

流動浸漬法による粉体塗装の調査研究

技術第1部情報技術課 島村早苗

ま え が き

流動浸漬（せき）粉体塗装法は、1952年西ドイツ Knapsack-Griesheim 社において開発されたもので、被塗装物は予熱—流動槽（そう）浸漬—後加熱の3工程で塗装する方法である。後加熱は、熱量不足のため十分流動しなかった熱可塑性樹脂や未硬化反応の熱硬化性樹脂の場合に行う。

この塗装法は、無溶剤であるため公害防止対策用塗装法の一つであり、補整塗りの必要がなく、塗料損失が少なく、塗装装置が比較的簡単であるため自動化が容易で設備費も小さいなどの特長をもち、家庭用各種かご、電気冷蔵庫のたな網、電気部品の絶縁など多くの用途がある。しかしこの塗装法は、200 μ m以上の厚膜となり、被塗装物によっては過剰品質となる。したがって、この塗装法を自転車塗装に応用するためには、塗膜の平滑性を良くし、薄膜化にする必要がある。

本調査研究は、予熱温度、浸漬時間、被塗装物の熱容量など諸因子の膜厚、平滑性に及ぼす影響と、自転車塗装に応用する場合の最適塗装条件を統計的手法により求め、公害対策、経済性についても検討を行ったものであり、これらの結果について報告する。

1 実験方法

実験用流動浸漬粉体塗装装置は、写真1、写真2に示すように、流動浸漬槽、ブロウ、被塗装物昇降装置および排気装置で構成されている。

流動浸漬槽は（L）450mm×（W）450mm×（H）700mmと（L）1,360mm×（W）450mm×（H）760mmとがあり、小型のものは試験片、前ホークの実験に、大型のものはフレーム体の実験に使用した。流動層密度は、一定重量の粉体塗料を用い、流動層の高さが一定になるようブロウ（風量 1.9m³/min、静圧 1,000mmAq、出力 1kW）の空気量をバルブの開閉によって調整した。この実験に使用した塗料は、表1に示す物性をもった流動浸漬用アクリル樹脂粉体塗料で、パール調の青色塗料である。

昇降装置は、無段変速器付き電動機によって被塗装物の昇降速度（浸漬速度）を 7~18m/min に制御し、昇降時の速度を同一にするためバランスウェイトを取り付

表1 アクリル樹脂粉体塗料の物理的性質

項	目	測定値
粒度分布	250 μ m通過率	98%
	210 "	90
	177 "	80
	149 "	71
	125 "	64
	90 "	51
	63 "	35
	32 "	20
粉体特性	ゆるみかさ比重	0.548
	固めかさ比重	0.795
	真比重	1.37
	圧縮度	31%
	安息角	44度
	スパチュラー角	60度
	崩潰（かい）角	30度
	均一度	6.3
	流動性指数	63
	融点	112度

けた。アーム先端に取り付けた被塗装物は、流動層内に浸漬後リミットスイッチによって停止し、その停止時間（浸漬時間）はタイマの設定によって0.1~10sに制御する。時間経過後は、ただちに上昇して上部のリミットスイッチによって停止する。

また、アームの上部には小型電動機（35W）を用いて試作した振動装置（写真2）を固定した。被塗装物は、小型電動機のカーボンブラシ移動によって振動数を 220~420c/min に変化して振動し、その振幅は、変心軸の変心量によって 0~10mm に調整できるようにした。振動数の測定は、動的ひずみ測定器（共和電業製）、加速度変換器（共和電業製）および記録計（渡辺測器製）によって行ったものである。

実験はまず、予熱温度、浸漬時間、被塗装物の熱容量などの諸因子による塗膜厚さの傾向を知るため予備実験を行い、薄膜化のための各因子の条件を検討した。次に統計的手法を利用して、予備実験の結果から因子とその水準を直交表 L₂₇(3¹³) にわりつけ、乱数表よりランダムに塗装実験を行い、その測定データより各水準における母平均（平均膜厚）の推定値とその信頼区間を求め、塗面の平滑性を考慮して薄膜化の塗装条件を求めた。そして、この塗装条件で前ホーク、フレーム体を塗装し、膜

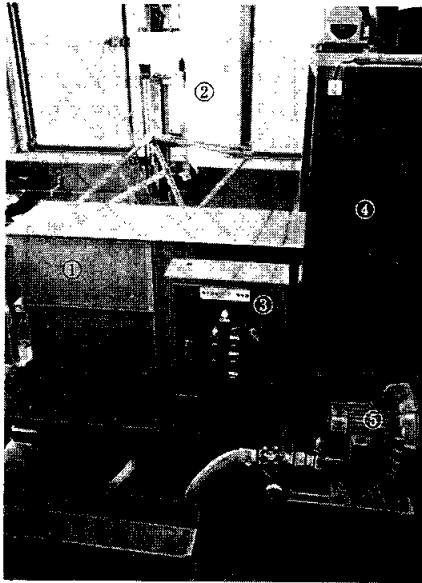


写真1 実験用流動浸漬粉体塗装装置

- ①: 流動浸漬槽
- ②: 被塗装物昇降装置
- ③: 制御盤
- ④: 排気装置
- ⑤: プロア

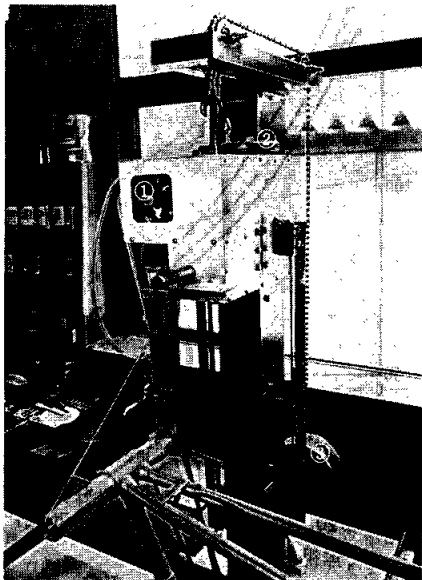


写真2 振動装置

- ①: 小型電動機
- ②: 振幅調整用ハンドル
- ③: 昇降装置のバランスウェイト

厚の分布を求め、自転車塗装への適用について検討した。

この実験に使用した測定器は、塗膜厚さにインスペクタ (0~500 μ m, エリクセン社製), 塗面の平滑性には塗面あらさとして万能表面形状測定機 (0.01~400 μ m R_{max} , 測定速度0.1mm/s, 触針測定力0.07g, 小坂製)

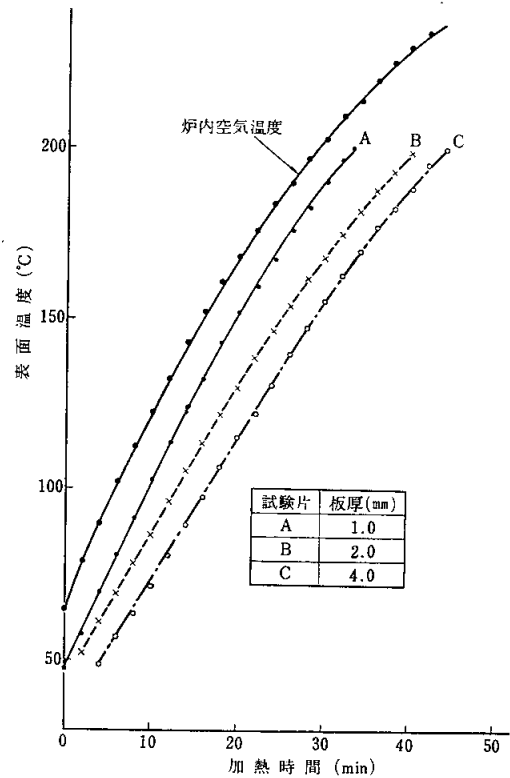


図1 塗装試験片の加熱による表面温度

を用いた。なお、加熱炉中での表面温度測定は、試験片のみ行い、径17mm, 厚さ2mmの銅製測温接触体を試験片表面に接触させ、水銀温度計にて測定し、放熱時における被塗装物の表面温度は、表面温度計(安立計器製)を用いた。

2 実験結果と考察

2.1 被塗装物の表面温度

流動浸漬粉体塗装法は、あらかじめ被塗装物を使用する粉体塗料樹脂の熔融温度以上に加熱するので、塗膜厚さは浸漬時における被塗装物の表面温度に影響される。図1は、試験片12cm×25cmのものを、板厚1mm, 2mm, 4mmについて加熱時の表面温度を測定したものであり、図2は、加熱炉より試験片を取り出す直前の表面温度を160 $^{\circ}$ C, 180 $^{\circ}$ C, 200 $^{\circ}$ Cにしたときの放熱特性である。なお、放熱時の室温は20 $^{\circ}$ Cである。

このように被塗装物の加熱条件、熱容量によって表面温度は異なるので、使用する加熱炉の仕様、そう入量、作業場温度によってあらかじめ被塗装物の表面温度特性をチェックする必要がある。図2より1mm厚さの板では、表1に示した粉体塗料樹脂の熔融温度から遅れ時間(被塗装物を炉から取り出して浸漬するまでの時間)を

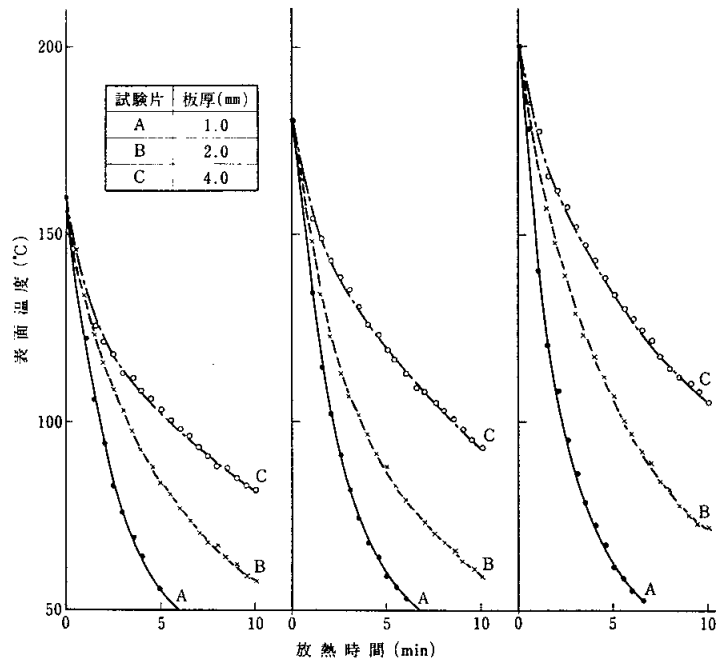


図2 塗装試験片の放熱による表面温度

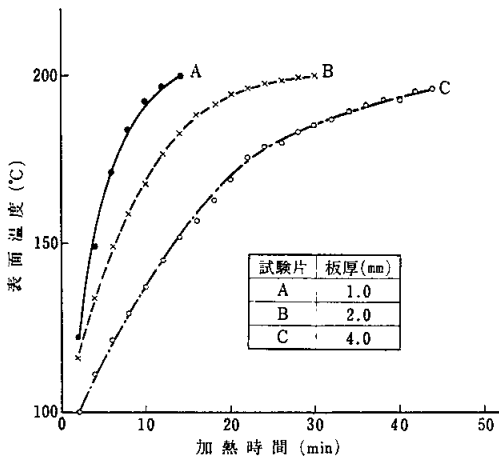


図3 200°Cの加熱炉における試験片の表面温度

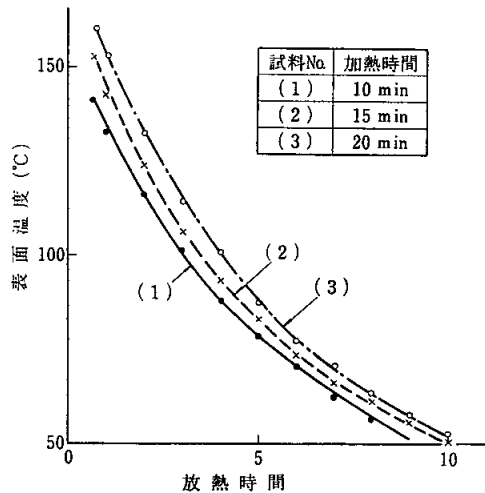


図4 200°C加熱後前ホークの放熱による表面温度

1分以内にしなければならない。

また、一般に流動浸漬粉体塗装は、被塗装物を所定温度に加熱した炉に一定時間加熱後浸漬している。図3は200°Cに設定した加熱炉に上記試験片をそう入し、加熱時間における表面温度を測定したものであり、図4、図5は前ホーク、フレーム体を200°Cの加熱炉にそう入し、一定時間加熱後室温20°Cにて放熱したときの特性を示したものである。このように被塗装物の熱容量によって表面温度は異なる。

塗装試験片における加熱、放熱特性は、前述のように板厚によって異なるが、表面積による差はほとんどなかった。したがって、熱容量の表示には表面一容積比で表

わした。すなわち、板厚1mm, 2mm, 4mmに対する表面一容積比は20, 10, 5とし、側面積は表面積に比較して小さいので無視した。

2.2 予備実験

2.2.1 予熱温度、浸漬時間の影響

図6は、表面一容積比20の試験片を用い、流動層密度0.45g/ml、振動数420c/min、振幅10mm、浸漬速度18m/minの条件で、予熱温度を160°C, 180°C, 200°Cとし浸漬時間による塗膜厚さを示したものである。なお、浸漬時の表面温度は、図2の放熱特性と遅れ時間(20~25秒)より推定すると約140°C, 150°C, 160°Cである。

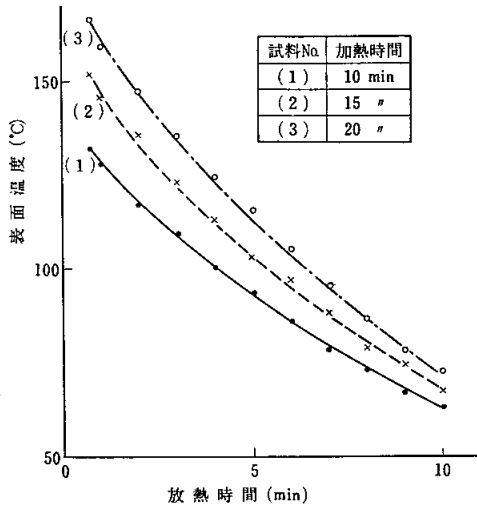


図5 200°C加熱後フレーム体の放熱による表面温度

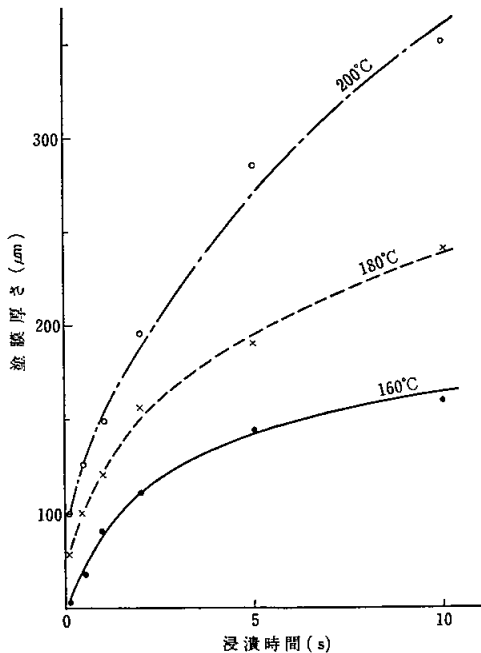


図6 予熱温度、浸漬時間による塗膜厚さ

これより予熱温度の膜厚への影響の大きいことがわかり、浸漬時間については、2秒以内にする必要がある。試験片の膜厚測定は、8定点の算術平均である。

2.2.2 浸漬速度の影響

図7は、表面一容積比20、流動層密度0.45g/ml、振動数420c/min、振幅10mm、予熱温度180°Cで、浸漬時間を0.1s、0.5s、1.0s、2.0sとし、浸漬速度による塗膜厚さを示したものである。

浸漬速度が速くなると塗膜厚さは小さくなる傾向にあり、表2の分散分析結果に示すように危険率1%で有意差が得られたが、寄与率は浸漬時間に比較して非常に小

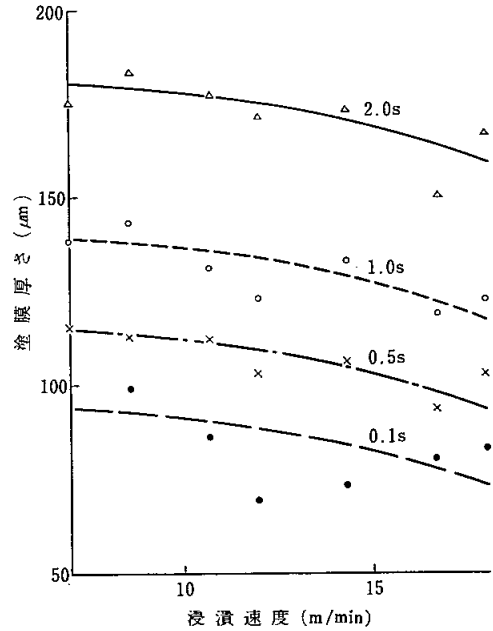


図7 浸漬速度、浸漬時間による塗膜厚さ

表2 浸漬速度による塗膜厚さの分散分析

要因	二乗和	自由度	不偏分散	分散比	寄与率
浸漬時間	28627.8	3	9542.6328.60**		92.4
浸漬速度	1734.5	6	289.1	9.95**	5.1
誤差	522.7	18	29.0		2.5
計	30885.0	27			100.0

さい。しかし、浸漬速度が遅くなると、この浸漬時間の範囲では、試験片上下間の膜厚差が大きくなる傾向にあり、長尺物の場合注意する必要がある。フレームの場合、ハンガ部またはシート部を上にして浸漬することが肝要と思われる。また浸漬時間0.1sは、100μm以下であるが、塗膜厚さが100μm以下になると塗面の平滑性は劣ってくる傾向にあった。

2.2.3 表面一容積比、振幅、振動数による影響

図8は、表面一容積比と振幅による影響を示したものであり、他の条件は、流動層密度0.45g/ml、浸漬時間1.0s、予熱温度180°C、浸漬速度18m/min、振動数420c/minである。

表面一容積比が小さいものの膜厚は、明らかに増加しているが、振幅が大きくなると若干膜厚の減少する傾向が見られる。このデータを分散分析してみると、表3のように危険率5%で有意となったが、塗膜厚さへの影響は小さい。一方、塗面の状態を見ると、振幅が大きくなるにつれて、塗面の平滑性は良くなる傾向にあった。

振動数については、図9に示すようにばらつきが大きく、分散分析した結果有意差は得られず、膜厚への影響

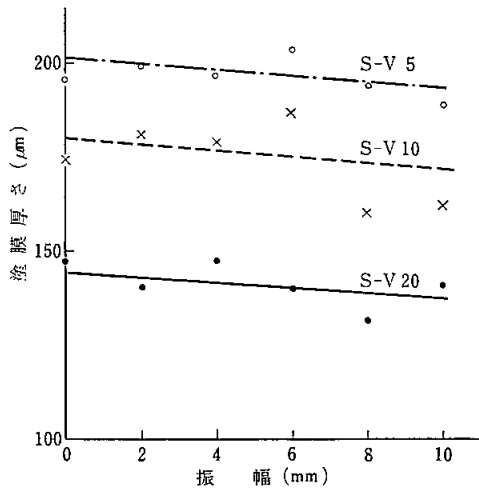


図 8 振幅, 表面-容積比による塗膜厚さ

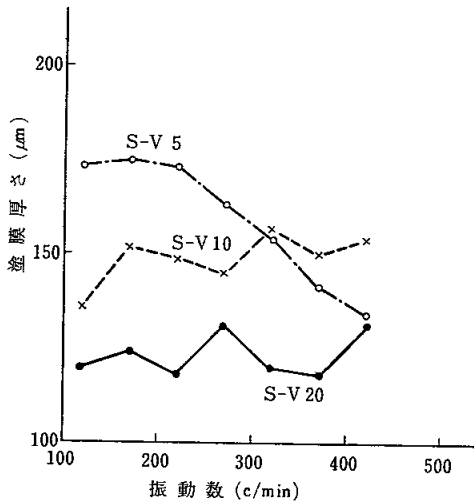


図 9 振動数, 表面-容積比による塗膜厚さ

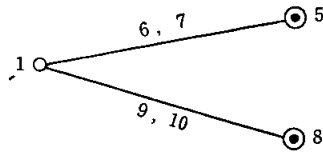


図 10 線点図

は小さい。この場合振幅 10mm で、他の条件は図 8 と同じである。そして、振幅同様塗面の平滑性には効果があるように見られた。

2.3 各要因の影響

予備実験より、塗膜厚さ、塗膜の平滑性に影響する要因と水準を表 4 のようにし、交互作用として流動層密度と振動数、流動層密度と振幅を直交表 $L_{27}(3^{13})$ にわりつけ、実験順序は乱数表によって決定した。なお、表 4 の流動層密度と振動数の水準 3 は擬水準を用い、線点図は図 10 を用いた。

表 3 振幅による塗膜厚さの分散分析

要 因	二乗和	自由度	不偏分散	分散比	寄与率
表面-容積比	9240.3	2	4620.2	144.20**	90.8
振 幅	549.3	5	109.9	3.43*	3.9
誤 差	320.4	10	32.0		5.3
計	10110.0	17			100.0

表 4 直交表にわりつける要因と水準

要 因	水 準		
	1	2	3
A: 流動層密度 (g/ml)	0.4	0.5	
B: 予熱温度 (°C)	160	180	200
C: 素材の表面-容積比	20	10	5
D: 浸漬時間 (s)	0.1	0.5	1.0
E: 振動数 (c/min)	420	220	
F: 振 幅 (mm)	10	6	2
G: 遅れ時間 (s)	20	40	60
H: 浸漬速度 (m/min)	18	12	7

表 5 直交表と塗膜厚さ

列 番 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	塗膜 厚さ (μm) x	X	X ²
	A	B	G	H	E	A	E	F	A	F	C	D	e			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	56	-74	5476
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	109	-21	441
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	166	36	1296
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	206	76	5776
5	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	1	1	1	75	-55	3025
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	129	-1	1
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	179	49	2401
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	256	126	15876
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	95	-35	1225
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	54	-76	5776
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	118	-12	144
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	95	-35	1225
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	59	-71	5041
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	58	-72	5184
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	73	-57	3249
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	163	33	1089
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	126	-4	16
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	143	13	169
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	41	-89	7921
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	65	-65	4225
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	123	-7	49
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	203	73	5329
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	221	91	8281
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	149	19	361
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	120	-10	100
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	164	34	1156
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	147	17	289

$\sum x$ 3393 $\sum X$ -117 $\sum X^2$ 85121

2.3.1 塗膜厚さへの影響

わりつけた直交表と膜厚測定値を表 5 に示し、その分散分析表を表 6 に示す。振動数、振幅、交互作用を除いた他の要因は、いずれも危険率 1% で有意となり、膜厚

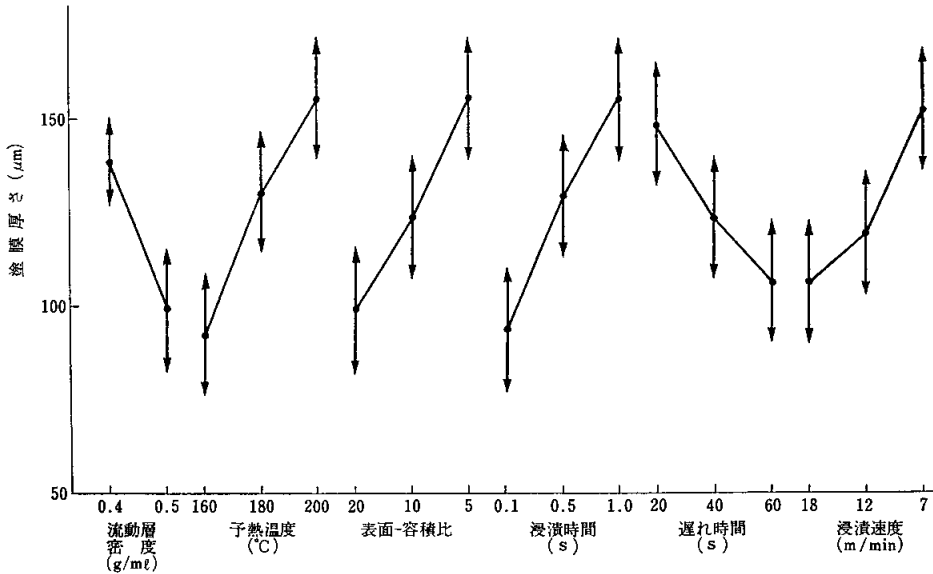


図 11 各要因における塗膜厚さの推定と信頼区間

表 6 わりつけた実験結果の分散分析

要 因	二乗和	自由度	不偏分散	分散比	寄与率
A: 流動層密度	9053.7	1	9053.7	18.66**	10.13
B: 予熱温度	18091.5	2	9045.8	18.65**	20.23
C: 表面-容積比	14449.5	2	7224.8	14.89**	15.93
D: 浸漬時間	17026.8	2	8513.4	17.55**	18.98
G: 遅れ時間	8408.7	2	4204.3	8.67**	8.79
H: 浸漬速度	10306.8	2	5153.4	10.62**	11.03
e: 誤差	7277.0	15	485.1		14.91
T: 計	84614.0	26			100.0

表 7 要因の組合せによる塗膜厚さの推定値

予熱温度(°C)	表面-容積比			浸漬時間(s)		
	20			10		
	0.1	0.5	1.0	0.1	0.5	1.0
160	24.2	59.8	85.3	47.9	83.7	109.2
180	62.4	98.2	123.7	86.3	122.1	147.6
200	86.9	122.7	148.2	110.8	146.6	172.1

(備考) 1. 膜厚の単位は μm である。
2. 信頼度95%における信頼区間は ± 31.3 である。

への影響の割合は、予熱温度、浸漬時間、表面-容積比、浸漬速度、流動層密度、遅れ時間の順であり、予熱温度の影響が約20%で最も大きく、次いで浸漬時間の約19%であった。振動数、振幅は1%以下であり、この実験の場合無視できるほど影響は小さい。

図11は、有意となった各要因とその水準における母平均(平均膜厚)の推定値とその信頼区間(信頼度95%)を示したものである。予熱温度による膜厚は、 $200^\circ\text{C} > 180^\circ\text{C} \gg 160^\circ\text{C}$ であり、 $180^\circ\text{C} - 160^\circ\text{C}$ 間の膜厚差は、 $200^\circ\text{C} - 180^\circ\text{C}$ 間の膜厚差の約1.5倍である。また、流動層密度による膜厚は、 $0.4\text{g/ml} > 0.5\text{g/ml}$ となり、逆と思わ

れる結果が得られた。この実験での流動層密度は、一定重量の粉体塗料を流動させたときの容積から算術計算したものであり、表1の流動性指数からも均一な流動であったとはいえず、このような結果が得られたものと思われる。

次に影響の大きい要因と水準に予熱温度 ($B_1: 160^\circ\text{C}$, $B_2: 180^\circ\text{C}$, $B_3: 200^\circ\text{C}$), 表面-容積比 ($C_1: 20$, $C_2: 10$), 浸漬時間 ($D_1: 0.1\text{s}$, $D_2: 0.5\text{s}$, $D_3: 1.0\text{s}$) を取り、他の要因は流動層密度 0.4g/ml , 遅れ時間40s, 浸漬速度 18m/min , 振動数 420c/min , 振幅 10mm として18通りの組合せから塗膜厚さを推定すると、表7に示すように $24 \sim 172\mu\text{m}$ であった。

この推定値と塗装条件の近似した実測値を比較してみると、表5 No.25 の $A_1B_3C_2D_1E_1F_3G_2H_1$ より膜厚は $120\mu\text{m}$ に対し、推定値(振幅のみ異なり)は $110.8\mu\text{m}$ あり、ほぼ近似した値が得られ、統計的手法により最適塗装条件を求めることができる。

2.3.2 平滑性への影響

膜厚の影響を検討した同一試験で、塗面あらさを4定点測定してその平均値を求めたものを表8に示し、その分散分析を表9に示す。

これより平滑性には、大きなばらつきを生じているが振動数、振幅が有意であり、母平均(平均塗面あらさ)とその信頼限界(信頼度95%)を図12に示す。この結果より振動数、振幅とも大きくすれば、塗膜の平滑性は良くなることわかる。

2.4 塗膜厚さと平滑性との関係

表 8 わりつけた実験による塗面あらし

No.	塗面あらし \bar{x} (μm)	X	X ²
1	12.3	-72	5184
2	21.9	24	576
3	14.2	-53	2809
4	10.5	-90	8100
5	45.6	261	68121
6	14.7	-48	2304
7	17.7	-18	324
8	12.0	-75	5625
9	15.3	-42	1764
10	16.9	-26	676
11	28.5	90	8100
12	26.4	69	4761
13	17.1	-24	576
14	25.2	57	3249
15	16.9	-26	676
16	19.9	4	16
17	24.2	47	2209
18	16.3	-32	1024
19	15.4	-41	1681
20	17.2	-23	529
21	10.0	-95	9025
22	22.5	30	900
23	53.1	336	112896
24	17.4	-21	441
25	11.9	-76	5776
26	12.6	-69	4761
27	13.8	-57	3249
		ΣX	ΣX^2
		30	255352

表 9 わりつけた実験による塗面あらしの分散分析

要 因	二乗和	自由度	不偏分散	分散比	寄与率
B: 予熱温度	380.65	2	190.33	3.33	10.43
E: 振 動 数	572.34	1	572.34	10.01**	20.18
F: 振 幅	399.85	2	199.93	3.50*	11.18
e: 誤 差	1200.35	21	57.16		58.21
	2553.19	26			100.0

上記実験より、塗膜厚さと塗面あらしの関係をプロットしてみると図13のようになり、使用した粉体塗料の粒度分布にも影響するが、膜厚 100 μm 以下になると塗面あらしのばらつきが非常に大きく塗膜の平滑性は劣っている。この実験で使用した粉体塗料の粒度分布は、表1に示したように中央値(累積度数の50%を切る値)が約90 μ であり、粒度は広範囲に分布している。したがって静電粉体塗装のように50~60 μm の膜厚は困難となる。

なお、粒径が小さくなると、塗料の流動性は悪くなり空気中への塗料の飛散が多くなる。一般に流動浸漬用塗料の流動性指数²⁾は60以上であり、粒度の分布領域の小さいものほど流動性は良好となる。そのため塗膜厚さが大きくなってくる。

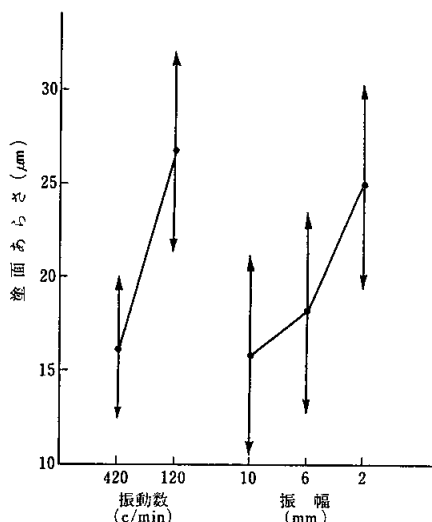


図 12 振動数, 振幅の塗面あらし推定値と信頼区間

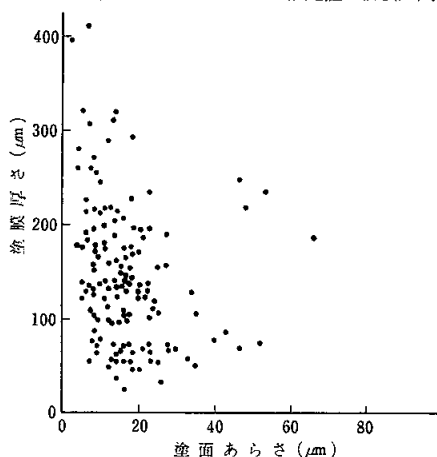


図 13 塗膜厚さと平滑性の関係

2.5 最適塗装条件

以上の実験より塗面の平滑性が良好で、平均膜厚を小さくする範囲は120~140 μm であり、表7の推定値より最適塗装条件を求めれば表10のようになる。なお、予熱温度の()内の数字は、図2の放熱特性より浸漬時の表面温度を推定したものである。

この最適塗装条件を前ホーク、フレーム体にて実験を行った。膜厚測定は、前ホーク4点、フレーム体7点行い、その平均値を求めたものを表11に示す。その結果、上部と下部の膜厚差が試験片より大きく、したがって、平均膜厚が試験片より約25%大きくなっている。被塗装物の寸法が大きい場合は、予熱温度を高く、浸漬時間を短くすれば膜厚差は小さくなると思われる。

前ホーク、フレーム体塗装の際、問題点がある。それは、前ホークでは肩の上部、フレーム体ではパイプの上部に粉体塗料が堆(たい)積し、塗膜厚さが極端に大きくなり、平滑性が低下する。その対策は、振動数、振幅

表 10 塗装試験片より求めた最適塗装条件

項目	板厚(mm)	
	1.0	2.0
流動層密度 (g/ml)	0.4	0.4
予熱温度 (°C)	180	200
	(140)	(150)
	(150)	(155)
浸漬時間 (s)	1.0	0.5
振動数 (c/min)	420	420
振幅 (mm)	10	10
遅れ時間 (s)	40	40
浸漬速度 (m/min)	18	18
平均膜厚 (μm)	124	123
膜厚範囲 (μm)	92~155	91~154
		91~153

表 11 自転車部品塗装による平均膜厚

加熱時間 (min)	前ホーク		フレーム体	
	平均膜厚 (μm)	標準偏差 (μm)	平均膜厚 (μm)	標準偏差 (μm)
10	88	±21		
15	143	±32	155	±21
20	155	±32	154	±27
25			164	±30

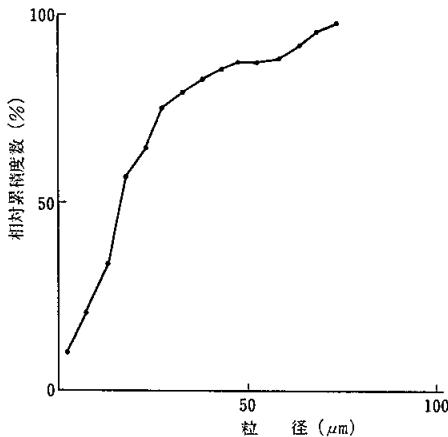


図 14 ふるいによって 150 (μm) 以下の粒子の累積度数図

を大きくして、被塗装物に堆積した塗料を速やかに払い落とすようにしなければならない。

2.6 公害対策

粉体塗料は、無溶剤であるため、有機溶剤による大気汚染は防止できる。しかし、問題点として粉じんとアクリル樹脂特有の加熱による悪臭性排ガスがある。

流動浸漬粉体塗料は、静電粉体塗料に比較して粒子径の大きい方に分布しており、そのため作業場に飛散する量は少ないが、塗料によっては、図14に示すように微粉を含み、作業場に飛散するので集じん装置の設置を考慮する必要がある。

次に、アクリル樹脂粉体塗料による後加熱炉からは、ホルムアルデヒド、アクリルモノマなどの成分を排出する。熱硬化性アクリル樹脂の分析について、IUPAC

表 12 加熱炉排ガス中のホルムアルデヒドおよび硬化剤

	ホルムアルデヒド	硬化剤
加熱開始後 3~13分の平均濃度	0.16ppm(v/v)	2.8×10 ⁻⁴ mg/ℓ
15~25分 "	0.14ppm(v/v)	検出せず

(注) 分析方法

a. ホルムアルデヒド: クロモトローブ酸法

b. 硬化剤:

ガスクロマトグラフ: 日立 163 (FID)

カラ ム: φ3mm×2m, SUSカラ ム

充てん 剤: クロモソルブ(AW-DMCS) 60/80メッシュにシリコンOV 1.2%

温 度: カラ ム 220°C

注入口と検出器 250°C

キャリヤガス: N₂, 20ml/min

検出限界: 2×10⁻⁵mg/ℓ

表 13 加熱炉排ガス中のモノマ類および硫黄化合物

	メチルメタクリレート	エチルメタクリレート	イソブチルメタクリレート	スチレン	硫黄化合物
加熱開始 10分後の濃度	0.5	1.5	0.9	3.4	検出せず
20分 "	5.8	0.3	0.1	0.5	検出せず

(注) 1. 検出限界: 硫化水素, メチルメルカプタン, 硫化メチルの場合いずれも約 0.5ppb (v/v) である。

2. 分析方法:

	モノマ類	硫黄化合物
ガスクロ	日立 063 (FID)	日立 023 (FPD)
カラ ム	φ3mm×2m SUSカラ ム	φ3mm×3m ガラスカラ ム
充てん 剤	ダイヤソリッド 60/80メッシュに PEG 20 M 10%	クロモソルブ W (AW-DMCS) にポリフェニルエーテル25%+りん酸5%
温 度	カラ ム 100°C 注入口と検出器 200°C	カラ ム 70°C 注入口 150°C 検出器 130°C
キャリヤガス	N ₂ , 20ml/min	N ₂ , 15ml/min

表 14 加熱開始後13分間に発生した成分量

成 分	塗料 1g で発生した量
ホルムアルデヒド	13 μg
硬 化 剤	0.7
メチルメタクリレート	5.5
エチルメタクリレート	19
イソブチルメタクリレート	14
ス チ レ ン	39

(International Union of Pure and Applied Chemistry)の応用化学部門有機塗料部会によって行った協同研究³⁾では、主なモノマ成分であるスチレン、アルキルアクリレート、メタクリレートなどは正確に同定され、定量値も得られている。

このようにアクリル樹脂を使用した場合、悪臭成分を含んだガスの排出があり、その排出量は、加熱炉の規模

表 15 塗装法によるコスト比較

項目	溶剤型 静電塗装		静電 粉体塗装		流動浸漬 粉体塗装	
	円	%	円	%	円	%
塗料費	4,507,000	68.7	3,894,000	81.1	3,213,000	78.2
電力費	80,960	1.2	65,826	1.4	50,600	1.2
燃料費	231,000	3.5	84,000	1.7	236,320	5.8
副資材費	90,000	1.4				
設備使用費	129,000	2.0				
人件費	1,519,570	23.2	759,785	15.8	607,828	14.8
合計	6,557,530	100	4,803,611	100	4,107,748	100
単価	218.58		160.12		136.93	

(注) フレーム生産数量 30,000台/月

表 16 塗装法によるコスト比較の算出基礎

項目	溶剤型 静電塗装		静電 粉体塗装		流動浸漬 粉体塗装	
塗料						
フレーム1台当りの消費量(g)	(塗料) 175 (シンナ) 35			59		63
単価(円/kg)	(塗料) 800 (シンナ) 300		2,200		1,700	
電力(kW)						
静電塗装機	1式 2.4	1式 3.21				
コンプレッサ	3基 2.4	1基 3.7				
排気装置	1式 4.8				1式 1.6	
コンベヤ	1式 8.0	1式 3.7			1式 7.4	
粉体回収装置		1基 3.7				
プロア					1式 2.0	
燃料						
加熱炉	3基	1基			2基	
加熱条件	120℃, 20min	180℃, 10min			200℃, 15min	
燃料消費量(ℓ)	8,250	3,000			8,440	
単価(円/ℓ)	28	28			28	
副資材						
フィルタ	60枚					
単価(円/枚)	1,500					
設備						
設備使用費(円/系列)	3系列 43,000					
労力						
人員(人)	10	5			4	
平均月給与額(円)	151,957	151,957			151,957	

(注) 平均月給与額は、自転車工業の実態調査事業報告書(昭和52年6月)による。

および処理量によって異なり、また経時的にも変化する。悪臭防止法施行令では、悪臭物質としてスチレンを含む8物質が指定され、その規制基準値は、臭気強度 2.5~3.5 に対応する濃度で、都道府県知事が指定した規制地域での規制基準を定めることになっている。

表12, 表13は、実験室的〔表1の塗料を(W)70mm×(L)150mm×(t)0.8mmの試験片8枚に静電塗装し、200℃の熱風循環乾燥炉へそう入、塗着量は41.4g/8枚〕な方法により排ガスをガスクロマトグラムによって測定した成分とその定量値である。そして、この数値より加熱

時(加熱開始より13分間)における塗料 1g より発生する各成分の量を表14に示す。

これよりホルムアルデヒドの濃度は、時間の経過に対してほとんど変化していないが、メチルメタクリレート(MMA)は大きな増加を示している。MMAは解重合しやすいモノマで、長時間加熱で樹脂の分解が生じているのではないかと思われる。スチレンなど他の成分については、15分以上での発生量は $\frac{1}{2}$ 以下に低下している。このようにアクリル樹脂では、悪臭物質としてのスチレンが排ガス中に含まれているが、実際の作業では、塗料処理量、排風量など複雑な要因があるため、この結果から排出濃度を推定することは困難であり、実測して公害対策を十分に検討する必要がある。

3 流動浸漬粉体塗装法の経済性

生産数量 30,000台/月における流動浸漬粉体塗装、現用溶剤型静電塗装および参考として静電粉体塗装の経済性(ランニングコスト)比較を表15に示す。なお、算出基礎は、静電粉体塗装の応用研究⁴⁾のコスト計算をもとにし、表16に示す。

これらのコスト比較は、各塗装装置を推定し、机上計算したものであり、適確な数値を示しているとはいえないが、コストの目安としてみることはできると思われる。表15より流動浸漬粉体塗装コストは、現用溶剤型静電塗装コストより約35%低下できることが予想される。とくに人件費は、1回塗りで補正塗りの必要がないため低下率が大きくなり、省力化に役立つ塗装法であるといえる。

あ と が き

流動浸漬粉体塗装法を自転車塗装に応用するため、薄膜化の最適塗装条件を求めたが、この実験においては現用溶剤型塗装による60~80 μ mの膜厚と平滑で高光沢の塗面を得ることができなかった。しかし、低公害用塗料として大気汚染防止に役立ち、合理化、省力化など多くのメリットをもっているため、幼児用、子供用などの自転車には有用な塗装法と考えられる。

最後に、本研究実施にあたり実験装置の設計試作に協力願った技術第2部開発技術課ならびに粉体塗料の物性、分析に援助を賜った東亜合成化学工業(株)粉体塗料研究グループの方々には厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 田口, 小西, 直交表による実験のわりつけ方, 23, 日科連出版社, 1970
- 2) 早川, 粉体物性測定法, 114, 朝倉書店, 昭48
- 3) L. A. O' Neill, G. Christensen, J. Paint Tech, 47 [601], 47, 1975
- 4) 島村, 村井, 自振協技術研究所報告, 3, 89, 1972