

— 入 門 —

金属3Dプリンター技術

日本溶接協会 AM部会 技術委員会 編

産報出版

..... ●●●.....

発刊にあたって

本書のタイトルを「入門 金属3Dプリンター技術」とした。これは3Dプリンターが家庭にまで広く行き渡り、3次元立体物を造形する機械という用語が周知されており、本書が文系・理系や専門分野に捉われず、幅広い読者層を対象としていることがその理由である。いずれ用語が定着するものと思われるが、国際標準化機構はISO/ASTM 52900でAdditive Manufacturing (AM)と定義しており、日本産業規格ではJIS B 9441で付加製造 (AM)としている。このため、本書のなかではAMあるいはAM技術という用語を使用していることをあらかじめ記す。

さて、日本の金属3Dプリンター技術（以下、金属AM技術と記す）は欧米に比べて実用化が5～6年遅れていると言われている。さらに、中国も国策として産官学が取り組んでおり、我が国を凌駕する勢いで研究開発とともに実用化が進められている。このような背景のもと、日本がAM技術の実用化で世界に取り残されるという危機感から、2020年に（一社）日本溶接協会に3D積層造形技術委員会が設置された。委員会の設置趣旨は国内の製造各分野に金属AM技術を普及させることである。

本委員会では当初情報交換を主体に運営してきたが、様々な製品分野のエンドユーザが参画していることから、金属AM技術を系統的に理解できるような取組みを要請する意見が寄せられるようになった。そこで、初学者が金属AM技術全般を俯瞰できるような書籍を上梓することにした。具体的には読者対象として、ものづくりの設計技術者や生産技術者はもとより、幅広い分野の方々にとって教材となるような平易な入門書を目指して、章立てやキーワードを委員の方々々と検討した。

AM技術は機械工学や材料工学、品質工学、設計工学など多様な知識を必要とする。したがって、本書を編集するにあたって、読者にとって読みやすくするために、本文に記された専門用語のいくつかに脚注をつけている。また、より高度な内容については【Step-Up】欄を設け、読者の必要に応じて読み飛ばしても差し支えない構成にしている。

本書では、産業界・学术界の各分野の方々々に執筆を依頼した。執筆者の皆様にはご多用のなか、短い執筆期間にもかかわらず、本書の趣旨を汲み、多大なご尽力をいただきましたことに対して、厚く御礼申し上げます。

そして、執筆内容について読者目線の立場から校閲していただいた先生方に対して、心より感謝申し上げます。また、数々の機会にご支援とご協力をいただきましたAM部会の皆様に対して御礼申し上げます。

最後に、本書を通して読者が金属AMを理解し、さらに、ものづくり分野への金属AM導入を促進することにつながることを期待しています。

2024年8月

平田 好則

前3D積層造形技術委員会委員長

第 1 章

ものづくりへのAMの導入

1.1 ものづくりの基礎とAM技術

ものづくりの対象物は身近に見られる家電をはじめ自動車、鉄道車両、建築物、橋梁、船舶から、電力・化学プラントなど幅広くある。材料面から見ると、金属材料をはじめ、プラスチックやCFRP（炭素繊維複合材料）、セラミックス、コンクリート、ガラスなど多種多様な材料が使用されている。

本書では金属3Dプリンター技術（以下、AM：Additive Manufacturing, AM技術）を対象としており、まず、金属材料の種類と特徴についてまとめ、ものづくりに適用される加工技術を述べる。そして、AM技術の登場によって、ものづくりが革新される可能性について述べる。

1.1.1 金属材料の種類と用途

製品対象は図 1.1.1-1 に示すように多岐にわたっているが、一般的には強度を必要とするところに金属材料が適用されている。

金属材料は鉄鋼材料と非鉄金属に大別され、それぞれの材料特性に応じて、使い分けがされている。鉄鋼材料は鉄を主成分としたもので鉄以外には、化学成分として、炭素やケイ素、マンガンなどが含まれている。また、化学成分の種類や添加量を変えることで、様々な性質をもつ鉄鋼材料を作ることができる。一方、非鉄金属は鉄鋼材料を除く金属の総称を指す。ここで、鉄鋼材料と非鉄金属の特徴と用途の概要を述べる。

鉄鋼材料は炭素鋼、合金鋼、鋳鉄の3種類に大別できる。炭素鋼は鉄と炭素の合金で、熱処理^{脚注1)}によ



図 1.1.1-1 ものづくりの対象

脚注 1) 熱処理：熱処理とは鋼材を加熱・冷却して加工する技術である。加熱する方法には重油やガスを燃やす燃焼炉と電気加熱する電気炉がある。冷却速度を変えることで、鋼材を軟らかくしたり

硬くしたりすることができる。熱処理工程は、一般に焼入れ、焼なまし、焼もどし、焼ならしの4つに分類されている。

て性質を変えることができるため、様々な用途で使われている。例えば、自動車や家電、ビルや橋梁などの建築材料、工具など幅広く使われている。

合金鋼は、炭素鋼をベースとしたもので、クロムやマンガン、ニッケルなど様々な元素を添加した鉄鋼材料である。その合金元素の種類や添加量によって、静的強度やじん性、高温強度、耐食性などを高めることができる。合金鋼には、ステンレス鋼やクロムモリブデン鋼（耐熱鋼）、高張力鋼（ハイテン鋼）などがある。ステンレス鋼は台所の流し台や食器、鉄道車両の外板、化学容器、原子力プラント、自動車の排気管などに幅広く使われている。また、耐熱鋼はステンレス鋼を含み、火力発電プラントや石油精製プラント、エンジン排気系部品などで使用されている。ハイテン鋼は石油タンクや水圧鉄管、橋梁や船舶・海洋構造物などに利用されている。また、自動車の軽量化に資する材料として使用されている。

鋳鉄は、炭素含有量が2.1～6.7%で融点が1,200℃程度と鉄鋼材料の中では低く、熔融金属を型に流し込んで成形できる。マンホールのふたや水道管、自動車部品などの用途で使われている。

次に、非鉄金属のなかで幅広く利用されている材料について述べる。アルミニウム（Al）・アルミニウム合金（Al合金）は軽く、錆びにくく、熱や電気を伝えやすい特徴がある。アルミニウム合金は展伸用合金と鋳物用合金に分類される。展伸用合金とは、圧延や鍛造（後述）をして加工したもので、鋳物用合金とは熱で溶かして冷やし固めたものを指す。アルミニウム合金の用途は飲料缶から航空機やロケットの機体や部品、最近では自動車車体の軽量化材料として使用されている。

銅（Cu）と銅合金（Cu合金）は、加工しやすく錆

びにくい素材である。純金属の銅の熱伝導率と電気伝導率はアルミニウムよりも高い。鍋などの日用品から、家電、船舶用の部品などに使われている。

チタン（Ti）とチタン合金（Ti合金）は他の金属材料よりも軽量で強く、錆びにくいことから、航空宇宙分野の強度部材や建築材料などに使われている。

ニッケル（Ni）・ニッケル合金（Ni合金）は耐熱性及び耐食性が優れており、ジェットエンジンや高温ガスタービンなどに使用されている。

マグネシウム合金（Mg合金）は、実用金属中で最も軽量で、金属としての強さも兼ね備えており、パソコンやスマートフォン、医療機器などに使用されている。

1.1.2 金属材料の性質

一般に材料の性質として、密度（比重）に加えて、強度などの機械的性質に関わるものとして、引張強度^{脚注2)}や弾性限度^{脚注3)}、ヤング率（縦弾性係数）^{脚注4)}、疲労強度、高温強度、じん性などが挙げられる。また、

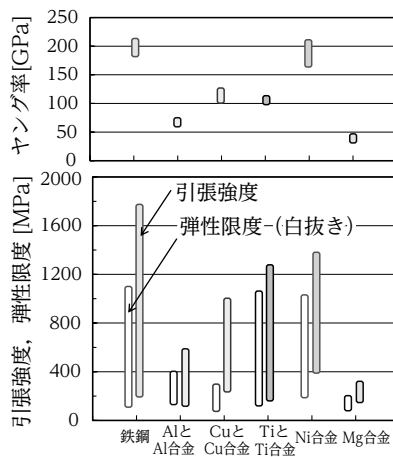
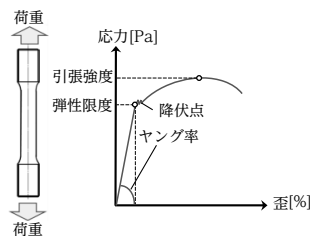


図 1.1.2-1 主な金属材料の引張強度、弾性限度、ヤング率

脚注 2) ～ 4) 引張強度、弾性限度、ヤング率：図に示すような金属丸棒の試験片の軸方向に引張荷重を加えるとき、試験片は荷重が大きくなるとともに伸びる。このとき、荷重を除いたときに試験片がバネのように元の長さに戻る限界の応力値を弾性限度という。ここで、応力値 [Pa] は荷重を試験片の平行部の元の断面積で割った値を指す。ヤング率はフックの法則が成立する弾性範囲における歪と応力の比例定数である。荷重をさらに弾性限度以上に大きくすると、鉄鋼材料では図に示すような降伏点が観測できるが、その他の材料では降伏点は現れない。そして、さらに荷重を加えると、最

大値に達する。このときの応力値を引張強度という。なお、金属は弾性限度を超えて、さらに荷重を加えると、歪が元に戻らない塑性変形が起こる。



熱に関わるものとしては比熱や熱伝導率、融点、沸点、線膨張率など、そして、電気・磁気に関しては電気伝導率や透磁率などがある。さらに、水や特定の化学物質に対する耐食性などがある。ここでは、構造物を対象として機械的性質について述べる。

図 1.1.2-1 は主な金属材料の引張強度、弾性限度、ヤング率をまとめたものである¹⁾。ものづくりをする上で、製品・部品にどの程度の荷重がかかるのかは、材料を選択する1つの指標になる。図から金属材料の中では、鉄鋼やNi合金、Ti合金が引張強度や弾性限度、ヤング率が高いことがわかる。もとより、一定の荷重のもとでは、引張強度が高いほど、材料は破断しにくい。また、弾性限度が高いほど、大きな荷重をかけても除荷したときに永久変形が残らず、元の形状に戻りやすい。

そして、材料に加える荷重が弾性範囲内であれば、ヤング率が高いほど、弾性変形が小さくなる。



図 1.1.2-2 アルミニウム合金製橋のイメージ

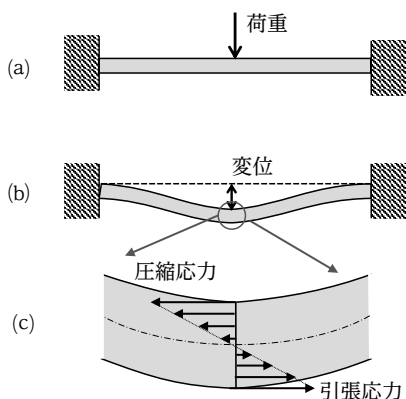


図 1.1.2-3 両端が固定されたアルミニウム合金板の中央に荷重をかけたときの変位と応力分布

ここでは図 1.1.2-2 に示すような単純な形状の橋を対象として、荷重と変形について考えてみよう。ここで、川の幅を5,000mmとし、橋の材料として軽くて錆びにくいアルミニウム合金板 (A5052H32 材) を採用することにする。橋の両端はコンクリート橋脚で固定されている。橋 (アルミニウム合金板) の幅を2,000mmとし、板厚を5mmとすると、橋の中央に荷重を集中させてかける場合を考える²⁾。

いま、図 1.1.2-3 (a)(b) に示すように、1,000N (約100kg重) の荷重をかけると、自重を無視すると、橋の中央部で446mm変位する。このとき、アルミニウム合金板の断面に生じる応力 (単位面積当りにかかる力 $N/m^2 = Pa$) は、図(c)に示すように板の下側が伸びて引張応力が働く。一方、上側は縮むことになり圧縮応力が働く。これらの応力は表面と裏面で最大値となる。この荷重においては、75MPaとなる。このアルミニウム合金材の弾性限度は195MPaであるので、金属板の橋は弾性限度内で変形していることになる。したがって、荷重をゼロにすると、元の平坦な状態に戻る。また、荷重を瞬時に取り去ると、バネのように上下に振動することになる。いま、このアルミニウム合金 (A5052H32 材) のヤング率は実際の値である70GPaとして計算したが、仮に鉄鋼並みに200GPaあるとすると、変位量は156mmとなる。つまり、ヤング率が高くなると、変形しにくくなることを示している。

次に、荷重を3,000N (約300kg重) にすると、変位は1,340mmとなり、大きく変形する。金属板の断面にかかる最大応力は225MPaとなり、弾性限度を超えており、塑性変形^{脚注5)}が生じる。このため、荷重をゼロにしても元に戻らず、橋が変形してしまう。さらに、荷重をかけると、金属板の断面にかかる最大応力が引張強度を超え、破断することが想像できる。

実際の製品においては、製品を構成している様々な部品の配置を考慮しながら、部材の形状・寸法を決める設計を行う必要がある。上述した静的な荷重だけを考えたときでも、複雑な形状の場合には、まず、それぞ

脚注 5) 塑性変形：材料に弾性限度以上の外力 (荷重) を加えて変形

させ、その後、外力を取り去っても残る変形をいう。