

課題情報シート

テ ー マ	鋸刃検査装置の開発		
大 学 校	北海道職業能力開発大学校		
ホームページ	www3.jeed.or.jp/hokkaido/college/		
電 話 番 号	0134-62-3552（学務課）		
訓 練 課 程	応用課程	訓 練 科	生産電気システム技術科 生産機械システム技術科 生産電子情報システム技術科
担当指導員	磯 史樹 早川 明德 上間 豊久		

開 発（制 作）年 度 ・ 期 間

2017 年度 ・ 10 カ月

（内訳）企画・設計：3 カ月、試作・組立：4 カ月、評価：3 カ月

開 発（制 作）学 生 数

7 名

（内訳）生産電気システム技術科：2 名（PLC、制御系設計）、生産機械システム技術科（機構設計、機械加工、組立調整）：3 名、生産電子情報システム技術科：2 名（画像処理、ソフトウェア開発）

習 得 し た 技 能 ・ 技 術

実習を通じて、プログラミング技術、画像処理技術、PLC 制御技術、配線技術、電子回路基板作成技術、機械設計、機械加工技術 等について習得しました。昨年度からの継続テーマのため、製作に関する課題の把握・整理から課題解決の手順およびスケジュールについて、リーダーを中心にメンバー全員が目標に向けて協同しました。

開 発（制 作）の ポ イ ン ト

開発した鋸刃検査装置は、丸鋸刃の刃先の欠けを画像による検査方式により自動で検出する検査装置です。昨年度からの継続課題となります。検査装置として求められる主な機能として、高い検査精度、短い検査時間があげられ、両者をできる限り高めるのに苦労しました。現在当校では、画像処理に関するカリキュラムは実施しておらず、担当する学生には、画像処理の基本から学習していく必要がありました。

検査時間の短縮には、検査装置に鋸刃を容易にセットできる構造、制御方法の見直し、画像処理の短縮が必要でした。鋸刃を検査装置へセットする方法を学生に検討させ、テーパおよびクイッククランプによる方法に至りました。鋸刃を回転させ撮影し画像処理にかかる時間の短縮では、鋸刃を連続回転した状態で 1 枚ずつ刃を撮影する方法が考えられましたが、カメラのシャッタースピードを上げ

なければならず、カメラを高額なものにしなければ実現できなかったため、昨年同様のカメラを使用し、一刃ごとに停止させ撮影する方法で開発をしました。画像処理は、エッジ検出方法に変更し、一括処理を実施したことにより処理にかかる時間を大幅に短縮できました。検査精度の向上のため、カメラ位置の調整、光色の選定、閾値の設定、撮影時の鋸刃への光の当て方を変えるなどし、最適な条件となるように繰り返し実験を行いました。

訓練（指導）のポイント

昨年度の製作物の理解から始まり、企業とのディスカッションを通じて、求める仕様（ニーズ）の聞き取りを学生が主体となって取り組むように指導しました。技術的内容は、画像処理以外については、これまで学習してきた技能・技術を十分に生かせる課題であったため、復習を促しながら学生自ら考えて行動できるように指導しました。スケジュール管理に注意させながら、一步一步小さな目標（マイルストーン）を立てさせ最終目標まで継続させました。また、学生のモチベーション維持のため、アグリビジネスフェアの出展などにより緊張感を持たせるとともに、プレゼンテーションの重要性や昨年度よりも良いものを作ろうという意識を持つように指導しました。

開発物の仕様

項目	内容
外形寸法（mm）	幅 700×奥行き 575×高 563（表示灯込の場合：高さ 736）
重量（kgf）	32.5
検査可能鋸刃径（mm）	305、355、405、455、510
取付可能穴径（mm）	25.4～80.0
電源（V）	A C 100

使用機器

開発において使用した機器等（機器名・メーカー・型番）

各種工作機械、PC、PLC（FX3UC-32MT/D・三菱）、USB カメラ（UK-03・ミヨシ）、開発環境（visual studio 2017・マイクロソフト）

参考文献

- 「FX3S・FX3G・FX3GC・FX3U・FX3UC シリーズ マイクロシーケンサプログラミングマニュアル」
2013 年 09 月 三菱電機株式会社
- 「FX シリーズ マイクロシーケンサ ユーザーズマニュアル[通信制御編]」 2015 年 4 月 三菱電機株式会社
- 「C#でシリアル通信を行う」金澤ソフト設計 <https://kana-soft.com/tech/sample_0007.htm>2012 年 3 月

「Server と Client で通信」前田稔(Maeda Minoru)の超初心者のプログラム入門<
<http://www.eonet.ne.jp/~maeda/cs/tcp.htm>>2018 年 12 月

「画像フォーマットを指定して保存する」DOBON.NET <
<https://dobon.net/vb/dotnet/graphics/saveimage.html>>2018 年 1 月

鋸刃検査装置の開発

D チーム

生産機械システム技術科 ○長島 琢己, 川口 南斗, 北本 拓海
 生産電気システム技術科 山野 正弘, 吉田 隼人
 生産電子情報システム技術科 ◎上野 紘太, 山本 敬太

1 はじめに

北海道の森林面積は全道面積の約 70%に当たり、これは国の森林面積の約 1/5 を占めている。近年においては輸入材の減少などから道産材の需要が増加し、木材の自給率（道産材供給率）が向上するなど、林業生産活動が活発化しつつある。また、それらの森林から伐採される木材を加工する製材所の数について、北海道は他の都道府県と比較すると大規模な製材所が多く、製材工場の規模を示す製材用の動力出力総数は 2017 年の林野庁の調べでは全国 1 位となっている。

一般的に木材の製材には帯鋸や丸鋸（以下、鋸刃とする）を使用するが、これらの刃物は使用時間に比例して刃先の摩耗や欠けが発生し、切断能力が低下する。その結果、木材の切断面に荒れや焼き付きが発生するため定期的に鋸刃を検査し、必要があれば再研磨しなければならない。

このような背景の中、本開発課題では鋸刃再研磨で高い技術を有する（有）鍋浦のこ目立てセンター様のご依頼を頂き、鋸刃の刃先の欠けを自動検出する鋸刃検査装置の開発を行うこととなった。この装置開発は昨年度から行われており、今年度は昨年度製作した 1 号機をもとに、2 号機の製作に取り組んだ。

2 鋸刃

図 1 のように鋸刃は円盤状になっており、靱性の強い鋼製を用いている。外周部分に切れ刃であるチップが規則的にロウ付けられており、チップの材質は高速度工具鋼や超硬が一般的に用いられている。



図 1 鋸刃

2. 1 刃先

鋸刃の刃先部分の簡略図は図 2 のとおりで、赤線で示す部分が欠けたり、チップ面に摩耗が起きると切断精度に影響が出る。実際の研磨不良の刃先画像は画像処理の項目で示すが、欠けた部分や摩耗部分は光の反射の影響により周りとは違った色に見えることがわかる。

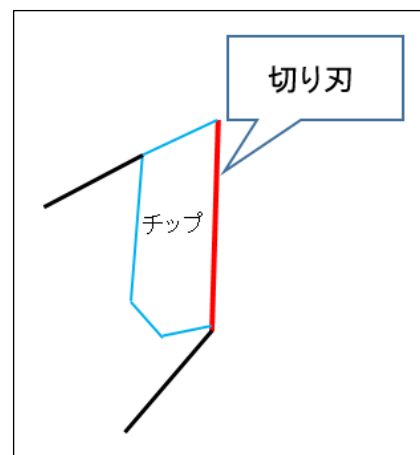


図 2 刃先簡略図

2. 2 鋸刃の規格

鋸刃の規格は JIS により国内規格が定められている。寸法表示は JIS B4805 により、外径 (D) ×刃厚 (T1) ×本体厚 (T2) ×穴径 (d) で示され、標準的な鋸刃は外径最小で 205mm、最大では 610mm であるが、例外として特殊サイズも必要に応じて用意されることもある。刃形は数種類の刃形の並びにより A～D 形に分類され、被削材の材質や形状により使い分けられる。

3 装置概要

製作した装置を図 3 に示す。検査装置はできる限り多種の外径、刃形に対応できることが望ましいが、装置の大きさなどを考慮した上で（有）鍋浦のこ目立てセンター様の助言もいただき、本装置でも一般的に使われることの多いサイズに絞った。対応寸法については表 1 にまとめた通りで、外径 305～510mm、中心穴径 25.4mm～80.0mm に対応させた。刃形については、一般的に使用されることの多い、AB 形の刃形の鋸刃について検査できるよう製作を行った。



図3 製作した装置

表1 装置寸法

項目	仕様
寸法 (mm)	幅700×奥行575×高さ563 (カバー設置時 : 高さ600) (パトランプ高さ : 736)
重量 (kgf)	本体 : 32.5 カバー : 3.5

表2 検査可能鋸刃サイズ

鋸刃のサイズ					
外径 (mm)	305	355	405	455	510
刃数 (本)	100	120	120	120	160
中心穴径 (mm)	25.4, 38.1, 40.0, 80.0				

3. 1 作業手順

検査作業手順は図4のようにになっている。この手順は昨年度と同様だが、電源の切入や鋸刃着脱の容易性、専用ソフトの利便性など1号機の問題点を克服したものとなっている。

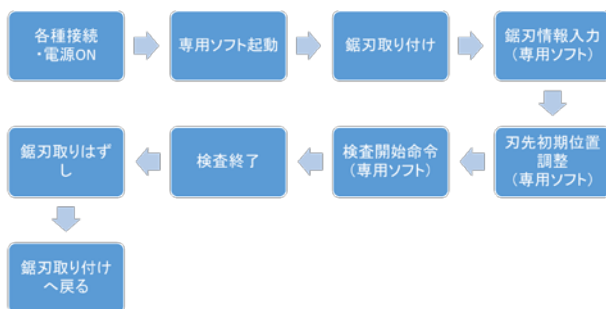


図4 作業手順

3. 2 ハードウェア構成

図5にハードウェア構成図を示す。本装置は鋸刃の固定及び回転をさせる鋸刃回転ユニット、鋸刃の寸法に合った位置にカメラの移動を行うカメラ移動ユニットで構成される。ユニット毎にまとめることで取り外しが容易に行えるようにし、メンテナンス性を向上させた。各ユニットや制御については後述する。

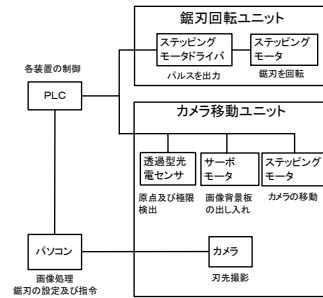


図5 ハードウェア構成図

4 装置構成

4. 1 カメラ移動ユニット

図6にカメラ移動ユニットを示す。主な構成部品はブッシュ、シャフト、タイミングベルト、タイミングプーリ等である。また、カメラホルダーを取り付け、上・下から鋸刃の刃先を撮影できるカメラを固定できるようになっており、さらに刃先の撮影の精度を向上させるために背景用プレートを設置することとした。

カメラは、パソコンに入力された外形に合わせて移動を行うことができる。移動する方向は、鋸刃回転ユニットの中心から法線方向に移動させる。移動に用いる機構として当初は昨年度と同様に高精度な位置決め精度を持つリニアガイドを用いる予定だったが、リニアガイドは非常にコストが高いため、コストを抑えながら精度の高い機構がないか模索した結果、無給油プラスチックのブッシュを選定した。無給油により潤滑油が不要であることや、プラスチックなので錆びないこと、非常に安価であるなどのことから採用することにした。

また、1号機の問題の一つであったメンテナンス性の悪さを改善するため、カメラ移動に用いる各種部品を大きな一枚板の上に固定することでユニットとした。これにより独立して動作の確認を行うことができるようにした。

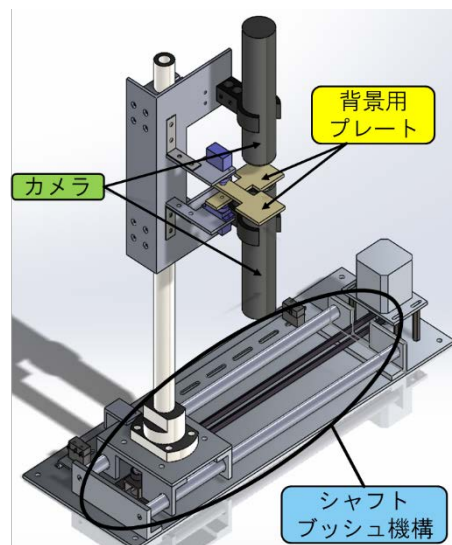


図6 カメラ移動ユニット図

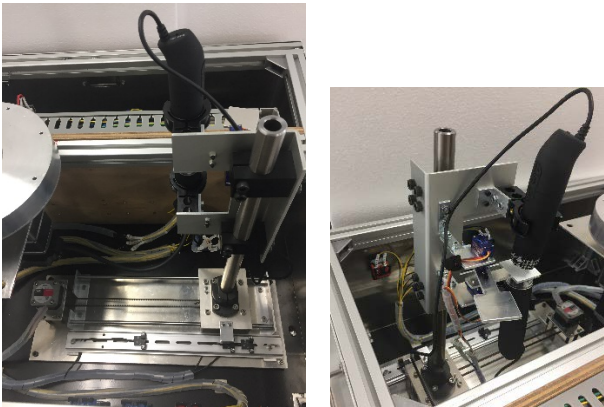


図7 製作したカメラ移動ユニット

4. 2 鋸刃回転ユニット

4. 2. 1 機構

図8に鋸刃回転ユニット図、図9に実際の鋸刃回転ユニットを示す。作業手順は次のようになっている。

- ①鋸刃をテーブルの上に置き、②テーパ部を乗せる。
- ③クイッククランプとバネにより上部から押し付け固定する。

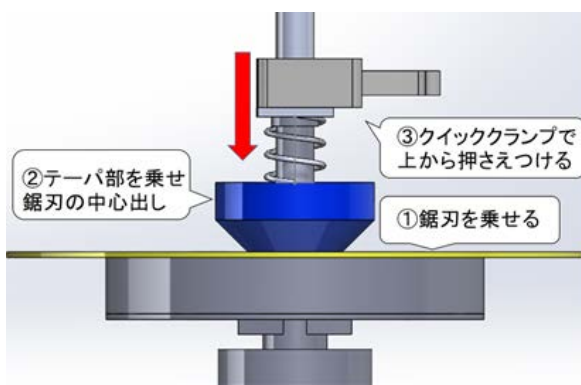


図8 鋸刃回転ユニット図

鋸刃が回転する反動で位置ずれしないようにするために鋸刃を固定する必要があるので、次の2つの固定方法を考えた。1つ目はナットで上部からテーパを鋸刃に押さえつけて固定する方法である。とてもシンプルな構造ではあるが、ナットを回す手間がかかるというデメリットがあげられる。このデメリットを改善した2つ目の案が、クイッククランプとバネにより上部からテーパを鋸刃に押さえつけて固定する方法である。より簡単に固定することができるので本装置では2つ目の案を採用した。このことにより刃先の撮影をブレなく行うことが可能になった。

鋸刃のすべての刃を正確に検査するためには確実に鋸刃を軸の中心に置く必要がある。テーパを用いることで鋸刃の中心出しが正確かつ指定された鋸刃の内径25.4mm～80mmに対応できる機構の製作に成功した。

4. 2. 2 テーパ部とテーブル

昨年度の装置は鋸刃を各穴径に合わせた段付きの部品により上から押さえつけ固定する機構になっていた。しかし、押さえつける力が弱く刃の固定も不十分な点と、テーブルに傾きがある点があげられ、カメラの撮影に悪影響が生じていた。このことから今年度は以上のことを改善するために装置の設計を行った。

実験を行うために樹脂で作ったテーパ部で鋸刃を固定し、実際にテーブルを回転させ検証したところ、十分な固定ができた。よってテーパ部で上から押さえつけて固定する方法を採用し、実際に現場で使用することを想定してテーパ部の材質を選定した。鋸刃の検査は頻繁に行うということで鋸刃と干渉するテーパ部は、S45Cを用いた。鋸刃のハイスよりも柔らかい材質にすることで、鋸刃に傷をつきにくくした。

また、テーブルの外形は撮影のため、指定された鋸刃の最小外形305mmよりも小さくする必要があり、かつ強度を必要としたので200mmとした。また、テーブルの下部にシャフトホルダを取り付け、軸とテーブルの垂直度をだしてテーブルの傾きをなくした。



図9 実際の鋸刃回転ユニット

4. 3 筐体

筐体の構造については図5のように、鋸刃検査ユニット、カメラ移動ユニット、電子機器等を収めることができるものとする。なお、電子機器等の配置場所については1号機では筐体底面に配置されており、各種電源等の切り替えが面倒で検査開始までに時間が掛かっていた。また、手を奥まで入れなければならず危険であるほか配線などのチェックも困難であった。そこで本装置では、筐体を少し高くすることで配線のチェックをしやすくするとともに、筐体後部の分離されたスペースに電子機器を配置することでメンテナンス性の向上を行った。

検査時の光の侵入や、動作中の鋸刃への接触防止として、黒いシートを用いたカバーを設け、蝶番により開け閉めが容易に行えるようにした。また、装置の持

ち運びがしやすいように左右に取手を設けた。

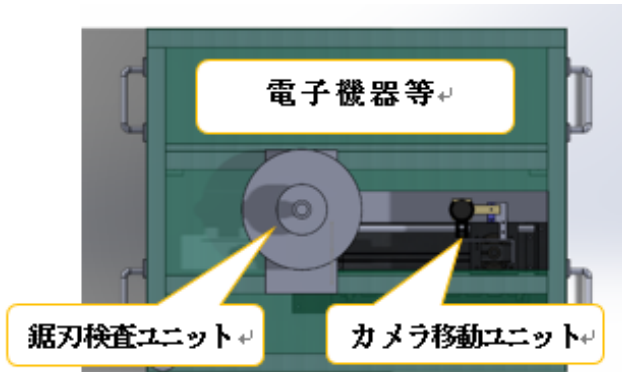


図 10 筐体の配置図

4. 4 配線

図 11 に制御盤の配置を示す。本装置は、AC100V 電源を 24V と 5V に降圧し、各装置に使用するモータ及びカメラ位置調整用のセンサには 24V を、2 相ステッピングモータ用の IC には 5V を供給する。配線が煩雑にならないよう、必要な電圧に応じて配置を纏めた。24V から 5V への降圧は、市販のスイッチング電源キットを用いた。

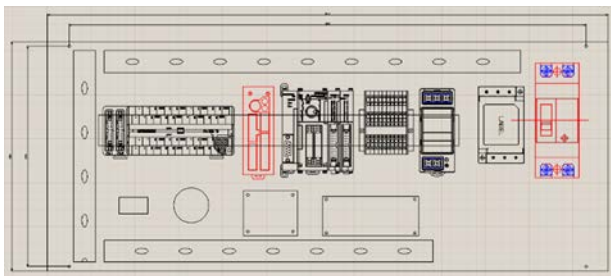


図 11 制御機器の配置図

5 制御部

5. 1 カメラ移動ユニット

カメラ移動ユニットの移動は[mm]単位的位置決め精度が必要である。オープンループ制御のステッピングモータでこの位置決め精度を満たすような動作が出来る考えた。今回使用するモータは省電力かつ配線スペースの省スペース化を図るため 24V 駆動が可能なオリエンタルモータ製 PK シリーズ PK244-04A を使用することとした。また 2 相ステッピングモータはドライバ IC により駆動することとした。使用した IC はサンケン電気株式会社の SLA7078 である。励磁モードは 2 相励磁 (Mode8 固定) で使用した。但しこの IC を使用する上で特に注意すべき点は、V_REF に接続する抵抗値はモータの定格電流に合わせて以下の(1)式のように設定する必要がある。

$$I_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{DD} \div R_S \dots (1)$$

この計算式に則った抵抗を実装しなければ過電流が流れ大変危険である。この IC を実装した基板から PLC の出力端子には 5V が供給されるようになっており短絡防止用の抵抗を実装している。

図 12 に 2 相ステッピングモータ用基板を示す。本回路は、ロジック電源電圧 5V や(1)式に従って基準電圧を供給する。なお IC への入力には PLC により行い、PLC の出力端子には短絡防止用の抵抗を介して 5V を供給する。IC から 2 相ステッピングモータに指令を出す際、モータ駆動用の 24V もこの基板から供給する。そのため、2 箇所の端子にそれぞれ 5V と 24V を配線した。回路設計の際には、図 11 で示した配置と比較し、配線が長くなりすぎないように必要な端子の位置を考慮したうえで配置、設計を行った。



図 12 2 相ステッピングモータ用基板

カメラ移動ユニットの移動距離 (移動ステップ数) の算出は以下のように行う。モータに取り付けたタイミングベルトの外周から円周を割り出した。基本ステップ角が 1.8°なので 1 周当たり 200 ステップになる。割り出した円周を 200 で割った値(①とする)とカメラ移動ユニットの原点から刃先までの距離を①で割って丸めた値をその鋸刃外形に対応した移動ステップ数として設定した。

5. 2 鋸刃回転ユニット

鋸刃回転ユニットの駆動用モータは画像処理用のカメラのフレームレートを検討し、昨年同様 1 刃ずつ止めて撮影を繰り返す動作をさせる前提で選定を行った。本年度の装置の課題である検査時間を短縮するため昨年度よりも鋸刃の回転速度を上げる想定をした。このため昨年度よりも急制動に強い始動トルクが大きいモータを採用することにした。そこで使用した鋸刃回転ユニットの 5 相ステッピングモータはオリエンタルモータ製を使用し、昨年よりも瞬間最大トルクを 3 倍の[20N/M]、許容トルクを 2 倍の[8N/M]のものを選定した。これにより鋸刃回転ユニットの動作試験において刃先をカメラで撮影可能な速度範囲内の回転速度では今回検査対象とする全ての鋸刃外形において脱調が起きなかったことを確認している。また入出力点数を少なくできるため、昨年度使用した CRK シリ

ーズの5相ステッピングモータドライバからARシリーズのドライバに変更した。このARシリーズのドライバは入出力ピンの割り当てをユーザが選択する機能がありドライバ機能の拡張性がよく、修正が容易に行える利点がある。カメラ移動ユニット、鋸刃回転ユニットの仕様と実装する制御盤の大きさ、検査装置の使用環境を考慮すると防塵性、耐久性が要求されるため、装置の制御にはPLCを用いる事が適切であると考えた。そこで2相モータの制御に必要なとなるパルス出力機能を持っていることや補助リレー、タイマ、カウンタなどの点数も十分であることから比較的安価な三菱電機㈱製MELSEC-FシリーズのFX3UCを採用した。

5. 3 背景用プレートの動作仕様

画像処理をするにあたり、画像の背景色は白に統一することが望ましいということが分かった。このためアルミ板に白色のシールを貼り、背景用プレートとした。このプレートの動作で上下両面の刃を同じ背景色で撮影することが出来た。この制御は小型で軽量なマイクロサーボSG92Rを使用しPLCから90°の範囲で動作するようPWM信号を入力した。なおPLCには5Vを直接印加出来ないため、新たに10KΩのプルアップ抵抗を実装した基板を取り付けて配線した。

5. 4 通信方式

通信はRS232-C通信によりパソコンと接続した。PLCの通信の方式は以下表2のとおりである。動作試験段階では16bit分の通信を行って上手く認識されず64bitで通信していた。しかしながら、検査中の鋸刃を撮影する通信のやり取りでデータがオーバーフローしていることを確認し通信データの内容を確認した結果、32bitのデータをやり取りしていることが分かった。その後32bitの通信に修正し問題なく動作しているため、PLCでの通信設定はパラメータ設定のほかに通信命令自体でbit長を合わせる必要があることが分かった。

表3 シリアル通信方式

項目	仕様
プロトコル	無手順通信
データ長	8bit
パリティ	なし
ストップビット	1bit
伝送速度	9600bps
ヘッダ・ターミネーター	なし
H/Wタイプ	通常
伝送制御手順	形式1

5. 5 筐体スイッチ

鋸刃の検査はパソコンのUIにより行うが、機器のメンテナンス動作を行えるよう、筐体の入力インターフェースとして前面パネルに押しボタンスイッチを設けた。スイッチにより各ユニットは以下のように動作する。またUIは筐体スイッチと同様にカメラ移動ユニットと鋸刃回転ユニットのメンテナンス動作を行えるようにした。図13に筐体スイッチ部の配置図を示す。

①操作権切り替えスイッチ

パソコンの操作と筐体スイッチの操作が同時に行われないようインターロック機能を設けるためこのスイッチを実装した。なお緊急停止スイッチはこのスイッチ挙動に関わらず有効である。

②カメラ移動スイッチ（上段緑...鋸刃側，黄...壁側）

1度押すとステッピングモータが1パルス分(1.8°)動作する。そのまま1秒間長押しすると押ししている間カメラが移動する。この1パルス分の動作により各鋸刃外形のカメラ移動量の微調整を簡単に行う事ができる。またこのスイッチでカメラを移動させることで様々な鋸刃の取り付けを試すことができる。

③原点復帰スイッチ（黒）

カメラ移動ユニットの原点復帰動作を確かめることができる。スイッチにはインターロック機能により原点復帰中はカメラ移動スイッチの動作は行えないようになっている。

④鋸刃回転スイッチ（下段緑...右回り，黄...左回り）

1度押すことで0.1°モータが回転し、長押しすることでモータが回転し続ける。このスイッチによりモータの動作確認が行え、鋸刃の刃先の状況が確認できる。

⑤緊急停止スイッチ

このスイッチが動作するとパソコンへ緊急停止の通信を行いPLCからの全出力を禁止するよう設定している。UIにも同様の緊急停止ボタンを配置しておりどちらかが動作している限り出力禁止命令は解除されない。なお緊急停止解除について、このスイッチはUIによる緊急停止解除命令より上位に位置付けておりUIからの緊急停止解除命令を受信してもこのスイッチが押されている限り緊急停止は解除されない。また、緊急停止スイッチの動作でPLCの出力が禁止されるため、5相ドライバのSTOP信号はブレーク接点とすることで緊急停止時必ずモータが停止する設定となっている。また、緊急停止解除後の誤動作を防ぐため、緊急停止解除後はリセットを掛けて待機状態に戻るようになっている。



図 13 筐体スイッチの配置

5. 6 鋸刃回転

検査中の 5 相ステッピングモータドライバの回転速度は鋸刃の振動が最も抑えられるように以下の表 4 ように設定した。

表 4 モータ回転速度

刃数	100	120	160
ステップ数[step]	360	300	225
起動速度[ms]	40	40	40
加速[ms/kHz]	40	40	40
減速[ms/kHz]	60	60	60
運転速度[Hz]	3000	3000	3000
速度フィルタ[ms]	60	60	60

※分解能は 0. 01°である

上記の設定速度で回転させると、次の刃に移動するために 500ms の時間を要し、移動後、鋸刃が完全に静止するまで、300ms の間待機する必要がある、また、鋸刃が完全に静止してから画像を取得するまで、100ms の時間を要する。よって、1 枚の刃を撮影するために必要な時間は 900[ms]であり、上面と下面で 1 周ずつ撮影する必要があるため、100 刃の鋸刃を撮影する場合、所要時間は $900 \times 100 \times 2 = 180000$ [ms]、即ち 180[s]である。なお、この結果は装置に振動を与えない状況での検査時間である。

5. 6 パトライトの点灯仕様

パトライトの点灯仕様については以下の表 5 のとおりである。

表 5 パトライト点灯仕様

パトライトの点灯状態	機器の運転状況
緑点灯	運転待機中
黄色点灯	検査中以外の状態でのモータ等の運転状態
黄色点滅	検査中※
赤点灯	カメラ移動ユニット極限検知用センサがON 5相ドライバALM検出

※検査中の点滅間隔は設定した刃数に対する画像の撮影回数を 3 等分し 2. 0s 間隔, 1. 0s 間隔, 0. 5s 間隔で点滅するように設定し、点滅間隔が短くなることで検査終了が分かる表示を行った。

6 画像処理

6. 1 カメラ仕様と撮影方法

刃の撮影に用いるカメラとして、USB 顕微鏡 (以降カメラと呼ぶ) を 2 台使用した。このカメラはボタン操作でオートフォーカスができるので、刃渡り 4mm の鋸刃を撮影し、欠けの判断や画像処理を行うのに適しているので選定した。選定したカメラを図 14 に示し、カメラの仕様を表 6 に示す。図 15 は本装置で行う画像処理の手順である。この手順に沿って処理を行う。



図 14 USB 顕微鏡

表 6 カメラ仕様

項目	仕様
静止画記録解像度	1600px × 1200px
倍率	15倍～65倍, 225倍(2段階切り替え)
焦点動作	手動調整, 自動調整(オートフォーカス)
フレームレート	30fps
シャッタースピード	自動(1秒～1/1000秒)
光源	LED 8灯(常時点灯)
静止画出力形式	BMP, JPEG

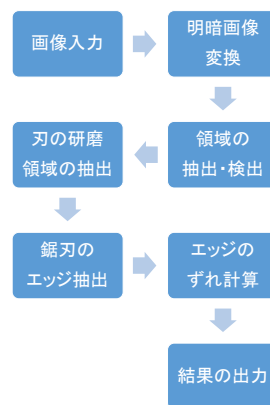


図 15 画像処理手順

6. 2 画像入力

カメラで撮影した画像を取り込む。取り込む画像は 256 色, RGB 各 8 ビットの 24 ビットフルカラー画像とし、ファイルの形式は bmp ファイルで、鋸刃の刃数分だけ 1. bmp から順に名前を付けることとした。取り込んだ画像で欠けの判断を行い、分別を行う。欠けの定義は、目視で刃が白くなっている場合とした。図 16 に欠けが無い場合の画像, 図 17 に欠けのある場合の画像を示す。

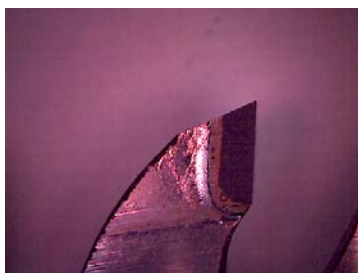


図 16 欠けなし画像

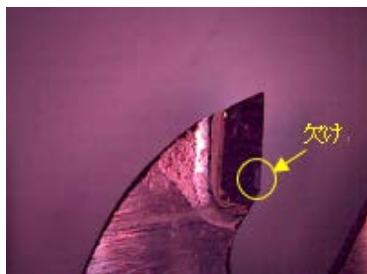


図 17 欠けあり画像

6. 3 明暗画像変換

入力したカラー画像を明暗画像に変換する. 24 ビットのカラー画像を 8 ビットの明暗画像へ変換することで以降の処理を高速化できる. 明暗画像の単純平均は RGB 値の算術平均の計算式で処理をする. 明暗画像へ変換した欠け無し画像を図 18 に, 欠け有り画像を図 19 に示す.

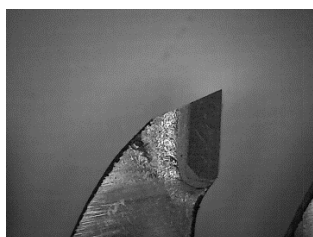


図 18 欠けなし明暗画像



図 19 欠けあり明暗画像

6. 4 領域検出

明暗画像に変換した画像から鋸刃先端位置の座標(x_0 , y_0)の検出を行う. y_0 座標の探索を行うために, Y 軸方向の投影を行う. Y 軸方向の投影では Y 軸方向から見た特徴点(y_0)を検出した. 同様に x_0 座標を探索するために X 軸方向の投影を行い, 特徴点(x_0)を検出した. 欠け画像を用いた領域検出の Y 軸投影の結果を図 20 に, X 軸投影を行った結果を図 21 に示す.

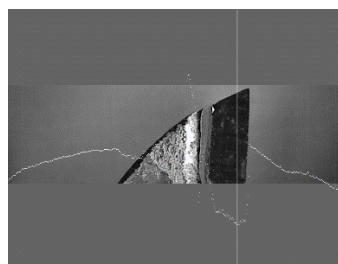


図 20 Y 軸投影

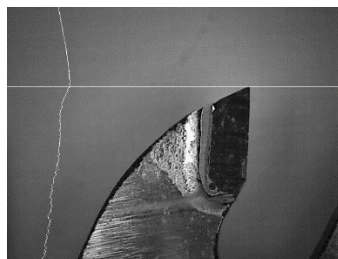


図 21 X 軸投影

6. 5 領域抽出

検出した(x_0 , y_0)を基に, 検査対象領域をさらに狭める. 狭める範囲は, 刃渡りの長さを検査範囲とし, チップ以外の領域を検査してしまうのを防ぐため, Y 軸方向(y_1 , y_2)は $y_1=y_0-180$ から $y_2=y_0+5$, X 軸方向(x_1 , x_2)は, $x_1=x_0-100$ から $x_2=100$ を検査範囲とした. 欠けがある場合の結果を図 22 に, 欠けが無い場合の結果を図 23 に示す.

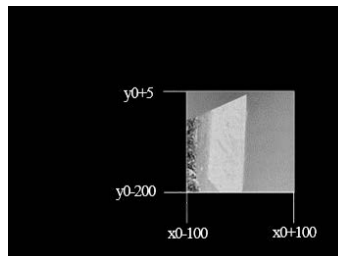


図 22 欠けなし領域抽出

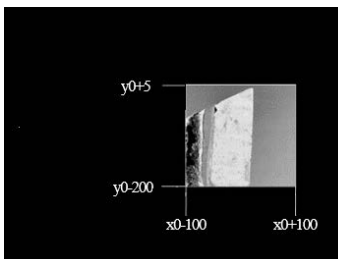


図 23 欠けあり領域抽出

6. 6 刃の研磨領域抽出

領域の検出・抽出が完了後, 刃の研磨領域の抽出を行う. 鋸刃の研磨領域が暗いことを利用し, 刃の部分のみを抽出する. 抽出した鋸刃の研磨領域は欠け判断がしやすいように欠けや研磨不良があった場合は, 対象の領域が黒く表示されるようにした. 図 24 に欠け無しの結果, 図 25 に欠け有りの結果を示す.

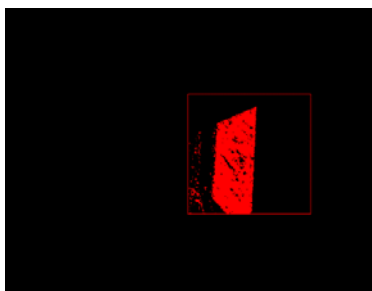


図 2 4 欠けなし研磨領域

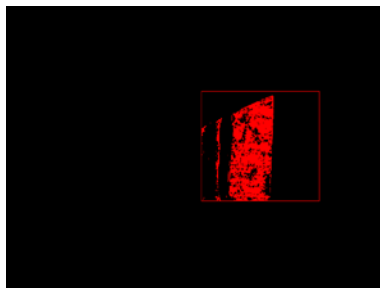


図 2 5 欠けあり研磨領域

6. 7 エッジ抽出

欠けの合否判定を行うために、鋸刃のエッジを抽出する。図 26 に欠けのない場合のエッジ抽出画像を示している。この場合、エッジは比較的直線で描画されているので欠けが無いということが判断できる。図 27 は欠けのある場合のエッジ抽出画像である。この場合、エッジが直線状にならず、曲がって描画されていることが分かる。このように描画されたエッジが直線からどれだけずれているかを比較することによって鋸刃が欠けているかどうかを判断することが出来るようにした。

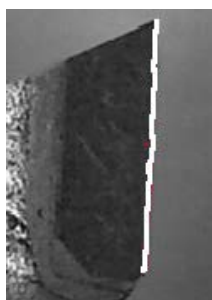


図 2 6 欠けなしエッジ抽出

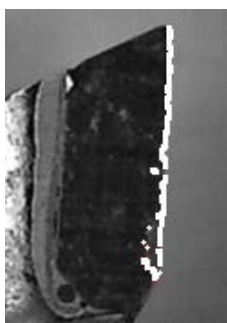


図 2 7 欠けありエッジ抽出

6. 8 エッジのずれ計算

図 28 のように始点から順に 10 画素離れた画素との傾き(wi)を求める。求めた傾きを図 29 のように w1, w2, ..., wn の順に格納していき、平均の傾き(ave)を求める。これらと n(エッジを構成する画素数)と Σ (傾きの総和)を用いて分散(var)の値を算出する。分散(var)は

$$\frac{\sum_{n=0}^n (\text{ave} - w_i)^2}{n}$$

で求められる。var の値が小さいほど、エッジが直線的であることを示す。var の値が 1.0 以上のときに欠けがあることが分かったので、1.0 をしきい値とした。

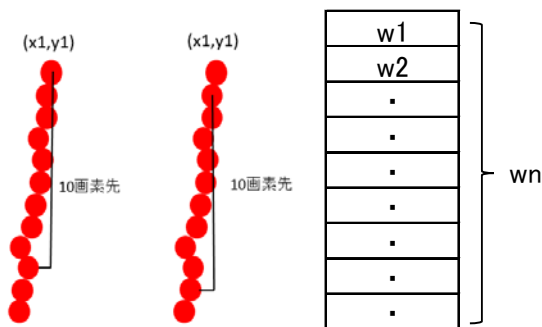


図 2 8 画素傾き

図 2 9 画素配列

6. 9 結果出力

画像処理の検査結果を、txt ファイル形式で出力することにした。txt ファイルには検査した画像の各値と、鋸刃の欠け判断を OK もしくは NG で表示することとした。図 30 に出力結果を示す。

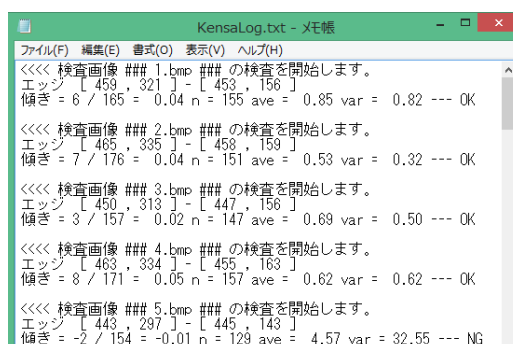


図 3 0 出力結果

7 ユーザーインターフェース

鋸刃を自動検査するにあたって、鋸刃情報入力や検査準備はコンピュータによる操作が必要になる。今年度もその操作媒体はパソコンで行うこととし、パソコンによるユーザーインターフェース (以降、UI とする) の操作により、制御を行う PLC に指示を送る仕組みと

なっている。通信方法はシリアル通信を採用したが、これは PLC がシリアル通信を行うことが可能だからである。

製作した UI を図 31 に示す。操作手順は UI の作業指示テキストボックスでわかるようにし、各テキストやボタン等のレイアウトは操作手順に沿うように工夫した。UI の各項目については後述する。なお、詳しい作業手順を以下の①～⑬に示す。

・作業手順

- ① 検査する鋸刃を検査台に置く
- ② 鋸刃の上にテーパを設置する
- ③ クイッククランプでテーパを固定する
- ④ 筐体の電源をオンする
- ⑤ UI の使用可能ポート取得し接続する
- ⑥ UI の刃数、外形寸法を選択しカメラ移動させる
- ⑦ 上部カメラのオートフォーカスボタンを押しピント合わせをする
- ⑧ UI から背景切り替えを行い下部カメラも同様に操作する
- ⑨ 再び背景を切り替えて UI で刃先初期位置を調整する
- ⑩ UI より検査開始させる
- ⑪ 上面のカメラが 1 刃ずつ鋸刃を撮影する
- ⑫ 下面のカメラが 1 刃ずつ鋸刃を撮影する
- ⑬ カメラが原点復帰し検査が完了する



図 3 1 UI ウィンドウ

7. 1 通信接続

使用可能ポート取得ボタンでシリアル通信可能なポート番号を取得する。取得に成功するとコンボボックスにポート名が追加され、装置（PLC）と接続されているポート番号を選択することで、接続ボタンにより装置と接続が完了する。押された接続ボタンは切断ボタンに切り替わる。

7. 2 鋸刃情報入力

検査したい鋸刃の情報をコンボボックスで選択する。今年度は刃数と外径寸法の入力のみで検査を行えるよ

うにした。刃数の選択については、該当する刃数を選択した瞬間に刃数データを装置（PLC）に送信する仕様となっている。カメラ移動ボタンでカメラ移動の命令を装置（PLC）に送り、選択された外径寸法にあった位置にカメラが移動する。

7. 3 初期位置調整

カメラ移動が完了すると回転ボタンが押下可能になる。右回転左回転のチェックボックスで回転方向を指定し、刃先の初期位置を調整することができる。回転ボタンが押されている間だけ鋸刃回転台が回転する仕様になっているので、直観的に調整が可能である。

通信仕様についてはボタン押下時に回転命令を送り、ボタンを離したタイミングで回転停止命令を送ることで実現させた。

7. 4 動作指示

すべての項目の入力が終わると検査開始ボタンが押下可能になり、ボタン押下で検査開始の命令を送っている。また、検査の途中で検査を中止できるような中止ボタンも設けた。中止ボタンが押されるとカメラが原点に復帰し、鋸刃回転も止まる。

7. 5 単体動作

単体動作ボタンで図 32 にあるウィンドウが表示される。これはユニット毎での動作を指示するもので、この機能を付加した理由はユニット毎で動作試験を行えるようにするためである。このことにより、不具合の原因を発見しやすくなった。

カメラ移動項目の移動ボタン、鋸刃回転項目の回転ボタンは各ボタンを押している時のみ移動や回転を行えて、ボタンを離すと動作を止める仕様になっている。両 1 パルスボタンは決まった距離、決まった角度分だけ動作するボタンである。

図 3 2 単体動作ウィンドウ



7. 6 その他

①緊急停止ボタン

このボタンが押下されると、すべての動作が停止される。もう一度このボタンを押すことで緊急停止状態は解除される。

②カメラ取得ボタン

このボタンを押下することでカメラの接続が開始され、カメラ映像が表示される。

③表示切替ボタン

本装置もカメラを鋸刃に対して上下に二つ、カメラを設置してある。その上下カメラの映像の表示切替を行うボタンがこの表示切替ボタンである。

④背景切替ボタン

カメラユニットについている背景用の白いプレートを動かすボタンである。オートフォーカスを行うときに切り替えを行うことで、刃先をフォーカスすることができる。これも装置（PLC）に命令を送ることで作動する。

8 評価

（有）鍋浦のこ目立センター様より、昨年度及び今年度の鋸刃検査装置を評価していただいた。

昨年度の筐体は、検査部も含めて全体を囲う設計であったため、外観と安全性については高い評価を得ていた。しかし、検査台は屋根で覆われているため、鋸刃のセッティングが行いにくく、時間と手間がかかっていた。また、検査精度も不十分で、問題ない刃を再研磨が必要と誤認することがあった。再研磨が必要な刃をマーキングを行う機構を採用したため、検査に時間がかかり、100刃の検査に10～15分を要していた。昨年度の評価を表7に示す。

表7 昨年度の評価

評価項目	コメント
外観	良い
扱いやすさ	鋸刃の置き方やカメラの調整等を改善してほしい
安全性	十分に安全、樹脂パーツの寿命が懸念材料
精度	検査時間が長い 精度もより良くしてほしい
昨年との比較	——
総合評価	特に扱いやすさに関して要改善

昨年度の評価を踏まえ、本年度は『昨年度の問題点を解決する』ことを目標とした。（有）鍋浦のこ目立センター様と協議し、目標時間の確認やマーキング装置の撤廃、画像処理方法の変更等を行った。

評価していただいた時点では一部外装が未完成だったが、検査時間の大幅な改善（10～15分→5分）とセッティングの簡略化、画像処理方法の変更による精度の

改善に成功した。今後（有）鍋浦のこ目立センター様の要望により近くなるよう、表8の評価を元に更なる改善を重ねていく予定である。

表8 今年度の評価

評価項目	コメント
外観	まだ完全に出来上がっていない
扱いやすさ	扱いやすい、特に鋸刃の着脱が簡単で良い
安全性	十分に安全
精度	検査時間は両面3分が望ましい
昨年との比較	テンプレート方式廃止等の工夫で良くなっている
総合評価	予算に対してよくできている

9 まとめ

昨年度からの引継ぎで取り組んだ今年度の開発は、昨年度製作した1号機より良いものを製作しようという目標で取り組んできた。結果は最優先としていた検査時間の短縮と、検査精度の向上の両方とも改善できたことに手ごたえを感じているが、依頼主である（有）鍋浦のこ目立センター様からは特に検査精度について改善の必要があるご指摘をいただいている。また検査時間について、本装置では鋸刃の表裏の検査に鋸刃を2回転させているが、1回転で行える機構も開発途中で考えられたので、検査時間についてもさらに改善できると考えている。

鋸刃取り付けについても改善がなされ、中心出しや固定を容易に行えるようなユニットに仕上がったことに満足している。制御機器の位置も改善をし、メンテナンスや装置の起動、接続等が容易になった。

画像処理については、本装置では表面のみの検査となっているため、この表面の処理方法の応用で裏面の検査も行えると考えている。

なお、開発費は表9にまとめた。

表9 開発費

部門	費用
機械材料	¥184,970
制御部	¥281,529
カメラ	¥44,625
計	¥511,124

10 謝辞

本開発課題を行うにあたって、依頼をくださった（有）鍋浦のこ目立センターの長谷川基様、長谷川徹様、担当教員をしていただいた磯先生、上間先生、早川先生、また画像処理についてご教授いただいた恩田先生をはじめ、たくさんの方にご協力していただいたことをこの場をお借りしてチーム一同、お礼を申し上げます。ありがとうございました。