

フローフォームを用いたリバースリムアルミホイールの 1ピース製造手法

Development of One-piece Reverse Rim Aluminum Alloy Wheel Using Flowforming Process

大橋 正義¹
Masayoshi OHASHI
小林 絵里菜¹
Erina KOBAYASHI

澤井 宗美¹
Muneyoshi SAWAI
鈴木 秀之²
Hideyuki SUZUKI

酒井 智紀¹
Tomonori SAKAI
川上 穰²
Minoru KAWAKAMI

要 旨

車両の意匠性を向上するため、同一サイズでも視覚的に大径に見えるリバースリム構造のアルミホイールを、軽量かつ低コストで製造する手法を開発した。GDC 製法のフローフォーム工程における金型の構造とリム部の加工工程を見直し、加工方法と加工条件を最適化した。その結果、リバースリムホイールを1ピースで製造することができた。リバースリム化することでホイールのディスク面とビードドロップエリアの間に生じる無駄肉を低減することができ、18インチ以上のホイールで5%以上軽量化ができることをCAE解析により確認した。次に、18インチのホイールを試作しCAE通りの軽量化ができることを確認した。さらに、スポーツタイプの車に使用されているホイールの試作もおこない、軽量にデザインされたホイールでも2%以上軽量化できることを確認した。

ABSTRACT

In an attempt to increase freedom of design in automobiles, a method of manufacturing aluminum wheels with a reverse rim configuration that realizes lower weight and lower cost has been developed. The configuration of the molds and the machining process for the rim in the GDC flowforming process were modified, and the machining method and machining conditions were optimized. This made one-piece manufacture of reverse rim wheels possible. CAE analysis verified that by converting wheels to reverse rim types, it would be possible to reduce the excessive thickness between the disk surface and the bead drop area of the wheel, reducing the weight of wheels of 18 inches or more in diameter by 5% or more. Next, a prototype of an 18-inch wheel was produced, and it was verified that its weight was reduced in accordance with CAE results. In addition, a prototype of a wheel employed in sports-type vehicles was produced, and it was verified that a weight reduction of 2% or more had been achieved despite the fact that the wheel had been designed to realize reduced weight.

1. まえがき

アルミホイールは自動車のファッション性を向上させる商品として、自動車用品店などでさまざまな意匠を持つものが多数販売されている⁽¹⁾。カスタマイズの目的で大径化による意匠性向上をねらったホイールサイズの拡大(インチアップ)をおこなうユーザも多い。

しかし、タイヤ外径を変えずにホイールをインチアップ

すると、タイヤの扁平化と高内圧化によりタイヤの横力特性が変化し振動遮断性能も低下する⁽²⁾。また、ホイールを1インチ大きくすると、一般的にホイールの重量が増加し加速性能と燃費が低下する。さらにアルミ素材の使用量が増えるため材料コストも上昇する。

アルミホイール形状の一つにリバースリムホイールがある。このホイールではリム部の内側から外側へかけての形状を反転し、ホイールリム外側部の内径を大きくすること

¹ 本田技研工業株式会社

² 光生アルミニウム工業株式会社

でホイールのスポーク部を長く見せることができる。

しかし、リバースリムホイールはリム部とスポーク部を分割して製造してから接合する必要があるため、一体成型されたアルミホイールより重く、かつ、コストが高くなってしまう。

そこで著者らは、量産されているアルミホイールの製造設備を改良しリバースリムホイールを1ピース化する手法を開発した。

Fig. 1 に同一デザインのノーマルリムホイールとリバースリムホイールを示す。図に示されるようにリム部のリバース化により、インチアップしたようなデザインに仕上げるができる。さらに、無駄肉も削減ができることから同一デザイン同一サイズでも重量が低減できた。

以下に、その製造方法について紹介する。

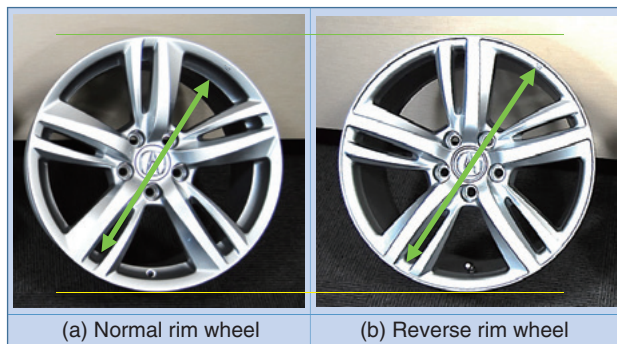


Fig. 1 Appearance of normal rim wheel and reverse rim wheel

2. リバースリムホイールの概要

まず、ホイールのリム構造について説明する。Fig. 2 にホイールにタイヤを組み付ける装置の外観写真を、Fig. 3 にホイールにタイヤが装着されるまでの工程を示す。

タイヤ組み付けには、まずタイヤチェンジャの回転テーブルにホイールを固定し、その上にタイヤを配置して、作業をおこなう。ホイールリム外径より小さいタイヤのビード部を通すため、ホイールには内径を絞ったビードドロップエリアが設けられている。

このビードドロップエリアがディスク面に近い位置にあるホイールをノーマルホイール、ディスク面と反対側のインナフランジ側にあるものをリバースリムホイールと呼んでいる。リバースリムホイールの場合、ノーマルリムホイールとは逆にインナフランジ側からタイヤを組み付ける。

Fig. 4 にノーマルリムホイールとリバースリムホイールの断面構造を示す。上記のタイヤビードドロップエリアが (a) のノーマルリムホイールではデザイン面を構成するディスク近傍にある。このため、デザイン部が絞られるこ



Fig. 2 Tire changer machine

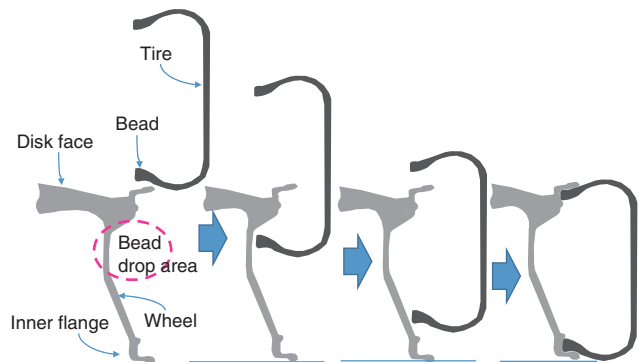


Fig. 3 Tire assembly procedure for normal rim wheel

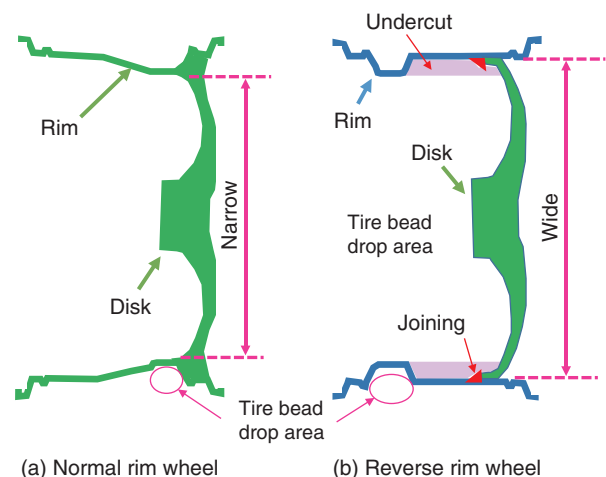


Fig. 4 Sectional view of normal rim wheel and reverse rim wheel

とになり、意匠性にも影響をおよぼす。これに対し、(b)のリバースリムホイールでは、リムの最小直径部をディスク部から離せることでデザイン部への影響を無くせ、ディスク部を大きく見せることが可能となる。

しかしリバースリムホイールはFig. 4(b)に示すようにリム部にビードドロップエリアによるアンダカット部が生じるため、パーツを二つまたは三つに分割しそれらを溶接やボルトで結合するため製造コストが上昇する。

そこで、量産されているアルミホイールの製造設備を改良しリバースリムホイールを1ピース構造で製造することで、量産ノーマルリムホイール同等のコストで製造できる生産技術を考案した。

さらにFig. 5に示すように、ノーマルリムホイールではディスク面とビードドロップエリアの間に生じる無駄肉をリバースリム化で低減することができる。

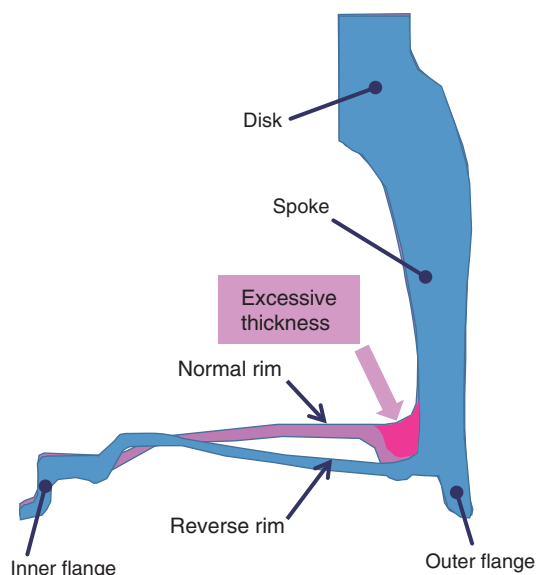


Fig. 5 Image of weight reduction

3. 従来のアルミホイールの製造方法

ホイールは路面入力を車体へ伝えるための大切な部品である。ホイールとタイヤは、アウトフランジ部とインナフランジ部の両側で接触している。アウトフランジ部はデザイン面が近傍にあるため剛性が高いが、インナフランジ部は剛性が低いことにより負荷応力が高くなるため、強度、品質の安定化が重要となる。

近年、ホイールの大径化により、インナフランジ部は一層の強度、じん性の向上とその品質管理に注意をしなければならぬ部位となってきている。

アルミホイールの製造法には鍛造製法と鋳造製法がある。鍛造品は強度が高いが製造にコストがかかるため、一般的に量産車用のアルミホイールには鋳造製法が用いられ

ている。

その鋳造方法にはLow Pressure Die Cast (LPDC) と Gravity Die Cast (GDC) の2種類がある。

Fig. 6にLPDCの製造工程を示す。LPDCでは強度が必要なインナフランジ部が金型に溶湯が入るゲート部から離れているため、溶湯の凝固が速くアルミ合金の結晶粒が微細となり、強度が高くなる。

Fig. 7にGDCの製造工程を示す。GDCはLPDCより簡易な設備で鋳造できる製法だが、インナフランジ部から溶

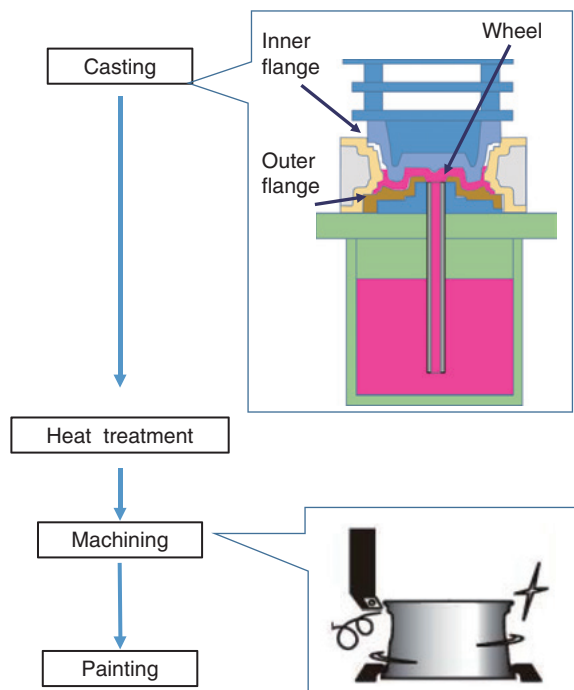


Fig. 6 LPDC production process

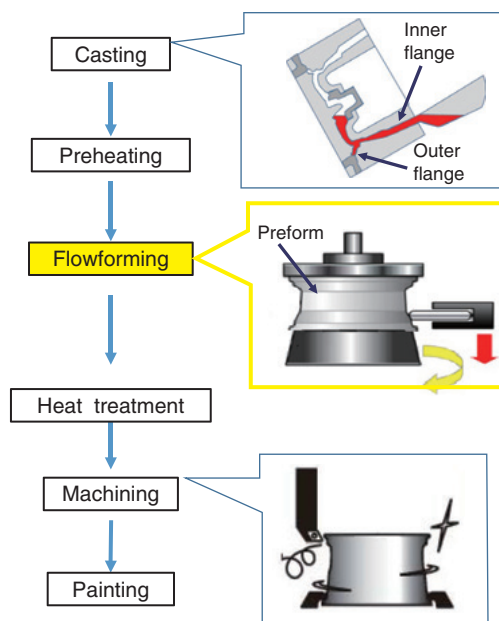


Fig. 7 GDC production process

湯を入れるため、凝固速度が遅く結晶粒度が大きくなり、LPDC 同等の強度とじん性は得られない⁽³⁾。

そのため GDC 製法では、鑄造ラインの後に、フローフォーム加工機を設置し、アルミホイール素材（プリフォーム）を鑄造した後、再度予熱して、塑性加工によりインナフランジ部の強度とじん性を高めている。

このフローフォーム製造工程を Fig. 8 に示す。予熱したプリフォームはディスク面をアッププレートでフローフォームマシンに押さえ込んで固定し、外側から回転するローラでマンドレルに押し付けながら回転して成型される。この工程を経ることで、インナフランジ部に必要な強度とじん性が得られる。

いずれの製法でも、成型のあと、再度、熱処理をおこなひ、切削加工と塗装をおこなって製品を仕上げる工程となっている。

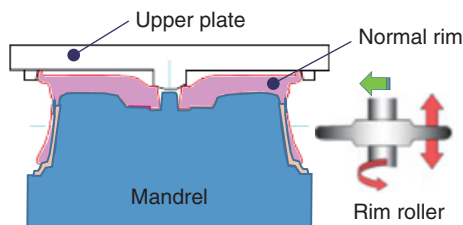


Fig. 8 Flowforming for normal rim wheel

4. リバースリムホイールの製造方法

4.1. フローフォームを活用したリム部の成形手法

リバースリムの形状にはアンダカット部があるため、LPDC 製法では切削加工が増え、歩留まりが下がってしまう。また、コスト上昇を低減するためには、通常の設備と工程をできるだけそのまま使用することが求められる。

そこで、本開発ではフローフォーム成形の設備と工程を一部改良してアンダカット部を成型するため GDC 製法を選択した。

インナフランジ側が絞られた形状を従来と同じ製造ラインで成形するため、鑄造段階では通常どおりインナフランジ側が外側に開いている素材を作製し、その後の工程で、逆テーパ部をフローフォームで成形する手法を考えた。

従来のフローフォーム成型では、しごき加工部位が常にマンドレルに接触しているため、ホイール中心がずれないため片側のローラの一つで加工が可能である。

しかし、リバースリムホイールでは、加工部位にマンドレルと接触しない部分が生じるため、一方向からの荷重ではリムが偏心するため加工が容易でない。

そこで、加工時のリムの偏心を低減するため、Fig. 9 に示すような二つのローラで両側から同時に荷重を加えられ

る対向2ローラ方式を考案した。

Fig. 10 に試作加工機のマンドレルとローラを示す。このように対抗する二つのローラはマンドレルの中心軸に対象になるように設置した。

試作機によるフローフォーム加工の Fig. 11 に様子を示す。

4.2. 最適な加工条件の設定

量産のノーマルリムホイールのフローフォームの加工条件の管理項目としては、加工温度、ローラしごき条件など

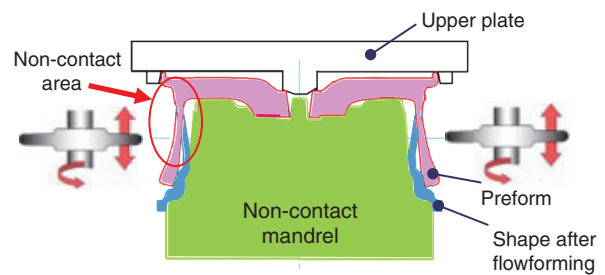


Fig. 9 Non-contact mandrel for reverse rim wheel

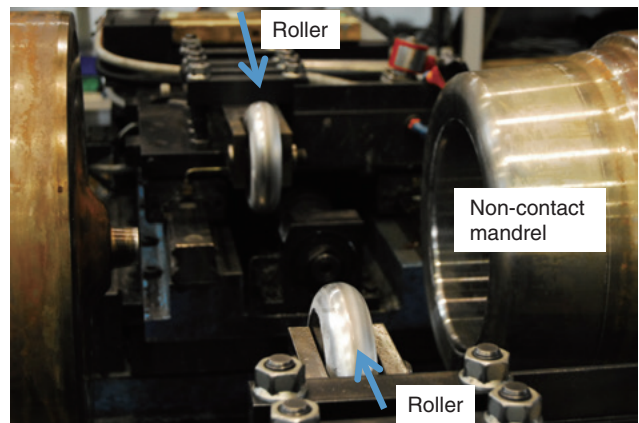


Fig. 10 Proposed test machine for flowforming

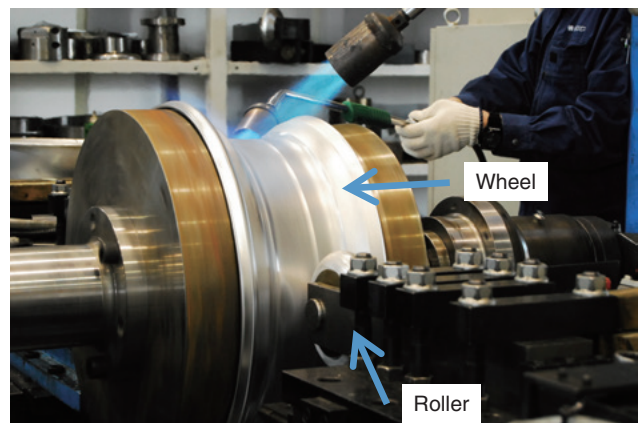


Fig. 11 Flowforming trial using two rollers

がある。フローフォーム加工では大きな荷重をかけて成形することで加工回数を減らしコストを低減できる。しかしリバースリムのプリフォームとマンドレルの間には非接触の部分があるため、ローラに過大な荷重を掛けた場合、リムに大きなひずみが発生しリム割れが発生する。

それらの課題を対策するには、設備能力を考慮した上で負荷を制御しながらフローフォーム加工をする必要がある。

そこで関連する加工温度とローラしごき回数の二つの項目に着目し、条件の最適化を実施した。

まず加工温度の設定について述べる。フローフォーム加工時の鑄造素材の予熱温度は、加工時のローラ押し込み荷重の低減のために重要である。Fig. 12 にホイールに用いられるアルミ合金 JIS AC4CH 合金のホイールから切り出した試験片による高温材料特性を示す。AC4CH 合金の降伏強度は温度とともに低下し、それとは逆に伸びは増加することがわかる⁽⁴⁾。

量産のノーマルリムホイールのフローフォーム加工温度は 300℃ 前後であるためこの温度でフローフォーム試験をおこなったところ、リム内周に Fig. 13(a) のようにクラックが発生した。そこで、上記の事前試験の結果から、降伏強度が約半分まで低下し、また伸びが二倍に上昇する 400℃ でフローフォーム加工をおこなった結果、リムのク

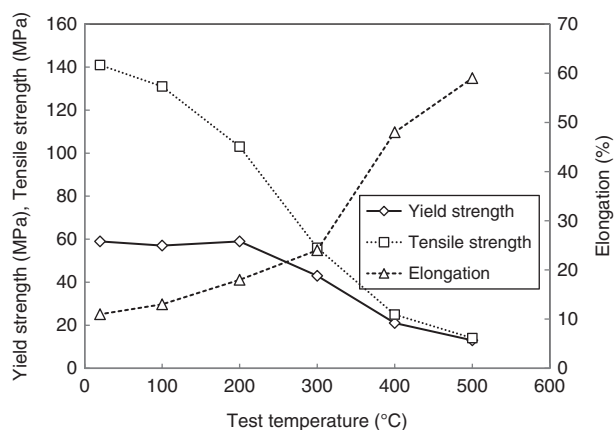
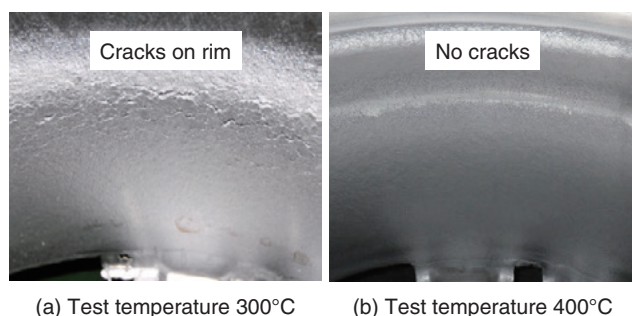


Fig. 12 Mechanical properties of JIS AC4CH



(a) Test temperature 300°C

(b) Test temperature 400°C

Fig. 13 Interior of rim after flowforming process

Table 1 Test results of temperatures

Temperature	300°C	350°C	380°C	400°C	420°C	450°C
Result	Crack	Crack	No crack	No crack	No crack	No crack

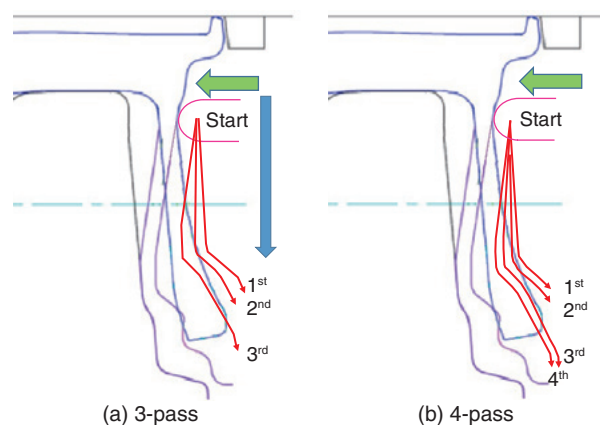
ラックは発生しなかった。

クラック発生が防止でき、量産性を考慮した最適な加工温度範囲を確認するために各種温度で加工試験をおこなった。Table 1 に各温度での試験結果を示す。380℃ 以上の温度ではクラックの発生はないことがわかったが、温度が高すぎると素材強度が低下しすぎ予熱炉から素材を取り出す際や、搬送時やマンドレルにセットする際に搬送ロボットのチャッキングでホイール素材を変形させてしまう恐れがあり量産生技性上好ましくない。そこで 400℃ を温度条件として設定した。

次にローラがリムをしごく最適な回数の検討をおこなった。量産のノーマルリムホイールのフローフォーム加工において、ローラしごき回数は、荒形状成形用ローラが 1 回から 2 回、インナフランジ部の成形用ローラが 1 回の、合計 2 回から 3 回で完了する。これに対し、リバースリムホイールのフローフォーム加工は、先に述べたようにマンドレルに接触しない部分を少しずつ加工する必要があるため、しごき回数が増加する。そこでしごき回数の設定を変えて試作をおこなった。ローラの動作軌跡を Fig. 14 に示す。

ローラは、スタートの位置から緑矢印方向に荷重を負荷しながら赤線の軌跡で青矢印方向に移動する。ひずみを分散させるためにさまざまな軌跡で加工をおこなった。3 回加工では一回当たりの加工度が大き過ぎリムの内面側にクラックが発生したが、4 回で加工をおこなうことでクラックの発生は抑えることができた。

以上のように、フローフォーム加工方法の改良と加工条件の最適化により、量産ノーマルリムホイール同等のコストでリバースリムホイールを製造する生産技術を構築した。



(a) 3-pass

(b) 4-pass

Fig. 14 Motion of roller while flowforming

5. 効果の検証

5.1. CAE による外観と軽量化の効果予測

ホイールサイズとデザインが異なる4タイプのホイールをリバースリム化した場合の、3Dモデルを用いた算出結果を Fig. 15 に示す。

いずれの製品においても、リバースリム化をすることで、視覚的に大きく見え、かつ、軽量化ができることがわかった。

一般的なデザインホイール A, B, C ではサイズが大きくなるほど軽量化効果が高くなった。

例えば SUV 車両は車体が大いいため、それに伴いホイールも大径になる傾向があるが、リバースリムホイールにすることで、インチアップをおこなわずともホイールを大きく見せられ、インチアップ分の重量削減と同一サイズでのリバースリム変更による重量削減の両方が効果として期待できる。

また、ホイール D は、重量低減をねらって開発された軽量ホイールであるが、リバースリム化することでさらに軽量化できることがわかった。

5.2. リバースリムホイールの実機検証

CAE の効果実証を Fig. 15 のモデル A, D でおこなった。モデル A は Fig. 1 に示したように視覚的に大径に見せることができた。また重量もノーマルリムホイールに対し、650 g 軽量化ができ CAE で予測した効果と一致した。

軽量モデルであるホイール D は、2015 年モデル Civic

Type-R のホイール (サイズ:19 インチ×8.5J) である。このホイールをリバースリム化したものを Fig. 16 に示す。リバースリム化によりスポークの長さは、ノーマルリムの 440 mm からリバースリム化で 464 mm となり、約 1 インチ長く見せることができた。

このようにリバースリム化により内部空間が広くなり、よりスポーティな印象のホイールとなった。Fig. 17 に実車に搭載した状況を示す。

また重量についても 1 本当たり 250 g の重量低減ができ、CAE 解析結果と一致した。

Fig. 18 にリバースリムホイール採用による重量削減部位を示す (緑色部が低減部位)。既に軽量化されたホイールであっても、リバース化によりディスク面とビードドロップエリアの間にある無駄肉を取り除くことで軽量化効果があることがわかった。

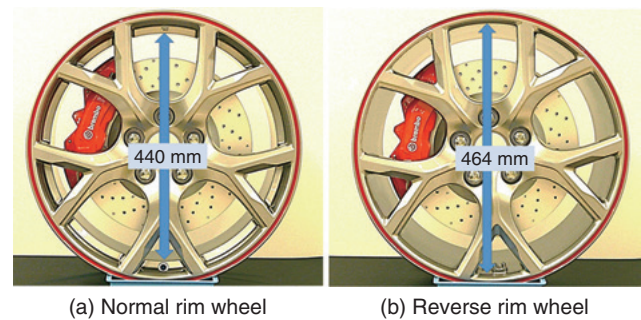


Fig. 16 Appearance of normal rim wheel and reverse rim wheel



Fig. 17 Reverse rim wheel on sport type car

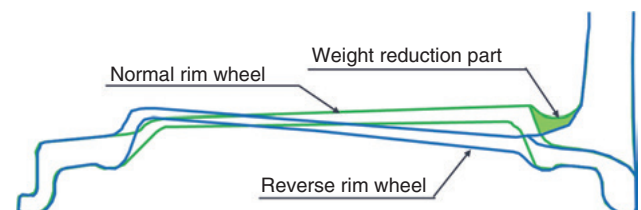


Fig. 18 Area in which weight is reduced in reverse rim wheel

Size	Normal rim wheel	Reverse rim wheel	Weight reduction
Wheel A 18 × 7.5J	 12.40 kg	 11.75 kg	-0.65 kg -5.24%
Wheel B 19 × 8.0J	 13.56 kg	 12.48 kg	-1.08 kg -7.96%
Wheel C 20 × 8.5J	 15.08 kg	 13.95 kg	-1.13 kg -7.49%
Lightweight wheel D 19 × 8.5J	 11.91 kg	 11.66 kg	-0.25 kg -2.10%

Fig. 15 CAE results for appearance and weight

以上のようにリバースリム化により、ノーマルリムホイールと同一のデザインでありながらインチアップと同等の視覚的大径化による意匠性向上と、無駄肉の低減で、18インチ以上のホイールで5%以上軽量化が可能であることを確認した。

また、軽量にデザインされたホイールでも2%以上軽量化できることを確認した。

6. まとめ

本稿において開発した生産技術手法を適用したことで、視覚的に大径に見えると同時に軽量化ができるリバースリムホイールを1ピースで製造することができた。

- (1) 対向ローラによるフローフォーム加工を考案し、既存ラインの設備を活用した安価な1ピース構造のリバースリムホイールを製造する手法を構築した。
- (2) フローフォーム加工において予熱温度を400℃、ローラしごき回数を4回とし、クラックや微小クラック等の肌荒れのない最適な加工条件を設定した。
- (3) CAEで予測した形状を実現でき、ねらい通りの軽量化効果が得られることがわかった。
- (4) リバースリム化により、ノーマルリムホイールと同一のデザインでありながらインチアップと同等の視覚的大径化による意匠性向上と、無駄肉の低減で、18インチ以上のホイールで5%以上軽量化が可能であることを確認した。また、軽量にデザインされたホイールでも2%以上軽量化できることを確認した。

参考文献

- (1) 青山元男:Part10 走行装置, クルマのしくみ, ナツメ社, p. 173, (2008)
- (2) 野崎博路:基礎自動車工学, タイヤの力学, 東京電機大学出版局, p. 5, (2017)
- (3) 日本材料学会編: 3章強度の基本特性, 改訂 材料強度学, p. 50, (2009)
- (4) 軽金属協会編: 8章工業用材料, アルミニウム材料の基礎と工業技術, p. 306, (1985)

■ 著 者 ■



大橋 正義



澤井 宗美



酒井 智紀



小林絵里菜



鈴木 秀之



川上 穰