

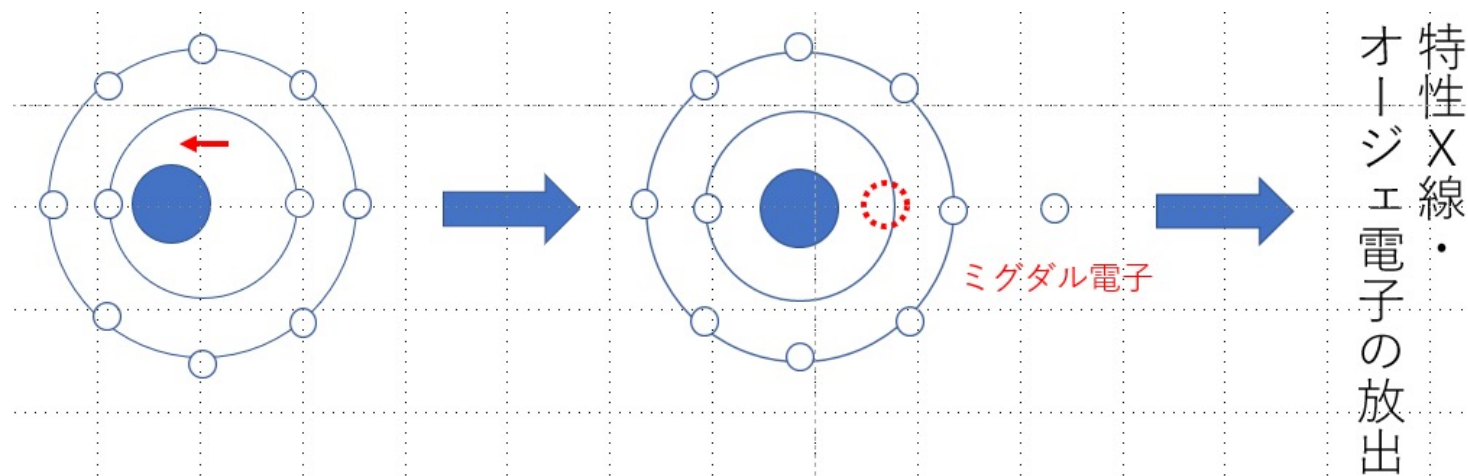
ミグダル効果観測のための キセノン検出器開発の現状

東北大学素粒子実験(加速器)

学部4年 内山 偉貴

ミグダル効果

- 何らかの現象で**原子核が動く**と、その原子核に束縛された電子が低確率で**励起・電離**する現象。



- 低エネルギーな物質が衝突しても生じうるため、暗黒物質探索のエネルギー閾値が下がることに相当し、感度が向上する。

未だ観測されていない

- 原子核から外側にある電子ほど電離しやすく、内側にある電子ほど電離しにくい。

電離する確率(Xe) $1s: 4.6 \times 10^{-6}$, $5p: 1.0 \times 10^{-1}$

- 外側の電子が電離した場合は放出されるエネルギーが小さくノイズに紛れやすい。内側の電子が電離した場合は放出されるエネルギーが大きい。

放出エネルギー(Xe) $1s: 3.5 \times 10^4 [eV]$, $5p: 9.8 [eV]$ [1]



ミグダル効果の観測は難しい

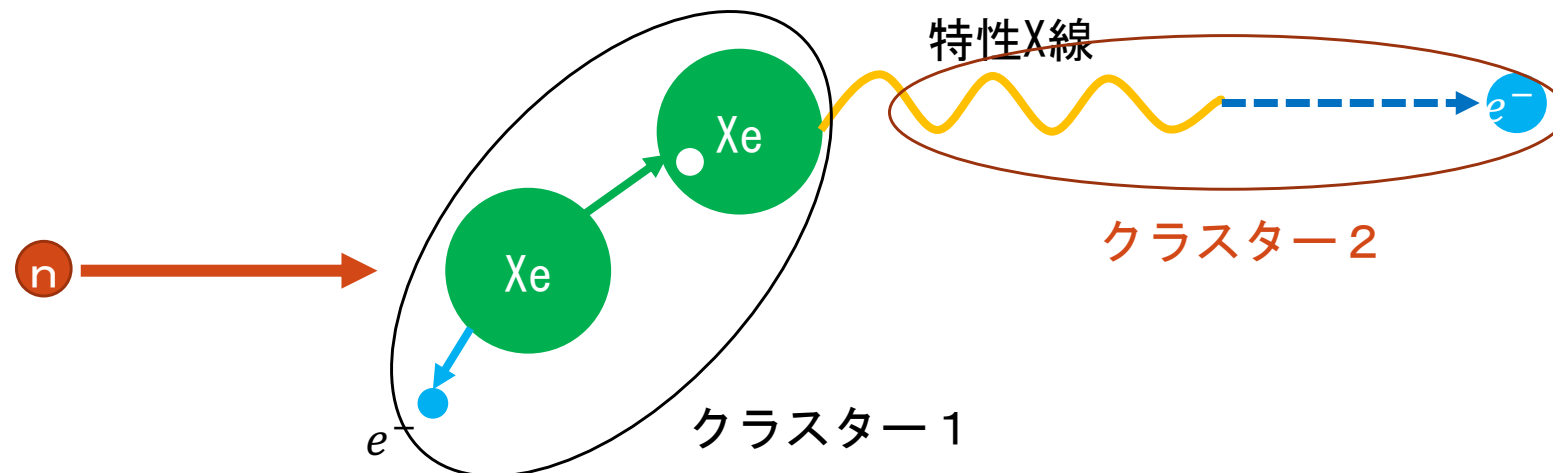
[1] Ibe M., Nakano W., Shoji Y., and Suzuki K., J. High Energy Phys. 1803, 194 (2018)
“Migdal effect in dark matter direct detection experiments”

ミグダル効果を観測するために

- ・(観測しようとしている)ミグダル効果の特徴

原子核反跳、電子 + 特性X線

これら2つのクラスターに注目して観測



実験の準備状況

必要な部品の収集

- 集まったもの
 - 圧力容器
 - フィールドスルー
 - フィールドケージ
 - ELCC（今は京都）
 - MPPCのエレキ

⋮

- 集まってないもの

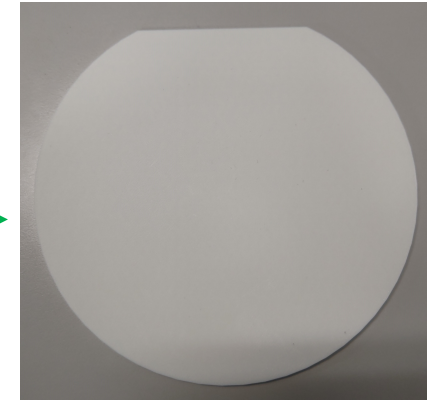
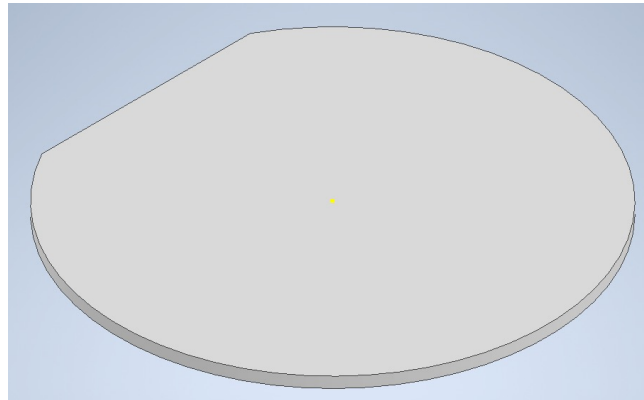
PTFE : **ELCC**を構成するパーツ。小型の検出器に合った形で設計し直すため、必要。

→3Dモデルを作り、それをプリントして大きさや穴の位置を確かめ、良さそうだったら業者の方に作ってもらう。

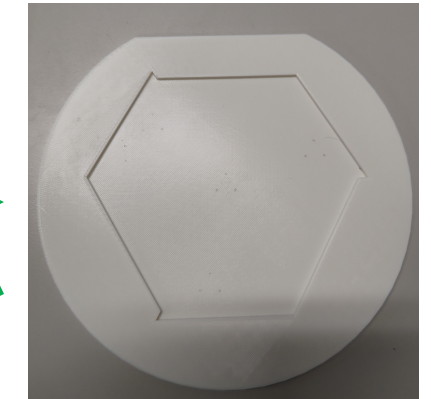
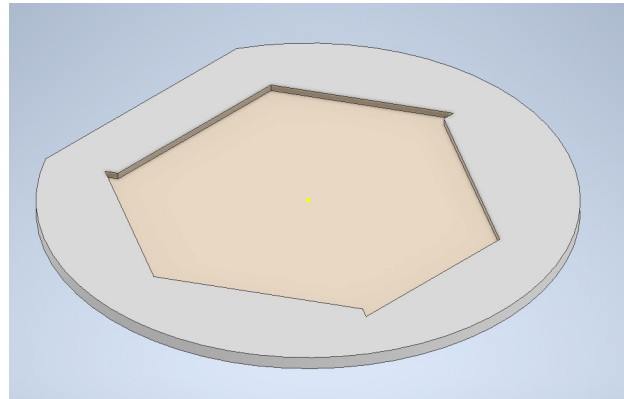


現在進めていること：PTFEのモデル作り

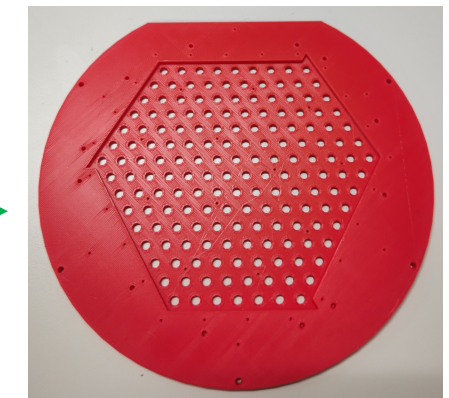
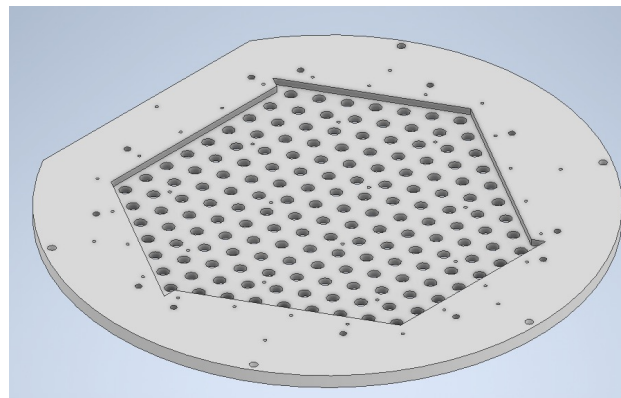
1. PTFEの外形のモデルを作成し、3Dプリントして大きさのチェック。

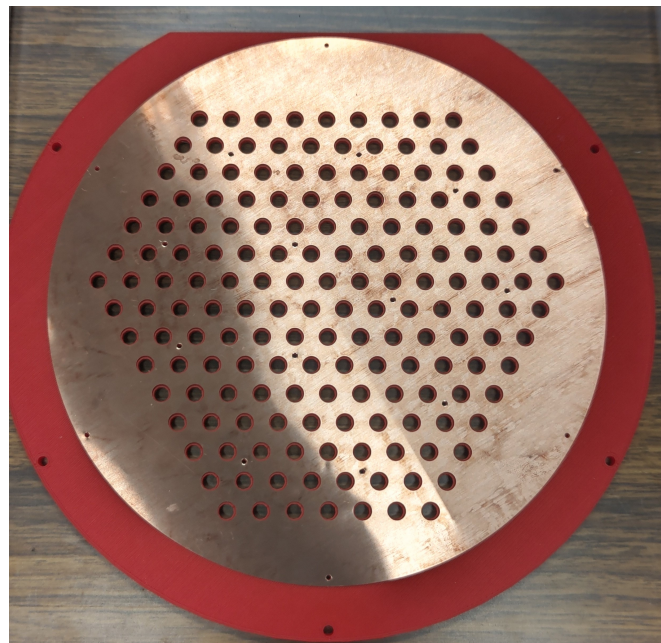
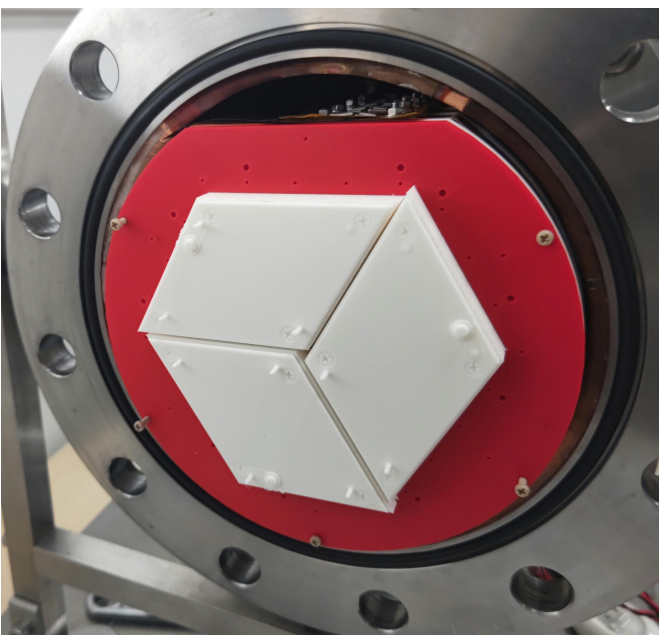
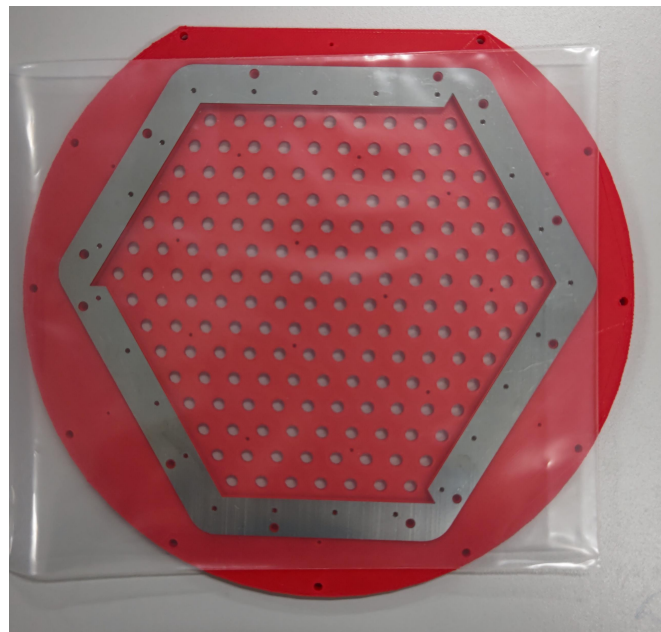
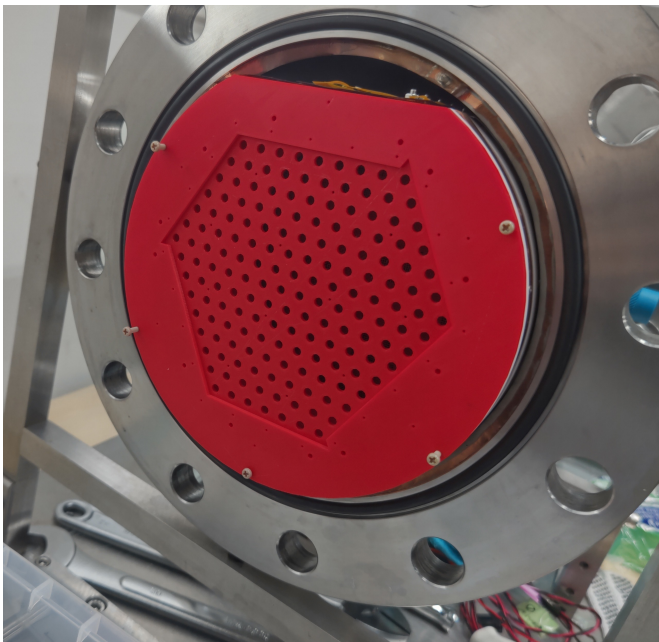


2. PTFEの凹み部分を作成し、3DプリントしてELCCのモデルをはめ込みチェック。



3. 穴の位置や大きさを決定し、3Dプリントして穴のチェック。





PTFEのモデルの確認

赤いパーツがPTFEのモデルを3Dプリントしたものの。

検出器に当てはめたり、ELCCのモデルをはめてみたり、GNDやCu電極の穴と合うか確かめたりすることで、モデルが良さそうか判断。

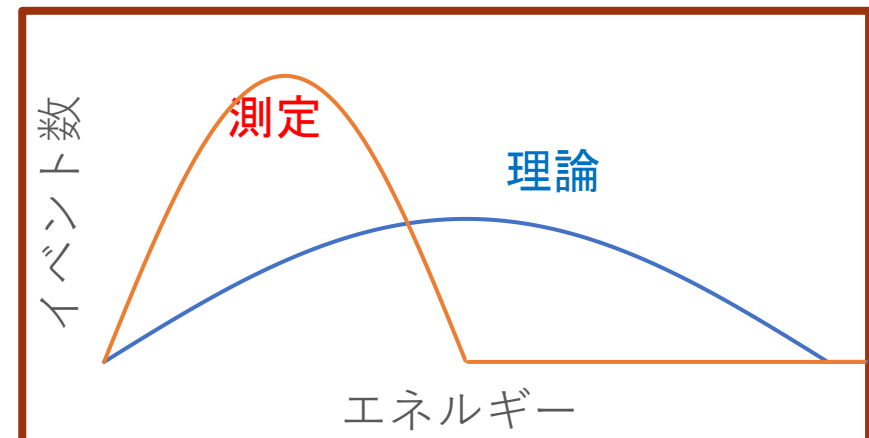
Xe反跳原子核のクエンチングの測定

- 同じエネルギーを持つ電子とXe原子核では、電離させる効率が異なる可能性がある。
- エネルギーの大きさが等しいXe原子核と電子の、電離させた電子の数の比(クエンチング)を測定。
- 565keVの中性子ビームを当てた場合、最大のXe原子核反跳のエネルギーは約17.4keV

→測定においてもエッジができるが、エッジの値が異なる可能性がある。

→測定結果と理論結果を比較し、クエンチング値を求めるのが課題

エネルギー分布のイメージ図



クエンチング測定が何につながるか

• BGとの識別につながる

- ミグダル測定において、中性子と実験室内の物質とが (n, γ) の反応を起こし、この γ 線がBGとして支配的。
- クエンチングの値が分かっているならば、測定でのミグダル信号の分布を予想できる。

例：クエンチング値が0.5のとき

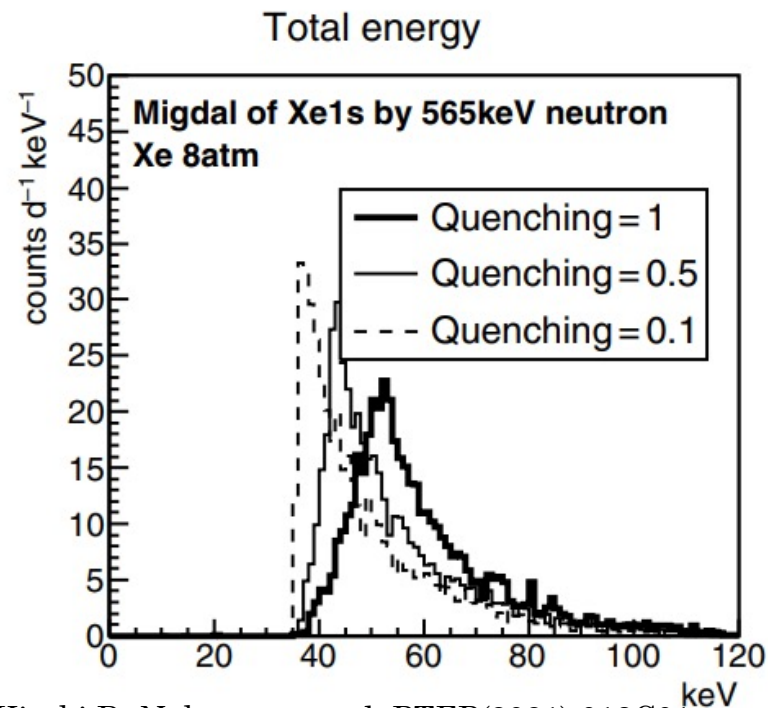
反跳原子核の最大エネルギーは約18keV



測定では～9keVのエネルギーが反跳原子核の信号として現れる



ミグダル効果の信号の分布を予想し、BGの信号の区別につながる



[2]Kiseki D. Nakamura et al, PTEP(2021),013C01
“Detection capability of the Migdal effect for argon and xenon nuclei with position-sensitive gaseous detectors”

今後進めていくこと

- ビーム実験前
 - 論文などで勉強
 - DAQの試験
 - 検出器の組み立て
 - ダークの確認
 - 大気中で放電しないか確認
 - キセノン入れて信号確認
- ビーム実験後
 - データ解析（原子核反跳が見えているか、クエンチングはどのくらいか）

まとめ

- ミグダル効果観測は暗黒物質探索に有用だが、未だ観測されていない。
- 2つのクラスターの信号を測ることでミグダル効果を測定。
- 実験の準備として、PTFEのモデルを作りその図面を製作した。
- 今後クエンチング測定を行い、ミグダル信号の分布の予想につなげる。

参考文献

[1] “Migdal effect in dark matter direct detection experiments”

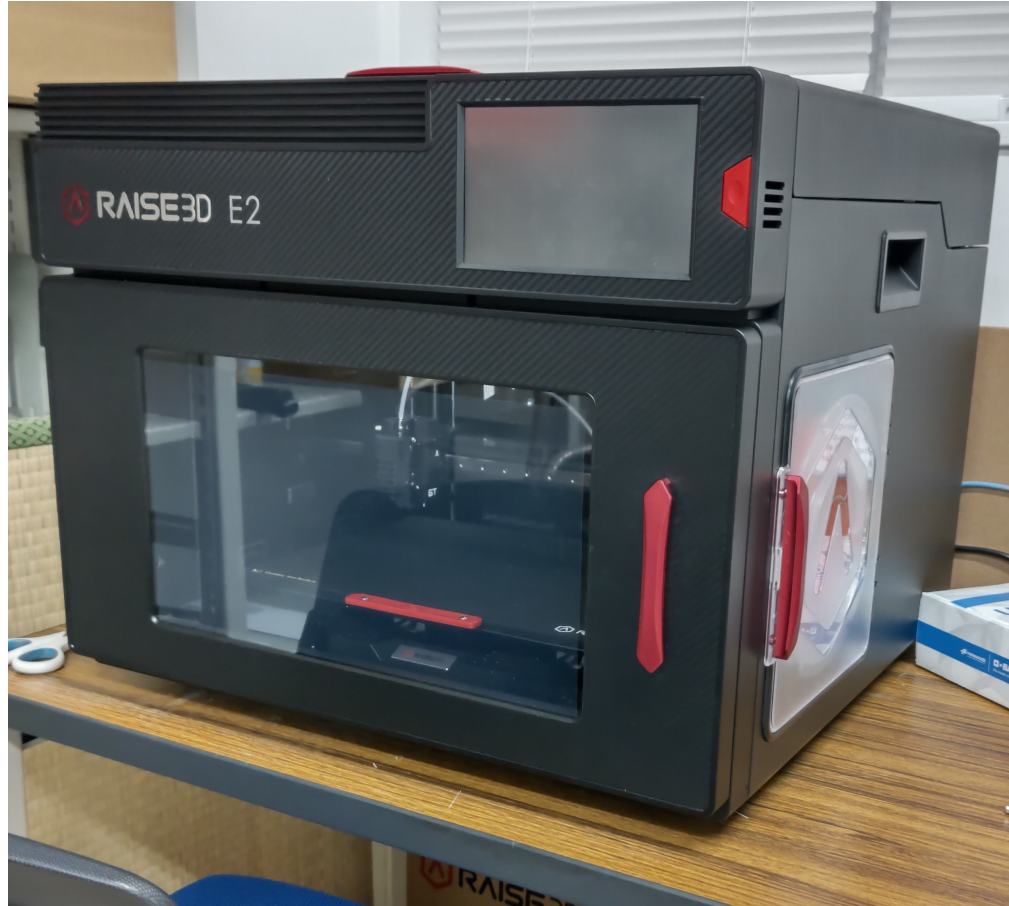
Ibe M., Nakano W., Shoji Y., and Suzuki K., J. High Energy Phys. 1803, 194 (2018)

[2] Kiseki D. Nakamura et al, PTEP(2021),013C01

“Detection capability of the Migdal effect for argon and xenon nuclei with position-sensitive gaseous detectors”

Back up

- 現在使用している3Dプリンタ



RAISE3D E2

- 料金：877,800円
- スペック
 - 最小積層ピッチ：0.02mm
 - 最大積層ピッチ：0.65mm
- ソフトウェア：ideaMaker
- 入力データ形式：STL, OBJ