# FINESSE の使い方マニュアル

#### 宗宮 健太郎\*

#### 平成 25 年 6 月 19 日

# 1 はじめに

FINESSE は Andreas Freise 氏が作ったシミュレーションコードで、干渉計の信号出力を周波数領 域で数値計算することができる。同様のコードである Optickle と比べると、FINESSE は輻射圧を含 めた計算ができない一方で、空間高次モードを計算できる強みがあり、用途によって両者を使い分け るのがよいだろう。また、Optickle は Matlab がないと動かないが、FINESSE は完全に無料のソフト である。まず Andreas の homepage に行き、FINESSE を download することから始める。 http://www.gwoptics.org/finesse/

Homepage には Linux 用や Mac 用もあるが、ここでは Windows 用をダウンロードしたとして話を進める。ダウンロードして ZIP ファイルを解凍すると、実行ファイルである KAT.EXE と設定ファイル である KAT.INI が入っている。上記の homepage には Andreas の書いた英語のマニュアルも置いて ある。

FINESSE を使うには、gnuplot というフリーのグラフソフトもインストールしておくと便利である。 Gnuplot をダウンロードして、そのフォルダを C ドライブの直下に移動する。FINESSE から gnuplot に path を通すために、KAT.INI を editor で開き、

"C:/gnuplot/bin/wgnuplot.exe"

などと書く (類似の記述がある行があるので、そこを書き換える)。ここに書き込むのは gnuplot の 実効ファイルが置いてある場所であり、さきほどダウンロードした gnuplot フォルダの中のどこに wgnuplot.exe があるかを探し、上記と違う場合は訂正する。

# 2 例1:マイケルソン干渉計

では、まず拡張子を.kat としたファイルを作り、以下のコマンドを書き込む。ファイル名は仮に test.kat とする。

- (01) l i1 100 0 nL
- (02) s sEOM 1 nL nEOin
- $(03) \mod eo1 \ 10M \ 0.1 \ 2 \ pm \ 0 \ nEOin \ nEOout$
- (04) s sRE 1 nEOout nPOin
- (05)bs po01045 nPO<br/>in dump nPO<br/>out npo
- (06) s sBS 1 nPOout n1
- (07) bs bs1 0.5 0.5 0 45 n1 n2 n3 n4

 $<sup>*</sup> Corresponding \ email: \ somiya@phys.titech.ac.jp$ 

(08) s sAS 1 n4 nAS
(09) s north-s 3000 n2 n5
(10) s east-s 3001 n3 n6
(11) m north-m 0.99995 50e-6 0 n5 n7
(12) m east-m 0.99995 50e-6 90 n6 n8
(13) pd1 Ctrl 10M 90 nAS
(14) xaxis north-m phi lin -180 180 100
(15) func y = 90- \$x1
(16) put\* east-m phi \$y
(17) noplot y

- (18) yaxis lin abs
- (19) pause

説明は後回しにして、まずこれが計算できるかどうか確認してみよう。このファイルをどこかのフォ ルダにいれて、そのフォルダを指定してコマンドプロンプトを開く。具体的には、プログラム アク セサリ コマンドプロンプトと選択してコマンドプロンプトを開き、

C: ¥ Users ¥ hoge>

とあるので、これより上のフォルダに行く場合は cd.. と打ち、下のフォルダに行く場合は cd hogehoge などと打ち込む。この作業が面倒ならば、いじくるつくーるというソフトをダウンロードすると、右 クリックでコマンドプロンプトをその場で開くことが可能となる。

さて、kat ファイルの置いてあるフォルダを指定したコマンドプロンプトで

kat test1

と打ち込むと FINESSE が実行され、図1が表示される。また、test1.out が作成され、その中には掃 引位相と出力ともう1つの合計3列が記録されている。



図 1: サンプルコードを実行したときの出力

ちなみに、最近アップデートされた Windows 版の FINESSE を走らせると gnuplot が表示されない ようである。その場合は私に相談してください。

### 3 KAT ファイルの中身

それでは、サンプルコードで用いられているコマンドを順番に見ていこう。(01) 行目から(12) 行目 には干渉計構成が記載されている。構成要素ごとに使用方法を以下にまとめる。

#### 3.1 Mirror

Mirror は m で表し、以下のようなパラメータを書き込む。 m 名前 反射率 透過率 位相シフト ノード1 ノード2 ここで、FINESSE は元々cavity などの長さを carrier に対して波長の整数倍に設定するので、位相シ フトという項はそれを反共振や非共振に変更するためのものである。ノードというのは KAT 内の絵に n1 などと描いてあるように、場所を表すものである。その先に何もないときは dump と書けばよい。

#### 3.2 Space

Mirror 間の距離は s で表す。 s 名前 距離 (m) ノード ノード ここで、光速 c は KAT.INI に 7 桁で書いてあるから、距離もそれに合わせて 7 桁くらいまで計算して 書き込まないといけないので注意。

#### **3.3 Beam Splitter**

BSは bsで表す。 bs 名前 反射率 透過率 位相シフト 入射角 ノード ノード ノード ノード 入射角の単位は度。ノードの順番は入射、反射、透過、それ以外の順番となっている。

#### 3.4 LASER

LASER は1で表す。 1 名前 強度(W) 周波数 ノード 周波数は KAT.INI に書いてあるデフォルト値とのズレで、たいてい0 でよい。

#### 3.5 変調器

変調器は mod で表す。 mod 名前 変調周波数 変調指数 次数 種類 ノード ノード 変調周波数は 10<sup>7</sup>(Hz) とかは 10M と書いてよい。次数のところで、single sideband にしたければ、s と書く。種類のところは、位相変調なら pm、強度変調なら am と書き込む。

## 4 誤差信号の計算

まずフォトデテクタを設置する。通常の復調では、pd1 名前 復調周波数 復調位相 ノード と書く。フォトデテクタは 40 個まで設置が可能で、複数置くとそれらの出力が同時に表示される。サ イドバンド同士のビートをとる二重復調をする場合は、 pd2 名前 復調周波数 復調位相 復調周波数 復調位相 ノード

を用いる。

掃引は以下のコマンドを使って行なう。

xaxis 振る物 どのパラメータを振るか lin 掃引始点 (deg) 掃引終点 (deg) 点数 yaxis abs

掃引幅を小さくして点数を1にすれば表示値が出力の微分幅を表す。そして yaxis コマンドは abs に すると出力が gain に、deg にすると出力が phase になり、abs:deg にすると同時に表示される (cavity を含まないと phase は表示されないらしい)。

さらに、2つの mirror を同時に掃引するときは以下のコマンドを xaxis コマンドと yaxis コマンド o間に書き込む。まず、新しい関数を設定し、

func 関数名 = 数式

そのあとで

put 振る物 どのパラメータを振るか \$ 関数名

と書く。数式の中では xaxis で与えられる値を \$x1 で表す。サンプルファイルでは、east-mを north-m と反対向きに掃引して差動信号を見たいので、位相を 90 度ずらしている (往復で 180 度)。

ここでデフォルト位置というものが重要である。Mirrorを設定するときに位相シフトを書き込んだ が、掃引対象に関しては一度リセットされてしまう。ここでput\*とアスタリスクをつけると定義した デフォルト位置を保存することができる。サンプルコードでアスタリスクを外すと波の位置がずれる のを確認できる。

### 5 伝達関数の計算

伝達関数は、RF 変調に加えて信号サイドバンドを用意し、二重復調することで計算する。サンプル コードの (13) 行目以降を以下のように書き換える。

(13) fsig sig1 east-m 1000 0

- (14) fsig sig2 north-m 1000 180
- (15) pd2 GW 10M 0 1000 max nAS
- (16) xaxis sig1 f log 1 10k 100
- (17) put GW f2 \$x1
- (18) scale meter
- (19) yaxis log abs

(13)(14) 行目で fsig コマンドを用いて信号サイドバンドをたてる。最後から2番目の数字が信号サイ ドバンドの周波数である。ここでは1kHzに設定しているが、実はこの数字はなんでもよい。(15) 行目 で RF サイドバンドと信号サイドバンドで二重復調を実施する。信号サイドバンドの復調位相に関し ては max コマンドを用いる。RF サイドバンドでは max コマンドは利用できないようである。(16) 行目で信号サイドバンドの周波数を掃引する。ここで sig1の周波数を掃引すれば sig2 も同時に掃引さ れる。(17) 行目で put コマンドを用いて、二重復調の周波数も合わせて掃引する。(18) 行目は単位を デフォルトの W/rad から W/meter に変えるものである。

# 6 ショットノイズの計算

ショットノイズの計算は、伝達関数の計算に用いたフォトデテクタを pdS2 に変えるだけでできる。 (15) pdS2 GW 10M 0 1000 max nAS

このとき (18) 行目で単位を変えてあることが重要で、それにより単位<br/>が $m/\sqrt{\mathrm{Hz}}$ で表されることになる。