デジタル画像検出システムの画像特性に関する研究班

平成１４年に技術学会の班活動の１つとして組織。
（２年間の班活動）

九州大学 医学部保健学科	東田善治, 大喜雅文
広島県立保健福祉大学 放射線学科	吉田　彰
大阪大学 大学院医学系研究科	松本政雄
岐阜大学 大学院・知能イメージ情報	藤田広志
大阪市立大学 医学部附属病院	奥迫謙治
九州大学 医学部附属病院	氷室和彦
国立病院機構　九州医療センター	井手口忠光

画像評価法

客観的評価（物理評価）

1. H-D Curve
2. Presampling MTF
3. Digital Wiener Spectrum

画質を物理的に評価
画質の定量化

主観的評価（視覚評価）

1. ROC
2. C-D diagram

視覚評価（検出能）の
定量化

医師は自分の好みで判断することができる

画像の良し悪しを 科学的に証明！

客観的評価 (物理評価)

1．Digital H-D Curve (10%)

2．Presampling MTF (80%)

INNERVISION 2003年 11月

3．Digital Wiener Spectrum (10 %)

増感紙ーフィルム (アナログ) との比較をしながら・・・・

表計算ソフトを利用した画像解析

デジタル

国立病院機構　九州医療センター

井手口　忠光

デジタル特性曲線

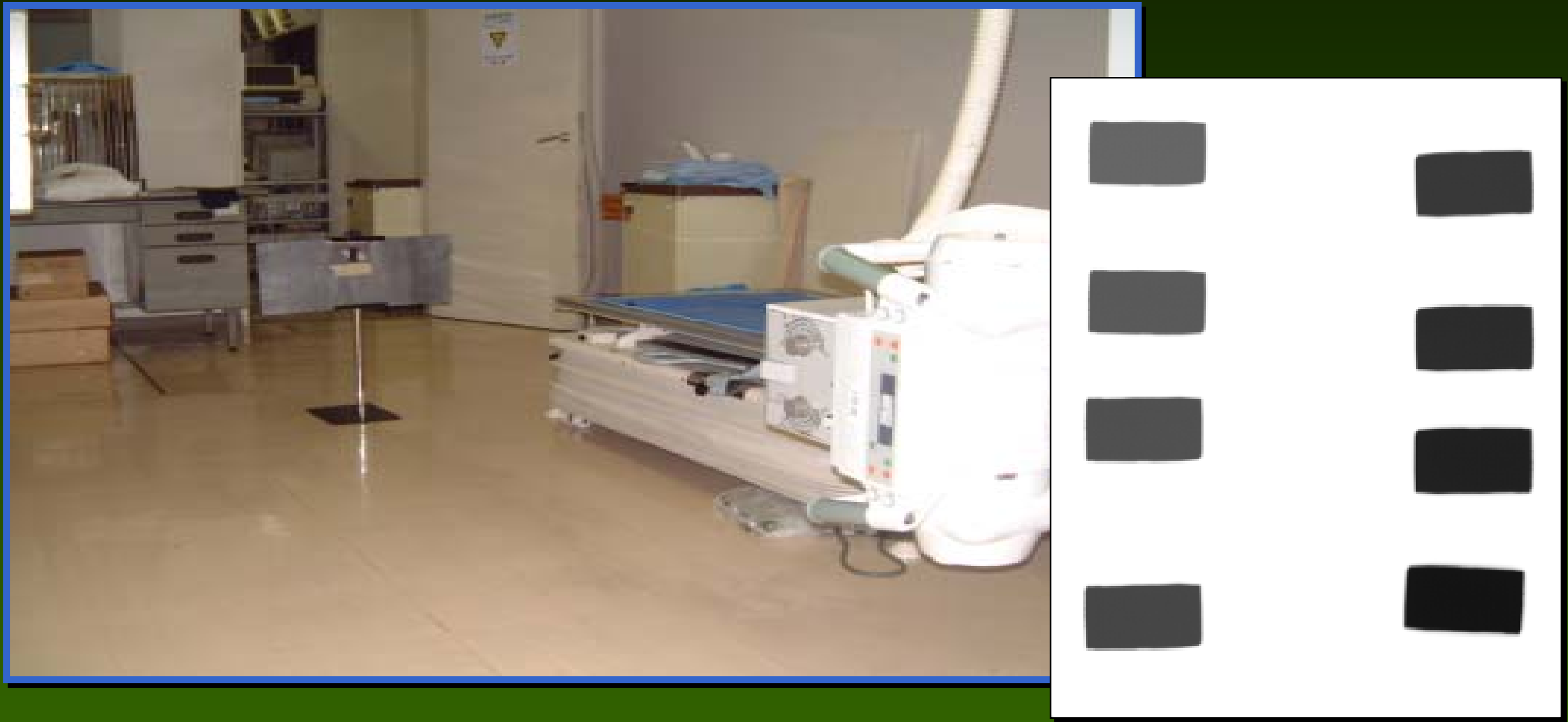
相対照射線量に対するディジタル値の関係をディジタル特性曲線(digital characteristic curve)

相対照射線量に対して, レーザーイメージャなどによってフィルム上に写真濃度として出力した特性曲線は, オーバーオール特性曲線(overall characteristic curve)

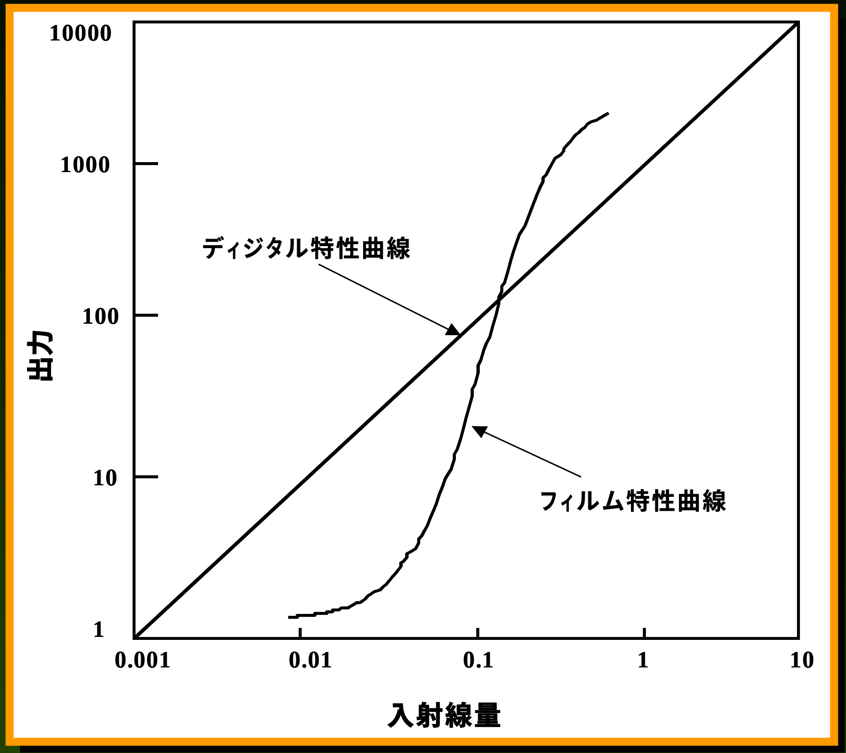
＊CRシステムの入出力特性にもよく用いられてきた。

距離法

X線管ーカセッテの距離をLog Eが0.1の間隔になるように変化。



Digital H-D Curve



FPD　固定

- 時間露光法
  (相反則が成立)

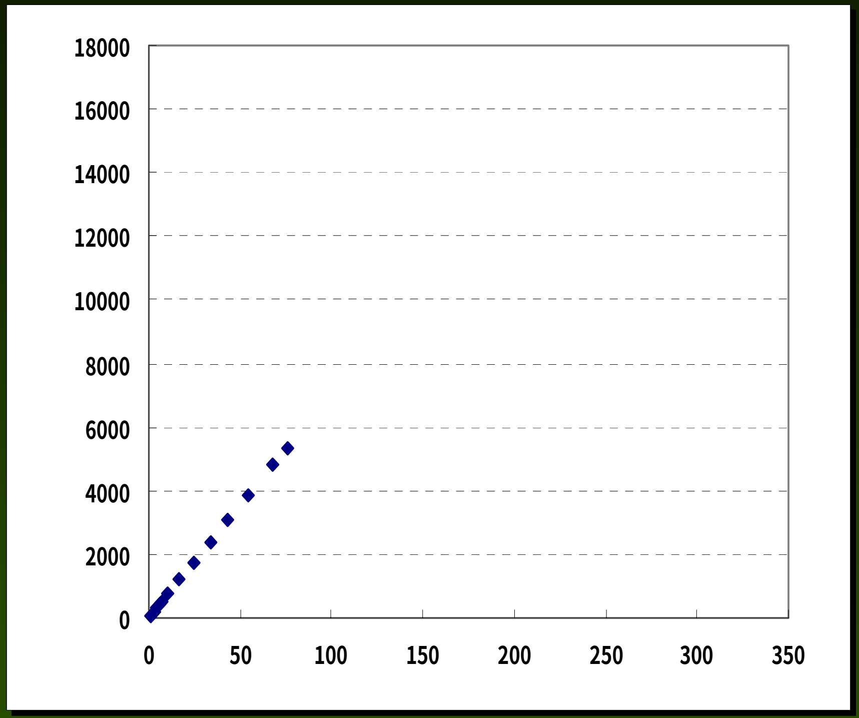
CR　移動

- 距離法
- 時間露光法
  (相反則が成立)

ダイナミックレンジが10^4と広いため1連の実験系ですべての露光域を露光できない。距離法だと40cm〜40m必要となる。

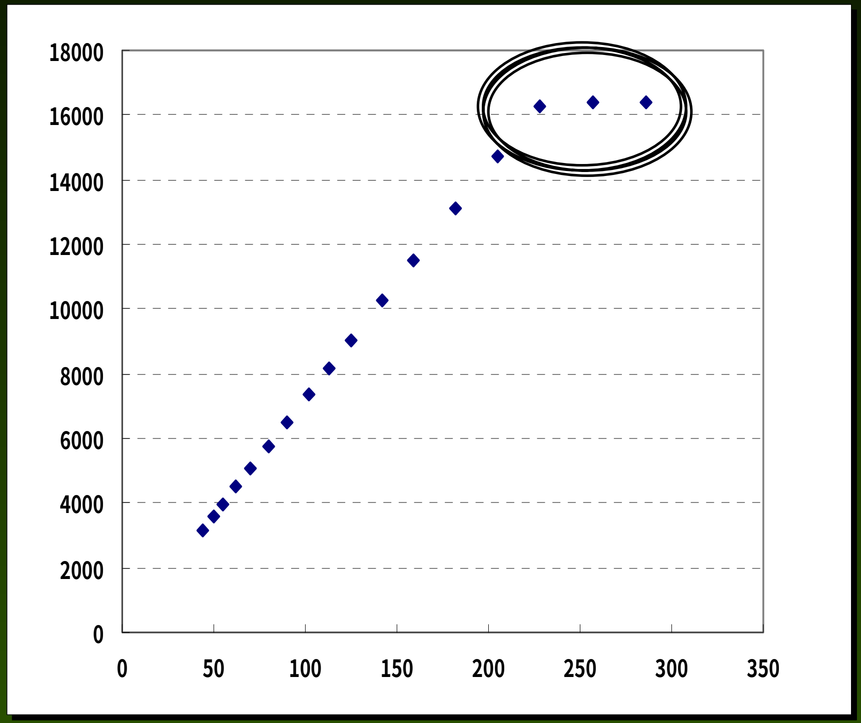
つなぎ合わせ (フィルタが必要)

つなぎ合わせによる特性曲線の作成



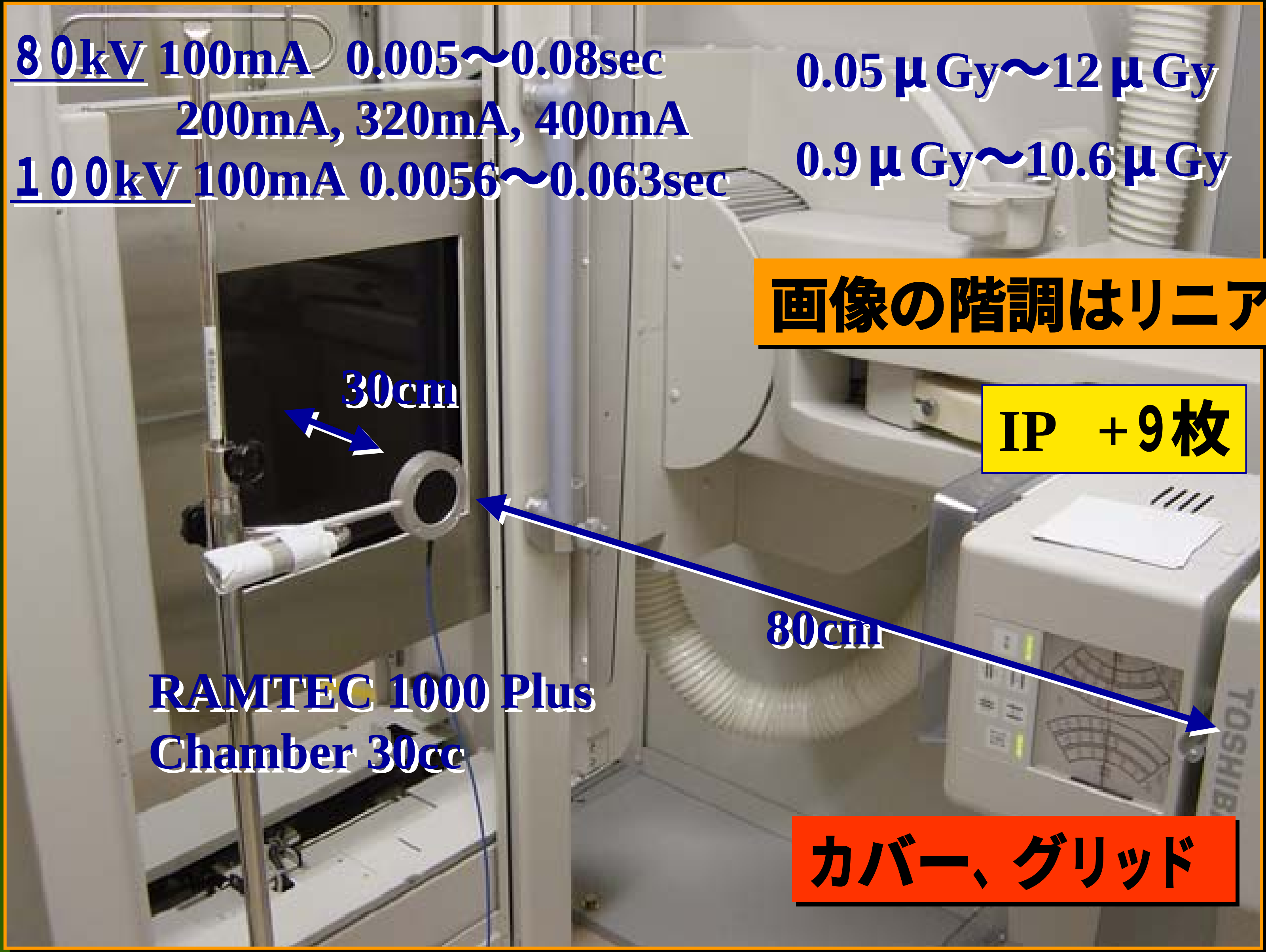
低露光部

サチュレーション



高露光部

デジタルの　特性曲線＆ウィナースペクトル



８０kV 100mA　0.005〜0.08sec
200mA, 320mA, 400mA
１００kV 100mA 0.0056〜0.063sec

0.05μGy〜12μGy

0.9μGy〜10.6μGy

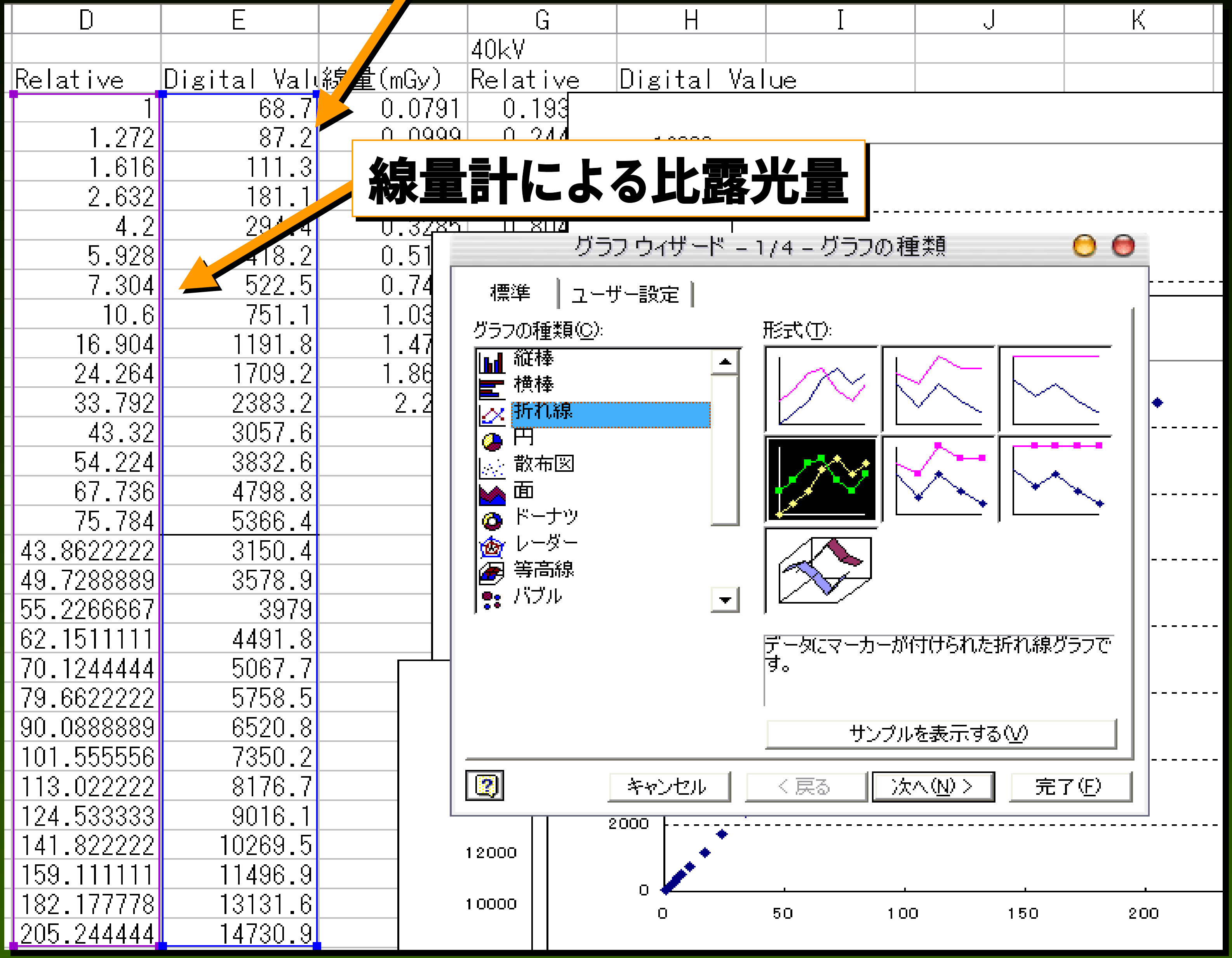
画像の階調はリニアで！

IP　+９枚

RAMTEC 1000 Plus
Chamber 30cc

カバー、グリッド

デジタル値の入力



線量計による比露光量

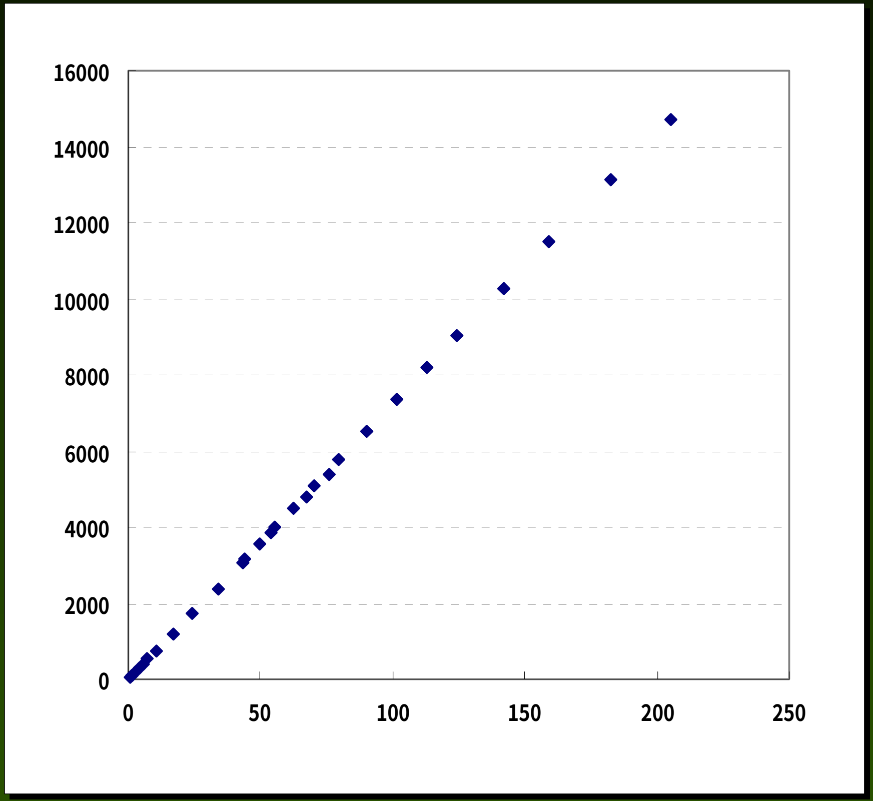
D	E		G	H
			40kV	
Relative	Digital Val	線量(mGy)	Relative	Digital Value
1	68.7	0.0791	0.193	
1.272	87.2	0.0999	0.244	
1.616	111.3			
2.632	181.1			
4.2	29[illegible]4	0.3285		
5.928	418.2	0.51		
7.304	522.5	0.74		
10.6	751.1	1.03		
16.904	1191.8	1.47		
24.264	1709.2	1.86		
33.792	2383.2	2.2		
43.32	3057.6			
54.224	3832.6			
67.736	4798.8			
75.784	5366.4			
43.8622222	3150.4			
49.7288889	3578.9			
55.2266667	3979			
62.1511111	4491.8			
70.1244444	5067.7			
79.6622222	5758.5			
90.0888889	6520.8			
101.555556	7350.2			
113.022222	8176.7			
124.533333	9016.1			
141.822222	10269.5			
159.111111	11496.9			
182.177778	13131.6			
205.244444	14730.9			

グラフ ウィザード - 1/4 - グラフの種類

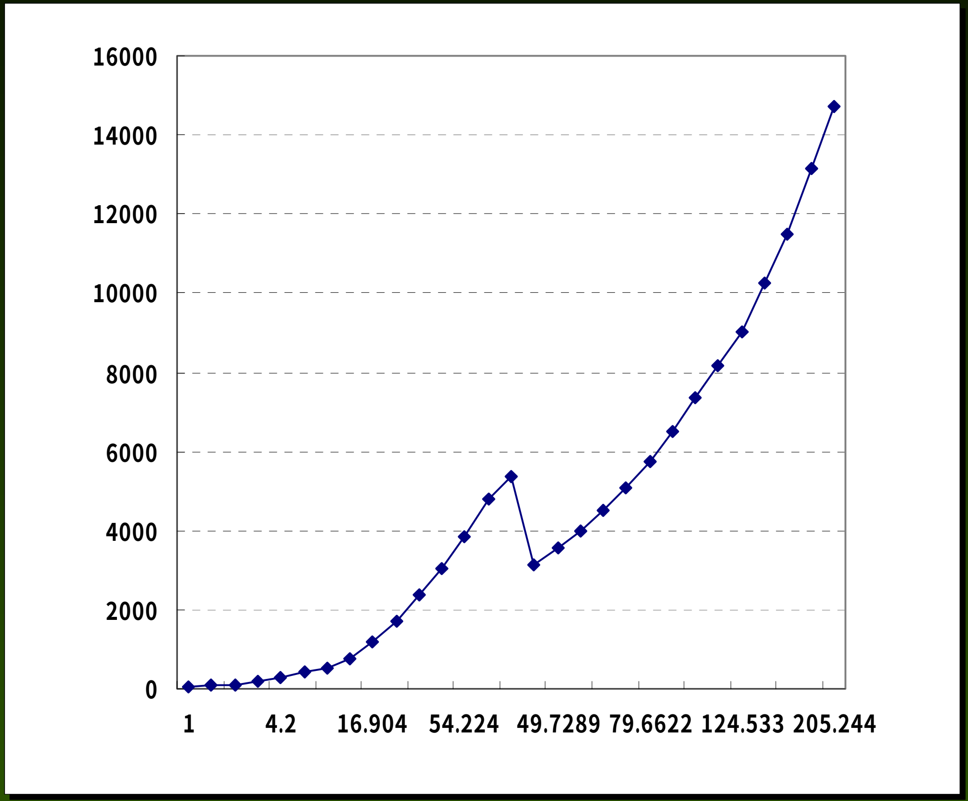
標準
ユーザー設定
グラフの種類(C):
縦棒
横棒
折れ線
円
散布図
面
ドーナツ
レーダー
等高線
バブル
形式(T):
サンプルを表示する(V)
キャンセル
< 戻る
次へ(N) >
完了(F)
I
J
K
2000
12000
10000
0
0
50
100
150
200

データにマーカーが付けられた折れ線グラフです。

散布図を使って表示したHD



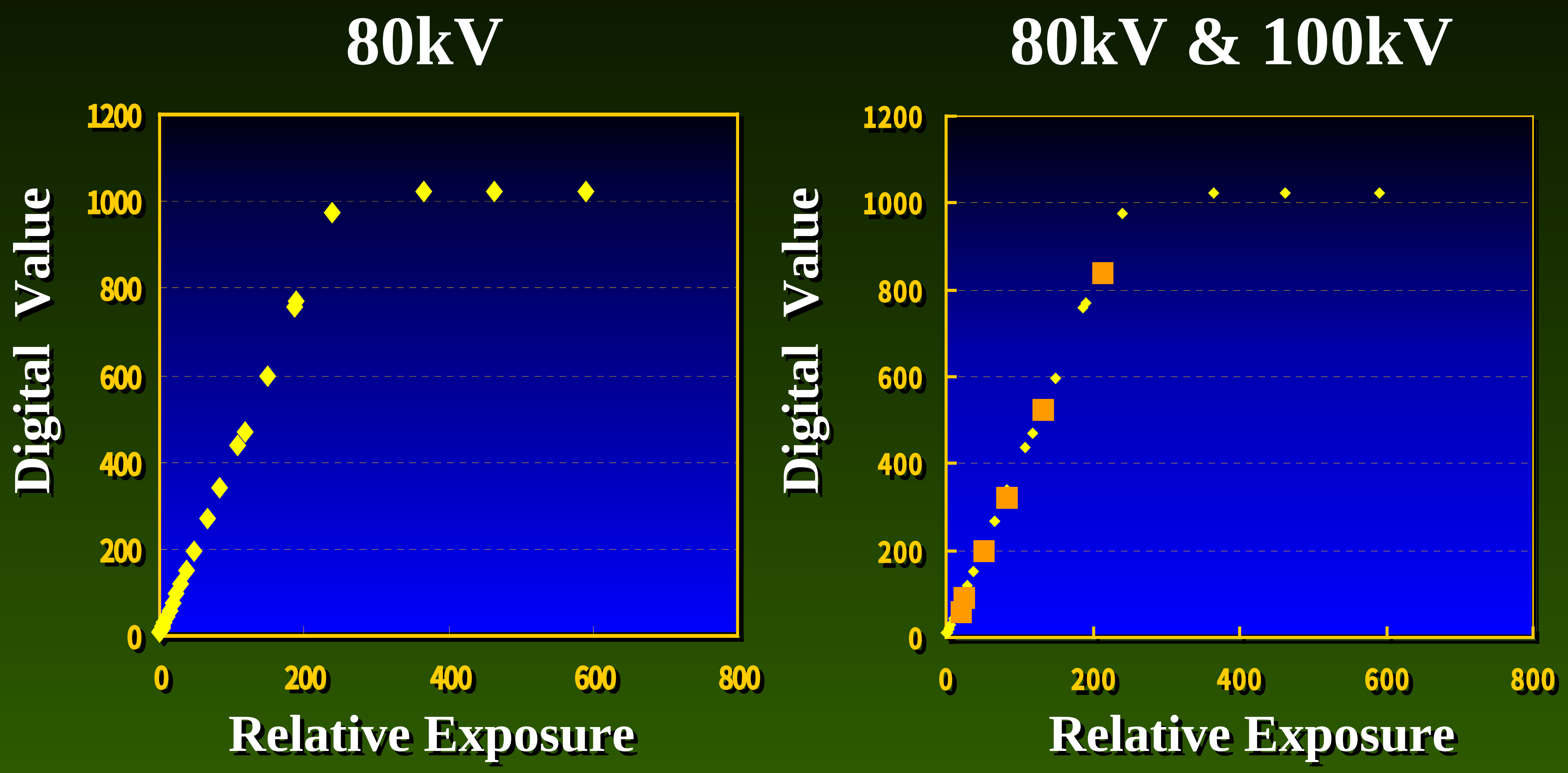
折れ線を使って表示したHD



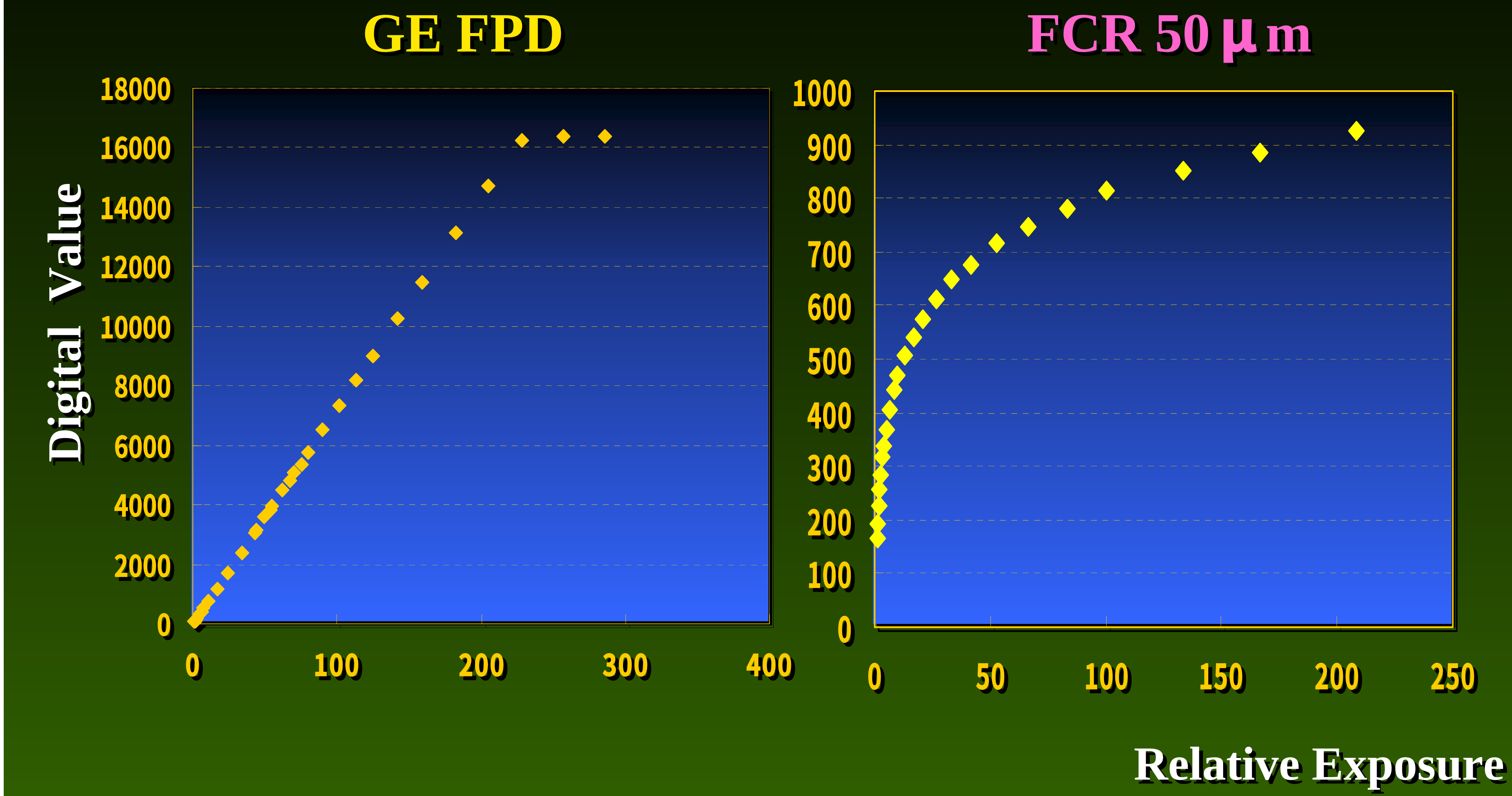
Digital Value

Relative Exposure

直接型FPD　特性曲線


80kV
80kV & 100kV
Digital Value
Digital Value
1200
1000
800
600
400
200
0
0
200
400
600
800
Relative Exposure
Relative Exposure

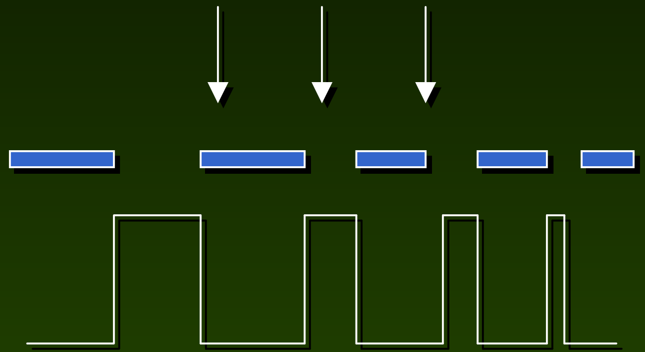
間接型FPD & CR　特性曲線

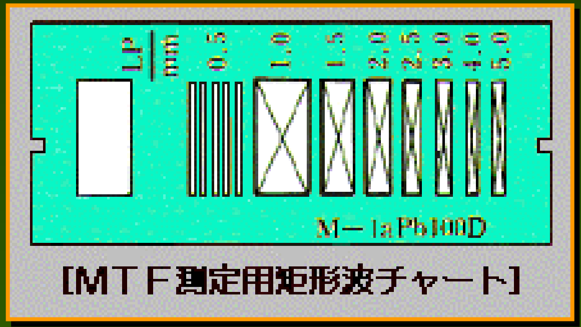


Presampling MTF

MTFの測定方法

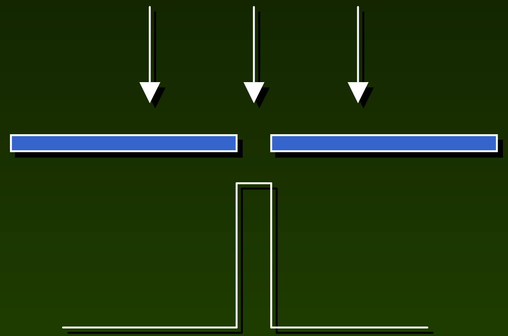
チャート法



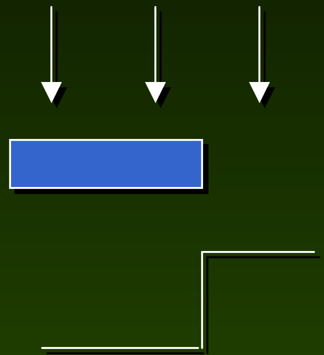

LP/mm
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
4.0
5.0
M− 1a Pb100D

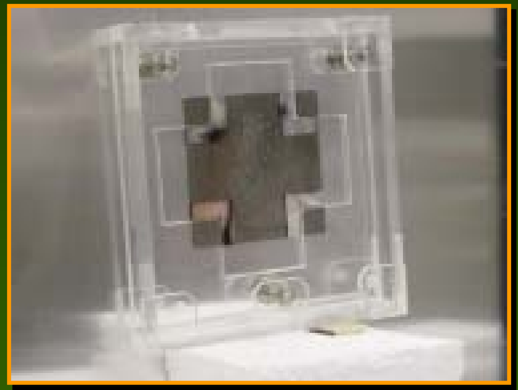
[MTF測定用矩形波チャート]

スリット法

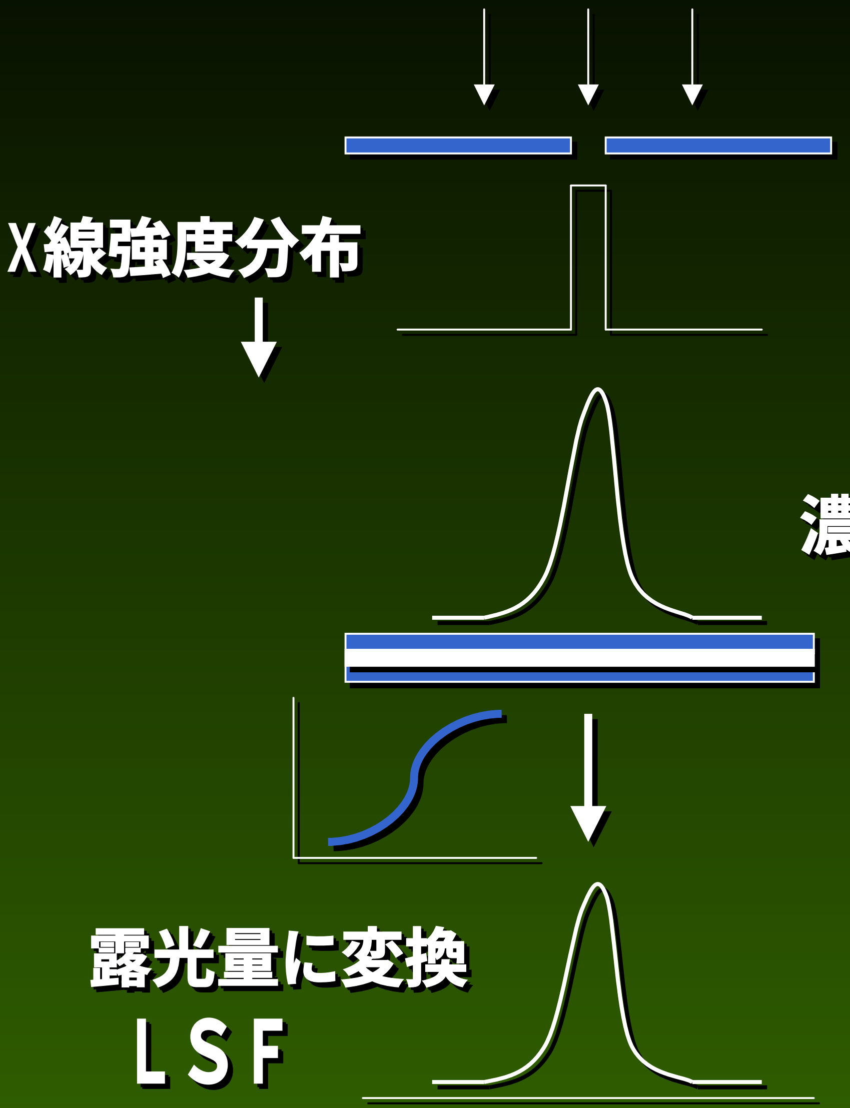


エッジ法





スリット法におけるＭＴＦ測定手順（アナログ）



スリットのアパーチャーが 10μ=0.01mm

X線強度分布

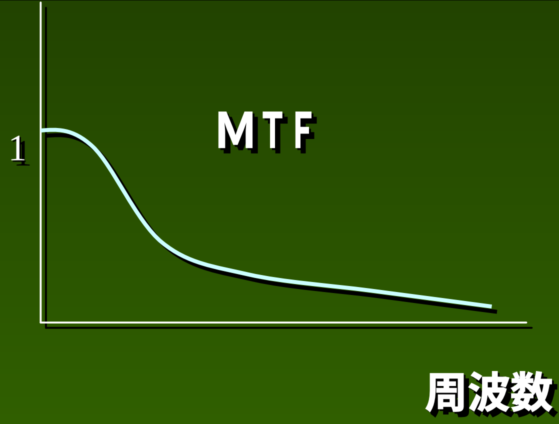
濃度分布

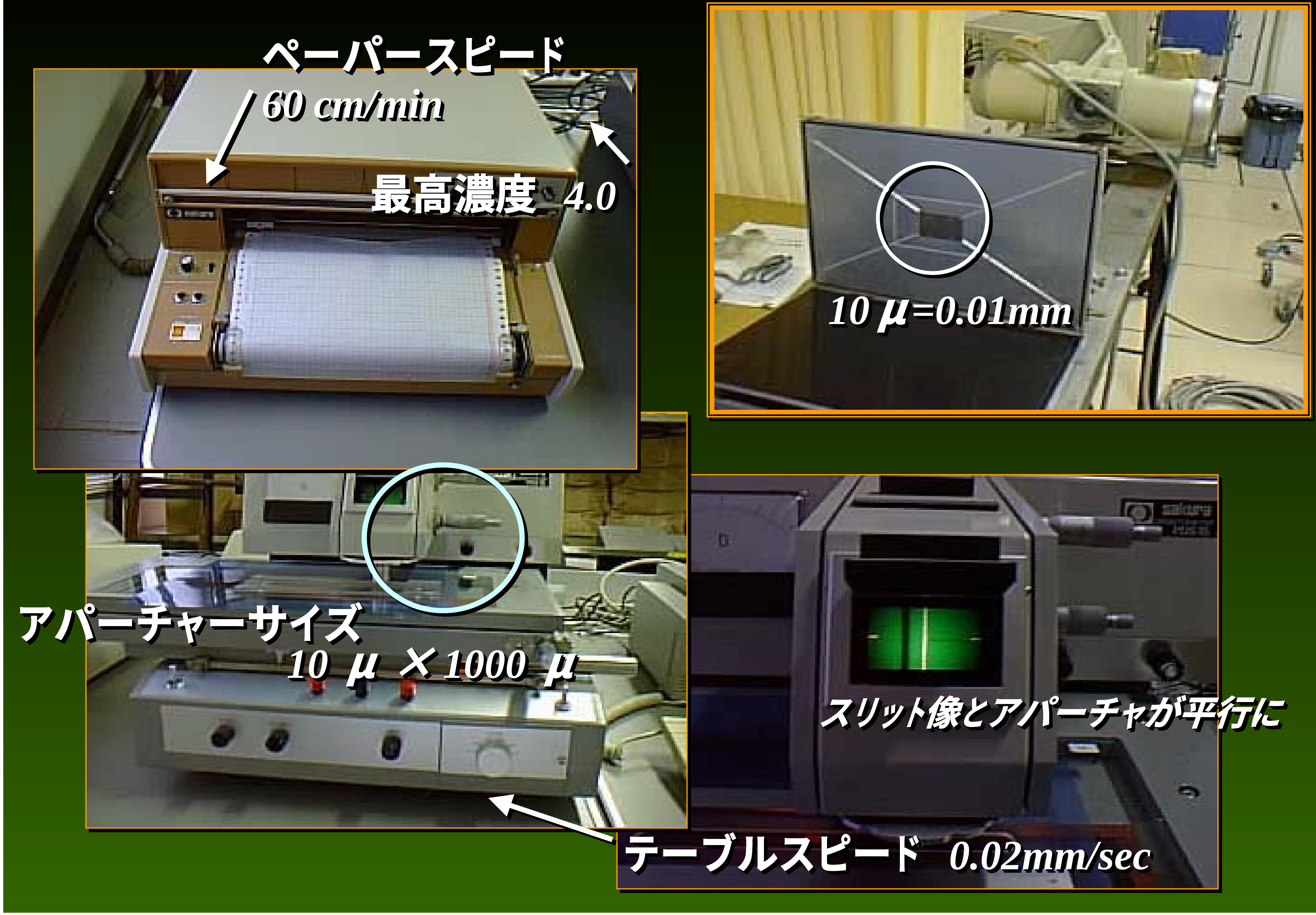
増感紙フィルム

露光量に変換

LSF

フーリエ変換





ペーパースピード
60 cm/min

最高濃度 4.0

10 μ=0.01mm

アパーチャーサイズ
10 μ ×1000 μ

スリット像とアパーチャが平行に

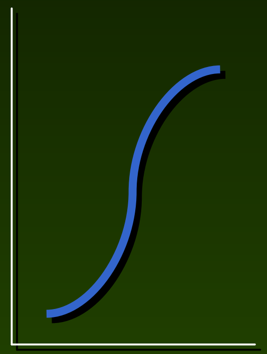
テーブルスピード 0.02mm/sec

なぜ露光量変換する必要があるか？

MTFは入力波の振幅と出力波の振幅の比によって求められる。

この定義が成立するには、入力と出力との間に、直線性が必要

X線量と写真濃度の関係は直線ではない。

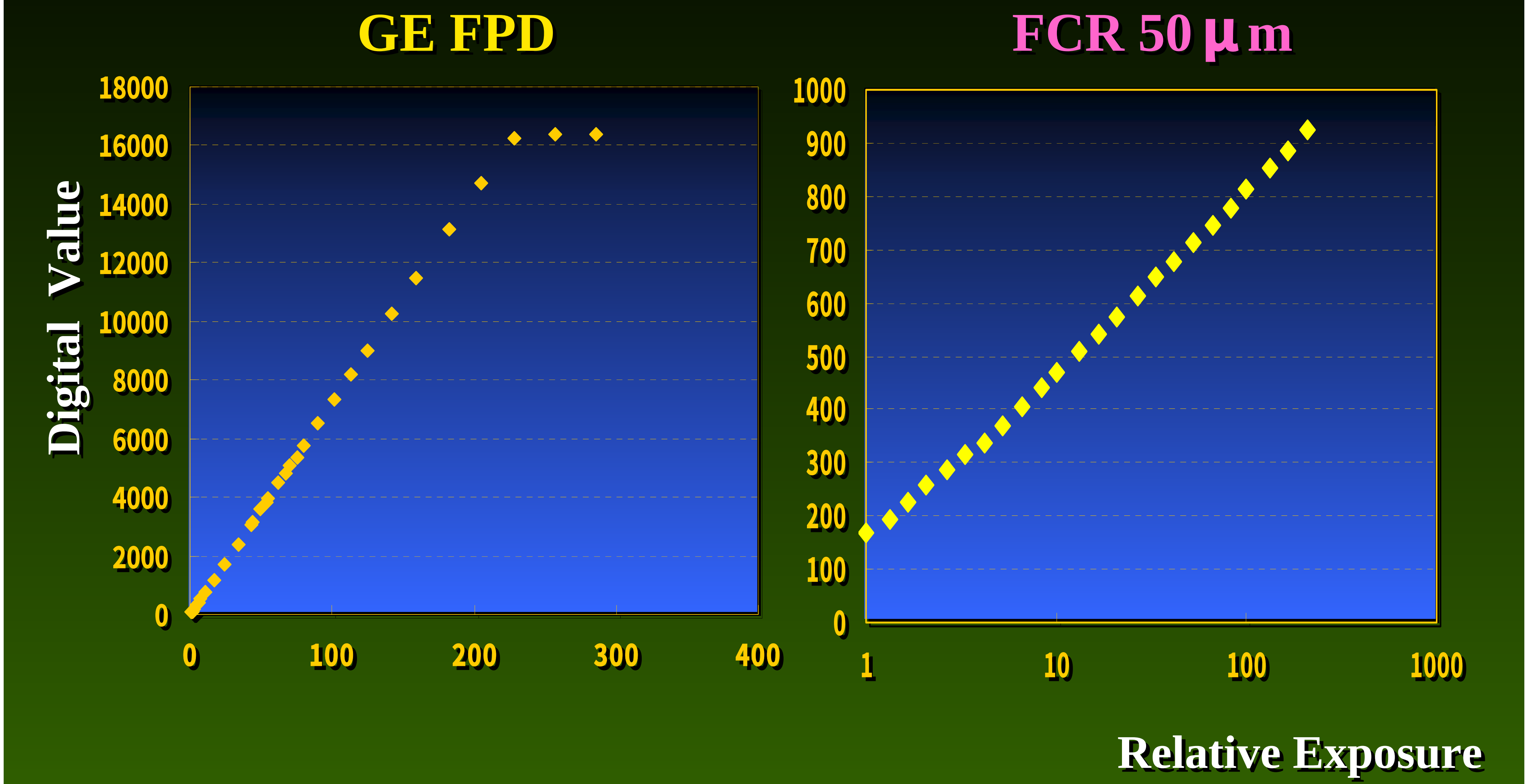


露光量が変わる度にMTFは変わってしまう。

特性曲線を用いて露光量に変換する必要がある

リニア階調に出力するデジタルでは必要？

間接型FPD & CR　特性曲線



デジタルのMTFでは？

- デジタル系では、サンプリング間隔に起因した **エリアシング (aliasing)** エラーや、**位置不変性**が問題となる

エリアシング

・**エリアシング**とは標本化点を粗く（サンプリング間隔を広く）とれば、もとの信号にない波形が観測されること

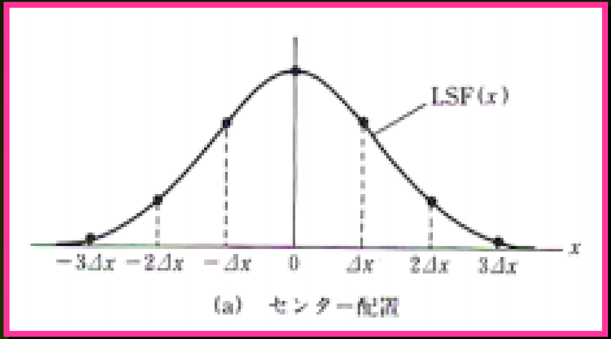
ナイキスト周波数＝1／（2＊サンプリング間隔）

5 Lp/mm ＝1 ／（2×0.1）

位置不変性

**スリットとピクセルの位置関係により
スリット像の見え具合が変化する**

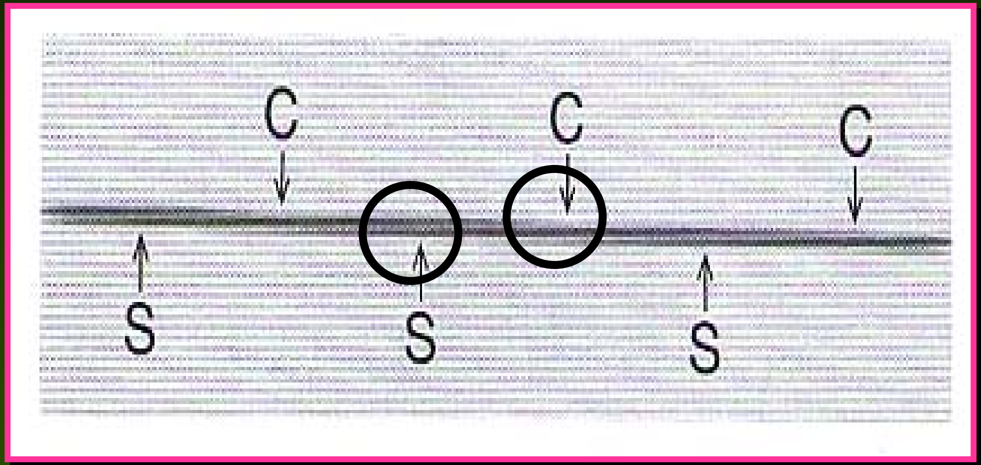
センターアライメント



(a) センター配置

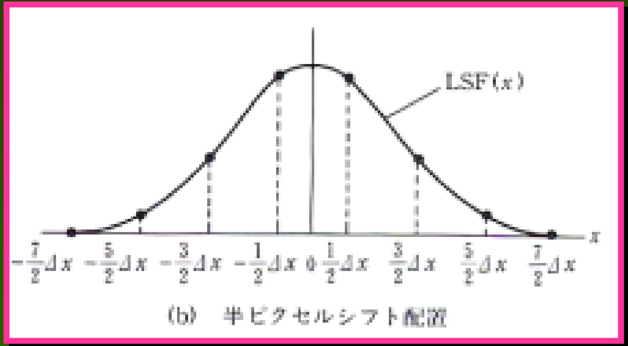
ディジタル放射線画像より

サンプリング点の中心と信号の中心が
一致した配置のことをいう



医用画像工学より

シフテッドアライメント



(b) 半ピクセルシフト配置

ディジタル放射線画像より

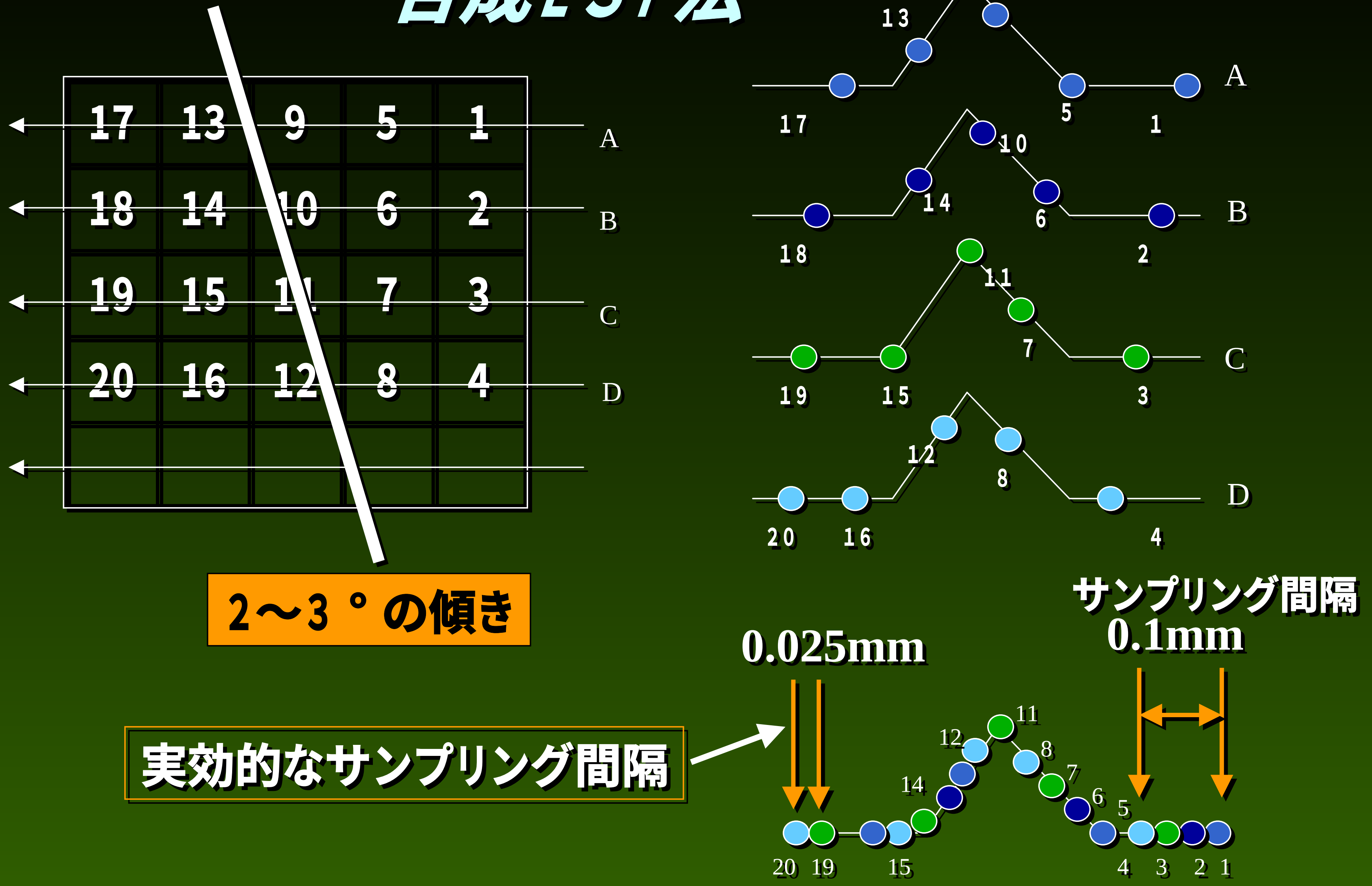
サンプリング点の中心と信号の中心が
最大にずれた配置のことをいう

プリサンプリングＭＴＦ

- プリサンプリングＭＴＦは**エリアシングエラー**を含んでおらず、アナログ系のＭＴＦや他のデジタル系のＭＴＦとの比較をするのに有効である

- **合成ＬＳＦ法**とは、スリットとピクセルのいろいろな配置で得られたＬＳＦを合成して、**実効的なサンプリング間隔**が細かくなった1本のＬＳＦを合成し、エリアシングの影響しないＭＴＦを計算する方法である

合成ＬＳＦ法

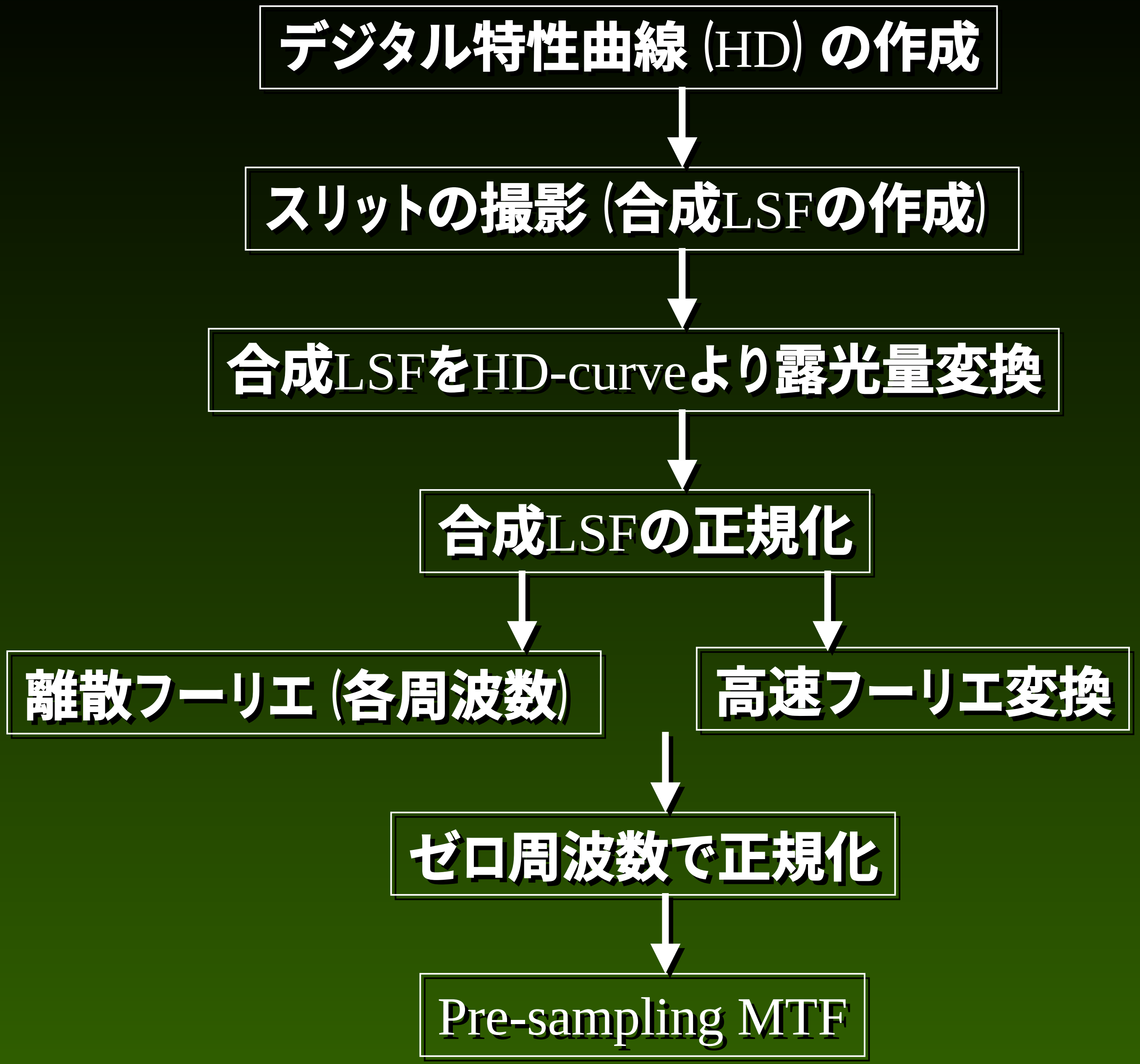

17 13 9 5 1
18 14 10 6 2
19 15 11 7 3
20 16 12 8 4
A
B
C
D
13 9 17 5 1 A
10 14 6 18 2 B
11 7 19 15 3 C
12 8 20 16 4 D
11 12 8 7 14 6 5
20 19 15 4 3 2 1

2～3°の傾き

実効的なサンプリング間隔

0.025mm

サンプリング間隔
0.1mm



デジタル特性曲線（HD）の作成

スリットの撮影（合成LSFの作成）

合成LSFをHD-curveより露光量変換

合成LSFの正規化

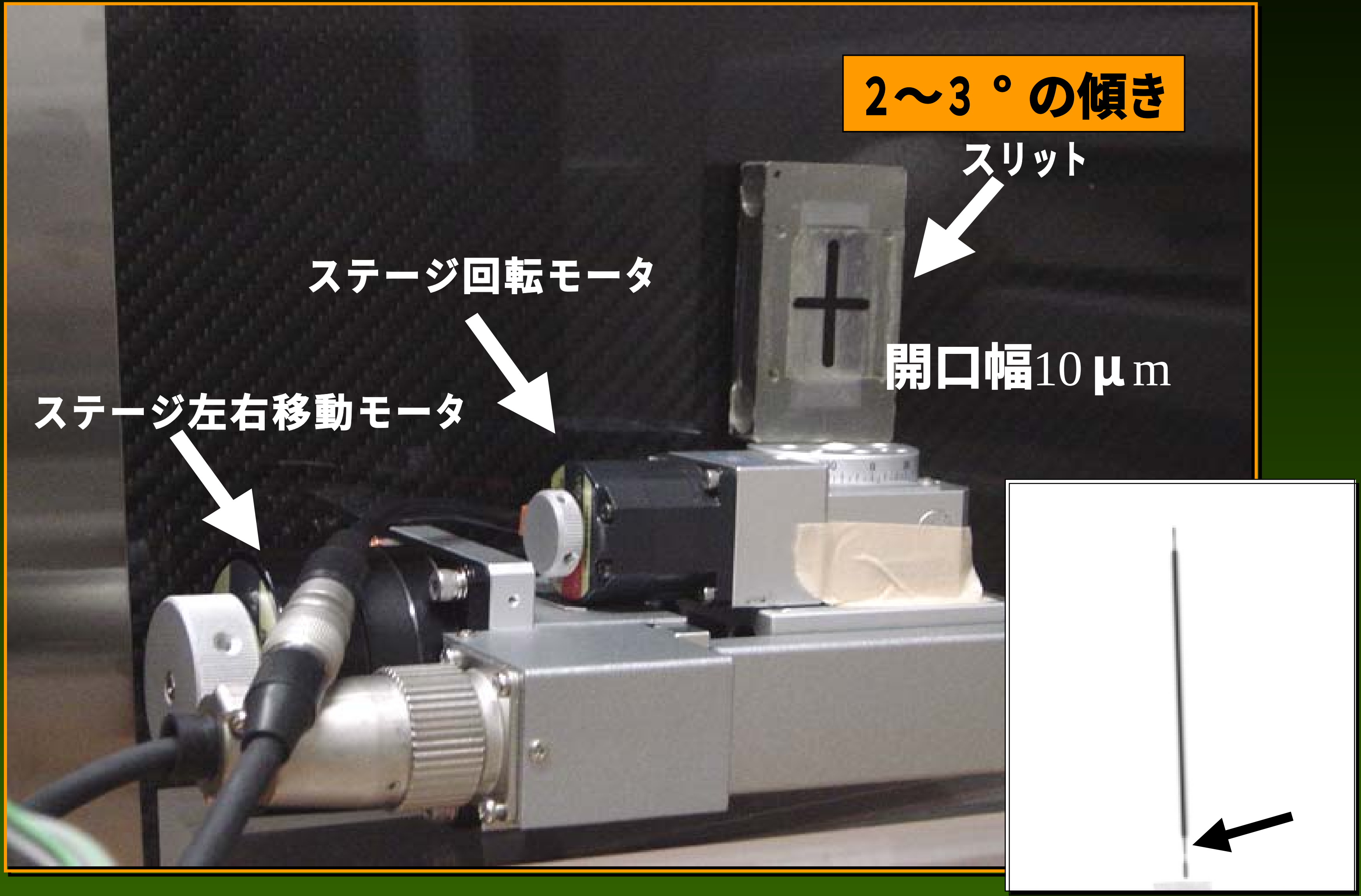
離散フーリエ（各周波数）

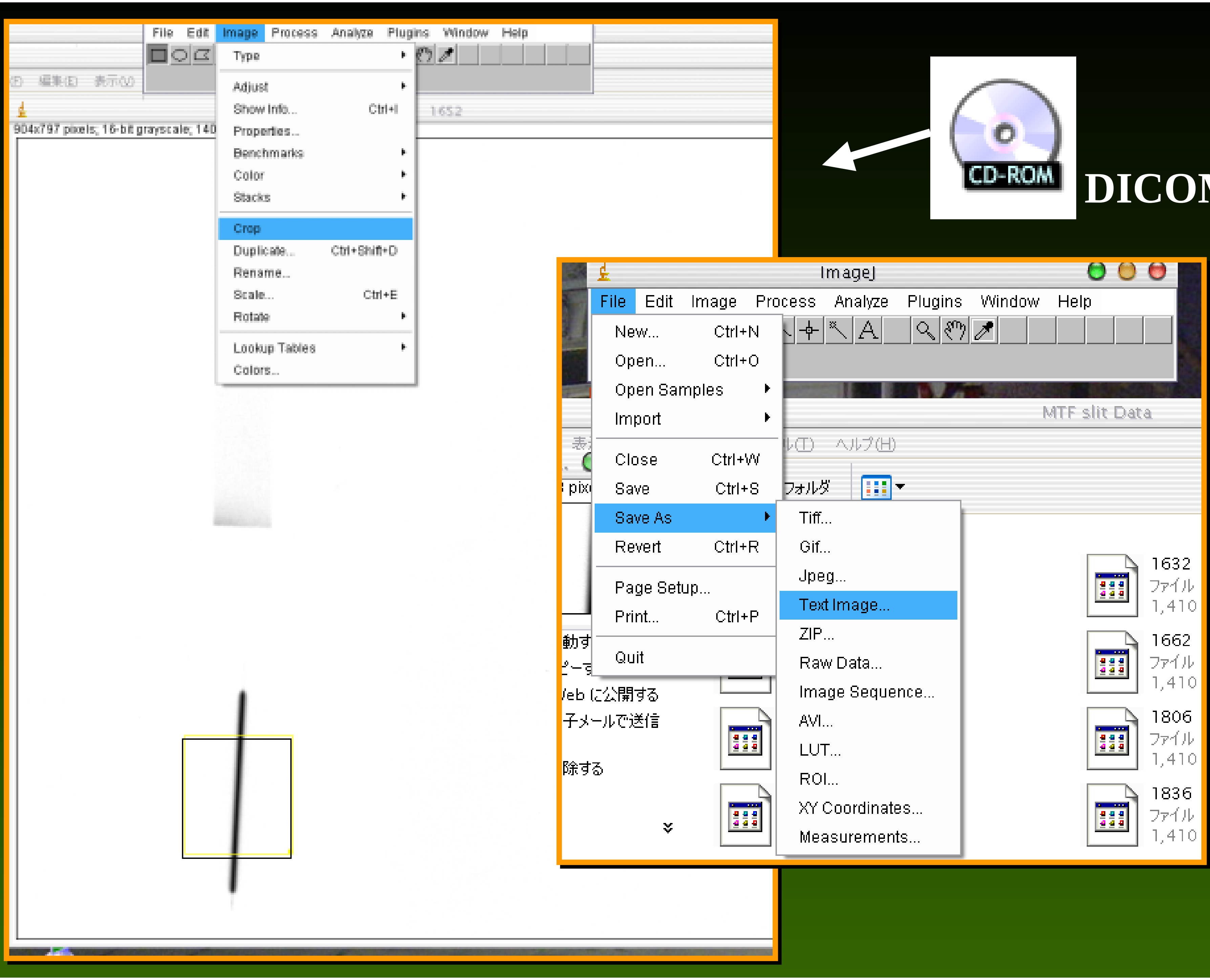
高速フーリエ変換

ゼロ周波数で正規化

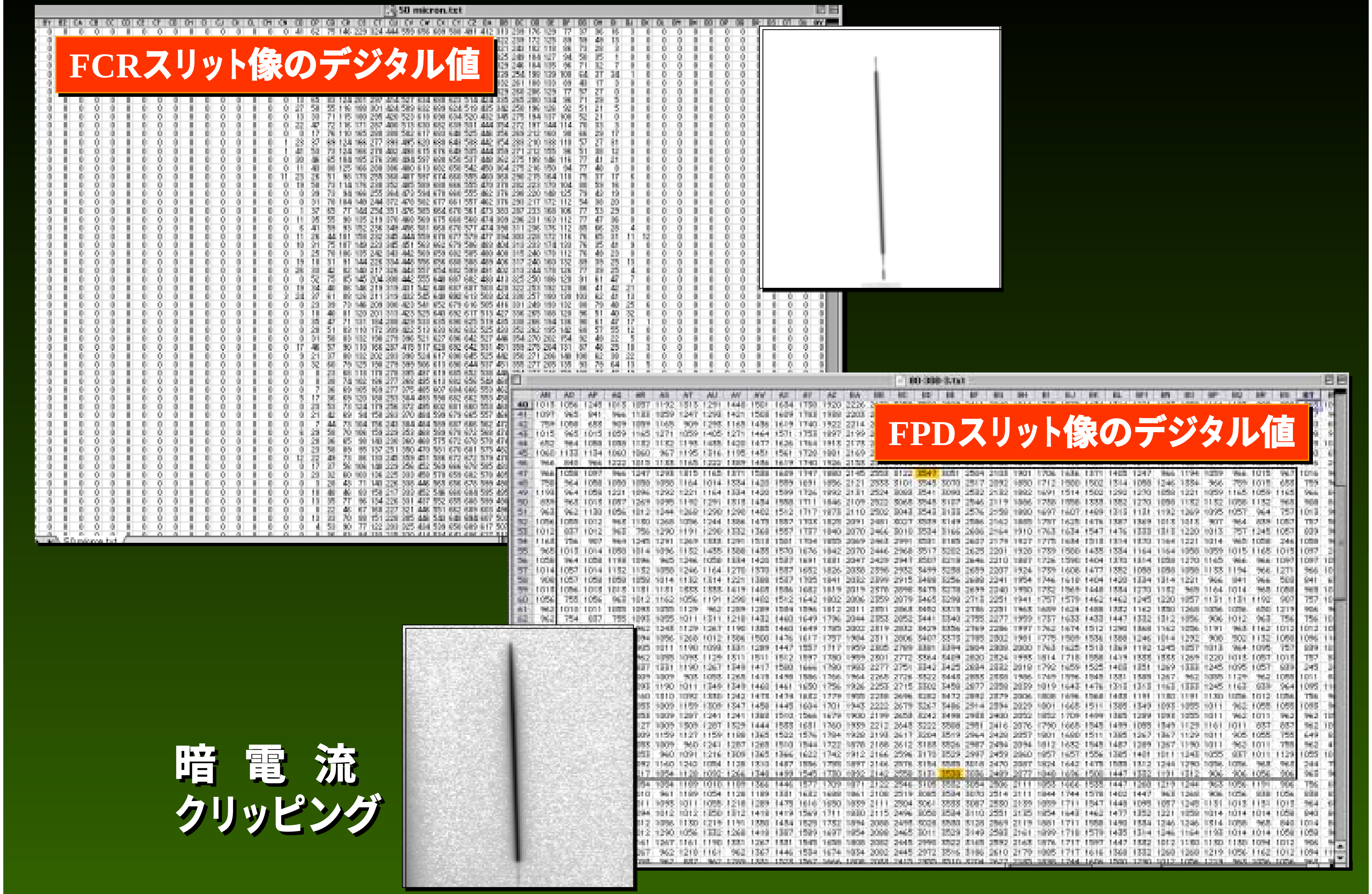
Pre-sampling MTF

FPDでスリットを撮影しましょう！


2～3°の傾き
スリット
開口幅10μm
ステージ回転モータ
ステージ左右移動モータ


File
Edit
Image
Process
Analyze
Plugins
Window
Help
Type
Adjust
Show Info... Ctrl+I
Properties...
Benchmarks
Color
Stacks
Crop
Duplicate... Ctrl+Shift+D
Rename...
Scale... Ctrl+E
Rotate
Lookup Tables
Colors...
904x797 pixels; 16-bit grayscale; 140
ImageJ
New... Ctrl+N
Open... Ctrl+O
Open Samples
Import
Close Ctrl+W
Save Ctrl+S
Save As
Revert Ctrl+R
Page Setup...
Print... Ctrl+P
Quit
Tiff...
Gif...
Jpeg...
Text Image...
ZIP...
Raw Data...
Image Sequence...
AVI...
LUT...
ROI...
XY Coordinates...
Measurements...
MTF slit Data
1632
1662
1806
1836
CD-ROM

DICOM



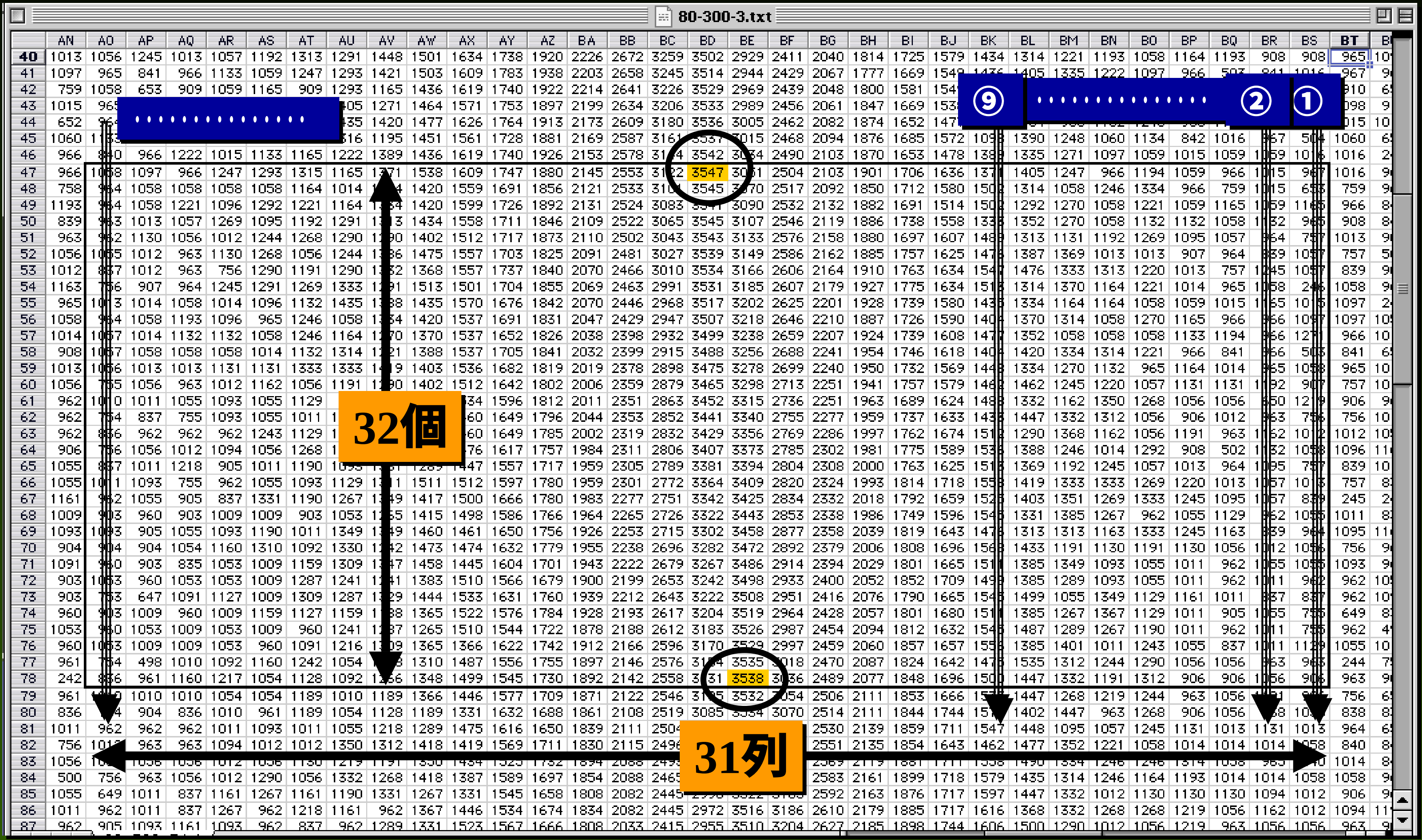
50 micron.txt

FCRスリット像のデジタル値

FPDスリット像のデジタル値

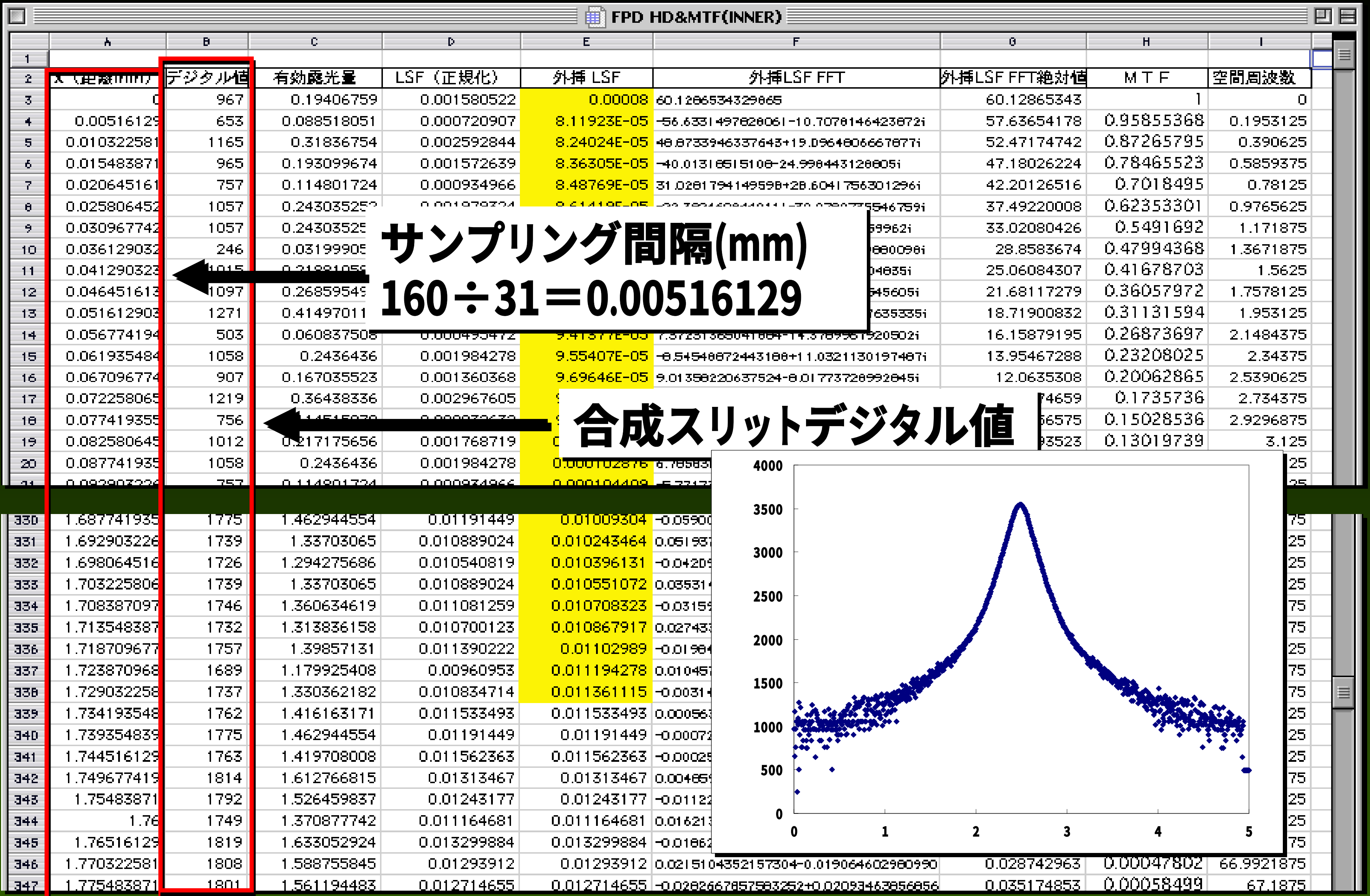
暗 電 流
クリッピング

合成LSFを作りましょう！


80-300-3.txt
⑨
・・・・・・・・・・・・・・・
②
①
・・・・・・・・・・・・・・・
32個
31列

	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT
40	1013	1056	1245	1013	1057	1192	1313	1291	1448	1501	1634	1738	1920	2226	2672	3259	3502	2929	2411	2040	1814	1725	1579	1434	1314	1221	1193	1058	1164	1193	908	908	965
41	1097	965	841	966	1133	1059	1247	1293	1421	1503	1609	1783	1938	2203	2658	3245	3514	2944	2429	2067	1777	1669	[illegible]	[illegible]	1405	1335	1222	1097	966	[illegible]	[illegible]	[illegible]	967
42	759	1058	653	909	1059	1165	909	1293	1165	1436	1619	1740	1922	2214	2641	3226	3529	2969	2439	2048	1800	1581	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
43	1015	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1271	1464	1571	1753	1897	2199	2634	3206	3533	2989	2456	2061	1847	1669	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
44	652	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1420	1477	1626	1764	1913	2173	2609	3180	3536	3005	2462	2082	1874	1652	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
45	1060	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1195	1451	1561	1728	1881	2169	2587	3161	[illegible]	[illegible]	2468	2094	1876	1685	1572	[illegible]	1390	1248	1060	1134	842	1016	[illegible]	[illegible]	1060
46	966	[illegible]	966	1222	1015	1133	1165	1222	1389	1436	1619	1740	1926	2153	2578	[illegible]	3542	[illegible]	2490	2103	1870	1653	1478	[illegible]	1335	1271	1097	1059	1015	1059	[illegible]	[illegible]	1016
47	966	[illegible]	1097	966	1247	1293	1315	1165	[illegible]	1538	1609	1747	1880	2145	2553	[illegible]	3547	[illegible]	2504	2103	1901	1706	1636	[illegible]	1405	1247	966	1194	1059	966	[illegible]	[illegible]	1016
48	758	[illegible]	1058	1058	1058	1058	1164	1014	[illegible]	1420	1559	1691	1856	2121	2533	[illegible]	3545	[illegible]	2517	2092	1850	1712	1580	[illegible]	1314	1058	1246	1334	966	759	[illegible]	[illegible]	759
49	1193	[illegible]	1058	1221	1096	1292	1221	1164	[illegible]	1420	1599	1726	1892	2131	2524	3083	[illegible]	3090	2532	2132	1882	1691	1514	[illegible]	1292	1270	1058	1221	1059	1165	[illegible]	[illegible]	966
50	839	[illegible]	1013	1057	1269	1095	1192	1291	[illegible]	1434	1558	1711	1846	2109	2522	3065	3545	3107	2546	2119	1886	1738	1558	[illegible]	1352	1270	1058	1132	1132	1058	[illegible]	[illegible]	908
51	963	[illegible]	1130	1056	1012	1244	1268	1290	[illegible]	1402	1512	1717	1873	2110	2502	3043	3543	3133	2576	2158	1880	1697	1607	[illegible]	1313	1131	1192	1269	1095	1057	[illegible]	[illegible]	1013
52	1056	[illegible]	1012	963	1130	1268	1056	1244	[illegible]	1475	1557	1703	1825	2091	2481	3027	3539	3149	2586	2162	1885	1757	1625	[illegible]	1387	1369	1013	1013	907	964	[illegible]	[illegible]	757
53	1012	[illegible]	1012	963	756	1290	1191	1290	[illegible]	1368	1557	1737	1840	2070	2466	3010	3534	3166	2606	2164	1910	1763	1634	[illegible]	1476	1333	1313	1220	1013	757	[illegible]	[illegible]	839
54	1163	[illegible]	907	964	1245	1291	1269	1333	[illegible]	1513	1501	1704	1855	2069	2463	2991	3531	3185	2607	2179	1927	1775	1634	[illegible]	1314	1370	1164	1221	1014	965	[illegible]	[illegible]	1058
55	965	[illegible]	1014	1058	1014	1096	1132	1435	[illegible]	1435	1570	1676	1842	2070	2446	2968	3517	3202	2625	2201	1928	1739	1580	[illegible]	1334	1164	1164	1058	1059	1015	[illegible]	[illegible]	1097
56	1058	[illegible]	1058	1193	1096	965	1246	1058	[illegible]	1420	1537	1691	1831	2047	2429	2947	3507	3218	2646	2210	1887	1726	1590	[illegible]	1370	1314	1058	1270	1165	966	[illegible]	[illegible]	1097
57	1014	[illegible]	1014	1132	1132	1058	1246	1164	[illegible]	1370	1537	1652	1826	2038	2398	2932	3499	3238	2659	2207	1924	1739	1608	[illegible]	1352	1058	1058	1058	1133	1194	[illegible]	[illegible]	966
58	908	[illegible]	1058	1058	1058	1014	1132	1314	[illegible]	1388	1537	1705	1841	2032	2399	2915	3488	3256	2688	2241	1954	1746	1618	[illegible]	1420	1334	1314	1221	966	841	[illegible]	[illegible]	841
59	1013	[illegible]	1013	1013	1131	1131	1333	1333	[illegible]	1403	1536	1682	1819	2019	2378	2898	3475	3278	2699	2240	1950	1732	1569	[illegible]	1334	1270	1132	965	1164	1014	[illegible]	[illegible]	965
60	1056	[illegible]	1056	963	1012	1162	1056	1191	[illegible]	1402	1512	1642	1802	2006	2359	2879	3465	3298	2713	2251	1941	1757	1579	[illegible]	1462	1245	1220	1057	1131	1131	[illegible]	[illegible]	757
61	962	[illegible]	1011	1055	1093	1055	1129	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1596	1812	2011	2351	2863	3452	3315	2736	2251	1963	1689	1624	[illegible]	1332	1162	1350	1268	1056	1056	[illegible]	[illegible]	906
62	962	[illegible]	837	755	1093	1055	1011	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1649	1796	2044	2353	2852	3441	3340	2755	2277	1959	1737	1633	[illegible]	1447	1332	1312	1056	906	1012	[illegible]	[illegible]	756
63	962	[illegible]	962	962	962	1243	1129	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1649	1785	2002	2319	2832	3429	3356	2769	2286	1997	1762	1674	[illegible]	1290	1368	1162	1056	1191	963	[illegible]	[illegible]	1012
64	906	[illegible]	1056	1012	1094	1056	1268	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1617	1757	1984	2311	2806	3407	3373	2785	2302	1981	1775	1589	[illegible]	1388	1246	1014	1292	908	502	[illegible]	[illegible]	1096
65	1055	[illegible]	1011	1218	905	1011	1190	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1557	1717	1959	2305	2789	3381	3394	2804	2308	2000	1763	1625	[illegible]	1369	1192	1245	1057	1013	964	[illegible]	[illegible]	839
66	1055	[illegible]	1093	755	962	1055	1093	1129	[illegible]	1511	1512	1597	1780	1959	2301	2772	3364	3409	2820	2324	1993	1814	1718	[illegible]	1419	1333	1333	1269	1220	1013	[illegible]	[illegible]	757
67	1161	[illegible]	1055	905	837	1331	1190	1267	[illegible]	1417	1500	1666	1780	1983	2277	2751	3342	3425	2834	2332	2018	1792	1659	[illegible]	1403	1351	1269	1333	1245	1095	[illegible]	[illegible]	245
68	1009	[illegible]	960	903	1009	1009	903	1053	[illegible]	1415	1498	1586	1766	1964	2265	2726	3322	3443	2853	2338	1986	1749	1596	[illegible]	1331	1385	1267	962	1055	1129	[illegible]	[illegible]	1011
69	1093	[illegible]	905	1055	1093	1190	1011	1349	[illegible]	1460	1461	1650	1756	1926	2253	2715	3302	3458	2877	2358	2039	1819	1643	[illegible]	1313	1313	1163	1333	1245	1163	[illegible]	[illegible]	1095
70	904	[illegible]	904	1054	1160	1310	1092	1330	[illegible]	1473	1474	1632	1779	1955	2238	2696	3282	3472	2892	2379	2006	1808	1696	[illegible]	1433	1191	1130	1191	1130	1056	[illegible]	[illegible]	756
71	1091	[illegible]	903	835	1053	1009	1159	1309	[illegible]	1458	1445	1604	1701	1943	2222	2679	3267	3486	2914	2394	2029	1801	1665	[illegible]	1385	1349	1093	1055	1011	962	[illegible]	[illegible]	1093
72	903	[illegible]	960	1053	1053	1009	1287	1241	[illegible]	1383	1510	1566	1679	1900	2199	2653	3242	3498	2933	2400	2052	1852	1709	[illegible]	1385	1289	1093	1055	1011	962	[illegible]	[illegible]	962
73	903	[illegible]	647	1091	1127	1009	1309	1287	[illegible]	1444	1533	1631	1760	1939	2212	2643	3222	3508	2951	2416	2076	1790	1665	[illegible]	1499	1055	1349	1129	1161	1011	[illegible]	[illegible]	962
74	960	[illegible]	1009	960	1009	1159	1127	1159	[illegible]	1365	1522	1576	1784	1928	2193	2617	3204	3519	2964	2428	2057	1801	1680	[illegible]	1385	1267	1367	1129	1011	905	[illegible]	[illegible]	649
75	1053	[illegible]	1053	1009	1053	1009	960	1241	[illegible]	1265	1510	1544	1722	1878	2188	2612	3183	3526	2987	2454	2094	1812	1632	[illegible]	1487	1289	1267	1190	1011	962	[illegible]	[illegible]	962
76	960	[illegible]	1009	1009	1053	960	1091	1216	[illegible]	1365	1366	1622	1742	1912	2166	2596	3170	[illegible]	2997	2459	2060	1857	1657	[illegible]	1385	1401	1011	1243	1055	837	[illegible]	[illegible]	1055
77	961	[illegible]	498	1010	1092	1160	1242	1054	[illegible]	1310	1487	1556	1755	1897	2146	2576	[illegible]	3535	[illegible]	2470	2087	1824	1642	[illegible]	1535	1312	1244	1290	1056	1056	[illegible]	[illegible]	244
78	242	[illegible]	961	1160	1217	1054	1128	1092	[illegible]	1348	1499	1545	1730	1892	2142	2558	[illegible]	3538	[illegible]	2489	2077	1848	1696	[illegible]	1447	1332	1191	1312	906	906	[illegible]	[illegible]	963
79	961	[illegible]	1010	1010	1054	1054	1189	1010	1189	1366	1446	1577	1709	1871	2122	2546	[illegible]	3532	[illegible]	2506	2111	1853	1666	[illegible]	1447	1268	1219	1244	963	1056	[illegible]	[illegible]	756
80	836	[illegible]	904	836	1010	961	1189	1054	1128	1189	1331	1632	1688	1861	2108	2519	3085	[illegible]	3070	2514	2111	1844	1744	[illegible]	1402	1447	963	1268	906	1056	[illegible]	[illegible]	838
81	1011	962	962	962	1011	1093	1011	1055	1218	1289	1475	1616	1650	1839	2111	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2530	2139	1859	1711	1547	1448	1095	1057	1245	1131	1013	1131	1013	964
82	756	[illegible]	963	963	1094	1012	1012	1350	1312	1418	1419	1569	1711	1830	2115	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2551	2135	1854	1643	1462	1477	1352	1221	1058	1014	1014	1014	[illegible]	840
83	1056	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1014
84	500	756	963	1056	1012	1290	1056	1332	1268	1418	1387	1589	1697	1854	2088	2465	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2583	2161	1899	1718	1579	1435	1314	1246	1164	1193	1014	1014	1058	1058
85	1055	649	1011	837	1161	1267	1161	1190	1331	1267	1331	1545	1658	1808	2082	2445	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2592	2163	1876	1717	1597	1447	1332	1012	1130	1130	1130	1094	1012	906
86	1011	962	1011	837	1267	962	1218	1161	962	1367	1446	1534	1674	1834	2082	2445	2972	3516	3186	2610	2179	1885	1717	1616	1368	1332	1268	1268	1219	1056	1162	1012	1094
87	962	905	1093	1161	1093	962	837	962	1289	1331	1523	1567	1666	1808	2033	2415	2955	3510	3204	2627	2185	1898	1744	1606	1500	1290	1012	1056	1219	963	1056	1056	963

FPDスリット像のデジタル値



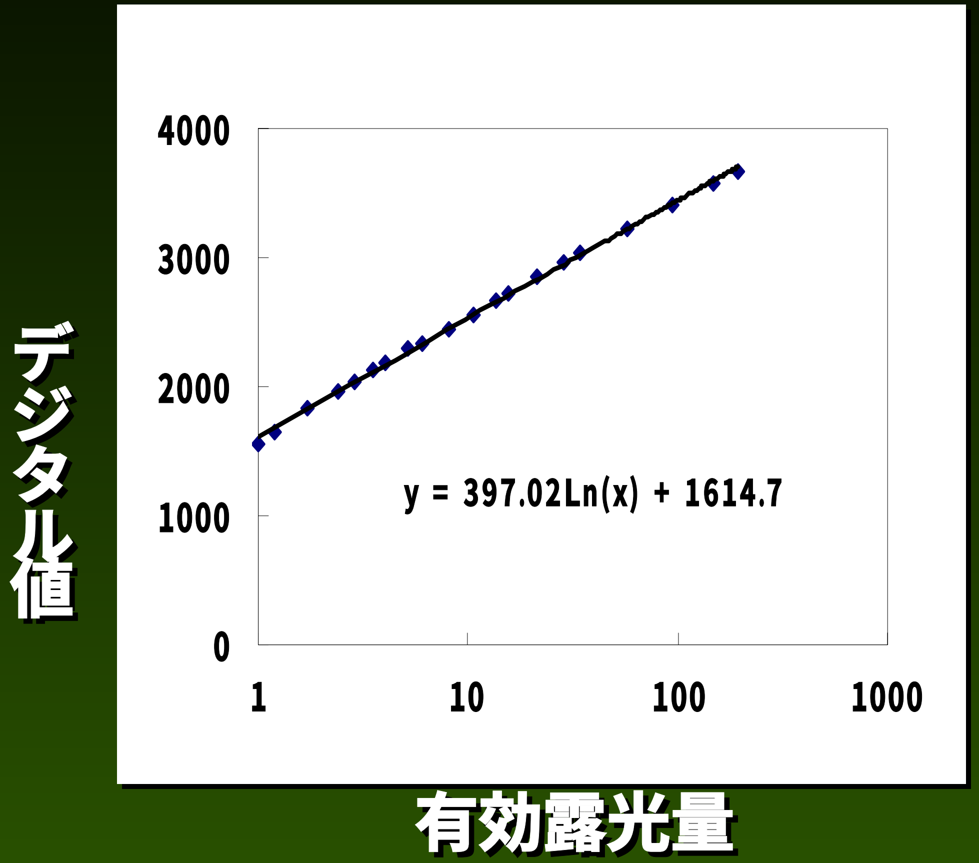
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	x（距離mm）	デジタル値	有効露光量	LSF（正規化）	外挿 LSF	外挿LSF FFT	外挿LSF FFT絶対値	M T F	空間周波数
3	0	967	0.19406759	0.001580522	0.00008	60.1286534329865	60.12865343	1	0
4	0.00516129	653	0.088518051	0.000720907	8.11923E-05	-56.6331497828061-10.7078146423872i	57.63654178	0.95855368	0.1953125
5	0.010322581	1165	0.31836754	0.002592844	8.24024E-05	48.8733946337643+19.0964806667877i	52.47174742	0.87265795	0.390625
6	0.015483871	965	0.193099674	0.001572639	8.36305E-05	-40.01316515108-24.998443128805i	47.18026224	0.78465523	0.5859375
7	0.020645161	757	0.114801724	0.000934966	8.48769E-05	31.0281794149598+28.6041756301296i	42.20126516	0.7018495	0.78125
8	0.025806452	1057				5546759i	37.49220008	0.62353301	0.9765625
9	0.030967742	1057	0.24303525			59962i	33.02080426	0.5491692	1.171875
10	0.036129032	246	0.03199905			880098i	28.8583674	0.47994368	1.3671875
11	0.041290323	1015				04835i	25.06084307	0.41678703	1.5625
12	0.046451613	1097	0.26859549			545605i	21.68117279	0.36057972	1.7578125
13	0.051612903	1271	0.41497011			76353335i	18.71900832	0.31131594	1.953125
14	0.056774194	503	0.060837508	0.000495472	9.41377E-05	7.37231365041664-14.3789561920502i	16.15879195	0.26873697	2.1484375
15	0.061935484	1058	0.2436436	0.001984278	9.55407E-05	-8.54548872443188+11.0321130197487i	13.95467288	0.23208025	2.34375
16	0.067096774	907	0.167035523	0.001360368	9.69646E-05	9.01358220637524-8.01773728992845i	12.0635308	0.20062865	2.5390625
17	0.072258065	1219	0.36438336	0.002967605			74659	0.1735736	2.734375
18	0.077419355	756					56575	0.15028536	2.9296875
19	0.082580645	1012	0.217175656	0.001768719			93523	0.13019739	3.125
20	0.087741935	1058	0.2436436	0.001984278	0.000102876				25
330	1.687741935	1775	1.462944554	0.01191449	0.01009304	-0.05900			75
331	1.692903226	1739	1.33703065	0.010889024	0.010243464	0.051937			25
332	1.698064516	1726	1.294275686	0.010540819	0.010396131	-0.04205			25
333	1.703225806	1739	1.33703065	0.010889024	0.010551072	0.03531			25
334	1.708387097	1746	1.360634619	0.011081259	0.010708323	-0.03155			75
335	1.713548387	1732	1.313836158	0.010700123	0.010867917	0.027433			75
336	1.718709677	1757	1.39857131	0.011390222	0.01102989	-0.0198			25
337	1.723870968	1689	1.179925408	0.00960953	0.011194278	0.010457			75
338	1.729032258	1737	1.330362182	0.010834714	0.011361115	-0.0031			75
339	1.734193548	1762	1.416163171	0.011533493	0.011533493	0.00056			25
340	1.739354839	1775	1.462944554	0.01191449	0.01191449	-0.00072			25
341	1.744516129	1763	1.419708008	0.011562363	0.011562363	-0.00025			25
342	1.749677419	1814	1.612766815	0.01313467	0.01313467	0.00465			75
343	1.75483871	1792	1.526459837	0.01243177	0.01243177	-0.01122			25
344	1.76	1749	1.370877742	0.011164681	0.011164681	0.01621			25
345	1.76516129	1819	1.633052924	0.013299884	0.013299884	-0.01862			75
346	1.770322581	1808	1.588755845	0.01293912	0.01293912	0.0215104352157304-0.019064602980990	0.028742963	0.00047802	66.9921875
347	1.775483871	1801	1.561194483	0.012714655	0.012714655	-0.0282667857583252+0.02093463856856	0.035174853	0.00058499	67.1875

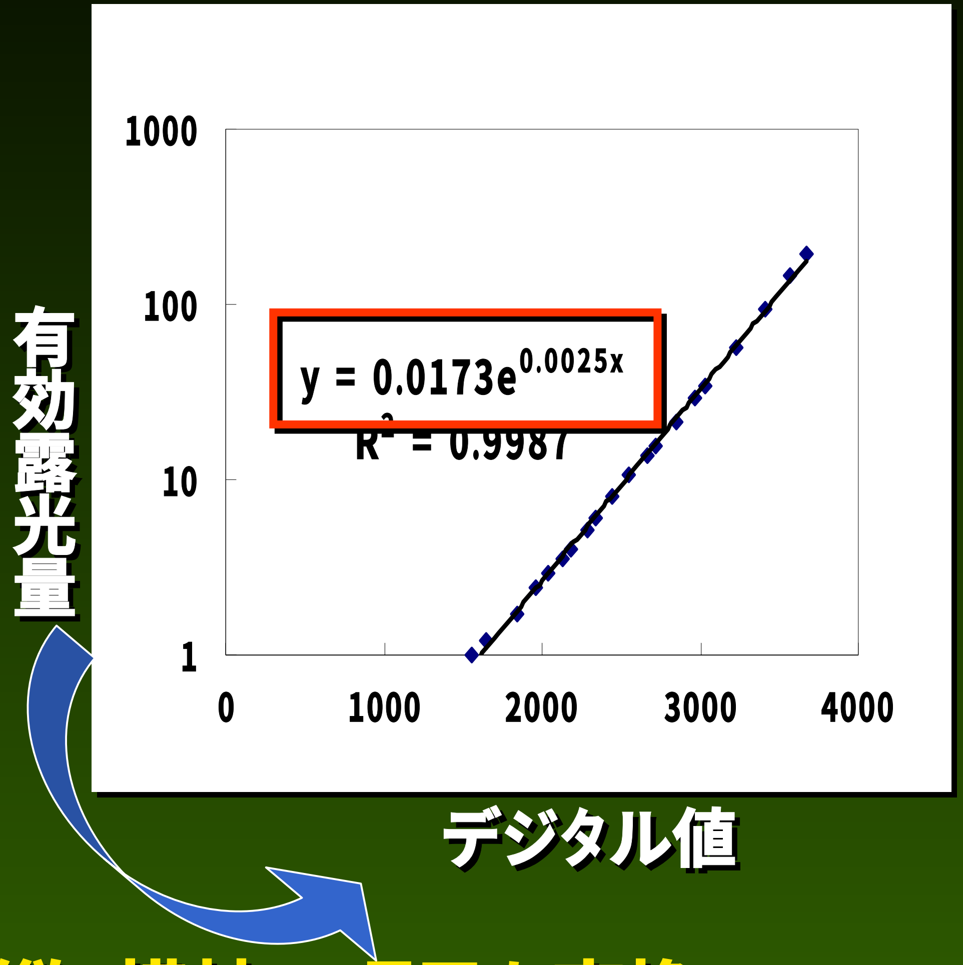
サンプリング間隔(mm)
160÷31＝0.00516129

合成スリットデジタル値

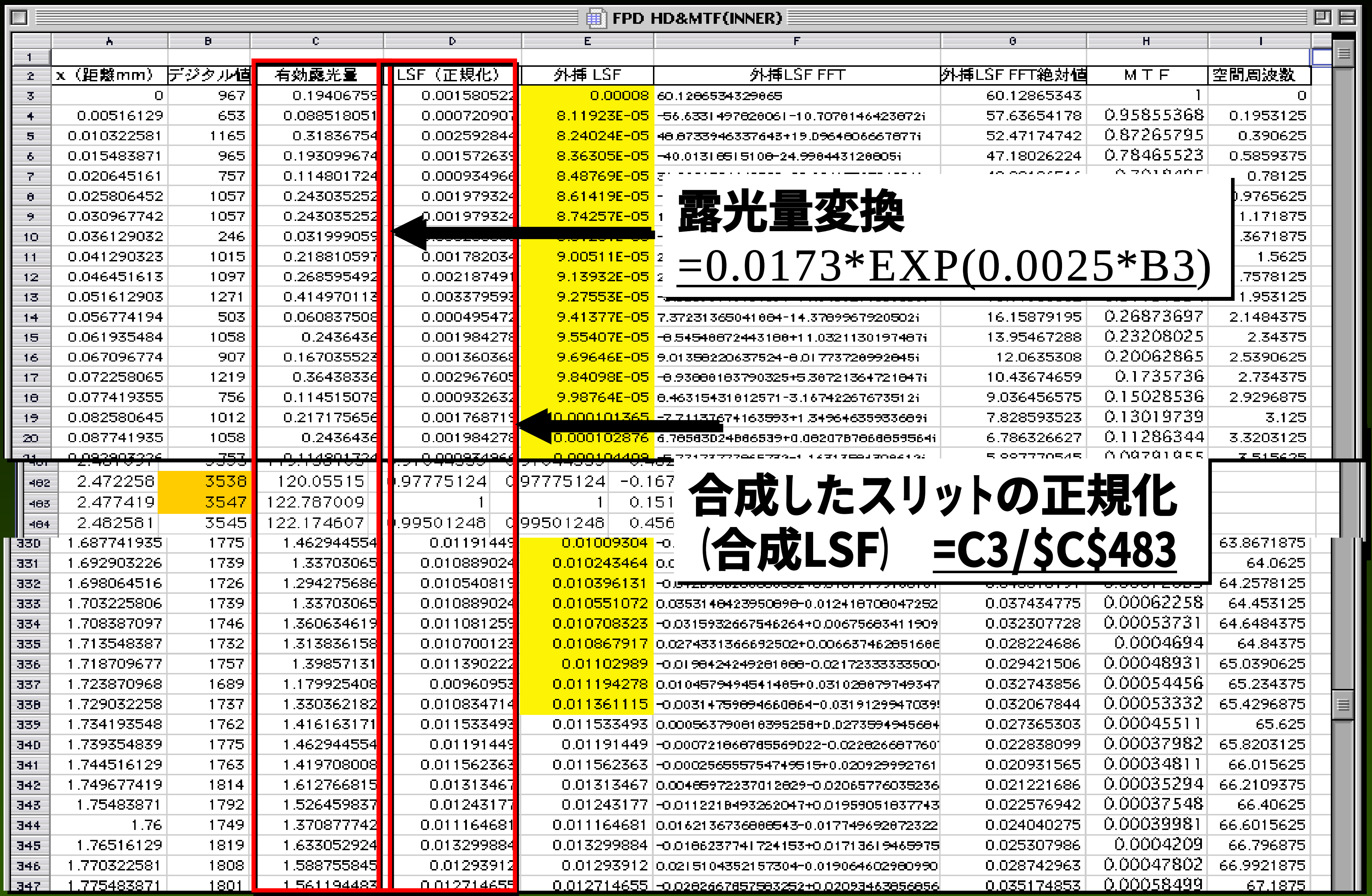
高速フーリエ変換によるMTF計算過程のワークシート

露光量変換のために・・・





縦、横軸の項目を変換



FPD HD&MTF(INNER)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	x（距離mm）	デジタル値	有効露光量	LSF（正規化）	外挿 LSF	外挿LSF FFT	外挿LSF FFT絶対値	M T F	空間周波数
3	0	967	0.19406759	0.001580522	0.00008	60.1286534329865	60.12865343	1	0
4	0.00516129	653	0.088518051	0.000720907	8.11923E-05	-56.6331497828061-10.7078146423872i	57.63654178	0.95855368	0.1953125
5	0.010322581	1165	0.31836754	0.002592844	8.24024E-05	48.8733946337643+19.0964806667877i	52.47174742	0.87265795	0.390625
6	0.015483871	965	0.193099674	0.001572639	8.36305E-05	-40.01318515108-24.998443128805i	47.18026224	0.78465523	0.5859375
7	0.020645161	757	0.114801724	0.000934966	8.48769E-05	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.78125
8	0.025806452	1057	0.243035252	0.001979324	8.61419E-05				.9765625
9	0.030967742	1057	0.243035252	0.001979324	8.74257E-05				1.171875
10	0.036129032	246	0.031999059	[illegible]	[illegible]				.3671875
11	0.041290323	1015	0.218810597	0.001782034	9.00511E-05				1.5625
12	0.046451613	1097	0.268595492	0.002187491	9.13932E-05				.7578125
13	0.051612903	1271	0.414970113	0.003379593	9.27553E-05				1.953125
14	0.056774194	503	0.060837508	0.000495472	9.41377E-05	7.37231365041884-14.3789967920502i	16.15879195	0.26873697	2.1484375
15	0.061935484	1058	0.2436436	0.001984278	9.55407E-05	-8.54548872443188+11.0321130197487i	13.95467288	0.23208025	2.34375
16	0.067096774	907	0.167035523	0.001360368	9.69646E-05	9.01358220637524-8.01773728992845i	12.0635308	0.20062865	2.5390625
17	0.072258065	1219	0.36438336	0.002967605	9.84098E-05	-8.93880183790325+5.38721364721847i	10.43674659	0.1735736	2.734375
18	0.077419355	756	0.114515078	0.000932632	9.98764E-05	8.46315431812571-3.16742267673512i	9.036456575	0.15028536	2.9296875
19	0.082580645	1012	0.217175656	0.001768719	0.000101365	-7.71137674163593+1.34964635933689i	7.828593523	0.13019739	3.125
20	0.087741935	1058	0.2436436	0.001984278	0.000102876	6.78583024886539+0.0820787868859564i	6.786326627	0.11286344	3.3203125
330	1.687741935	1775	1.462944554	0.01191449	0.01009304	[illegible]			63.8671875
331	1.692903226	1739	1.33703065	0.010889024	0.010243464	[illegible]			64.0625
332	1.698064516	1726	1.294275686	0.010540819	0.010396131	[illegible]	[illegible]	[illegible]	64.2578125
333	1.703225806	1739	1.33703065	0.010889024	0.010551072	0.0353148423950898-0.012418708047252	0.037434775	0.00062258	64.453125
334	1.708387097	1746	1.360634619	0.011081259	0.010708323	-0.0315932667546264+0.00675683411909	0.032307728	0.00053731	64.6484375
335	1.713548387	1732	1.313836158	0.010700123	0.010867917	0.0274331366692502+0.006637462851686	0.028224686	0.0004694	64.84375
336	1.718709677	1757	1.39857131	0.011390222	0.01102989	-0.0198424249281888-0.021723333333500	0.029421506	0.00048931	65.0390625
337	1.723870968	1689	1.179925408	0.00960953	0.011194278	0.0104579494541485+0.031028879749347	0.032743856	0.00054456	65.234375
338	1.729032258	1737	1.330362182	0.010834714	0.011361115	-0.00314759894660864-0.0319129947039	0.032067844	0.00053332	65.4296875
339	1.734193548	1762	1.416163171	0.011533493	0.011533493	0.000563790818395258+0.0273594945684	0.027365303	0.00045511	65.625
340	1.739354839	1775	1.462944554	0.01191449	0.01191449	-0.000721868785569022-0.022826687760	0.022838099	0.00037982	65.8203125
341	1.744516129	1763	1.419708008	0.011562363	0.011562363	-0.000256555754749515+0.020929992761	0.020931565	0.00034811	66.015625
342	1.749677419	1814	1.612766815	0.01313467	0.01313467	0.00465972237012829-0.02065776035236	0.021221686	0.00035294	66.2109375
343	1.75483871	1792	1.526459837	0.01243177	0.01243177	-0.0112218493262047+0.01959051837743	0.022576942	0.00037548	66.40625
344	1.76	1749	1.370877742	0.011164681	0.011164681	0.0162136736888543-0.01774969287232 2	0.024040275	0.00039981	66.6015625
345	1.76516129	1819	1.633052924	0.013299884	0.013299884	-0.0186237741724153+0.01713619465975	0.025307986	0.0004209	66.796875
346	1.770322581	1808	1.588755845	0.01293912	0.01293912	0.0215104352157304-0.019064602980990	0.028742963	0.00047802	66.9921875
347	1.775483871	1801	1.561194483	0.012714655	0.012714655	-0.0282667857583252+0.02093463856856	0.035174853	0.00058499	67.1875

482	2.472258	3538	120.05515	.97775124	0.97775124	-0.167
483	2.477419	3547	122.787009	1	1	0.151
484	2.482581	3545	122.174607	.99501248	0.99501248	0.456

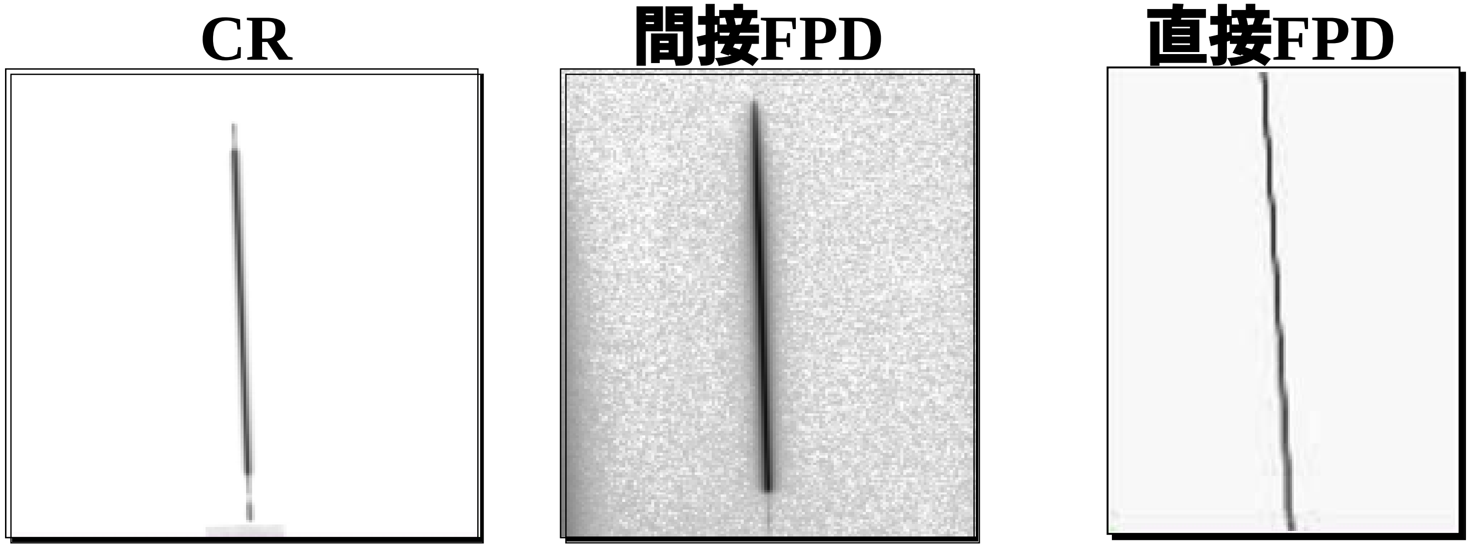
露光量変換

=0.0173*EXP(0.0025*B3)

合成したスリットの正規化

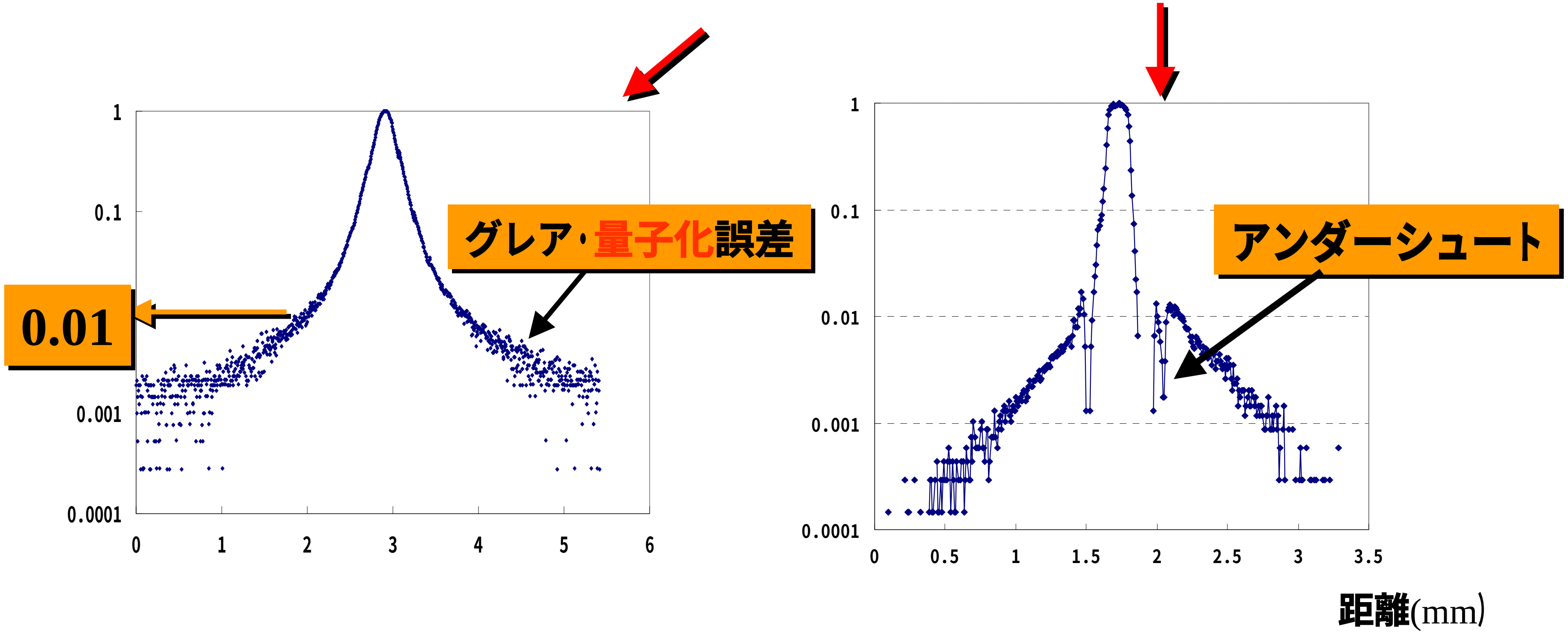
（合成LSF）　=C3/$C$483

高速フーリエ変換によるMTF計算過程のワークシート


CR

間接FPD

直接FPD


0.01

グレア･量子化誤差

アンダーシュート

トランケーションエラー
（裁断エラー）

外挿 ＆ 倍数露光法

トランケーションエラー

　線像強度分布（LSF）は無限の広がりを持つと考えられるが、実験上の制約で有限の範囲までしか求まらず、LSFの裾野部分が欠如している。

　裾野が大きく欠如したLSFをフーリエ変換すると、振動したMTFが計算される。このような誤差をトランケーションエラーという。

光学伝達関数OTF (u) は、線像強度分布 (LSF) のフーリエ変換と定義され次式となる。

$$OTF(u) = \int_{-\infty}^{\infty} LSF(x)\, e^{-i2\pi ux} dx$$

また、上式は、オイラーの公式より

$$A_1 - iA_2 = |OTF(u)| e^{-i\delta u}$$

$$A_1 = \int_{-\infty}^{\infty} LSF(x) \cos 2\pi uxdx$$

$$A_2 = \int_{-\infty}^{\infty} LSF(x) \sin 2\pi uxdx$$

となり、MTFはOTF (LSFのフーリエ変換) の絶対値であるため

$$MTF(u) = |OTF(u)| = \sqrt{{A_1}^2 + {A_2}^2}$$

と定義される。

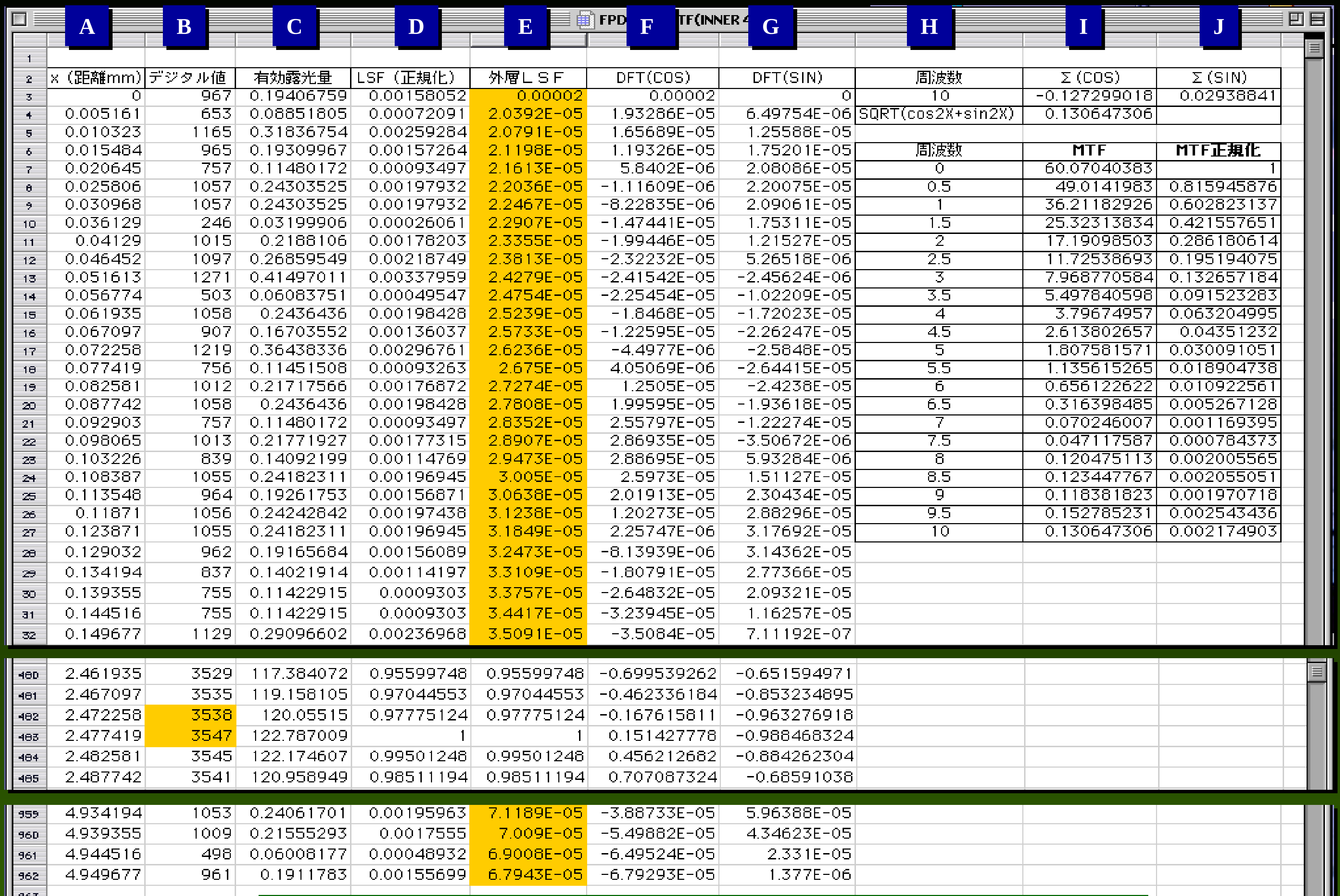
DFT (Discrete Fourier Transform：離散フーリエ変換)

$$OTF(u) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} LSF(n)e^{-inu(2\pi/N)}$$

$$a_n = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} LSF(n)\cos\left(2\pi un/N\right)$$

$$b_n = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} LSF(n)\sin\left(2\pi un/N\right)$$

$$MTF(u) = \left|OTF(u)\right| = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	x（距離mm）	デジタル値	有効露光量	LSF（正規化）	外層ＬＳＦ	DFT(COS)	DFT(SIN)	周波数	Σ(COS)	Σ(SIN)
3	0	967	0.19406759	0.00158052	0.00002	0.00002	0	10	-0.127299018	0.02938841
4	0.005161	653	0.08851805	0.00072091	2.0392E-05	1.93286E-05	6.49754E-06	SQRT(cos2X+sin2X)	0.130647306	
5	0.010323	1165	0.31836754	0.00259284	2.0791E-05	1.65689E-05	1.25588E-05			
6	0.015484	965	0.19309967	0.00157264	2.1198E-05	1.19326E-05	1.75201E-05	周波数	**MTF**	**MTF正規化**
7	0.020645	757	0.11480172	0.00093497	2.1613E-05	5.8402E-06	2.08086E-05	0	60.07040383	1
8	0.025806	1057	0.24303525	0.00197932	2.2036E-05	-1.11609E-06	2.20075E-05	0.5	49.0141983	0.815945876
9	0.030968	1057	0.24303525	0.00197932	2.2467E-05	-8.22835E-06	2.09061E-05	1	36.21182926	0.602823137
10	0.036129	246	0.03199906	0.00026061	2.2907E-05	-1.47441E-05	1.75311E-05	1.5	25.32313834	0.421557651
11	0.04129	1015	0.2188106	0.00178203	2.3355E-05	-1.99446E-05	1.21527E-05	2	17.19098503	0.286180614
12	0.046452	1097	0.26859549	0.00218749	2.3813E-05	-2.32232E-05	5.26518E-06	2.5	11.72538693	0.195194075
13	0.051613	1271	0.41497011	0.00337959	2.4279E-05	-2.41542E-05	-2.45624E-06	3	7.968770584	0.132657184
14	0.056774	503	0.06083751	0.00049547	2.4754E-05	-2.25454E-05	-1.02209E-05	3.5	5.497840598	0.091523283
15	0.061935	1058	0.2436436	0.00198428	2.5239E-05	-1.8468E-05	-1.72023E-05	4	3.79674957	0.063204995
16	0.067097	907	0.16703552	0.00136037	2.5733E-05	-1.22595E-05	-2.26247E-05	4.5	2.613802657	0.04351232
17	0.072258	1219	0.36438336	0.00296761	2.6236E-05	-4.4977E-06	-2.5848E-05	5	1.807581571	0.030091051
18	0.077419	756	0.11451508	0.00093263	2.675E-05	4.05069E-06	-2.64415E-05	5.5	1.135615265	0.018904738
19	0.082581	1012	0.21717566	0.00176872	2.7274E-05	1.2505E-05	-2.4238E-05	6	0.656122622	0.010922561
20	0.087742	1058	0.2436436	0.00198428	2.7808E-05	1.99595E-05	-1.93618E-05	6.5	0.316398485	0.005267128
21	0.092903	757	0.11480172	0.00093497	2.8352E-05	2.55797E-05	-1.22274E-05	7	0.070246007	0.001169395
22	0.098065	1013	0.21771927	0.00177315	2.8907E-05	2.86935E-05	-3.50672E-06	7.5	0.047117587	0.000784373
23	0.103226	839	0.14092199	0.00114769	2.9473E-05	2.88695E-05	5.93284E-06	8	0.120475113	0.002005565
24	0.108387	1055	0.24182311	0.00196945	3.005E-05	2.5973E-05	1.51127E-05	8.5	0.123447767	0.002055051
25	0.113548	964	0.19261753	0.00156871	3.0638E-05	2.01913E-05	2.30434E-05	9	0.118381823	0.001970718
26	0.11871	1056	0.24242842	0.00197438	3.1238E-05	1.20273E-05	2.88296E-05	9.5	0.152785231	0.002543436
27	0.123871	1055	0.24182311	0.00196945	3.1849E-05	2.25747E-06	3.17692E-05	10	0.130647306	0.002174903
28	0.129032	962	0.19165684	0.00156089	3.2473E-05	-8.13939E-06	3.14362E-05			
29	0.134194	837	0.14021914	0.00114197	3.3109E-05	-1.80791E-05	2.77366E-05			
30	0.139355	755	0.11422915	0.0009303	3.3757E-05	-2.64832E-05	2.09321E-05			
31	0.144516	755	0.11422915	0.0009303	3.4417E-05	-3.23945E-05	1.16257E-05			
32	0.149677	1129	0.29096602	0.00236968	3.5091E-05	-3.5084E-05	7.11192E-07			
480	2.461935	3529	117.384072	0.95599748	0.95599748	-0.699539262	-0.651594971			
481	2.467097	3535	119.158105	0.97044553	0.97044553	-0.462336184	-0.853234895			
482	2.472258	3538	120.05515	0.97775124	0.97775124	-0.167615811	-0.963276918			
483	2.477419	3547	122.787009	1	1	0.151427778	-0.988468324			
484	2.482581	3545	122.174607	0.99501248	0.99501248	0.456212682	-0.884262304			
485	2.487742	3541	120.958949	0.98511194	0.98511194	0.707087324	-0.68591038			
959	4.934194	1053	0.24061701	0.00195963	7.1189E-05	-3.88733E-05	5.96388E-05			
960	4.939355	1009	0.21555293	0.0017555	7.009E-05	-5.49882E-05	4.34623E-05			
961	4.944516	498	0.06008177	0.00048932	6.9008E-05	-6.49524E-05	2.331E-05			
962	4.949677	961	0.1911783	0.00155699	6.7943E-05	-6.79293E-05	1.377E-06			
963										

離散フーリエ変換によるMTF計算過程のワークシート

フーリエ変換の式

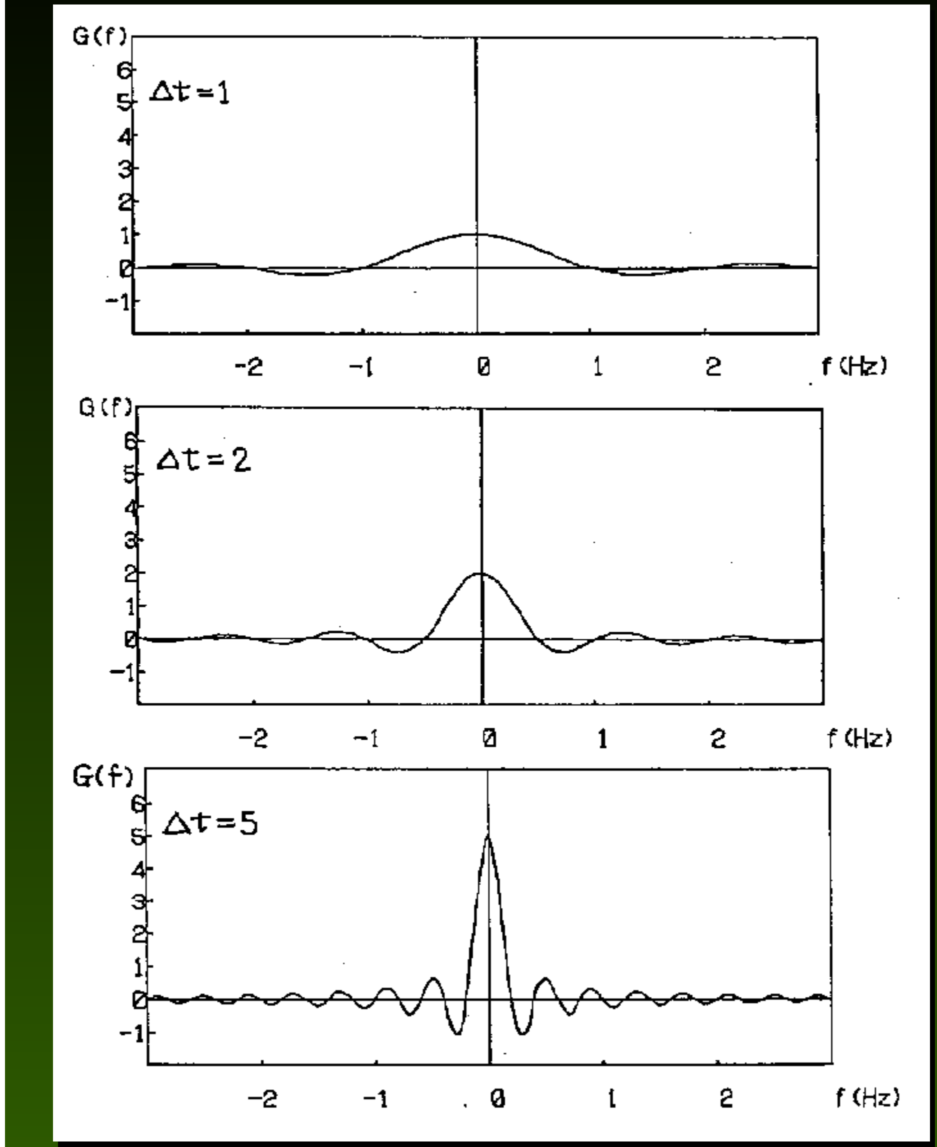
どんな複雑な波でも (周期がなくても)単純な波に分解できる。

見る時間 (距離) によってそれがどのくらい確か、かという不確定さまで含み込んでいる

全部わからなくても一部分だけ見れば全体の形を捉えることができる

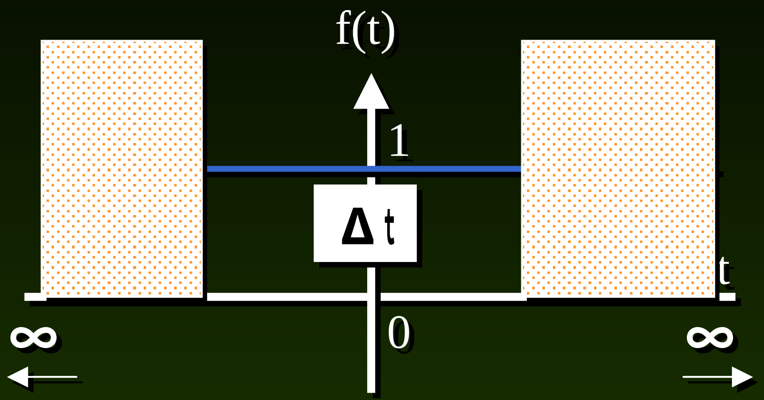
⇩

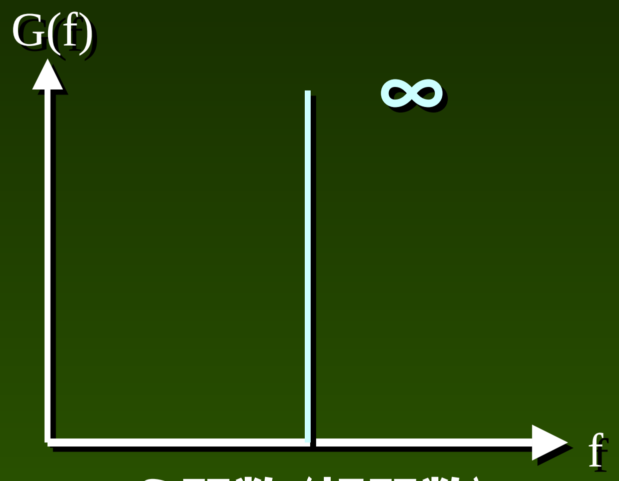
人間の捉え方と非常によく似ている。



フーリエの冒険より

その中の一部だけ見て全体の特徴を知る。





δ関数 (超関数)

背の高さはその周波数が含まれている自信の度合いを表している。

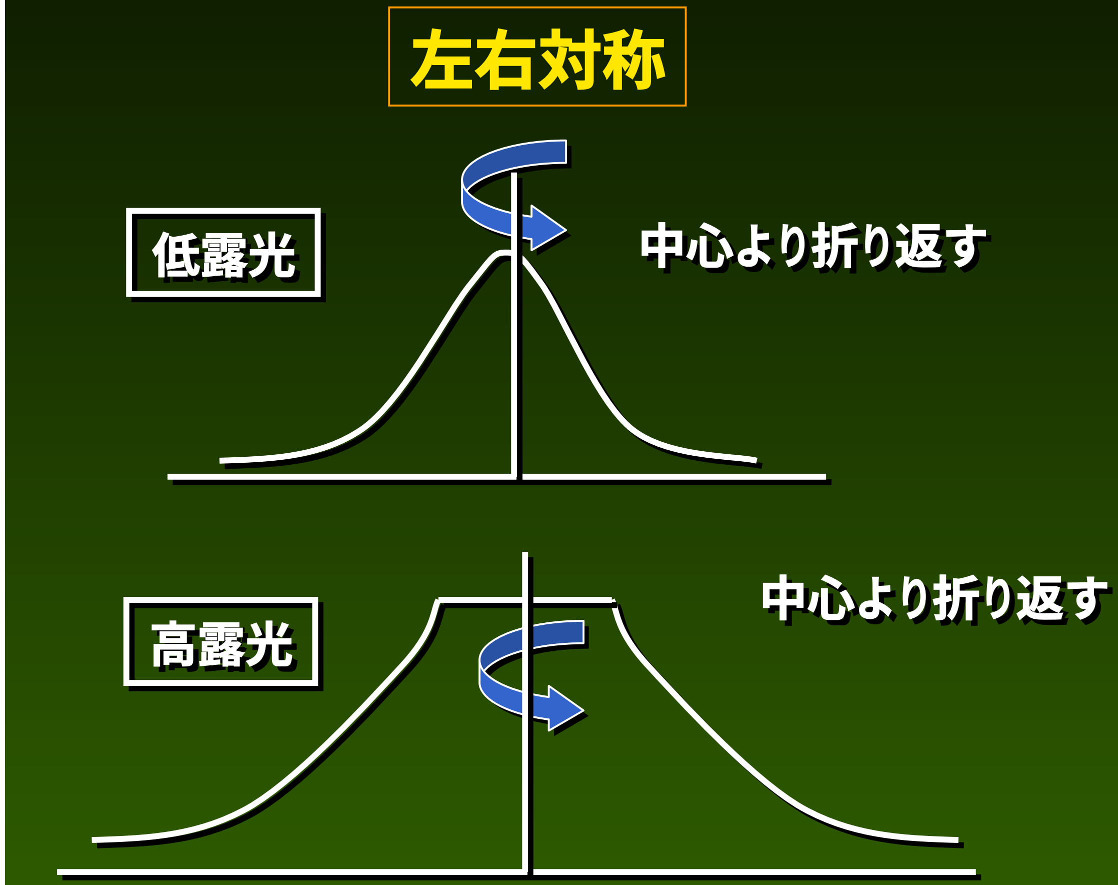
アナログにおける倍数露光と外挿

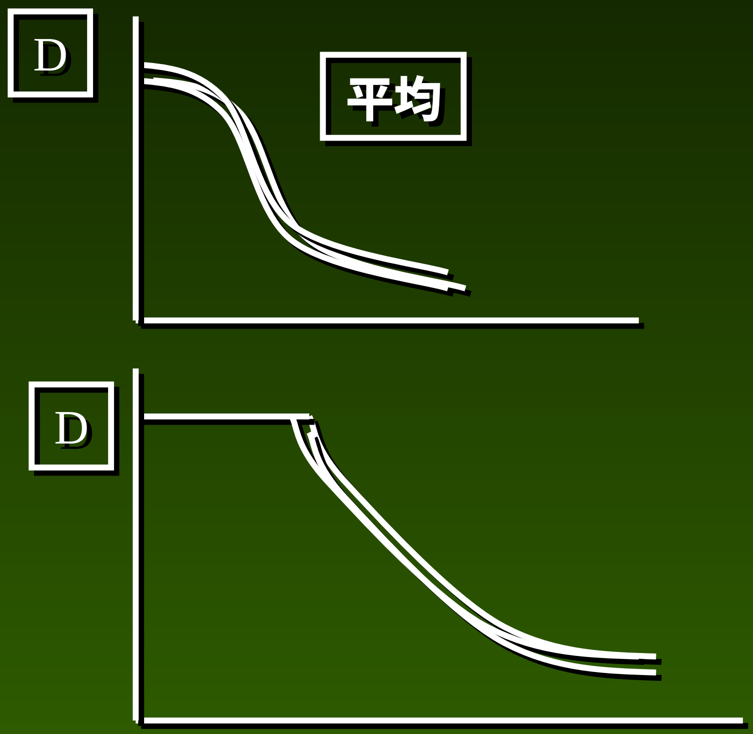
- 増感紙－フィルム系においてスリットのMTFを求める場合は、**トランケーションエラー**を起こさないように、**倍数露光法**を用いて低露光部と、高露光部のLSFを結合し、また**指数関数で外挿**を行ってきた。

- この理由は**増感紙－フィルム系のもつダイナミックレンジが狭いこと**、特性曲線の足の部分（ベース濃度＋カブリ）により**低濃度部の露光量変換に信頼性がない**ためである。

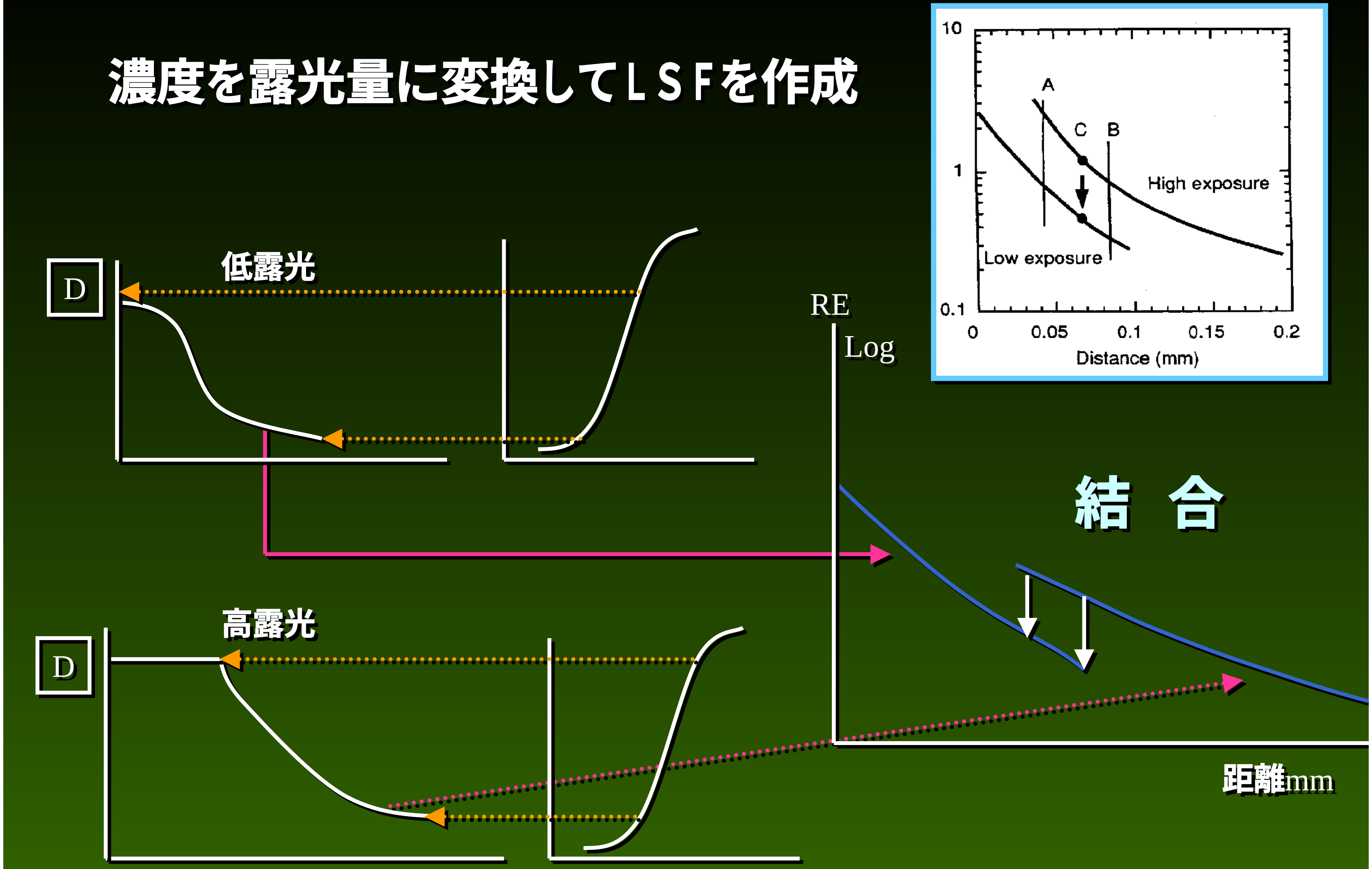
高露光部は低露光部の5倍露光をおこなう

$$\int_0^\infty LSF(x)\cos 2\pi u x dx$$

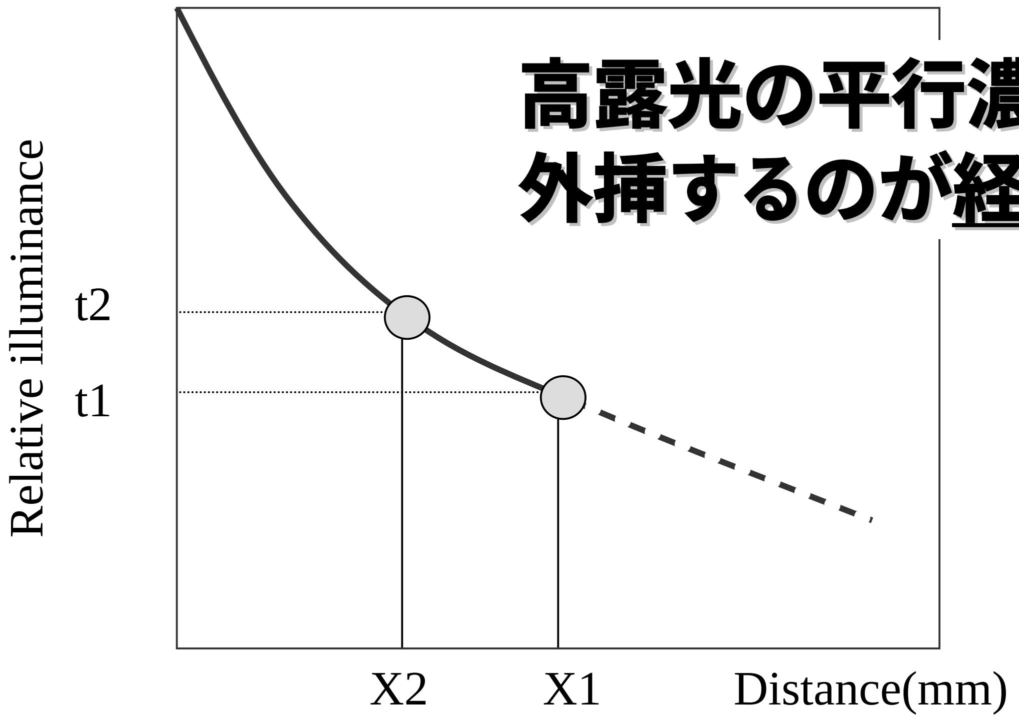

左右対称
低露光
中心より折り返す
高露光
中心より折り返す



濃度を露光量に変換してLSFを作成


D
低露光
D
高露光
RE
Log
結 合
距離mm
10
1
0.1
A
C
B
High exposure
Low exposure
0
0.05
0.1
0.15
0.2
Distance (mm)

外　挿

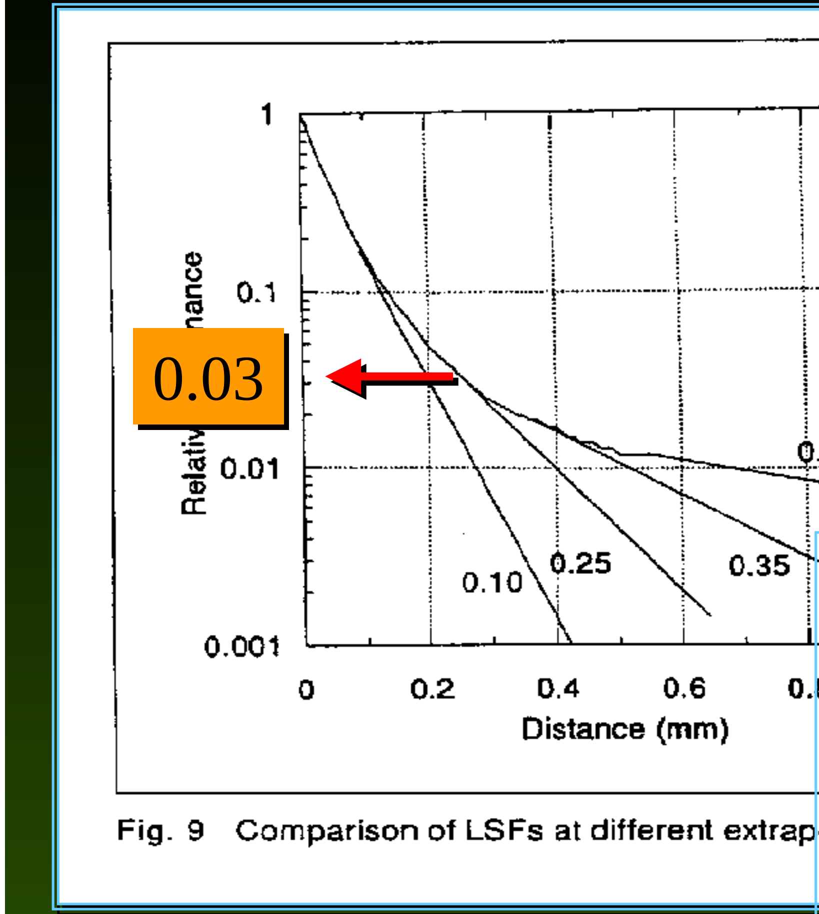


高露光の平行濃度0.4付近で外挿するのが経験的によい。

Extrapolation of line spread function

経験って・・・？

外挿の違いによるMTFの変化

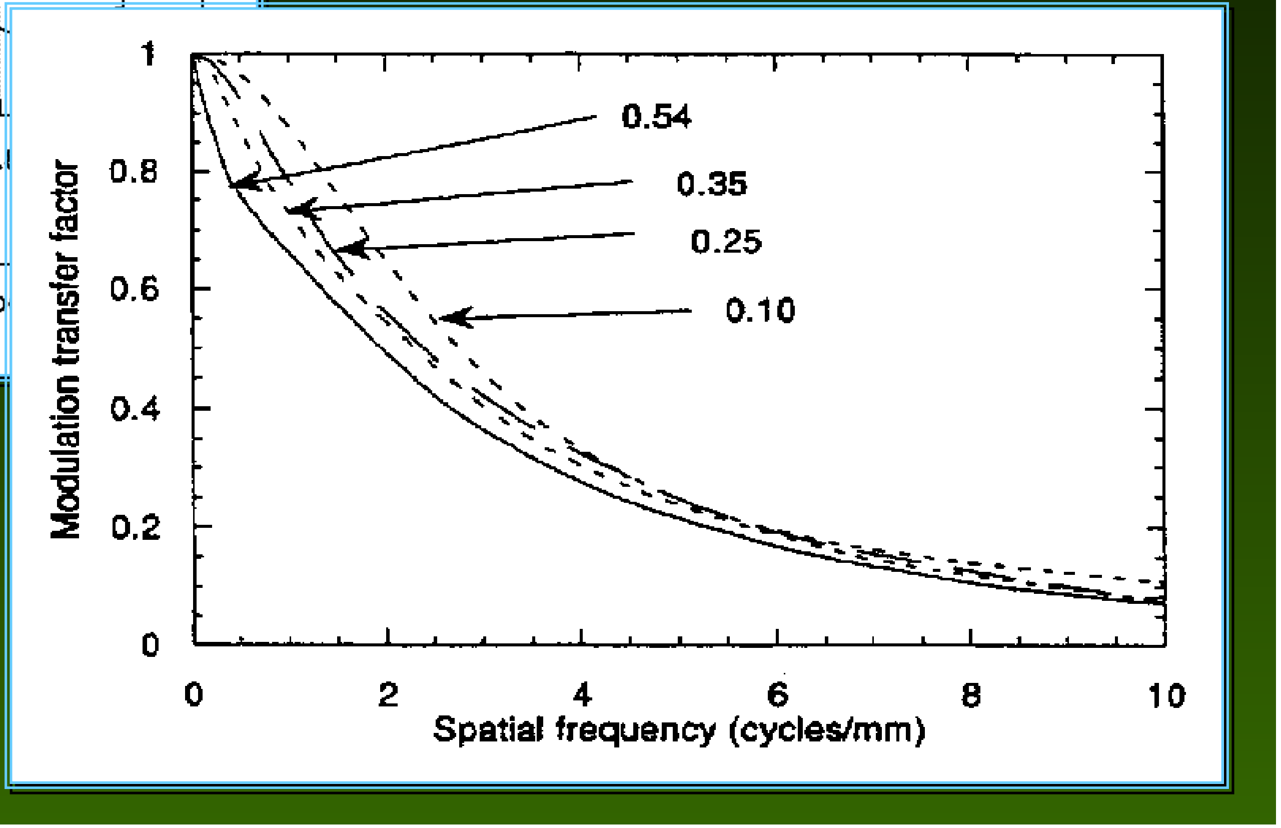


0.03

Fig. 9 Comparison of LSFs at different extrap

日本放射線技術学会誌より

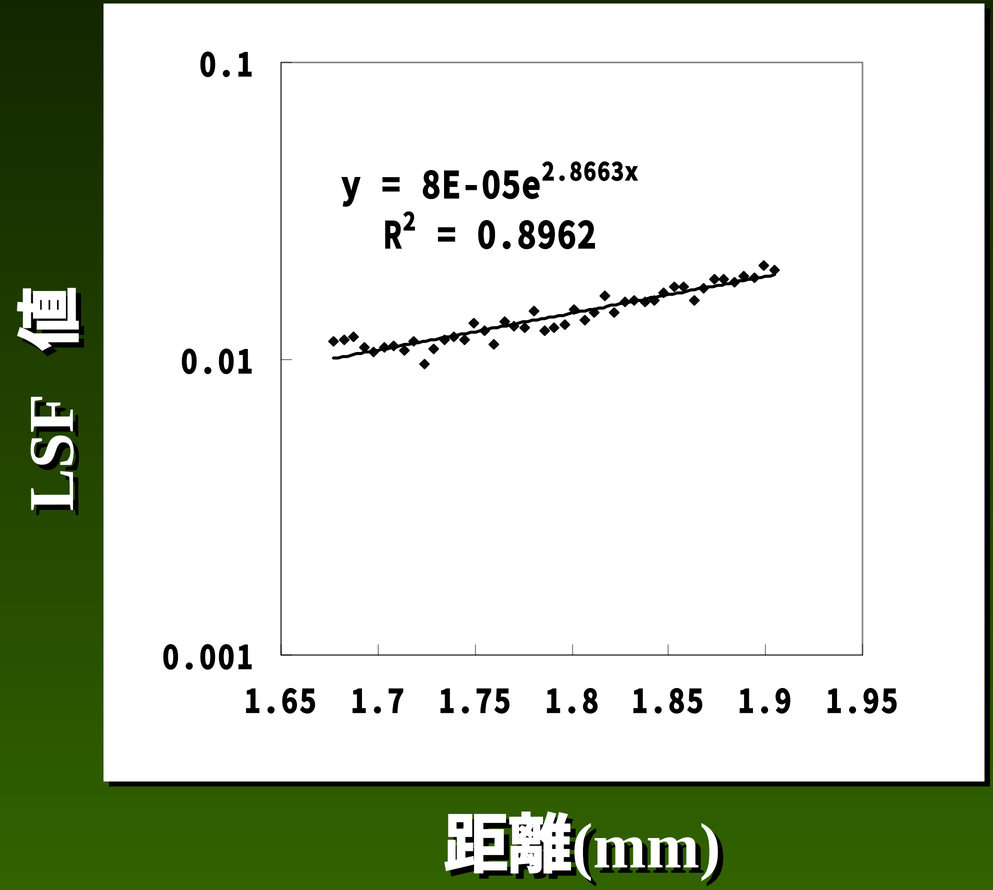
トランケーション（裁断）エラー



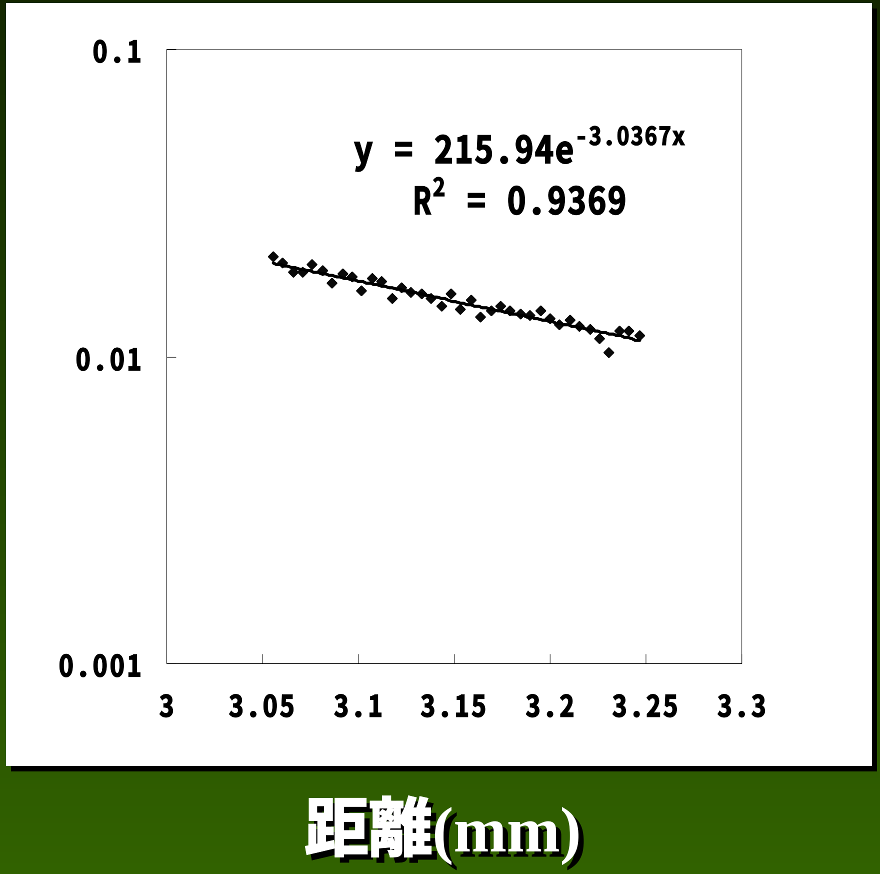
デジタルの外挿

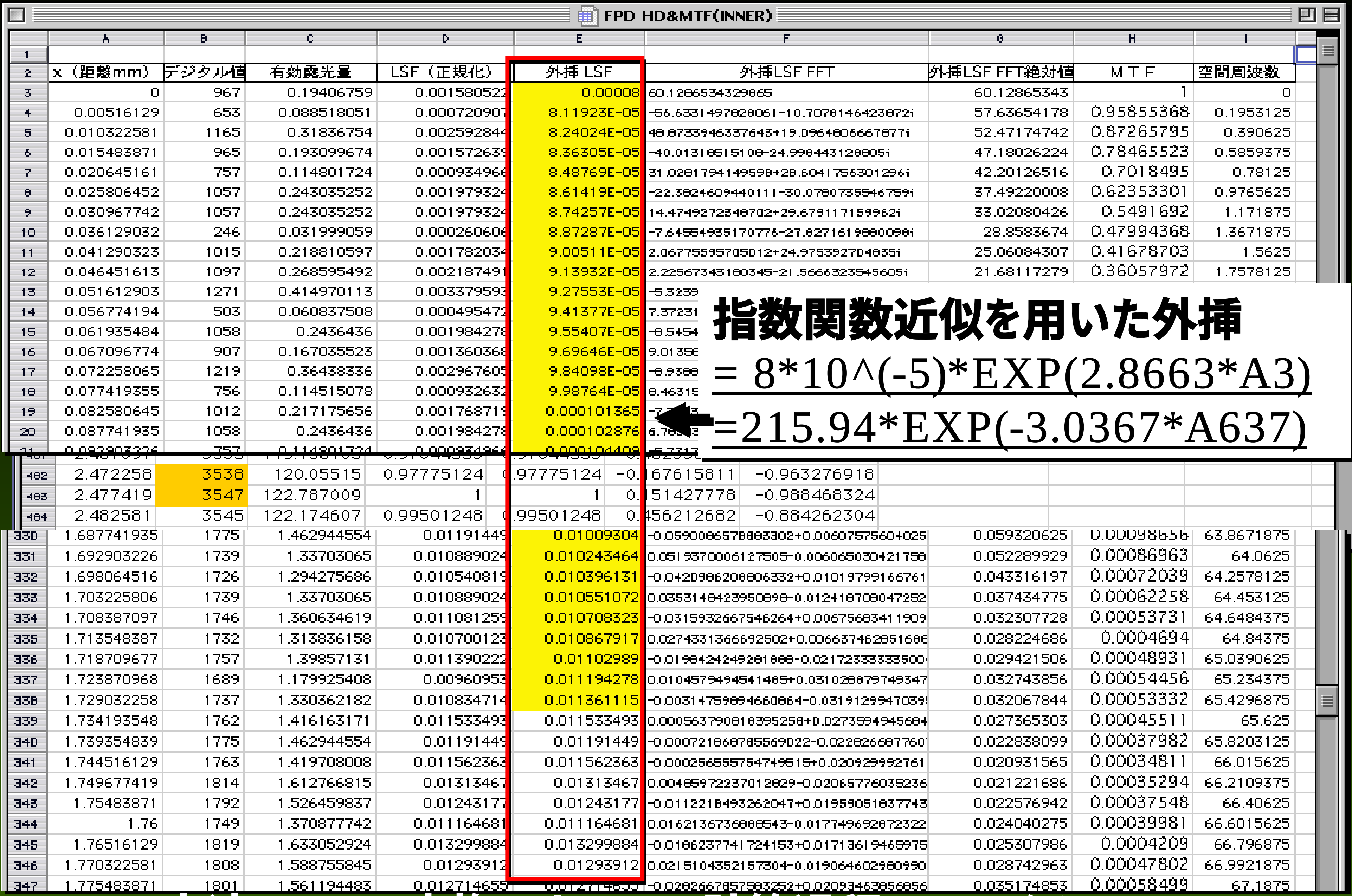
- デジタルの場合も低露光部は量子化の誤差やグレアの影響もあり、外挿を行う方が望ましい？

左 裾



右 裾




FPD HD&MTF(INNER)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	x（距離mm）	デジタル値	有効露光量	LSF（正規化）	外挿 LSF	外挿LSF FFT	外挿LSF FFT絶対値	M T F	空間周波数
3	0	967	0.19406759	0.001580522	0.00008	60.1286534329865	60.12865343	1	0
4	0.00516129	653	0.088518051	0.000720907	8.11923E-05	-56.6331497828061-10.7078146423872i	57.63654178	0.95855368	0.1953125
5	0.010322581	1165	0.31836754	0.002592844	8.24024E-05	48.8733946337643+19.0964806667877i	52.47174742	0.87265795	0.390625
6	0.015483871	965	0.193099674	0.001572639	8.36305E-05	-40.01316515108-24.9984431288805i	47.18026224	0.78465523	0.5859375
7	0.020645161	757	0.114801724	0.000934966	8.48769E-05	31.0281794149598+28.6041756301296i	42.20126516	0.7018495	0.78125
8	0.025806452	1057	0.243035252	0.001979324	8.61419E-05	-22.3824609440111-30.0780735546759i	37.49220008	0.62353301	0.9765625
9	0.030967742	1057	0.243035252	0.001979324	8.74257E-05	14.4749272348702+29.6791171599962i	33.02080426	0.5491692	1.171875
10	0.036129032	246	0.031999059	0.000260606	8.87287E-05	-7.64554935170776-27.8271619880098i	28.8583674	0.47994368	1.3671875
11	0.041290323	1015	0.218810597	0.001782034	9.00511E-05	2.06775595705012+24.9753927048835i	25.06084307	0.41678703	1.5625
12	0.046451613	1097	0.268595492	0.002187491	9.13932E-05	2.22567343180345-21.5666323545605i	21.68117279	0.36057972	1.7578125
13	0.051612903	1271	0.414970113	0.003379593	9.27553E-05	-5.3239			
14	0.056774194	503	0.060837508	0.000495472	9.41377E-05	7.37231			
15	0.061935484	1058	0.2436436	0.001984278	9.55407E-05	-8.5454			
16	0.067096774	907	0.167035523	0.001360368	9.69646E-05	9.01358			
17	0.072258065	1219	0.36438336	0.002967605	9.84098E-05	-8.9388			
18	0.077419355	756	0.114515078	0.000932632	9.98764E-05	8.46315			
19	0.082580645	1012	0.217175656	0.001768719	0.000101365	-7			
20	0.087741935	1058	0.2436436	0.001984278	0.000102876	6.76			

482	2.472258	3538	120.05515	0.97775124	0.97775124	-0.[illegible]67615811	-0.963276918
483	2.477419	3547	122.787009	1	1	0.[illegible]51427778	-0.988468324
484	2.482581	3545	122.174607	0.99501248	0.99501248	0.[illegible]456212682	-0.884262304

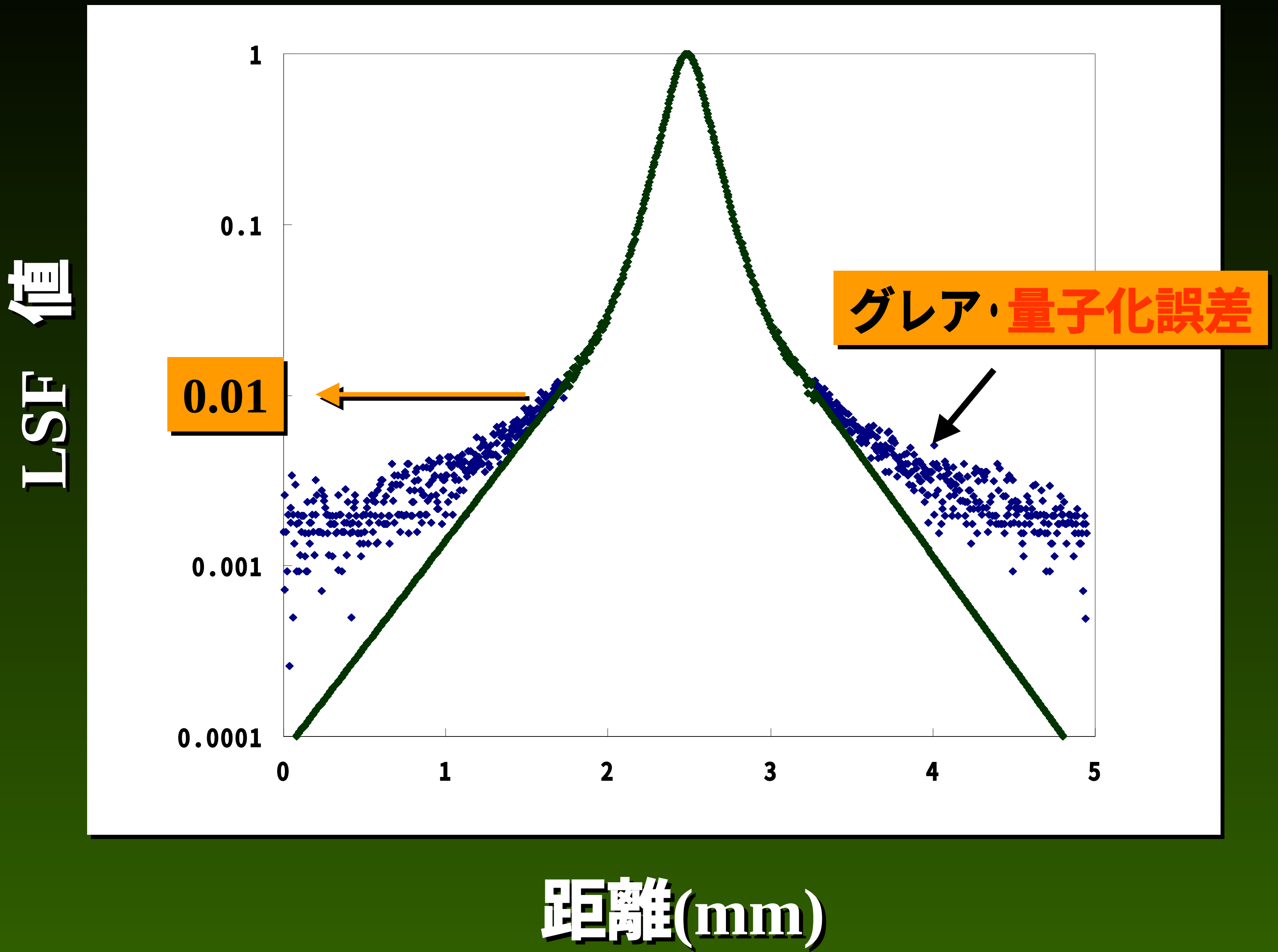
330	1.687741935	1775	1.462944554	0.01191449	0.01009304	-0.0590086578883302+0.00607575604025	0.059320625	0.00098656	63.8671875
331	1.692903226	1739	1.33703065	0.010889024	0.010243464	0.0519370006127505-0.006065030421758	0.052289929	0.00086963	64.0625
332	1.698064516	1726	1.294275686	0.010540819	0.010396131	-0.0420986208806332+0.01019799166761	0.043316197	0.00072039	64.2578125
333	1.703225806	1739	1.33703065	0.010889024	0.010551072	0.0353148423950898-0.012418708047252	0.037434775	0.00062258	64.453125
334	1.708387097	1746	1.360634619	0.011081259	0.010708323	-0.0315932667546264+0.00675683411909	0.032307728	0.00053731	64.6484375
335	1.713548387	1732	1.313836158	0.010700123	0.010867917	0.0274331366692502+0.006637462851686	0.028224686	0.0004694	64.84375
336	1.718709677	1757	1.39857131	0.011390222	0.01102989	-0.0198424249281888-0.0217233333500	0.029421506	0.00048931	65.0390625
337	1.723870968	1689	1.179925408	0.00960953	0.011194278	0.0104579494541485+0.031028879749347	0.032743856	0.00054456	65.234375
338	1.729032258	1737	1.330362182	0.010834714	0.011361115	-0.00314759894660864-0.03191299470395	0.032067844	0.00053332	65.4296875
339	1.734193548	1762	1.416163171	0.011533493	0.011533493	0.000563790818395258+0.0273594945684	0.027365303	0.00045511	65.625
340	1.739354839	1775	1.462944554	0.01191449	0.01191449	-0.000721868785569022-0.0228266877607	0.022838099	0.00037982	65.8203125
341	1.744516129	1763	1.419708008	0.011562363	0.011562363	-0.000256555754749515+0.020929992761	0.020931565	0.00034811	66.015625
342	1.749677419	1814	1.612766815	0.01313467	0.01313467	0.00485972237012829-0.02065776035236	0.021221686	0.00035294	66.2109375
343	1.75483871	1792	1.526459837	0.01243177	0.01243177	-0.0112218493262047+0.01959051837743	0.022576942	0.00037548	66.40625
344	1.76	1749	1.370877742	0.011164681	0.011164681	0.0162136736886543-0.017749692872322	0.024040275	0.00039981	66.6015625
345	1.76516129	1819	1.633052924	0.013299884	0.013299884	-0.0186237741724153+0.01713619465975	0.025307986	0.0004209	66.796875
346	1.770322581	1808	1.588755845	0.01293912	0.01293912	0.0215104352157304-0.019064602980990	0.028742963	0.00047802	66.9921875
347	1.775483871	1801	1.561194483	0.012714655	0.012714655	-0.0282667857583252+0.02093463856856	0.035174853	0.00058499	67.1875

指数関数近似を用いた外挿

= 8*10^(-5)*EXP(2.8663*A3)

=215.94*EXP(-3.0367*A637)

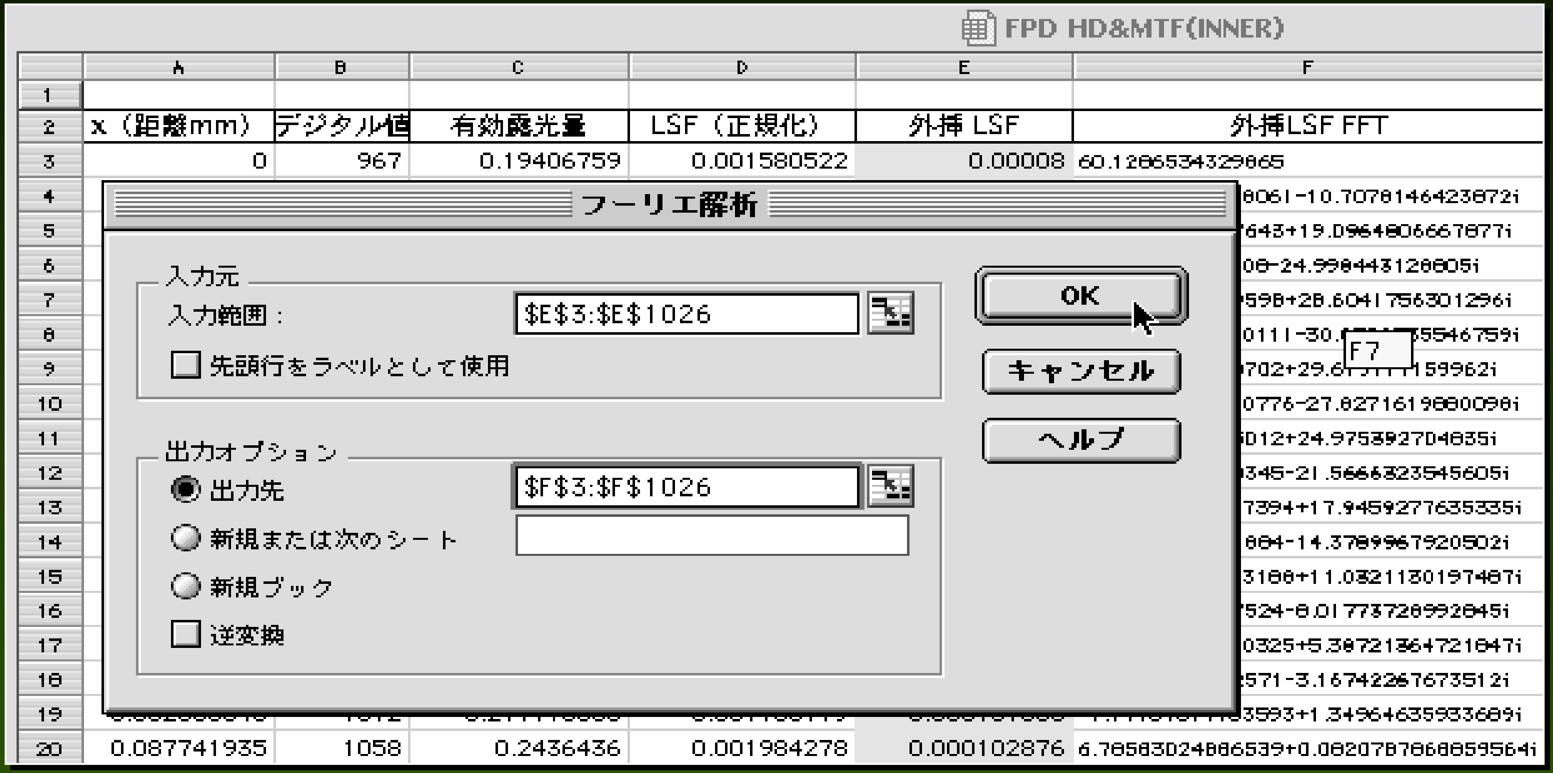
高速フーリエ変換によるMTF計算過程のワークシート



0.01

グレア･量子化誤差

メニュー 「ツール」→「分析ツール」→「フーリエ解析」



	A	B	C	D	E	F
1						
2	x（距離mm）	デジタル値	有効露光量	LSF（正規化）	外挿 LSF	外挿LSF FFT
3	0	967	0.19406759	0.001580522	0.00008	60.1286534329865
20	0.087741935	1058	0.2436436	0.001984278	0.000102876	6.78583024886539+0.0820787868859564i

フーリエ解析

入力元

入力範囲：$E$3:$E$1026

□ 先頭行をラベルとして使用

出力オプション

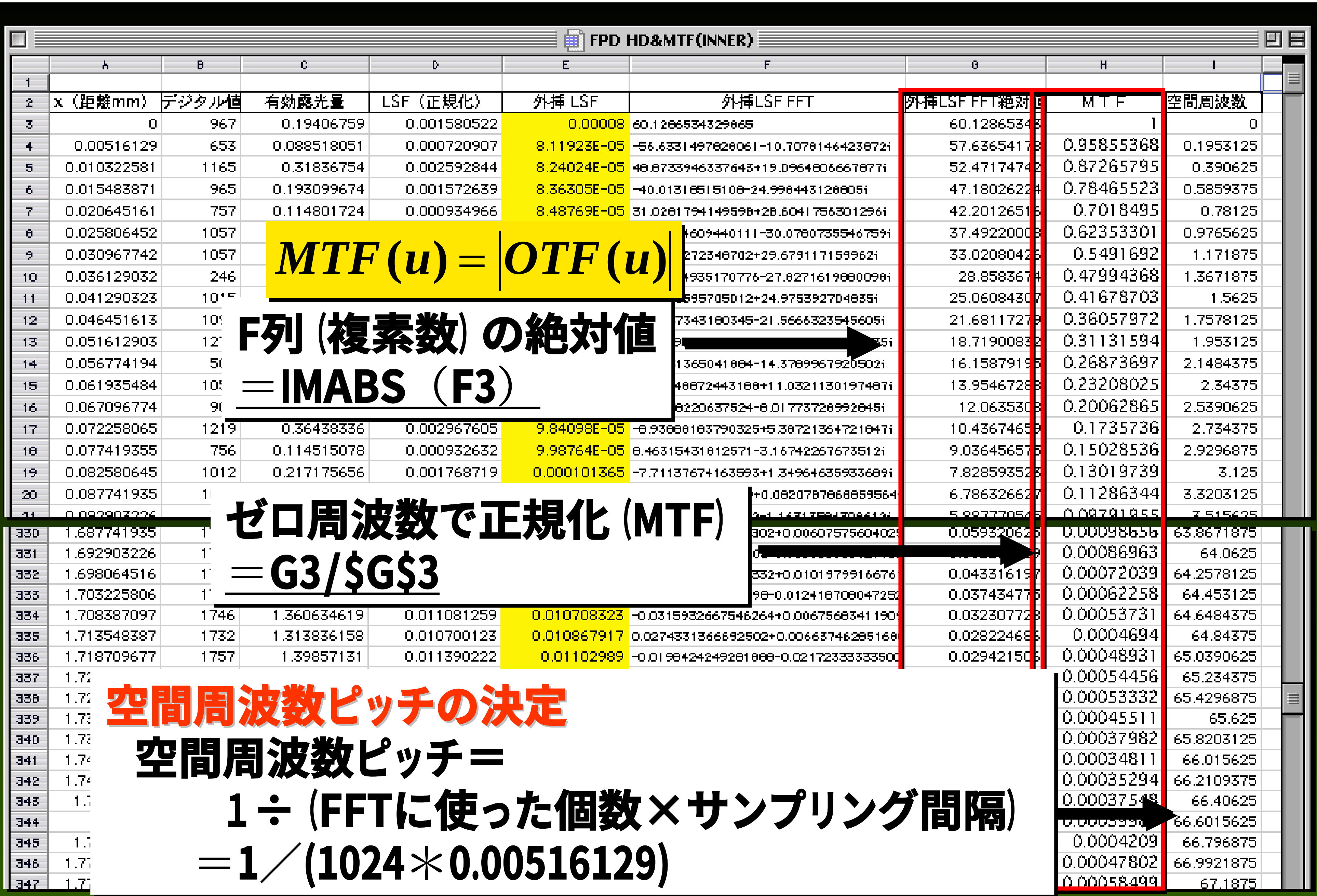
● 出力先 $F$3:$F$1026

○ 新規または次のシート

○ 新規ブック

□ 逆変換

FFTは2のべき乗 ！ 512, 1024, 2048, ・・・・・・・



FPD HD&MTF(INNER)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	x（距離mm）	デジタル値	有効露光量	LSF（正規化）	外挿 LSF	外挿LSF FFT	外挿LSF FFT絶対値	M T F	空間周波数
3	0	967	0.19406759	0.001580522	0.00008	60.1286534329865	60.12865343	1	0
4	0.00516129	653	0.088518051	0.000720907	8.11923E-05	-56.6331497828061-10.7078146423872i	57.63654178	0.95855368	0.1953125
5	0.010322581	1165	0.31836754	0.002592844	8.24024E-05	48.8733946337643+19.0964806667877i	52.47174742	0.87265795	0.390625
6	0.015483871	965	0.193099674	0.001572639	8.36305E-05	-40.01316515108-24.998443128805i	47.18026224	0.78465523	0.5859375
7	0.020645161	757	0.114801724	0.000934966	8.48769E-05	31.0281794149598+28.6041756301296i	42.20126516	0.7018495	0.78125
8	0.025806452	1057				4609440111-30.0780735546759i	37.49220008	0.62353301	0.9765625
9	0.030967742	1057				272348702+29.679117159962i	33.02080426	0.5491692	1.171875
10	0.036129032	246				4935170776-27.8271619880098i	28.85836744	0.47994368	1.3671875
11	0.041290323	101				595705012+24.975392704835i	25.06084307	0.41678703	1.5625
12	0.046451613	10				7343180345-21.5666323545605i	21.68117279	0.36057972	1.7578125
13	0.051612903	12				5i	18.71900832	0.31131594	1.953125
14	0.056774194	5				1365041884-14.3789967920502i	16.15879195	0.26873697	2.1484375
15	0.061935484	10				48872443188+11.0321130197487i	13.95467288	0.23208025	2.34375
16	0.067096774	9				8220637524-8.01773728992845i	12.06353008	0.20062865	2.5390625
17	0.072258065	1219	0.36438336	0.002967605	9.84098E-05	-8.93888183790325+5.38721364721847i	10.43674659	0.1735736	2.734375
18	0.077419355	756	0.114515078	0.000932632	9.98764E-05	8.46315431812571-3.16742267673512i	9.036456575	0.15028536	2.9296875
19	0.082580645	1012	0.217175656	0.001768719	0.000101365	-7.71137674163593+1.34964635933689i	7.828593523	0.13019739	3.125
20	0.087741935	1				+0.0820787868859564	6.786326627	0.11286344	3.3203125
21	0.092903226						5.88777054	0.09791955	3.515625
330	1.687741935	1				302+0.00607575604025	0.059320626	0.00098656	63.8671875
331	1.692903226	1						0.00086963	64.0625
332	1.698064516	1				332+0.0101979916676	0.043316197	0.00072039	64.2578125
333	1.703225806	1				98-0.01241870804725	0.037434776	0.00062258	64.453125
334	1.708387097	1746	1.360634619	0.011081259	0.010708323	-0.0315932667546264+0.00675683411909	0.032307728	0.00053731	64.6484375
335	1.713548387	1732	1.313836158	0.010700123	0.010867917	0.0274331366692502+0.00663746285168	0.028224686	0.0004694	64.84375
336	1.718709677	1757	1.39857131	0.011390222	0.01102989	-0.0198424249281868-0.02172333333500	0.029421506	0.00048931	65.0390625
337	1.72							0.00054456	65.234375
338	1.72							0.00053332	65.4296875
339	1.73							0.00045511	65.625
340	1.73							0.00037982	65.8203125
341	1.74							0.00034811	66.015625
342	1.74							0.00035294	66.2109375
343	1.7							0.00037548	66.40625
344								[illegible]	66.6015625
345	1.7							0.0004209	66.796875
346	1.77							0.00047802	66.9921875
347	1.77							0.00058499	67.1875

$$MTF(u) = \left|OTF(u)\right|$$

F列（複素数）の絶対値
＝IMABS（F3）

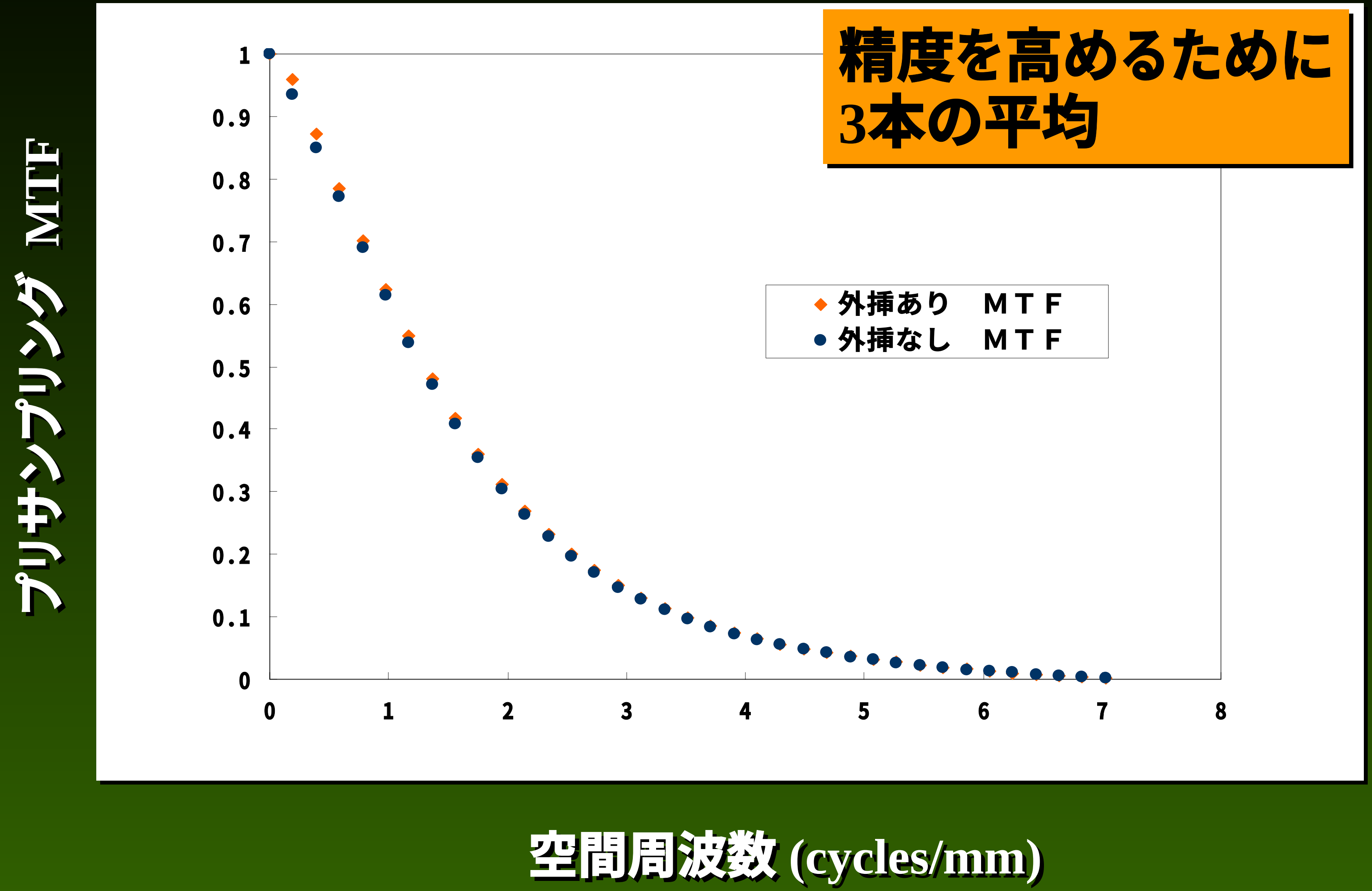
ゼロ周波数で正規化（MTF）
＝G3/$G$3

空間周波数ピッチの決定

空間周波数ピッチ＝
1÷（FFTに使った個数×サンプリング間隔）
＝1／(1024＊0.00516129)

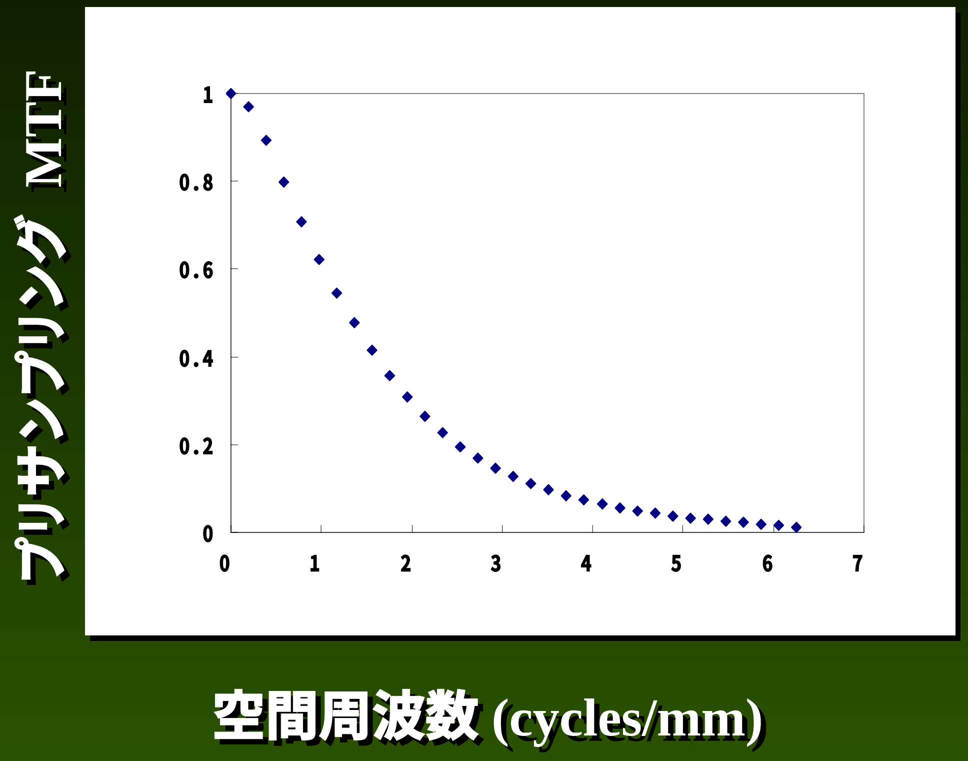
高速フーリエ変換によるMTF計算過程のワークシート

精度を高めるために
3本の平均

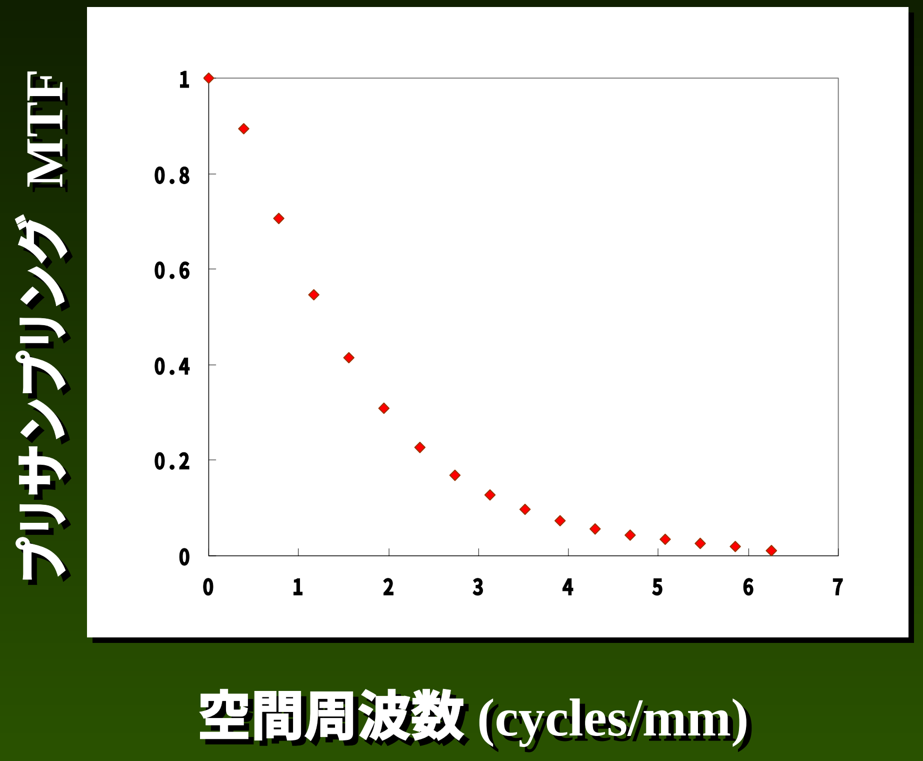


FFTにおける計算個数の違いによるMTFの比較

1024点



512点



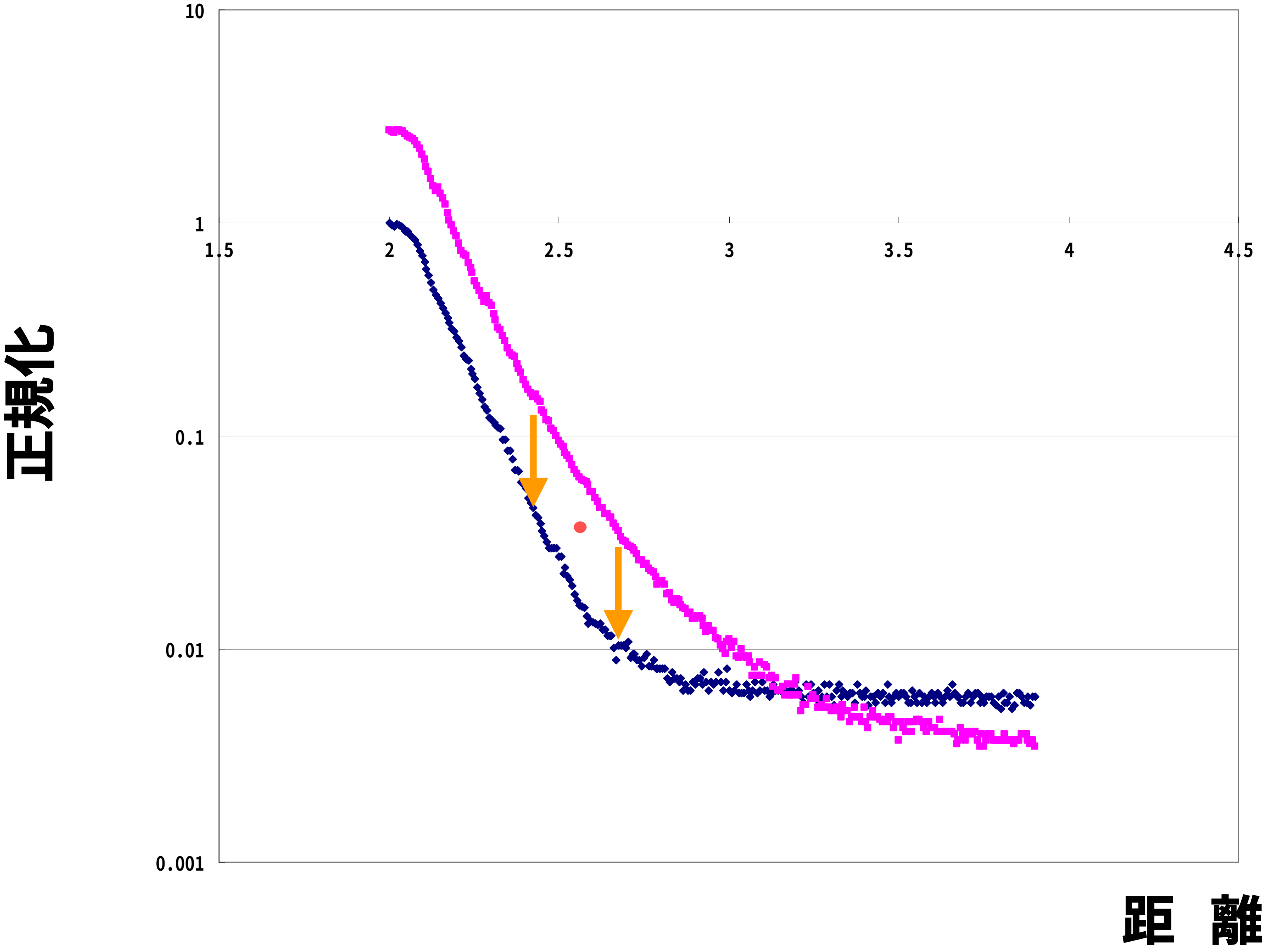
倍数露光法はデジタルに必要？

シーメンス　FPD (12bit)　距離　180cm

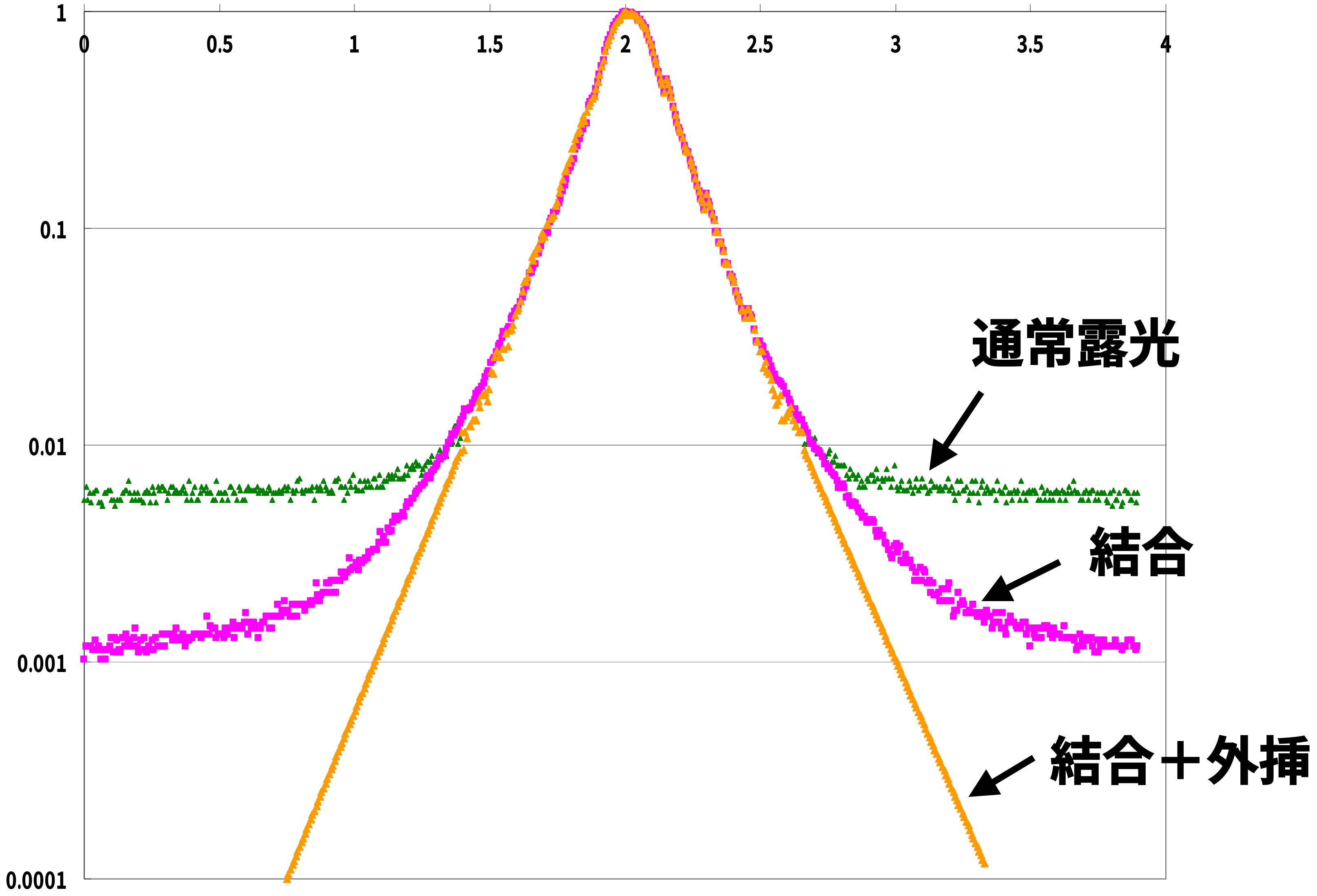
通常露光　120kV　10mAs

倍数露光　120kV　100mAs

通常露光と10倍露光のLSF



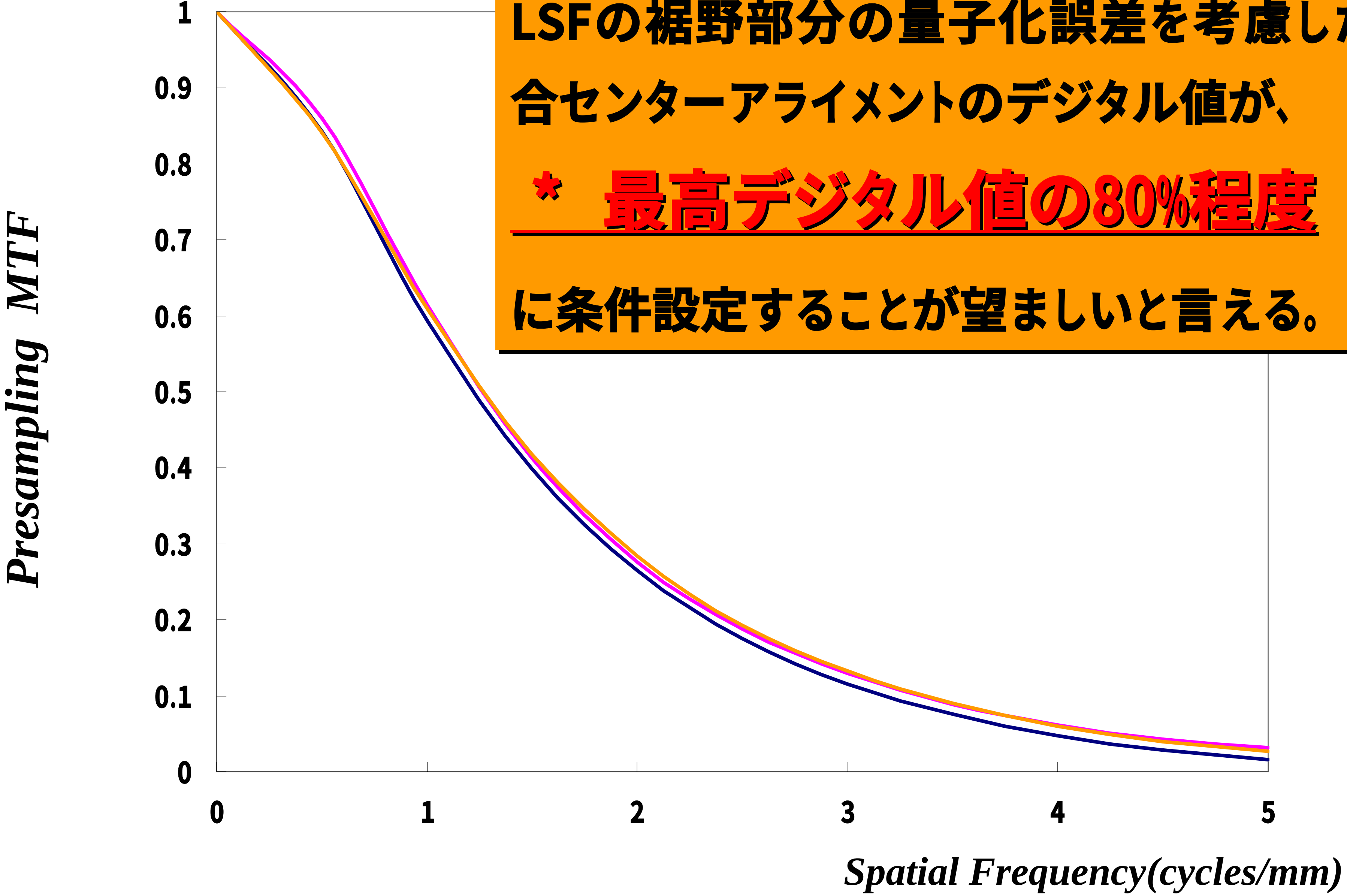
通常露光＆結合＆外挿　LSF



LSFの裾野部分の量子化誤差を考慮した場合センターアライメントのデジタル値が、

＊　最高デジタル値の80%程度

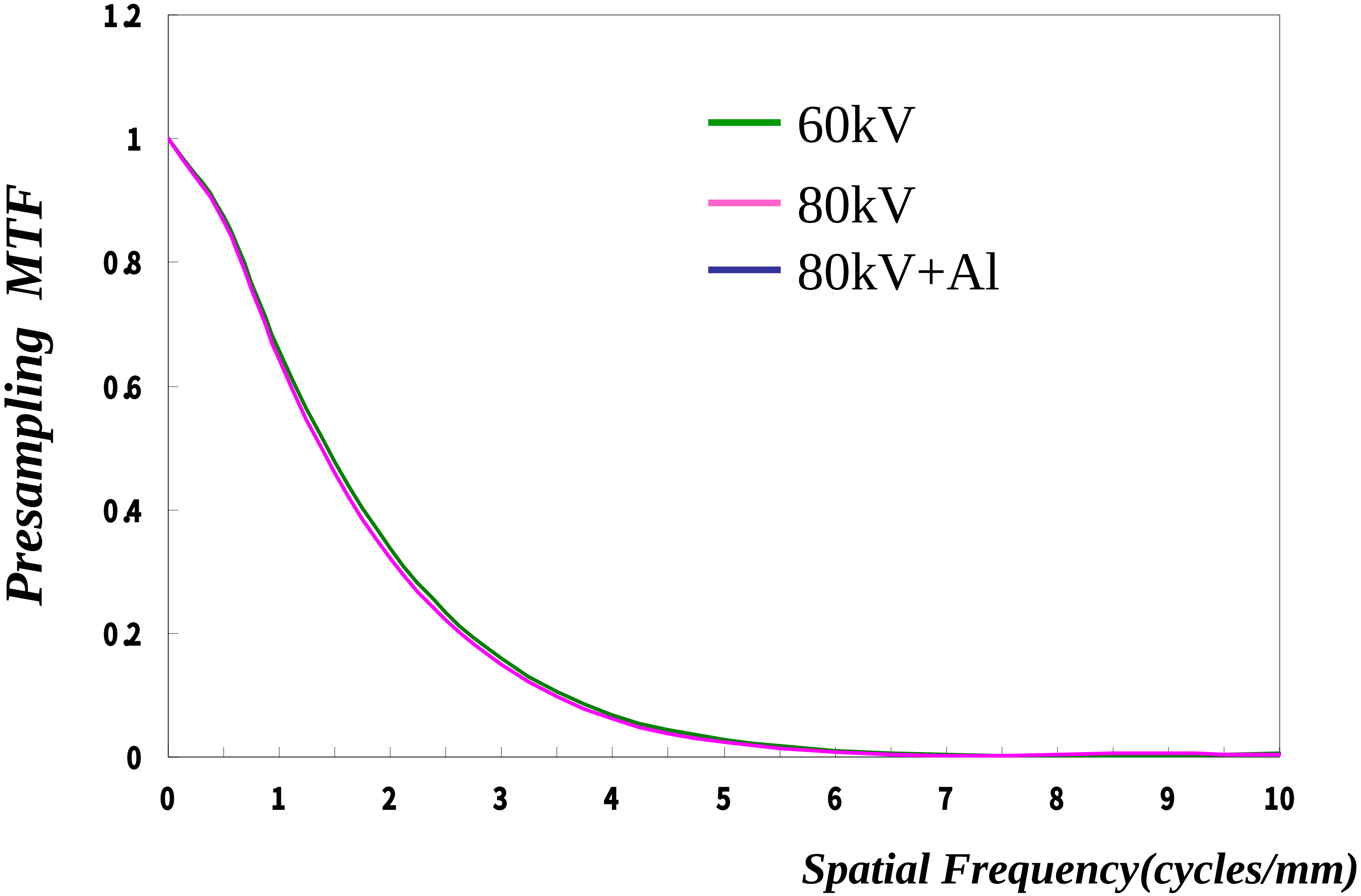
に条件設定することが望ましいと言える。



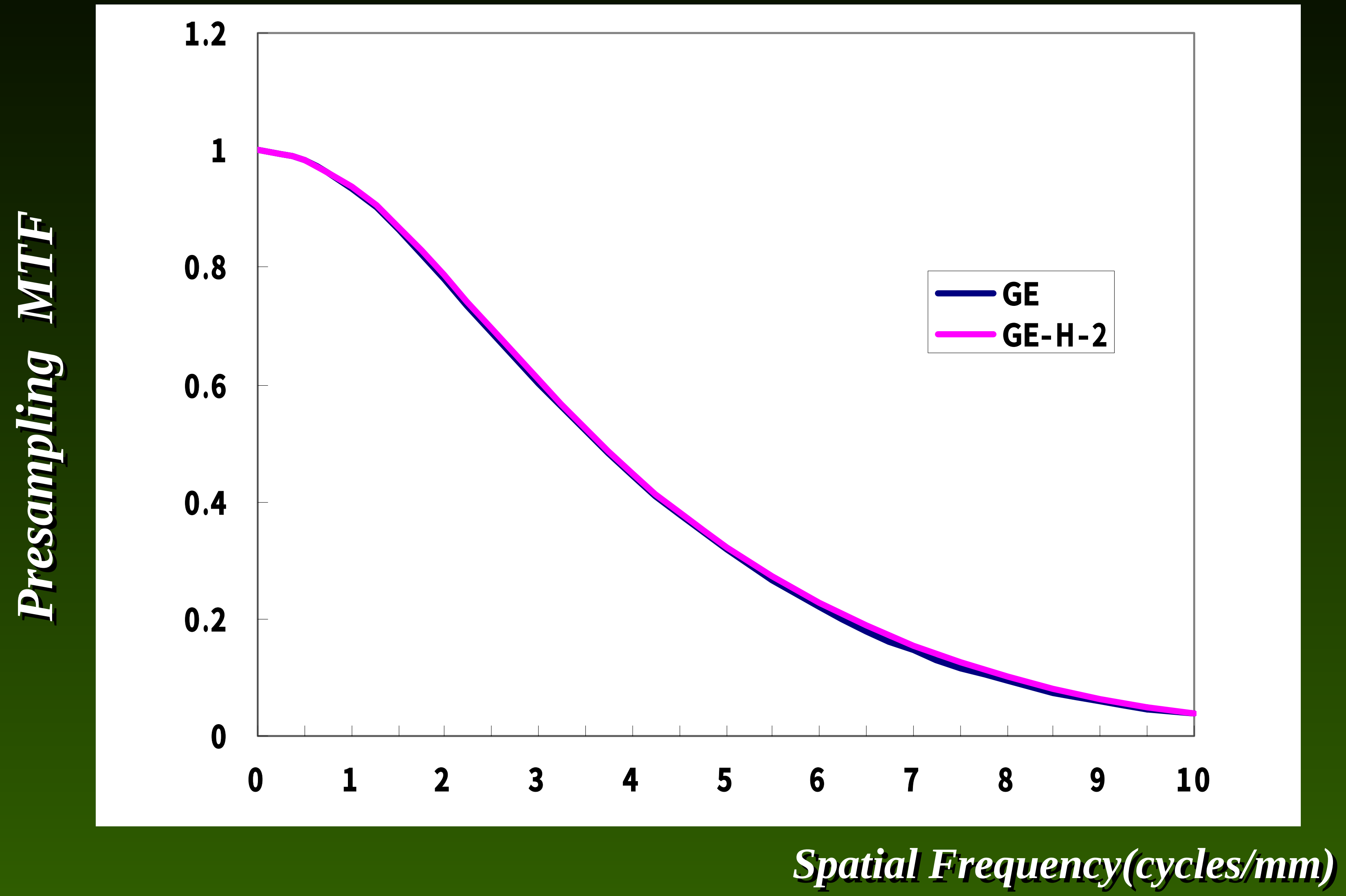
MTFの電圧依存性

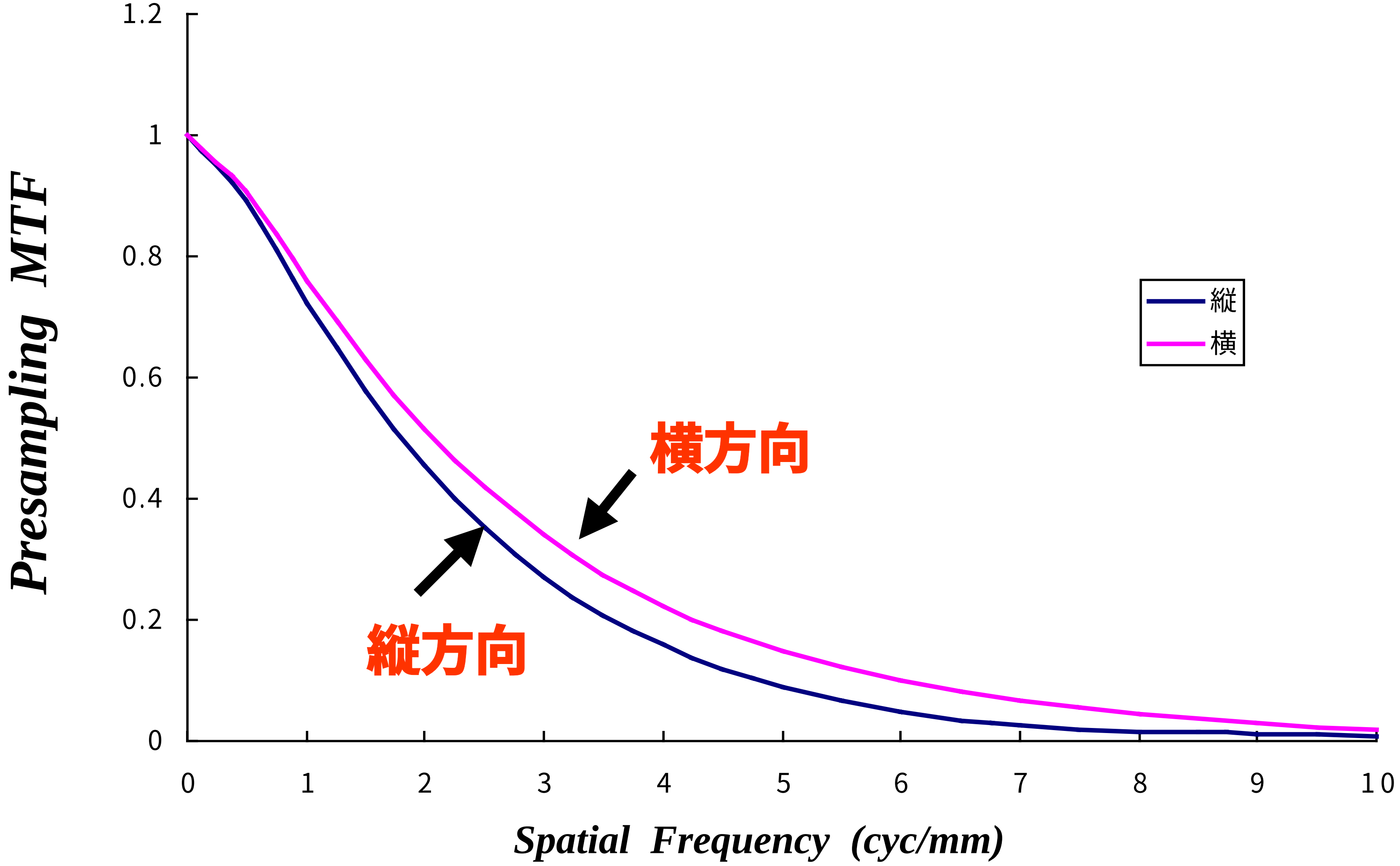
水平方向、垂直方向のMTF

ST-V(100μ）の各管電圧におけるPre-sampling MTF



GE FPDのMTF　水平方向＆垂直方向





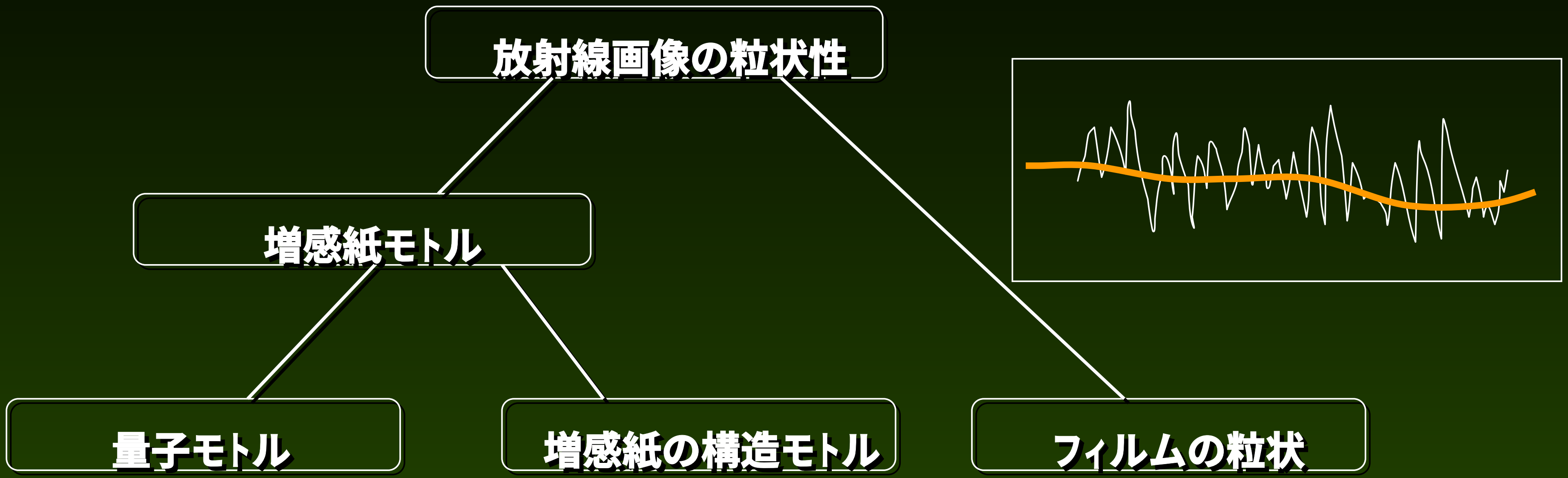
Konica REGIUS MTF

横方向

縦方向

Digital Wiener Spectrum

不規則現象の統計的な解析方法の一つに、パワースペクトル密度関数がある。画像の世界では、これをウイナースペクトルとよんでいる。



放射線画像の粒状性

増感紙モトル

量子モトル

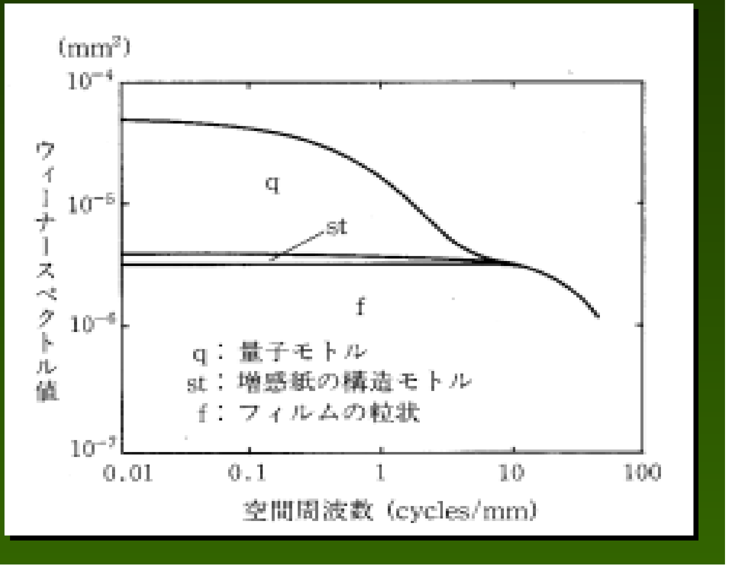
増感紙の構造モトル

フィルムの粒状

$$W(u) = \lim_{X \to \infty} \frac{1}{X} \overline{|F(u)|^2}$$

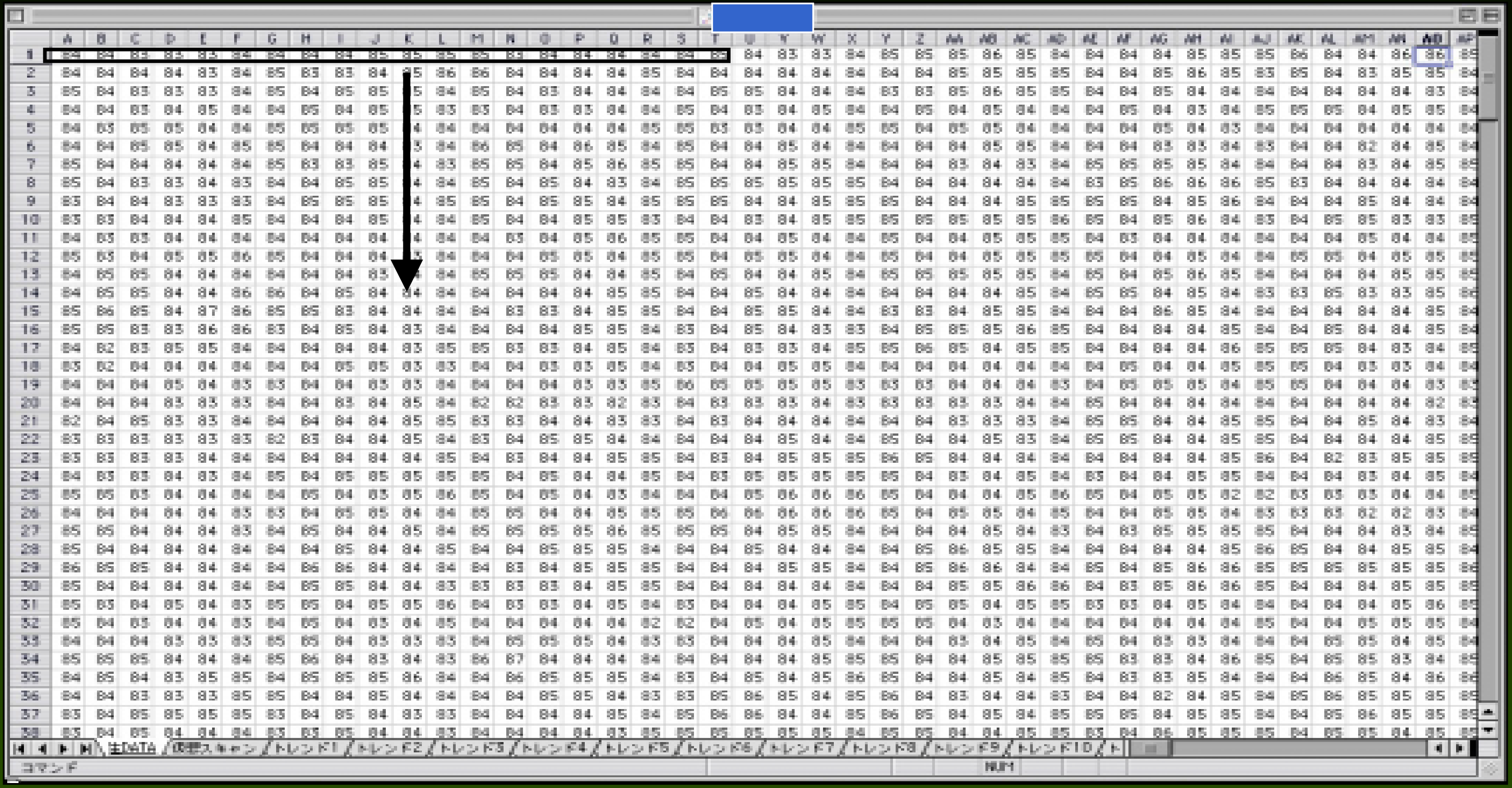
ここで *W(u)* はパワースペクトル密度関数、*F(u)* は

$$F(u) = \int_{-\frac{X}{2}}^{\frac{X}{2}} \Delta f(x) e^{-j2\pi ux} dx$$

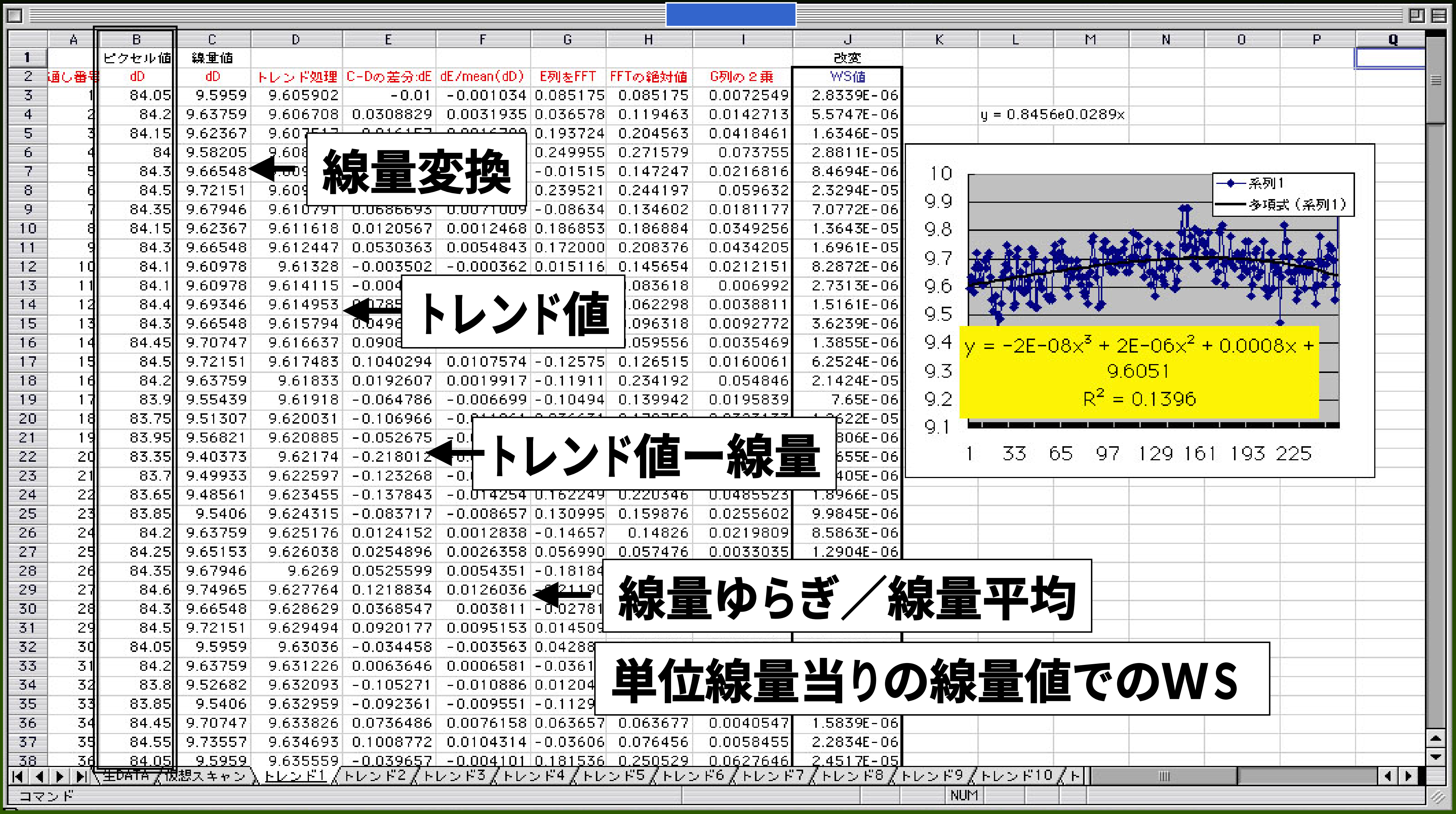


WS

- FPDに一様露光 (4.15 μ Gy) したデジタル画像データから256×256の関心領域を抽出し、ピクセル値をデジタル特性曲線により照射線量に変換した。
- 高さ3mmの仮想スリットを定義し、15ピクセル間隔で走査を行い、合計300本の走査データを得た。
- 各走査データに対してトレンド処理を行い、照射線量のゆらぎに対して照射線量の平均値で除した後、高速フーリエ変換(FFT) し、**デジタルWS**を求めた。


生DATA
仮想スキャン
トレンドF1
トレンドF2
トレンドF3
トレンドF4
トレンドF5
トレンドF6
トレンドF7
トレンドF8
トレンドF9
トレンドF10
コマンド
NUM

高さ　3mm、幅1ピクセルの仮想スリット（太線枠）で、
均一照射より得られたデジタルデータを、矢印の方向にスキャンする。



$y = -2E\text{-}08x^3 + 2E\text{-}06x^2 + 0.0008x + 9.6051$

$R^2 = 0.1396$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		ピクセル値	線量値							改変
2	通し番号	dD	dD	トレンド処理	C-Dの差分:dE	dE/mean(dD)	E列をFFT	FFTの絶対値	G列の２乗	WS値
3	1	84.05	9.5959	9.605902	-0.01	-0.001034	0.085175	0.085175	0.0072549	2.8339E-06
4	2	84.2	9.63759	9.606708	0.0308829	0.0031935	0.036578	0.119463	0.0142713	5.5747E-06
5	3	84.15	9.62367	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.193724	0.204563	0.0418461	1.6346E-05
6	4	84	9.58205	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.249955	0.271579	0.073755	2.8811E-05
7	5	84.3	9.66548	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.01515	0.147247	0.0216816	8.4694E-06
8	6	84.5	9.72151	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.239521	0.244197	0.059632	2.3294E-05
9	7	84.35	9.67946	9.610791	0.0686693	0.0071009	-0.08634	0.134602	0.0181177	7.0772E-06
10	8	84.15	9.62367	9.611618	0.0120567	0.0012468	0.186853	0.186884	0.0349256	1.3643E-05
11	9	84.3	9.66548	9.612447	0.0530363	0.0054843	0.172000	0.208376	0.0434205	1.6961E-05
12	10	84.1	9.60978	9.61328	-0.003502	-0.000362	0.015116	0.145654	0.0212151	8.2872E-06
13	11	84.1	9.60978	9.614115	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.006992	2.7313E-06
14	12	84.4	9.69346	9.614953	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0038811	1.5161E-06
15	13	84.3	9.66548	9.615794	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0092772	3.6239E-06
16	14	84.45	9.70747	9.616637	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0035469	1.3855E-06
17	15	84.5	9.72151	9.617483	0.1040294	0.0107574	-0.12575	0.126515	0.0160061	6.2524E-06
18	16	84.2	9.63759	9.61833	0.0192607	0.0019917	-0.11911	0.234192	0.054846	2.1424E-05
19	17	83.9	9.55439	9.61918	-0.064786	-0.006699	-0.10494	0.139942	0.0195839	7.65E-06
20	18	83.75	9.51307	9.620031	-0.106966	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
21	19	83.95	9.56821	9.620885	-0.052675	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
22	20	83.35	9.40373	9.62174	-0.218012	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
23	21	83.7	9.49933	9.622597	-0.123268	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
24	22	83.65	9.48561	9.623455	-0.137843	-0.014254	0.162249	0.220346	0.0485523	1.8966E-05
25	23	83.85	9.5406	9.624315	-0.083717	-0.008657	0.130995	0.159876	0.0255602	9.9845E-06
26	24	84.2	9.63759	9.625176	0.0124152	0.0012838	-0.14657	0.14826	0.0219809	8.5863E-06
27	25	84.25	9.65153	9.626038	0.0254896	0.0026358	0.056990	0.057476	0.0033035	1.2904E-06
28	26	84.35	9.67946	9.6269	0.0525599	0.0054351	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
29	27	84.6	9.74965	9.627764	0.1218834	0.0126036	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
30	28	84.3	9.66548	9.628629	0.0368547	0.003811	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
31	29	84.5	9.72151	9.629494	0.0920177	0.0095153	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
32	30	84.05	9.5959	9.63036	-0.034458	-0.003563	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
33	31	84.2	9.63759	9.631226	0.0063646	0.0006581	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
34	32	83.8	9.52682	9.632093	-0.105271	-0.010886	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
35	33	83.85	9.5406	9.632959	-0.092361	-0.009551	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
36	34	84.45	9.70747	9.633826	0.0736486	0.0076158	0.063657	0.063677	0.0040547	1.5839E-06
37	35	84.55	9.73557	9.634693	0.1008772	0.0104314	-0.03606	0.076456	0.0058455	2.2834E-06
38	36	84.05	9.5959	9.635559	-0.039657	-0.004101	0.181536	0.250529	0.0627646	2.4517E-05

線量変換

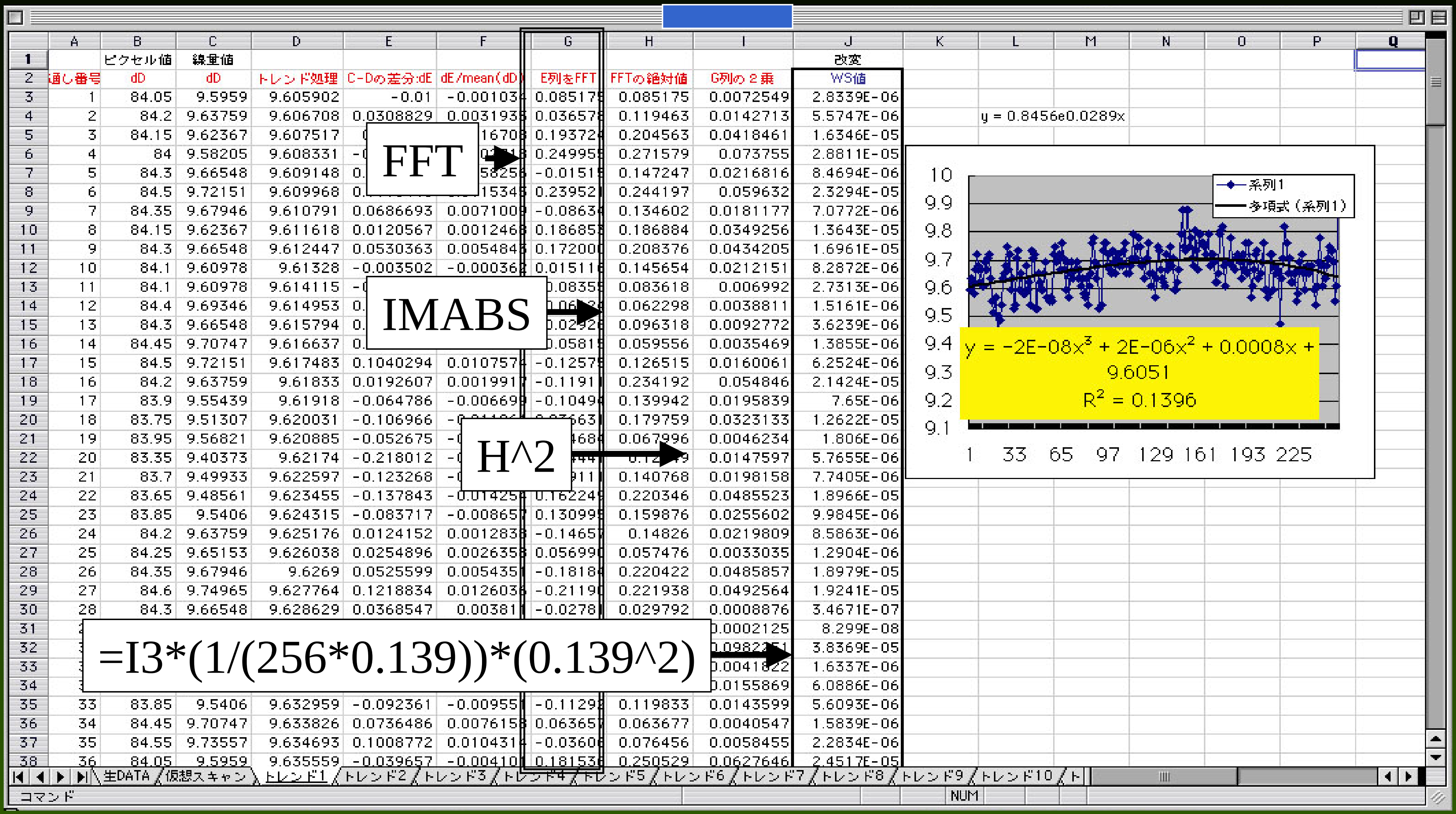
トレンド値

トレンド値ー線量

線量ゆらぎ／線量平均

単位線量当りの線量値でのWS

大阪大学 (松本先生より)



FFT

IMABS

H^2

=I3*(1/(256*0.139))*(0.139^2)

y = 0.8456e0.0289x

y = -2E-08x^3 + 2E-06x^2 + 0.0008x + 9.6051

R^2 = 0.1396

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		ピクセル値	線量値							改変
2	通し番号	dD	dD	トレンド処理	C-Dの差分:dE	dE/mean(dD)	E列をFFT	FFTの絶対値	G列の２乗	WS値
3	1	84.05	9.5959	9.605902	-0.01	-0.001034	0.085175	0.085175	0.0072549	2.8339E-06
4	2	84.2	9.63759	9.606708	0.0308829	0.0031935	0.036578	0.119463	0.0142713	5.5747E-06
5	3	84.15	9.62367	9.607517	0	16708	0.193724	0.204563	0.0418461	1.6346E-05
6	4	84	9.58205	9.608331	-0	02718	0.249955	0.271579	0.073755	2.8811E-05
7	5	84.3	9.66548	9.609148	0.	58256	-0.01515	0.147247	0.0216816	8.4694E-06
8	6	84.5	9.72151	9.609968	0.	15345	0.239521	0.244197	0.059632	2.3294E-05
9	7	84.35	9.67946	9.610791	0.0686693	0.0071009	-0.08634	0.134602	0.0181177	7.0772E-06
10	8	84.15	9.62367	9.611618	0.0120567	0.0012468	0.186853	0.186884	0.0349256	1.3643E-05
11	9	84.3	9.66548	9.612447	0.0530363	0.0054845	0.172000	0.208376	0.0434205	1.6961E-05
12	10	84.1	9.60978	9.61328	-0.003502	-0.000362	0.015116	0.145654	0.0212151	8.2872E-06
13	11	84.1	9.60978	9.614115	-0		0.08355	0.083618	0.006992	2.7313E-06
14	12	84.4	9.69346	9.614953	0.		0.06	0.062298	0.0038811	1.5161E-06
15	13	84.3	9.66548	9.615794	0.		0.02926	0.096318	0.0092772	3.6239E-06
16	14	84.45	9.70747	9.616637	0.		0.05815	0.059556	0.0035469	1.3855E-06
17	15	84.5	9.72151	9.617483	0.1040294	0.0107574	-0.12575	0.126515	0.0160061	6.2524E-06
18	16	84.2	9.63759	9.61833	0.0192607	0.0019917	-0.11911	0.234192	0.054846	2.1424E-05
19	17	83.9	9.55439	9.61918	-0.064786	-0.006699	-0.10494	0.139942	0.0195839	7.65E-06
20	18	83.75	9.51307	9.620031	-0.106966	-0	631	0.179759	0.0323133	1.2622E-05
21	19	83.95	9.56821	9.620885	-0.052675	-0	4684	0.067996	0.0046234	1.806E-06
22	20	83.35	9.40373	9.62174	-0.218012	-0	444	0.12[illegible]9	0.0147597	5.7655E-06
23	21	83.7	9.49933	9.622597	-0.123268	-0	911	0.140768	0.0198158	7.7405E-06
24	22	83.65	9.48561	9.623455	-0.137843	-0.014254	0.162249	0.220346	0.0485523	1.8966E-05
25	23	83.85	9.5406	9.624315	-0.083717	-0.008657	0.130995	0.159876	0.0255602	9.9845E-06
26	24	84.2	9.63759	9.625176	0.0124152	0.0012838	-0.14657	0.14826	0.0219809	8.5863E-06
27	25	84.25	9.65153	9.626038	0.0254896	0.0026358	0.056990	0.057476	0.0033035	1.2904E-06
28	26	84.35	9.67946	9.6269	0.0525599	0.0054351	-0.18184	0.220422	0.0485857	1.8979E-05
29	27	84.6	9.74965	9.627764	0.1218834	0.0126036	-0.21190	0.221938	0.0492564	1.9241E-05
30	28	84.3	9.66548	9.628629	0.0368547	0.003811	-0.0278	0.029792	0.0008876	3.4671E-07
31	2								0.0002125	8.299E-08
32	3								0.09822	3.8369E-05
33	3								0.0041822	1.6337E-06
34	3								0.0155869	6.0886E-06
35	33	83.85	9.5406	9.632959	-0.092361	-0.009551	-0.11292	0.119833	0.0143599	5.6093E-06
36	34	84.45	9.70747	9.633826	0.0736486	0.0076158	0.063657	0.063677	0.0040547	1.5839E-06
37	35	84.55	9.73557	9.634693	0.1008772	0.0104314	-0.03606	0.076456	0.0058455	2.2834E-06
38	36	84.05	9.5959	9.635559	-0.039657	-0.004101	0.181536	0.250529	0.0627646	2.4517E-05

大阪大学 (松本先生より)

WSをデジタル計算するとき、試料の全長Xを、サンプリング間隔ΔXで離散的に読み取ったデータをFFTにかける。

このときFFT演算にはΔXを省略してデジタル値を線量に変換した値のみで計算しFxを得る。

したがってWSは、サンプリング間隔と試料の全長を含めた計算

$$X = N \times \Delta X$$

=I3*(1/(256*0.1))*(0.1^2)

$$W(u) = \frac{1}{X} \left| Fx \times \Delta X \right|^{2} \Delta X$$

$$= \frac{(\Delta X)^{2}}{N \times \Delta X} \left| Fx \right|^{2} = \frac{\Delta X}{N} \left| Fx \right|^{2}$$

曲線で囲まれた図形の面積を求めるとき、棒グラフ上に区切ったあと、それぞれの高さだけを演算(この場合積算)し最後に横の長さを掛けて面積を求めることと同じ操作をしていること。

16本の「1次元スキャンデータ」から
平均してWSを求める。

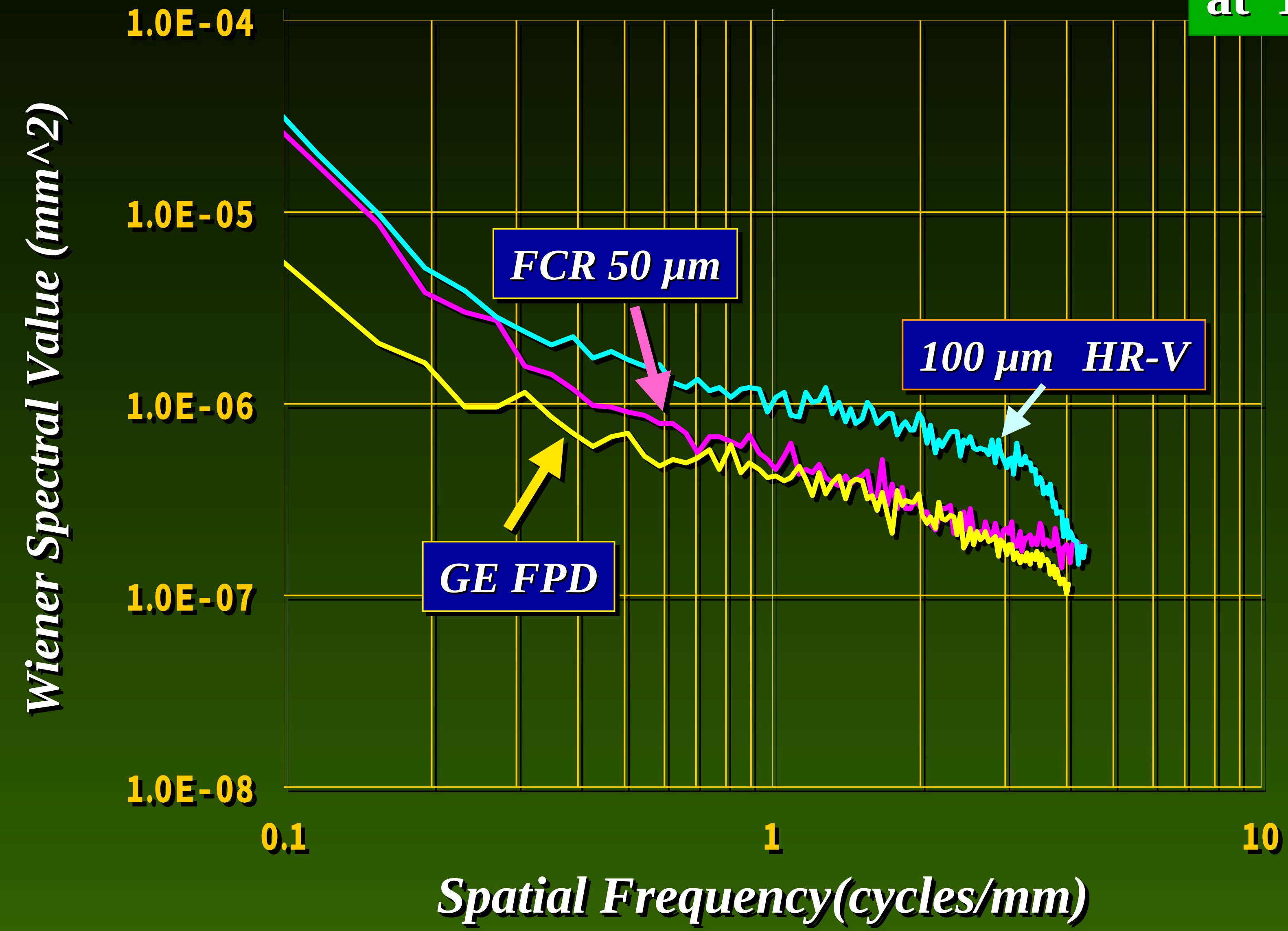
このときのスペクトル値の
理論的標準誤差(SE)は，25%。

100本で　10 %

400本で　 5 %

広島県立保健福祉大学（吉田先生より）

【結 果】



at 1.25 mGy
1.0E-04
1.0E-05
1.0E-06
1.0E-07
1.0E-08
Wiener Spectral Value (mm^2)
FCR 50 µm
100 µm HR-V
GE FPD
0.1
1
10
Spatial Frequency(cycles/mm)