

# 大型ボディ・シャシー系部材向けダイカスト技術について

UBE マシナリー株式会社

○小江 則禎、西 守、大西 浩史、釧 祐一郎、宮本 悠生、  
田中 元基、石橋 直樹、村上 工成、佐々木 寛人(工博)

## Die casting technologies of large body and chassis parts for automobiles

○Noriyuki Oe, Mamoru Nishi, Hirofumi Onishi, Yuuichirou Tsurugi, Yuki Miyamoto,  
Motoki Tanaka, Naoki Ishibashi, Kousei Murakami, Hiroto Sasaki

### Abstract

Automobile world is proceeding to electric power drive and requiring lightweight solutions, which include body and chassis parts, so called structural components, which used to be composed mainly of welded pressed steel sheets, are now being shifted to aluminum die-casting materials and process, which excels in thin-walled, three-dimensionally complex shapes. And, as a means to achieve both weight reduction and manufacturing cost reduction of those parts, the integration of multiple parts into a super-sized structure is being promoted. In the above parts, which tend to increase not only thin-walled but also flow length, it is necessary to prevent casting defects such as air inclusion and cold-shut as well as to further shorten time for molten metal filling up the die cavity in order to obtain a uniform fine solidified micro-structure. In this paper, details of die casting technologies newly developed to realize the above requirements are presented, and a method for manufacturing high-quality large body and chassis parts is proposed by applying those technologies.

### 1. はじめに

カーボンニュートラル社会を目指し自動車のEV、電動化が急拡大するなか、これまでは主として鉄板プレスの溶接で構成されていたボディ・シャシー系部材(以後、BC材と略す)は、軽量化とコスト削減の観点から薄肉かつ3次元複雑形状を得意とするアルミダイカストによる材料、プロセスシフトと複数部品統合による超大型化が進行している。薄肉化に加えて投影面積も増大する傾向にある当該部材においては、鑄造欠陥を抑制す

る為に充填時間をより一層短縮化することが求められる(図1)。当社は、そのような要件を満たし、高品質なBC材ダイカスト製造に資する技術として、独自のスリーブ真空技術<sup>1)</sup>や高充填力射出装置の開発に取り組んできた。前者については、当社試験設備の超高速射出仕様のUH1250ダイカストマシンに、図2に示す自社デザインのショックタワー金型を搭載し試験を行うことで、当社のスリーブ真空技術が高真空ダイカストの安定稼働とガス量低減に資するものであることを実証している。一方、後者については、上述の設備と金型を用いた要素実験にて、種々の鑄造条件で採取したサンプルの機械的性質やマイクロ組織を調査することで、アルミ溶湯の金型への短時間充填が、BC材の高品質化に寄与する効果を実証しており、その結果に鑑み、さらなる短時間充填を実現する射出装置、Extreme Shot(以後、ESと略す)を考案するに至っている。

本報では、上述のBC材の品質に及ぼす短時間充填の有効性検証結果、ES開発に至った背景とその性能検証結果、ならびに超大型BC材ダイカストへのES活用提案について報告する。

### 2. BC材ダイカストの諸要素実験

#### 2.1 ショックタワーサンプルの引張特性

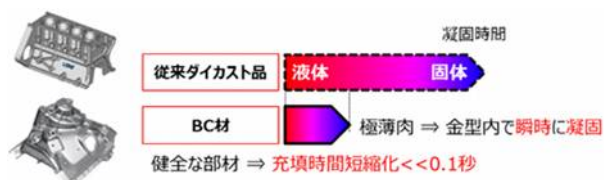


図1 BC材の特徴

項目	データ
製品寸法	462x454x347
製品肉厚(主)	基本肉厚 3mm or 2mm
鑄込重量	8.0kg
製品重量	3.5kg(3t) 2.8kg(2t)
全投影面積	2,499cm <sup>2</sup>
最大メタル圧	45MPa (1250t機使用の場合)

図2 ショックタワーモデル (当社デザイン)

図3に、前述のショックタワー型(基本肉厚 3mm)および欧州でBC材ダイカストに多用されているアルミニウム合金、Silafont-36 を用いて得られたダイカストサンプルの各所より採取した試験片の引張強度と破断伸びを充填時間に対してプロットした結果を示す。ここで、充填時間とは、スリーブ内のアルミ溶湯がゲートを通り製品部に流入し始めるタイミングから金型キャビティ全体を溶湯が満たし、さらに、増圧工程に移行して铸造圧力が30MPaに到達する迄の時間と定義した。したが、横軸の充填時間は、射出条件毎にモニターに表示される射出波形を上述の定義に基づいて読み取った値である。

引張強度は、充填時間によらず 200~220MPa の一定範囲に収まるのに対し、破断伸びは充填時間が短くなるほど下限値が改善され、ばらつきが収束する。因みに、このショックタワーサンプルの場合、充填時間を70ms以下にすることでBC材の一般要件とされる破断伸び10%以上を満たす結果となっている。

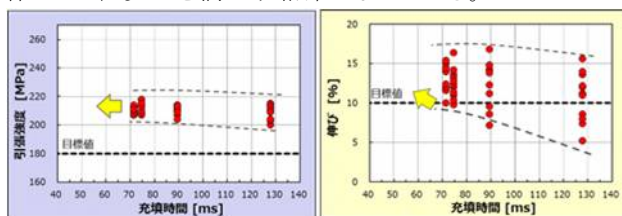


図3 ショックタワーサンプルの引張特性

## 2.2 ショックタワーサンプルのマイクロ組織

図4に、充填時間が製品のマイクロ組織に及ぼす影響を明らかにする為、ショックタワーサンプル各所断面のマイクロ組織を観察した結果を示す。具体的な観察箇所は図中に記した番号(No.1~No.8)で示した。

(a)は、射出速度設定 1m/s、(b)は 7m/s で铸造したサンプルであり、前述の定義で求めた充填時間はそれ

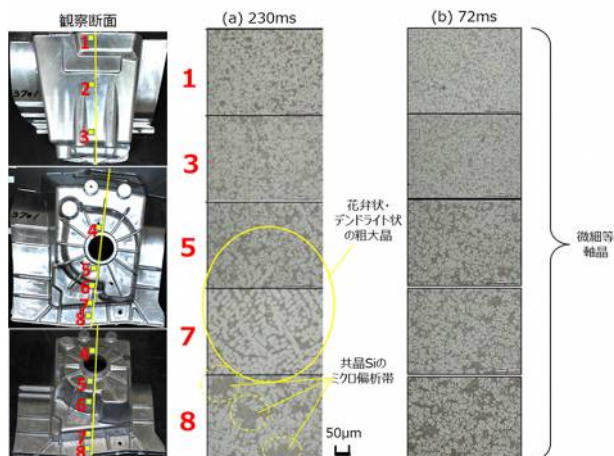


図4 ショックタワーサンプルのマイクロ組織

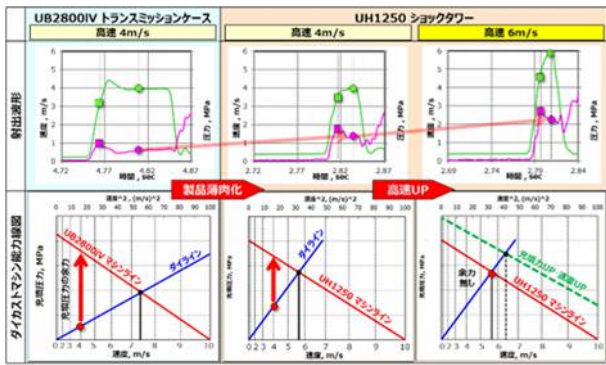
ぞれ 230ms、72ms である。いずれのサンプルも、製品天側(No.1 および No.3)では組織は細かく、中央部からゲート側に近づくほど組織が粗くなる傾向が認められるが、粗大化の度合いや諸組織因子の容態が異なる。即ち、充填時間 230ms のサンプルの製品ゲート側のマイクロ組織(No.7 および No.8)には、粗大なデンドライトや花卉状の初晶  $\alpha$  相粒子が認められ、さらに、それらの初晶  $\alpha$  相粒子の間隙には、共晶 Si のマイクロ偏析が生じている。一方、充填時間が 72ms のサンプルの初晶  $\alpha$  相粒子の形態は、製品全域に渡り微細等軸晶組織を呈し、前述の組織に認められる共晶 Si のマイクロ偏析も軽微である。充填時間の違いがマイクロ組織に及ぼす差異は、前者では(230ms)、金型キャビティ内をアルミ溶湯が流動しながら初晶  $\alpha$  相粒子が成長するのに対し、後者では(72ms)、初晶  $\alpha$  相粒子が晶出する前、あるいは成長が十分に進行する以前に充填が完了し、増圧工程で伝播する铸造圧力の下で急速凝固した為と考えられる。なお、充填時間 230ms のサンプルの製品ゲート側のマイクロ組織(No.7 および No.8)における初晶  $\alpha$  相粒子のサイズは、充填時間が 72ms のそれに比べてかなり粗大化していることから、金型キャビティ内をアルミ溶湯が流動する時間が長いのみならず、スリーブ内の溶湯が金型キャビティに移送されるまでの時間、即ち、スリーブ内に滞留する間に溶湯温度が低下することで初晶  $\alpha$  相が晶出し、その粒子が成長した可能性が考えられる。前述の引張特性において、充填時間が長いほど破断伸びの下限値が低下しばらつきが大きくなるのは、初晶  $\alpha$  相粒子が粗大化したことにより、延性に乏しい共晶 Si のマイクロ偏析が生じたことも原因の一つとして考えられる。高速射出による短時間充填は、アルミ溶湯が速やかにキャビティに充填され増圧工程に移行することを可能にするのみならず、スリーブ内のアルミ溶湯が速やかに金型キャビティへ払い出される優位点もあり、均一微細な凝固組織を得るうえで重要な要素であると言える。さらなる充填時間短縮化がどれほど破断伸び改善に寄与するかは不明だが、当社は、BC材のより一層の高品質化を目指し、短時間充填を実現する射出装置の開発に取り組んでいる。

## 3. BC 部材ダイカスト用高充填射出装置の開発

### 3.1 高充填力射出装置の必要性

前項では短時間充填がBC材の高品質化に欠かせない要件であることを諸実験事実を踏まえて説明したが、ここでは、短時間充填を達成する為ダイカストマシンが具備すべき要件について検討した結果を報告する。

図5の上段に、トランスミッションケース(以後、TM ケ



ースと略す)を当社 2800t の超高速仕様のダイカストマ  
**図5** 各ダイカスト製品の casting 時の  
 射出波形(上段)と能力線図(下段)

シンにて、約 4m/s の射出速度で casting した際の射出波  
 形、当社 1250t の超高速仕様のダイカストマシンにて  
 上述のショックタワー金型を 4m/s の射出速度で casting  
 した際の射出波形、同じく同一金型を同一ダイカストマ  
 シンで 6m/s の射出速度で casting した際の波形を示す。  
 緑は射出速度、ピンクは casting 圧力波形を示す。 casting  
 圧力波形は、金型キャビティがアルミ溶湯で完全充填  
 された後は金型キャビティ内のアルミ溶湯に付加される、  
 圧力の変化を示しているが、それ以前の過程では、アル  
 ミ溶湯を金型に押し込む際の充填抵抗と捉えることが  
 出来る。然るに、TM ケースの射出速度波形は、低  
 速から最高速度の 4m/s 付近にはほぼ直線状に速度が  
 立ち上がるのに対し、ショックタワーでは最高速度に到  
 達する手前で速度上昇が緩慢になっている。この目標  
 速度到達手前の遅滞は、射出速度が大きい 6m/s で  
 はさらに顕著になっている。

**図5**の下段に、上述の各ダイカストマシンの射出能  
 力を示す PQ2線図と、金型のゲートに溶湯が突入する  
 際の充填抵抗を示すダイラインを示す。TM ケースの場  
 合、実 casting 射出速度 4m/s 時のダイライン上に赤丸で  
 示した充填抵抗は、赤の直線で示したマシンラインと  
 大きなギャップが認められることから、この射出速度  
 においては、ダイカストマシンは赤矢印で示すように十  
 分な充填圧力の余力(=充填抵抗に対する余裕代)を有  
 していることが分かる。一方、ショックタワーの場合、前  
 述の TM ケースと同様の 4m/s の射出速度における充  
 填抵抗(ダイライン上に赤丸で示す)とマシンラインのガ  
 ュップ、即ちマージンは先の TM ケースの例に比べて小  
 さく、射出速度 6m/s に至ってはそれがほとんど無い、  
 即ち、余力が全くない状態であることが分かる。このこ  
 とから、短時間充填を実現するうえで、射出速度を目標  
 値に速やかに立ち上げる為には、ダイカストマシンのマ  
 シンラインが充填抵抗に比して十分な余力を持つこと  
 が重要である。TM ケースやエンジンブロックに比して、  
 ゲートや製品の肉厚が小さい BC 材においては、充填  
 抵抗はさらに大きく、ダイラインが急勾配になることから、

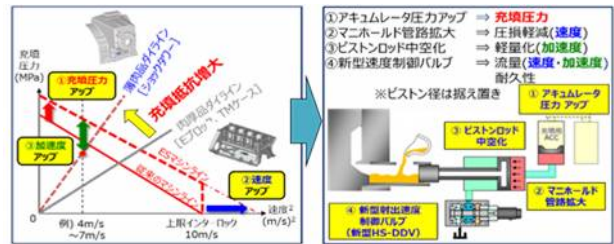
マシンラインは緑色の破線で示すとおり、従来よりも上  
 方に位置する、充填力に十分な余力を持ったマシンが  
 必要と言える。

### 3.2 高充填力射出装置のコンセプト

前項の実験結果ならびに諸経験的事実に基づき、  
 当社は、薄肉で投影面積が大きい BC 材のダイカスト  
 に適用する新射出装置が具備する仕様として以下を  
 掲げ、Extreme Shot(ESと略す)を開発した。

- 1) 充填抵抗に打ち克ち終盤まで失速しない充填力
- 2) 短時間充填を実現する高速射出速度
- 3) 目標速度に俊敏に到達する加速度

上記コンセプトの実現に当たり、当社は、充填力  
 のみならず射出速度性能にも着目し、双方をバランス良  
 く向上させることが、BC 材の実 casting における射出速度  
 域(例えば 4m/s から 7m/s)におけるマシンラインの充  
 填余力の合理的な拡張に繋がるものと考えた(**図6**)。  
 そして、前述の当社試験設備である UH1250 に、充  
 填用アキュムレーター(以下、ACC と略す)の高圧化と容  
 量増大、多量の作動油を瞬時に流す為のマニホール  
 ド管径の拡張、応答性を改良した新型の射出速度制  
 御バルブ(新型 HS-DDV)を搭載する等の改造を施した。



**図6** Extreme Shot 開発コンセプトと具現化手段

### 3.3 Extreme Shot のマシン能力線図

**図7**に、上述の新射出装置 ES と、当社の標準仕様  
 である iV 射出を比較するために、それぞれのマシン能  
 力を示す PQ2 線図を 2250t 機ベースで重ねたものを  
 示す。iV 射出の上位型式である L 射出(casting 圧力が  
 最大)と ES のそれを比較すると、縦軸の充填力につい  
 ては、ES は従来比約 1.3 倍、一方、横軸の射出速度  
 (2乗値で記載)については、速度制御範囲は従来と同  
 一の 10m/s<sup>\*1</sup>ながら、ポテンシャルとしては 1.5 倍の  
 15m/s とした。即ち、標準の iV 射出と ES とのマシン能  
 力の差異は黄色のハッチング領域となる。一方、緑破  
 線および実線、青実線は日欧他社ダイカストマシンメ  
 ーカーのハイエンド機の PQ2 線図を示しているが、ES  
 の仕様はそれらを上回ることから、Extreme Shot は業  
 界最高水準の充填力を有していると言える。これは、  
 本射出装置が充填力と速度の双方をバランスよく増大  
 したことで達成した結果であり、この ES を BC 材ダイカ  
 ストに適用することで、さらなる短時間充填が実現され  
 ることが期待できる。

※1 実铸造において、実測 10m/s 以上の射出速度を使用する可能性は低いと考え、射出速度制御上の上限は従来と同一の 10m/s とした

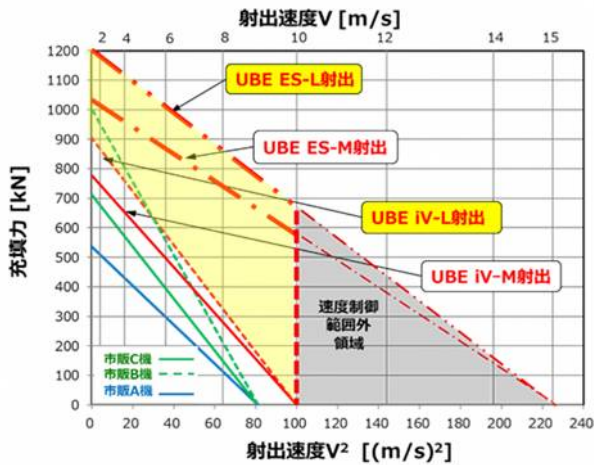


図7 Extreme Shot の PQ2 線図(2250t 機ベース)

### 3.4 Extreme Shot の性能検証結果

図8に、当社試験設備のUH1250機の空打ち(ドライショット)における射出性能検証結果、ならびに、このマシンに基本肉厚を2mmに変更したショックタワー金型を搭載して得られた実铸造時の射出速度波形を改造前後で比較したもの示す。

ESの空打ちにおける最大射出速度は15.6m/s、最大加速度は124Gであり、改造前の最高射出速度、最大加速度11.7m/s、92Gより大きく向上している。ここで、最高加速度とは低速速度から高速速度に立ち上がる区間における射出速度波形の勾配の最大値とした。一方、実铸造においては、改造前の最大射出速度は5.2m/s、加速度は51Gであるのに対し、改造後の最大射出速度、加速度はそれぞれ、7.2m/s、88Gとなり、最大値はドライショットより低下するものの、ESに改造したことで、実铸造においても、マシン性能が大幅に向上することが示されている。但し、ここに示す結果は、空打ち、実铸造ともに、マシンの最大ポテンシャル

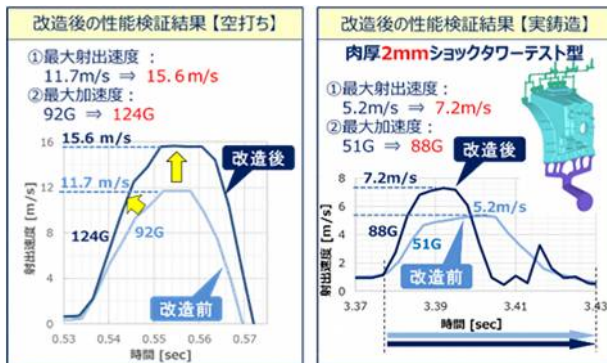


図8 Extreme Shot の射出性能検証結果  
ルを比較した結果、即ち、射出速度設定において、速

度の向上が認められなくなるまで設定値を増大して得られたものである。一方、加速度については、射出速度が小さい範囲では(例えばこの金型では5m/s以下)、改造前後の差異は小さく、射出速度が増大するほどESの加速度優位性が顕著となる傾向が確認されている。

### 3.5 低铸造圧力ダイカストへのExtreme Shotの活用

次に、新射出装置ESの応用例として、コンパクトなマシンで大きなダイカスト製品の铸造の実現を目指す、いわゆる低铸造圧力ダイカストへの活用事例を紹介する。これは複数部品統合一体化によりさらに大型化する傾向にあるBC材において、高品質な部材を効率良く製造する為の提案であり、一例として、ある大型ダイカスト製品を4000tクラスのマシンにて低铸造圧力ダイカストで製造するケースを検討した(表1)。

ESでは充填用ACCのチャージ圧を従来よりも約30%アップしていることから、充填完了時、即ち、射出ストローク終端での充填圧力を標準仕様のiV射出と同等とした場合、ESの射出シリンダ径はiV射出より小さくすることが可能となり、プランジャーピストン類を構成する機械部品の質量は約4割低減されることになる。これにより、充填完了時の慣性力が軽減され、充填サージによるバリ吹き抑制が期待できる。表1の構成における充填用ACCのガス圧と射出ストロークの関係を

図9に、射出シリンダ径ならびにチップ径を加味し上記ガス圧を充填圧力に換算した場合の射出ストロークとの関係を図10に示す。なお、ここでは高速切替え射出ストロークを800mm、充填完了射出ストロークを1400mmと仮定し、射出停止時の充填圧力を30MPaとしている。

表1 4000tマシン射出装置構成例

	射出シリンダ径 [mm]	充填ACCチャージ圧 [MPa]	チップ径 [mm]	終端充填圧力 [MPa]
iV	Φ430	14.7	Φ240	30
ES	Φ350	19.0	Φ240	30

ESでは充填用ACCのチャージ圧が従来より大きいのみならず、ガスボトル容量も増大していることから、充填用ACCガス圧の射出シリンダの前進に伴う圧力低下は従来よりも小さく、ESの充填ACC用ガス圧変化曲線は常にiV射出の上方に位置することになる。一方、このガス圧変化を充填圧力に換算した場合、ESは射出シリンダ径が小さいことから、充填力をチップ断面積で割り返した充填圧力曲線は、終端では標準iV射出と一致するものの、それ以外の射出ストロークにおいては常にiV射出の下方に位置している。但し、これは飽くまで、ガス圧変化がほぼ平衡状態にある、即ち、ガス圧変化をもたらす射出ストロークが極低速で変位して

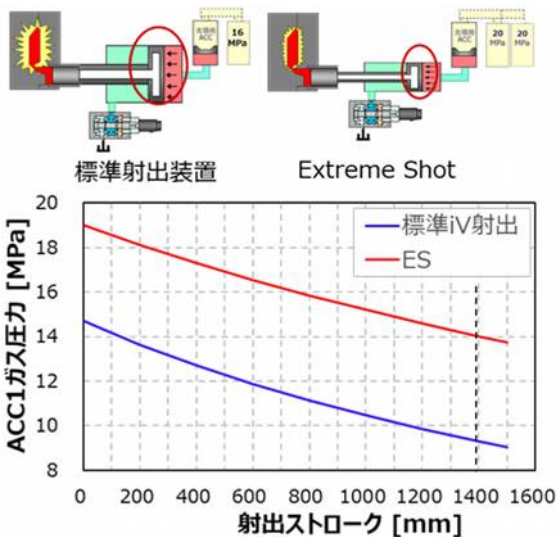


図9 充填 ACC1ガス圧と射出ストロークの関係

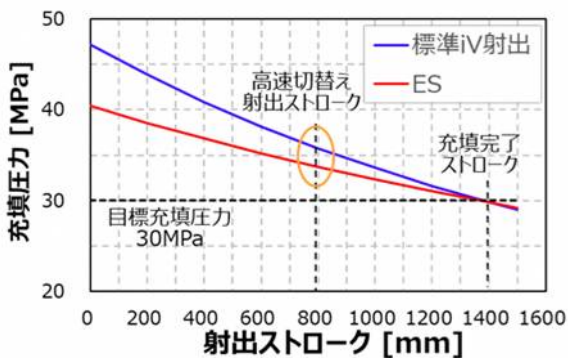


図10 充填圧力と射出ストロークの関係

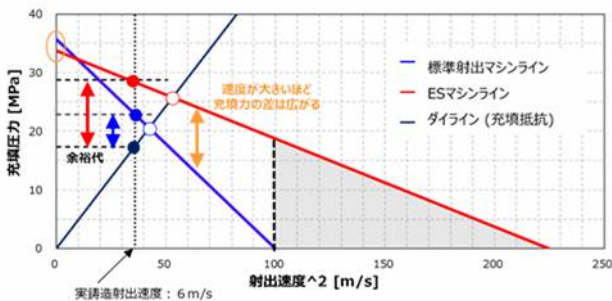


図11 高速切替え射出ストローク(800mm)のPQ2線図

いるか停止している状態を示しており、高速射出中のダイナミックな状態とは全く異なる。このことに留意し、高速射出切替え射出ストロークまで射出シリンダが前進した時点における PQ2 線図を描いたものが図11である。ここでは、高速切替え射出ストローク 800mm における ES および iV 射出双方のマシンラインを重ねて示しているが、前述の図10における射出ストローク 800mm の位置に相当する標準 iV 射出、ES の充填圧力は(橙サークル内)、図11では、縦軸(射出速度ゼロ)における充填圧力となる。仮に、目標とする実鑄射出

速度を 6m/s とした場合、この速度における充填圧力は標準の iV 射出よりも ES の方が大きい。参考に、ゲート比 10 に相当する充填抵抗線、即ち、ダイラインも合わせて記したが、3.1 項で詳述した充填抵抗に対する余裕代は、ES が標準 iV 射出の2倍ほど大きく、さらに、双方の充填圧力の差は、目標とする実鑄射出速度が大きければ大きいほど拡大していくことが分かる。このことは、薄肉で投影面積の大きい BC 材のダイカストに ES を適用することで、高速射出速度の向上と目標速度への速やかな到達が実現されると共に、それらの複合効果により、さらなる充填時間短縮の可能性を示すものと言える。

#### 4. まとめ

薄肉で投影面積の大きいショックタワー型を超高速度仕様のダイカストマシンに搭載したテストを実施して得られた知見、ならびに、それらの結果を大型 BC 材の低鑄造圧力ダイカストに活用する提案を以下に示す。

(1) 薄肉で投影面積の大きい部材においては、充填時間が短縮されるほどマイクロ組織は均一微細になり、機械的性質、特に、伸び値が高位安定する。

(2) 上記部品群において、短時間充填を実現する為には従来よりも高充填力を具備した射出装置が有効である。

(3) BC 材の低鑄造圧力ダイカストに ES を適用することで、射出シリンダコンパクト化によるイナーシャ軽減に加えて、高速射出時の充填余力増大により、従来よりも目標速度に速やかに到達し、短時間充填に寄与することが期待できる。

#### 5. 今後の展開

今回紹介した当社の新射出機構 Extreme Shot は、薄肉あるいはリブ構造の BC 材のみならず、厚肉と薄肉が混在する EV 車や HV 車の大型ダイカスト部品、例えば、バッテリーケース等の短時間充填を実現する手段としても有効と考える。今後、ES がこれらのダイカスト品の品質に及ぼす効果を見極めながら、必要なスペックを明確化して市販機に反映していくと共に、適用することでメリットに繋がる部品を拡大していく所存である。

#### 参考文献

1)村上、田中、小江、鋸、石橋:2018 日本ダイカスト会議論文集(2018), P201-208