

# ヤスリ鋼材の高周波焼き入れ装置の開発

九州職業能力開発大学校	楠原良人
	田中晃
近畿職業能力開発大学校	下土橋渡
	中井一弘
広島地区ヤスリ工業組合	相原昌介
	奥本規雄
	奥英文

## Development of High-frequency Quenching Equipment of Rasp Material

Yoshito KUSUHARA, Akira TANAKA, Wataru SIMOTUTIBASHI,  
Kazuhiro NAKAI, Shosuke AIHARA, Norio OKUMOTO, Hidefumi OKU

**要約** ヤスリの焼き入れは、従来、鉛浴炉を用いた技能者による伝統的な経験と勘に頼った工業炉による焼き入れが行われてきた。近年、地球環境保全による鉛公害発生の問題点、焼き入れの伝統工芸的な技能作業からくる慢性的な技能労働者の不足などの観点から、ヤスリの高周波焼き入れの必要性が求められている。そこで、筆者らは、丸ヤスリ鋼材を高周波により自動焼き入れ可能な装置を開発した。設計に当たり、数値解析により焼き入れコイル周辺の電磁界分布と鋼材内の渦電流の浸透現象を明らかにした。この装置により、丸ヤスリの高周波焼き入れが可能となった。

## I はじめに

近年、電力用半導体素子の高周波電力回路技術が進展し、誘導加熱などの高周波電気機器の分野にも幅広く利用されるようになってきた<sup>[1,2,3]</sup>。

高周波焼き入れ技術は、誘導加熱の一種であり、高周波誘導電流によって金属導体表面のみの加熱を行い、それを焼き入れする手法である。

従来、ヤスリの焼き入れは、鉛浴炉を用いた技能者による伝統的な経験と勘に頼った作業が行われてきた。

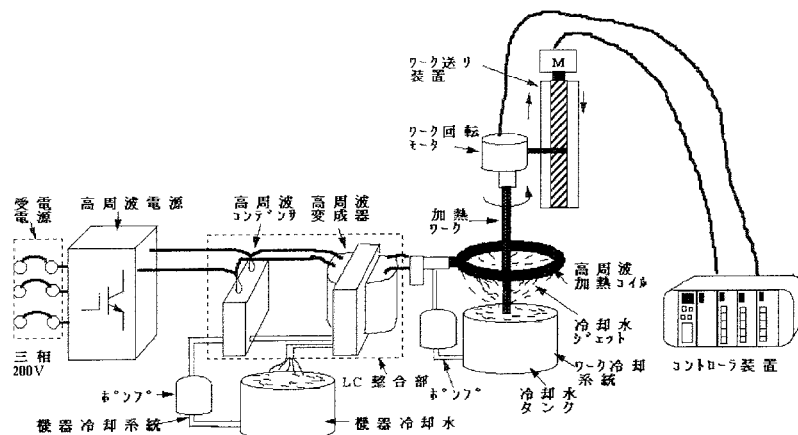


図1 システム構成図

しかしながら、鉛公害発生の問題点、技能者不足からくる伝統的技能作業からの脱却の観点からヤスリの高周波焼き入れの必要性が要求されてきている。

そこで、筆者らはヤスリ鋼材を高周波加熱による自動焼き入れ可能な丸ヤスリ焼き入れ装置を開発した。

ヤスリは切削工具であることから、鋼材の表面は硬く、中心部は韌性を持たせたねばりのある材質が要求されるため、日立てを行った鋼材の表面層にのみ焼き入れを行う必要がある。ヤスリ焼き入れの設計においては、所要硬度を得るための鋼材の渦電流分布やジュール発熱による最適な焼き入れ条件を検討することが重要となる。

本稿では、ヤスリ鋼材の高周波焼き入れの最適条件を検討するために、焼き入れ装置による実験と有限要素法を用いた鋼材周辺の解析を行ったので報告する。

## II 高周波焼き入れ装置の構成

装置の構成を図1に示す。本システムは、三相受電電源により高周波インバータを駆動し、高周波コンデ

表1 基本仕様

項目	仕様
加熱方式	定置加熱方式
電源容量	三相200V/80A
主回路	IGBT
発振周波数	3k~25kHz
出力容量	20kW
高周波コンデンサ	9μF
高周波変成器	5μH
制御装置	プログラマブルコントローラ
送り装置	ステッピングモータ3mm/Sec
回転装置	ギャドモータ0.5rps
ワーク移動方式	連続移動方式
焼き入れ鋼材	SK5鋼

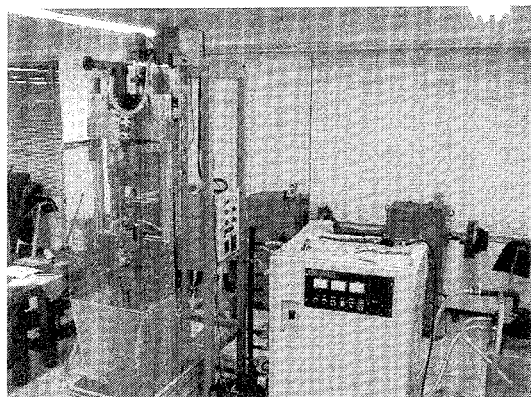


写真1 システム全景

ンサ・変成器からなるLC整合部を通して、加熱コイルに電流を供給し、鋼材が焼き入れされる。基本仕様を表1に、装置の全景を写真1に示す。冷却ポンプ、高周波インバータ、ワーク供給装置、高周波変成器などで構成される。加熱コイルの全景を写真2に示す。

表1の仕様を示す通り、定置加熱連続移動方式を採用し、最大周波数25[kHz]、容量20[kW]の装置である。加熱コイルとヤスリ鋼材の構造について表2に示す。加熱コイルは、軟銅の角管をリング状としたもので、中空の管に水を循環させながら冷却して作動させ、被加熱物は、中目の日立ての入った丸ヤスリである。

表2 コイルと鋼材の構造データ

部品名	項目	データ
加熱コイル	内径	10mm
	外径	12mm
	肉厚	2mm
	構造	角管リング
	材質	軟銅
	ターン数	1T
	形状	平面加熱形
	クリアランス	4mm
ヤスリ鋼材	直径	12mm
	長さ	300mm
	比透磁率	4.50E+05
	電気伝導率	5.81E+05
	材質	SK5鋼材

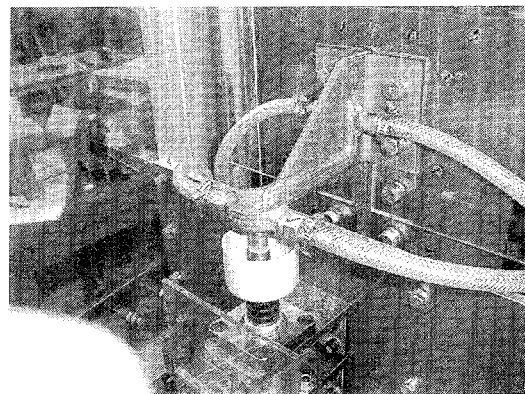


写真2 高周波コイル全景

## III 解析と実験

本装置を利用したヤスリSK5鋼材の焼き入れに関して、加熱コイルによる電磁界発生および渦電流密度分布、発熱状況のメカニズムを有限要素法により解析した。

高周波加熱コイルは、内径10[mm]、外形22[mm]、

肉厚2[mm]の銅の角管である。ターン数は1[T]であり、平面加熱型コイルで、中空の角管に水を循環させながら冷却して動作させるものである。被加熱物は直径 $\phi=12$ [mm]、長さ $L=300$ [mm]、比透磁率 $\mu_r=4500 \times 10^3$ 、電気伝導率 $\sigma$ は $\sigma=5.814 \times 10^7$ [S/m]の中目の目立ての入った丸ヤスリSK5鋼材である。また、加熱コイルと鋼材との加熱のためのクリアランス $\kappa$ は $\kappa=4$ [mm]である。

解析は周波数 $f=25$ [kHz]、供給アンペアターンは高周波変成器一次側換算値で、電流 $I=1890$ [A・T]である。有限要素法による要素分割は、一次四辺形要素を用い、鋼材およびコイルを2次元の軸対称1/4モデルとし、MKSA単位系で、厚み方向に直交する軸対称とした。コイルの入力電流は、十分に定常状態に達しているものとし、入力された電流密度は、最大値として実部に使われるものとして解析を行っている。2次元の解析モデルを図2に示す。

解析結果の例を図3から図5に示す。左側にSK5ヤスリ鋼材、中央に1/4モデルの高周波誘導加熱コイルを配置している。

図3の解析結果では、渦電流が鋼材に徐々に浸透し、その浸透度 $\delta$ が2~3[mm]に達していることがわかる。図4では、鋼材内部の渦電流によるジュール熱の発生により、鋼材の焼き入れが行われているメカニズムが定量的かつ定性的に掴むことができる。

図5は、鋼材と加熱コイルとの空間磁束密度分布を示したもので、加熱コイル近傍の空間磁束が最も高く、コイルから隔たるにしたがって、徐々に低くなっていることが分かる。これらの解析結果例から、この手法を用いることで、ヤスリ鋼材の高周波加熱による焼き入れ条件の検討が可能となることが示されている。

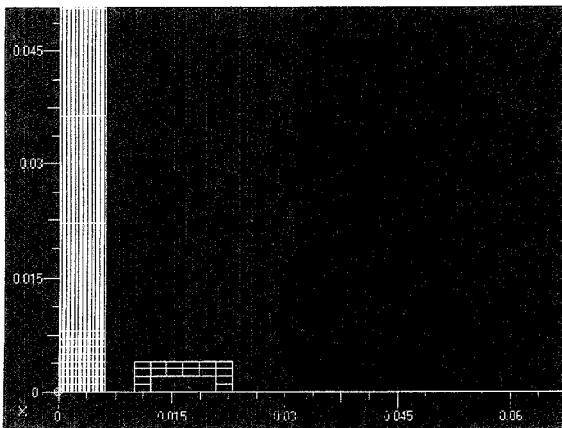


図2 解析モデル

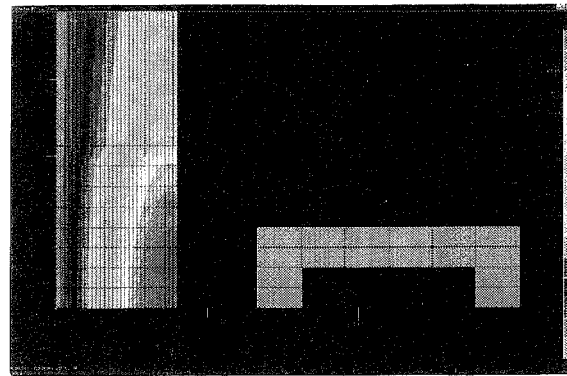


図3 渦電流密度分布

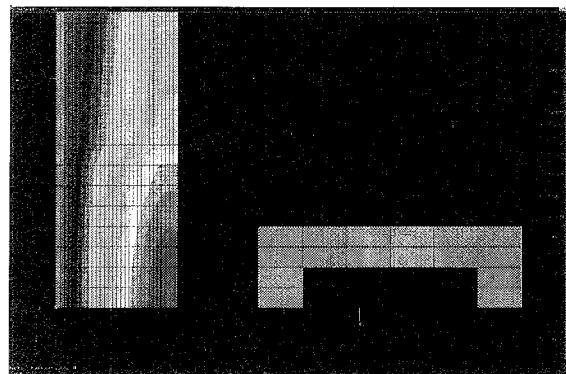


図4 鋼材の発熱分布

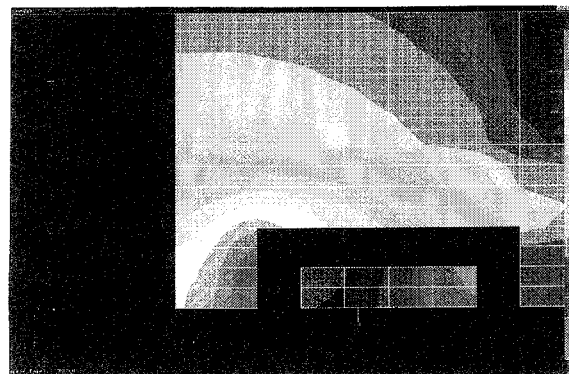


図5 鋼材とコイルの空間磁束密度分布

次に、解析と同一条件の下で、高周波インバータによる入力電圧 $V_{in}=145$ [V]、入力電流 $I_{in}=34$ [A]、出力容量 $P=4.6$ [kW]、 $f=25$ [kHz]における焼き入れ実験を行った。そのときの浸透深さと硬度の測定結果を図6に示す。従来品と同等の硬さが確保されているのみならず、中間部から中心部の韌性が改善され、ヤスリ鋼材として高周波焼き入れが有効に作用していることが分かる。

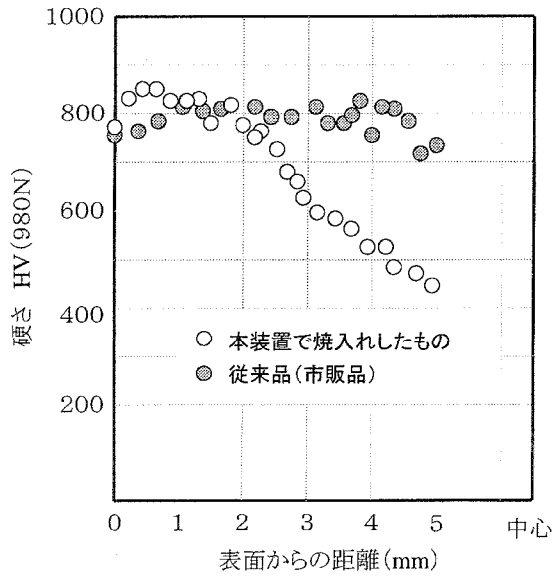


図6 硬度の測定結果

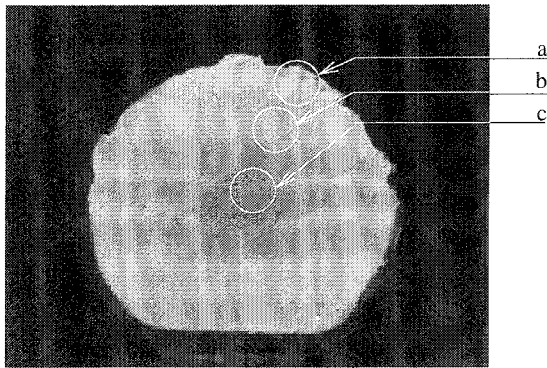


図7 横断面顕微鏡写真

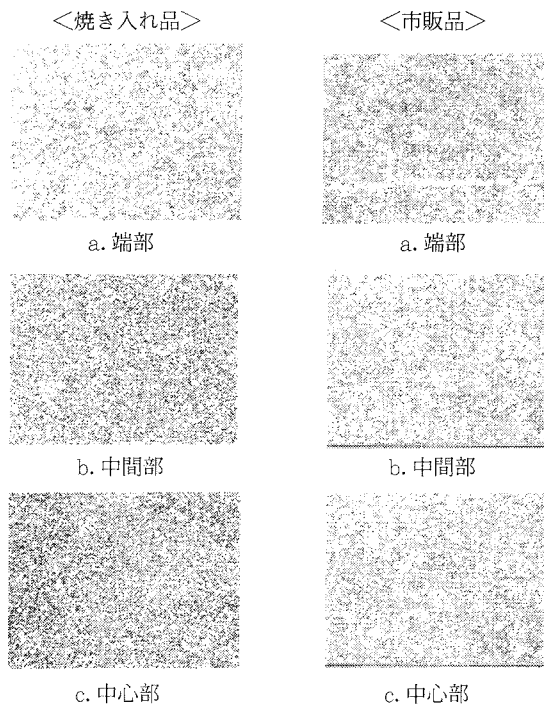


図8 焼き入れ品と市販品ヤスリ鋼材各部の組織

図7に、焼き入れ後の横断面の顕微鏡写真、図8に焼き入れしたものと市販品の横断面の端部、中間部、中心部の各組織写真を示す。図6の結果同様、従来品では端部から中心部にかけて同一組織が確認され、高周波焼入れしたものは、端部、中間部及び中心部で組成の緻密度の違いが確認できる。

#### IV まとめ

ヤスリ鋼材の高周波焼き入れ装置を開発し、その装置を用いて、S K 5 鋼丸棒ヤスリの高周波焼き入れを行った。さらに、有限要素法による解析モデルを用いて、高周波誘導加熱時における加熱コイルとヤスリ鋼材周辺に発生する渦電流分布、発熱分布、空間磁束密度分布について解析した。

その結果、コイル周辺の電磁界分布と鋼材の渦電流の浸透状況が把握できるようになるとともに、焼き入れ実験による浸透深さと硬度の解析が可能となった。

今後は、高周波コイルによる種々の励磁条件を設定し、空間磁界や渦電流密度分布、ジュール熱発生などのメカニズムの解析と焼き入れ実験による浸透深さと硬度測定を行い、最適な焼き入れ条件の探索と生産工程における自動化を行う必要がある。

最後に、本事業は、平成10年度に実施された応用課程担当指導員研修における開発課題のテーマとして、「地域高度技能活用事業」の一環として行われたものであり、広島地区ヤスリ工業組合、広島県工業技術センター、雇用・能力開発機構広島センター、広島職業能力開発促進センター等の協力を得て実施されたものである。本稿を借りて、関係各位に御礼申し上げます。

#### [参考文献]

- [1] 奥平、松瀬：誘導加熱用準共振単相インバータの一方式、電学論D、112、9(平4-9)
- [2] 金、中岡：アルミニウム容器誘導加熱用高周波負荷共振形ZVSPFMインバータの検討、電学論D、116(平8-2)
- [3] 中田高義、高橋則雄：電気工学の有限要素法、森北出版
- [4] 電気興業：デンコー高周波熱処理用設備
- [5] 高橋勘次郎：高周波工業への応用
- [6] 日本電熱協会編：エレクトロヒート応用ハンドブック
- [7] 楠原、下土橋、近藤、田中、中井、橋本：ヤスリ鋼材の高周波焼き入れ条件の検討、MAGDA Conference (平11-4)