

3Dプリンティングの基礎とその将来動向

横浜国立大学 成長戦略研究センター 連携研究員
 東北大学 大学院医工学研究科非常勤講師

理学博士 萩原恒夫

2018年06月06日

E-mail: ts.hagiwara@gmail.com

hagi@hino.email.ne.jp

http://www.thagiwara.jp

講師自己紹介

- 1948年12月 群馬県前橋市生まれ。1974年3月群馬大学大学院修士了。
- 1974年4月帝人(株)入社、帝人東京研究センターにて感光性樹脂、導電性高分子の研究に従事。1990年導電性高分子の研究で筑波大学より理学博士。
- 1994年4月より帝人製機(株)オプトイメージ事業部樹脂開発部に所属。光造形システム SOLIFORM用樹脂の研究開発に従事。樹脂開発部長を経て、2000年4月よりオプトイメージカンパニー社長。
- 2001年4月より帝人製機(株)オプトイメージカンパニーとNTT-dataシーメット社との統合によりシーメット(株)常務取締役。2010年5月退任。
- 2010年6月～2016年3月まで東京工業大学大学院理工学研究科 産官学連携研究員
- 2011年4月～2015年3月まで山形大学有機エレクトロニクス研究センター 客員教授併任
- 2015年4月から東北大学大学院医工学研究科 非常勤講師
- 2016年5月から横浜国立大学成長戦略研究センター 連携研究員

- 地域活動:
多摩社会人テニス協会理事長、日野市テニス協会顧問

- 趣味: テニスと風景写真撮影



本日の要旨

- 3Dプリンティングの基礎と復習
- 3Dプリンティングの市場の拡大が継続
2012年からの3DPブームは一度落ち着いた後、着実に発展を継続
50万円以下の低価格機: 2017年は53万台出荷、まもなく年100万台へ
- 装置の高速化・大型化・高性能化が進行
- 金属の3D造形に大きな注目
- PEEK、セラミックの造形、CFRPなどの複合材の造形が注目
- 液槽光重合法も再び注目(高耐熱・透明光造形樹脂の開発へ)
- 直接製造(Mass Customization, IoT, Industrie 4.0, Society 5.0など):
航空機産業で実用化進む。今後は自動車産業も視野
- 医療・歯科への応用は着実に進行
- 2020年代初には材料市場が2,000億円を予測
- しかし、現状利用できる材料はまだ限定的
→ 幅広い樹脂材料、特にスーパーエンブラの適応に期待
→ 材料の開発なくして、今後の大きな発展は難しい→ ビジネスチャンス

目次

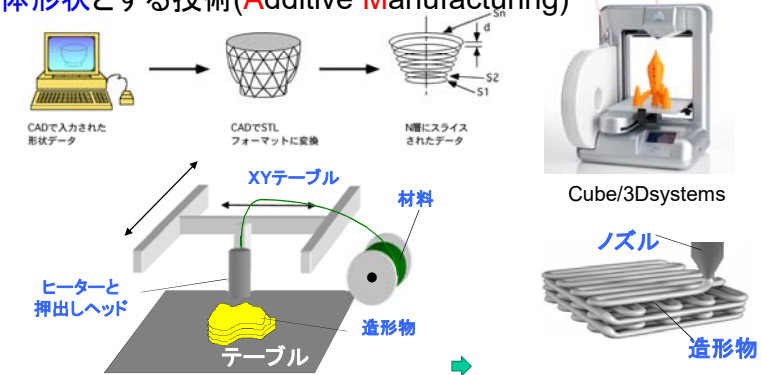
1. 3Dプリンティングの基礎
2. 3Dプリンティングの最近のトピック
ス
3. まとめと今後の動向



- **Additive Manufacturing (AM)** : くっつけて作る
➔ 付加製造技術、AM法
- AM装置 ~ 3D Printer
- **3D Printing** ~ 三次元積層造形(法)
- 3D Printer ~ 三次元積層造形機
- AM装置: 産業用 (>US\$5,000)
- 3D Printer: Personal (Desktop)
- 最近では **AM3DP**が使われ始めている。

5

3次元の形状データ(CADデータ)をもとに
光硬化性樹脂、熱可塑性樹脂、粉末樹脂、粉末金属などの
材料をレーザー光、電子ビーム、インクジェット、溶融押出な
どの刺激により、一層ずつ、くっつけて積み重ねて目的の立
体形状とする技術(Additive Manufacturing)



6

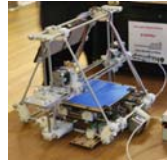
積層技術	英名	別名	材料	手段	特長	用途
液槽光重合法	Vat Photo-polymerization	光造形法, SLA	感光性樹脂	LASER, ランプ	高精度、高精細 大型、	試作
粉末床溶融結合法	Powder Bed Fusion	粉末焼結法, SLS, SLM, EBM	PA12粉末、金属粉	LASER, 電子線	実部品(PA, 金属)	試作 製品
材料押出法	Material Extrusion	溶融樹脂積層法, FDM法, FFF	ABS, PCなど	熱	簡易, ABS~スーパージェット	形状確認 高性能試作
結合剤噴射法	Binder Jetting	インクジェット法, Z-Printer法	石膏粉、砂 水系バインダー	インクジェット	高速, フルカラー	フィギュア 砂型
材料噴射法	Material Jetting	PolyJet法, MJM法など	感光性樹脂など	インクジェット	比較的簡易 多彩な表現	形状確認 表現
シート積層法	Sheet Lamination	シート積層法, LOM法	紙、プラスチックシート	LASER, カッターナイフ	簡易 フルカラー	立体地図
指向エネルギー堆積	Directed Energy Deposition	LENS法, DED法	金属粉末	LASER	金属	金属部品
ハイブリッド	Hybrid		金属粉末	LASER + 切削	精度・表面	金属製品 型

7



8

YNU パーソナル3D Printer(\$5,000以下)



\$700~
RepRap機



BFB/3D Touch



MUTOHMF-1100
20数万円



Ultimaker2+
30万円~



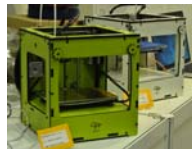
Form1+/SLA
\$3,000~



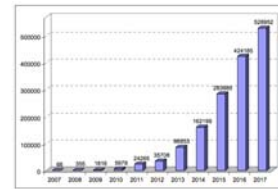
\$1,500
Makerbot/Replicator



BS Cube/BONSAI
2.98万円



BONSAI mini/10数万円



Desktop/Personal: <5,000\$
<http://www.wohlersassociates.com>

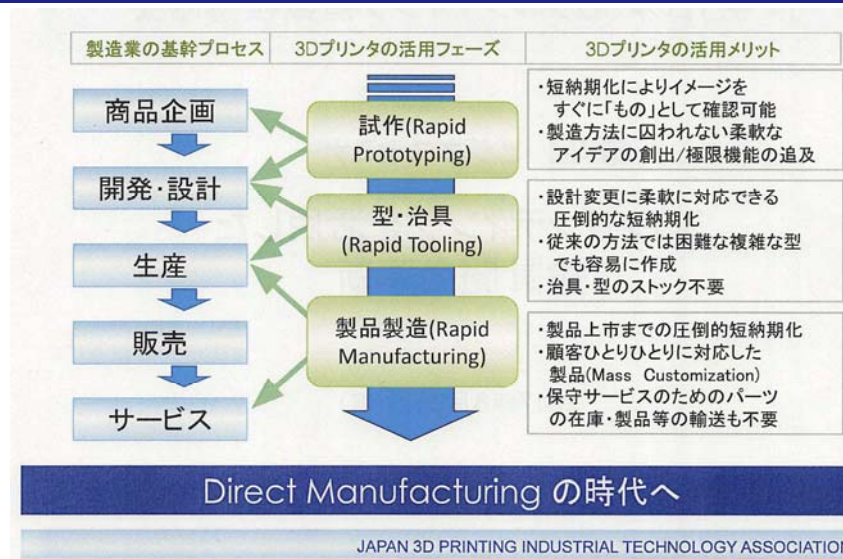
9

YNU AM装置が活躍する分野

- 製品開発のためのデザイン検証、製品試作
- 高付加価値最終製品
 - 航空機産業
- 医療・歯科への応用
 - 人体の各種パーツは個人差が大きいいため、個別の寸法に対応できる3Dプリンタが最適
- 宝飾
 - 手作業からデジタルへ
- コンシューマ向け
 - カスタムデザイン、芸術、個人表現、ホビー

10

YNU 製造業における3Dプリンタの活用

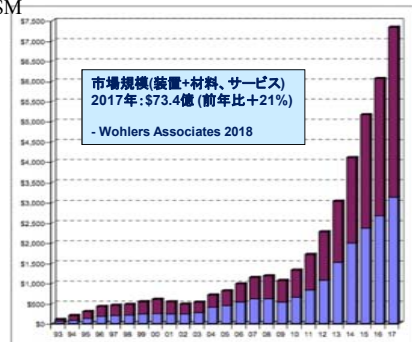


YNU AM装置(3D Printer)の価格帯

2018.04

方式	メーカー	100	1,000	10,000	100,000
価格帯 (千円)					
液槽光重合/LASER	3D Systems				
	CMET				
	DWS				
液槽光重合/DLP	EnvisionTEC				
	Carbon (Carbon3D)				
材料噴射/Ink-Jet	Stratasys (Objet)				
	3D Systems				
結合材噴射/Ink-Jet	3D Systems (Z)				
	ExOne				
	Voxeljet				
	HP				
粉末床溶融/LASER	EOS				
	3D Systems				
	Concept Laser				
粉末床溶融/EB	アスペクト				
	ARCAM				
材料押出し(FDM)	Stratasys				
	Makerbot, Ultimaker				
その他					

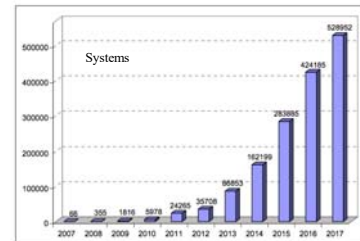
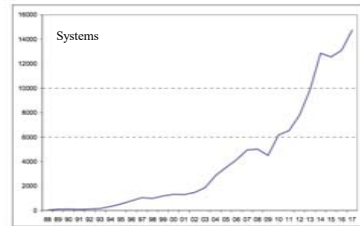
US\$M



■:サービス ■:製品(Products)

2次製品である型、成形物、鋳造物を含まない

<http://www.wohlersassociates.com>



Desktop/Personal: <5,000\$

13

積層技術	英名	主な装置メーカー	要素技術
液槽光重合法	Vat Photo-polymerization	3D Systems, CMET, D-MEC(Sony), DWS EnvisionTEC, RapidShape, Formlabs	Laser/スキャナー使用 DLP/Lamp
粉末床溶融結合法	Powder Bed Fusion	PA12, 金属: EOS, 3D Systems, ASPECT 金属: ConceptLaser, SLM, Renishaw, Arcam	Laser/スキャナー Laser/スキャナー, 電子線
材料押出法	Material Extrusion	Stratasys, 廉価機メーカー	熱可塑性樹脂の成形
結合剤噴射法	Binder Jetting	3D Systems(Z Corp.) ExOne, Voxeljet	インクジェット
材料噴射法	Material Jetting	SolidScape, 3D Systems Stratasys (Objet), Keyence	インクジェット
シート積層法	Sheet Lamination	(Helisis), (KIRA), Mcor	CO2 Laser, ナイフ
指向エネルギー堆積	Directed Energy Deposition	Optomec, TRUMPH など	Laser, 溶接
ハイブリッド	Hybrid	SODICK (OPM), 松浦機械(Panasonic) DMG/MORI, MAZAK, Okuma	Laser/ Milling

14

2018.01

方式	装置メーカー	材料		主用途
		カテゴリー	具体例	
液槽光重合/LASER	3D Systems	光硬化性樹脂	エポキシ/アクリレート・ハイブリッド	試作分野
	CMET	光硬化性樹脂	エポキシ/アクリレート・ハイブリッド	試作分野
	EnvisionTEC	光硬化性樹脂	エポキシ/アクリレート・ハイブリッド	試作分野
	DWS, Formlabs	光硬化性樹脂	(メタ)アクリレート系	宝飾、歯科、試作など
液槽光重合/DLP	EnvisionTEC	光硬化性樹脂	(メタ)アクリレート系	宝飾、歯科
	Carbon (Carbon3D)	光硬化性樹脂	(メタ)アクリレート系/架橋性樹脂	靴底、高性能試作
材料噴射/ink-Jet	3D Systems	光硬化性樹脂	アクリレート系/ワックス	宝飾、歯科
	Stratasys(Objet)	光硬化性樹脂	アクリレート系	形状確認・歯科
結合剤噴射/ink-Jet	3D Systems (Z)	石膏	石膏/水	デザイン・フィギュア
	ExOne	砂	砂+バインダー樹脂(フuran樹脂など)	砂型製造
	Voxeljet	砂、PMMA粉	砂 or PMMA+バインダー樹脂	砂型製造、消失模型
	HP	PA粉末	PA12/赤外線吸収剤、赤外線	試作、生産?
粉末床溶融/LASER	EOS	PA粉末、金属粉	PA12, PEEK, SUS, Ti, Al, Co-Cr	試作、生産、歯科
	3D Systems	PA粉末、金属粉	PA12, SUS, Ti(合金), Al, Co-Cr	試作、生産
	アスペクト	PA粉末、PP粉末	PA12, PP, PPS, Ti(合金)	試作、生産
粉末床溶融/EB	ARCAM	金属粉	Ti (合金), Co-Cr	医療、生産
材料押出し(FDM)	Stratasys	熱可塑性樹脂ワイヤ	ABS, ASA, PC, PEI, PPSF, PA12	試作、生産、形状確認
	武蔵, Ultimaker	熱可塑性樹脂ワイヤ	PLA, ABS	形状確認、ホビー
	その他RepRap機	熱可塑性樹脂ワイヤ	PLA (ABS)	形状確認、ホビー

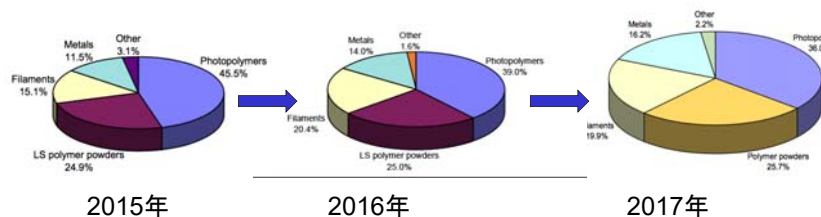
積層技術	英名	材料メーカー	材料
液槽光重合法	Vat Photo-polymerization	3D Systems, CMET, JSR DSM-SOMOS, DWS	エポキシ/アクリレートハイブリッドの基本特許は消失、UA/Aは基本はない
粉末床溶融結合法	Powder Bed Fusion	EVONIK, ARKEMA LPM, その他	PA12, PA11を利用することの基本特許は消失、添加剤などの改良特許
材料押出法	Material Extrusion	Stratasys (Sabic), 中国メーカー	ABSなどを利用する基本特許はない
結合剤噴射法	Binder Jetting	3D Systems(Z), ExOne, Voxeljet	当初デンプン、その後石膏の利用 砂型: フラン樹脂、MITの基本特許は消失
材料噴射法	Material Jetting	SolidScape, 3D Systems Stratasys (Objet), Keyence	(高分子バインダー含有)ワックス 光硬化性樹脂 特徴は少ないがノウハウ多
シート積層法	Sheet Lamination	MCor	紙が主であり基本特許は消失し、周辺のみ
指向エネルギー堆積	Directed Energy Deposition	LPMその他	金属粉末材料/製造法や分級に特許

16

Wohlers Report2018(2018年4月版):

2017年の3D Printer市場: US\$7,336M = 7,600億円
産業用: 14,736台
Personal 52.9万台;

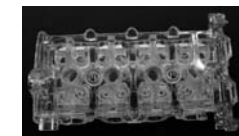
サービス US\$4,203M = 4,400億円
材料のみ US\$1,134M = 1,180億円
光硬化性樹脂: US\$409M (36%)
粉末床溶融材料: US\$292M (26%)
金属粉末材料: US\$183M (16%)
溶融押し出し(FDM)材料: US\$226M (20%)
その他: 石膏粉末など: US\$ 24M (2%)



17



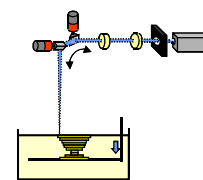
液槽光重合(SLA)
ATOMm8000/CMET



シリンダーヘッド造形物



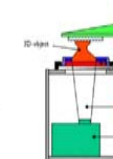
DW-029J/DWS



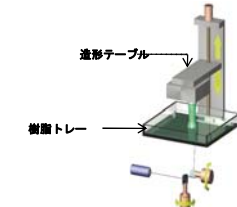
自由液面照射



Perfactory/EnvisionTEC

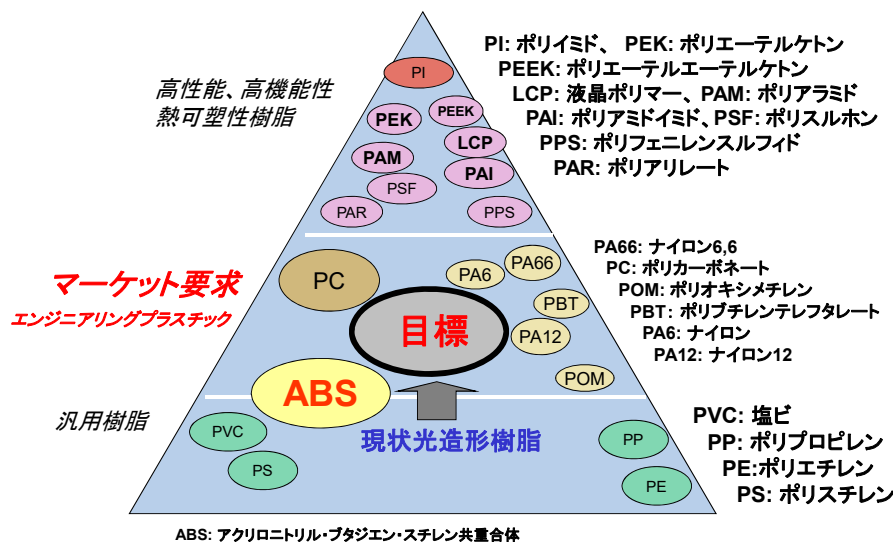


規制液面照射

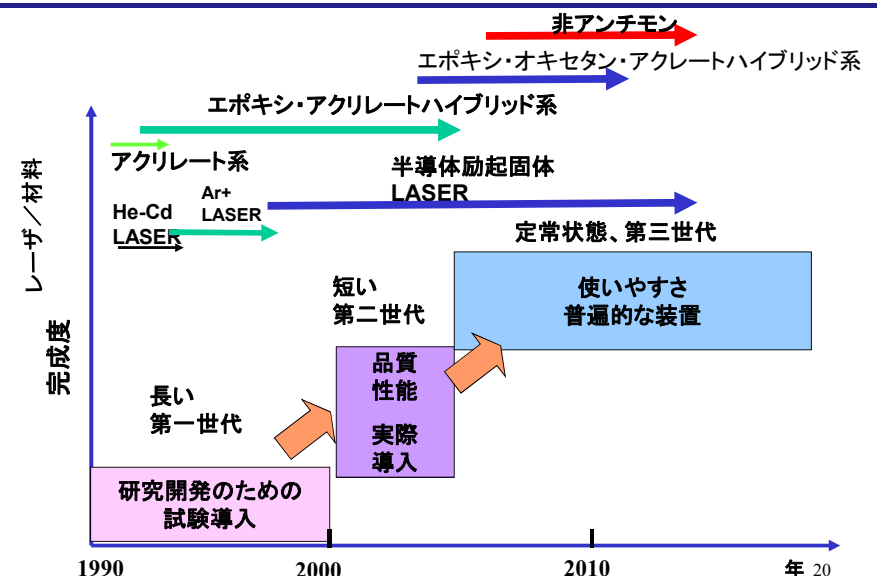


造形テーブル
樹脂トレイ

18



19



YNU シーメット社の代表的な光造形用樹脂

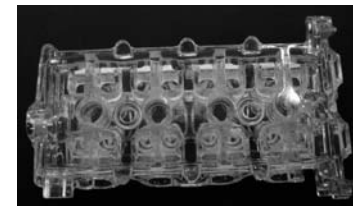
	ABS	TSR-821	TSR-829	TSR-883	TSR-884B	TSR-884B (熱処理)
		靱性・ABS	高透明	高剛性・ABS	透明・耐熱	
粘度(mPa・s)(25℃) 比重 (25℃)	1.04	380 1.12	210 1.07	520 1.12	600 1.10	
引張り強度(MPa)	43	49	44	60	51	50
伸度 (%)	15-60	13-15	8	5~8	3-12	4.4
引張り弾性率(MPa)	1,800	1,800	1,670	2,730	2,370	2,090
曲げ強度(MPa)	70	70	68	98	87	79
曲げ弾性率(MPa)	2,250	2,225	1,840	2,710	2,260	2,260
衝撃強度(J/m, ノッチ付)	200	48-49	34	37	30	25
熱変形温度(℃)/高荷重	79	49-52	49	54	53	100
開始剤		アンチモン化合物		非アンチモン化合物		

21

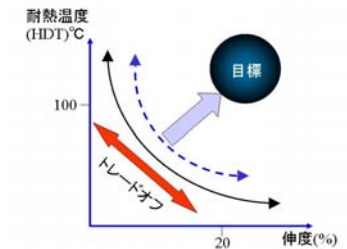
© Tsuneo HAGIWARA

YNU 光造形用樹脂の現状と課題

- 光造形は**高精度で透明なものが得られる**ことより日本での3DP装置として大きな役割を占めている。
- 顧客はより高い性能: 高耐熱・高靱性樹脂を期待している。
 - 最低 ABS物性: 壊れにさ + HDT >80℃
 - 市場は最終製品への利用を渴望



高透明樹脂 TSR-829/シーメット



光造形用樹脂開発

22

© Tsuneo HAGIWARA

YNU DMS2017東京にて

- SOLIZE-Products社が耐熱透明光造形用樹脂を展示



樹脂粘度
~260mPa・s

HDT:
高荷重 140℃
低荷重 230℃

23

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 材料噴射法(インクジェット)装置の例



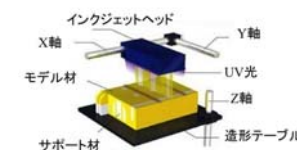
Stratasys J750



ProJet MJP 3600s/3Dsystems



3Z/Solidscape



24

© Tsuneo HAGIWARA



25

デジタルマテリアル
 オンゼラフライで作成される
 数百種類の複合マテリアル

デジタルABSマテリアル
 高強度、高耐熱性の
 プラスチックをシミュレート

高耐熱性
 熱機能を寸法安定性と組み合わせる

透明
 3Dプリントした染色した
 クリアモデルとプロトタイプ

硬質不透明
 鮮やかなカラーで3Dプリント

ポリプロピレンライク
 スナップ式のパーツやリビングヒンジを
 高い強度と滑らかな表面で3Dプリント

ゴムライク
 数百種類のカラーと物性の
 柔軟マテリアルで3Dプリント

生体適合性
 医療・歯科用途向け3Dプリン

歯科用材料
 歯科や歯列矯正用途向け3Dプリント

26

YNU 光硬化性樹脂を利用する装置(まとめ)

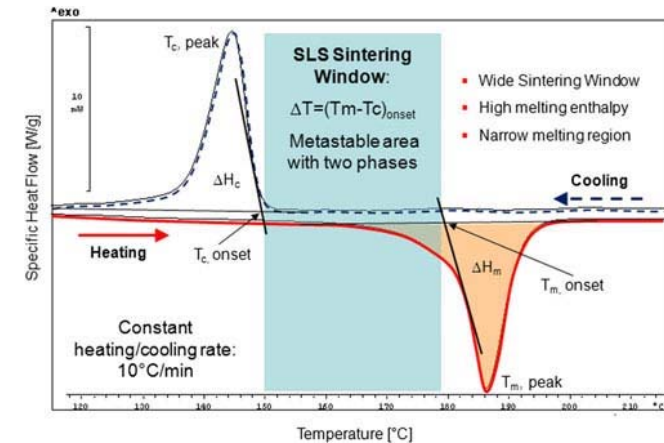
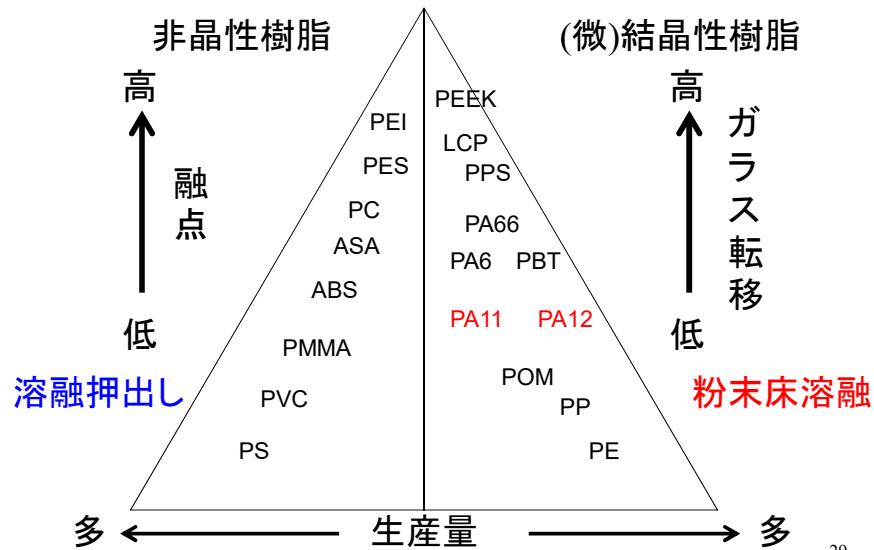
	大型光造形機 自由液面	小型光造形機 規制液面	DLP機 規制液面	InkJet機 光硬化性樹脂
光源 (nm)	レーザ 355	LDレーザ 405, (385)	LED, UVランプ 可視光、405LED	UVランプ
方式	空気に接している	透明窓材 空気に接していない	透明窓材 空気に接していない	インクジェット 空気に接している
樹脂組成	エポキシ/オキセタン/ 多官能アクリレート	(ウレタン)(メタ)ア クリレート	(ウレタン)(メタ)ア クリレート	多官能(ウレタン) アクリレート
開始剤	i-184 トリアリールスルホニ ウム塩	i-TPO	i-TPOなど	i-2959 i-TPOなど
樹脂の特徴	反り、経時変化小	メタクリレート系は 易消失	メタクリレート系は 易消失	粘度の制限 (ACMO架橋剤)
メーカー例	3D Systems CMET	DWS Formlabs	EnvisionTEC ASIGA KEVVOX, Bego	Stratasys KEYENCE 3D Systems

27

EOSINT P730/EOS

ARCAM Q10

28



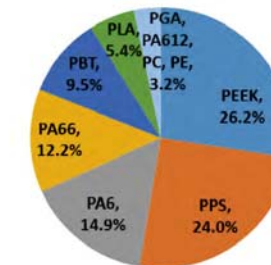
J. Mater. Res., Vol. 29, No. 17, Sep 14, 2014

- 融解・結晶化挙動がシャープ: 精細な形状を再現しやすい
- $T_m - T_c$ 温度差が大きい: 造形条件幅が広い
- 機械的特性: 強度と伸度の両立
- 耐熱性: 半結晶性樹脂、融点近くまで剛性を維持
- 耐薬品性: 油脂類に強い耐性
- 比較的安価

ARKEMA 井上稔氏 第5回AMシンポジウム@東大生研

What Japanese Market Wants

Material Wish List (PBF)



Top 3 Material Req. for PBF

- No.1: PEEK (26.2%)
- No.2: PPS (24.0%)
- No.3: PA6 (14.9%)
- No.4: PA66 (12.2%)

Private Survey Results: Aspect, Inc. @Tokyo DMS Show (June 2015)

YNU ナイロン6、PPS粉末 実用化へ

- 材料拡大が着実に進行
- DMM.comにPPS造形物を提供開始 (東レ/アスペクト機, 2016.12)



ナイロン6+GB/アスペクト社

PPS+GB/アスペクト社

DMS2016(2016.06.22-24)東京ビッグサイト・アスペクト社ブースにて

33

© Tsuneo HAGIWARA

YNU PPS, PBT粉末の展開も進む



PPS+CF, PBTの粉末床溶融(PBF)造形の例

DMS2017(2017.06.21-23)東京ビッグサイト・アスペクト社ブースにて

34

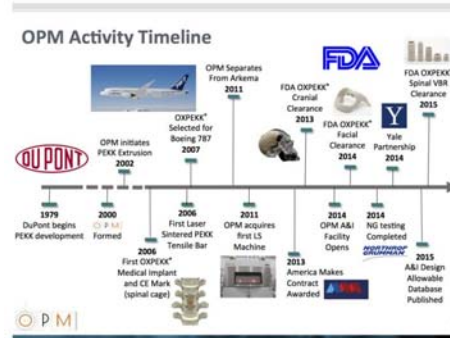
© Tsuneo HAGIWARA

YNU PEEK, PEKKの利用へ

- PEEK



- PEKK/OPM



EOS P810

35

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 低価格SLS 3D Printerの登場



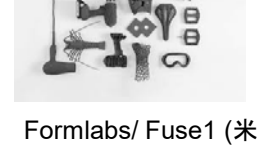
Sharebot(伊)

Norge (英)

SintraTech (ポ)



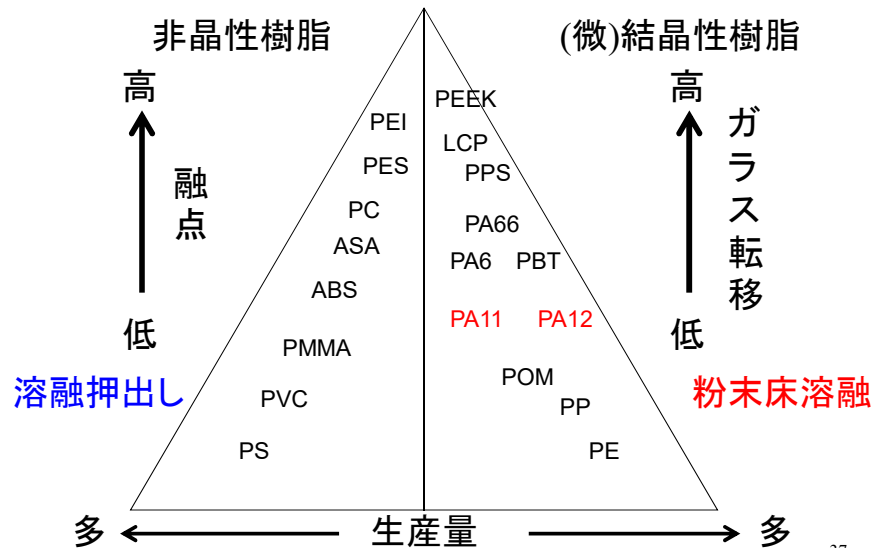
SinterIt(スイス)



Formlabs/ Fuse1 (米)

36

© Tsuneo HAGIWARA



37

(Stratasys社)



38

Stratasys ABSplus 汎用性の高いABS樹脂 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: uPrint サポート販売方法: 直接/代理	ABS 汎用性の高いABS樹脂 色: ランプアクリルから部分の透過に最適 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 900mc サポート販売方法: 直接/代理
ABS-M30 汎用性の高いABS樹脂 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 380mc/450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理	ABS-ESD7 静電気を抑えるABS樹脂 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 380mc/450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理
PC-ABS 耐熱性、耐衝撃性、耐化学性、耐紫外線性 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 380mc/450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理	ABS-M30i ISO10003 USP ClassVI 全生体適合性樹脂 (ABS樹脂) 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 380mc/450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理
PC 耐熱性、耐衝撃性、耐化学性、耐紫外線性 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 380mc/450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理	ULTEM®9085 耐熱性、耐衝撃性、耐化学性、耐紫外線性 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理
Nylon12 耐熱性、耐衝撃性、耐化学性、耐紫外線性 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 380mc/450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理	PC-ISO ISO10003 USP ClassVI 全生体適合性樹脂 (PC樹脂) 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 380mc/450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理
ASA 耐熱性、耐衝撃性、耐化学性、耐紫外線性 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 380mc/450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理	PPSF/PPSU 耐熱性、耐衝撃性、耐化学性、耐紫外線性 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 900mc サポート販売方法: 直接/代理
PLA フィラメント/タフPLA フィラメント カラフルなフィラメント、環境に優しい 色: True White/True Black/Black (PLA フィラメント) 色: Gray (タフPLA フィラメント) 対応機種: MakerBot Replicator + サポート販売方法: 直接/代理	PLA 環境に優しい材料 色: 白/黒/ブルー/レッド/グリーン/イエロー/ブルー/ブラック/グレー 対応機種: Fortus 380mc/450mc/900mc サポート販売方法: 直接/代理

まもなくPEEKも

ほとんどの材料が使用可能 → 精度向上・造形速度向上

39

- FDM/PEI (ULTEM 9805): Airbus 350 XWB; 1,000 parts by 3D Printer; Stratasys FORTUS

<http://www.stratasys.com/>

40

YNU 樹脂ペレットを直接造形利用

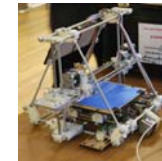


エスラボ: 1時間で3kgのペレット出力に対応した
ペレット溶融積層方式の国産3Dプリンタ「GEM444」

41

© Tsuneo HAGIWARA

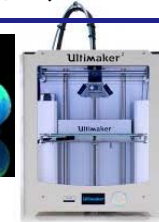
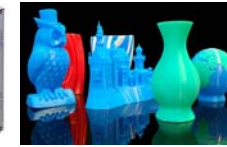
YNU パーソナル3D Printer(\$5,000以下)



\$700~
RepRap機



BfB/3D Touch



Ultimaker2+
30万円~



Form1+/SLA
\$3,000~



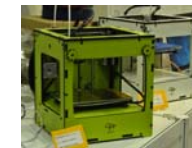
\$1,500
Makerbot/Replicater



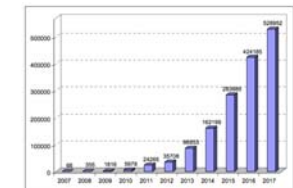
BS Cube/BONSAI
2.98万円



MUTOHMF-1100
20数万円



BONSAI mini/10数万円

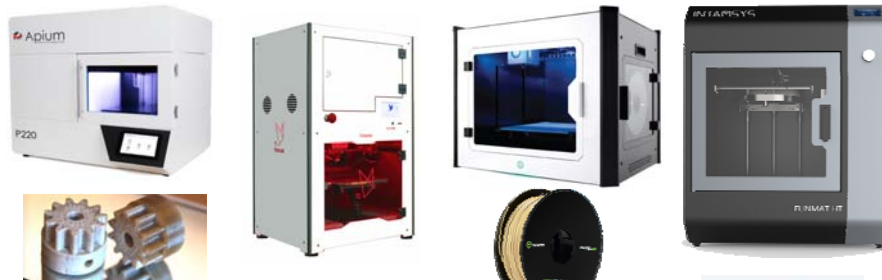


Desktop/Personal: <5,000\$
<http://www.wohlersassociates.com>

42

© Tsuneo HAGIWARA

YNU FDM普及機でPEEK造形へ



Apium (IBINDEMAEC)



ROBOZE ONE +400



VSHAPER One Pro



INTAMSYS/ FUNMAT HT

43

© Tsuneo HAGIWARA

YNU FDM普及機でフルカラー



FDMとインクジェットの複合

44

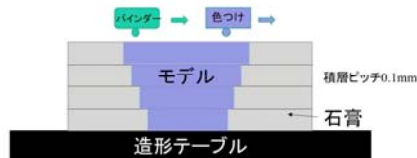
© Tsuneo HAGIWARA

YNU 結合材噴射法(インクジェット)装置

旧Z-Printer (石膏)



ProJet 660 Pro



砂型プリンター



S-Max/ExOne



45

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 結合剤噴射法とその材料

装置 メーカー	材料		主用途	特長	要改善点
	粉末材	バインダ			
3D- Systems (Z)	石膏/PVA	水+ PVP	デザイン フィギュア	高速、簡単 フルカラー	低物性、粗表面 低精度、材料1種
ExOne	砂	フラン樹脂, フェノール樹 脂 + 酸	砂型鑄造	高速、試作 ～生産	装置が高価、ランニン グコスト
	金属粒子	樹脂バインダ	金属部品	簡単に金属 造形物	精度、金属種類
Voxeljet	砂	フェノール樹 脂 + 酸	砂型鑄造	高速、試作 ～生産	装置が高価、ランニン グコスト
	PMMA粉	樹脂バインダ	消失模型	大型造形物	精度、装置が高価、

46

© Tsuneo HAGIWARA

YNU CMETが高速砂型プリンターを上市



シーメットは、NEDOプロジェクト(次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業)の成果のもと、毎時10万cm³の速度で造形する大型鑄造用砂型3Dプリンタ「SCM-1800」を製品化、5月7日から販売を開始。旧型機 SCM-800に比較して10倍速、造形サイズ10倍、価格要問合せ

47

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 結合剤噴射法でPA12粉末樹脂の造形

HP社: Jet Fusion 3200/4300 (3,000~4,000万円/台)

PA12樹脂粉末/バインダー(活性化剤含)/赤外光照射

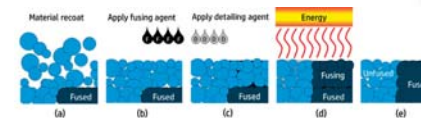
2014年10月発表

2016年5月発売開始

Shapewaysなどサービスビューロへ

DMM.comも導入へ(2017年後半)

2017年6月末からアジア地区販売開始



造形エリア: 380 x 284 x 380 mm

48

© Tsuneo HAGIWARA

YNU HP Jet Fusion 580/540 Color & 380/340



造形エリア; 580/540: 190 x 332 x 248 mm \$110,000~
380/340: 190 x 254 x 248 mm \$58,000~

Cf: 3200/4200: 380 x 284 x 380 mm

49

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 指向エネルギー堆積法(DED)材料



http://www.aichi-sangyo.co.jp/pdf/additive_manufact/201610_LPW_Catalog.pdf

50

© Tsuneo HAGIWARA

YNU Hybridタイプ

- DMG/MORI (DED+ 切削); 2013年11月
- MAZAK (DED + 切削); 2014年11月
- OKUMA (DED + 切削 + 焼き入れ); 2016年10月
- 松浦機械(LUMEX: Panasonic由来)
- Sodick (金属積層 + 端面切削; 型用途); 2014年8月
(松浦機械のLUMEXと同様Panasonic由来)
- MUTOH; アーク溶接式 2015年 1月



DMG-MORI/LASERTEC 65



MAZAK/インテグレッタスIAM



Sodick/OPM 250L



MUTOH



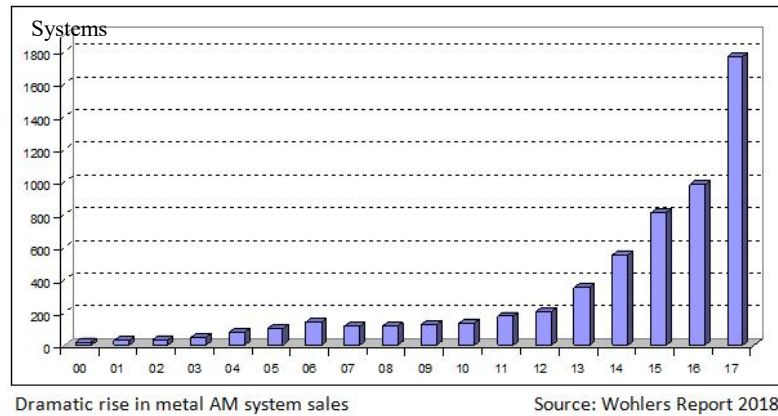
Avance-25/松浦機械

© Tsuneo HAGIWARA

YNU “Metal, Metal, Metal”



© Tsuneo HAGIWARA



53

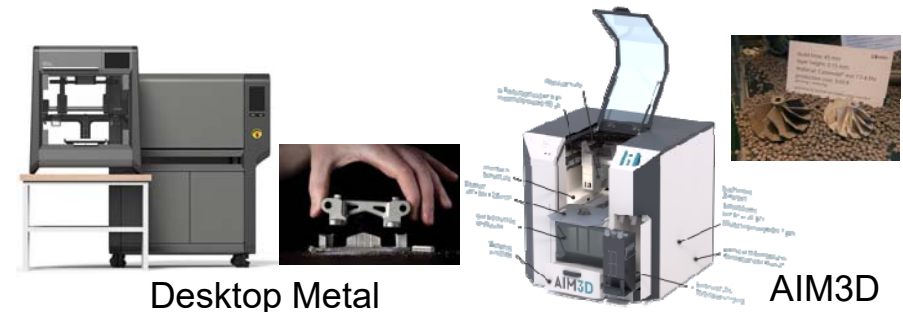
1. 3Dプリンティングの基礎
2. 3Dプリンティングの最近のトピックス
3. まとめと今後の動向

54

1. 材料押出し(FDM)機で金属造形
2. バインダーージェットティング(BJ)で金属造形
3. 光硬化性樹脂で金属造形
4. 廉価版金属造形装置の開発
5. 粉末床熔融造形(PBF)装置; 利用樹脂拡大
6. 廉価版PBF機 多数出現; 普及に弾み
7. FDM普及機でスーパーエンブラ(PEEK, PEI)
8. FDM機でフルカラー
9. バインダーージェットティングでセラミック造形
10. 光硬化性樹脂でセラミック造形
11. HPの(Multi) Jet Fusionの今後
12. 光硬化性シリコーンの三次元造形

55

- Desktop Metal
- AIM3D
- Markforged
 - MIM(Metal Injection Molding)市場を視野
 - 樹脂バインダー金属(ワイヤ, ペレット)



56



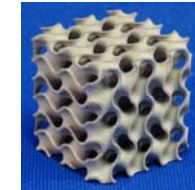
250x220x200mm
\$100K



57



ADMETALFLEX 130/
ADMATEC

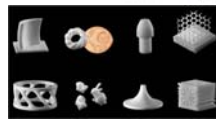


58



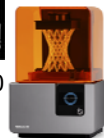
3D Ceram/Ceramaker

- ペースト状樹脂をUVレーザーで硬化



LITHOZ/CeraFab7500

- 高粘度樹脂をDLP方式で硬化



Formlabs/Form2

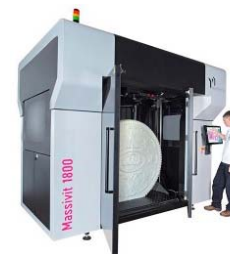


ADMATEC/Admaflex 1300

- PETフィルム上で硬化



59

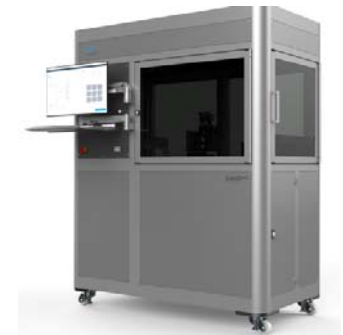


Massivit 1800

Massivit/イスラエル



Massivit Kong3D



DragonFly 2020 Pro

NanoDimension/イスラエル

60

YNU 複合材(CFRP)3Dプリンティング



EnvisionTEC/SLCOM1

Markforged/Mk two

Impossible Objects

<http://www.fabbaloo.com> 61

YNU PBF, FDMでスーパーエンブラ



62

YNU RAPID + TCT 2018/24~26, April

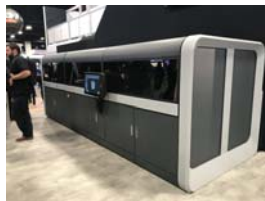
1. FASOON: HT1001P (1000x5000x450mm)
2. GE Additive: Arcam EBM SpectraH; 高温Al合金
3. Desktop Metal: Production System; 2019-2020出荷予定
4. Mazak: フル5軸機能とAMを備えたVC-500 AM HYBRID マルチタスク・マシン



FASOON



Arcam; Spectra H



Desktop Metal; Production System



Mazak; VC-500₆₃

YNU 化学会社の取り組み例

- BASF: PA6粉末, SLA樹脂, 特殊FDMワイヤ
- DowDuPont: FDM用ワイヤ
- Sabic: 各種FDMワイヤ; PC, PEI, ABS, PPE
- Evonik: PBF用PA12, PEEK
- Victrex: PBF用PEEK, FDM用PEEKワイヤ
- Arkema: PBF用PEKK, 光硬化性樹脂用モノマー
- 東レ: PBF用PPS
- 3M: PTFE
- 三菱ケミカル: FDMワイヤ各種樹脂
- 日本合成: FDM用水溶性サポート材
- クラレ: FDM用水溶性サポート材
- ユニチカ: FDM用高性能PLAワイヤ
など

64

YNU 3MのPTFEの3D Printing

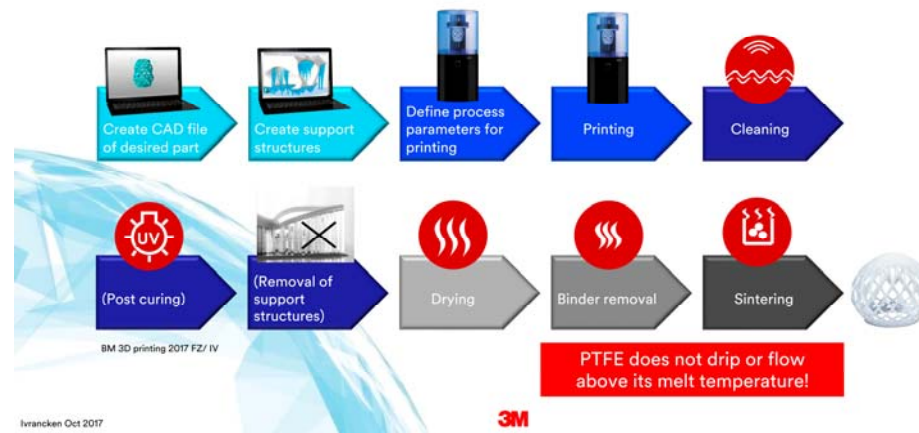


65

YNU

The process

Printing parts using Stereolithography with 3M produced PTFE formulation:



Formnext 2017より3M資料

66

YNU

(超)高速化



Carbon /M1, M2



HP (Multi) Jet Fusion



Desktop Metal

67

YNU

医療・歯科への応用

人体の各種パーツは個人差が大きいので、個別の寸法に対応できる3Dプリンターが最適

医療・歯科分野における3Dプリンターの活用例。

1. 3Dプリンターで造形された顎の骨(チタンまたはチタン合金)をインプラントに使用
2. 人工骨
コンピュータ断層撮影装置(CT)や磁気共鳴画像装置(MRI)の3Dデータを、3Dプリンターに取り込むことで作成; Z-プリンターの利用
4. 臓器の手術をする前に、実物と同じ形状の3Dモデルを出力しておき、手術の手順を確認してから手術に臨むことへの活用
5. 超音波による胎児の画像の3Dモデルを出力
6. 耳の形状に合わせて3Dプリントした補聴器
7. 身体の動きをサポートする補助具
8. 義手や義足
9. 再生医療、BioPlotter, 足場(PLA)
iPS細胞などの先端医療
京都大学iPS細胞研究所と東京大学が、人体で最も複雑な形状とされる耳の軟骨の型を3Dプリンターで作製し、そこにiPS細胞を注入して耳を再生する研究など
10. 歯科向け: 口腔内スキャナーが身近に
・ 矯正歯科、鑄造、ストーンモデル、仮歯、人工歯など



68

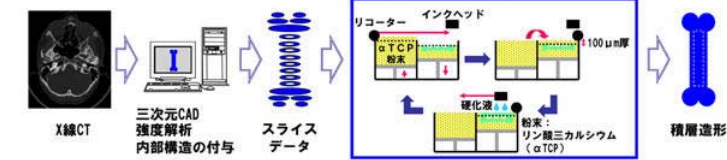
YNU NextDent5100 / 3D Systems

1. 入れ歯(デンチャー)の直接作製
2. 歯列模型の作製
3. Figure4 System (連続引き上げ方式)
4. 下図Dentureが、30分で造形可
5. NextDent5100機: 100万円

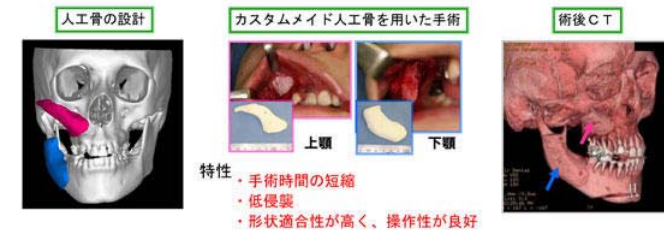


YNU 結合材噴射型3Dプリンターで「人工骨」

CTデータに基づいた3D ink-jet printerによる積層造形



ヒト臨床試験: 顎骨発育不全による顔面非対称の26歳女性



<http://www.tetrapod.t.u-tokyo.ac.jp/sakai-tei/research.html>; 東大/理研 → Next 21

YNU 人工骨 CT-Bone 薬事認可へ

1. 世界初の3Dプリンターによる患者の骨に同化する人工骨(CT-Bone)が、2018年4月17日に厚生労働省より製造販売承認を取得。5月より販売開始
2. 2001年より理化学研究所や東京大学などと共同で研究開発。
3. 材質は、カルシウム欠損型ヒドロキシアパタイト
4. 株式会社 ネクスト21



<http://makerslove.com/19763.html>

YNU 宝飾に利用されているAM装置

1. 粉末床溶融
 - EOS/EOSINT-M080
 - sisma
 - その他(SLMなど)
2. 材料噴射
 - 3DSystems/ProJet 3000シリーズ
 - Solidscape/3Z
3. 液槽光重合
 - レーザー機: DWS 02X
 - DLP機: EnvisionTEC, ASIGA, 3DSystems/ProJet1200





- 2012年からの3DPブームは一度落ち着いた後、着実に発展
低価格機: 2017年は53万台出荷、まもなく年100万台へ
- 装置の高速化・大型化・高性能化が進行
- 金属の3D造形に大きな注目
- PEEK、Ceramicsの造形、CFRPなどの複合材の造形
- 液槽光重合も再び注目(高耐熱・透明光造形樹脂の開発へ)
- 直接製造(Mass Customization, IoT, Industrie 4.0, Society 5.0など): 航空機産業で実用化進む。今後は自動車産業も
- 医療・歯科への応用が着実に進行
- 2020年代初には材料市場が2,000億円を予測
- しかし、現状利用できる材料はまだ限定的
→ 幅広い樹脂材料、特にスーパーエンブラの適応に期待
→ 材料の開発なくして、今後の大きな発展は難しい→ ビジネスチャンス

- 製造業を中心に高付加価値のスーパーエンブラの利用へ
PBF方式で最終製品に近い材料で高性能市場に展開中
PA12中心 最近はPPS, PBTも
- PBF/PEEKは材料のリサイクル性を要改善(装置と材料の双方から)
- FDM方式は装置が簡便で多材料が利用可能であり、PEIで航空・宇宙に展開が始まる。精度・速度が向上することで、より大きな発展が期待出来る。
- 低価格機でもPEIやPEEK, PEKKなどのスーパーエンブラの造形へと突き進む。



EOSINT-P 810/ PEKK機



PEEK/OPM社



PEEK/Victrex社



材料押し出し(FDM) FORTUS 900mc



PEI(ULTEM)

粉末床溶融 (PBF)

ご静聴有難うございました。

萩原 恒夫 (HAGIWARA, Tsuneo)

E-mail: ts.hagiwara@gmail.com

hagi@hino.email.ne.jp

http://www.thagiwara.jp