

平成 22 年度-23 年度第 3 次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業

「液晶表示等フラットパネルディスプレイ用光学フィルムの  
高品位化および低環境負荷成型加工技術の開発」

## 成果報告書

平成 25 年 5 月

委託者 近畿経済産業局  
委託先 サンテックオプト株式会社

目次	
第1章 委託業務の概要	1
1-1 研究の目的	1
1-2 研究の概要	1
1-3 成果概要	2
1-4 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名）	3
1-4-1 研究組織および管理体制	
1-4-2 研究者氏名および研究実施場所	
1-5 当該プロジェクトの連絡窓口	5
第2章 金型加工	5
2-1 金型加工材料の選定	5
2-1-1 メッキ材料	
2-1-2 ブラストビーズ材料の選定	
2-2 金型加工方法の開発	8
2-2-1 ブラスト条件	
2-2-2 ブラストビーズ吐出圧力の安定化	
2-3 金型欠点对策	9
2-3-1 外観欠点改善対策①－シミ対策－	
2-3-2 外観欠点改善対策②－白点对策－	
第3章 成型加工	18
3-1 成型加工材料の選定	18
3-1-1 アクリル樹脂の選定	
3-1-2 実機による評価	
3-1-3 TAC フィルムの選定	
3-2 成型加工方法の開発	34
3-2-1 TAC 基材の不具合改善	
3-2-2 外観欠点改善対策	
3-2-3 試作成型品の厚み精度向上	
3-2-4 基材とアクリル樹脂との密着性向上	
第4章 量産性評価 - 外観品質基準-	41
第5章 総括	47

## 図表目次

図 2-1	一般的なブラスト材 (参考)	7
図 2-2	ブラスト材 a と b を用いた試作品の表面	7
図 2-3	ビーズ吐出圧力と試作品へイズ値の関係	9
図 2-4	洗浄機図	10
図 2-5	白点の 3D 図 1000 倍	11
図 2-6	白点サイズ別発生率とブラスト粒子の粒度分布	12
図 2-7	試験用ふるい 開口 75 $\mu$ m メッシュ	12
図 2-8	分球したメッシュ部分の拡大写真	13
図 2-9	ブラスト粒子拡大図 600 倍	13
図 2-10	白点(異形状) 1000 倍	14
図 2-11	微小異形状の群集部位 拡大図 1000 倍	14
図 2-12	高真球度のビーズ 600 倍	14
図 2-13	改良ビーズで成型した試作品表面拡大図 600 倍	15
図 2-14	白濁点拡大画像 1000 倍	15
図 2-15	微少白点拡大図 1000 倍	16
図 3-1	鉛筆硬度試験結果の合否例	19
図 3-2	耐摩耗性試験	20
図 3-3	外観欠点の例	30
図 3-4	金型設定温度と欠点個数	31
図 3-5	金型設定温度と基材密着性	31
図 3-6	基材密着性と耐摩耗(SW)性	32
図 3-7	TAC のシワ	34
図 3-8	TAC のうろこ状の形状異常	35
図 3-9	単一アニールロール参照図	36
図 3-10	複合アニール参照図	36
図 3-11	タッチロール追加参照図	37
図 3-12	アニールユニットの BOX 化参照図	38
図 3-13	外観欠点	39
図 4-1	試作品の外観欠点	43

表 2-1	メッキの評価結果	6
表 2-2	一般的なブラスト用投射材の種類	6
表 2-3	条件違いによるヘイズ値	8
表 2-4	エア一流量と表面粗さの関係	9
表 2-5	加工条件と白点の発生数とその大きさ	17
表 3-1	本技法の主な特徴と課題	18
表 3-2	密着性評価ランク	19
表 3-3	耐摩耗性ランク	20
表 3-4	評価サンプル 鉛筆硬度 2 H以上樹脂一覧	21
表 3-5	評価サンプル 耐摩耗性対策品樹脂一覧	23
表 3-6	初期評価結果	24
表 3-7	耐摩耗タイプの初期評価結果	28
表 3-8	UV 条件違いによる耐摩耗性と密着性向上事例	33
表 3-9	単一アニール条件別結果	36
表 3-10	複合アニール条件別結果	37
表 3-11	タッチロール追加時の条件違い検証結果	38
表 3-12	アニールロールユニットの BOX 化による検証結果	39
表 3-13	UV ランプの出力と外観不具合について	40
表 3-14	硬化条件と外観不具合及び基材密着性	40
表 3-15	ロール表面の選択と製品厚み公差	41
表 4-1	市場要求の外観品質基準	41
表 4-2	協力会社 外観評価結果まとめ	42

## 第1章 委託業務の概要

### 1-1 研究の目的

テレビ、パソコン、タブレットなどのディスプレイ表面には、何かしらの処理が施されている。例えば、表面に傷が付くのを防ぐコート層や外光の映り込みを防止するための反射防止・防眩等の処理である。前者はハードコートと呼ばれる層をフィルム表面上に設けることで、キズから守っている。後者は、フィルム上に表面が粗面化している層を設けており、光を散乱もしくは拡散させて像をぼかし、眩しさを軽減させている。

このようなフィルム上へ塗布する従来手法は、ウエットコーティング方式である。これは固形分と希釈溶剤とを混ぜた混合液をフィルム面上にコートし、その後溶剤を蒸発させている。例えば、固形分が10%の場合、90%を乾燥させれば、フィルム表面にコート層が残る。防眩の場合はさらにフィラーを混ぜた希釈溶剤を塗布し、同様に乾燥させることで、フィラー含有層がフィルム面上に出来、凹凸の表面層を設けている。

この方法を環境の側面から見てみる。上述を例とすると塗布液の大半を、排出しており、しなければならず、それを行うためには乾燥工程が必須であり、さらにそれを動かすために電気エネルギーを大量に消費しなければならない。環境に優しいとは言い難い。

次に品質面に注目してみる。液を均一に塗布しなければ、乾燥時にムラが生じてしまう。軽度なムラでも視認し易いため、均一にコートすることは非常に困難である。一方、フィラー含有の場合、それ等の凝集が生じやすい。また乾燥後では、その脱落の懸念がある。凝集や脱落した箇所は光学的な品位を落とすため、欠陥となる。また、脱落した粒子はもはや異物でしかない。

次にコスト面。液塗布・乾燥の工程を繰り返すため、全工程は巨大化してしまう。故に設備の維持費や投資額が膨らむ。さらに、設備改造や増設など、市場要求への対応には、膨大な投資額、空間、時間を要する。

本研究は、このような課題を解決する新たな加工手段を確立させ、環境に優しい製造方法にて表面処理したフィルムを市場へ供給することを目的とする。それは、金型と無溶剤の樹脂とを用いた転写工法のロール to ロールである。

### 1-2 研究の概要

上章で記したように、現在フラットパネルディスプレイに使用されているフィルムの防眩処理等の工法は、環境面・品質面に課題を持つ。また、巨大設備が必要となるため、コストが膨らみ、装置改良や増設など柔軟性に欠ける。

これに対し、本研究による技法は、金型転写工法を利用し、無溶剤の紫外線（UV）硬化型アクリル樹脂を用いて、フィルム表面上に目的の光学品位を満たす凹凸層を設ける。

金型の加工法には、ブラスト工法を主に活用し、金型表面を粗面化させる。この凹凸形状を、UV硬化型アクリル樹脂を用いて、フィルム面上に転写させ、光学フィルムを成型する。この時使用するアクリル樹脂は、100%固形分・ノンフィラーである。

本研究の成果となる工法は、乾燥工程が一切必要なく、コートムラ・フィラーの凝集・脱落等による外観欠点の懸念がない環境に優しい新しい技法となる。さらに設備は、従来工法のそれに比べ工程数削減・コンパクトになるため、迅速な設備改造・増設など市場の要求にも迅速に対応し易い。この技法を確立することにより、低環境負荷、製品の高付加価値化、コスト競争力アップを図る。

### 1-3 成果概要

従来工法とは異なる新たなエコ技法を確立することが出来た。金型転写工法を利用し、加工方法や使用材料の選定が出来た。選定した無溶剤の UV 硬化型アクリル樹脂を用いて、フィルム表面上に目的の光学品位を満たす表面粗面層を有する防眩（AG）フィルムを成型加工することができた。成型した成果物の性能・品位は、市場品のそれと同等という、市場ユーザーからの評価が得られた。成果品の量産時は、まずは液晶ディスプレイの内側での用途が適切と判断している。量産化を急ぐ。

#### ①金型加工材料の選定

金型の材質とブラスト加工法に使用する材料を選定する事が出来た。

#### ②金型加工方法の開発

金型表面を凹凸の粗面に加工する条件を見出す事ができた。加工した金型の品位は、市場要求を満たす基準にまでに向上できた。

量産化に向けて、さらに品質面・量産性の向上を行う。

#### ③成型加工材料の選定

使用する部材としては、基材フィルムとこれの上に塗布する無溶剤UV硬化型アクリル樹脂の2種となる。

基材は、偏光フィルムの支持体となる TAC（トリアセチルセルロース）フィルムである。この部材は市場から入手できるメーカーが限られているため、選定の余地は殆どない。ただし、流通している数量には限りがあるため、TAC フィルムの入手が困難であった。

一方、アクリル樹脂の方は、市場で流通している製品が無く、選定作業はゼロから始めた。しかしながら、基材 TAC フィルムと密着性が良好という基本的な品位から、市場要求である鉛筆硬度・耐摩耗性等の性能を満たす樹脂の選定が出来た。

#### ④成型加工方法の開発

市場が要求する品質や物性面を満足する加工方法と成型条件を見出すことが出来た。成果品の厚みの公差についても、研究当初 $\pm 7\mu\text{m}$ 程度あったのに対し、 $\pm 2\mu\text{m}$ まで向上する事が出来ており、研究当初の目標を達成できた。

量産化に向け、さらに生産性向上、品質安定化を行っていく。

#### ⑤量産性評価

成果品の市場供給に向けて、成果品の実力を評価した。市場要求で厳しいのが、品質面である。まずはこの点を市場ユーザー様のご協力を得て評価して頂いた。結果、最終成果品の品質は、 $1\text{m}^2$ 中の欠点個数が0.009個であった。これは、市場要求基準を満足し、従来品のそれと同等以上の水準と云える。

今後量産化にむけて、市場ユーザー毎の要求内容を把握・整理し、成果品の品質・性能の向上へ寄与させると共に、評価方法やその基準等のすり合わせ作業を行っていく。

### 1-4 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名）

#### 1-4-1 研究組織および管理体制

本研究の組織は以下の通りである。

サンテックオプト株式会社が事業管理および研究を実施する。

サンテックオプト株式会社

(再委託先なし)

#### 統括研究代表者（PL）

新谷 直人 サンテックオプト株式会社 産業資材部 開発技術G 課長

#### 副統括研究代表者（SPL）

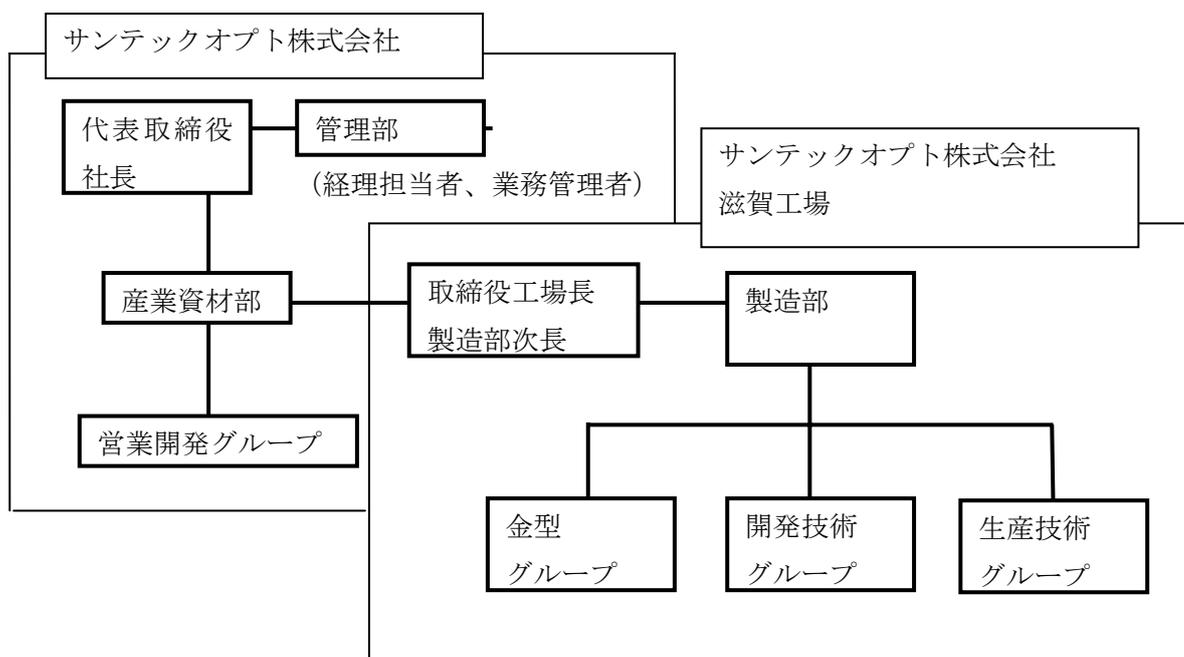
大鳥 昌利 サンテックオプト株式会社 産業資材部 生産技術G 係長

組織の研究および管理体制は以下のとおりである。

事業管理者

サンテックオプト株式会社 (〒542-0062 大阪府大阪市中央区上本町西5丁目3番5号)

サンテックオプト株式会社 滋賀工場 (〒529-1413 滋賀県東近江市五個荘築瀬町10番)



経理担当者

秋山 恵美 サンテックオプト株式会社 管理部 課長

業務管理者

新谷 直人 サンテックオプト株式会社 産業資材部 開発技術G 課長

1-4-2 研究者氏名および研究実施場所

サンテックオプト株式会社 滋賀工場

(〒529-1413 滋賀県東近江市五個荘築瀬町10番)

新谷 直人	サンテックオプト株式会社	産業資材部	開発技術G	(PL)
大鳥 昌利	サンテックオプト株式会社	産業資材部	生産技術G	(SPL)
北川 智之	サンテックオプト株式会社	産業資材部	金型G	
大石 進也	サンテックオプト株式会社	産業資材部	生産技術G	
西村 豊樹	サンテックオプト株式会社	産業資材部	生産技術G	
佐生 和輝	サンテックオプト株式会社	産業資材部	生産技術G	
酒井 潔	サンテックオプト株式会社	産業資材部	開発技術G	

## 1-5 当該プロジェクトの連絡窓口

### 業務関係

サンテックオプト株式会社

管理部 松田 篤史

〒542-0062 大阪府大阪市中央区上本町西5丁目3番5号

TEL:06-6764-5051 FAX:06-6764-5054

E-mail:atsu-matsuda@suntech-web.jp

### 技術関係

サンテックオプト株式会社 滋賀工場

産業資材部 開発技術G 新谷 直人

〒529-1413 滋賀県東近江市五個荘築瀬町10番

TEL:0748-48-8088 FAX:0748-48-8089

E-mail:nao-niiya@suntech-web.jp

### 所在地

#### ①事業管理機関

サンテックオプト株式会社 本社（最寄り駅：地下鉄 谷町線 谷町九丁目駅）

〒542-0062 大阪府大阪市中央区上本町西5丁目3番地5号

#### ②研究実施場所

サンテックオプト株式会社 滋賀工場（最寄り駅：JR 東海道本線 能登川駅）

〒529-1413 滋賀県東近江市五個荘築瀬町10番地

## 第2章 金型加工

### 2-1 金型加工材料の選定

#### 2-1-1 メッキ材料

ロール表面にメッキする素材3種を選び、比較評価した。これ等はすでに市場で流通しているため、メッキ材料として十分な実績があり、入手し易い、再メッキが出来る等の理由から選定した。

表2-1に評価結果を示す。加工安定性を比較すると、AよりBの方が、さらにCの方が良好と云える。しかし、Cは表面形状を粗面化させ難いことが分かった。これは、光学設計仕様上の自由度が狭いことを意味する。

次に外観欠点いわゆる品質面を比べる。BまたはCが良い。しかし、Cの場合、表面にクラックが発生し易い。

これらの点から、メッキとしては、Bを選定した。

表 2-1 メッキの比較評価結果。

メッキ材	加工安定性	外観欠点	コスト	コメント
A	×：バラツキ 大	× 汚れ、シミ等多発	低	比較的柔らかいため、粗面化しやすい。反面、再現性に懸念
B	○：バラツキ 小	○	中	粗面化が再現性良く加工できる。
C	◎：バラツキ 極小	○	高	硬いため、粗面化し難い。 クラックが発生し易い。

### 2-1-2 ブラスト材料の選定

評価項目としては、材質、形状、コスト、デリバリー等となる。表 2-2 に市場で一般的に流通している部材を示す。

ブラスト材料として、粒子の形が不均一な場合、金型表面にできる凹凸形状も同様にバラつくため、光学性や外観品位の面について懸念が高い。よって、比較的真球度の良い投射材 a と b を選定し、比較評価した。

表 2-2 一般的なブラスト用投射材の種類。

材質	名称	形状	真球度
セラミック系	アランダム	鋭体	×
	カーボランダム	鋭体	×
	ジルコンビーズ	球体	○
	ジルコンショット	球体	○
ガラス系	ガラスビーズ	球体	○
金属系	鉄粉	鋭体	×
	スチールショット	球体	×
	スチールグリット	鋭体	×
	スチールビーズ	球体	×
	ステンレスショット	球体	×
樹脂系	ナイロン	ペレット状	×
	ポリカーボネート	鋭体	×
	ポリプラス	鋭体	×
植物系	ウォルナッツ (クルミ殻)	鋭体	×
	アプリコット (杏の種)	鋭体	×
	ピーチ (桃の種)	鋭体	×



図 2-1. 一般的なブラスト材 (参考)。

初めに、ブラスト材 a と b を用いて、両者の光学的な差異を調べた。両者のヘイズ値を比べると、b の方が高い値を示した。ヘイズ値は表面の粗さと極めて密接に関係するため、異なるヘイズ値である事は金型表面の粗度に違いがある事を強く示唆している。このことは、衝突エネルギーが質量に比例することで容易に理解できる。各ビーズの比重はそれぞれおよそ 2.5 と 3.8 である。同じ速さで金型に衝突させた場合、b の方が大きいエネルギーを金型表面に与えていることになる。実際、表面粗さの数値も、整合的な大小関係であった。

次に各投射材を用いて、試作した成型試作品の表面を図 2-2 に示す。この時の加工条件は、試作品のヘイズの値が同等になるようにした。同じヘイズ値であっても、両者の表面を比べると顔つきが異なっていることがわかる。目視による外観を相対比較した結果、a の方の透過像がやや良好であったが、大きな差異ではなかった。

以上の結果とコストを比較し、ブラスト材には a を選定した。

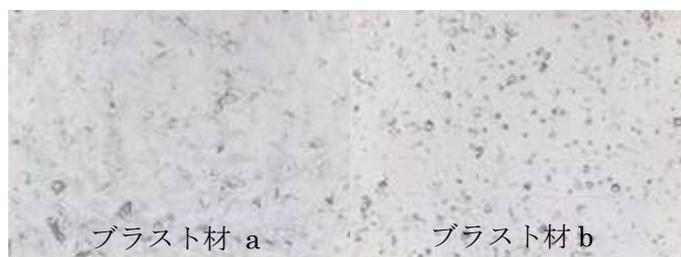


図 2-2. ブラスト材 a と b を用いた試作品の表面。

## 2-2 金型加工方法の開発

### 2-2-1 ブラスト条件

検討した結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 条件違いによるヘイズ値。

メッキ	ノズル径	エアーク圧 (Mpa)	ヘイズ(%)
A 社	8	0.25	2
	8	0.38	13
	8	0.60	16
	6	0.50	19
	6	0.65	23.0
B 社	8	0.50	16.7
	8	0.55	16.5
	8	0.55	16.4
	6	0.49	23.0
	6	0.67	34.5
	6	0.70	36.0

メッキメーカーによる違いはあるが、ノズル径 φ8 ではヘイズが 16 %程度しか実現しない事がわかった。一方 φ6 の場合、A 社：ヘイズ 36 %、B 社：ヘイズ 28 %となり、φ6 ノズルを使用すればヘイズ 23 %を出せる事がわかった。

ヘイズ 23%時のエアーク圧設定値

A 社：0.49 Mpa, B 社：0.65 Mpa

### 2-2-2 ブラストビーズ吐出圧力の安定化

試作品におけるヘイズ値の安定性を確立させるため、ブラスト粒子の吐出量に注目した。その結果、ビーズの吐出量の再現性に課題を見つけることが出来た。

改善対策として、ニードルバルブを追加設置し、吐出量を微量管理できるようにした。数値管理できるように流量計も備えた。

表 2-4 に設置後の効果を示す。ここで表記している表面粗さは、試作品におけるヘイズ値と密接な関係がある。つまり、この表面粗さの安定性が試作品のヘイズ値安定性の指標となるため、これのバラツキの度合いを調べた。設置前においては、表面粗さが 0.14 ~0.19 の範囲であったが、任意に調整・管理することは出来ていなかった。しかしながら、設置後、流量値を 5 [l / min.]の間隔で調整でき、その時の粗さは 0.03 で変動している事が分かった。これより、目的であったブラスト粒子の吐出量の調整が細かく出来るようになった。吐出圧力値と試作品のヘイズ値の関係を図 2-3 に示す。対策前後を比べる

と、 $R^2$ の値が大きくなっており、ばらつきが少なくなったと考えられる。

表 2-4 エアー流量と表面粗さの関係。

ブラスト条件：設定圧力 0.38MPa

エアー流量(l/min)	表面粗さ (Ra)
流量計未設置時	0.14~0.19
50	0.14
55	0.17
60	0.19

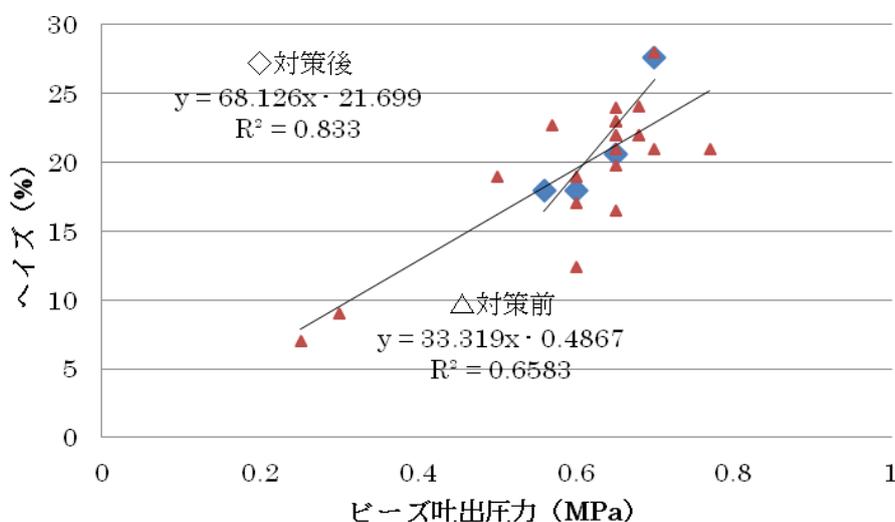


図 2-3. ビーズ吐出圧力と試作品ヘイズ値の関係。

## 2-3 金型欠点对策

### 2-3-1 外観欠点改善対策① — シミ対策 —

金型起因で生じる欠点の1つにシミがある。転写方式であるため、金型表面上にある僅かなシミでも、成型品に転写されてしまう。

このシミが金型工程中で発生している事は分かっていたため、同工程中の金型洗浄作業に注目した。この工程は、名の通りロール表面に付着した微少異物を洗浄除去するために、必須である。洗浄能力は高い反面、液洗浄であるが故、シミが生じやすい。

ここでの作業を簡略すると下記になる。また、概略図を図 2-4 に示す。

- ①高温度の洗浄液に金型を浸し、洗浄を行う
- ②洗浄を終えた金型を蒸気層にリフトし、ロール表面に残っている洗浄液をきる
- ③②のさいに、23℃～25℃の洗浄液をする
- ④最終乾燥させる。

始めに、最もシミが生じやすいであろうと思われる作業要因を③と予想し、まずこの方法を見直した。注目したのが、洗浄液の温度である。室温である洗浄液に対し、洗浄槽から浮上した金型のそれは倍以上ある。この温度差によりシミが発生していると予想した。洗浄液と金型の温度差を無くした。この対策により、シミの発生率を大きく軽減させる事が出来た。

次に、②、④、①とその他の作業方法を検討してみたが、改善は見られなかった。

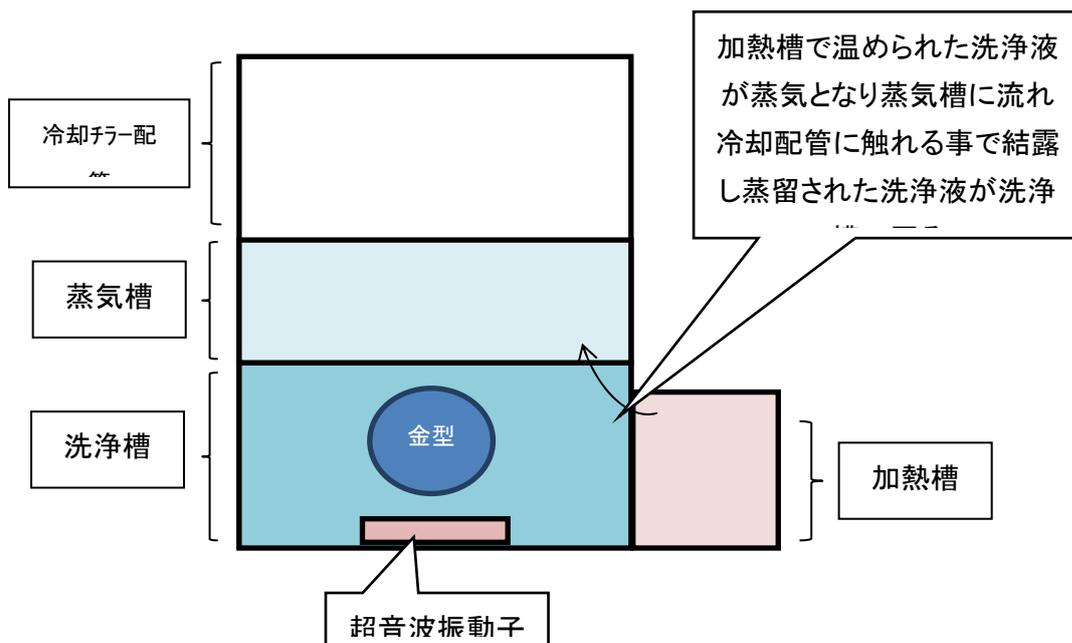


図 2-4. 洗浄機図。

### 2-3-2 外観欠点改善対策② — 白点对策 —

白点とは、正常部位に比べ白く光って見える輝点のことを呼ぶ。この白点の大きさが100 $\mu\text{m}$ 程度だと人間の目でも視認できる。それは、欠陥となる。現在市場が要求する外見欠点の基準は厳しいため、欠点サイズの基準値も小さい。

白点の原因を推定する。本技法はアクリル樹脂を硬化させることにより、金型表面の凹凸をフィルム上に転写させている。故に、金型表面の凹凸品位は、そのまま成型品の品質に直結する。例えば、金型表面に異常な凹みがある場合、成型品には、図 2-5 に示すような凸形状が転写される。白点として視認され、欠点となる。

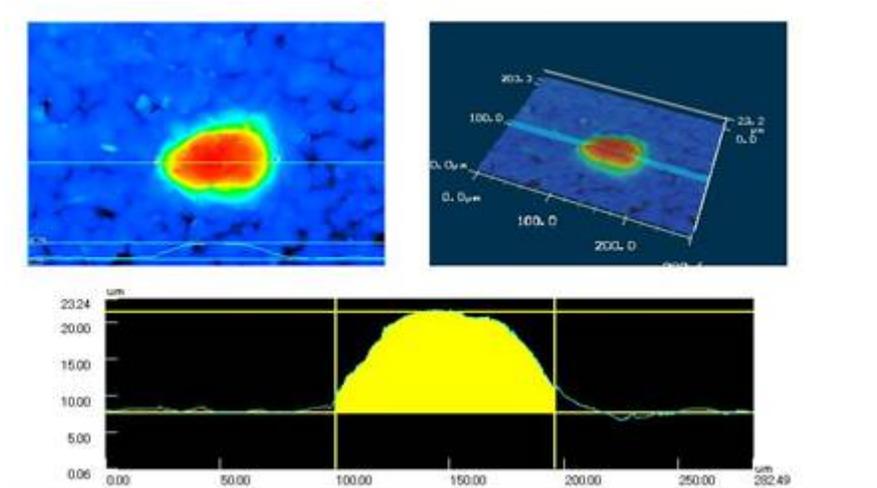


図 2-5. 白点の 3D 図 1000 倍。

白点 50 個をサンプリングし、それらを大きさ別に区分し、そのサイズと占有率とを調べた。結果を図 2-6 に示す。また同図に、テストに使用した際のブラスト粒子の粒径サイズとその占有率も示した。図より以下の点が分かる。

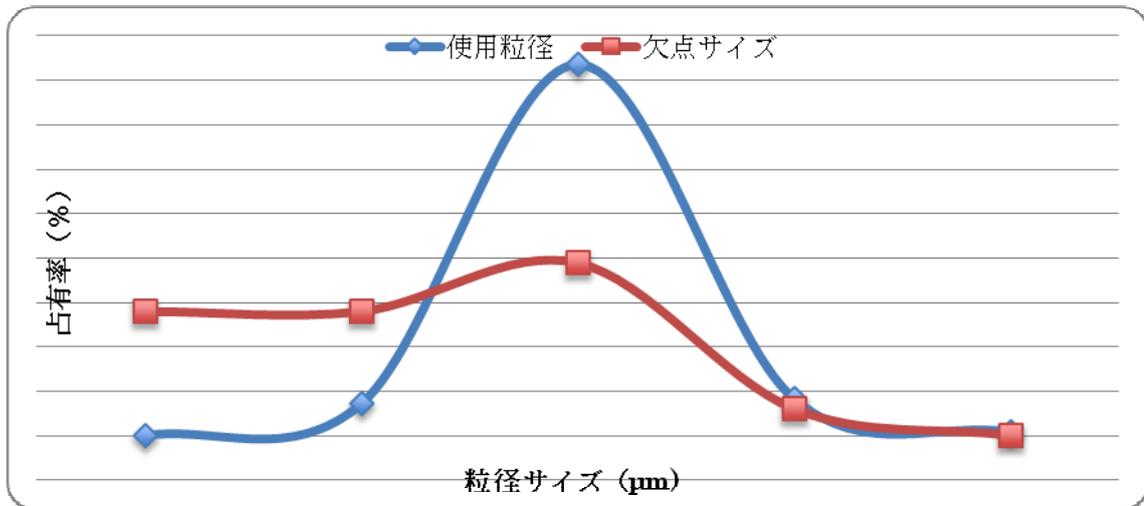
白点について

- 1) 45  $\mu\text{m}$  以上のサイズが大半である
- 2) サイズ 38  $\mu\text{m}$  未満の割合はかなり低い
- 3) 頻度が著しく高い特定のサイズは見られないが、45～63 $\mu\text{m}$  のそれは僅かに高い

ブラスト粒径について

- 4) 45 ～ 63  $\mu\text{m}$  が 80%以上である
- 5) 粒径分布は 45 ～ 63  $\mu\text{m}$  が中心

この 3)と 4)に注目し、これらの中に何かしらの相関があると推定し、検証を行った。



	75μm <	63μm <~75μm	45μm <~63μm	38μm <~45μm	38μm >
使用ビーズ平均サイズ	0.0%	7.2%	83.7%	8.3%	0.8%
サイズ別発生率	28.0%	28.0%	39.0%	6.0%	0.0%

図 2-6. 白点サイズ別発生率とブラスト粒子の粒度分布。

対策①：粒径均一化

ブラスト粒径の均一化を行った。図 2-7 のような開口 75 μm のメッシュ（東京スクリーン製）を用いて分球し、粒径 75 μm 以上の粒子を取り除いた。大きいブラスト粒子の重さは小さい粒子のそれに比べ重い。故に、より強い力学的エネルギーで金型表面に衝突するため、金型表面に大きな凹みを生じさせているのではないかと考えたからである。



図 2-7. 試験用ふるい 開口 75μm メッシュ。

図 2-8 に分球に使用したメッシュの拡大写真を示す。粒径 65~95  $\mu\text{m}$  の粒子を分球できていることが分かる。

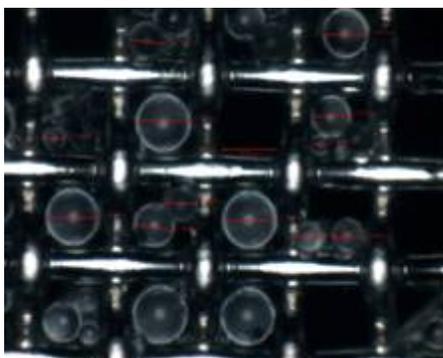


図 2-8. 分球したメッシュ部分の拡大写真。

分球したブラスト粒子を用いて、金型を加工し、白点の発生率を調べた。結果、分球前に比べ、20%程度軽減していることが確認できた。しかしながら、十分な改善までには至らなかった。

#### 対策②：ブラスト粒子の形状均一化

次に粒子の形に注目した。比較的真球度が良い粒子を選定したが、実粒子を観察すると、図 2-9 に示すように球とは異なる粒が確認できる。このような異形状、例えば細長いような粒子は、上述したメッシュを使用してもその網目を通過してしまう事は十分に考えられる。

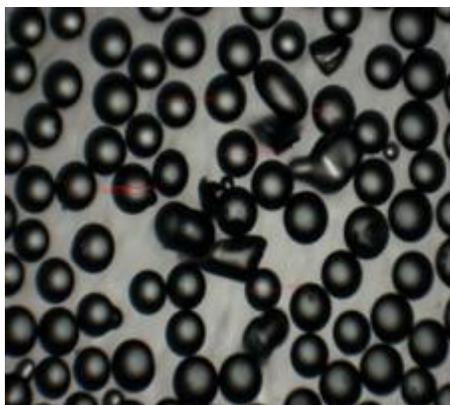


図 2-9. ブラスト粒子拡大図 600 倍。

このような粒子が金型表面に衝突した場合、その形状は異質な形になるはずである。それが白点として視認されてしまうのではないかと予想した。図 2-10 や 2-11 に示したような、異形状部分がこれに該当すると考えられる。

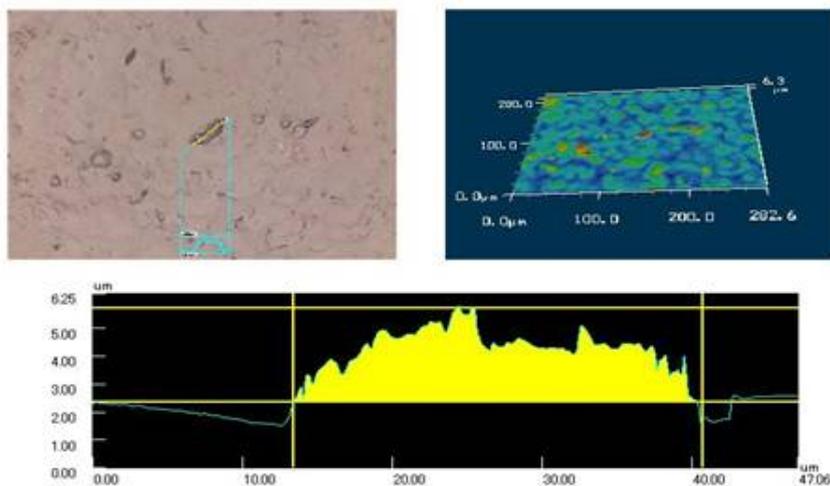


図 2-10. 白点(異形状) 1000 倍。

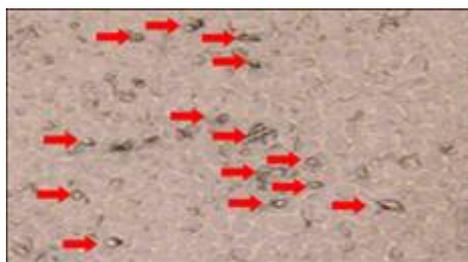


図 2-11. 微小異形状の群集部位 拡大図 1000 倍。

そこで、図 2-12 に示すような真球度がさらに優れたブラスト粒子を用いて、白点の発生率を調べた。



図 2-12. 高真球度のビーズ 600 倍。

図 2-13 に試作品の拡大写真を示す。異形状箇所はなく、白点は無かった。



図 2-13. 改良ビーズで成型した試作品表面拡大図 600 倍。

#### 対策③：ブラスト粒子の凝集

一般的に、粒子は凝集する。当然これは、本技法においても同様に云える。ここま  
でで記したように粒子の大きさや形状を均一化しても、凝集してしまうとそれは1つ  
の大きな異質な粒でしかない。例えば、図 2-11 や 14 に示したような不具合は、この  
ような凝集した粒子が原因ではないかと予想した。

群集化する原因として、静電気や湿気など環境要因が考えられる。そこでまず、粒  
子の湿度の管理方法を見直し、検証していくこととした。対策後、同不具合は発生し  
ていない。しかしながら、この欠陥モードの発生頻度は非常に低いため、対策が十分  
かどうか判断するには、引き続き検証が必要である。

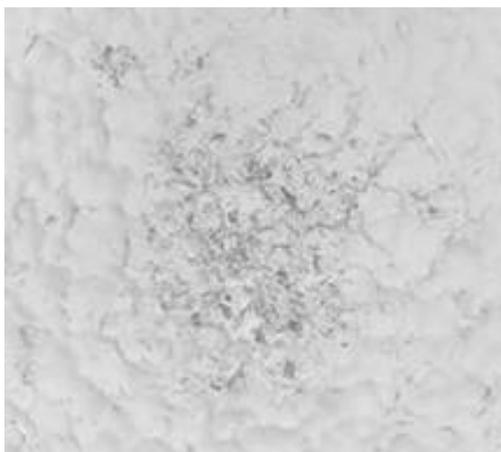


図 2-14. 白濁点拡大画像 1000 倍。

#### 対策④:ブラスト加工前の表面品位

金型加工前の表面品位は加工後の品位に寄与することが経験的に分かっている。本研究技法においても同様に考えられる。加工前の表面に、傷・凹み等があれば、ブラスト加工後の表面形状はその影響を受け、異質な形状となり、欠陥となる。逆にいうと、表面の平滑性を向上させる事が出来れば、品質の向上が強く期待できる。

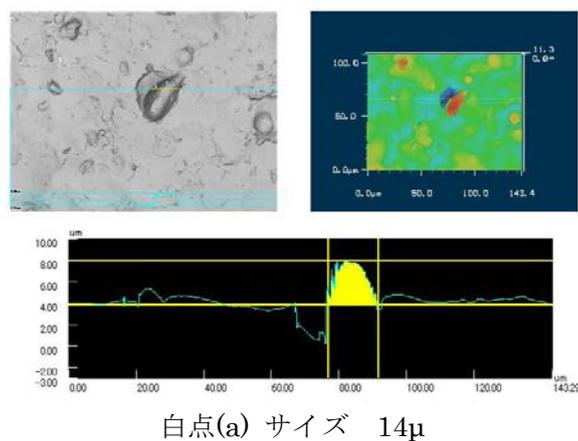
この事を調べるために、平滑性が極めて高い研磨方法と一般的な（非光学用途）研磨方法とで、欠陥個数の比較検証をした。

結果、前者で試作した場合の欠陥個数は、2個であった。ただ、その大きさは図 2-15 に示すように極めて微小で  $15\mu\text{m}$  程度ある。現在の市場で要求される外観欠点の大きさは、厳しい場合でも、その管理基準の要求サイズは  $50\mu\text{m}$  程度である。これに比べると約  $1/4\sim 1/5$  程度の大きさである。従って 現時点では大きな問題ではないと考える。

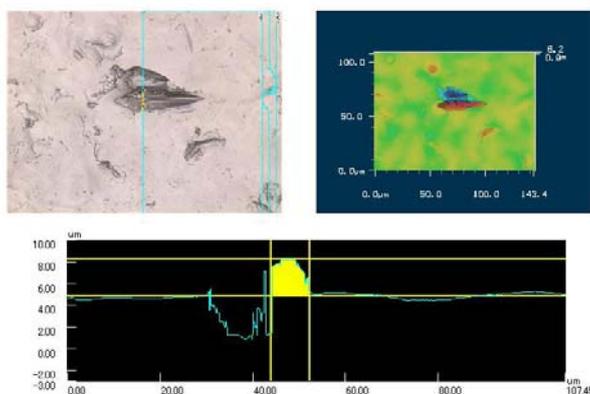
一方、後者の一般的な研磨の方では、20個以上も見つかった。

明確な差が得られ、金型表面品位が、品質向上には重要であることを確認できた。

そこで、平滑性を向上させるための検討を行った。



白点(a) サイズ  $14\mu$



白点(b)サイズ  $8\mu$

図 2-15 微小白点拡大図 1000 倍。

#### 検討④-①：研磨カス ～吸引ノズル変更～

研磨作業中に生じる削りカスの吸引方法を見直した。吸引不足な場合、カスは母体金型に衝突しながら吸引されていることも考えられる。その場合、母体表面には突発的に大きな凹み生まれ、平滑性は低下する。カスが安定して連続的に排出・吸引されるように、吸引ノズルの開口径を幾つかテストし、下記のような良い結果を得られた。

Test1 ノズル 径 10 : [白点サイズ:約 100 $\mu\text{m}$ 、個数 : 1 個]

Test2 ノズル 径 32 : [白点サイズ : 約 60 ~ 150 $\mu\text{m}$ 、個数 : 7 個]

発生個数の点では、test1の方が良好であった。この結果は、削りカスがスムーズに除去されたためと考えられる。

#### 対策④-②：研磨条件

研磨の条件による欠陥個数との関係を調べた。結果を表 2-5 に記す。金型の回転が遅くなるにつれて、白点の個数と大きさは、それぞれ良好になっていることがわかる。60%においては、極めて良好な結果を得る事ができた。この条件において、繰り返し検証を行った結果、品位の再現性も確認することが出来た。

これは、研磨条件がより適切化され、研磨加工の表面精度が向上したためと考えられる。例えば、④-①で述べた切子が母体金型に触れることなくスムーズに吸引され、また加工性が向上しバリなどの発生も軽減しているのではないかと考えられる。

表 2-5 加工条件と白点の発生数とその大きさ。

回転条件 (相対比 %)	白点個数	発生した 白点の大きさ ( $\mu\text{m}$ )
225	7	60~170
120	2	40~100
100	1	60
80	1	50
80	1	30
60	0	-

## 第3章 成型加工

### 3-1 成型加工材料の選定

材料は、基材となる TAC と UV アクリル樹脂の 2 種となる。

ベース基材の TAC は市場で流通しているが、これが供給可能なメーカーは限られているため、選定の余地は余りない。反面、市場で流通している数量には限りがあるため、入手するには不自由な面がある。しかしメーカーの協力も得られ、基材調達が出来、研究を進める事が出来た。評価は、UVアクリル樹脂との相性を中心として行った。また、品質や価格面、デリバリー等を考慮し、国内・外の TAC メーカーの基材を取り扱った。

アクリル樹脂の選定時の条件としては、下記である。

- 1：溶媒が全く無い無溶剤タイプであること
- 2：粒子を使用しないノンフィラータイプであること

表 3-1 に示すように利点と課題がある。

表 3-1 本技法の主な特徴と課題。

	メリット	課題
無溶剤	乾燥工程の必要なし：環境に優しい	密着性
ノンフィラー	フィラー起因の外観不具合が無い	鉛筆硬度、耐摩耗性等

本研究の技法ではアクリル樹脂の選定初期時にまず大きな障害となることが物性面と品質面にあった。前者の例としてあげられるのは、鉛筆硬度と耐摩耗性である。従来品においては、フィラーを使用しているため、これが鉛筆硬度や耐摩耗性の面で有利に寄与する。しかし、ノンフィラータイプでは、そのようなフィラー効果は得られないため、表面の硬度や傷付き性を同水準にするには、ハードルが高い。

後者の品質面は基材との密着性である。従来の溶剤タイプ樹脂の場合、溶剤が TAC 表面に化学的に作用することで密着し易い。しかし、我々は無溶剤タイプを使用する為、そのような表面作用は得られない。この面も大きな課題であった。また溶剤タイプは、市場で既に流通しているため、実績のある樹脂や種類も多いため、調達の面でも有利と云える。これに反し無溶剤タイプは今まで需要がなかったため実用実績例がなく、密着良好という基準だけを満たす樹脂の選定に時間を要した。

研究初年からの 2 年間で、基材密着に問題がなく、鉛筆硬度 2H を満たす樹脂の選定を終えることが出来た。最終年は、これに耐摩耗性能を追加付与した樹脂の選定が出来た。それは市場（ユーザー）が要求する性能を満たしている。

### 3-1-1 アクリル樹脂の選定

本研究の成型方法で使用するUV硬化型アクリル樹脂の選定には、まず基材 TAC との密着が良好という条件を初期目標とした。これを満足する樹脂に対し、鉛筆硬度の評価を行った。初期目標は 2H とし、次の段階として、より固い一般的にハードコートと呼ばれる 3H とし、最後に耐摩耗性向上とした。

#### 3-1-1-1 初期評価方法

##### ①基材 TAC との密着性

密着性は、1mm角の碁盤目（縦横 10 列、計 100 マス）を入れニチバン製セロハンテープを用いて剥離を行い、残っているマス目の数及びその残存状況を表 3-2 に示す 8 段階に区別した。

表 3-2 密着性評価ランク。

段階	状況	判定
8	100 マス残存。且つカット側面もキレイ	合
7	100 マス残存。カットした側面の一部にのみ、ごく僅かな剥離がある	合
6	テープ剥離後 95 マス以上残存。	不
5	テープ剥離後 81~94 マス残存	不
4	テープ剥離後 20~80 マス 残存	不
3	テープ剥離後、ほぼ全面剥がれる。	不
2	樹脂が容易に剥がれる。	不
1	基材に付着している程度で、樹脂と基材面に明らかな浮きが容易に視認できる。	不

##### ②鉛筆硬度

鉛筆硬度は、JIS K5400 に準拠し、鉛筆を塗工面に対し 45°、荷重 1 kg で押しつけ動かした後、塗工面に傷が入っているか否かを確認する。合否判定は、試験回数 5 回のうち、キズが視認できない回数が 5 のとき、合格とした。例を図 3-1 に示す。

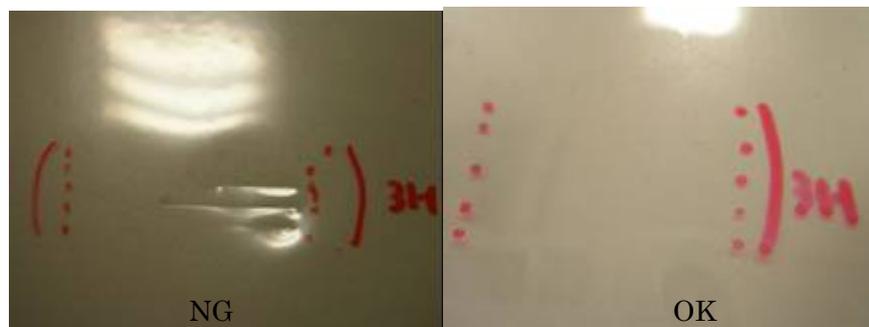


図 3-1. 鉛筆硬度試験結果の合否例。

### ③耐摩耗性

図 3-2 に示すようにサンプルと#0000 のスチールワールを配置し、10 往復させた。その後、サンプルを黒板上に貼り合わせ、表面のキズを目視にて評価し、その度合いを表 3-3 に示す 5 段階に区別した。

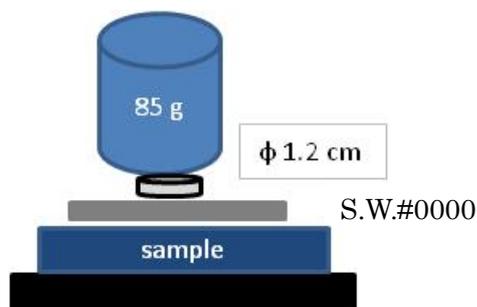


図 3-2. 耐摩耗性試験。

表 3-3 耐摩耗性ランク。

ランク	状態
良 5	傷が目視できない
4	数本の傷が僅かに目視できる
3	数本の傷が目視できる
2	多数の傷が目視できる
1	多数の傷が はっきりと目視できる

#### 3-1-1-2 評価樹脂

評価したアクリル樹脂の一覧を表 3-4 に示す。また表 3-5 は 耐摩耗性を考慮し検討した樹脂の一覧を示す。

#### 3-1-1-3 初期評価結果

初期評価 TAC との密着性と鉛筆硬度の初期評価結果を表 3-6、耐摩耗タイプのそれを表 3-7 にそれぞれ示す。

表 3-4. 評価サンプル 鉛筆硬度 2 H以上樹脂一覧。

No	メーカー	品番	コンセプト または備考
1	-	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
2	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
3	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
4	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
5	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
6	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
7	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
8	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
9	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
10	↓	6046	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
11	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
12	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
13	↓	-	鉛筆硬度 3H & 硬化速度抑制品
14	↓	-	低温密着性向上品
15	↓	-	低温密着性向上品
16	-	-	TAC との密着良好 2H 以上
17	↓	-	TAC との密着良好 2H 以上
18	↓	-	TAC との密着良好 2H 以上
19	↓	-	TAC との密着良好 2H 以上
20	↓	-	TAC との密着良好 2H 以上

21	↓	-	TAC との密着良好 2H 以上
22	-社	-	TAC との密着良好 2H 以上
23	↓	-	TAC 面より照射にて硬化 鉛筆硬度 3H(5 回試験中 2 個 OK)
24	↓	-	TAC 面より照射にて硬化 鉛筆硬度 3H(5 回試験中 4 個 OK)
25	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
26	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
27	↓	-	鉛筆硬度 3H
28	↓	-	鉛筆硬度 3H
29	↓	T-7	鉛筆硬度 3H
30	↓	-	鉛筆硬度 3H
31	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
32	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
33	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
34	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
35	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H
36	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 重合禁止剤入り
37	↓	T-3	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 低温密着性向上
38	↓	T-4	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 低温密着性向上
39	↓	T-5	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 低温密着性向上
40	↓	T-6	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 低温密着性向上
41	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 重合禁止剤入り
42	↓	T-1	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 低温密着性向上

43	↓	T-2	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 低温密着性向上
44	↓	T-3	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 刺激性低減&低温密着性向上
45	↓	T-4	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 刺激性低減&低温密着性向上
46	-社	-	ハードコートタイプ
47	-社	-	鉛筆硬度 4H 硬化開始剤は未混入
48	↓	-	鉛筆硬度 4H 硬化開始剤は未混入
49	↓	-	鉛筆硬度 3~4H 硬化開始剤は未混入

表 3-5. 評価サンプル 耐摩耗性対策品樹脂一覧。

No	メーカー	品番	コンセプト または備考
52	-社	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H & 耐 SW 品
53	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H & 耐 SW 品
54	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H & 耐 SW 品
55	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H & 耐 SW 品
56	-社	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 干涉ムラ低減
57	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 干涉ムラ低減 レベリング剤入り
58	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 密着改善
59	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H レベリング剤入り
60	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 粘度 100 以下 レベリング剤入り
61	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 粘度 100 以下 レベリング剤入り
62	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 粘度 100 以下 レベリング剤 4 倍入り
63	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H レベリング剤入り

64	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 粘度 100 以下 レベリング剤入り
65	↓	T-5	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 刺激性低減&耐 SW 品
66	↓	T-6	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 刺激性低減&耐 SW 品
67	↓	T-7	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 刺激性低減&耐 SW 品
68	↓	T-8	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 刺激性低減&耐 SW 品
69	↓	T-9	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 刺激性低減&耐 SW 品
70	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 刺激性低減&耐 SW 品
71	↓	-	TAC との密着良好 鉛筆硬度 3H 刺激性低減&耐 SW 品
72	-社	-	耐摩耗性
73	↓	-	耐摩耗性

表 3-6 初期評価結果。

No	メーカー	樹脂		密着性		鉛筆 硬度	課題 及び 備考
		品番	タイプ	ランク	判定		
1	-社	-	3H	7	○	2H	蛍光灯下 10 分で硬化。光安定性向上
2	↓	-	3H	7	○	3H	蛍光灯下 10 分で硬化。光安定性向上
3	↓	-	3H	8	○	2H	蛍光灯下 100H でも硬化せず。改善確認。 3H を目標とし、改良を行う。
4	↓	-	3H	3	×	3H	密着改善。蛍光灯下 24H で硬化。
5	↓	-	3H	8	○	2H	蛍光灯下 24H で硬化。
6	↓	-	3H	8	○	2H	蛍光灯下 4H で硬化。光安定性向上

7	↓	-	3H	3	×	2H	密着改善。 ラインスピード目標の 60%で密着 OK 蛍光灯下 3H で硬化。
8	↓	-	3H	3	×	2H	密着改善。 ラインスピード目標の 60%で密着 OK 蛍光灯下 24H で硬化。
9	↓	-	3H	3	×	2H	密着改善。 ラインスピード目標の 60%で密着 OK 蛍光灯下 8H で硬化。
10	↓	6046	3H	8	○	3H	蛍光灯下 8H で硬化。 実機によるテストへと移行し、課題の抽出を検討する。
11	↓	-	3H	8	○	2H	蛍光灯下 100H でも硬化せず。改善確認。 ただし、鉛筆硬度が 2H に低下
12	↓	-	3H	8	○	2H	蛍光灯下 100H でも硬化せず。改善確認。 ただし、鉛筆硬度が 2H に低下
13	↓	-	3H, 硬化速度抑制品	8	○	3H	外観欠点に対する硬化速度抑制の効果見られず。
14	↓	-	低温密着性向上品	8	○	3H	低温時での密着性の向上確認
15	↓	-	低温密着性向上品	8	○	3H	低温時での密着性向上見られず
16	-社	-	2H 以上	硬化せず	×	H	密着改善。
17	↓	-	2H 以上	1	×	H	密着改善。
18	↓	-	2H 以上	1	×	H	密着改善。
19	↓	-	2H 以上	硬化せず	×	H	密着改善。
20	↓	-	2H 以上	1	×	H	密着改善。
21	↓	-	2H 以上	1	×	H	密着改善。
22	-社	76T	2H 以上	8	○	2H	良好

23	↓	-	2H 以上	8	○	2H	鉛筆硬度 3H(5 回試験中 2 回は OK) 蛍光灯下 24H で硬化。
24	↓	-	3H	8	○	2H	3H を目指す
25	↓	-	3H	8	○	2H	3H を目指す
26	↓	-	3H	8	○	2H	3H を目指す
27	↓	-	3H	2	×	3H	密着改善。ラインスピード目標の 60%で密着 OK
28	↓	-	3H	8	○	3H	韓国 H 社 TAC との密着 NG
29	↓	-	3H	8	○	3H	韓国 H 社 TAC との密着 NG
30	↓	-	3H	6	×	2H	密着改善。
31	↓	-	3H	2	×	3H	密着改善。
32	↓	-	3H	2	×	3H	密着改善。
33	↓	-	3H	2	×	3H	密着改善。
34	↓	-	3H	8	○	3H	韓国 H 社及び台湾 U 社品との密着 NG。改善検討
35	↓	-	3H	8	○	2H	3H を目指す
36	↓	-	3H 重合禁止剤入	8	○	2H	外観欠点に対する効果得られず。
37	↓	-	3H 低温密着性向上	8	○	2H	低温での密着改善得られず
38	↓	-	3H 低温密着性向上	8	○	2H	低温での密着改善得られず
39	↓	-	3H 低温密着性向上	8	○	2H	低温での密着確認。 蛍光灯下 24H で硬化。
40	↓	-	3H 低温密着性向上	8	○	2H	低温での密着確認。蛍光灯下 24H で硬化

41	↓	76T-6R	3H 重合禁止剤入	8	○	2H	外観欠点に対する効果得られず。
42	↓	T-1	3H 低温密着性向上	8	○	2H	T-3 に比べるとやや劣る
43	↓	T-2	3H 低温密着性向上	8	○	2H	T-3 に比べるとやや劣る
44	↓	T-3	3H 刺激性低減& 低温密着性向上	8	○	3H	刺激性の低減及び低温での密着性向上を確認。
45	↓	T-4	3H 刺激性低減& 低温密着性向上	8	○	3H	刺激性の低減及び低温での密着性向上を確認。ただし、T-3 に比べるとやや劣る。
46	-社	-	3H	2	×	2H	密着改善。
47	-社	-	4H 硬化開始剤は 未混入	硬化せず	×	-	イルガキュア 189 4%入れて評価。硬化開始剤の適切化が 必要。
48	↓	-	4H 硬化開始剤は 未混入	1	×	-	イルガキュア 819 3%入れて評価。硬化開始剤の適切化が 必要か。
49	↓	-	3~4H 硬化開始剤 は未混入	1	×	-	イルガキュア 819 3%入れて評価。硬化開始剤の適切化が 必要か。

表 3-7 耐摩耗タイプの初期評価結果。

No	メーカー	樹脂		密着性		鉛筆 硬 度	S.W.	課題 及び 備考
		品番	コンセプト	ランク	判定			
52	-社	-	3H & 耐 SW 品	2	×	3H	4	密着改善。
53	↓	-	3H & 耐 SW 品	2	×	2H	4	密着改善。
54	↓	-	3H & 耐 SW 品	4	×	3H	4	密着改善。
55	↓	-	3H & 耐 SW 品	4	×	2H	4	密着改善。
56	-社	-	3H 干渉ムラ低減	8	○	3H	5	コスト合わず。干渉ムラ低減確認
57	↓	-	3H 干渉ムラ低減 レベリング剤	8	○	3H	5	コスト合わず。干渉ムラ低減確認
58	↓	-	3H 密着改善	8	○	2H	5	コスト合わず。
59	↓	-	3H レベリング剤	8	○	2H	3	耐摩耗向上の可能性を検討
60	↓	-	3H レベリング剤	8	○	2H	4	-
61	↓	-	3H レベリング剤	8	○	2H	4	-
62	↓	-	3H レベリング 4 倍	8	○	2H	4	-
63	↓	-	3H レベリング剤	8	○	3H	4	-
64	↓	-	3H レベリング剤	8	○	3H	5	コスト低くできず、断念。
65	↓	T-5	3H & 耐 SW 品	8	○	2H	2	耐摩耗性 課題
66	↓	T-6	3H & 耐 SW 品	8	○	2H	2	耐摩耗性 課題
67	↓	T-7	3H & 耐 SW 品	8	○	2H	2	耐摩耗性 課題
68	↓	T-8	3H & 耐 SW 品	3	×	2H	3	耐摩耗性向上。密着性が悪い
69	↓	T-9	3H & 耐 SW 品	3	×	2H	4	耐摩耗性向上。密着性が悪い

70	↓	-	3H & 耐 SW 品	8	○	3H	4	鉛筆硬度、耐摩耗性、共に良好
71	↓	-	3H & 耐 SW 品	8	○	3H	3	
72	-社	-	耐摩耗性	硬化せ ず	×	-	-	樹脂面からの UV 照射では硬化。密着 8 鉛筆硬度 3H、耐摩耗 4
73	↓	-	耐摩耗性良	硬化せ ず	×	-	-	樹脂面からの UV 照射では硬化。密着 8 鉛筆硬度 3H、耐摩耗 4

### 3-1-2 実機による評価

#### ○外観不具合

初期評価で良好な結果を得たアクリル樹脂に対し、実機による試作評価を行い、課題を抽出した。

その結果、基材 TAC の厚み違いにより、外観欠点の発生頻度が異なる事が分かった。この頻度は厚みが薄いほど高い。基材厚が薄くなるにつれて、剛性が弱くなることと関係していると思われる。欠点の例を、図 3-3 に示す。

原因を探るため、アクリル樹脂が硬化する際に生じる反応熱に注目し、因果関係を調べた。反応熱により、樹脂が金型に付着しやすいのではないかと考えたからである。

これの対策樹脂が表 3-4 示す No 13 である。この樹脂を用いて欠点の発生を調べたが、残念ながら改善することは出来なかった。

次に、アクリル樹脂の反応性に注目し、重合禁止剤を添加して、欠点個数が改善するか否かを調べた。表 3-4 示す No 36 及び No 41 が、この改善樹脂に相当するが、残念ながら両樹脂共に良い結果を得ることは出来なかった。

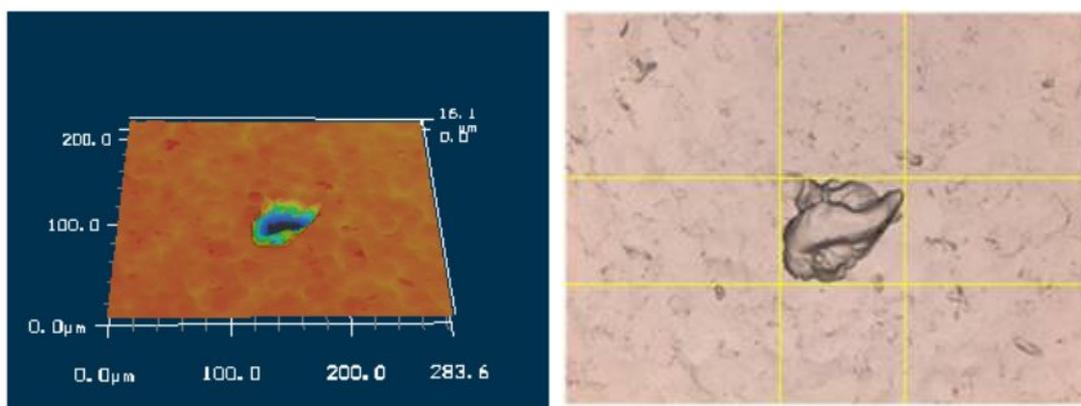


図 3-3. 外観欠点の例。

しかしながら、成型条件の1つである金型温度の違いにより欠点の発生頻度が異なることに気がついた。この結果の一部を図 3-4 に示す。金型設定温度が高い場合、欠点個数が多いことが分かる。

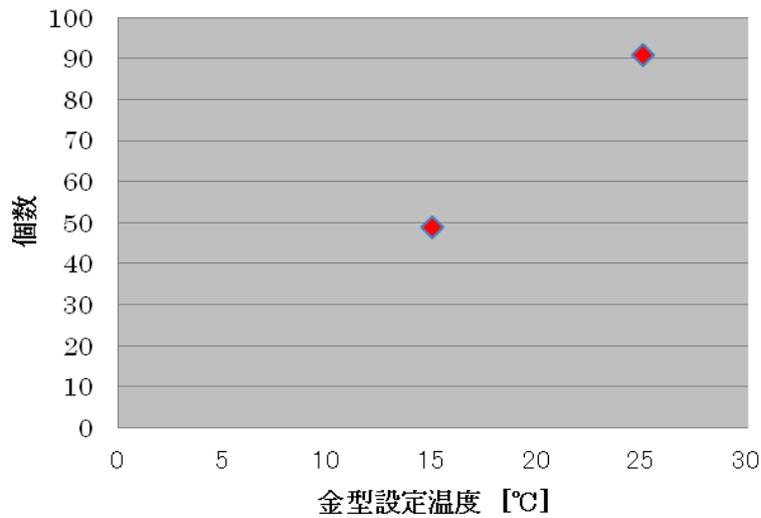


図 3-4. 金型設定温度と欠点個数。

ただし、金型の設定温度を低くすると、別の問題が生じた。図 3-5 に示すように、設定温度を低くすると、基材との密着性が悪化していくことが分かった。これは液状態の樹脂が硬化する時に、低温より高温時の反応性の方が良い事に起因していると思われる、その結果基材との密着性も優れているのではないかと考えられる。

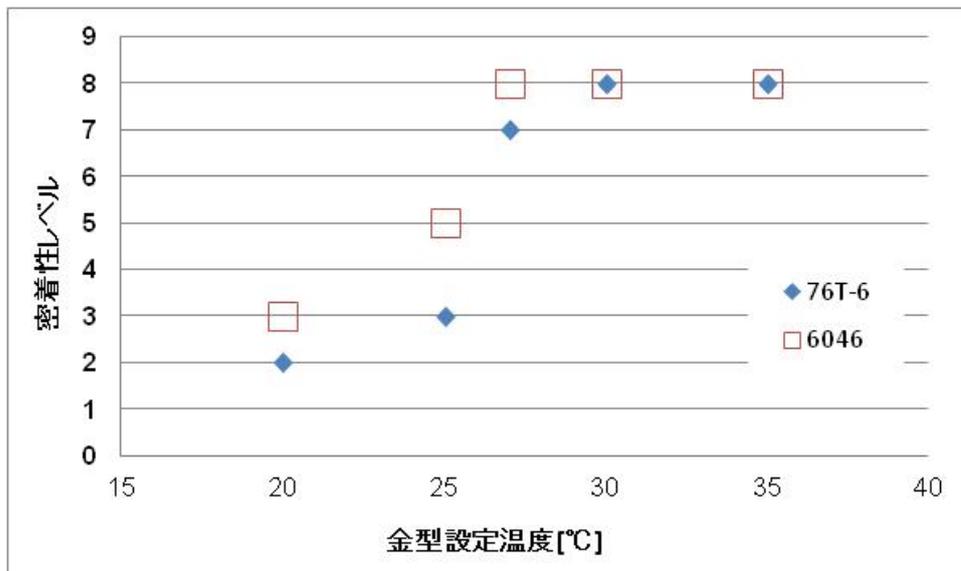


図 3-5. 金型設定温度と基材密着性。

これらの結果から、欠点の発生頻度を改善させるため、樹脂改良の方向性を「低温

下での密着性向上」とした。この改良品が 表 3-4 示す No 14、15、37 - 45 である。これらを評価した結果、金型設定温度をより低温にしても、密着性は良好であった。欠点の発生頻度も軽減する事が出来た。

金型温度を高温にすると、欠点の発生頻度が高くなるという因果関係について明確には分からないが、硬化したアクリル樹脂の微小な一部が金型表面に残存しやすいと推定している。樹脂の離型性または樹脂と金型の密着性が、硬化時の表面自由エネルギーに関係していると予想する。

#### ○耐摩耗性アクリル樹脂

次に、摩耗性を重視したアクリル樹脂の選定を行うと共に実機による評価検討を行った。研究を進めると共に、アクリル樹脂の摩耗性を向上させると基材との密着性が悪くなる傾向になる事が分かった。例を図 3-6 に示す。ここで、縦軸は耐摩耗性を、横軸は樹脂と基材との密着性をそれぞれ示しており、各数字は大きいほどその性能が優れている事を意味する（表 3-2、3-3 参照）。

摩耗性の向上と共に、密着性が低下している。これは、摩耗性を向上させるためにアクリル樹脂に添加した成分が、基材との密着を低下させているためと考える。

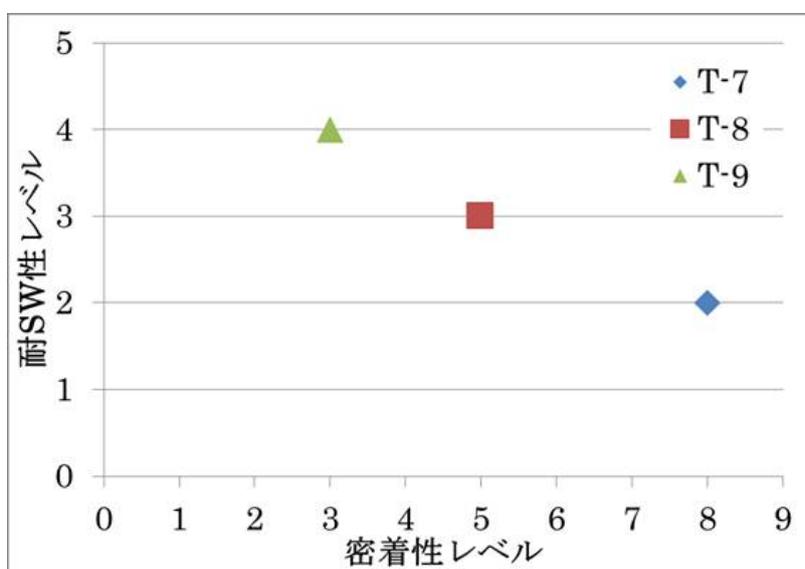


図 3-6. 基材密着性と耐摩耗(SW)性。

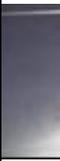
耐摩耗性を向上させる手法としては、フィラーを樹脂に添加する方法もある。しかしながら、3-1 章で述べたようにこの手法は利用しない。

この問題を成型時の硬化条件検討した。結果を表 3-8 に示す。ここで ND とは減光フィルターのことである。

耐摩耗性が向上し、且つ密着性も良好な条件を見出す事が出来た。

この条件の最適化と共に、現在ではさらに耐摩耗性に優れた樹脂を選定することができた。表 3-5 で示す No 70 の T-16 がこれに該当する。

表 3-8 UV 条件違いによる耐摩耗性と密着性向上事例。

Lamp1 の UV 出力	Lamp2 の UV 出力	密着性	耐摩耗性	
50% ND 有	- (照射しない)	×	1	
	50% ND 有	×	1	
	50%	△	1	
	75%	○	2	
	100%	○	3	

### 3-1-3 TAC フィルムの選定

TAC が供給可能な国内メーカーは 2 社ある。しかし、市場で流通している数量には限りがあるため、入手するには不自由な面がある。しかしメーカーの協力も得られ、基材の調達が出来た。量産時におけるデリバリー及び価格面を考慮し、韓国、台湾メーカー品も候補とし、こちらも入手し検討した。現在、各メーカー品の TAC に対して、それらの品質やアクリル樹脂との相性等を引き続き評価中である。量産時には、TAC について顧客指定が生じる可能性もあるため、特定のメーカーに限定せずに、各メーカー品を取り扱う。

研究を進めると共に、各社品において図 3-7 に示すようなシワなど外観品位に差があることがわかった。中には、ユーザーによっては指摘される水準品もあった。



図 3-7. TAC のシワ。

今後も、品質・価格・デリバリーを中心に引き続き検証して行き、十分なロット数を通年通して検証し、各メーカー品の各特徴を把握していく。

### 3-2 成型加工方法の開発

ここでは、2 章及び 3-1 章で述べた金型やアクリル樹脂及び TAC を用いて、試作品を成型する。この工程における方法や機器設備の各条件を見出すと共に、改善・改良を行った事について述べる。

基材 TAC とアクリル樹脂を密着させる為には UV 光を照射しなければならない。このときの UV ランプの出力値、金型温度、ラインスピード等の各適切な条件を見出す。ここでの試作品は、市場が要求する品質基準を満たさなければならない。

TAC は、その取り扱いがとても難しい。現状、各ユーザーが独自の方法で、使いこなしている部材と云える。本コーティング方法においても、TAC を使いこなせるような技術を研究し、特有の手法を確立していかなければならない。

この章では、この TAC 自体のシワ、凹み等の改善方法について述べる。次に突発的に発生する外観欠点の軽減について、次に製品厚みのバラツキについて、最後に基材とアクリル樹脂の密着性改良の方法について、行った成果を順に述べる。

#### 3-2-1 TAC 基材の不具合改善

○アニールロール

TAC のシワや凹み等の改善を検討した。TAC はロール状態で納入される。このロール状の基材は、図 3-7 のシワとは別に、図 3-8 のようなうろこ状の凹みが生じてしまう。その度合いは、時間の経過と共に悪化していく。このうろこ状の基材を用いて成型した場合の試作品は、同様な外観が視認されてしまい、外観品質上問題となる。



図 3-8. TAC のうろこ状の形状異常。

このような不具合は、例えば厚み 80 $\mu\text{m}$  の場合 1 ロール約 600kg にもなる、ロールの自重が 1 つの原因であるが、TAC が吸湿しやすいことも影響している。そこでアイロン効果、加熱・加圧することで改善できるか否か、検証した。

i : 単一アニール

始めに図 3-9 に示したようなアニールロールを検討した。基材厚み 80 と 40 $\mu\text{m}$  品において調べた結果を表 3-9 に示す。十分ではないが、改善できることが分かった。不十分な理由として、熱が基材の片面にしか伝わらないため、アイロン効果が不足しているのではないかと考えた。この点を検討した。

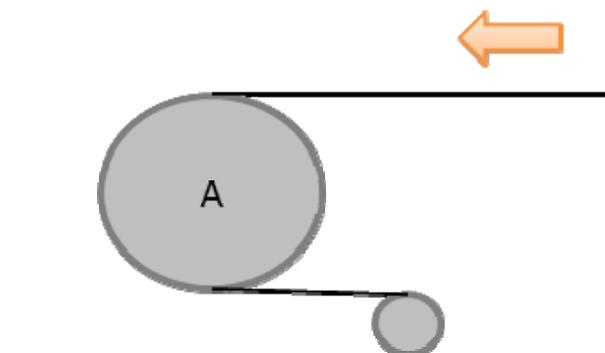


図 3-9. 単一アニールロール参照図。

表 3-9 単一アニール条件別結果。

条件 No	基材厚み 40 $\mu$ m			基材厚み 80 $\mu$ m		
	凹み	シワ	結論	凹み	シワ	結論
1	×	○	×	/		
2	×	○	×			
3	×		×			
		△				
4	×	×	×	×		×
					△	
5	/			×	×	×

ii : 複合アニール

次に、図 3-10 に示したような複合アニールを検討した。基材の両面に熱ロールが接するため、基材両面へのアイロン効果が期待できる。結果を表 3-10 に記す。残念ながら、単一アニール時からの大きな改善には至らなかった。

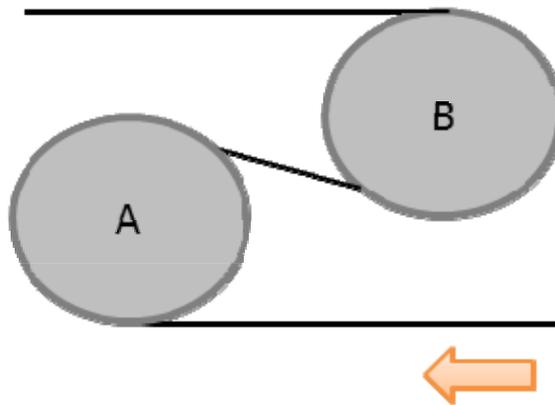


図 3-10. 複合アニール参照図。

表 3-10 複合アニール条件別結果。

条件 No (ロール B)	基材厚み 40 $\mu$ m (ロール A 条件 No 2)			基材厚み 80 $\mu$ m (ロール A 条件 No 3)		
	凹み	シワ	結論	凹み	シワ	結論

6	×	○	×			
7	×	○	×	×	○	×
8	×		×	×	○	×
△						
9	-	×	×	×		×
△						
10				-	×	×

iii : 複合アニールその2

次に図 3-11 に示すように、タッチロールを追加した。この増設により、アニールロールと基材とが接する時間は長くなるため、より熱が TAC に加わると共に、基材にはテンションが掛かり、その力による引張効果により改善するのではないかと考えた。結果を表 3-11 に示す。

基材のうろこ状の凹みやシワについては最も良い結果を得る条件が見つかった。しかしまだ、改善の必要がある。

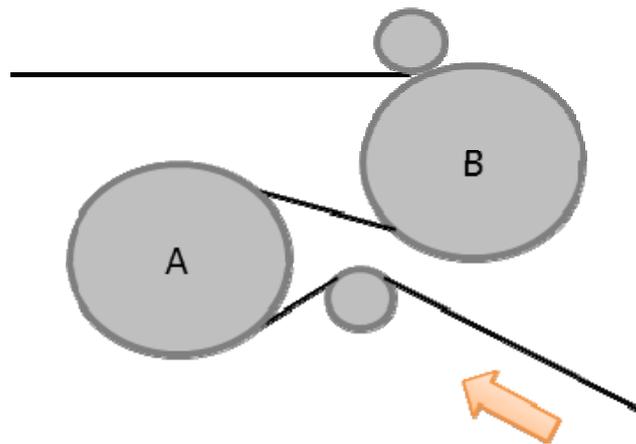


図 3-11. タッチロール追加参照図。

表 3-11 タッチロール追加時の条件違い検証結果。

条件 No (ロール B)	基材厚み 40 $\mu$ m (ロール A 条件 No 3)			基材厚み 80 $\mu$ m (ロール A 条件 No 4)		
	凹み	シワ	結論	凹み	シワ	結論
	9	×	○	×		
10	×	○	×			
11	○			×	○	×
		△	△			
12	-	×	×	○		
					△	△
13				-	×	×

iv : アニール室

図 3-11 の場合、アニールロールから離れた基材の熱は、室温度 (約 23℃) よりも高いので、周囲の空気により除熱されている。その後再度アニールロールに接し、加熱されるが、基材の温度上昇は鈍るはずである。

そこで、両アニールロールの周囲を図 3-12 に示すように擬密室化した。これにより、BOX 内の温度は外温度より高くなる。結果を表 3-12 に示す。十分と云える改善効果が得られた。BOX 内の温度を調べると、外より高温になっている。基材が空冷され難くなり、アニールロールからの熱量ロスが減り、より高温に基材を加熱することが可能となったためと考えられる。

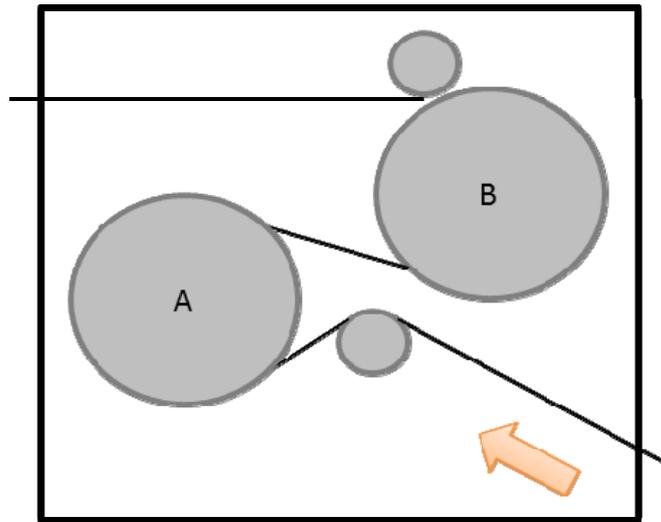


図 3-12. アニールユニットの BOX 化参照図。

表 3-12 アニールユニットの BOX 化による検証結果。  
(BOX 外温度は 23°C)

条件 No (ロール B)	BOX 室内温度 (°C)	基材厚み 40µm (ロール A 条件 No 3)			基材厚み 80µm (ロール A 条件 No 5.5)		
		凹み	シワ	結論	凹み	シワ	結論
10	37	○	○	○			
11	37	○	○	○			
12	38	○			○	○	○
			△	△			
13	40	-	×	×	○		
						△	△
14	41				-	×	×

### 3-2-2 外観欠点改善対策

ここでは、例えば図 3-13 に示すような外観品位上で問題となる欠点の対策についての成果を述べる。



図 3-13. 外観欠点。

○UV 照射方法

照射条件は、アクリル樹脂の硬化や基材との密着性にも関わる極めて重要な要素である。研究当初は、アクリル樹脂の硬化と基材密着性を中心として検討していたが、研究を進めると共に、この条件と外観不具合発生頻度との間に関係があることが分かった。表 3-13 に記す。ここで、ND は減光フィルターのことである。

不具合発生率に対しては、UV ランプの出力は低い方が良いことがわかる。密着性は逆傾向にある。この課題を改善するため、UV ランプの条件設定を見直した。

表 3-13. UV ランプの出力と外観不具合について。

UV 出力	ND	密着	不具合発生
50%	有	×	○ (無)
100%	有	×	△ (小)
50%	無	△	△
75%	無	○	×
100%	無	○	× (多)

検討した結果の一部を表 3-14 に示す。ここで lamp 1 と 2 は、UV ランプの番号である。条件としては、lamp 1 は表 3-13 で示した不具合が無かった条件の値で固定し、

lamp2 の条件を探った。このときの課題は密着性である。これが改善すれば良い。

lamp 2 の条件を 75%以上とし UV 照射すれば、密着が良くなることが分かった。

基材密着性と不具合回数についての課題を解決できた。また、一度に多量のエネルギーを照射した場合、不具合は生じ易いことが分かった。

表 3-14 硬化条件と外観不具合及び基材密着性。

lamp 1 の UV 照射			lamp 2 の UV 照射		
UV 出力	密着性	外観 不具合	UV 出力	密着性	外観 不具合
50% ND 有	×	○	50% ND 有	×	○
			100% ND 有	×	○
			50%	△	○
			75%	○	○
			100%	○	○

### 3-2-3 試作成型品の厚み精度向上

厚みの公差目標を、 $\pm 2 \mu\text{m}$  とした。研究初年度の実力は  $\pm 7 \mu\text{m}$  程度あったが、次年度では  $\pm 4 \mu\text{m}$  に、最終年度では  $\pm 2 \mu\text{m}$  になり目標を達成する事ができた。

ロールの硬度や材質等に注目し、向上を実現させた。材質の選定は、メンテナンス・作業性や品質面等の生産性も考慮して行った。結果を表 3-15 に示す。厚み公差には、ロール表面材質の硬さが重要な要素であるとともに、その材質の層厚も関係している。一方、公差は良好だが、そのメンテナンス性に課題がある材質もあり、バランスの良いロールを選定するのに時間を要した。

現時点では、F 社の S、硬さ  $80^\circ$  の厚み  $5\mu\text{m}$  を用いることで、公差目標である  $\pm 2\mu\text{m}$  を実現できており、生産性も比較的良いロールと考えている。

今後はハンドリング性やコストの面も強く意識し、検討を継続する。

表 3-15 ロール表面の選択と製品厚み公差。

メーカー	材質	硬さ A [°]	ロール材層の 厚み [mm]	厚み公差 [ $\mu\text{m}$ ]	生産性
A	S	80	5	$\pm 2$	○

	U	99	10	±3	
					△
		90	10	±2	
					△
		80	10	±2	
					△
B	S	90	5	±4	○
		80	5	±2	○
C	N	90	10	±2	
					△
	S	90	10	±5	○
		85	10	±4	○
		80	10	±4	○
		80	5	±2	◎

#### 第4章 量産性評価 - 外観品質基準-

研究成果物の量産化に向けて、確認しなければならない事の1つは、市場が要求している品質である。この基準を満足するように成果品を仕上げて行かなければ、量産化は出来ない。市場要求水準を表4-1に記す。非常に高い要求基準ではあるが、これを目標とする。

表 4-1 市場要求の外観品質基準

用途	要求欠点	市場流通品
中・小型用	100 $\mu$ m 以上 0.1 個/m <sup>2</sup> 以下	100 $\mu$ m 以上 0.02~0.03 個/m <sup>2</sup> 以下

ここまでの章で述べたそれぞれの改善対策を施して成型した試作成果品を協力企業

様にて評価して頂いた。計4回の試作品を提出・評価して頂いた。それらの結果を表4-2及び図4-1に示す。

1回目の試作品の欠点数は0.6個/m<sup>2</sup>であった。これは基準から大きく外れている。その後の研究成果が良い結果として現れ、4回目の試作品においては、品質基準を満たす結果が得られた。それは、市場で流通している製品と同等以上である。

この品質水準を維持するために、今後量試テストを繰り返し、再現性・量産性・安定性を検証し、課題の抽出を行っていく。また、試作品の長期信頼性試験も随時実施していく。

研究成果品の市場投入を強く視野に入れ、納入仕様書案の作成を行うと共に、それを市場ユーザーに提出し、助言を頂く予定である。今後ユーザーからの指摘・要望等を頂き、成果品へ反映させていく。

表 4-2 協力会社 外観評価結果まとめ

No	評価数量 1330mm 幅	欠陥種・欠陥数 (個/m <sup>2</sup> )					欠陥合計 (個/m <sup>2</sup> ) 要求レベル 0.02 (個/m <sup>2</sup> )
		異物	ブロッケン ゲ (凹み)	周期キ ズ	AG抜 け	MDス ジ	
1	87m 【116m <sup>2</sup> 】	0.009	0.590	0	0	全面発生 OKレベル	0.600
2	100m 【133m <sup>2</sup> 】	0	0.173	周期1 個	0.008	全面発生 OKレベル	0.180
3	240m 【319m <sup>2</sup> 】	0	0.016	0.053	0	全面発生 OKレベル	0.069
4	272m 【362m <sup>2</sup> 】	0.003	0.006	0	0	全面発生 OKレベル	0.009

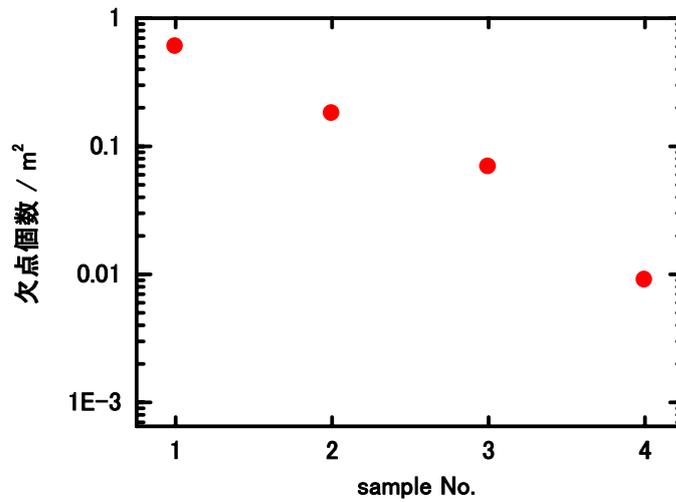


図 4-1. 試作品の外観欠点。

各試作品の詳細な評価結果を下記に記す。

協力会社の外観評価結果

●第1回目評価結果：

評価数量 1330 mm × 87 m (116 m<sup>2</sup>)

異物・ブロッキング(凹み)欠陥・MDスジが確認された。

凹み欠陥は全面に発生し、自動検査機でも検出できない微細な凹みも多発している。

MDスジは偏光板との貼り合せ評価が必要だが、OKレベルと判断された。

自動検査機検出結果 0.06 個/m<sup>2</sup> (要求レベル 0.02 個/m<sup>2</sup>以下)

異物欠陥：

静電気によって付着した異物が  
そのまま巻き取られたと考えられる。  
巻き取り部に除電器を設置する。

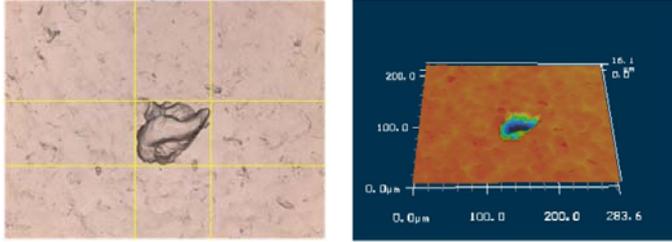


凹み欠陥：

Φ4mm 前後の円形状。  
欠陥の中央に核の有るものと無いものの  
2種類が存在する。



ブロッキング(凹み) (核有り)  
核の部分が凹んでいる



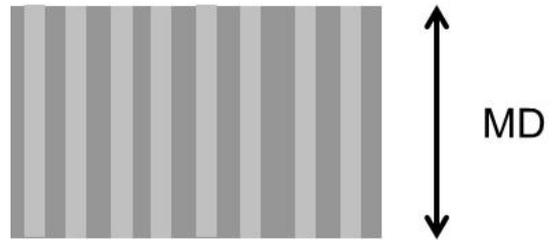
サイズ : 67 × 57 μm

ブロッキング(凹み) (核無し)  
AGパターンに問題はない



MDスジ

MD 方向に帯状に入ったスジ  
TAC原反から入っているものと  
加工中のUV照射熱で発生するものがある。



TAC原反MDスジ



●第2回目評価結果：

評価数量 1330 mm × 100 m (133 m<sup>2</sup>)

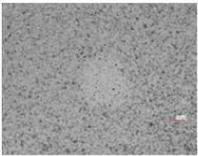
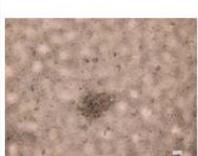
AG 抜け・ブロッキング(凹み)・周期キズ欠陥が確認された。

前回の対策効果として、

異物欠陥が無くなり、ブロッキング(凹み)欠陥数は減少した。(0.590→0.173 個/m<sup>2</sup>)

ただし、AG 抜け・周期キズ欠陥が今回確認された。

自動検査機検出結果 0.18 個 / m<sup>2</sup> (要求レベル 0.02 個 / m<sup>2</sup>以下)

欠点種	拡大画像	サイズ(mm)		欠陥現象	原因	対策
		縦	横			
AG抜け		0.38	0.35	欠陥部の粗度が小さい AG面(Rz2.81μm) 欠点部(Rz1.31μm)	・半硬化樹脂(ゲル状)の混入 →樹脂循環中にゲル化 →パターン転写不良	・フィルターの設置 ・循環樹脂を濾過する
ブロッキング		3~4	3~4	・ブロッキング(凹み核なし)	樹脂起因 樹脂温度を下げるとブロッキングの数が減少する	樹脂改良中
		3~4 核:0.18	3~4 0.12	・ブロッキング(核有り) ブロッキングの中央に核(硬化した樹脂)が存在する	・硬化樹脂の混入 →循環樹脂に硬化した樹脂が混入 ・金型への付着 →硬化した樹脂が金型に付着し成型	・フィルターの設置 ・循環樹脂を濾過する ・ゴミ取りロールの設置 ・金型付着物を除去する
周期キズ		0.09	0.10	・AG面側に凸形状	・金型製作時のキズ(金型の凹み) (試作仕様には適合しており外観検査時にOKと判断)	・外観検査にて周期欠点はNG判定とする

●第3回評価結果：

評価数量 1330 mm × 240 m (319 m<sup>2</sup>)

周期キズ・打痕・ブロッキング(凹み)欠陥が確認された。

前回の対策効果として、

AG 抜けが無くなり、ブロッキング(凹み)欠陥数はさらに減少。(0.173→0.016 個/m<sup>2</sup>)

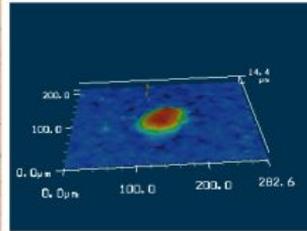
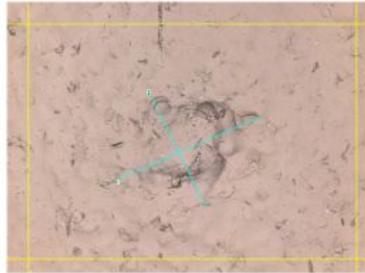
しかし、周期キズは今回も確認されている。

新たに打痕が確認されているが、これはブロッキング欠陥の軽微なものと判断する。

自動検査機検出結果 0.069 個 / m<sup>2</sup> (要求レベル 0.02 個/m<sup>2</sup>以下)

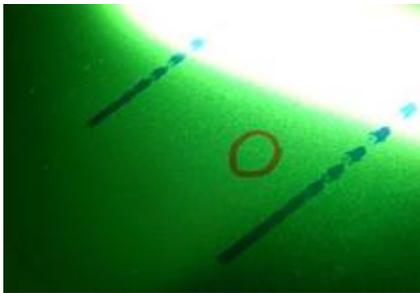
周期キズ

凸状の欠陥。



	区分	距離
1	2点間距離	122.38um
2	2点間距離	102.57um

検査ライトの追加：3波長蛍光灯。欠陥が光って見える為、発見しやすい。

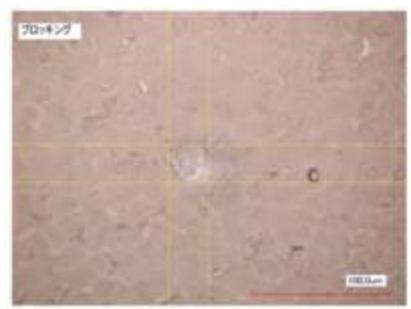


グリーンランプ (現行)



3波長蛍光灯 (追加)

ブロッキング (凹み)



●第4回評価結果：

評価数量：1330 mm × 272 m (362 m<sup>2</sup>)

前回の対策効果として、  
周期キズが無くなった。ブロッキング欠陥が減少した。(0.016→0.006 個/m<sup>2</sup>)

自動検査機検出結果 0.009 個/m<sup>2</sup> (要求レベル 0.02 個 / m<sup>2</sup>以下)  
要求水準を満たす。

## 第5章 総括

液晶ディスプレイに必須である偏光板に使用される防眩フィルムを、従来方式とは全く異なる新加工方法を用いて、成型加工する事ができた。

この工法は、従来工法に必須な乾燥工程を必要としない。また従来品の課題である、コートムラやフィラー凝集・脱落等の外観品位の面も解決したロール to ロール方式である。

無溶剤ノンフィラーUV硬化型アクリル樹脂の選定を終えた。これは市場要求の特性を満たしている。

本研究の成果品の品質水準は、市場で流通している品のそれと同等であった。

成果品の市場供給に向けて改善を継続し、量産化を急ぐ。