

二輪車用アルミダイカストフレームの開発

Development of Aluminum Die-casting Frame for Motorcycle

佐久間 芳 信* 永 田 信*
Yoshinobu Sakuma Makoto Nagata

要 旨

複雑な形状の大型強度部材をダイカストにより一体成形する場合、材料や、生産技術面などに高度な技術開発が必要である。

一方、モーターサイクル用フレームボディでは必要な機能の確保と共にデザイン面からの外観要求を両立させることが必要である。

このため、アルミフレームのダイカストによる製造方法を開発すると共に、この手法に適したアルミ材料の開発を行い、また必要な強度、外観を得るためにCAEを用いたフレームボディ形状の検討を行った。

本論文は、アルミダイカストフレームを量産するにあたり、スチールフレームや押出し材を用いた従来のアルミフレームと同等の剛性、強度を得るために行った研究成果を報告するものである。

ABSTRACT

High quality materials and precise manufacturing techniques are required to produce mono-block die-cast large-bloc components. This is especially true for components with complex configurations requiring high strength, as aluminum motorcycle frames. An additional requirement for motorcycle frames is attractive styling.

This paper describes the process of developing the aluminum die cast frame with the same rigidity and strength of steel or conventional aluminum frames. This includes the manufacturing process, optimum aluminum material selection and frame design using CAE to achieve styling compatible with required rigidity.

1. まえがき

現在普及しているモーターサイクル用フレームは、スチール製のパイプ及び板材の溶接フレーム、アルミ押出し材とGDC(Gravity Die Casting)材を溶接結合しているアルミフレームとに大別できる。

一方、近年のモーターサイクルの技術進歩の一環として、フレームには、軽量で高い剛性を持つことが求められており、更に主要外観部品としての役割も担うに至っている。

そのため、外観形状が自由に設定でき、各部の

肉厚、形状等も自由に変化させ得るフレームが要求されてきた。この様な要求を満足する手法としてフレーム全体をアルミの casting でつくる方法が考えられるが、今回はその中でも生産性のメリットの高いダイカスト法に注目した。

しかしながらダイカスト法にて製造したフレームは、

- 1) 材料面では強度、靱性及び casting 品質の確保が必要
- 2) 構造面では各断面が開放断面であることか

* 朝霞研究所

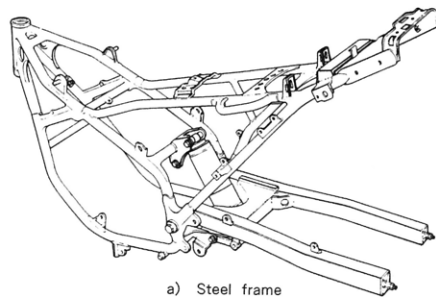
ら剛性、強度を確保するための工夫が必要等の克服すべき問題がある。

筆者らはこれらの問題を解決するために、材料、形状及び製法についての見直し、追求を行いモーターサイクル用アルミダイカストフレームの量産を可能にした。

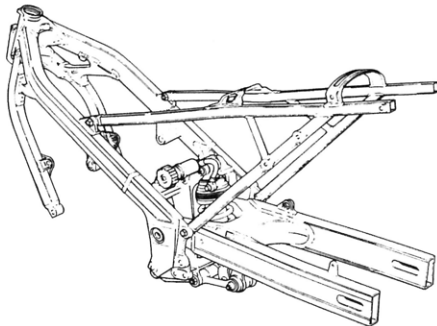
ここで、図1に各種フレーム形状、表1にそれぞれの特徴を示す。

2. フレームの基本形状

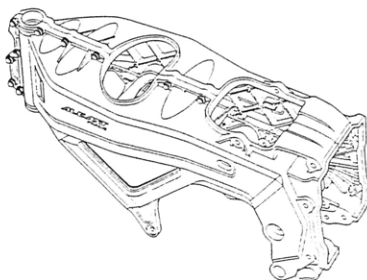
基本的な外観形状は、従来のアルミフレームと同様、スタイリング面及び剛性面で優れるツインチューブフレーム形態を基本として、更にダイカスト製法の利点を生かした三次元的曲面を持った



a) Steel frame



b) Conventional aluminium frame



c) Aluminium die-cast frame

図1 各種フレームの形状

表1 各種フレームの特徴

	特 徴
スチールフレーム	コストと性能のバランスに優れる 溶接性に優れる
従来のアルミフレーム	重量当りの剛性、強度が高い
アルミダイカストフレーム	自由に形状を設定出来る 高い生産性

構造にした。基本外観形状を確保するためには、完全な一体成形とすることは製造上の問題が多いため、フレームは中央にて左右2分割の構造とした。

左右2分割構造は、

1) 左右各フレームが対称型となり、図面作成、金型加工の省力化、製品の機械加工治具の共用化が図れる

2) 金型の製品部深さが最小となり、金型抜き勾配による製品の駄肉が抑えられる

など、生産性に優れている。

左右メインフレームの結合は生産性、信頼性に優れたボルト締結構造とし、局部的な大応力を受けるヘッドパイプのベアリング部及びメインスタンド、サイドスタンド取付け部にはそれぞれジュラルミンパイプ、スチールパイプを用いた(図2)。

3. ダイカスト材料の開発

ダイカストフレームは強度、剛性、靱性に優れ、鋳造欠陥が少なく、しかも外観部品であるため耐食性が良好であることが必要である。

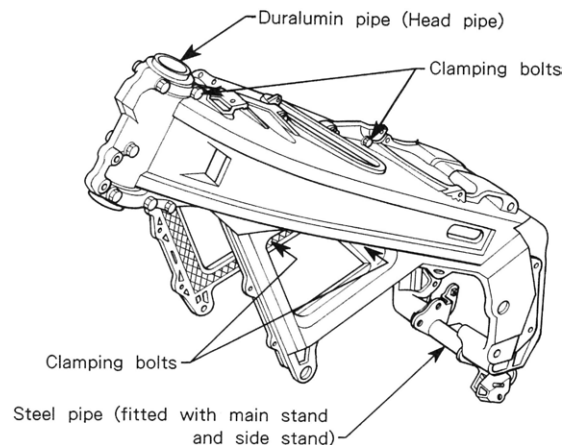


図2 ダイカストフレームの構造

一般に、現在使用されているアルミダイカスト用合金には

Al-Si 系 (A413)、Al-Si-Mg 系 (A360)

Al-Mg 系 (518)、Al-Si-Cu 系 (A380)

の 4 種がある。

ASTM B8 試験片による特性値⁽¹⁾を表2に示す。今回検討した材料の中では、Al-Si 系は強度が低く、Al-Si-Cu 系は韌性確保が困難であり、Al-Mg 系と Al-Si-Mg 系が強度、韌性に優れる。しかし、Al-Mg 系は耐食性は良いが凝固温度が高く、また凝固温度範囲が広いために熱間脆性、湯流れ性に問題⁽²⁾があり、フレームなど大物鋳物の鋳造には不向きである。

一方、Al-Si-Mg 系合金は鋳造後トリミング時の変形など生産性の面で多少の懸案はあるが、鋳造性、耐食性などに優れるためモーターサイクル用ホイールなど、比較的大物部品にも量産実績がある。しかし、フレーム用材料として更に韌性面の向上が必要であるため、本フレーム材料では Al-Si-Mg 系合金に Mn と Sr を添加している。Mn は Fe を含む金属間化合物の粗大化及び針状化を防止し、また Sr は共晶 Si の微細化効果がある。アルミダイカストフレーム用合金の組成を表3に示す。

このようにして決定したフレーム材料と他のフレーム用アルミ材料について、実体部品からの切出しサンプルでの引張り特性を図3、疲労強度特性を図4に示す。

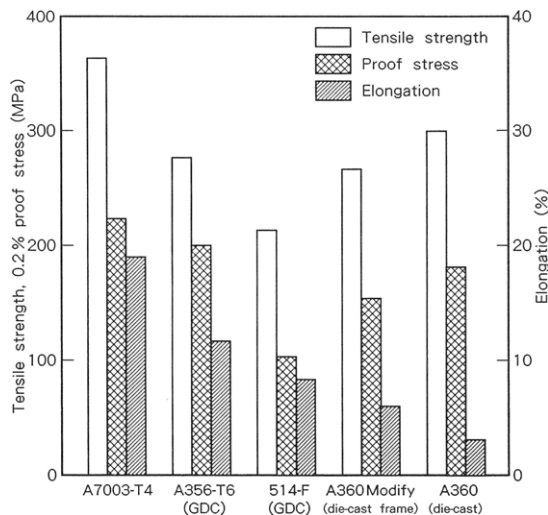


図3 フレーム用アルミ合金の引張特性

表2 ダイカスト用アルミ合金の材料特性

Properties	A 413 (Al-Si)	A 380 (Al-Si-Cu)	518 (Al-Mg)	A 360 (Al-Si-Mg)
Ultimate tensile strength (MPa)	240	296	282	295
0.2 % proof stress (MPa)	145	172	186	172
Elongation (%)	1.8	2.0	7.5	3.0
Shearing strength (MPa)	172	193	193	186
Fatigue limit (MPa)	131	131	159	131
Specific gravity	2.65	2.71	2.57	2.63
Melting point (°C)	580	590	620	600
Thermal conductivity (CGS)	0.29	0.23	0.23	0.27
Coefficient of thermal expansion ,20~200 °C (deg ⁻¹)	21.4 × 10 ⁻⁶	21.8 × 10 ⁻⁶	25.0 × 10 ⁻⁶	22.0 × 10 ⁻⁶

表3 ダイカストフレームの化学成分

(wt %)								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Al
8.5	0.6	0.1	0.4	0.3	0.03	0.03	0.1	bal

ダイカストフレーム材料である A360 Modify の機械的性質は A360 材に対し韌性が改善されており、しかもダイカストのため熱処理はできないが、他のフレーム用 GDC 材料と同等の強度である。

筆者らは、フレームとしての必要な強度保証を得るために、本材料強度データをもとにして、CAE による強度解析並びに実体強度テスト等による開発を行った。

4. CAE による剛性、強度検討

モーターサイクルフレームでは、フレーム全体

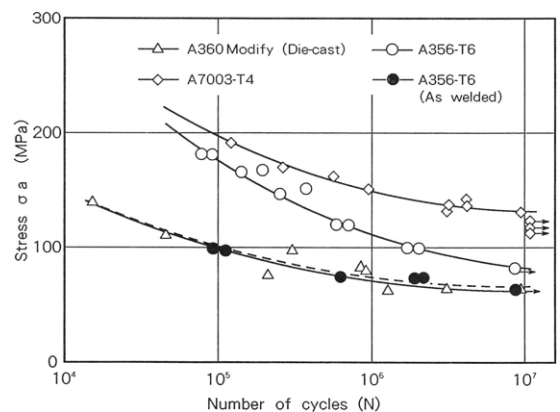


図4 フレーム用アルミ合金の疲労強度曲線

の剛性を高める上でメインパイプ部の剛性は特に重要である。しかし、ダイカストフレームにおいてはメインパイプ部も開放断面であるため、従来のアルミツインチューブフレーム（図5-a）と同構造とすると剛性、強度面などで不利になる（図5-b）。従って、メインパイプ部上面及び下面にも締結部位を設けることによりフレーム全体の剛性を高めた（図5-c）。

一般的にモーターサイクルはエンジンをフレームの剛性、強度部材の一部としているが、ダイカストフレームにおいてもフレームとエンジン取付け部の剛性及び取付け寸法精度を高めることによりエンジンを最大限に活用した。

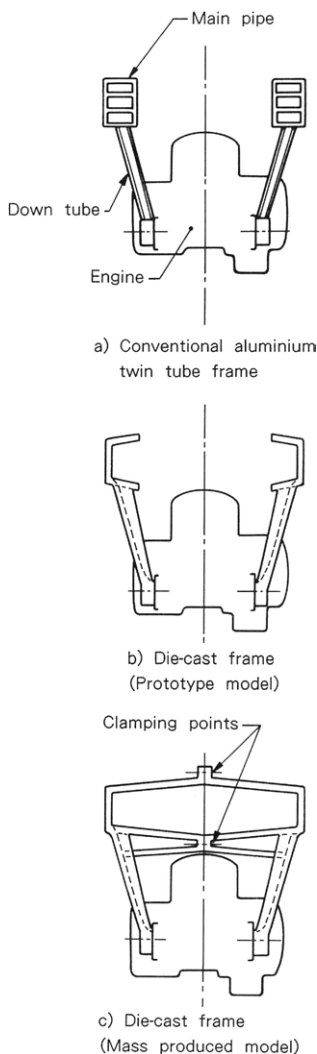


図5 フレームの断面形状

以上の検討の結果、図6に示すように、エンジンを剛性、強度部材とすることで2倍、左右締結部位を増すことで更に1.6倍の剛性増を達成できた。

次に強度計算について説明する。図7に強度計算モデルを示す。強度計算は後述するフレーム単体耐久の条件を用いた。荷重は前輪軸、後輪軸及び乗員乗車位置から加え、拘束はダミーエンジン部である。

従来の主にパイプ材を用いたフレームでは、高い応力部位に対してパイプ外径、肉厚の変更、ガセットの追加及びパイプワークの変更などの対策を施し、その結果として外観形状の変更も起こり得た。ダイカストフレームでは、製法の利点を活かし必要な部位に対してのみの肉厚変更、リブ付

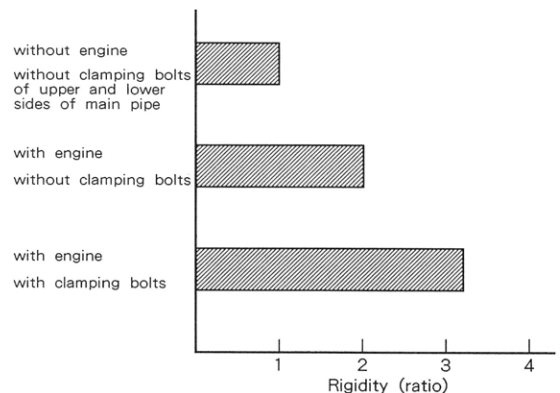


図6 フレームの締結構造と剛性

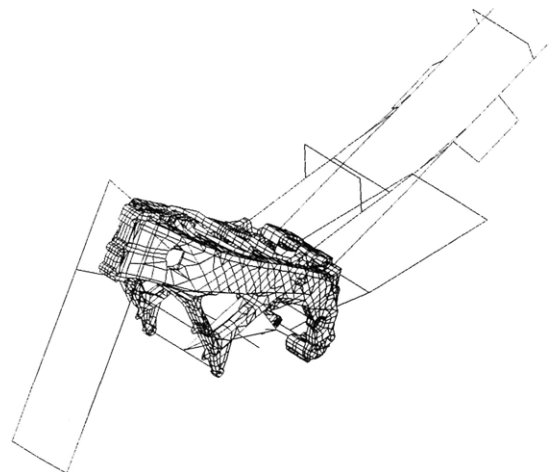


図7 フレームの強度解析モデル

け及び隅部 R 形状の変更などにより基本外観形状を変更することなく、また最小限の重量増で必要強度を得ることができた。

5. 実体テストによる剛性、強度確認

実体テストによるフレームの剛性測定方法を図8、種々のフレームの剛性と重量の関係を図9に示す。アルミフレームは鉄フレームに比較して軽量で高剛性であることが分る。ダイカストフレームも剛性上不利な開放断面であるにもかかわらず、従来のアルミフレームと同等の剛性を有することが確認でき、また同排気量車の鉄パイプフレームに対しほぼ同重量で大幅に剛性値を高める事ができた。

実体による強度テスト手順を図10に示す。このなかで部品単品による耐久テストでは、

- 1) 拘束条件、荷重条件が明確であること
- 2) CAE 解析との整合性が確認されていること
- 3) 荷重条件の変更が容易で、余裕度の確認が出来ること

などが、フレームの強度確認の為に特に重要である。ここではフレーム及びフロントフォーク、リヤスイングアームを使用したフレーム耐久について述べる。

フレーム耐久はモーターサイクルが走行中に路面から受ける反力に対する疲労強度確認テストである。図11にダイカストフレームの耐久テスト方法を示し、テスト手順を簡単に次に示す。

- 1) 各種路面にて前輪及び後輪に加わる荷重、乗員から受ける荷重などを測定し、レインフロー法⁽³⁾により頻度解析する。

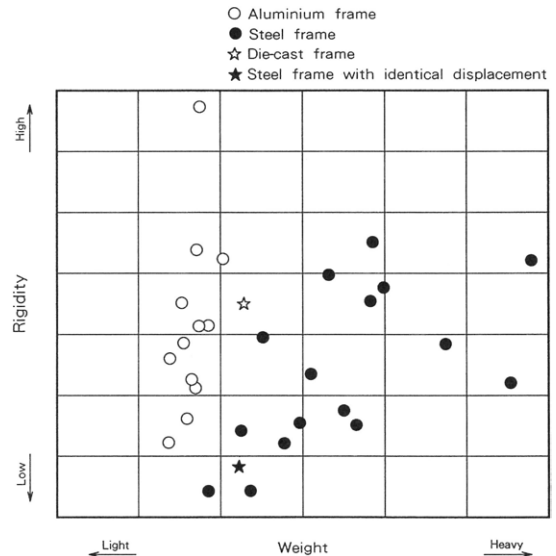


図9 剛性と重量の関係

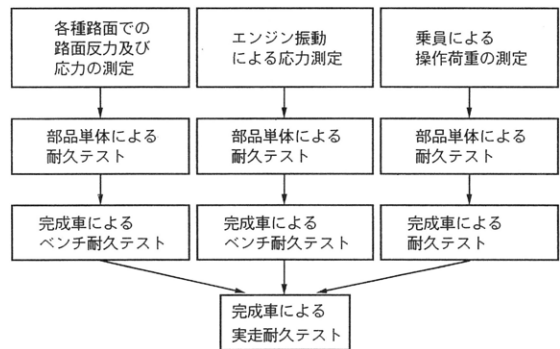


図10 フレームの強度テスト手順

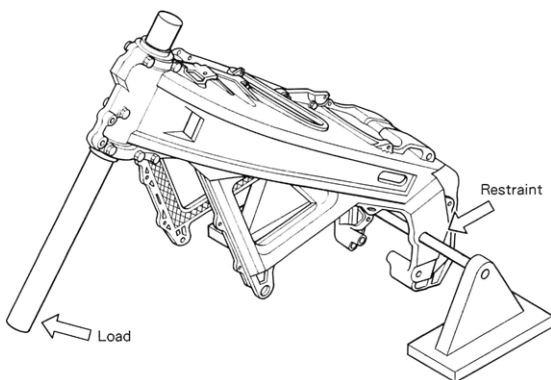


図8 フレームの剛性測定方法

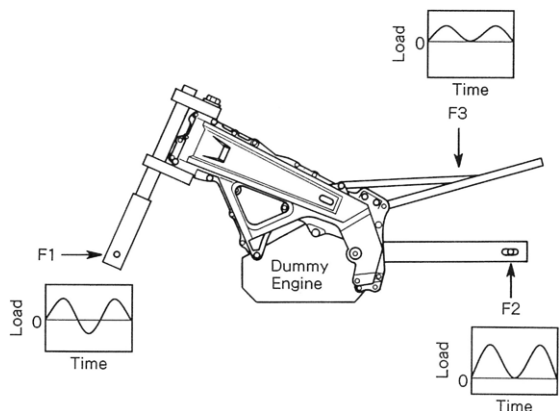


図11 フレームの単体耐久テスト方法

- 2) 1) で求めた荷重頻度分布を目標距離分まで乗じ全目標距離分の荷重頻度分布を求める。
- 3) 2) で求めた荷重頻度についてマイナー則により累積ダメージを求め、等価 L-N 曲線を算出する。算出方法を図 12 に示す。
- 4) フレーム耐久は等価 L-N 曲線上の任意の点(疲労破壊を評価するに妥当な回数と荷重)を設定しテスト条件とする。

このテスト手順に基づいた耐久テスト結果においてもダイカストフレームはモーターサイクルのフレームとして十分な強度を有することが確認できた。

6. ダイカスト製法

6.1. 金型の製造

金型の製造工程を図 13、金型の機械加工、熱処理工程についての詳細を表 4 に示す。

ダイカストフレームのような大物部品の金型に関して特に注意が必要とされることは、

- (1) 鋳造時の熱によって起こる金型の変形防止と製品の寸法精度の確保
- (2) 湯廻り不良等に起因する有害な鋳造欠陥発生防止のための最適金型方案の決定

である。

金型の機械加工、熱処理工程での特徴は、金型の二度に及ぶ比較的高温の応力除去熱処理と上型と下型との型合わせを金型同士を直に合せて行う放電加工にある。この熱処理と放電加工により金

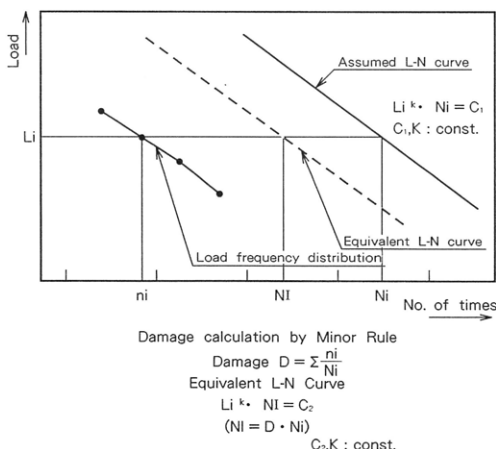


図 12 等価 L-N 曲線の算出方法

表 4 金型の機械加工と熱処理

工 程	特 徴
1) 荒加工	約 5mm の加工しろ残
2) 応力除去焼鈍	620℃, 4hrs → 炉冷 (～550℃) → 空冷
3) 放電加工	荒加工、仕上げ加工、みがきに適用
4) 前仕上げ	NC 加工にて 1.5mm の加工しろ残 放電加工にて 0.5mm の加工しろ残
5) 熱処理 (焼入れ、焼もどし)	Hardening 700℃, 2.5hrs → 850℃, 3hrs → 1000℃, 3hrs → 250℃, 1hrs (塩浴) → 空冷 Tempering 550℃, 8hrs → 620～630℃, 8hrs → 炉冷 (～550℃) → 空冷
6) 仕上げ加工	1/100mm の精度
7) 上型、下型の 型合せ	上型、下型を直に合せた放電加工 金型クリアランス極小
8) 応力除去焼鈍	660℃, 4hrs → 炉冷 (～550℃) → 空冷
9) 金型研磨仕上げ	特殊な放電加工による仕上げ

型の変形が低減され、フレーム合せ面の機械加工しろが 1.5mm 以下で可能となるなど製品の寸法精度が確保され、更には金型寿命の向上も期待される。

金型方案については、金型内に溶湯を徐々に充填する鋳造テストとコンピューターの使用により金型内での溶湯の流れを解析し、湯口やオーバーフローなどの位置と形状を決定した。湯口は、溶湯が金型内に同時に入り、しかも乱流が起らない位置に設定し、またオーバーフローは製品中に

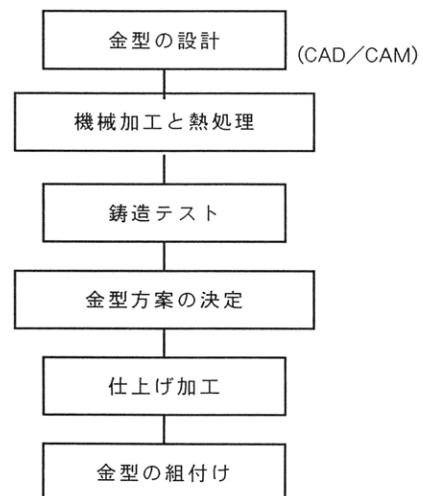


図 13 金型の製造工程

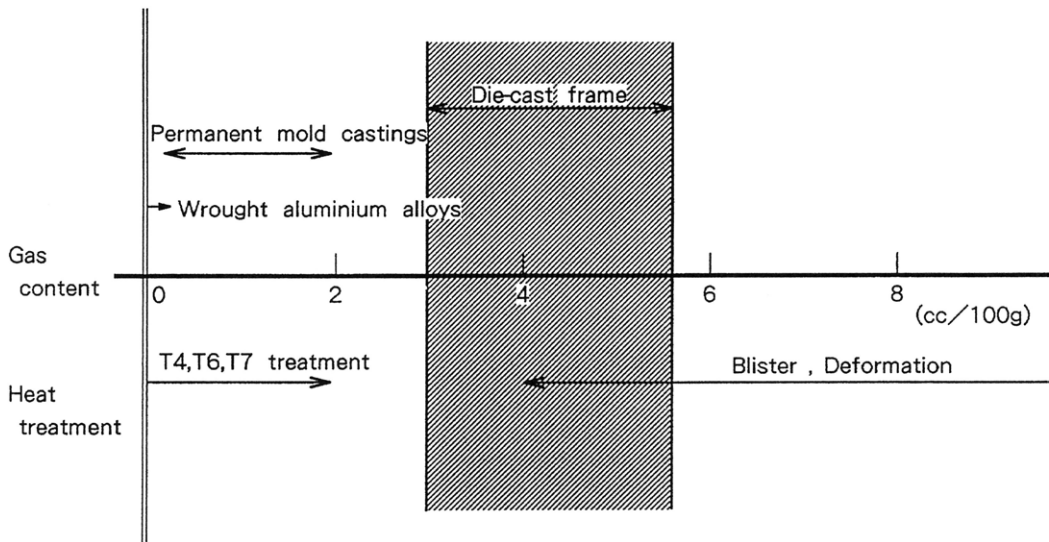


図 14 ダイカストフレーム製品のガス含有量

ガスが残留しないように、しかも製品の縁に沿って溶湯と溶湯とが会う位置に設定した。

金型の製造に利用した CAD/CAM システムは、最終の金型図だけでなく、荒加工などの加工中間段階や放電加工用電極についてもプログラムし、直接加工機械に接続している。従って、金型の機械加工の自動化が可能となり、金型製造の時間短縮及び省力化が達成された。

6.2. 溶解と鋳造

ダイカスト製品の溶解と鋳造における品質対応上の主眼は、(1)ガスによる鑄巣 (2)非金属介在物 (3)不純物量に起因する粗大な金属間化合物及び (4)湯廻り不良による欠陥の発生防止にある。

ダイカストフレームの溶解と鋳造では、これらの対応として脱ガス処理と脱酸処理にて溶湯中の水素ガス及び非金属介在物の除去を行い、また粗大な金属間化合物は溶湯の分光分析による材料成分管理で対応した。湯廻り成形性の確保は繰り返しの鋳造テストを行い三段加圧の最適射出条件を決定することにより対応した。

図 14 にダイカストフレームの製品中に含まれるガス量を示す。フレームに含まれるガス量は 3～

6 cc/100g であり一般のダイカスト製品と比較して 1/5～1/10 と少なく、このことからガスによる鑄巣が低減していることがいえる。

以上の対応によりダイカストフレームの鋳造品質は、筆者らの目標としていたモーターサイクル用フレームとしての鋳造品質を十分に満足するものであった。

7. 結 論

- 1) 材料は強度、韌性、鋳造性の優れる Al-Si-Mg 系合金とし、更に韌性向上を目的として改良を行った。
- 2) 製法においては金型の熱処理と機械加工の改良により高い寸法精度を得た。
また鋳造テストとコンピューター解析による金型方案及び鋳造条件の決定により高品位な鋳造品質を得た。
- 3) CAE による構造解析及び実物によるテスト確認結果、ダイカストフレームはモーターサイクル用として十分な性質を有していることが確認できた。

なお、今後、他の大型構造部材への適用も十分可能である。

8. おわりに

本ダイカストフレームは '88 年からホンダイタリアにて量産している NSR125F/R に採用している。

また、この量産にあたり金型の製作及び鍛造はイタリアの GRIMECA 社の優れたダイカスト技術によりはじめて可能となったものである。

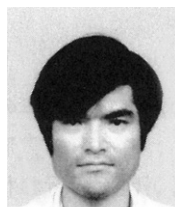
参考文献

- (1) 日本金属学会：金属データブック、丸善 (1974)
- (2) 菅野ほか：ダイカスト技術、日刊工業新聞社 (1977)
- (3) T. Endo et al.: Proc. of the 1974 Symposium on Mech. Behavior of Materials. Vol. 1 (1974) P371.

■著 者■



佐久間 芳信



永 田 信