令和６年度

成長型中小企業等研究開発支援事業

「補助事業の名称：ＥＶモーターの高トルク化に対応した駆動動力伝達機構（フェイススプライン）の高精度・高効率生産技術開発」

研究開発成果等報告書

令和７年３月

担当局　中部経済産業局

補助事業者　公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

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　・・・・・・・・・・・・　３

１－２　研究体制　・・・・・・・・・・・・　５

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

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

（１）　揺動中心位置の固定化　・・・・・・・・・・・・　７

１－１　揺動測定方法の確立　・・・・・・・・・・・・　９

１－２　ワーク側中心の固定化　・・・・・・・・・・・・　13

（２）　推力発生装置の制御機構開発　・・・・・・・・・・・・　14

２－１　推力発生装置の油圧→サーボモーター＋ボールネジ化　・・・・・・・　14

（３）　ＨＵＢベアリング及び等速ジョイントの

フェイススプライン成形前形状の最適化　・・・・・・・・・・・・　15

（４）　事業化への取り組み　・・・・・・・・・・・・　18

最終章　全体総括

（１）　複数年の研究開発成果　・・・・・・・・・・・・　19

（２）　研究開発後の課題・事業化展開　・・・・・・・・・・・・　19

第１章　研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的

（１）背景

自動車のＨＵＢベアリング（駆動側）については、等速ジョイントとの締結として自動車用スプラインによる締結が主流となっている。この締結をフェイススプラインで締結する、伝達トルクが高い事、スプライン軸が不要となり、自動車の軽量化に大きく貢献するとの利点があり、欧州の自動車メーカーで採用されている。

日本国内では、車両組み立ての作業が従来のラインでは実施しにくい事、また、フェイススプライン成形の為の金型が複雑である事、更に成形そのものが難しい事、加えて専用金型の耐久性が著しく低いこと等が国内自動車メーカーでの採用のハードルになっている。

しかし、自動車のＥＶ化進展に伴って、ＨＵＢベアリング、等速ジョイントの締結に於いては次に示す主流のスプライン締結の問題点から、フェイススプライン締結が有利であると再評価がされ始めている。

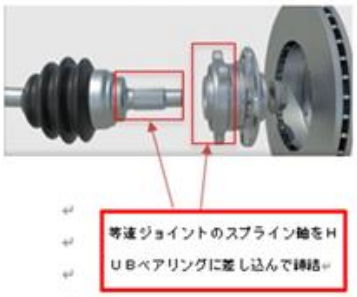


図 1.現在主流のスプライン締結

図 2.フェイススプライン締結

スプライン締結の問題点

○　従来のエンジン駆動に対しＥＶの場合、始動時のスタートトルクが高くなるため、結果的にスプライン軸の径を大きくせざるを得ない。

○　スプラインの元々の隙間及び摩耗後の隙間によって、ＨＵＢベアリングと等速ジョイントに芯ずれが発生する。

○　従来のスプライン締結では穴とスプライン軸には若干の隙間があり、これによって駆動時に異音が発生し、エンジンでは気にならなかったものがＥＶ化となった場合に顕著になるという事象が発生する。

こうした問題がフェイススプライン締結により、解決できる事から、欧州、中国、韓国では検討が進んでいるが、自動車組立ラインが内燃機関のプラットフォームを転用する日本メーカーは、ＥＶ専用のプラットフォームに大胆に切り替えを進める欧州、中国、韓国メーカーに大きく後れを取っている。

フェイススプラインによるHUBベアリングと等速ジョイントの締結

フェイススプライン成形を施したＨＵＢベアリング

図 3.フェイススプラインの事例

（２）目的

不二商事㈱では以前より、自動車用ＨＵＢベアリング（第３世代）のベアリングを固定する為のロッキングプレス機（揺動カシメ機）を製造、販売し、顧客の要望により、揺動カシメ機の技術からフェイススプラインＨＵＢカシメ機を製造した実績がある。

不二商事㈱では、このフェイススプラインの課題に着目し、ＨＵＢベアリングの揺動カシメ技術を応用したフェイススプライン成形技術（揺動鍛造装置開発）を発案して顧客へ提案したところ、早期実現を強く要望され、開発を加速することとした。

本事業では、不二商事㈱が保有の独自技術を発展させ、フェイススプライン自動車用ＨＵＢベアリング及び等速ジョイントのフェイススプライン成形を高精度で成形し、加えてフェイススプラインの課題である専用金型の耐久性向上にも貢献する揺動鍛造技術を開発して、自動車の軽量化及び高効率化と日本のＥＶ競争力強化にも寄与する事を目的とするものである。

＜課題と数値目標＞

（１）揺動中心位置の固定化：揺動測定方法の確立

不二商事㈱のＨＵＢ揺動カシメ機は上型部分を回転させる軌道として球面軸受けを内製、採用している。この揺動中心については、中心位置の測定が困難であり、更に負荷が掛った場合（動的精度）は測定が出来ず、成形後の製品で判断せざるを得ない。フェイススプライン成形の場合より高精度の揺動中心位置が求められる。

揺動中心位置を 0.03ｍｍ以内に固定するための測定方法の確立

（２）揺動中心位置の固定化：ワーク側中心の固定化

上型の揺動中心位置が確定しても、揺動回転中にワークが動いてしまい、結果的にワークの成形中心が芯ずれしてしまう事があり、揺動回転中にワークを固定しなければならない。新技術では、回転位置での固定化を実現する。

ワーク側中心を負荷時に 0.03㎜ 以内に固定、成形後のワークを外輪に対してφ0.06㎜ 以内に成形

（３）推力発生装置の制御機構開発

従来装置は、油圧シリンダーにより推力を発生させている、製品の高さ方向の位置決めが圧力との関係から高精度には調整出来ないという問題があった。フェイススプライン成形を行うにあたって、高さ方向の高精度な位置決めも不可欠な要素である。

推力発生装置を油圧からサーボモーターとボールネジ化する。

位置決め精度を 0.01㎜ 以下にする。

（４）ＨＵＢベアリング及び等速ジョイントのフェイススプライン成形前形状の最適化

フェイススプラインについては、その提案が比較的新しい事もあって、データが乏しい状況である。型の情報も少なく手探りの状況であり、本計画を進める事により、適正な素材及び素材形状を導き出す必要がある。

成形荷重∓ 10%を目指す

図 4.従来型HUB揺動カシメ機

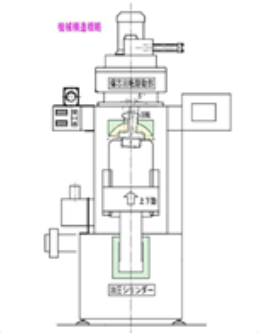


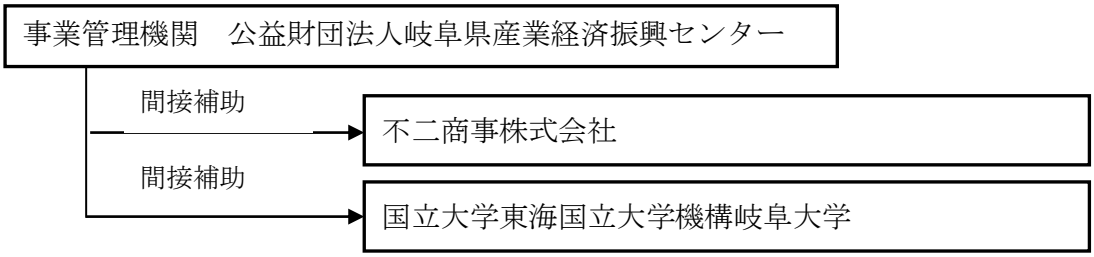
図 5.機械構造概略

図 6.カシメ製品(HUBベアリング)

１－２　研究体制

（研究組織・管理体制、研究者指名、協力者）

（１）履行体制図



（２）管理員及び研究員及び補助員

【補助事業者】　公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

管理員

氏　名	所属・役職	実施内容 （研究項目番号）
稲葉　昭夫	技術振興部長	【４】
小川　誠	技術振興部　開発支援課課長	【４】
小椋　功平	技術振興部　開発支援課主査	【４】
戸松　薫	技術振興部　開発支援課主査	【４】
嶋崎　満	技術振興部　開発支援課管理員	【４】
杉山　芳久	同	【４】
錦見　敏朗	同	【４】
熊崎　登	同	【４】
小関　哲	同	【４】
小泉　光彦	同	【４】
深尾　勝	同	【４】
三宅　雅美	同	【４】
村瀬　英昭	同	【４】
藪　雅彦	同	【４】
渥美　徹	同	【４】
桐山　敏通	同	【４】
杉本　忠	同	【４】
杉山　政敏	同	【４】
野村　雅則	同	【４】

【間接補助事業者】

研究員　不二商事株式会社

氏　名	所属・役職	実施内容 （研究項目番号）
髙木　宏茂	代表取締役社長	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
菊池　康	研究員　PL	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
尾関　靖紀	工場長	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
樋口　裕一	研究員	【１-1】【１-2】【２-1】【３】

橋本　健司	同	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
永尾　律	同	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
諸戸　尚哉	同	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
村川　文仁	同	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
清水　康一	同	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
小島　真一	同	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
吉田　翔	同	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
和田　豊	同	【１-1】【１-2】【２-1】【３】
伊藤　力也	同	【１-1】【１-2】【２-1】【３】

研究員　国立大学法人東海国立大学機構　岐阜大学

氏　名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
吉田　佳典	工学部機械工学科機械コース　教授	【１-1】【３】
三好　将生	岐阜大学大学院自然科学技術研究科物質・ものづくり工学専攻２年	【１-1】【３】
角谷　純基	岐阜大学大学院自然科学技術研究科物質・ものづくり工学専攻２年	【１-1】【３】

１－３　成果概要

（１）揺動測定方法の確立

装置本体(300KN)を製作し、揺動中心位置を基準に対して 0.03ｍｍ以内に固定、揺動回転中の揺動中心位置の振れを 0.018ｍｍ以下に納め、フェイススプラインを冷間鍛造可能な装置が完成した。

また、油圧アクチュエーターを空圧化、潤滑を最小限に抑え装置をコンパクト化し省スペース化を実現した。

完成したコマーシャル機を､ＪＩＭＴＯＦ2024 及びオートモーティブワールド 2025 に出展して、川下企業の評価を得るとともに、ニーズの収集とＰＲを行い、今後の課題等一定の成果を得た。

岐阜大学は、岐阜大学地域連携スマート金型技術研究センター（以下、金型センター）が開発した小型無線ジャイロスコープユニット（以下、無線ユニット）を装置本体に装着し、種々の回転速度で姿勢計測を実施するとともに、荷重中心の動態を観測するため、装置本体の揺動部を支える４本の支柱に歪センサーを装着し、同じく金型センターが開発したひずみ計測ユニットで鍛造時の出力値の経時変化、加工荷重の軌跡を観測し、測定データの分析により、装置の設計精度を証明する結果を得、今回開発したセンサーで高精度測定が可能であることを確認した。これにより、良品加工時のプロファイルをあらかじめデータベース化し、実加工時のプロファイルをこれと比較することで、加工設計へフィードバックし、(1)不良品発生をはじめとする異常の検知、(2)検知による加工機の緊急停止、(3)プロファイルの分析による不具合発生の原因を検討することが可能となった。当該技術は、現在、特許出願手続き中（岐阜大単独出願）である。

（２）ワーク側中心の固定化

軸心をワーク成形中に固定化する機能として、上型の揺動中心位置に対するテーブルの基準穴に対してワーククランプ基準穴を決める測定治具を作成し、ワーク中心 0.03ｍｍ以内に固定する方法を確立した。試作したＣＶＪ（等速ジョイント）の外周の振れは、ＨＵＢベアリングの締結

ボスを基準に0.14mm、スラスト方向の振れは0.03mm程度と高性度加工を確立した。

（3）推力発生装置の油圧→サーボモーター＋ボールネジ化

装置本体の推力発生装置をサーボモーター＋ボールネジ化することにより、高速度の制御を可能にした。今回、位置制御の試験を行い、定格（300KN で設定）に対し 300%までのトルクが発生し、今回試作の最大荷重（150KN）では反力が無視できるレベルでの位置制御を可能とし、1/1000mmの制御が可能となり、フェイススプラインＨＵＢの鍛造に十分に対応できる性能となった。

（4）ＨＵＢベアリング及び等速ジョイントのフェイススプライン成形前形状の最適化

ＨＵＢベアリング成形試験で、内側にバリが発生するという課題に対し、金型の改良で予備形成背の段階での内側張りを減らすことが出来た。加工時に外側ラジアル方向に荷重が立ち、内側の内輪が径方向に膨らむ事象が発生するが、今回開発した装置本体によって、加工速度、荷重をコントロールして内輪膨張を最小にすることが可能である事がわかった。

１－４　当該研究開発の連絡窓口

不二商事株式会社　木曽岬工場　工場長　菊池　康

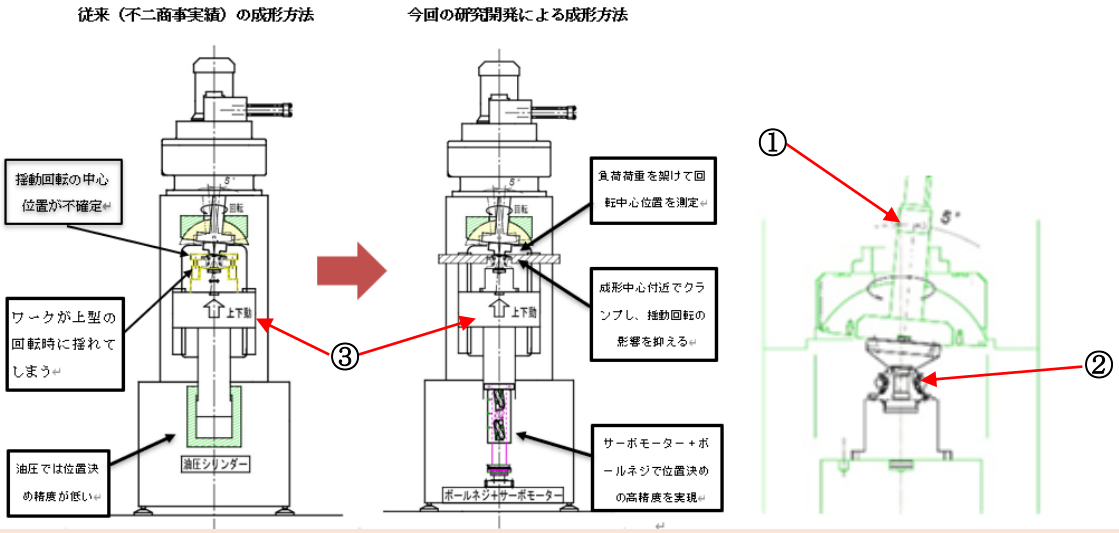
電話番号：０５６７－６８－６５５１　ＦＡＸ：０５６７―６８－６５５３

Ｍａｉｌ：k.kikuchi@fujishojikk.co.jp

第２章　本論

（１）　揺動中心位置の固定化

揺動中心位置の固定化を実施するために、試作機として新たに装置本体を製作して研究開発を推進した。



① 上型は球面の軌道をもって５° の揺動角で回転する。
② テーブルが上昇しテーブル上のワークが型と接触する。
③ 軸受けが回転し、尚且つ HUB ベアリングの先端がカシメできる荷重とカシメ速度で実行

図 7.従来型HUB揺動カシメ機と新開発HUB揺動カシメ機

ＨＵＢベアリングは駆動の軸芯に対して、外輪が芯ブレする事無く回転する必要がある。これが芯ズレを起してしまうと、フェイススプラインが接触した場合でも部分的に隙間が発生し、結果的にタイヤが偏芯回転してしまう事となる。これを防止するために、揺動中心（仮想中心）が成形時（負荷時）でも位置ずれしないようにする必要がある。この機械側の揺動中心位置を成形時でも位置ずれを起こさないようにするための研究開発及び測定を実施した。

令和４年度

フェイススプライン成型において重要な揺動中心（生計の中心）を固定化について、目的とする静的制度まで確認し、装置本体の中にワーク固定用治具を組み込んだ設計、ＨＵＢ成形用揺動装置ヘッド・球面軸受けを製作した。揺動中心位置の測定および揺動中心の位置ズレ測定で用いる無線計測ユニットの設計・構築及び試運転を実施した。

図 8.HUB 成形用揺動装置ヘッド

図 9..球面軸受けの写真

令和５年度

装置本体の製造と球面軸受の組み込みを完了し、令和４年度実施確認済みのＨＵＢ成形用揺動装置ヘッド・球面軸受けを組み込み、機械全体としての揺動中心の静的精度を確認した。また、装置本体でテストピースを成形し、揺動中心が動的にも精度保証が出来るように調整した。

揺動中心位置の確保の基準となる球面軸受けの球面測定（３次元測定）及び　揺動中心位置の測定及び負荷時、回転時の揺動中心の位置ズレ測定を実施し加工精度の最適化を検証した。

図 10.本体へのヘッド取付

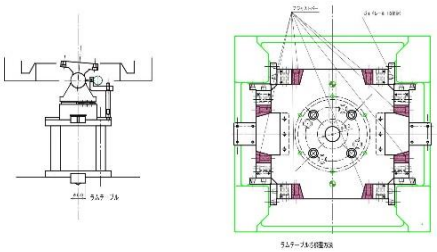


図 11.静的精度確認計画

令和６年度

ワーク側中心位置調整機構とラジアル方向の振動抑制機構を組み込んだ装置本体を製作し、揺動中心位置の固定、揺動回転中の揺動中心の位置固定を行った。装置本体のコンパクト化を実施した。

油圧アクチュエーターを空圧化、潤滑を最小限に抑え装置の極小化、制御盤を機械一体型にして小型化、装置本体の外枠の幅を 850ｍｍから 650ｍｍにコンパクト化し、顧客からの要望に応えた省スペース化を実現するとともに、工場内の清潔化を実現した。

ＪＩＭＴＯＦ2024 及びオートモーティブワールド 2025 に装置本体及び試作したフェイススプラインを出展し、川下企業及び関係者の評価を得るとともに、ニーズの収集とＰＲを行った。

ＪＩＭＴＯＦ2024 では 147 名、オートモーティブワールド 2025 では 163 名の来場者カルテを作成し、評価、要望、ニーズから課題等を整理するとともに、工場内に装置本体を設置して顧客に公開し、顧客の要望に応じた試し打ちトライ設備として、イススプライン以外の需要にも対応できるようにした。

図 12..本体のコンパクト化前

図 13..本体のコンパクト化後

図 14.JIMTOF2024 出展

図 15.オートモーティブワールド 2025 出展

１－１　揺動測定方法の確立

令和４年度

ＨＵＢ成形用揺動装置ヘッド・球面軸受けと中心位置測定の治具を製作した。高精度２次元レーザー変位センサーを使用した測定及び中心固定化の前準備を実施した。球面軸受けの製作にあたって、製造段階ユニットでの静的精度を確認し、本体組み込み準備を行った。球面軸受の中心固定については、目的とする静的精度まで確認できた。岐阜大学は、「揺動中心位置の測定および負荷時、回転時の揺動中心の位置ズレ測定」で用いる無線計測ユニットの構築および試運転を実施した。

図 16.中心位置測定用治具

図 17.無線計測ユニット

令和５年度

令和４年度に製作したＨＵＢ成形用揺動装置ヘッド・球面軸受けを、今年度製作の装置本体に組み込み、機械全体としての揺動中心の保証として組立時に揺動中心を測定しながら、ラムテーブルのアジャストバー調整により、ラムテーブル中心から 0.03㎜ 以内に調整を行った。また、クランププレートにより、揺動カシメ加工時のラジアル方向の振動を防止できた。

岐阜大学は、装置本体に、金型センターが開発した無線ユニットを設置し、無負荷かつ低速回転運転において姿勢計測を行うことによって球面度を推定した。

揺動鍛造においては加工中の金型傾斜角および揺動中心が安定していなければならないが，これは球面度と一対一の関係にある（図 18)。すなわち無負荷の状態で最大傾斜角の推移をモニタリングすることができれば、球面度を評価することができる。これを実現すべく、昨年度開発した無線ユニット（70㎜×70㎜）の設計を始めから見直し、回路設計に加えオリジナル基盤の設計製造を行うことで、さらなる小型化（30㎜×40㎜）を実現した（図 19)。これによって揺動鍛造機内への設置が容易になり，傾斜角度変化のリアルタイム無線計測が可能となった（図 20)。

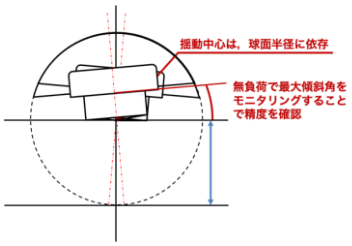


図 18.最大傾斜角と球面半径および揺動中心の関係

図 19.小型無線ジャイロスコープ（左 :旧版，右:小型版）

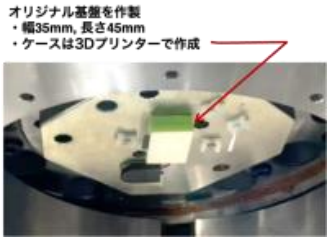


図 20. 無線ジャイロスコープ設置の様子

最大傾斜角およびその方向の測定原理を図 21 に示す。当該無線ユニットは加速度と角速度を３次元的に計測が可能であり、オリジナル座標（図中の x，y 軸）に対する各方向の傾斜角を計測可能であり、最大傾斜角と最大傾斜方向を計測可能である。これによって、リアルタイムに揺動中心を把握することができる。図 22 に x および y 方向傾斜角 θ x，θ y および最大傾斜角 θ max の計測結果を示す。回転速度は５rpm とした。最大傾斜角の推移は設計通りの５゜で推移しており、十分な精度を有していることがわかり目標を達成した。

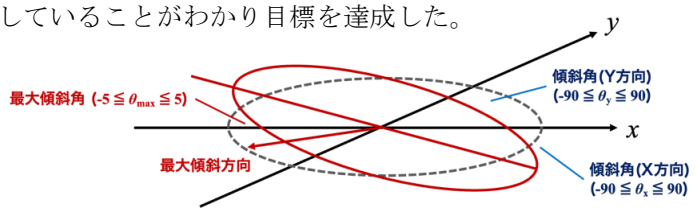
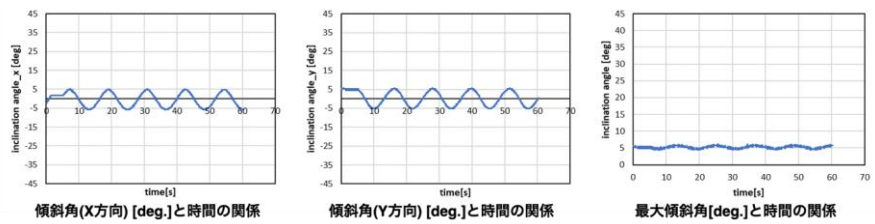


図21. 最大傾斜角および最大傾斜方向の評価原理



傾斜角(X方向) [deg.]と時間の関係　傾斜角(Y方向) [deg.]と時間の関係　最大傾斜角[deg.]と時間の関係

図22.無線ユニットを用いた*x*および*y*方向の傾斜角度，最大傾斜角経時変化の測定結果

無線ユニットをＨＵＢ形成用揺動装置に装着して、種々の回転速度で測定試験を実施した結果、揺動鍛造機稼働中の傾斜角測定、1 周当たりの測定可能データサンプル数の確認を行った（図 23)。その結果、最高速度の 300 rpm においても 1 回転あたり 73 回のデータ送信が実現されており、十分な計測スペックであることが明らかになった。

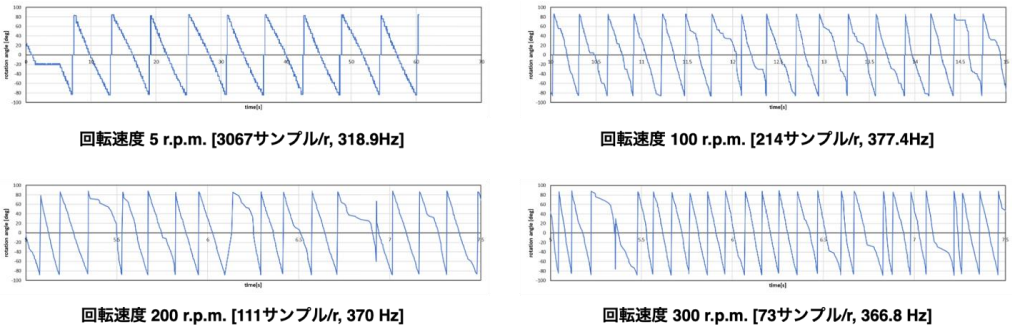


図 23.無線ユニットを用いた最大傾斜方向の経時変化

揺動測定方法の確立について、無線ユニットに加えて部材のひずみをひずみゲージによって同時に計測することによって負荷時弾性変形偏心を捉えることで揺動中心予測精度をさらに高める手法を検討した（図 24)。

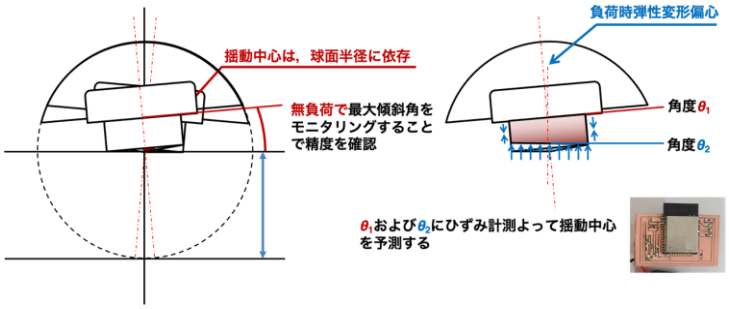


図 24.揺動測定方法の確立

令和６年度

揺動中心位置を基準に対して 0.03ｍｍ以内に固定、揺動回転中の揺動中心の位置の振れを 0.018㎜ に納めた。揺動中心位置固定化により、試作したＣＶＪの外周の振れは、ＨＵＢベアリングの締結ボスを基準に 0.14㎜、スラスト方向の振れは 0.03㎜ 程度と高精度加工を確立した。

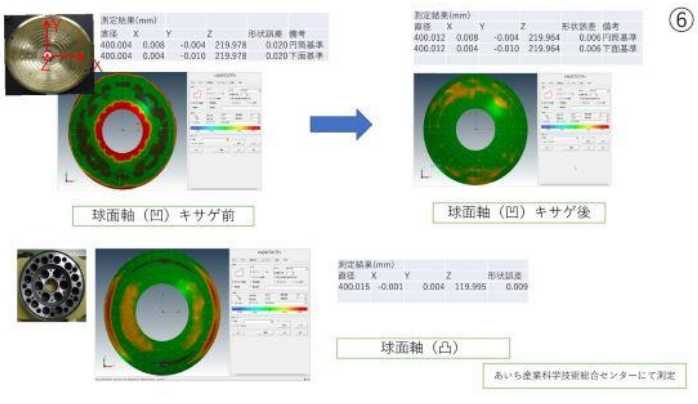


図 25..球面軸受けの精度確認

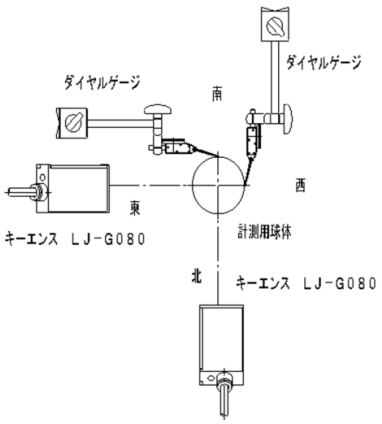


図 26.揺動中心の振れ測定

岐阜大学は、小型無線ユニット（35ｍｍ×45ｍｍ）を装置本体に装着して（図27）、５から300 rpmの種々の回転速度で測定試験を実施してデータを獲得した。データは約350Hzで計測できており、最大傾斜方向のリアルタイム管理が可能となった。また、揺動鍛造機本体の揺動部を支える４本の支柱にひずみゲージを貼付し（図28）、センサーの変化を電気信号に変換する４チャンネルひずみゲージモニタリングユニットおよびソフトウェアを開発（図29）することで、ひずみゲージの出力値の経時変化をリアルタイム計測した（図30）。これらの合計値に係数を乗ずることによって加工荷重の変化が可視化され、モーメントの釣り合いの観点から加工荷重重心の軌跡を観測することが可能となった（図31）。

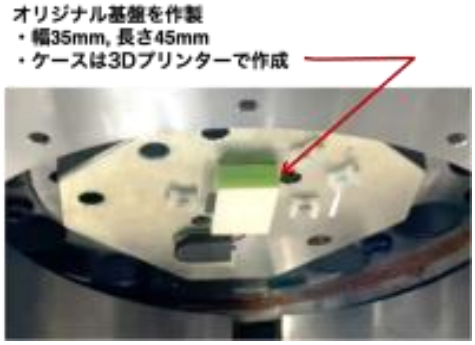


図 27. 最大傾斜角計測無線ユニット

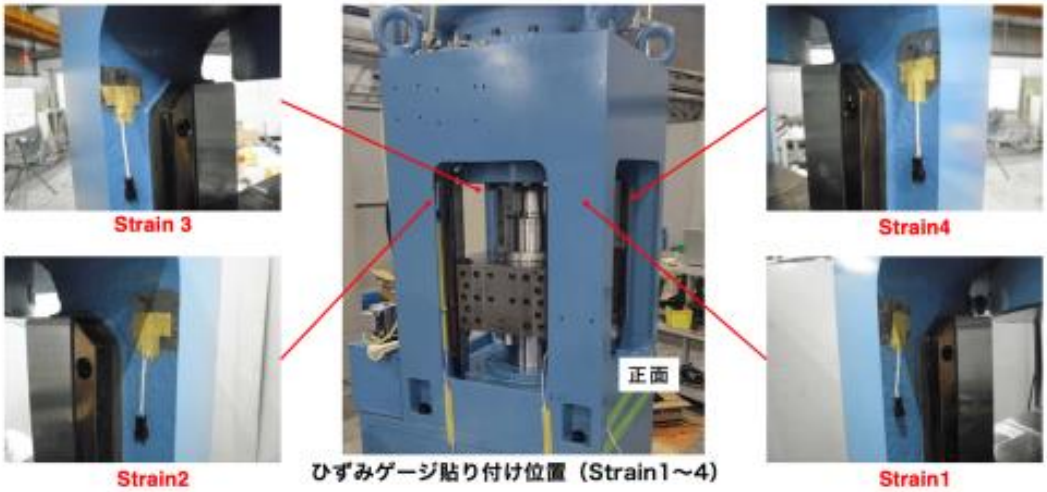


図 28. 揺動基本体4柱に貼付したひずみゲージ

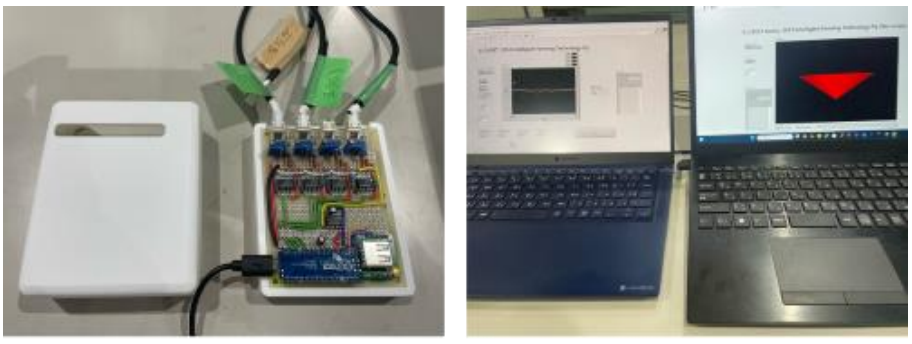


図 29. 4チャンネルひずみゲージモニタリングユニットおよびソフトウェア

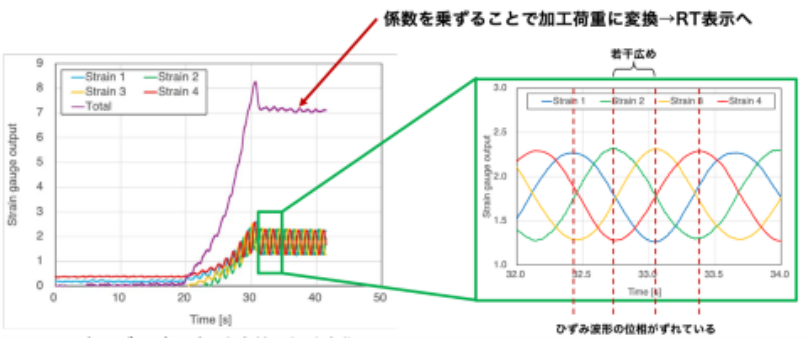


図 30. 各ひずみゲージの出力値の経時変化(100rpm)

図 31. 荷重重心の評価事例(100rpm)

１－２　ワーク側中心の固定化

負荷時でも 0.03ｍｍ以内に固定する事を目標とした。但し、成形時のスプリングバック等の影響を考慮して、成形後のワークについては外輪に対してφ0.06ｍｍ以内に成形出来る事を目標とした。揺動カシメ機は、５°の揺動角を持ち、ワークと型が接触し成形が開始されると、スラスト軸側に成形の荷重が掛かるが、同時にラジアル方向にも小さくない荷重が掛かってしまう。しかも、回転しながらラジアル方向に連続的に荷重が掛かる事となり、ワーク側の成形中心が安定しない。また、スラストに大きな成形力が掛かる事により、軸が膨張し、結果的に軸受けの玉を固定している内輪の径が膨張する事となってしまう。これらの問題を機械側で規制し、軸芯を成形中に固定する治具及び方策を開発し、装置本体の中にワーク固定用治具を組み込んだ設計を行った。

令和４年度

軸芯を成形中に固定する治具及び方策を開発し、装置本体の中にワーク固定用治具を組み込んだ設計を行った。

令和５年度

今回の計画では、軸芯をワーク成形中に固定化する機能として、ラムテーブルの軌道を保証するガイドレールを延長しクランププレートを直接ガイドする事により、径方向に発生する力を受ける機構とした。クランププレートの基準穴の芯は、ラムテーブルの中心から穴を測定し、0.03mm以内に調整実施してワーク側中心を決定した。

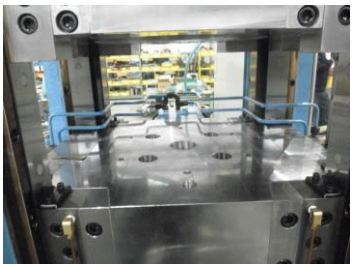


図 32. 本体への組付状況

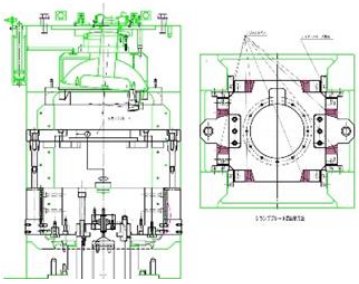


図 33. ワーク固定構想図

岐阜大学は、無線ユニットを稼働部品の位置および姿勢計測に導入して、速度を変化させた場合の姿勢計測を実施した。

令和６年度

軸芯をワーク成形中に固定化する機能として、上型の揺動中心位置に対するテーブルの基準穴に対してワーククランプ基準穴を決める測定治具を作成し、ワーク側中心 0.03mm以内に固定する方法を確立した。

試作したCVJの外周の振れは、HUBベアリングの締結ボスを基準に 0.14mm、スラスト方向の振れは0.03mm 程度と高精度加工を確立した。

（２）　推力発生装置の制御機構開発

２－１　推力発生装置の油圧→サーボモーター＋ボールネジ化

揺動カシメ機はその推力を油圧により発生させるが、油圧コントロールでは高さ方向の位置制御を高精度に行うことは困難であり、又現在製造現場では油の管理問題があり、電動化が求められているため、推力をサーボモーター＋ボールネジ送り方式に置き換え、位置決め精度の向上を図ると同時に油の使用を削減した。機械側の位置制御の精度は0.01ｍｍを目標とした。

尚、ボールネジ送りで推力を与える事で、従前のＨＵＢカシメとは異なり、フェイススプライン形状が上型にあるため、大きく上下動する事が想定され、これらの動きに追随できるような制御機構とした。

令和４年度

サーボモーター＋ボールネジ化を実施するにあたり、新規の設計及び制御設計を行った。従来市場に見受けられるサーボプレスと異なり、揺動によって大きく荷重が変化する事が想定されるので、振動発生環境での使用に適したサーボモーターとボールネジの調査、機器の選定を行った。

令和５年度

装置本体の推力発生装置を、サーボモーター＋ボールネジ化する事により、高速度の制御を可能にした。サーボモーター＋ボールネジ化した推力発生機構を装置本体に搭載して基本データ（荷重、速度、振動等）の取得を行った。

搭載後の精度検証後、弊社独自設計によるフェイススプライン金型を製作してフェイススプラインを試作し、有効性の判定を行った。従来の油圧方式に比して、応答性が良いと判断した。

図 34. .推力発生装置

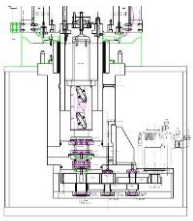


図 35. .推力発生装置基本設計

図 36. 本体に組み込み

位置制御の試験を行い、定格（300KN で設定）に対し 300％までのトルクが発生し、今回最大荷重（150KN）では反力が無視できるレベルでの位置制御を可能とした。

ＣＶＪの外周の振れは、ＨＵＢベアリングの締結ボスを基準に 0.14㎜、スラスト方向の振れは0.03㎜ 程度と高い精度で加工できた。ＨＵＢベアリング及びＣＶＪの実成形時間は４sec 以内で成形可能となり、自動車の量産ラインに投入できる範囲となった。

TP No.	Z(テーブル上昇端位置)	送り速度	最大荷重
1	134.3ｍｍ	1mm/sec	150.3KN
2	134.3ｍｍ	1mm/sec	150.2KN
3	134.3ｍｍ	1mm/sec	149.5KN

図 37. CVJ（等速ジョイント）成形

令和６年度

高速度で1/1000ｍｍの制御が可能となり、フェイススプラインＨＵＢの鍛造に十分に対応できる性能となった。

（３）　ＨＵＢベアリング及び等速ジョイントのフェイススプライン成形前形状の最適化

フェイススプライン形状は上型に形状を持っており、成形の肉の流動は予測が難しいため、これらを検証し成形前の形状を決定する研究を行い、所要のフェイススプラインに対して成形前形状の適正化が出来るようにするため、成形荷重公差±10%を目指した。

フェイススプラインはその形状の複雑さで成形前の形状を決める場合、ＣＵＴ＆ＴＲＹによって決定している。また、ＨＵＢベアリングの場合は成形中に肉が内側にも流れてしまうのを防ぐため、予備成形として成形先端部をラッパ状に成型する必要があり、この形状についてもＣＵＴ＆ＴＲＹで実施している。事前に流動解析を行い、ＣＵＴ＆ＴＲＹの件数を少なくして製品化につなげる研究を行った。

令和４年度

フェイススプライン成形の高精度成形を実現するにあたって、ＨＵＢベアリング及び等速ジョイントのフェイススプライン成形前形状の最適化されなければならない設計項目（設計変数）を設定した。

令和５年度

フェイススプラインの形状は、不二商事㈱独自の形を設計して金型を作成して実施した。

ＨＵＢベアリング及びＣＶＪの成形を行い、成形品が当初の目的に対し有効である事を確認した。

図 38. CVJ用型

図 39. HUB用 1st 工程型

図 40. HUB用 2nd 工程型

ＨＵＢベアリング成形試験を行ったところ、ＨＵＢベアリング成形について第一工程の予備形成で、送り速度を 0.5㎜/sec、最大荷重 68.5KN、第二工程で、送り速度が 0.5㎜/sec、最大荷重約 80KN で実施した。結果、ワークの外径 55.04㎜ が 55.1㎜ まで広がり、内側にバリが発生するという新たな課題を生じたが、第一工程の金型を設計変更し、肉の流れを変更する事により、バリの発生が抑えられた。

ＣＶＪに関しては、支障無く成形出来た。これら成形品の評価を行うにあたり、評価の基準のデータの開示が無いため、社内で検討の結果、ＣＶＪとＨＵＢベアリングを組立て、外径及び上下方向の振れを測定し、径方向で 0.14㎜ 以内、上下方向で 0.03㎜ 以内という結果が得られ、概ね期待通りとなった。

図 41. HUBベアリング成形品

図 42. CVJ成形品

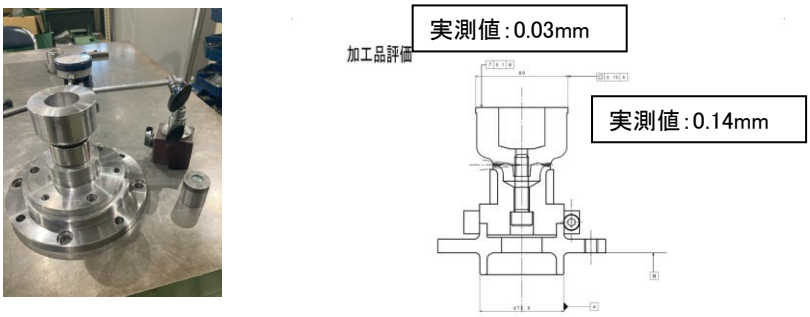


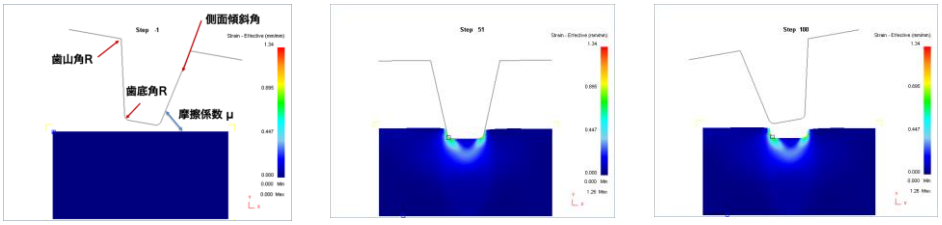
図 43. .加工評価

岐阜大学は、金型センターにおいて揺動鍛造機内に装着可能な無線ユニットを製作した。設計項目（設計変数)、塑性加工成形シミュレーションソフト（DEFORM)、設計空間探索ソフトウェア（pSeven）による成形シミュレーションシステムを構築した。

設計項目（設計変数）を塑性加工成形シミュレーションソフト（DEFORM）に組み込む。これと設計空間探索ソフトウェア（pSeven）を接続し、機械学習に基づく最適化手法の一種である Surrogate based optimization（以下「SBO」）を用いることで、当該 SBO によって「提案」される仮の設計変数を用いた成形シミュレーションを実施してその結果を自動評価する。評価値が当初設定した値に達していない場は、SBO において次の設計変数候補値を再提案し、これを用いてシミュレーション及び評価を行い、評価値が合格点に達するまで自律的かつ自動的に行なわれる。このシステムを自動運転有限要素解析システム（Auto-pilot finite element analysis, APFEA）と呼ぶ。シミュレーションの結果、ワークにおける歯底角半径の定義および評価方法を慎重に検討する必要が明らかとなった。

図 44. フェイススプライン設計変数

図 45 にコンピューターシミュレーション結果の例を示す。揺動の進行に応じて金型が素材（ワーク）に接近し（図 46(a))、成形が行われて（図 45(b)）金型がリリースする（図 45(c)）様子が計算されている。形状やひずみ分布だけではなく、最大加工荷重の予測も可能（図 46(a)）であり、今後は荷重を低減する加工法条件の最適化も期待される。この後に結果を自動運転シミュレーションにおける最適化アルゴリズムに引き渡す必要があるが、ワークにおける歯底角半径の定義および評価方法を慎重に検討する必要が明らかとなった。



（a） 金型アプローチ時　　（b）最大傾斜時　　（c）1 パス加工終了時

図 45. 揺動鍛造に有限要素解析の例

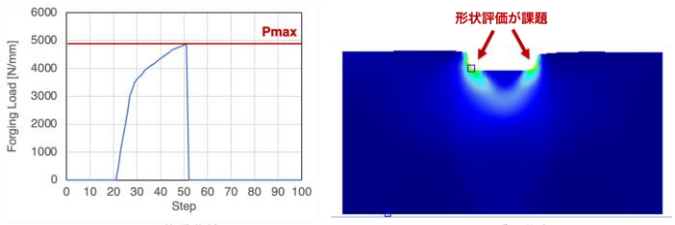


図 46. 揺動鍛造における荷重予測およびひずみ分布予測の例

実部品のコンピューターシミュレーションを高精度に行うため、金型センターにおいて s ステレオ式非接触３次元レーザー測定器を調達（図 47）して、製品形状の計測を試みた（図 48）。

今後、数値シミュレーションにおいて用いる金型データとして利用できるように、リバースエンジニアリング測定条件の最適化に取り組み高品質な製品形状データの取得に取り組む。

図 47. ステレオ非接触レーザー変位測定システム

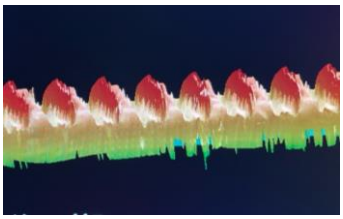


図 48. 3次元計測結果

令和６年度

ＨＵＢベアリング成形試験で内側に発生するバリの減少対策として金型の改良を行い、加工時に内側の内輪が径方向に膨らむ事象に対応して、加工速度、荷重をコントロールした試作実験を行った。

金型の改良で予備形成の段階での内側のバリを減らすことは出来た。加工速度、荷重をコントロールして内輪膨張を最小にする試作実験を行った。

ＨＵＢベアリング成形試験で内側にバリが発生するという課題に対し、金型の改良で予備形成の段階での内側のバリを減らすことは出来た。加工時に外側ラジアル方向に荷重が立ち、内側の内輪が径方向に膨らむ事象が発生するが、今回開発した装置によって、加工速度、荷重をコントロールして内輪膨張を最小にすることは可能となった。

図 49. HUBダミーワーク加工の内バリ発生対策

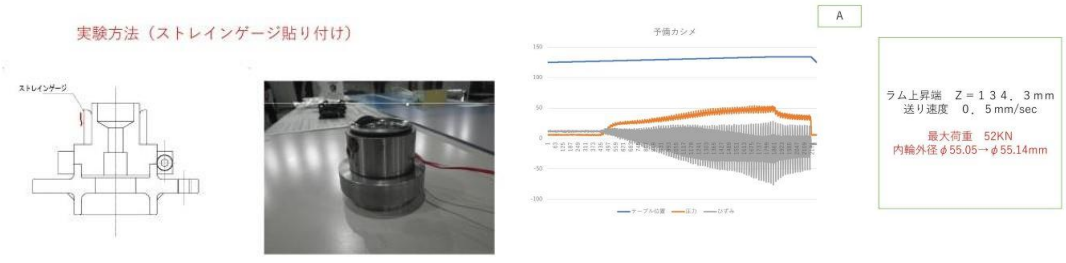


図 50. HUBダミーワークの内輪膨張対策

岐阜大学は、小型化した無線ユニットを揺動鍛造部に装着し、ひずみセンサーを鍛造機の4柱に設置して実際に波形計測を行うことで、揺動最大揺動傾斜方位、荷重および加工重心のリアルタイムモニタリングを実現した。

これにより、良品加工時のプロファイルをあらかじめデータベース化し、実加工時のプロファイルをこれと比較することで、加工設計へフィードバックし、(1)不良品発生をはじめとする異常の検知、(2)検知による加工機の緊急停止、(3)プロファイルの分析による不具合発生の原因を検討することが可能となった。ミュレーションデータ収集、解析等々を行い、試作を重ねて実績を積むことにより、成形前形状の最適化の解決がシステム的に可能となった。

（４） 事業化への取り組み

今回、２つの展示会に出展して、揺動鍛造の工法を知らない来場者が多い事、座学で承知していても実物を見るのが初めてだという来場者も多いことから、揺動鍛造の特長及び利点等の周知が必要であることが判った。

自動車関連のＨＵＢメーカーには、芯が出ていること、サーボモーターとボールネジ機構（油圧レス）が高評価を得たことから、鍛造関係者が参加する、令和７年７月 16 日～19 日に開催されるＭＦ－ＴＯＫＹＯに出展して鍛造業界に積極的にアピールする。

今回の展示会後、フェイススプライン以外の製品の製作についての問い合わせ、相談も受けていることから、弊社木曽岬工場内に、今回製作したコマーシャル機を試作トライ用設備として設置し顧客に公開して販促を推進する。

今回の新型機の特徴である、１/５～１/１０の力で冷間鍛造ができる、揺動中心とテーブル及びクランプの芯が出ている、300ＫＮ鍛造機としてはフロアスペースが小さい、油圧レスである等を広く国内外にアピールして販促を図る。

岐阜大学との連携を継続し、金型センターの無線ユニット、ひずみ計測ユニットを装着した揺動装置の製品化を協議する。

（目標となる時期）

2025 年度　コマーシャル機を不二商事㈱木曽岬工場内に設置し顧客に公開

2025 年度　ＭＦ－ＴＯＫＹＯ（7/16～19）への出展

2025 年度　特許出願（固定機構、位置決め機構）

2025 年度　試作機での日本精工向けフェイススプラインサンプル提供・提案

2025～27 年度　上型・下型同時成形技術開発

2025 年度　上下成形型（試作）

2026 年度　ＮＴＮ、ＪＴＥＫＴ等へサンプル提供・提案

2026～27 年度　大型ＨＵＢベアリングの成形

2026 年度　特許出願（上下同時成形、意匠）

2026 年度　上海工作機械展出展

2027 年度　上下成形型（量産）、大型ＨＵＢベアリング成形金型（試作）

2027 年度　ＥＭＯ Hannover メッセ出展

2028 年度　大型 HUB ベアリング成形金型（量産）

最終章　全体総括

（１） 複数年の研究開発成果

装置本体(300KN)を製作し、揺動中心位置を基準に対して 0.03ｍｍ以内に固定、揺動回転中の揺動中心位置の振れを 0.018ｍｍ以下に納め、フェイススプラインを冷間鍛造可能な装置が完成した。

金型センターが開発した無線ユニット及びひずみ計測ユニットで鍛造時の出力値の経時変化、加工荷重の軌跡を観測し、測定データの分析により、装置の設計精度を証明する結果を得、今回開発したセンサーで高精度測定が可能であることを確認した。

油圧アクチュエーターを空圧化、潤滑を最小限に抑え装置をコンパクト化し省スペース化を実現した。

完成したコマーシャル機を、ＪＩＭＴＯＦ2024 及びオートモーティブワールド 2025 に出展して、川下企業の評価を得るとともに、ニーズの収集とＰＲを行い、関係者の高評価と今後の課題等一定の成果を得た。

【１】ワーク側中心の固定化

軸心をワーク成形中に固定化する機能として、上型の揺動中心位置に対するテーブルの基準穴に対してワーククランプ基準穴を決める測定治具を作成し、ワーク中心 0.03ｍｍ以内に固定する方法を確立した。試作したＣＶＪの外周の振れは、ＨＵＢベアリングの締結ボスを基準に 0.14ｍｍ、スラスト方向の振れは 0.03ｍｍ程度と高性度加工を確立した。

【２】推力発生装置の油圧→サーボモーター＋ボールネジ化

装置本体の推力発生装置をサーボモーター＋ボールネジ化することにより、定格（300KN で設定）に対し 300％までのトルクが発生し、今回試作の最大荷重（150KN）では反力が無視できるレベルでの位置制御を可能とし、1/1000ｍｍの制御が可能となり、フェイススプラインＨＵＢの鍛造に十分に対応できる性能となった。

【３】ＨＵＢベアリング及び等速ジョイントのフェイススプライン成形前形状の最適化

ＨＵＢベアリング成形試験で、内側にバリが発生するという課題に対し、金型の改良で予備形成背の段階での内側張りを減らすことが出来た。加工時に外側ラジアル方向に荷重が立ち、内側の内輪が径方向に膨らむ事象が発生するが、今回開発した装置によって、加工速度、荷重をコントロールして内輪膨張を最小にすることが可能である事を実証した。

岐阜大学の、小型化した無線ユニットを揺動鍛造部に装着し、ひずみセンサーを鍛造機の4柱に設置して実際に波形計測を行うことで、揺動最大揺動傾斜方位、荷重荷重および加工重心のリアルタイムモニタリングを実現した。

これにより、良品加工時のプロファイルをあらかじめデータベース化し、実加工時のプロファイルをこれと比較することで、加工設計へフィードバックし、(1)不良品発生をはじめとする異常の検知、(2)検知による加工機の緊急停止、(3)プロファイルの分析による不具合発生の原因を検討することが可能となった。ミュレーションデータ収集、解析等々を行い、試作を重ねて実績を積むことにより、成形前形状の最適化の解決がシステム的に可能となった。

（２） 研究開発後の課題・事業化展開

・ 現在実用化されているフェイススプラインの仕様等の情報が入手できないため、実用製品と同等品を試作することが困難（2027 年にシェフラーグループが保有するフェイススプラインの特許が終了）、国内の自動車メーカーからの情報も無い状況であるうえ、現在、世界的に自動車の EV 化の動きが停滞しているという状況下ではあるが、将来的にはＥＶ化の流れは止まることが無いと考えフェイススプライン成形用揺動装置のニーズに備えた対応が必要である。

- ＥＶ化によりタイヤ径が大きくなる傾向があり、ＨＵＢは径大、厚薄への傾向があるため、機械の間口については都度設計する必要がある。
- 実際中国企業から 400KN の引き合いがあり保留となったが、400KN への設計変更が必要と成る。
- 揺動鍛造の工法が知られていないことから、鍛造業界にアピールするためＭＦ－ＴＯＫＹＯ（令和７年７月 16 日～19 日）に出展を計画する。
- 新開発の揺動装置の特徴を広くＰＲし、フェイススプライン以外の製品製造用に販促する。実際、ＪＩＭＴＯＦ2024、オートモーティブワールド 2025 に出展後フェイススプライン以外の製品成形の相談があり、弊社木曽岬工場内にコマーシャル機を設置し試作トライ用として顧客に公開して販促に繋げる。
- 岐阜大学との連携を継続し、金型センターの無線ユニットを装着した揺動装置の製品化を推進する。