

ものづくりの現場と共同で行う卒業研究 —巻線機改良の試み—

中部職業能力開発促進センター 三 木 一 伯
(～平成11年3月 新潟職業能力開発短期大学校)

Graduation Research Cooperates with The Manufacturer
—Improvement of Winding Machine—

Kazunori MIKI

要約 本校制御技術科では2年次の後期授業で卒業研究を行っているが、その内容は何らかの目標に対し自らのアイデアを元に設計・製作を行うものが多い。これは、卒業研究がそれまで学んだ内容と実際のものづくりの現場との橋渡しの役割を担うことに起因する。

今回この卒業研究において、学生と地元の企業が共同で自動機械の改良を行った。学生自身のアイデアを盛り込み設計・製作することを目標に製作を行い、良好な成果が得られた。

I はじめに

本校制御技術科における卒業研究は、学生が1.5カ年間に学んだ知識を土台に、2年次の後期に原則として1人が1テーマで取り組んでいるが、その内容は研究的なものよりむしろ何らかの目標に対して自らアイデアを出し、設計、製作した成果を評価するものがほとんどである。これは、

- ① 卒業後、製造業を中心とする企業で働く学生にとって、それまで学んだものづくりの技術・技能およびそれに付随する知識を、一貫した一つのプロセスとして身に付けさせるのが卒業研究のねらいであること。
- ② 一つの目的に対し、自分自身でアイデアを出し設計したものが形になる過程を体験することが、学生自身にとって大きな自信につながる。

の2つの理由による。すなわち卒業研究の位置づけは、これから一人の技術者として働く学生の、実際の現場におけるものづくりに対する導入であると考えられる。

以上の理由から、卒業研究の段階から実際の現場と共同で作業を進める事によって、コストと時間の概念、あるいは何らかの問題に直面したときの解決に対する

アプローチなど、よりいっそうの学習効果の向上を望むことができると考えられる。

これらの理由から、企業と共同で何らかのテーマを持って卒業研究を進める機会がないかと常々考えていたが、そういった折りに地元の電気機器組立企業から自動機改良に関する相談があった。既存機械の改良は機械要素の知識、機構の設計、製作、および制御と幅広い要素が含まれるため、制御技術科で学んだ内容を力試しするテーマとしては最適であると考えた。そこで卒業研究のテーマとして取り上げ、10月中旬～1月下旬の約3ヶ月の期間で、学生1名が自らアイデアを出し、設計、製作を行う形で進めることにした。

II 設計・および製作

1. 従来の巻線機

相談は、トランスコア材など巻線の製作を行っている地元企業から持ちかけられた。相談の内容は、その企業が所有している他の材料用の巻線機を改良し、アモルファスリボンを巻き取るための巻線機を新たに製

作できないかということであった。アモルファスメタルは普通の合金と異なり結晶構造を持たないため、磁気的性質などで著しい特異性を有している。このアモルファスメタルを鉄芯の材料として用いた場合、無負荷損を $1/3 \sim 1/5$ に軽減でき、従来のJIS規格珪素系材料と比較して高い省エネ効果を発揮することから、産業用トランス、チョークコイル、パルス電源などのコア材として注目されている材料である。

学生はもちろん我々も巻線機についての知識は皆無であったため、まず既に他の自動機メーカーで製作、販売されている薄帯用の巻線機を参考に、動作の構想を練ることにした。

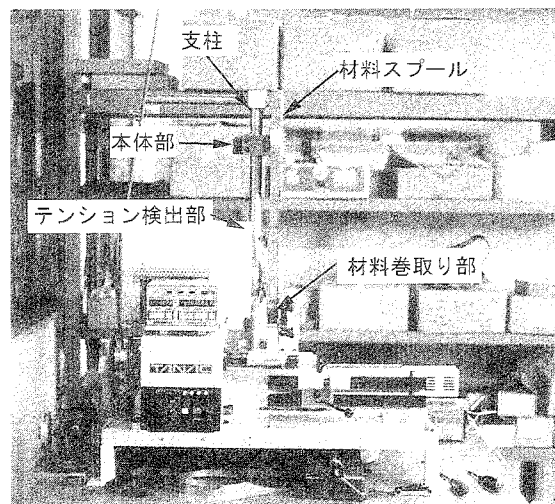
改良後の巻線機を図1(a)、(b)に示す(図1の写真には後述の、本体部、材料スプール、テンション検出部、材料巻き取り部が追加されている)。また動作の参考にした市販の巻線機の概略を図2に示す。

参考にした巻線機の動作は以下の通りである⁽¹⁾。

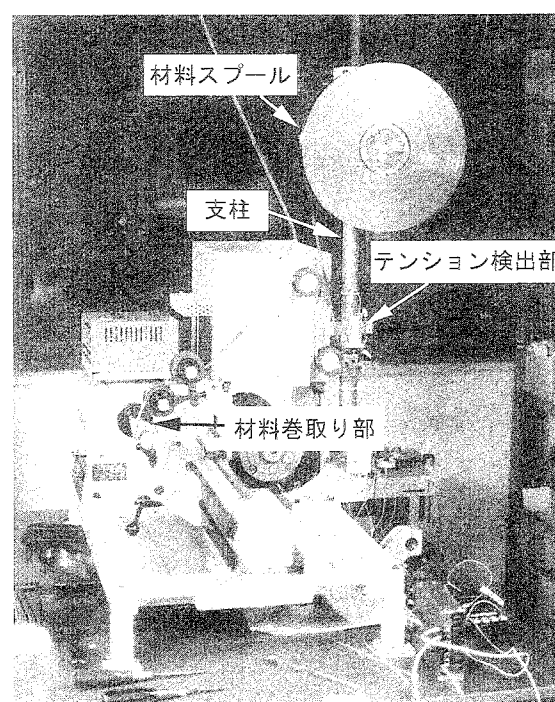
材料リボンは材料スプールから引き出されダンサローラ、測長センサを経由し、ポビンホルダによって、あらかじめ決まった回転数ずつ巻き取られる。またその際の材料リボンのテンションはダンサローラによって検出され、占有率(材料が体積に占める重量比)70~80%になるよう制御されている。材料の巻き取り量は測長センサ、および外径検出センサによって監視されている。ポビンは適当な直径まで巻き取られたところで(1ポビン約500回転)減速、停止する。以上の動作を1サイクルとしてこれを繰り返す。

ポビンの回転は1サイクル中に加速、一定速、減速の台形サイクル制御を行うが、減速サイクル中に材料スプールが慣性で回転を続けようとするため、適度な制動をかける必要がある。そこで、テンションアームに取り付けられたベルト式のテンションブレーキによって、適当なテンションを保持しながら減速される。その際の制動力は、材料スプールの残量によって慣性モーメントが変わるため一定でなく、調節する必要がある。巻き取られた後の材料は焼結、カット、樹脂封入され製品となる。

この自動機のポイントは巻き取り中のテンションを一定に制御し、材料の占有率を70~80%にすること、および材料の残量によって変化する減速サイクル中の制動力の制御である。今回改良しようとする巻線機は、あらかじめ巻数に応じた台形サイクル制御機能を備えていたため、卒業研究のテーマを機構の設計・製作、および材料リボンのテンション一定制御に絞って取り組むことにした。



(a) 正面



(b) 側面

図1 改良後の巻線機

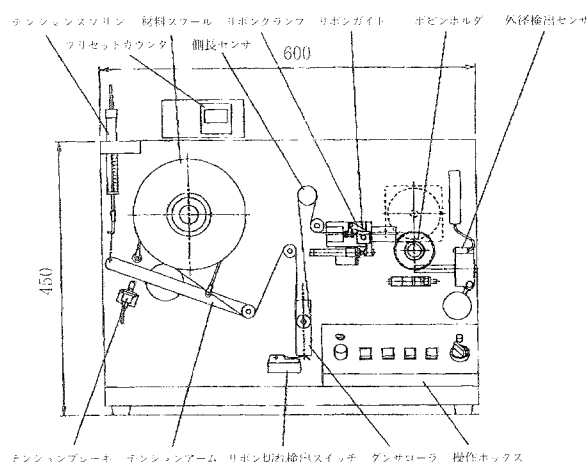


図2 動作の参考にした巻線機の概略

2. 設計および製作

設計に関して最低限注意する点のみ学生に説明し、構想、設計に取りかかった。設計に関しての注意点は、

- ① 従来機より機構を簡単にすること、かつ良好な動作が得られること。
- ② 機能の追加の必要が生じた場合も対応が可能であること（例えば材料巻き取り終了後の固定スポット溶接、カットの自動化など）。

の2点である。

改良は、材料スプールを支持し必要に応じて制動を行う本体部、材料のテンションを監視するテンション検出部、およびテンション検出部の信号から制動力の演算を行うコントローラ部を既存の巻線機に追加し、構成する事にした。テンション検出部からの信号をコントローラに取り込み、演算した制動力を本体部の電磁マイクロブレーキにフィードバックすることで、一定テンション制御、および減速サイクル中の制動を行う。制動を行うために用いたブレーキの写真、および仕様を図3、表1に、学生が設計した本体部を図4に示す。

表1. 電磁マイクロブレーキ仕様

メーカーおよび型式	三木プリー機 112-05-12	
動摩擦トルク	2.4N・m	
定格励磁電圧	DC24V	
容量	10W	
コイル	電流	0.42A
	抵抗	58Ω
最高回転数	10000rpm	

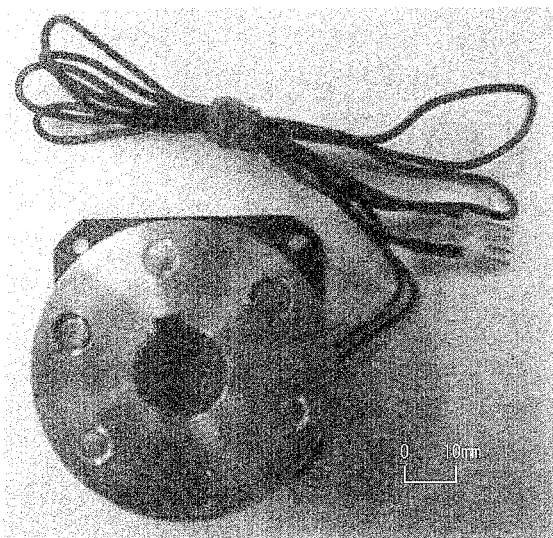


図3 電磁マイクロブレーキ

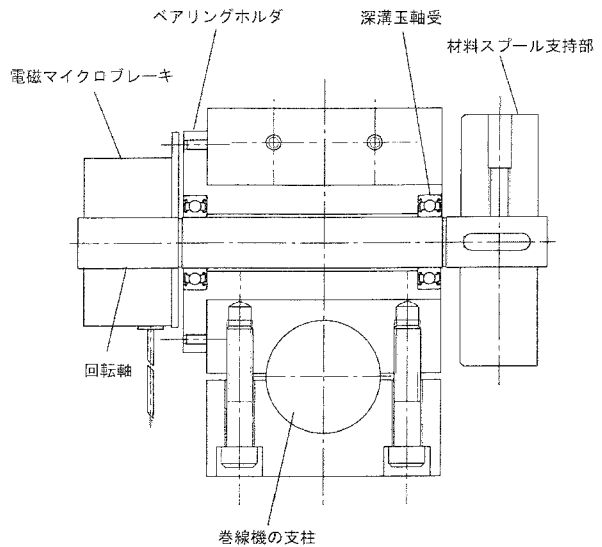


図4 本体部

図1(a)および図4に示す本体部は、巻線機本体にあらかじめ備え付けられていた支柱(φ34mm)をはさみ、ボルトで締め付け固定する構造とした(図1参照)。材料を保持し滑らかに回転させ、また制動を行う回転軸およびその保持部分は、材料スプールの初期重量が約20kgと大きいこと、また構造上材料スプールに対して片側支持となるため、ある程度の強度が必要となる。そこで深溝玉軸受を保持部両端に使用し、ベアリングホルダで支持することによってシンプルかつ頑丈な構造になるようにした。

また当初制動装置の機構としては、従来機と同様、ベルトによるブレーキを想定していたが、機構を小型化できること、および制動力の制御のしやすさから、多関節ロボットなどの軸部ブレーキとしてよく用いられる電磁マイクロブレーキを採用し、材料スプールと反対側の軸受部に配置する構造とした。この際ブレーキライニングとディスクの隙間によって制動力にばらつきがでるため、ブレーキ取り付け面と回転軸の幾何公差には十分注意した。

ブレーキを選定するにあたっては、まず材料スプールを減速させるためにどの程度の制動力が必要かを求めた。30秒でボビン500回転を1サイクルとして、適当な台形サイクルを決定し、それと材料スプールの重量、形状から必要な制動力を求めた結果、約1.5N・mとなった。電磁ブレーキの励磁電流と摩擦トルクの間係を図5に示す。電磁ブレーキの摩擦トルクの大きさはブレーキパッドの摩擦係数 μ 、摩擦面の平均半径 r 、吸引力 P から、 $T = \mu \cdot r \cdot P$ で決定される。このとき μ 、

r は一定であるが、吸引力 P を発生させる電流は電圧に比例するので、コイルに印加する電圧を変えることによって摩擦トルク、すなわち制動力を変化させることができる。定格電流値付近ではトルクは電流にほぼ比例して増減するが、電流を定格値以上に増加させると磁気回路において磁束密度が飽和点に達し、発熱となってロスされる。ブレーキの選択にはこれを考慮し、必要な $1.5\text{N}\cdot\text{m}$ 付近で電流と制動力に比較的にリニアな関係が得られる定格の60~70%を使用できるものを選定した⁽²⁾。

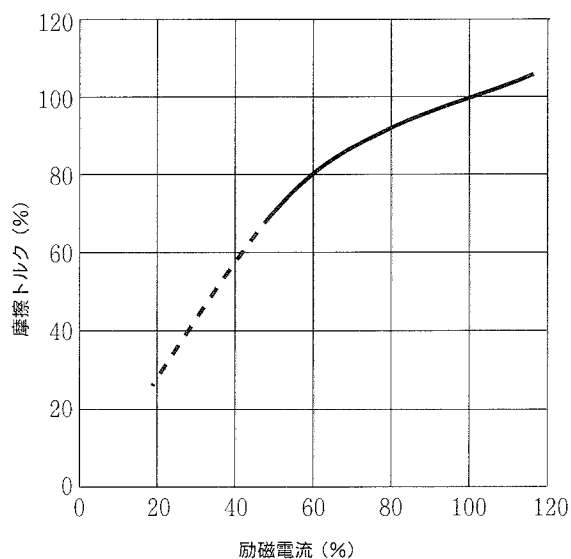


図5 電流と動摩擦トルクの関係

一方、図1(b)に示すテンション検出部は、アモルファスリボンのテンションの変化に素早く追従するよう可動部の重量が小さく、かつある程度の荷重を付加した状態でも滑らかに動くことが要求される。そこで材料テンション検出ローラによって検出したテンションを、ミニチュア直動スライダ((株)THK)を介してポテンシオメータ((株)緑測器)に入力するよう配置した。ポテンシオメータの写真を図6に、学生が設計したテンション検出部の機構を図7に示す。

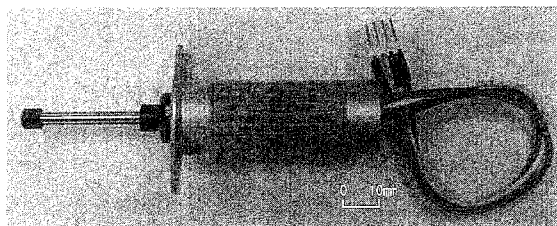


図6 ポテンシオメータ

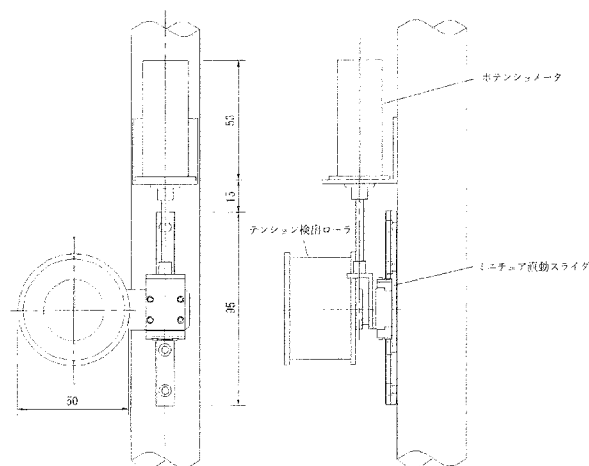


図7 テンション検出部

3. テンション制御について

図1(b)、および図7に示すテンション検出部のポテンシオメータより検出したアナログ信号をもとに、コントローラで演算を行い、その結果で材料スプールの制動力を制御する。電磁ブレーキに印加する電圧の制御は、パルス幅変調方式(Pulse Width Modulation 以下PWM)によって行うことにした。コントローラとしては一般にはPLCがよく用いられるが、本機ではPICマイコン(MICROCHIP PIC16C74A)を使用した。PICマイコンは製品単価が安く、またプログラム開発に必要なコンパイラ、デバuggなどはインターネット上で公開されているフリーのものを使用できる。また、ポテンシオメータからのアナログ信号を直接入力できるA/D変換機能、およびPWM出力機能があらかじめ備わっているため、トランジスタなどの電力制御素子を追加するだけでよく、製作が簡単でコスト的に有利である。さらに、機能を追加した場合も、I/O点数に余裕があるため対応が容易であり、制御フローの変更もソフト的な改良で対応できる⁽³⁾。本機ではLED、トランジスタなどのI/Oがあらかじめ備わっているPICアプリケーション評価ボード((株)マイクロアプリケーションラボラトリー製MK144)を使用し、これにトランジスタ等の必要な周辺機器を追加していく形で製作を行った。

製作した制御回路を図8に示す。PICマイコンのアナログ入力端子AN0にポテンシオメータからの出力(=材料リボンのテンション信号)を取り込む。この値から演算した制動力をBポートの出力確認用LED、およびPWM出力端子CCP1に出力し、トランジスタによってブレーキソレノイドに印加する電圧を変化させ制動力を制御する。

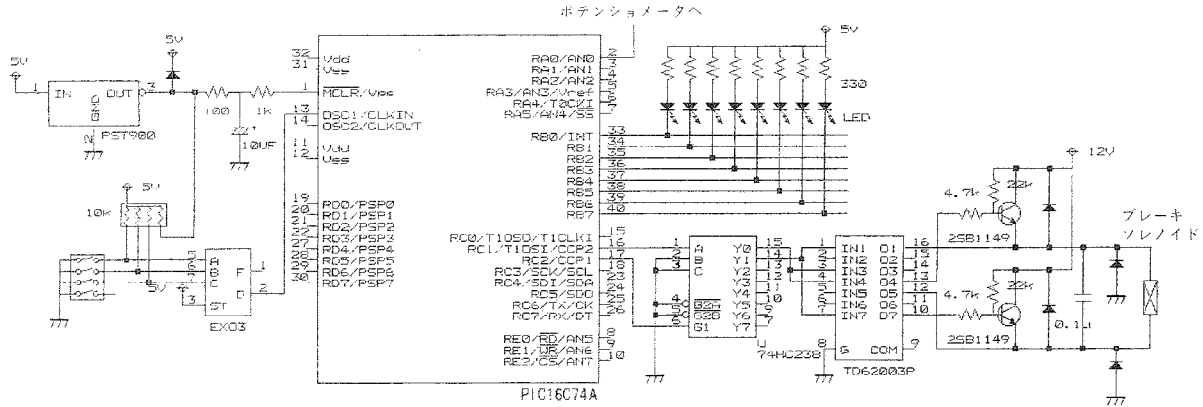


図8 ブレーキ回路

プログラムのフローチャートを図9に示す。制動力の制御は材料リボンのテンションを入力とした比例制御としたため、プログラムは非常に簡単になった。プログラムはスタート、初期設定終了後アイドルループに入る。タイマでの割り込み発生（約70ms）毎にポテンショメータの出力、すなわち材料リボンのテンションの状態を取り込み、演算を行い、その値をLEDに表示する。同時に、演算された結果をもとにデューティ比を変化させたパルスで電力素子をドライブし、ブレーキソレノイドに印加する電圧を変化させる^{(4)~(6)}。

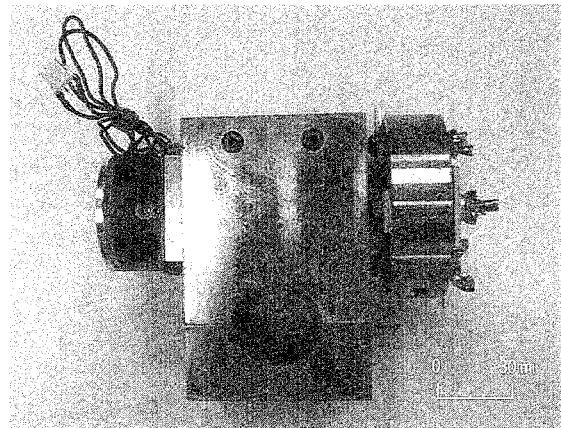


図10 本体部

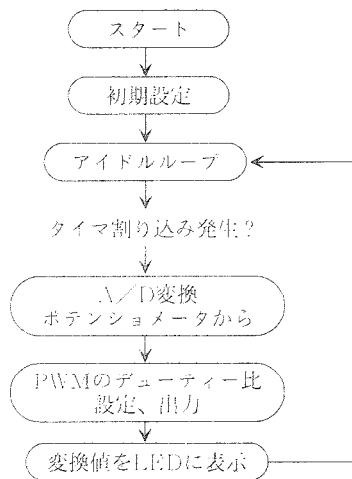


図9 テンション制御フローチャート

Ⅲ 組み付けおよび動作の評価

完成した本体部、テンション検出部、巻線機への組み付け、および材料巻き取り部の写真を図10～図13に示す。

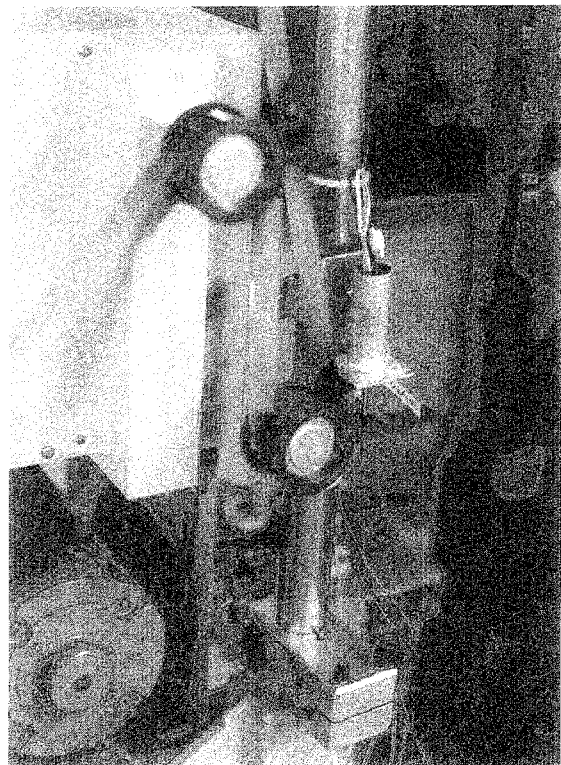


図11 テンション検出部

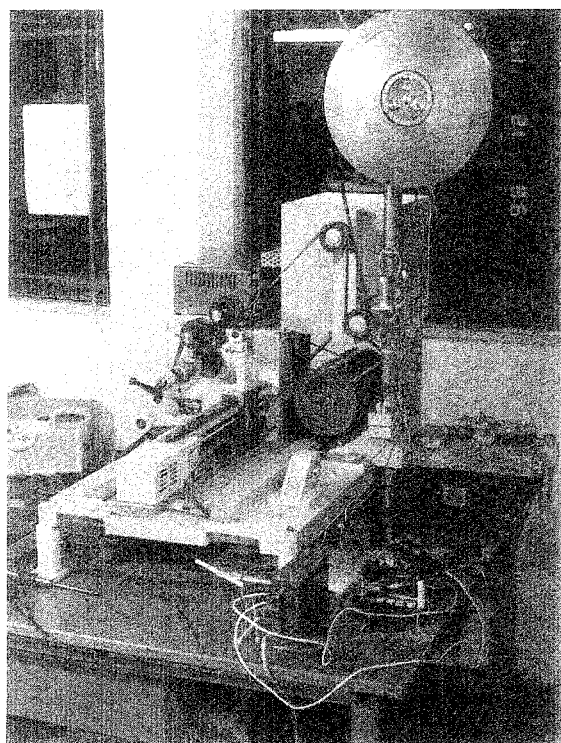


図12 組付け

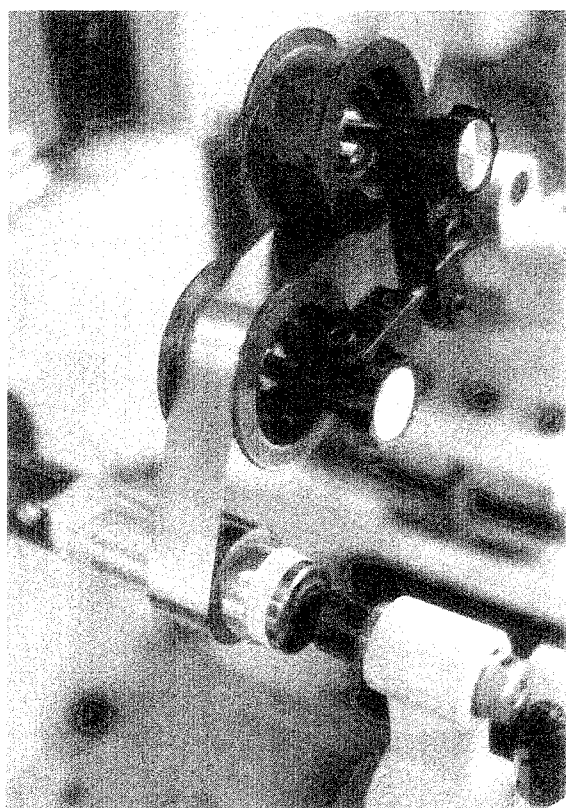


図13 材料巻き取り部

組み付け後、40sを1サイクルとした台形サイクル制御を設定し、巻き取り動作試験を行った。動作パターンを図14に示す。結果は以下の通りである。

- ① 加速、一定速サイクル中における機器の動作はスムーズであり、巻き上げ終了後の状態を見た限りでは、ほぼ一定のテンションで材料の巻き取りが行われているようであった。
- ② 減速サイクルにおけるブレーキ制御についても、制動が減速に追従しており、一定速サイクルから滑らかに停止させることが出来た。また、その際材料のたるみもなかった。
- ③ 材料スプールの残量変化による慣性の変化に関しては、スプール残量の多少に関わらず各サイクルにおいてほぼ一定のテンションで巻き取りが行われているようであり、良好な動作をさせることが出来た。ただし上記の結果は、巻き取り中の機器の動作、および巻き取り終了後の材料の状態を見て判断したものであり、定量的なデータ（各サイクルと巻き取りテンションの関係など）を取るにはいたらなかった。

また、以下のような問題点も明らかになった。

- ① 材料スプールの重量が大きいので、加速サイクルにおいて当初想定していたように加速することが出来ず（残量が多いときは、無理に加速するとスプール自身の慣性によってリボンが破損してしまう）、サイクルタイムが長くなってしまった。ガイドローラに急激なテンションの上昇を緩和するクッション的な機構を追加する、あるいは材料の残量によって加速、減速サイクル時間を調節することが出来ればサイクルタイムの短縮が可能であると思われる。

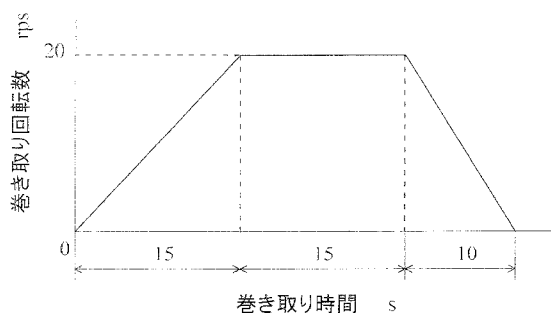


図14 動作試験に用いた台形サイクルの動作パターン

IV おわりに

卒業研究のテーマとして地元企業と共同で巻線機の改良を行った。

学生自身が企業の担当者と打ち合わせ、機構の構想、製作、機器選定、制御回路の設計、製作、動作試験と一貫して作業に携わり、自動機改良というひとつのテ

マを一貫して体験できたことで卒業研究本来の目的が達成でき、よい成果が得られた。内容については機構の設計・製作・制御と制御技術科で学ぶ3要素が含まれており、卒業研究テーマとして最適であったと思われる。

また、当初の目標である機構の簡略化について、現在市販されている巻線機と比較して、動作機構を大幅に簡略化することができ、かつ良好な動作が得られたことで一定の成果が得られた。

ただ残念だったことは、材料に関する知識を全く持たない状態からのスタートであったため、基本事項に費やす時間が十分でなかったこと、それにより作業が当初予定していたよりかなり遅れ気味になったことであった。例えば材料リボンの引張強度、リボンのテンションと占有率の関係などに関するテスト時間をほとんど取れず、また組み付け後の調整が十分とは言えなかった。これらの点について今後さらに改良を進める余地があると思われる。

最後に、卒業研究を進めるに当たって多大なる協力を賜った、株式会社エステック電子代表取締役 佐藤 貞也氏に感謝の意を表します。

【参考文献】

- (1) 金属薄帯自動巻き取り機仕様書, 田中精機㈱.
- (2) 三木プーリ株式会社ホームページ.
(<http://www.mikipulley.co.jp/>)
- (3) 小川晃 PIC INTERFACE HANDBOOK, (株)マイクロアプリケーションラボラトリー, pp.47-49.
- (4) MK-144 PROKIT MANUAL, (株)マイクロアプリケーションラボラトリー.
- (5) Microchip Application Notes AN594, AN539, AN564, AN654.
- (6) PIC16C7X Family Reference Manuals.
(<http://www.microchip.com/>)