

はじめに

本プログラムは、データを以下のFitting曲線に当てはめた場合の各係数を求める物です。

$$Y = a + b \cdot x + c \cdot (\exp(d/c \cdot x) - 1)$$

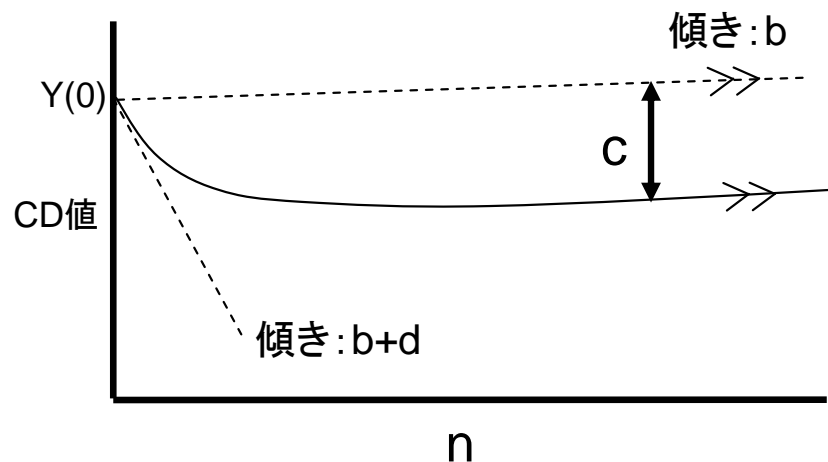
ここで、 $c > 0$, $d < 0$ とします。以下の関係が成り立ちます。

$$Y(0) = a$$

$$Y'(0) = b + d$$

$$Y'(\infty) = b$$

a は初期値、 b はコンタミネーション($b > 0$)/カーボナイズーション($b < 0$) で、直線的な変化量です。
 d は ArF レジストのシュリンク速度($d < 0$)を表すパラメータになります。



CD値が直線近似できる状態になった時の傾きが (+) の場合、コンタミネーションによるCD値の増加を表していると考えられます。

$Y(0)$ の値から、傾き b の直線を引き、この線とCD値の線の差が一定になる時の値が c になります。従って、 c が異常な値に収束した場合は、正しい結果を表していると考え事はできません。

データ数が少ない場合には、データによっては c の値が異常値に収束する場合があります。(次項参照)

一般的には、SEMのLanding Energy が大きいほど、 c の値は大きくなります。

c の値が異常値(大きな値、例えば、80.0等)に収束する場合、a,b,c,d の値は、現実の値とはかけ離れた値に収束している可能性があります。
(プログラム上は、 $0.0 < c < 100.0$ として計算しています。)

このような場合は、以下の方法を試してください。

再測定ができる場合には、

1) データの測定回数を増やす。例えば、 $n=10$ から $n=20$ にする。

測定回数を増やすと、データの後半が直線で近似できるようになるので、cの値が異常値に収束する事が無くなります。

再測定ができない場合には、

2) 同一条件の複数のLineのデータの平均をとり、1個のデータとする。このデータを使って計算し、cの値を求める。このcを固定値として、平均する前の元のデータを使って、a,b,d を求める。

複数のデータ(n個)の平均をとる事により、個々のデータの信頼性が向上します。これにより、cの値を(比較的)正しく求める事ができます。この値を利用する事により、他の値、a,b,d 及び SD(標準偏差)を正しく求める事ができます。(cの値は共通であるという仮定をしている事になります。)

個々の a,b,d,SD を求める必要が無い場合、平均値のデータのSDの値に \sqrt{n} を掛ける事により、平均を行わない場合の1回の測定でのSD(の平均値)を求める事ができます。

データ構造

n	
1	107.7
2	106.3
3	105.6
4	105.6
5	105
6	105.3
7	104.6
8	103.7
9	104.3
10	103.5
11	102.7
12	103.1
13	102.4
14	102.8
15	101.8
16	102.6
17	102.2
18	
19	102.2
20	102
21	101.1
22	101.2
23	102.2
24	101.3
25	100.7
26	101
27	100.4
28	101.5
29	100.9
30	100.3

データ番号28まで読み込む。

<=データの欠落はOK

ここまでのデータを読み込む(先頭行で指定。)
このデータ以降は無視される。

データ構造は、1行目は、n と データ数。
2行目以降は、データ番号とデータとします。

データ区切りは、tab です。これは、ExcelシートからCut&PasteでText Editor に貼り付ける事を想定した仕様です。

データ番号は、1から順に連続した数値でなければなりません。先頭行で指定したデータ数以降は読み込みません。

データは、欠落していても問題ありません。

3カラム目以降は、読み込まないので、コメントとして使えます。

機能の説明

計算を実行します。

LineかHoleかの選択をします。
データが減少していく時はLineを増加する時は、Holeです。

特定のデータを使用せずに計算します。
1を選んだ場合、1番目のデータを使用しません。

"n" を選択した場合、すぐ右のBoxに選択しないデータの番号を入力します。

データの読み込み

Initial Number, Answerの部分を初期化します。

Message Windowをクリアします。

Answer部分のデータを Initial Number にコピーします。

チェックを入れたパラメータは、Initial Number の数値を固定値として計算します。

The screenshot shows the 'F Parameter Analysis Ver8.01' window. It features a 'Start' button, radio buttons for 'Line' and 'Hole', and a 'Clear' button. A 'Skip Data' section has checkboxes for 1, 2, 3, 4, and 'n', with an input field for 'n' set to 'NA'. Below this is a 'Read File' section with a text box and a '<=> File Select' button. The main area contains a table with columns 'Fixed', 'Initial Number', and 'Answer'. The 'Fixed' column has checkboxes 'a', 'b', 'c', and 'd'. The 'Initial Number' column has input fields with values 0, 0, 1, and -0.1. The 'Answer' column has input fields with values 'NA', 'NA', 'NA', and 'NA'. Arrows point from the Japanese text annotations to specific UI elements: '計算を実行します。' points to the 'Start' button; 'LineかHoleかの選択をします。...' points to the radio buttons; '特定のデータを使用せずに計算します。...' points to the 'Skip Data' section; 'データの読み込み' points to the 'Read File' section; 'Initial Number, Answerの部分を初期化します。' points to the 'Clear' button; 'Message Windowをクリアします。' points to the 'Message Window' label at the bottom; 'Answer部分のデータを Initial Number にコピーします。' points to the '<<' buttons in the 'Answer' column; and 'チェックを入れたパラメータは、Initial Number の数値を固定値として計算します。' points to the 'Fixed' checkboxes.

Fixed	Initial Number	Answer
<input type="checkbox"/> a	0	<< NA
<input type="checkbox"/> b	0	<< NA
<input type="checkbox"/> c	1	<< NA
<input type="checkbox"/> d	-0.1	<< NA

Message Window

データの実行結果(例)

このプログラムは、Fitting曲線と直線近似のどちらを使うべきかを自動判断します。

自由度の減少を考慮した標準偏差を計算比較し、小さい方を採用します。

ArF Parameter Analysis Ver8.01

Start ☒ Line ☐ Hole Clear Default Skip Data ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ n ☐ => NA

ReadFile
C:\ArF-Fitting801\exp052.txt <=> File Select

Fixed	Initial Number	Answer
a <input type="checkbox"/>	0	<< 108.002270399004
b <input type="checkbox"/>	0	<< -0.072178716602
c <input type="checkbox"/>	1	<< 5.220607511893
d <input type="checkbox"/>	-0.1	<< -0.686959750942

j= 18 data=0

a= 108.002270399004
b= -0.072178716602
c= 5.220607511893
d= -0.686959750942

3s(n-4)= 1.32844081511957
Data= 27
Loop= 2859

If you use a linear fitting model...
A= 106.119013595721
B= -0.212405585269
3s(n-2)= 2.066820830267
3s(n-4)= 1.328440815120

0.047 sec

18番目のデータが欠落している事を示す。

計算結果。

Fitting曲線からの残差の標準偏差。

使用したデータ数。

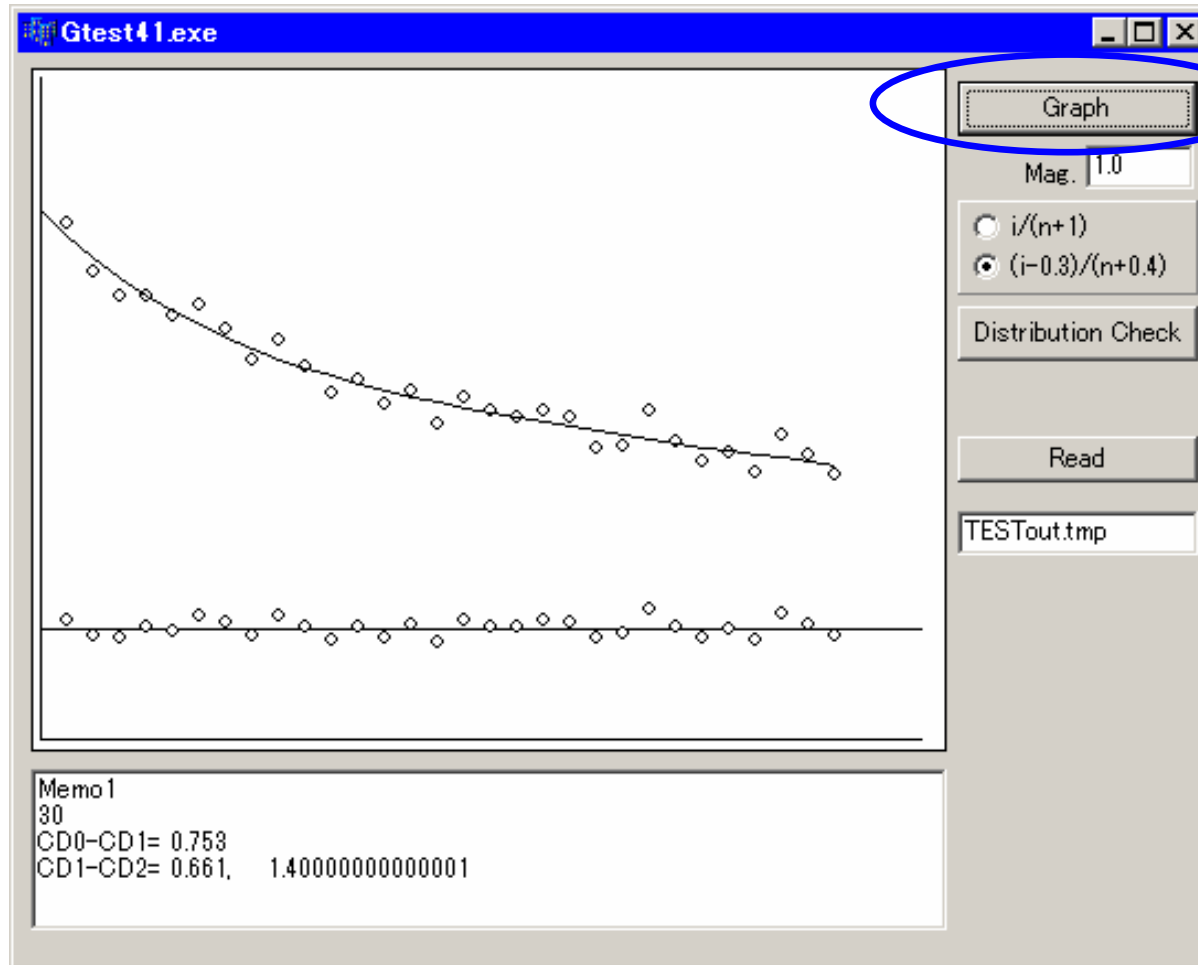
収束するまでの計算ループの回数

直線近似を行った場合の結果と標準偏差。

計算時間

グラフの表示

Gtest42m.exe を実行すると、計算結果をグラフとして表示します。



APA801.exeを実行すると、TESTout.tmp が作成されます。

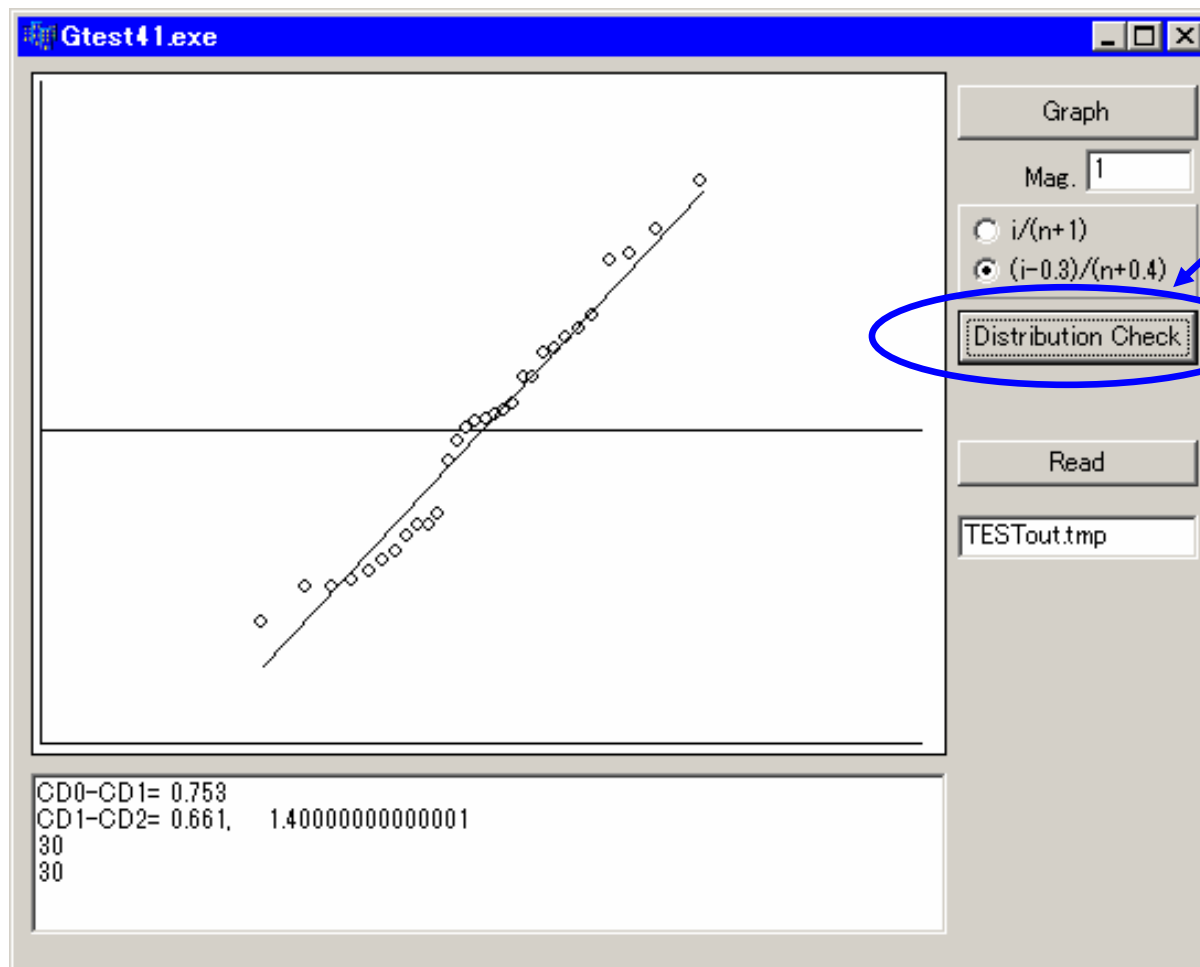
Gtest42m.exeは、TESTout.tmpを読み込み、グラフを表示します。

丸が、使用したデータで、実線はFittingした曲線です。

下のグラフは、Fitting曲線からの差分です。Mag.の数値を変えると、縦軸の倍率が変わります。

残差データは、(+)と(-)がランダムに出るのが自然です。(+)や(-)の値が連続したり、波打つように連続して変化する場合には、個々の測定が独立事象でない事を示しています。例えば、サンプルのチャージの影響や、カラム内部のチャージの影響がある場合、このような挙動を示します。(連続測定時に、チャージとデチャージを繰り返すため。)

残差が正規分布をするかどうかのチェック



Fitting曲線からの差分が正規分布をしているかどうかをチェックします。

データが直線に乗っていれば、差分データは正規分布をしている事を意味します。

データが直線に乗らない場合、Fitting式そのものがデータに対して不適切と考えられます。

$i/(n+1)$ と $(i-0.3)/(n+0.4)$ について。

ここで i はデータの位置、 n はデータの個数です。

i 番目のデータが、正規分布でどの位置にあるかを計算する場合に、EXCELの関数 `normsinv` を使ってあらわすと、 $i \Rightarrow$ 確率 $p(i) \Rightarrow \text{normsinv}(p(i))$ という順で変換します。

この時の、 $p(i)$ の関数の定義が、 $i/(n+1)$ と $(i-0.3)/(n+0.4)$ です。

n が十分大きければ、両者は一致します。一般には、 $i/(n+1)$ がよく使われますが、 n が小さい場合には、 $(i-0.3)/(n+0.4)$ が良い場合もあります。