

## 板鍛造工法による新「NMAX」「YECVT」部品の 一体成形開発

Integrated forming development of new “NMAX” and “YECVT” components using the plate forging method

田丸 翔吾 北郷 博成

### Abstract

In the pursuit of carbon neutrality, it is essential to reduce not only CO<sub>2</sub> emissions generated during product use but also those produced in the manufacturing processes of component parts. In the field of plastic forming, continuous technological advancements are required to achieve lightweight, high-strength, high-precision, and low-cost manufacturing, while maintaining a balance with CO<sub>2</sub> reduction.

The plate-forging method enables a reduction in material usage, near-net shaping, and process simplification through the integration of multiple components into a single part, making it one of the most suitable manufacturing methods for achieving carbon neutrality.

Yamaha Motor Engineering Co., Ltd. provides plastic-forming technologies based on fuel-tank press-forming expertise and engages in the development of various plastic-forming methods, including forging, as well as the design and manufacture of the dies and equipment that make these processes possible.

In this project, the core component of the “YECVT unit” — the continuously variable transmission mechanism installed in Yamaha Motor Co., Ltd.’s small premium scooter “NMAX” — was redesigned. Instead of the conventional method of welding together individual parts, the new approach forms the entire component integrally from a single thick plate using a cold-forming process. This enables the creation of a lightweight, compact, high-strength, and high-precision part. By fully leveraging material properties and combining advanced analysis and die technologies, a new hybrid plastic-forming method called the “YEC Plate Forging Process” was developed. This process creates new added value through the integration of multiple forming techniques and has been successfully implemented in mass production. This paper outlines the development and key technical features of this forming process.

## 1 はじめに

カーボンニュートラルの実現に向けて、商品使用時の CO<sub>2</sub> 排出のみならず、構成部品の製造過程における CO<sub>2</sub> 排出の削減も急務である。塑性加工分野では、軽量・高強度化、高精度化、低コスト化の技術進歩が継続的に求められており、CO<sub>2</sub> 削減と両立するバランスの取れた工法が必要とされている。板鍛造工法は、投入材料の削減、ネットシェイプ化、複数部品の一体化による工程削減が可能であり、カーボンニュートラルに適した工法の一つである。

ヤマハモーターエンジニアリング株式会社では、燃料タンクのプレス成形技術をベースとした塑性加工技術を提供しており、鍛造を含む各種塑性加工工法およびそれを具現化する金型装置の開発を行っている。

今回、ヤマハ発動機株式会社の小型プレミアムスクータ「NMAX」に搭載された変速機構「YECVT ユニット」の基幹部品において、従来の単品部品同士を溶接する仕様ではなく、一枚の厚板から冷間工法により一体成形することで、軽量・コンパクトかつ高強度・高精度な部品として成立させた。材料の特性を活かした複合的な塑性加工工法を、解析技術と金型技術を駆使して取り入れることで、新たな付加価値を創出する複合塑性加工工法「YEC 板鍛造工法」を開発し、量産化を実現した。本稿では、当該工法開発技術の概要について述べる。

トかつ高強度・高精度な部品として成立させた。材料の特性を活かした複合的な塑性加工工法を、解析技術と金型技術を駆使して取り入れることで、新たな付加価値を創出する複合塑性加工工法「YEC 板鍛造工法」を開発し、量産化を実現した。本稿では、当該工法開発技術の概要について述べる。

## 2 YEC 板鍛造工法を適用した YECVT 駆動部品

本稿のテーマである新型「NMAX」に搭載された YECVT の駆動系スクリュウ部品(図1)について概要を述べる。当該部品は、小型スクーターパワーユニット内に収めるため、軽量・高強度かつコンパクトな形状が求められるとともに、駆動系部品として高精度な機能を有する必要がある。特に、モーターで駆動する外周のギア部、シーブを駆動するボス外周のスクリュウ部、相手部品を固定するピン部において、強度および精度を満たしつつ、安定した一体成形が求められる。基本形状は、スターターギア部品に類似しているが、駆動スクリュウ部を担うため、ボス

部がより長く厚くなっており、成形難易度が高くなっている(図2)<sup>[1]</sup>。



図1 「NMAX」YECVT 板鍛造スクリュウ部品

本部品の特徴として、フランジ部とボス部の板厚比は約1.7であり、ボス部の長さもスターターギアと比較して約1.3倍程度と長くなっていることが挙げられる。このため、ボス部を座屈させずに材料を塑性流動させることが成形上の重要な課題である。また、フランジ部に設けられた小径ボスはハーフピース成形により一体成形されており、従来の別体ピン圧入方式からピン一体化構造へと変更することで、コスト低減を図っている。次章では、YEC 板鍛造工法による初の量産部品として「NMAX」に搭載された YECVT 基幹部品である板鍛造スクリュウ部品の開発ポイントについて述べる<sup>[2]</sup>。

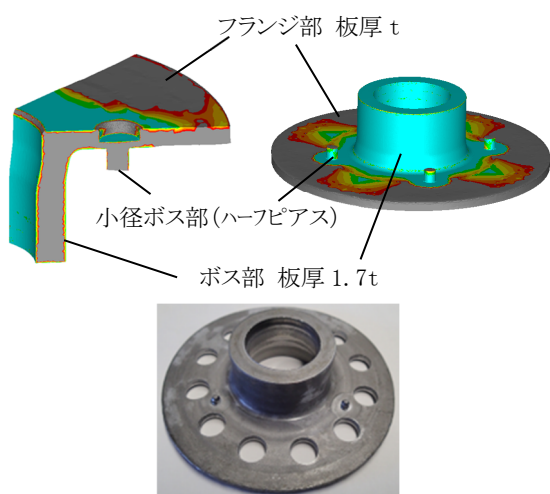


図2 YECVT スクリュウ板鍛造

### 3 工法開発のポイント

#### 3-1. 絞り 引張り成形による塑性流動

板素材からの成形は、通常の鍛造成形とは異なり、材料が圧延により薄く延伸された状態にあるため、必要な部位へ少しずつ塑性流動させる必要がある。そのため、本工法では引張りを主体とした絞り成形を複数回繰り返す再絞り成形を採用している。板素材は圧延方向により材料の流動特性が異なる“異方性”を有しており(図3)、絞り成形時にはこの影響を最小化する技術が求められる。

さらに、板幅方向においても材料特性に差があり、コイル端部と中央部では引張特性が大きく異なる(図4)。

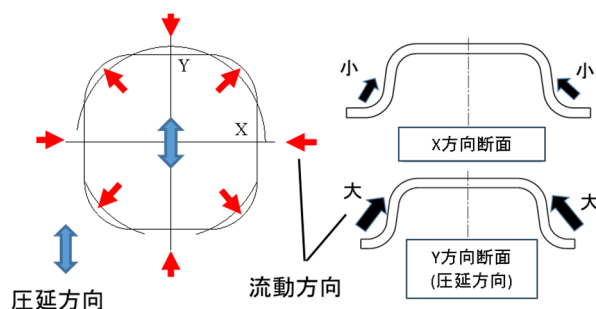


図3 絞り成形ポイント

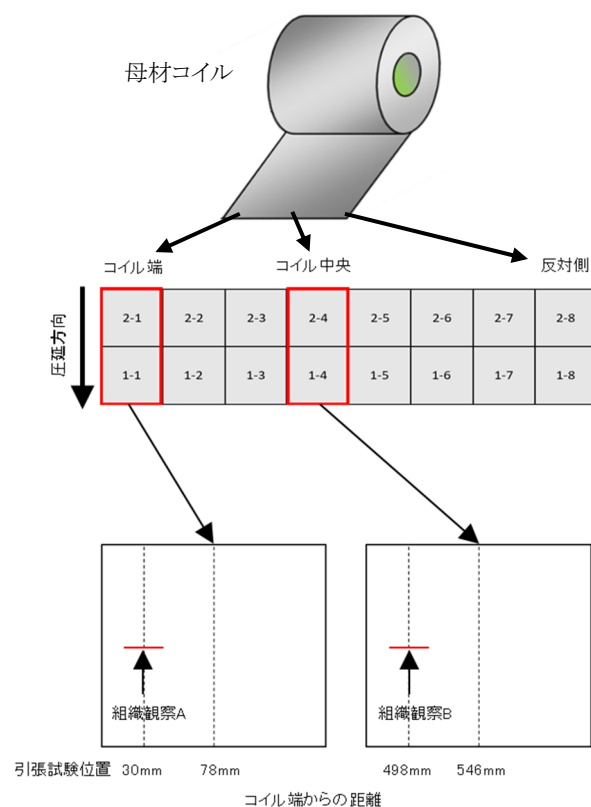


図4 材料レイアウト

実際に端部および中央部にて引張試験と組織調査を実施した結果、コイル端に近いほど伸びが小さく、材料組織が粗大化していることが確認された(図5、6、7)。また、面内異方性は JIS Z 2254に規定される式 $\Delta r = (r_0 + r_{90})/2 - r_{45}$ により評価され、 $\Delta r$ が0に近いほど真円に近いワーク形状が得られる。特にコイル端から30mm 位置では $\Delta r$ が極端に小さく、絞りフランジ外径ヒケ(図8)の要因となっている。このような材料特性を踏まえ、材料歩留まりを最適化した工程設計を行うことで、YECVT スクリュー板鍛造部品のコスト低減および量産化を実現した。

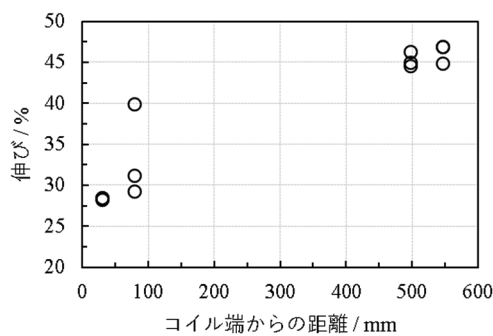


図5 引張試験 伸び比較 (SPHC)

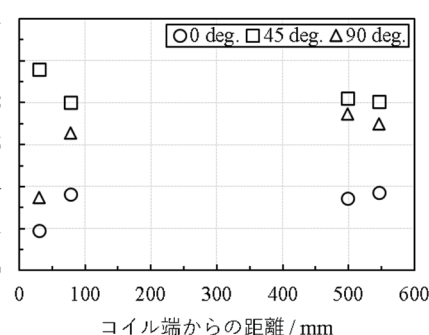
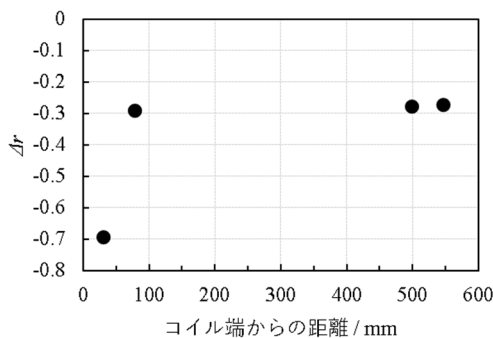


図6 引張試験  $\Delta r$  比較 (SPHC)

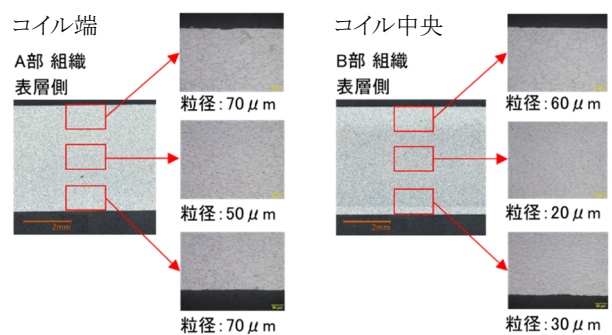


図7 材料組織比較 (SPHC)



図8 絞りフランジ外径ヒケ

本開発を通して得られた材料異方性パラメーター(ランクフォード値 =  $r$  値)を解析へフィードバックすることで、1部品内で異なる材料特性を再現したマルチマテリアル解析技術を確立することができた(図9)。このように、工法開発領域における解析技術の活用範囲は拡大しており、製造アプローチに加えて材料アプローチを含めた工法開発が求められている。

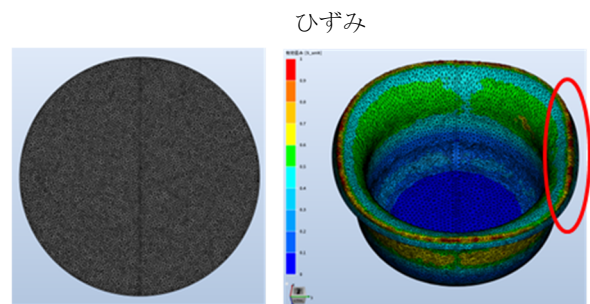


図9 マルチマテリアル解析

### 3-2. 鍛造 圧縮成形による増肉成形

スクリュー部を構成するボス部に材料の増肉を施す方法として、鍛造による圧縮成形加工を適用し、絞り成形では得られない大きな塑性流動を実現している。YECVT スクリュー板鍛造工程図を図10に示す。成形の要点は、ボス部を座屈させることなく材料を圧縮成形することである。技術的には、鍛造前の素材



形状の最適化と材料の拘束方法の検討が必要である。最適化に際しては、図11に示す予備成形形状から重要な機能パラメータを抽出し、鍛造成形解析を実施しながら導出している。



図10 YECVT 板鍛造工程図

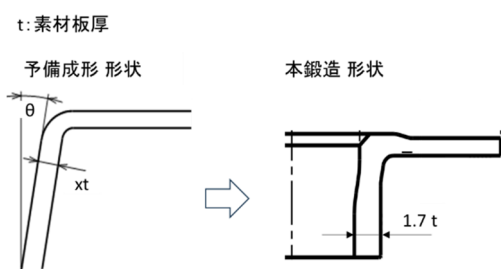


図11 予備成形 形状検討

本工法の最大の要点は、予備成形形状における板厚  $xt$  とテーパ角度  $\theta$  という重要パラメータに対して条件振り解析を行い、座屈の有無を確認したことである。図12、図13にその結果を示す。予備成形から本鍛造工程まで両立可能なテーパ角度  $\theta$  を選定し、板厚比を適切に配分することで、YEC 板鍛造工法による初の量産部品である YECVT 駆動部品では、従来にない高い増肉率（素材板厚  $t$  に対するボス板厚 1.7 倍）を達成している。材料の座屈を防止するには、金型による拘束条件の設定が不可欠である。圧縮成形の初期段階では非拘束状態であるが、成形が進行するにつれて外径部および内径部を拘束することで座屈を防止している（図14）。

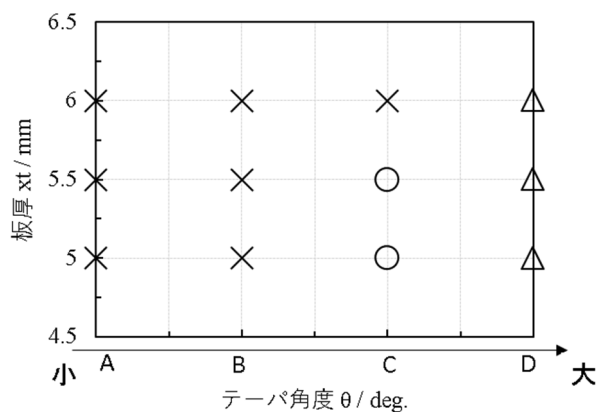


図12  $\theta$  /  $xt$  条件振り解析結果

- ：予備成形、本鍛造ともに座屈なし
- ×：予備成形にて座屈あり
- △：予備成形座屈なしだが本鍛造にて座屈あり

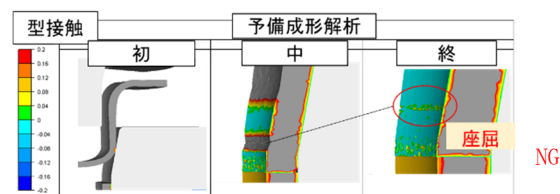


図13 鍛造座屈 NG 例

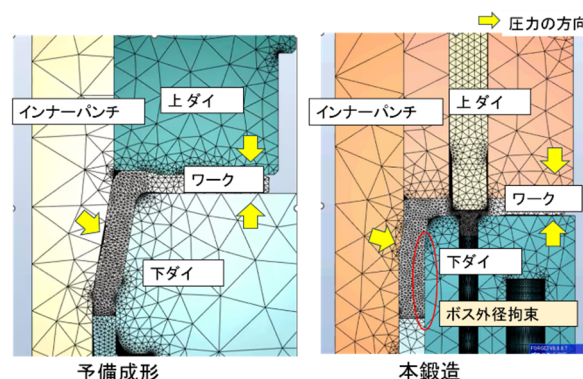


図14 鍛造増肉 成形過程

### 3-3. カーボンニュートラルおよび工程削減への取組み

本開発で採用した YEC 板鍛造工法は、鍛造完成品までの全工程を冷間成形で校正しており、従来の熱間鍛造品と比較してカーボンニュートラル効果が高い。鍛造工程全体での  $\text{CO}_2$  排出量は約 56% 削減される見込みである（図15）。また、標準的な絞り成形では多工程となるため、型数およびショットの削減が生産性向上および  $\text{CO}_2$  削減の鍵となる。量産化を実現した YECVT 板鍛造部品では、絞り工程における絞り率配分および荷重バランスの最適化により、ショット数を従来の 5 ショットから 2 ショットへ削減し、生産性向上と環境性能の両立を達成している。今後も、従来の成形手法にとらわれず、材料特性を活かした自在な成形制御により、さらなる工程削減を目指した多様な成型方案を検討していく。

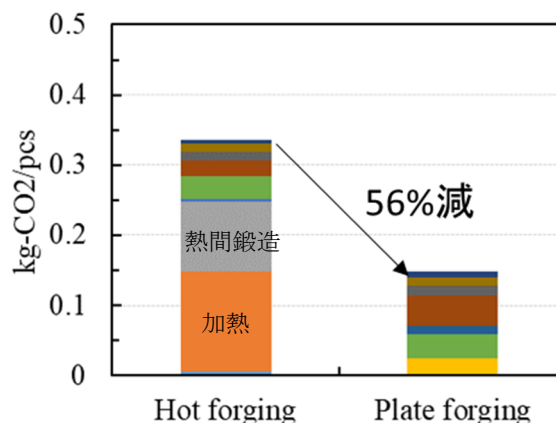


図15 鍛造ワーク1個あたり  $\text{CO}_2$  排出量

## 4 今後の展開

インドネシアにて量産を開始した新「NMAX」の YECVT スクリュー部品を皮切りに、今後も量産効果の高い部品への技術展開を図り、ASEAN 各拠点への導入を進めることで、現地量産機種のコスト低減および商品価値の向上に寄与する方針である。さらに、従来のモーターサイクル部品に加え、EV 製品などへの適用範囲を拡大し、複合塑性工法(板鍛造工法)による新たな付加価値を低コストで提供していく考えである(図16)。



図16 YEC 板鍛造技術展開

## 5 おわりに

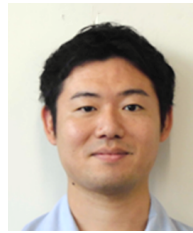
ヤマハ発動機グループにおける YEC 板鍛造工法は、鍛造成形領域とプレス板金成形領域の中間に位置し、技術開発の観点から今後さらなる進化が期待される領域である。また、カーボンニュートラルにおいても有用な技術であり、今後は材料メーカーとの連携を図り、リサイクル材料を含めた素材段階からの CO<sub>2</sub> 排出削減とコスト低減の両立を目指した新たな取り組みを推進していく。

今後もヤマハ発動機グループの新たな商品価値の向上を目指し、これまでになく新工法をタイムリーに提案することで、商品のコスト低減、機能向上および CO<sub>2</sub> 削減を両立させる“物創り技術”の提供を継続していく所存である。

### 参考文献

- [1] 「板鍛造工法によるパワートレイン部品のコストタダウ開発」北郷博成ほか:ヤマハ技報, 54, (2018)15-18 [https://global.yamaha-motor.com/jp/design\\_technology/technical/publish/pdf/browse/54gs03.pdf](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/technical/publish/pdf/browse/54gs03.pdf)
- [2] 「走りの幅を広げる 新型「NMAX」用「YECVT」の開発」勝山祐紀ほか:ヤマハ技報, 59(2024)56-59 [https://global.yamaha-motor.com/jp/design\\_technology/technical/presentation/pdf/browse/59gs01.pdf](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/technical/presentation/pdf/browse/59gs01.pdf)

### 著者



田丸 翔吾  
Shogo Tamaru  
ヤマハモーター  
エンジニアリング株式会社  
生産技術部



北郷 博成  
Hironari Hongo  
ヤマハモーター  
エンジニアリング株式会社  
生産技術部