

平成20年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「エアーハンマー鍛造作業者の熟練技能継承のための
作業負荷軽減パワーアシストシステムの開発」

研究開発成果等報告書

平成21年3月

委託者	中部経済産業局
委託先	財団法人中部科学技術センター

目 次

第1章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	2
1-3	成果概要	5
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	5
第2章	研究内容及び成果	7
2-1	モーションキャプチャによる作業動作解析	7
2-2	熟練動作の解析	8
2-3	リンク機構部の製作	11
2-4	ハンドリング部の開発	13
2-5	現場実地作業による検証	15
2-6	アシストソフトの開発	16
第3章	全体総括	18
3-1	成果の総括	18
3-2	工業所有権の習得状況及び対外発表等の状況	18
3-3	今後の事業化に向けた取組	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

自動車業界では、燃料規制、排気ガス規制への対応から、車体の軽量化が求められており、鍛造品には素材や形状等について改良が求められている。自動車の国内生産は輸出の拡大に牽引され好調であり、また、海外生産も過去最高を更新し続け、国内生産を上回る規模まで成長している。鍛造事業者にはこの多くの受注に対応できる安定供給体制や納期の遵守が求められている。そのため、鍛造技術に関する課題として、以下の課題が具体化してきている。

- ア.軽量化
- イ.短納期化
- ウ.高機能化
- エ.コスト低減
- オ.品質を具備した安定供給。

本研究開発はその中の品質を具備した安定供給に関するものである。

品質を具備した安定供給(ニーズ)に対し、作業者の熟練技能が、不良率に大きく影響するエアハンマー鍛造作業においては、作業重量に対する負担軽減が大きな課題となる。

作業時の重量負担を軽減する事により、

- 1)品質のパラメータが安定し、不良率(現状2%)を低減する
- 2)労働者の確保が容易になり技能伝承が期待できる

そこで立命館大学とアクティブリンク株式会社が2005年に開発したパワー増幅ロボット「パワーエフェクター」を応用した鍛造作業補助システムの開発を行い、作業体感重量を1/20~1/50に軽減することを目標とする。

最終目標として、以下の3つの目標値を設定している。

- 1) 作業者の体感重量が1/20~1/50
- 2) 不良率の低減
- 3) 一定作業時間内の集中力維持可能時間の倍増

ロボットシステム用鍛造ハンマー技術が、肉体的負担を軽減させる究極の技術である。しかしながら、ハンマー鍛造の置かれている現状は、多品種少量生産、複雑

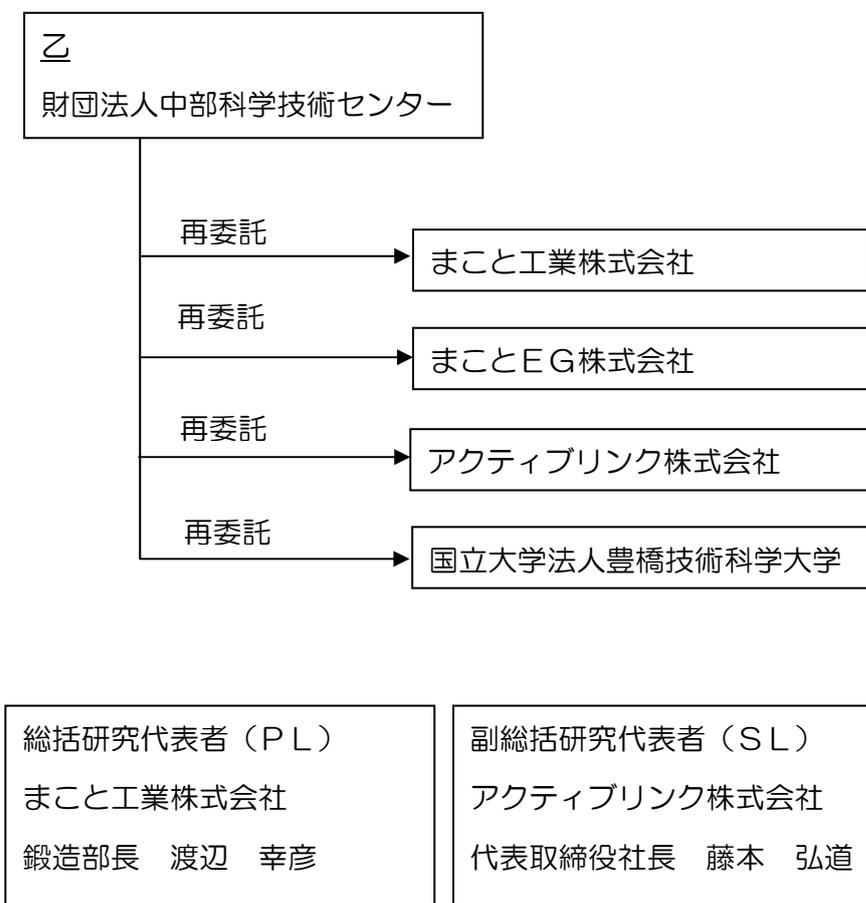
形状、多工程製造である。ハンマー鍛造の加圧ピストンの上下運動は、作業者がペダルを踏む事で制御され、さらに、その動きに同調して、金型上面の各工程に、作業者がワークを移動させて成型加工する。作業者のワーク制御は、保持、回転、移動、金型キャビティへの挿入微調整、等々であり、その作業工程は、全ての製品一品一様である。このような、作業者の熟練技能を、現状のロボットで対応するのは、極めて困難と云える。又、成型時の衝撃荷重も、ロボット化を困難にしている。

このような、自動化ができない肉体的負担の大きな作業において、不良率の低減に最も有効な手段は、肉体的負担をなくすことであり、肉体的負担の軽減が作業者の技能をフルに活かす環境を作り、不良率の低減だけでなく品質の向上にも寄与すると想定される。

研究開発テーマであるパワーアシスト技術は、肉体的負担を軽減し、なお人の動作自体を支援するため、あらゆる動作に柔軟に対応可能である。

1-2 研究体制

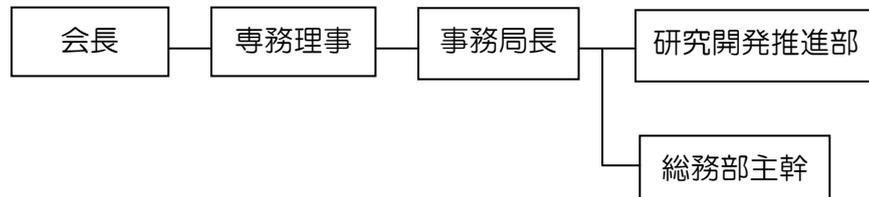
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

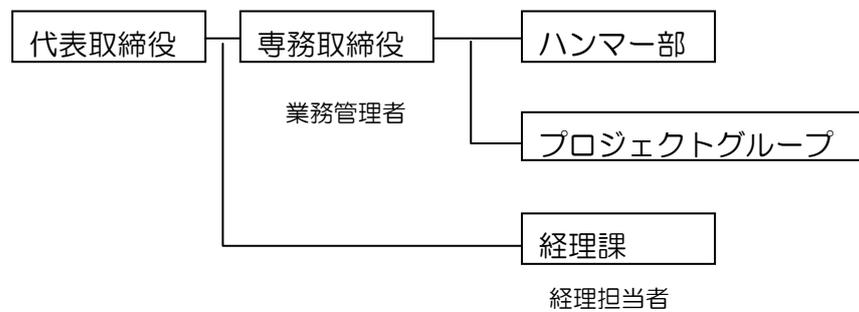
① 事業管理者

財団法人 中部科学技術センター

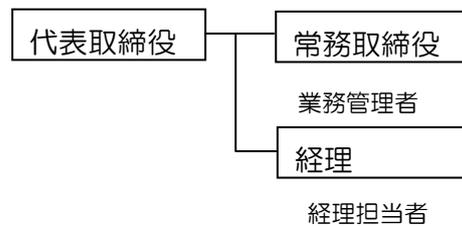


② 再委託先

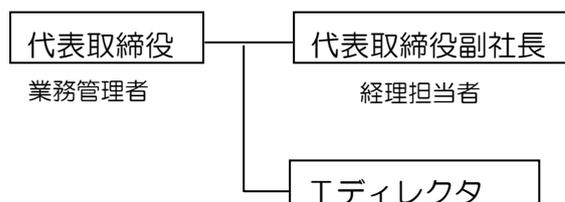
②-1 まこと工業株式会社



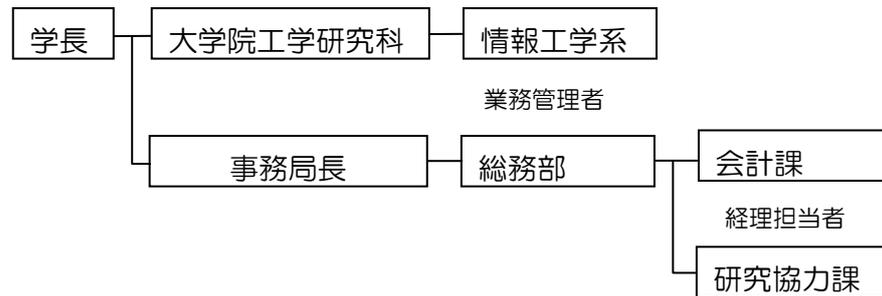
②-2 まことEG株式会社



②-3 アクティブリンク株式会社



②-4 国立大学法人 豊橋技術科学大学



3) 研究員

まこと工業株式会社

氏 名	所属・役職
渡辺 幸彦	ハンマー部 鍛造部長
林 博樹	ハンマー部 鍛造係長
渡辺 正弘	ハンマー部 鍛造組長

まことEG株式会社

氏 名	所属・役職
新美 基	常務取締役

アクティブリンク株式会社

氏 名	所属・役職
藤本 弘道	代表取締役社長
城垣内 剛	代表取締役副社長

国立大学法人 豊橋技術科学大学

氏 名	所属・役職
栗山 繁	大学院工学研究科 情報工学系 教授

1-3 成果概要

①-1 鍛造作業の数値化

豊橋技術科学大学においてエアーハンマー鍛造作業を模擬した作業現場を作成し、モーションキャプチャーシステムを用いて測定を行い、数値化した。

①-2 データの蓄積と検証

データの蓄積を実施

①-3 最適アシスト手法の決定

測定部位の動作範囲特定により必要なパワーアシストシステムの動作範囲を特定した。

①-4 熟練動作の解析

熟練作業者の動作解析を行い、コンピュータグラフィックスの技術を用いて計測した動作を可視化するプログラムを開発した。

②-1 リンク機構部の改善

平成18年度、モータ駆動方式のみのアシストによるプロトタイプの開発を行い、実作業での実地テストを行ってきたが、追従性に難があり、実用性は困難と判断した。

平成19年度、耐衝撃性に優れるエアーシリンダー駆動による並行リンク方式に仕様を変更し試作機を製作。

平成20年度においては、現場実地作業による改善を実施。

②-2 ハンドリング部の開発

ハンドリング部の製作が完了。現場実地作業による検証・改善を実施。

②-3 現場実地作業による検証

現場実地作業による検証を行い、作業性検証、タクトタイムの短縮ができた。

③-1 アシストソフトの試作開発

現場実地作業から得られたデータにより、最適アシストソフトの開発を行った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

まこと工業株式会社

氏名 渡辺 幸彦

住所 岐阜県加茂郡富加町大平賀488

電話 0574-54-2211

FAX 0574-54-2218

E-Mail y_watanabe@makotokogyo.co.jp

2章 研究内容及び成果

2-1 モーションキャプチャによる作業動作解析

現場環境に即したリンク機構の改善、製作、詳細設計のための鍛造実作業の分析を行う。

モーションキャプチャ装置を用いた鍛造作業の3次元計測と筋電計測器を用いた腕の力の計測を熟練者と未経験者に対して実施し、鍛造作業動作の違いを分析した。

実験方法

鍛造作業動作の3次元計測

豊橋技術科学大学、情報メディア基盤センターに設置されている光学式のモーションキャプチャ装置（Vicon社製12台赤外線カメラ）を用いて、本研究開発課題で施策されたパワーアシストシステムを用いて鍛造作業を行う際の動作をまこと工業で実際に鍛造作業に長年携わってきた熟練者と、全くの未経験者である本学学生に対して実施した。

熟練者（まこと工業従業員）と未経験者（研究室学生）に対して、【図1】に示すように、実際の鍛造作業を模擬した動作を演じてもらい、光学式モーションキャプチャ装置と無線式筋電位計測系を用いて計測を実施した。



(a) 熟練者



(b) 未経験者

【図-1】

2-2 熟練動作の解析

パワーアシスト装置を用いて実際に鍛造作業を訓練する前に、未経験者に対してはある程度の操作のコツを仮想的な環境を用いて身につけさせる必要がある。このため安全にかつ材料の損失を伴わないように、仮想的な訓練環境を用いて訓練が出来るシステムを開発する。具体的には、CGプログラムを用いて可視化されるエアハンマーの動きに合わせて、未経験者は実際に仮想的な環境内でペダル操作を訓練する。

実験方法

シミュレーションシステムのハードウェア構成

本課題で開発されたシミュレーションシステムは、実際に鍛造工場で使用されているものと同じフットペダルを用いて、それが踏み込まれた際に生じる電気信号をパワーアンプで増幅し、その結果をD/A変換機を通じてデジタルデータに変換して訓練用のシステムにUSBケーブルを介して送信する。

シミュレーションシステムのソフトウェア構成と形状データの変換

エアハンマーの形状データは、まこと工業よりIGESファイル形式で受け取り、それをCG製作用の市販ソフトウェアであるMayaで取り込めるように、市販のデータ変換ソフトウェアPolyMakerで変換した。

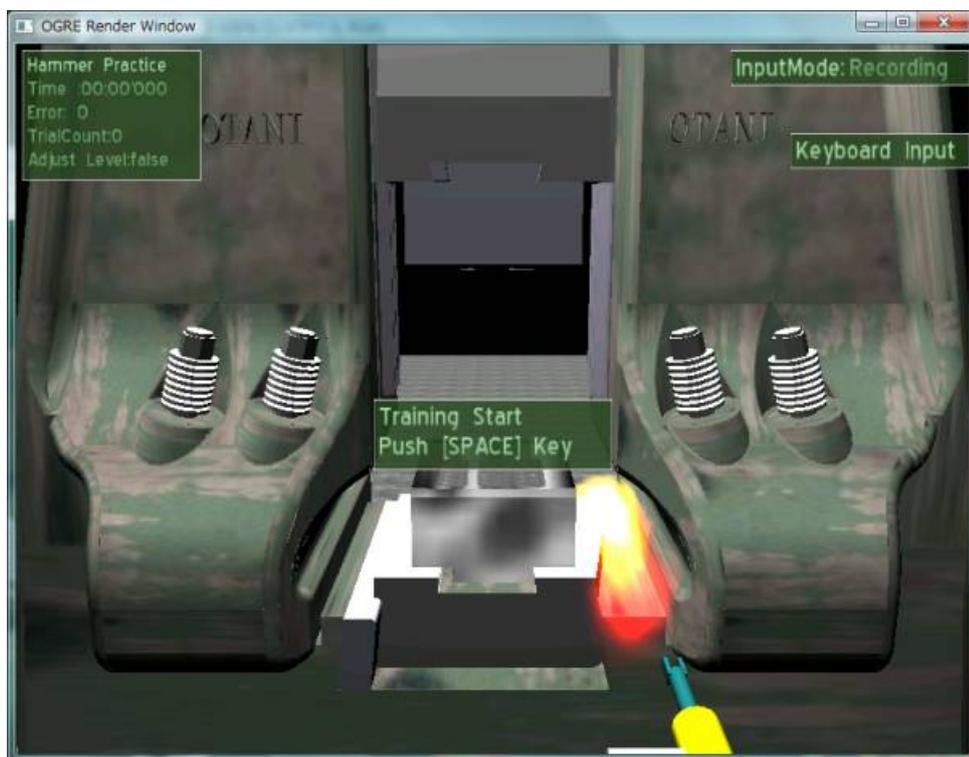
ハンマーの状態遷移と制御

本研究開発課題で対象とする鍛造作業のハンマーは、上昇や下降の稼動状態や位置を保とうとする待機状態があり、それらの動作は空気圧で動くため、稼動状態には遅れが生じ、待機状態には揺れが発生する。

OGREを用いた可視化システムの開発

CGゲームプログラムを開発するために開発されたOGRE3Dライブラリを用いて、CG表示されたハンマーが実際に動く速度でアニメーション映像を生成するシステムを開発した。その表示例を【図2】に示す。教育用システムはこの映像をプロジェクターを用いて背面投影が可能なスクリーンに表示し、訓練者はスクリーン上に投影されたハンマーの動きに合わせてパワーアシストシステムを操作して、作業訓練を行う。

教育用可視化システムの表示例



【図－２】

教育用可視化システムの使用方法

今回開発した教育用可視化システムは、全ての OS プラットフォーム（Windows, Mac OS, Linux）で動作するように設計されている。しかし、実時間での映像表示を保証するために、グラフィクス専用ボードを搭載するコンピュータの使用を前提としている。

研究成果

未経験者が鍛造作業を訓練するための、CG で実時間表示された仮想的なエアハンマーの可視化システムは、実際にスクリーン投影した映像を用いてまこと工業内で評価試験を実施した。実寸大に近い大画面で打撃音のサウンド効果も組み込み、さらには実際に作業で用いるペダルフットを用いる事等により、臨場感のある訓練システムを構築する事ができた。

今後は、アニメーション映像の3次元表示化や、パワーアシスト装置自体の仮想化による、訓練環境の完全な仮想化技術の開発が検討課題である。本課題で開発した鍛

造訓練用可視化システムのソフトウェアとフットペダル等のハードウェアを組み合わせ
せてパッケージ化したシステムとして製品化と販売について、今後の検討を進める。

2-3 リンク機構部の製作

初年度製作したプロトタイプ装置を現場実地作業にて使用し、作業者の作業性、安全性を検討し、その都度改善する。

実験方法

- 1) 平成18年度、モータ駆動方式のみのアシストによるプロトタイプの開発を行い、実作業での実地テストを行ってきたが、追従性に難があり、実用性は困難と判断した。
- 2) 平成19年度、耐衝撃性に優れるエアシリンダー駆動による並行リンク方式に仕様を変更し【図-3】に示す試作機を製作した。

現在の2トンライン製造工程において人がアシスト機器を使わずに約5kgのワークを使って成形を行った時、1工程あたりのタクトタイムは10秒不足である。本年度の開発においては、タクトタイム10秒を目指した機器改善を行った。タクトタイム改善のためには、リンク機構だけでなくハンドリング部まで含めた総合的な検討が必要であり、双方に改善を行っている。

リンク機構においては、実地試験による作業検証と作業者へのヒアリングを行い、実地試験⇒課題抽出⇒解決手段検討⇒構想・設計⇒試作⇒実地試験というループを繰り返すことでタクトタイムの向上を目指した。その結果、ハンドリング部を上下に回転させるためのアシストする機構の追加を行った。この機構により、作業者への負担が大幅に軽減されることになり、作業性の向上に繋がったと考えている。



リンク機構部写真

【図-3】

研究の成果

複数の作業者による検証において、使用感に対する要望が異なることが多かった。この実験結果を受けて、主要リンクのエアシリンダーについても、現場において作業者が自分に合った圧力調整ができる様に冗長性の高いシステム構成に変更した。具体的には、制御ボックス内に圧力調整が可能なダイヤルを設置し、作業開始前に調整を行ってから作業を開始する様にしている。その結果、作業者が交代しても比較的安定した作業が可能となった。これは、アシスト機器においても従来の作業と同様に、個人の癖を許容する仕組みが必要であることを示しており、様々な作業にアシスト機器を展開する際に重要な視点となる。

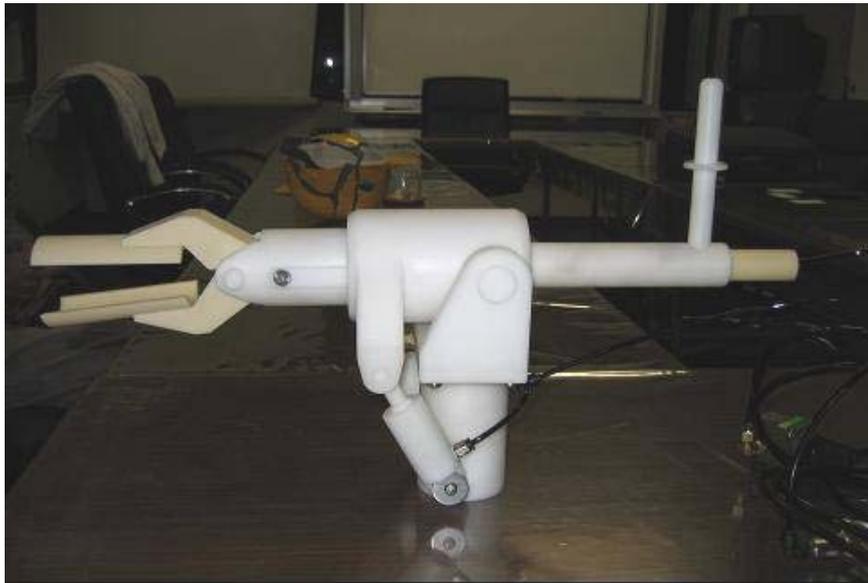
2-4 ハンドリング部の開発

鍛造成型時の衝撃を緩和するため、バネダンパーを配置したハンドリング部を開発する。

実験方法

ハンドリング部の開発にあたっては、事前に1/2モデルを作成し検証を行った。

【図-4】に作成した1/2モデルを示す。作成したモデルでの検証を行ったうえで、試作機の製作を行った【図-5】に試作機のハンドリング部を示す。



【図-4】



【図-5】

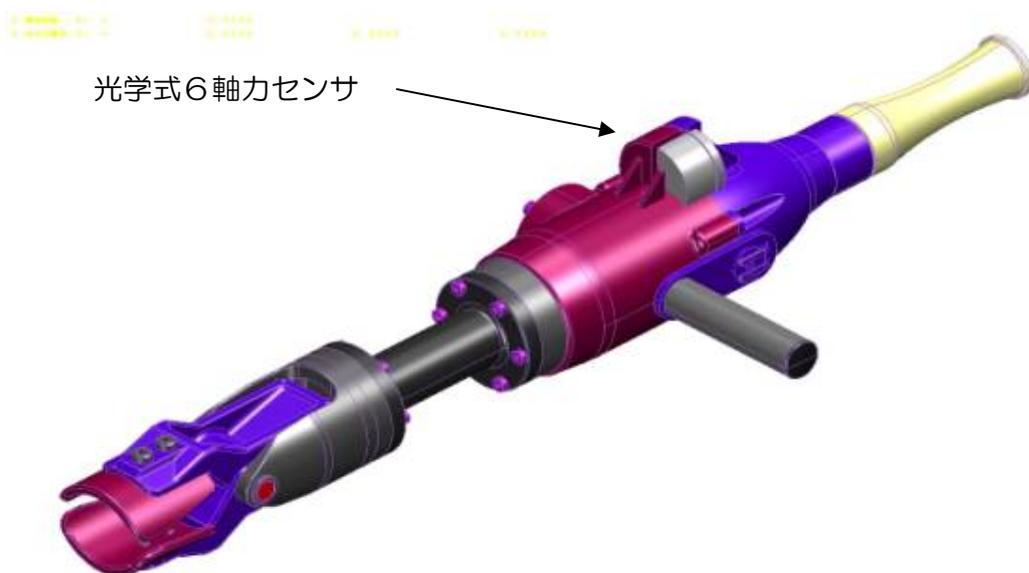
研究成果

鍛造成型時の衝撃を緩和するため、バネダンパーを配置したハンドリング部の開発ができた。

ハンドリング部の開発、製作では、実現場での実証実験を通じて、ベテラン作業者の製造感覚に大きな違和感を与えないハンドリング部の実現を目指したインターフェースの開発を行った。特に、製造時のタクトタイムの軽減を目指して構成に改善を行った。現在の2トンライン製造工程において人がアシスト機器を使わずに約5kgのワークを使って成形を行った時、1工程あたりのタクトタイムは10秒不足である。本年度の開発においては、タクトタイム10秒を目指した機器改善を行った。

ハンドリング部の操作状態に合わせてエア圧を調整できる様に、光学式6軸力センサを配置し、その制御を行える構成に改善を行った。光学式6軸力センサを介して、ハンドリング部把持部とハンドリング部インターフェース部をつなぐ構造にする必要があり、衝撃に対する強度を維持できる構成とした。

【図-6】に光学式6軸力センサを配置したハンドリング部の3Dイメージを示す。センサを固定するフレームを介して操作部と把持部が連結されることになる。なお、光学式6軸力センサは、まだ実運用された事例はなく、本事業における取組によりパワーアシスト機器の操作性向上に対して有効なデバイスであることが明らかとなった。



【図-6】

2-5 現場実地作業による検証

ハンマー現場にてパワーアシスト機器を用いた実地作業を実施し、その検証結果に基づき、リンク機構部、ハンドリング部の開発、製作ならびに把握部改善の検討資料とする。

実験方法

リンク機構部を、まこと工業株式会社の2TONハンマーラインに設置し実際の鍛造設備、周辺の設備等との干渉有無、リンク機構部の動作範囲確認、及び実際の鍛造作業での評価を行った。

1) リンク機構部の動作

鍛造作業においては、ワークが上型に付着して、型とともに急激に上昇することがある。この様なイレギュラーに対しての、リンク機構部の追随性を確認した。

2) ワーククランプ部

鍛造作業時、ワークをすばやくクランプし鍛造作業を行う必要がある。

ワーククランプの先端部は、取替え式とし、鍛造作業を行うワークの材料径に応じて取替えして使用する。

実地作業の結果、クランプ部の開閉量、ワークを受けるシュート部、クランプ開閉のスイッチなどの改善を行った。

3) ワーククランプ部、ハンドリング部の温度

鍛造作業では、1200℃～1250℃に加熱されたワークをクランプして鍛造作業を行う。そのため、ワーククランプ部・ハンドリング部が温度上昇し動作・制御に影響を与える懸念があり、温度上昇を抑えるための冷却方法を検討するため、赤外線サーモグラフィーを用いての温度測定を行った。

4) 現場実地作業の状況

現場実地作業時の工程は下記のとおりである。

工程1：ワーククランプ

工程2：第一工程鍛造

工程3：仕上工程鍛造

工程4：鍛造後のトリミング型へ乗せる

5) パワーアシスト機器のタクトタイムの検証

パワーアシスト機器を使用しない従来作業の時と、パワーアシスト機器を使用した場合のタクトタイムを検証した。

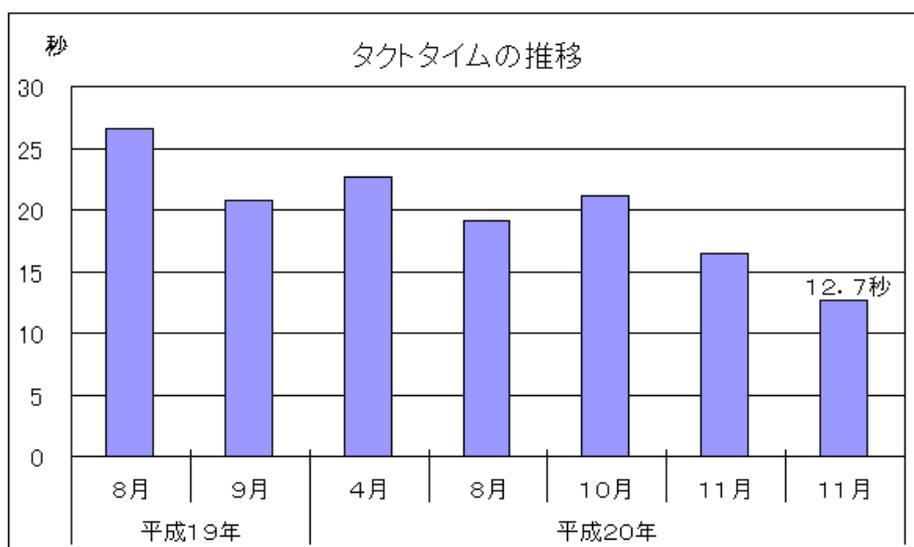
それぞれの作業をビデオ撮影し、鍛造作業の各工程ごとに時間を算出し比較した。

これにより、従来作業と比較した時のパワーアシスト機器の問題点が明確になり、この問題点を改善することで、作業性の改善及びタクトタイムの改善を図った。

研究成果

鍛造実作業による検証をもとに改善を進めることにより、タクトタイムの改善が図った。現時点では従来作業でのタクトタイム10秒には達していないが、従来作業との比較を行うことにより、改善が必要な工程が明確になってきているため、今後の課題として取り組んでいくこととする。

【図-7】に、実験開始以降のタクトタイムの推移を示す。



【図-7】

2-6 アシストソフトの開発

鍛造実作業の分析データにより、最適なアシストソフトの試作開発を行う。

実験方法

アシストソフト試作機開発では、製造時のタクトタイムの軽減を目指し、光学式6軸力センサの情報に基づくエア圧制御を行った。6軸方向に分離された力をベースにしたモード設定を行い、力に基づいたエアシリンダー出力の調整を行うことにした。

研究成果

H19年度においてクリアできていなかったワーク有無による出力の急激な変化が改善され、スムーズな操作が可能となった。開発においては、視覚的にセンサ出力がモニターできるソフトウェアを開発し、開発効率の向上を実現している。

開発した制御フローチャートはページ数多数に及ぶため省略する。

第3章 全体総括

3-1 成果の総括

1) エアーハンマーによる鍛造作業のCG化ができた。

これにより、未経験者が鍛造作業を訓練するための訓練システムを構築することができた。

2) リンク機構部・ハンドリング部の実地試験と作業者へのヒアリングを行い、課題抽出⇒解決手段検討⇒構想・設計⇒試作⇒実地試験というループを繰り返すことで改善をすすめ、実地作業に耐えうるリンク機構部・ハンドリング部を完成することができた。

当初目標である、

(1) 作業者の体感重量 $1/20 \sim 1/50$

については達成できたが

(2) 不良率の低減

(3) 一定作業時間内の集中力維持可能時間の倍増

については、評価するまでには至らなかった。

3-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

現段階においては工業所有権の取得及び対外発表等の状況には至っていない。

3-3 今後の事業化に向けた取組み

1) 鍛造作業補助システム（リンク機構、ハンドリング部）

前記報告のとおり、現時点においてテスト段階としては使用可能であるが、製品として販売できるレベルには更なる研究開発が必要であり、引き続き鍛造現場実地作業によるデータの蓄積と検証を重ね、価格、耐久性、作業性、外装等、事業化に向けた検討に取り組む。

2) ハンマー鍛造訓練用可視化システム

前記報告のとおり、システムとしてはほぼ完成しているため、ハンマー鍛造訓練システムとして、鍛造業者に対するプレゼンテーション、販売に取り組む。

また今後の課題としては、訓練環境の完全な仮想化を実現できるインターフェースを開発することである。

両システムについて引き続き検証を重ね、課題解決を図るのと並行しつつ、鍛造業者に対するプレゼンテーション用ビデオの作成、PRの実施など、事業化に向けて取り組む。