

平成27年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「屈折率可変熱硬化性材料と温度制御性に優れた金型
および成形機を用いた超軽量『車載カメラ』レンズの開発」

研究開発成果等報告書

平成28年3月

委託者 東北経済産業局
委託先 公益財団法人 いわて産業振興センター

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

1－2 研究体制

1－3 成果概要

1－4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2－1 研究開発の方針

2－2 研究実施内容

①機能熱硬化性プラスチック樹脂（エスドリマー®）の導入
（新日鉄住金化学株式会社、国立大学法人岩手大学、吉川化成株式会社）

②特殊レンズ金型の開発（吉川化成株式会社）

③精密温度制御による成形システムの実用化（吉川化成株式会社）

④研究全体の統括、プロジェクトの管理運営
（公益財団法人いわて産業振興センター）

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

従来ガラスで生産されていた『車載用カメラモジュール』のレンズを新規開発された熱硬化性樹脂【エスドリマー®※1】に置き換えることにより、「軽量化」「高機能化」「生産性向上」を実現することが出来る。今開発はエスドリマーにおける最適な生産工法を確立することにある。

※1【エスドリマー®】：新日鉄住金化学株式会社が開発した、芳香族原料をベースに、特殊精密重合技術によって実現した、多分岐構造を持ち、多官能反応性ポリマーを主成分とした熱硬化樹脂材料。ペンダントビニルと機能性官能基を有する末端基の導入で多様な分子設計を実現し、耐熱レンズ用途への展開が可能となった。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

自動車の安全性向上のため『車載用カメラモジュール』の搭載義務化・市場拡大が見込まれ、自動車1台あたり複数台のカメラが搭載される中、構成するレンズ部品の軽量化が求められている。しかし、自動車が求める機能上・信頼上の観点から未だプラスチック化がなされていないのが『ガラスレンズ』である。特に外気に触れる一番外側に位置するレンズは機能上、ガラスであることが求められる。『車載用カメラ』のレンズ構成は複数枚のレンズによって構成されており、一番外側に位置するレンズがガラス製である。ガラスである理由は、①「キズ」が付きにくいこと、②-20℃～125℃までの温度変化に耐えられることが上げられる。これらの特性は従来のプラスチックではクリアすることができず、構成上、一番外側で一番大きいにもかかわらずレンズメーカーは必然的にガラスで対応している状況にある。内側に構成されるレンズはプラスチック化が可能であっても、外側だけはガラスでしか要求を満たせないのである。それ故レンズメーカーにとって一番大きなレンズをプラスチック化することの意義は大きく、光学設計上レンズの大きさがモジュール全体の大きさを決めることにもなる為、最重要部品である外側レンズのプラスチック化が以前より求められてきた。しかし可能性のある素材（エポキシ樹脂やシリコン樹脂など）が検討されたが、モジュールメーカーが満足するスペックに至っていないのが現状である。それらの結果を受け、大手シリコン樹脂メーカーもスペックの厳しい撮像系レンズを必要とする自動車分野よりLED照明分野の開発に力をいれている背景がある。

上記の状況にある中、数社の化学メーカーが無機素材とのハイブリッドシリコン材料を発表するなどの動きがあったが、工法確認が伴っていないこともあり、研究所レベルの開発に留まっているというのが実情である。エスドリマー®についても同様であった。しかし、エスドリマー®はシリコン系樹脂とは分子構造が大きく異なり、表面硬度特性・光学特性面で自動車メーカーが求めるスペックを満足する。従ってPDV樹脂でのグレード開発と工法開発を進めることで、モジュールメーカーが求める「軽量化」、自動車メーカーが求め

る「安全性」の技術課題に答えられるテーマであると考え、取組を始めた。

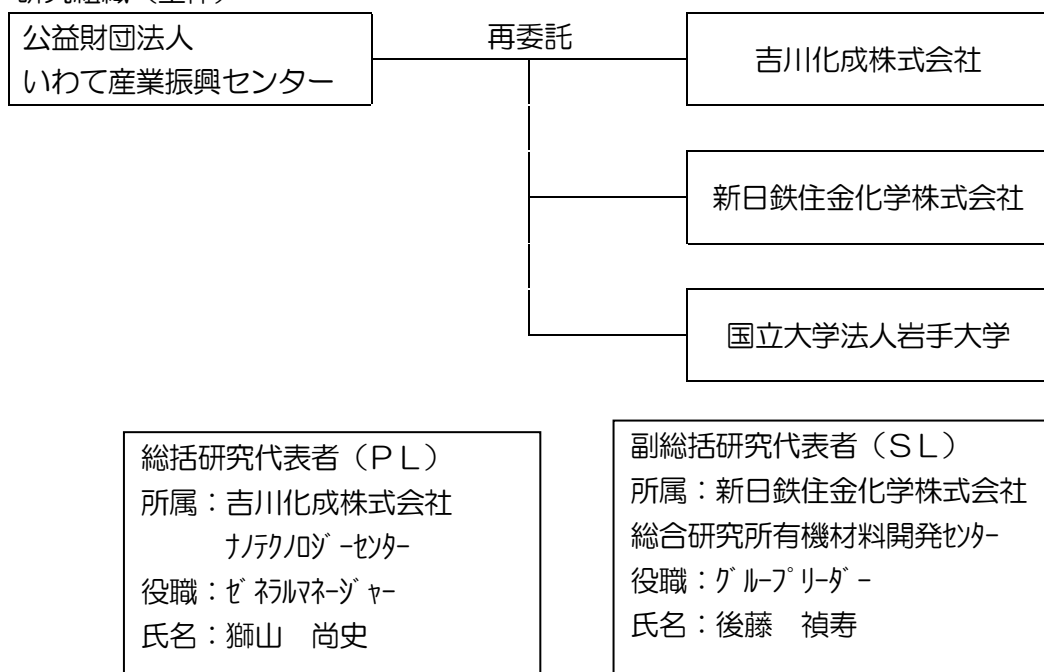
エスドリマー®でレンズの加工が可能となれば、従来のガラス素材では対応不可能であった『車載用カメラ』レンズの軽量化が実現する。またエスドリマー®には、他のプラスチックでは困難な「屈折率」と「粘度」の調整ができるという特性をもっている。これは他のプラスチック素材（高分子）が一般的に直鎖状の構造をとっており、分子構造を改変する際、官能基が鎖の両極端にしかないのでために特性を調整することが困難であった。しかし、エスドリマー®は分子構造が3次元状に入り組んだ構造で1つの高分子中に官能基が複数存在することができる。よって従来困難であった「屈折率」「粘度」の調整を可能としている。

それでは何故、エスドリマー®が工業材料として実用化に至っていなかったかであるが、これは先に述べた一般高分子では調整が不可能であった微調整ができるという分子構造の特性が逆に加工面で不利に働いたことによる。具体的にはわずかな環境温度変化が材料粘度に大きく影響されることにある。エスドリマー®はわずかな温度変化で大きく粘度が変化することが分かる。従って、一般的な加工設備で生産を検討する際、この特性を理解していなければ材料粘度の変化による弊害が発生する。実際に一般的なLIM成形機で試作を実施した場合、材料供給装置・成形機・金型のすべての部分で不具合が発生し、加工することが出来ない。よってエスドリマー®の加工を実現するには加工環境・装置を一定温度に保ち、材料粘度を安定させることが重要であり、その装置・システムを開発し、工業材料として量産化のめどを立てることが本研究開発が目標とするところである。

1-2 研究体制

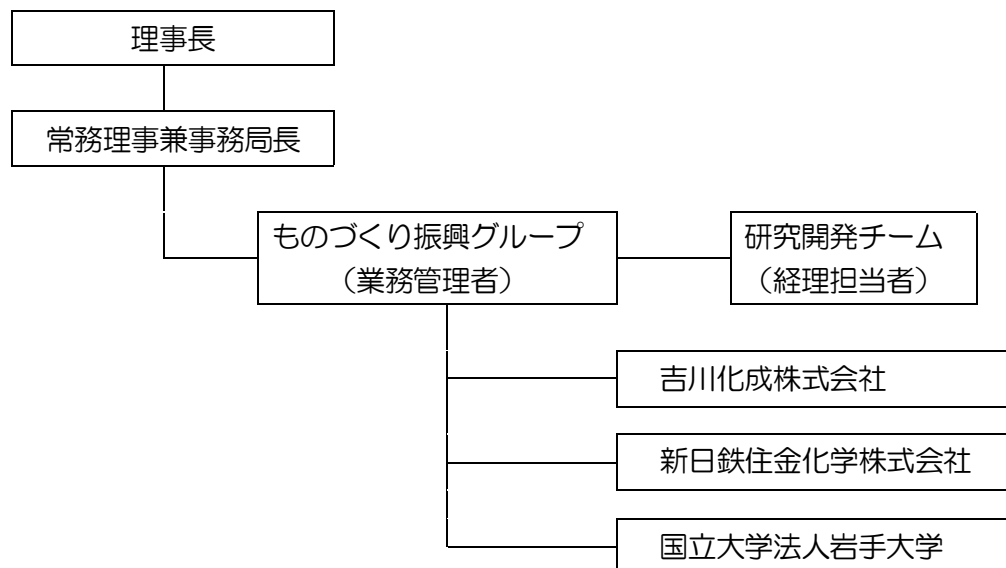
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

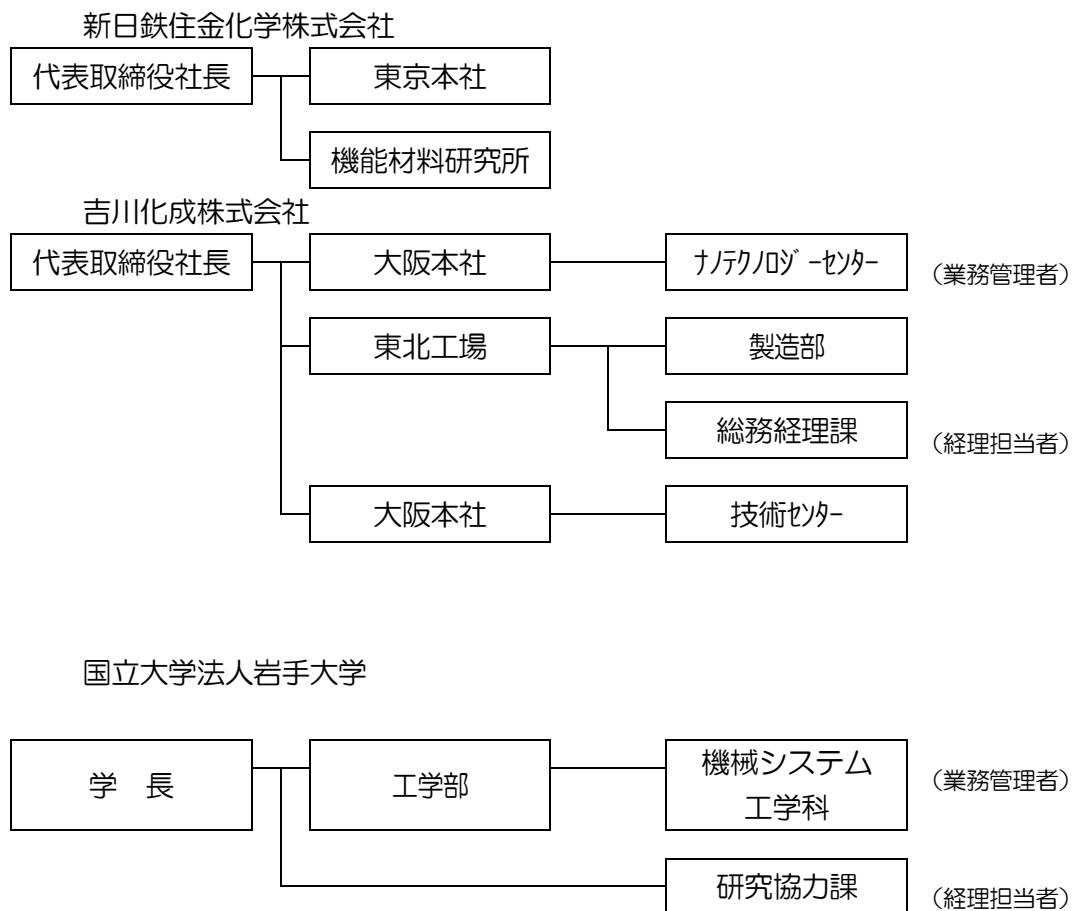


2) 管理体制

① 事業管理機関〔公益財団法人いわて産業振興センター〕



② (再委託先)



(2) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理機関】

公益財団法人いわて産業振興センター

(経理担当者) ものづくり振興グループ 主幹

菊地 諭

(業務管理者) ものづくり振興グループ グループリーダー

菊池 孝

【再委託先】

吉川化成株式会社

(経理担当者) 東北工場 管理部 経理課 課長

渡辺 勝

(業務管理者) ナノテクノロジーセンター センター長

獅山 尚史

新日鉄住友化学株式会社

(経理担当者) 庶務

経費の支出無し

(業務管理者) 有機材料開発センター グループリーダー

後藤 禎寿

国立大学法人 岩手大学

(経理担当者) 研究協力課 主任

佐々木 崇

(業務管理者) 工学部 機械システム工学科 教授

廣瀬 宏一

(3) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
獅山 尚史	吉川化成株式会社 ナノテクノロジーセンター GM	PL 委
後藤 禎寿	新日鉄住友化学株式会社 有機材料開発センター グループリーダー	SL
廣瀬 宏一	国立大学法人岩手大学 工学部 教授	
佐藤 裕二	吉川化成株式会社 東北工場 製造技術課 リーダー	委
工藤 克良	吉川化成株式会社 技術センター マネージャー	委
吉川 研一	吉川化成株式会社 ナノテクノロジーセンター 技術顧問	委
豊見山寿夫	新日鉄住友化学株式会社 機能材料事業部(本社) グループリーダー	
福江 高志	国立大学法人岩手大学 工学部 助教	
芦名澤 浩幸	国立大学法人岩手大学 工学部 特任研究員	委
吉田 勇人	リコーインダストリアルソリューションズ株式会社オートモティブ事業センター開発室 開発三グループ リーダー	アドバイザー
藤井 克己	公益財団法人いわて産業振興センター 顧問	
小山 康文	公益財団法人いわて産業振興センター 事業化プロモーター	
菊池 孝	公益財団法人いわて産業振興センター ものづくり振興グループ グループリーダー	

アドバイザー 氏 名	主な指導・協力事項
吉田 勇人	車載カメラ光学技術

1-3 成果概要

工法開発において吉川化成株式会社が車載用カメラモジュールに使用される光学レンズを新日鉄住金化学株式会社が開発した熱硬化性光学樹脂【エスドリマー®】を使用し、射出成形によって生産する工法の開発をおこなった。まず【エスドリマー®】の加工が可能になるようLIM成形機を改良し、精密温度制御が可能な成形機の開発を行った。同様に成形金型においても温度制御ができる構造・機構を盛り込んだ。しかし、【エスドリマー®】は硬化する際にガスを発生し、レンズの離型や金型表面の汚れなど弊害を引き起こすことがわかった。これを改善するため金型表面への耐久性をもった離型薄膜選定、ガスを除去するための洗浄機構を設置することで解決をはかった。

材料開発において新日鉄住金株式会社が光学レンズにマッチングした材料グレードを開発。複数枚のレンズを使用する組みレンズ（レンズユニット）において一般的に使用されている屈折率：1.52および1.61のグレードを製作し、信頼性においても自動車メーカーが要求するスペックを満たした材料開発をおこなった。

解析において国立大学法人岩手大学工学部が【エスドリマー®】を市販の流動解析ソフトでシミュレーションが可能となる様、シミュレーションに必要となる材料のパラメーターを調査し、解析ソフトに組み入れることで【エスドリマー®】のデータ化をおこなった。実際の成形条件とシミュレーション結果の比較検証を実施し、【エスドリマー®】の工業材料としての実用性を広げる活動をおこない成果を上げることが出来た。

最終的にカメラモジュールメーカーが採用しうるレンズの製作に成功し、従来のガラスモールドプレス加工によるレンズと比較して、表面硬度：6H（ガラスと同等）、比重：1/2（50%の軽量）、生産性：10倍、エネルギー効率：75%低減をなしうる生産プロセスの開発を達成することができた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人いわて産業振興センター

ものづくり振興グループ主幹 柳沢 晴彦

吉川化成株式会社 東北工場光学技術センター

センター長： 及川 浩幸

新日鉄住金化学株式会社 有機材料開発センター

グループリーダー： 後藤 禎寿

国立大学法人岩手大学工学部

教授： 廣瀬 宏一

第2章 本論

2-1 研究開発の方針

生産プロセスを確立する上で材料・金型・装置の3つの要素について研究開発をおこなうこととし、最終的にそれらを最適化することで高度化目標を達成することとした。活動に際して掲げたテーマは以下の3点である。

【1】高機能熱硬化性プラスチック樹脂（エスドリマー®）の導入

- ・射出成形用グレードの開発
- ・流動解析

【2】特殊レンズ金型の開発

- ・精密温度制御金型の開発
- ・特殊離型性向上金型の開発

【3】精密温度制御による成形システムの実用化

- ・エスドリマー®専用射出成形機の開発

2-2 研究実施内容

①機能熱硬化性プラスチック樹脂（エスドリマー®）の導入

（新日鉄住金化学株式会社、国立大学法人岩手大学、吉川化成株式会社）

①-1 射出成形用グレードの開発（新日鉄住金化学株式会社）

①-1-1 表面硬度：6H、屈折率：1.52を満足するグレードの開発（『車載用カメラ』レンズ用 高硬度・低屈折グレードの開発）

昨年度の取組みにより以下の射出成形用途向け基本処方を確立している。高硬度型は当初の目的である外玉レンズへの適用を目指すグレードである。また、良成型型は、アドバイザーであるリコーインダストリアルソリューションズ株式会社の情報に基づき、今後期待される耐熱性レンズユニットの中玉への適用が期待できるグレードである。

- ・高硬度基本グレード（表面硬度6H）：L-2100（仮称）
- ・良成形基本グレード（表面硬度H）：L-2000（仮称）

	単位	良成形型 (L-2000)	高硬度型 (L-2100)
全光線透過率	%	91.7	91.8
Haze	%	0.3	0.2
屈折率（589nm）		1.5225	1.5182
屈折率（486nm）		1.5296	1.5252
屈折率（656nm）		1.5197	1.5150
アッベ数		52.80	50.83
鉛筆硬度(1kg)		H	6H
ガラス転移温度	℃	Tg レス	Tg レス
硬化収縮率	%	4.5	7.8

図1 屈折率 1.52 材料硬化物 物性（その1）

- ・高硬度型材料の成形安定性向上、及び成形サイクルの短縮検討
L-2100 を使用した場合、下記条件にて、樹脂充填時の駒表面温度によってはクラックが入る事が判明し、また硬化収縮率が大きく樹脂充填時の時間、つまり成形サイクルが延びる事が分かり、この成形改善が必要になってきた。

検証内容：クラック発生調査
使用材料：L-2100、L-2200

基本条件	
型締め力	150 kN
射出速度	0.2 mm/s
最大射出圧力	15 MPa
計量位置	5.0 mm
切替位置	3.6 mm

左記の条件を基本条件とした。
射出時のみの充填量を調査するため保圧は無し。

成形時に駒表面温度が高温で成形した際に成形品にクラックが発生している為、駒表面温度のクラック発生
のボーダーラインを調査する。

調査方法

基本条件をベースとし金型温度を150℃から10℃単位で温度を下げ調査実施。
射出速度を0.2mm/s・0.6mm/s・1.0mm/sの3パターンで材料特性を確認する。

◇材料L-2100_成形マトリックス表

クラック：有りor無し

射出時 駒表面温度	射出速度 0.2mm/s	射出速度 0.6mm/s	射出速度 1.0mm/s
70℃			
80℃	無し	無し	無し
90℃	無し	無し	無し
95℃	無し	無し	無し
100℃	有り	有り	有り
110℃	有り	有り	有り
120℃	有り	有り	有り
130℃	有り	有り	有り
140℃	有り	有り	有り
150℃	有り	有り	有り

図2 L-2100（仮称） 成形時のクラック発生調査

検証結果の射出時の駒表面温度が100℃以上でクラックが発生し、同時に成形サイクルが大幅に延びる事が分かってきた。ガラス代替としてコスト面で差別化する必要があり、L-2100と同等の表面硬度（6H）を維持し、成形性を改善する必要性が顕在化した。射出時の駒表面温度が低い状態でクラックが入る事も、樹脂の充填時間に時間が掛かるのも、硬化時の樹脂の収縮が大きく影響していると考え、材料の硬化収縮の低減改良に取り組んだ。その結果開発された樹脂を下記に示す。

	単位	良成型型 (L-2000)	高硬度型 (L-2100)	高硬度型 (L-2200)
全光線透過率	%	91.7	91.8	91.8
Haze	%	0.3	0.2	0.2
屈折率（589nm）		1.5225	1.5182	1.5196
屈折率（486nm）		1.5296	1.5252	1.5267
屈折率（656nm）		1.5197	1.5150	1.5166
アッペ数		52.80	50.83	51.20
鉛筆硬度(1kg)		H	6H	5~6H
ガラス転移温度	℃	Tg レス	Tg レス	Tg レス
硬化収縮率	%	4.5	7.8	5.0

図3 屈折率 1.52 材料 硬化物 物性（その2）

	測定条件/単位	良成型型 (L-2000)	高硬度型 (L-2100)	高硬度型 (L-2200)
粘度	25℃ (mPa・s)	188,800	176,000	230,300
硬化開始時間	60℃保持 (min.)	63	56	75
硬化開始温度	昇温速度 3℃/min (℃)	84	81	82
ゲルタイム	150℃ (Sec.)	6	4	4

図4 屈折率 1.52 材料 ワニス物性

硬化収縮を抑える設計を検討し、その結果、表面硬度を維持し、さらに硬化収縮を良成型型並みに低減させる事に成功した。本材料をL-2200とし、L-2100と同様、射出時の駒表面温度の影響を確認した。

◇材料L-2200_成形マトリックス表

クラック：有りor無し

射出時 駒表面温度	射出速度 0.2mm/s	射出速度 0.6mm/s	射出速度 1.0mm/s
70℃			
80℃			
90℃	無し	—	—
100℃	無し	—	—
110℃	無し	無し	無し
120℃	無し	無し	無し
125℃	有り	有り	有り
130℃	有り	有り	有り
140℃	—	有り	有り
150℃	—	有り	有り

図5 L-2200（仮称） 成形時のクラック発生調査

結果、射出時の駒表面温度は、L-2100と比較し30℃高くする事が出来た。これは、高温で樹脂を型内に充填する事ができ、成形サイクルの短縮にもつながる事が分かっている。今後、このL-2200を高硬度材料のスタンダードとしさらに、成形サイクルの短縮検討につなげていく。

- 長期耐熱性改善

良成形材料のL-2000については、 ΔYI 値が目標値に達する事が分かっているが、L-2100については、昨年以来改善してきたものの、 ΔYI 値を大幅に改善するには樹脂組成そのものを変更する必要性があり、高表面硬度が犠牲になる可能性も否定出来ないものであった。今回、耐熱劣化の要因と考察した酸化劣化を防止することで ΔYI 値を低減出来る可能性は高いと考え、吉川化成株式会社製の高耐熱反射防止膜（AR 膜）を表面に付与し再度耐熱試験を行った。

105℃ x 1500h の長期耐熱試験の結果、 ΔYI 値を大幅に抑えられる事が判明した。高硬度材料のスタンダードとするL-2200は、AR 膜無しの状態でもL-2100と比較し良好な耐熱性を保有しており、本材料においてもAR 膜を施す事により目標に達成すると考える。

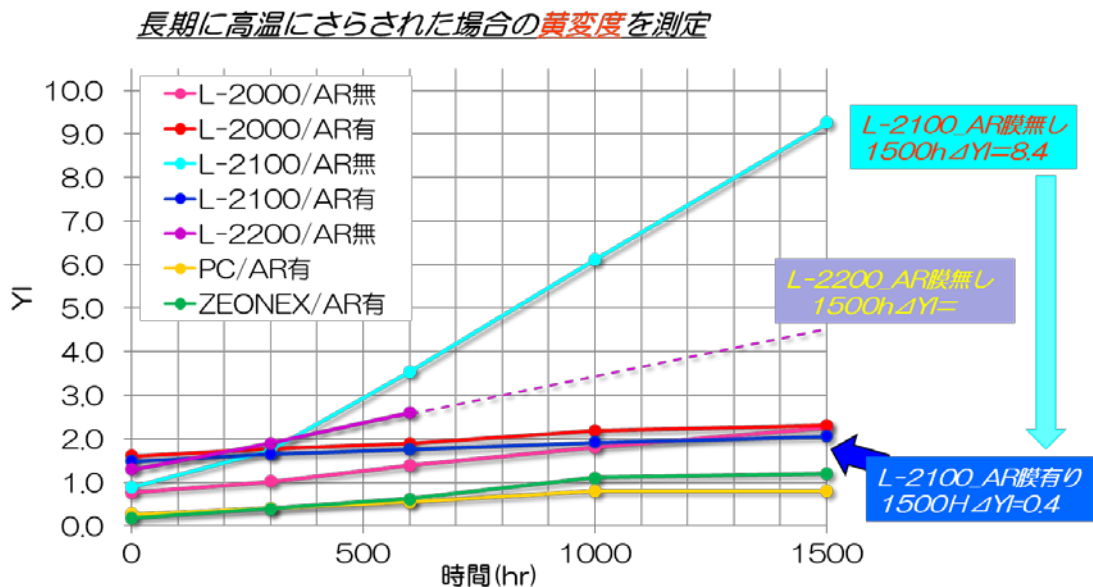


図6 長期耐熱性試験結果（YI 値変化、105℃、平板 1mm 厚）

①ー1ー2 表面硬度：6H、屈折率：1.61を満足するグレードの開発
（『車載用カメラ』レンズ用 高硬度・高屈折グレードの開発）

当初、高屈折材料もL1への適用を考えていたが、プラスチック材料では、アッペ数（色分散：屈折率の波長による変化）の関係でL1レンズ（最表面レンズ）には使用出来ないことが判明。また、高屈折と高硬度を両立させるのは、難易度が相当高い事も有り、現実用途の有る、高耐熱のL2レンズ向けに表面硬度の目標値を再設定し樹脂開発を行った。

目標 表面硬度：H、屈折率：1.61

下記に開発品の硬化物 物性を示す。

	測定条件/単位	L-2000	L-2300
全光線透過率	(%)	91.4	89.6
Haze	-	0.35	0.54
屈折率 C (656.3nm)	25℃	1.5158	1.6022
屈折率 d (587.6nm)	25℃	1.5188	1.6086
屈折率 e (546.1nm)	25℃	1.5211	1.6139
アッペ数		52.18	27.01
鉛筆硬度		H	2H

図7 高屈折材 硬化物物性（平板 1mm 厚）

屈折率 1.52 材料同様、硬化物の基本物性は目標値を達成したが、本材料においても長期耐熱試験を実施したところ、下図の通り 1.52 材料と比較し ΔYI 値（黄色度）が大きく、改善が必要と判断した。

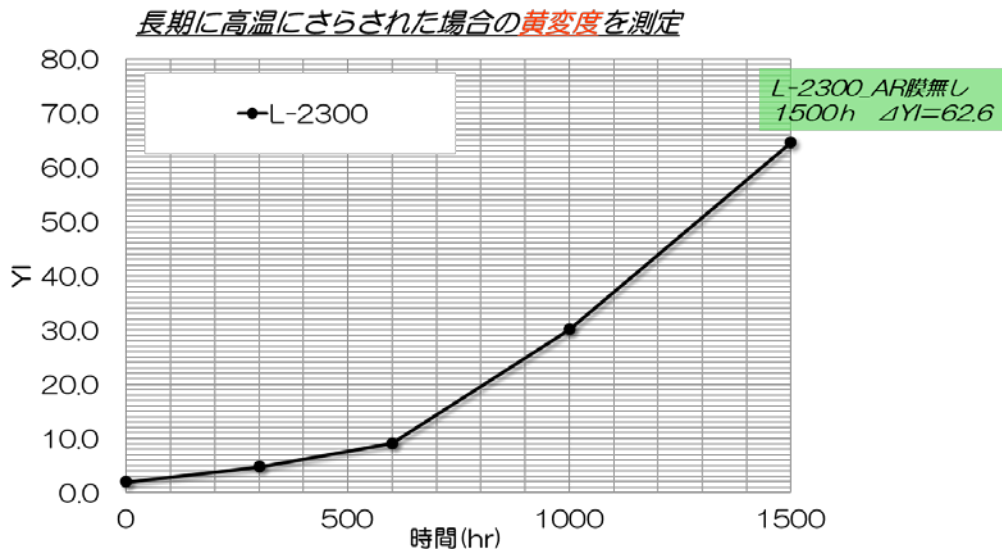


図8 長期耐熱性試験結果（YI 値変化、120℃平板 1mm 厚）

現在添加剤処方による ΔYI 値低減検討を行っており、150℃の加速試験で大きく効果を示す処方が見つかっており、現在、目標とする 105℃1500h の長期耐熱試験を実施中。

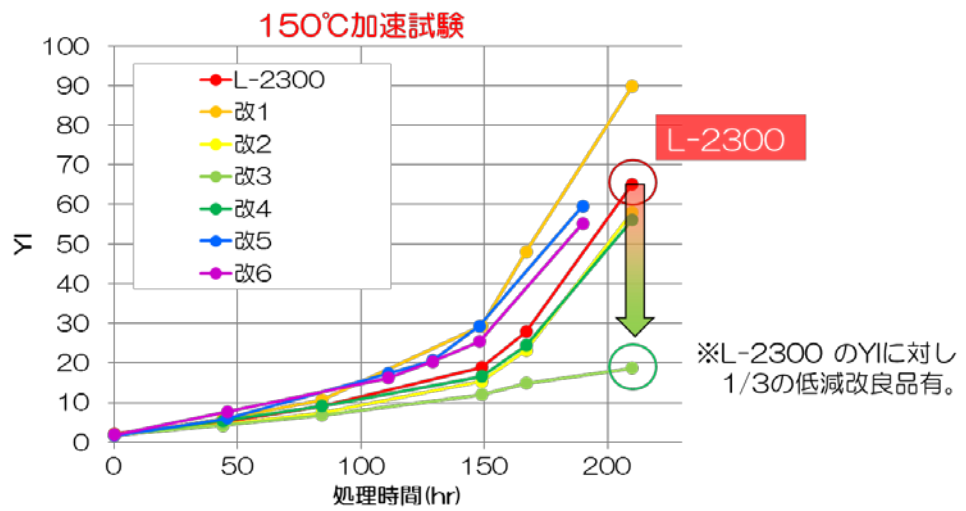


図9 長期耐熱性試験結果（YI 値変化、150℃平板 1mm 厚）

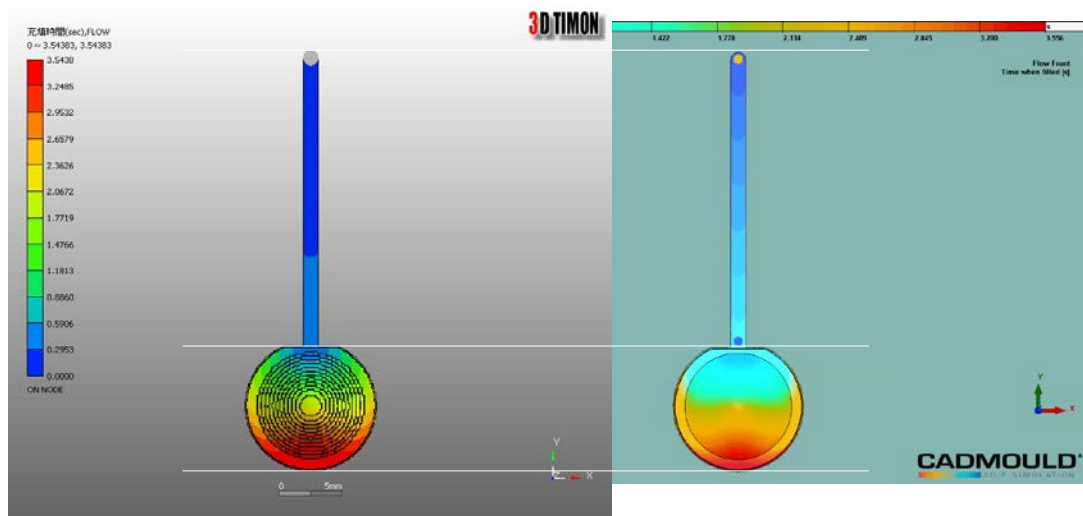
高屈折材料においても現在、基本材料による成形試作検討中で有り、成形性含め今後、最終処方確立に向け進めていく。

①ー２ 流動解析

①ー２ー１ 金型内流動解析（国立大学法人岩手大学）

岩手大学工学部はエスドリマー®の流動解析をおこなう為、熱硬化性樹脂の解析が可能なソフトを導入し、成形試作における実データと解析によるデータをつきあわせ、実用化に向けてより一般化できるような材料開発のデータ収集を行った。

岩手大学工学部で所有していた解析ソフト『Cadmould』と新たに導入した解析ソフトの『3D-TIMON』とを使用し成形工程別にエスドリマー®の解析を行った。解析結果を実際の成形品とでフィードバックさせ金型製作や成形時の不良原因対策・生産性の向上として反映させた。



(1) 金型内流動解析

エスドリマー®を用いた射出成形時の金型内樹脂流動解析については、『Cadmould』にある樹脂充填時の重力方向設定機能を使用することで、成形時のような樹脂流動に近い状態を再現することが出来た。

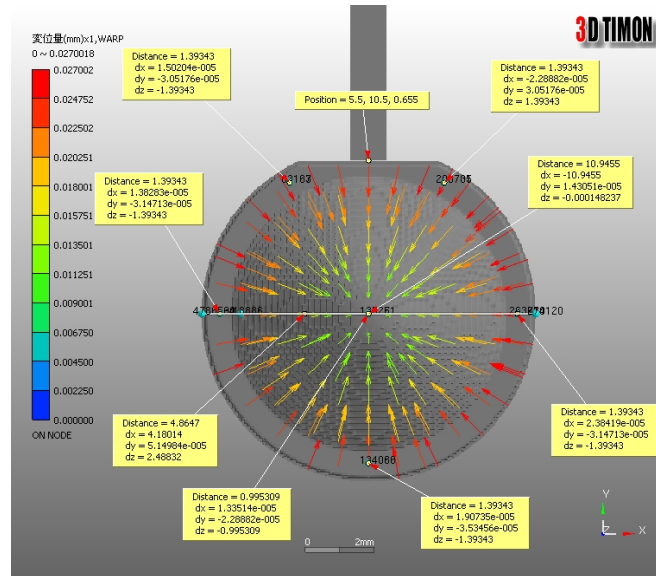
大抵の樹脂の場合は粘度がある程度高い為、射出時に重力の影響を受けてはいるが樹脂流動にそれほど影響が現れない。しかしエスドリマー®においては樹脂が硬化する直前に粘度がとても低くなる性質により、大いに重力の影響を受けてしまう。

現在の樹脂流動解析ソフトの多くは熱可塑性樹脂がメインであり、熱可塑性樹脂の場合、冷却した金型へ樹脂を充填するので、射出後、樹脂は冷却され粘度が上昇するので重力による影響がほとんど見られない。その為、多くのメーカーはソフトに重力の考慮を取り入れる必要性が低いのが実情である。しかし、今回使用した『Cadmould』には重力設定機能が装備されており、エスドリマー®のように粘度が極端に低くなる樹脂に対応できたことは、今回のプロジェクトにおいて解析としては非常に重要な部分であった。

(2) そり変形解析

エスドリマー®の成形後のそり変形については、『3D-TIMON』のWARP機能（そり変形解析）を使用することで、成形品離型後のそり変形をある程度まで再現できているが、実測値に対して解析値に幾分差が見られる。

今後は解析手法等を工夫することで実測値と解析値の差を縮めることが解析精度向上の課題と考えられる。



(3) 樹脂データベース

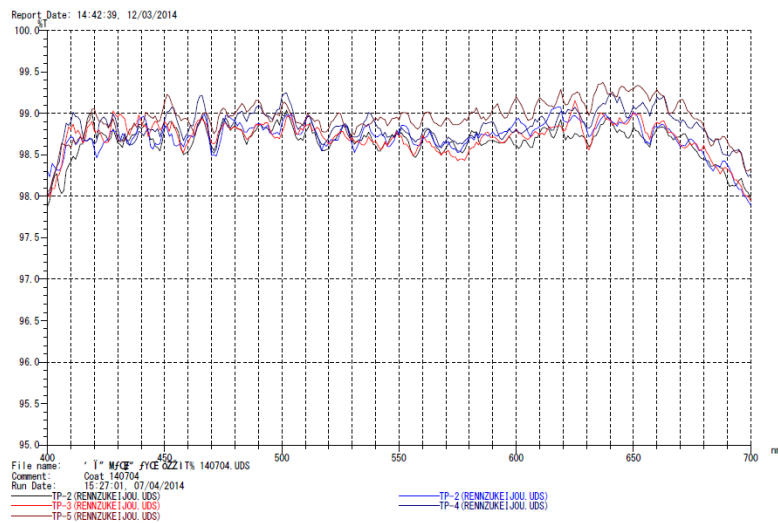
エスドリマー®の流動解析を通じて、熱硬化性樹脂の物性値収集項目および収集方法のノウハウを蓄積することが出来た。また、実際の樹脂流動と解析結果のつき合わせがほぼ一致していることから、エスドリマー®に即した樹脂データベースが構築できた。

①ー3 表面加工検証（吉川化成株式会社）

車載用カメラモジュールレンズの必要不可欠な項目としてレンズ表面への蒸着加工（ARコーティング）と墨塗り加工が必要となる。従って、当初の開発計画に表面加工検証の項目は無かったが、具体的なレンズ加工に進む中、表面加工の検証を追加し、開発をおこなった。

①ー3ー1 蒸着加工

エスドリマー®の表面に蒸着加工によってARコーティングを施す。車載耐熱仕様の「ARコート膜」設計をおこない、透過率特性については、450nm～800nmで透過率98%を目指した。加工の結果、提示されていた信頼特性：高温放置105℃/1500hで膜はがれ・クラックの発生なし。問題なしと判断。年度内での活動目標は達成した。



①ー3ー2 墨塗り加工

エスドリマー®の表面に専用のインクにより「墨塗り加工」を施す。従来は筆を使い人の手で一つ一つ塗られている工程であるが、生産数量の増加を鑑み、パッド印刷機を応用した工法検討にあたった。結果、レンズ1個あたり、約2秒弱で加工ができるプロセスを確立することができた。



パッド印刷による加工レンズ

②特殊レンズ金型の開発（吉川化成株式会社）

②－１ 金型温度制御

精密な温度制御を必要とするエスドリマー®の場合、金型においても精密な温度制御が可能な金型構造が求められる。具体的には温調回路を全ての型板に設置し、製品が硬化・架橋する部分は 150℃に熱し、そこに至るまでの材料経路は 25℃の一定温度で保たれることができる金型を製作した。

金型の各型板には温調回路とともに熱電対による温度センサーを設置し、樹脂が金型内にてどのように温度の影響を受けているかを把握できるような金型とする。加工時にそれらの温度データがリアルタイムで確認できるようにし、温度による樹脂の挙動をみきわめ、加工条件の設定、ひいては最適な材料グレード開発のためのフィードバックを行った。

②－１－１ 熱水冷水切換方式 温調金型

金型の温度を調節する温調設備について、水媒体を検討する。金型温度が高温となる場合、一般的に棒ヒーターが使用されるが温度を下げることに不向きな為、精密温度制御には適さない。従って高外観成形で用いられる「熱水冷水切換方式」を応用し、瞬時に金型内の温度を変化させることができる特殊温調機をエスドリマー®用に合わせて使用した。

②－１－２ エスドリマー®仕様バルブゲートのカスタム化

ゲート構造についても検討を要する。既に製作済みの試作金型において、シリコン樹脂等で実績のある「バルブゲート」で金型を製作したが、エスドリマー®の成形可能粘度で試作加工を行った際、十分な温度制御ができないために、ゲート部の温度が上昇し、ゲート部に滞留する樹脂が高粘度となり作動不良を起こした。従って、ゲート構造も温調回路を増設しエスドリマー®に適した温度管理が可能な仕様に改造した。

上記の構造をもった特殊金型を研究開発期間中に2面製作。1面目は1個取りの成形条件検証金型。2面目は8個取りの多数個取りにおける成形検証金型。この2面を使用し、エスドリマー®の最適成形条件の検証にあたった。

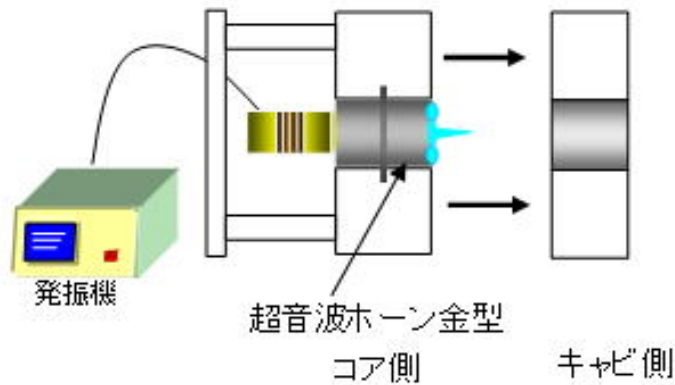
②－２ 特殊離型構造・処理（吉川化成株式会社）

エスドリマー®はエポキシ樹脂やシリコン樹脂と同様、硬化の際に接着剤のように金型に「貼りつく」という問題がある。この問題解決に対し、以下の2つの特殊離型技術を金型に盛り込み、エスドリマー®に最適な構造を検討する。

②－２－１ 離型用超音波ユニット

「高精度ハードシリコンレンズの大量生産・低コスト化を実現したエジェクタピンレス樹脂成形生産システムの開発」として実績があるシステム。このシステムを金型に導入し、エスドリマー®の成形においても効果が見込めるか実証を行った。結果、非常に効果があることが分かったが、構造上、金型を大型化する

ことが困難なことが判明。量産化面で不利な為、不採用とした。



②-2-2 プラスチック成形金型用高離型被膜

「透明エポキシ樹脂の離型薄膜」として実績がある複数の被膜の検証をおこなった。エスドリマー®の成形においてもこれらの被膜の効果が見込めるか実証を行った。結果、有機系被膜、無機系被膜で効果の高いものが見つかり、量産時の耐久性を鑑み、無機系被膜を採用した。

③精密温度制御による成形システムの実用化（吉川化成株式会社）

③-1 エスドリマー®専用射出成形機の開発

電動式の射出成形機（以下 LIM 成形機という）を使用ベースとし、エスドリマー®専用の射出成形機をカスタム製作した。

③-1-1 射出成形機の温度制御 〔樹脂供給装置〕

従来のLIM成形機は環境温度に左右されやすい敏感な材料には向かない。事実、エスドリマー®を使用する場合においては粘度変化による流動変動から計量や充填バラツキが大きくなる為、使用不可。よって今回の開発における成形では材料供給装置からシリンダーまでの樹脂移動経路の温度管理が十分にできるような構造を採用した。



従来のLIM成形機では樹脂供給のためのホースがあるだけで温度制御がなされていない。

⇒ エスドリマー®加工では不具合が生じる

よって材料供給装置を温度管理ができる構造に抜本的に見直す

③－１－２ 射出成形機の温度制御 「シリンダー」

次に「シリンダー」から「金型」へ樹脂が流れる工程であるが、従来はシリンダーのみのシンプルな構造をとり温度管理がなされていなかった（必要なかった）。しかし、今回のエスドリマー®の場合では非常にシビアな温度管理が必要となる為、シリンダーの周りに「ウォータージャケット」（水温調）を装着させる。一般的にはバンドヒーターを装着する方法もあるが、ヒーターの場合、温度を上げるのに有効であるが温度を下げるのには適さない。よってエスドリマー®仕様には水による温度管理が可能なシステムを構成した。

③－１－３ システムの合理化検討

全体システムの合理化として量産化を見据えた改善に取り組んだ

連続成形の検証

項目	単位		
材料	—	L-2000 (表面硬度H)	L-2200 (表面硬度6H)
成形方法	—	一般成形	一般成形
金型温度	℃	140	110
射出速度	mm/sec	0.2	0.2
保圧速度	mm/sec	1	0.2
保圧時間	sec	3	15
保圧圧力	MPa	20	15
最大射出圧力	MPa	20	15
ビーク圧力	MPa	20.1	15.1
V-P 位置	mm	3.6	3.6
射出時間	sec	7.249	7.249
冷却時間	sec	30	120
成形サイクル	sec	53	154
製品重量	g	0.165	0.178

成形サイクルにおいて

L-2000 → 53秒

L-2200 → 154秒

であり、この成形条件に製品取出し・ガス洗浄の工程を加え、連続成形が可能か検証を行った。

結果、大きな問題なく連続成形が可能であることを確認できたため、最終的に本開発における熱硬化性樹脂によるレンズの生産性は次のようになった。

成形サイクル

・L-2000	53秒+35秒=	88秒
・L-2200	154秒+35秒=	189秒

高度化目標として掲げていた成形サイクル：90秒に対し、表面硬度：HのL-2000は目標達成。表面硬度：6HのL-2200については189秒となり目標の2倍の工数となった。しかし、従来工法であるガラスモールドとの比較において、

L-2000 → 1/10

L-2200 → 1/5

の工数改善となり、完全な目標達成には至らなかったが、量産する上での優位性は示すことができた。成形条件については今後も改善できる可能性は高く、本研究開発期間において上記の結果にたどり着いたに過ぎない。さらなる量産を想定した改善活動を行えば生産性をあげることが可能となり得る。

また、多数個取りの検証結果より、仮に上記の成形サイクルを8個取りで想定した場合、レンズの取出し・洗浄を4個ずつとすると

L-2000
{53秒+35秒(1回目)+35秒(2回目)}÷8= 15.3秒/個
L-2200
{154秒+35秒(1回目)+35秒(2回目)}÷8= 28秒/個

となり、両グレードともに当初の高度化目標を大幅に上回る生産性を達成することが可能である。

成形条件を見ても通常の熱可塑性樹脂による成形条件と大きく変わらず、むしろ射出圧力が低い為、金型・成形機に負担がかからない材料

でもある。これらの面からも金型寿命は熱可塑性樹脂同等の耐久性を
保証できると予測される。従って、生産性においてさらなる改善の余
地は残しているが、現状においてでも当初の高度化目標を達成できる
検証をなせたと結論付ける。

最終章 全体総括

H27年度の活動結果は当初のスケジュールに対する達成度をふまえて下記の結果とみる。

「①高機能熱硬化性プラスチック樹脂（イストリマー®）の導入」

1-1	射出成形用グレードの開発（新日鉄住金化学(株)）	
1-1-1	屈折率：1.52 グレードの開発	100%
1-1-2	屈折率：1.61 グレードの開発	90%
1-2	流動解析	
1-2-1	金型内流動解析（岩手大学）	100%
1-2-2	材料粘度確認試作（吉川化成(株)）	98%
1-3	表面加工検証	
1-3-1	ARコート検証（吉川化成(株)）	100%
1-3-2	墨塗り検証（吉川化成(株)）	95%

「②特殊レンズ金型の開発」

2-2	特殊離型性向上金型の開発	
2-1-1	熱水冷水切替方式温調金型（吉川化成(株)）	100%
2-1-2	イストリマー®仕様ガラスバルブゲート（吉川化成(株)）	100%
2-1-3	システムの合理化検討	95%
2-2	特殊離型性向上金型の開発	
2-2-1	離型用超音波共振装置（吉川化成(株)）	100%
2-2-2	プラスチック成形金型用高離型被膜（吉川化成(株)）	100%

「③精密温度制御による成形システムの実用化」

3-1	イストリマー®専用射出成形機の開発（吉川化成(株)）	
3-1-1	射出成形機の温度制御〔樹脂供給装置〕	100%
3-1-2	射出成形機の温度制御〔シリカゲル〕	100%
3-1-3	システムの合理化検討	95%

一部達成できていない項目もあるが、結果まで時間のかかる信頼性試験などが期間内で収まらなかったことによること、また本年度でサポインとしての活動は終了するが、今後も改善活動の余地・可能性があるものについては敢えて100%とせず、継続させる意味も込めて90%台の数値を記入している。

また研究開発活動とは直接関係ないが、工法開発の成果を「第6回ものづくり日本大賞」に申請、『優秀賞』を受賞できた。実用化におけるサンプル出荷と「ものづくり日本大賞」の受賞は今後の具体的な事業化に向けて弾みとなる成果であり、本開発の意義について評価されたことは非常に有意義であった。実際に研究開発の最終年度活動期間内ではあるが、アドバイザー企業よりカメ

ラモジュールレンズの試作製作依頼があり、エンジニアリングサンプルの製作を実施した。

※製作した「L 2レンズ」(左写真)とそのレンズを組み込んだ「車載用カメラモジュール：バックカメラ」(右写真)



※製作した「L 1レンズ」(左写真)とそのレンズを組み込んだ「車載用カメラモジュール：フロントカメラ」(右写真)



研究開発活動として一旦区切りをつける形となるが、引き続き事業化・実用化に向けた活動を加速する必要がある。