

# JOURNAL OF SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN

自動車技術

VOL.80

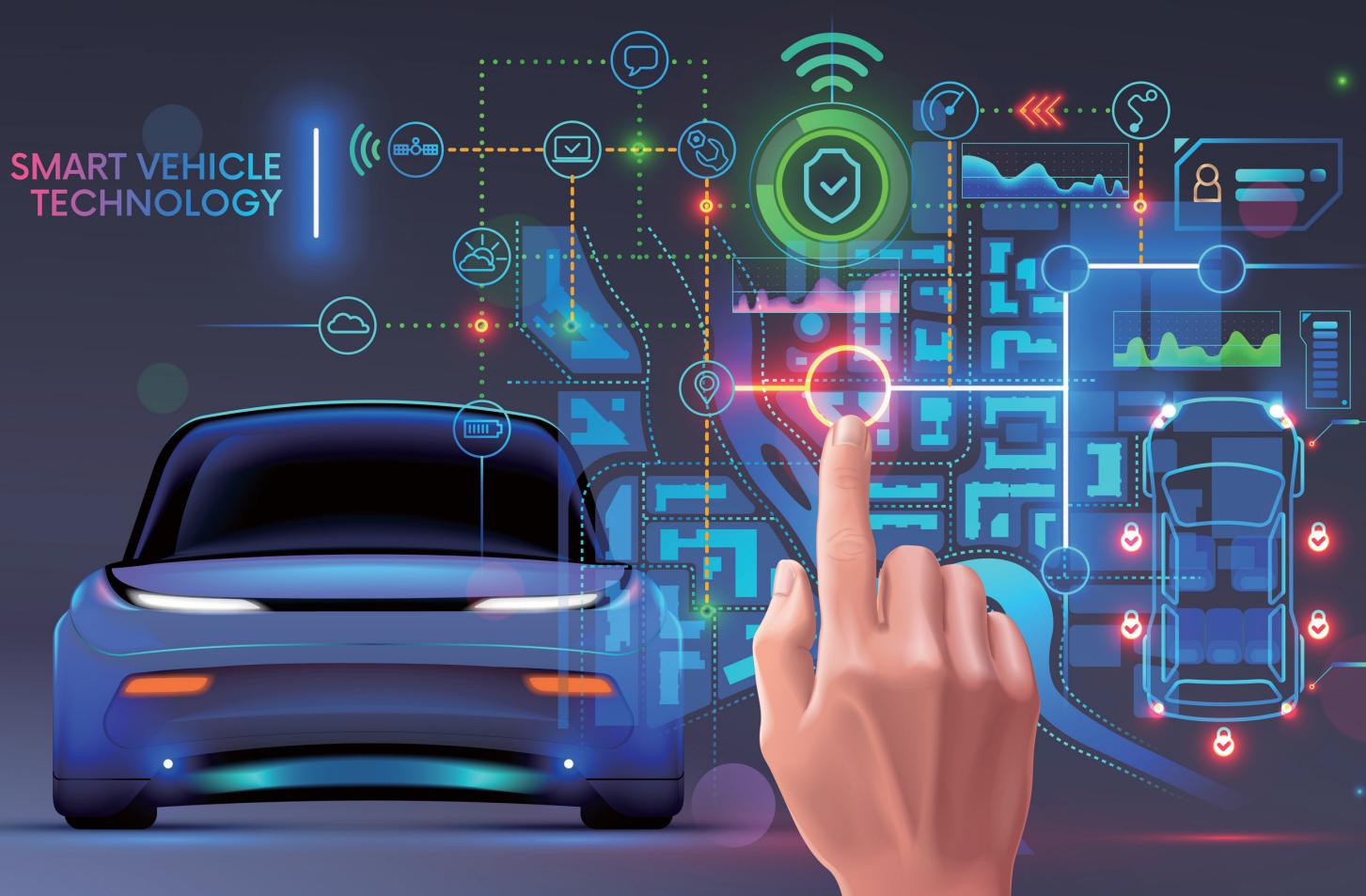
1

2026

特 集 Measuring, Modeling and Predicting

測る・モデル化する・予測する

「計測」「モデル化」に焦点を当て、日本の産業を支える  
モデルベースのモノづくりを紹介します。



自動車  
ARCHIVES

## 年頭のご挨拶

近藤 圭一郎 (自動車技術会 副会長)

I

## 技術の窓

設計者になりたかった私の話—ちょっと昔のリアルストーリー 友森博志 (カワサキモータース)

2

## 特集

## 測る・モデル化する・予測する

発行日(発行月1日)より  
特集記事の抄録を  
スマートフォンでご  
覧いただけます。

## 新座 春談会

測る・モデル化する・予測する  
～産官学をあげたモノづくりへの挑戦～

司 会: 冬頭孝之 (豊田中央研究所)

パネリスト: 鈴木孝明 (群馬大学大学院) 高林 徹 (本田技研工業) 中谷辰爾 (東京大学大学院)

ライター: 御堀直嗣 (自動車ジャーナリスト)

カメラマン: 黒田 明 (黒田 明写真事務所)

6

## ●総括展望

自動車技術会 計測・診断部門委員会の  
取組みと今後の展望島田敦史 (日立製作所) 田中 光太郎 (茨城大学)  
加藤真亮 (SUBARU)

16

AICE(自動車用内燃機関技術研究組合)  
の排気後処理技術研究の現状と展望

大角和生 (自動車用内燃機関技術研究組合 研究部)

26

## ●燃焼を測る・モデル化する

LESによるガソリン機関の  
サイクル間変動解析伊藤貴之・松岡正紘 (日本自動車研究所) 安達 龍 (SUBARU)  
高林 徹 (本田技研工業)

34

MBD(Model-Based Development)  
を活用した近接SCRシステムの設計阿野田 洋・岩下拓朗・仮屋智孝・望月立行 (いすゞ自動車)  
米山香澄・藤井謙治・大塚千尋 (いすゞ中央研究所)

50

燃焼分野への機械学習手法の応用と  
燃焼不安定性ダイナミクスの研究

中谷辰爾 (東京大学大学院)

42

## ●電気を測る・モデル化する

磁気クラーク変換—磁気干渉を利用した  
インバータ用電流検出方式の解説

梶田浩介 (本田技研工業)

56

1D車両システムモデルを活用したMBDに  
よるバッテリ熱マネジメントシステムの検討波頭佑哉・楊 イ翔・廣田壽男・紙屋雄史 (早稲田大学)  
佐藤圭峰 (マツダ)

62

## ●ヒトの感覚を測る・モデル化する

車両の多機能同期開発に向けたドライビングシミュ  
レータとパワートレインベンチ連携による評価法開発石垣彰一・日下部卓也・正 浩志・日浅康博・  
森口 龍太郎・飯澤侑貴 (トヨタ自動車)

70

車室内の聴覚刺激を計測する  
ヒト内耳模倣MEMSセンサ鈴木孝明・岩瀬 勉 (群馬大学大学院)  
佐々木 恒・稻葉洋芳 (SUBARU)

78

## Hot Topics

旬な話題を集めました

エンジン制御に依存しない不規則性を伴う  
PN発生のメカニズム検証

岡田寛也 (SUBARU)

84

自動車産業に向けた金属AMにおける  
形状・金属組織を活用した力学機能設計

中野貴由 (大阪大学大学院) 石本卓也 (富山大学)

106

ドライビングシミュレータを利用した長期間自然運転実  
験の試みとドライバーの潜在的な不安全意識の動的推定

鈴木宏典 (東洋大学) 木村年晶 (京都橘大学) 田島 淳 (三咲デザイン)

92

次世代サブストレート材料としての  
ガラスコアへの期待とその要素技術高橋理基・佐藤 陽一郎・林 和孝・前原輝敬・中野正徳  
伊藤正文・平林佑介・堀内浩平・上村直己・中尾圭介  
尤 ジョアン・高田英明 (AGC)

114

粉末光触媒を活用する  
低電圧水素製造法

三石雄悟・佐山和弘 (産業技術総合研究所)

100

空気抵抗の要因をグラフ構造で分析する  
新たなアプローチ中村優佑・目良 貢・清水圭吾・瀬尾晃平・平岡武宣 (マツダ)  
今川翔平・中島卓司 (広島大学)

122

超 の 世 界

分子の世界の二段階スイッチ:電気で“向き”と“形”を制御する新発見

芥川智行・出倉 駿(東北大学 多元物質科学研究所)

128

なるほどのコーナー  
スポットライト

リチウムイオン電池リサイクル最前線—持続可能な資源循環を目指して—

田尻和徳(JX金属)

130

匠 の 技

“超える力”を次世代へ、原理原則に根ざし育む技と人 鈴木 聖史氏

黒木宣幸(デンソー)

132

編集会議レポート

論文投稿規定および執筆要領の改正についての考え方

森田和元(論文集編集委員会)

133

技術会通信

会員	136
会議予定	136
参加者募集	140
報告 2025年度 ITS 標準化活動功労者	145

次号特集

電気自動車の充電:インフラ整備と  
ワイヤレス給電技術の開発

インフラとしてのEV充電・給電技術を(接触、非接触)×(停車中、走行中)の4組合せを網羅して紹介します。

乞うご期待!!

今月の表紙

Astemo

SDVの進展により、車両はソフトウェアによって定義されるシステムへと進化しています。

クラウド連携や情報処理の高度化が、制御技術と設計思想の革新を促し、新たな価値創出を可能にしていきます。



読者の皆様へ  
本誌アンケートのお願い

皆様の声をお聞かせください



アンケートの  
ご回答はこち  
ら

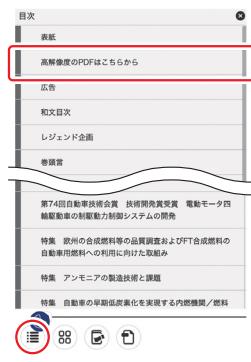


設問は6問、  
3分ほどで  
ご回答いただけ  
ます!

会誌電子ブックのご案内

●電子ブックの印刷  
時は、高解像度版  
PDFをご利用くだ  
さい。

●PDFのテキストコ  
ピー機能はご利用  
いただけません。



# 自動車産業に向けた金属AMにおける 形状・金属組織を活用した力学機能設計\*

Mechanical Functional Design Utilizing Geometry and Microstructure in  
Metal Additive Manufacturing for Automotive Applications

中野 貴由<sup>1)</sup> 石本 卓也<sup>2)</sup>  
Takayoshi Nakano Takuya Ishimoto

This article provides an overview of metal additive manufacturing (AM) for automotive applications, mainly focusing on powder bed fusion (PBF) processes and their implementation trends. It further presents a framework for mechanical functional design that integrates shape design with metallurgical design guidelines such as control of crystallographic texture and cellular microstructures, and discusses the potential application of this approach to automotive structural components.

KEY WORDS

Production・Manufacture, Additional Machining, Weight Reduction/Mass Reduction, Strength

Crystallographic Texture, Anisotropy, Additive Manufacturing [D4]

## 1 はじめに

自動車産業は電動化やカーボンニュートラル対応などの要求の高まりを背景に、生産技術の柔軟性と高効率化を求められている。なかでも付加製造(Additive Manufacturing: AM)は、金型レスで複雑三次元形状を造形できる技術として、設計自由度の向上、リードタイム短縮、在庫・治工具削減といった観点から注目されている<sup>(1)</sup>。

自動車分野におけるAMの利用は、当初は外装・内装部品や流路部品の模型作製など、樹脂によるラピッドプロトタイピングが中心であったが、近年では、組立治具・ゲージ類などの生産用補助具や、金型・金型インサート、さらには高付加価値車両用の少量生産部品や補修部品を対象として、ポリマーおよび金属AMの活用が広がっている<sup>(2)</sup>。また、旧型車やニッチ部品の補修においては、「デジタル在庫」を前提としたオンデマンド造形により、金型保管や在庫維持の負担を軽減するサプライチェーン構想も提案されている<sup>(3)</sup>。

材料の観点では、樹脂AMが模型や軽負荷部品に適用される一方、金属AM、なかでも粉末

床溶融結合(Powder Bed Fusion: PBF)法やバインダジェッティング(Binder Jetting: BJT)法は、アルミ(Al)合金ブラケット、鋼・ニッケル(Ni)基合金の高温部品、チタン(Ti)合金の高比強度部品など、より高負荷な用途への展開が進んでいく<sup>(4)(5)</sup>。これら金属AM部品では、トポロジー最適化やラティス構造に基づく軽量化・高剛性化、内部冷却流路を一体形成した熱マネジメント構造の実現など、従来工法では困難な設計が実現されつつある。

自動車用途での金属AMの適用において、金属AMによって可能となる金属部品の機能性向上は非常に有意義である。例えば、超急速昇温・超急速冷を伴うAMプロセスでは、セル状組織、柱状晶や強い結晶集合組織など、特有の微細組織が形成され、強度・延性・疲労特性に顕著な異方性が生じることが報告されている<sup>(6)</sup>。従来はこうした異方性は多くの場合回避されてきたが、より過酷な環境下での機能発現やさらなる軽量化への要求を鑑みると、異方性の導入による高効率な力学機能発現を可能とする金属AMの特徴<sup>(7)</sup>は、今後の自動車関連モノづくりにおいて重要性を増すものと期待される。

本稿では、今後の自動車産業において一層重要性を増すであろうAMの活用を見据え、自動車部品の機能発現と直結する形状と金属組織の観点を中心に、金属AMによる力学機能制御の最前线を概説する。

\* 2025年11月29日受付

1) 大阪大学 大学院工学研究科  
(565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail: nakano@mateng.osaka-u.ac.jp

2) 富山大学 先進アルミニウム国際研究センター  
(930-8555 富山市五福3190)  
E-mail: ishimoto@sus.u-toyama.ac.jp

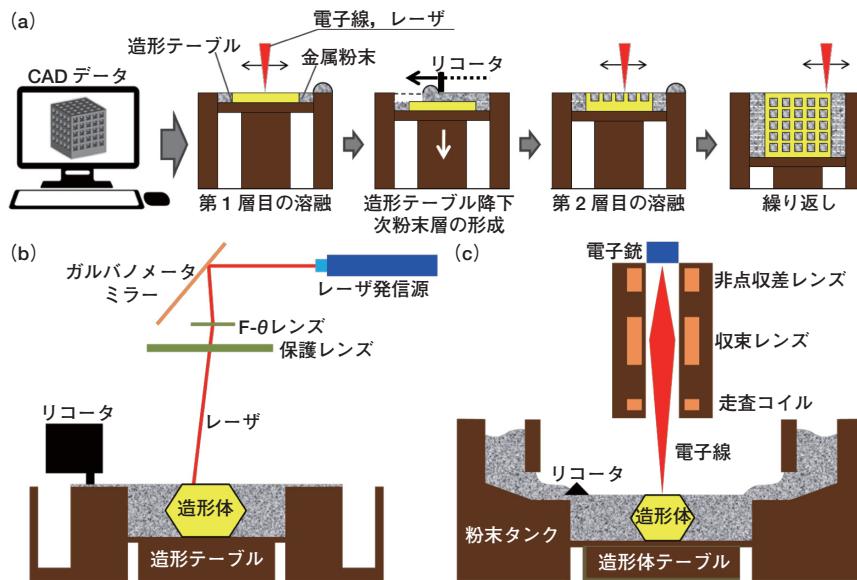


図1 PBF法, レーザPBF(LPBF)装置, 電子ビームPBF(EBPBF)装置の概略図

## 2 自動車部品用途で用いられるAM:粉末床溶融結合法とバインダジェッティング法

AMは、切削加工による材料の成形が引き算によるモノづくりであるとすれば、材料を付加することによる足し算のモノづくりである。ここでは、自動車用途で用いられる代表的なAMプロセスである粉末床溶融結合(PBF)法とバインダジェッティング(BJT)法について特徴と相違を概説する。

PBF法は、敷き詰められた金属粉末床をレーザ(Laser PBF: LPBF, PBF-LB/M)もしくは電子線(Electron Beam PBF: EBPBF, PBF-EB/M)で逐次溶融・凝固させる方法であり、造形中に材料が実際に溶融し、層ごとに完全に連続した溶融凝固組織が形成される(図1)。そのため、得られる造形体は高密度で、鋳造材や鍛造材に匹敵、あるいはそれを超える強度特性を示す場合も多い。超急速昇温・超急速冷を大きな特徴とし、とりわけLPBF法では、微小な溶融池単位での溶融凝固に基づき  $10^6\sim10^7\text{ K/s}$  ものの冷却速度を示す。こうした溶融凝固プロセスは、結晶集合組織形成や特異な微細組織といったPBF法特有の金属材質をもたらす<sup>(8)</sup>。

一方、BJT法<sup>(9)</sup>は、粉末床に対して、液体バインダ(結合剤)をインクジェット方式で噴射して粉末同士を接着し、形状を作る方式である。造形体は脱バインダ処理と焼結工程を経て最終製品となる。このため、最終的な密度はPBFに比べ

てやや低くなることが多く、焼結収縮の補正設計が重要となる。一方で、熱ひずみが小さく、造形速度も速く、大型造形や多数個生産に適しているという利点がある。溶融凝固を伴わないので、PBFのような凝固に基づく金属材質制御は行えない。力学機能の異方性という観点では、形状による異方性設計は両者で可能であるが、金属組織に基づく材質による異方性設計はPBFでのみ可能であるといえる。

加えて、指向性エネルギー堆積(Directed Energy Deposition: DED)法やワイヤーアーク積層造形(Wire-Arc AM: WAAM)法も、金型製造等に用いられている。本稿では、PBF法による形状、金属材質の制御について主に紹介する。

## 3 形状制御による力学特性異方性制御とエネルギー吸収特性の付与

PBFの形状設計能の自由度の高さは、車体に要求される強度と軽量性、さらには衝撃エネルギー吸収性の付与を可能とする。図2は形状設計の一例であり、小立方体要素を  $3\times3\times3=27$  個配置し、小立方体ごとに凝固部もしくは空間の選択性を与えた場合の力学機能異方性設計の例である<sup>(10)</sup>。EBPBF法を用い、Ti-6Al-4V合金にて作製している。凝固部/空間部は電子ビーム照射の有/無で作り分ける。図2の構造体は「H型」の形状をもち、 $x, y, z$ 方向それぞれに、三つの小立方体が連続した「柱」構造を1, 2, 4本有する。

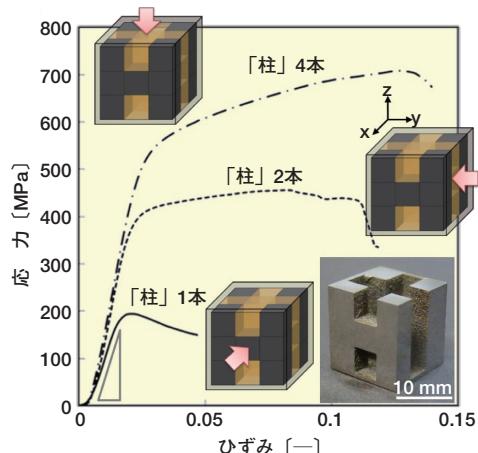


図2 EBPBF法で作製した構造体の形状に基づく異方性を反映した応力-ひずみ曲線<sup>(10)</sup>

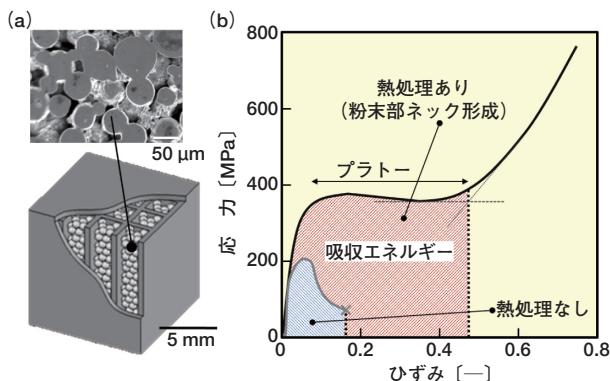


図3 粉末部のネック形成による衝撃エネルギー吸収性の付与<sup>(11)</sup>

柱の本数に伴い、荷重方向に依存して、ヤング率、降伏応力、最大応力といった力学特性が変化し、力学機能の異方性を発現する。さらには、凝固部／空間部の配置により、素材の緻密体の力学特性値を上限として、3軸でのヤング率が等しい等方性から、1方向のみヤング率が高値を示す1軸異方性、2方向に高値を示す2軸異方性、3軸とも異なるヤング率を示す3軸異方性までの広範囲の制御が可能である。すなわち適用部位に必要とされる機能性に応じて柔軟に機能設計が可能となる。

さらに、前述の空間部には、溶融凝固されていない粉末が内包されている。従来は除去するこの粉末をあえて取り除かず、熱処理により粉末間のネック形成を図る(図3(a))ことで、異方性のヤング率を維持しつつエネルギー吸収性を発揮するパウダー／ソリッド複合構造体が得られる<sup>(11)</sup>。図3(b)には、EBPBFにより未溶融粉末を充填したままの試料の応力-ひずみ曲線を示す。熱処

理を施していない試料は、低いエネルギー吸収能を示す。一方で、 $\alpha/\beta$ 変態温度以下の熱処理によって未溶融粉末同士のネッキングを促進すると、応力-ひずみ曲線にプラトー領域が現れることからわかるように、エネルギー吸収能が大幅に向上する。衝撃時に塑性変形可能な応力で、長いプラトーを示す変形挙動により、応力-ひずみ曲線下の面積で求められる吸収エネルギーは、熱処理後に約10倍にまで向上する。

このように、粉末を出発原料とするプロセスならではの構造体形成により、新たなエネルギー吸収体を獲得することに成功した。なお、エネルギー吸収を担う粉末部は、エネルギー密度を低減したレーザや電子ビームの照射による粉末の部分溶融凝固によっても形成可能であり<sup>(12)</sup>、その場合は熱処理を必要とせずワンプロセスで機能の付与が可能である。

#### 4 結晶配向制御による強度異方性化

PBFは自由自在な形状制御を得意とする一方で、溶融池単位での熱流束の特異な方向性や、layer-by-layerでの造形ならではの繰返し溶融／凝固と熱履歴による金属組織の制御をも可能とする。とりわけ、単結晶化を含む集合組織制御は、近年の金属AMでのホットトピックスの一つである<sup>(13)</sup>。単結晶化によりヤング率、降伏強度といった力学特性の結晶方位依存性を生じ、同一素材であるにもかかわらず用途に応じた物性値を選択することが可能となる。単結晶は従来法では作製に長時間を必要とするが、十分な形状・サイズが得られず、製品化には限界があったが、金属AMの出現により単結晶製品実現への期待が高まってきた。さらに、結晶集合組織は、前章で示した形状とは独立に制御され、すなわち、形状と結晶配向性の異方性を重畳した力学機能設計が可能となる(5章で詳述)。

結晶集合組織制御は、レーザスキャンストラテジー(層ごとのレーザ走査方向の組み合わせ)によって達成される。 $<100>$ を成長容易軸としてもつ立方晶系金属において、造形方向(Build Direction: BD,  $z$ 方向に平行)を回転軸とした際の結晶の回転対称性(図4(a)～(c))とレーザ走査方向の組み合わせ(図4(d)～(f))を同期させることで結晶方位の制御が可能であることを著者

	<100>/BD_SC	<110>/BD_SC	<111>/BD_SC
目的とする配向方位 	(a)	(b)	(c)
回転対称性	4回回転対称	2回回転対称	3回回転対称
レーザ走査の対称性	(d)	(e)	(f)
スキャンストラテジー 	(g)	(h)	(i)

図4 造形方向から見た結晶の回転対称性と、造形方向に<100>、<110>、<111>を優先配向化するための回転対称性に基づくスキャンストラテジー<sup>(14)</sup>

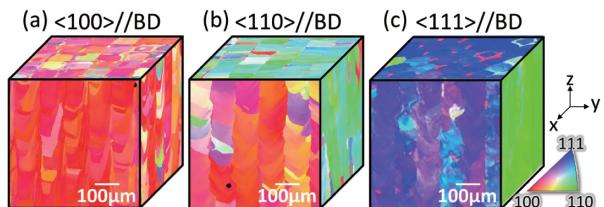


図5 図4の3種のスキャンストラテジーによって形成した結晶集合組織<sup>(14)</sup>

らは見出した<sup>(14)</sup>。<100>/BD配向は4回回転対称であり、2層ごとの直交方向への往復走査の繰り返しで(図4(g))、<110>/BD配向は2回回転対称であり、全層同一方向への往復走査で形成される(図4(h))。3回回転対称性をもつ<111>/BD配向は、レーザを往復走査させるのではなく、一方向(片道)走査を120°ごとの3方向に行う特殊なスキャンストラテジーによって実現する(図4(i))<sup>(14)</sup>。

それぞれのスキャンストラテジーによって形成された結晶集合組織を図5に示す。BDへの配向方位のみならず、BD周りの方方位にも優先配向方位が固定された、単結晶様の集合組織が形成した。3種の単結晶様組織形成は、配向方位は異なるものの、いずれも会合界面での結晶方位差の低減を駆動力として生じていることを明らかにした<sup>(14)</sup>。会合界面とは、一つの溶融池内にて、二つの固液界面が会合する場所を指す。会合界面での結晶方位差が小さくなるよう、積層に伴って結晶方位が自己調整されることで、造形体全体として単結晶様の強い配向性を示すようになる。

この高配向化機構は材料に依らず成り立つ。図5は、BCC構造を示すβ型チタン合金の例であるが、他の立方晶系金属、例えばニッケル基合金や鉄基合金においても、同様の機構に基づき高配向化した単結晶様組織を形成可能である。β型チタン合金の場合、単結晶でのヤング率( $E$ )は、 $E_{<100>} = 44 \text{ GPa}$ ,  $E_{<110>} = 85 \text{ GPa}$ ,  $E_{<111>} = 112 \text{ GPa}$ であり、LPBFで作製した単結晶様組織ではそれぞれ、58 GPa, 81 GPa, 98 GPaであった<sup>(15)</sup>。単結晶様組織でのヤング率異方性は単結晶と比較して低減してはいるものの、大きな異方性を示した。

一方で、低レーザ出力、高レーザ走査速度の造形条件、すなわち凝固時の固液界面移動速度と冷却速度を上昇させ、組成的過冷を生じやすい条件を選択することで、等方的な力学特性を示す多結晶体が獲得できる<sup>(16)</sup>。このようにPBFは金属材料の材質制御においても極めて有効な手法である。

## 5 形状と結晶集合組織の重畠による異方性力学機能力スタム制御

PBFにおいて、3章で示した形状と、4章で示した結晶集合組織は独立に制御することができる。すなわち、両者の異方性同士を重畠することで、それぞれ単独では達成できない大きな異方性を生むことができる。

図2で示した27個の小立方体区画からなる形状に対し、結晶集合組織を掛け合わせることで、力学特性(ヤング率を例に説明する)の等方性/異方性を設計した。なお、構造体のヤング率 $E_{\text{total}}$ は、想定した荷重軸に対し、次に示す、応力一定のReuss則とひずみ一定のVoigt則を順に適用することで計算される<sup>(14)</sup>。

$$E_{\text{series},j} = \frac{1}{\sum_j (V_i/E_i)}$$

$$E_{\text{total}} = \sum_j E_{\text{series},j} V_{\text{series},j}$$

ここで、 $V_i$ と $E_i$ は小立方体要素のヤング率と体積率を、 $E_{\text{series},j}$ 、 $V_{\text{series},j}$ は荷重軸に沿った直列3要素の合成ヤング率と体積率を表す。なお、 $E_i$ を多結晶体のヤング率とすると、3章の構造体のヤング率となる。材質等方性を仮定すると、前述のように、構造体の各方向へのヤング率は凝固部の数と配置によって決まる柱構造の数に支配される。すなわち、構造体のヤング率異方性は、その

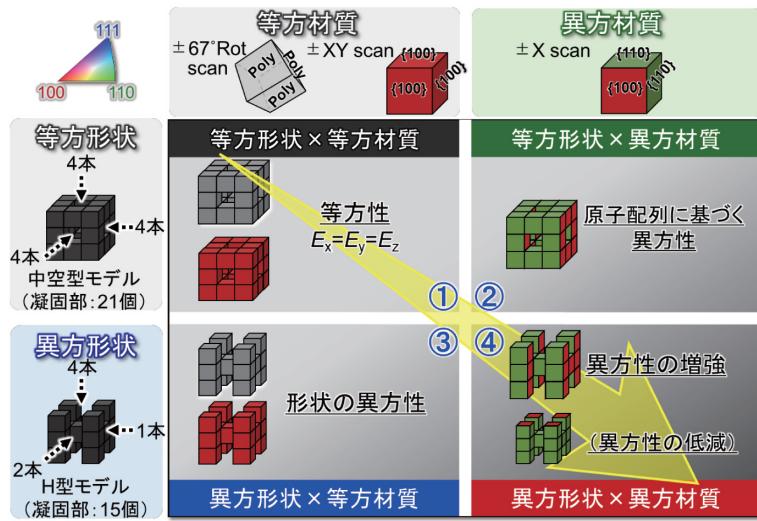


図6 形状と材質(結晶集合組織)の自在な組み合わせによる力学機能の等方性／異方性制御

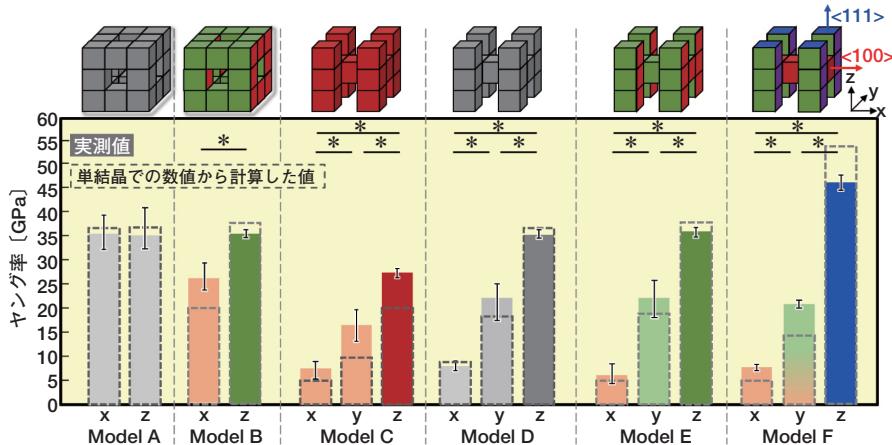


図7 形状・結晶集合組織を同時に制御した造形体のヤング率の実測値と設計値<sup>(14)</sup>

形状によって決定される。一方、この形状に結晶配向性に基づくヤング率の異方性を重ね合わせることで、構造体の発現する異方性のバリエーションは拡大する(図6)。

図7には、形状-結晶集合組織の組み合わせを、等方性-等方性(model A)、等方性-異方性(model B)、異方性-等方性(model C, D)、異方性-異方性(model E, F)、とした場合のヤング率の計算値(単結晶を想定)と実測値を示している。計算値と実測値は良い一致を示すことから、LPBFによる形状と結晶配向による力学機能設計が高精度に可能であることを示している。特にmodel Fでは、柱が最少の方向に最小ヤング率を示す<100>を、柱が最多の4本の方向に最大ヤング率を示す<111>を優先配向化することにより、

理論的なヤング率異方性は、多結晶体からなるmodel Dと比較して4から11へと大きく拡大する。反対に、形状による異方性と結晶配向による異方性を相殺することも可能である。なお、model Fにおいては、結晶配向方位を一つのパート内で変化させている。このように、PBFでは、パート内の場所ごとにスキャンストラテジーを設定することで、場所ごとに異なる力学的要請に対応した組織を導入することが可能である<sup>(14)</sup>。

これは、一定の材質を仮定して3D-CADによる形状設計によって部材の機能を設計していた従来型の加工法とは一線を画し、形状とともに材質を場所ごとに最適化するような力学機能設計手法の革新が、金属AMによってもたらされる可能性を示している。

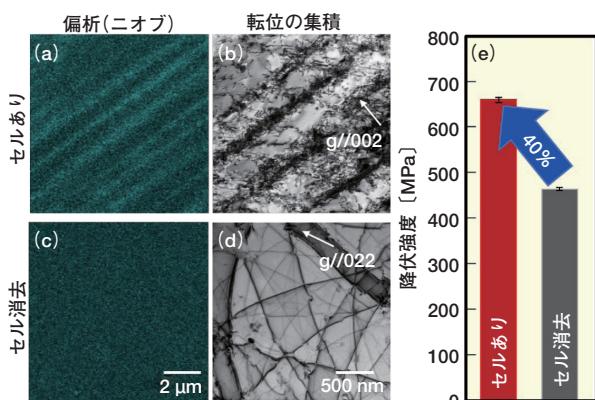


図8 LPBF材において観察されるセル組織とセルによる強度上昇<sup>(17)</sup>

## 6 セル組織による強化

こうした金属造形体に対し、「セル」が強度を著しく加算する組織学的因子であることを近年当研究グループでは見出した<sup>(17)</sup>。セルは、超急速凝固により自発的に形成される、元素の偏析と転位の集積を伴う凝固組織であり、一般的にセル間隔は1 μm以下、偏析と転位を伴うセル境界部は数十 nmと非常に微細である。図8には、LPBFで作製されたニッケル基Inconel 718合金造形体中に形成されたセル組織(図8(a) (b))と、熱処理によりセルを消去した組織(図8(c) (d))を示す。セル組織は、<100>方位が伸展方向にほぼ平行な柱状の三次元的ネットワークとして発達し、その境界部にはNb, Mo, Tiなどの溶質元素が偏析(図8(a))することで、局所的な格子ひずみが導入される。さらに、層ごとの急加熱・急冷に伴って大きな熱応力が発生し、その緩和過程で多数の転位が導入されるが、これらは溶質偏析によりひずみエネルギーの大きいセル境界に集積する(図8(b))<sup>(18)</sup>。その結果、セル境界は「溶質偏析+高転位密度」からなるナノオーダの界面構造として結晶内に張り巡らされることになる。

こうしたセルの存在により、Inconel 718の降伏応力は、セルを消失させた材料に比べておよそ40%もの増大を示す(図8(e))<sup>(17)</sup>。さらに、セル径やセル境界での偏析量・転位密度は、冷却速度や溶融池形状、再加熱の履歴など、プロセスパラメータに強く依存することから、熱源照射条件設計を通じて、セルの密度と強度寄与を制御することが可能である<sup>(18)</sup>。さらに、FCCの主すべり系

は{111}<011>であるため、転位は負荷方向に依存することなく必ずセル境界と遭遇する幾何学的関係を有し、そのたびに溶質偏析と高転位密度に起因する大きな抵抗を受ける。

このように、PBFによって自発的に形成されるセル組織は、単なるプロセス由来の副次的な組織ではなく、力学機能設計の重要なパラメータとして位置づけられる。セル境界ネットワークの強度への寄与を理解し、それを意図的に制御することは、金属AM部材、特に高強度かつ信頼性が要求される自動車用パーツや構造部材の設計において、今後ますます重要になると考えられる。ただし、セル組織の高温安定性や疲労特性への弊害については十分解明されていないため、高温部での使用の検討にはさらなる研究が不可欠である。

## 7 おわりに

航空宇宙分野に比べ、自動車用途はコスト制約が厳しく、年間生産台数が桁違いに大きい。そのため、現時点では金属AMが全面的に適用されるわけではないが、ひとたび量産車のプラットフォームにAM部品が採用されると、粉末コスト低減、造形速度向上、後処理の効率化といった技術革新が一気に加速することが期待される。実際に、世界最大級のAM展示会であるFormnextでは、近年、自動車産業に関連した展示が着実に存在感を増している。例えばFormnext 2023では、医療や防衛と並んで自動車セクターが特にクローズアップされ、Daimlerと協働した自動車部品ゾーンが設けられた<sup>(19)</sup>。今後の自動車産業への金属AMの適用には、マルチレーザ機によるスループットの向上<sup>(20)</sup>、プロセスモニタリングやAI活用による品質保証の高度化<sup>(21)</sup>が、自動車産業が求める大ロット・安定生産に向けた鍵となるだろう。

そのような中で、AMにおける金属学の価値は一層高まると期待される。LPBFでは、冷却速度 $10^6\sim10^7$  K/sに代表される強い非平衡性、層ごとの再溶融と熱履歴、指向性の高い熱流束といった要因が重なり、セル組織、柱状晶、強い結晶集合組織、さらには本稿では紹介できなかったが準安定相やナノスケールの析出物など、多様な金属組織が自発的に形成される。これらを、回避すべき欠陥とみなすのではなく、金属材質・力学機能の

設計パラメータとして積極的に活用することで、同一材料・同一プロセスでありながら、部位ごとにヤング率、強度、延性、エネルギー吸収特性を最適化した部材設計が可能となる。

今後、自動車産業における金属AMの役割は、単なる、従来工法では作りにくい部品の代替から、金属組織制御を活かしたAMならではの高機能部品の実現へとシフトしていくと確信する。そのためには、材料科学研究者と設計者、生産技術者が連携し、プロセス-組織-特性の関係に根差した設計指針を構築することが重要である。本稿で紹介した形状・金属組織(結晶集合組織、セル組織等)を活用した力学機能設計コンセプトが、今後の自動車用金属AM部材の開発と社会実装の一助となれば幸いである。

### 謝辞

本稿の内容は、JST-CRESTナノ力学(伊藤耕三PD)「カスタム力学機能制御学の構築～階層化異方性骨組織に学ぶ～」(JPMJCR2194)ならび

にNEDO-K Program(経済安全保障重要技術育成プログラム)「溶融池プロファイリングに基づく高速・高精度を両立した造形技術の開発」の支援を受けて実施されました。

記事のご感想をお願いいたします [アンケートはこちらから](#)

### フェイス



中野貴由



石本卓也

### 参考文献

- (1) J. Yang, et al. : Application of additive manufacturing in the automobile industry: A mini review, *Process*, Vol. 12, p. 1101 (2024)
- (2) Raise3D: Printing in the Automotive Industry: Applications, Examples and Benefits, <https://www.raise3d.com/blog/3d-printing-automotive-industry/> (accessed 2025. 11. 26)
- (3) BgRep: Digital Inventory: How 3D Printing Reduces Spare Parts Stockpiling, <https://bigrep.com/posts/digital-inventory/> (accessed 2025. 11. 26)
- (4) B. Sarzyński, et al. : Metal additive manufacturing (MAM) applications in production of vehicle parts and components — A review, *Metals*, Vol. 14, p. 195 (2024)
- (5) A. Dey, et al. : Additive manufacturing applications in mission-critical operations: A review, *Manuf. Mater. Proc.*, Vol. 9, p. 70 (2025)
- (6) M. Armstrong, et al. : An overview of modern metal additive manufacturing technology, *Vol. 84*, p. 1001–1029 (2022)
- (7) 中野貴由: 異方性材料デザインにより材料を主役に～耐熱性金属間化合物から、骨組織、金属3Dプリンティングによる生体材料まで、まりあ, *Vol. 64*, p. 317–330 (2025)
- (8) T. Nakano : Control of crystallographic textures by metal additive manufacturing-A review, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, Vol. 1310, p. 012013 (2024)
- (9) M. Li, et al. : Metal binder jetting additive manufacturing: A literature review, *J. Manuf. Sci. Eng.*, Vol. 142, p. 090801 (2020)
- (10) N. Ikeo, T. Nakano, et al. : 3D puzzle in cube pattern for anisotropic/isotropic mechanical control of structure fabricated by metal additive manufacturing, *Crystals*, Vol. 11, p. 959 (2021)
- (11) N. Ikeo, T. Nakano, et al. : Fabrication of Ti-Alloy powder/solid composite with uniaxial anisotropy by introducing unidirectional honeycomb structure via electron beam powder bed fusion, *Crystals*, Vol. 11, p. 1074 (2021)
- (12) N. Ikeo, T. Nakano, et al. : Solid/Powder clad Ti-6Al-4V alloy with low Young's modulus and high toughness fabricated by electron beam melting, *Mater. Trans.*, Vol. 56, p. 755–758 (2015)
- (13) K. Hagihara, T. Nakano : Control of anisotropic crystallographic texture in powder bed fusion additive manufacturing of metals and ceramics — A review, *JOM*, Vol. 74, p. 1760–1773 (2022)
- (14) T. Ishimoto, T. Nakano, et al. : Superimpositional design of crystallographic textures and macroscopic shapes via metal additive manufacturing—Game-change in component design, *Acta Mater.*, Vol. 286, p. 120709 (2025)
- (15) S. Higashino, T. Nakano, et al. : Low Young's modulus in laser powder bed fusion processed Ti-15Mo-5Zr-3Al alloys achieved by the control of crystallographic texture combined with the retention of low-stability bcc structure, *Addit. Manuf.*, Vol. 102, p. 104720 (2025)
- (16) T. Ishimoto, T. Nakano, et al. : Tailoring the crystallographic texture of biomedical metastable  $\beta$ -type Ti-alloy produced via laser powder bed fusion using temperature-field simulations, *Mater. Lett.*, Vol. 349, p. 134835 (2023)
- (17) T. Kikukawa, T. Ishimoto, T. Nakano, et al. : Remarkable strengthening effects of cells in laser powder bed fusion-processed Inconel 718, *Mater. Res. Lett.*, Vol. 13, p. 837–843 (2025)
- (18) K. Cho, T. Nakano, et al. : Effect of nanoscale cellular structure on the mechanical properties of Inconel 718 with unique hierarchical structure fabricated by laser powder bed fusion, *Acta Mater.*, Vol. 303, p. 121696 (2026)
- (19) Formnext 2023: What Are the Major Trends in Additive Manufacturing?, <https://www.3dnatives.com/en/formnext-2023-what-are-the-major-trends-in-additive-manufacturing-131120234/#!> (accessed 2025. 11. 26)
- (20) P. Wang, et al. : Improved productivity with multilaser rotary powder bed fusion additive manufacturing, *3D Print. Addit. Manuf.*, Vol. 11, p. 231–241 (2024)
- (21) F. Olaoye, et al. : In-situ monitoring and quality control in metal additive manufacturing, *EasyChair Preprint*, No. 14210, <https://easychair.org/publications/preprint/HFxrD/open> (accessed 2025. 11. 26)

## 自動車技術会事務局連絡先

### 【運営グループ】

総務課	
総務担当	Tel. 03-3262-8211
情報担当	Tel. 03-3262-8211
広報・会計課	
広報担当	Tel. 03-3262-8219
会員担当	Tel. 03-3262-8213
会計課	Tel. 03-3262-8212

### 【技術交流グループ】

技術交流課	Tel. 03-3262-8235
デジタルパブリッシング課	Tel. 03-3262-8215

### 【モビリティ DX 推進グループ】

モビリティ DX 推進課	Tel. 03-3262-8214
展示会課	Tel. 03-3262-8214

### 【育成交流グループ】

育成交流課	Tel. 03-3262-8214
-------	-------------------

### 【規格グループ】

規格課	Tel. 03-3262-8216
ファックス番号(共通)	Fax. 03-3261-2204

〒102-0076 東京都千代田区五番町10-2 五番町センタービル  
Society of Automotive Engineers of Japan, Inc.  
10-2 Gobancho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0076 JAPAN

**北海道支部** 〒071-8142 北海道旭川市春光台2条2-1-6  
E-mail: hokkaido\_event@jsae.or.jp

**東北支部** 〒981-1581 宮城県角田市梶賀字高畑南213  
Astemo株式会社 宮城第一工場 内  
Tel. 0224-63-1114 Fax. 0224-63-2673

**関東支部** 〒102-0076 東京都千代田区五番町10-2  
五番町センタービル2階  
Tel. 03-6261-7728 Fax. 03-3262-9688

## 支部連絡先

## 会誌編集委員会

委 員 長	中野 公彦(東京大学)
副 委 員	荒木 幹也(群馬大学大学院)
幹 事	佐藤 稔久(産業技術総合研究所)
委 員	前田 裕幸(ヤマハ発動機)
員	荒川 俊也(東京電機大学)
員	飯田 一裕(トヨタ自動車)
員	石川 良輔(スズキ)
員	伊藤太久磨(東京大学大学院)
員	小川 浩(SUBARU)
員	河添 厚史(ダイハツ工業)
員	小針 弘之(日本自動車研究所)
員	五月女 穀(日野自動車)
員	鈴村 義一(アイシン)
員	蘭田 由彦(デンソー)
員	田中 信壽(自動車技術総合機構)
員	西迫 隆志(三菱自動車工業)
員	西野創一郎(茨城大学大学院)
員	東原 俊輔(カワサキモータース)
員	弘田 美紗子(日産自動車)
員	藤木 賢治(本田技術研究所)
員	前川 典幸(Astemo)
員	森田 治孝(UDトラックス)
員	森 瑞樹(いすゞ自動車)
員	柳井 達美(日産自動車)
員	山崎 慎也(マツダ)
オブザーバ	渋谷 弘之(元いすゞ自動車)

**中部支部** 〒448-0027 愛知県刈谷市相生町1-1-1  
アドバンス・スクエア刈谷4F  
Tel. 0566-62-9070 Fax. 0566-25-0600

**関西支部** 〒650-8680 兵庫県神戸市中央区東川崎町  
1-1-3 神戸クリスタルタワーB1F  
Tel. 078-958-7801 Fax. 078-958-7802

**九州支部** 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744  
九州大学 大学院工学研究院  
機械工学部門 燃焼科学講座 内  
Tel. /Fax. 092-802-3155

## 会誌「自動車技術」読者アンケートご協力のお願い

アンケートより収集されたご意見は貴重な資源として蓄積し、読者の皆様にとって魅力のある会誌づくりに活用して参ります。

ご多忙の折、大変恐縮ではございますが、アンケートにご協力をよろしくお願いいたします。

※設問は全6問です。

3分程度で回答できる簡単なアンケートです。  
以下URLまたは、QRコードよりアクセスして下さい。(本号のアンケート用)  
【URL】<https://questant.jp/q/NVB3BU75>



### ●複写をされる方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、次の(一社)学術著作権協会より許諾を受けてください。但し、(公社)日本複製権センターと包括複写許諾契約を締結している企業等法人はその必要はございません。

著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は、直接本会へご連絡ください。

### 一般社団法人学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル  
Tel. 03-3475-5618 Fax. 03-3475-5619  
E-mail: info@jaacc.jp

### ●アメリカ合衆国における複写については、下記へご連絡ください。

Copyright Clearance Center, Inc. 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923,  
U.S.A. Tel. 1-978-750-8400 Fax. 1-978-646-8600  
<https://www.copyright.com/>

## 自動車技術 Vol. 80, No. 1, 2026.

2026年1月1日 発行

編集発行人 伊東 明美

発行所 公益社団法人 自動車技術会  
〒102-0076 東京都千代田区五番町10番2号  
電話 03-3262-8211

定価 2,750円(税込)