



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



高次のサンプリング技法を用いた効果的PIC/MC simulatorの開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 電気学会 公開日: 2012-08-28 キーワード (Ja): PIC/MC simulation, 粒子モデル, Legendre多項式, 高次のサンプリング キーワード (En): Legendre Polynomial Weighted Sampling, B-spline, PIC/MC simulation, Particle model, Legendre Polynomial Weighted Sampling, B-spline, Legendre polynomial, Higher order sampling 作成者: 小崎, 元嗣, 佐藤, 孝紀, 伊達, 広行, 伊藤, 秀範, 田頭, 博昭 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1573

高次のサンプリング技法を用いた効果的PIC/MC simulatorの開発

その他（別言語等）のタイトル	Developing an Efficient PIC/MC Simulator for RF Plasmas Using Higher Order Sampling
著者	小崎 元嗣, 佐藤 孝紀, 伊達 広行, 伊藤 秀範, 田頭 博昭
雑誌名	電気学会論文誌. A, 基礎・材料・共通部門誌
巻	122
号	2
ページ	145-150
発行年	2002
URL	http://hdl.handle.net/10258/1573

高次のサンプリング技法を用いた効果的 PIC/MC simulator の開発

学生員 小 崎 元 嗣 (室蘭工業大学)
 正 員 佐 藤 孝 紀 (室蘭工業大学)
 正 員 伊 達 広 行 (北海道大学)
 正 員 伊 藤 秀 範 (室蘭工業大学)
 正 員 田 頭 博 昭 (室蘭工業大学)

Developing an Efficient PIC/MC Simulator for RF Plasmas Using Higher Order Sampling

Mototsugu Kozaki, Student Member, Kohki Satoh, Member (Muroran Institute of Technology),
 Hiroyuki Date, Member (Hokkaido University), Hidenori Itoh, Member, Hiroaki Tagashira, Member
 (Muroran Institute of Technology)

An efficient self-consistent Particle-in-Cell/Monte Carlo (PIC/MC) simulator for rf plasma using higher order sampling technique called Legendre Polynomial Weighted Sampling (LPWS) has been developed in this work. The spatial distributions of charged particles in a discharge space obtained by LPWS show good statistics, as compared with the conventional PIC/MC performed with the same number of super particles. Also, the spatial distribution of electric field in the discharge space calculated from those of the charged particles by solving Poisson's equation show good statistics, so that instability of simulation caused by the fluctuation of the electric field which readily occurs in a particle model simulation of high density plasma can be inhibited by the developed simulator. Calculation time of the PIC/MC simulator coupled with LPWS is almost the same as that of the conventional PIC/MC simulator. It is found that the results obtained by the developed PIC/MC simulation have a tendency to reach the steady state condition earlier than those by the conventional PIC/MC simulator.

キーワード：PIC/MC simulation, 粒子モデル, Legendre Polynomial Weighted Sampling, B-spline, Legendre 多項式, 高次のサンプリング

Keywords: PIC/MC simulation, Particle model, Legendre Polynomial Weighted Sampling, B-spline, Legendre polynomial, Higher order sampling

1. はじめに

現在, 半導体デバイスの高集積化・細密化を進める上で放電プラズマを用いたドライプロセスの利用が必要不可欠となっている。半導体素子のさらなる微細加工を実現するため, プロセスプラズマの性質をより正確に理解し, プラズマを自在にコントロールする技術が求められている。プラズマの性質の解明においては, 発光分光法や質量分析法をはじめとした様々な実験的アプローチが先行しているが, 近年, プラズマプロセスの CAD 化を目指したコンピュータシミュレーションの研究や, 電子・イオン等の微視的な挙動を把握するためのコンピュータモデリングも注目されている。

プラズマプロセスで用いられるシミュレーションは, 流体モデルと粒子モデルに大別される。現在の主流である流

体モデルは計算時間が短く, 実用性に優れているが, 適切な境界条件の設定, 非平衡領域における電子の挙動の表現などにおいて, 解決すべき問題点が残されている。一方, 粒子モデルは, プラズマ中に存在する粒子の飛行軌跡を逐次追跡する方法であり, 原理的にはすべての粒子の挙動を, 平衡領域および非平衡領域のいずれにおいても正しく模擬することが可能である。このような点から, 粒子モデルは現段階において定量的に最も正しいシミュレーション法とされている。粒子モデルの代表的な手法として, 衝突をモンテカルロ (Monte Carlo:MC) 法で計算し, 放電空間の電界分布を PIC(Particle-in-Cell) 法によって求める PIC/MC 法⁽¹⁾があり, プロセスプラズマのシミュレーションに用いられている。^{(2) (3)}

PIC/MC simulation を用いてプロセスプラズマの解析を行なう場合, プラズマ中に存在するすべての粒子の挙動

をそのまま追跡することは計算機の記憶容量および計算時間の両面において不可能であり、いくつかの粒子を超粒子で代表させる。そのため、超粒子数が不十分であると統計変動の影響を強く受け、逆に超粒子数を増加させると計算時間が増大する。また、放電空間全体に十分な超粒子数を与えたとしても、粒子数密度が低くなるシース領域では超粒子数が少なくなり、統計変動の影響を大きく受ける。シース領域はプラズマの性質に強く関係するため、この領域での統計変動の影響がシミュレーションに不安定性をもたらす原因ともなっており、これらの問題点を改善するために様々な方法が提案されている。

Ardehaliら⁽⁴⁾は、放電空間で粒子数密度がある一定数以下になる領域では超粒子の重みを減少させ、追跡する超粒子数を増やす方法 (SPLIT-PIC/MC) を提案し、この方法でシース領域における統計変動を抑制している。また Dateら⁽⁵⁾は、放電空間を電極と平行な slab と呼ばれる微小空間に分割し、それぞれの slab 内に一定数の超粒子を与える方法を用いている。この方法では実際の粒子密度には関係なく統計変動の影響は電極間で一定となる。この方法は Direct Simulation Monte Carlo(DSMC) と呼ばれる手法と同様である。これら 2つの方法は超粒子数を増加させる、あるいは一定に保つことにより統計変動を抑制する方法である。

超粒子数を増加させずに統計変動の影響を減らすアプローチとして Nanbu⁽⁶⁾はフーリエ変換/逆変換を利用した方法を提案している。また、Ventzekら⁽⁷⁾は B-spline と Legendre 多項式を利用して統計変動を抑える高次のサンプリング技法 (Legendre Polynomial Weighted Sampling:LPWS) を提案し、それを電子エネルギー分布のサンプリングに適用して有用性を示している。また、佐藤ら⁽⁸⁾は Ventzekらの方法を一般化するとともに、それを多次元に拡張し、電子速度分布の効果的なサンプリング方法を開発している。電子・イオンのエネルギー分布のサンプリングに対して適用され、その効果が確認されているこのような方法を PIC/MC simulation に組み込み、粒子数密度分布などにおける統計変動の抑制に利用することにより、追跡する超粒子数を増やすことなく、すなわち、計算時間を大幅に増加させることなく、シミュレーションの精度を向上させることができると考えられる。

本研究の目的は LPWS を PIC/MC simulator に組み込み、効果的なプロセスプラズマの simulator を開発することである。本論文では、用いた LPWS の原理を示すとともに、開発した手法を N₂ RF グロー放電のシミュレーションに適用し、得られた結果を従来の PIC/MC simulator で得られた結果と比較・検討する。また、実験結果と比較・検討も行う。

2. LPWS の原理と密度分布の表現

〈2・1〉 LPWS の原理 LPWS は、bin(分割された区間をさす)内の密度変化を Legendre 多項式を用いて表現

すること、および B-spline による重み付けと重ね合わせからなる。ここで図 1 を用いながら LPWS の原理を述べる。

区間 $z_{i-1} \leq z \leq z_{i+1}$ を 1 つの bin とみなすと、密度変化 $n_A(z)$ は (1) 式の Legendre 多項式を用いて表現される。

$$n_A(z) = \sum_{m=0}^M P_m(\chi) f_m(z) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $P_m(\chi) = \frac{1}{2^m m!} \frac{d^m}{d\chi^m} (\chi^2 - 1)^m$

$$f_m(z) = \frac{2m+1}{2} \int_{-1}^1 P_m(\chi) n(z, \chi) d\chi$$

$$\chi = \frac{2(z - (z_{i+1} + z_{i-1})/2)}{z_{i+1} - z_{i-1}}$$

であり、 M は Legendre 多項式の項数である。 $f_m(z)$ は次式によってサンプリングされる。

$$f_m(z) = \frac{2m+1}{2} \sum_{i=1}^N P_m(\chi) \delta(z) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 N はサンプリングされる超粒子数であり、 $\delta(z)$ は超粒子が区間 $z_{i-1} \leq z \leq z_{i+1}$ に存在するときに 1、それ以外では 0 を与える関数とする。

次に、分布 $n_A(z)$ と同様なサンプリング方法で区間 $z_i \leq z \leq z_{i+2}$ の分布 $n_B(z)$ を求めると、区間 $z_i \leq z \leq z_{i+1}$ において $n_A(z)$ と $n_B(z)$ が重複する。この重複した 2 つの分布に対し、(3) 式のように 1 次の B-spline によって重み付けと重ね合わせを行うことによって区間 $z_i \leq z \leq z_{i+1}$ の密度分布 $n(z)$ が求められる。これを全区間に対して行うことにより、放電空間全体の統計変動の少ない密度分布 $n(z)$ が求められる。

$$n(z) = (1 - \xi) \cdot n_A(z) + \xi \cdot n_B(z) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{ただし、}(z_i \leq z \leq z_{i+1}), \xi = \frac{z - z_i}{z_{i+1} - z_i}$$

Ventzek らは 2 次の B-spline を用いた方法を提案しているが、1 次の B-spline が分布を精度良く表現できること

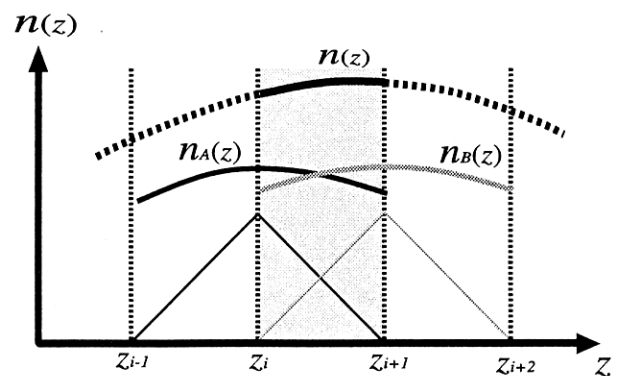


図 1 1 次の B-spline による重み付けと重ね合わせ
Fig. 1. Principle of weighting and overlapping by primary B-spline.

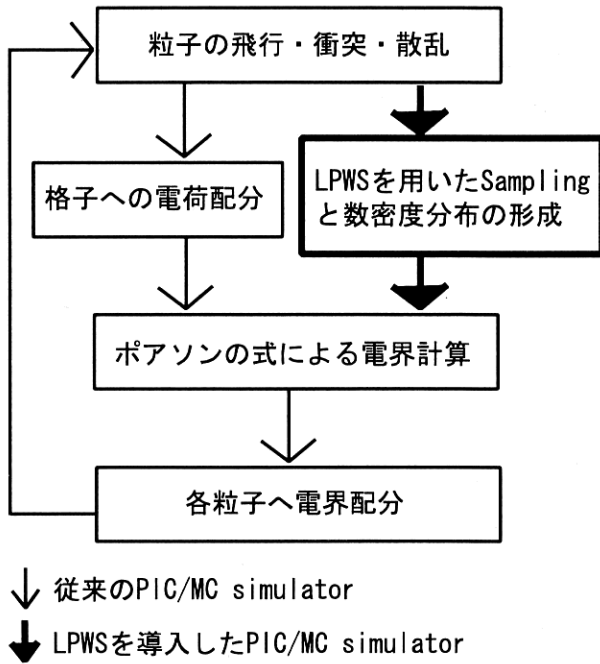


図2 PIC/MC simulator および PIC/MC with LPWS simulator のフローチャート
 Fig. 2. Flowchart of conventional PIC/MC simulator and PIC/MC with LPWS simulator.

が示されており⁽⁸⁾、本研究では1次のB-splineを採用し、Legendre多項式の第7項まで($M=7$)を考慮した。

〈2・2〉PIC/MC simulator への適用 従来のPIC/MC simulatorにおける荷電粒子の数密度分布は、放電空間内に設定された格子点上に仮想電荷を配分することで表現されていた⁽¹⁾。本論文では荷電粒子の数密度分布を〈2・1〉で示したLPWSを用いて表現する。これにより、シース領域のような粒子数密度の低い領域においても統計変動の影響が抑えられ、荷電粒子の数密度分布を用いて計算される空間電荷電界の精度が向上し、PIC/MC simulatorの精度が向上すると考えられる。

図2に従来のPIC/MC simulatorの場合とLPWSを組み込んだPIC/MC simulatorの場合の計算のフローチャートを示す。本研究で開発した方法では、荷電粒子の電荷を格子点上に比例配分する代わりに、LPWSを用いて荷電粒子数密度を表現し、その分布よりポアソンの式を用いて空間電荷電界の計算を行なう。粒子の飛行・衝突・散乱などの計算は従来のPIC/MC simulator同様である。

3. 計算条件

本研究では、1次元のPIC/MC simulatorを用い、容量結合型窒素RFグロー放電中の電子および正イオンの挙動をシミュレートした。電極には間隔 $d=3.0\text{cm}$ 、直径 $\phi=10.0\text{cm}$ の平行平板電極を仮定し、周波数 13.56MHz 、振幅 300V の正弦波のRF電源を印加させた。ギャップ容量 $C_g=2.5\text{pF}$ 、ブロッキングコンデンサー容量 $C_b=2.0\text{pF}$ 、

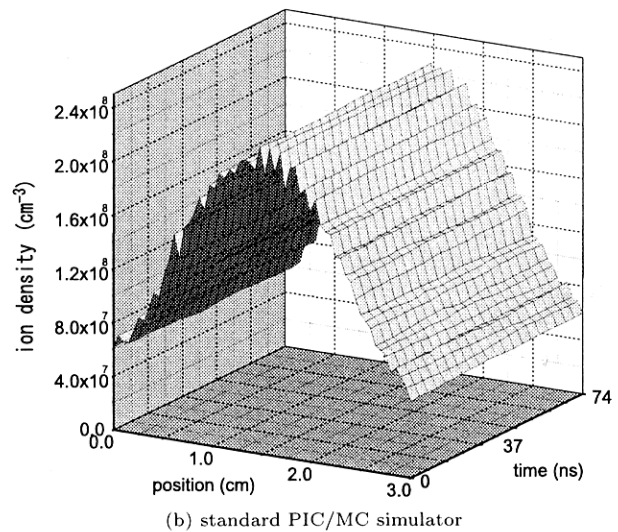
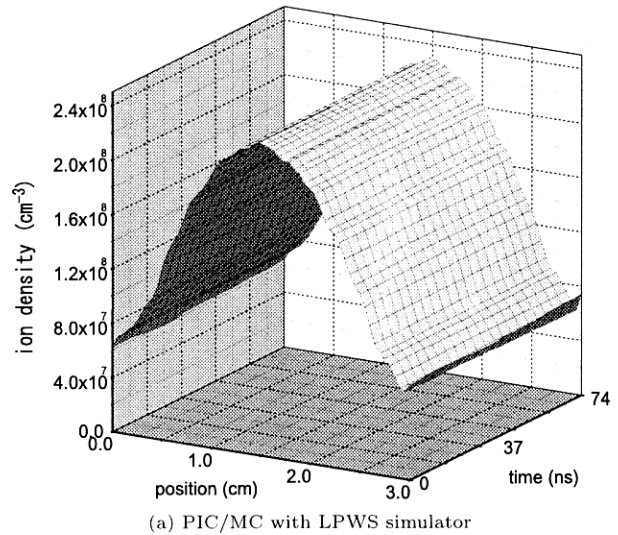
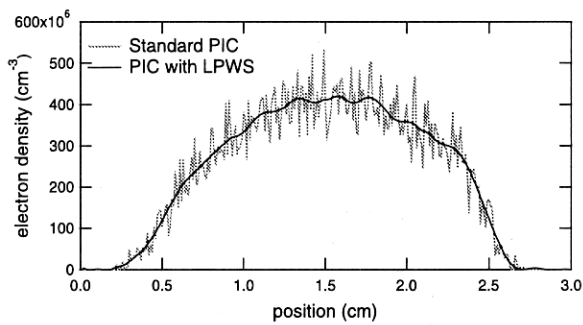


図3 正イオン数密度の時空間変化 (1499-1500cycle)

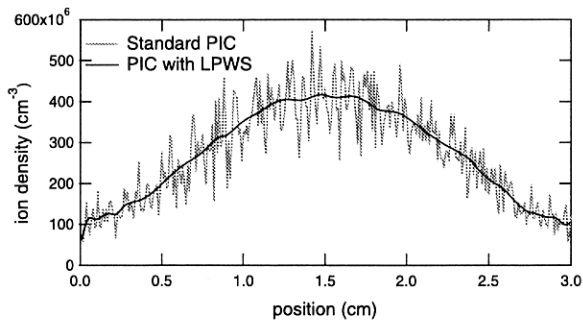
Fig. 3. spatio-temporal variations of ion density at 1499-1500cycle.

ガス圧を 0.5Torr 、ガス温度を 20°C とし、初期状態として荷電粒子が $1.0 \times 10^7\text{cm}^{-3}$ の密度で放電空間全体に一様に分布している状態を仮定した。また、3万個の超粒子を用いて放電空間の荷電粒子を表現している。電子と窒素分子の衝突断面積としてOhmoriらのセット⁽⁹⁾を用い、正イオンと窒素分子の衝突断面積にはJILA databaseのセットを用いた。

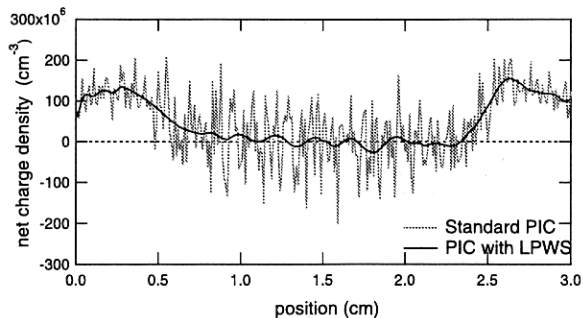
LPWSによる数密度分布のサンプリングおよび従来のPIC/MC simulatorでのcharge assingmentのmesh数は電極間で60とした。今回の計算のmesh間隔(LPWSでは1つのbinの幅に相当) Δz はデバイ長 λ_D よりも小さくなるように設定し、シミュレーションのタイムステップ Δt は $1/600\text{cycle}(0.123\text{ns})$ として、電子のプラズマ周波数よりも小さくなるように設定している。



(a) electron density



(b) ion density



(c) net charge density

図4 電子・イオン数密度および net charge density の空間変化 (300mesh)

Fig. 4. Spatial variations of electron, ion and net charge density. (300meshes)

4. 解析結果

図3に従来のPIC/MC simulator および LPWS を組み込んだPIC/MC simulator によって定常とみなせる周期まで計算を行なったときの正イオン数密度の時空間変化を示す。ここでは1499~1500周期の結果を示しているが、どちらの手法においても一周期での粒子の生成と消滅の差は0.14%以下となっており、ほぼ定常状態に達していると判断した。

図3(a) および (b) の正イオン数密度の時空間分布は、定性的・定量的に一致しているが、従来のPIC/MC simulator では統計変動の影響を受けて空間的に変動している。これに対し、LPWS を組み込んだPIC/MC simulator では統

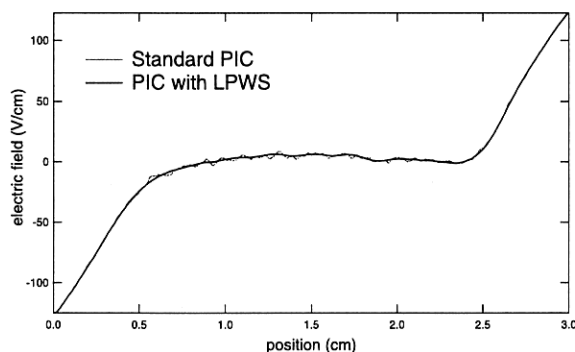


図5 電界の空間変化 (300mesh)

Fig. 5. Spatial variation of electric field. (300meshes)

計変動の影響が小さく抑えられていることがわかる。このように、LPWS をPIC/MC simulator の密度分布の表現に適用することにより、超粒子数を増加させずに統計変動の影響を抑えることができることがわかる。

図4は、超粒子数を保ったまま電極間の分割数を60meshから300meshに増やしたときの電子・イオン数密度および net charge density の空間変化である。PIC/MC simulation では、mesh を増やすことにより電極間の荷電粒子密度を正しく表現できる、すなわち電界を正確に表現できることになるが、電極間の分割数を増加させると、1つの区間に存在する超粒子数が減少するため、統計変動の影響が大きく現れる。そのため、図4の従来のPIC/MC simulator では統計変動の影響が非常に大きくなっているのに対し、LPWS を組み込んだPIC/MC simulator では統計変動が小さく抑えられていることがわかる。特に図4(c)に示した net charge の数密度分布において、LPWS を組み込んだ効果が顕著に現れている。

図5は図4(c)の空間電荷による電界歪みを考慮して計算した電界の空間変化を示す。両者は非常に一致を示しているが、従来のPIC/MC simulator では net charge density の変動の影響により、電界の変動が見られる。今回の結果では、荷電粒子数密度が 10^8cm^{-3} オーダーであるため、変動はわずかな大きさであるが、より高密度なプラズマをシミュレートする場合には、net charge density の変動に伴う電界の変動が拡大されると考えられる。また、それによりシミュレーション結果に大きく影響を与える可能性も否定できない。LPWS を組み込んだPIC/MC simulator では、電界のわずかな変動も抑えることができおり、この方法の優位性がわかる。

図6にLPWS を組み込んだPIC/MC simulator, 従来のPIC/MC simulator, Date らが用いたモンテカルロシミュレーション⁽⁵⁾と同様な方法およびボルツマン方程式の直接的解法の一つであるプロバゲータ法⁽¹⁰⁾によって計算された電子数密度分布の時間進展の様子を示す。500cycle程度まで計算を行なうと、図6(c)に示すように、いずれの方法で計算された密度分布も同様の形状になり、その大きさ

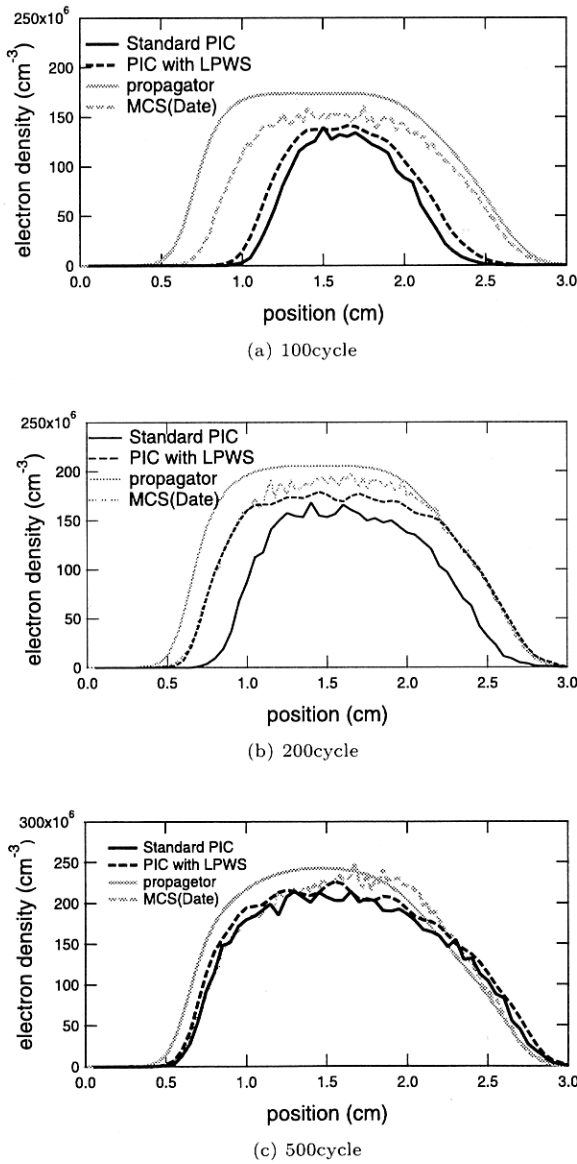


図 6 電子数密度の時間進展

(Standard PIC/MC, PIC/MC with LPWS, MCS (Date) および Propagator 法による計算結果の比較)

Fig. 6. the temporal evolution of electron density. (Comparison of results by Standard PIC/MC, PIC/MC with LPWS, MCS(Date)⁽⁵⁾ and Propagator method⁽¹⁰⁾)

もほぼ等しくなっている。このことから、解析方法にかかわらず同様な定常状態の結果が得られると考えられる。しかし、過渡状態においてはそれぞれの結果に明らかな違いが見られる。100cycleにおける結果(図6(a))では、LPWSを組み込んだPIC/MC simulatorの結果は従来のPIC/MC simulatorの結果よりわずかに大きいだけであるが、他の手法による結果よりは密度が低いとともに電極間の中央部のみ分布している。200cycle(図6(b))になると、LPWSを組み込んだPIC/MC simulatorの結果は、Dateらが用いたモンテカルロシミュレーションと同様な方法の結果とほぼ一致するようになる。このとき、従来のPIC/MC simu-

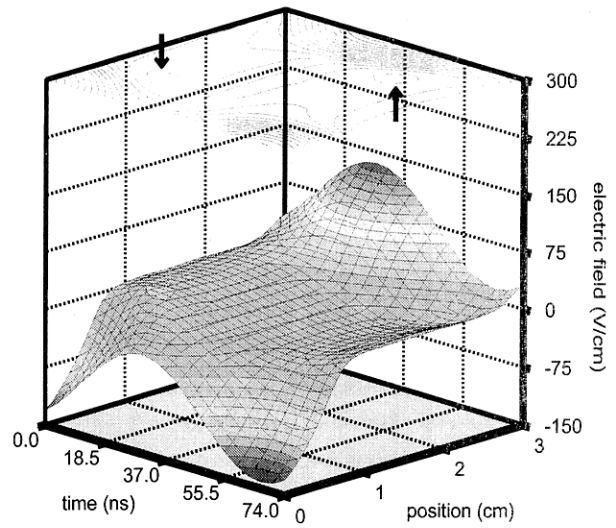


図 7 ダブルレイヤーの形成 (電界の時空間分布)

Fig. 7. formation of double layer. (spatio-temporal variations of electric field)

latorの結果は密度が低く、また分布の幅も狭い。このことから、LPWSを組み込んだPIC/MC simulatorは従来のPIC/MC simulatorよりも早く定常状態に近づくと考えられることができる。Ardehaliらも、開発したSPLIT-PIC/MC simulatorを用いると、従来のPIC/MC simulatorを用いた場合よりも早く定常状態に達すると報告しており⁽⁴⁾、今回の結果はそれと一致する。

図7にLPWSを組み込んだPIC/MC simulatorで定常とみなせるまで計算を行なったときの電界の時空間分布を示す。この電界の時空間分布を見ると、瞬時陽極側($t = 18.5\text{ns}$ のとき $x = 0\text{cm}$, $t = 55.5\text{ns}$ のとき $x = 3\text{cm}$)に小さなピークが形成されていることがわかる(図中矢印)。この小さなピークが現れている部分では net charge density が負になっており、ダブルレイヤーが形成されている。伊藤ら⁽¹¹⁾は、発光分光法による測定結果とプロパゲータ法による計算結果から、窒素ガス中RFグロー放電中でダブルレイヤーが形成されることを明らかにしており、本シミュレーションの結果はその結果と非常によく一致する。したがって、今回開発したLPWSを組み込んだPIC/MC simulatorは実験結果等とも一致しており、妥当性が確認できる。

今回の条件において、従来のPIC/MC simulatorでは100cycleの計算にAlpha DEC stationを用いて14.35時間必要であるのに対して、今回開発したLPWSを組み込んだPIC/MC simulatorでは14.70時間必要であった。これは従来のPIC/MC simulatorの計算時間に対してわずか2.4%の増加であり、計算時間の増加はほとんどないと言える。また、従来のPIC/MC simulatorを用いて今回開発したLPWSを組み込んだPIC/MC simulatorの結果と同程度まで統計変動を減少させるためには、少なくとも超粒子数を数倍に増やす必要があり、今回開発したLPWSを組み込んだPIC/MC simulatorは有用な方法であることがわ

かる。

5. ま と め

本研究では、PIC/MC simulator に高次サンプリング技法の一つである LPWS を組み込んだ効果的 PIC/MC simulator の開発を行なった。それによって得られた結果を以下に示す。

- (1) LPWS を PIC/MC simulator に適用することにより、電子・イオン数密度分布の統計変動を抑えることができる。これにより、空間電荷電界に含まれる統計変動を抑えることができる。
- (2) LPWS を組み込んだ PIC/MC simulator と従来の PIC/MC simulator における計算時間にはほとんど差はない。
- (3) PIC/MC simulator に LPWS を組み込んで統計変動の影響を抑えることで定常状態に近づく時間が短くなった。これは Ardehali らの報告と同様な傾向であった。
- (4) 窒素 RF グロー放電でダブルレイヤーが形成されることを確認できた。これは実験結果とも一致しており、開発した LPWS を組み込んだ PIC/MC simulator の妥当性が確認できた。

(平成 13 年 7 月 30 日受付)

文 献

- (1) C.K.Birdsall, "Particle-in-Cell charged-particle simulations, plus Monte Carlo collisions with neutral atoms, PIC-MCC," IEEE Trans. Plasma Sci., Vol.19, pp.65-85 (1991)
- (2) Jin-Sung OH and Toshiaki MAKABE, "Numerical Study of the Effects of Frequency in Inductively Coupled Plasma Using Particle-in-Cell/Monte Carlo Simulation," Jpn. J. Appl. Phys., Vol.39, pp.1358-64 (2000)
- (3) Min Yan and Willem Jan Goedheer, "Particle-in-Cell/Monte Carlo Simulation of Radio Frequency SiH₄/H₂ Discharges," IEEE Trans. Plasma Sci., Vol.27, pp.1399-1405 (1999)
- (4) M.Ardehali, H.Matsumoto "An Efficient Monte Carlo Simulator for Low-Pressure RF Plasmas," IEEE Trans. Plasma Sci., Vol.25, pp.1081-5 (1997)
- (5) A.Date, K.Kitamori, S.Sakai, and H.Tagashira "Self-consistent Monte Carlo modeling of RF plasma in a helium-like model gas," J. Phys. D., vol.25, pp.442-453 (1992)
- (6) K.Nanbu, "Fourier transform method to determine the probability density function from a given set of random samples," Phys. Rev. E, Vol.52, pp.5832-38 (1994)
- (7) P.L.G.Ventzek and K.Kitamori, "Higher-order sampling strategies in Monte Carlo simulations of electron energy distribution functions in plasmas," J.Appl. Phys., vol.75, pp.3785-88 (1994)
- (8) 佐藤 孝紀, 本間 高広, 伊藤 秀範, 田頭 博昭, "Legendre 多項式および B-spline 関数を用いた電子エネルギー分布関数の Higher Order Sampling," 電気学会論文誌 A Vol.120-A, No.2, pp.147-53 (2000)
- (9) Y.Ohmori, M.Shimozuma and H.Tagashira, "Boltzmann equation analysis of electron swarm behaviour in nitrogen", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol.21, pp.724-9 (1987)
- (10) 佐藤 孝紀, 伊藤 秀範, 田頭 博昭, "プロバゲータ法による容量結合型 N₂ RF グロー放電の解析," 電気学会放電研究会資料, ED-99-57, pp.67-72 (1999)
- (11) 伊藤 秀範, 西山 伸泰, 佐藤 孝紀, 田頭 博昭, "窒素 RF プラズマの発光分光診断," 電気学会論文誌 A, Vol.121-A, No.5, pp.465-70 (2001)

小 崎 元 嗣 (学生員) 1977 年 12 月 18 日生。2000 年室蘭工業大学工学部電気電子工学科卒業。同年同大学大学院工学研究科博士前期課程電気電子工学専攻入学。現在に至る。応用物理学会会員。



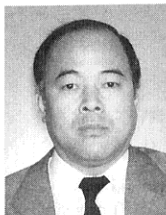
佐 藤 孝 紀 (正員) 1963 年 12 月 17 日生。1986 年室蘭工業大学工学部電気工学科卒業。1991 年北海道大学大学院工学研究科博士後期課程電気工学専攻修了。同年室蘭工業大学助手, 1994 年 4 月同講師, 1996 年 3 月同助教授。現在に至る。この間 1996 年 3 月~1997 年 5 月オーストラリア・マッコリー大学レーザ応用研究所客員研究員。工学博士。気体放電の基礎過程に関する研究に従事。応用物理学会, 放電学会会員。



伊 達 広 行 (正員) 1960 年 7 月 14 日生。1983 年北海道大学工学部電気工学科卒業。1987 年同大学大学院工学研究科後期博士課程中退。同年 7 月同大学医療技術短期大学助手, 1999 年同校助教授。現在に至る。この間 1995 年~1996 年文部省派遣在外研究員(カルフォルニア大学バークレー校化学工学科)。工学博士。放電基礎過程, 放射線物理計測の研究に従事。応用物理学会会員, 北米放射線医学会, 日本医学物理学会員。



伊 藤 秀 範 (正員) 1951 年 10 月 26 日生。1975 年北海道大学工学部電気工学科卒業。1980 年同大学大学院工学研究科博士後期課程電気工学専攻修了。同年徳島大学工業短期大学部助手, 1983 年 4 月同講師。1984 年 4 月室蘭工業大学助教授, 1996 年 4 月同教授。現在に至る。この間 1988 年 6 月~1989 年 12 月オーストラリア・ニューイングランド大学物理学科客員研究員。1993 年オーム技術賞受賞。工学博士。プラズマエレクトロニクスに関する研究に従事。応用物理学会, 日本物理学会, 放電学会会員。



田 頭 博 昭 (正員) 1933 年 1 月 13 日生。1958 年北海道大学工学部電気工学科卒業。1961 年同大学大学院工学研究科博士課程中退。同年北海道大学講師, 1962 年 4 月同助教授, 1973 年同教授。1996 年 4 月北海道工業大学教授。1998 年 2 月室蘭工業大学学長。現在に至る。この間 1964 年 9 月~1967 年 5 月連合王国リバプール大学留学。1997 年電気学会業績賞受賞。Ph.D.(リバプール大学), 工学博士。応用物理学会, プラズマ核融合学会, 溶接学会, 照明学会, 電気設備学会, 放電学会会員。

