

ボクセルが3D市場を変化させる

- 3D Printingのデータフォーマットの標準化他 -

Introduction and Expectation to FAV

FAVの概要と期待

Status of Standardization for 3D Data Format

データフォーマット標準化の現状

Standardization for 3D Printing

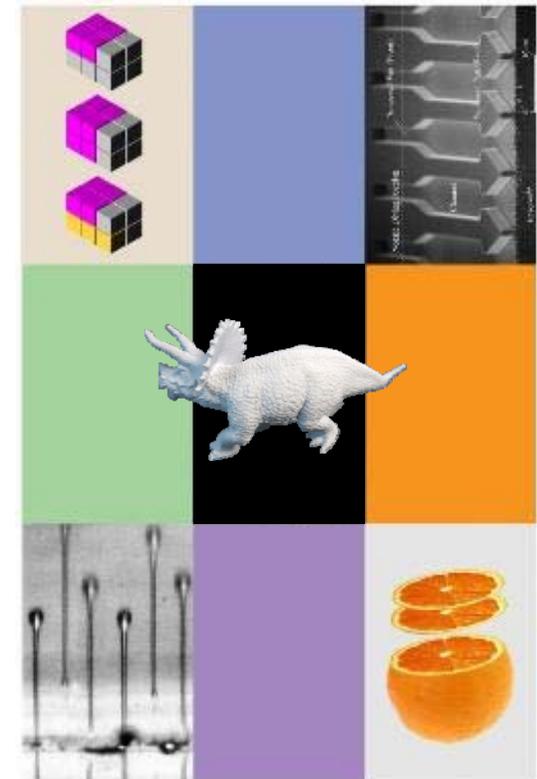
3Dプリンタに関する標準化

Status and Issue of 3D Printer

3Dプリンタの現状と課題

Conclusion

まとめ



March 8, 2017

FUJI XEROX Co., Ltd.
富士ゼロックス株式会社

Marking Technology Laboratory FUJII, Masahiko
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

25,000年前



削る
(切削)

4,500年前



型取る
(成型)

Additive



造形装置として特許出願されたのは

1800年代

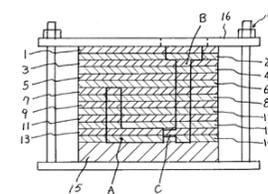
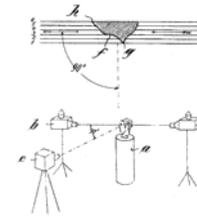
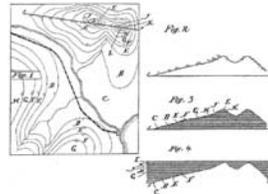
現在の3Dプリンタにつながる特許出願は1980年代

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]

進化



フルカラー(内部)



材料混合

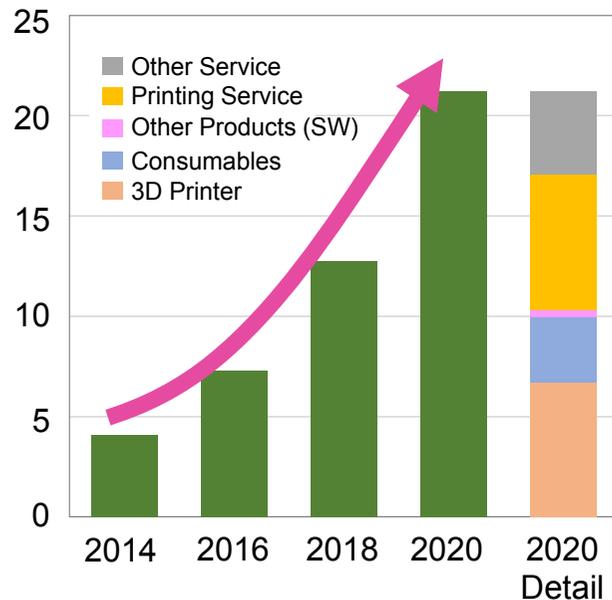


内部構造

FAVの概要と期待

3Dプリンタへの期待と課題

Market (B\$)



3Dプリンティング(Additive Manufacturing)へ高い期待

- 少量対応品種対応(カスタマイズ)
- 短納期(コスト低減)
- 複雑内部構造
- マルチ材料
- サプライチェーンの変革



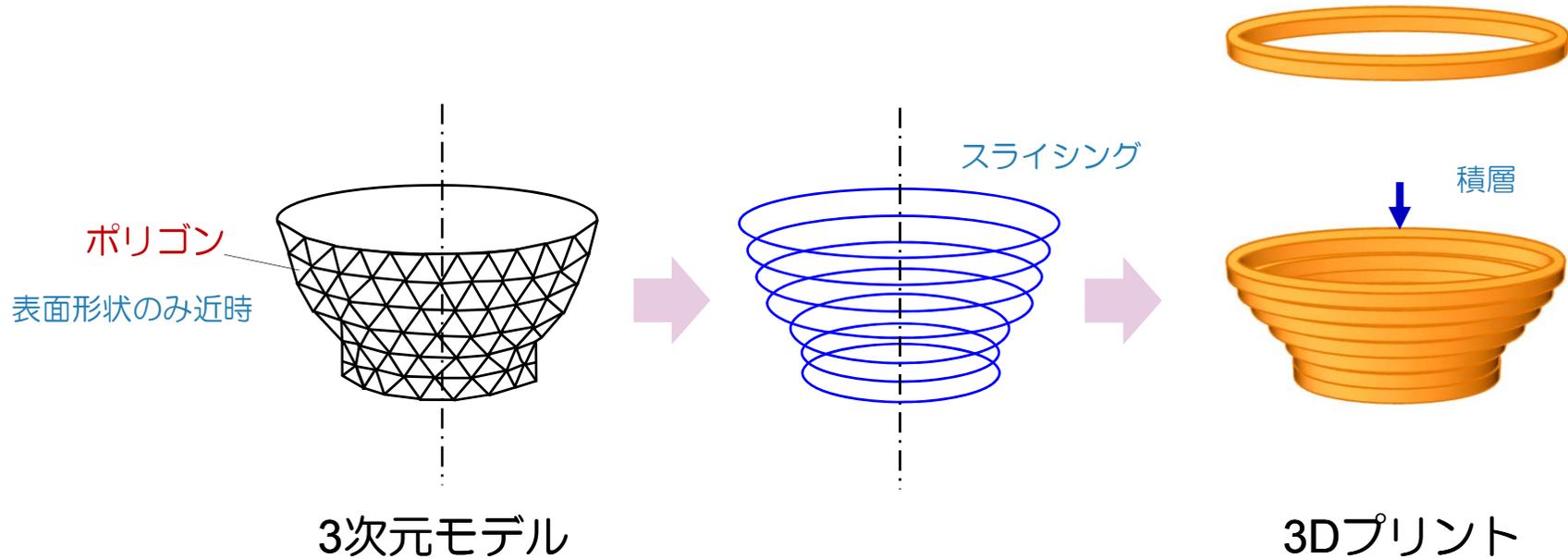
3Dプリンタの進化

- フルカラー, 材料混合, 内部構造再現
- 造形速度高速化, 材料範囲の拡大

ハードウェア(3Dプリンタ), 材料の進化だけで, この期待に応えることができるのか?

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
STL (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。



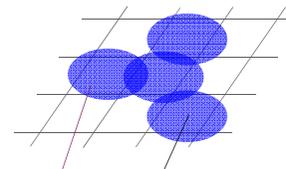
3Dプリンタの特徴(進化)を活かそうとすると
煩雑な中間処理が必要。

- 少量対品種対応(カスタマイズ)
- 短納期(コスト低減)
- 複雑内部構造
- マルチ材料
- サプライチェーンの変革

FAVの概要と期待

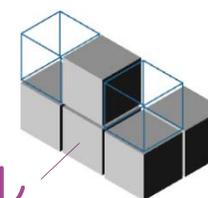
ピクセル(2D)とボクセル(3D)

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

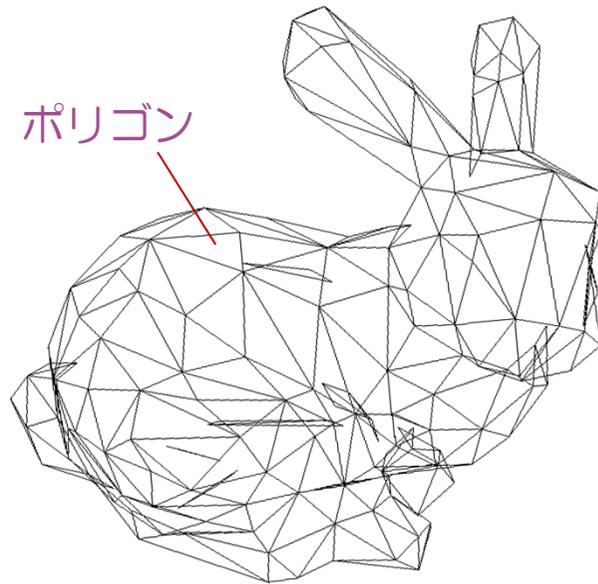


ボクセル
(基本立体単位)

Voxel = Volume + Pixel

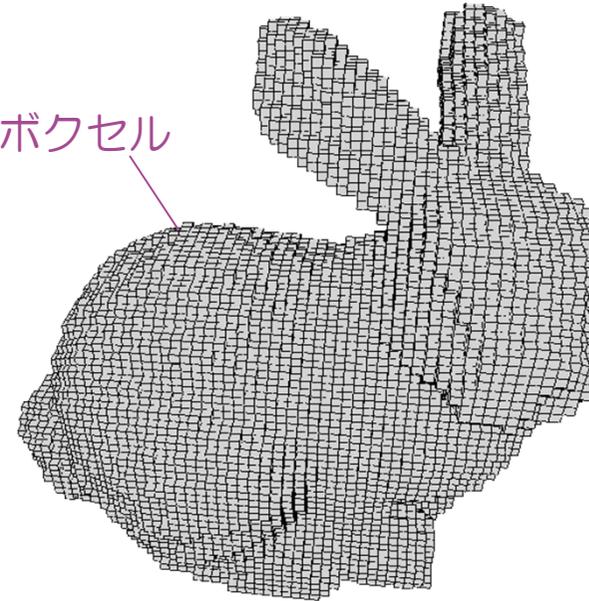
FAVの概要と期待

ボクセルベースフォーマット



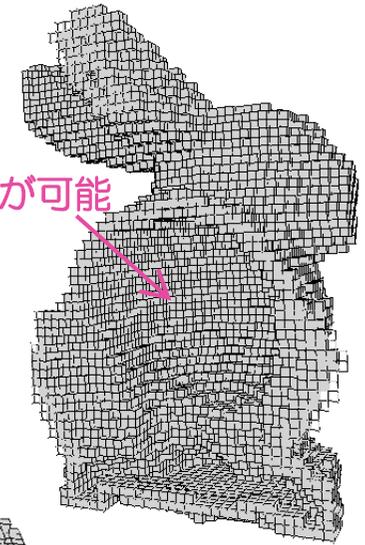
ポリゴンで(表面)形状を近似
STL

ボクセル



ボクセル(の集合体)で立体を表現
FAV

内部構造の表現が可能



FAVの概要と期待

ボクセルベースフォーマットFAV

2015年4月より慶應義塾大学 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



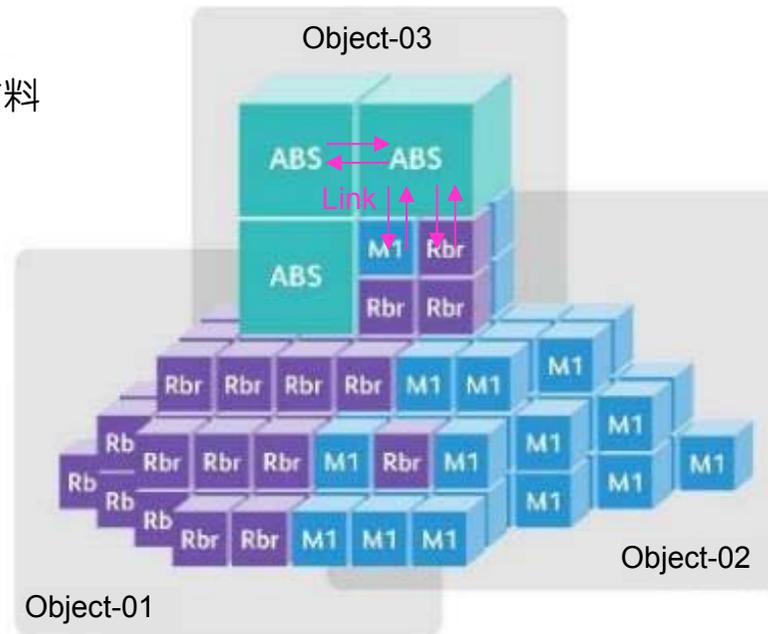
ABS樹脂材料



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。
- 近傍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

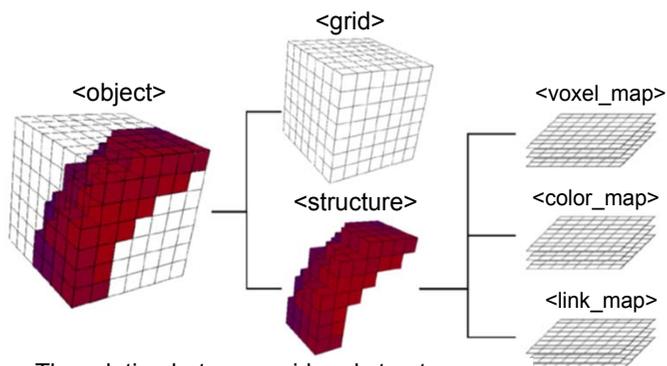
geometryには基本的な形状が準備されているが, ユーザー定義も可
Materialには製品名やISOに登録されたIDや名前

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

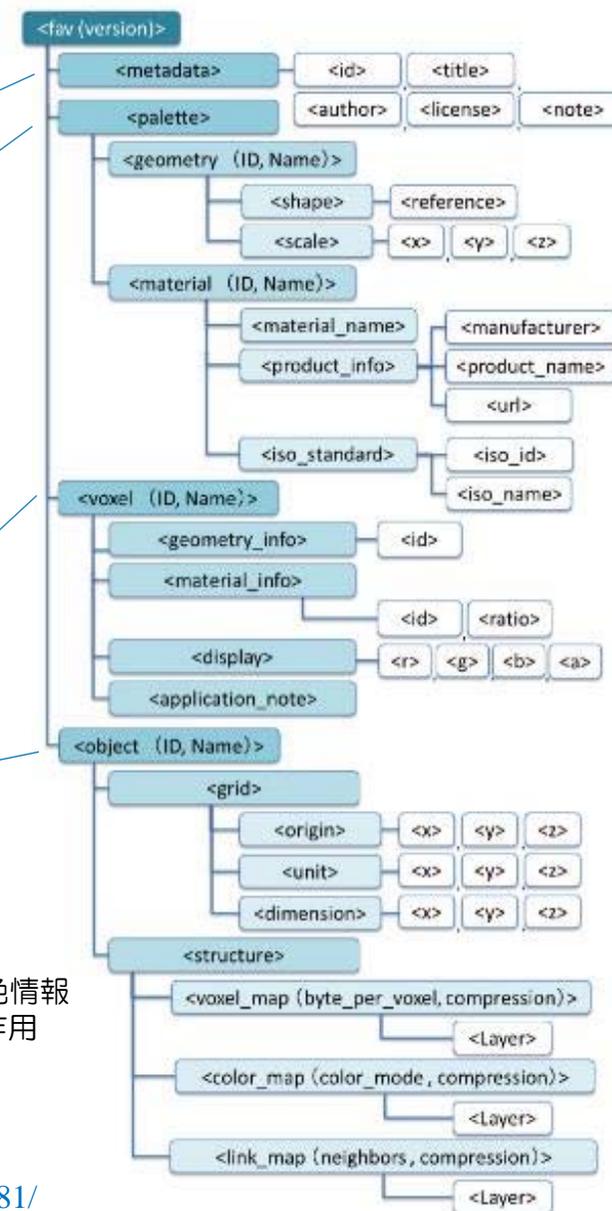
gridで3D空間を設定
structureでボクセルの配置(voxel_map), 色情報の配置(color_map), ボクセル同士の相互作用(link_map)

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>

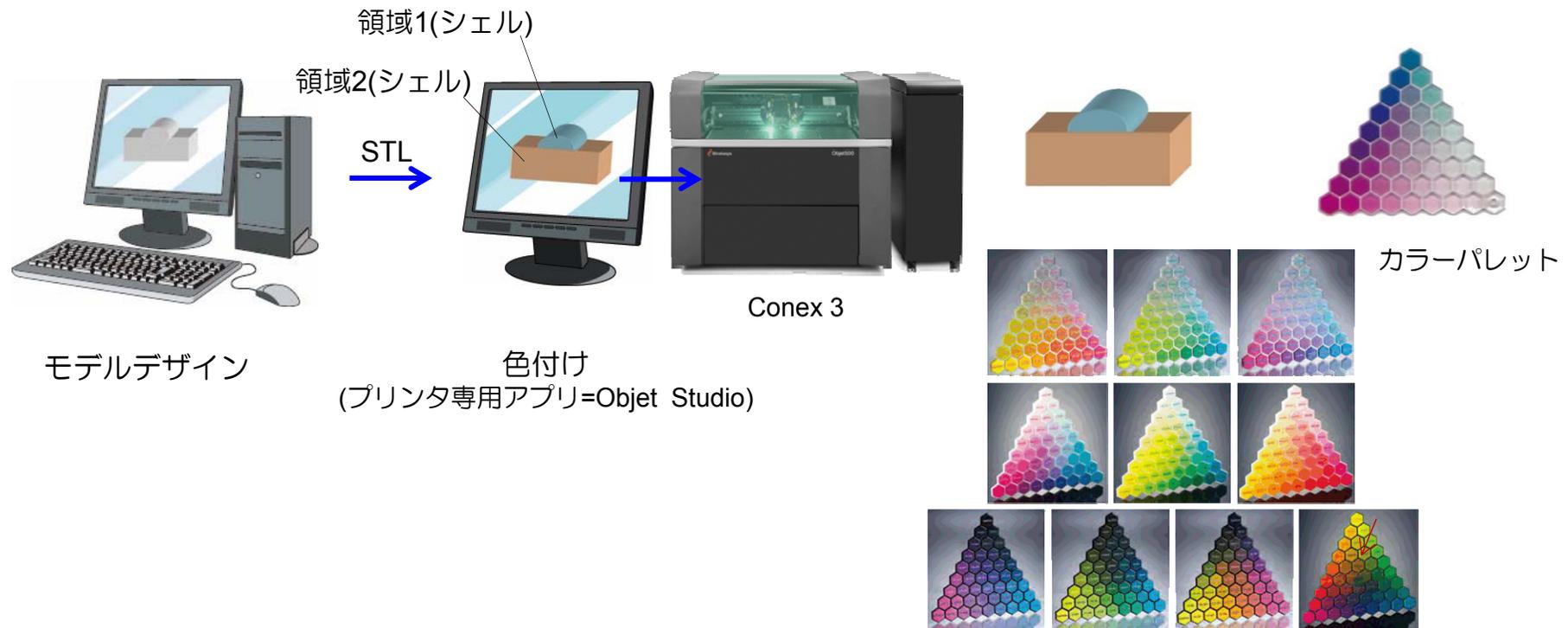


The tree structure of elements that constitute a FAV file [XML]

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。

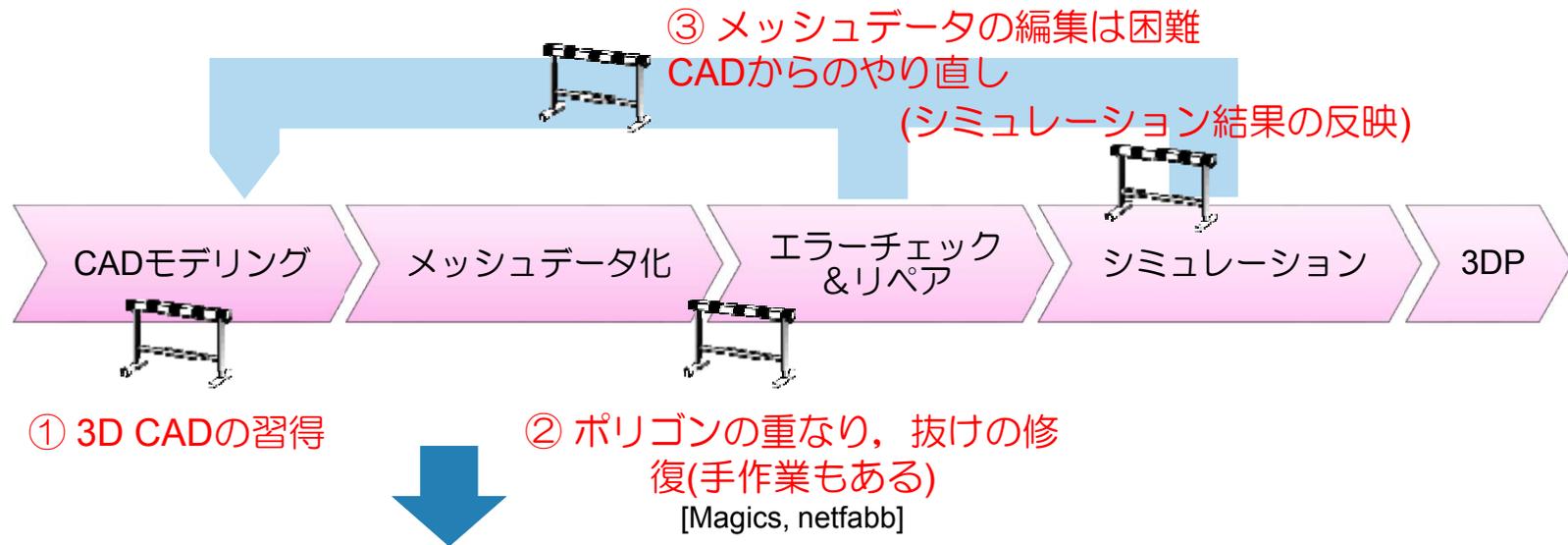


(2016年2月、AdobeとStratasysは、入力側で色やテキスチャを指定できるツールを発表した)

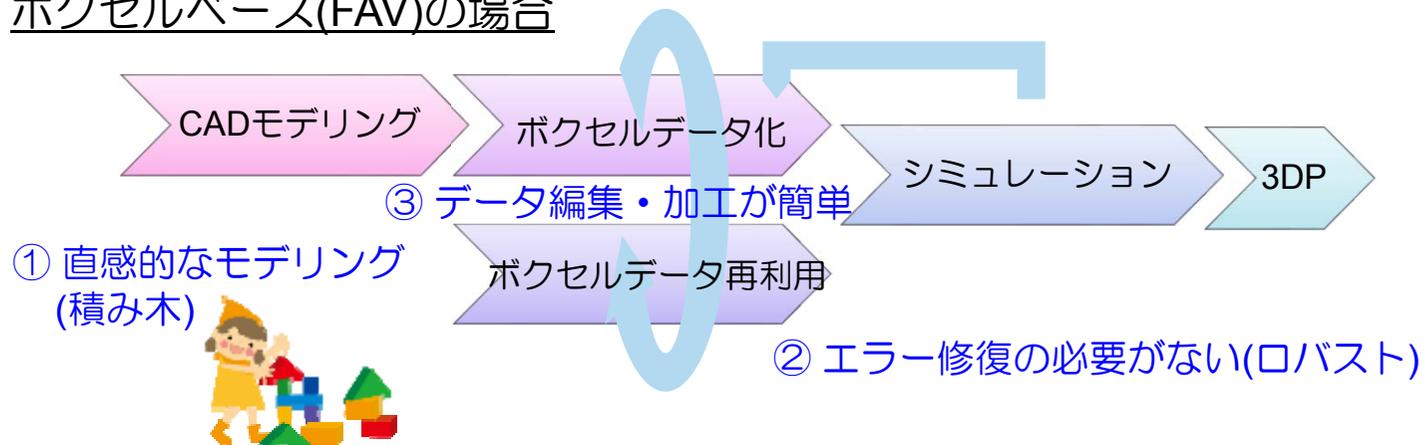
FAVの概要と期待

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

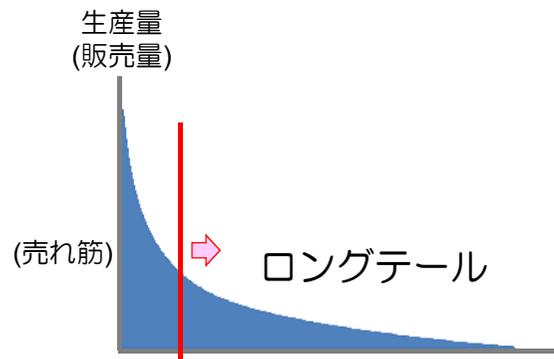
- ✓ 3Dモデリングの敷居が下がれば、自分で欲しいものを自分でモデリング(編集)できる
→自分の3Dプリンタ, サービスビューロで出力, 入手.

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

ユーザー参加型のものづくり

パーツ形状だけでなく、内部構造 / 意匠デザイン / 材料
分布 / 等を組み合わせながらデータをデザイン

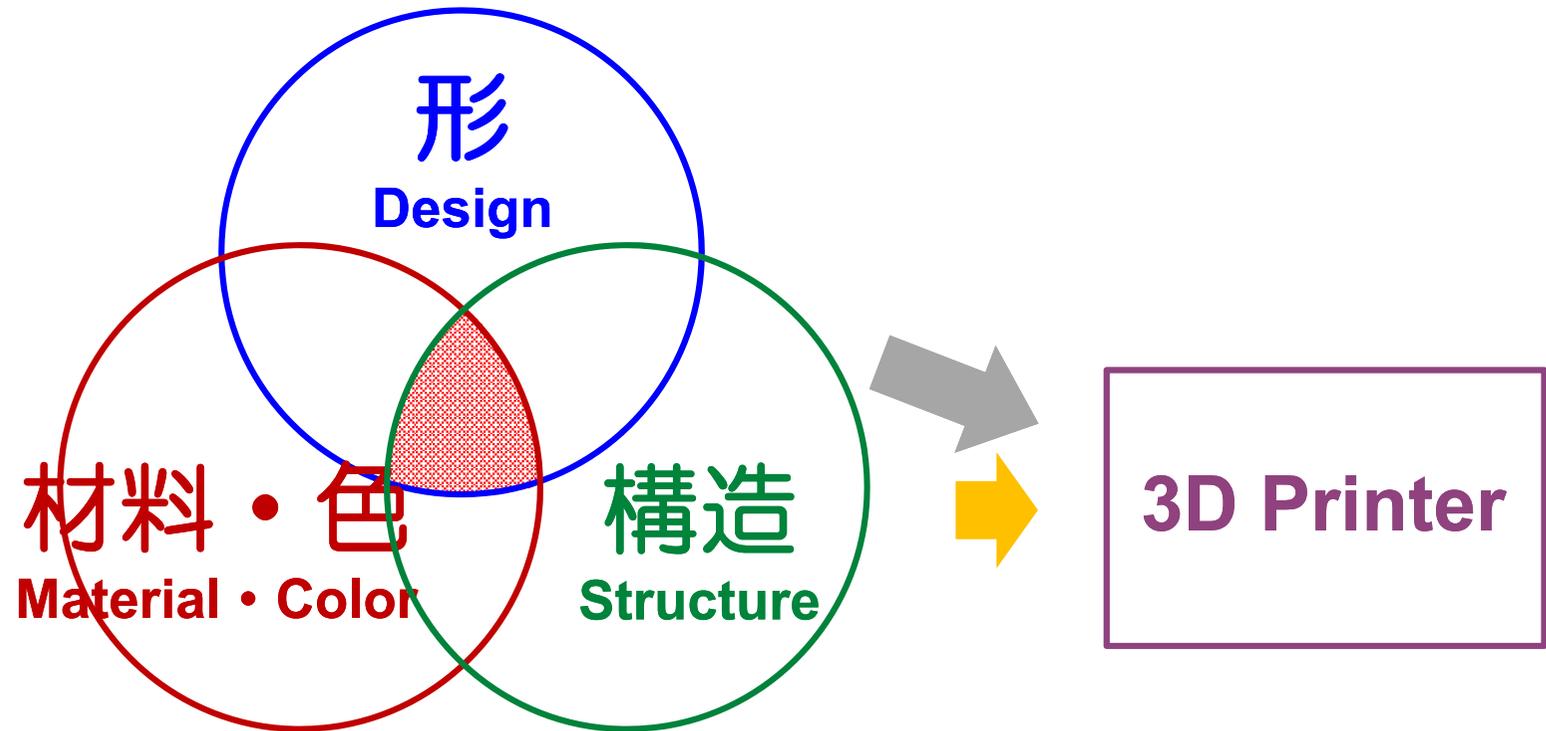
既存パーツを個人・用途に合わせて容易にカスタマイズ可能

FAVの概要と期待

FAV機軸のモデリング環境

FAVの概要と期待

FAV機軸のモデリング環境



三位(四位)一体で，モデリングを考えることができる人材，環境

大学からではなく，小中学からの3Dリテラシー教育(遊び)が必要

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

DICOMデータ他、その他3Dデータとの連携

CTやMRIなどの医療用画像データであるDICOMや、その他ボクセルと親和性の高い3Dデータのハンドリングに対し、Voxelへの期待もある。

FAVの概要と期待

3Dデータ検索エンジンとFAVデータベース(慶応大)



60万点以上の3Dモデル

Voxel FAVフォーマットでダウンロード可

60万以上の3Dデータをダウンロード可能。フリーソフトなどでFAVを編集することも出来る。
(2次利用可能のクリエイティブコモンがあるデータ)

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



James Thomas, ASTM President,
and Rob Steele, ISO Secretary-General
(2011)



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]

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

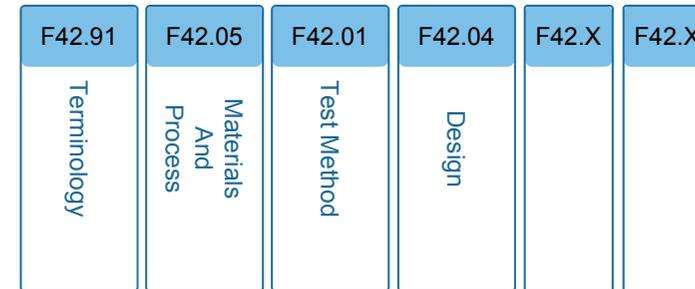
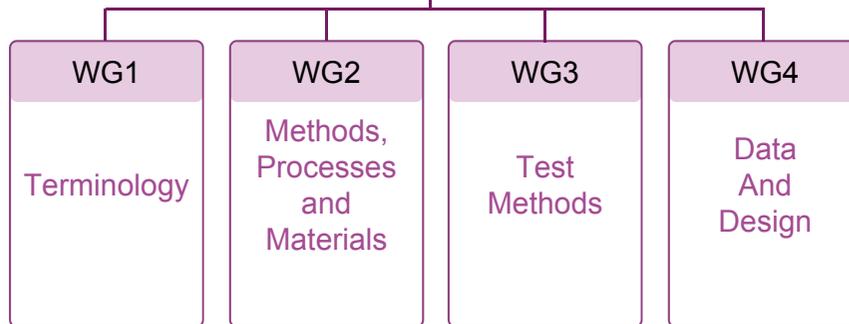
Oメンバー

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



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



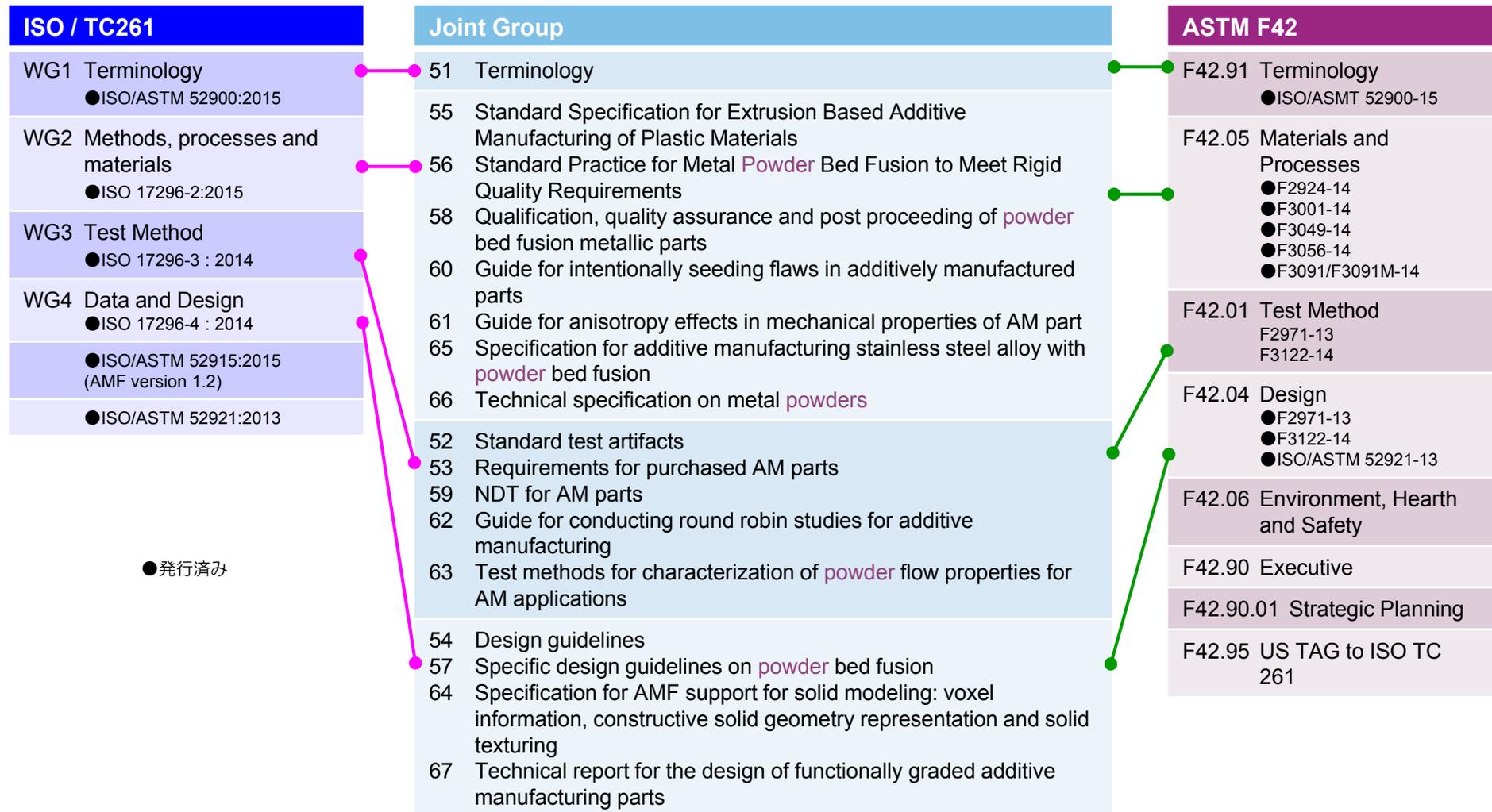
ISO/TC261国内審議団体



安全衛生環境に関する企画を策定する
AHG2が新設された

データフォーマット標準化の現状

ISO / ASTM Joint Group



粉体を使った方法に関する標準化が先行。7方式について決める義務はなく、提案が出たものから進める。特定の方法(Test), 団体のK/Hを使わないと実施できないものは、提案されても反対され採用されない。

データフォーマット標準化の現状

第9回ISO/TC261-ASTM F42国際会議スケジュール

2017.01.30~2017.02.02

@University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama



	Monday 30.01.2017			Tuesday 31.01.2017					Wednesday 01.02.2017					Thursday 02.01.2017
	Conf. Room	Room 2	Room 5	Conf. Room	Room 2	Room 3	Room 4	Room 5	Conf. Room	Room 2	Room 3	Room 4	Room 5	Conf. Room
8:00	Opening of the building and rooms; registration													
8:00-9:45	ASTM Introductory Presentation	Registration information	ASTM Executive F42.90 Opening	To be scheduled	ISO/ASTM JG57 meeting Specific Design Guidelines on PBF	ISO/ASTM JG52 meeting Standard Test Artifacts	To be scheduled	ASTM Executive F42.90.01	To be scheduled	ISO/ASTM JG53 meeting Req for Purchased AM parts	ISO/ASTM JG55 meeting Extrusion Based Plastic Materials	ISO/ASTM JG59 meeting Non Destructive Testing		ISO/TC 261 plenary meeting
Coffee break	Coffee break w/ catering - Sponsored by AddUp Solutions (www.addupsolutions.com)													
10:15-12:00	ASTM F42 Plenary Meeting	Registration information		ASTM F42.05 AdHoc TG Combine & Decorst. Metal PBF Standards	ISO/ASTM JG67 meeting Tech Report Design of FGM parts	ISO/ASTM JG61 meeting Orientation and Location Depend. Mech. Prop. / AM	ISO AdHoc TG Environment, Health and Safety		ASTM F42.01 SC meeting Test Methods	ISO/ASTM JG53 meeting Req for Purchased AM parts	ISO/ASTM JG51 meeting Terminology	To be scheduled		ISO/TC 261 plenary meeting
12:00-13:00	Lunch break - Sponsors requested - Food court onsite													
13:00-14:45	Joint presentations	ASTM F42.04 SC meeting Design and Data		To be scheduled	ISO/TC 261 WG4 meeting Data and Design	ISO/ASTM JG62 meeting Round Robin Studies for AM	ISO/ASTM JG56 meeting Metal PBF Rigid Quality Reqts		ASTM WKS6648 Intentionally Seeded Flaws in AM parts	To be scheduled	ISO/TC 261 WG3 meeting Test methods	ISO/TC 261 AdHoc Group Naming of Standards		ISO/TC 261 plenary meeting
Coffee break	Coffee break w/ catering - Offered by University of Alabama													
15:15-17:00	Joint presentations	ISO/ASTM JG64 meeting AMF Solid Modeling Support		ASTM F42.05 SC meeting Materials and Processes	ISO/ASTM JG66 meeting Technical spec. on metal powders	To be scheduled	ISO/ASTM JG58 meeting Qualif., QA, and Post-Process of Metal PBF	ISO/ASTM Joint Steering Group meeting	ASTM F42.06 SC meeting Environment, Health and Safety	To be scheduled	To be scheduled	To be scheduled	ASTM Executive F42.90.01 Closing	ISO/TC 261 plenary meeting
17:00	End of day, closing of facilities													
	Social events - Sponsors requested (In preparation)													

- ASTM meetings
- ISO/ASTM joint meetings
- ISO meetings
- Presentations

次回(第10回)は9月にStockholm, Swedenで開催される。

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



ISO & ASTM

提案

7/10

1.0

7/11-14
第8回 ISO/TC261-
ASTM F42国際会議

Solid Modelingの導入検討

- Voxel
- Constructive Solid Geometry
- Solid Texturing

1/30-2/2
第9回 ISO/TC261-
ASTM F42国際会議

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への期待(国際会議の中で)

第9国際会議の中で出てきたFAVへの新しい期待

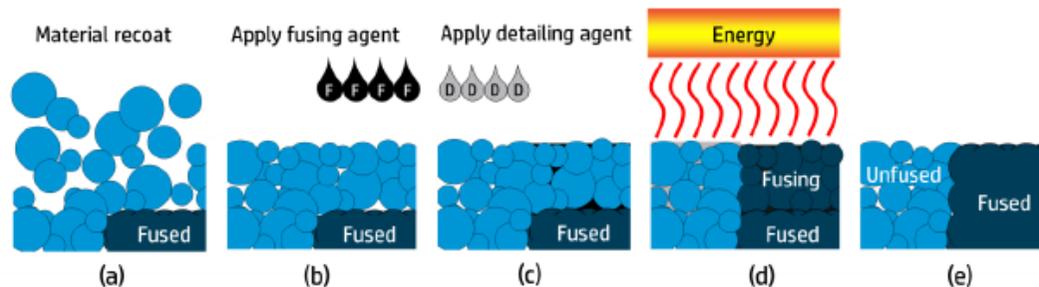
- FGAM(Functional Graded Additive Manufacturing)=傾斜モデルの記述(Design Guide)
- NDT(Non-destructive testing)非破壊検査・・・3DモデルとX線による造形物の内部検査結果の比較
- 3D造形物のセキュリティ管理・・・内部に情報の埋め込み

データフォーマット標準化の現状

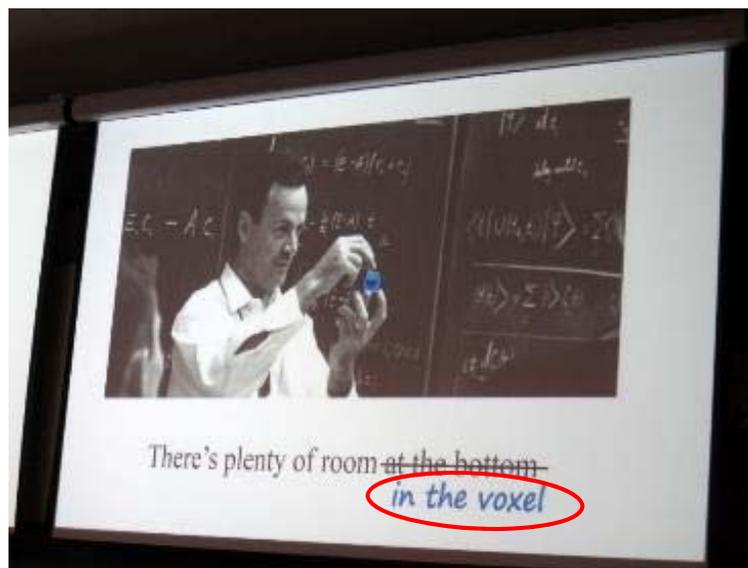
HPの思惑とボクセル



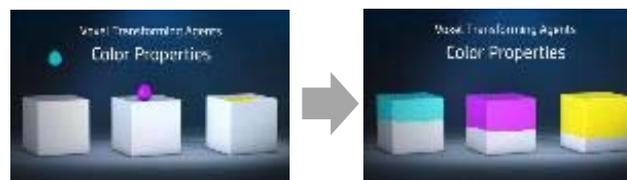
4200/3200 3D Printer



バインダ噴射法 + 加熱



HP, IS&T' P4F 2016@Manchester



色



透明性

表面特性

導電性

弾性・強度

IS&T P4F 2016より

- 今回のISO/ASTM国際会議の中でも3MFとAMFの関係についての疑問が出されていた。会議では、3MFはあくまで造形のためのFormatであり、モデリングまで有用性を訴求するものではない、という意見もあった・・・が・・・

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、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いる。

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)やその活動、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し、多くの方が聴講された。

FAVをベースにしたいくつかの小さなプロジェクトを検討中である。

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(1.3)への包含、あるいはFAV単独の標準化を進める。
- 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、FAVの次のversionに反映させる。

Standardization for 3D Printing

3Dプリンタに関する標準化



3Dプリンタに関する標準化

ISOのステージコード

段階 (STAGE)	副 段 階 (SUB-STAGE)						
	00 登録 (Registration)	20 主要活動の 開始 (Start of main action)	60 主要活動の 完了 (Completion of main action)	90 決定 (Decision)			
				92 以前の段 階の繰返 し (Repeat an earlier phase)	93 現在の段 階の繰返 し (Repeat current phase)	98 破棄 (Abandon)	99 進行 (Proceed)
00 予備段階 (Preliminary stage)	00.00 新規プロジ ェクト案の 受領	00.20 新規プロジ ェクト案の 審議	00.60 審議要約の 回付			00.98 新規プロジ ェクト案の 破棄	00.99 新規プロジ ェクト案 投票の承認
10 提案段階 (Proposal stage)	新規プロジ ェクト案の 登録	新規プロジ ェクトの投 票開始	投票結果要 約の回付	10.92 さらに明 確さを求 めて提案 を提出者 に返却		10.98 新規プロジ ェクトの却 下	10.99 新規プロジ ェクトの承 認
20 作成段階 (Preparatory stage)	新規プロジ ェクトを TC/SC業 務計画に登 録	20.20 作業原案の 検討開始	20.60 コメント要 約の回付			20.98 プロジェク トの削除	20.99 作業原案の CDとして登 録を承認
30 委員会 段階 (Committee stage)	30.00 CDの登録	30.20 CD検討/投 票の開始	30.60 コメント/投 票結果要約 の回付	30.92 CDをWG に差し戻 し		30.98 プロジェク トの削除	30.99 CDのDISと しての登録 を承認
40 照会段階 (Enquiry stage)	40.00 DISの登録	40.20 DIS投票の 開始：5か 月	40.60 投票結果要 約の発送	40.92 全体報告 書の回付：DISを TC又は SCに差し 戻し	40.93 全体報告 書の回付：新DIS 投票の決 定	40.98 プロジェク トの削除	40.99 全体報告書 の回付：DIS のFDISと しての登録 を承認
50 承認段階 (Approval stage)	50.00 正式承認の ために FDISに登 録	50.20 FDIS投票 の開始：2 か月 校正刷りを 幹事国に送 付	50.60 投票結果要 約の発送。 校正刷りを 幹事国が返 却	50.92 FDISを TC又は SCに差し 戻し		50.98 プロジェク トの削除	50.99 FDISの発行 を承認
60 発行段階 (Publication stage)	60.00 国際規格を 発行		60.60 国際規格の 発行				
90 見直し 段階 (Review stage)		90.20 国際規格の 定期的見直 し	90.60 見直し要約 の発送	90.92 国際規格 の改正	90.93 国際規格 の承認		90.99 TC又はSC が国際規格 の廃止を提 案
95 廃止段階 (Withdrawal stage)		95.20 廃止投票の 開始	95.60 投票結果要 約の発送	95.92 国際規格 の廃止の 否決			95.99 国際規格の 廃止

ISOは国際規格発行まで標準で3年かかる。(迅速型は2年, 延長型は4年)

ASTMは規格策定まで通常半年~1年.

AM領域は, ISO/ASTMが合同で規格を策定するため, ISOも従来の進め方(Stage Code)を省略して対応する.

NP 新規提案：2-3ヶ月審議

WD 作成原案：省略が標準

CD 委員会原案：2-4ヶ月審議, 省略可能

DIS 国際規格案：3-5ヶ月審議

FDIS 最終国際規格案：省略が標準

IS 国際規格

SR 定期見直し：5年毎

3Dプリンタに関する標準化

ISO/TC261への日本からの提案，新規提案

● 日本からの提案

1. 安全性向上のための共通デザインガイドライン(AHG2)
2. ボクセルデータフォーマットFAV→AMF1.3(WG4)
3. 砂型の評価試験方法

その他新しい提案(抜粋)

WG4

- Data Generation of Additive Manufactured Parts for Medical Application (韓国提案) 
-
- AM Cloud Platform (中国提案) 
-

AHG

- KCL Emission Study (韓国提案) 
-

3Dプリンタに関する標準化

ISO/TC261のJIS化

ISOも日本語翻訳版を持っているが、著作権はISOが所有する。

- 日本からFAVをAMF1.3に提案しており、その準備としてAMF1.2を日本語化(JIS化)する。
- 用語はWG1が担当、AMF1.2はWG4が担当。年内に発行目指す。

3Dプリンタに関する標準化

方式の略語の規格化

正式な英語名称は決まっているが、略語も標準化検討が進んでいる。
日本語の名称も、今回JISで決めようとしている

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
略語案							
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	

3Dプリンタに関する標準化

TRAFAM (Technology Research Association for Future Additive Manufacturing)

技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構

- ✓ 2014年にスタート。現在32の団体が加入している(4つの大学、公的機関含む)
- ✓ 革新的な(造詣速度、精度) 3Dプリンタの開発を目指し、国際的な地位の巻き返しを図っている。
- ✓ TRAFAMでは主に製造に直結する3Dプリンタを目指しており、以下の2つのプロジェクトがある。

A: 次世代型産業用3Dプリンタ技術開発(金属造形)

粉末床溶融結合法(SLS)

指向性エネルギー堆積法

<技術開発終了時点(2019年)における目標値>

- 製品精度:±20um (従来精度の約5倍)
- 造形速度:500cc/h (従来速度の約10倍)
- 製造可能製品の大型化:造形可能範囲
1,000×1,000×600mm (従来約3倍)
- 異種金属材料等の積層(傾斜構造)が可能
- 装置価格:5,000万円以下 (従来装置の半額以下)

B: 超精密三次元造形システム技術開発(砂型造形)

バインダ噴射法

<技術開発終了時点(2018年)における目標値>

- 造形速度:10万cc/h (従来速度の約10倍)
- 製造可能製品の大型化:造形可能範囲
1,000×1,000×600mm
- 高融点金属対応及びハイブリッド化による鑄造品質の向上
- 開発期間は、平成25年度～平成29年度の5ヶ年間



2015年東芝機械が成果を中間報告、
2017年9月にも事業化予定である(量産版の投入は2018年度末以降)
販売するのは三菱重工業、東芝と東芝機械、日本電子がそれぞれ開発する3機種。
価格は1億円程度。3機種で年間30台前後の販売を見込。

GEがARCAMを買収したように、製造業において金属プリンタの必要性の認識は高まったものの、一方で3D Printer開発Playerがこれほど必要か(採算がとれるのか)、という疑問も投げかけられた。

3Dプリンタに関する標準化

CIE：3D造形物のカラー評価方法の検討

ISO/SC28→ISO/IEC JTC 1/SG 3(3D Printing and scanning)が発足

実態不明。3Dの標準化に関する調査結果が出てきたところ。

CIE：3D造形物のカラー評価方法の検討

CIE(国際照明委員会)で、3D造形物のカラー品質評価方法に関する検討が開始されている。(検討を始めるべきだという提案があった段階)

- ① 観察条件
- ② 測色
- ③ 色差
- ④ プリンティングプロセス

2次元画像においては、標準的な照明条件(例えばD50)の下、カラーチャートとプリント物の色が測定され、色差が計算される。(CIEは2次元画像においては、照明や観察角度を定義している)

- ① 3D物体が見られる照明は多様であり、角度も造形物の形状に依存する。
→カスタマイズされた照明を含めるべき。
- ② CIEの測色法には材質の違いが考慮されていない。
→3D造形物用に定義しなおす必要。
- ③ CIEは色差の計算として色空間CIELABとCIEDE2000との差 Δ_{ab} 、 Δ_{00} を推奨している。これは2次元画像における精神物理学経験において妥当性を有している。
→3次元造形において妥当性ある計算式を導くために、3D造形物による視覚的な実験が必要。
- ④ 3Dプリンティングにおいて色の均一性実現は大きな課題である。同じ色を再現しようとしても、角度が異なると色が変わる事が起こり得る。
→マルチアングルカラーチャートが3D造形物の色評価には必要。

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

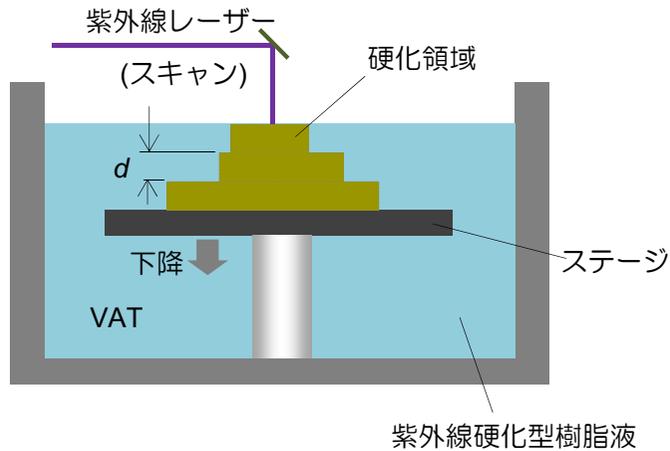
カラー造形できる方式も一部に限られている

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)

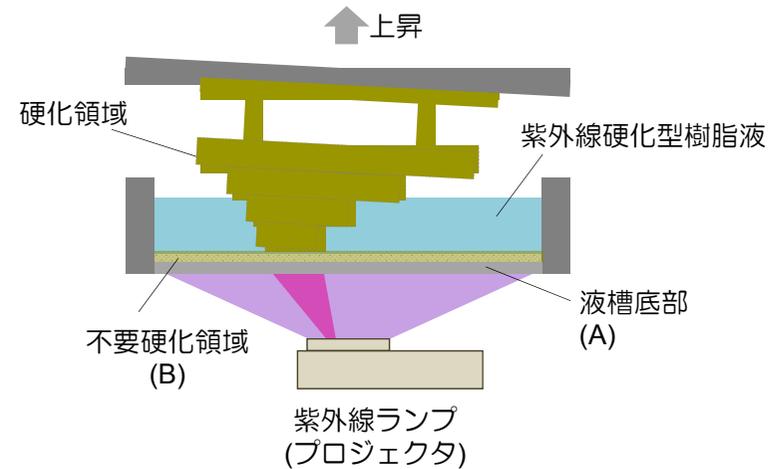
液槽光重合法



通常型



ATOMm-4000 [CMET]



吊り下げ型 (DLP光造形)



SCOOVO X9 [Open Cube]

Vat Photopolymerization
液槽光重合
(光造形)

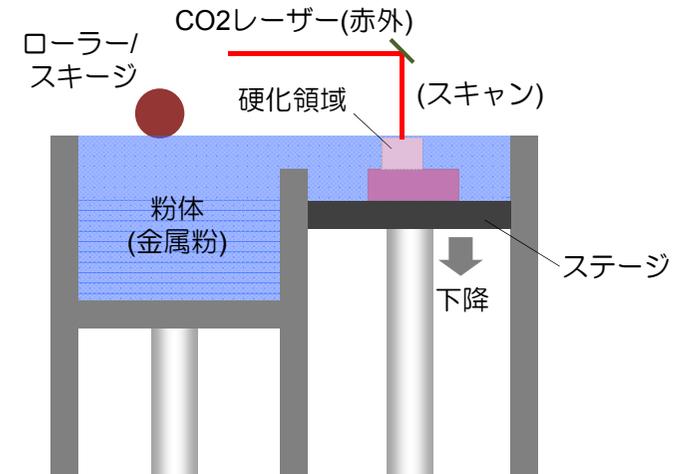
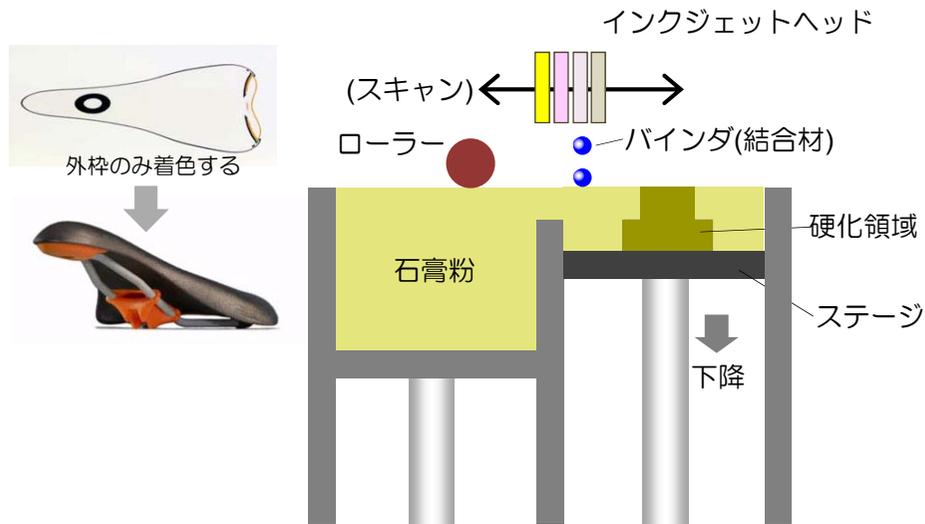
- ✓ 紫外線硬化樹脂液表面から、硬化したい領域(パターン)に紫外線レーザーを照射して硬化させる。
- ✓ 小型化(液槽の容量低下に適した)吊り下げ型も普及・・・プロジェクタで投影するため、DLP光造形と呼ばれる事がある。
- ✓ 通常型は液面振動静止までの時間、吊り下げ型は底部の不要硬化領域と造形物の引きはがしに時間がかかる。(造形物を少し傾けて、引きはがしやすくしている)
- ✓ 造形物の精細度(分解能)が高いが、紫外線硬化型樹脂であり、強度、長期間での強度維持性は大きくない。

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)

ProJet 460plus [3D Systems]

- ✓ 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。(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

Powder Bed Fusion
粉末床溶融結合法



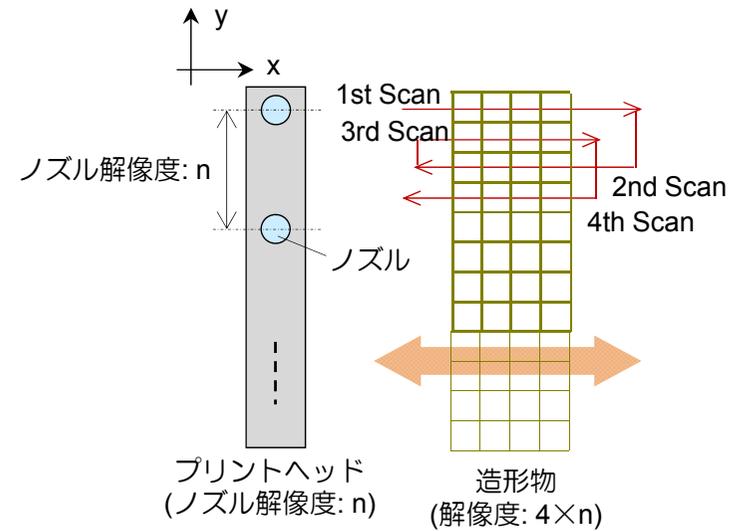
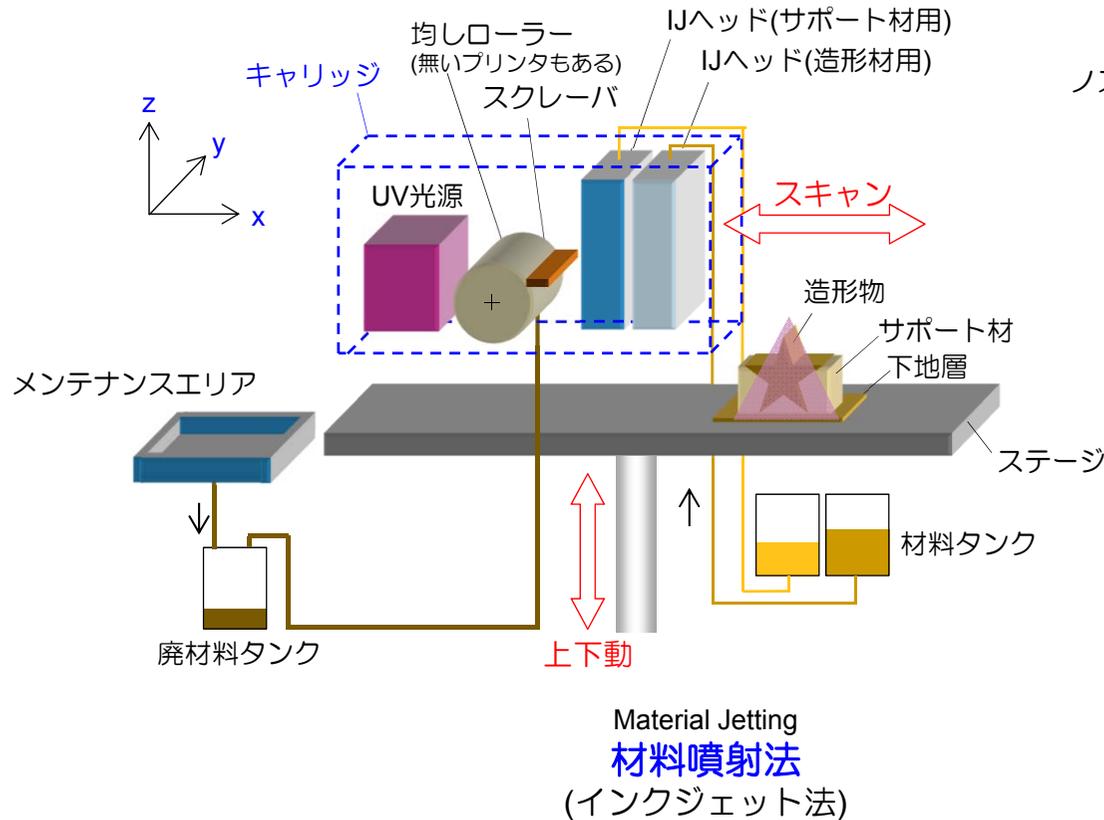
AM5500P [Ricoh]

- ✓ 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)



材料噴射法におけるマルチスキャン例



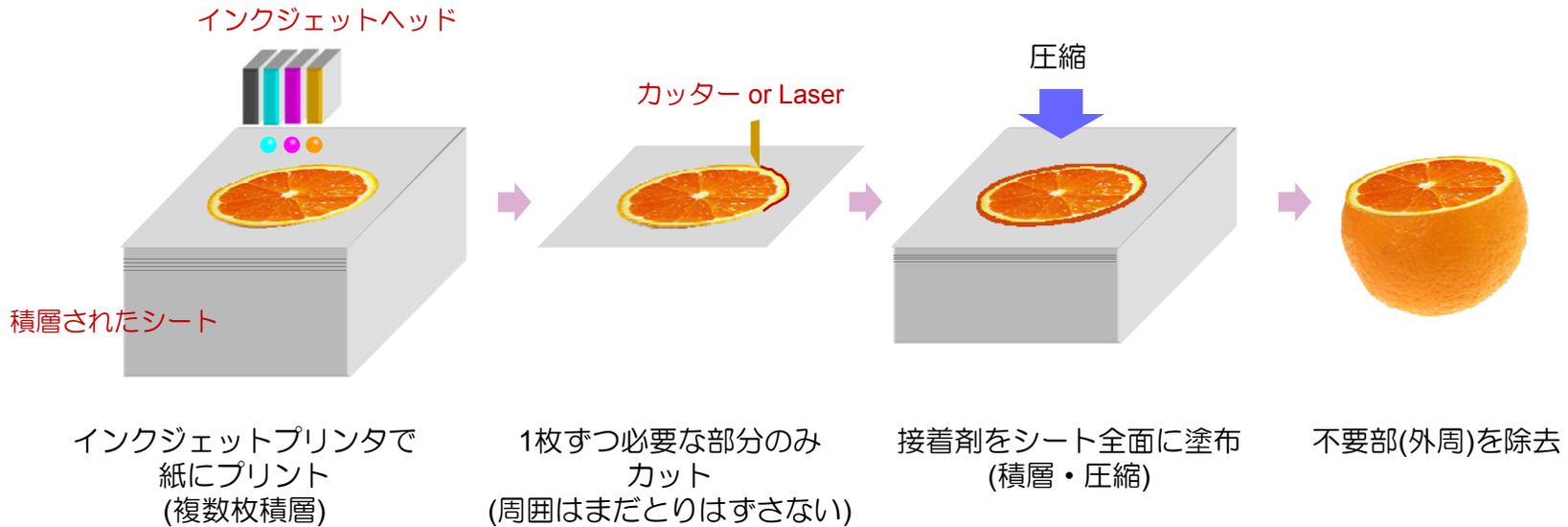
Objet260 Connex3 [Stratasys]

- ✓ 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

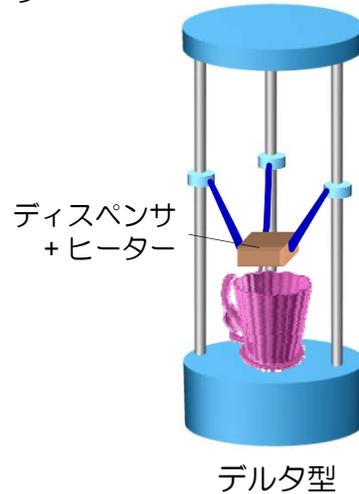
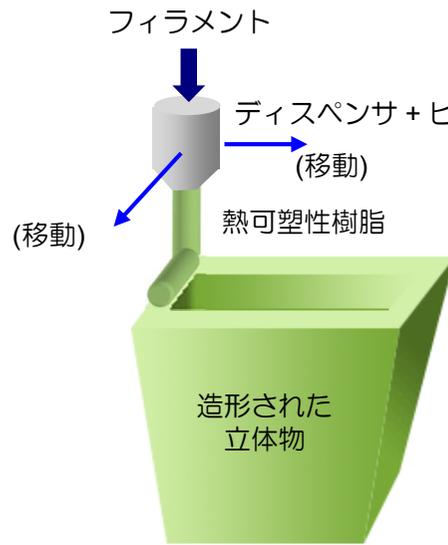


IRIS HD [MCOR]

3Dプリンタの現状と課題

3Dプリンタ各種方式と特徴 (6)

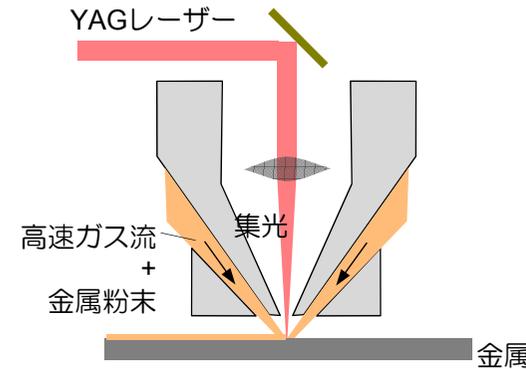
材料押し出し法と指向性エネルギー堆積法



Material Extrusion
材料押し出し法
(FDM)



(\$150プリンタ)



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



LENS 850-R [Optmec]

- ✓ 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。

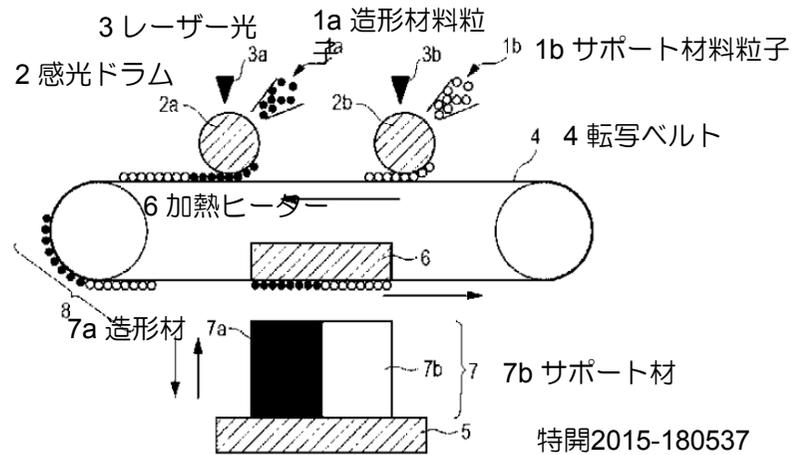
- ✓ 対象金属面をレーザーで熔融し, 金属粉を高速気流に乗せて付着させる。
- ✓ 3D造形だけでなく, 金属物体の修理にも用いられる。

3Dプリンタの現状と課題

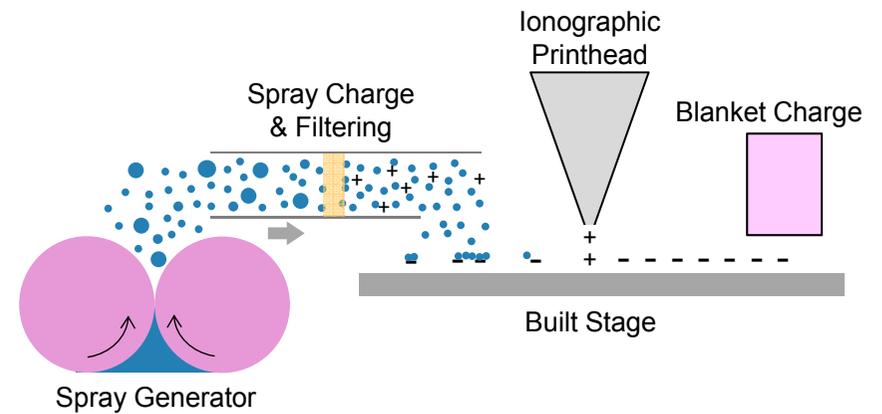
3Dプリンタ各種方式と特徴 (7)

その他新規方式(静電潜像方式)

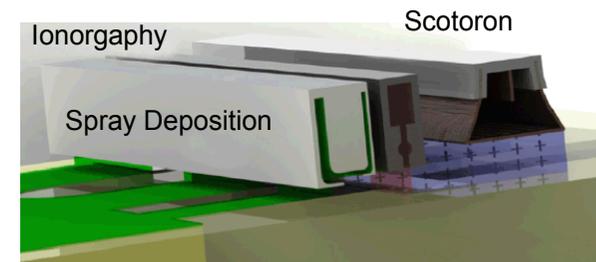
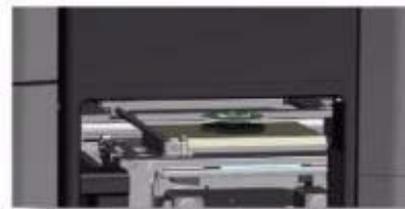
- ✓ 電子写真方式で感光体ベルト上に潜像形成。
- ✓ 造形する材料(粒子)と、サポート材料(粒子)を付着させ、熱溶融して次々と転写して層を形成する。



- ✓ コロナ発生ヘッドから、選択的にコロナをベルトに噴射し、潜像を形成。
- ✓ ミスト化されたポリマー微粒子を付着させ、層を形成



キヤノン
(電子写真潜像形成方式)



Xerox PARC
(CORJET潜像形成方式)

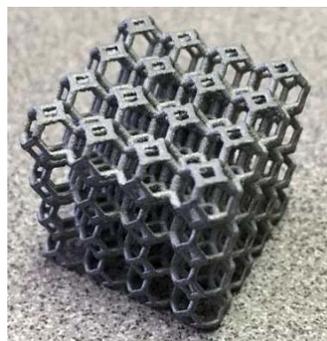
IS&T's P4D 2016より

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)

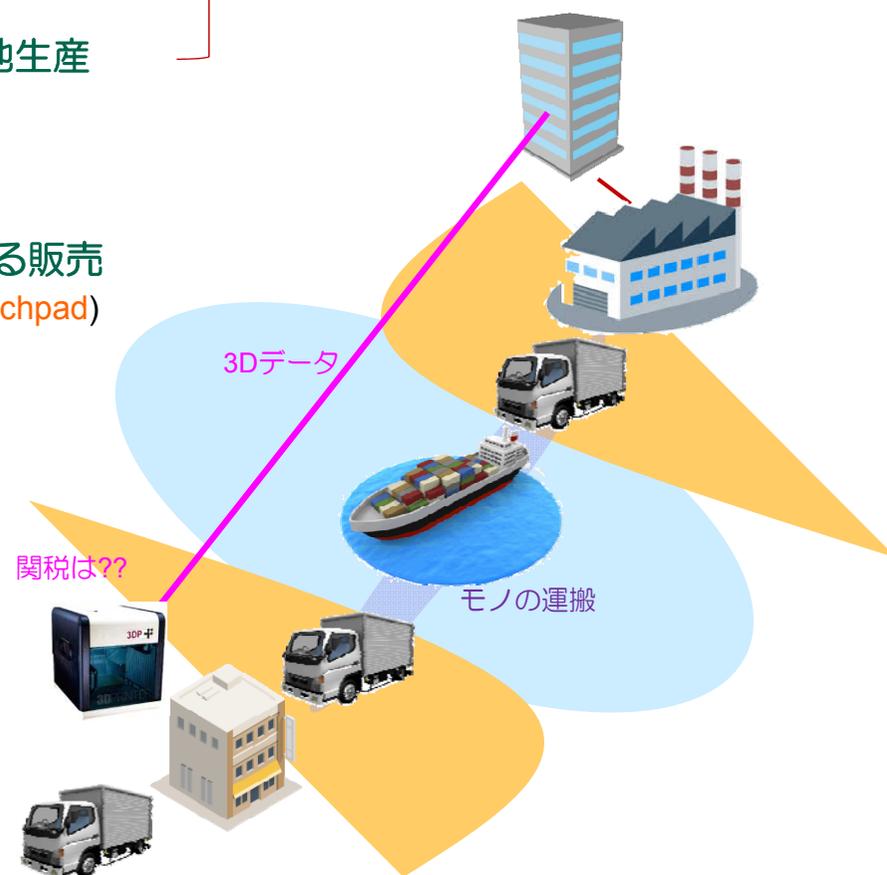


強度確保で軽量化
→従来製造方法では不可能

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



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

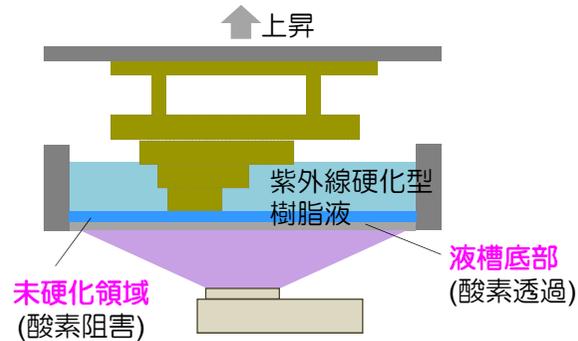
- 普及とのバランス, 法整備の遅れ.

3Dプリンタの現状と課題

現状の3Dプリンタの課題と技術開発

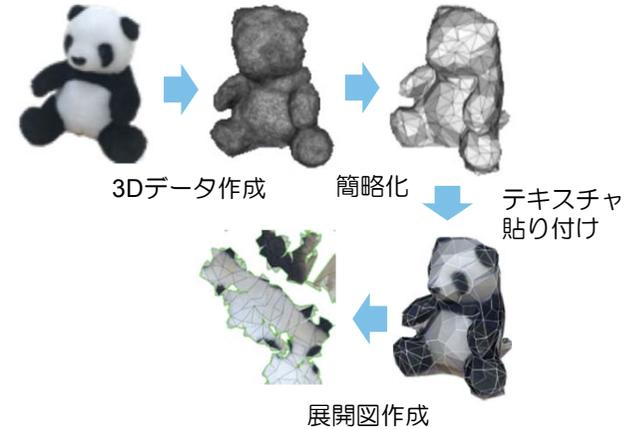
高速化

- 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。
- 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。



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

Carbon 3DのCLIP



折り紙式3Dプリンタ

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

造形サイズ



出典： <http://idarts.co.jp/3dp/chinese-create-40x40-foot/>

中国の建築用3Dプリンタ(12m)



出典： <http://bylines.news.yahoo.co.jp/ieiriyota/20141002-00039611/>

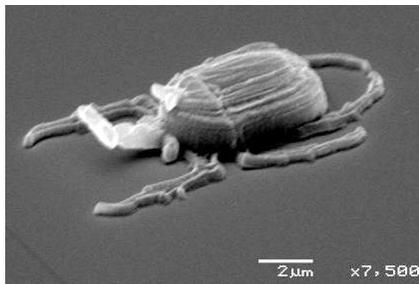
アメリカのコンクリートプリンタ



出典： <http://i-maker.jp/3d-print-development-4064.html>

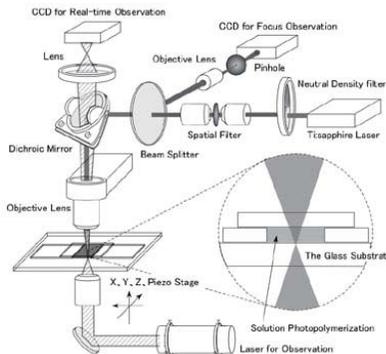
自動車パーツも製造可能な3Dプリンタ

精度・分解能



2光子吸収を利用したマイクロ3Dプリンタ

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



金属3Dプリンタと切削加工のHybrid

出典： <http://www.lumex-matsuura.com/japan/>



3Dプリンタの現状と課題

付加価値の追加

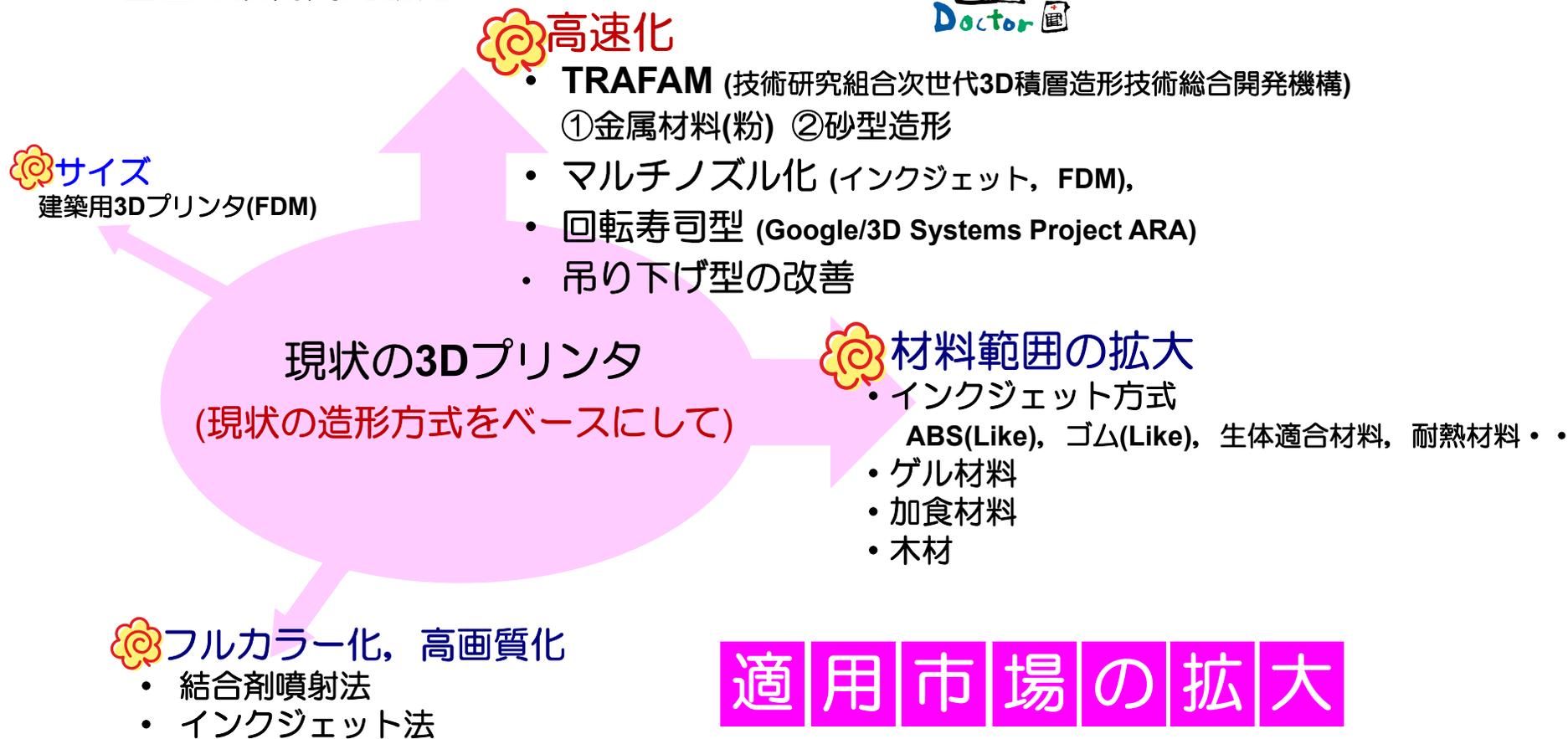
あらゆる材料が扱える3Dプリンタは登場するのか?

(例えばStar TrekのReplicators)



将来の研究者に託そう!

当面の技術開発動向



適用市場の拡大

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
+ 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**

例えば

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

付加価値の追加

質感

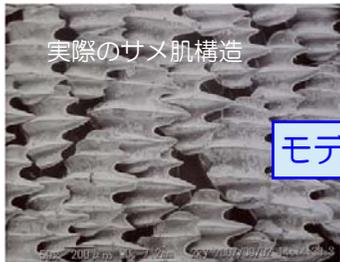


表面テクスチャ(機能性)

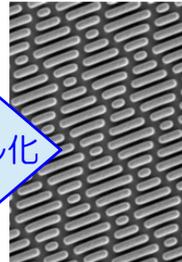


機能： 低流体抵抗, 抗菌性

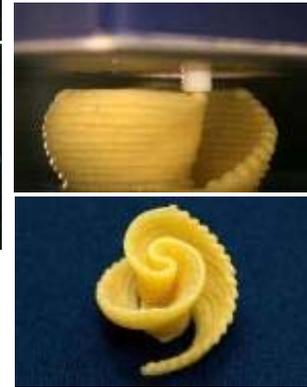
実際のサメ肌構造



モデル化

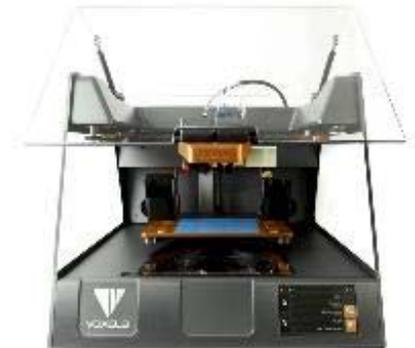


可食



適度な湯で具合で花が開く機能も持っている

Printed Electronics + 3D



3Dプリンタの現状と課題

付加価値の追加

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

出力に反映する意図

Output

実空間
(3D Printer)

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

仮想空間
(Display/AR/MR/VR)

新たな機能(価値)を提供(付加)できる3D造形へ

機能(価値)に関する情報を伝達するためにも、FAVが活用できるのではないか

2016.11.25にFunctional 3D Inkjet Printing System for Forming Customized Deviceを開催し、FAVを紹介

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

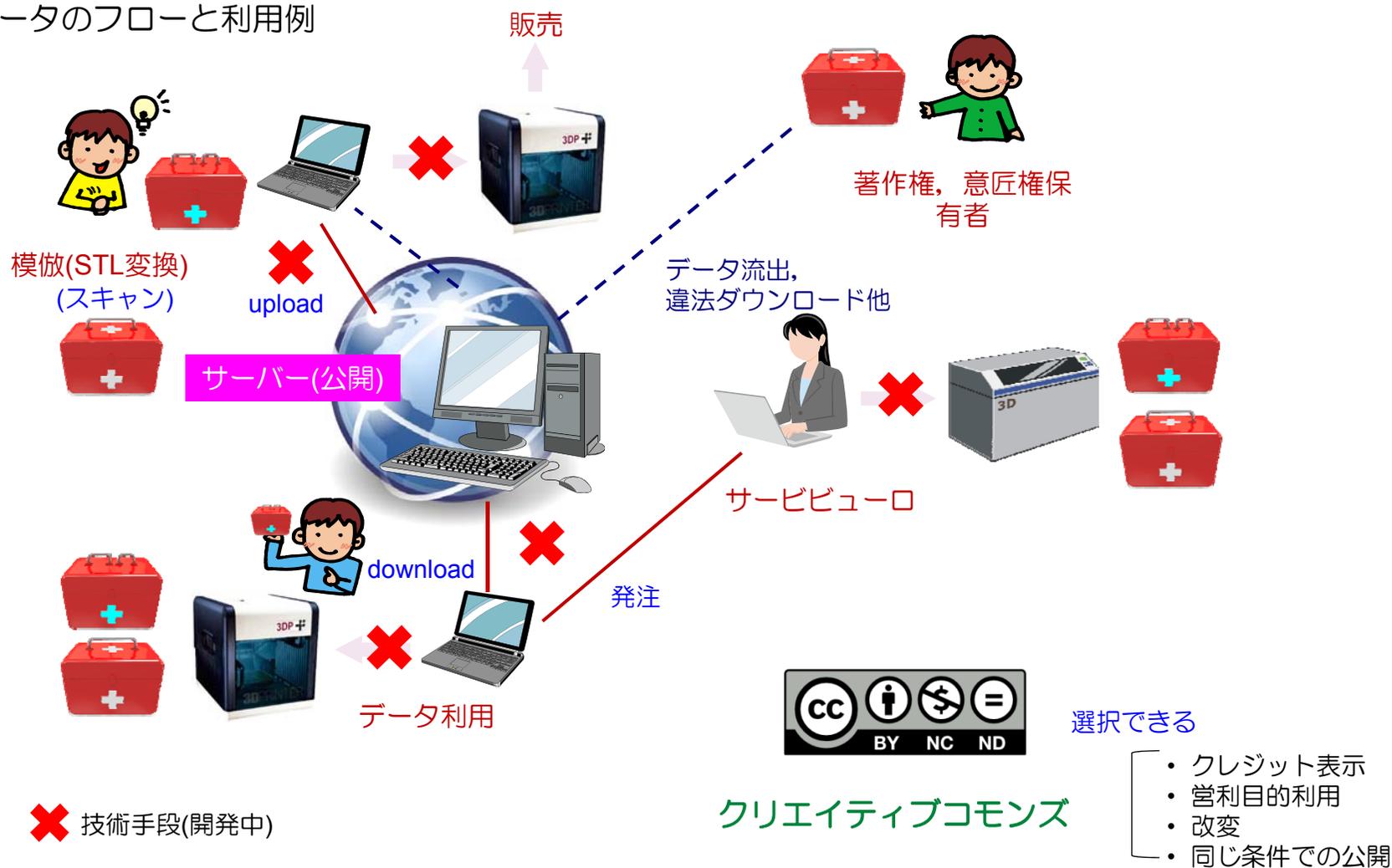


- ✓ 普及期は普及促進が必要であり、関係者からの情報公開(安全性データ, 設計ルール等)を前提として、作成者, 使用者が責任を持って(取って)利用することが良いのではないか。
- ✓ その後のステージ(普及期)では法律等の取り決めが必要であり、今から準備を進めるべきである。(社会環境, 法整備が追いついてこないと適切な対応ができず, 結果, 全てに覆いをかけてしまう)

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



動画におけるDRMのような技術は3Dデータにはまだない。

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。
- マスカストマイズ市場(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。

