平成29年度 戦略的基盤技術高度化·連携支援事業 戦略的基盤技術高度化支援事業

「成形技術の高度化による LED 照明用厚肉プラスチックレンズの 高生産性システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 近畿経済産業局

補助事業者 一般財団法人 大阪科学技術センター

... 6

目 次

第1章 研究開発の概要

1 — 1	研究開発の背景・研究目的及び目標	•••	2
1-2	研究体制		З
1-3	成果概要		З
1-4	当該研究開発の連絡窓口		5

第2章 本論

- 2-1 研究開発実施内容 【1】LED-HL レンズの成形技術の高度化によるコストダウン技術の開発 ··· 6 【1-1】光学品質を劣化させずに樹脂冷却時間を最短にする複合成形技術 の開発
 - 【1-2】 複合成形自動化のための射出成型機用インターフェイス開発と 同期制御ソフトウエア開発 ···21
 - 【2】LED-HL レンズの高生産性システムによる安定供給技術の開発 ···24
 - 【2-1】データ収集サーバの構築 (データベースの構築と活用) ···24
 - 【2-2】システム異常検知アルゴリズム開発
 - (製造における品質管理・MT法の活用) ...28
- 第3章 全体総括

3-1	研究開発成果	35
3-2	研究開発後の課題・事業化展開	36

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

研究開発の背景

近年の青色発光ダイオードの普及と高性能化から各種照明用光源に発光ダイオード (LED)が使用されるようになり、各自動車メーカもハイブリッド化に代表される市場 の省エネ要求や安全性の向上、長寿命化による保守費用の削減効果等により自動車用 ヘッドランプ光源のLED化が加速度的に進んでいる。(CO2削減効果・消費電力で53%省 エネ)

また、自動車用ヘッドランプ市場規模を見ると 2014 年では Worldwide での自動車販 売台数が約 8700 万台でその内 LED ヘッドランプ搭載割合はわずかに 2%程度で、使用さ れた LED ヘッドランプ用レンズは約 560 万個と想定されているが、2020 年にはその搭 載率は 63%となり、レンズ個数では 2 億 1000 万個と実に 37 倍以上に激増すると予想さ れている。弊社では LED ヘッドランプ用レンズでの市場占有率目標を 5%と設定し、 1000 万個の生産を目指している。

本事業は LED ライト用厚肉プラスチックレンズの製造において、川下企業からの急激 な数量増加とコストダウン要求に応えるため、インサート・多層成形等の組合せによる 循環式複合成形による低コスト・ハイサイクル成形と、同期制御技術の確立を目指す。 同時に金型内センサと成形パラメータのモニタリングを行い、MT 法によるデータ解析 にて成形パラメータの変動を発生と同時に検知する事で「不良を作らない」高生産性シ ステムの確立を目指す。







(2)研究目標



1-2 研究体制

(研究組織)



- 1-3 成果概要
 - 【1】LED-HL レンズの成形技術の高度化によるコストダウン技術の開発
 - (1) 複合金型を用いた連続成形とサンプル取り

多層成形試作金型(高精度複合金型)を設計・製作し、高精度複合成形試作 を実施した。これを用いて客先評価用サンプルを製作し量産品と同等の品質水 準を達成した。また、懸念点であった耐環境性能に関しても成形品の残留応力の 低減を図ることで改善が可能になった。インサートレンズを含む周辺機器の自動 化の完成により、多層成形での連続生産を実現し、成形サイクルは270秒(通常 成形 800 秒を目標200 秒)まで短縮し、生産性向上目標4倍に対して、約3倍の 生産性を達成した。

(2)実験金型(離型力計測)を用いたセンサ・アクチュエータ開発
 実験金型製作において、型締め力の影響を排除するためのセンサ・アクチュ
 エータ設計を行った結果、測定精度を著しく向上させる事ができた。これによ

り実験金型を用いて金型表面形状や成形材料等、関連因子に対する離型力の違いについて調査を行い、量産目的の複合金型設計の際の基礎データを得る事ができた。

(3) EtherCAT を使った成形工程のリアルタイム制御

射出成形機の改造とマスタコントローラおよび制御アプリケーションの開 発・接続を完了し、周辺機器を含めて生産システム全体のリアルタイム制御に 取り組んだ。これにより、マスタコントローラからに指令によって射出成形機 と取り出しロボットをリアルタイムに制御し、リアルタイムな生産データモニ タリングが可能になった。

【2】LED-HL レンズの高生産性システムによる安定供給技術の開発

(1) 設備機器のインターフェイス開発とデータ収集サーバの構築

生産機器と工場内 LAN を接続するインターフェイス回路およびソフトウエアを設計・開発した。これをデータ収集用の小型 PC に接続し、工場内 LAN を経由して生産設備の製造データ・パラメータをデータサーバに自動収集するシステム構築を行った。このシステムを基盤として「EtherCAT を使った成形工程のリアルタイム制御」および「MT法を用いて生産データから異常値を検出する仕組みの構築」の実施が可能になった。

(2) MT法を用いて生産データから異常値を検出する仕組みの構築

MT 法を導入する前段階として、実験金型(離型力計測)で得られたテストデータ を用いてデータの取り扱い上の制約条件と解析精度との関係性について調べ、この データを用いて光学特性を評価できる成形品の金型を製作した。本研究開発では MT 法を検討する上で良質な単位空間データを作成するために、BFL(バックフォーカ ス距離)の平均値に対する調整因子として"保圧"を選び、「実験計画法」を用い て成形実験を実施する事で BFL のばらつき中心を公差内へシフトさせ、かつ公差外 のサンプルが発生する条件を使って単位空データを得る事ができた。

この単位空間を用いて検証実験を行った結果、同一条件では良否判別可能、そして別条件では全て不良(異質)と判別されることが分かった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(事業管理機関)

〒550-0004 大阪市西区靭本町1丁目8番4号

一般財団法人 大阪科学技術センター

技術振興部 Tel: 06-6443-5322 Fax: 06-6443-5319

川口 満 Email:m.kawaguchi@ostec.or.jp

(法認定中小企業)

〒618-0001 大阪府三島郡島本町山崎2丁目

ナルックス株式会社

技術開発部 TEL: 075-963-3456 Fax: 075-963-3450

上野拓也 Email: ueno@nalux.co.jp

【公開版】

第2章 本論

2-1 研究開発実施内容

【1】LED-HL レンズの成形技術の高度化によるコストダウン技術の開発

【1-1】光学品質を劣化させずに樹脂冷却時間を最短にする複合成形技術の開発

実製品を用いて複合成形技術開発を行うにあたり、アンコの設計、1 層目の設計、2 層 目の設計を実施し、これが安定して成形可能な金型設計・製作を実施し成形試作を行った。 高精度複合成形の対象として、直径 70mm、最大厚み 26mm の円形の両端面を切り取った形 の製品を選定した。この高精度複合成形の成形工程を表 2-1-1 に示す。

	成形工程
1	アンコをインサート
2	型締
3	アンコ+1 層目 射出
4	アンコ+2 層目分 計量、アンコ+1 層目 冷却
5	型開
6	アンコ取出し、ダイスライド
7	型締
8	アンコ+2 層目 射出
9	アンコ+1 層目 計量、 アンコ+2 層目 冷却
10	型開
11	アンコ・製品 取出し
	1に戻る

表 2-1-1 複合成形工程

製品形状を決定するうえで、表 2-1-2 に示す内容を満足するように検討を行った。

成形サイクルについて、多層成形の実績より製品を

表 2-1-2 成形の目標

3 層での構成とした。製品の断面を層毎に色別にしたも のを図 2-1-1 に示す。アンコ端部はすべて R を付ける ことにより積層時の接合ムラ対策とした。アンコ保持 方法について、アンコ両端部に切り欠き形状を設ける

項目	目標値
成形サイクル	200s以下
ウェルド	発生無し
アンコ保持	落下無し

ことによりアンコインサート時の位置決め及び落下防止構造とした。これを図 2-1-2 に示す。

赤丸で示した箇所にてアンコの落下を防止する。





図 2-1-1 製品の3 層構造

図 2-1-2 アンコの形状

図 2-1-1 に示した層分割でそれぞれ流動解析を実施し、成形の可否及び予測される問題 点を確認した。流動解析の結果を下図に示す。図 2-1-3 はアンコの充填の過渡変化を示し たものである。アンコは、肉厚の光学面部分と、成形時に製品を保持する光学面両端の薄 肉部からなっており、樹脂充填時には、薄肉部への流動のためらいがあることがわかる。 これは、樹脂が充填圧力のより低い方向に流れることによるものと考えられる。次に、ア ンコをインサートして成形する 1 層目の樹脂流動の解析結果を図 2-1-4 に示す。1 層目は キャビティ全体が均等な薄肉になっており、充填バランスに関しても問題がないと考えら れる。最後に 2 層目の流動解析結果を図 2-1-5 に示す。2 層目の充填パターンについても、 1 層目同様、問題が無いことを確認した。流動解析の結果、アンコ及び 2 層目の充填時に 流動のためらいが発生すると予測される箇所は存在するものの、ウェルドなどの外観不良 の発生はなく成形上問題ないことが確認された。



図 2-1-4 流動解析結果(1 層目)



図 2-1-5 流動解析結果(2 層目)

金型構造

金型の基本構想として多層成形の実績より DSI を使用した。今回の高精度複合成形に おいて検討した項目と目標値を表 2-1-3 に示 す。

表 2-1-3	成形目標と金型設	計要件
---------	----------	-----

項目	目標値
DSI	
アンコ	ゲートカットレス
アンコ ヒケ	ヒケ発生箇所の抑制
センサー位置	品質保証が可能
アンコ保持	落下無し

アンコ部は成形工程を削減するために、ホットランナーシステム使用することでゲートを アンコにダイレクトで落すことでゲートカットレスとする。アンコは他の層と比較すると 大幅に肉厚が厚くヒケが発生することが予想される。そこで、ヒケを局所的に発生させる ことで、品質を安定させる。このため金型に局所的に熱伝導の低い材料を使用することで、 これを達成する。成形中の品質を保証するために使用するセンサ位置についてはこれまで の実績より配置した。アンコ保持については製品形状以外に金型で確実に保持するために、 吸着回路を配置した。これらを図 2-1-6 に示す。



複合成形実験

前述の製品設計及び金型設計より、実際に複合成形金型を製作し、複合成形実験を実施した。

[積層時のアンコ温度が外観に及ぼす影響の調査]



アンコ冷却後に積層成形

アンコ成形直後に積層成形

図 2-1-7 複合成形レンズの外観不良

[アンコの温度と積層時の樹脂溶融厚みの関係]



図 2-1-8 アンコ表面の樹脂溶融量

これまでの複合成形実験より、成形品の形状測定および光学性能評価を実施可能な水準 まで達成することができた。しかし、外観品質については、1 層成形品と比較して劣って おり、以下の表に示す製品外観規格に対し、線上欠陥で外観不良に該当するという課題が

残った。また、成形品の耐環境性に関しても同様に1層成形品と比較して劣っていた。

そこで、これらの課題に対してその原因と対策を検討し、「金型改造による外観品質の 向上」及び「成形条件の適正化による耐環境性の改善」に取り組んだ。また、複合成形の 量産実用化へ向けた準備として、複合成形工程を完全自動化する取り組みを行った。それ により、成形の安定化と条件調整時の効率化も図れる。また、これまで成形者の手による 1 次成形品取り出しと金型へのインサートを行っていたため、1 次成形品に汚れが付着 し、複合成形品の外観を損ねていた。そこで、ロボットの成形工程連動による成形品汚れ の改善も試みた。

エリア	【全数検 査】	判定基準	測定具	【備考】	
有効内 (光範 囲)	黒点 白点 異物 ヒケ 点状	 		 ※検査方法 〔照明〕 ・専用ライトを使用する 〔方法〕 	
	·入阳	人前 製品 と異 色	 φ0.3mm以下 ただし、φ0.2mm以下は密集していなけれ ζ μ ボ ボ	目視	 ・製品より 500mm 離れ た位置から目視により 行う。 ・検査員の視力は 0.7 以上の事
	キズ ヒケ ヒートマー ク ウエル ド	製 最大幅 : φ0.3mm以下 品 と 最大長さ : 1.0mm 同 色 1 ヶまで 製 品 と たきこと		・ クモリは、限度見本によ る	
	線状欠陥	 異 色			

表 2-1-4 本研究での開発対象製品の光学面内外観規格

複合成形品における外観品質の改善

これまでの分析結果により、複合成形品の外観品質がインサートされる1次成形品の外 観品質「金型分割線跡」「ジェッティングと呼ばれる表面上のシワ」に影響を受けている ことが分かった。しかし、成形条件の調整のみでは改善に限界があったため、金型改造に より課題の解決を試みた。

金型改造内容 (図 2-1-9)

- ・金型分割箇所は、1次成形品取り出しのためのエジェクトピン3箇所と樹脂充填口の
 1箇所であった。1次成形品取り出しエジェクトピンについては、突出し箇所を複合
 成形品の光学面相当箇所でないレンズコバ部へ変更した。
- ・樹脂充填口については、光学面内からレンズコバ部付近へ再配置することとした。これは、1次成形品表面に発生するシワを抑制し、かつ安定した樹脂の充填を行う目的で、成形品肉厚の比較的小さい箇所かつ金型の地側へ再配置した。
- ・その他、1 次成形品の突出し箇所の変更に伴い、成形品を金型から取り出す際に成形 品に反りや割れが発生する可能性があるため、コバと厚肉部のつなぎとなる箇所につ いては、コーナーRを大きくした。



複合成形品における耐環境特性の改善

複合成形品の耐環境特性が、1 層成形の量産品と比較して劣っている課題があったた め、この原因について調べた。具体的には、複合成形品の耐環境試験による変形が大きい 原因を追究するため、複屈折位相差を測定して、成形品の残留応力が耐環境特性に与える 影響を調べた。そして、耐環境特性を向上させる取り組みを実施した。

外観品質

前項で述べた金型改造について、実施前後での1次成形品の外観比較を下図に示す。金 型改造前後で比較すると1次成形品表面に発生するシワが大幅に改善されていることを確 認した。また、金型改造前後それぞれの1次成形品から作成した複合成形品の外観比較写 真を図に示す。金型改造前では、光学面中心付近に1次成形品のエジェクトピン跡があ り、これは外観品質規格で線状欠陥に該当するため、外観で不良となっていた。しかし、 金型改造後の1次成形品の外観では、改造前にみられた不良が消失しており、外観規格を 満足するものとなった。



(a) 金型改造前



(b) 金型改造後

図 2-1-10:金型改造による1次成形品の外観改善結果(シワ)



(a) 金型改造前



(b) 金型改造後

図 2-1-11:金型改造による複合成形品の外観不良の改善結果(金型分割線)

②複合成形品の耐環境特性の改善

耐環境試験では、105℃6時間の環境下に成形品を曝露し試験後の外観変化を観察して

いる。従来、複合成形品の光学面における変形が1層成形品と比較して大きく、特に図 中の赤い丸で囲った部分に示す箇所で特に顕著であった。(a)は積層時の充填口付近、 (b)(c)は1次成形品の充填口にあたる。



(a)入射面側

(b)出射面側

(b)入射面侧

図 2-1-12:金型改造前における耐環境試験後の複合成形品の変形

この環境試験、すなわち高温試験下での変形の原因について、成形品に残っている残留 応力に着目し、複屈折の位相差分布を測定した。結果を下図(a)に示す。図中右側にある カラーチャートは位相差 0~300nm でスケーリングされていて、位相差が大きい箇所は分 子配向が大きく、残留応力が大きいことを示している。図より、複合成形品の複屈折位相 差が大きい箇所、すなわち残留応力が大きい箇所と、耐環境試験後の成形品変形が大きい 箇所と一致がみられた。従って、今回、成形材料の撓み温度よりも高い試験温度下におい て、残留応力の緩和が変形を引き起こしたものと推察された。この残留応力を極力小さく するように成形条件を調整した結果を複合成形品の複屈折位相差の測定結果を同図(b)に 示す。赤い丸で示した箇所が複合成形品の耐環境試験後の変形が特に大きい箇所であった が、調整後は改善されていることを確認した。



図 2-1-13: 成形条件調整前後における複合成形品の複屈折位相差分布

この結果を受けて、成形条件調整後の複合成形品に対して耐環境試験を行い、試験後の 変形を観察、比較した結果を図に示す。僅かであるが条件調整後のサンプルで変形が小さ くなっていることがわかった。

複合成形における残留応力は、1 次成形品、1 層および 2 層の各成形工程で発生してい ると考えられる。したがって、今後の耐環境性向上にあたっては、1 次成形品または、各 層における残留応力を評価し、複合成形品の耐環境性に特に大きな影響を与えている層に ついて調査してゆく必要がある。



(a) 調整前



(b) 調整後

図 2-1-14: 成形条件調整前後における複合成形品の耐環境特性(変形)の比較

③複合成形工程の自動化

以下の図に示す多関節取り出しロボットと一次成形品保管ステージ、さらにゲートカッ ト機、トレー詰め用多関節ロボットおよびストッカーのすべてのプログラミング、ティー チングが完了し連続成形の完全自動化が可能になった。これにより安定した成形工程が実 現可能になると期待できる。

なお、現状の複合成形サイクルは、複合成形品が完成するまでで約 270 秒となってお り、本研究の目標としている 200 秒に対して未達の状態となっているが、これは、複合成 形工程の完全自動化を実現するにあたり、安全面に配慮するため、主にロボットの運転速 度を実際の量産で想定する速度の 3 分の 1 程度に設定していることによるものであるた め、今後の取り組みにより 200 秒の達成は十分に可能であると考えられる。また、成形品 の取り出しおよびインサート工程が自動化したことで 1 次成形品の汚れの付着が低減さ

れ、外観品質が改善した



図 2-1-15 多関節取り出しロボット、一時成形品保管ステージ

高精度複合金型のセンサ・アクチュエータ開発(東京大学・土屋研究室)



<u>i)補助事業の具体的内容</u>

複合成形時の離型力測定用データ収集の目的で上図のような離型力測定用実験金型を製 作し圧力センサ・温度センサを用いてレンズが金型から離型する際の離型力の精密測定と 分析を開始したが、測定結果に型締力が影響し誤差要因となっている事が分かった。本研 究開発では、これら誤差要因を排除して純粋な離型力の測定が可能なように上記実験金型 を改造し、再度離型力測定実験に取り組んだ。

1. 差分計測による方法

樹脂充填 vs 空ショット

金型キャビティ内に樹脂を充填した場合と空の場合の離型力の差を測定し、 その差分から真の離型力を算出した。

図 2-1-16:離型力測定用実験金型の構造

図 2-1-17: 昨年度の測定データ(誤差大)



図 2-1-18:離型力測定、差分計測による方法

図中 a 部で発生していた V 字波形は、2 回目の型開き(b 部)ではほぼ見られず、 この差が離型抵抗に相当すると思われる。



図 2-1-19: 差分法による計測結果

2. 時間差離型および金型改造

下図のようにカセンサの取り付け方法を固定方式から隙間方式に変更(金型 改造)する事で、離型のタイミングから計測開始までに隙間分の遅れが発生す るが誤差要因が排除され測定精度が著しく向上した。



図 2-1-20:離型力測定精度向上のための金型改造

改造前では余計な力が検出されていたが、

改造後は期待通りに型開き時のみだけ検出されている。



図 2-1-21:時間差離型法の計測結果

3. 測定結果

瞬間的に約180Nの引っ張り力を検出できている。

また、改造前後で引っ張り力が発生しだすタイミングがずれている →型開き量では約60µmの差があり、これは調整した隙間分に相当 →測定部が摺動して離型抵抗力が検出できていることを確認できた



図 2-1-22:時間差離型法による計測データの検証

離型力測定用実験金型を改造する事で精密計測が可能になった事から、実際の複合成形 金型での離型力計測結果の妥当性を示すために、関連因子を変化させた場合の離型力の傾 向を調査した。



関連因子は左図のように様々である が、まず、成形条件に対して離型力 の傾向を掴むところから着手した。





表 2-1-5:実験に使用した成形条件群

[離型力の定義]

表 2-1-6:結果

項目	影響度	離型力の傾向	想定メカニズム
樹脂温度	<u>۱</u> ۱	高過ぎると小さくなる	ヒケが発生
射出速度	<u>بار</u>	速過ぎると小さくなる	ヒケが発生
金型温度	中	高いと大きくなる	密着性UP
保持圧力	大	高いと小さくなる	調査中

ヒケ



(a) 樹脂温度230℃ 離型力:約110N

10mm (b) 樹脂温度250℃

図 樹脂温度を変えて成形したサンプルの表面性状と離型力 (水温度92℃、保圧90MPa、射出速度10mm/s)







樹脂温度が高い or 射出速度が速い

→樹脂内部の温度分布が高い状態から冷却される

→収縮量が大きくなり、ヒケが発生する

→表面積が減少する

離型力は表面のヒケ、つまり表面形状によって大

きく左右される

図 2-1-24:実験金型の成形品とヒケ

[考察]

樹脂温度が高い or 射出速度が速い

→樹脂内部の温度分布が高い状態から冷却される

→収縮量が大きくなり、ヒケが発生する

→表面積が減少する

離型力は表面のヒケ、つまり表面形状によって大きく左右される

→樹脂材料によって、ヒケが発生しない領域で比較した方が良い

本金型の特徴を活かして連続自動成形中の離型力と光学性能との関係性について 主に調べた。後述の MT 法検討のために成形した連続約 6 時間、176 ショットの離型 力の変化を図に示す。ショットによって数十 N 程度のばらつきが生じており、型内 計測結果を調べたところ、成形開始初期を除いて、型内圧力の最大値と逆の相関性 が非常に高いと分かった。





図 2-1-25: 成形したレンズ金型の写真



図 2-1-26: 成形開始から連続ショットにおける離型力と型内圧力最大値の変化



図 2-1-27:成形開始から連続ショットにおける離型力と型内圧力最大値の変化



(16 区間平均)

図 2-1-28:成形開始から連続ショットにおける離型力と BFL の変化(16 区間平均)

【1-2】 複合成形自動化のための射出成型機用インターフェイス開発と

同期制御ソフトウエア開発

複合成形実現のため、射出成形機・取り出しロボットおよび各設備をネットワーク接続 しマスタコントローラによって制御する事を目指し、本生産システムの主機能を担う射出 成形機および取り出しロボットをフィールドネットワークである EtherCAT で接続すること でスレーブ化し、リモート制御が可能な状態にした。図 2-1-29 にその全体像を示す。



図 2-1-29: EtherCAT によるシステム制御

マスタコントローラ、射出成形機および取出しロボットを用いて、マスタコント ローラから EtherCAT で制御が可能かを検証し、射出成形機と取出しロボットをマス タコントローラから制御するプログラムを開発した。



図 2-1-30 射出成形機の改造



図 2-1-31 スレーブ機器の接続確認とマスタコントローラ側でのデバイス認識

上図(左)のようにマスターコントロール側の開発環境の I/O において、取出し ロボットを Box3、射出成形機を Box6 としてスレーブデバイスを認識させ、本件の制 御プログラムは、上図(右)に示すよう、スレーブデバイスを EtherCAT で制御する PLC プログラムと、オペレータの指示を PLC プログラムに伝える Windows アプリ(C#) で実装した。下記に PLC プログラムの構成の構成と多層成形フローチャートを示す。



図 2-1-32 PLC プログラムの構成と多層成形フローチャート

プログラムの動作フロー

- ① PLC プログラムを起動 ⇒ Windows アプリ起動の通知を待つ
- ② Windows アプリを起動して設定ファイルを読み込む
- ③ Windows アプリが ADS で PLC プログラムに起動とパラメータを通知
- ④ PLC プログラムが射出成形機と多関節ロボットの初期化を行う ⇒ アイドル状
- ⑤ Windows アプリ上で自動運転ボタンを押す ⇒ PLC プログラムが自動運転状態へ
- ⑥ PLC プログラムが射出成形機や取出しロボットに指令を出して自動運転サイクル を稼働する。

	エレー・アレー 取出しロボット1
Injection M/C Injection I	Robot1 Robot2
V Exist V Initialize Exist I Initialize	📝 Exist 📝 Initialize 📄 Exist 📄 Initialize
No. 0 No. 0	No. 0 No. 0
Maker Sumitomo Maker Sumitomo	Maker Denso wave Maker Denso wave
Model SEEV Model SEEV	Model RC8 Model RC8
Process Size 8 Edit ProgNo Process 1	Process Size 3 Edit Prog1No Prog2No Process1
🕼 Enable 💿 Injection1 💿 Injection2 🛛 86	V Enable V Robot1 Robot2 91 92
Process2	Process2
🕼 Enable 💿 Injection1 🔘 Injection2 🛛 86	V Enable V Robot1 Robot2 93 94
Process3	Process8
Enable Injection1 Injection2 87	V Enable V Robot1 Robot2 95 96

図 2-1-33 多層成形プロセス設定画面

stitution Operation Manual	Maintenance			
Injection 1 Mold <-Open Close-> Eject pin <-Pull Push-> Cylinder <-Fill Measure-> Condition Process Step 1 Load 86	✓ Initialize Error Action Fill->Cool Measure Cool ✓ Open ✓ Close EJ Push EJ Pull Core sensor Core1 Pull ✓ Push Core2 Pull ✓ Push Core4 Pull Push	Error Information Error Check Code1 Code2 Code3 Code4 Code5 Code6 Code6 Adjust Clock	Injection2 Initialize Error Action Fill->Cool Measure Cool Cylinder C-Fill Measure-> Condition Process Step 1 Load 0	Error Information Error Check Code 1 Code 2 Code 3 Code 4 Code 5 Code 6 Adjust Clock
Robot 1 Process Step Program No 92 Cmd code 0 Cmd data 1 0 Cmd data 2	Start ModeLock Run Battery Error Alarm Ø Servo Continue J Initialize Command Ø Auto On @ Off Ø Extern Interlock	Robot2 Process Step 1 Program No 0 Cmd code 0 Cmd data1 0 Cmd data2 0	Start Run Battery Error Alarm Servo Continu Initialize Comma Auto Extern	v ue and

図 2-1-34 手動操作画面

従来の生産システムでは、射出成形機と取り出しロボットはメーカが設定したシーケ ンスでの動作しかできなかったが、マスタコントローラによる EtherCAT プロトコルを 用いた同期制御では我々ユーザーが望む任意のシーケンスで射出成形機と取り出しロ ボットを同期させながら動作させることが可能になった。

【2】LED-HL レンズの高生産性システムによる安定供給技術の開発

【2-1】データ収集サーバの構築 (データベースの構築と活用)

各種設備機器を工場内 LAN に接続するために信号レベル変換・アナログ/デジタル変換 等を行うインターフェイスを設計・製作した。また、従来は成形機メーカ毎に専用生産管 理ソフトを使用して個別にデータ収集を行っていたが、今回の取り組みによりメーカに依 存しないモニタリングシステムを開発した事で、工場全体で一元的なデータ収集が可能に なった。



図 2-2-1 インターフェイス回路

<成形機からネットワークを通してデータをデータベースに保存>



図 2-2-2 データ通信ネットワーク

成形機メーカから提供されているデータ取得アプリケーションが生成するデータや、シ リアル通信で成形機からデータを取得できる成形機のデータを、ローカルエリアネット ワークを利用して通信するソフトウエアの開発を行った。

従来は成形機メーカ毎に専用生産管理ソフトを使用して個別にデータ収集を行っていた が、今回の取り組みでメーカに依存しないモニタリングシステムを開発した事で、工場全 体で一元的なデータ収集を行い、図 4-8 のように射出成形機および周辺機器(材料乾燥機 等)の生産データモニタリングが可能になった。これにより生産データの傾向管理を行う 事で異常値の監視する事で不良発生の検知と予防が可能になり、MT法による工程異常の 検知と不良発生の予防が可能になった。



図 2-2-3 モニタリング画面

[システム構成とデータの流れ]

射出成形機および取出しロボットからのデータ収集は、RS-232C とデジタル I/O を介して 入力端末が実施する。また、入力端末からトレーを識別する情報を入力して、レベルプリン ターで QR コードを印刷してレンズを詰めるトレーに貼る。

金型に取り付けたセンサの情報は、200ms毎にデータロガーが収集する。



図 2-2-4: データ収集・関連付けシステム構成図

[入力端末とイベント情報]

取り出しロボットはデジタル I/0 で取出し番号 5bit とイベント通知 4bit を出力する。 取り出し番号は処理が確定する前の成型品を管理するために使用する番号で、射出成形機か ら成型品を取り出す毎にカウントアップする。

(31を超えたら0に戻るリングバッファで管理。)

また、成形データを取得するタイミングがわかるように、射出成形機から型締め完了信号 を入力端末へ出力するようになっている。



図 2-2-5:入力端末の操作画面

[動作確認テスト結果]

生産ラインでシステムの動作確認テストを実施し、データベース上でレンズの位置情報と 成形データの関連付けが出来ていることを確認した。

				シズの位	置情報				成形データ
							生産履歴検索		
製品コード	金型	キャビ	生産ロット	状態	トレー番号	挿入 位置	成形日時	種別	ログ
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	12	2017-02-20 12:51:00.0	1	INJ117/INJ117_170220_123743_RA_00024.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	13	2017-02-20 12:55:10.0	1	INJ117/INJ117 170220 124154 RA 00025.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	14	2017-02-20 12:59:24.0	1	INJ117/INJ117_170220_124605_RA_00026.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	15	2017-02-20 13:03:36.0	1	INJ117/INJ117 170220 125016 RA 00027.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	16	2017-02-20 13:57:58.0	1	INJ117/INJ117_170220_134440_RA_00040.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	17	2017-02-20 14:02:08.0	1	INJ117/INJ117_170220_134852_RA_00041.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	18	2017-02-20 14:06:23.0	1	INJ117/INJ117_170220_135303_RA_00042.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	19	2017-02-20 14:10:35.0	1	INJ117/INJ117_170220_135714_RA_00043.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	20	2017-02-20 14:14:42.0	1	INJ117/INJ117_170220_140126_RA_00044.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	21	2017-02-20 14:18:53.0	1	INJ117/INJ117_170220_140536_RA_00045.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	22	2017-02-20 14:44:04.0	1	INJ117/INJ117_170220_143043_RA_00051.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	23	2017-02-20 15:00:48.0	1	INJ117/INJ117_170220_144727_RA_00055.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	24	2017-02-20 15:04:56.0	1	INJ117/INJ117_170220_145138_RA_00056.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	25	2017-02-20 15:09:06.0	1	INJ117/INJ117_170220_145549_RA_00057.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	26	2017-02-20 15:13:25.0	1	INJ117/INJ117_170220_150000_RA_00058.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	27	2017-02-20 15:17:33.0	1	INJ117/INJ117_170220_150411_RA_00059.MEM
OCL50002-01	в	1	0216	トレー	0001	28	2017-02-20 15:21:40.0	1	INJ117/INJ117_170220_150822_RA_00060.MEM
OCL50002-01	в	2	0216	トレー	0001	12	2017-02-20 12:51:00.0	1	INJ117/INJ117_170220_123743_RA_00024.MEM
OCL50002-01	в	2	0216	トレー	0001	13	2017-02-20 12:55:10.0	1	INJ117/INJ117 170220 124154 RA 00025.MEM
OCL50002-01	в	2	0216	トレー	0001	14	2017-02-20 12:59:24.0	1	INJ117/INJ117_170220_124605_RA_00026.MEM
OCL50002-01	в	2	0216	トレー	0001	15	2017-02-20 13:03:36.0	1	INJ117/INJ117 170220 125016 RA 00027.MEM
OCL50002-01	в	2	0216	トレー	0001	16	2017-02-20 13:57:58.0	1	INJ117/INJ117_170220_134440_RA_00040.MEM
OCL50002-01	в	2	0216	トレー	0001	17	2017-02-20 14:02:08.0	1	INJ117/INJ117_170220_134852_RA_00041.MEM
OCL50002-01	в	2	0216	トレー	0001	18	2017-02-20 14:06:23.0	1	INJ117/INJ117 170220 135303 RA 00042.MEM

図 2-2-6: データベース上でのデータの関連付け



【2-2】システム異常検知アルゴリズム開発(製造における品質管理・MT法の活用)

設計データへのフィードバック

図 2-2-7:システム異常検知と自動修正のための全体システム

本研究開発の大きな目的の一つに「金型内センサと成形パラメータのモニタリングを 行い、MT 法によるデータ解析にて成形パラメータの変動を発生と同時に検知する事で 不良を作らない高生産性システムの確立を目指す。」があり、上図はその全体像を示し たものである。始めに MT 法を導入する前段階として、離型力測定実験で得られたテス トデータを用いて評価するパラメータの確認と解析に伴う相関関係や制約条件等の調査 を行った。

成形条件の検討結果(実験計画法)

直交表に割り当てた 8 条件に対して各 10 ショットずつサンプルを成形し、BFL を評価した。そして、因子と水準ごとに SN 比と平均値を前述した式によって算出し、プロットした要因効果図を下図に示す。概ね水準が高くなるほど SN 比は改善し、平均値についてはその逆傾向となった。但し、保圧に対して SN 比は漸近傾向を示した。



図 2-2-9:バックフォーカス(BFL)の平均値に対する要因効果図

不安定条件におけるロングラン成形と条件調整

前項の特性要因から選んだ不安定条件にて成形開始から 160 ショット(約6時間)成 形し、BFL を評価した。結果、下図のように狙い通り適度にばらついたサンプルを得る ことができたが、公差中心から長い方向へ偏った分布となった。そこで、BFL の平均値 に対する要因効果図から調整因子として"保圧"を選び、条件調整を試みた。結果、何 度か試行を要したが、最終的に保圧を 104MPa とした場合において、狙い通り BFL のば らつき中心を公差内へシフトさせ、かつ公差外のサンプルが発生する条件が得られた。



図 2-2-10: 不安定条件(ISC)における成形開始から各サンプルの BFL 推移



図 2-2-11:タグチメソッド(実験計画法)で求めた最適条件における BFL の結果 MT 解析に用いるサンプルのカテゴリ化と記号

解析に用いた各条件について下表に示す。

ここで、異なる条件にて得られた数多くのサンプルから単位空間の作成を検討するため に、製品の良否を下記のようにカテゴリ化して解析を行った。

- ・良否カテゴリ化 G/B(G:良品、B:不良品)
- ・BFL と外観に対する良否カテゴリ化 BV (B: BFL、V: 外観)
 - 例 B_GV_G: BFL と外観ともに良品

B_BV_B: BFL と外観ともに不良品

- ・条件+品質カテゴリ化 SC_G (安定条件の良品)
 - ー計測時間カテゴリ(100s、107s、120s、127s)
 - 保圧カテゴリ、型温カテゴリ、樹脂温度カテゴリ・・・

表 2-2-1:解析に用いた成形条件の概要

段階	条件名(記号)	良品,不良品数	成形時間(s)
	No.1	良品 0, 不良品 10	127
	No.2	良品 0, 不良品 10	100
	No.3	良品 0, 不良品 10	120
	No.4	良品10,不良品 0	107
	No.5	良品10,不良品 0	107
実験計画法などを用いた。 冬件出し	No.6	良品 7,不良品 3	120
жни о	No.7	良品 9, 不良品 1	100
	No.8	良品10,不良品 0	127
	不安定条件(ISC)	良品 0, 不良品 20	127
	安定条件(SC)	良品 0, 不良品 20	100
	不安定条件ロングラン(ISClong)	良品 0, 不良品160	127
	不安定条件再現(ISCr)	良品 0, 不良品 10	127
	不安定条件調整(ISCV2)	良品19,不良品 1	127
成形条件調整	不安定条件調整(ISCV3)	良品 0, 不良品 20	127
	不安定条件調整(ISCV4)	良品10,不良品 0	127
	安定条件調整(SCV2)	良品20,不良品 0	107
最適条件のロングラン	不安定条件改良(ISCV5)	良品74,不良品 6	127

全条件における相関性

これまでの予備実験から、BFL は型内圧力に大きく依存していることが分かっている。 そこで、まず製品中央部に位置する型内圧力 P2 波形に対して解析を行った。全条件の 良品 BGVG カテゴリにおける型内圧力 P2 波形を図に示す。射出速度や冷却時間などの条件 の違いによって、成形時間や立ち上がりなどのタイミングが異なっている。これらの波形 に対して、前述の各特徴量を算出し、BFL との相関係数をそれぞれ求めたものを図に示 す。結果、区間分割した成形プロセスの各段階において相関性に違いがみられ、またその 相関性は成形プロセスの後半において高いことが分かった。また、良品/不良品の各カテ ゴリに対して同様に各相関係数の傾向の違いを調べた結果、図のように相関係数のパター ンがそれぞれ異なり、区別することが可能と分かった。



図 2-2-12: 全条件の良品における型内圧力 P2 波形



図 2-2-13: 全条件の各特徴量と BFL との相関係数



図 2-2-14: 全条件の良品・不良品における各変数と BFL との相関係数



図 2-2-15: BFL/外観の各良否カテゴリにおける BFL との相関性の比較

単位空間の検証及び結果

前述の調整された不安定条件(ISCV5)で得られた良品(74/80 個)と型内圧力 P2 波形 データから下記の条件にて単位空間を作成した。

- ・使用変数間の相関係数<0.9
- ·使用特徵量:46 個

-全体:最小值、最大值、尖度

-区間分割: Ave01、Abe02、Ave03、Ave30、Ave31、変動係数 28 個/31 個中、2 乗和
 27、Max31、微分値 7 個/7 個中、積分 07
 ※添え数は区間の識別番号を表す

計算した各サンプルの MD を図に示す。良品サンプルの MD は 1.587 以下であり、判定基 準を 2 に設定すると 74 個中 6 個の不良品を判別できることが分かった。また、上記の単 位空間を用いて、未知の各条件サンプルも同様に MD を計算した結果を図に示す。結果、 全て不良と判定されてしまったが、MD 距離が比較的近いものについては単位空間の作成 元である ISCV5 と条件域が近く、他条件との類似度も分かった。



図 2-2-16:不安定条件(ISCV5)80 ショットの各 MD と品質(1:良品、0:不良品)



図 2-2-17: ISCV5 の単位空間に対する各条件の MD の最大値と最小値

サンプル数の影響(ISCV5、P2)

MT 解析の制約の一つである必要サンプル数について、その判別精度を検証した。

- ・不安定条件 ISCV5 の 80 ショットのうち、初めの 14 個の良品から単位区空間を作成
- ・変数間の相関係数<0.512

13 個の変数を使用: Ave03、変動係数 08、変動係数 10-14、変動係数 30、微分特性 01-~05

上記の単位空間に対する各サンプルの MD を下記に示す。

- ・最初の不良品1個MD=33.39
- ・後続の不良品5個≧18.696
- ・後続の良品 60 個 MD=1.029~8.731×10¹⁰
 - 判定基準 4 → 異常 43 個
 - 判定基準 1.2 → 異常 59 個

上記のように、判定基準を小さくしても異常と誤判定されており、これは単位空間の 作成に用いた最初の 14 個が他と比べて均質過ぎたためだと考えられる。従って、的確 な判別のためには、ある程度のサンプル数は必要だということが分かった。

異なる条件から単位空間を作成した場合

区間分割をするため、成形時間 127s の条件グループに対して下記の要領で解析を行った。

・カテゴリ 127s_G: 127 個の良品を使用

サンプル構成: ISCV5_G 74 個、ISCV2_G 19 個、ISCV4_G 20 個、No.8 10 個

・相関係数<0.95、使用変数 26 個、MD 最大値 2.837

(<0.9 MD 最大值 4.692、<0.8 MD 最大 7.176)

・カテゴリ 127s_B: 227 個の不良品に対して良否判別

結果、判定基準3として227個中226個を不良と判定でき、チューニングの余地はあるものの、判別精度として概ね良好な結果を得た。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

【1】 LED-HL レンズの成形技術の高度化によるコストダウン技術の開発

- ・ 複合成形品の外観はインサートされるアンコの温度に依存する。
- 樹脂流動解析上、積層成形時のアンコ温度が高くなることが、積層時のアンコ溶融層厚 みが変化することが原因である。
- ・ サンプル評価の結果、光学性能は複合成形品の外観品質は、1 次成形品の外観品質の向 上により量産品と同等の良品水準まで達成した。
- ・ 複合成形品の耐環境性は、成形品の残留応力が高温環境下で緩和されることにより変形
 が生じていると考えられる。
- ・ 複合成形品の耐環境性は、成形条件の調整にわずかな改善がみられた。
- ・ 成形機周辺の成形工程との連動を図り、成形工程の自動化を実現した。
- ・ 成形サイクルについては、周辺設備連動により 270 秒まで達成。今後のロボット動作速度向上などにより目標である 200 秒の達成を目指す。

【2】 LED-HL レンズの高生産性システムによる安定供給技術の開発

- 成形時間全体の統計量だけではパラメータが不足しており、波形の細かい特徴を抽出するために時間で分割した局所統計量を算出し、互いに相関性の低いパラメータを選んで使用することが効果的だと分かった。
- ・ 項目の選定方法、マハラノビス距離 MD の閾値の設定方法について相関性が高過ぎても低 過ぎても良くないと分かった。
- ・ 上記方法によってロングラン成形時のサンプルに対して単位空間作成したところ、同一 条件では良否判別可能、別条件では全て不良(異質)と判別されることが分かった。
- 比較的広範囲に変化させた成形条件に対して、全条件の良品から作成した単位空間を用いたところ、概ね正しい良否判別が可能だと分かった。
- 高精度、高効率な良否判別を行うためには、「最適化した成形条件で得られた良品サン プルを集め、品質の定量的評価データと目視検査による総合判定結果」、「モニタリング センサ波形データから適切に抽出し、選定した特徴量からなる単位空間」が不可欠だと 分かった。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

課題であった「多層成形レンズの外観不良」や「内部応力による複屈折の発生」等 について、その解決方法や解決までの道筋が見えた事や、同期制御・全自動生産シ ステムの完成、およびMT法による不良検知アルゴリズムの検証完了等によって、 これらの知見・技術を量産商品に適用できる可能性が高まってきた。他方、市場で の自動車用LEDへッドランプレンズのニーズは当初の想定を上回る勢いで増加してお り、H30年度には本技術を横展開して量産ステージに移行したいと考えている。