

◎ 演習（解像特性）

演習前の準備

MTF の演習を始める前に、この演習ではフリーソフト “ImageJ”，プラグインフォルダ「MTF macro」とマイクロソフト社製 “Excel” を使用する。

〔1〕 エッジ法

リニアシステムである間接変換型 FPD システムから取得したサンプル画像から ImageJ²⁵⁾ と Excel を用いて presampled MTF の解析を行う。ImageJ にて画像表示から合成プロファイルの作成まで行い、Excel より合成プロファイルから presampled MTF の算出を行う。

エッジの画像データ “MTF_Edge.img”

マンモグラフィ装置である間接変換型 FPD システムから得たものであり、サンプリングピッチが 0.100 mm の垂直方向（胸壁-乳頭方向に直交する方向）の MTF を評価するための画像である。テストデバイスは、IEC62220-1 に準じた 10 × 10 cm のサイズを有する 1 mm 厚タングステン製エッジを用いた。なお、X 線の線質は RQA-M2 を選択した。

(1) ImageJ での操作

ImageJ を使って、①画像表示、②エッジの傾き角度計測、③合成プロファイルの作成を行う。

① 画像表示

エッジ画像データ “MTF_Edge.img” は、FPD より出力された画像で DICOM 形式のヘッダ情報を備えたリニアシステムデータである。

i) 「File」→「Open…」(図 1)

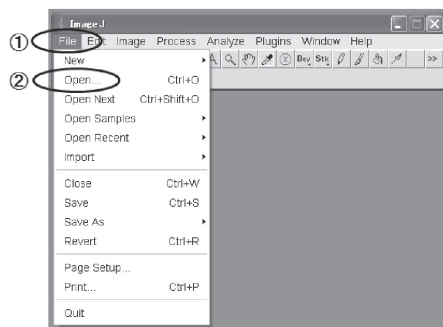


図 1 ImageJ への画像取り込み

ii) エッジ画像データ “MTF_Edge.img” を選択。

「第 3 章演習ファイル」→「エッジ法」→「MTF_Edge.img」

iii) 画像が表示され (図 2)、ウィンドウ幅、ウィンドウレベルの調整を必要とする場合

「Image」→「Adjust」→「Window/Level…」で調整する。(図 3)

② エッジの傾き角度計測

マクロ “Angle_measurement_macro” を用いて、エッジの傾き角度を求める。後のプロファイル合成を精度良く行うには、正確な角度計測が必要となる。

i) 表示のエッジ画像に対して、角度計測に用いる範囲を矩形の ROI で囲む (図 4)。なお、ROI の設定は必ずエッジ像内に収まるように長方形で囲み、エッジ面に垂直の方向は広く設定する。

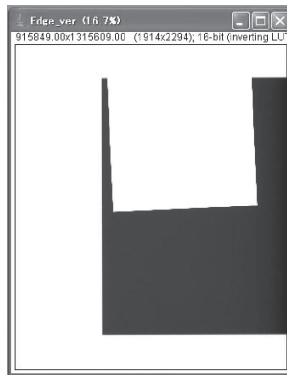


図2 エッジ画像の表示

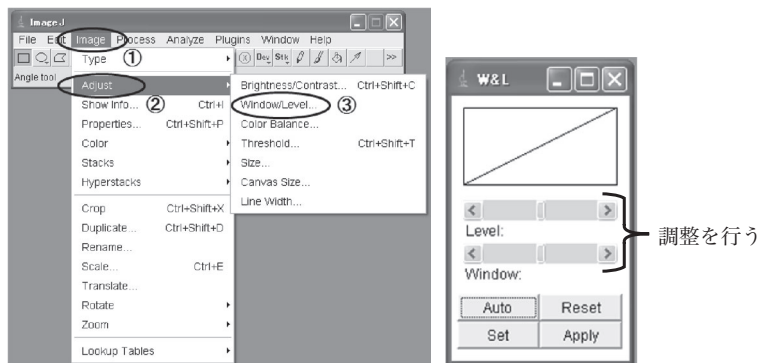


図3 画像のウィンドウ幅，ウィンドウレベルの調整

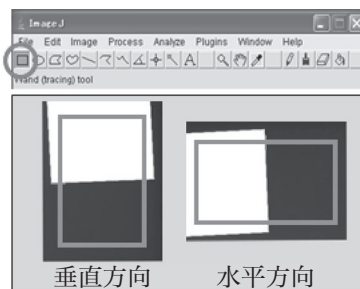


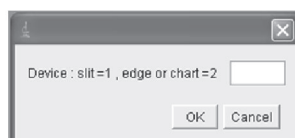
図4 角度計測およびプロファイル合成の範囲決定

ii) マクロを動作させて，エッジの傾き角度を計測する．

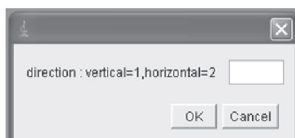
「Plugins」→「MTF_macro」→「Angle_measurement_macro」でマクロを起動する．マクロの使用法を示す（図5）．マクロ起動後，Device = 2，direction = 1を入力する．また，“Angle”には，簡易の自動計測によって算出された角度値がデフォルト値として表示されるので，その値をもとにプロファイルの収束の度合いを確認する．最も収束する角度値をエッジの傾き角度として決定する（図6）．これより，サンプル画像の傾き角度は2.58°となる．

③ 合成プロファイルの作成

マクロ“Comp_profile_macro”を用いて，等間隔のデータとなる合成プロファイルを作成する．



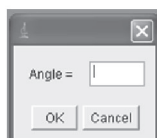
Device：テストデバイスの種類によって選択。
エッジ…2
スリット…1
矩形波チャート…2



direction：求める MTF の方向によって選択。
垂直方向 = 1
水平方向 = 2

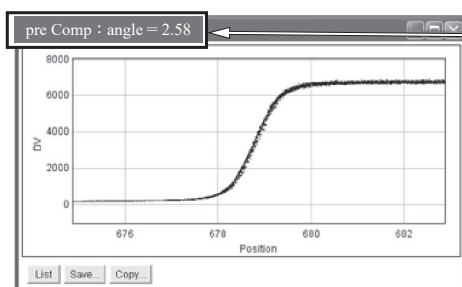


垂直方向 水平方向



Angle：デフォルト値として自動計測された数値が入力される。
任意の角度に変更が可能。

図5 “Angle_measurement_macro” マクロの使用方法

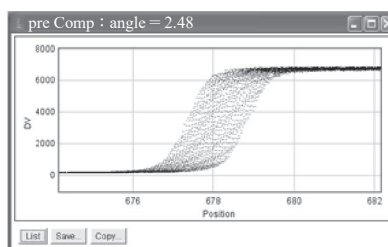
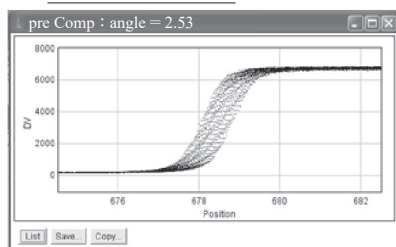


角度はここで確認する。

※データ点の集合が1本の曲線のように収束しているか確認する。収束の度合いに応じてマクロで入力した“Angle”の値を再度、変更してプロファイルを確認する。ここで決定した角度を用いて合成プロファイルを作成する。

・サンプル画像の傾き角度：2.58°

収束していない場合



角度計測の誤差は presampled MTF の測定精度の低下につながるため、正確に角度を求めることが重要となる。

図6 傾き角度の決定

- i) 表示のエッジ画像に対して、プロファイルの合成に用いる範囲を矩形の ROI で囲む（図4）。なお、ROI の設定は必ずエッジ像内に収まるように長方形で囲み、エッジ面に垂直の方向は広く設定する。
- ii) マクロを動作させて、合成プロファイルを作成する。

「Plugins」→「MTF_macro」→「Comp_profile_macro」でマクロを起動する。図7にマクロの使用法を示す。マクロ起動後、Device = 2, direction = 1, pixel size = 0.100,

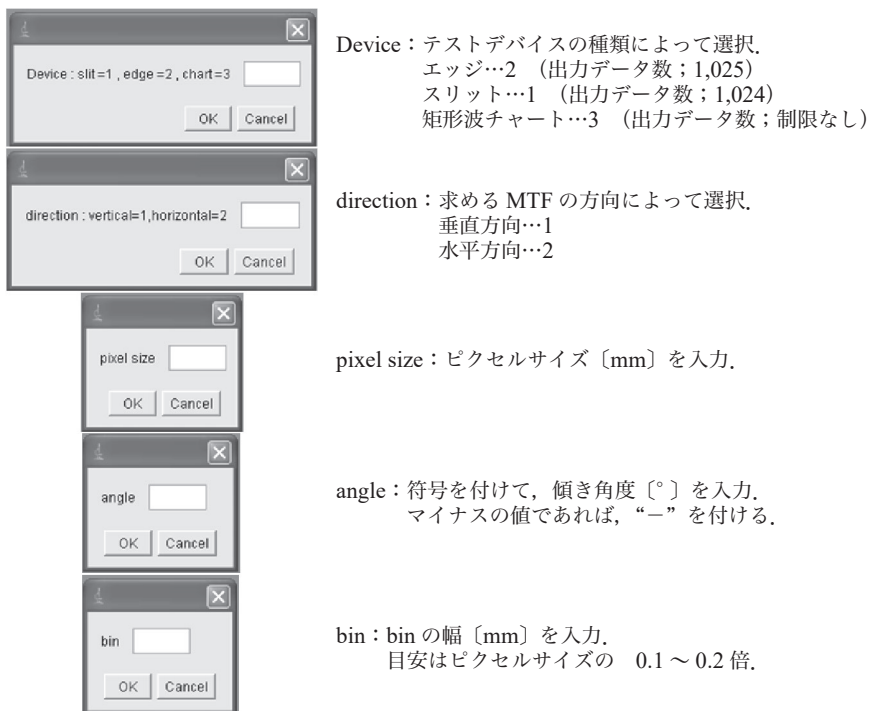


図7 “Comp_profile_macro” マクロの使用法

angle = 2.58, bin = 0.020 を入力する。マクロによる計算後、等間隔の合成プロファイルが作成され、Log ウィンドウに出力される (図 8)。なお, “Comp_profile_macro” では “Device = 2” でエッジを選択した場合、Log ウィンドウに出力される合成プロファイルのデータ数は 1,025 となるようにプログラムしてある。

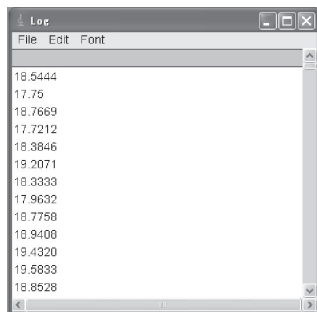


図8 Log ウィンドウに出力される合成プロファイルデータ

(2) Excelシートへのプロファイルデータの取り込み

③ ii) にて Log ウィンドウ (図 8) に出力された合成プロファイルのデータをコピーして Excel ファイル「演習用シート_エッジ法」にペーストする。

i) 用いたサンプル画像はリニアシステムデータのため、Excel ファイル「演習用シート_エッジ法 (リニアシステム用)」を起動する。

ii) ImageJ の Log ウィンドウ（図 8）内の合成プロファイルデータをコピーする。

「Edit」→「Select All」で Log ウィンドウ内のすべての値を選択する。

「Edit」→「Copy」で選択した値をコピーする。

iii) Excel シート内の [C3] を選択して、合成プロファイルのデータをペーストする。

(3) Excel での操作

Excel を使って、合成プロファイルデータから presampled MTF の算出を行う。なお、エッジ法では LSF に対して外挿処理を実施しないため、スリット法と異なり外挿処理の工程はシートに含まれていない。図 9 の“線形システムシート”を使用して presampled MTF の算出を行う。



図 9 使用する“線形システムシート”

① 合成プロファイル間隔（実効サンプリング間隔）の入力

合成プロファイル作成用マクロ“Comp_profile_macro”にて設定した bin の幅 [mm] を [A3] に入力する（図 10）。

①合成プロファイル間隔（bin 幅）の入力

	A	E
1		
2	合成profileの間隔[mm]	position[mm]
3		
4	※ マクロで入力した“bin”の値を入れる。	
5		

図 10 合成プロファイル間隔（bin 幅）を入力

② 微分による ESF から LSF への変換

隣接差分による微分を用いて、ESF を LSF へ変換する。自動計算によって ESF の形状を判断して、D 列には上に凸となる LSF が出力される（図 11）。

ESF の形状

または

$$= \frac{(k+1 \text{ 番目の ESF 値} - k \text{ 番目の ESF 値})}{\text{実効サンプリング間隔 [A3]}}$$

$$= \frac{(k \text{ 番目の ESF 値} - k+1 \text{ 番目の ESF 値})}{\text{実効サンプリング間隔 [A3]}}$$

微分後の LSF が上に凸となるように、合成プロファイルの 1 ～ 20 番目までの平均値 [C1031] と 1,005 ～ 1,024 番目までの平均値 [C1033] を求めて ESF の形状の判別を行い、上記の式を適合させている。

図 11 微分による ESF から LSF への変換

③ LSF をフーリエ解析

LSF に対してフーリエ解析を行う。なお、フーリエ変換として Excel にてツールとして組み込まれている FFT が若干の制限をもつものの簡単に利用できることから、ここでは FFT を使用する。

i) Excelにおけるフーリエ解析 (FFT)

Excel 2002 までのバージョン (図 12)

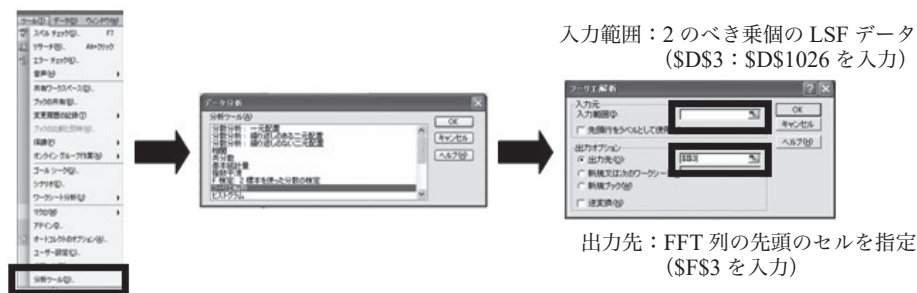


図 12 Excel におけるフーリエ解析の手順 (Excel 2002 以前)

- (a) 「ツール」→「分析ツール」→「フーリエ解析」
- (b) 入力範囲：2 のべき乗個の LSF データ ($\$D\$3 : \$D\1026 を入力)
- (c) 出力先：FFT (F 列) の先頭のセルを指定 ($\$F\3 を入力)

Excel 2007 以降 (図 13)

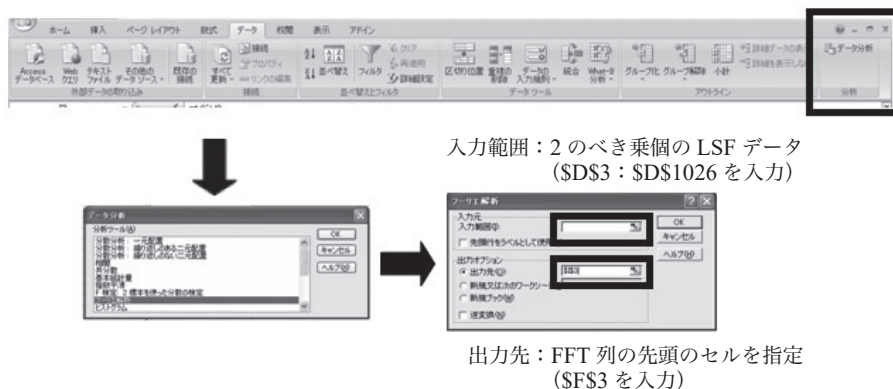


図 13 Excel におけるフーリエ解析の手順 (Excel 2007 以降)

- (a) 「データ」→「データ分析」→「フーリエ解析」
- (b) 入力範囲：2 のべき乗個の LSF データ ($\$D\$3 : \$D\1026 を入力)
- (c) 出力先：FFT (K 列) の先頭のセルを指定 ($\$F\3 を入力)

ii) FFT 後の複素数データを絶対値化処理

自動計算によって、G 列は FFT 後の複素数データ (F 列) に対して絶対値化処理を行う (G 列の計算式：G 列 = IMABS (F 列の値))。

iii) 0 cycle/mm の値で正規化

自動計算によって、H 列は FFT 後の絶対値データを 0 cycle/mm の値で正規化を行い (H 列の計算式：H 列 = G 列の値 / (0 cycle/mm の FFT 後の絶対値データとなる [G3])), MTF を算出する。

iv) MTF の横軸を決定

合成サンプリング間隔、FFT に使用するデータ数によってフーリエ変換後データの空間周波数間隔は変化する。フーリエ変換 (FFT) を実施する 2 のべき乗となるデータ数を

[J4] に入力して（図 14），L 列の空間周波数〔cycles/mm〕を決定する．MTF の横軸を決定する方法を示す（図 15）．

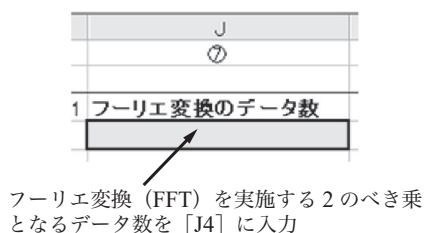
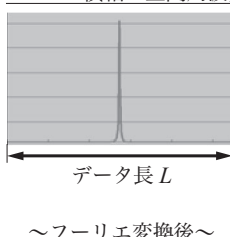


図 14 FFT のデータ数を入力

MTF の横軸：空間周波数〔cycles/mm〕



合成サンプリング間隔，FFT に使用するデータ数によってフーリエ変換後データの空間周波数間隔は変化する．

空間周波数間隔（または周波数分解能）： $f_{\min}$

$$f_{\min} = 1/L \\ = 1/(S \times N)$$

L：データ長，S：サンプリング間隔，N：データ数

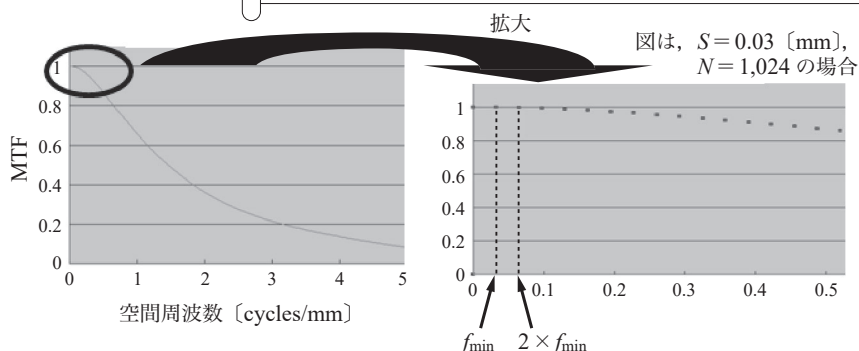


図 15 フーリエ変換後データの空間周波数間隔（MTF の横軸）を決定

④ 補正

自動計算によって，I 列は隣接差分に対する補正係数と bin 処理に対する補正係数が sinc 関数によって算出される（I 列の計算式：I 列 = (L 列の空間周波数〔cycles/mm〕 $\times \pi \times$ bin 幅〔mm〕となる [A3]) $\div \sin$ (L 列の空間周波数〔cycles/mm〕 $\times \pi \times$ bin 幅〔mm〕となる [A3])）。

⑤ presampled MTF の算出

自動計算によって，FFT 後の絶対値データを 0 cycle/mm の値で正規化を行った H 列と隣接差分に対する補正係数となる I 列と bin 処理に対する補正係数となる I 列の積から presampled MTF は算出される（M 列の計算式：M 列 = H 列 $\times$ I 列 $\times$ I 列）。表示される presampled MTF のグラフは，横軸が空間周波数〔cycles/mm〕，縦軸は MTF 値となる（図 16）。

[2] スリット法

ログシステムであるカセットタイプの CR システムから取得したサンプル画像から ImageJ と Excel を用いて presampled MTF の解析を行う．ImageJ にて画像表示から合成プロファイルの

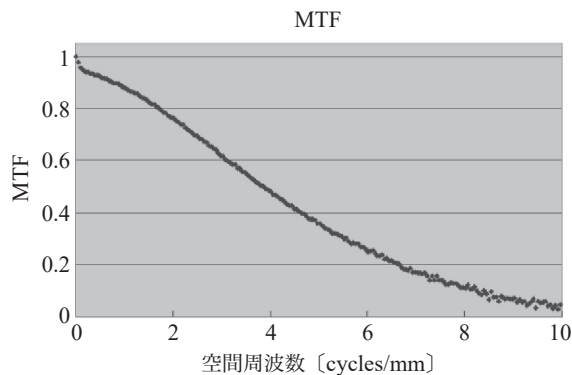


図16 presampled MTFの結果グラフ

作成まで行い、Excelより合成プロファイルから presampled MTF の算出を行う。

スリットの画像データ“MTF_Slit.img”

一般撮影装置であるCRシステム（カセットタイプ）から得たものであり、サンプリングピッチが0.175 mmの垂直方向（副走査方向）のMTFを評価するための画像である。テストデバイスは、厚さ30 mmのタングステン製で開口幅0.01 mmのスリットを用いた。また、X線発生装置の出力の制限を考慮して、X線管焦点-検出器表面間の距離は1,100 mm、X線の線質はRQA5を選択せずに線質依存のないことを前提に管電圧60 kV（総ろ過2.85 mmAl）を選択した。

(1) ImageJでの操作

ImageJを使って、①画像表示、②スリットの傾き角度計測、③合成プロファイルの作成を行う。

① 画像表示

スリット画像データ“MTF_Slit.img”は、CRより出力された画像でrawデータ形式のヘッダ情報を備えないログシステムデータである。画像サイズは、横：1,140ピクセル、縦：1,430ピクセルである。

- i) 「File」→「Import」→「Raw...」（図17）。
- ii) スリット画像データ“MTF_Slit.img”を選択。
「第3章演習ファイル」→「スリット法」→「MTF_Slit.img」
- iii) 画像情報を入力する（図18）。
- iv) 画像が表示され（図19）、ウィンドウ幅、ウィンドウレベルの調整を必要とする場合
「Image」→「Adjust」→「Window/Level...」で調整する（図3）。

② スリットの傾き角度計測

添付のマクロ“Angle_measurement_macro”を用いて、スリットの傾き角度を求める。後のプロファイル合成を精度良く行うには、正確な角度計測が必要となる。

- i) 表示のスリット画像に対して、角度計測に用いる範囲を矩形のROIで囲む（図20）。なお、ROIの設定は必ずスリット像内に収まるように長方形で囲み、スリットに垂直の方向は広く設定する。
- ii) マクロを動作させて、スリットの傾き角度を計測する。
「Plugins」→「MTF_macro」→「Angle_measurement_macro」でマクロを起動する。マ

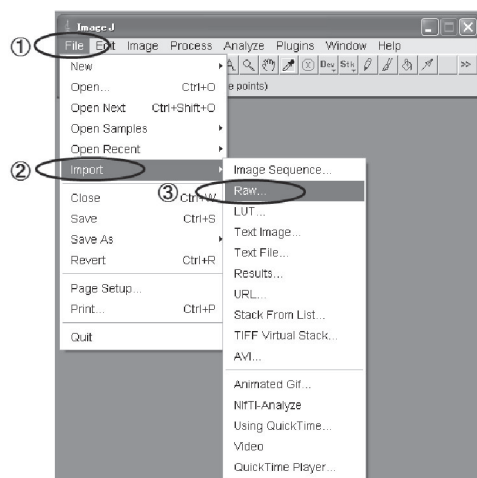
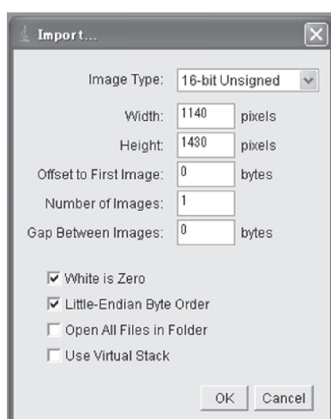


図 17 ImageJ への画像取り込み



- Image Type : 画像のタイプを選択。
“16-bit Unsigned” は、 2^{16} 階調をもつ符号なしのデータ
- Width } 画像のマトリックスサイズ、
- Height }
- Offset to First Image :
ヘッダ情報など読み飛ばすデータ量。
ヘッダ情報がなければ、0 となる。
- Number of Images : 画像の枚数。
- Gap Between Images : 画像間で読み飛ばすデータ量。
- White is Zero : 画像の白色を画素値 0 で表示する。
- Little-Endian Byte Order :
Little-Endian Byte Order で画像を表示する。
Big-Endian Byte Order の場合はチェックを外す。
- Open All Files in Folder :
フォルダ内のすべての画像を一括して読み込む。
- Use Virtual Stack :
スタックデータ処理の際に、メモリの節約や読み込み時間短縮のために、仮想的に全スライスを読み込む場合に使用する。

図 18 画像情報の入力



図 19 スリット画像の表示

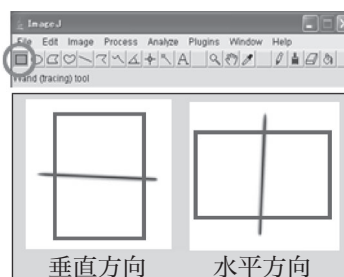
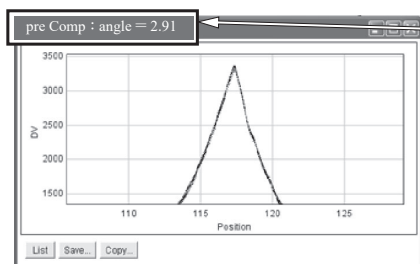


図 20 角度計測およびプロフィール合成の範囲決定

クロの使用法を示す (図5)。マクロ起動後、Device = 1, direction = 1を入力する。また、“Angle”には、簡易の自動計測によって算出された角度値がデフォルト値として表示されるので、その値をもとにプロファイルの収束の度合いを確認する。最も収束する角度値をスリットの傾き角度として決定する (図21)。これより、サンプル画像の傾き角度は2.91°となる。

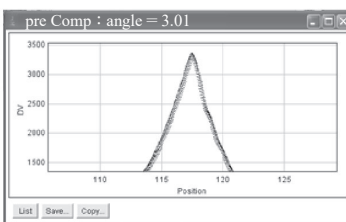
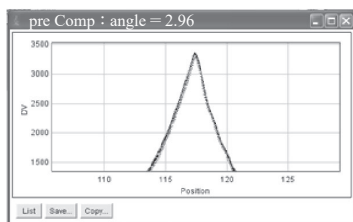


角度はここで確認する。

※データ点の集合が1本の曲線のように収束しているか確認する。収束の度合いに応じてマクロで入力した“Angle”の値を再度、変更してプロファイルを確認する。ここで決定した角度を用いて合成プロファイルを作成する。

・サンプル画像の傾き角度：2.91°

収束していない場合



角度計測の誤差は presampled MTF の測定精度の低下につながるため、正確に角度を求めることが重要となる。

図21 傾き角度の決定

③ 合成プロファイルの作成

添付のマクロ“Comp_profile_macro”を用いて、等間隔のデータとなる合成プロファイルを作成する。

- i) 表示のスリット画像に対して、プロファイルの合成に用いる範囲を矩形のROIで囲む (図20)。なお、ROIの設定は必ずスリット像内に収まるように長方形で囲み、スリット面に垂直の方向は広く設定する。
- ii) マクロを動作させて、合成プロファイルを作成する。

「Plugins」→「MTF_macro」→「Comp_profile_macro」でマクロを起動する。マクロの使用法を示す (図7)。マクロ起動後、Device = 1, direction = 1, pixel size = 0.175, angle = 2.91, bin = 0.030を入力する。マクロによる計算後、等間隔の合成プロファイルが作成され、Log ウィンドウに出力される (図22)。なお、“Comp_profile_macro”では“Device = 1”でスリットを選択した場合、Log ウィンドウに出力される合成プロファイルのデータ数は1,024となるようにプログラムしてある。

(2) Excelシートへのプロファイルデータの取り込み

③ ii) にてLog ウィンドウ (図22) に出力された合成プロファイルのデータをコピーしてExcelファイル「演習用シート_スリット法」にペーストする。

- i) 用いたサンプル画像はログシステムデータのため、Excelファイル「演習用シート_ス

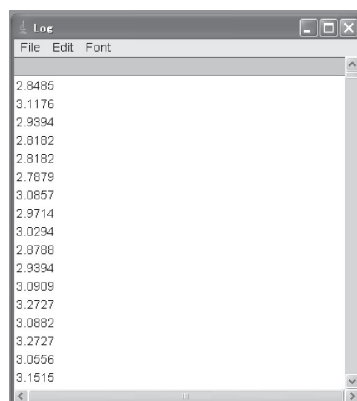


図22 Log ウィンドウに出力された合成プロファイルデータ

リット法（ログシステム用）」を起動する。

ii) ImageJ の Log ウィンドウ（図22）内の合成プロファイルデータをコピーする。

「Edit」→「Select All」で Log ウィンドウ内のすべての値を選択する。

「Edit」→「Copy」で選択した値をコピーする。

iii) Excel シート内の [C3] を選択して、合成プロファイルのデータをペーストする。

(3) Excel での操作

Excel を使って、合成プロファイルデータから presampled MTF の算出を行う。

① 合成プロファイル間隔（実効サンプリング間隔）の入力

合成プロファイル作成用マクロ “Comp_profile_macro” にて設定した bin の幅 [mm] を [A3] に入力する（図23）。

①合成プロファイル間隔（bin 幅）の入力

	A	
1		
2	合成profileの間隔[mm]	posi
3		
4	※ マクロで入力した“bin”の値を入れる。	
5		
6	入出力特性の傾き	
7		
8		
9		

②入出力特性の傾きを入力

図23 合成プロファイル間隔および入出力特性の傾きを入力

② 入出力特性の傾きから合成プロファイルを線形化

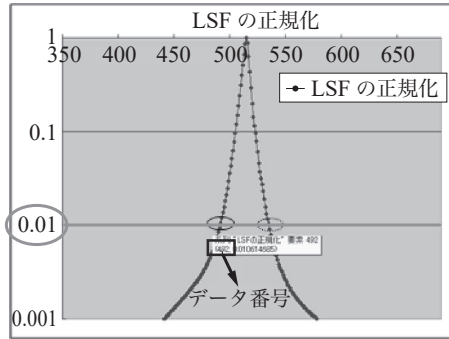
ログシステムのため、第2章にて解説された入出力特性を用いて線形化を行う。[A7] に入出力特性の傾きを入力する（図23）。入出力特性の傾きを入力すると、自動的に D 列に LSF が算出される（D 列の計算式：D 列 = $10^{(C \text{ 列のデジタル値} / \text{入出力特性の傾き [A7]})}$ ）。

なお、スリットのサンプル画像は、12 bit (= 4,096) の階調をもつ CR システムの画像でダイナミックレンジは 10^4 を有するために入出力特性の傾きは約 1,024 となる。実測済みのシートでは、入出力特性の傾きを 1,023.6 として計算を行った。

③ LSFの外挿処理

i) LSFの正規化

自動計算によって、E列はLSFの最大値を1となるように正規化を行い（E列の計算式：E列＝D列の値÷LSFの最大値 [A1000]），正規化したLSFの値を縦軸（対数）とした片対数のグラフで表示させる。iii）では、このグラフから外挿の始点を決定する（図24）。



グラフより LSF の最大値に対して約 1% (0.01) の値をもつデータ番号を [J16] (左側) と [J27] (右側) に入力する。

グラフの 0.01 を示す Y/ 数値軸目盛線（グレー線）に対して最も近い点にカーソルを合わせると、図のようにデータ番号が表示される。

図24 外挿の始点決定

ii) LSFの対数化

自動計算によって、G列はLSFの対数化を行い（G列の計算式：G列＝LOG（D列の値）），対数化後のLSFの値（G列）を使って外挿処理を行う。

iii) 外挿の始点決定

i) にて表示したグラフから外挿の始点を決定する（図24）。LSFの左側となる外挿始点のデータ番号を [J16] (A)，LSFの右側となる外挿始点のデータ番号を [J27] (B) に入力する（図25）。

左側の外挿始点	A
左側の外挿始点における値	1.284870555
左側の外挿式の傾き	C
	0.06000
右側の外挿始点	B
右側の外挿始点における値	1.273966686
右側の外挿式の傾き	D
	-0.06000

図25 外挿の始点と傾きを決定

iv) 外挿の傾き決定

LSFの左側となる外挿の傾きを [J22] (C)，LSFの右側となる外挿の傾きを [J33] (D) に入力する（図25）。外挿の傾きの数値を変えると外挿工程のグラフ（図26の下図）のピンクと黄色の直線の傾きが変化して、外挿後のグラフ（図26の上図）で表示されるLSF波形が変化する。外挿の傾きは、外挿始点のデータ点に対して接線となる傾きに調整する。なお、演習用シートでは視覚的に傾きを決めるが、対数化後のLSFの1～2%となる範囲の傾きを求めて外挿の傾きの値としてもよい。“非線形システムシート_実測済み_外挿傾き決定”シートでは、LSFの1～2%となる範囲の傾きから外挿の傾きを決定した（図27）。

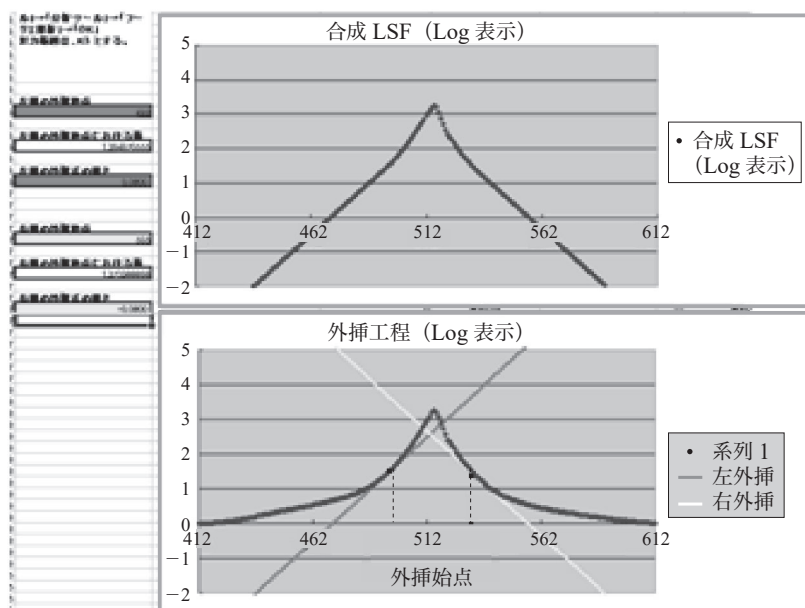
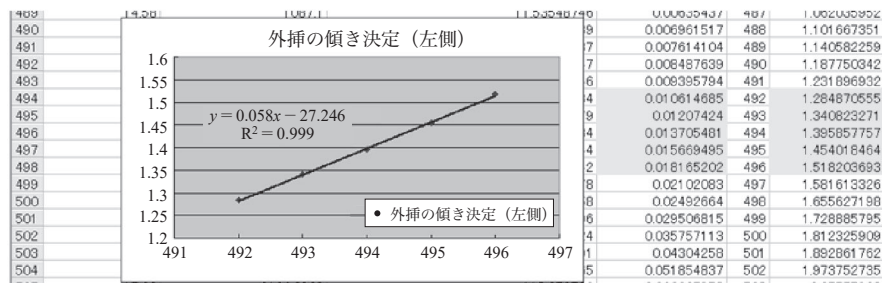


図 26 外挿の傾き決定

“非線形システムシート_実測済み_外挿傾き決定” シート

506	15.09	2199.7	140.923660
507	15.12	2204.2333	174.316191
コマンド			

外挿の傾き決定 (LSF の左側)



外挿の傾き決定 (LSF の右側)

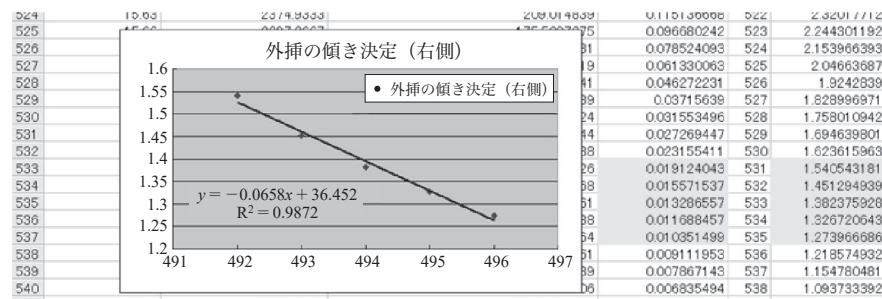


図 27 LSF の 1 ~ 2% となる範囲の傾きから外挿の傾き決定

LSFの1～2%となる範囲の傾きから外挿の傾きを決定した場合、左側となる外挿の傾き(C)は0.058, LSFの右側となる外挿の傾き(D)は-0.0658となる。

v) 外挿処理後の対数化されたLSFを実数化

iii), iv)にて図25のA～Dまで入力することで外挿処理は行われ、外挿処理後の対数化されたLSFに対してI列で実数化を行う(I列の計算式:I列 = $10^{(H列の値)}$)。

以上より、指数関数近似と等価となる外挿処理が可能となる。

④ LSFをフーリエ解析

外挿処理後のLSFに対してフーリエ解析を行う。なお、フーリエ変換としてExcelにてツールとして組み込まれているFFTが若干の制限をもつものの簡単に利用できることから、ここではFFTを使用する。

i) Excelにおけるフーリエ解析(FFT)

Excel 2002 までのバージョン (図28)

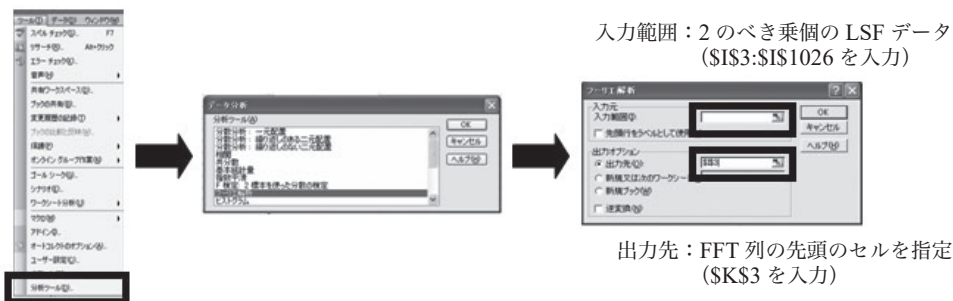


図28 Excelにおけるフーリエ解析の手順(Excel 2002 以前)

(a) 「ツール」→「分析ツール」→「フーリエ解析」

(b) 入力範囲: 2 のべき乗個の LSF データ ($\$I\$3:\$I\1026 を入力)

(c) 出力先: FFT (K 列) の先頭のセルを指定 ($\$K\3 を入力)

Excel 2007 以降 (図29)

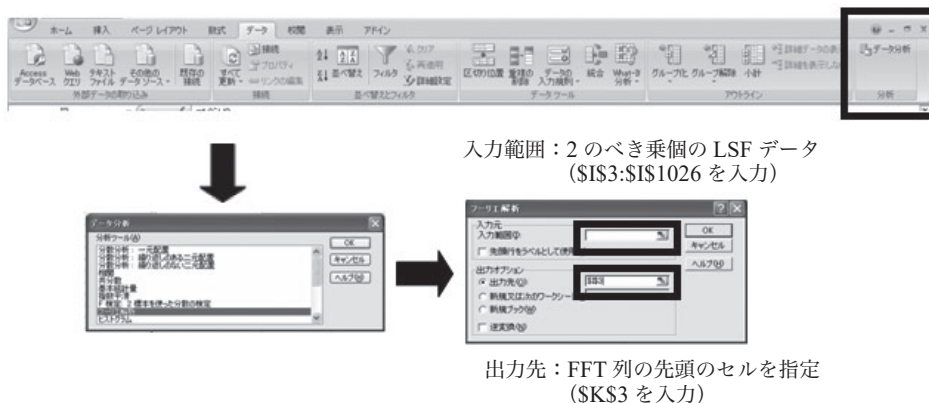


図29 Excelにおけるフーリエ解析の手順(Excel 2007 以降)

(a) 「データ」→「データ分析」→「フーリエ解析」

(b) 入力範囲: 2 のべき乗個の LSF データ ($\$I\$3:\$I\1026 を入力)

(c) 出力先: FFT (K 列) の先頭のセルを指定 ($\$K\3 を入力)

ii) FFT後の複素数データを絶対値化処理

自動計算によって、L列はFFT後の複素数データ（K列）に対して絶対値化処理を行う（L列の計算式：L列 = IMABS（K列の値））。

iii) 0 cycle/mmの値で正規化

自動計算によって、M列はFFT後の絶対値データを0 cycle/mmの値で正規化を行い（M列の計算式：M列 = L列の値 ÷ 0 cycle/mmのFFT後の絶対値データとなる [L3]），MTFを算出する。

iv) MTFの横軸を決定

合成サンプリング間隔、FFTに使用するデータ数によってフーリエ変換後データの空間周波数間隔は変化する。フーリエ変換（FFT）を行った2のべき乗となるデータ数を [N4] に入力して、P列の空間周波数 [cycles/mm] を決定する。MTFの横軸を決定する方法を示す（図15）。

⑤ 補正

自動計算によって、Q列はbin処理に対する補正係数がsinc関数によって算出される（Q列の計算式：Q列 = (P列の空間周波数 [cycles/mm] × π × bin幅 [mm]) となる [A3]) ÷ sin (P列の空間周波数 [cycles/mm] × π × bin幅 [mm]) となる [A3])）。

⑥ presampled MTFの算出

自動計算によって、FFT後の絶対値データを0 cycle/mmの値で正規化を行ったM列とbin処理に対する補正係数となるQ列の積からpresampled MTFは算出される。表示されるpresampled MTFのグラフは、横軸が空間周波数 [cycles/mm]、縦軸はMTF値となる（図30）。

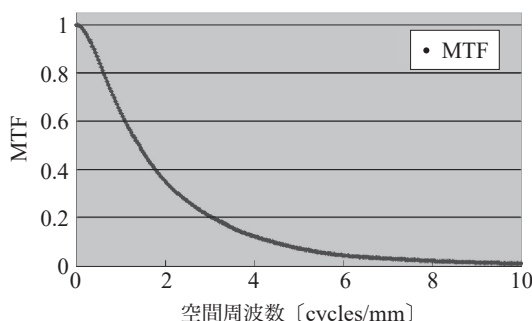


図30 presampled MTFの結果グラフ

〔3〕矩形波チャート法

ログシステムであるカセットタイプのCRシステムから取得したサンプル画像からImageJとExcelを用いてpresampled MTFの解析を行う。ImageJにて画像表示から合成プロファイルの作成までを行い、Excelより合成プロファイルからpresampled MTFの算出を行う。

矩形波チャートの画像データ“MTF_Chart.img”

一般撮影装置であるCRシステム（カセットタイプ）から得たものであり、サンプリングピッチが0.175 mmの垂直方向（副走査方向）のMTFを評価するための画像である。テストデバイスは、森山X線用品株式会社のType 1チャートを用いた。X線管焦点-検出器表面間の距離は2,000 mmとした。また、X線の線質は十分なコントラストを確保するためにRQA5は選択せず、線質依存のないことを前提にType 1チャートの推奨管電圧である60 kV（総ろ過2.85 mmAl）を用いて画像取得を行った。

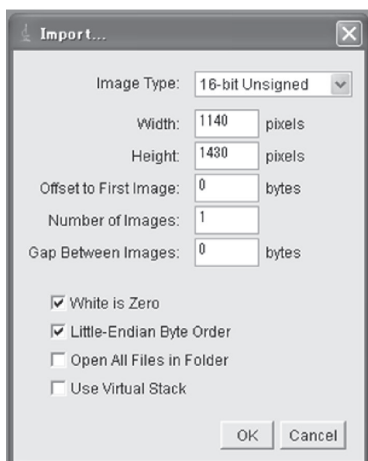
(1) ImageJでの操作

ImageJを使って、①画像表示、②チャートの傾き角度計測、③合成プロファイルの作成を行う。

① 画像表示

矩形波チャート画像データ“MTF_Chart.img”は、CRより出力された画像でrawデータ形式のヘッダ情報を備えないログシステムデータである。画像サイズは、横：1,140ピクセル、縦：1,430ピクセルである。

- i) 「File」→「Import」→「Raw...」(図17)。
- ii) 矩形波チャート画像データ“MTF_Chart.img”を選択。
「第3章演習ファイル」→「矩形波チャート法」→「MTF_Chart.img」
- iii) 画像情報を入力する(図31)。



- ・ Image Type : 画像のタイプを選択。
“16-bit Unsigned” は、 2^{16} 階調をもつ符号なしのデータ
- ・ Width } 画像のマトリックスサイズ。
・ Height }
- ・ Offset to First Image :
ヘッダー情報など読み飛ばすデータ量。
ヘッダー情報がなければ、0 となる。
- ・ Number of Images : 画像の枚数。
- ・ Gap Between Images : 画像間で読み飛ばすデータ量。
- ・ White is Zero : 画像の白色を画素値 0 で表示する。
- ・ Little-Endian Byte Order :
Little-Endian Byte Order で画像を表示する。
Big-Endian Byte Order の場合はチェックを外す。
- ・ Open All Files in Folder :
フォルダ内のすべての画像を一括して読み込む。
- ・ Use Virtual Stack :
スタックデータ処理の際に、メモリの節約や読み込み時間短縮のために、仮想的に全スライスを読み込む場合に使用する。

図31 画像情報の入力

- iv) 画像が表示され(図32)、ウィンドウ幅、ウィンドウレベルの調整を必要とする場合
「Image」→「Adjust」→「Window/Level...」で調整する(図3)。

② チャートの傾き角度計測

添付のマクロ“Angle_measurement_macro”を用いて、チャートの傾き角度を求める。後のプロファイル合成を精度良く行うには、正確な角度計測が必要となる。

- i) 表示のチャート画像に対して、角度計測に用いる範囲を矩形のROIで囲む(図33)。角度計測に用いる範囲は、図のようにチャート像のゼロ周波数に相当する窓のエッジ部を中心に設定する。
- ii) マクロを動作させて、チャートの傾き角度を計測する。
「Plugins」→「MTF_macro」→「Angle_measurement_macro」でマクロを起動する。マクロの使用法を示す(図5)。マクロ起動後、Device = 2, direction = 1を入力する。また、“Angle”には、簡易の自動計測によって算出された角度値がデフォルト値として表示されるので、その値をもとにプロファイルの収束の度合いを確認する。最も収束する角度値をチャートの傾き角度として決定する(図34)。これより、サンプル画像の傾き角度は -2.71° となる。



図32 矩形波チャート画像の表示

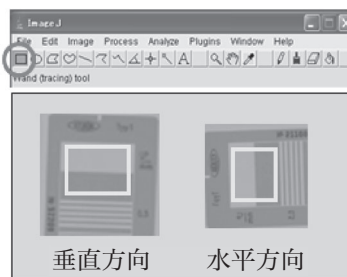
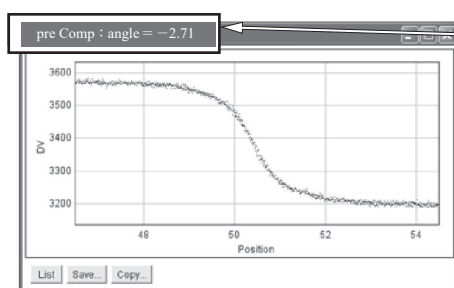


図33 角度計測の範囲決定

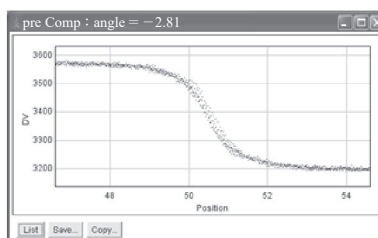
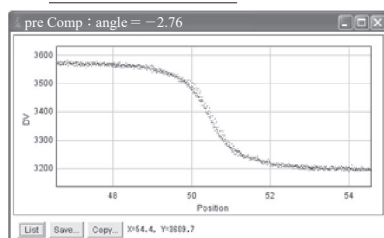


角度はここで確認する。

※データ点の集合が1本の曲線のように収束しているか確認する。収束の度合いに応じてマクロで入力した“Angle”の値を再度、変更してプロファイルを確認する。ここで決定した角度を用いて合成プロファイルを作成する。

・サンプル画像の傾き角度：-2.71°

収束していない場合



角度計測の誤差は presampled MTF の測定精度の低下につながるため、正確に角度を求めることが重要となる。

図34 傾き角度の決定

③ 合成プロファイルの作成

マクロ “Comp_profile_macro” を用いて、等間隔のデータとなる合成プロファイルを作成する。

- i) 表示のチャート画像に対して、プロファイルの合成に用いる範囲を矩形の ROI で囲む（図35）。なお、角度計測の際に設定した ROI の範囲とは異なり、ROI の長軸方向はすべての周波数の窓を欠かさない範囲で設定し、短軸方向はチャート像の窓部分に十分に収まるように設定を行うことが重要となる。

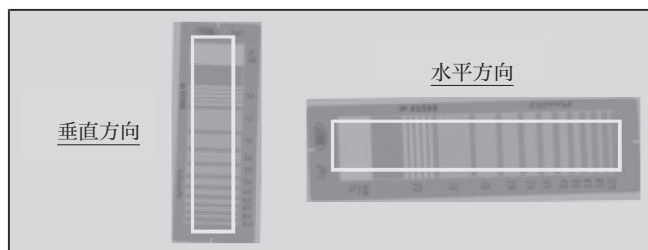


図35 プロファイル合成の範囲決定

ii) マクロを動作させて、合成プロファイルを作成する。

「Plugins」→「MTF_macro」→「Comp_profile_macro」でマクロを起動する。図7にマクロの使用法を示した。マクロ起動後、Device = 3, direction = 1, pixel size = 0.175, angle = -2.71, bin = 0.030を入力する。マクロによる計算後、等間隔の合成プロファイルが作成され、Log ウィンドウに出力される（図36）。なお、“Comp_profile_macro”では“Device = 3”で矩形波チャートを選択した場合、Log ウィンドウに出力される合成プロファイルのデータ数は制限をもたないようにプログラムしてある。

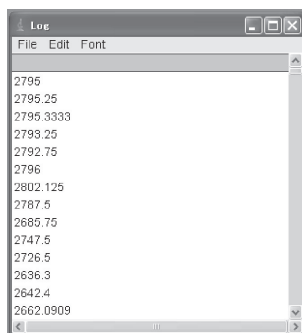


図36 Log ウィンドウに出力される合成プロファイルデータ

(2) Excelシートへのプロファイルデータの取り込み

③ ii) にてLog ウィンドウ（図36）に出力された合成プロファイルのデータをコピーしてExcel ファイル「演習用シート_矩形波チャート法」にペーストする。

i) 用いたサンプル画像はログシステムデータのため、Excel ファイル「演習用シート_矩形波チャート法（ログシステム用）」を起動する。

ii) ImageJ のLog ウィンドウ（図36）内の合成プロファイルデータをコピーする。

「Edit」→「Select All」でLog ウィンドウ内のすべての値を選択する。

「Edit」→「Copy」で選択した値をコピーする。

iii) Excel シート内の [D3] を選択して、合成プロファイルのデータをペーストする。

(3) Excelでの操作

Excelを使って、合成プロファイルデータからpresampled MTFの算出を行う。

① 合成プロファイル間隔（実効サンプリング間隔）の入力

合成プロファイル作成用マクロ“Comp_profile_macro”にて設定したbinの幅〔mm〕を[A3]に入力する（図37）。

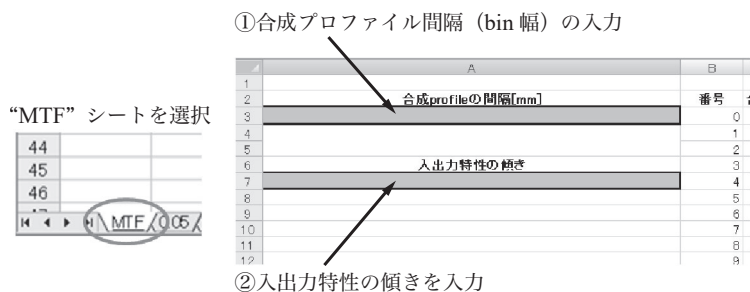


図 37 合成プロファイル間隔および入出力特性の傾きを入力

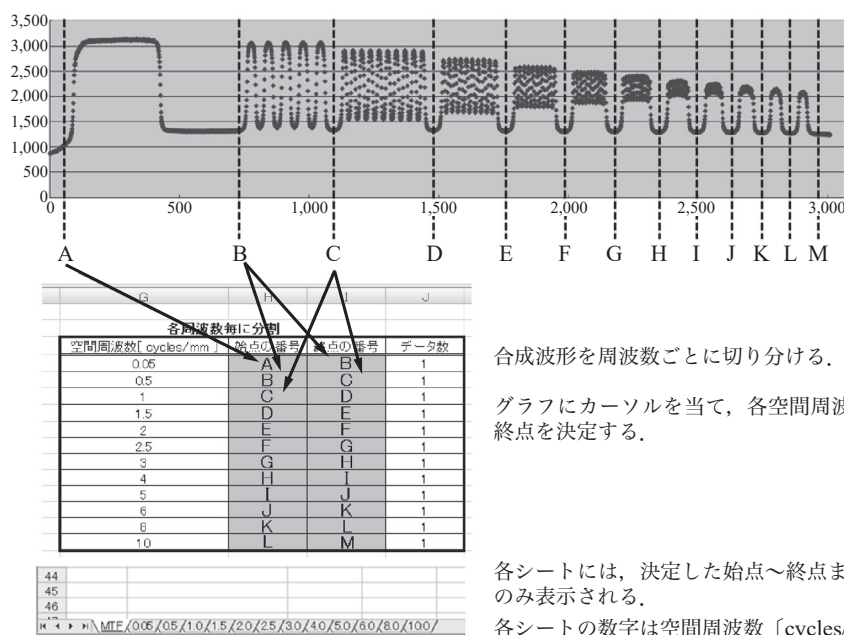
② 入出力特性の傾きから合成プロファイルを線形化

ログシステムのため、第 2 章にて解説された入出力特性を用いて線形化を行う。[A7] に入出力特性の傾きを入力する（図 37）。入出力特性の傾きを入力すると、自動的に [E3] のみ線形化された値が反映される。次に、[E3] の右下隅にカーソルを合わせてダブルクリックすることで、すべての合成プロファイルの線形化データが E 列に反映され、合成波形が算出される（E 列の計算式：E 列 = $10^{(D \text{ 列のデジタル値} / \text{入出力特性の傾き [A7]})}$ ）。

なお、矩形波チャートのサンプル画像は、12 bit（= 4,096）の階調をもつ CR システムの画像でダイナミックレンジは 10^4 を有するために入出力特性の傾きは約 1,024 となる。実測済みのシートでは、入出力特性の傾きを 1,023.6 として計算を行った。

③ 線形化後の合成波形を周波数ごとに切り分ける

“MTF”シート内の線形化後の合成波形を表示したグラフから、周波数ごとの波形を切り分ける（図 38）。図のように各周波数の始点と終点を決定して、表（G～J 列）の H 列と I 列に。0.05～10 cycles/mm まですることで、自動的に始点から終点までのデータが各周波数のシートに表示される。



合成波形を周波数ごとに切り分ける。

グラフにカーソルを当て、各空間周波数の始点・終点を決定する。

各シートには、決定した始点～終点までのデータのみ表示される。

各シートの数字は空間周波数 [cycles/mm]

図 38 線形化後の合成波形を周波数ごとに切り分ける手順

④ 入力正弦波の振幅を決定

0.05 cycle/mm を 0 cycle/mm とみなすことで、0.05 cycle/mm の高照射部（高露光部）と低照射部（低露光部）の平均値から入力矩形波の振幅を求めて、入力正弦波の振幅を決定する。

i) 0.05 cycle/mm の高照射部と低照射部の平均値を求める（図 39）。

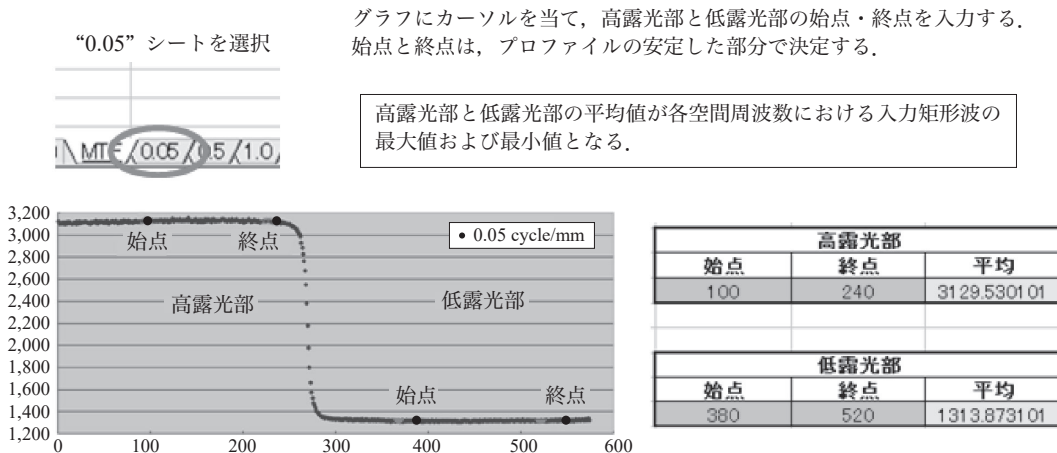


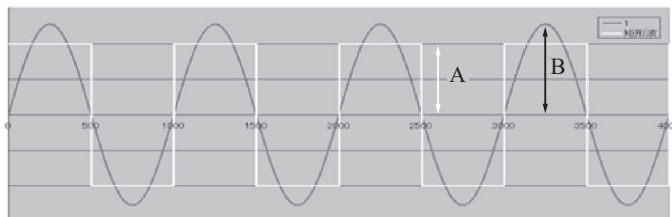
図 39 0.05 cycle/mm の高照射部と低照射部の平均値

ii) i) によって自動的に、0.5 ～ 10 cycles/mm までの各周波数のシート内の [U6] に 0.05 cycle/mm の高照射部の平均値，[U8] に 0.05 cycle/mm の低照射部の平均値が入力され，[Y8] に入力正弦波の振幅が算出される（図 40）。入力正弦波の振幅は次のように算出される（[Y8] の計算式：[Y8] = (0.05 cycle/mm の高照射部の平均値 - 0.05 cycle/mm の低照射部の平均値) ÷ 2 × 4 ÷ π）。

入力			
0.05 cycles/mm の平均値(高露光部)			
3129.530101			
0.05 cycles/mm の平均値(低露光部)			
1313.873101			
	振幅	1155.883146	振幅 B

自動的に入力した正弦波成分の振幅が算出される。

0.05 [cycle/mm] の高照光部と低露光部の平均値が各空間周波数における入力矩形波の最大値および最小値となる。



$\left\{ \begin{array}{l} \text{矩形波の振幅 A は、(高露光部の平均値 - 低露光部の平均値)/2} \\ \text{同一周波数となる正弦波の振幅 B は、} \frac{4}{\pi} \times \text{矩形波の振幅 A} \end{array} \right.$

図 40 入力正弦波の振幅算出

⑤ 出力正弦波の振幅を決定

i) 0.5 ～ 10.0 cycles/mm の各周波数の出力波形に対して、フーリエ解析を行うデータ範囲と波形の周期数を決定する。0.5 cycle/mm の場合を例に解説する（図 41）。波形の両端の

“0.5”シートを選択

例) 0.5 [cycles/mm] の場合

MTF/0.05/0.5/1.0

始点・終点を入力すると、黒線とグレー線（Excelシートでは赤線と緑線）が移動する。

視覚的にフーリエ解析を行う範囲を決定。

決定したデータの周期数を入力。
ここでは、2周期。

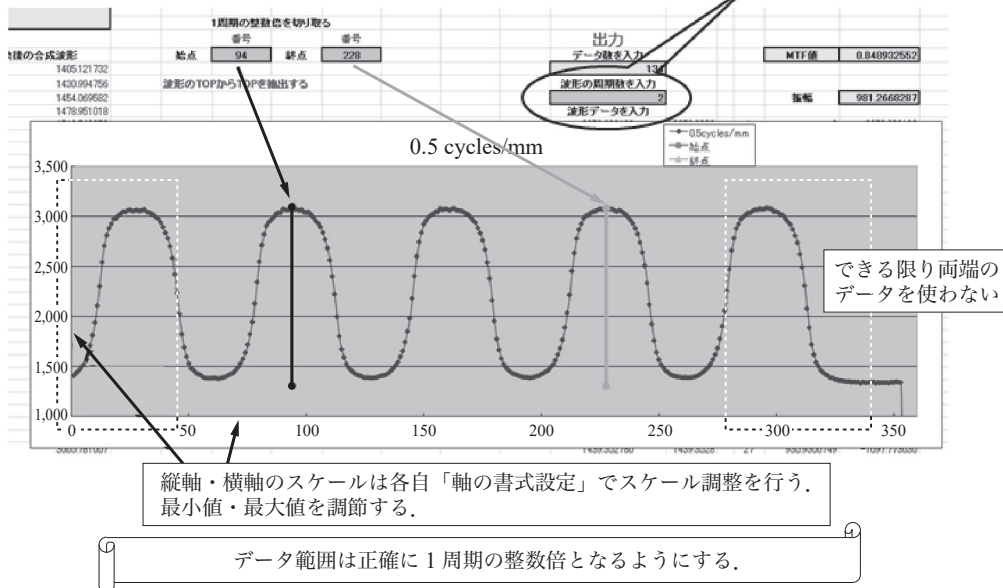


図41 フーリエ解析を行うデータ範囲と波形の周期数を決定

データはできる限り使用せず、グラフを参照しながら始点（[H5]）と終点（[J5]）を調節することで整数倍周期となるデータ範囲を決定する。また、波形の周期数も [N8] に入力する。同様に、1.0～10.0 cycles/mmの各周波数のシートにおいて整数倍周期となるデータ範囲を決定して、波形の周期数を入力する。各周波数のシートにおける入力の必要なセルは、整数倍周期となるデータ範囲を決定するための始点（[H5]）と終点（[J5]）、および波形の周期数（[N8]）の3か所となる。

ii) i) によって決定した整数倍周期となるデータ範囲と波形の周期数から、フーリエ解析によって出力の正弦波の振幅が自動的に算出される（図42）。

出力			
データ数を入力		MTF値	0.848932552
134			
波形の周期数を入力		振幅	981.2668287
2			

フーリエ解析を行うデータ範囲と周期数を入力すると自動的に出力の正弦波成分の振幅が算出される。

[S8]

ここでのフーリエ解析は、入力矩形波と同一周波数となる正弦波成分の振幅を求めるフィルタ機能を有している。

R列：sin成分 } 離散フーリエ変換によってスペクトルの振幅成分
S列：cos成分 } の総和を求める

[S8]：データ数の半分で割ることで基本波成分の正弦波の振幅を算出

図42 出力正弦波の振幅算出

⑥ MTF 値の算出

入力と出力の基本波成分の正弦波の振幅比から MTF を求める。⑤ i) にてフーリエ解析を行うデータ範囲と周期数を入力すると、自動的に MTF 値 ([S5]) まで算出される。0.5 ～ 10.0 cycles/mm の各周波数の MTF 値が算出されると、“MTF” シートの L 列, M 列の表に MTF 値が表示される (図 43)。

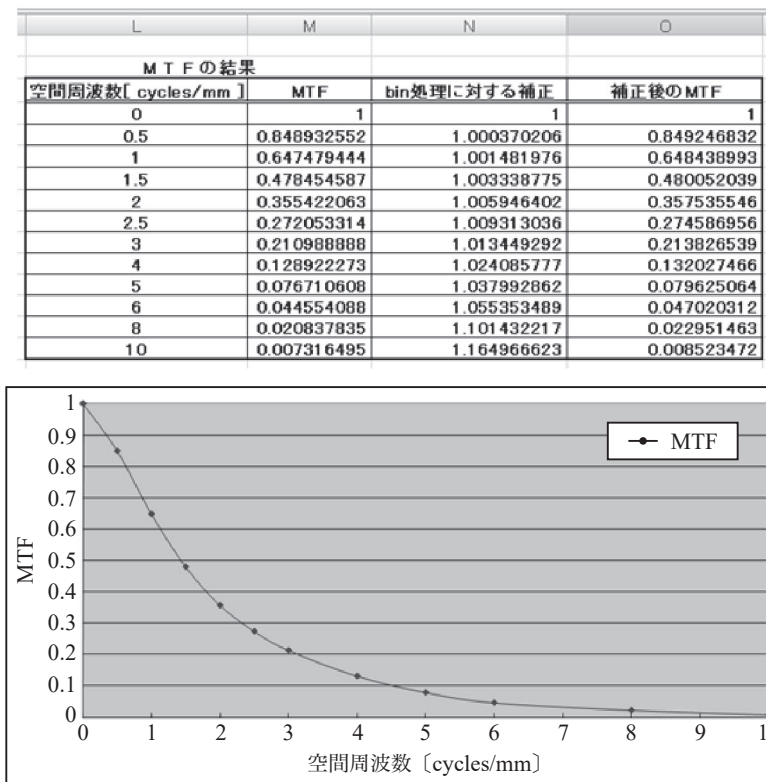


図 43 bin 処理に対する補正と presampled MTF の結果グラフ

⑦ 補正

自動計算によって、N 列は bin 処理に対する補正係数が sinc 関数によって算出される (N 列の計算式: $N \text{ 列} = (L \text{ 列の空間周波数 [cycles/mm]} \times \pi \times \text{bin 幅 [mm]}) \text{ となる [A3]} \div \sin (L \text{ 列の空間周波数 [cycles/mm]} \times \pi \times \text{bin 幅 [mm]}) \text{ となる [A3]})$ (図 43)。

⑧ presampled MTF の算出

自動計算によって、入力と出力の基本波成分の正弦波の振幅比から求めた MTF 値である M 列と bin 処理に対する補正係数となる N 列の積から補正後の presampled MTF は O 列に算出される。表示される presampled MTF のグラフは、横軸が空間周波数 [cycles/mm]、縦軸は MTF 値となる。なお、矩形波チャート法では算出される MTF 値のデータ点が少ないため、スプライン補間を用いてグラフ化する (図 43)。