

平成 2 2 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「大型成形部品の多品種少量生産に適した
油圧プレス用簡易金型製造技術の構築」

研究開発成果等報告書概要版

平成 2 3 年 3 月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人 石川県産業創出支援機構

目 次 (例)

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
- 1 - 2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者) 4
- 1 - 3 成果概要 8
- 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口 1 4

第 2 章 本論

- 2 - 1 耐久性、耐摩耗性、強度に優れた樹脂製金型製造技術の構築 1 4
- 2 - 2 成形可能形状のデータ収集及び分析 1 5
- 2 - 3 複数部品一体成形技術への対応 1 6
- 2 - 4 樹脂製金型の形状変更への対応 1 6

最終章 全体総括

- 1 複数年の研究開発成果 1 7
- 2 研究開発後の課題・事業化展開 2 0

第1章

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

バス、トラック、建設機械及び農業機械等の大型車両製造の川下製造業者において、車両の付加価値向上及び衝突安全性向上を図るため部品点数が増加している。例えば、観光バスの製造では部品点数は2万点を超えているのが現状であり、安価な韓国製及び中国製のバスに対して競争力を維持する必要がある。したがって、これら大型車両のコストを低減するための課題及びニーズとして、「金型の低コスト化」、「部品点数の削減」、「多品種少量生産への対応」及び「車両モデルチェンジサイクルの短縮」が挙げられる。以下に個々の課題及びニーズに関して補足する。

金型の低コスト化

大型成形部品の金型が高価であるため、製造コストが高騰している。特に、大型成形部品は油圧プレス機を用いて製造する金属製部品が大部分を占めており、その金型も大型であるため、製造コストに占める金型等の初期投資費は他業種と比較すると非常に大きくなっている。したがって、金型製造コストの低減を可能とする新たな金型製造技術の確立が急務となっている。

部品点数の削減

細かな形状部位で構成された大型部品は、主体大型部品の成形後に小型部品を溶接やネジ締めにより取り付けている。このような生産方式は、部品点数を増加させる主要因であり、コスト増加の大きな要因となっている。そのため、複数部品の一体成形による部品点数の削減及び部品点数の最適化が強く望まれている。

多品種少量生産への対応

大型車両製造業において、近年ユーザーニーズの多様化により多品種化の傾向はさらに進展している。しかし、一般乗用車と同等な耐久性を持つ金属製金型を使用しているのが現状であり、明らかにオーバースペックである。したがって、更なる多品種少量生産に適した生産方式の確立が強く望まれている。

車両モデルチェンジサイクルの短縮

大型成形部品の金型が高価であるため、新型車両開発を含むモデルチェンジが困難となり、例えば大型観光バスではフルモデルチェンジが15年以上のサイクルとなっている。したがって、車両のモデルチェンジの容易化及びモデルチェンジサイクルの短縮化を可能とするためにも金型費を根本的に低減することが強く望まれている。

(2) 研究の目的

一般乗用車の車体部品試作において、安価に金型を製作すること及び設計変更に関わる部品形状の変更を容易にすることを目的として樹脂製金型を自社開発した。ここでは、部品形状、樹脂製金型の耐久性及び強度を考慮して、樹脂製金型の一部に補強用の¹⁾ZAS をインサートする技術を構築した。その結果、コスト削減及び開発速度の向上が可能となり、自動車用ピラー、ダッシュボード支持部品等多くの試作部品成形を行ってきた。しかし、実際に大型成形部品の量産用金型として使用するには耐久性、耐摩耗性、強度及び部品の外観品質等に問題があった。

また、従来の金属製金型は高価であり、多品種少量生産のバス、トラック、建設機械及び農業機械等の大型部品成形において金型の耐久性、耐摩耗性、強度にメリットがあるが、樹脂製金型と比較して金型費で非常に不利である。さらに、バス及びトラック用の大型の金属製金型は、広い保管用地が必要であり、金型の保管及び維持管理費が部品製造川上企業にとって大きな負担となっている。

そこで、本研究開発では ZAS 補強を行わず、大型成形部品の多品種少量生産に適した、安価で耐久性、耐摩耗性、強度に優れた樹脂製金型製造技術を確立することを目的とする。さらに、樹脂製金型による成形が可能な形状を明確にし、複数部品の一体成形を行うことにより部品点数を削減することを目的とする。

(3) 研究の目標

金型の低コスト化及び部品点数の削減を実現することにより、大型車両製造川下企業において車両価格の低減及び金型変更が容易になる。その結果、モデルチェンジサイクルの短縮化が可能となる。しかし、現在用いている金型の素材は一般乗用車と同等であるため、その取り組みには限界がある。そこで、金型の素材として樹脂に着目し、複数部品の一体成形による部品点数削減及び金型製造コストの 30%削減を目指す。これらの目標を達成することにより、大型成形部品全体の製造コストを 30%以上削減することを目指す。

また、新型車両開発期間を短縮するためには、試作工程における金型の加工時間の短縮が重要である。そこで、マスターモデルを有効に活用することにより、加工時間が 50%短縮可能な樹脂製金型の製造技術を開発する。この開発で、車両試作工程に適した金型生産方式の高度化を図り、金型製作期間を従来の 40%以上短縮することを目標とする。これにより、車両試作期間の短縮に繋げる。

これらの目標を達成するための具体的な実施項目は、以下の 4 項目である。

耐久性、耐摩耗性、強度に優れた樹脂製金型製造技術の構築

ショット数 3,000 ショットに耐え得る耐久性、耐摩耗性、強度を有する樹脂製金型を開発する。大型成形部品の年間ショット数は約 1,000 ショットであり、10 年間の

¹⁾ ZAS : Zinc Alloy for Stamping の略。金型用亜鉛合金

使用を想定した樹脂製金型を開発する。その際、3年に1度の補修(10年で2回)を行うことで10年間の使用を可能とし、樹脂製金型の価格は、補修費を含めても金属製金型の70%に抑える。

成形可能形状のデータ収集及び分析

これまで、板厚 1.6mm の²⁾ブランクシートで種々の成形を行ってきたが、樹脂製金型と金属製金型では成形可能な限界形状が異なる。

そこで、樹脂製金型で成形可能な限界形状を見極めるため、シミュレーション解析を行い、プレス実験による比較検証も行う。

複数部品一体成形技術への対応

これまでに、部品点数 5 点で構成された Battery Box 及び部品点数 14 点で構成されたメンバーアッシーフロントの一体成形を達成しており、本年度も部品点数 10 ~ 15 点で構成された複雑形状部位での一体成形を行う。

樹脂製金型の形状変化への対応

樹脂製金型の耐久性、耐摩耗性を評価するため、生産技術要件用の樹脂製金型(以下「生技要件型」という)でのプレス実験を行い、3,000 ショットまでの摩耗予想グラフを作成し、摩耗量が 2mm 以内に収まる形状を見出す。

本年度製作した生技要件型は下記のとおり。

1. Type1 :³⁾ DieR 5R、⁴⁾CornerR 10R、Depth 100mm
2. Type2 : DieR 10R、CornerR 10R、Depth 100mm
3. Type3 : DieR 5R、CornerR 20R、Depth 100mm
4. Type4 : DieR 5R、CornerR 10R、Depth 75mm
5. Type5 : DieR 10R、CornerR 10R、Depth 75mm
6. Type6 : DieR 5R、CornerR 20R、Depth 75mm

²⁾ プレス成形に用いる鋼板

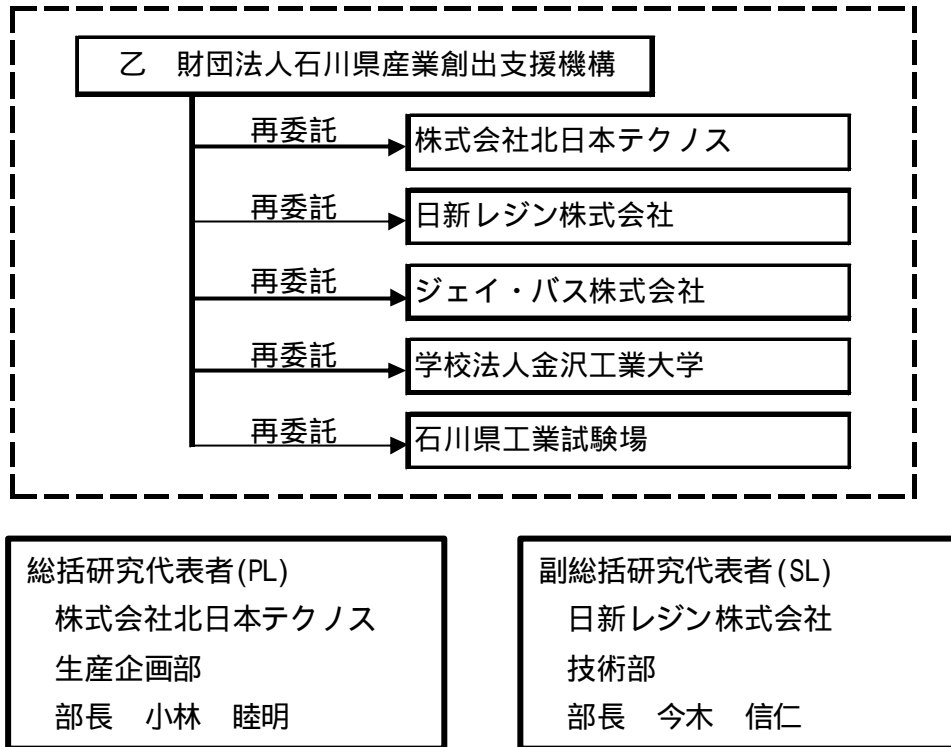
³⁾ ここでは樹脂製金型の凹型の縦面と横面で構成された角のRのことをいう

⁴⁾ ここでは樹脂製金型の凹型の縦面 2面 で構成された角のRのことをいう

1 - 2

(1) 研究組織・管理体制

研究組織(全体)



事業管理者

財団法人石川県産業創出支援機構 プロジェクト推進部
(最寄り駅：JR 西日本北陸本線金沢駅)
〒920 - 8203 石川県金沢市鞍月 2 丁目 20 番地
石川県地場産業振興センター 新館 2 階

研究実施場所 (下線部は主たる研究実施場所)

株式会社北日本テクノス 生産企画部
(最寄り駅：JR 西日本北陸本線小松駅)
〒923 - 0152 石川県小松市五国寺町ホ 102 番地 2

日新レジン株式会社 技術部

(最寄り駅：JR 東日本東海道線・横須賀線戸塚駅)
〒245 - 0053 神奈川県横浜市戸塚区上矢部町 2280 番地

ジェイ・バス株式会社 生産技術部

(最寄り駅：JR 西日本北陸本線粟津駅)
〒923 - 8575 石川県小松市串町工業団地 30 番地

学校法人金沢工業大学 高度材料科学研究開発センター

(最寄り駅：JR 西日本北陸本線松任駅)

〒924 - 0838 石川県白山市八束穂 3 丁目 1 番地

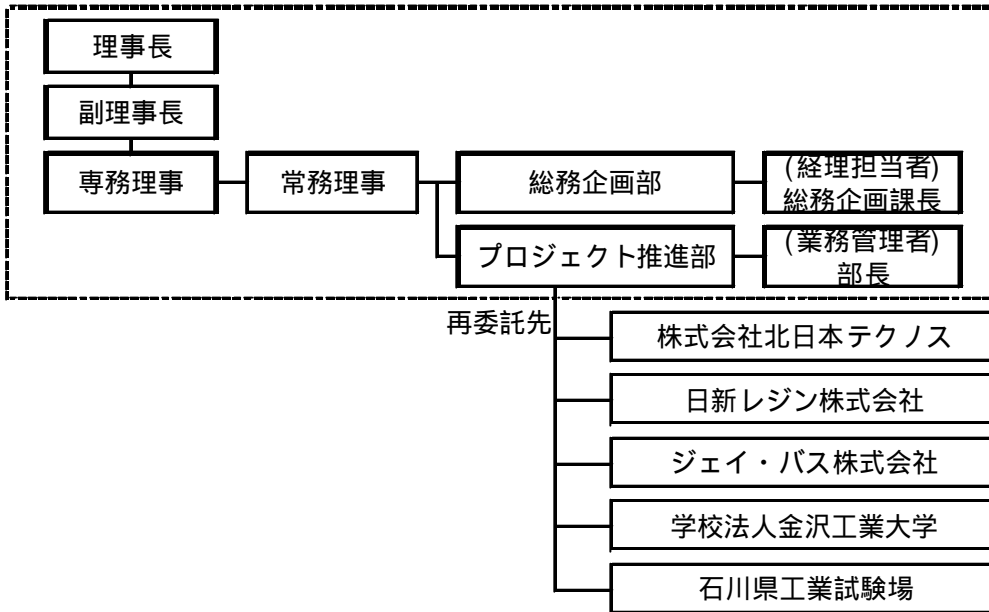
石川県工業試験場 機械金属部 (最寄り駅：JR 西日本北陸本線金沢駅)

〒924 - 8203 石川県金沢市鞍月 2 丁目 1 番地

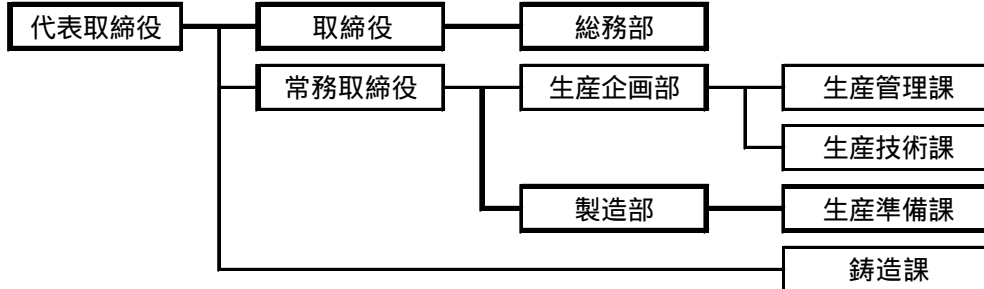
管理体制

事業管理者

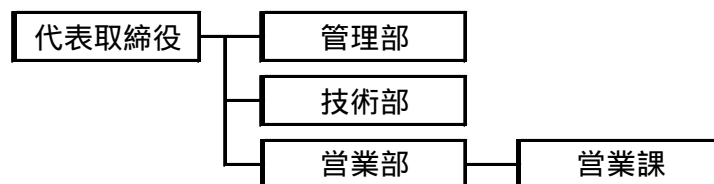
財団法人石川県産業創出支援機構



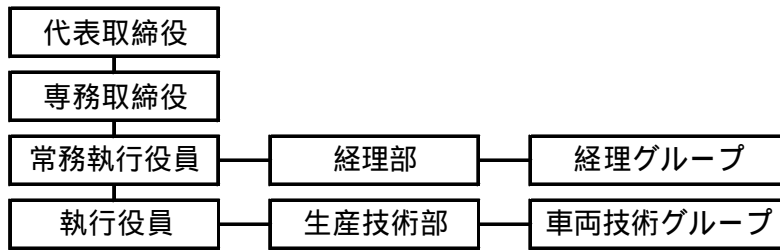
株式会社北日本テクノス



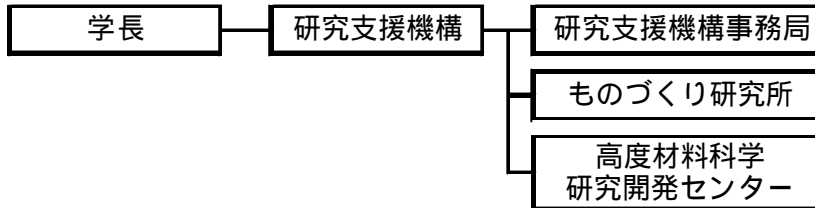
日新レジン株式会社



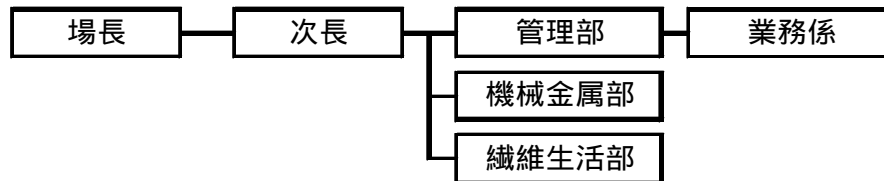
ジェイ・バス株式会社



学校法人金沢工業大学



石川県工業試験場



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人石川県産業創出支援機構

氏名	所属・役職
山森 力	プロジェクト推進部 部長
谷内 秀樹	プロジェクト推進部 知財活用推進室主任

【再委託先】

株式会社北日本テクノス

氏名	所属・役職
田中 由政	常務取締役
小林 睦明	生産企画部 部長
酒田 謙一	生産企画部 生産技術課 課長
山崎 顕一	生産企画部 生産技術課 技師
大内 准	生産企画部 生産技術課 技術員
吉野 典功	生産企画部 生産技術課 技術員
塩崎 健	生産企画部 生産技術課 技術主任
越田 篤司	生産企画部 生産技術課 技員
浅野 学	製造部 生産準備課 技師
六反田 豊二	製造部 生産準備課 技術員
北野 八須則	製造部 生産準備課 技術員

畦池 敬昌	製造部 生産準備課 技員
多田 英太郎	製造部 生産準備課
田中 寛	鑄造課 技幹
松本 厚子	鑄造課 技術員
越田 美紀	鑄造課 技員
城本 真理子	鑄造課

日新レジン株式会社

氏名	所属・役職
今木 信仁	技術部 部長
中島 義介	営業部 課長
渡部 浩二	技術部
山本 陽平	技術部

ジェイ・バス株式会社

氏名	所属・役職
藤井 善之	小松工場長 常務執行役員
小東 久恭	生産技術部担当 執行役員
滝沢 淳	生産技術部 車輜技術グループ
谷口 修	生産技術部 車輜技術グループ

学校法人金沢工業大学

氏名	所属・役職
山部 昌	高度材料科学研究開発センター 教授
瀬戸 雅宏	ものづくり研究所 講師

石川県工業試験場

氏名	所属・役職
南川 俊治	機械金属部 部長
笠森 正人	繊維生活部 部長
多加 充彦	機械金属部 研究主幹
上村 彰宏	機械金属部 技師

1 - 3 成果概要

当該研究開発の具体的項目は下記のとおり。

- 1．耐久性、耐摩耗性、強度に優れた樹脂製金型製造技術の構築
- 2．成形可能形状のデータ収集及び分析
- 3．複数部品一体成形技術への対応
- 4．樹脂製金型の形状変化への対応

以下に各項目別の成果概要を示す。

- 1．耐久性、耐摩耗性、強度に優れた樹脂製金型製造技術の構築

平成 20 年度本型の表面材樹脂として G-1、⁵⁾コア材としてコア 6 を用いて、Battery Box 型(図 1 参照)の製作を行った。

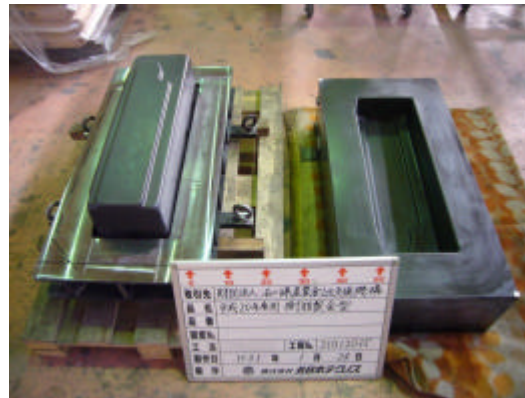


図 1 Battery Box 型

しかし、G-1 製の樹脂製金型は温度変化時(気温低下時)にき裂が発生するという問題があった。

原因を解明したところ、G-1は伸びの引張特性が劣っているため、温度変化(低下)による表面材樹脂の収縮によって作用する引張応力が引張強さを越えたことが直接の原因となり、き裂が発生したことがわかった。そのため、樹脂製金型のき裂発生を防止するためには、表面材樹脂の開発において、引張試験による引張強さ、伸び、引張弾性率の物性を評価することが必要であることがわかった。

そこで、平成 21 年度では、「樹脂製金型のき裂」の発生を防止することを目的とした表面材樹脂の開発を行った。開発した表面材樹脂の引張試験、圧縮試験等を実施し、比較参考用の表面材樹脂 RT-430N(以下「RT-430N」という)と比較評価を行うことにより、L-1 を選定した。しかし、L-1 製の樹脂製金型を用いてプレス実験を行ったところ、樹脂製金型の CornerR 部に摩耗損傷が生じた。そこで、再度表面材樹脂の開発を行い、種々の評価試験を行った結果、総合的な物性に優れる L-7 を平成 21 年度

⁵⁾ 樹脂製金型の中心部を構成する部位

本型用の表面材樹脂として再選定した。また、平成 21 年度本型に用いるコア材は、コスト低減を考慮し、平成 20 年度と同様にコア 6 とした。

以上のことから、平成 21 年度本型の表面材樹脂として L-7、コア材としてコア 6 を用いてメンバーアッシーフロント型(図 2 参照)を製作した。



図2 メンバーアッシーフロント型

しかし、L-7製の樹脂製金型においてもき裂が発生したため、樹脂製金型の製造プロセスや使用環境を調査した結果、樹脂製金型は熱処理や室温の変化によって熱負荷を受けることがわかった。

そこで、平成22年度では樹脂製金型のき裂発生の原因を解明することを目的として、雰囲気温度を変化させる冷熱環境試験を実施した。冷熱環境試験の際、表面材樹脂部及びコア部に発生するひずみの測定を行い、試験後にき裂発生の有無を調べた。

冷熱環境試験の結果、き裂が発生した樹脂製金型では表面材樹脂部の一部に大きなひずみ変化が生じていた。また、表面材樹脂部とコア部のひずみの差をプロットしたところ、ひずみ差が急激に増加していた。このような現象は、き裂が発生しなかった樹脂製金型ではみられなかったことから、樹脂製金型のき裂発生と大きなひずみ変化やひずみ差の急激な増加には関連性があるものと考えられる。

また、表面材樹脂が温度変化により変形する一方で、内部のコア材は高弾性率であり、線膨張率も低く、コア材自体の変形は小さい。したがって、コア材により表面材樹脂の膨張収縮が拘束され、それにより生じた応力が表面材樹脂の引張応力を超えたことによってき裂が発生したと考えられる。そこで、雰囲気温度の変化によって生じる樹脂製金型内部の応力を緩和するため、表面材樹脂部とコア部の間に設ける緩衝材として中間層N-7、低弾性率のコア材としてコア47を開発した。これらを用いて樹脂製金型を製作し冷熱環境試験を行った結果、き裂の発生は観察されなかった。

以上の結果より、平成 22 年度本型の表面材樹脂として L-7、中間層として N-7、コア材としてコア 47 を用いて 3 層型の Side Panel 型(図 3 参照)を製作した。



図3 Side Panel型

2．成形可能形状のデータ収集及び分析

平成 20 年度本型でのプレス成形シミュレーション解析を行った結果、絞り深さ 100mm のところでしわの発生がみられた。そこで、種々のブランクシートを設計し、シミュレーション解析を行ったところ、ブランクシートに異なる寸法の面取りを施し、ブランクシートの流入速度に差をつける等の対策を行うことにより、しわの発生を抑えることが可能となった。また、平成 20 年度本型で成形可能な形状として、板厚 1.6mm のブランクシートを成形するには、最小 R 値は 5R、CornerR は 10R、勾配は 2°、絞り深さは 143mm であることがわかった。

次に、平成 21 年度本型でのプレス成形シミュレーション解析を行った結果、製品として必要な部位にしわの発生がみられた。そこで、⁶⁾ドロービードを設け、ドロービードの長さを可変して解析を行った結果、しわの発生を抑えることが可能となった。平成 21 年度本型で成形可能な形状として、板厚 1.6mm のブランクシートを成形するには、最小 R 値は 5R、絞り深さは 65mm であることがわかった。

さらに、平成 22 年度本型でのプレス成形シミュレーション解析を行った結果、ブランクシートに割れの発生がみられた。そこで、ブランクシートに中抜きを設け、ブランクシートを流れやすくしたところ、割れの発生を抑えることが可能となった。平成 22 年度本型で、板厚 1.6mm のブランクシートを成形するには、最小 R 値は 5R、CornerR は 15R、勾配は 3°、絞り深さは 50mm であることがわかった。

また、プレス成形時における樹脂製金型の変形挙動の評価及び成形限界形状を予測する手法について検討するため、応力解析ソフトにより樹脂製金型の DieR 部における変形解析を行った。その結果、DieR=5R と DieR=10R のときの樹脂製金型に生じる応力を比較すると、DieR=5R の方が応力が高く、樹脂製金型の応力分布に影響を与えることが分かった。

次に、これまでの冷熱環境試験から、樹脂製金型に発生するき裂は、気温低下時に発生していることがわかっている。そこで、非常伝熱-構造連成解析を実施し、樹脂製

⁶⁾ ブランクシートの流入を抑制する凹凸

金型に発生する熱応力をシミュレートした。その結果、表面材樹脂に発生する応力は、内部に⁷⁾心金がある位置で高くなっていることがわかった。実際の冷熱環境試験においても心金からき裂が発生していたことから、高精度な解析が実行できたといえる。

3．複数部品一体成形技術への対応

バス用部品として、(株)北日本テクノで製造している部品総数は約1,650点に上るが、それらの部品は衝突試験が必要な部品(約75%)と必要でない一般部品(約25%)に分かれており、後者の一般部品に関しては、構造評価なしに削減が可能な部品である。そこで、各年度で製作した樹脂製金型による複数部品の一体成形を行った(図4～図6参照)。

なお、図4のBattery Box、図5のメンバーアッシーフロント、図6のSide Panelは大型観光バスの前後部の一部であり、部品点数がそれぞれ5点、14点、13点で構成された部位である。



図4 Battery Boxの一体成形



図5 メンバーアッシーフロントの一体成形



図6 Side Panelの一体成形

図4～図6より、平成20年度では部品点数5点の一体成形、平成21年度では部

⁷⁾ 樹脂製金型の内部を補強するための鋼板

品点数 14 点の一体成形、平成 22 年度では部品点数 13 点の一体成形を達成した。ただし、現在の大型観光バスで用いられているメンバーアッシーフロント及び Side Panel は大型であるため、本研究開発で一体成形したメンバーアッシーフロント及び Side Panel は原寸大からそれぞれ 1/2、1/3 に縮小して一体成形を行った。

4 . 樹脂製金型の形状変化への対応

本研究開発では、目標値のひとつとして、「樹脂製金型で成形可能なショット数を 3,000 ショット」と掲げている。その理由として、大型成形部品の年間ショット数は約 1,000 ショットであり、10 年間の使用を想定した樹脂製金型を開発するため、その際、3 年に 1 度の補修(10 年間のうち 2 回)を行うことで 10 年間の使用を可能とし、樹脂製金型の価格は、補修費を含めても金属製金型の 70%に抑えるためである。また、本研究開発の共同体であるジェイ・バス(株)において、プレス品の品質を確保するための金型精度として、「DieR 部の摩耗量が正規の R 値から -2mm 以内であること」と定めており、3,000 ショットまでの樹脂製金型の摩耗量が 2mm 以内となる形状を見出す必要がある。

そこで、各生技要件型の 100 ショット毎における DieR 部及び CornerR 部の摩耗量を測定した。DieR 部の摩耗量及び CornerR 部の摩耗量はそれぞれの摩耗測定部位の平均値として求め、DieR 部及び CornerR 部の 3,000 ショットまでの摩耗予想グラフを作成した。

その結果、DieR 部においては目標値を満たす樹脂製金型の形状を見出した。一方、CornerR 部では全ての生技要件型が 3,000 ショットまでの摩耗量が 2mm を超えていた。しかし、L-7 製の生技要件型では、摩耗量が 2mm 以内となるショット数が 2,000 ショットを超えるものも確認できた。したがって、L-7 は開発した表面材樹脂のなかで最も耐摩耗性に優れているため、多品種少量生産品のプレス成形に適しており、実用化用の表面材樹脂として採用することにした。

以上、これまでに得られた結果より、本研究開発の目標達成度を図 7、図 8 に示す。
 なお、本研究開発での樹脂製金型に関する目標は以下のとおり。

- 1) 樹脂製金型の製造コストを金属製金型の製造コストと比較して 30%削減する
- 2) プレス成形数が 3,000 回以上でも耐え得るものとする

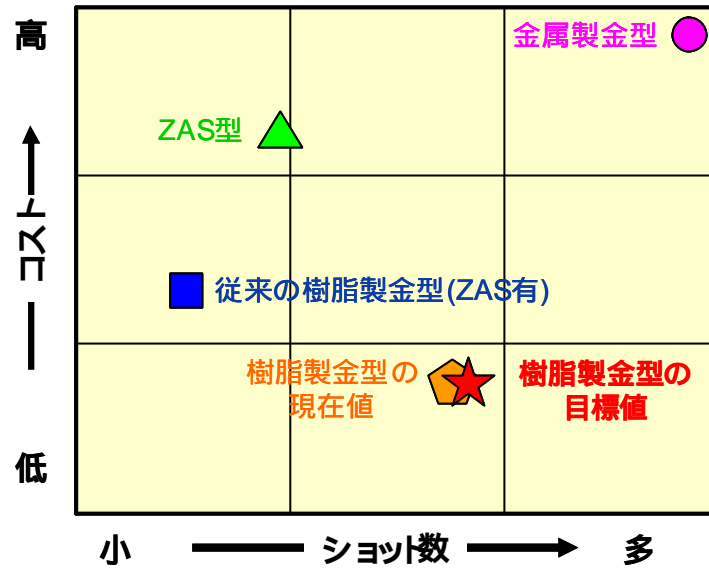


図 7 本研究開発の目標達成度 - 1

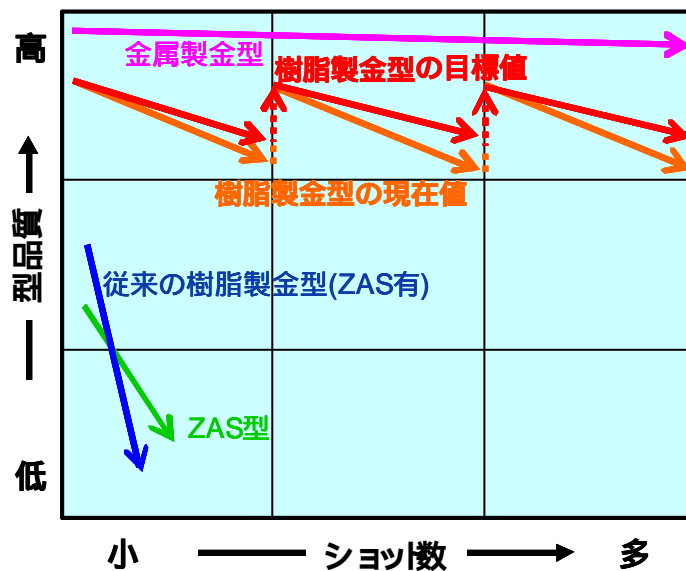


図 8 本研究開発の目標達成度 - 2

図 7 のとおり、樹脂製金型の製造コストは目標値を達成したが、ショット数は目標値の 80%となった。また、図 8 より、ショット数の増加に伴い樹脂製金型の摩耗量も増加することから、型品質も目標値の 80%となった。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人石川県産業創出支援機構

プロジェクト推進部

TEL : 076-267-6291 FAX : 076-268-1322

e-mail : project@isico.or.jp

第2章 本論

2 - 1 耐久性、耐摩耗性、強度に優れた樹脂製金型製造技術の構築

2 - 1 - 1 新規樹脂材料の選定

エポキシ樹脂の主剤と硬化剤の分子骨格、分子鎖、官能基数、反応性及び粘度等を勘案し、基本樹脂の配合設計を行った。開発した基本樹脂のなかで、平成 20 年度では A-1、平成 21 年度では A-3-1、A-3-4、A-6-1、A-6-4、A-12-1、A-12-2 を選定した。

2 - 1 - 2 充填材による樹脂製金型の高強度化

基本樹脂のみでは強度に限界があるため、鉄粉、セラミックス粉等を混合することにより、表面材樹脂の高強度化を図った。開発した表面材樹脂を用いて各種試験片を作製し、引張試験、圧縮試験、曲げ試験、粘弾性試験、低温圧縮試験、低温圧縮試験等の評価試験を行った。その際、表面材樹脂の選定基準として、RT-430N の物性を参考に、圧縮強さは 100MPa 以上、圧縮弾性率は 4.5GPa 以上、引張強さは 57MPa 以上、引張弾性率は 4.5GPa 以上、伸びは 7%以上とした。その結果、表面材樹脂のなかで総合的に優れた値を示した L-7 を実用化用の表面材樹脂として選定した。

しかし、L-7 製の樹脂製金型では、気温低下時に樹脂製金型にき裂が発生するという問題があった。そこで、き裂発生を防止するため、表面材樹脂部とコア部の間に設ける緩衝材として中間層 N-7 を開発した。

2 - 1 - 3 樹脂製金型用のコア材の開発

これまで、コア材としてガラスビーズとエポキシ樹脂の混合材料、アルミナ+混合珪砂とエポキシ樹脂の混合材料等を開発したが、樹脂製金型用のコア材は混合珪砂とエポキシ樹脂の混合材料が適していると判断した。そこで、混合珪砂とエポキシ樹脂の混合材料によって種々のコア材を開発した。樹脂製金型のコア材では低弾性率のコア材を用いることによりき裂発生防止となることから、弾性率の低いコア47を選定した。

2 - 1 - 4 シミュレーション解析のためのプレス品及び表面材樹脂の物性測定

シミュレーション解析を実行する際、実際の現象に合った材料物性等を正確に入力することが求められる。そこで、プレス成形時の樹脂製金型とプランクシートの摩擦を考慮し、表面材樹脂の摩擦係数を測定した。

また、従来のシミュレーション解析では、金型は剛体モデルとして計算されている。しかし、本研究開発の対象である樹脂製金型は金属製金型と比較して強度が低いため、プレス成形時に大きく変形することが予想される。したがって、プレス成形時における樹脂製金型の変形も同時に予測することが重要であると考えられる。そこで、樹脂製金型の変形に關与する物性の引張弾性率、ポアソン比等の測定も実施した。

その結果、表面材樹脂の種類によって異なる値が得られたことから、高精度なシミュレーション解析の実行が可能となった。

2 - 1 - 5 樹脂製金型製造方案のシミュレーション解析

平成 20 年度本型である Battery Box 型でのプレス成形シミュレーション解析を行った結果、プレス品に割れやしわの発生がみられた。そこで、Battery Box 型の R 値の変更、勾配の変更、形状間の段差を排除し傾斜面とする等の対策により、割れやしわの発生を抑えることが可能となった。

次に、平成 21 年度本型であるメンバーアッシーフロント型でのプレス成形シミュレーション解析を行った結果、プレス品にたるみやしわの発生がみられた。そこで、樹脂製金型にドロースリットを設け、ドロースリットの長さを可変して解析を行った結果、しわの発生を抑えることが可能となった。

また、平成 22 年度本型である Side Panel 型でのプレス成形シミュレーション解析を行った結果、プレス品に割れやたるみの発生がみられた。そこで、R 値の変更、勾配の変更、形状間の段差を排除し傾斜面とする等の対策により、割れやたるみの発生を抑えることが可能となった。

2 - 1 - 6 樹脂製金型の製作

項目 1 - 1 で示したとおり、開発した表面材樹脂を用いて 6 種類の生技要件型を製作した。

また、項目 1 - 3 で示したとおり、平成 20 年度、平成 21 年度、平成 22 年度の各年度において本型の製作を行った。

2 - 2 成形可能形状のデータ収集及び分析

2 - 2 - 1 プレス品の成形可能な限界形状の検証

平成 20 年度本型でプレス成形シミュレーション解析を行った結果、板厚 1.6mm のブランクシートの場合、成形可能な形状は、最小 R 値は 5R、CornerR は 10R、勾配は 2°、絞り深さは 143mm であることがわかった。

次に、平成 21 年度本型でプレス成形シミュレーション解析を行った結果、板厚 1.6mm の場合の成形可能な形状は、最小 R 値は 5R、絞り深さは 65mm であることがわかった。

また、平成 22 年度本型でプレス成形シミュレーション解析を行った結果、板厚

1.6mm のブランクシートを成形するには、最小 R 値は 5R、CornerR は 15R、勾配は 3°、絞り深さは 50mm であることがわかった。

以上の解析結果と実際のプレス品を比較すると、いずれも解析結果と同等のプレス品を得ることができた。

2 - 2 - 2 成形しわが発生しない成形技術の確立

平成 20 年度本型でのプレス成形シミュレーション解析を行った結果、絞り深さ 100mm のところでしわの発生がみられた。そこで、種々のブランクシートを設計し、シミュレーション解析を行ったところ、ブランクシートに異なる寸法の面取りを施し、ブランクシートの流入速度に差をつける等の対策を行うことにより、しわの発生を抑えることが可能となった。

次に、平成 21 年度本型でのプレス成形シミュレーション解析を行った結果、製品として必要な部位にしわの発生がみられた。そこで、ドロービードを設け、ドロービードの長さを可変して解析を行った結果、しわの発生を抑えることが可能となった。

また、平成 22 年度本型でのプレス成形シミュレーション解析を行った結果、プレス品に割れの発生がみられた。そこで、ブランクシートに中抜きを設け、ブランクシートを流れやすくしたところ、割れの発生を抑えることが可能となった。

さらに、プレス成形時における樹脂製金型の変形挙動の評価及び成形限界形状を予測する手法について検討するため、応力解析ソフトにより樹脂製金型の DieR 部における変形解析を行った。その結果、DieR=5R と DieR=10R のときの樹脂製金型に生じる応力を比較すると、DieR=5R の方が応力が高く、樹脂製金型の応力分布に影響を与えることが分かった。

次に、これまでの冷熱環境試験から、樹脂製金型に発生するき裂は気温低下時に発生していることがわかっている。そこで、非定常伝熱-構造連成解析を実施し、樹脂製金型に発生する熱応力をシミュレートした。その結果、表面材樹脂に発生する応力は、内部に心金がある位置で高くなっていることがわかった。実際の冷熱環境試験においても心金からき裂が発生していたことから、高精度な解析が実行できたといえる。

2 - 3 複数部品一体成形技術への対応

項目 1 - 3 で示したとおり、平成 20 年度では部品点数 5 点で構成された Battery Box、平成 21 年度では部品点数 14 点で構成されたメンバーアッシーフロント、平成 22 年度では部品点数 13 点で構成された Side Panel の一体成形を達成した。

2 - 4 樹脂製金型の形状変化への対応

項目 1 - 3 で示したとおり、本研究開発では、目標値のひとつとして、樹脂製金型で成形可能なショット数を 3,000 ショットと掲げている。そこで、各生技要件型の 100 ショット毎における DieR 部及び CornerR 部の摩耗量を測定した。DieR 部の摩耗量及

び CornerR 部の摩耗量はそれぞれの摩耗測定部位の平均値として求め、DieR 部及び CornerR 部の 3,000 ショットまでの摩耗予想グラフを作成した。

その結果、L-7 は開発した表面材樹脂のなかで最も耐摩耗性に優れているため、多品種少量生産品のプレス成形に適しており、実用化用の表面材樹脂として採用することにした。

最終章 全体総括

1 複数年の研究開発成果

平成 20 年度本型の表面材樹脂として G-1、コア材としてコア 6 を用いて、Battery Box 型の製作を行った。Battery Box は、大型観光バスの前後部で、部品点数 5 点で構成された部位であり、種々の条件のシミュレーション解析を行い、一体成形を達成した。しかし、G-1 製の樹脂製金型は温度変化時(気温低下時)にき裂が発生するという問題があった。

原因を解明したところ、G-1 は伸びの引張特性が劣っているため、温度変化(低下)による表面材樹脂の収縮によって作用する引張応力が引張強さを越えたことが直接の原因となり、き裂が発生したことがわかった。そのため、樹脂製金型のき裂発生を防止するためには、表面材樹脂の開発において、引張試験による引張強さ、伸び、引張弾性率の物性を評価する必要があることがわかった。

そこで、平成 21 年度では、「樹脂製金型のき裂」の発生を防止することを目的とした表面材樹脂の開発を行った。開発した表面材樹脂の引張試験、圧縮試験等を実施し、RT-430N と比較評価を行うことにより、L-1 を選定した。しかし、L-1 製の樹脂製金型を用いてプレス実験を行ったところ、樹脂製金型の CornerR 部に摩耗損傷が生じた。そこで、再度表面材樹脂の開発を行い種々の評価試験を行った結果、総合的な物性に優れる L-7 を平成 21 年度本型用の表面材樹脂として再選定した。また、平成 21 年度本型に用いるコア材は、コスト低減を考慮し、平成 20 年度と同様にコア 6 とした。

次に、大型観光バスの前構部において一体成形を行う部位として、部品点数 14 点で構成されたメンバーアッシーフロントを選定し、L-7 及びコア 6 を用いて平成 21 年度本型の製作を行った。平成 21 年度本型によるプレス実験の結果、シミュレーション解析で得られた結果と同等のプレス品が得られ、部品点数 14 点の一体成形を達成した。

また、本研究開発では、目標値のひとつとして「樹脂製金型で成形可能なショット数を 3,000 ショット」と掲げている。そこで、3,000 ショットまで成形可能な形状を見出すため、各生技要件型の DieR 部及び CornerR 部における摩耗量を測定した。

その結果、DieR、CornerR 及び絞り深さの値が、樹脂製金型の摩耗量に大きく関与していた。そこで、樹脂製金型の製造方案を立案する際、製品形状として重要でない部位では R 値を大きくし、絞り深さも浅く設定することにより、樹脂製金型の摩耗量を軽減する必要があることがわかった。また、L-7 は耐摩耗性に優れており、実用化用の表面材樹脂として採用することが可能であることがわかった。

しかし、この L-7 製の樹脂製金型においても、気温の低下時にき裂が発生していた。原因を追究したところ、L-7 は粘度が高く、樹脂製金型製作時における脱泡が不十分であったため、ポイド(気泡)による内部欠陥が生じ、温度変化時に L-7 が収縮した際、ポイドにより強度が低下した部位からき裂が発生したことが考えられた。

そこで、平成 22 年度では以下の項目に重点を置き研究開発を実施した。

気温変化による樹脂製金型のき裂発生 の 解明

表面材樹脂の耐摩耗性向上

樹脂製金型の耐久性評価

前述のとおり、平成 21 年度に L-7 で製作した樹脂製金型は、樹脂製金型の表面でき裂が発生した。樹脂製金型の製造プロセスや使用環境を調査した結果、樹脂製金型は熱処理や室温の変化によって熱負荷を受けることがわかった。そこで、樹脂製金型のき裂発生の原因を解明することを目的として、雰囲気温度を変化させる冷熱環境試験を実施した。

冷熱環境試験の結果、L-7 製の樹脂製金型ではき裂が発生したが、RT-430N 製の樹脂製金型ではき裂は発生しなかった。その要因は次のように考えられる。

まず、L-7 は RT-430N と比較して、線膨張率は小さいが、硬化収縮率は大きい値を示す。そのため、L-7 は RT-430N と比較して硬化収縮による高い引張応力が残留している可能性があり、その分、冷却時の負荷に耐えられる応力が低下したと考えられる。

次に高弾性率のコア材は、線膨張率が小さいため、雰囲気温度の変化によるコア材自体の変形は小さい。したがって、雰囲気温度が変化すると表面材樹脂は膨張・収縮を起こすが、コア材が高弾性率であると表面材樹脂が拘束されるため、これにより発生した応力が L-7 の引張強さを超えたことがき裂発生 の 要因 と考えられる。

そこで、雰囲気温度の変化によって生じる樹脂製金型内部の応力を緩和するため、表面材樹脂部とコア部の間に設ける緩衝材として中間層 N-7、低弾性率のコア材としてコア 47 を開発した。これらを用いて、樹脂製金型を製作し冷熱環境試験を行った結果、急激なひずみ変化やひずみ差の増加はなく、き裂の発生は観察されなかった。

以上のことから、平成 22 年度本型の表面材樹脂は L-7、中間層は N-7、コア材はコア 47 を用いて 3 層型とすることにした。

これまでの冷熱環境試験から、樹脂製金型に発生するき裂は、気温低下時に発生していることが分かっている。そこで、応力解析ソフトを使用し、非定常伝熱-構造連成解析を実施し、樹脂製金型に発生する熱応力をシミュレートした。

非定常伝熱解析の結果と冷熱環境試験結果を比較すると、雰囲気温度の変化にともなう樹脂製金型各部位の温度変化や温度分布が、非定常伝熱解析の結果とほぼ同様の傾向を示していることがわかった。このことから、各材料の熱的物性や熱伝達の境界条件が、実際の現象を精度良く表していると推察される。

この温度分布によって樹脂製金型各部位に発生する応力、ひずみの結果から、表面材

樹脂に発生する応力は、内部に心金がある位置で高くなっていることがわかった。実際に発生するき裂も心金から発生していることから、高精度な解析が実行できたといえる。さらに、加熱時と冷却時を比較すると、冷却時の方が応力は高くなっていることがわかった。冷熱環境試験からも、冷却時、特に雰囲気温度が 10 ~ 0 の範囲でき裂が多く発生している。これらの結果より、コア材と心金の境界面の応力及びひずみを緩和するため、心金の角の形状はラウンドコーナーとする等の対策が必要であることがわかった。

次に、大型観光バスの前構部において一体成形を行う部位として、部品点数 13 点で構成された Side Panel を選定した。ここで、実際の Side Panel の大きさは縦 2065mm×横 1012mm と大型であるため、本型の製作やプレス成形シミュレーション解析結果との比較のためのプレス実験にかかる作業性やコストを考慮して、原寸大モデルを 1/3 に縮小したモデルのプレス成形シミュレーション解析を行った。シミュレーション解析の結果、平成 22 年度本型で板厚 1.6mm のブランクシートを成形するには、最小 R 値は 5R、CornerR は 15R、勾配は 3° であることがわかった。また、ブランクシートの裂けを防止するため、ブランクシートに中抜き部を設ける必要があることがわかった。

以上の解析結果をもとに、原寸大モデルを 1/3 に縮小したモデルで平成 22 年度本型の製作を行った。平成 22 年度本型によるプレス実験の結果、シミュレーション解析で得られた結果と同等のプレス成形が可能となったが、中間層を設けたことにより樹脂製金型が変形していることが危惧された。そこで、プレス後における樹脂製金型及びプレス品の形状データを非接触式 3 次元測定装置により測定した。その結果、樹脂製金型の変形は小さく、プレス品は製品としての許容範囲内であることが確認できた。これにより、平成 22 年度の目標である部品点数 13 点の一体成形を達成した。

本研究開発では、前述のとおり、目標値のひとつとして「樹脂製金型で成形可能なショット数を 3,000 ショット」と掲げており 3,000 ショットまで成形可能な形状を見出すため、各生技要件型の DieR 部及び CornerR 部における摩耗量を比較検証した。その結果、3,000 ショットまでの樹脂製金型の摩耗量が 2mm 以内となる生技要件型は Type2 及び Type5 であり、表面材樹脂は L-7 であることがわかった。一方、CornerR 部においては、全ての生技要件型が 3,000 ショットまでの樹脂製金型の摩耗量が 2mm を超えており、目標を達成することができなかった。この要因として、DieR 値と CornerR 値の組み合わせ、ブランクシートの寸法、プレス圧とクッション圧のバランス等の条件が樹脂製金型の摩耗量に大きく関与していることが考えられる。したがって、諸条件のバランスを考慮した樹脂製金型製造方案の立案及びプレス成形が重要であると考えられる。

全体を通して、各研究開発共同体はそれぞれの特徴やノウハウを発揮しながら協力体制を維持し、研究開発を進めることができた。また、定期的な打合せを通して強固な連携体制を構築しながら、問題点に対する十分な議論を行うことにより十分な研究開発成

果を得ることができた。

さらに、事業化に向け技術開発や市場開拓の両面からの情報収集、事業化会議も行っており、事業化に向けた準備も整った状況である。

2 研究開発後の課題・事業化展開

本年度は本研究開発の最終年度であるため、従来の金属製金型と新規に開発した樹脂製金型を比較し、製造リードタイム、製造コスト、ショット等を含め樹脂製金型の優位性を明確にした。

表面材樹脂 L-7 は耐摩耗性に優れていることから、多品種少量生産品のプレス成形に適しており、事業化用の表面材樹脂として採用する。その際には、樹脂製金型の構造を 2 層型から 3 層型にする必要があるため、作業工程数の増加、樹脂製金型製作費の増加となるが、金属製金型の製造コストと比較して 30%削減するという目標は達成している。今後、さらに樹脂製金型のメリットを出すため、2 層型でもき裂が発生しない耐摩耗性、強度に優れた表面材樹脂を開発する必要がある。そのため、表面材樹脂は継続して開発を行う。

また、樹脂製金型の耐用年数等の明確化及び型補修サイクルの指標作成のため、引き続き連続したプレス実験を実施し、樹脂製金型の形状変化に関する基礎データの収集及び分析を行う。

さらに、耐久性、耐摩耗性の観点から、樹脂製金型で成形可能な形状の限界値を見出し、樹脂製金型と金属製金型の適用境界線を見極める。これにより、樹脂製金型で成形可能な形状は樹脂製金型で成形し、成形困難な形状は金属製金型で成形することで差別化を図り、投資コストの削減が可能となる。

事業化後は、現在製作している大型バスの一部位だけではなく、骨格部等の大型成形部品や、中型、小型バスの成形部品も手掛ける。また、(株)北日本テクノスが現在製造している建設機械部品や農業機械部品等にも応用し、実績を積むとともに様々な分野への進出を目指す。また、樹脂製金型での生産実績を積んだ後、樹脂製金型の販売も手掛ける。