

平成26年度ものづくり中小企業・小規模事業者等連携
事業創造促進事業（戦略的基盤技術高度化支援事業）

「環境対応車用中空シャフトの熱間中空鍛造と
回転加工による複合成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 中国経済産業局
委託先 公益財団法人鳥取県産業振興機構

< 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	成果概要	6
1-4	当該研究開発の連絡窓口	7
第2章	本論	
2-1	熱間中空鍛造技術の開発	
2-1-1	離型剤の開発及び評価	8
2-1-2	孔内径における同軸度の高精度化	12
2-2	冷間リングローリングによる複合成形技術の開発	
2-2-1	冷間リングローリング成形工法の開発	13
2-2-2	冷間リングローリング成形トライアル及び製品精度評価	16
第3章	全体総括	18

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

自動車の環境規制への対応やユーザーの環境に対する意識の高まりを背景に、環境対応車の市場が拡大している。そして、その部品製造においては、近年の材料高騰を背景として、材料歩留に配慮した新たな製造技術の開発が求められている。

近年では川下製造業者において、環境対応車用の変速機としてD C T (Dual Clutch Transmission の略) の開発が積極的に行われており、すでに海外では社会的ニーズも飛躍的に伸びている。本研究開発のターゲット部品は、そのD C Tの重要構成部品である中空シャフトで、鍛造品を機械加工して搭載されるが、従来の製造方法では材料歩留が悪いため高コストの問題がある。

(2) 研究目的

上記を背景として、本研究開発ではD C T中空シャフトの加工代を極限まで削減するため、熱間中空鍛造と冷間リングローリング成形の組合せによる複合成形技術を開発することを目的とする。

(3) 高度化目標

特定ものづくり基盤技術高度化指針にある「鍛造に関わる技術」に関する事項において、本研究開発に対応した自動車に関する川下製造業者等の抱える課題及びニーズは、

ウ. 高機能化

エ. コスト削減

であり、そのニーズを踏まえた高度化目標は、

エ. 鍛造品の小型化や複合一体化のような機能向上が挙げられている。

本研究開発では、新たに熱間中空鍛造と冷間リングローリング成形の組合せによる複合成形技術を開発し、環境対応車向けの大幅なコスト削減と軽量化の達成により、環境に配慮した車づくりに貢献する。これに対応した本研究での具体的高度化目標は、1) 熱間中空鍛造技術の開発と2) 冷間リングローリングによる複合成形技術の開発である。冷間リングローリング工法は、中空シャフト形状への適用事例が無く、本研究開発では、先行技術としてD C T中空シャフトのような複雑形状に対応するための冷間リングローリング成形技術を開発し、複合塑性加工技術の高度化を図る。

(4) 技術的目標

上記高度化目標に対応した技術的目標として、表 1-1-1 に本研究開発の最終目標値を示す。

表 1-1-1 本研究開発の最終目標値

1. 熱間中空鍛造技術の開発		
サブテーマ	指標	技術的目標値
①離型剤の開発及び評価	中空鍛造品の L/D 比	12.7
②孔内径における同軸度の高精度化	中空鍛造品の同軸度	0.5mm 以下
2. 冷間リングローリングによる複合成形技術の開発		
①成形工法の開発	簡易形状試作品の真円度	0.1mm 以下
②成形トライアル及び製品精度評価	DCT 中空シャフトの真円度	0.1mm 以下

1－2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

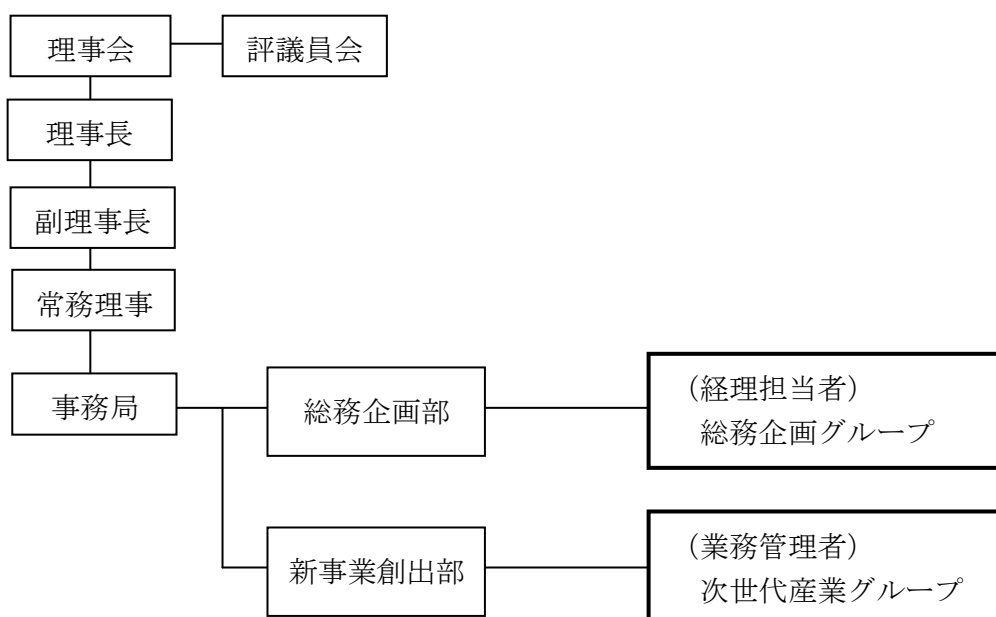
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

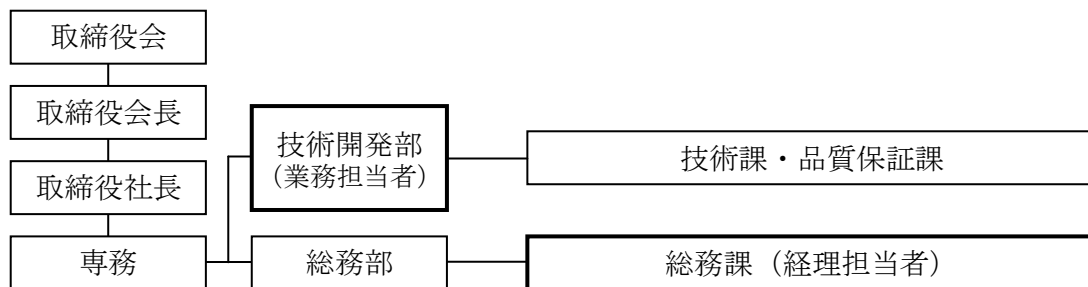
① 事業管理機関

[公益財団法人鳥取県産業振興機構]

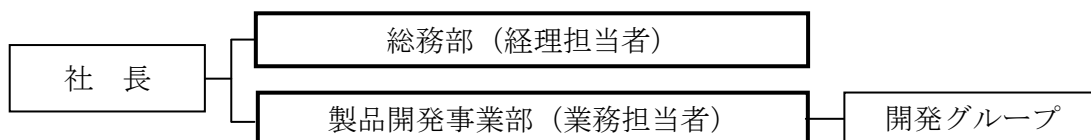


②（再委託先）

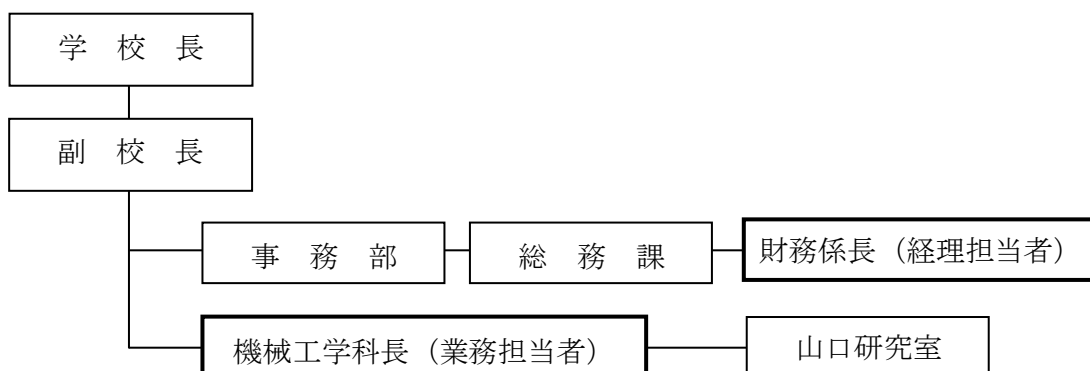
株式会社明治製作所



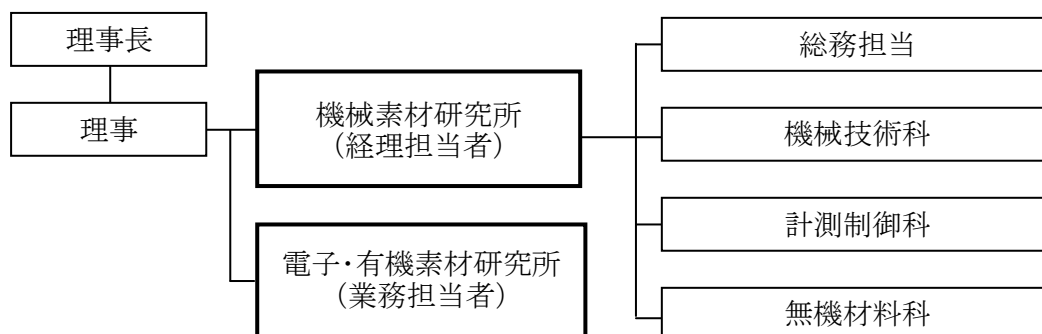
豊国石油株式会社



独立行政法人国立高等専門学校機構米子工業高等専門学校



地方独立行政法人鳥取県産業技術センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人鳥取県産業振興機構
管理員

氏 名	所属・役職
平井 圭介	新事業創出部長
中村 智之	新事業創出部次世代産業G 主事
田中 幸一朗	総務企画部総務企画G 副グループ長
小坪 一之	新事業創出部次世代産業G コーディネーター
山本 美穂	新事業創出部次世代産業G 事務員

【再委託先】 ※研究員のみ

1) 株式会社明治製作所

氏 名	所属・役職
羽鳥 吉彦	取締役 技術開発部 部長
細川 裕文	技術開発部 技術課 課長代行
吉水 泰彦	技術開発部 技術課 課員
日野 浩和	技術開発部 技術課 課員
米原 慎悟	技術開発部 技術課 課員
谷口 恭平	技術開発部 生産技術課 課員
吉田 昌弘	技術開発部 品質保証課 課員
井本 貴之	技術開発部 品質保証課 課員

2) 豊国石油株式会社

氏 名	所属・役職
大西 潔	製品開発事業部 部長
中野 浩司	製品開発事業部 開発G グループリーダー
西越 善隆	製品開発事業部 開発G 研究員

3) 独立行政法人国立高等専門学校機構米子工業高等専門学校

氏 名	所属・役職
山口 頤司	機械工学科 教授

4) 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

氏 名	所属・役職
草野 浩幸	電子・有機素材研究所 副所長
鈴木 好明	機械素材研究所 副所長
加藤 明	機械技術科 科長
木村 勝典	計測技術科 科長
玉井 博康	無機材料科 科長
佐藤 崇弘	機械技術科 主任研究員
野嶋 賢吾	機械技術科 主任研究員

1－3 成果概要

1. 熱間中空鍛造技術の開発

① 離型剤の開発及び評価

L/D比*12.7の熱間中空鍛造に対応するため、CAEを活用した金型設計と新たな離型剤の開発、そして離型剤の開発効率向上のため新たな性能評価手法の開発を行った。

※ L/D比：鍛造品の全長（L）と孔の内径（D）の比。大きいほど鍛造難易度が高いことを表す。

離型剤の性能評価手法の開発では、鍛造金型とワークを模したテストピースを組込んだ往復摺動試験機を開発した。これにより、離型剤の性能をエンドユーザーレベルで簡便に評価することが可能となった。

離型剤開発では金型への付着性及び皮膜の耐久性向上を目指して試作を行い、性能評価の際は上記の試験機を用いて熱間中空鍛造に有効な離型剤のスクリーニングを行った。

以上の取組みを経て開発した新たな離型剤を使用することによって、L/D比12.7の熱間中空鍛造品を量産することが可能となった。

② 孔内径同軸度の高精度化

L/D比12.7の熱間中空鍛造品の精度、特に孔内径の同軸度を高精度化するため、上記で設計、開発した鍛造金型と本事業で導入した高精度切断機を用いて鍛造試作を行った。鍛造材料の切断精度向上により孔内径の同軸度を0.5mm以下にすることが可能となった。

2. 冷間リングローリングによる複合成形技術の開発

① 冷間リングローリング成形工法の開発

熱間中空鍛造と冷間リングローリング成形を複合化するため、CAEと実験両面からのアプローチにより成形工法の開発を行った。

CAEではDC T中空シャフト成形に対応した金型の構造や形状を、実験では成形条件の検証により本工法の良品条件を明らかにした。

以上により、熱間中空鍛造と冷間リングローリング成形の複合成形工法を確立した。

② 冷間リングローリング成形トライアル及び製品精度評価

DC T中空シャフトの試作品を開発するため、上記の成形工法を適用して試作開発を行った。試作の結果、機械加工レスを狙う部位について真円度0.1mm以下を達成し、概ね目標としていた形状の試作品を開発することができた。

以上の取組みにより、当初計画していた熱間中空鍛造と冷間リングローリング成形の複合成形技術を構築することができた。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関法人名：公益財団法人鳥取県産業振興機構
代表者役職・氏名：代表理事理事長 中山 孝一
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：小坪・中村（新事業創出部）
電話：0857-52-6704 Fax：0857-52-6673
E-mail:kkotsubo@toriton.or.jp、 tnakamura@toriton.or.jp

第2章 本論

2-1 熱間中空鍛造技術の開発

2-1-1 離型剤の開発及び評価

DCT中空シャフトのような L/D 比の大きい製品の熱間中空鍛造においては、鍛造時に材料が金型に付着するなど離型性が悪いことや材料の流動性不足により規格寸法に成形できないなどの問題がある。これら離型性や材料の流動性には離型剤の性能が強く影響している。そこで、長尺中空鍛造に対応した新たな離型剤を開発するため、以下の項目について取組みを進めた。

CAE活用による金型設計

鍛造シミュレーションソフトを活用して L/D 比 12.7 の鍛造金型の設計検討を行った。その検討結果を反映させて金型を製作し、設計の妥当性を確認するため鍛造試作を行った。図2-1-1に鍛造試作品のカットサンプルを示す。開発当初の試作で離型剤の潤滑性や離型性が不足していたため、軸端の欠肉や鍛造時に材料が金型に付着などの問題があったものの、概ね目標どおりの形状に鍛造することが可能であり設計製作した鍛造金型には問題がないことを確認できた。

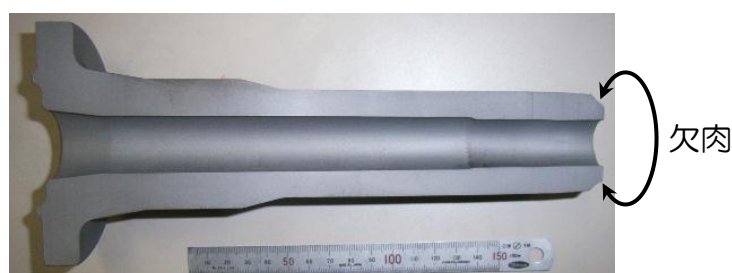


図2-1-1 鍛造試作品

離型剤評価手法の開発

離型剤メーカー等による離型剤の評価は、リング圧縮試験やスパイクテストなどによって行うことが一般的である。しかし、本事業で対象とする L/D 比の大きい高負荷鍛造においては、リング圧縮試験による摩擦係数の評価と実機鍛造による評価とが必ずしも一致しないことが多かった。また、リング圧縮試験やスパイクテスト、もしくは実機鍛造による評価は、その実施にも時間がかかるため簡単に行うことができない。

そこで本事業では、実機鍛造による評価の前に試作離型剤を効率よくスクリーニングするため、新たな性能評価手法として鍛造金型とワークを模したテストピースを組込んだ往復摺動試験法を開発した。図2-1-2に離型剤吹付けのイメージ図、図2-1-3に往復摺動試験機の外観、図2-1-4にテストセクション部詳細を示す。

離型剤を定着させた摺動試験片（鍛造金型に相当）はテストセクション下部に固定される。摺動面に配置されたワッシャ（鍛造ワークに相当）は、上部から半球状を持つロッドによって押さえ込まれるようになっている。ワッシャを押さえるロッドはリニアガイドに固定されており、摺動方向に自由に運動することができる。ワッシャと摺動面の間の面圧は油圧ジャッキを用いて垂直荷重を作用させることによって調整する。摺動運動はエアシリンダを用いた。ワッシャ押付ロッドが固定されたリニアガイド部分をエアシリンダでストロークさせることによって摺動させる構造となっている。

図 2-1-5 に試験後の皮膜状態を示す。離型剤の性能によって皮膜の状態が異なり、皮膜の剥離がなく表面が平滑である離型剤ほど性能が優れている、と判断できる手法である。

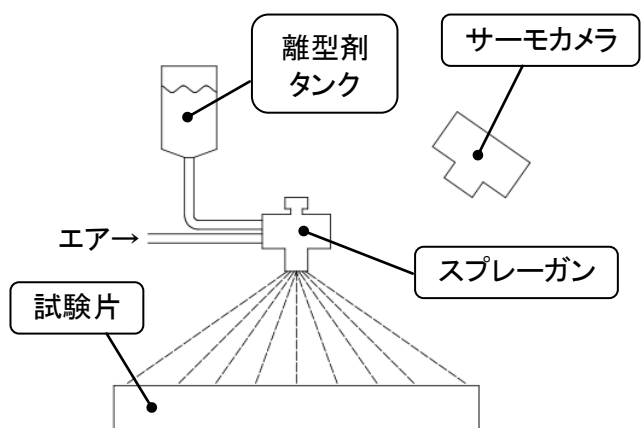


図 2-1-2 離型剤吹付けのイメージ図

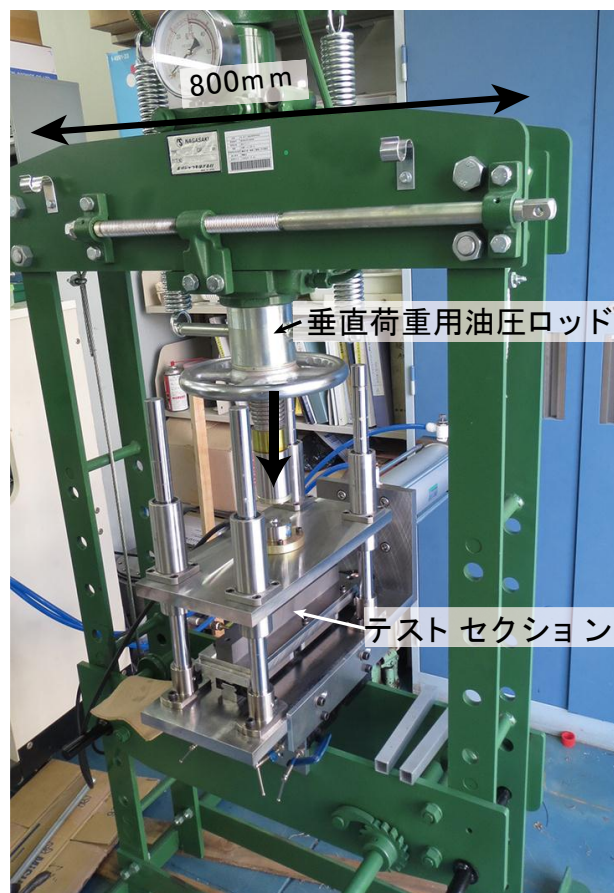


図 2-1-3 往復摺動試験機外観

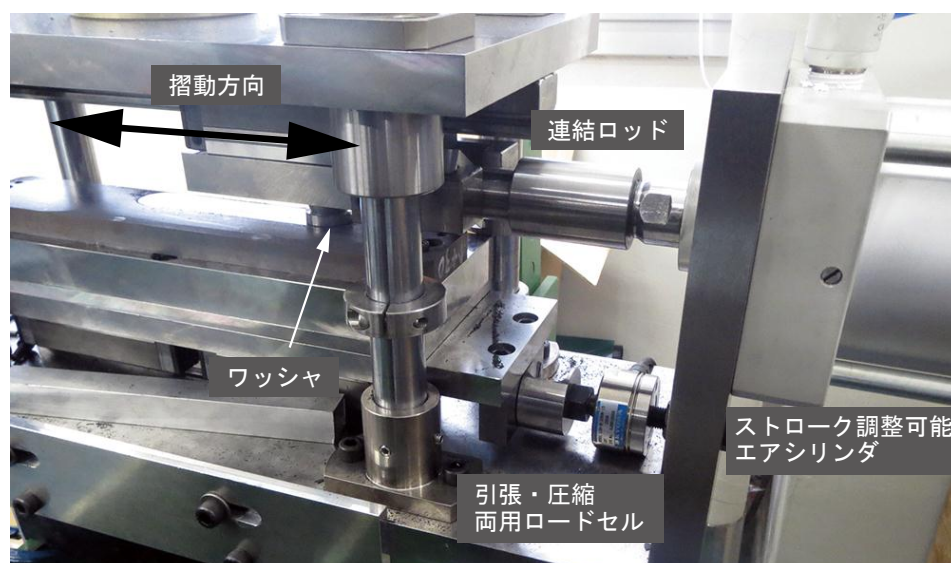


図 2-1-4 テストセクション部詳細

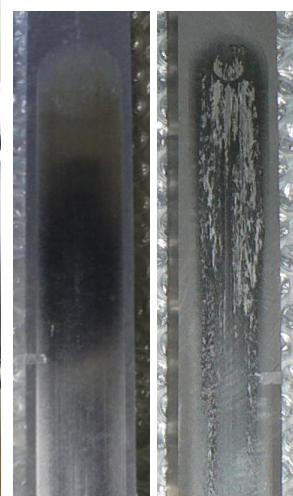


図 2-1-5 試験後の皮膜状態

離型剤製作

安全性に配慮しながら長尺中空鍛造に対応するため、新たな水溶性黒鉛離型剤の開発を行った。図 2-1-6 に水溶性黒鉛離型剤の内訳を示す。水が主成分であるため油性離型剤のように発火する危険性はないが、長尺中空鍛造に対応するためには潤滑性の維持、向上が重要となる。本事業では、鍛造金型への付着性及び皮膜の耐久性向上のため、黒鉛と添加剤の種類、量を様々に変えて開発を行った。

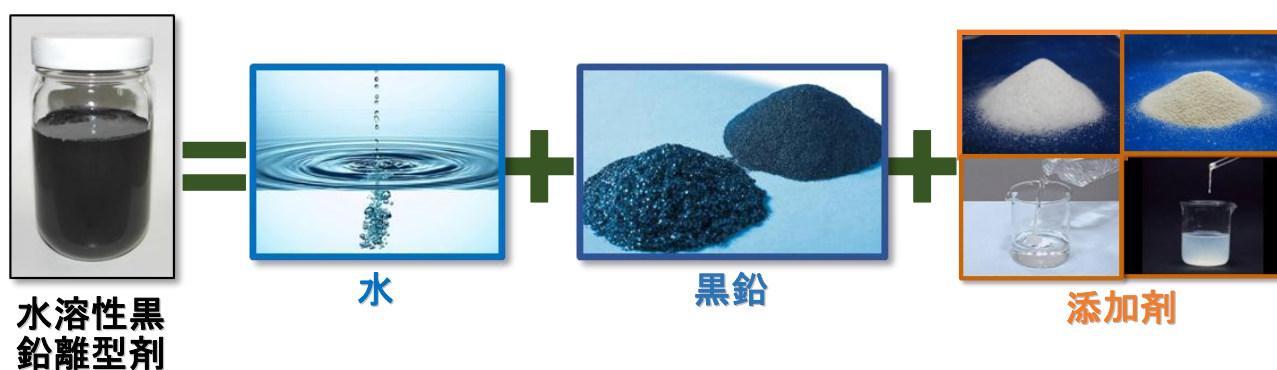


図 2-1-6 水溶性黒鉛離型剤の内訳

離型剤のラボ評価

試作した離型剤のうち長尺中空鍛造に有効な離型剤をスクリーニングするため、本事業で開発した往復摺動試験機を用いて評価を行った。図 2-1-7 に評価結果を示す。離型剤皮膜の外観を比較すると、開発後には開発前に見られた皮膜表面の傷がほとんどなくなっている。皮膜表面の粗さで見ても、開発後は開発前に比べて平滑であることがわかる。

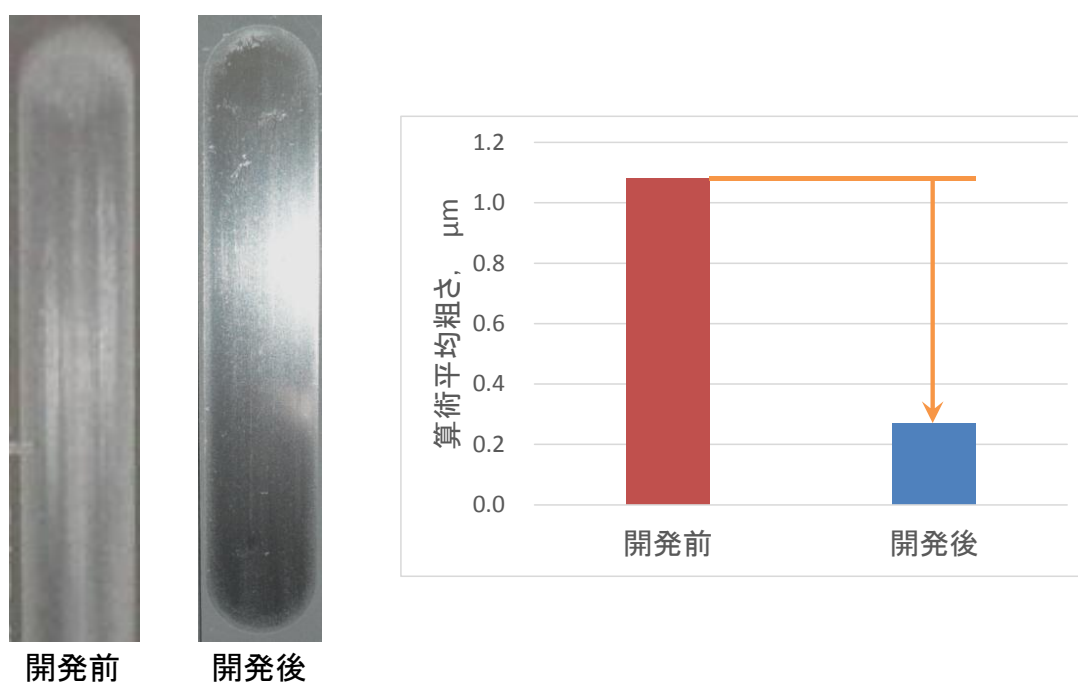


図 2-1-7 ラボ評価の結果

離型剤の実機評価

試作した離型剤のうち長尺中空鍛造に対応した離型剤を見極めるため、実機で鍛造し評価を行った。図2-1-8に評価結果を示す。カットサンプルを比較すると、開発後には開発前に見られた軸端の欠肉がなくなっている。作業状況を比較すると、開発後には開発前に見られた金型へのワークの付着がなくなっている。

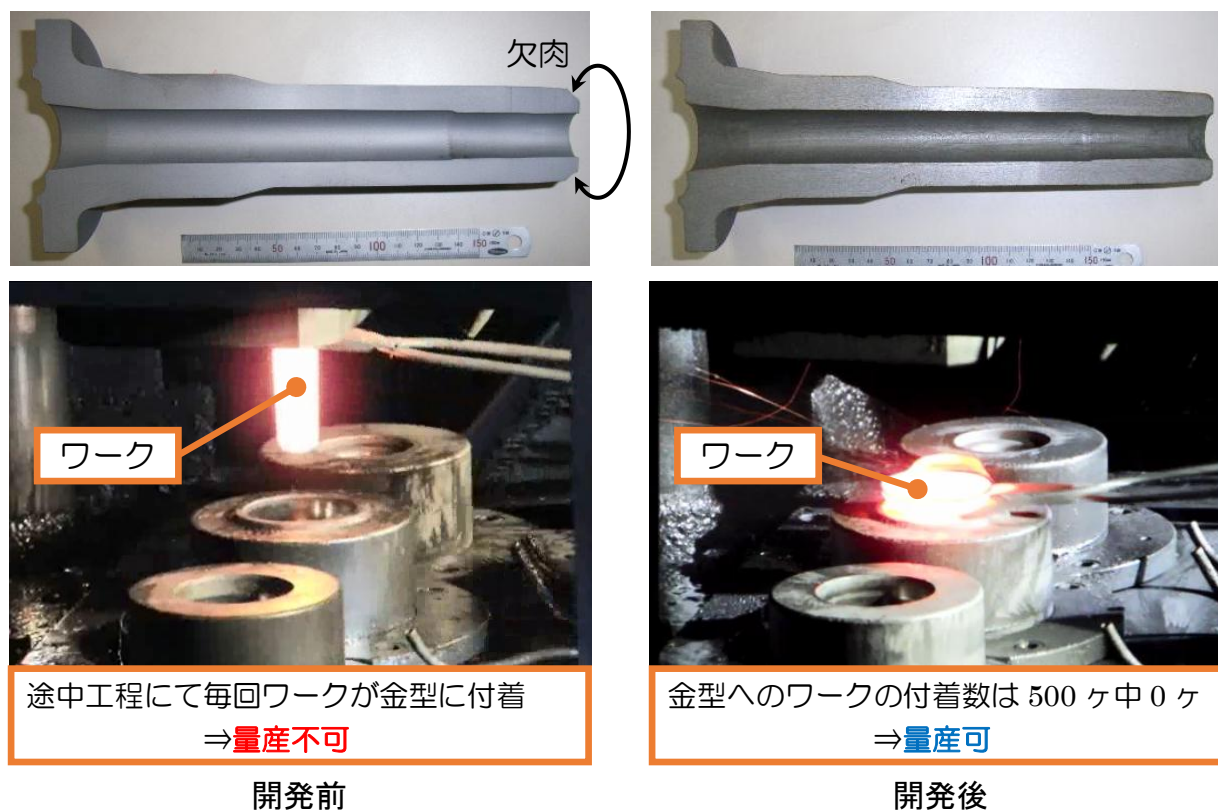


図2-1-8 実機評価の結果

以上より、本事業で新たに開発した離型剤を使用することによって、 L/D 比 12.7 の熱間中空鍛造品を量産することが可能となった。

2-1-2 孔内径における同軸度の高精度化

DCT中空シャフトのようなL/D比の大きい製品の熱間中空鍛造においては、孔部に挿入する金型の変形により鍛造品の孔内径における同軸度が悪化しやすい。孔内径の同軸精度が悪いと後工程の冷間リングローリング成形で精度良く成形することができないなどの問題がある。鍛造品の孔内径における同軸度には鍛造材料の切断精度が強く影響している。そこで、長尺中空鍛造品の孔内径における同軸度を高精度化するため、以下の項目について取組みを進めた。

同軸度高精度化手法の把握

鍛造品の孔内径における同軸度の高精度化手法を把握するため、鍛造試作を行い各工程のワーク成形精度を調査した。図2-1-9に調査結果を示す。熱間中空鍛造品の成形工程は、荒地（B）→仕上（F）→トリミング（T）である。結果から、荒地での同軸度低減が重要であることがわかる。図2-1-10に荒地での同軸度の比較を示す。（ ）内には鍛造材料の傾きを記載している。直角に切断された鍛造材料を用いることによって、荒地の同軸度が向上することを確認できた。

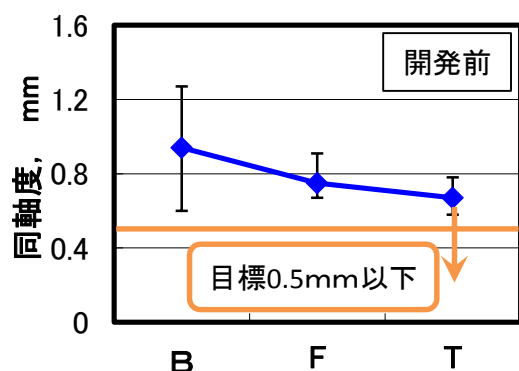


図2-1-9 各工程における同軸度

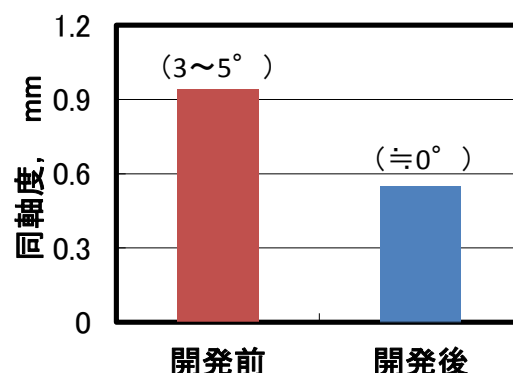


図2-1-10 1B同軸度の比較

製品精度評価

上記で把握した同軸度の高精度化手法を適用して鍛造試作を行い、製品精度を評価した。図2-1-11に評価結果を示す。結果から、同軸度の目標値 0.5mm以下を達成したことを確認できた。

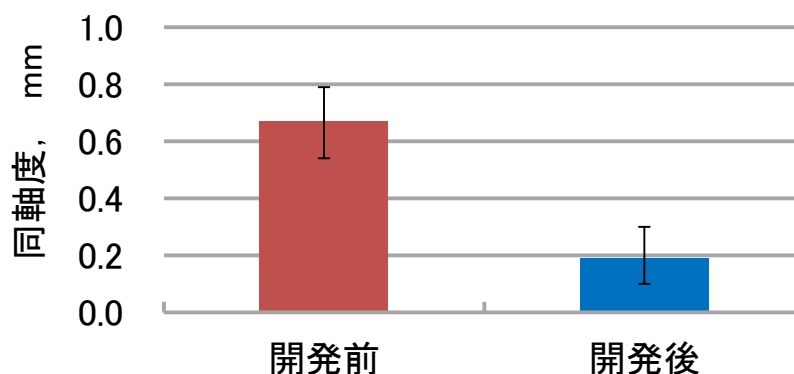


図2-1-11 試作結果

2-2 冷間リングローリングによる複合成形技術の開発

2-2-1 冷間リングローリング成形工法の開発

冷間リングローリング成形は、DCT中空シャフトの加工代を極限まで削減するために行う。この工法は、従来からベアリングのようなリング状製品に用いられてきたが、今回のような中空シャフト形状への適用事例がないため、本事業にて独自の成形工法を開発する必要があった。そのため、以下の項目について取組みを進めた。

簡易形状での成形テスト

冷間リングローリング成形による中空シャフトの成形工法を実験的に確立するため、図2-2-1に示すような簡易形状で試作を行った。その結果、次頁に示す知見が得られた。

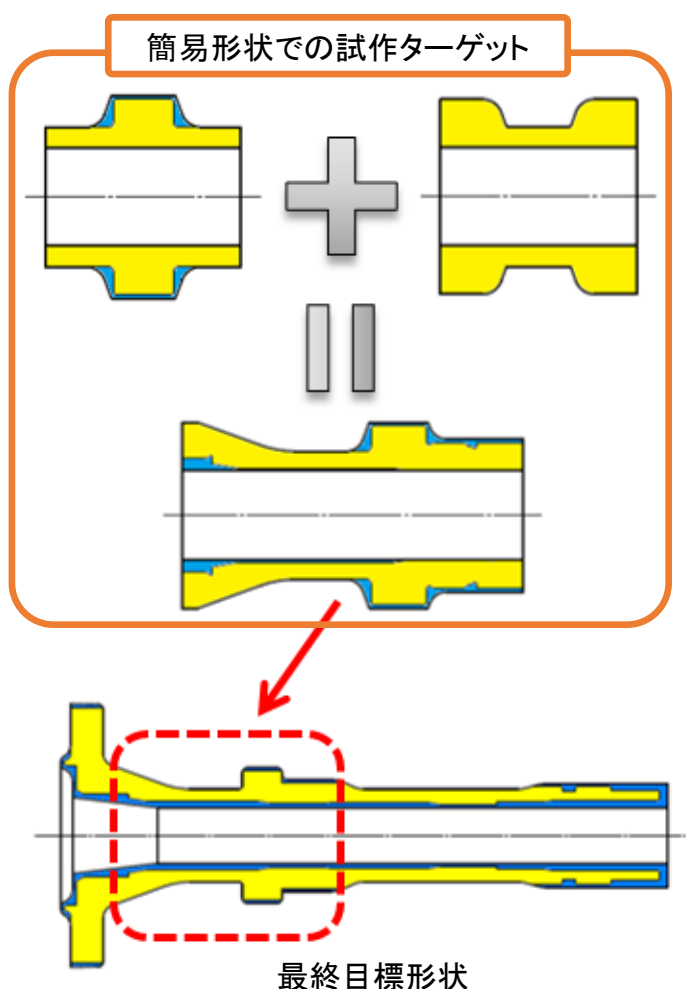


図2-2-1 試作ターゲット概略図

- ① 材料の巻き込み対策のため、製品の突起部に該当する箇所の金型形状にはテーパを付与する必要がある。(図2-2-2参照)

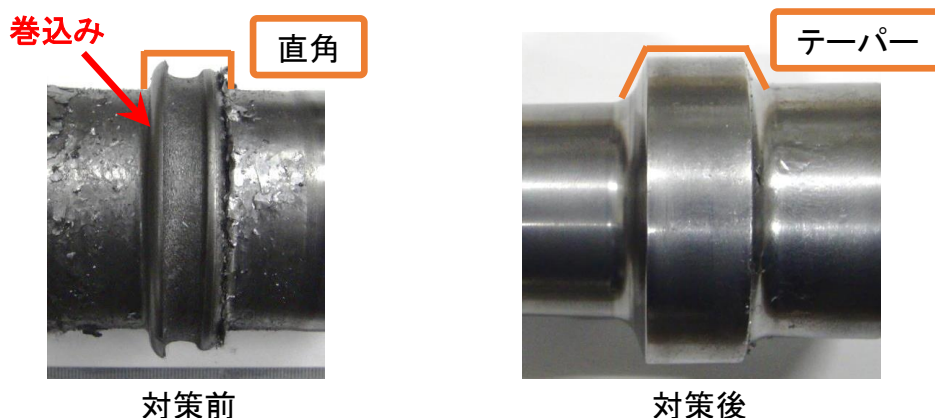


図2-2-2 材料の巻き込み対策結果

- ② 製品表面の肌荒れ対策のため、製品の凹部に該当する箇所の金型形状はR5以上にする必要がある。(図2-2-3参照)

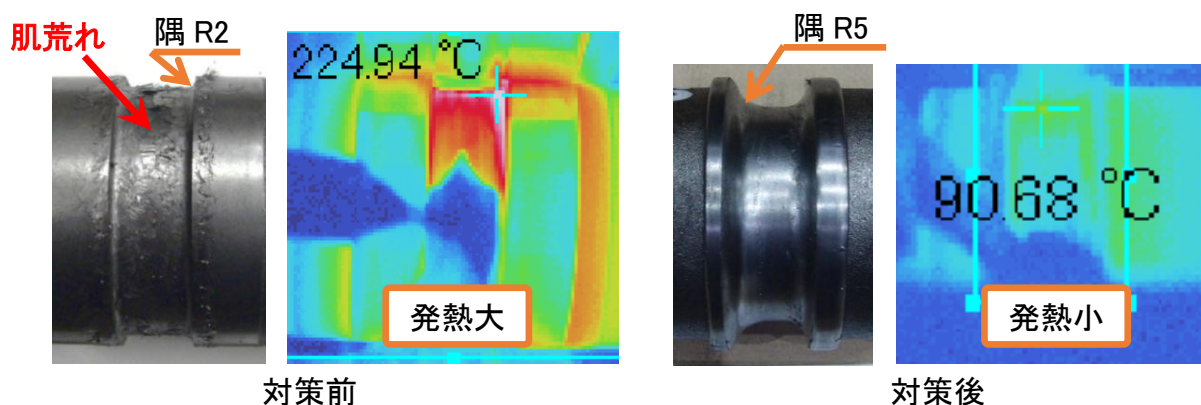


図2-2-3 肌荒れ対策結果

- ③ ワークの割れ対策のため、成形前の素材硬度は焼鈍等により軟化する必要がある。(図2-2-4参照)

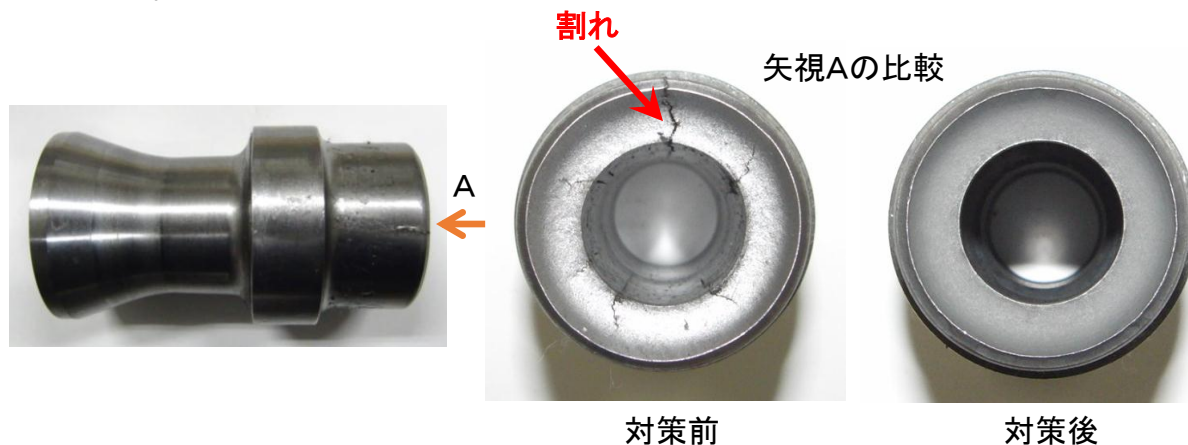


図2-2-4 割れ対策結果

C A Eによる成形工程と加工条件の検討

冷間リングローリングによるD C T中空シャフト成形の成立性検証のため、シミュレーションを行った。その結果、初期設計金型では成形途中にワークの回転がストップし、成形が成立しないことがわかった。(図2-2-5 / 6 参照) その対策として、図2-2-7に示すような分割金型による成形法を考案した。

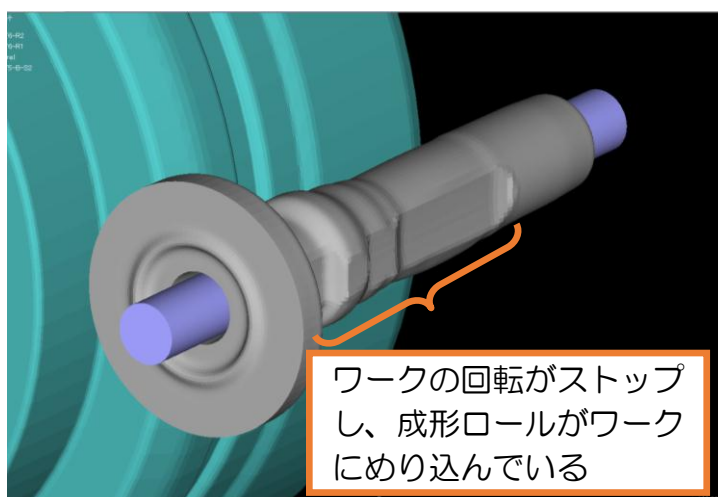


図2-2-5 ワーク回転ストップ時の状況

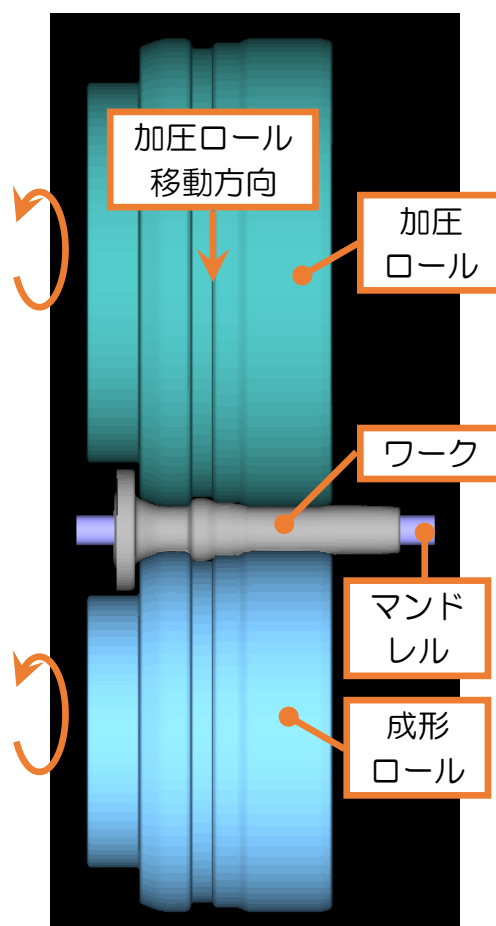
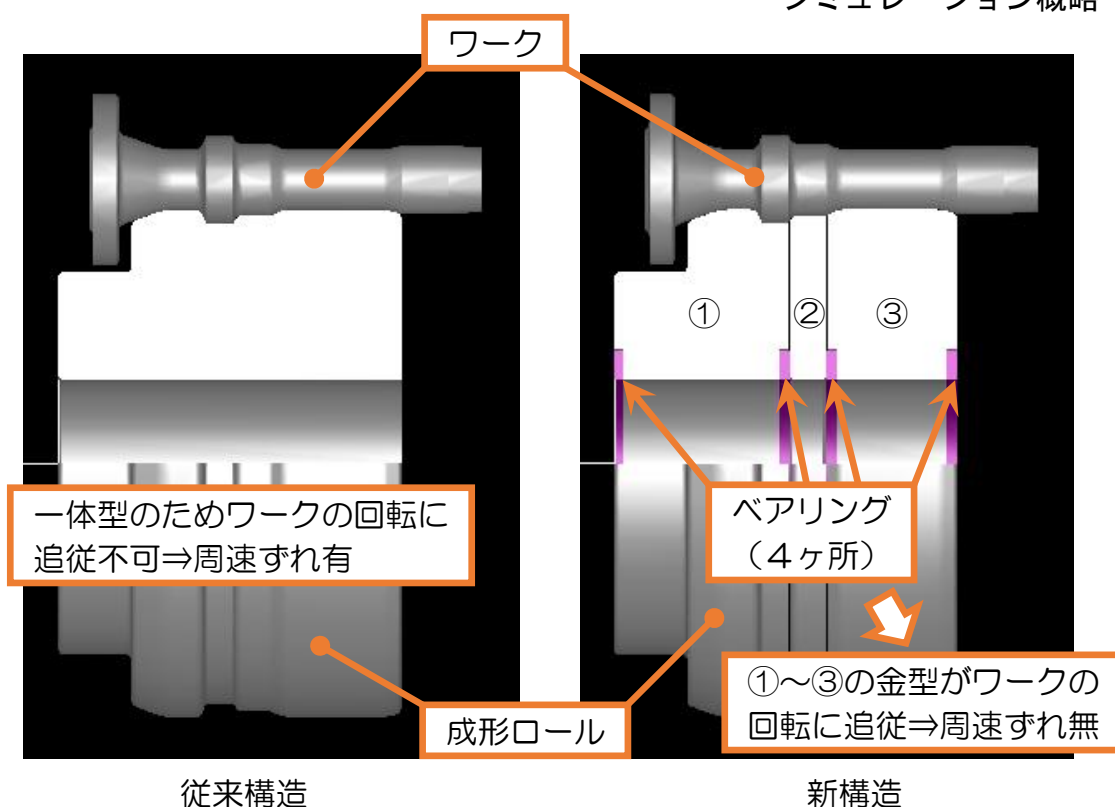


図2-2-6
シミュレーション概略



本図では加圧ロールを省略し、成形ロールの上半分を断面表示している。

図2-2-7 金型構造の比較

2-2-2 冷間リングローリング成形トライアル及び製品精度評価

2-2-1 項にて中空シャフトの成形工法を開発した。本項では、その成形工法をDCT中空シャフトに適用して試作品の開発と評価を行った。

DCT中空シャフトの試作品開発及び製品精度評価

2-2-1 項にて開発した中空シャフトの複合成形工法をDCT中空シャフトに適用し、試作品の開発、評価を行った。図2-2-8に試作用の金型を示す。写真ではわからないが、成形ロール、加圧ロールともワークの長手方向に3分割されており、内部にはベアリングが組込まれている。上のノズルからは加工液が供給される。

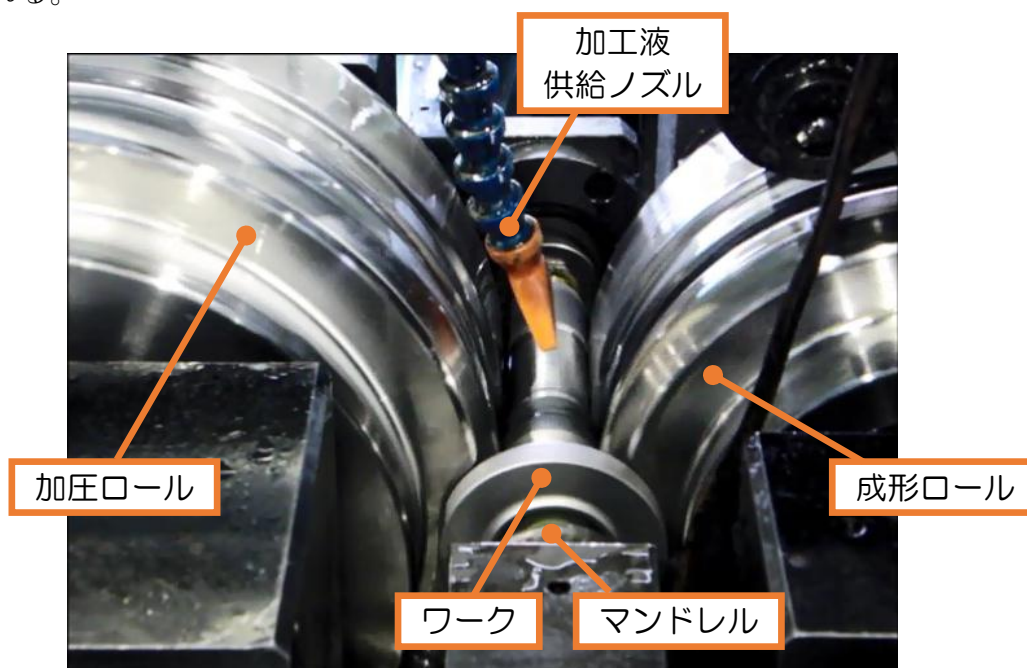


図2-2-8 DCT中空シャフト用金型

図2-2-9に試作したDCT中空シャフトのカットサンプルを示す。孔内径の変形などの問題は残るものの、加工レスを狙っているA部における真円度は目標値0.1mm以下を達成し、概ね目標形状の試作品を開発することができた。

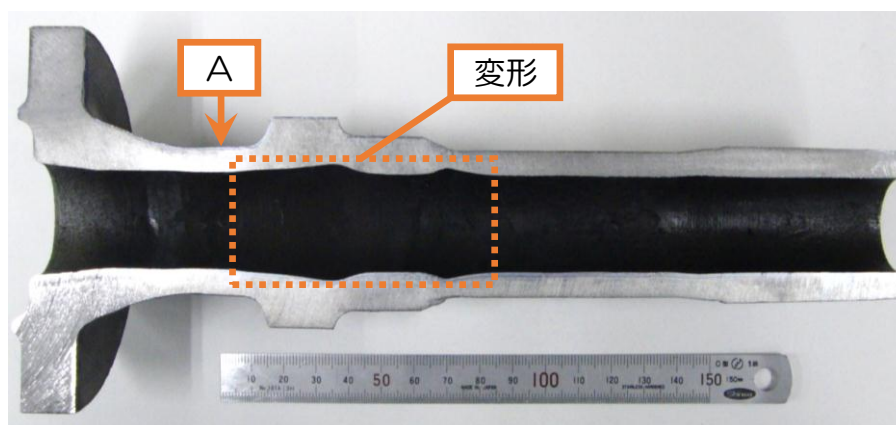


図2-2-9 DCT中空シャフト試作品の断面

冷間リングローリング品の材料学的特性評価

試作したDCCT中空シャフトの材料特性を評価するため、従来の熱間鍛造品との強度を比較した。強度試験の対象部位は図2-2-9のA部付近であり、寸法に制約があるため、試験片のサイズはJIS規格に準拠していない。図2-2-10～15に試験結果を示す。グラフでは、比較のため冷間リングローリング成形前の焼鈍素材の結果も記載している。結果から、引張強度、耐力、曲げ強度の向上が確認できた。しかし、試験片の制約がある中での比較結果であり、今後も調査の継続が必要と考えられる。

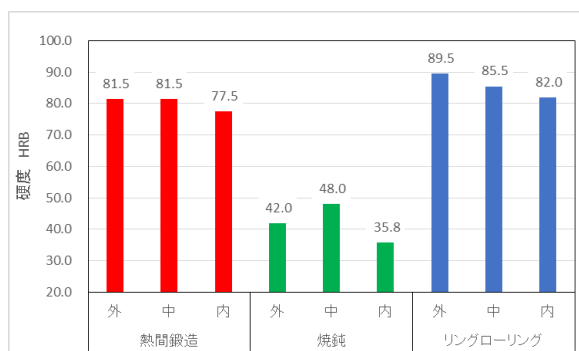


図2-2-10 硬度測定結果

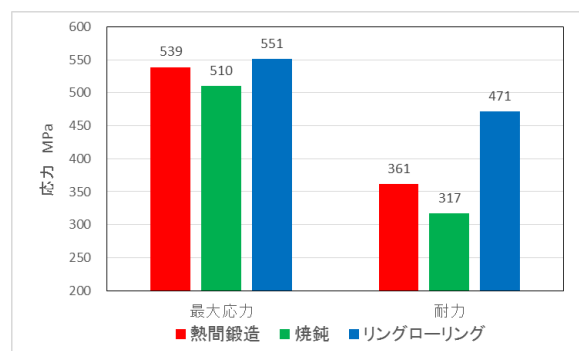


図2-2-11 引張試験結果

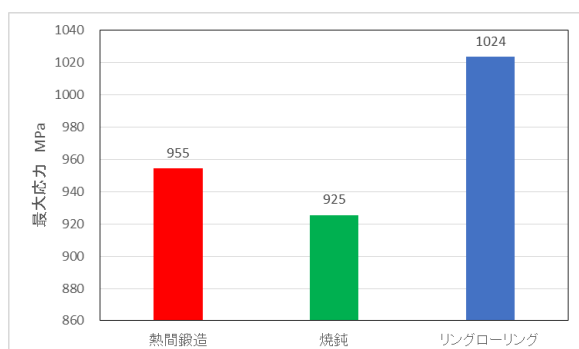


図2-2-12 曲げ試験結果

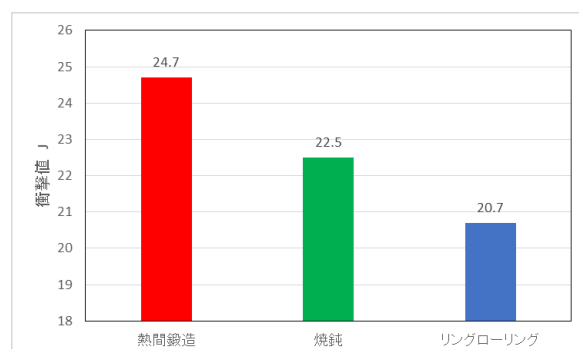


図2-2-13 衝撃試験結果

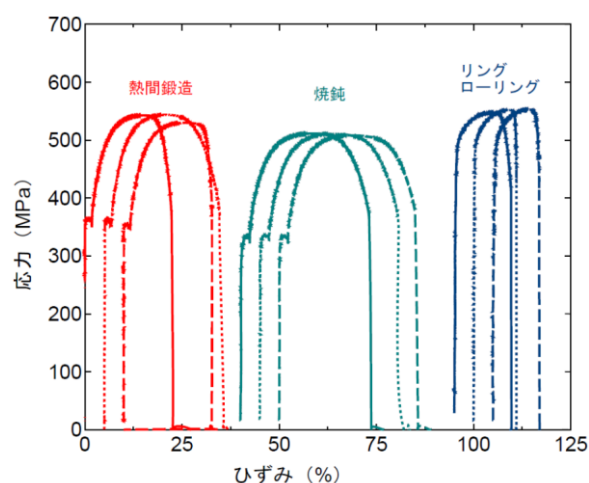


図2-2-14 引張(応力ひずみ)

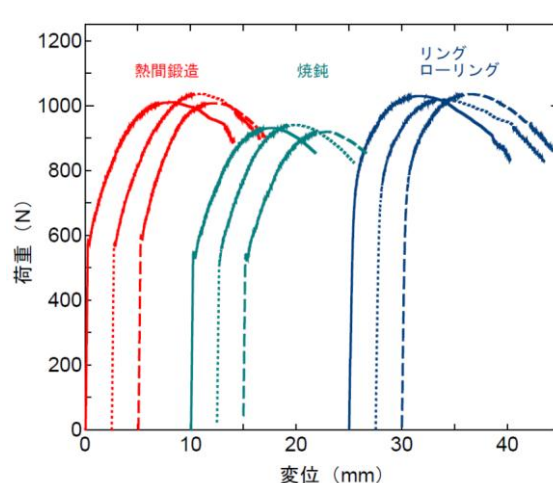


図2-2-15 曲げ(荷重—変位)

第3章 全体総括

熱間中空鍛造技術の開発

L/D比 12.7 の熱間中空鍛造技術を確立することができた。また、中空鍛造品の孔の同軸精度向上により機械加工代の削減が図れるようになり、さらに競争力の高いものづくりが可能となった。

冷間リングローリングによる複合成形技術の開発

熱間中空鍛造と冷間リングローリング成形の複合成形技術を構築することができた。これにより、DCT中空シャフトの機械加工代を大幅に削減することが可能となった。また、複合成形試作品の強度は従来品に比べ部分的に高強度となることも確認できた。

研究開発当初に設定した目標値を達成することはできたが、研究開発を進めていく中で新たな課題も明らかとなった。以下にその課題を示す。

① DCT中空シャフト全体の強度検証

本事業での強度評価は、最も塑性変形が大きく複合成形による影響の出やすい部位に絞って試験を実施した。今後は、DCT中空シャフトの様々な位置での試験片を抽出するなどして、シャフト全体としての強度特性の評価が課題である。

② 川下産業での開発動向変化への対応

国内においては研究開発当初と状況が異なり、HVユニット、多段AT、高効率CVTの市場が伸びており、川下産業でのDCTの開発が不透明となっている。本事業で開発した複合成形技術は他のアイテムにも応用が可能であるため、今後、DCTだけでなく新たなターゲットの調査、検討を進め、事業化を目指していく。