

3Dプリンター（積層成形、AM法）で造形した アルミニウム部品の新しいアルマイト法の検討

佐藤 敏彦 ※1)

1. 緒言

切削加工、プレス加工、鋳造加工、・・・など各種の成形法でも成形できない複雑形状や超微細構造（ラティス構造など）のアルミニウム部品を3Dプリンター（積層成形）で造形できるようになった（図1）。しかし、これらのアルミニウム部品は「裸のアルミニウム」なので、用途によっては問題が生じる。それ故、「3Dプリンター加工（積層成形加工）したアルミニウム部品に対する新しいアルマイト法を開発しましょう！」とのアルマイト技術者への呼びかけが本稿の目的である（図2）。なお、図2の議論を開始する前に、次節で、「3Dプリンター（積層成形）の歴史、現状、将来展望」の文献紹介、第3節では、3Dプリンター加工（積層成形加工）された製品の後処理事例の文献紹介、そして、第4節で図2のアルマイト処理技術を議論する。

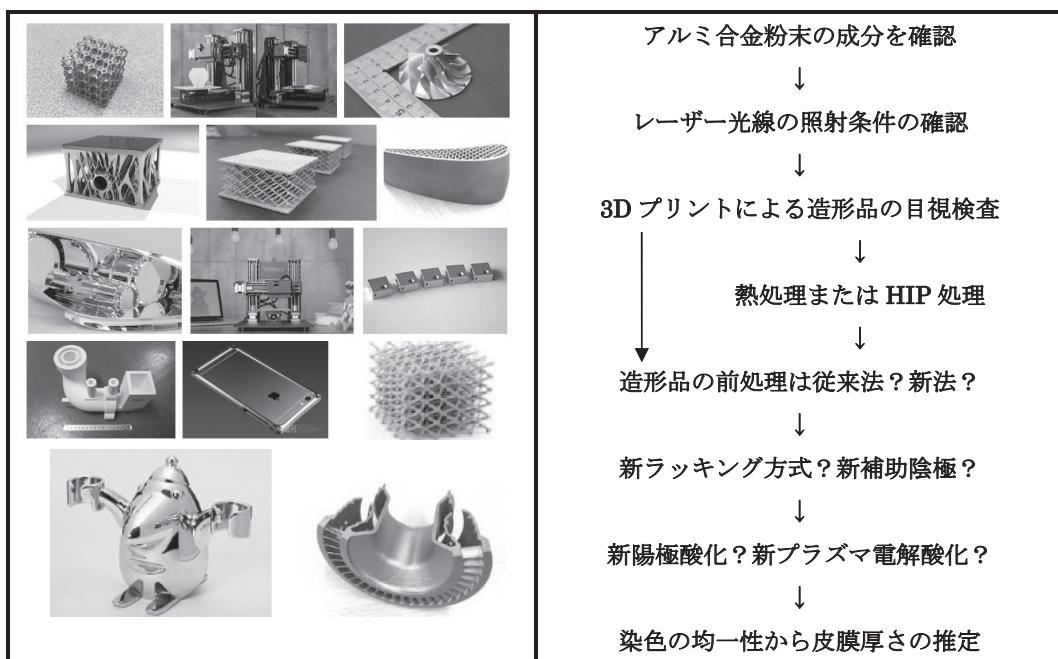


図1「3Dプリンター」と「アルミニウム」 図2 新しいアルマイト技術の検討項目
で画像検索した図

2. 「3Dプリンター（積層成形）の歴史、現状、将来展望」の文献紹介

2.1 ウィキペディアによる「3Dプリンター」の解説記事

インターネット上に、「3Dプリンター - Wikipedia」の項目がある（表1）。表1の「歴史」の項目は、「1980年、小玉秀男が光造形法を発明し、・・・・」の記述から始まる。他の多く

※1) 元芝浦工業大学

の文献では、児玉秀男は 3D プリンターのアイディアを「特許出願したが、審査請求をしなかつたので世界的発明の権利を失った悲劇の人」として紹介されている。表 1 の「3D プリンターに関する事件」の項目に、「3D プリンターで作成した銃を所持していた大学職員の男が銃刀法違反で逮捕された」などの記述がある。

2.2 40 頁の「金属積層造形技術 (3D プリンタ) の最新動向」

「株式会社旭リサーチセンター (ARC) は、1974 年に旭化成株式会社の 100% 出資により設立されたシンクタンクです」と自己紹介している会社の主幹研究員である松田英樹による調査報告書である。2017 年 7 月にインターネット上に公開され、全文が無料で読める。しかし、冒頭に、「禁複製」と書いてあるので、「目次」のみを引用した。

なお、世間で、「3D プリンター」と騒いでいる 3D プリンターはプラスチックス（樹脂）を原料とし、この樹脂を熱で溶融して、3 次元成形品を作ることである。そして、樹脂用 3D プリンターの価格は数千円～数十万円である。一方、金属粉末にレーザー光線を照射して造形する金属 3D プリンター（金属積層造形機）は 1 億円前後である。

2.3 技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構

「次世代型産業用 3D プリンターおよび超精密三次元造形システムを構築し、我が国の新たなものづくり産業の創出を目指す団体です」と自己紹介し、「研究開発体制」の一部分を図 3 に示している。一方、近畿大学のホームページには図 4 のニュースリリースが掲載されている。

表 1 「3D プリンター」の目次

1 歴史
2 方式
2.1 光造形法
2.2 粉末法
2.3 熱溶解積層法 (FDM 法)
2.4 シート積層法
2.5 インクジェット法
3 鋳造・射出成型や切削との比較
4 用途
4.1 試作
4.2 航空・宇宙分野
4.3 医療分野
5 その他
6 3D プリンターに関する事件
7 脚注
8 参考文献
9 関連文献
10 関連項目
11 外部リンク

表 2 松田論文の目次

1. はじめに
2. 金属製品の積層製造技術について
3. 航空機用に拡大する金属積層製造技術
4. 海外での金属積層造形技術の開発状況
5. 日本の取り組み
6. 金属積層造形の新たな方法
7. さいごに
参考資料

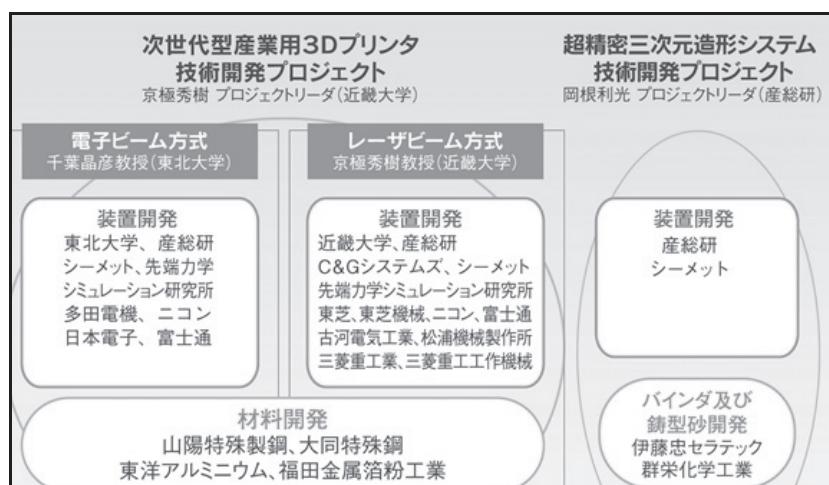


図 3 研究体制の一部分

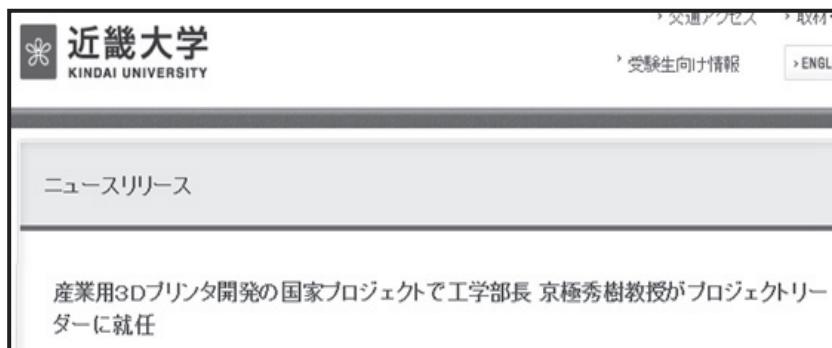


図4 近畿大学のニュースリリース（2014年4月21日）

2.4 「図2の前半項目」と「ヒートシンクへの応用」の最新論文

図5に示す中本貴之ら共著の論文は、「アルミニウムを用いたAM技術に焦点を当て、・・JIS-AC4CH合金の造形技術の開発事例、および伝熱性能が高い格子構造を有するヒートシンクの開発事例について紹介する」と述べている。なお、「までりあ」誌は日本金属学会の会報である。

図5右下の「2. アルミニウム合金の造形技術の開発」の節では、本稿の最初のページで言及した、アルミ合金粉末の成分、レーザー光線の照射条件、熱処理の各項目への実験結果が記述されている。具体的には、●最適条件にて作成した造形物の金属組織(SEM像)、●最適条件にて作成した造形物の引張試験の結果、●水平断面における熱処理後の造形物の金属組織(SEM像)：(a) 造形のまま、(b) 150°C、(c) 200°C、(d) 250°C、(e) 300°C、(f) 350°Cの各温度で5h焼鈍、●焼鈍温度による造形物の機械的性質の変化：(a) 引張強さと0.2%耐力、(b) 破断伸びがグラフや写真と共に解説されている。

更に、「高伝熱性能を有する格子構造体の開発とヒートシンクへの応用」の節では、数枚の実験データのグラフから、「以上のように、格子構造体、特にタイプ2のようなTruss構造を有するヒートシンクは高い伝熱性能を示すことを数値解析および実機測定により確認できた」と述べている。

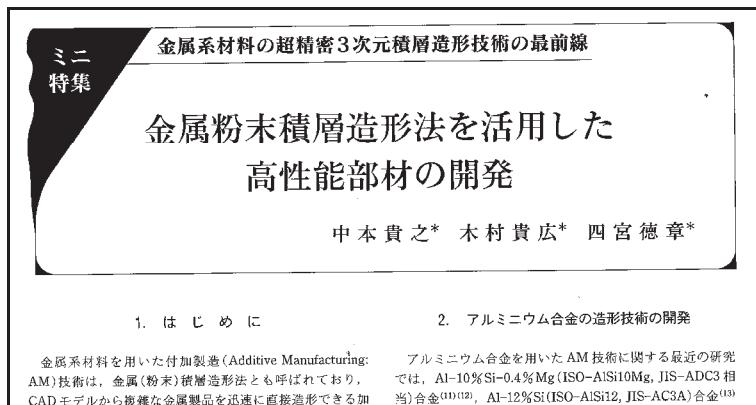


図5 までりあ、Vol. 56, No. 12. 704 ~ 707 (2017) に掲載論文の冒頭部分

3. 3D プリンター加工（積層成形加工）された製品の後処理事例の文献紹介

3.1 ブラスト処理

「3D プリント製品の表面仕上げを向上させるためにブラスト処理をする研磨粒子（Improving

Surface Finish of 3D-printed Metals by Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification、By Chi Ma, Yalin Dong, Chang Ye、Procedia CIRP Volume 45, 2016, Pages 319–322 (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282711600634X#!>)」と題する英文論文がある。

3.2 HIP 処理

株式会社 J・3D が金属 3D プリンター造形後の「HIP 処理」について以下の解説をしている (<http://j3d.jp/post-4592/>)。

「金属 3D プリンター造形品は試作品の域を出でておりました。その理由が疲労強度です。積層しながらの造形になりますので、どうしても積層目というものが存在してしまいます。しかし、HIP 処理をすることにより内部構造的にそれは消え金属としての全ての強度を満たすことが出来るのです。しかし、試作品にまで必要かと言われますと必要がありません」。

3.3 各種後処理

理化学研究所の公開特許、「粉末積層法による三次元形状創成方法（特開平9-324203）」の【請求項 4】で、「三次元形状を創成した後、更に、含油処理、水蒸気処理、硫化処理、化成処理、溶浸処理、熱処理、又は研磨処理を行う、ことを特徴とする請求項 1 に記載の三次元形状創成方法」との後処理法に言及している。

3.4 真空蒸着

株式会社 JMC は、「光造形品にアルミニウム真空蒸着を施すことで、金属光沢を再現することができます。アミューズメント関連を中心にモックアップとしての用途があります」と解説している。

3.5 3D プリンターで成形した医療インプラント用ラティス構造のチタン部品をマイクロ・アーク酸化処理

Peng Xiu ら 11 名の著者による論文、「Tailored Surface Treatment of 3D Printed Porous Ti6Al4V by Microarc Oxidation for Enhanced Osseointegration via Optimized Bone In-Growth Patterns and Interlocked Bone/Implant Interface」が「ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 17964–17975」に掲載されている。長文の論文題名であるが、略称すると本節の表題である。本論文冒頭の「ABSTRACT」に描かれている図の一部分を図 6 に示す。なお、「マイクロ・アーク酸化」は「プラズマ電解酸化 (PEO)」とも称される。

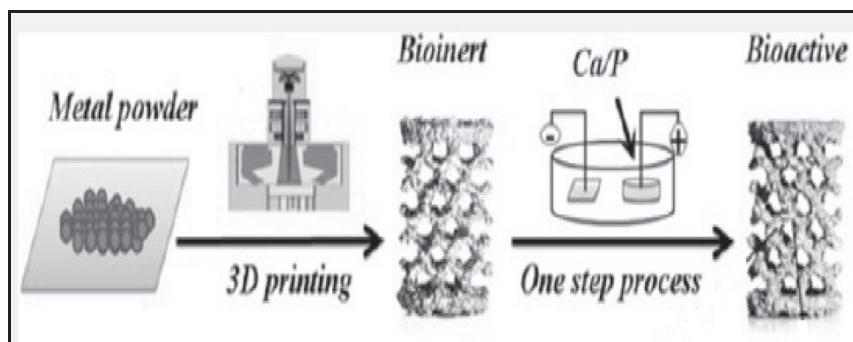


図 6 論文の「ABSTRACT」に描かれている図の一部分

4. 新しいアルマイト処理技術の検討

4.1 アルミ合金粉末の成分

多くの解説で、「AlSi10Mg (ADC3相当)」と書いてあるが、理由は記述されていない。

2.2 節の松田レポートでは、「一方、アルミニウム系は粉じん爆発の可能性があり、現在使用できるのは Al - 10 Si - 0.4 Mg である」と解説している。

なお、金属 3D プリンターの実物を見学させてもらった（株）仙北谷はアルミニウム合金の ADC12 をドイツ Concept Laser 社製「M2」の金属 3D プリンターで 3 次元造形している。同社ホームページではアルミニウム合金の AlSi10Mg (ADC3相当) と ADC12 の金属 3D プリンティング成形した部品を比較展示している（図 7、<http://www.senbokuya.co.jp/3Dprinter.htm>）。なお、同社の協力会社は図 7 のアルミニウム部品をアルマイト処理している。

4.2 「機械部品タイプ」の 3D プリント造形品のアルマイト処理

前節の図 7 に示す「機械部品タイプ」の 3D プリント造形品をアルマイト処理する場合は補助陰極の配置などで可能であろう。なお、Google のホームページに「3D printed aluminum anodizing」のキーワードを入力すると、「Can 3D Printed Aluminum Be Anodized? | Help Center | i.materialise」など「約 364,000 件」の英文ホームページで検索することができた。



図 7 (株) 仙北谷の金属 3D プリントしたアルミニウム部品

4.3 「微細構造タイプ」の 3D プリント成形品のアルマイト処理

マイクロラティス（図 8、<http://www.kyusan-u.ac.jp/guide/project/2012/study/83micro.html>）、ラティス構造または格子構造と呼ばれている立体微細構造の内部に特殊補助電極を挿入して、陽極酸化する方法を考察してみた。なお、この発想は、株式会社 FIS の公開特許「長尺物の内面めっき用の補助電極（特開 2011-236500）」に起因する。同特許のアイディアを以下に紹介する。

垂直なパイプの場合でも、内部補助電極をパイプ内に挿入しないとパイプ内面にめっき皮膜は形成されない（図 9 (A)）。

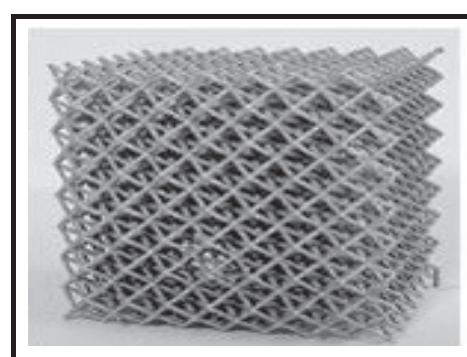


図 8 マイクロラティス

更に、パイプが湾曲している場合は補助内部陽極が内部壁面と接触して問題である（図9（B））。そこで、株式会社FISは補助内部陽極が内部壁面と接触しない方法を考案した（図9（C））。図9（C）の特殊内部電極を立体ラティス構造体の内部に挿入すれば陽極酸化処理が可能でないだろうか？

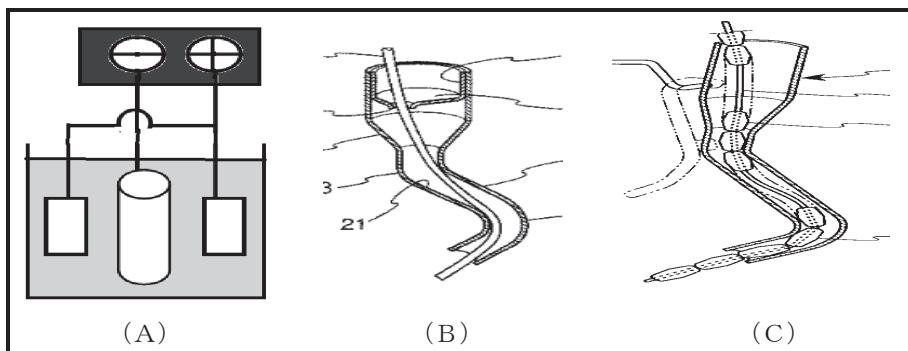


図9 めっき作業での補助電極（特開2011-236500）

5. 結言

昨秋、東京都台東区の展示会に3Dプリンターが展示されていた。展示説明者に、「3Dプリンターはビジネスになりますか」と質問したら、「ビジネスになるか不明であるが、3Dプリンターは確実に普及しますよ」との回答であった。

本稿と直接は関係のないテーマで恐縮であるが、アルミ製の彫刻やモニュメントなどの写真を掲載する。例えば、JR東神奈川駅前の旧東海アルミ記念碑、東京・赤坂の名和晃平の「White Deer」などのアルミ像を紹介する。図10は川崎市の岡本太郎美術館に展示されているアルミ製彫刻の「女性」である。そして、「彫刻」と「太郎」の共通キーワードでインターネット検索をしている時に、アルミニウム製の彫刻ではないが、図11右の稻畠勝太郎（大阪商工会議所第10代会頭）の写真があった。なお、同写真左は初代会頭の五代友厚、同写真中央は第7代会頭の土居通夫である。

図12は2016年開館の「すみだ北斎美術館」で、「材料は光沢度の高い特殊アルミ材である光輝アルミ合金を使用している。材質種別はA5110AP-H24であり、A3003Pと同等の強度と加工性を持ち、化学・電解研磨などの光輝処理後の陽極酸化処理で高い光輝性が得られる。その表面を電解研磨処理にて平滑にすることで光沢を得て、エッチング処理後にシルバーアルマイト（ $20\mu\text{m}$ 以上）を施すことで、『すみだ北斎美術館』では淡い鏡面パネルになっている」と解説している。（<http://www.kikukawa.com/product/sumida-hokusai-museum/>）。なお、図10～図12の3枚の写真は佐藤敏明の撮影である。



図10 岡本太郎のアルミ彫刻、「女性」



図11 大阪商工会議所の銅像



図12 すみだ北斎美術館