

この記事のURL :

<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/mag/15/397260/120400223/>



日経 **テクノロジー** online

日経 **Automotive** 2018年1月号

Automotive Report

ダイハツ、3Dプリンターで砂型造り 鉄部品の試作可能に

岩尾信哉 = 自動車ライター 2017/12/08 00:00

出典：日経Automotive、2018年1月号、pp.18-21（記事は執筆時の情報に基づいており、現在では異なる場合があります）

ダイハツ工業は、3次元（3D）プリンターで砂の型を造り、その型で試作部品を作る取り組みを進めている。今回、砂の種類を変えたことや砂を酸で覆うことなどにより、従来のアルミ部品に加えて、鉄部品の試作も可能にした。エンジン部品などに利用範囲が広がる（図1）。

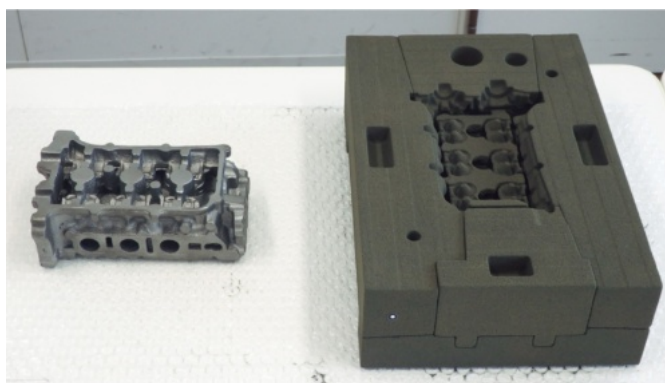


図1 1/2スケールの砂型と铸造品

3Dプリンターで砂の型を造り、その型に鉄の溶湯を流し込み、シリンダーヘッドなど鉄材料の試作品を造った。

ダイハツは2012年から約5年をかけて3Dプリンターを使った砂型造り技術を開発した。型の素材として使用する砂の種類を、従来の天然珪砂（ケイシャ）から、熱膨張率が低い人工砂を使うことにした。これにより、造型過程の効率化による試作のリードタイムの短縮や、使用した砂のリサイクル性を向上させることを可能とした（図2）。

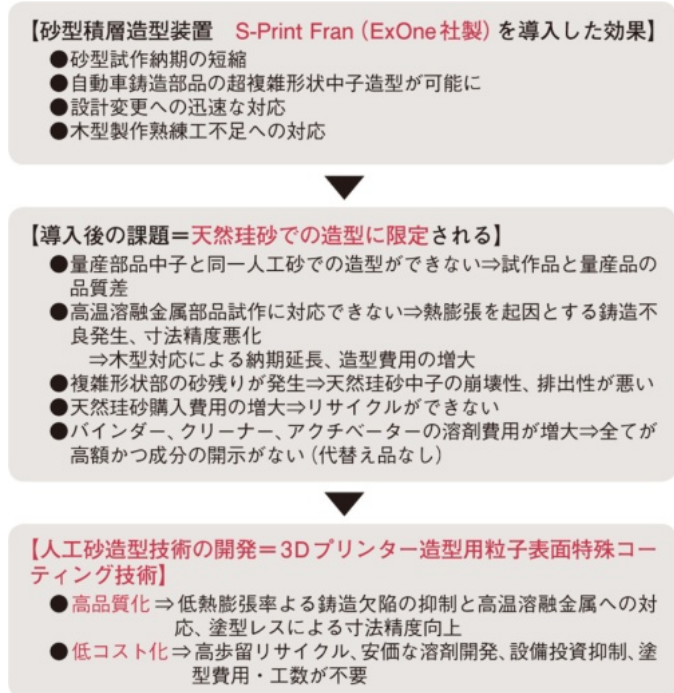


図2 従来の3Dプリンターの課題と今回の対応策

今回は、熱膨張などの課題を解決した。

鋳造用砂型に用いられる人工砂は、ボーキサイト（アルミナを主成分とする鉱石）を溶かして空中で落下させ、真球状に固まらせたセラミック粒子である。開発当初は「エスパール」（山川産業）を使ってきたが、現在は伊藤忠セラテック製の「セラビーズX」を使っている。

人工砂を造型に使用する際には必要な仕様に合わせて製品を選択するが、「自動車業界での砂型鋳造では天然珪砂と合わせてエスパールを使う例が多い。比熱が高く冷却効果をもつので、サイクルスパンを短くできる。当社が現在使っているセラビーズXは比重が小さく軽量なので清掃時の作業性が良く、使用する企業からの要望が多い」（ダイハツ生産技術部技術企画室主任係長の高田和樹氏）とする。

ダイハツが鉄系材料の鋳造に使う、3Dプリンターによる砂型造型に人工砂を選択したのは、天然珪砂と人工砂では熱膨張率が大きく異なるためだ。天然珪砂の熱膨張率が1000℃で約1.4%となるのに比べ、人工砂は0.2%前後（製品によって変化）となる。鉄系材料の鋳造では型内での溶湯の溶融温度が1500℃強に達するため、熱膨張率が小さい人工砂を使用すれば、型の割れなどを抑えられるので製品の寸法の再現性も高くなる（図3）。



図3 砂型の熱膨張による破損実例

天然砂で型を造ると、鉄部品の溶湯が高温であるため型が熱膨張・破損することがあった。

「フラン自硬性」を人工砂で実現

今回の3Dプリンターによる造型では、鋳造では一般的ともいえる“フラン自硬性”と呼ばれるプロセスが採用された。芳香族化合物であるフラン（C₄H₄O）を基本とする高分子化合物に強酸性の酸触媒（一般的に“硬化剤”と呼ばれる液体材料）を添加することで、水を自発的に出しながら高分子化する“脱水縮合”を利用する。

粘着剤であるフラン樹脂（正式な化合物名はフルフリルアルコール）は、フランの環状構造上にある水素原子1個がメタノール（CH₃OH）に置き換わった炭素化合物だ。この高分子化するための縮合反応は脱水を伴うため、後処理として分子から水分を取り除くための意図的な加熱を必要としない。

このため、大型製品の造型でも型全体の寸法精度に影響する熱によるひずみを考慮しなくてもよく、硬化時間の短さ（約1時間）もあって、今回の造型ではフラン自硬性の反応機構をそのまま利用することを目指した。

人工砂は熱膨張抑えるが課題もある

人工砂を使うメリットは熱膨張を抑えられることだが、課題もある。それは今回使う人工砂はアルカリ性物質であることだ（図4）。従来の天然珪砂は中性に近い弱酸性（シリカの成分割合によって性質が異なる）であった。

	生砂	特殊コーティング	酸触媒添加	フラン樹脂塗布	硬化→砂型	SEM画像
天然珪砂	天然珪砂粒子 弱酸性（pH＝6～7）	—	酸触媒（強酸） 強酸（pH＝3以下）	フラン樹脂 酸性（pH＝3～4）	硬化反応 酸性（pH＝3～4）	
人工砂（コーティングなし）	人工砂粒子 弱アルカリ性（pH＝7以上）	※フラン自硬性プロセスには酸触媒が少量※中和すると硬化反応できない	酸触媒（強酸） 中和	フラン樹脂 酸性（pH＝3～4）	硬化反応しない 中性（pH＝7程度）	
人工砂（特殊コーティング）	人工砂粒子 弱アルカリ性（pH＝7以上）	特殊コーティング 酸性化＋α 酸性	—	フラン樹脂 酸性	硬化反応 酸性	

図4 今回は人工砂に特殊コーティングした

従来のフラン自硬性プロセスでは、天然珪砂を使用した場合には酸触媒をフラン樹脂と組み合わせて使う。ただし、従来の人工砂ではアルカリ性のために酸触媒が中和されて反応が止まってしまう。これを抑えるために、人工砂に特殊なコーティングを施して、脱水縮合による硬化反応を成立させた。

弱酸性の天然珪砂は反応において酸触媒と相性が良いのだが、人工砂はアルカリ性なので酸触媒を混ぜた際に中和されて結合反応が止まってしまう。このために従来の3Dプリンターによる造型では、人工砂を用いるフラン自硬性プロセスが採用できなかった。

そこでダイハツでは人工砂が生砂の状態で酸触媒をコーティングして強制的に酸化する方法を考案した。だが、一時的にはpHは下がるものの、アルカリ性の物質と接触しているために、少しでも処理に手間取ると時間の経過とともに弱酸性になってしまい、型が固まらなかった。

そこで生砂に特殊な酸性物質を使った処理を施して酸性の膜を内側に付加、そのうえで表面に酸触媒層によるコーティングを施す、“2層コーティング”と呼べる技術を開発した（図5）。

	生砂	中和抑制層	酸触媒層
参考図			
pH	7.0～8.0	4.5～5.5（推定）	2.5～3.5
特徴	・アルカリ性 ・フラン自硬性プロセスと不適	・生砂と酸触媒層を接触させない ・酸性で強固な内層	・酸触媒の効果維持 ・フラン自硬性プロセスの成立

図5 2層コーティング概略

自然界に存在する天然珪砂（シリカ：SiO₂の成分は99.5%ほど）とともに、新たにアルミナ（酸化アルミニウム：Al₂O₃）とシリカを主成分とする人工砂を採用した。従来の天然珪砂では処理前の生砂ではpH（水素イオン濃度）が6前後

と中性に近い酸性であり（シリカの配合によって変化）、酸触媒を添加してpHを3以下にしてフラン樹脂を加えて固めていくことは難しくない。一方でアルカリ性の人工砂では生砂の状態ではpH7〜8と中和反応を起こすため、中和抑制層を形成させてpHを4.5〜5.5に下げる（酸性を強める）ことで酸性状態を作り出し、酸触媒層を付加してフラン樹脂による粘結を実現した。

「砂の粒子の内側に中和を抑制する層を焼き付けるイメージで、酸性物質を添加した。さらに温度を上げて十分に内部で拡散させたうえで、酸触媒層を加えた結果、時間が経てもpHの値が変わらずに硬化が続くことになった」（高田氏）。

加えて、ダイハツはコスト抑制などを狙って、鋳造後の砂型のリサイクル性にも配慮して開発を進めた。

「従来は液体の酸触媒とフラン樹脂の2種類の材料を加えた砂の積層を繰り返す“2液湿式”を採用していたが、酸触媒を添加した人工砂を積層し続けるとさらに粘り強くなって泥状になるので積層が難しくなる。加えて、酸触媒の追加によって強い酸性を帯びるので、型材料を全量廃棄しなければならなかった（図6）。

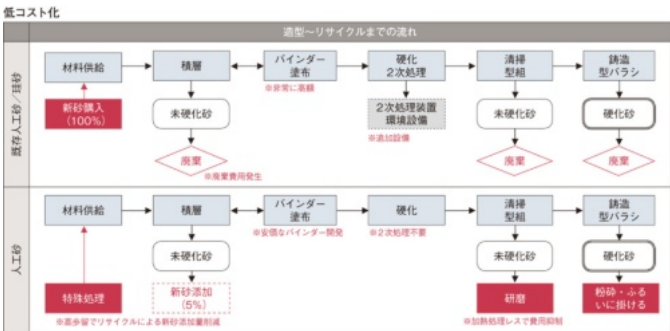


図6 今回は材料をリサイクル可能として環境性能を上げつつ、低コスト化も図った

今回のプロセスは、人工砂に酸性物質と酸触媒層をあらかじめコーティングしているの
で“1液乾式”と呼んでいる。砂の酸性が強まらず、粘結剤を吹いていない部分（全使用量の30〜50%）は乾いたままで硬化していないので、鋳造後に破砕・研磨処理した後、再度コーティングして再利用が可能となった」（高田氏）。

金属プリンターの可能性

最近もてはやされている金属材料を直接積層して“造型”する3D金属プリンターに関しては、自動車部品の試作品で一番多いのがシリンダーヘッドだが、3D金属プリンターのようにダイレクトに作ることはできない。

オイル／ウォータージャケットのような中空構造を作る際には「樹脂ではサポートするための形状を設けても除去できるが、3D金属プリンターでは取り除けないので、製品が内部で破損してしまう」とのことだ。

個人的な考えとして、高田氏は3D金属プリンターの造型速度の遅さを指摘する。例えば、今回使用した3Dプリンターでは積層量が1時間当たり高さ60mmに達するが、金属プリンターだと数mmしかないという。

加えて、使用する材料面でも金属プリンターには課題が残されている。例えば、インコネル（Ni-Cr-Fe系のニッケル合金）やチタン（Ti）合金を使用することもあるが、アルミ系では静電気による粉塵爆発が起こる可能性があるため、安全性を確保するまでは試作に導入するのは難しいとのことだ。

大型部品にも対応可能

今回の造型の実作業では、1：1のスケールで砂型を製作する。積層を実施する台座部分のサイズは幅800×奥行500×高さ400mmとされ、ダイハツが扱う軽自動車用エンジン部品であれば、この大きさに対応可能とのこと。

他社が扱うV6エンジンなどではひとサイズ大きくなるという。型は分割して製作した上で組み合わせられるので、大型製品にも利用できる。「ダイハツの場合はエンジンの種類が少ないが、他社の鋳造試作では数倍になるはず」と高田氏は話す。

バインダージェット噴射（一般的なインクジェットとほぼ共通）方式で塗布するのは、一般的な積層法と共通。3Dプリンターにおける「リコーター」と呼ばれる装置は、内部に材料となる砂が入っており、左右に移動させながら砂を振動させて排出する。

新たな造型法では人工砂の積層を0.28mmと一定として（台座は0.28mmずつ下がっていく）、砂の層に粘着剤を0.1mmピッチで吹き、型を製作していく。なお、3Dプリンターでは、酸触媒を“アクチベーター”、粘結剤を“バインダー”と呼ぶ。

「積層厚は材質と装置の機械精度で決まってくる。鋳造では後工程で機械加工が入るので、工作精度は規格レベルではOKであっても、3Dプリンターでは上げられる限界がある。積層をさらに薄くすれば型は精密に製作できるが、造型速度が遅すぎて時間がかかってしまう」（高田氏）（図7）。

ダイハツは3Dプリンターを使った砂型造型を、2016年に200個の試作で使用しており、試作の現場ではほぼ日常的に使っている。今回使用した米ExOne社の3Dプリンターの価格は、本体が約1億1000万円（ワンサイズ上で1億5000万円）。さらに室温管理のための設備が必要となる（図8）。



図7 開発を担当したダイハツ工業生産技術部技術企画室主任係長の高田和樹氏

砂型による鋳造品の製作では清掃性が高いことも重視されるという。「鋳造品からの砂の離れが良いことが重要。装置を見に来る顧客が清掃性に注目するのは、清掃に手間がかかると型の破壊につながるから。“本当に砂は落ちるのか”ときかれるが、今回の製法ではエアブローで砂を飛ばせるので、従来の刷毛で行うような方法とはスピードが違う」とする。

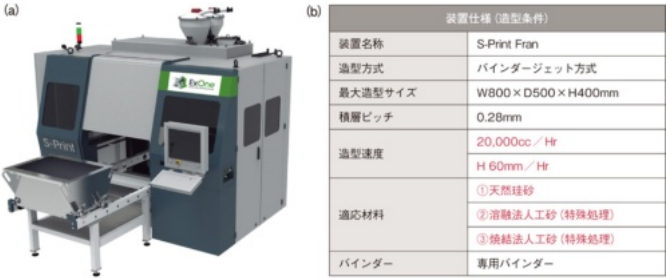


図8 今回使った3次元プリンター

(a) 本体。(b) 主な仕様。従来からの変更点として、人工砂を使う、人工砂の周りを酸でコーティングするなどの対策をした。

鉄用型の成型に関して3Dプリンターに対する新たな機械的な仕様変更が不要、普及した既存のプリンターが使えるという汎用性の高さが、関連他社での採用において有利に働くはずだ。

Copyright © 2018 Nikkei Business Publications, Inc. All Rights Reserved.
このページに掲載されている記事・写真・図表などの無断転載を禁じます。著作権は日経BP社、またはその情報提供者に帰属します。

