
DC 電子源とNEAフォトカソードを対象としたビームシミュレーションコードの開発

名古屋大学 理学研究科 山本尚人

中西 彊, 山本将博, 奥見正治, 桑原真人,
玉垣邦秋, 酒井良介, 森野貴典, 真野篤志,
宇津 輝

目的

- DC電子銃でのビーム物理を再現し、明らかにする。
- 特に既存のコードでは取り入れられていないカソード付近での物理が対象

最近の研究

- 20kV電子銃の電極設計
 - 空間電荷制限の見積り、電極構造の決定
- NEAフォトカソードの初期運動量分布の研究
 - 電子放出角度とその分布

計算手法

- 遅延場を含む空間電荷効果(3次元)
- 鏡像効果(カソード近辺)
- 外場(Poissonなどで計算したものを使用)



マクロ粒子法
ルンゲクッタ法(4次) を用いて計算

ただし、初期分布は実際の初期条件を仮定し乱数で与えている。

その他、詳細工夫など

- 計算は時間軸を追う方式、常に一定間隔
- 粒子の最近接距離の導入
 - 非相対論的な反発力を防ぐため
- 環境
 - C言語で作成(コード作成のきっかけはCの勉強として)
 - 一般的な計算機上でリナックスOSを使用
 - 今回示す内容だと、1データ 30~40分の計算時間

最近の疑問

- 名古屋大学では、NEAフォトカソードを用いて電子ビームを生成している。
- NEAフォトカソードから得られる電子の放出過程(初期運動量分布)はよくわかっていない。
- これを実際の測定で得られた量から推測するため、シミュレーションを利用した。

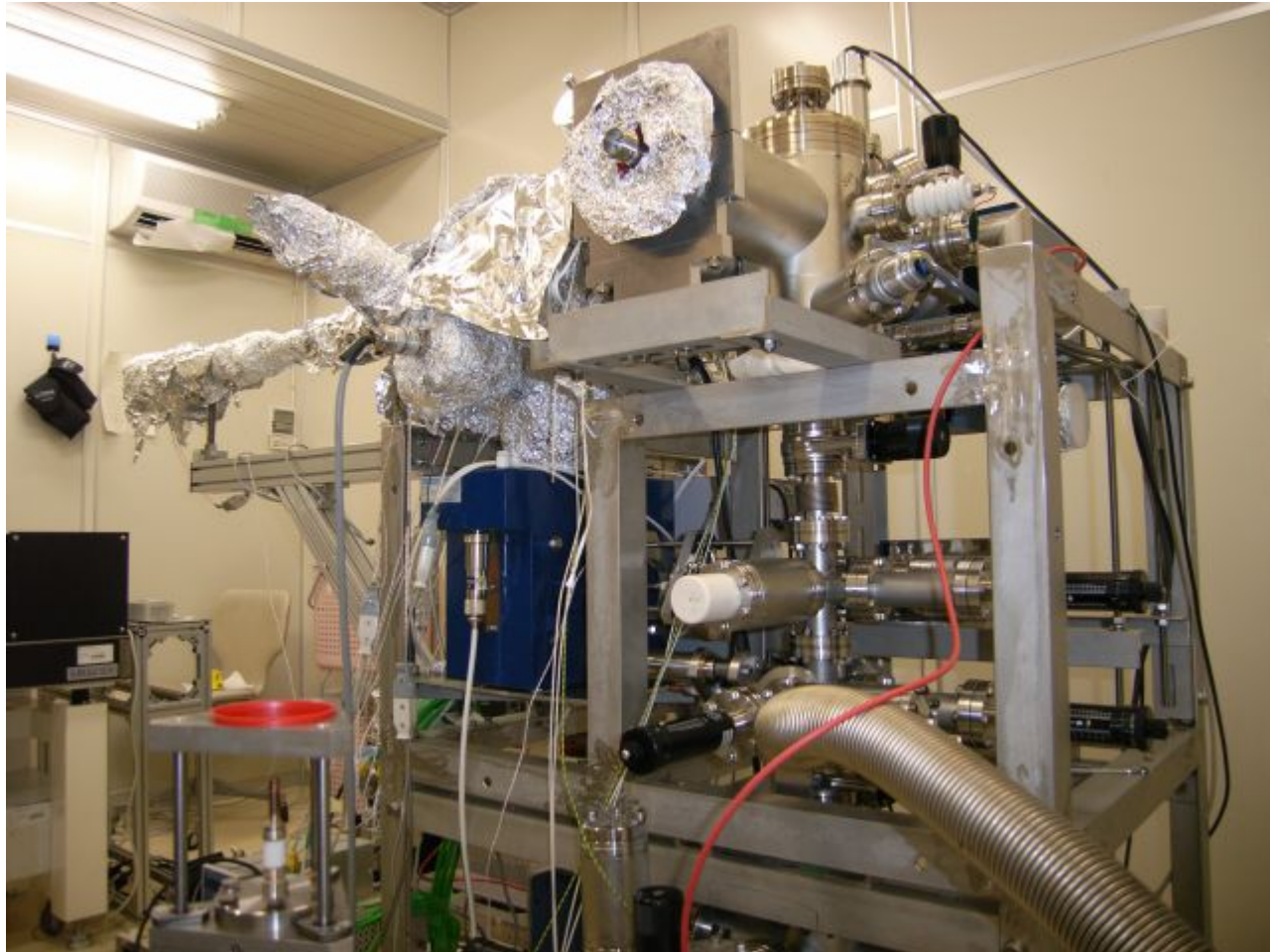
20keVビームの広がりの再現

- 名古屋大学で開発中の20kVDC電子銃では、輝度測定のためにフォトカソードから53cm下流でビームサイズ測定をしている。
- この測定値をシミュレーションで再現できるパラメータ(運動量初期分布)を探した。

実験データ

引き出し電流	5.3 μ A
初期ビーム直径	6.8 μ m
53cm下流でのビーム半径	1.22 ± 0.05 mm

20kVDC電子銃

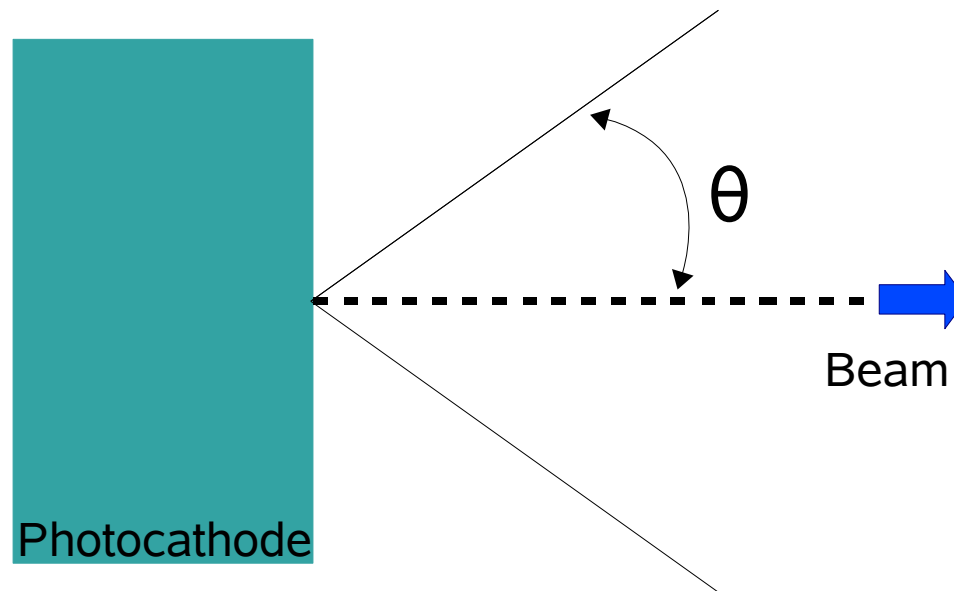


計算の条件(ビームサイズ)

- マクロ粒子数 : 2000 個
- 物理的効果
 - 20kV電子銃の電界効果[最大.4MV/m]
 - 空間電荷(3次元)
 - 鏡像効果...ただし、あまり変化なし
- 初期条件
 - ビーム形状 : 6.8 μm (FWHM)、ガウス分布
 - 運動量分布 : NEA値を中心としたガウス分布、
 - 運動量分布角度 : 0~90度
 - 電流量 : $\sim 5.3 \mu\text{A}$ (DC)

計算の条件2 (ビームサイズ)

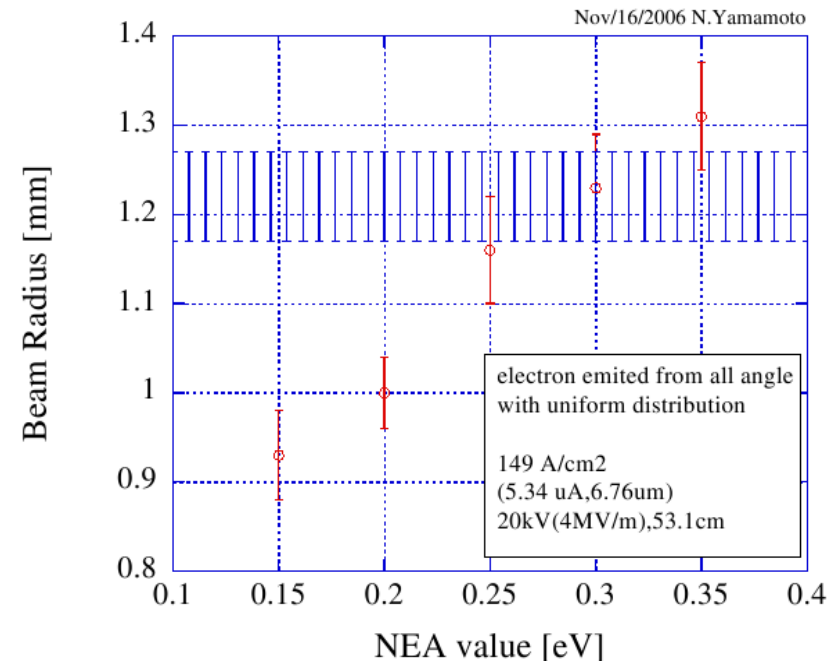
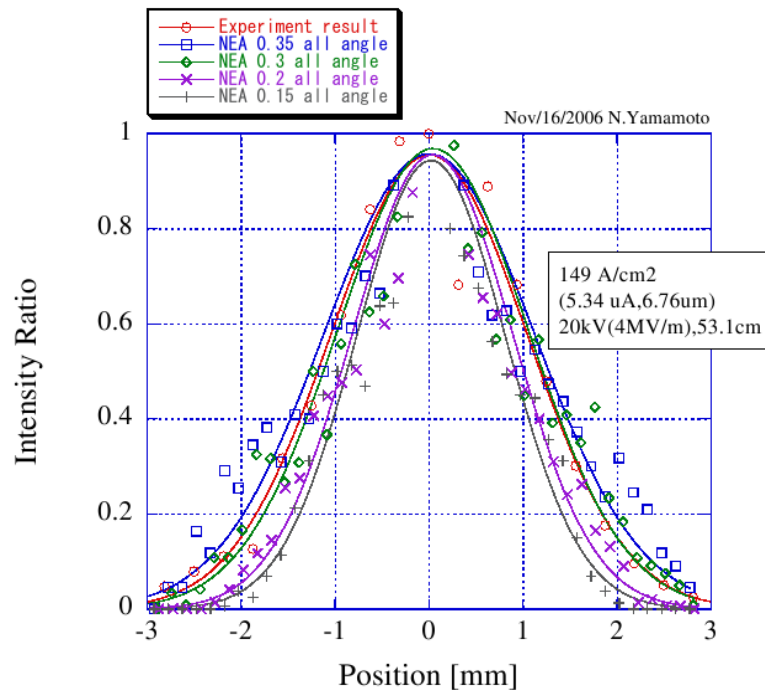
- 全運動エネルギー: 150meV~400meV (NEA値)
- 分布角度: 30~90度



このふたつのパラメータを様々に振って一番合う条件を探した。

計算結果1 (ビームサイズ)

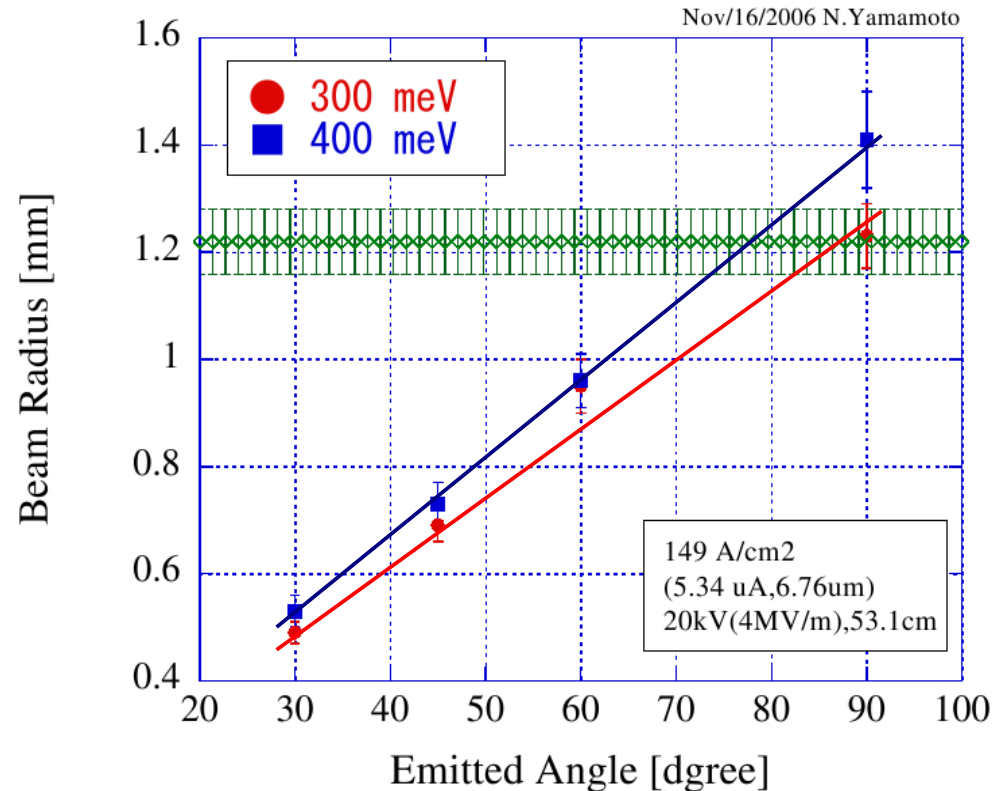
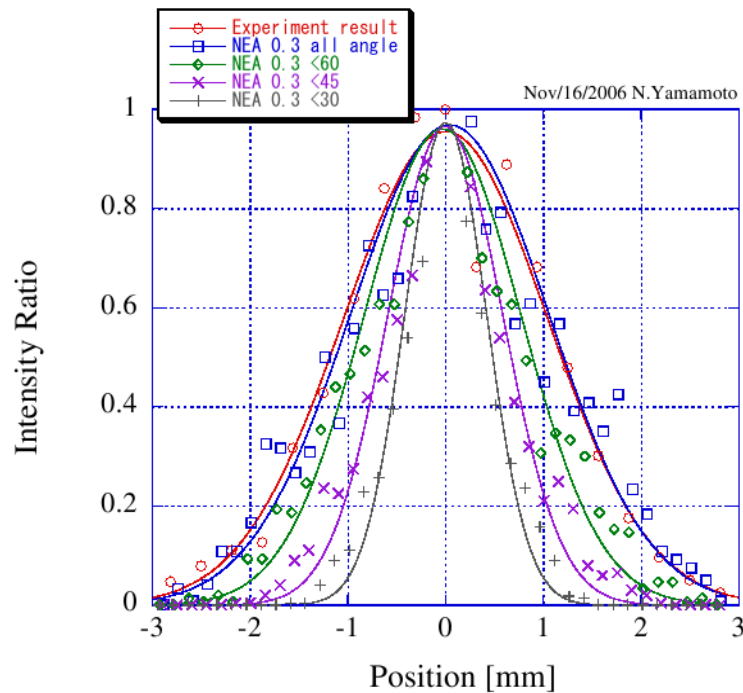
運動エネルギー依存(全角度分布の場合)



例えば、
運動エネルギーを300meVと仮定した時に実験を再現。

計算結果2 (ビームサイズ)

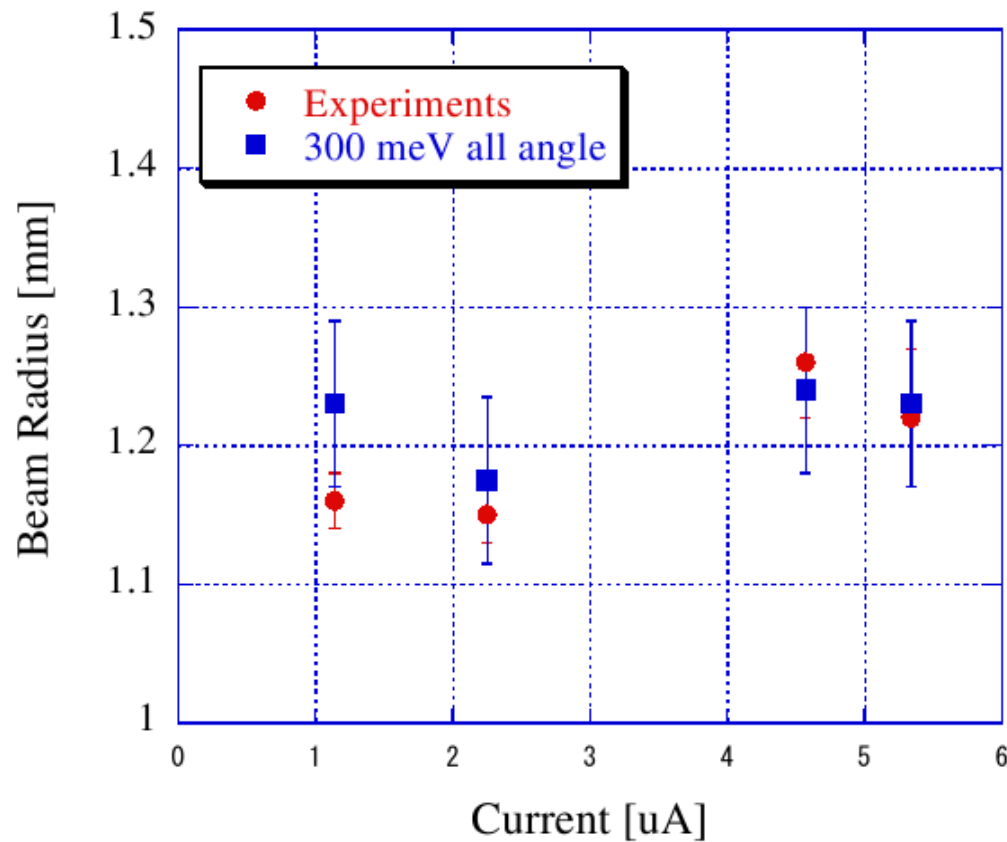
角度分布依存(300meV,400meV)



NEAの値は最大でも数百meVと考えられるため、
 ほぼ全方位に放出していると仮定した時に実験を再現

計算結果3 (ビームサイズ)

電流量依存
条件: 300 meV, 全方位



再現してそうではある。 11

初期エミッタンスの再現

- 初期(熱)エミッタンスは電子の真空生成時の運動量分布による決まると考えられる。そこで、名古屋大学の200kV電子銃で生成した電子ビームをもとに実験データを再現する条件を探した。

実験データ*

真空準位(NEA値**)	エミッタンス(1m下流)
30 meV	$0.12 \pm 0.02 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$
190 meV	$0.18 \pm 0.03 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$

* 電流15nA以下、ビーム径 0.5mm

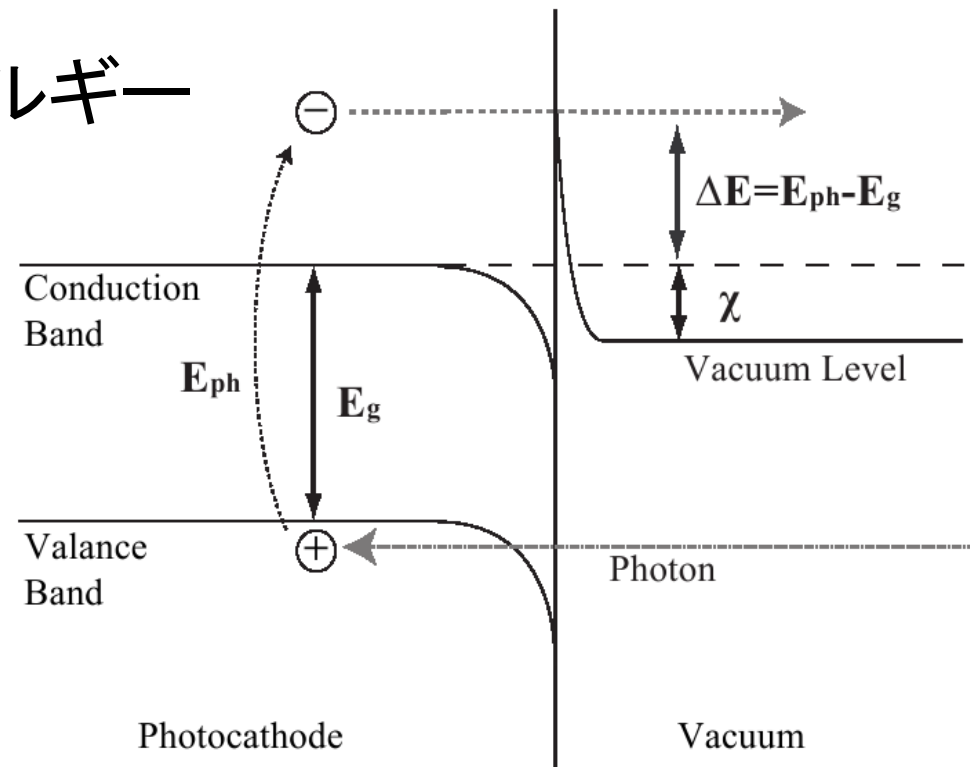
**結果からフィッティングで推測

計算の条件 (エミッタンス)

- マクロ粒子数 : 2000 個
- 物理的効果
 - 200kV電子銃の電界効果
 - 空間電荷(3次元)
 - 鏡像効果
- 初期条件
 - ビーム形状 : 0.25 mm (1σ)、ガウス分布
 - 運動量分布 : NEA値を中心としたガウス分布、
 - 運動量分布角度 : 全方位(先の結果から)
 - 電流量 : $\sim 15\text{nA}$ (DC)

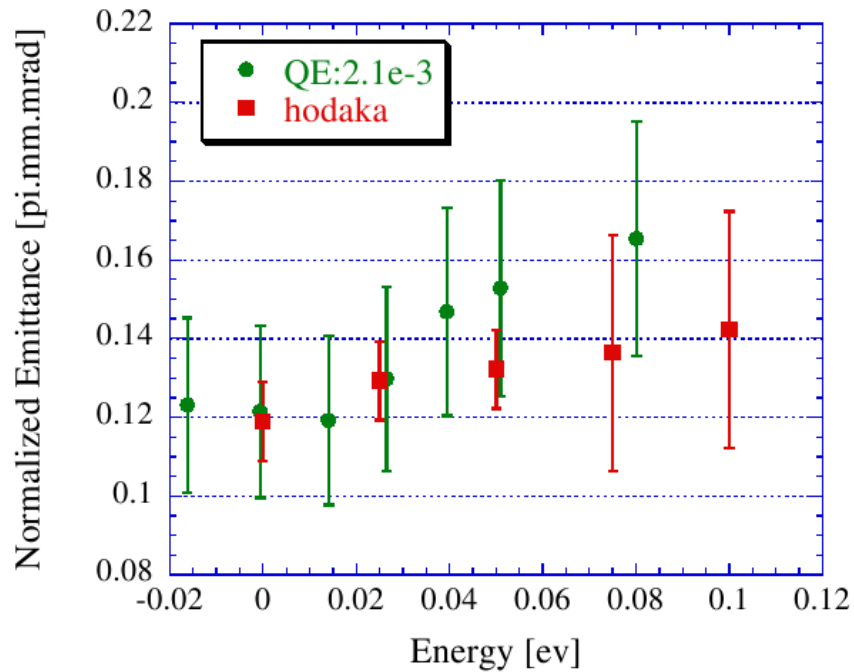
計算の条件 (エミッタンス)

- 運動エネルギーとして次の量を考慮：
 - NEA値
 - 熱振動
 - レーザの余剰エネルギー

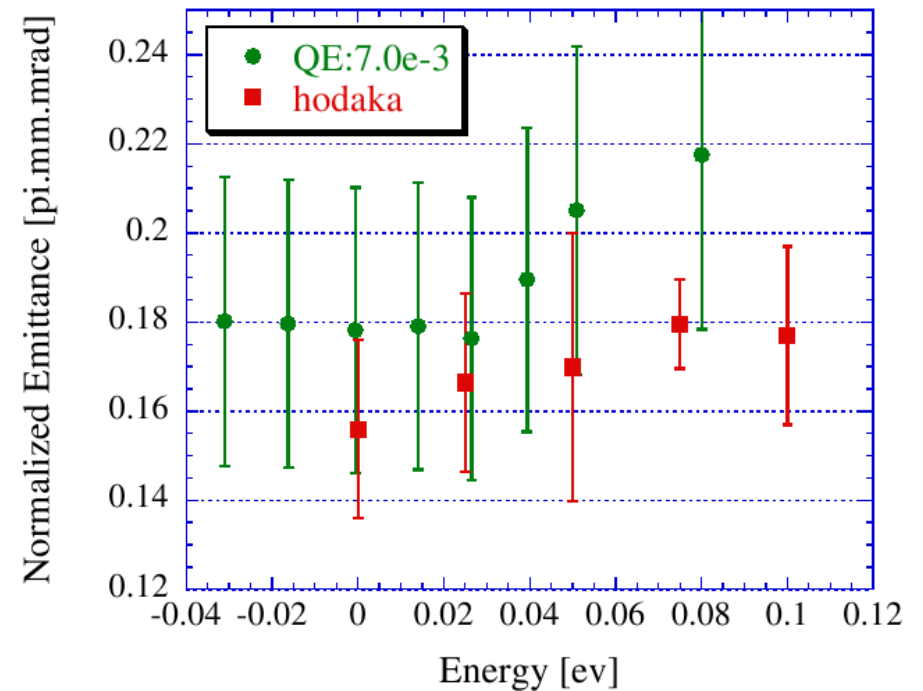


計算結果 (エミッタンス)

NEA値30meVのデータ



NEA値190meVのデータ



ある程度は再現できているが、完全とはいえない。

*X軸はレーザーのエネルギーとバンドギャップの差

まとめと今後

- 自作コードを用いNEA表面の電子ビーム生成直後の運動量分布条件を再現すべく計算を行った。
- 20keVの低エネルギー条件でビームの広がりを再現するパラメータを探った
- このパラメータで120keVビームの初期エミッタンスについても計算を行った。この結果ある程度は再現できたが、まだ完全とは言えない。
- 今後、実験及びシミュレーションを重ねより詳細にカソード近傍での電子の振舞を理解して行きたい。

コードとしての課題

- 精度の向上
 - 丸め誤差対策
 - 鏡像効果の再考
 - 粒子数の最適化
 - ステップ幅の最適化

しかし、方法については目処はついていない