

スクーター車両用アルミニウムダイキャスト フレームボディの開発

Development of Aluminum Die Casting Frame Body for Scooter

末 田 健 一* 上 田 順 一*
Kenichi SUEDA Junichi UEDA

伊 藤 浩* 津 田 勲*
Hiroshi ITO Isao TSUDA

要 旨

一般にスクーター車両用には、鋼材製のフレームボディが多く用いられている。今回、フレームボディを外観デザインの一部に使用し、生産効率の向上および製造コストの低減を念頭にスクーター車両用アルミニウムダイキャストフレームボディを開発した。

開発したフレームボディは、従来のフレームボディ構造に対し、部品点数を1/30に低減し、溶接工程を廃止したものである。このフレームボディの開発には、初期段階からCAD/CAM/CAEを一元データで運用して、開発初期性能と量産性能の差異を少なくすることを試みた。その結果、クレイモデル製作、金型構造および鑄造方案の検討、強度・剛性の確保などアルミニウムダイキャストフレームボディの開発プロセスを確立することができた。開発段階フレームボディと量産フレームボディの性能品質の近似性は、約0.8%の重量差、約3.8%の剛性差とすることができた。

この世界初のスクーター車両用アルミニウムダイキャストフレームボディは、1998年モデルのSZX50に採用されている。

ABSTRACT

In general, conventional frame bodies for scooter is made from a steel material. An aluminum die casting frame body was developed considering superior exterior design, enhancement of production efficiency and reduction of production cost. The developed frame body was successfully reduced to 1/30 of the number of parts and abolished welding portion as compared with a conventional frame body. In the initial development stage, CAD/CAM/CAE unitary data were attempted to use in order to reduce the different of prototype and mass-production frame body. As a result, a development process of aluminum die casting frame body was established in which a clay model was prepared, a construction of die and methodology of casting were studied, and strength and rigidity were confirmed. The variation of weight between the development stage and the mass-production frame bodies was approximately 0.8 % and the variation of rigidity was approximately 3.8 %.

This aluminum die casting frame body was newly applied to SZX50 1998 model.

1. まえがき

二輪車におけるフレームボディの役割は、車両の骨格をなすもので、操縦安定性とブレーキング性能、乗り心地などを支配する主要部品である。またすべての部品が結合される二輪車の基幹部品でもある。

二輪車用フレームは、様式別にモータサイクル用とス

クーター用の2種類に大別できる。モータサイクル用フレームをさらに用途別に分けると、実用車とスポーツ車に二分される。実用車のフレームへ要求されるものとして、基本性能はもちろんのこと、廉価なコストへの要求が高い。スポーツ車は、嗜好性の強い商品であり、軽量、高剛性など基本性能の高さと共に、高品質な外観を

*朝霞研究所

Table 1 Characteristics and application of motorcycle frame

	Characteristics	Application
Steel frame	- Well balance of cost and performance - Welding ability - Many component parts	- Sport motorcycle - Utility motorcycle - Scooter
Aluminum frame (Hybrid type)	- High strength and rigidity per weight - Lightweight - Shape design ability	- Sport motorcycle - Super sport motorcycle
Aluminum die casting frame	- Shape design ability - Productivity	- Small sport motorcycle - Scooter

求められるものが多い。

これらの要求を満たすため、実用車へは広く鋼材製のフレームが用いられ、材料単価の安さと、溶接の簡便性よりコストを低い水準に保っている。一方、スポーツ車にはアルミニウムフレームを用いることが多いが、構造はアルミニウム押し出し材と重力金型鋳造品を溶接結合しているため、材料や溶接にかかるコストが鋼材に比べて高い。さらに高品質な外観を実現するためには、表面仕上げへの配慮が必要となる。またアルミニウムフレームのなかでも製造法の異なるダイカストフレームは、押し出し材では為し得なかった外観デザインの自由度を広げることができる。しかし、開発や鋳造技術の難易度が高いため、一部を除き普及していない。フレームの各製法、材料別の特徴と主な適用カテゴリをTable 1に示す。

スクーターのユーザには、若年層や女性も多く、二輪の基本性能はもちろんのこと、車両の取り扱いやすさや、積載性などの使い勝手に配慮することが大変重要である。また、大量な生産台数も考慮し、廉価なコストも要求される。そのため、一般的にスクーターには、モータサ

イクルの実用車と同様に、鋼材の溶接フレームを使用している。

スクーター用フレームは一般的に非外観部品である。そのため、機能主体の構造となるが、ユーティリティの観点から、足付きや乗降性を考慮したフラットフロア対応ダウンチューブ、ヘルメット収納に対応したリヤツインチューブの配置を必要とする。従来構造のスクーター用フレームボディをFig.1に示す。

この図から明らかなように、通常、ヘッドパイプ、ダウンチューブ、左右サイドパイプ、クロスパイプといった主構造メンバをスチールパイプで構成し、エンジンハンガリングやリヤサスペンションなどの機能部品、艀装品の取付け部、補強用のガセット類をプレス成形し、これらを溶接で結合している。

2. SZX50の概要

今回、開発したアルミニウムダイカストフレームを適用した50ccスクーターのSZX50は、13インチの偏平タイヤ、ロングストロークサスペンション、前後ディスクブレーキなどを装備したスポーツスクーターであり、モータサイクル感覚の操安性や走破性を実現している。SZX50の外観をFig.2に、諸元をTable 2に示す。

SZX50のフレームに要求される性能を実現するために以下の項目が挙げられる。

- (1) スクーターに求められている乗降性や荷物の積載性を損なうことなく、スポーツタイプモータサイクル並の剛性を確保する。
- (2) フレームを意匠面に活用するために高品質な外観を創造する。

従来スクーターに用いている鋼材溶接フレームでは高い剛性を得るためには重くなりすぎ、スポーツ車並の外観品質を実現できない。そこで上記項目を達成する手段

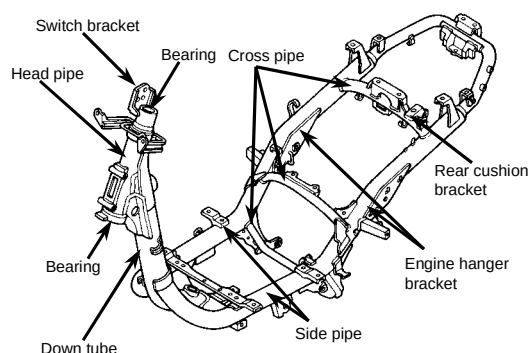


Fig.1 Construction of a conventional frame body for scooter



Fig.2 Exterior view of SZX50

Table 2 Major specifications of SZX50

Dimensions (L×W×H) (mm)		1875×705×1165
Wheelbase		1265
Frame type		Aluminum die casting
Engine type		Air-cooled 2stroke Single-cylinder
Engine displacement (cm³)		49.4
Tire	Front	120/70-13M/C
	Rear	140/60-13M/C
Brake	Front	φ220 Disk Dual piston
	Rear	φ190 Disk Dual piston
Vehicle dry weight (kg)		91

として、本機種は、アルミダイカストフレームを採用することにした。

3. 開発目標および要件

本フレームの開発においては、SZX50の機種要件とともに、今後の開発および生産効率の向上を念頭におき、下記の3項目を目標として開発した。

- (1) 量産における開発段階と同等の形状、強度、剛性の維持。
- (2) 一体製造による部品点数削減および溶接の廃止。
- (3) 機械加工の廃止。

本フレームの開発では、開発手法を見直し、銅板溶接フレームと同期間内での開発完了を達成すべく、新たな

開発プロセスの確立に努めた。

本フレームの形状決定には、開発目標とともに下記要件を満たすことが必要である。

- (1) 高品質外観の確保。
- (2) ヘルメット収納スペースの確保。
- (3) エンジン揺動スペースの確保。
- (4) スポーツモータサイクル並みの剛性の確保。

さらに、ダイカスト製法を用いるため、量産製造時の品質安定化を考慮し、湯流れ性を優先した湯口方案や製品形状にする必要がある。

4. フレーム構造および形状

今回開発したアルミダイカストフレームボディはヘッドパイプからエンジンハンガ部までの前方部分の意匠面を剛性要素として利用し、リヤサスペンション取付け部までを一体化したFig.3に示すような構造とした。

エンジンハンガ部からリヤサスペンション取付け部までの後方部分は、Fig.4に示すように、ヘルメット収納スペースやエンジンの揺動スペースを確保するため、金型を4分割構造とした。これによって得られた断面形状により省スペース化を図っている。

Fig.5に示すように、リヤサスペンションは取付け部の無加工化を考慮したストラット方式を採用し、大型のラパークションを介して直接フレームボディに取付け、応力集中を受けにくい構造とした。

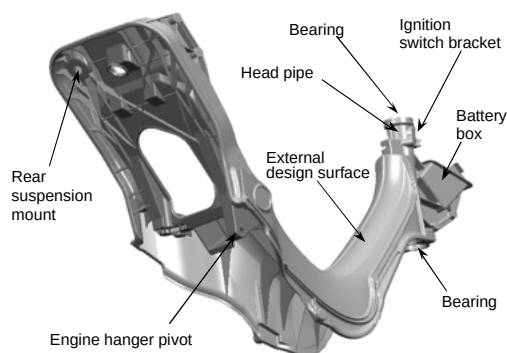


Fig.3 Construction of SZX50 frame body

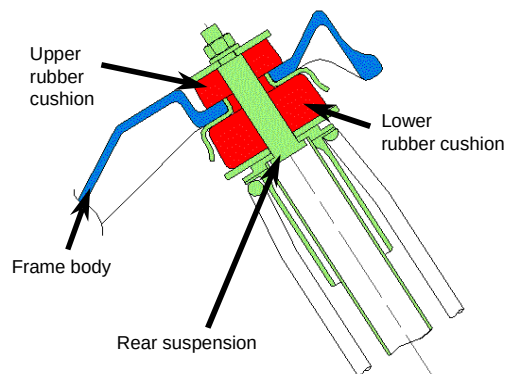


Fig.5 Rear suspension installation

5. 開発プロセス

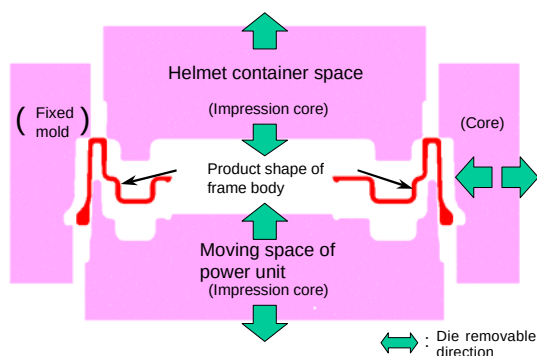


Fig.4 Die construction and function of rear part

開発目標および要件を考慮して形状を決定するため、本フレームボディの開発は、一元化した3DデータによるCAD/CAM/CAEを効率よく活用した。開発プロセスをFig.6に示す。開発初期段階では、CAEにより強度、剛性を解析し、さらに鋳造方案による形状制約を解決するためにCADによる検討を重ね、クレイモデルへ反映することを繰り返した。中期段階では砂型鋳造品をCAMにより作成し、さらに後期段階では、このCAMデータを量産金型の製作に用いた。

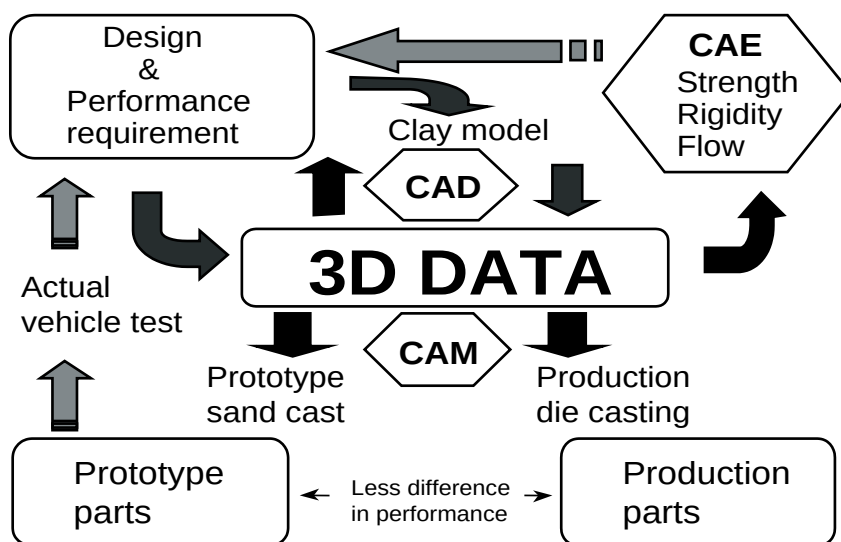


Fig.6 Process of development and flow of 3D data

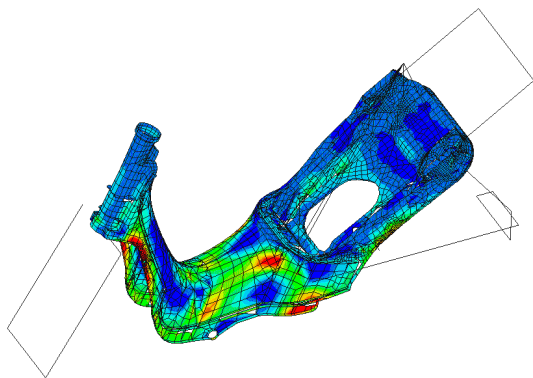


Fig.7 Frame body rigidity calculation

5.1. クレイモデル製作

本フレームボディは意匠面を有しており、クレイモデルにより決定される外観面を元に、目標性能を成立させなければならないため、クレイモデル段階での事前検討が重要である。

クレイモデルの製作には、金型方案によって決定される型割り方向や抜き勾配と、意匠面データとの整合および樹脂カバー等の合わせ部や非外観部の設計を反映する必要がある。これらの設定を行うと同時に、強度、剛性評価をCAEソフトNASTRANで、動的強度評価をCAEソフトABAQUSにて解析し、適正形状とリブ配置、肉厚を決定した。解析の一例をFig.7に示す。

このように、クレイモデルの測定データをもとに3Dデータを作成し、レイアウトやCAE解析を行い、クレイモデルへのフィードバックを繰り返し行うことにより、効率よくクレイモデルを完成することができた。

5.2. 鑄造方案

従来、一般ダイカスト製法を用いた大型部品の鑄造は、四輪車のエンジン部品などの箱型形状品が主であり、本フレームボディのように大型で薄肉軽量の部品には適用実績が少ない。

また、フレームボディとしての要求性能を満たすために、エンジンブロック用とは異なる流動性の若干低い材料を使用するので鑄造方案的にも難度が高い。

本フレームボディの製品形状を実現するためには、鑄造方案にて下記課題を解決する必要がある。

- (1) 鑄造品質の均一性と左右対称性。
- (2) 流動長の短縮化による湯回り性改善。
- (3) 寸法精度の安定性。

以上の課題を解決するために、次のような検討を行った。

5.2.1. 鑄造機選定

ダイカスト部品の最初の検討事項は型割り方向の決定であるが、本フレームボディにおいては、いくつかの型割り検討を重ね、可動型と固定型の型合せ面をフレームボディの中心面に設定することで、スクータ型車両の特徴である湾曲した形状を維持し、型締力2,500tonの鑄造機による製造を可能とした。

5.2.2. 金型構造

前述の型割り方向でのメリットとして、溶湯の流動長を最短化し、フレームボディの左右の鑄造品質差を無くすることができる。また、本フレームボディには機能の集約化による多くのアンダカット形状を設定した。それらを引抜き中子型で対応すべく製品形状の見直しと、結合部品の最適化を図った。この結果、後述する無加工を実現するための引抜き中子型と合わせ、8方向の引抜き中子を有する金型構造とした。

5.2.3. 湯口位置と形状

湯口や湯溜りの配置は、ダイカスト方案の中で湯回り性、左右対称性の確保や鑄造品質の均一性を得る上で最も重要である。本フレームでは、Fig.8に示すようにフレームボディの中心面に湯口を配置し、製品端末の全周に湯溜りを設定した。これにより製品内でのエアの巻き込みを最小限に抑えている。

5.3. 量産鑄造方案の検証

本開発の中で、最大の課題である鑄造品質の安定化に対しては、最適鑄造方案の確立が重要であった。前述の

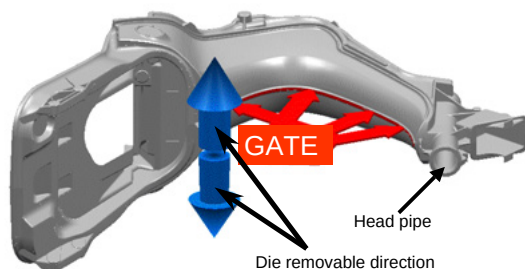


Fig.8 Gate position and die removable direction

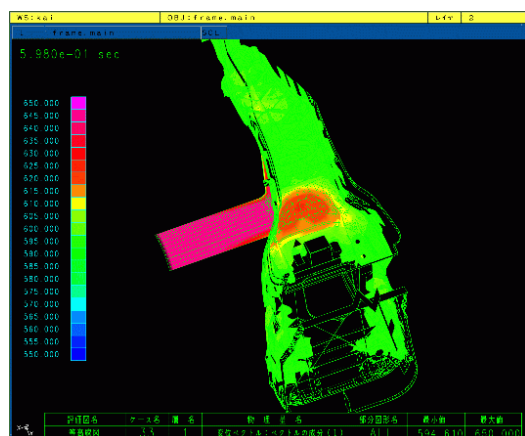


Fig.9 Aluminum flow calculation

ように、従来の鋳造方案の決定はエキスパートの経験によるものが主である。本フレームの開発では、経験領域で先行検討した鋳造方案の妥当性検証を製品3Dデータをもとに、湯流れシミュレーションを実施した。今回用いた湯流れCAEソフトMETAL FILLによる解析の一例をFig.9に示す。

ゲート位置、数の違いによる湯流れ特性の変化が定量的に把握でき、この結果を金型基本方案に適用した。最終的な方案については、鋳造試行による改良を行い決定した。

5. 4. ダイカストフレームの性能品質

開発中期段階のフレームは、砂型を使った重力鋳造により製作した。製法の差による形状などの違いを極力抑えるために、砂型用木型は、設計段階でCAEに応用した3D・CADデータをCAMデータとして使用し、NC加工により製作した。さらに砂型、金型の型割り構造を同一とすることで、抜き方向などの違いから生じる形状差を無くし

Table 3 Weight of prototype and production

	Prototype	Production part
Thickness difference from 3D data (mm)	0.02	0.06
Weight (kg)	10.36	10.44

た。さらにこのCAMデータを量産金型製作に用いることで、Table 3に示すように砂型、金型パーツの近似性を高めている。

また、開発段階に用いた材料は、量産材料特性との近似性を考慮したものを使用した。

5. 5. ダイカスト用材料

一般に使用されるダイカスト用材料は、流動性、充填性に優れるAl-Si系の合金と耐食性、韌性に優れるAl-Mg系の合金に大別される。現在使用されているダイカスト用JIS合金の実体特性値¹⁾²⁾をTable 4に示す。Al-Mg系合金のADC6は韌性に優れ、耐食性が良いために無処理で使用される場合が多いが、凝固温度範囲が広いために流動性、充填性に問題があり大型鋳物には適さない。Al-Si系の合金の中において、ADC1は強度が低く、ADC3は強度と韌性のバランスに優れ、ADC10/12は共に強度が高いものの韌性確保が困難で、耐食性が劣る傾向にある。薄肉で大型形状の本フレームに対しては、成形性の良いAl-Si系合金の中で、モータサイクル用ホイールなどにも量産実績があるADC3相当の材料が最も適している。

なお、本フレームにおける強度と韌性を保証するために、適用材料では有効元素のSiとMgの成分範囲を見直し、韌性を阻害するFe系金属間化合物の針状化を防止するためにMnを添加し、ダイカスト時の金型溶着性を阻害しない範囲で不純物のFeを規制している。強度と伸び特性における各材料の位置付けをFig.10に示し、本フレームに適用した材料組成をTable 5に示す。

前述した開発段階でのCAD、CAM、CAEの活用と材料選

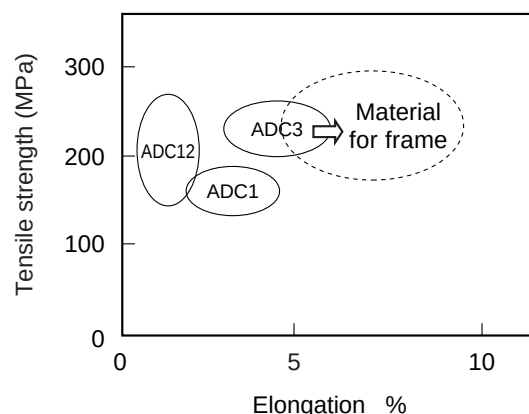


Fig.10 Mechanical property of JIS Al-Si system alloys for high pressure die casting

Table 4 Properties of practical JIS alloy for die casting

Properties	Alloy system	Al-Si			Al-Mg
	JIS	ADC 1	ADC 3	ADC 12	ADC 6
	AA	A413.0	A360.0	A384.0	515.0
Ultimate tensile Strength (MPa)		240	316	322	280
0.2% proof stress (MPa)		110	165	172	145
Elongation (%)		3.5	5.0	1.0	10.0
Specific gravity		2.65	2.63	2.71	2.57
Melting point (°C)		580	600	590	620
Coefficient of thermal Expansion, 20~200°C		21.4 $\times 10^{-6}$	22.0 $\times 10^{-6}$	21.8 $\times 10^{-6}$	25.0 $\times 10^{-6}$

Table 5 Chemical composition for frame material

(wt %)								
Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Al
0.35	10.0	0.35	0.06	0.45	0.40	0.01	0.01	bal

定により、開発初期段階と量産の近似性は、重量差 0.8 %、剛性差 3.8%となり、十分な近似性が得られた。

6. 生産効率

6. 1. 部品点数削減

前述したようにフレーム形態として一体構造を採用したことで、機能部品の一体化が図られた。また、各補器類や、艀装品の取り付け部の一体化も図った。締結部は、機能別に大きく三つの仕様に分けられ、5種類の締結ボルトを使用した。高い締結剛性を必要とする部位は、鋳抜きによる締結穴を設定し、ボルトを貫通させ固定する仕様とした。また入力荷重が低い部位はネジ加工が不要なセルフタッピングボルトを用い、樹脂部品の取付け部には本体に挟みこむナットを用いて、型割りに影響しない構造とした。さらに、ダイカスト製法の特徴を生かし、バッテリー収納部をヘッドパイプの前方に一体で成形している。

以上より部品点数削減に関しては、従来型フレームの部品30点相当の機能を1部品に集約することができた。また、この一体化による結果として溶接工程は、従来の

Table 6 Number of parts and welding length of frame body

	SZX50	Conventional model
Welding length (mm)	0	4535
Number of parts (Piece)	1	30

モデルの溶接長約4500mmを廃止することができた。同一機能を満たす部品数、溶接長の従来のフレーム構造に対する削減効果をTable 6に示す。

6. 2. 機械加工の廃止

一般的に、フレームボディはその大きさから完成後の機械加工が困難であり、従来構造のスチールフレームボディでは溶接前に単品加工を施し、溶接後にヘッドパイプのFB(Fine Boring)加工のみを行なう。本フレームボディでは、低コストにするために、ダイカスト製法による高精度を生かして、下記の手法によりヘッドパイプのFB加工以外を廃止した。

フレームボディには、ステアリングステムシャフト、エンジンハンガ、リヤサスペンションなどの機能部品や外装部品など多種多様な艀装品が取付けられるが、取付け方向はそれぞれ異なっている。そのため金型構造や摺

動方向に合わせて取付方法を工夫し、取付部品の仕様見直しを含め、後加工が不要な構造とした。

ヘッドパイプ部の上端および下端には、ステアリングステムシャフトを保持するためのベアリングの外輪を圧入する必要がある。この部位は軸心度、面粗度、真円度に高い精度を必要とするため、本開発では初期からFB加工を前提としたが、ダイカスト素材精度の高さを生かし、加工基準を従来と同様のヘッドパイプ外形部とすることで、既存のFBマシンによる加工とすることができた。その結果、FB加工部を除き機械加工を廃止することができた。

7. 結論

- 1) フレームボディのアルミニウムダイカスト化により、30点あまりの部品から構成されていたものを1部品にすることができ、約4500mmの溶接長が廃止できた。
- 2) ヘッドパイプのFine Boringを除き機械加工を不要とした。
- 3) 開発初期段階と量産のフレームボディの近似性を重量差0.8%、剛性差3.8%にて達成した。
- 4) スクーター用として世界初のアルミダイカストフレームを実用化し、その開発プロセスが確立できた。

参考文献

- 1) 軽金属協会 アルミニウム鋳物技術委員会：アルミニウム合金鋳物の実体強さ、(社)軽金属協会、1984
- 2) Kaiser Aluminum & Chemical Sales, Inc. : KAISER アルミニウム鋳物、(社)軽金属協会、1965

■ 著 者 ■



末 田 健 一



上 田 順 一



伊 藤 浩



津 田 勲