

3Dプリンタ/フォーマットの現状, FAV(Fabricatable Voxel)の紹介と標準化の状況

2016年12月12日

Introduction and Expectation to FAV

1. FAVの概要と期待

Status of Standardization for 3D Data Format

2. データフォーマット標準化の現状

Status and Issue of 3D Printer

3. 3Dプリンタの現状と課題

Conclusion

4. まとめ

富士ゼロックス株式会社

研究技術開発本部 マーキング技術研究所

藤井 雅彦

Introduction and Expectation to FAV

FAVの概要と期待

FAV=Fabricatable Voxel

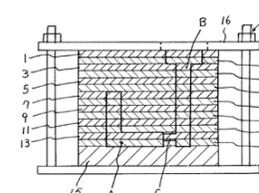
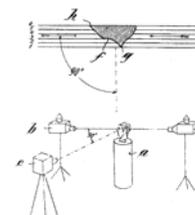
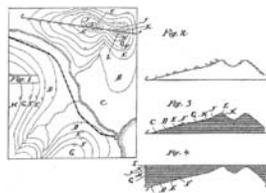


FAVの概要と期待

3Dプリンタの歴史とSTL

着想

- 1890 WAXを積層して立体地図(Blanther)
- 1902 ゼラチンに光照射で立体形状(Baese)
- 1937 ボール紙の積層で立体地図(Prerera)
- 1972 UV硬化型樹脂+砂で砂型(松原)



基本特許出願

- 1980 光造形法特許出願(小玉)
- 1986 粉末床熔融結合法特許出願(Deckard)
- 1987 シート積層法特許出願(Feygin)
- 1989 材料押し出し法特許出願(Housholder)
- 1989 結合材噴射法特許出願(Sachs)
- 1989 材料噴射法特許出願(酒井)
- 1995 指向性エネルギー堆積法特許出願(Lewis)

1988 STL仕様公開 by 3D Systems

製品発売

- 1987 SLA 1(光造形法)発売[3D Systems]
- 1989 LOM(シート積層法)発売[Helisys]
- 1991 3D-Modeler(材料押し出し法)発売[Stratasys]
- 1995 EOSINT(粉末床熔融結合法)発売[EOS]
- 1996 Z402(結合材噴射法)発売[Z Corp.]
- 1998 LENS(指向性エネルギー堆積法)発売[Optomec]
- 2001 EDEN(材料噴射法)発売[Objet]



フルカラー(内部)



材料混合

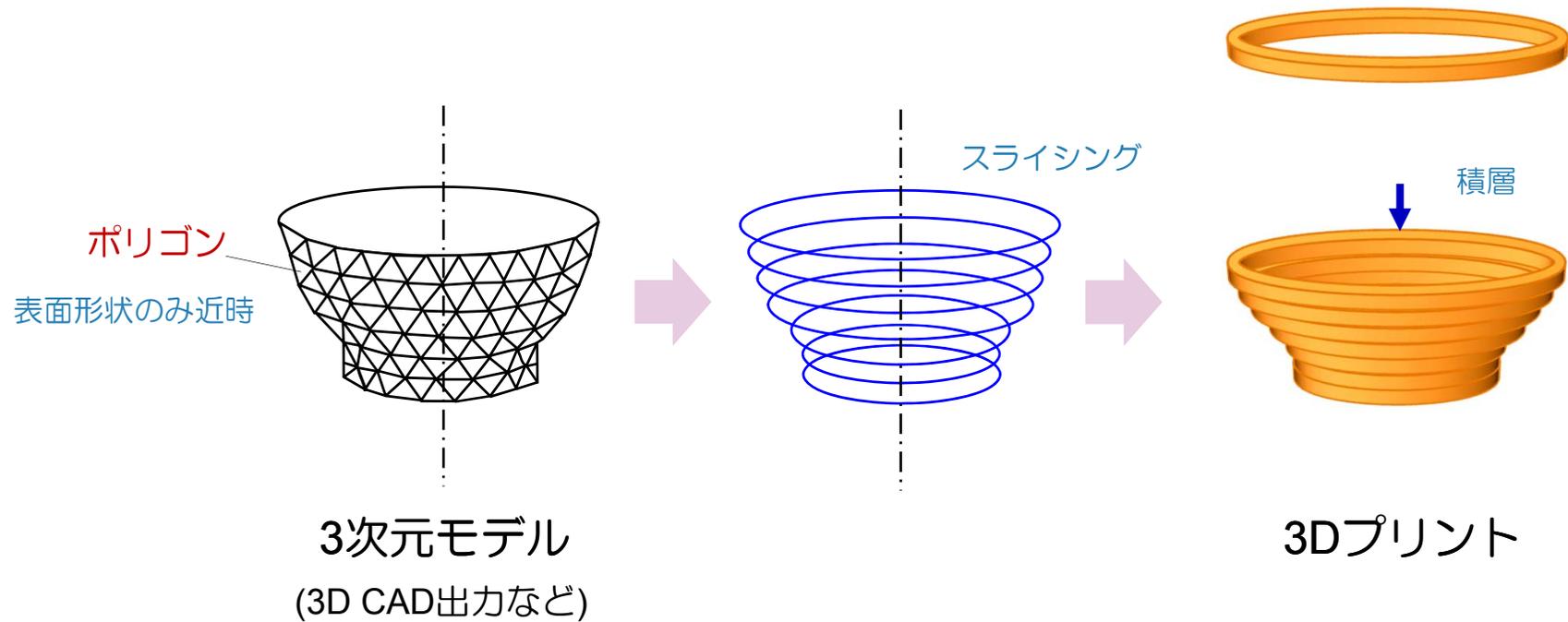


内部構造

進化

FAVの概要と期待

STLと新しいメッシュベースフォーマット



STL

(Stereolithography / Standard Triangulated Language / Structural Triangle Language)

30年以上前に提案されたフォーマット
(切削や射出成型に適用)

- 色情報を持たない
- 材料情報を持たない
- 複雑な内部構造を記述できない

3Dプリンタの特徴が活かさない



AMF

(Additive Manufacturing File Format)



3MF

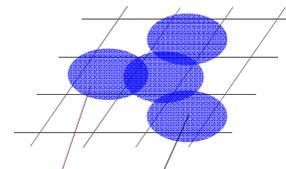
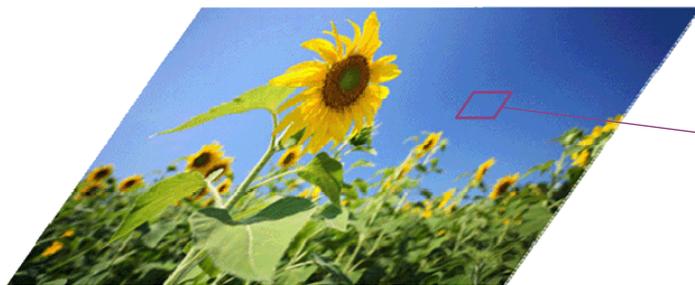
(3D Manufacturing Format)

STLと同じポリゴンベースであり、色情報、材料情報は限定的。内部構造は表面からの補完や予測に留まっている。

FAVの概要と期待

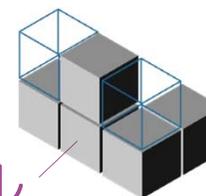
ピクセル(2D)とボクセル(3D)

2次元画像
(ドキュメント)



ピクセル
(基本画像単位=画素)

3次元物体



ボクセル
(基本立体単位)

Voxel = Volume + Pixel

FAVの概要と期待

ボクセルベースフォーマットFAV

慶應義塾大学 田中浩也教授と共同研究



2016年7月に仕様を公開(ver.1.0)
誰でも自由に使用することが出来る。

ボクセル例



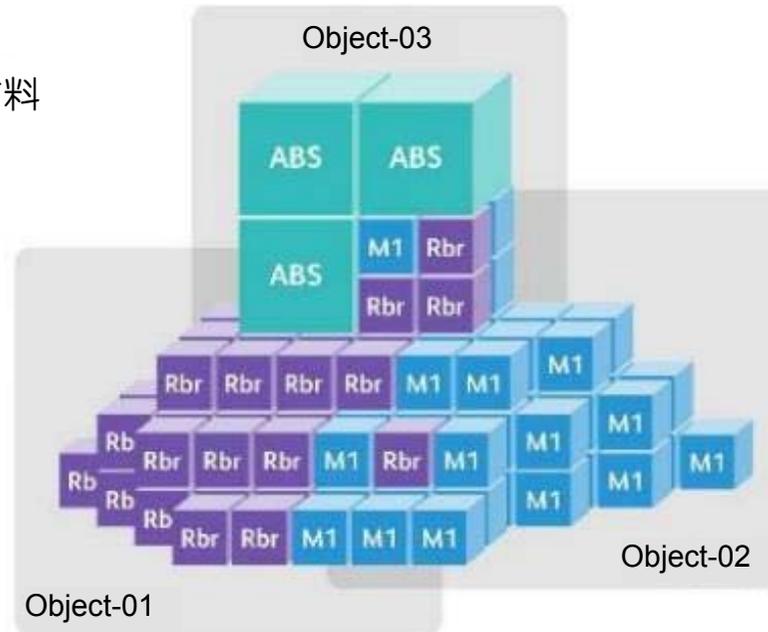
ABS樹脂材料



ゴム状材料



素材-1



FAV=Fabricatable Voxel

- 各ボクセルに、色情報、材料情報を保持できる。
- 近隣のボクセルとの相互関係(接合強度など)のリンク情報も保持できる。
(3Dプリンタによる造形物の異方性反映, 将来の実現可能性)
- ボクセル形状、サイズは自由に定義できる。(基本的な形も用意されている)

世界最高水準の3Dモデルの表現が可能

FAVの概要と期待

FAVのファイル構造

metadata

ID, 名前, 作者情報, ライセンス(クリエイティブコモンズ等)情報など

palette

ボクセルの形状, サイズ, 材料などの基本情報 scale1→1mm

Table 8: Example voxel shapes that can be defined in <geometry>

						
(id)	01	02	03	04	05	06
(name)	Cube01	Cube02	Plate	Big Sphere	Small Sphere	Cylinder
<shape>	cube	cube	cube	sphere	sphere	User_defined
<scale>	2×2×2	1×1×1	1×1×0.3	1.5×1.5×1.5	0.25×0.25×0.25	3×1×1

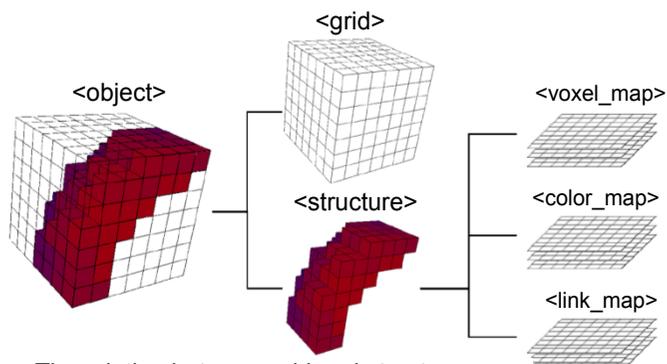
geometryには基本的な形状が準備されているが, ユーザー定義も可
Materialには製品名やISOに登録されたIDや名前

voxel

ボクセルの定義, 形状や倍率をPaletteのIDで指定.

object

3D空間へのボクセル配置



The relation between grid and structure

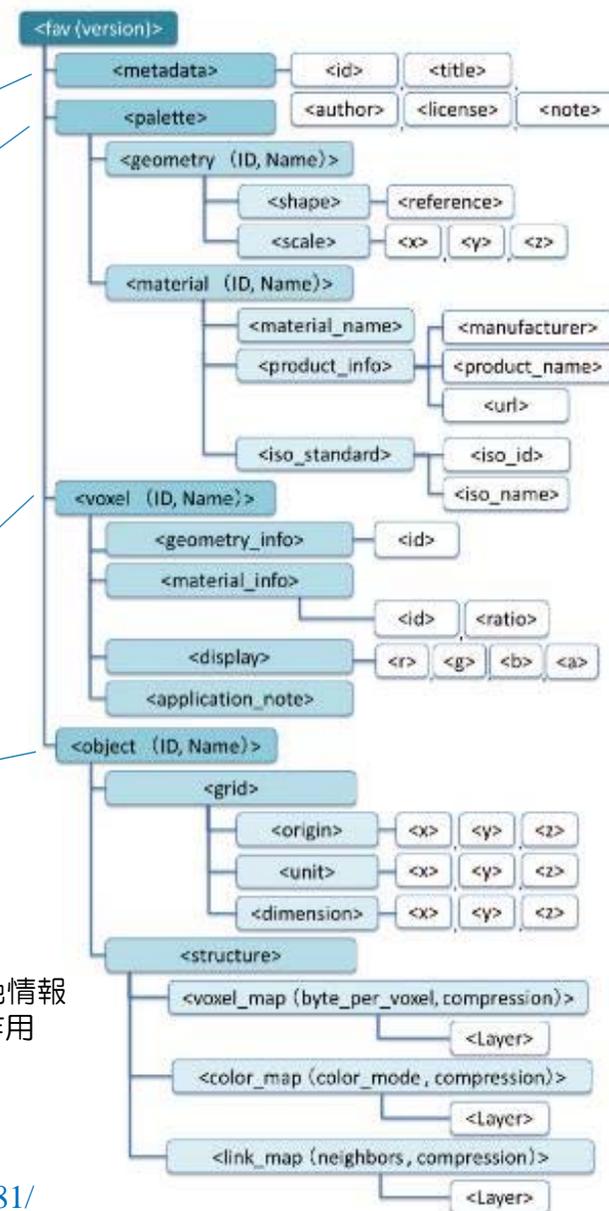
gridで3D空間を設定
structureでボクセルの配置(voxel_map), 色情報の配置(color_map), ボクセル同士の相互作用(link_map)

仕様書ダウンロード

<http://news.fujixerox.com/news/2016/001281/>

ウィキペディア

<https://ja.wikipedia.org/wiki/FAV>

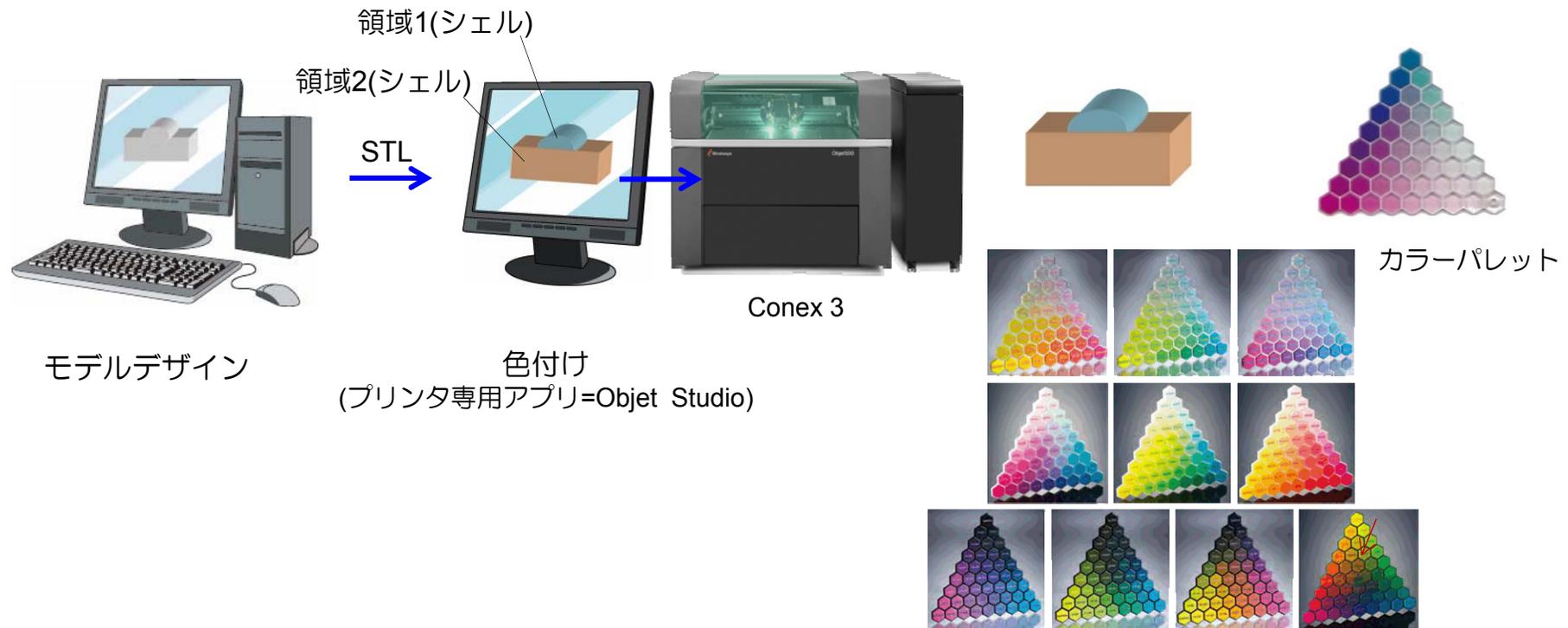


The tree structure of elements that constitute a FAV file [XML]

FAVの概要と期待

従来のカラー化手順

- 情報伝達を担うフォーマットの多くは色情報を保持していないため、3Dプリンタ側のアプリケーション側で色付けを行っている。
- また、色をつけるパーツ(シェル)ごとに(位置、サイズが合致するように)設計をする必要がある。

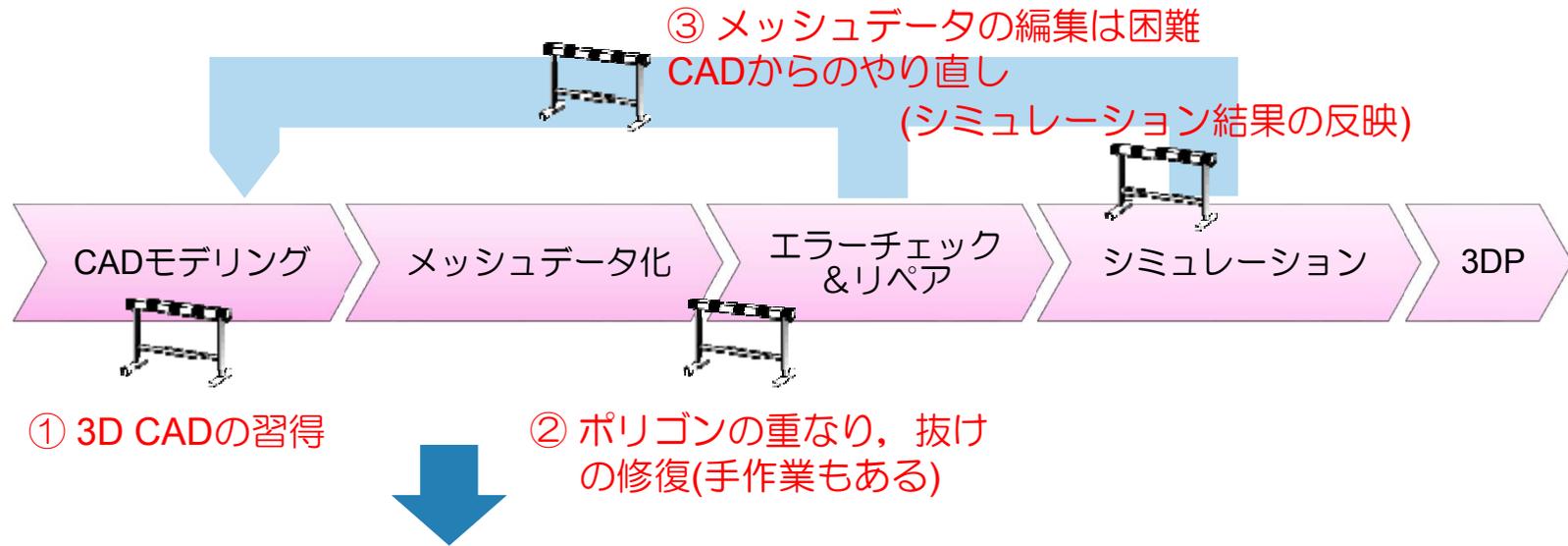


(2016年2月、AdobeとStratasysは、入力側で色やテキストを指定できるツールを発表した)

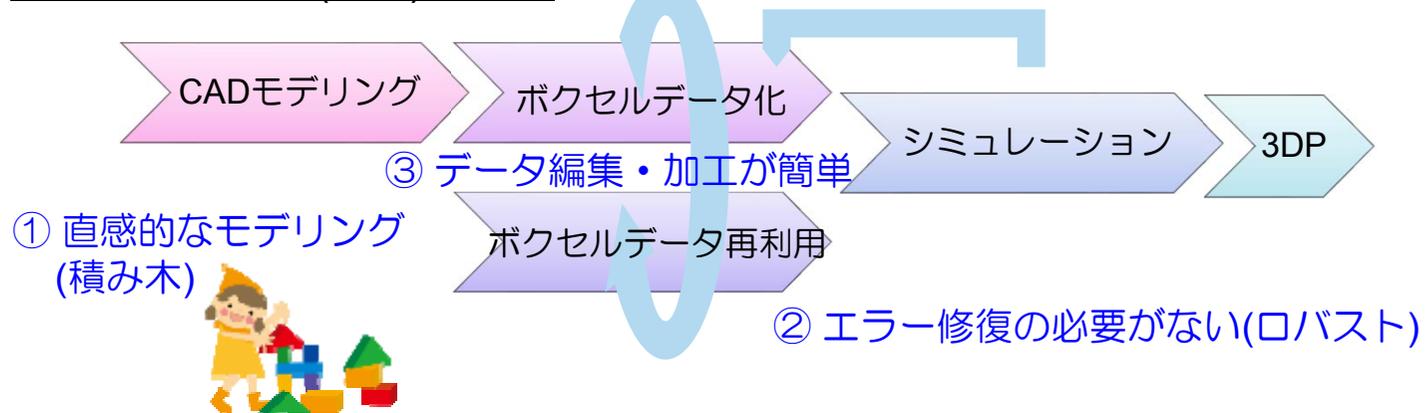
FAVの概要と期待

Data Flowの清流化

ポリゴンベース(例えばSTL)の場合



ボクセルベース(FAV)の場合



FAVの概要と期待

ユーザー参加型のものづくり

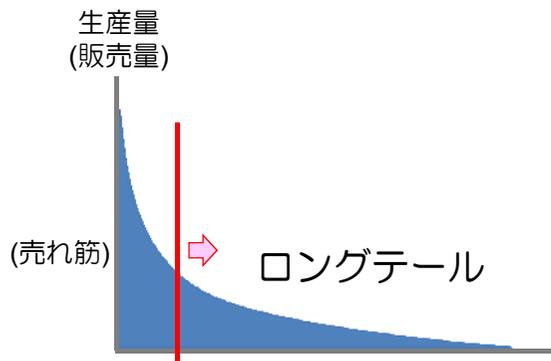
- ✓ 3Dモデリングの敷居が下がれば、自分で欲しいものを自分でモデリング(編集)できる
→自分の3Dプリンタ, サービスビューロで出力, 入手.

メーカー主導のものづくり



ユーザー参加型ものづくり

トヨタが下請けに変わる日



How users create 3D data as they want?

3D CAD????
3D Scanner???

If they create 3D data as they want easily,

Case: Home-Visiting Nursing in Japan



Care nurses want to make customized equipment for a patient by 3D printers, but they can't use 3D-CAD, so they go to home center and buy commodity type things out of need.



VOXEL, it almost looks like as BLOCK



Printing for Fabrication 2016

Sep. 15/2016 Masahiko FUJII

出典：M. Fujii, IS&T Printing for Fabrication 2016

FAVの概要と期待

FAVの効果と期待

3Dプリンタの活用

- 材料や色の混ぜ合わせが出来るようになった3Dプリンタの能力や、3Dプリンタの特徴である複雑な内部構造を実現できる能力を最大限に引き出すことができる。

～これまで形を提供してきた3Dプリンタから、より簡単に新しい価値を提供できる3Dプリンタへ。

モデリングの変革

- 外形だけの設計だけではなく、材料、内部構造、色、3Dプリンタの特徴まで含め、シミュレーションと設計がシームレスにつながる。

～完成品に限りなく近いものを設計できるこれまでにない総合的なモデリング環境が実現する。

3Dデータの流通・活用

- 誰もが3Dデザイナーになれる(自分の欲しいものを設計することが出来る)。これにより3Dデータ、3Dデータ流通が増え、様々なサプライチェーンでビジネスチャンスも生まれる(3Dプリンタの活用も進む)。
- マスカustomマイズ(ロングテール)市場が本格的に立ち上がり、豊かな生活空間を実現できる。

～メーカー主体のものづくりからユーザー参加型のものづくりへ

FAVの概要と期待

FAVの活用のために

■ FAV仕様書1.0

富士ゼロックス「FAV紹介技術ページ」のWEBサイト

<http://www.fujixerox.co.jp/company/technical/communication/3d/fav.html>

慶應義塾大学が中核拠点となっているCOI「感性とデジタル製造を直結し、生活者の創造性を拡張するファブ地球社会創造拠点」のWEBサイト

<http://www.fabtechs.co/>

■ FAVハンドリングツール[VoxFAB]

<http://www.fabtechs.co/>

■ 3Dデータサーチエンジン(FAV形式のデータベース)

<http://fab3d.cc/>

Status of Standardization for 3D Data Format

データフォーマット標準化の現状



データフォーマット標準化の現状

3Dプリンタの国際標準

Pメンバー

ドイツ(幹事), ベルギー, オランダ, ノルウェー, デンマーク, フィンランド, スウェーデン, ポーランド, フランス, イギリス, スイス, スペイン, アイルランド, イタリア, ロシア, 日本, 韓国, 中国, シンガポール, カナダ, アメリカ

Oメンバー

オーストリア, チェコ, ルーマニア, イラン, イスラエル, ニュージーランド, 南アフリカ

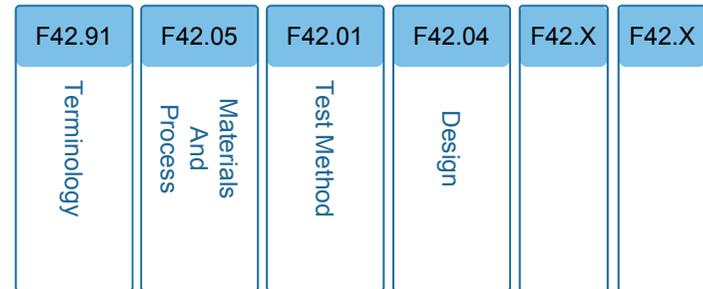
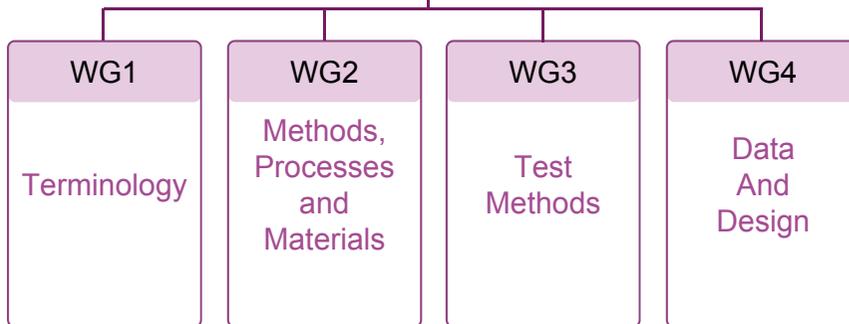


2つの標準化団体が共同して
Additive Manufacturing
の標準化に取り組んでいる
[連名での規格発行に合意]



ISO/TC261 2011年から

F42 2009年から



スウェーデン



ドイツ



フランス



イギリス



ISO/TC261国内審議委員会



WG1



WG2



WG2



WG3



WG3



WG4



WG4

ISO/TC261国内審議団体



データフォーマット標準化の現状

AMFと3MF

AMF



Hod Lipson (Columbia Univ.)
Hiroya Tanaka (Keio Univ.)等, 研究者が主体
<https://amf.wikispaces.com/>

- 局面ポリゴン(ふんわり三角形)の指定
- 空気側/物質側の指定
- 長さ単位の指定
- 圧縮機能
- 表面カラー, 材質指定
- 内部は数式記述



ISO & ASTM

提案

ボクセル概念を導入

7/11-14
第8回 ISO/TC261-
ASTM F42国際会議

FAV



HPと情報交換

3MF



Microsoft, HP, 3D Systems, AUTODESK,
Stratasys, Siemens等, 企業が主体
<http://3mf.io/>



ASTMが承認!

ボクセル概念を検討中

データフォーマット標準化の現状

FAVの標準化について

- FAVは3Dプリンタの能力を引き出し、市場を活性化し、成長させるために慶應義塾大学と開発したものであり、誰もが無償で使用することができる。
- FAVを広く安心して使っていただくため、デジュールスタンダード、デファクトスタンダードの両方を目指した活動を進めて行く。

デファクトスタンダード

- FXや慶応大が関わっているプロジェクト(COI, ISO/TC261=TRAFAM)や活動、パートナー、あるいは様々な機会*1を利用してFAVを紹介し、商品やサービスに採用していただく。

*1 2017.2開催の3D Printing展(@ビッグサイト)でもFAV紹介のセミナーを開催する。

デジュールスタンダード

- ISO/TC261の国内審議委員会を通じて、AMFの次のバージョンへの包含、あるいはFAV単独の標準化を提案する*2。

*2 2016.6開催のISO/TC261国際会議(@東京)で、AMFの次のバージョンにFAV包含を提案済み

- 上記活動の中からFAVに対する要望や使い勝手を吸い上げながら、次のversionに反映させる。

Technology Evolution Changing Trend

3Dプリンタの現状と課題



3Dプリンタの現状と課題

現状の3Dプリンタ方式と特徴

3Dプリンタ方式=Additive Manufacturing方式の分類

(2009年ASTM (American Society for Testing and Materials)の国際会議で採択)

ASTMの分類名称20	Vat Photo-polymerization	Binder Jetting	Material Extrusion	Material Jetting	Sheet Lamination	Powder Bed Fusion	Directed Energy Deposition
日本語名称	液槽光重合	結合剤噴射	材料押し出し	材料噴射	シート積層	粉末床溶融結合	指向性エネルギー堆積
別名 / 通称	光造形 Stereolithography(SLA)	粉体積層 3DP	FDM PJP	インクジェット法 MJP/CJP	SDL LOM PLT	SLS SLM	DMP LENS
造形材料	UV硬化性樹脂 (エポキシ/アクリル)	石膏 セラミックス 砂 (金属) カルシウム プラスチック	ABS PLA ナイロン12 PC PPSF PPSU	UV硬化性樹脂(アクリル) ワックス ハンダ	紙 樹脂シート アルミシート	エンブラ ナイロン 金属	金属
z方向造形速度 (mm/hr)	10	10	20	20	30	20	
サポート材の要否	(不要)	不要	必要	必要	(不要)	不要	不要
カラー化	×	○	△	○	○	×	×
材料費 (¥/kg)	~20k	~10k(Powder) ~30k(Binder)	~25k	~20k~		~10k	

1つの方式で扱える造形材料が限定されている

造形速度(z方向)が極めて遅い

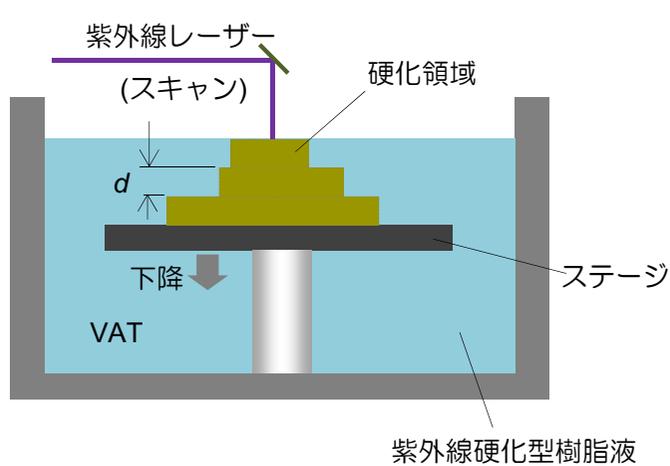
カラー造形できる方式も一部に限られている

材料費が高い

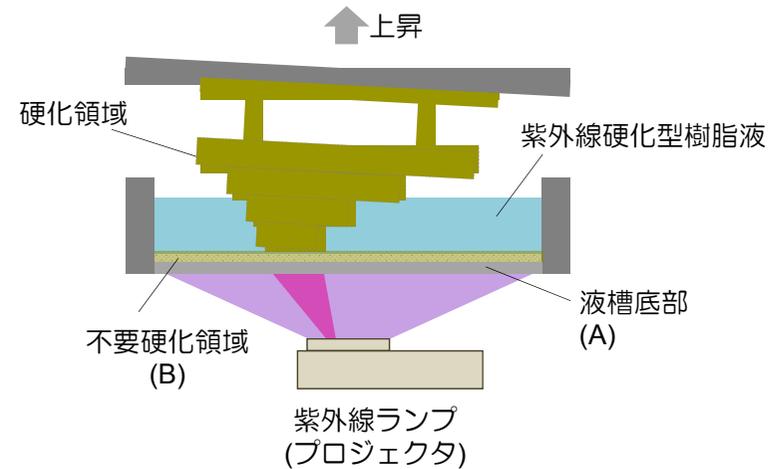
3Dプリンタの現状と課題

3Dプリンタ各種方式と特徴 (2)

液槽光重合法



通常型



吊り下げ型
(DLP光造形)

Vat Photopolymerization 液槽光重合 (光造形)

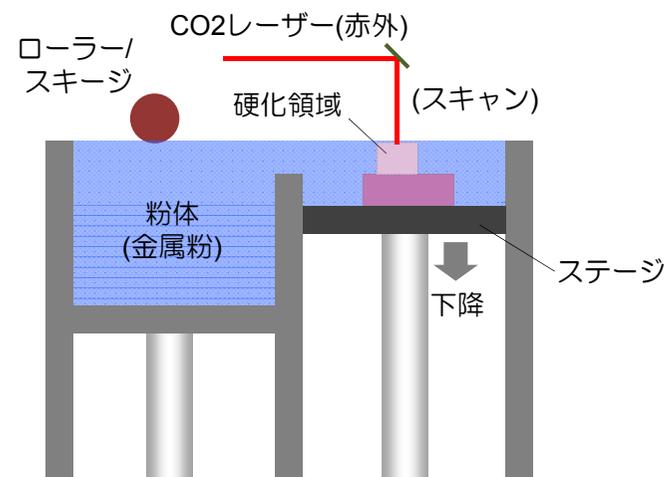
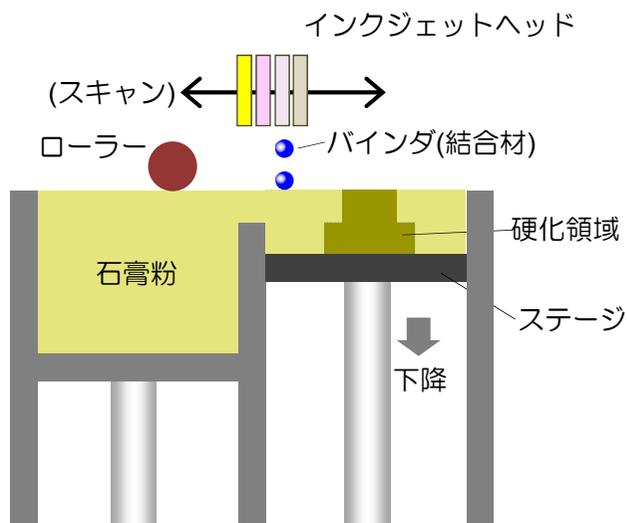
- ✓ 紫外線硬化樹脂液表面から、硬化したい領域(パターン)に紫外線レーザーを照射して硬化させる。
- ✓ 小型化(液槽の容量低下に適した)吊り下げ型も普及・・・プロジェクタで投影するため、DLP光造形と呼ばれる事がある。
- ✓ 通常型は液面振動静止までの時間、吊り下げ型は底部の不要硬化領域と造形物の引きはがしに時間がかかる。(造形物を少し傾けて、引きはがしやすくしている)
- ✓ 造形物の精細度(分解能)が高いが、紫外線硬化型樹脂であり、強度、長期間での強度維持性は大きくない。

3Dプリンタの現状と課題

3Dプリンタ各種方式と特徴 (3)

結合剤噴射法と粉末床溶融結合法

HPのMulti Jet Fusionは2章で説明する



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。

表面性が悪く、後処理が必要。

Binder Jetting
結合剤噴射法
(粉体積層法)

Powder Bed Fusion
粉末床溶融結合法

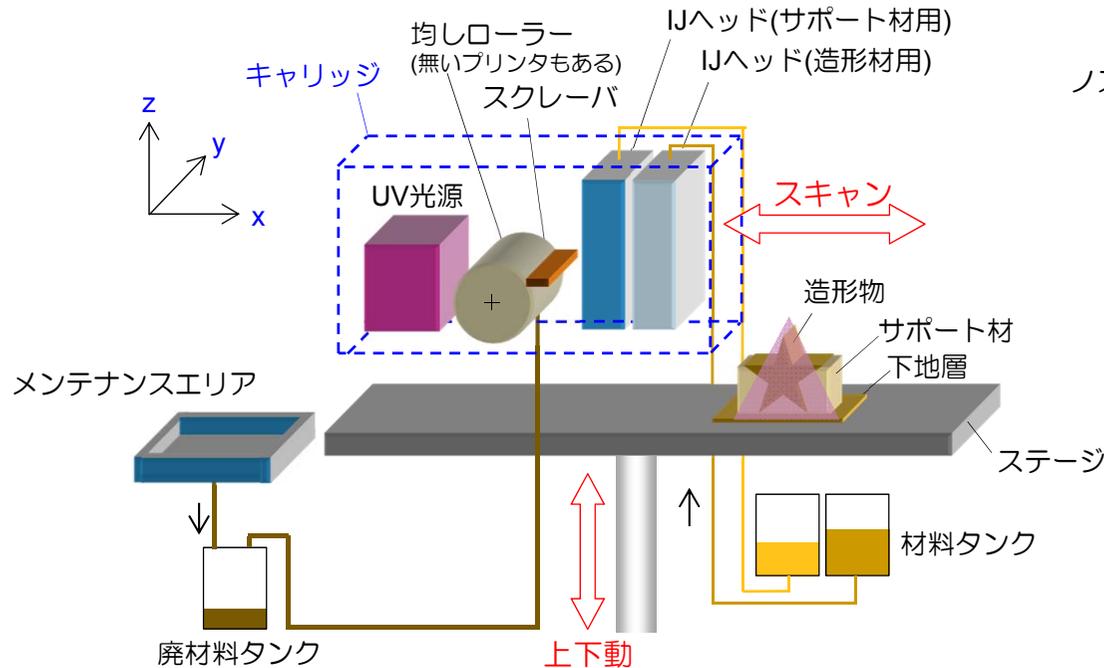
- ✓ バインダーによる結合のみで強度が弱い(後処理必要)
- ✓ バインダーのカラー化(インクジェット)によりフルカラー化可能だが、発色性は悪い。(端部のみカラーバインダー)
- ✓ 粒子サイズが大きく、表面性は悪い
- ✓ HPが強度を高めた改良型を発表(後述)。強度確保、発色改善のために後処理をするのが普通

- ✓ レーザーによる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Hybrid装置あり)。
- ✓ サーマルヘッドにより、ナイロン粉末を熔融結合する装置が発売されている(小型化)

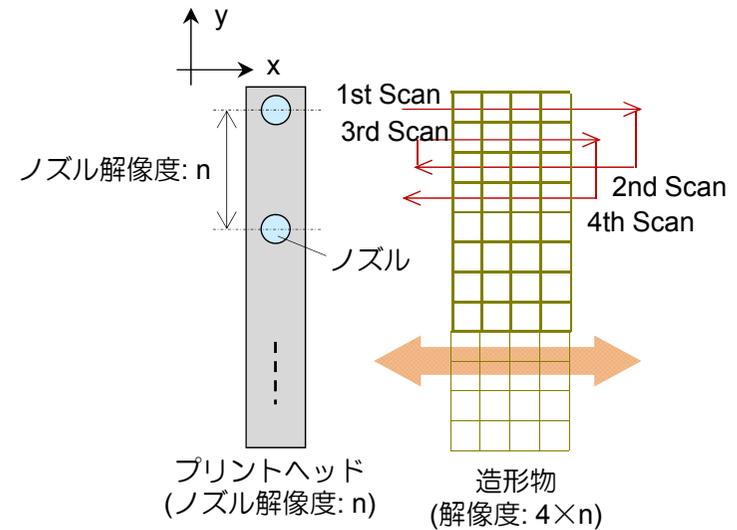
3Dプリンタの現状と課題

3Dプリンタ各種方式と特徴 (4)

材料噴射法(インクジェット法)



Material Jetting
材料噴射法
(インクジェット法)



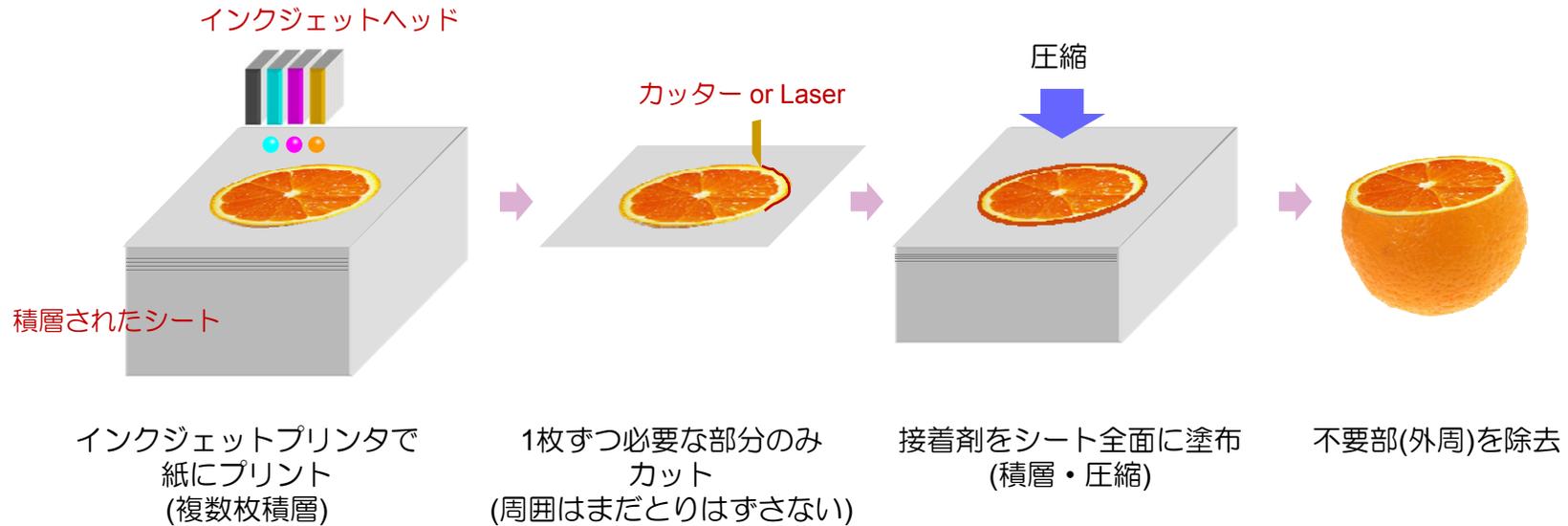
材料噴射法におけるマルチスキャン例

- ✓ 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. ⇨ 分解能と造形速度(z方向)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, 低解像度でのマルチスキャン(例えば4回)が必要で, このため速度低下.
- ✓ 造形材料として, 紫外線硬化型樹脂(アクリル)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.

3Dプリンタの現状と課題

3Dプリンタ各種方式と特徴 (5)

シート積層法



Sheet Lamination シート積層法

- ✓ 普通紙が使えるのでランニングコストが低いが、吸湿による変形がある。
- ✓ カラー化可能であり、表面の処理を行えばある程度のカラー品質は達成できる。
- ✓ くりぬくプロセスがあるため、細かな形状の再現は難しい。
- ✓ 端だけでなく、全面にパターン描画することもでき、(カットすると)内部にも色がついている。

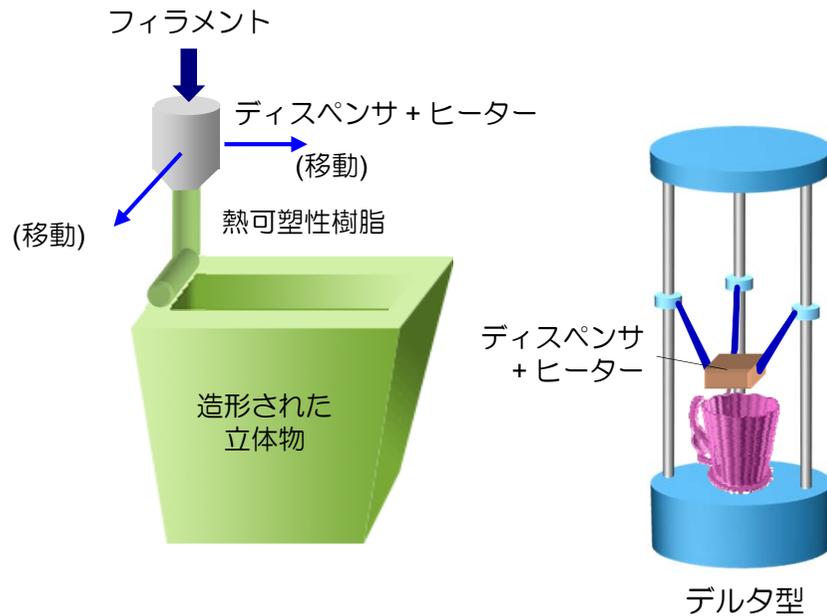


CES2016で発表された新製品ARKEと造形サンプル

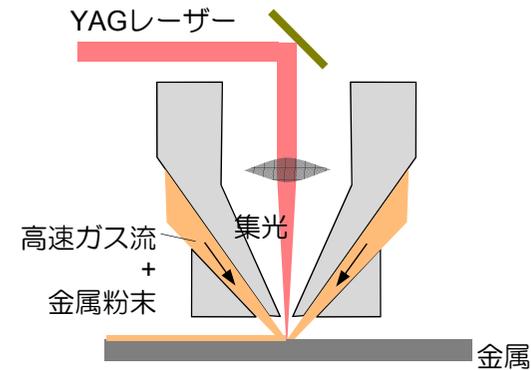
3Dプリンタの現状と課題

3Dプリンタ各種方式と特徴 (6)

材料押し出し法と指向性エネルギー堆積法



Material Extrusion
材料押し出し法
(FDM)



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

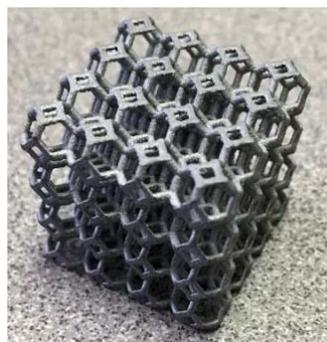
- ✓ 熱可塑性の樹脂(フィラメント, ペレット)を溶解してノズルから押し出し, 一筆書きで立体物を形成. **分解能は粗い.**
- ✓ **構成が簡単**, 基本特許が切れ, **安価な**プリンタが多品種市場導入されている.
- ✓ カラー材料もあり多色化は可能だが, 1つの立体物の中でのフルカラーは不可.
- ✓ ABS等が扱えるため, 部品製造にも使用されている.
- ✓ 対象金属面をレーザーで熔融し, 金属粉を高速気流に乗せて付着させる.
- ✓ 3D造形だけでなく, 金属物体の修理にも用いられる.

3Dプリンタの現状と課題

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？ ロングテール市場の獲得。 ▶
- 複雑な形状・一体造形
→射出成型では出来ない形状，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→ Amazon Launchpad)

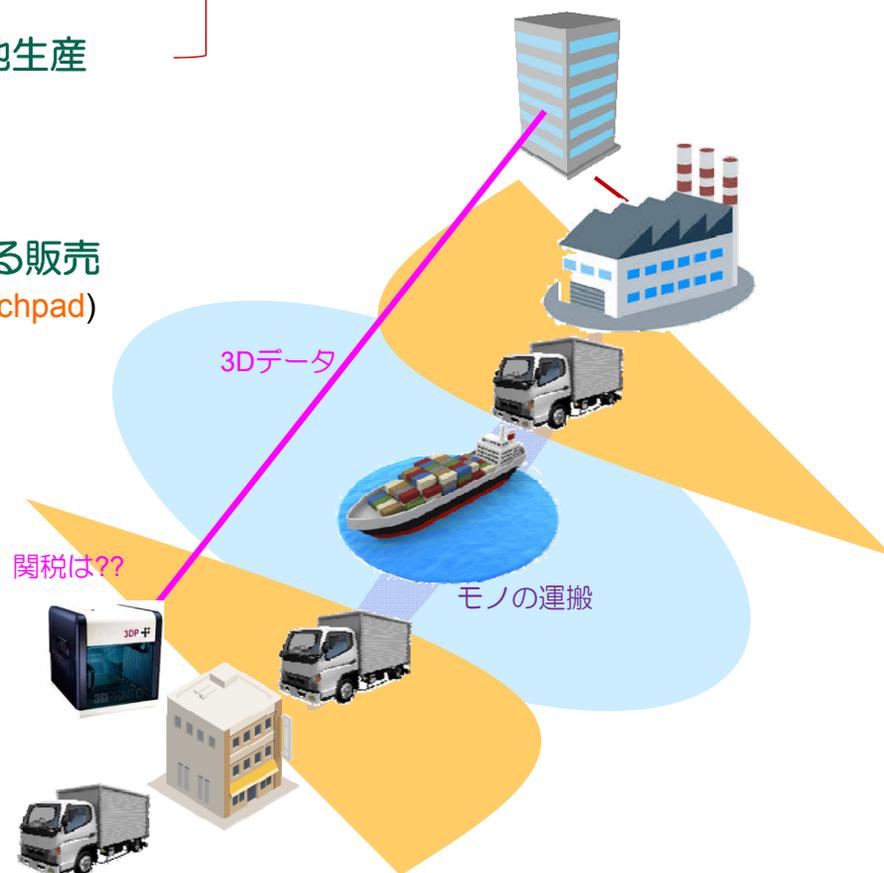
DDM (Direct Digital Manufacturing)



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

- (トポロジー最適化)
- ・ ジャイロイド
 - ・ オクテット・トラス
 - ・ トラス
 - ・ ラティス
 - ・ ハニカム
 - ・ 格子



(現在の)3Dプリンタで造形できない形は？

(解像度等，プリンタの仕様に依存するものは除く．造形を途中で止めるのも不可)

3Dプリンタの現状と課題

現状の3Dプリンタの課題と技術開発

- 高速化(積層方向)

- ➡ 構成要素・パラメータの進化(数倍~10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

- ➡ 各方式で材料範囲(機械特性, 物性)は広がっている.

- 精度・分解能

- ➡ 造形速度とのトレードオフ. 高速化のブレークスルーがかぎ.



- 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

- 現行データフォーマットの限界

- ➡ 3Dプリンタ能力を引き出すボクセルベースの新しいフォーマット提案

- 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.

3Dプリンタの現状と課題

付加価値の追加

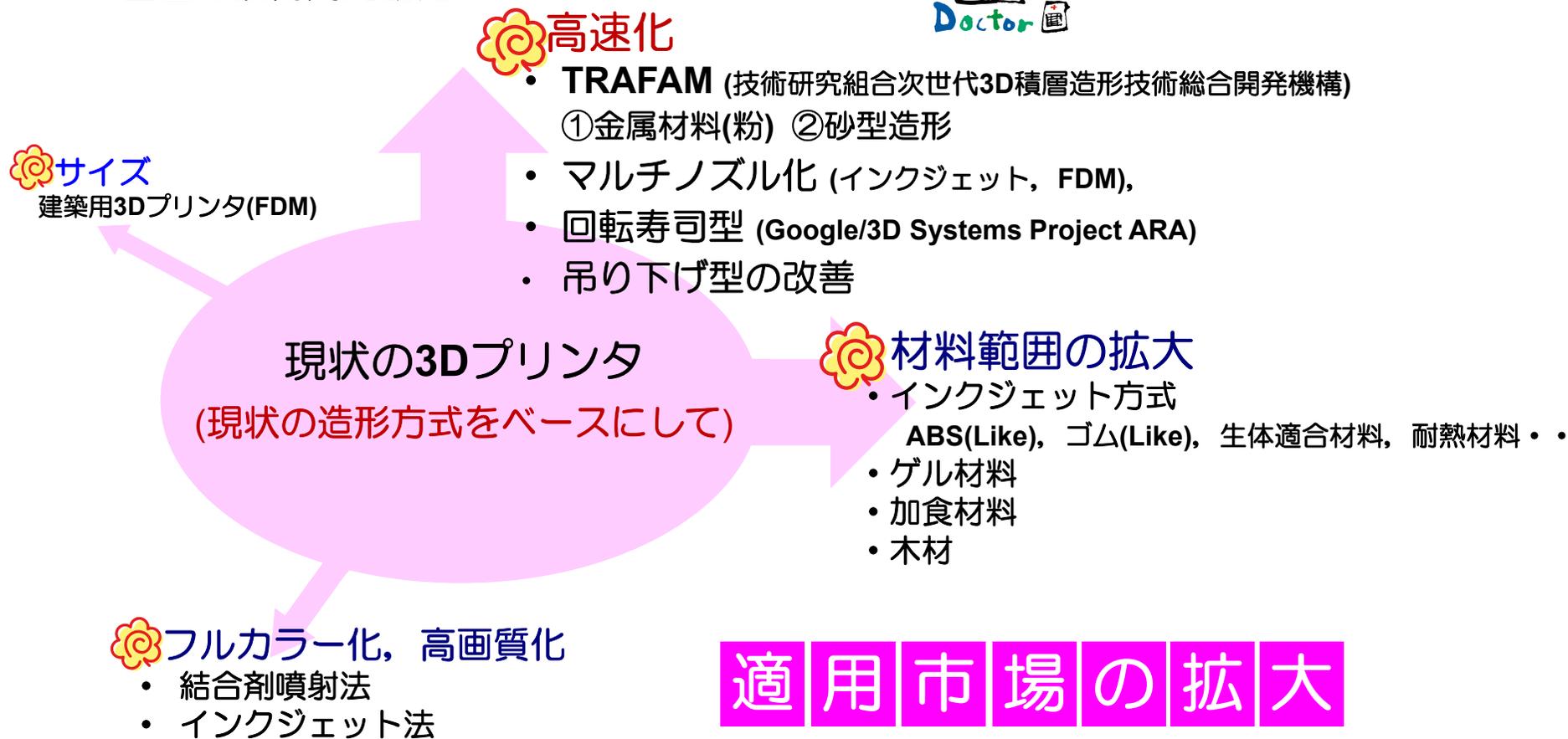
あらゆる材料が扱える3Dプリンタは登場するのか?

(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



3Dプリンタの現状と課題

トレンドを変える技術進化

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.

(将来を予測する最も最適な方法は、自ら発明することである)

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

+ 可食(Cocojet, Shefjet, Gumjet) 食品

例えば + 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)



3Dプリンタの現状と課題

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

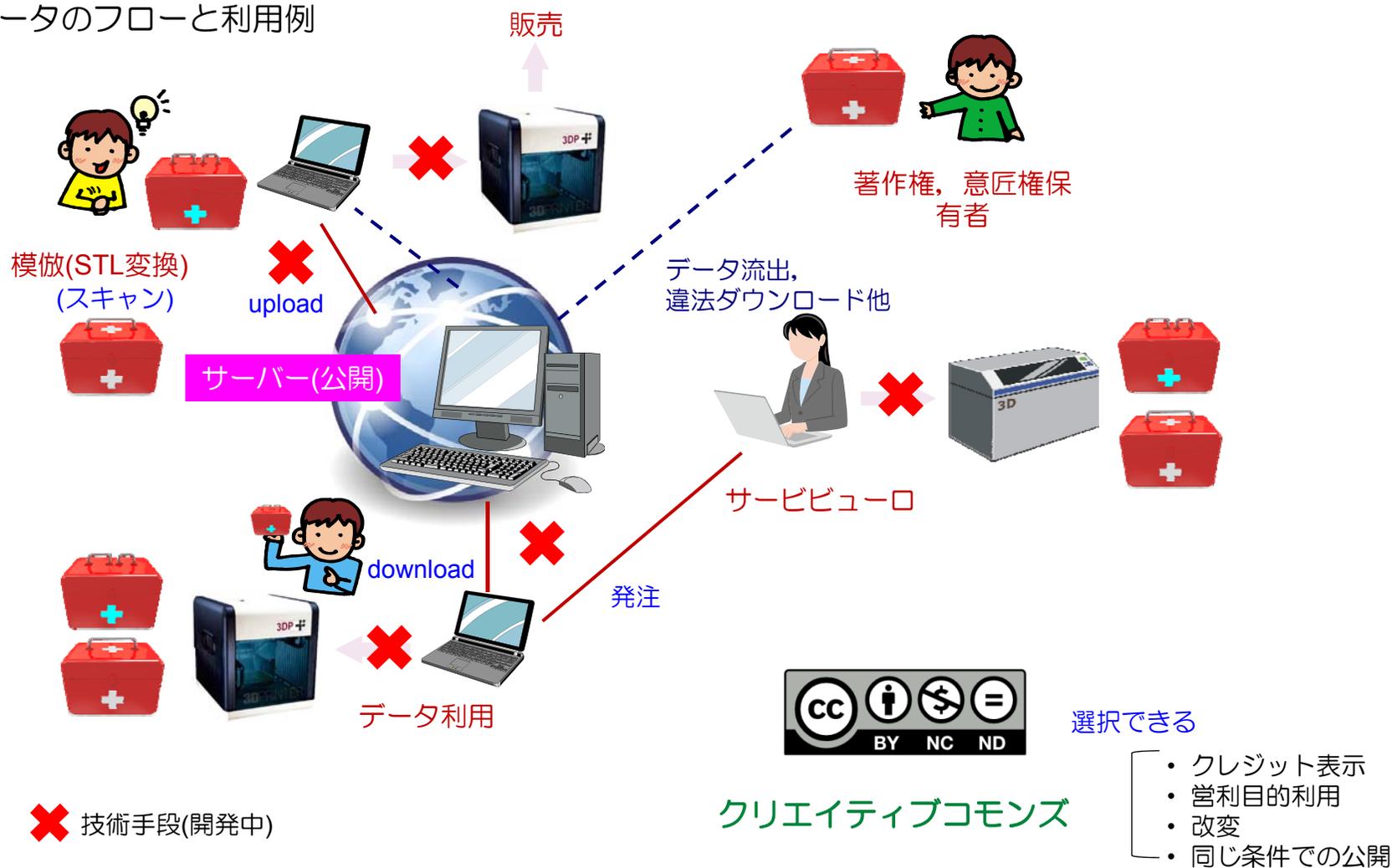


- ✓ 普及期は普及促進が必要であり、関係者からの情報公開(安全性データ, 設計ルール等)を前提として、作成者, 使用者が責任を持って(取って)利用することが良いのではないか。
- ✓ その後のステージ(普及期)では法律等の取り決めが必要であり、今から準備を進めるべきである。(社会環境, 法整備が追いついてこないと適切な対応ができず, 結果, 全てに覆いをかけてしまう)

3Dプリンタの現状と課題

著作権保護とクリエイティブコモンズ

3Dデータのフローと利用例



Conclusion
まとめ



まとめ



ポリゴンからボクセルへのパワーシフトが起こるべき。

- 3Dプリンタの活用が進む。
- モデリング環境が大きく変わる。一方で、デザイナー(設計者)の考え方、教育を変える必要がある。
- マスカustomマイズ市場(ロングテール市場)が立ち上がる。



ものづくりの変革



3Dプリンタ用のデータフォーマットは今後も複数混在する。ボクセルは正しい方向性だが、標準化活動は始まったばかり。



形以外の価値(機能)を提供する3Dプリンタも重要な進化の方向性。(機能情報の伝達にFAVが使える可能性)

3Dプリンタ(データ)との付き合い方も考える時期。

FUJI xerox

