特集 ■ 3D プリンタと VR

3D プリンタ最新情報と今後の可能性

小林広美　スリーディー・システムズ・ジャパン
Kobayahi Hiromi

1. はじめに

米国製造最大手のゼネラル・エレクトリック社 (GE) の会長兼CEOのジェフ･イメルト氏は，こう語っている．

「タービンブレードは，少しの形状の違いが燃焼ポイントやエンジンが機能する方法に影響し，結果的に何兆円ものコスト削減につながる．現在の製造方法は，ある意味，削り取っていく手法である．素材のブロックをスクラッチから切ったり削ったりしてパーツを作る．一方 3D プリントは，史上初めて，積み重ねる方向でパーツを作る．そのため，廃棄材は少なくて済み，ツーリングは安く済み，サイクルタイムは短縮できる，つまり我々にとって「ホーリーグレイル（聖杯）」なのである．（抜粋）」

GE 社は，試作品の作成，医療機器やジェット・エンジンのパーツの作成の 50% で 3D プリントが必要になると話しており，すでにジェット機のエンジン開発に 3D プリンタを活用することを決めている．

2012 年 8 月，米国オバマ大統領が発表した国家プロジェクトから「21 世紀の産業革命」として，一躍有名になった 3D プリンタ．日本でも，2013 年に安倍内閣が「日本再興戦略」として 3D プリンタを国家戦略に組み込んだ．

3D プリンタは，昨今では従来工法では不可能な製品の生産手段となりつつあり，企業の戦略的ツールとなってきている．ここでは，そんな 3D プリンタの最新状況と今後の可能性について探りたいと思う．

2. 3D プリント＝積層造形（成形）法

一般に “3D プリント ” と呼ばれる「積層造形法」は，1980 年代に発明された成形技術である．これは，光硬化樹脂や熱可塑性樹脂などの材料を薄い層にして「必要な分だけ，固めて積み重ねる」ことで，立体模型を自動造形するという，当時は画期的な方法であった．

まず，コンピュータ上で 3D データを 3 次元 CAD などで作成する．その 3 次元形状を，薄くスライス化し，薄板を重ね合わせたような 2 次元スライスデータを複数枚作成する．そのスライスデータと同一の形状になるように，材料を紫外線やレーザなどで固めて物理的に 0.1mm 厚などの薄い層（レイヤー）を作る．それを一層ずつ接着しながら高さ方向に積み重ねていき，最終的には，設計データと同一の立体模型ができる．

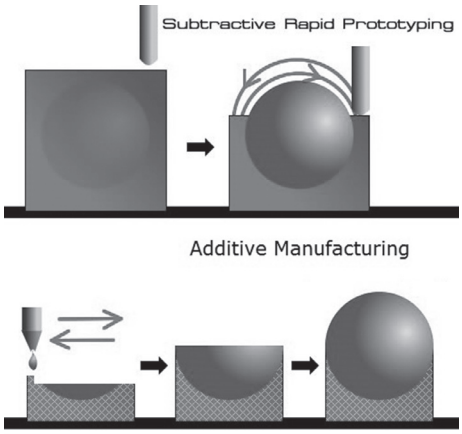

図 1　従来法と 3D プリント法の違い（口絵にカラー版掲載）

Additive Manufacturing（付加製造）と呼ばれる 3D プリント法（図 1 下段）は , 従来の切削工具で金属や樹脂を削り取っていく Subtractive Manufacturing：切削加工とは , 全く異なる発想の手法である．

3D プリント法には , 切削加工に比べていくつかの明らかな特徴がある：（1）中空や入れ子状など成形できる形状の自由度の高さ，（2）同一時間内で “ 異なる形状のパーツを複数 ” 製造できる，（3）データからほぼ全自動で同じ品質のパーツを繰り返し作れる , などである．一方制約としては，（1）利用できる材料が限定される，（2）積層という性質上，どうしても階段状の積層跡が残る，（3）同じ形状を大量生産する場合，射出

成型品に比べ材料費が高く造形時間がかかる，など．メリットを活かし , スピードが求められる試作品，さらにカスタム生産，少量多品種生産で威力を発揮している．

3. 3D プリンタ市場性

3D プリンタはこの 30 年で高機能化や低価格化が進み，世界中で積極的に導入されている．アメリカの業界調査レポートの Wohler's Report は，2013 年度の 3D プリンタ関連市場が 30 億ドル（約 3,000 億円）に達し，年間成長率は 32% を維持，2020 年までに 2 兆円産業になると予測している．

製品が多様化し開発サイクルが短くなっていることから，3D プリンタは大企業から中堅，中小企業にも広がっている．現在では，自動車，航空宇宙，家電，電子機器などの工業分野（設計製造）をはじめ，建築・土木，教育，医療・歯科，エンタテイメント，宝飾品や，ファッション，アートまで，広く応用されつつある．最近は特に，少量ロットのカスタム生産，オンデマンド製品の生産方法としても注目されている．

4. 様々な積層造形方式と特徴

米国スリーディー・システムズ（3D Systems）は，1984 年に創始者のチャック・ハルが世界初の積層造形となる「 光造形 技術（Stereolithography）」の 特許を取得，1987 年に世界初の光造形装置 SLA™-1 を商用化．“Manufacturing The Future（未来を製造する）” というスローガンで，3D スキャンから 3D プリントまでソリューション展開している．実は 3D プリンタにはオールマイティなものはなく，方式と利用する材料によって適用分野も異なる（図 2）．

4.1. 熱溶融方式（PJP:Plastic Jet Printing）

ABS，PLA（ポリ乳酸），ナイロンなどの熱可塑性樹脂を，ヒータ内蔵の Extruder（ヘッド）内で溶かし糸状にして，プラットフォーム上に積層していく方式．家電量販店でも販売されている低価格帯の個人向け 3D プリンタはほとんどがこの方式である．家庭，デザイナ，クリエータ，教育分野，入門用に使われている．本体は安く作れるが，仕上がりは積層段差や荒さが残り，一筆書きのように造形するので時間も少しかかる（図 3）．

4.2. フィルム転写方式（FTI:Film Transfer Imaging）

光硬化性アクリルレジンを透明フィルムの上に薄く敷き，データの形状に従って紫外線をフィルムの下から透過・照射させて一層分を固める方 式，固まった部分は造形プレートに固定され，上から下に向かって積層されていく．PJP に比べて造形時間が早く，表面が滑らかな仕上がりとなり，主に形状確認に使われる．

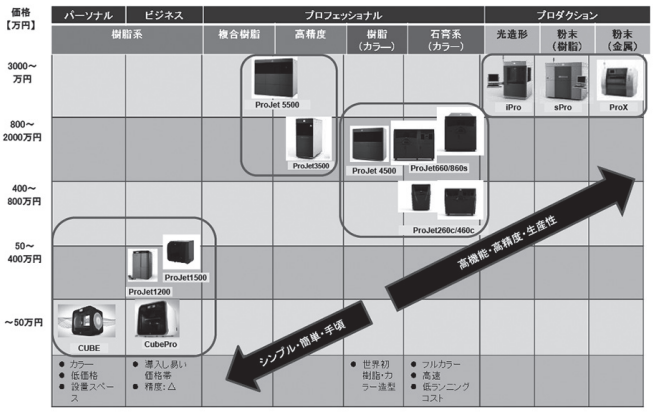

図 2　3D プリンタ製品ポジションマップ

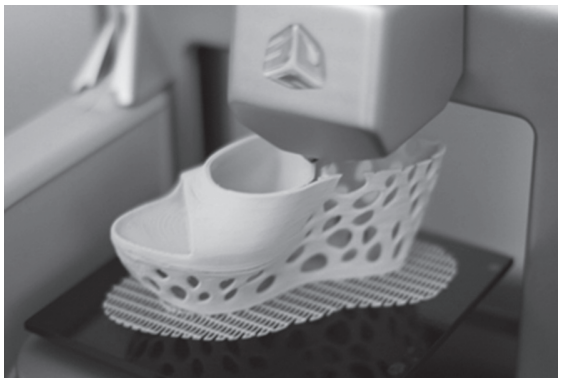

図 3　PJP

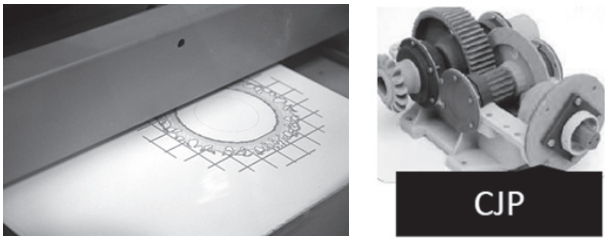

図 4　CJP（ロ絵にカラー版掲載）

4.3. カラージェット方式（CJP:Color Jet Printing）

造形材料となる石膏パウダ（ProJet x60）または樹脂パウダ（ProJet 4500）を薄く敷き詰めて，その上にカラーインクとバインダをインクジェットノズルから噴射し一層ずつ固めて積層する．モノクロから，最大 600 万色のフルカラーでのモデルの製作が可能．特徴は，①造形スピードの速さ，②材料を 100% リサイクルできる，ランニングコストの安さ，③連続諧調のフルカラー造形．特にプレゼンテーション用，ミニチュアフィギュア，デザイン検討モデルや，ビルや住宅などの建築模型，立体地図，医療模型などに広く活用されている．また，石膏の

特性を利用し，ダイレクト鋳造型や成型用型としても使われている（図 4）．

4.4. マルチジェット方式（MJP:MultiJet Printing）

ProJet3500, 5000, 5500X シリーズで採用されている方式．紫外線硬化性アクリル樹脂と，サポートの役目を担うためのワックスを，ピエゾ式インクジェットヘッドから噴射し，LED の UV 光によって硬化させる手順を繰り返して立体モデルを造る．高解像度，微細性（積層ピッチ 16 ～ 32μm）により積層段差の目立たない極めて滑らかなモデル表面や，高い寸法精度を実現した．また，ProJet 5500X は，エラストマーのブラック，PC ライクのクリア，ABS ライクのホワイトのうち，2 種類の材料を混ぜ合わせて一つのパーツとしてプリントする複合マテリアル対応大判プリンタである（図 5）．

4.5. 光造形方式（SLA:Stereolithography）

世界で初めて実用化され最も歴史が長い積層造形システムが光造形である．エポキシーなどの“光硬化性樹脂(photopolymer)”を VAT と呼ばれる樹脂槽に溜め，半導体の紫外線レーザなどを光源としたスポット光を，ガルバノミラーを使ってスキャンし樹脂表面に当てて断面形状を硬化させ，一層ずつ固めながら立体的な樹脂モデルを高精度で造形する．iPro，ProX950，ProJet6000/7000 がこの光造形法を採用，様々な高機能マテリアルが利用できるため，自動車業界を始め，多くの本格的試作から最終製品の生産まで活用されている（図 6）．

4.6. 粉末焼結方式（SLS:Selective Laser Sintering）

sPro, ProX550 シリーズで採用されている粉末造形方式（SLS）は，主にナイロン（ポリアミド 12）を主とした樹脂粉末材料を，スライスデータに従って一層ずつ，CO2 レーザの熱で焼結させることを繰り返してモデルを造形していく．極めて丈夫で耐久性の高いモデルを造形できることが大きな特徴で，オーダメイド性の高いものや，小ロットものの，最終製品の生産に用いられている事例が最も多いのがこの方式である．

4.7. 金属粉末造形方式（DMP-Direct Metal Printing）

ファイバレーザによって金属粉末（スチール，ステンレス，アルミ，コバルトクロム，チタン合金，セラミックスなど）を焼結して立体化する．高精度，高解像度，高密度であるため，医療，タイヤ金型，航空宇宙，ツーリング，自動車などの，主に最終パーツ製造や金型製作に利用されている．最少 100mm から最大 0mm の造形サイズまで ProX100,200,300,400 の 4 機種で展開．製造・生産に直結するため，今，最も期待されている方式である（図 7）．

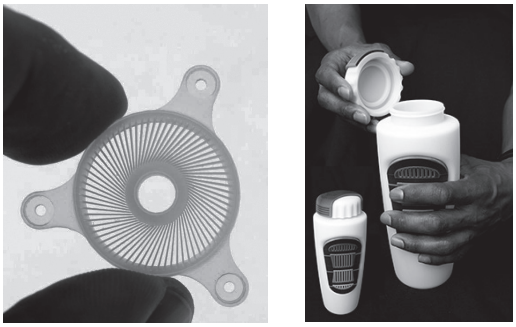

図 5　MJP

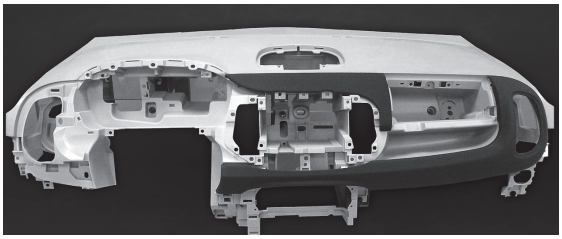

図 6　SLA

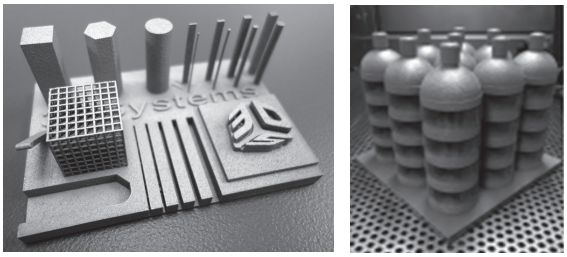

図 7　DMP

4.8. その他

この他に，砂糖やチョコレートを素材にして食品を立体プリントする ChefJet や，セラミック素材をプリントして陶器のマスターを作る CeraJet など，新素材の製品も 2015 年にリリース予定である．

5. 「ものづくり」の様々な段階で活用される 3D プリンタ

開発設計部門での 3D プリンタの導入は，試作の内製化を実現し，その結果，外注費の大幅削減，開発期間の短縮，製品品質の向上に大きく貢献している．例えばシチズン時計様では，3D プリンタ導入後，製品開発試作において半年で装置購入金額の約 5 倍のコスト削減，治具の製作では 3 ～ 4 週間が 2 ～ 3 日に短縮した（図 8）．

同時に，短時間で多品種の立体モデルができることで，社内でのプレゼンテーションや会議，顧客との商談，展示会など，販売・マーケティングにも活用され，売上に貢献する（コミュニケーション）．そして，生産準備の段階では，直前にならないと決定できない多種多様な「治具」類を短時間でプリントすることで生産性を

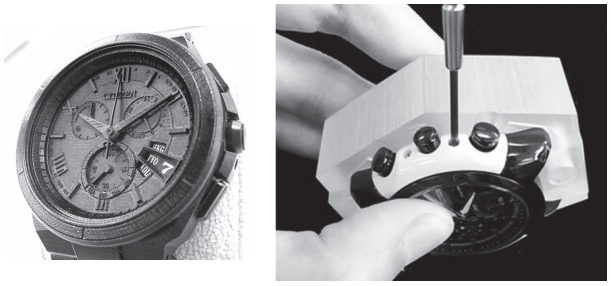

図 8　左：3D プリントモデル，右：3D プリントした治具
（写真提供：シチズン時計様）

図 9　ななつ星 in 九州の
エンブレム型

図 10　バイオコンパチ材料の
カスタム補聴器

大幅に上げたり，真空注型，真空成型のマスタ型や，プレス，鋳造用の簡易型として利用すれば，実際の試作成型品が短時間・低コストで作れる（ラピッド・ツーリング）．最近の例では，九州を周遊する豪華列車「ななつ星 in 九州」のエンブレムの鋳造マスターとして，光造形パーツが利用された（図 9）．

さらに，ポリアミドや金属など強度・衝撃性・耐熱性に優れた材料や，生体適合性に優れたバイオコンパチの光硬化樹脂を成形すれば，最終パーツの少量ロット生産に活用できる（図 10）．

6. 3D プリンタを活用した新しい生産メソッド

金型を作らずにデータから直接成形できる 3D プリント法は，将来の新しい製造手法として着目されており，「少量のカスタムメード」，「オンデマンド型の製品開発と生産システム」を実現するための基盤技術となりつつある．3D プリンタによるエンドユース品の生産には，主に以下のようなメリットがある．

- 金型設計・製作，射出成型などの多くの製造メソッドを省略できる（時間・コスト）
- 自由な形状表現ができるため，今まで作れなかった製品が作れる（差別化，軽量化，高機能）
- 在庫を持つ必要がなく，オンデマンドでデータを 3D プリントして製造：保守部品製造に期待
- 工場は大規模な製造ラインが必要ない
- データと成形が直結しているため，ワンオフ，カスタマイズ，フルオートメーションが容易

図 11　pq 社のカスタム・
アイウェア

図 12　3D プリントした最終製品の例
（口絵にカラー版掲載）

ドイツの pq 社は，顧客の顔のサイズ（鼻の高さ，目の距離など）を計測して，その人にフィットしたカスタム化したアイウェアを，SLS で生産している（図 11）．

また FOB(Freedom of Creation) 社や Freshfiber 社 は，3D プリントした家具やスマホ・ケースで 3D プリントでしか作れないデザインの，新発想の製品を開発し，ネットで販売している（図 12）．

7. 医療分野での活用

医療は究極のカスタム仕様で，まさに 3D プリンタが求められるアプリケーションである．CT, MR, 超音波などの患者固有の医療診断データを 3D 化し，模型から手術支援器具やインプラント開発まで利用できる．術前のシミュレーションや検討会議で，3D プリントした患者の模型が使われることは多くなっている（図 13）．

図 13　医療での応用例（口絵にカラー版掲載）

図 14　Bespoke Innovations 義足カバー

3D プリンタを生産手段として使っている例としては，年間 1700 万以上のユーザに提供されているアライン・テクノロジー社の「インビザライン」マウスピース歯科矯正，CONFORMIS 社の外科手術支援ツールがある．その他，再生医療，術中の固定器具や型の製作などがある．また，Bespoke Innovations™ 社（http://www.bespokeinnovations.com/) は，個人向けにフィット性，デザイン性の高い義足などの装身具を 5000 ドル前後で製造・販売し，障害者の価値観やライフスタイルまでを変えている（図 14）．

8. オンデマンド 3D プリント事業

オンデマンド 3D パーツ製造サービス（Quickparts®http://www.quickparts.com/）は 3D データさえあれば世界中からオンラインでパーツの注文ができる仕組みである．元々オンデマンド印刷を手掛けていた東京リスマチック（http://www.lithmatic.net/）は，2012 年より新規事業として立体造形出力サービスを開始，オンライン入稿による高品質＆フルカラー 3D プリントパーツを法人企業中心に，短納期で提供している．コンテンツ配信大手の DMM.COM（http://make.dmm.com/）も様々な 3D プリンタを設備として装備し，ネットからのプリントサービスに対応．秋葉原には，誰でも“ものづくり”のできる環境を整え，個人の発信力を強力に支援している．

9. 建築，土木，住宅販売など

フルカラー 3D プリンタは，建築や地図情報（GIS）の模型製作にも利用されている．製作コストは手作業に比較して 1/3 以下へ削減され，時間も劇的に短縮，より複雑な模型も作成可能になった．プレゼンやコンペでは圧倒的に有利となり，競争力を上げ，新規ビジネスの獲得に繋がっている（図 15）．

2014 年 3 月には国土地理院 が日本全国の立体地図データ GIS を web で公開した（http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/)．「誰でも・簡単に・日本全国どこでも」地図を 3 次元で得られる（図 16）．

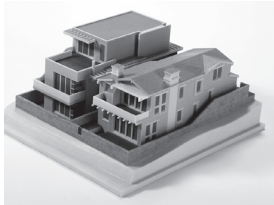

図 15　住宅販売用模型
（口絵にカラー版掲載）

図 16　日本全国の立体地図データ

10. エンターテインメント，フィギュア，記念品

自分や家族の肖像をフィギュアというカタチで残していく，3D フィギュア製作の分野では，ハンドヘルドタイプの 3D スキャナ＆ソフトウェアツール＆フルカラー 3D プリンタが利用されている．このサービスは現在，青山 3D サロン（http://aoyama3dsalon.jp/）他，全国の 3D 写真館で提供されている．

11. バーチャルリアリティと 3D プリント

3D CG をベースにして仮想空間を生成するバーチャルリアリティでも 3D プリントが助けになっている．3D CG データと実体を合成して現実を拡張する Augmented Reality(AR), Mixed Reality(MR) では，実体となるパーツの製作に 3D プリンタが使われることがある．

また，3D プロジェクションマッピングのコンテンツ開発でも 3D プリンタが活用されることがある．プロジェクションする立体映像は，対象物との高度なマッピング技術やソフトウェアによる調整が必要であるが，対象物は建築物など大型だったり，アクセスが限られたり，簡単に調整することが難しい場合がある．そこで対象物を 3D スキャンし，そのデータを 3D プリントして実物のミニチュアを作り，そこに縮尺をかけた映像を投影し，マッピングを調整し，コンテンツを仕上げていく．フルカラーの 3D プリントを使えば，実際の建物に映像を投影した時の発色までもある程度確認することができる（図 17）．

12. 宇宙開発

データと 3D プリンタさえあれば場所を問わずモノづくりができるのも 3D プリンタの大きなメリットである．「宇宙空間で行う製造（in-space manufacturing）に

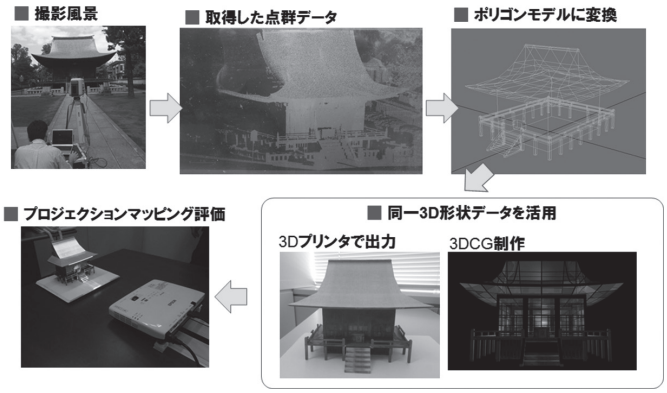

図 17　プロジェクションマッピング製作工程で利用される 3D プリンタ
出典：アンビエントメディア　町田聡氏 web site より
（口絵にカラー版掲載）

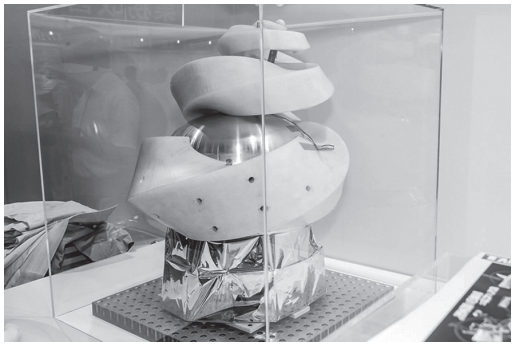

図 18　はやぶさ2に搭載された 3D プリント部品

図 19　個人向け 3D スキャナ

より，今日の宇宙開発や商業化やミッションデザインは大きく変わる可能性がある．そのために，3D プリントは完璧な方法です．」ミッション用にオンデマンドのパーツを作ることから，空間に最適な住居を建築することまで，無重力空間におけるあらゆる製造方法を実験している．

2014 年 12 月 3 日に小惑星探査機「はやぶさ 2」を載せた H-IIA ロケット 26 号機が打ち上げに成功した．実ははやぶさ 2 に相乗りしているうずまき形の小型探査機は 3D プリンタ (SLS) で製作したものである（図 18）．

13. 個人レベルに広がる 3D プリンタ

個人向けの 3D プリンタ Cube3® は趣味の DIY 工作，アクセサリーや身の回り品の製作，子供用の玩具やギフトとしても購入されている．

従来，ユーザは，3D CAD パッケージなどで 3 次元の設計図を作らないと 3D プリンタを活用できなかった．しかし昨今では，低価格や無償の 3D モデリングソフトにより，3D データ作成の敷居は低くなってきており，3D コンテンツのシェアサイトも増え続けている．10 万円以下で購入できる個人向け 3D スキャナ（Sense® や iSense®）で人物や現物をスキャンして 3D データを作ったり，ネット上にある無償や有償の 3D コンテンツをダウンロードしカスタマイズして，お気に入りの一品を作ることもできる（図 19）．

14. Google “Project Ara” カスタム生産ラインに組み込まれる 3D プリンタ

製品のパーソナル化には 3D プリントによるカスタム大量生産が求められる．アメリカでは，グーグル社とモトローラ社が主体の次世代携帯端末（ProJet Ara）を開発中で，その中で 3DSystems は端末のカバーのカスタムデザインから生産までを担っている．モジュール化された端末は，究極のカスタム化が可能で，ユーザが自由に機能やデザインを選んでオーダできることを想定している．つまり，デイリーで数千個以上の「異なる」デザインのケースを生産するための高速 3D プリント対応の製造設備が必要であり，今までの 3D プリンタ技術では対応できない．現在，新しいプロダクションラインを開発中で，2015 年内に完成させ，Project Ara での初めての運用を目指している．(https://www.youtube.com/watch?v=4RQYpo2sx_s)

15. 最後に

「光造形 3D プリンタで部品 2,400 点を 20 時間で製造することに成功したことで，部品一個あたりの製造時間が 30 秒に下がった．これは，一般的な射出成型法のそれを下回る．(2014 年 6 月 13 日 3DSystems 発表)」3D プリンタのさらなる高速化，性能向上により，ジャストインタイム方式による大量生産への足掛かりになり，3D プリンタの大量生産のモノづくり現場への浸透に拍車がかかることが期待されている．

3D プリンタは従来のものづくりの手法を補間し拡張するものとして，今後 5 ～ 10 年で製造業や人々の生活を変える影響力を持つと言われている．少量・多品種小ロット生産，オンデマンド，カスタム生産など，時代の要求に応える成形方法として，3D プリント技術と市場は今後も発展していくであろう．急速に変化し続ける環境に，今後も注目していく必要がありそうである．

【略歴】
小林広美（KOBAYASHI Hiromi）
日商エレクトロニクス株式会社入社，ヴァーチャルリアリティーセンター横浜，武蔵野美術大学非常勤講師兼務，SensAble Technologies を経て，2008 年 3D Systems に入社し，現在に至る．外資系企業を中心に，約 20 年間スリーディー関連分野に従事．