

Materia Japan

■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」

まてりあ

Vol.54 MTERE2 54 (10) 491~542 (2015)

2015 **10**

◎ 会告原稿締切：毎月1日



翌月号(1日発行)掲載です。

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 山口勝己 西田一人 寺西正俊	491
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	493
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	496
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 井出拓哉	498
異方性カスタムデライト最適化設計 荒井栄司 鈴木秀生 寺西正俊	500
異方性カスタム材質・形状制御について 中野貴由 石本卓也 萩原幸司 井出拓哉 中本将嗣 蘇亜拉図 孫 世海 荒木秀樹 玉岡秀房	502
異方性カスタム冷熱デバイス 前嶋 聡 寺西正俊	505
異方性カスタム医療製品の研究開発について 中島義雄 小泉諒太郎 井上貴之	507
異方性カスタム生体・福祉製品の研究開発について 笹井和美 大橋文人 佐々井浩志 谷 浩行 秋吉秀保 古家 優 林 聡恵	509
異方性カスタム航空・エネルギー部材製品の研究開発について 野村嘉道 井頭賢一郎	511
異方性カスタム製品のデライトアセスメントについて 川口亜紀 小川哲史 水谷美香 寺西正俊	513
異方性カスタム医療製品のデライトアセスメントについて 阿部真悟 村瀬 剛 坂井孝司 石本卓也 中野貴由 吉川秀樹	515
異方性カスタム新市場の創成・新規参入支援について 古寺雅晴 山口勝己 南 久 中本貴之	517
イノベーションスタイルの構築に向けた取り組みについて 荒木秀樹 中野貴由 石本卓也 萩原幸司 井出拓哉 中本将嗣 玉岡秀房	519
新進気鋭 強磁性材料の磁場中平衡状態図 三井好古	522
委員会だより 第10回女子中高生のための関西科学塾 松岡由貴	526
はばたく 分析研究を通して 佐藤こずえ	527
本会記事 会告	528
支部行事	532
掲示板	533
会誌・欧文誌10号目次	535
次号予告	536
新入会員	536
行事カレンダー	537
書評	541
information	542

表紙デザイン：北野 玲
複写をご希望の方へ

本会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(一社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター((一社)学術著作権協会が社内利用目的の複写に関する権利を再委託している団体)と包括複写許諾契約を締結している場合にあつては、その必要はありません。(社外頒布目的の複写については、許諾が必要です) 権利委託先 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3F
FAX 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp <http://www.jaacc.jp/>
複写以外の許諾(著作物の引用、転載、翻訳等)に関しては、直接本会へご連絡下さい。

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、有明社北須磨動物病院、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、これまでで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。



図1 本事業を牽引する関西地域を中心とした参画機関。進化する拠点の実現のため、大・中小企業や研究機関の新規参入(赤で表示)が重要となる。



掛下知行

 現職：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・工学研究科長(2015年8月まで)、
 大阪大学大学院工学研究科附属異方性カスタ
 ム設計・AM研究開発センター教授・研究開発
 責任者(兼任)
 学位：理学博士(大阪大学)(1987年)
 専門分野：材料科学



田中敏宏

 現職：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・工学研究科長、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
 発センター長(兼任)
 学位：博士(工学)(大阪大学)(1985年)
 専門分野：材料物理学



中野貴由

 現職：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、大阪大学大学院工学研究科附属異方
 性カスタム設計・AM研究開発センター副セ
 ンター長(兼任)
 学位：博士(工学)(大阪大学)(1996年)
 専門分野：生体材料学，結晶塑性学



荒木秀樹

 現職：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，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
 センター教授(兼任)
 学位：博士(工学)(大阪大学)(1994年)
 専門分野：材料評価学，材料組織制御工学，材料物理学



古寺雅晴

 現職：地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所
 理事長，大阪大学大学院工学研究科附属異方性
 カスタム設計・AM研究開発センター招へい
 教授(兼任)
 学位：工学博士(九州大学)(1988年)
 専門分野：エネルギー工学，熱工学



山口勝己

 現職：地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所
 顧客サービス室長，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
 ター招へい教授(兼任)
 学位：博士(工学)(大阪府立大学)(1997年)
 専門分野：生産工学，加工学



西田一人

 現職：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所長
 学位：博士(工学)(長岡技術科学大学)(2003年)
 専門分野：生産技術，半導体パッケージング技術，
 LIB生産プロセス技術



寺西正俊

 現職：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部長，大阪大学大
 学院工学研究科附属異方性カスタム設計・AM
 研究開発センター事業化総括(兼任)
 専門分野：生産技術，制御システム工学

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 ~

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]

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』

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。

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

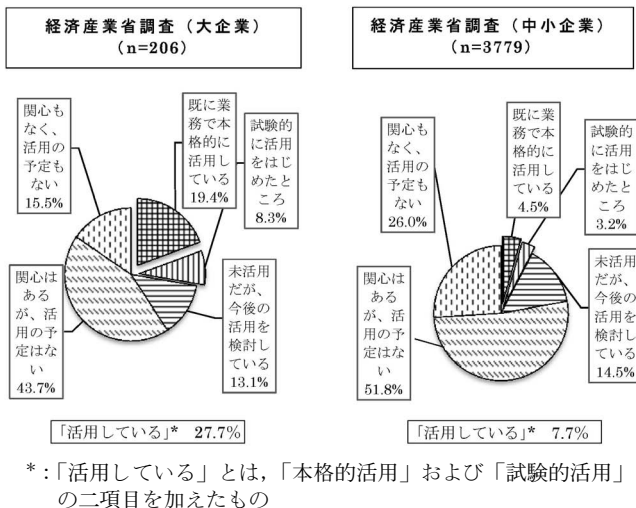


図1 経済産業省調査(1)結果。

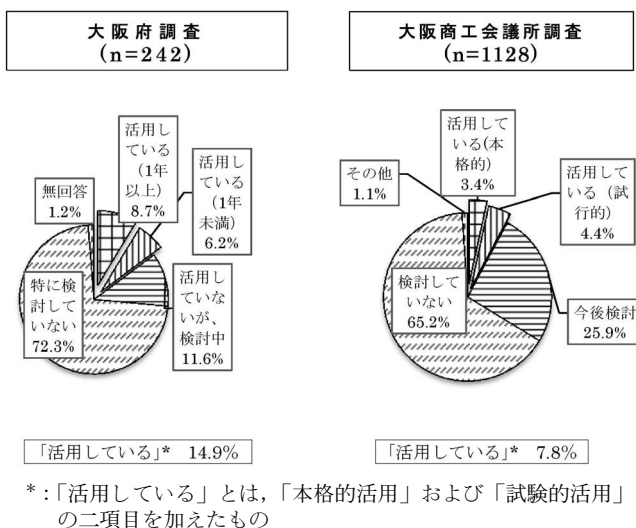


図2 大阪府調査(2), 大阪商工会議所調査(3)結果。

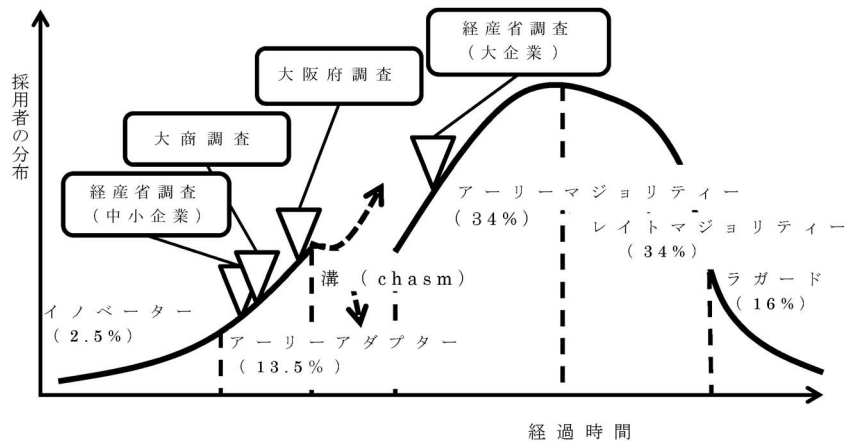


図3 普及曲線と各調査の結果。

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。

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個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。

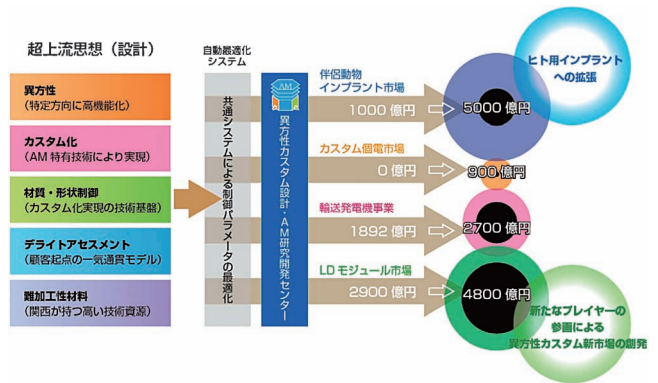


図1 超上流設計思想に基づく高付加価値製品の創製と、異方性カスタム製品市場の創成・拡大予測。

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

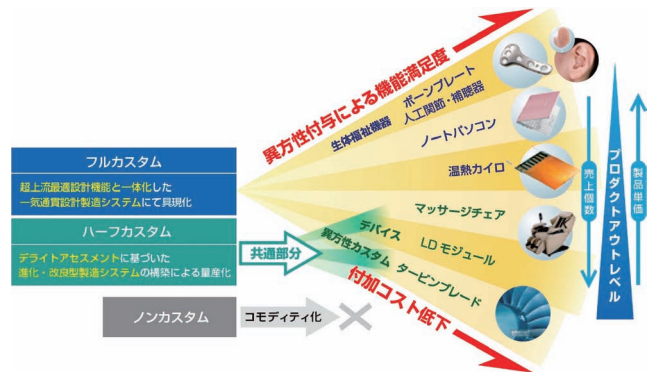


図2 製品の特性やニーズに応じた、フルカスタムからプロダクトアウトをも視野に入れたハーフカスタムまでのカスタム化レベルの最適化によるコモディティ化の回避と経済効果の創発。

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: 商願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

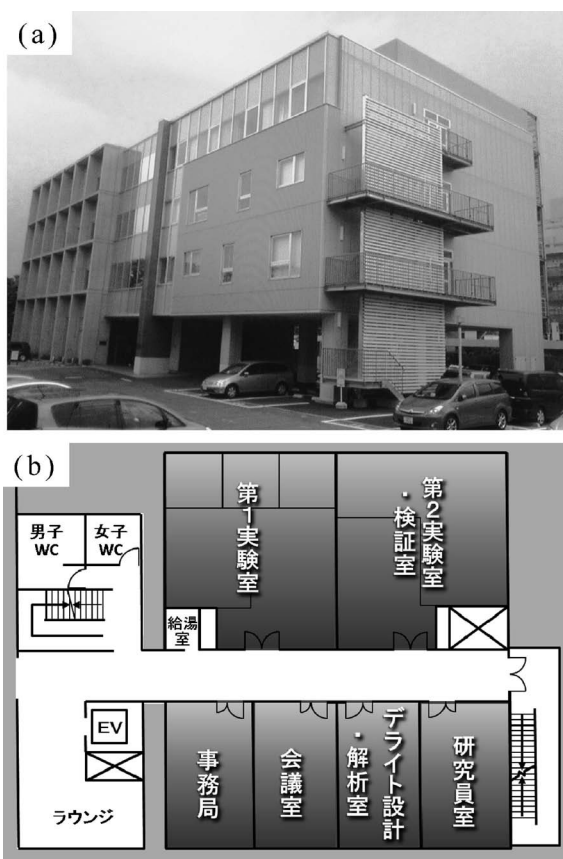


図 1 大阪大学 異方性カスタム設計・AM 研究開発センター。(a) 外観 (b) 間取り。

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

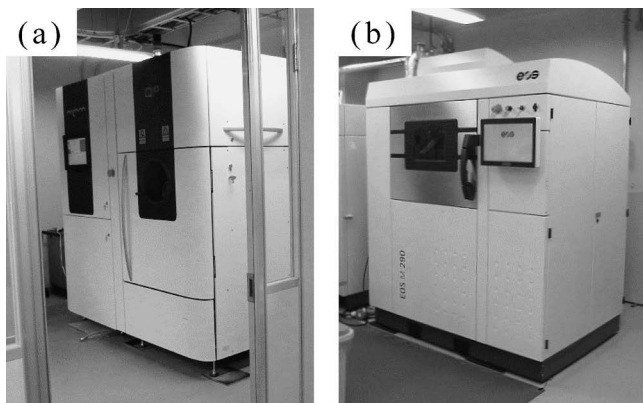


図2 金属積層造形装置(a) Q10(ARCAM社)と(b) EOS M290(EOS社).

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270m²)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」の積極的実施に基づき、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、機能が上が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

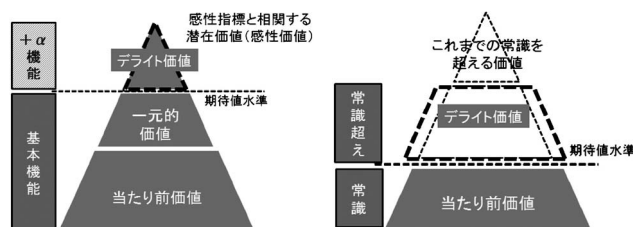


図1 潜在価値.

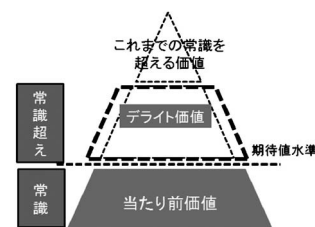


図2 期待値超えの価値.

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

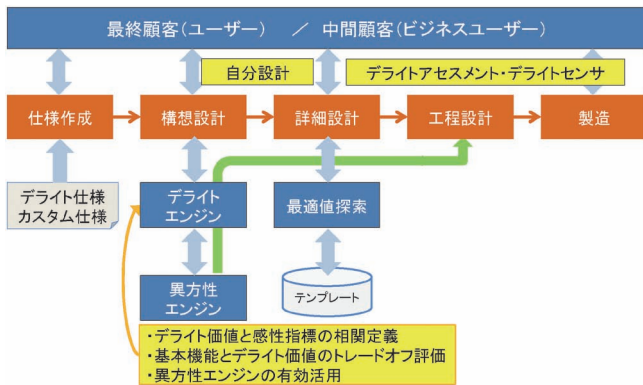


図3 デライトカスタム最適化設計生産方法のフロー図。

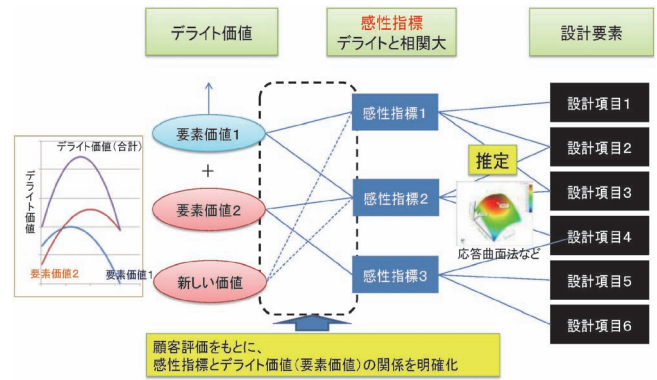


図4 デライトエンジンの概念図。

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工士、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 Hidedusa 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

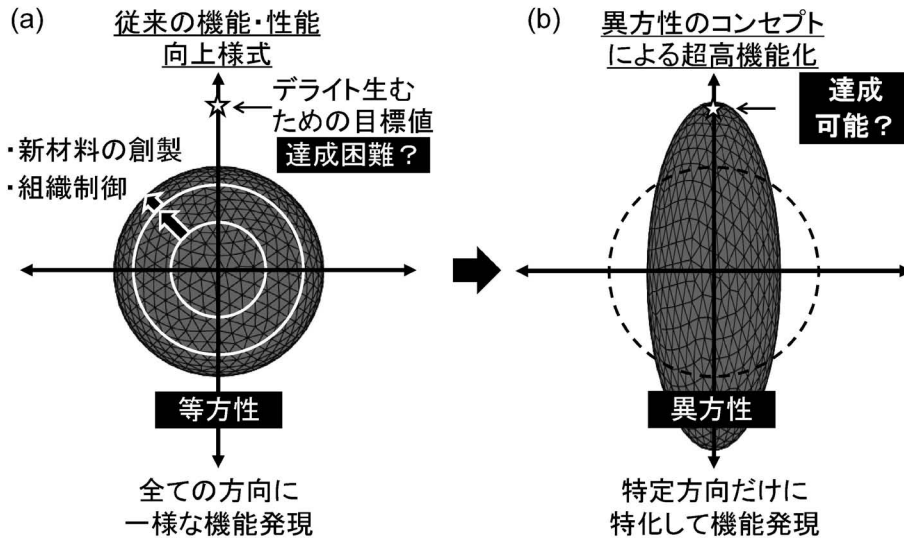
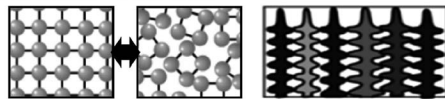


図1 (a) 従来型の等方性の機能発現に基づく製品機能向上様式と、(b) 異方性の概念を導入した場合に可能となる高機能化様式概念図。ユーザのデライトを生み出すための超高機能化は、異方性の導入・最適化と相関する可能性を持つ。

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

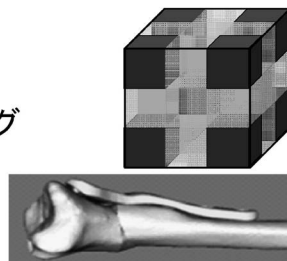


図2 金属材料において異方性カスタム化を制御可能な材質パラメータと形状パラメータ。

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・形状制御タービンブレード)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, タービンブ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

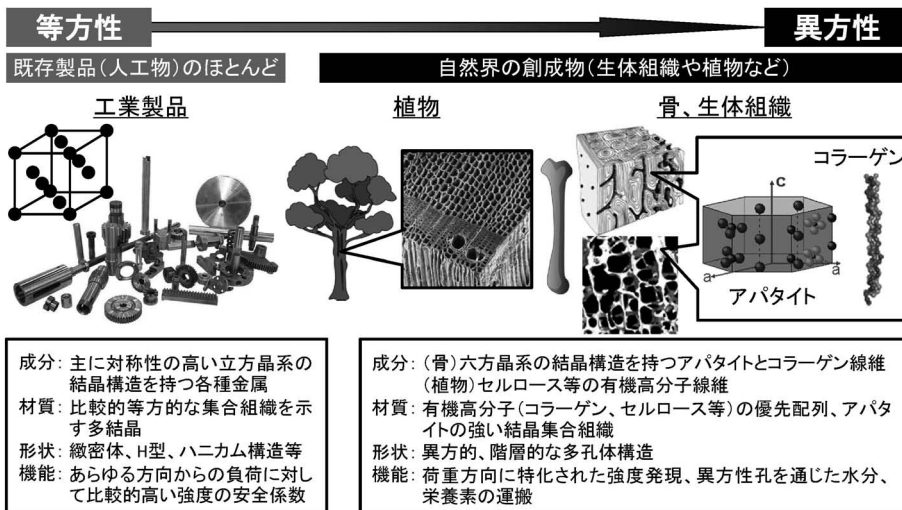


図3 等方性を示す既存製品(人工物)と、極めて異方的な材質・形状とそれらに由来する卓越した機能性を示す自然界の創成物との対比。自然界の創成物の異方性は当拠点で目指す新たなものづくりスタイル構築のヒントになる。

い異方性カスタム新市場の創成を導きうる。

5. おわりに

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。

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) 当代光陽, 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。

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

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、その小型で稼働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ー(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)の関係に従い、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°Cと想定し、LDを50°C以下に制御したい場合、温度差として40°Cになればよい。温度差40°C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

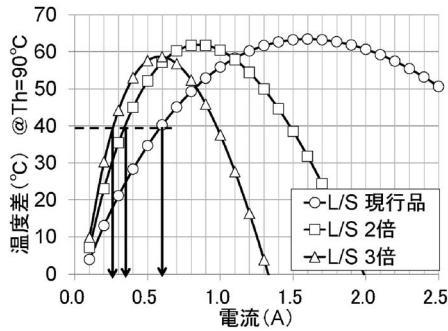


図1 素子形状に対する投入電流と温度差の関係。

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

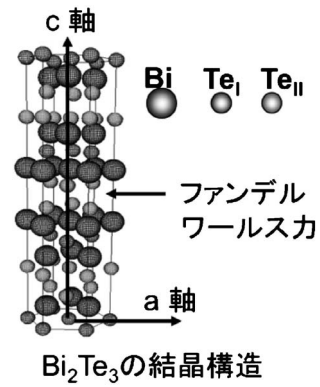


図2 Bi_2Te_3 の結晶構造⁽¹⁾。

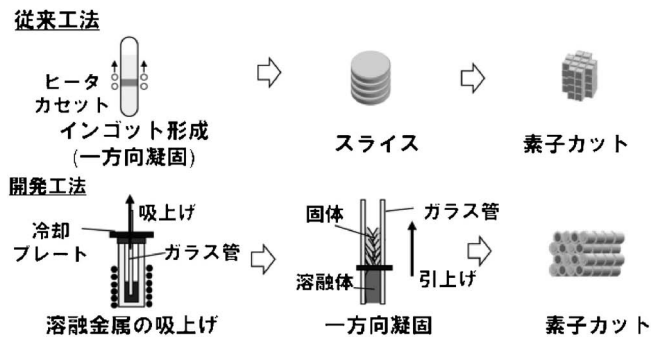


図3 素子形成工法(一般工法と開発工法の比較)。

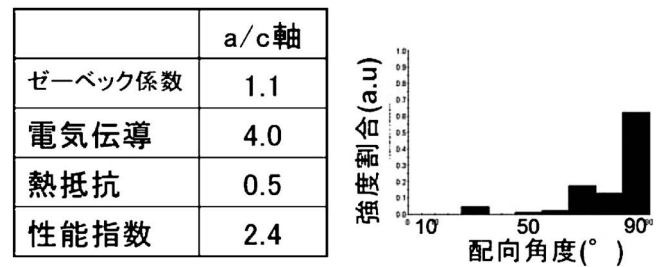


図4 結晶配向と性能の関係。

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.

異方性カスタム医療製品の研究開発について

中島 義雄¹⁾ 小泉 諒太郎²⁾ 井上 貴之³⁾

* 帝人ナカシマメディカル株式会社；1)代表取締役会長 2)研究員 3)主任研究員(〒709-0625 岡山市上道北方688-1)
Development of Anisotropic and Geometric Customized Implants for Medical Use; Yoshio Nakashima, Ryotaro Koizumi and Takayuki Inoue
(TEIJIN NAKASHIMA MEDICAL CO., LTD., Okayama)

Keywords: *delight design and manufacturing, medical implant, surgical instrument, anisotropic material, customization*
2015年6月18日受理[doi:10.2320/materia.54.507]

1. はじめに

現在、日本は65歳以上の高齢者が人口の25%を超え、世界の超高齢化社会であり、高齢者の社会的役割は今後より重要になる。一方で、骨粗しょう症や変形性関節症に起因する骨折や関節疾患は年々増加しており、高齢者の健康寿命延伸のため関節疾患の治療は国家的な重要課題である。

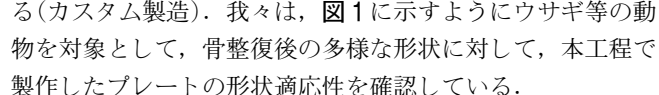
これらの治療に関する手術手技は長い歴史の中で確立されてきており、より高度な医療を提供するには、その治療に用いられるインプラント(骨折用内固定材、人工関節)の満足度を高めることが重要な時代に突入している。インプラント自体もその歴史の中で、例えば関節と対をなす摺動部材であるポリエチレンの耐摩耗性向上⁽¹⁾などの高機能化が図られているが、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)では製品性能とは別にデライト(喜び、心地よさ等の感性に訴える品質)という価値を製品に付与して、主観的要素である満足度によって製品価値を高めることを目的としている。本稿では、それに向けた医療用インプラントにおけるデライト設計・製造技術に関する我々の取り組みを紹介する。

2. カスタムインプラント

(1) 骨折用内固定材

骨折用内固定材(プレートやスクリュー)は、ギプス固定やつり包帯等の外固定では対応できない複雑な骨折に対して、手術により患部を開創して骨整復を行い、骨折部を直接固定するために使用される。

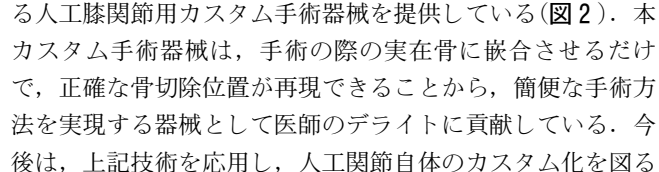
この骨折用内固定材では、第一に骨を整復位置で安定的に保持する機能が要求される。近年、骨の安定的固定を目的として、プレートとスクリューを構造的に一体化させるロッキングプレートが開発されており、臨床成績向上と適用拡大に貢献している。一方で、プレートは平均的な骨形状に基づき設計されている既定形状であり、骨形状に合わずプレートの設置が不安定となる場合もあるため、医師は術中にプレートを骨形状に合うように手加工で曲げたりしながら使用している。

そこで、我々は治療対象となる骨整復後の形状に最適化されたプレートの設計・製造技術を確立している。最初に、対象骨のマルチスライスCT画像を再構成して、コンピュータ上で三次元仮想骨を構築する。次に、コンピュータ上の仮想骨をCADソフト上で動かしながら骨折部の整復案を立案し、整復後にプレートを当接させる骨表面形状に合わせてプレートを設計する(カスタム設計)。この設計データは金属三次元造形機にインポートされ、造形によりプレートが完成する(カスタム製造)。我々は、に示すようにウサギ等の動物を対象として、骨整復後の多様な形状に対して、本工程で製作したプレートの形状適応性を確認している。

このカスタム設計・製造技術により、骨整復はプレート形状に合わせて行えばよく、さらには術中の手加工も不要であり簡便かつ正確であることから、使用する医師の満足度向上が期待できる。

さらに、カスタム性という特質から、本プレートに手術日や使用施設名等を個別に刻印することで、誤用を避けるとともに医師および患者に、唯一の製品という喜び品質を付与している。

(2) 人工関節

人工関節置換術は、関節疾患等で損傷した関節表面を切除し、その切除部に人工物である人工関節を埋め込むことで疼痛の除去と関節機能を再建する手術である。この手術では、一般的に手術器械と呼ばれる多数の道具が使用される。このため、術者である医師およびその手術をサポートする看護師は事前にこれら多数の道具に精通せねばならず、また手術も煩雑となる。そこで、我々は上記の骨折用内固定材と同様の技術により、CT画像から再構成された仮想骨をもとに、骨切除位置ならびに人工関節設置位置をコンピュータ上で決定し、それに基づき凸面仮想骨と同形状で相対する凹面を有する人工膝関節用カスタム手術器械を提供している()。本カスタム手術器械は、手術の際の実在骨に嵌合させるだけで、正確な骨切除位置が再現できることから、簡便な手術方法を実現する器械として医師のデライトに貢献している。今後は、上記技術を応用し、人工関節自体のカスタム化を図る

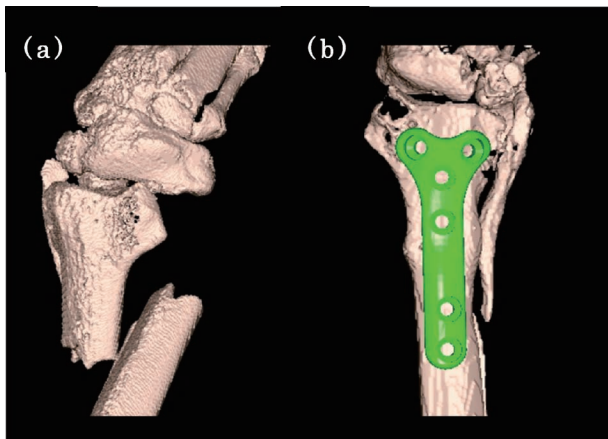


図1 カスタムプレート設置例(a)骨折整復前, (b)仮想骨にて骨折整復シミュレーション後, カスタムプレートを設置.

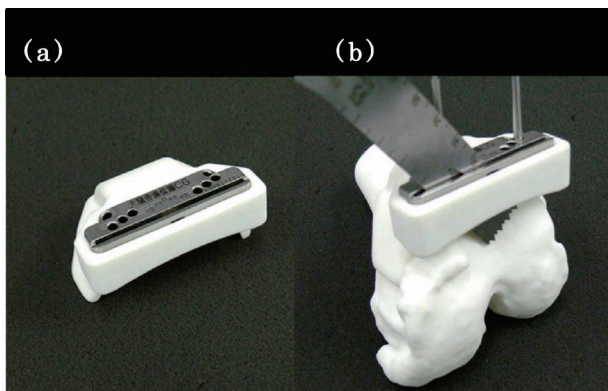


図2 人工膝関節用カスタム手術器械(a)カスタム手術器械本体, (b)CT画像による仮想骨から生成した手術器械の凹面を實在骨の凸面に嵌合すると, ボーンソーによる骨切除位置が決定される.

予定である.

3. 異方性インプラント

Wolff 則によると, 骨は *in vivo* での力学的環境に対応して, マクロからミクロスケールに至る異方性構造を構築することで最適な力学機能を維持している. ここで問題となるのは, 骨の荷重支持機能を人工物である金属製インプラントに

置き換えた場合, 骨より金属の弾性率が大きいため荷重が主にインプラントに伝達され, 骨に健全な荷重が伝達されず, その結果インプラント周囲骨での骨吸収と骨質劣化が生じることである. この問題を解決する方法として, 例えば人工股関節置換術の際に大腿骨側に挿入するステムのセメントレス固定において, ステム表面溝構造を意図的に配向させることでステム周囲の骨力学環境を制御し, 積極的に骨を溝構造に沿って成長させて, ステムと骨の機械的固定を実現する技術が開発されている⁽²⁾⁽³⁾.

本プログラムではこれらの知見を基に, より骨形成を促すように, 三次元積層技術を応用したパウダー/ソリッド複合構造体⁽⁴⁾を有するインプラントにより見かけの弾性率を下げ, さらに構造体の組み合わせを変化させて異方性を制御する設計/製造方法の確立を目指している. インプラントを骨異方性に合わせることで骨形成を促し, 早期の骨折治療または人工関節の長期固定性の向上が期待される.

さらに, インプラントを骨本来の性質に近づけることは上記性能面だけではなく, 人工物であるインプラントが体内に埋入されることによる適用患者の違和感や疲労感といった主観的要素の改善につながる可能性がある. これらの主観的な評価要素やその定量化の詳細は関連他稿に委ねるとして, 体内埋入後は直接目で見ることのできないインプラントに対する患者の満足度向上に繋がるものと考えている.

4. ま と め

現在, 医療用インプラントは性能面で飛躍的に向上しており, 逆にそれだけでは製品優位性が確保しにくい状況となっている. 医療用インプラントのデライト品質を向上できる異方性カスタムインプラントの創製は, 今後, 日本の本分野における国際競争力向上のためには不可欠である.

文 献

- (1) S. Teramura, H. Sakoda, T. Terao, M. M. Endo, K. Fujiwara and N. Tomita: J. Orthop. Res., **26**(2008), 460-464.
- (2) Y. Noyama, T. Nakano, T. Ishimoto, T. Sakai and H. Yoshikawa: Bone, **52**(2013), 659-667.
- (3) Y. Noyama, T. Miura, T. Ishimoto, T. Itaya, M. Niinomi and T. Nakano: Mater. Trans., **53**(2012), 565-570.
- (4) 福田英次, 高橋広幸, 中川誠治, 中島義雄, 中野貴由: まてりあ, **52**(2013), 74-76.

異方性カスタム生体・福祉製品の研究開発について

笹井和美¹⁾ 大橋文人¹⁾ 佐々井浩志^{**} 谷 浩行²⁾
秋吉秀保²⁾ 古家 優³⁾ 林 聡恵³⁾

* 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科; 1)教授 2)准教授 3)助教(〒598-8531 泉佐野市りんくう往来北1-58)

** 北須磨動物病院

Development of Custom-made Welfare and Medical Device with Anisotropy; Kazumi Sasai, Fumihito Ohashi, Hiroshi Sasai, Hiroyuki Tani, Hideo Akiyoshi, Masaru Furuya and Akiyoshi Hayashi (*Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University, Izumisano. **Kitasuma Animal Hospital, Kobe)

Keywords: *anisotropy, delight, custom-made, welfare and medical device, metal 3D printer*

2015年6月22日受理[doi:10.2320/materia.54.509]

1. はじめに

本稿では、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最適化設計・生産クラスタを担う大阪府立大学大学院工学研究科を拠点とした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一貫として、従来の設計生産概念から逸脱し、ユーザ個々人の要求を満足する「100点以上のデライト」を創出べく、高付加価値製品を産み出すためのイノベーションスタイルの実現を目標としたプロジェクトにおける取組を紹介する。本プロジェクトは、必要な方向に高機能性能を発揮する「異方性」をカスタマイズ化の超上流設計思想に基づいて、高速設計製造(リードタイム短縮)、テストユースを通じたデライトアセスメント、アフターケアとフィードバックまでを網羅した顧客起点の一通貫モデルを具現化することにより、世界に先駆けた異方性カスタム市場を開拓するものである。本稿では、その中の異方性カスタム設計・製造、テストユースの実例として、異方性カスタム生体・福祉製品の開発に関して、超小型犬等を対象としたペット用カスタム骨インプラントを作製し、その実用化に向けた安全性の確認や高付加価値製品の一般利用に至る、許認可申請、製品を適用する動物の所有者へのインフォームド・コンセント等について一連の流れについて概説する。

2. 小動物臨床現場における骨折の動向とその問題点

都市化の進展や核家族化、少子高齢化等の社会環境の変化を背景に、人々の生活において、犬や猫等のペット動物の重要性が高まっている。ペットの飼育状況について、犬が58.6%、猫が30.9%、魚類が19.4%、鳥類が5.7%となっている⁽¹⁾。また、全国の犬の飼育頭数は約11936千頭、猫の飼育頭数は約9606千頭と推計され、鳥類、鑑賞魚、小動物等

も含むいずれかのペットを飼育している家庭は全体の37.9%と報告されている⁽²⁾。トイ・プードル(23.9%)、チワワ(17.2%)、体重10kg未満のMIX犬(8.4%)と上位3種は小型犬種で、全体の50%強を占める⁽³⁾。小型犬種の橈尺骨骨折は、骨折の中で最も発生数が多く、これらの犬種では、骨形成が未熟な成長期に、飼い主の不注意による転落など大きな外力によって骨折が発生する⁽⁴⁾。小型犬の橈尺骨骨折は一般的に治療が難しく合併症や癒合不全を起こしやすいことが報告されている⁽⁵⁾。癒合不全のリスクを最小限にするためにはプレート固定が最善の選択肢と考えられているが⁽⁶⁾、小型犬で治療が困難な理由としては、骨が細く、強度の高いインプラントを使用できないことが挙げられる⁽⁷⁾。さらに、犬の骨折では、体重が1kg以下のチワワ種から70kgを越えるセント・バーナード種など、犬種による体格の大きな違いがあり、さらに、骨格および骨形状には個体差があるため、骨折部位の個々の骨格構造および症状等に可能な限り適合化したカスタムメイド製品の開発が求められている。カスタムメイド製品の活用により、低侵襲手術の実現、固定力および適合性の向上、早期リハビリの実現、再手術のしやすさおよび成績向上など多くの罹患動物に対するメリットが期待できる。

3. 異方性を有するカスタム骨インプラントの作製

カスタム骨インプラントの作製過程において、製品化のプロセス、力学的安全性の検証、生体における安全性の検証などを先行して実施し、臨床使用に際しては、動物の所有者に対して十分説明した上で理解を得ること、万一の不具合が発生した場合の取り決め等を事前に行っておくことが重要となる。製品化のプロセスとしては、本事業で2014年度に大阪府立大学に導入した動物病院用3DマイクロX線CT R_mCT AX(CT図1, リガク社製)を用いて、罹患動物に長時間の麻酔等の負荷をかけることなく、高速かつ高分解能イメージング機能を用いて製造に必要な骨格構造などの画像



図1 動物病院用3DマイクロX線CT R_mCT AX.

情報を採取した。その後、骨格との適合性や手術実施に適合する最適なデザインを決定し、大阪大学異方性カスタム設計・AM研究開発センターに導入された三次元電子ビーム積層造形装置(ARCAM Q10, Arcam AB社製)、大阪府立産業技術総合研究所並びに帝人ナカシマメディカルの既設の同等装置を用いて、骨折の修復及びプレートの強度等を考慮した異方性を有するカスタム骨インプラントを作製し、罹患動物の治療に利用する。

4. 新規骨インプラントの有用性の検討

上記の方法で作製したインプラントの生体内での安全性を検討するため、動物実験を実施する必要がある。大学等の研究機関では、動物実験を実施する前に動物実験計画書を学長に提出し、学内の動物実験委員会の審査を経て、学長から許可を得る必要がある。本インプラントの場合は、「ウサギの尺骨骨欠損モデルを用いた新規骨インプラントの有用性の検討」及び「小動物におけるマイクロCT画像からの3Dプリンタ作出骨インプラント製材の基礎実験」の2件の動物実験計画書を作成し、既に学長の承認を得て、実験を開始している。最終的には、動物用医薬品の安全性に関する非臨床試験及び臨床試験のデータを蓄積して、農林水産省の承認を得る。

具体的には、

- ① イヌ、ウサギおよびラットを用いて通常の動物用CT及びマイクロCTによる詳細な画像解析を行ない、基本的画像解析データを構築する。
- ② ウサギの胸椎棘突起に、既存の小動物用骨折修復用金属プレートをコントロールとして3D作出チタン製プレートを試験材料として固定埋没して、その生体反応性を評価する。
- ③ ウサギを用いて、骨盤の腸骨に骨欠損を作成した後に、マイクロCTの画像から3Dプリンタ作出インプラントを作製して、欠損部充填治療を行ない、その治療過程を

マイクロCT及び病理組織学的に観察・解析する。

- ④ ラット、ウサギおよびイヌを実験動物として、骨欠損に対して様々な素材を用いて、カスタムメイド化された強固かつ早期治癒が促進されるインプラントの安全性について検討し、臨床治験のためのデータを蓄積する。

5. 動物所有者へのインフォームド・コンセントについて

実際の動物診療にカスタム骨インプラントを使用するためには、上記の安全性確認⁽⁸⁾と所有者の同意が必須である。

日本獣医師会では、動物医療におけるインフォームド・コンセントについて、「受診動物の病状および病態、検査や治療の方針・選択肢、予後、診療料金などについて、飼い主に対して十分説明を行ったうえで、飼い主の同意を得ながら治療等を行うこと⁽⁹⁾」と定めており、伴侶動物用カスタム骨インプラント臨床治験実施のために、「飼い主説明用文書(新しい医療機器の候補(カスタムメイド骨プレート)を使った手術について)」及び「意思確認書(臨床研究名:新しい獣医療機器の候補(カスタムメイド骨プレート)を使った手術の安全性及び有用性に関する臨床研究)」の2種類の文書を策定した。所有者には、インフォームド・コンセントの趣旨に基づき、口頭及び文書による説明を実施することで、臨床治験により最終的な安全性を確立し、一般診療への導入の一助とする。

6. 最後 に

上記の異方性カスタム生体・福祉製品の研究開発を通して、カスタマイズ化の超上流設計思想に基づいて、高速設計製造、テストユースを通じたデライトアセスメント、アフターケアとフィードバックまでを網羅した顧客起点の一气貫通モデルを具現化することにより、世界に先駆けた異方性カスタム化市場の開拓に寄与する。

文 献

- (1) 内閣府：動物愛護に関する世論調査，(2010)。
- (2) 一般社団法人ペットフード協会：平成23年全国犬猫飼育実態調査，(2011)。
- (3) アニコム損害保険株式会社：人気犬種ランキング(2015)。
- (4) アニコム損害保険株式会社：家庭どうぶつ白書(2014)，第3部 どうぶつの疾患統計。
- (5) G. Harasen: Can. Vet. J., 44(2003), 1010.
- (6) 香取大智，赤木浩之，一戸登夢他：獣医麻酔外科学雑誌，45(2014)，226.
- (7) 望月 学：不適切な治療による癒合不全，J-Vet, 15/5月号(2015)，39.
- (8) 経済産業省：カスタムメイド骨接合材料の開発ガイドライン．(2010)，H22. 11.
- (9) 日本獣医師会：「インフォームド・コンセント徹底」宣言(1999)。

異方性カスタム航空・エネルギー部材製品の研究開発について

野村 嘉道¹⁾ 井頭 賢一郎²⁾

* 川崎重工業株式会社技術開発本部技術研究所材料研究部；1)課長 2)部長(〒673-8666 明石市川崎町 1-1)
Research and Development on Customized Anisotropic Components for Aerospace and Energy systems; Kenichiroh Igashira and Yoshimichi Nomura (Material Research Department, Technical Institute, Corporate Technology Division, Kawasaki Heavy Industries, Ltd., Akashi)

Keywords: *gasturbine, turbine blade, AM(Additive Manufacturing), cogeneration, anisotropy*

2015年6月5日受理[doi:10.2320/materia.54.511]

1. はじめに

(1) ガスタービン高性能化のニーズ

蒸気と電力を供給するシステムとして、図1に示す通り、ガスタービンを用いたコージェネレーションシステムは電気と熱を同時に供給できる非常に効率の良いエネルギー供給機器の1つであり、採用が広まりつつある。実際、日本の電源構成としては、2030年にはガスタービンコージェネレーションの割合は、現状から数倍の伸びが予想されており¹⁾、今後のエネルギー供給源として大きな期待が寄せられている。

そこで、コージェネ用ガスタービンを設計・製造している国内外メーカー各社では、お客様の燃料使用量低減を差別化要素として、ガスタービンの市場獲得のため、発電効率向上に対し、積極的な技術開発に取り組んでいる。このような状況の中、中小型ガスタービンを設計・製造している当社においても、様々な方法で積極的に発電効率向上に向けた技術開発を進めている。

当社が得意としているクラスのガスタービン単独での発電効率は30~40%程度であり、1ポイントの効率改善で、年間の燃料代が数千万円削減できるため、発電効率は機器選定における重要なファクターとなっている。

(2) ガスタービンの上流設計

ガスタービンエンジンは、圧縮機で圧縮した空気に天然ガスなどの燃料を混ぜ、燃焼させることで得る燃焼ガスの膨張エネルギーでタービンを回し、これを発電動力とするための内燃機である(図2)。そのため、タービン翼には高温の燃焼ガスを受け止められる耐熱性と、これを効率的に回転力に変換するための空力設計が、エンジン効率を向上する上で、非常に重要である。

空力設計とは、タービン翼の外形形状で設計技術であり、CFD(Computational Fluid Dynamics)解析などを駆使して決定する。

耐熱性は、適用する材料と翼内部冷却空気通路の設計で決

定する。

材料については、要求される耐久性(クリープ、疲労、腐食)に適合するよう、合金種の選定だけでなく、特定の組織形態や結晶構造(方向性凝固や単結晶化といった異方性の積極導入)を決定する²⁾。

翼内部冷却空気通路の設計では、少ない冷却用空気で効率良くタービン翼を冷却するための空気通路のパターンや流路面の凹凸形状を、構造強度も考慮し決定する。

そのため、例えば空力性能向上を目的に外形形状が変化すれば、燃焼ガスによる翼面の温度分布が変化するため、内部の冷却空気通路を、冷却性能および材料強度の観点から適性化することになる。

2. 革新的異方性カスタム化タービン翼の開発課題

上記の過程で設計されたタービン翼の生産には、現在一般的には精密鋳造法が適用される。その際の生産性は、複雑な内部冷却空気通路を含む形状に大きく影響を受ける。鋳造解析やこれまでの経験から、不良率が許容できないレベルになることが予測された場合には、設計変更を要求することになるが、性能面での妥協を余儀なくされる場合が少なくない。

この点において、造形面での自由度が高い金属粉末三次元積層造形法(付加製造(AM)法)に期待するところは大きいですが、最新の高性能タービン翼に必須技術となっている異方性の積極導入(組織、結晶制御)に対し、開発の余地が残されている。

すなわち、組織や結晶学的な異方性の導入がAMで実現できれば、タービン翼の設計・生産技術が大きく進化し、タービン性能の飛躍的な向上が期待できる。

本プログラムでは、AMでの生産を前提としたタービン翼設計に、異方性カスタム化の概念である“傾斜化多結晶組織”と“高次結晶制御”を組み込み、さらなるタービン翼の高性能化を目指している(図3)。

本プログラムでの実現を目指す“傾斜化多結晶組織”とは、設計上疲労強度が支配的な領域には微細結晶組織を、同じく

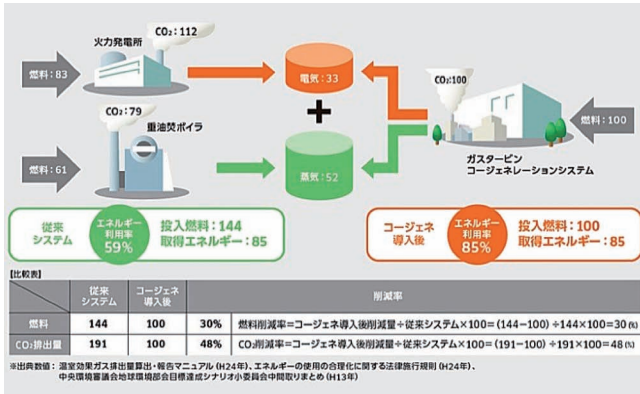


図1 コージェネシステムの長所(出典：当社 HP)。

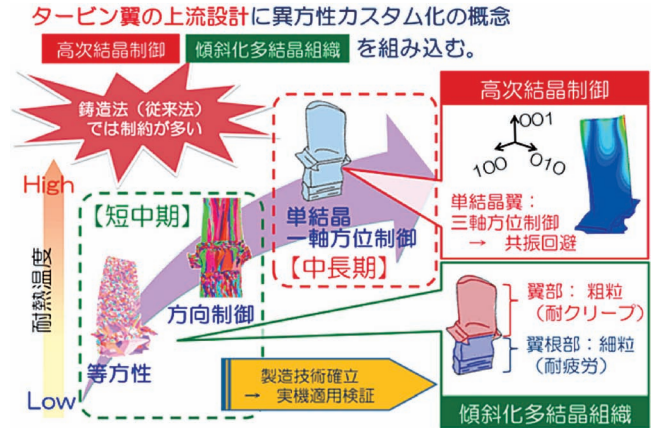


図3 革新的異方性カスタム化タービン翼のイメージ。

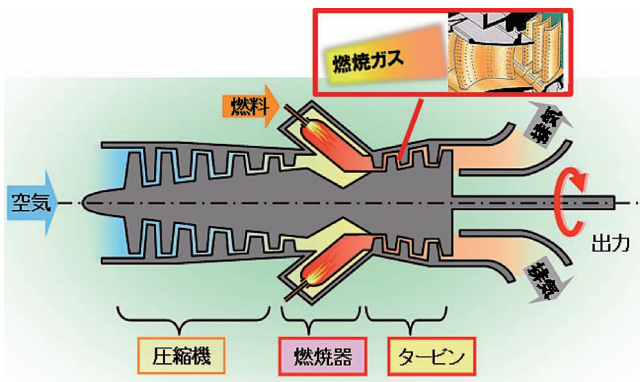


図2 ガスタービンの構造概略図。

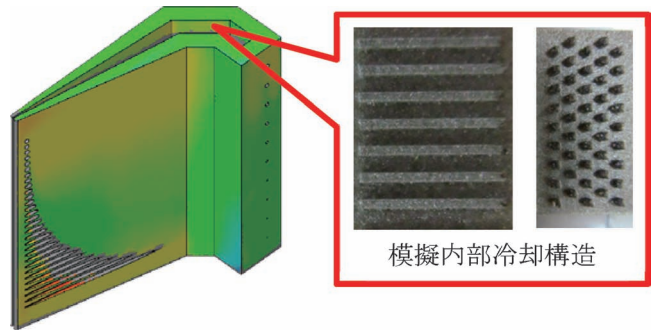


図4 金属粉末三次元積層造形技術の形状評価。

高温クリープ特性が支配的な領域には粗大結晶組織を選択的に形成させるといった概念であり、短中期的な開発案件として取り組む。

さらに、“高次結晶制御”では、上記粗大結晶組織を進展させ、より高いクリープ耐性が期待できる方向性凝固組織化を目指すとともに、タービン翼として究極的な構造である単結晶化についても、その実現可能性を見極めたいと考えている。

3. 革新的異方性カスタム化タービン翼の開発状況

上記の課題に対し、“複雑な内部構造(形状)”と“異方性(材質)”双方の実現を目指すべく、その初期段階検討として、金属粉末三次元積層造形技術を用いた“模擬翼の形状精度評価”、“異方性の比較対象としての非異方性材料の強度評価”に取り組んでいる。

図4は、一般的な冷却構造要素を盛り込んだ模擬翼を最新のAM技術で造形した例である。

一部、小さなサイズの起伏構造部については造形精度に課題が残るが、比較的多用されるサイズの起伏構造については、要求精度を満足する造形結果を得ている。

4. おわりに

航空・エネルギー部材においても、異方性カスタム化が実現できれば、超上流設計最適設計機能と一体化した一気通貫設計製造システムが具体化出来、異方性付与による機能向上と製造コストの低減が期待できると考えている。

文献

- (1) 一般財団法人コージェネレーション・エネルギー高度利用センター：コージェネレーションパンフレット (http://www.ace.or.jp/web/publication/pdf/2013_Cogene_Pamphlet.pdf)
- (2) 公益社団法人日本ガスタービン学会：ガスタービン工学、(2013)。

異方性カスタム製品のデライトアセスメントについて

川口 垂紀¹⁾ 小川 哲史²⁾ 水谷 美香³⁾ 寺西 正俊^{**}

* パナソニック株式会社解析センターユーザビリティソリューション部；1)係長 2)部長 3)課長(〒571-8686 門真市大字門真1048)

** 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

Delight Assessments for Customized Products with Anisotropic Material; Aki Kawaguchi, Tetsushi Ogawa, Mika Mizutani, Masatoshi Teranishi (*Analysis Center Usability Solution Department, Panasonic Co., Ltd., Kadoma. **Production Engineering Laboratory, Production Engineering Division, Panasonic Co., Ltd., Kadoma)

Keywords: *delight assesment, customized products, user centered design, kansei engineering, ergonomics*

2015年5月29日受理[doi:10.2320/materia.54.513]

1. はじめに

ユーザが家電製品にデライトを感じる要因は、製品の成熟レベルにあわせて変化すると考えられる。図1に示すように、まだ市場に出回っていない製品の場合は手にいれられること自体がデライトであるが、製品が普及し多数のメーカーが市場に参入するようになると、性能のよさや、使いやすさなどユーザがデライトを感じる要因も変化していく。近年、家電のコモディティ化といわれるように、多機能や高性能を追求するだけでは魅力的な製品とはならず、家電メーカーはプラスαの付加価値を求めて製品開発を行っている。本プログラムにおいて我々は、製品をユーザひとりひとりのニーズにフィットさせることで(カスタム製品)、これまでにない新しいデライトな製品を生み出せると期待している。

本稿では、これまで取り組んできた人間工学や感性工学の事例から、デライトを測る手法(デライトアセスメント)への応用展開やカスタム製品開発への適用を検討する。

2. デライトアセスメントの検討

(1) 重要な項目の明確化(プライオリティマップ)

ユーザがどのような項目を重視し、何に不満を持っているかを明らかにすることで、ユーザの不満や困りごとを解消するデライトな製品提案をすることができる。例えば図2に示すプライオリティマップ⁽¹⁾は、製品に関わる様々な項目につ

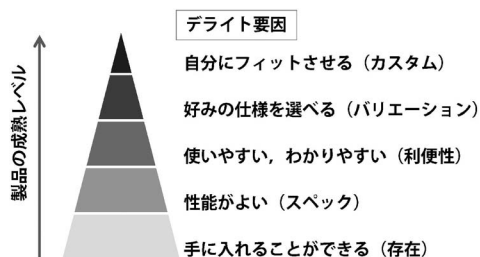


図1 製品の成熟レベルとデライト要因。

いての、「現在使用している製品の満足度」を縦軸に、「次に購入する際の重視度」を横軸としてプロットしている。このマップでは、「ユーザが重視しているが現在は満足できていない項目」が右下のエリアに位置づけられ、ここの課題を解決する方法を探ることでユーザニーズにマッチしたデライトな製品が生み出せると考えている。

(2) 使いやすさ, わかりやすさを測る(行動観察・視線解析)

ユーザの操作が必要な製品では、身体的・心理的負担の大きかった操作が軽減されるとデライトにつながる。操作時のユーザの行動を観察することで、身体的負担の大きい操作や、だれもが迷うポイント、製品の根本に関わる潜在ニーズなどを明確にすることができる⁽²⁾。

さらに視線解析(図3)では、製品のインタフェースのどこを見ているか(見ていないか)を明らかにすることができるため、アンケートやインタビューでは見つけにくい、操作に迷うポイントを特定し解決につなげることができる⁽³⁾。

(3) 価値観によるユーザ分類(価値観マップ)

生活スタイルの多様化により、人々の価値観も多様化している現在、従来のような年齢・性別などのデモグラフィックデータによるターゲットユーザ設定では対応できなくなっ

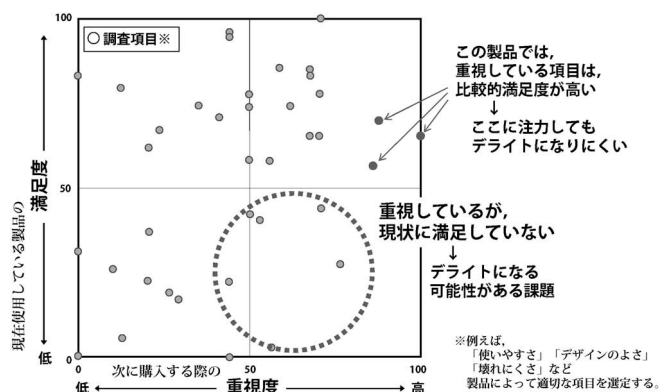


図2 プライオリティマップの例。

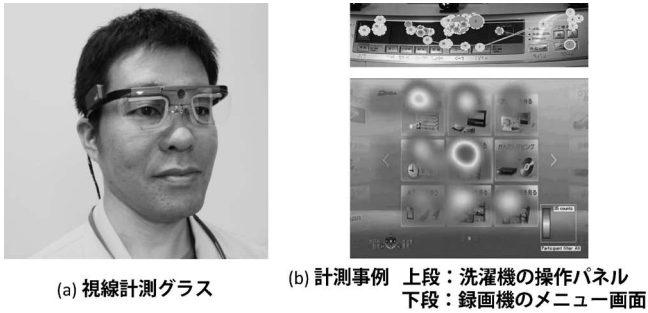


図3 視線解析.

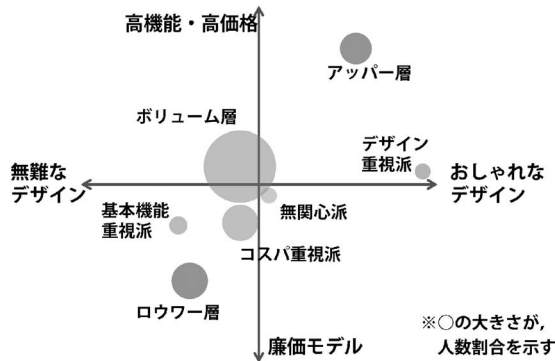


図4 価値観マップ.

きている。デザインの嗜好性やライフスタイル、製品の購入行動パターンなどのユーザの価値観で分類することにより、より明確にターゲットユーザを決定することができる。図4はある製品のデザイン性の重視度を横軸に、価格・機能レベルを縦軸にユーザをプロットした例である。このようにマップ化し、各クラスに属するユーザの特徴を明確にすることで、それぞれがデライトに感じる要因を明らかにすることができる。

(4) ユーザにフィットさせる設計(S-H変換)

ユーザが手で持ったり、触れることがある製品では、どのように大きさ・寸法・荷重などの設計値を決めると使いやすく、使い心地がよくなるのかを明らかにする必要がある。これまで我々は、壁付け照明スイッチの操作荷重の好みが地域ごとに異なることを明らかにしたり⁽⁴⁾、メンズシェーバーのグリップ部の握り心地のよい最適形状を提案⁽⁵⁾することで、デライトなものづくりに貢献してきた。図5に示すメンズシェーバーの事例では、様々なシェーバーを使用したときの把持圧分布から指の圧力比が高いものが握り心地がよいことと、それを実現するために満たすべき設計値を統計的手法により明らかにした。

このように人体計測技術と統計解析技術を用いて、ユーザの感覚(Soft)を設計(Hard)に使える値に変換することをS-H変換⁽⁶⁾と呼んでいる。この手法は使いやすさだけでなく、上質感のある外観デザインに重要な要因を明らかにするなど、感性価値を高めることにも適用が可能である。このようなユーザの感覚や感性を設計に落としこむ手法は、ひとりひとりにフィットすることを目的とするカスタム製品には欠かせない技術であると考えている。

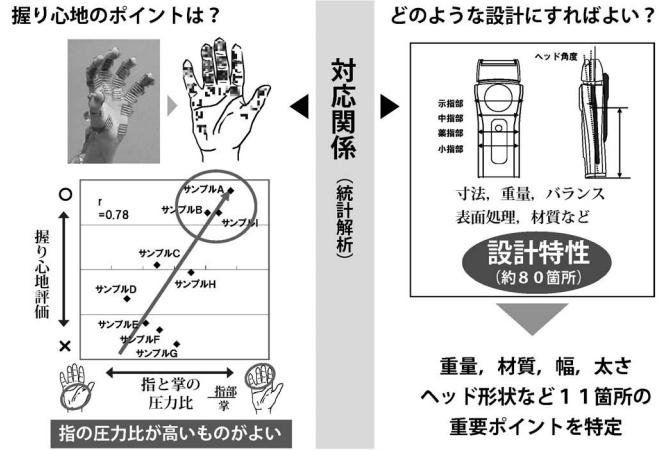


図5 メンズシェーバーのS-H変換.

3. カスタム製品への適用

ユーザが製品をカスタムすることに求めるものは、以下の3項目に大別される。一つ目の「身体にフィット」は、シェーバーなどの手にする製品が心地よく使用できることや、ウェアラブル機器がぴったり装着できるなどが考えられる。このような場合には、S-H変換を用いた設計値の抽出や、統計データを利用した身体寸法からの最適値の提案などが重要となる。

二つ目の「用途・空間にフィット」は、ユーザが使いたいシーンにあわせた適切なインターフェース選定が必要となってくる。これに対してはプライオリティマップ・価値観マップを使って想定すべきシーンの抽出を行ったり、視線解析を用いることでユーザ特徴や使用シーンにあわせたインターフェースを検討することができる。

三つ目の「感性にフィット」については、好みのデザイン・使い心地などユーザの嗜好を把握しカスタマイズすることが重要となるため、価値観マップやS-H変換がポイントとなると考えられる。

4. おわりに

今回紹介したユーザのニーズや感性を明らかにする手法は、これまで大量生産品のユーザ適合化を目指して、「平均的な人」としての「よい製品」を生み出すために使われてきた。製品のカスタム化をすることで、ひとりひとりの満足度を様々なかたちで実現できることは、従来は対応できなかった平均値からはずれたユーザに対してもデライトな製品を提供できるなど期待されることは大きい。さらに本プログラムの要である異方性材質・形状設計の技術と組み合わせられることで、これまでにないレベルのデライトが実現できると考えられる。

文 献

- (1) 阿部圭子, 小川哲史, 松井菜月希, 山本美美: パナソニック技報, 59(2013), 18-22.
- (2) 松波晴人: ビジネスマンのための「行動観察」入門, 講談社, (2011).
- (3) 佐藤康仁, 松延拓生: パナソニック電気技報, 58(2010), 68-73.
- (4) 川口亜紀, 松井菜月希, 小川哲史: パナソニック技報, 59(2013), 23-28.
- (5) 小川哲史, 三原 泉, 湯川隆志, 西澤 剛: 松下電工技報, 52(2004), 24-29.
- (6) 松下電器に学ぶ「変える力」, 日経ビジネス Associe, 2007年2月20日号, (2007).

異方性カスタム医療製品のデライトアセスメントについて

阿部真悟¹⁾ 村瀬剛²⁾ 坂井孝司³⁾ 石本卓也¹⁾* 中野貴由²⁾* 吉川秀樹⁴⁾

* 大阪大学大学院医学系研究科：1)大学院生 2)准教授；器官制御外科学(整形外科) 3)講師；器官制御外科学(整形外科) 4)教授；器官制御外科学(整形外科)(〒565-0871 吹田市山田丘 2-2)

** 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 1)講師 2)教授

Delight Assessment of Anisotropic Custom Plate; Shingo Abe*, Tsuyoshi Murase*, Takashi Sakai*, Takuya Ishimoto**, Takayoshi Nakano** and Hideki Yoshikawa* (*Department of Orthopaedic Surgery, Osaka University Graduate School of Medicine, Suita. **Division of Materials and Manufacturing Science, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita)

Keywords: stress shielding, low-stiffness, anisotropy, titanium alloy, bone quality, biological apatite

2015年6月5日受理[doi:10.2320/materia.54.515]

1. はじめに

近年、高齢化社会の進行に伴い変形性関節症や骨粗鬆症に伴う大腿骨頸部骨折や橈骨遠位端骨折などの骨折が増加し、人工関節置換術や骨接合術などの整形外科手術の需要は高まり、インプラントの使用量も増加してきている。

インプラントには関節機能の代替となることや、骨癒合が得られるまでの間の良好な固定を維持することが求められる。一方でインプラントによる問題の一つとして応力遮蔽(stress shielding)が挙げられる。すなわち、剛性の高いインプラントによって骨にかかる応力が遮蔽されるために骨に萎縮が生じ骨量の減少が生じ⁽¹⁾⁽²⁾、再骨折の原因となることがある⁽³⁾。さらに、近年では骨量減少のみならず骨質の低下も問題の一つと言われている。従来は骨質の低下を評価することが困難であったが最近の研究では骨質の指標として骨アパタイト(BAp)の配向性の低下と関連があることが解明されてきた⁽⁴⁾。そこで、新たな金属を用いて骨量減少や骨質の低下をきたさない応力遮蔽抑制インプラントの開発が求められている。

2. 異方性カスタムプレートの開発

一般に用いられている橈骨遠位端骨折用のプレートにはTi合金が用いられ(図1)、ヤング率は100 GPa程度である。皮質骨のヤング率は約20 GPa程度⁽⁵⁾⁽⁶⁾でありその違いが応力遮蔽の原因の一つと考えられている。実際、強固な固定では骨癒合が悪く⁽⁷⁾、低ヤング率のプレートでは応力遮蔽を低減し、骨吸収が抑制され、骨リモデリングが促進されることが証明されその有用性が認められている⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾。しかし、低弾性プレートは骨長軸方向の応力遮蔽抑制効果を認めるものの、せん断力やねじれに対して弱く、プレートの破断

や緩みの原因となることが問題となる。

そこで長軸方向には低弾性であり短軸方向には高弾性を持つ方向依存性に弾性率の異なるプレート(異方性プレート)が求められる。近年、医療認可済みである β -Ti合金のTi-15Mo-5Zr-3Al単結晶プレートが開発された。単結晶プレートは長軸方向には生体骨に近い44 GPa程度の低ヤング率を示しながら短軸方向には最大で80 GPaを超えるヤング率を示す。すなわち、上述の異方性プレートが実現された⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。実際の臨床でも骨長軸に沿って応力遮蔽を抑制する一方で、せん断力やねじれには抵抗性を示すことが期待され理想の金属であると考えられる。今後、異方性の特徴を有した単結晶 β -Ti合金プレートのさらなる有用性を検討することが求められている。

3. 異方性カスタムプレートの有用性検討

我々は単結晶 β -Ti合金プレート(以下単結晶プレート)による応力遮蔽抑制効果を検証するために動物実験を行っている。ウサギの脛骨中央で骨切りを行い弾性率異方性を示す単結晶プレートと等方性の多結晶プレートで骨接合を行い、術後2週と8週で両者の骨に対する影響を比較検討した。骨折部(欠損部)をまたぐスクリュー間でのアパタイト配向性を解析することで骨質評価を行った(図2)。

骨量の評価として骨密度およびCT画像から仮骨量を計測した。骨密度は単結晶プレートで低下が抑制される傾向を認めたが、仮骨量では単結晶プレート、多結晶プレートに有意な違いを認めなかった。

骨質評価では、単結晶プレートは術後2週ですでにアパタイト配向性の低下が多結晶と比較して小さく、術後8週でその差が大きくなる傾向を認めた(図3)。つまり、単結晶プレートでは多結晶プレートに比べ術後2週の段階ですでに骨質の低下を抑制したことが示唆された。



図1 代表的な橈骨インプラント(Ti-6Al-4V).

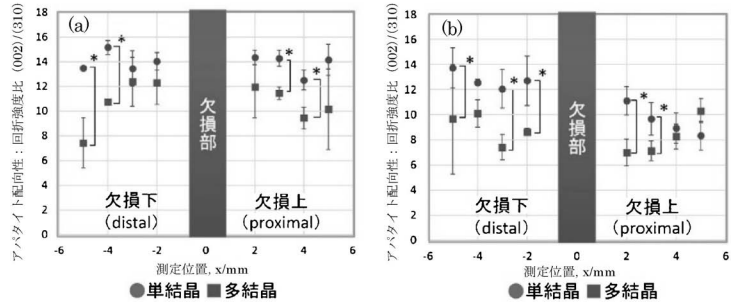


図3 (a) 術後2週：単結晶プレートでは多結晶プレートに比べアパタイト配向性(微小領域X線回折法による回折強度(002)/(310))が保たれていた。(b) 術後8週：単結晶プレートと多結晶プレートのアパタイト配向性の差は術後2週に比較し広がっていた。

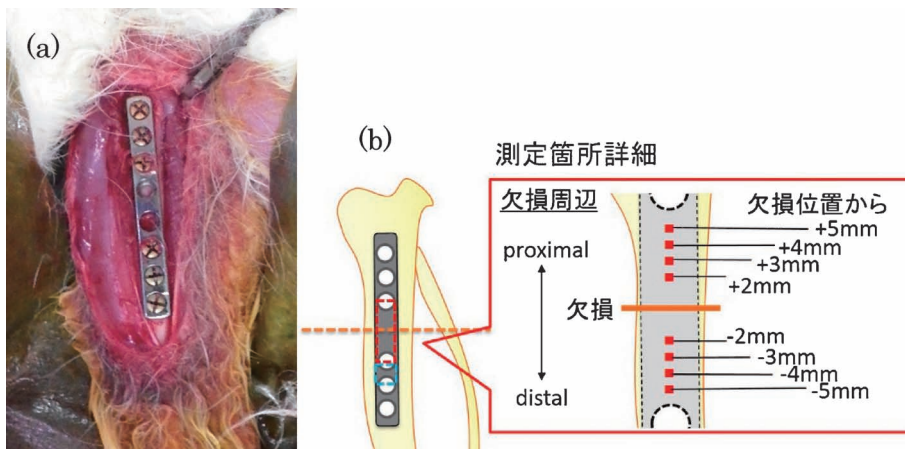


図2 (a) ウサギの脛骨中央部の骨折をプレート固定。(b) 骨折部をまたぐ部位で骨質評価を行った。

4. おわりに

骨折治療における骨接合に用いられる金属プレートには整備固定した骨が転位しないように強固な固定が求められ、一方で応力遮蔽を起こさず良好な骨形成を促進するため硬すぎない適度な固定が求められる。従来のプレートではこの相反する2つの要望に応えることは困難であったが方向依存性に異なるヤング率を示す異方性プレートならば固定したい方向には強固な固定を行い、応力遮蔽を抑制したい長軸方向には適度な固定を実現することが可能である。このようにインプラント周辺の骨質を保つことまで考慮した新たなインプラントの開発は今後の骨折治療、整形外科手術に大きな役割を果たすことが期待される。

文 献

- (1) D. R. Sumner and J. O. Galante: Clin. Orthop. Relat. Res., **274** (1992), 202-212.
- (2) P. Laftman, O. S. Nilsson, O. Brosjo and L. Stromberg: Acta Orthop. Scand., **6**(1989), 718-722.
- (3) O. M. Bostman: J. Bone Joint Surg. Am., **7**(1990), 1013-1018.
- (4) Y. Noyama, T. Miura, T. Ishimoto, T. Itaya, M. Niinomi and T. Nakano: Mater. Trans., **3**(2012), 565-570.
- (5) J. Y. Rho, T. Y. Tsui and G. M. Pharr: Biomaterials, **20**(1997), 1325-13330.
- (6) P. Zioupos and J. D. Currey: Bone, **22**(1998), 57-66.
- (7) Y. Fan, K. Xiu, H. Duan and M. Zhang: Clin. Biomech., **23** Suppl1(2008), S7-S16.
- (8) S. Benli, S. Aksoy, H. Havticioglu and M. Kucuk: J. Biomech., **15**(2008), 3229-3235.
- (9) N. Sumitomo, K. Noritake, T. Hattori, K. Morikawa, S. Miwa, K. Sato and M. Niinomi: J. Mater. Sci.: Mater. Med., **4**(2008), 1581-1586.
- (10) M. Niinomi and M. Nakai: Int. J. Biomater., **11**(2011), 1-10.
- (11) S. H. Lee and K. Hagihara, T. Nakano: Metall. Mater. Trans. A., **5**(2011), 1588-1597.
- (12) S. H. Lee, M. Todai, M. Tane, K. Hagihara, H. Nakajima and T. Nakano: J. Mech. Behav. Biomed. Mater., **14**(2012), 48-54.

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」

異方性カスタム新市場の創成・新規参入支援について

古寺雅晴¹⁾ 山口勝己²⁾ 南久³⁾ 中本貴之⁴⁾

* 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 3) 加工成形科長 4) 加工成形科 主任研究員(〒594-1157 和泉市あゆみ野 2-7-1)

Creation of a Market for Anisotropic and Customized Products, and Support of an Entry for Companies; Masaharu Furutera, Katsumi Yamaguchi, Hisashi Minami and Takayuki Nakamoto (Technology Research Institute of Osaka Prefecture, Izumi)

Keywords: anisotropy, customization, products, additive manufacturing (AM)

2015年6月22日受理[doi:10.2320/materia.54.517]

1. 産技研の特徴と本プロジェクトでの役割

大阪府立産業技術総合研究所(産技研)は、1929年に大阪市西区江之子島に創設された公設試験研究機関(当時の名称は『大阪府工業奨励館』)であり、以後80数年にわたり地域の産業・科学技術の振興に貢献して来た。大阪府の(公的な)施設であることから、地方公務員法(または地方独立行政法人法)の守秘義務規定の適用を受け、地域企業の皆様からは安心して相談できる機関として評価を頂いている。持ち込まれた技術課題(技術相談)に対しては、図1に示すように、依頼試験、機器開放、受託研究、産学官共同研究など、適切な技術サービスを提示し、ワンストップでの解決を図っている。

1996年の大阪市から和泉市への移転は、大きな転機となった。その際掲げた『開放と交流』の理念として、最新の機械設備(約50億円を投資)を充実させると同時に、地域企業の方々に自由にご利用頂けるよう開放(機器開放)を実施した。技術開発のスピードアップ化に対応すべく、気軽に利用・相談を頂ける体制を構築した。また、2012年の独立行政法人化からは「オープンイノベーション」の考えのもと、産官学の連携に基づく、高い技術レベルの共同研究を積極的に推進して来た。一方で、『依頼試験、機器開放など手数料の後納対応(ただし受託研究は前納)』、『郵送での受付対応』などを実現し、常に利用者ニーズに敏感なサービスの提供と、地域に密着した技術支援を続けている。

本SIP事業は、前述のように、デライト最適化上流設計と付加製造技術を両輪に、異方性カスタムによる高付加価値化を特色に、上流から下流までを一気通貫する新ものづくり体制を実証することを目的とした共同研究であり、我々は上述の「オープンイノベーション」の実践の場であると捉えている。

図2に示すように、大阪大学、パナソニック株式会社をはじめ、生体福祉、カスタム個電、航空エネルギー部品の異方性カスタム化を牽引する企業が先導的に研究開発・実証を進める中、産技研は、秘密保持に対する信頼性、地域企業との接点

主要業務	●技術相談(無料)	: 71,710件/年 (電話、メール、FAX等→ 来所、現地相談)
	●依頼試験	: 6,183件/年
	●機器開放	: 8,128件/年
	●受託研究(簡易受託含む)	: 159件/年
	●研究開発(競争的資金、または所費による研究)	
	●技術普及(各種講習会・セミナー、講演会、人材育成)	
URL: http://tri-osaka.jp/ TEL 0725-51-2525		

図1 産技研の主要業務一覧(2014年度実績)。

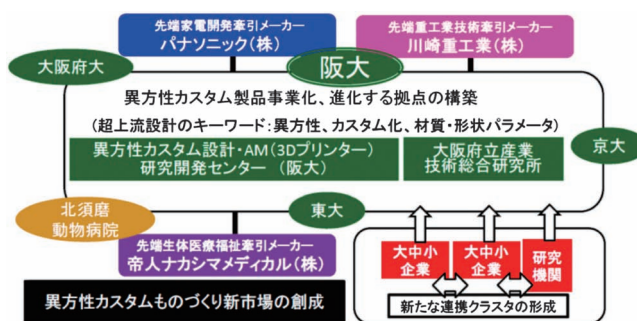


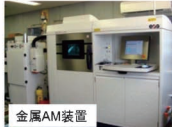
図2 SIPプログラムにおける産技研の位置づけ。

目指す加工技術


- ✓ 高付加価値加工 → 粉末積層造形法 → レーザ応用加工技術
- ✓ 高能率加工 → 精密プレス加工
- ✓ 微細加工 → マイクロ放電加工
- ✓ 高精度加工 → 超精密加工

新しい計測技術

- ✓ X線CTIによる非破壊内部計測



金属AM装置



X線CT装置

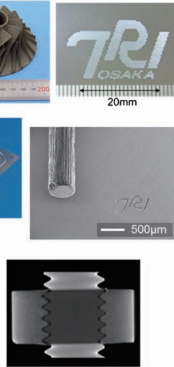


図3 生産加工における主な対応技術分野。

の多様さ・簡便さ、最新の機械装置の豊富さ(図3に生産加工分野の一例を示す)を背景に、大阪大学に設置された異方性カスタム設計・AM 研究開発センターのサテライトとして、開発された技術の利用促進を目指すプラットフォームの一角を形成するとともに、地域企業の積極的な新規参入、企業間連携を推進するための技術支援窓口の機能を担う。

2. 地域企業の革新的設計・付加製造拠点への期待

関西の地域資源は、金属材料を中心とした難加工性材料を取扱う企業群である。例えば、金属 AM(Additive Manufacturing)部門に限った場合、年間400件程度の技術相談が産技研に寄せられる。

図4は当所における近年の金属 AM に関する技術相談内容の傾向をまとめたものである。基本情報の収集に関する問い合わせが33%と最も多いものの、部品製造への金属 AM の適用、粉末材料等の新規開発、テストピースの作製と試験の実施による特性評価の3項目で55%と過半数を超え、難加工材の積層造形技術の実用化に対する期待が非常に大きいことが伺える。寄せられた問い合わせは、BtoB 企業からのものが多く、自動車、航空機、医療機器、電気機器、産業用機械などの要素部品の製造・加工技術に関するものである。BtoC 企業からの問合せが多いプラスチック AM とは対照的な特徴と言える。また材質別に分類すると、Fe 系が34%と最も多く、非鉄材料の Al 系が16%、Ti 系が13%と続き、その他の材料が33%を占めている。この結果は、部品製造に汎用的に用いられる Fe, Al, Ti 系材料に注目が集まると同時に、これら以外の粉末に対するニーズも大きいことを示している。技術相談の中には、結晶方位制御をはじめとする「材質の異方性」の適用や、ラティス構造をはじめとする「形状の異方性」に関する相談も散見され、異方性カスタム製品の創出に対する期待が大きく、その土壌が熟成しつつあると実感している。

3. 新規企業の参入、地域活性化への道筋

第2章で言及した BtoB 企業から持ち込まれる問い合わせは、いわゆる狩野モデル⁽¹⁾における Better 設計(性能品質：要求仕様の充足と顧客の満足は比例するという考え方)に基づく技術課題が多い。一方で、材質制御+形状制御による Delight 設計(魅力品質)に基づく課題は少なく、異方性付与を通じた Delight 設計(魅力品質)の重要性、有用性を着実に広報していくことも非常に重要な課題と考えている。2014年度は特別講演、招待講演、各種セミナーをのべ21回実施し広報を進めて来たが、本年度以降も引き続き本拠点で提唱する「カスタム化」、「材質・形状異方性」によるデライト製

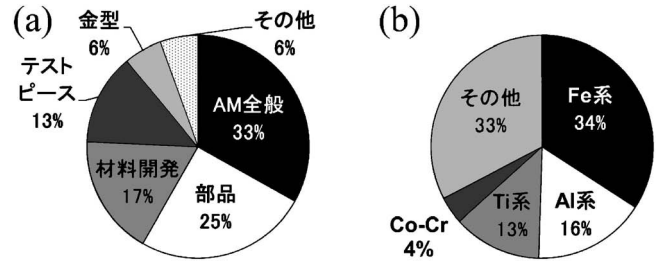


図4 金属 AM に関する技術相談内容の近年の傾向。(a)相談内容(分野)の内訳、(b)材質の内訳。

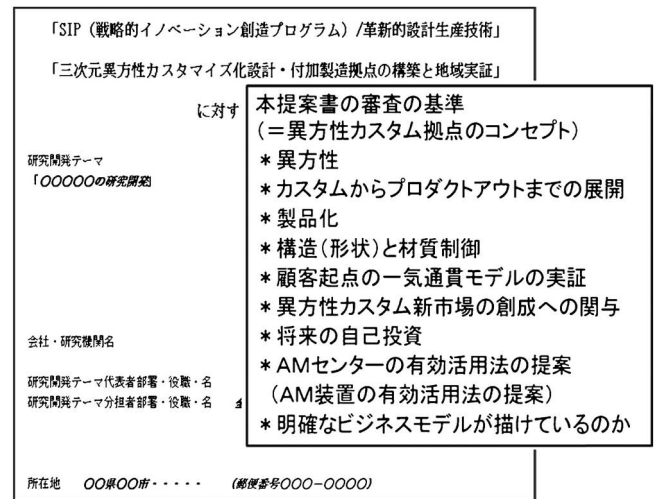


図5 研究開発提案書と審査のポイント。

品創出の構想を浸透させていく予定である。

2014年度に異方性カスタム設計・AM 研究開発センターの整備を終え、Delight 設計ツールの共通基盤(材質+形状、異方性)が整備されていく中、2015年4月より本プロジェクトへの新規参画企業の公募を開始した。図5に公募のための申請書を示す。本プロジェクトの最終目標は異方性カスタム製品による新市場の創成を通じた経済活性化であり、これを実現するためには、多くの新規企業の参画による「進化する拠点」の構築が必要不可欠である。

本 SIP 事業(異方性カスタム)への新規参画や各種セミナーへの参加にご興味をお持ちの企業は、ホームページ(<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/sipk/>)をぜひご参照頂きたい。

文 献

(1) 例えば、穂坂倫佳：東芝レビュー，63(2008)，74-75。

イノベーションスタイルの構築に向けた取り組みについて

荒木 秀樹* 中野 貴由¹⁾** 石本 卓也²⁾** 萩原 幸司***
井手 拓哉¹⁾**** 中本 将嗣²⁾**** 玉岡 秀房³⁾****

* 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(〒565-0871 吹田市山田丘2-1)
** 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
*** 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
An Approach to Creation of Innovation Styles for Anisotropic and Customized Design and Manufacture; Hideki Araki*, Takayoshi Nakano**, Takuya Ishimoto**, Koji Hagihara***, Takuya Ide****, Masashi Nakamoto**** and Hidefusa Tamaoka**** (*Center for Atomic and Molecular Technologies, Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita. **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)
Keywords: *delight, incremental innovation, radical innovation, attractive quality, one-dimensional quality, must-be quality*
2015年 8月17日受理[doi:10.2320/materia.54.519]

1. はじめに

日本のものづくり産業は、日本で製造された高機能で高品質な材料を基盤に、高度な加工・生産技術を組み合わせ、様々な製品を製造し、発展してきた。しかし近年、製品のコモディティ化による国際競争の激化、新興国の躍進などにより、ものづくり産業の国際競争力は低迷しつつあると懸念されている。こうした状況を打破して、更なる経済発展をするには、新たなイノベーションの創出が必要である⁽¹⁾。今回のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)では、内閣府「総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)」が自らの司令塔機能を発揮して、府省の枠や旧来の分野の枠を超えたマネジメントに主導的な役割を果たすことを通じて、科学技術イノベーションを実現することを目指している⁽²⁾。SIPの10の重点課題のなかで、「革新的設計生産技術」課題では、イノベーションを実現するためには、超上流設計思想に基づき、ユーザ参加型の新しいイノベーションを実現する仕組み、「イノベーションスタイル」が必要であると考え、様々な「イノベーションスタイル」を試行し、革新技術と組織連携の相乗効果として、イノベーションが生じるメカニズムを実証・実践することが求められている⁽³⁾。具体的には、図1⁽⁴⁾に示すように、大学や公的研究機関、企業などにおいて、革新的技術や独創的な発想から生まれた研究開発成果のシーズを、実際のものづくりへと適用する。その後、研究開発成果を使用した企業や個人ユーザの意見を得て新たな問題点を洗い出し、研究開発に迅速にフィードバックする、一連の試行錯誤を繰り返す仕組みを作り上げることになる。これにより、“よりよい成果へブラッシュアップする”、“当初、潜在的で気付かなかつたより高付加価値なニーズの発掘を行う”

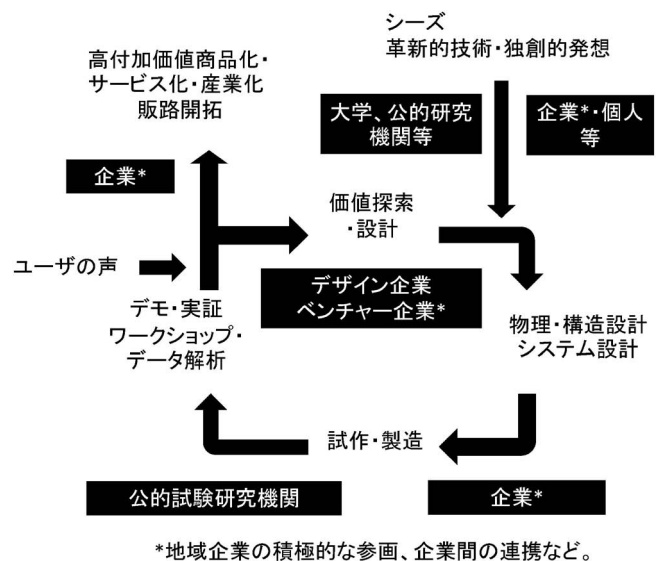


図1 イノベーションスタイルのイメージ⁽⁴⁾。研究開発成果を実際のものづくりに適用し、成果を使用した企業や個人ユーザの意見を得て新たな問題点を洗い出し、研究開発に迅速にフィードバックする仕組みとしてイノベーションスタイルの試行を行う。

ことが期待されている。

本稿では、我々の研究開発テーマ「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」において行っている進化するイノベーションスタイル構築に向けた取り組みについて紹介する。

2. イノベーションとデライト

イノベーションは、日本語では、よく技術革新や経営革

新、あるいは単に革新、刷新などと言ひ換えられるが、本来、インベンション(invention)と区別されて用いられるべき用語である。インベンションが単なる新しいアイデアの創出であるのに対して、イノベーションは、これまでのモノ、仕組みなどに、全く新しい技術や考え方を取り入れた新たな価値を生み出し、社会的に大きな変化を起こすことを指す⁽⁵⁾。インベンションを用いて単に製品品質を向上させただけではイノベーション創出としては不十分で、広く社会で利用される製品とする戦略が必要である。

一般に、イノベーションは、ラディカル・イノベーション(抜本的イノベーション、radical innovation)とインクリメンタル・イノベーション(漸進的イノベーション、incremental innovation)との2種類に分類される⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾。ラディカル・イノベーションは、技術、組織、市場との関連のいずれかにおいて不連続な変化を内包し、社会に多大な影響を与えるのに対して、インクリメンタル・イノベーションの影響は、少なくとも個々の側面で見れば既存の産業の枠組みを変えるほどは大きくない。文字通り、連続的・累積的な改善である。RothwellとGardiner⁽⁹⁾は、イノベーションとは「飛躍的な技術進歩を商業化すること(ラディカル・イノベーション)のみを意味するのではなく、技術的なノウハウを少しずつ変化させ実用化すること(インクリメンタル・イノベーション)をも包含する言葉である」としている。

我々は、持続的なイノベーションを実現するには、この2つのイノベーションを組み合わせ、ユーザのデライト(喜び品質、満足)を高めることが必要であると考えている。ここで、ユーザのデライトには、基本的には、狩野モデル⁽¹⁰⁾を用いてアプローチする。すなわち、図2に示すように、企

業の製品やサービスの各種の品質要素の物理的充足状況は、ユーザのデライトと必ずしも比例関係にはない。闇雲に品質要素の改善をはかっても、いずれもが等しくユーザのデライトを向上させるものではない。例えば、当たり前(マスト)品質要素は不充足であればユーザはとても不満であるが、充足させてもユーザのデライトはそれほど高まらない。一方で、魅力的(デライト)品質要素は不充足でもユーザにそれほど不満はないが、充足するとユーザのデライトは極めて高くなる。一元的(ベター)品質要素についても大きく向上させれば、ユーザのデライトも比例して大きくなる。このように、製品品質を構成する個々の品質要素毎に、ユーザのデライトとの対応関係を把握して分類し、単にいずれかの品質要素を向上させればよいと考えていた従来の非効率な技術革新を改め、改善すべき品質要素(すなわち魅力的品質要素と一元的品質要素)に重点を置いた向上を図ると、効率的かつ持続的にイノベーションを創出できる。一方で本研究開発においては、当たり前品質であっても極めて大幅な向上が達成可能な場合には、デライトであると定義している。

3. 提案するイノベーションスタイル

本研究開発テーマにおいて提案するものづくりのイノベーションスタイルの特徴は、量産設計したものを図面やモデル化し、その図面やモデルの情報に沿って製造する従来のものづくりとは大きく異なる。つまり、顧客毎にカスタマイズされた商品の生産が、超上流デライト最適化設計から三次元異方性カスタム製造まで一気通貫で行われ、顧客の手に商品が届くまでのリードタイムが大幅に短縮することにその特徴の一つがある。この顧客起点の一気通貫モデルでは、超上流での設計案を機能評価するシステムを構築するとともに、商品提供とサービスの組み合わせを最適化するシステムを組み込んだ上で、顧客要求の時間経過にも対応する4D設計を実現する。4D設計とは、計算機内立体幾何モデルを用いた3D設計に加え、顧客の製品使用期間を通じた製品・サービス要求に対応して進化する時間軸を強く考慮した設計である。

一方、顧客起点の一気通貫でリードタイムを短縮すると同時に、カスタム化製造された商品の品質を保証することも重要である。そのために、量産設計・製造で蓄積した工程設計(複数の組立工程、加工工程を経て複合化された商品機能を実現する設計)と、製造設計(部品ごとの公差を加味した設計)を一体化させた三次元異方性カスタム化製品生産システムを構築する。さらに、カスタム商品の品質保証を補完するためのサービス設計(顧客の使い方の変化に追従する設計)にも対応することで、カスタム商品の製造に適したシステムとして機能を高め、サービス付与型高付加価値設計・製造というイノベーションスタイルを構築する。上記実現を可能とする具体的なシステム構成の提案については本特集前記事の「異方性カスタムデライト最適化設計」をご参照頂きたい。

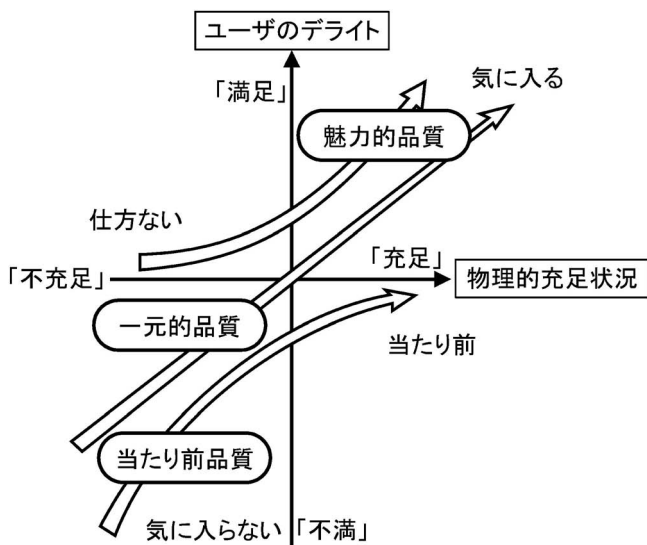


図2 狩野モデルにおける品質要素の物理的充足状況とユーザのデライトとの対応関係概念図⁽¹⁰⁾。製品品質を構成する個々の品質要素について、物理的充足状況で示される客観的側面に加えて、ユーザのデライト(喜び品質、満足)という主観的側面をも認識する必要がある。

4. 伴侶動物カスタムインプラント

本研究開発テーマではこれまで実現が困難であったカスタム製品の事業化を、「異方性デライト最適化設計」という超上流思想のもとで実現することで、多くの新たなビジネスモデルを構築することを目指している。その具体例の一つが伴侶動物カスタムインプラント製造システムの構築による事業化、異方性新市場の形成である。日本は人口に対する国土が狭く、少子高齢化が顕著であることから、伴侶動物を愛玩する人々の割合が世界と比較して高く、特に超小型犬の人気は日本特有の文化とさえいえる。その結果、伴侶動物の健康福祉向上を切望する声は年々高まり、現在既にその医療規模はヒトの1/50にまで達し、今後さらにその規模が拡大することは間違いない。しかし一方でこうした伴侶動物に対する医療基盤の構築は必ずしも十分に進んでおらず、その顕著な例がインプラントである。たとえば犬を例にとってみても、前述の超小型犬から大型犬まで、そのインプラントサイズはヒトの比にならないほどバリエーションに富み、また種別に応じて骨形状も大きく異なることから、現在の動物医療の現場では全く対応ができておらず、まさに伴侶動物インプラントにはカスタム化が必須である。我々はこのカスタム化インプラントの構築を北須磨動物病院・大阪府立大学の最先端医療現場と連携することで実施する。北須磨動物病院は獣医師が10名在籍する関西随一の先端動物病院である。本病院にて現有する *in vivo* micro X線 CT装置にて、搬送された伴侶動物の骨疾患部位を撮影し、即座にそのデータを大阪大学異方性カスタム設計・AM 研究開発センターに転送する。得られたデータを基に「異方性デライト最適化設計」における最適材質・形状パラメータを決定し、これを基に三次元付加製造装置により迅速にカスタムインプラントを実体化する。このインプラントを北須磨動物病院・大阪府立大学に転送、埋入手術に供することで、従来では考えられないリードタイム低減システムの構築を実現する。さらにその経過を逐次通院により観察することでデライトセンサによる日頃からのデライトアセスメントを進め、不具合が生じた場合には、その解決のため改善を加えたインプラントを迅速に供給する顧客起点のカスタムインプラント一貫通貫モデルの構築を実現する。

こうした来院、カスタム製造、経過観察までの顧客起点の一貫通貫モデルを構築することで、インプラント製品供給後の病態回復動向を適切にモニターすることができ、動物医療の進化につながる。本伴侶動物用カスタムインプラントの製造に関しては、ヒトと異なり農林水産省管轄となるため、保険外診療では複雑な薬事承認等を必要とせず、より容易にビジネスモデル化することが可能となるのも大きなメリット

(カスタム製品であっても、獣医師と飼い主の間の同意書により埋入可能)である。本事業で得られるノウハウを蓄積することで、将来的にはこのカスタムインプラントの適応をヒトにも拡大することで、世界に先駆けて広大なカスタムメイド新市場の構築へとつなげていくことを想定している。

5. おわりに

本稿では、誌面の都合により、具体例として伴侶動物カスタムインプラントを一例として記した。これ以外にも、カスタム家電、異方性航空・エネルギー部品の分野においても、イノベーションスタイルの構築にむけた取り組みを進めている。

今日の我が国のものづくり産業は、「モノやサービスを利用することによって生まれる新たな価値を想定した上で、何を作るべきか」という視点で、価値探索、設計、生産・製造が一体となる必要がある。ものづくりプロセスの各領域をインタラクティブに繋ぎ、多様な分野が融合することで新たな価値創造を行う、新しいものづくりスタイルの構築が急務となっている。この実現には、個々に開発した要素技術を一貫通貫で結集することに加え、成果を実用化する企業とそれを使用するユーザとが共働して試行錯誤を繰り返す研究開発を、産学官連携で取り組む必要がある。なかでも特に、アイデアを素早く具現化して、ユーザのデライトを評価し、迅速にフィードバックするイノベーションスタイルの構築が、その成功の鍵を握っている。本研究開発テーマで得られた新たなイノベーションスタイルのモデルや仕組みに関する知見が、幅広く他の分野や地域へ展開・発展していくことを期待している。

文 献

- (1) 科学技術白書〈平成27年版〉科学技術により社会経済にイノベーションを起こす国へー科学技術基本法20年の成果とこれからの科学技術イノベーション、文部科学省、日経印刷(2015)。
- (2) 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP), <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>.
- (3) 佐々木直哉: プログラムの詳細, <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sympo1412/pdf/10-1.pdf>.
- (4) 佐々木直哉: SIP シンポジウム2014講演資料, <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sympo1412/pdf/sip10.pdf>.
- (5) 内閣府 イノベーション25 夢のある未来の実現のために, <http://www.cao.go.jp/innovation/>.
- (6) D. G. Marquis: Readings in the Management of Innovation, ed. by M. L. Tushman and W. L. Moore, Ballinger Publishing Company, Boston, (1988), 79-87.
- (7) W. J. Abernathy and J. M. Utterback: Technology Review, **80** (1978), 40-47.
- (8) 原 拓志: 国民経済雑誌, **187**(2003), 85-103.
- (9) R. Rothwell and P. Gardiner: Technovation, **3**(1985), 168-186.
- (10) 狩野紀昭, 瀬楽信彦, 高橋文夫, 辻 新一: 品質, **14**(1984), 147-156.