

マスクパターンとしては図1に示された59要素のURA型を用い、要素の幅を10 μmと仮定した。検出画像のビームサイズ依存性を図5に示す。計算方法は別の文献(例えば[5]と[6])で詳しく説明されているが、基本的には放射光の波面をマスク上でKirchhoff積分する計算である[8][9]。今回の計算では各波長で原点の角度分布、マスク及び検出器の材質による減衰及び屈折の効果も考慮した。

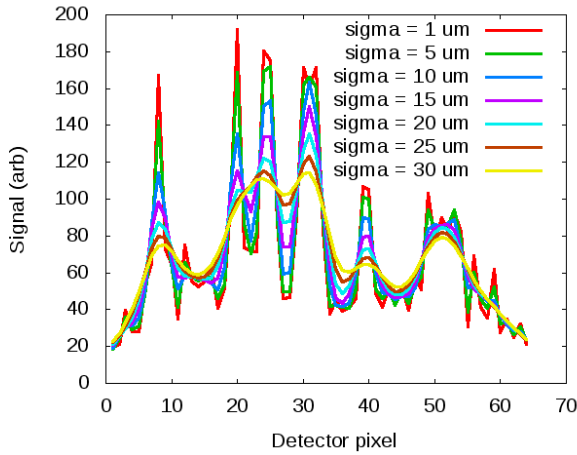


図5 : LER 検出信号とビームサイズの関係。(図1のURAマスクパターンのハイパワー用マスクとFermionics社のInGaAs検出器を使う場合。)

4.2 光子数による統計分解能

バンチ毎・ターン毎の分解能は光子の数で制限される。Fermionicsの検出器を使う場合はLERのバンチ毎・ターン毎の各ピクセルの光子数が最大蓄積電流時(1.44 mA/bunch)の場合でもせいぜい200個程度である。これは吸収スペクトルのピークが比較的高いエネルギーにあるからである(図4参照)。但し、計算上ではInGaAsを厚さ200 μmにすれば、検出効率率が96%になり検出される光子数が10倍増えて約2000個になる。

統計的分解能を評価するにあたり以下の方法を用いた。まず、あるビームサイズについて画像パターンを作る。つまり64個のピクセルについて信号を作る。実際の測定では画像パターン(ピクセル信号)から正しいビームサイズを得ることができかねるが問題になる。これは作った画像パターンをビームサイズの異なる場合に対応する画像パターンと比較することで評価出来る。正しいビームサイズから出来る画像とそれとは違うビームサイズから出来る画像との差を64個の各ピクセルについて求め、 χ^2/ν を計算する。計算時は各ピクセルの重みとしてピクセルの平均光子数が200個に対するピクセル毎の統計的不確定性 σ_i とする：

$$\frac{\chi^2}{\nu} = \frac{1}{N-n-1} \sum \frac{[y_i - y(x_i)]^2}{\sigma_i^2}$$

$$\sigma_i = \sqrt{y(x_i)}$$

ここで*i*はピクセルの番号(*i*=1~64)、*x_i*はピクセルの位置、*y(x_i)*はそのピクセルの位置*x_i*での正しい信号レベル(光子数に対応)、*y_i*は実際に測定された信号レベル、*N*はピクセルの数(この場合64)、*n*は規格化乗数で今回は*n*=1となる。

次に χ^2/ν の70% confidence interval (~1σ)を評価し図6に示す。赤い点はFermionics社の検出器を使う場合、(即ちピクセル毎の平均光子数が200個)の1σの confidence interval に対応する。例えば、ビームサイズが10 μmのバンチの場合統計的分解能が±2 μmとなる。

厚さ200 μmのInGaAs検出器を使う場合(即ちピクセル毎の平均光子数が2000個)、緑点で表わされるように分解能がさらに良くなる。しかしながら現実には検出器のノイズが分解能を制限することになってしまうだろう。

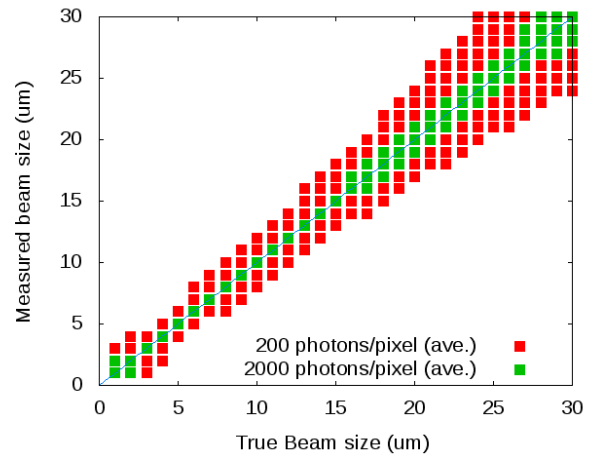


図6 : LERで期待されるバンチ毎ターン毎分解能。赤い点はFermionics社の厚さ3.5 μmのInGaAs検出器の場合を表わし、緑点は厚さ約200 μmのInGaAs検出器の場合を表わす。

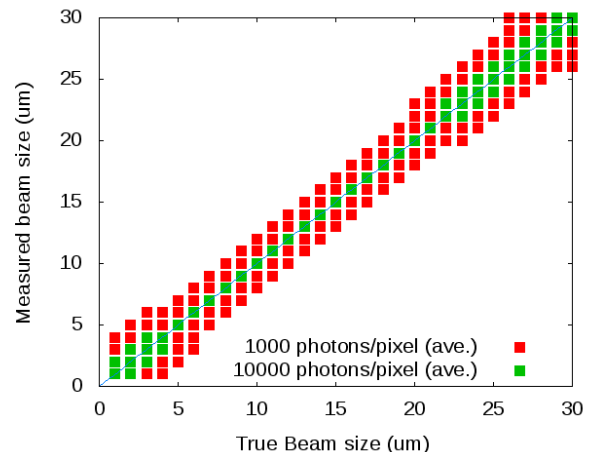


図7 : HERで期待されるバンチ毎ターン毎分解能。

HER の場合はピクセル毎の平均光子数が LER より 5 倍高いが、ビームラインの拡大率が低く結果的には分解能が LER と同程度になる。HER の分解能を図 7 に示す。

まとめ

現在 SuperKEKB 用 X 線ビームサイズモニターの検討を進めている。本稿で述べたシミュレーション等に依ると CAI 法の新型 X 線モニターを使うことにより十分なバンチ毎・ターン毎の分解能が期待出来ることがわかった。今後さらに CAI 法を使う光学系の詳細検討及び検出器と読み出し回路の開発を進める予定である。

参考文献

- [1] M. Masuzawa, "Next Generation B-factories", Proceedings of the 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC10), Kyoto, May 2010.
- [2] R.H. Dicke, *Astrophys. Journ.*, 153, L101, (1968).
- [3] E.E. Fenimore and T.M. Cannon, *Appl. Optics*, V17, No. 3, p. 337 (1978).
- [4] J.W. Flanagan et al., "X-RAY MONITOR BASED ON CODED-APERTURE IMAGING FOR KEKB UPGRADE AND ILC DAMPING RING," Proc. EPAC08, Genoa, 1029 (2008).
- [5] J.W. Flanagan et al., "PERFORMANCE OF CODED APERTURE X-RAY OPTICS WITH LOW EMITTANCE BEAM AT CESR/TA," Proc. PAC09, Vancouver, (2009).
- [6] J.W. Flanagan, et al., "MEASUREMENT OF LOW-EMITTANCE BEAM WITH CODED APERTURE X RAY OPTICS AT CESR/TA," Proceedings of the 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC10), Kyoto, May 2010.
- [7] S. Parker, private communication.
- [8] J.D. Jackson, "Classical Electrodynamics," (Second Edition), John Wiley & Sons, New York (1975).
- [9] K.J. Kim, AIP Conf. Proc 184 (1989).