

最適工法で業界最軽量級を実現する、 YAMAHA SPINFORGED WHEEL

YAMAHA SPINFORGED WHEEL achieves the industry's lightest class with its optimum construction method

末永 健太郎 大島 かほり 香島 仁 塚本 耕平 鈴木 康修 松原 圭佑

Abstract

Yamaha Motor has played a role as a pioneer in the history of aluminum alloy cast wheel adoption in motorcycles. While being involved in the establishment of quality standards, the company has contributed to the expansion of their adoption, and while establishing its own evaluation methods, it has completed high-quality, high-performance cast wheels made of aluminum alloy unique to Yamaha Motor.

Furthermore, cast wheels use in-house manufacturing technology for important parts that characterize product performance, and while developing manufacturing methods in gravity and die type casting, the company has worked to expand its manufacturing bases both in Japan and overseas.

On the other hand, Yamaha Motor has a history of, and is actively adopting new technologies related to raw materials, such as CF die-cast frames (Controlled Filling Die Casting) and Mg die-cast wheels, in order to improve product appeal by integrating development, materials, and construction methods.

The "YAMAHA SPINFORGED WHEEL" introduced here is a new lightweight technology realized by a development system that adopts wheel manufacturing and material technologies, as well as new construction methods that the company has cultivated to date. This is a new lightweight technology and is the world's first technology for motorcycle wheels using a double-sided design.

1 はじめに

二輪車向けのアルミ合金製キャストホイール採用の歴史において、ヤマハ発動機はパイオニアとしての役割を担ってきた。品質規格の制定に携わりながら、採用の拡大に貢献、また、独自の評価方法を確立しながら、ヤマハ発動機ならではの高品質、高性能なアルミ合金製キャストホイールを完成してきた。

さらに、キャストホイールは、商品性能を特徴づける重要パーツとして、内製製造技術を有し、製造方法を重力鑄造、ダイキャストへ発展させながら、国内外へ製造拠点を拡大してきた。

一方、ヤマハ発動機は、CFダイキャストフレーム (Controlled Filling Die Casting)、Mgダイキャストホイールなど、商品魅力向上のため、開発・材料・工法、一体となって、素形材に関する新技術を積極採用してきた歴史を有する。

今回紹介する、「YAMAHA SPINFORGED WHEEL」は、当社がこれまで培った、ホイール製造技術、材料技術、新工法を採用する開発体制をもって実現した、新しい軽量化技術であり、両面意匠を有する二輪車用ホイールとしては、世界初の技術である。

2 開発背景と課題

キャストホイールは、大きく3つの部位から構成され、足回りの部品として安全性を確保するための必要強度、靱性はもとより、部位ごとに、求められる特性が異なる (図1)。

- ・ ハブ: 駆動力や制動力を直接受けるための高剛性
- ・ スポーク: 車両の外観を左右するデザイン性
- ・ リム部: 車両の高い運動性、操縦安定性を構成する一つの要素である軽量性 (低い慣性モーメント)

このような要求機能、特性に応えるために、様々な材料・熱処理と工法の組み合わせが適応されている。二輪車においては、中空構造による高剛性や、自由な意匠による高いデザイン性が得られ、また量産性の高い、AC4CH・T6+重力鑄造、またはLP鑄造が用いられることが一般的である。内製技術が対象とする二輪用のキャストホイールにおいても、前述の組み合わせを基に発展してきた。



図1 キャストホイールの構造と要求機能

一方、リム部の要求特性に対しては、強度・靱性の観点から、前述の組み合わせは、鍛造や、回転塑性加工、といった方法に対しては優位性がなく、軽量化に対しては課題を抱えている。

今回我々は、課題解決のためにリム部の軽量化(慣性モーメント低減)による優れた車両運動性および商品魅力向上を実現できる二輪車用キャストホイール製造方法を開発することを狙いとした。

軽量化のためには材料強度の向上が必要となるが、キャストホイールのリム部には、足回り部品として、路面、および車両からの衝撃に対して変形しない高い強度と、衝撃に対して破断しない高い靱性という、相反する2つの機能を両立して向上させる必要がある(図2)。

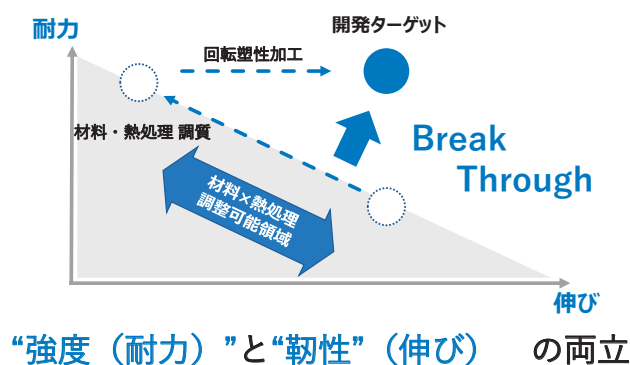


図2 リムの軽量化を実現する材料設計

一般的に、材料成分、熱処理で、材料特性を調整する場合、強度と靱性はトレードオフの関係になる。

本開発では、この関係をブレークスルーすることで、強度・靱性を両立する、軽量キャストホイールを実現することができた。我々はこの技術を、「YAMAHA SPINFORGED WHEEL」(以下、「YSFW」と略)と名付ける。以下、その詳細を紹介する。

3 課題解決方法

前項にあるように、キャストホイールの軽量化には、強度と靱性の両立が必要である。このトレードオフの関係を、解消する技術として、回転塑性加工に着目した。

回転塑性加工とは、管状、棒状の素材を回転させ、工具によって、局所的な変形を与えながら局所的な塑性変形を徐々に繰り返し与え、成型していく塑性加工方法の総称である。今回使用するアルミ合金においては、回転塑性加工を加えることで、靱性が向上することが報告されている^[1]。

この特徴を活かし、材料・熱処理にて強度向上側に調質した鋳造素材を、リム部に回転塑性を加えることで、靱性を確保す

る。ホイールに求められる機能要件を部位ごとに満足する最適な材料・工法の組み合わせ、これが「YSFW」である。

本技術の開発目標は、2020年にリリースされる、「MT-09」への搭載と設定した。その車両コンセプトを「Torque & Agile」とする「MT-09」においては、常に俊敏で扱いやすいハンドリングが求められる。この車両コンセプトから、リム部の慣性モーメントを従来比△10%に設定し、これを達成するリム部の軽量化を行った。以下、課題解決手法を述べる。

2-1. ホイール設計

前述の慣性モーメントを達成する場合、リム部の大幅な軽量化をするために、リム板厚をこれまでになく薄肉にする必要がある。設計目標値としては、リム板厚を従来品より△15%以上低減することとした(図3)。また、実際の机上検討に必要な材料強度については、材料開発部門、製造部門と協業にて、求める材料設計を行った。

開発を進めるにあたり材料の再調整や工法の再検討などにより、検討を進める中で解析をうまく活用できない状況が出てきた。こちらについてはその都度、材料特性データの取得を進め、工法によりその値が達成できるかの見積を進めるなど、解析に使用する材料データを検討前に確定することにより、より精度の高い検討を進めることができた。

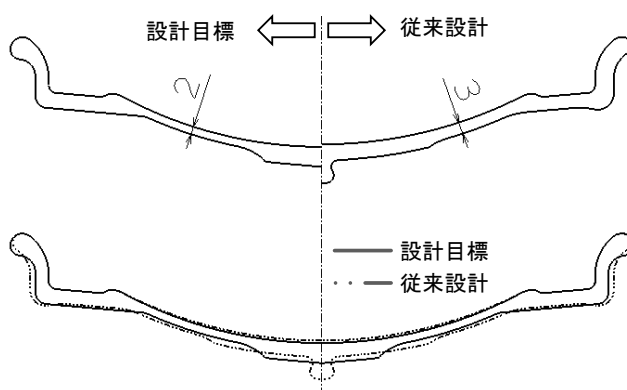


図3 リムの設計目標

2-2. 材料

2節冒頭で述べたように、本開発では材料で強度、回転塑性加工で靱性を付与する構想である。しかし、実際は回転塑性加工が施されない部位もある程度の靱性が必要である。そこで、材料の時点で強度と靱性のバランスを調整した「YSFW」専用材料を開発した。

材料のベース合金には、良好な強度と靱性から一般的にアルミ鋳造ホイールに使用されるAC4CH合金を採用した。この

材料に対して、強度として耐力、靱性として伸びに着目しながら以下3点を調整した。

1. Mg 含有量

Mgを増やすことで、耐力を向上させることができるが、伸びは低下する(図4)。

2. 溶体化処理条件(温度)

温度を高くすることで、短時間でも耐力を向上させることができる(図5)。本試験範囲では、伸びへの影響は小さかった。

3. 人工時効処理条件(温度、時間)

温度を高くすることで、短時間で耐力を向上させることができるが、伸びは低下する。ここでは、耐力の代替として硬度を測定した結果を示す(図6)。

これらの結果をもとに、設計要求に適した耐力・伸びを発揮できる組み合わせを選定した。また、生産性も考慮して、Mg含有量は可能な限り広い範囲、熱処理条件は短時間となるように生産条件を決定した。

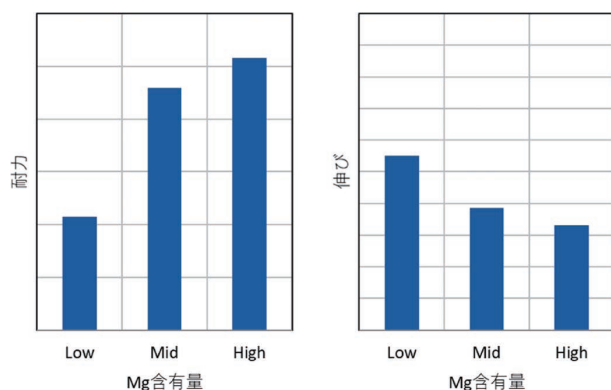
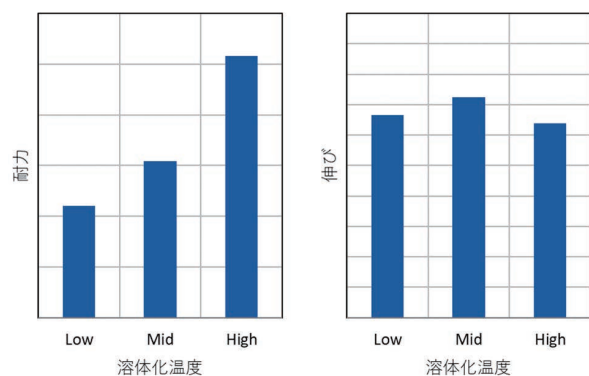


図4 Mg 含有量が耐力、伸びへ及ぼす影響



※溶体化処理時間は同条件

図5 溶体化処理温度が耐力、伸びへ及ぼす影響

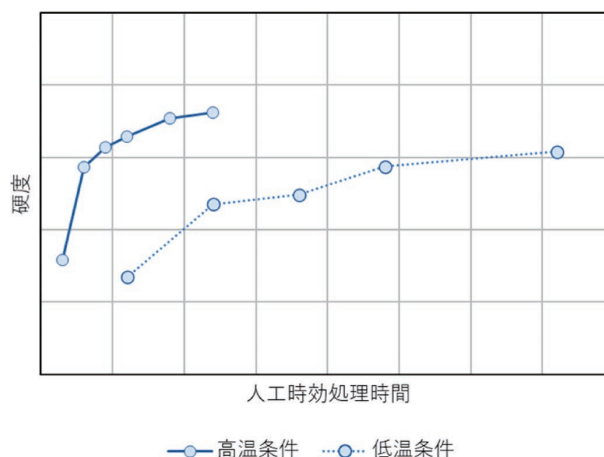


図6 人工時効処理温度ごとの時効曲線

2-3. 工法

図7に靱性を付与する回転塑性加工の概要図を示す。マンドレルと呼ばれる金型にホイール素材をクランプし、リム部をローラーで加工する。四輪車のキャストホイールでは広く利用されている工法である。

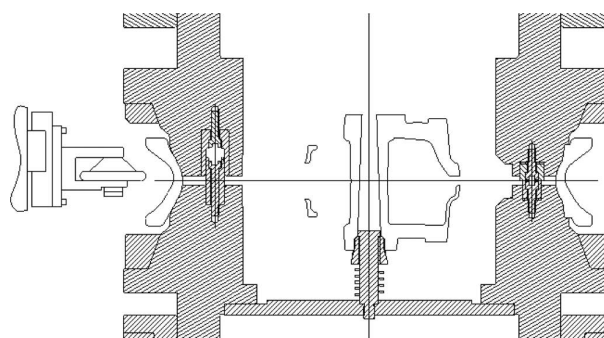


図7 回転塑性加工 概要図

ただし、二輪車の場合、採用に当たっては、2つの課題がある。

1. 四輪車に比べ、リム幅が小さいため、加工量が小さく、回転塑性加工による靱性向上の恩恵が受けにくい
2. ホイール両側がデザインであるため、マンドレルでクランプする際には、デザインへの影響がないこと

1の解決手法について述べる。鋳造素材に回転塑性加工を付与すると、鍛造組織のようなファイバーフローが観察される(図8)。我々は、基礎実験において、開発目標の達成に必要な靱性を確保するファイバーフローと、これを実現可能な、加工前後の素材形状を定義した。これによって、必要な材料状態を実現する、中間素材設計が可能となった(図9)。

また意匠影響がないようなクランプ形状と設置方法を工程設計の中で実現し、デザイン要求を満足しつつ、加工時のクランプ力と回転トルクを受ける、最適なクランプ形状を設定する

ことができた(図10)。

以上をもって、二輪車における回転塑性加工の課題をクリアすることができた。

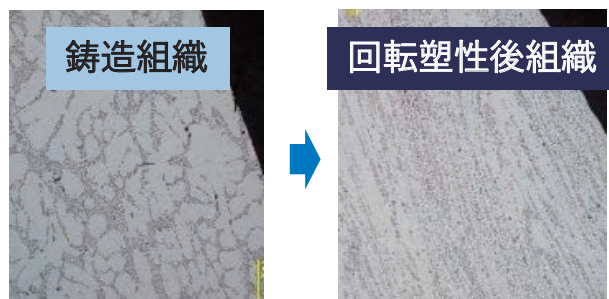


図8 回転塑性後のファイバーフロー

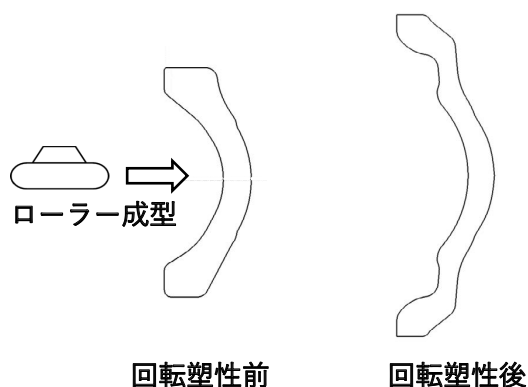


図9 回転塑性前後 リム断面模式図

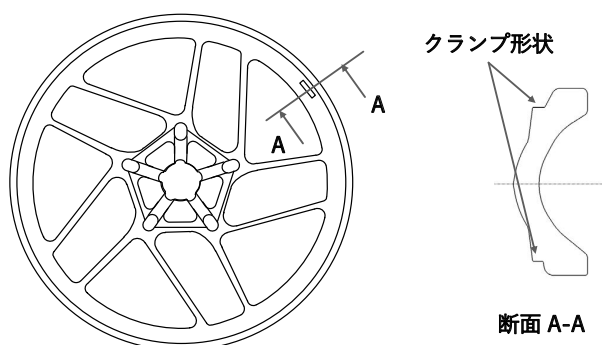


図10 クランプ形状 模式図

4 成果

以上、設計—材料—工法 の3つの要素技術開発により、2020年にリリースされた「MT-09」、「Tracer9」において、表1に示す軽量化効果を得ることができた。

また、本技術を導入した生産ラインは、鑄造—回転塑性加工—熱処理、それぞれが同期した1個流しの同期生産ラインとして、ラインオフしている。

熱処理時間は、2-2項の取り組みで従来条件に対して、▲70%を実現しており、従来ジョブショップ式であった生産方式に対して、リードタイムを▲80%短縮した高い生産性を実現している。

表1 前モデルに対しての効果

モデル	重量 軽量化	リム部慣性モーメント 低減率
MT09	700g	11%
Tracer9	1,000g	15%

※前後合算

5 製造ブランディング

我々は本技術を、お客さまに商品を選んでいただけるための魅力技術として、また、開発・製造に携わる、全ての関係者が誇りに思える技術であるよう、以下の手法を用いて、ブランディング活動を行ってきた。

4-1. ネーミング

ネーミングに関して、我々の諸先輩が築き上げてきた、ヤマハ発動機のキャストホイールへのこだわりと、工法を特徴づける回転塑性加工をグローバルに理解していただけるよう、「YAMAHA SPINFORGED WHEEL」と命名した。

4-2. オリジナルロゴをホイールヘデザイン

本ネーミングは、オリジナルのロゴを作成している(図11)。「MT-09」では、フロントホイールの車両右側スポークに、ロゴがデカールで掲載される(図12)。

YAMAHA SPINFORGED WHEEL

図11 オリジナルロゴ



図12 製品へのデカール

4-3. 社内外へのブランディング活動

2020年には、ヤマハ発動機の製造ブランディング活動、“ヤマハの手”のコンセプトに則り、価値ある一手間として、本技術を紹介させていただいた^[2]。

本技術によって、我々の製品が少しでも多くのお客さまの目に触れ、「MT-09」を選んでいただくきっかけとなれば幸いである。

6 おわりに

本技術は、車両開発、製品設計、材料・工法開発が三位一体となったからこそ、実現できた新技術である。

本技術は、製品軽量化の実現はもちろん、従来の鋳造のみの工法に対して、ニアネットの特徴を活かした、歩留まり性の向上も見込める期待技術である。そのため、今後よりいっそう重要性を増してくる、カーボンニュートラルに対しても、Scope1,2,3において、有効な技術であると考えている。

本開発で実現した軽量化技術を、新たな商品へ拡大しつつ、買い手よし、売り手よし、世間よし、の三方よしを実現する技術として、より一層発展させていきたい。

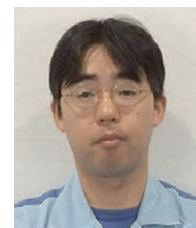
■ 著者



末永 健太郎
Kentaro Suenaga
生産本部
製造技術統括部
PT 技術部



大島 かほり
Kahori Oshima
生産技術本部
材料技術部



香島 仁
Hitoshi Kashima
PF 車体ユニット
PF 車両開発統括部
機能モジュール開発部



塚本 耕平
Kohei Tsukamoto
PF 車両ユニット
PF 車両開発統括部
機能モジュール開発部



鈴木 康修
Yasunobu Suzuki
生産本部
製造技術統括部
PT 技術部



松原 圭佑
Keisuke Matsubara
生産本部
製造技術統括部
PT 技術部

■ 参考文献

[1] *Journal of Materials Engineering and Performance*.
Published: 02 February 2012. Effect of the Spinning
Deformation Processing on Mechanical Properties of
Al-7Si-0.3Mg Alloys, Yin-Chun Cheng, Chih-Kuang Lin,
An-Hung Tan, Shih-Yuan Hsu & Sheng-Long Lee. <https://doi.org/10.1007/s11665-011-0089-8>

[2] ヤマハの手. 回転塑性 SPINFORGED WHEEL | クラフトマ
ンシップ<ヤマハの手> | ヤマハ発動機(yamaha-motor.com).
[https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/
craftsmanship/new-methods/method2.html](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/craftsmanship/new-methods/method2.html)