

グローバル生産を加速させる“ものづくり力”の高度化

Accelerating Global Production through Upgraded Manufacturing Capabilities



田畑 穰① Yutaka Tabata
 山本 伸彦② Nobuhiko Yamamoto
 松本 武志③ Takeshi Matsumoto
 安達裕一朗④ Yuuichirou Adachi
 大岸 秀之⑤ Hideyuki Ogishi
 石原 一宏⑥ Kazuhiro Ishihara
 河原 秀夫⑦ Hideo Kawahara
 青木 篤人⑧ Atsuhito Aoki

当社は、新興国市場において生産から販売に至るグローバル展開を積極的に進めるとともに、国内工場を生産拠点として、ものづくり力の高度化を図っている。

本稿では、エンジンの高出力化や軽量化に寄与するとともに生産能力向上を実現したシリンダの開発、高品質化を目指した溶接加工や仕上げ工程をロボットにより自動化した事例を紹介する。

Kawasaki is taking active steps in emerging markets to implement a global strategy that covers from production to sales, while seeking to upgrade its manufacturing capabilities by handling production back home in Japan.

This paper discusses the development of a cylinder that contributed to the production of a lighter engine with higher output while improving production capacity. It also introduces readers to cases in which robots were employed to automate welding and finishing processes in order to achieve superior quality.

まえがき

新興国では、その目覚ましい経済発展に伴いモーターサイクルの需要が年々高まっている。これに応じて、既存の二輪車メーカーによる高品質な製品と、インドや中国の新興メーカーによる低価格な製品が市場に供給されている。さらに近年では、年々品質を向上させている新興メーカーに対し、既存メーカーも競争力を高める努力を続けている。

このような状況の中、当社も先進国モデルと同等の高い品質とコスト競争力をもった製品を新興国に提供するために、さまざまな取り組みを行っている。

1 世界戦略車向け

アルミダイカスト製スリーブレスシリンダ

(1) 開発の背景と狙い

当社では、より高性能なモデルを市場ニーズに合わせてタイムリーに供給するため、商品開発力と生産技術力を結集し、先進国と新興国の両市場に適合することを目指した世界戦略車の新型モデル「Ninja 300」の開発を進めてきた。

「Ninja 300」は、前モデル「Ninja 250R」よりもエンジン出力が高いため、エンジン内部の温度が上昇し、ピストンの往復運動を保持する筒状のシリンダが高温となるので、冷却水通路への放熱効率を高くする必要がある(図1)。

前モデル「Ninja 250R」のシリンダは、アルミ合金製本体に铸铁製スリーブを組み込んでピストンとの摺動性を保持する構造であったが、「Ninja 300」に対しても铸铁製スリーブをそのまま採用した場合、铸铁製スリーブの低い熱伝導率に起因する温度上昇によりオーバーヒートやノッキングなどが生じやすくなる。また、铸铁の比重はアルミ合金の約3倍もあるため、重量増の要因にもなる。

これらの課題に対処するため、「Ninja 300」のシリンダでは、製作方法を重力鋳造製からダイカスト製に変更し生産性を向上させるとともに、铸铁製スリーブの代わりに、アルミ合金製本体に薄いめっき皮膜を付けることで、優れた摺動特性と高い放熱性、および軽量化を実現した(図2)。

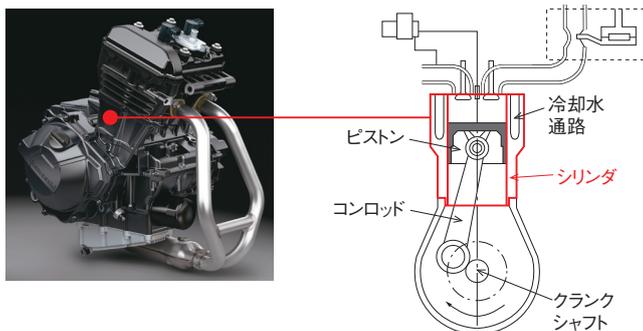


図1 エンジンを構成するシリンダ
 Fig. 1 Cylinder constituting an engine

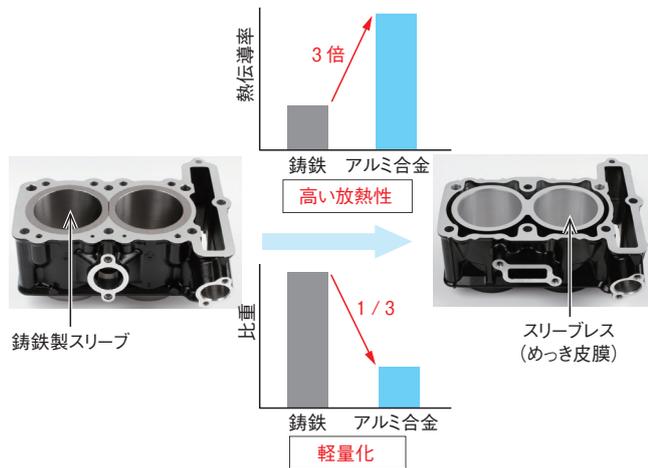


図2 スリーブレスによる効果
Fig. 2 Advantages of sleeveless cylinders

(2) 生産技術の開発

(i) アルミダイカスト化

新興国における需要増に生産能力を適合させるため、アルミシリンダの製造方式を、従来の重力鋳造法よりも生産速度が5倍のダイカスト法への転換を図った。ダイカスト法では金型を用いて高速充填するため、高い精度と生産性を両立できる。しかし、高速充填によるガスの巻き込み現象や凝固速度の不均一性などが鋳造欠陥の発生を誘発するので、高機能が求められるシリンダへの適用は容易でない(表1)。そのため、鋳造シミュレーションを利用して、鋳造方案や金型内部冷却構造などの製造方法を最適化することにより課題を解決し、高い品質を獲得した(図3)。

(ii) 複合めっきによるスリーブレス化

従来の鋳鉄製スリーブの代わりに、アルミシリンダへの複合めっきを採用した。これは、SiC(炭化ケイ素)粒子

表1 重力鋳造法に対するダイカスト法のメリットと課題¹⁾
Table 1 Advantages and challenges of the die-casting method for gravity casting¹⁾

メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・サイクルタイムが短いため、生産速度が速い ・寸法精度が高く、表面粗さが小さい ・薄肉成形が可能
技術課題	<ul style="list-style-type: none"> ・高速充填のため、シリンダ内面に巻き込みガスによる欠陥が生じやすい ・強度が必要になる厚肉部やボルト座面に引け巣が生じやすい ・高速充填のため金型が損耗しやすい

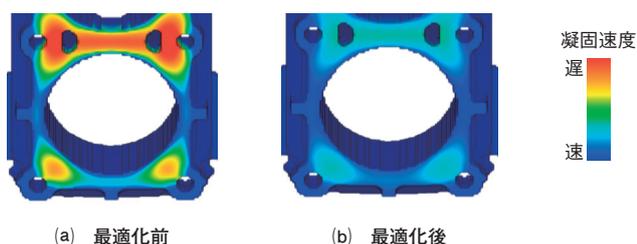


図3 鋳造シミュレーションによる凝固速度の均一化の例
Fig. 3 Equalization of the solidification speed by the casting simulation

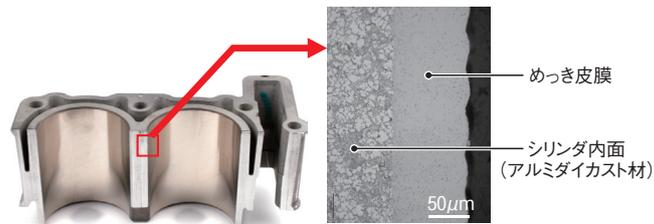


図4 複合めっき処理したシリンダ断面
Fig. 4 Cross-section of a composite plated cylinder

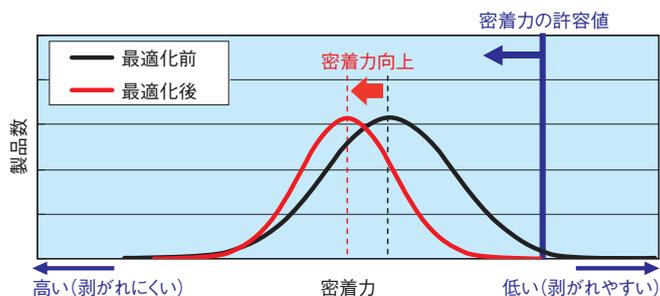


図5 めっき皮膜密着力の分布
Fig. 5 Distribution of adhesive strength of plating film

を分散させためっき皮膜を形成する(図4)もので、この薄い皮膜が摺動性能を引き出すとともに、高い放熱性も付与することができる。この複合めっき法について、当社では高出力エンジンに対しての10年以上の技術の蓄積がある。しかし、今回採用したアルミ合金はシリコン含有量が多いため、めっき皮膜との冶金的な結合力が低い。そのため、めっきの前処理でアルミ合金の表面粗化を促進させて結合サイトを増やすことや、めっき後に行う加熱処理の最適化により、十分な相互拡散層を形成させて²⁾、密着力の向上を図った(図5)。

(3) 新型モデルへの適用

スリーブレス新型シリンダにより、高性能化、軽量化、高生産性を達成し、前モデル「Ninja 250R」より出力の高い「Ninja 300」に求められる機能、品質を達成することができた(図6)。同時に、新型モデル「Ninja 250」と「Z250」にも採用し、新興国の需要増に対する生産能力増強にも大きく貢献している。今後、さらに他モデルへ横展開していく方針である。



図6 スリーブレスシリンダを搭載した「Ninja 300」
Fig. 6 Ninja 300 featuring sleeveless cylinders

2 アルミフレームの溶接、仕上げ工程の自動化

(1) 開発の意義

グローバル生産における自動化は、省人化によるコスト削減だけでなく、国内製作品と同等レベルの品質を確保するための手段としての意義がある。

以下に、モーターサイクルのアルミフレームを対象とした溶接自動化技術、仕上げ自動化技術を紹介する。

(2) アルミフレーム溶接の自動化

アルミフレームの溶接は、溶接部の強度、寸法精度だけでなく、溶接部の意匠性まで多岐にわたり、非常に高い品質が求められる。

従来、個々の溶接作業者の高い技能によって品質を確保していた。しかし、この10年間、脱技能化を合言葉に、各種自動化技術の開発や、自動溶接しやすいフレーム構造への変更などを進め、現在のモデルでは溶接自動化率90%以上を達成しているものもある(図7)。

(i) サーボトーチ

サーボトーチは、溶接トーチに内蔵したサーボモータにより、座屈しやすいアルミ溶接ワイヤを精緻に送給制御することができる。サーボトーチの導入により送給系のトラブルを減少させるだけでなく、溶融形態が異なる板金部品と鋳物部品との溶接など異なる材種同士でも安定した溶接品質を得ることが可能になった。

(ii) ポジショナ協調溶接

溶接品質を安定化させるためには、下向き溶接姿勢が必須である。そこで、溶接トーチとワークポジショナが協調して動く協調溶接技術を導入した。これにより、ボックス構造の角部を通り連続溶接する場合などでも、溶接部が常に下向き姿勢となり、溶接品質を安定化させることができた。

(iii) オフライン教示

溶接ロボットの教示作業面においては、当社製オフライ

ン教示ソフト「KCONG」を使用し、教示時間の短縮、脱技能化を実現した。オフライン教示データを実機へ展開する場合の課題として、実機の個体差に起因するオフライン教示と実機とのずれの問題がある。これに対し、ロボットに絶対位置精度補正を行い、ずれを最小化している。

(iv) TIG-MIG溶接

TIG-MIG溶接法は、MIG溶接開始部の溶込み不足対策処理を自動化したものである。

フレーム溶接では、筒状のフレーム部材の周囲を表裏半周ずつに分けて一周を溶接施工する。これをMIG溶接*で行う場合、アルミニウムの高い熱伝導特性のため、溶接開始時の溶接入熱が分散し、溶接開始部の溶込みが浅くなりやすい。この現象は、特に溶接開始部同士を重ね合わせる部分において表れ、こうした部分で要求される溶込みを得ることは不可能である。このため、重ね部は作業者がTIG溶接**で、つなぎ溶接を行っていた。

そこで、溶接開始部分をTIG溶接で予熱してからMIG溶接を開始するTIG-MIG溶接法を開発した。

ロボットセルは、TIG予熱用ロボットとMIG本溶接用ロボットの2台およびワークポジショナで構成している(図8)。TIG予熱ロボットで予熱を行い、直後に近くに待機しているMIG本溶接ロボットが溶接を開始する。本溶接では溶接の最適姿勢になるようにフレームをポジショニングしてロボットと協調溶接を行っている。

これにより、MIG溶接開始部のつなぎ部分においても、自動化が達成された。また、要求される溶込み品質が安定して得られ、応力集中を低減させることもできた。さらに、意匠性においても良好な溶接ビード外観が得られた(図9)。

* MIG溶接 (Metal Inert Gas Welding) :

溶極式の不活性ガスアーク溶接。母材を溶融させつつ、電極となる溶接ワイヤも溶融して溶接ビードを形成する。能率が高い。

** TIG溶接 (Tungsten Inert Gas Welding) :

非溶極式の不活性ガスアーク溶接。電極が溶融しないので溶接ビードを形成せずに母材への入熱制御が可能。

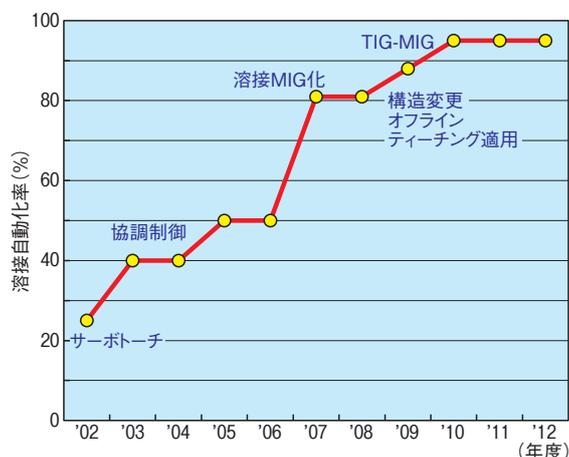


図7 溶接自動化率の変遷
Fig.7 Transition in rate of welding automation

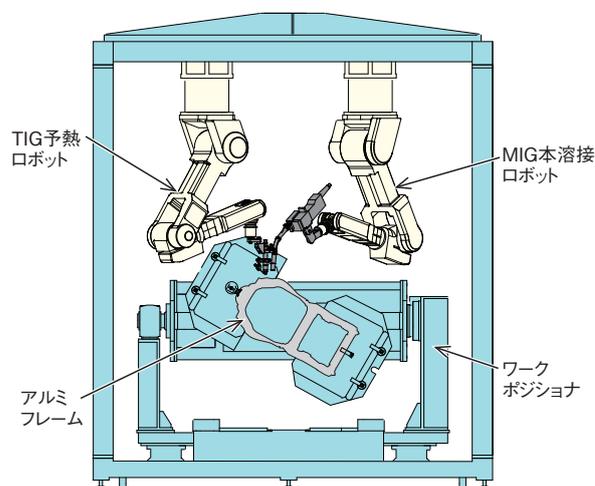


図8 TIG-MIG溶接ロボットセル
Fig.8 TIG-MIG welding robot cell

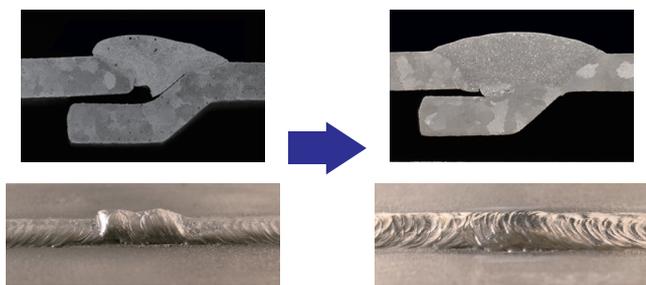


図9 TIG-MIG溶接による溶込み品質向上と余盛高さ抑制
Fig.9 Improving penetration quality and controlling reinforcement height by TIG-MIG welding

(3) アルミフレーム仕上げの自動化

溶接部のビード止端に生じやすい割れや融合不良などの溶接欠陥を目視検査するために、アルミフレームの溶接部に残ったスマット（黒いスス）は、工程内で除去する必要がある。

従来は、溶接ラインの最後に配置された熟練溶接工が実施していたが、歯ブラシ型のブラシを用いたスマット除去と溶接品質確認の作業が大きな負担となっていた。さらに、仕上げ作業中に発生する粉塵による作業環境の悪化に加えて、ブラシ仕上げの他、空圧による振動ツールなどを用いた工程は、まさに3K作業であった。

このブラシ仕上げ作業も含めた仕上げ工程のロボット化を実現することで、溶接ライン最終工程の作業者の負荷を低減するとともに、溶接ライン全体の粉塵量の低減による環境改善にも成功した。

アルミフレーム用のブラシ仕上げ用ロボットシステム（図10）はアーク溶接用ロボットに機能を追加することで実現しており、アーム先端に空圧駆動のブラシを装着し、理想的なビード周辺仕上げ（図11）により、ビード外観も向上させている。ブラシとワークの理想的な接触力は、エアモータの質量に比較して相当に小さい力となるため、ロボットの動作や姿勢の影響を受けにくい懸架機構を開発した。さらに、ブラシは処理時間とともに消耗し線材が短くなるため、ロボットの教示軌跡を修正する必要がある。本システムでは懸架機構による安定した接触力の確保に加えて、ワークとブラシ間に微弱な電流を与え通電状況を検出することで、ブラシとワークの接触状況を把握し、ロボットアームの軌跡をリアルタイム補正している。

当社では、今回紹介したワイヤブラシによる仕上げ用ロボットシステムのほか、無塗装で出荷されるアルミフレーム車の仕上げに加えて、外観デザインとしてのヘアラインを付与するロボットシステムなどを開発し、生産ラインに投入している。

外観デザインや品質確認のための仕上げ処理は、作業者の技能レベルによる作業品質のバラツキが発生しやすい。これらの作業の自動化を実現し、作業品質を安定させることで、グローバル生産や生産数量の激変に対応可能な生産ラインを実現している。

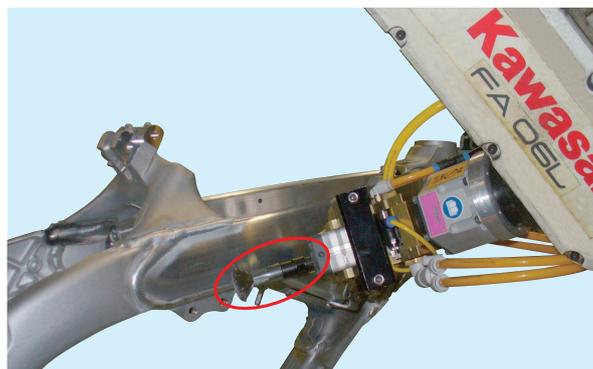


図10 ブラシ仕上げ用ロボットシステム
Fig.10 Robotic system for brush finishing

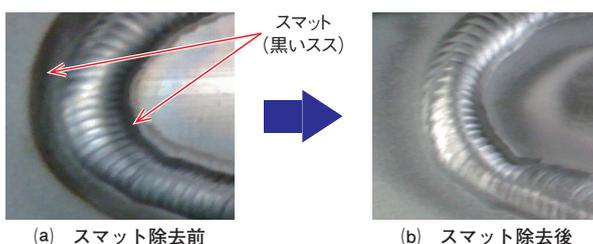


図11 ロボットによるビード周辺仕上げ状況
Fig.11 Weld bead finishing by robot

あとがき

本稿では、新興国においても比較的容易に適用できる生産・製造技術にノウハウをつぎ込んだ手法について紹介したが、日本国内の製造現場においては、海外生産拠点と比較して、より高度な生産技術を要する工程が多数ある。

多品種変量生産の動きを受け、よりよい品質、タイムリーな生産、最大限のコスト削減を達成しつつ、安全・快適な生産職場作りや環境への配慮など、生産・製造技術向上への多面的なアプローチを一層進めていく。

参考文献

- 1) 菅原, 上原: “ダイカスト技術入門-第2版-”, 日刊工業新聞社, pp.7-14 (1997)
- 2) 森河, 中出, 横井: “めっき皮膜の密着性とその改善法”, 表面技術, Vol.58, pp.267-274 (2007)

