

機関番号：34419

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20560101

研究課題名 (和文) 押出成形機による微小湾曲ヘリカルフィンチューブ成形技術の開発

研究課題名 (英文) Development of forming method of curved small tubes with helical fins using extruding press

研究代表者

白石 光信 (SHIRAISHI MITSUNOBU)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：30144885

研究成果の概要 (和文)：本研究では、熱交換器用伝熱管であるヘリカルフィンチューブを傾斜したダイスを用いて押し出すことにより曲がった形状を付与する方法を提案し、新たに製作した押し出し装置を用いて曲げ成形実験を実施することにより、本方法の有効性について検討を加えた。その結果、本方法がストレートフィンチューブに曲げを与える方法として有効であること、ヘリカルフィンチューブ押し出しでは、チューブが螺旋状に変形する特性があることが明らかになった。

研究成果の概要 (英文)：For producing curved heat exchanging tubes with helical fins, an effective forming process in which a billet is extruded through inclined dies is proposed. The extrusion tests are carried out using an extrusion apparatus designed specially in order to investigate the formability of the extrusion process. It is clarified that the curved tubes with the straight fins are easily formed, but the tubes with the helical fins deformed spirally are obtained by applying the extrusion process.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：押し出し、チューブ、ヘリカルフィン、成形技術、傾斜ダイス、曲げ

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 熱交換機用伝熱管であるフィンチューブは、外壁に板状のヘリカルフィンを持つ特殊形状をしている。このため、一般にフィンチューブの成形は、チューブにフィンを巻きつけるあるいはチューブを転造することにより行われている。しかしながら、近年アルミニウムに熱伝導率が近いマグネシウムが注目され、プラスチックと同様な射出成形による製品製造が行われ、また高熱伝導率を持

つプラスチックが開発されるなど、新材料の伝熱管への適用の可能性が高まってきている。

(2) 押し出し加工法は、「多種多様な材料に対してフィン付伝熱管を容易に効率良く成形することが可能」、「フィンとチューブを異なった材料で一体成形することが可能」、「フィンとチューブを一体化することにより高い強度が得られる」、などフィンチューブ成

形において従来の成形技術に比べて高い優位性を有し、フィンチューブへの新材料導入の推進役として大きな役割を果たすものと期待される。しかしながら、通常の押し加工法ではフィンチューブを成形することは極めて難しいのが現状であり、フィンチューブ成形を可能にする新しい押し技術の開発、また本技術の実用技術としての確立が囑望される。

(3) 研究代表者は、熱交換器用伝熱管であるフィンチューブを“ダイスシフト押し加工法”を用いて一度の加工で成形する技術（ヘリカルフィンチューブ押し成形法）を開発しており、既に本成形方法を用いることにより、比ねじれ角約  $8.5^\circ / \text{mm}$  の高ねじれフィンをチューブ押しと同時に、かつ一体で成形することに成功している。

(4) 本研究は、フレキシブル押しに関する研究分野の範疇に含まれており、企業、大学及び高専で同分野の研究が活発に行われている。国内では、三菱アルミニウム㈱（加藤氏）、電気通信大学（村田氏）、東京工業大学（大竹氏）は、押し材の断面形状を軸に沿って変化させる方法について実験的に検討し、高松高専（木原氏）は、ダイス傾斜押し加工法に関する変形解析方法（研究代表者と共同）について検討している。しかしながら、今回実施したフィンチューブの成形技術に関する研究については、国内外通じて全く試みられていない。

## 2. 研究の目的

ヘリカルフィン付チューブを湾曲させる方法として、ダイス傾斜押し加工法を導入し、成形上の問題点を抽出するとともに解決方法を検討する。最終的に、微小湾曲フィンチューブを押しにより成形するための基礎技術の確立を目指す。

## 3. 研究の方法

フィンチューブを湾曲させる方法としては、研究代表者が従来から研究開発を継続し実用化の域に達しているダイス傾斜押し加工法を適用する。本方法は材料流動を制御することにより押し材に曲がりを生じさせる方法である。また、フィンチューブの螺旋フィンの成形も材料流動を制御することによって行っている。両押し方法を組み合わせることにより湾曲したフィンチューブを成形するためには、複雑な材料流動特性を把握する必要がある。本研究は、新たにフィンチューブ押し湾曲成形装置を製作し、それを用いて次の(1)、(2)の押し実験を実施した。

### (1) ストレートフィンチューブのダイス傾斜押し実験

塑性加工用モデル材であるカラークレイを用いて押し実験を実施し、フィンチューブの基本的な湾曲特性を調査した。

#### ① 実験装置

図1に本実験に使用した実験装置を示す。押し実験は、実験装置を50tonf材料試験機にセットし、ステムをダミーブロックを介してコンテナに挿入した円筒状素材に負荷をかけ押し出す方法で行った。

図2に押し時の素材の変形の様子を示す。

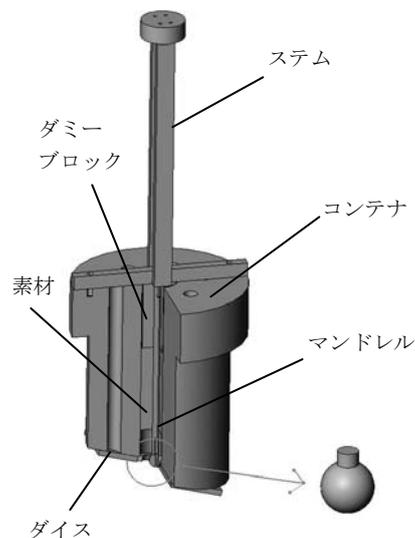


図1 押し実験装置



図2 押し時の素材の変形

## ② 実験方法

図3に押し出し実験に使用したダイス形状を示す。ダイスは、厚さ3.2mm、チューブ成形用孔径（チューブ外径）13mm、扇形フィン成形用スリット孔長さ3mm一定とし、ダイプレート孔開き角（扇形フィン開き角） $\theta$ 及びダイプレート孔回転角（扇形フィン回転角） $\xi$ をそれぞれ10, 30, 50°及び0, 45, 90°と変化させたものを使用した。マンドレルは、外径6mm、先端球径 $d=8, 9, 10$ mmとしたものを用いた。また、コンテナ先端のダイス取り付け部の傾斜角（ダイス傾斜角 $\zeta$ ）は、押し出し方向に直交する平面に対して0, 15, 30°とした。

実験は、潤滑剤として石鹼水用い、素材とコンテナパイプ、ダイスの接触面に塗布した後、押し出し速度（ステム進行速度）50mm/minで実施した。実験温度は15~25°Cであった。

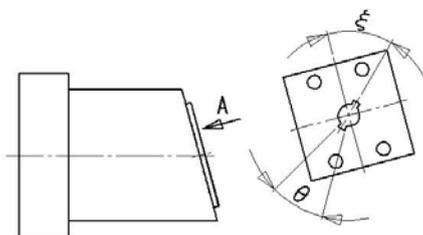


図3 ダイス形状

### (2) ヘリカルフィンチューブのダイス傾斜押し出し実験

図4に試行的に行った汎用スクリー押し出し機によるマンドレル回転樹脂押し出し、実験後の押し出し材の写真を示すが、断面にゆがみが発生すると同時に押し出されたフィンチューブには螺旋状に大きく湾曲する現象が発現した。螺旋湾曲現象は、フィンチューブをU字形状、L形状などに成形する場合には、大きな障害となる。本試行実験で実施した樹脂押し出し実験では、押し出し後の形状に安定性がなく、定量化が難しいため、塑性加工用モデル材カラークレイを用いた押し出し実験を実施し、螺旋湾曲成形特性評価を行った。



図4 押し出し後の軟質ポリ塩化ビニル製フィンチューブ

## ① 実験装置

実験装置としては、フィンにねじれを与えるために、押し出し孔の位置の異なる2枚のダイプレートを重ね合わせた組合せダイスをコンテナ出口に取り付け、また押し出し時にマンドレルをモータで回転する機構を備えたものを新規に製作し、実験に用いた。図5に本実験に使用した実験装置を示す。

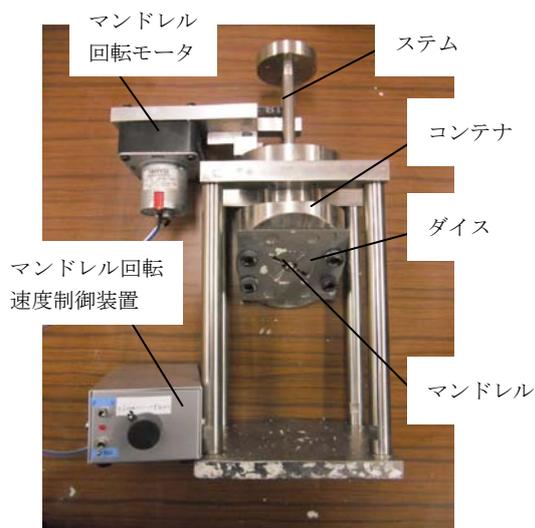
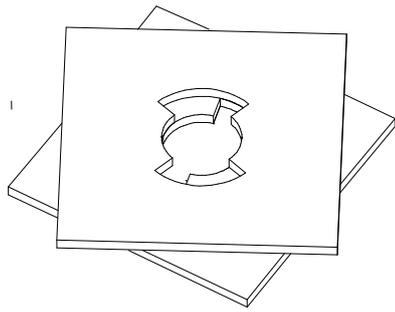


図5 実験装置

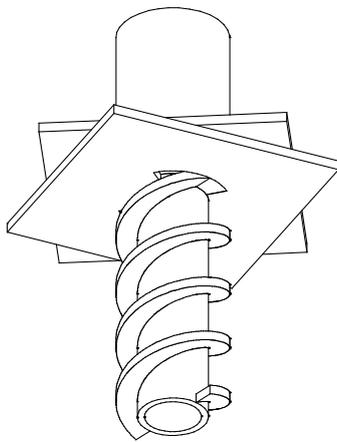
## ② 実験方法

図6にヘリカルフィン押し出し方法をモデル的に示す。(a)に本実験に使用した組合せダイス及び(b)に押し出しモデルを示す。押し出し実験では、ダイプレート孔開き角 $\theta=90^\circ$ 一定として、ダイプレート孔回転角 $\xi=0^\circ$ 及び75°の2種類のダイプレートを重ね合わせた組合せダイスを用いた。その際、組合せダイスのチューブ成形用孔径（チューブ外径）12mm、扇形フィン用スリット孔開き角は15°（一枚ダイスのダイプレート孔開き角に相当）一定とし、扇形フィン成形用スリット孔長さ $l=4, 8, 12$ mmと変化させている。なお、本実験に使用したダイプレート厚さは1mm一定、マンドレル外径及び先端球径は実験(1)と同様である。また、ダイス傾斜角 $\zeta=0, 20, 40^\circ$ とした。

実験は、石鹼水を素材とコンテナパイプ、ダイスの接触面に塗布した後、マンドレル回転速度15, 30rpmに対して、押し出し速度（ステム進行速度）約40mm/minで実施した。実験温度は20~24°Cであった。



(a) 組合せダイス



(b) 組合せダイスによる 押し出しモデル

図6 ヘリカルフィン押し出し方法

### (3) フィンチューブの成形性評価方法

(1), (2)で実施した押し出し実験におけるフィンチューブの成形特性の評価は、フィンチューブが円筒の周囲に沿って螺旋状に変形するとして行った。評価項目は、フィンチューブの曲がり特性及びねじれ特性とし、それぞれ円筒の曲率及び比ねじれ角を評価パラメータとして定量的に成形特性を評価した。

## 4. 研究成果

### (1) ストレートフィンチューブのダイス傾斜押し出し実験

フィンの成形位置が異なるフィンチューブをダイス傾斜法を用いて押し出し、湾曲フィンチューブの成形の可能性を検討すると同時に成形特性を詳細に調査した結果、以下の結論を得た。

① ダイス傾斜フィンチューブ押し出しでは、フィンの位置（ダイプレート孔回転角 $\xi$ ）に

関係なく同一方向に湾曲したフィンチューブが成形される。（図7）

② 成形されたフィンチューブの曲率は、ダイス傾斜角 $\zeta$ 、マンドレル先端球径 $\phi$ 、ダイプレート孔回転角 $\xi$ が増加するに伴って増加するが、ダイプレート孔開き角 $\theta$ が大きくなると減少する傾向を示す。

### (2) ヘリカルフィンチューブのダイス傾斜押し出し実験

マンドレルを回転させながら押し出し方向に対して幾らか傾けたダイス出口孔から材料を押し出す方法をダイス傾斜押し出しに適用し、湾曲ヘリカルフィンチューブの成形を試み、変形特性を調査した結果、以下の結論を得た。



(a)  $\phi=10\text{ mm}$ ,  $\xi=0^\circ$ ,  $\theta=30^\circ$



(b)  $\phi=9\text{ mm}$ ,  $\xi=45^\circ$ ,  $\theta=10^\circ$



(c)  $\phi=10\text{ mm}$ ,  $\xi=90^\circ$ ,  $\theta=10^\circ$

### 図7 成形されたストレートフィンチューブ

(ダイス傾斜角 $\zeta=30^\circ$ )

① マンドレルを回転させたダイス傾斜押しにおいては、ヘリカルフィンチューブは螺旋状に成形されることが確認され（図 8），その成形特性は湾曲量とねじれ量により評価できる。

② 成形されたヘリカルフィンチューブのフィンの比ねじれ角  $\gamma_f$  は、フィン長さ  $l$  に関係なくマンドレル先端球径  $d$  が増加するに伴って増加する。

③ 成形されたヘリカルフィンチューブの曲率  $1/r$  及び比ねじれ角  $\gamma_f$  は、いずれもダイス傾斜角  $\zeta$  及びマンドレル先端球径  $d$  の増加に伴って増加するが、フィン長さが増加すると逆に減少する傾向を示す。（一例，図 9～図 12）

④ マンドレル回転速度に対しては、マンドレル回転速度の増加はヘリカルフィンチューブの曲率の減少につながるのに対して、比ねじれ角を増加させる傾向を示す。



(a)  $d=8$  mm



(c)  $d=10$  mm

図 8 成形されたヘリカルフィンチューブ  
（ $\zeta=20^\circ$  ,  $l=4$ mm,  $n=30$ rpm）

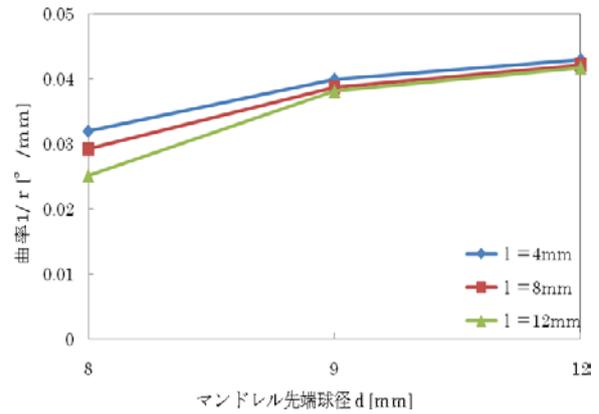


図 9 フィンチューブ曲率とマンドレル先端球径の関係  
（ $\zeta=20^\circ$   $n=30$ rpm）

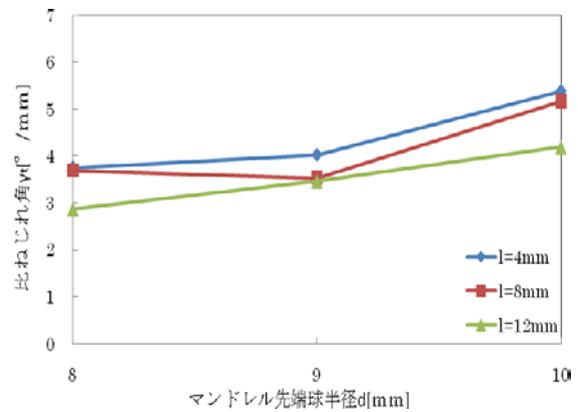


図 10 フィンチューブ比ねじれ角とマンドレル先端球径の関係  
（ $\zeta=20^\circ$  ,  $n=30$ rpm）

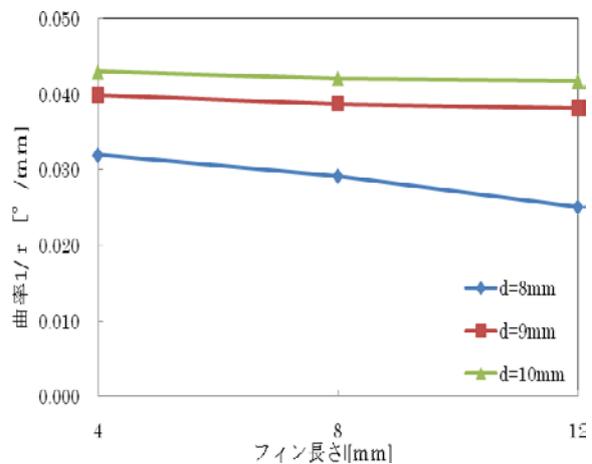


図 11 フィンチューブ曲率とフィン長さの関係  
（ $\zeta=20^\circ$  ,  $n=30$ rpm）

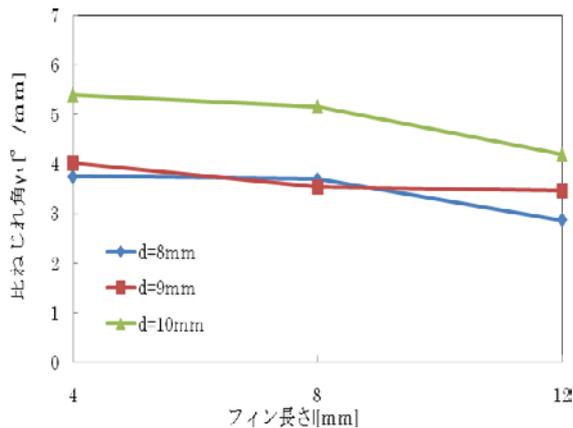


図 12 フィンチューブ比ねじれ角と  
フィン長さの関係  
( $\zeta = 20^\circ$  ,  $n = 30\text{rpm}$ )

(1), (2)の実験結果から、ダイス傾斜押し加工法による湾曲フィンチューブの成形は十分可能であることが明らかになった。特に、ストレートフィンを持つチューブに関しては、本方法を用いることにより平面上での湾曲形状の成形が可能であることが明らかになった。また、ダイス傾斜押し加工法を用いて湾曲ヘリカルフィンチューブを押出す場合には、チューブが螺旋状に変形する特性を持つため平面状での湾曲形状の成形が極めて難しいことが明確になった。

今回の研究では、本方法を湾曲ヘリカルフィンチューブの成形に適用する場合の変形上の問題点を明確にしている。

今後、本方法を発展させ微小湾曲ヘリカルフィンチューブの加工技術として確立するためには、チューブの螺旋変形を抑制しながら押出す新しいダイス構造を開発することが不可欠であると考えられる。

本研究は、ヘリカルフィンとチューブを一体成形すると同時に湾曲形状を付与する今までにない新しい加工方法を提案しており、国内外通じて同様の研究は見当たらない。本研究において提案しているフィンチューブ成形技術が確立すると熱交換を狭いスペースで行うことができ、また局所的な熱交換を容易に行うことができる等製品の機能向上に寄与すると同時に製品デザインの幅を拡張することも可能になると期待できる。

## 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)  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

白石 光信 (SHIRAIISHI MITSUNOBU)  
近畿大学・工学部・教授  
研究者番号：30144885

### (2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：