

Panoramic v7 TRIG & TEMPESTpr2 スーパーグリッド

高精度且つ高速な
DUVリソグラフィ
シミュレーション

課題：大規模な2Dパターンのシミュレーションを、エッジの位置を細かく制御して行いたい（小さなグリッドサイズ）

HyperLith v6ではこれは困難でした：

- RCWA はグリッドサイズに合わせてサイズ調整をすることはできますが、領域サイズには上手く対応できません。
- FDTDは領域サイズには対応できますが、グリッドサイズには上手く対応できません。
- 領域サイズ、グリッドサイズの両方に対応できる厳密なマックスウェルソルバーが必要とされています。

HyperLith v7での2つのソリューション：

1. TRIG: 新たに導入された厳密なシミュレータ
 - a. 厳密、正確、高速
 - b. 領域サイズについてはFDTDのようにサイズ調整が可能（良好）
 - c. グリッドサイズについてはRCWAのようにサイズ調整が可能（良好）
2. FDTD用のサブグリッド分解能機能
 - a. 細かいグリッド上に形状（パターン）を定義
 - b. 粗いグリッド上でFDTDを実行
 - c. 領域サイズ、グリッドサイズの両方について上手くサイズ調整を行うことができる

TRIG

Panoramic Technology 社が新たに提供する、**厳密且つ高速な3D**
マックスウェルシミュレータ

TRIG シミュレータ

- 厳密で高精度な3Dマックスウェルソルバー
- 厳密なEUVについて超高速化を実現（20～30倍）
- DUVについてはTEMPESTTpr2より高速（2～5倍）
- グリッドサイズの縮小に対応
- ドメインサイズの拡大に対応
- FDTDほどメモリーを使わない
- （将来の）NVidia GPU（HSS）バージョンでは超高速化を実現
- バージョン7の別途オプションとして使用可能

TEMPESTpr2

スーパーグリッド

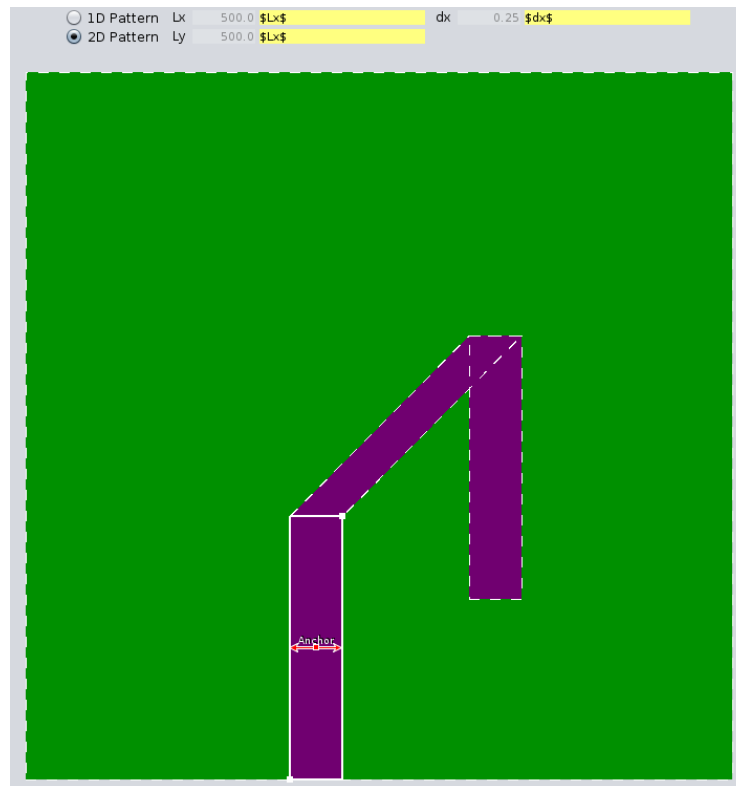
FDTD/TEMPESTpr2用
サブグリッド分解能

TEMPESTpr2/FDTD スーパーグリッド

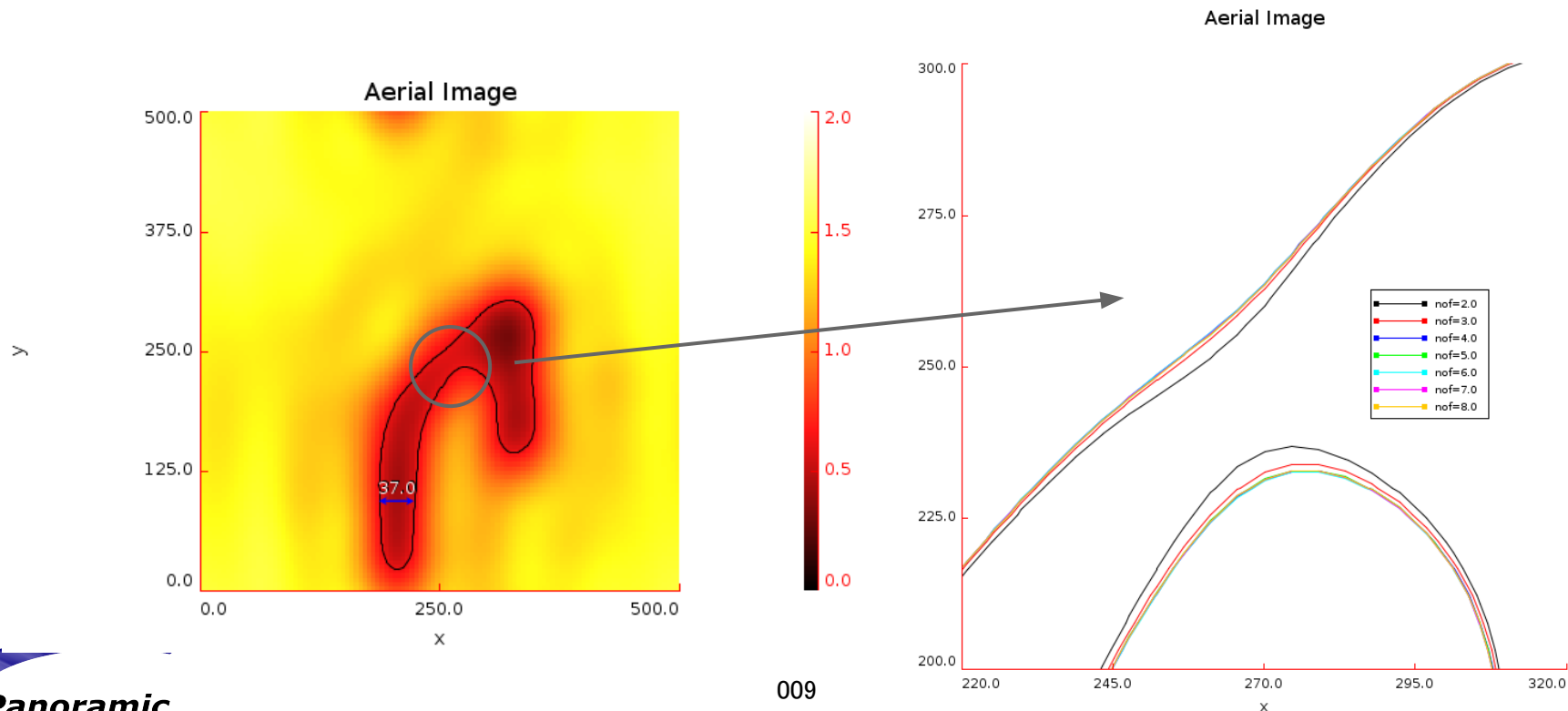
- 形状を細かいグリッド上に定義可能。FDTDは粗いグリッド上で実行
- グリッド割りに問題のあるDUVに有用
- 時間とメモリの節約になる（4～16倍の節減）

500nm x 500nm のベンチマーク

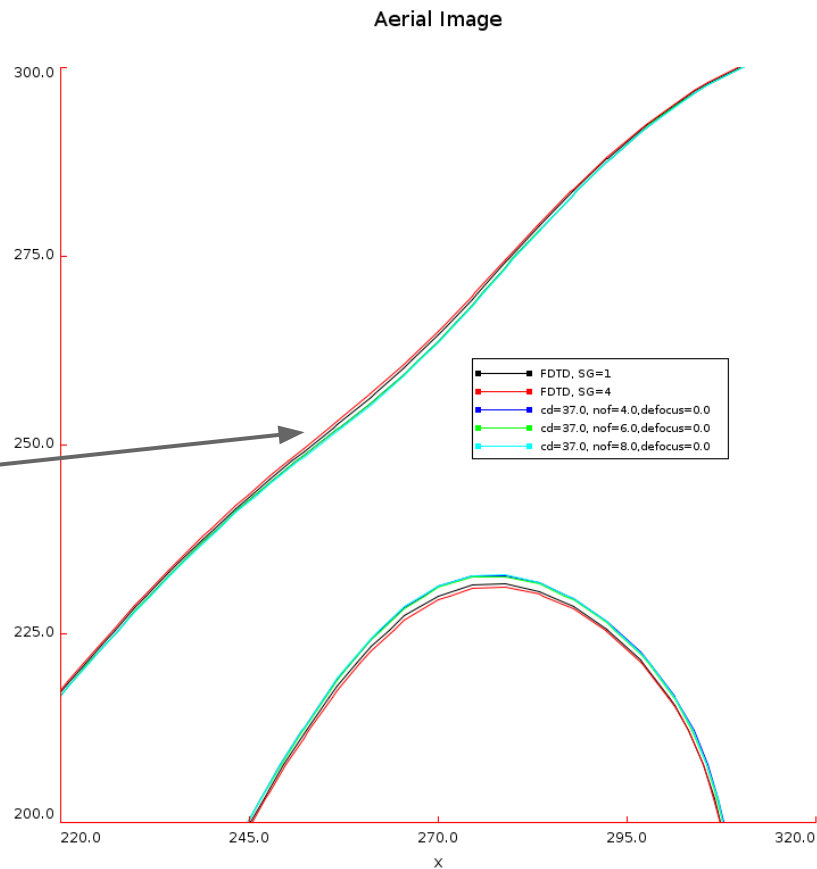
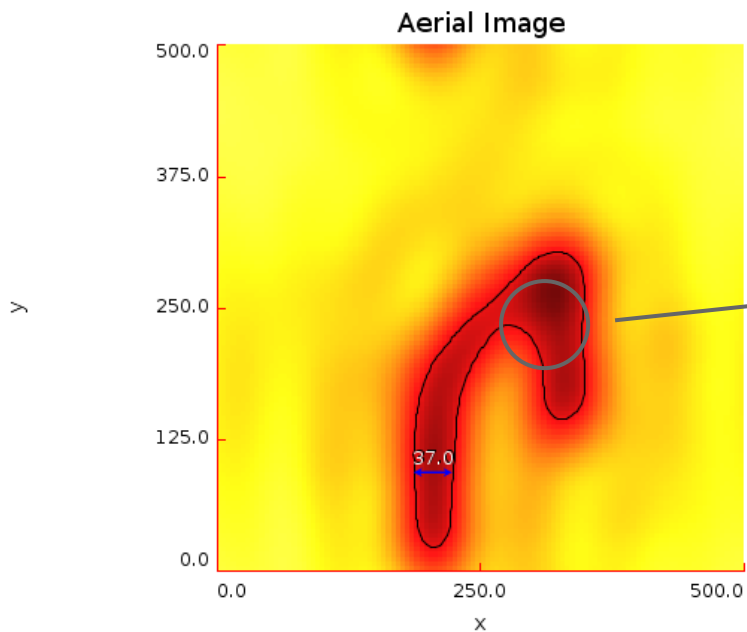
$dx=0.25\text{nm}$ - gives 0.25nm のエッジ配置の精度 (ウエハーユニット)



TRIG の収束 vs. NOF



TRIG vs FDTD



010

タイミングの結果

v7 TRIG, NOF=4.0, dz=3.7778nm: 163s

v7 TRIG, NOF=6.0, dz=3.7778nm: 193s

v7 FDTD, SG=4, dz=3.7778nm: 238s

v7 FDTD, SG=1, dz=3.7778nm: 11,300s (v6ではもっと遅くなります)

v7 RCWA, NOF=4 (大きすぎます!)

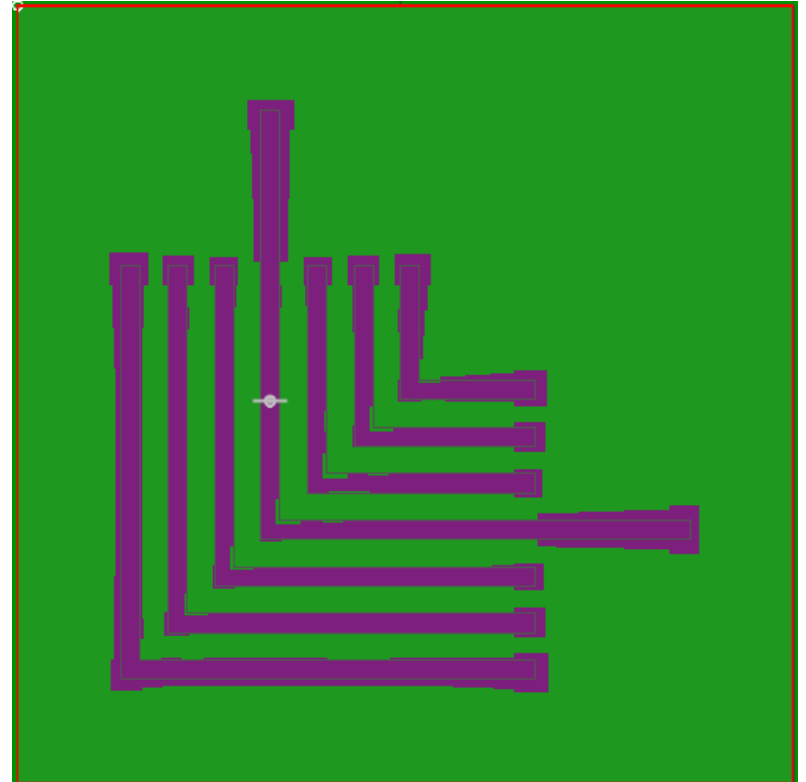
v7 RCWA, NOF=2: 2038s (v6ではもっと遅くなります)

500x500のベンチマークの結論

- NOF=4 (163s)のTRIGは正確
- SG=4 (238s) のFDTDは、SG=1 (11,300s) のFDTDとほぼ同じ解に
- TRIGもSGのFDTDも共に、高いエッジ配置精度で500x500の領域のシミュレーションを行うことが可能
- NOF=4以上の場合にもTRIGは良好に収束すること、また、ここには記されていませんが、その他の要因を考慮すると、TRIGの方がFDTDより精度が高いと考えられます。

等密度エルボーのベンチマーク

- 1500nm x 1500nm (ウエハー)
- 37nm nominal feature size
- dx=0.5nm (ウエハー)
- Att. PSM (68nmの吸収材)
- パターンはPanOPCで作成
- アンカーポイントは真ん中のライン上に表示されています
- これは大規模なシミュレーションになります!

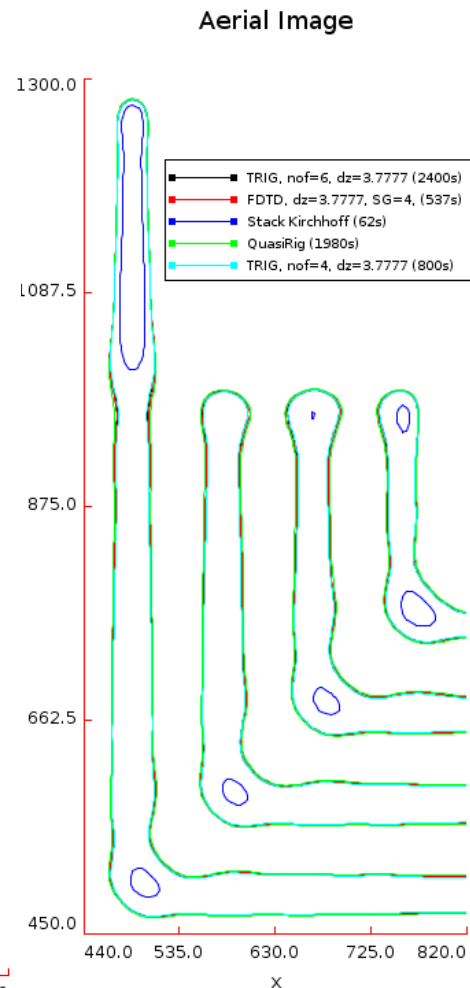
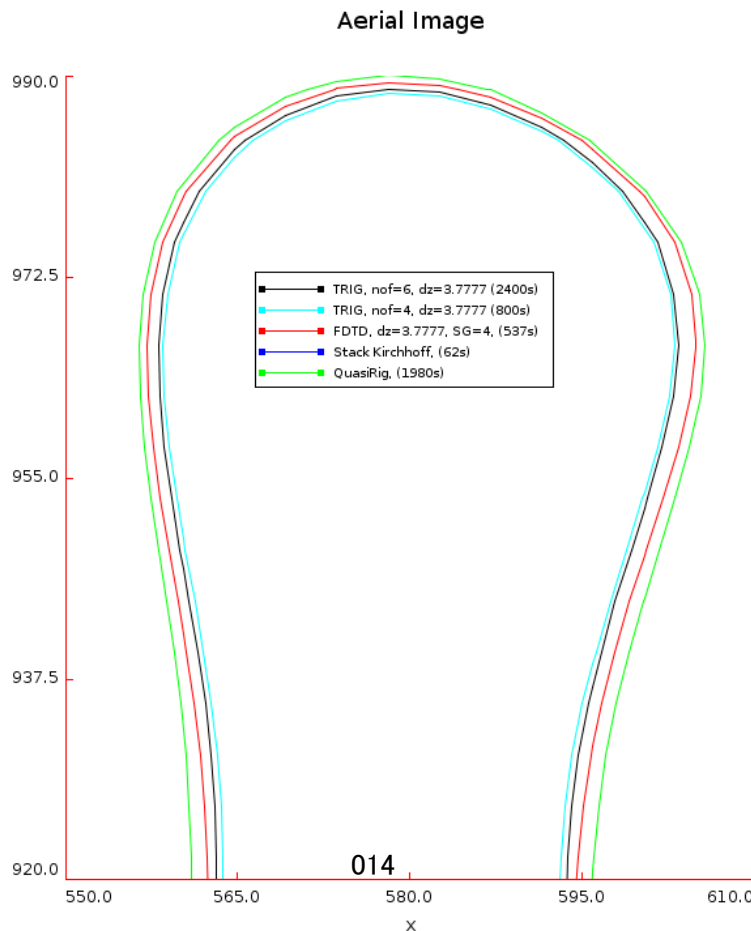


空中像が固定されていない場合

*適切な解は、
黒と赤（最良のTRIG
と最良のFDTD）の間
にあると考えられま
す。

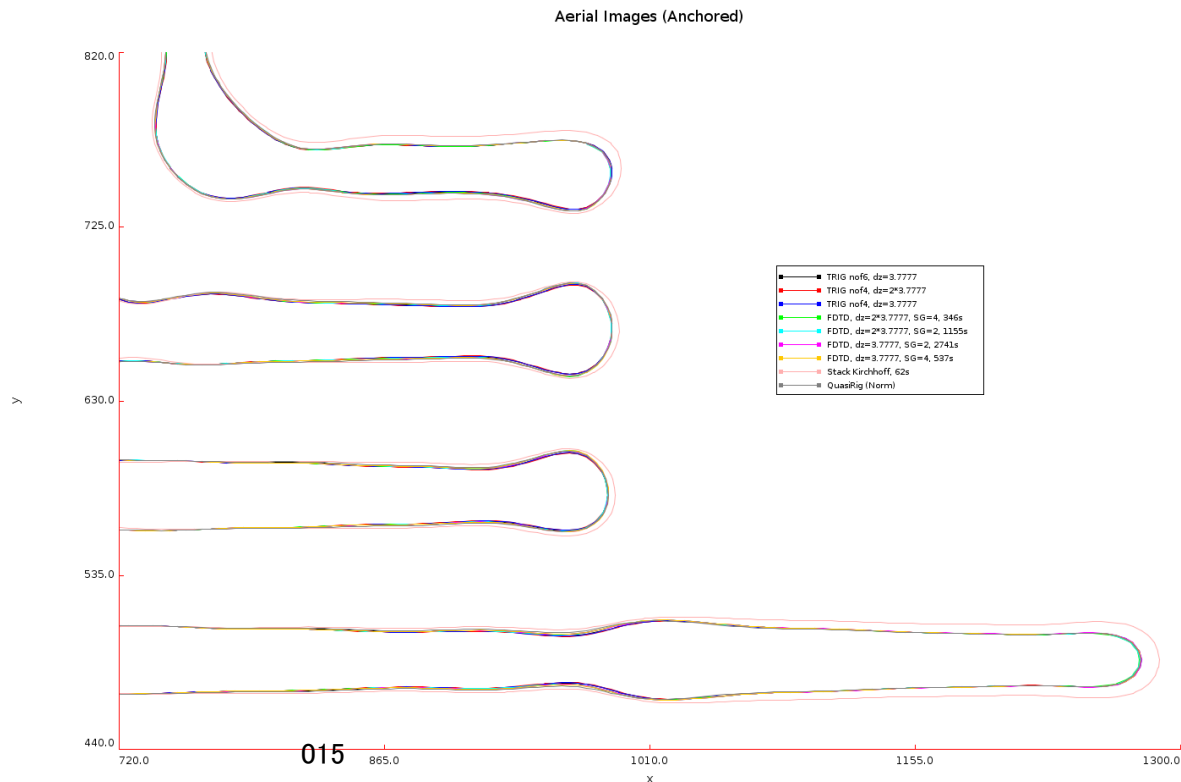
*Stack キルヒホッフ -
よくありません。 .

*QuasiRig - OK で
すが、TRIG (nof=4)
やFDTD (スーパーグ
リッド=4) と比べると
遅いです。



空中像が固定されている場合（真ん中のラインの幅に固定）

- Stack-キルヒホッフ以外、（固定されている）像はすべて一致しています。



等密度エルボアのベンチマークの結論とコメント

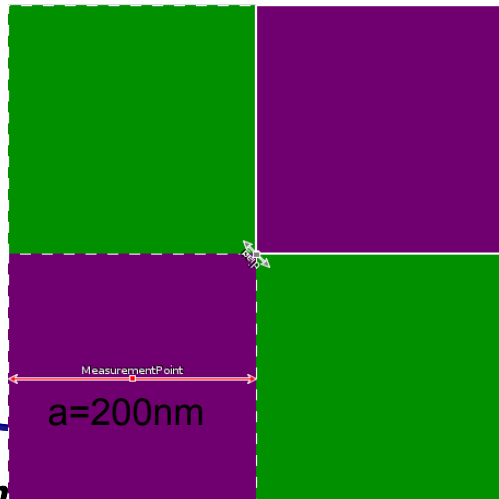
- Stack-キルヒホッフは精度が低い（ただしスピードは速い）
- TRIGとTEMPESTpr2スーパーグリッドは良好な解を導き出すことができる
- QuasiRigは精度があまり高くなく、速度に関してもTRIGやSGのFDTDより劣る
- Stack-キルヒホッフを除き、いずれの方法を使っても、空中像が固定されている場合には良好な結果が導き出される。

DUV, with 45 degree lines

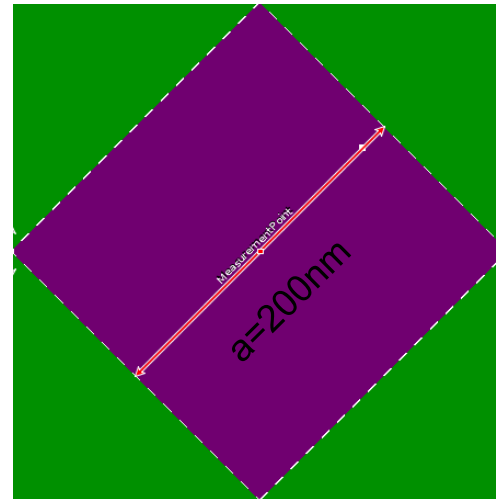
Some methods have difficulties with 45 degree lines.

A very nice test is to compare the aerial images produced by the following two “checker board” patterns:

Case 0

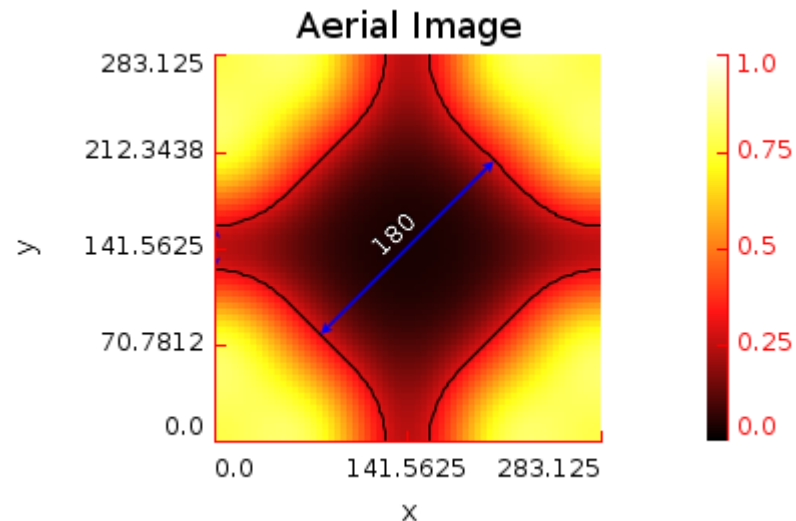
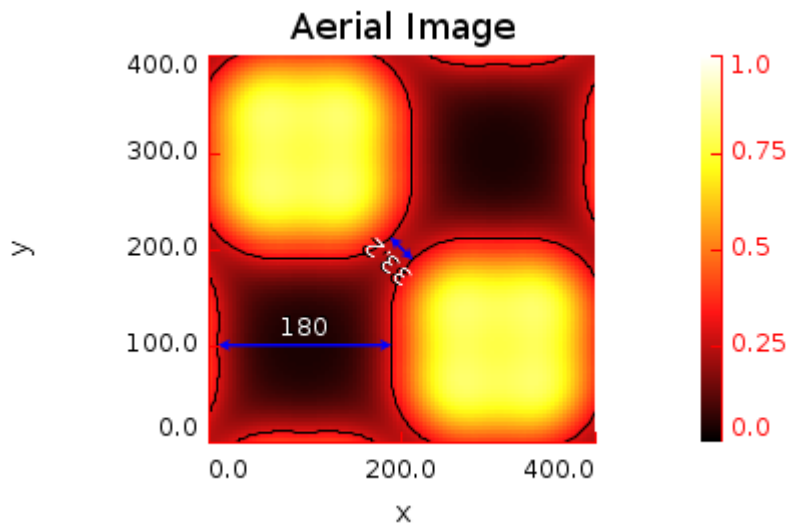


Case 1



017

- Because aerial images are rotated, it is wise to compare:
 - max intensity
 - min intensity
 - CD across width of line
 - CD corner-to-corner (low ILS here - so expect not a great match)




some details....

- NA=1.35,
- annular illumination (sig_in=0.7, sig_out=0.9), nsource_samples=200 (need a lot!)
- Our standard “Att. PSM” mask technology (68nm n=2.343, k=0.586)
- Case 0 is larger than Case 1 (because unit cell has twice the area)
- 6-threads, Xeon E5-2650
- v7 FDTD formulation, but Super-Grid factor=1 (no sub-gridding)


High Accuracy Case

- $dx=dy=0.625$ (wafer unit),
- $dz=68/36\text{nm}=1.8888\text{nm}$ (mask unit)
- TRIG: NOF=6.0 (Number of Orders Factor like RCWA)

	Case 0 TRIG	Case 1 TRIG	Case 0 FDTD	Case 1 FDTD
Max Intensity	0.8162	0.8149	0.8125	0.8105
Min Intensity	0.0356	0.0352	0.0356	0.0353
CD Across (nm)	179.67	180.00	180.07	180.52
CD Diagonal (nm)	33.2	32.6	34.06	33.52
Time (s)	123	56	2500	1500
 Memory Panoramic Technology	0.3 GB	0.15 GB ₀₂₀	1 GB	0.5 GB


Medium Accuracy Case

- $dx=dy=0.625$ (wafer unit) for TRIG
- $dx=dy=1.25$ (wafer unit) for FDTD
- $dz=68/18\text{nm}=3.7777\text{nm}$ (mask unit) (for TRIG and FDTD)
- TRIG: NOF=4.0

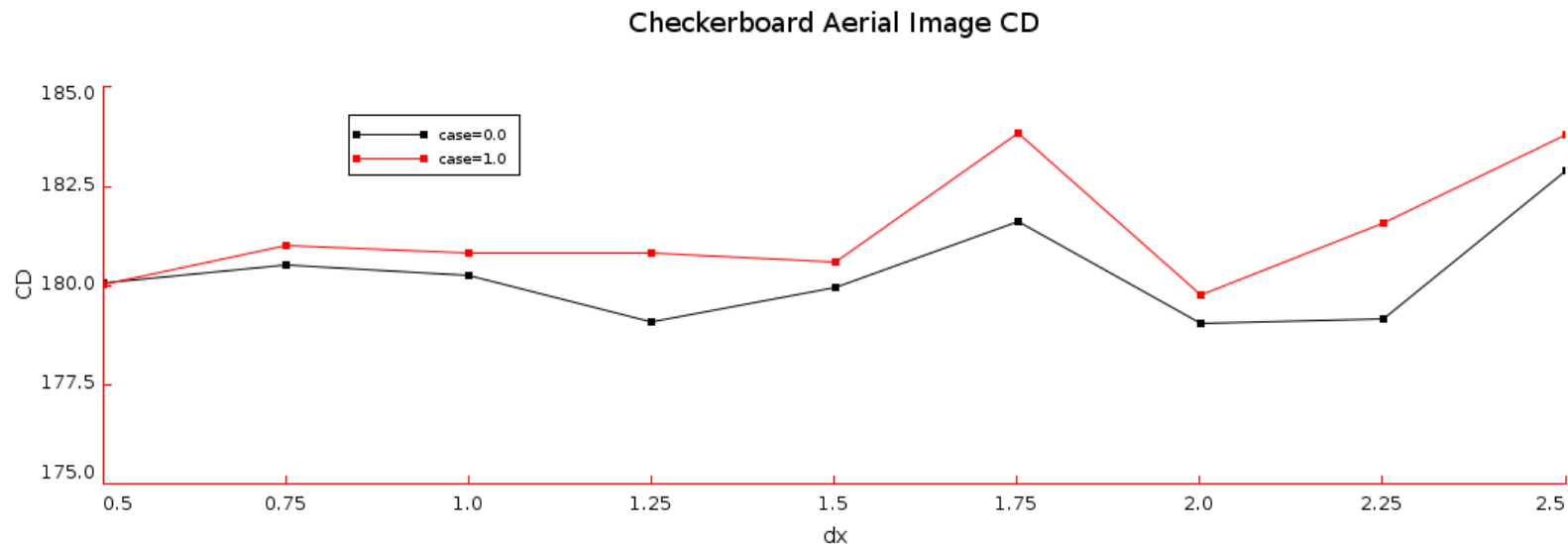
	Case 0 TRIG	Case 1 TRIG	Case 0 FDTD	Case 1 FDTD
Max Intensity	0.8177	0.8128	0.8109	0.8046
Min Intensity	0.0354	0.0350	0.0351	0.0348
CD Across (nm)	179.52	179.94	180.28	182.03
CD Diagonal (nm)	32.85	34.60	34.31	36.32
Time (s)	43	20	210	92
 Panoramic Technology		021		

Low Accuracy

- $dx=dy=0.625$ (wafer unit) for TRIG
- $dx=dy=2.5$ (wafer unit) for FDTD
- $dz=68/9\text{nm}=7.5556\text{nm}$ (mask unit) (for TRIG and FDTD)
- TRIG: $\text{NOF}=2.0$ (# of Orders factor like RCWA)

	Case 0 TRIG	Case 1 TRIG	Case 0 FDTD	Case 1 FDTD
Max Intensity	0.8239	0.8207	0.8035	0.7989
Min Intensity	0.0349	0.0343	0.0335	0.0332
CD Across (nm)	178.59	179.53	181.18	182.08
CD Diagonal (nm)	30.29	31.05	35.27	35.48
Time (s)	8	4	14	6
		022		

FDTD convergence vs. dx

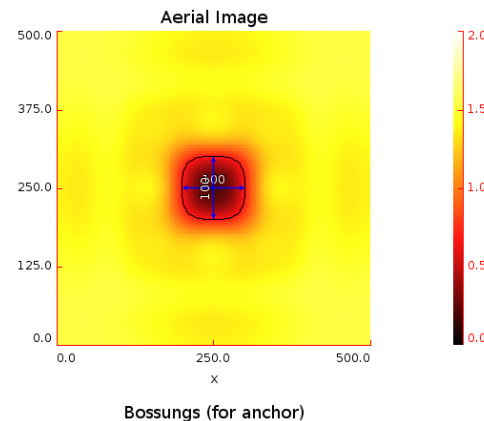
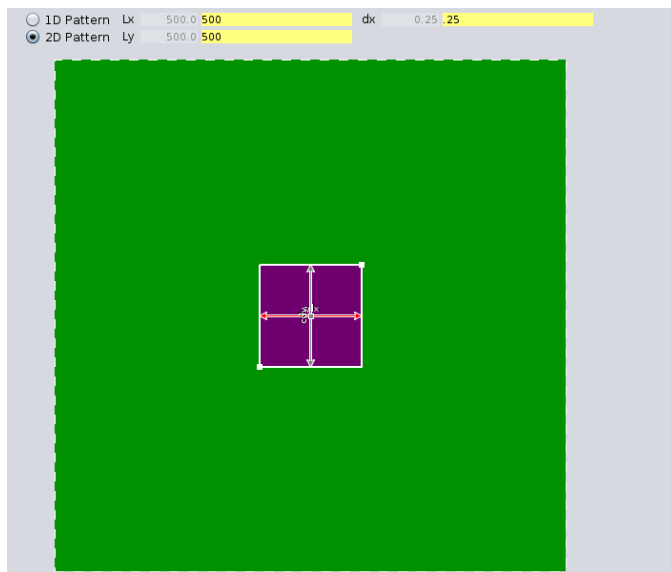


Conclusions for checkerboard pattern:

- TRIG is faster than FDTD (>10X faster for high-accuracy case)
 - FDTD SG=1 (sub-gridding not used)
- TRIG and FDTD agree well in the “High Accuracy” case
- TRIG and FDTD can handle the 45 degree edges well
- For FDTD - need $dx=1\text{nm}$ (wafer) for reasonable FDTD accuracy (with sub-gridding, you can use smaller dx for geometry)

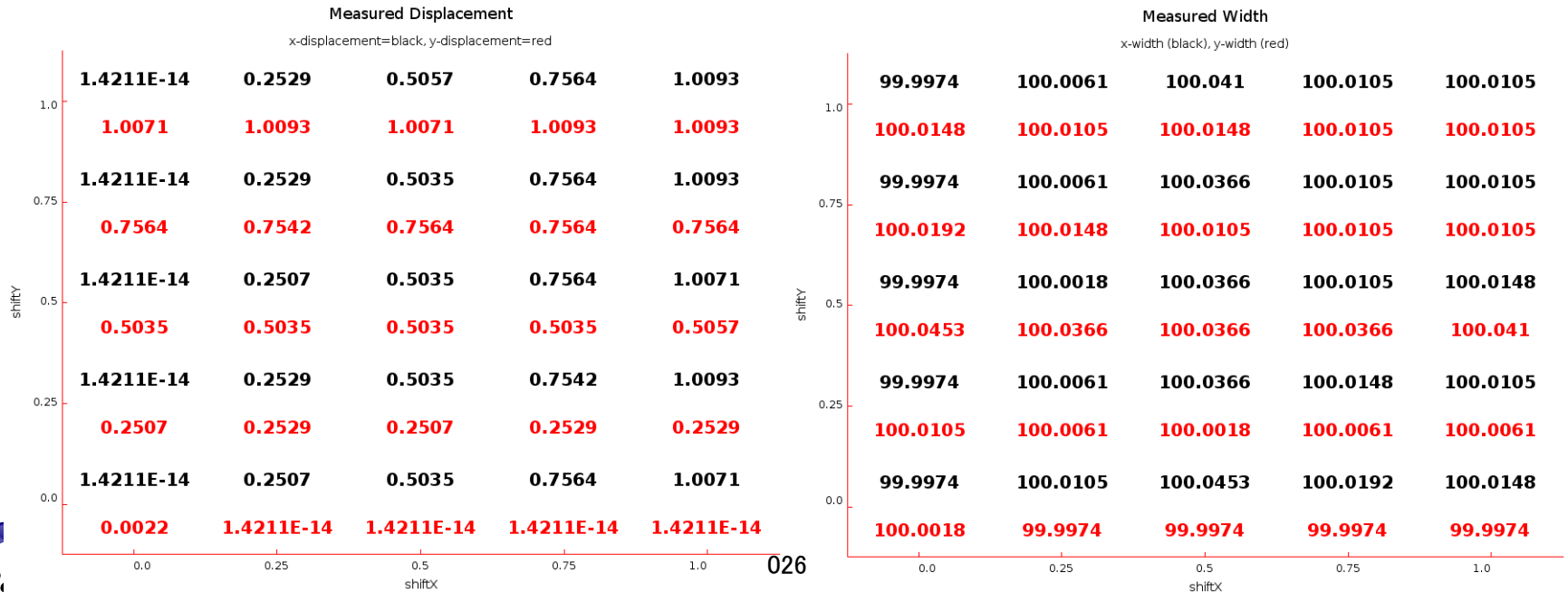
FDTD Super-Grid test

- Simulate a square feature, shift the feature in the x- and y-directions
- Fine (geometry) grid is $dx=0.25\text{nm}$, Coarse (FDTD) grid is $dx=1.0\text{nm}$ (wafer dimensions)
- $dz=4\text{nm}$ (mask dimensions)



results....

- Sub-grid is working well
- Excellent linearity in the position
- CD stays nearly constant (as expected)



New v7 features for DUV: TRIG, FDTD+SuperGrid Discussion...Conclusions....

- TRIG is faster than FDTD (no SG) and RCWA for large 2D patterns
- TRIG uses less memory than FDTD (no SG) for a similar accuracy setting
- TRIG is capable of simulating large areas with fine edge placement precision.
- FDTD with Super-Grid allows FDTD to scale well with shrinking cell size
- FDTD and TRIG are capable of accurately modeling edges placed on 45 degree axes
- also see: [TRIG for EUV presentation](#)