

課題情報シート

テーマ名 :	ガンドリルによる自動穴あけ装置の開発				
担当指導員名 :	田上晴久	実施年度 :	25 年度		
施設名 :	沖縄職業能力開発大学校				
課程名 :	応用課程	訓練科名 :	生産機械システム技術科		
課題の区分 :	開発課題実習	学生数 :	6	時間 :	54 単位 (972h)

課題制作・開発のポイント

【開発（制作）のポイント】

- 1 昨年度の問題点を改善し、実用化へ向けた試作機の仕様とした点。
- 2 材料固定部は、加工素材の角材□40 を、能率よく確実にチャックできるようにした点。
- 3 加工時に切りくずが飛散ないように設けたチップボックスと集塵機をパイプで繋ぎ、切りくずを常時回収させ作業環境を改善するようにした点。
- 4 切削時にガンドリルの先端からエアを噴射させるため、スピンドル部をスピンドルスルーにした点。
- 5 装置にエラーが発生した場合、操作部の LCD にエラー内容とその対処方法を表示させ、作業者が操作しやすいようにした点。
- 6 ドリルの過負荷に相当するスピンドル用モータの電流値を検出することで、穴あけ加工時の切削負荷を常時監視し、高価なドリルの折損を防止できるようにした点。

【訓練（指導）のポイント】

- 1 開発テーマのボリュームを考え、機械系 4 名、電子系 2 名のグループ構成とし、グループ内における役割を分担します。
- 2 開発する装置の役割を明確にし、企業からの要求仕様、設計基本仕様及び日程表を検討します。
- 3 過剰設計とならないように注意し、品質、コスト、納期などのバランスを考えながら設計に取り組み、設計仕様書を作成します。
- 4 設計を行うなかで必要となる各種実験は、実験計画書を作成し、効率的な実験を行い、得られた結果に基づいて結論を導きます。
- 5 設計において、市販部品、汎用部品を活用した設計、製作方法、組立方法を考えた設計ができるように工夫します。
- 6 製作においては、加工ミスを防ぐため、加工工程をしっかりと検討し、安全第一で作業に取り組みます。
- 7 ミーティングでは、発言者の意見に耳を傾け、課題解決に向けた手順や方法について共通の認識を持たせます。

- 8 各自が与えられた課題や役割に責任を持ち、グループメンバーをフォローし合って、グループで課題を解決するモチベーションを最後まで維持するよう指導します。
- 9 図や表を効率的に利用した分かり易い報告書や発表会予稿原稿を作成し、発表会では制限時間内に伝えたい内容を説明するよう指導します。
- 10 5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努めるよう指導します。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 沖縄職業能力開発大学校
住所 : 〒904-2141 沖縄県沖縄市池原 2994-2
電話番号 : 098-934-6282（代表）
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/okinawa/college/>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

ガンドリルによる自動穴あけ装置の開発

Development of an Automatic Drilling Machine for Longitudinal Holes of Woodwind Instruments

要 旨

木管楽器の製造では、職人の手作業による熟練した技能を必要とし、職人の腕が楽器の良し悪しを決めることになる。そのため、作る職人が違えば音色や操作性等その楽器の品質も異なる。

このような木管楽器製造分野における機械化とは、腕の良い職人の手作業を機械に置き換えることである。また、量産化に対応するためには自動化も必要となるが、製造工程の8割以上を手作業に頼っているのが現状である。

今回、県内で木管楽器を製造している企業より、製造工程でボトルネックとなっている作業の自動化について当校へ相談があり、当該作業を自動化する装置の開発に取り組んだ。本報では、開発した装置の概要とこれまでに得られた成果について報告する。

キーワード：深穴加工、自動穴あけ、ガンドリル、グラナディアラ、木管楽器

1. はじめに

県内で木管楽器を製造している株式会社美ら音工房ヨーゼフでは、図1に示すオーボエなどの木管楽器を主に製造しており、製品に必要な部品の多くは手作業で製作している。木管楽器は管状の構造で、上管、下管及びベルの3つの部分から構成されている。本開発では、この「管体」を製作する最初の工程となる、グラナディアラ(加工素材)へのガンドリルによる穴あけ作業の自動化を目的としている。

開発に際し、本開発の目的に合致するような深穴加工機械が存在するか調査を行った。その結果、市場には金属加工用の高価なガンドリルマシンはあるものの、木工用の自動深穴加工機械は存在しないことが分かった。そこで、木管楽器専用の深穴加工装置の開発に着手することにした。

本開発は、これまでに3年間取り組んでいる。最初の2年間で装置の仕組みと自動による穴あけ動作を実現し、3年目には装置の実用化に向けた



図1 オーボエの外観とその構成



図2 開発した装置の外観（試作機3号）

課題の解決と、これまでの開発における問題点を改善し、図2に示す試作機3号を開発したり。

2. 開発概要

2.1 ガンドリルとは

ガンドリルは、銃身に深穴をあけるために開発されたドリルで、図3に示すように一般的に使用されるドリルよりも全長が長く、刃先も特殊な形状をしている。このドリルは、穴の径と深さの比率であるアスペクト比が10以上の深穴加工に用いられるもので、ドリル内部が中空になっており、エアや潤滑油を噴射するオイルホールが設けられている。

2.2 ガンドリルによる穴あけ作業の現状

現在、加工素材であるグラナディラへの穴あけ作業は機械化されており、図4のように穴あけ専用機械により手動で行われている。この穴あけ作業では、作業者は穴あけが終了するまで、ドリル送り用のハンドルを手動操作しなければならない。穴あけ作業時間は加工素材の長さやドリル径により異なるが、最も長い場合、12分間以上の時間を必要とする。そのため、装置を自動化することで、作業者の負担を軽減すると同時に、自動で加工している間に、作業者が次の段取りを並行して行うことができ、作業能率の改善や経費削減が図れるという利点がある。穴あけ加工前の加工素材と加工後の材料を図5に示す。

3. 仕様

3.1 要求仕様

開発に対する企業からの要求仕様を以下に示す。

- ① 穴あけ作業を自動で行うことができる。
- ② 穴あけ作業時にエアの出し忘れを防止できる。
- ③ 目詰まり等によるドリルの折損を防止できる。
- ④ 加工終了を視覚や音声で通知できる。
- ⑤ 材料を能率よく固定できる。
- ⑥ 切り屑が飛散しないように集塵できる。
- ⑦ ドリルの種類を交換できる。

①～⑥までの要求は試作機1号から試作機2号までの開発のなかで概ね実現できた。そこで3年目の取り組みでは、実用化に向けた項目として⑦を加えた。また、試作機2号までは、加工素材として実際の断面形状□40よりも小さい□15を用

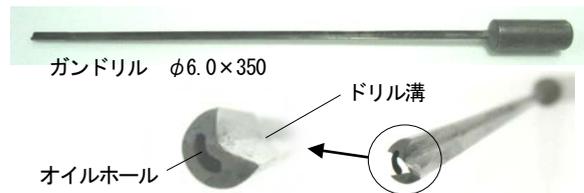


図3 ガンドリルとその先端形状



図4 ガンドリルによる穴あけ作業



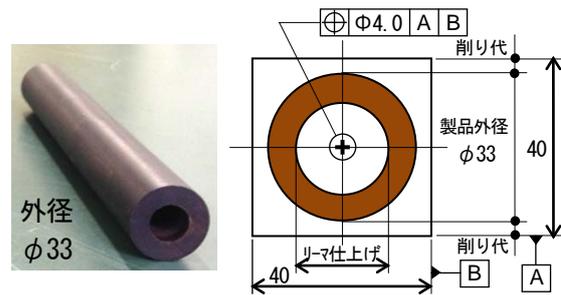
図5 穴あけ加工前と加工後の材料

いていたが、試作機3号(以下、本装置という)では製品に用いる□40の材料を加工する仕様とした。これにより加工素材の長さも、試作機2号で加工できる材料長さ130mm～150mmを、180mm～240mmへと仕様変更した。

3.2 穴あけ加工精度

本装置による加工素材への穴あけは、下穴加工となっており、加工後に下穴に沿ってテーパリーマにより仕上げ加工が施される。そのため、穴の寸法精度についてはあまり気にしなくてもよい。必要となるのは穴の位置精度である。加工素材は、テーパリーマ加工後に、外形を旋削により図6a)に示すように仕上げる。加工素材は□40の角材であるが、仕上がり断面は外形がφ33の丸パイプとなる。□40の加工素材の寸法公差が±1mm程度であることを考慮すると、加工素材に対する外形の削り代は約3～4mmとなる。外形の削り代を確保するためには、できるだけ加工素材の断面中心に下穴があけられている必要がある。そこで、下穴の

位置が、加工素材断面中心からずれた場合、どれぐらい許容できるのかを指定する穴の位置精度が必要となる。加工素材がマイナス公差であった場合、外形の削り代を少なくとも1mm以上確保するためには、加工素材断面中心に対して穴中心が2mmのずれまでは許容できることになる。つまり、**図6b)**に示すように、下穴の中心が加工素材断面中心を基準に、φ4の円内に収まるように穴あけ加工すればよいことになる。また、穴あけ加工の良否の判定は、穴あけの位置精度だけでなく、曲がりのない真っすぐな穴があいていることが「良品」の条件となる。



a) 外形仕上げ後の形状 b) 穴あけ位置精度

図6 穴あけ加工精度

3.3 試作機2号の問題点

試作機3号の開発に取り組むに当たり、これまでに開発した試作機2号の評価試験を行った。その結果、要求仕様を概ね満足しているが、以下の点について改善が必要であることが分かった。

①自動で穴あけ中に、ドリルが加工素材を貫通したら加工終了となるが、加工終了時の検知が安定しておらず、加工終了後もドリル送りが止まらず、送りの最終端に設置したリミットスイッチを検出して終了することがある。そのため、要求仕様の①を十分に満足していない。

現在、加工終了の検出は、ドリル送り用モータの電流値の変化をモニタし、切削負荷のある間、つまりモータの電流値が無負荷時に比べて高くなっている場合に切削中と判断させている。しかしながら、切削中のモータの電流値は上下に振動していることや、切削中と無負荷時の電流値に優位差はあるものの、その差が小さいことなど、終了の検出を単に電流値の変化だけで判断する方法では不十分であるためである。そのため、検出した電流値に対して何らかの処理を施して、加工終了を判断する方法を再検討する必要がある。

②装置にエラーが発生した場合、どこにどのようなエラーが発生しているか、作業者が判断するのが難しい。また、エラー内容が判っても、どのように正常復帰させればよいか、その対処方法が判りにくい。

これも上記の「送り速度の問題」同様、装置を使用する作業者の視点が十分に考慮されていないためである。

表1 基本仕様

幅×奥行×高さ (mm)	1340×500×1430
ワーク (mm)	グラナディア □40×180、□40×240
材料回転数 (rpm)	無段階変速(0~1000)
ドリル回転数 (rpm)	100
切削送り/JOG送り速度 (mm/min)	6段切り替え (10、20、30、40、50、60)
早送り速度 (mm/min)	600
使用ドリル (mm)	φ6×350、φ9.5×520
ドリル先端部切屑排出方法 (MPa)	スピンドルによる噴射式 圧縮空気圧: 0.3
切屑集塵方法	チップボックス、集塵機
材料回転用モータ制御方式	インバータ制御
スピンドル送り用モータ制御	パルス制御
装置の主制御方式	PLCによるシーケンス制御
ドリル折損検出方式	電流式(スピンドル用モータ)

③ガンドリルを装置に取り付けた後、加工素材近くまでドリルを送る場合に、送り速度が遅く作業能率が悪いため、要求仕様の①を十分に満足していない。

これは、開発した装置の送り速度が切削用だけにしか設定されておらず、作業者にとって必要となる移動時の早送り速度が考慮されていないためである。

④穴あけ加工中に、機構部の一部から切り屑が漏れており、要求仕様の⑥を十分に満足していない。

3.4 基本仕様

企業からの要求仕様と試作機2号での問題点を

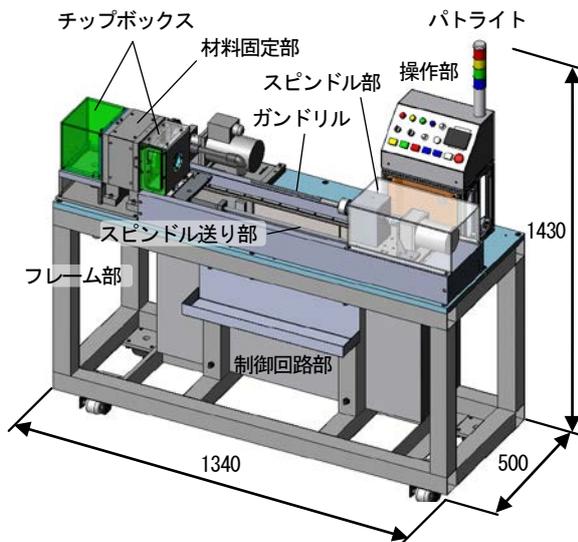


図7 装置の概略

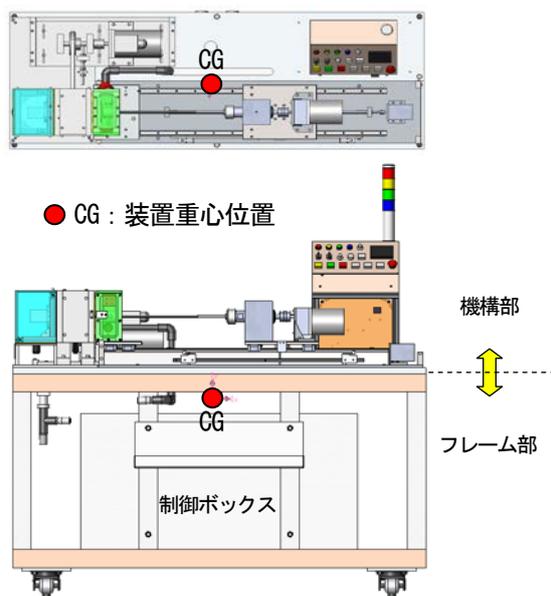


図8 装置の重心

表2 装置各部の質量

装置各部	質量[kg]
材料固定部	24
スピンドル部	16
スピンドル送り部	28
チップボックス部	7
操作部	4
フレーム部(制御ボックスを含む)	95
合計	174

踏まえ、開発する装置の設計仕様を決定した。そして、設計仕様に沿って装置を設計・製作した。開発した装置の基本仕様を表1に示す。

4. 装置の構成

開発した試作機3号の概略を図7に示す。本装置は機構部、制御部及びフレーム部に大別され、機構部として材料固定部、チップボックス部、スピンドル部及びスピンドル送り部、制御部として制御回路部と操作部より構成されている。

試作機3号の重心位置を図8に示す。本装置は作業者が立って操作を行う想定である。そのため、操作性を考慮すると、機構部は作業者が立って作業を行える位置に設置しなければならない。機構部は、図8に示すように、フレーム部より上部に位置しており、その質量は約80kgとなっている。こうした状況から、本装置の重心位置は、装置全体に対して高い位置になることが予想されたため、フレーム部の奥行きを少し広くし、フレーム素材として用いる角パイプを、質量の大きい鉄鋼材料とした。また、角パイプの板厚を厚めにし、フレーム部の質量をできるだけ大きくすることで装置の重心位置を低くし、装置が転倒することがないように考慮した。その結果、図8に示すように、フレーム部(制御ボックスを含む)として装置質量の50%以上を確保でき、重心位置としても安定性を保つことが可能な設計になった。なお、装置の全質量は表2に示すように約174kgである。以下に、機構部と制御部の概要について説明する。

4.1 機構部

本装置の機構部を図9に示す。機構部は、加工素材を取り付ける「材料固定部」、加工中の切り屑を集塵し、ドリル先端が材料へ侵入する際の振れ止めを含む「チップボックス部」、コレットチャック

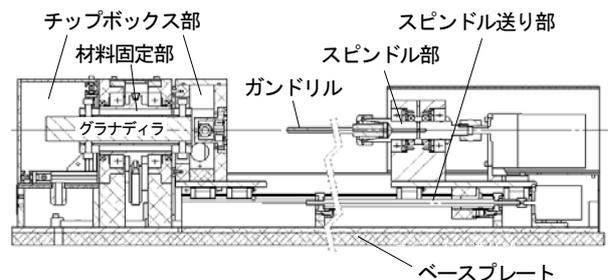


図9 機構部の構造

クを介して取り付けられたガンドリルを、所定の速度で回転させ、スピンドルスルーでエアを送る「スピンドル部」、及びこのスピンドルを指定した速度で安定して送る「スピンドル送り部」より構成されている。これらの機構部はベースプレートに配置され、このベースプレートをフレーム部に固定している。

4.1.1 材料固定部

材料固定部は、加工素材である角材を能率よく確実にチャックし、材料をできるだけ振動しないように滑らかに回転させる役割を持っている。

材料固定部は、図10に示すように、加工素材となるグラナディアを固定する材料固定軸を中心に、この軸へ動力を伝達するVベルト、材料回転用モータなどから構成されている。材料固定部の主要部分の構造を図11に、材料を通す材料固定軸の構造を図12に示す。材料固定軸は、材料の断面形状と同じ四角穴のあいた中空形状となっている。穴の形状を丸穴ではなく四角穴にしているのは、材料を穴に挿入しやすくして材料固定時の作業能率を高めると同時に、穴の位置精度を確保しやすくするためである。そして、材料固定軸の両端には、図に示すように、材料固定用の4つの締め付けボルトを上下左右に配置した。材料取り付け時は、材料とチャック部にできる1.5mm前後の隙間を、目視で均等にしながら締め付けて固定する仕組みとなっている。

材料固定軸の製作については、材料を通す穴が角穴のため、ワイヤーカットによる加工方法なども検討した。しかし、長手方向に制限があり、設計が加工方法によって制約を受けてしまう可能性が高い。そこで、この軸部品を製作するために、図12のような4つの部品をまず荒加工し、それらを溶接により接合後、再度旋削で外形を仕上げ、各部品が同心になるように工夫した。

4.1.2 チップボックス部

チップボックスは、穴あけ加工中に飛び散る切りくずを回収する役割を持っている。また、ドリルの先端が最初に材料に侵入する際、ドリルが振れないようにすることも、もう1つの重要な役割である。

チップボックスは、図13に示すように、切りく

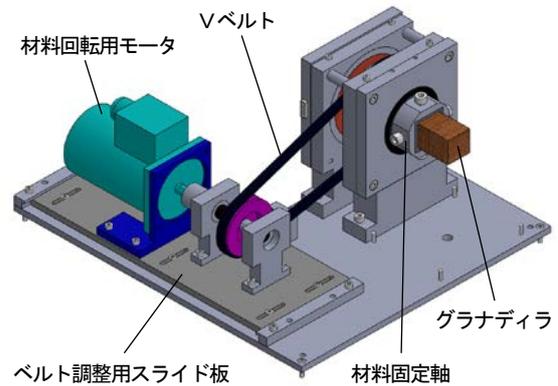


図10 材料固定部の構成

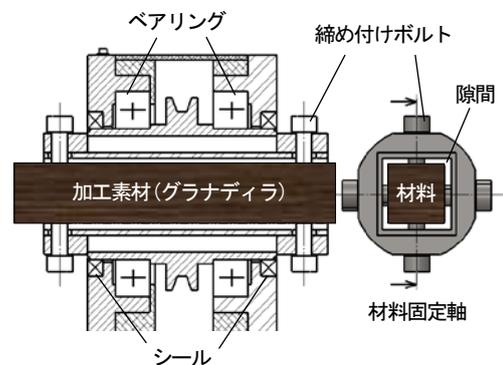


図11 材料固定部の構造（断面）

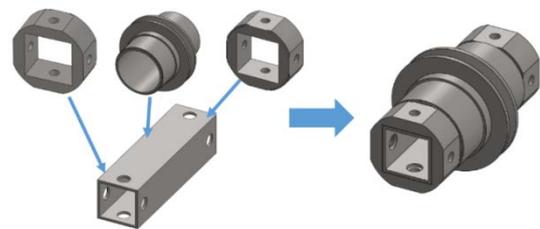


図12 材料固定軸の構造

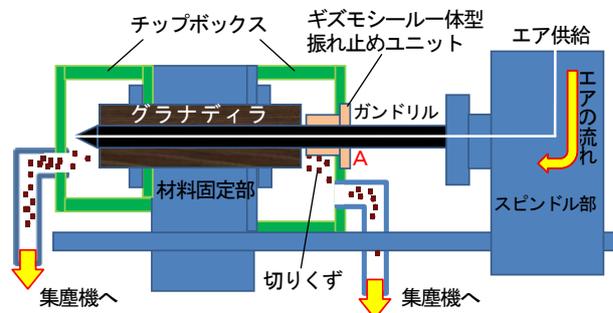


図13 チップボックスの構造

ずが飛び出してくる材料の両端部分を覆うように箱型形状とし、切りくずはチップボックスに接続

されたパイプを通して、常時集塵機へ回収される仕組みとなっている。また、チップボックスにドリルが入り込む部分（図13のA部）には、図14a)に示すガンドリルの断面形状に対応した図14b)のようなギズモシールが設けられている。

本装置ではドリル交換も行うため、ドリル径に合わせてギズモシールの交換も必要となる。そこで、ギズモシールの交換性を良くするため、図15に示すドリル振れ止め一体型のユニットを考案した。これにより、ドリルを交換しドリル径が変わった場合に、ギズモシールを単体で交換するのではなく、ギズモシールと振れ止めが一体となった本ユニットの付け替えだけで加工準備が整い、作業時間を短縮することが可能となる。

4.1.3 スピンドル部

スピンドル部は、切削時にガンドリルを回転させながら、加工中に常時エアを供給する役割を持っている。

図16にスピンドル部の構造を示す。図のように、スピンドル軸は両端のベアリングによって支持され、カップリングを介してモータからの回転を伝達する構造になっている。そして、ハウジング上部からエアが供給され、スピンドル軸表面にあけられた穴よりスピンドルスルーでガンドリルの先端へとエアを供給する。また、スピンドル部でのエア漏れを防ぐため、ベアリングハウジングにはオイルシールを、スピンドル軸のコレットチャック挿入部分の前後には、コレット後端部シールとシーリングディスクをそれぞれ設けている。

4.1.4 スピンドル送り部

スピンドル送り部は、スピンドル部を指定した送り速度で滑らかに送る役割を持っている。

スピンドル送り部の構造を図17に示す。スピンドル送り部は、図に示すように1軸テーブルの構造となっている。本装置では高い位置決め精度や高速送りの必要がないため、送りねじとして台形ねじを採用し、駆動モータには1mm程度の位置決めと広範囲の送り速度に対応可能なステップモータを選定した。また、送り用ガイドには、最大移動距離が500mmを超えるため、振動等が発生しないようスライド精度と安定性の高いリニアガイドを選定した。



a) ガンドリルの先端 b) ギズモシール

図14 ガンドリルとギズモシールの形状

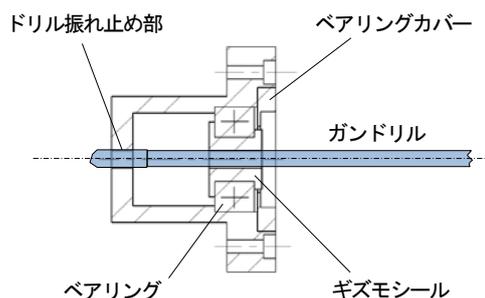


図15 ギズモシール一体型振れ止めユニット

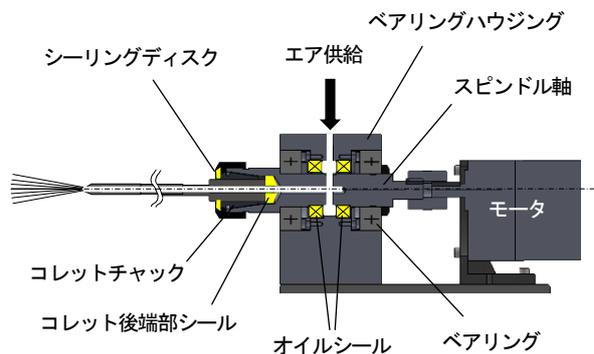


図16 スピンドル部の構造

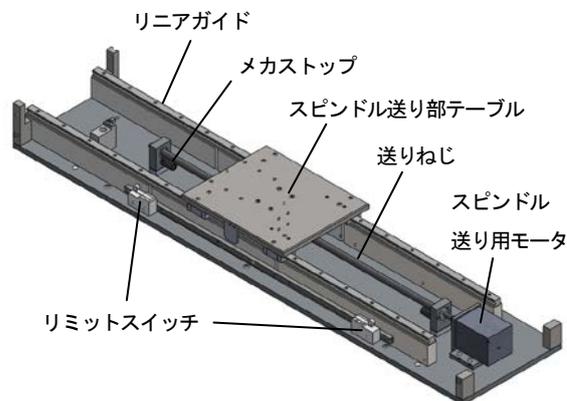


図17 スピンドル送り部の構造

4.2 制御部

本装置の制御部は、機構部が所定の動作をするように制御する「制御回路部」と、作業者が本装置を動作させるために必要となる「操作部」より構成されている。制御回路部は制御ボックス内に設置し、このボックスを図7に示すようにフレーム部に固定した。また、操作部はベースプレート上で、作業者が安全に操作できる場所に設置した。

4.2.1 制御回路部

制御部のシステム構成を図18に、また、この構成図を基に実装・配線した制御回路部を図19にそれぞれ示す。本装置の制御回路部は、PLCを中心に操作スイッチや各種センサ等の入力24点、圧縮空気用の電磁弁、マイコン、モータ駆動用リレー、モータ用インバータ及び各種ランプ等の出力16点から構成されている。また、外部入力としてスピンドル用モータの電流値がある。この値をA/D変換ユニットを介してPLCに取り込み、ドリル折損を防止する機能を働かせるようにしている。

4.2.2 操作部

本装置の操作パネルのイメージを図20に示す。操作パネル上のスイッチは、本装置を動作させる際に、左から順番に押して操作できることを基本的に配置した。具体的な操作手順としては、最初に中段左端にある電源SWをONにし、その後、操作パネル左下にあるレディSW、スタートSWの順にスイッチを押して操作を行う。レディSWを押す前に設定しておくものとして、運転モードの切り替え、スピンドル送り速度及び材料回転数などがある。本装置では、スピンドル送り速度を10～60mm/minまで10mm/minずつ6段階で設定でき、材料回転数は0～1000rpmの間で無段階に変更できるようにした。また、装置にエラーが発生した場合、図7に示すパトライトの赤ランプを点灯させると同時にブザーを鳴らし、作業者にエラーが発生したことを知らせる。装置の異常に気が付いた作業者は、エラー内容の確認と解除方法を、操作パネル右上に設置した液晶ディスプレイにより確認することができる。このように、作業者が本装置から離れていても、パトライトやブザーにより、装置の運転状態を確認することができるようにしている。

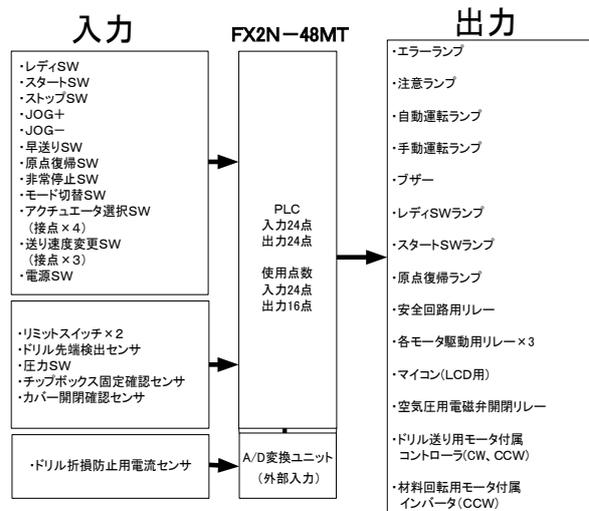


図18 制御部システム構成

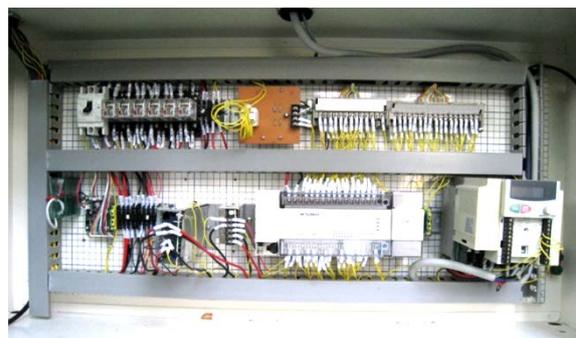


図19 実装・配線した制御回路部

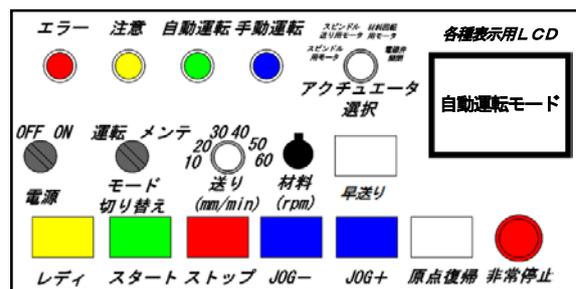


図20 操作パネル上のスイッチの配置

4.2.3 装置の運転モード

本装置には、自動運転モードとメンテナンスモードの2つのモードが設定されている。モードの切り替えは、操作パネル上のモード切り替えSWにより行い、自動運転モードを選択する場合は「運転」、メンテナンスモードを選択する場合は「メンテ」を選択する。

自動運転モードでは、材料とガンドリルを取り付けた後、操作パネルのスタートSWを押すことで自動で材料に穴あけ加工を行い、穴あけが貫通すると、ドリルを材料から逃がし運転を終了する。メンテナンスモードでは、アクチュエータ選択SWで選択した箇所を単独で動かし、各アクチュエータの動作状態を確認することができる。

4.2.4 ドリル折損防止機能

ドリル折損防止機能は、切削中に刃物に過負荷がかかった場合に、高価なドリルが折損するのを防止する機能である。これまでの専用機械によるハンドルの手送りでは、作業者自身がハンドルから手に伝わる負荷や振動、切削音及び匂いなどの情報により過負荷を察知し、送り速度の調整や切削の中止を判断していた。しかし、本装置のような自動装置では、作業者の五感に頼ることができないため、それに代わる機能を備える必要がある。

そのため、ドリルの折損を防止するためには、切削中のドリルの過負荷を何らかの方法で検出しなければならない。本装置では、図21に示すように、切削動力用モータの電流値の上昇を検出し、ドリル送りを停止させて、高価なドリルの折損を防止するようにした。具体的には、図22に示すように、ドリルにかかる切削抵抗を直接検出するのではなく、ドリルの負荷に相当するスピンドル用モータの電流値をクランプ式電流センサで検出し、穴あけ加工中に、あらかじめ設定した「しきい値」を超えた場合に、切削を中止しエラーランプを点灯させ、ブザーにより作業者へ知らせる仕組みとなっている。

4.2.5 エアの出し忘れ防止機能

穴あけ作業中は、切削した切りくずをドリル溝より排出するため、エアをドリル先端から常時噴射する必要がある。もし、エアを噴射しない状態で穴あけを行った場合、切りくずが穴から排出できず、ドリルと穴の隙間に詰まり、最終的には切りくずがドリルに焼き付き、ドリルが折損する可能性がある。企業の製造現場でも、こうしたトラブルがこれまでに幾度か発生しており、本装置の開発に際して、エアの出し忘れを防止する機能の要求があった。

本装置では、コンプレッサから供給する圧縮空

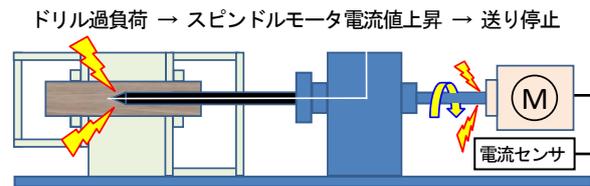


図21 ドリル折損防止機能の模式図

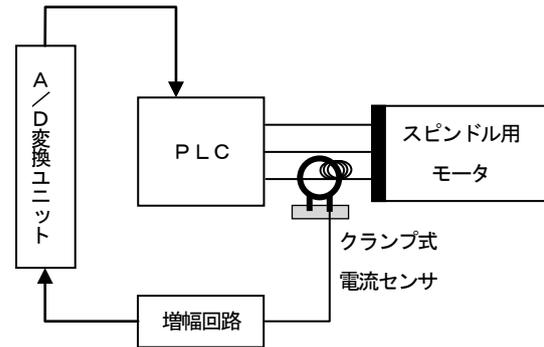


図22 ドリル切削負荷の検出方法

気を、フィルタレギュレータを通してスピンドル部に供給し、ガンドリルの先端からエアを噴射させる経路になっている。そこで、自動運転モードにおいて、スタートSWを押すことでエアを自動的にスピンドル部へ供給するように、フィルタレギュレータとスピンドル部の間に電磁弁を設け、エアを出し忘れることがないようにした。また、電磁弁が開いた状態でも、何らかのトラブルでコンプレッサが停止するなど、供給するエア圧が設定値より低くなった場合、エラーを表示させて、自動運転を停止するようにしている。

4.2.6 切削終了検出

切削終了の検出は、ドリル折損防止機能と同様、スピンドル用モータの電流値をPLCで常に監視し、現在の電流値と0.5秒前の電流値の差を求め、その差があらかじめ設定した値よりも大きくなると、穴が貫通し切削終了と判断するようにした。

5. 評価

本装置の評価として、設計基本仕様を満足し所定の動作を確実にを行うか、また、所定の動作に対する精度や再現性はどうか確認した。最後に、上記の評価を踏まえ、要求仕様を満足する装置が完成したかどうかを評価した。

5.1 設計基本仕様に対する評価

組立・調整した本装置は、概ね設計基本仕様を満足したが、以下の点については、設計基本仕様を満足することができなかった。

- ① 材料回転数について、穴あけ加工に必要な回転数は得られたが、目標とした最高回転数である 2400rpm が得られなかった。これは、モータのトルク不足が原因である可能性が高く、モータ選定時に負荷トルクの見積もりが十分でなかったためであると考えられる。
- ② 本装置で予定通り穴あけ加工が行えるか確認したところ、φ6 と φ9.5 のドリルで穴あけを行うことができた。しかしながら、φ9.5 のドリルの場合、1 度穴あけを行うとモータが発熱し、すぐに繰り返して加工できないことが分かった。原因は、前述したように、材料回転用モータのトルク不足のため、φ9.5 のドリルでは、モータに対して過負荷がかかり、発熱したものと考えられる。

5.2 穴あけ試験による評価

本装置で穴あけを行った場合に、穴の位置精度や再現性について評価するために、穴あけ試験を行った。以下に試験方法と試験結果を示す。

5.2.1 試験方法

穴あけ試験では、試料への穴あけ加工を自動運転モードにより動作させ、材料取り付け時間、自動穴あけ動作、及び穴あけ加工精度について主に評価した。なお、この試験では、材料の取り付けからの運転操作全てを一人の作業者に任せようとした。以下に試験条件を示す。

【試験条件】

- ・試料 : □40×180 のグラナディア
- ・使用ドリル : φ6×350
- ・切削条件 : 表 3 に示す通り。
- ・試験回数 : 40 回 (同一作業者による)

5.2.2 試験結果とその評価

【材料取り付け時間】

試験結果を図 23 に示す。グラフより、材料取り付けにかかる時間は、約 40 秒～100 秒までの間でかなりばらつきはあり、材料を取り付ける際の隙間の調整（「4.1.1 材料固定部」参照）が早くで

きた場合と、手間取った場合があったことが分かる。また、結果の近似直線からは、右下がりの傾向が観察され、作業開始直後から徐々に取り付け時間が早くなり、回数が増えるほど、作業者が取り付け作業に習熟していることが伺える。そして、後半になると、材料の取り付け時間が 1 分間以内と早くなっていることも分かった。

企業では熟練した作業者が、現在 1 分間前後で材料の取り付けを行っており、開発した装置でも同程度以下の時間を目標にしていたため、材料固定部の構造や、その作業性については概ね目標を達成できたと考える。

表 3 穴あけ試験の切削条件

使用ドリル [mm]	材料回転数 [rpm]	ドリル回転数 [rpm]	送り速度 [mm/min]
6	1000	100	40

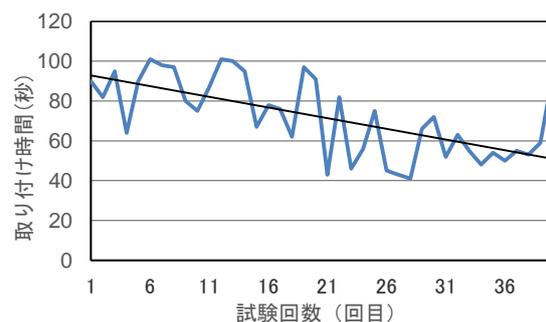


図 23 材料取り付け時間

表 4 自動穴あけ動作結果 (本)

成功	失敗	合計
31	9	40

【自動穴あけ動作】

自動運転モードで 40 本の試料に対して穴あけ試験を行った。その結果、表 4 のように 31 本は自動で穴あけが成功し、9 本は失敗という結果になり、穴あけ加工の成功率は 78% であった。

失敗の現象は、穴が貫通せず、穴あけ途中で加工が終了してしまうというもので、9 本の失敗は全て同じ現象であった。この原因として、制御プログラムの問題が考えられる。自動運転による穴あけ終了の検出は、スピンドルモータの負荷を電流センサにより検出し、負荷が一定以下に小さく

なった場合に、穴あけ終了と判断をするプログラムになっている。ところが、詳しく調べたところ、穴あけ中の切削負荷は常に変動しており、切削中でも、穴あけ終了と判断するほど、負荷が瞬間的に下がる現象が発生していることが分かった。つまり、失敗の原因はこの変動により一瞬小さくなった電流値を検出し、穴あけ終了と判断したことによる可能性が高いことが分かった。そのため、切削中に検出した電流値が一定以下に小さくなっただけで、穴あけ終了と判断するのではなく、電流値があるしきい値以下の状態、かつその値が一定時間継続した場合に穴あけ終了と判断するなど、穴あけ終了の判断を再検討する必要がある。

穴あけ試験で失敗となった試料については、穴位置精度や穴の曲がりの評価を行うため、再度自動運転で穴あけ加工を行い、40本全ての試料について穴を貫通させた。

【穴あけ加工精度】

穴あけ加工した40本の試料に対して、穴の位置精度を評価した。その結果、図24に示すように、穴の位置ずれは0.2~0.3mmが最も多く、その中心値は0.275mm、最大で0.7mmのずれであることが分かった。今回の仕様では、φ4の円内、つまり材料中心から2mm以内のずれまでは許容できるため、位置精度は要求仕様を十分に満足していることが分かった。また、穴の曲がりについては、穴あけ加工で貫通する際にドリルの振れの有無を目視で確認し、振れが無い場合は曲がりがないものと判断した。穴あけ試験を行った40本の試料について、穴あけ位置精度と穴の曲がりを確認したところ、穴加工した試料は、全て「良品」となった。

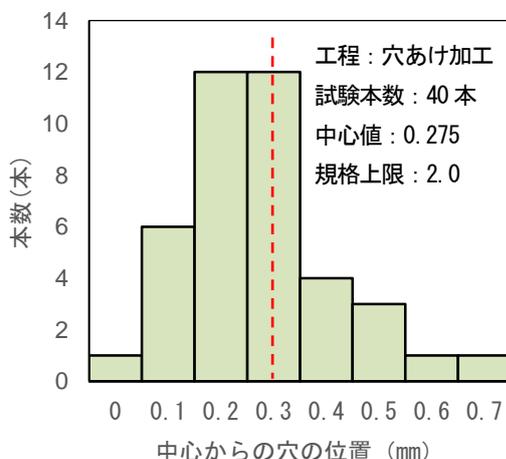


図24 加工した穴の位置ずれ分布

5.3 要求仕様に対する評価

上記の評価を踏まえ、本装置は要求仕様を概ね満足したと考える。今後改善すべき課題として、自動運転における穴あけ終了検出方法の再検討と、材料回転用モータのトルク見積もり計算方法の見直しが挙げられる。また、装置を実用化するためには、本装置によりさらに試験回数を重ね、その耐久性等についても評価していく必要がある。

6. まとめ

本開発で得られた成果は以下のとおりである。

- ① 開発した装置で穴あけ試験を40回行った結果、穴位置は所定の精度を全て満足し、穴の曲がりも無いため、本装置による所定の穴あけ加工の再現性が高いことが分かった。
- ② 開発した装置により、作業者が材料を取り付けた後、自動により穴あけ加工を行えることが確認でき、量産化に向けた装置実用化への可能性が高まった。
- ③ 実用化に向けた課題として、自動運転における穴あけ終了検出方法の再検討と、材料回転用モータのトルク見積もり計算方法を見直す必要がある。

課題実習「テーマ設定シート」

作成日：10月16日

科名：生産機械システム技術科

教科の科目	実習テーマ名	
開発課題実習	ガンドリルによる自動穴あけ装置の開発	
担当教員	担当学生	
○生産機械システム技術科 田上晴久		
課題実習の技能・技術習得目標		
<p>製造現場における具体的な課題を通して、開発企画、設計企画、構想設計、詳細設計、製作、組立、評価までの一連の工程及びその活用能力（応用力、創造的能力、問題解決能力、管理的能力、プレゼンテーション能力、ドキュメント作成など）を習得することを目標としています。</p>		
実習テーマの設定背景・取組目標		
実習テーマの設定背景		
<p>本実習テーマは沖縄県内企業で実際に製造現場のボトルネックとなっている課題について、当大学校への技術相談があったものを開発課題テーマとして設定したものです。製造現場に直結した課題に取り組むことで、技能・技術の習得に向けてより効果的に作用すると考えられるほか、産学連携による地域貢献にもなります。また、こうした結果の積み重ねが当大学校のPRへと繋がることも期待されます。</p>		
実習テーマの特徴・概要		
<p>本実習テーマの課題内容は、木管楽器製造工程において、現在人手で行われている穴あけ工程を自動化することです。木管楽器の製造工程では、機械化されているものや自動化されているものもありますが、手作業に頼るものが非常に多く、機械化や自動化による製造の効率化を検討する部分は数多くあります。なかでも木管楽器本体の穴あけ作業は、細長い楽器に非常に長い貫通穴を明ける作業であり、ガンドリルという特殊なドリルを用いて手送りにより加工が行われています。この加工にかかる時間は穴のサイズや長さにより異なりますが、長いもので10分程度の時間を要します。作業者はこうした単純な穴あけ作業を1日に何回も繰り返す必要があります。</p> <p>そこで、この比較的単純な穴あけ作業を自動化することで作業工程の改善を行うと同時に、作業者がこれまで手作業に要していた時間を他の作業に当て、作業の効率化を図ることが可能となります。また、自動化による送り速度の一定化により、品質の向上や歩留まりの向上も期待されており、今回の自動化が成功すれば、他の作業工程についても機械化や自動化を検討し、最終的には、製造コスト削減へつなげていくことを目指しています。</p>		
No	取組目標	
①	開発企画として、仕様の検討、日程の検討、予算の検討、グループ内の役割を検討します。	
②	開発する装置の役割を明確にし、構想設計を進めていきます。各種実験では、実験計画書を作成し効率的な実験を行っていきます。	
③	過剰設計とならないように注意し、品質、コスト、納期をバランスよく調和させ、基本仕様書を作成します。	
④	設計に入る前の各種実験については、可能な限り時間、コストを省けるように、CAEなどの最新技術を活用していきます。	
⑤	設計において、市販部品、汎用部品を活用した設計、製作方法、組立方法を考えた設計ができるように工夫します。	
⑥	製作・組立においては、安全作業を第一に製作に取り組みます。また加工ミスが無いように加工工程、確認作業をしっかりと行います。	
⑦	各種ミーティングでは、発言者の意見に耳を傾け、課題解決に向けた目的や目標及び手順や方法について共通の認識を持ちます。	
⑧	各自が与えられた役割を果たし、グループメンバーをフォローし合って、グループのモチベーションを維持します。	
⑨	図や表を効率的に利用した分かり易い報告書や発表会予稿原稿を作成し、発表会では制限時間内に伝えたい内容を説明します。	
⑩	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行います。	