

# GKVにおける磁場データ読み込み およびパラメータ設定について

核融合研 仲田 資季

GKV講習会 2019年1月17日

# Contents

- 1) 実験データ ---> 計算実行の流れ
- 2) 磁気座標構成ツールBZX (for VMEC平衡)の使用方法
- 3) GKVのパラメータ設定: gkvp\_f0.53\_namelist

\*\* トカマク実平衡計算のための磁気座標構成ツールIGSについては第1回講習会資料、あるいはAppendixを参照

# 1) 実験データ → 計算実行の流れ

3

**1) 実験データを選定(shot number & time slice)し、平衡データや各種分布情報を実験研究者やデータベースから取得する。**

→ トカマク実平衡に対しては、G-EQDSK形式の平衡データを取得する。

→ ステラレータ実平衡に対しては、VMEC形式の平衡データを取得する。

→ 分布データ形式は機関ごとで異なるので注意(e.g., 点列データ、fitting係数)。

**2) インターフェースコードIGS(tokamak)あるいはBZX(stellarator)を用いて、GKVのnamelistで指定する磁気座標データを作成する。**

→ IGS から METRIC\_axi.dat あるいは BZX から metric\_boozee.bin.dat

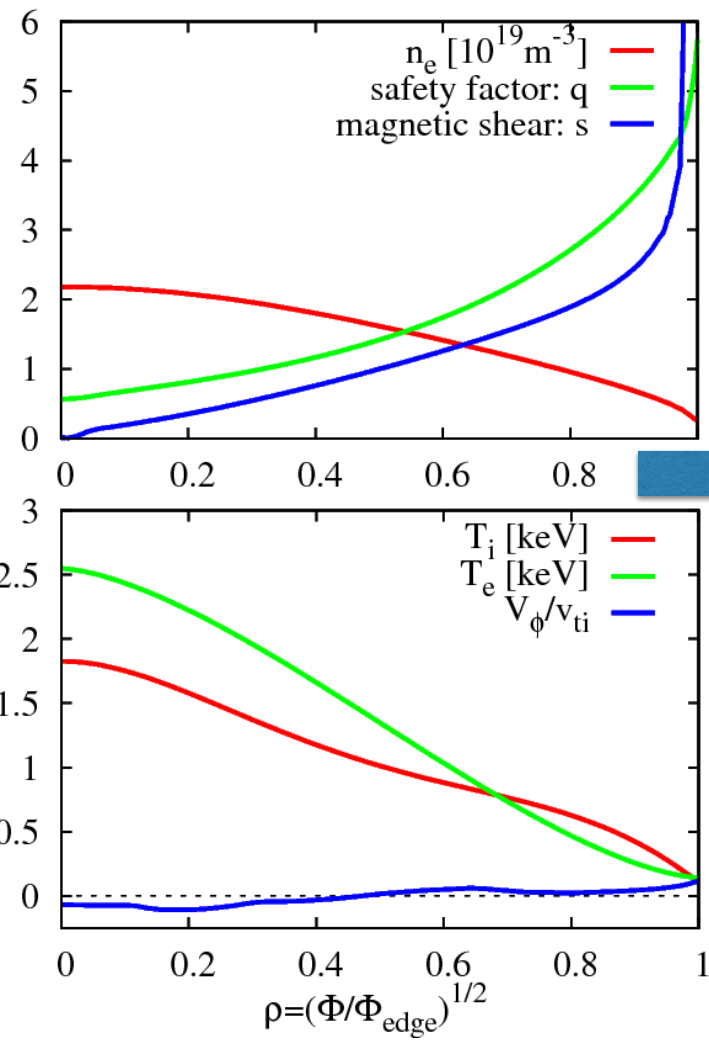
**3) 温度・密度・q分布などからGKVへインプットする局所パラメータの換算を行う。**

→ 規格化や定義に注意して局所パラメータ値を計算(cf. LHD\_Profiles\_20190117.xlsx)。

**4) 計算設定(namelist, gkvp\_f0.53\_header.f90, job投入script)を行った後、実行および解析(diag)を行う。<--- ハンズオン講習 (cf. 前山さんの資料)**

# 1) 実験データ → 計算実行の流れ

## (実験)分布データ



## フィッティング係数等の入力

species	species ID	an0	an1	an2	an3	an4
e	0	1.5756	-1.9071	6.9594	-7.073	1
H	1	0.96895	-0.82024	2.9335	-2.5791	0.02
He	2	0.26377	-0.22327	0.79849	-0.70203	0.006
C	3	0.013187	-0.10676	0.40502	-0.51532	0.2

R0	a
3.686819	0.62346

GKVの規格化・パラメータ定義に沿う限り、方法・様式は各ユーザーの使い易い形式を推奨。

## 各磁気面における局所パラメータの生成

LHDの標準fitting  
関数:

$$f(\rho) = \sum_{n=0}^4 a_n \rho^{2n}$$

rho	ne	nH	nHe	nC	Te	Ti	d(ne)/drho	d(nH)/drho
0.00	1.5756	0.96895	0.26377	0.013187	3.2461	4.0451	0	0
0.01	1.57540936	0.968868005	0.263747681	0.013176328	3.245866012	4.044216782	-0.038114167	-0.016393068
0.02	1.574838273	0.968622373	0.26368082	0.013144361	3.245164185	4.041568347	-0.076061435	-0.032715778
0.03	1.573889242	0.968214158	0.263569703	0.013091244	3.243994936	4.037158354	-0.113675416	-0.048897958
0.04	1.572566427	0.967645115	0.263414809	0.013017219	3.242358954	4.030992895	-0.150790738	-0.064869809
0.05	1.570875636	0.966917694	0.263216805	0.012922623	3.240257203	4.023080487	-0.187243554	-0.080562086
0.06	1.568824304	0.966035034	0.262976544	0.012807889	3.237690916	4.013432058	-0.222872049	-0.095906288
0.07	1.566421474	0.965000954	0.262695066	0.01267354	3.234661586	4.002060935	-0.257516944	-0.110834844
0.08	1.563677765	0.963819944	0.262373594	0.012520191	3.231170969	3.98898282	-0.291021994	-0.125281295
0.09	1.560605343	0.962497152	0.262013529	0.012348544	3.227221068	3.974215773	-0.323234489	-0.13918048
0.10	1.55721788	0.961038371	0.261616447	0.012159389	3.22281413	3.957780181	-0.35400575	-0.152468726
0.11	1.553530513	0.959450021	0.261184096	0.011953595	3.217952637	3.939698733	-0.383191615	-0.165084026
0.12	1.549559797	0.957739135	0.260718391	0.011732111	3.212639292	3.919996382	-0.410652929	-0.176966233
0.13	1.545323649	0.955913334	0.260221406	0.011495963	3.206877011	3.898700313	-0.436256021	-0.188057236
0.14	1.540841297	0.953980814	0.259695371	0.011246247	3.200668911	3.875839902	-0.459873183	-0.198301151
0.15	1.53613321	0.951950313	0.259142666	0.010984125	3.194018292	3.851446671	-0.481383133	-0.207644505
0.16	1.53122104	0.949831095	0.258565811	0.010710822	3.186928629	3.825554242	-0.500671482	-0.21603642
0.17	1.526127544	0.947632917	0.257967463	0.010427619	3.179403549	3.798198287	-0.517631186	-0.223428796
0.18	1.52087651	0.945366002	0.257350405	0.010135852	3.171446823	3.769416474	-0.532162992	-0.229776498
0.19	1.515492681	0.94304101	0.256717537	0.0098369	3.163062338	3.739248412	-0.54417588	-0.235037541
0.20	1.510001665	0.940669003	0.256071872	0.009532185	3.154254086	3.707735584	-0.553587489	-0.23917327
0.21	1.504429848	0.938261413	0.25541652	0.009223162	3.145026143	3.674921291	-0.560324539	-0.242148548
0.22	1.498804303	0.935830005	0.254754685	0.008911316	3.135328264	3.640850577	-0.56432324	-0.243931937

サンプル: LHD\_Profiles\_20190117.xlsx

## 2) 磁気座標構成ツール *BZX (for stellarators)* の使用方法

5

必要なライブラリ：特になし。ただしVMECとその付属ツールであるBoozXformを用いる。

VMEC, BoozXformに関する詳細は [https://bitbucket.org/lazerson\\_princeton/stellopt/wiki/BOOZ\\_XFORM](https://bitbucket.org/lazerson_princeton/stellopt/wiki/BOOZ_XFORM)

計算条件の設定 \*\*前もってvmecのinput fileと出力ファイルwoutをもらっておく。

```
tar zxvf BZX_20190117.tgz
cd BZX_20190117
cp (somewhere)/wout_****.txt (somewhere)/input.*** . (VMECデータwoutとinputを実行dirにコピー)
```

BZX.f90冒頭部のfname\_tag, nrho(径方向点数), ntht( $\theta$ 方向点数), nzeta( $\zeta$ 方向点数),  
alpha\_fix(磁力線ラベル $\alpha=q\theta-\zeta$ ), Ntheta\_gkv(磁力線方向のドメインサイズ: n\_tht in GKV namelist)を編集。  
**磁気面形状の確認を行いたい時にはnzeta=finiteとし、GKV用のfield-aligned座標としてのデータを出力する際にはnzeta=0とする。**

実行する (今回はPlasma Simulator上にあるVisualization Processing Server1 or 2で

```
run_BoozXform_and_BZX.shの冒頭部の変数tagにvmec-inputのinput.***の***の部分セットする。
./run_BoozXform_and_BZX.sh
-> ./checkや./geomにデータが出力され、./geom/metric_boozer.bin.datがGKVの入力に用いられる。
```

**\*\* $R_{ax}$ ,  $B_{ax}$ ,  $a_{gkv}$ の値はlog\_BZX.datに。**

補足：磁気面形状(nzeta=finite)やJacobianの整合性を確認する際には、gnuplot shape\_check.gnp あるいは gnuplot metric\_check.gnpを実行。

### 3) GKV実行の流れ

GKV実行の手順 (PSでは module load tcsuite-fx fftw-fx により、ライブラリ等を予め設定)

```
cd gkvp_f0.53/run/  
cp -r (BZXを計算した場所)/geom/metric_boozer.bin.dat ./input_vmec  
vi ../src/gkvp_f0.53_header.f90 (grid数、分割数などを設定。)  
vi gkvp_f0.53_namelist (各種パラメータの設定。平衡fileの指定: metric_boozer.bin.dat)  
make (コンパイル)  
vi sub.q (バッチジョブスクリプトを編集)  
vi shoot (job 投入スクリプトを編集)  
./shoot 1 3 (001~ 003のジョブをステップジョブとして実行)  
ポスト処理(diag)を実行し、出力データを解析する
```

具体的な設定はハンズオン講習にて。

## 4) GKVのパラメータ設定: *gkvp\_f0.53\_namelist*

7

### **gkvp\_f0.53\_namelistの編集**

補足：それぞれの詳しい説明は  
README\_for\_namelist.txt にも記載。

```
&calct calc_type="linear",  
  z_bound="outflow",  
  z_filt="off",  
  z_calc = "up5"  
  art_diff = 0.d0,  
  num_triad_diag=0 &end  
&triad mxt=0, myt = 0/  
&equib equib_type = "vmec", &end
```

計算種別：linear / nonlinear

磁力線方向境界条件：outflow(流入・流出境界) / zerofixed (固定境界) / mixed

磁力線方向フィルタ: off / on

磁力線方向差分スキーム: cf4 (4次中心差分 w/ nzb=2) / up5 (5次風上差分 w/ nzb=3)

磁力線方向数値粘性(の強度) for z\_calc="cf4"

エントロピー伝達解析用 (本講習では割愛)

エントロピー伝達解析用 (本講習では割愛)

平衡磁場タイプ

"analytic" - Analytic helical field (simplified equilibrium)

"s-alpha" - s-alpha model with alpha = 0 (simplified equilibrium)

"circ-MHD" - Concentric circular field with the consistent metric

"vmec" - Stellarator field from the VMEC code via BZX code

"eqdsk" - Tokamak field (G-EQDSK) via IGS code



# 4) GKVのパラメータ設定: gkvp\_f0.53\_namelist

## gkvp\_f0.53\_namelistの編集 (つづき)

```
&run_n inum=1,  
  ch_res = .false., &end  
&files f_log="./log/gkvp_f0.53.",  
  f_hst="./hst/gkvp_f0.53.",  
  f_phi="./phi/gkvp_f0.53.",  
  f_fxv="./fxv/gkvp_f0.53.",  
  f_cnt="./cnt/gkvp_f0.53.", &end  
&runlm e_limit =3500.d0, &end  
  
&times tend = 150.d0,  
  dtout_fxv = 150.d0,  
  dtout_ptn = 150.d0,  
  dtout_eng = 5.d-3,  
  dtout_dtc = 500.d0, &end  
  
&deltt dt_max = 1.d0,  
  adapt_dt = .true.,  
  courant_num = 0.6d0,  
  time_advnc = "rkg4", &end
```

ジョブ番号(投入スクリプトから自動設定)

(ジョブ途中から)解像度変更 (本講習では割愛)

name tag for output data (投入スクリプトから自動設定)

※ $L_{ref}/V_{ref}$ はGKVにおける時間規格化因子。  
ここでは、 $L_{ref}=R_{ax}$ :磁気軸主半径、  
 $V_{ref} = \text{sqrt}(T_{ref}/m_{ref}) = \text{sqrt}(T_i/m_p)$ : プロトン  
熱速度ととる。

経過時間制限 [sec]

シミュレーション時間制限 [ $L_{ref}/V_{ref}$ ]

分布関数出力間隔 [ $L_{ref}/V_{ref}$ ]

ポテンシャル(&モーメント量)出力間隔 [ $L_{ref}/V_{ref}$ ]

時間発展データ出力間隔 [ $L_{ref}/V_{ref}$ ]

adaptive time-step changeの評価間隔 [ $L_{ref}/V_{ref}$ ]

時間ステップ幅の上限

adaptive time-step の有効/無効

CFL number

時間積分法の切り替え

“rkg4”

“imp\_colli”

“auto\_init”

4次Runge-Kutta-Gill

衝突項陰解法

自動選択



# 4) GKVのパラメータ設定: gkvp\_f0.53\_namelist

## gkvp\_f0.53\_namelistの編集 (つづき)

並び: e, ion1, ion2, ...

&physp R0\_Ln = 3.d0, 3.d0, 3.d0, ...

R0\_Lt = 9.d0, 6.d0, 6.d0, ...

nu = 1.d0, 1.d0, 1.d0, ...

Anum = 5.446170221661534d-4, 2.d0, 4.d0, ...

Znum = 1.d0, 1.d0, 2.d0, ...

fcs = 1.d0, 0.8d0, 0.1d0, ...

sgn = -1.d0, 1.d0, 1.d0, ...

tau = 1.2d0, 1.d0, 1.d0, ...

dns1 = 1.d-3, 1.d-3, 1.d-3, ...

tau\_ad = 1.d0,

lambda\_i = 2.d-3,

beta = 5.d-4,

ibprime = 0,

vmax = 5.d0,

nx0 = 30, &end

$$L_{\text{ref}} = R_{\text{ax}}, m_{\text{ref}} = m_p, e_{\text{ref}} = e, T_{\text{ref}} = T_{i(\text{1st ion spc.})}$$

$$B_{\text{ref}} = B_{\text{ax}}, n_{\text{ref}} = n_e \quad \text{GKVにおけるreference値}$$

$$L_{\text{ref}}/L_{n_s}, L_{n_s}^{-1} = -d \ln n_s / d(a\rho) \quad a = (2\Phi_{\text{edge}}/B_{\text{ax}})^{1/2}$$

$$L_{\text{ref}}/L_{T_s}, L_{T_s}^{-1} = -d \ln T_s / d(a\rho) \quad \text{for GKV}$$

1.d0 (for finite collision), 0.d0 (for collisionless)

A-number:  $m_s/m_{\text{ref}}$

Z-number:  $e_s/e_{\text{ref}}$

charge density:  $n_s Z_s / n_{\text{ref}}$  (note that  $\sum_{s \neq e} n_s Z_s / n_e = 1$ )

sign of charge

$$T_s/T_{\text{ref}}$$

initial amplitude of perturbations

Te/Ti(ETG) or Ti/Te(ITG) for nprocs=1, but is fixed to 1.d0 for nprocs > 1

$$\lambda_{D\text{ref}}^2 / \rho_{\text{ref}}^2 = (\epsilon_0 T_{\text{ref}} / e_{\text{ref}}^2 n_{\text{ref}}) / \rho_{\text{ref}}^2, \quad \rho_{\text{ref}} = m_{\text{ref}} v_{\text{ref}} / e_{\text{ref}} B_{\text{ref}}$$

$$\beta_{\text{ref}} = \mu_0 n_{\text{ref}} T_{\text{ref}} / B_{\text{ref}}^2$$

$a_{\text{GKV}} = (2\Phi_{\text{edge}}/B_{\text{ref}})^{1/2}$  ignore(0) or include(1) the grad-p part in the magnetic drift

maximum value of velocity space coordinate in  $v_{\text{ref}} = (T_{\text{ref}}/m_{\text{ref}})^{1/2}$

the radial wavenumber imposing initial perturbations

# 4) GKVのパラメータ設定: *gkvp\_f0.53\_namelist*

## *gkvp\_f0.53\_namelist*の編集 (つづき)

```
&nperi n_tht =4,  
      kymin = 0.4d0,  
      m_j = 1  
      del_c = 0.d0, &end  
&confp eps_r = 0.18d0,  
      eps_rnew = 1.d0,  
      q_0 = 1.5d0,  
      s_hat = 0.8d0,  
      lprd = 0.d0,  
      mprd = 0.d0,  
      eps_hor = 0.d0,  
      eps_mor = 0.d0,  
      eps_por = 0.d0,  
      rdeps00 = 0.d0,  
      rdeps1_0 = 1.d0,  
      rdeps1_10 = 0.d0,  
      rdeps2_10 = 0.d0,  
      rdeps3_10 = 0.d0,  
      malpha = 0.d0, &end
```

磁力線方向ボックスサイズ(ポロイダル角で $\pm n\_tht \cdot \pi$ )

磁力線ラベル方向ボックスサイズ  $ly = \pi / kymin$

半径方向ボックスサイズ  $lx = \pi / kxmin$ ,  $kxmin = |2 \cdot \pi \cdot s\_hat \cdot kymin / m\_j|$

磁力線方向境界条件の位相因子 (通常は0.d0)

$\epsilon(rho\_0)$  ( $= a / R_{ax} \cdot rho\_0$ ): eqdsk/vmecの場合は自動で上書き

$q(rho\_0)$ : eqdsk/vmecの場合は自動で上書き

$s\_hat(rho\_0)$ : eqdsk/vmecの場合は自動で上書き

$$\hat{s}(\rho) = (\rho/q)(dq/d\rho)$$

モデル磁場: analytic, s-alpha, circ-MHDでの磁場形状パラメータ

## 4) GKVのパラメータ設定: *gkvp\_f0.53\_namelist*

11

### *gkvp\_f0.53\_namelist*の編集 (つづき)

```
&vmecp s_input = 0.65,  
      nss = 301,  
      ntheta = 1024, &end  
&bozxf f_bozx="%%DIR%%/vmec/", &end
```

radial position of interest: rho\_0       $\rho = (\Phi/\Phi_{\text{edge}})^{1/2}$  for GKV  
nrho in BZX                              toroidal flux  
ntht in BZX ( =2 \* global\_nz )  
specify the directory of "metric\_boozer.bin.dat"

```
&igsp s_input = 0.50,  
      mc_type = 0,  
      q_type = 1,  
      nss = 2048,  
      ntheta = 65, &end  
&igsf f_igs="%%DIR%%/eqdsk/", &end
```

radial position of interest: rho\_0  
is fixed to 0 (自然座標系を使用)  
is fixed to 1 (実平衡のqで上書き)  
NPSI in IGS  
NCHI in IGS +1 ( =2\*global\_nz/n\_tht +1 )  
specify the directory of "METRIC\_axi.OUT"

```
&nu_ref Nref = 1.d19,  
      Lref = 3.5d0,  
      Tref = 3.d0,  
      col_type = "LB",  
      iFLR = 1,  
      icode = 0, &end
```

$n_{\text{ref}} (=n_e)$  [m<sup>-3</sup>]                      LB: Lenard-Bernstein type collision  
 $L_{\text{ref}} (=R_{\text{ax}})$  [m]                      lorentz: Lorentz model collision  
 $T_{\text{ref}} = (T_i)$  [keV]                      full: multi-species linearized collision  
selection of collision operator: "LB", "lorentz", "full"  
with(1) and without(0) FLR terms in collision  
is fixed to 0 (this is for debug)

設定値や各粒子種の規格化衝突周波数等は、*log/gkvp\_f0.53.\*\*\*.\*.log.\*\*\**に出力される。

\*\*本計算の前にテスト計算で確認することを推奨。

- Appendix

# 5) 磁気座標構成ツールIGS (for tokamaks)の使用方法

A1

**必要なライブラリ：FFTW, Lapack, BLAS, MPI (MPI対応コンパイラ)**

インストール

```
tar zxvf igs_20181011.tgz
cd igs_20181011
./make uninstall (念のため余分なファイルを削除)
```

makefile.incを使用環境に応じて編集：

INSDIR="makefile.incがあるディレクトリ (フルパス) "

ライブラリのリンクを設定。

mpiifort(インテルコンパイラ環境: e.g., Helios)

module purge

module load intel intelmpi

make install

mpifrt (Fujitsuコンパイラ : PS data解析srv.)

module unload tcsuite-fx/2.0.0-04

module load tcsuite-rx/1.2.0-15 fftw-rx/3.3.4

make install

./EQDSK : EQDSK形式の平衡データ格納ディレクトリ

./igs : IGSの実行ディレクトリ (input file, 実行モジュール、出力データ)

その他 : 設定不要&削除禁止

# 5) 磁気座標構成ツールIGS (for tokamaks)の使用手法

A2

インプットファイルの編集

```
cd igs_20181011/igs
```

EQDSKデータをどこかに配置：この例ではigs\_20181011/EQDSK内に配置。

INPUT.DATAを編集：基本的に色付きのところのみ編集でOK。

&NEWRUN

**EQFILE='../EQDSK/geqdsk\_circ.dat',**

FIELDTYPE= 0,

LABELTYPE= 1,

FILETYPE= 1,

FORT11\_ZTOP=F,

SOLVER=1,

SDIV=4.,

NTETP=40000,

SCRAPE\_OFF=0.e-5,

REPRODUCE=F,

&OUTPUT

WOUT\_GKV=T,

WOUT\_ETCREL=F,

WOUT\_BOOZXFORM=F,

WOUT\_MATLAB=F,

&EQSIZE

NRP= 1025,

NZP= 1025,

KEQUI= 1025,

**NPSI= 512, (rho-grid num. : 任意)**

**NCHI= 64, (theta-grid num. : 2\*global\_nz/n\_tht in GKV)**

NMCUT= 256,

注意：GKVで設定したいglobal\_nz/  
n\_thtの2倍値をNCHIに設定

補足：それぞれの詳しい説明は  
INPUT.DATAの下部に記載

## 5) 磁気座標構成ツールIGS (for tokamaks)の使用手法

A3

### IGSの実行

mpiifort (インテル環境)	mpifrt (Fujitsu環境)
cd igs_20181011/igs	cd igs_20181011/igs
./IGS.exe >& LOG.OUT	pjsub sub_das.q

一連の出力データ\*\*\*\*.OUTがigsディレクトリ内に出力される。(METRIC\_axi.OUTをGKVへ入力)

**実行結果のログ情報はLOG.OUTに出力されている:**

**特に、Raxi, Baxi, a\_phiの値はGKVの規格化をSI単位系などに戻す際に必要。**

**プラズマ半径aの定義は、 $a\_phi = \sqrt{2 * \Phi\_edge / Baxi}$ ,**

**規格化小半径rhoの定義は、 $rho = \sqrt{\Phi / \Phi\_edge}$ ,**

**ただしPhi\_edgeはポロイダル断面を貫く全トロイダル磁束/2pi**

補足：磁気面や、q値、磁気シア[s\_hat]分布をgnuplotでプロットしたいとき：

```
plot "MC1D.OUT" u 1:4 ti "q" w l
plot "MC1D.OUT" u 1:13 ti "s_hat"
```

```
plot "MC2Dt.OUT" every :::0::511 u 3:6 w l
0番目からNPSI-1 (=511)番目までの磁気面をプロット
```

(NPSI=11にして実行するとrho=0.1ずつのプロットに対応。)