

プロジェクト研究報告

「SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/革新的設計生産技術「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」

はじめに

掛下知行* 田中敏宏* 中野貴由* 荒木秀樹* 古寺雅晴¹⁾* 山口勝己²⁾* 西田一人¹⁾*** 寺西正俊²⁾***

* 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻；教授(〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

** 地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所；1)理事長 2)顧客サービス室長

*** パナソニック株式会社生産技術本部生産技術開発センター；1)所長 2)部長

Preface to Special Issue on “Establishment and Validation of the Base for 3D Design & Additive Manufacturing Standing on the Concept “Anisotropy” & “Customization””; Tomoyuki Kakeshita*, Toshihiro Tanaka*, Takayoshi Nakano*, Hideki Araki*, Masaharu Furutera**, Katsumi Yamaguchi**, Kazuto Nishida***, Masatoshi Teranishi*** (*Division of Materials and Manufacturing Science, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita. **Technology Research Institute of Osaka Prefecture, Izumi. ***Production Engineering Laboratory, Production Engineering Division, Panasonic Co., Ltd., Kadoma)

Keywords: SIP (Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program), super-upstream design concept, high-value-added product, anisotropy, customization, delight, additive manufacturing (AM)

2015年7月17日受理[doi:10.2320/materia.54.491]

2014年10月より最長5年間の計画で、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/革新的設計生産技術(佐々木直哉プログラムディレクター)が、国立大学法人大阪大学、パナソニック株式会社、地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所(産技研)を中核メンバーとして採択された。採択課題は、「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証(研究開発代表者：掛下知行阪大教授)」であり、大阪大学に異方性カスタム設計・AM(3Dプリンター)研究開発センター(センター長：田中敏宏阪大教授)を設置(2014年12月1日)し、拠点内の司令塔の役割を担う。共同参画機関は、大阪大学(工学研究科・医学系研究科)他の中核メンバーに加え、大阪大学工学研究科からの再委託として、帝人ナカシマメディカル株式会社、川崎重工業株式会社、有限会社北須磨動物病院、大阪府立大学(獣医学専攻)、京都大学(工学研究科・再生医科学研究所)、東京大学(整形外科)が拠点形成の牽引的な役割を担う。2014年度、2015年度の総予算は約6億5000万円であり、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/革新的設計生産技術においても最大の規模である。そのため、新しいものづくりスタイル構築のために寄せられる期待が大きい反面、プログラムの牽引役として本拠点の担うべき責任も大きい。

SIPは、第107回総合科学技術会議(2013年3月1日)での安倍晋三内閣総理大臣の「世界一を目指すためのイノベーションの必要性」の発言をきっかけに、日本再興戦略の閣議決定(2013年6月14日)に基づき、総合科学技術・イノベーション会議の司令塔機能が強化された結果として創設された。SIPは、府省を超えたプログラムとして、社会的に不可欠で、日本の経済・産業競争力にとって重要な10テーマが選択された。それぞれにPD(プログラムディレクター)が公募で選ばれその強いリーダーシップのもとで各SIPプログラムが遂行されている。

その中の一つとして、革新的設計生産技術が創設され、内

閣府の主導のもと、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)からの委託を受け、本事業を推進する。本テーマは、「デライトなものづくり」をキーワードに地域の企業や個人のアイデアやノウハウを活かし、時間的・地理的制約を打破する新たなものづくりスタイルを確立することを目指している。さらに企業・個人ユーザーズに迅速に応える高付加価値な製品設計・製造を可能とし、産業・地域の競争力を強化することを目的としている。

こうしたミッションのもと、当拠点は、「異方性」「カスタム化」を超上流概念とし、デライト最適化上流設計と最先端ものづくり技術を両輪に、高付加価値化のための材質・形状制御の確立、顧客起点の一気通貫による新ものづくり体制を地域実証することを目的にしている。そのため、まずは事業の骨格となる生体・医療・福祉機器、カスタム家電、異方性冷熱デバイス、異方性航空・エネルギー部品などの異方性カスタム化を牽引企業が先導的に研究開発・実証する。さらに、そのプロセスで大・中小企業、官学を織り交ぜた新市場獲得のための手法づくりと明確な出口事業の具現化を行い、金属を中心とした異方性カスタム新市場の構築に向け産学官連携で取り組んでいる(図1参照)。

世界に対抗しうるものづくり体制は、基本性能を上げることとはもとより、感性としてのデライト品質を向上させることで、これまでにない高付加価値製品を生み出すことになる。こうした品質は、「カスタム化設計」「材質・形状の最適化設計・制御」により生み出され、その際には「異方性(特定の方向に非常に優れた機能を発現する性質)」が一つの出口機能になりうる可能性がある。

本特集では、本拠点のコンセプト、さらにはプロジェクトが2年目を迎えた現在の状況と今後の展開、最新の研究成果及び活動状況について紹介する。

大・中小企業における三次元積層造形技術の普及 — 現在と未来 —

松 下 隆*

* 大阪産業経済リサーチセンター；主任研究員(大阪市住之江区南港北 1-14-16)
Dissemination of Additive Manufacturing Technology in Large・Small and Medium Enterprises —Present and Future—; Takashi Matsushita (Osaka Research Center for Industry and The Economy, Osaka)

Keywords: additive manufacturing technology, factual investigation, innovation, chasm, diffusion of innovation

2015年 5 月26日受理[doi:10.2320/materia.54.493]

1. 三次元積層造形技術の歩みとベールに包まれていた活用状況

三次元積層造形技術は1980年代に発案され、様々な特許出願と製品開発が1990年代に盛んとなった。しかしながら、1990年以降はその普及については一旦落ち着き、一部の製造工程、特に試作工程を中心に活用されるに留まった。その理由としては、第一に、三次元 CAD 技術が1990年代ではサーフェス中心であり、その用途が形状を創り上げることに力点が置かれ、その範囲でしか活用できなかったことによると推測される。第二に、素形材加工技術では切削加工、変形加工にその重点が置かれ、金型加工など日本の強みである金型製作に必要とされる技術への傾斜が強かったことによると考えられる。2000年代に入り、三次元 CAD がサーフェスからソリッドに移行し、内部構造を設計できるようになったことに加えて、三次元積層造形技術・装置において、材料のバリエーションの増加、造形精度の高度化・造形時間の短縮化により、企業における試作やプロダクションシステムとして工程での採用が高まってきつつある。

しかしながら、その活用実態を数量的に示す調査データが整備されてこなかったことから、どの程度、大企業や中小企業において、試作やプロダクションシステムの一環として活用されているのか、ベールに包まれていることが多かった。そのため、企業層では技術動向の把握、自治体など支援者層では支援の意思決定をする基礎資料等で活用度合いを示す情報に正確さを欠いていた。こうしたことから、国、自治体、商工団体など各セクターにおける実態調査が切望されていた。それを受けて、数件の調査が近年実施され、三次元積層造形技術が日本のものづくりの現場でどう活用されているのか、その一端が分析できつつある。

本稿では、複数の活用実態調査結果をもとに、社会学、経営学で定石となっている「普及の理論」、イノベーション論を踏まえて、現段階での普及の状況、今後の動向を考察する。

表 1 実態調査概要まとめ。

	経済産業省調査 (2014)	大阪府調査 (2014)	大阪商工会議所 調査(2013)
調 査 対 象	・大企業、中小 企業 集計別	・規模問わない 集計同一	・小規模事業者
業 種	製造業	製造業	製造業 (74.9%) 非製造業 (25.1%)
調査対象数	4112社	242社	1128社
対 象 抽 出	民間データベース から有作為抽出	無作為	有作為、会員
報告書名称	『2014年版もの づくり白書』	『三次元積層造形 技術(3Dプリン ター)の活用』に 関する調査研究』	『3D プリンター 活用に関する調 査』

2. 近年の活用実態調査

近年実施された三次元積層造形技術の活用についての調査結果をまとめたものを表 1 に示す。

政府が大規模に実施した「経済産業省調査」⁽¹⁾、大阪府域のものづくり企業を対象とした「大阪府調査」⁽²⁾、関西地域の商工会議所会員企業を対象とした「大阪商工会議所調査(以後、大商調査)」が挙げられる⁽³⁾。これらの調査は、調査対象サンプルの抽出方法の点で、無作為抽出調査である大阪府調査と、有作為抽出調査である経済産業省調査および大商調査とに分類される。

企業規模の点からは、中小企業と大企業とで別に集計し規模間比較を試みた経済産業省調査、中小企業と大企業を含めて集計した大阪府調査、中小企業よりも規模の小さな小規模事業者による大商調査と、それぞれ調査対象がやや異なる。また、調査対象数、対象業種においても、各調査で差異がみられる。

3. これまでの実態調査結果の詳細

経済産業省調査は2014年 1 月に、大企業、中小企業の規

模別に実施された(図1)。調査対象数は4112社で、大企業206社、中小企業3779社から回答を得て集計したものである。結果、大企業では「既に業務で本格的に活用している」が19.4%、「試験的に活用をはじめたところ」が8.3%、合わせて「活用している」が27.7%と非常に高い結果となっている。一方、中小企業では、「既に業務で本格的に活用している」が4.5%、「試験的に活用をはじめたところ」が3.2%、合わせて「活用している」が7.7%であった。これより、活用動向については、企業規模間格差が強く影響し、規模が大きいほど活用が進んでいることが明らかになった。

一方、大阪府調査は、2014年10月に実施したアンケート調査(調査対象数242社)である(図2)。その結果、「活用している(1年以上)」が8.7%、「活用している(1年未満)」が6.2%、合わせて「活用している」が14.9%であった。

大商調査は、2013年に実施した1128社の会員企業を対象

とした調査である。その結果、「活用している(本格的)」が3.4%、「活用している(試行的)」が4.4%、合わせて「活用している」が7.8%であった。

二つの調査で異なる点は、大阪府調査が大企業を含むものづくり企業、大商調査は関西の小規模会員事業者を対象としている点である。よって、大商調査が大阪府調査よりも、活用度合いが低いのは、企業規模によるものと推測される。

また、大阪府調査が他の調査よりも活用割合が高いのは、第一に、回答に大企業が含まれること、第二に、調査時点が新しく、「ものづくり補助金」などの施策利用で造形装置の導入が進んだことによると考えられる。

これら調査結果より、第一に、ものづくり企業での三次元積層造形技術活用状況は、中小企業層(小規模事業者層含む)であれば10%前後、大企業層であれば25%超であることが推定される。第二に、同技術の活用には企業の規模間格差が強く影響していることが明らかになった。今後は、こうした活用実態調査を数年度ごとに実施、定点観測することで本技術の進展、定着など実態を明らかにする必要性が高いと考えられる。

4. 普及の段階を考察する

次に、これらの調査結果から三次元積層造形技術の普及度合い、その後の展開について、「普及の理論」やマーケティング論などを分析フレームに考察を進める。

普及の理論とは、イノベーター理論とも呼ばれ、Everett M. Rogers が提唱したものである⁽⁴⁾。新たなアイデアや技術(イノベーション)を採用する者の数や割合を時間軸で分析した場合、採用者の累積割合と時間が一定の推移に当てはまることを見出し、理論化した。これにより、新たなイノベーションがどう普及しているのか、今後どう普及するのかを推測することが可能となった。

ここでは新製品の購買について例示すれば、製品のリリースと購買のタイミングに応じて購買者を5群に分類し、リリースと同時に最も早く購買する「イノベーター(Innovator)」(購買者の2.5%)、その動きを待って次に購買行動に移る者たちはその購買について強い影響力を有するオピニオンリーダーである「アーリー・アダプター(Early Adopters: 初期購買者)」(同13.5%)である。次に購買する層は最も大きな塊「アーリー・マジョリティ(Early Majority: 前期追随者)」(34%)であり、この層が動けば、以後、本格的な普及が始まるとされる。したがって、普及の理論では16%前後の累積購買者割合に至れば、その後の普及が期待できると推測できるのである。

5. 調査結果から本技術の「普及」を分析

先に示した通り現在の活用状況は中小企業層(小規模事業者含む)が10%程度、大企業層では25%程度であり、これらを普及の理論からみれば、中小企業層では普及前の状態、つ

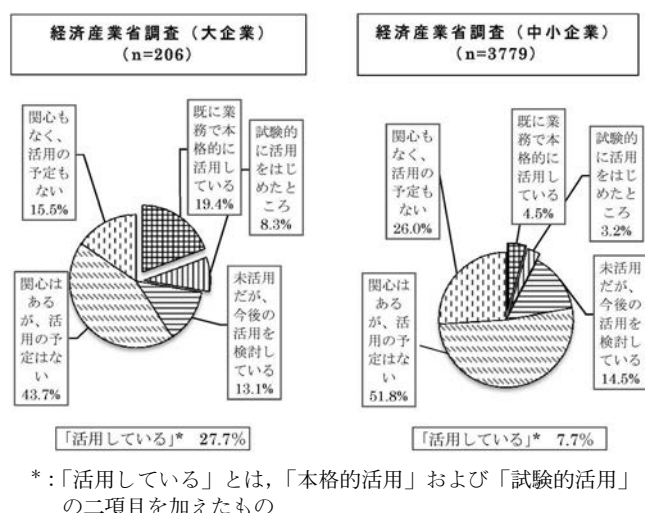


図1 経済産業省調査⁽¹⁾結果。

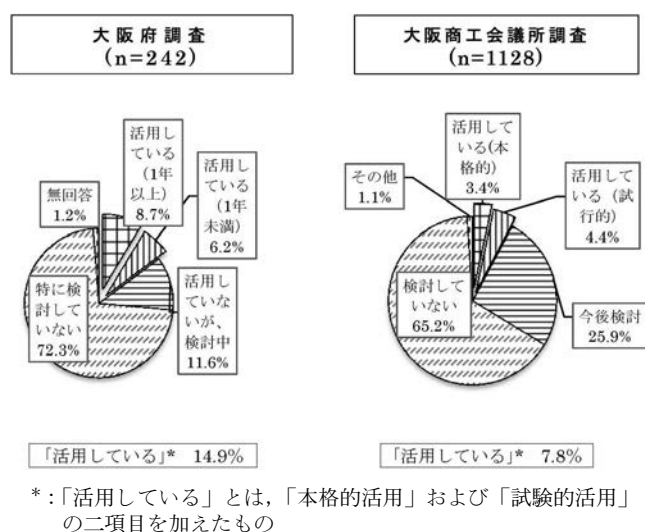


図2 大阪府調査⁽²⁾、大阪商工会議所調査⁽³⁾結果。

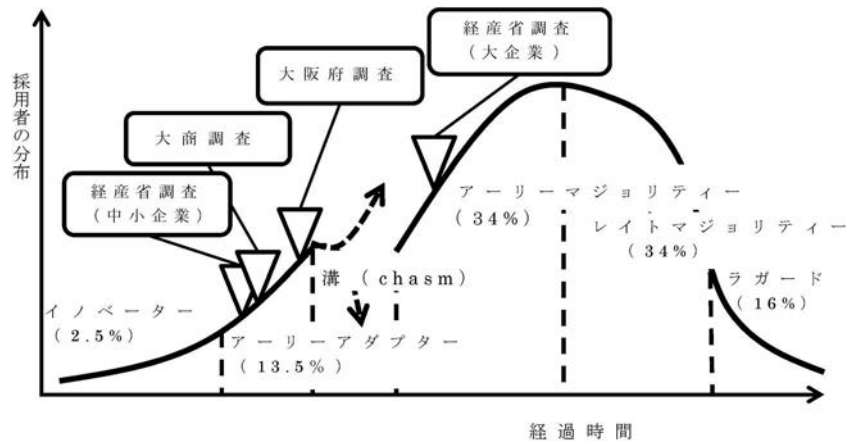


図3 普及曲線と各調査の結果。

まり「普及前夜」といえよう(図3)。一方、大企業層では「既に普及期」に入っていると結論付けられる。

さらに考察すると、中小企業層はここ数年のうちに普及に至るのかどうか、その活用状況次第で方向性が分かれる可能性が含まれる。普及が16%前後のこの時期に、各種中小企業の競争力を向上させることを目指した普及施策を図ることは、今後一層必要とされる多品種少量生産、材料高への対応、マーケット規模の縮小などへ対応する中小企業にとっては重要な分岐点である。こうした普及施策がうまく機能しなければ、本技術が普及に至らない「深い溝(キャズム chasm)」⁽⁵⁾に落ち込む可能性を有する。

6. キャズムに落ち込まないための解決策

そのためにも、解決策として以下の素早い実現が望まれる。第一に、企業が不満点とする、装置・材料の価格を国内企業等の努力等で下げることで、第二に、中小企業向けの技術導入支援策(補助金などの支援に加えて、技術指導やノウハウ支援、人材養成など)を充実すること、第三に、企業・各業界内では、三次元CADのオペレーター養成を積極的に行うことが必要であろう。設計技術(特に、機能発現のための内部構造設計)を高めることが、ものづくりの競争力に直結する。

これら解決策を実行することで三次元積層造形技術を活用する中小企業数が増えれば、以後本格的な普及へと推移する

可能性が高く、来る人口減少社会において必要となる、短納期、多品種小ロット、ロングテール消費への対応を行ううえでの、新たなものづくり工法の変革に対応することが可能になるだろう。

7. おわりに

上述のような方策に加え、SIP/革新的設計生産技術「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」でも研究されているように、製品を使用し喜んでもらうことで、生活者のQOLを高めるため、感性工学や機能の可視化の導入を設計の上流段階で行う必要性を広く認知させることが、今後の三次元積層造形技術のさらなる普及促進につながるものと強く期待される。本プロジェクトが関西発の新しいものづくりスタイル創発の起爆剤となることを期待している。

文 献

- (1) 経済産業省：2014年版ものづくり白書，(2014)。
- (2) 大阪府：三次元積層造形技術(3Dプリンター)の活用に関する調査研究，(2014)。
- (3) 大阪商工会議所：3Dプリンター活用に関する調査，(2013)。
- (4) E. M. Rogers，青池慎一，宇野善康監訳：イノベーション普及学，産能大学出版部，(1990)。
- (5) G. Moore，川又政治訳：キャズム，翔泳社，(2002)。

三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証プロジェクトの背景と趣旨

掛下知行* 田中敏宏* 中野貴由*

* 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻；教授(〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

Motivations and Concepts for Our SIP Program on “Establishment and Validation of the Base for 3D Design & Additive Manufacturing Standing on the Concept “Anisotropy” & “Customization””; Tomoyuki Kakeshita*, Toshihiro Tanaka* and Takayoshi Nakano* (*Division of Materials and Manufacturing Science, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita)

Keywords: *innovative manufacturing, establishment of base, Kansai area, anisotropy, full- or half-customization, delight assessment*

2015年7月30日受理[doi:10.2320/materia.54.496]

1. はじめに

2014年10月より最長5年間の計画で、内閣府主導でNEDO(国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)による委託を受け、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/革新的設計生産技術(佐々木直哉プログラムディレクター)/「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」が、大阪大学、パナソニック株式会社、地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所(産技研)、帝人ナカシマメディカル株式会社、川崎重工業株式会社、有限会社北須磨動物病院、大阪府立大学、京都大学、東京大学を主要機関として採択された⁽¹⁾。本採択拠点は、「革新的な技術研究開発をつなぐ異方性カスタム拠点を形成し新たなものづくりスタイルを構築する」をモットーに、金属Additive Manufacturing(AM)を含む超上流でのものづくりのイノベーションを探索するための活動を行っている⁽²⁾。

2. 拠点形成の背景

関西をはじめとする日本の製造企業(ものづくり産業)は国際競争力を失い、シェアの低下、業績の低迷を招き、もはや「日本はものづくり大国」であると考えるには程遠い状況が生じ始めている。これは顧客の「平均的・画一的」なニーズに対応する類似商品群の乱立が、コモディティ化を促すことで、ものづくりを行うほどに赤字が増加するといった負のスパイラルを生み出しているためである。本拠点では、こうした現状を打破するため、関西エリアにて「平均化・画一化」から「カスタム化」へと、ものづくり概念を根底から覆す製品を生み出すためのイノベーションスタイルを構築することを目的としている。具体的には、最適化デライト設計を上流概念とし、付加製造(三次元積層造形)を用い、これまで困難とされていた材質・形状パラメータを異方性エンジンに基づき同時制御することで、「高付加価値化にむけた異方性カスタム」を実現することを超上流設計思想とする。

当拠点は、関西地域の強み(地域資源)である難加工材を中心に据え、家電分野、生体医療福祉分野、航空・エネルギー分野の経済成長に向けた異方性カスタム製品(カスタム冷熱デバイス製品、カスタム家電、伴侶動物用カスタムインプラント、材質・形状制御タービンプレード)を初期ターゲットに設定し、大阪大学大学院工学研究科や大阪府立産業技術総合研究所が、牽引企業としてのパナソニック、帝人ナカシマメディカル、川崎重工業等とともに、関西ものづくり拠点化への先導的役割を担う。ただし、参画企業を固定することなく適時適材適所での柔軟なものづくりスタイルを地域実証していく。その中核として、「異方性カスタム設計・AM(3Dプリンター)研究開発センター」が大阪大学大学院工学研究科に新設され、進化するプラットフォームとして機能させるとともに、デライトアセスメント(満足度や喜び品質の感性指標の評価とフィードバック)により、絶えずデライト度を高める。デライトアセスメントは、例えば、グランフロント大阪での異方性カスタム家電や動物病院での伴侶動物用カスタム異方性インプラントのデライト実証・追跡調査をはじめとするテストユースなどにより実施し、製品そのものと、ものづくりシステムの両者を進化させる。

最終的には、参画する企業群が有機的にクラスタ化し、進化するイノベーションスタイルの好例となることによる、出口を見据えた淀みないものづくりスタイルの構築を目指す。

3. 本拠点での取り組み目標

関西地区における金属をはじめとする難加工材ものづくりの地域資源を活用し、「異方性カスタム設計・AM研究開発センター」を中心に、世界に先駆けた異方性カスタム市場の開拓を目標とし、関西発の新しいものづくり手法を日本、さらには世界に発信することを目標とする。異方性は自然界のほとんどの創成物が持つ特性であり、超上流での最適化により等方性ではない適度な異方化が、デライトな製品群の一つの出口として期待される。目標達成に向け、(A)拠点形成目標と

しては、(A1)大阪大学内に異方性カスタム設計・AM 研究開発センターを新設、(A2)新ものづくりの思想に合致する企業の、事業規模の垣根を越えた参画の促進、(A3)新たな異方性カスタム製品の創製・流通に向けたビジネスモデルの創成、(B)技術目標としては、(B1)異方性エンジンによる材質・形状パラメータの最適化設計、(B2)金属 AM 手法を中心とした設計・製造リードタイムの短縮、(B3)感性工学によるデライト指標の探索と確立、(B4)デライトアセスメントを最適化設計にフィードバックするシステム(デライトエンジン)の構築、(C)アウトカム目標としては、(C1)製品・事業分野の市場拡大、(C2)デライトアセスメントのデバイス普及を含めた数百億円規模以上(2023年度)の経済効果創出(図1参照)を目指す。

4. イノベーションスタイル

デライト品質獲得のための異方性カスタム最適化設計を超上流思想とし、「平均化・画一化」から「異方性カスタム化」へと、これまでのものづくり概念を根底から覆す高付加価値化製品創出に向けた進化するイノベーションスタイルの構築を目指す。

(1) 顧客起点による高付加価値化のための異方性カスタム化

必要な方向に高機能性を発揮する「異方性」のカスタム化は、多種多様なニーズに応えうるものづくりの実現につながる可能性を秘めている。この異方性カスタム化という超上流設計思想に基づいて、材質パラメータ・形状パラメータを同時に最適化設計する異方性エンジンを構築し、それらを革新的生産製造に落とし込むことで製品の最適制御を可能とする。

(2) 新市場の創成ならびにその牽引を促す顧客起点の一気通貫モデル

プロダクトアウト商品を生み出すまでの、従来の商品企画から量産までのプロセスと比較して、顧客を起点とした製販一体のプロセスでリードタイムの短縮を目指す。顧客起点で最適化設計した製品イメージを、ソフト・ハード一体化システム(製販一体)やデライトエンジン、異方性エンジン、さらには革新的生産製造技術との組み合わせにより具現化する。さらに「デライトアセスメント®」⁽³⁾により顧客のデライト度を評価し、結果を製品設計へとフィードバックする。

5. 新しいものづくり

新しいものづくりのため、顧客起点の設計・生産過程の一気通貫モデルならびに新規デライト指標の妥当性を地域実証する。超上流設計思想の啓蒙活動を通じて、大・中小企業の参入推進を図り、絶えず進化し続けるものづくり拠点を構築する。本拠点の出口戦略は、多彩な企業の独自技術をクラスタ化し、異分野の垣根を超えた有機的連携により創発的な商品や事業を生み出すことにある。そのために製造リードタイムを短縮するだけでなく、情報や技術の流れを太くする「骨太・高速な一気通貫モデル」の実現を図る。IoT(物のインターネット)に代表される情報の流れ⁽⁴⁾、ノウハウ、アイ

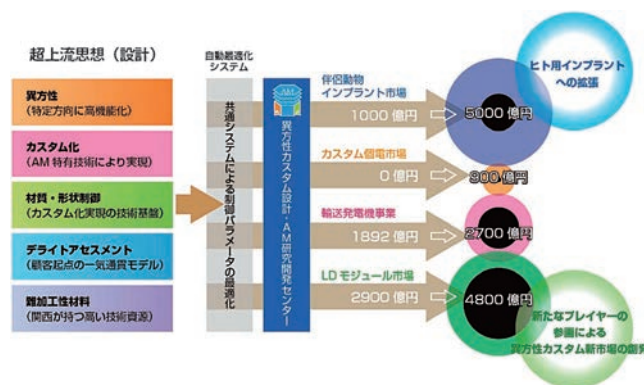


図1 超上流設計思想に基づく高付加価値化製品の創製と、異方性カスタム製品市場の創成・拡大予測。

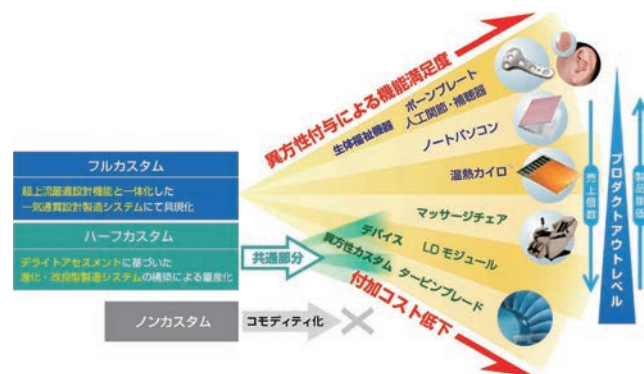


図2 製品の特性やニーズに応じた、フルカスタムからプロダクトアウトをも視野に入れたハーフカスタムまでのカスタム化レベルの最適化によるコモディティ化の回避と経済効果の創発。

デアをつなげることで、多様な最適解による異方性カスタム製品群の創製が期待される。その結果、フルカスタム製品からニーズに応じたハーフカスタムまで、カスタム化レベルの最適化により最大の経済効果の創発を追求する(図2参照)。そのためには、マスカスタマイゼーションに対応した未来情報システムを材料工学に取り入れる工夫も必要となる。

6. おわりに

本拠点は5年間の研究開発期間を第一期と捉え、新たなものづくり新市場創出のため、異方性カスタムをテーマに関西に根差した産官学を中心にしたものづくりプラットフォームを形成し、関西発の持続的なイノベーションシステムを構築することを目指している。そのための超上流でのデライト設計を実現するために、材質・形状最適化に基づき、金属AMを中心とした生産へとつなげる。本拠点の基本コンセプトに賛同し、ともに研究開発を目指す産官学からの新たな参画を広く募集している⁽²⁾。

文献

- (1) 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP: エスアイビー), <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>.
- (2) 「SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/革新的設計生産技術」「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」～異方性カスタム設計・AM 研究開発センター～, <http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/sipk/>.
- (3) 「デライトアセスメント」文字商標登録: 商標第5777527号, 2015年7月10日; ロゴ商標登録: 商標2015-46048, 2015年5月15日.
- (4) まるわかりインダストリー4.0 第4次産業革命, 日経BP社, (2015).

異方性カスタム設計・AM 研究開発センターについて

田中敏宏* 中野貴由* 中本将嗣¹⁾ 井手拓哉²⁾

* 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻；教授(〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

** 大阪大学大学院工学研究科附属異方性カスタム設計・AM 研究開発センター；1)特任助教 2)副研究総括・特任研究員
Osaka University Anisotropic Design & AM Research Center; Toshihiro Tanaka*, Takayoshi Nakano*, Masashi Nakamoto** and Takuya Ide**(*Division of Materials and Manufacturing Science, Graduate School of Engineering. **Anisotropic Design & AM Research Center, Osaka University, Suita)

Keywords: SIP(cross-ministerial strategic innovation promotion program), AM(additive manufacturing), anisotropic design, powder bed fusion, OSAKA-ADAM center, platform, organic cooperation

2015年8月10日受理[doi:10.2320/materia.54.498]

1. はじめに

大阪大学 異方性カスタム設計・AM 研究開発センターは、内閣府 SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/革新的設計生産技術「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」プロジェクトにおける技術プラットフォーム拠点として、2014年12月1日に本学工学研究科内に設置された。本報では同センターの施設、役割、取組みについてその概要を報告する。

2. 異方性カスタム設計・AM 研究開発センター

異方性カスタム設計・AM 研究開発センターは、大阪大学 吹田キャンパス内 フロンティア研究棟 2 号館 (F2 棟) 2 階に設置されている(図 1)。同研究棟はグローバル COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点」(拠点リーダー：掛下知行, 2007~2011年度)が実施された場所であり、同プロジェクトで培われた教育・研究を恒久的に実施可能にするため、工学研究科附属「構造・機能先進材料デザイン教育研究センター」が2008年に設置され、同センターと並列して、異方性カスタム設計・AM 研究開発センターは活動を行っている。加えて、同研究棟は産学連携の場としても活用されており、企業研究者が大学研究者とともに研究室を運営する共同研究講座の 6 拠点が居を構えており、様々なバックグラウンドをもった研究者の交流が盛んに行われる場所となっている。産官学連携による関西ものづくりの中核として、関西発の高付加価値ものづくり拠点形成を目指すプロジェクトの活動の場としては、最も相応しい立地条件であると考えている。このような環境を最大限利用し、当初からプロジェクトに参画する産学合わせて 9 つの研究開発機関、さらにはプロジェクトへの新規参入企業(詳細は「異方性カスタム新市場の創成・新規参入支援について」参照)のハブとしての機能を本 AM センターが担い、様々な活動を

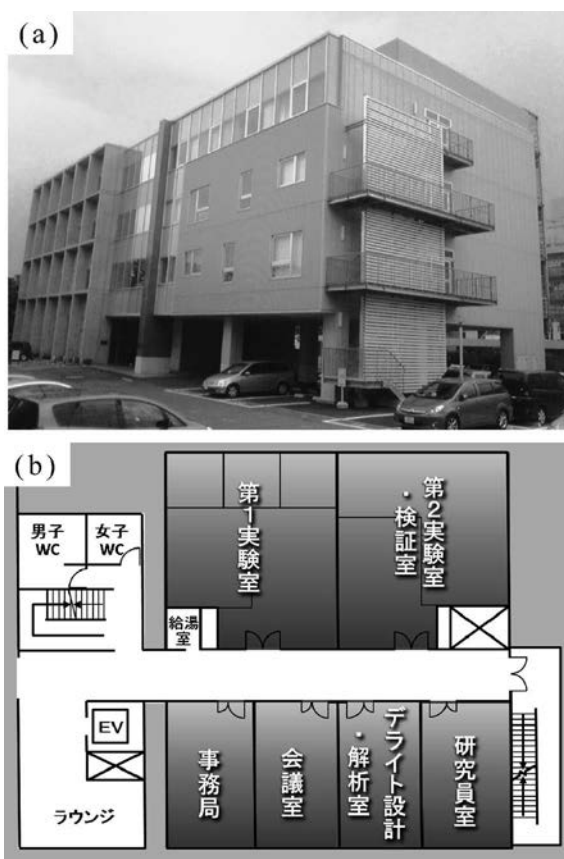


図1 大阪大学 異方性カスタム設計・AM 研究開発センター。(a) 外観 (b) 間取り。

展開していく計画である。

異方性カスタム設計・AM 研究開発センターは、掛下知行(研究開発責任者、大阪大学大学院工学研究科 教授)、田中敏宏(センター長、同 教授)、中野貴由(副センター長、同 教授)、寺西正俊(招聘研究員、パナソニック株式会社生産技術本部 生産技術開発センター 生産技術研究所)、玉岡秀房(研究総括・特任研究員)、井手拓哉(副研究総括・特任研究員)が中心となり、招聘教員・研究員も含め総勢50

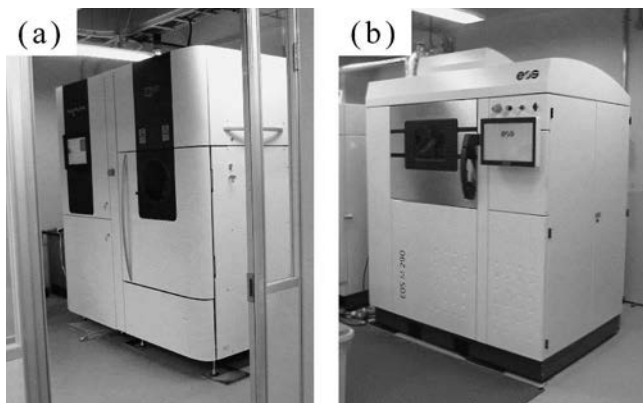


図2 金属積層造形装置(a) Q10(ARCAM社)と(b) EOS M290(EOS社)。

名を超えるメンバーから構成されている。図1にセンターの部屋の配置図を示す。関西経済の活性化を目指すものとして、大阪大学大学院工学研究科からの全面的な支援を受けており、センターの敷地(延べ面積約270 m²)は同研究科からの無償提供によるものである。センターは2つの実験室、設計室、会議室、事務室、研究員室の6つの部屋から成っている。難加工材用積層造形装置(粉末床溶融法: powder bed fusion)を2台備えており、電子ビームを熱源とした積層造形装置 Q10(ARCAM 社)を第1実験室、レーザー積層造形装置 EOS M290(EOS 社)を第2実験室に配置している(図2)。第2実験室には積層造形装置以外にワイヤ放電コンターマシン、表面処理などの加工装置も備えている。また、第2実験室は製造装置と同じ空間内に設計スペースを設けており、最適化設計・デライトアセスメント・製造の一体化ルームとして、顧客起点の一气通貫モデルの具現化のための検証室としての役割を果たす場となっている。デライト設計・解析室には三次元 CAD、応力・熱解析、三次元データ処理等ができるソフトウェアを導入している。上記以外にも大学内の共用設備も利用でき、ハード・ソフト両面から技術プラットフォーム拠点として相応しいものとなっている。

センターはプロジェクトの成果発信の場としても活用され、内閣府より公表された基本的取組方針「国民との科学・技術対話」の積極の実施に基づき、ものづくり教室や公開シンポジウム『SIP 異方性カスタム拠点キックオフ公開シンポジウム』(図3)など一般の方も参加できる双方向コミュニケーション活動による発信を積極的に行っている。例えば、大学祭を利用したものづくり教室では、老若男女問わず数十名以上の参加者があり、ものづくりの楽しさを実感していただいた。2015年5月に開催した公開シンポジウムでは、総勢140名以上の参加者があり、センターのキックオフ行事として、本プロジェクトの趣旨、今後の計画について詳細な説明を行った。今後も顔の見える形での成果の発信方法を模索しながらセンターの運用を進めていく計画である。また、インターネット上でホームページによる継続的な成果の発信も行っている。プロジェクト拠点の HP (<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/sipk/>) ならびにセンターの HP (<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/sipk/am/>) を2015年3月から公開



図3 SIP 異方性カスタム拠点キックオフ公開シンポジウム(大阪大学吹田キャンパスサントリーメモリアルホール)。

し、プロジェクトの趣旨、取り組み、成果を紹介するとともに、シンポジウム等イベントの案内、申込、新規参入企業の公募(詳細は「異方性カスタム新市場の創成・新規参入支援について」参照)も行っている。さらには、関西5拠点で構成される最適化設計・生産クラスタの HP (<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/sipdelight/>, 2015年1月公開)を作成・管理し、本拠点内にとどまらず関西クラスタ間の有機的連携の促進も図っている。

プロジェクト内9機関の効率的な情報交換、有機的連携を図るため、参加者、内容、開催期間の異なる3段階の階層的会議システムを採用、運営している。毎週火曜日に開催されるコア会議では、センターコアメンバー(10数名)による全体の方向性の打合わせ、ビジネスモデル、研究開発のブレインストーミングなどを行っている。高頻度の実施により、運営計画の詳細まで綿密に議論し、プロジェクトでのプラットフォームとしての役割を果たしている。機関代表者間による全体の方向性や進捗についての確認および打合わせを行う企画会議を月に1度の頻度、参画者全員が参加し、拠点内9機関の進捗状況の確認および今後の運営について議論する進捗報告会を約3ヶ月毎に開催している。同時に、各機関のメンバーを教員・研究員として大阪大学に招聘し、機関の垣根を越えた有機的ネットワーク形成に努めている。

3. おわりに

今後もハード・ソフト両面から、産学官連携による研究開発推進のための仕組みづくりを模索し、参画機関が連携融合し設計と生産技術が一体化したものづくりシステムを構築するためのプラットフォーム拠点として有効に機能できればと考えている。なお、本プロジェクトでは持続的にイノベーションを生み出すシステムの構築を掲げており、そのプラットフォーム自体も日々進化させていく必要があると考えている。そのため、本報での報告はあくまで現状(執筆時点)ということになるが、今後のセンターの進化に注目いただければ幸いである。

異方性カスタムデライト最適化設計

荒井 栄司* 鈴木 秀生¹⁾* 寺西 正俊²⁾*

* 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻；教授(〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

** パナソニック株式会社生産技術本部生産技術開発センター；1)主任技師 2)部長

Delight Customized Optimization Design Using Anisotropic Material; Eiji Arai*, Hideo Suzuki** and Masatoshi Teranishi** (*Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita. **Production Engineering Laboratory, Production Engineering Division, Panasonic Co., Ltd., Kadoma)

Keywords: *delight customized design method, bone plate, customized appliance*

2015年 5 月29日受理[doi:10.2320/materia.54.500]

1. はじめに

工業製品のグローバル競争の激化により、コモディティ化が進み、低価格化への歯止めがかからない状況である。一方、先進国を中心とした世界の富裕層に対しては、個々人の価値観に合わせた高付加価値商品の需要の高まりが予想される。

高付加価値商品実現のためのキーワードとして、商品のデザイン価値・顧客価値、カスタム化などが挙げられる。延岡⁽¹⁾はデザイン価値の創造のために、デザインを形や色などの意匠に限定せず、視覚価値、使用価値(ユーザビリティ)、所有価値の3つをデザイン価値と定義している。今後は人間の内面に踏み込んだ価値追求が進んでいくであろう。本稿では、新たな価値創造を目指し、国家プロジェクト SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)革新的設計生産技術の研究テーマである「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」で取り組んでいるカスタムデライト最適設計生産方法の特徴、目指すべき方向性について述べる。

2. デライト価値について

デライト価値とは、人間工学分野で用いられる感性指標(色温度、音質、押し圧など人間感覚と結びつく生理計測可能な客観的物理量)と相関する潜在価値(感性価値)を意味する。潜在価値とは商品の基本機能が提供する価値をさらに上回るプラスアルファの価値である。あって当たり前、なければ不満足となる当たり前価値、機能が高まるほど価値が高まる一元的価値で構成される基本機能に対し、デライト価値とは期待値を超える価値である(図1)。商品の成熟度によってデライト価値は変化する。例えば世の中に初めて新しいコンセプトとして発表されてから時間が経過し、すでに成熟している民生品においては、発表当時はデライト価値であった多くの機能が現時点では基本機能に移行している。

他方、市場未成熟であるため、本来満足すべき基本機能を満足していない商品も多くある。この場合は、期待値水準を

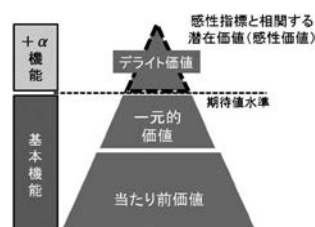


図1 潜在価値。

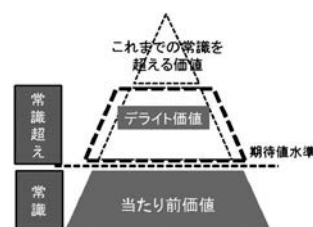


図2 期待値超えの価値。

のものが成熟商品に比べて高くないことから、多くの機能がデライト価値と定義可能である(図2)。例えば、小型犬を中心とした伴侶動物の骨折治療においては、完全治癒が必ずしも実現できている状況ではないため、新しい治療方法の確立によりこれまでの常識を越える価値が生み出され、飼い主のデライト価値につながると考えている。

3. カスタムデライト最適設計生産方法について

今回研究対象とするカスタムデライト最適設計生産方法の特徴を、従来のカスタム設計生産方法と比較して述べる。カスタム設計生産方法は顧客要望に基づきカスタム製品仕様を作成し、構想設計、詳細設計された商品をカスタム生産工程により生産するというプロセスで顧客に提供する方法であるが、カスタムデライト最適設計生産方法は、顧客潜在価値創出と顧客の期待値以上の価値創出をねらいとし、単なるカスタム要求の実現のみをねらいとする従来プロセスとは異なる。上流設計段階で新しい価値創出のための処理ブロックを構成要素として加えることで、後戻りのない一気通貫の設計生産の革新的要素を生み出すことをねらいとしている(図3)。

顧客潜在価値創出のために、仕様作成ブロックにおいて、カスタム仕様と潜在価値を創出するデライト仕様を盛り込むことを特徴としている。ここでデライト仕様とは価値が予め定義され、決められたプロセスにより実現される価値ではなく、カスタム設計生産を繰り返す中で、顧客価値のフィードバックにより想定されなかった潜在価値として新たに定義さ

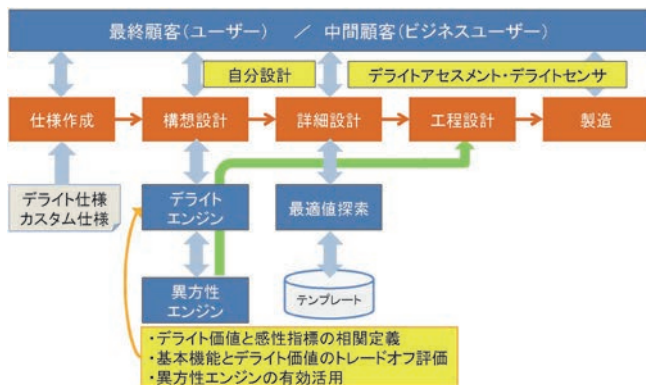


図3 デライトカスタム最適化設計生産方法のフロー図。

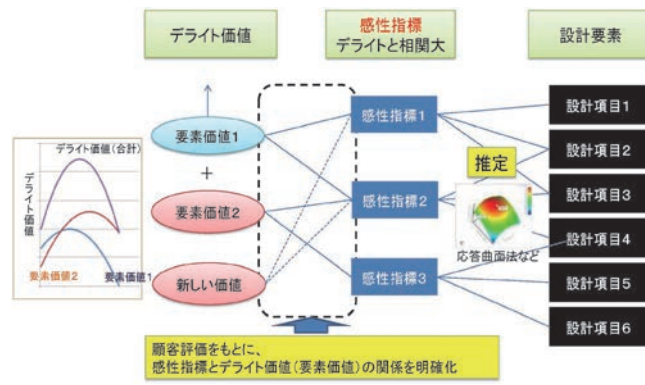


図4 デライトエンジンの概念図。

れる価値である。本研究では、顧客の評価フィードバックのことをデライトアセスメントと称し、仕様作成、構想設計ブロックにおける新しい価値創出に大きく寄与させる仕組みづくりを検討している。

4. デライトエンジン、異方性エンジン機能について

顧客潜在価値や顧客期待値を大きく超える価値を構想設計段階で機能設計に盛り込むことを大きな特徴とする方法をこれまで述べてきたが、顧客潜在価値(=デライト価値)を生み出すための機能ブロックをデライトエンジンと呼ぶ。さらに顧客期待値を大きく超える価値を生み出すための機能ブロックを異方性エンジンと呼ぶ。この2つの機能エンジンが新たな高付加価値製品創出のための共通の上流設計思想の根幹を成す。この2つの機能エンジンの特徴を説明する。デライトエンジンは設計要素(製品を構成する機械要素部品や電気部品などの数値スペック要素)をデライト価値最大となるように評価するための処理プロセスで構成される。設計要素と感性指標の関連性さらには感性指標とデライト要素価値の関連性を関数表記することで設計要素とデライト価値の結びつきが生まれ評価可能となる。ここでデライト要素価値の和がデライト価値である(図4)。商品基本機能とデライト価値最大化は必ずしも両立しないためデライトエンジンではこのトレードオフ関係を各関数の重み係数により評価する。

異方性エンジンは、顧客期待値を超える機能実現のために機能の異方性を付与させることで、構想設計段階で製品の最適機能設計を行うブロックであるが、その大きな特徴は、異方性を考慮した材料のミクロ形状・材質制御、すなわち「最適化材料設計」を従来の下流ではなく最上流で行うことにより、顧客期待値を超える高付加価値を生み出すことである。

このことは先に述べたデライトエンジンでの基本機能とデライト価値のトレードオフ関係の解決にも大きく寄与する。この構想設計段階で機能設計された材料機能は、工程設計ブロックへ引き渡され、例えば三次元積層造形装置におけるプロセス条件(=造形のための加熱条件や手順)としてフィード

バックされることで材料機能が反映され、商品に新しい価値を付与することが可能となる。

5. 設計生産プロセスへの顧客参加によるデライト価値創出

カスタム商品の価値が高いことに疑う余地はないが、設計生産プロセスへのユーザ参画を可能にするビジネスモデルは必ずしも多いとは言えないだろう。我々は、自分が求める商品を自らの手で設計生産したいと考える顧客層に対して、カスタムデライト設計生産プロセスへの参画型実証研究を進める。ここで顧客とは商品のエンドユーザだけでなく、将来的には、医療分野では医師や技士、住宅建設分野では工務店の設計士などビジネスユーザも含めて考える。仕様作成、構想設計段階での上流でのユーザ参画によるデライト価値創出に最も重点を置くが、詳細設計完了、生産移行時の顧客承認、生産完了後の製品評価、製品購入後の製品価値の評価のフィードバックによる継続したデライト価値創出についても研究していく。製品提供後も客観的なデライト評価指標を獲得するために、製品に装着させるセンサをデライトセンサと呼ぶ。

現在、革新的設計生産方法の具体的事例研究の一つとして伴侶動物向け骨折治療のデライト治療システムの検討を進めており、新たな価値創出とその方法論の構築を目指している。

6. ま と め

今後、カスタムデライト最適化設計方法の事例研究を進めつつ体系化を図っていくことで、カスタム家電等、他の商品群にも適用を進め、これらの成果を基に異方性カスタム製品新市場の創成を具現化していきたいと考えている。

文 献

- (1) 延岡健太郎：一橋ビジネスレビュー、(2015)。

異方性カスタム材質・形状制御について

中野 貴由¹⁾ 石本 卓也²⁾ 萩原 幸司^{**} 井手 拓哉¹⁾ 中本 将嗣²⁾
蘇 亜 拉 図²⁾ 孫 世 海²⁾ 荒木 秀樹^{****} 玉岡 秀房³⁾

* 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻; 1)教授 2)講師(〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

** 大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻; 准教授

*** 大阪大学大学院工学研究科附属異方性カスタム設計・AM研究開発センター; 1)副研究総括・特任研究員 2)特任助教 3)研究総括・特任研究員

**** 大阪大学大学院工学研究科附属アトミックデザイン研究センター; 教授

Control of “Material Parameters” and “Structural Parameters” for Anisotropic and Customized Design; Takayoshi Nakano*, Takuya Ishimoto*, Koji Hagihara**, Takuya Ide***, Masashi Nakamoto***, Suyalatu***, Shihai Sun***, Hideki Araki**** and Hidefusa Tamaoka*** (*Division of Materials and Manufacturing Science, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita. **Department of Adaptive Machine Systems, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita. ***Anisotropic Design & AM Research Center, Osaka University, Suita. ****Center for Atomic and Molecular Technologies, Osaka University, Suita)

Keywords: *delight, optimal design, anisotropy, materials parameter, shape parameter, crystallographic texture, single crystal*

2015年 8 月 4 日受理[doi:10.2320/materia.54.502]

1. はじめに

高付加価値でコモディティ化を生み出さない製品創出には、ユーザにとってのデライト品質(なくとも良いが、あれば非常に満足)、もしくは、これまでにない新機能、従来の性能(マスト品質)をはるかに凌駕する超高性能を付与することが必須である。この実現を達成する手段として、金属AM(Additive Manufacturing: 付加製造)に代表される革新的な生産・製造技術がIoT(Internet of Things: ものインターネット)やマスカスタマイゼーションとリンクしつつ、有効活用されるものと期待される⁽¹⁾。こうしたユーザ各々のデライトを満足させるためにカスタム化された新たな商品群、さらには異なるものづくり概念に基づく新規市場の開拓が日本のものづくりスタイルを変革し、ものづくり大国としての地位を奪還することが期待される。

本SIP拠点は、大阪大学大学院工学研究科材料系研究者を中核とすることから、材質と形状の同時制御により実現される最適化材料設計を最大の特徴とする。そこで本稿では高付加価値でデライトな異方性カスタム市場の創発に向けた本SIP拠点の戦略について紹介する。

2. 異方性エンジンによる最適化材料設計

産業基盤である金属材料を中心とした難加工材の開発はものづくり革命の起爆剤となりうる。金属材料での高機能性発現は、新素材の創製やその組織制御によって達成されてきた。本SIP拠点は、超上流でのものづくりにおける最適化材料設計のためのマテリアルズ・インフォマティクスを含む「異方性エンジン」の開発に基づき、デライトな感性を引き

出す「デライトエンジン」との協調により異方性カスタム製品を具現化するという超上流設計思想を特徴とする。

一般に、世の中に広く普及している材料は、多くの製品群ではできるだけ等方的な設計がなされている(図1(a))。例えば、力学的観点からは、部材が任意の外力に対してマクロに均一な塑性変形を生じるには5個の独立なひずみテンソル成分を持つ必要があることから(von Misesの条件)、金属材料では、対称性が高く独立なすべり系が多い等方性の高い結晶構造を有する材料が、構造用部材をはじめとする種々の製品群において選択されてきた。しかし、デライト品質を生むための高機能化は、等方性材料において実現されるとは限らない。我々は、従来型の等方性ものづくりから脱却し、特定の方向に極めて優れた機能性を発現するような最適な「異方性」の追求(図1(b)参照)が、超上流での材料設計の一つの解となる可能性を仮説・検証しようとしている。

3. 異方性カスタム化のための材質・形状制御

ものづくりに重要なリードタイム短縮や顧客起点の一气通貫モデルの実現には、材質パラメータと形状パラメータの同時制御、すなわち内外形状と金属特有の組織由来の材質を上流で最適化し、下流まで淀みなく生産・製造することが必要とされる。通常、材質制御と形状制御は独立したプロセスであるため、それらの同時制御の実現には、最先端の生産・製造技術と材料科学とを融合させた新たなものづくりテクノロジーが必要である。

図2に示すように、材質パラメータとしては、結晶構造、原子配列の規則性、結晶粒形状、結晶集合組織、結晶粒界の有無(単結晶・柱状晶・多結晶)、溶質濃度勾配、析出相分布などが挙げられる。とりわけ本拠点では、初期ターゲットと

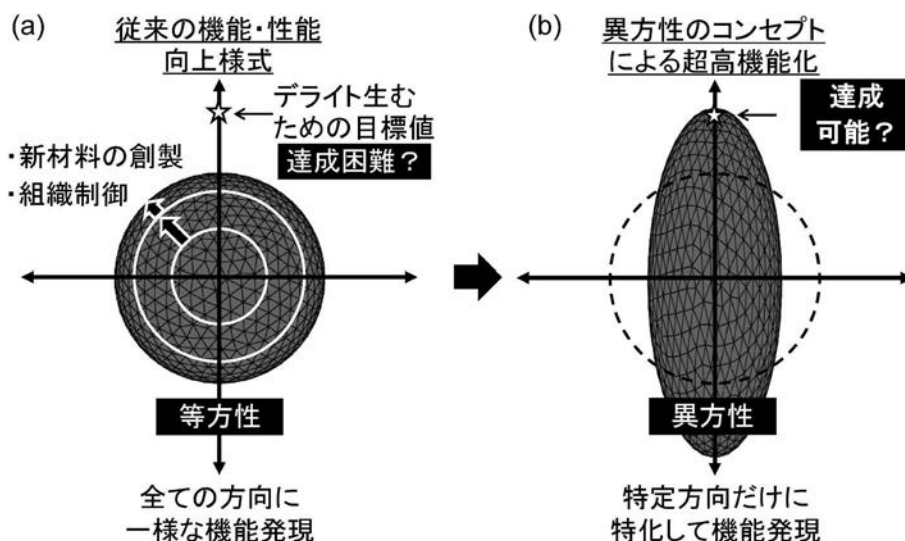
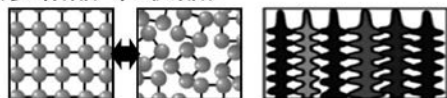


図1 (a)従来型の等方性の機能発現に基づく製品機能向上様式と、(b)異方性の概念を導入した場合に可能となる高機能化様式の概念図。ユーザのデライトを生み出すための超高機能化は、異方性の導入・最適化と関連する可能性を持つ。

材質パラメータ

- ・結晶構造、原子配列の規則性
- ・材料組織(結晶粒径、形状)
- ・集合組織(多結晶・柱状晶)
- ・単結晶
- ・濃度分布



形状パラメータ

- ・外形状
- ・表面形状、パターンニング
- ・内部構造
 - * セル形状
 - * ソリッド体の配置

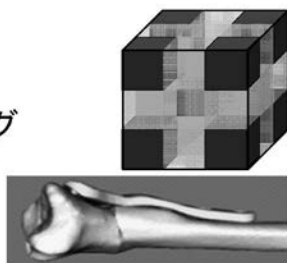


図2 金属材料において異方性カスタム化を制御可能な材質パラメータと形状パラメータ。

して設定した4つの異方性カスタム化製品群(カスタム冷熱デバイス製品、カスタム家電、伴侶動物用カスタムインプラント、材質・形状制御タービンプレード)への適用を視野に入れ、AMを中心とした革新的設計生産技術の基礎から応用展開までの研究開発を推進している。例えば、究極の組織制御ともいえる単結晶化は、固液界面を平滑に保ち組成的過冷等の定常状態からの乱れを回避するために、合金組成に依存して固液界面移動速度や温度勾配などの様々なパラメータを制御する。材質制御に関するビッグデータの利用やデータベースの蓄積は、材質パラメータを上流で自在に操るCAM(Computer Aided Manufacturing)の構築にもつながる。

加えてAM法や最先端の加工法は形状制御を可能とする。ここで、我々はデライト品質を突き詰めた際の究極の選

択肢として、異方性のカスタム化に注目している。ペルチェ素子の熱電変換効率、カスタム家電における使い心地の良さ、ボーンプレート の応力遮蔽の抑制と再骨折防止、タービンプレードの耐熱性向上など、感性から性能に至るまでの最適化設計・生産では、異方性の最適化が一つのデライトを導く解になる可能性を有している。

例えば、FZ(浮遊帯域溶融)法により育成された β 型Ti合金(bcc)単結晶は、弾性率の異方性が顕在化し、抜去不要な超低弾性伴侶動物用カスタムインプラントを実現する⁽²⁾。しかしながら、FZ法による材質制御では、同時の形状付与ができず、後加工が必要となる上、作製可能なサイズには限界がある。

一方、AM法による形状パラメータの最適設計は、外形状や内部構造の異方化(図2)を誘導できる。形状パラメータは基本的には、三次元CAD技術を用いることで任意のサイズ、形態、階層ごとに最適設計される。外形状の異方性カスタム化は、例えばボーンプレートでは、骨の三次元CT画像よりブーリアン演算を用いて、骨形状にジャストフィットするデバイスをPC上でデザイン可能とする。内部形状についても設計可能である。ただし、その設計がどこまで製品として具現化可能であるかは、最適化設計を製品に転写する製造技術の革新性に律速される。多軸マシニングセンタやAM技術により形状制御の自由度は飛躍的に向上し、とくに後者のAM技術は、これまで困難とされていた材質・形状の同時制御を具現化できるようになっている⁽³⁾⁽⁴⁾。AM法の一つである粉末床溶融法は、形状パラメータの制御と同時に熱エネルギー投入の方向性や熱勾配、そして熱流束を制御することで、材質パラメータを形状パラメータとは独立に制御でき、さらにプロセスパラメータのデータ蓄積は異方性の任意付与をも可能とする。すなわち、ユーザのニーズ、使用環境に適合させてカスタム化された材質・形状は、究極には最適な異方性設計にもなる可能性を秘め、完全等方では得られな

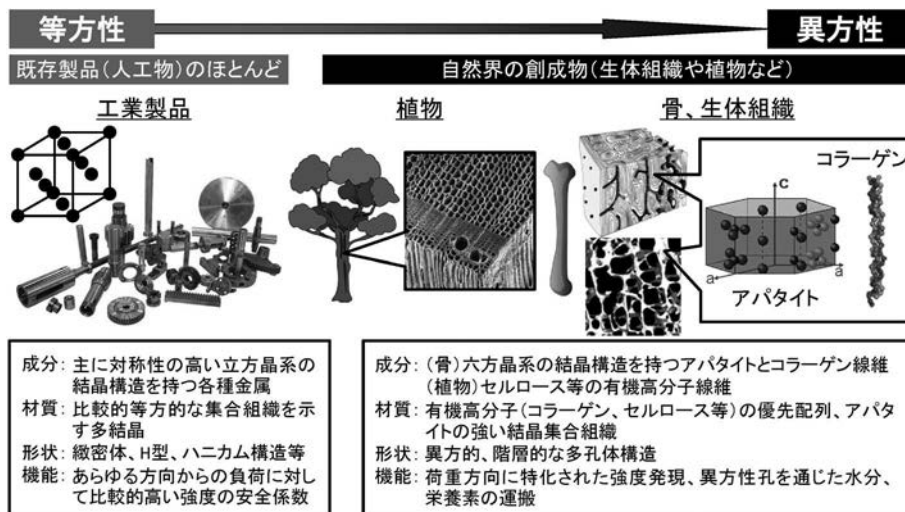


図3 等方性を示す既存製品(人工物)と、極めて異方的な材質・形状とそれらに由来する卓越した機能性を示す自然界の創成物との対比。自然界の創成物の異方性は当拠点で目指す新たなものづくりスタイル構築のヒントになる。

い異方性カスタム新市場の創成を導きうる。

4. 異方性機能化デザインのヒント ～自然界の創成物～

デライト品質を追求する超上流設計思想として異方性機能化デザインに注目するには理由が有る。既存製品(人工物)のほとんどが、等方的な機能を発揮するように設計されてきたのに対し、自然界の創成物、例えば骨などの生体組織や植物などは極めて理にかなった異方性階層構造と、その結果としての異方性機能を発揮する場合がほとんどである(図3)。人工物ではせいぜい、曲げやねじりといった荷重負荷環境に合わせた、最終段階での形状付与(H型、ハニカムなど)により、軽量化、高比強度化を目的とした異方性の設計がなされる程度である。一方、骨や植物では、mm、 μm スケールから、nmオーダーでの有機分子、無機結晶の原子配列に至るまで、緻密なマルチスケールでの階層的異方性構造が存在する。各スケールレベルでの異方性構造の有機的連携は、過酷な荷重負荷環境に耐える極めて優れた力学的機能や生命維持のための水分や栄養素の運搬、排出といった多くの役割をもつ器官として機能する。加えて、荷重の方向性や大きさ、さらにはその変化に合わせて、材質・形状の異方性度合がカスタム化される⁽⁵⁾⁽⁶⁾ことも重要な特徴である。

すなわち、等方性製品を上回るデライト品質を具備した高付加価値製品の創製には、自然界の創成物に学ぶべき生体模倣的な概念が重要になるものと期待され、ニーズに合わせてカスタム化された異方性度合の最適化がデライト品質獲得への鍵となりうる。実際の超上流設計における異方性エンジンの開発は、材質・形状パラメータの制御によって実現され、デライト品質へとつながるとの仮説を構築している。

5. おわりに

本拠点で掲げる超上流設計概念としての、材質・形状同時制御は異方性カスタム化を最適解とし、初期ターゲットとして設定した4つの製品群にとどまらず、分野や用途を問わない「異方性エンジン」として共通基盤化されるものと確信している。ニーズに合わせたデライト品質の追求は、最適化された異方性カスタム化にたどり着く可能性を持つ。究極の最適化設計図は、最適化材料設計をも上流で含んでおり、テストユースを繰り返し、フィードバックすることでこれまでにない進化するものづくりが実現できるはずである。インダストリー4.0を超える究極のものづくりスタイルの構築において、上流での材質・形状設計と制御の役割は大きく、金属AM技術をはじめとする革新的生産技術もそれを支配する学理の解明から理解することが求められている。現在、その達成に向け当拠点メンバーが一丸となって取り組んでおり、近い将来、究極の革新的設計生産が「異方性カスタム化」の概念でのものづくりによりアウトプットされることを期待している。

文 献

- (1) まるわかりインダストリー4.0 第4次産業革命, 日経BP社, (2015).
- (2) 當代光陽, 萩原幸司, 石本卓也, 山本憲吾, 中野貴由: 鉄と鋼, **101** (2015), 501-505.
- (3) T. Nakano and T. Ishimoto: KONA Powder and Particle Journal, **32** (2015), 75-84.
- (4) N. Ikeo, T. Ishimoto and T. Nakano: J. Alloys Compd., **639** (2015), 336-340.
- (5) T. Nakano, K. Kaibara, Y. Tabata, N. Nagata, S. Enomoto, E. Marukawa and Y. Umakoshi: Bone, **31** (2002), 479-487.
- (6) C. Mattheck: Design in nature: learning from trees, Springer-Verlag, Berlin, (1998).

異方性カスタム冷熱デバイス

前嶋 聡* 寺西正俊**

* パナソニックセミコンダクターソリューションズ株式会社；主幹(〒621-0018 亀岡市大井町小金岐 4-24)

** パナソニック株式会社生産技術本部生産技術開発センター；部長

Customized Thermoelectric Device Using Anisotropic Material; Satoshi Maeshima* and Masatoshi Teranishi** (*Panasonic Semiconductor Solutions Co., Ltd., Kameoka. **Production Engineering Laboratory, Production Engineering Division, Panasonic Co., Ltd., Kadoma)

Keywords: *Peltier, thermoelectric, crystal growth, small tube*

2015年6月19日受理[doi:10.2320/materia.54.505]

1. はじめに

近年、電子デバイスの高性能化に伴いデバイスの発熱量が増加している。性能を担保するため各デバイスの熱対策の重要性が高まっており、高い熱伝導性を有するペーストやヒートシンクなどの高放熱構造材といった、材料物性から構造設計まで幅広い分野で熱ソリューション技術の開発が進められている。

中でも本稿における異方性カスタム冷熱デバイスとは、前記の受動的に熱を制御するデバイスではなく、能動的に熱を制御するデバイスの総称である。本稿では特に、材料物性と構造設計、さらには熱流体と電気伝導を同時に最適設計しなければならない熱電変換デバイス(ペルチェデバイス)について着目する。

ペルチェの原理は、19世紀前半に発見された歴史の古い技術であり、その技術を用いた冷熱デバイスは、小型で可動部がなく長寿命という特長を持つ。その吸熱量 Q は、式(1)のように表すことができる。

$$Q = \alpha T_c NI - \frac{1}{2} \rho \frac{L}{S} NI^2 - \kappa \frac{S}{L} \Delta T N \quad (1)$$

 α : ゼーベック係数, T_c : 冷却面温度, N : 素子数, I : 電流 ρ : 電気抵抗率, κ : 熱伝導率, S : 断面積, L : 高さ, ΔT : 温度差

式(1)の第1項がペルチェ効果に関する項であり、第2項は、デバイス自体の抵抗発熱、第3項が熱伝導に関する項である。つまり、ペルチェデバイスが電子デバイスであるがゆえに第2項の抵抗発熱により、第1項のペルチェ効果による熱輸送を加えた熱量を、放熱面で処理しなければならない。したがって、ヒートポンプなどの熱交換による逆カルノーサイクルを利用した冷却手段に比べ、その効率が悪いといったデメリットがある。一方で、電子デバイスなどの局所的な熱対策においては、その小型で稼動部が無い冷却デバイスといったメリットが活かされている。このペルチェデバイスのメリットを最大限活かすためには、個々の発熱源に対し、材料・構造の最適化カスタム設計が重要である。具体的に

は、式(1)に含む α , ρ , κ といった材料物性に関する最適化、また S , L といった形状・構造に関する最適化設計である。これら最適化カスタム設計に基づく熱と電気の最適化により、ペルチェ性能の最大化が実現できる。このように、冷熱デバイスは、個々の熱源に合わせた最適化カスタム設計が求められる一方で、柔軟なカスタム対応が出来る効率的なもののづくりスタイルも合わせて確立することが必要である。

本稿では、このペルチェ冷熱デバイスのカスタム設計および実証事例として長距離の光通信に使用される半導体レーザ(以下 LD)の温調用の小型ペルチェデバイスの省電力設計および小型カスタム化を実現する異方性結晶形成ものづくりについて論じる。

2. 小型ペルチェの省電力設計

LDの小型、高性能化に伴い温調に使用するペルチェデバイスの省電力化が強く求められている。ペルチェデバイスは電流駆動型のデバイスであり、投入電流と吸熱量は比例する。

一方で投入電流に比例し自己発熱も増加するため、最終的な吸熱性能は式(1)の係数に依り、極大値をとる。

本来ペルチェデバイスの省電力化は、熱電材料そのものの高効率化が必要であるが、顧客ニーズにしたがって考えた場合、その省電力化の方策は異なるアプローチとなる。LDの温調といった顧客ニーズにおいては、ペルチェデバイスの駆動制御回路を含め顧客仕様が決まっており、最大限吸熱をするわけではなく、顧客使用環境にあわせて LD の熱を吸収すればよい。つまり、駆動回路にかかる電力を含め考えると、如何に低電流で駆動させるかがポイントになる。図1にペルチェデバイスの形状に対する投入電流と温度差の関係を示している。図1よりペルチェデバイスのアスペクト比を大きくすると、温度差が最大となる点が低電流側にシフトすることが分かる。さらに、高温環境下においてペルチェデバイスの放熱面が90℃と想定し、LDを50℃以下に制御したい場合、温度差として40℃になればよい。温度差40℃にペルチェデバイスを制御するための電流は、アスペクト比を現行品の3倍にすると1/2以下で済むことが分かる。ある LD モジ

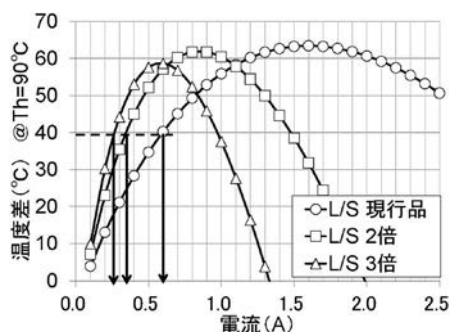


図1 素子形状に対する投入電流と温度差の関係。

ジュールにおいては、消費電力として40%低減できることが分かっている。現在、LD 温調用の小型ペルチェデバイスの省電力化および更なる小型化に対して、高アスペクト形状の熱電素子の実用化を検討している。

3. カスタム対応ものづくり

先に述べた最適化設計されたデバイスを実現するとともに様々な熱源に柔軟にカスタム対応できるものづくりを確立しなければならない。特に、ホットスポットに適用する冷却デバイスとしてのペルチェデバイスでは、小型高密度化に対応したものづくりである。国家プロジェクト SIP プログラムにおいて産業分野におけるカスタム対応ものづくりテーマの位置づけと材料異方性による高性能化の位置づけで取り組む。

現在ペルチェデバイスに用いられている素子材料 Bi_2Te_3 は、図2に示す構造であり、Te-Te 結合部がファンデルワールス力で結合した非常に脆弱な材料である。さらに、一般的な素子製造方法は、 Bi_2Te_3 のインゴット結晶材を作製し、切り出す工法である。このため、前述の材料物性により小型化が困難であるとともに、材料利用効率の面においても小型化に対して、柔軟なカスタム対応が困難である。

(1) 高効率小型素子形成法

これまでの素子形成法は、効率的に画一的な形状の素子を作り出すため、インゴットから大量に素子を取り出すバッチ処理工法である。本稿では、様々なホットスポットに対応した様々な形状かつ小型の素子を効率的につく出すため、図3に示すガラス管吸上げ法の検討を行った。特に、素子断面積が現状の 1.2 mm^2 から 0.5 mm^2 に小型化した場合、材料の利用効率で約5倍向上する。また、ガラスで保護されていることより、材料の脆弱性の問題も回避できる。

(2) 異方性結晶形成

Bi_2Te_3 の結晶構造(図2)より、その電氣的、熱的物性は異方性を有している。結晶の a 軸と c 軸とその物性を比較した表を図4中に示す。熱電(ペルチェ)性能を総合的に判断する性能指数 $Z = \alpha^2 \times \rho / \kappa$ の関係式より、 a 軸方向に温度差を取る方がよいことが分かる。ここで図4中の棒グラフは、上述のガラス管吸上げ工法においてガラス管長手方向に温度勾配を取るように設計した局所冷却部を通過させ結晶成長させ

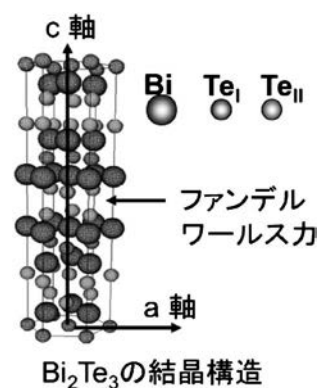


図2 Bi_2Te_3 の結晶構造⁽¹⁾。

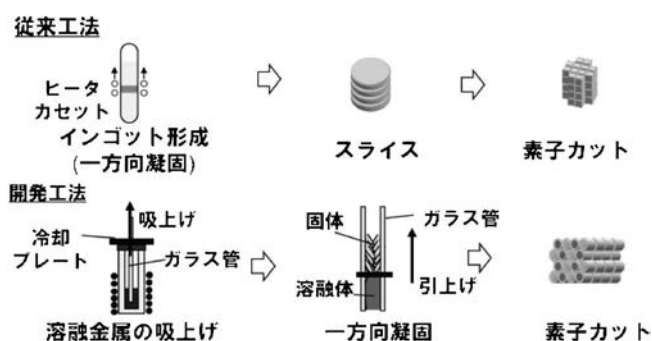


図3 素子形成工法(一般工法と開発工法の比較)。

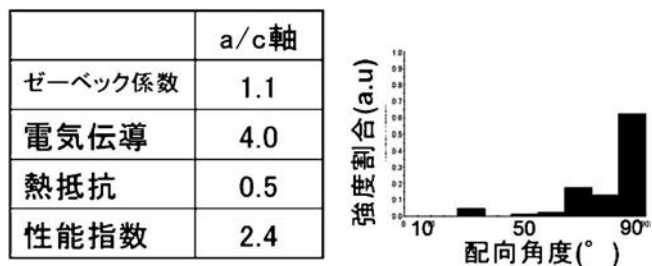


図4 結晶配向と性能の関係。

た際の長手方向への結晶方向分布を SEM-EBSD 法により解析した結果を示す。 Bi_2Te_3 結晶は a 軸が優先結晶成長方向であることに起因し、図4に示すように本工法により結晶成長させた際の長手方向への a 軸の結晶配向分布を揃えることができ、最適な熱電特性を引き出したデバイスが創成可能であることを我々は明らかにした。

4. おわりに

今回、冷熱デバイスに対してカスタム設計の指針を示し、そのカスタム対応ものづくりの方針と異方性結晶形成による性能最適化を示した。今後、様々な発熱源に対し、異方性冷熱デバイスをカスタム設計することで効果検証を進めていく。

文献

- (1) 坂田 亮 編：熱電変換—基礎と応用—, (2005), 89 and 183.