



EFD/CFD融合における3Dプリンタ の可能性

松尾裕一^{*1}、藤野敦志^{*1}、保江かな子^{*2}

JAXA航空本部

^{*1} 数値解析技術研究グループ

^{*2} 風洞技術開発センター

2014年1月30日



1

内容



- 3Dプリンタへの着目
- 3Dプリンタの技術と現状
- 我々の経験
- EFD/CFD融合との連携
- まとめ、今後の課題

プレゼン・Q&Aは、やや早めに終了し、
展示と議論を13:00まで



2

私の3Dプリンタへの(再)着目



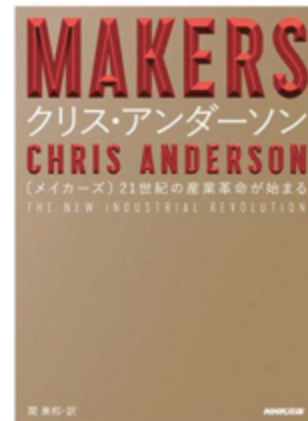
● 「MAKERS-21世紀の産業革命が始まる」、クリス・アンダーソン、2012年

製造業の未来を描いた本。これまでのものづくりは、**莫大な資本によって製造手段を持つことができる大企業と熟練工によって独占されていたのが、オープンソースと3Dプリンターによって、装置を持たない一般の人びとでもものづくりができるようになってきているのだ**、というのが本書の主旨。つまり、誰もが**「メイカーズ」**になれる。

その背景としては、ものづくりがデジタルになったということが挙げられる。個人がデスクトップや工房でデザインし、それがオンラインでシェアされる。オンライン上でシェアされたデザインはコミュニティで共有され、多くの人びとの叡智によって改良が加えられる。特許の保護を受けるよりも、イノベーションをシェアすることで、多くの人びとに手助けしてもらおうことが選ばれるようになる。かつてサン・マイクロシステムズの共同創業者であるビル・ジョイが、「いちばん優秀な奴らはたいていよそにいる」と言ったそうだが、オープンソースによって、企業外の優秀な人びととつながることができるようになる。

そして、そのデザインに基づいて生産してくれる設備は、ネットで探すことができる。製造手段についての知識がなくても、3Dプリンターやレーザーカッターが自動的にやってくれる。しかも、規模がそれほど大きくなくても製造することができる。

従来、製造業に参入するためには、それなりの設備投資が必要だったが、今では、小さな企業にもサプライチェーンが開放されたため、**CADデータさえあれば、世界中のサプライチェーンを利用して、それを形にすることができる**。つまり、一般の人びとが**「ビット」**を作り出し、委託された工場が**「アトム」**を製造するというわけ。



関美和(翻訳)、NHK出版



3

3Dプリンタの歴史



● 技術としては結構古い

- 1980 小玉秀男氏(名古屋市工試)「立体図形作成装置」
- 1987 3Dシステムズ世界初の光造形実用機SLA-1製品化
- 1988 ストラタシス社、熱溶解積層技術(FDM)の特許

● 実は現在は3度目のブーム

- 2000年ブーム ⇒ ITバブル崩壊、Virtual Reality, Rapid Prototyping
- 2008年ブーム ⇒ リーマンショック

● 最近の重要な出来事

- 2006年 オープンソースの3Dプリンタ開発プロジェクト(RepRap)
- 2009年 ストラタシス社の特許失効
- 2012年 MAKERS出版



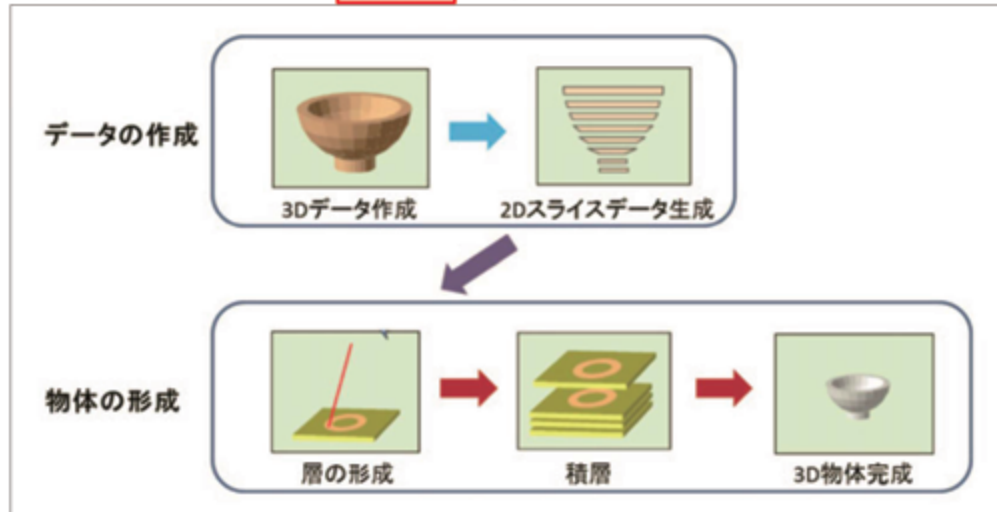
4

3Dプリンタの技術



● 付加製造 (Additive Manufacturing) の原理

図表1 付加製造の代表的な製法 **積層造形法** の概要



出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

蒲生 秀典：デジタルファブリケーションの最近の動向
—3Dプリンタを利用した新しいものづくりの可能性—
科学技術動向、2013年8月号(137号)、19-26



3Dプリンタの技術



● 主な方法

インクジェット

図表2 付加製造の主な方法

Fused Deposition Modeling

名称	光造形	レーザー焼結	FDM (熱溶解積層)
製造方法	液槽光重合	粉末床熔融結合	材料押出堆積
概略図			
原理	液状の光硬化性樹脂を、光重合によって選択的に硬化	粉末材料を熱エネルギーによって選択的に熔融結合	液状の材料をノズルから押し出し堆積と同時に固化
基本特許	1984.8, Hull	1986.10, Deckard	1989.10, Crump
主なメーカー	3D System, CMET	EOS, 3D System, Arcam 他	Stratasys, 3D System 他

出典：参考文献2、4を基に科学技術動向研究センターにて作成

蒲生 秀典：デジタルファブリケーションの最近の動向
—3Dプリンタを利用した新しいものづくりの可能性—
科学技術動向、2013年8月号(137号)、19-26



3Dプリンタの現状



● 応用事例

- 移動体部品
- 医療機器
- 生体模型
- 三次元担体造形
- バイオフアブ
- オンライン3Dプリント (DMM.com)

図表3 付加製造の適用例

機能模型(エンジン) ¹⁰⁾	ラビッドツーリング	戦闘機用エアダクト ¹⁰⁾	航空機部品 ¹¹⁾
フォトニックデバイス	補聴器 ¹²⁾	入れ歯 ¹³⁾	歯科補綴物
義足 ⁴⁾	生体組織培養足場	人工皮膚 ¹⁴⁾	心臓弁用鋳型 ⁴⁾

出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

蒲生 秀典：デジタルファブリケーションの最近の動向
 —3Dプリンタを利用した新しいものづくりの可能性—
 科学技術動向、2013年8月号(137号)、19-26



KINKI UNIVERSITY

<http://kuring.hiro.kindai.ac.jp/>

先進活用事例1

金属3Dプリンタ先進活用事例
 近畿大学 京極先生の資料より

■ 航空宇宙関連

- GE Aviation



GE Aviation expects to chop off about 25 percent of the total 3D printing time of metallic production components for its LEAP (Leading Edge Aviation Propulsion) Turbofan engine, using in-process inspection. (Source: GE Aviation)



- 航空機部品

Airbus A380エンジンカバー用ドアヒンジ

軽量化の例



3Dプリンタの現状



- NASA: 3Dプリンターで製作した**ロケットエンジンインジェクター**の燃焼試験に成功
<http://www.businessnewsline.com/biztech/201307161214000000.html>

NASAは7月11日、3Dプリンターで製作したRocket Engine Injectorを使った燃焼試験に成功したことを発表した。

NASA and Aerojet Rocketdyne recently finished testing a rocket engine injector made through additive manufacturing, or 3-D printing. This space technology demonstration may lead to more efficient manufacturing of rocket engines, saving American companies time and money. The tests were conducted at NASA's Glenn Research Center in Cleveland.
<http://www.nasa.gov/content/nasa-industry-test-3d-printed-rocket-engine-injector/>

このインジェクターは、高出力レーザーを使って金属の粉末を溶かしながら部品を整形するという Selective Laser Melting Manufacturing Technology という方式を用いて作られたもので、こうした3Dプリンターを使って部品を製造することにより、**コストは70%削減**となり、また、**納期はこれまで1年かかったものが4ヶ月未満で完了**するようになるだろうとしている。

3Dプリンターは量産品を製造するには向かない。しかし、ロケットエンジンは大量生産するという性格のものではないため、ある意味、**3Dプリンターの応用分野としては最適**な分野なのかもしれない

もっとも、Direct metal laser sintering方式の3Dプリンターは、数十万ドルもするもので専門業者であっても容易には導入することはできないのが難点なのだが。

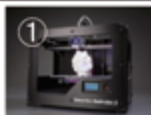


3Dプリンタの現状

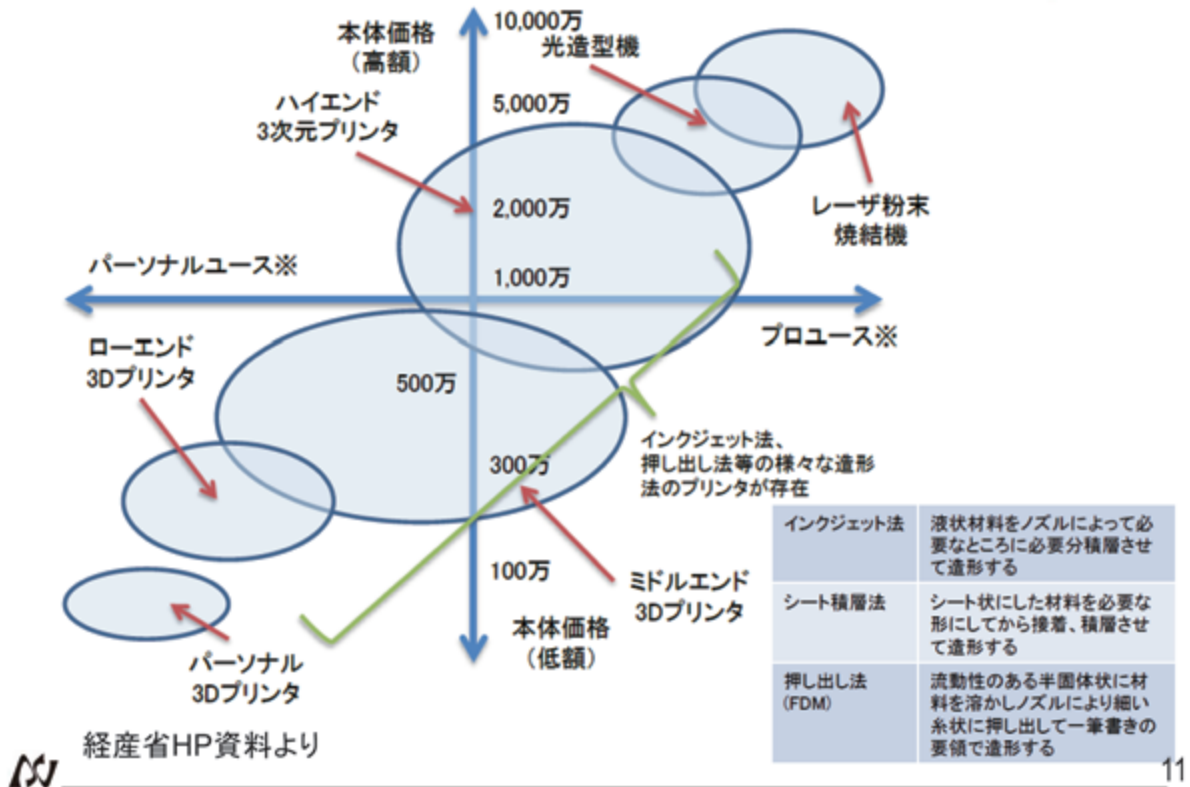


- 低価格、小型製品の出現 ⇒ 個人用、家庭用

メーカー	商品名	価格	造形方式	解像度	プリント面積
Makerbot社	replicator2X_①	2,799ドル	熱溶解積層法	0.1mm	25 × 15 × 15cm
Genkei	atom 3Dプリンタ	12万9800円	熱溶解積層法	0.025mm	13.5 × 14 × 14cm
Np-Mendel社	Np-Mendel	15万9,000円	熱溶解積層法	0.1mm	18 × 18 × 16cm
オープンキューブ	SCOOVO	18万9000円	熱溶解積層法	0.1mm	17.5 × 15 × 15cm
Solidoodle社	Solidoodle 3	799ドル	熱溶解積層法	0.35mm	20 × 20 × 20cm
Afinia社	Afinia H-Series_②	1,599ドル	熱溶解積層法	0.15mm	13.9 × 13.9 × 13.5cm
3Dシステムズ社	Cube_③	16万円	熱溶解積層法	0.2mm	14 × 14 × 14cm
3Dシステムズ社	CubeX	41万7900円	熱溶解積層法	0.1mm	27.5 × 26.5 × 24cm
MakerGear社	MakerGear M2	1,730ドル	熱溶解積層法	0.02mm	20.3 × 25 × 20.3cm
Printbot社	Printbot LC_④	627ドル	熱溶解積層法	不明	15.24 × 15.24 × 15.24cm
Type A Machines	Type A Machines_⑤	1,400ドル	熱溶解積層法	0.05mm	22.9 × 22.9 × 22.9cm
Hotproceed	Blade-1	13万円	熱溶解積層法	0.2mm	10 × 10 × 10cm
B9creator	B9creator	50万円	光学造形方式	0.05mm	10,2 × 7,6 × 20,3cm
formlabs社	Form1_⑥	3,299ドル	光学造形方式	0.025mm	12,5 × 12,5 × 16,5cm



3Dプリンタの現状



11

ブームの背景



- 3Dプリンタ自体
 - 基本特許の時効
 - 低価格化、素材の進歩
- 周辺・その他
 - 3D-CAD化の進展、無料3D-CAD
 - 3Dスキャナ、3Dデータ ⇒ データ連携

我々の経験



● 初め(2年前)は広報用のグッズ作成用としてレンタル

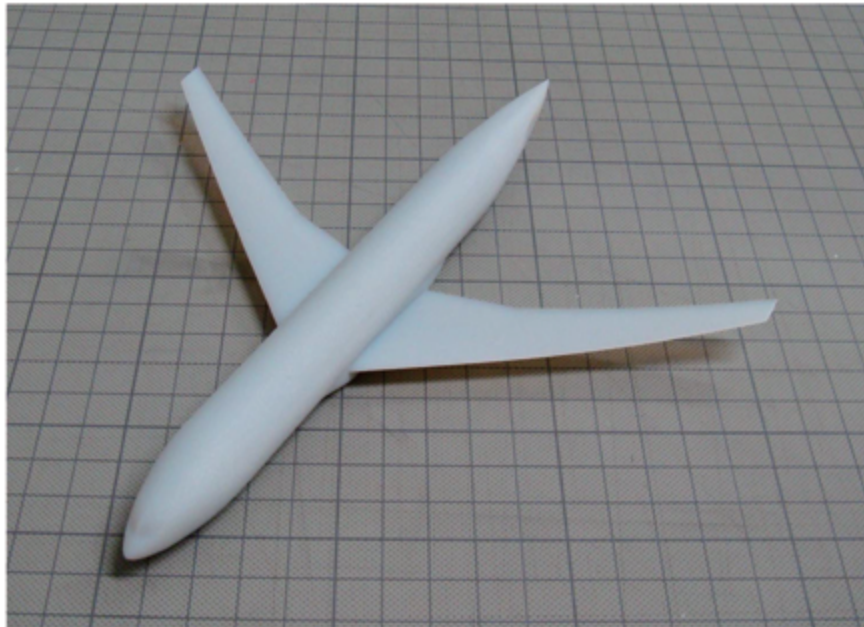
- 意外に安い(たまたま安くレンタルできた)
- 製品の高い工作精度、高い靱性に驚愕
 - 16 μ m、透けていても折れない
- CAD(STL)データがあれば何でもできる
 - ⇒シミュレーションとの連携に使えないか
- 3D可視化より「モノ」がよくわかる
 - ⇒手に持って実感できる(可触化)
 - ⇒説明用に使える(コミュニケーションツール)



サポート材



航空機NASA-CRM



15

16

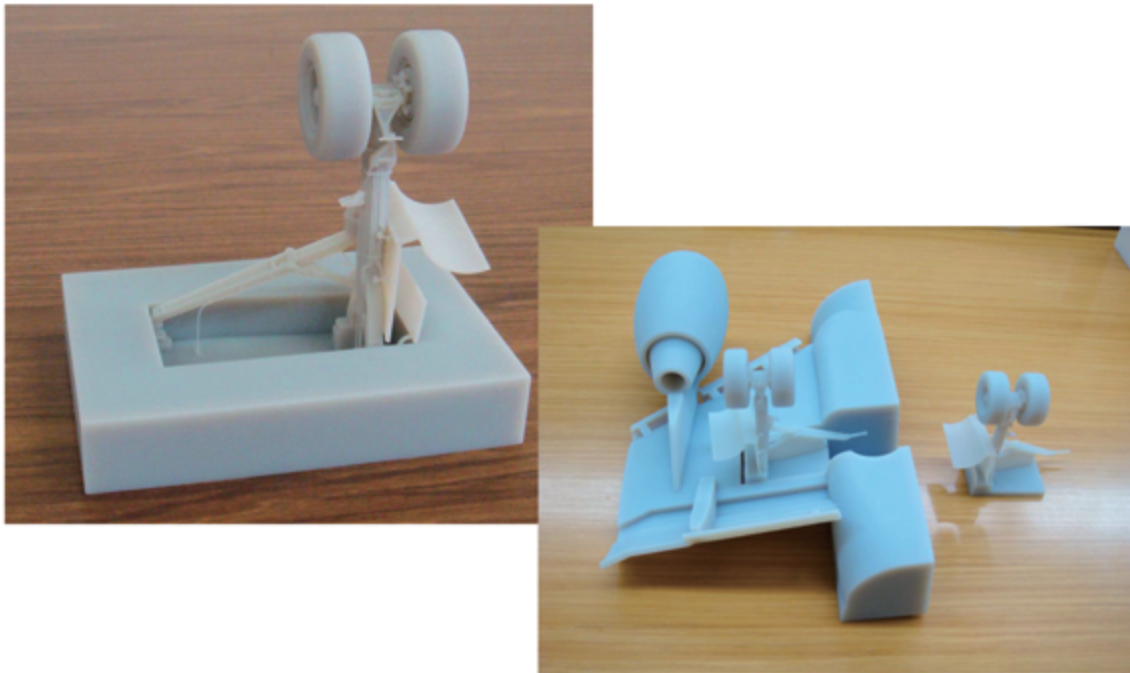
飛鳥



17

17

ランディングギア



AS

18

高揚力装置



AS

19

ロケットエンジン



W

20

我々の経験(2)

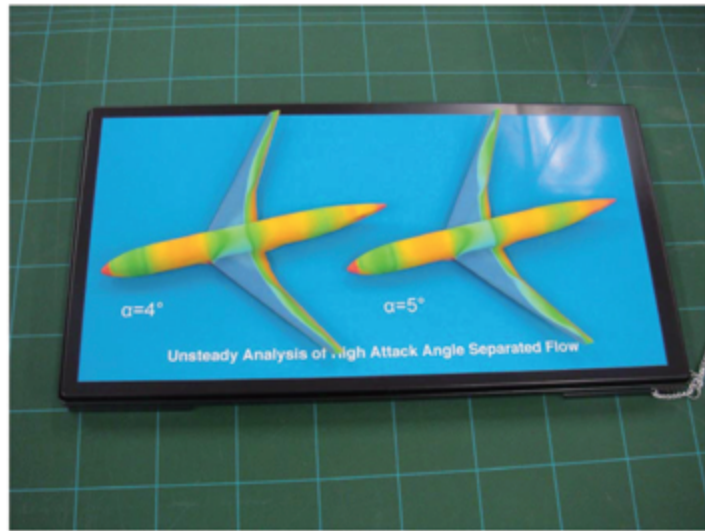
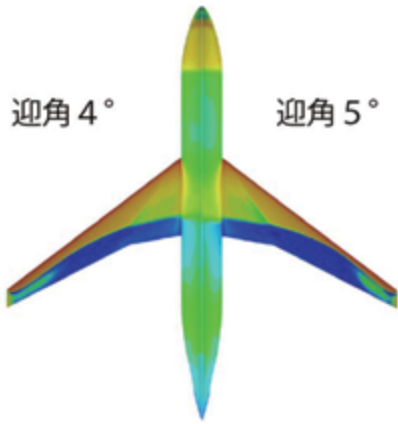


- 我々の課題
 - 解析(シミュレーション)結果のわかりやすい表示
 - ・ データ量の増大(ケースあたりの増大、ケース数の増大)
 - ・ 一方、人間の理解力は同じ
 - cf. 3D表示、ボリューム表示、自己組織化マップ(SOM)
 - 理解する・解釈する表示、人に見せる・説明する表示
 - ・ ディスプレイ型の限界
- 3Dプリンティングとの連携を模索
 - そうこうしているうちに色のつけられる機器が登場
 - 計算結果で色づけしたらどうなる?
 - 流れの空間構造の表現にも使えるか?

W

21

航空機NASA-CRM



W

22

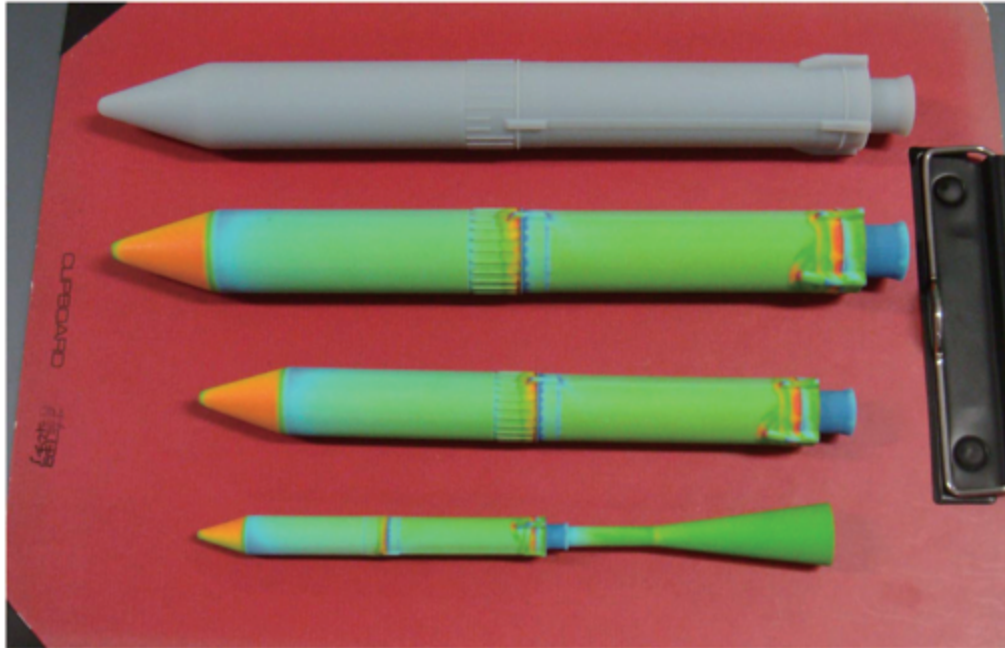
飛鳥



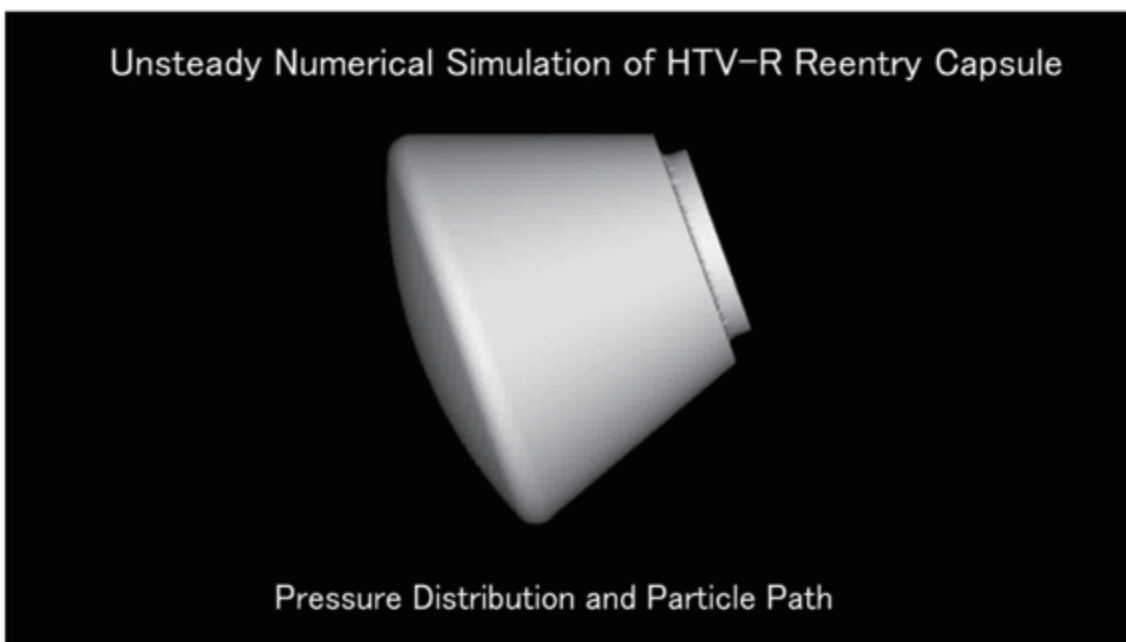
W

23

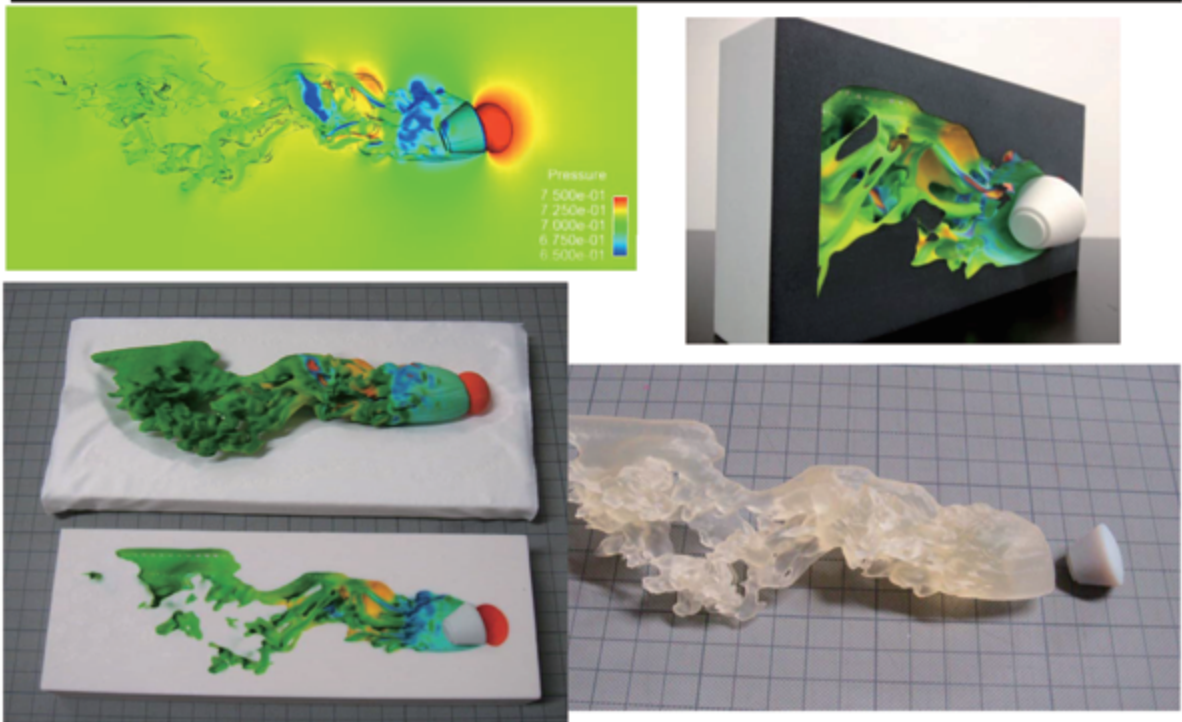
イプシロンロケット



HRV (HTV-R Return Vehicle)



HRV



読売新聞 2013.12.21夕刊



2013年12月21日 夕刊

形読み取り 樹脂で再現

立体を作る 3Dプリンター

立体の作り方

1 コンピューターで形を読み取る

2 樹脂で立体を作る

3 コンピューターで立体を読み取る

パソコンにデータ 手元に実物は不要

3Dプリンターは、デジタルデータから立体物を作成する技術。従来の製造方法では、型を準備し、材料を流し込んで作る必要があった。しかし、3Dプリンターを使えば、デジタルデータから直接立体物を作成できる。これは、製造業だけでなく、医療、建築、教育など幅広い分野で活用されている。

3Dプリンターは、デジタルデータから立体物を作成する技術。従来の製造方法では、型を準備し、材料を流し込んで作る必要があった。しかし、3Dプリンターを使えば、デジタルデータから直接立体物を作成できる。これは、製造業だけでなく、医療、建築、教育など幅広い分野で活用されている。



形読み取り 樹脂で再現

立体を作る 3Dプリンター

立体の作り方

①センサーで形を読み取る

②データで形を作る

③樹脂の硬化

特徴

- 立体を作る(複製)が早い
- 作る量が多い
- 次々の変更や細かい修正が簡単にできる
- 多くの種類の物をつくれるのに対応している

樹脂物の命題で作ると...

- 直線の角は丸くなる
- 角の部分が壊れやすい
- 細い部分の複製が難しい

樹脂への応用

- 3Dプリンターで造った人工の骨格
- 3Dプリンターで造った人工の歯

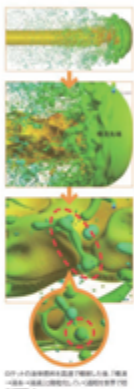
コンピュータの造形データを模型に...

- コンピュータから読み取った造形データを3Dプリンターで複製する
- コンピュータから読み取った造形データを3Dプリンターで複製する

パソコンにデータ 手元に実物は不要

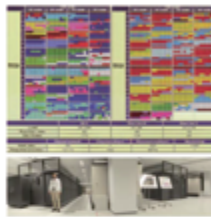
3Dプリンターは、コンピュータでデータを読み取り、樹脂を硬化させて立体を再現する。手元に実物は不要で、データだけで複製が可能。

JAXA's 053号 2013年12月



3Dプリンターは、コンピュータでデータを読み取り、樹脂を硬化させて立体を再現する。手元に実物は不要で、データだけで複製が可能。

3Dプリンターは、コンピュータでデータを読み取り、樹脂を硬化させて立体を再現する。手元に実物は不要で、データだけで複製が可能。



上記の図に示すように、3Dプリンターは、コンピュータでデータを読み取り、樹脂を硬化させて立体を再現する。手元に実物は不要で、データだけで複製が可能。

3Dプリンターは、コンピュータでデータを読み取り、樹脂を硬化させて立体を再現する。手元に実物は不要で、データだけで複製が可能。

3Dプリンターは、コンピュータでデータを読み取り、樹脂を硬化させて立体を再現する。手元に実物は不要で、データだけで複製が可能。

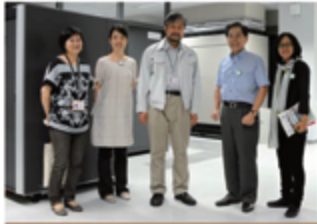


で挑む スパコン解析 フロンティア

ロケット・航空機の開発から航空支援まで

記事名: スパコン解析で挑む フロンティア

著者: 船橋 一



松尾グループ長が見せてくれた、ロケット本体やエンジン周囲を色で塗り分けたイブシロンロケット、航空機、大気圏に再突入するカプセルの樹脂模型。これらは、スパコンで解析したデータをもとに3Dプリンタで作成した。「三次元のモデルを作ることで計算結果を実感をもって理解できます」

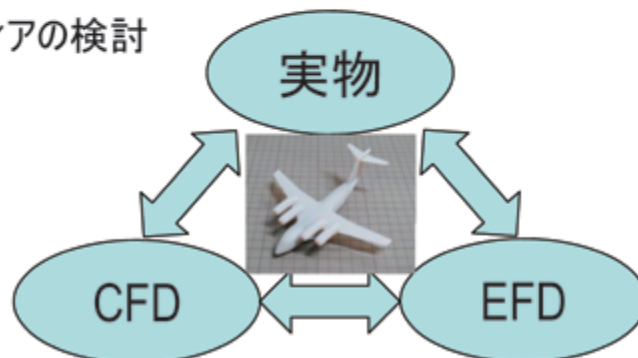


EFD/CFD融合との連携

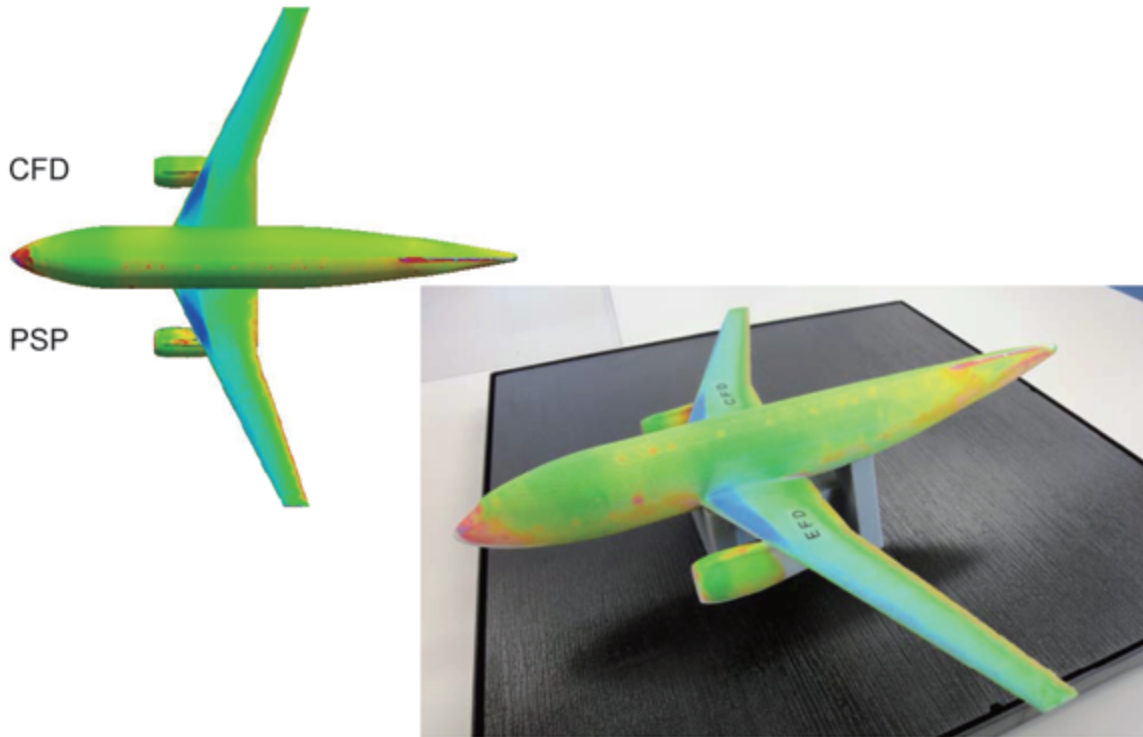


- PSP (Pressure Sensitive Paint) 試験結果の可視化
 - VRMLデータ (Paraview) を取得⇒専用ソフトで修正 (業者)

- その他の利用可能性
 - 情報共有・情報交換の仲介 = コミュニケーションツール
 - 風洞試験模型の事前確認
 - コンセプト・アイデアの検討
 - EFD/CFD⇒実物



PSP可視化 -航空機DLR-F6-



32

印刷風景 印刷工房の様子



Project 660Pro

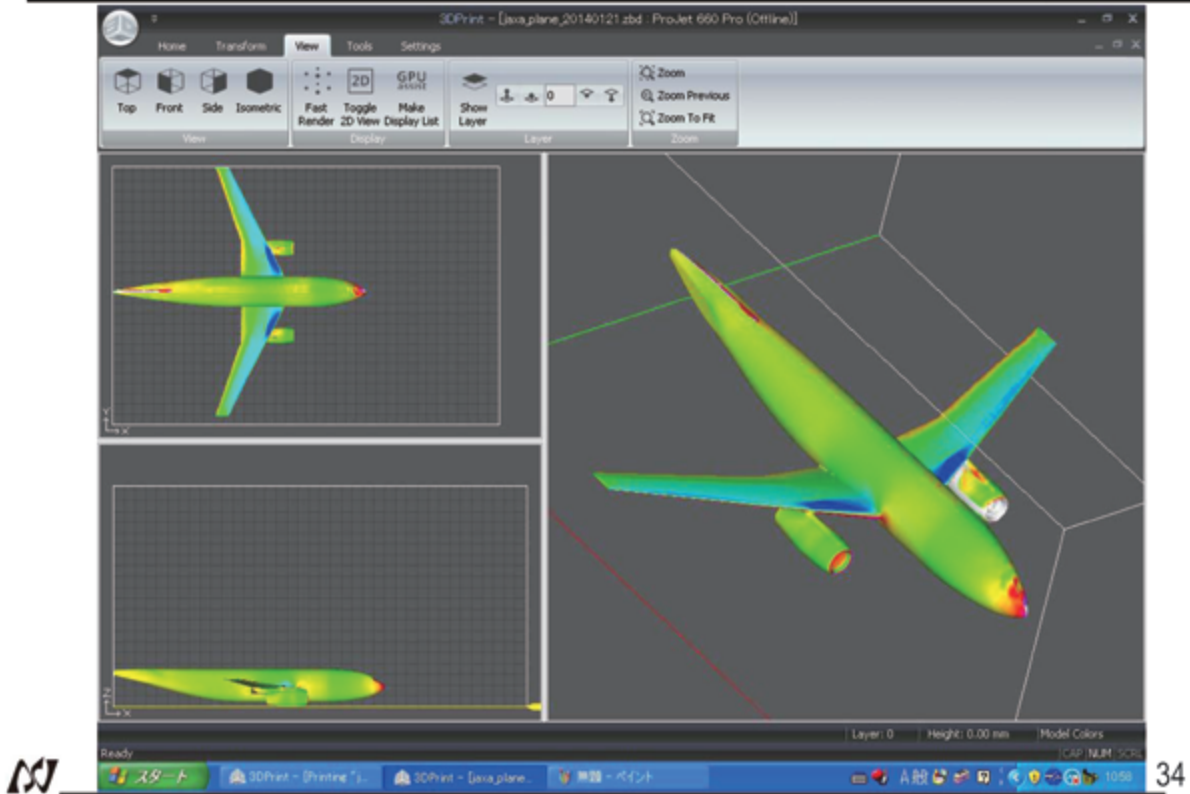
- フルカラー3D印刷
- 早いプリント速度



33

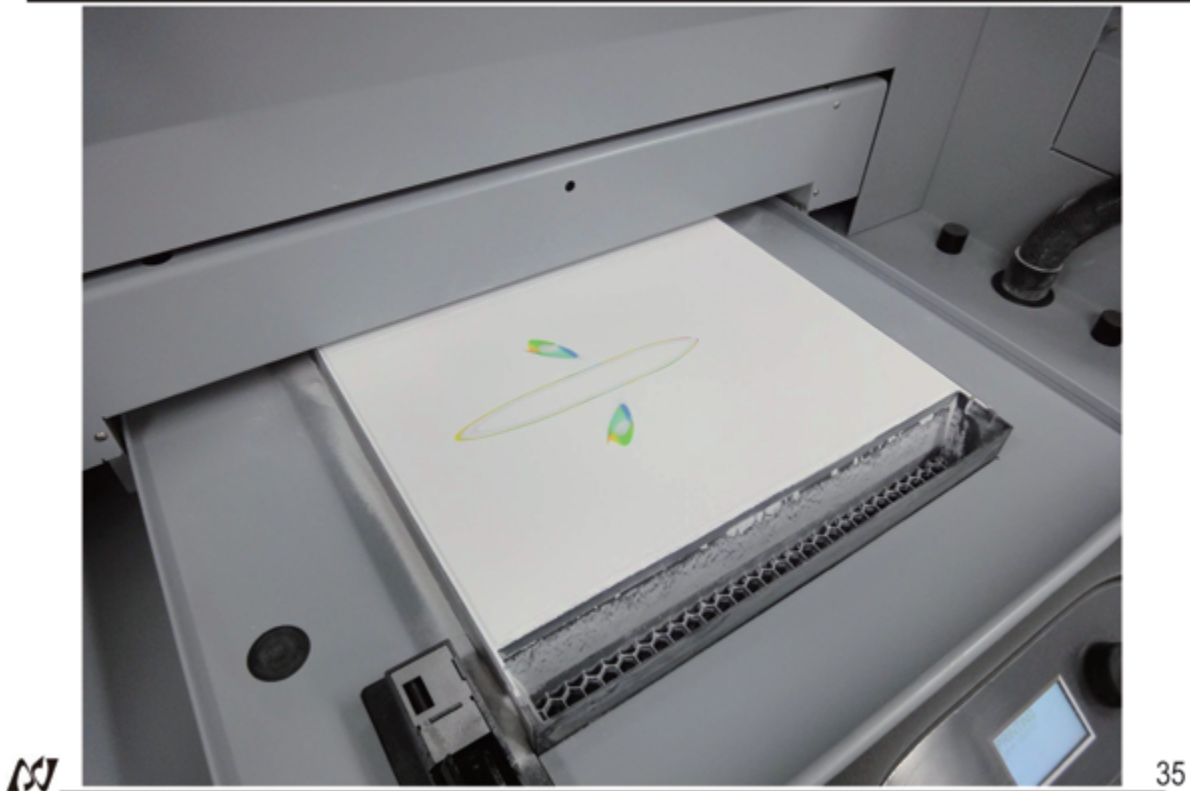
印刷風景

①専用のソフトで印刷位置等を設定



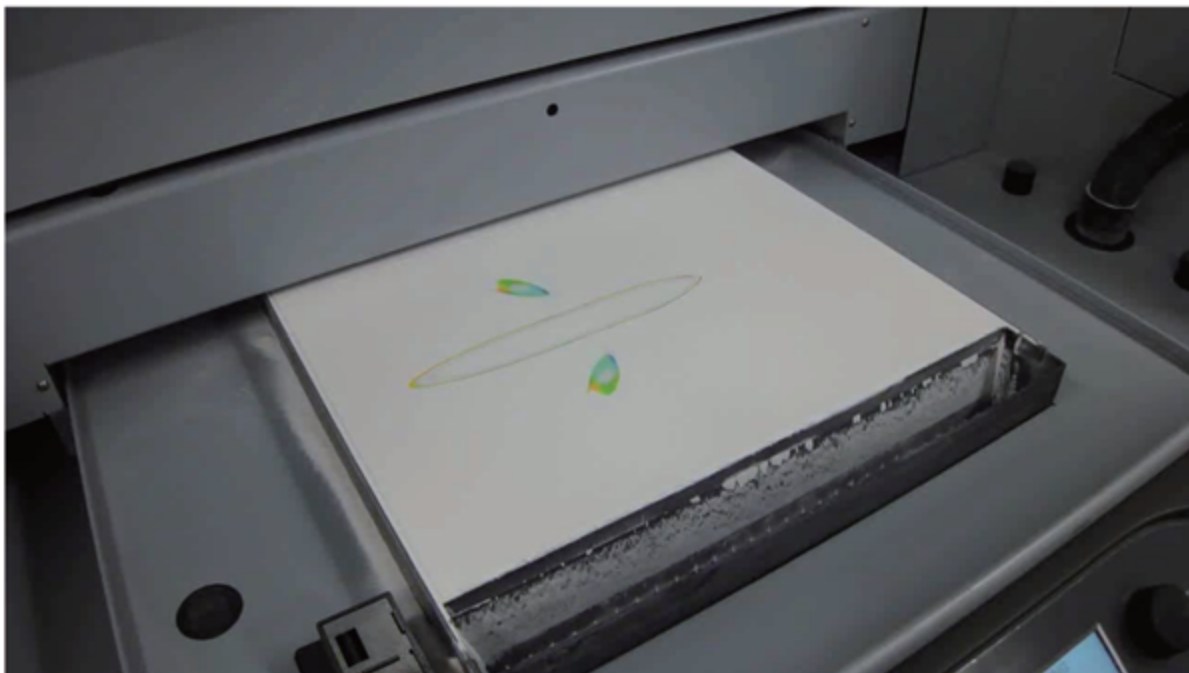
印刷風景

②石灰粉→接着剤・カラーインク



印刷風景

②石灰粉→接着剤・カラーインク



印刷風景

③印刷された模型を取り出す



印刷風景

③印刷された模型を取り出す



W

38

印刷風景

④ブロワーで表面についた粉を吹き飛ばす



W

39

印刷風景

④ブロワーで表面についた粉を吹き飛ばす



40

印刷風景

⑤瞬間接着剤を表面にかける



41

印刷風景

⑥溶かしたロウの中につけて仕上げる

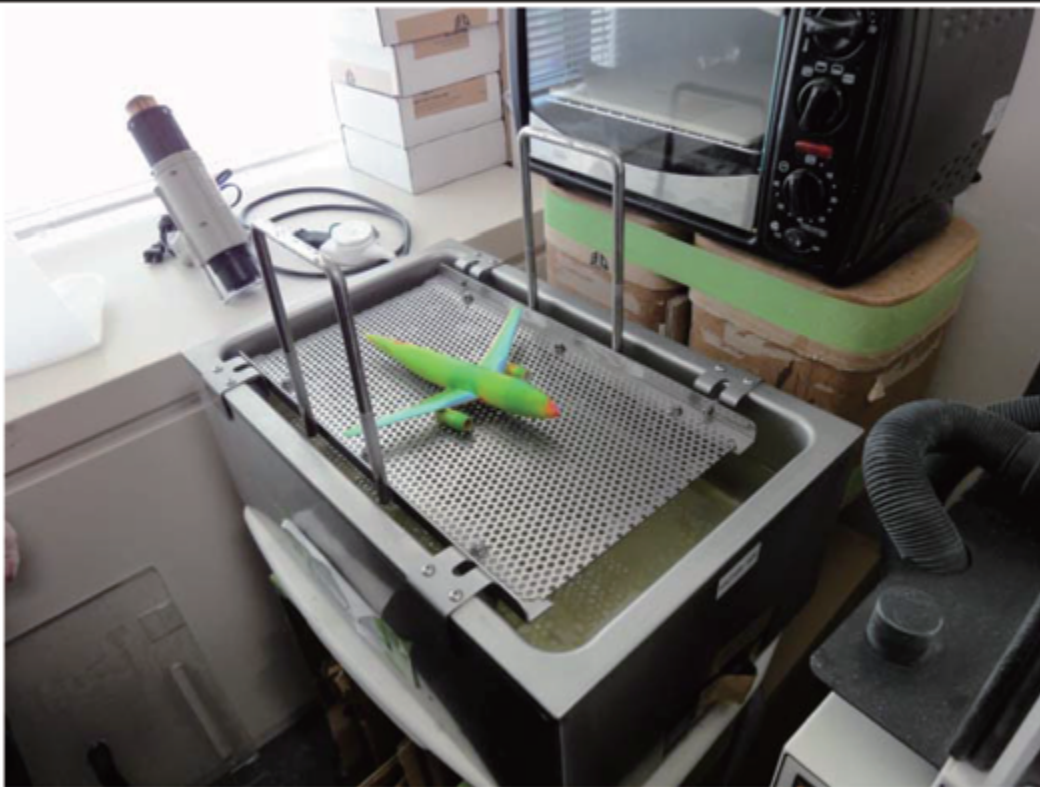


W

42

印刷風景

⑦できあがり



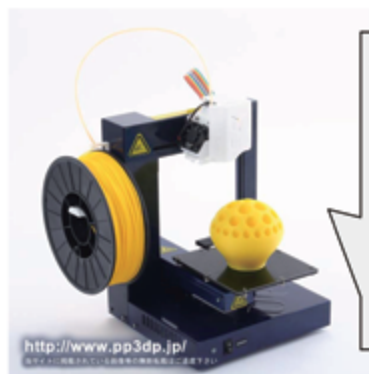
W

43

まとめ、今後の課題



- 3Dプリンタの概要・現状とEFD/CFD融合への我々の取り組みについて紹介
- 今後、課題
 - 単なる「もの珍しさ」「思い付き」以上のレベルに進めるか
 - しかし、試行錯誤も重要⇒思わぬ発見・利用法
 - 技術的には、データ連携の容易化、空間構造・非定常の表現
- 展示・デモ



UP!Plus2 3Dプリンタ

1. 定価20万円を切る、ABS樹脂を溶かしながら積層していく3Dプリンタ
2. 積層ピッチは0.15mm
3. 積層時間は他の3Dプリンタと遜色なし
4. 材料単価が1/4から1/10(色々な方式との比較)
5. ヘッドを260度に加熱して材料を溶かしながら積層するので、室温が低いと上手く積層できない
6. 本体単価、材料単価を考えると非常に優れた3Dプリンタである

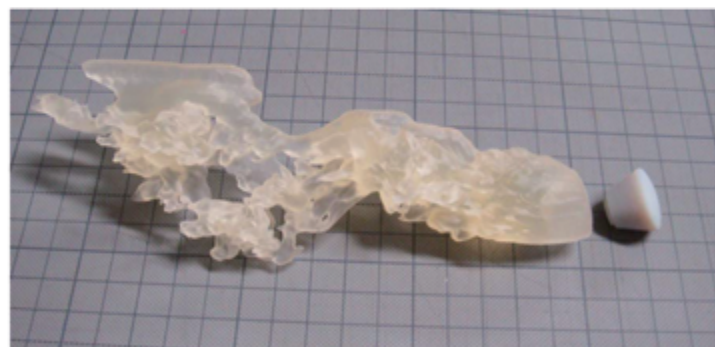


44

参考) 単色3Dプリンタ



- 色情報のないCADデータを出力可能
 - レジンなどの素材のプリンタに出力
 - 素材の色が出力した模型の色となる(透明素材なども)
 - STLデータ(表面格子などにも用いられている)
 - その他のCADデータも出力可能(STLにコンバート)



45

STLデータの問題



- 立体として閉じていない形状はプリント不可
 - 厚みのないパネルはプリント出来ない
 - 穴のあいている立体はプリント出来ない

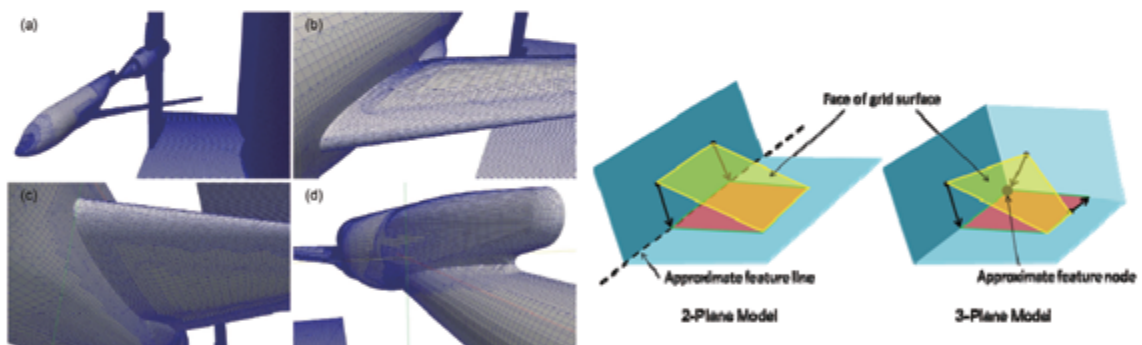


46

STLデータの問題



- 同一平面上に4点のない四角形はプリント不可
 - 機体表面格子の翼の根元付近に存在
 - 3Dプリンタが積層する時に、平面を認識出来ない



47

解決法



- 閉じた形状を作る
 - 半身の場合には切断面を閉じるか、反対側のコピーを作り閉じた形状とする



- 三角形分割に変更
 - CADソフトにより、四角形から三角形に分割を変更
- 強力なソフトによる修正



48

参考) カラー3Dプリンタ



- 色情報のあるCADデータを出力可能
 - 石膏パウダーによる造形
 - 固定させる接着剤に色がついている
 - データはVRMLを使用(ネットでの3次元可視化データ)

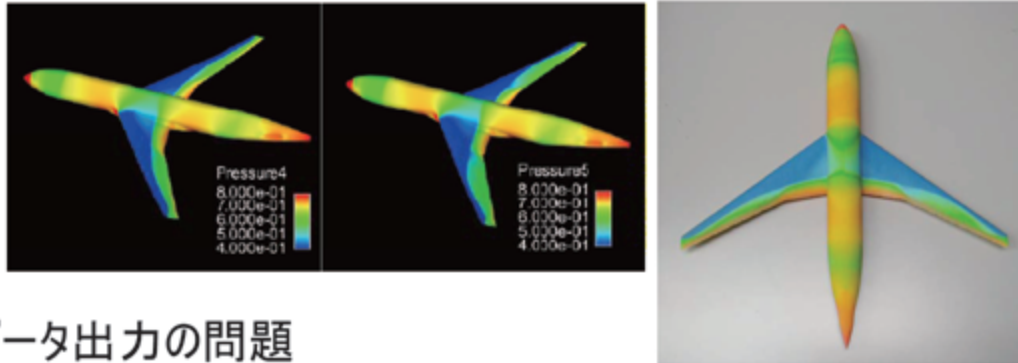


49

VRMLデータの問題



- 立体の問題はSTLデータと同様に存在
- 色ずれ問題
 - シミュレーション結果と出力した色の違いの問題



- データ出力の問題
 - VRMLデータ出力可 Paraview, Ensight
 - VRMLデータ出力不可 Fieldview