

令和5年度 課題演習A4  
静電場・静磁場シミュレーション  
簡易マニュアル

# 必要なソフトウェア一覧

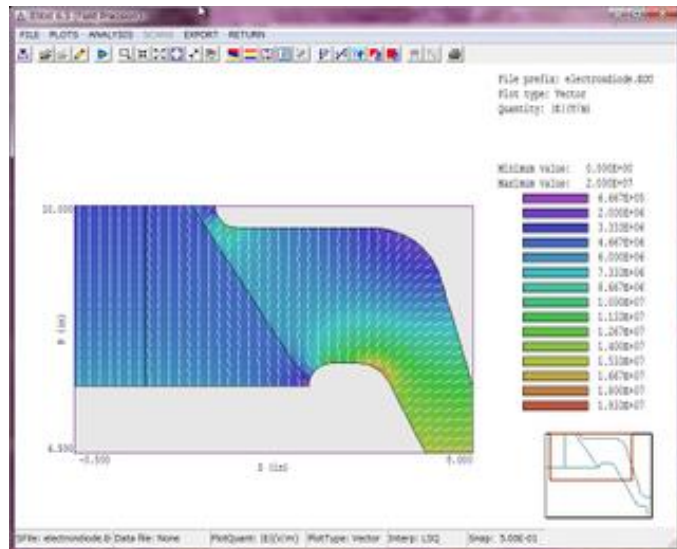
## 有限要素法を用いた静電磁場解析に必要なソフトウェア一覧

- SATE (Static-field Analysis Toolkit) : 下記3ソフトを含んでいる。
  - Mesh : 任意の幾何学的形状に対して適合三角形メッシュを作成する。
  - Estat : 2次元静電場シミュレータ
  - PerMag : 2次元静磁場シミュレータ

<http://www.asl-i.jp/contents/download/sate2.php>

- AutoCAD : Mesh に幾何学形状をインストールするための製図用ソフト
  - 本当は20万円/年 だが京大の教育用は無料で使用できる。

<https://www.autodesk.co.jp/products/autocad/overview>



# Auto CAD install

教育用ライセンスは下記の手順によってインストール可能。

<https://www.cit.t.kyoto-u.ac.jp/ja/services/software/cad>

## 個別認証方式で利用できるソフトウェア

---

以下のAutodesk教育機関無償製品一覧のソフトウェアが利用可能です。

Autodesk教育機関無償製品一覧

<https://www.autodesk.co.jp/education/free-software/featured>

## 個別認証方式でのソフトウェアのインストール手順

---

個別認証方式のインストール手順は教職員と学生とで異なります。教職員の方は教職員用の手順に従って、学生の方は学生用の手順に従ってAutodeskアカウントを作成し、シリアル番号/プロダクトキーの発行、製品のインストール、製品のアクティベーションを行ってください。

- [個別認証方式のインストール手順（教職員用）](#)
- [個別認証方式のインストール手順（学生用）](#)

← ここからインストール！

## 利用規約

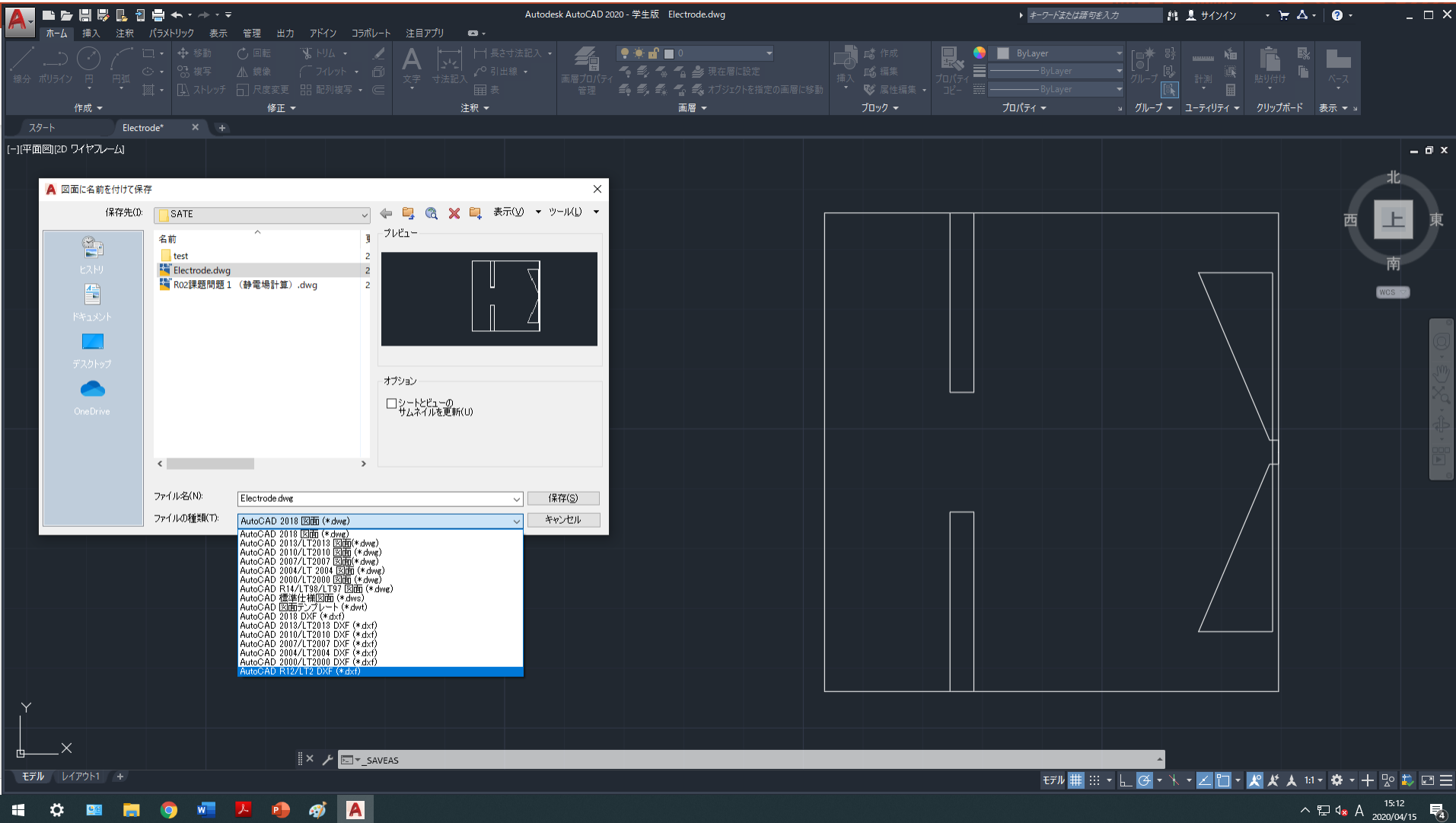
---

個別認証方式はAutodesk社が提供するサービスのため、Autodesk教育機関向け製品の利用規約が適用されます。ご利用前にご一読いただきますようお願いいたします。

- [Autodesk教育機関向け製品 利用規約](#)

# AutoCAD による作図

AutoCAD の画面は下記の通り。



通常の編集用は” .dwg” 形式で保存してよいが、  
Mesh に読み込む用のDXFは一番下のAutoCAD R12/LT2 DXF で保存する。

# SATE インストール

インストール先は下記URLから。

<http://www.asl-i.jp/contents/download/sate2.php>

## ダウンロード

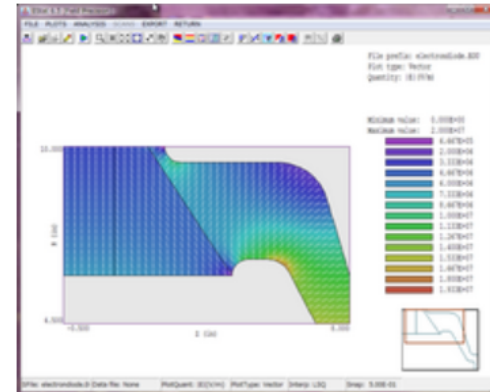
ホーム > ダウンロード > SATE (無料2次元静電解・静磁界計算ソフト、フリーウェア)

### ▶ SATE (無料2次元静電解・静磁界計算ソフト、フリーウェア)

静電界静磁界解析キット (Static-field Analysis Toolkit) の教育(フリー)バージョンです。2次元の静電界および静磁界解析が可能です。

このパッケージにはメッシュ作成のためにドローイングエディターとDXFファイルインポート機能を持つメッシュジェネレーターが含まれています。

- 静電場ソルバー、EStatは非等方性材質や数学的に定義した分布を持つ誘電率、伝導率を有する材質を扱うことが可能です。
- 静磁場ソルバー、PerMagは永久磁石の非線形特性を扱うことが可能です。



▶ SATE ダウンロード

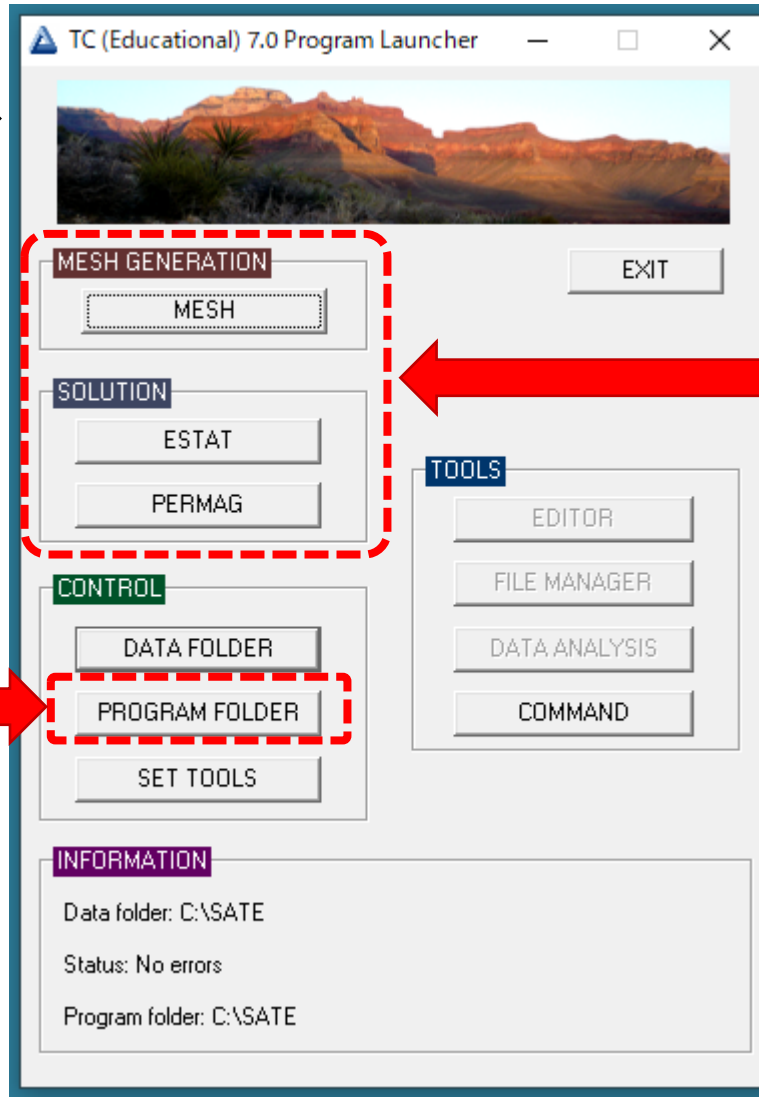
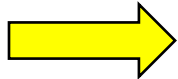
◀ ここからインストール!

- ▶ メッシュ作成ソフトMesh日本語チュートリアル ダウンロード
- ▶ メッシュ作成ソフトMesh日本語マニュアル ダウンロード
- ▶ 静電場ソルバーEStat日本語チュートリアル ダウンロード
- ▶ 静電場ソルバーEStat日本語マニュアル ダウンロード

※製品版のマニュアルです。PerMagの日本語マニュアルは現在製作中です。

# SATE

SATEをインストールするとデスクトップ TC (TriCompという有償版の名前) というアイコンができる。



計算に使用するのはこの3つ。

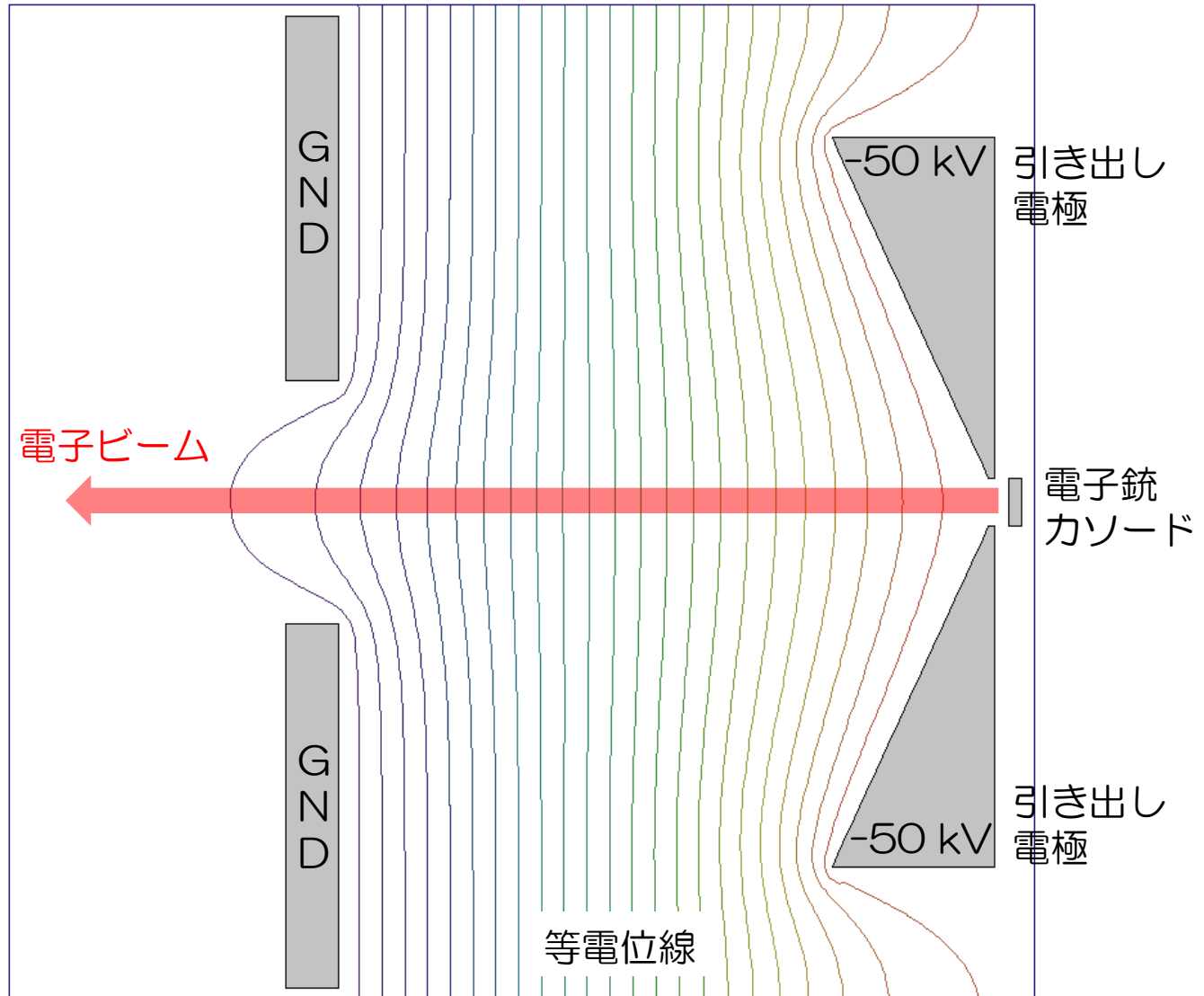
- MESH : メッシュ作成
- ESTAT : 静電場計算
- PERMAG : 静磁場計算

先ずここを押し  
て、Mesh, Estat,  
PerMag のディ  
レクトリを指定。

# 静電場計算

# 静磁場計算：課題

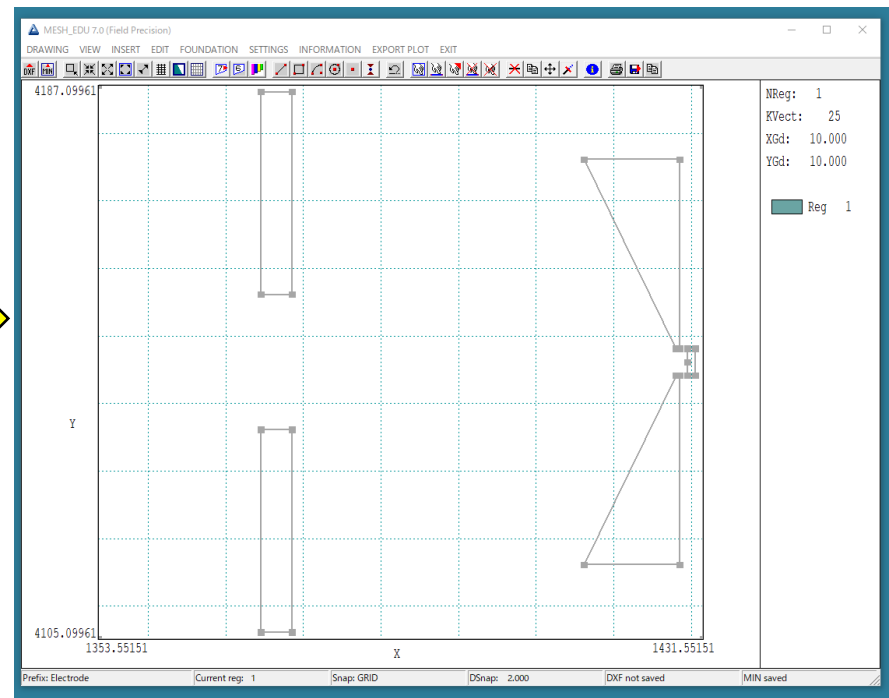
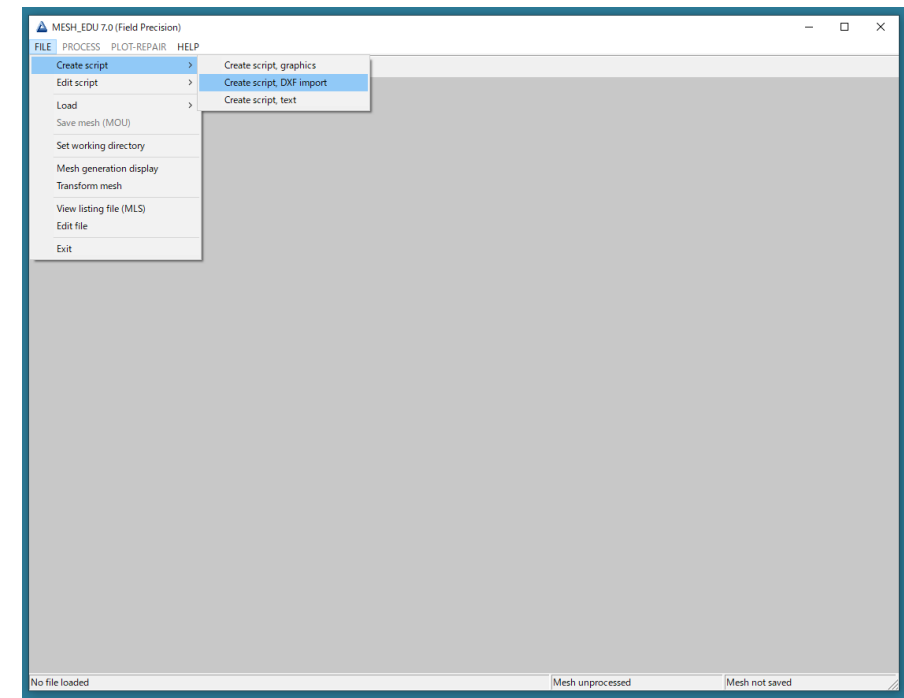
下記の電子銃の引き出し電極周辺をシミュレーションする例をこれから示す。





# MESH : DXF file import

FILE > Create script > Create script, DXF import を選択し、AutoCADで R12/LT2 DXF 形成で保存したジオメトリファイルを読み込む。



読み込むときに Planer か Cylindrical が 選択できる。  
上の図は Planer で読み込んだが、Cylindrical は対称性を利用して計算範囲の削減が可能である。

→ 対称性のあるジオメトリは Cylindrical 推奨。

# MESH : Region

静電場・磁場を計算するとき、当たり前だが空気、高圧電極、グラウンド電極など様々な要素が必要となる。

MESH では “Region” という概念で要素を分けている。

基本的には一つの要素につき一つの Region を用意する必要がある。

SETTING > Region properties から現在のRegionが見れる。

The screenshot shows the MESH\_EDU 7.0 (Field Precision) software interface. The main window displays a coordinate system with X and Y axes. The X-axis ranges from 1353.55151 to 1431.55151, and the Y-axis ranges from 4105.09961 to 4187.09961. A grid is overlaid on the plot area. A red arrow points from the 'SETTING' menu in the top toolbar to the 'Region Settings' dialog box. The dialog box is titled 'Region Settings' and contains a table with the following data:

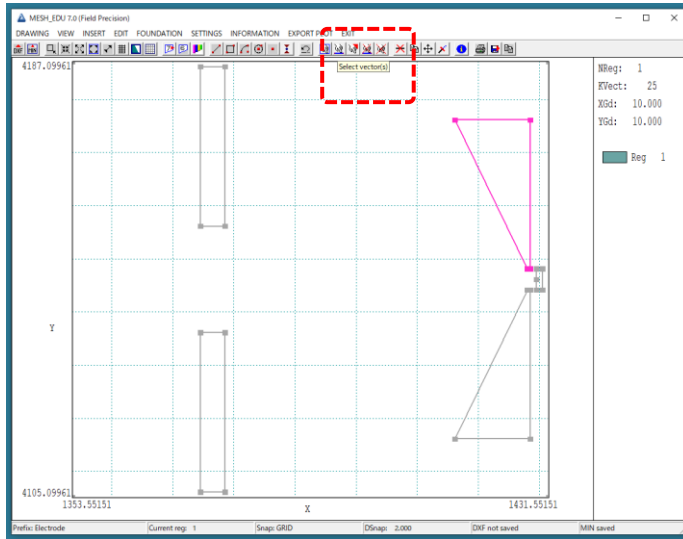
Region	Visible	Locked	Filled	NumVect	Title
0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	25	REGION000
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	REGION001

Below the table, there are buttons for 'Display all', 'Lock all', 'OK', 'Display none', 'Unlock all', and 'Cancel'. The status bar at the bottom shows 'Prefix: Electrode', 'Current reg: 1', 'Snap: GRID', 'DSnap: 2.000', 'DXF not saved', and 'MIN saved'.

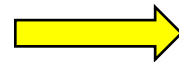
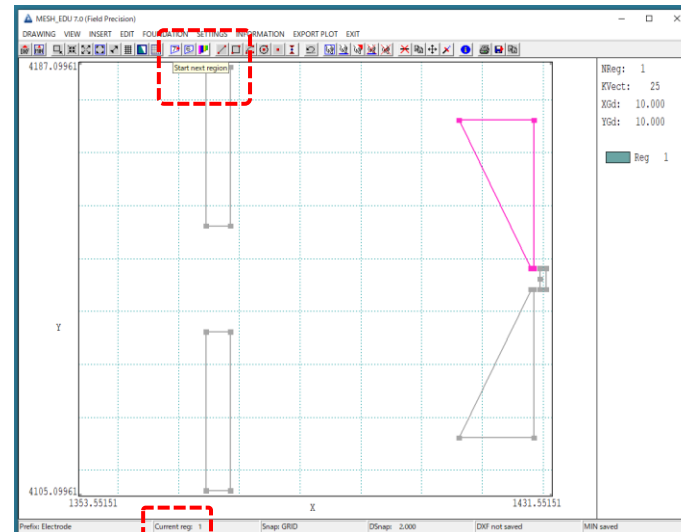
# MESH : Transfer

MESHでは下記の様に各要素を Vector（線）単位で選択し、Region 毎に分ける必要がある。

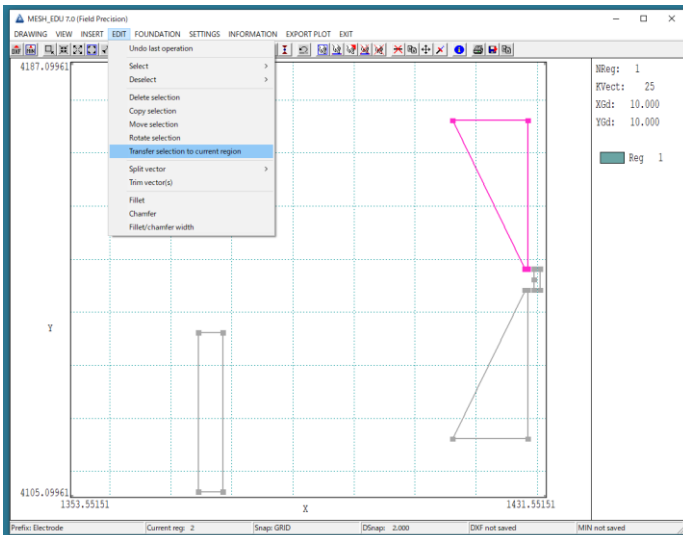
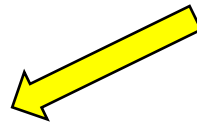
電極のVectorを選択する



Start next region で新しい Region を作成する。




Start next region をクリックすると、新しい Region ができてなおかつそこに移動する。



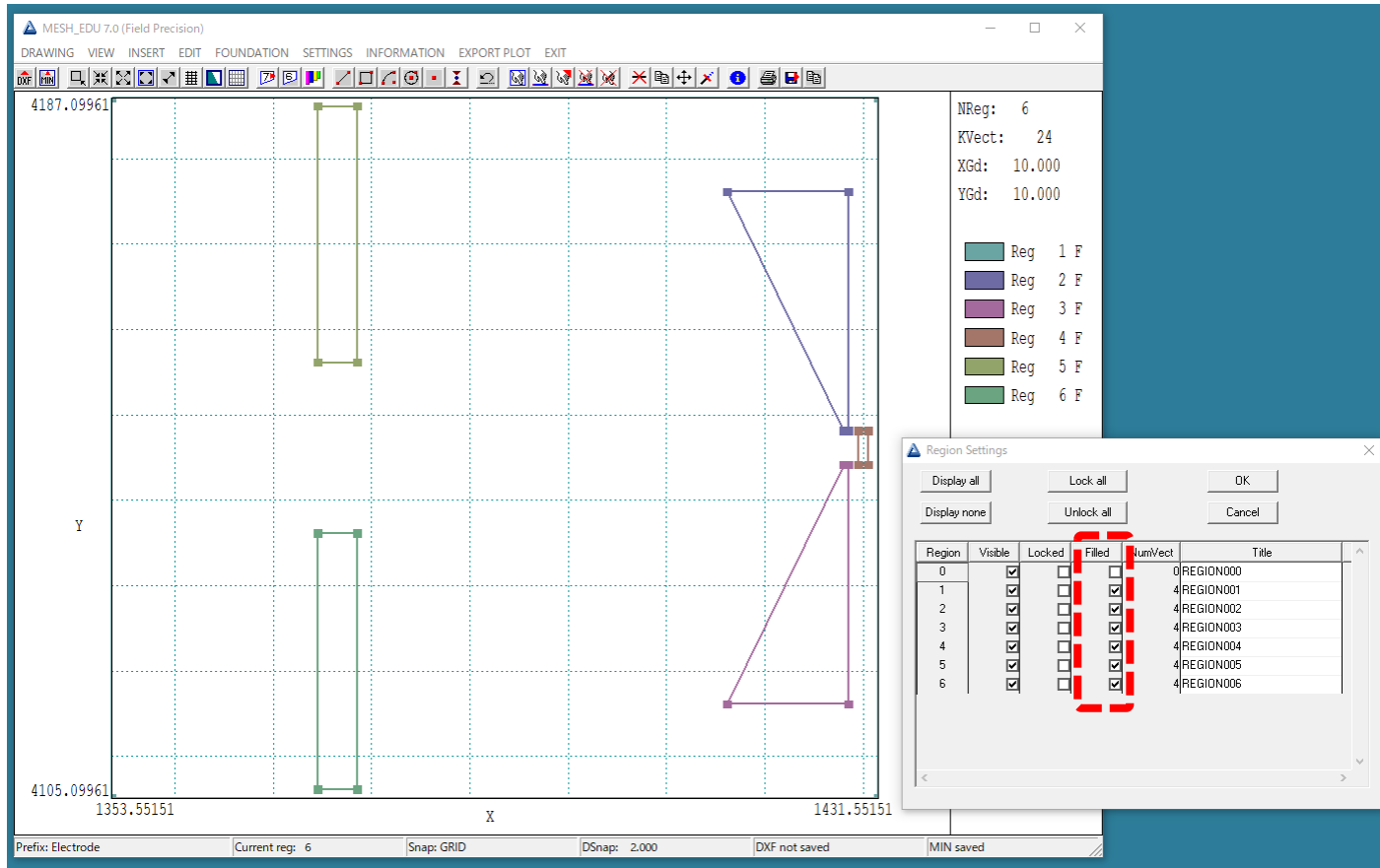
EDIT > Transfer selection to current region をクリックすると、選択した Vectors が Current region に移動する。

(注意)

この時 Vectors が作る要素は閉じている必要がある。  
また、選択した Vector はアイコンタブの  から未選択状態に戻すことができる。

# MESH : Region properties

すべての要素を Region 毎に分けると以下の様になる。  
Region properties から各要素を“Filed”にしておく。



【注意！！】

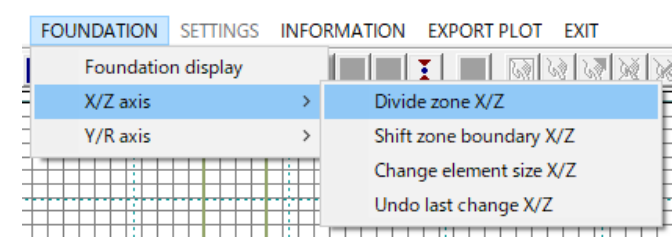
- Vector 0 の空の Region があると上手く計算ができない。
- 一つのRegionにおいて、Vector が作る構造物は閉じている必要がある。  
(Vector の始点と終点はつながっていないといけない。)

# MESH : Foundation

Default では位置分解能は 1mm なので、精度が足りない場合がある。

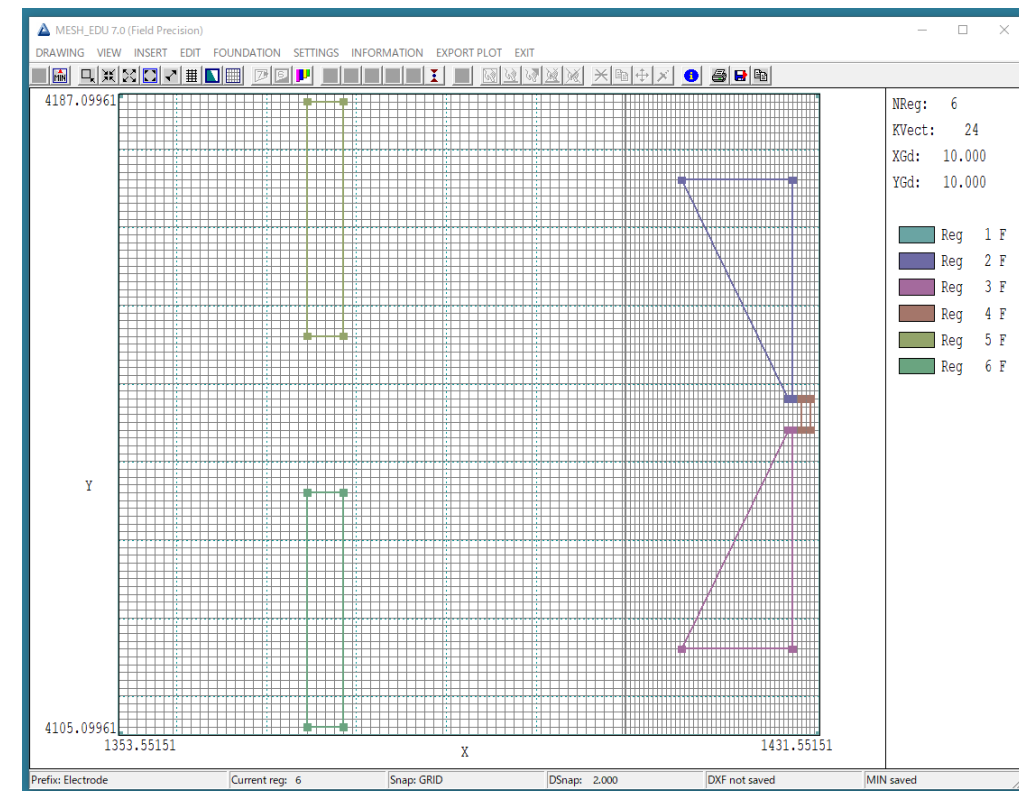
FOUNDATION > Foundation display からその精度を変更できる。

例えば電子銃の引き出し電極の箇所だけ精度を 0.5 mm に変更するとする。



FOUNDATION > X/Z axis > Divide zone X/Z  
で領域を区切ることができる。

その後 Change element size X/Z で要素のサイズを変更することができる。

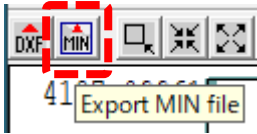


ある特定の領域だけ精度を変更すると左図のような図になる。

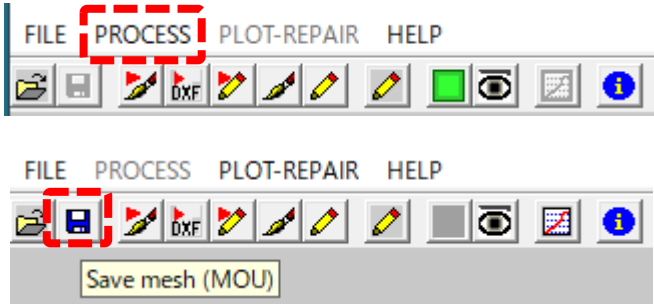
(注意)

無料版である SATE は計算できる要素数に制限があるので、やりすぎると動かない。

# MESH : PROCESS → PLOT-REPAIR

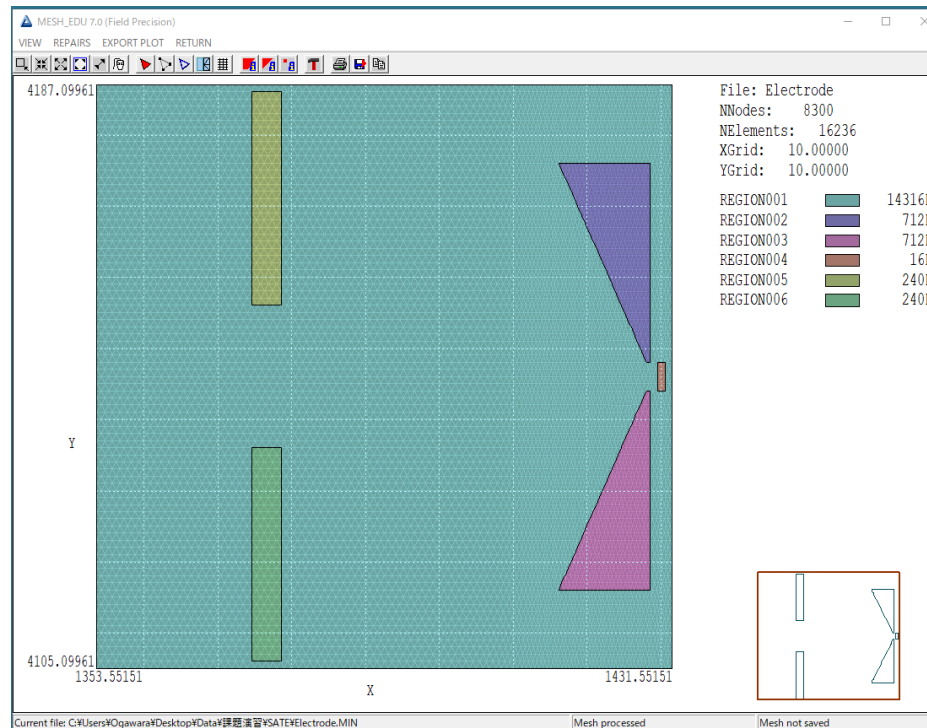


この左から二つ目のアイコンから “MIN file” を作成・保存する。  
ここまででほぼMESH作成作業は終了。



MIN file 作成後に EXIT でMESH編集画面を抜け、**PROCESS をクリック**すると ESTATや、PERMAG 用の計算用Meshファイルができる。  
その後 Save mesh をクリックすると **MOUファイルが保存**される。

その後、PLOT-REPAIRをクリックすると以下の画面が見れる。



# ESTAT : MOU file import

電場計算のために、MESH から抜けてESTATを立ち上げる。  
(PERMAG による静磁場計算もほとんど同じ。)

## ESTAT フロントパネル

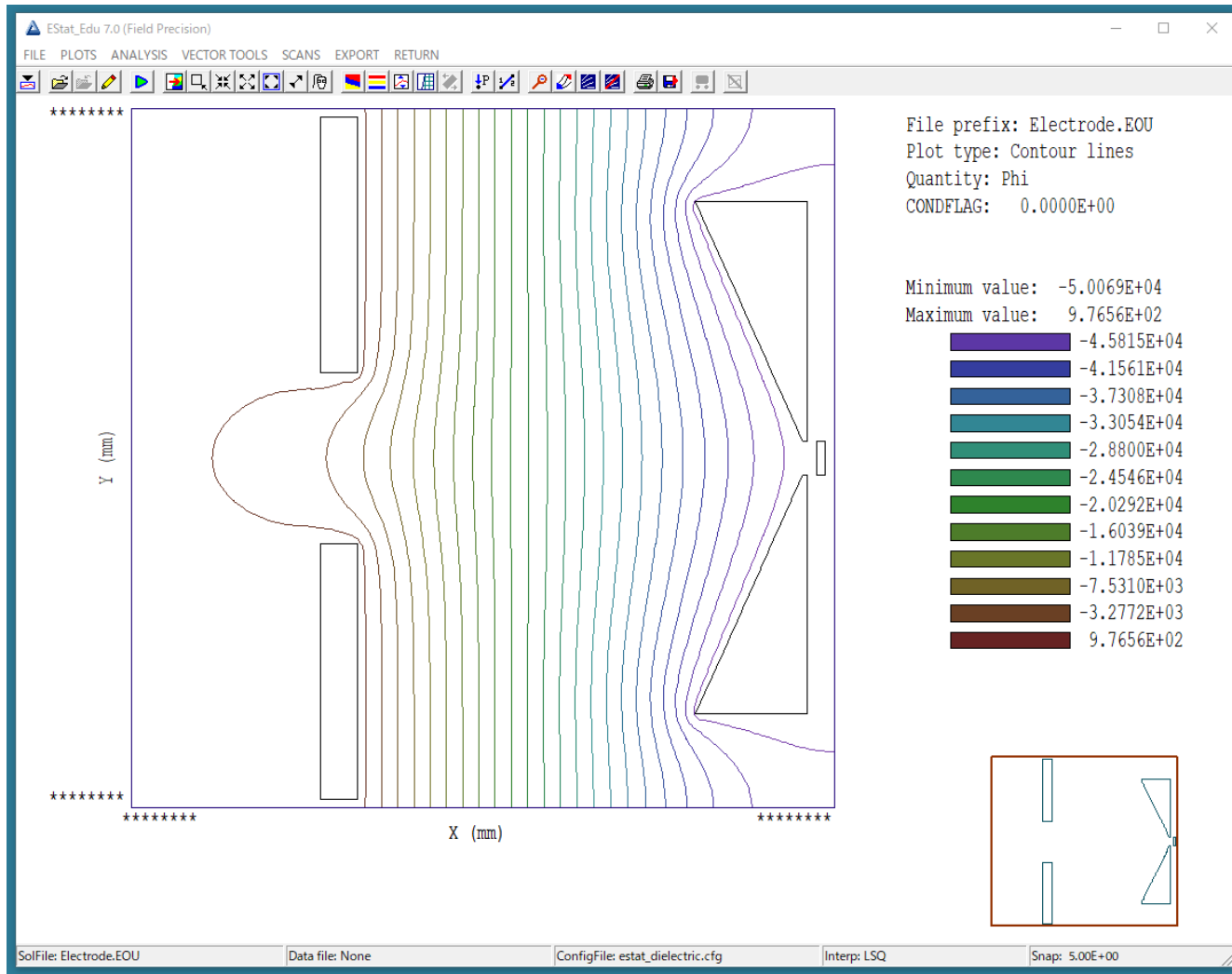
1、2、3 の順にクリックし、それぞれ出てきたポップアップに従う。  
1をクリックし、Meshで作成したMOUファイルを選択すると、下記の電極等の電位設定画面が出てくる。

RegNo	Name	Filled	Potential	EpsilonR	Rho
1	REGION001	X		1	
2	REGION002	X	-49000		
3	REGION003	X	-49000		
4	REGION004	X	-50000		
5	REGION005	X	0		
6	REGION006	X	0		

Configuration: estat\_dielectric.cfg    Solution display: OFF    Waiting for input...

# ESTAT : Calculation

1、2、3の順にクリックし、それぞれ出てきたポップアップに従う。  
3まで行くと、EOUというファイルにポテンシャルデータが出力され、下記のような画面が見れる。

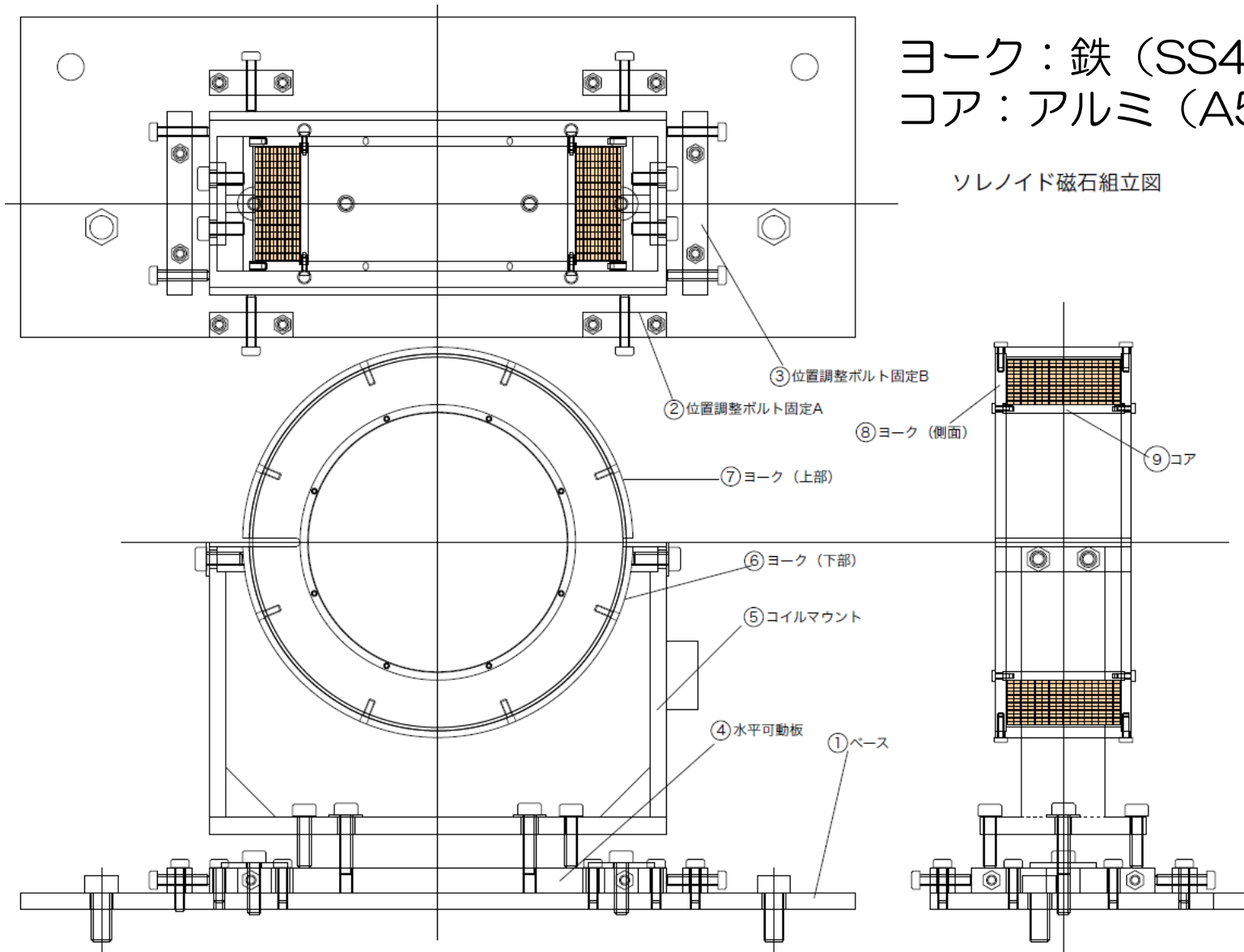




# 静磁場計算

# 静磁場計算：課題

下記のソレノイド磁石が作る磁場を計算する。

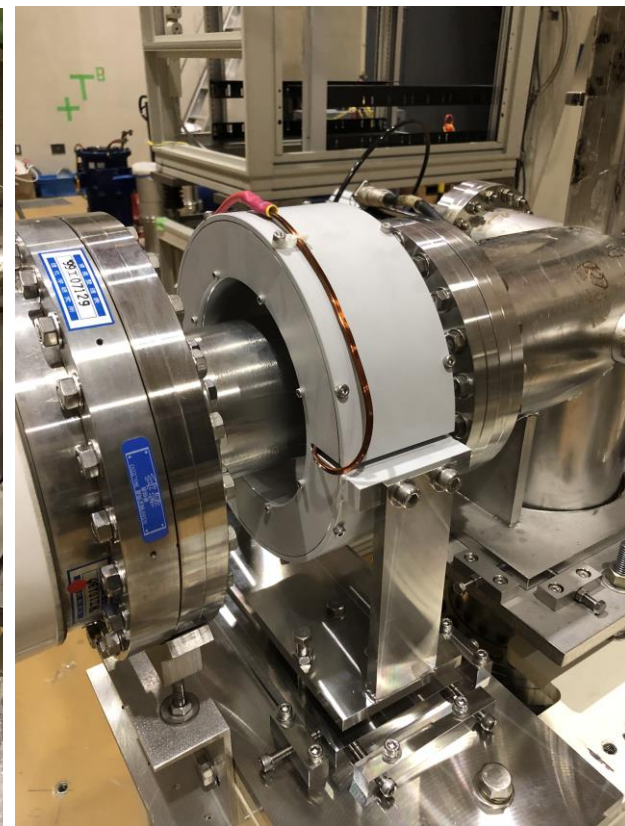
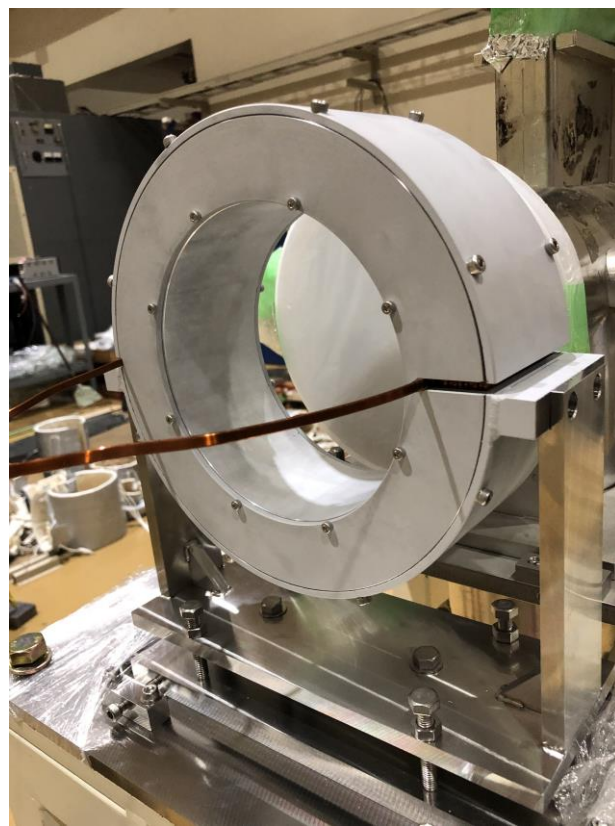
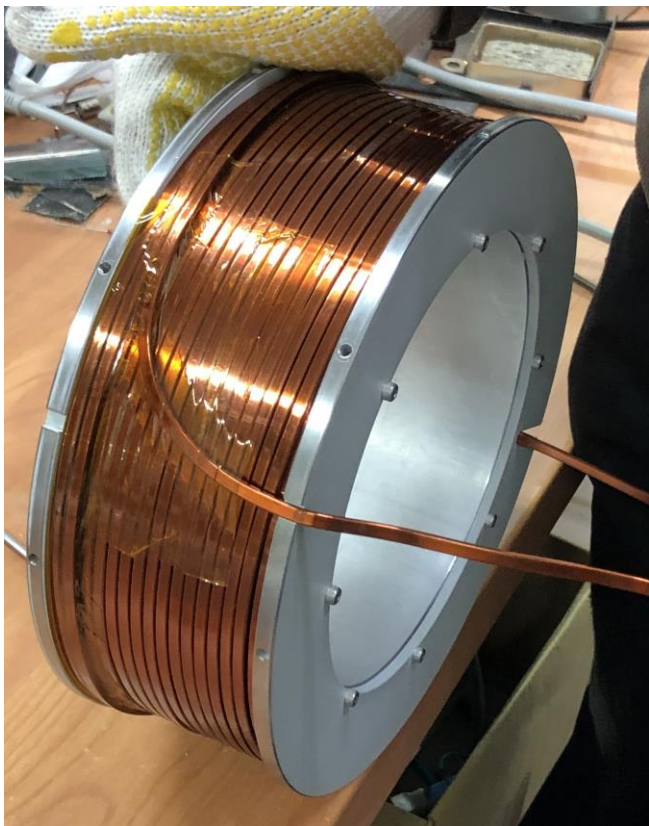


ヨーク：鉄 (SS400)  
コア：アルミ (A5052)

ソレノイド磁石組立図

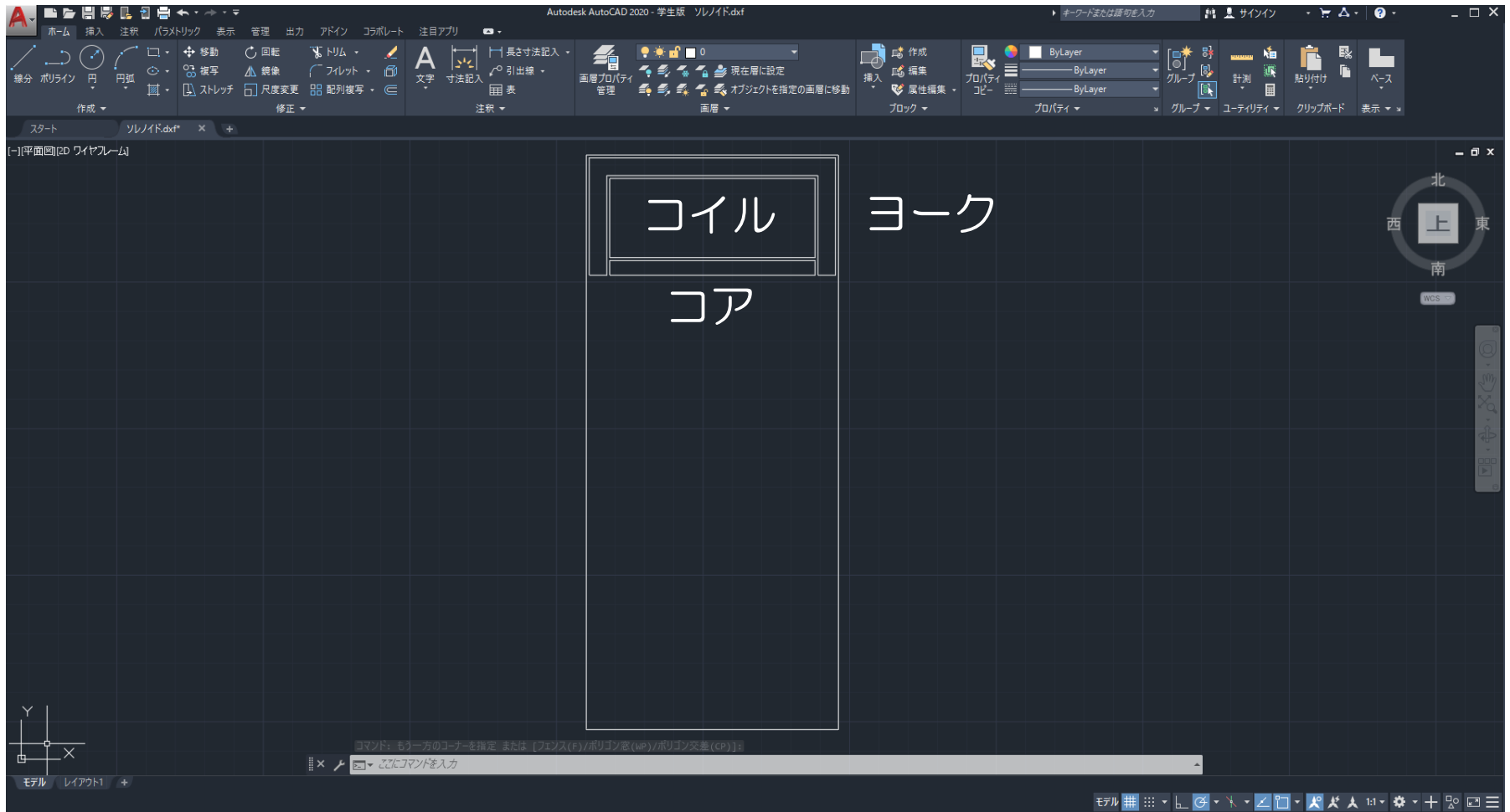
# ソレノイドコイル（実物）

若杉研で現在使用しているソレノイドコイル。



# AutoCAD

AutoCADを用いてソレノイドコイルの図面を作成する。  
今回は Cylindrical を意識した図面を作成する。



# MESH : DXF file import

静電場計算と全く同じである。

The screenshot shows the MESH\_EDU 7.0 (Field Precision) software interface. The main window displays a 2D grid with a rectangular region defined by four colored lines: light blue (Reg 1), dark blue (Reg 2), purple (Reg 3), and brown (Reg 4). The grid is labeled with 'R' on the vertical axis and 'z' on the horizontal axis. The vertical axis has values 1997.34680 at the bottom and 2193.34692 at the top. The horizontal axis has values 1210.15833 and 1296.15833. The software interface includes a menu bar (DRAWING, VIEW, INSERT, EDIT, FOUNDATION, SETTINGS, INFORMATION, EXPORT PLOT, EXIT) and a toolbar with various icons. A 'Region Settings' dialog box is open in the foreground, showing a table of region parameters.

Region Settings dialog box:

Region	Visible	Locked	Filled	NumVect	Title
0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	REGION000
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4	REGION001
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4	REGION002
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4	REGION003
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	8	REGION004

Parameters on the right side of the main window:

- NReg: 4
- KVect: 20
- RGd: 10.000
- RGd: 20.000

Legend for regions:

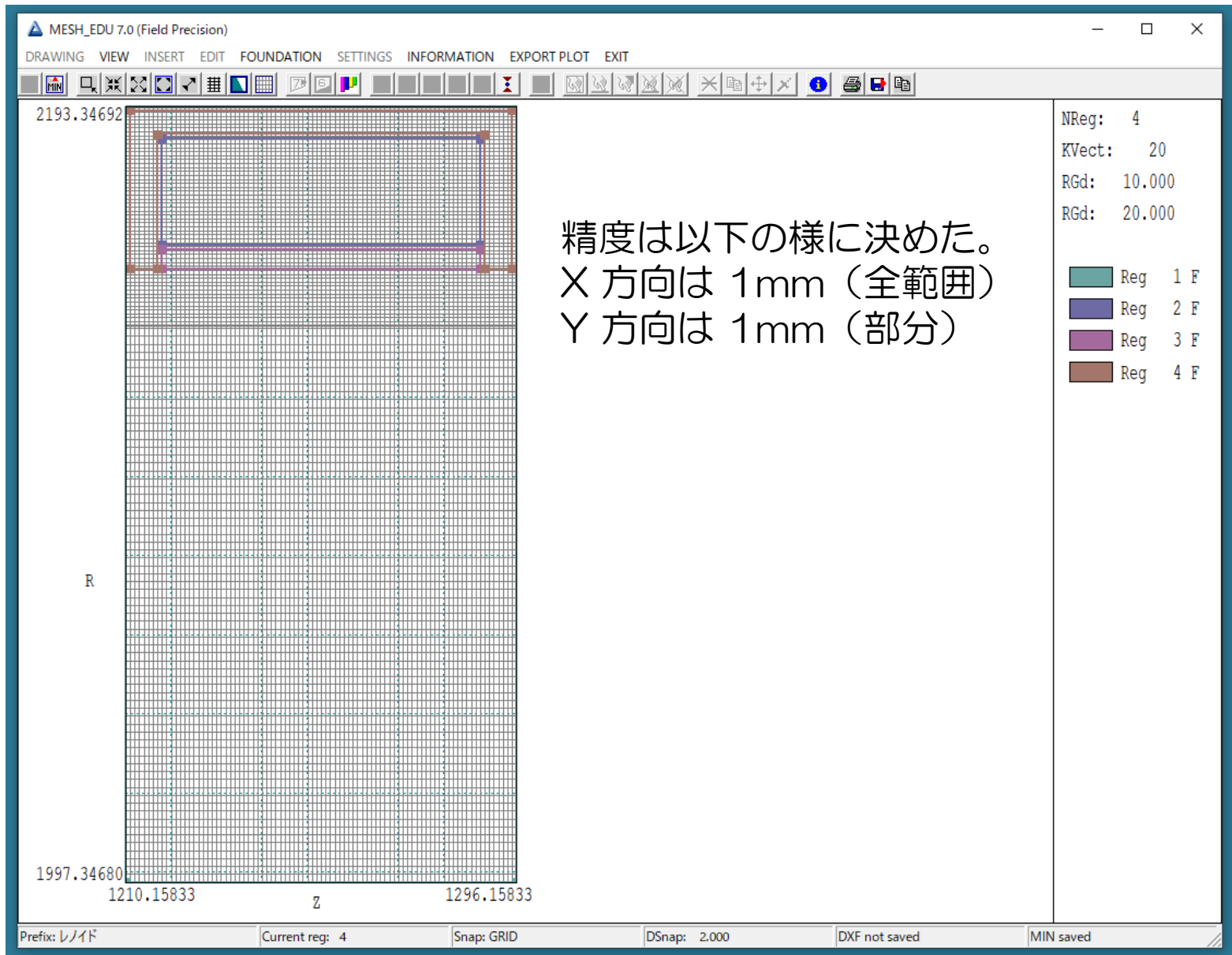
- Reg 1 (light blue)
- Reg 2 (dark blue)
- Reg 3 (purple)
- Reg 4 (brown)

Status bar information:

- Prefix: レノイド
- Current reg: 1
- Snap: GRID
- DSnap: 2.000
- DXF not saved
- MIN not saved

# MESH : Foundation

静電場計算と全く同じである。



The screenshot shows the MESH\_EDU 7.0 (Field Precision) software interface. The main window displays a grid with a highlighted rectangular region. The grid is labeled with 'R' on the vertical axis and 'z' on the horizontal axis. The vertical axis has values 1997.34680 at the bottom and 2193.34692 at the top. The horizontal axis has values 1210.15833 on the left and 1296.15833 on the right. The highlighted region is defined by four colored lines: a teal line for the top edge, a purple line for the bottom edge, a blue line for the left edge, and a brown line for the right edge. The legend on the right side of the window lists the following parameters:

- NReg: 4
- KVect: 20
- RGd: 10.000
- RGd: 20.000

The legend also shows four colored squares corresponding to the highlighted region:

- Reg 1 F (Teal)
- Reg 2 F (Blue)
- Reg 3 F (Purple)
- Reg 4 F (Brown)

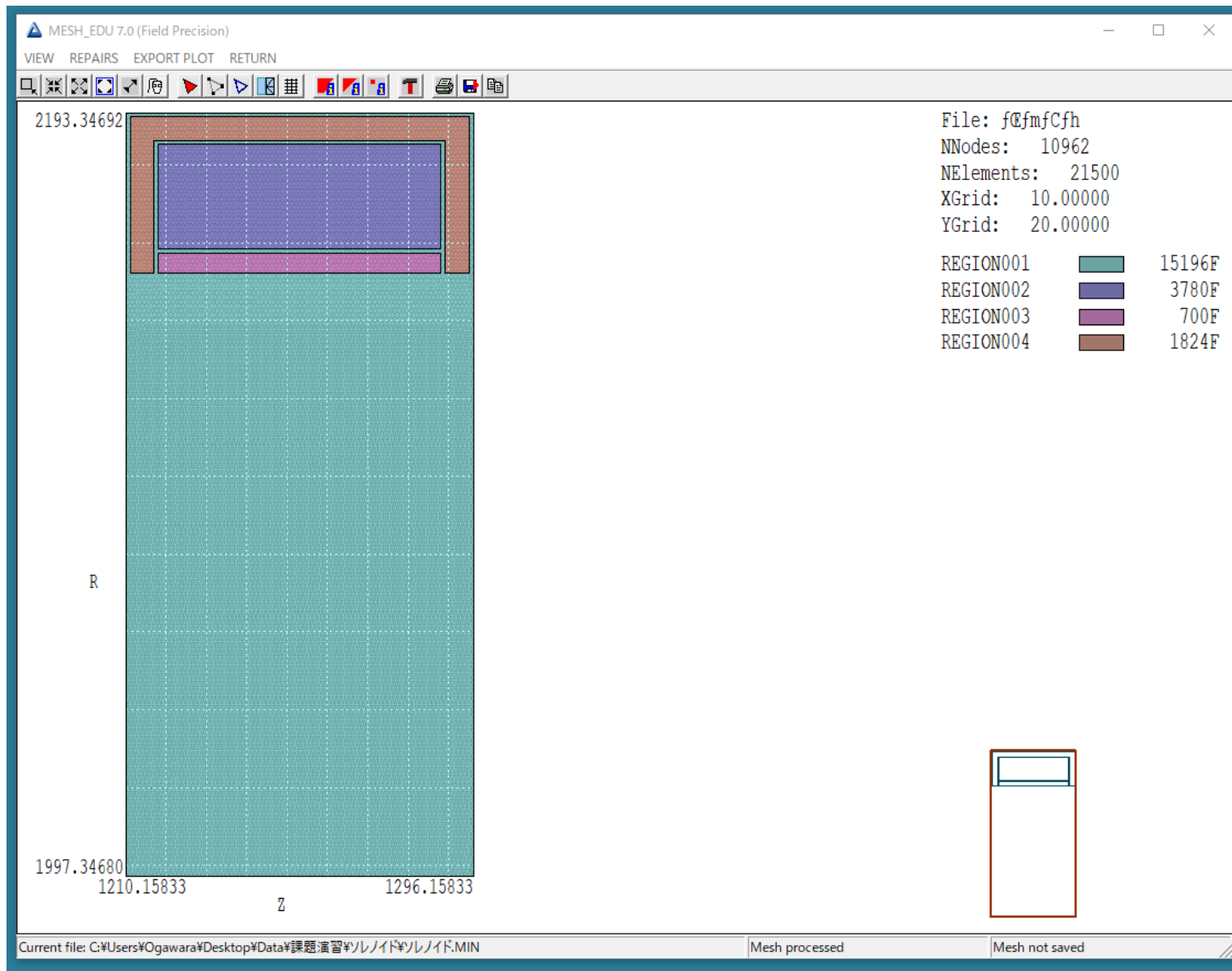
The status bar at the bottom of the window displays the following information:

- Prefix: ノノド
- Current reg: 4
- Snap: GRID
- DSnap: 2.000
- DXF not saved
- MIN saved

精度は以下の様に決めた。  
X 方向は 1mm (全範囲)  
Y 方向は 1mm (部分)

# MESH : PROCESS → PLOT-REPAIR

静電場計算と全く同じである。

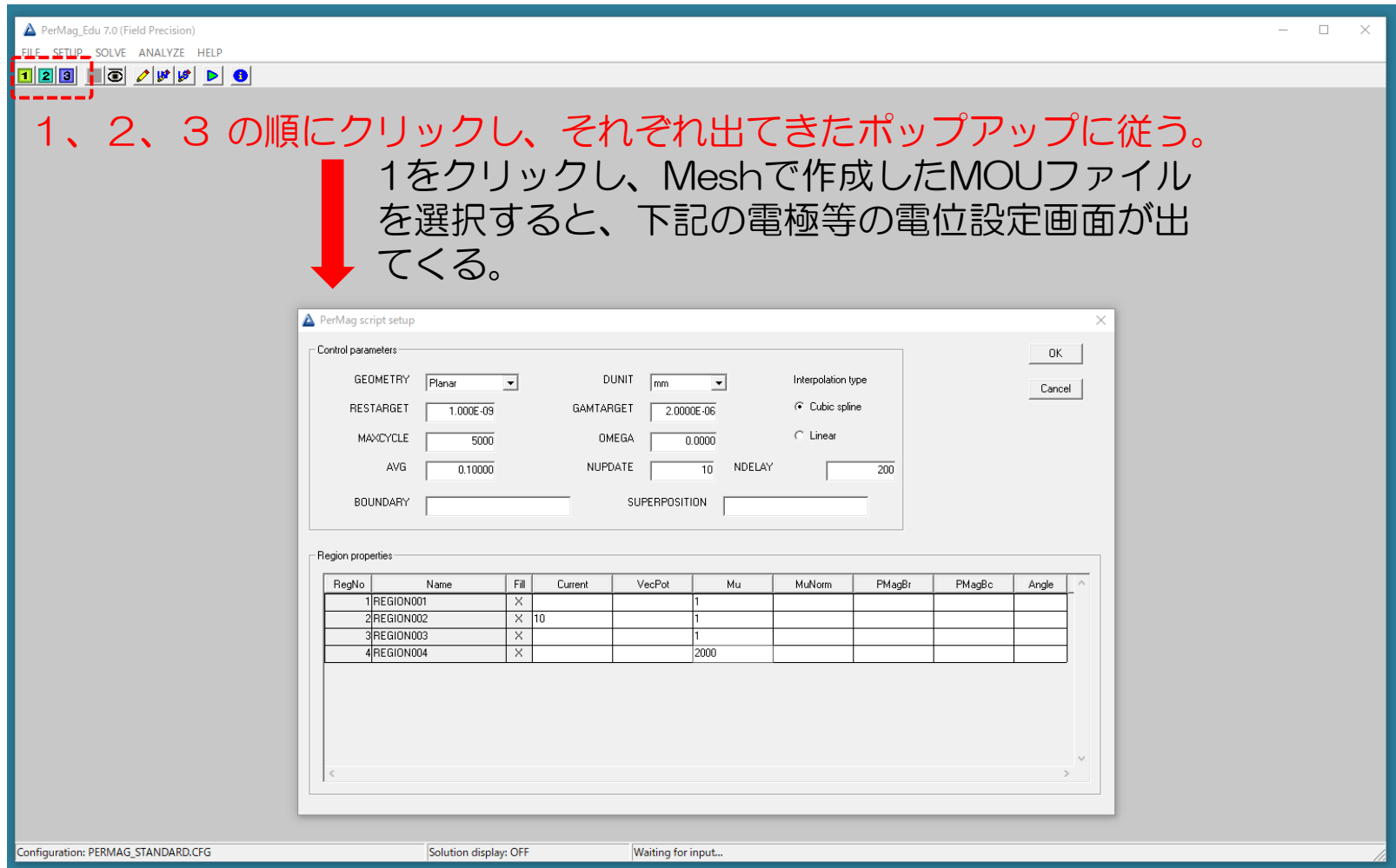




# PERMAG : MOU file import

電場計算のために、MESH から抜けてPERMAGを立ち上げる。

## PERMAG フロントパネル



1、2、3 の順にクリックし、それぞれ出てきたポップアップに従う。  
1をクリックし、Meshで作成したMOUファイルを選択すると、下記の電極等の電位設定画面が出てくる。

**PerMag script setup**

Control parameters

GEOMETRY: Planar  
DUNIT: mm  
Interpolation type:  Cubic spline,  Linear

RESTARTGET: 1.000E-09  
GAMTARGET: 2.0000E-06

MAXCYCLE: 5000  
OMEGA: 0.0000

AVG: 0.10000  
NUPDATE: 10  
NDELAY: 200

BOUNDARY:   
SUPERPOSITION:

Region properties

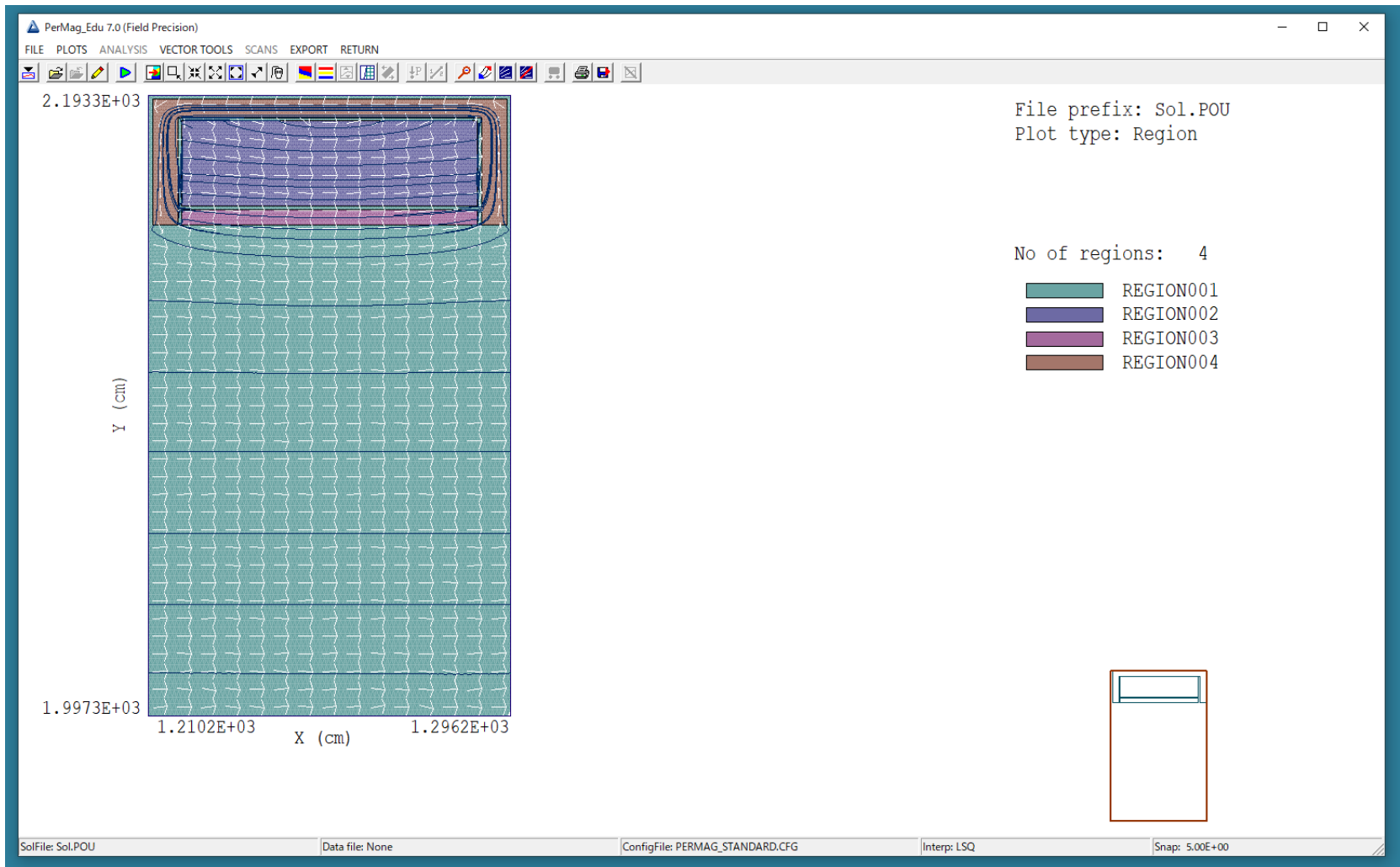
RegNo	Name	Fill	Current	VecPot	Mu	MuNorm	PMagBr	PMagBc	Angle
1	REGION001	X			1				
2	REGION002	X	10		1				
3	REGION003	X			1				
4	REGION004	X			2000				

Configuration: PERMAG\_STANDARD.CFG | Solution display: OFF | Waiting for input...



# PERMAG : Calculation

1、2、3の順にクリックし、それぞれ出てきたポップアップに従う。  
3まで行くと、POUというファイルにポテンシャルデータが出力され、色々設定をいじると下記のような画面が見れる。



# 静電場計算まとめ

静電磁場の計算手順は以下の通り

1. SATEをインストール
2. MESHで計算用MOUファイルを作成
3. ESTATでEOUファイルを作成
4. PERMAGでPOUファイルを作成

詳しい説明やマニュアルは下記にURLから見れるので、この簡易マニュアルでは足りない箇所はそこから補って下さい。

<http://www.asl-i.jp/contents/cat28/post-31.php>

<http://www.asl-i.com/blog/cat55/>

- 有限要素法は電磁場解析だけでなく、連続空間における熱や、流量、力の伝搬計算にも利用できる幅拾く使えるアルゴリズムであり、各分野に特化した多くのソフトが開発されている。