

# 課題情報シート

テーマ名 :	IH方式による鉄線の焼鈍装置の開発				
担当指導員名 :	友添 信雄	実施年度 :	23 年度		
施設名 :	九州職業能力開発大学校				
課程名 :	応用課程	訓練科名 :	生産電子システム技術科		
課題の区分 :	開発課題	学生数 :	7	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】

企業での生産方式に代わる装置の開発ということで、現在の装置に対して生産性、耐久性、省力化等を考慮する必要がありました。IH（誘導加熱）と言えば、クッキングヒーターが思い浮かびますが、加熱対象物が鉄で、加熱温度が 800℃以上要求されるので、加熱コイルの形状、材質が重要でありました。そのため、コイル形状を円筒形として、加熱効率を上げる構造を採用したり、電力供給を共振インバータ方式にするなどして、省力化も考慮した装置として開発しました。

【学生数の内訳】	生産機械システム技術科	2名
	生産電子システム技術科	3名
	生産情報システム技術科	2名

### 【訓練（指導）のポイント】

本装置のメインはコイルであり、一般に、電子回路における使用状況が異なるので効率の良いコイルの製作から行いました。また、コイルを駆動する回路においては、電力素子の特性、動作回路の検証から行い、コイル、コンデンサを用いた LC 共振回路の製作を行いました。コイル、コンデンサ、共振インバータを組み合わせ、線材加熱を行わない、装置の性能試験等を行いました。本装置は、エナメル線からコイルを作成し、駆動回路も素子から組み上げて製作しました。学生に一からものを作成することを習得させることができました。

## 課題に関する問い合わせ先

施設名 :	九州職業能力開発大学校
住所 :	〒802-0985 福岡県北九州市小倉南区志井 1665-1
電話番号 :	093-963-0125 (代表)
施設 Web アドレス :	<a href="http://www3.jeed.or.jp/fukuoka/college/">http://www3.jeed.or.jp/fukuoka/college/</a>

## 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。

# IH 方式による鉄線の焼鈍装置の開発

生産機械システム技術科	2名
生産電子システム技術科	3名
生産情報システム技術科	2名

## 1. 目的

現在、リサイクル用の古紙の結束や工事現場の資材の結束などに焼鈍鉄線が用いられている。

焼鈍鉄線の製造には、素線を伸線加工し、φ3の鉄線にしている。加工によって、素材が固くもろくなっているため、燃料に石油を用いた焼鈍炉での焼鈍し処理がされている。しかし、この方法では、約 500kg の鉄線の束を 1 回に 10 数個(約 5000~6000kg)焼鈍し処理して 2 台の炉を使用し、3 交代で製造しているが、焼鈍処理に 2 時間程かかるため作業効率が悪い。また、燃料に石油を使用しているため、排ガス等の環境問題や今後の燃料の確保という問題もある。そのため、企業の方から焼鈍炉に代わる方法の共同開発の依頼があった。そこで、燃料や環境の問題を改善するために石油に代わり電気をを用いた IH 方式を用いることとした。IH 方式は、線材を均一に加熱でき、線材の表面品質がよくなるため、この方式を用いた焼鈍装置の開発を目的とした。

## 2. 課題概要

開発する焼鈍装置は、500kg の鉄線の束から鉄線を直線に矯正し加熱コイルへ送り、焼鈍して、巻き取るまでを 1 つの装置とする。装置は、図 1 に示すような構成とする。

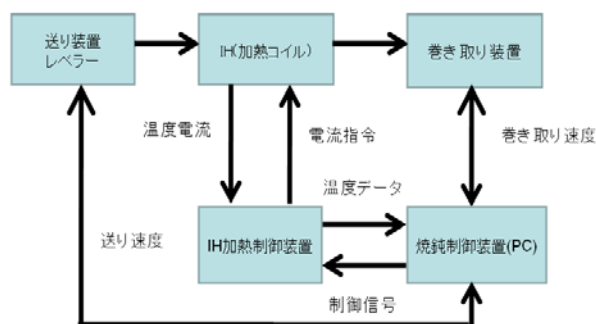


図 1 全体の構成

## 3. 装置仕様

### 3-1) 全体の仕様

全体の仕様を、表 1 に示す。

表 1 全体の仕様

項目	内容	
加熱最大温度	850[°C]	
加熱使用温度範囲	700~800[°C]	
送り速度	1000[mm/min]	
焼鈍鉄線の引張強さ	360~370[N/mm <sup>2</sup> ]	
制御機能	温度、電流値のグラフ化 緊急動作停止ボタン	
装置寸法	高さ	1500[mm]
	幅	5000[mm]
	奥行き	1000[mm]

### 3-2) 機械科担当の仕様

機械科では、矯正装置、送り装置の開発を担当した。

矯正装置は固定したローラ(固定部)と可動するローラ(可動部)を互い違いに配置した構造で、ローラの間で曲げ伸ばしを繰り返すことで、1/100(mm)程度の精度の伸線とする。一方送り装置は一对のローラで伸線をはさみ、ローラを回転させ、伸線を送る機構とした。伸線を挟む力はバネを用いた。

図 2 に装置の CAD 図を示す。

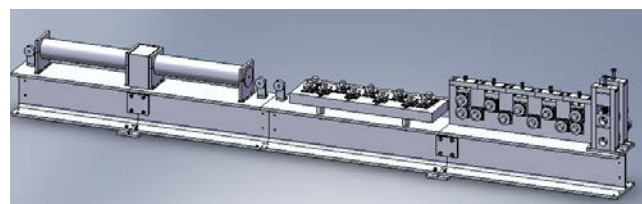


図 2 装置の CAD 図

### 3-3) 電子科担当の仕様

電子科では、鉄線の加熱及び制御部について、ハーフブリッジ出力及び LC 直列共振回路、マイコン部、加熱コイル部の 3 つを分担して担当する。

#### 1. LC 直列共振回路及びドライブ回路

加熱コイルを駆動させるための IGBT ゲートドライブ回路を図 3 のように構成する。LC 直列共振回路、IGBT、ドライバー、ハーフブリッジ回路を動作させる。

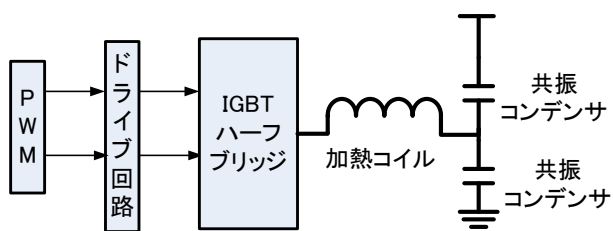


図3 ドライブ回路

## 2. IH コイルの制御部

制御用のマイコンには LC の共振周波数が 10kHz であり, SH2(SH7144F)を使用する. マイコンは, ハーフブリッジ回路に送る PWM パルスを作成する. マイコンは鉄線焼鈍時のコイルの電流とコイルの温度, 鉄線の温度を検出して, 焼鈍温度を一定にするために制御装置に送る.

## 3. 加熱コイル(IH)部

IH 方式に用いる加熱コイルには, ソレノイド型を用いる. コイルには, φ0.08 のエナメル線 50 本の撚線の束を 9 本で 1 本(リッツ線)にして, 厚さ 5mm 長さ約 500mm のアルミナセラミックチューブの筒に巻きつけて使用する. これを 2 本用いて加熱コイル部とする.

使用する二つの回路のインダクタンスはそれぞれ 73μH, 81μH であるので以下の式を用いて共振周波数を求める.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots (1) \quad L=80.04 \mu H \quad C=6.6 p F$$

今回は, このコイルとコンデンサを用いて約 10kHz 前後の共振周波数で LC 直列共振回路を制作する.

## 3-4) 情報科担当の仕様

GUI プログラムを介した IH 焼鈍装置全体の制御を目的とする.

① IH 加熱制御マイコンと PC 間の通信プログラムの作成(温度, 電流, 搬送データの送受信)

PC 側と搬送データ等の送受信プログラムの作成を行う.

② 制御プログラムの作成

GUI でのセンサからのデータ値入力をもとにした装置全体の制御プログラムを作成する.

③ GUI の作成

鉄線の焼鈍時の温度, 電流の値の変化や時間間隔が一目でわかるようなインターフェースを作成する.

プログラム内部の流れを図 4 に示す.

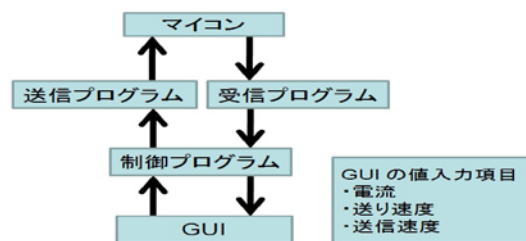


図4 プログラム流れ

## 4. IH 焼鈍装置の説明

### 1) 機械科

#### 1-1) 矯正装置

表 2 に矯正装置の仕様を示す.

表 2 矯正装置の仕様

	装置A	装置B
全長(mm)	600	600
全高(mm)	180	110.5
奥行き(mm)	78	180
スライド距離(mm)	9	9
重量(kg)	40	40

開発している装置の概要は以下の通りである.

① 装置 A では縦方向の矯正を行い, 装置 B では横方向の矯正を行う.

② 装置 A, B の両端のローラはそれぞれ矯正部に線を正しく乗せるためのガイドを行い, 他の 3 つのローラで矯正を行う.

③ 線の平坦度は 100mm あたり ±0.1mm 以内にすることを目標とする.

#### 1-2) 取付台

表 3 に取付台の仕様を示す

表 3 取付台の仕様

全長(mm)	2550	750×2+550+500
全高(mm)	175	各装置は含まず
奥行き(mm)	175	

#### 1-3) 送り装置

・要求される機能と性能

① 可動部はネジを用いて, バネの力を利用して鉄線を押さえる.

② 固定部はモータの動力を可動部に伝達し, 鉄線を送る.

・要求される仕様と基準 (品質レベル)

① 2000~3000N/mm の力で押さえる.

② 1000mm/min の速さで送る.

・検査方法

目視(バネを押さえた長さを測定し, 力を計算する. 鉄線を送る異常な音がしないか確認する.)

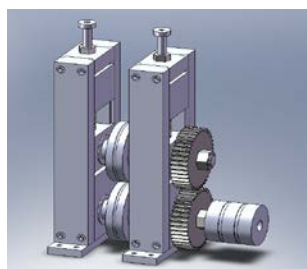


図 5 送り装置図



図 8 加熱コイル 2(横)



図 9 加熱コイル 1(横)

## 2) 電子科

### 2-1) 電源回路と IGBT ハーフブリッジ回路

電源回路においては、三相 AC 200V を整流して DC 280V を用いる。また、IGBT ハーフブリッジ回路においては、加熱動作をさせ焼鈍できることを確認した。

完成した電源回路と操作パネルを以下の図 6～7 に示す。



図 6 電源回路



図 7 操作パネル

### 2-2) 加熱コイル

表 4 加熱コイルの仕様

	コイル 1	コイル 2
全長(mm)	400	400
巻き数(回)	61	63
外径(mm)	80	80
穴径(mm)	φ12	φ5
インダクタンス(μH)	81	73

加熱コイル 1 は加熱コイル 2 と違い、熱を逃がすために、リッツ線と筒の間に耐熱タイルを挟み通気性を良くし、コイル自体の温度上昇を軽減することとした。

加熱コイル 1 の概要は次の通りである。

- ① リッツ線(φ0.08 エナメル線 450 本)
- ② 線の長さは約 12000mm, 直径 5mm
- ③ 最大加熱温度は約 850℃
- ④ 共振周波数を約 10kHz

加熱コイル 2 に関しては図 8, 加熱コイル 1 については図 9 に示す。

前作加熱コイルは目標最高温度 850℃ に加熱することができる。

### 2-3) IH コイルの制御部

IH コイルの制御は以下の図 10 の流れでプログラミングする。

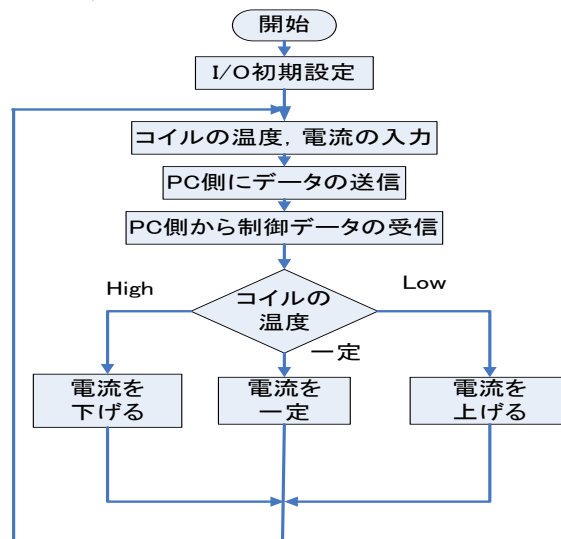


図 10 IH コイルの制御のフローチャート

## 3) 情報科

### 3-1) 通信制御プログラムの機能実験

マイコンからの通信ではシリアルポートを使いデータ+識別コードといった内部温度情報を通信プログラム上りに送り、受信したデータを通信プログラム上りから GUI プログラムに送る。

送信データの例 

3	5	0	T	c
---	---	---	---	---

次に GUI プログラムから通信プログラム下りに対して STA という運転信号を送り、通信プログラム下りから TeraTerm に対して GUI プログラムに GUI プログラムに送る。

実際の通信時のそれぞれのプログラムの動きを図 11～15 にそれぞれ示す。



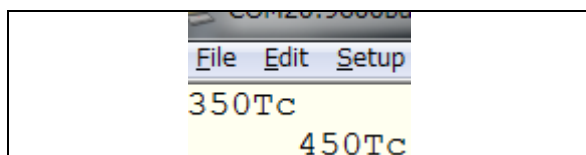


図 11 teraterm から受信プログラムへの通信



図 12 teraterm からの値受信

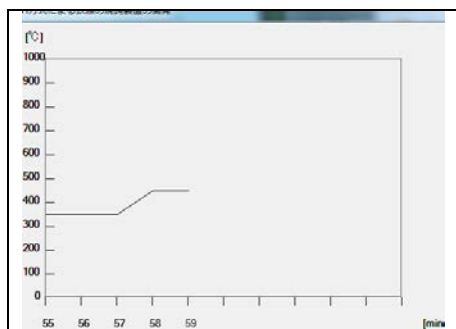


図 13 内部温度グラフ

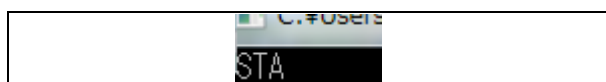


図 14 送信プログラムから teraterm への通信

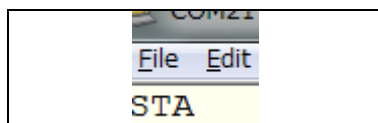


図 15 teraterm の受信画面

### 3-2) GUI 画面

表 5 GUI 画面の仕様

通信仕様	
数値表示	加熱コイルの内部温度(2カ所)
	加熱コイルの外部温度(2カ所)
	IGBT 温度(2カ所)
	加熱コイルの電流(A)
設定	信号間隔(sec)
	周波数(kHz)
グラフ表示	加熱コイルの内部温度(2カ所)
	加熱コイルの外部温度(2カ所)
	IGBT 温度(2カ所)
	加熱コイルの電流(A)
機械の運転	
機械の停止	

これらの仕様を GUI 画面で実現できるようにする。仮データを使用した状態では仕様を満たすことができている。

## 5. 製作費用内訳

製作費用の内訳は表 6 に示す。

表 6 製作費用内訳

学科名	予算	製作費用
機械科	23 万円	14 万円
電子科	24 万円	11 万円
情報科	9 万円	3 千円

## 6. 製作品の評価

### 1) 機械科

矯正装置は鉄線の補正ができるが、精度を出すための微調整が十分でない。送り装置は、3D CAD 上では必要な力を加えることができる。

### 2) 電子科

マイコンによる IGBT ハーフブリッジ回路の駆動で LC 直列共振回路を駆動させて、鉄線の焼鈍温度範囲まで温度を上げることができる。

### 3) 情報科

焼鈍装置の制御ができる GUI を作成した。装置から送信された各種データを用いて加熱制御をすることができる。制御時におけるデータは保存して電力の使用状況や今後の装置のメンテナンス、改良に判断材料として使用できる。

## 7. 作業工程表

製作の作業工程表を以下の表 7 に示す。

表 7 作業工程表

## 8. まとめ

IH を用いた鉄線の焼鈍処理を行うことができた。実際の現場で使用するには、コイル、IGBT などの電子部品の耐久性等の解決しなければならない問題があるが、これらを解決することで装置として現在使用されている装置の一部として使用できる。作業を通して、メンバー同士の情報交換や互いの作業内容の理解が大切だと感じた。今後仕事では、この経験を生かして行きたいと思う。

### 【参考文献】

- 1) パワーMOSFET 活用の基礎と実際, CQ 出版社, 2004

# 課題実習「テーマ設定シート」

作成日： 10月10日

科名：生産システム技術系 生産電子システム技術科

教科の科目	実習テーマ名	
電子装置設計製作応用課題実習（開発課題実習） 精密機器設計製作課題実習（開発課題実習） 組込システム応用課題実習（開発課題実習）	IH方式による鉄線の焼鈍装置の開発	
担当教員	担当学生	
○生産電子システム技術科 友添 信雄		
生産機械システム技術科 吉本 俊二		
生産情報システム技術科 後野 隆		
課題実習の技能・技術習得目標		
<p>IH方式による鉄線の焼鈍装置の製作では、企業で実際に使用することを目標に製作します。このための、装置の設計、機械加工、組立・調整、プログラムの開発、検査・評価・報告等「ものづくり」に係る一連の技術を習得します。製作スケジュールの計画管理や、情報の共有や協調性などのチームワーク・コミュニケーションについても学びます。</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>釘製品、線材製品の製造販売を行っている企業との共同研究での製作です。対象は結束用の鉄線で、この線材の製造工程においては、燃焼ガス炉での加熱方式で焼鈍処理の工程があり、焼鈍のために燃料費や、処理時間がかかるという問題点があります。このためエネルギー消費を改善し、自動化された、エコでクリーンな装置の共同開発を提示され、開発課題実習としておこなうこととしました。現在の環境問題を考える課題でもあり、今までに学んできた技術の応用としてのテーマであります。</p>		
実習テーマの特徴・概要		
<p>現在、IH調理器は、オール電化の一装置としてガス器具に代わる装置として用いられています。この誘導加熱方式を、形を変えて使用した装置です。使用温度、加熱形状を変えて、鉄線の加熱装置として、学生が今まで学んできた技術、技能を投入して開発します。鉄の焼鈍温度、約800℃を数秒で達成するための、コイル、電力回路、製造装置としての線搬送を一体化します。完成装置は各種性能評価試験を行い、実際に企業での使用が可能かの評価を行います。</p>		
No	取組目標	
①	誘導加熱方式の技術の習得。	
②	加熱コイルの製作加熱温度	
③	電力変換装置製作。	
④	制御装置の製作。	
⑤	搬送装置の設計製作。	
⑥	IH加熱制御装置の製作。	
⑦	企業での加熱評価試験の実施。	
⑧	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。	
⑨		
⑩		