

## 新任教員紹介

# 精密工学科・特任講師 窪田 紘明

### 略歴

- 2002.03 神奈川県立秦野高校 卒業
- 2006.03 早稲田大学 理工学部 機械工学科 卒業
- 2008.03 早稲田大学大学院 理工学研究科 機械工学専攻 修了
- 2008.04 住友金属工業株式会社（現 日本製鉄） 入社
- 2013.04 新日鉄住金株式会社（現 日本製鉄） 主任研究員
- 2015.03 京都大学大学院 エネルギー科学研究科修了  
博士（エネルギー科学）取得
- 2018.04 公益社団法人自動車技術会 構造形成技術部門委員会 委員
- 2019.03 新日鉄住金株式会社（現 日本製鉄） 退社
- 2019.04 現職



### 担当科目

マシンダイナミクス, 精密メカニズム, 精密システムデザイン, 精密機器学  
精密工学実験 1・2, 入門ゼミナール 1, 問題発見ゼミナール 2, 精密工学特講

### 研究活動内容

#### 1. はじめに

2004年、学部3年生だった私は早稲田大学理工学部 機械工学科の浅川基男研究室の門を叩いた。以来、塑性加工学・弾塑性力学に関する研究の面白さに取り憑かれて15年が経過した。その間、棒線材の引抜き加工におけるアンダーシュート現象の詳細説明<sup>1,2)</sup>、後述する革新的な曲げ加工システムと数値解析技術の実用化<sup>3,4)</sup>、自動車メーカーとの共同研究など、塑性加工学・弾塑性力学を駆使した多くの研究開発に携わることができた。

今回、モノづくりの面白さを次の時代を担う方々に伝えると共に、産業界に必要とされる基盤的研究を担うことで「もっと日本のモノづくりを元気にしていきたい」と考え、東海大学の教員として活動をスタートすることにした。

本報では、新日鉄住金（現 日本製鉄）所属時に行った研究の一例を論文発表の範囲内で紹介すると共に、今後の目標を述べさせていただく。

#### 2. これまでの研究

自動車産業において「燃費改善によるCO<sub>2</sub>排出量の削減」および「衝突安全性の向上」は依然として大きな課題である。これらの課題に対する方策の一つとして、高強度・高剛性を達成しやすい高強度鋼管による軽量化が挙げられる。しかし、高強度鋼管は延性が低いためハイドロフォーミングによる部

品成形時に材料破断が生じやすいという課題があった。著者らの研究グループでは、破断の主要因が金型と材料の間で生じる摩擦力であることを突き止め、これを克服するために移動金型技術を開発した<sup>5)</sup>。即ち、Fig. 1に示すように第1工程で金型を開いた状態で鋼管に比較的高い内圧を付与して周長を確保した後に、第2工程で低内圧を付与しつつ金型を移動させて上下方向に押しつぶす方法である。従来法では、角部と平面部の境界付近に局所的な減肉が発生する。一方、本技術（上下複動加工法）では付加する内圧が低くとも稜線の半径が小さく成形でき、均一な肉厚分布が得られることを実証した。

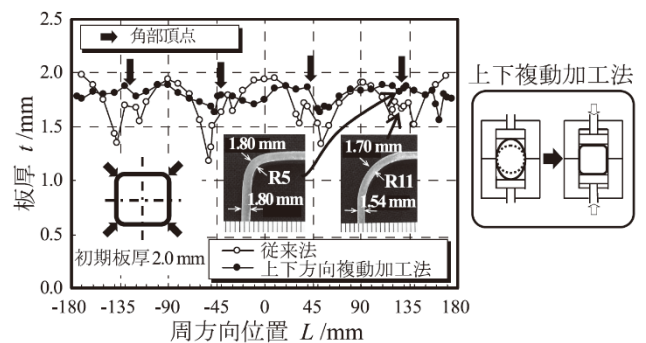


Fig. 1 板厚の周方向分布

さらに、成形時の応力状態をFEM（有限要素法）解析により考察し、問題となる角部と平面部の境界付近での減肉には板厚方向応力が大きく寄与していることを明確にした。即ち、板厚方向応力を考慮

しないシェル要素を用いた FEM 解析では減肉を過小評価する可能性があることを示唆した。

以上は冷間加工による方法であるが、研究グループでは熱間加工により高強度自動車部品を成形する技術も開発した<sup>3)</sup>。Fig. 2 に加工装置を示す。本技術は 3DQ (3次元熱間曲げ焼入れ) と呼ばれ、焼入れ用の鋼管を素材として、局部的に高周波誘導加熱しつつ曲げ成形と焼入れを同時に行う新技術であり、三次元に曲がった 1.5GPa 級の閉断面自動車骨格部材を製造可能である。

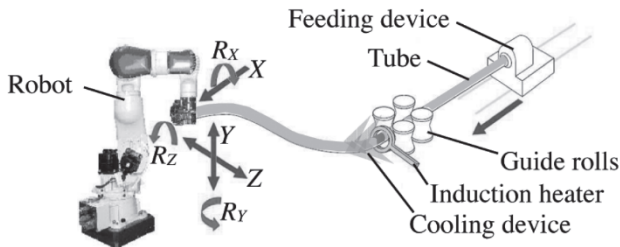


Fig. 2 3DQ 加工装置<sup>4)</sup>

ところで、自動車部品の効率的な開発のためには加工技術そのものの開発に加え、部品設計の初期段階に品質の作り込みを机上で行うための FEM 解析技術が不可欠である。3DQ においてもしわの発生、断面形状変化、加工力等を予測しつつ加工工程および部品の設計を行っていく必要があった。しかし、3DQ は高周波誘導加熱、曲げ変形、冷却、焼入れと多くの現象が複合しており従来の FEM 解析モデルでは対応することが出来ず、新たなモデルを開発することにした。

Fig. 3 に開発した解析モデル<sup>4)</sup>の概要を示す。まず高周波誘導加熱による温度分布を電磁場と伝熱の連成解析により求める。このとき、材料の磁気特性の非線形性と磁気変態、導電率および熱特性の温度依存性を考慮した。また、冷却部では、実験で得られた熱伝達係数を用いて対流熱伝達を考慮した。次に、得られた温度分布を用い、金属組織機変化を考慮した変形解析を実施する。金属組織の解析モデルとしては、変態温度に対しては Kunitake の式、加熱域のオーステナイト体積率には実験式、冷却時のマルテンサイト体積率には Koistinen-Marburger 則を用いた。また、流動応力は線形混合則で求め、ひずみ速度依存性を Cowper-Symonds 則により考慮した。熱および変態ひずみは Miettinen の密度モデルを用いて考慮した。なお、各組織、各ひずみでの流動応力は、通電加熱と冷却媒体による温度制御が可能な装置を用いて測定を行ってパラメータを決定した。

本解析モデルを用いることで、早期の部品形状の最適化や、加工条件の検討が可能になり、複数の部品の実用化に貢献することができた。さらに、本解析技術は ISIJ International に掲載され澤村論文賞

(日本鉄鋼協会) を受賞することができた。

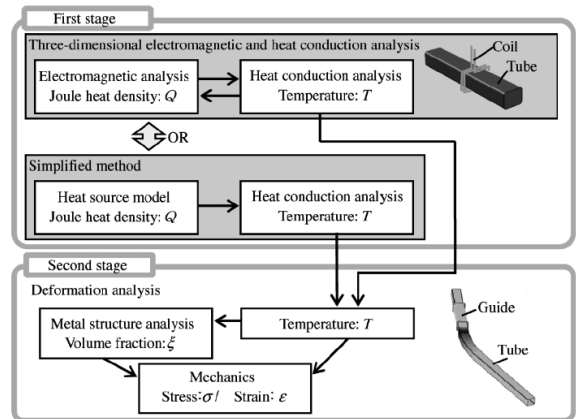


Fig. 3 3DQ の FEM 解析モデル<sup>4)</sup>

### 3. 今後の展望

以上では鋼管の成形技術について述べた。これ以外には、材料特性の評価技術、鋼管の各種塑性加工技術、接合技術、自動車の衝突安全性能の向上および軽量化技術など、弾塑性力学に関わる多くのテーマを扱って来た。今後それらをさらに発展させながら、弾塑性力学をキーワードに材料から製品性能に至るまでの幅広い領域を研究していく予定である。そして、産業界で活躍できる人材を一人でも多く輩出することができれば幸いである。

### 参考文献

- 1) Hiroaki KUBOTA, Motoo ASAKAWA, Satoshi KAJINO: Effect of back-tension in drawing on diameter of bar and wire, Wire J Int., Vol.40, No.12, pp.75-79 (2007).
- 2) 白崎園美, 窪田紘明, 駒見亮介, 浅川基男: 引抜き棒線材の線径変化に関する解析的・実験的検討, 塑性と加工, Vol.52, pp.375-379 (2011).
- 3) 富澤淳, 嶋田直明, 窪田紘明, 岡田信宏, 坂本明洋, 吉田経尊, 山本憲司, 森弘志, 原三了, 桑山真二郎: 3次元熱間曲げ焼入れ (3DQ) 技術の開発, 新日鉄住金技報, Vol.397, pp.83-89 (2013).
- 4) Hiroaki KUBOTA, Atsushi TOMIZAWA, Kenji YAMAMOTO, Nobuhiro OKADA, Takayuki HAMA, Hirohiko TAKUDA: Finite Element Analysis of Three-Dimensional Hot Bending and Direct Quench Process Considering Phase Transformation and Temperature Distribution by Induction Heating, ISIJ Int., Vol.54, pp.1856-1865 (2014).
- 5) 窪田紘明: 鋼管の2次加工に関する FEM 解析技術の開発, 塑性と加工, Vol.54, pp.1071-1072 (2013).