金型産業における Additive Manufacturing 技術の動向と研究事例*

Technology Trends and Research Examples of Additive Manufacturing in Die and Mold Industry

檜原弘之**

Hiroyuki NARAHARA

Key words

Additive Manufacturing, Die and Mold, 3D printing, Injection molding, Conformal cooling, Die casting

1. はじめに

Additive Manufacturing（以下、AM）技術の応用として期待される分野の一つに、金型分野がある。型は素形材産業に不可欠な基盤技術とみなされているが、一方で金型を使わない技術として AM がアピールされる場合もある。この一見矛盾するような説明を理解するには、型を用いるものづくりの事情を知っておくことが重要である。

本稿では、まず、AM の型への応用についてまとめ、引き続き産業応用への技術動向、そして国内外の研究事例について紹介する。

2. AM の型への応用

型は、材料をある形状に成形するために用いられるツ

ルであり、型を用いることで、複雑形状部品の成形を一度に実現したり、単位時間当たりの製造個数を増やしたりすることができる。この理由から、型技術が素形材産業の基盤技術とみなされているのである。しかしながら、事前に型を設計し製造しなければならないために、製造開始までの時間とコストが必要である。それを限りなく短く、低く実現できれば魅力的であり、その新しい役割を AM が担えないかと期待されることがある。結論から先に言ってしまうと、そのような期待に応えることは現時点では難しく、それよりも他の観点に目を向けて、この装置でしか行えない研究開発に取り組むことのほうが重要である。

図 1 は、AM 技術を用いた部品製造手順を示している。AM を利用して製造される部品に対して、直接 AM で部品が作られる直接法と、AM を利用して間接的に部品を

図 1 AM 技術を用いた部品製造手順

*原稿受付 平成 28 年 4 月 26 日

**正会員 九州工業大学大学院情報工学研究院 (福岡県飯塚市川津 680-4)

写真提供：(株)ソディック

図2 複数の金型部品の一体造形による工程短縮

図3 3次元冷却実験用の成形品と金型形状

製造する間接法とが存在する。間接法では、AMは部品の原型の製造に用いられるか、もしくは反転形状の型の製造に使われる。砂型以外の型製造であれば、AMによる1回の型製造で部品を複製可能な型が造れるために、生産性を高める手段が得られる。

型で生産される部品の精度は、型の寸法精度よりも高くないために、型は高精度に加工されることが要求される。レーザ焼結機能のみを備えるAM装置では、要求される寸法精度が出ないため、造形物は別の工作機械で仕上げ加工をさらに行う必要がある。あるいはAM装置にレーザ焼結機能と切削機能を備えて、金型部品として製造可能な複合加工機の装置構成が必要となってくる。

3. AMの金型応用への技術動向

前述したように、金型製造を目的としたAM装置は、レーザ焼結と高速切削の複合加工機の構成をとって、金型としての要求精度を満足させることが図られている。

AM装置による金型製造では、従来の加工法にない機能を付加することが可能であると期待されている。

一つには、通常加工機の製造可能性から金型分割せざる

図4 3次元冷却管と通常冷却管配管

図5 金型コアとキャビティ表面温度差の比較, ならびに成形品表面温度

図7 3次元冷却管による成形品の変形率の比較

図6 成形品の測定位置

を得なかった金型構造を, 少ない部品点数で製造が可能となるため, 製造工程の集約が可能となる点が挙げられる(図2)。

さらに発展して, これまでの通常の加工法では不可能であった曲がった穴を開ける3次元冷却管が製造可能となり, 均一冷却による成形部品変形制御や, ハイスサイクル成形など, 金型に新しい機能を付加することが可能となる¹⁾(図3~7)。

また, 原料の粉末材料をレーザー光で溶融接合させていることから, 焼結条件を変えることで気密構造の金型から, 通気構造の金型までさまざまな条件の内部構造を金型に形成することができる。樹脂流れを妨げる型内空気起因する難成形材料や難成形部品構造に対して, 成形不良を低減

◆ ガスベントの有無による充填性の比較

	保圧		
	0 MPa	15 MPa	30 MPa
ガスベントなし			
ガスベントあり

写真提供: パナソニック(株)

図8 低密度ガスベントによる樹脂充填性の向上

写真提供：ヤマザキマザック(株)

図 9 補修・難削材料の厚膜コーティング

させることが可能となる (図 8)。

さらに、金型の耐久性向上のために、高硬度材料や耐熱材料などの難削材料を堆積させて厚膜コーティングすることで、表面処理や金型補修へ応用することに対する期待がある (図 9)。

また、樹脂型の取り組みがまた始まっている²⁾。樹脂系 AM 装置を用いて樹脂型を迅速造形し、この樹脂型を用いて射出成形やプレス型として使用することが提案されている³⁾。光造形法が出現した過去にも同様に樹脂型が検討され下火になった時期があった⁴⁾。その当時と比較すると、現在 AM 技術がさらに身近になっていることとも関係が高いと思われる。

4. 国内外の研究事例

ここ数年の AM ブームによる世界的な装置の導入件数の増加にともなって、部品造形に関する研究以外にも、金型応用のさまざまな取り組みが世界中で行われるようになってきている。

金型製造に特化した複合加工機構の AM 装置は日本製しかなかったために、その研究事例は日本以外ではまだ見つからない状況があった。海外ではレーザー焼結機能のみをもつ AM 装置を用いて、素形材製造という観点で取り組みが行われていた。

3次元冷却管の導入による金型冷却への効果については、AM 技術が出現した当初から提案されてきた内容であって、これまでに多くの取り組みがなされ、その効果が報告されてきている⁵⁾。また、最近の金型設計用の樹脂流動解析ソフトウェアでも、3次元冷却管を設計・解析する機能が組み込まれるようになってきている^{6)~8)}。

樹脂成形金型のみならず、引き抜きダイスへの適用などでも、金型の温度管理は重要なため、3次元冷却管の効果が報告されている⁹⁾¹⁰⁾。また、シートメタル¹¹⁾や SMC モ

図 10 通気性金型構造と成形品寸法

図 11 通気性金型と通常金型との消費エネルギーの比較

ールディングへの適用¹²⁾など、これまでは適用例が見られなかった金型領域での事例報告が見られるようになってきている。

ダイカストへの取り組みは、AM の金型への適用として期待されている領域の一つであるが¹³⁾、過酷な環境下での使用条件をクリアするためには解決しなければならない問題も多い^{14)~17)}。

通気性金型は、成形不良の低減のみならず、射出成形機の消費電力を低減する効果もあることが、最近の研究により明らかになってきており (図 10, 11)¹⁸⁾¹⁹⁾、省エネ生産システムの基盤技術として発展する可能性がある。

5. お わ り に

AM 装置は付加製造装置と呼ばれるように、一般的な加工装置と同等のものと考えられるよりも、材料特性までをコントロールしてしまう、いわば高度な素形材製造装置として考えると分かりやすい。材料+ソフトウェア+装置の最適な組み合わせによって、初めて実用的なアプリケーションが生まれてくる。金型応用についても例外ではなく、技術開発への取り組みやすさを配慮した開発環境の整備が、今後の AM 技術発展へのカギを握るともいえそうである。

参 考 文 献

- 1) 是澤宏之, 榎原弘之, 秋山英治: 金属光造形法を用いた射出成形金型における低エネルギー成形に関する研究 (第 1 報) 自在冷却回路を用いた成形性に関する基礎実験, 精密工学会学術講演会講演論文集, 2015A (2015) 369-370.
- 2) 丸田陽, 丸田智子, 小池大地, 木村南: 118 3D プリントプラスチック成型品を射出成型型として利用する短納期生産システムの開発 (アディティブ・マニファクチャリングの生産システム), 生産システム部門講演会講演論文集, 2015, (2015) 105-106. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009965196/>
- 3) (有)スワニー: デジタルモールド, <http://www.swany-ina.com/dm.html>
- 4) 榎原弘之: 型とラピッドプロトタイピング, 精密工学会誌, **63** (9) (1997) 1236-1239.
- 5) Wu Tong, Jahan Suchana A., Kumaar Praveen, Tovar Andres, El-Mounayri Hazim, Zhang Yi, Zhang Jing, Acheson Doug, Brand Kim and Nalim Razi: A Framework for Optimizing the Design of Injection Molds with Conformal Cooling for Additive Manufacturing, *Procedia Manufacturing*, **1** (2015) 404-415. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915010495>
- 6) Autodesk Mold flow insight: Conformal cooling analysis, <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/MoldflowInsight/files/GUID-238359E4-A356-4C68-9734-14B4905FAFED-htm.html>
- 7) Moldex3D: Moldex3D Conformal Cooling Design Validation and 3D Cooling Analysis, <http://www.moldex3d.com/en/learning/top-story-a-cool-solution-moldex3d-r11-0-debuts-conformal-cooling-design-validation-and-3d-cooling-analysis>
- 8) 東レエンジニアリング 3D TIMON: コンフォーマル冷却管での解析事例, http://www.3dtimon.com/product/example/cooling_example.html
- 9) Hölker Ramona, Haase Matthias, Khalifa Nooman Ben and Tekkaya A. Erman: Hot Extrusion Dies with Conformal Cooling Channels Produced by Additive Manufacturing, *Materials Today: Proceedings*, **2** (10, Part A) (2015) 4838-4846. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315008494>
- 10) Hölker Ramona and Tekkaya A. Erman: Advancements in the manufacturing of dies for hot aluminum extrusion with conformal cooling channels, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **83** (5) (2015) 1209-1220. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7647-4>
- 11) Mueller Bernhard, Hund Ralf, Malek Roland, Gebauer Mathias, Polster Stefan, Kotzian Mathias and Neugebauer Reimund: Added value in tooling for sheet metal forming through Additive Manufacturing, *COMA'13*, (2013).
- 12) M. Fette, P. Sander, J. Wulfsberg, H. Zierk, A. Herrmann and N. Stoess: Optimized and Cost-efficient Compression Molds Manufactured by Selective Laser Melting for the Production of Thermoset Fiber Reinforced Plastic Aircraft Components, *Procedia CIRP*, **35** (2015) 25-30. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115009361>
- 13) Mellor Stephen, Hao Liang and Zhang David: Additive manufacturing: A framework for implementation, *International Journal of Production Economics*, **149** (2014) 194-201. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527313003204>
- 14) Armillotta Antonio, Baraggi Raffaello and Fasoli Simone: SLM tooling for die casting with conformal cooling channels, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **71** (1) (2013) 573-583. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-013-5523-7>
- 15) Kottman Michael Andrew: Additive Manufacturing of Maraging 250 Steels for the Rejuvenation and Repurposing of Die Casting Tooling, Case Western Reserve University, 2014.
- 16) Pereira Manuel and Teotonio Filipe Viana: Additive Manufacturing of Components for IN-DIE Cavity Use, Suitable to Withstand Aluminium High Pressure Die Casting (HPDC) Process Conditions, Bloemfontein: Central University of Technology, Free State, 2013.
- 17) M.F.V.T. Pereira, M. Williams and W.B. du Preez: Application of laser additive manufacturing to produce dies for aluminium high pressure die-casting, *South African Journal of Industrial Engineering*, **23** (2012) 147-158.
- 18) H. Koresawa, K. Tanaka and H. Narahara: Low-Energy Injection Molding Process by a Mold with Permeability Fabricated by Additive Manufacturing, *International Journal of Automation Technology*, **10** (1) (2016) 101-105. <https://www.fujipress.jp/ijat/au/ijate001000010101/>
- 19) 是澤宏之, 河野匠司, 榎原弘之, 鈴木裕: 金属光造形複合加工法による通気特性を有する射出成形金型に関する研究, 精密工学会誌, **80**(11) (2014) 1018-1022. <http://ci.nii.ac.jp/naid/130004706150/>

榎原弘之

1987 年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。博士 (工学)。北海道大学工学部助手を経て、1996 年九州工業大学情報工学部助教授、2007 年九州工業大学情報工学部教授。2014 年より九州工業大学先端金型センターセンター長。