

3Dプリンターの未来・現状

ー 国内・海外の動向を通して ー

MIYAGI DIGITAL ENGINEERING CENTER

3Dプリンティングの現状と将来動向

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

理学博士 萩原恒夫

2018年06月29日

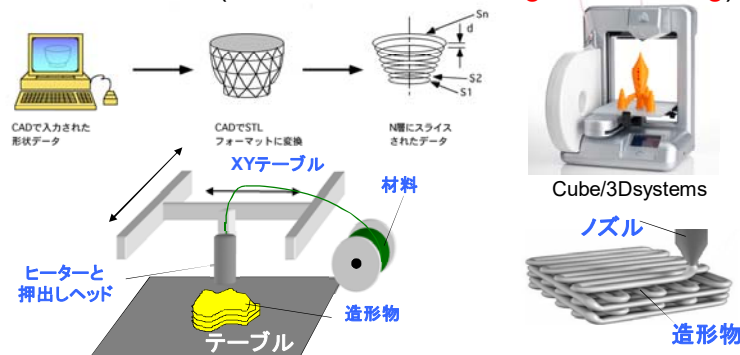
E-mail: ts.hagiwara@gmail.com

http://www.thagiwara.jp

1. はじめに
2. 3Dプリンティングの現状
～各方式の現状、応用の現状～
3. 3Dプリンティングの最近のトピックス
4. まとめと今後の動向

3DPrinting(Additive Manufacturing)とは

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、熔融押出な
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→3D Printing)



なぜ3Dプリンティングなのか

機械加工法	操作	自由度	大量生産	単品製作	加工の具体例
除去加工(切削)	ー	○		○	旋盤、マシニングセンター、研削放電加工、フライス盤 等々
付加工	+	◎		○	溶接、ろう(ハンダ・銀ろう)付け、三次元積層造形(AM)
成形加工(塑性)	+-	△	○		射出成形 鍛造・圧延・せん断 プレス・曲げ・絞り

(ー: のぞく、+: 加える) 三次元積層造形=3Dプリンティング

YNU Factory of the FUTURE by AIRBUS



5

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 3D Printerを使ったものづくり始まる

KABUKUの例



SIEMENSの例



スマート3Dスリントースプロジェクト



IoTとcloudを利用した
3DPrinterによるものづくりが
すでに開始されている。

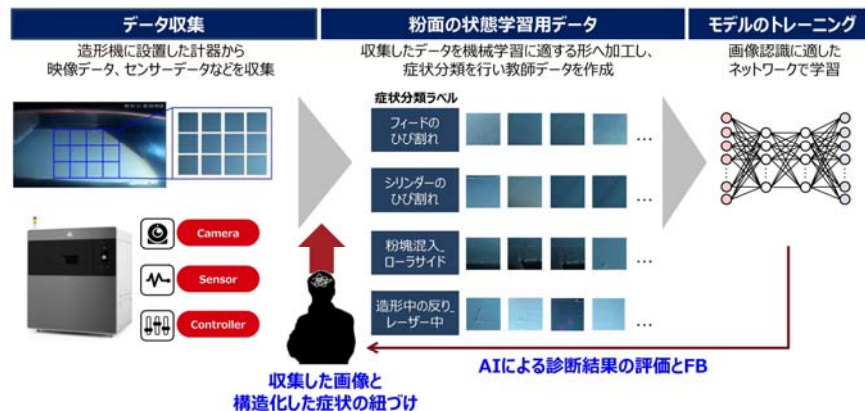
株式会社ミリメーターの例

6

© Tsuneo HAGIWARA

YNU SOLIZE社の例

2. 構造化した症状を基にした教師データの作成・評価



SOLIZE Copyright 2018 by SOLIZE Corporation All Rights Reserved.

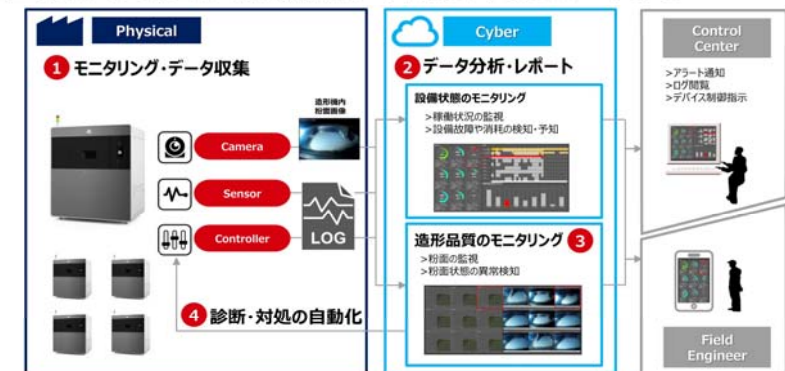
8

7

© Tsuneo HAGIWARA

YNU SOLIZE社の例

更に各種センサーの測定値をリアルタイムにモニタリングし、
生産条件の最適化や設備故障の予兆検知にもつなげる



SOLIZE Copyright 2018 by SOLIZE Corporation All Rights Reserved.

12

8

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 3D プリンティング(AM法)一覧

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(PA12粉、金属粉)	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~スーパーエンブラ	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

ASTMでは7分類、最近はハイブリットを含めて8分類へ

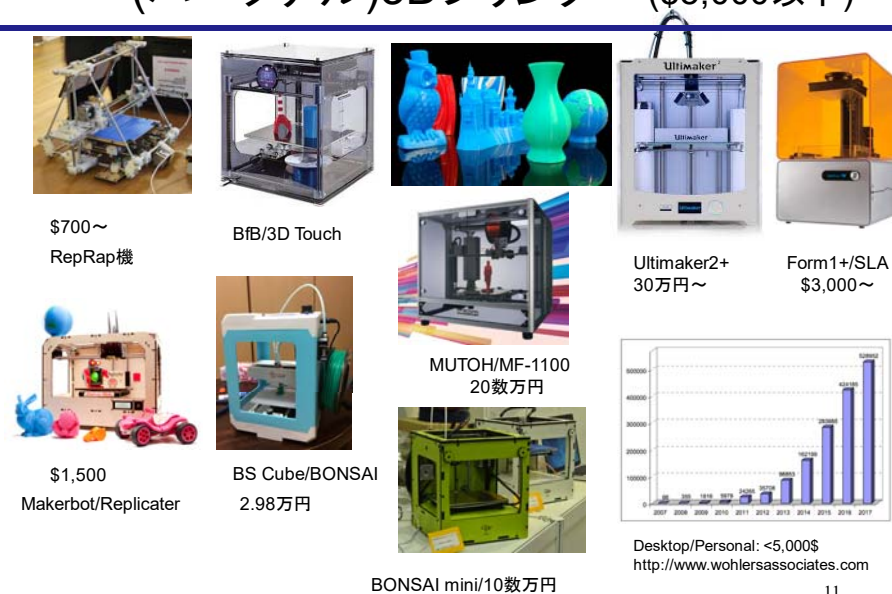
© Tsuneo HAGIWARA

YNU 産業用3Dプリンター (AM装置)(\$5,000以上)



© Tsuneo HAGIWARA

YNU (パーソナル)3Dプリンター (\$5,000以下)



© Tsuneo HAGIWARA

YNU 3Dプリンター(AM装置)の価格

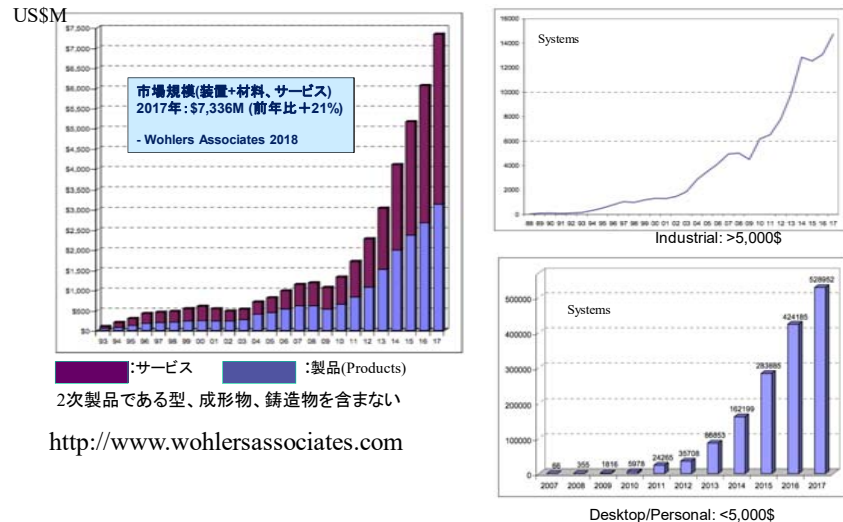
2018.06

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

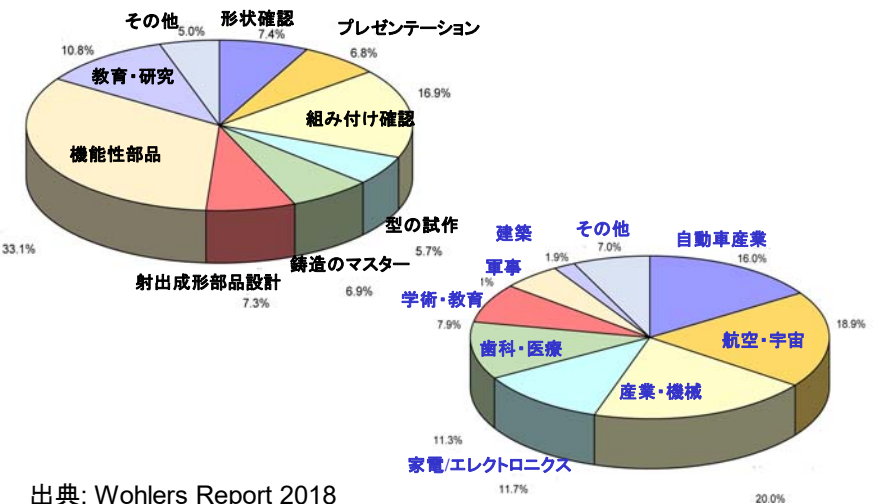
© Tsuneo HAGIWARA

Personal 3D Printer

3D Printer /AM装置



13



14

- 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

15

2018.05

方式	装置メーカー	材料		主用途
		カテゴリ	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機)	光硬化性樹脂	アクリレート系	形状確認、歯科
結合材噴射/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(フラン樹脂など)	砂型鋳造
	Voxeljet	砂、PMMA粉	砂 or PMMA+バインダー樹脂	砂型鋳造、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
	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), PEEK	形状確認、ホビー

Wohlers Report 2018(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

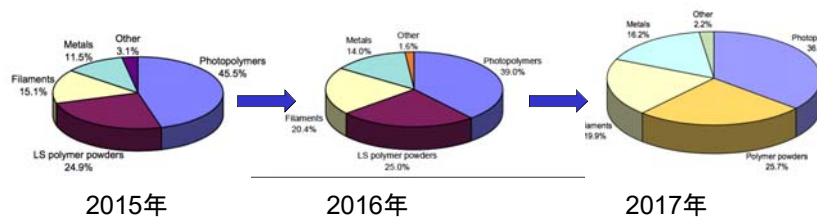
光硬化性樹脂: US\$409M (36%)

粉末床溶融材料: US\$292M (26%)

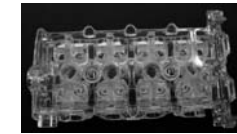
金属粉末材料: US\$183M (16%)

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

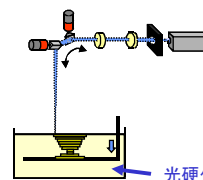


シリンダーヘッド造形物



DW-029J/DWS

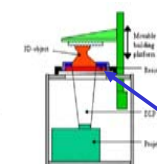
液槽光重合(SLA)
ATOMm8000/CMET



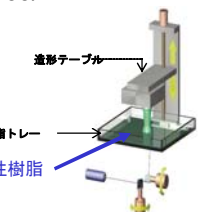
自由液面照射



Perfactory/EnvisionTEC



規制液面照射

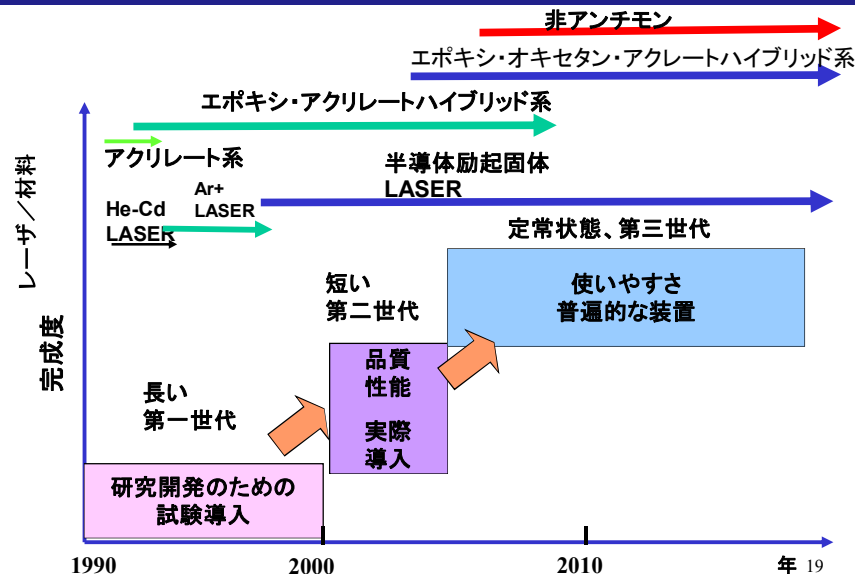


樹脂トレイ

光硬化性樹脂

造形テーブル

18



	ABS樹脂	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	80~100	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		

靱性を保持したままABSの耐熱性(80℃)がほしい

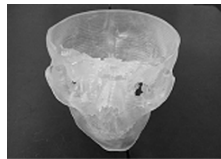
20

YNU 光造形物の典型的事例(CMET)



エンジンブロック

- 機能テスト
- 形状確認



医療モデル

- 手術シミュレーション



渦巻きポンプ

- 機能テスト
- 形状確認



インパネ

- 形状確認



真空注型マスター

- 機能テスト
- 形状確認



ゴム様モデル

- 形状確認
- 機能テスト

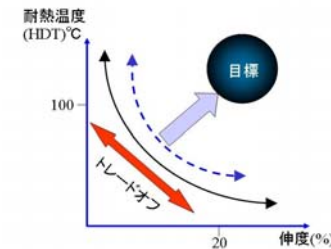
YNU 光造形用樹脂の現状と動向

- 光造形は**高精度で透明なものが得られる**ことより、製造業で、特に日本でのAM3DP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°C

→ 市場は最終製品への利用をつよく希望 → ABS性能



光造形用樹脂開発



樹脂粘度
~260mPa·s

HDT:
高荷重 140°C
低荷重 230°C

- SOLIZE-Products社/耐熱透明樹脂を展示@DMS2017

YNU 材料噴射法(インクジェット法)



Stratasys J750



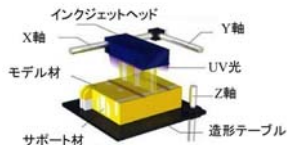
ProJet MJP 3600s/3Dsystems



3Z/Solidscape



ワックス+高分子
バインダーで積層

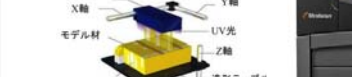


光硬化性樹脂を積層



光硬化性樹脂/ワックスを積層

YNU Stratasys社Objet機の光硬化性材料



YNU Stratasys社Objet機の多彩な表現



- ・ 多彩な表現が可能
- ・ 吸水率~1.5%(cf: 0.3% ABS)
- ・ 機械物性, HDTがもう一歩

25

© Tsuneo HAGIWARA

YNU KEYENCE AGILISTA-3100の例



- ・ 表現はシンプル、性能とコストのバランスに優れる。

26

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 粉末床溶融結合法(PBF): PA12, 金属粉末

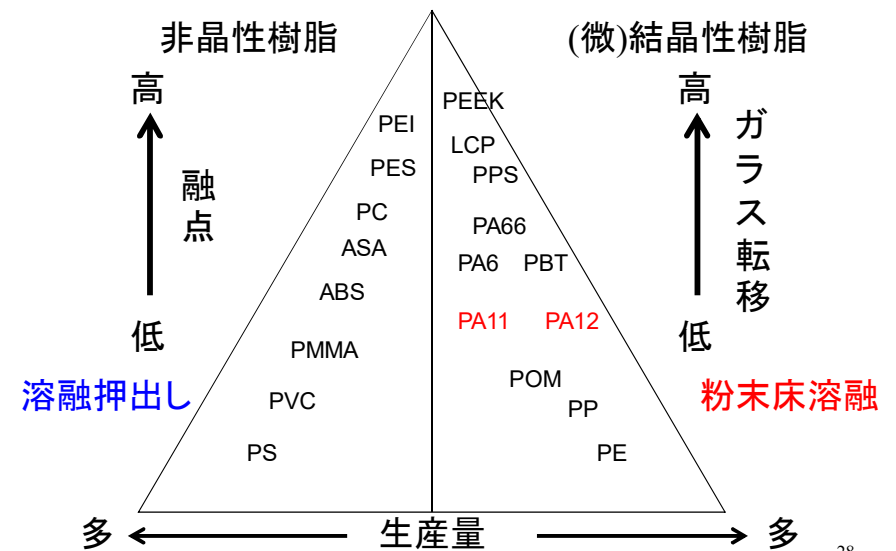


電子線焼結(EBM)

27

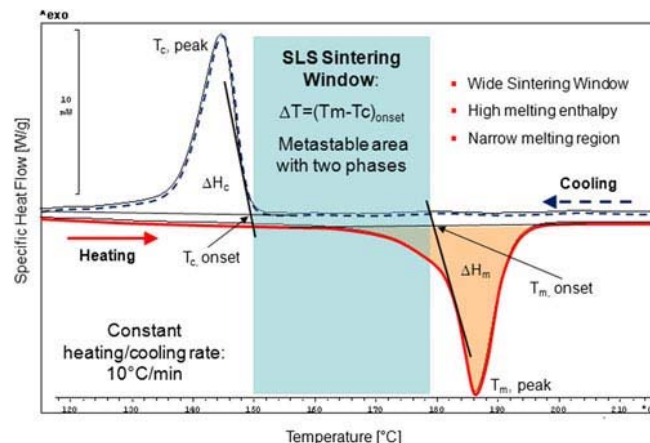
© Tsuneo HAGIWARA

YNU 熱可塑性樹脂



28

© Tsuneo HAGIWARA



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

29

- 融解・結晶化挙動がシャープ: 精細な形状を再現しやすい
- Tm-Tc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

30



PA12GB/アспект社



PA12/DMM.com

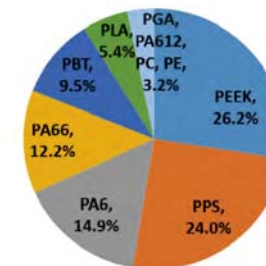


PA11, 12/都立産技研

31

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)



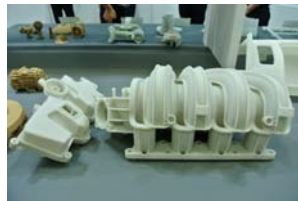
アспект・青山氏@Euromold2015

22

32

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



小型装置 ASPEX II 150-HT

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

YNU PPS, PBT粉末への展開も進む



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

小型装置 ASPEX II 150-HT (アスペクト)

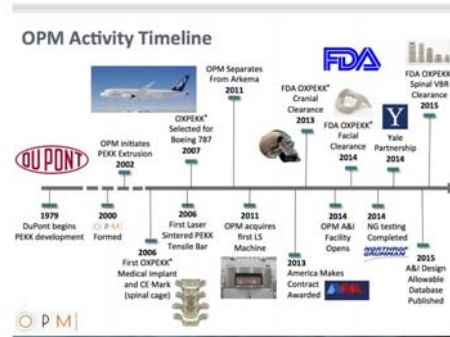
34

YNU PEEK, PEKKの利用が活発化

- PEEK



- PEKK/OPM



PEKK用PBF機
EOS P810を発表

35

YNU 低価格PBF 3D Printerの登場



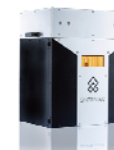
Sharebot(伊)

Norge (英)

SintraTech (ポ)



SinterIt(スイス)



Formlabs/ Fuse1 (米)

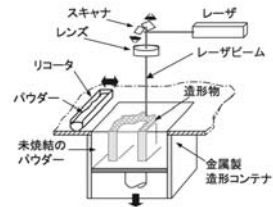
36

YNU 粉末床溶融結合法(PBF)による金属造形

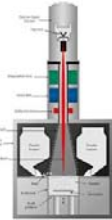
電子線焼結(EBM)



EOSINT M280/EOS



ARCAM Q10



37

© Tsuneo HAGIWARA

YNU EOS社の金属材料

表3 レーザ焼結用金属材料 (EOS社の場合) 素形材 Vol56, 47(2013)

名称	成分	特徴	主な用途
Aluminium ALSi10Mg	アルミニウム合金	優れた機械特性 (強度、硬度)、軽量	自動車、モーターレーシング、航空
CobaltChrome MP1	コバルト-クロム-モリブデン主体の超合金	優れた機械特性 (強度、硬度) 軽量、耐食性、耐熱性	タービン、医療用インプラント
CobaltChrome SP2	コバルト-クロム-モリブデン主体の超合金	生体適合性、歯科用に認証取得 (CE0537)	歯科用 (クラウン、ブリッジ等)
DirectMetal 20	ブロンズ主体	微細形状の再現性、速い造形速度 容易な後加工	小〜中ロット射出成形金型 機能試験用試作部品
MaragingSteel MS1	マレージング鋼	良好な機械加工性 熱処理で 54HRC まで硬化	量産金型、アルミダイカスト金型 高機能部品
NickelAlloy IN625	ニッケル-クロム合金	高い引張り / クリープ破断強度 耐食性、高耐熱性	航空、モータースポーツ 海洋関係、化学工業向け部品
NickelAlloy IN718	ニッケル-クロム合金	高い引張り / クリープ破断強度 耐食性、高耐熱性	航空、モータースポーツ 海洋関係、化学工業向け部品
StainlessSteel GP1	ステンレス鋼 17-4/1.4542/SUS630	優れた機械特性 (強度、硬度)、延性	機能試験用試作品、小ロット部品 耐久性や延性の必要な部品
StainlessSteel PH1	ステンレス鋼 15-5/1.4540	析出硬化状態で 45HRC の硬度	機能試作部品、小ロット製品 強度と硬度が必要な部品
Titanium Ti64	Ti6Al4V 軽合金	軽量、高強度、耐食性、生体適合性、生体結合性	医療用インプラント
Titanium TiCP	純チタン	軽量、高強度、耐食性、生体適合性、生体結合性	医療用インプラント、工業用部品、熱交換器、医療機器

38

© Tsuneo HAGIWARA

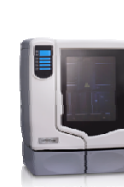
YNU GEの金属造形を利用するものづくり



39

© Tsuneo HAGIWARA

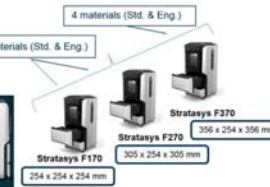
YNU 材料押出法(FDM) (Stratasys社)



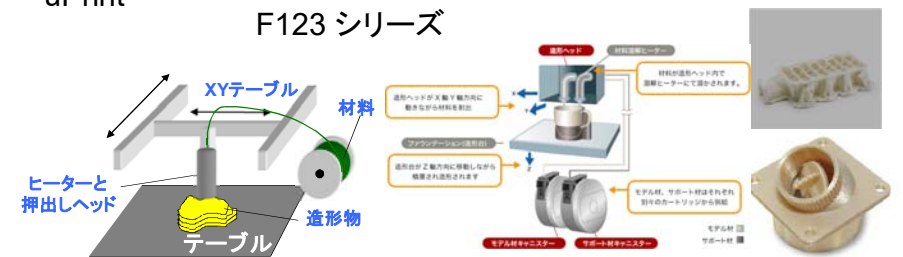
uPrint



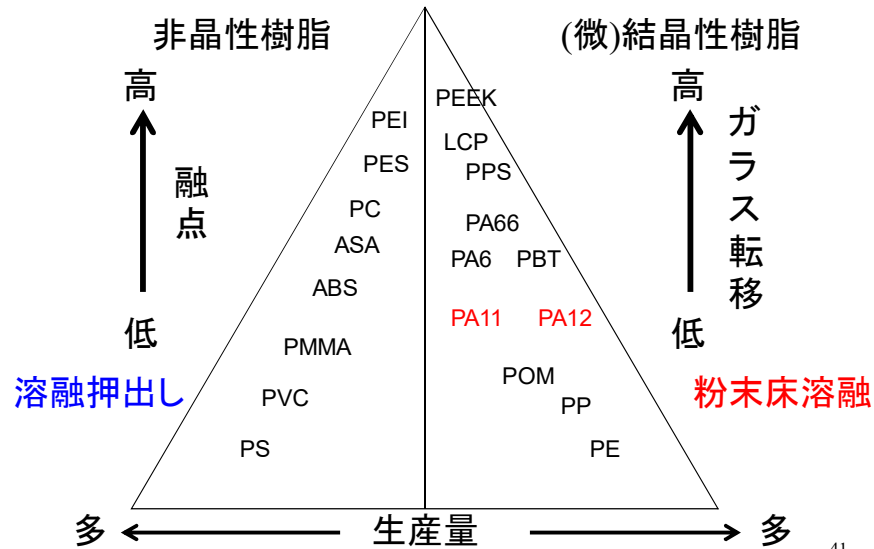
F123 シリーズ



FORTUS 900mc



40



Stratasys	
ABSplus 汎用樹脂 (ABS改良) ・ 機械的強度を向上したABS樹脂 色: アイボリー/黒/白/青/グレー/赤/黄/オレンジ/ブルー/グリーン/ブラック/イエロー 対応機種: Fortus 300mc サポート除去方法: 溶解/溶融	ABS 汎用樹脂 (ABS改良) ・ ランパヤメカニカル部品の製造に最適 色: 半透明 (白, 黒, 赤) 対応機種: Fortus 300mc サポート除去方法: 溶解
ABS-M30 汎用樹脂 (ABS改良) ・ 機械的強度を向上したABS樹脂 色: アイボリー/黒/白/青/グレー/赤/黄/オレンジ/ブルー/グリーン/ブラック/イエロー 対応機種: Fortus 300mc/450mc/900mc サポート除去方法: 溶解	ABS-ESD7 静電防止樹脂 (ABS改良) ・ 静電防止シートと同等の性能に適合 ・ 静電防止のターゲット: 10 ⁷ Ω 色: 黒 対応機種: Fortus 300mc/450mc/900mc サポート除去方法: 溶解
PC-ABS 耐衝撃、耐熱力樹脂 (ABS樹脂+ポリカーボネート樹脂) 色: 黒 対応機種: Fortus 300mc/450mc/900mc サポート除去方法: 溶解	ABS-M30i (ISO 10993 USP ClassVI 生体適合性樹脂 (ABS改良)) ・ 医療用インプラントと同等の性能に適合 ・ 医療用部品用材料に適合 色: アイボリー 対応機種: Fortus 300mc/450mc/900mc サポート除去方法: 溶解
PC 耐衝撃力樹脂 (ポリカーボネート樹脂) ・ 特殊な工業製品や特殊な用途に使用される材料 色: 黒 対応機種: Fortus 300mc/450mc/900mc サポート除去方法: 溶解	ULTEM™9085 耐熱、耐衝撃、耐熱力樹脂 (PEEK樹脂+ポリイミド樹脂) ・ PEEK樹脂、耐熱、耐衝撃に適合 ・ 耐熱、耐衝撃、耐熱力に適合 色: Tan/Black 対応機種: Fortus 450mc/900mc サポート除去方法: 溶解
Nylon12 耐衝撃、耐熱力樹脂 (ナイロン12改良) ・ ストックフィットなどに最適な高強度樹脂 ・ 耐熱、耐衝撃、耐熱力に適合 色: 黒 対応機種: Fortus 300mc/450mc/900mc サポート除去方法: 溶解	PC-ISO (ISO 10993 USP ClassVI 生体適合性樹脂) (ポリカーボネート樹脂) ・ 医療用インプラントと同等の性能に適合 ・ 医療用部品用材料に適合 色: 黒/半透明 対応機種: Fortus 300mc/450mc/900mc サポート除去方法: 溶解
ASA 耐熱、耐衝撃、耐熱力樹脂 (ASA改良) ・ 耐熱、耐衝撃、耐熱力に適合 ・ 耐熱、耐衝撃、耐熱力に適合 色: Tan/Black 対応機種: Fortus 300mc/450mc/900mc サポート除去方法: 溶解	PPSF/PPSU 耐熱、耐衝撃、耐熱力樹脂 (PPSF/PPSU改良) ・ 耐熱、耐衝撃、耐熱力に適合 ・ 耐熱、耐衝撃、耐熱力に適合 色: Tan/Black 対応機種: Fortus 900mc サポート除去方法: 溶解
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・ライティングアップ ・ ライトアップ可能なフィラメント 色: True White/True Black/透明3色 (PLA フィラメント) (Slate Grey (PLA フィラメント)) 対応機種: MakerBot Replicator+ サポート除去方法: 溶解	PLA ・ 環境的な材料オプション ・ 環境に優しい材料 色: 黒/半透明 対応機種: Fortus 300mc/450mc/900mc サポート除去方法: 溶解/溶融

ほとんどの材料が使用可能 → 精度向上・造形速度向上

PEKKも実用化へ



PEKK系,高性能熱可塑性樹脂(Antero 800NA)を追加



- Stratasys社Fortus機でPEI (ULTEM 9805)樹脂: Airbus 350 XWBの製造に1,000部品

<http://www.stratasys.com/> 43


Apium (IBINDEMATEC)

ROBOZE ONE +400

VSHAPER One Pro

INTAMSYS/ FUNMAT HT



ExtraBold社: エスラボと共同で超大型機をDMS2018で展示(ペレット溶融積層方式の国産3Dプリンタ)

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」

<https://twitter.com/unosuke>

45

旧Z-Printer (石膏)

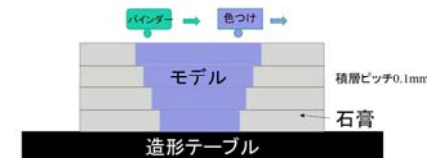


ProJet 660 Pro

砂型プリンター



S-Max/ExOne



46



<http://3dmodelingservice.net/3dmodeling>

・簡易で表現が多彩なため
多方面で活用が進んでいる。



<https://www.funakoshi.co.jp/contents/56196>



<http://www.uptrust.net>

47

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

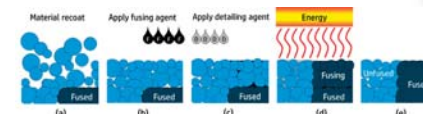
2014年10月発表

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

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 HP Jet Fusion機の材料

Materials performance summary

HPのカタログから

Mechanical properties

Measurement	HP 3D HR PA12 ¹⁸	HP 3D HR PA12 GB ¹⁹	HP 3D HR PA11 ²⁰	VESTOSINT [®] 3D Z2773 PA 12
Tensile strength, max load ¹⁷ , XY	48 MPa/6960 psi	30 MPa/4350 psi	50 MPa/7250 psi	48 MPa/6960 psi
Tensile modulus ¹⁷ , XY	1700 MPa/247 ksi	2800 MPa/406 ksi	1800 MPa/261 ksi	1700 MPa/247 ksi
Elongation at break ¹⁷ , XY	20%	6.5%	50%	20%
Izod impact notched (@ 3.2 mm, 23 °C), XYZ	3.5 kJ/m ²	2.7 kJ/m ²	6 kJ/m ²	-
Heat deflection temperature (@ 0.45 MPa, 66 psi) - Z	175 °C/347 °F	173 °C/344 °F	183 °C/361 °F	-
Heat deflection temperature (@ 1.82 MPa, 264 psi) - Z	106 °C/223 °F	121 °C/250 °F	50 °C/122 °F	-
Refresh ratio for stable performance	20%	30%	30%	50%

Applications examples



装置・材料とも今後の発展に期待

50

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 金属積層と切削のハイブリッド

- 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(PBF金属粉末;造形端面積層時に切削)
- Sodick (PBF金属粉末;造形端面積層時に切削); 2014年8月(松浦機械のLUMEX機と同様Panasonic由来)
- MUTOH; アーク溶接式 2015年 1月



DMG-MORI/LASERTEC 65



MAZAK/インテグレックス iAM



Sodick/OPM 250L



アーク溶接/MUTOH



Avance-25/松浦機械

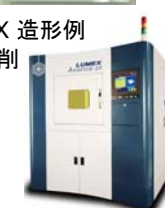
© Tsuneo HAGIWARA

YNU Hybridタイプ応用例



松浦機械 LUMEX 造形例
- PBF+積層時切削

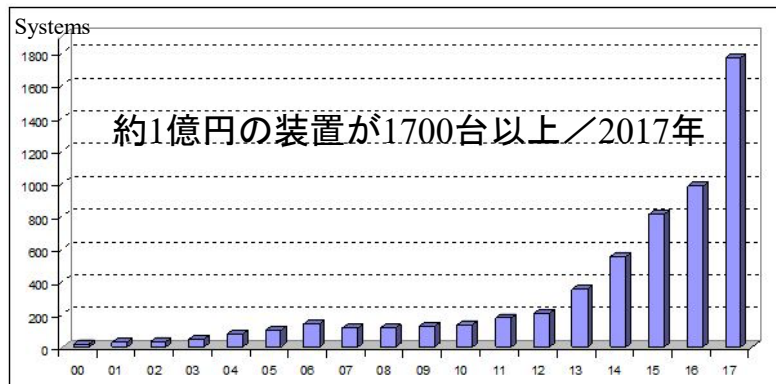
MAZAK INTEGREX i-400AM
- DED + 切削



52

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 金属3DPrinterが急成長(Wohlers Report 2018)



Dramatic rise in metal AM system sales

Source: Wohlers Report 2018



53

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 最近は“Metal, Metal, Metal”



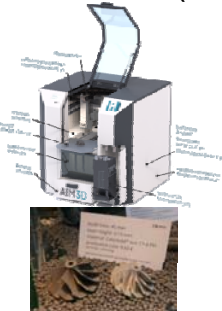
© Tsuneo HAGIWARA

YNU 材料押出し(FDM)で金属造形

- 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)



Desktop Metal



AIM3D



Markforged

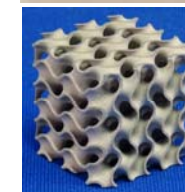
55

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 光硬化性樹脂で金属造形



ADMETALFLEX 130/
ADMATEC



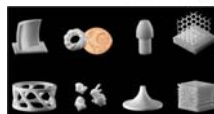
光硬化性樹脂と金属粒子の
スラリーをDLP方式でPETフィルム上で
硬化させ積層、その後焼成

56

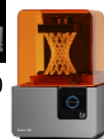
© Tsuneo HAGIWARA



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

57



EnvisionTEC/SLCOM1



Markforged/Mk two



Impossible Objects

<http://www.fabbaloo.com>

58



The process

Printing parts using Stereolithography with 3M produced PTFE formulation:



シンポジウムで講演する前川TRAFAM理事長

AD

次世代3D積層造形技術総合開発機構（TRAFAM、東京都中央区、前川理事長、03・6214・3211）は、国家プロジェクトとして開発する次世代金属3Dプリンターを、10月にも事業化する。これまで2019年3月末までの販売を目指していたが前倒しとなる。米ゼネラル・エレクトリック（GE）や独シーメンスが16年に金属3Dプリンターメーカーを買収するなど事業を強化しており、需要の取り込みを急ぐ。

TRAFAMの前川理事長が23日、都内で開いた同機構のシンポジウムで、組合員が開発する金属3Dプリンターを「今年度後半から市場に投入する」と述べ、事業化見通しを明らかにした。

販売を予定するのは東芝機械と三菱重工工作機械が開発する2機種。両機種ともレーザー粉末肉盛り（LM D）方式を採用する。販売は主に両社が手がけるとみられる。

TRAFAMは金属3Dプリンターで、（1）造形速度毎時500cc（2）最大造形サイズ1000ミリ×1000ミリ×600ミリメートル（3）価格500万円以下などを19年の目標に掲げて開発に取り組む。同機構によると目標速度や価格は、それぞれ従来の約10倍、半額以下という。現在はほかに3機種の開発も進める。

TRAFAMは経済産業省が旗振り役となり14年度に発足。産学官で構成する技術研究組合で、現在の組合員は37法人。三菱重工業やトヨタ自動車などが参加する。

金属3Dプリンター以外に、鋳物用砂材料を高速で積層する3次元砂型積層造形装置の開発も進めており、18年度ははじめの販売を予定する。

(2017/8/24 05:00)

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



61



DWS 029D 62



Stratasys J750機の造形物
(DMS2016東京、Stratasysブースにて)



0.3

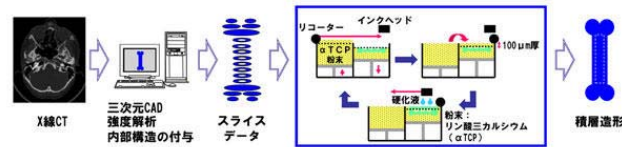


NTT-data エンジニアリング前田氏、第4回AMシンポジウム資料より

YNU 結合材噴射型3Dプリンターで「人工骨」

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

CTデータに基づいた3D link-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



世界初
同化する
3Dプリント人工骨

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

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

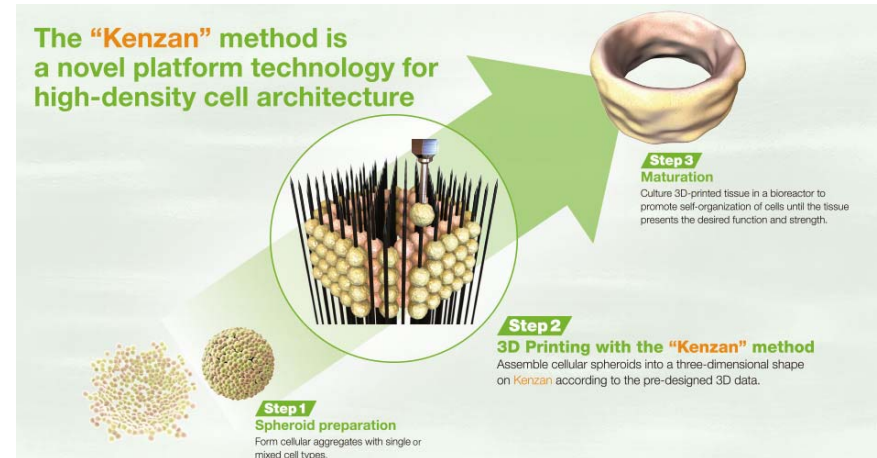
65

© Tsuneo HAGIWARA

YNU Bio3Dprinting/佐賀大・中山ら

バイオ3D プリンター「レジェノバ®」

The "Kenzan" method is a novel platform technology for high-density cell architecture



<http://www.cyfusebio.com/regenova.html>

66

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 手作業からデジタルへ (宝飾)

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



67

© Tsuneo HAGIWARA

YNU 宝飾応用(伊; DWS社例)



天然石を模した宝飾応用

68

© Tsuneo HAGIWARA



SOLIZE/SLA Resin



ADMATEC/Ceramics

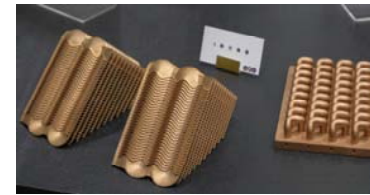


Stratasys/PEKK



Stratasys/金属アルミ

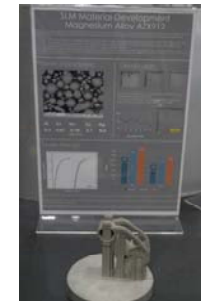
69



EOS/Cu



Massivit 1800造形物/アルテック



EOS/Mg合金



INTAMASYSL-DEVO



DLP Ceramic造形

70

材料から見たものづくりの予測

- ・ 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PPS, PBTも。PEEKに注目。
 - ・ PBF/PEEKは材料のリサイクル性と装置コストで足踏み
 - ・ リサイクル性の優れたPEKKを視野に装置の開発が進むと推定
 - 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・宇宙に展開が始めた。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に突き進むことが予想。



EOSINT-P 810

粉末床溶融 (PBF)



PEEK/OPM社



PEEK/Victrex社



材料押し出し (FDM)

FORTUS 900mc



PEI (ULTEM)

71

3DPrinting全体の予測

- 工業用 3Dプリンター装置(5,000ドル以上のAM機)の研究・開発過程への浸透が加速。併せて、**3Dプリンターを使った新しいものづくりが発達。**
- パーソナル機は今後、装置性能・機能の向上が進み、より発展すると予測。かつてのメインフレームコンピュータやワークステーションをPCが置き換えたように。また、装置全体の低価格化が急激に進行すると推定
→**いまだに使われなかった分野での利用も進む。**
- 現状利用できる樹脂材料はまだ限定的であり、3Dプリンティングが認識されたことから、より高性能な樹脂材料の開発に拍車がかかってきた。
特にスーパーエンブラへの関心が高まり、適応が進行すると推定。
- 金属材料の3Dプリンティングは最終製品の**ものづくりに変革を起こしつつあり、今後はさらに加速すると推定。**
- 造形データ作成のより簡便化が必要。スマートフォン・アプリなどに大きな期待。
- **IoT, cloud, AIを使ったものづくりへと製造業は転換して行くものと推定。**

72

- 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; 最終製品を3D造形
- 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): 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が開始
→ 材料の発展で、応用がますます拡大されると推定

73

ご清聴ありがとうございました。

ご質問はE-mailでも

萩原 恒夫 (HAGIWARA, Tsuneo)
E-mail: ts.hagiwara@gmail.com
http://www.thagiwara.jp

3DPrinting関連Webサイト

1. <http://www.wohlersassociates.com>
 2. <https://3dprint.com>
 3. <http://3dprintingindustry.com>
 4. <https://www.tctmagazine.com>
 5. <https://www.develop3d.com>
 6. <http://www.3ders.org>
- Facebook ページ
1. 3DPrint.com
 2. 3dprintingindustry
 3. 3D-Materials
 4. 3DP id.arts
 5. Fabbaloo
 6. 3Ders.org, 3D Printing News
 7. メーカーズ・ラブ

75

積層造形に関する書籍



76