

YZF-R6 に採用した薄肉ダイキャスト車体

Thin walled die-cast Body for YZF-R6

橋内 透 Toru Kitsunai 山縣 裕 Hiroshi Yamagata 小池 俊勝 Toshikatsu Koike
●研究開発センター 応用プロジェクト開発室 CF プロジェクト

技術論文

Abstract

Thin walled die-cast parts for the YZF-R6's rear suspension arm were developed. The die-casting concept we used is called CF (controlled filling) die-casting. It enables the production of weldable and heat-treatable parts. The technology is characterized by a high vacuum level in the die cavity, controlled injection velocities during casting and refined aluminum containing less hydrogen gas and aluminum oxide. The combination of Al-10%, Si-0.3%, Mg-0.6%, Mn alloy with T5 heat treatment has enable the assembly of a rear suspension arm from just two main components. The high welding velocity, as fact as 1 m/min, has caused less distortion, even in this thin-walled part.

1 はじめに

ヤマハ発動機(株)は、アルミニウムを二輪量産車の車体に積極的に採用してきた。アルミニウムは軽量化な車体を作るために有効な素材で 1980 年以前より GP(グランプリ)レーサーの車体などでは研究されていた。しかし、車体に最適な高強度かつ耐応力腐食性のある合金の開発、溶接の信頼性確保、あるいはコストを安く作り込む量産技術の進歩などが必要であったため、一般市販車に使われだしたのは、1984 年以降のことである。図 1 に参考のためアルミニウムの 5 つの特性をまとめた。アルミニウムには、軽量化による低燃費化を実現する構造部材として、あるいはリサイクル容易な材料として、地球環境保全の視点からも期待が高まっている。

スポーツモデルを中心にアルミの使用は急速に広がったが、これまでの車体は、板材や押出し型材あるいは鍛造品などの成形品と重力铸造铸物を溶接組み立てし構成してきた¹⁾。これは当初からの基本構成であり、その中で種々の改良がなされてきている。例えば鍛造品の使用をやめ、形状自由度の高い重力铸造品にかえると、板材の成形限界の向上に対する努力などである。しかしながら、板材や型材は自在な曲面を作り出すのに制約があり、一方、制約の少ない重力铸造铸物は薄肉化や大型化に限界があった。

車体設計の理想から言えば、曲面を自在に作れ、強度上必要な部分に必要な肉厚をもたせ、かつ不要部分ではできるだけ薄肉化し、結果的に軽量高剛性な構造を得ることである。そこで、これらのニーズにこたえるべく、薄肉で大型部品が成形可能で十分な強度・伸びを持たせることができ、同時に溶接接合可能な製品ができる高圧ダイキャストの新技术、CF ダイキャスト (Controlled Filling Die-Casting) を開発し、今回 YZF-R6 のリアアームに採用するに至った。本文ではこの関連の技術を紹介する。

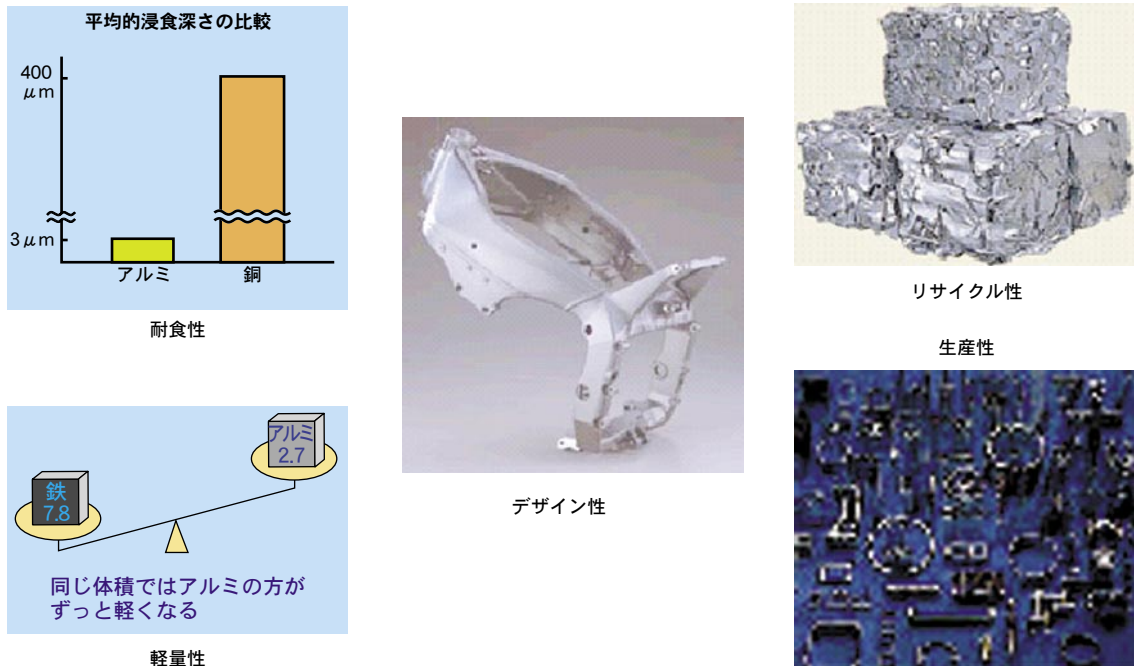


図 1 アルミニウムの特長

2 要素技術

2.1 CF ダイキャスト技術

従来、アルミニウムの鑄造技術には表 1 のような技術が一般的に知られている。このうちダイキャストとして日本で略称される高圧ダイキャスト技術 (High Pressure Die-casting) はきわめて生産性の高い技術で、精度が高く値段も安いのでクランクケースをはじめとし多くの採用実績がある。

高圧ダイキャストは溶けたアルミをピストンシーリング機構で金型中に高速で注入し製品とする。溶けたアルミを注入するので、他の鑄造方法と比べ、転写精度のよい薄い鑄物が生産可能である。さらに、型内の真空吸引を併用した高圧ダイキャスト技術は、減圧により注入溶湯に抵抗がなくなることによる湯流れ充填の改善および充填時空気の巻き込みが減少するなどのメリットがある。これらには様々な方法が提案されてきており、使用例は多い。しかし、材質的には一定の改善効果は見られるが、塑性加工あるいは熱処理や溶接に適した材質までは至っていなかった。これはダイキャスト品の含有水素ガス量の多さ、酸化物の巻き込みなどが技術的に解決されていなかったためである。そのため、T6 熱処理あるいは溶接が必要な部材には、表中の砂型鑄造、金型鑄造あるいは低圧鑄造などの製品が従来用いられてきた。

著者らは従来の高圧ダイキャストの問題点を克服する技術として CF ダイキャストというコンセプトを提案している。この技術は従来からある真空を併用した高圧ダイキャストの延長上にある技術として位置づけられるが、次のような点に留意することで、溶接性および熱処理性において飛躍的な品質向上が可能となった。

表 1 アルミダイキャスト技術の特長

	生産可能数量 / 1h
ダイキャスト	50 ~ 60
砂型鑄造	5 ~ 10
金型鑄造	20 ~ 40
低圧鑄造	15 ~ 30

軽量かつ生産性に優れている！

- (1) 金型キャビティ部の真空度を向上させるためリーク部に全てシールを入れる。このことで 3 kPa 程度の高真空が操業中に維持される。
- (2) 多系統の温度調節機により金型の温度制御を精密に行う。このことを積極的に行うことで金型の温度バランスを良くし、湯流れを助け、冷却速度を制御することで材質を改善する。
- (3) 湯流れシミュレーションにより最適な金型方案を設定する。薄物のシミュレーションにはノウハウが必要である。
- (4) 部品形状に最適な注入速度の選択および制御を行う。特に量産時の繰り返し精度を確保する。このことで製品のばらつきは減少でき、同時にショット毎の異常が検出できる。
- (5) 製品中の酸化物あるいはガス量を低減するため溶湯の精錬処理をおこなう。製品の伸びを確保するには、破断チル層低減の策を講じる必要がある。

以上のようなことを特徴としている。

これらの相乗効果により、製品内のガス混入量を重力铸造品なみの $3\text{cm}^3/100\text{g}$ 以下にすることができた。その結果、ダイキャスト技術を薄肉、大型の方向に拡大し（図 2）、溶接や T6 熱処理ができるようになった。

溶接および熱処理を可能とするには、铸造条件の制御管理が一段高いレベルで要求される。そのためには形状出しは容易に行え、その上に材質制御のための条件管理を行う必要がある。形を出すことに窮々としているようでは、材質の向上は望むべくもない。そのために上述 (2) ~ (4) の技術は重要である。

図 3 に従来法と CF 法の模式図を示す。製品の材質を向上させるための各種制御機器を装備している。

今回ダイキャスト品を採用するにあたり、構造の強度解析を行うとともに、そのデータを铸造方案の湯流れ解析に使用し、金型方案の最適化を行った（図 4）。これらの技術の詳細はノウハウの塊でもある。

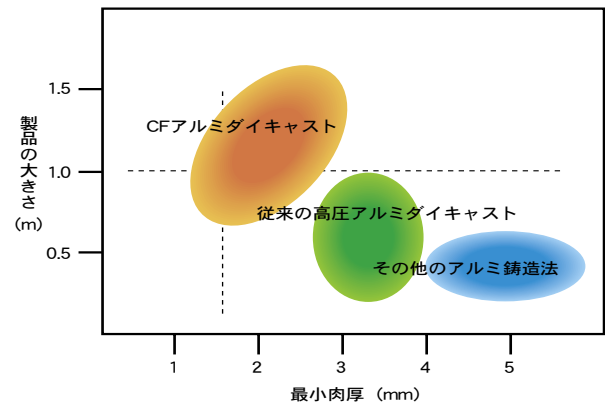


図 2 CF ダイキャストの目指すもの



図 4 リアアーム鑄造シミュレーション

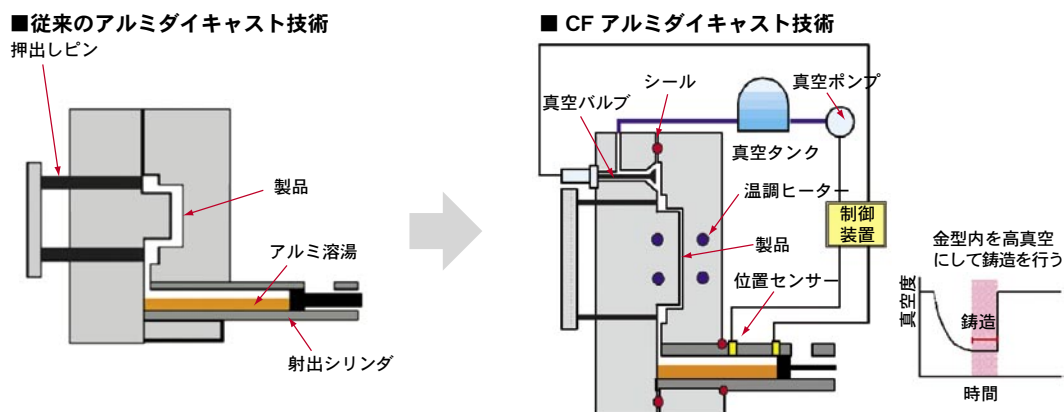


図 3 従来の高圧ダイキャスト法と CF 法の比較模式図

2-2. 素材

車体に必要な延性と耐力の両立のために、材料は Al (アルミニウム) -10%, Si (シリコン) -0.3%, Mg (マグネシウム) -0.6%, Mn (マンガン) 系の新塊グレードを採用した。ダイキャスト用材料は金型との焼きつき防止のために Fe の添加が不可欠であったが、Fe の添加は針状晶を形成し伸びを低下させる。そのため本材料は Fe の添加をやめ、Mn で焼きつき防止を計った。また、この材料は鑄造性と耐食性が優れているとともに、Mg 添加量および図 5 に示す熱処理条件を変えることにより延性と耐力が調整できる。今回は必要な延性と耐力およびひずみを考慮し、T5 熱処理を採用した。さらに、冷却速度の遅い厚肉部でも強度伸びの低下を最小限に抑えるため、Si を添加し組織の微細化を計った (図 6)。図 7 は拡大写真である。厚い部分でも共晶 Si が微細化され高強度化されている様子がうかがえる。

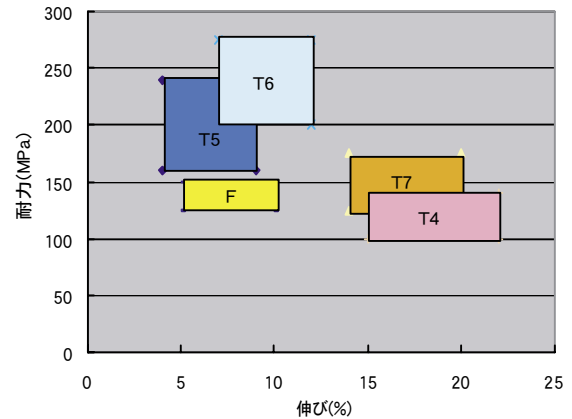


図 5 熱処理毎の強度、伸び値分布

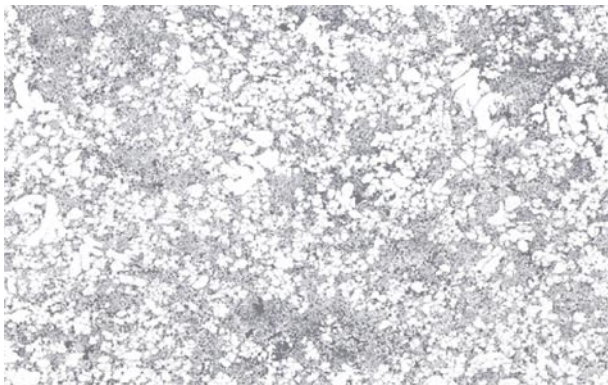


図 6 断面金属組織写真
板厚 4.5mm 部の板厚中心部 (100 倍)

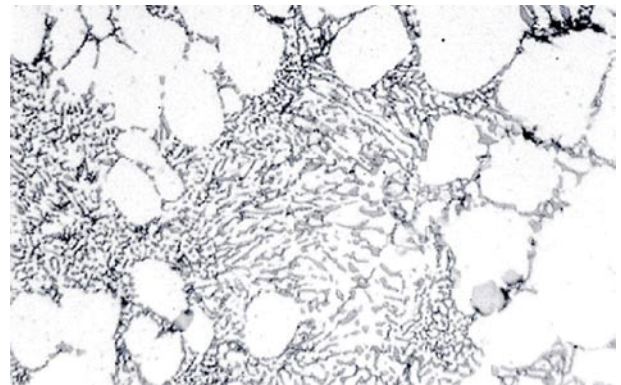


図 7 断面金属組織写真
板厚 4.5mm 部の板厚中心部 (1000 倍)

2.3 高速 MIG 溶接技術

CF ダイキャストで鑄造された製品は含有水素ガス量が少なく TIG (Tungsten Inert Gas) および MIG (Metal Inert Gas) 溶接ともに可能である。今回ダイキャスト品の溶接を研究する中で、MIG 溶接の高速化の研究を行った。従来のアルミ TIG 溶接や MIG 溶接 (溶接速度で 250 mm/min 程度) は、入熱による素材強度の低下と溶接ひずみが課題であった。今回 1,000 mm/min の高速 MIG 溶接技術を開発採用することにより、高い接合強度を実現し、同時に生産性を大幅に向上した。図 8 には高速 MIG 溶接により溶接二番の硬度低下が起きていないことが示される。

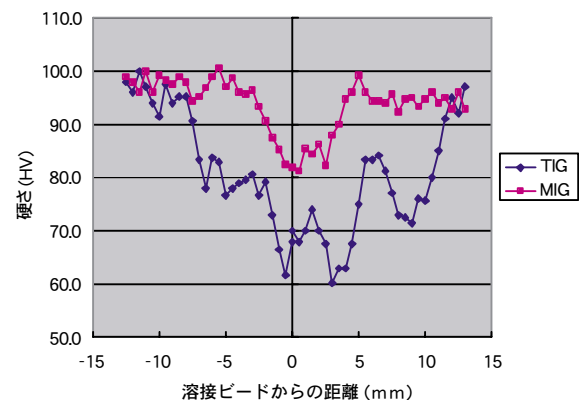


図 8 従来 TIG と高速 MIG 溶接部近傍の硬さ分布比較

3 YZF-R6 部品への適用

3.1 リアアーム

今回のリアアームは主な部品を CF ダイキャスト製の 2 部品とし、それらを中心線で高速 MIG 溶接接合している (図 9)。これにより部品点数を従来比 7 割削減できた。また、接合位置が中央線部になったこともあり、組み立て溶接後、必ず必要とされた矯正工程は不要となった。使用した材料は高耐食性で、従来行っていた塗装前のクロム酸クロメート処理を廃止し、表面処理は 1 コート 1 ベークの黒塗装仕様とした。



図 9 R6 リアアーム外観

4 おわりに

CF ダイキャストを開発することにより、ダイキャストのもつ形状自由度、生産効率を生かし、重力铸造なみの強度、伸び、溶接性を実現できた。また、この技術を YZF-R6 の車体に採用することにより、外観デザインの自由度が高まり、部品点数および生産工程の大幅な削減ができた。今後、この技術を改善していくことで、さらに環境にやさしく高機能、かつ生産コストを低減することのできる車体が提供できるものと確信している。

■参考文献

- 1) 山縣裕 : 塑性と加工, 40-465, (1999-10), 920-924 .
- 2) Z.A. Xu and F. Mampaey: AFS Transactions, 104(1996)155-166.

●著者



山縣 裕



小池 俊勝