

# 加工時間計測システムが搭載可能な 自動材料切断装置の開発

関東職業能力開発大学校 水尾 準  
 関東職業能力開発大学校 中村 正美  
 港湾職業能力開発短期大学校横浜校 小野 泰二  
 佐賀職業能力開発促進センター 猪野 照高

Development of the automatic materials cutting device that can be equipped with a machining time measurement system

MIZUO Jun, NAKAMURA Masami, ONO Yasuji, INO Terutaka

**要約** 開発課題実習のテーマを提供した企業は、地元の小山市内にある従業員 100 人程度の中小企業 2 社である。A 社では、鋼材をノコ盤で切断後にフライス盤で仕上げ加工を行っているが、加工工程が多く、時間や人件費がかかるため、切断のみで切断面粗さをフライス加工と同程度に仕上げる装置を開発したいと考えている。B 社では、作業者が加工しながら部品加工時間の測定を行っており、負担となっていることと、正確な時間計測が人手により難しくヒューマンエラーが発生しやすい状況で困っているため、センサを使用しモニタリングと計測を自動で行うシステムの開発を行いたい考えがある。本テーマを 2 社と共同で開発課題として取り組んだ結果を報告する。

## I はじめに

職業能力開発大学校の応用課程 2 年生では、1 年の期間をかけて「開発課題実習」として、主に自動化装置の設計開発に取り組む。この開発課題実習は、生産システム技術系 3 科（生産機械システム技術科、生産電気システム技術科、生産電子情報システム技術科）の各科 5～6 名の学生が、合計で約 15 名のグループワークで取り組む。

開発する課題のテーマは、地元の地域企業との日頃からの相談援助や共同研究などにより、候補を挙げて選定している。関東能開大では地域企業からの相談窓口として地域協力室<sup>(1)</sup>があり、共同研究や受託研究を積極的に進めている。産官学との間で連携を取りながら、つながりを作っており企業に支援や協力をしている。

企業で抱えている問題や試作したい案件について相談や提案をいただいた内容から、企業との相談援助の中で共同研究や受託研究、開発課題などへの展開を検討しながら能力開発セミナーとして社員教育も検討し

ていく。このように企業と連携を図ることで、企業と学校側と一緒に検討して、その内容を学生の教育において生きた教材として活用しており、双方により相乗効果を合わせ持っている。本報告は、その一例である。

## II 開発テーマの概要

今回の開発課題実習のテーマを提供した企業は、地元の小山市内にある従業員 100 人程度の中小企業 2 社であり、精密機械部品を中心に製造している。

A 社では、鋼材をノコ盤で切断後にフライス盤で仕上げ加工を行っているが、加工工程が多く、時間や人件費がかかるために切断のみでフライス加工と同程度に仕上げる装置を開発したいと考えている。

B 社では、製品加工時間の計測を作業者が加工しながら人の手で行っており負担となっていることと、正確な時間計測が人手により難しくヒューマンエラーが発生しやすい状況で困っているため、加工機の稼働時

間や段取り時間、測定や手工具による加工などの作業工程を分析して IoT によるセンシングでモニタリングを自動で計測を行う装置システムの開発を行いたい考えがある。

これら 2 社の要望を叶えるために、材料を切断のみでフライス仕上げ加工と同程度の切断装置に、様々な工作機械に搭載可能な加工時間計測システムを搭載した装置を開発することを目的とする。本報告では、主に 2 年目の 2020 年度の取り組み事例について述べる。学生の体制は生産機械システム技術科 6 名、生産電気システム技術科 4 名、生産電子情報システム技術科 5 名の計 15 名である。

### Ⅲ 自動材料切断装置

#### 1 自動材料切断装置の概要

開発する自動材料切断装置の仕様を表 1 に示す。対象の被削材は鋼材 (SS, SC 材) とし、切断する工具は、超硬チップを 60 枚搭載した回転刃 (工具直径 285 mm) とした。評価として、現在の生産におけるフライス加工と同等以上の寸法精度と仕上げ面粗さを得ることとした。

図 1 に作業工程について動作フローを示す。始めに材料の現品票をバーコードリーダーで読み込みデータベースの情報から材料サイズを抽出してワークフィーダにより指定寸法で材料を供給する。

その後、自動パイスにてクランプして材料を固定する。次に回転刃を自動送りにより材料を切断加工し排出する。

図 2 に開発した自動材料切断装置の全体像を示す。図 3 に装置のシステム構成について示す。自動化装置の動作の制御には PLC (Programmable Logic Controller) を用いている。材料データベースとの通信や現品票のバーコード読み取り、加工時間計測部については、コンピュータによる制御としており、PLC とコンピュータ間のシリアル通信でデータの入出力をしている。

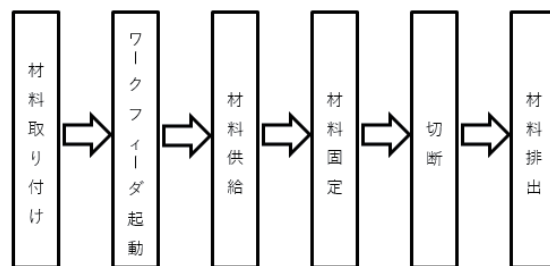


図 1 作業工程の動作フロー

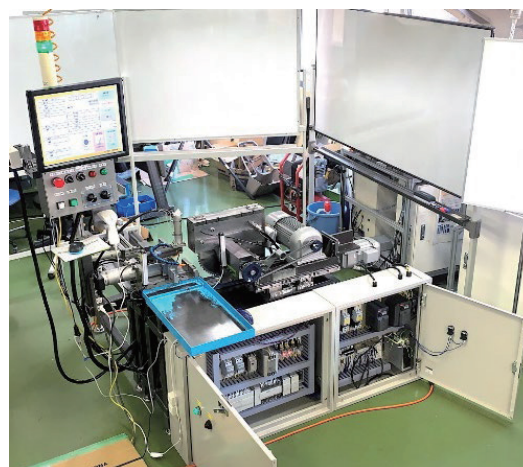


図 2 自動材料切断装置の全体外観

表 1 自動材料切断装置の要求仕様と開発仕様

仕様項目	要求仕様	開発仕様
装置寸法 [mm] [幅×奥行×高さ]	指定なし	1800×1800×1900
対応材種	鋼材	鋼材
材料寸法 [mm] [幅×厚み×長さ]	200×30×4000	30~60×15×1000
製品の長さ [mm]	30~1600	30~500
長さ精度 [mm]	±0.02	要求仕様と同様
面粗さ [μm]	Ra6.3	要求仕様と同様
加工データの見える化	寸法精度、表面粗さ、加工時間、履歴、加工履歴、刃物変更履歴、加工後の寸法	加工時間、加工履歴、刃物変更履歴に加え、刃物の送り速度、刃物の回転数、累計加工回数

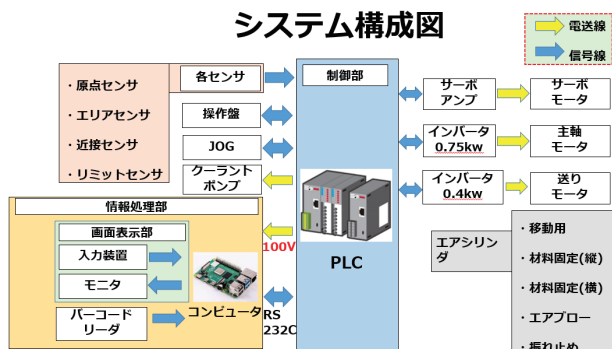


図 3 自動化装置のシステム構成

## 2 自動材料切断装置の詳細

図4に材料供給と切断部の部分拡大図を示す。自動材料切断装置は、6つのユニット(1.材料供給ユニット 2.材料固定ユニット 3.切断ユニット 4.切削油ユニット 5.本体ユニット 6.自動制御ユニット)から構成されている。

### 2-1 材料供給ユニット

切断する材料を投入して自動バイスへと送るためのユニットである。エアシリンダで材料をクランプして、現品票に記載の製品指示寸法をバーコードで読み取り、サーボモータにより指定位置まで自動で移動させる。

### 2-2 材料固定ユニット

切断加工時に材料が動かないように固定するためのユニットである。バイスに設けたスリットを刃が通過することにより材料を刃の両側から固定している。固定にはエアシリンダを用いており、側面と上面からの2方向で固定することで振動を抑制している。

### 2-3 切断ユニット

鋸刃回転部と鋸刃送り部とから構成されており、鋸刃の回転は、三相誘導電動機(出力750[W])の動力をプーリによりベルトで伝達させている。鋸刃の送りには、三相モータをインバータ制御により送り速度を可変できるように制御している。切断する材料の面の平面度を向上させるために鋸刃の振れを抑制する必要がある。そのため様々な案を検討した結果、独自のアイデアとして、図5に示すような振れ止め機構を新たに開発した。この振れ止めは、図6に示すように、回転刃の両側からフッ素樹脂(PTFE)パッドのシリンダを配置して刃を挟んでいる状態である。エア注入口からエア圧によりシリンダを刃に押し付けながら鋸刃を回転させることで振れを抑制することができる構造となっている。刃振れが最も抑えられるエア圧は、実験を重ねた結果、0.2[MPa]が最適値であることを確認した。

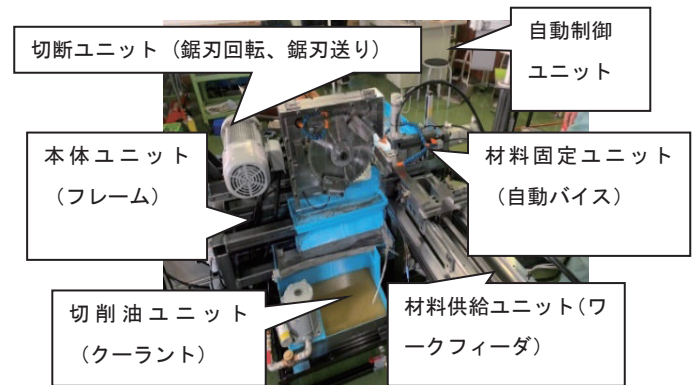


図4 材料供給部と切断部の周辺拡大

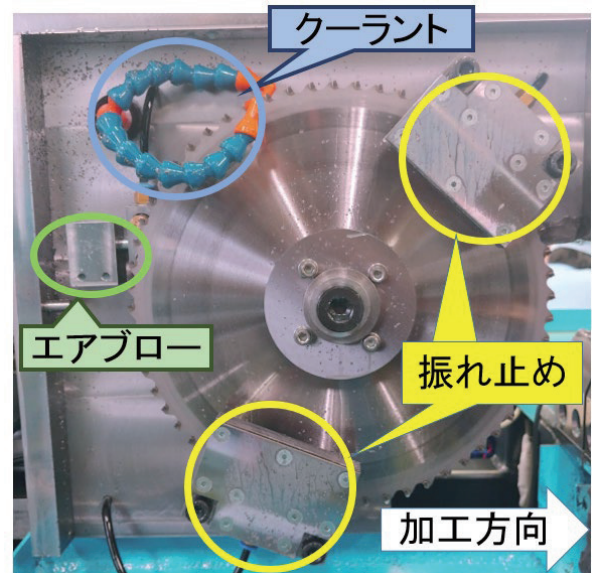


図5 切断ユニット鋸刃振れ止め機構

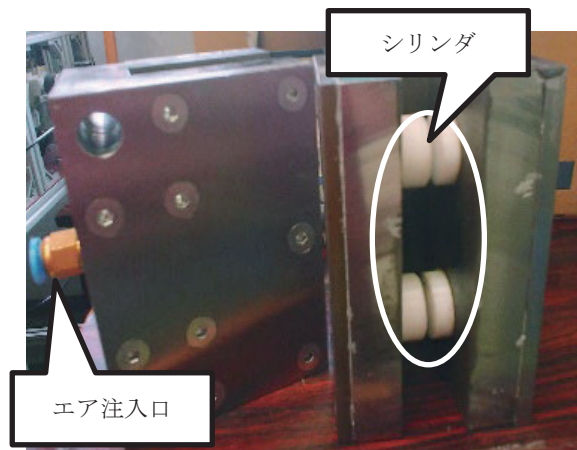


図6 鋸刃振れ止め機構詳細

## 2-4 切削油ユニット

切断加工時には、切削油を用いて加工を行う。切削油には水溶性切削油を使用している。図5に示すように切削油は刃の回転上部からクーラントとして装置下部に配置したオイルパンから、ポンプにより供給される。目的としては、刃の冷却と潤滑もあるが、一番大事なのは切削した切りくずの除去である。切りくずが切断面に付着すると表面にキズを付けることになるため切削後の刃に付着した切りくずを完全に除去することが必要となるため、クーラントを用いている。また、併用してエアブローによるエアの噴射で刃に付着した切りくずを除去している。

## 2-5 本体ユニット

装置本体は、強度剛性を必要とすることから、角パイプ(□40 mm×t 4.5 mm)を溶接により接合してフレーム構造を構築することで強度剛性を確保した。

## 2-6 自動制御ユニット

自動制御ユニットは、制御盤内に配置された PLC を中心とする構成と、データベースからバーコードリーダーで読み込むコンピュータによる情報処理部の構成となっている。PLC とコンピュータとの通信には、RS-232C によるシリアル通信を用いて寸法データの送信や加工状況をモニタリングして作業者に開示している。

ユーザが操作するオペレーションパネルの画面表示部の一部を図7に示す。画面は作業者が使いやすいように大きく見やすくして、操作性の良さからタッチパネル方式を採用している。加工状況がリアルタイムにモニタリングできるようになっており、次の加工情報のデータを最大4つまで保持できるようにした。

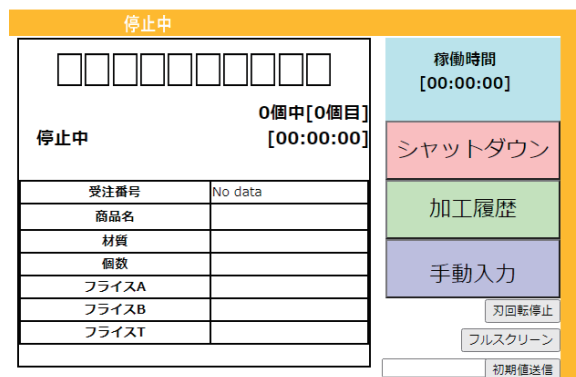


図7 操作画面表示部

## IV 加工時間計測システム

### 1 加工時間計測システムの概要

B社では、業務における作業工程管理のために鋼材加工における加工時間(段取り時間、待機時間、加工時間等)などの計測開始/終了のスイッチを作業者自身の手で押す事が負担になっている。そのためヒューマンエラーが発生しており正確な時間計測は人手では難しく、作業状況をリアルタイムでモニタリングして自動計測することによりデータ収集と管理をしたいと考えている。開発する加工時間計測システムの仕様を表2に示す。加工時間計測システムは、B社内のフライス盤に取り付けて実証実験ができるように製作するが、B社内にある様々な加工機に取り付けて使用したいとの要望から、実証実験を行うフライス盤専用システムでなく、様々な加工機に取り付けられる汎用システムとして製作する。

加工時間計測システムの開発は、①スイッチを用いる事で汎用性を優先した手動での計測(以下、手動化)、②加工する現品票枚数を1枚に限定した計測を自動化する自動(単発)での計測(以下、自動(単発)化)、③同時に加工する現品票を6枚まで自動計測が可能な自動(連続)の3段階の開発ステップがあり、自動(単発)化までを製作予定であったが、さらに開発を進め、同時に加工する現品票を4枚まで自動計測が可能な自動(連続)の一部の機能まで完成した。

図8に作業工程の内容と計測するユニットの構成について示す。作業分析としてどのような作業がありどのようにセンシングして計測するかについて検討し、図に示す内容をセンサでセンシングすることとした。

図9に計測システムの構成について示す。フライス加工では、材料をフライス盤で加工後に作業台でマイクロメータによる寸法測定や、ディスクグラインダによるバリ取りの作業があり、フライス盤では加工の他に材料

表2 加工時間計測システムの要求仕様と開発仕様

仕様項目	要求仕様	開発使用
装置寸法 [mm] [幅 × 奥行 × 高さ]	指定なし	450 × 100 × 80
計測項目	段取り時間、機械加工時間、チップ交換時間	段取り時間、機械加工時間、特殊作業時間
加工データの出力形式	指定なし	Excel
1作業に対する計測誤差	1分以内	要求仕様と同様
対応する機械	フライス盤	汎用的

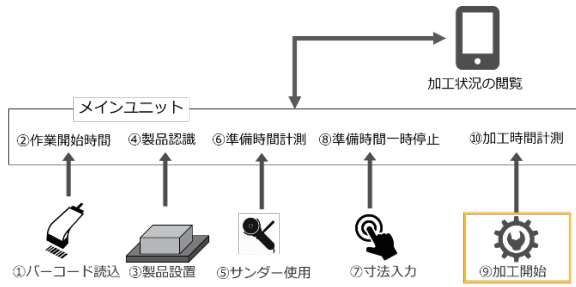


図 8 作業工程におけるセンシング内容

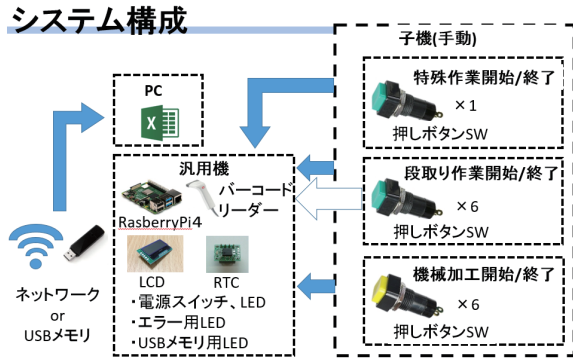


図 9 計測システムの構成

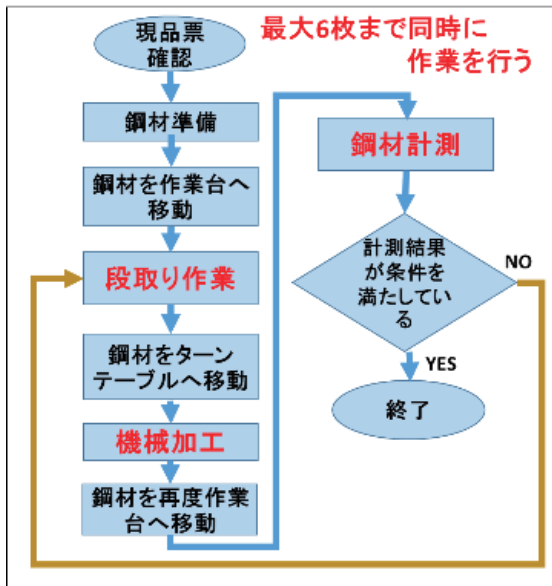


図 10 作業工程フロー

を固定する段取り作業がある。

作業工程フローを図 10 に示す。まず、材料の現品票をバーコードリーダーで読み込んで材料を準備し、測定台に配置したロードセルにより作業台へ移動させる。次に材料をテーブルに固定する段取り作業。機械加工を行う。その後、バリ取りを行ない、最後に寸法を計測する。更にフライス加工工程の間には定期的に工具のチップ交換が行われる。これらの行程を作業分析して加工時間や段取り時間、待機時間について自動化や自動(単発)化、自動(連続)の検討をする。また、作業員は図 10 の作業工程フロー図どおりの作業を行う事を前提とし、例外処理は考慮せず、システムの開発を行う。

## 2 加工時間計測システムの詳細

計測システムの開発は、段階的に検討することとし、自動化、自動(単発)、自動(連続)での計測へと適用される作業の行程と内容を考慮した。自動化については、作業者がスイッチを押すことで計測ができる段階である。計測における作業者の負担があるが、汎用性を持たせた形で様々な工作機械での加工に応用できる。手動計測ユニットの構成について図 11 に、現品票のバーコード読み取り装置を図 12 に示す。このユニットを加工機の制御装置に取り付けて作業者が各工程毎にスイッチを押すことで計測を行う。作業内容には、機械加工や工具交換作業、手作業による段取り作業とマイクロメータによる測定作業、待ちの待機時間、チップ交換作業(以下、特殊作業)がある。

自動(単発)化は作業員がスイッチを押す代わりに各種センサでセンシングすることにより計測を行うことである。

図 13 に機械加工のセンシングについて示す。機械加工ではフライス盤の動作のうち、軸の移動について原点復帰動作を超音波センサによりセンシングすることで機械加工のモニタリングを行う。また、工具のチップ交換作業は、交換工具の使用を工具台に配置したマイクロスイッチで感知することで特殊作業時間の計測を行う。

図 14 に段取りや測定作業におけるセンシングについて示す。段取り作業は、機械加工後のエッジのバリ取り作業がある。バリ取りにはディスクグラインダを用いる。ディスクグラインダを使用する事で電流値が変化するため、その電流値の変化を電流センサで読み取る事でグラインダ使用中であることがわかる。

測定作業は、機械加工後の板厚や長さ寸法測定をマイクロメータで実施しており、マイクロメータの使用を検出して測定に要する時間計測を自動的に行う。計測したデータはPC内に格納される。PCからUSBメモリにデータを転送することにより、外部に取り出すことができる。データ表示は、表計算ソフト(Excel)のマクロを用いることでデータを見やすく加工する。現品票ごとの計測時間に加えて機械のトータルの稼働時間も表示させることができる。

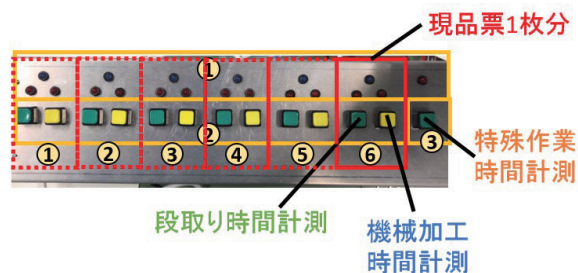


図 11 手動計測ユニットの構成

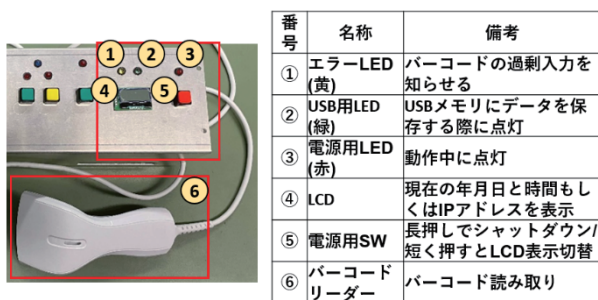


図 12 手動計測ユニットの現品票読み取り装置

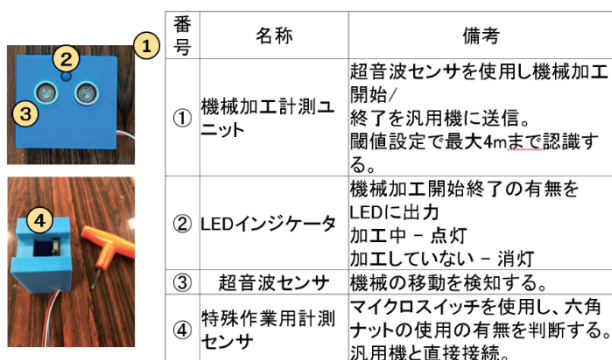


図 13 機械加工におけるセンシング

番号	名称	備考
①	段取り計測ユニット	ロードセル、電流センサを内蔵。マイクロメータの重量を測り工具の使用の有無を汎用機に送信する。閾値設定で最大10kgまでの工具が使用可能。
②	電流センサ	サンダーを使用した際の電流を測定し、使用の有無を汎用機に送信する。

図 14 段取り、測定作業におけるセンシング

## V 開発目標の達成状況

開発した装置の開発目標に対する達成状況について表3に示す。表3に示す全ての開発目標を達成した。表4に開発した自動材料切断装置で加工した製品の評価について示す。また、図15に切断面の様子を比較して示す。材料長さの寸法精度は、 $\pm 0.02$  mmで、平面度や直角度も $\pm 0.02$  mm以下を得ることができ、現在、企業A社で導入している切断機と同等以上の寸法精度を得ることができた。製品表面粗さは、算術平均粗さ Ra で  $0.5 \mu\text{m}$  となり、同様にフライス加工面以上の値を得ることができた。

表 3 開発目標の達成状況

自動材料切断装置	
開発目標	性能
材料供給と排出の自動化	自動供給・自動排出可能
切り粉除去性能の向上	切断面粗さ：Ra $0.5 \mu\text{m}$ 以下
軽量化と振動の軽減	加工に影響を及ぼす振動なし
刃物の直角精度の向上	直角精度 $\pm 0.02\text{mm}$ 以下
前年度以上の加工精度	長さ精度 $\pm 0.02\text{mm}$ 以下
加工時間計測システム	
材料ごとに作業開始/終了の時間計測	時間計測可能
作業時間を段取り時間と機械加工時間、特殊作業時間に分割	作業ごとに分割計測可能
データをExcel形式で出力	Excel出力可能
チップ交換時間の自動計測	自動計測可能

表 4 自動材料切断装置の性能評価

精度項目	要求	開発装置
長さ精度[mm]	$\pm 0.02$	$\pm 0.02$
面粗さ[ $\mu\text{m}$ ]	Ra 6.3	Ra 0.5
平面度[mm]		0.02
直角精度[mm]		0.02



図 15 自動材料切断装置の切断加工面の比較

## VI おわりに

応用課程 2 年生の開発課題実習として、地域の中小企業 2 社とともに加工時間自動計測システムを搭載した自動材料切断装置の開発に取り組み、装置を完成させて、要求仕様を満たすことができた。

開発した装置は、部品加工において、通常はフライス加工で仕上げる工程を、一度の切断加工のみで製品を得ることができる装置を新たに開発することができた。また、鋸刃の振れ止め機構に新たなアイデアを取り入れることができた。

更にセンサを用いて加工時間を自動計測してモニタリングする機能を搭載することができた。面取り加工を自動化する装置は数少なく、地域企業からも多くの需要が期待できて、地域社会に貢献できるものと思われる。また、開発した加工時間計測システムは企業にて検証していただき、今後は実用化に向けて検討していくと思われる。

この開発課題テーマの取り組みについて、令和 2 年度の全国の職業能力開発大学の応用課程開発課題実習における成果物の特別賞を受賞することができた。卒業式後の表彰式での受賞の様子を図 16 に示す。

本開発課題の取り組みにあたり、ご指導や助言をいただき、ご協力をいただきました企業の皆様や客員教授をはじめとする先生方に感謝いたします。また、課題の開発に取り組み、装置を完成させた学生に感謝いたします。



図 16 成果物表彰「特別賞」の受賞

## 【参考文献】

- (1) 関東職業能力開発大学校 HP  
<https://www3.jeed.go.jp/tochigi/college/business/partner.html>。
- (2) 関東職業能力開発大学校 紀要 第14号、2022年3月、pp.38-43。