

# 成形体加工を用いた高生産性・高品質を両立 する可変バルブタイミング部品生産ライン

High-Quality High-Productivity Manufacturing of Variable Valve Timing Parts  
by Green Machining

五十嵐 直人\*  
Naoto Igarashi

園田 康則  
Yasunori Sonoda

武 亮太  
Ryota Take

寺井 寛明  
Hiroaki Terai

近年自動車エンジンへの搭載率が高まっている可変バルブタイミング機構（以下、VVT）は、吸排気バルブの開閉タイミングを可変することにより燃費向上、排ガス低減を実現するシステムである。現在、VVTは部品点数が少なく安価に製造できる油圧式が主流であるが、昨今の環境・低燃費志向の高まりに伴い、構成部品の複雑形状化が進みつつある。中でもロータは、従来単独の部品として存在していたオイルコントロールバルブ機能の一部を備えたものが登場するなど複雑形状化が著しいが、一般に粉末成形法では横穴や内溝形状は造形できないことから、焼結後に機械加工を行う必要があり、加工難易度の上昇に伴う製造コスト増加や品質安定化が課題であった。そこで、高い生産性が期待できる成形体加工技術を適用し、①成形体加工条件の最適化、②成形体加工専用加工ラインの構築、③2Dコードを用いたトレーサビリティ付与システムの開発により、高生産性と高品質を両立するVVT部品生産ラインの構築に成功した。

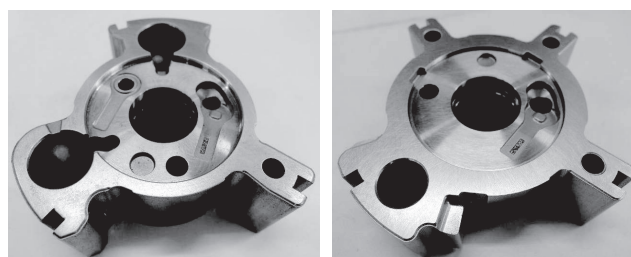
In recent years, variable valve timing (VVT) systems have been increasingly used for vehicle engines. The most common VVT systems are hydraulic systems because they require fewer parts and production costs are lower. However, the rising concern for the environment and demand for improved fuel efficiency have made VVT systems more complicated. We have developed a green machining technique that enables the one-chuck processing of a large number of complicated holes and lateral grooves and established a simple machining line for smart production. For quality assurance, compacts can be traced by 2D codes applied after in-line green machining.

キーワード：可変バルブタイミング機構、成形体加工、2Dコード

## 1. 緒言

近年自動車エンジンへの搭載率が高まっている可変バルブタイミング機構<sup>\*1</sup>（Variable Valve Timing System。以下、VVT）とは、通常は固定されている吸排気バルブの開閉タイミングを可変させることで燃費向上や排ガス低減を実現するシステムである。VVTは駆動方式により油圧駆動式と電気駆動式に大別されるが、現在は部品点数が少なく安価に製造できる油圧式が主流である。油圧式VVTは主にスプロケット、ハウジング、ロータと呼ばれる部品により構成され、それぞれ焼結工法に適した製品形状であることから2000年代以降、焼結部品の採用が増えている。昨今の環境・低燃費志向の高まりに伴い、VVTは高性能化・多機能化しており、構成部品を制御する油路構造は一層複雑化している。また近年は、ロータの内径に油溝を追加し、油圧の流れを制御するOil Control Valve（以下、OCV）と一体化させることで部品点数の削減を図ったOCV一体型VVTの出現など、複雑形状化が著しい（写真1）。

一般に粉末成形法では、金型を用いて横穴や内径溝形状を造形することはできないことから、焼結後に機械加工にて内径油溝形状を付与する必要があり、機械加工時に発生する加工バリ処理も含め製造コストの増加や品質リスクの



ロータ(吸気側)

ロータ(排気側)

写真1 VVTロータ部品外観

悪化を招いていた。

そこで我々は図1に示すVVT用新規ロータ2点に対し、高い生産性が期待できる成形体加工技術<sup>\*2</sup>を適用することにより、①加工条件・工具形状最適化による複雑多数個穴と内径溝部への成形体加工の適用、②成形プレスと成形体加工を同期させたタッチレス・ストックレス・インライン成形体加工ライン、③成形体への2Dコード<sup>\*3</sup>の付与による製品1個単位でのトレーサビリティ確立をコンセプトとした高生産性と高品質を両立するVVT部品生産ラインの構築に取り組んだ。

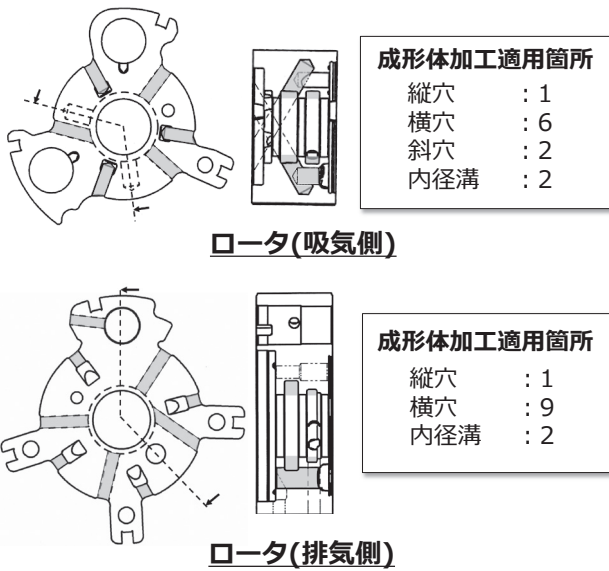


図1 対象製品と成形体適用部位

## 2. 成形体加工技術開発

一般的な焼結部品の製法を図2に示す。製品形状を造形する成形工程では、鉄を主成分とする原料粉末を金型に投入し、成形プレスを用いて500~700MPa程度で加圧することにより“成形体”を作製する。この“成形体”は、金属粉末を押し固めただけの状態であり、粒子間は互いに金属結合しておらず、機械的に粒子が絡み合う力のみで形状を保持している。その後、焼結工程において1100~1200℃程度で焼成することにより、粉末粒子は互いに金属結合し、焼結体=焼結部品となる。焼結工程以降では、焼結部品は溶製材等と同様の取扱いが可能となる。

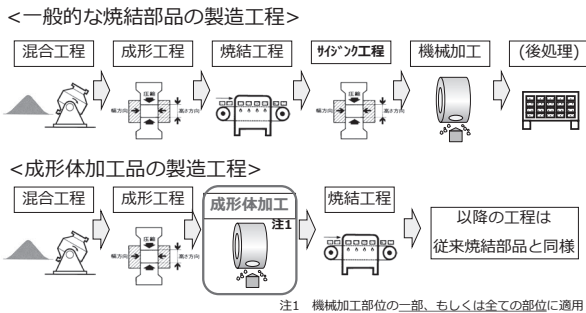


図2 一般的な焼結部品、及び成形体加工品の工法

今回適用を検討した成形体加工とは、図3に示すように、粉末が金属結合していない“成形体”の状態にて機械加工を行い形状付与する工法であり、一般的な焼結体の機械加工

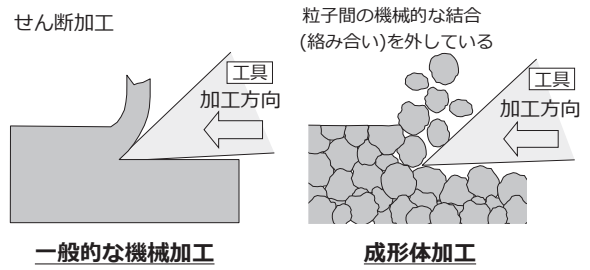


図3 一般的な機械加工と成形体加工の比較

に比べ、より少ないせん断応力で機械加工を行うことが可能となる。成形体加工の主な特徴としては、①高生産性、②低工具摩耗、③切削抵抗が小さいため加工設備が比較的コンパクト、④金属粒子が塑性変形しないため加工バリが発生しないことが挙げられる。特に、加工バリが発生しないという特徴を活かし、バリ処理が困難な交差穴等へ成形体加工を適用する事例が見られる<sup>(2)</sup>。一方、成形体加工を適用する上での課題としては、図4に示すように、①脆い成形体を取扱うことから製品のカケ、キレツの懸念がある、②寸法精度、面粗さ精度が悪く、適用できる部位が限定される(もしくは焼結後に仕上げ加工を行う必要がある)、③防塵対策、専用マテハンが必要なことから成形体加工に特化した専用設備が必要となる点が挙げられる。

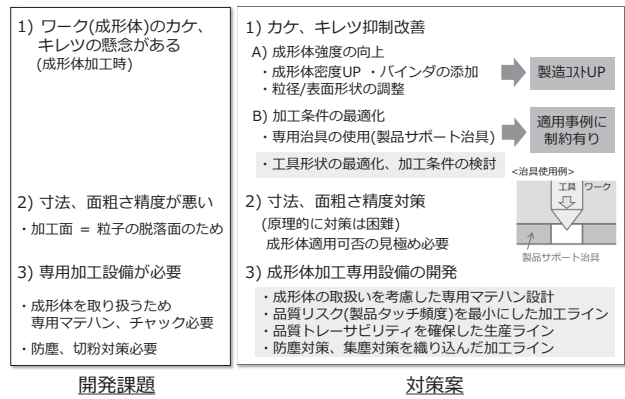


図4 成形体加工における課題と対策案

上記課題における①カケ・キレツ発生対策としては、成形体強度を上げカケ・キレツの発生を抑制する目的で、成形体密度を高く設定する、バインダを添加する等の事例が挙げられるが、背反として成形圧力増加に伴う金型寿命の低下や原料費が増加する問題がある。その他、成形体加工時にカケが発生しないように製品非加工面を支えるサポー

ト治具を用いた事例が報告されているが<sup>(1),(3),(5)</sup>、適用できる形状が制約される等の課題がある。

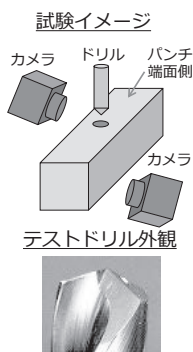
そこで我々は、①成形体加工に適した工具形状、及び加工条件の最適化によるカケの抑制を目指すとともに、②マテハン時のカケ、キレツ対策として、品質リスクを最小にする成形体加工ラインの検討、そして③品質トレーサビリティを確保できるVVT部品生産ラインの検討を行った。

### 2-1 成形体加工用工具開発

成形体加工用工具の検討にあたり、最初にカケの発生メカニズムについて検証を行った。表1に示すように成形密度6.9g/cm<sup>3</sup>の成形体を用意し、ドリル径φ4の工具を用いて成形体を加工した際に工具が入る入口側の穴、及び工具が出てくる出口側の穴に発生するカケの生成状況を高速度カメラにて撮影した。

表1 成形体加工テスト条件

サンプル	試料形状：10mm×10mm×55mm 材料組成：Fe-2.0Cu-0.8C-0.8%Lub (EBS) 成形体密度：6.90 g/cm <sup>3</sup>
工具	ドリル径：φ4 先端角度：120° 材質：高速度鋼 ※一般的な金属加工用ドリル
加工条件	回転数：6000rpm Vf：1600mm/min
調査内容	φ4貫通穴を開け、工具の入口側、及び出口側の穴エッジ部に発生するカケを調査



加工取り代を削減することで切削抵抗を低減することが有効と推定される。

また出口側穴のカケについては、工具がワークを貫通する際に大きな破片の脱落が発生しており、穴開けが終了した後も大きなカケとして残存することが判った。そのため出口側穴のカケについても、工具の先端角を鋭角とし、スラスト方向への応力をラジアル方向へ分散させることで工具貫通時の大きな破片の脱落が抑制されると推定される。ただし今回の製品では、図6に示すように薄肉部へ横穴を開ける必要があり、ラジアル方向への過大な応力によって該当部へのキレツ発生が懸念された。

そこで図7に示すように、入口側穴のカケ対策として工具の外周コーナー部の角度を鋭角にすることで切削抵抗を低減しつつ、出口側穴カケ対策及び薄肉部キレツ対策として工具先端角をスラスト方向/ラジアル方向へ応力配分を最適化した専用工具を開発した。

本工具を用いることにより、出口側穴のカケ量を1.6mmから、0.3mm程度へと劇的に低減させることに成功した。

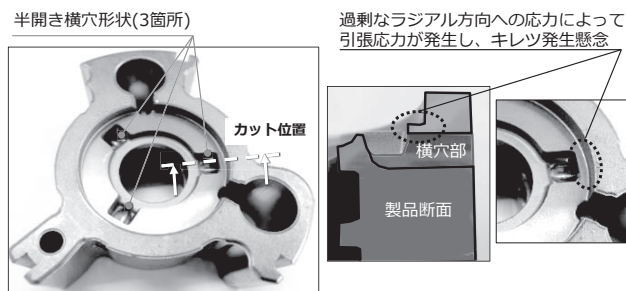


図6 対象品の横穴形状、及び断面カット形状

評価結果を図5に示す。入口側穴のカケについては、工具の外周コーナー部がワークに接触する際に大きなカケが発生しており、穴開けが終了した後もカケとして残存している。そのため入口側穴のカケ対策としては、工具の先端角を鋭角とし、外周コーナー部近傍の工具一回転あたりの

	カケ発生状況	発生原因	対策案
入口側のカケ			
出口側のカケ			

図5 カケの発生状況、発生対策と対策案

工具種類	工具外観	入口側カケ	出口側カケ
一般工具(金属加工用)			
改善工具			

図7 改善工具評価結果まとめ

### 2-3 成形体加工条件の最適化

成形体加工条件の検討にあたっては、図8に示すように横軸にドリル回転速度、縦軸に送り速度をパラメータとし



てプロセスウィンドウ評価を実施し、カケの発生する“境界条件”を確認し、良品化条件を設定している。

またもう一つのパラメータとなる工具状態については、より定量的に工具の摩耗・劣化具合を分析するため、切削動力計を用いて成形体加工時に発生するスラスト力を計測し、成形体加工時の経時的な工具の劣化を定量的に評価し寿命設定している(図9)。

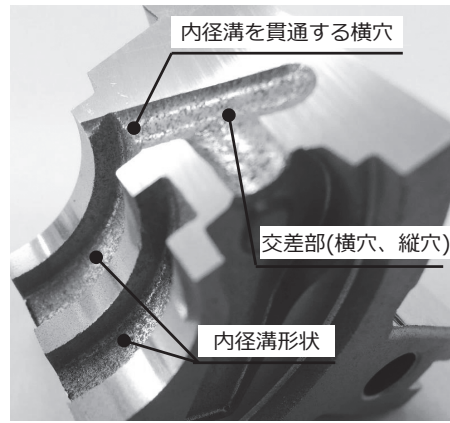


図10 成形体加工適用事例

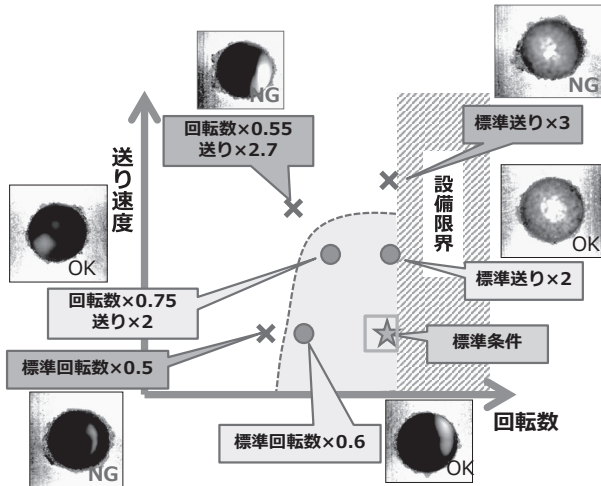


図8 成形体加工条件・プロセスウィンドウ評価

理が非常に困難となることから、本内径溝についても横穴・成形体加工と同様に成形体加工適用を検討した。

通常、内径溝を加工する場合、旋盤加工を選択するのが一般的であるが、被削物である成形体を高速で回転させた際に発生する遠心力や把握力によるキレツ発生リスクを懸念し、マシニング加工による内径溝加工を採用した。

内径溝用工具としては、成形体加工の低切削抵抗性を活かし、図11に示すように内径溝形状と総型(同一形状)の専用工具を開発し、ワークへの発生応力が最小となるようにねじれ角や逃げ角を最適化することでカケの発生を抑制している。本内径溝専用工具を用いることにより、複雑多数個穴と内径溝のワンチャック加工を実現している。

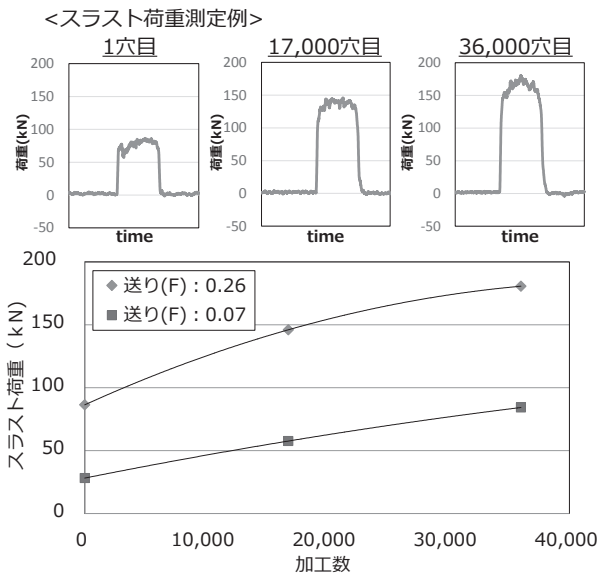


図9 成形体加工数とスラスト荷重

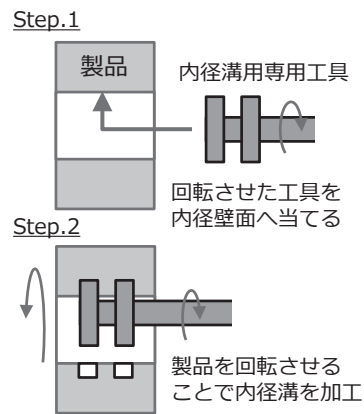


図11 内径溝の加工方法(概要)

### 2-4 内径溝加工への成形体加工適用

今回の開発品はOCV一体型構造のため、図10に示すように内径溝に横穴が貫通した油路構造をしている。本内径溝を焼結後に機械加工した場合、横穴出口貫通部のバリ処

### 2-5 成形体加工ライン開発

成形体加工は、従来の機械加工に比べて高い生産性が期待できるが、成形工程や焼結工程に比べてサイクルが遅いことから工程間にバッファ=中間仕掛品が発生する。その

ため実際の生産においては、成形工程にて成形した成形体を一旦ストックし、一定量溜まった後に成形体加工工程に送ってから成形体加工を実施している。そして成形体加工済のサンプルは再度ストックされ、一定量溜まった後に焼結工程へ流す“ストック方式”が主流となる。このストック方式に対してプレス同期方式は、成形プレスの生産サイクルに合うように成形体加工機を複数台並行に設置し、連結した生産形態である。それぞれの特徴を表2に示す。

表2 生産方式の特徴 (成形体加工)

生産方法	メリット	デメリット
ストック方式	・成形体加工機台数最小 (投資額少)	・品質リスク大 (製品タッチ回数多) ・設置スペース大 (ストッカー要) ・生産リードタイム長い
プレス同期方式	・品質リスク小 (製品タッチ回数少) ・設置スペース小 (ストッカー不要) ・生産リードタイム短い	・加工機台数多 (投資額大) ・設備稼働率低 (生産量少の場合)

今回は、成形体加工機の台数が増え設備投資額が増加する課題はあるものの、①ストッカー (中間仕掛置場) に貯める・払い出す際の製品タッチがなく品質リスクが小さい、②ストッカーが不要のため設置スペースが小さい、③仕掛りゼロ・生産リードタイムに優れるプレス同期方式を採用した。今回導入した成形プレスと同期連動したストックレス・成形体加工ラインの概略図を図12に示す。成形体加工ラインは成形プレス機、2Dコード印字機、成形体加工機、焼結炉により構成されており、各設備を連結した自動化ラインとなる。成形プレス機にて成形された成形体は、成形体加工機に流れ、成形体加工が行われる。その後、レーザーマーカにて2Dコードが印字され、焼結工程に流れる。

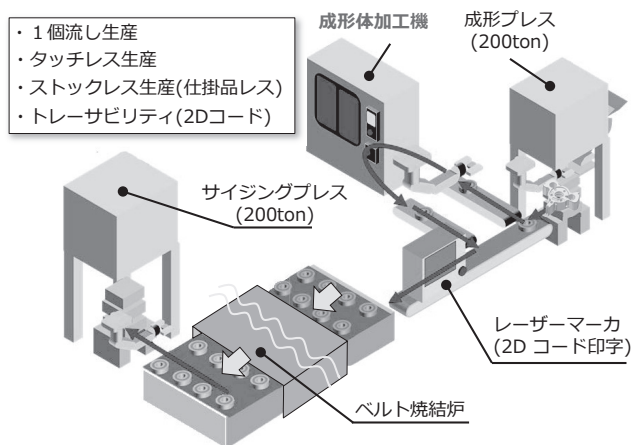


図12 成形体加工・プレス同期ライン概略

本ラインの特徴は、1個流し生産、製品タッチレス、ストックレス、そして2Dコードによるトレーサビリティ確立をコンセプトとしたVVT部品生産ラインとなる。

## 2-6 トレーサビリティの確保

成形体加工という難易度の高い技術を量産適用するにあたっては、製造変化点を正確に把握・管理することが品質リスク管理として必要と考えた。

そこで本加工ラインでは、図13に示すように、個々の製品に対し成形体加工直後に2Dコードをインラインにて付与することで、製品1個単位で製造履歴を保有することを可能としており、製品の2Dコードを読むことで、例えば複数ある同一設備のうちどれを使用して製造された製品なのかといった情報についてもトレース可能としている。

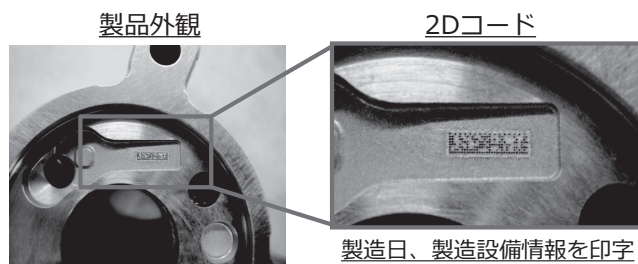


図13 2Dコード外観 (完成品)

## 3. 結 言

本開発により①加工条件・工具形状の最適化による複雑多数個穴と内径溝部への成形体加工の適用、②成形プレスと成形体加工を同期させたタッチレス・ストックレス・インライン成形体加工ライン、③成形体への2Dコード付与による製品1個単位でのトレーサビリティ確立をコンセプトとした、高生産性と高品質を両立するVVT生産ラインの構築に成功した。

## 用語集

---

### ※1 可変バルブタイミング機構

4サイクルレシプロエンジンにおいて、通常は固定されている吸排気バルブの開閉タイミング（バルブタイミング）やリフト量を可変とする機構。

### ※2 成形体加工

粉末冶金法において、固相焼結する前の、粉体を押し固めた“成形体”の状態にて行う機械加工。

### ※3 2Dコード（2次元コード）

横方向にしか情報を持たない1次元コード（バーコード）に対し、横（水平）、縦（垂直）の2方向に情報を持つ表示方式のコードのこと。1次元コードに比べ、より多くの情報をコード化することができ、また印字面積を小さくすることが可能。

## 参考文献

---

- (1) 日本粉末冶金工業会・工業会賞（平成15年度）
  - (2) 日本粉末冶金工業会・工業会賞（平成19年度）
  - (3) 日本粉末冶金工業会・工業会賞（平成20年度）
  - (4) 日本粉末冶金工業会・工業会賞（平成28年度）
  - (5) ㈱ファインシンター、焼結部品へのグリーン加工、SOKEIZAI Vol.52 No.1（2011）
  - (6) 五十嵐ら、APMA2017 The 4th International Conference on Powder Metallurgy in Asia 0138
- 

## 執筆者

---

五十嵐直人\*：住友電工焼結合金㈱ 製品開発部  
主席技師



園田 康則：住友電工焼結合金㈱ 生産技術部



武 亮太：住友電工焼結合金㈱ 製品開発部  
主席技師



寺井 寛明：住友電工焼結合金㈱ 製造部  
工場長



---

\*主執筆者