

平成31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

「ジェット粉末の高品位・高効率成形技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局 東北経済産業局  
補助事業者 公益財団法人いわて産業振興センター

## 目 次

### 第1章 研究開発の概要

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

### 第2章 本論

### 最終章 全体総括

- 3-1 研究開発成果
- 3-2 今後の課題・事業化展開

## 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

久慈市では、ジェット（黒玉（こくぎょく））の原石の産出が確認されたが、原石にき裂が生じるため、宝飾品に加工するのは困難であった。ジェットを粉末にして加熱成形することを試み、宝飾品としての原材料を製造することを可能としたが、様々な製品に展開するために、高度な量産技術の確立が必要である。

本研究開発では、高精度粉体成形技術を応用し、複雑形状を十分な高品位・高効率で製造することを可能とする生産システムを開発し、ジェット製品の事業化を行うものである。

本研究開発により、ジェットのネットシェイプ（最終製品形状）成形による高品位・高効率生産技術を確立することで、貴重な資源を無駄なく、複雑形状のアクセサリや文具（万年筆、ボールペン、印鑑）、時計の文字盤、メガネのフレーム、さらにスマートフォン・携帯電話のスイッチ、高級車のインパネの表示板などの様々な「高感性」を持つ製品に展開することができる。さらに、ジェットの耐熱性を活用した琥珀との2色成形によるまったく新しい宝飾品を生み出すことも可能である。

本事業では、様々な分野で、従来にない高感性化された製品が求められている状況において、国内で全く新しい素材であるジェットを用いた高感性な製品・部品を開発する。

原料粉の粒径や、成形条件の最適化を行い、ジェット成形品の強度の向上を図るとともに、薄肉部品に展開するため、表面のみをジェットとし、適切な樹脂でバックアップすることで部品強度を向上させる技術を開発する。

また、ジェットを成形するためには昇温・冷却のサイクルを繰り返すが、このリードタイムが生産性を悪くし、多くの市場の引き合いに答えられない大きな原因の1つになっている。そこで、成形の金型をカセット式として、材料の計量の外段取り化、小型の入れ子金型による昇温・冷却時間の短縮、専用の金型冷却装置を設けることで生産性・効率化の向上を行う。

項目毎の目標を以下に記す。

#### 【1. ジェット成形品の基礎材料評価】

##### 【1-1】硬さ・抗折力評価

粉体の粒径と成形条件（温度、圧力、加圧保持時間）を変えた時の影響を調べる。

ジェット粉体平均粒径として 80、150、180 $\mu$ m（それぞれふるいのメッシュ#200、#100、#80 に対応）に変化させた時の成形温度を 300、340 $^{\circ}$ C、圧力を 250、500MPa、加圧保持時間を 5、10 分とし、材料評価試作金型（特注：角材形状 4 x 2 x 16mm）を用いて成形試験を行い、それぞれの硬さ（ロックウェルスーパーフィシャル HR15Y）の測定および角棒材の抗折力を調べ、成形条件および製品設計のための基礎データを得る。

## 【1-2】被削性評価

ジェット成形品に対し、岩手大学所有のマシニングセンターを用い、直径 0.5mm のスクエアエンドミルで微細切削加工を行い、表面性状を調べ、微細なカケが発生しない切削条件（切込み量、周速度、送り）を調べる。

## 【2. 異形状品のネットシェイプ成形】

### 【2-1】角部C面、狭小角部評価

製品形状を 10x10x10mm とし、角のC面をC面極小、C0.2、C0.3、C0.4 のように変化させたとき、カケの生じない最小のC面を調べる。そのための角部C面評価試作金型（ダイ 1 個、パンチ 3 種各 2 個）を特注し、成形に用いる。狭小角（鋭角）、60、45、30 $^{\circ}$  の角度を持つ形状の狭小角部評価試作金型を用い、カケ・ワレの発生を調べ、狭小角の限界を調べる。

### 【2-2】パイプ薄肉、半球薄肉性評価

直径 10mm、長さ 40mm のパイプ状成形試作金型により、肉厚を 0.5 mm、0.75 mm、1.0 mm と変化させ成形性と強度を調べる。また半径 10mm の半球状薄肉成形金型を用い、肉厚を 0.5 mm、0.75 mm、1.0 mm と変化させ成形性と強度を調べる。これらの結果を受け、最も薄く、強度も保証できる肉厚でパイプ成形用実証試作金型および半球薄肉成形用実証試作金型の設計を岩手大学に依頼し、特注品として導入する。それを平成 29 年度に導入した加熱・加圧成形システムに取り付け、実証試験を行う。

### 【3. 高効率化生産システム開発】

#### 【3-1】カセット金型システム

#### 【3-2】計量・予加熱システム

#### 【3-3】加熱・加圧成形システム

#### 【3-4】冷却システム

上記の【3-1】【3-2】【3-3】【3-4】の装置を使用し、従来の琥珀の粉体成形用装置に比べ、計量、加熱、成形、冷却、取り出しまでの1サイクルのリードタイムの50%減（1時間）を目標とする。

#### 【3-5】粉体製造システム

現在は、ジェットはほぼ手作業により粉体化しているため、本製造システムにより生産性の改善として1日あたりの製造量（粉砕量）5倍（2,500g）を目標とする。また、小型振動ふるいを用い、より細粒（60 $\mu$ m、50 $\mu$ m）の選別を行う。その製造量の目標は、60 $\mu$ m（#230相当）の場合1日1,000g、50 $\mu$ m（#270相当）の場合1日500gとする。

### 【4. バックアップ成形技術】

#### 【4-1】パイプ状および半球状部品のインサート成形

目標強度（破壊応力） 25MPa以上。

#### 【4-2】薄板製品傾斜機能成形

直径20mm、板厚1.2mmの円板状において、ジェット層を1.0、0.9、0.8mmと設定（残りの板厚はプラスチック層）したときの成形を行い、硬さ、抗折力評価を行う。バックアップ樹脂材は、成形温度も近く、性能が高いスーパーエンブラのPEEKを候補とする。抗折力の目標値は20MPa以上である。

### 【5. 琥珀との2色成形技術】

#### 【5-1】金型構造の考案と成形条件

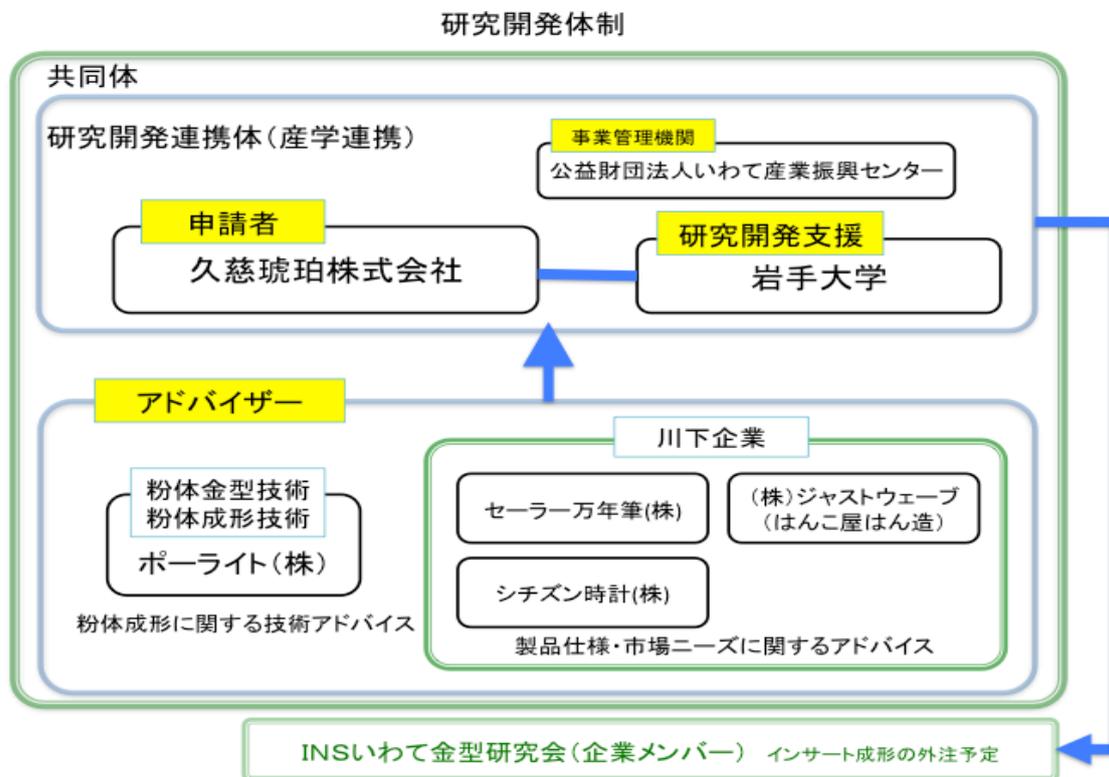
目標 ジェット粉体・琥珀粉体の2色成形の試作。

## 【5－2】2色成形の試行と評価

効率的な異物混入除去にも取り組むことから、ジェット粉体成形単色成形での品質評価および、琥珀とジェットとの2色成形を行ったサンプルを研磨し、試作品の評価（官能評価）を行う。目標品質は類似の市販品と比較して十分なものとする。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)



<事業参加者リスト>

|                       |                              |        |
|-----------------------|------------------------------|--------|
| 久慈琥珀株式会社              | (PL) 代表取締役社長                 | 新田 久男  |
|                       | 製造部 部長                       | 下舘 さつき |
|                       | 製造部 課長                       | 滝沢 利夫  |
|                       | 製造部 課長代理                     | 小山 太郎  |
| 国立大学法人<br>岩手大学        | 副学長                          | 小川 智   |
|                       | (SL) 理工学部 准教授                | 清水 友治  |
|                       | 理工学部 (補助員)                   | 武埜 ゆきか |
| ポーライト株式会社             | (アドバイザー) 品質管理統括部 部長          | 島田 登   |
| シチズン時計株式会社            | (アドバイザー) 国内時計営業本部担当課長        | 岡崎 光陽  |
| セーラー万年筆株式会社           | (アドバイザー) 文具事業部 第1課長          | 原田 泰英  |
| 株式会社ジャストウェーブ          | (アドバイザー) 代表取締役社長             | 菅野 不二男 |
| 公益財団法人<br>いわて産業振興センター | (事務局) ものづくり振興部 部長            | 熊谷 郁夫  |
|                       | (事務局) ものづくり振興部 産学連携室長        | 田澤 潤   |
|                       | (事務局) ものづくり振興部 産学連携室 主任主査    | 佐々木 守衛 |
|                       | (事務局) ものづくり振興部 産学連携室 研究開発支援員 | 小笠原 勇司 |

PL である久慈琥珀(株)の新田代表取締役社長は、開発全体を統括するとともに、川下企業からの製品ニーズのアドバイスを受け、事業展開に沿った研究開発を具体化し、主導する。SL である岩手大学の清水准教授は、事業化に必要な技術要素として材料評価・成形条件の最適化な

どの研究開発を行う。久慈琥珀（株）の研究員は、それぞれの開発における作業を分担し行うとともに、開発装置の改善を進め事業化に向けた準備を行う。

川下企業として参画するセーラー万年筆（株）は、筆記用具のペングリップ部の製品仕様として形状、寸法、表面性状等のアドバイスを、シチズン時計（株）は、腕時計の文字盤に必要な製品仕様として形状、寸法、表面性状等のアドバイスを、（株）ジャストウェーブ（店名「はんこ屋はん造」）は印鑑に必要な製品仕様として形状、寸法、表面性状、押印部の被削性等のアドバイスを開発メンバーに行う。

ポーライト（株）は、粉体成形業であり自動車部品、小型モーター部品などの量産を行っている。これらのノウハウを活かし、ポーライト（株）は粉体成形の金型技術・粉体成形のアドバイスを開発メンバーに行う。

### 1-3 成果概要

#### 【1. ジェット成形品の基礎材料評価】

##### 【1-1】硬さ・抗折力評価

硬さおよび抗折力が最大の 36MPa となった最適成形条件として、粉体粒径 50 $\mu$ m 以下、加圧力 500MPa、保持時間 6 分以上であることが分かった。

##### 【1-2】被削性評価

微細なカケの発生が無い最適切削条件は、直径 0.5mm のエンドミルで、回転数 32,000rpm、送り 6,000mm/min、切込み量 0.05mm であることが分かった。

#### 【2. 異形状品のネットシェイプ成形】

##### 【2-1】角部C面、狭小角部評価

角部C面 0.4 以上とすることで、粒径 180 $\mu$ m でもカケの発生は無かった。

狭小角 15° でもカケの発生は無かった。

##### 【2-2】パイプ薄肉、半球薄肉性評価

パイプ薄肉形状では、直径 10mm、長さ 40mm、肉厚 2mm、半球薄肉形状では、直径 10mm 肉厚 2mm で成形が可能であったが、歩留りが悪い、または、成形後の経時劣化により、破損してしまうなど課題が残った。

#### 【3. 高効率化生産システム開発】

##### 【3-1】カセット金型システム

カセット方式の金型構造を考案した。

### 【3-2】計量・予加熱システム

計量・予熱システムを構築し、試行することで、連続成形で、予加熱は、20分が最適であることが分った。

### 【3-3】加熱・加圧成形システム

加熱・加圧成形システムを構築した。操作の習熟に努めた結果、成形サイクルが最短5分となった。

### 【3-4】冷却システム

冷却システムを構築した。冷却水温度 10℃とし、冷却時間 30分で不良品の発生もなく、成形品を取り出すことが可能となった。

【3-1】、【3-2】、【3-3】、【3-4】を連続で使用したときの1サイクルの製造時間が合計58分となり、目標の1時間以内を達成した。

### 【3-5】粉体製造システム

1日当りの粉砕量は2,500g以上を達成した。また、粒径毎の収量は60 $\mu$ m (#230相当) 1,950g、50 $\mu$ m (#270相当) 1,700gとなり目標を大幅に上回った。

## 【4. バックアップ成形技術】

### 【4-1】パイプ状および半球状部品のインサート成形

ジェットを直径10mm、長さ40mm、肉厚2mmのパイプ状および直径12mmの半球、肉厚2mmの成形品に対し、ABSをバックアップ材としたインサート成形型を試作し、成形試験を行った。ジェット自体にワレが発生しやすく、試行した成形品がすべて破損してしまった。この対策が今後の課題である。

### 【4-2】薄板製品傾斜機能成形

直径20mm、板厚1.2mmの円板状において、ジェット層を1.0、0.9、0.8mmと設定（残りの板厚はPEEK層）したときの成形を行った。いずれの配合においても、PEEKの割合が多すぎるため、質感が悪くなるという品質的な問題が発生し、PEEK量が最大3%（重量比）となるように設定し薄肉成形を実施した。得られた成形品の抗折力は、PEEK3%のものが最大の31MPaとなり、目標の20MPa以上を達成した。

## 【5. 琥珀との2色成形技術】

### 【5-1】金型構造の考案と成形条件

琥珀との2色成形を実現する金型構造を考案し、2色成形試験を行った。成形は、ジェット部を先に、圧力 290MPa、温度 340℃、保持時間 10 分の条件で成形し、次の琥珀部は、圧力 50MPa、温度 200℃、保持時間 5 分の条件で成形した。

### 【5-2】2色成形の試行と評価

成形された2色成形品は、ジェット部が成形後、1週間ほどで破損するという経時劣化の問題があることが分かった。この点が今後の課題である。

## 《特許出願》

特願 2018-47471 「ジェット材料の製造方法及びジェット材料」

特願 2020-39732 「成形製品、成形製品の製造方法及び成形製品の成型型」

## 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### ■総括研究代表者 (PL)

久慈琥珀株式会社 代表取締役社長 新田 久男

Tel : 0194-59-3821 Fax : 0194-59-3515

E-mail : shinden@kuji.co.jp

### ■副総括研究代表者 (SL)

岩手大学 理工学部 システム創成工学科 准教授 清水 友治

Tel : 019-621-6416 Fax : 019-621-6417

E-mail : tshimizu@iwate-u.ac.jp

## 第2章 本論

### 【1. ジェット成形品の基礎材料評価】

#### 【1-1】硬さ・抗折力測定 (岩手大学)【平成29年度実施】

材料評価試作金型(特注:角材形状4x2x16mm)を用いて成形試験を行い、粉体の粒径と成形条件(温度、圧力、加圧保持時間)を変えた時の硬さおよび抗折力を調べた。岩手大学に基礎試験用成形粉体プレス機および金型加熱装置、金型冷却装置を導入し、成形試験に用いた(以下、岩手大学における成形試験はこれらの装置を用いた)。

その結果、粉体の粒径が小さくなるほど、抗折力および硬さも大きくなることが分かった。抗折力は最大で35MPaを越えるものが得られた。また、成形温度300℃と340℃で比較すると、340℃のほうが抗折力が大きくなることが分かった。一方、圧力、加圧保持時間の影響は小さいことが分かった。

#### 【1-2】被削性評価 (岩手大学、久慈琥珀(株))【平成30年度実施】

岩手大学所有のマシニングセンターによりジェット成形品(【1-1】により最も強度の高いもの)の微細切削加工を行い、微細なカケの発生しない切削条件(切込み量、周速度、送り)の最適化を検討した。岩手大学では被削性評価のため、被削性評価用試作金型を導入した。

その結果、切削条件は、回転数32,000rpm、送り6,000mm/min、切込み量0.05mmが微細なカケも発生せず最適であることが分かった。

### 【2. 異形状品のネットシェイプ成形】

#### 【2-1】角部C面、狭小角部評価 (久慈琥珀(株)、岩手大学)【平成29年度実施】

ジェット成形品はもろく、カケやワレが発生しやすい。そこで、角部C面評価試作金型(ダイ1個、パンチ3種各2個)および狭小角部の形状評価金型を特注して成形品を試作した。さらに、岩手大学が基礎成形試験を行い、その限界値を見出し、製品および金型の設計指針を得た。図2にその概要を示す。限界値は、たとえば、角部C面の場合、C値を0.2、0.5、0.7のように変化させ、目視により成形品のカケの発生を確認し、ある値以上はカケ発生が無い良品、それ以下は不良品のように決定する。異形状金型による成形を前提に製品として要求される形状仕様を久慈琥珀(株)が提案した。

その結果、C面無しでは、どの粒径でもカケが発生し、C0.2 では、粒径  $80\mu\text{m}$  でカケの発生は無く、粒径  $150\mu\text{m}$ 、 $180\mu\text{m}$  ではカケが発生した。C0.3 では、粒径  $80\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$  でカケの発生は無く、粒径  $180\mu\text{m}$  ではカケが発生した。C0.4 では、すべての粒径でカケの発生は無かった。これにより良品成形の限界値を見出した。狭小角部評価では、どの角度もワレが発生しなかった。追加試験として、 $15^\circ$  の成形試験型により試験片を成形したが、この場合もワレは発生しなかった。

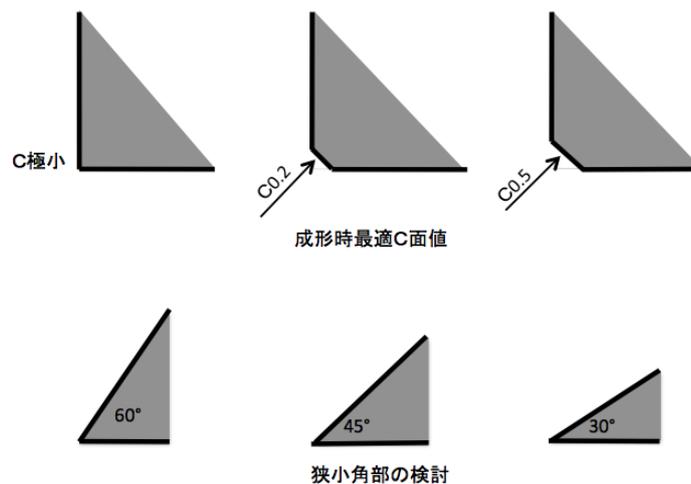


図2 角部C面、狭小角部の形状評価の例

【2-2】パイプ薄肉、半球薄肉性評価（岩手大学、久慈琥珀（株））【平成30年度実施】

パイプ成形では、成形後に芯金を容易に外せる機構を取り入れることで、肉厚  $1\text{mm}$  の成形が可能となったが、 $0.75\text{mm}$  および  $0.5\text{mm}$  の肉厚では成形が不可能であった。半球薄肉形状の成形では、計量用の治具を用意することで、肉厚  $1\text{mm}$  が可能となったが、 $0.75\text{mm}$  および  $0.5\text{mm}$  の肉厚の成形は不可能であった。また、このような成形物は、経時劣化があると思われる、すべてのサンプルで成形後にワレが発生した。

【3. 高効率化生産システム開発】

【3-1】カセット金型システム

加熱、冷却時間の短縮のため、成形部の小型化および加熱ブロック、冷却ブロックの接触部の熱伝導性を最適化したカセット金型システムを開発し、運用試験および改善を行い、高効率化を図った。

①平成 29 年度実施内容（久慈琥珀（株）、岩手大学）

加熱ヒーターを取り付けたカセット金型ベースに成形部を小型の入れ子金型として組み込むカセット金型システムの構造を岩手大学が考案した。久慈琥珀（株）がカセット金型ベースおよび、入れ子金型として、角柱形状試作金型、半球形状試作金型、異形状（星形を予定）金型の設計・製作を金型メーカーに依頼して試作に使用し、カセット方式による成形サイクルの短縮化による効率アップを確認した。カセット方式のイメージを図3に示す。

②平成 30 年度実施内容（久慈琥珀（株））

本カセット金型システムの運用試験を行い、最適使用条件を見出した。また、不具合の改善を進めた。改善点として、高温での取扱いが容易なように、入れ子金型の上部に吊り下げるためのフックを取り付け、金属棒で取り出せるようにした。

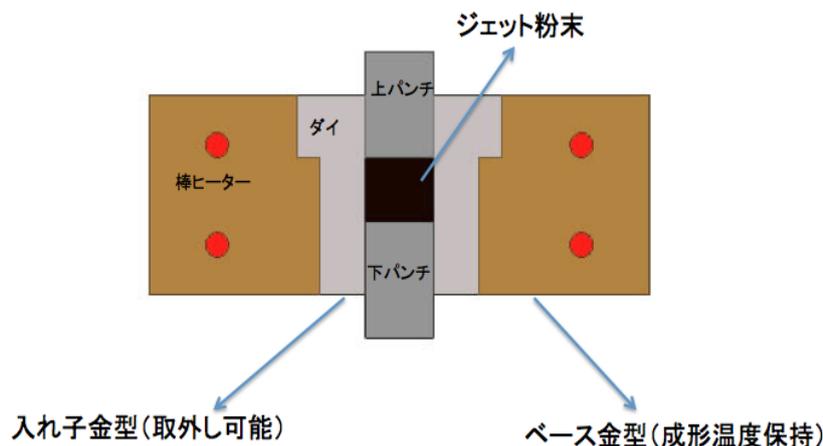


図3 カセット方式金型のイメージ

【3-2】計量・予加熱システム（久慈琥珀（株）、岩手大学）【平成 29 年度～30 年度】

計量、予加熱により段取時間の短縮を図るための装置開発、運用試験を行い、計量作業時間、余熱設定温度までの昇温時間を調べ、使用する治具・作業内容の検討・改善を行い、高効率化を図った。

①平成 29 年度実施内容（久慈琥珀（株）、岩手大学）

外段取で計量するための簡易的なプレス装置を持ち、予圧と予加熱を可能とし、段取り時間と昇温時間を短縮する装置を開発した。これはカセット方式の金型を採用することで可能となる。構想を岩手大学と久慈琥珀（株）が考案し、久慈琥珀（株）が仕様

(※装置の大きさ・外形、プレス能力・方式、余熱温度、昇温方法・能力等)を決定し、導入し、試作に使用した。これによって、量産への準備・ノウハウの蓄積を行った。

#### ②平成30年度実施内容(久慈琥珀(株))

本計量・予加熱システムの運用試験を行い、最適使用条件を検討するとともに、不具合の改善を進め、ジェット粉体の計量を容易にするための深さ測定用の治具を導入した。その結果として、連続成形で、予加熱は20分が最適であることを見出した。

### 【3-3】加熱・加圧成形システム

#### ①平成29年度実施内容(久慈琥珀(株))

カセット金型ベースにヒーターを取り付け、成形温度を維持しながら、金型入れ子を取り付け、成形温度までの昇温を確認後に加圧し、所定の時間保持する装置(油圧式の粉体プレスのカスタマイズ)の構想および仕様を作成、導入し、試作に使用した。試作された成形品は実製品を対象とした大きさ・形状を前提としている。1-1と同様の硬さの測定を行い、実製品と同等な大きさ・形状における製品強度が、1-1の実験と同じ程度であるか確認した。

#### ②平成30年度実施内容(久慈琥珀(株))

本加熱・加圧成形システムを操作し、成形までの一連の試験を行う運用試験を行い、不良品の発生が少なく、成形サイクルタイムが最小となる最適使用条件を見出した。また、不具合の改善を進めた。特に不具合が見られなかったため、操作の習熟に努めた。その結果として、成形のサイクルタイムが最短で5分となった。

### 【3-4】金型冷却システム

#### ①平成29年度実施内容(久慈琥珀(株)、岩手大学)

成形後に金型入れ子を取り出し、熱伝導性の良好な銅を用いた冷却ブロック(冷却水を循環させ水冷する)に接触させ加熱・成形後に金型を冷却する金型冷却システムの構想を岩手大学および久慈琥珀(株)が考案した。その仕様を久慈琥珀(株)が作成し、試作に使用した。これによって、量産への準備・ノウハウの蓄積を行った。

#### ②平成30年度実施内容(久慈琥珀(株))

本金型冷却システムの運用試験を行い、不良品の発生が少なく、冷却時間が最小と

なる最適使用条件を見出した。また、金型の入れ子が入りにくい不具合を改善した。冷却水温度 10℃とし、冷却時間 30 分で、不良品の発生もなく成形品を取り出すことが可能であったため、この条件を最適使用条件とした。

【3-1】、【3-2】【3-3】【3-4】を連続で使用したときの1サイクルの製造時間が合計 58 分となり、目標の1時間以下を達成した。

### 【3-5】粉体製造システム

#### ①平成 29 年度実施内容（久慈琥珀（株））

量産化のためには、ジェットのパ粉体材料の確保も重要である。久慈琥珀（株）が、ジェット採掘後の精製と粉砕と粒度調整を最適化した。このため、目標とする粒度の粉体が効率よく得られるための原料の大きさ・状態（乾燥の程度）、投入量、フィルターの選定などを検討した。粉体製造システムの仕様を作成し、投入量の調整機構や適合するフィルターを取り付けるなど、ジェットに最適なカスタマイズを製造装置メーカーに依頼し、試作に導入した。これによって、量産への準備・ノウハウの蓄積を行った。

その結果、本システムを使用した平均の粉体製造量は1日 2,500g 超が可能となった。

#### ②平成 30 年度実施内容（久慈琥珀（株）、岩手大学）

上記の本粉体製造システムの運用試験を行い、原料の大きさ・状態（乾燥の程度）、投入量、フィルターの選定などを検討し、最適使用条件を見出した。また、不具合の改善を進めた。

ジェット粉体の粒径が小さいほど良好な成形品となることが前年度の研究により判明したため、より細かいジェット粒子を抽出できるように、小型振動ふるいを導入し、より細粒のジェットの生産性を検討した。また、アドバイザーより粉体の形状も成形性に影響することが指摘されたため、岩手大学が製造法と製造された粉体の形状の関係を調べた。さらに、粉体試作、製造を実施しているラボネクト（株）を訪問し、粉体製造法と粉体形状に関する技術調査を行った。

改善として、粉体の採取袋からの飛散りや漏れを防ぐ袋を取り付けた。これにより、もれが少なくなり、効率の向上につながった。導入した小型振動ふるい機を使い、粉砕後→#100→#230→#270 のようにふるい目を使うのが最適であることが分かった。また、ラボネクト（株）を訪問した技術調査によりタッピングボールを導入することで、

ふるい作業が著しく向上した。既存の電磁式ふるい機では、1 kg あたり 320 分かかったものが、130 分で完了するようになった。1 日の収量として 60  $\mu$ m (#230 相当) 1,950g、50  $\mu$ m (#270 相当) 1,700g となり目標を大幅に上回った。

粉体製造に関して異物の混入・除去の課題が残った。この問題については平成 31 年度に取り組むこととした。

#### ③31 年度実施内容 (久慈琥珀 (株)、岩手大学)

平成 29 年度～30 年度に取り組んできたジェット粉体原材料の異物 (ジェット原料の層に砂等がの混入) 除去の課題が解決できなかったことから引き続き、平成 31 年度も取り組んだ。

ジェット粉体成形の量産化のためには、良質なジェット粉体材料を効率よく確保することも重要である。そこで、岩手大学の晴山助教の有機塩素化合物による汚染の浄化法等の知見により、それまでの手作業による異物除去よりも効率がよく量産化に適した異物除去方法を検討した。具体的には以下のとおりである。

異物を分析した結果、Fe が含有していることが分かったため、Fe の分離のために、磁石により異物除去を試みたが十分な効果が得られなかった。そこで、岩手大学の晴山助教との研究で泡沫浮選等の方法による不純物の分離を行った。これは濡れ性を用いた分離法であり、ジェット粉に捕集剤のケロシンを混入した後に起泡剤 (MIBC) を入れ攪拌して泡立ちを良くする。そして約 5 分間送気して泡状に浮選したジェット粉を含んだ泡体をろ過、乾燥して採取する。この結果、分離前に比べて Fe の含有率が 19.4% から 8.9% まで減少したことから、本手法は異物除去に有効と考える。

#### 【4. バックアップ成形技術】

##### 【4-1】パイプ状および半球状部品のインサート成形 (久慈琥珀 (株)、岩手大学) 【平成 31 年実施】

岩手大学が金型構造を考案し、久慈琥珀 (株) が岩手大学にインサート成形を依頼し、成形品の評価を行った。また、インサート部品とするためジェット部品の高精度成形技術を検討した。ジェットのインサート部品用にパイプ状試作金型および半球状試作金型の構想・仕様を作成、金型メーカーに製作を依頼し、試作に使用した。図 4 にインサート成形の概要を示す。パイプ形状部品は、ボールペンのペングリップに使用することを想定している。

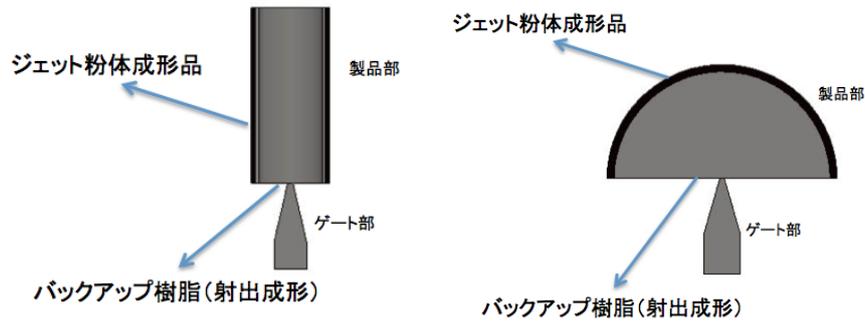


図4 インサート成形の概要 (右:パイプ状成形品 左:半球状成形品)

試作されたインサート成形品は、ジェット自体にワレが発生しやすく、試行した成形品がすべて破損してしまった。この対策が今後の課題である。

【4-2】薄板製品傾斜機能成形 (久慈琥珀 (株)、岩手大学) 【平成 31 年実施】

薄板平面状の部品であれば、図5に示すように、プラスチック板材 (あるいは粉体) を下側に、ジェット粉体を上面に配置し、加熱成形することで、傾斜機能材料構造のものを製作することが可能である。岩手大学が金型メーカーに製作を依頼した円板形状成形試作型を用いて成形実験を行い、最適な樹脂材料の選択と配合割合および成形条件を調べた。また、成形後の製品の評価を久慈琥珀 (株) が行った。

得られた成形品の抗折力は、PEEK 量3%のものが最大の 31MPa となり、目標の 20 MPa 以上を達成した。PEEK はバインダーとしての効果があり、有効なバックアップ樹脂と考えられる。

なお、この薄板製品については時計の文字盤として用いることを検討している。

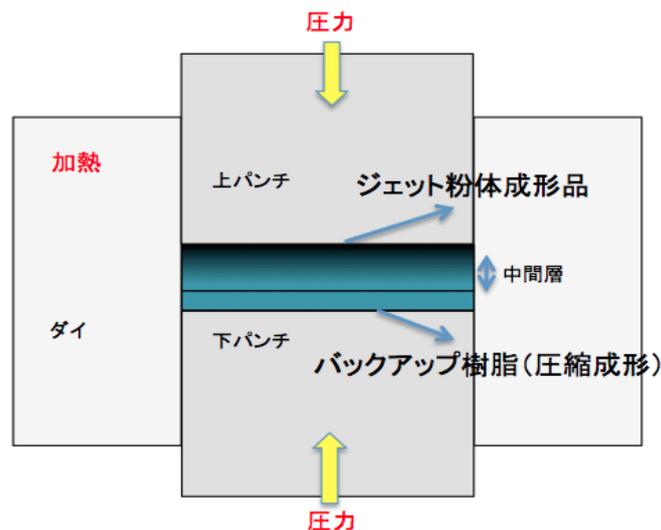
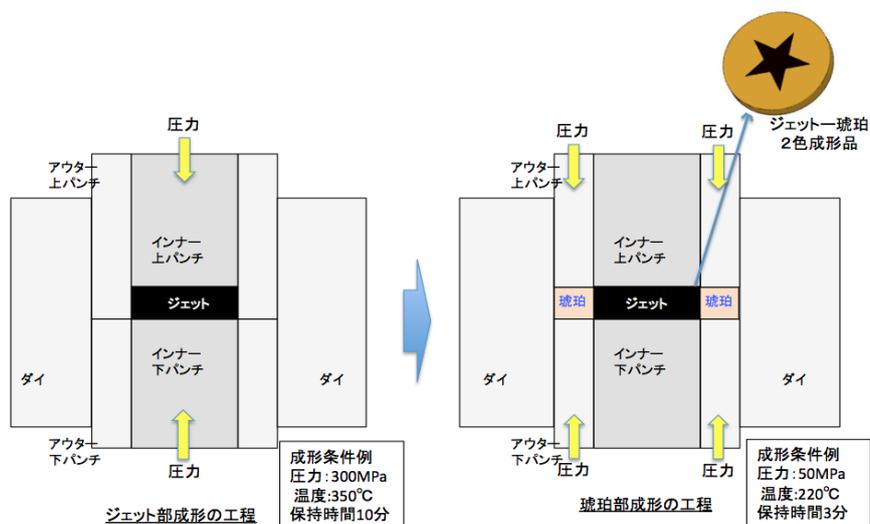


図5 傾斜機能成形のイメージ

## 【5. 琥珀との2色成形技術】(岩手大学、久慈琥珀(株))

### 【5-1】金型構造の考案と成形条件(岩手大学)【平成31年実施】

ジェットの成形材に適した成形温度は340~350℃程度であり、成形後は300℃程度の耐熱性がある。現在量産している琥珀の粉体成形温度は200℃程度であるため、この温度差を利用し、最初にジェットを成形し、その後温度を下げ、琥珀を成形するという手法により、粉体成形法でも2色成形が可能である。岩手大学がこの2色成形法を可能とする金型構造を考案して成形条件を決定し、2色成形実験型を特注して試作に用いた。



成形は、ジェット部を先に、圧力 290MPa、温度 340℃、保持時間 10 分の条件で成形し、次に琥珀部を、圧力 50MPa、温度 200℃、保持時間 5 分の条件で成形した。

### 【5-2】2色成形の試行と評価(久慈琥珀(株))【平成31年度実施】

前項に基づいた金型の設計製作を久慈琥珀(株)において金型メーカーに依頼し、この2色成形試作型を導入して2色成形を試行した。このときのジェットと琥珀の成形条件の最適化及び成形品の評価を久慈琥珀(株)が行った。

結果として、成形された2色成形品には、ジェット部が成形後、数週間後に破損するという経時劣化の問題があることが分かった。この点が今後の課題である。

## 最終章 全体総括

### 3-1. 複数年の研究開発成果

本研究開発期間における成果は、ジェットの粉体成形に関する基礎的な知見を得たこと及びジェット粉体製造から、粉体成形までの生産技術システムを構築できたことである。

基礎的な知見として、成形体の抗折力が最大となるジェット粉体の最適成形条件が、粉体粒径  $50\mu\text{m}$  以下、成形圧力  $500\text{MPa}$ 、成形温度  $340\sim 350^\circ\text{C}$ 、加圧保持時間 6 分以上であることを見出した。また、ジェット成形品の切削加工について、切削条件を最適化することで、ワレや欠けの発生しない条件を見出すことができ、切削加工が可能であることも判明した。

ジェット粉体成形の生産技術として、カセット金型システム、計量・予熱システム、加熱・加圧成形システム、冷却システム、粉体製造システムそれぞれを構築し、総合的に、高効率な製造方法を確立した。また、昇温、冷却を伴うため、成形サイクルの短縮が困難であるが、本事業において成形サイクル 1 時間以下を達成した。粉体製造については、粉砕機のカスタマイズにより、1 日当りの粉砕量  $2,500\text{g}$  以上を達成し、また、振動式ふるい機の導入およびタッピングボールの使用によりふるい分けの高効率化も実現し、粒径毎の 1 日の収量は  $60\mu\text{m}$  (#230 相当)  $1,950\text{g}$ 、 $50\mu\text{m}$  (#270 相当)  $1,700\text{g}$  を達成した。

### 2. 研究開発後の課題・事業化展開

本事業の研究開発後の課題として、ジェット成形品の経時劣化（成形後、時間が経つにつれワレや破損が発生する現象）とジェット粉末中の異物除去の問題が上げられる。

経時劣化による破損の問題については、その対策として、熱可塑性樹脂（現状では PEEK が有力候補）をバインダーとして積極的に添加することで改善することを検討している。また、ジェットは琥珀の原木が化石化したものであるため、ジェット中に琥珀が極微量に含有することで、ジェット粉体の固化が可能となると考えられてきた。そこで、琥珀をバインダーとして添加することの検討も進めてきた。特に、琥珀の添加は宝飾品としての価値を下げる事が無いと考えられ、試行した結果、有効性も確認しており、今後、最適条件を求めることとした。また、熱可塑性樹脂のバインダー適用による薄肉成形の技術確立も今後の課題として取り組んでいくこととする。

ジェット粉体中の異物除去については、泡沫浮選方法による不純物の分離を行った結果、Fe の含有率が半減する効果が見られたが、完全に除去するには至らなかったため、今後も改善を進めることとする。

事業化展開として、国内初のジェットを使用した新しいアクセサリ（ブローチ、ブレスレット、ネックレス、イヤリング等）を開発する目途が立った。しかし、ジェット単体の成形品では数ヶ月以上経つと、経時劣化によるワレや耐久性が低下する問題がある事が分かり、琥珀をバインダーとして使用する事で、その対策の可能性を見出した。今後はさらに経時劣化・耐久性などの検討を進める。また、印鑑やボールペンのペングリップなどの商品化の検討をすることができた。

今後は、ジェットを使用したアクセサリの商品化に向けた量産化の取組を行い、販売準備を進めて行く。