

平成29年度採択
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

「IoT活用によるスマート金型と射出成形機とを連動させた
最適成形条件の研究開発」

研究開発成果等報告書

令和2年3月

担当局 中部経済産業局
補助事業者 株式会社岐阜多田精機
国立大学法人岐阜大学

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	3
1-2	研究体制	5
1-3	成果概要	6
1-4	当該研究開発の連絡窓口	8

第2章 本論

2-1	射出成形条件の確立について	9
2-2	最適成形条件を実現するスマート金型システムの構築について	22
2-3	金型システムの評価	32

最終章 全体総括

3-1	研究開発の成果について	45
3-2	研究開発後の計画について	46
3-3	事業化展開について	47

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

(三) 精密加工に係る技術

1 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

① 川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

- ア. 高機能化・精密化・軽量化
- ウ. 品質の安定性・安全性の向上
- カ. 生産性・効率化の向上、低コスト化

(4) 川下分野特有の事項

4) その他の川下分野に関する事項

a. 自動車分野に関する事項

① 川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

イ. 軽量化

自動車産業においては、燃費の向上や地球環境への配慮から軽量化が求められているが、その目的は、軽量化により石油資源を節約でき、燃焼量が減ることによりCO₂の排出が削減可能となるためである。軽量化の実現のために、アルミニウム合金製や樹脂製などの軽量部品が個々の部品に使用されており、最近では、エンジンの樹脂化も見えてきている。

今まで、エンジンに関しては、耐熱性やコストの問題から金属からの置き換えが難しかったが、現在では、エンジン本体部品にまで適用の動きがあり、2020年の実用化が目標となっている。特に、車体の1/10の質量を占めるエンジンは、年々厳しさを増す燃費規制に対応するため、多くの自動車メーカーがエンジン本体の樹脂化に注目している状況である。

エンジンのシリンダーブロックを例にとると、鋳鉄からアルミニウム合金へ置き換えたときの軽量化は15~20kgであり、また、エンジンルーム内の多くの補機類は、樹脂製部品に置き換わりつつあり、吸気系や冷却系などの補機類は、稼働環境が比較的穏やかで100~130℃程度の耐熱性で済むことから、安価な汎用樹脂でも置き換えが可能となっている。

しかし、エンジン周辺でも、稼働温度が数100℃以上になる燃焼室や排気系では、依然として部品の樹脂化は進んでいないが、吸気マニホールドやシリンダーヘッドカバーなどは、アルミニウム合金より生産コストを低減できるとあって、量産車で樹脂化が進んでいるものの、

大型のプラスチック成形部品に関しては、成形条件が不安定なことから高い不良率が大きな課題となっている。

また、樹脂化へのメリットについては、軽量化以外にも、エンジン音を減衰することで、騒音が平均5db低減するとともに、樹脂部品は熱伝導率が低く断熱性が高いので、暖機も早まるという効果も期待できる。

しかし、エンジンの樹脂化に当たっては、大型成形部品の成形精度と熱による精度劣化や、成形品の量産時と生産準備段階では連続生産する個数や材料のロットが違いため、量産時には成形品の不良率が高く、人手による選別や緊急の金型修正が発生するといった課題がある。

その原因として想定されるのが

- ・樹脂材料自体のバラツキによる成形条件設定の不安定さ。
- ・成形時の残留応力に起因する成形部位におけるバラツキ。
- ・熱による精度劣化に対するが未対応。
- ・射出成形時の不安定な挙動に対する未対応。 である。

これらの要因により、現状の成形方法では実用化が困難で、高い不良率（約20%）となって表れている。そして、この不良率解消のために、成形条件等をCAE解析により解明しようとしても、樹脂ごとのバラツキがあり、また、圧力や温度等の成形条件も樹脂材料により異なることから、対応が困難であるのが実態である。

本研究開発では、高機能樹脂の成形を目的として、熱による精度劣化や成形品の内部応力を配慮した金型製作を行うために、樹脂材料の射出成形に関する物性をデータベース化し、そのデータを元に熱応力歪を最小化する金型設計とIoTによるセンシング機能を具備したスマート金型と射出成形機とを連動させて、成形機及び金型内での成形状況や圧力等の成形条件を可視化しながら、データ収集と分析・解析を行う金型システムを構築した。

そして、これにより、熱による精度劣化の少ない高精度樹脂部品の成形用金型設計と製作及び射出成形法を確立し、成形品の高精度化、不良率の低減及び低コスト化を実現し、樹脂部品の用途範囲を広げることで、川下企業のニーズである軽量化、生産性・効率化の向上、コスト低減に應えるものである。

本研究開発に係る技術目標値は以下のとおりである。

(1) 金型生産状況について

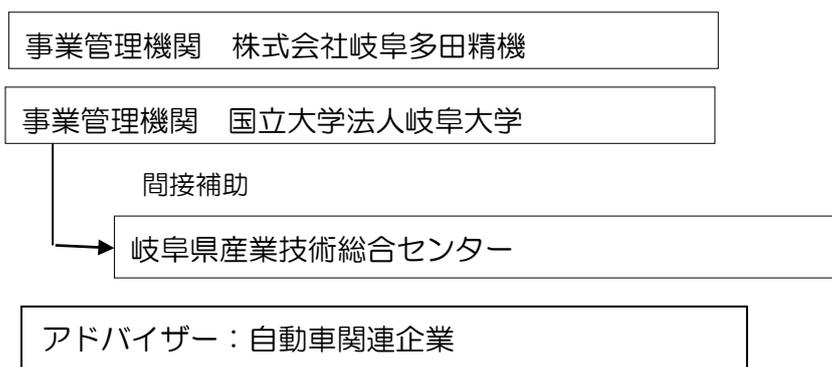
区 分	現 状	目 標 値
樹脂製品不良率 (そり量)	現状の樹脂成形 20%以上 (12mm)	1%以下 (2.0mm以下)
金型メンテナンス費用	現状の樹脂成形型 100	1/2 (50%低減)
製造工コスト	アルミダイカスト製品 100	樹脂製品 1/2 (50%低減)

(2) 金型加工技術について

区 分	現 状	目 標 値
型精度	2/100mm	1/100mm
型修正回数	現状の修正回数6.5回	2回以下
金型寿命	現状の樹脂成形 5万ショット	10万ショット (型寿命2倍)

1-2 研究体制

研究実施体制



【事業管理機関】

株式会社岐阜多田精機

管理員

氏 名	所属・役職	備考
多田 憲生	代表取締役社長	

研究員

氏 名	所属・役職	備考
福田 雅憲	営業技術部 課長	
栗原 雅彦	製造4課 グループリーダー	
白崎 達也	営業技術部 グループリーダー	
高橋 隆晃	設計担当 グループリーダー	
高橋 福	設計担当 グループリーダー	
恩田 幸喜	製造2課 サブリーダー	

【事業管理機関】

国立大学法人岐阜大学

管理員

氏名	所属・役職	備考
砂田 博	地域連携スマート金型技術研究センター コーディネーター	

研究員

氏名	所属・役職	備考
王 志 剛	工学部教授	

【間接補助事業者】

岐阜県産業技術総合センター

研究員

氏名	所属・役職	備考
山田 俊郎	主任専門研究員	

1-3 成果概要

1. 射出成形条件の確立について

靱性や、耐摩耗性を有し、耐熱性や耐油性が高い機能樹脂であるナイロン樹脂を材料として使用するが、ナイロン樹脂は融融点が高く、溶けるときの温度依存性も高いことから金型内の温度管理はもとより、熱収縮性の比率も樹脂の種類によって異なるため、物性値の把握が必要となる。

また、実証検証を円滑に実施するために、実寸のシリンダーヘッドカバー用スマート金型を製作することから、設計段階において、各種成形条件を考慮した設計が求められるが、特に、大型樹脂製品の最大不良要因が熱応力歪（そり）による成形不良への対応が求められる。

そのため、このそりを最小とするための最適成形条件の確立を、流動状況とそれに対応する各種パラメータを活用したCAE解析を通じて実施し、理想とされる成形条件を確立した。

2. 最適成形条件を実現するスマート金型システムの構築について

安定した樹脂成形を実現するためには、樹脂温度とともに射出成形機におけるスクリュー

圧力とゲート射出された樹脂の金型内における圧力の安定化が求められるとともに、材料がナイロン樹脂で、大型金型内で不良発生なく成形するためには、ゲート位置から圧力の状況変化の把握及び型内における温度調整を的確に行う必要がある。

そのため、スクリーン内及び金型内のセンシングを適正に実施するために、センサの選定からセンサの装着位置を検証するとともに、センサから得られる各種データの収集と解析・分析を実施した。

そして、射出成形における最適成形条件（スタンダード成形条件）と実際の成形データ結果とを比較検証しながら、スマート金型システムを構築した。

3. 金型システムの評価

実証用スマート金型にかかる評価は、①型内の圧力及び温度の状況、②センシング状況とセンシング装置の位置等に係る評価を行って、その結果を金型システムの確立に反映するとともに、成形したサンプル製品の評価に関しても、CAE解析結果との比較評価を行うとともに、成形品の精度や強度等の特性等評価も実施しながら、スマート金型システムを構築して、事業化への展開を進めた。

4. 研究開発の目標値と達成状況

(1) 金型生産状況について

区分	現状	達成状況	目標値・判定(ABC)
樹脂製品不良率 (そり量)	樹脂成形 20%以上 (12mm以上)	1% (1.6mm)	A
金型メンテナンス費用	樹脂成形 100	50 (1/2)	A
製造コスト	ダイカスト 100	50 (1/2)	A

(2) 金型加工技術について

区分	現状	達成状況	目標値・判定(ABC)
型精度	2/100mm	1/100mm	A
型修正回収	現状 6.5回	2回以下	A
金型寿命	樹脂成形 5万ショット	10万ショット	A

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社岐阜多田精機 代表取締役社長 多田 憲生

電話 058-239-2231

FAX 058-239-8353

E-mail norio@tadaapan.co.jp

国立大学法人岐阜大学 地域連携スマート金型技術研究センター

コーディネーター 砂田 博

電話 058-293-2497

FAX 058-293-2497

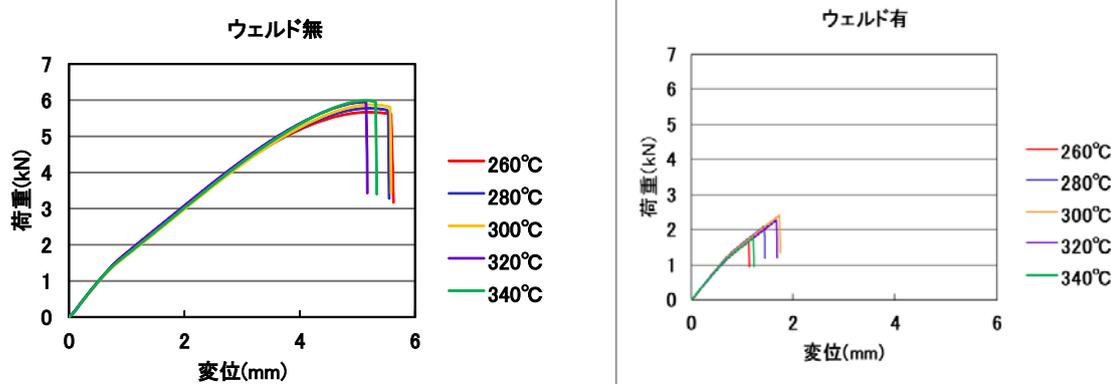
E-mail sunada@gifu-u.ac.jp

第2章 本論

2-1 射出成形条件の確立について

A-1 樹脂材料の評価（物性・特性）

製品設計に係るCAE解析を確実に実施するために、シリンダーヘッドカバーの成形に使用予定の、ナイロン樹脂（PA6-G30）の引張り試験を行い、カタログ値との比較評価を実施した。



その結果、

- 引張り強さは、145～153MPaであることから、カタログ値180MPaの83%程度になった。
- ウエルドがあると、引張強さは1/3に小さくなるとともに、成形樹脂温度が高いほど、引張強さは大きくなった。

また、成形品の密度とカタログ値と比較評価を行ったところ、成形品の密度はカタログ値とほぼ一致した。

A-2 最適成形条件の確立

(1) 最適成形条件について

実証検証を円滑に実施するために、実寸のシリンダーヘッドカバー用スマート金型を製作することから、設計段階において、各種成形条件を考慮した設計が求められる。

特に、大型樹脂製品の最大不良要因が熱応力歪（そり）による成形不良であることから、このそりを2.0mm以下にする目標での最適成形条件の確立を図った。

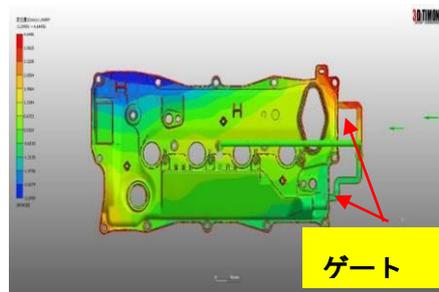
なお、その要因として、

- 内圧差
- ガラス繊維配向差
- 成形品冷却速度差

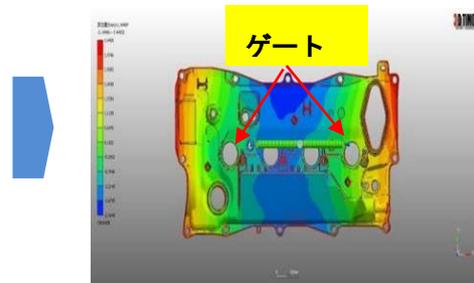
の3項目に着目して、それぞれを改善したモデルを作成するとともに、CAEによるそのり解析を実施し、そのり最小化に取り組んだ。

① 内圧差の検証について

樹脂流入口（ゲート口）と末端との内圧差が少ないほうが、そのりが軽減されることから、現行のサイドゲートからダイレクトゲートにして、流動長を短くして検証した。



ゲートから端まで540である。

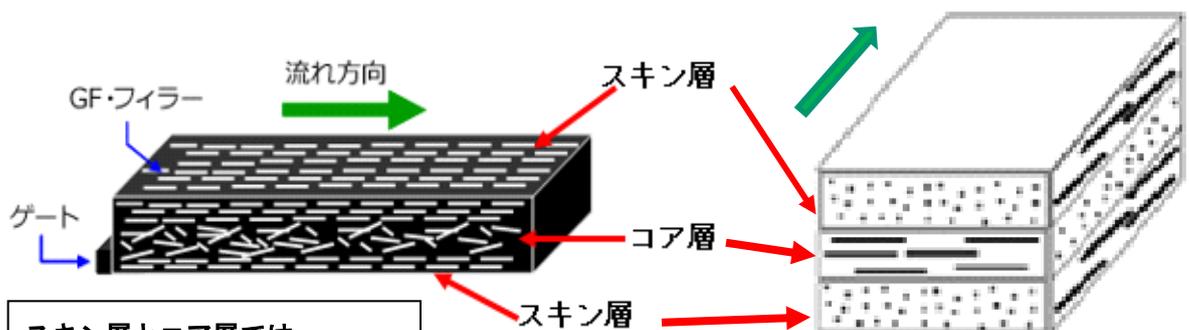


ゲートから端まで140である。

② ガラス繊維配向差について

繊維配向の影響が、スキン層とコア層の比率により、緩和される肉厚があると考え、CAEにより解析し、結果に基づき成形品の肉厚を決定した。

基本的にガラス繊維配向はゲート位置によって決まり、スキン層は樹脂の流れ方向に対して平行に配向し、コア層は直角に配向している。また、ガラス繊維に対し水平方向は収縮が小さく、直角方向は収縮が大きいいため、その差が発生することでそのりに大きな影響を与える。

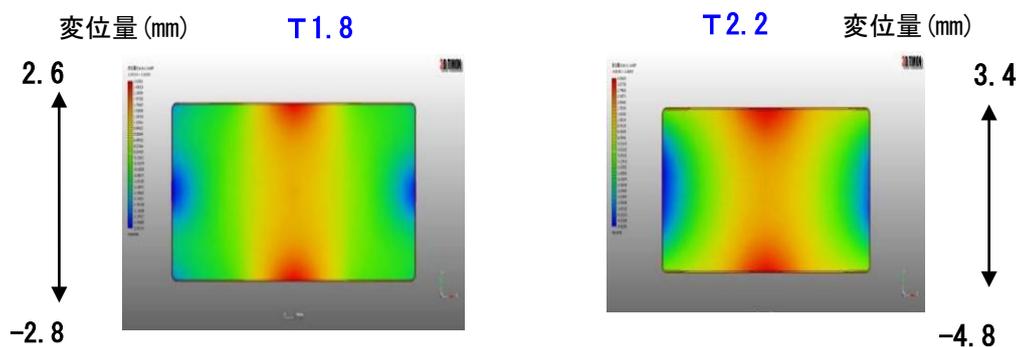


スキン層とコア層では、
繊維配向が直角方向に異なる。

上記のように仮定し、シリンダーヘッドカバーサイズのシンプルモデルを作成し、CAEによりそりが小さくなる肉厚を検証した。

肉厚とソリ量との関係

肉厚 (mm)	ソリ量 (mm)
1.4	ショートト 検証不可
1.6	5.5 内圧上昇
1.8	5.4
2.0	6.3
2.2	8.2
2.5	6.2

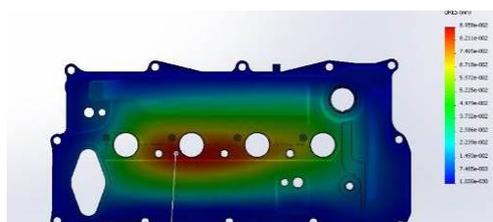


③ 成形品冷却速度差

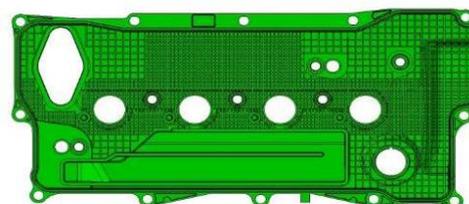
成形品の肉厚を均一にすると冷却速度も一定になることから、製品肉厚を1.8 mm均一にモデリングを実施した。



その結果、製品肉厚1.8mmの場合、初期形状より薄肉になり軽量化となるものの剛性が低下することから、形状最適化を行い、リブを付け強度アップを図った。



強度計算結果



リブ付けによる強度アップ

④ CAE解析によるソリ軽減の効果

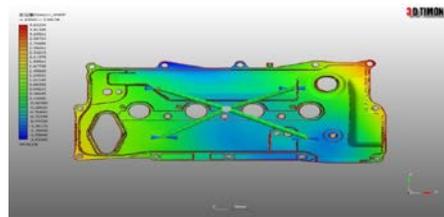
CAE解析結果であるが、

初期形状でのそり量 : 5.0mm

織込んだモデルそり量 : 5.2mm であった。

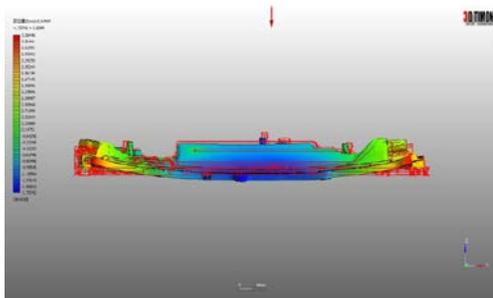
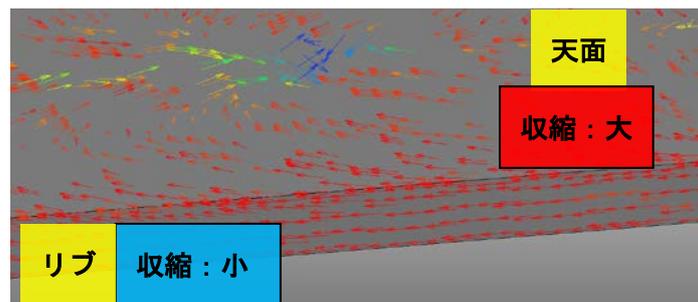
このように、解析結果からすると、期待した結果（目標値：2.0mm）にはほど遠い結果となったが、その原因は、剛性アップのために付加したリブにより、ガラス繊維配向差に影響を与えたことによるものと思われる。

また、CAE解析で求めた肉厚1.8mmは、テストモデルの形状依存が大きく、最適肉厚とは断定できないことから、ガラス繊維配向とそりの相関を検証を行うこととした。



⑤ ガラス繊維配向とそりとの関係についての考察

対象とするシリンダーヘッドカバーのような箱型の形状の場合、天面の繊維配向は同心状やランダムとなり、一方、外周のリブ形状の繊維配向は水平にそろうたまた下図のようなそりが発生する。



ガラス繊維あり



ガラス繊維なし

CAE解析及び実成形品の評価においても、ガラス繊維の有無により、そり方向が逆転するほど影響が大きいことが理解できた。

以上より、そりの影響度としては

ガラス繊維配向 >> 内圧差、冷却速度差 と考えられる。

これらの結果を踏まえて、ガラス繊維配向とそりの相関関係に関して、実験用金型を製作しながら重点的に検証を行った。

⑥ ガラス繊維配向にかかる検証結果について

スキン層とコア層では繊維配向が異なり、収縮率に差が発生し、そりに影響をあたえることから、スキン層配向をコア層配向で相殺できる肉厚があると考えた。

これを実証するために、肉厚1～5mm可変できる実験金型を製作し、縦方向A、横方向Bとし、その収縮率を測定し、A、Bの比が1に近づく肉厚を求めた。

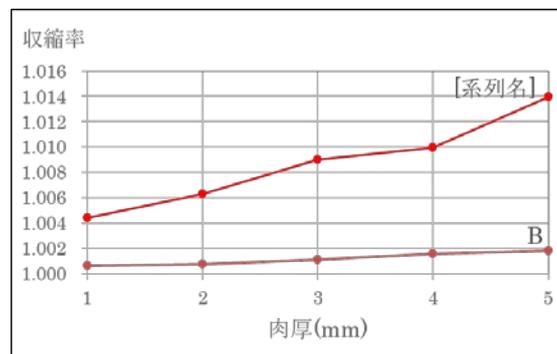
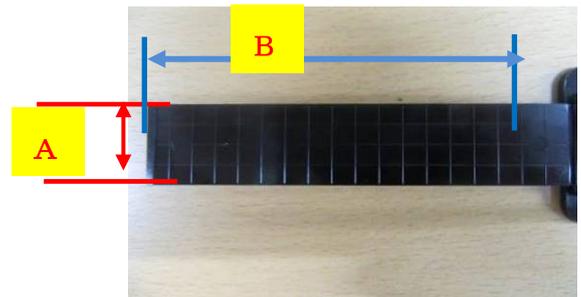
成形は型温、樹脂温度、保圧設定値、冷却時間を一定にした条件下で行い、格子のピッチを測定し収縮率を求めた。

その結果であるが、収縮率は、肉厚に対し正の相関になるとともに、

収縮率差の最小は 1 mm

流動方向、平行方向は 1.001

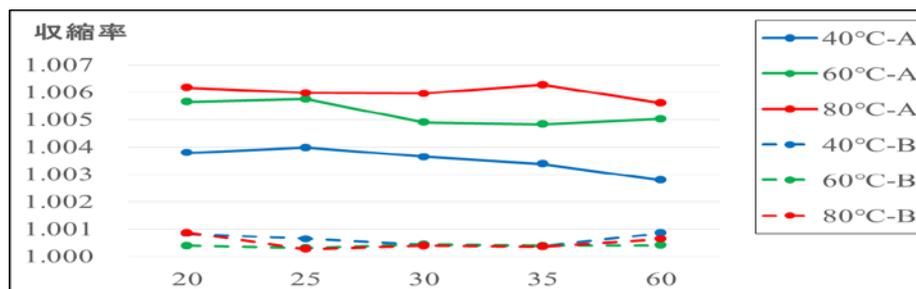
直角方向1.004 となった。



次に、冷却時間と型温の収縮率への影響についての検証を行った。

成形条件は

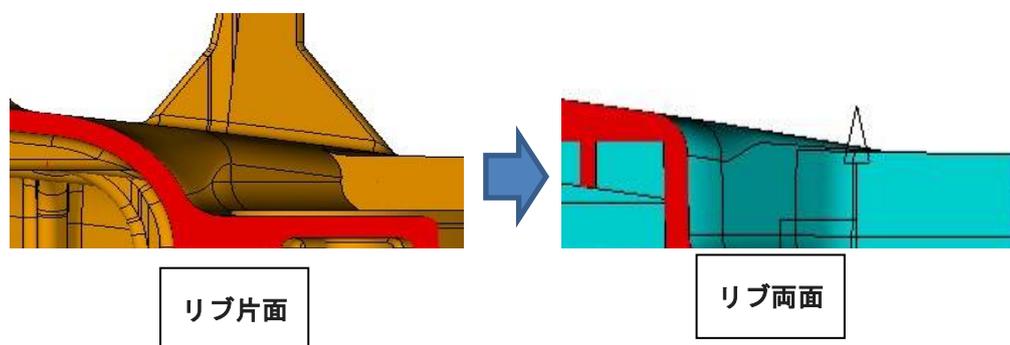
- 肉厚3mm一定
- 内圧は物性評価で求めた密度1.36g/cm³になるように設定。
- 冷却時間 20、25、30、35、60秒
- 型温 40、60、80℃



検証結果は、

- 冷却時間の差による収縮率の差は見られなかった。
- 型温が高くなるにつれて収縮率も大きくなった。
- 型温40℃での収縮率が平行方向1.001、直角方向1.004になり、肉厚1mmと3mmで同じ収縮率となった。

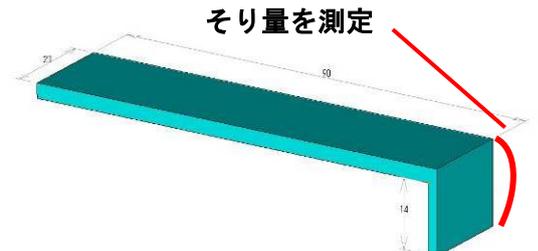
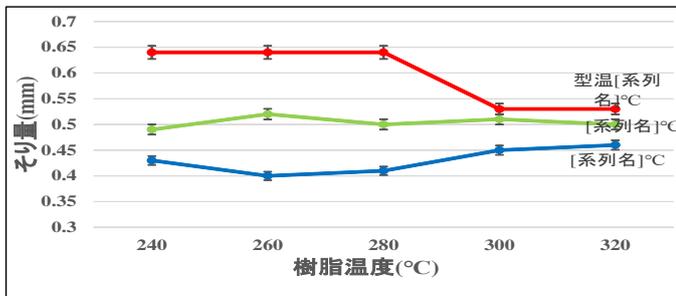
また、ガラス繊維配向は、肉厚で制御できないため、スキン層配向が支配的になることを考慮し、それを相殺できる形状を検討した。



以上から、リブ部を両面つけて、ガラス繊維配向を緩和させることを検討した。

⑦ 成形品冷却速度差にかかる検証結果について

そり軽減できる最適な金型温度や成形の樹脂温度を求めるために、下図のようなL字型を用いて、そりの少ない金型温度、樹脂温度の検証を行った。

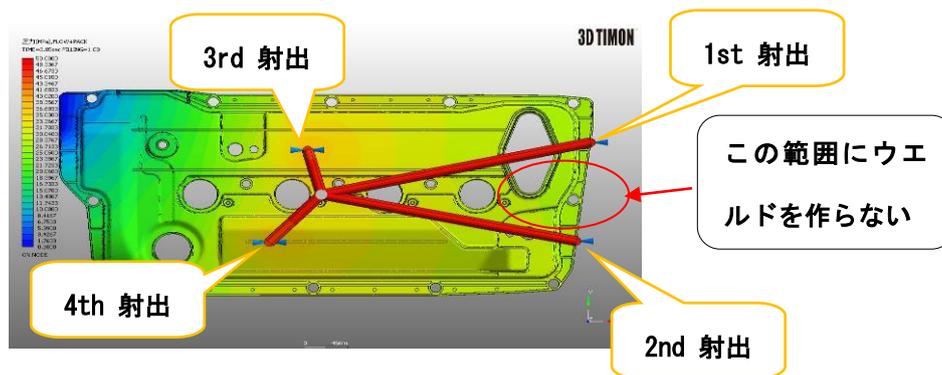


その結果、型温度、樹脂温度ともに低い方がそり量が少ないことが理解できた。

⑧ 最適成形条件について

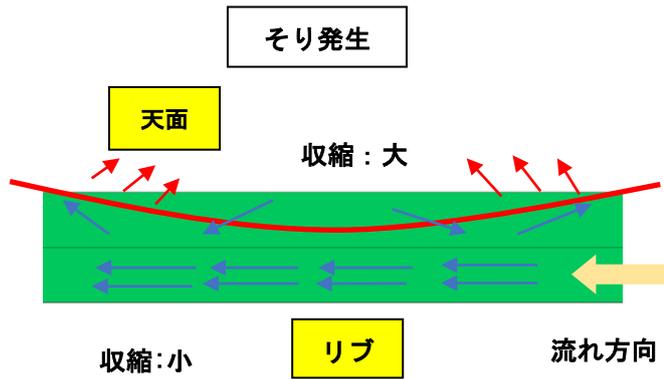
以上の検証の結果、最適成形条件としては次の点が理解されたので、これらの課題に対する対応策を検討しながら最適成形条件を確立し、それに基づき、実寸のシリンダーヘッドカバー用スマート金型を製作した。

- ・内圧差最小のために、流動長を短くする。



流動長を短くするために、ダイレクトゲートにし、そりの起点となるウエルド位置を制御するために、4点リレー成形（上記のように4点の射出点がある）とした。

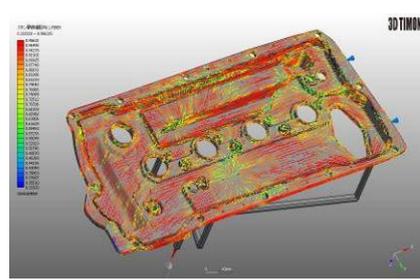
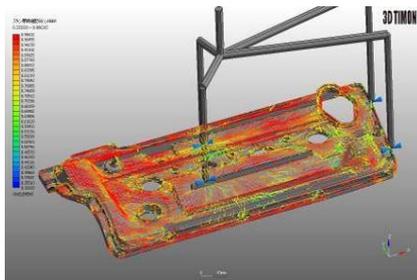
ガラス繊維配向は、肉厚で制御できないため、スキン層配向が支配的になることを考慮し、それを相殺できる形状にする。



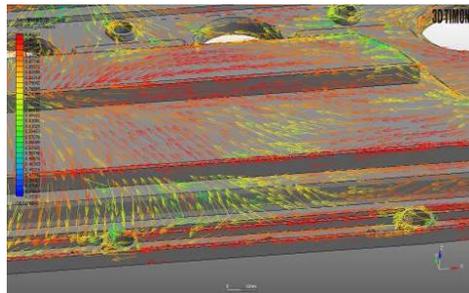
ガラス繊維配向は、流れに平行に揃う。

また、シリンダーヘッドカバーのような箱型の形状の場合、天面の繊維配向は同心状やランダムになるが、外周のリブ形状の繊維配向は平行になる。

シリンダーヘッドカバーのガラス繊維の配向

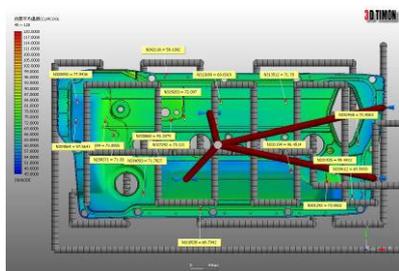


天面よりリブ形状ほうがガラス配向が揃うことが理解できる。

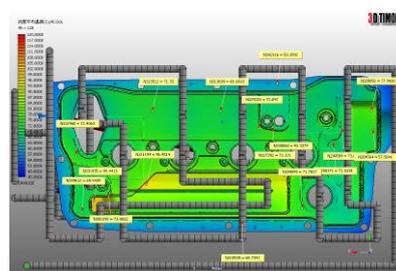


そのため、全体の収縮率を揃えるために、リブの対となる形状を追加した。

- 冷却速度差を一定にするため肉厚を均一にする。



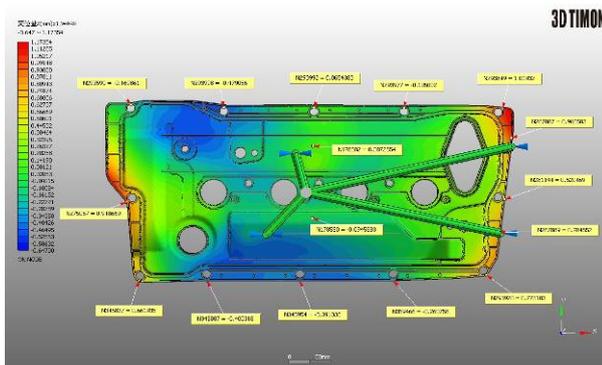
固定側冷却回路



可動側冷却回路

熱流体解析ソフトを活用して、成形時の熱だまりを可視化するとともに、熱だまり部にスポット冷却を入れて、均一になるように設定した。

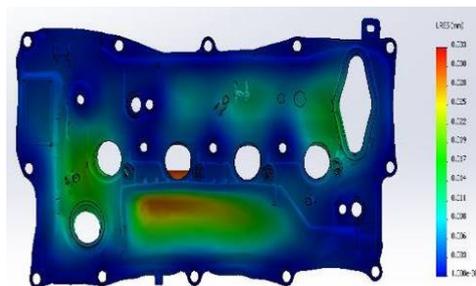
- そり解析結果



ガラス繊維配向差
成形形状で、そり解析を行ったところ、

そり量が1.8mmとなり、目標値であるそり量2.0 mm以下を達成した。

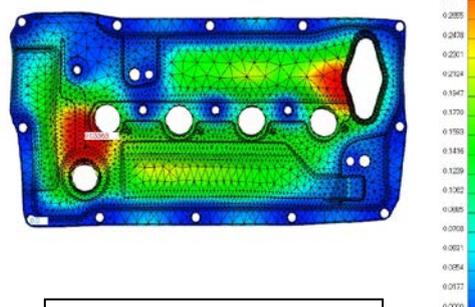
- 強度解析



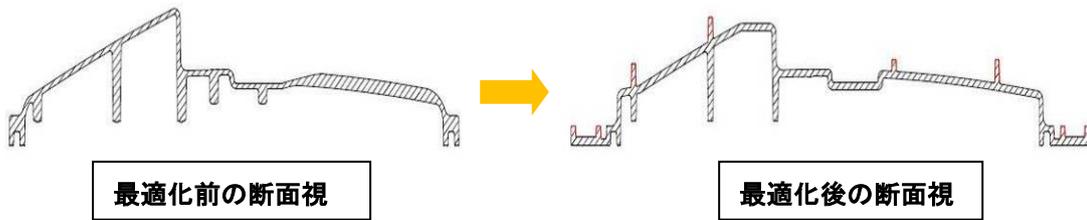
最適化前 (体積 532 cm³)



15%減



最適化後 (体積 458 cm³)



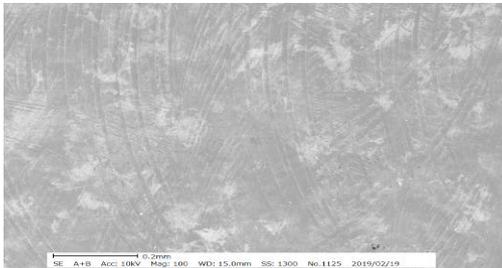
剛性維持で、体積最小化を条件として形状最適化を実施した。

その結果、質量が減ったことで、固有振動数が増え、シリンダーヘッドカバーの振動音も改善した。

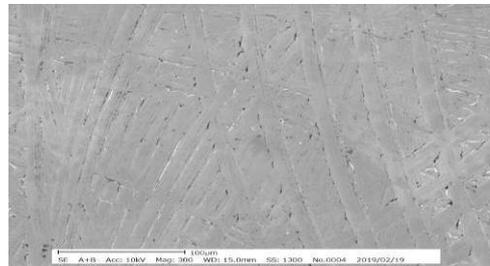
(2) 金型表面の評価について

金型の表面評価とそれによる樹脂流動の制御の可能性の検証のために、金型鏡面サンプルの評価を実施した。その結果、仕上げ法によって、表面性状に大きな差異があることが理解できた。

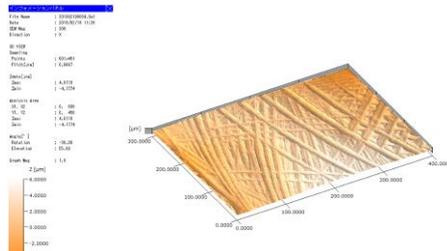
① 2DMC



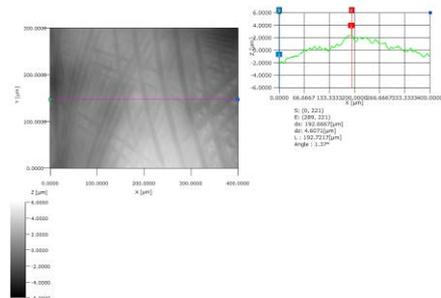
SEM画像 倍率 100倍



SEM画像 倍率 300倍

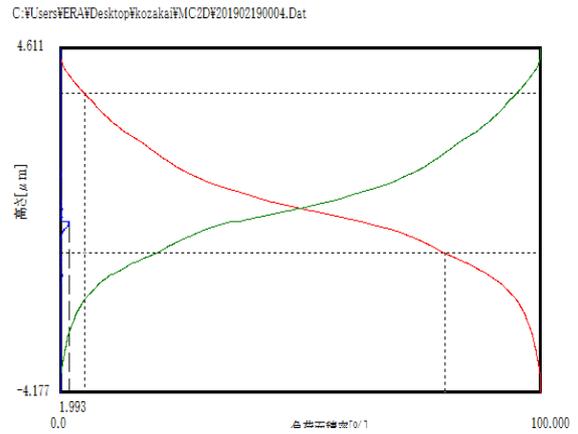


三次元モデル



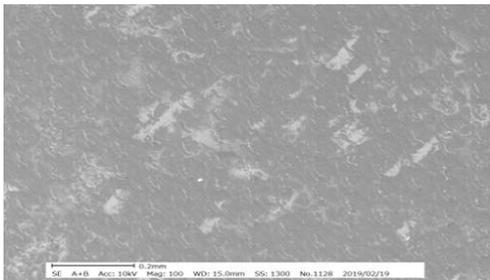
断面粗さ

SEM画像と三次元モデルをみると
 と工具が表面を走った様子が確認でき
 る。また、工具痕が比較的深く、断面
 図の山谷の凹凸からもそれが確認でき
 る。

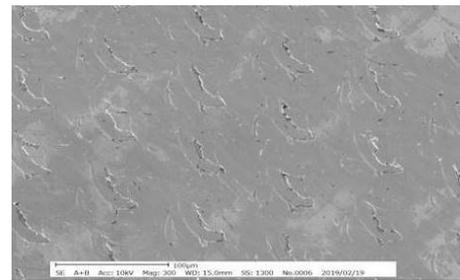


青線：閉空隙面積曲線 赤線：負荷面積曲線

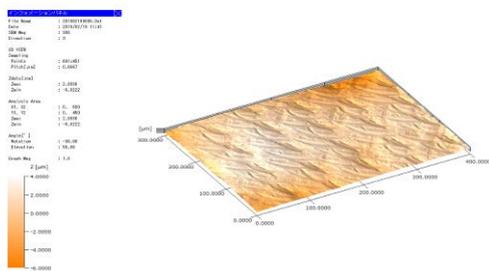
② 3DMC



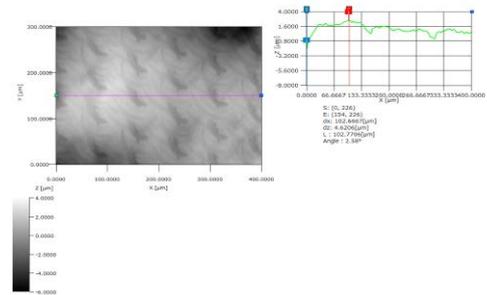
SEM画像 倍率 100倍



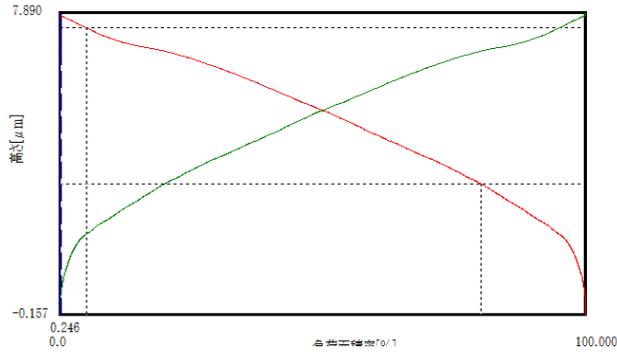
SEM画像 倍率 300倍



三次元モデル



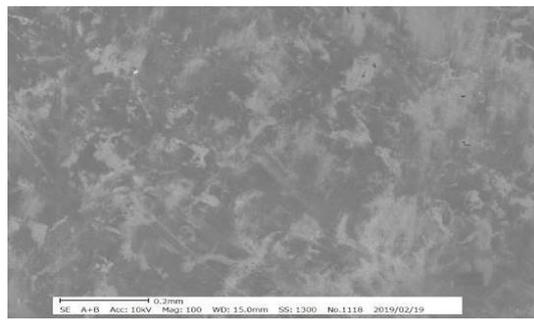
断面粗さ



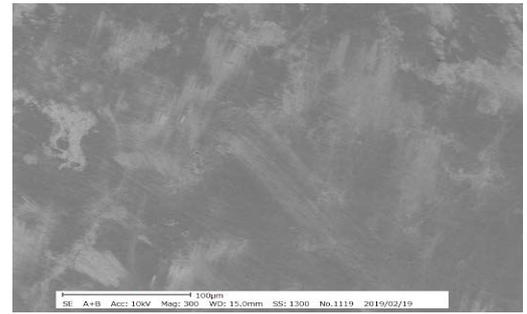
青線：閉空隙面積曲線 赤線：負荷面積曲線

SEM画像と三次元モデルを見ると
 一様方向に研磨された様子が確認できる。
 断面図の凹凸も比較的小さく、閉空隙
 面積もほとんど値をもたないことから、
 山谷の凹凸が非常に小さいことが理解で
 きる。

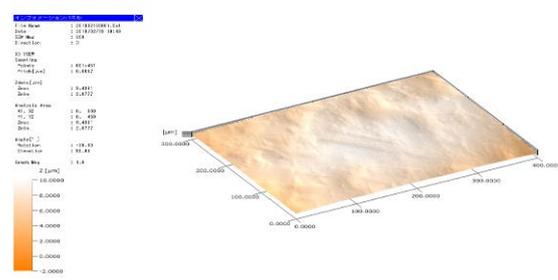
④ 手磨加工



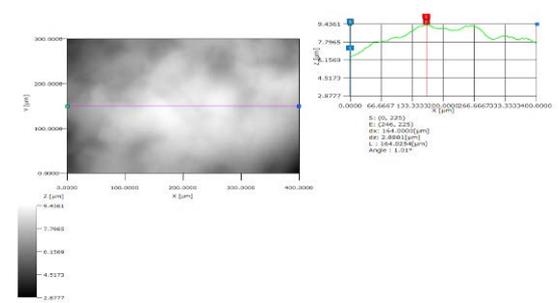
SEM 画像 倍率 100 倍



SEM 画像 倍率 300 倍

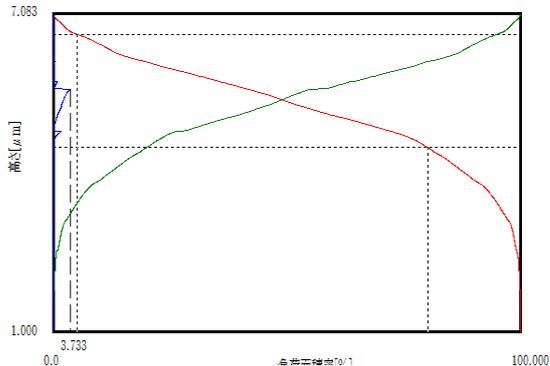


三次元モデル



断面粗さ

C:\Users\HERA\Desktop\kozakai\temigaki\F201902190002.Dat



青線：閉空隙面積曲線 赤線：負荷面積曲線

SEMM 画像と三次元モデルを見る
と局所的には非常に滑らかな面になって
おり凹凸が非常に小さい様子が確認でき
る。しかし、全域的に見ると、場所によ
る起伏確認でき、これは一様に面を磨け
ていないと思われる。

2-2 最適成形条件を実現するスマート金型システムの構築について

B-1 センシング機能を備えたスマート金型システムの確立

(1) センシング機能を備えた実証用金型による金型システムの検証

スマート金型システムを確立するために、スクリュー及び金型に装着するセンサの選
定を行いながら、実証用金型を製作して成形トライを実施した

① 渦電流式変位センサによる型開き検出の検討

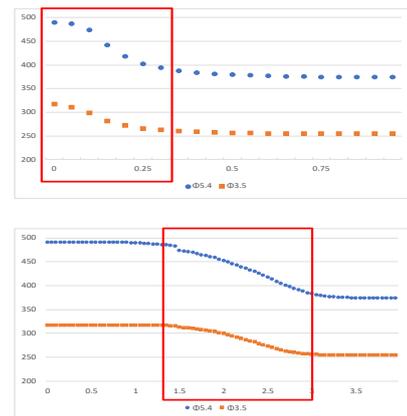
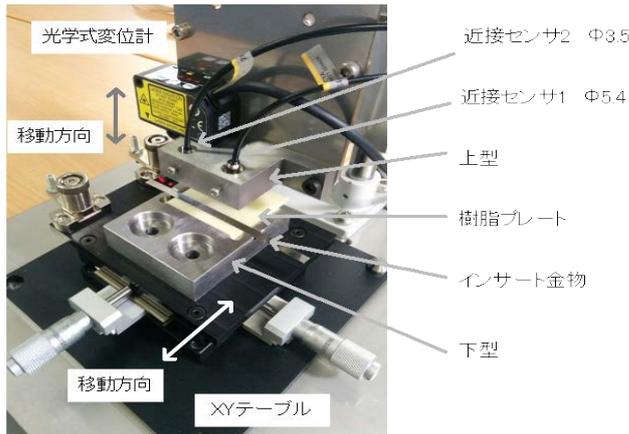
スマート金型システムのセンサ情報を増やし、成形状態をより詳細に測定するため、
成形中の微小な型開きを検出する技術の検討を、金型内のインサート金物の変位計測
技術を基に、インサートを用いない成形においても金型の開きを検出できるセンサの
検討をおこなった。

先行研究で、鉄ブロックの中に渦電流式の変位センサを取り付けて変位検出をおこ
なったところ、周囲の金属の影響は受けるものの、50 μ 程度の分解能で変位の検出
が可能であるが、(下図参照)、汎用のセンサヘッドは、使用温度上限が60°Cのため、
金型の温度に耐えられないこと、ストレート形状で金型への取り付けが困難であるこ
とが課題となった。

そのため、形状を段付き形状とし、センサ内部の樹脂を耐熱樹脂とした特別仕様のセンサを製作して金型に組み込んだ。耐熱温度が120℃であるため、高温のエンプラでの利用はできないが、汎用的なPPやPA66などでは使用が可能である。

また、これに合わせて、スマート金型システムに変位センサのデータを取り込むための追加基板を設計し、既存のシステムと一体で型開きデータ取得ができるシステムを構築した。

変位量とセンサ出力の関係上：Z方向 下：Y方向



渦電流センサによる変位検出実験

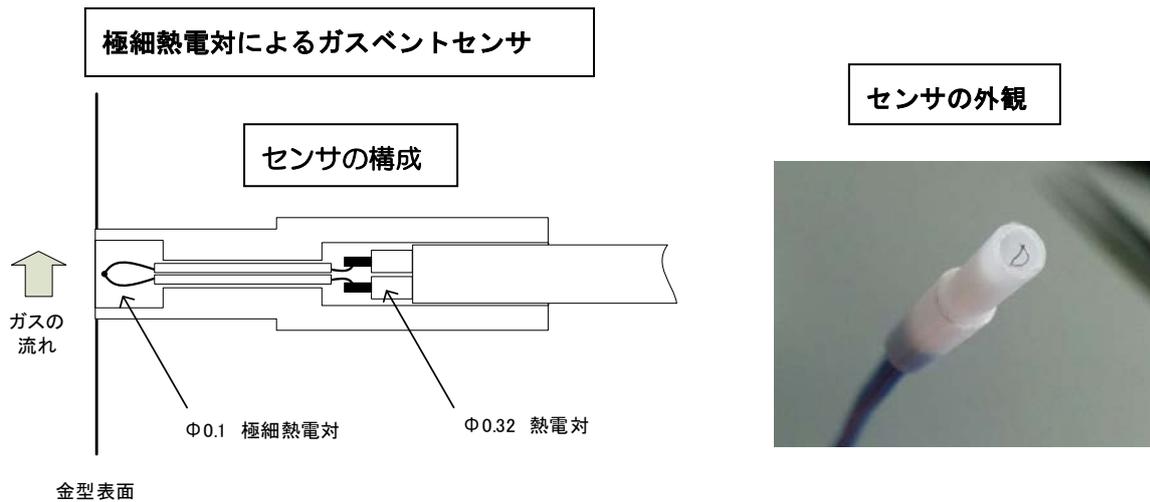
② 極細熱電対センサによる排出ガス検出の検討

スマート金型システムのセンサ情報を増やし、成形状態をより詳細に測定するため、ガスバント状態を検出する技術の検討を行い、ガスの排出状態をセンシングすることで、成形状態を知ることが可能であると考えられる。

ガスの流れを検出するには、一般に流量センサが用いられるが、金型内に設置することは困難であることから、流量そのものを検出するのではなく、簡易な方法で流れの状態を検出する方法を検討した。

型内の空気は、樹脂の射出によって圧縮されるため、温度が型温よりも高くなると考えられることから、熱応答の良い温度センサをガスの排出路に設置することで、ガスの流れによる温度変化を感知し、排出状態をセンシングできるとの構想のもと、Φ0.1の熱電対を検出部とする先端径4.0mmの小型センサを考案した。(下図)

このセンサは、軽く息を吹きかけた程度で反応するため、ガスバント状態の検出が可能であると考えられる。また、センサ自体は熱電対であるため、スマート金型システムでは、既存の型表面温度センサのチャンネルに接続して測定することができる。



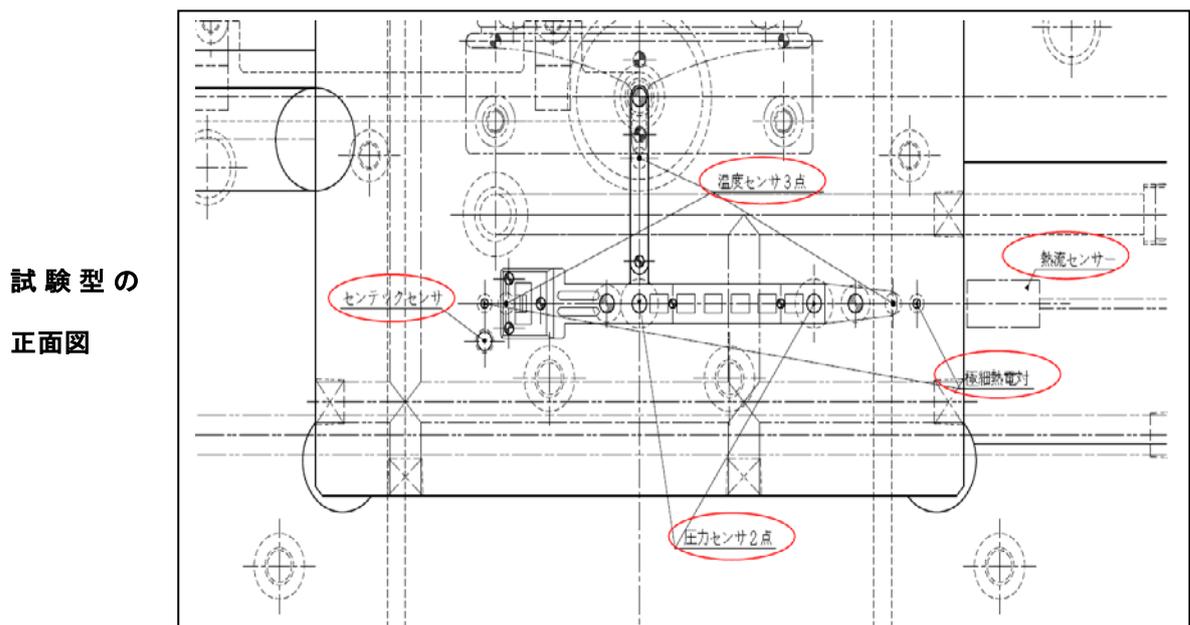
③ 試験用金型の開発

渦電流式変位センサ、極細熱電対によるガスベントセンサを組み込んだ試験金型を製作した。

試験型には、これらのセンサのほかに型表面圧力センサ2点、型表面温度センサ3点を組み込み、さらにガスベント状態のセンシングのため、熱流センサも組み込んである。

下図に示す型の正面図では、渦電流式変位センサをセンテックセンサ、ガスベントセンサを極細熱電対と表記している。

そして、この型を用いてデータ取得実験を実施した。

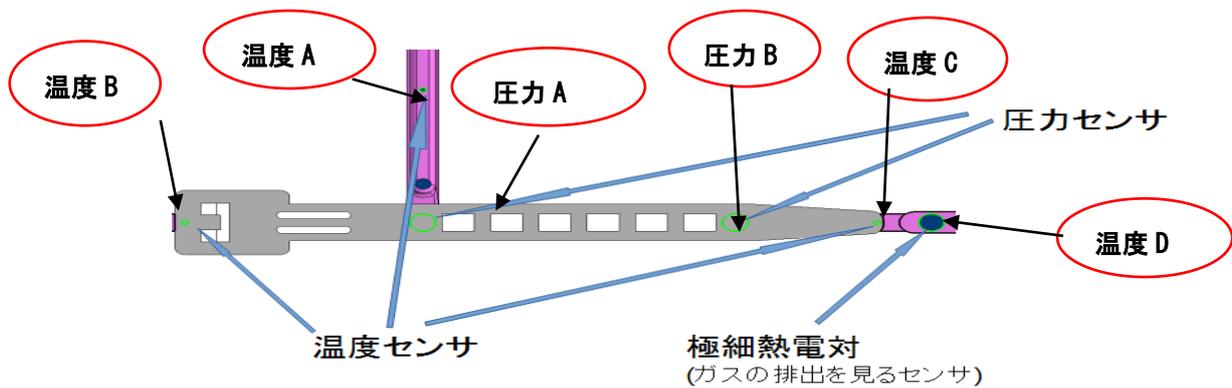




データ収集用実証金型

④ データ収集用実証金型による成形トライの実施

スマート金型システムを確立するために、スクリュー及び金型に装着するセンサの選定を行いながら、実証用金型を製作して成形トライを実施した。



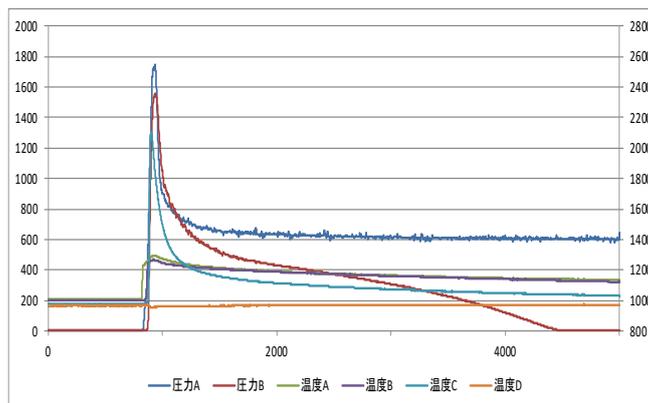
圧力センサ 2本、温度センサ 4本
型開きセンサー-充填時の金型の微小な開きを計測、
インサート金物変位センサの応用
ガスベントセンサ、極細熱電対利用センサ

1) ガスベントセンサの検証

温度A～Cは、型表面センサで、温度Dがガスベントセンサ（極細熱電対）である。検証結果は、射出速度の遅い成形（20mm/s）では変化がなかった。一方、射出速度が速い成形（80mm/s）では変化が見られた。

また、ガスが止まった後（充填完了後）に変化が現れるので、もっと検出精度を上げる必要があるとともに、今回使用したセンサの先端が物理的に弱いことが分かった。簡単に断線することから、先端保護と検出精度の両立が必要である。

圧力 (× 0.05 MPa)



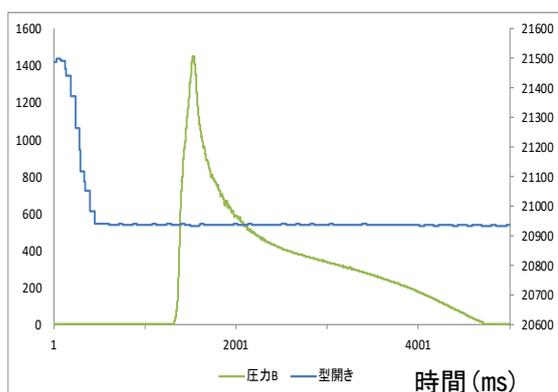
温度 (× 0.04°C)

2) 型開きセンサの検証結果

良品の成形では、成形中に型開きセンサに変化なかったが、バリのある成形では、成形中に型開きセンサに変化が見られた。

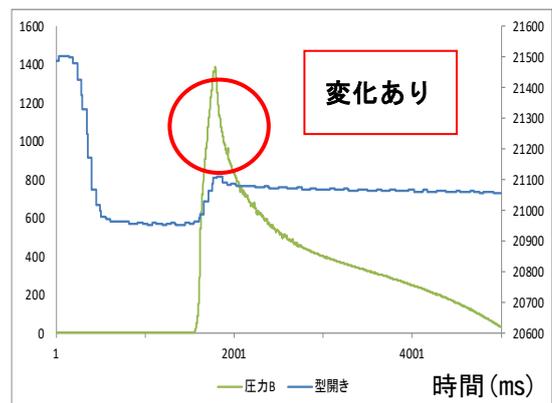
圧力 (× 0.05 MPa)

型開き量



圧力 (× 0.05 MPa)

型開き量

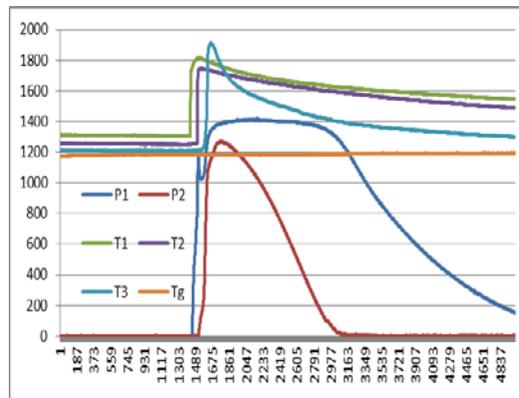


3) ガス焼けにかかる検証

充填末端部にガス焼けが発生した成形は、末端の温度センサ (T3) のピーク値が高いことが理解できた。

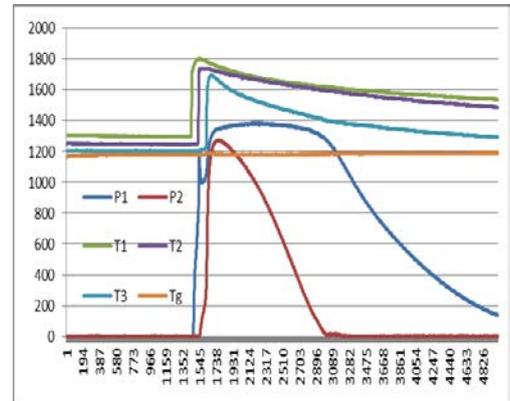


温度 (×0.04°C)



時間 (ms)

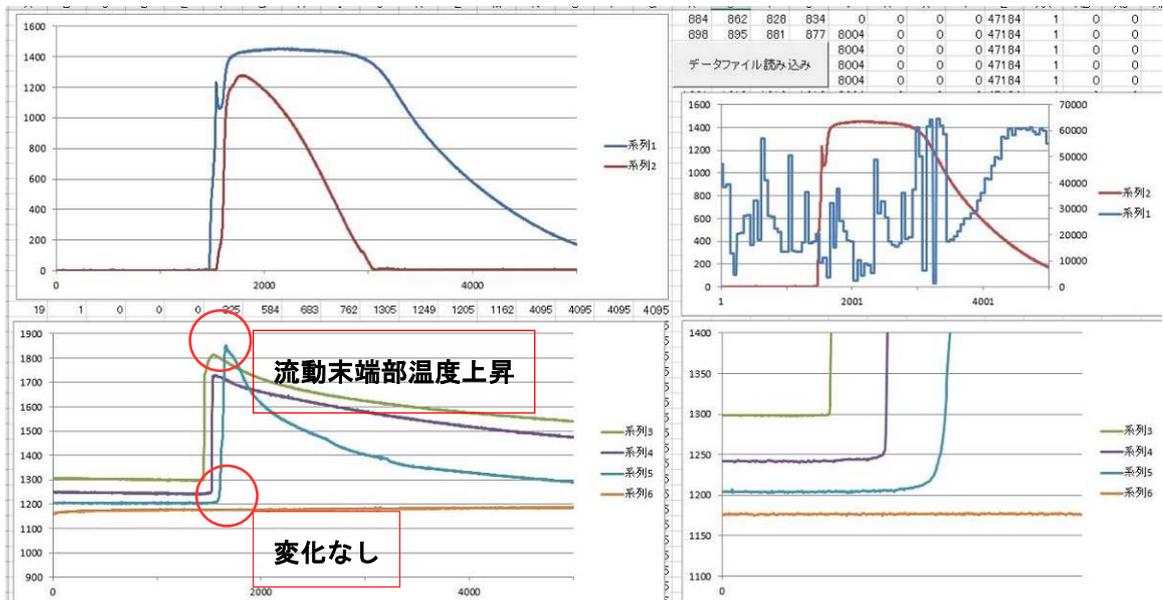
温度 (×0.04°C)

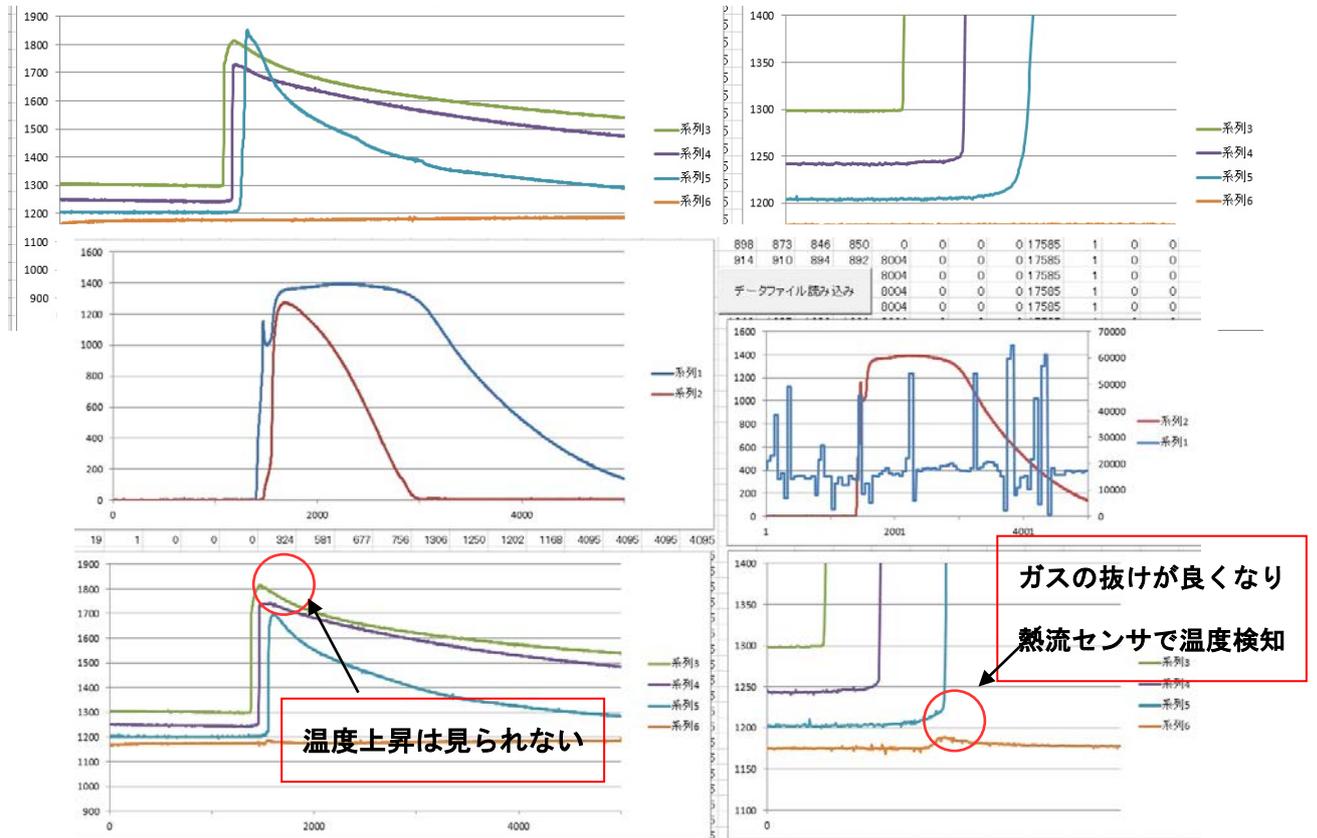


時間 (ms)

4) 連続成形中の不良の検知

1000ショット目における状況





スマートデバイス情報

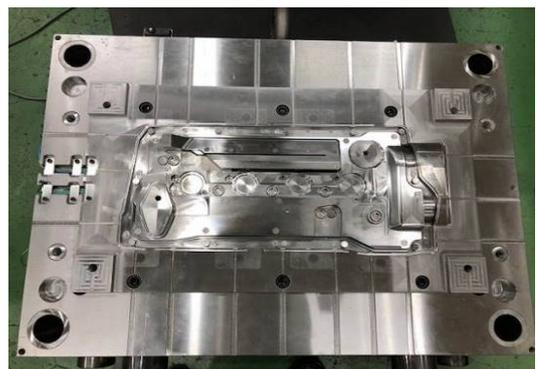
- 1000ショットで流動末端が異常に温度上昇するとともに、熱電対が変化しない。成形品末端にガス焼け不良発生。
- 3000ショットで正常な樹脂温度分布、熱電対がガスの抜けに反応した。ガス焼けのない良品を成形。

⑤ シリンダーヘッドカバー用実機金型の製作

最適成形条件や各種センサによる検証結果を踏まえて、実機用金型を製作した。



シリンダーヘッドカバー用金型（固定型）



シリンダーヘッドカバー用金型（可動型）

B-2 収集データの分析及び解析手法の確立

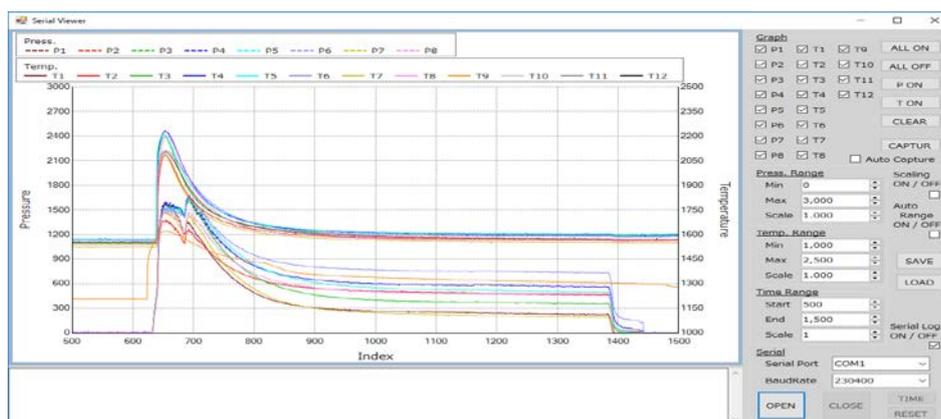
シリンダーヘッドカバー用実機金型から、センシングデータを収集し、BOSを用いてリアルタイム（成形サイクル時間内）に、成形品の合否判定ができる分析手法を確立する。

BOSとは、複数の異なるデータベース（圧力センサ、型開きセンサ、日付など）をリアルタイムに、時系列の物理テーブルや論理ビューに変換できるシステムである。

① データ収集に必要な基本的なアプリケーションの開発

1) スマート金型と連動した簡易波形ビューアの開発

測定データはデバイス内蔵のSDカードに記録し、別途パソコン上のデータ解析アプリケーションでの描画が必要であるとともに、接続したパソコンでは測定の状態と代表的な測定データの数値を見ることしかできないことから、簡易モニターを開発することで、センサごとにグラフの表示/非表示の切替や、計測値からMPa、℃への単位換算、表示範囲の設定を可能とした。



簡易モニターの表示例

2) 成形機パネルへのスマート金型情報表示機能の開発

最終的には、スマート金型の測定データから成形条件を自動的に判定し、成形機を制御するシステムを目指していることから、第1段階として、スマート金型の測定データを成形機の操作パネル上に表示させる機能を実現した。



3) 収集データの分析及び解析手法の確立

センサ実装金型から、センシングデータを収集し、BOSを用いてリアルタイム（成形サイクル時間内）に、成形品の合否判定ができる分析手法を確立した。

BOSの活用により、複数の異なるデータベース（圧力センサ、型開きセンサ、日などをリアルタイムに、時系列の物理テーブルや論理ビューに変換することが可能となった。

○ 現状

スマート連続成形金型の成形データを例題として、成形品の合否判定基準が何かを分析できるツールを開発

統計図の確立

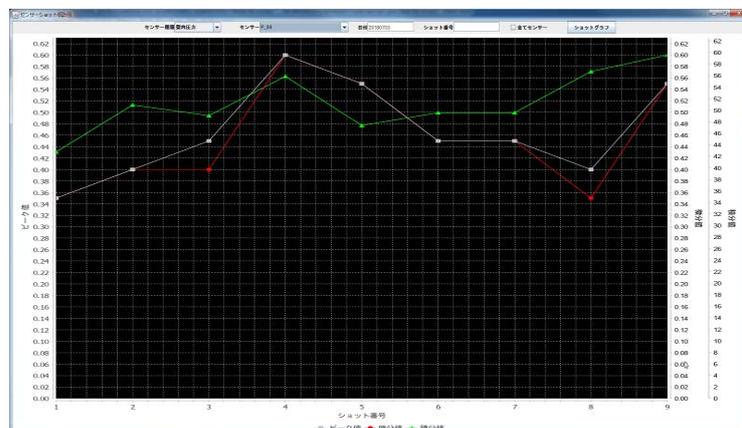
目的：センサ毎のショットの統計データを表示し、あるセンサの異常ショットを発見する。

ショットのピーク値：

ショットの積分値（急の変化を表す）

ショットの積分値（変化の総量）

ショットごとの
各パラメータの
ばらつきを表す

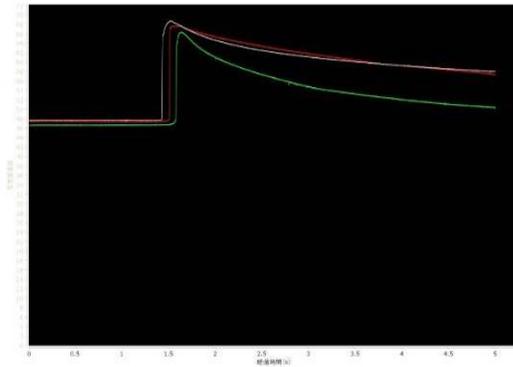


温度上下関係図の確立

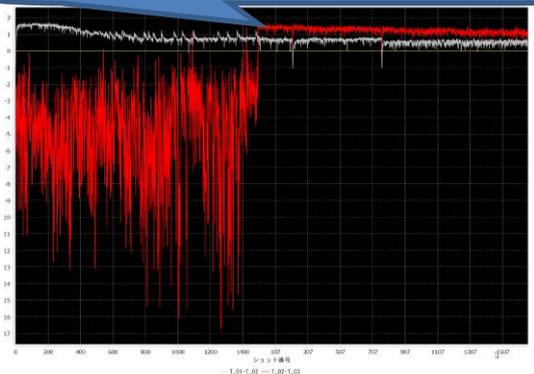
目的：センサ毎のショットの統計データを表示し、あるセンサの異常ショットを発見する。

具体例：ランナの温度 > ロック部分末端の温度 > ベルト部分末端の温度に達成するかを監視する。

1500 ショットから、温度上下差が変わっている



センサ位置による立ち上がり方の差

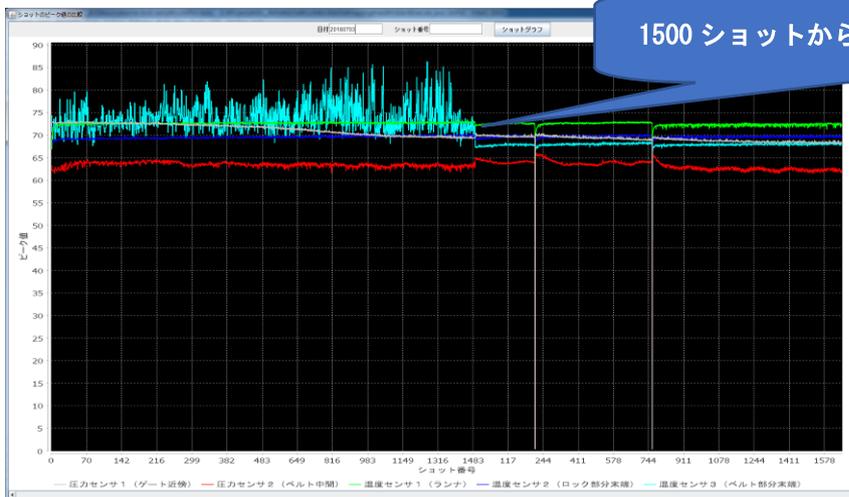


あるポイントのショットごとの温度比較図

ピーク値比較図の確立

目的：温度センサのショットごと数値をグラフで表示し、その値を監視しながら、異常ショットが発見されたときに、関連センサの情報も見えるようにする。

1500 ショットから、ピーク値が安定してる



ショットごとの温度ピーク値

2-3 金型システムの評価

金型評価に関しては、シリンダーヘッドカバー用実機金型によるトライを実施して

・型内の圧力及び温度の状況、・センシング状況とセンシング装置の設置位置等に係る評価を行って、その結果をフィードバックしながら、金型システムの確立を図った。

① 実証用金型による検証

適成形条件にもとづく実寸のシリンダーヘッドカバー用スマート金型に、表面温度センサと内圧センサを装着して成形トライを実施した。

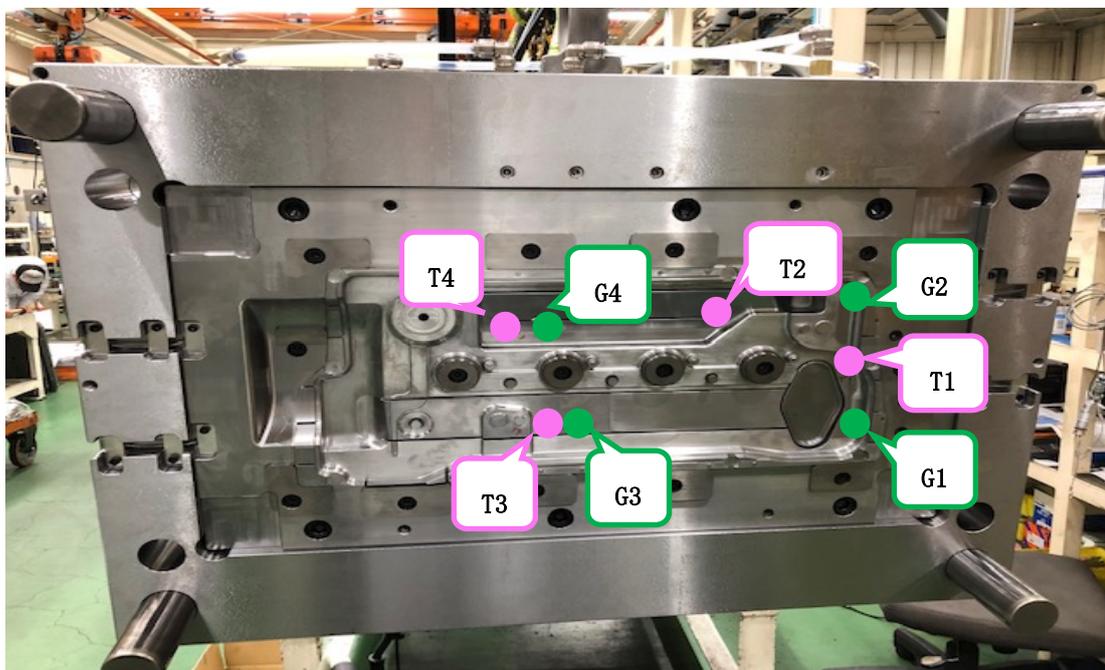
表面温度センサ（T1~T9）装着の目的

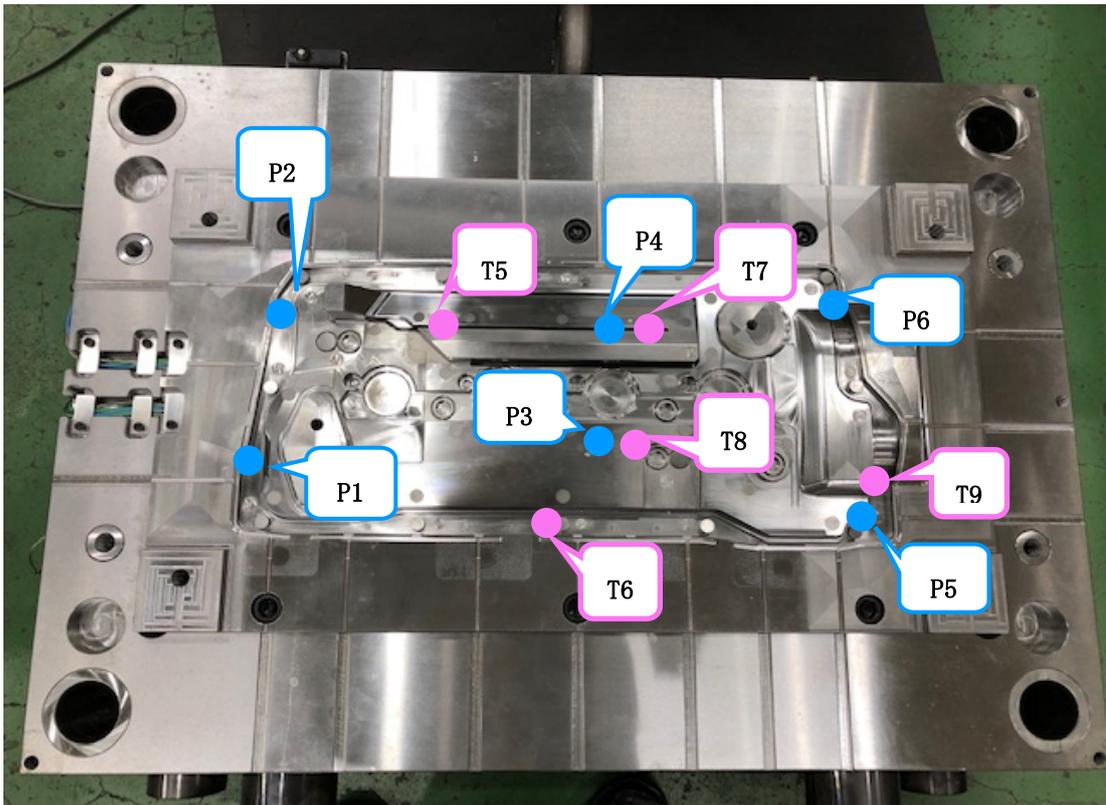
- ・リレー成形のタイミングを可視化、
- ・熱だまり部の温度を可視化、
- ・ガスヤケ時の温度を可視化

内圧センサ装着（P1~P6）の目的

- ・ゲートからの内圧履歴を可視化、
- ・末端の内圧を可視化、
- ・リレーで繋ぐ位置の内圧を可視化

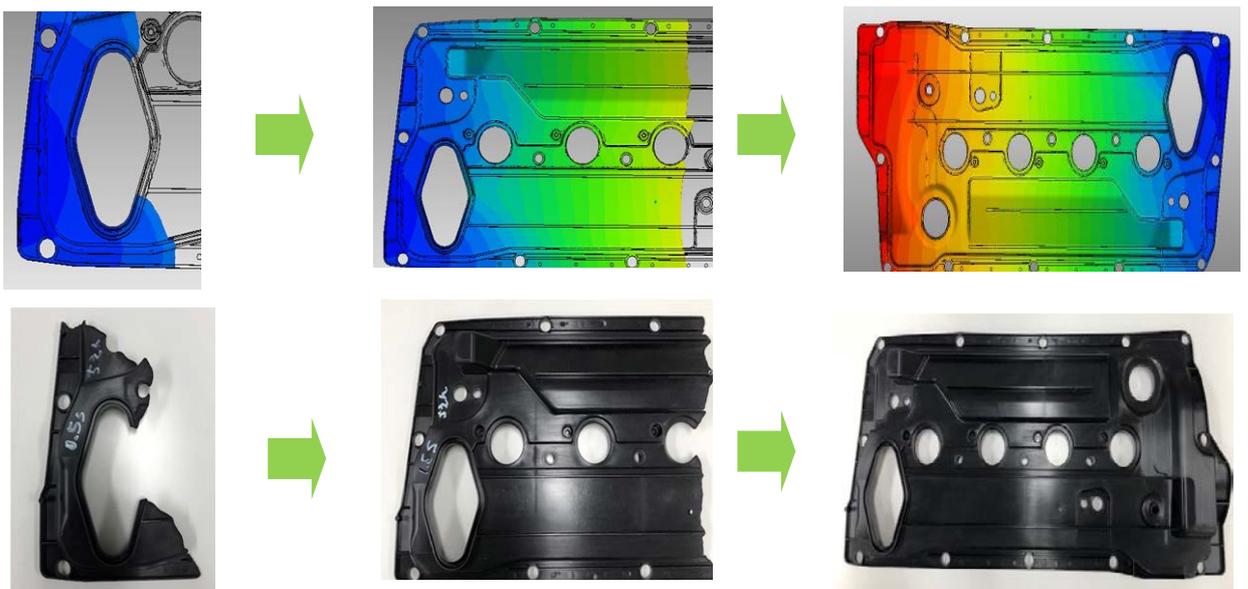
G1~G4はゲート位置





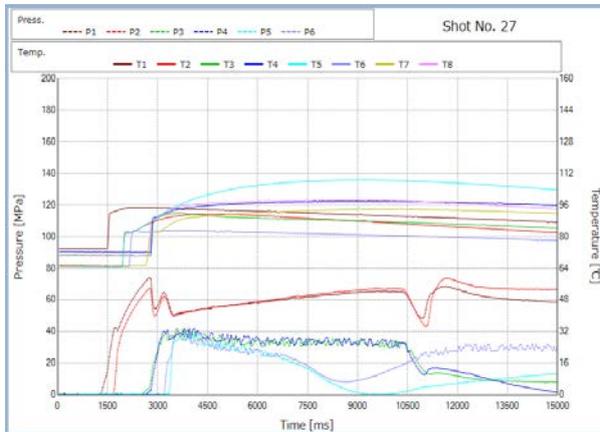
成形トライの結果

ショート品を成形し、CAEとウエルド揃え、リレー成形でゲート射出タイミングを制御した。

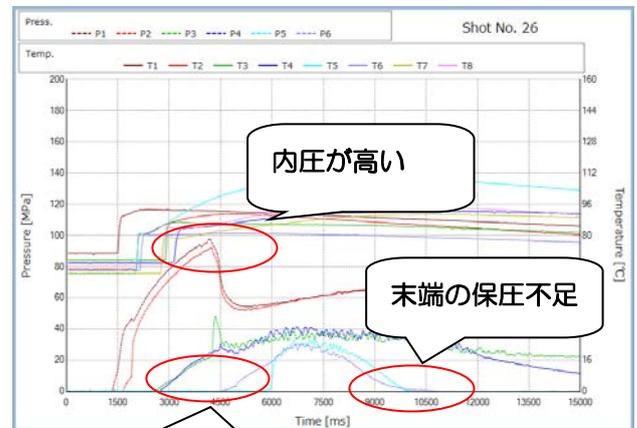


収集したデータの解析—成形中は、スマートデバイスで、金型内部状態を可視化した。

良品波形



不良品波形

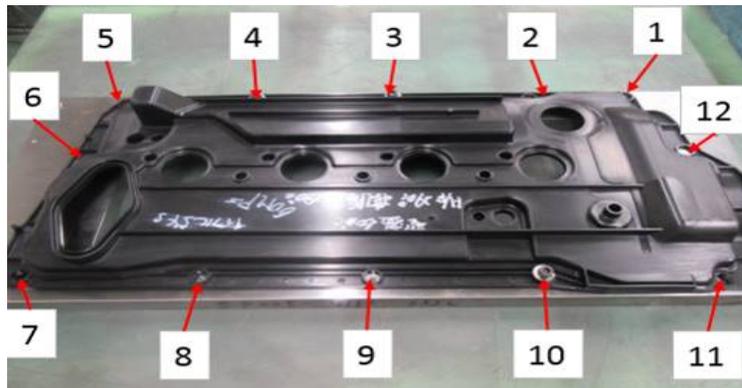


リレー成形のタイミング不良

そりの測定

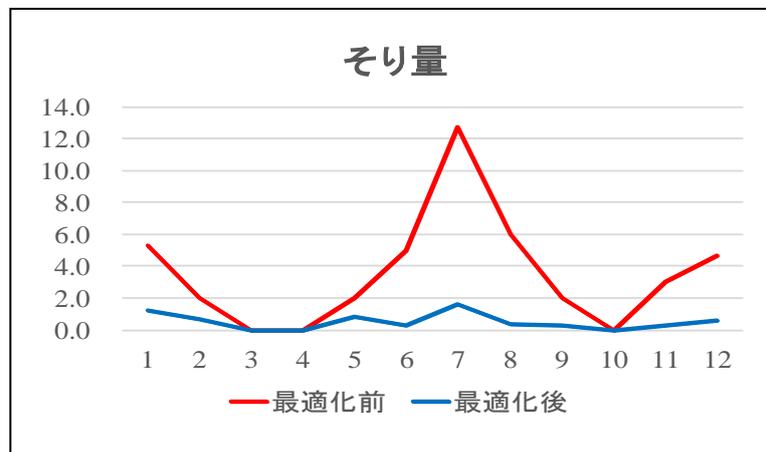
下記成形品の3・4・10の位置を固定して、そりの状況を評価した。

(量産品と評価基準を揃えた。)



その結果であるが、最大そり量が1.6mmであった。

CAE同様に、目標値2.0mm以下を達成することができた。

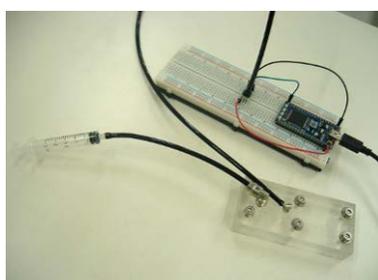


② センサ及び試作電子基板の評価とデータ解析

実証用シリンダーヘッドカバー用スマート金型の測定データの検証評価のために、ガスベントセンサの改良及びひずみゲージ式型内圧力センサへの対応を行うとともに、セットしたセンサから得られたデータの評価法の検証を行って、安定成形条件の確立へと展開した。

・ガスベントセンサの改良

前年度のガスベントセンサは、ガスの抜け状態を検出することができたが、センサの感度が低く極細熱電対が金型のメンテナンス時に切れやすいことが課題となっていた。



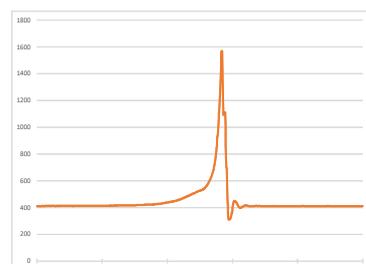
外部導出型ガスベントセンサ機能検証モデル

そのため、ベント溝から空圧パイプを通して金型外の圧力センサでベント圧の検出が可能か試験型で検証を行った。

・ガスベントセンサ反応例

成形トライにより得られたガスベント検出例が右図である。

外部導出型ガスベントセンサ縦軸は A/D コンバータによる検出値であり、物理的な単位には変換できないが、ガスの抜けに対して1200の変化が見て取れる。

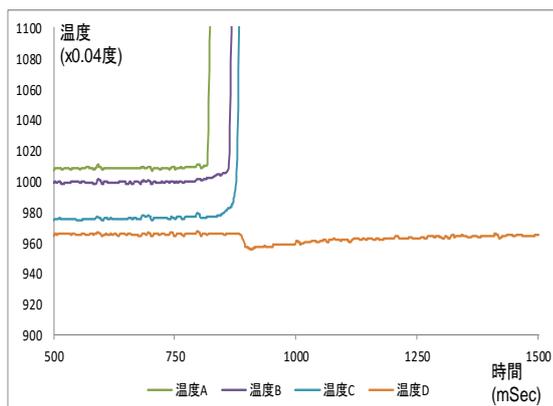


また、下図は、極細熱電対型ガスベントセンサの状況であるが、オレンジ色の線は平成30年度に検証した極細熱電対型ガスベントセンサの反応であるが、変化量は10程度である。

キャビティ形状が異なっており一概に比較はできないが、改良したガスベントセンサの感度が良いことが確認できた。

また、金型内に電氣的な機構が無いため、耐久性も高いと考えられる。

極細熱電対型ガスベントセンサ



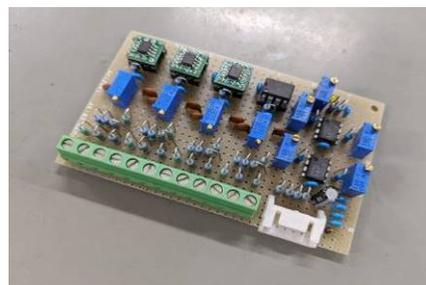
• ひずみゲージ式型内圧力センサへの対応

型内圧力センサには、圧電素子を用いたセンサと、ひずみゲージを用いたセンサがあるが、本研究開発では、圧電式のセンサを採用したが、価格が高いことから、ひずみゲージ式センサへの対応が課題となっていた。

ひずみゲージ式の圧力センサは、個体差が大きいこと、温度で値が変化することなどから、電氣的な調整が必要であることから、これに対応した入力回路を設計・製作した。試作した回路基板が右写真である。

この基板1枚で4点のセンサが接続でき、出力は圧電式の圧力センサと互換性のあるものとしている。

そのため、スマート金型システム内で基板を入れ替えて使用することが可能となる。

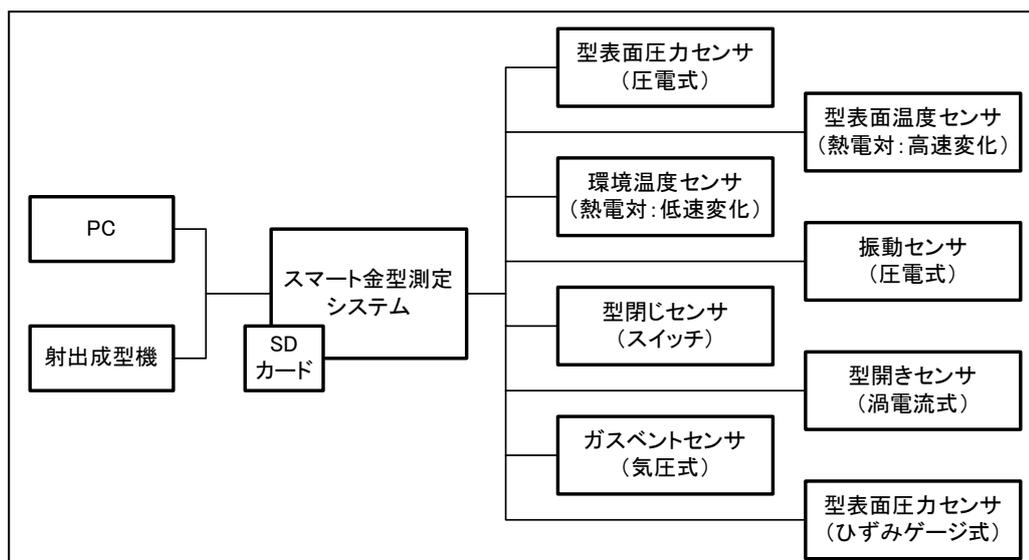


スマート金型モジュールへの実装

スマート金型システムでは、これまでも多様なセンサに対応したモジュール基板を開発してきており、次表に示すセンサの利用が可能である。

このように、スマート金型システムはメイン基板の入力点数（アナログ20点、デジタルはサンプリングレートによる、合計32点）の範囲内で必要なセンサモジュールを差し替えて使うことができる設計であるため、測定の柔軟性とコストパフォーマンスを両立させたシステムを構築することができた。

スマート金型システムの構成



・成形トライにおける測定データの検証

シリンダーヘッドカバー用スマート金型による成形トライを実施した。

成形品に示した点における型内圧力及び型表面温度、ガスベントセンサ、型開きセンサのデータを20ショット分取得してシステムの検証を行ったところ、今年度に提案したガスベントセンサの有効性が確認できたが、一部の型表面圧力センサ(P3、P4、P6)のデータに発振が見られた。

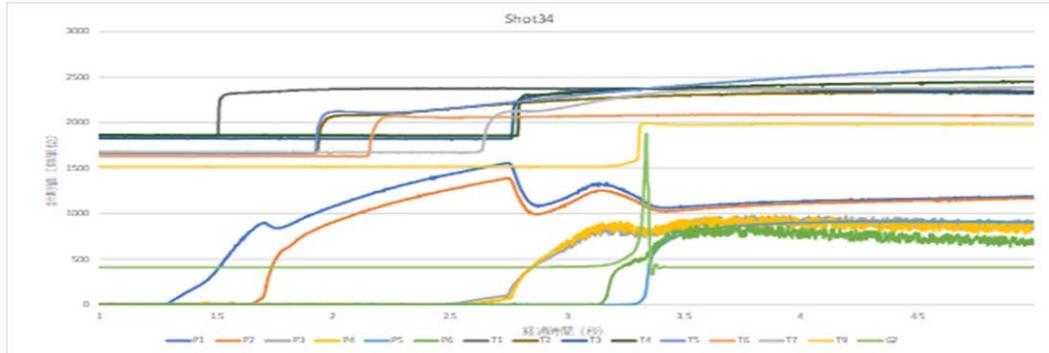


センサ位置と反り量測定条件

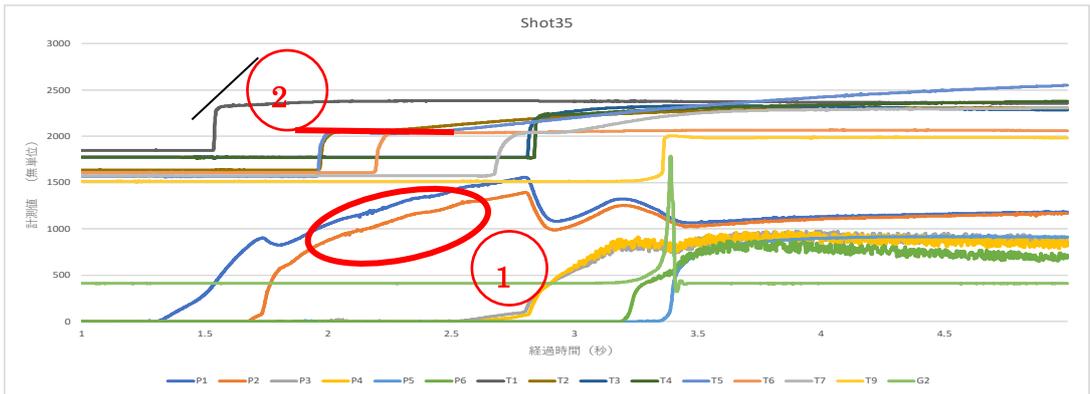
以下の図は、取得したデータの時系列波形の例である。

圧力P1～P4、温度T1～T8、ガスベント（G2）のセンサを同一グラフで示しているため、縦軸はセンサの測定データ値(無単位)としている。

ショット34



ショット35



ショット36



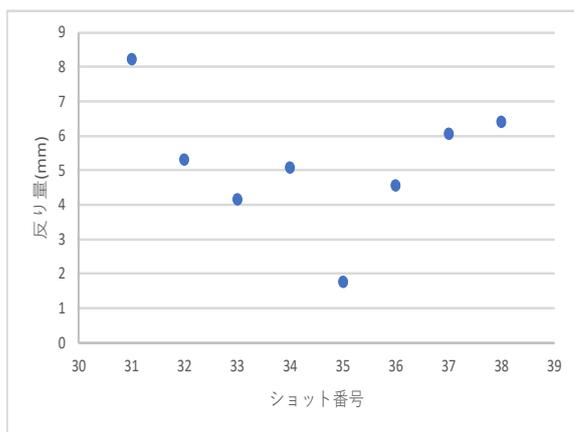
また、ショット番号31から38の8ショット分の成形品について、反り量と成形データの比較検討をおこなった状況は下図である。

ショット31はチョコ停後の最初のショットであったため反り量が多くなったと考えられ、これは、圧力センサP1の波形からも他のショットとは内部状態が異なっていることが理解できる。

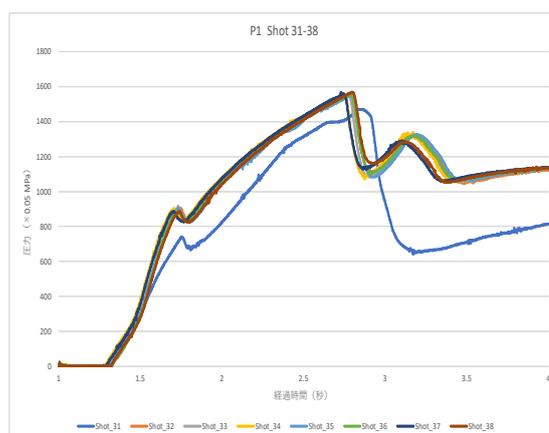
反り量が最も少なかったショット35のセンサ波形と他の波形を比較検討したところ、ショット35には、圧力の上昇中にぶれがみられる(上図ショット35図の赤①)。

そして、温度センサT2、5、6、7の立ち上がりピーク値がほぼ同じ(上図ショット35図の棒線②)、といった特徴があった。

今回は、サンプル数が少ないため、これらの特徴が反り量に関係していると確定はできないが、これまで特徴量としていた量以外の部分で成型の判断が必要であることが示唆された。



ショットごとのそり量

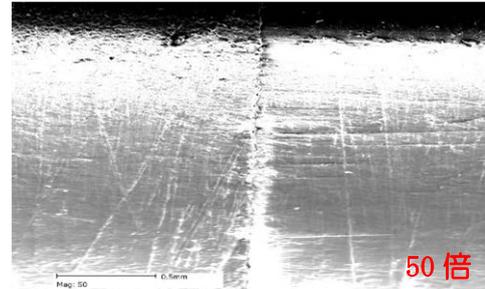


ショットごとの型内圧力センサP1の波形

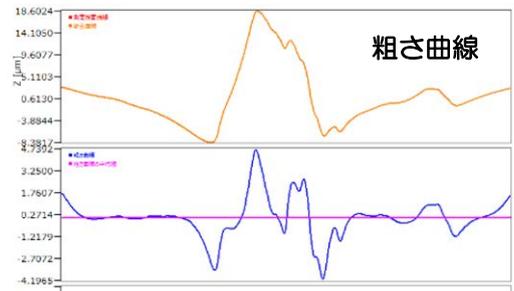
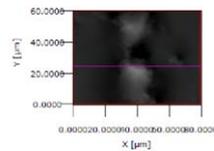
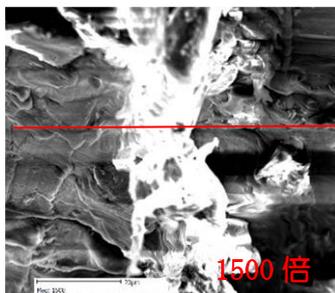
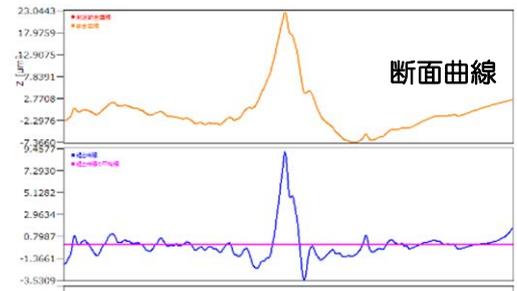
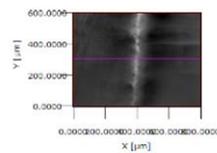
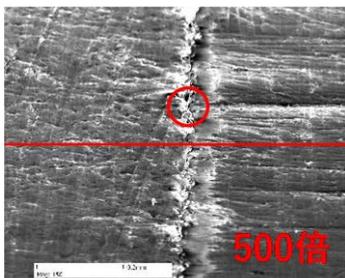
③ 成形品の表面の評価

シリンダーヘッドカバー用の実寸スマート金型による成形品の評価を、成形品サンプルの表面に電動層をつけて次の通り実施した。

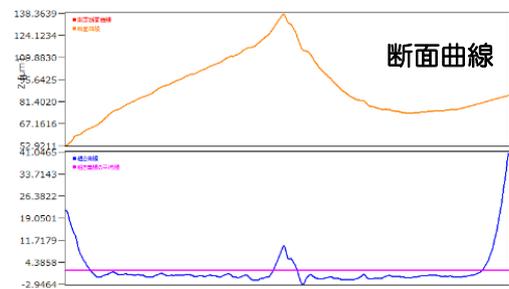
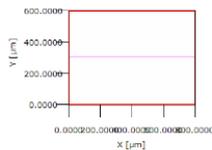
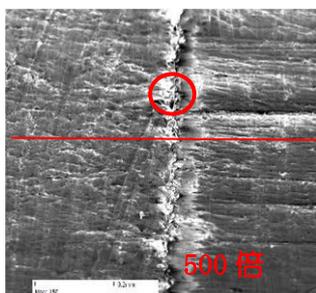
1) 成形品リブ上

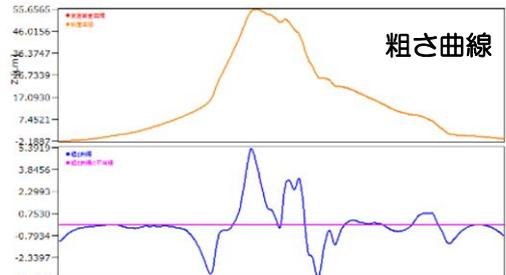
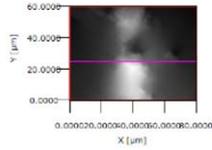
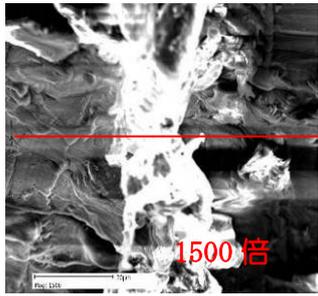


スプラインフィルター有

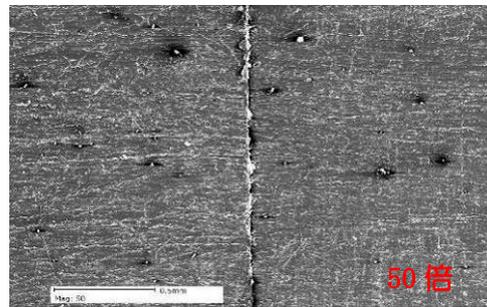


スプラインフィルター無

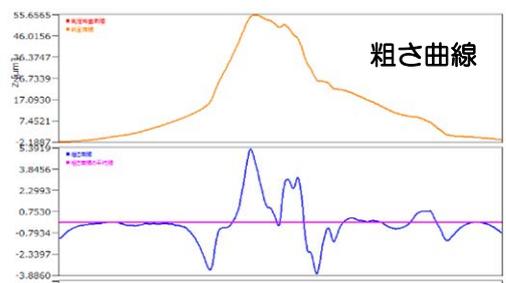
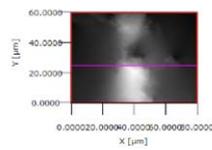
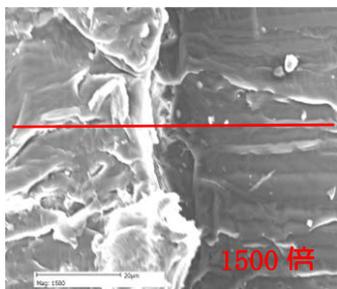
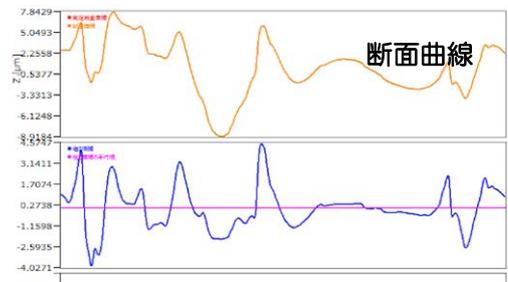
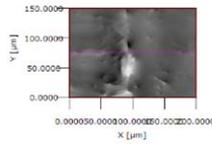
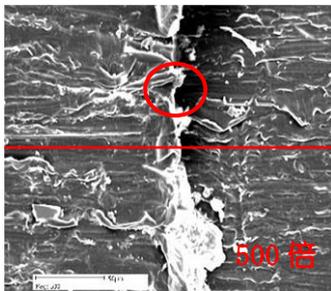




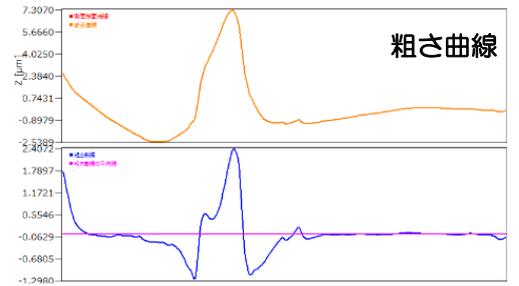
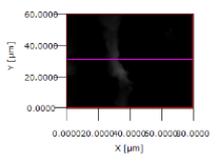
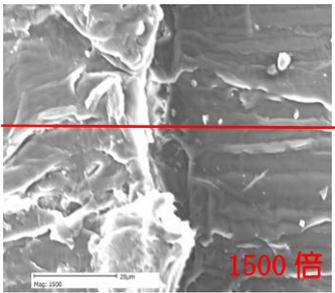
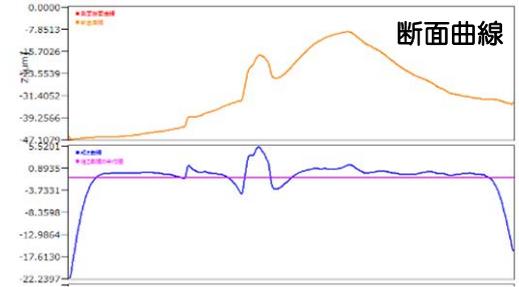
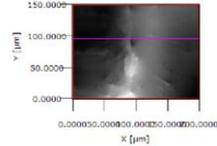
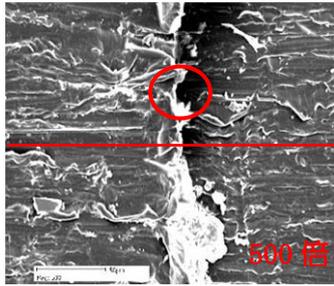
2) 平坦部



スプラインフィルター有



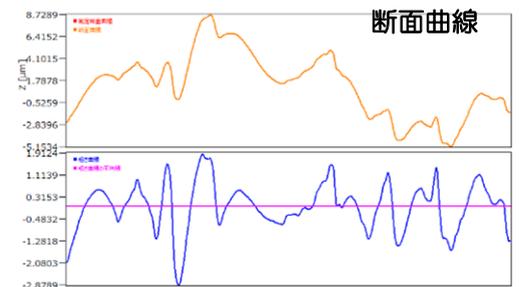
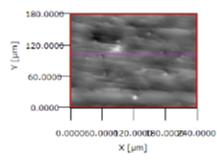
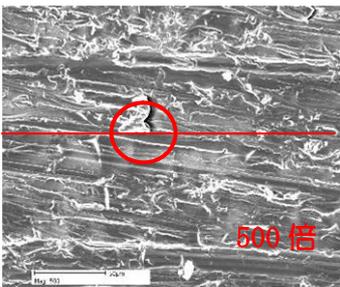
スプラインフィルター無

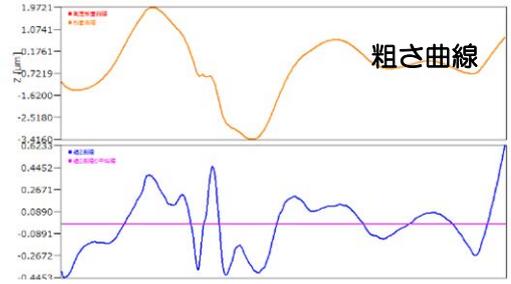
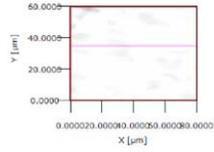
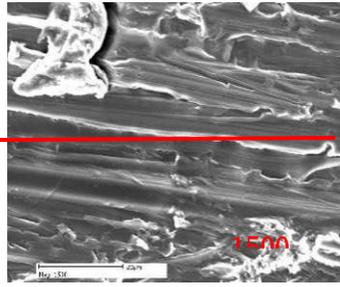


3) リブ近辺

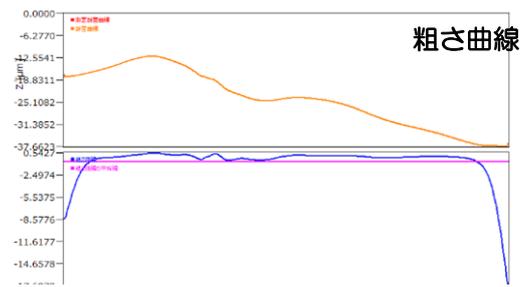
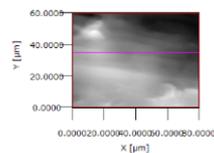
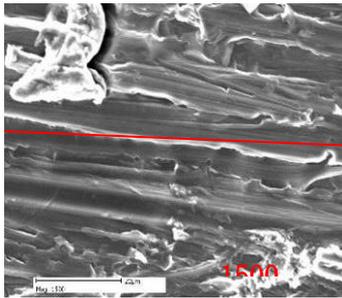
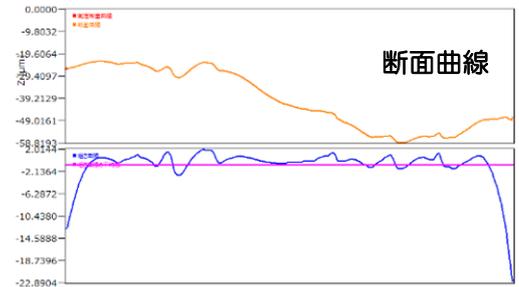
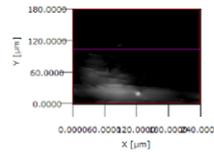
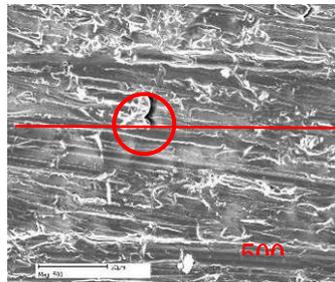


スプラインフィルター有

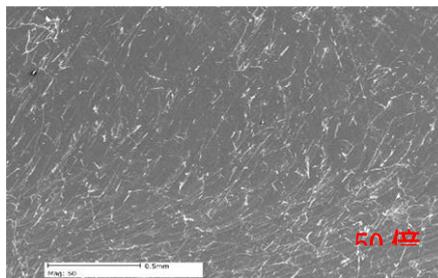




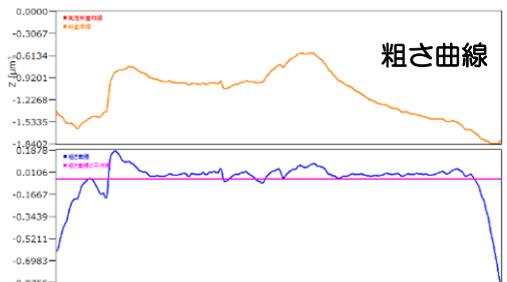
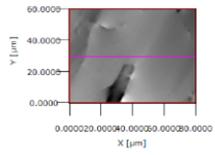
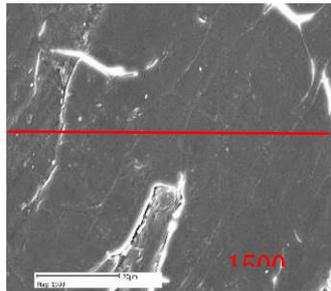
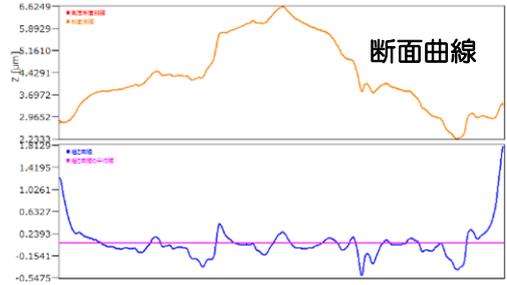
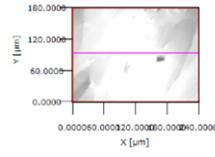
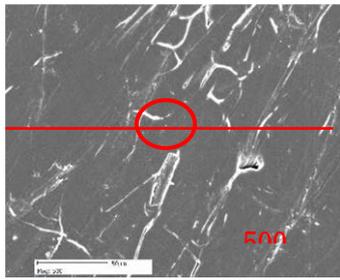
スプラインフィルター無



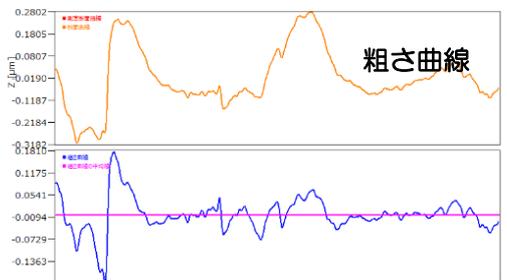
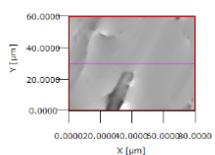
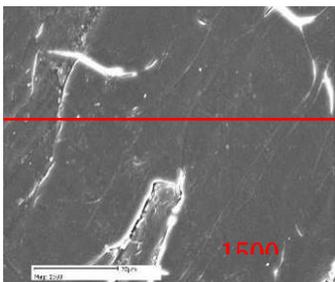
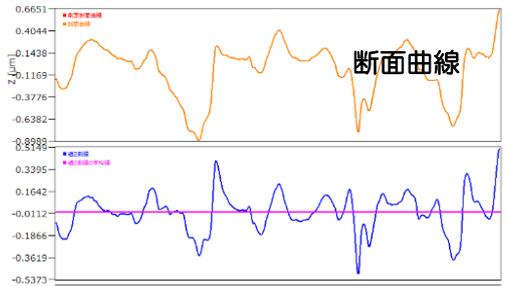
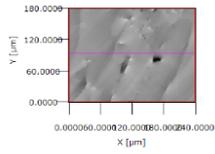
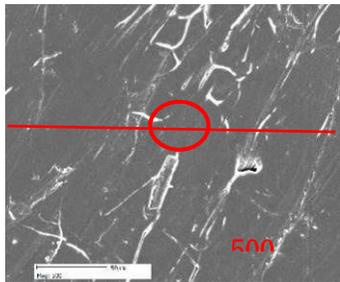
4) しわ部



スプラインフィルター有



スプラインフィルター無



上記のとおり、成形品に対して、導入した電子顕微鏡を用いて、成形品の形状急変部及び樹脂合流部の成形欠陥並びに表面性状の詳細構造を観測したが、今後、この観測結果に基づいて、成形品形状及び金型構造に変更を加え、成形品の強度向上とさらなる軽量化の可能性を検討する計画である。

3-1 研究開発の成果について

(1) 射出成形条件の確立について

シリンダーヘッドカバーに使用するナイロン樹脂の評価を行いながら、最適成形条件の確立を図った。

大型樹脂製品の不良要因は「そり」であり、

「そり」の要因としては、

- 内圧差
- ガラス繊維配向差
- 成形品冷却速度差

と考えられることから、この3項目に着目して、それぞれを改善したモデルを作成するとともに、CAEによるそり解析を実施し、そりの最小化に取り組んだ。

これらの課題に対しては

- 内圧差 — 最小にするために、流動長を短くする。
- ガラス繊維配向差 — 肉厚で制御できないため、スキン層配向が支配的になることを考慮し、それを相殺できる形状にする。
- 成形品冷却速度差 — 冷却速度差を一定にするため肉厚を均一にする。

ということにより、そり量が1.8mmとなり、目標値であるそり量2.0mm以下を達成した。

(2) 最適成形条件を実現するスマート金型システムの構築について

スマート金型システムを確立するために、金型鏡面の評価やセンサ及び試作電子基板の評価とデータ解析等を行うとともに、スクリュー及び金型に装着するセンサの選定を覆ないながら、試験用金型により、ガス焼けや連続成形の状況等に係る各種データを収集した。

そして、最適成形条件及び各種データを反映した、シリンダーヘッドカバー成形用の実機金型の製作を行った。

また、試験用金型により、実証により収集したデータを、BOSを活用して、リアルタイムに、時系列の物理テーブルや論理ビューに変換することができた。

(3) 金型システムの評価

実証用スマート金型により成形トライを行いながら、型内の圧力及び温度の状況、センシング状況とセンシング装置の設置位置等に係る検証を行い、これらの検証結果を金型システムにフィードバックしながら目標とするそり量2.0mm以下である1.6mmを実現した。

3-2 研究開発後の計画について

本研究開発では、シリンダーヘッドカバーのような大型樹脂金型で課題となっている、不良要因のそりを最小化するための研究を行い目標は達成することができた。

このような大型樹脂金型を事業化するには、今回は、不良発生の要因として、そりを対象として研究開発を実施したが、それ以外の要因（バリ、ガス焼け等）もあることから、これらの要因も含めてセンシングできる「スマート金型」へと展開する必要がある。

そのため、今回の研究開発で得られた知見を活用しながら、「スマート金型」に向けての補完研究を実施することで、成形品に発生するソリ等の不良の発生を防止する計画である。

これにより、修正回数等の軽減が図られるとともに、樹脂化による軽量化やコスト低減等の効果が期待できる。

なお、この成果等については、川下ユーザーである自動車関連企業に提案するとともに、開発要素が高い分野は、共同開発も視野に入れているところである。

3-3 事業化展開について

(1) 想定する国内、海外市場(現状、今後の動向)

本事業で確立する金型技術は、自動車用のエンジンにかかる樹脂成形用金型である。

現状では、金属構造を基本とした金型設計であるとともに、樹脂材料や成形条件等のトータル的な知識・ノウハウが伴っていないことから成形不良率が約20%以上に達する状況であるが、本研究開発で最適成形条件に基づく金型システムが構築されれば軽量化、不良率減少、低コスト化 が実現できることから、シリンダーヘッドカバーやインテークマニホールド等のエンジン周辺部品の樹脂化への寄与は大きいものと考えられる。

エンジン関連や吸/排気系部品、電装部品の市場は、下図のように今後とも拡大するとみられるが、この中で軽量化への志向は強く当社で対象とする自動車構造部品の樹脂用金型に関しては増加傾向にあるのが実態である。

なお、対象とする主要自動車部品及びエンジン部品の出荷状況は以下のとおりである。

世界主要自動車部品の世界市場

(富士キメラ総研調)

カテゴリー	H.26年見込み	H.37年予測	H.26年比
エンジンルーム	2兆8,525億円	3兆4,099億円	124.4%
吸/排気系部品	1兆5,259億円	2兆3,375億円	161.7%
電装部品	8兆1,128億円	11兆9,792億円	153.5%
ランプ/外装	22兆8,277億円	26兆7,804億円	120.8%

エンジン部品関係の出荷額

(自動車部品工業会統計資料、単位：百万円)

区分	H.23年度	H.24年度	H.25年度	H.26年度
マニホールド	124,857	123,343	123,967	120,022
その他エンジン部品*	798,875	766,066	787,722	805,388

* その他エンジン部品：タイミングギアリフトヘッド・ホルト、ローリーエンジン専用部品など

(2) 川下企業（顧客）ニーズ

自動車部品に樹脂が使用される目的は軽量化であるが、その背景としては、世界的な環境規制があり、排出抑制のためには自動車の燃費規制が不可欠であることによる。

燃費を改善する方策としてエンジンの効率化、電動化等があるが、車体の軽量化にも取り組まざるを得ず、燃費改善の切り札と期待されている状況である。

そして、軽量化の材料候補として樹脂があるが、樹脂のメリットは、

- ①鉄鋼等に比して軽い。
- ②成形性が良好で、パーツの統合が容易で、望ましいデザインが比較的容易である。
- ③高剛性材料との複合化が可能である。

以上のようなニーズが根底にあることから、本研究開発でターゲットとしたエンジン関連の樹脂化は、川下企業のニーズに沿った内容であり、事業化は十分可能と料する。

(3) 販売促進戦略

当社で開発するセンサ装着のシリンダーヘッドカバー成形用金型、インテークマニホールド成形用金型の事業化に関しては、アドバイザーである自動車関連との連携により進める計画である。

特に、現状の樹脂成形品は不良率が高い理由として、金属構造を基本とした金型設計であるとともに、成形要因である成形機と金型との連携した対応ができなかったことが大きいことと思われる。

本研究開発によりこれらの課題が解消されることから、金型の販売に関しては、サンプル出荷により評価を受けながら、その結果をフィードバックしながら、顧客ニーズを満たす金型の生産体制を構築する予定である。

また、この技術を活用してセンシングを必要とする金型であるレンズ用金型（リフレクター用等）や住宅関連用金型へと展開して拡販の予定である。