

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

「自動車用クリアランスソナーケースなどのアルミニウム合金複雑形状品の
高効率生産を実現する革新的精密インパクト成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局	中国経済産業局
補助事業者	公益財団法人鳥取県産業振興機構
間接補助事業者	株式会社田中製作所（法認定事業者）
	地方独立行政法人鳥取県産業技術センター
	国立研究開発法人産業技術総合研究所

< 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
1-2	研究体制	3
1-3	当該研究開発の連絡窓口	3
1-4	成果概要	5
第2章	本論	
2-1	複雑形状品に対応するアルミニウム合金の材料特性に応じたインパクト成形技術の開発	
2-1-1	アルミニウム合金の材料特性に応じたインパクト成形技術の開発	6
2-1-2	複雑形状品のインパクト成形に耐える金型の開発	7
2-2	高品質クリアランスソナーケースの低コスト量産技術の開発	
2-2-1	1ショット多数個取りの工法開発	10
2-2-2	潤滑剤供給手法の確立	12
2-3	高効率生産を実現する自動化技術の開発	
2-3-1	高効率生産プロセスの構築	13
2-3-2	量産試作品の評価検証	18
最終章	研究開発後課題・事業展開	19

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

■研究開発の背景

近年、高齢化社会への移行を背景に、自動車メーカー各社では車両の周辺状況を検知し事故を未然に回避するシステムの導入が活発化している。そのキーデバイスの一つに「クリアランスソナー」がある。車両のフロント、サイド、およびリアに装着し、超音波の発信／受信により対象物との距離を計測する超音波センサである。現在、近距離の障害物を警報する駐車支援システムに用いられ、車両1台あたり8個のクリアランスソナーが使われている。特に、近い将来は自動走行車両の実用化にあわせて、クリアランスソナーの車両搭載個数は上昇し、急速な市場拡大が見込まれている。



図1 クリアランスソナーの設置位置と役割

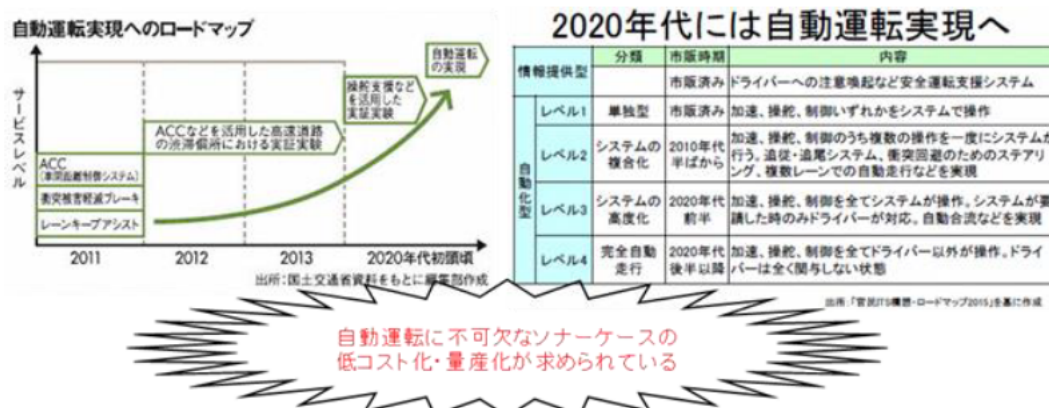


図2 自動運転実現へのロードマップ

クリアランスソナーは、超音波を発生・受信する部分に圧電効果のあるセラミックスの薄片に吸音材とダンパーを貼り付け、補強材とともに金属製のケース（ソナーケース）に挿入し作製される。このソナーケースは圧電セラミックスと直に接触し、超音波を発生する振動子として、また対象物から反射した超音波を検知する探触子として、さらに保護板として機能する（図3）。このため、ソナーケースはセンサデバイスを構成する主要部材として、1/100mm 台の高い寸法精度と平滑性、そして強度が要求される。現在、ソナーケースの材質に難加工材であるアルミニウム合金（5000 系 Al-Mg 合金または 7000 系 Al-Zn-Mg-Cu 合金）が使用され、しかも圧電セラミックスの接する底面の厚さは 0.5mm と薄く、側面は 0.5mm～3.5mm と厚み差が大きい。また車両バンパーに装着する際に隙間のないことが要求されるため、側面と底面が交差する R 部の曲率半径は 0.5mm 以下である（図4）。このような難加工材の複雑形状品のため、従来は切削加工のみしか製造することができなかった。

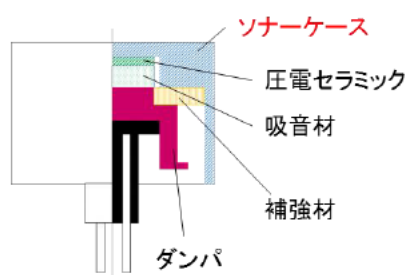


図3 クリアランスソナーの構造

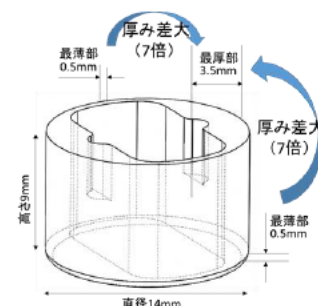


図4 ソナーケースの形状

■研究開発の目的及び目標

本研究開発では、インパクト成形によるアルミニウム合金の変形挙動についてシミュレーション試験と実試験の双方向から明らかにする。超音波の伝搬性能等に影響する金属組織を解析評価し、試作したソナーケースの実用性を検証する。新技術では、材料流動を制御することがポイントであり、このため、パンチ、ダイスの摺動特性を変え、複雑形状品のインパクト成形に適した長寿命の金型を開発する。

さらに、高品質で低コストのソナーケースを大量供給する技術を確立するため、1ショットで多数個取りを可能とするインパクト成形工法や、作業効率の改善と製品品質の向上を図る潤滑剤の自動塗布装置を開発する。搬送や検査等の単純作業から解放するため、高効率生産を実現する自動化技術を開発し、川下メーカーの要請に応える。

○新技術を実現するために解決すべき研究課題

(三) 精密加工に係る技術に関する事項

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

カ. 生産性・効率化の向上、低コスト化

従来の切削加工はインパクト成形などのプレス加工よりも量産性が悪く、生産数を上げるための初期投資が多くかかる。本研究では、アルミニウム合金のインパクト成形技術とロボットの活用により、高い生産性と材料歩留りの大幅向上を実現し低コストで安定した量産プロセスを開発実現する。実施項目(小テーマ)ごとの技術的目標値を下表にまとめる。

表1 技術目標値

サブテーマ	小テーマ	目標値
【1】複雑形状品に対応するアルミニウム合金の材料特性に応じたインパクト成形技術の開発	【1-1】アルミニウム合金の材料特性に応じたインパクト成形技術の開発	・アルミニウム合金の成形性に与える因子・諸特性の把握 ・加工条件の決定
	【1-2】複雑形状品のインパクト成形に耐える金型の開発	・金型構造の決定 ・金型耐久ショット数 100,000ショット以上
【2】高品質クリアランスソナーケースの低コスト量産技術の開発	【2-1】1ショット多数個取りの工法開発	・単位時間当たり生産量を5倍
	【2-2】潤滑剤供給手法の確立	・潤滑剤の塗布量を一定にする自動供給装置の構築
【3】高効率生産を実現する自動化技術の開発	【3-1】高効率生産プロセスの構築	・単位時間当たり生産量を5倍
	【3-2】量産試作品の評価検証	・量産不良率：0.5%以下

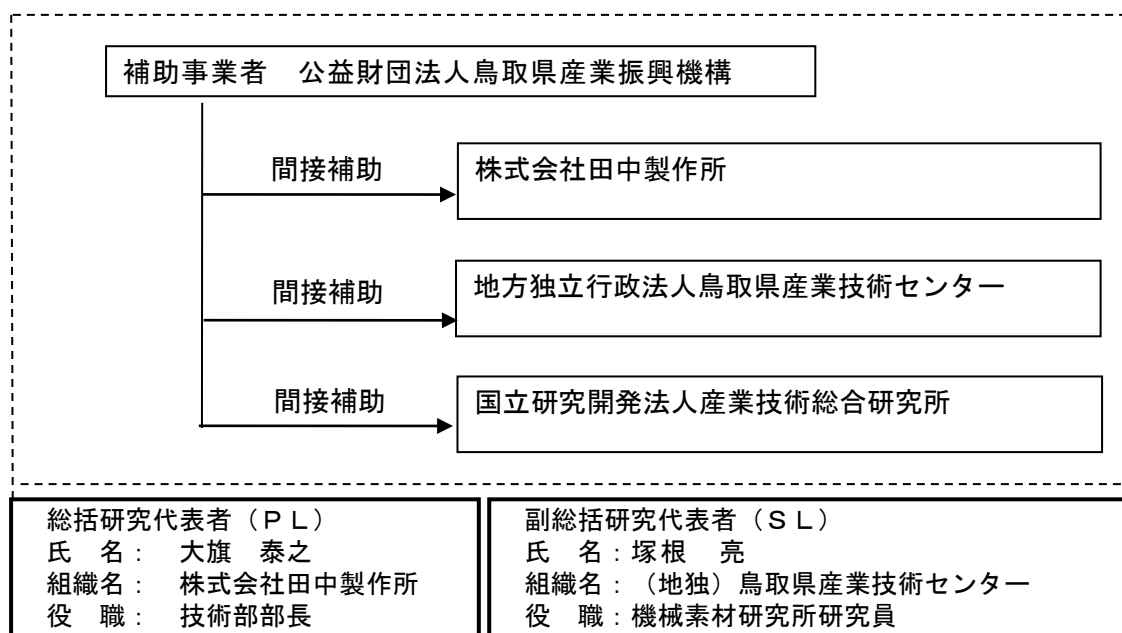
■開発の概要

インパクト成形法は塊状品の素材（スラブ材）にパンチで衝撃（インパクト）を与え、深い薄肉容器形状を一工程で成形できる鍛造加工法であるが、寸法精度が低い、複雑形状の部品は成形が難しいなどの課題を抱えていた。自動車用クリアランスソナーに使用されるアルミニウム合金製の金属ケースのような複雑部品はインパクト成形法の適用が難しく、切削法による製造しかなかった。しかし、切削法は鍛造法とくらべて、材料のロスが多く、加工時間も長いなどの問題がありコストも高い。本研究では、従来、インパクト成形が困難と言われていた複雑形状品について、耐久金型と金型摩擦の調節技術の開発により、インパクト成形で製造し、コスト削減と強度の向上を図る。さらに、ロボットなどを活用した高効率量産技術を開発する。

1－2 研究体制

研究組織及び管理体制

履行体制図



1－3 成果概要

1 複雑形状品に対応するアルミニウム合金の材料特性に応じたインパクト成形技術の開発

1－1 アルミニウム合金の材料特性に応じたインパクト成形技術の開発

5000 系アルミニウム合金についてインパクト成形を行い、パンチ回転数、底面厚み設計値が成形品の硬さに与える影響と、ソナーケースのミクロ組織と超音波特性の関係性を調べた。試験結果からソナーケースの要求仕様を満たすための加工条件を決定した。

1－2 複雑形状品のインパクト成形に耐える金型の開発

シミュレーション解析を行い材料/金型間の摺動性、材料流動の関係性を明らかにした。回転ボールオンディスク試験、スクラッチ試験を行い、金型基材、潤滑剤を選定した。開発した金型の耐久性を試作試験により評価し 100,000 ショットに達しても金型には致命的な破損などの不具合は生じなかった。

2 高品質クリアランスソナーケースの低コスト量産技術の開発

2－1 1ショット多数個取りの工法開発

生産効率を高めるために 1 つの金型に対し複数の凹部を有する 1 ショット多数個取り金型の設計を

行った。1ショット多数個取りにおける設計条件を確立することができた。

2-2 潤滑剤供給手法の確立

潤滑剤をエアにより除去する機構、潤滑剤供給機構、製品吸着機構が材料投入アームに一体となった装置を開発した。この装置により「金型凹部の潤滑剤の除去」、「金型凹部への材料供給」、「材料への潤滑剤の精密な滴下」の一連の作業が可能となり、潤滑剤を一定供給し続けることができるようになった。

3 高効率生産を実現する自動化技術の開発

3-1 高効率生産プロセスの構築

原料投入からインパクト成形、ワークの取り出しまでを一貫して行う前工程自動機ライン、インパクト成形後の製品外観や形状を画像データとしてリアルタイムで収集、解析し、製品の良否判定を行うシステム、仕上げ加工、寸法検査、洗浄を行う後工程自動機ラインの開発を行った。構築した自動機を用いて量産試作を行ったところ、単位時間あたり生産量は6.25倍となった。

3-2 量産試作品の評価検証

構築した自動機を運用し100,000ショットの試作試験を行い、生産性と量産時の製品品質を検証した。量産試作品の形状、表面粗さ、硬度の測定を行い、すべての項目で目標値を満たしており、不良率は0.03%であった。各装置において誤作動などの問題も生じなかった。

補助事業の成果に係る知的財産権等について

出願日 出願番号	特許査定日 特許番号	発明の名称	概要
2019/2/9 特願 2019-022172	2020/3/25 未定	複雑形状容器部品用金型並びに複雑形状容器部品及びその製造方法	容器壁面の材料流動を制御する機構を備えた金型と、金型摩擦による材料流動技術の開発により複雑形状の容器を成形するインパクト成形法に関する。
2019/12/6 特願 2019-220930	2020/4/2 特許第 6707746	潤滑剤供給装置及びこの潤滑剤供給装置を有する成形加工装置並びにこれを用いた成形加工方法	インパクト成形により容器形状品を高精度に成形するため、成形用金型のダイスキャビティーに載置したスラブ材のみに潤滑剤を供給するための潤滑剤供給装置に関する。
2020/2/6 特願 2020-018419	審査中	金型欠損検出システム	鍛造金型の欠損を鍛造加工で加工した成形加工品の外観及び形状の画像データに基づき検出する金型欠損検出システムに関する。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関

法 人 名：財団法人鳥取県産業振興機構（事業管理機関） 代表者役職・氏名： 理事長 岡村 整諮 住所：〒689-1112 鳥取県鳥取市若葉台南7丁目5番1号
連絡担当者名：コーディネーター 小坪 一之（経営支援部） Tel:0857-52-6707 Fax:0857-52-6673 E-mail:kkotsubo@toriton.or.jp

実施機関（法認定機関）

法 人 名：株式会社田中製作所 代表者役職・氏名： 代表取締役社長 田中 道男 住所：〒689-0216 鳥取県鳥取市気高町宝木 1562 番地 132
連絡担当者名：技術部担当部長 大旗 泰之 Tel:0857-82-3355 Fax:0857-82-1006 E-mail: ohhatayasuyuki@heart-tanaka.co.jp

第2章 本論

2-1 複雑形状品に対応するアルミニウム合金の材料特性に応じたインパクト成形技術の開発

2-1-1 アルミニウム合金の材料特性に応じたインパクト成形技術の開発

(1) 5000系アルミニウム合金複雑形状品のインパクト成形

A5052 についてインパクト成形を行い、パンチ回転数と底面厚みの設計値が硬さに及ぼす影響を調べた。パンチ回転数は 10spm, 60spm、底面厚みの異なる試験片についてはパンチ回転数 60spm で設計値を 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70mm として成形した。硬度試験にはデジタル微小硬度計（ミツトヨ製 HM-200）を用いて行った。試験荷重は 200g、保持時間は 10s とした。パンチ回転数を変化させた試料では、回転数の増加とともに硬度が減少しており、底面厚みが異なる試料では、底面厚みが薄いほど硬度も小さくなる傾向がみられた。

(2) 5000系アルミニウム合金ソナーケースの超音波特性

A5052 で試作したソナーケースサンプルについて超音波トランスデューサによる特性評価を行った。

超音波により距離を測定する際、残響時間は重要な特性の一つである。超音波を用いた距離の計測は、空气中に放出された超音波が物体に反射して戻ってくるまでの時間を測定することにより行われている。自動車用クリアランスソナーのような超音波センサは送信と受信を同一のセンサで行うため出力波の残響時間が長いと反射波の電気信号が残響の電気信号に隠れてしまい、測定精度に影響を及ぼす。そのため、残響時間は短い方が良い。

図 2-1-1 にインパクト成形品と比較品としてインパクト成形品に焼き鈍し処理を施したサンプルの底面部の IQF（結晶方位）マップを示す。インパクト成形品は非常に大きなひずみがかかるため大きく伸長した組織となり粒内の暗い領域は菊池パターンが不明瞭であったことから転位密度が高く結晶が歪んでいると考えられる。一方、比較品は焼き鈍しによりひずみが除去され等軸粒となっていた。この 2 種類のソナーケースについて図 2-1-2 のような超音波トランスデューサを作製し、バースト波を 513 μ s 印可して振動が治まるまでの残響時間を比較した。結果を図 2-1-3 に示す。インパクト成形品と比較品はほぼ同等の出力波形となり、残響時間にほとんど差が見られなかった。このことからソナーケースの硬度は超音波の残響時間にほとんど影響を与えないことがわかった。

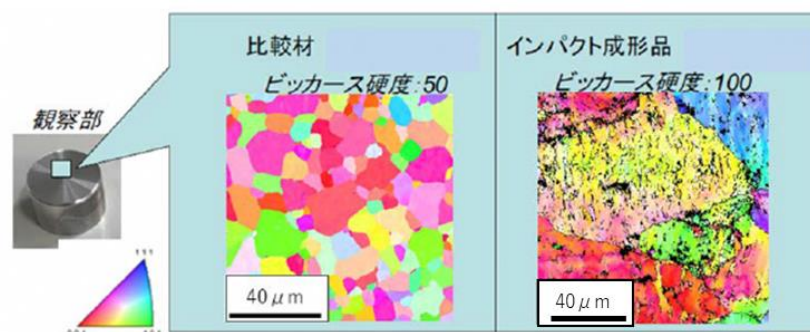


図 2-1-1 残響時間を調べたソナーケースの金属組織

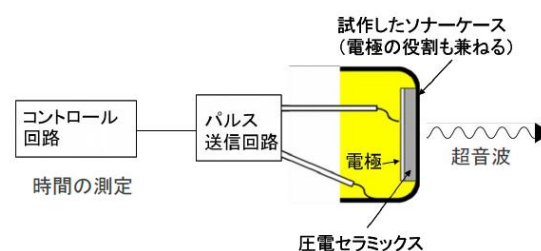


図 2-1-2 試作した超音波トランスデューサの原理図

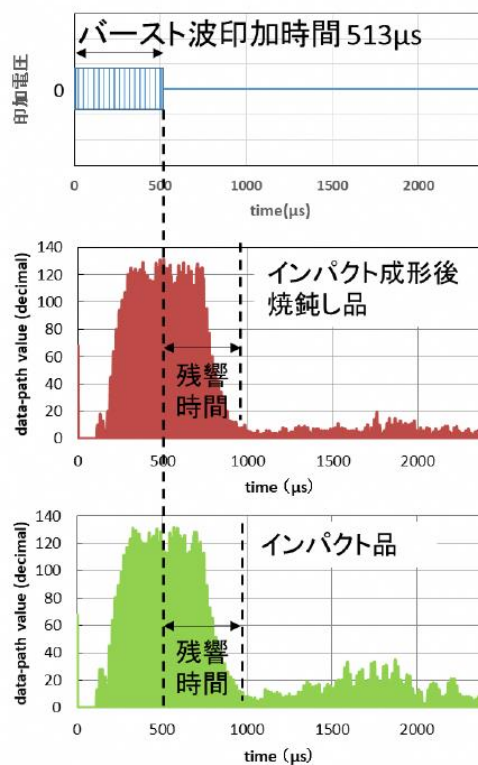


図 2-1-3 残響時間の比較

(1) ~ (2) の結果から川下企業の要求仕様を満たすための加工条件はパンチ回転数 10~60spm、底面厚み 0.5~0.55mm の範囲で良いことが明らかとなった。

2-1-2 複雑形状品のインパクト成形に耐える金型の開発

(1) 材料/金型間の摺動特性について

金型材と潤滑剤の選定を行うため、材料/金型間の摺動特性についてシミュレーション解析を行い検討した。解析手順を図 2-1-4 に示す。圧縮試験と回転ボールオンディスク試験により材料の変形抵抗と材料/金型間の摩擦係数を測定し、そのデータをシミュレーションソフトへ入力し、成形解析を行った。金型応力解析は下死点での材料の面圧分布を金型に転写させる非連成解析を行った。材料/金型間の摩擦が金型（ダイス）の底面 R 部にかかる応力と弾性変形に及ぼす影響を調べた。材料/金型間の摩擦係数は 0、0.1、0.2 の 3 種類に設定した摩擦係数が小さいほど金型にかかる負荷応力が小さく、ダイスの底面変位も小さいことが分かった。よって、材料/金型間の摺動性が良好なほど金型にかかる負荷が小さく、弾性変形も小さいことから摩擦係数が小さくなる金型材、潤滑剤の選定を行うこととした。

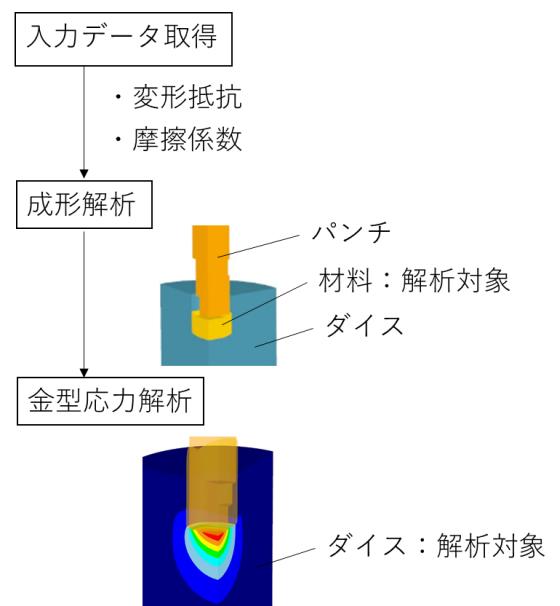


図 2-1-4 シミュレーションの手順

（２）金型材と潤滑剤の選定

金型材質として超硬合金と粉末ハイスを、潤滑剤として粘性の異なる加工油２種類、固体潤滑パウダーを選定し、各組み合わせの摩擦係数を回転ボールオンディスク試験機により測定した。摩擦係数の小ささ、弾性変形量の小ささから加工油として粘性の高い加工油、金型材料として超硬合金を選定した。スクラッチ試験を行い DLC コーティングと WC-Co 合金の密着性に与える因子を把握した。

（３）材料流動の制御について

ソナーケースのような壁面の厚みが大きく異なる複雑形状品では壁面が厚い側と薄い側で材料の流量が大きく異なる。薄い側は流量が少ないため、底面 R 部に材料が残り欠肉を生じないが、厚い側では材料は上方に多く流れ、底面 R 部に未充填の部分が残ってしまう。厚い側の流量を抑制することができる金型形状と材料/金型間の摺動性についてシミュレーションを行った。

まず、パンチの形状について検討した。壁面の厚い側の流動を抑えることを目的にパンチの壁面厚い側に流動をせき止めるための段を付けた。図 2-1-5 に従来形状と新形状のパンチ形状を示す。新形状パンチを用いて成形シミュレーションを実施した。下死点での製品形状を図 2-1-6 に示す。新形状に変更することによって厚い側の材料流動をせき止めることができ、その結果、底面 R 部の欠肉が小さくできることが分かった。

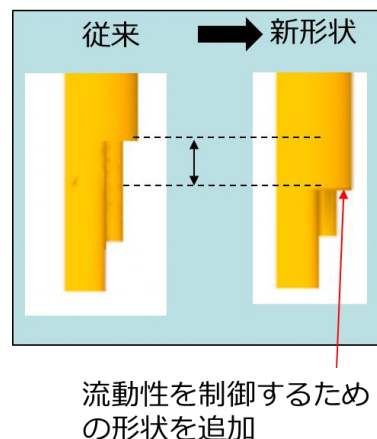


図 2-1-5 パンチ新形状

	従来	新形状
シミュレーション結果	 欠肉大	 欠肉小
試作品 底面 R 実測値 (要求値 0.5mm)	0.93mm	0.57mm

図 2-1-6 パンチ新形状で得られた製品形状

材料/金型間の摺動特性を調整することにより材料流動をさらに制御し、寸法精度を向上できるか検討した。摩擦摩耗試験の結果より、金型に VG86、潤滑剤に CX-10 を用いたときの摩擦係数は 0.07 である。パンチ、上ダイス、下ダイスがすべてこの条件だと壁面厚い側で材料が上方へ流れすぎてしまい、底面 R 部に材料を留めることができず、未充填部分が生じ、欠肉が生じてしまう。そこでダイス側には潤滑剤を使用せず、パンチ側のみに使用することで上方への流れを抑えられないか検証した。潤滑剤を用いないときの摩擦係数を摩擦摩耗試験で測定したところ 0.4 であった。その結果をもとに材料/パンチ間の摩擦係数を 0.07、材料/ダイス間の摩擦係数を 0.4 としてシミュレーションを行った。結果を図 2-11-7 に示す。

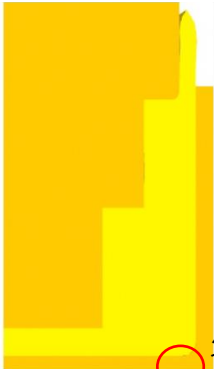
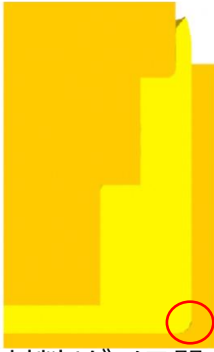
	摩擦係数	
	材料/パンチ間 0.07 材料/ダイス間 0.07	材料/パンチ間 0.07 材料/ダイス間 0.4
シミュレーション結果	材料/パンチ間 摩擦係数0.07  欠肉小 材料/ダイス間 摩擦係数0.07  欠肉あり	材料/パンチ間 摩擦係数0.07  欠肉なし 材料/ダイス間 摩擦係数0.4  欠肉なし
試作品 底面 R 実測値 (要求値 0.5mm)	0.57	0.50

図 2-1-7 面粗度を変えた金型により得られた製品形状

摩擦係数がパンチ、ダイスともに 0.07 のときと比較すると成形で上方へ伸び上がった壁面の形状が異なることがわかる。材料/ダイス間の摩擦係数を 0.07 から 0.4 にすることで壁面の厚い側の上方への流動を抑えることができおり、その結果底面 R 部にも材料が良く充填されるようになった。実際に試作してみると欠肉はなくなり、目標としている形状を成形できた。

(4) 試作試験による金型耐久性評価

2-1-1 の試験より決定した加工条件と VG86 (CIS 規格 VC-60) 製の金型を用いてソナーケースの試作試験を行った。100,000 ショットに達しても金型には致命的な破損等の不具合は生じなかった。

2-2 高品質クリアランスソナーケースの低コスト量産技術の開発

2-2-1 1 ショット多数個取りの工法開発

(1) 1 ショット 2 個取り金型の設計

生産効率を高めるために 1 つの金型に対し複数の凹部を有する 1 ショット多数個取り金型の設計を行った。まずは 2 個取りについて検討した。インパクト成形は凹部にセットされた材料にパンチで衝撃を与え成形する加工方法であるため成形時のパンチの押し込みにより凹部の周辺に応力が生じる。2 個取りにしたときの問題点として 2 つの凹部が近すぎると応力が重なり合う箇所が生じる可能性があり、重なった場合に 1 個取りと比べて応力値が増大し金型の弾性変形、寿命が悪化することが考えられる。そこで、図 2-2-1 に示す 2 案に対して鍛造シミュレーションにより金型応力解析を行った。A 案は同一プレートに 2 つのダイスをセットするもの、B 案はプレートを二つに分けてそれぞれにダイスをセットするものである。シミュレーションはパンチが最下点のときの製品の面圧をダイスに転写することによりダイスの応力を解析する非連成応力解析で行った。製品は剛塑性体、パンチは剛体、上下ダイス・プレート・ダイセットは弾性体としてシミュレーションした。

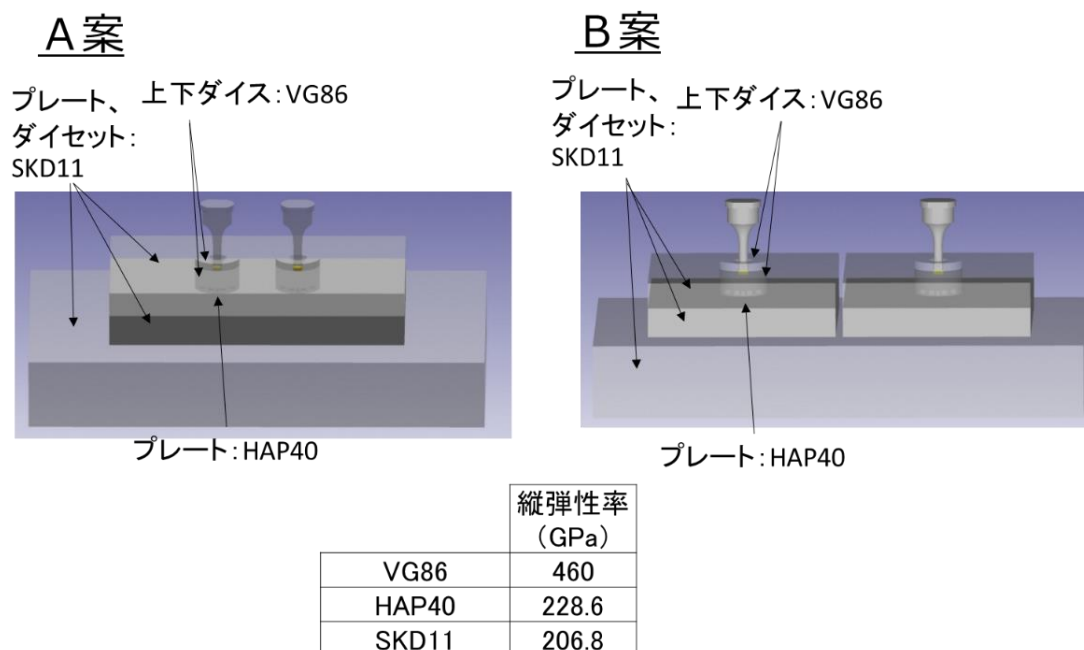
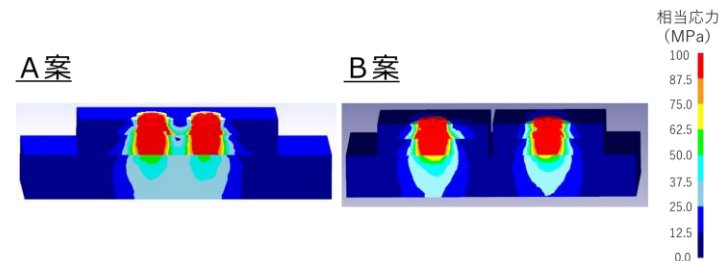


図 2-2-1 設計案のシミュレーションモデルと弾性率データ

シミュレーションの結果を図 2-2-2 に示す。A 案は 2 つの凹部の応力が重なり合っており、40MPa 前後の応力分布が広い。一方、B 案は応力が重なっておらず、それぞれの応力分布が独立している。それ

に起因して、A 案は凹部の真下だけでなく、2 つの凹部の間も大きく変位しているが、B 案はそれぞれの凹部の真下しか変位していない。そのため、凹部の応力が重なり合っていない A 案より B 案の方が金型・ダイセットの弾性変形が小さく、負荷応力も小さいと思われる。以上の結果よりプレートから分割する B 案を採用することとした。図 2-2-3 に試作した金型を示す。

●シミュレーション結果（応力分布）



●シミュレーション結果（変位）

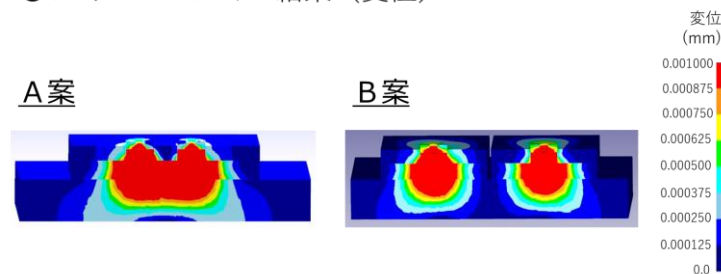


図 2-2-2 シミュレーション結果



図 2-2-3 試作した 1 ショット 2 個取り金型

次にさらに取り数を増やした多数個取り金型について検証を行った。2 個取り金型の設計をもとに多数個取り金型を設計する際の条件として下記を確立した。

- ① 型構造
- ② 凹部の間隔
- ③ ダイスイ壁の最低肉厚

以上を踏まえ、「設計条件」・「生産タクト」・「イニシャル費」を重要項目にあげ 2～5 個取り金型について比較し複数個取り金型の取り数を確定させた（表 2-2-1）。

表 2-2-1 多数個取り金型の比較

取り数	設計条件			生産タクト (秒)					イニシャル費
	①	②	③	材料投入	プレス加工	排出	合計時間	1個あたり生産タクト (換算)	
2個	○	○	○	3	1	1	5	2.5	低
3個	○	○	○	3	1	1	5	1.7	低
4個	○	×	×	6	1	10	17	4.3	高
5個	○	×	×	8	1	13	22	4.4	高

1 ショットあたりの取り数が 4 個以上になると、2-3 で開発した自動供給装置の複数動作が必要となり製品の投入・取り出しの時間が長くなる。その為 1 個あたりに換算した時の加工時間は 2 個取り・3 個取りに比べ長くなり、生産タクトタイムは増大する。また装置の能力と大きさから、4 個取り、5 個取りにすると上記の条件②、③を満たすことができず金型にかかる応力も 2 個取り・3 個取りに比べ高負荷であり、寸法精度が維持できない。以上のことから 1 ショット多数個取り金型の最適個数として、3 個という結論に至った。

2-2-2 潤滑剤供給手法の確立

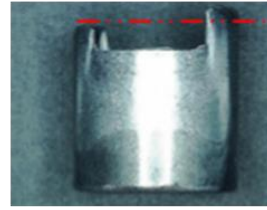
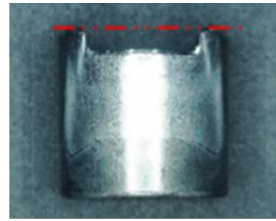
2-1-2 よりインパクト成形で複雑形状品を高精度に成形するためには潤滑剤をパンチのみに塗布し、ダイス側には塗布させないということが重要である。パンチの表面に潤滑剤 CX-10 を塗布した際の重量増を調べると 4.63mg であった。CX-10 の密度は 0.85g/cm^3 であるためパンチを塗布するために必要な体積は約 $5\mu\text{l}$ となる。また、CX-10 の粘度を音叉型振動式粘土計（エーアンドディ製 SV-10）で測定すると $11.6\text{mPa}\cdot\text{s}$ （測定温度 17.9°C ）であった。この結果から滴下式潤滑剤供給装置として μl 単位で供給できるノイベルク製ディスペンサ（図 2-2-4）を選定した。この装置にてダイスにセットしたスラブ材の上面に潤滑剤を滴下する方法で供給することとした。



一回吐出量 (μl)	0~30
一目盛出量 (μl)	0.05
最大回数 (回/min)	240

図 2-2-4 選定した供給装置

インパクト成形で複雑形状品を高精度に成形するために重要なこととして、まず潤滑剤をダイスにセットしたスラブ材の上面中心に滴下しなければならないことがある。潤滑剤を中心からずれた位置に滴下した場合の製品形状を図 2-2-5 に示す。潤滑剤は上面に行き渡るぎりぎりの量しか滴下しないため、潤滑剤が中心からずれると潤滑剤が塗布されない部分が生じるため摩擦係数が変化し材料流動が変化するため左右の角の高さが大きく変わる。この左右の角高さを均等にしないと後工程の自動機設備に投入した際、パーツフィーダーで送ることが出来ず生産トラブルの原因になる。

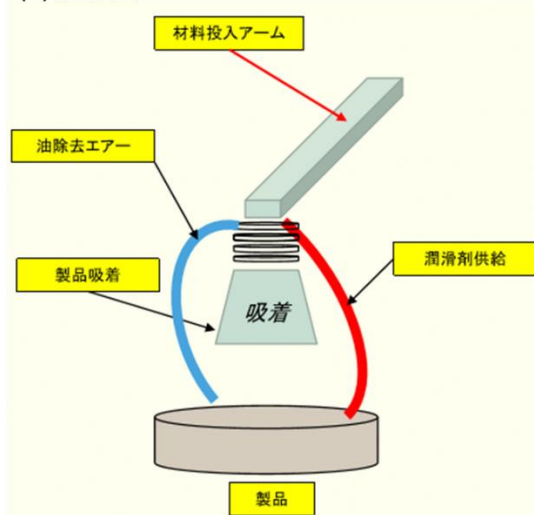


中心に滴下した場合 中心からずれて滴下した場合

図 2-2-5 潤滑剤滴下位置が異なる製品の比較

また、製品の品質安定のため潤滑剤を一定供給し続けるためには金型に残った潤滑剤を除去することも重要である。以上のことを踏まえて図 2-2-6 に示すような潤滑剤をエアにより除去する機構、潤滑剤供給機構、製品吸着機構が材料投入アームに一体となった装置を開発した。この装置により「金型凹部の潤滑剤の除去」、「金型凹部への材料供給」、「材料への潤滑剤の精密な滴下」の一連の作業を高効率に行うことが可能となった。

(a)概念図



(b)開発した潤滑剤自動供給装置

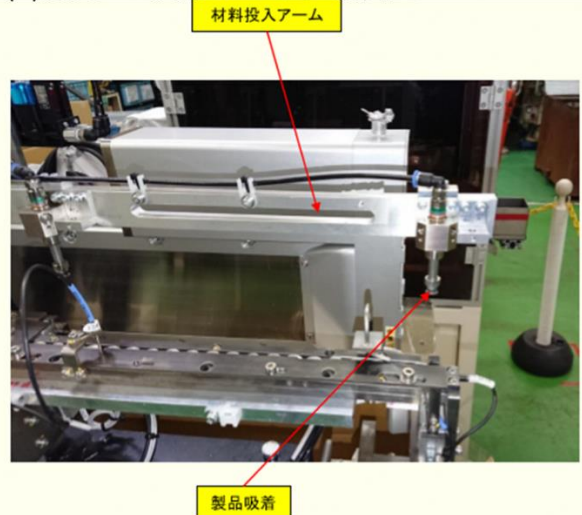


図 2-2-6 開発した潤滑剤自動供給装置

2-3 高効率生産を実現する自動化技術の開発

2-3-1 高効率生産プロセスの構築

(1) 前工程自動機ライン

本研究開発で設計、導入した原料投入からインパクト成形、ワークの取り出しまでを一貫して行う自動機ライン（前工程）の模式図を図 2-3-1 に示す。まず材料を投入し、パーツフィーダーで表の向きになっているスラブ材を選別する。表向きになっていたものは搬送コンベアにより材料投入アームまで一定の間隔で搬送される。搬送されてきたスラブ材は材料投入アームにより吸着され、ダイスの凹部へ投入される。投入後、材料投入アームに設置されている潤滑剤供給装置により潤滑剤が適量滴下される。インパクト成形後、材料はダイスの凹部底面から空気を噴出することによりダイスから飛び出し、製品受けに収納される。

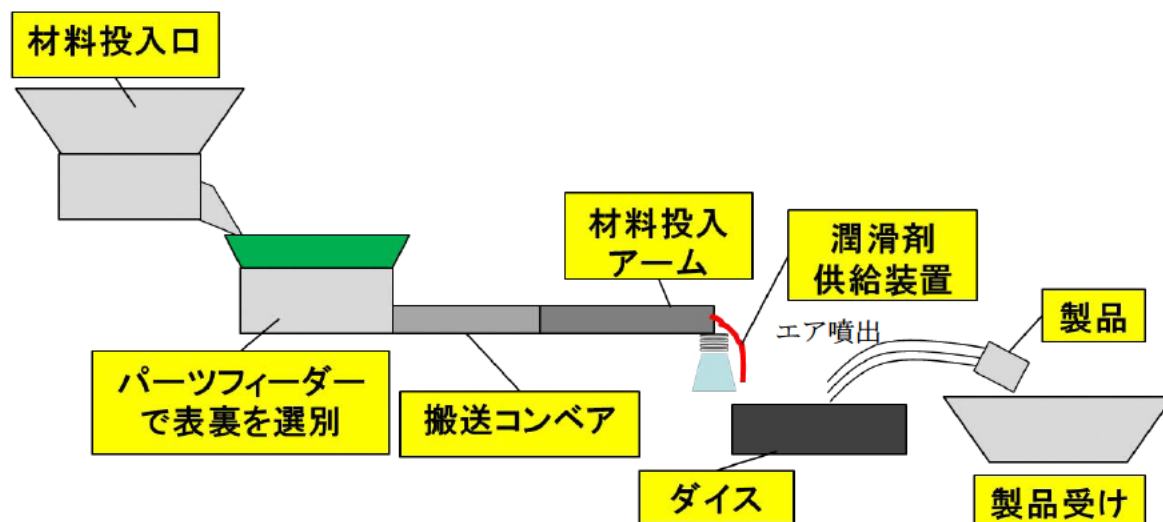


図 2-3-1 前工程の自動機ライン模式図

ランダムに投入された材料を表向きにし、コンベヤに送り出すための装置パーツフィーダーの外観写真を図 2-3-2 に示す。



材料投入

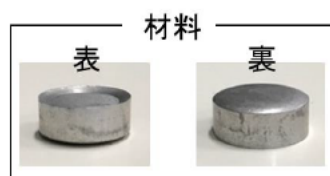
→
パーツ
フィーダー
へ



パーツフィーダー



裏になっているものはこの隙間から落ちて表になるまで回り続ける
表になったものは材料投入アームへ



表になったものが整列され、材料待機位置へ流れていく

図 2-3-2 パーツフィーダー

材料を投入する凹部の穴径とスラブ材の直径との差は 0.02mm である。スラブ材をセットする位置が凹部の中心からずれると製品精度に影響を及ぼすため、材料投入アームの繰り返し位置精度が重要になってくる。また、目標とする生産数を達成するために製品投入速度が 3 秒以内である設備が求められる。さらに、2-2-2 で述べたように製品への潤滑剤の滴下位置が重要になる。また、金型に潤滑剤が溜まりすぎると材料流動にも影響を与える為、金型内の潤滑剤を除去できる仕組みも必要になる。

上記の課題を踏まえ、本研究専用材料投入自動機設備を独自で設計・製作を実施。前述の適切な潤滑剤塗布量を維持しつつ、適切な位置への潤滑剤の塗布を可能とした材料投入アームを製作。開発した材料投入アームを図 2-3-3 に示す。この装置により、スラブ材を±0.01mm 以内の精度で凹部にセットすることができ、3 秒以内にスラブ材を投入することが可能となった。

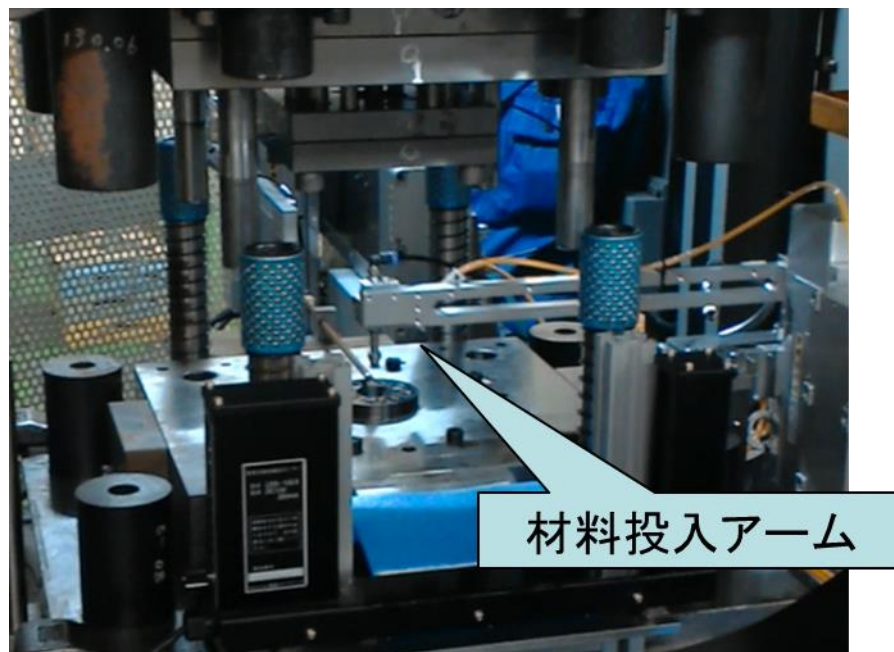


図 2-3-3 材料投入アーム

(2) 画像解析システム

インパクト成形による自動生産において留意すべき点は成形品の良否を素早く判断し、製品歩留まりを向上することである。そのためインパクト成形後の製品外観や形状を画像データとしてリアルタイムで収集、解析し、製品の良否判定を行うシステムを構築した。概念図を図 2-3-4 に示す。インパクト成形された製品は成形後にダイス底面から空気を噴出させることによりダイスから飛び出し、製品受けに収納され、リターンフィーダーで向きを揃えられた後カメラ機構まで搬送される。材料供給アームによりカメラ前の回転ステージに載せ、360 度回転させながらカメラにより画像を取り込む。取り込まれた画像を解析することで良否を判定する。判定後は良品と不良品に選別される。

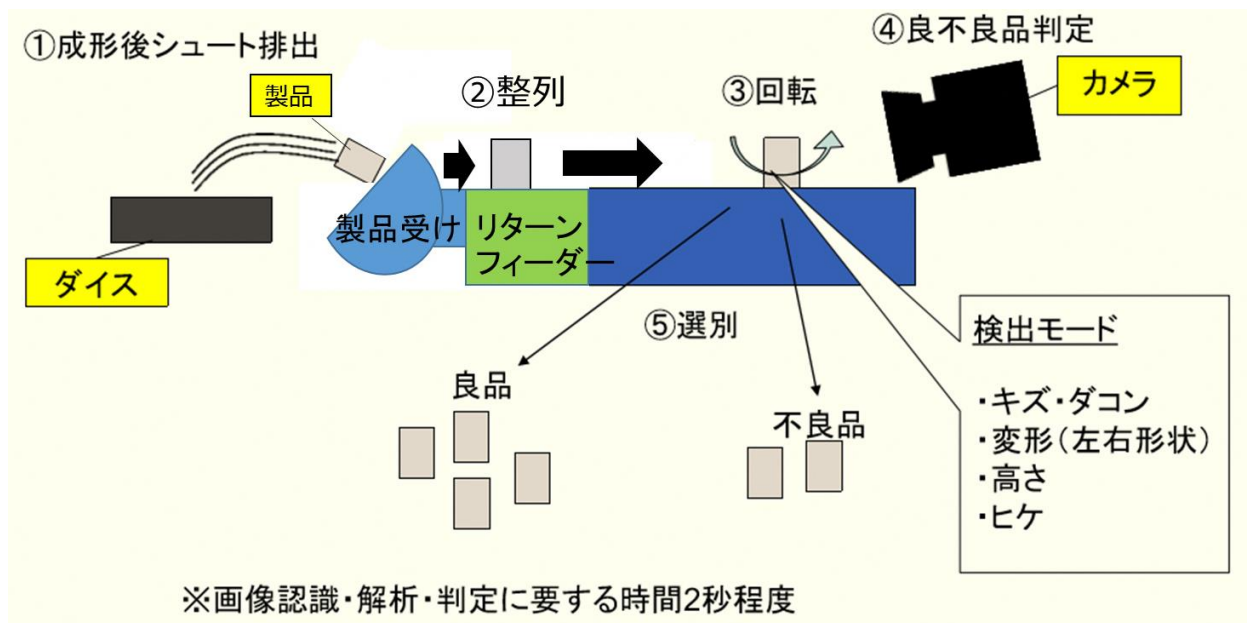


図 2-3-4 画像解析システム概念図

構築した画像解析システムの外観を図 2-3-5 に示す。画像解析システムにより判別する不良項目はヒケ、左右高さ、紋様、打痕である（図 2-3-6）。選別精度を確認すると 100%の精度でこれらの不良を選別することができていた。

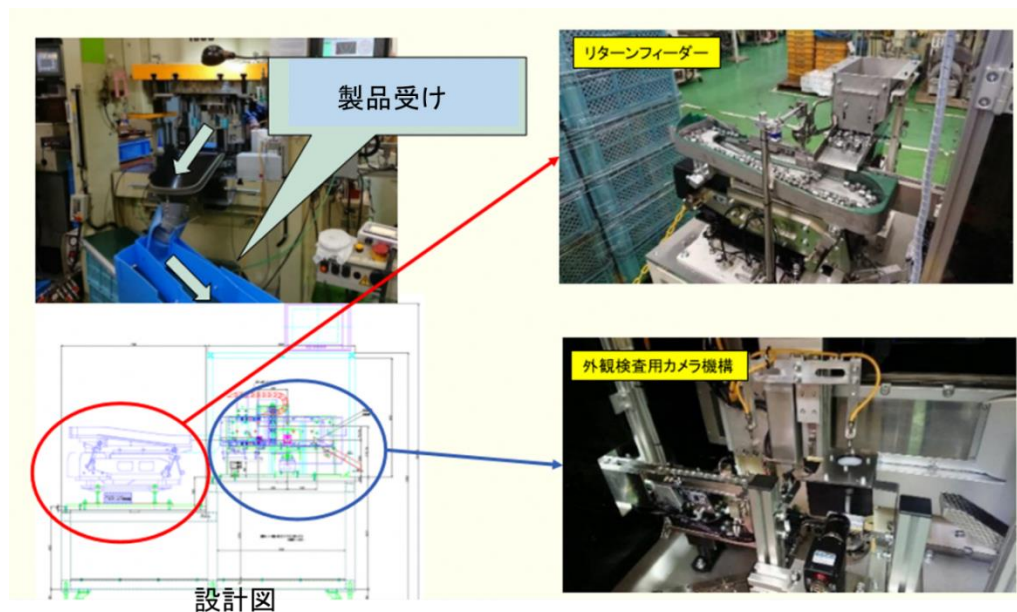


図 2-3-5 構築した画像解析システム

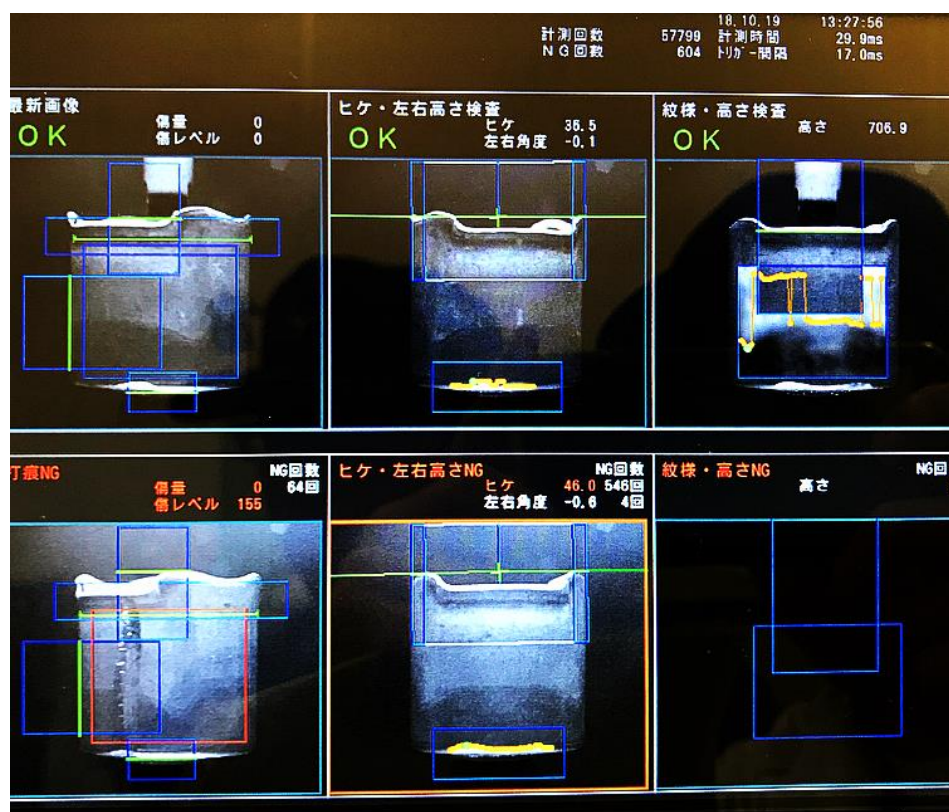


図 2-3-6 画像解析システムの選別画面

(3) 後工程自動機ライン

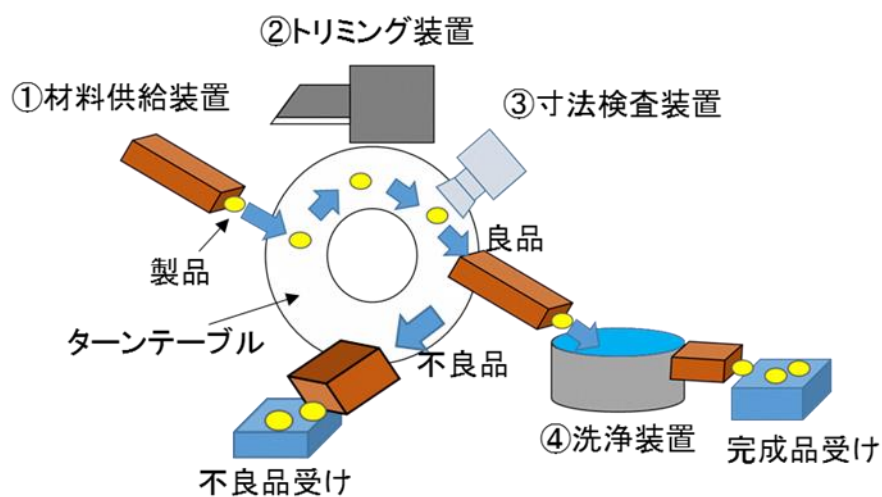


図 2-3-7 後工程の自動機ライン模式図

後工程自動機ラインの概念図を図 2-3-7 に示す。画像解析システムで選別された良品を①の材料供給装置に投入し、ターンテーブルにて次工程へ移動させ、②トリミング装置で製品天面をカットする。③の寸法検査装置で高さ方向の寸法を測定し良品を識別し、良品であれば仕上げの④洗浄を行う。不良

品であれば、不良品入れへ排出する。設計・製作したトリミング装置、寸法検査装置を図 2-3-8 に示す。

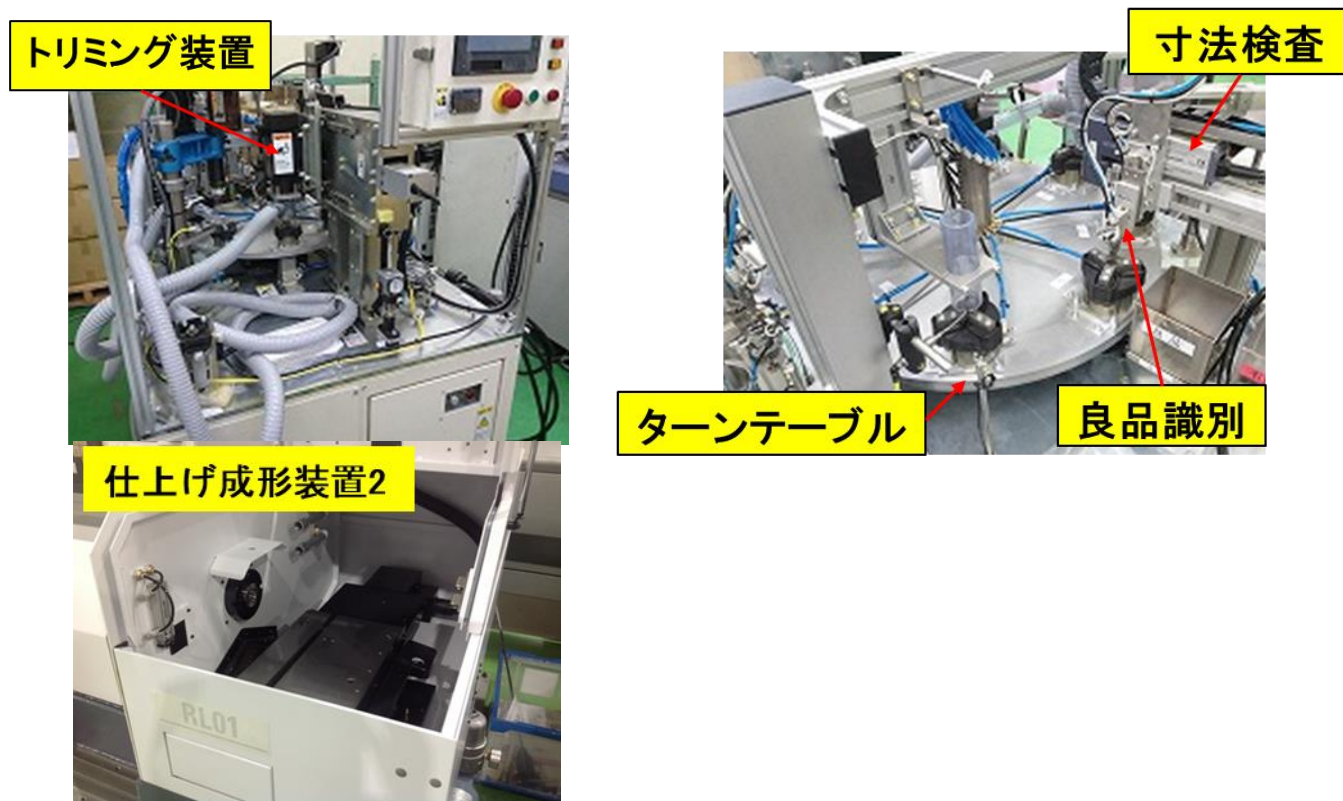


図 2-3-8 後加工自動機

従来の各工程に人員を 6 名配置していた製造ラインと比較し、構築した自動機ラインでは単位時間あたり生産量は 6.25 倍となった。

2-3-2 量産試作品の評価検証

構築した自動機を運用し 100,000 ショット試作試験を行い、生産性と量産時の製品品質を検証した。量産試作品の形状、表面粗さ、ビッカース硬度の測定値と目標値を表 2-3-1 に示す。すべての項目で川下企業の要求を満たすことができていた。

表 2-3-1 量産試作品 (100,000 ショット) の形状、表面粗さ測定結果

	底面厚み (mm)	底面平面度 (mm)		平行度 (mm)	底面 R (mm)	表面粗さ (μm)	硬度 (HV)
		内側	外側				
目標値	0.54	0.01	0.01	0.01	0.5	0.8	100
試作品測定値 (100,000 ショット)	0.513	0.008	0.004	0.009	0.5	0.13	105

100,000 個試作したうち、不良品は 30 個生じており、不良率は 0.03% であった。
試作試験中、懸念されていた装置の誤作動等は生じなかった。

最終章

研究開発後課題・事業展開

今後の事業展開としては、車載用センサの市場規模は約 460 億円規模であり、年 10%の成長が見込まれ（矢野経済研究所調べ）、経済産業省と国土交通省が設置した「自動走行ビジネス検討会」では 2020 年代での自動運転実現へとロードマップを出しており、市場としては成長傾向である。

足元では、自動運転に関する規定を盛り込んで 2019 年に改正された道路交通法と道路運送車両法が 2020 年 4 月 1 日に施行され、自動運転のレベル 3（条件付き自動運転：システムがすべてを操作するが、緊急時にはドライバーの操作が必要）が解禁された。これまでも実証実験は可能だったが、今後はレベル 3 のクルマが普通に公道を走行することが認められる。これにより、日本国内でも開発競争が一段と活発化するとともに市場規模の更なる拡大が見込まれる。

こうした市場の動向に合わせ、既に車載用センサの製造を行っている川下メーカーへ本研究の技術を使用した試作サンプルを提出し一定の評価を得ており、今後もアプローチを継続し、国内市場 80%、海外市場 25%のシェア獲得に向け営業活動を実施する。

また、当該インパクト加工技術は、本研究の対象となっているセンサ筐体以外にも、応用が可能であり、センサ類に利用されるシールドケースや、自動車や産業機器向けで使用数の増加・技術要件が厳しくなりつつあるコンデンサーケースなどの市場が想定される。

川下メーカーへのアプローチを継続し、技術的課題やコスト目標の解決に向けた提案を行い、新たな市場への製品供給を目指すとともに、自動車などのモビリティにおける自動運転化・電動化の普及に寄与する事業展開を実施する。