

# デジタルファブリケーションの最近の動向

## —3Dプリンタを利用した新しいものづくりの可能性—

蒲生 秀典

### 概要

三次元に層を重ねて物体を製造する積層造形を利用する三次元（3D）プリンタが、デジタル&パーソナルファブリケーションツールとして注目されている。従来のものづくり手法と異なり、デジタルデータを基に一体的に3D形状が作製できることから、製造の大幅な低コスト化、あるいはオープンソースを利用した製造のイノベーションが期待されている。近年、欧米を中心に、このデジタルファブリケーションを製造業や教育に展開する政策が推進されている。

デジタルファブリケーションでは、デザインとプロセスを一体化・融合することで、新たな発想によるものづくりが実現できる可能性がある。今後、基幹となる付加製造技術の高精度化、高スループット化、材料の多様化のための研究開発と併せて、アイデア創出のためのデザインとプロセスの研究者・技術者の融合の場の提供や、人材育成の観点からの市民や子供たちへの教育・啓発のための施策も、将来に向けたデジタルファブリケーションの進展のために有効である。

**キーワード：**デジタルファブリケーション，3Dプリンタ，付加製造，ファブラボ，オープンソース

## 1 はじめに

三次元に層を重ねて物体を製造する積層造形を利用する三次元（3D）プリンタが、デジタル&パーソナルファブリケーションツールとして注目されている。従来のものづくりにおける一般的な加工・成形法と異なり、デジタルデータを基に一体的に形成できることから、製造の大幅な低コスト化、あるいはオープンソースを利用した製造のイノベーションが期待されている。

近年、欧米を中心に、このデジタルファブリケーションを製造業や教育に展開する政策が推進されている。一方、デジタル&パーソナルファブリケーションを、グローバルネットワークを利用して先駆的に展開してきた市民工房ファブラボ(FabLab)は、先進国・発展途上国を問わず、世界的にその拠点数

が急増している。

日本では、「科学技術イノベーション総合戦略」(2013年6月7日閣議決定)<sup>1)</sup>において、少量多品種のフレキシブルなものづくりによる地域の産業の確立を目標とした、生産技術等を活用した産業競争力の涵養の取組があげられている。その一例としてデジタルファブリケーションの基幹技術である三次元造形等の高度な生産技術の地域のものづくり産業への展開等が示されている。

本稿では、世界的に急速に拡大し、先進国で政策展開への局面を迎えたデジタルファブリケーションの最近の動向と今後の方向性について記す。

## 2 デジタルファブ리케이션と基幹技術としての付加製造の特徴と現状

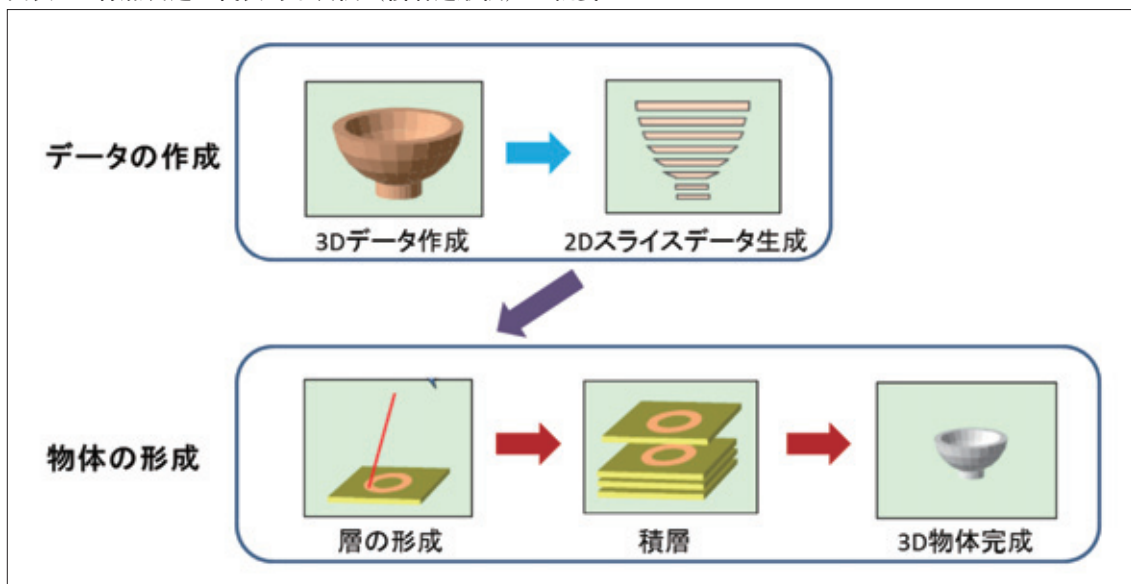
### 2-1 特徴

工業製品には必要とされる用途に適した形態を作製するために、何らかの形状付与（加工・成形）が施される。一般的には、大きな塊から不要な部分を取り除く「除去加工」、あるいは、材料を計量して必要な形に変形する「成形加工」が用いられる。一方、3Dプリンタに代表される加工法はこれとは異なり、材料を積み上げて必要な形を作る「付着加工」である。<sup>2)</sup> これまで日本では積層造形法、欧米ではラ

ピッドプロトタイピングと呼ばれていたが、2009年のASTM（米国材料試験協会）国際標準化会議において、主に「材料を付着することによって物体を三次元形状の数値表現から作製するプロセス」を、アディティブマニファクチャリング（Additive manufacturing [ASTM F2792]<sup>3)</sup>；日本語では付加製造）と呼ぶことが決められた。

付加製造では、三次元CADやCGで作成した物体構造のデジタルデータを用いて物体を造形するため、設計（デザイン）と製造（プロセス）が3Dデータを基に連続的かつ一体的に利用できることから、従来の製造とは異なるデジタルファブ리케이션が実現できる（図表1）。デジタルファブ리케이션では、デザインとプロセスの融合による新規構造・形態の創出が期待できるほか、形状デー

図表1 付加製造の代表的な製法（積層造形法）の概要



出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 付加製造の主な方法

名称	光造形	レーザー焼結	FDM
製造方法	液槽光重合	粉末床熔融結合	材料押出堆積
概略図			
原理	液状の光硬化性樹脂を、光重合によって選択的に硬化	粉末材料を熱エネルギーによって選択的に熔融結合	液状の材料をノズルから押し出し堆積と同時に固化
基本特許	1984.8, Hull	1986.10, Deckard	1989.10, Crump
主なメーカー	3D System, CMET	EOS, 3D System, Arcam 他	Stratasys, 3D System 他

出典：参考文献2、4を基に科学技術動向研究センターにて作成

タのオープンソースとしての利用、さらにはネット上での共有が可能となる。また、製造コストは使用する材料の量や工程の数に大きく依存するが、付加製造では原理的に最小限の材料量と工程数で作製できるため、低コストかつ低環境負荷での製造が期待できる。

現在実用化している主な付加製造の方法を図表2に示す。これらの基本特許は1980年代後半に出願されており、特許期限を迎えていることも、近年普及が拡大していることの一因である。なお、現在数十万円で市販されている低価格の3Dプリンタは、熱硬化性樹脂を用いた材料押出堆積法(Fused Deposition Modeling:FDM)であり、Fab@Home<sup>5)</sup>やRepRap<sup>6)</sup>にオープンソースとして装置構成やソフトウェアが公開され利用されている。

## 2-2 適用例

付加製造の主な適用例を図表3に示す。航空機や自動車などの移動体の部品や医療機器、生体模型などの作製が報告されている。また、特に組織工学・再生医療分野では、組織再構築のための三次元担体造形や、マルチマテリアルの塗り分けが可能な3Dプリント技術に注目した、細胞から実際の組織や臓器を作製する「バイオフィブリケーション」の研究が進められている。<sup>7)</sup> さらに、インターネットマーケットへの展開の事例として、Shapeways社<sup>8)</sup>のオンライン3Dプリントショップでは、個人が作成した3Dモデルデータを元に3Dプリンタで造形したり、デザイナーやアーティストあるいは一般の個人がアップロードした作品を3Dプリンタの造形物として販売するオンラインショップやSNS機能も兼ね備えたサービスを行なっている。

図表3 付加製造の適用例

機能模型(エンジン) <sup>9)</sup>	ラビッドツーリング	戦闘機用エアダクト <sup>10)</sup>	航空機部品 <sup>11)</sup>
			
フォトニックデバイス	補聴器 <sup>12)</sup>	入れ歯 <sup>13)</sup>	歯科補綴物
			
義足 <sup>4)</sup>	生体組織培養足場	人工皮膚 <sup>14)</sup>	心臓弁用鋳型 <sup>4)</sup>
			

出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

## 2-3 付加製造に関する国際会議

付加製造技術に関する国際会議は、研究開発が本格化した1990年代から開催されている。主要な会

議としては、米国・テキサス大学<sup>15)</sup>においてSolid Freeform Fabrication Symposiumおよび英国・ノッティンガム大学<sup>16)</sup>ではAdditive Manufacturing Conferenceが毎年行われている。前者は教育・研究機関が中心、後者は企業の参加が多いことが特徴である。

## 2-4 現状の課題

付加製造は、現状では、図表3に示したような、単一材料で内部構造が複雑な構造体の作製、および、変種少量生産に適している。ただし、現在利用できる材料は高分子（樹脂）、金属、セラミックスの一部であり、スループットも一般的な従来の製造方法に比べると低い場合が多く、適用例に示したごく限られた部品や模型等に実用化されるに留まっている。

## 3 ものづくり産業振興策としての各国の動向

欧米を中心に、ものづくり産業の振興策として、付加製造あるいはデジタルファブリケーションを重点施策化する動きが活発化している。

### 3-1 米国

米国では、デジタルファブリケーションによって実現される設計と製造の一体化、そして各拠点間のネットワーク構築を、工学教育や製造業の振興に適用する政策を推進している。オバマ大統領は、2012年のはじめに、今後4年間で1000か所の学校に、3Dプリンタやレーザーカッターなどのデジタル工作機械を完備した「工作室」を開くプログラムを立ち上げた。<sup>17)</sup> 同年8月には、付加製造技術を研究・発展させるための研究所（National Additive Manufacturing Innovation Institute : NAMII）を設立した。<sup>18)</sup> この研究所は、オハイオ州ヤングスタウンに本部をおき、製造業、大学、コミュニティカレッジおよび非営利団体から構成されるコンソーシアムで構成されている。このプロジェクトには、国防総省とエネルギー省傘下の国立研究所が参画している。国防総省では、防衛、航空宇宙、自動車、金属製造など幅広い業種に影響を持つと考えており、一方エネルギー省では、従来の「除去・成形加工」製造プロセスに比べエネルギー使用量の50%以上を節約できるとの予測を示している。2013年1月には報告書を公開<sup>19)</sup>、同年5月より新たな研究所の設立案を公募中<sup>20)</sup>である。

### 3-2 英国

英国では、産学連携に基づくイノベーションの推進を目的とし構築されたカタパルト・センター・ネットワーク（現在は7研究拠点）の最初のセンターとして、2011年10月に「高付加価値製造カタパルト」が発足した。この中の、製造技術センターにおいて、頭蓋骨、医療機器、宝飾品を作製することを目的とした付加製造プロジェクトが進められている。<sup>21)</sup>

### 3-3 ドイツ

ドイツでは、フラウンホーファー研究機構が付加製造に関する産学官のアライアンスを締結している。<sup>22)</sup> また、ボーイング社の出資によって設立されたパダーボーン大学のダイレクト・マニユファクチャリング研究センターにおいて、付加製造技術の適用による低コスト製造技術研究が進められている。<sup>23)</sup>

### 3-4 オランダ

オランダ応用研究機構（Netherlands Organization for Applied Scientific Research : TNO<sup>24)</sup>には、ペンローズアディティブマニユファクチャリング技術を共有する研究プログラムがあり、産学共同／委託研究を実施している。これには、材料メーカー、エンドユーザー、セットメーカー、ソフトウェアやデザイン技術者が参画している。

### 3-5 ベルギー

ベルギーでは、アディティブマニユファクチャリングネットワークを組織しており、ルーベン材料研究センターをはじめ、企業等がパートナーとして参画している。医療用外装具への付加製造の応用プロジェクトとして、ルーベンを拠点とする「Materialize」が進められている。<sup>25)</sup>

また、欧州諸国では、The European Collaboration on Rapid Manufacturingを組織しており、2013年

6月にStrategic Research Agenda (SRA) 2013 for Additive Manufacturingを公開している。<sup>26)</sup>

## 3-6 日本

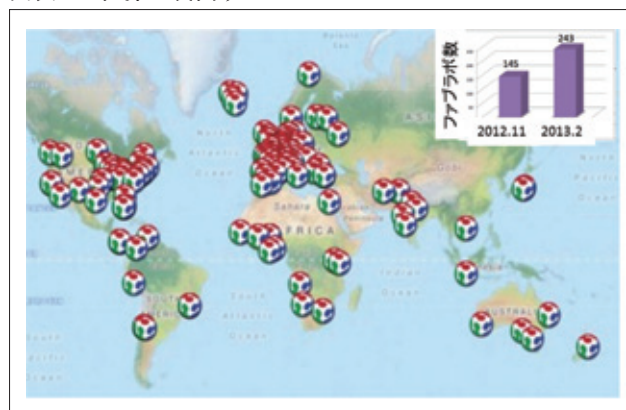
経済産業省では2013年度より5年間の計画で、高付加価値の複雑形状な铸造製品を一体成型で製造するための高速三次元(3D)積層造型システムの技術開発を目的に、複数のメーカーと(独)産業技術総合研究所のグループを委託先とした「超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト」<sup>27)</sup>を開始している。

## 4 「もの」のデザインと機能の創造の場：市民工房「ファブラボ」の世界展開

欧米を中心に付加製造技術の高度化のための研究開発施策が進む一方、デジタルファブリケーションを先駆的に展開してきた「ファブラボ」には、市販あるいは手作りの設備を利用しながら、むしろ個人の発想によるデザイン創造の場としての特徴がある。米国の政策の基になったと考えられるこのファブラボ<sup>28)</sup>は、3Dプリンタやカッティングマシンなどの工作機械を備えた、一般市民のためのオープンな工房であり、2000年にMITメディアラボのアウトリーチ活動として誕生した。ファブラボの特徴は、先進国、発展途上国を問わず世界各地に設けられた工房に市民が集い、各人のアイデアでそれぞれの目的のものづくりを実現する場の提供にある。また、それらのラボはグローバルネットワークで結ばれ、インターネット上で情報が共有(オープンソース)化されている。

ファブラボは現在、MITのThe Center for Bits and Atomsが中心となって活動しており、2013年2月現在で世界に243か所あり、3か月間で1.6倍と急速に増加している(図表4)。ファブラボの理念では、インターネットというインフラが普及することによって、誰もが自由に情報発信することができるようになったように、ファブラボが各地に普及することで、誰もが自由にものづくりを行えるようになる、としている。

図表4 世界に展開するファブラボ



出典：参考文献28を基に科学技術動向研究センターにて作成

ファブラボネットワークでは、以下のようなロードマップを示している。現状は、fablab1.0である

### ○マシン／ツール革命

- ・fablab1.0 computers make machines :  
—3Dプリンタやカッティングマシンで材料を切り出して組み立てて機械をつくる。
- ・fablab2.0 machines make machines :  
—機械自体が機械を生み出す。(自己複製する3Dプリンタ。)

### ○マテリアル革命

- ・fablab3.0 code makes materials :  
—物質に「コード(情報、形状)」が埋め込まれるようになる。
- ・fablab4.0 program makes materials :  
—物質に「プログラム」が埋め込まれるようになる。

日本では、2010年春に「Fablab Japan<sup>29)</sup>」が設立され、2011年5月には鎌倉に日本初のファブラボがオープン、その後つくばと渋谷などの6か所にできている。年に一度、世界のファブラボのメンバーが集まる「世界ファブラボ会議」が開かれ、9回目は2013年8月に、初めて日本(横浜)において、「パーソナル・ファブリケーション～新たなルネサンスを迎えて」のテーマで開催される。<sup>30)</sup>日本からは、第5回(2009年インド)に初めて参加して以来、毎回数名が参加している。

世界のファブラボでは、それぞれの地域性を反映した多種多様な事例が報告されている。<sup>31)、32)</sup>個人のデザインによる日用品や電子部品あるいは芸術作品などパーソナルファブリケーションの例が多いが、ここでは社会へ波及した例をいくつかあげる。

スペインでは、分解・組立が可能なプラモデルのような木造建築で、ソーラーパネルで自家発電ができる「ソーラー・ファブハウス」が製作され、南

米のファブラボのハブとして機能しており、またバルセロナ都市計画の拠点にもなっている。オランダでは、ソフトウェアやデジタルコンテンツで見られるオープンソースを、ものづくりに拡張した「オープンソース・ハードウェア」や「オープン・デザイン」による創作の流れを生み始めている。また、メニューのレシピをダウンロードし、自分で料理し、アレンジを加えたレシピをアップロードする「オープンソース・レストラン」を行うファブラボもある。

一方、インドでは、ウェブを見たいと思う少年が無線アンテナ「FabFi (ファブファイ)」を製作している。FabFiは、ファブラボオリジナルの低コストのバケツリレー式無線ネットワークシステムで、途上国のファブラボを中心に各地で製作され、一部の村では量産もされている。このように、未だソフト・ハード両面のインフラが構築されていない新興国 (Bottom of the pyramid : BOP) 市場におけるサプライチェーンとして機能している例もある。

また、2011年の東日本大震災の際には、スイスのファブラボから、「もの」ではなく小型の水質検査用顕微鏡のデジタルデータと製作レシピが送られ、ビデオチャットで遠隔会議を行いながら、日本のファブラボの工房で製作され役立てられた。このように、データを送り、必要とされる場所 (あるいは市場) で、必要な「もの」がオンデマンドかつ短時間で製作できることも、デジタルファブリケーションの特長である。

## 5 まとめと提言

デジタルファブリケーションでは、デザインとプロセスを一体化・融合することで、新たな発想によるものづくりが実現できる可能性がある。基幹となる付加製造技術は、従来の一般的な加工とは原理的に異なるため、材料、エネルギー、環境いずれの側面においても、必要最小限の資源と環境負荷での製造を実現するポテンシャルを有する。構造体の低コスト生産、変種少量生産、オンデマンド生産への早期展開も期待される一方で、高機能な実用品を作るためには材料やプロセスに関する高度な研究開発、すなわち付加製造技術の高精度化、高スループット化、材料の多様化のための基礎的な研究開発が必須であり、長い目で見た研究とインフラ構築の支援が必要である。

一方、ファブラボでは、地域への場の提供とグ

ローバルネットワークの構築によって、世界各国で様々なものづくりが試みられている。このような、地域や学校における市民や子供たちが、ものの使用者が同時に製作者となり、かつデザインとプロセスに一連で取り組む経験は、新しいものづくりの体験的教育として人材の育成に役に立つと考えられる。

日本でも「科学技術イノベーション総合戦略」<sup>1)</sup>において、地域をベースとしたものづくり産業の発展への寄与のために、三次元造形等の利用が例示されている。また、健康長寿の重点的取組として、再生医療デバイスや人工臓器の研究開発があげられており、個別医療に適したバイオファブリケーションの適用も期待される。

産業振興や健康長寿社会への貢献のためには、装置性能の高度化と併せて、例えば複雑かつ機能を効率的に発現する内部構造を設計する3Dデータ作成技術や、実体化に関しては、構造体さらには機能デバイス作製に不可欠な多様な材料開発のための中長期的な基礎研究支援が、科学技術政策として求められる。

さらに、ベースとなる付加製造に係わる技術の研究開発と併せて、米国の政策のように、アイデア創出のためのデザインとプロセスの研究者・技術者、さらには多様な個人レベルのメーカー&ユーザーの融合の場としての研究拠点の構築、あるいは、次世代の人材育成の観点からの市民や子供たちへの教育・啓発の場としてのファブラボ等の支援などの施策が、将来に向けた新しいものづくりとしてのデジタルファブリケーションの進展には必要である。

## 謝辞

本稿の執筆に当たり、東京大学生産技術研究所付加製造科学研究室 新野俊樹教授、慶応大学環境情報学部 田中浩也准教授、財団法人国際メディア研究財団研究企画担当 大野一生氏に貴重なご意見を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 科学技術イノベーション総合戦略～新次元日本創造への挑戦～、平成 25 年 6 月 7 日閣議決定；  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/honbun.pdf>
- 2) 新野俊樹、「Additive Manufacturing (付加製造) 技術によるものづくりの現状と可能性」、(製造業革命 “メーカームーブメント”、2013.4.12 東京)
- 3) 米国材料試験協会；<http://www.astm.org/Standards/F2792.htm>
- 4) 小林広美、「3D プリンターの種類と応用分野」、(3D プリンターシンポジウム、2013.7.31 東京)
- 5) Fab@Home；<http://www.fabathome.org/>
- 6) RepRap；[http://reprap.org/wiki/Main\\_Page](http://reprap.org/wiki/Main_Page)
- 7) 中村真人、「バイオファブリケーション研究の動向と今後の展望」、科学技術政策研究所 講演録 -271、2010 年 11 月
- 8) Shapeways 社；<http://www.shapeways.com/>
- 9) (株)スリーディー・システムズ・ジャパン提供
- 10) (株)アスペクト；<http://www.aspect-rp.co.jp/#>
- 11) SPAR Point Group；<http://www.sparpointgroup.com/News/Vol11No23ge/>
- 12) Stratasys；[http://jp.objet.com/Industries/Hearing\\_Aid/](http://jp.objet.com/Industries/Hearing_Aid/)
- 13) 三井化学；[http://jp.mitsuichem.com/release/2013/2013\\_0621.htm](http://jp.mitsuichem.com/release/2013/2013_0621.htm)
- 14) 3D WAVE；<http://3dwave.net/?p=405>
- 15) Solid freeform fabrication symposium；<http://utwired.engr.utexas.edu/lff/symposium/>
- 16) Additive Manufacturing Conference；<http://www.am-conference.com/>
- 17) 新田浩之、「新産業革命の渦中に商機を」、ジェトロセンサー、2013 年 5 月号；  
[http://www.jetro.go.jp/jfile/report/07001351/jp\\_word\\_industrial\\_revolution.pdf](http://www.jetro.go.jp/jfile/report/07001351/jp_word_industrial_revolution.pdf)
- 18) National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII)；National Additive Manufacturing Innovation Institute HP；<http://namii.org/>
- 19) National Network for Manufacturing Innovation: A Preliminary Design；  
[http://www.manufacturing.gov/docs/nnmi\\_prelim\\_design.pdf](http://www.manufacturing.gov/docs/nnmi_prelim_design.pdf)
- 20) White House；<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/05/09/obama-administration-launches-competition-three-new-manufacturing-innova> (2013.5.9)
- 21) The Manufacturing Technology Centre (MTC), High Value Manufacturing Catapult；  
<http://hvmcatapult.com/our-centres/manufacturing-technology-centre>
- 22) Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance；  
<http://www.fraunhofer.de/en/institutes-research-establishments/groups-alliances/additive-manufacturing-alliance.html>
- 23) The Direct Manufacturing Research Center (DMRC), University Paderborn；  
<http://dmrc.uni-paderborn.de/en/>
- 24) オランダ TNO 応用科学研究機構；<http://home.att.ne.jp/yellow/tnojapan/>
- 25) Materialise；<http://www.materialise.com/>
- 26) Strategic Research Agenda (SRA) 2013 for Additive Manufacturing；  
<http://www.rm-platform.com/linkdoc/AM%20SRA%20Consultation%20Document.pdf>
- 27) 経済産業省；<http://www.meti.go.jp/information/publicoffer/kobo/k130410001.html>
- 28) Fab Central, The Center for Bits and Atoms, MIT；<http://fab.cba.mit.edu/>
- 29) Fab Lab Japan；<http://fablabjapan.org/>
- 30) The 9th International Fab Lab Conference；<http://www.fab9jp.com/>
- 31) Neil Gershenfeld 「Fab —パーソナルコンピュータからパーソナルファブリケーションへ」、オラリージャパン、2012 年 12 月
- 32) 田中浩也 「FabLife デジタルファブリケーションから生まれる「つくりかたの未来」」、オラリージャパン、2012 年 6 月

..... 執筆者プロフィール .....



**蒲生 秀典**

科学技術動向研究センター 特別研究員

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

企業の研究所にてカーボンナノチューブや半導体薄膜を微細加工した微小電子源と表示・照明デバイス応用の研究に従事。その間、産総研・物材機構・大学にて外来・客員研究員として共同研究に携わる。2010年4月より現職。日本学術振興会真空ナノエレクトロニクス第158委員会委員、表面技術協会学術委員。京都大学博士(工学)。