

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

沼波政倫 (NIFS)

開発チーム： 渡邊智彦、前山伸也 (名大) 、石澤明宏 (京大)
仲田資季、洲鎌英雄 (NIFS) 、

Contents

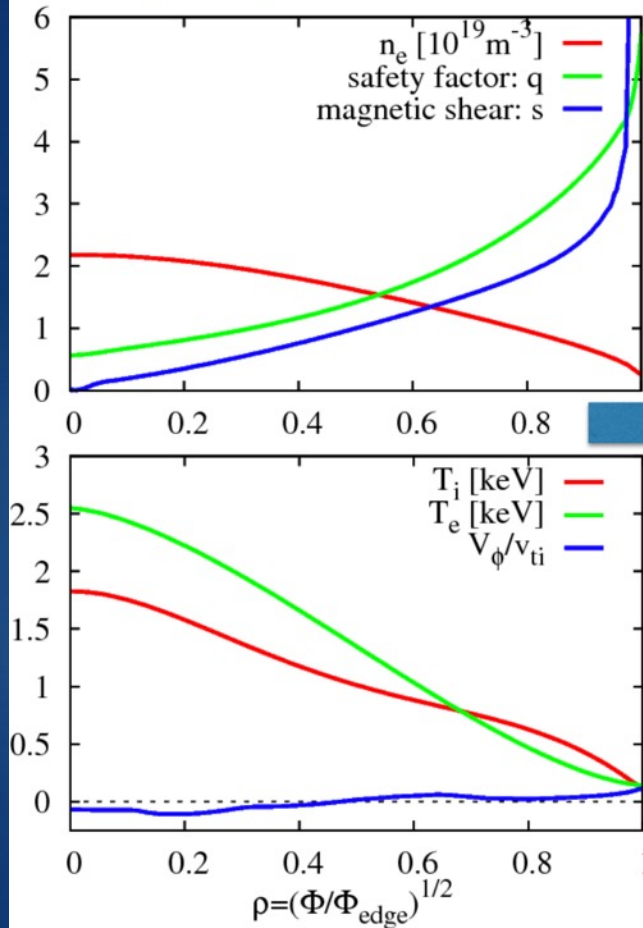
- ▶ 実験データ → 計算実行の流れ
- ▶ GKVのパラメータ設定: gkvp_namelist
- ▶ Appendix
 - ▶ 磁気座標構成ツールの使用方法

実験データ → 計算実行の流れ

- ▶ 実験データを選定(shot# & timing)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
 - ▶ 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
 - ▶ 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)
- ▶ インターフェースコードIGS(トカマク)あるいはBZX(ステラレータ)を用いて、GKVのnamelistで指定する磁気座標データを作成。
 - ▶ IGS から METRIC_axi.dat あるいは BZX から metric_boozer.bin.dat
- ▶ 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を換算
 - ▶ 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)。
- ▶ 計算設定(namelist, gkvp_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)

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やすい形式を推奨。

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:

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

	A	ne	nH	nHe	nC	Te	Ti	d(ne)/drho	d(nH)/drho
9	R0	a							
10		3.686819	0.62346						
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

サンプル: LHD_Profiles_20190117.xlsx

GKV実行の流れ

▶ GKV実行の手順

```
cd gkvp_f***/run/
```

```
cp -r (BZXを計算した場所)/geom/metric_boozer.bin.dat ./input_vmec
```

```
vi ../src/gkvp_header.f90 (grid数、分割数などを設定。)
```

```
vi gkvp_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。

GKVのパラメータ設定 1

gkvp_namelist

▶ gkvp_namelistの編集

```
&calct calc_type="lin_freq", 計算種別: linear / nonlinear / lin-freq など
z_bound="outflow", 磁力線方向境界条件: outflow (流入・流出境界) / zerofixed (固定境界) / mixed
z_filt="off", 磁力線方向フィルタ: off / on
z_calc="cf4", 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)
art_diff=0.1d0, 磁力線方向数値粘性: (for z_calc="cf4")
init_random=false., 初期揺動用乱数
num_triad_diag=0, &end エントロピー伝達関数解析用 (今講習では割愛)
&triad mxt = 0, myt = 0/ エントロピー伝達関数解析用 (今講習では割愛)
&equib equib_type = "analytic", &end 平衡磁場タイプ:
analytic (Analytic simplified helical) / s-alpha (s-alpha model with alpha=0) /
s-alpha-shift (s-alpha model including Shafranov shift)
circ-MHD (Concentric circular field w/ consistent metric) /
vmec (Stellarator field from VMEC via BZX) / eqdsk (Tokamak field from G-EQDSK via IGS)
```

GKVのパラメータ設定 2

▶ gkvp_namelistの編集 (続き)

<code>&run_n inum=1,</code>	ジョブ番号(投入スクリプトから自動設定)		
<code>ch_res = .false., &end</code>	(ジョブ途中から)解像度変更 (本講習では割愛)		
<code>&files f_log="%%DIR%%/log/gkvp."</code>	name tag for output data (投入スクリプトから自動設定)		
<code>f_hst="%%DIR%%/hst/gkvp.",</code>			※ L_{ref}/V_{ref} はGKVにおける時間規格化因子。
<code>f_phi="%%DIR%%/phi/gkvp.",</code>			ここでは、 $L_{ref}=R_{ax}$:磁気軸主半径、
<code>f_fxv="%%DIR%%/fxv/gkvp.",</code>			$V_{ref} = \sqrt{T_{ref}/m_{ref}} = \sqrt{T_i/m_p}$: プロトン
<code>f_cnt="%%DIR%%/cnt/gkvp.",&end</code>			熱速度ととる。
<code>&runlm e_limit =3500.d0, &end</code>	経過時間制限 [sec]		
<code>&times tend = 150.d0,</code>	シミュレーション時間制限 [L_{ref}/V_{ref}]		
<code>dtout_fxv = 150.d0,</code>	分布関数出力間隔 [L_{ref}/V_{ref}]		
<code>dtout_ptn = 150.d0,</code>	ポテンシャル(&モーメント量)出力間隔 [L_{ref}/V_{ref}]		
<code>dtout_eng = 5.d-3,</code>	時間発展データ出力間隔 [L_{ref}/V_{ref}]		
<code>dtout_dtc = 500.d0, &end</code>	adaptive time-step changeの評価間隔 [L_{ref}/V_{ref}]		
<code>&deltt dt_max = 1.d0,</code>	時間ステップ幅の上限		
<code>adapt_dt = .true.,</code>	adaptive time-step の有効/無効		
<code>courant_num = 0.6d0,</code>	CFL number	"rkg4"	4次Runge-Kutta-Gill
<code>time_advnc = "rkg4", &end</code>	時間積分法の切り替え	"imp_colli"	衝突項陰解法
		"auto_init"	自動選択

GKVのパラメータ設定 3

▶ gkvp_namelistの編集 (続き)

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

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

$a = (2\Phi_{\text{edge}}/B_{\text{ax}})^{1/2}$

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

for GKV

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

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

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

$a_{\text{GKV}} = (2\Phi_{\text{edge}}/B_{\text{ax}})^{1/2}$ 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

GKVのパラメータ設定 4

▶ gkvp_namelistの編集 (続き)

```
&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 $l_y = \pi / kymin$

半径方向ボックスサイズ $l_x = \pi / kxmin$, $kxmin = |2 \cdot \pi \cdot \hat{s} \cdot kymin / m_j|$

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

$\hat{s}(rho_0)$: 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



GKVのパラメータ設定 5

▶ gkvp_namelistの編集 (続き)

```
&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
ntht in BZX (=2 * global_nz)
specify the directory of "metric_boozер.bin.dat"

$$\rho = (\Phi/\Phi_{\text{edge}})^{1/2} \text{ for GKV}$$

toroidal flux

```
&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]

LB: Lenard-Bernstein type collision
lorentz: Lorentz model collision
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_***.log.*** に出力される。
プロダクションランの前に、動作確認のためのテスト計算を推奨。



Appendix

GKVのパラメータ設定 (補足)

▶ gkvp_namelistの編集 (続き)

▶ ExB回転効果に関するパラメータ

&rotat mach = 0.d0, uprime = 0.d0, gamma_e = 0.d0, &end	Mach number Normalized γ_E
--	---

▶ gamma_e について :

$\rho = \rho_0$ での径電場シア $(\partial_x^2 \phi) = \frac{1}{a^2} (\partial_\rho^2 \phi)$ [V/m²] の計測データに対して、

磁気軸の磁場 B_{ref} [T], 主イオンの熱速度 v_{ref} [m/s], 磁気軸の大半径 $R_0 = L_{\text{ref}}$ [m]

を用いて、 $B_{\text{ref}} L_{\text{ref}} / v_{\text{ref}}$ で規格化した値が gamma_e に対応

$$\gamma_E = \frac{1}{B_{\text{ref}}} (\partial_x^2 \phi)_{\rho=\rho_0}$$

磁気座標構成ツールBZX (for stellarators)の使用方法

- ▶ 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に関する情報: 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), ntth(θ 方向点数), nzeta(ζ 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_tth 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。

磁気座標構成ツールIGS (for tokamaks)の使用方法 1

- ▶ 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

磁気座標構成ツールIGS (for tokamaks)の使用方法 2

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,  
NZN= 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

磁気座標構成ツールIGS (for tokamaks)の使用方法 3

IGSの実行

mpiifort (インテル環境)

cd igs_20181011/igs

./IGS.exe >& LOG.OUT

mpifrt (Fujitsu環境)

cd igs_20181011/igs

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。)