

## 連携記事

# デザインと加工技術の相互作用から生まれる新しい価値

Emerging Value from the Synergy of Design and Production Technologies

山中俊治 東京大学  
特別教授  
Shunji Yamanaka

## 1 アップルのデザインと製造技術

### 1.1 MacBook Airの分解

2008年、今から15年も前の話であるが、発売されたばかりのアップル製ノートパソコンを1台購入し、分解調査を行ったことがある<sup>1)</sup>(図1)。製品名は初代「MacBook Air」。茶封筒から取り出されるCMが話題になり、薄くて軽いPCとして人々に強く印象付けられたマシンだった。実際のところ、当時の他社製の薄型ノートPCと比べて必ずしも劇的に薄い製品ではなかったのだが、にもかかわらず鮮烈な印象を残したのはそのスタイルに起因する。中央部の膨らみを周囲のシャープなエッジに向かってなめらかに収束させるデザインは、書類の厚みによって少し膨らんだ封筒のような視覚効果をもたらし、このノートPC全体をととても軽やかに見せた。水平に広がるなだらかな曲面の中で、淵に近いところの厚みを絞ることによってエッジを薄く見せるスタイリング技法そ

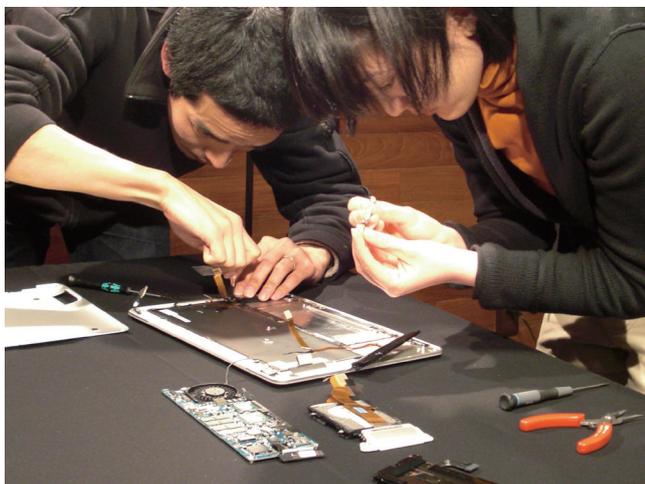


図1 MacBook Airの分解 (Online version in color.)

のものは、乗用車などにも見られる古典的な手法である。しかし、その曲面とエッジの精度は、私たちプロダクトデザイナーを唖らせる高品位のものだった。それは今日の目で見ても驚くべき洗練だったと思う。

このマシンが発売された2000年代の薄型ノートPCのボディは、アルミやマグネシウムのプレス成形品が主流だった。プレス成形は、金属の薄い平板を型に挟んで複雑な形に変形させる加工方法で、乗用車のボディなどには広く使われている。この加工方法は、ゆったりとした張りのある曲面は得意とするが、実はシャープなエッジは作りにくい。あまりシャープに変形させるとそこから亀裂が入りやすくなるし、成形されたエッジの周辺には戻ろうとする力も働くため、結果的に少々ぬるい印象の仕上がりになってしまう。車のような大きなものでは十分シャープに見えるが、PCのサイズでシャキッとした角を作るのは、当時も今もなかなか難しい加工方法である。

しかしMacBook Airにおいては、滑らかな張りのある曲面の端部はすっぱりと切り落としたようなシャープエッジ(安全のための最小R)になっていた。しかも、ディスプレイを閉じると上下のエッジが非常に高い精度で隙間なく重ね合わされ、全体として一枚のアルミの板のように見えた。このような曲面とエッジの高精度な関係は、プレス成形品ではなかなか実現が難しい。

初代MacBook Airのたたずまいは、むしろエンジンの基幹部品や航空機の部品のような高精度の機能部品に近いものだった。通常、そうした部品の製作は、金属の塊から複雑な形を削り出す、3次元切削加工(多軸NC切削加工)が用いられる。3次元切削加工は精度が高く表面の仕上げも美しいが、一般的には一個あたりの加工時間が長く、材料を多く削り落とすので高コストである。それゆえ製品性能の根幹を担う重要部品には使われても、コスト競争の激しい量産ボディに使われることはほとんどなかった。にもかかわらず、MacBook

Airは、当時のデザイナーたちの固定観念を嘲笑うかのよう  
に、アルミ塊からの削り出したばかりのような無垢の金属の  
美しさをたたえていた。

分解してみると答えはすぐに見つかった。MacBook Airの  
内部の複雑な立体構造は、ほぼ全面にわたってツールマーク  
(NC切削痕)に覆われていた。コスト的には信じ難いことだ  
が、その痕跡は、MacBook Airのボディ全体がアルミの削り  
出しで作られていることを示唆していた。

実は本体ボディでもう一つ気になることがあった。それは  
裏面もあまりに滑らかで美しいことだった。当時のノート  
PC製品においては、底面(接地面)となるキーボードの裏面  
の外観はほとんどデザインされていないものが主流だった。  
プレーンに見える製品をひっくり返してみると、メモリ拡張  
や電池交換のためのハッチや冷却スリットなどがところ狭し  
と配置されており、その隙間を縫うように多数のネジの頭が  
露出しているのが常だった。

これに対して新発売のMacBook Airは底面も見事に滑ら  
かな曲面で覆われていた。特に私たちが注目したのはボディ  
を締結する平頭ネジの頭がその曲面に沿って埋め込まれてい  
たことだった(図2)。写真だけを見るとごく自然なことに見  
えてしまうが、実はそう簡単に実現できることではない。ネ  
ジの頭が面に沿うということは曲面の法線方向にねじ込まれ  
ている、つまりそれぞれのネジ穴が場所によって向きが違  
うことを意味する。通常、アッパーボディとアンダーボディを  
締結するネジは、すべて垂直である。それによって、ネジ穴  
を開ける(タップ切り)や、ネジの締結の工程が容易に自動  
化できるからである。

垂直に3次元局面を締結する場合、当然のことながら場所  
によっては面に対して斜めに打ち込まざるを得なくなる。こ  
の場合、ただネジ穴を開けただけではネジの頭が収まらな  
い。そこで、図3左のような形でネジ頭よりも大きな下穴を  
造形して、その奥にネジの頭を埋め込む。3次元曲面に設けら  
れたネジよりも大きな穴にネジの頭が奥まっている光景は、  
工業製品の底面では見慣れた形とも言える。しかしMacBook



図2 美しい連続曲面に覆われるMacBook Airの底面。全てのネジの  
頭が曲面に沿って埋め込まれている(Online version in color.)

Airの設計者はこの凹凸が美しくないと思ったのだろう。ネ  
ジの頭を綺麗に曲面ボディ面に沿って段差なく埋め込むため  
に、斜めのタップ切りを採用したと推測される(図3-右)。実  
際分解してみるネジを受けるためのステーに対して斜めに  
タップ切りが行われていることを私たちは確認した(図4)。

## 1.2 ユニボディというデザインコンセプト

翌年は同様の外観特徴を持つMacbook Proが販売された。  
そして私たちの分解から約1年後にアップルはすべてのノー  
トパソコンに共通する「ユニボディ」という製造コンセプトを  
発表した。それはボディ部品をすべてアルミの削り出しで製造  
するというものだった。NC切削加工は一台当たりの加工時間  
がかかりすぎるので大量生産は向かないという常識を覆した  
のは、数万台の小型多軸NC加工機をずらりと並べての同時平  
行加工だった。少し後になって明らかになったことだが、その  
NCマシンを製造したのは日本のファナックだったようだ。

当時、多軸NC加工機は、航空機などの高性能部品用の大

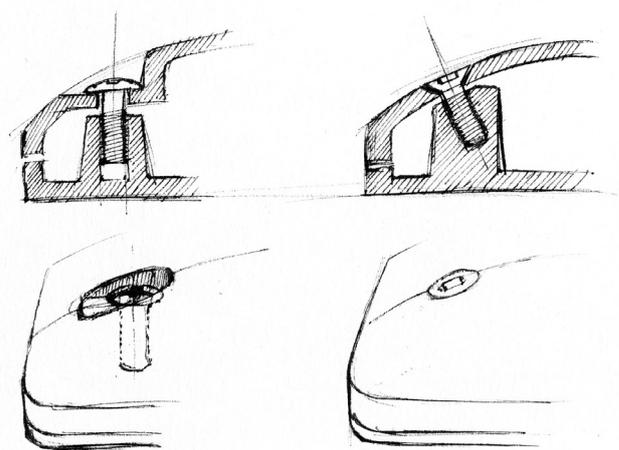


図3 左：通常のボディ締結ネジの構造、右：MacBook Airの底面に  
締結するネジの構造

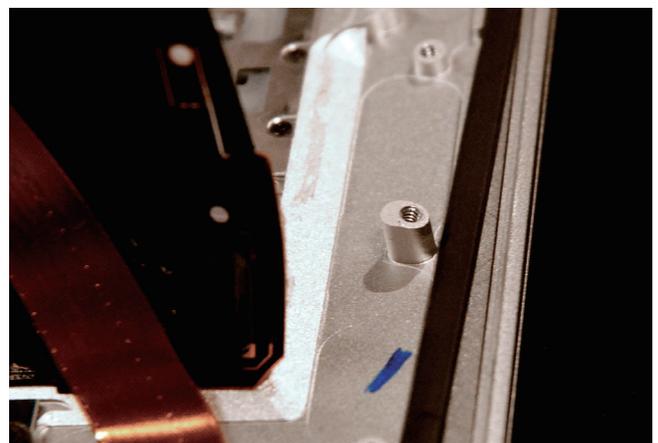


図4 MacBook Airのボディ内面、切削加工痕と斜めに切られたネジ  
穴が観測される(Online version in color.)

型のものが主流だった。ファナックにおいても出荷するNC切削加工機のほとんどが数十センチから数メートルの部品の加工を行うものだった。一方で、鉄道模型などの趣味的な高品位部品の製造のために小型の多軸NC加工機を細々と作っていたという。そこにある日突然、アップルから数万台の小型加工機の発注が入り、大騒ぎになったそうである。アップルは一連のマシンのためにファナック製小型NC加工機をずらりと並べた工場を新規に建設したのである。

私たちが頭を悩ませた斜めのタップ切りの工程もやがて明らかになった。タップ切りのツールの角度は固定だが、MacBookのボディは縦横に角度を変えられるロボットテーブルにセットされ、それぞれのネジ穴ごとにボディの角度を変えて加工を行っていたらしい。もちろんこの装置も並行プロセスが必要だったと思われる。

他にもユニボディにはそれまでのノートパソコンになかった特徴がある。当時のものはアップルのものも含めてメンテナンス性とコストダウンのために、キートップ全体をユニット化して上部から組み込むことが通常だった。しかし、ユニボディではキートップはすべて独立で、アルミのボディに一つ一つ埋め込まれているように見える。実際には背面にフレームを儲けてキーボードを内側から組み込んでいるのだが、この構造も本体ボディを金属の塊に見せることに大いに貢献している。外観上の一体感という意味では極めて効果的なディティールだったが、今日でもメンテナンス性の悪さを指摘するハードユーザーの声もある。そうしたデメリットも理解しながらもアップルはスタイリングを優先した。

結局、私たちが行ったMacBookの分解調査とその後の情報によって分かったことを統合すると、ユニボディにしる、斜めのタップ切りにしる、ほぼスタイリングのためになされた壮大な生産工程の革新によるものだったということである。

その後ユニボディは熱狂的に市場に受け入れられた。そして中国メーカーを中心にたくさんの追従者を呼んだ。一度製造工程が確立されてしまえば、急成長する企業にとって同じような投資を行うことは容易だったらしい。今日では金属の削り出しのボディを見ることは全く珍しくないが、その先鞭をつけたのは間違いなくアップルのユニボディだった。

### 1.3 製造技術マニアのデザイナー

ではなぜこのような大胆な設備投資を最初に行うことが可能だったのだろうか。実は当時の他のアップルの製品をいくつか調査してみると、その数年前から切削加工を多用し始めていたことがわかる。たとえばMacBook Airの少し前に発売されたiPhone 3Gのボディやマイティマウスのボディ内部は、プラスチックの射出成形品であるにもかかわらず、切削加工痕に覆われていた。これらの製品の表面は、型抜きがで

きないインバース面があるにもかかわらず、非常に滑らかな曲面で覆われており、型のパーティングラインすら見当たらないことが外観上の特徴だった。こうした外観は樹脂に対して切削加工と研磨を行うことで可能になっていたことが見て取れる。同様にiPodのボディやアップルTVのリモコンなども、アルミの押出成形後に内部をNCでくり抜いて製造された痕跡がある。アップルのデザイナーたちは、少し前から、スタイリングの品質向上のために切削加工を併用することを、繰り返し試みていたようである。

iPhoneのボディ製造を請け負った技術者たちからは、しばしばアップルのデザイナーたちの製造技術への造詣の深さに感心したという声を聞く。ジョブズが復帰してからの奇跡的な復興を支えたのは、こうしたデザイナーたちの製造技術への挑戦が背景にあったことは間違いない。重要なのは、デザイナーがただ綺麗なモデルを作って、それを実現するために製造技術が頑張ったという構図ではなかったことである。確かにジョナサン・アイブ率いるアップルのデザインチームは、ほとんどジョブズ直属の組織であり非常に大きな権限を持っていた。スタイリングデザインは、製品開発の中核であったと言える。しかし彼らは造形家としてただ新しい形を提案しただけではなかった。むしろ製造技術者として新しい加工方法を提案し続けたと言って良い。

この時期のアップルの製品はリリースされるたびに「どうやって作ったんだ？」が話題になった。こうしたデザインと製造技術の良好な、そして挑戦的な関係を支えたのがステイブ・ジョブズという人のデザイン観そのものであったことは間違いない。ジョブズはある雑誌のインタビューに答えて次のように述べている。

「デザインとは単にどのように見えるか、どのように感じるかということではない。どう機能するかだ。」

形態は機能に従うというのはバウハウスの有名な言葉だが、彼らにとっては形態は機能そのものだったのである。

ここまでは、2000年代のアップルにおけるデザインと製造技術の良好な関係、特にトップのクリエイティブチームが単にスタイリングデザイナーの集まりではなく、製造技術者でもあったことを紹介してきた。本稿の後半は私が近年取り組んできたデザインについての製造技術との関係についての研究を紹介し、将来的な展望につなげたい。

## 2 新しい製造技術が生む新しいデザイン

2013年より私は東京大学の山中研究室で先端技術と人の関わりをテーマとして、先端技術がもたらす未来の価値を具現化するプロジェクトを進めてきた。その中でも特に

Additive Manufacturing (付加製造技術、俗にいう3Dプリンティング)が生み出す新しい形についての研究を紹介したい。

## 2.1 構造触感

2013年に、東京大学生産技術研究所の新野俊樹教授と私は、付加製造技術(以下AM)の可能性を探るデザインプロジェクトをスタートさせた。AMは、Free Form Manufacturingとも呼ばれ、切る、削る、曲げる、型に流し込むといった従来の製造技術に比べ、複雑な形を自由に作ることができることが大きな特徴になっている。この特性を活かして私たちは最初に、様々なメソスケール(ミリ単位)の構造に挑戦した。それらは「構造触感」と呼ばれ新しい手触りをもたらす体験型プロトタイプとして製作している。

使用した積層造形機は、主にポリアミドの粉末を材料としたSLS(粉末焼結積層造形Selective Laser Sintering)である。この3Dプリンタは母材の粉末を薄く引いて、一層ずつレーザーで固めるやり方で立体を作る。結果的に粉末の塊の中に、立体が造形される。装置は大掛かりになるが、熱可塑性プラスチック材料を半液状に溶かしノズルから射出するFDM(熱溶解積層造形Fused Deposition Modeling)と比較すると、造形物を空間に固定する構造体(サポート)を造形する必要がないため、微細な3次元構造が作りやすい。

私たちはこれを用いて繊維構造や編み構造、多層構造などを作ることにより、単一素材でありながら、これまでにないしなやかさやしっとり感などを有するサンプルを多数製作した(図5)。異方性を持たせたり、力学特性の分布を変化させたりすることも容易であるため、日常的な素材とは異なる「触感」を体験できる。現時点の造形のレゾリューションは十分とは言えないが、将来は弾性、剛性、粘性、強度、密度などのパラメータを自由にコントロールできることが期待され、これらのサンプルはそれを予感させる体験型モデルとなって

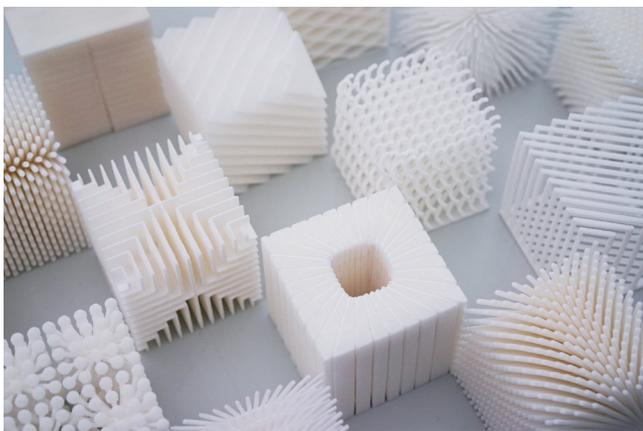


図5 3Dプリンタを使って制作された「構造触感」のサンプル(Online version in color.)

いる。写真(図6)は学生の谷道鼓太郎による「Al Dente」という作品。シンプルな螺旋構造の造形であるが、極めて異方性が高く、なぜかプルプルと液体のような質感が楽しめる。私たちはこうしたものを国内外の展覧会という形で発表し、多くの一般の方からの反響を得ている。

## 2.2 アスリート用義足RAMI

2014年には、新野教授と私たちは複数の企業と東京都産業技術研究所の協力を得て、SIP革新的設計生産技術「AMを核とする新しいものづくりの創出」の製品化プロジェクトとしてAMを使った義足の開発を進めてきた<sup>3)</sup>。

現代の義足はモジュラー義足と呼ばれるものが主流である。これは第1次世界大戦後の需要の急拡大を受けて、数種類の量産パーツの組み合わせで安価に様々なサイズのものを量産する仕組みとして開発されたシステムである(図7)。膝や足首にあたるジョイントは標準化され、その間をその人の身長に合わせたアルミのパイプで繋ぐ。先端の足部はプラス



図6 Al Dente、螺旋状の構造で不思議な手触りを実現した作品(Online version in color.)



図7 現在普及しているモジュラー義足(Online version in color.)

写真：加藤康

チックの成形品が用いられいくつかのサイズが量産されている。人体との接続部品であるソケットだけは、切断者の断端を型取りして、義肢装具士によりハンドメイドで作られてきた。モジュラー義足は、それまでの全てが一品生産されていた義足に比べて、多くの人に安価に提供する優れた仕組みであったが、いかにも機械部品の外観の標準パーツとアルミパイプを組み合わせただけなので、無骨な外観にならざるを得ない。

義足に現代の標準的な工業製品レベルのスタイリングを与えるためには、一人一人の身体に適応する美しい一品生産品を、適正なコストで製造する仕組みが必要である。私たちは、これに先立って2008年ごろから「美しい義足」プロジェクトを推進してきた。厚生労働省の支援を得てパラリンピックアスリートや義肢装具士の協力を得て一つ一つデザインし、そのいくつかは市場に送りこむこともできた<sup>4)</sup>。しかし結局一人の切断者のために一人のデザイナーが張り付く形になり、コスト的にもサービスとしての持続性はなかった。快適な義足を安価に供給するためには個別のデザインを非常に短時間で行う必要があり、それを支えるソフトウェアと新しい制作環境の開発が必要だったのである。

そこで2014年からは、製作プロセスをデジタル化し、短時間で美しく機能的な義足の製作システムの開発を目指して研究を進めてきた。義足を自動設計するための手法としては、CTなどによる断端内部の計測と歩行シミュレーションによる義足最適化の研究が海外でも幅広く進められている。しかし計測装置が大掛かりで設計コストもかかるため、今の

ところ誰でも使えるようなサービスは実現できていない。私たちは全く違うアプローチとして、義肢装具士自身の経験と知見を活用し、これまでハンドメイドで行われていたソケットの制作をCAD上に移植して短時間に設計し、制作そのものは粉末焼結型の3Dプリンタで行うシステムを開発した。

私たちは「現代の名工」にも選ばれているカリスマ義肢装具士の白井二美男氏やパラリンピックアスリート (T44クラス100m、200m、走り幅跳び日本代表) の高桑早生選手らの協力を得て、AM義足のプロトタイプRAMIを製作した (図8)。RAMIの制作は断端 (またはその石膏型) の3Dスキャンに始まり、義肢装具士のノウハウを取り入れたFit Designerと呼ばれるソフトウェアを使用して、義肢装具士により内面が最適化される。その上でトポロジー最適化をコアにデザイナーによる外観設計も行なった。残念ながら東京オリンピックでの使用には至らなかったが、機能的には高桑選手が現在使用しているものと同等であり、使用感も良好であるという結果を得ている。プロジェクトは2019年に終了したが、開発したソフトウェアは鉄道弘済会義肢装具サポートセンターによって、現在も活用され、複数の実施例が報告されている。その中には、以前の義足では痛くて走れなかったという高校生が、3Dプリンタ義足の活用により国体に出場するまでになった事例も含まれている (図9)。

経済的に見れば義足マーケットは極めて小さなものであるが、一方で、装具やウェアラブル装置などの、人体にフィッ



図8 デジタル設計プロセスと3Dプリンタにより制作されたアスリート用義足RAMI (Online version in color.)

写真：加藤康



図9 高校生のためのデジタル設計義足、彼女はこの義足で2022年の国体に出場 (Online version in color.)

トする高機能製品は高齢化社会を迎えて幅広い需要が見込まれている。スポーツ用義足はそうした製品の中でも最も設計難易度の高い高機能製品である。ここをクリアすることによって、将来のカスタマイズ製品の開発製造プロセスを確立するための技術的な基盤になることが期待されている。

### 2.3 Ready to crawl

Ready to crawl (すぐにハイハイできるの意) はAMがもたらすものづくり革新の可能性を示すために製作された、小型ロボットのプロトタイプ群である (図10)。杉原寛らが中心になって製作した10体のプロトタイプはいずれも共通する二つの特徴を有している<sup>6)</sup>。

一つはアクチュエータを除く、全ての機構が一度に造形されていることである。通常、ロボットのような複雑機械は、パーツごとにそれぞれの機能に見合った素材を使い、別々に加工された膨大な部品を組み立てて製造される。しかしこのロボット群においては、リジッドな構造も柔軟構造も、歩行動作を発生する動作機構も、最終的な3次元配置のまま単一素材のレーザー焼結により造形される。出来上がった構造体にモータを挿入して電力を供給すれば、直ちに滑らかな歩行動作を開始することができる。少し遠い未来かもしれないが、さまざまな製品をアセンブリ工程なしに出力する製造プロセスの可能性を示唆する研究である。

もう一つの特徴は3次元カムと呼ばれる動作発生機構にある。3Dプリンタは様々な製品、試作品に応用されるようになったが、動作機構の製作に用いられた事例は案外少ない。

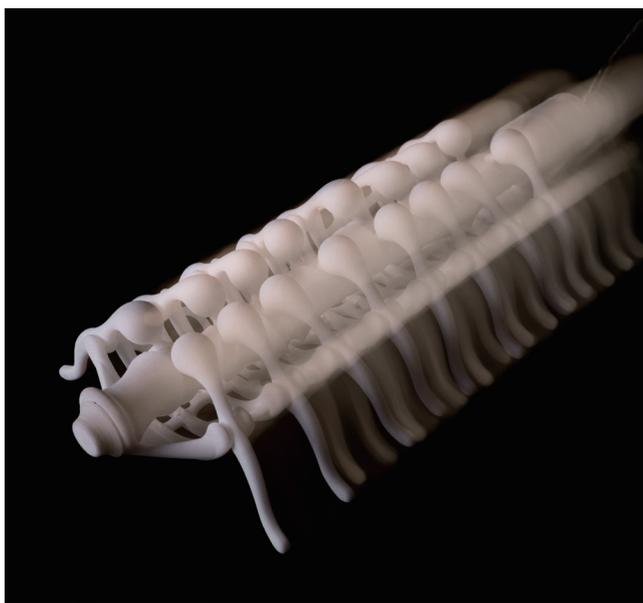


図10 3Dプリンタによって全体が一体造形されたロボットReady to Crawl (Online version in color.)

写真：加藤康

その理由は加工精度不足にある。粉末焼結型の3Dプリンタは強度的には安定しているが、造形精度は0.1mm程度であり、普及型の旋盤などと比べても2桁近く精度が劣る。そのため、従来製品と同様の構造のギヤや軸受など機構をそのまま製作しても摩擦やガタのために正常に動作しない。それゆえ、これまでの3Dプリンタは主に構造材や流路、デザインモックアップなどに使われてきた。

Ready to crawlのロボット群においては、ルーズな構造を用いることで精度不足の問題を回避し、自由に造形できるAMの特性を活かして、動作そのものを自由曲面の立体構造に組み込むアイデアが軸となっている。それぞれのロボットの中央で回転する3Dカムと呼ばれる軸には、脚の3次元的な歩行動作の軌跡が溝状に制作されており、2自由度関節に支えられた複数の脚がそれをなぞりながら動くことによって、滑らかに連動する多脚歩行の歩様を発生している。

一般的なロボットのなめらかな動きは多モータの高精度な連携によって達成される。しかし、本プロジェクトでは「正確な動作」と「なめらかに見える動き」との違いに着目し、ルーズな構造のまま生き物らしいなめらかな歩行を生成した。このような変形カムによる動作生成は「弓曳き童子」などの伝統的なからくり人形にも見られる、ある種の立体プログラミングであると言える。

工学的に見ると、ルーズな機構で弾性体を含む動作機構のふるまいを正確に予想して設計することは現状では案外難しい。実のところReady to Crawlの設計は膨大な試行錯誤により行われており (試作修正が容易なAMならではの開発プロセスとも言えるが)、正確な動作設計はまだ研究途上である。しかし、このこと自体がAMによる新しい機構学の分野開拓の可能性を示唆しているともいえるのではないかと。

### 2.4 Scalable Hand

最後にもう一件、AMをベースにしたプロトタイプを紹介する。大学院生の小笠原佑樹の研究成果である (図11)。成果物として製作されたのはScalable Handと呼ばれる、3指対抗ロボットハンドである。このロボットハンドは、Ready to Crawl同様にすべての構成要素が組み上がった形でプリントアウトされ、組み立てが必要ない。単一素材からできており、関節とリンク、バネ、柔軟な指先などがすべて一体で造形される。駆動は指に沿ったワイヤで行われ、物体を把持するときには二つの関節を持つ指全体が立体形状に応じて巻き付くように動作する「馴染み機構」と指先に設けられた柔軟構造によって、ワンモータでありながら様々な形状のものを柔軟に掴むことができる。

このロボットハンドの最大の特徴は設計がスケラブルであることである。



図11 Scalable Hands, 3Dプリンタにより一体成形で制作されたロボットハンド、設計変更なくCADデータの単純な拡大縮小によって80%から120%の範囲で無段階のサイズ展開が可能 (Online version in color.)

一般的に工業製品は同じ設計のままに自由に変更することはできない。ネジやベアリングあるいはモーターなどの標準部品のサイズが離散的に規格化されているからである。このため、通常は製品をスケールアップすれば、企画部品周辺は再設計となるため、結果的にいくつかのサイズのもの段階的に設計・製造されることになる。人の体にフィットする人工物においても同様で、L、M、Sなどのサイズバリエーションが展開されるのが一般的である。

しかし、前述のようにこのロボットハンドにおいては、ネジやベアリングなどの標準部品を用いず、すべての機構が同一素材の自由形状で設計されているその結果、CADデータを単純に拡大縮小するだけで、80%から120%の範囲で無段階のサイズ展開が可能である。

このロボットハンドを小児用義手に応用すれば、子供の成長に合わせたサイズ調整が可能になる。本研究では医学部付属病院リハビリテーション科の協力を得て、前腕欠損の小児(8歳)にフィットする義手を、汎用設計のスケールリングにより製作。国際標準の機能検査法を用いた実用性試験を行い、被験者が日常的に使用している筋電義手と比較しても、ほとんどのスコアで優位であるという結果を得た。

同等の把持力を持つ完全一体成形型のロボットハンドは世界にも例がなく、3Dプリンタによる製品のローコストな無段階サイズの展開、その応用としての身体の成長などに合わせたきめ細かなパーソナライゼーションなどのコンセプトは、さらなる製造技術革新を切り開くものとして期待される。

### 3 終わりに

本稿は鉄鋼協会の会報に上程されるものであるにもかかわらず、残念ながらあまり鉄の加工に関する情報がない。しかし、広く加工技術がもたらす新しい価値を考える上では重要であると思われる事例を幾つか提示した。

前半では2000年代のアップル社による一連のデザイン革新と呼ばれるものが、製造技術上の革新と一体であったことについて解説した。主にアルミの切削加工がもたらした新しいデザインの話題であるが、製造技術が商品開発の下流工程ではなく、新しい価値創造デザインのためのトリガーとなることの事例としては非常に有用であると考えられる。

後半では、近年私の研究室で製作された三つのプロトタイプを紹介した。これらの事例はすべてプラスチックの積層造形によって製作されている。金属の3Dプリンタは今の所非常に高価で扱いが難しく、まだまだ限定された要素にしか使われていない。しかしここに示された新しい動作機構、人の体にフィットする形状、スケーラブルな設計などの可能性は金属の積層造形においても同様の展開が期待されるものである。

思い返せば、デザイナーである私のキャリアは自動車メーカーのカーデザイナーとしてスタートした。20代後半をほぼ鉄製品の造形に費やしている。その後、様々な製造技術や素材に出会って私のデザインは常にリフレッシュされてきたが、鋼板プレス加工の限界に挑む日々培った造形力が私の活動の原点であったことは間違いない。かつて心血を注いだ鉄製品のデザインに、新しい製造技術が大変革をもたらす芽は、すでにさまざまな形で現れていると思う。

#### 参考文献

- 1) 山中俊治：デザインの骨格，日経BP社，(2011)。
- 2) 山中俊治：だれでもデザイン，朝日出版社，(2021)。
- 3) 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) / 革新的設計生産技術，「AMを核とする新しいものづくりの創出」，東京大学，東京都立産業技術研究センター，アスペクト株式会社，株式会社エリジオン，一般財団法人製造科学技術センター，(2014-2019)。
- 4) 山中俊治：カーボンアスリート，白水社，(2012)。
- 5) 山中俊治：機能的で美しい義肢とものづくり革新，日本義肢装具学会誌，32 (2016) 1, 35。
- 6) 山中俊治：デザインと加工技術の深い関わり，そして未来-プロトタイプングが示唆するAM革新の可能性，プラスチック成形加工学会30周年記念特別講演会予稿集，(2018)。

(2023年7月13日受付)