

第5回 複合材成形のための3Dプリンティングに関するワークショップ

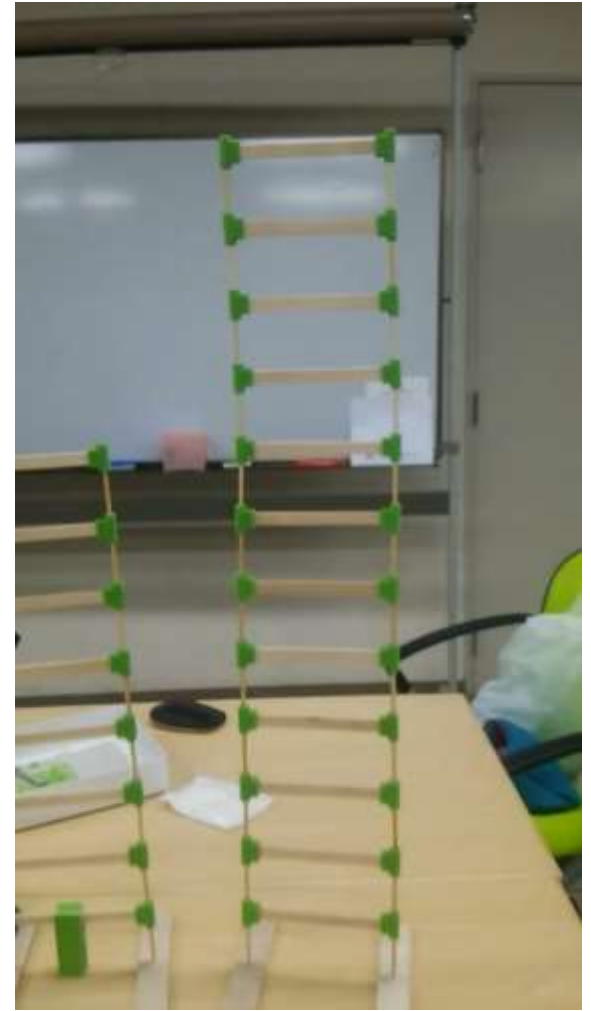
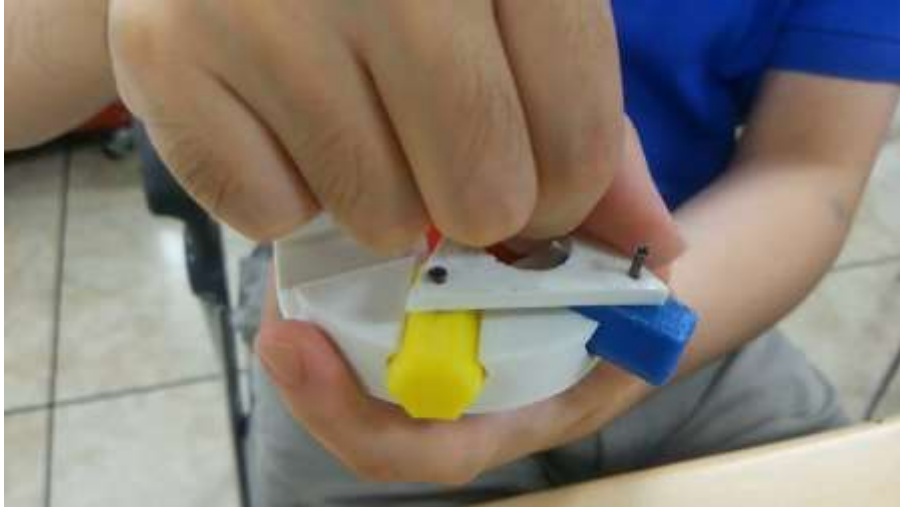
# フードプリンタ と 粒子法による積層シミュレーション

 山形大学

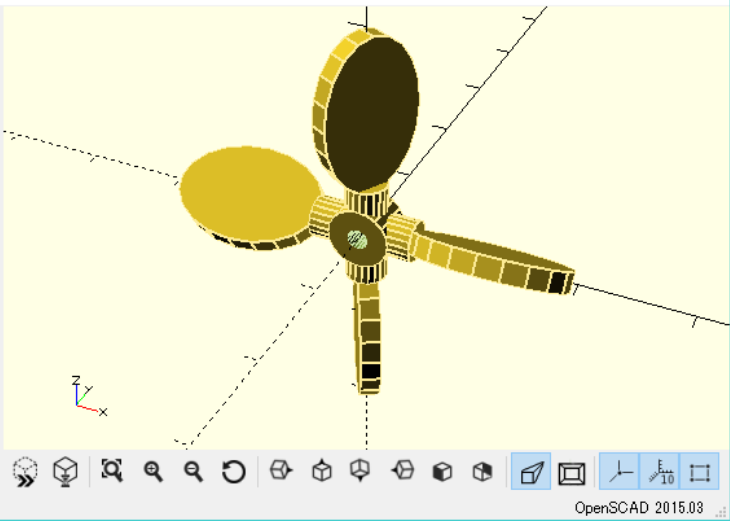
牧野真人、高松久一郎、小玉麻衣、  
吉田一也、齊藤梓、川上勝、古川英光

株式会社シムロン 福澤大輔

東北大学 村島隆浩



```
propeller.scad - OpenSCAD
File Edit Design View Help
Editor
blade_rect(a,b,c,hs,
16 ds);
17
18 }
19 }
20 rotate([90,0,0])
21 //mannakanoyatsuni_anaakeru
22 cylinder(2.1*ds,ri,ri,center=true,
23 $fn=20);
24 }
25 }
26 }
27 }
28 propeller(nb=4,ang=60,a=10,b=2,c=15,hs=5,ds=2,ri
    =1,ro=3,type="ellipse");
```



Viewport: translate = [-0.00 -0.00 -0.00 ], rotate = [ 55.00 0.00 25.00 ], distance = 102.06

OpenSCAD 2015.03

# ルービックキュー(球)



# ひらめき☆ときめきサイエンス・3Dプリンタで探る音のヒミツ 8月5日

<http://swel.yz.yamagata-u.ac.jp/wp/2017/08/20/>



whistle.scad - OpenSCAD

File Edit Design View Help

Editor

```
1
2 use <lib/whistlelib.scad>
3
4 r=10; //radius (distance btw center and vertices)
5 w=20; //length of mouth piece
6 h=5; // thickness of mouth piece
7 d=15; // width of whistle
8 s=1; // slit widht
9 a=3; //exit length
10 b=11; //exit width
11 p=2; //position of exit
12 n=10; // polygonal shape (n>=3)
13 whistle(r,w,h,d,s,a,b,p,n);
14 //whistlec(r,w,h,d,s,a,b,p,n);
```

# きらきら星の演奏



# 食品プリンタ

4年前



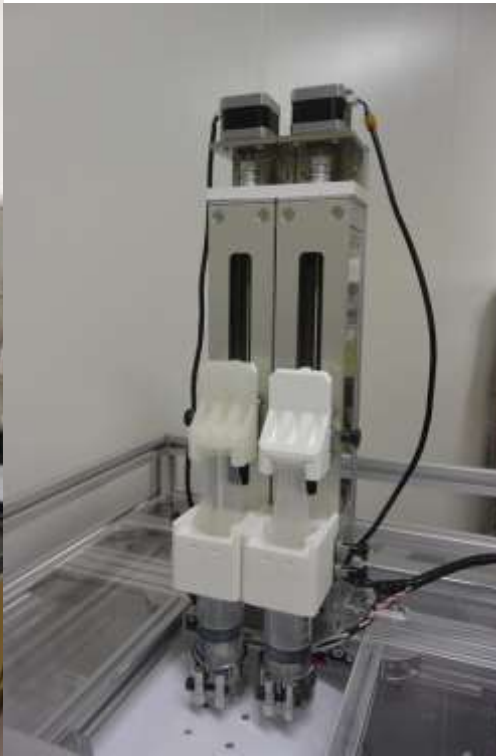
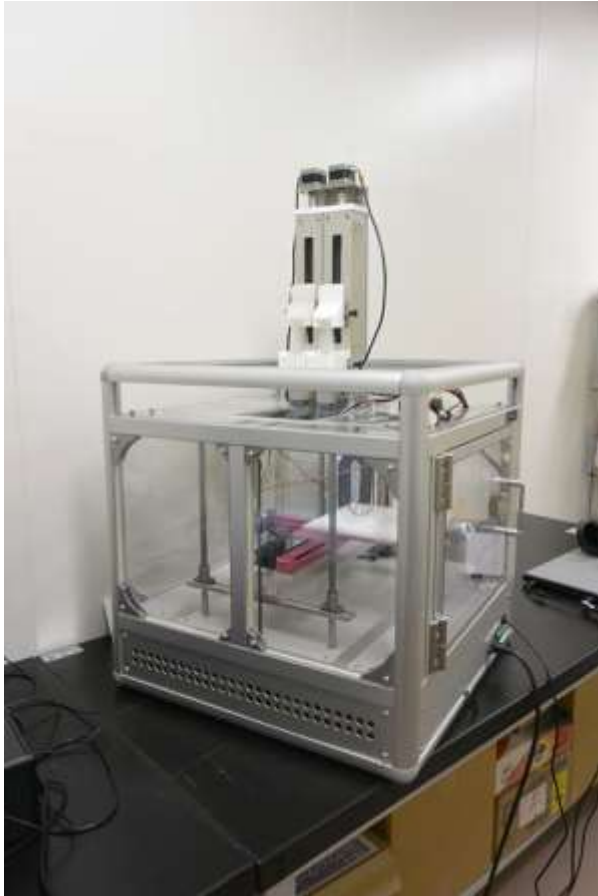
科学フェスティバル(米沢)

9月



Singularity University Tokyo Summit (東京)

# Food printer





練り切り



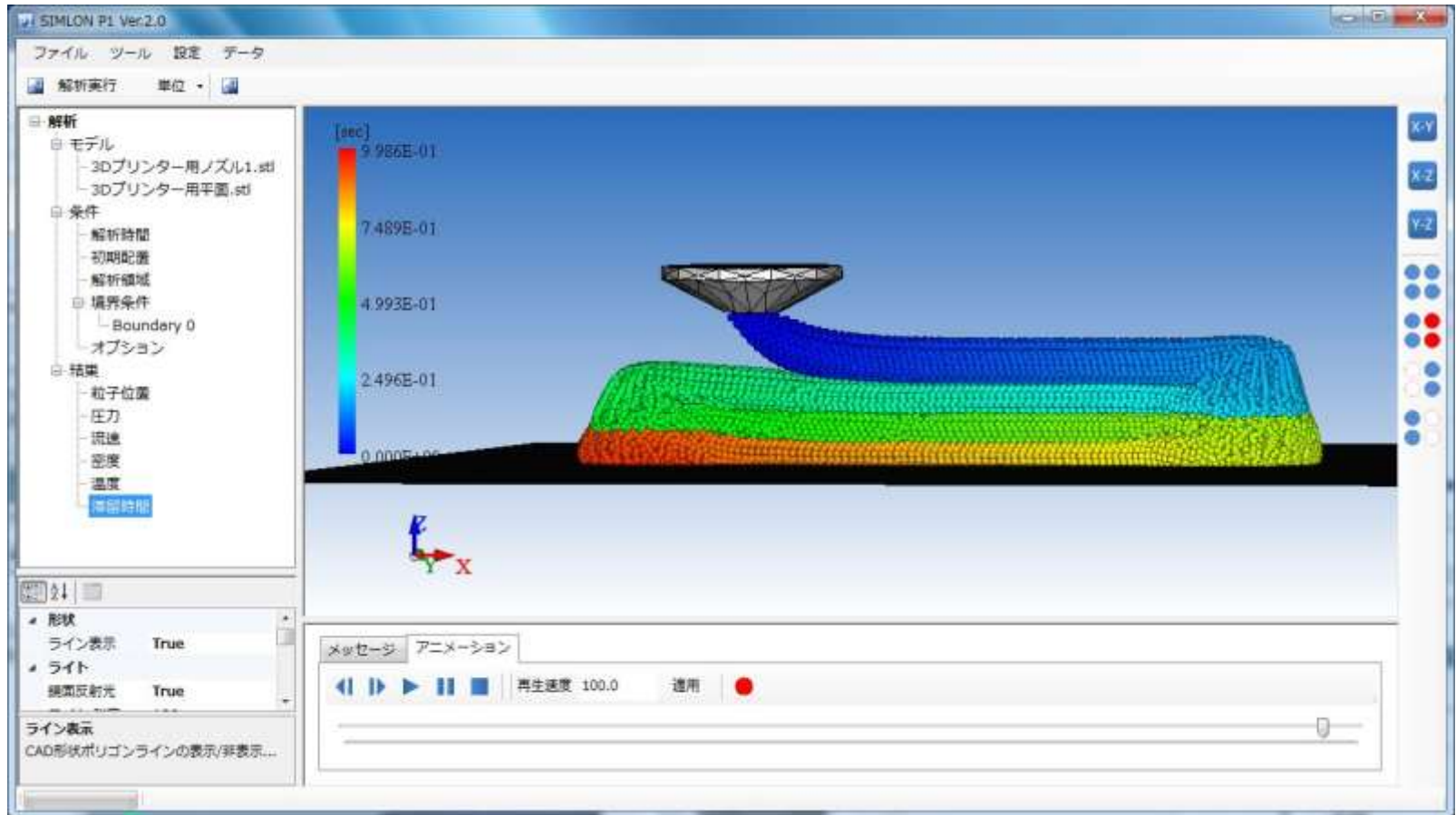
クッキーの生地



# 粒子法解析ソフトP1(Particle One)



株式会社SIMLON



# 今日の目的

"Analysis of deposition modeling by particle method simulation"

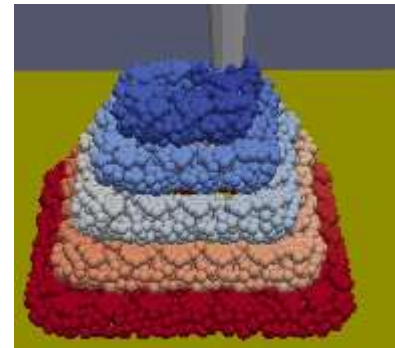
M. Makino, D. Fukuzawa, T. Murashima, M. Kawakami and H. Furukawa

Microsystem Technologies 23, 1177-1181(2017)

コンピューターシミュレーションが適切な積層条件を検討する際の指針となるか、

- 粘度
- ノズルの射出速度

を変化させた場合の積層に関して検討する。



# 基礎方程式

$$\rho \left( \frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t} + \boldsymbol{v} \cdot \nabla \boldsymbol{v} \right) = \eta \nabla^2 \boldsymbol{v} - \nabla p + \boldsymbol{f}$$

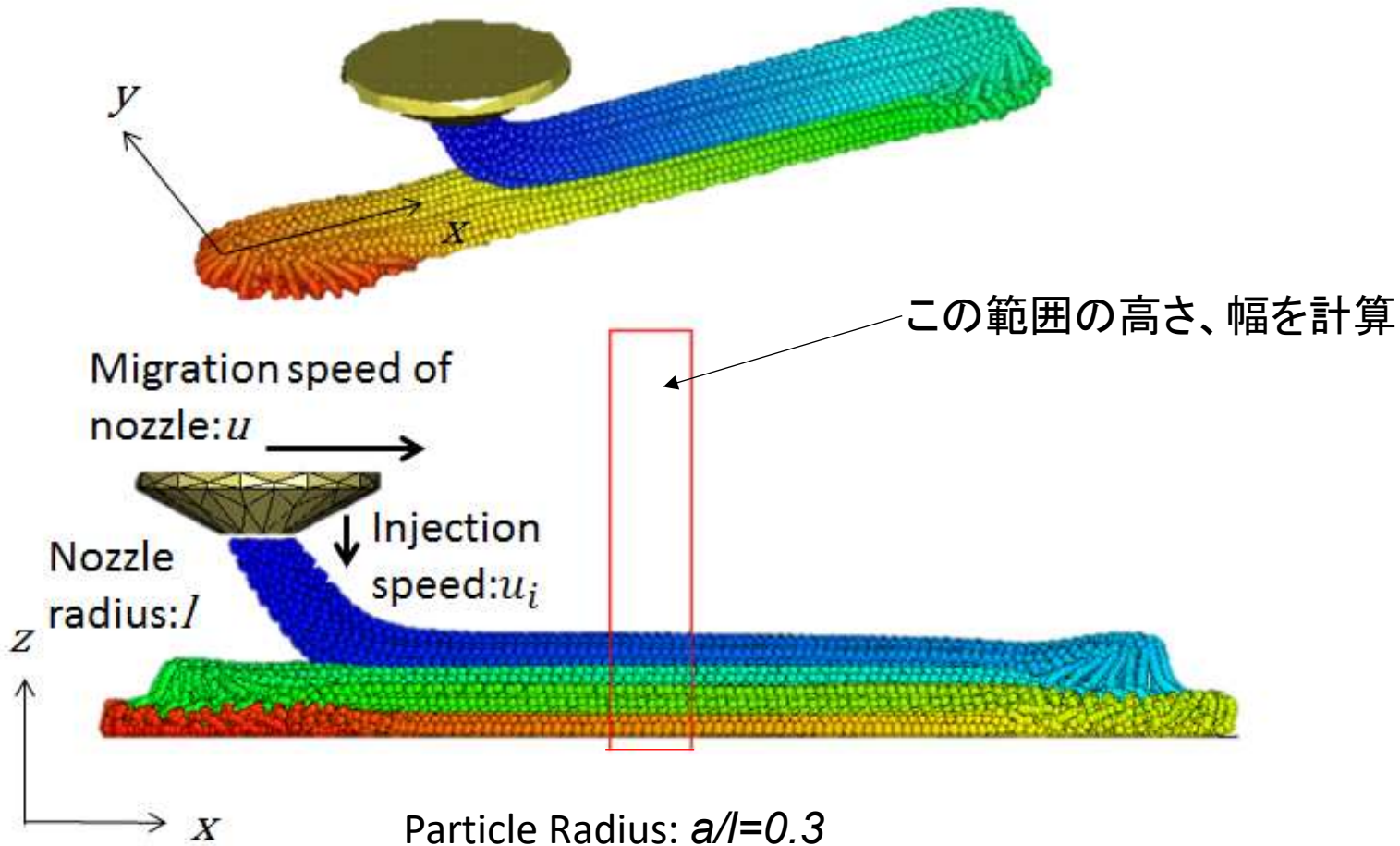
$$\nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0$$

ニュートン流体

$\boldsymbol{f}$ は重力と表面張力に関する体積力

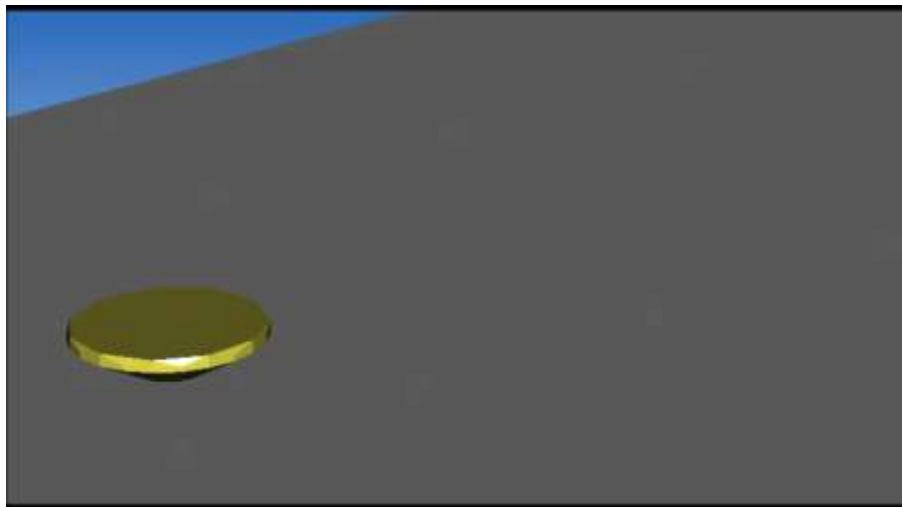
粒子法(Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH)で扱う

# シミュレーションする系



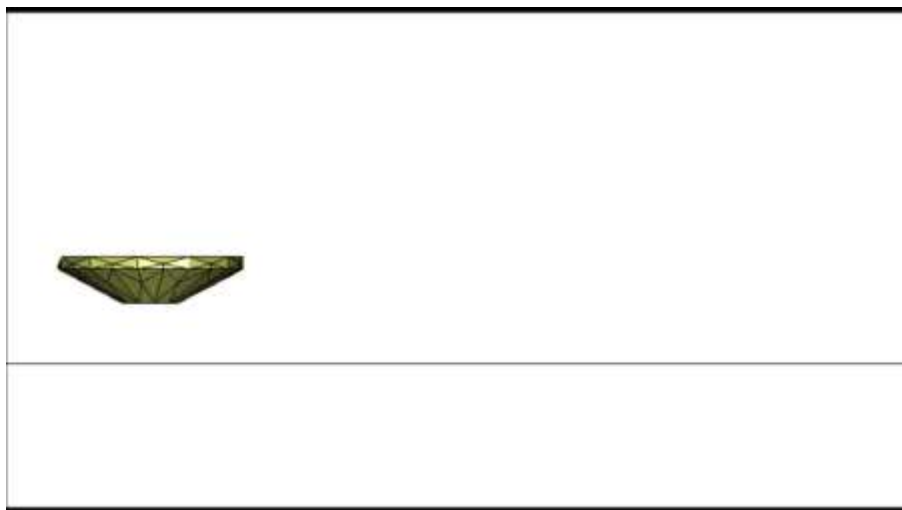
# 粘度が低い場合

$$\frac{\eta u}{\sigma} = 1$$



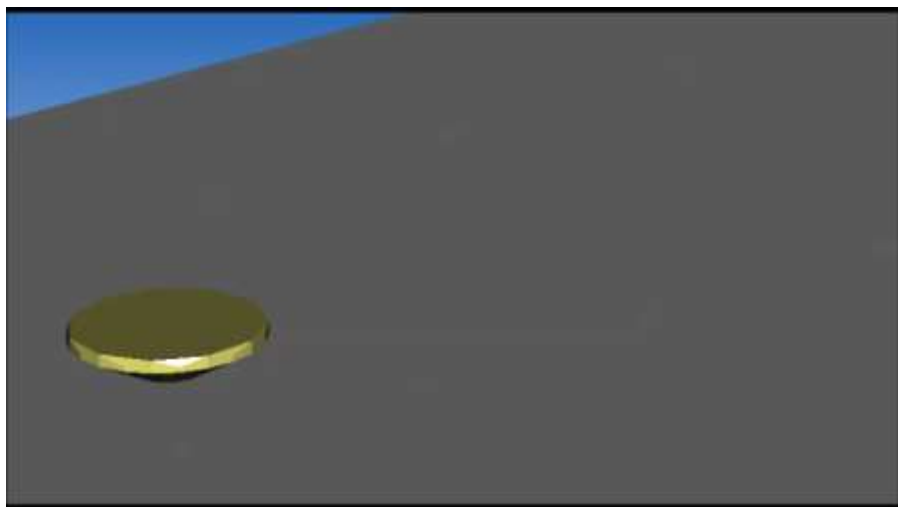
特徴的な緩和時間  $\eta l / \sigma$   
に対するシミュレーション時間  $T$

$$\frac{\eta l}{\sigma T} = 5$$



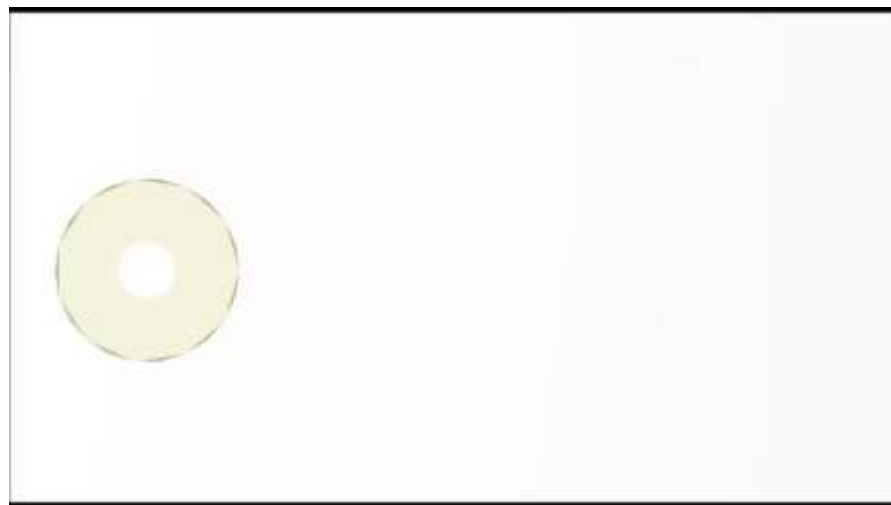
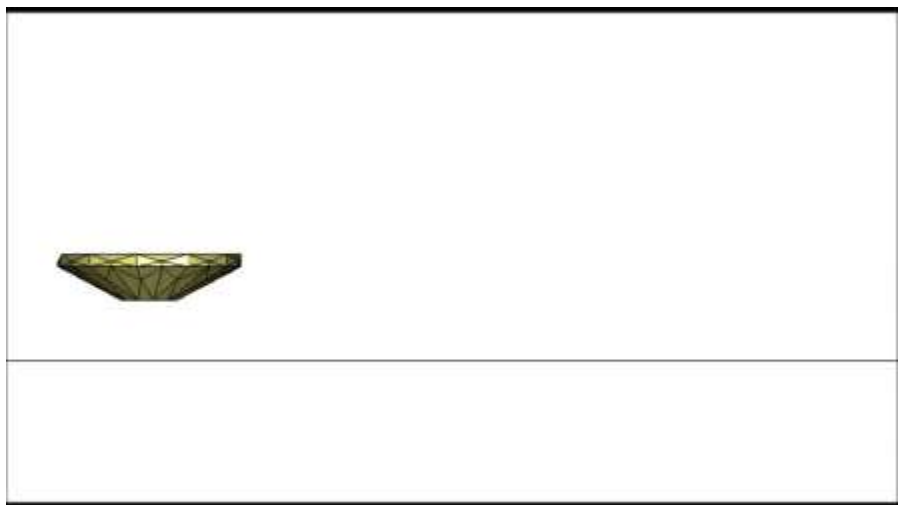
# 粘度が高い場合

$$\frac{\eta u}{\sigma} = 10$$

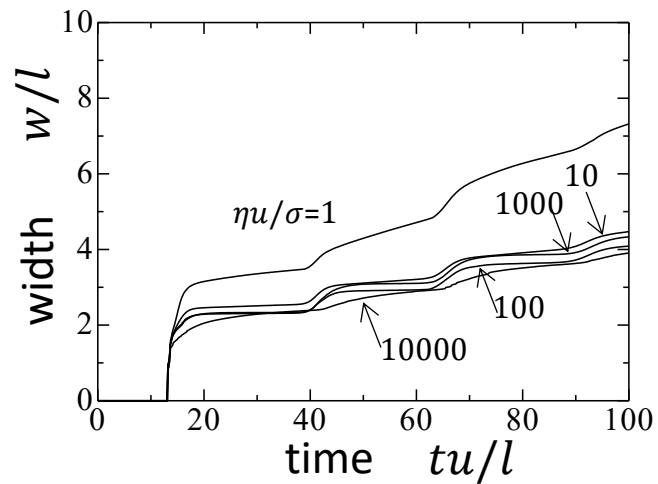
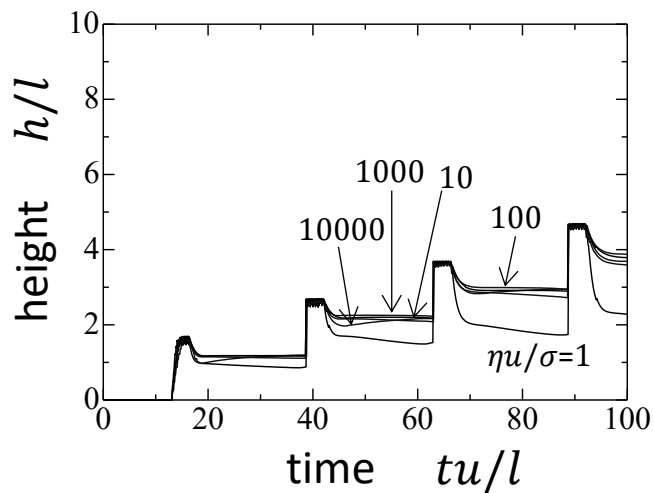
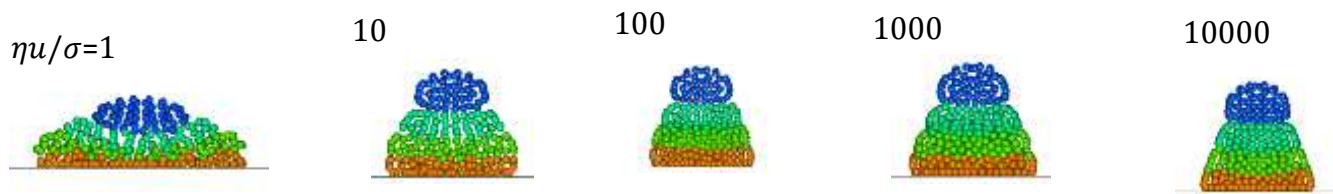


特徴的な緩和時間  $\eta l / \sigma$   
に対するシミュレーション時間  $T$

$$\frac{\eta l}{\sigma T} = 50$$

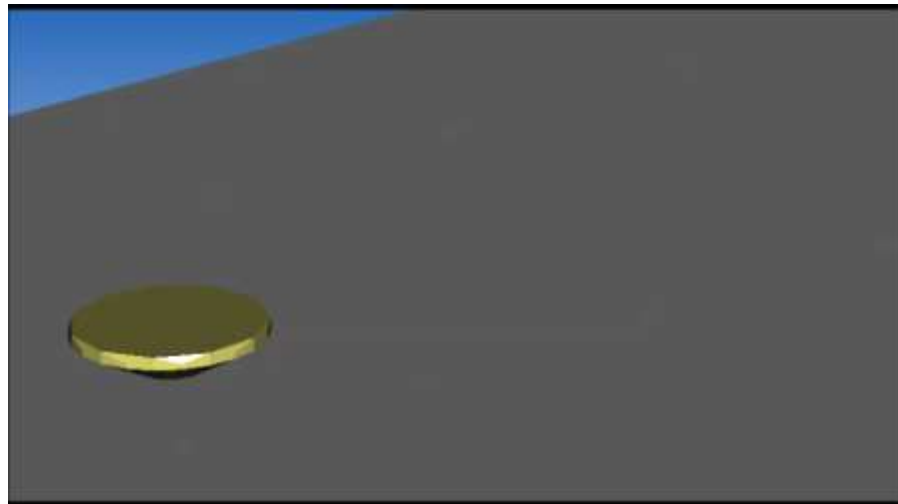


# 時間に対する積層高さ と 幅

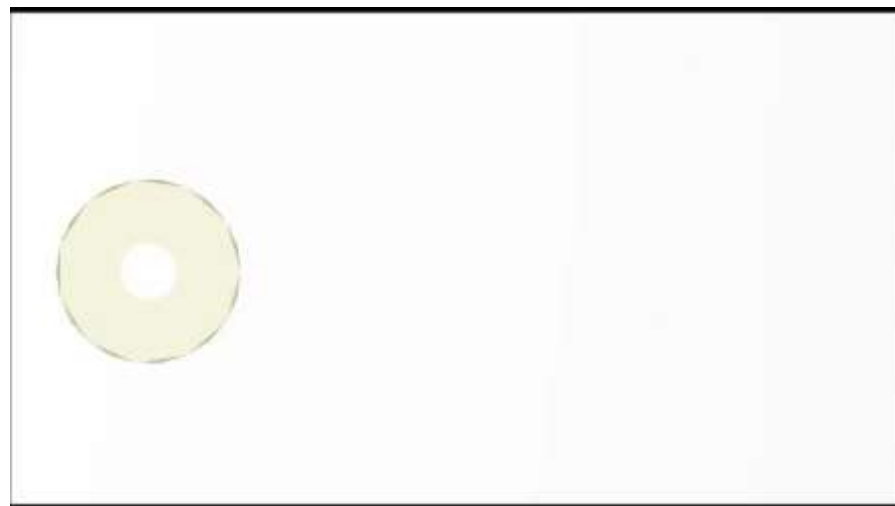
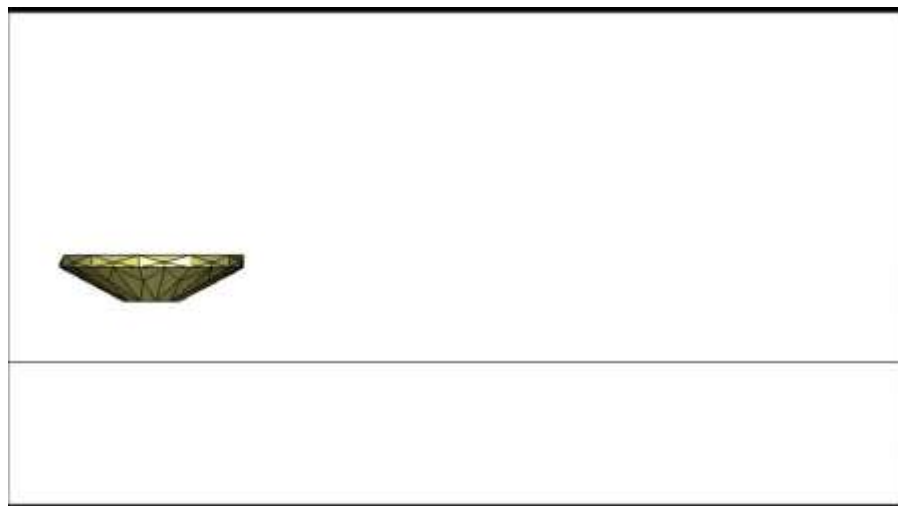


# 射出速度が遅い場合

$$u_i/u = 0.5$$



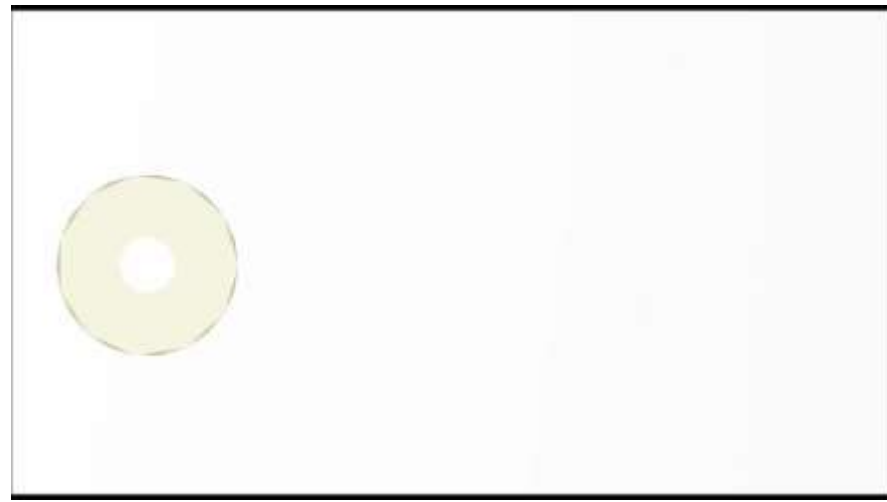
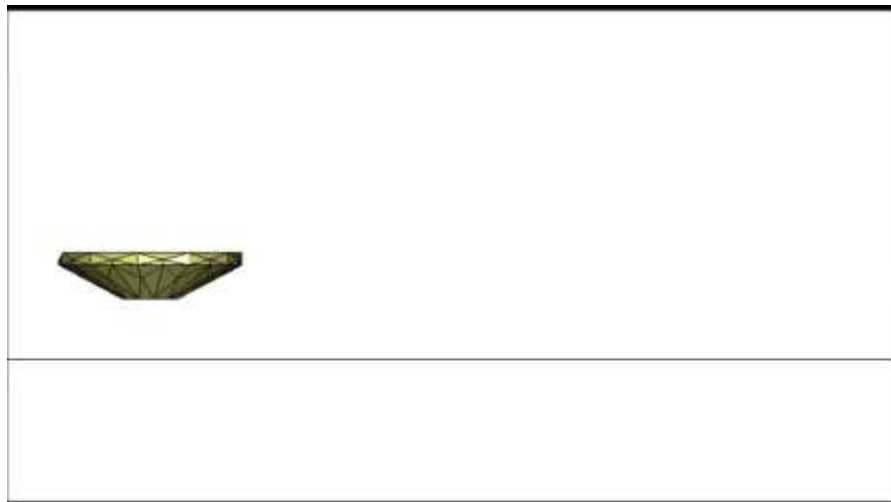
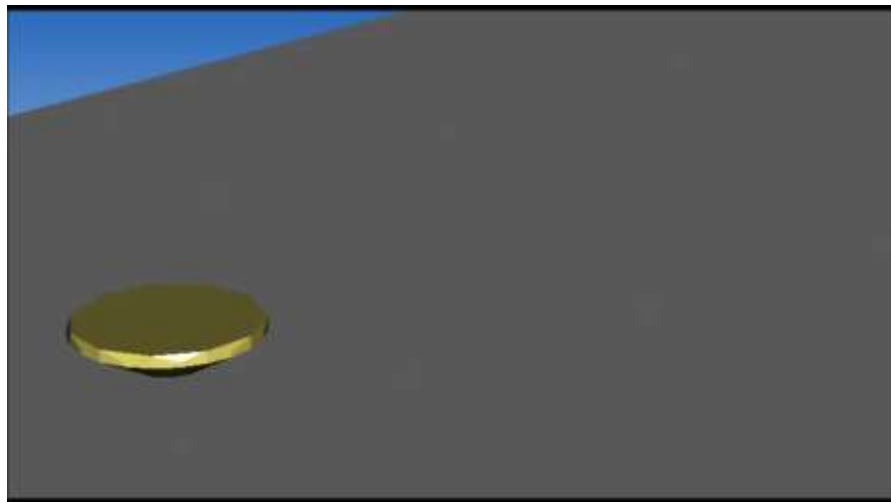
$$\frac{\kappa^{-1}}{l} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} \sim 0.1$$



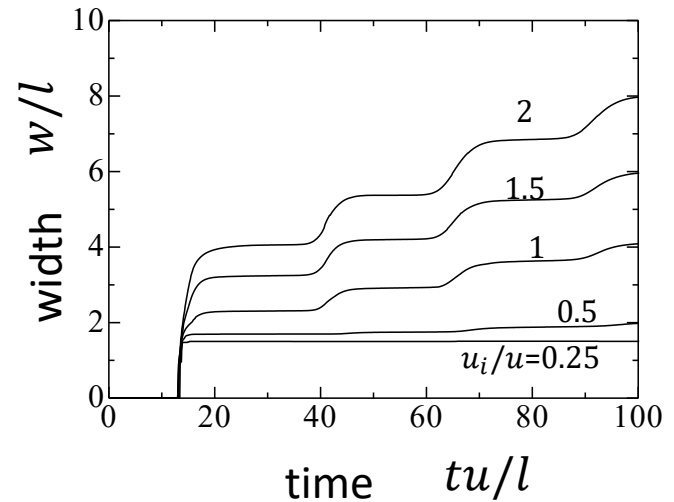
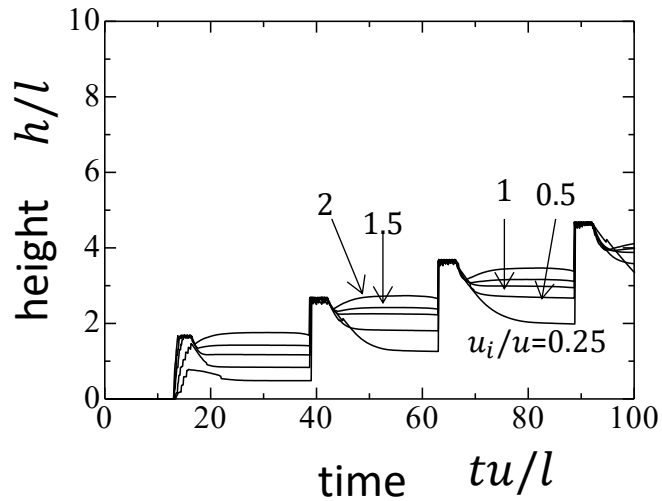
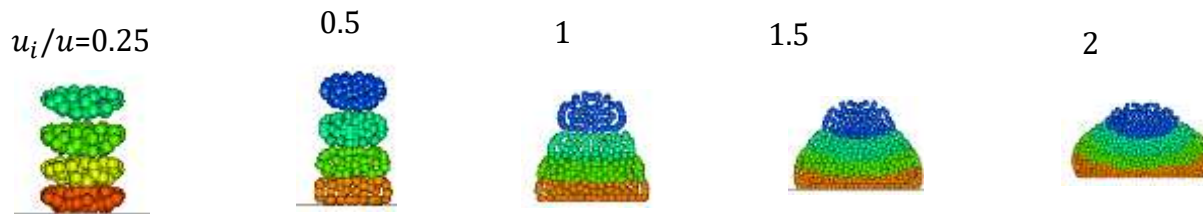


# 射出速度が速い場合

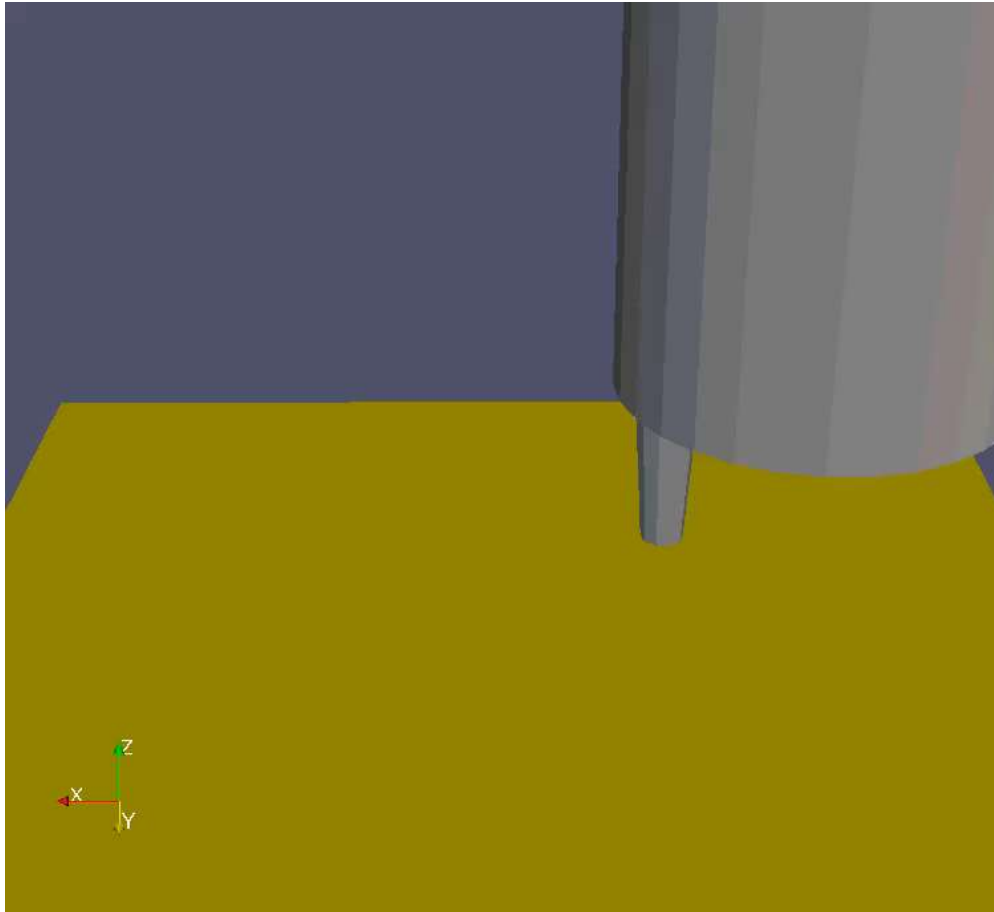
$$u_i/u = 1$$



# 時間に対する積層高さ と 幅



# ピラミッド形状の3D印刷 (低い粘度の場合)



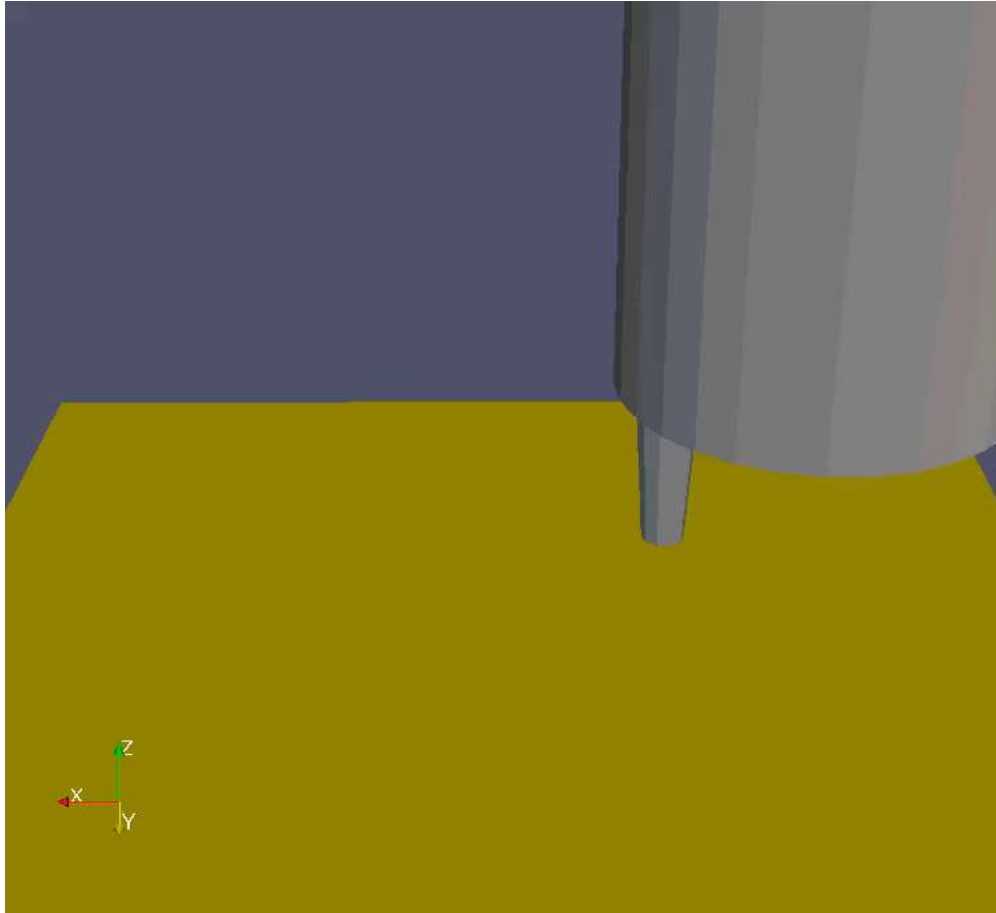
$$\eta = 10^3 Pa \cdot s$$

Characteristic time

$$\tau = \frac{\eta}{\rho g r} \sim 50s$$

Total printing time  $\sim 84s$

# ピラミッド形状の3D印刷 (高い粘度の場合)



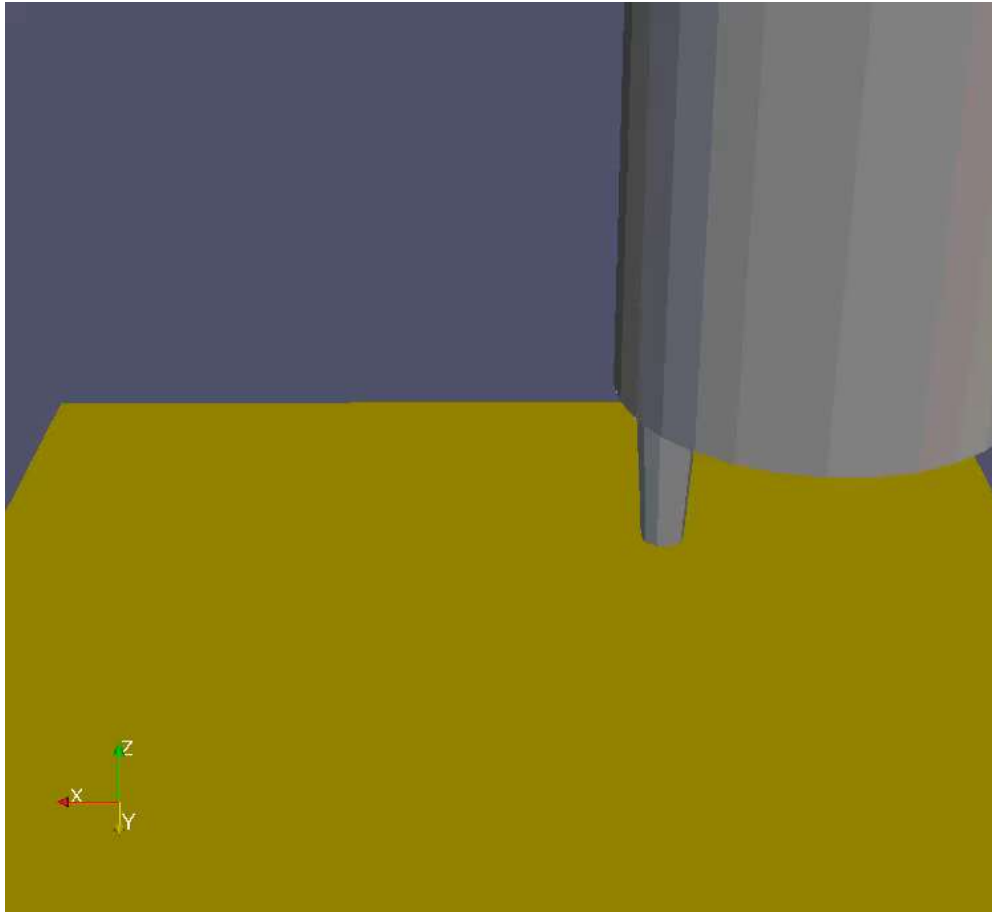
$$\eta = 10^4 Pa \cdot s$$

Characteristic time

$$\tau = \frac{\eta}{\rho g r} \sim 500s$$

Total printing time  $\sim 84s$

# ピラミッド形状の3D印刷 (固化の効果)

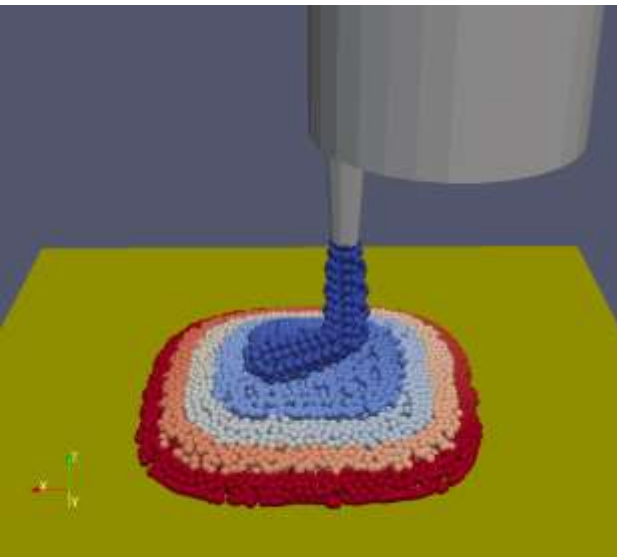


$$\eta = 10^3 Pa \cdot s$$

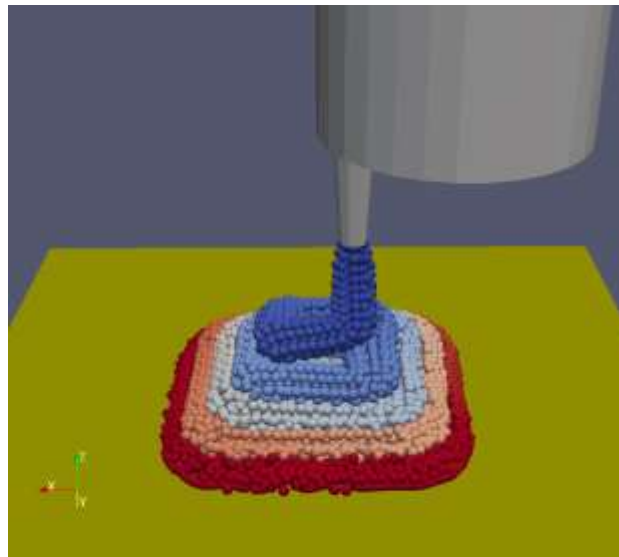
射出後1秒後の粒子は解かない  
→ 固化を表す

Total printing time ~ 84s

$$\eta = 10^3 Pa \cdot s$$

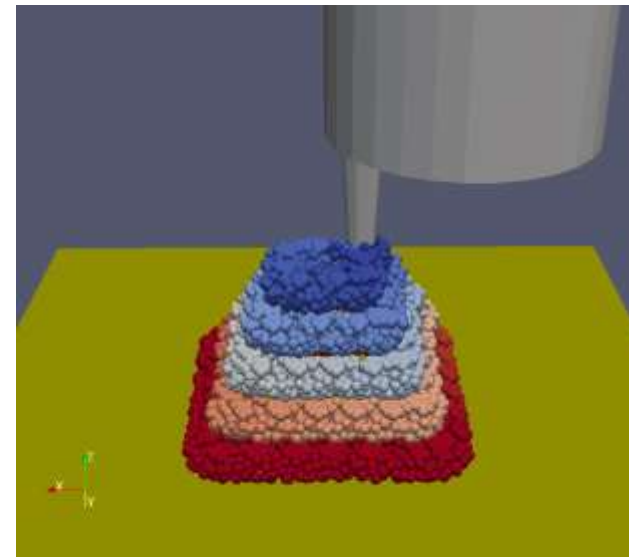


$$\eta = 10^4 Pa \cdot s$$



$$\eta = 10^3 Pa \cdot s$$

Solidification after 1s



## まとめ

- 粘度が高く
- 射出量が少なければ  
積層しやすい

→定性的な理解と一致して、利用できる

## 今後の展望

- 非ニュートン性を考えたい