

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04781

研究課題名(和文) マイクロチューブ超高圧成形における成形・トライボ機構と寸法効果の解明

研究課題名(英文) Mechanics, tribological characterization and Scale effect in ultra-high pressure hydroforming of micro-tubes

研究代表者

真鍋 健一 (Ken-ichi, Manabe)

東京都立大学・システムデザイン研究科・客員教授

研究者番号：10145667

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：外径0.5mmのマイクロ金属管を用いたT字および十字形の液圧成形において、材料流動性の面から成形性には長尺管ほど、また高摩擦ほど低い液圧成形性を示すとの通説を定量的に確認した。また理論モデルから管の材料流動に及ぼす因子として、管の長さは依存せず、摩擦係数と、負荷する内圧による金型に作用する面圧、さらに管の強度および外径と肉厚に依存することを導いた。摩擦の寸法効果は結晶粒径と変形抵抗の分布を考慮した不均質有限要素モデルにより、その不均質性がマイクロ管の局所不良変形の誘因となり、寸法効果として材料流動・変形挙動に影響を及ぼし成形性を低下させることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マイクロ金属管の液圧成形性が低いメカニズムをその材料流動性に着目して力学的に影響因子を解明した学術的意義は大きい。具体的に軸押しによる管の流動域長さが管の長さに依存せず、摩擦係数、金型内面の面圧、管材の強度と外径と肉厚の関数で定式化したことに意義があり、超高圧力負荷は材料流動促進には逆効果になる場合もあることも導いた。結晶粒を考慮した不均質有限要素モデルから局所の材料変形の誘因となる寸法効果を明らかにした点も学術的意義が高い。

また、微細結晶粒などのマイクロ管を用いることや最適成形条件の指針を提示できたのは、長尺管のマイクロ液圧成形への可能性の道を拓いた点で社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：In micro T-shape forming using micro tubes with 0.5 mm outer diameter, it was confirmed quantitatively that the effects of tube length L and friction coefficient μ on hydroformability are qualitatively equivalent, which is generally understood that longer tubes and higher show lower hydroformability. Also, as a factor affecting the material flow of the tube from the theoretical model, it was derived that it does not depend on the L , but on the μ and the surface contact pressure p on the die, and on the strength, outer diameter and wall thickness of the tube material.

Also, it was clarified that a heterostructure expressing material inhomogeneity easily causes local defective deformation of the microtube as the size effect using an inhomogeneous finite element model that considers the distribution of grain size and deformation resistance. Also, it was shown that the heterostructure affects the material flow / deformation behavior and hydroformability.

研究分野：機械工学、塑性工学、マイクロフォーミング

キーワード：マイクロ金属加工 長尺マイクロチューブ マイクロトライボ特性 材料流動特性 成形メカニズム
寸法効果 高液圧成形 枝管成形

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

工業製品の小型化・微細化に伴いマイクロ・ナノ加工が注目されている。マイクロ塑性加工分野では塑性加工性は製品寸法のマイクロ化に伴い成形性が低下する寸法効果の存在が大きな学術課題となる。これまでその寸法効果はバルク材や極薄材の塑性加工が対象とされ、材料および摩擦の寸法効果の解明が急速に進展している。しかし、マイクロ管材に対してはまだ未解明といつて過言ではない。

マイクロチューブは医療機器や通信・電子部品等で多用され、金属の優れた諸特性を活かし、生産性の優れた塑性加工が注目されている。そのなかでマイクロチューブ hidro 成形の研究開発が立ち遅れている。現状通常サイズの管を用いる hidro フォーミングに比べ、素管が相対的に厚肉になるため要求成形圧力は、管の肉厚・直径(外径)比(t/D)に比例して高くなる。 $D=0.5\text{mm}$ 、 $t=0.1\text{mm}$ の SUS304 管では T 字成形終圧実験式より見積れば 6000 気圧をも超える高圧力負荷が必要となる。さらに超高压力の 1GPa に及ぶ場合も考えられる。また、その対象とする管長さは溶接部を避けるためにも長尺管に対する要求が高い。その場合は通常寸法のマクロスケールの場合より金型との摩擦の影響を大きく受ける。さらに素管材も寸法効果により延性も大きく低下する。潤滑性もスケール効果で摩擦係数は増加し、厳しいマイクロトライボ特性となり、その両面からマイクロチューブの hidro 成形性は低く難加工といわれ、高加工度の成形は困難となっている。その課題解決には、超高压力利用技術開発と、研究代表者らのマイクロ成形の大幅な成形加工度を実現した成形メカニズムの解明および難加工性をもたらす寸法効果とマイクロトライボ特性の解明など体系的な取組みが必要である。

2. 研究の目的

本研究では医療機器用部品の微細金属マイクロチューブを対象にして、マイクロ化に伴う極めて低い hidro フォーム性に着目しそれを支配する材料と摩擦の寸法効果を解明し、現在マイクロ T 字および十字成形を実験的に達成している高い成形性の成形メカニズムを解明することを目指すものである。具体的には、次のような目的を設定した。

- (1) 実績のある現在世界最小外径 0.5mm の(超)高圧力を用いるマイクロ十字および T 字成形において、マイクロ長尺管を対象として 管の長さおよび摩擦の hidro 成形性と材料流動性との関係、マイクロトライボ特性への影響を明らかにする。
- (2) マイクロ hidro 成形における寸法効果の検討として、実績のあるボロノイ法を用いる結晶粒を考慮した有限要素(FE)解析によって、材料および摩擦の寸法効果の検証を行う。

3. 研究の方法

前述の目的を達成するために、以下のように成形実験、組織観察と FE 解析(巨視的均質モデル、多結晶不均質モデル)、初等理論による方法を用いて実施した。

(1) 実験材料とマイクロ T 成形および軸押し込み試験

供試材料は、hidro 成形用として外径 $d_o=0.5\text{mm}$ 、肉厚 $t=0.10\text{mm}$ のりん脱酸銅と SUS304 の 2 種類のマイクロ管と、 $d_o=2.0\text{mm}$ 、肉厚 $t=0.20\text{mm}$ のアルミニウム管(A1050-0)と、 $d_o=2.0\text{mm}$ 、肉厚 $t=0.20$ 、 0.50mm の微細無酸素銅管(C1020)の 2 種類の微細管を用いて実験を行った。また、管の初期長さは $L_o=3.2$ から 80mm (長さ/直径比: $L_o/d_o=6.4\sim 40$)とした。

hidro 成形の負荷経路は階段状負荷経路とした。なお内圧および軸押し込みは時間に関して線形増加(一定速度)とした。軸押し込み試験は片側端部からのみとし、他端は固定した。押し込みパンチは一定速度とした。潤滑剤は hidro 成形では乾燥フッ素樹脂(スプレー式)と無潤滑とした。

(2) FE モデルおよび解析方法

従来の巨視的均質モデルでは、ANSYS LS-DYNA 3D (Ver. 2019R1) および結晶粒考慮した不均質モデルには、LS-DYNA LS-DYNA Ver. R10.1(倍精度版)を用いた。場合によって金型を弾性体とした連成変形解析も行った。管材はソリッドモデルとして、全体のモデルは対称性を考慮し T 字成形では 1/4、十字成形では 1/8、軸押し込み試験では 1/4 モデルとした。

材料モデルは等方弾塑性体として、材料試験で得られた応力-ひずみ曲線を多直線近似により入力した。摩擦則はアモントン・クーロン則を用いた。

不均質モデルは、研究協力者の一人が開発した実際の結晶組織から作成する Voronoi 分割による金属組織から各結晶粒の変形抵抗を正規分布させる多結晶材料 FE モデルを用いた[①,②]。マイクロ T 成形実験で大きな張出し高さが得られた管の全長が $L_0=3.2\text{mm}$ で、 $d_0=0.5\text{mm}$ 、内径 $t=0.1\text{mm}$ のりん脱酸銅管 (C1220T-H) を対象にし、結晶粒径と強度分布を考慮してそれらの寸法効果を検討した。同納入材の実験結果と比較して、材料特性は変わらず結晶粒径のみの影響を調べるため、まず焼なまし条件による実在する結晶粒径とその形状分布の変化を調べた。本研究では $720^\circ\text{C}\times 2\text{h}$ の条件での平均結晶粒径 $39.1\mu\text{m}$ の結晶粒径を取り上げることにした。図 1 にその金属組織と納入材の組織写真を示す。図 1 (a) の納入材では結晶粒が層状組織となり肉厚方向に 30

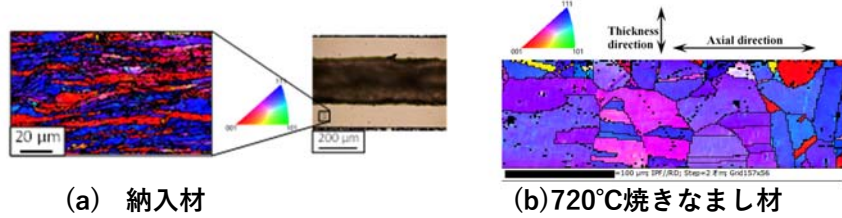


図 1 マイクロりん脱酸銅供試管の軸断面結晶組織

~40 個あるため、本研究ではほぼ均質材とみなせると判断し、従来の巨視的均質モデルで解析した。図 1 (b) の 720°C の金属組織をもとに Voronoi モデルの作成には MATLAB 8.1.0.604 を用いた。管の長さは全長 $L_0=3.2\text{mm}$ とし、FE モデルでは左右対称性から長さは $1/2$ とした。図 2 に FE 解析で用いた代表的な T 成形金型モデルと巨視的均質モデルを示す。

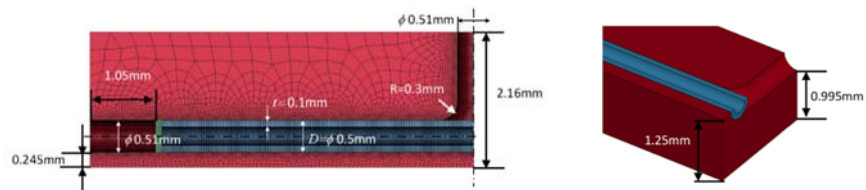


図 2 FE 解析で用いた代表的な T 成形金型モデルと巨視的均質モデル ($L_0=10\text{mm}$ ($L_r=5\text{mm}$)) の例

4. 研究成果

(1) マイクロ管のハイドロ T 成形性および材料流動に及ぼす管長さの影響

図 3 に摩擦係数 μ_s 、 $\mu_d=0.1$ 、 0.05 下のマイクロ T 成形中の張出し高さの挙動を示す。管長さが短い $L_0=3.2\text{mm}$ の場合、成形初期の内圧のみ昇圧する工程では時間とともに張出し高さの増加率が増加し、一定内圧で軸押し込む工程では張出し高さは時間とともにほぼ比例して増加する。しかし、 $L_0=10\text{mm}$ から 20mm に長くなる場合、張出し高さの増加率は大きく減少し、 $L_0=20\text{mm}$ ではほとんど張り出さない。

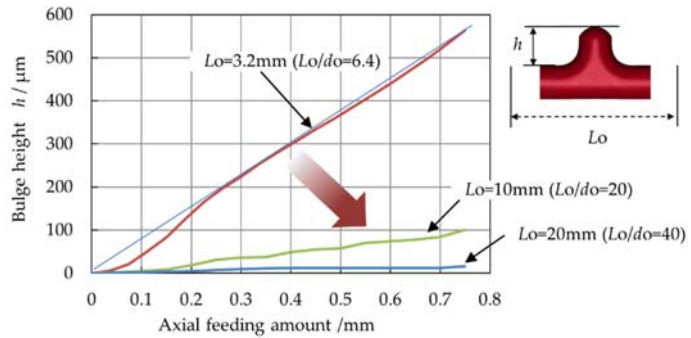


図 3 マイクロ T 成形における張出し挙動に及ぼすマイクロ管長さの影響

図 4 は、軸押し込みを $\Delta L_2=750\mu\text{m}$ とした時のマイクロ管の相当ひずみ分布及び成形初期からの変位増分ベクトルを表したものである。短い管の $L_0=3.2\text{mm}$ の場合は、管が全体にわたり 0.18 以上の相当ひずみで変形し、材料流動は管端付近が最大で全体が金型内部に向かって流動し、大きな張出し高さが得られている。 $L_0=10\text{mm}$ になれば、管長さの影響を受けて変形は管端部近傍と成形部の一部に止まり、全体的にひずみ量も減少し、張出し高さの増加につながる成形部への材料流動が抑えられている。これは、管長さが長くなることにより摩擦抵抗が増大し、軸押し込みによる成形部への材料流動効果が低下し軸押し込みと内圧による両成分の金型内への材料流動が小さくな

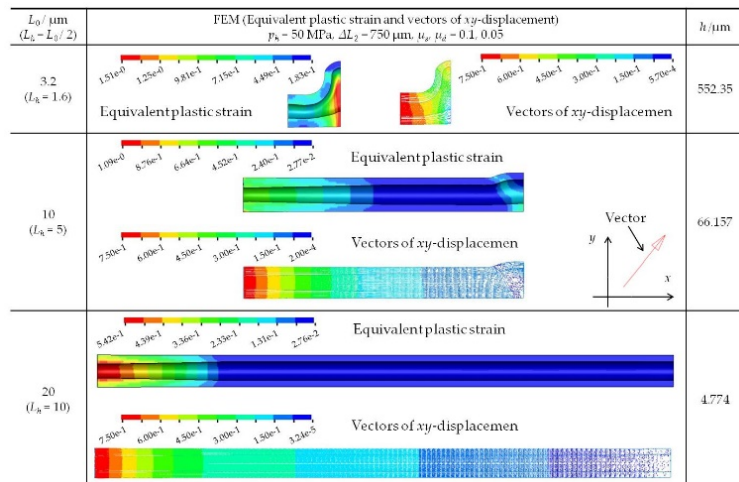


図 4 マイクロ T 成形における成形挙動に及ぼす管長さの影響 (相当ひずみ及び変位増分ベクトル)

るためである。さらに長い $L_o=20\text{mm}$ の場合は軸押し込みによる材料流動効果がなくなり、内圧による単独の張出し効果は成形圧力が十分でないためほとんど張り出すことなく、軸押し込みあるいは内圧だけを受ける二つの部位が独立に変形して、軸押しの型内への材料流動で内圧による張出し変形を促進させる効果が全くみられなくなる。管端部近傍のみの材料変形(流動)と独立に内圧のみによる張出し成形が行われるようになる。張出し成形に必要な十分でない成形内圧のため成形部における変位増分ベクトルは中央部ではほとんどゼロ(白)であり張出し成分は見られない。次に、軸押し込みによる管材が押し込まれる領域長さに着目する。軸押し込み影響長さ AFAZ (Axial Feeding Affected Zone) を L_{fd} として、材料流動を表す変位増分ベクトルが 0.15mm となる管端部からの軸方向長さを L_{fd} と定義する。同図より、 $L_o = 3.2\text{mm}$ では L_{fd} は 1.6mm 以上で管全域が材料流動域に入り、容易に型内キャビティ内に管材が流動することを示している。 $L_o = 10\text{mm}$ の場合 L_{fd} は約 3mm であり、 $L_o = 20\text{mm}$ ではおよそ倍の約 5.6mm となり、軸押しの影響を受ける軸長さ(AFAZ)は、管の長さの影響を受け長くなる。しかし、それ以上に管の長さが長くなると、もはや成形部への材料流動が抑えられ、成形部のバルジ高さはほとんど得られないことが推察される。このように L_{fd} の値によって成形性を評価できることがわかる。

(2) 軸押し影響長さ(AFAZ)と材料流動への影響因子

上記の FEM 解析結果を踏まえ、ここではアモン・クーロン摩擦則を用いて AFAZ に及ぼす影響因子について検討する。剛体金型内で内圧を受ける同一外径の管材において、一端が固定され、他端において軸押し込みが行われる場合を考える。AFAZ が生じる領域の L_{fd} は、動摩擦係数 μ_d と静摩擦係数 μ_s が $\mu = \mu_s = \mu_d$ の場合、材料がすべりによって摺動する領域であると考え、管外周に作用する摩擦抵抗力と管の軸押し力のつり合いから、次式が得られる。

$$L_{fd} = \frac{\sigma_y(d_o^2 - d_i^2)}{4\mu p_{die} d_o} \quad (1)$$

この理論式は、軸押しによる管の変形領域 AFAZ (管材の流動域) の長さ L_{fd} は管の長さ L_o に依存せず、摩擦係数 μ と負荷内圧による金型内面に作用する面圧 p_{die} 、さらに管材の強度(降伏強度) σ_y および外径 d_o と肉厚 $t (=0.5(d_o - d_i))$ に依存することを示唆している。上式から長尺管でも張出し成形(バルジ成形)を可能とするには、 σ_y 、 d_o 、 t は大きく、 μ 、 p_{die} 、 d_o は小さくすることが条件となる。逆に軟質の薄肉マイクロ管は材料および寸法的には材料流動しづらく難成形材となることが予測される。

りん脱酸銅管 (C1220) $\sigma_y=324.5\text{MPa}$ を基準にした場合、実験結果を想定した $\mu = 0.05$ 、 $p_{die}=120\text{MPa}$ の条件での式(1)の AFAZ 計算値は $L_{fd}=4.3\text{mm}$ となり、管全長では $L_o=8.6\text{mm}$ 以内の長さであれば成形の可能性を示している。実験の管長さは $L_o=3.2\text{mm} < 8.6\text{mm}$ であり、金型内に材料流動し T 成形に成功している。しかし、成形圧力をさらに高圧にし、潤滑を悪くし、薄肉で低強度の軟質金属管を用いると材料流動性が悪化し成形が難しくなる可能性がある。逆に医療用の SUS 材では σ_y が高いため、成形性に優れることが式(1)から予測される。

以上から、超高压力負荷は材料流動促進の観点から逆効果になる場合があることがわかる。

ところで、図 4 において FE 解析結果から L_{fd} は管長さ L_o に依存することを示した。ところが、式(1)では L_{fd} は管長さに依存しないはずであるが、実際は管と金型にはクリアランスがあり、軸押し込みに従い管は流動し、かつわずかに拡張し厚肉化する。そのため、その厚肉化が進行すれば式(1)より t が大きく p_{die} が小さくなって L_{fd} は増加し材料流動しやすくなり、管長さによって摩擦抵抗が異なり増肉化も異なるため、実際には L_{fd} は管の長さに依存するものと推測される。この厚肉化による材料流動性が高まるのは管の剛性が高まることによるものと解釈される。

(3) マイクロ T 成形における材料流動特性および金型/材料界面挙動に及ぼす寸法効果

- ・ マイクロ T 成形における局所不良変形の寸法効果

図5に、多結晶不均質モデルを用いたマイクロT成形における管の変形状態に及ぼす結晶粒と強度分布の考慮の影響を示す。T成形実験では枝管底部で局所的なしわ・座屈が発生するが、均質モデルでは同図(a)だけでなく成形がさらに進行した場合でも増肉だけで局所的しわのような変形は生じない。しかし、多結晶不均質モデルで結晶粒を考慮すると同図(b)に示すように成形初期段階から底部が型から離れ浮き上がり、成形が進行すると同図(c)のように座屈のような盛り上がる局所変形が明確に現れる。底部から約45°傾いた面では大きなせん断のような変形を受けている(拡大図参照)。図6に示す局所座屈部の組織写真からもせん断変形が起きていることが確認できる。肉厚方向の結晶粒の数(以後、相対結晶数) N の効果が表れ、材料流動して底部中央からその領域で変形抵抗の小さい結晶粒があると、より大きな局所塑性変形が生じていることがわかる(本解析ではネガティブボリュームで解析不能)。これはまさに結晶粒考慮の材料不均質性から生じる相対結晶数 N による不均一変形が生じる寸法効果であり、これまで再現できなかった実験結果を多結晶不均質モデル解析で予測できることがわかった。マイクロT成形における特に底部でのしわ・座屈を含めた局所不良変形が生じやすいことが裏付けられた。このことより、結晶粒を適度に微細化し、各粒の強度のばらつきを抑えることが成形性の向上に効果があることが示唆された。

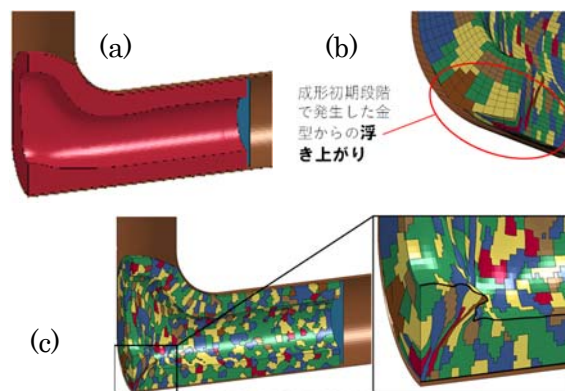


図5 多結晶不均質モデルによるマイクロT成形における変形挙動 (a)巨視的均質モデルにおける変形、(b)不均質モデルにおける成形初期のバルジ底部の浮き上がり、(c)不均質モデルにおける変形とバルジ底部の局所不良変形

・金型/材料界面挙動および面圧分布に及ぼす結晶粒効果

成形中の金型/材料界面挙動として、金型面圧分布に及ぼす結晶粒の影響を図7に示す。均質モデルでは材料流動が複雑な金型の枝管とその近傍および底部を除き、直管部で軸方向に沿ったむらが見られるもの一様であるが、不均質モデルでは全域で斑模様となって面圧は分布し極めた面圧の低く未接触とみられる部分や高変形抵抗の結晶粒付近で局所的な高面圧の領域も存在している。枝管と底部に関わる領域の面圧分布の両者は似ているが不均質モデルはより斑模様の分布になっている。この成形条件で最も面圧の高いのは共に枝管成形頭部の曲がり部接触境界である。また枝管底部の面圧は増肉する部分で高い面圧が想定されるが材料流動が枝管部に向かうため、面圧は極めて低いまま流動していることがわかる。

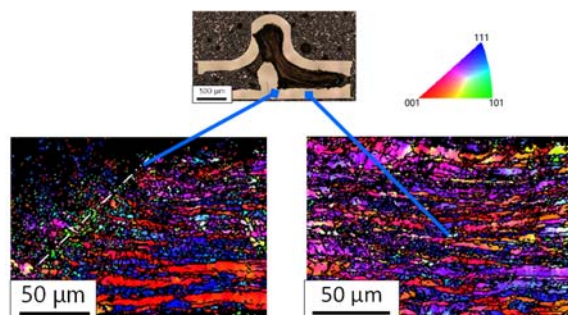


図6 バルジ底部の局所座屈部のせん断変形域の組織写真

結晶粒考慮の不均質モデルは肉厚内の相対結晶数 $N(=t_0/d)$ が 2.6 である寸法効果(周囲の結晶粒からの変形保持効果の低下による単独挙動)

が現われやすい条件になっていると考えられる。特に過去の表面あれ挙動研究からは引張場よりも圧縮場の方が表面あれは進展する。この効果が面圧分布の斑模様となって表れ、それは負荷内圧や結晶粒の変形抵抗分布に依存すると推測される。

現在、AFAZ に関する理論式や軸押し力に及ぼす結晶粒効果などの実証ならびに確立を目指して本研究を継続している。

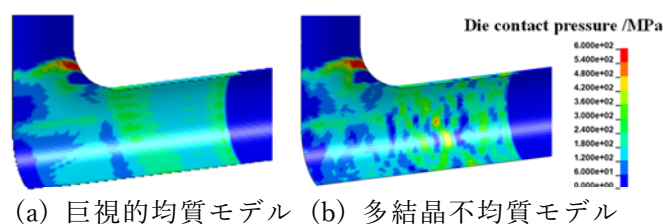


図7 マイクロT成形における型面圧分布の比較

<引用文献>

- ①古島 剛、微細プレス成形中の金型/材料界面挙動評価、平成 30 年度研究成果論文、金型技術振興財団、http://www.katazaidan.or.jp/paper_h30/
- ②Furushima, T., Nakayama, T., Sasaki, K., CIRP Annals - Manufacturing Technology, 68-1, 2019, 257-260.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 Hajime Yasui, Shoichiro Yoshihara, Shigeki Mori, Kazuo Tada, Ken-ichi Manabe | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Material Deformation Behavior in T-Shape Hydroforming of Metal Microtubes | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Metals | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/met10020199 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 真鍋健一 | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 金属管のマイクロ塑性加工 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ぶらすとす | 6. 最初と最後の頁 192-197 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 3件／うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ken-ichi MANABE |
| 2. 発表標題 Advanced Micro Tube Forming Technology |
| 3. 学会等名 The 8th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN2020) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ken-ichi MANABE |
| 2. 発表標題 A challenge to microforming utilizing ultrahigh pressure |
| 3. 学会等名 The 11th Asian Workshop on Micro/Nano Forming Technology (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ken-ichi MANABE |
| 2. 発表標題 High pressure hydroforming pf metal microtube: possibility and challenges |
| 3. 学会等名 2019 International Conference on Advances in Materials, Mechanical and Manufacturing (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 張自成、劉 宏浩、古島 剛、真鍋健一、礼 賓 |
| 2. 発表標題 Finite Element Analysis on Cross-Shape Hydroforming Process for Micro Tubes Utilizing Die Structure with Allowable Local Die-Opening Deformation |
| 3. 学会等名 2019年度塑性加工春季講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 安井 孟、吉原 正一郎、真鍋 健一、高橋 智 |
| 2. 発表標題 マイクロ長尺管のチューブハイドロフォーミングにおける材料流動と成形性 |
| 3. 学会等名 第71回塑性加工連合講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 安井 孟、吉原 正一郎、真鍋 健一、張自成 |
| 2. 発表標題 柔構造金型を利用した長尺微細管のハイドロフォーム性向上 |
| 3. 学会等名 第71回塑性加工連合講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大塚 洋平、吉原 正一郎、真鍋 健一 |
| 2. 発表標題 柔構造金型を用いた逐次ハイドロ成形の工程におけるマイクロ長尺管の材料流動 |
| 3. 学会等名 2021年度塑性加工春季講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 河野 開、吉原 正一郎、真鍋 健一 |
| 2. 発表標題 微細長尺管の軸押込みによる金型内の材料流動挙動 |
| 3. 学会等名 2021年度塑性加工春季講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉原 正一郎、古島剛、佐藤英樹、真鍋 健一 |
| 2. 発表標題 マイクロT成形における結晶粒を考慮した簡易有限要素解析による材料流動挙動 |
| 3. 学会等名 2021年度塑性加工春季講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 高橋 智 (TAKAHASHI SATORU) (80260785) | 東京都立大学・システムデザイン研究科・准教授 (22604) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 連携研究者 | 古島 剛 (FURUSHIMA TSUYOSHI) (30444938) | 東京大学・生産技術研究所・准教授 (12601) | |
| 連携研究者 | 吉原 正一郎 (YOSHIHARA SHOICHIRO) (00311001) | 芝浦工業大学・デザイン工学部・教授 (32619) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |