

# 特集 小型ダイカストシステムによる同期一貫ライン\*

## Synchronized and Integrated Production Line by Compact Die-casting System

師岡 将義  
Masayoshi MOROOKA

山本 実  
Minoru YAMAMOTO

藤井好美  
Yoshimi FUJII

原田 英明  
Hideaki HARADA

山崎 憲司  
Kenji YAMAZAKI

杉浦 貴和  
Takakazu SUGIURA

With increasing concern about global environmental problems, automotive industries are striving to address them by developing various systems. Accordingly, automotive part manufacturers have been required to shift to small-volume and large-variety production methods because the parts have been diversified to respond to various systems. In order to meet the requirement in such circumstances, based on the creative concept of one Nth (1/N) machine, we have challenged the development of the synchronized and concatenated production line difficult to realize.

The challenge has involved following two crucial items: (1) both eliminations of the waste generated by transportation operations and the work-in-process generated by the production capability gap between processing machines, and (2) optimization through the entire line in a series, not optimization of the individual process.

Based on these ideas, we have started the development of an innovative line by the drastic downsizing of equipment, the reduction of the machine setup change time and the equalization of production cycle time of each process for the synchronization of production process. The equipment includes following three types of downsized machines: electric powered die casting machine, in-line melting furnace, and in-line heat treatment furnace. Consequently, we have successively realized an innovative production line for parts of automotive valves with footprint of 1/5, energy consumption of 1/2, and production costs of 2/3 compared with the conventional machines.

**Key words :** Synchronized and concatenated line, Downsized die-casting system, Downsized melting furnace, Downsized in-line heat treatment furnace

### 1. はじめに

経済のグローバル化の進展に伴い、円高や新興国における製造技術の追い上げも背景に、日本企業の海外進出は大きな流れとなっている。そして国内製造業として拠点を海外に移すべきか、国内に留まるべきかの決断を迫られている。デンソーでは自動車部品（製品）の競争力強化につながる差別化加工技術の開発にこだわり、競争力を維持し向上してきた。

「モノづくり」で重要なのは「技術」と「人（技術者・技能者）」であり、技術と経験を積んできた日本は、為替、労務費の変動に左右されない世界初のダントツ技術開発の役割を担う。課題は国内でダントツ技術を生み続け、これを海外に展開し、グローバル競争力を維持することである。このようなグローバル競争力強化の取り組みの中で、急変する事業環境に対応した、デンソー流部品加工のモノづくりの考え方について、どのように実践してきたかを示していく。

### 2. 事業変化に対応したデンソー流の部品モノづくり

当社における自動車部品（製品）の組付工程は、トヨタ生産方式（Toyota Production System, 略してTPS）で必要な時に必要な数量だけ効率的に生産している。一方、製品に組み付けられる部品は、各加工分野において、段取り、設備稼働効率を優先し、大ロットを高速加工する大量生産により競争力を維持してきた。しかし、製品が多様化して一種類当たりの数量が減り、機能や形状（精度）が高度化したことから単独の加工分野で部品が完成することはまれとなり、切削、熱処理など多くの加工分野を経て部品が完成するようになった。このため、従来、大量生産を利点としてきた部品加工でも、まとめて作る方式ではムダが増えてきた。

この環境変化に伴い、複数にまたがる工程において、労務費に償却費を加えた加工費低減を推進するため、あらゆるムダを取り除いた同期一貫ラインが必要と考

\* (株)日刊工業新聞社の了解を得て、「工業材料」Vol.62, No.9 (2014), p.31より一部加筆して転載

え、以下の2点を競争力向上のポイントとした。①各加工機の能力差により工程間で発生する中間在庫，運搬動作のムダ排除，②各加工分野別の最適化ではなく，工程全体を一連を通して見た最適化である。①については，人の関わりを1/5～1/10に下げ，労働価値を高めることが競争力強化のポイントであり，TPSの考え方に基づいて材料・副資材のムダ，大きさのムダ，搬送・動作のムダ，在庫のムダを取り除く。そのためには加工ラインをCompact（小型），Simple（簡単），Slim（ムダ取り），Speed（適速），つまりCS<sup>3</sup>（シーエスキュービック）に進化することが必要になる。②については，各加工分野の得意，不得意を補完しあいながら工程全体で最適工程設計することが必要となる。この同期一貫の考え方をFig. 1に示す。

これまで同期一貫が実現できなかった要因は，従来技術では大型設備，高荷重のため高耐床（ピット），高棟でホイスを要する専用工場が必要であること，そして各加工工程で段取りタイミングが違うことにより加工ライン全体の稼働率が低下することであった。よって，同期一貫の課題は以下の3点が挙げられる。

- (1) 組付ラインと生産ロットを合わせるための，部品加工システムの経済単位（生産能力）縮小
- (2) 組付ラインと同じ工場生産・供給するための，部品加工システムの小型化
- (3) 組付ラインを止めないための，段取り高速化（型段取り時間：1分未満）

これら3点の課題解決を高いレベルで実現するためには，従来の発想を大きく変える必要がある。このために，CS<sup>3</sup>を実現する加工機を“1/N加工機（Nは整数）”

と命名し，従来比何%ではなく，1/2，1/5，1/10というような高い目標を掲げ，世界で戦える独自の加工機づくりに挑戦した。

### 3. 1/N小型ダイカストシステムの事例

1/N加工機の開発は，プレス，鍛造，ダイカスト，樹脂成形といった素形材加工から，切削，研削といった機械加工，そして，めっき，焼鈍といった処理まで，工程全体に対して取り組んでいる。今回はその中で，アルミダイカストの事例について紹介する。

#### 3.1 システム概要

ダイカストとは素形材加工のひとつであり，“高い圧力”で“溶けた金属”を金型に射出・成形する加工法である。そのシステムは主に，金属を溶かす溶解炉，金型への圧入を行うダイカストマシン，ダイカスト品の機械的性質の向上や寸法を安定化させる熱処理炉で構成されており，ダイカストにて生産された金属部品は自動車や家電製品などに広く使用されている。

工業的には短時間で複雑形状を成形できるメリットがある一方，デメリットもある。溶解炉は“溶けた金属”の温度を一定に保持するために炉内に溶湯を大量に保持する必要があるため，このため，設備が大型化し，炉壁からのエネルギー損失も大きい。また，ダイカストマシンは，製品内部に発生する欠陥（鑄巣）をつぶすために“高い圧力”を必要とし，高出力，高剛性で大型設備となっている。熱処理炉においては，バッチ方式が用いられることが多く，中間在庫の発生や設備の大型化といったデメリットがある。

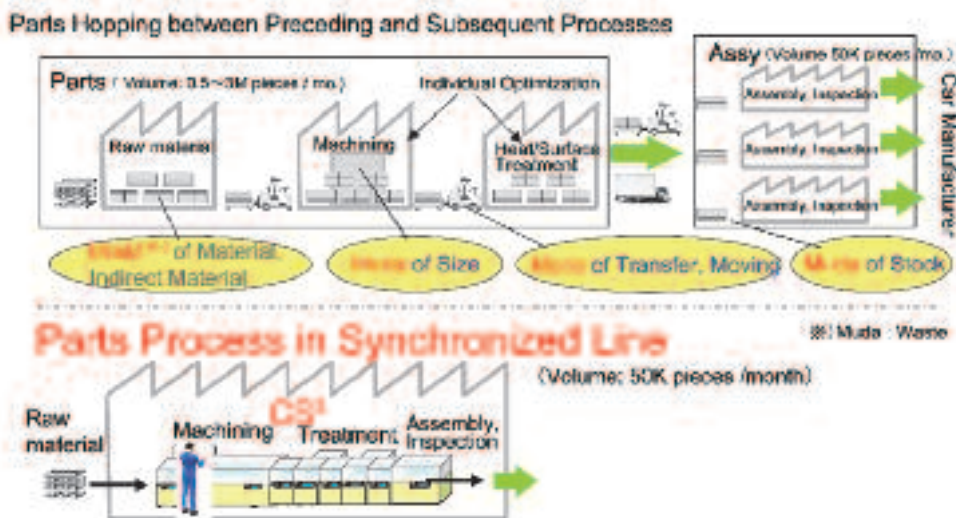


Fig. 1 Concept of the Synchronized and Concatenated Production Line

そこで今回、同期一貫を実現するため、このダイカストシステムの各設備に対して、先に述べた3点の課題解決に取り組んだ。グローバル展開を踏まえ、投資しやすい経済単位（生産能力）で、小型で扱いやすく、休まず稼動するシステムへと作り上げることを狙いとしました。このシステムへの変革のポイントをまとめてFig. 2に示す。

中でも重要なポイントは、システムを中心となるダイカストの加工プロセスに切り込み、従来の“力まかせ”なダイカストを脱し、“低圧”でダイカスト品質を成立させる技術を開発したことにある<sup>1)2)</sup>。さらに、炉内の溶湯保持量を少量としても温度を一定に保つ技術開発や、インライン方式の熱処理炉を開発することにより、これらをシステム化し同期一貫を実現した。以下にこの内容について解説する。

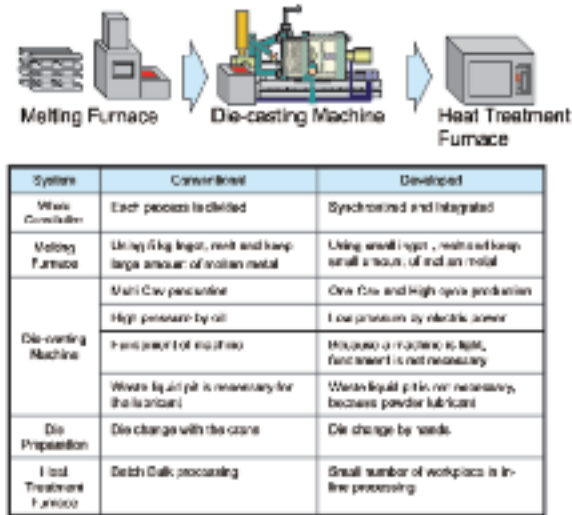


Fig. 2 Point of the System Change

### 3.2 小型電動ダイカストマシンの開発

これまでのダイカストの常識として、溶湯を金型に流し込む際には、金型内に残存している空気や金型に塗布した離型剤から発生するガスにより“巻込み巣”とよばれる空洞が発生し、それをつぶすために高い圧力が必要であった。その圧力はおおよそ70MPaであり、自動車用タイヤの空気圧の300倍に相当する力を必要とする。従来の油圧式ダイカストマシンは、この高圧を発生させるために蓄圧器（アキュームレータ）を備えている。また、その高い圧力を設備で受け止めるために剛性の高いフレーム構造を有しており、大型の設備となっている。さらに、射出、押出し、型閉め装置の駆動時に複数の油圧ポンプを動かし、多くのエネルギーを使用していた。

今回、その必要圧力を下げるため、「巻込み巣の原因である空気や離型剤ガスを減らす」という取り組みを行った。具体的には「カットオフ方式により金型内を減圧し、金型内の空気を事前に減らす<sup>3)</sup>」「金型に塗布する離型剤を乾燥した粉末状にする」といった技術を開発し、巻込み巣の発生量を低減した。合わせて、溶湯の温度制御技術も開発し、Fig. 3に示すように従来比1/2以下の低い圧力でもダイカストを成立させる“低圧プロセス技術”を確立した。

さらに、低圧プロセス技術をベースとし、ダイカストマシンの開発にも取り組んだ。今回開発した“電動ダイカストマシン”の概要をFig. 4に示す。低圧プロセスにより出力を低下することで、射出、押出し、型閉めをそれぞれ独立したサーボモータで制御する構造とした。この結果、装備がシンプルで体格1/3の小型設備となり、さらに従来は油圧ポンプを回転させるために常時エネルギーが必要であったが、動作時以外は電力を使用せず、必要なときだけ動かすことでエネルギーを大幅に低減した。

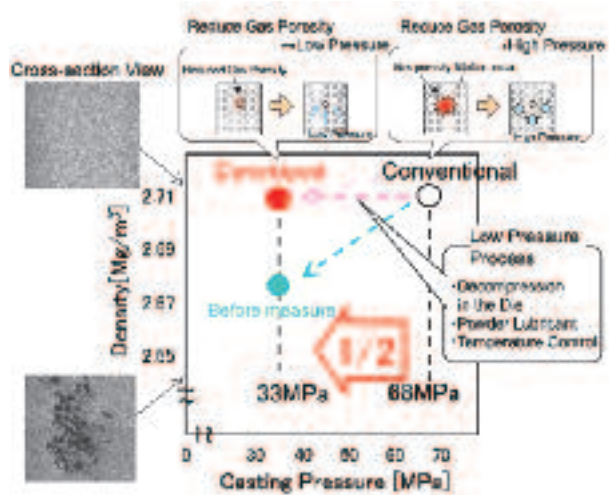


Fig. 3 Development Result of the Low Casting-pressure Process Technology

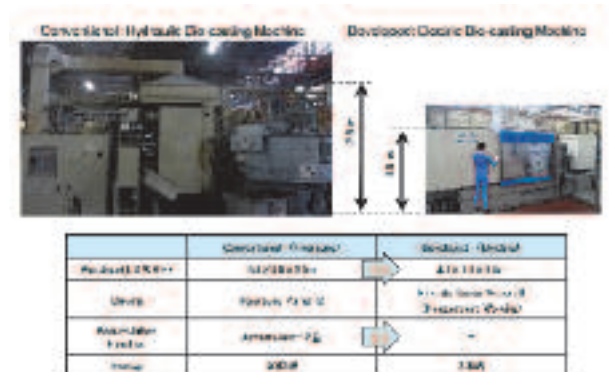


Fig. 4 Development Result of the Electric Die-casting Machine

加工技術



### 3.3 小型溶解炉の開発

従来、当社のアルミダイカストで用いていた溶解炉と今回開発した溶解炉との比較をFig. 5に示す。従来の溶解炉では、一般的に市販されている5kgのインゴットを用いているため、最小の溶解単位は5kgとなる。当社では200kg/hという溶解能力を標準で必要としており、5kgという大きな単位での冷えたインゴットの投入は炉内の温度を大きく変動させる。この温度変動を防止するため、2,000kgという大量の溶湯を保持することで一定温度を実現してきた。この結果、炉のサイズは非常に大きくなり、またエネルギー効率を分析すると、炉内の炉壁面積が増大することが原因となり、炉壁からの損失が44%と非常に大きくなっていった。

開発した“小型溶解炉”では、溶湯保持量が少量でも炉内温度を一定とするため、溶湯保持量の変化をレーザ変位計にて高精度に測定し、溶解に用いるガスバーナを高精度に制御した。さらに、溶解単位を下げたため0.1kgという小型インゴットを使用し、少量ずつ溶解させる構造を実現した。その結果、溶湯保持量を400kgまで低減することで体格1/3の小型設備となり、また炉壁からのエネルギー損失を低減することで、エネルギー効率を大幅に向上させた。

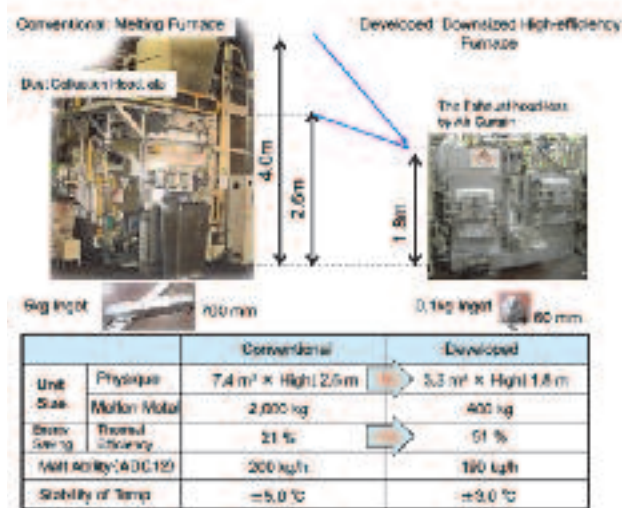


Fig. 5 Development Result of the Downsized Melting Furnace

### 3.4 小型インライン熱処理炉の開発

ダイカスト品の熱処理は、引張強度や硬度などの機械的性質を向上し、寸法の経時変化を安定化する目的で行われる。近年のダイカスト部品は高品質・高機能が求められるようになり、熱処理を施す部品が多くなってきた。特に寸法の経時変化に対する安定化を狙う

人工時効 (T5) 処理を実施する部品が当社では増加している。

熱処理は従来、Fig. 6に示すような大型のバッチ方式が用いられてきたが、設備が大きくなり、鑄造→運搬→熱処理→運搬→後工程の間に中間在庫が必要となり、運搬ロスも発生していた。また、鑄造後に金型から取り出したダイカスト品は200℃以上の高温であるのに対し、従来のバッチ式では一旦常温まで下がったダイカスト品を再予熱する。ダイカスト品投入のための熱処理投入用カゴ自体も暖める必要があり、エネルギーロスも発生していた。

この課題に対し、Fig. 6に示すようにダイカストマシンと同期化し、鑄造直後の余熱も利用するシステムを考案した。熱処理炉を小型化するために多段回転式、ワークのみを投入する方式に変えた。この結果、体格1/40の小型設備となり、省エネルギー効果としても、エネルギー使用量34%削減し (CO<sub>2</sub>排出量に換算すると22→14tonCO<sub>2</sub>/年・台)、リードタイムも大幅に短縮できた。

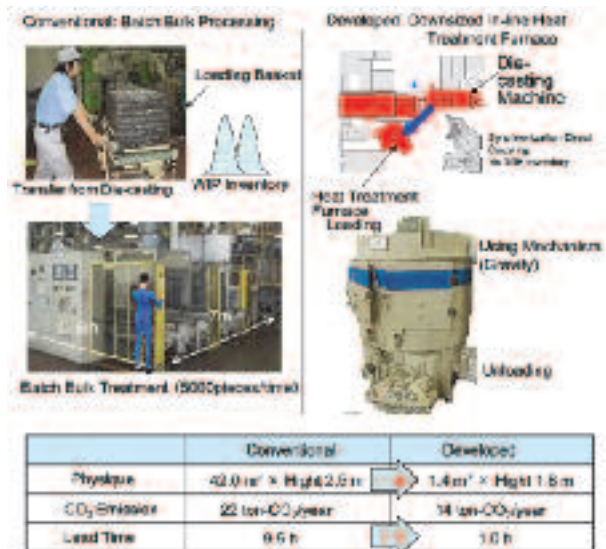


Fig. 6 Development Result of the Downsized In-line Heat Treatment Furnace

### 3.5 クイック段取りシステムの開発

金型の段取り時間は設備の稼働率に直結しており、その時間を短縮することは生産ラインの同期化、リードタイムのムダ取りに非常に重要である。金型の段取りは、重量物である金型をクレーンで吊り上げる、金型をマシンに固定する、水、油圧、電気の配管配線をダイカストマシンに設置された端子と接続する、といった作業がある。この作業時間は短いものでも10分程度、金型が複雑になると30分を越える場合もある。ま

た作業は金型の背面や上面まで回りこんでの作業になるため、時間だけでなく作業への負担は大きかった。この課題に対し、Fig. 7に示すスライド式段取り構造によりクレーン作業を廃止し、重量物を吊り下げるといった危険作業を廃止するとともに、配管、電気配線のワンタッチ接続構造化によって、配管配線を瞬時にを行い、時間とともに作業者の負担を下げた。この結果、従来の段取り時間を1/10の1分以内に、段取り作業を新人、女性でもできる軽作業に変え、工程の同期化とともに人にやさしい作業を実現した。



Fig. 7 Die Preparation in One Minute

#### 4. 同期一貫ラインの実現

今回開発した1/N小型ダイカストシステム (Fig. 8) を、油圧バルブ部品に適応した同期一貫ラインの事例を紹介する<sup>4)</sup>。

ライン全体の構成は、材料投入 (アルミニウム合金塊) からダイカスト、熱処理、切削、洗浄、アルマイ

ト処理、検査から成り、従来は各工程が別々の建屋に分断されていた。また、各設備の生産能力が大きく異なる事により、工程間に大量の在庫を抱え、運搬作業や投入排出作業のムダが発生していた。これに対し、1/N小型ダイカストシステムをはじめ、各工程の設備を小型化するとともに生産能力を縮小してそろえ、段取り時間も短縮することによって同期一貫ラインを実現した。従来に比べて設置面積1/5、エネルギー消費1/2、生産コスト33%減を達成した (Fig. 9)。

部品加工の目指す姿としてはラインとしてモノの流れが一貫し、究極には組付工程と完全に結びついたラインを想定している。そのために部品加工としては、組付タクトと完全に合わせたサイクルタイムの実現、品番切り替え時の段取り時間の更なる高速化 (組付の品番切り替えにあわせるためには数秒での段取りが必要)、可動率の更なる向上 (金型のメンテナンス、設備のチョコ停など、設備不稼働要因の低減) が必要である。これら課題を解決してダイカストライン、更には工場ラインの更なる進化を目指していきたいと考える。

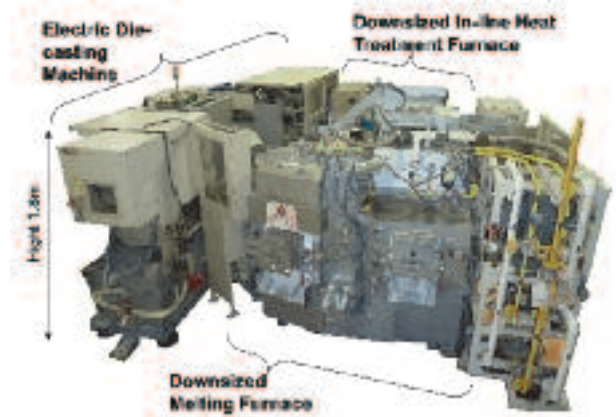


Fig. 8 Downsized Die-casting System in 1/N

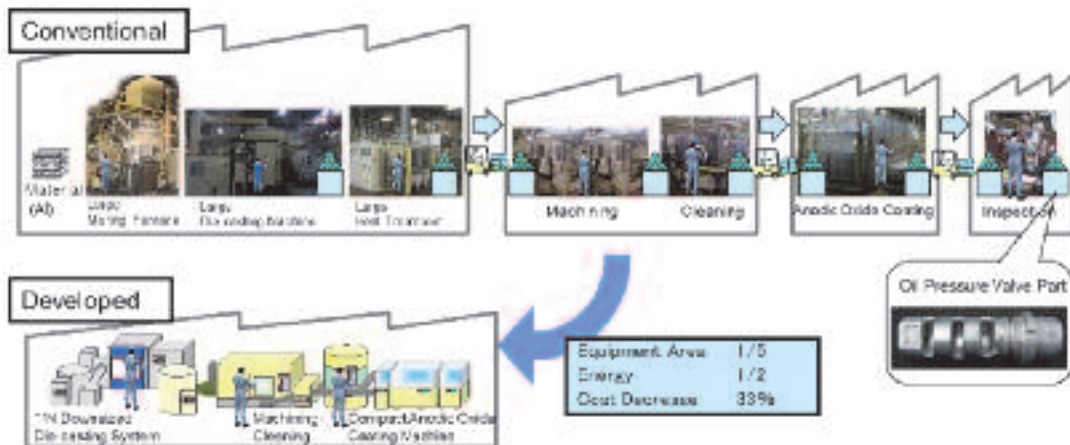


Fig. 9 Synchronized and Concatenated Production Line of the Valve Part by the 1/N Downsized Die-casting System

## 5. おわりに

当社では、加工荷重が大きいために、同期一貫を図りにくい大型設備による従来のダイカストシステムから脱却し、個々の部品加工に最適な加工技術の開発と、それを実現する小型設備開発、金型開発を行った。これにより、経済単位を縮小しても国内の集約生産と同等以下のコストとなる革新的な小型ダイカストシステムを構築した。この1/N小型設備は高さ1.8m以下で切削機等の横に設置することが可能で、前後工程と一個流しの同期直結を可能にした。また、その利点は、段取りのしやすさや安全性向上、省資源化、リードタイム短縮の推進などにも貢献でき、著しく増加しているグローバル生産においても、国内と同一の世界一品質を確保することができる。

今後は、現在進めている安全、環境を考慮したグローバル生産展開の中で、レイアウトフリーの1/N小型ラインを投入し、性能の良い製品を安く、早く供給することで社会に貢献していく。

### <参考文献>

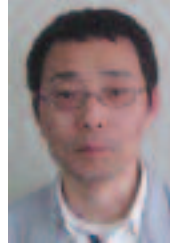
- 1) 波多野智之, 高木博己, 原田英明, 肥後徳仁, 西川浩司: 鑄造工学, Vol.82, No.4 (2010), p.223.
- 2) 榊原裕司: 日本機械学会誌, Vol.114, No.111 (2011), p.442.
- 3) 高木博己, 吉川澄, 渡辺靖: 鑄造工学, Vol.70, No.7 (1998), p.502.
- 4) 日経ものづくり, Vol.9, (2013) p.38.
- 5) 師岡将義: 工業材料, Vol.62, No.9 (2014), p.31.
- 6) 師岡将義: 軽金属, Vol.64, No.12 (2014), p.649.



<著者>



師岡 将義  
(もろおか まさよし)  
生産技術研究部  
ダイカスト加工の研究に従事



山本 実  
(やまもと みのる)  
生産技術研究部  
ダイカスト金型の研究に従事



藤井 好美  
(ふじい よしみ)  
生産技術研究部  
ダイカスト金型の研究に従事



原田 英明  
(はらだ ひであき)  
部品エンジニアリング部  
ダイカスト生産技術に従事



山崎 憲司  
(やまざき けんじ)  
部品エンジニアリング部  
ダイカスト生産技術に従事



杉浦 貴和  
(すぎうら たかかず)  
部品エンジニアリング部  
部品加工の工機設計に従事