平成３０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

「リンク機構を有する自動開放システムの確立による インサート成形用金型の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成３１年３月

担当局　　中部経済産業局
補助事業者　朝日精密工業
　　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（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）　・・・・・・　６

１－３　成果概要　・・・・・・・・・・・　７

１－４　当該研究開発の連絡窓口　・・・・・・・・・　８

第２章　本論

１　上下保持ブロックが同時に作動する開放システムの確立　・・・　９

２　自動開放システムを具備する金型の設計・加工技術の確立について　・・２５

３　インサート成形品の評価　・・・・・・・２７

最終章　全体総括

１　研究開発の成果及び研究開発後の課題　・・・３１

２　事業化展開について　・・・・・・・・・・・・３２

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）研究開発の背景

中小ものづくり高度化法に基づく高度化指針

（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

（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　川下製造業者の特有の課題及びニーズ

ウ．複雑形状化・一体加工化

自動車産業は、国内出荷額（全製造業）の約２割を占め、関連産業を含めた就業人口は全体の約１割の雇用を生み出す、リーディングインダストリーである。しかし近年においては、資源制約及び地球環境問題に対する世界的な関心の高まりからCO_2排出量の約２割の削減を自動車分野において実施するとともに、更なる燃費向上やＣＯ２の削減、燃料の多様化等から次世代自動車の本格的な市場導入に対するニーズが高まってきている。

このように環境が大きく変化する中で、市場獲得を目的として、燃費向上や次世代パワートレインにおける国際的な技術開発競争が激化しており、日本では、ハイブリッド（ＨＶ）技術や電気自動車（ＥＶ）関連の技術にみられるように、次世代自動車の技術開発が行われている。そして、これらの次世代自動車は、早いペースで普及が進み、２０２０年には世界の自動車販売全体の２０％近くを占めると予測されている状況である。

この需要構造の変化を受けて、多くの自動車メーカーは、次世代自動車の投入や海外展開の積極化、低コスト生産の加速等の対応を行っており、部品メーカーもこうした動きに対応していくことが不可欠となっている。

これを反映して、電気自動車や燃料電池車の新しい駆動システムに要する大電流の配線や制御機器とそれらのヒートマネジメントに不可欠なバスバーに関しても、低コスト化が求めら

れてきている。

本研究開発は、電気自動車等の駆動システムに必要不可欠な大電流配線用バスバーの需要が増加する中で、低コスト化が求められていることから、バスバーに対し均一な絶縁被膜成形を低コストで実現する金型システムを確立することで、ニーズに応えるものである。

（２）研究目標

バスバーは、銅板にメッキ加工した金具に電流を流し電気回路を形成するので、絶縁が求められることから、表面を樹脂で加工する必要があるので、その成形加工に当たっては「インサート成形」により実施している。

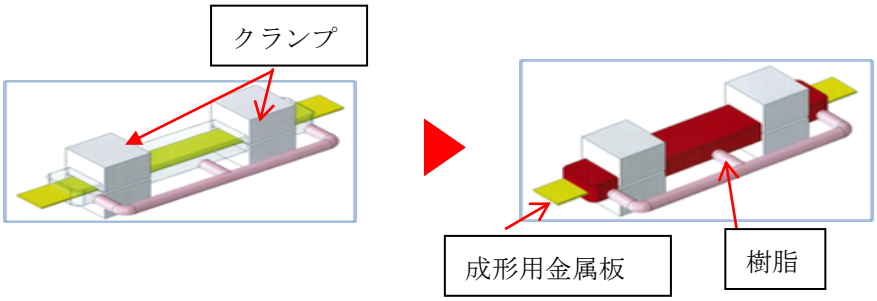
現状のインサート成形工程は、樹脂圧力により金属にぶれが生じ樹脂厚を一定に保つことが困難なために、最初に、金属を上下から固定しながら成形（第一次成形）を行った後に、この固定した部分に対して再度成形（第二次成形）を行っているため、２回の成形工程が必要となっている。

その結果、リードタイムの長期化とコストアップを招いており、効率的な生産方法によるコストダウンが求められているのが実態である。

参考　現状の工程

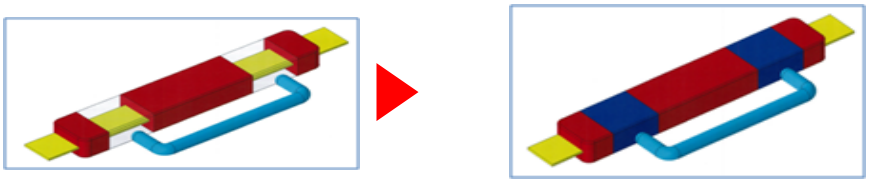
第一工程（１次成形）

インサート材周囲へ、均一厚みの皮膜処理を行うために、下図のようにインサート成形用金属板をクランプで固定して樹脂成形を行う。



第二工程（２次成形）

クランプで固定されていた未被膜処理部分を、二次成形型を用いてインサート樹脂成形する。



そのため、本事業では、バスバーに対し均一な絶縁被膜成形を低コストで実現する金型システムを確立することで、ニーズに応えるものである。

具体的には、バスバーを固定・保持する上下一対の金型を、射出成形開始時の樹脂圧を感知して、同時に等しく微小量変位させることで、厚さが均一的な絶縁被膜を得る自動開放システムを開発する。

これにより⇒

１．金型が２型必要であったのが１型で済み金型費が４0%削減可能となる。

２．生産時間も１工程分が短縮される。

本研究開発に係る技術目標値は以下のとおりである。

１　金型構造について

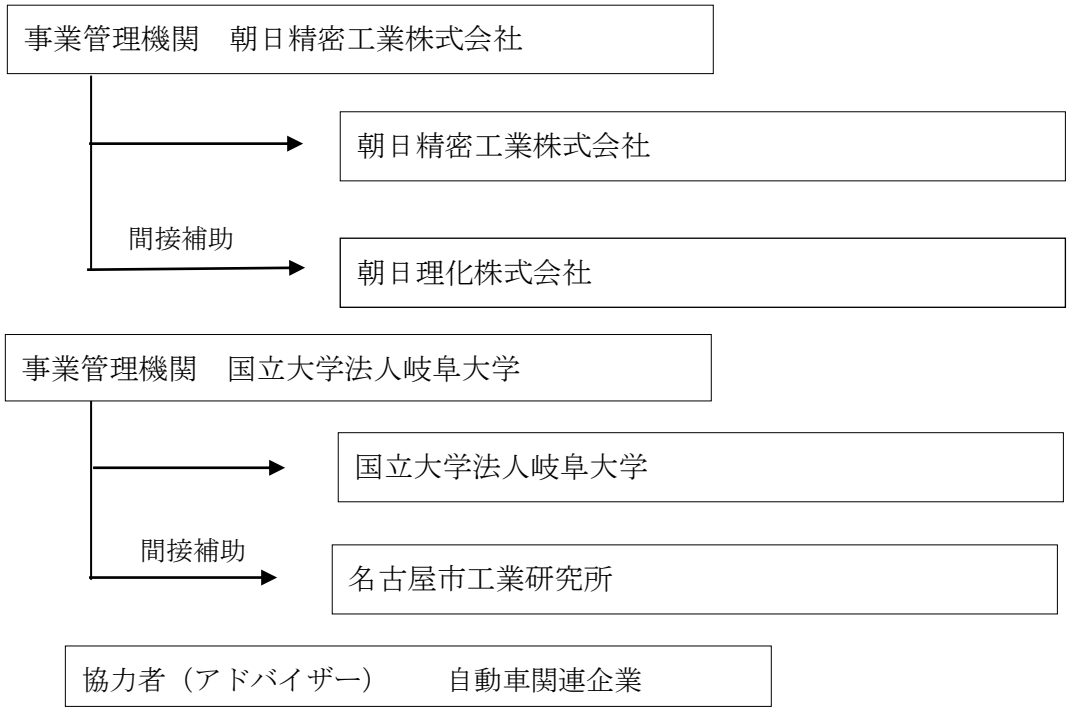
区　　分	現　　状	目　標　値
必要金型数	２型必要	１型で対応可能
金型コスト低減	１００	６０（４０%削減）
製品不良率	１０%	５%以下
成形時間	１００	５０（５０%削減）

２ 金型加工技術について

区　　分	現　　状	目　標　値
金型部品加工精度	±１０μｍ	±５μｍ
成形後バスバー精度（板厚）	１．６ｍｍ±０．５ｍｍ	１．６ｍｍ±０．２ｍｍ
バスバー上下バランス	５０%以内	５０%以内

１－２　研究体制

研究実施体制



【事業管理機関】 朝日精密工業株式会社

管理員

氏　名	所属・役職	備考
朝岡　正	代表取締役	

研究員

氏　名	所属・役職	備考
鈴木　茂樹 大橋　範之	製造部長 営業技術部　課長	

【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
井上　吉弘	工学部准教授	

【間接補助事業者】

朝日理化株式会社

研究員

氏　名	所属・役職	備考
平山　道一	生産部　生産技術課　課長	

名古屋市工業研究所

研究員

氏　名	所属・役職	備考
近藤　光一郎 名倉　あずさ 村田　真伸	システム技術部　研究員 システム技術部　研究員 システム技術部　研究員	

１－３　成果概要

（１）　上下保持ブロックが同時に作動する開放システムの確立

インサート成形用金具を保持する上下保持ブロックに樹脂圧がかかった時点で、上下ブロックが均等に開放される機構の確立に当たっては、金型内における樹脂圧力やバネに係る荷重及びの成形中における樹脂や金型の温度分布並びにブロック構造に対する可動現象等の解析が求められる。

そのため、現在まで実施してきた数値予測と実証実験結果を踏まえて、インサート成形用金属の両面に均一に樹脂が成形される機構の解析モデルを活用して確立した。

（２）　自動開放システムを具備する金型の設計・加工技術の確立

ＣＡＥ解析や流動解析等による成形条件を基に、金型の設計指針を構築するとともに、樹脂がが、上下保持ブロックに到達した時点で、上下同時に可動するリンク機構の開発を行った。

また、実証用金型においては、自動開放システム全体は入れ子構造とし、このシステムのポイントとなるリンク機構は埋子とした。そして、「入子」と「埋子」の組み付けに関しては、嵌め合い面の精度が求められるとともに、開放システムを構成する保持ブロックやリンク機構部品の精度も求められることから、高精度加工により、これを実現した。

（３）インサート成形品の

実証金型により、成形条件（射出保圧スピード、保圧、 保圧時間）を変えながら、バスバー材の板厚精度の評価を行うとともに、その結果を金型にフィードバックしながら、自動開放システムの確立を図った。

研究開発の目標値と達成状況

研究開発における直線バー材における目標値達成状況は以下の通りである。

金型構造について

区　　分	目標値	達成状況	目標値・判定 ABC)
必要金型数	１型で対応可能	１型で対応可能	A
金型コスト低減	６０（４０％削減）	６０（４０％削減）	A
製品不良率	５％以下	５％以下	A
成形時間	５０（５０％削減）	５０（５０％削減）	A

金型加工技術について

区　　分	目標値	達成状況	判定（ABC）
金型部品加工精度	±５μｍ	±５μｍ	A
成形後バスバー精度（板厚）	１．６ｍｍ±０．２ｍｍ	１．６ｍｍ	A
バスバー上下バランス	５０％以内	５０％以内	A

１－４　当該研究開発の連絡窓口

朝日精密工業株式会社　　製造部長　鈴木　　茂樹

電話　　０５６３－３５－３７０１

ＦＡＸ　　０５６３－３７－３７００

E-mail　　info@seimitsu-asahi.com

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　　０５８－２９３－２４９６

E-mail　　sunada@gifu-u.ac.jp

第２章　本論

１　上下保持ブロックが同時に作動する開放システムの確立

１－１　自動開放システムの解析

インサート成形用金属を固定しているクランプに樹脂が到達したとき、バー材を固定・保持しているブロックが開放される機構の確立を図るために、リンク機構のモデルを作成して上下が、リンクしているかの動作確認するとともに、成形時の樹脂内部圧力や荷重状況及び圧入方法の変動等にかかる各種パラメーターの検証を行いながら、これらの検証結果を自動開放システム（リンク機構）へとフィードバックした。

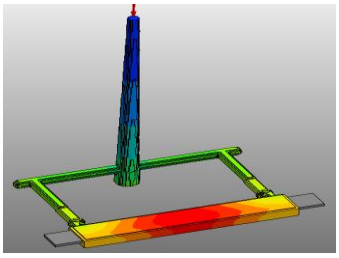
また、事業化を対象とししして、三次元形状のバスバー材をモデルとして、成形時における樹脂内部圧力や荷重状況等について、金型構造最適化ソフトにより解析し、自動開放システムの確立に向けた条件へと展開した。

（１）　インサート成形時の流動　挙動の把握

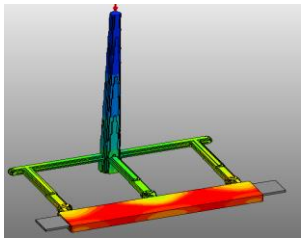
金型に設定するゲート形状等が樹脂流動や樹脂圧力に与える影響の予測とインサート材に樹脂圧力がかかった場合の変形を予測するために実施した。

テスト解析（２点、３点ゲートでインサート材の変位量を比較）

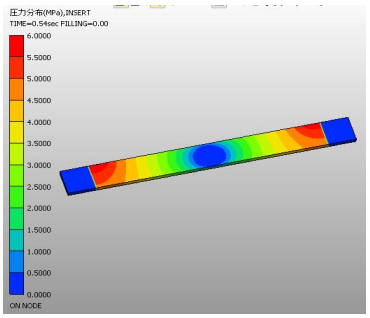
①　充填パターン、インサート材の圧力分布



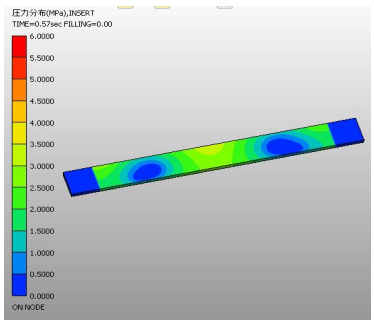
充填パターン（２点ゲート）



充填パターン（３点ゲート）



インサート材の圧力分布（２点ゲート）



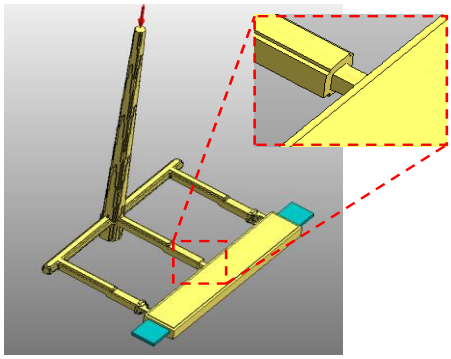
インサート材の圧力分布（３点ゲート）

インサート材の変位量（２点ゲート）

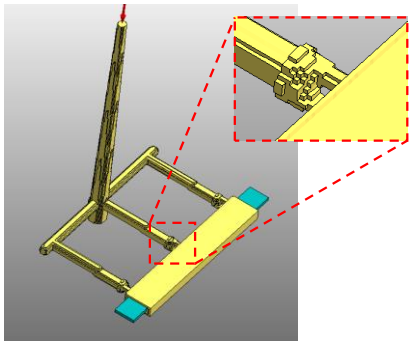
インサート材の変位量（３点ゲート）

以上の解析結果から、３点ゲートにした場合、２点ゲートよりインサート材の変形が抑えられるとともに、成形品の内部観察したところ、解析結果と相対的に一致していることが確認できた。

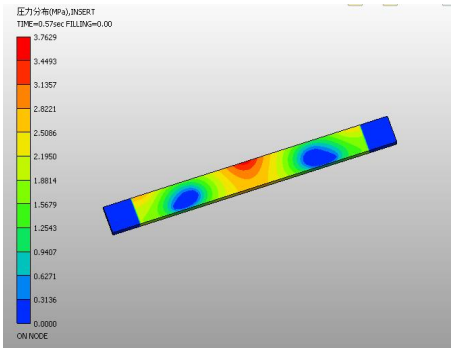
② テスト解析（ゲート形状の違いによるインサート材の変位量を比較）

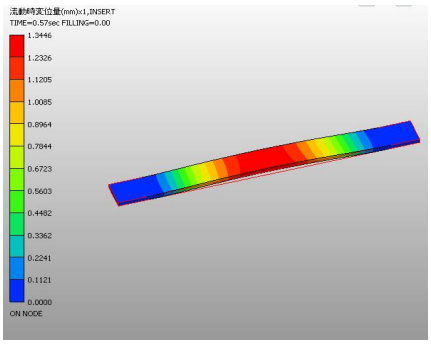


ゲート形状１

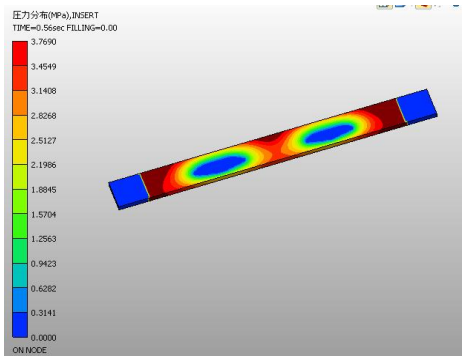


ゲート形状２

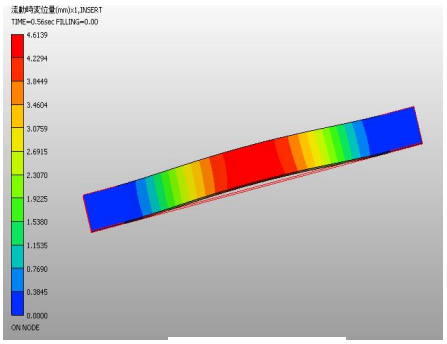




インサート材の変位量と圧力分布（ゲート形状１）*結果出力時間 0.544sec



最大変位量



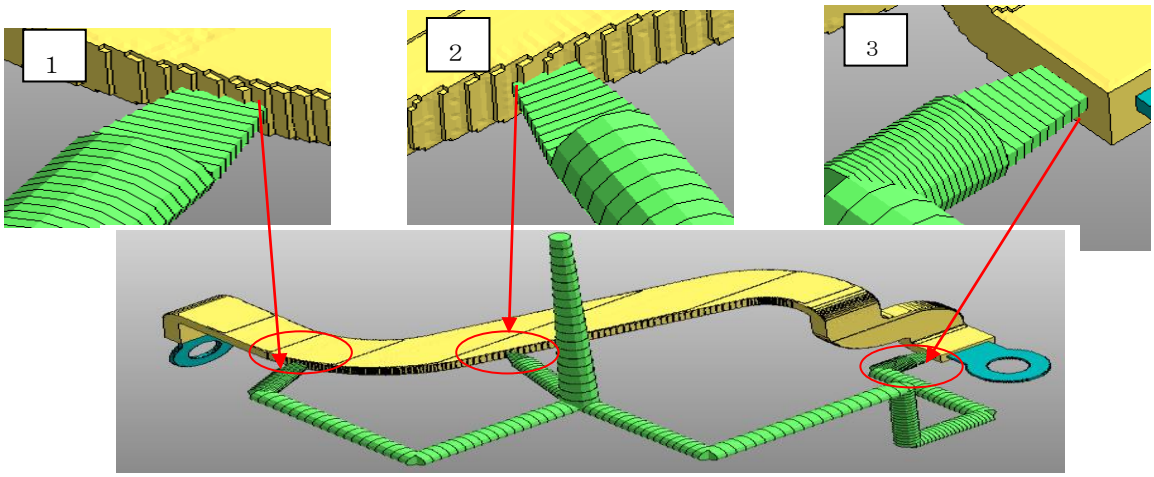
最大変位量

インサート材の変位量と圧力分布（ゲート形状２）

このことより、ゲート形状を変えることによりゲート１点当たりの樹脂注入量が変化し、それが、インサート材の変形に及ぼす影響を確認することができた。

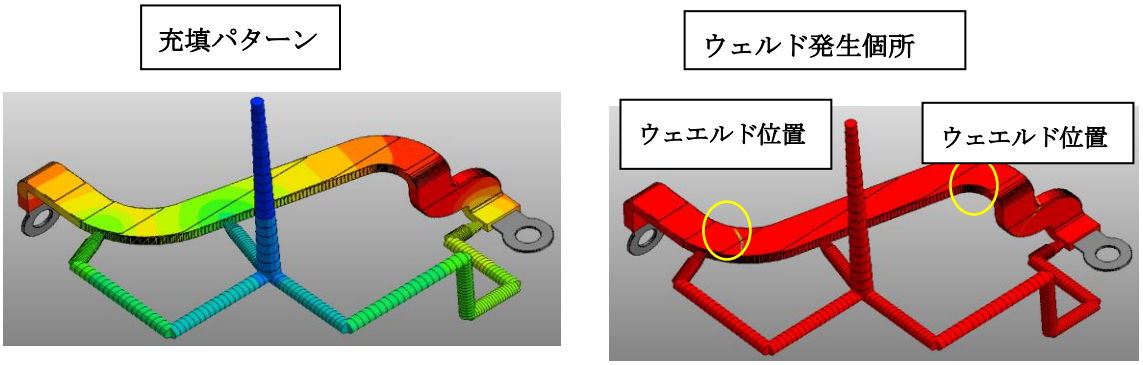
（２）　金型構造最適化ソフトによる樹脂流動及びウェルドの予測

本解析では下図のように３点のゲートから樹脂を注入した際、注入された樹脂が合流する箇所（ウェルド）が成形品のどの部分に発生するか解析ベースで予測・検証を行った。



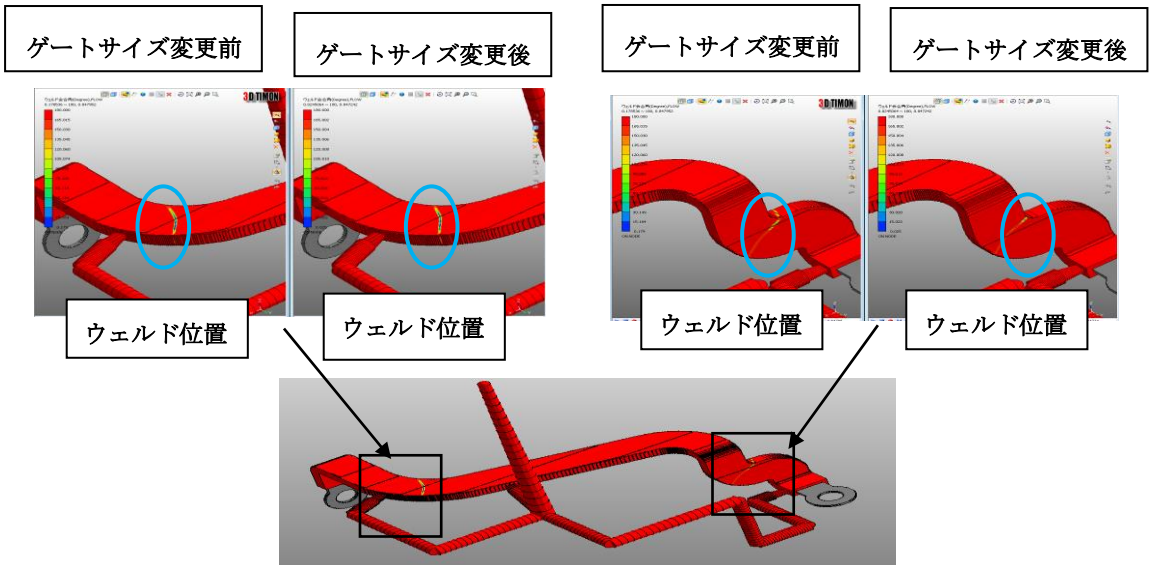
その結果、下図に示すように成形品２か所にウェルドが発生することが判明した。

そのため、多様な製品に対応することを想定しノウハウの蓄積もかねて、②のゲート形状を変更することで各ゲートの樹脂注入量を変化させ、ウェルド発生箇所をずらすことが可能かどうかを解析を用いて検証することとした。



（３）　ゲート変更によるウェルドの変化の状況

金型に設けた②部のゲートサイズを変更して解析を行った結果、ゲートサイズの変更による樹脂流入量の調整では大きくウェルド位置が変化しないことが理解できた。



１－２　自動開放システムに対応した成形条件の確立

使用する樹脂材料は、ポリフェニレンサルファイド樹脂（ＰＰＳ材）より、成形品評価装置を活用して、繊維配向性や強度等の解析を行うとともに、実証用成形機で、成形の可視化を通じて樹脂充てん過程や流動バランス等の分析を行い、「リンク」構造の検証と自動開放システムに対応した成形条件の検討を行うとともに、繊維配向性等にかかる検証結果をもとに、自動開放システムに対応した最適成形条件の確立とゲート形状やゲート位置等の適正化を図った。そして、試作用のインサート金型を設計・製作し、樹脂充填挙動及び充填不均等の発生確率を調査し、稼働状態の観察を通じて、成形条件の確立を図った。

（１）　成形条件がインサート材に及ぼす影響にかかる検証

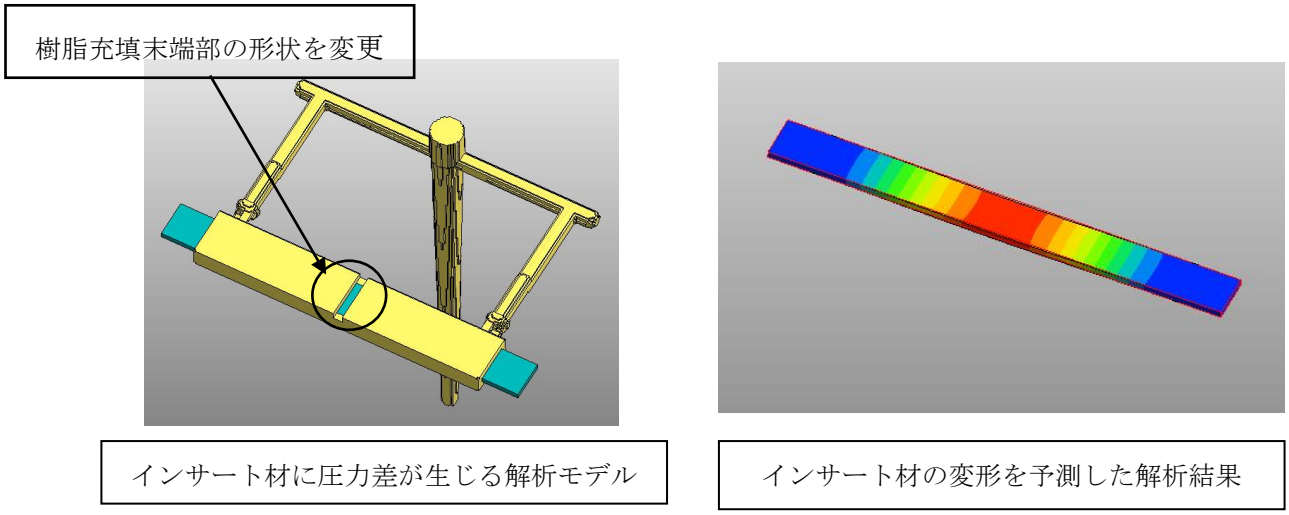
①　解析モデルの検討

金型構造最適化ソフトは理論計算から物理現象を予測するため、金型表面の微細な凹凸や樹脂材料特性のバラツキなどは考慮されないことから、本事業で検証するインサート材が上下に、樹脂流動バランスが崩れることで生じる圧力差に伴うインサート材の変形を金型構造最適化ソフトで再現することは困難な状況である。

そのため、本事業では、樹脂充填末端部の製品形状を意図的に変えた解析モデルを作成することにより、インサート材の上下面に圧力差が生じ、実成形品と同じようなインサート材の変形を再現することを可能とし、（下図参照）この解析モデルを用いて、成形条件がインサート材の変形に与える影響を検証した。

また、インサート材の解析モデル部はモデルのメッシュ層数がインサート材の剛性に依存するため、事前に採用したインサート部のメッシュ層数が妥当であるか層数を変えた解析モデルで解析を行い、計算結果にほとんど差異が無いことを確認した。

図　解析モデルとインサート材の解析結果



② インサート材の変形に影響を与える成形条件項目の特定

成形条件に関して、過去の成形品評価結果を鑑み「射出速度」と「保圧時間」の２項目を調査対象として実施した。

下記表がインサート材の変形を調査するための成形条件である。

表　解析に用いた成形条件パターン

	射出速度 (mm/sec)	保圧時間 (sec)
パターン1	3	3
パターン2	5	1
パターン3	5	3
パターン4	5	5
パターン5	8	3

③ 解析結果

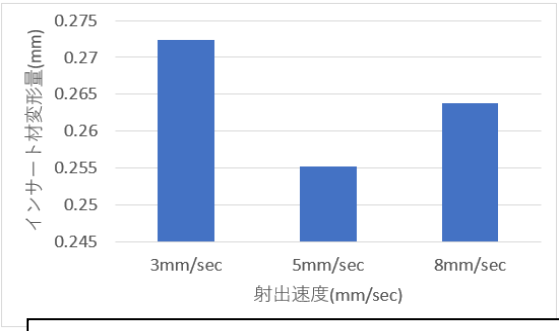
上表に示した５パターンの解析を行い、インサート材の変形量を調査した。

解析結果は、下図のとおりである。

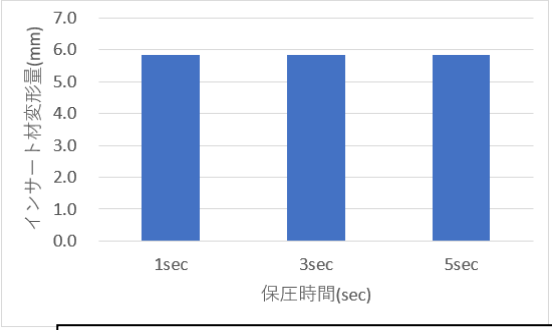
なお、インサート材の変形結果を算出したタイミングは射出速度、保圧時間それぞれ樹脂が充填末端部に到達し樹脂圧力が発生するタイミング、保圧工程時の最大変形量とした。保圧時間におけるインサート材の変形量は射出速度の変形量に比べて大きな値となった。

これは　数値計算上、充填された樹脂の反力や金型壁面との接触を考慮せず、インサート材の上下面に発生した圧力差のみでインサート材の構造解析を行うためである。

図　インサート材の変形量



射出速度におけるインサート材の変形量



保圧時間におけるインサート材の変形量

上図の解析結果より保圧時間はインサート材の変形量にほとんど影響を与えていないことが理解できた。一方、射出速度は速度の変化に応じてインサート材の変形量が変わるため、射出速度はインサート材の変形と関係があると言える。前述したようにインサート材の変形はインサート材の上下面に発生する圧力差から発生する。樹脂流動中の樹脂速度と樹脂圧力の関係は以下となる。1）

$$\left.\begin{aligned} v_x &= -k\frac{\partial P}{\partial x} \\ v_y &= -k\frac{\partial P}{\partial y} \\ v_z &= -k\frac{\partial P}{\partial z} \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

x,y,z：全体座標系の各指標、v:樹脂速度

k：流動コンダクタンス、p:圧力

上式より樹脂速度と圧力には相関関係があることが分かる。

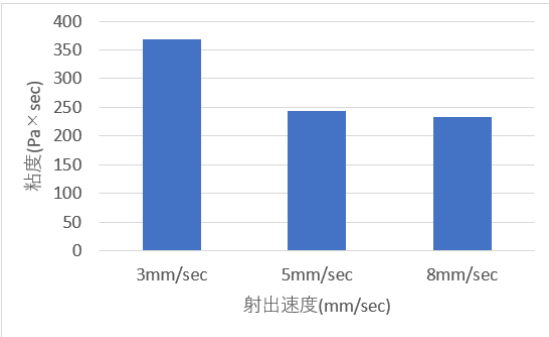
しかし、解析結果では一番インサート材が変形したのは解析パターンの中で一番遅い射出速度の３ｍｍ/ｓｅｃであった。そこで樹脂速度と圧力、粘度の関係式を以下に示す。2）

$$
\left.
\begin{aligned}
&\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial v_x}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu\frac{\partial v_x}{\partial z}\right)=\frac{\partial P}{\partial x}\\
&\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial v_y}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial v_y}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu\frac{\partial v_y}{\partial z}\right)=\frac{\partial P}{\partial y}\\
&\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\frac{\partial v_z}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial v_z}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\mu\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)=\frac{\partial P}{\partial z}
\end{aligned}
\right\}\quad (2)
$$

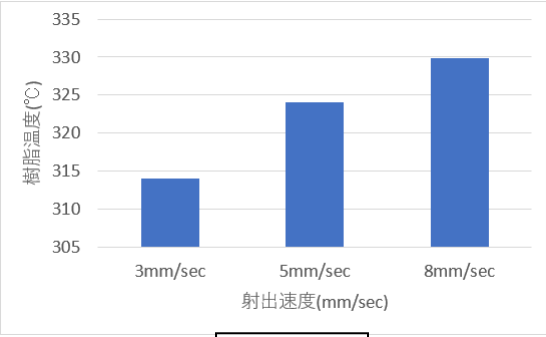
（２）式より樹脂の粘度も圧力上昇に起因することが分かる。

そこで各射出速度における樹脂圧力が発生するタイミングでの粘度及び樹脂温度の状況は下図のとおりであった。

樹脂圧力発生時の樹脂粘度と温度



樹脂粘度



樹脂温度

上図から、樹脂粘度は５mm/ｓｅｃ、８mm/ｓｅｃはほぼ同等の値を示している。一方、３mm/ｓｅｃはそれよりも高い値を示しており、これが圧力上昇を招いた要因と考えられる。また、樹脂温度は３mm/ｓｅｃが一番低い結果となった。

以上のことから射出速度３mm/ｓｅｃは他の射出速度よりも樹脂充填時間が長くなることで充填完了までに大きな樹脂の温度低下を招き、それが樹脂の粘度上昇につながった結果、樹脂圧力が高くなったと考えられる。

（２）　自動開放システムに対応した成形条件の確立

①　型内の可視化について

自動開放システムに対応した成形条件を確立するために、金型内における樹脂の流れの状況を把握するために、金型内の可視化を以下の通り実施した。

可視化実験方法について

ⅰ金型取付面　　：　320 mm×290 mm

ⅱ型厚　　：　150 mm～330 mm

ⅲ型締力　　：　294 kN

ⅳスクリュー径　　：　25 mm

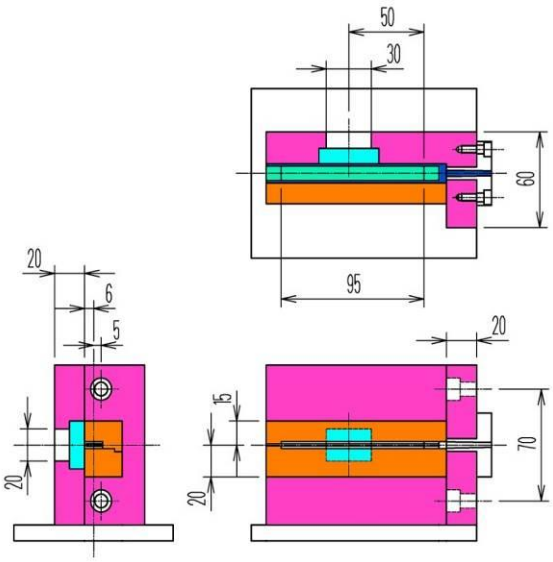
ⅴ最大樹脂射出圧力：　220 MPa

ⅵ理論射出体積　　：　49 cm^3

ⅶ最大射出率　　：　147 cm^3/s

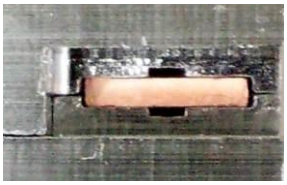
金型は下図のとおりで、キャビティへの樹脂注入用ゲートとして、下図に示すように、金具保持部の一方に上下均等な注入用流路を設けている。

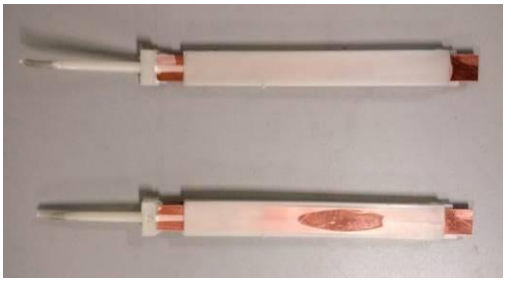
成形品の写真から明らかなように，樹脂の被覆状況が不完全で、大きく偏肉している。



可視化用金型

及びゲート部の写真



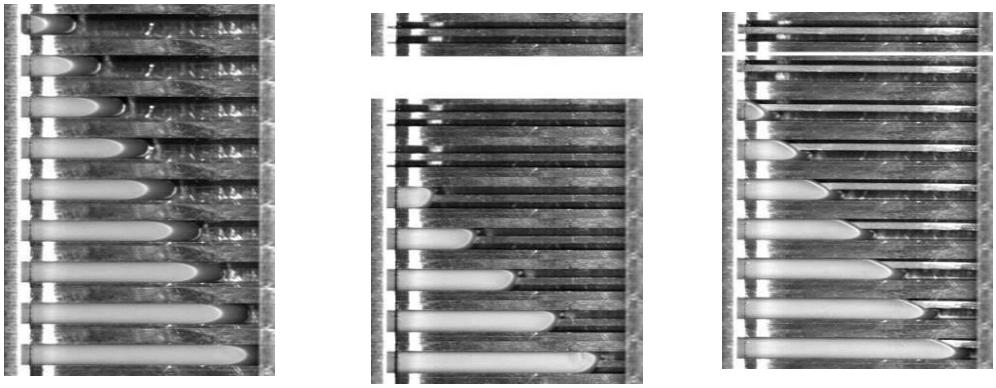


成形品写真

（上：ほぼ対称、下：大きく偏肉）

② 樹脂充填挙動観察について

下画像写真のように、インサート金型形状がゲートを含めて対称であったとしても、樹脂の充填挙動は不均等となることが分かっている。

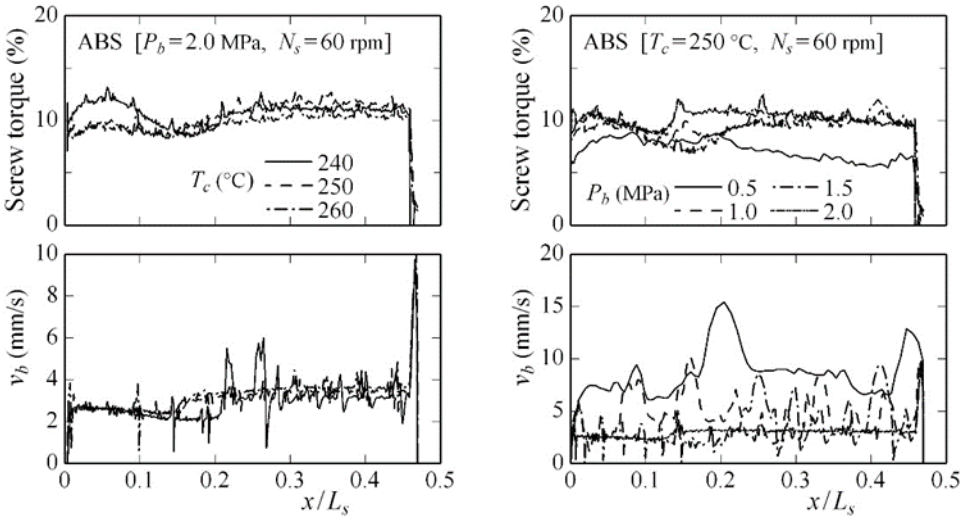


(a) インサート無し　　(b) ほぼ対称　　(c) 大きく偏肉

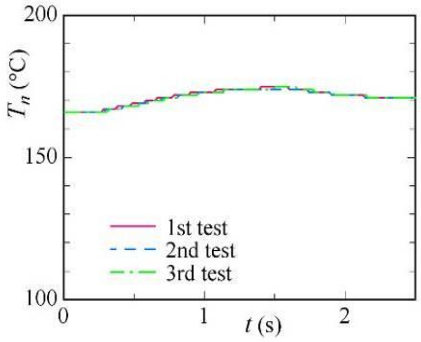
樹脂充填状況の観察画像

そのため、自動開放システムを用いたとしても、この原因による成形不安定性の完全なる排除は困難と思われ、成形不安定性の原因と考えられる因子としては、射出成形機による樹脂ペレットの溶融・混錬動作の不調を取り上げ検証した。

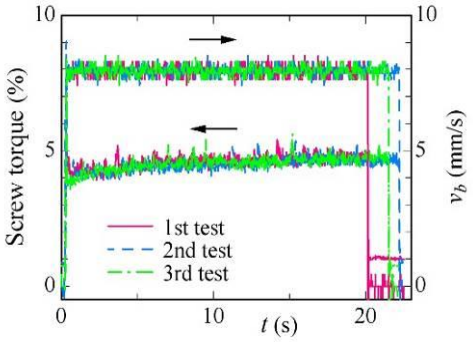
樹脂温度測定用ノズルを取り付け、温度分布測定を実施した結果及び樹脂ペレットの供給量を調整し成形機情報を取得した結果を下図に示す。



シリンダ温度及び背圧設定値の違いによるスクリュートルクと後退速度

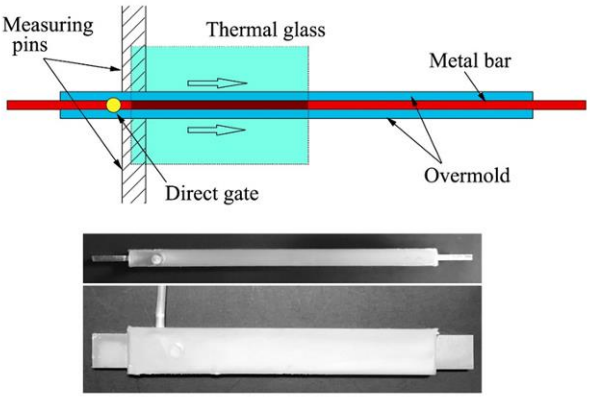


樹脂温度分布

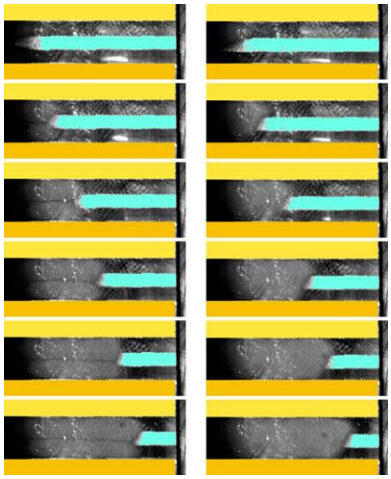


樹脂供給量調整時の成形機情報

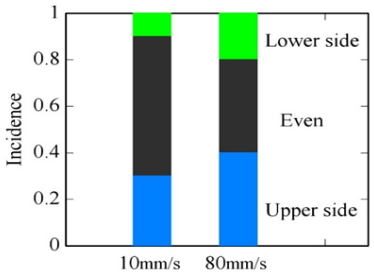
また、上記の実験と連係して、試作用のインサート金型を設計製作した。金型壁面の一部を観察用のガラス窓とし、樹脂充填挙動を調べた結果下図示のように約５０ %の確率で充填の不均等が発生していた。



金型内インサートの設置状況と成形品



樹脂充填状況の可視化

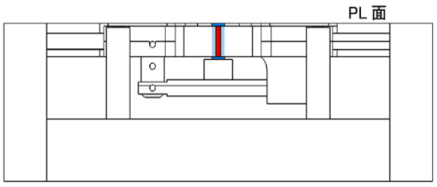


充填状況の発生確率

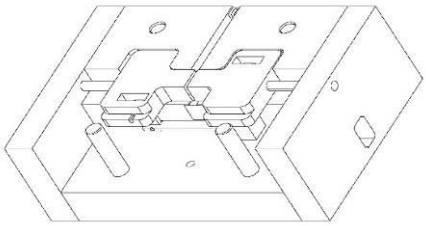
（左；均等な充填，右；上側が先行）

次に、朝日精密工業より支給の自動開放システムを組み込んだ金型を製作し、金型壁面の一部を観察用のガラス窓として、ハイスピードビデオカメラによる観察を実施した状況は次のとおりである。

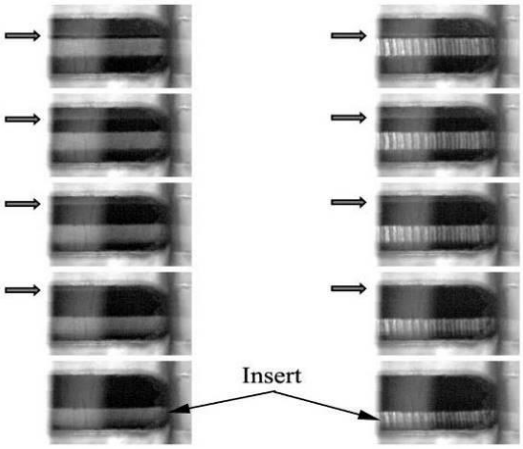
なお、金型図面ならびに観察画像を下図のとおりである。



自動開放システム



金型入れ子



観察画像は先写真。

（左；充填速度 30 mm/s，右；40 mm/s）

※図中の矢印は，自動開放システムの動作状況を示す

③　自動開放システムと樹脂充填状況の検証

インサート金属板の変形挙動に関して、成形試験金型の改造及び樹脂流れの可視化の状況及び自動開放システムの動作開始タイミングと樹脂充填状況の関連について

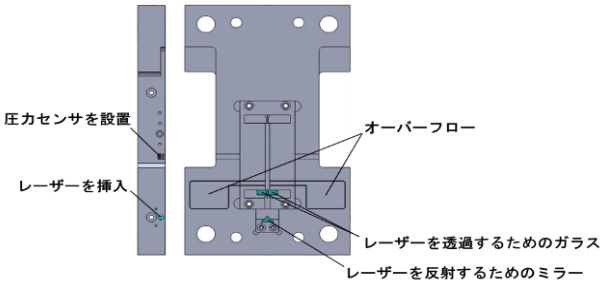
の調査を実施した。

この検証のために、成形試験金型を次の通り改造した。

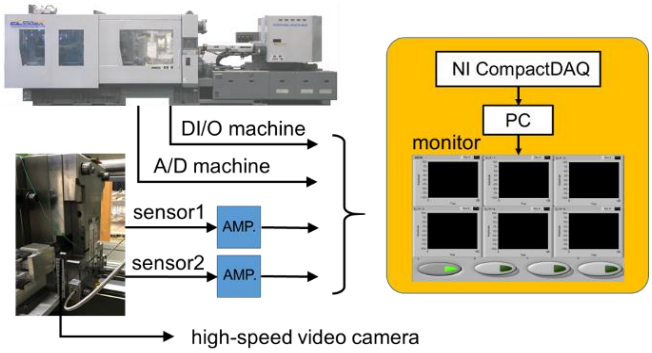
・樹脂の充填挙動を単純化するために、両側方樹脂厚さを１．５ｍｍから０．５ｍｍに変更

・フローフロントの可視化をより鮮明にするため、レーザ光源を導入

・樹脂充填挙動のモニタリングのため、型内樹脂圧および成形機データを集録・分析



概略図（成形試験金型の改造状況）

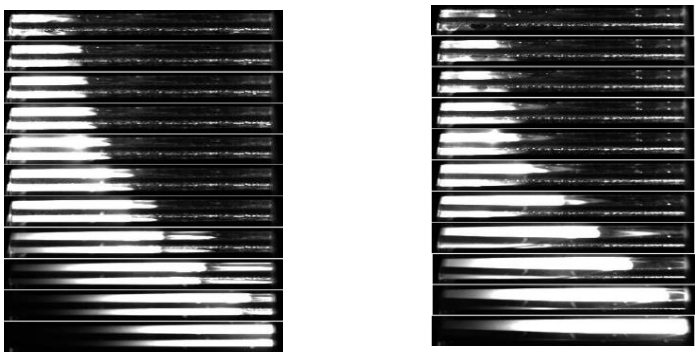


射出成形測定システム

金型内への樹脂の充填過程を可視化した画像は、次のとおりである。

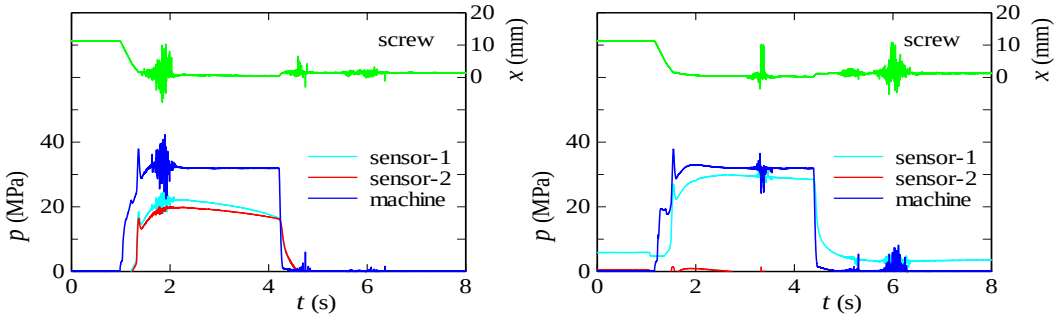
時間進行に従って示したものであるが、左図がほぼ均等に充填し、インサート金属板が真っ直ぐな場合を、右図が早い段階から金属板が湾曲した場合である。

白く光っている部分が樹脂（ナチュラル色）であり、レーザ光が樹脂内部に侵入している。これにより、金属板（黒い部分）の湾曲具合もよく観察できている。



(a) Even　　(b) Bending

樹脂の充填過程を可視化した画像（125 fps）



(a) Even　　(b) Bending

樹脂充填過程における樹脂圧測定結果

上図は、樹脂充填中の型内樹脂圧（水色と赤色）と成形機樹脂圧（青色）及びスクリュー位置（緑色）を、横軸時間で示したものである。

可視化の画像と同様、左図がほぼ均等に充填した場合、右図は金属板が湾曲した場合である。この図から分かるように、成形機の発するノイズの影響が大きくノイズによる波形の乱れが散見される。

この図より、スクリュー位置は計量によって約１０ｍｍまで後退し、射出開始信号とともに０ｍｍまで前進する。この際の位置軌道の時間微分が射出速度である。

図から明らかなように、射出開始直後には直線的な軌道、すなわち等速度で樹脂は金型内に射出されており、スクリュー位置０ｍｍ手前から速度は減少し始め、緩やかに前進し停止する。この間、成形機樹脂圧はスクリュー前進開始とともに急激に上昇し、スクリュー位置０ｍｍ近傍で最大値を取った後に、ある一定時間この圧力を保持する場合が多い。これより、成形機スクリューの作動工程は、金型内への樹脂充填工程と樹脂保圧工程の２工程からなることが理解できる。

そして型内樹脂圧センサの測定値は、図（ａ）では両者ほぼ同時に上昇を始め、同じ軌跡をたどっているが、図（ｂ）では樹脂圧を検知したのは一方のセンサのみで、もう一方のセンサは樹脂圧を検出していない。これは、可視化画像の（ｂ）から分かるように、インサート金属板の湾曲により、樹脂の流れが遮られたためである。

以上の方法により行った実験結果を下の表により整理した。

ここで第２列の偏肉量は、インサート金属板の厚さ１．５ｍｍを片面のみ減肉させ、インサート金属板の両側キャビティの高さ不均一の影響を調べるためである。

試験番号	偏肉量 (mm)	反り量 (mm)	成形結果
101	0	未測定	Even
102	0	〃	Even
103	0	〃	Even
104	0.1	〃	Even
105	0.1	〃	Bending
106	0.2	〃	Bending
107	0.2	〃	Even
211	0.1	0.07	Even
212	0.1	0.02	Even
213	0.1	0.04	Even
214	0.2	0.04	Even
215	0.2	0.07	Even
216	0.2	0.01	Bending

実験結果のまとめ

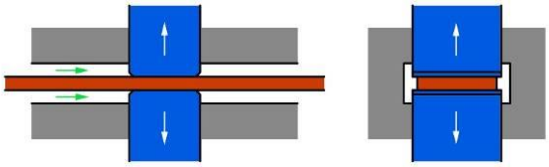
ＴＰ１０１～１０７は、インサート金属板を用い、実施した実験結果である。

例えば偏肉量０．１ｍｍでは、キャビティ高さが１．５ｍｍと１．６ｍｍとなり、両者の圧力勾配は約１０％異なり、高さ１．６ｍｍの側の樹脂が先に進行し、１．５ｍｍ側に曲がると予想されるが、実際は、予想通りの結果となっていなかった。その理由としては、研削加工時の金属板の反りの影響が考えられる。

ＴＰ２１１～２１６では、実験前に反り量を測定し、第３列に加えることとした。実験条件としては反り量０が望ましいが、０．０７ｍｍ以下で減肉側凹形状の反りが生じていた。成形結果では、偏肉量及び反り量を考慮に入れてもインサート金属板の曲がりを説明するに十分なものとなっておらず，金属板の変形過程の複雑さを示すにとどまった。

次に、保持機構試験金型を用いて、保持金具先端形状及びバネ強さを調整しながら、自動開放システムを用いた射出成形時の成形条件を調査した。

下図は、保持金具（青色）の動作原理を示す。インサート金属板（茶色）を保持金具（青色）で挟み込み、保持金具は金型（灰色）に設けた穴部を摺動する。
保持金具の開放力は樹脂圧力による力であり、把持力はバネによって調整する。



保持金具の
動作原理

保持金具の開放力は樹脂圧力による力であり、把持力はバネによって調整する。

保持金具の先端形状は樹脂圧力 p（Pa）の受圧面積 A（m2）を決定する因子であり、樹脂圧力による開放力は Fp = p A（N）である。これに対抗する力としてバネ力 Fs があり、さらに摺動面摩擦力 Ff が作用し、実際の開放力は Fr = Fp ・（Fs + Ff）となる。下写真は、先端形状の写真であり、左図は通常仕様の平坦形状で、右図は受圧面積を確保するために面取りしたものである。

（a）通常　　（b）面取り（c = 1 mm）

またバネ力 Fs については、バネ係数及び初期圧縮量を、ks と s0 として初期バネ力は Fs0 = ks s0 となる。本実験で用意しているバネを表にまとめたのが、下表の保持用バネである。

バネ力は 10 N のオーダーである。これに対して，樹脂圧力による開放力を見積もった表が樹脂圧による開放力の表である。樹脂圧力 p を 5 MPa と仮定して、開放力は 100 N のオーダーとなっており、バネ力との差が大きく開いていることが分かる。

バネ番号	バネ係数 k_s (N/mm)	初期圧縮量 s_0 (mm)	初期バネ力 F_{s0} (N)
S01	2.94	5	14.7
S02	1.96	5	9.8
S03	0.98	5	4.9

把持用バネ

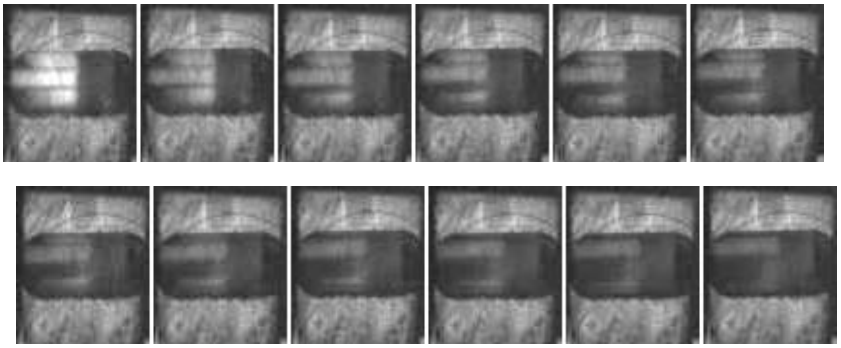
面取り量 c (mm)	受圧面積 A (mm²)	樹脂圧力 p (MPa)	開放力 F_p (N)
0.5	10	5	50
1	20	5	100
2	40	5	200

樹脂圧による開放力

下写真は、面取り（c = 1 mm）を施した保持金具に係る観察画像であり、時間経過は左から右方向で、上段最右から下段最左につながる。

自動開放システムの構造上、観察窓を大きく設置することが困難であるため、保持金具近傍のみの観察となっている。上段最左図は樹脂到達前の状況であり、中央のインサート金属板を上下の保持金具が把持している。

樹脂到達後（２枚目以降)、樹脂圧力による開放力が作用し、保持金具が作動している様子が見て取れる。作動時間は約 0.1 s であり、インサート金属板は保持金具（上）とともに曲がりながら移動している。



観察画像： c = 1 mm（上段；125 fps, 下段；125/2 fps）

④　成形条件に係る検証結果

以上自動開放システムに対応した成形条件の確立にかかる、検証の結果は以下のとおりである。

・流動を計算したところ、金型流路高さの影響は大きく、約７％の高さの変化に対して樹脂圧力勾配が１０％ 変化することが理解できた。

このことは、インサート金属板の金型内設置精度の重要性を意味するものであり、自動開放システムの保持精度に関しても同様であることが理解できた。

・成形試験金型を用いて、樹脂の流動状態及びインサート金属板の変形挙動の可視化、並びに型内樹脂圧力や成形機作動信号の測定を実施した。

測定データと金属板の変形挙動とを関連付けたデータベースの構築システムは完成していることから、今後は、データサンプル数を増やし、データ学習による現象解明を行う必要があると思われる。

・保持機構試験金型による検証では、自動開放システムの作動状況を可視化観察するとともに、その作動条件を見積もった。

その結果，自動開放システムの作動開始タイミングの調整が、現在のところ十分ではなく、自動開放システム内部の摺動摩擦や保持金具先端形状等改善すべき点が見出されたところである。

２　自動開放システムを具備する金型の設計・加工技術の確立について

２－１　金型構造の基本設計

ＣＡＥ解析や流動解析等による成形条件に基づき、『自動開放システム』が円滑に機能する最適金型の設計を行った。また、インサート金属を保持している上下ブロックが、どちら側に樹脂圧がかかっても同じ作動をする「リンク機構」の設計と機構サンプルの試作を行った。

２－２　実証用金型の精密加工技術の確立

実証用金型の製作に関して、自動開放システム全体は入れ子構造とし、このシステムのポイントとなるリンク機構は埋子として機能させ、実証用金型を製作した。そして、バスバー材に対して、上下均等に樹脂が流れ込むようにするために、最後まで保持力を維持する保持機構の箇所を最終充填位置とするとともに、バネ強度を高めたり、また、高硬度材による高精度のカム機構を付加した金型構造とした。

また、金型に対する加工精度に関して、試作用リンク機構の制作と合わせて検証した結果、目標とする嵌め合い面の精度（±５μｍ）を達成することができた。

リンク機構を装着した実証金型

金型部品加工状況

型寸測定表

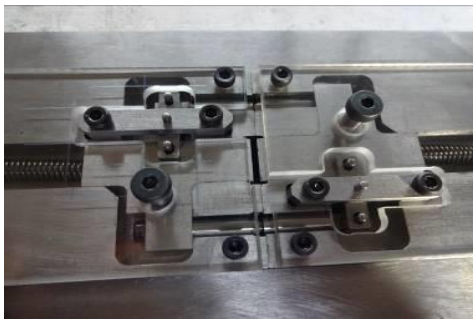
No, 2

品名	サポイン　プレゼン用ユニット	承認	設計	測定者
部品番号	0592	鈴木	大橋	澤田
製造番号	17A096A1			

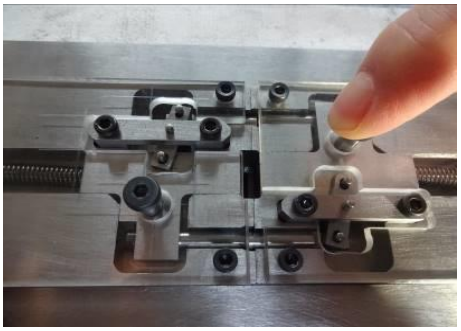
No	図面寸法		測定値	測定具	No	図面寸法		測定値	測定具
1	13.0	+0.02 +0.01	13.01	MC	11	8.0	+0.02 +0.01	8.01	MC
2	7.0	−0.01 −0.02	6.99	MC	12	10.5	+0.02 +0.01	10.51	MC
3	6.0	+0.02 +0.01	6.01	MC	13	5.0	+0.02 +0.01	5.01	MC
4	6.0	+0.02 +0.01	6.01	MC	14	5.0	+0.02 +0.01	5.01	MC
5	17.0	+0.02 −0.02	17.00	MC					
6	10.0	+0.02 −0.02	10.00	MC					
7	40.75	+0.02 +0.01	40.76	MC					
8	20.75	+0.02 −0.02	20.75	MC					
9	5.75	−0.01 −0.02	5.74	MC					
10	17.0	+0.02 −0.02	17.00	MC					

リンク機構試作ユニット

リンク機構：動作前



リンク機構：動作後



また、試作用リンク機構の動作確認であるが、上記のように、スムースに動作することを確認した。

3　インサート成形品の評価

自動開放機構を有する成形用金型の評価に関しては、リンク機構を内蔵した実証用金型により、成形トライを行い、自動開放システム作動状況や、樹脂が円滑に流れるためのゲートの位置及び形状、ランナー形状等の検証を行い、これらの評価結果を金型及び成形条件にフィードバックした。

評価に当たっては、三次元形状のバスバー材により、実証実験を行い各種データの収集蓄積を行った。この検証に当たっては、自動開放システム作動状況や、樹脂が円滑に流れるためのゲートの位置及び形状、ランナー形状等の検証を行うとともに、成形条件の確立に関しては、成形時の樹脂内部圧力や荷重状況及び圧入方法の変動等（ゲート位置等）にかかる各種パラメーターの分析を実施した。

そして、樹脂充てん過程や流動バランス等の状況の分析を可視化実験により実施して、これらの結果を金型設計にフィードバックしたところである。

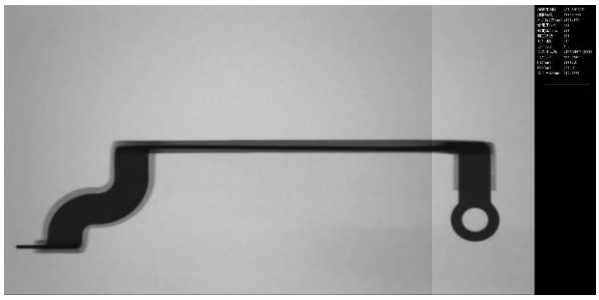
実証用金型で成形された評価結果

中央１点のゲートでの成形品

自動開放システムに溝を追加し成形した成形品

成形品中のインサート材がどのように変形しているか内部可視化観察状況

成形品の透過画像（左図：透過画像、右図：実際の成形品）



三次元形状のバスバー材にかかる実証実験結果であるが、リンク機構は樹脂圧により適正に作動、解放されることが確認できたが、樹脂が到達してリンク機構が解放された瞬間に、バスバー材が樹脂圧により上下にぶれるために、樹脂は上下均等に流れず、トライした結果では、上方へ多く流れて、上下均一の成形はできなかった。

そのため、実証に用いるバスバー材を三次元形状から直線形状に変えるとともに、以下の対策を講じ検証を行った。

・最後まで保持力を維持するために、保持機構の箇所を最終充填位置とする。

・再計算をして、バネ強度を、従前の約１．３倍の強度とする。

・高硬度材による高精度のカム機構を付加した。

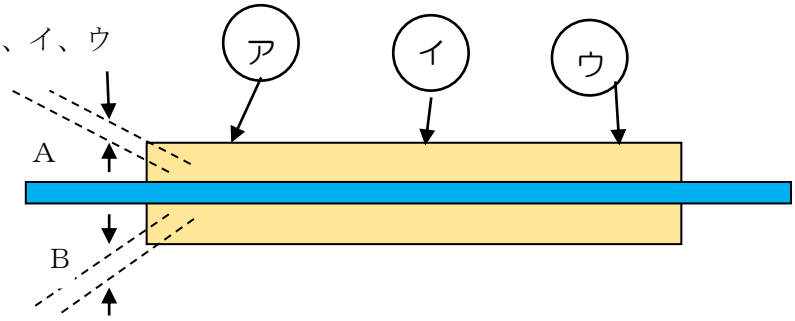
・ゲート・ランナーを変更する。

金型構造の変更を行った実証結果は以下の通りであった。

成形対象

製品肉厚Ａ，Ｂ　狙い値　1.8±0.2　銅板 1.5
製品総厚　狙い値　5.1　実測　5.07
成形条件　射出保圧スピード － 保圧 － 保圧時間

測定箇所：　ア、イ、ウ



測定結果

・保持圧が強いと、上下どちらかに圧縮力がかり、上下均等に樹脂が流れない。

・射出スピードが速いと、上下どちらかに樹脂が多く流れて曲がる。

・一定の量を、最初に金具の保持部分の上下に流さないと曲がる。

これらの結果を踏まえて、成形条件を変えての実証実験を実施した。

その結果は以下の通りであった。

1）　成形条件　３-３０-３

区分	ア	イ	ウ
A	１．６９	１．５２	１．７４
B	１．８７	２．０３	１．８３
理論銅板	１．５１	１．５２	１．５０
偏肉	０．０９	０．２５	０．０４

2）　成形条件　５-３０-１

区分	ア	イ	ウ
A	１．８２	１．８６	１．７６
B	１．７４	１．７０	１．８１
理論銅板	１．５１	１．５１	１．５０
偏肉	０．０４	０．０８	０．０２

3）　成形条件　５-３０-３

区分	ア	イ	ウ
A	１．７５	１．７３	１．７４
B	１．８０	１．８３	１．８２
理論銅板	１．５２	１．５１	１．５１
偏肉	０．０２	０．０５	０．０４

４）　成形条件　５－３０－５

区分	ア	イ	ウ
A	１．９５	２．００	１．８７
B	１．６１	１．５６	１．６９
理論銅板	１．５１	１．５１	１．５１
偏肉	０．１７	０．２２	０．０９

５）成形条件　８－３０－３

区分	ア	イ	ウ
A	２．０３	２．３３	２．０３
B	１．５４	１．２３	１．５３
理論銅板	１．５０	１．５１	１．５１
偏肉	０．２４	０．５５	０．２３

以上の検証の結果、成形条件にもよるものの、当初目標としている成形後バスバー精度（板厚）を、±０．２mm以内で成形することが達成できた。

なお、インサート材の変形を抑えるためには射出速度だけでなく樹脂温度と粘度の関係も考慮した条件設定を行うとともに、樹脂の粘度を上げるためには樹脂温度や金型温度をや、自動開放システム内部の摺動摩擦や保持金具先端形状等について、今後検討の予定である。

最終章　全体総括

１　研究開発の成果及び研究開発後の課題

本研究開発では、当初は実用化に近い三次元形状のバスバー材を対象として自動開放システムの確立を目指したが、リンク機構は樹脂圧により適正に作動、解放されることは確認できたものの、樹脂が到達してリンク機構が解放された瞬間に、バスバー材が樹脂圧により上下にぶれるために、樹脂は上下均等に流れずに目標値たっせはできなかった。

そのため、、バスバー材を三次元形状から直線形状に変えるとともに、

・最後まで保持力を維持するために、保持機構の箇所を最終充填位置とする。

・再計算をして、バネ強度を、従前の約１．３倍の強度とする。

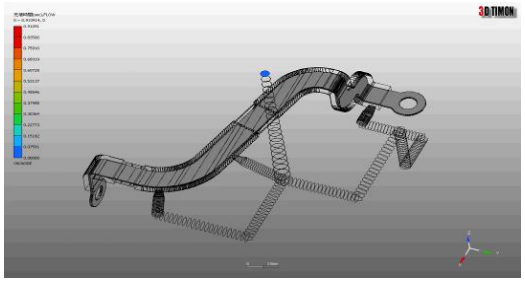
・高硬度材による高精度のカム機構を付加した。

・ゲート・ランナーを変更する。

といった金型構造の変更を行い、検証した結果、成形条件にもよるが、目標としている成形後バスバー精度（板厚）を、±０．２mm以内で成形することが達成できた。

現在、三次元形状のバスバー材を対象として、樹脂温度や金型温度及び自動開放システム内部の摺動摩擦や保持金具先端形状等にかかる検討を含めて、補完研究を実施する計画である。

参考



２　事業化展開について

（１）　川下企業ニーズ

自動車産業においては、資源制約及び地球環境問題に対する世界的な関心の高まりからCO_2排出量の約２割の削減を自動車分野において実施するとともに、更なる燃費向上やCO_2の削減、燃料の多様化等から次世代自動車の本格的な市場導入に対するニーズが高まってきている。

このように環境が大きく変化する中で、市場獲得を目的として、燃費向上や次世代パワートレインにおける国際的な技術開発競争が激化しており、日本では、ハイブリッド（ＨＶ）技術や電気自動車（ＥＶ）関連の技術にみられるように、次世代自動車の技術開発が行われている。

この需要構造の変化を受けて、多くの自動車メーカーは、次世代自動車の投入や海外展開の積極化、低コスト生産の加速等の対応を行っており、部品メーカーもこうした動きに対応していくことが不可欠となっている。これを反映して、電気自動車や燃料電池車の新しい駆動システムに要する大電流の配線や制御機器とそれらのヒートマネジメントに不可欠なバスバーに関しても、低コスト化が求められてきている。

バスバーは、銅板にメッキ加工した金具に電流を流し電気回路を形成するので、絶縁が求められることから、表面を樹脂で加工する必要があるので、その成形加工に当たっては「インサート成形」により実施している。その工程であるが、金属を上下から固定しながら成形（第一次成形）を行った後に、この固定した部分に対して再度成形（第二次成形）を行うことから、２回の成形工程が必要で、リードタイムの長期化とコストアップを招いており、効率的な生産方法によるコストダウンが求められているのが実態である。

以上のようにユーザーの需要はコストダウンであることから、開発した自動開放機構を有する金型システムを確立して事業化を図る計画である。

（２）事業化分野等

事業化で目指すのは、自動車用のバスバー成形用金型である。

そのため、「オートモーティブ展」等の効果のある展示会への出展を通じて、技術の紹介とニーズの把握を行いながら、販路の拡大を図る計画である。