

# 国立天文台の金属3Dプリンターを活用した 微細ラティス構造型熱交換器の造形精度調査

2025/09/24

岩手大学大学院 理工学研究科

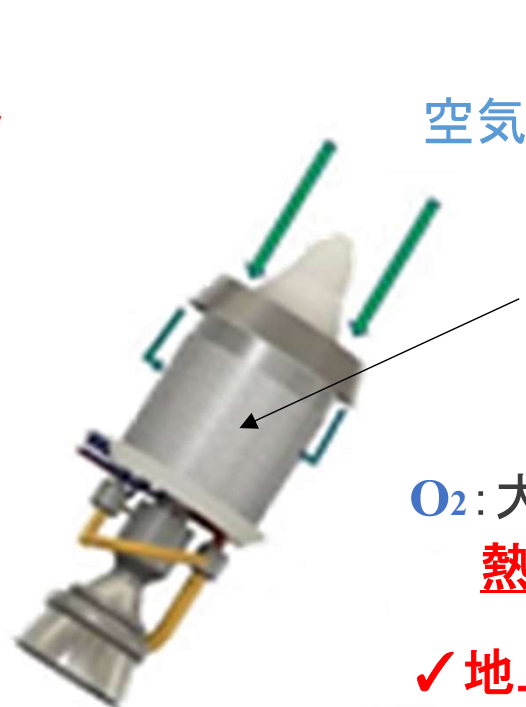
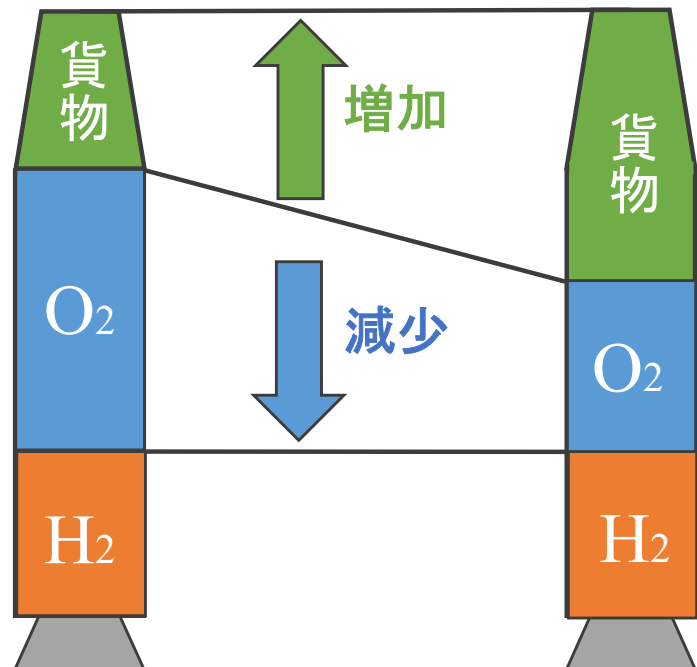
システム創成工学専攻 機械工学分野

柴田・澄川研究室 D1 小見友介

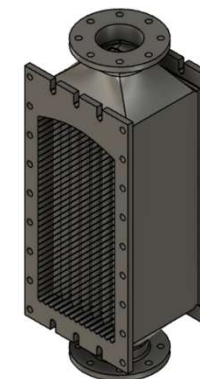
## ➤ 空気液化ロケットエンジン (Liquid Air Cycle Engine : LACE)

液体燃料  
ロケット

LACE  
ロケット



軽量空気液化  
熱交換器



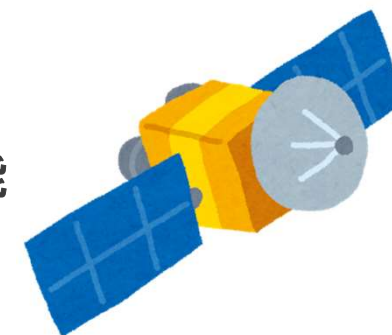
$O_2$ : 大気を  $H_2$  の冷熱源を使って、  
熱交換器 で液化した 液化空気

✓ 地上で搭載する  $O_2$  を減らせる

 Space Transit

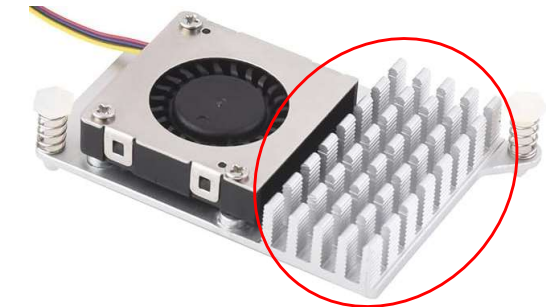
従来エンジンと同出力で、搭載酸化剤が減ることで...

- ・ 宇宙への輸送力が向上 → より重量のある観測衛星の打ち上げが可能
- ・ 機体が小型化し、低コスト打ち上げが実現



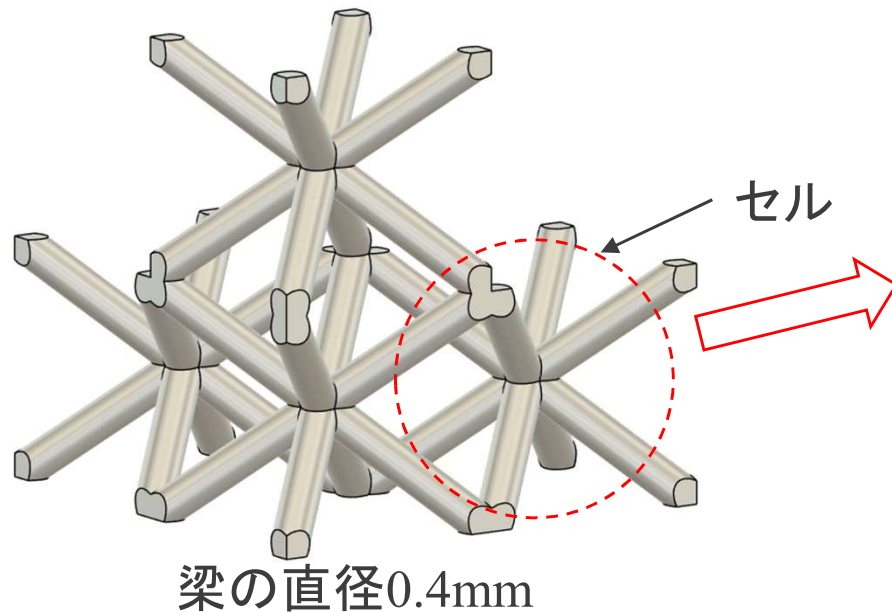
✓ 搭載酸化剤の重量減よりも軽量な高伝熱性能の熱交換器が不可欠

- 従来の薄い板を並べた**フィン構造**の伝熱構造
  - ⇒ 溶接, 鋳造, 切削加工などの従来製法では, 形状, 性能に制約
- 近年の金属3Dプリンターの台頭
  - ⇒ 自由な形状の熱交換器形状
  - ⇒ 梁と梁を組み合わせたセルを周期的に並べた**ラティス構造**

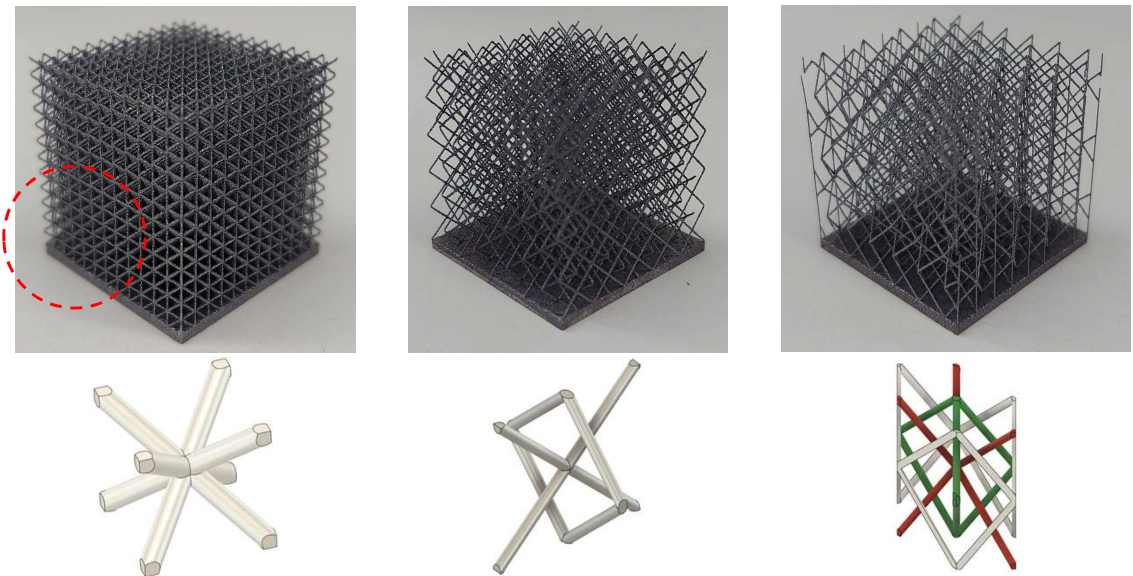


例: PCの放熱部品

## ラティス構造

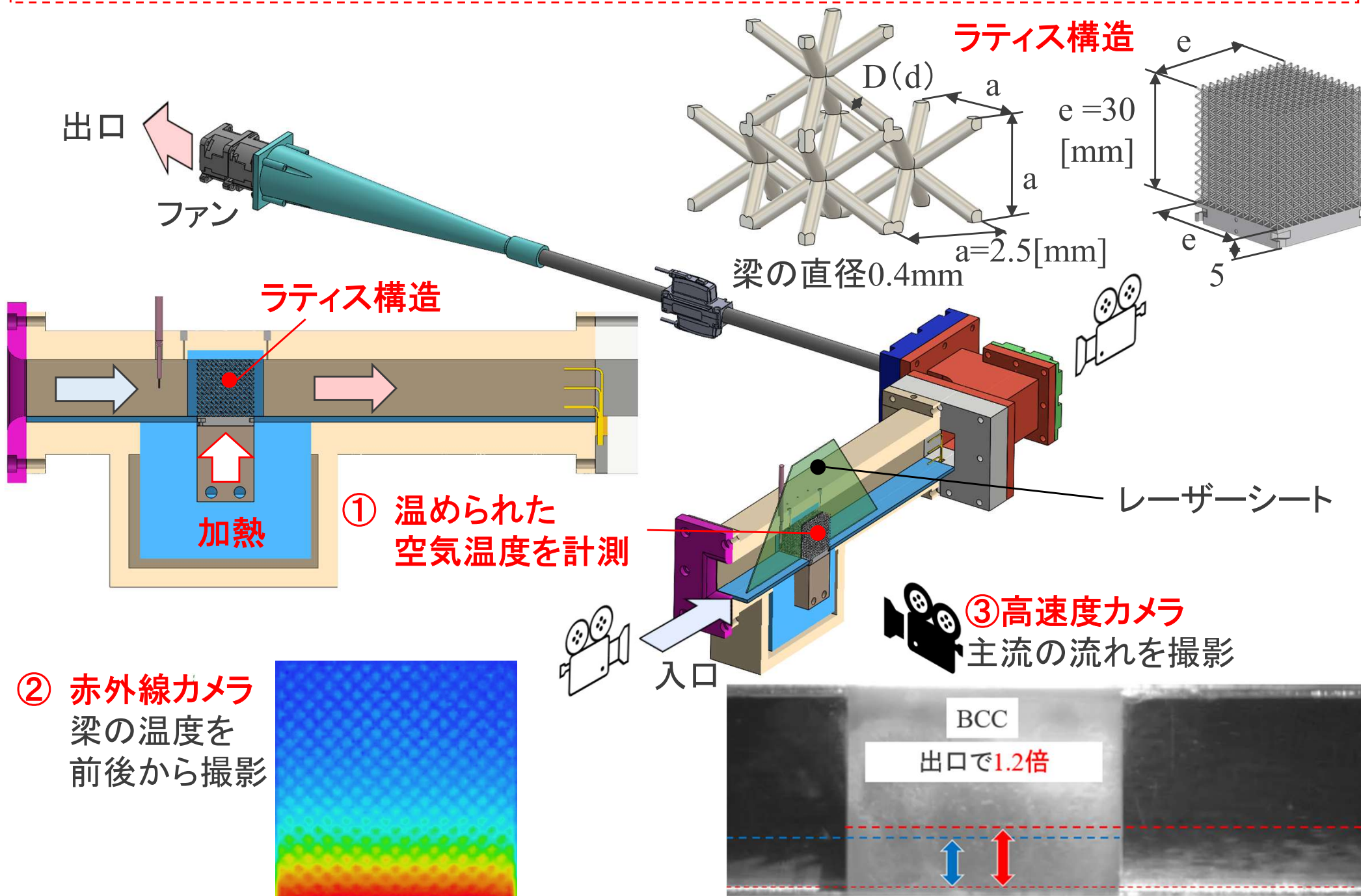


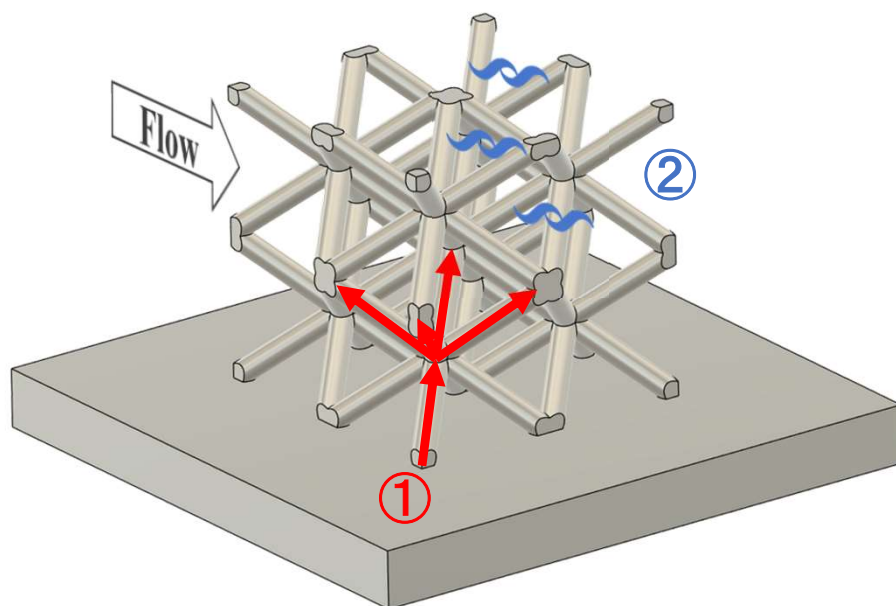
設計通りの性能を出すために造形精度は重要



✓ より高い伝熱性能を持つラティス構造を目標に様々な形状を実験

✓ 流体, ラティス構造の温度を計測して熱の伝わりやすさを評価

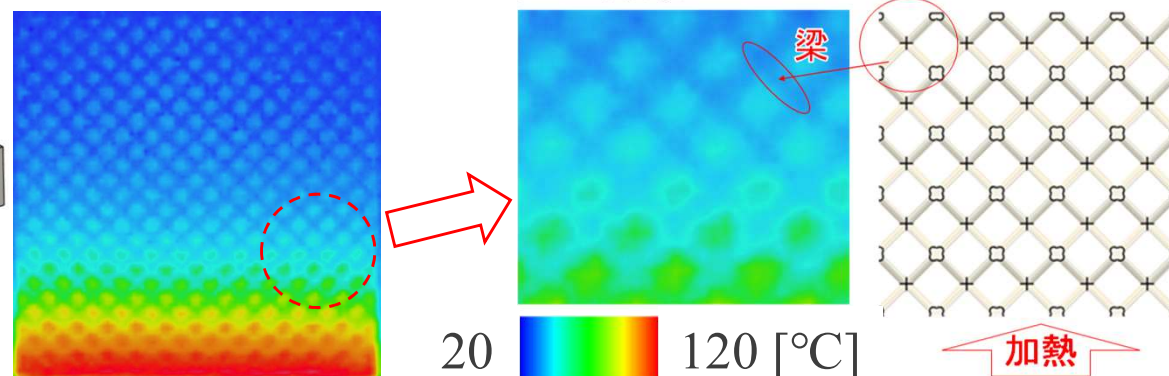




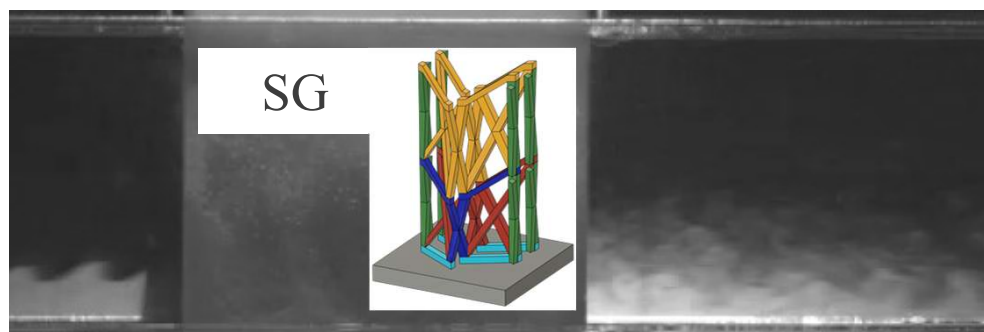
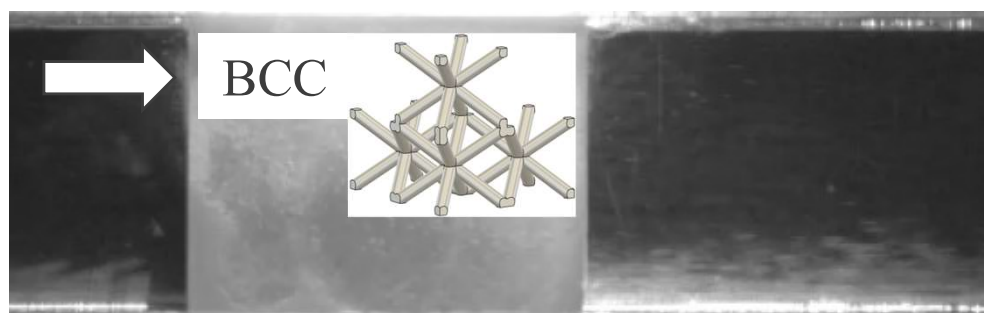
## ① 梁の内部を伝わる熱

例)・フライパンの持ち手が熱い

梁の温度を赤外線カメラで撮影



## ② 梁が空気を混ぜることで伝わる熱



スモークを流して高速度カメラで撮影

例)・うちわで激しく仰ぐと涼しい

・サウナで熱波師がタオルを振ると熱い

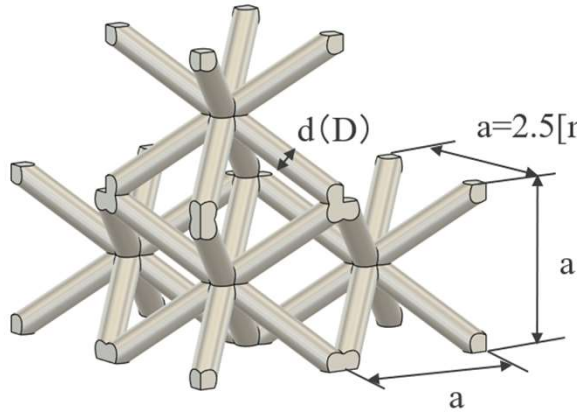
→温まった空気とそうでない空気を混ぜる



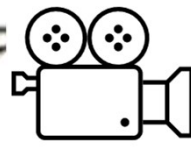
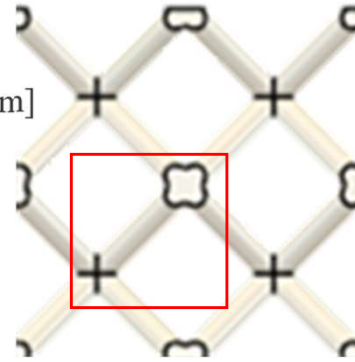
✓ 梁が伝熱に大きな役割を持つ

# 造形精度が伝熱に及ぼす影響例 (2.0 [m/s])

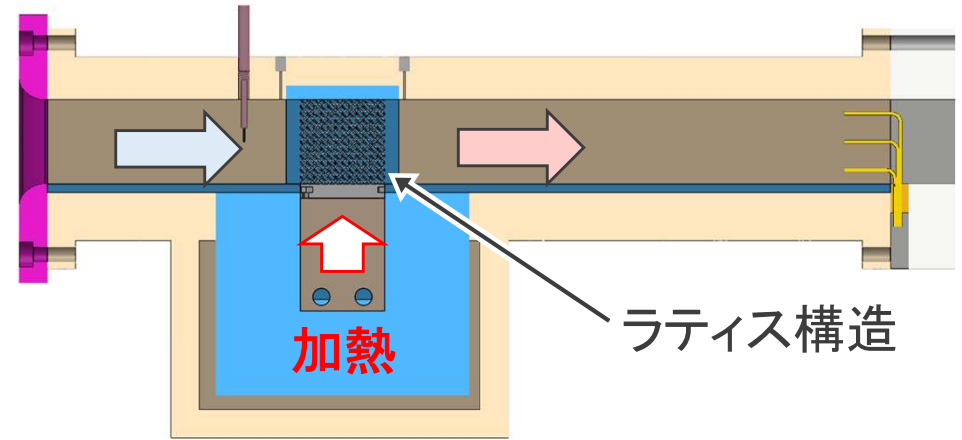
BCC (Body-Centered Cubic)



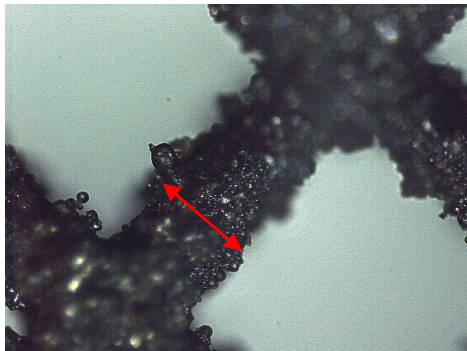
顕微鏡範囲



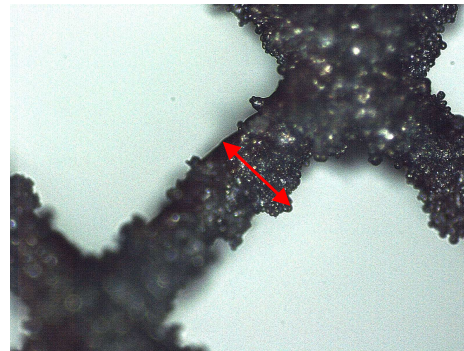
赤外線  
カメラ



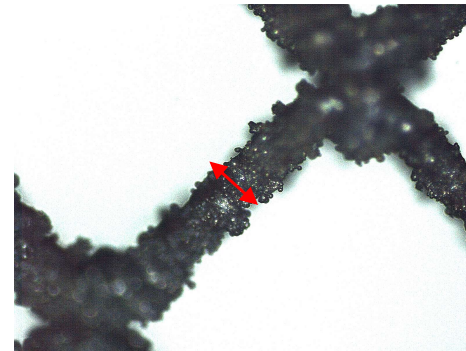
同じ設計梁直径 (0.4 [mm]) で設計した造形物の出来具合による違い



d=0.372 [mm]



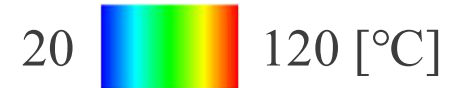
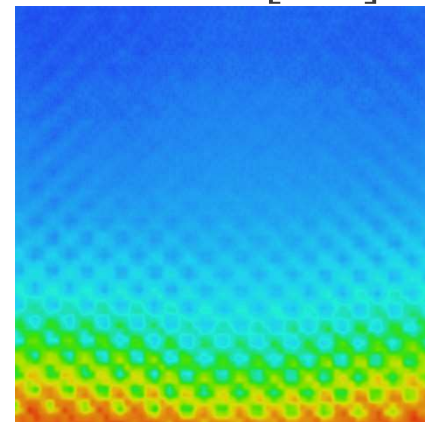
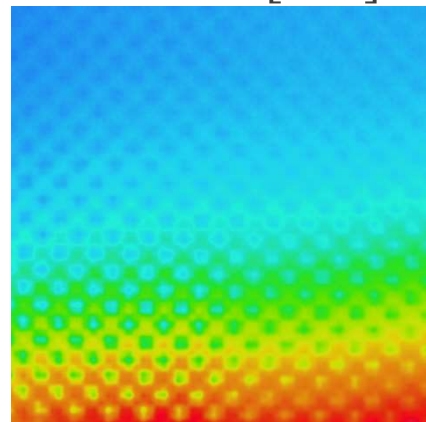
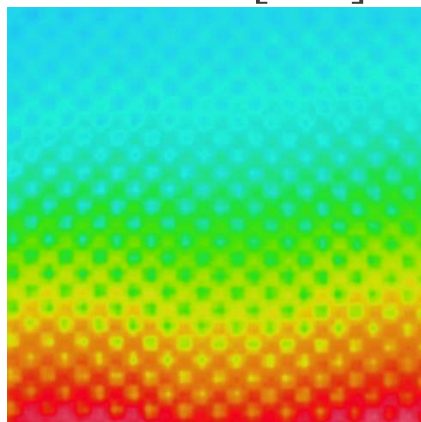
d=0.305 [mm]



d=0.166 [mm]

梁が太い順に  
先端の温度が高い

梁の太さの影響が  
梁の温度分布に影響



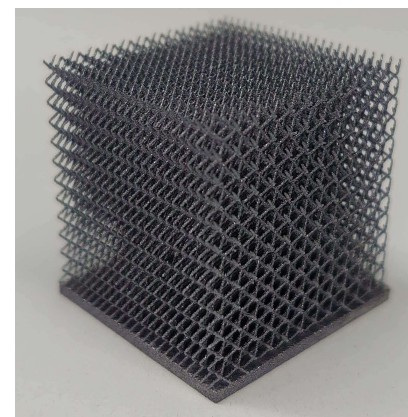
✓ 梁の精度を制御することは、ラティス構造の伝熱性能を正しく知る上で重要

## ATC利用の目的

- ✓ 微細なラティス構造の造形精度が最も良くなる造形パラメーターの調査

## ATCの貢献内容

- 金属3Dプリンターでも困難な微細で複雑なラティス構造の製造
- 製造したい形状に対する修正の助言



ラティス構造



金属3Dプリンター※

※国立天文台先端技術センターHP,  
<https://atc.mtk.nao.ac.jp/fabrication/>

## プロジェクトの流れ

設計した形状を国立天文台で造形

協力の皆様 : 三ツ井様, 神澤様, 福嶋様, 金子様

利用実験スペース : 1号館 1階 102造形室

利用設備 : 金属3Dプリンター EOS M290

岩手大学で顕微鏡を使った造形精度の計測

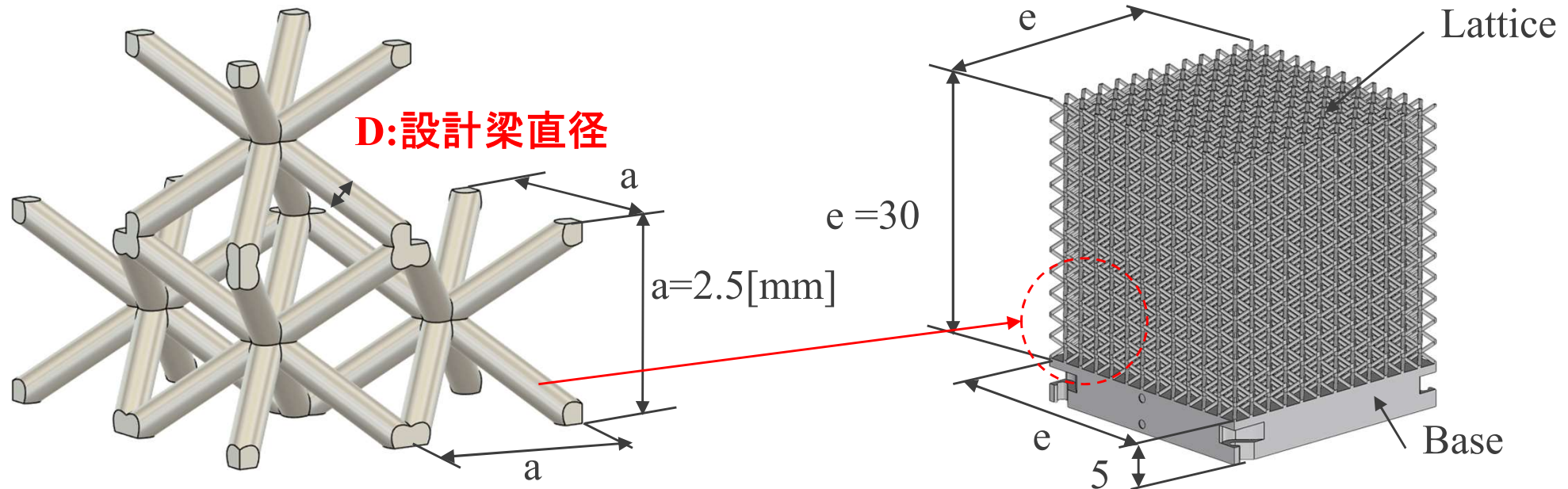
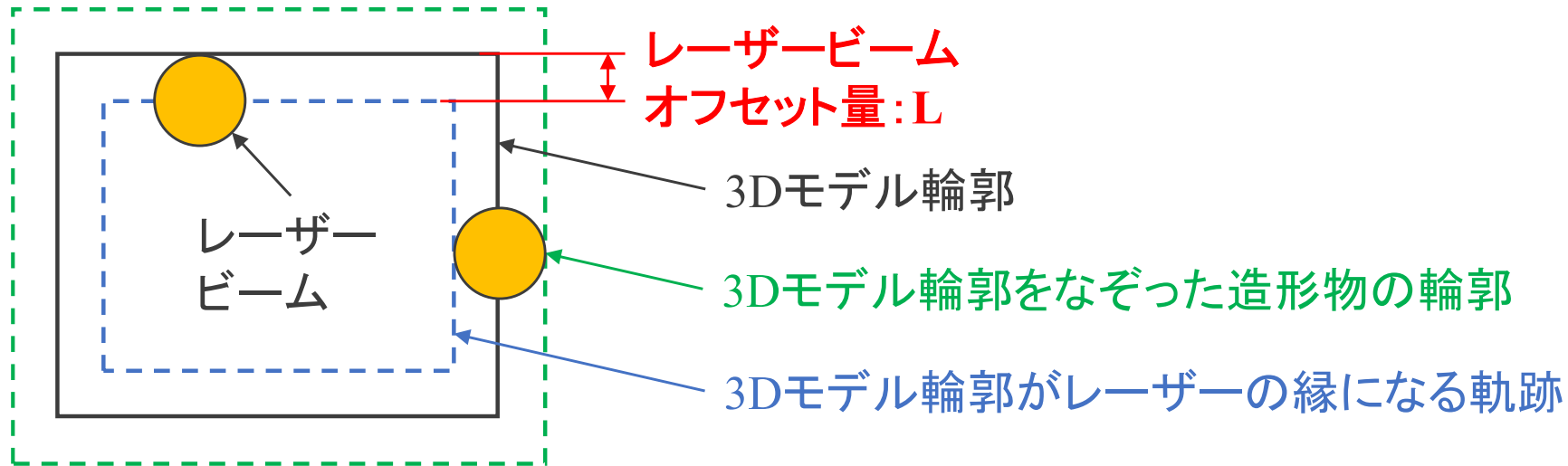
- ① 金属3Dプリンターの設定による造形精度の違いの調査
- ② 造形不良が起きづらくなるパラメーターの調査



岩手大学 顕微鏡

# ① 金属3Dプリンターの設定による造形精度の違いの調査

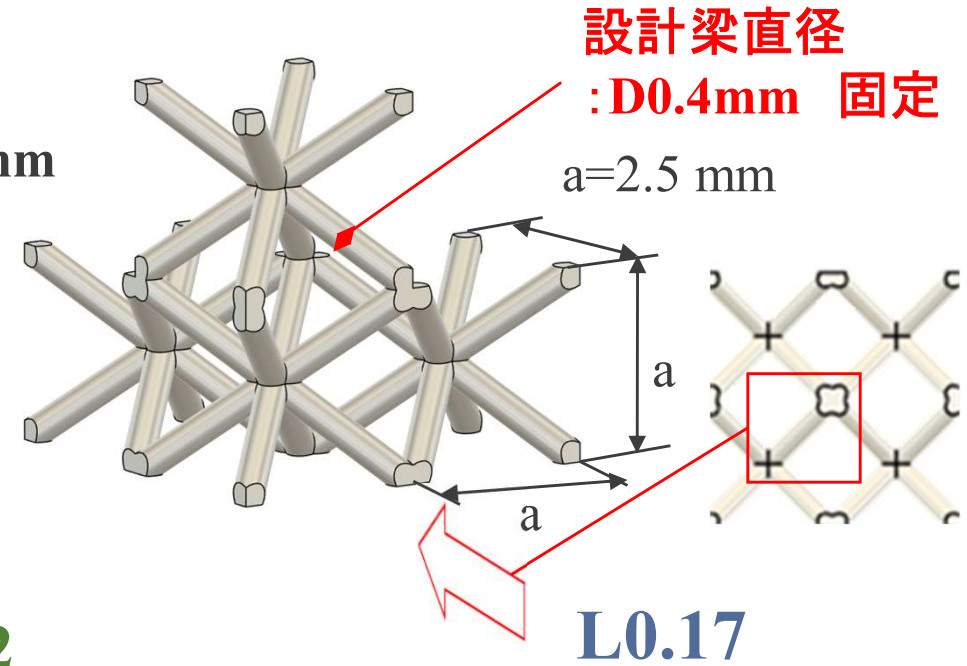
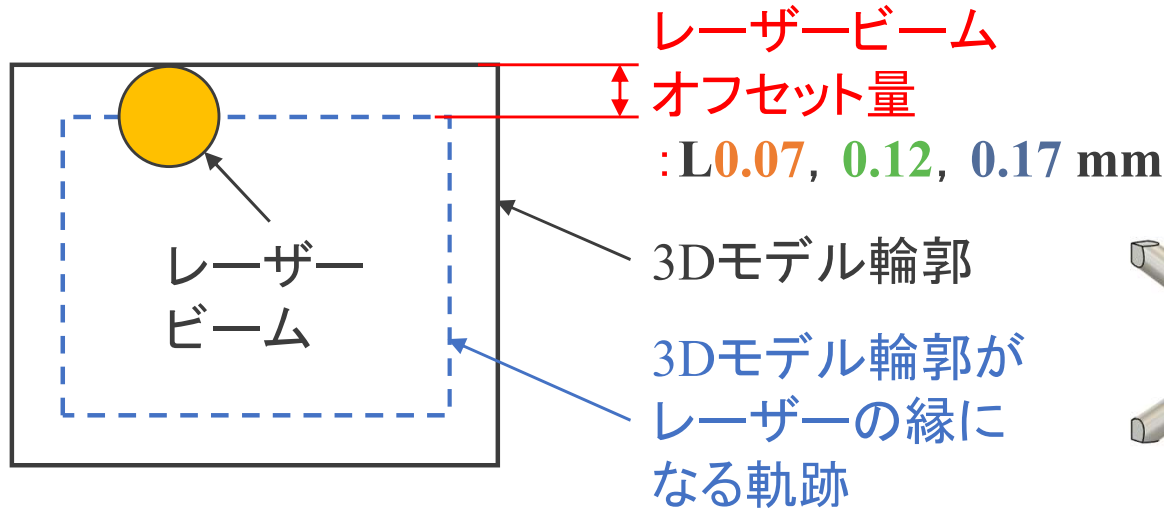
---



- ① 設計梁直径  $D$  を固定し、レーザービームオフセット量  $L$  を変更した
- ② レーザービームオフセット量  $L$  を固定し、設計梁直径  $D$  を変更した

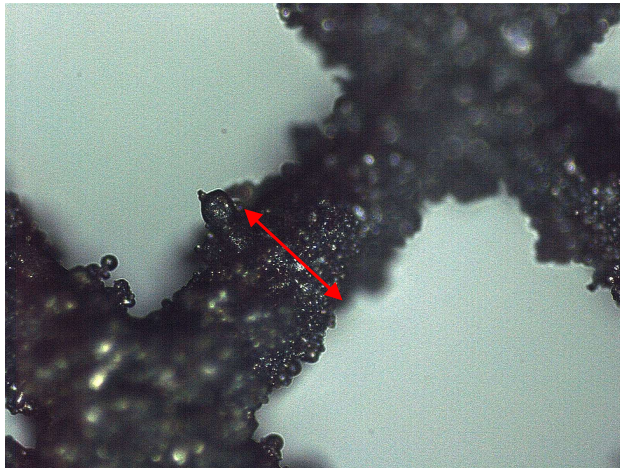
# 変更する設定 : L レーザービームオフセット量

D:設計梁直径, d:計測梁直径, L:レーザービームオフセット量



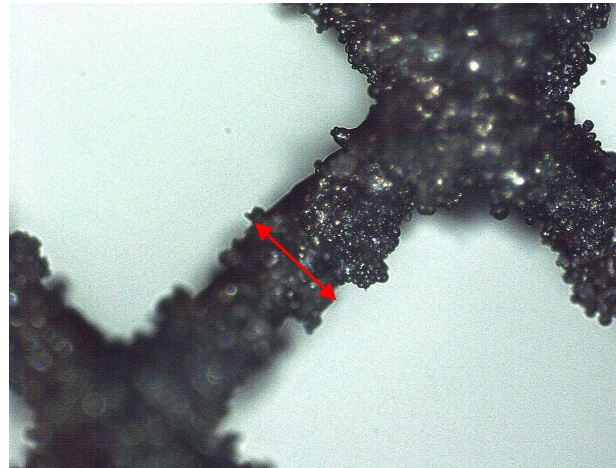
D0.4 mm 固定

L0.07



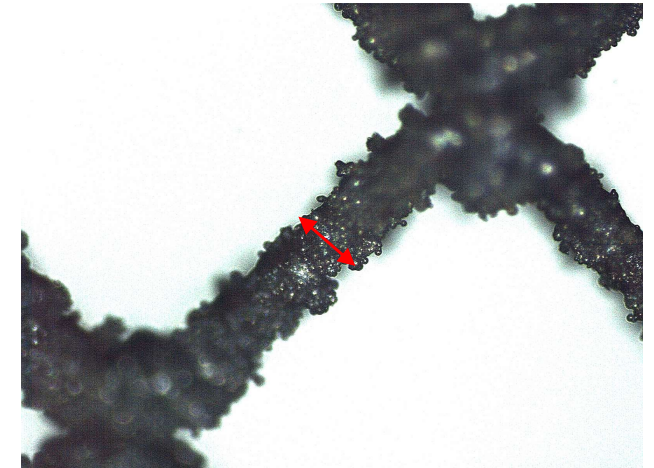
$d=0.372$  [mm]

L0.12



$d=0.305$  [mm]

L0.17

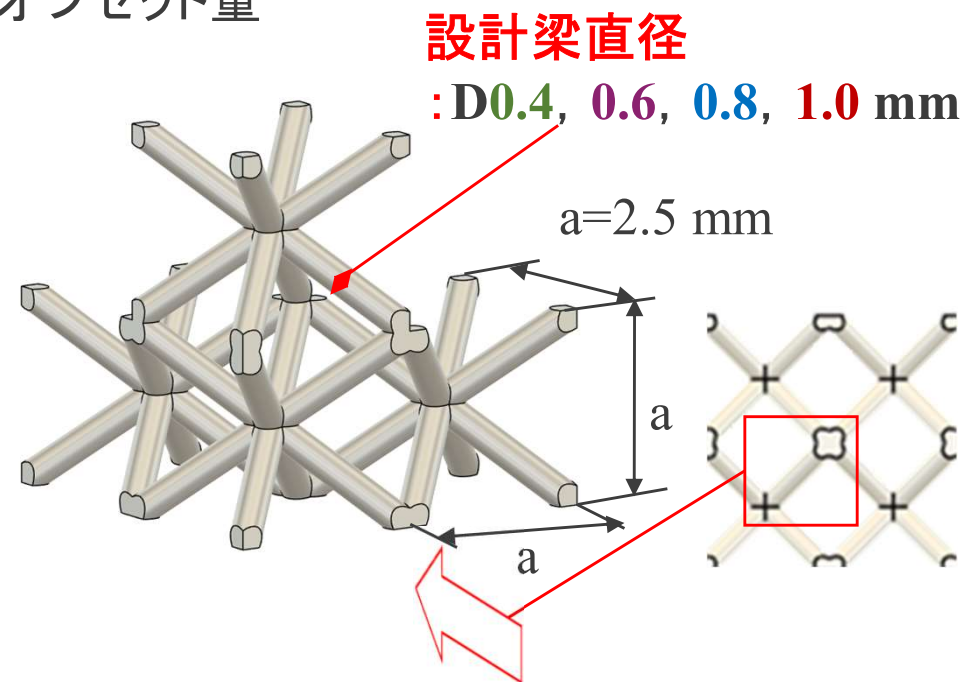
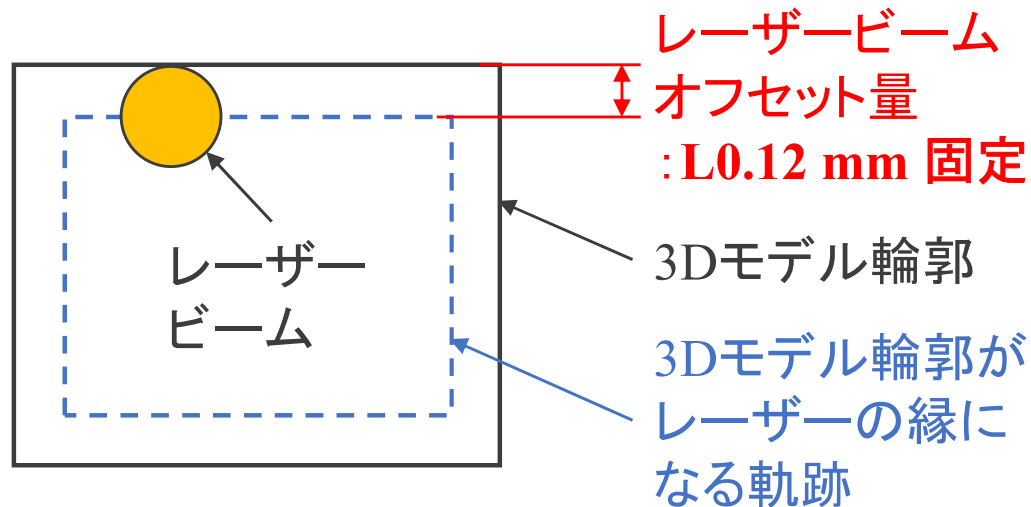


$d=0.166$  [mm]

✓ レーザービームオフセット量0.07 [mm]以下で精度がよい

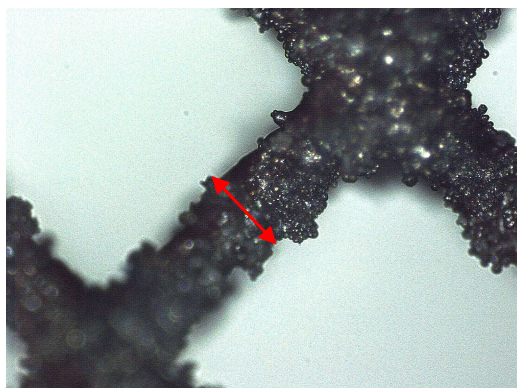
# 変更する設定 : D 設計梁直径

D:設計梁直径, d:計測梁直径, L:レーザービームオフセット量



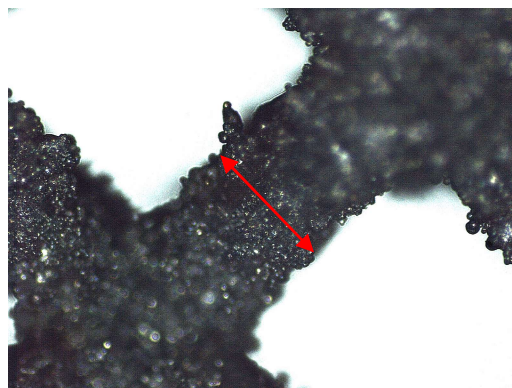
L0.12 mm 固定

**D0.4**



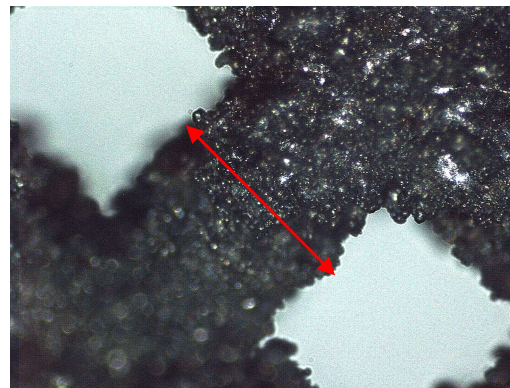
d=0.305 [mm]

**D0.6**



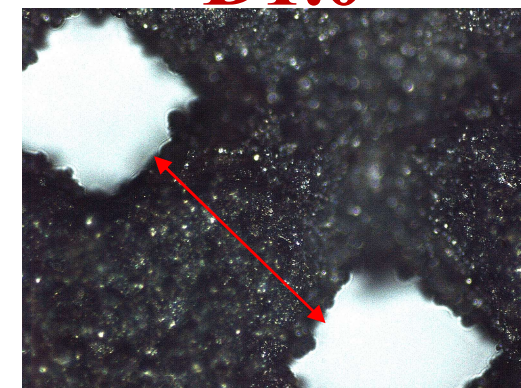
d=0.431 [mm]

**D0.8**



d=0.612 [mm]

**D1.0**



d=0.735 [mm]

- ✓ 設計値から最大約25%梁の太さの減少 (D1.0)
- ✓ 細かいラティス構造の場合, 最適なレーザービームオフセット量はより小さな値

## ② 造形不良が起きづらくする パラメーターの調査

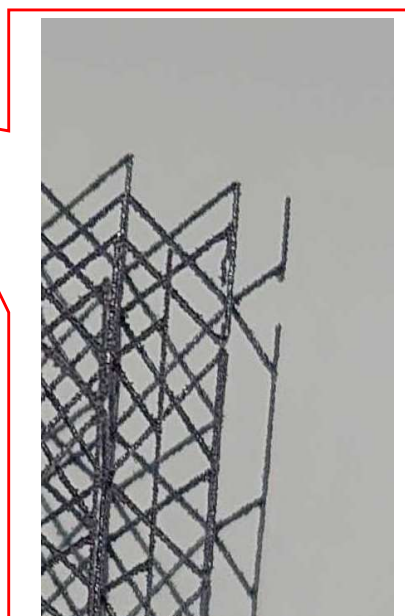
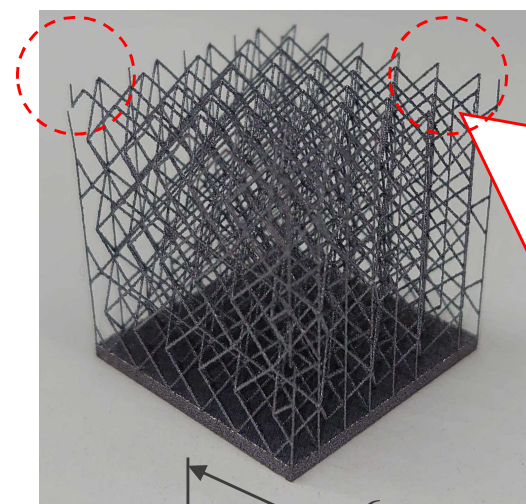
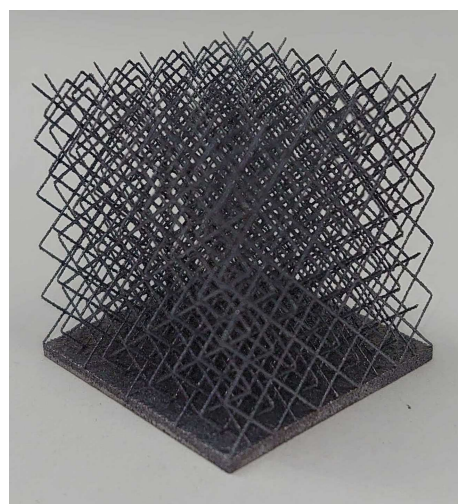
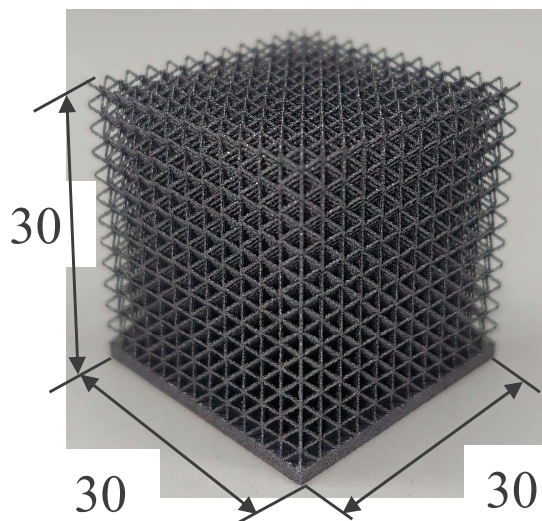
---

# 造形精度を保つパラメータ

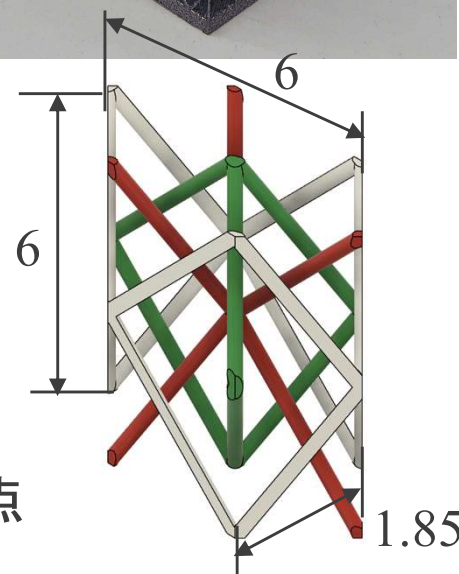
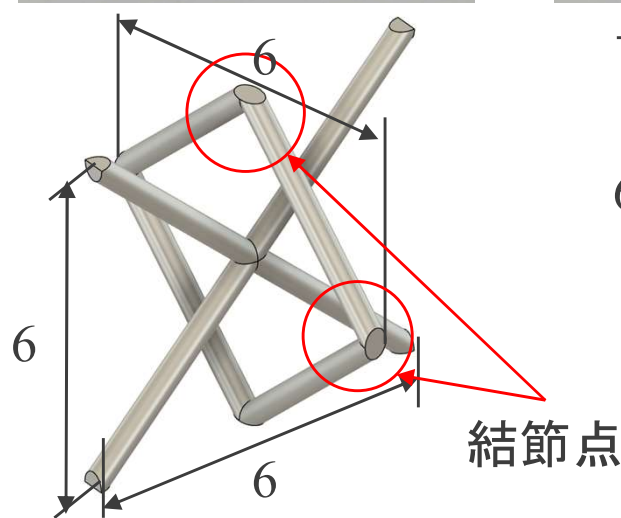
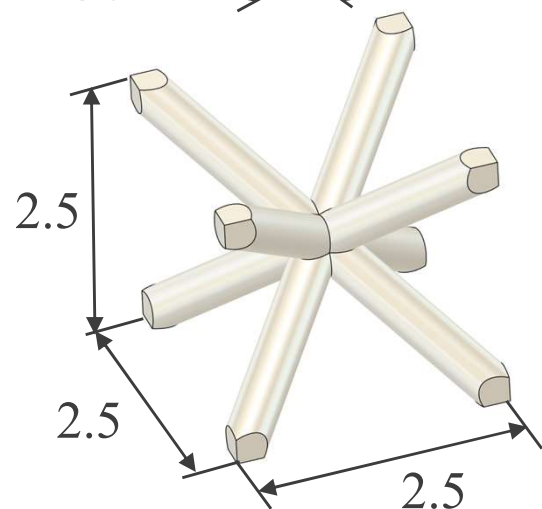
✓ 角度や梁の結節点間の距離の異なるラティス構造を製作して精度を調査

➤ 設計梁直径0.4mm, 根元板厚さ1mm 単位:[mm]

BCC構造		鎖構造	3又構造
計測梁直径	0.30~0.36	0.29~0.30	0.25~0.31

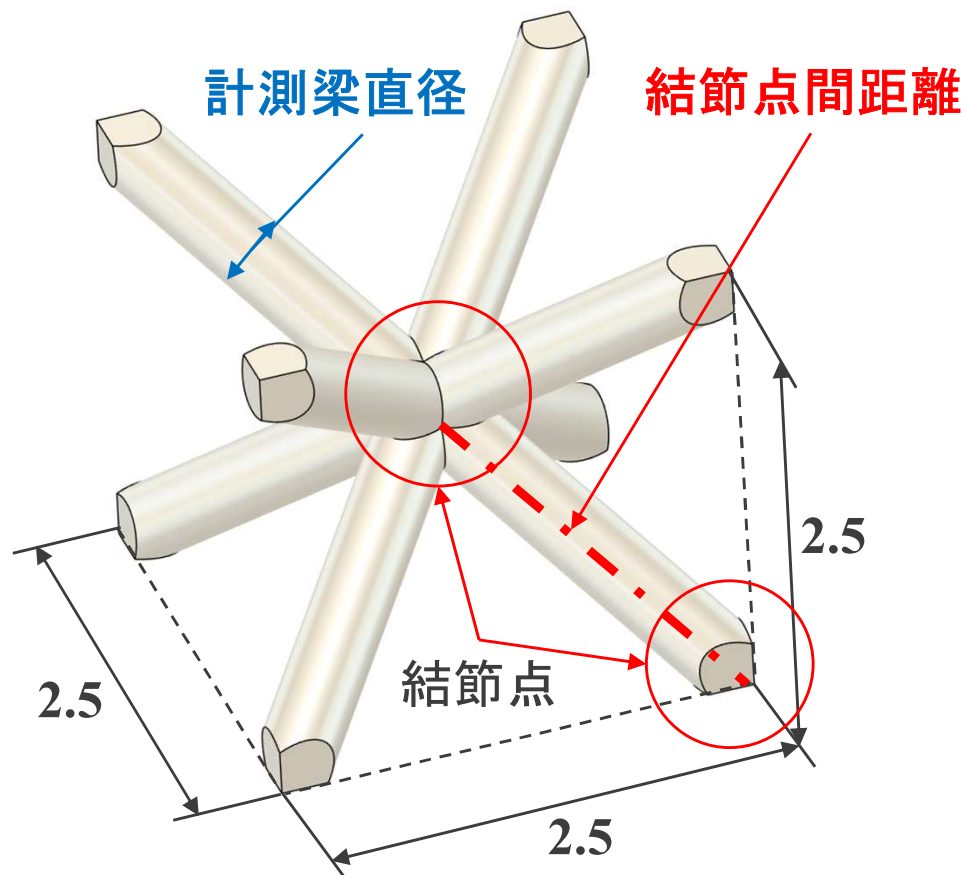


造形不良が発生



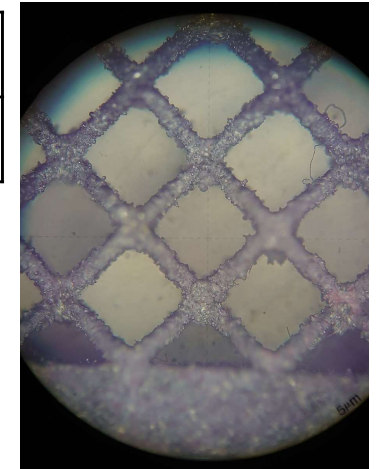
✓ 結節点同士の距離が長くなると、梁が細くなり、造形不良が発生しやすい

- 製作した形状から計測した梁直径より造形の制約を求めた



例) BCC構造

計測梁直径: 0.30~0.36mm



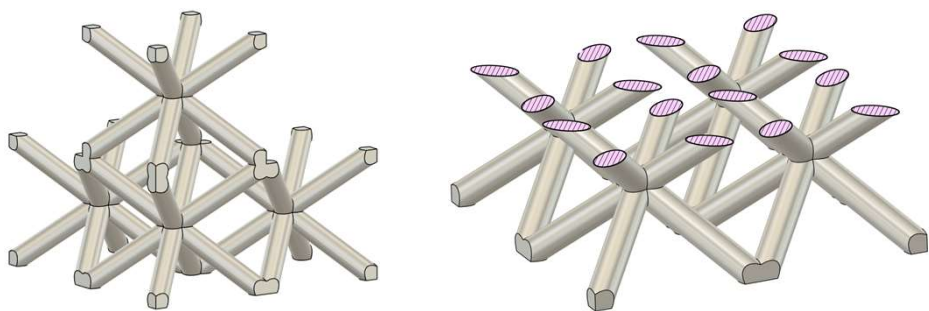
- 造形比  
結節点間の距離と、  
今回計測した梁の直径の比

$$\begin{aligned} \text{造形比}[-] &= \frac{\text{結節点間距離}[mm]}{\text{計測梁直径}[mm]} \\ &= \frac{2.17}{0.33} \\ &= \mathbf{6.56} \end{aligned}$$

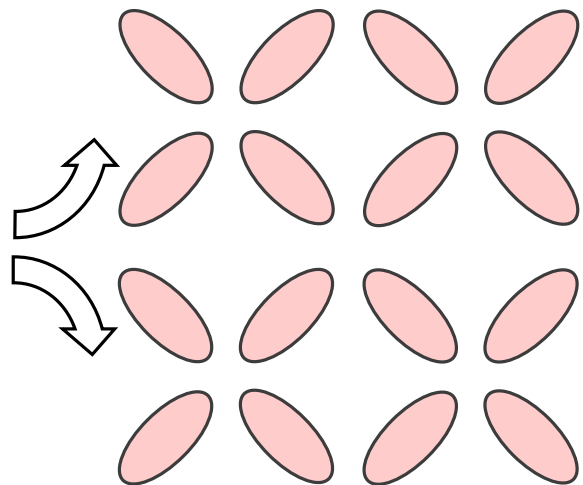
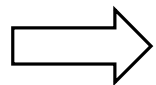
- ✓ 梁直径0.4mmでは造形比6.56を超えない場合、梁直径をある程度保ちつつ造形することができる

# ラテイス構造の性能改善の進展

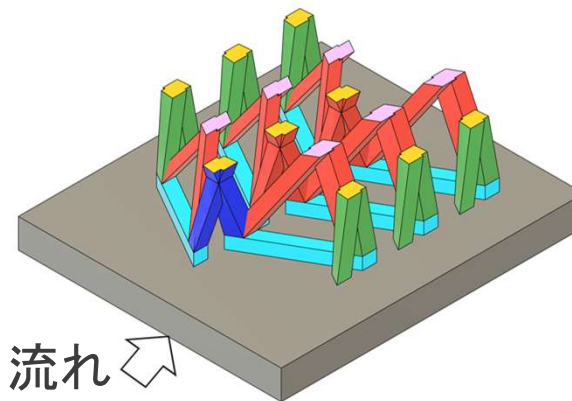
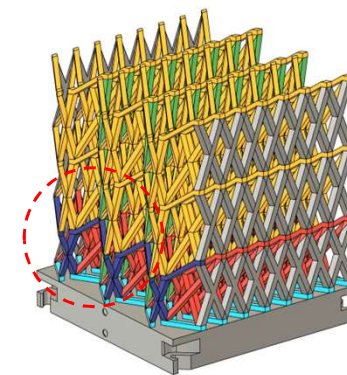
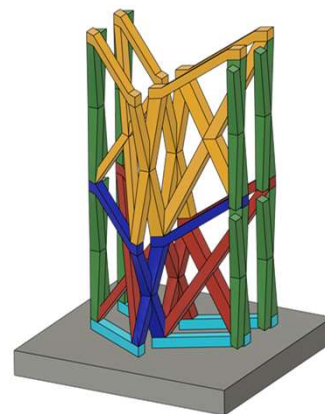
代表形状



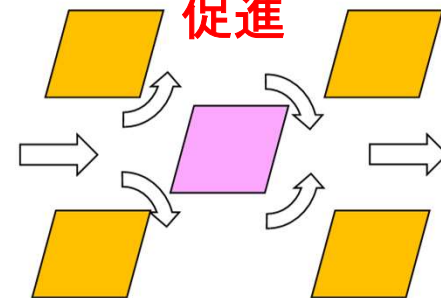
混合が  
阻害

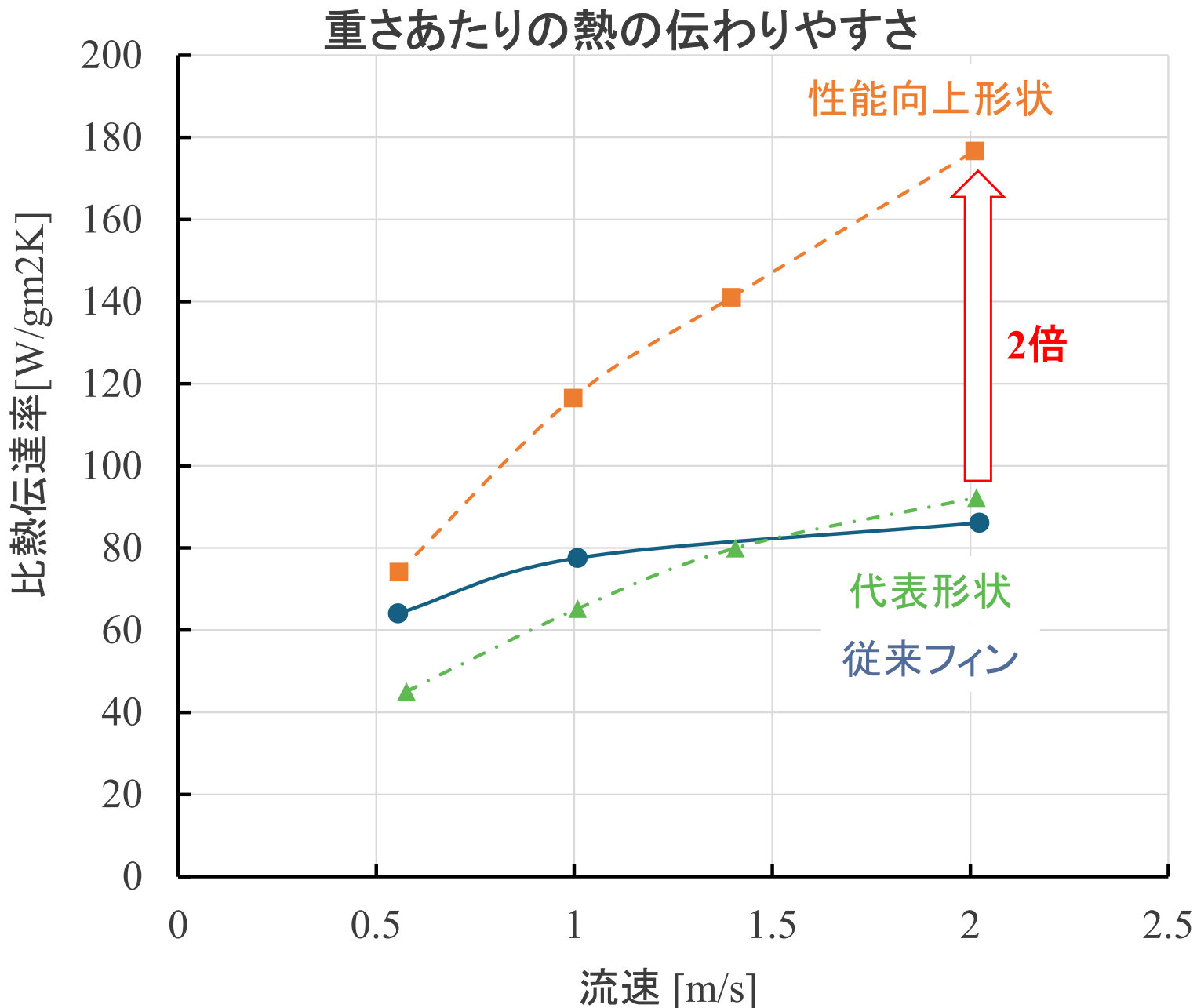


性能向上形状

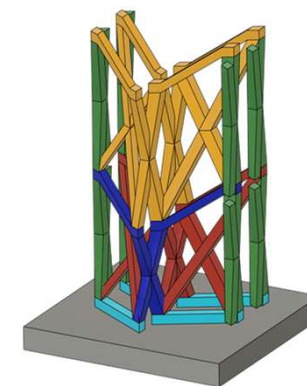


混合を  
促進

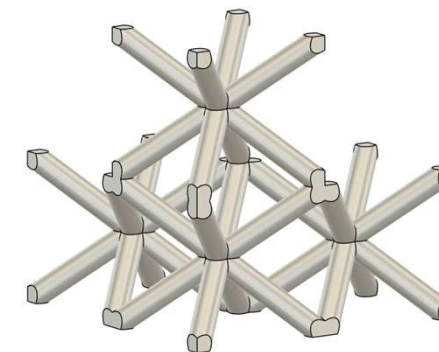




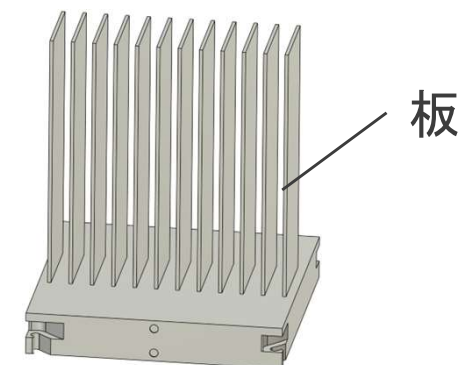
## 性能向上形状



## 代表形状



## 従来フィン



✓ 複雑な流れで伝熱を促進し、代表形状や従来フィンの2倍の性能向上を達成

## ATC利用の目的

- ✓ 微細なラティス構造の造形精度が最も良くなる造形パラメーターの調査

金属3Dプリンターで造形した形状を計測した結果から、以下の知見を得た

- ✓ ①レーザービームオフセット量を変化させた構造を製作して精度への影響を調査  
レーザービームオフセット量を**0.07 [mm]以下**にすることで、微細ラティス構造の造形精度を高めることができる
- ✓ ②角度や梁の結節点間の距離の異なるラティス構造を製作して精度を調査  
梁直径0.4 [mm]では**造形比6.56**を超えない場合、梁直径をある程度保ちつつ造形することができる
- ✓ 梁の組み方を工夫して流体力学的な設計を施すことで、**2倍性能の良い構造**を製作することができた

賞の名称 : 日本機械学会熱工学部門 若手講演表彰

発表題目 : 金属AM製ラティス構造放熱フィンの伝熱性能と  
圧力損失の支配因子に関する研究

発表者 : ○小見友介, 柴田貴範, 武田洋一, 三ツ井健司, 神澤富雄

