Next Laboratory

# 光造形によるセラミックスの高精細三次元積層造形の最新動向

ネクスト・ラボラトリー　シニアコンサルタント
東北大学大学院医工研究科非常勤講師

**萩原恒夫**
2016年05月18日
E-mail:ts.hagiwara@gmail.com
hagi@hino.email.ne.jp
http://www.thagiwara.jp


© Tsuneo HAGIWARA


Next Laboratory

# 目次

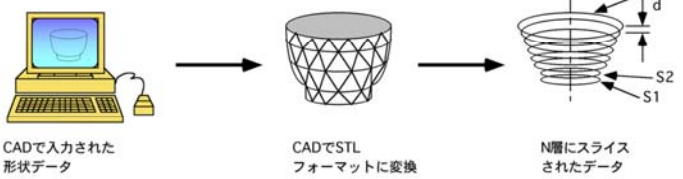
1. 3Dプリンター(AM装置)とは
2. セラミックス造形について
3. 液槽光重合法(光造形法)について
   自由液面法(上面照射タイプ)の光造形装置
   規制液面法(下面照射タイプ)の光造形装置
4. OPTOFORMについて
5. フランス3DCeram社の例
6. オーストリアLithoz社の例
7. その他のグループ
   阪大・桐原らのセラミック造形の例
   イタリア DWS社のセラミック強化樹脂
8. セラミックス造形物の応用と今後の展開


© Tsuneo HAGIWARA

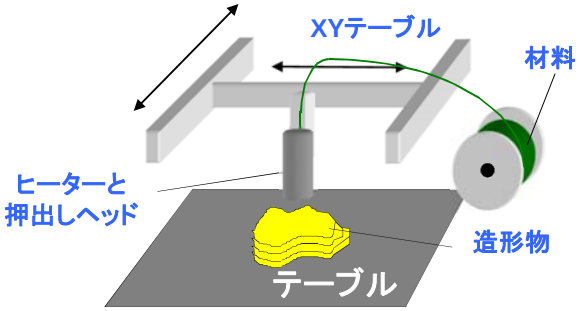
Next Laboratory

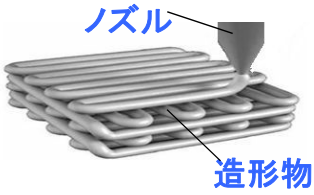
# 3次元積層造形法(Additive Manufacturing)とは

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、溶融押出などの刺激により、一層ずつ(層状に)積み重ねて目的の立体形状とする技術(Additive Manufacturing)



Cube/3Dsystems






© Tsuneo HAGIWARA


Next Laboratory

# 3次元積層造形法(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 | PA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～スーパーエンプラ | 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 |

**Additive Manufacturing = 3D printing**



© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

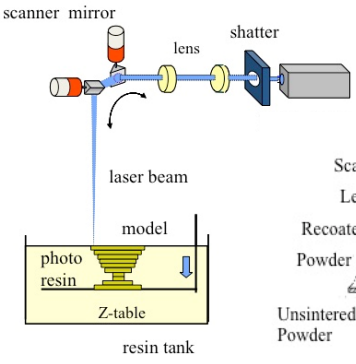
# 産業用をAM装置

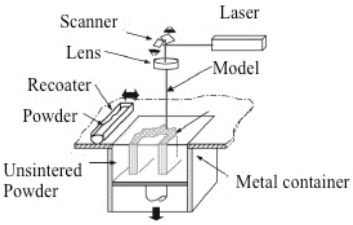
液槽光重合(SLA)
NRM-6000/CMET

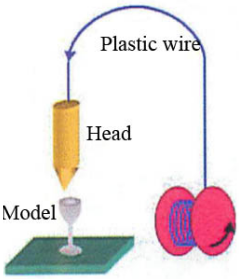
粉末床溶融積層(SLS)
EOSINT P730/EOS

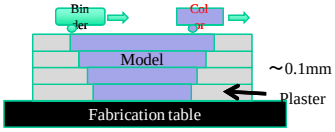
材料押出し(FDM)
Dimension
BST/SST 1200es

バインダー噴射/Z
ProJet 660 Pro

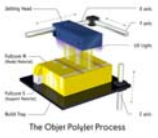


材料噴射
Objet 500
CONNEX

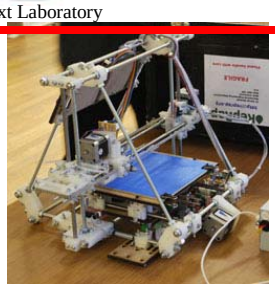




© Tsuneo HAGIWARA


Next Laboratory

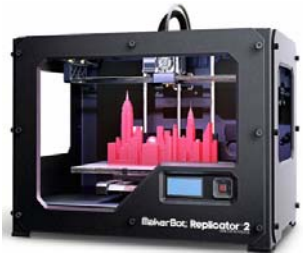
# デスクトップ(パーソナル) を3D Printer



$700～

RepRap

Cube $1,600



$1,500

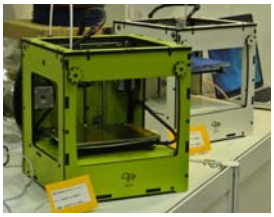
Makerbot Replicater2

XYZ DaVinci Jr.

5万円

MUTOH MF-1100
20万円

Form1+/SLA
$3,000



BONSAI mini/10万円



© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

# AM装置(3DPrinter)の材料例

2016.03

| 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 |
| | DWS | 光硬化性樹脂 | アクリレート系 | 宝飾、歯科 |
| | Formlabs | 光硬化性樹脂 | アクリレート系 | ホビー |
| 液槽光重合/DLP | Envisiontec | 光硬化性樹脂 | アクリレート系 | 宝飾、歯科 |
| | ASIGA | 光硬化性樹脂 | アクリレート系 | 宝飾、歯科 |
| 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 |
| | Objet (Stratasys) | 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/PMMA+バインダー樹脂 | 砂型鋳造、消失模型 |
| 粉末床溶融/LASER | EOS | ナイロン、金属粉 | PA12, SUS, Ti, Al, Co-Cr | 試作、生産、歯科 |
| | 3D Systems | ナイロン、金属粉 | PA12, SUS, Ti, Al, , Co-Cr | 試作、生産 |
| | アスペクト | ナイロン、PP | PA12, PP | 試作 |
| 粉末床溶融/EB | ARCAM | 金属粉 | Ti (合金) | 医療(インプラント) |
| 材料押出し(FDM) | Stratasys | 熱可塑性樹脂 | ABS, PC, PEI, PPSF etc | 試作、形状確認 |
| | Makerbot, 3DSystems | 熱可塑性樹脂 | PLA (ABS) | 形状確認、ホビー |
| | RepRap他 | 熱可塑性樹脂 | PLA (ABS) | ホビー |

Next Laboratory

# 三次元積層造形法でセラミックスを

1) 液状光硬化性樹脂にセラミック微粒子を懸濁させたスラーリーを用いる光造形法(液槽光重合法)
2) セラミックを高濃度に分散させたペースト状の光硬化性樹脂を特殊リコーターで積層し、その後上面から紫外線レーザを照射する方法
3) セラミック粉末を樹脂バインダーで処理しレーザで焼結させる粉末床溶融法
4) セラミック粉末をバインダーにより固着させる結合剤噴射法
5) 樹脂にセラミックを混合してワイヤ状にしたものを押出し積層する材料押出
6) 高出力レーザでセラミック粉末を直接焼結して最終製品を作製

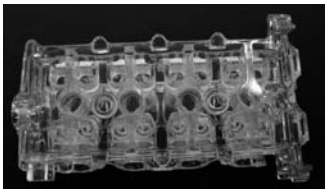


© Tsuneo HAGIWARA

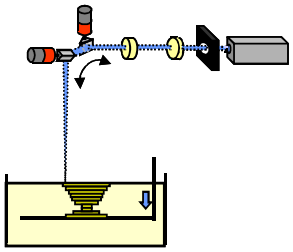
Next Laboratory

# 光造形(液槽光重合法)装置の例

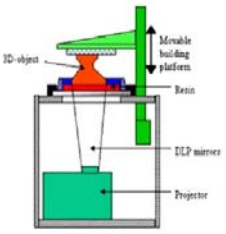
NRM-6000/CMET



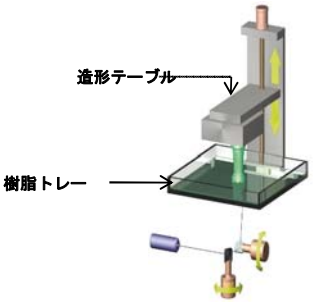
DW-029J/DWS



自由液面照射




Perfactory/Envisiontec




規制液面照射



© Tsuneo HAGIWARA



Next Laboratory

# 光硬化性樹脂を利用する装置

| | 大型光造形機<br>自由液面 | 小型光造形機<br>規制液面 | DLP機<br>規制液面 |
|---|---|---|---|
| 光源 (nm) | レーザ<br>355 | LDレーザ<br>405, (385) | LED, UVランプ<br>可視光、405LED |
| 方式 | 樹脂が空気に接している | 透明窓材。樹脂が空気に接していない | 透明窓材。樹脂が空気に接していない |
| 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 |
| 開始剤 | i-184<br>トリアリールスルホニウム塩 | i-TPO | i-TPO |
| 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 |
| メーカ例 | 3D Systems<br>CMET | DWS<br>Formlabs | EnvisionTEC<br>ASIGA<br>KEVVOX, Bego |

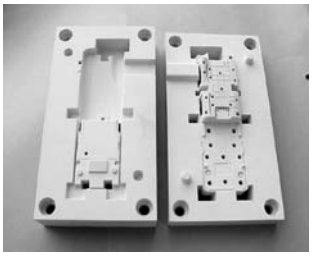


© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

# セラミックスの造形の歴史

- 1994年頃
  - 帝人製機: ウレタンアクリレートにガラスビーズ、シリカ粒子、無機ウィスカーのフィラー強化樹脂
    → 高耐熱、高剛性　光造形型材
  - Griffithら: 水系光硬化性樹脂スラリー



- 2000年頃
  - フランス・ナンシー、Andre-Luc Allanic氏を中心にOPTOFORMシステムを開発


© Tsuneo HAGIWARA

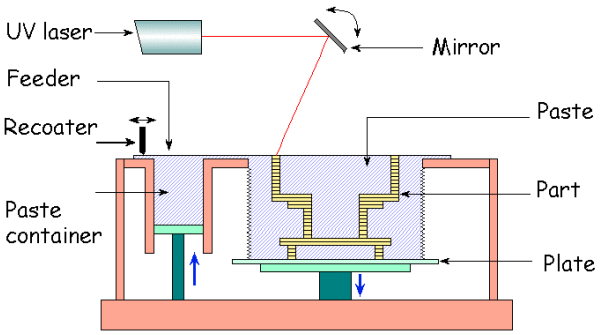

Next Laboratory

# OPTOFORMの概要

- 2000年頃フランスで開発: ,ヨーロッパ中心に約10システム販売と推定
- 2001年3D システムズ社に買収 → DSM SOMOSに委託して材料を中心に開発継続
  → その後　放棄
- ヨーロッパ中心に大学・研究機関で継続使用
- 積層厚み: 20 - 200 µm.
- 光源: Ar+ レーザ 400-800 mW (351 and 365 nm).
- 造形最大サイズ: 250x350x500 mm. いくつかの造形プレートが用意。支持サポートは必要
- ペースト状樹脂で小さな造形物には適している。
- 樹脂組成: Resin+ Fillers (20% to 62% Vol.) + Photo-initiator + Wetting Agent + rheological/ thixotropic Agent


© Tsuneo HAGIWARA

# OPTOFORM



Paste layering and recoating



© Tsuneo HAGIWARA



3DCERAM
Advanced Ceramics

## Broadening the use of Technical Ceramics with 3D printing

http://3dceram.com/en

Richard GAIGNON

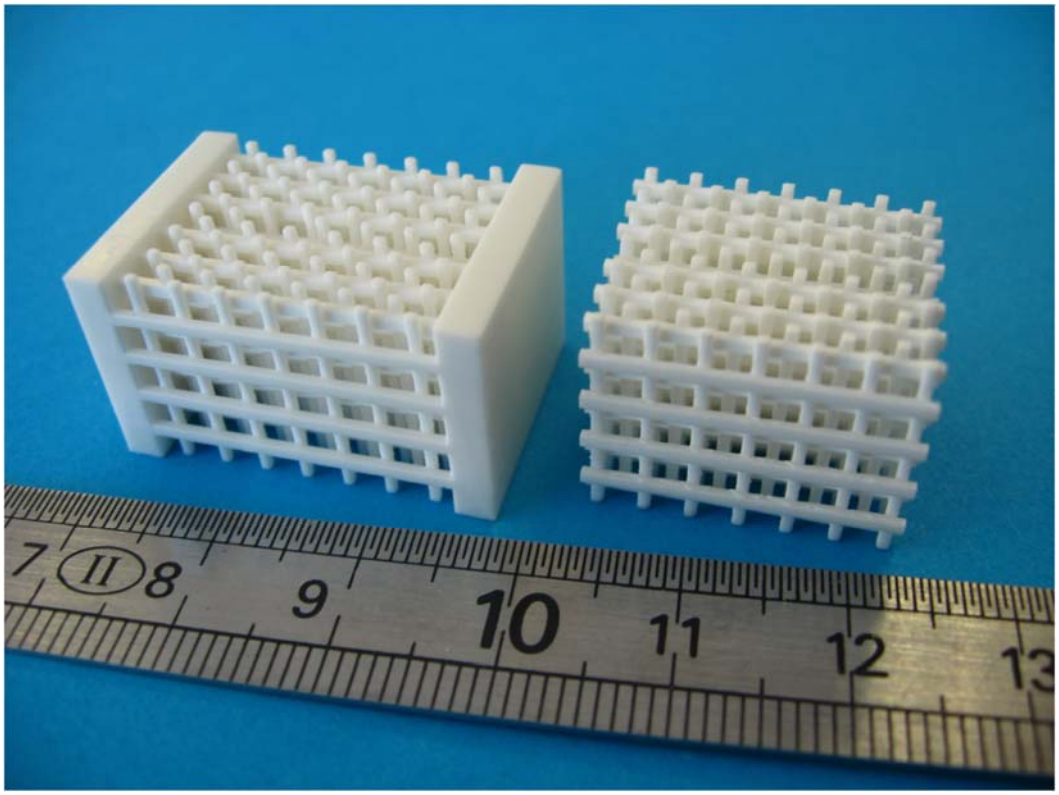
3DCERAM
Advanced Ceramics

# Broadening the use of Technical Ceramics with 3D printing

Richard GAIGNON

Next Laboratory

## 3DCeram






© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

# 3DCeram社のまとめ

- 造形材料: アルミナ、ジルコニア、ヒドロキシアパタイト
- 焼成後の充填率: 99.7%以上
- ヒドロキシアパタイト焼成物: 臨床で利用
- アルミナやジルコニアの焼成物: 電子材料等、製造業に幅広い応用
- 小型で比較的安価な装置での造形方法の開発が進行


© Tsuneo HAGIWARA


Next Laboratory

# Lithozの紹介

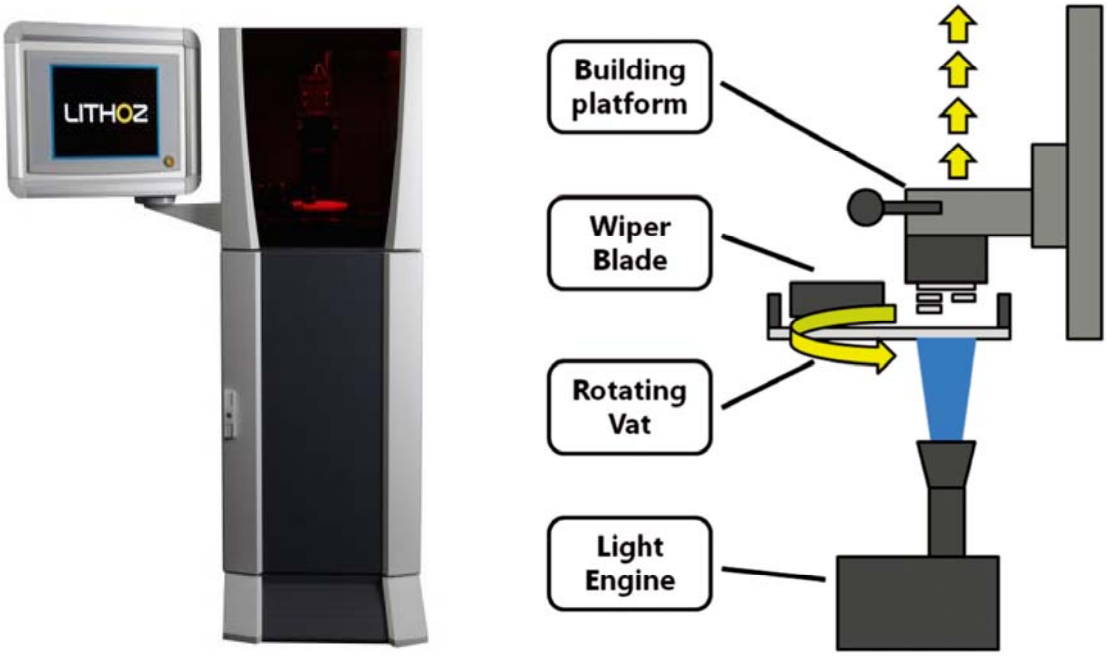
LITHOZ®

http://www.lithoz.com


© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

# LithozのCeraFab7500の構成



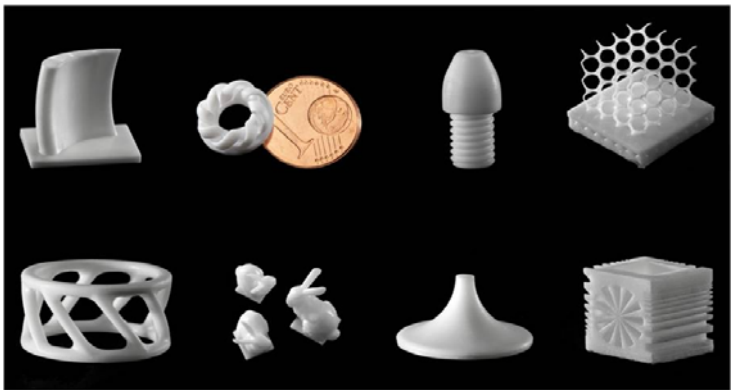



© Tsuneo HAGIWARA

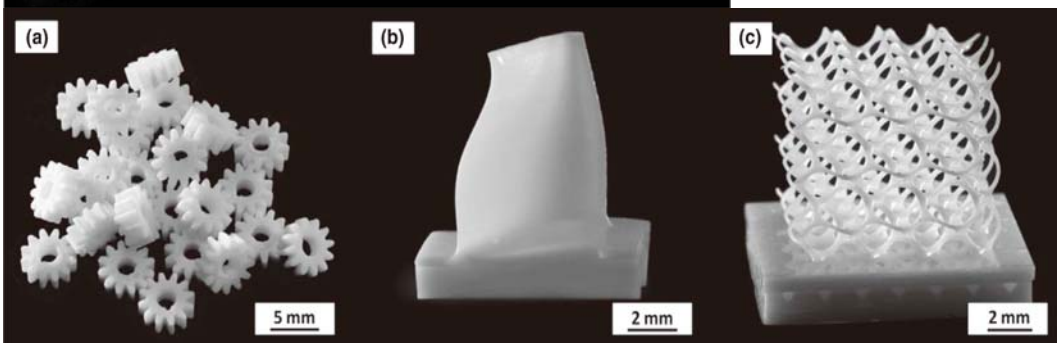


Next Laboratory

# Lithozの造形物例(写真提供: Lithoz)



充填密度:
99.3%以上(焼成後)




CeraFab7500によるアルミナ造形物の例(焼成後)



© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

# Lithozの今後

- CeraFab8500:造形サイズ (115 x 64 x 150mm)
- 各種材料のセラミックス造形
- ジルコニアの造形も
- 産業用のセラミックス部品などへの積極的な展開

CeraFab8500の外観(Formnext2015で発表)



© Tsuneo HAGIWARA



Next Laboratory

# SIP(阪大・桐原らの例)

- 金属ガラス(M)、酸化物ガラス(O)微粒子を分散したアクリル系光硬化性樹(R)材料
  - フォトニック結晶の作成
- M:O:R=16～18:22～24:60 vol%
- 600～900mJ/cm2で14.5μmの硬化深度(利用光波長不明)
- 420℃/8hで脱脂、460℃/0.5hで焼成
  - アモルファス磁性体

桐原聡秀: 工業材料 vol. 64, No.5 (2016)63-70



© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

# DWS社の光造形装置の例

## (規制液面法;下部照射)

宝飾用

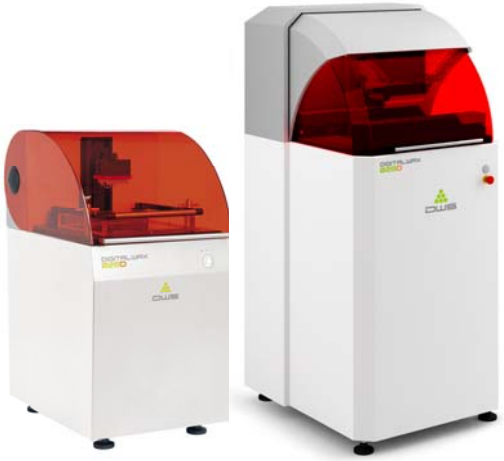
DIGITALWAX 029J

DIGITALWAX 028J

歯科用

DIGITALWAX 029D

DIGITALWAX 028D



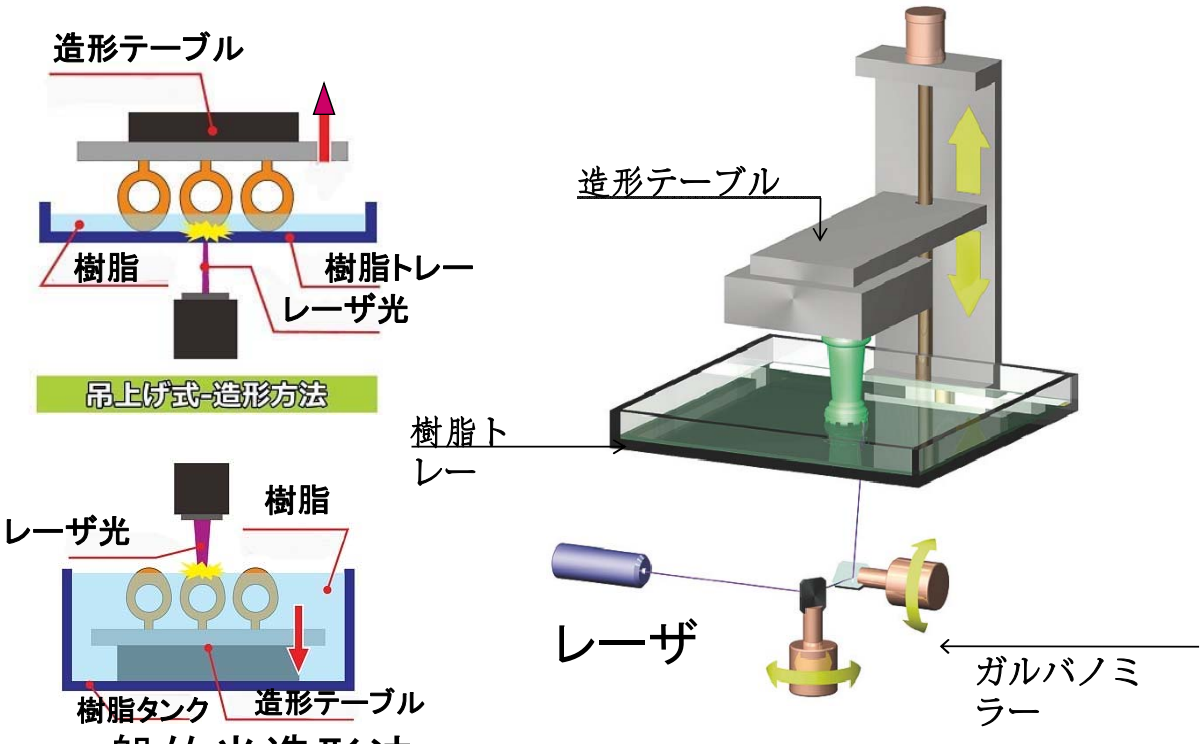


© Tsuneo HAGIWARA



Next Laboratory

# 装置構成 (レーザ・ガルバノタイプ)






© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

# DWS社の光硬化性樹脂材料

- 宝飾用途
  - 直接鋳造(ロストワックス代替)
  - ゴム型
  - Digital Stone (宝石様樹脂)
- 歯科用途
  - 鋳造
  - 人工歯(TEMPOLIS: 仮歯)
- モデル用
  - RP、工業デザイン
  - フィギュアー


© Tsuneo HAGIWARA


Next Laboratory

# フィラー強化樹脂の応用例

DWS/DL-260 resin: Filler ～50wt%


© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

# 宝飾応用

天然石を模した宝飾応用



© Tsuneo HAGIWARA



Next Laboratory

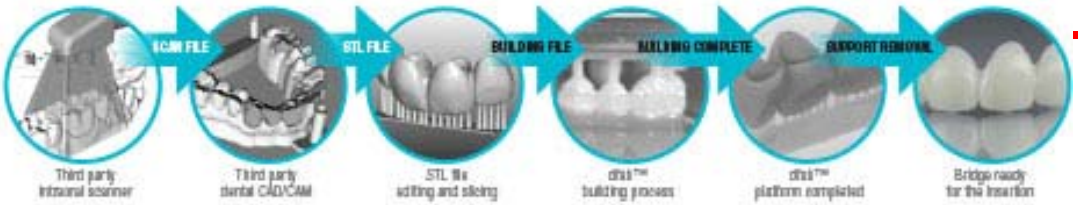
# 歯科応用例

© Tsuneo HAGIWARA

Next Laboratory

DPRS® process

# 新しい人工歯の製作方法




3shape

3shape TRIOS

dfab™

© Tsuneo HAGIWARA



Next Laboratory

# セラミックス造形の今後

- 簡易な造形装置の開発
- 適応例の拡大
  - セラミック材料
- 焼成条件の適正化
- 用途の拡大
  - 工業製品
  - 宝飾品
  - セラミック歯(ジルコニア)
  - その他



© Tsuneo HAGIWARA

# Thank you !

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


© Tsuneo HAGIWARA