



はじめに

自己紹介

大学 / 大学院の研究テーマは, 「**スペックルパターンの統計解析と応用**」

1985年 富士ゼロックス入社
連続噴射型インクジェットプリンタの, 液滴飛翔制御の研究
(光学的インクドロップセンサ)
以降, インクジェット技術の研究・技術開発, 及び応用に関する研究

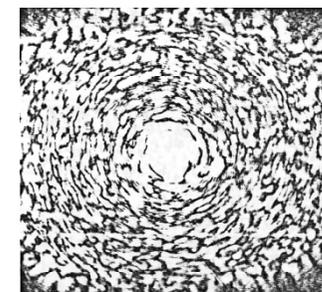
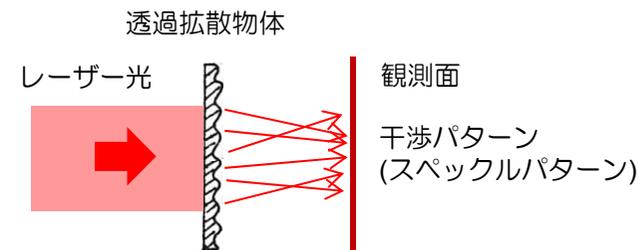
2007年~ 日本画像学会インクジェット技術部会主査

2007年~ 日本画像学会DF部会委員

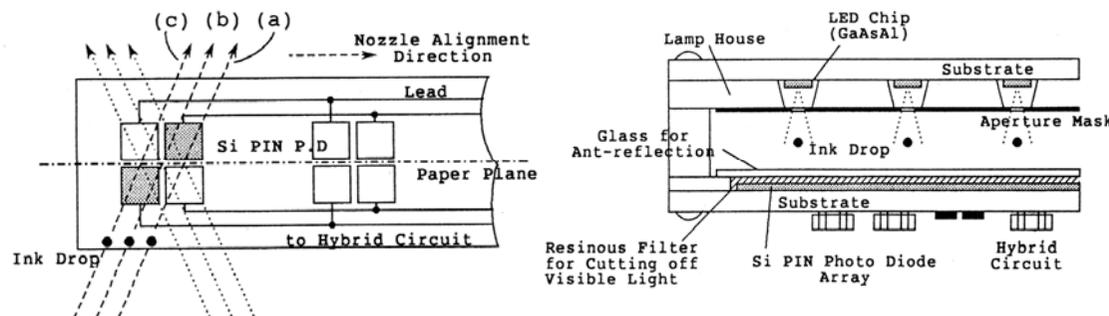
2008年~ IS&T NIP/DF Conference Committee Member
2015年(Portland)はGeneral Chair

2014年~ 日本機械学会マイクロ3Dロードマップ検討委員

2014年~ 画像関連学会3Dタスクフォース委員



回折面スペックルパターン



光学式インク滴検出センサ

藤井, 第19回画像工学コンファレンス(1988)

History of 3D Printer

3Dプリンタの歴史



25000年前



削る
(切削)

4500年前



型取る
(成形)

Additive

[付加的な]



造形装置として特許出願されたのは

1800年代

現在の3Dプリンタにつながる特許出願は

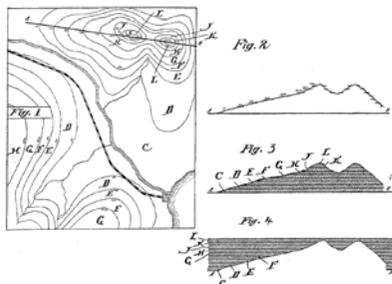
1980年代



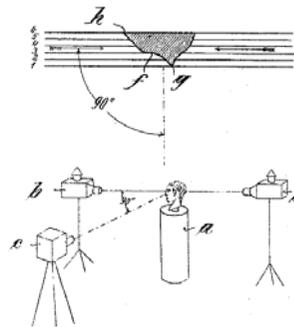
特許出願

削り(切削)や型への充填(成形)以外の立体造形物の生成

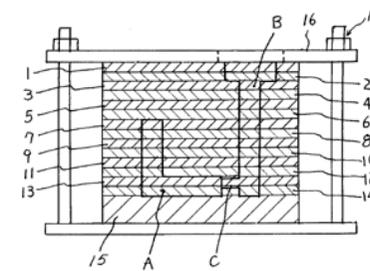
1890年代～



等高線の形状に合わせて板をカット、積層して立体地図 (Blather, 1890)



ゼラチンを光露光、水処理により立体形状 (Baese, 1902)



砂に光硬化性樹脂を浸透させ、砂型作成 (松原, 1972)

「3Dプリンタ」の定義をしなければ、発明(者)を特定できない

1980年代～

ASTMが分類する7方式の3Dプリンタの基本特許

- 1980年 特開昭56-144478(小玉)
- 1982年 Herbert論文 **光造形に関する発表**
- 1984年 特開昭60-247515(丸谷)
- 1986年 USP4,575,330(Hull)

- 1989年 USP5,204,055
- 1989年 Three Dimensional Printing→3Dプリンティング
- 1989年 第2697136号 (酒井) **インクジェット法**

2000年代
初期

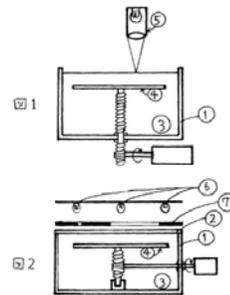
Rapid Prototyping

2009年

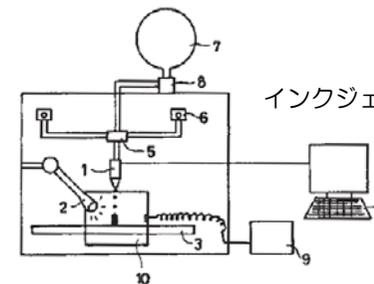
- ASTMの取り決め
- Additive Manufacturing (ASTMの取り決め)**

国際的には**Additive Manufacturing(AM)**と呼ばれるべきだが「**3Dプリンタ**」と呼ぶ

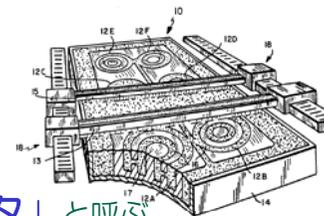
入力出力の関係がプリンタと類似。インクジェット技術、サーマルプリンティング技術の利用



光造形法(小玉, 1980)



インクジェット法(酒井, 1989)



結合剤噴射法
「Three Dimensional Printing」
(Emanuel, 1989)

Gap between Current Status and Ideal Model of 3D Printer

3Dプリンタの理想とギャップ



Gap between Current Status and Ideal Model of 3D Printer

3Dプリンタの理想とギャップ

理想の3Dプリンタ

理想の3Dプリンタとは?

- ・・・理想は使われ方(適用市場)により異なる?

理想像のヒント(共通する進化の方向性)を、映画の中に見ることが出来る

Chinese Zodiac (Rising Dragon) 2012

主演：成龍(ジャッキー・チェン)

Mission Impossible Ghost Protocol 2011

主演：Tom Cruise



普通の人々の「3Dプリンタ」に対する認識は、こういうものかもしれない。



実際の3Dプリンタとの差異は？

誤った報道をすると、さらに誤った認識が広まってしまう
3Dプリンタの活用促進を阻害することにもなる

1. 造形速度 (約2,000倍)
2. 素材(造形材料)
- (3. カラー化, 金属への着色)
4. カラー・材料情報含んだデータ転送・変換

5. 造形精度
6. コスト
7. 扱い易さ(サポート材無し)



3Dプリンタを正しく伝える必要がある
(可能性, 課題等)

こんな便利な3Dスキャナーは無い！

3Dプリンタの目指している開発方向性(一部)が示されている

Type of 3D Printer and Its Features

3Dプリンタ方式と特徴



Additive Manufacturing [ASTMの分類]

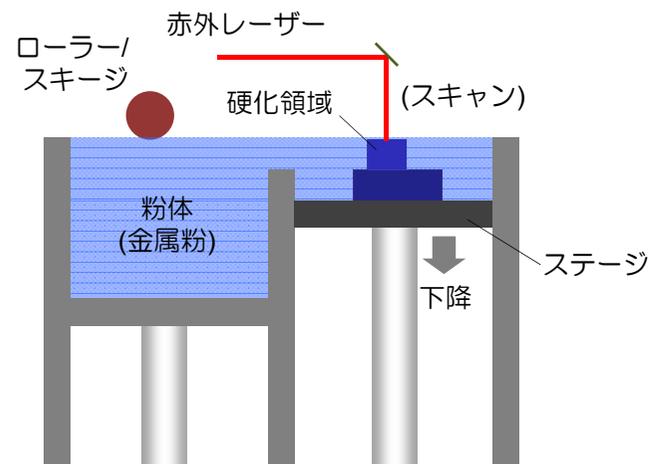
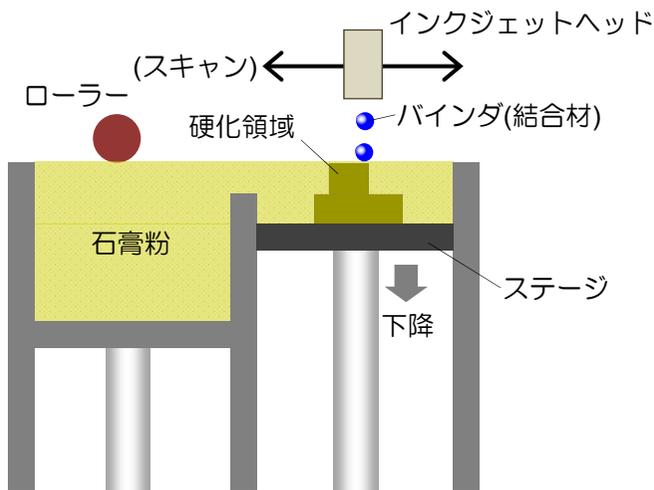
	光硬化		熱溶解・熱焼結			接着		その他
	液槽光造形 (SLA)	材料噴射 [インク]	材料押し出し (FDM)	粉末床溶融結合 (SLS/SLM)	指向性エネルギー堆積 (DMP)	結合剤噴射 (3DP)	シート積層 (LOM, PLT)	切削
積層速度 (mm/hr)	10	10	20	20		20~40	2	
材料範囲	UV硬化樹脂	UV硬化樹脂	ABS PLA ナイロン12	エンブラ 金属	金属	セラミック カルシウム 砂 樹脂	紙 樹脂シート アルミシート	ジルコニア ワックス
材料価格 (¥/g)	20~100	~50	3~100					
形状精度 (μm)	Ra: 0.8 RMS: 10	Ra: 1.6 RMS: 40	Ra: 6.3以上 RMS: 100	Ra: 3.2			Ra: 6.3以上	
カラー化[同時]	不可	可 (マルチカラー)	不可	不可	不可	可	可	不可
サポート材	(不要)	要	要	不要	不要	不要	不要	不要
3D Systems	●	●	●	●		●		
Stratasys	●	●	●					

積層速度は
1時間に1~2cm程度

方式によって
扱える材料が異なる

方式が発明された年 → **1980** **1989** **1989** **1986** **1995** **1989** **1987**

発明から20~35年経過している
(積層式造形方法の出願は1979年)



粉体を扱うので(不要粉体除去において)使用環境が限定される。



Binder Jetting
結合剤噴射法
 (粉体積層法)

表面性が悪く、後処理が必要。



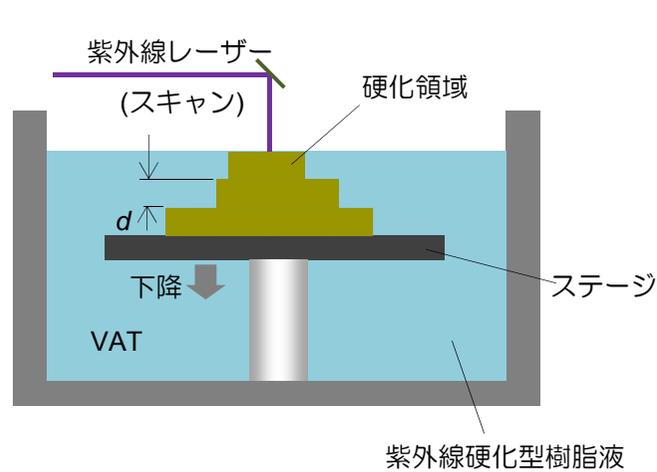
Powder Bed Fusion
粉末床熔融結合法

- ✓ バインダーによる結合のみで**強度が弱い**(後処理必要)
- ✓ バインダのカラー化(インクジェット)により**フルカラー化可能**だが、**発色性は悪い**。
- ✓ 粒子サイズが大きく、**表面性は悪い**

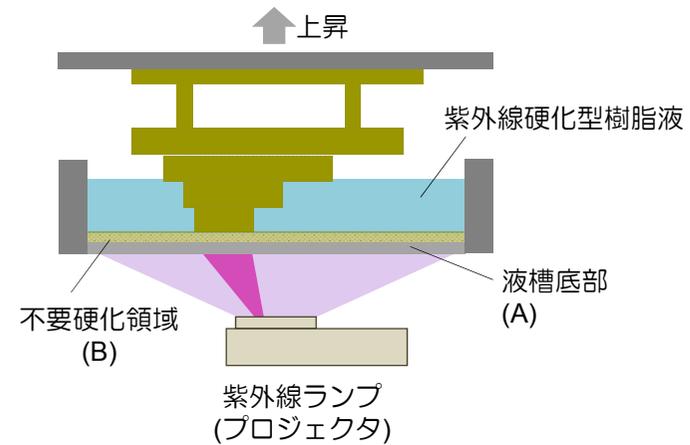
- ✓ レーザーの高いエネルギー付与により、**金属材料(粉末)が扱える**(熔融させ結合硬化)。
→金型製造の可能性
- ✓ **表面性が悪く**、金型への適用には研磨が必要(切削機能がついた装置あり)。

強度確保、発色改善のために後処理をするのが普通

カラーのフィギュア、3D写真館は全てこの方式



通常型



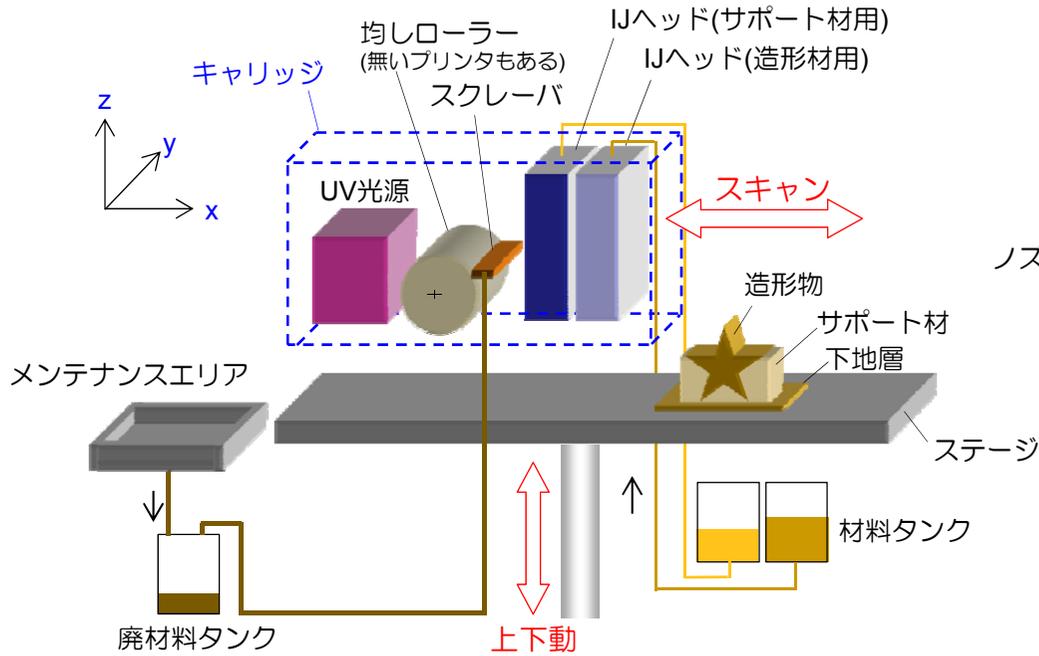
吊り下げ型

Vat Photopolymerization 液槽光重合

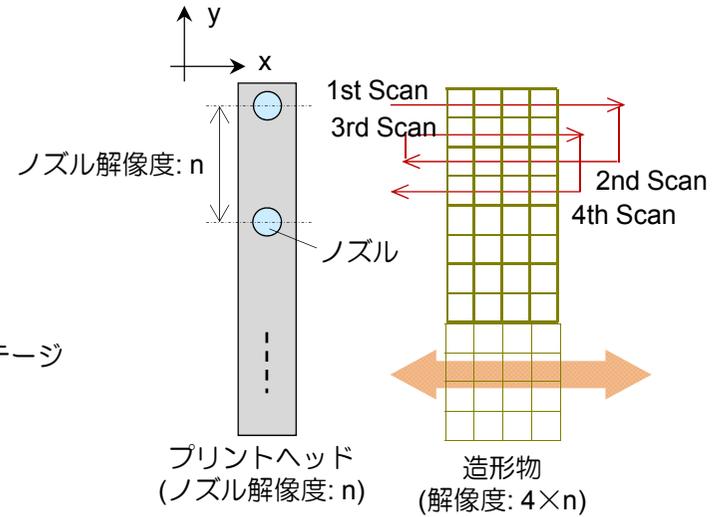
- ✓ 紫外線硬化樹脂液表面から、硬化したい領域(パターン)に紫外線レーザーを照射して硬化(1層).
- ✓ 小型化(液量低下に適した)吊り下げ型も普及.
- ✓ 液槽型は液面振動静止までの時間、吊り下げ型は底部の不要硬化領域と造形物の引きはがしに時間がかかる.
- ✓ 造形物の精細度が高いが、紫外線硬化型樹脂であり、強度、長期間での強度維持性は大きくない.



Type of 3D Printer and its Features
3Dプリンタ方式と特徴



Material Jetting
材料噴射法
 (インクジェット法)



材料噴射法におけるマルチスキャン例

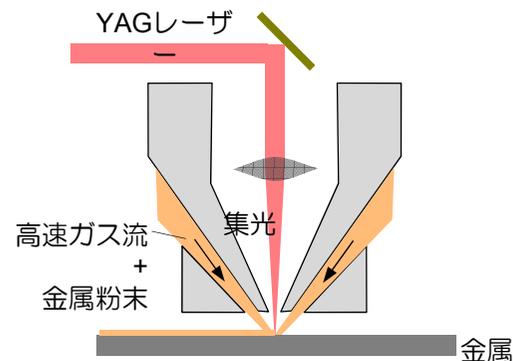
- ✓ スケーラビリティが高い(ヘッドを増やすことでサイズ拡大(y方向), 材料種増に対応できる)
- ✓ z方向の造形速度(層厚)を高めるために, 大きな液滴量が必要. →分解能と速度がトレードオフになる.
- ✓ ドット(未硬化樹脂液)の干渉防止のため, 低解像度マルチスキャンによる速度低下.
- ✓ 造形材料として, 紫外線硬化型樹脂と熱可塑性材料(ワックス)があるが, 紫外線硬化型樹脂が主流.



Type of 3D Printer and its Features
3Dプリンタ方式と特徴



Material Extrusion
材料押し出し法
 (FDM)



Directed Energy Deposition
指向性エネルギー堆積法

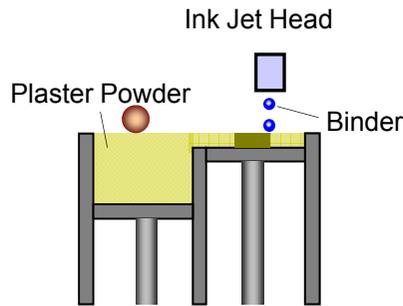
- ✓ 熱可塑性の樹脂を溶解してノズルから押し出し、一筆書きで立体物を形成。分解能は粗い。
- ✓ 構成が簡単、基本特許が切れ、安価なプリンタが多品種市場導入された。
- ✓ カラーのフィラメントもあり多色化は可能だが、1つの立体の中でのフルカラーは不可。

- ✓ 対象金属面をレーザーで熔融し、金属粉を高速気流に乗せて付着させる。
- ✓ 3D造形だけでなく、金属物体の修理にも用いられる。

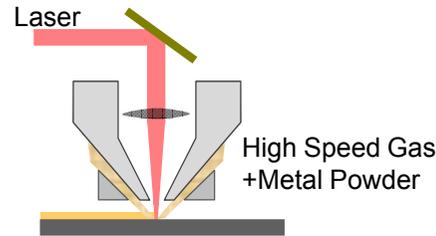
10万円を下回る低価格機は全てこの方式



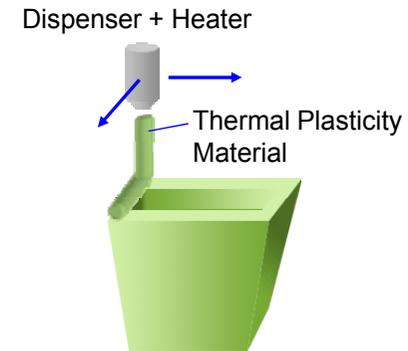
何故、これだけの種類(造形方法)が存在するのか?



Binder Jetting
 結合剤噴射

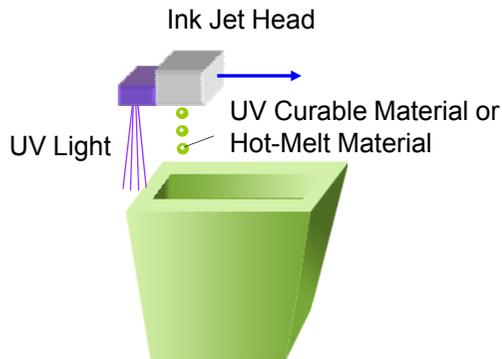


Directed Energy Deposition
 指向性エネルギー堆積

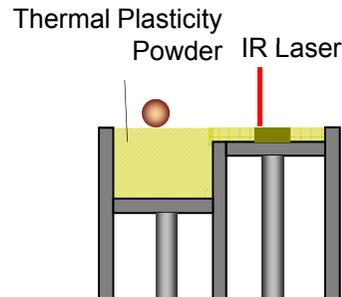


Material Extrusion
 材料押し出し

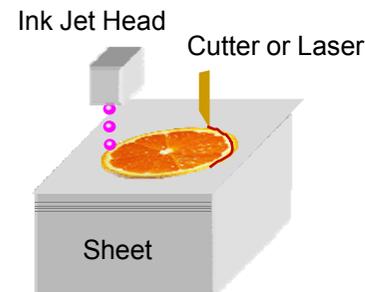
造形方式によって扱える材料が異なる
 様々な応用において、要求される材料が異なる



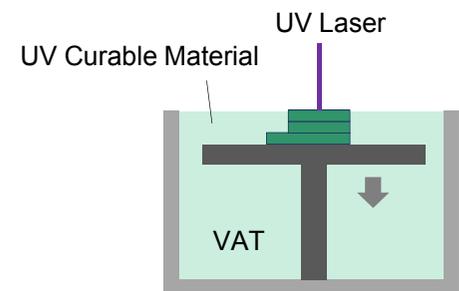
Material Jetting
 材料噴射



Powder Bed Fusion
 粉末熔融結合



Sheet Lamination
 シート積層



Vat Photopolymerization
 液槽光重合

Availabilities and Issues of 3D Printer

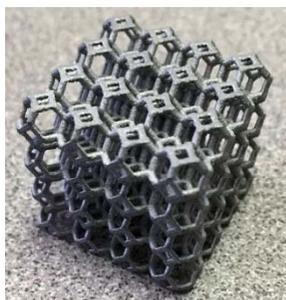
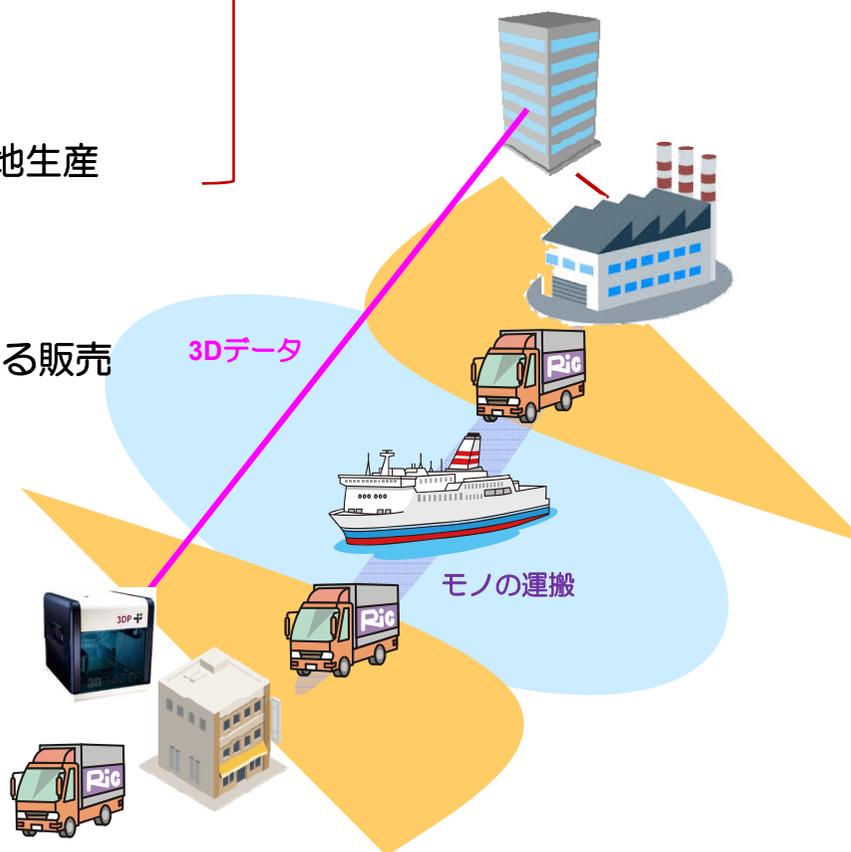
3Dプリンタの効能と課題



3Dプリンタの効能

- 型不要でありオンデマンド，カスタマイズ向き(造形速度が遅い)
→少量多品種向き? ▶▶▶ 少量多品種例
- 複雑な形状・一体造形
→射出成型や切削では出来ない形状，機能重視の設計が可能.
- (デジタル親和性が高い)モノを運ばずデータ転送→現地生産
→デリバリー革命，サプライチェーンの変革
- マルチ材料が扱える．特にインクジェット法.
- 低価格化，資金調達のクラウド化，ネットワークによる販売
→誰でもメーカー(Shapeway, DMMの進化版)

DDM (Direct Digital Manufacturing)



強度確保で軽量化
→従来製造方法では不可能

3Dプリンタでは可能



3Dプリンタの課題

- **高速化(積層方向)**
→ 構成要素・パラメータの進化(数倍程度), 積層プロセス(Layer-Wise)の打破(100倍以上)
- **材料範囲の拡大**
→ 1つの方法で全ての材料を扱うのは不可能(Star TrekのDuplicatorは実現しない), 材料範囲(機械特性, 物性)は広がっているが, 他方式を置きかえることにはならない.
- **精度, 分解能**
→ 造形速度とのトレードオフ
- **造形サイズ**
→ スケーラビリティの高いFDM法で建築用巨大3Dプリンタ, インクジェット法も大サイズ向き.
- **カラー化対応**
→ フルカラーの3Dモデルを造形するにはSTLでは課題あり(フォーマット, ツール等)
- **著作権, 危険物への対応**
→ デジタル3Dデータの流通, 使用者のモラル, 法整備.
- **製造物責任**
→ 普及とのバランス, 法整備の遅れ.



高速化

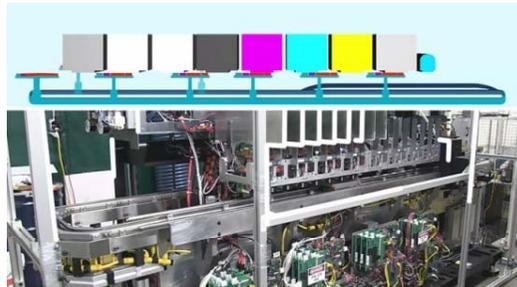
- 1層ごとに形成し、層を重ねて(Layer-wise)立体物を造形する手法はとても合理的である。
- しかし、層を重ねる)故に、高速化(積層方向)に課題がある。

→インクジェット法(未硬化ドットの干渉) ▶

→光重合法(液面振動) ▶

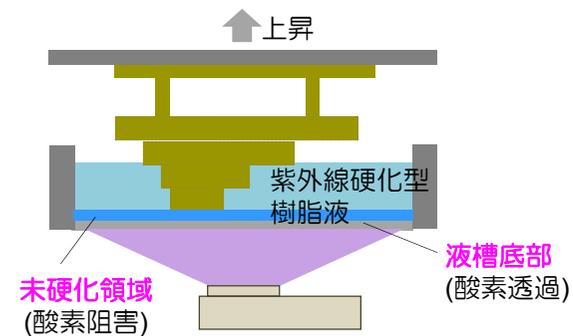
- 層を形成するプロセスの高速化(パラメータの進化)では、数倍～10倍程度にしか高速化できない。

Project ARA



Googleと3D SystemsのProject ARA
(回転寿司のようなシステム)

Carbon 3DのCLIP

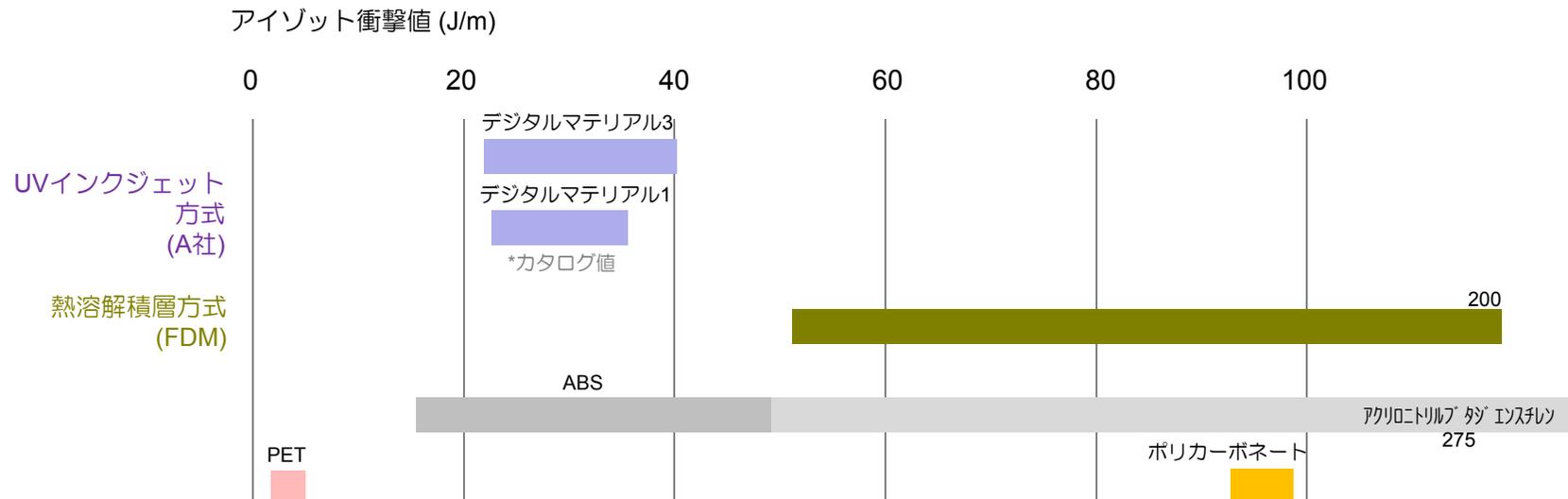


CLIP: Continuous Liquid Interface Production Technology
従来の光造形法の25～100倍



材料範囲の拡大(インクジェット法の例)

- ✓ インクジェットから吐出できる液体材料には制限がある(物性値, pH, 粒子径他).
- ✓ このため造形物の物理特性(硬度, 強度)等にも限界がある.



硬度を高めるために

- 造形材料にフィラー等を混入する。(例えば特開2005-111988, 特許第4482864号他)
- 2液混合により(反応)で強度出す。(例えば特開2005-35299)

マルチ材料が扱える場合, 混ぜる量で硬さを制御することができる。
造形したい物理特性と, 混合比のデータベースを持つことができる(特許5239037号)

FDMで用いられている生分解性のポリ乳酸PLA(Polylactic Acid Polylactide)は吐出できていない。



サイズと精度(分解能)

- ✓ 一部の光造形を除き、多くの3Dプリンタで造形出来るサイズは、A4程度である。
- ✓ FDMやインクジェット法は、ヘッドの稼働範囲を広げることで大型化できる。建築での使用を目的にした(FDM方式)3Dプリンタも試行されている。



中国の建築用3Dプリンタ(12m)



オランダの建築用3Dプリンタ

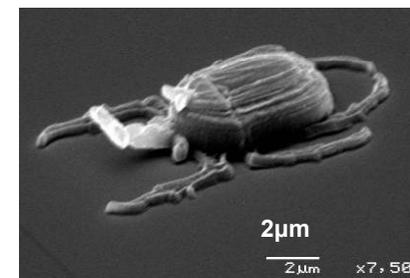
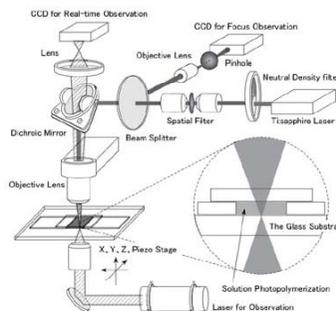
- ✓ 精度は造形速度とのトレードオフになっている。インクジェット法で液滴サイズを小さくすれば*分解能は高くなるが、(ドットの高さが低くなり)造形速度が低下する。

* 3Dプリンタの液滴サイズ:100ピコリットル、家庭用プリンタの液滴サイズ: 1ピコリットル

- ✓ 2光子吸収現象を利用したマイクロ光造形では、1 μ m以下の分解能を実現。造形サイズは小さく、実用化されていない。

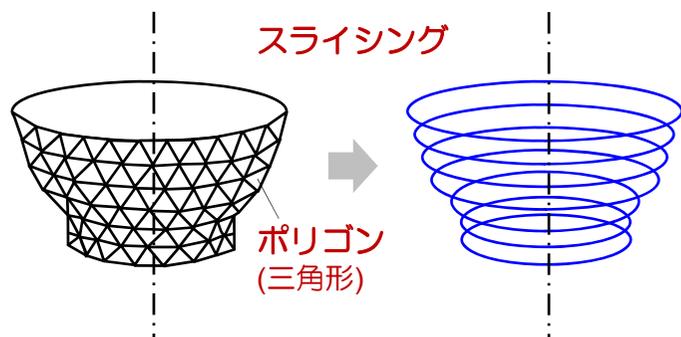
出典：Jun Chen, 東京工芸大学工学部紀要 Vol.31, No.1 (2008)

出典：http://www.micro.rcast.u-tokyo.ac.jp/bio_micro_115.html





3Dデータフォーマット



STL

(Stereolithography / Standard Triangulated Language) / Structural Triangle Language)

- STLは色データや物質データを持たない.
- 隙間や重なりが生じる場合がある.

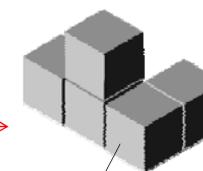
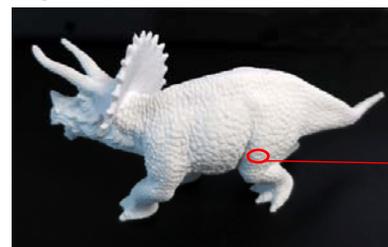
VRML

(Virtual Reality Modeling Language)



基本画像単位
→画素=PIXEL

3次元物体



基本立体単位
→VOXEL

AMF

(Additive Manufacturing File Format)

の標準化がASTM Internationalで検討されている(現在versionは1.1).

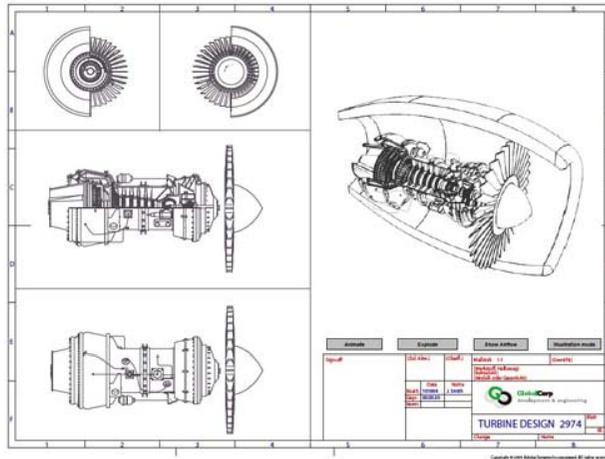
XMLで記述されたAMFのタグに、VOXELデータ、色情報、物質情報等を埋め込む試みが進んでいる

3MF

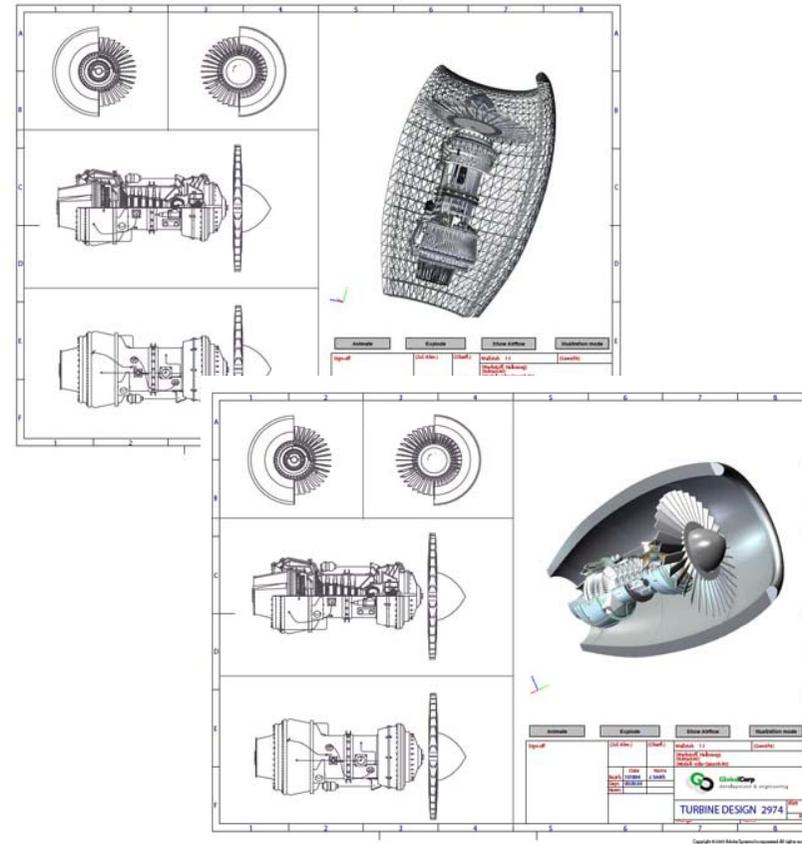
MicrosoftやHPが中心となって策定中。3Dプリンタとの親和性を高める。Windows8.1からドライバが標準装備。



3D PDF



Adobe Acrobat ProにConverterをアドインすることにより、pdfに3Dデータを埋め込める

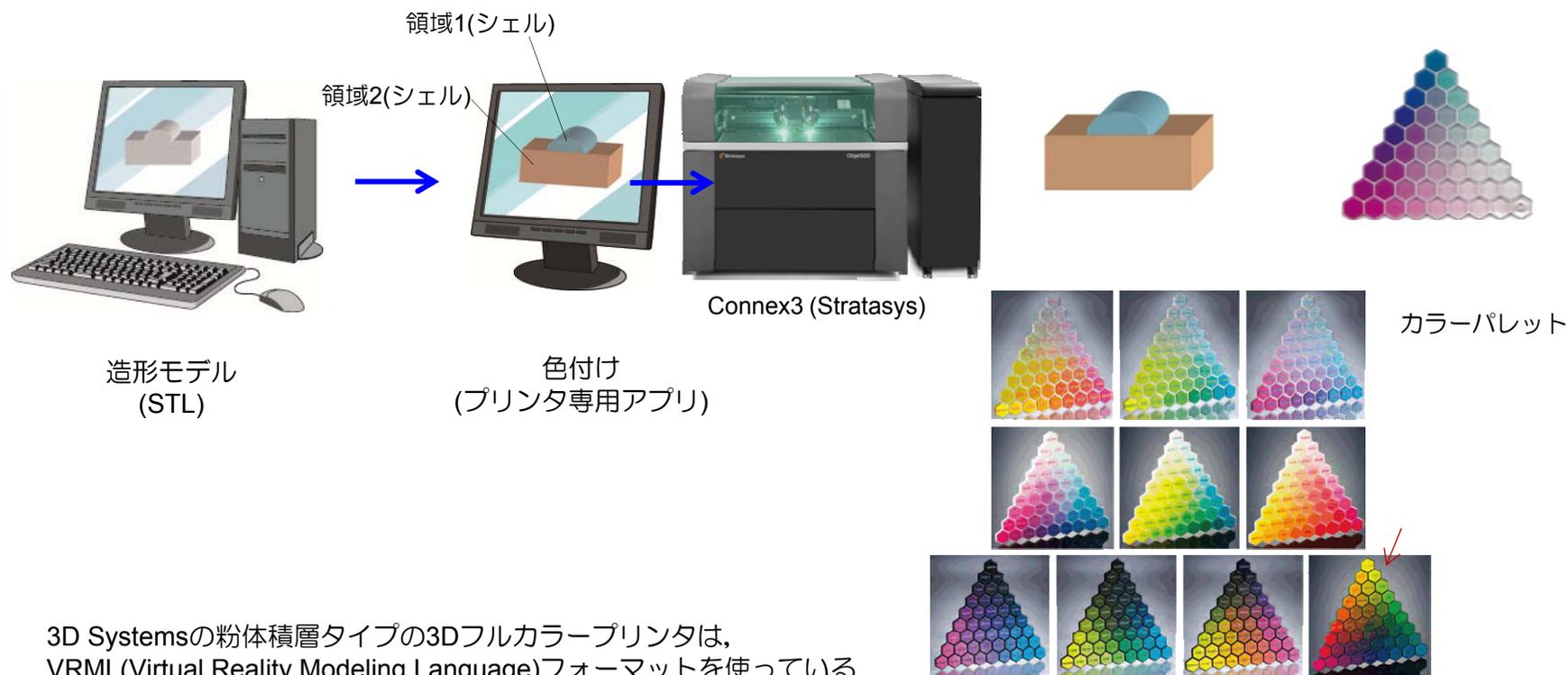


Adobe Acrobat Readerで3D再現できる



カラー化

- ✓ 色情報を持った3Dデータフォーマットの標準化がされておらず、造形データ作成(スキャン)と色付けが別工程(別アプリ)になっている。
- ✓ マルチカラー化が可能なあるプリンタでは、色はプリンタ付属のアプリケーション上でシェル単位で指定する。(3Dデータ作成段階で、モデルを複数ボディーによるアセンブリーとし、色を分けるボディ[シェル]ごとにSTLを作成し、プリンタに送る)。



Stratasys社カタログより



カラー化



Photoshop CC
(グラデーション)



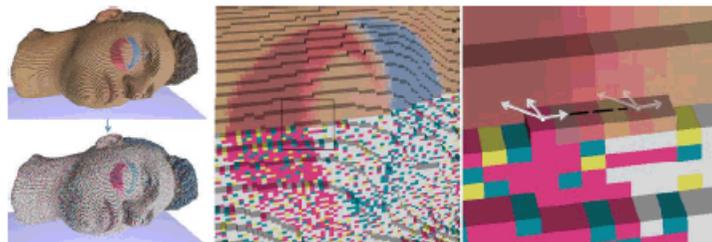
出力サンプル



AdobeがEuroMold2014で展示。Photoshopからの出力を、StratasysのConnex3に対応させた(未発売)。



出力サンプル



ドイツのフラウンホーファー研究機構が3D造形物における(誤差拡散法を用いた)フルカラー再現アルゴリズムを発表。出力にはやはりStratasysのConnex3を用いている。



製造物責任

2次元のプリンタでも起こる問題だが、危険性は生じない

社会環境(法整備)が追いついていない



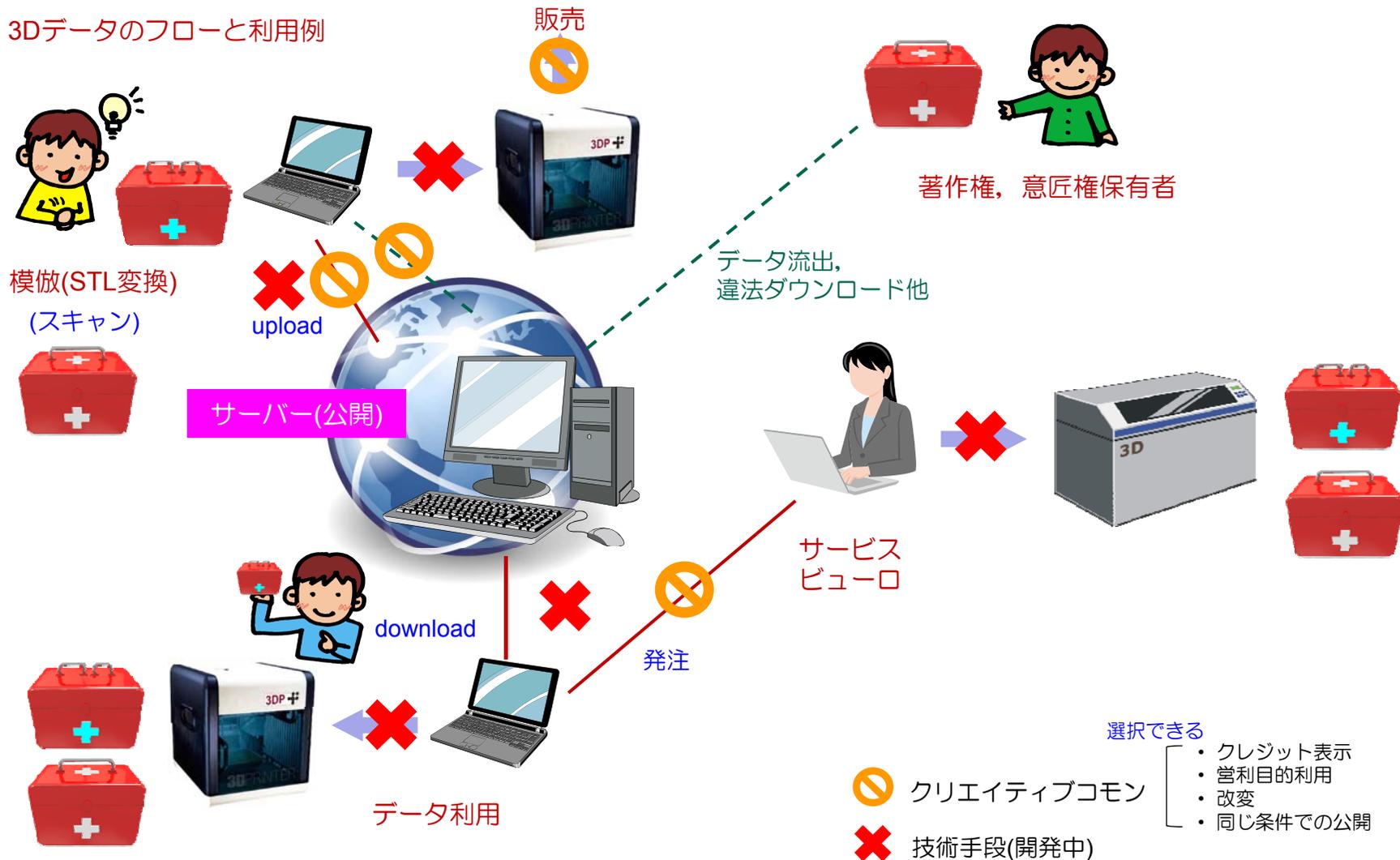
- ✓ 普及期は(普及促進が必要であり), 関係者からの情報公開(安全性データ, 設計ルール等)を前提として, 作成者, 使用者が責任を持って利用することが良いのではないだろうか.
- ✓ その後のステージでは法律等の取り決めが必要であり, 今から準備を進めるべきである.



著作権, 危険物対応

2次元のプリンタ(データ)では対応策が導入されている。

3Dデータのフローと利用例



Trend of Technology Development for 3D Printer

3Dプリンタの技術開発動向



あらゆる材料が扱える3Dプリンタは登場するのか?

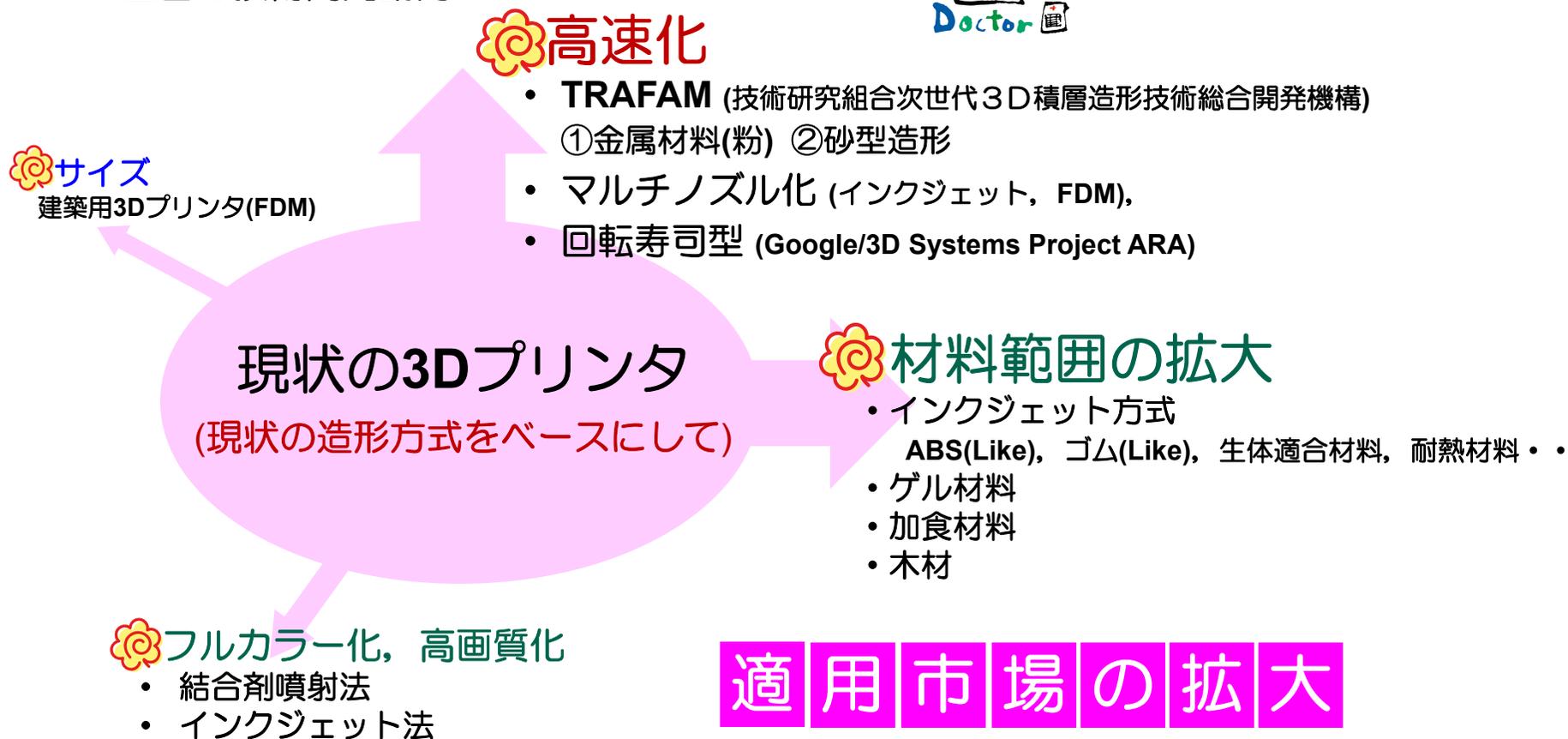
◀ 比較表

(例えばStartrekのReplicators)



将来の研究者に託そう!

当面の技術開発動向





現在の開発は

(要求される材料で)形を 正確に, 早く, (安く)作る

-トレンド-

その先(次世代), 3D造形技術の向かう方向は



The Best Way to Predict the Future is to Prevent It

By Alan Kay

新たな機能(価値)を提供(付加)できる3D造形へ

3D Printer = 形状 + Printed Electronics デバイス

例えば

- + 可食 (Cocojet, Shefjet, Gumjet) 食品
- + バイオミメテックス 機能部品
- + Stem Cell (幹細胞) 臓器
- + 質感 本物

+ **Something with Value**

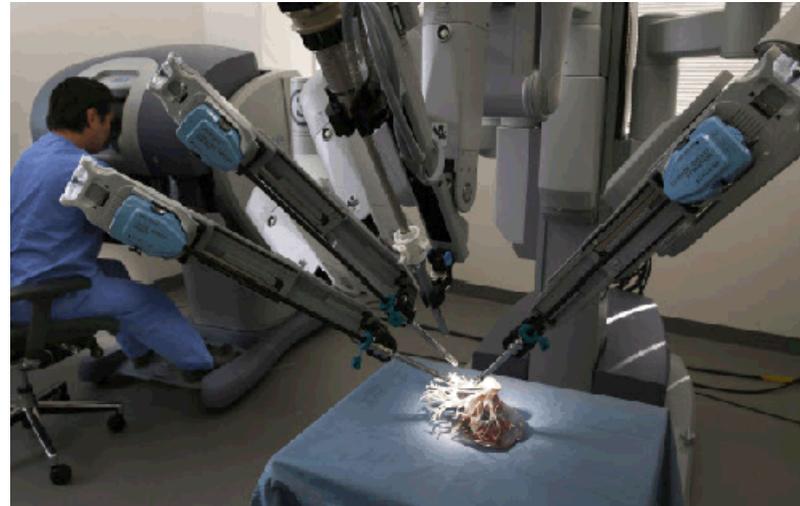
トレンドを変える
(非連続な進化)



臓器モデルと活用



臓器モデル



ダビンチによる手術のシミュレーション

- ✓ CTスキャンによる臓器の3Dデータから造形。(現在は部位等の見分けに専門家の介入が必要)
- ✓ 手術前に配置を確認するだけでなく、(インクジェット法で)硬さの違う材料により造形できるので、手術の練習にも使用されている。
- ✓ ゲル状材料を扱えるプリンタも開発されており、よりリアルな質感が再現できる可能性がある。

<http://jp.wsj.com/articles/SB10001424127887323366004578412122772387676>



食品用3Dプリンタ



ChefJet Pro



Chocolate 3D Printer



FOODINI

どう報道したか

「ボタン1つで料理完成!!新鮮な食材を3Dプリントできる世界初の食品3Dプリンター」

こういう報道をするから、3Dプリンタを良く知らない人は誤解する。



別な言い方をすれば

Input (Sensor, Scanner, CAD・・・)

- 形状
(内面構造)
- 色
(テクスチャー)
- 質感
(光沢, 触感・・・)
- 温度
- 味覚
- 嗅覚
- 電磁力
- 動作

出力を意図することが多い



Output

3D Printer

- 形状
- フルカラー
- 質感
- 味
- 臭い
- 動作
- センシング
- ...

Display

新たな機能(価値)を提供(付加)できる3D造形へ

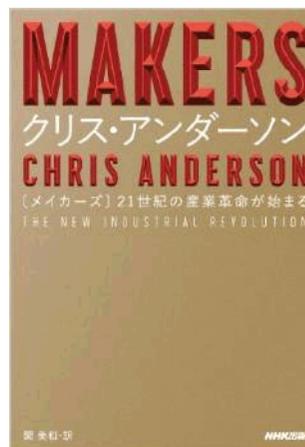


3Dプリンタブーム

3Dプリンタはブームなのか? ブームは去ったのか?



オバマ大統領が2013年の一般教書演説の中で
3Dプリンタに言及



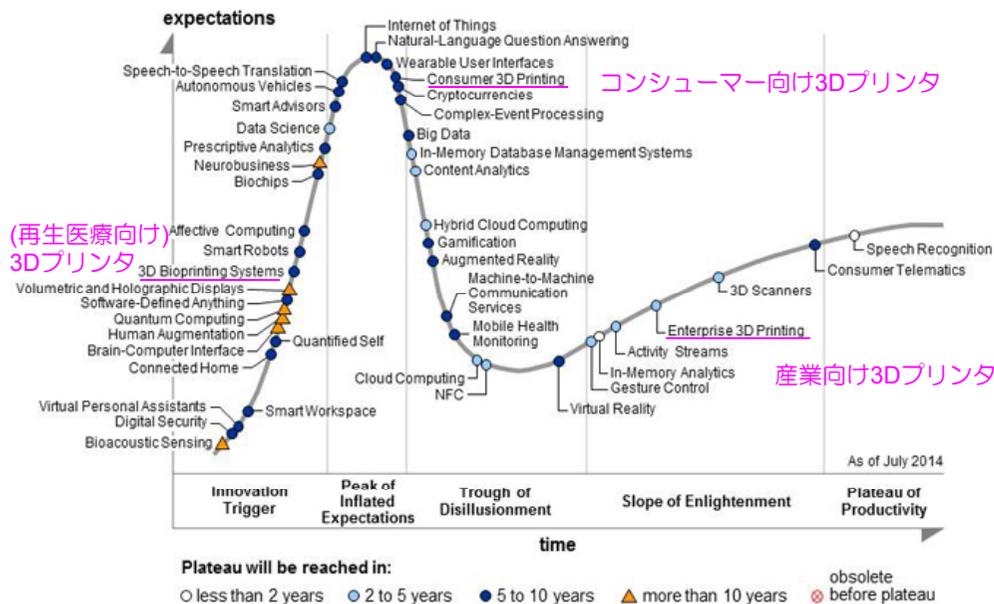
2012年に発刊された
Chris AndersonのMAKERS



FDM基本特許切れによる
低価格機の参入
(粉末焼結基本特許切れによる製
造分野への参入激化)



3Dプリンタの位置づけ

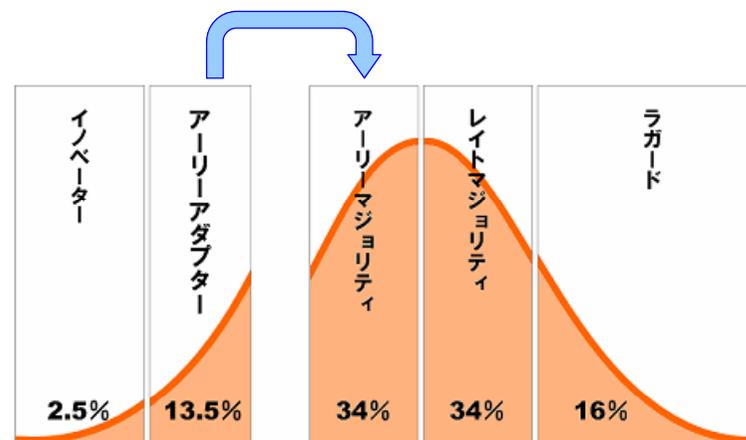


ガートナー Hype Cycle 2014年度版

- ✓ 3Dプリンタは(市場別に)3つの分類があり、それぞれ流行のフェーズは異なる。(一概にブームとは言えない)
- ✓ 産業向けは確実に用途を広げ、活用が進みつつある。
- ✓ 再生医療向けの実現は当分先。
- ✓ コンシューマー向けはブーム。本格的な浸透は起こるか。

2次元プリンタ(インクジェットプリンタ)のアナロジーで考えられるか?

- 低価格化は進んでいる。
- キラーアプリがあるか? キャズムの谷を越えられるか?



深い溝：キャズム

↑
コンシューマー用3Dプリンタ



まとめ

- 現在ある造形技術をベースに、確実に性能の改善が進んでいる。夢の3Dプリンタは現れない。
- 3Dプリンタの効能を活かした使い方が、少しずつものづくりを変えている。
- 現在は、「型不要、しかし低速→少量多品種」に焦点が当たっているが、これだけだと収支ライン(採算の合う生産個数)で振り分けられ、発展性がない。
- 3Dプリンタにしか出来ないこと(機能を重視した設計の実現、デイバリー革命等)が、ものづくりにおいて当然になってくれば、3Dプリンタの活路はもっと広がると考える。
- 3Dプリンタの技術開発は性能改善だけではなく、形以外の新たな価値を提供する方向にも向かっている。

Thank you for your Kind Attention!

