

三次元映像のフォーラム:第109回研究会  
『航空・宇宙を考え、観て、体感するS3Dの世界』



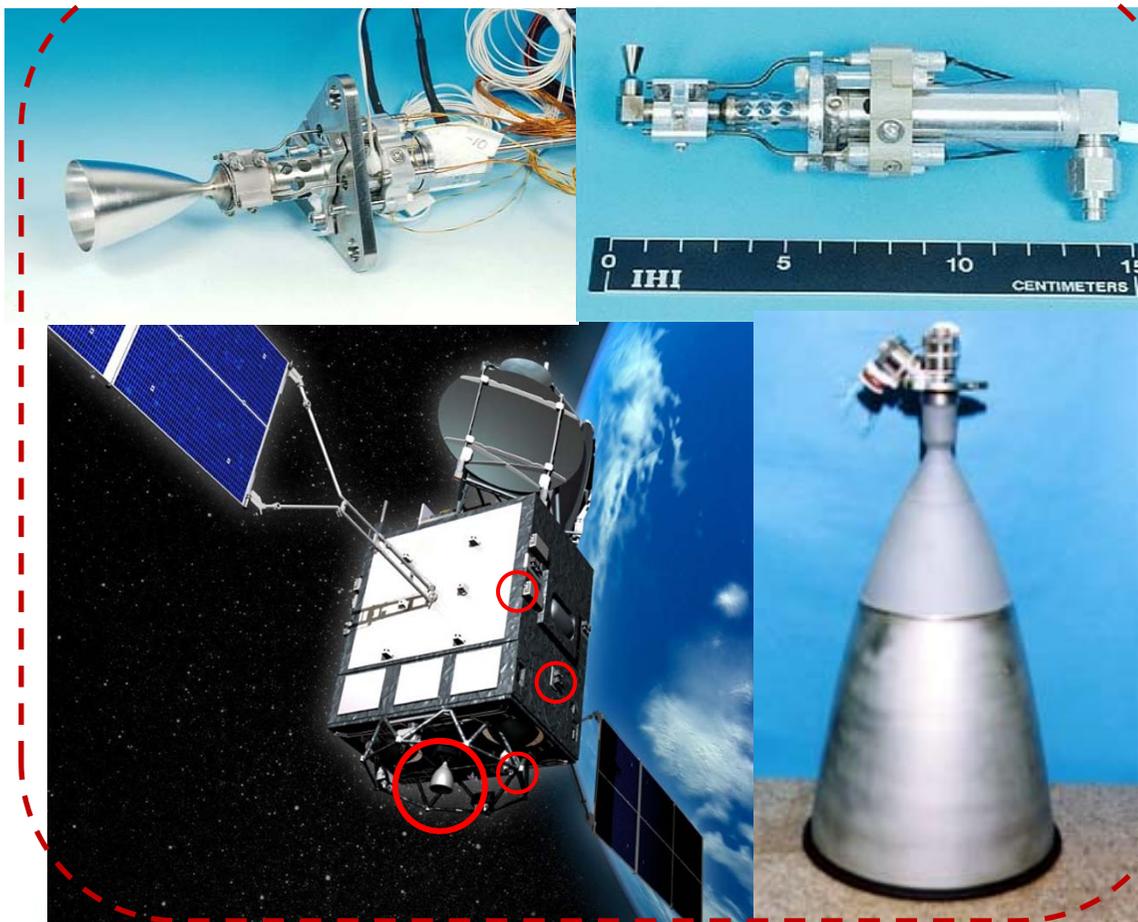
# 衛星の手足”推進系”での 3D技術の利用について

研究開発本部  
推進系グループ  
香河英史 (JAXA)



# 人工衛星の手足“推進系”

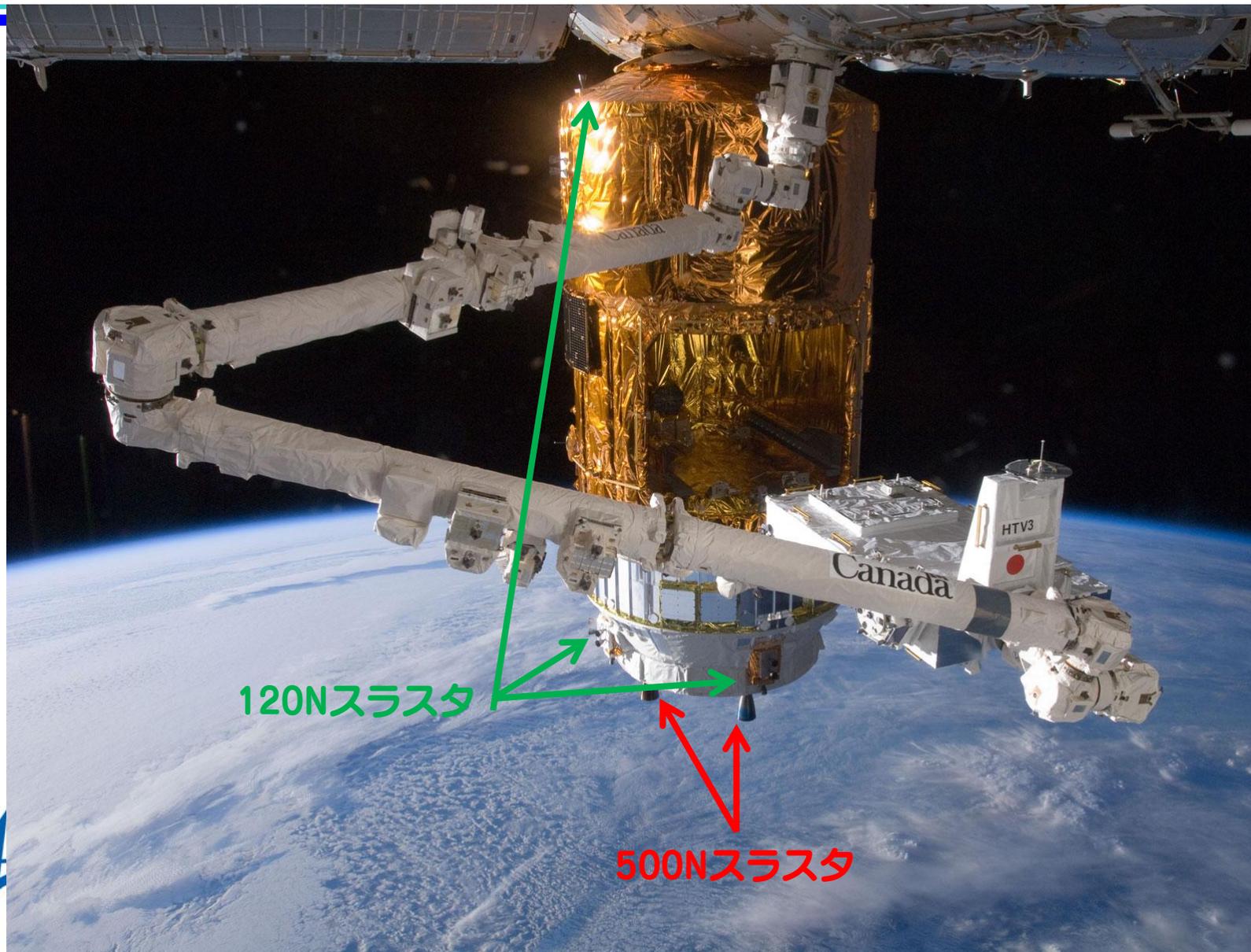
## 技術開発衛星向け



## 科学衛星向け

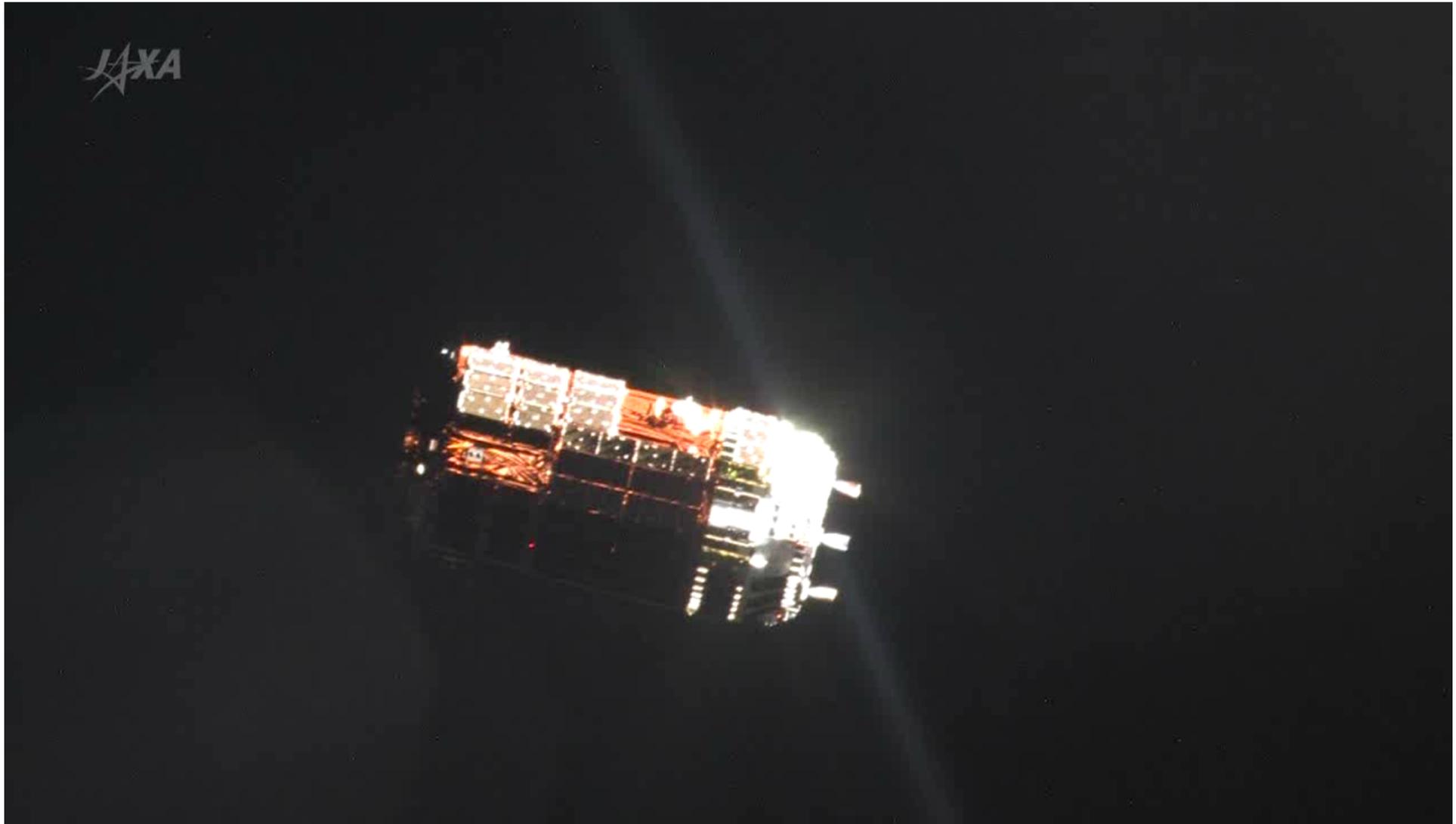


# 国際宇宙ステーション補給機



# 宇宙での“推進系”の動作状況

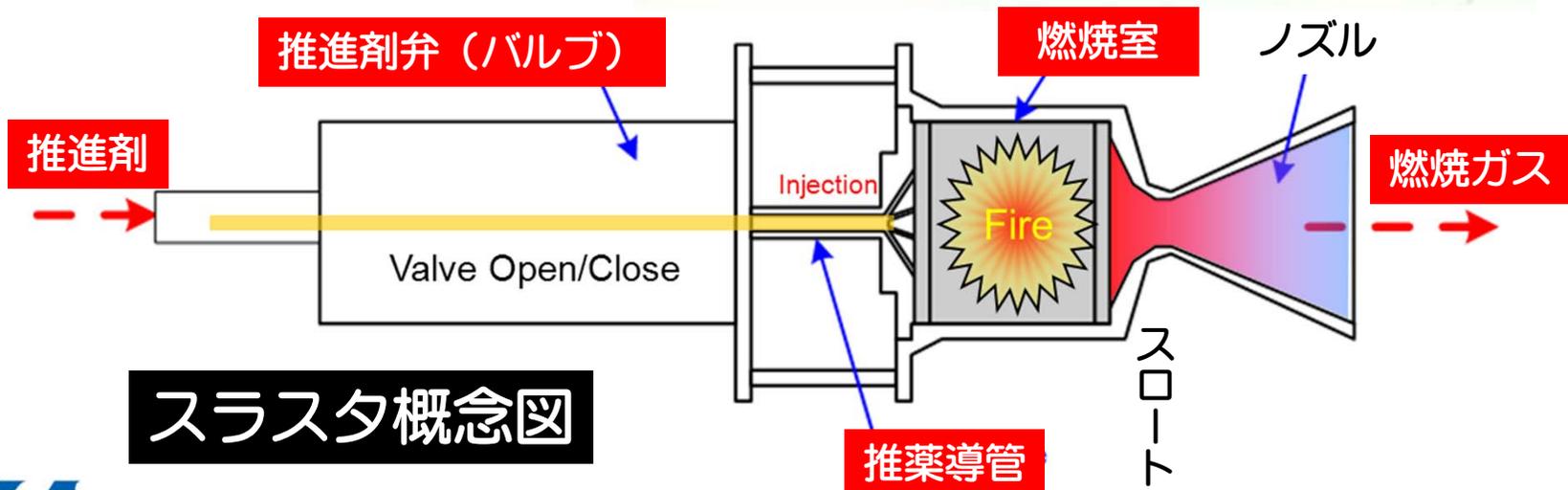
---



# 推進系のスラスタのしくみ

- 液体推進剤を燃焼室に噴射
- 燃焼室内で燃焼させて大量の高温ガスを作る
- 作った高温ガスをノズルから熱を速度に変換して排出
- 排出したガスの運動量の反力でスラスト（推力）を得る

スラスタ外観



# 推進系と3D技術

- 3D技術として利用しているもの

- 3D CAD/CAM

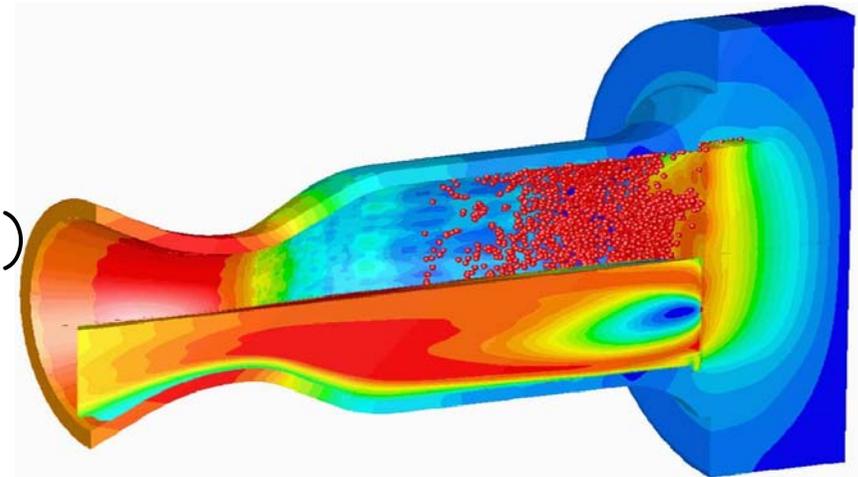
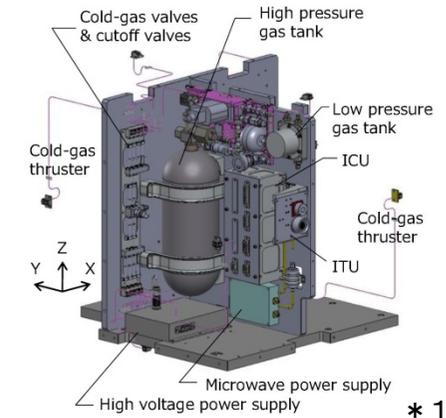
- まあ、当たり前 今回は省略

- 3D 流体解析

- CFDはなくてはならないツール 今回は省略

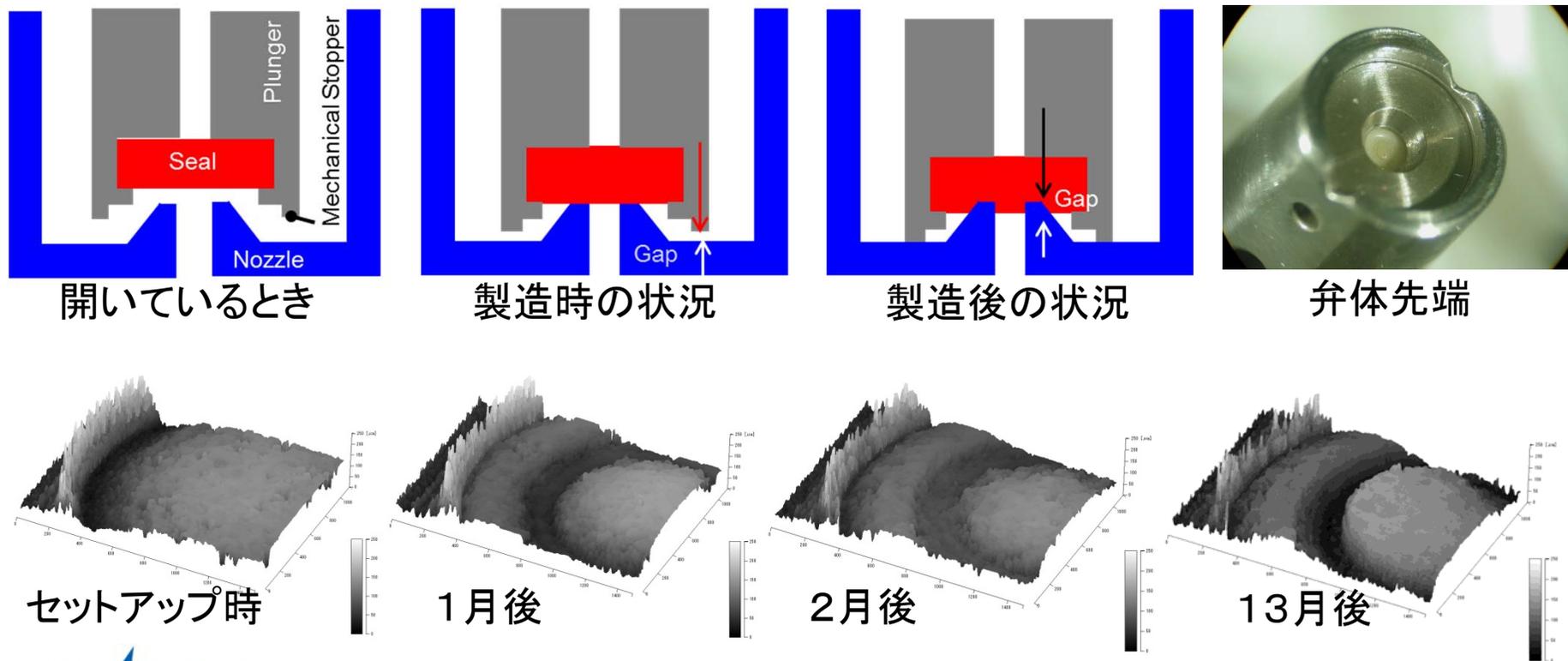
- 3D イメージング

- 形状計測・把握
- CTスキャン(X線、中性子)



# 3Dイメージングの活用

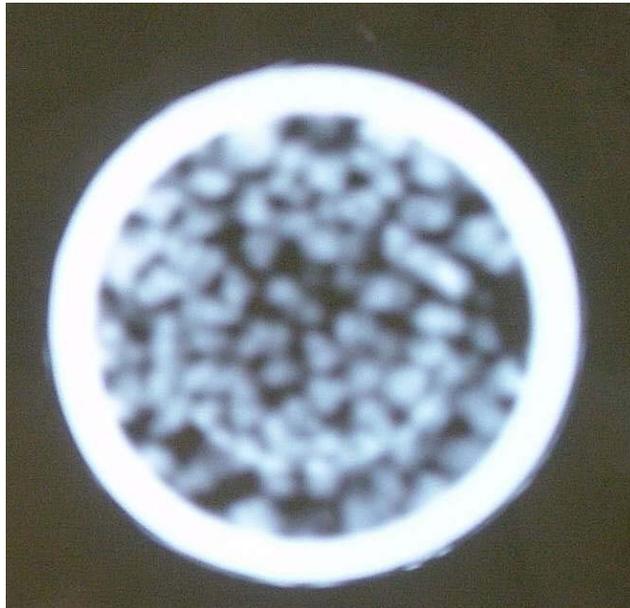
- 電磁バルブのシール形状の計測例
  - 製造後どのように痛んでいくのかを評価



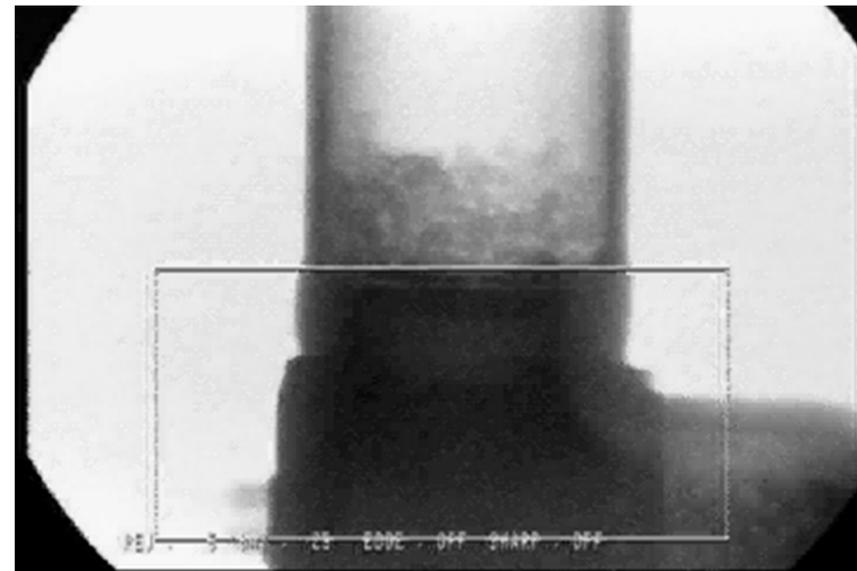
# X線CTの活用

- 触媒式スラストの触媒粒の劣化状況の把握
  - X線透過光では把握しづらいのをCT処理で立体的に把握。
  - 分解せずに粒の分布や個数まで把握できる。
  - ゴミや傷の有無などの探査まで活用中。
  - コストに課題。

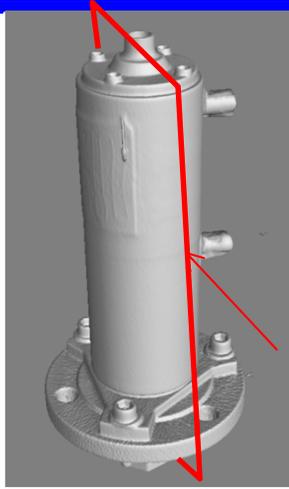
CT画像の例



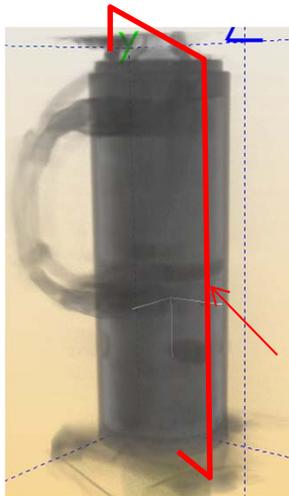
CT画像用透過画像の例



# 中性子線CTの活用

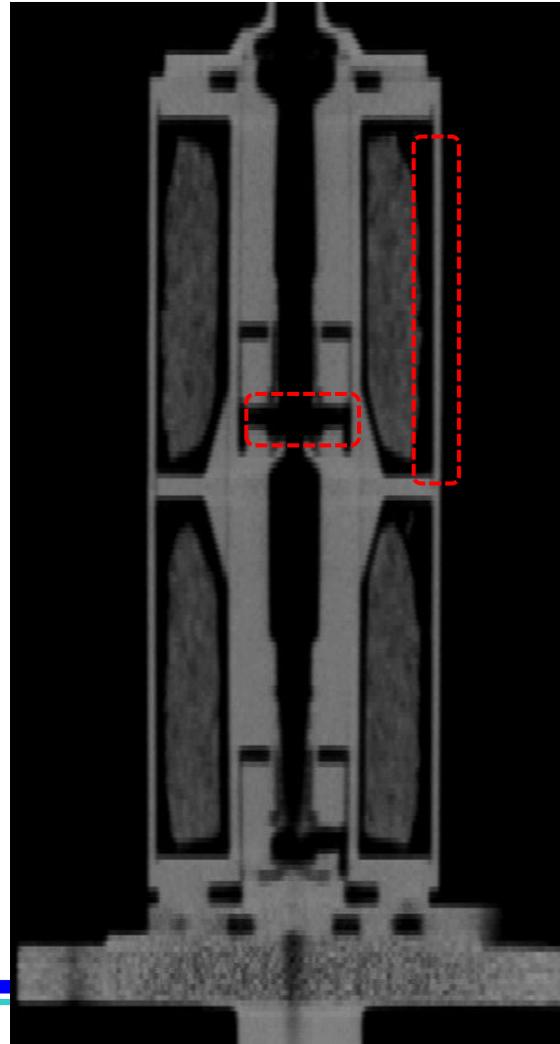


断面  
位置

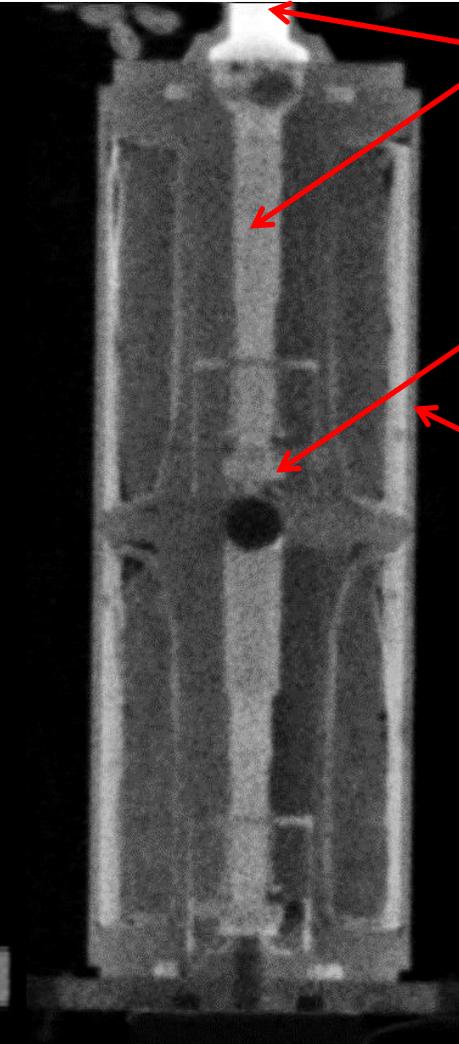


断面  
位置

X線



中性子線



液体入り

シール

X線では撮  
像できてい  
ない箇所

撮影:JRR3、  
松林さん  
X線とCT処理  
理研見原さん



# X線で見えない部品の観察

- テフロンシールなど中性子でも見えない高分子材の可視化を試行
- 流体を観察出来る点を利用。

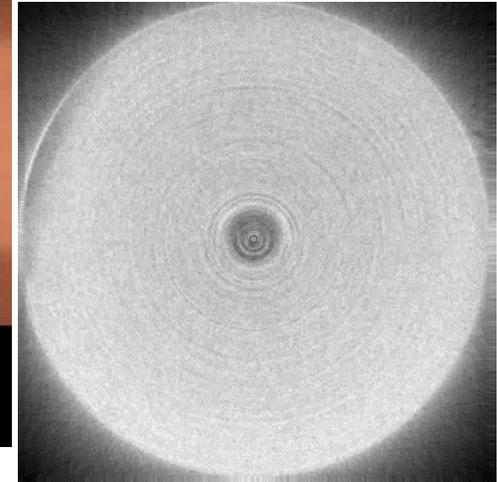


流体を注入



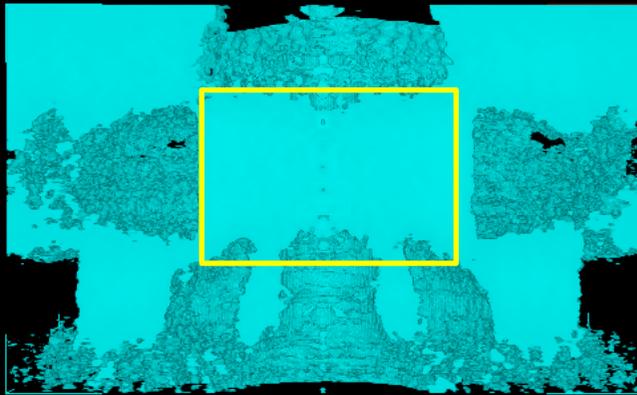
流体を排出

東京都市大学  
M2畑さん解析  
流体形状を抽出

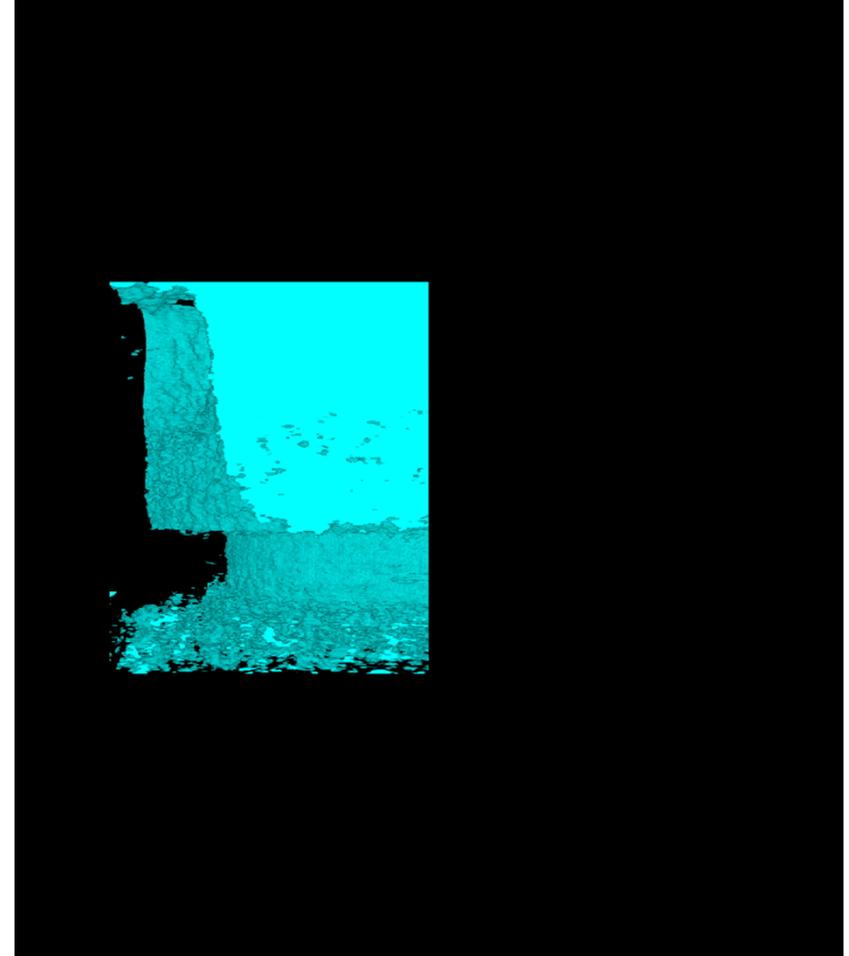


# 中性子CT画像解析結果

- 2つの画像から差分をとり、変化のあった部分=注入した流体画像を抽出
- 抽出した画像にCT処理を実施。



シールの形状を出せそう。  
でも、解像度が不足して  
いて、詳細な観察には  
現状では不十分。

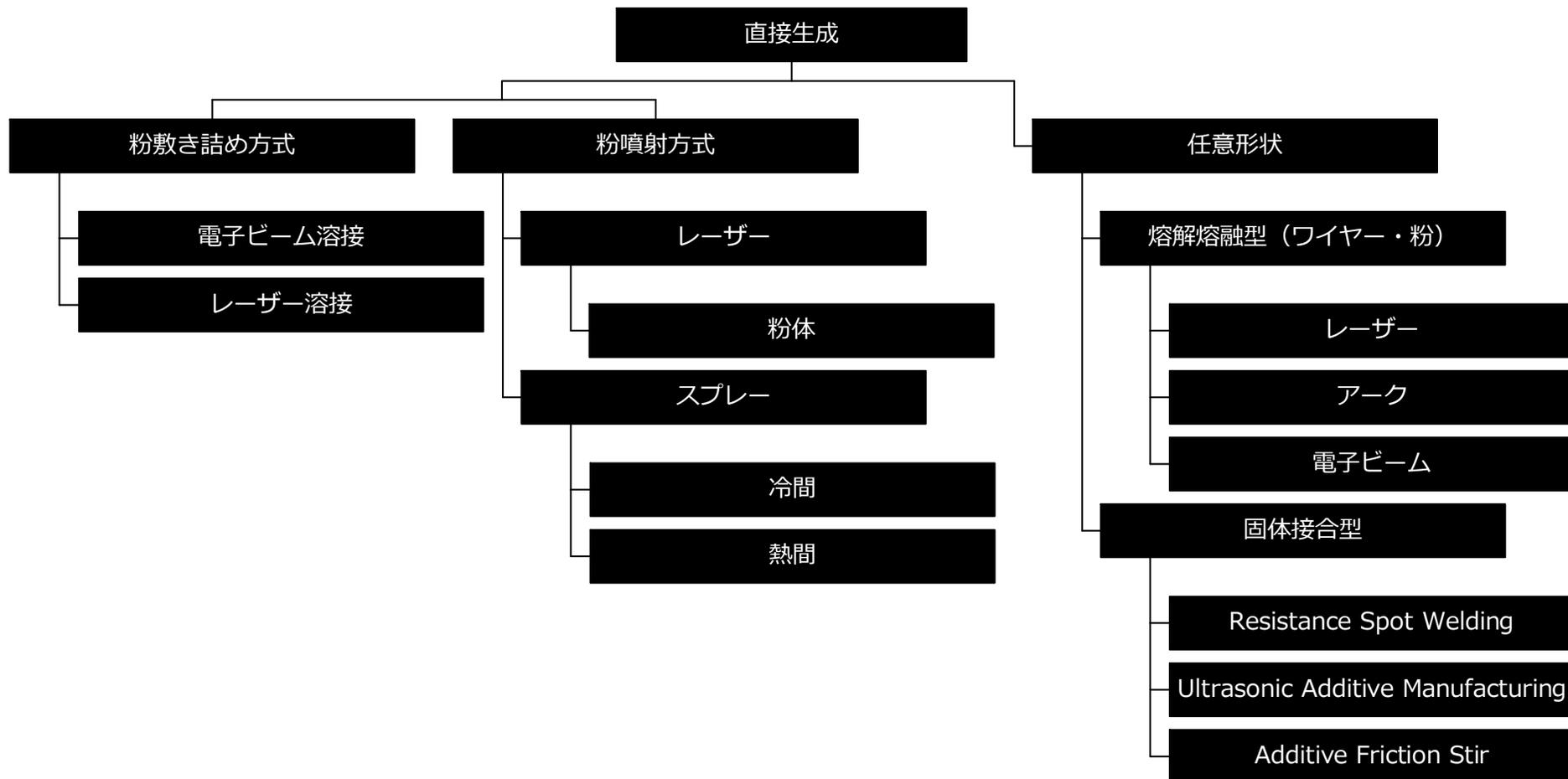


# 3Dプリンタ技術

---

- 3Dプリンタと呼ばれていますが、英語では、Additive Manufacturing (付加製造法)と呼ばれています。
- 3次元CADファイルから直接付加物質(プラスチック樹脂や金属、セラミックなど)を一層一層毎に成長させていく製造法。
- それぞれの層は、前の層にレーザーや電子ビームなどを用いて融合させられていきます。

# 3Dプリンタ技術の体系



3Dプリンタによる鋳物など、直接的でない方法もある

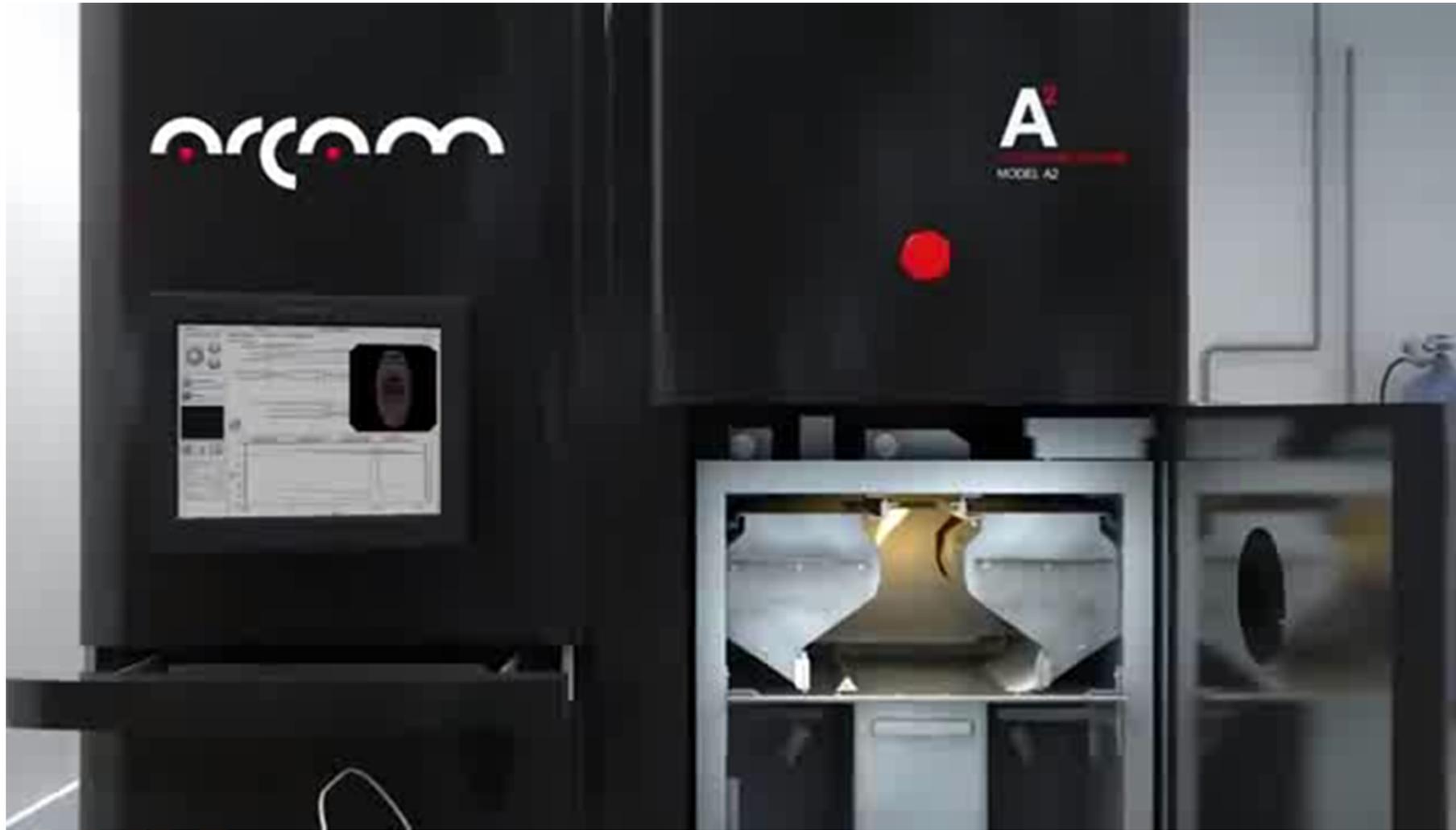
# 電子ビーム積層造形(EBM)法

実際に宇宙機に適合させようとするすると金属での3D成形が有利であり、その中でも、簾や不純物の生成が無いと言われているEBMに注目している。

合金粉末を高速移動する電子ビームにより急速溶融・凝固させる技術。3次元CADデータから複雑形状の部品を短時間で高精度に製造できる。



# EBM紹介の動画



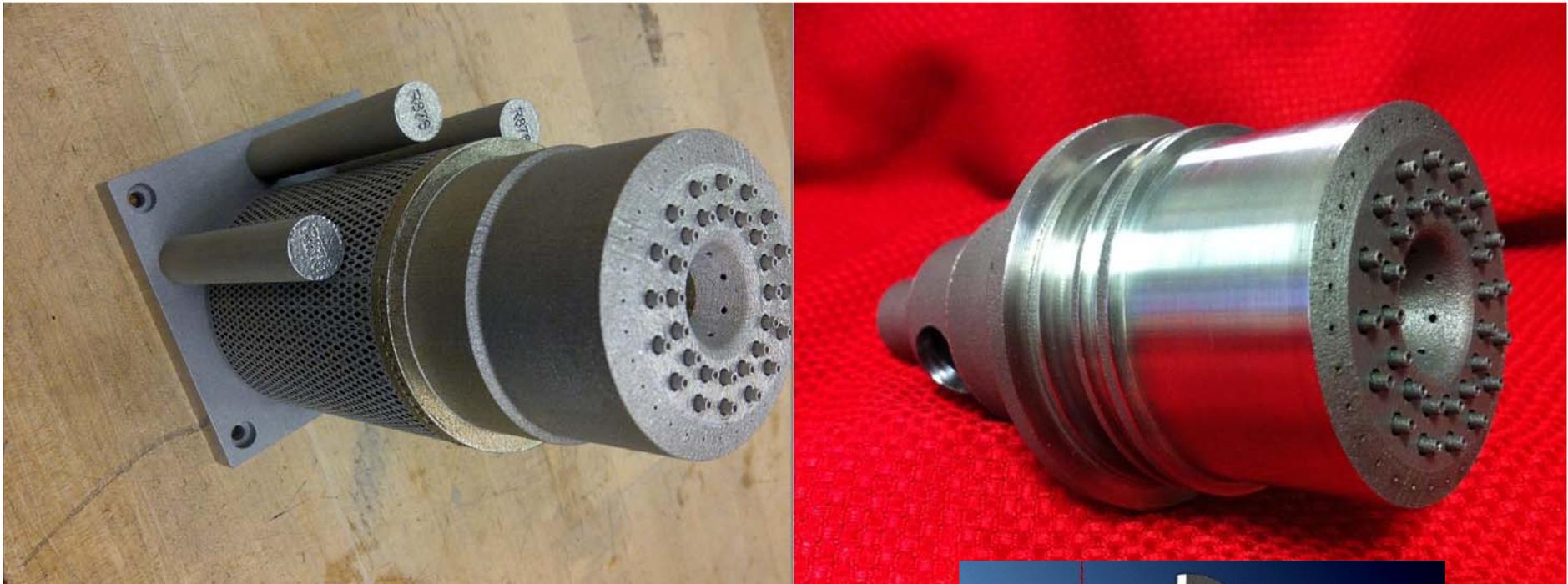
# NASAの状況 レーザー積層造形装置



NASAでもロケット用部品に適用しようと研究中

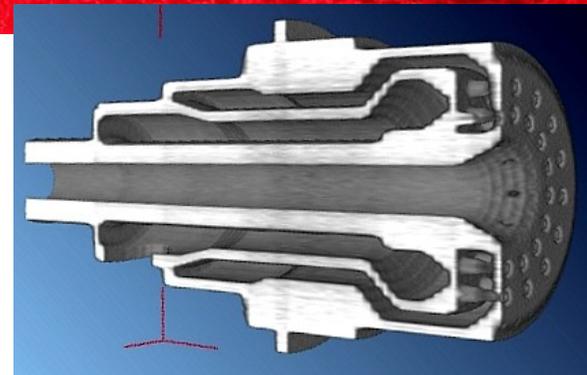


# 2013年8月末のNASA報道



実際に燃焼をさせる噴射器をレーザー積層技術により製作・燃焼実験を実施し、大々的に広報中。

流体通路と燃料と酸化剤を混ぜて噴射する部品を一体化して部品点数を大幅に削減。



Hot-Fire Tests Show 3-D Printed Rocket Parts Rival Traditionally Manufactured Parts

<http://www.spacefellowship.com/news/art34685/hot-fire-tests-show-3-d-printed-rocket-parts-rival-traditionally-manufactured-parts.html>

# 3Dプリントで製作したエンジン

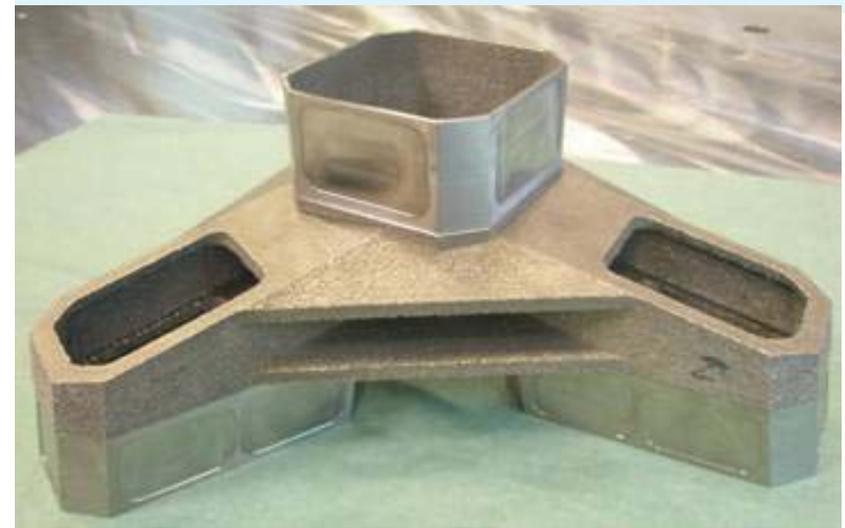
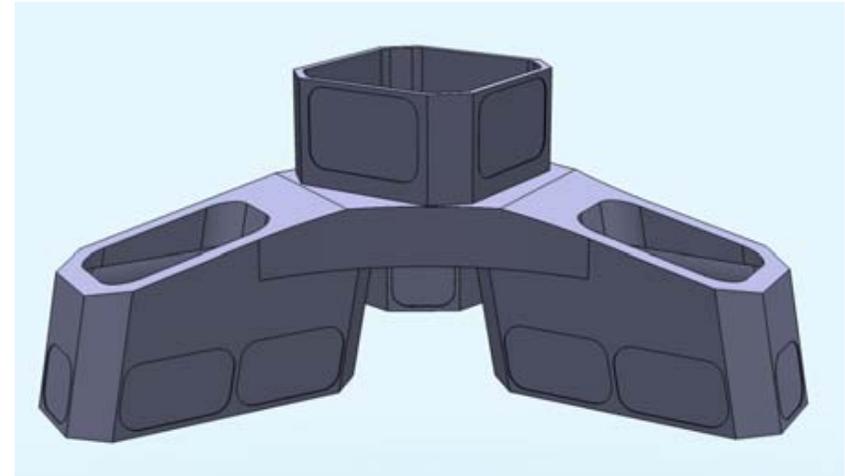


Printing Rocket Engine Parts

<https://www.youtube.com/watch?v=sJTkhXjywpQ>

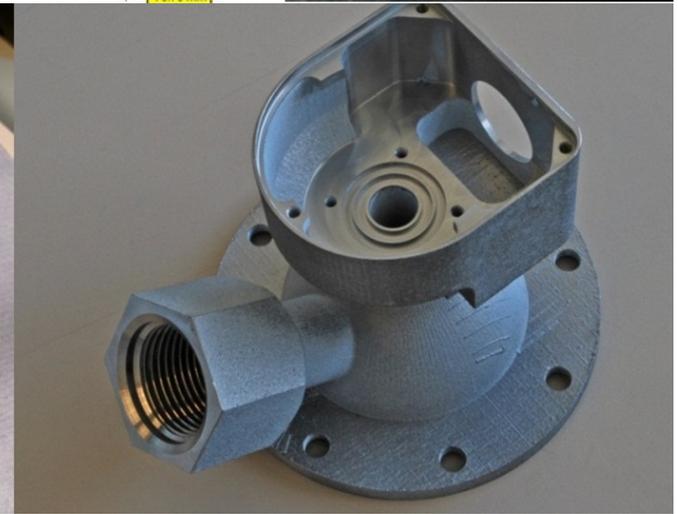
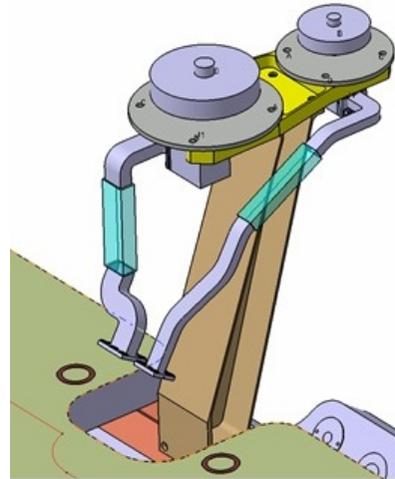
# ヨーロッパがまず先行

- アストリウムが2011年9月25日に打ち上げたユーテルサットの通信衛星【Atlantic Bird 7】のアンテナ部にEBMを適用して、実際に打ち上げた。



Florent BOURNEAUD, FROM SATELLITE TO LAUNCHER, HIGHLIGHTS ON POWDER / WIRE ALM AT ASTRIUM SPACE TRANSPORTATION, 2012

# ヨーロッパの2014年4月の発表



# ヨーロッパの月居住モジュール構想



# Space-X Super Draco



- Super DracoエンジンにEOS 3Dでのインコネルで作成した燃焼室外筒を適用していると発表。
- 2014年5月には認定試験の終了を宣言し、DRAGON V2有人カプセル再使用システムに使用すると発表。



# 米AEROJETの場合

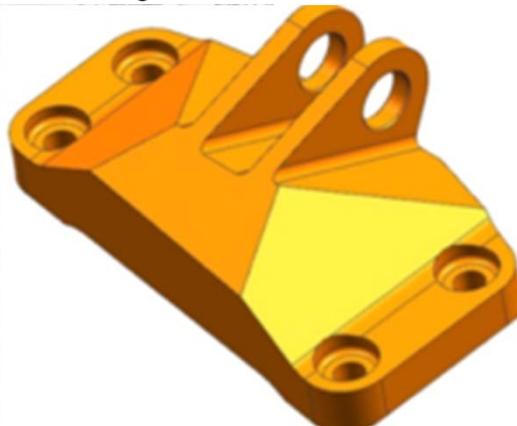
---



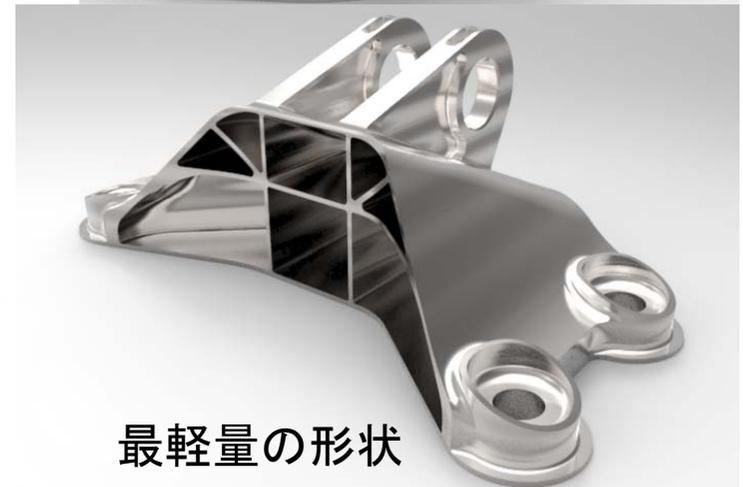
- 2014年6月に発表 詳細不明

# 米国では既にアイデア競争

- GE jet engine bracket challenge
  - 3Dプリンタの特性を生かしたデザインコンテストを開催
  - 賞金総額\$200,000
  - 653点のエントリーがあった。
  - 上位の設計は、2,033gを327gに84%低減していた。



課題の形状



最軽量の形状



# 3D造形適用のメリット(一例)

2液式スラスタの噴射器およびノズルへのEBM法適用を検討している。

500N アポジエンジン  
(IHIエアロスペース社)



○噴射器とノズルはチタン合金製のため、EBMに適合性のあるパウダーを調達可能

○噴射器は燃焼器からバルブに伝わる熱を遮断する機能も持つ。燃料の流路が複雑なためいくつかのパーツを溶接して製作している。

→EBM法によりメッシュ構造等を取り入れて断熱効果を高めることができる。

→複雑形状を一体成型可能である。

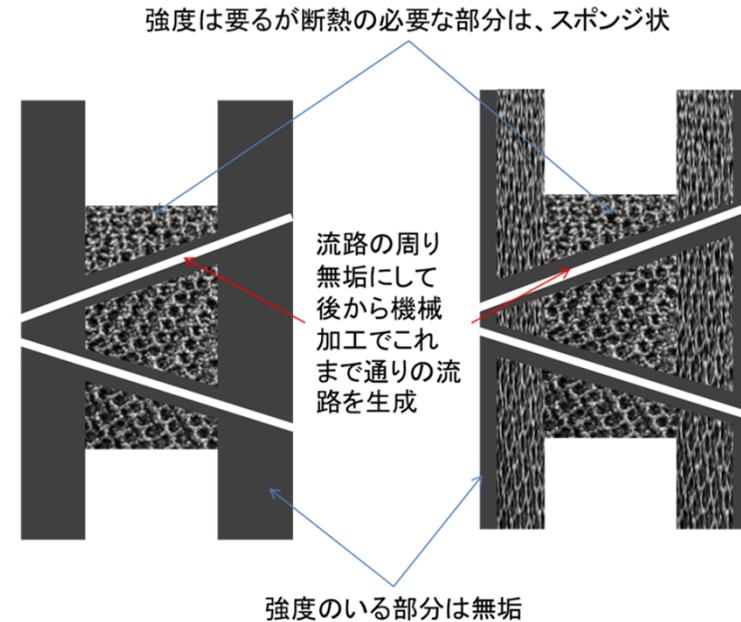
○ノズルは切削加工で製作するため材料の無駄が多い

→EBM法により材料費を大幅に低減できる。

# JAXAでの適用構想例

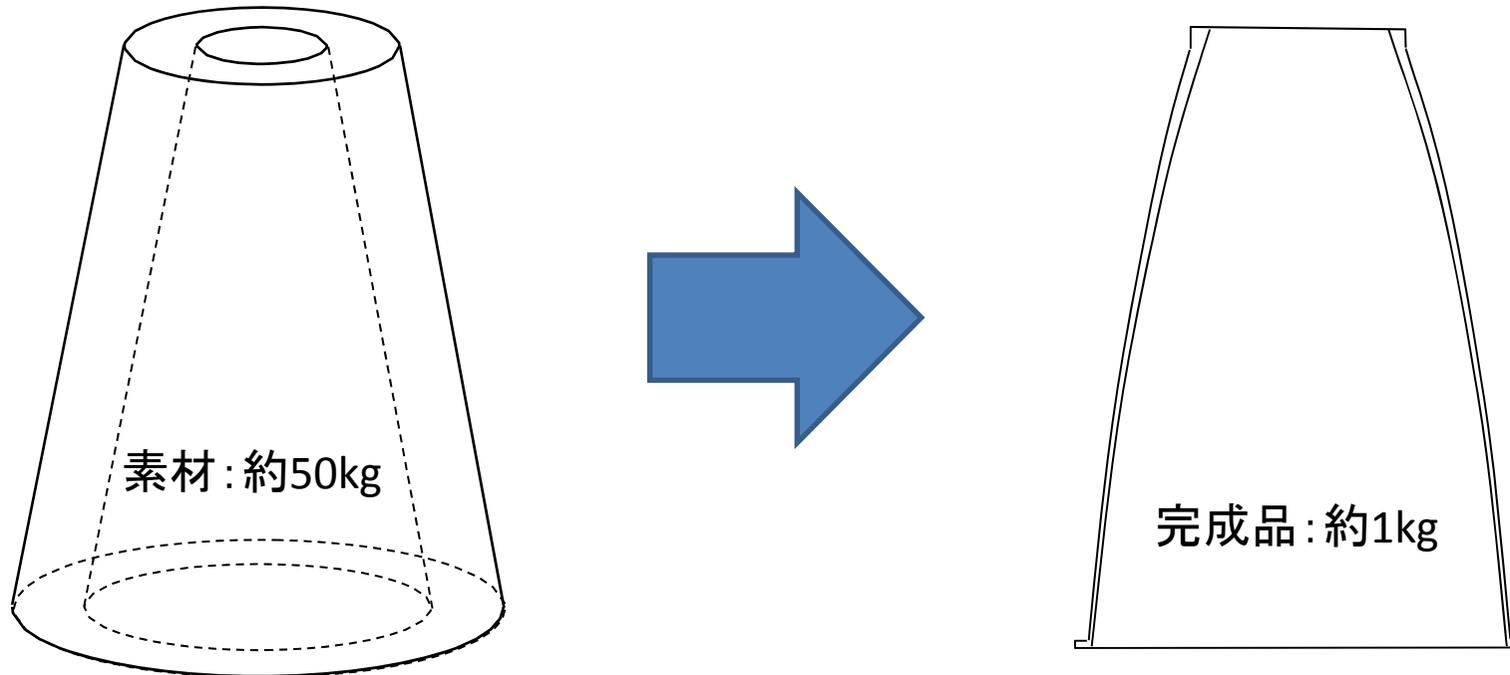


部材を作成するのに90%程度バ  
ルク材から切削して無駄になっ  
ている。  
材料が共通で、大きさも任意。



これまでは、加工上の都合から形状設  
計されていた。  
部位に寄って、強度を可変化出来る。  
これにより、断熱を強化したり、構造の  
最適化が図れる。

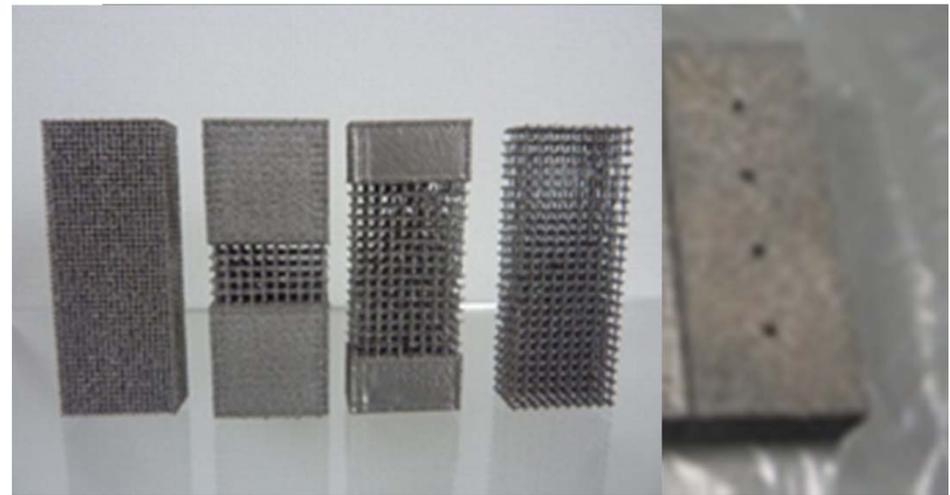
# 材料の効率化への期待



- 薄いノズルを加工する時には、98%もの材料が無駄になっている。
- 素材は、加工品に合わせて、調達が必要で、大きさにも制約あり。
- 素材自体の調達に時間が掛かる。

# JAXAでの評価試作の例

- H25/1からコイワイが Arcam製のEBM機を用いたTi-6Al-4Vの試作サービスを開始。
- 現在は複数社が試作サービスを提供
- JAXAでは強度試験片と伝導評価試験片等を試作。
- メッシュ構造と無垢を繋いだ構造が実現。
- 1mm程度の穴も開けらることを確認。



# 部品への適用(サポートインダストリ)

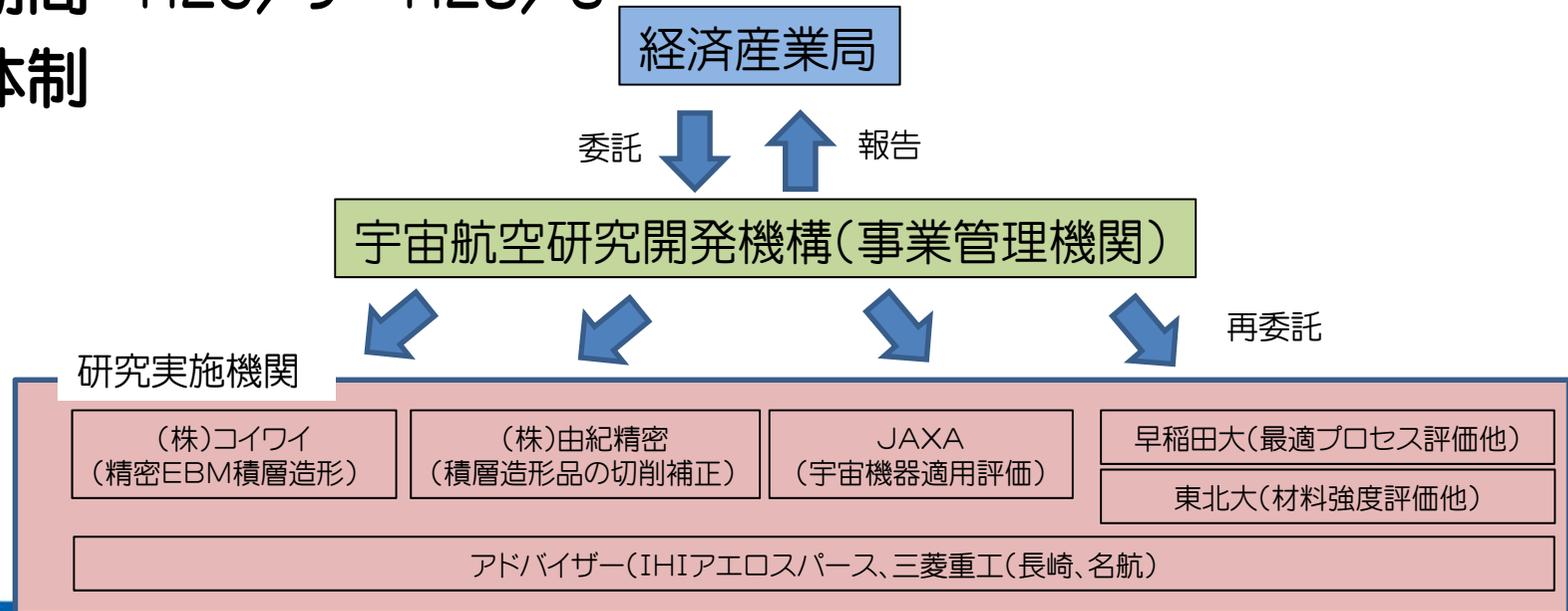
- 申請テーマ

現状チタン材のみ

- 衛星用スラスタの性能を向上させ、材料使用量を画期的に低減できる製造技術、高断熱形状を製造可能な技術、宇宙用部品として使用可能な高度な品質保証技術、材料使用量および製造コストの低減により競争力を有するスラスタ部品の製造技術を確立する。

- 実施期間 H25/9~H28/3

- 実施体制



経済産業省 FY25戦略的基盤技術高度化支援事業

「電子ビーム積層造形法と精密切削加工技術の融合による衛星用スラスタ部品の開発」により実施

# サポートインダストリに於ける課題

---

- EBM造形後の残留応力による変形
  - 精密加工により、如何に補正するか?
- 精密加工を行うための材料のクランプ方法
- 欠陥、巣等の排除
- 高温材料強度

etc

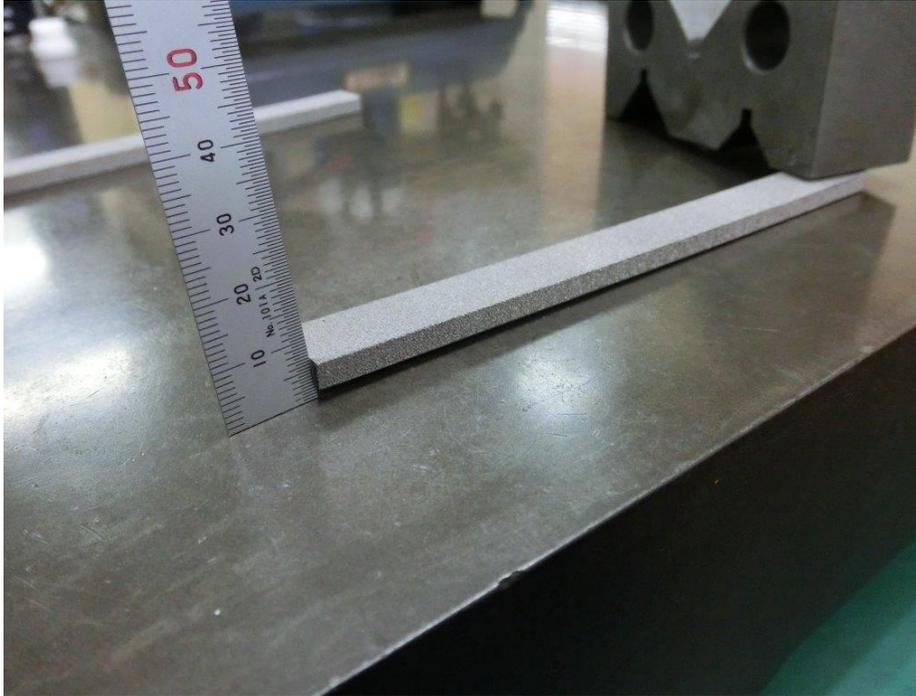
- EBMと精密加工の特性をうまく組み合わせることで従来にない製造法を達成する。



経済産業省 FY25戦略的基盤技術高度化支援事業

「電子ビーム積層造形法と精密切削加工技術の融合による衛星用スラタ部品の開発」により実施

# 課題の例(積層材のひずみ)



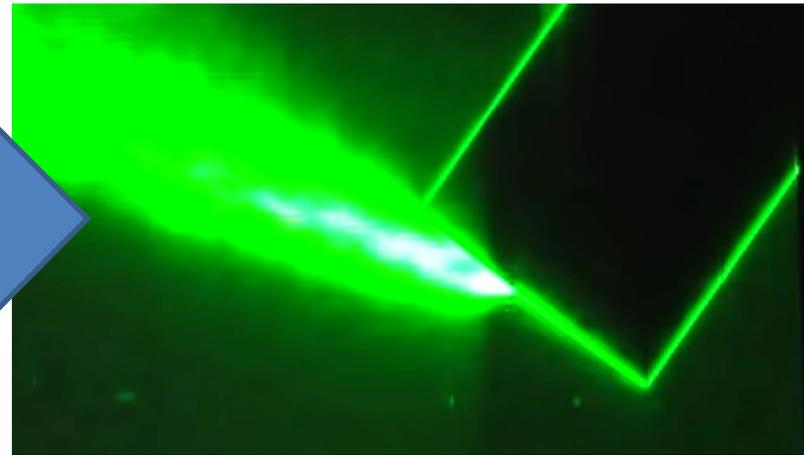
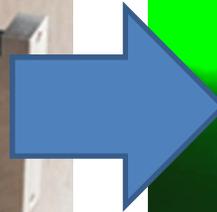
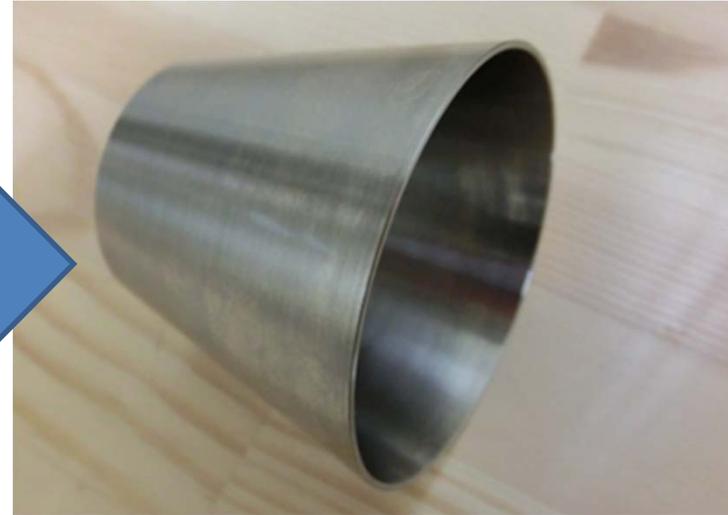
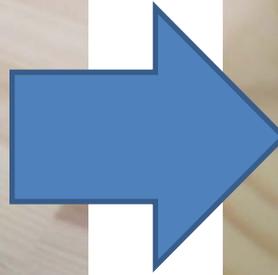
- 薄板をEBMで造形して0.5mm削ったところ、歪みが出た。
- 積層方向によらず、変形はいろいろ。



経済産業省 FY25戦略的基盤技術高度化支援事業

「電子ビーム積層造形法と精密切削加工技術の融合による衛星用スラタ部品の開発」により実施

# ノズルの試作の例



経済産業省 FY25戦略的基盤技術高度化支援事業

「電子ビーム積層造形法と精密切削加工技術の融合による衛星用スラタ部品の開発」により実施

# まとめ

---

- 人工衛星の推進系というちいさな世界でも、3D技術は非常に有用です。
- 現状でも3DのCAD・CAM等を用いていますが、解析などと融合して、性能の良いもの、より高信頼性を目指しています。
- 製品の検査等に3Dイメージング技術も使っています。
- 3Dプリンタの分野は、アーリーアダプターから普及のフェーズに移って競争激化中。