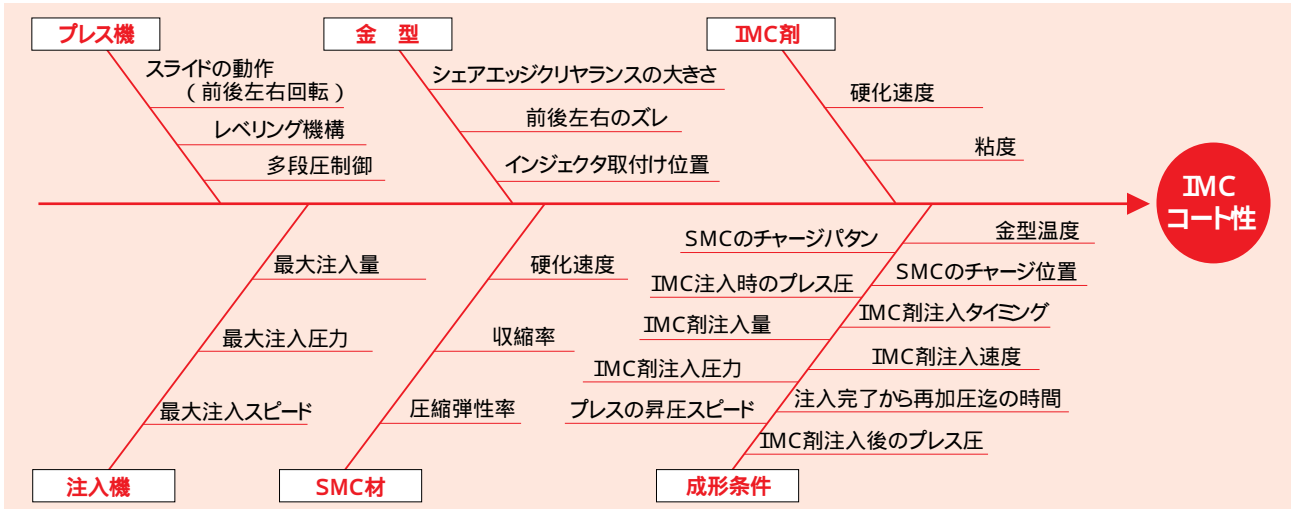


図5 IMCコート性の特性要因図

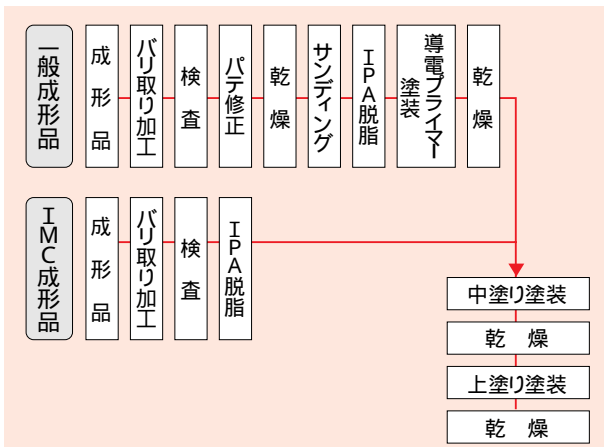


図6 SMC成形品の塗装工程比較

SMC成形品は一般に表面に微小の巣穴やピンホールが存在しており、上塗り塗膜のピンホールを防止するために前処理としてパテ埋め、サーフェサーによる目止めを必要とする。

IMCを施した成形品では写真1に示すように金型内

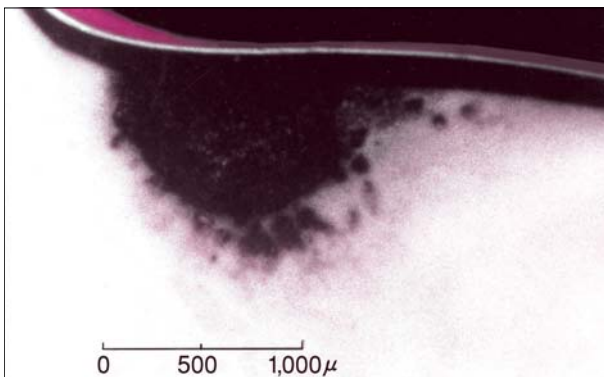


写真1 HPIP法によるSMC巣穴の充填状況

で圧力をかけた状態で塗膜を形成するため、巣穴をIMC剤が充てんすることによりピンホールを防止する効果が非常に高い。高圧注入IMC、低圧IMCおよびスプレープライマーの3種類の塗装系で、自動車ボディオンライン塗装を行ったときの塗装ピンホール発生頻度を比較した結果を表1に示す。

表1 各種塗装法における上塗り塗装後のピンホール発生頻度

	ピンホール発生頻度
高圧注入IMC	0.5
低圧注入IMC	2.5
スプレープライマー	25

IMCを施さないスプレープライマー塗装では多数のピンホールが発生する。低圧注入IMCを実施すると、2.5個/台まで低減されるが、皆無にはならない。一方、高圧注入IMCでは、0.5個/台まで低減され、SMC基材に起因するピンホールは“ゼロ”にできる結果が得られた。さらに上塗り塗装時のピンホールをゼロにするためには、IMC剤に硬化剤を混合する際、エアの巻き込みを防止する減圧脱気を併用することで“ゼロ”にすることが可能である。

4-3-2 新規技術

IMC塗膜の機能として、従来はSMC基材の素地調整、ピンホール防止の目的が主体であったが、IMC塗膜に特殊な機能を付与しSMC成形品の付加価値を高めている。

(1)メッキ仕上げによるSMC製車体外板の従来の製造技術ではSMC成形品表面に直接メッキを施すことは不可能であった。本技術はIMC法の特長である硬化塗膜が金型表面を忠実に転写する特性を利用し、メッキ可能な組成に設計したIMC剤との組み合わせによるもので、大型トラックのフロントリッドに採用されている。

(2)耐候性にすぐれたバインダーシステムや耐沸騰水性にすぐれたバインダーシステムにより、トップコートの機能をIMC剤に付与し、ワンコートフィニッシュIMCによるSMC成形品の高付加価値化、生産の合理化を可能としている。

5. ジシクロペンタジエン樹脂RIM成形法へのIMC

ジシクロペンタジエン樹脂(DCPD)は、石油のC5溜分の一つであるシクロペンタジエンの2量体化物(ジシクロペンタジエン)を主原料とし、金型内で重合と成形とを同時に行うRIM成形法(Reaction Injection Molding)に使用する熱硬化性成形材料である。

DCPD-RIMの特長は低粘度の液体(約300mPa・s)を注入するため、金型にかかる圧力が低く、金型が安価でできること、型締め圧力が低いこと(5Kgf/cm²程度)さらに重合に要するエネルギー消費量が少なく、バランスの取れた機械物性、特に耐衝撃性に優れていることである。そのためトラックのバンパーやスポイラー、ゴルフカートのボディ、建設機械や農業機械の外装パネル、大型ゲーム機や医療器具、ユニットバスの防水パン等、少～中量生産分野で使われている。

5-1 DCPD-RIM成形品への塗装

DCPDが重合したポリマーは図7に示すように、表面

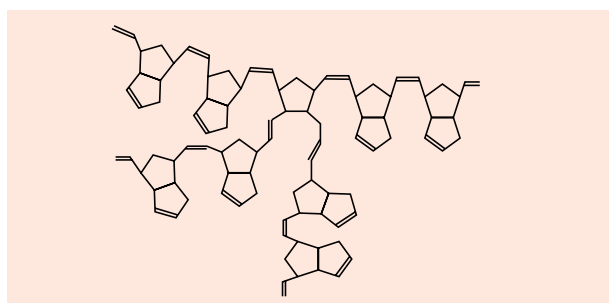


図7 重合したDCPDポリマーの構造

には塗料との付着性を高める極性基がなく、塗料が非常に付着し難いポリオレフィン系の樹脂構造を有している。DCPD-RIM成形品への塗料の塗着性や付着性を向上するために、成形後空气中で短時間酸化し、表面酸化層を形成させる。成形直後および酸化が進んだ成形品の表面のIRスペクトル測定結果から、酸化後は成形直後に比べ水酸基、カルボキシル基、カルボニル基の吸収が増えることが確認されている(図8)。このことにより塗膜との間に水素結合の形成やファンデルワールス力

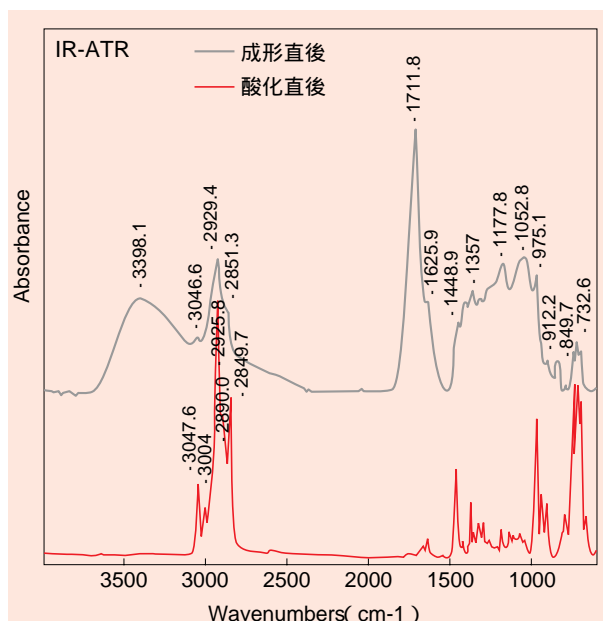


図8 DCPD-RIM成形品の表面IRチャート

の増大が生じ、付着力が向上するものと考えられる。しかしこの材料では、過度の酸化が逆に塗料の付着力を低下させることが経験的に知られており、成形後塗装するまでの酸化時間の管理に十分注意する必要がある。

5-2 DCPD-RIM成形へのIMCの応用

DCPD樹脂の非常に酸化されやすい性質を利用してIMC法による型内塗装技術を開発した。

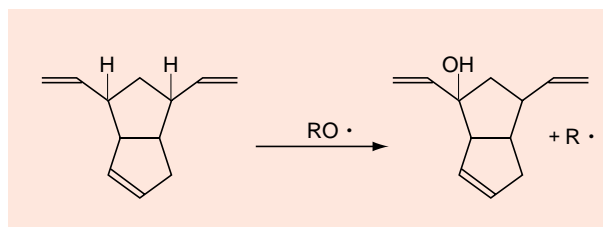


図9 DCPD樹脂の酸化反応機構

DCPD樹脂は、図9のように水素原子がラジカルによって引き抜かれ容易に酸化される。IMC剤の硬化反応は有機過酸化物のラジカル分解によって起こり、このラジカル分子による金型内での短時間で、急速な水素引き抜き反応によって付着力が発現しているものと考えられる。

したがってIMC剤の硬化剤に用いる有機過酸化物としては、DCPD樹脂の成形温度である80～90で急速に分解し、しかも水素引き抜き能力の高い過酸化物を選定する必要がある。表2にDCPD-RIM用IMC剤「ブラグラス#5000アイボリー」の組成を示す。

表2 ブラグラス#5000 アイボリー組成表

主 剤		
樹脂ワニス	57.5	重量部
ウレタンアクリレートオリゴマー アクリレートモノマー		
顔料	40.5	
二酸化チタン カーボンブラック 酸化鉄黄		
添加剤	2.0	
重合禁止剤 顔料分散剤 内部離型剤		
	100.0	
硬化剤(有機過酸化物) ビス-(4- <i>t</i> -ブチルシクロヘキシル)パーオキシジカーボネート	1.0	

5-3 DCPD-RIM成形品へのIMC塗膜性能

成形条件は下記の通りである。

- (1) DCPD成形材料: 帝人メン社製
- (2) IMC剤: ブラグラス#5000アイボリー
- (3) IMC条件
 - ・金型温度(キャビ/コア): 90～95 / 48～50
 - ・型締め圧力: 10Kgf/cm²(製品投影面積当たり)
 - ・IMC注入タイミング(T_{IMC}): 60秒
 - ・IMC硬化時間: 240秒
 - ・IMC剤注入量設定の考え方

$$V_{IMC} = V_1 - V_2 - V_3$$

V _{IMC}	: IMC剤注入量[ml]
V ₁	: 射出したDCPD溶液体積
V ₂	: 硬化後のDCPD樹脂体積
V ₃	: 熱膨張補正

表3に塗膜性能を示す。

表3 塗膜性能表

項 目	品 質
塗膜の外観	肌あれ、ピンホール、タレ、色ムラなどの欠陥無し
引っかき硬度(鉛筆硬度、凝集破壊)	2H
鏡面光沢度(60°)	90(金型表面の仕上げ状態に依存する)
付着性(クロスカット法、2mm間隔)	0～1
耐おもり落下性(デュボン式)	1 / 2インチ×500 ×50cm
耐液体性(水浸せき法) 40 ×240時間	ワレ、ハガレ、フクレ等異常なし 付着性...1
耐湿性(連続結露法) 50・95%RH×240時間	ワレ、ハガレ、フクレ等異常なし 付着性...1
耐温水性(温水浸せき法) 80 ×720時間	ワレ、ハガレ、フクレ等異常なし 付着性...1
耐湿潤冷熱繰返し性 ¹⁾	ワレ、ハガレ、フクレ等異常なし 付着性...1

1) X 80 ×3時間 室温×1時間 -30 ×3時間 室温×1時間
50・98%RH×15時間 室温×1時間)×5サイクル

2) 試験方法は、JIS K 5600 塗料一般試験方法に準ずる。

表3の結果から、従来のスプレー塗装のように成形後、塗装までの時間管理を必要とせず、成形と同時に金型内で塗膜を形成させ、トラックや建機等の外装部品に十分適合する塗膜性能を有している。

6. まとめ

IMC法での塗膜形成は、密閉された金型内で、100%ソリッドに転換する硬化反応を行うので、環境対応、省資源等環境負荷の小さな塗装方法と言える。これらの特長を生かし、熱可塑性プラスチック射出成形法にも適用できるIMC法を開発し、実用化に向けた市場開発に取り組んでいるので、次の機会に報告したい。

参考文献

- 1) 藤井聡、米持建司: 成形加工シンポジウム '94, p.28, (社)プラスチック成形加工学会(1994)
- 2) 米持建司: 色材, 73(8), 409(2000)