

課題情報シート

テーマ名：	オルゴールシリンダ自動加工機の開発		
担当指導員名：	安井 雄祐	実施年度：	28 年度
施設名：	北海道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、生産電気システム技術科、生産電子情報システム技術科
課題の区分：	開発課題実習	学生数：	9
		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】

オルゴール販売店より、オルゴールの円筒シリンダに自動で針を打ち込む機械の開発依頼があり、2年をかけてオルゴールシリンダ自動加工機を開発しました。今回のような地元企業が抱えるニーズは、問題解決を望む人がいる実体的な課題であるため、学生にとって当事者意識を持ちやすく自主性を育むことができると考えます。また製品が完成すれば自らがもつ技術によって地元貢献できたという達成感と自負心を育むことができると考えます。

【学生数の内訳】ハード製作3名、電気電子回路製作3名、アプリケーションプログラム3名

【訓練（指導）のポイント】

開発時期に応じて指導スタイルを変えました。開発の初期段階では、アイデアを多く出して問題解決の最善策を見つける活動になるため試行錯誤の連続となります。学生には大胆な発想力と失敗を乗り越える不屈の精神が求められます。そのため指導の工夫として学生の自主性を重んじ、安心して失敗できる雰囲気づくりを行いました。一方、開発の後期段階では完成度を高めるため繰り返し実験データを取るなどの緻密な作業が求められます。指導の工夫として仔細にわたってルールを定め、それを徹底するように学生に求めました。

課題に関する問い合わせ先

施設名：北海道職業能力開発大学校
 住所：〒047-0292 北海道小樽市銭函3丁目190番地
 電話番号：TEL(0134)62-3553（代表）
 施設 Web アドレス：<http://www3.jeed.or.jp/hokkaido/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。

オルゴールシリンダ自動加工機の開発

生産システム技術系	チーム
生産機械	:
生産電気	:
生産電子情報	:

1. はじめに

1.1 背景

北海道職業能力開発大学校がある北海道小樽市は北海道有数の観光地であり、多くの観光客で賑わっている。観光土産品としてガラス製品と並んでオルゴールに人気があり、小樽市はオルゴール文化が根付いていると言える。そうしたなかH27年に小樽市にあるオルゴール専門店の「〇〇」より当校に対してオルゴールシリンダ自動加工機の開発依頼があった。

1.2 シリンダオルゴールの仕組み

今回、開発の対象になるオルゴールはシリンダオルゴールである。シリンダオルゴールの外観を図1に示す。シリンダオルゴールの仕組みは円筒状のシリンダに突起部を設け、突起部が弁(振動板)を弾くことで音を鳴らす。弁は一つずつに音階(周波数)をもち、弁を音階順に並べたものを櫛歯と呼ぶ。弁は調律が可能で特定の範囲で音階(周波数)を変更することができる。オルゴールは一般の楽器と異なり、ハードウェアによって音階数や演奏時間が決まる。音階数は櫛歯に設けられた弁数によって決まり、演奏時間はシリンダの円周の長さによって決まる。その他にもオルゴール曲は様々な制限を受ける。例えば、弁の振動が収まらないうちに続けて同じ弁を弾こうとすると不快な音を発するため、一度弾かれた弁は振動が収まるまで待つ必要がある。同じ音階を続けて鳴らす場合には、同じ音階を複数の弁に割り付け、タイミングをずらして弾くことで連続音を実現している。また同時に鳴らす音(和音)の数が多くなると、弁を弾く抵抗が大きくなりシリンダ回転数が落ちることで曲のテンポが遅くなってしまう。そのため和音の数を制限したり和音をずらしたアルペジオなどを利用する。このようにシリンダオルゴールの曲は多くの制限を受けるため、曲をオルゴール用に編曲する必要がある。編曲作業で欠かせない工程は櫛歯の音階割付作業である。曲で使用する音階を弁に割り付ける作業で、弁数に限りがあるため曲全体で成立するようにバランスをとる必要がある。

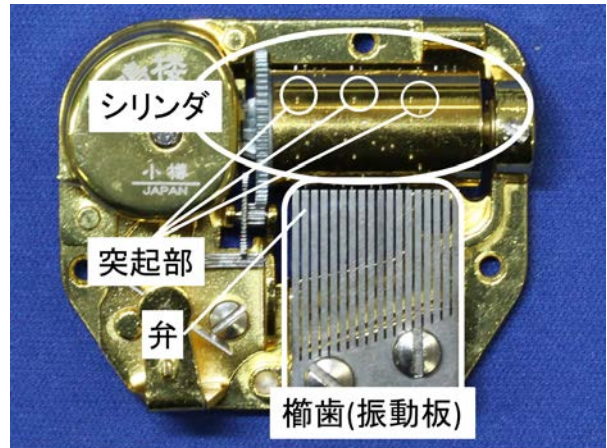


図1 シリンダオルゴールの構造

1.3 オルゴールシリンダの製造方法

オルゴールシリンダの製造方法には金型プレス式と針打ち式の2種類がある。表1に金型プレス式と針打ち式の比較を示す。

金型プレス式は板状の鋼材に金型を用いて突起を形成し、円筒状に丸めて製造する手法である。金型プレス式で製作したシリンダの突起部は太く角形状になるため、こもった音質となる。また広く流通しており大量に作ることで全体の販売価格を下げている。そのため販売個数が見込めないマイナーな曲はコスト面で不利になるため金型を製作しづらく、メジャーな曲が主流となる。

一方、針打ち式はシリンダに一つずつ穴をあけ、穴に針(ピン)を打ち込み突起を形成する手法である。大量生産を前提としないため1点からの生産が可能で、マイナーな曲のように少量のオルゴールシリンダを製作するには針打ち式が向いている。針打ち式の音質は針が細く断面が真円に近いいため、金型プレス式と比較してクリアな音となる。

針打ち式の問題点として、手動で針打ち作業を行う場合、高い職人技術が必要で、多くの工数が必要となる。そのためシリンダ単価が上がるという欠点がある。また自動で針打ちを行う機械は、世界的巨大オルゴールメーカーが専有しており一般的ではない。

このように金型プレス式、針打ち式にはそれぞれ一長一短がある。

表1 製造方法の比較

方式	金型プレス式	針打ち式
外観		
販売価格	約 1,000 円	約 1,500 円
生産量	大量生産	少量生産
音質	こもる	クリア
自由度	制限がある	自由度が高い

1.4 オルゴールシリンダ自動加工機

前述したように、一般に流通しているオルゴール曲は金型プレス式で作られ、メジャー曲に限られる。一方、校歌や自作曲などマイナーな曲をオルゴールにしたいというニーズは高い。しかし販売個数が見込めないで、金型プレス式では採算が合わない。少量生産の場合は針打ち式で製作するのが経済的である。

卓上で使用できる自動針打ち機があれば、安価で手軽にマイナー曲をオルゴールにすることができる。

小樽市にあるオルゴール専門店の「〇〇」ではこうしたニーズにこたえるため、シリンダ自動針打ち機の開発を H15 年から取り組んでいる。H27 年に〇〇から当校に開発依頼があり、パソコンでオルゴール用に編曲した曲の加工データを加工機に入力すれば、自動でシリンダに穴あけから針打ちまで行うオルゴールシリンダ自動加工機を開発することになった。

1.5 開発体制

本プロジェクトは企業と連携してオルゴールシリンダ自動加工機の開発を行う。ここでは開発体制について述べる。参加する企業はオルゴール専門店の〇〇と技術支援や教育サービスを提供している株式会社〇〇、システム開発やプログラムの指導を行う〇〇の3者である。

各者の役割を図2に示す。当校と株式会社〇〇および〇〇が開発チームを組み、〇〇は使用者の立場から開発チームにアドバイスを行う。開発チームの主体は当校の開発課題グループでありオルゴールシリンダ自動加工機的设计・製作を行う。株式会社〇〇はハードウェアの技術支援を行う。具体的な技術支援の例を挙げると、針打ちの際、針が穴に入らず針打ちに失敗してしまうことがあった。当校のメンバーは、針打ち失敗の原因をニッパ切断時にバリが大きくなることが問題であると断定していたが、株式

会社〇〇からバリだけの問題ではなく、幅広い視野を持ち特性要因図を用いて問題を体系的に整理し、実験計画を立て正しく検証するように依頼された。そこで様々な検証を行ったところ、部品の組み付け精度にも問題があることが分かった。また〇〇はソフトウェアの技術支援を行う。具体的には、電子情報学生に対してプロジェクト開発技法のアドバイスを行い、プロジェクト管理、コミュニケーション技法、文書管理、ソースコード管理について学生が理解を深めることで、ソフトウェア開発を円滑に進めることができた。

また当校の役割範囲は試作機の開発までとし、製品化については将来的に機会があれば上記の企業が行うこととした。

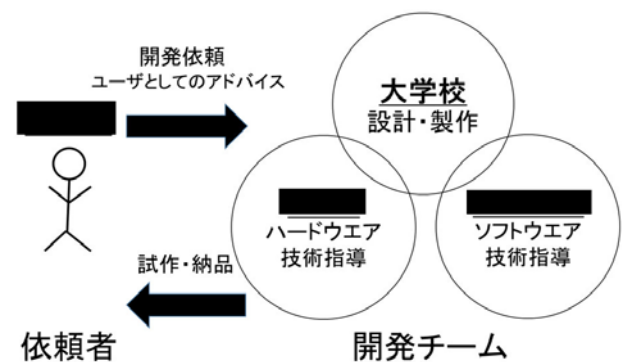


図2 各者の役割

1.6 コンセプトと使用イメージ

今回の開発にあたり合同ミーティングでオルゴールシリンダ自動加工機のコセプトと使用イメージを定めた。まずコセプトについて述べる。オルゴールの響きには癒しの効果があり、それを多くの人に聞いてもらいたいと考えた。そこで当校の開発課題グループでは、「オルゴールシリンダ自動加工機を開発することによって、多くの人にオルゴールに親しみを感じてもらいたい」という想いを軸とした。その結果、本プロジェクトのコセプトを『加工機を通じてオルゴールの伝統と癒しの音色を伝えよう』と決定した。

次にオルゴールシリンダ自動加工機の使用する場合を想定し、販売ターゲットを検討した。話し合いの結果、販売ターゲットをオルゴール作家に定め、使用するイメージを次のとおりとした。図3のようにオルゴール作家は顧客から提供されたオリジナル曲をオルゴール用に編曲し、オルゴールシリンダ自動加工機を使用してシリンダを製造する。シリンダとオルゴールメカを組み合わせ、外箱を含めてトータルでデザインすることでオルゴール作家としての表現の幅が広まると考えた。想定するオルゴール作

家は、オルゴールの編曲知識を有し、パソコン操作や簡単な機械操作はできるものとした。



図3 オルゴール作家、使用イメージ

1.7 2年間の開発の経緯

本プロジェクトは2年計画であり、ここで開発経緯の概要について述べる。H27年度は試作1号機と試作2号機を開発し、H28年度は試作3号機と試作4号機を開発した。

試作1号機はシャープペンシル方式の有用性を確かめる目的で開発を行った。その成果としてシャープペンシル方式が有用であることが確認できた。

試作2号機は穴あけと針打ちを同一ステージで行うアイデアの有効性を確かめる目的で開発を行った。成果として穴あけと針打ちを同一ステージで行うことで位置決め精度が向上し8連続針打ちに成功した。

H28年度になり、それまで使用していた弁数が36弁のシリンダ入手が難しくなり、比較的入手しやすい18弁シリンダを使用することになった。

試作3号機はシリンダの変更に伴う取付方法の変更と針打ち成功率の向上を目指して開発を行った。成果として63回の連続針打ちができた。

試作4号機は、機械原点を設けることで加工開始点の位置決めを自動化することができ、各軸にリミットスイッチを設けることで部品破損を防ぐことができた。また、針打ちの成果として現34回の連続針打ちが可能になった。

1.8 H27年度(2号機まで)の成果と課題

H27年度は試作2号機までの開発を行った。H27年度で確立した技術と成果、課題を述べる。

1.8.1 H27年度に確立した技術

(1) 針を打込む方法「シャープペンシル方式」

オルゴールシリンダに針を打込む方法として、シャープペンシルの機構を利用した方式を考案し実用化した。図4にシャープペンシル機構を利用した針打ち工程を示す。手順は次のとおりである。①シャープペンシルのノックを複数回繰り返し、針を数mm出す。②シャープペンシルを下降させシリンダに針を打ち込む。その後、ノックを押すことで針を解放する。③シャープペンシルを上昇させた後、針

を把持しニップで切断する。上記①～③の動作を繰り返し連続して針打ちを行う。

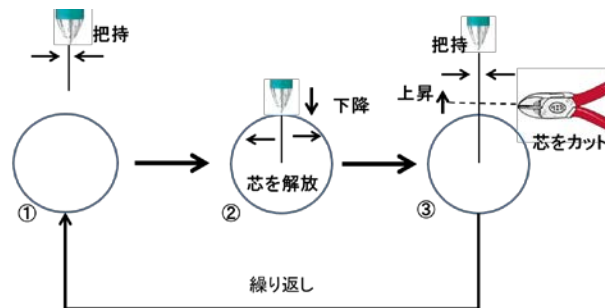


図4 針打ち動作「シャープペンシル方式」

(2) 穴あけ針打ち同一ステージ

オルゴールシリンダへの穴あけと針打ちを同一ステージで行うことで、加工時間の短縮と針打ちの成功率を高めた。図5のように穴あけユニットは目視で確認しやすいようシリンダの手前にあたる3時の方向に配置し、ドリルによる穴あけを行う。その後シリンダを90度回転させ、12時の方向に位置決めして針打ちを行う。同一ステージで2つの加工を行うことで位置決め精度が向上した。

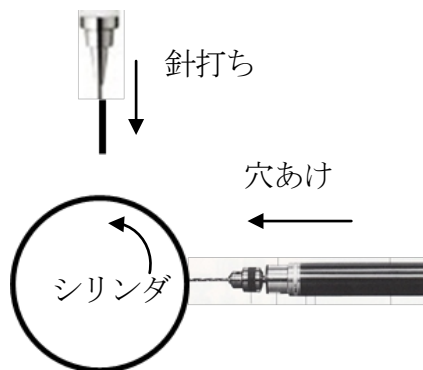


図5 穴あけ針打ち同一ステージ

1.8.2 試作2号機の課題

試作2号機の課題として連続針打ちの成功率が低く、装置の組み立て調整が必要で針打ち成功の再現性が低かった。

2. 試作3号機(H28年度)

2.1 システム構成および仕様

試作3号機のシステム構成を図6に示す。使用手順は次のとおりである。使用者はパソコン上のオルゴール作曲ソフトを用いて、音符(ノーツ)を楽譜上に配置し、楽曲データを作成する。ソフト上で楽曲データを加工データに変換する。自動加工機に加工データを入力する。自動加工機は加工データに従ってオルゴールシリンダに穴あけと針打ちを行う。シリンダ加工が終われば、使用者はシリンダを取り

出し、既存のオルゴールメカに組み込んで音を鳴らす。各科の役割は電子情報がオルゴール作曲ソフトを作成し、電気が自動加工機の制御部、機械がハードウェアの開発を行う。

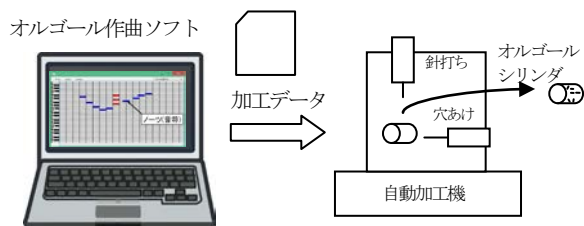


図6 システム構成図

試作3号機の仕様を表2に示す。2号機までは弁数が36弁のシリンダを使用していたが、入手が難しくなったため3号機からは弁数が18弁のシリンダを使用することになった。その影響でシリンダ取り付け方法の変更を行う。

表2 試作3号機仕様

加工機 本体	サイズ[WDH, mm]	735×450×280
	重量[kg]	15.0
	使用電源[V]	AC 100
	使用エア圧力[MPa]	0.5
	加工時間[分] (1シリンダ当たり)	10
使用 ドリル	直径×刃長[mm]	φ0.3×4.5
	材質	超硬
オルゴール シリンダ (加工対象)	弁数[弁]	18
	直径×全長[mm]	φ12.6×26.4
	針直径[mm]	0.3
	針突き出し量[mm]	0.5
	1曲再生時間[秒]	15

試作3号機の加工部を図7に示す。基本構成は2号機と同じである。図の手前方向から穴あけをし、上方向から針打ちを行う。針打ち後ニッパで針を切断する。各軸はシリンダ軸方向(左右)をX軸、ドリル送り方向をZ軸、シリンダ回転方向をA軸とした。

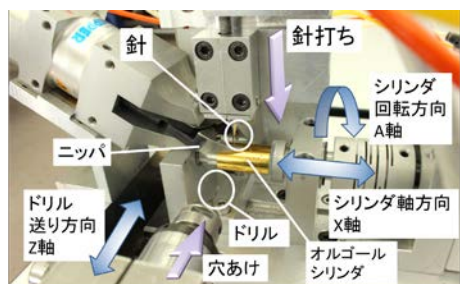


図7 試作3号機のシリンダ加工部

2.2 試作3号機の製作

2.2.1 作曲ソフトの作成(ソフト部)

開発言語はJava®を使用し、作曲ソフトの作成を行う。主な機能はノーツ(音符)の編集機能とファイル保存機能と加工用データの出力機能の3つである。作曲ソフトの外観を図8に示す。

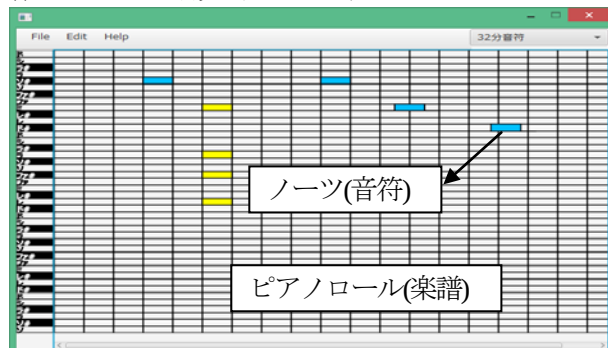


図8 作曲ソフト外観

(1) ノーツの編集機能

使用者はピアノロール(楽譜)上で左クリックするとマウスカーソルの位置にノーツ(音符)を追加できる。また設置されているノーツを再度クリックすることノーツの削除ができる。またノーツをドラッグすることで移動が可能である。

(2) ファイル保存機能

ノーツの編集データをtxtデータとしてファイル保存できる。このため作業を中断しても再開が可能となる。また保存したファイルに曲名や作曲者などのコメントを付加することもできるようになっている。

(3) 加工用データ出力機能

使用者は作曲作業を終えるとソフト上で楽曲データを加工データに変換する。ソフトによるデータの変換工程は、ピアノロールに設置されたノーツの座標を音階別、時間別の順にソートした後、加工データ用のコードを付加しtxt形式のデータとして保存する。また加工手順として全部の穴あけを行った後に全部の針打ちを行うこととした。図9に加工データの一部を示す。

```
//穴あけ工程
g90 g01 x-4.0 F100 (X軸移動)
g90 g01 y36.0 F500 (A軸回転)
m03 (ドリル回転)
g91 g01 z-5.0 F50 (ドリル前進)
g04P0.5 (0.5秒待ち)
g01 z5.0 (ドリル後退)
m05 (ドリル停止)

//針うち工程
g90 g01 y126.0 F500 (A軸回転)
m08 (針うち開始)
g04P0.5
m09 (針うち終了)
```

図9 加工データ例

2.2.2 制御部(電気部)

試作3号機, 制御部のシステム構成を図10に示す。Arduino®マイコンに加工データを入力するとドリルの動作やA, X軸のテーブルが加工データに基づいて動作し穴あけを行う。穴あけ終了後に, シーケンサがArduino®マイコンからの針打ちの指令を受けて, ヘッド上昇, 下降やシャープペンノックをすることによりオルゴールシリンダに針打ちを行う。試作2号機では, 非常停止スイッチを押しても動作が停止しなかったが, 試作3号機では非常停止スイッチを押すと動作を停止するように変更した。また, 初期動作でヘッドが上昇するようにラダーを変更した。ヘッドを上昇させることにより誤作動での部品の破損を防ぐ目的がある。

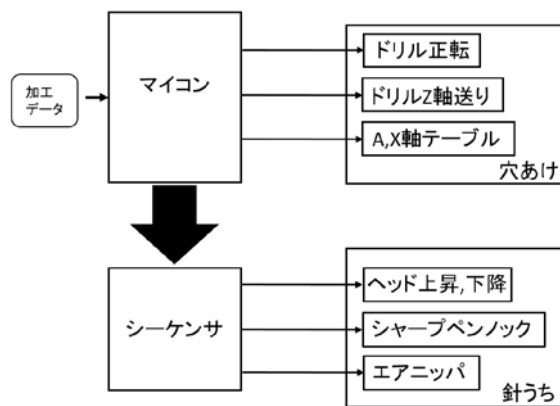


図10 制御部システム構成図

2.2.3 ハードウェアの変更(機械部)

試作2号機のハードウェアを流用し3号機を製作した。シリンダ変更に伴いシリンダ取り付け部を新規に開発した。図11のように18弁シリンダは端面に平歯車と傘歯車が一体となった部品が接着されている。回転力をシリンダに伝えるためにシリンダ傘歯車の形状を利用した。傘歯車と同サイズの歯車形の穴を円筒部品に設け、歯車穴を傘歯車に押し付けるかたちで回転させる。

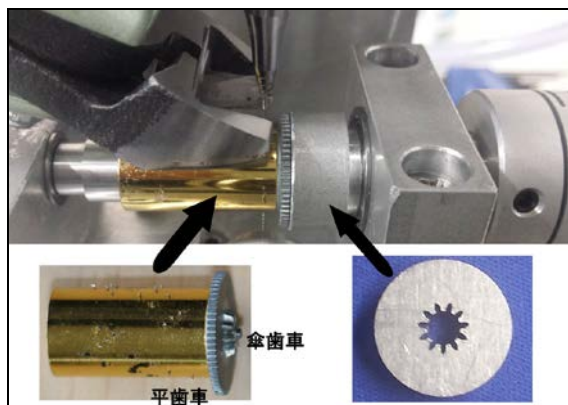


図11 18弁オルゴールシリンダと伝動軸部品

2.3 試作3号機の問題点

上記のようにシリンダ取り付けジグを18弁シリンダ用に変更し3号機による針打ち実験を行った。しかし針が1本も打てない問題が発生した。針打ちができない原因を探るため図12のような特性要因図を作成した。原因の大分類を、穴あけ, 針打ち, 同軸度の3つとし, 原因と考えられる項目を体系的に整理した。このうち針をニッパで切断した際, 針直径が太くなり穴に刺さらない問題と, 穴あけ位置と針打ち位置の精度に問題があると仮定し重点的に実験を行った。

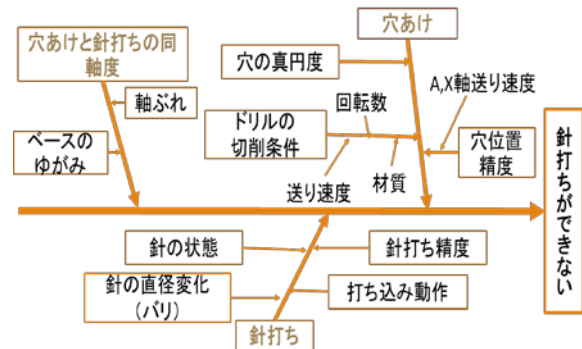


図12 特性要因図(針打ちができない原因)

2.4 試作3号機の実験及び改善

2.4.1 針切断後のバリ測定実験

針打ちできない原因のひとつとして, 針切断時のバリが大きいため, 針が太くなり穴に入らないと考えた。顕微鏡を用いてバリを測定する実験を行った。実験方法はニッパで針(ピアノ線)を10本切断し, バリを含めた針直径から通常状態の針直径を引いてバリ直径を求めた。実験の結果, バリ直径の平均が, 0.07[mm]となり, このままでは穴に挿入できないことがわかった。使用していたニッパブレードの材質が特殊合金鋼であることがわかりニッパのカタログを調べたところピアノ線の切断に適していないことがわかった。ピアノ線の切断に適したより硬い材質としてハイス鋼と超硬の2種類を選定した。ニッパブレードの材種を変えてニッパ直径を測定した。ニッパブレード材種とバリ直径変化の実験結果を表3に示す。3種類のニッパブレード材種のうち最もバリ直径が大きかったのは特殊合金鋼材種で平均値0.07[mm]となった。逆に最もバリ直径が小さかったのは超硬材種で平均値0.017[mm]となった。図13にニッパブレード材種による針の切断箇所の顕微鏡写真を示す。特殊合金鋼で切断した針先端は押しつぶされたような形となっており, バリが大きく発生している。超硬は針の切断面がきれいでバリの発生は少ない。バリは少ないほうが穴への挿入に有利であると考え超硬材種のニッパを採用することとした。

表3 ニップ切断時バリ直径

切断時バリ 直径[mm]	特殊合金鋼 (N10AS)	ハイス鋼 (N7H5)	超硬 (Z6)
1	0.049	0.010	0.025
2	0.071	0.026	0.022
3	0.081	0.009	0.026
4	0.060	0.012	0.023
5	0.075	0.027	0.007
6	0.065	0.043	0.002
7	0.074	0.002	0.012
8	0.081	0.039	0.010
9	0.075	0.036	0.024
10	0.056	0.012	0.018
AVERAGE	0.069	0.022	0.017
MAX	0.081	0.043	0.026
MIN	0.032	0.002	0.002

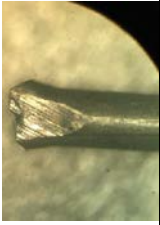
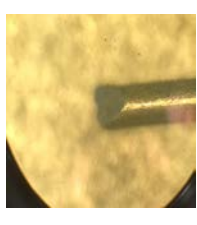
材 種	特殊合金鋼 (N10LAS)	ハイス鋼 (N7HS)	超硬 (Z6)
写 真			

図13 ニップ材種によるバリの变化

2.4.2 穴位置と針打ち位置の精度について

針打ち工程は3時方向からドリルで穴をあけた後、シリンダを反時計回りに90度回転し、12時の位置で針打ちを行う。このとき穴あけと針打ちの位置が一致しないと針を打つことができない。図14に穴位置のずれにより針が打てない不具合を示す。目視により針1本分(約0.3mm)程度、A軸方向(シリンダ回転方向)にずれていることが確認できた。

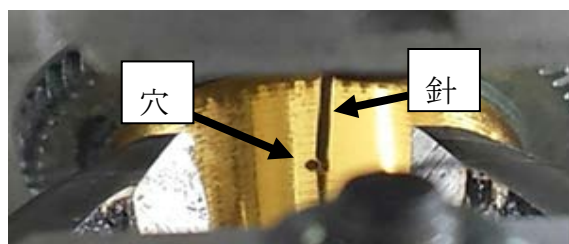


図14 穴位置と針打ち位置のずれ(A軸)

この位置精度不良の原因として、18弁用取り付けユニットの不良が挙げられた。製作した取り付けユニットのうち図15の心押し側マウントに圧入された心押し側シャフトを支えるベアリングが1つであったため、ガタツキが発生していた。そのため心押し側シャフトを支えるベアリングを2つとし、これ

らで支えることでガタツキを低減した。また心押し側のシリンダ端面の保持方法として、それまでテーパ形状でシリンダ端面穴を支持していたが、段付き形状に変更することで、シリンダ端面への接触面積を増やし保持力を高めた。

また加工部品のうち嵌め合い箇所の加工にはワイヤ放電加工機を用いて寸法精度を高めた。

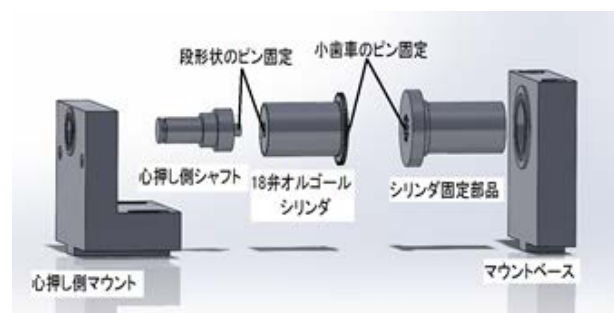


図15 18弁シリンダ取り付けユニット

2.4.3 針打ちの改善検証実験

上記2つの改善を行い、連続針打ち実験を行った。実験条件として、図16のように1つの弁(X軸に対応)に対して1周につき4ヶ所の針打ちを行う。1周分の針打ち後、X軸を1弁分だけ移動し、再度1周分の針打ちを行う。これを繰り返し、針打ちに成功する連続数を測定した。その結果、最高で63連続の針打ちに成功した。

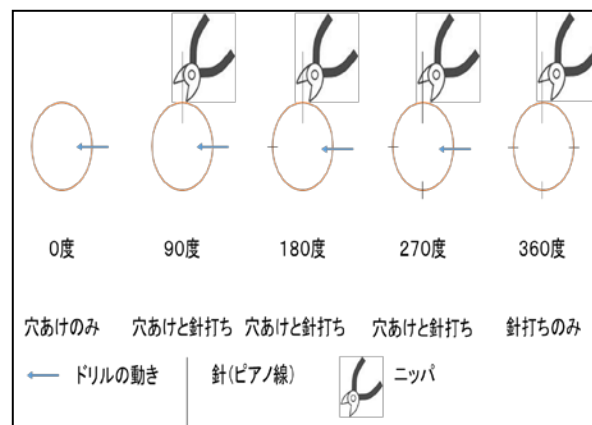


図16 連続針打ち実験、穴あけ針打ち条件

連続成功数が増える一方で針打ちに失敗したときの原因が多岐にわたるようになった。発生回数が多かった不具合はドリル穴あけ時のドリル破損であり、次に針を打った後に把持力がゆるく抜けてしまう現象であった。このことから図12の特性要因図の穴あけに問題があると仮定し以下の実験を行った。

(1) ドリルの切削条件

適性なドリルの切削条件を探るため連続穴あけ実験を行った。条件はφ0.3[mm]刃長4.5[mm]2枚刃の超硬ドリルを使用し、送り速度を250[mm/min]に固定

し切削条件として切削速度を 10[m/min]と 30[m/min],
エアによる切屑の除去の有無による連続穴あけの回
数を調べた。表 4に実験結果を示す。切削条件とし
て切削速度 30[m/min]エア無しが 200回連続穴あけが
でき最も連続して加工ができた。実験結果としてエア
無しが有利となったが、一般的にエアによる切屑
除去は有効であると考ええる。

表 4 ドリル連続穴あけ実験

切削速度 V[m/min]	V=10		V=30	
回転速度 N[min^{-1}]	N=10000		N=30000	
回数	エア有	エア無	エア有	エア無
1	×	○	○	○
2		×	○	○
3~144			○	○
145			×	○
146~200				○

(2) 針の引き抜き実験

シリンダの針に対する把持力を調べるため針の引
き抜き力を測定した。図 17のように針をニッパで
固定しシリンダをバネばかりで引張り、針が抜ける
ときの力の最大値を測定した。市販品と比較した結
果を表 5に示す。自作シリンダは市販品の約半分の
引き抜き力しか得られなかったが、実際に自作シリ
ンダの針で櫛歯を弾いて音を出したところ、音色に
問題はないと判断した。今回は便宜的に引き抜き力
の規定値を 0.6[kgf]以上とし、今後耐久性などに問題
があれば規定値を見直すこととした。引き抜き力に
影響を与える要因として穴深さが考えられる。穴が
深ければ、針がシリンダ内に充填された樹脂に食い
込むことで引き抜き力は向上するが、それに相反し
て切屑除去が困難となりドリル破損も増加する。そ
のため最適な穴深さが求められが、3号機はツール
セッタがなく目視でドリル刃先を位置決めしている
ことから、指定深さで穴をあけることができない。

表 5 針引き抜き力測定実験結果

	市販品	3号機で作成した シリンダ
最小[kgf]	1.3	0.1
最大[kgf]	3.8	1.9
平均[kgf]	2.0	0.9

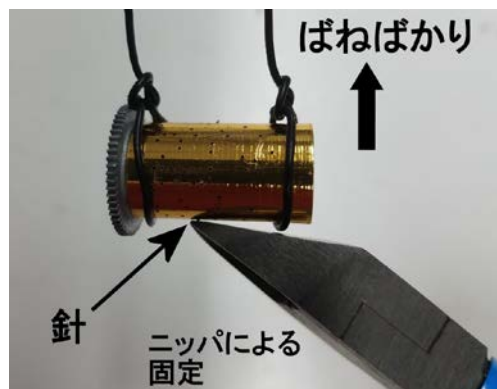


図 17 針引き抜き力測定実験方法

2.5 試作3号機の成果と課題

試作3号機の成果として 18 弁シリンダで 63 連続
で針打ちすることができた。非常停止スイッチを使用
できるようになり安全性が向上された。また、初
期動作でヘッド上昇することにより部品破損が軽減
された。課題を次に挙げる。各軸に対してリミット
スイッチが設けられていないため、軸の限界以上に
動かそうとすると部品破損の恐れがある。また相対
的な軸指令しかできないため加工開始点に目視で位
置決めする必要がある。穴深さを正確に指定できな
い問題がある。また、X 軸を移動するとシリンダに
打った針とニッパ刃が干渉してしまい針が曲がって
しまう問題がある。また装置の組み立て調整にコッ
プが必要で、針打ち位置に正確に合わせるために、微
調整を繰り返す必要がある。

3. 試作4号機(H28年度)

3.1 試作4号機の概要

試作3号機からの変更点として、加工精度と組み
立て再現性、針打ち成功率を上げることを目的に改
良を進めて完成した。

主な変更点として機械原点を設定できるようにセ
ンサを使ったユニットに変更を行う。また、それぞ
れの部品を高精度に作り直すことにより、取り付け
不良や部品破損の事故を防ぐことができる。

また、作曲ソフトに MIDI キーボードからの入力
機能、ソフト上での試奏機能を追加する。

3.2 試作4号機の製作

3.2.1 作曲ソフトの機能

4号機は主に MIDI キーボード入力と試奏の機能
を追加し、加工用データ出力の効率化を行った。

また GUI を図 18 のように変更した。変更点とし
て下側のエリアにエラー内容を表示し、右側のエリ
アに音符の長さ・位置・高さ情報のリストを表示す
る。左側のエリアで櫛歯の割り付けを設定する。

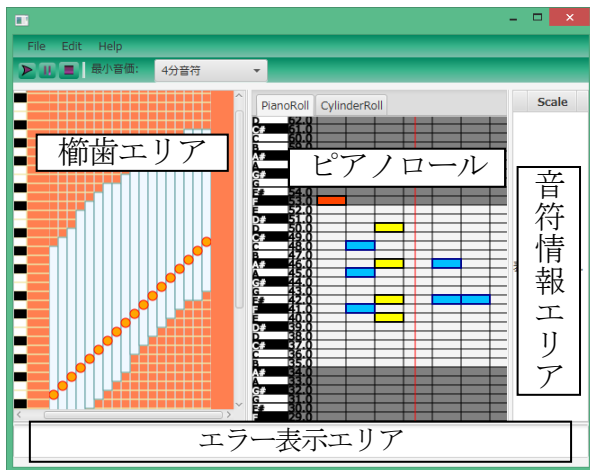


図 18 試作 4 号機でのソフト外観図

(1) MIDI キーボード入力機能

ノーツを設置する方法としてマウスクリックに加え、MIDI キーボードからの入力も可能にした。鍵盤を弾くことで、対応した位置にノーツが設置されスイッチを押すと次のセルに移動するようになっている。

(2) 試奏機能

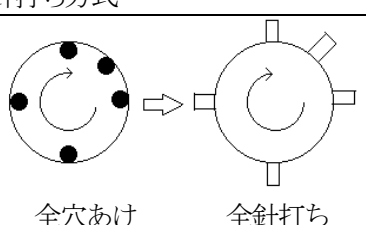
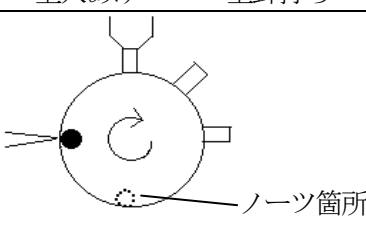
ピアノロールに置かれたノーツに対応してソフト上で音を鳴らす機能である。再生ボタンを押すと縦線のバーが出現し時間経過とともに横にスライドして、バーとノーツが重なった時に音が鳴るようになっている。

(3) 加工用データ出力の効率化

シリンダ加工時間の短縮を図る目的でプログラムの改良を行った。試作 3 号機では一括して全部の穴をあけた後、針打ちを行うデータを出力していたが、シリンダの回転時間を考えると加工時間が長かった。

4 号機ではシリンダを回転させてノーツ箇所が穴あけ位置に来れば穴あけを、針打ち位置に来れば針打ちを行う都度動作とした。表 6 に 3 号機と 4 号機の加工手順の比較を示す。

表 6 針打ち方式の比較

	針打ち方式	加工時間
3 号機	 全穴あけ 全針打ち	長
4 号機	 ノーツ箇所 都度動作	短

3. 2. 2 システム構成

機械原点復帰機能を追加した試作 4 号機のシステム構成図を図 19 に示す。機械原点復帰機能を動作させるためにリミットスイッチを追加した。原点復帰用の NC データを Arduino® に入力すると X 軸、Z 軸の原点復帰を行う。

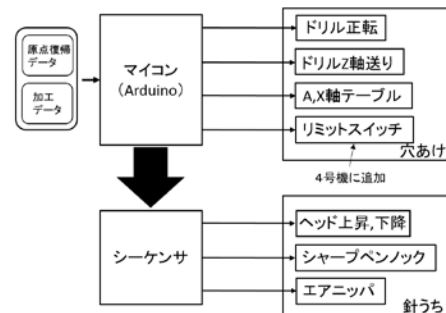


図 19 試作 4 号機のシステム構成図

3. 2. 3 機械原点復帰機能(電気部)

試作 3 号機では加工開始位置(以下機械原点とする)は目視で調整しており、機械原点が定まらない。そのため部品破損の問題が発生していた。その状態をなくすため試作 4 号機では機械原点復帰機能を追加した。

試作 4 号機で機械原点復帰機能を追加するに当たって制御基板を作り直した。その基板を図 20 に示す。

基板の大きさ縦 110[mm]×横 88[mm]にドリルコントローラ回路、PLC 回路、モータドライバ回路、リミットスイッチ回路や、RESET、RESUME スイッチを盛り込んだ。マイコンは ArduinoMEGA® を使用し制御基板の下面に直接接続する方式にして 1 枚の基板で動作するようにした。また昨年度からの変更としてマイコンに接続するセンサのピンの追加、一時停止スイッチとモータドライバに接続する一部ピンヘッダを削減した。

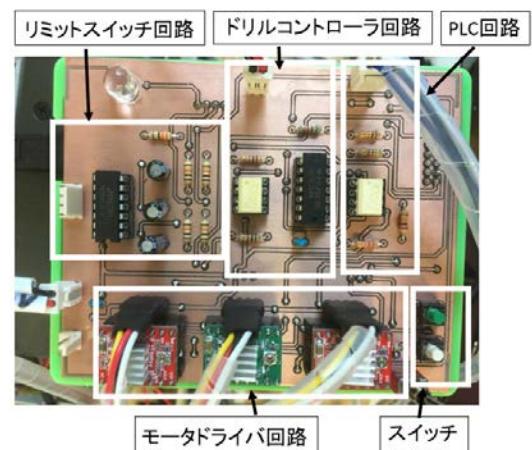


図 20 H28 年度制御基板

マイコンに接続するセンサはドリル先端位置を接触によって検出するベースマスター[®]、金属板で遮光することでストロークリミットを検出するリミットスイッチの2種類を用いた。
機械原点復帰機能に用いるベースマスター[®]とリミットスイッチの設置位置を図21に示す。

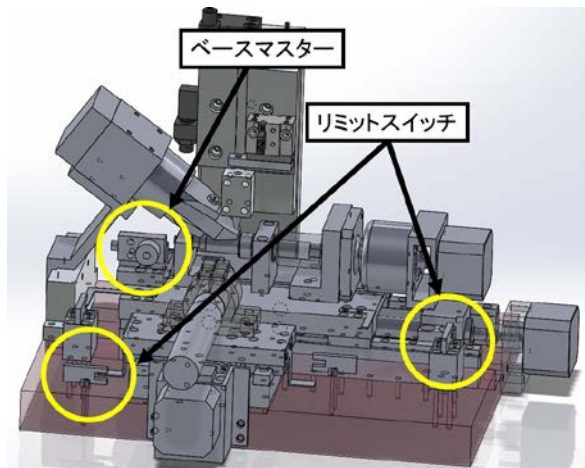


図21 機械原点復帰用センサ設置位置

機械原点復帰機能では、作成した指令データを加工データと同様の方法で読み込んで用いる。
その原点復帰用の指令データを図22に示す。

```
$H(X軸原点だし)
g04 P0.5(0.5秒待ち)
$18=160(Z軸用の設定に変更)
g04 P0.5
$H(Z軸原点だし)
g04 P0.5
$18=32(X軸用の設定に変更)
g04 P0.5

g91 g01 z5.0(加工原点移動)
g91 g01 z** x**
(加工原点設定)
```

図22 原点復帰用の指令データ

原点復帰用の指令データを用いた時の機械原点復帰機能の動作行程を以下詳細に記す。

- ① ドリルユニットをZ+方向に移動。
- ② AX軸テーブルをX-方向に移動。
- ③ ドリルユニットをZ-方向に移動。
- ④ Z軸をベースマスター[®]で原点だしをする。
- ⑤ 加工原点へ移動する。

上記①～⑤の動作後、加工原点を自動で設定する。

3.2.4 (機械部)

機械部では加工機械原点設定に伴い、ほぼ全部品の設計、製作を行った。

また試作3号機で問題となっていた穴位置精度を改善するため、AX軸テーブル、穴あけ部、針打ち部に凹凸を設けることにした。また、リミットセンサ取り付けのスペースを確保するため、針打ち部と穴あけ部の位置を中心側へ移動した。

(1) AX軸テーブル

オルゴールシリンダの加工原点を設定するためX軸リミット板を左右に設置することでX軸の原点割り出しを可能とした。また、重心を中央に寄せるためテーブル長を増やし、ボール減速機マウントの締結部を内側に寄せた。また、配線を通すスペースを設けるためにガイドレールを短縮した。X軸リミット板、リミットスイッチを図23に示す。

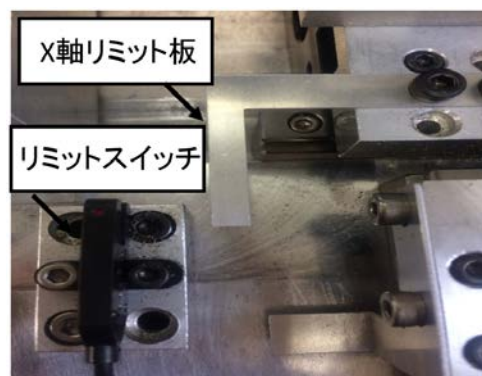


図23 X軸リミット板、リミットスイッチ

(2) 穴あけ部

ベースマスター[®]取り付け部品をAX軸テーブル上に配置した。また、AX軸テーブルにリミット板を設けストローク限界を検出可能にした。また、原点復帰の際にドリルと部品が接触するのを避けるため後退できるスペースを確保した。具体的には、Z軸のガイドレールを延長しストローク量を増やし、それに伴いモータマウントの形状も変更した。図24にベースマスター[®]、ドリルユニットを示す。

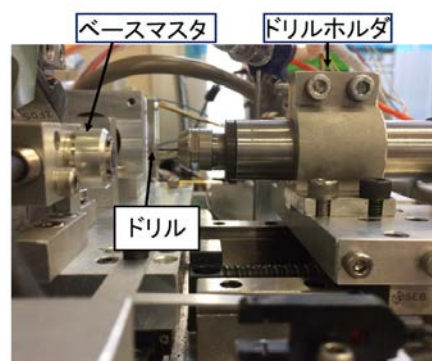


図24 ベースマスター[®]とドリルユニット

(3) 針打ち部

試作3号機で問題となっていた繰り返し組み立て精度を改善するため、シャーペンジグ組み合わせ部品に凹、シャーペンジグに凸を設けた。

(4) ニッパ部

打ち込んだ針が A 軸稼働時にニッパ刃に干渉し、針が曲がってしまう不具合が発生した。改善策としてニッパ刃の種類を両刃から薄刃のものに変更し解決した。また、図 25 のようにニッパホルダとベースマスター®が干渉しない形状に変更した。ニッパホルダのテーパ形状に合わせた R 部を設けることで中心を出す形状に変更し、ニッパの取り付け時の前後左右のブレを抑制した。図 25 にニッパホルダを示す。

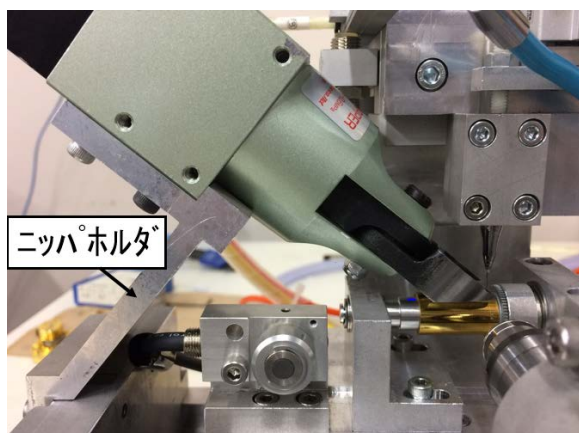


図 25 ニッパホルダ

3.3 成果

3.3.1 ソフト部

4号機の成果として、試作3号機でのソフトでは実装できていなかった MIDI キーボードからの入力と試奏機能を追加することができた。前年度のソフトの試奏機能には停止と一時停止ができなかったが今年度では実装することができた。

加工用データ出力機能を改良することで効率的な加工が可能になった。

3.3.2 ハード部

4号機の成果として、自動で機械原点復帰、繰り返し組み立て精度の向上、針とニッパの干渉を改善することができた。完成した試作4号機を図 26 に示す。

また針打ちの成果として H29 年 2 月 24 日時点で 34 連続の針打ちに成功している。今後調整を重ねていき、針打ち成功率を高めていきたい。

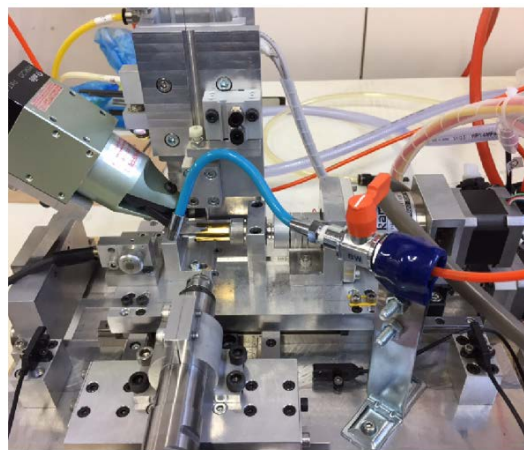


図 26 試作4号機

4. 開発費

今回の開発にかかった費用を表 7 に示す。

表 7 開発費

ハード	ドリル等	580,000 円
	機械工具	200,000 円
	鋼材	100,000 円
	電気科	200,000 円
ソフト	電子情報科	50,000 円
予算		1,130,000 円
執行額		1,130,000 円

5. まとめ

今年度は 36 弁シリンダから 18 弁シリンダへの換装を行った試作 3 号機と機械原点復帰機能を追加した試作 4 号機を製作した。機能追加により、部品破損の減少、加工開始点の統一が可能となった。

ソフトとハードが組み合わせたり、シリンダを自動加工ができるようになった。

6. 謝辞

本研究に当たり、ミーティングで多くのご指摘、ご指導をいただいた株式会社〇〇様、株式会社〇〇様、〇〇様へ御礼を申し上げます。

課題実習「テーマ設定シート」

科名：生産システム技術系（開発課題実習）

教科の科目	実習テーマ名
自動化機器等企画開発、生産システム設計・製作等実習 (開発課題実習)	オルゴールシリンダ自動加工機の開発
担当教員	担当学生
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	
課題実習の技能・技術習得目標	
オルゴールシリンダ自動加工機の開発を通して、「ものづくり」全工程を行うことにより、複合した技能・技術及びその活用能力（応用力、創造的能力、問題解決能力、管理的能力等）を習得することを目的としています。具体的には製品設計技術、板金・切削、溶接を複合的に活用した製品製造技術、製品設計製造情報のドキュメント作成及び管理技術などの習得を目標にします。	
実習テーマの設定背景・取組目標	
実習テーマの設定背景	
小樽の観光地における土産品のひとつにオルゴールがあります。オルゴールは円筒形のシリンダにつけられた突起部分が、音階順に並んだ櫛歯を弾いて音を奏でる構造となっています。曲情報が入ったシリンダは金型プレスによって製造されており、まとまった個数を大量生産することで単価を下げているのが現状です。一方、オリジナル曲などのマイナーな曲は、出荷数が見込めない状況です。こうしたことからロット数の少ない曲の金型を製作すると、金型代金がシリンダ単価にのしかかるため、オルゴール1台あたりの価格が数十万円ということになり、現実的ではありません。しかしこうしたマイナー曲のニーズは高く、思い出の曲や校歌、自作曲などをオルゴールとして残したいというリクエストは多くあります。	
実習テーマの特徴・概要	
上記のような社会的ニーズに応えるため小樽市でオルゴール専門店を運営している〇〇では、2003年から針打ち式のシリンダ加工機の開発に取り組んでいます。針打ち式のシリンダは金型を使用せず、円筒部品に穴をあけ、銅線を打ち込むことで突起を形成しています。2005年に試作1号機が開発され、2007年に2号機が完成しています。現在、改良を重ねている段階です。またこのシリンダ加工機については、札幌に拠点を置く株式会社〇〇も開発に携わっており、加工精度や加工スピードの向上など改良が進めば、オルゴール店の店頭でデモ機として展示することが可能となります。展示することで観光客に対して技術力をアピールすることが可能です。また将来的には、シリンダ加工機を地元のオルゴール作家へ販売することにより小樽地域におけるオルゴール文化の発展に寄与できることからオルゴールシリンダ自動加工機の開発に取り組めます。	
No	取組目標
①	3次元CADを利用し設計を行い、切削・板金を複合的に活用し、オルゴールシリンダ自動加工機を完成させます。
②	機械・電子・情報の技術要素を明確にし、スケジュール管理を行います。
③	最新の電子デバイスに注目し、積極的に採用していきます。
④	開発する際、機械・電気・電子情報3科のコミュニケーションを密に取り、部門間の問題を素早く解消します。
⑤	課題を解決するために必要な情報を収集し、分析・評価して合理的な手順や方法を提案します。
⑥	ファシリテーションを導入することでグループ活動が活発になるように促し、リーダーがファシリテーターの役割を果たします。
⑦	グループメンバーの意見に耳を傾け、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。