

ドレスト光子を利用した 自律的表面形状加工の 電荷蓄積モデル

2014年 1月22日

中央大学 理工学部 物理学科 4年

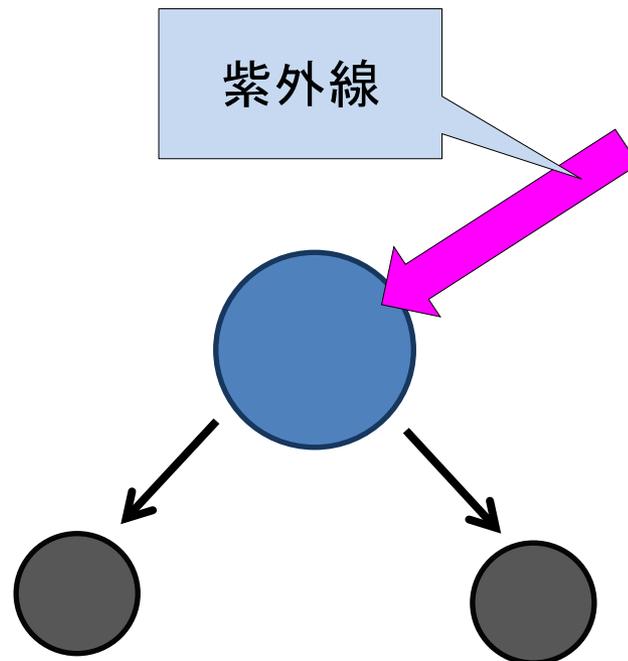
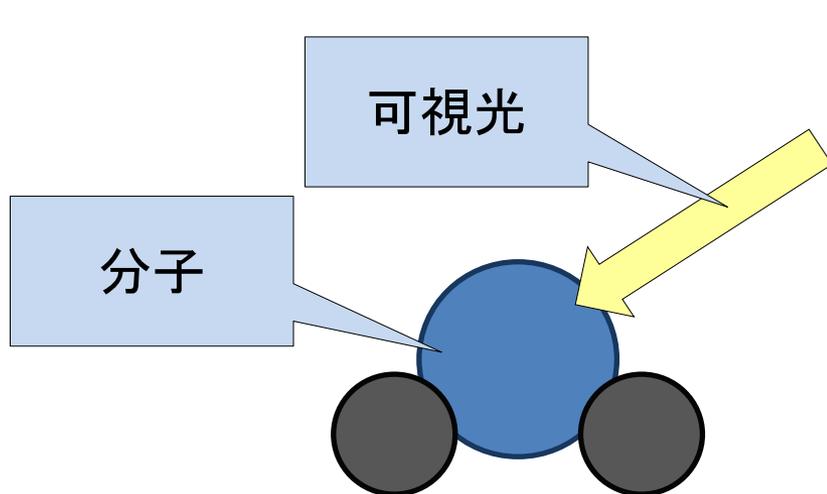
高橋 幹

目次

1. 導入
2. 電荷蓄積モデル
3. 評価
4. 今後の課題

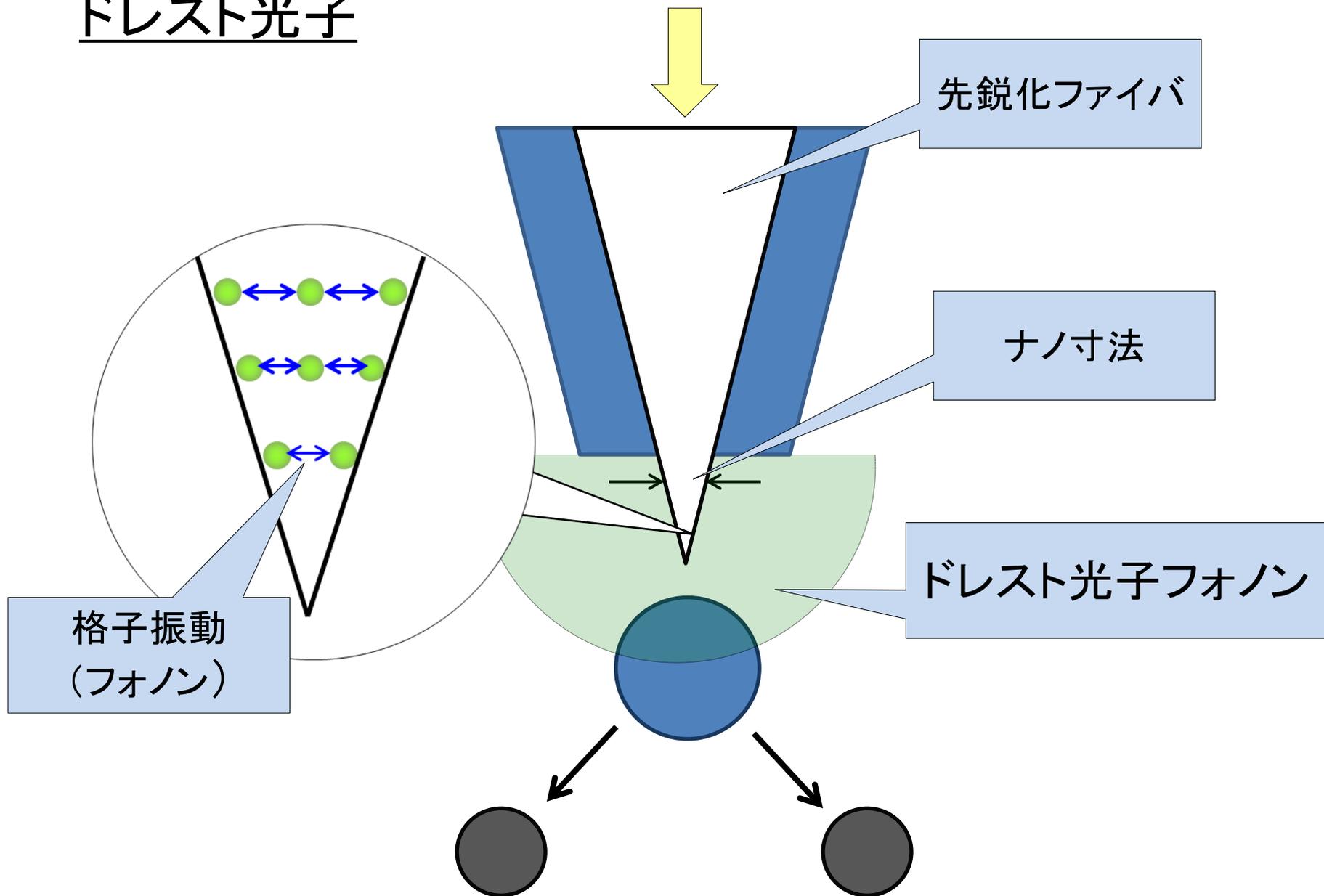
1. 導入

ドレスト光子



$$\text{可視光 } h\nu_{\text{vis}} < \text{解離エネルギー } E_{\text{dis}} < \text{紫外線 } h\nu_{\text{UV}}$$

ドレスト光子



簡単にまとめると・・・

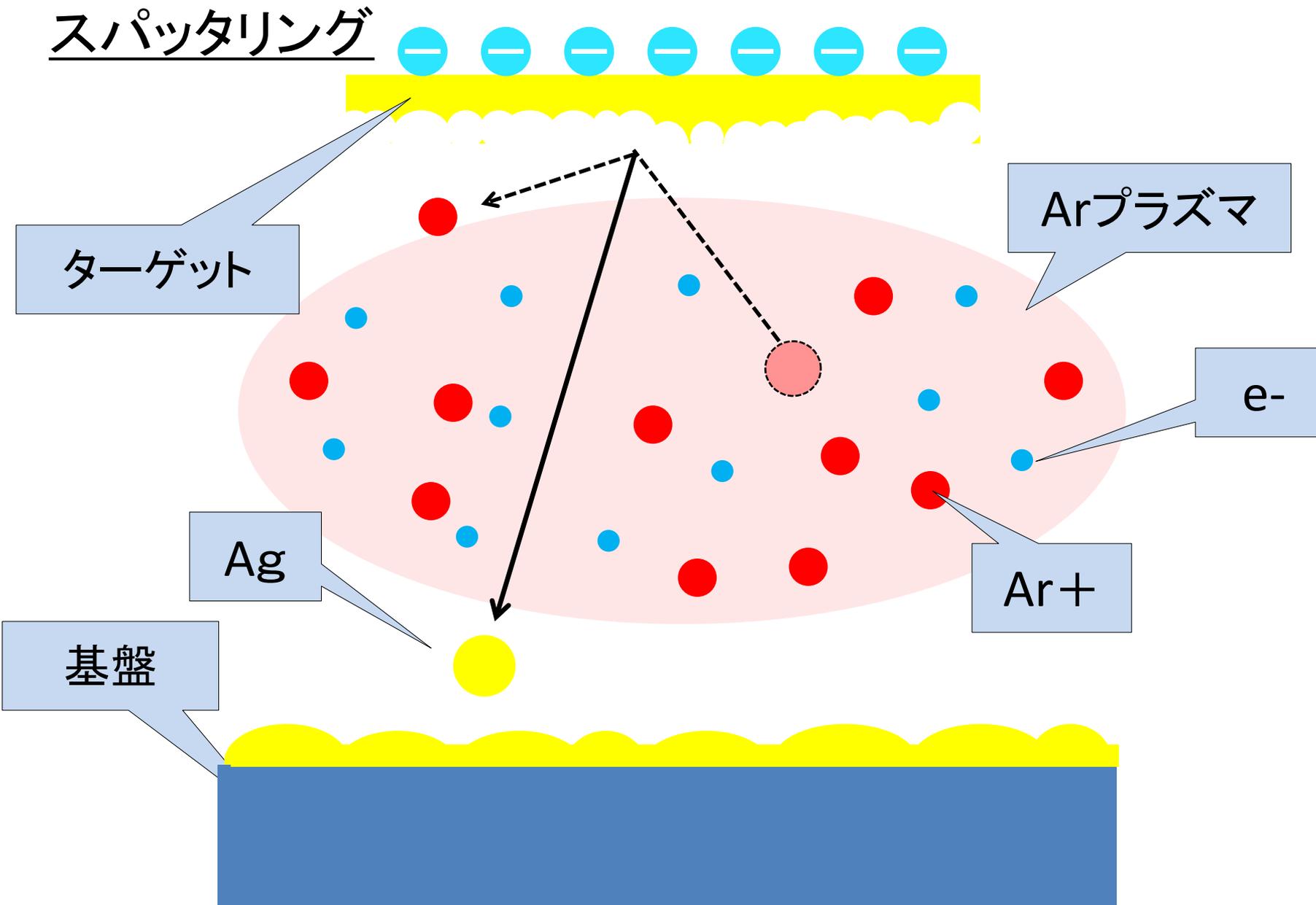
光子 (Photon) + ナノ寸法 = ドレスト光子 (DP)

DP + フォノン (Phonon) = ドレスト光子フォノン (DPP)

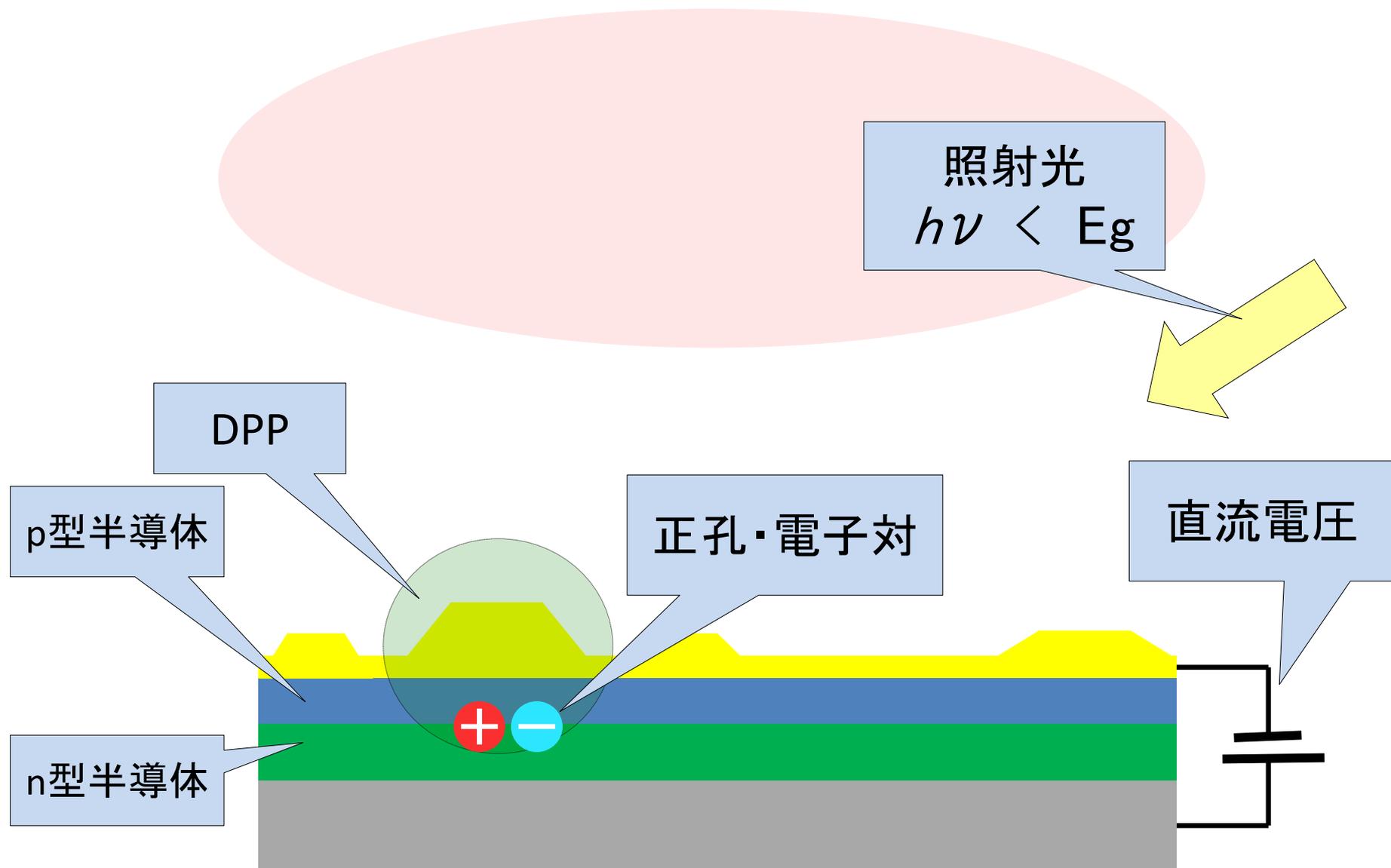
入射光エネルギー $h\nu < E_{\text{DPP}}$ (DPPのエネルギー)

エネルギー上方変換が可能

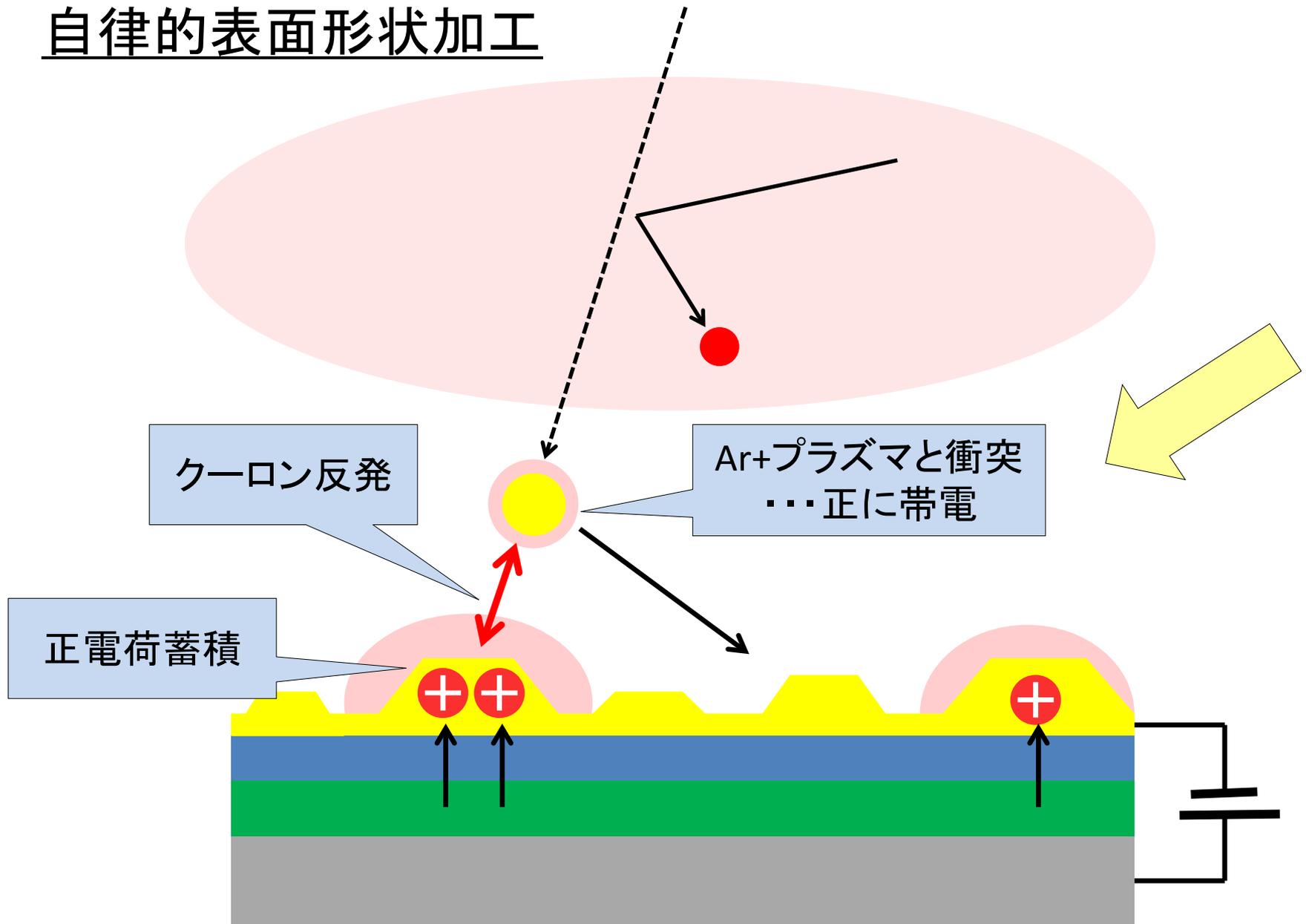
スパッタリング



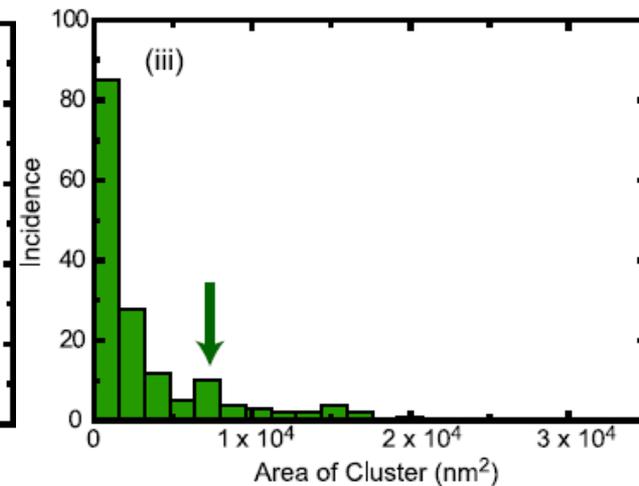
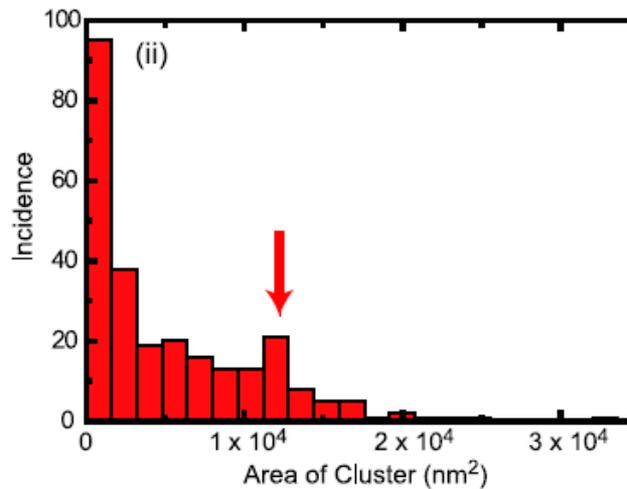
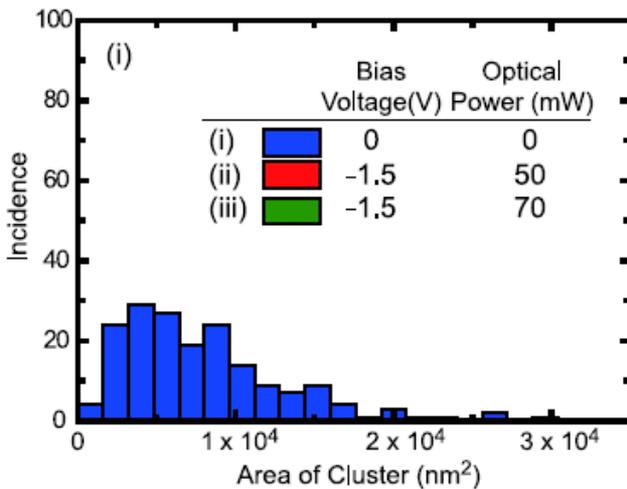
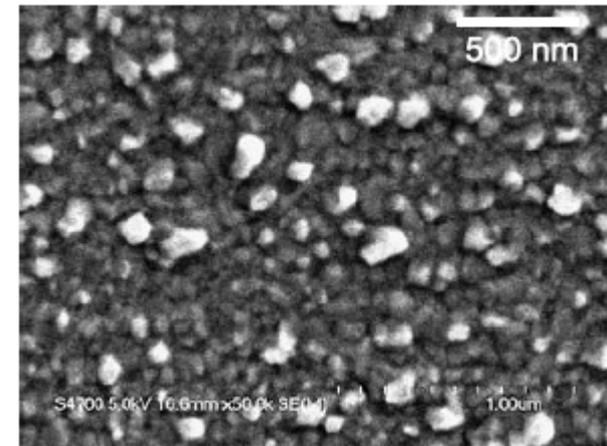
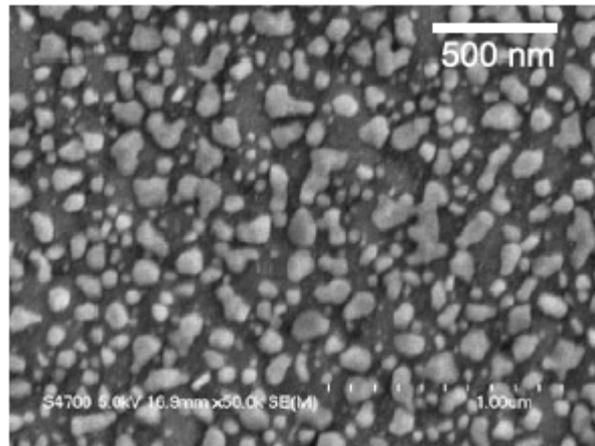
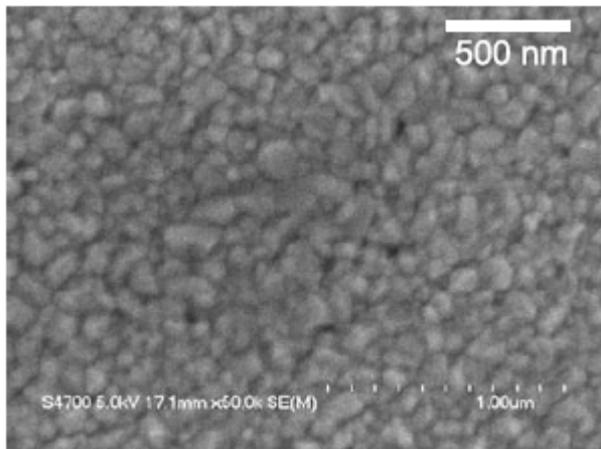
自律的表面形状加工



自律的表面形状加工

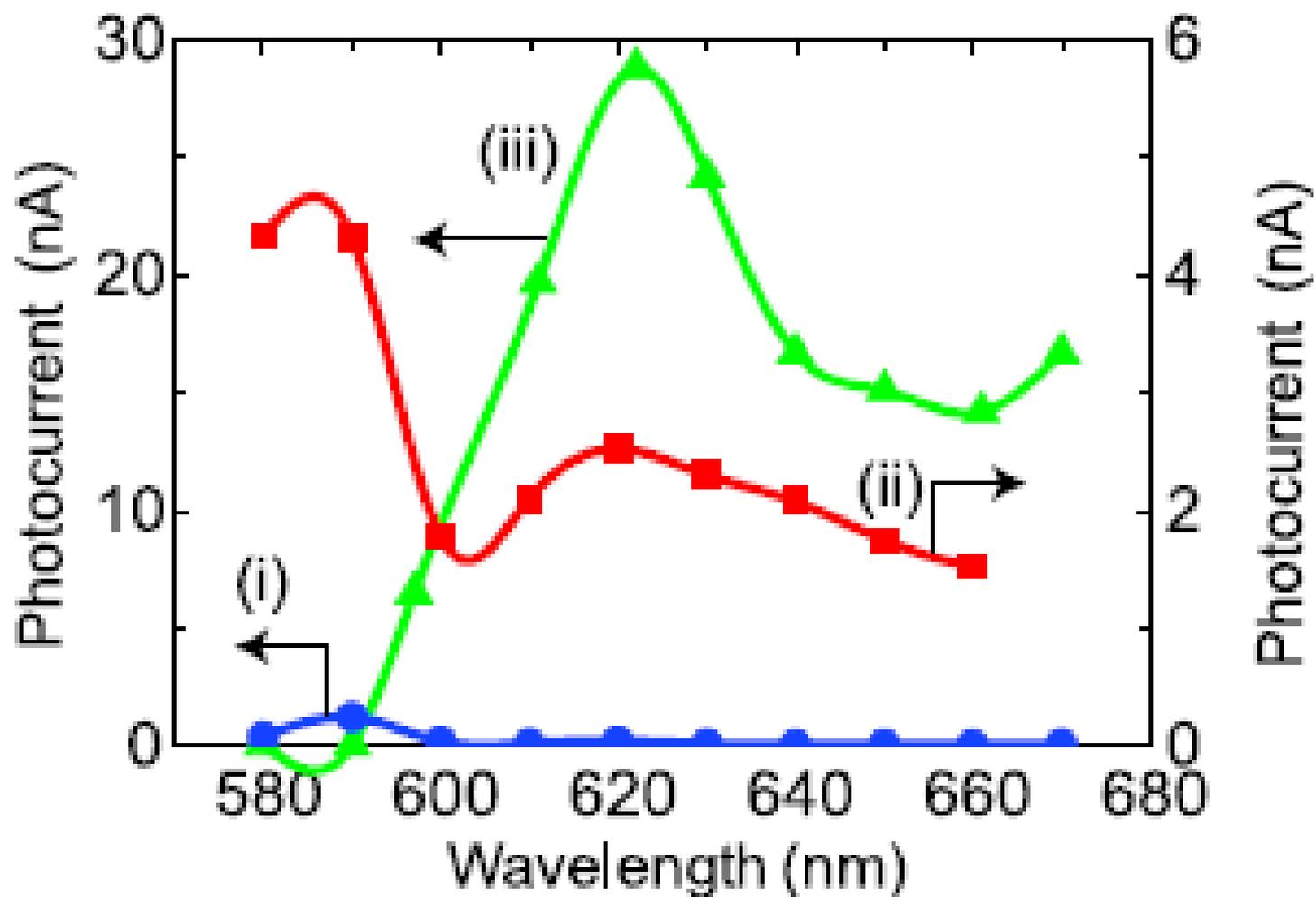


実験結果



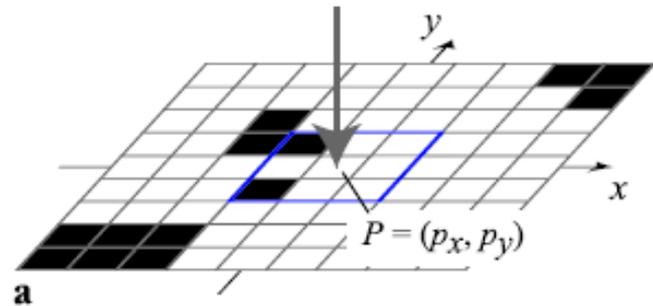
引用 : S.Yukutake , et al , Appl. Phys. B **99** (2010) 415. (上)
 : M.Naruse , et al , Appl. Phys. B **105** (2011) 185. (下)

実験結果



2. 電荷蓄積モデル

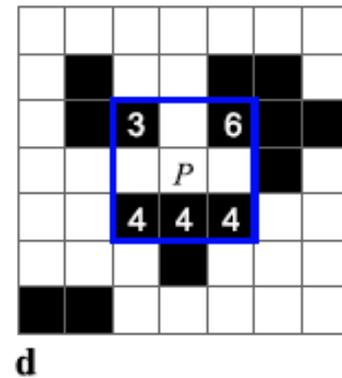
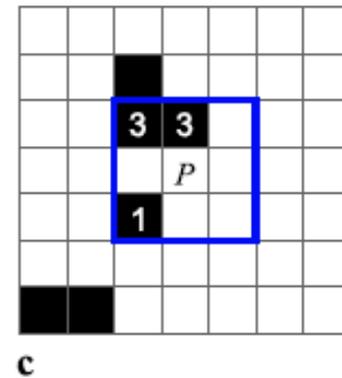
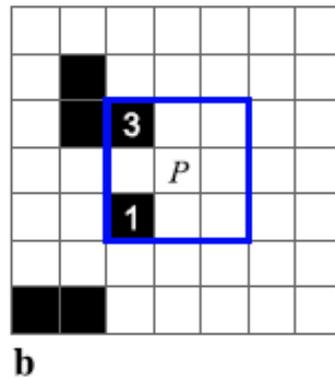
従来の二次元モデル



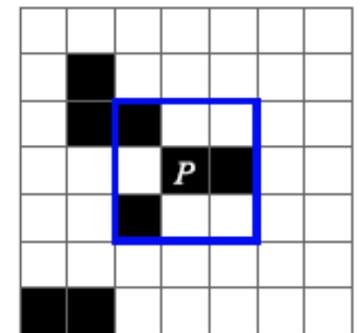
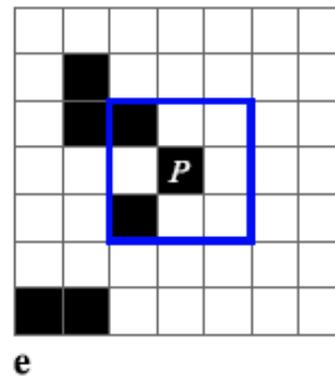
Q_p : 疑似足紋

$S_p^{(i,j)}$: (i,j) の属する
クラスターのサイズ

Z : 閾値



$$Q_p = \sum_{i=\{-1,0,1\}, j=\{-1,0,1\}} S_p^{(i,j)}$$



$Q_p \begin{cases} \leq Z & \dots \text{ 堆積} \\ > Z & \dots \text{ 反発} \end{cases} \rightarrow \text{ドリフト}$

単体モデル

$S(t)$: 時刻 t でのサイズ

$Q(t)$: // 蓄積電荷量

$P_s(t)$: // サイズ拡大確率

$P_q(t)$: // 電荷蓄積確率

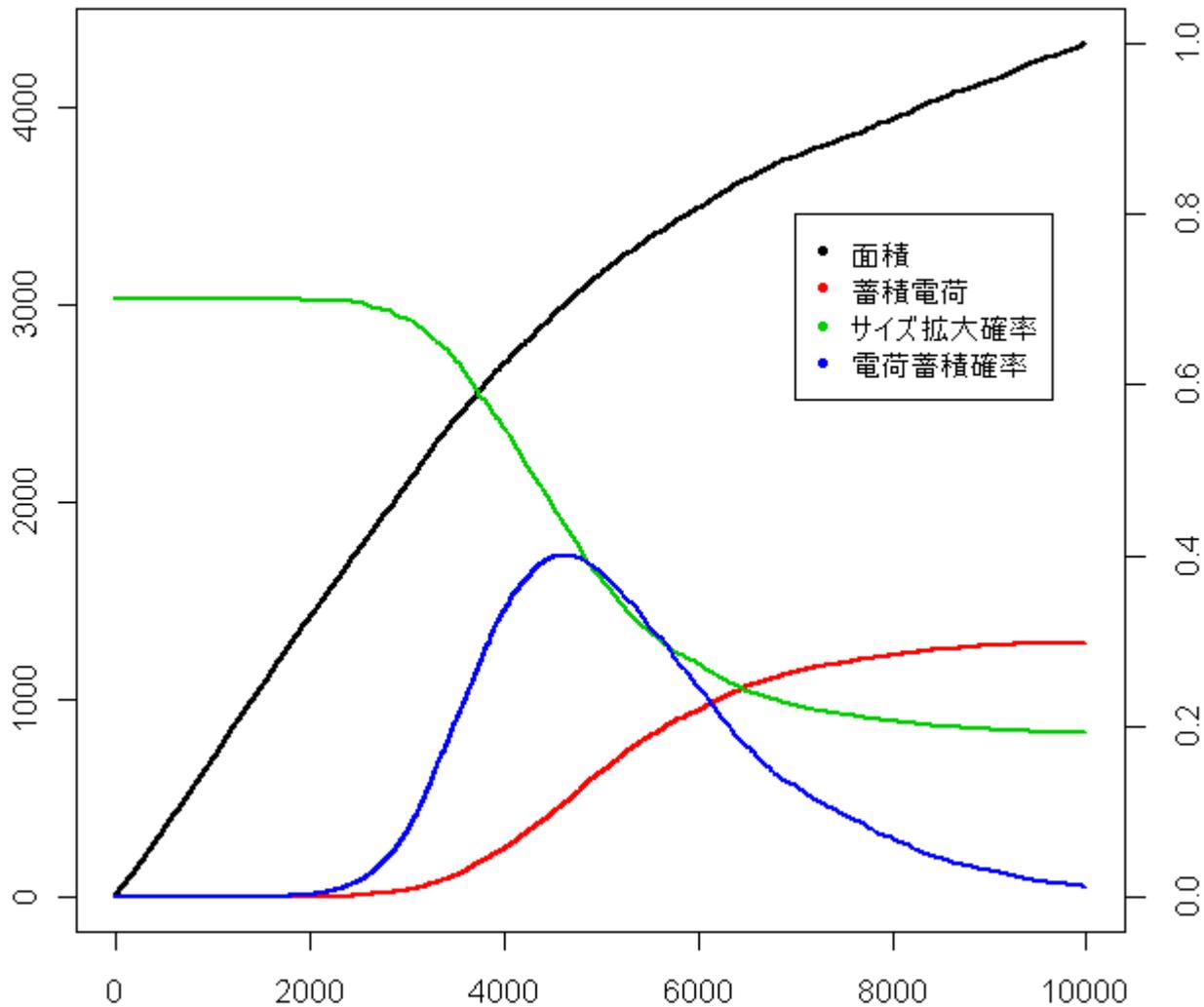
$$P_s = \alpha \times \exp\left(-A \times Q(t)\right)$$

$$P_q = \beta \times \exp\left(-\frac{(\mu - S(t))^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$S(t + \Delta t) = S(t) + P_s \times \Delta t$$

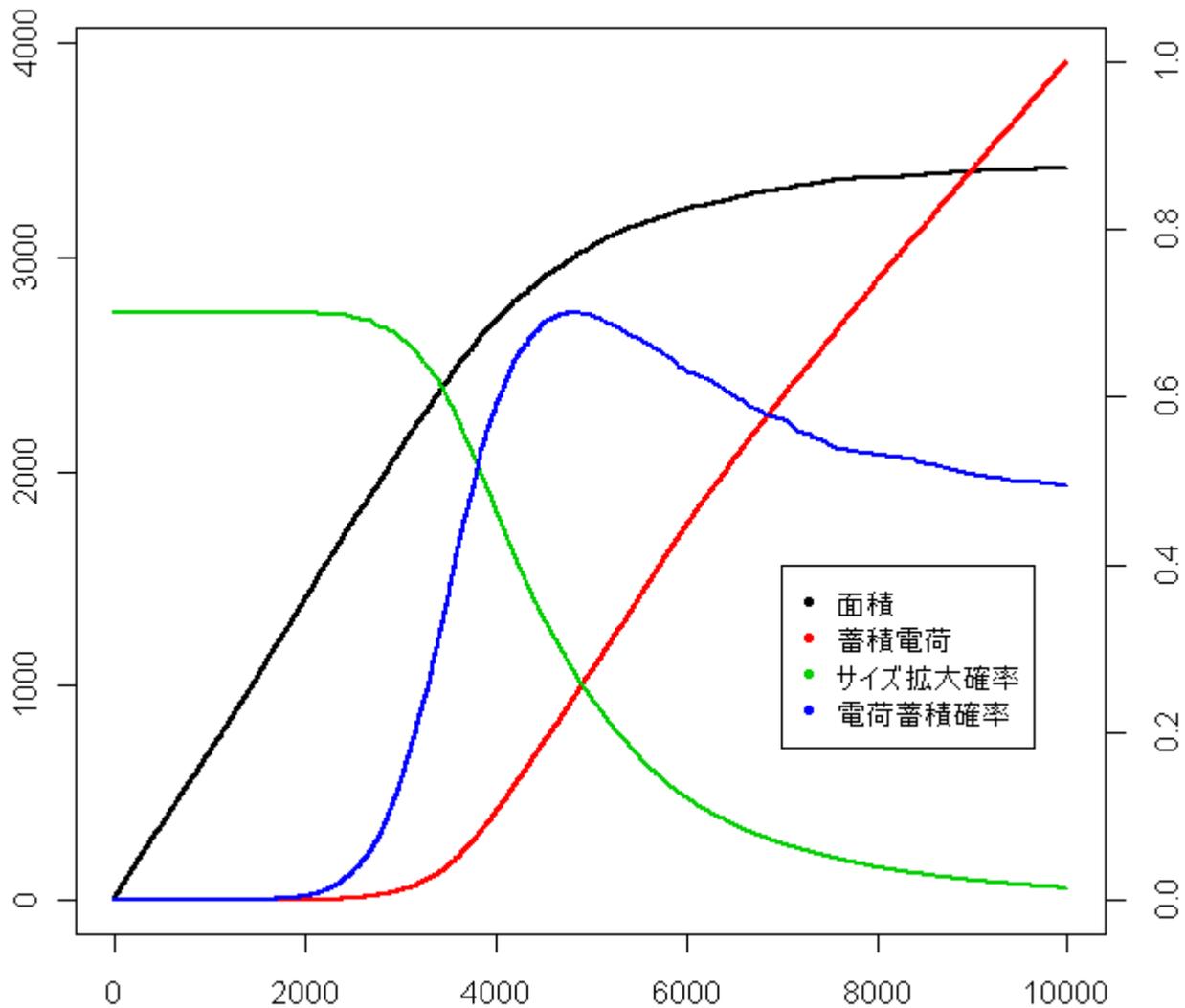
$$Q(t + \Delta t) = Q(t) + P_q \times \Delta t$$

単体モデル



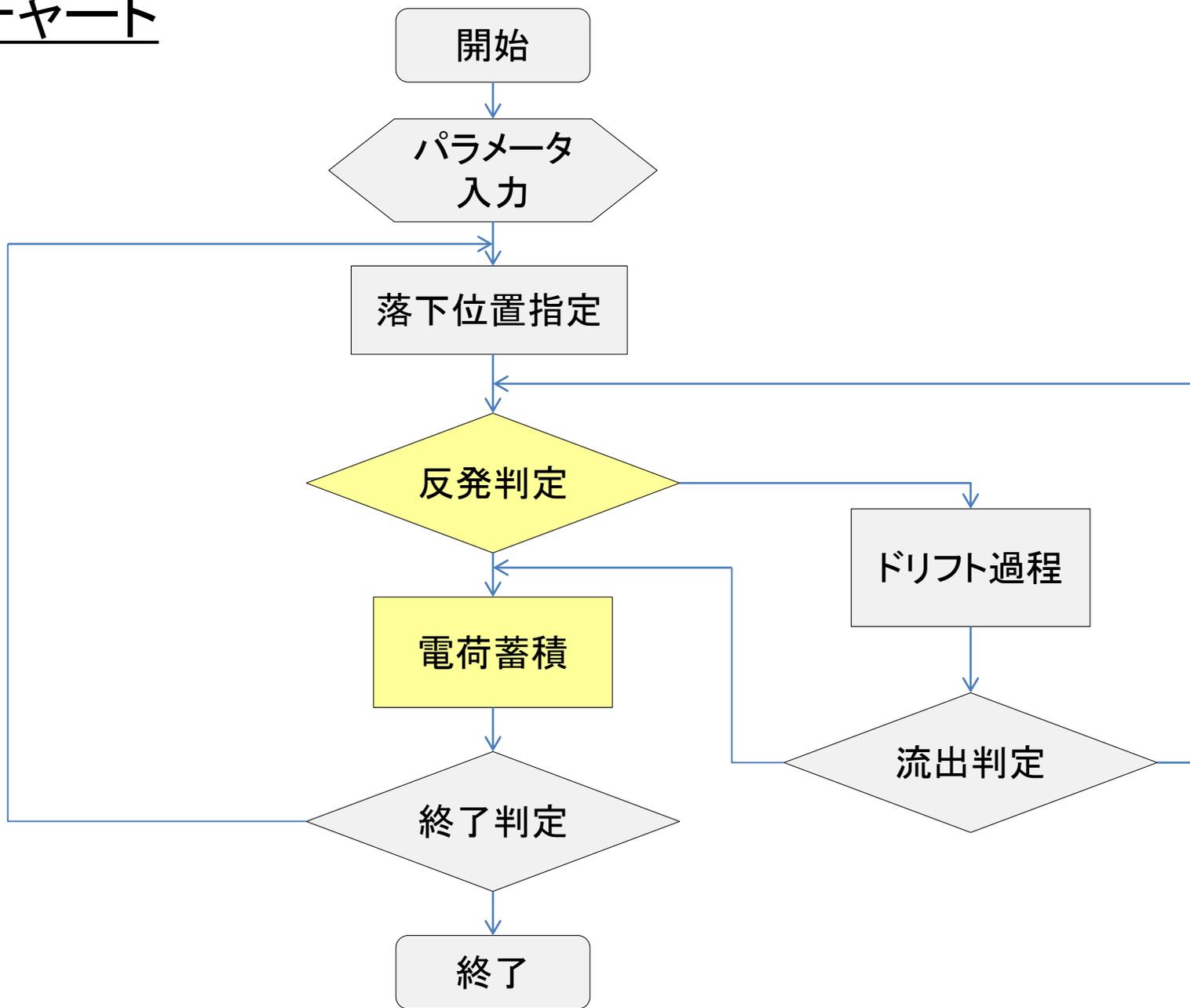
$A = 0.001, \alpha = 0.7, \beta = 0.4, \mu = 3,000, \sigma = 500$

単体モデル



$\beta = 0.7$ (β 以外は前回と同じ)

フローチャート



反発判定

$$a = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q(x,y)q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q(x,y)q}{a^2} \cos^2 \theta$$

$$F_{\perp} = F \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q(x,y)q}{a^2} \cos^2 \theta \sin \theta$$

$$Qp(x,y) = - \int_{\pi/2}^0 F_{\perp} d\theta = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q(x,y)q}{a^2} \int_{\pi/2}^0 \cos^2 \theta \sin \theta d\theta$$

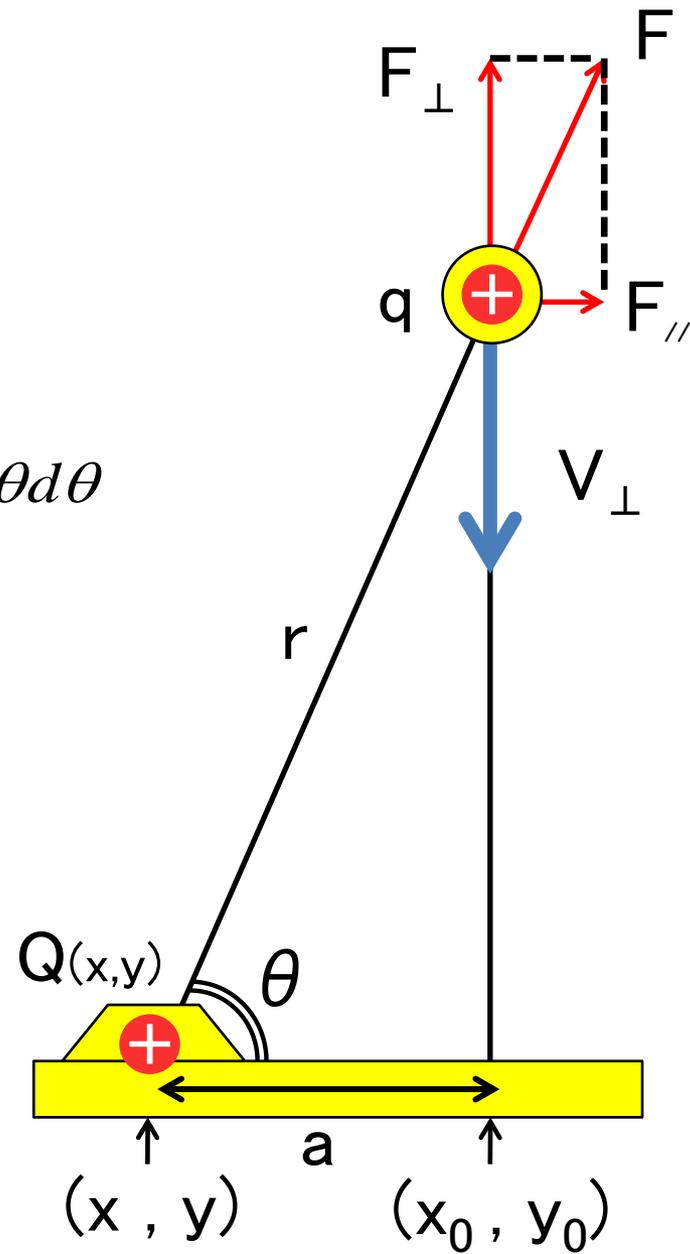
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q(x,y)q}{a^2} \times \frac{1}{3} = \left(\frac{q}{12\pi\epsilon_0} \right) \frac{Q(x,y)}{a^2}$$

$$= A \frac{Q(x,y)}{a^2}$$

$$Qp = \sum_{1 \leq x, y \leq N} Qp(x,y)$$

$$K_{\perp} = \frac{1}{2} m V_{\perp}^2$$

$Qp \begin{cases} \leq K_{\perp} & \dots \text{ 堆積} \\ > K_{\perp} & \dots \text{ 反発} \rightarrow \text{ドリフト} \end{cases}$



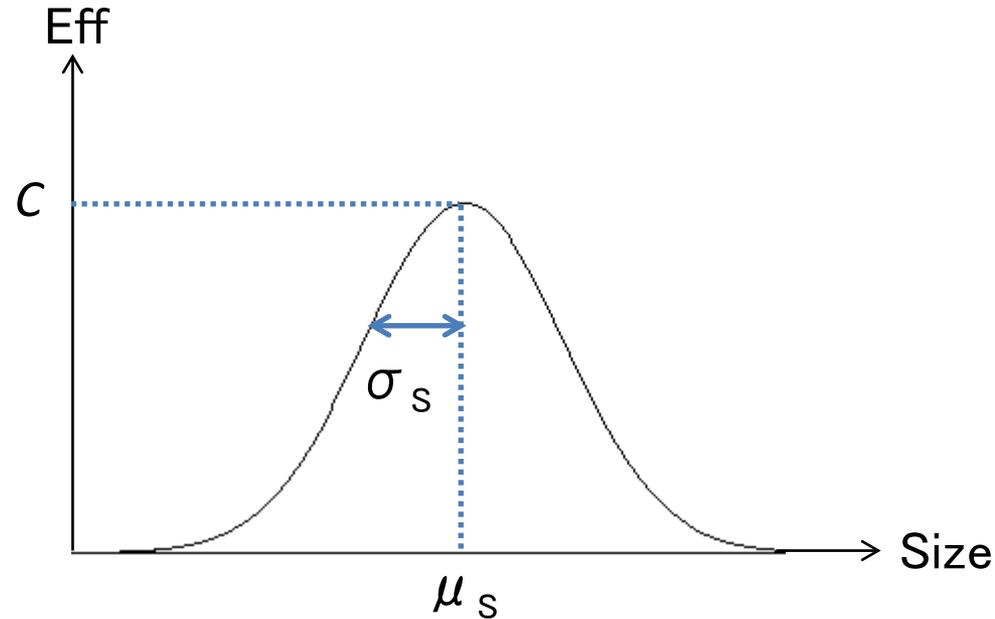
電荷蓄積

照射光子から正電荷への変換効率は、
クラスター面積について正規分布型の
関数になると仮定する。

- P : 照射光パワー
- ν : 照射光振動数
- S_0 : 照射面積
- B : 単位時間・面積あたりの光子数

- Eff(S) : サイズごとの光子・電荷変換効率
- μ_s : 最効率電荷変換サイズ
- σ_s : 標準偏差
- C : 最大電荷変換効率

- $QC_i(t)$: 時刻tにおける i番目の
クラスターの総蓄積電荷
- S_i : i番目のクラスターの面積
- (x, y) : i番目のクラスターに属するピクセル



$$B = \frac{P}{h\nu S_0}$$

$$Eff(S) = C \times \exp\left(-\frac{(\mu_s - S)^2}{2\sigma_s^2}\right)$$

$$QC_i(t + \Delta t) = QC_i(t) + S_i \times B \Delta t \times Eff(S_i)$$

$$Q_{(x,y)} = \frac{QC_i(t)}{S_i}$$

従来モデルからの改良点

クーロン力 : 周囲8マスのみ

→ 長距離力(距離の二乗に反比例)

電荷量 : クラスタサイズに比例

→ 時間経過で増大

パラメータ : 閾値 Z が漠然としたもの

→ 物理的に意味のある数値に由来

3. 評価

試行条件

以下の条件でモデルを動かし、
実験結果・従来モデルとの比較を行う。

総ピクセル数 : $64 \times 64 = 4,096$

係数 : $A = 0.001$

光子数 : $B = 5, 10, 20, 50$

最大効率 : $C = 1$

変換効率パラメータ : $(\mu_s, \sigma_s) = (12, 2)$

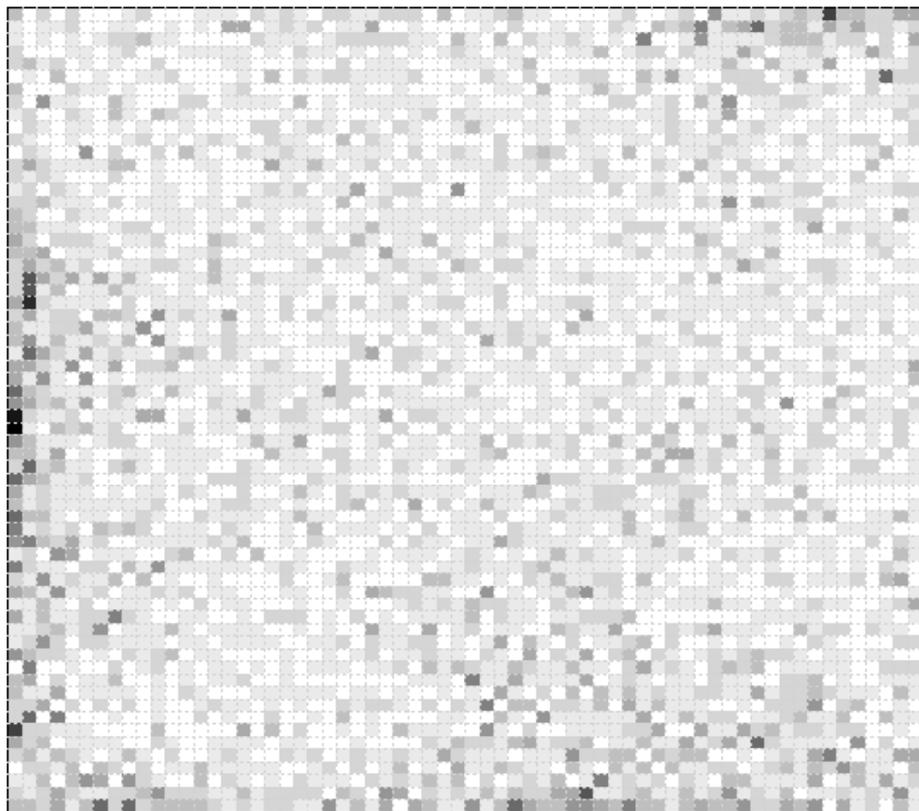
運動エネルギー : $K = 10$

終了条件 : 1). 粒子落下回数(ループ回数) \dots 8,192 回
2). 連続域外流出回数 \dots 64 回

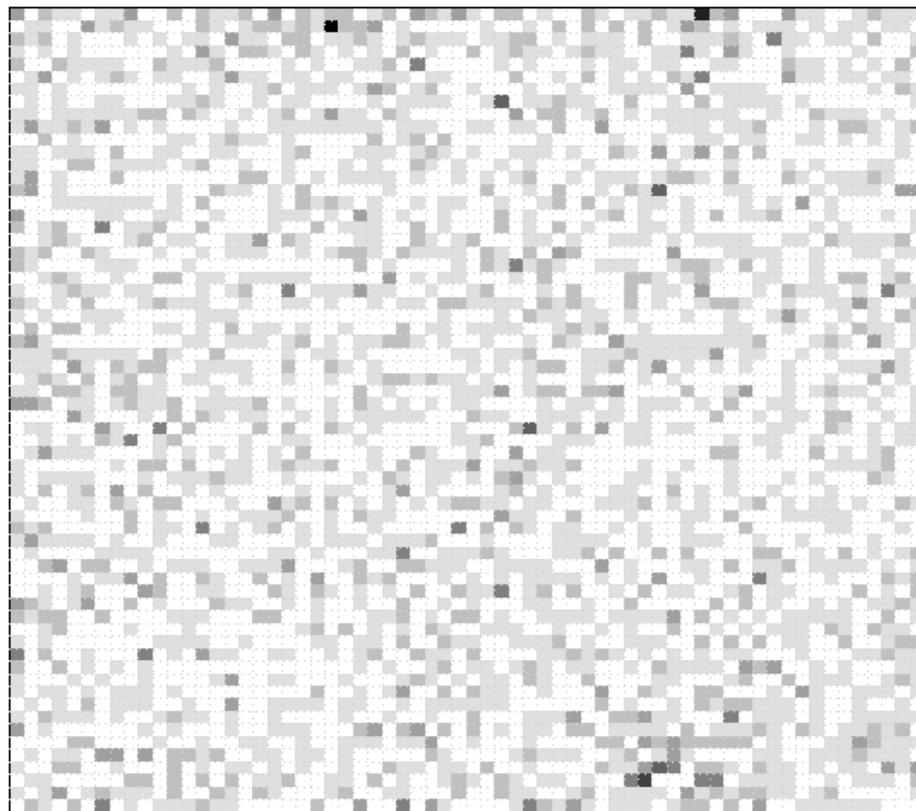
各試行回数 : $T = 100$

モデル結果

B = 5

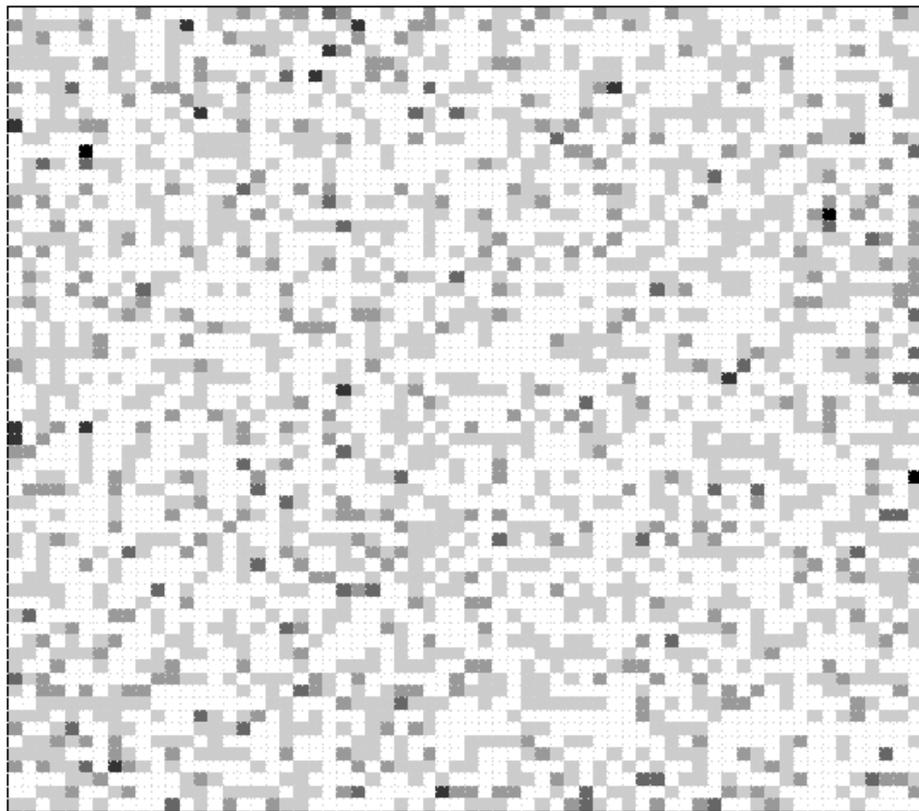


B = 10

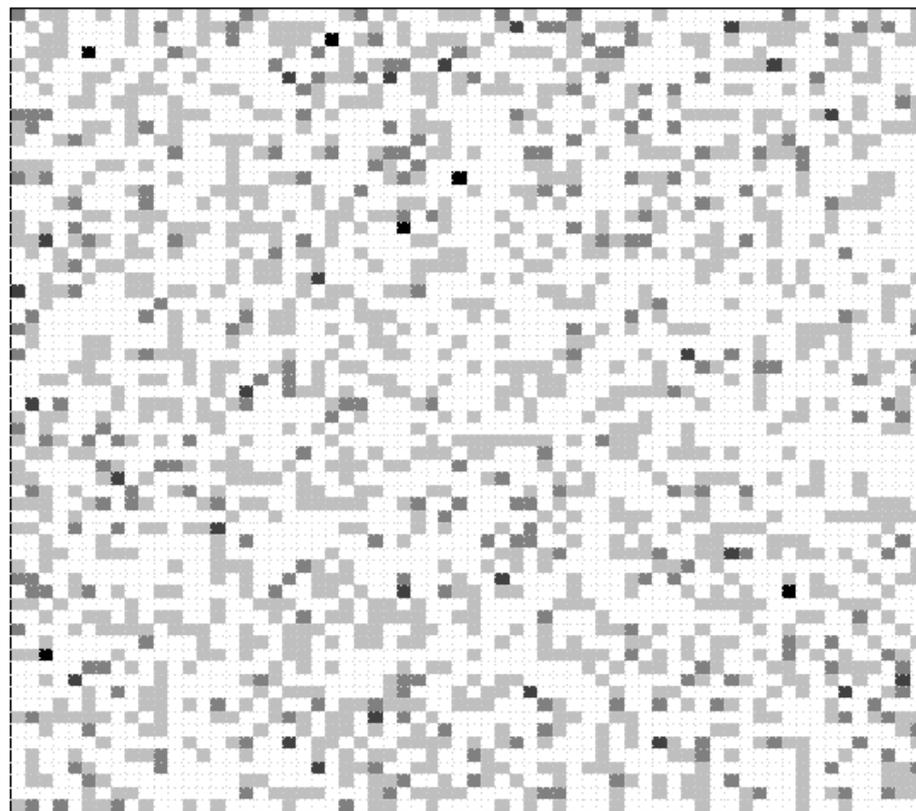


モデル結果

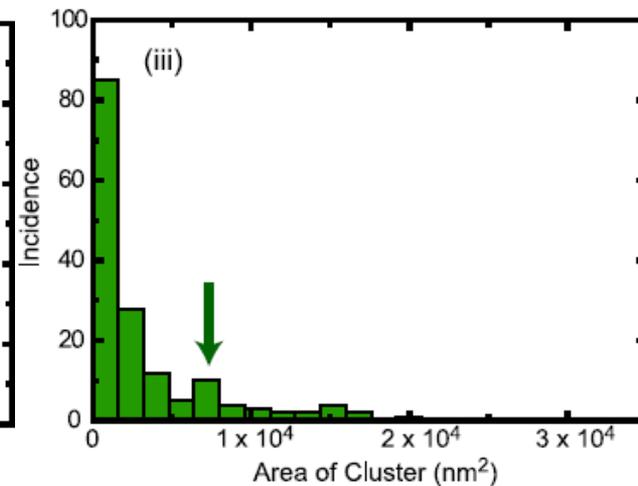
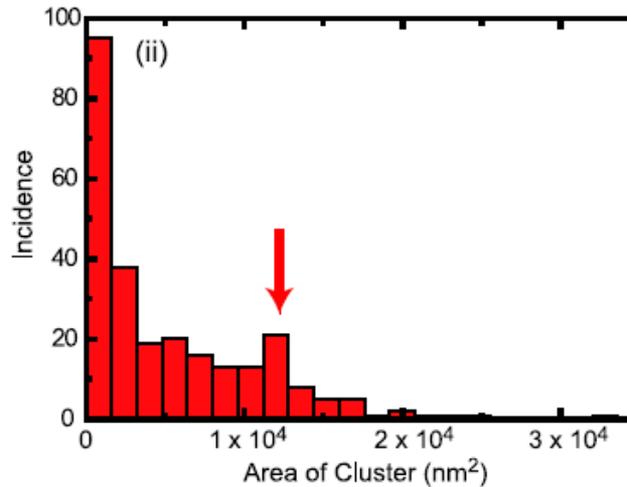
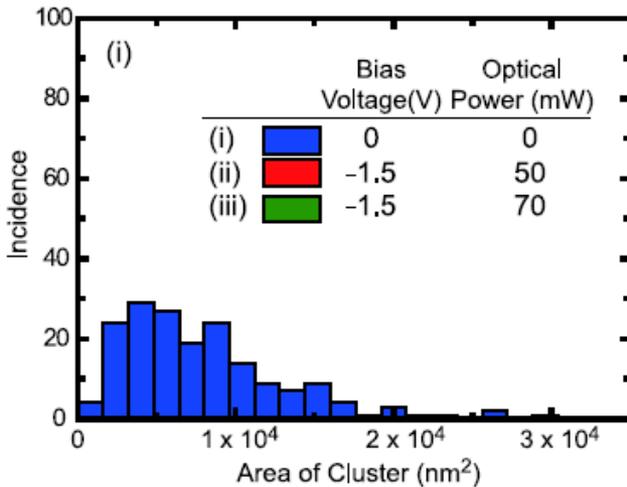
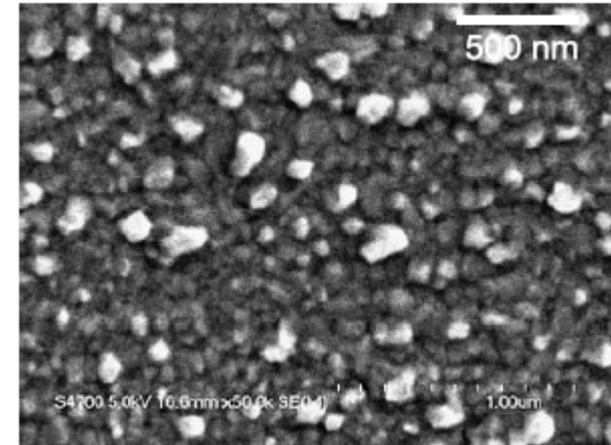
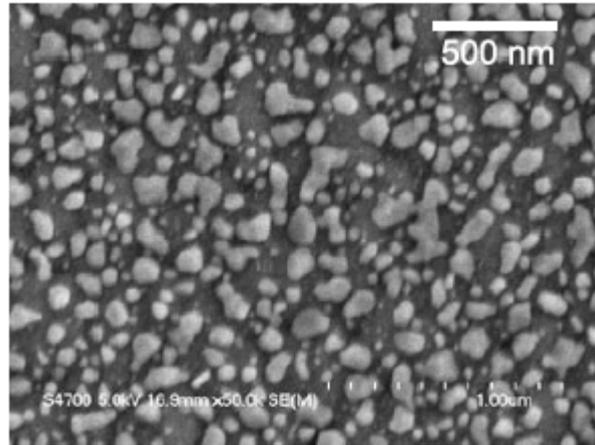
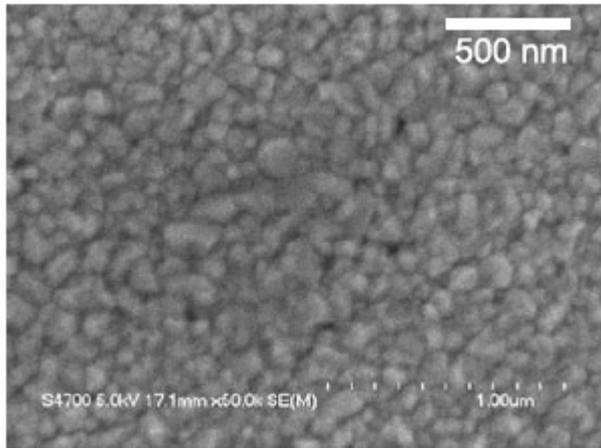
B = 20



B = 50

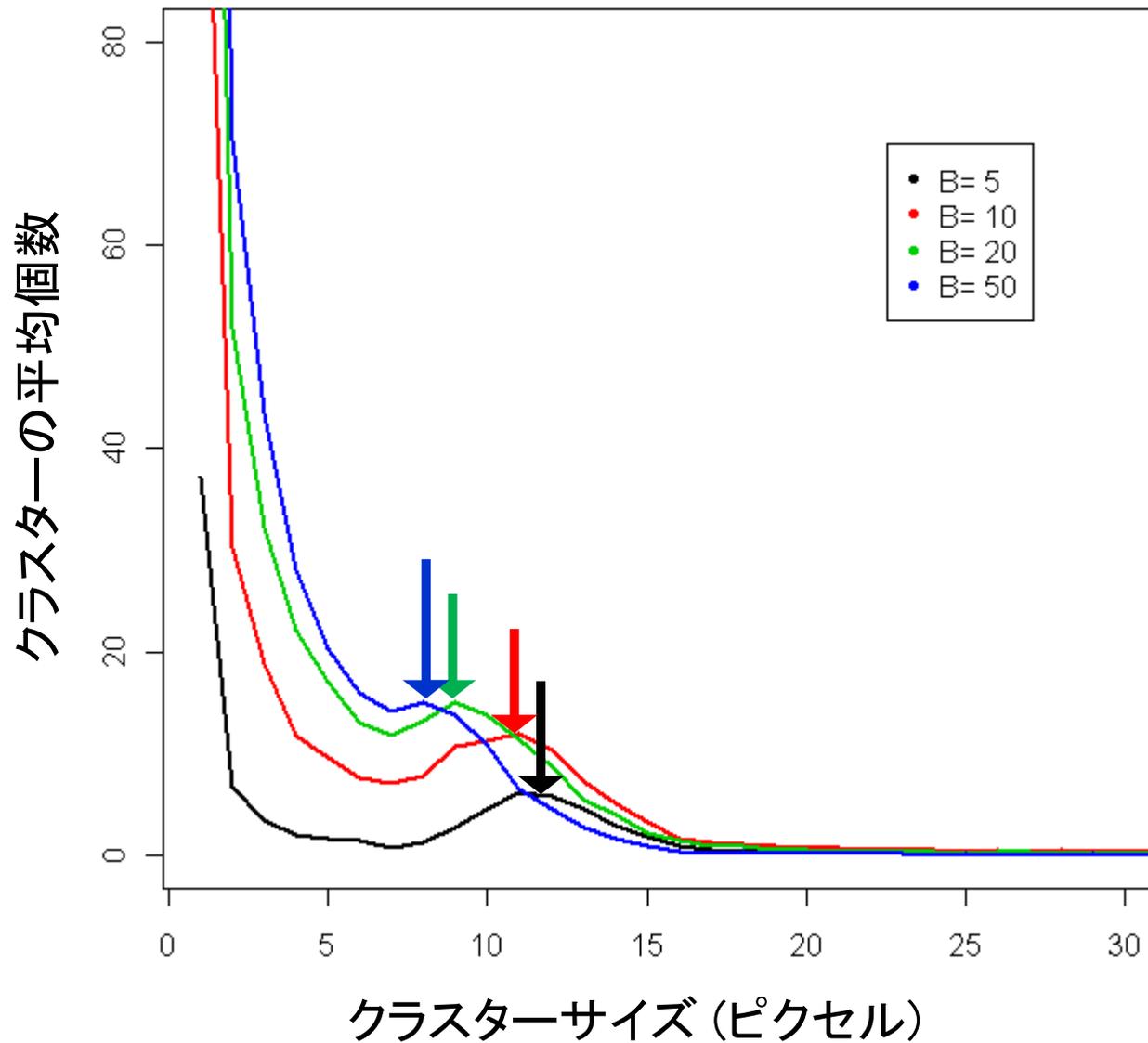


実験結果

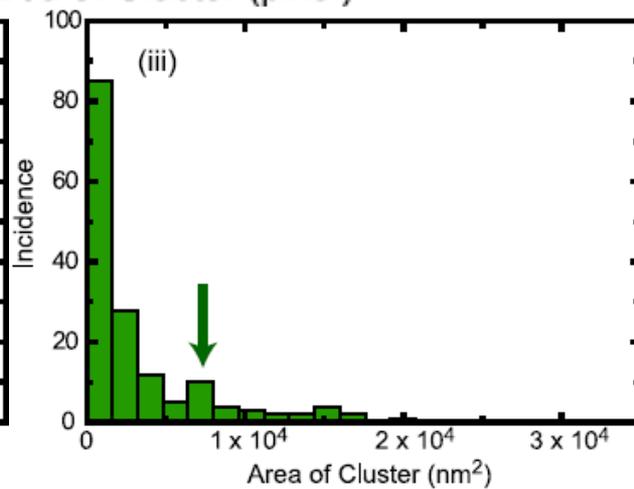
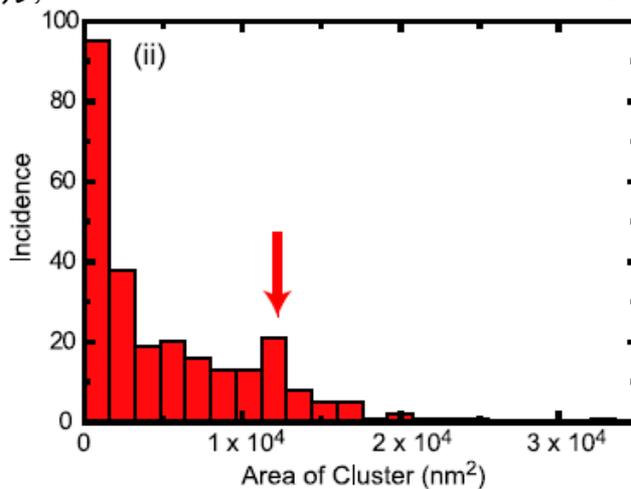
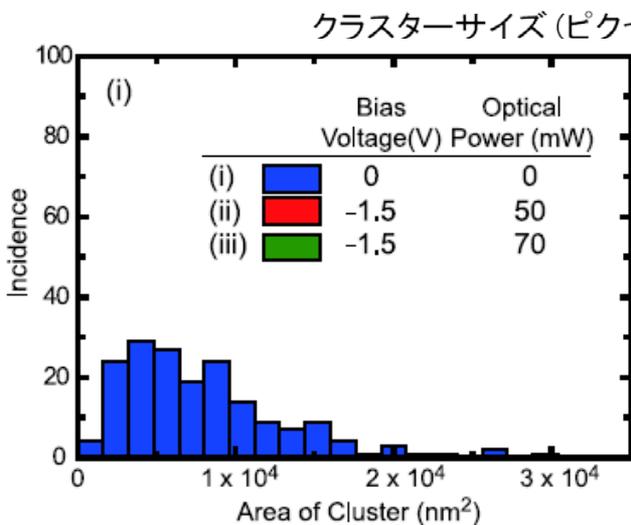
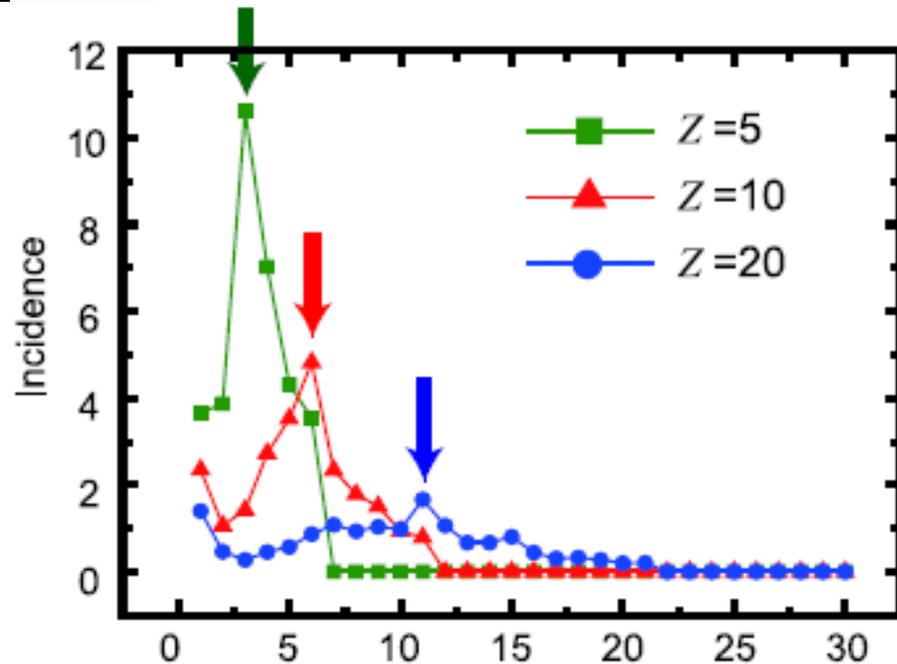
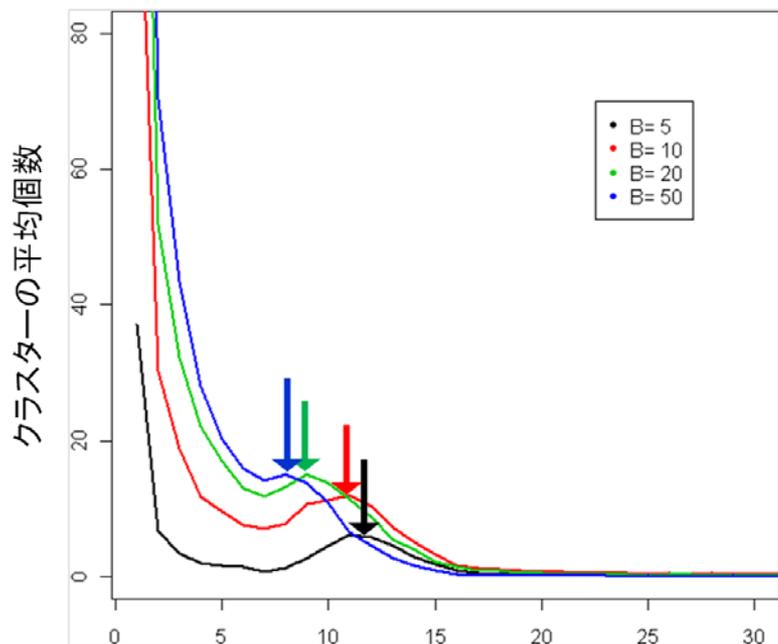


引用 : S.Yukutake , et al , Appl. Phys. B **99** (2010) 415. (上)
 : M.Naruse , et al , Appl. Phys. B **105** (2011) 185. (下)

モデル結果



従来モデル・実験結果との比較



評価

- ・照射光パワーの増大によりクラスターサイズの極大点が左側へシフトすることの概形が示せた.
- ・従来モデルで見られなかった, 最小サイズ(ピクセル数1)のクラスターの個数増大が現れた.
- ・全体的なクラスター個数の減少傾向は見られず, 逆に増加してしまった.
- ・表面形状の再現はいまだ充分ではない.
- ・プログラムが上手くいかず蓄積電荷等のデータを得られなかった.

4. 今後の課題

- ・プログラム変更による蓄積電荷の出力
- ・単体モデルでの条件確認
- ・具体的なパラメータ数値の確認
- ・横方向のクーロン反発・運動エネルギーの導入
- ・ドリフト過程の見直し
- ・クラスター間の相互作用の考察

参考・引用文献

『ドレスト光子 光・物質融合工学の原理』

大津元一 朝倉書店(2013)

『 Selective photocurrent generation in the transparent wavelength range of a semiconductor photovoltaic device using a phonon-assisted optical near-field process 』

S. Yukutake ▪ T. Kawazoe ▪ T. Yatsui ▪ W. Nomura ▪ K. Kitamura ▪ M. Ohtsu

Appl Phys B (2010) 99: 415–422

『A stochastic modeling of morphology formation by optical near-field processes』

M. Naruse ▪ T. Kawazoe ▪ T. Yatsui ▪ N. Tate ▪ M. Ohtsu

Appl Phys B (2011) 105:185–190

ご清聴
ありがとうございました