

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560099

研究課題名（和文） 内面螺旋溝付き押し出し管の一体化成形法の開発

研究課題名（英文） Forming for inside spiral multi-grooved tube by hot extrusion

研究代表者

高辻 則夫（TAKATSUJI NORIO）

富山大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号：20143844

研究成果の概要：アルミニウム合金押し出しチューブの内面に螺旋溝を同時一体化成形する技術の開発を目指している。しかしながら、既存の押し出し技術ではその工法上の原理から断面形状は型材の全長にわたって常に一定であるため、押し出し後の二次加工での螺旋溝成形が必要である。そこで、従来から中空押し出し材の成形方法として使用されているポートホールダイスによる等断面形状押し出し方式を改め、ポートホールダイスのダイヤモンドレル先端に回転プラグを取り付けた複合ダイス押し出し方式によって、押し出し工程中に押し出しチューブの内面に螺旋溝を転造する一体化成形するスパイラル押し出し技術を新規に開発した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,600,000	0	1,600,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
総計	3,300,000	510,000	3,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：塑性加工，熱間押し出し，ポートホールダイス，螺旋溝成形，スパイラル押し出し，アルミニウム合金，FEM シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

アルミニウム合金の熱間押し出しは、中実・中空を問わず種々の複雑断面形状長尺型材を、鋳造ビレットから一工程で成形できる優れた技術であり、これまで主に建設分野で活用されてきた。しかし、現在、アルミニウム合金押し出し型材業界では、1996年以降の建設不況による需要不振を乗り越え、海外からの強い低コスト圧力に対抗するため、新規市場分野の開拓が重要な課題となっている。そこで、軽量化・省エネルギー化貢献の視点で、軽量性アルミニウム合金の熱間押し出し基盤技術を、自動車などの輸送機器分野や熱交換器分野に効率的に展開活用することが検討

されている。

本研究がターゲットとしている熱交換器においては、熱媒体と熱交換チューブとの熱交換効率を向上させるために、近年では銅製の熱交換チューブ内面に螺旋溝成形を施すのが一般的であり、浮遊プラグによる引抜き成形や溝付平板材を電縫管成形する方法等によって内面螺旋溝成形が行われている。また、従来の家庭、業務用エアコン等に使用されるフィン&チューブ式熱交換器は、銅製の熱交換チューブとアルミニウム製のフィンの組合せによるものがほとんどであり、熱交換チューブのアルミ化による熱交換器のオールアルミ化は、リサイクル性の向上に大き

く貢献するため、最近の地球環境保全に対するニーズの高まりとともに、その意義が従来に増して大きくなっている。

## 2. 研究の目的

- (1) 本研究開発では、アルミニウム合金押し出しチューブの内面に螺旋溝を同時一体化成形する技術の開発を目指す。
- (2) 既存の押し出し技術ではその工法上の原理から断面形状は型材の全長にわたって常に一定であるため、押し出し後の二次加工での螺旋溝成形が必要である。
- (3) 従来の固定ダイスのみの等断面形状押し出し方式を超えて、**図 1** に示すような従来の固定ダイスと回転駆動ダイスとの複合ダイス押し出し方式によって、押し出し工程中に押し出しチューブの内面に螺旋溝を転造する一体化成形するスパイラル押し出し技術を新規に開発する。
- (4) この開発技術は原理的に可能な方法であるが、現実的には、押し出し型内部のメタルフローの制御や最適ダイスシステム設計に不明な要素が多く、成形形状・精度の課題から、下記に示すような幾つかの技術的課題について検討する。

### 【技術的検討課題】

- ① 押し出し条件による成形性の検討
- ② プラグの自助回転性の検討
- ③ 成形精度の検討
- ④ プラグの回転方法の検討

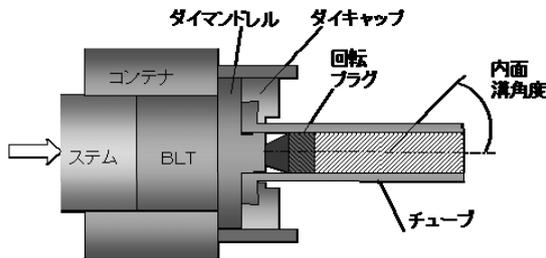


図 1 スパイラル押し出し法の概念図

## 3. 研究の方法

上記の技術的検討課題を解決するために、既存 400 トン縦型プレス及び FEM シミュレーションを使用して、以下の研究を行う。

### (1) プラグの自助回転性の検討

マンドレル先端に取り付けた回転プラグの回転トルクの向上や回転抵抗の低減などを図り、自助回転性を向上させるために、金型内部のメタルフローに大きく影響を及ぼすポートホルダーダイスの型構造や、プラグの溝角度や溝ピッチなどのプラグ形状 (**図 2** 参照) について検討を行う。

### (2) 成形精度を確保するための型構造及びプラグ形状の検討

スパイラル押し出しで成形された螺旋溝の角度精度や螺旋溝の形状精度 (**図 3** 参照) を

測定し、溝形状精度、溝角度精度等を確保する型構造及びプラグ形状について検討を行う。

### (3) プラグの回転方法の検討

プラグの自助回転に加えて機械的にプラグを回転させる押し出し型機構の検討を行い、更なる成形精度の向上を図る。

### (4) スパイラル押し出しにおけるメタルフロー等の FEM 解析

FEM シミュレーションを適用し、可視化が困難な金型内部のメタルフロー挙動や応力分布、ひずみ分布などを明らかにする。

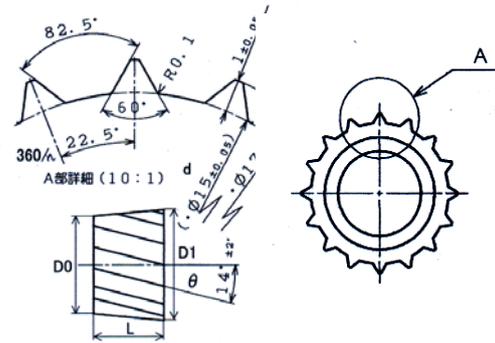
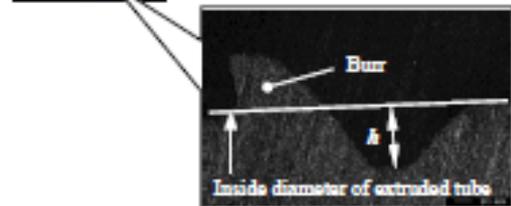
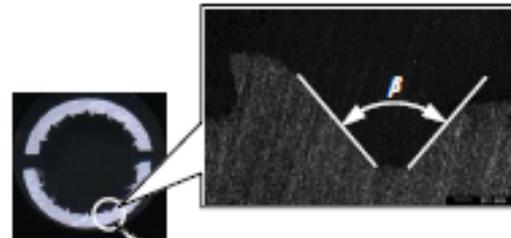
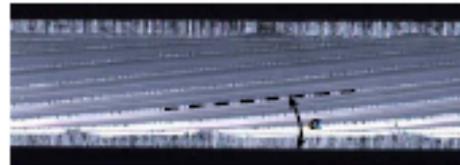


図 2 プラグ形状



- $\alpha$ : Torsion angle of spiral groove of extruded tube
- $\beta$ : Section angle of spiral groove of extruded tube
- $h$ : Depth of spiral groove of extruded tube

図 3 螺旋溝の評価方法

## 4. 研究成果

- (1) 押し出し温度が低く、押し出し速度が遅いほど、所定の螺旋溝形状に近い成形が可能であった。(図 4 参照)

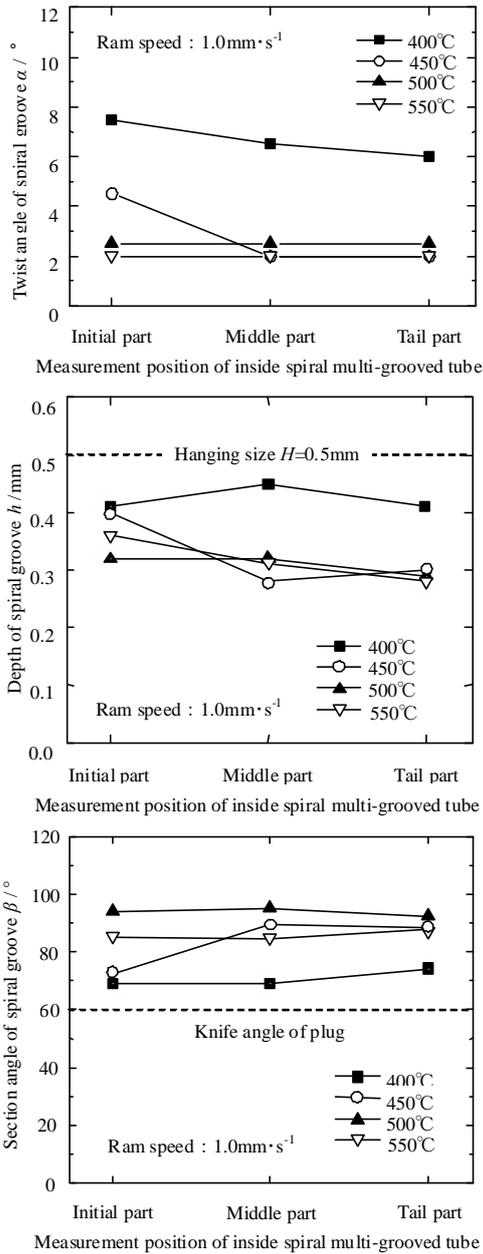


図4 螺旋溝成形に及ぼす押し出し条件の影響

(2) プラグ形状のかかり代を大きくしても、外径寸法のみが増加し、所定の螺旋溝形状は得られなかった。(図5参照)

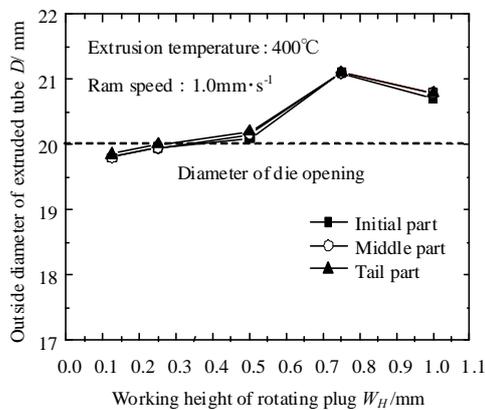


図5 螺旋溝成形に及ぼすプラグ形状の影響

(3) 均等四分割のフローガイドでは良好なねじれ角度が得られた。特に、プラグの山のねじれに向かうようなメタルフローを生じさせる左高配置の方が前半から後半にかけてのねじれ角度の減少が小さく、安定して良好なねじれ角度が得られた。(図6, 図7参照)

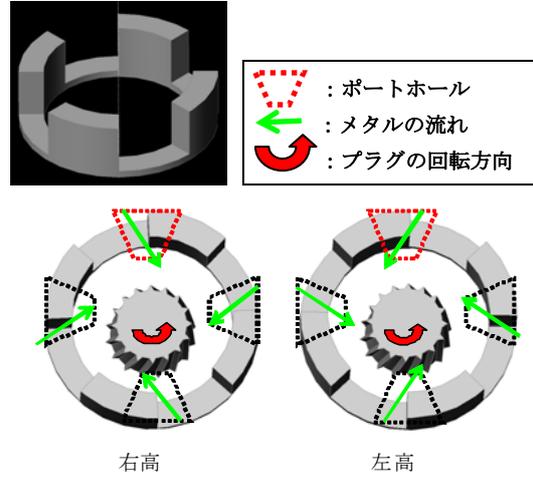


図6 均等4分割フローガイド形状

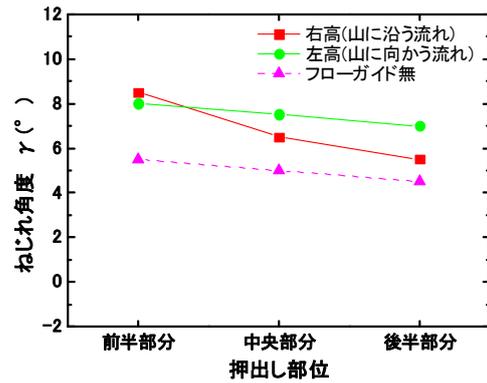


図7 均等4分割フローガイドによるねじれ角度

(4) 実験結果と FEM 解析結果の比較検証を行った結果、回転プラグを用いた形材内面の螺旋溝成形は解析でも可能であることがわかった。(図8~図7参照)

① 回転プラグの回転項目の設定を行った。



図8 回転プラグの回転設定

② メッシュサイズの適正化を図ることによって、螺旋溝の成形が可能になった。

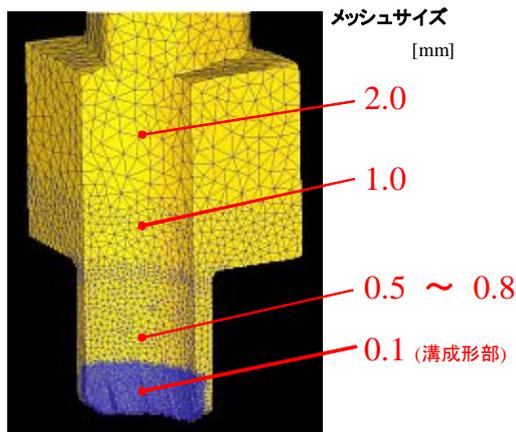


図9 メッシュサイズの設定

③ 内面螺旋溝付き押し出し管の成形工程をFEMシミュレーションで再現することが可能となった。

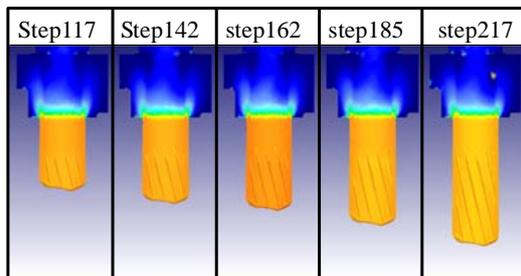


図10 内面螺旋溝付き押し出し管の成形工程

④ 溝成形部のメッシュサイズの適正化と工具間の摩擦を設定することで、螺旋溝角度と螺旋溝形状が再現できる可能性がある。

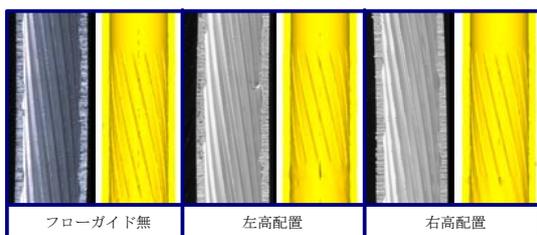


図11 内面螺旋溝角度の再現

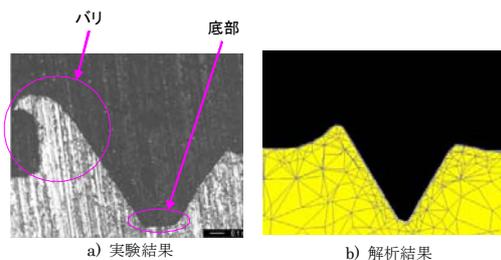


図12 螺旋溝形状の再現

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 高辻則夫, 村上哲, 長谷川豊, 松木賢司, 會田哲夫, 室谷和雄, 内面螺旋溝付き押し出し管の成形, 塑性と加工, 第49巻・第574号, 1086-1090, 2008, 査読有

[学会発表] (計3件)

- ① N.Takatsuji, Forming for inside spiral multi-grooved tube by hot extrusion, MSEC2008 and ICM&P2008, October 7-10, 2008, Northwestern Univ., Evanston, Illinois, USA
- ② 高辻則夫, 内面螺旋溝付き押し出し管の成形への3次元FEM解析の適用, 第58回塑性加工連合講演会, 25/10/2007, 札幌市教育文化会館
- ③ 高辻則夫, 内面螺旋溝付き押し出し管の成形に及ぼすフローガイド形状の影響, 第57回塑性加工連合講演会, 1/11/2006, 高岡商工会議所商工ビル

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

- ① 内面螺旋溝付管の製造方法及びその装置, 高瀬信行, 高辻則夫, 有沢知克, アイシン軽金属, 富山大学, 特願 2008-068104, 2008年3月17日, 国内

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

高辻 則夫 (TAKATSUJI NORIO)

富山大学・大学院理工学研究部・教授

研究者番号: 20143844