



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	熱間薄板圧延向け誘導加熱装置の数値解析および制御モデル構築に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	下谷, 俊人
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14139号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78318
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Toshihito_Shimotani_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 下谷俊人

審査担当者 主 査 教 授 五十嵐 一
 副 査 教 授 小笠原 悟司
 副 査 教 授 北 裕幸
 副 査 准教授 野口 聡

学位論文題名

熱間薄板圧延向け誘導加熱装置の数値解析および制御モデル構築に関する研究
(Study on numerical analysis and control model of induction heater in hot strip rolling)

本学位論文では、熱間薄板圧延 (熱延) で使用される誘導加熱装置に着目し、その効率な数値解析手法および数値モデルの開発、制御モデルの構築について著者が研究した成果について述べている。

第 1 章「序論」では、熱延プロセスおよび本プロセスに用いられる誘導加熱装置の概要について述べている。また本研究で用いた固有直交分解法を用いたモデル縮約法および、機械学習法のひとつである多層ニューラルネットワークの概要について述べている。

第 2 章「基礎理論」では、準静磁場および熱伝導場の有限要素法の定式化を与えている。

第 3 章「固有直交分解法を用いた誘導加熱装置の解析縮約」では、固有直交分解法の定式化、準定常磁場と熱伝導場の弱連成解析の定式化を与え、さらに固有直交分解法を用いた効率的な周波数解析法および導電率特性解析について述べている。

第 4 章「誘導加熱装置の等価回路生成」では、本学位論文の主な成果である等価回路生成法について述べている。著者は、準静近似のマクスウェル方程式を有限要素法で離散化し、得られた伝達関数を有理多項式で表し、その有理多項式にユークリッドの互除法を適用することで連分数展開が得られることを示した。連分数は Cauer 回路に対応するため、準静近似のマクスウェル方程式の入出力応答が Cauer 回路で表現できることになる。一方、誘導加熱装置においては、圧延材のように渦電流によるジュール損失により積極的に加熱される被加熱材と、コイルのようにジュール損失が発生してしまう部分がある。通常の Cauer 回路ではこれらのジュール損失に対応する抵抗が分離されていないため、Cauer 回路の解析結果より、各部分のジュール損失を評価することが難しかった。そこで著者は、Cauer 回路の各段の抵抗を被加熱材とコイルに対応する並列抵抗に分離し、それぞれの損失を評価できるようにした。このとき各段の抵抗およびインダクタンス値は、誘導加熱装置のインピーダンス、各部のジュール損の周波数特性と Cauer 回路から得られる周波数特性が一致するように求めた。この回路素子の同定のために、遺伝的アルゴリズムを用いて最適化問題を解いている。ここで回路素子値が一意に定まるように、Tikhonov の正則化法を用い、正則化パラメータは Hansen の L-curve 法で決定した。これにより、誘導加熱装置や被加熱材のパラメータが変化したときに、連続的に変化する回路素子値が得られることとなる。このように得られた Cauer 回路を用いることにより、誘導加熱装置の周波数特性を高速に求めることができるのみならず、時間応答解析も高速に求めることができる。

第 5 章「機械学習を用いた誘導加熱装置の制御モデル構築」では、誘導加熱による被加熱材の温度

変化を予測するために多層ニューラルネットワークを用いる方法を提案している. 本手法により, 被加熱材が所望の温度になるようにするための入力電力, 加熱時間などを高速に求めることができる.

これを要するに, 著者は熱延プロセスで使用する誘導加熱装置の新しいモデリング法とそれによる効率的な解析法を開発するとともに, ニューラルネットワークを用いた誘導加熱装置の制御法を開発している. また著者が開発したモデル縮約法と等価回路生成法は一般の電気機器にも適用可能であり, 電気工学, 制御工学, 計算電磁気学に寄与するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める.