

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

「タブレット逐次鍛造法を用いた低価格な防水型 USB Type-C コネク
タと振り子ダイス式逐次鍛造成形機の開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 一般財団法人九州オープンイノベーションセンター
〔 研究実施期間時名称：一般財団法人九州産業技術センター 〕

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

【背景】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3

【コネクタの市場規模】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3

【市場のニーズ】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4

【研究開発の目的】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）・・・・・・ 5

1-3 成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6

1-4 当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6

第2章 本論

【1】振り子ダイス式逐次鍛造成形機のプロトタイプの構築・・・・・・・・ 7～ 9

【2】Type-C コネクタの温間鍛造金型の開発・・・・・・・・・・・・・・ 10～14

【3】微細部品の鍛造金型設計案を自動生成する知的設計支援システムの開発・ 15～19

【4】製品評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20

【5】顧客評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21

最終章 全体総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22

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

【背景】

スマートフォンや PC など周辺機器の全てに備わっている USB コネクタに、今、変革が起きている。起点となっているのが 2014 年に策定された新規格の〈Type-C〉で、以下の優位性のある特徴を備えている。

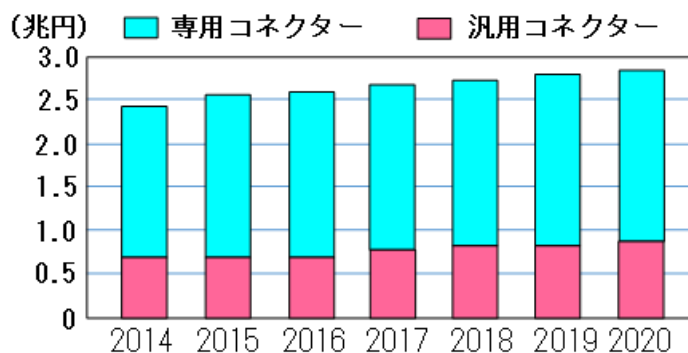
- ①ケーブルの挿入方向を問わない（旧規格：挿入方向が制限）
- ②脱着許容回数 1 万回（旧規格：3 千回）
- ③100W までの電力供給・受給可能（旧規格：5W 供給のみ）

スマートフォンの防水化ニーズの高まりもあって、USB コネクタの今後のトレンドは、「防水型の USB Type-C コネクタ」を於いて他にはない、と言うのが衆目の一致するところである。

【コネクタの市場規模】

コネクタ市場は、富士キメラ総研の 2016 年 7 月のレポートによると、2020 年には対 2015 年比で 10.6%増の 2 兆 8453 億円になると予測され、民生機器と産業機器で採用される「汎用コネクタ（約 8400 億円）」と、自動車と鉄道のインフラ向け「専用コネクタ（約 2 兆円）」のそれぞれの市場が拡大すると予想されている。

汎用コネクタでは、民生向けに USB Type-C の採用が増加し、2016 年から大きく伸びつつある。USB コネクタに限れば 2015 年は PC 向けに加えて、スマートフォンやタブレット端末向けが落ち込んだことで市場は縮小したが、Type-C によって PC やスマートフォンでの切り替えと、AV 機器や AC 電源などへの新たな採用が進むと 2020 年に 1816 億円（2015 年比 97.4%増）になると予測されている。



コネクタの世界市場規模 （出典：富士キメラ総研 2016 年 7 月レポート）

【市場のニーズ】

最新の市場ニーズとして携帯端末機や屋外使用されるカメラなどに防水機能があり、機器の内部と外部を接続する USB コネクタを製造するのに、従来の継ぎ目のあるプレス曲げから、継ぎ目の無い金属シェルへの代替加工技術が必要となっている。

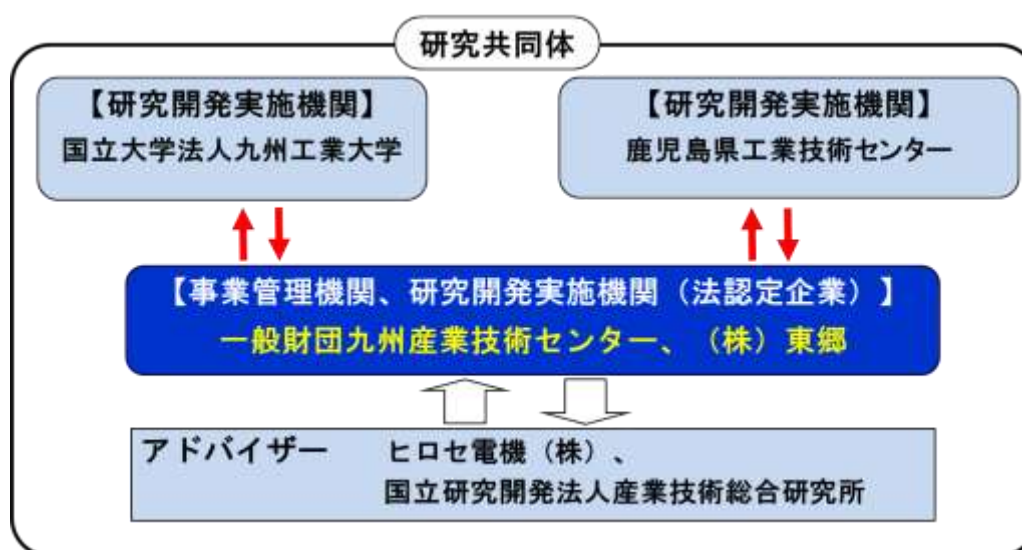


【研究開発の目的】

スマートフォン等に備わる USB コネクタ（受け側端子）は、Type-C 型（2014 年策定）により爆発的な需要増が見込める。しかし、防水型の同コネクタは、従来、金属粉末射出成形法で製造され、高不良率（25%）が課題である。

そこで本研究では、独自のタブレット逐次鍛造法を用いて、不良率を低減（目標 0.1%）することで低価格な防水型 USB Type-C コネクタとそれを製造する振り子ダイス式逐次鍛造成形機を開発する。

1-2 研究体制



(管理員) 事業管理機関

氏名	所属・役職
木太久 一郎	(一財)九州産業技術センター 技術振興部長
木原 秀美	(一財)九州産業技術センター 技術振興部 部長
川口 留美	(一財)九州産業技術センター 技術振興部 主任
小屋町 智代美	(一財)九州産業技術センター 技術振興部 課長代理
杉本 大貴	(一財)九州産業技術センター 技術振興部 主任

(研究員) 研究開発実施機関

氏名	所属・役職
東 成生 (PL)	株式会社 東郷 代表取締役
東 大剛	株式会社 東郷 常務取締役
東 真輝	株式会社 東郷 営業管理部 部長
横路 良一	株式会社 東郷 設計部 部長
桑迫 竜聖	株式会社 東郷 生産技術部員
戸島 龍一郎	株式会社 東郷 製造技術部員
東 聖将	株式会社 東郷 製造技術部 係長
永田 大樹	株式会社 東郷 製造技術部員
安部 隆雄	株式会社 東郷 製造技術部員
梅田 政信	九州工業大学大学院 情報工学研究院 教授
片峯 恵一	九州工業大学大学院 情報工学研究院 准教授
牟禮 雄二 (SL)	鹿児島県工業技術センター 生産技術部長
岩本 竜一	鹿児島県工業技術センター 生産技術部 研究専門員
瀬戸口 正和	鹿児島県工業技術センター 生産技術部 主任研究員
栗毛野 裕太	鹿児島県工業技術センター 生産技術部 研究員
高見 勇大	鹿児島県工業技術センター 生産技術部 研究員

(協力者) アドバイザー

氏名	所属・役職
稲坂 純	ヒロセ電機㈱ 技術本部 SB事業部長
松崎 邦男	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エレクトロニクス・製造領域 製造技術研究部門 構造・加工信頼性研究グループ 上級主任研究員

1-3 成果概要

- ①逐次鍛造成形機による USB Type-C コネクタの鍛造製品の基礎技術を確立する事ができた。
- ②量産性については、補完研究の継続の必要はあるが、本研究において技術目標である不良率 25%を 0.1%以下、生産コスト 25%削減は達成できた。
- ③従来技術の金属粉末射出成形法で製造されていた複雑な形状を、コア部（逐次鍛造品）と基板への取り付け部（順送プレス品）を分割し、分割された 2 体の製品を 1 体にする新技術を川下企業と確立した。
- ④顧客へのサンプル供給、評価については、川下企業の評価途中のため、評価数を増やし信頼性を確認した上で、2020 年 10 月までに実施する予定である。
- ⑤微細部品の鍛造金型設計案を自動生成する知的設計支援システムの開発は、工程設計知識ベースと金型設計知識ベースとを組み入れた鍛造工程・鍛造金型統合設計支援システムを開発した。
- ⑥USB Type-C を用いた設計実験により、自動生成した工程設計案と金型設計案の中に、専門家の設計案と機能的に同等な設計案が含まれていること、設計者の実質設計作業に要する時間（設計案を自動的に導出する時間を除く）が、1 時間以内に収まることを確認した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社 東郷 製造管理課 下竹 ひろみ

〒891-1103

鹿児島県鹿児島市川田町 2194

TEL : 099-298-8050

FAX : 099-298-7942

E-mail:hiromi_shimotake@togo-japan.co.jp

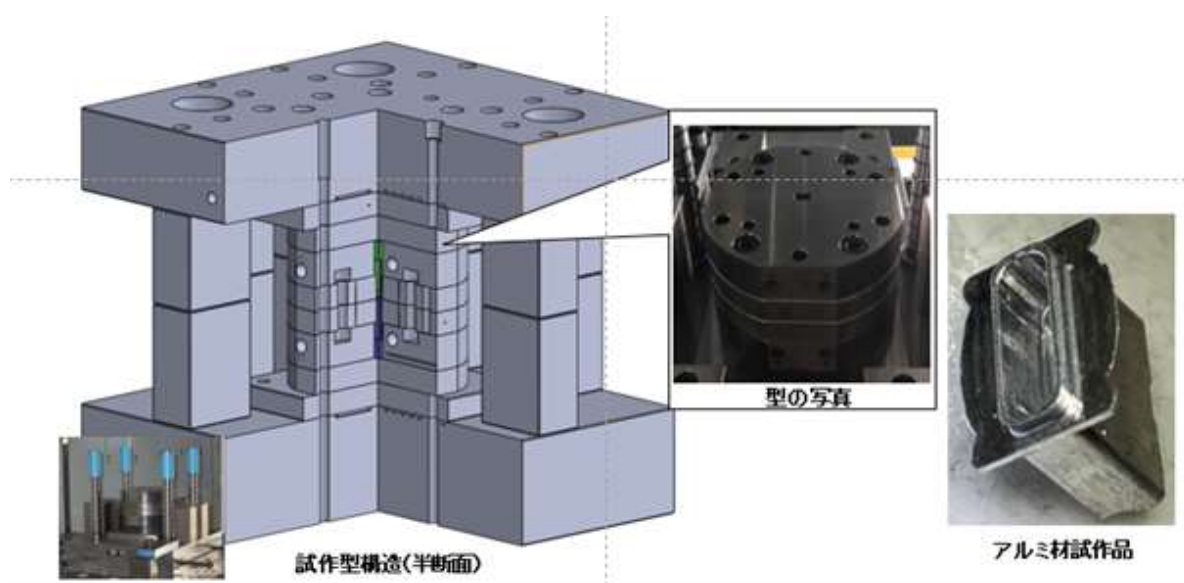
第2章 本論

【1】振り子ダイス式逐次鍛造成形機のプロトタイプ構築

目標値の、900mm四方の中で、1分間に8個以上生産するカムスライド式パンチユニットを動作機構とした振り子ダイス式逐次鍛造成形機を考案した。

本研究は、解析結果を基に試作型を製作し、実験を行った。

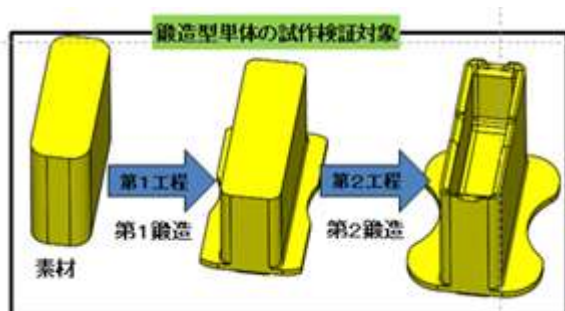
実験金型



【試作の手順】

金型中央部の穴に素材を落とし込み、成形パンチを手動で入替えを行い、2工程で試作を行った。

実験の結果、解析に限りなく近い形状で鍛造する事が、確認できた。

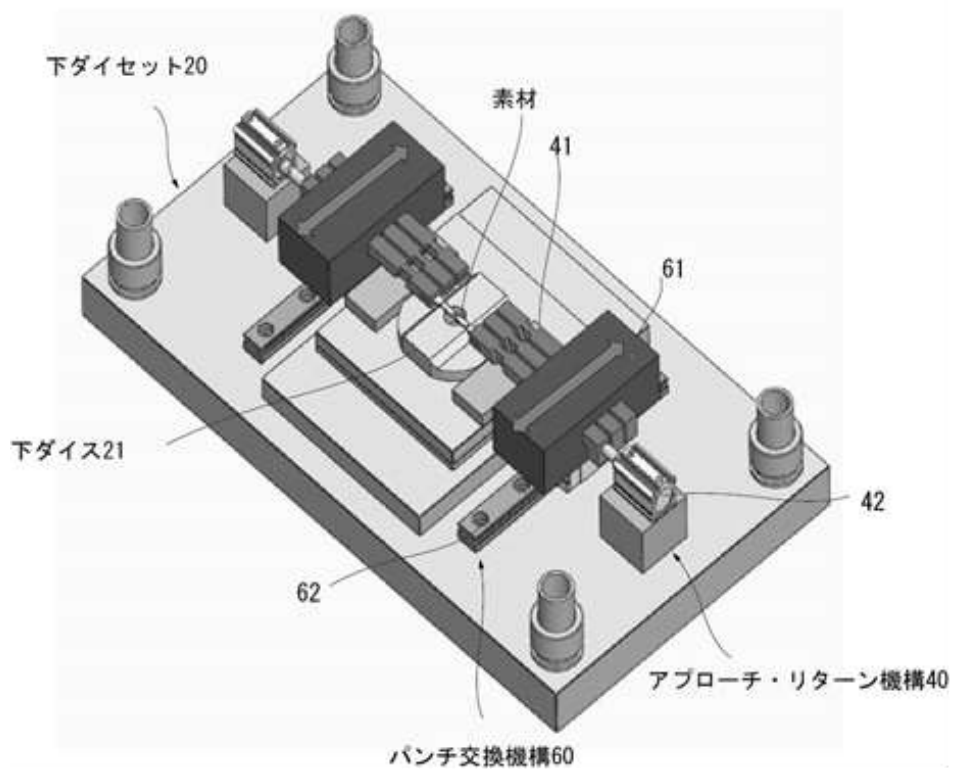


【カムスライド式パンチユニットを組み込んだ振り子ダイス式逐次鍛造成形機の製作】

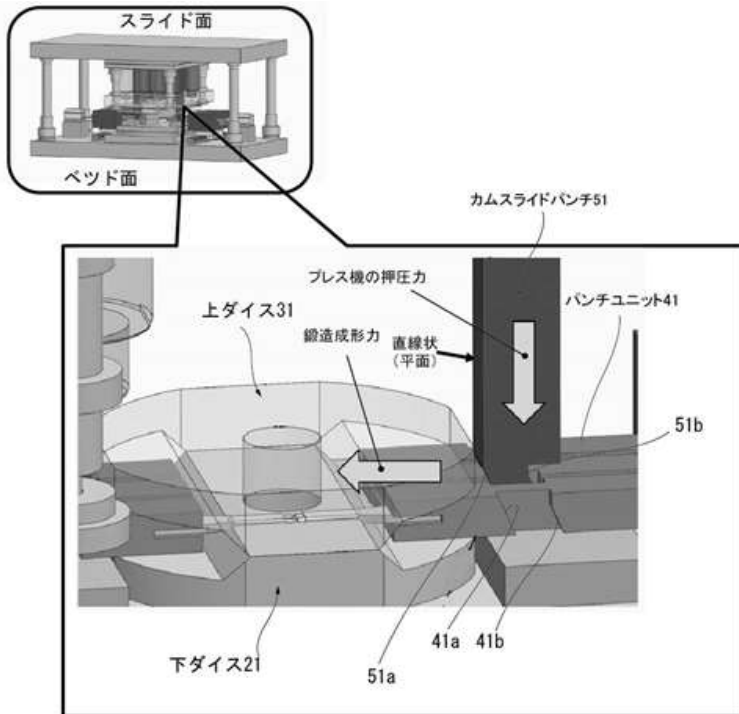
試作型の検証結果を基に、ミクロン単位で制御可能なカムスライド式パンチユニットを組み込んだ振り子ダイス式逐次鍛造成形機的设计および製作を行った。

下記、動作機構を示す。

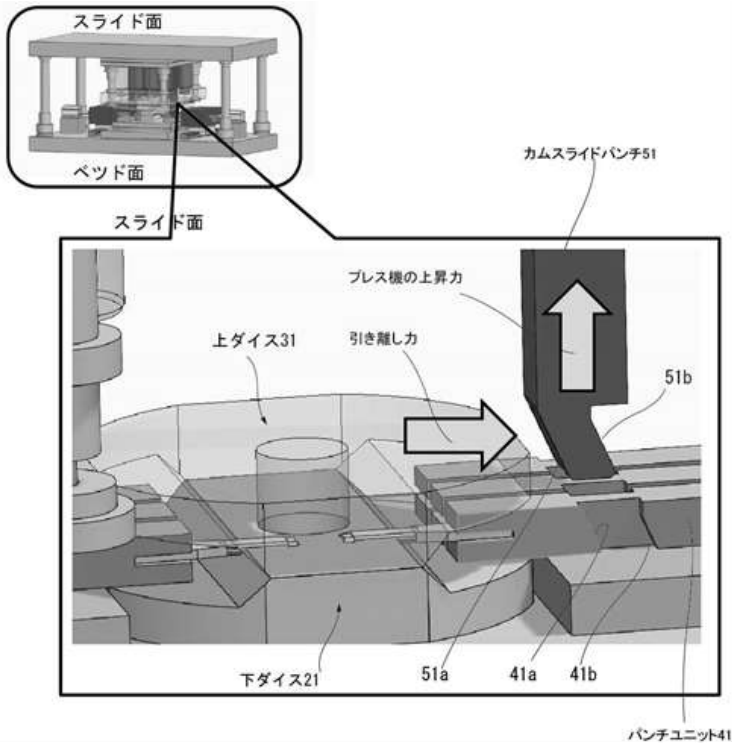
アプローチ・リターン機構とパンチ交換機構



300KN の力で加圧を行いカムスライドパンチ（垂直方向）でパンチユニットを前後方に押し出し鍛造を行う。



第 1 鍛造工程完了後、スライドカムパンチを上（垂直方向）に動く事でパンチユニットは後方移動し、第 2 鍛造工程のパンチユニットと交換し、前後方に押し出し鍛造を行う。



【2】USB Type-C コネクタの温間鍛造金型の開発

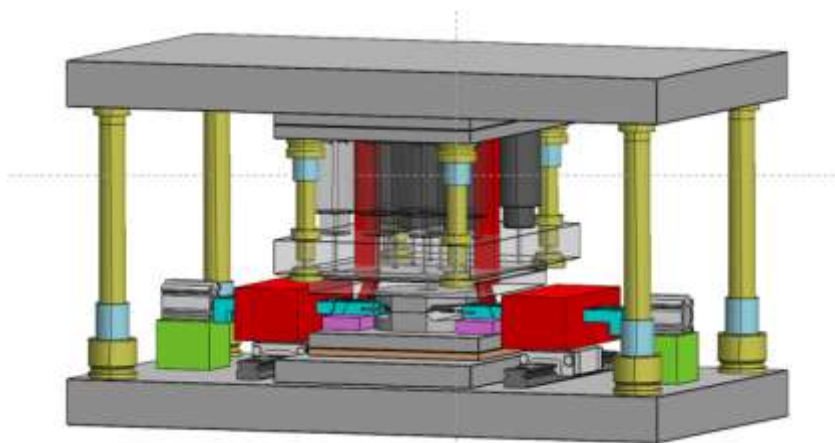
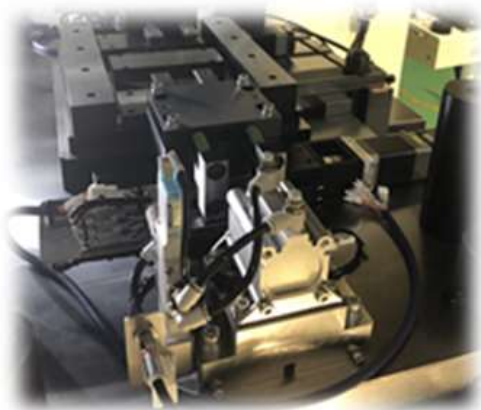
振り子ダイス式逐次鍛造成形機を利用した逐次鍛造金型の開発を行った。

逐次鍛造金型は、【1】で示している図の通り、垂直方向の加圧を利用し、被加工材に向かって前後方への押出し成形をするものである。

素材を 600~1000℃、金型を 300℃にして試作したが、素材強度に対してパンチが極小すぎ（物理的制約）、金型破壊は不可避と確認した。そこで、中間評価ヒアリングでの委員からのご指導を受け入れ、素材がステンレスの場合には現在生産しているMIM製品（不良率25%）のサイジング加工で不良品を良品とする製法提案に切り替えることになった。

すなわち、サイジング量を特定することができ、サイジングによる不良品救済の方策を提案できた。同時に、川下企業から製品形状変更と素材をアルミや銅に置き換えるとの要望があり、最終報告書に記載した加工品を得ることができた。素材変更により成形性が著しく向上したため、温間金型（加熱して加工）から冷間金型（室温で加工）が可能となった。

逐次鍛造金型の写真

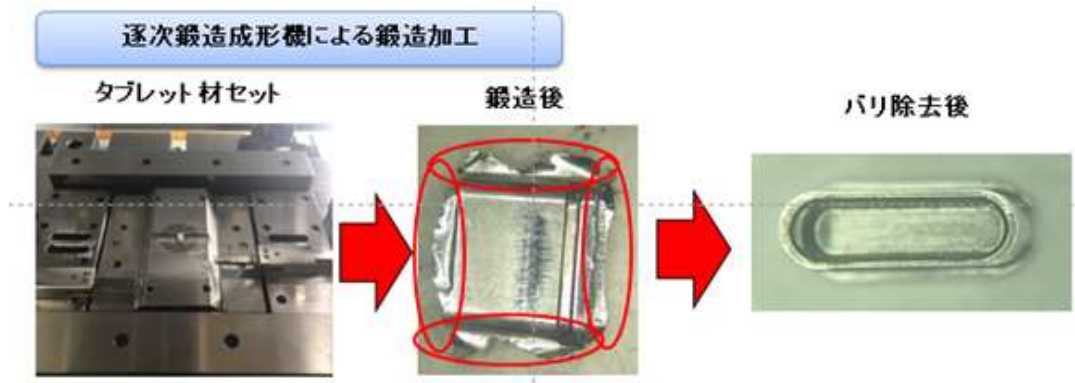


【逐次鍛造成形機によるType-Cコネクタの統合試作検証】

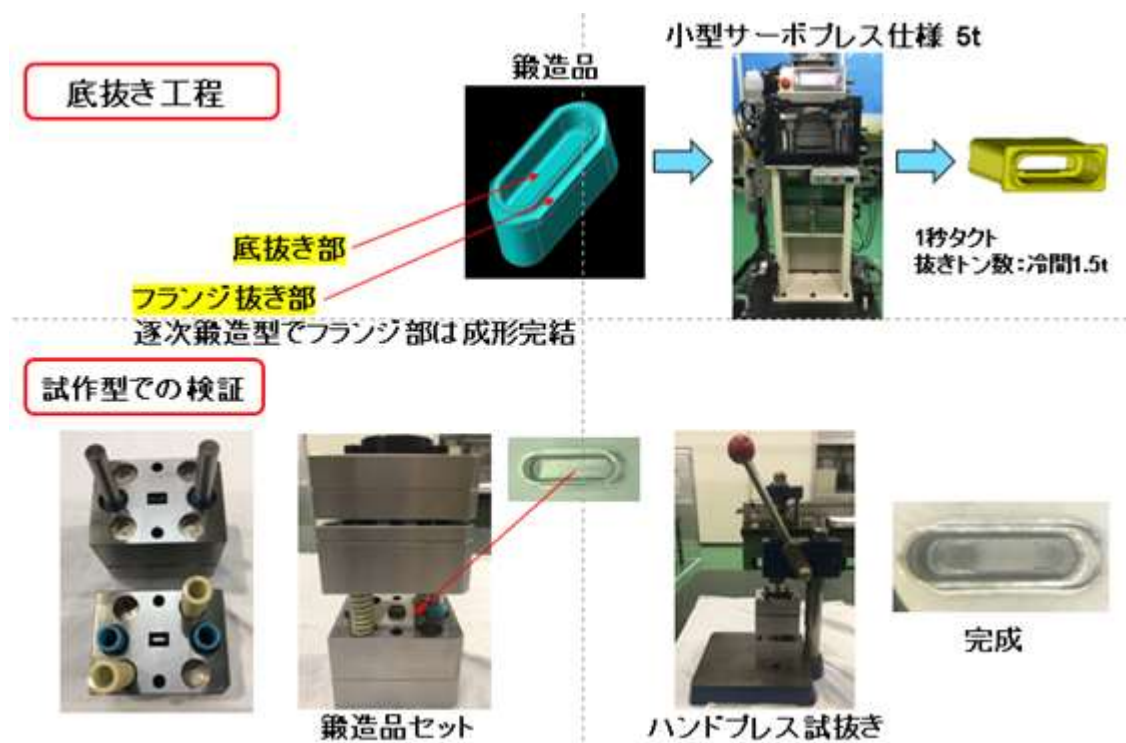
USB Type-C コネクタの鍛造金型の開発を実施した。

実施内容としては、逐次鍛造成形機による純アルミ材（A1050）を使用した鍛造試作、鍛造後の中空部の抜き加工、川下企業との連携で新たに考案された2体を1対に接合する溶接、鍛造品へのニッケルめっき加工、鍛造品の寸法評価、生産コスト試算を実施した。

① 鍛造試作品の状態



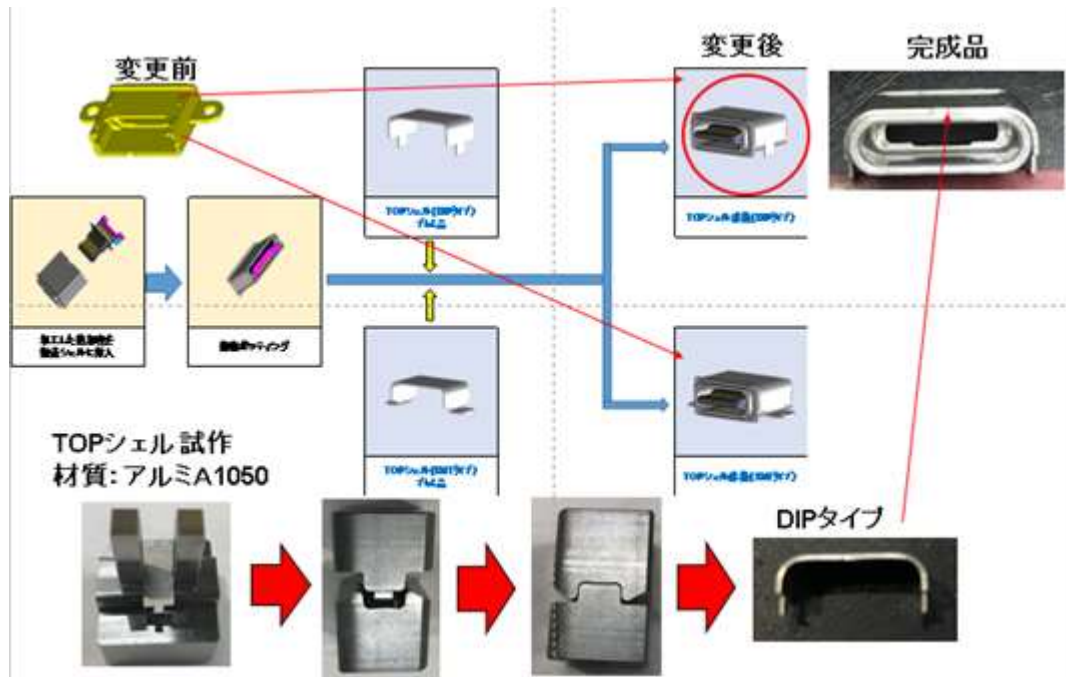
② 中空部の抜き加工



③逐次鍛造品（コア部）と順送プレス品（基板取り付け部）の接合（2体→1体）

金属粉末射出成型法で製造されている形状を最終顧客の仕様に合わせて基板との取り付けを変更できる様に、絶縁座が挿入されるコア部と基板との取り付け部を分割した。

分割された2体品は、レーザー溶接で1体品（完成品）に溶接し、完成品としての基礎技術を確立した。



④アルミ鍛造品へのニッケルめっき加工

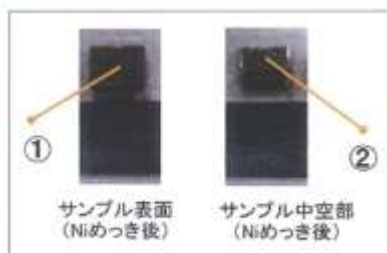
鍛造品へのニッケルめっき（アースの役割）を20個の試作を実施した。

試作結果は、全ての項目で合格した。

検査項目（めっき膜厚、剥離テスト、外観検査）

検査項目	判定
めっき膜厚(測定は蛍光X線膜厚計使用のこと。測定値上記。)	○・否
剥離テスト(テープテストおよびクロスカット試験)	○・否
外観検査(シミ、汚れ、異物付着、キズ、変形、等なきこと)	○・否

膜厚測定位置：下写真部



めっき厚規格:
Ni: 2.0 μm 狙い

めっき厚測定値 (N=1)

①	N=1
Ni	2.232

②	N=1
Ni	0.887



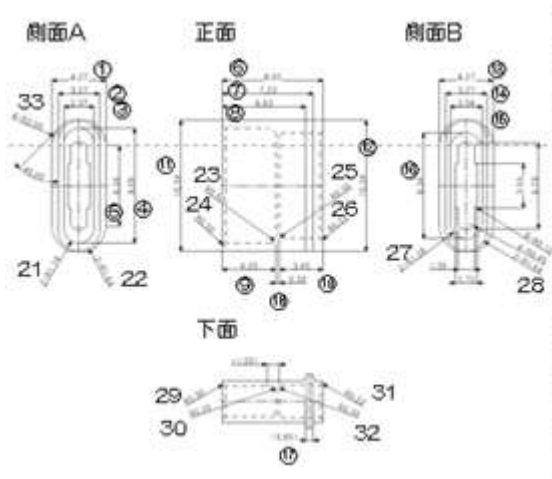
⑤鍛造品の寸法評価

寸法の全体評価としては、製品のネライ値に対する公差幅（現行 MIM 品と同等に設定）に対して三次元測定機等の測定結果から合否を判定した結果、ネライ値に対して満足している結果となっている。

逐次鍛造法の特徴として、製品の全長方向寸法は金型の垂直方向の動きで寸法が決まる事から、素材寸法や鍛造時の金型のたわみを考慮して金型を設計・製作した効果により良好な結果が得られたものと推測される。

20 個の寸法測定を行い、バラツキが 0.02mm以内で収まっていることから安定性に優れ、金属粉末射出成形品と比較しても精度が格段に改善している事が検証できた。

従来技術での不良率 25%は、逐次鍛造法により 0.1%以下になることを確認できた。



測定箇所	設計値	実測値	誤差	測定方法	判定
①	4.27	4.273	0.003	投影器	合格
②	3.27	3.287	0.017	三次元	合格
③	2.37	2.336	-0.034	三次元	合格
④	9.06	9.042	-0.018	三次元+画像	合格
⑤	6.34	6.366	0.026	三次元+画像	合格
⑥	3.45	3.492	0.042	画像測定機	合格
⑦	10.34	10.352	0.012	三次元+画像	合格
⑧	10.34	10.347	0.007	三次元+画像	合格
⑨	4.27	4.267	-0.003	三次元+画像	合格
⑩	3.27	3.288	0.017	三次元+画像	合格
⑪	2.56	2.510	-0.050	三次元+画像	合格
⑫	8.34	8.315	-0.025	三次元+画像	合格
⑬	0.60	0.574	-0.026	投影器	合格
⑭	1.19	1.168	-0.022	三次元+画像	合格
⑮	1.64	1.644	0.004	三次元+画像	合格
⑯	0.50	0.550	0.050	輪郭形状	合格
⑰	0.30	0.283	-0.017	輪郭形状	合格
⑱	0.30	0.334	0.034	輪郭形状	合格
⑲	0.22	0.220	0.000	輪郭形状	合格
⑳	1.28	1.255	-0.025	三次元	合格
㉑	1.64	1.644	0.004	三次元	合格
㉒	0.30	0.278	-0.022	輪郭形状	合格
㉓	0.25	0.296	0.046	輪郭形状	合格
㉔	0.22	0.230	0.010	輪郭形状	合格
㉕	0.30	0.341	0.041	輪郭形状	合格
㉖	45.0	44.6	-0.4	投影器	合格
㉗	2.00	1.991	-0.009	三次元+画像	合格

⑥生産コスト

金属粉末射出成形法（MIM品）の様な複雑な形状は難しいが、タイプC規格の中で、製品設計を変更する事で、MIM品より低価格で精度の良い製品を提供する事が可能である。

量産性については、1個取りで試作を行ってきたが、開発された逐次鍛造成形機では多数個取りが可能であるため、更なる向上が期待できる。



各工法の比較

	MIM品		逐次鍛造品	
精度	△	図面寸法値 ±0.05~0.1mm	◎	図面寸法値 ±0.03mm以下
不良率	△	25%	◎	0.1%以下
形状自由度	◎ 顧客要求に対応可能		○ 製品設計時点で考慮する	
量産性	○ 情報開示不可		○ rpm24 (1型2個取り)	
強度	○		○	
価格	¥30/1個		¥21/1個 ※月60万個オーダー	

従来技術（金属粉末射出成形法）と比較して、精度、不良率、生産コストは、技術目標を達成出来たが、形状自由度の点からは、製品設計の段階で最終顧客と鍛造技術を考慮した製品設計をすることが必要である。

【3】 微細部品の鍛造金型設計案を自動生成する知的設計支援システムの開発

本研究は、逐次鍛造成形機に組み込む鍛造金型を自動設計するソフトウェアの開発を目指している。その技術的目標は、熟練者並みの設計を 1 時間以内に出来るソフトウェアの開発である。具体的な研究成果は、次の通りである。

① 微細部品の鍛造工程案生成手法の考案

非軸対称部位のみからなる鍛造品は、軸対称部位と非軸対称部位とからなる鍛造品用に考案したモデル表現手法を拡張し、図 3-1 に示す基本形状要素 (Basic Element, BE) の集合として表現する。図 3-2 に BE を用いた USB Type C の表現例を示す。

鍛造工程案は、鍛造工程案生成手法の一つである一般段差解消法を基礎に非軸対称 BE に対する形状変換規則 (図 3-3) を新たに考案し、この形状変換規則を BE 集合に対して網羅的に適用することで生成する。








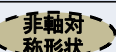
	1	2	3
C			
TU			
TL			
AF			

図 3-1 形状の基本形状要素(BE)

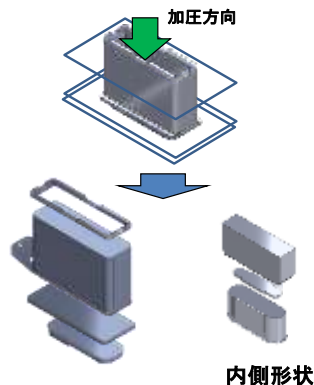


図 3-2 BE を用いた USB Type-C の表現例




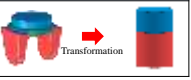






(EI-1) Transform targets to a BE in which the top and bottom surfaces are the same as the top or bottom of a key	(EI-2) Transform targets by moving a certain volume under a key to the targets	(EO-1) Transform targets to a BE in which the top and bottom surfaces are the same as the top or bottom of a key	(EO-2) Transform a key and targets to BEs in which the diameters are the same as those of an implicit cylindrical key shape		
					
(EI-4) Transform a target to fill in a hole	(EI-5) Transform a target by moving a certain volume of an edge to a key	(EI-6) Transform a target by moving its certain volume to a key on another side	(EO-3) Transform a key so that it is enlarged	(EO-4) Transform a non-axisymmetric key to a cylindrical BE	(EO-5) Transform a non-axisymmetric key to a square pillar-shaped BE
					

図 3-3 工程案生成のための形状変換規則

② 微細部品の金型設計案生成手法の考案

鍛造品を加工する金型の概略形状は、金型部品の隣接関係から 5 つに類型化して、図 3-4 に示す基本金型構造により表現する。金型を構成する金型部品の主要形状は、鍛造品に接して加工に直接関わる金型の面と鍛造品の非加工面との関係を表す金型加工面構成（図 3-5）を導入し、これを用いて表現する。また、金型部品の詳細形状は、3D CAD の形状操作関数を定義し、その組み合わせにより生成する。

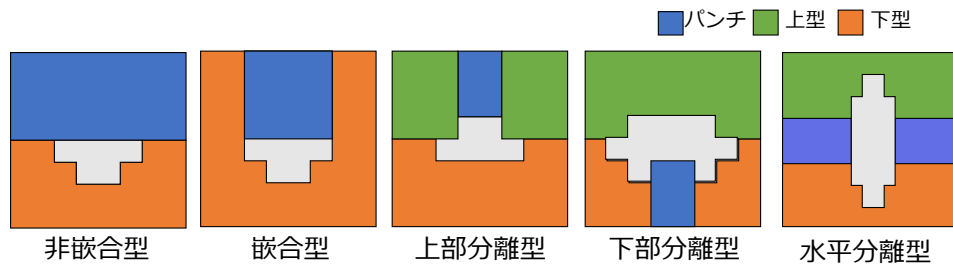


図 3-4 基本金型構造

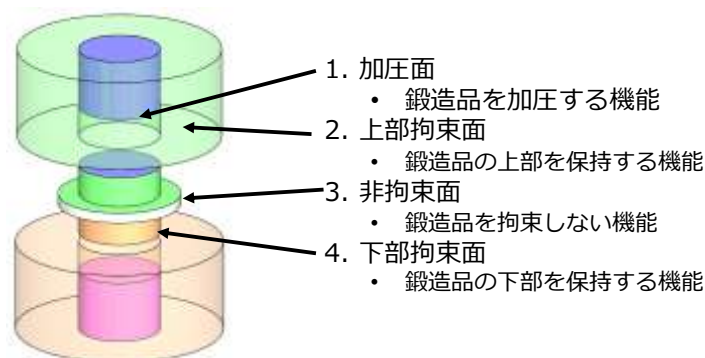


図 3-5 金型加工面構成

③ 鍛造工程・金型設計知識ベースの開発

BE 集合で表現した鍛造品に対して、図 3-3 に示す形状変換規則を網羅的に適用することにより、考えられ得る鍛造工程案を全て自動生成する工程設計知識ベースを実装した。また、鍛造品形状を入力として、適用可能な基本金型構造、金型加工面構成を網羅的に探索することにより、考えられ得る素材から鍛造品に至る一連の加工工程に対する金型を自動設計する金型設計知識ベースを開発した。図 3-6 に、単一加工工程のための金型設計手順を示す。これらの知識ベースは、生成検証法による探索機能を有する知識表現言語 DSP を用いて記述し、知識ベースの理解性と拡張性に配慮した。

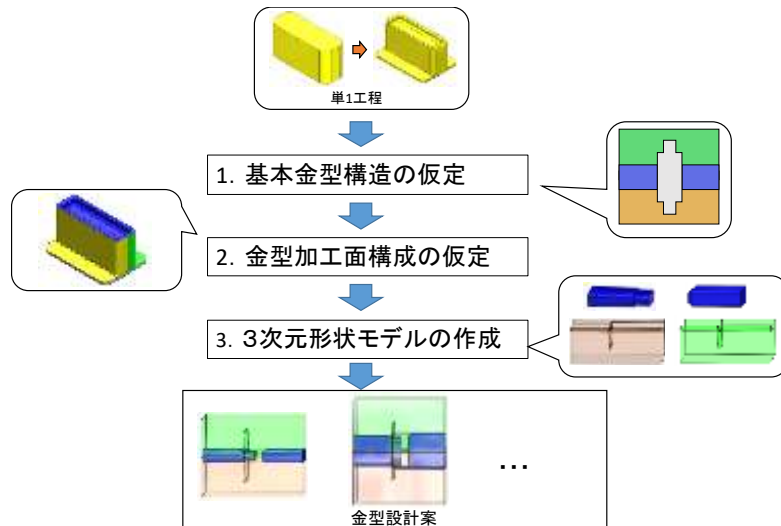


図 3-6 単一加工工程のための金型設計手順

④ 鍛造工程・鍛造金型統合設計システムの開発

金型設計者が鍛造品に対する加工工程とそれに用いる金型を対話的に設計し、評価可能な鍛造工程・鍛造金型統合設計システムを開発した。同システムは、工程設計知識ベース、および金型設計知識ベースを組み入れ、推論エンジンにより工程案と金型案を自動生成する。各加工工程における鍛造品の形状、および金型部品の形状は、形状操作関数を通じて 3 次元 CAD システムを操作することにより生成する。図 3-7 に本システムの構成を示す。

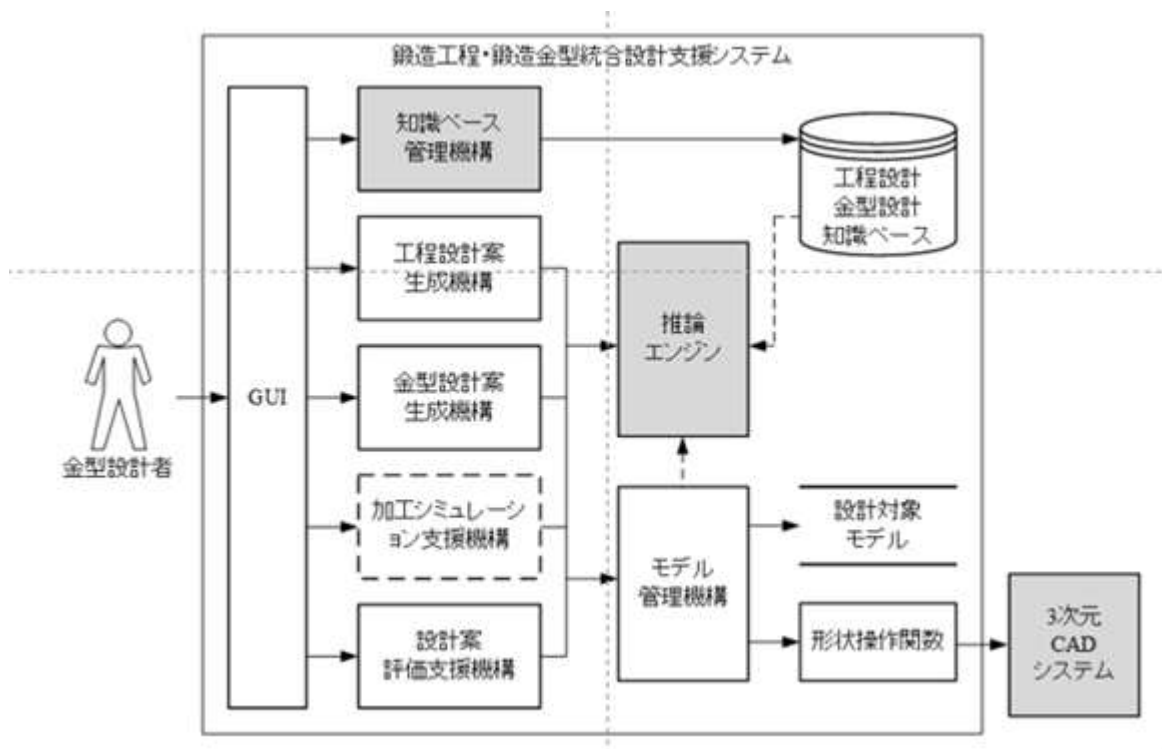


図 3-7 鍛造工程・鍛造金型統合設計システムの構成

本システムを USB Type-C コネクタ用金型設計に適用した際の画面例を図 3-8 に示す。また、自動生成された鍛造工程の一例と、工程設計、および金型設計に要した処理時間を図 3-9 示す。たとえば、工程数等に特別な設計要件を与えない場合、97 分で 158 個の工程設計案を生成できた。また、逐次鍛造方式用の金型の自動設計結果の例を図 3-10 に示す。

USB Type-C を用いた設計実験により、自動生成された工程設計案と金型設計案の中に、専門家の設計案と機能的に同等な設計案が含まれていることを確認した。また、本システムを用いた設計者の設計作業に要する時間（設計案を自動的に導出する時間を除く）は、1 時間以内に収まることを確認した。

今後は、商品化に向けた機能改善をし、鍛造工程案生成手法と金型設計案生成手法とについて国際学会での研究発表を行う予定である。令和 3 年からは、市場評価を実施し、商品化を行う予定である。



図 3-8 鍛造工程・鍛造金型統合設計システムの実行画面の例

• 工程設計

設計要件	設計案数	探索時間(分)	描画時間(分)
なし	158	97	61
4工程以下	2	24	1

選択した工程案

• 金型設計

トランスファ方式 設計要件なし			トランスファ方式 嵌合型, 非嵌合型のみ			逐次鍛造方式		
加工工程	設計案数	処理時間(分)	加工工程	設計案数	処理時間(分)	加工工程	設計案数	処理時間(分)
第1工程	4	7	第1工程	4	7	第1工程	4	/
第2工程	28	31	第2工程	12	13	第2工程	4	
第3工程	16	28	第3工程	6	15	全工程	1	22
第4工程	10	19	第4工程	2	12			

図 3-9 USB Type-C に対する工程設計と金型設計の実験結果

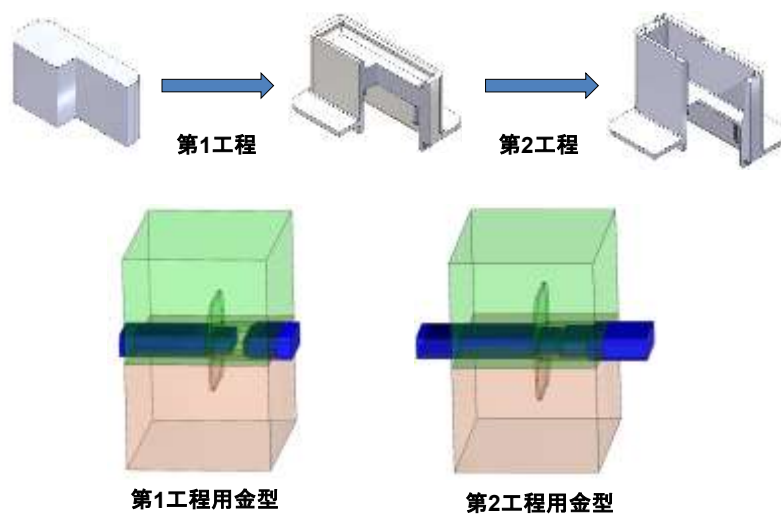


図 3-10 USB Type-C に対する逐次鍛造法用金型の設計例

【4】製品評価

各開発要素を組み合わせた逐次鍛造成形機で加工された USB Type-C 防水タイプコネクタは、技術目標を達成した。

金属粉末射出成形法は、成形後に熱処理を行う工程で、金属収縮による不良率が 25%であったが、プレス化（逐次鍛造）により硬度は、従来品より劣るが、製品精度のバラツキが少なく安定した生産が期待できる。

硬度、高温放置試験、はんだ濡れ性試験を行い、要求項目をクリアした。

①硬度

素材（純アルミ A1050）

	HV
1	26.5
2	28.9
3	27.9
4	26.9
5	26.4
average	27.1

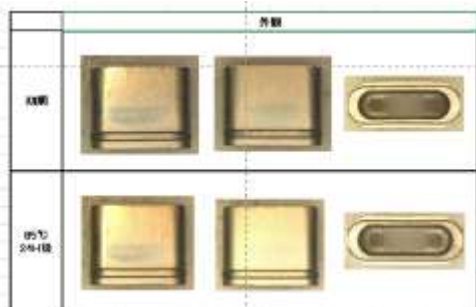
逐次鍛造後

	HV
1	41.6
2	43.2
3	41.5
4	41.3
5	41.4
average	41.5

ニッケルめっき後

	HV
1	87.4
2	80.4
3	121.4
4	91.4
5	89.1
average	89.3

②高温放置試験・・・試験条件 85℃ 24 時間



③はんだ濡れ性試験・・・試験条件 245℃ 浸漬時間 3 秒



【5】顧客評価

試作実施したサンプルを川下企業（ユーザー）で評価を実施した。

新たな工法でのものづくりに高評価を得ており、補完研究継続の中で、サンプル数を増やし信頼性評価試験を進め大手電子部品メーカーへサンプルを提供し採用に向けて進めて行く計画である。

生産コスト面で、技術目標は達成したが、コスト高になっているニッケルめっきを川下企業で試作を行い、更なるコストダウンを図る予定である。

（現在、ニッケルめっきは国内めっきメーカー）

本研究について、不良率低減および今後の「ものづくり」の差別化と次世代コネクタの新工法を確立することで市場拡大、新規顧客の獲得に繋がるとの観点から非常に高い評価を受けている。

最終章 全体総括

本研究開発において、USB Type-C コネクタ（防水タイプ）を製造する逐次鍛造成形機の開発と逐次鍛造成形機を使用した逐次鍛造金型の開発、実用化に向けた技術目標を達成できた。

最終ユーザーへの採用、商品化に関しては、補完研究の実施により商品化できるレベルの実現を目指す。

研究開発後の課題・事業化展開を下記に記す。

①技術・生産面

ニッケルめっき費が生産コストの半分を占めている為、基礎技術は確立したものの、コスト削減が課題となる。

川下企業の海外工場（韓国ヒロセ電機）でめっき技術確立を目指した試作を行い、コストダウンを図る。

生産の自動化を図るため、逐次鍛造成形機への素材のセット、取り出し用の装置の検討を進めて行く必要がある。

②事業化

川下企業とは、提案当初から数値シミュレーションや販売促進、今後の事業戦略に向けて、密に打ち合わせを行い、連携を図り、また、コネクタ部品としての特性や技術開発に関してアドバイスを頂く等、強固な関係を築いている。

今後は、試作サンプルの評価、信頼性評価を行って頂き、大手電子部品メーカーへ新技術案件とし積極的にコンタクトをとっていく。

大手電子部品メーカーと川下企業は、パートナーシップを築きあらゆる分野において信頼を得ており、逐次鍛造成形機で製造される防水タイプ USB Type-C のM I M品に代わる新技術品に非常に期待をしている。

今後、事業化に向け、大量のサンプルを製作し、スマホメーカーはじめ、産機、自動車メーカーにもサンプル提供を行っていく方針である。