

GKVにおける磁場データ およびパラメータ設定について

核融合研 仲田 資季 沼波 政倫

GKV講習会 2016年12月16日

- 1) 実験データ ---> 計算実行の流れ
- 2) 磁気座標構成ツールの使用方法
 - IGS (EQDSK for tokamaks)
 - BZX (VMEC for stellarators)
- 3) GKVのパラメータ設定

注意：2016年12月16日時点でPS上でのIGSの実行に問題が残っているため、Helios等のintelコンパイラ環境での実行に限られている。これについては後日解決する予定であるが、基本的な使い方はいずれの場合も同様。

1) 実験データ → 計算実行の流れ

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、EQDSK形式のデータを取得する。

→ ステラレータ実平衡に対しては、VMEC+BoozXform形式のデータを取得する。

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

2) IGSあるいはBZXを用いてGKVへインプットする磁気座標データを作成する。

→ EQDSK から METRIC_axi.dat あるいは VMEC から metric_boozer.bin.dat

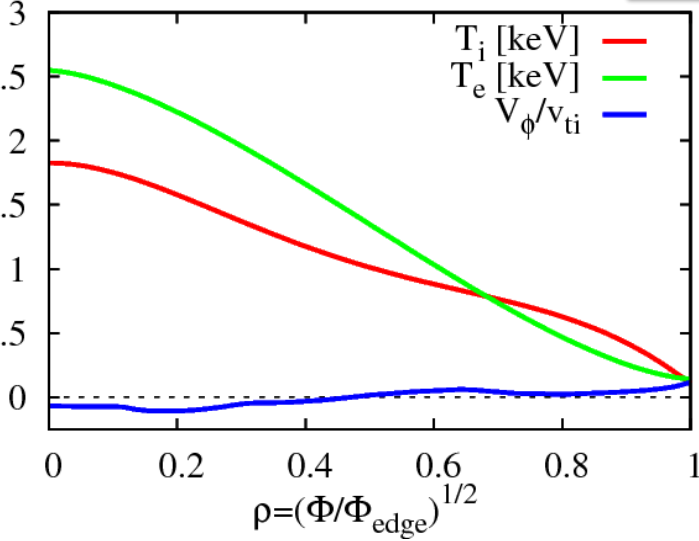
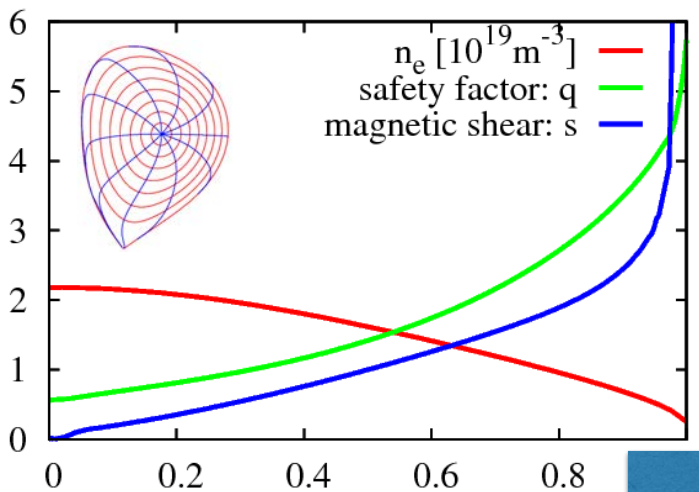
3) 温度・密度・q分布などからGKVへインプットする局所パラメータの換算を行う。

→ GKVにおける規格化やパラメータ定義に注意 (cf. 渡邊さんの資料)。

4) 計算設定(namelist, gkvp_f0.48_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

LHD_Profiles

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

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

	A	ne	nH	nHe	nC	Te	Ti	d(ne)/drho	d(nH)/drho
9	R0	a							
10		3.686819	0.62346						
1	rho	ne	nH	nHe	nC	Te	Ti	d(ne)/drho	d(nH)/drho
2	0.00	1.5756	0.96895	0.26377	0.013187	3.2461	4.0451	0	0
3	0.01	1.57540936	0.968868005	0.263747681	0.013176328	3.245866012	4.044216782	-0.038114167	-0.016393068
4	0.02	1.574838273	0.968622373	0.26368082	0.013144361	3.245164185	4.041568347	-0.076061435	-0.032715778
5	0.03	1.573889242	0.968214158	0.263569703	0.013091244	3.243994936	4.037158354	-0.113675416	-0.048897958
6	0.04	1.572566427	0.967645115	0.263414809	0.013017219	3.242358954	4.030992895	-0.150790738	-0.064869809
7	0.05	1.570875636	0.966917694	0.263216805	0.012922623	3.240257203	4.023080487	-0.187243554	-0.080562086
8	0.06	1.568824304	0.966035034	0.262976544	0.012807889	3.237690916	4.013432058	-0.222872049	-0.095906288
9	0.07	1.566421474	0.965000954	0.262695066	0.01267354	3.234661586	4.002060935	-0.257516944	-0.110834844
10	0.08	1.563677765	0.963819944	0.262373594	0.012520191	3.231170969	3.98898282	-0.291021994	-0.125281295
11	0.09	1.560605343	0.962497152	0.262013529	0.012348544	3.227221068	3.974215773	-0.323234489	-0.13918048
12	0.10	1.55721788	0.961038371	0.261616447	0.012159389	3.22281413	3.957780181	-0.35400575	-0.152468726
13	0.11	1.553530513	0.959450021	0.261184096	0.011953595	3.217952637	3.939698733	-0.383191615	-0.165084026
14	0.12	1.549559797	0.957739135	0.260718391	0.011732111	3.212639292	3.919996382	-0.410652929	-0.176966233
15	0.13	1.545323649	0.955913334	0.260221406	0.011495963	3.206877011	3.898700313	-0.436256021	-0.188057236
16	0.14	1.540841297	0.953980814	0.259695371	0.011246247	3.200668911	3.875839902	-0.459873183	-0.198301151
17	0.15	1.53613321	0.951950313	0.259142666	0.010984125	3.194018292	3.851446671	-0.481383133	-0.207644505
18	0.16	1.53122104	0.949831095	0.258565811	0.010710822	3.186928629	3.825554242	-0.500671482	-0.21603642
19	0.17	1.526127544	0.947632917	0.257967463	0.010427619	3.179403549	3.798198287	-0.517631186	-0.223428796
20	0.18	1.52087651	0.945366002	0.257350405	0.010135852	3.171446823	3.769416474	-0.532162992	-0.229776498
21	0.19	1.515492681	0.94304101	0.256717537	0.0098369	3.163062338	3.739248412	-0.54417588	-0.235037541
22	0.20	1.510001665	0.940669003	0.256071872	0.009532185	3.154254086	3.707735584	-0.553587489	-0.23917327
23	0.21	1.504429848	0.938261413	0.25541652	0.009223162	3.145026143	3.674921291	-0.560324539	-0.242148548
24	0.22	1.498804303	0.935830005	0.254754685	0.008911316	3.135382644	3.640850577	-0.56432324	-0.243931937

サンプル：LHD_Profiles.xlsx を参考までに配布。

2) 磁気座標構成ツールIGS (for tokamaks)の使用方法

5

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_20161216.tgz
cd IGS_20161216
./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

2) 磁気座標構成ツールIGS (for tokamaks)の使用手法

6

インプットファイルの編集

```
cd IGS_20161216/igs
```

EQDSKデータをどこかに配置：この例ではIGS_20161216/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

2) 磁気座標構成ツールIGS (for tokamaks) の使用方法

7

IGSの実行

mpiifort (インテル環境)	mpifrt (Fujitsu環境)
cd IGS_20161216/igs	cd IGS_20161216/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、 $a_phi = \sqrt{2 \cdot \Phi_edge / Baxi}$,

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。)

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

8

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 そのものの使い方や環境整備はここでは触れない。詳しくは

<http://vmecwiki.pppl.wikispaces.net>

計算条件の設定

```
tar zxvf BZX_20161216.tgz
cd BZX_20161216
cp (somewhere)/wout_****.txt (somewhere)/boozmn.*** . (VMECデータを実行dirにコピー)
```

BZX.f90冒頭部のfname_tag, rho-grid(nrho), theta-grid(ntht), zeta-grid(nzeta), alpha_fix, Ntheta_gkv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。

gfortranによるコンパイルと実行

```
./run.sh
-> ./checkや./geomにデータが出力され、./geom/metric_boozzer.bin.datがGKVの入力に用いられる。
```

補足：磁気面形状(nzeta=finite)やJacobianの整合性(nzeta=0)を確認する際には、
gnuplot shape_check.gnp あるいは gnu plot metric_check.gnpを実行。

3) GKVのパラメータ設定

必要なライブラリ：FFTW

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_f0.48/run/  
vi ../src/gkvp_f0.48_header.f90 (grid数、分割数などを設定。)  
vi gkvp_f0.48_namelist (各種パラメータの設定)  
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)
```

具体的な設定はハンズオン講習および前山さんの資料を参照のこと。

3) GKVのパラメータ設定

gkvp_f0.48_header.f90の編集

```
!-----  
! Dimension size (grid numbers)  
!-----
```

```
! Global simulation domain
```

```
! in x, y,z,v,m (0:2*nxw-1, 0:2*nyw-1,-global_nz:global_nz-1,1:2*global_nv,0:global_nm)
```

```
! in kx,ky,z,v,m ( -nx:nx,0:global_ny,-global_nz:global_nz-1,1:2*global_nv,0:global_nm)
```

```
integer, parameter :: nxw = 128, nyw = 48
```

```
integer, parameter :: nx = 84, global_ny = 31 ! 2/3 de-aliasing rule
```

```
integer, parameter :: global_nz = 32, global_nv = 32, global_nm = 15
```

```
integer, parameter :: nzb = 2, & ! the number of ghost grids in z
```

```
nvb = 2 ! the number of ghost grids in v and m
```

```
!-----  
! Data distribution for MPI  
!-----
```

```
integer, parameter :: nprocw = 4, nprocz = 4, nprocv = 2, nprocm = 2, nprocs = 2
```

(global_nz)/nprocz

(global_nv)/nprocv がすべて整数でなければならない。

(global_nm+1)/nprocm

※ さらに、(global_nm+1)/nprocm > 2

ここで、

nx | kxモード数- nx:nx

global_ny | kyモード数0:global_ny

(さらにnxw>nx*3/2, nyw>global_ny*3/2となるように設定。)

global_nz | 磁力線方向座標 $-n_{\text{tht}}\pi < zz < n_{\text{tht}}\pi$ を $-\text{global_nz}:\text{global_nz}-1$ で離散化

global_nv | 磁力線方向速度 $-\text{vmax} < vl < \text{vmax}$ を $1:2*\text{global_nv}$ で離散化

global_nm | 磁気モーメント $0 < \mu < \text{vmax}^2/2$ を $0:\text{global_nm}$ で離散化

nprocw, nprocz, nprocv, nprocm, nprocs はky,zz,vl,mu方向および粒子種のMPI領域分割数。

3) GKVのパラメータ設定

gkvp_f0.48_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 = "eqdsk", &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) w/ 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 with the metrics in cylinder

"s-alpha" - s-alpha model with alpha = 0 (cylindrical metrics)

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

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

"eqdsk" - Tokamak field (MEUDAS/TOPICS or G-EQDSK) via IGS code

3) GKVのパラメータ設定

gkvp_f0.48_namelistの編集 (つづき)

```
&run_n inum=1,  
  ch_res = .false., &end  
&files f_log="./Log/gkvp_f0.40.",  
  f_hst="./gkvp_f0.40.",  
  f_phi="./Phi/gkvp_f0.40.",  
  f_fxv="./F xv/gkvp_f0.40.",  
  f_cnt="./Cnt/gkvp_f0.40.", &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, &end
```

ジョブ番号

(ジョブ途中から)解像度変更 (本講習では割愛)

name tag for output data

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}]

時間ステップの上限

adaptive time-step の有効/無効

CFL number

補足：それぞれの詳しい説明は
README_for_namelist.txt にも記載。

※ 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、
 $V_{ref} = \sqrt{T_{ref}/m_{ref}} = \sqrt{T_i/m_p}$: プロトン
熱速度ととる。

3) GKVのパラメータ設定

gkvp_f0.48_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

$$L_{\text{ref}} = R_{\text{ax}}, m_{\text{ref}} = m_{\text{p}}, e_{\text{ref}} = e, T_{\text{ref}} = T_{\text{i(1st ion spc.)}}$$
$$B_{\text{ref}} = B_{\text{ax}}, n_{\text{ref}} = n_{\text{e}} \quad \text{GKVにおけるreference値}$$

$$L_{\text{ref}}/L_{n_s}, L_{\text{ns}}^{-1} = -d \ln n_s / d(a\rho)$$

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

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

A-number: m_s/m_{ref}

Z-number: e_s/e_{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_{ref}

initial amplitude of perturbations

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

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

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

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

3) GKVのパラメータ設定

gkvp_f0.48_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

3) GKVのパラメータ設定

gkvp_f0.48_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
nrho in BZX
nht in BZX (=2 * global_nz * n_tht)
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,  
      ickcheck = 0, &end
```

n_{ref} (=n_e) [m⁻³]
 L_{ref} (=R_{ax}) [m]
 T_{ref} = (T_i) [keV]
is fixed to LB : Lenard-Bernstein col. operator
with(1) and without(0) FLR terms in collision
is fixed to 0

各粒子種の規格化衝突周波数はこれらを用いて計算され、gkvp_f0.48.***.log.***に出力される