



Title	Determination of tool motion in plate bending processes by combination of finite element simulation and optimal control scheme
Author(s)	楊, 剛
Citation	大阪大学, 1995, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/39684">https://hdl.handle.net/11094/39684</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href=" <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> ">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	楊	剛
博士の専攻分野の名称	博	士 (工学)
学位記番号	第	1 2 1 5 4 号
学位授与年月日	平成	7 年 11 月 27 日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当	
学位論文名	Determination of tool motion in plate bending processes by combination of finite element simulation and optimal control scheme (有限要素シミュレーションと最適制御法の結合による板材曲げ加工における工具の運動の決定)	
論文審査委員	(主査) 教授 小坂田宏造 (副査) 教授 小倉 敬二 教授 宮崎 文夫 助教授 森 謙一郎	

### 論文内容の要旨

本研究では、有限要素シミュレーションによる板材曲げ材料における工具の運動の決定する方法を提案した。以下各章毎に内容を述べる。

第1章は緒言であり、本研究の位置づけについて述べたものである。

第2章は剛塑性有限要素法による板材曲げ加工のシミュレーション法について述べたものである。板材の曲げ加工では、板厚が小さい場合には弾性変形が支配的であるため、剛塑性有限要素法では問題になる。そこで、剛塑性有限要素法で得られた板材の変形形状を弾性有限要素法により補正することを考えた。この方法を板材の3本ロール曲げ加工に応用した。軟鋼板に対して求めた板材の曲率は実験とよく一致した。

第3章は有限要素シミュレーションによる1変数の工具の運動の決定法について述べたものである。有限要素シミュレーションと制御ロジックを結合することによって、加工条件を自動的に決定する制御FEMシミュレーションを提案した。板材を目標形状に成形する上ロールの移動軌跡を決定するために、ファジィ推論を用いた。決定された上ロールの移動軌跡に従って実験を行い、板材がほぼ目標形状に成形された。

第4章は有限要素シミュレーションによる多変数の工具の運動の決定法について述べたものである。制御FEMシミュレーションを拡張し、有限要素シミュレーションにおいて直接に目的関数を最小化することによって工具の動きを決定する方法を提案した。節点力の釣合い式から工具速度と節点速度の関係を求め、目的関数を直接に最小化することによって工具の動きを決定した。この方法を3本ロール曲げ加工に応用し、上ロールの移動軌跡とロールの回転速度を最適化することによって、無滑りで板材を目的形状に加工することを試みた。

第5章は3本ロール曲げ加工機のオンライン制御について述べたものである。有限要素シミュレーションで求められたロールの動きをオンライン制御によって修正した。コンピュータにより制御された3本ロール曲げ加工機にCCDカメラを設置して加工中の板材の曲率分布を測定し、目標値との差を用いてロールの動きを修正し、精度の高い曲げを行うことができた。

第6章は局部加熱による板材曲げ加工の解析について述べたものである。解析では、加熱・冷却過程において力とモ

メントの釣合い式から曲げられた板材の角度を求めた。解析結果を簡便に実験により検証するため二層の解析モデルを提案した。計算された曲げ角度は実験結果と同じ傾向を示した。

第7章は結論であり、本研究の結論と今後の研究について述べたものである。

## 論文審査の結果の要旨

3本ロール曲げ加工は、3個のロールによって板材を曲げる材料加工方法であり、ロールの相対位置を制御することによって板材を任意の曲率分布に成形することができ、大形製品の多品種少量生産方法として注目されている。しかし、加工された板材の曲率は板厚、変形抵抗などの影響を受け、加工限界による制約もあるため、所定の曲率を得るための加工条件は容易には求まらない。特に、板材の先・後端の非定常変形部の成形および不均一な曲率分布の製品の成形では、ロールの移動軌跡などの加工履歴の決定は非常に困難である。本論文は、有限要素シミュレーションと制御の考え方を組み合わせて新しく提案した、3本ロール曲げ加工における最適履歴の決定方法についての研究成果をまとめたものである。

まず、3本ロール曲げ加工中の板材の塑性変形挙動の数値シミュレーションを行うための剛塑性有限要素法を提案している。通常の剛塑性有限要素法は弾性変形を取扱うことができないが、各変形ステップにおいてスプリングバック量を弾性有限要素法によって補正して精度向上を図っている。

次に、開発された有限要素法を基礎として、3本ロール曲げ加工におけるロールの移動軌跡を決定する方法を提案している。この方法は、有限要素法で非定常変形を解析し、計算途中で結果を逐次参照しながら工具位置などを自動的に変更することにより、工具の最適な移動軌跡を決定するものである。最適化の手法として、ファジィ推論および目的関数の最小化手法を用いている。

ファジィ推論を用いた方法では、曲率差と板厚の影響を考慮し、単一変数の最適化問題を取り扱っている。ファジィ関数の係数の決定にはシミュレーション結果を用いている。得られた上ロールの移動軌跡に従って軟鋼板の3本ロール曲げ実験を行い、板材を所定の曲率分布に曲げることができ、しかも板材先・後端部の曲率低下をかなり減少させることができることを示している。また、目的関数を設定してそれを最小化する方法により、多変数の最適化問題を取り扱っている。これにより、ロールの移動軌跡だけでなく回転速度の制御も可能となり、さらにきめ細かい制御ができるため、加工限界の向上が図られている。

有限要素シミュレーションによって得られた結果を基にして加工条件を決定する場合、計算で仮定する材料特性などが実際と異なる場合には、最終的に得られる曲率分布などに誤差を生じる。材料特性が計算と異なる可能性がある場合に対し、CCDカメラによって曲率分布を逐次測定し、得られた曲率分布からオンライン制御を行う3本ロール曲げ加工方法を提案し、有効性を確かめている。

最後に、3本ロール曲げと同じ目的で用いられることのある板材の局部加熱曲げ加工を平面ひずみ変形を仮定して初等理論を用いて解析し、その加工機構を解明し、軟鋼板の実験結果とよく一致する結果を得ている。

以上の成果は、板材の3本ロール曲げ加工に関して有益な新しい知見を与えるもので、その手法はより広い工学的応用が可能であると考えられ、生産加工技術の進歩に貢献するところ大であり、博士（工学）論文として価値あるものと認める。