

MATERIALS and PROCESSING



Materials and Processing
Division Newsletter November 2024

NO.68



日本機械学会
機械材料・材料加工部門ニュースレター

巻頭言

管材の塑性加工の現状と今後



株式会社プロテリアル
グローバル技術革新センター
寺前 俊哉

管材の主な役割は、流体や気体を効率的に輸送すること、電線やケーブルを外部損傷から保護すること、建築物や橋梁などの構造物を支持することが挙げられ、使用される材質はその用途によってさまざまである。われわれの身の回りを見渡しても、家庭用配管、家具、自転車やスポーツ用品など多くの製品が管材で構成されている。これらの管材は、曲げられたり、断面が変化していたり、分岐されていたりと二次加工が施されている。これを実現するのが管材の塑性加工（チューブフォーミング）である。チューブフォーミングの特徴として、管自体の剛性が高く、軽量化効果が大い、一体成形による部品点数削減や工数低減などが挙げられる。一方、管材は閉断面であることから、内部拘束が難しく、加工上取扱いにくいという短所もある。

化学プラントや電力プラントは多くの管材で構成されており、限られた空間内で効率よく配置するために、曲げ加工やバーリング加工が適用されている。大口径管材の曲げ加工においては、高周波加熱曲げ加工が適用されている。この加工法は、高周波電流を流したコイルを用いて管材を局部的に加熱し、材料の変形抵抗が小さくなった箇所に曲げ力を加えて所定の曲げ半径に成形する。通常の曲げ加工では、曲げの外側で減肉が大きくなるが、本方式ではこの減肉を抑制することができ、耐圧性や耐食性が向上する。大口径分岐管においては、従来、母管と枝管を溶接で接合した溶接構造が多かったが、溶接信頼性、溶接自動化、組立性に課題があり、母管と枝管を一体化した分岐管が求められていた。枝管を一体化した分岐管の成形方法として、剛体型引抜き方式が適用されている。しかし、プラントに使用される大口径分岐管は、母

管径、枝管径、枝管と母管の管径比が多種多様なため、これらを成形するためにはサイズ毎の剛体型を準備する必要があった。そこで、棒状工具を用いた逐次バーリング成形が提案され、枝管端部の肉厚原率分布に着目し、棒状工具の動作（プロセス）を適正化することで、1本の棒状工具で多種多様な分岐管の成形を実現している。

構造部品として使用される管材の割合は全生産量の約15%で、自動車のフレームやエンジン部品、航空機の構造フレームや燃料ライン、建築物の骨組みや橋梁の支持構造などに使用されている。このように管材が構造部品と使用されるのは、(1) 高い引張強度と圧縮強度を有し、構造物の安定性、耐久性を確保できる。(2) 中空構造のため、同じ強度を持つ他の材料に比べて軽量化が図れる。(3) 製造や加工が比較的容易なため、コスト効率が低い。(4) さまざまな形状やサイズで製造できるため、幅広い用途に対応できることが挙げられる。管材の塑性加工の一つにハイドロフォーミングがある。これは管のもつ特性を利用し、より複雑な形状の成形を実現するために、液圧バルジ加工と曲げ加工や穴あけ加工を複合した加工法で、自動車構造部品やエンジン部品へ適用されている。その特徴は、(1) 複雑断面形状を有する中空部材を一体成形による工数低減、信頼性向上、(2) 構造性能向上と軽量化、(3) 機械的接合を省略することによる部品数削減、歩留り向上がある。欠点としては、(1) サイクルタイムが長く、生産性が低い、(2) 加工プロセスが複雑、(3) 加工設備が大型で高価、などが挙げられる。このうち(2)に関してはシミュレーションを活用して、加工前形状やひずみ状態、材料流動制御に基づく加工パラメータの最適化が実施されている。さらに、近年、管材をプレス金型内で通電加熱し、高圧エアを管材内部へ注入して、フランジ一体の連続異形閉断面部材を成形する STAF (Steel Tube Air Forming)⁽¹⁾が開発された。これは、成形と同時に金型によって材料を急冷して焼入れを行うことが可能なワンバック成形プロセスと、フランジ付き連続異形閉断面構造により、工程のシンプル化、部品の軽量化、高強度化が可能である。この成形法により、1500 MPa以上の超高強度と連続異形閉断面構造による高い剛性を有する部材を成形できる。この部材を自動車骨格部品へ適用することで、従来工法（ホットスタンピングした部材を断続的な溶接すること閉断面構造部材を成形）と比較して、類似形状・同等性能では板厚を下げるのが可能なため約30%の軽量化が見込める。

このように、チューブフォーミングの特徴を活かしつつ、課題への対応や高機能化を実現するためにさまざまな技術開発が行われている。今後は、AI（人工知能：Artificial Intelligence）やセンシング技術の進展、ビックデータ解析やシ

ミュレーション技術の高度化により、デジタル技術を活用したリアルタイムでのプロセス制御、品質管理・品質予測が可能となり、生産の効率化や新たなプロセス開発が進展する。また近年、環境への配慮が重要視され、持続可能な生産方式が求められており、リサイクル素材活用やエネルギー効率向上の検討が加速する。

本特集号の解説記事は、日本の製造業を支えるモノづくり

技術の一つである管材の塑性加工を多面的に捉えた内容となっている。今回の企画が、読者の皆様に少しでもお役に立てることを期待する。

注 1) STAF (Steel Tube Air Forming)

<https://www.shico.jp/products/machinery/staf/index.html>

■特集：管材の塑性加工とその周辺技術

□ 特集1 偏心・偏肉管および極薄肉管の曲げ加工技術 □

大同大学

内海 能垂・吉田 昌史

1. はじめに

管材の曲げ加工方法には、曲げモーメントを与える方法、曲げの外側と内側にひずみ差を与える方法およびせん断ひずみを与える方法がある。一般的な加工方法は曲げモーメントを負荷して曲率を得る。また、管長手方向に引張りや圧縮の軸力負荷をかけながら曲げる方法がある。さらに、冷間や熱間で曲げる場合や管の内外から拘束を設けて曲げる場合もある。管材は円管と方形管の様な閉断面が主であり、方形管は形材として扱われる。形材は開断面を持つものが多いが、チャンネル材およびL・I・H形材などが代表的である。曲がり管の設計要件としては、曲げ半径、内外径、曲げ角度および材質が要件となる。何れにしても板材の曲げと比較すれば、複雑な断面形状を持つ管材の曲げは高い加工技術を必要とすることが容易に想像できる。

曲げの加工限界は座屈現象としてのしわや屈服、曲げ引張り側で発生する薄肉化による割れやくびれで規定される。その他の不良現象には、断面の変形としてのへん平化やスプリングバックなども注意すべき現象である。方形管の曲げによる各種不良現象を図1に示す。このような不良現象を抑制するためには、例えば、しわに関しては軸引張りを負荷しながら曲げる方法の適用、あるいは、設計変更が可能であれば、曲げ圧縮側の厚肉化や材質の変更などが有効である。割れに関しては軸圧縮力を適用、曲げ引張り側の厚肉化や材質の変更などが有効である。また、管断面のへん平化の抑制には管外側からの拘束や管内に挿入するマンドレルを適用することが効果的とされている。そして、曲げ半径と外径および肉厚と外径の比が、加工条件として大変重要で、これらの比の値に対応した曲げ加工法を選択する必要がある。

管材の主な曲げ加工法には図2に示すような回転引曲げ、押通し曲げ、圧縮曲げ、プレス曲げがあり、これら全て曲げモーメントを負荷した加工方法で、実際の曲がり管の生産現場で適用されている。

さて、これまで管材の曲げについて概説してきたが、以下では筆者が近年行っている特殊な肉厚を持つ管材の曲げについて、いくつか紹介させていただくことにする。

2. 偏心円管の曲げ加工技術³⁾

管材の曲げ加工では引張り側の肉厚は薄くなり、管断面はへん平化する。これらの現象は管の断面二次モーメントを低下させ、また、薄肉部の局所的な強度低下をまねき、金属疲労の原因となることもある。そこで図3の偏心円管のように、素管の状態から曲げの引張り側となる肉厚を厚くし圧縮側を薄くすれば、曲げ後に肉厚を均一に近づけることができ

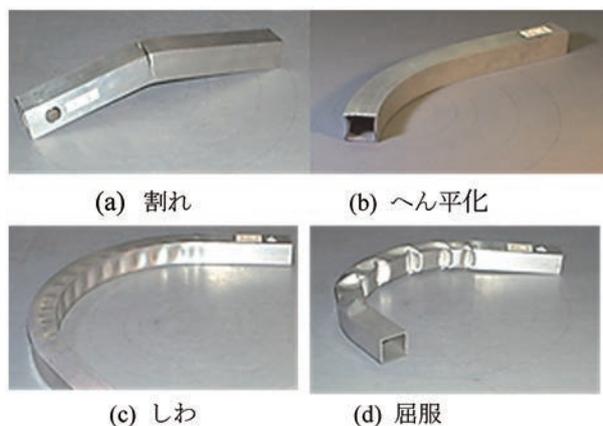


図1 方形管の不良現象¹⁾

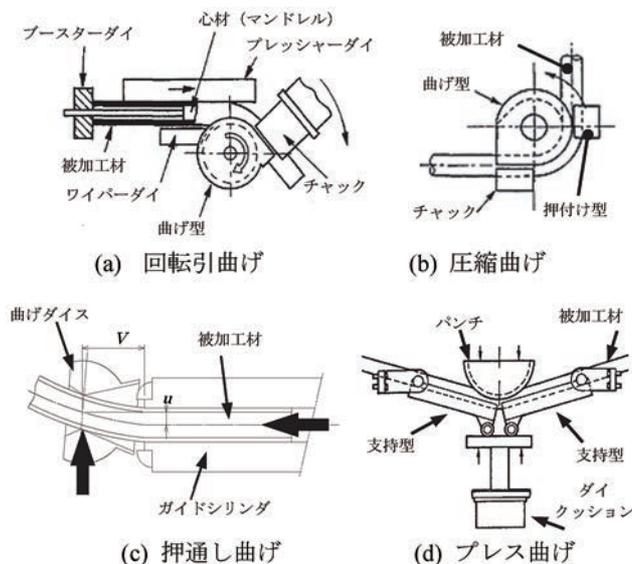


図2 曲げ加工法²⁾

る。さらに、引張り側を厚くすることでへん平化力による断面のつぶれ、いわゆるへん平化の抑制も見込まれる。図4はアルミニウム合金押出し材による偏心管の曲げシミュレーションによって得た曲げ半径と偏心量の関係である。例えば、管内外径 18, 21.7 mm, 曲げ半径 50 mm の曲げ条件で、偏心量 0.13 mm にすると均一な肉厚を得ることができる。

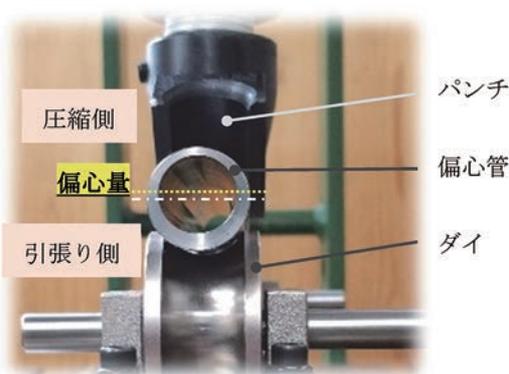


図3 偏心鋼管のプレス曲げ



加工条件: R50, A6063-O, 20×10×0.5mm, 積層マンドレルおよび引張り力負荷適用

図6 曲げ後の極薄肉管の断面形状

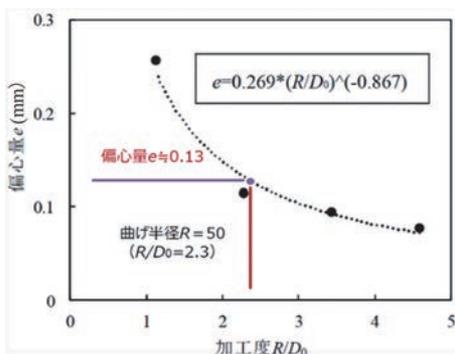


図4 偏心量と曲げ半径の関係⁴⁾

マンドレルは不使用で、曲げ半径 100 mm, 正方形断面 15 mm, 肉厚 1.5 mm, 0.1 mm の勾配を設けた曲げにおいて、肉厚が均一に近い断面形状となった。

4. 極薄肉導波管の曲げ加工技術⁶⁾

衛星用の導波管は、軽量化が必須である。銅製ではなく、アルミニウム合金の薄肉方形管で小さな曲げ半径が要求される。また、電磁波の伝送効率を下げないために、曲げ後の断面変形は極力抑えなければならない。極薄肉方形管の曲げ後、これまでにない断面変形を起こした製品を図6に示す。また、最右側の写真は、従来とは異なった工夫をこらしたマンドレルを適用し、軸引張り力を負荷しながら曲げて、断面変形を極力抑えた製品例である。

3. 偏肉方形管の曲げ加工技術⁵⁾

では、方形管の場合にはどのような断面形状にすればよいのであろうか。図5のように方形管側面部であるウェブに勾配を設けて曲げを行った。アルミニウム合金管内に挿入する

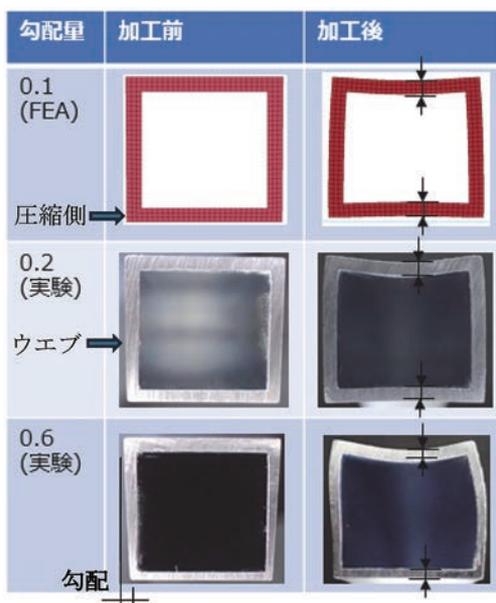


図5 偏肉方形管の曲げ後の断面変形⁵⁾

5. おわりに

特殊な肉厚を施した管材の曲げを幾例か紹介した。何れも市販化された素管ではなく、特注品である。これら管材の曲げ変形挙動や加工特性は、工業的な技術情報として各種産業界にとって期待されるものと考えられる。また、曲げ加工後に肉厚が均一となる偏心・偏肉させた管断面形状や薄肉管の曲げ変形特性が周知されることを願う。そして、これらの結果が市販化に向け、日本の素管製造および曲がり管製造業界の発展に寄与できれば幸いである。

ここで紹介した研究は、公益財団法人天田財団一般開発助成、一般社団法人日本鉄鋼協会研究会助成および公益財団法人三五ものづくり基金研究開発助成によって実施した。ここに深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) S. SAKAKI · N. UTSUMI : Material Transaction, 47-5 (2006), 1354-1359.
- 2) 内海能重 · 吉田昌史 : ぶらすとす, 1-3(2018), 171-175.
- 3) 中島邦斗 · 内海能重 · 吉田昌史 : 鉄と鋼, 108-7 (2022), 394-404.
- 4) 内海能重 : FORM TECH REVIEW, 32-1(2023), 15-20.
- 5) 中島邦斗 · 内海能重 · 吉田昌史 : 塑性と加工, 64-753 (2023), 182-187.
- 6) K. NAKAJIMA · N. UTSUMI · Y. SAITO · M. YOSHIDA : Metals, 10-8(2020), 1-16.

□ 特集2 金属管の薄肉化・表面の平滑化・テーパ形状制御
もできる魅力的な引抜き加工 □

名古屋工業大学
岸本 拓磨

1. はじめに

ステントや注射針等の医療機器等に適用されている外径 2 mm 以下の金属極細管の高性能化には、金属管の細径化・薄肉化・表面の平滑化技術の開発が必要となる。金属管の塑性加工技術としてダイス引抜きの一環である空引き、ダイレス引抜き、セミダイレス引抜きなどが挙げられる。ダイス引抜きやダイレス引抜きは古典的な加工法という印象を持つ者がいるかもしれないが、いずれの塑性加工技術も近年では飛躍的に発展しており、非常に魅力的である。本稿では、著者らの研究例を挙げて金属管の薄肉化・表面の平滑化・テーパ形状制御の技術の概要を紹介する。

2. 空引きによる金属管の肉厚減少

ダイス引抜きとは、テーパ状の孔の開いたダイスと呼ばれる金型に線・棒・管を通して縮径する加工法である。金属管のダイス引抜きのうち、内部金型を用いない加工法を空引きと呼ぶ。空引きにおける肉厚制御は、塑性力学の基礎である体積一定則に基づく。板材や管材の単軸引張変形において、引張ひずみが大きくなるほど板厚や肉厚が減少することは容易に想像できる。空引きでは、管を引き延ばす際にダイスによって強制的に外径を大きく減少させるため、単軸引張変形よりも外径の減少量が大きい。そのため、空引きでは管をある程度長く引き伸ばさないと肉厚は減少しない。従来、ダイス出口側の管材を掴んで引き延ばす空引きでは、外径の減少量に対して引き延ばす長さが短く、肉厚増加を避けられなかった。そこで、著者らは、ダイス入口側の管材も掴み、ダイス入口側の管の供給速度に対するダイス出口側の引抜き速度の比（以下、伸管速度比と呼称）を大きくすると単位時間あたりに管材が伸びる長さが増加し、肉厚減少が可能になると着想した。図1に空引きにおける伸管速度比と肉厚比の理論的關係を示す。実測値と理論値との比較は著者らの原著論文¹⁾を参照されたい。伸管速度比が1.05付近の場合、管材の伸びる長さが短いため肉厚は増加するが、伸管速度比がそれ以上になると肉厚は減少する。以上のように、空引きでは伸管速度比を体積一定則に基づく閾値よりも大きくすると肉厚は減少する。

3. セミダイレス引抜きと空引きの複合プロセスにおける薄肉化・平滑の表面化の最適条件

棒・線・管に局所加熱を与えて引張変形を加えることで断面積を縮小させる加工法をダイレス引抜きと呼ぶ。ダイレス

引抜きでは、局所加熱により変形抵抗が小さくなった箇所で一気に断面積が減少する。また、管内部にマンドレルを挿入した状態でダイレス引抜きを施すセミダイレス引抜きでは、内径減少の抑制により積極的な薄肉化が可能である。しかし、セミダイレス引抜きでは、自由表面である外面が大きく荒れる。そこで、著者らは、セミダイレス引抜き後に空引きを施す複合プロセスにより金属管の薄肉化と表面の平滑化を同時に実現できると着想した。以下にセミダイレス引抜き後の空引きにおける薄肉化と表面の平滑化の最適条件を明らかにした研究²⁾を解説する。

図2²⁾にセミダイレス引抜き材と、その後に空引きを施した管材の外面における高さ分布を示す。各ダイス減面率の条件で、セミダイレス引抜き材と空引き材の高さ分布は同一視野で評価している。ダイス減面率0.02の条件にてセミダイレス引抜き材に空引きを施すと、水色または青色で示す凹部は、空引き後も残留した。空引きに限らず、金属材料のダイス引抜き加工では、ダイスと接触する外面は平滑になることが通説であった。しかし、実際には空引き前の材料表面にある凹部は空引き中にダイスには接触せず残留する場合がある。今回の様に、セミダイレス引抜きにより大きく荒れた管材に空引きを施す場合には、顕著に表面の凹部が残留する様子が観察される。ダイス減面率が0.02から0.08まで増加すると空引き後の凹部の面積は減少したが、ダイス減面率が0.08から0.10まで増加すると凹部の面積は増加した。ダイス減面率が中間となる0.08では算術平均粗さも最小となり、外面の表面粗さが極小値となるダイス減面率が存在した。つまり、ただダイスに通せば外面は平滑になるとは限らず、ダイス減面率を大きすぎず、小さすぎない範囲に設定する必要があると明らかにした点がこの研究の新規性である。この要因については、ダイス面圧やバルク材の塑性変形量等の力学的観点から検討しているが、詳細は原著論文²⁾を参照されたい。

また、詳細を割愛するが、セミダイレス引抜きにて供給速度に対する引抜き速度の比が大きくなるほど、その後の空引きにて外面の算術平均粗さが極小値となるダイス減面率は減少する。以上の知見を基に作成した複合プロセスにおける薄肉化・表面の平滑化のプロセスマップを図3²⁾に示す。セミダイレス引抜き後に空引きを施す複合プロセスにて、セミダイレス引抜きの速度比を大きく、その後の空引きで外面の算術平均粗さが極小値となるダイス減面率が薄肉化・表面の平

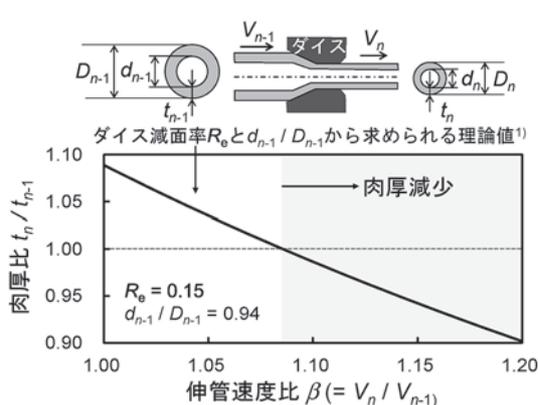


図1 空引きにおける伸管速度比と肉厚比の理論的關係

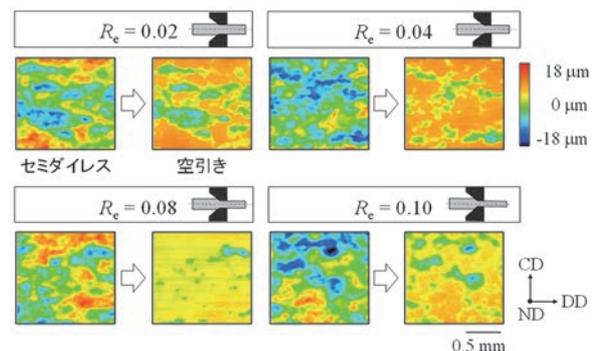


図2²⁾ 引抜き材の外面における高さマップ。R_eは空引きのダイス減面率を示す。DD, CD, NDはそれぞれ引抜き方向、周方向、外面の垂直方向を示す。文献2)より一部改編。

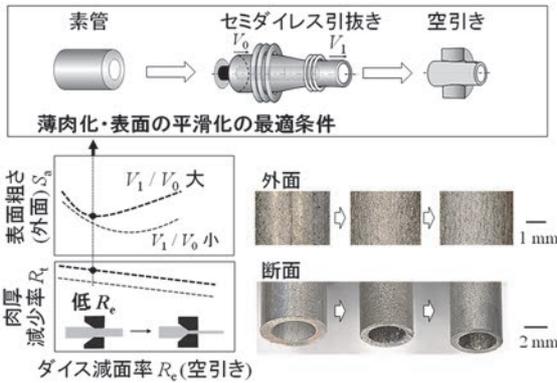


図3²⁾ セミダイレス引抜きとダイス引抜きの複合プロセスにおける薄肉化・表面の平滑化の最適条件。V₀、V₁はそれぞれ管の供給速度と引抜き速度を示す。文献2)より一部改編

滑化に最適となる。

4. ダイレス引抜きを応用したテーパ形状制御

近年では、直進管だけでなくライブセルアトラス等に用いられる、径が長手方向に変化する中空マイクロニードルの需要が増加している。通常、空引き等のダイス引抜きでは直進管を作製することが前提だが、ダイレス引抜きでは、Wengenrothらが考案したテーパ線材制御理論³⁾を基に、供給速度V₀に対する引抜き速度V₁の比を加工中に可変することで容易にテーパ管の創製が可能である。以下に著者らのテーパ形状制御に関する研究⁴⁾の概要を解説する。

所望する管のテーパ形状を $R_1 = R_0 + bx$ と定義する。R₁は引抜き後の外半径、R₀は初期外半径、bはテーパの傾き、xは引抜き長さを示す。引抜き時の変形領域において、外径に対する内径の比が一定と仮定して体積一定則に基づくと所望するテーパ形状を満たすのに必要な引抜き速度V₁は式(1)のように求められる。tは引抜き時間を示す。

$$V_1(t) = V_0 \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot b \cdot V_0}{R_0} \cdot t\right)^{\frac{2}{3}} \tag{1}$$

詳細な導出過程は著者らの原著論文⁴⁾を参照されたい。式(1)に基づき、V₀を固定し、V₁を引抜き中に増加させると単位時間あたりに管が伸びる長さが増加し、その分外半径の減少量が増加することがテーパ形状制御の基本である。以上の理論を基に、著者らはβチタン管のテーパ形状制御に取り組んだ。図4⁴⁾にダイレス引抜きを途中で止め、変形領域における外半径と内半径の変化も評価した結果を示す。引抜き前半と中盤では、所望する外半径と実測値が一致しており、テーパ形状を制御できている。また、このときの周ひずみと肉厚ひずみは概ね一致しており、「外径に対する内径の比が一定」という仮定が成立している。しかし、破断限界直前である引抜き後期では、変形領域において周ひずみよりも肉厚ひずみの方が大きく、外半径の実測値は所望する値よりも大きくなった。通常のダイレス引抜きでは、等方性材料の単軸引張変形の様に「外径に対する内径の比が一定」のまま縮径する。しかし、図4の引抜き後期では、変形勾配が大きいために単軸引張変形が成立しておらず、肉厚が優先的に減少している。そのため、式(1)の導出にて仮定した「外径に対する内径の比が一定」が成立しておらず、所望する外半径は得られなかった。以上より、単軸引張変形が成立するように加熱冷

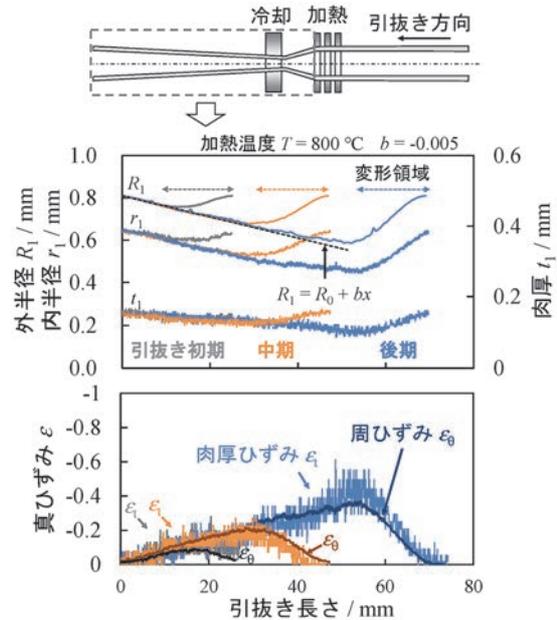


図4⁴⁾ ダイレス引抜きを応用して作製したテーパ管の外半径・内半径・真ひずみ分布。文献4)より一部改編

却間の変形領域の長さを適切に決定することがテーパ形状の高精度な制御に必要と考えられる。

5. おわりに

数年前まで薄肉管の空引きでは肉厚増加を避けられないとされていたが、著者らの研究により現在では肉厚減少も可能である。ダイレス引抜きでは、管が蛇腹形状となり使い物にならないと今でも誤解する者がいる。空引きのテーマで博士号を取得した著者も本当に安定して真っすぐな管を作製できるか疑問であった。しかし、著者が最初にダイレス引抜きで薄肉管を作製した時の感想は「ダイスを使わなくても意外に安定して真っすぐになる!!」であった。これは、古島や真鍋ら⁵⁾を始めとする研究者の努力によるものであり、現在ではダイレス引抜きは産業界への適用が期待できるほど発展している。以上の様に、空引きやダイス引抜きは、現在も発展し続けている魅力的な加工法である。著者は、特に結晶塑性理論を土台にしてこれからも空引きやダイレス引抜きを進展させることを目指している。

本稿はこれまでの著者らの研究をもとに執筆した。早稲田大学鈴木進補教授、東京大学生産技術研究所古島剛准教授には非常に多くを学んだ。本稿執筆にあたり、電気通信大学梶川翔平准教授に編集委員としてご尽力頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) T. Kishimoto et al : J. Manu. Sci. Eng, **141**(2019), 111008.
- 2) T. Kishimoto et al : Int. J. Mater. Form, **16**(2023), 29.
- 3) W. Wengenroth et al : Steel Res, **72**(2001), 402.
- 4) T. Kishimoto et al : J. Mater. Res. Tech, **26**(2023), 9499.
- 5) 古島ら：塑性と加工, **51**(2010), 308.

□ 特集3 輸送機器の軽量化に貢献する変断面管のマンドレルレス逐次鍛造 □

ものづくり大学
牧山 高大

1. はじめに

省資源化, 省エネルギー化は世界規模の課題であり, 自動車や鉄道車両などの輸送機器においては更なる軽量化が求められている。管材は重量に対して曲げ剛性やねじり剛性が高いことから, 輸送機器の構造部材としても適用されてきた。変断面管は図1に示すような長手方向に内径や外径を変化させた管材で, 部材に加わる荷重分布に対応させた形状とすることができるため, より軽量化に向く部材である。そのため, 自動車のドライブシャフト, スタビライザー, ステアリングシャフト等への適用が具体的に検討されている^{1)~3)}とともに, 鉄道車両の車軸等への適用が検討されている^{4),5)}。

変断面管は, 同様の形状で寸法が異なる等, テーラーメイド型であることが多いため, 多品種少量生産に向くフレキシブルな加工法が望ましい。従来の変断面管の加工方法には, ラジアルフォーミング^{4),6)}, ロータリースウェージング^{1),2)}, クロスウェッジローリング⁵⁾, 引抜き加工³⁾, 押し出し加工⁷⁾等がある。これら従来の変断面管の加工方法は, 比較的フレキシブルな加工法であるものの, 加工する形状に応じた金型やマンドレル等の専用工具が必要であった。そこで, よりフレキシブルで多品種少量生産に向く変断面管の加工法として, マンドレルを用いず, 2個1対の平金敷のみを用いる逐次鍛造を提案した⁸⁾。本稿では, この提案した逐次鍛造について紹介する。

2. 提案した変断面管のマンドレルレス逐次鍛造

提案した変断面管のマンドレルレス逐次鍛造の模式図を図2に示す。マニピュレータで管材を把持し, 指定した回転方向位置, 軸方向位置に動かすと同時に, 2個1対の平金敷で間欠的に管材を加圧する。この逐次鍛造における加工因子は, 加工パスとして設定するマニピュレータによる管材の回転方向送り, 軸方向送り, 平金敷による管材の圧下率と, 製品仕様や設備仕様等によって決まる管材の初期内外径比, 管材の材質, 金敷幅, 金敷形状等がある。加工される形状は, 加工パスとして設定する加工因子と管材端部の拘束状態から, 固定端側段付き形状, 自由端側段付き形状, 平行形状, 固定端側テーパ形状, 自由端側テーパ形状, 管端平行形状, 管端テー



図1 変断面管の長手断面

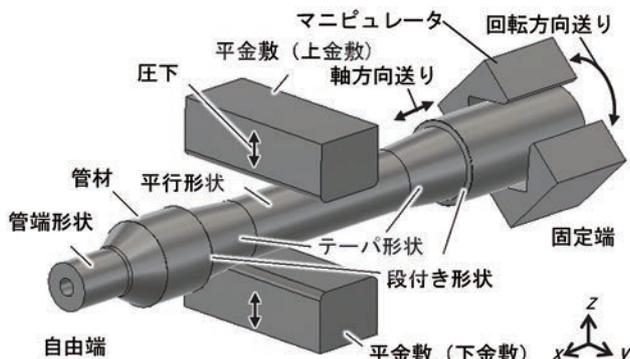


図2 変断面管のマンドレルレス逐次鍛造模式図

パ形状の7種類に分類することができる。これらの加工因子と成形形状の関係として加工特性を把握することで, 種々の形状への加工に対応することができる。

3. 縮径が可能な加工パス

提案する変断面管のマンドレルレス逐次鍛造は, 工具として2個1対の平金敷のみを用いるため汎用性が高い。一方で, 管材を対象としているため図3に示すように外径側の2か所でのみしか管材を拘束することができないため偏平化しやすく, 縮径の難しさに課題がある。図4に初期内外径比 $D_{\text{ini}}/D_{\text{omi}}=0.5$, 圧下率 $R=0.14$, 軸方向送り $f_a=0$ mm, 回転方向送り $f_r=10^\circ \cdot \text{blow}^{-1}$ とした場合のシミュレーション結果を示す。圧下による管材の偏平化と, 回転方向への変形により長手方向中央部の横断面が偏平形状となるとともに, 最大外径が初期外径より大きくなり縮径ができていない。

これまでの検討により得た知見を活用して, 偏平化を低減し縮径が可能となるパスを提案した⁸⁾。管材と平金敷との幾何学的な接触状態が変形特性に大きな影響を及ぼし, 回転方向送りを大きくすることで偏平化を低減することができる知見によるものである。図5は回転方向送りを管材に対する平金敷の圧下順番として模式的に示したものである。ラジア

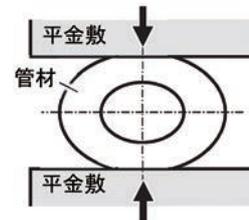
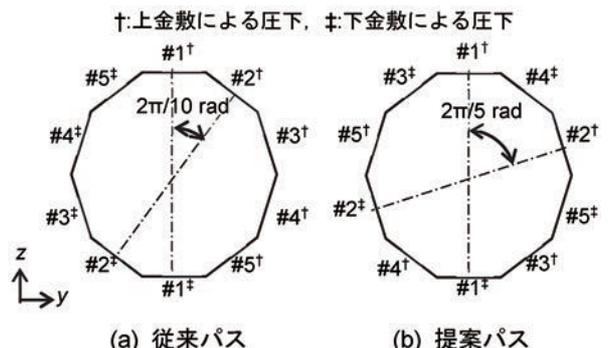


図3 平金敷での圧下による管材の偏平化模式図



(a) 斜視図 (b)長手方向中央部の横断面
図4 回転方向送り $10^\circ \cdot \text{blow}^{-1}$ におけるシミュレーション結果



(a) 従来パス (b) 提案パス
図5 管材に対する平金敷の圧下順番の模式図

ルフォーミングにおいて一般的に設定される回転方向送りのパスを便宜的に従来パスとすると、図5(a)に示す従来パスでは、隣り合う辺を順番に圧下する。この従来パスにおいて回転方向送りを大きくすると、外形を円に近い形状とすることができない。これに対し、図5(b)に示す提案パスでは、隣り合う辺を1つ飛ばして順番に圧下することができる。このため、図5に示したように正10角形となるようなパスを設定した際、提案パスの方が回転方向送りを大きくすることができる。回転方向送り f_r を $2\pi/k \text{ rad}\cdot\text{blow}^{-1}$ と表すと、 k が偶数の場合が従来パス、 k が奇数の場合が提案パスとなる。

提案パスの有効性を次に示す。図6は初期外径 $D_{0\text{ini}}=28.0$ mm、初期内外径比 $D_{\text{lim}}/D_{0\text{ini}}=0.5$ 、圧下率 $R=0.14$ 、軸方向送り $f_a=0$ mm とした場合における従来パス（回転方向送り $f_r=2\pi/10 \text{ rad}\cdot\text{blow}^{-1}$ ）と提案パス（回転方向送り $f_r=2\pi/5 \text{ rad}\cdot\text{blow}^{-1}$ ）の横断面回転方向の内外径の輪郭である。図中の理想的な外径は、圧下率 R と回転方向送り f_r から幾何学的に求まる、対辺距離 24 mm の正10角形である。従来パスでは回転方向位置 α が $\pi/2$ rad から $3\pi/4$ rad の間で内外径ともに最大値を取り偏平化するとともに、最大外径 $D_{0\text{max}}$ は初期外径 $D_{0\text{ini}}$ とほぼ同じ値となっており、ほとんど縮径されていない。また、回転方向位置 $\alpha=\pi/6$ rad 付近で成形品外径 D_0 は理想的な外径より小さくなっており、外径側からの圧下だけでは最小外径 $D_{0\text{min}}$ の領域の形状コントロールが難しい。これに対し、提案パスでは偏平化の傾向が見られるものの、最大外径 $D_{0\text{max}}$ が初期外径 $D_{0\text{ini}}$ より小さくなっており、縮径していることが確認できる。また、回転

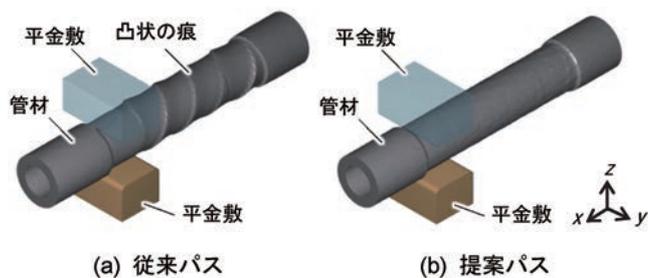


図7 回転方向送りと軸方向送りを付与した場合におけるシミュレーション結果

方向位置 $\alpha=0$ rad 付近である鍛造回数5回目の圧下領域において、最小値をとるとともに成形品外径 D_0 は理想的な外径と一致した。このことから、最小外径 $D_{0\text{min}}$ の領域は平金敷により形状転写されているため、提案パスは従来パスと比較し形状コントロールが容易である。

図7は回転方向送りと軸方向送りを付与し、らせん状に順次加圧した場合における従来パスと提案パスのシミュレーション結果である。どちらも軸方向送りや加圧数は同じであり、 $2\pi/k \text{ rad}\cdot\text{blow}^{-1}$ で表される回転方向送り f_r の k が従来パスでは偶数、提案パスでは奇数と異なるだけである。図7(a)に示す従来パスではらせん状に凸状の痕が残るのに対し、図7(b)に示す提案パスでは不整な凹凸が生じておらず、提案パスの有効性が確認できる。

4. おわりに

本稿では、提案している変断面管のマンドレルレス逐次鍛造について紹介した。この加工方法の実用化に向けては、次のような課題がある。1つ目は、薄肉、高縮径率や肉厚制御可能ななどの任意の変断面形状への加工、2つ目は、CAD (Computer Aided Design) データを入力として自動で加工条件を決定するとともに、加工パスを出力するCAM (Computer Aided Manufacturing) に相当する加工条件自動決定アルゴリズムの構築、3つ目は、材料ばらつきに対してインプロセスモニタリング結果をリアルタイムで圧下量等の加工条件にフィードバックするなどの加工寸法の高精度化である。今後、これらの課題解決に向けて検討を推進していく予定である。

参考文献

- 1) H. W. Raedt, T. Wurm, A. Busse, ATZ worldw, Vol. 121 (2019), pp. 54–59.
- 2) E. Rauschnabel, V. Schmidt, J. Mater. Process. Technol., Vol. 35(1992), pp. 371–383.
- 3) S. W. Kim, Y. N. Kwon, Y. S. Lee, J. H. Lee, J. Mater. Process. Technol, Vol. 187–188(2007), pp. 182–186.
- 4) V. P. Romanenko, P. P. Stepanov, S. M. Kriskovich, Metall, Vol. 61(2018), pp. 873–877.
- 5) P. Wenfei, Z. Shuhua, C. Yijui, S. Xuedao, Z. Lihua, Rare Met. Mater. Eng, Vol. 45, No. 4(2016), pp. 836–842.
- 6) S. Wallnera, O. Harrera, B. Buchmayra, F. Hoferb, AIP Conf. Proc, Vol. 1315, No. 1(2010), pp. 315–320.
- 7) 牧山高大, 村田真, 久保木孝, 塑性と加工, Vol. 45, No. 524 (2004), pp. 737–741.
- 8) 牧山高大, 塑性と加工, Vol. 62, No. 727(2021), pp. 97–102.

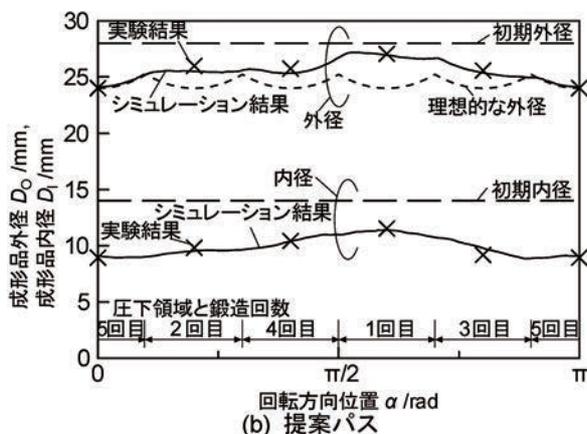
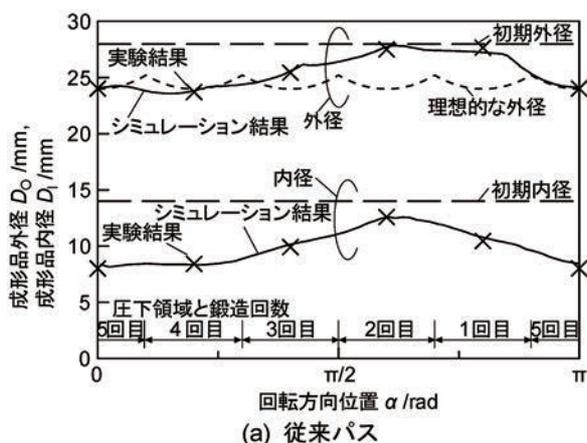


図6 長手方向中央部の横断面回転方向の内外径の輪郭

□ 特集 4 冷間ピルガー圧延の弾塑性解析における計算時間短縮モデルの提案 □

電気通信大学
村岡 剛

1. はじめに

ピルガー圧延は、管断面を減じる冷間加工法の 1 つである。ピルガー圧延は、1 パス当たりの減面率を高く設定でき、難加工材にも適用可能である。本稿では、筆者が取り組んだ有限要素解析におけるピルガー圧延の計算時間短縮モデルについて紹介する。

2. ピルガー圧延

2.1 ピルガー圧延について

ピルガー圧延は、図 1 に示すように孔型ロールと先端がテーパ形状のマンドレルを用いて加工を行う。素管にマンドレルを挿入し、管に所定量の軸方向送りを与える。上下に設置されたロールを回転往復運動させることにより、管を圧延する。圧延後、管およびマンドレルには周方向回転が与えられる。この管と工具の一連の動作にて構成される 1 サイクルを「1 ショット」と呼ぶ。

ピルガー圧延は、同じ管断面を減じる引抜き加工と比較して、管材とロールが転がり接触しながら加工されるため潤滑が容易であり、圧縮変形が主体の加工であるため、高加工度・難加工材の適用が可能である。これらの利点を生かして、継目無管の粗圧延工程や、高強度が求められる油井管（ステンレス鋼管）、特殊環境のため材質が限られる原子力発電所の燃料被覆管（ジルコニウム合金管）などの加工方法として利用されている¹⁾。

2.2 ピルガー圧延に関する研究事例

ピルガー圧延に関する研究としては、使用する潤滑剤が圧延挙動に及ぼす影響²⁾や圧縮試験による加工性の評価^{3), 4)}など実験的な検討はもちろん、有限要素解析をはじめとした数値解析の研究も多く行われている。古くは二次元軸対称モデルでの初等解析による圧延荷重の計算⁵⁾から、ロールに回転運動のみを与えた新たな圧延手法に関する解析⁶⁾など幅広く行われている。近年では、温度連成解析による管の温度変化が圧延荷重に及ぼす影響⁷⁾や誘導加熱と組み合わせた解析⁸⁾などが報告されている。

2.3 有限要素解析におけるピルガー圧延の課題

ピルガー圧延では、加工開始から管先端の加工が終了し、テーパ形状の管の圧延を繰り返す定常状態に至るまでに数十ショット必要となり、有限要素解析では、膨大な計算時間を要していた。また、ピルガー圧延は圧下量も大きく、管に繰り返し変形を行う。そのため、図 2 に示すように直管から解析を行う従来の「フルモデル」では、圧延時に軸方向の要素長さが E_0 から E_1 に大きく延伸し、要素が粗大化するこ

とによって解析精度が悪化する。抑制するためには、要素をさらに細かくする必要があるため、計算時間の増加につながり、取り扱いが困難であった。

筆者らは、ピルガー圧延の有限要素解析において、計算時間の短縮と解析精度の向上を両立する「準定常モデル (Quasi steady model, QS model)」を提案した⁹⁾。「準定常モデル」では、予めテーパ形状の管を初期管モデルとして設定し、テーパ部に予めひずみを軸方向分布として与えることによって加工硬化を表現した。他の研究事例として、テーパ形状の管を、管初期形状として与える解析も実施されている¹⁰⁾が、圧延による加工硬化が考慮されておらず、定常状態に到達するまでのショット数も検討されていないため、「フルモデル」との十分な解析精度の検証が行われていない。本研究では、「ひずみ計算モデル (Strain calculation model, SC model)」を用いて、圧延による累積した塑性ひずみ分布を予測し、「準定常モデル」に反映させた。「準定常モデル」では、定常状態に近い形状、ひずみ分布にて解析を始めることができるため、計算時間の短縮と要素延伸抑制による解析精度の向上が期待できる。

3. 「準定常モデル」の構築

3.1 解析条件

解析条件および解析モデルを表 1 および図 3 に示す。本研究では、解析に Rockfield Software 社が開発した汎用有限要素解析コードの「ELFEN」を用いた。ピルガー圧延は 1 パスとしては加工時間が長いため、解析精度と安定性の良い静的陰解法を適用した。被加工材は、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 を想定し、工具は剛体とした。

3.2 「準定常モデル」の構築方法

「準定常モデル」と「ひずみ計算モデル」は、初期管形状を内面はマンドレル、外面はロール溝底の軌跡として、軸対称のテーパ形状と仮定する。圧延による累積した塑性ひずみは、「ひずみ計算モデル」により分布を推定し、「準定常モデル」に与える。詳細手順は以下の通りである。

1. 累積ひずみを考慮していない「ひずみ計算モデル」を数ショット解析し、各ショットの管軸方向に対する要素の軸方向位置と相当塑性ひずみ分布を求める。
2. 各ショットでの管の軸方向変位増分 dz および相当塑性ひずみの増分 $d\varepsilon_p$ を求める。本研究では変位とひずみ

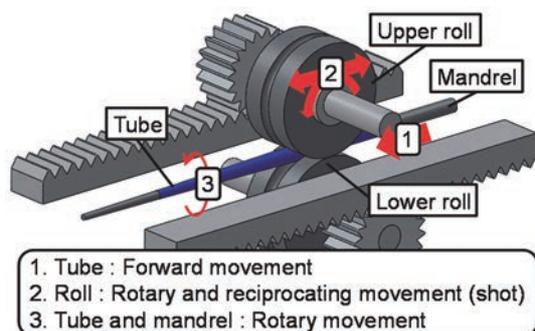


図 1 ピルガー圧延

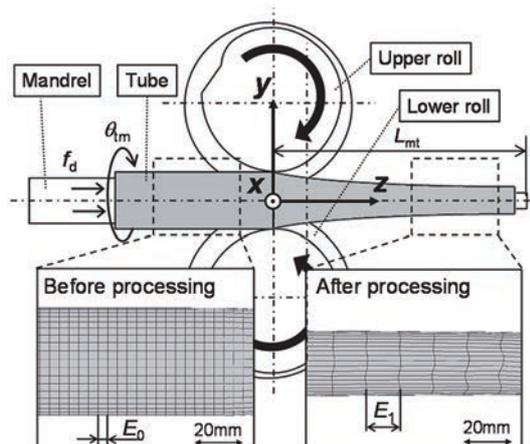


図 2 「フルモデル」での要素延伸

表1 解析条件

Roll	Material type	Rigid
Mandrel	Material type	Rigid
	Taper length L_{mt} / mm	660.0
Tube	Material type	Elastro-plastic
	Material	SUS304 (JIS)
	Stress-strain relationship	$\sigma = 1253(\varepsilon_p + 0.0204)^{0.419}$
Rolling schedule (Unit: mm)		$d_0 = 45.0, t_0 = 3.50$ $\rightarrow d_1 = 25.0, t_1 = 1.65$
Reduction of area R_d (%)		73.5
Feed between shots f_d / mm		12
Rotation angle θ_m / °		60
Coefficient of friction μ		0.1
Computing environment	CPU	Intel Core i5 2.67GHz
	Memory	4GB

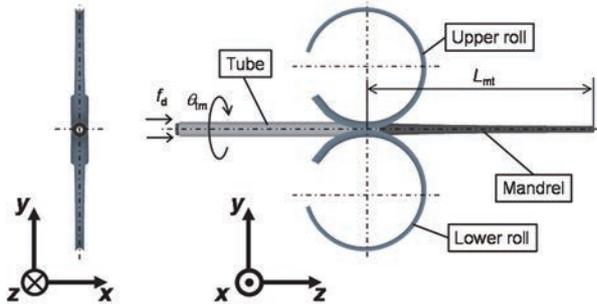


図3 ピルガー圧延の解析モデル

増分は管断面の平均値を参照した。

- 「ひずみ計算モデル」の解析を変位増分とひずみ増分が安定した定常状態になるまで繰り返す。本研究での解析結果を図4および図5に示す。ここでは、4ショットまで解析を行った。
- $i-1$ ショット目での任意の軸方向位置 z_{i-1} の節点は、1ショット後に z_i に移動するため、次式のように求まる。

$$z_i = z_{i-1} + dz(z_{i-1}) \quad (1)$$

ここで、 $dz_i(z_{i-1})$ は図4の1ショット分の軸方向変位量である。同様にして、この節点の相当塑性ひずみ $\varepsilon_{p(i-1)}$ は、1ショット後に ε_{pi} となり、次式によって求まる。

$$\varepsilon_{pi} = \varepsilon_{p(i-1)} + d\varepsilon_p(z_{i-1}) \quad (2)$$

ここで、 $d\varepsilon_p(z_{i-1})$ は図5の1ショット分の相当塑性ひずみ増分である。式(1)および式(2)の計算を繰り返すことにより、定常状態における累積した相当塑性ひずみ分布が求まる。

- 得られた蓄積相当塑性ひずみの分布を初期テーパ管に与えることにより、圧延による加工硬化を表現した。

本研究にて得られた累積相当塑性ひずみ分布を図6に示す。図6の実線は、「フルモデル」の定常状態における相当塑性ひずみ分布である。「フルモデル」における相当塑性ひずみ分布は、「ひずみ計算モデル」によって算出されたひずみ分布とよく一致している。したがって、「ひずみ計算モデル」により算出した相当塑性ひずみ分布は、ピルガー圧延における累積した相当塑性ひずみ分布として利用することができる。

3.3 「準定常モデル」の定常状態までに必要なショット数

「準定常モデル」では、管形状および累積ひずみを軸対称にて仮定しているが、実際のピルガー圧延は非対称変形である。そのため、「準定常モデル」が定常状態に達するまでには、数ショットの解析が必要である。本研究では、定常状態までに要するショット数を求めるために圧延荷重を調査した。

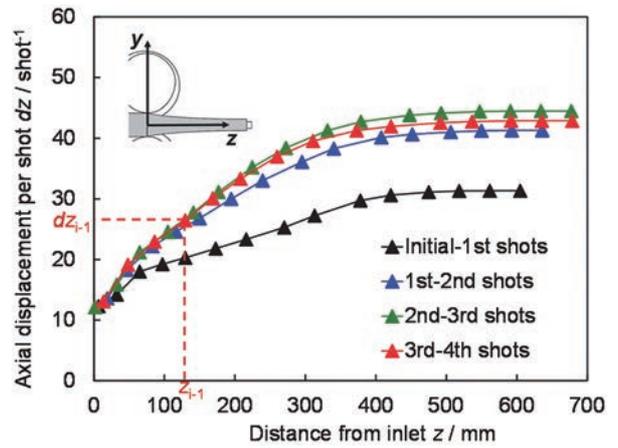


図4 軸方向変位増分の分布

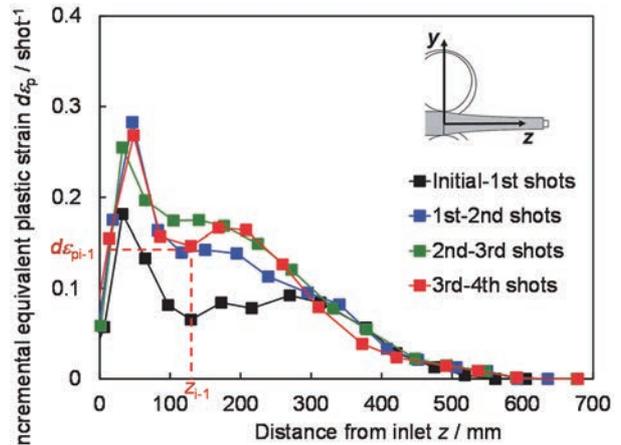


図5 相当塑性ひずみ増分の分布

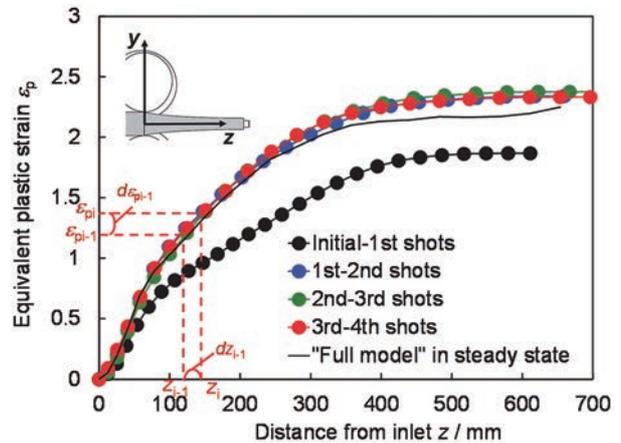


図6 累積相当塑性ひずみ分布

「準定常モデル」の圧延荷重分布を図7に示す。圧延荷重は4ショット目にて定常状態に達しているため、「準定常モデル」が定常状態に達するためには、4ショット必要である。

4. 「準定常モデル」の解析結果

4.1 比較対象モデル

「準定常モデル」と「ひずみ計算モデル」の性能を「フルモデル」の圧延荷重および計算時間を比較することにより検証した。比較対象モデルを表2に示す。「フルモデル」は、定常状態となる23ショットまで解析を行った。「準定常モデル」はショット数の影響を調べるため、1および4ショット目の圧延荷重を比較した。累積ひずみ分布の効果を検証するために、累積ひずみを考慮していない「準定常モデル」と

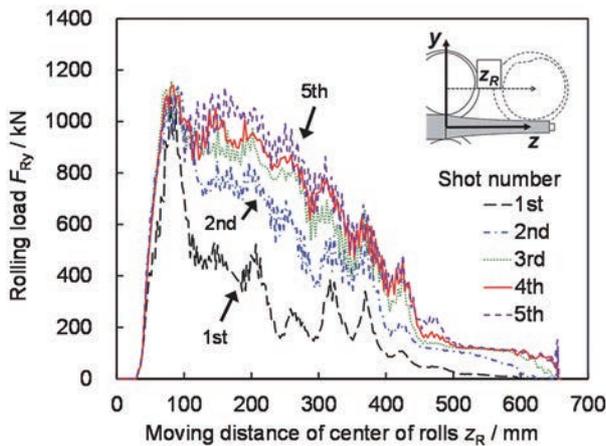


図7 「準定常モデル」における圧延荷重の解析結果

表2 比較解析モデル

	Initial strain distribution	Shot number
Full model	Uniform and zero	23rd
QS without SC model	Uniform and zero	1st / 4th
QS with SC model	Giving of equivalent plastic strain	1st / 4th

の比較も行った。なお、計算時間は定常状態に到達するまでに要した時間を比較した。解析精度を担保した状態にて比較するために「フルモデル」、「準定常モデル」ともに定常状態にて同等の軸方向の要素長さとなるように解析した。「フルモデル」は定常状態に達するまでに多くのショット数が必要になるため、「準定常モデル」よりも解析初期に多くの軸方向要素が必要となる。

4.2 圧延荷重

圧延荷重の比較を図8に示す。図8(a)は「準定常モデル」が1ショット目での解析結果である。圧延荷重は、「フルモデル」と比較して乖離がある。これは、「準定常モデル」は、1ショットでは、管形状および累積ひずみ分布の両方が十分に定常状態に達していないからである。図8(b)は「準定常モデル」が4ショット目での解析結果である。累積ひずみを考慮した「準定常モデル」では、「フルモデル」の圧延荷重とよく一致している。一方、累積ひずみを考慮していない「準定常モデル」では、4ショット解析しても圧延荷重は「フルモデル」と差異が生じた。したがって、定常状態を早期に再現するためには、累積ひずみの考慮が必要であり、累積ひずみを考慮した「準定常モデル」では、4ショットにて「フルモデル」の定常状態の圧延荷重を再現可能であった。「準定常モデル」は少ないショット数にて定常状態を再現できるため、「フルモデル」よりも要素数をさらに細かくすることができ、解析精度の向上にも寄与できる。

4.3 計算時間

定常状態に要した計算時間の比較を図9に示す。横軸は、図2に示した定常状態における軸方向の平均要素長さ E_1 である。 E_1 が短いほど解析結果の精度は高くなる。 E_1 が10 mm 以下では、計算時間 T が急激に増加した。同じ E_1 にて比較すると、累積ひずみを考慮した「準定常モデル」は、「フルモデル」と比較して、計算時間を約60%短縮することができた。「準定常モデル」は、定常状態に到達するまでに必要なショット数を減らすことができるため、細かい要素を設定し、解析精度を向上させながら計算時間を短縮することができた。

5. まとめ

本稿では、ピルガー圧延の計算時間の短縮化を目的とした「準定常モデル」について解説した。「準定常モデル」では計算時間の短縮と解析精度の向上の両立が可能であり、計算負

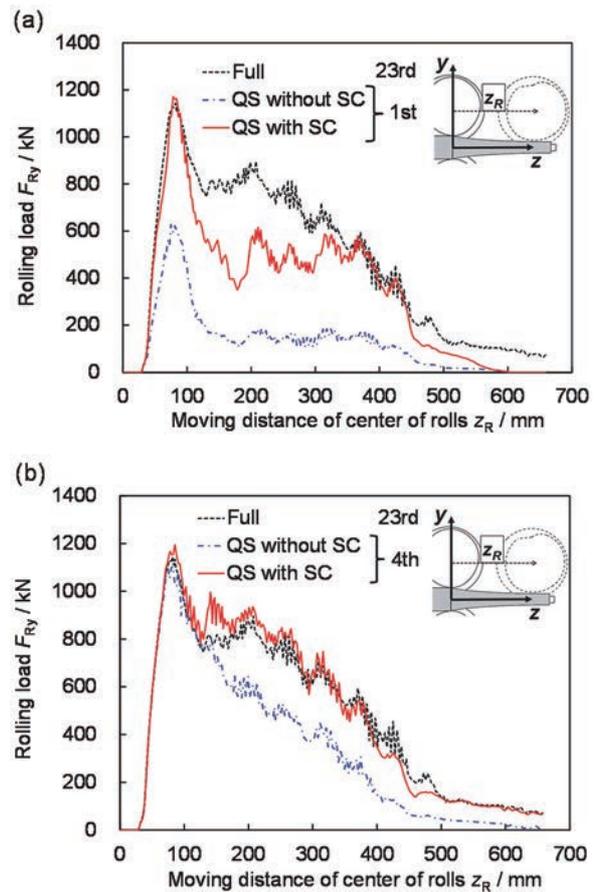


図8 圧延荷重の比較 (a)「準定常モデル」1ショット目 (b)「準定常モデル」4ショット目

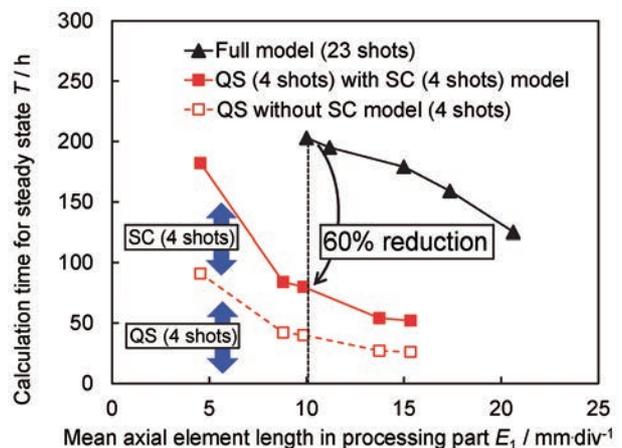


図9 計算時間の比較

荷の大きいピルガー圧延の数値解析において、有効な解決手段となり得る。

謝辞

本研究は新日鐵住金株式会社（現日本製鉄株式会社）との共同研究により実施いたしました。関係者には感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 古堅宗勝：東京大学博士論文，(1993)，2-5。
- 2) H. Abe et al：J. Mater. Process. Technol. 214(2014)，1627-1693。
- 3) 阿部秀明，古堅宗勝：塑性と加工，49-572(2008)，906-910。

- 4) 阿部秀明, 古堅宗勝: 塑性と加工, 52-605(2011), 731-735.
- 5) E. Siebel et al.: Stahl und Eisen, 74(1954), 139-145.
- 6) D. Pocięcha et al.: Arch. Civ. Mech. Eng. 14(2014), 376-382.
- 7) Y. Azizoglu et al.: COMPLAS XIII, (2015), 716-726.
- 8) Cheng Liu et al.: Mater. Today Commun, 35(2023), 106068.
- 9) T. Muraoka et al.: Procedia Eng, 207(2017), 2364-2369.
- 10) P. Montmitonnet et al.: J. Mater. Process. Technol, 125-126(2002), 814-820.

□ 特集5 強制潤滑ハイドロフォーミング技術の開発 □

東海大学
窪田 紘明

1. 研究の背景

チューブハイドロフォーミングには一体成形が可能である、成形後の溶接が不要になる、軽量な中空構造部材が製造可能であるなどの利点があり自動車等の構造部材の製造に用いられる。一方で金型と管材の間で生じる摩擦により肉厚が不均一になりやすいという課題があった。本研究では、減肉や割れの発生が問題となりやすくこれまで対策が困難であった管端から遠い部位に対して、周方向に材料を効率よく流動させる強制潤滑技術を開発した^{1), 2)}。

また、本技術は潤滑剤圧力が内圧とは独立しているため潤滑剤圧力を自在に制御可能である。即ち、この特性を利用して成形中に潤滑剤圧力を変動させることで肉厚分布を制御できる³⁾。また肉厚を部位毎に制御可能となれば自動車の衝突エネルギー吸収部材等に管材を利用したときの設計の自由度が増す²⁾。

本報では、考案技術と肉厚均一化効果、時間と領域ごとに潤滑を行う時間差・域差潤滑技術の概要を報告する。

2. 考案技術

図1(a)に示すように金型と成形初期に接触する位置に高圧の潤滑剤を供給する方法を考案した。図1(b)には装置構成と縦断面で見た変形状態の模式図を示す。潤滑剤は内圧用の圧力媒体と同じものを用いる。

3. 実験方法

図2に金型形状を示す。内圧発生用と潤滑剤供給用に2台の油圧ポンプ（理研機器製 SMP-3016 BR, 最高圧力: 70 MPa, 高圧時の吐出量: 0.2 L/min）を用いた。内圧の圧力媒体と潤滑剤はともに動粘度 32 cSt の油圧機器用作用油を使用した。圧力の制御のためには手動操作型のリリース弁を

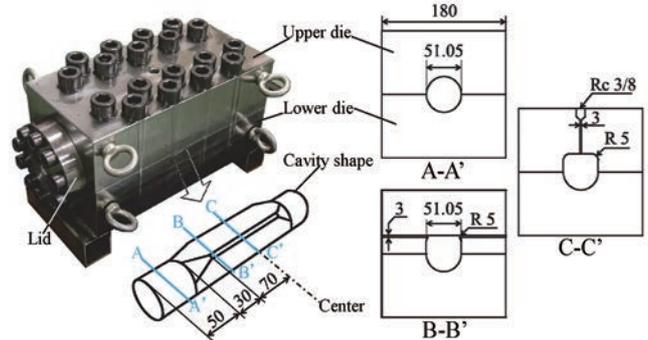


図2 金型形状

使用した。被加工材は外径 $\phi 50.8$ mm, 公称板厚 $t=1.2$ mm の鋼管 (JIS STKM 11 A) を長さ 300 mm に切断して使用した。表面は入荷時の防錆油がついたままとした。

金型は上下の型と管端部を塞ぐふたの4部品で構成されている。金型材料には S 45 C 調質材を用い、上型内面にはラップ処理を施した。上型部分のみを角形に成形できるようにしており、ここを評価部とした。

4. 強制潤滑の肉厚均一化効果²⁾

図3に内圧のみで成形した場合（従来法, Conventional）と強制潤滑を行って成形した場合（開発法, Proposed）の外観写真を示す。この例では従来法では稜線部近傍で割れが発生しているが、開発法では割れが生じなかった。

図4および図5に途中止め試験の結果を示す。図4の従来法の結果からは、金型と接触した材料が流動できなくなる様子が見て取れる。一方で図5の開発法の肉厚測定結果からは成形初期（低内圧）から潤滑効果が得られていることが確認できる。内圧 70 MPa では従来法と比較して最小肉厚

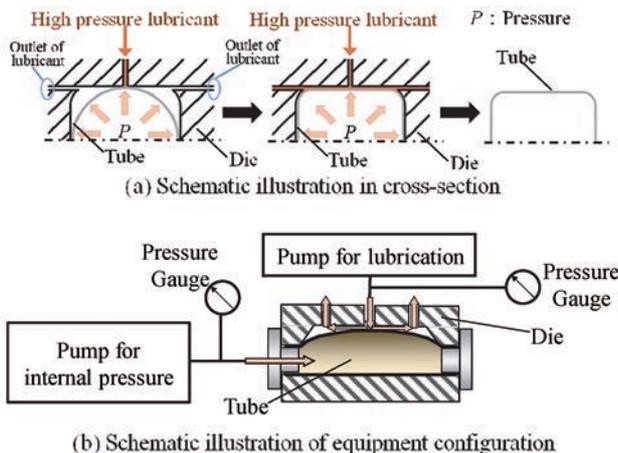


図1 強制潤滑ハイドロフォーミングの模式図

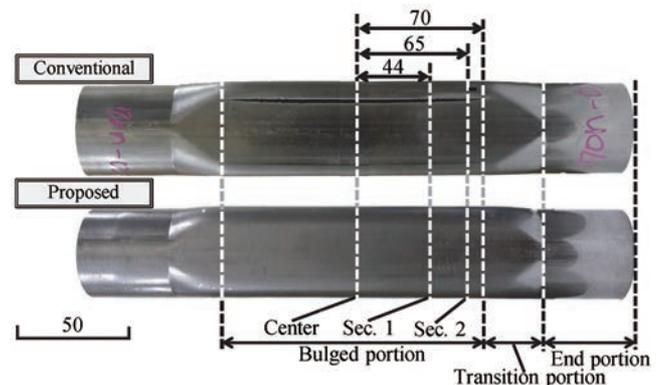


図3 成形後の鋼管の外観例

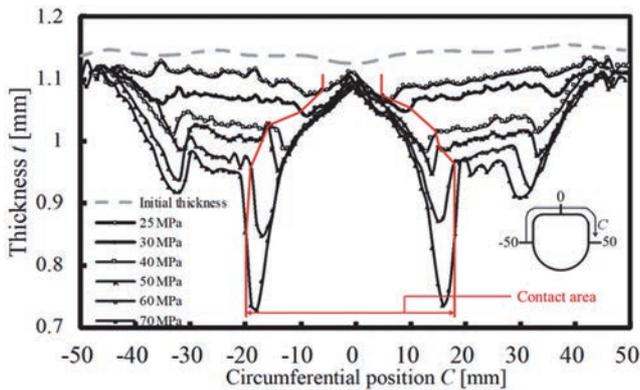


図4 中央断面における従来法の肉厚分布

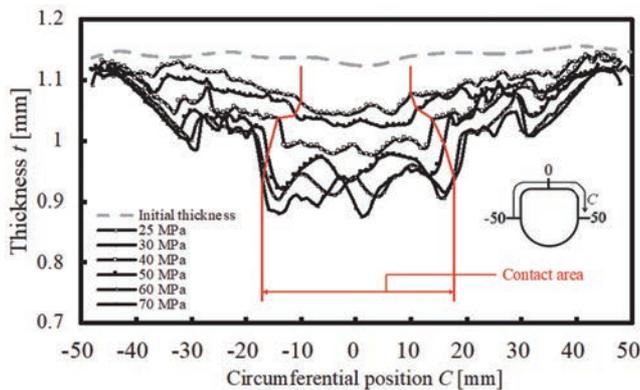


図5 中央断面における開発法(強制潤滑)の肉厚分布

が約 0.15 mm 厚くなっており、強制潤滑により局所的な減肉を抑制可能であることが確かめられた。

5. 時間差・域差潤滑技術³⁾

図6に時間差潤滑時の内圧と潤滑剤圧力の例を示す。潤滑圧は成形の途中で降下させた。この例では内圧が40 MPaに達したときに潤滑圧を降下させている。この潤滑圧降下時の内圧を P_r と表記する。図7に P_r と肉厚分布の関係を示す。 P_r を変更すると平面部の肉厚を約20%、稜線部の肉厚を約10%変更することが可能である。

図8に域差潤滑用の金型内面形状を示す。 $h=0.1$ mmの段差を金型表面に設けることで、潤滑剤をせき止めて狙いの部位(図中のSec.1側)のみ潤滑を行うことが可能である³⁾。

6. まとめ

チューブハイドロフォーミングにおける強制潤滑技術の開発を行い、以下の知見を得た。

- 1) 金型と鋼管の間に高圧の潤滑剤を注入することにより肉厚の均一化と割れ発生の防止が可能である。
- 2) 時間差潤滑を行うことで肉厚を10~20%変更可能である。また、0.1 mmの段差を金型表面に設けることで狙いの領域のみ潤滑する域差潤滑が可能である。

現在、本技術の実用化に向けて強制潤滑のFEM(有限要素法)解析モデルの開発を実施している。また、時間差強制潤滑を利用した自動車骨格部材の強度制御方法の検討を進め

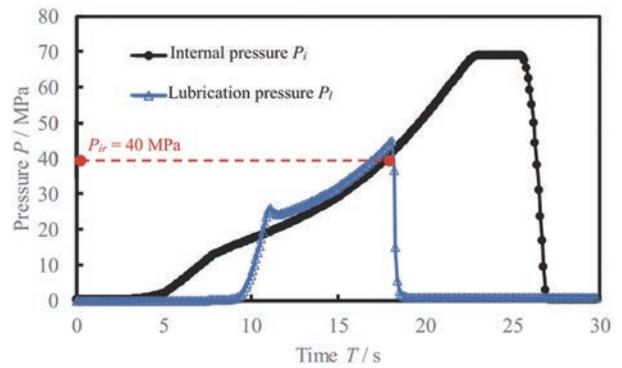


図6 潤滑剤圧力を成形途中で降下させた圧力例

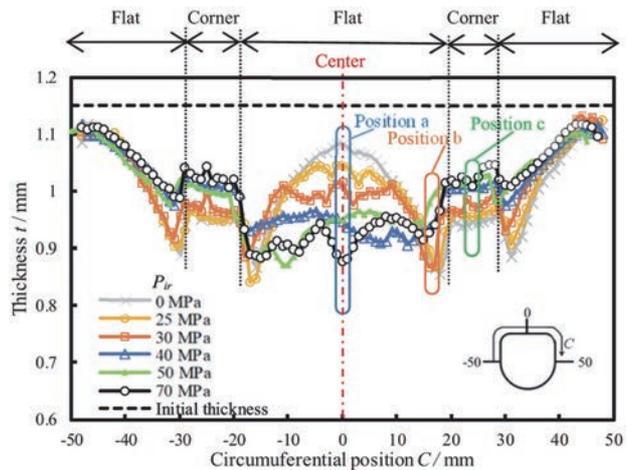


図7 潤滑剤圧力低下時内圧 P_r が肉厚におよぼす影響

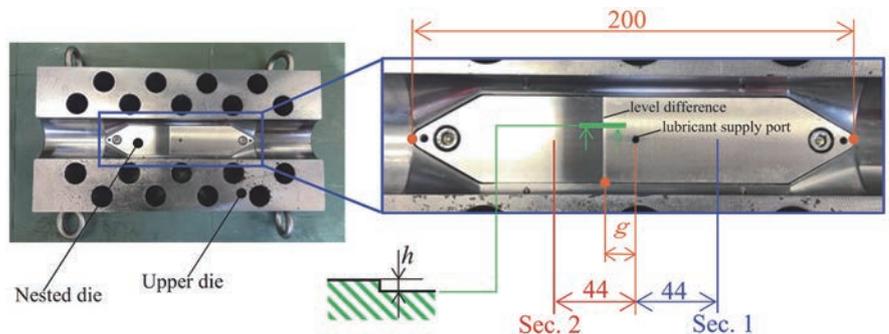


図8 域差潤滑用金型の内面形状

ている。

参考文献

- 1) 窪田紘明, 三上拓徒: 特開 2023-037121.
- 2) Takuto Mikami, Yukiko Amano, Kazunari Yoshida and Hiroaki Kubota: Development of Forced Lubrication Technology in Tube Hydroforming, Proceedings of the 10th International Conference on Tube Hydroforming TUBEHYDRO 2022, (2022), 133-140.
- 3) Hiroaki Kubota, Takuto Mikami, Yukiko Amano, Suguru Ishii, Tsubasa Miyazawa and Kazunari Yoshida: Development of Time and Area Dependent Forced Lubrication Technology in Hydroforming: ICTP 2023, (2024), 318-325. https://doi.org/10.1007/978-3-031-41341-4_33

機械材料・材料加工部門「部門賞・一般表彰」公募のお知らせ

第3技術委員会(表彰担当)

委員長 小林 訓史

機械材料・材料加工部門では、第102期部門賞および部門一般表彰候補を下記の要領で公募します。自薦他薦を問わず奮ってご応募下さい。

公募締切：2024年11月25日(月)厳守

推薦方法：部門賞の推薦には、部門ホームページ (<https://jsmempdcom/award/award-notification>) より申請用紙をダウンロードし、ご記入後下記へお送り下さい。

また、部門一般表彰の推薦には、件名を「部門一般表彰推薦」としたメールに、(1) 賞の種別(優秀講演、奨励講演、新技術開発)、(2) M&P 2024での講演番号と登壇者、(3) 講演表題 を記入して、下記にお送り下さい。

被推薦者資格：各賞とも日本機械学会会員であることが受賞資格となります。

推薦書提出先：日本機械学会機械材料・材料加工部門
(担当者 近藤)

下記宛に電子メール(PDF)にてご提出ください。

E-mail : mkondo@jsmeor.jp

推薦された候補者は第3技術委員会で審査され、部門運営委員会で受賞者を決定します。結果は今年度中に本人に連絡し、次期(2025年度)のニュースレターに掲載するとともに、受賞者を2025年度年次大会開催時に表彰する予定です。なお、本件に関するご質問・お問合せ等は、第3技術委員会委員長(小林訓史、E-mail:koba@tmuac.jp)までお願いします。

各賞の概要

- (1) 功績賞：機械材料・材料加工分野に関する学術、教育、出版、内外の交流など諸般の活動において、本部門の発展と進歩に積極的な貢献または顕著な業績のあった者に授与する。
- (2) 業績賞：機械材料・材料加工分野に関する研究または技術開発において、本部門関連の講演会、学術論文誌での発表、受賞等をはじめとした顕著な業績のあった者に授与する。
- (3) 国際賞：機械材料・材料加工分野における学術、教育、出版などに関する国際的な活動を通し、本部門の発展と進歩に積極的な貢献または顕著な業績のあった者に授与する。
- (4) 部門一般表彰(優秀講演部門)：2024年度に開催された機械材料・材料加工技術講演会において発表された機械材料・材料加工分野の講演中、学術・技術の進歩発展に寄与し、特に優秀と認められる講演の登壇者を対象とする。
- (5) 部門一般表彰(奨励講演部門)：2024年度に開催された機械材料・材料加工技術講演会において発表された機械材料・材料加工分野の講演論文中、将来当分野の学術・技術の進歩発展に寄与すると期待される若手講演登壇者(2025年4月1日現在において32歳以下の者)を対象とする。
- (6) 部門一般表彰(新技術開発部門)：機械材料・材料加工分野において本部門企画、担当、主催または共催の集会、出版物等において発表された新技術、新製品の開発者中、工業技術の進歩発展に特に貢献した者を対象とする。

2024年度年次大会報告

第102期第一技術委員会(年次大会担当)

委員長 高橋 学(愛媛大学)

去る2024年9月8日(日)~11日(水)に2024年度年次大会が愛媛大学城北キャンパスを会場に開催されました。発表総件数は1014件(昨年比24.6%増)、このうち421件(17.9%増)がポスター発表となりました。また、1804名(12.8%増)の方(有料参加登録者)にご参加いただきました。その他、企業展示ブース数、特別講演参加数も増加し、減少傾向であった各件数はコロナ前(2019年秋田大)まで回復いたしました。要因として、特別講演、プログラムの発表を昨年比それぞれ1か月、2週間前倒しに行ったことや、特別講演や分科間を跨ぐ行事を、メルマガで配信する細かい作業が功を奏したものと考えられます。

一方、機械材料・材料加工部門では部門単独オーガナイズドセッションと部門横断オーガナイズドセッションに加え、学会のキャッチフレーズ、「機械工学で実現する日本産業改革」に関連した、基調講演、先端技術フォーラムを開催させて頂きました。本会が盛況に終えることができましたこと、ご参加・ご協力いただきました皆様に厚く感謝申し上げます。



愛媛大学城北キャンパス受付前



研究発表の様子

【部門単独オーガナイズドセッション】 ※P：ポスター発表数

[S 041] 伝統産業工学： 3 件

[S 042] 異種材料の界面強度評価と接合技術： 20 件 (内 P 10 件)

[S 043] セラミックスおよびセラミックス系複合材料： 13 件 (内 P 10 件)

[S 044] 溶融加工・半凝固加工： 4 件

【部門横断的なオーガナイズドセッション】

[J 025] バイオマテリアルおよび細胞（組織のプロセス・力学・強度）： 19 件 (内 P 11 件)

[J 041] (主部門 M&P) 超音波計測・解析法の新展開： 22 件 (内 P 18 件)

[J 113] トライボロジーの基礎・応用と表面設計： 23 件 (内 P 10 件)

[J 114] マイクロナノ理工学：nm から mm までの表面制御とその応用： 16 件 (内 P 10 件)

[J 121] 1 DCAE・MBD と物理モデリング： 18 件

[J 181] 交通・物流機械の自動運転： 13 件

[J 224] マイクロ・ナノ機械デバイスとその信頼性： 15 件 (内 P 15 件)

【K 041 基調講演】

演題「機械材料・材料加工の研究および国際交流」

【F 041 先端技術フォーラム】「M&P 最前線」(講演 5 件)

【部門同好会】参加者 26 名

2025 年次大会開催案内

第一技術委員会 (年次大会担当)

加藤 博之 (北海道大学)

2025 年 9 月 7 日(日)～10 日(水)までの 4 日間 [7 日(日)は市民開放行事を予定], 北海道大学 (北海道札幌市北区) を会場として, 日本機械学会 2025 年度年次大会が開催される予定です。2025 年度年次大会では「Be Ambitious! ～次世代機械工学の開拓～」をキャッチフレーズとし, 「サステナビリティ」, 「データ駆動型設計開発」, 「異分野融合」をテーマに掲げ, 講演および各種企画を実施する予定です。2024 年度の愛媛・松山での年次大会を引き継いだ盛況な大会となるよう, 大会実行委員を中心に準備を進めております。本部門では単独あるいは他部門と協力して幅広いテーマのオーガナイズドセッション企画をすでにご提案いただいております。本稿執筆時に予定されている企画と代表者を以下にご紹介いたします (敬称略・順不同)。

【OS (本部門単独企画)】

伝統産業工学 後藤彰彦 (大阪産業大学)

溶融加工・半凝固加工 西田進一 (群馬大学)

異種材料の界面強度評価と接合技術 荒井正行 (東京理科大学)

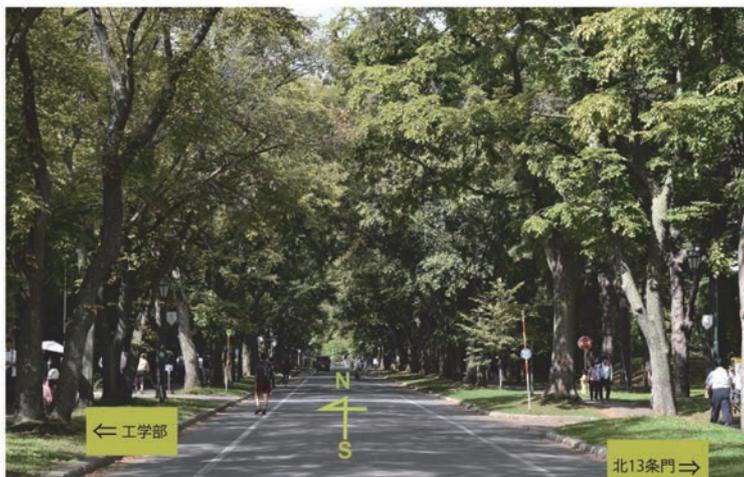
【JS (合同企画)】超音波計測・解析法の新展開 (幹事: 本部門) 中畑和之 (愛媛大学)

バイオマテリアルおよび細胞/組織のプロセス・力学・強度 (幹事: 他部門) 大塚雄市 (長岡技術大学)

トライボロジーの基礎・応用と表面設計 (幹事: 他部門) 佐藤知広 (関西大学)

また, 上記オーガナイズドセッションの他にも, 基調講演, 先端技術フォーラム, ワークショップ, 市民フォーラム他, 市民向け・子供向け行事 (9 月 7 日(日)開催) 等の各種企画を募集しております。

各種企画のお申込み・お問い合わせ先: 第 1 技術委員会 2025 年度委員北海道大学加藤博之: hkato@enghokudaiaac.jp



北海道大学キャンパスの中央に南北に延びるメインストリートは東京オリンピックのマラソンコースとなった (2024 年 9 月撮影)

2nd JSME International Conference on Materials & Processing, ICM&P 2025 開催のお知らせ

ICM&P 2025 Executive Committee Chair 山崎 泰広 (千葉大学)

第2回 JSME 機械材料・材料加工国際会議 2025 (2nd JSME International Conference on Materials & Processing, ICM&P 2025) が、2025年11月3日(月)~6日(木)に、Hilton GUAM RESORT & SPA (グアム) にて開催されます。

このシンポジウムは、2022年に那覇で新たな形で開催された JSME International Conference on Materials & Processing, ICM&P 2022 に続く本部門が主催する国際会議です。ICM&P 2022 は、機械材料、加工、評価の各分野の研究者や技術者に国際交流の場を提供する目的で開催しました。ICM&P 2025 でも、研究ネットワーク構築、国際共同研究の推進などを目指し、先端の材料、加工、評価技術に関する情報交換や活発な議論が行われることを期待しています。開催地のグアムは、東京、大阪、名古屋から直行便で4時間程度とアクセスも良好で、開催期間の気候も温暖で、豊かな自然を感じることもできます。ぜひ、多くの方々にグアムに足をお運びいただき、ICM&P 2025 にご参加いただければ幸いです。

Conference Chair : 小林訓史, 東京都立大学

Conference Co-Chair : 山崎泰広, 千葉大学 (Executive Committee Chair 兼任)

Executive Committee Co-Chair : 佐藤知広, 関西大学

同 : 中谷隼人, 大阪公立大学

Scientific Committee Chair : 松本良, 大阪大学

Program Committee Chair : 赤坂大樹, 東京科学大学

Technical Symposia :

Symposia 1 : Materials

Symposia 2 : Processing

Symposia 3 : Micro & Nano Technologies

Symposia 4 : Properties, Applications & Systems

Symposia 5 : Sustainable Manufacturing

特集号

Mechanical Engineering Journal by JSME にて特集号を予定しています。

主な日程 (予定)

アブストラクト締切 : 2025年4月30日(水)

参加登録締切 (早期) : 2025年8月31日(日)

ホームページ : 現在準備中 (部門 HP のリンクから)

問合せ先 : 山崎泰広, 千葉大学

Email : Yyamazaki@chiba-ujp

開催地 : Hilton GUAM RESORT & SPA



編集後記

本号の特集は「管材の塑性加工とその周辺技術」です。管材加工は、輸送機器や建設業界など、さまざまな分野で重要な役割を果たしており、機器の軽量化や高精度加工を実現するため、その技術は日々進化しています。本特集では、管材の塑性加工の最新技術動向とその課題について詳しく解説いただきました。本号の発行にあたり、ご多忙の中ご執筆いただいた先生方、そして発行にご協力いただいた皆様に、心より御礼申し上げます。ご意見・ご要望等がございましたら、どうぞお気軽に広報委員会・梶川 (skajikawa@uecacjp) までご連絡ください。
(広報委員会委員長 梶川翔平)

発行

発行日 2024年11月15日

〒162-0814 東京都新宿区新小川町4番1号

KDX 飯田橋スクエア 2階

一般社団法人 日本機械学会 機械材料・材料加工部門

第102期部門長 松本 良

広報委員会委員長 梶川 翔平

Tel.03-4335-7616 Fax.03-4335-7619