

高強度レーザーと薄膜の相互作用により 生成されるイオンビームの発散の抑制

MT043221 園部 遼

宇都宮大学大学院工学研究科
電気電子工学専攻

Background and Purpose

現在、高強度レーザーと薄膜ターゲットの相互作用による高速イオンの生成に関する研究が盛んに行われている。

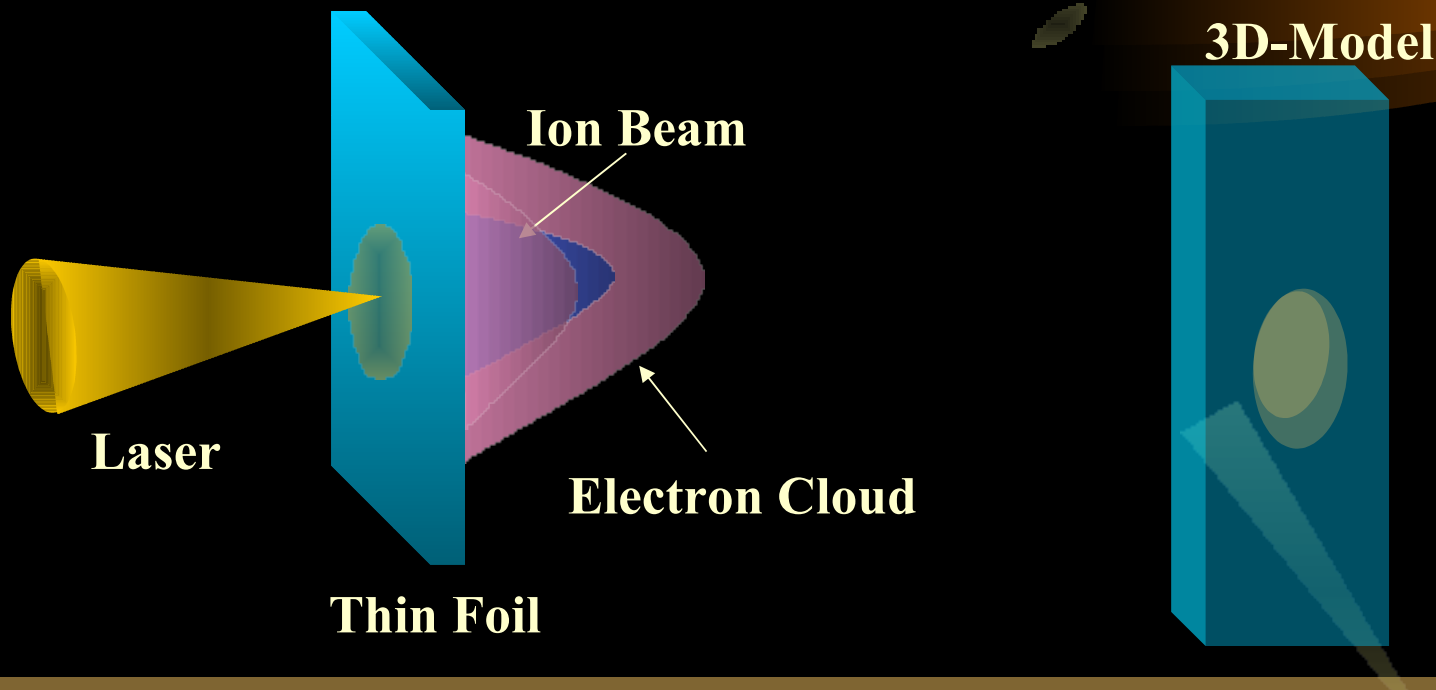


レーザーイオン加速は小型加速器、基礎粒子物理、医療、核融合等の応用に貢献できる可能性がある。



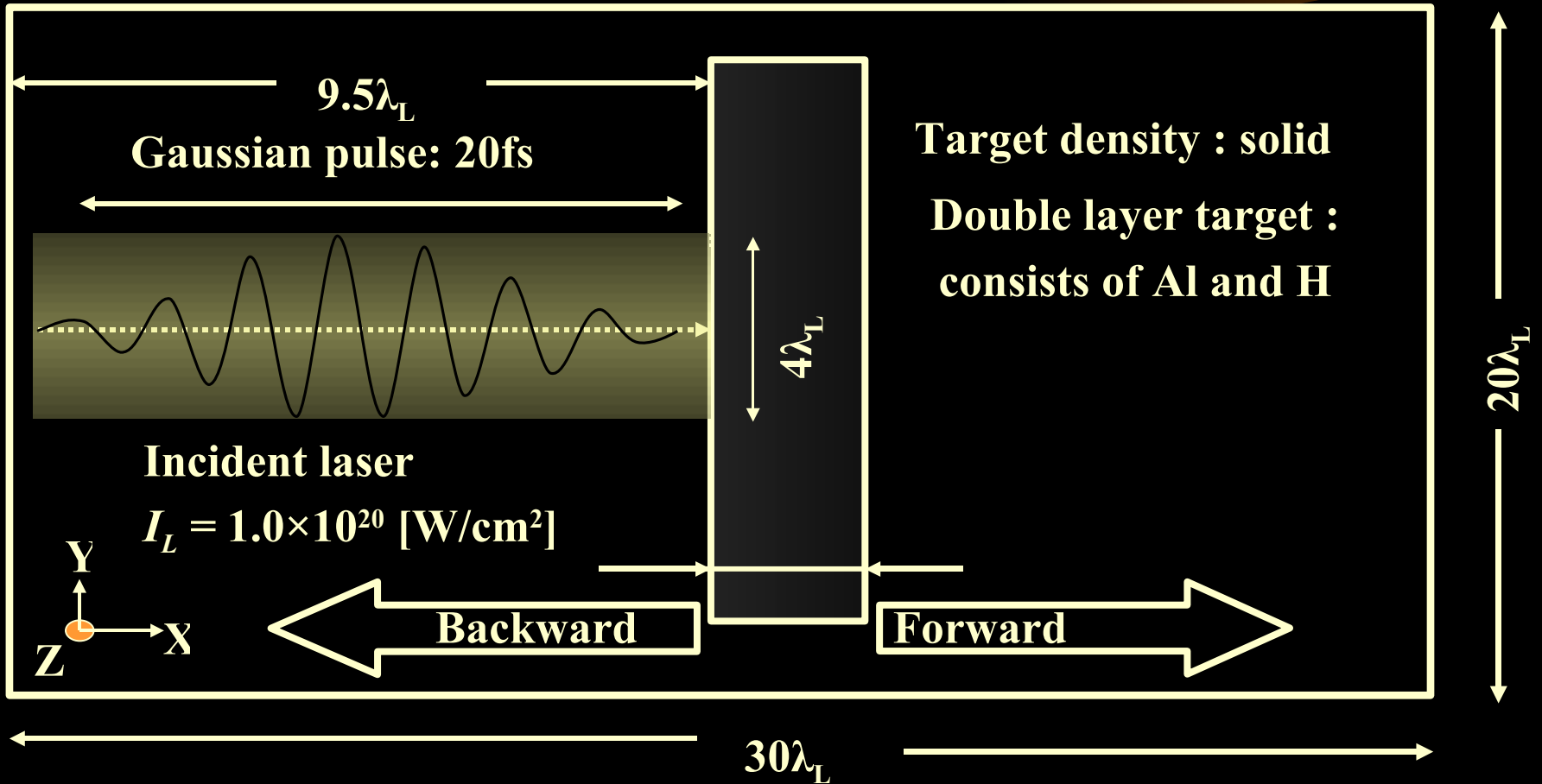
これらの応用に用いるためには生成されるイオンビームの質が大変重要になってくる。

Background and Purpose

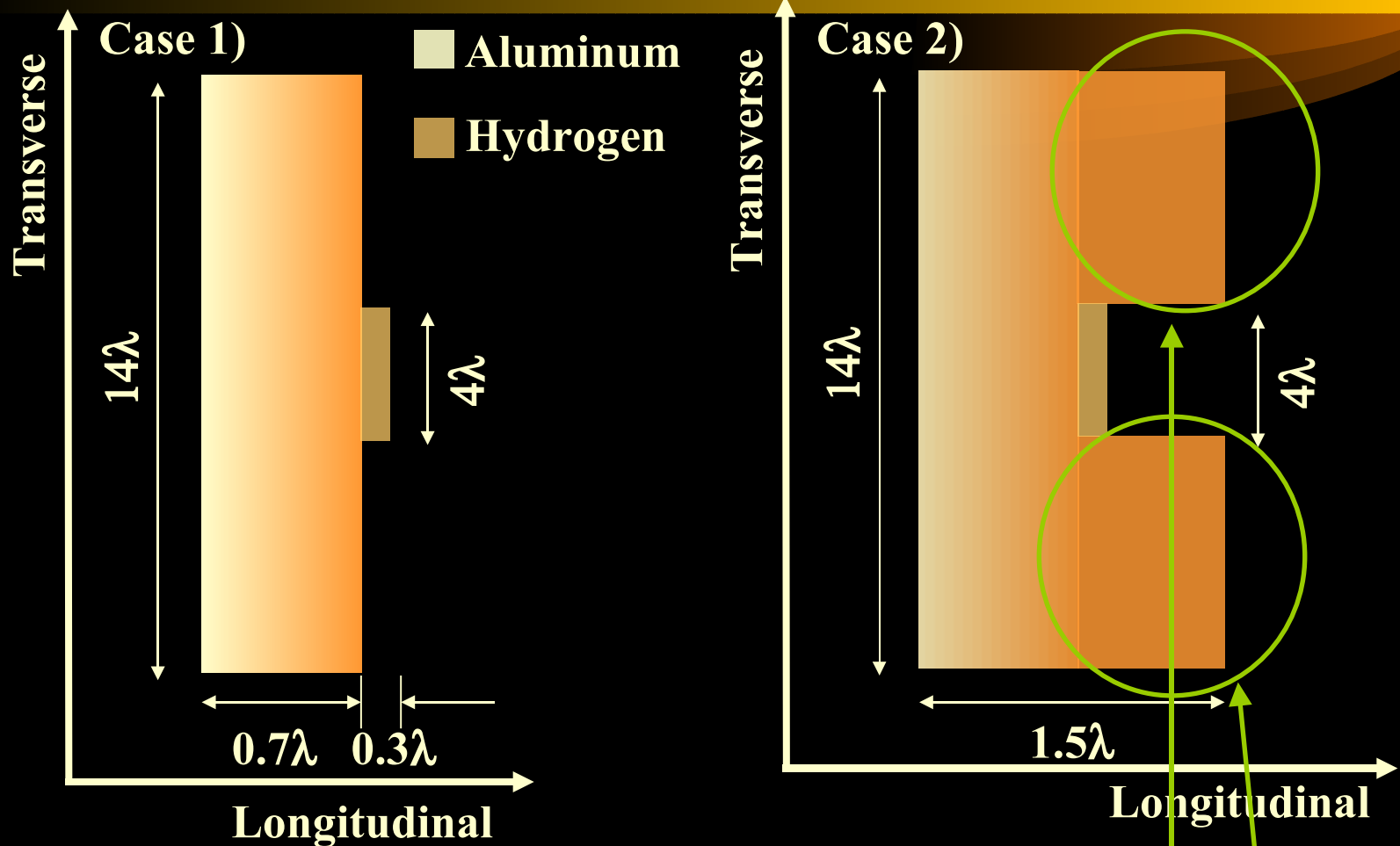


今回私たちは、電子雲の制御をすることによりProtonの横方向への散乱を抑制することに焦点を置いた。Laserがホイルターゲットに照射されるとの電子が加速されてターゲット前方に負の静電ポテンシャルを形成する。Protonは空間電荷分離によって加速され、また、Protonの横方向の分布は電子雲の形状によって決まる。よって、Protonの横方向の広がりを制御するため私たちはLaser照射面とは反対側にホールを持ったターゲットを用いて計算を行った。

Simulation Box



Initial Target Profile



Case 1は従来の平板状の薄膜ターゲットを用いた。

Case 2 はレーザー照射面とは反対側にホールをつけたターゲットを用いた。

グラデーションの部分は密度勾配を示す。

Initial Parameter Values

- **Intense laser pulse**

Wave length: $\lambda_L = 1.053[\mu\text{m}]$

Gaussian laser duration: $t_L = 20[\text{fs}]$

Laser intensity: $I_L = 1.0 \times 10^{20}[\text{W}/\text{cm}^2]$

Laser spot diameter: $r_L = 4\lambda_L$ (FWHM)

- **Target**

Double layer target consists of Al and H

Initial density: solid

Initial distribution: Partial balance-Maxwell

distribution (temperature $T_e=1.0, T_i=1.0[\text{KeV}]$)

- **Calculation conditions**

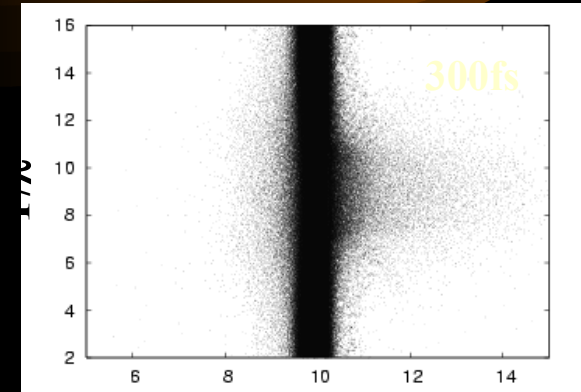
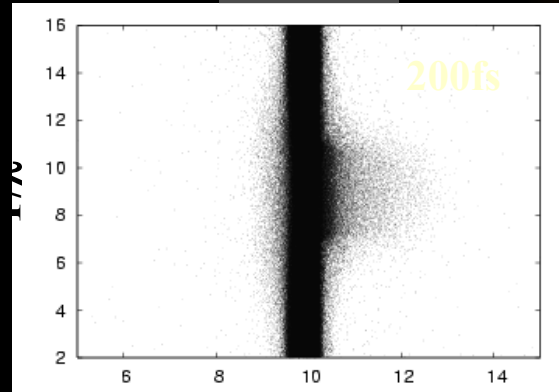
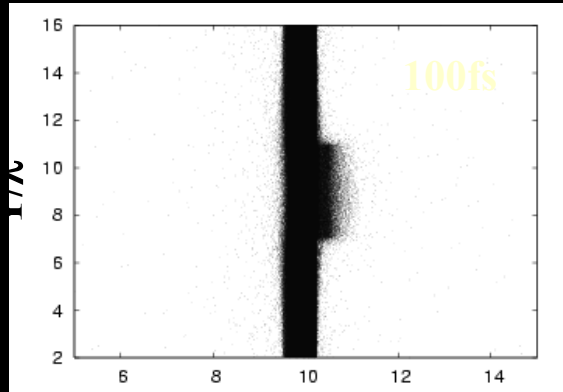
The calculation mesh size $\Delta x = \Delta y$ is 0.02λ

The integration time step Δt is $0.04 \times \Delta x / c$

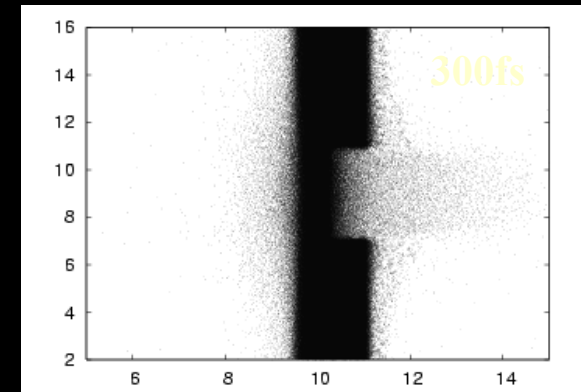
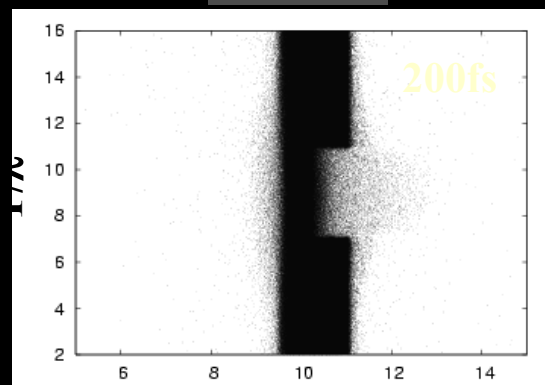
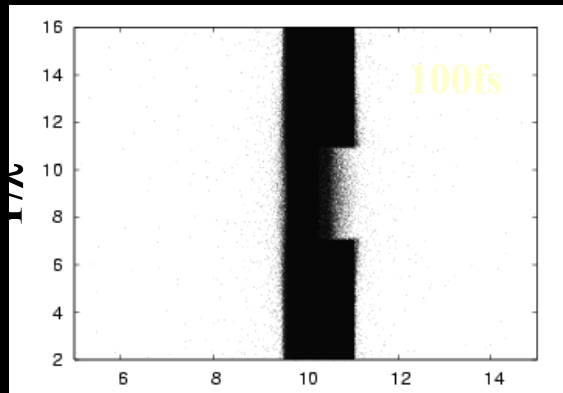
We employ about 1.6-million super particles in our simulations

Electron Distribution in X-Y Space

Case 1



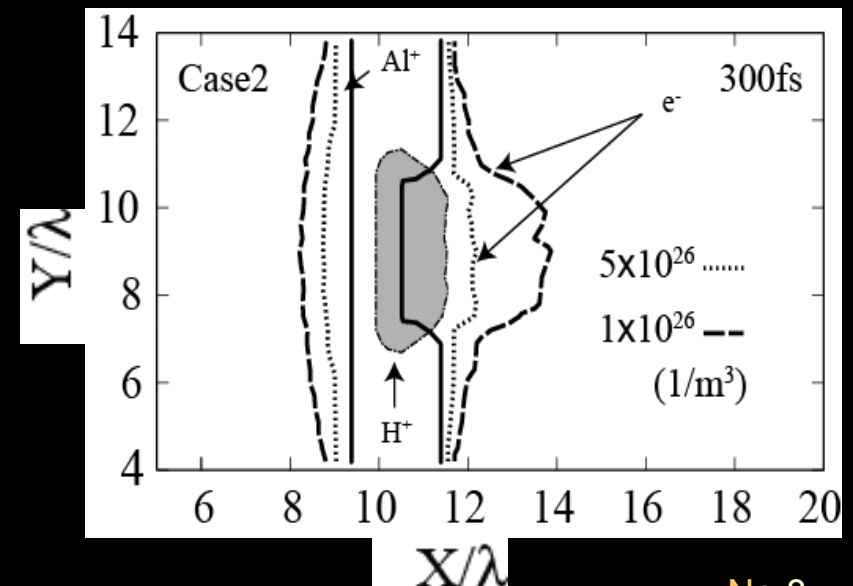
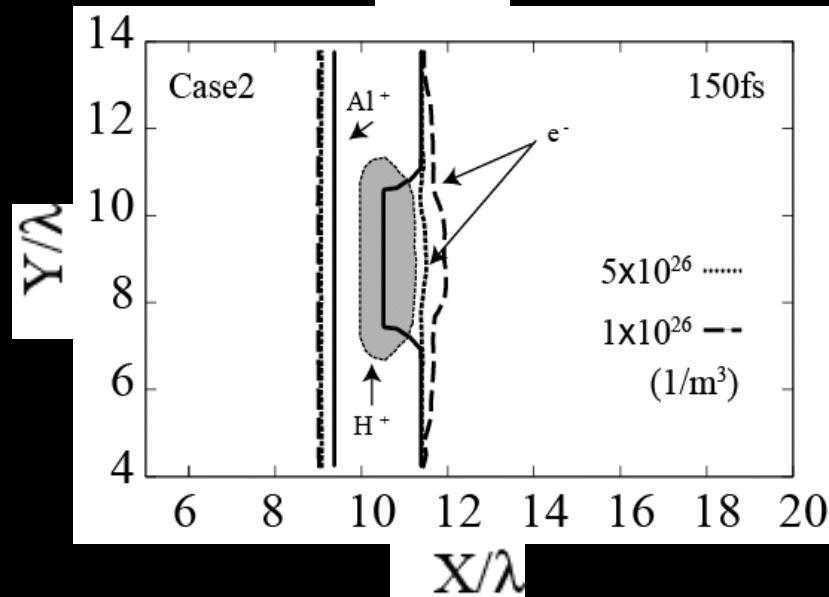
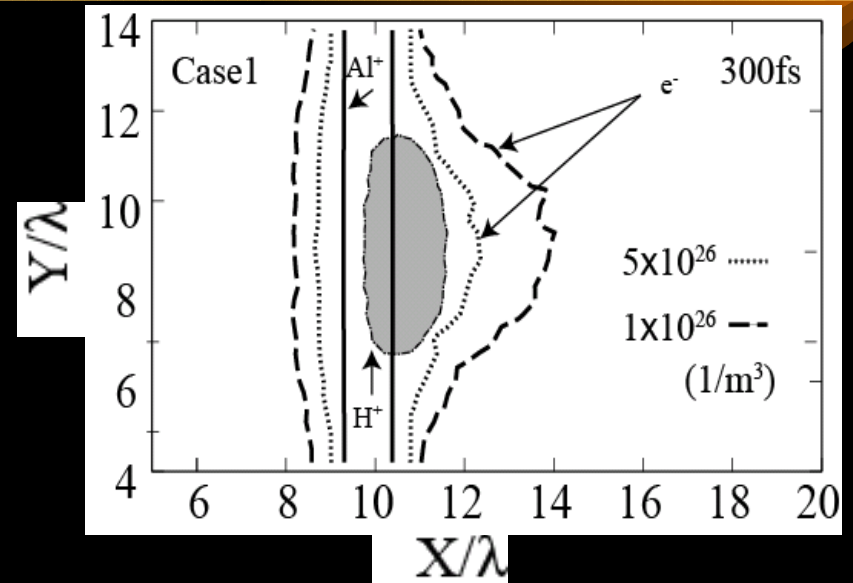
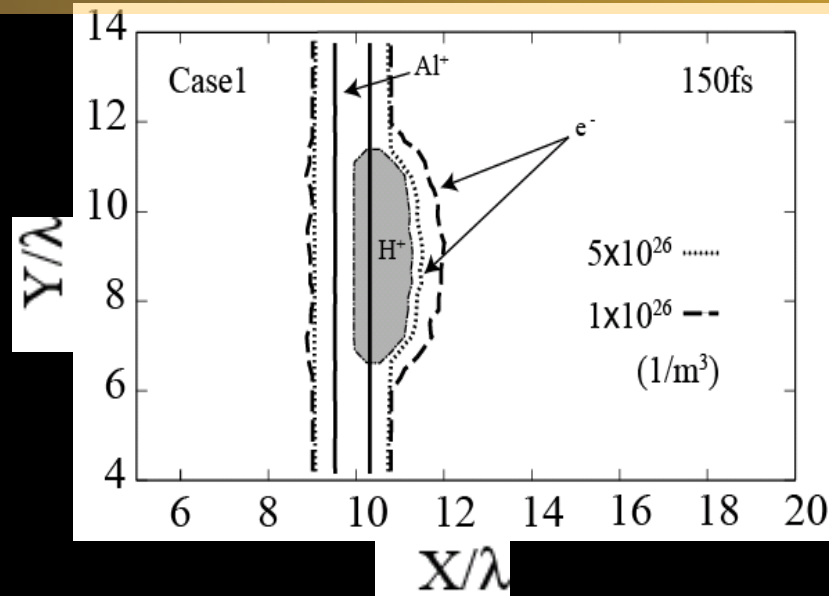
Case 2



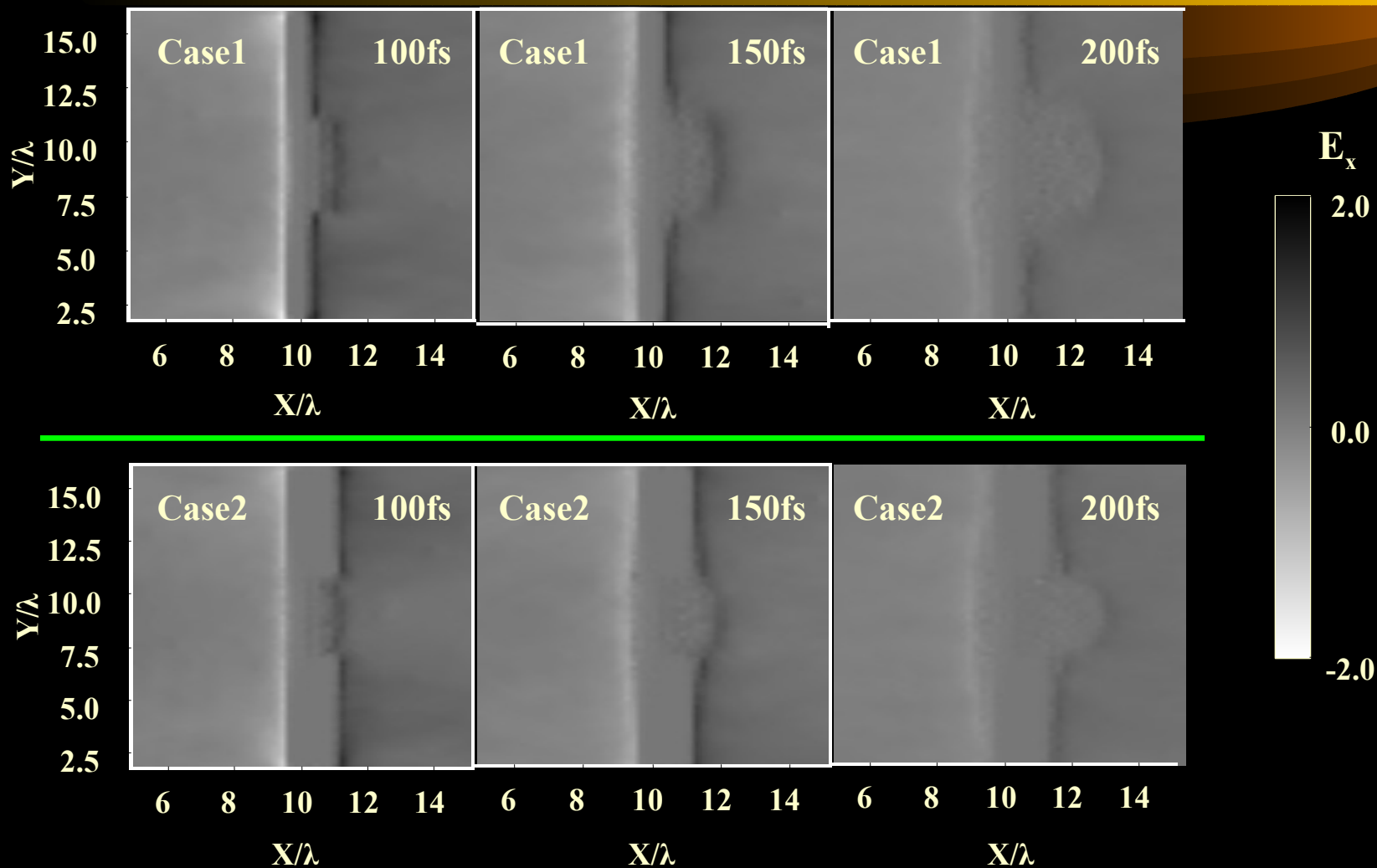
Case 1 では電子雲がターゲットの裏面付近で横方向に広く分布している。

Case 2 では電子雲はターゲットのホールの径程度の領域に分布している。 No.7

Contours of electron and ion

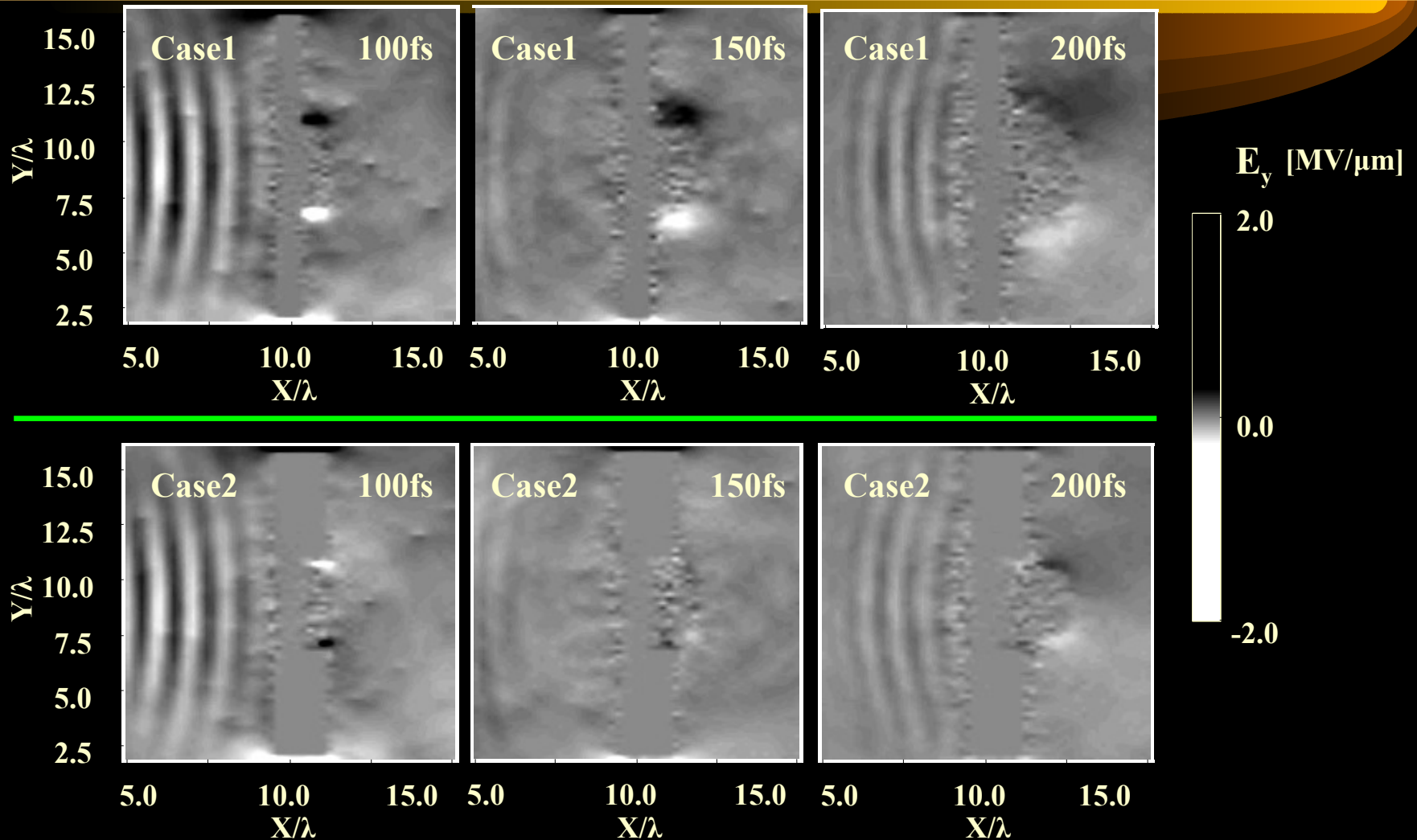


Longitudinal Electric Field



両ケースとも最大の E_x の値はほとんど同じ値となった.

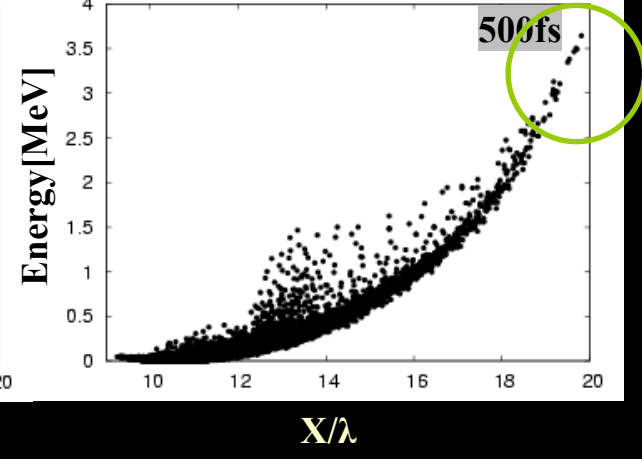
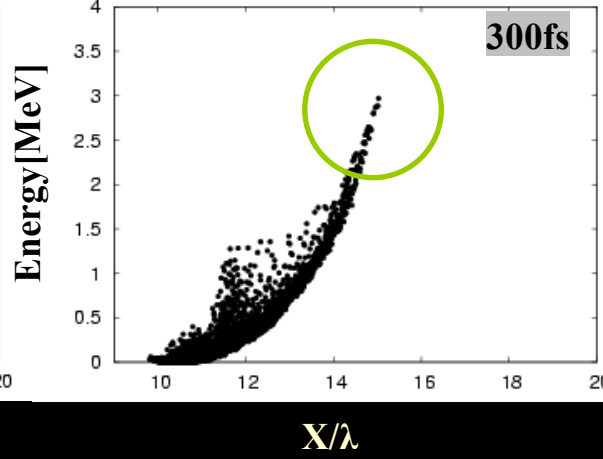
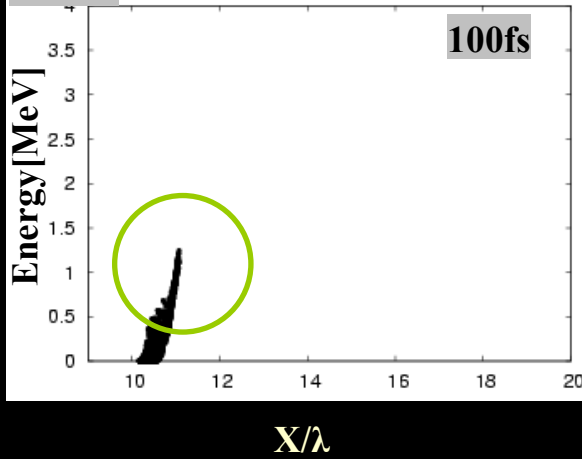
Transverse Electric Field



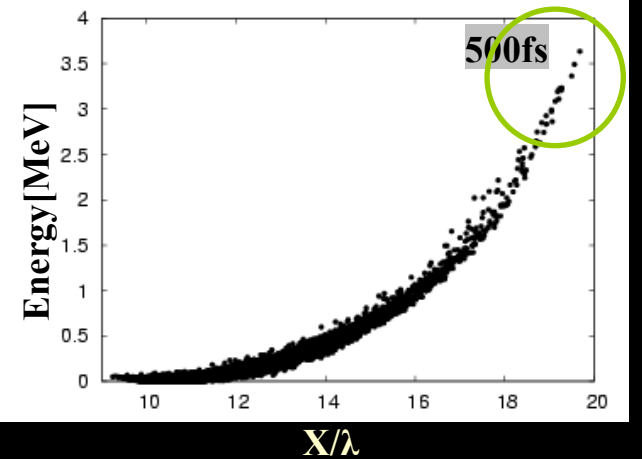
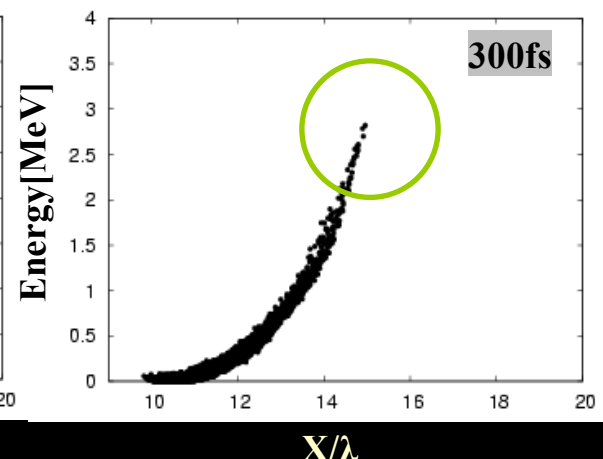
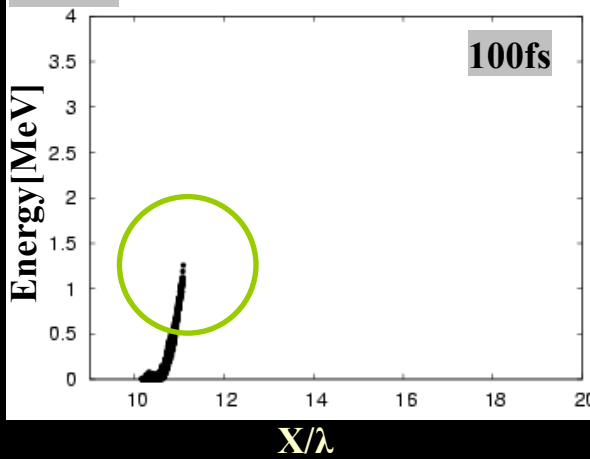
Case 1 においてはイオンを横方向に広げてしまう方向に電場が形成されているのに対してCase 2 においてはそのような電場は形成されなかった。

Proton Energy Distribution

Case1

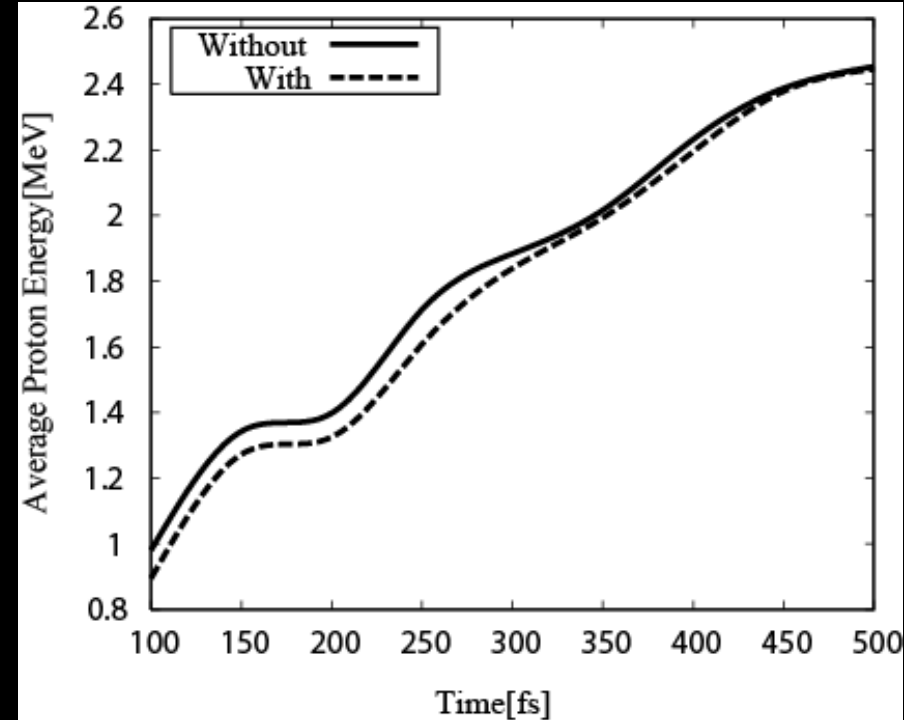
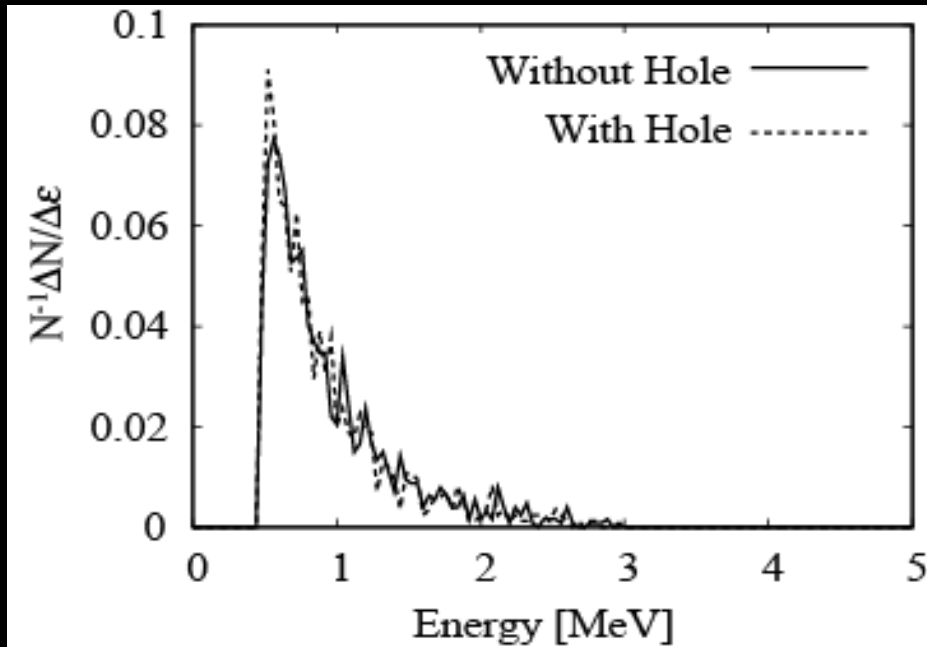


Case2



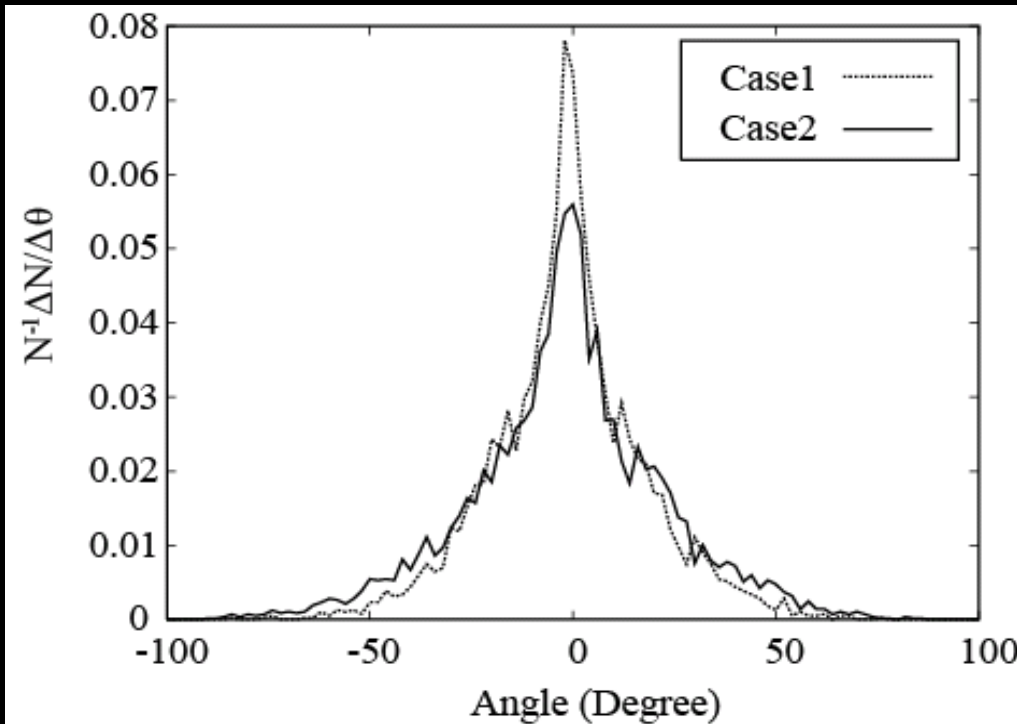
加速されたイオンビームの最大エネルギーは両ケースにおいてほとんど同じである。**(3.68MeV)** つまりイオンビームはエネルギーを減少することなく横方向の広がりを押さえられると期待される。

Average Beam Energy and Energy Spectra



加速されたイオンビームの平均エネルギーとエネルギースペクトルもほとんど変化が見られなかった。ホールによるエネルギーの減少はほとんどないことがわかる。

Angular Spectra and Divergence Angle



Divergence Angle:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta\theta)^2}{N}}$$

Case1: 2.805

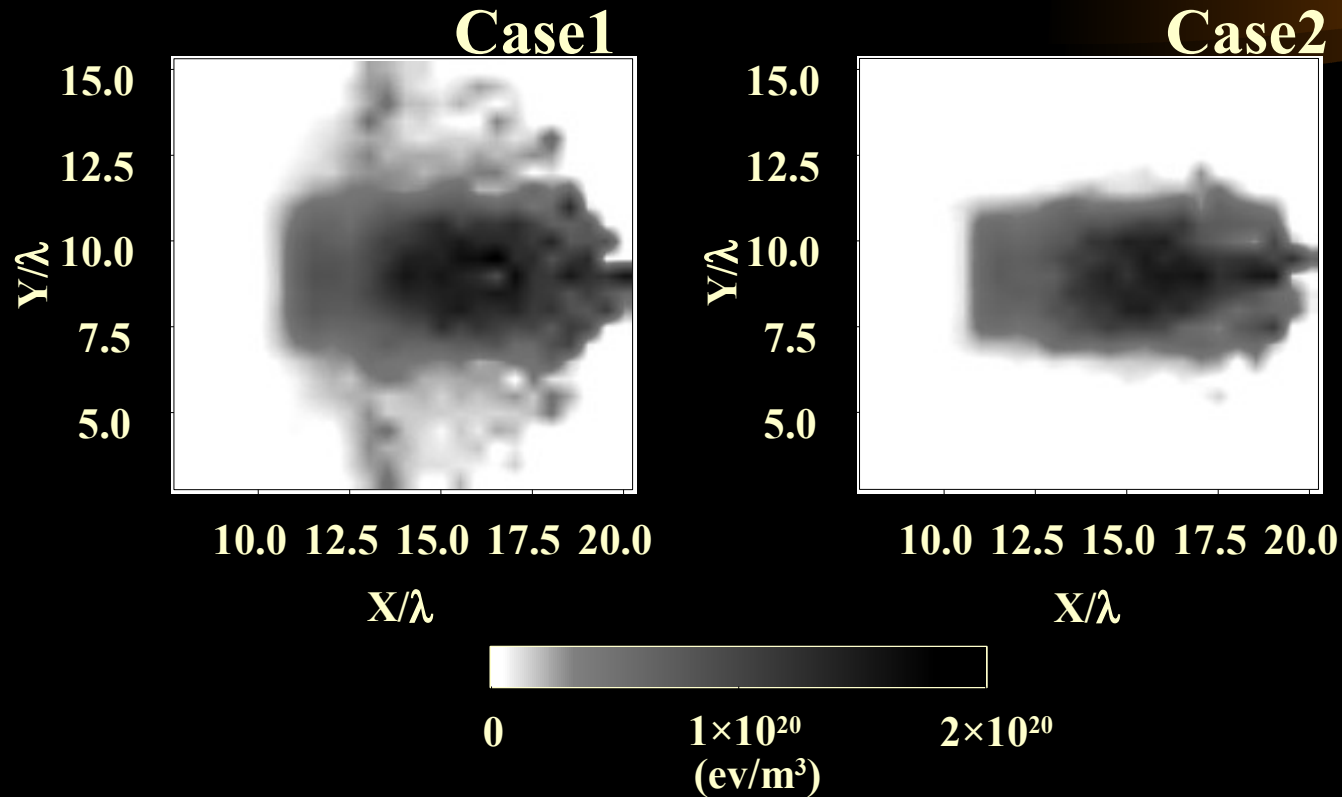
Case2: 2.399

N: total particle number
of the proton beam.

$\Delta\theta = \arctan(v_y/v_x)$.

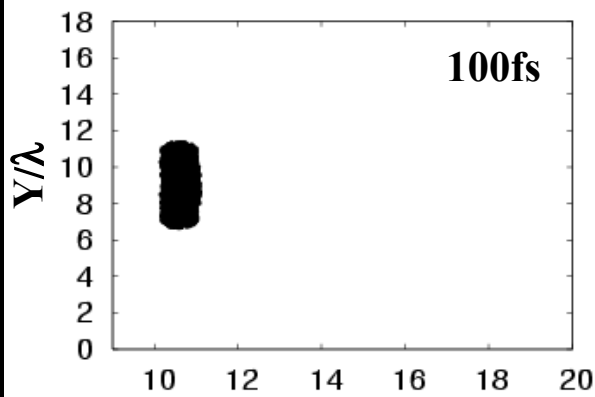
これらの値はホールターゲットのケースが従来のケースと比較して横方向の広がりが抑えられていることを示している。プロトンビームの質はターゲットの形状によってローカライズした電子の雲によって制御されている。

Proton Beam Energy Density Distribution

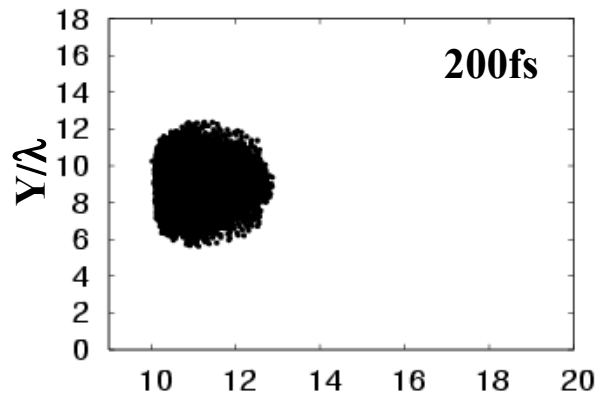


Case 2のプロトンのエネルギー密度はCase 1に比べて非常にシャープになっている。

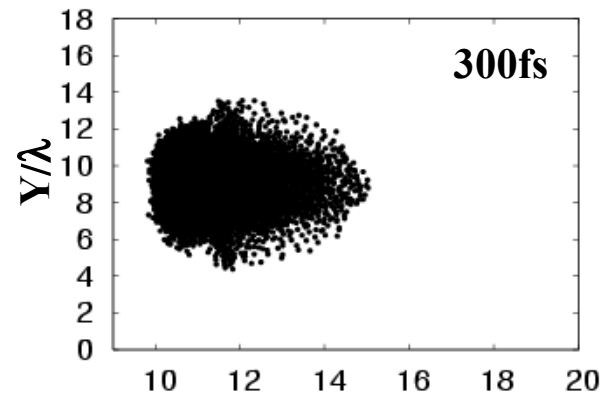
Proton Beam Distribution in Case 1



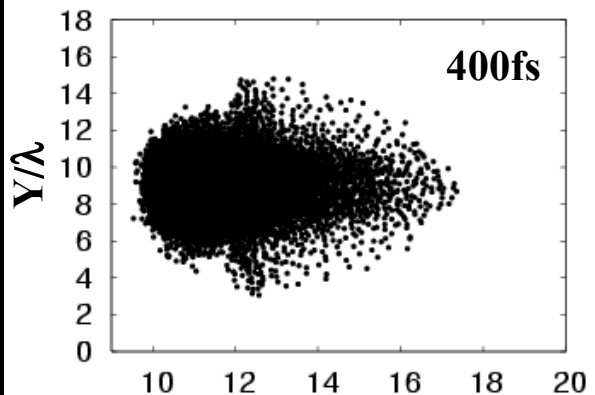
X/λ



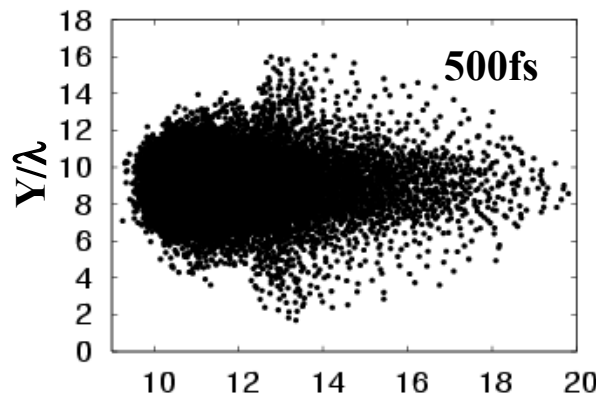
X/λ



X/λ



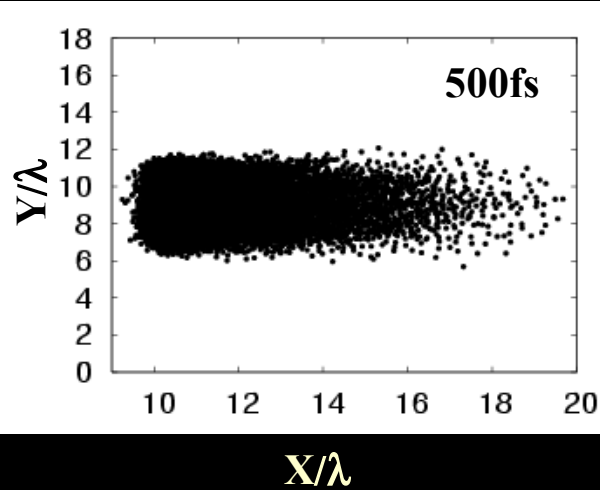
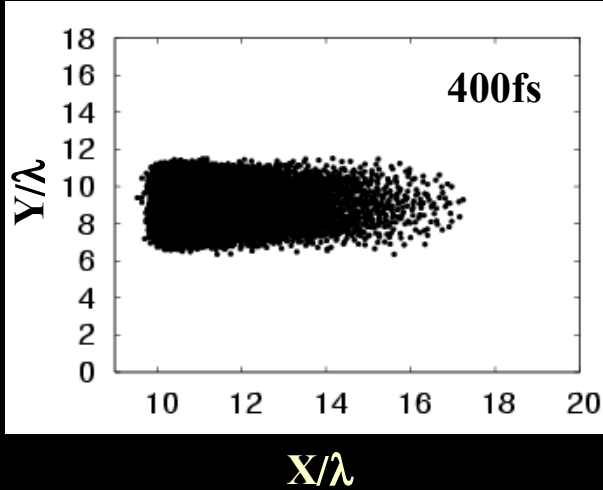
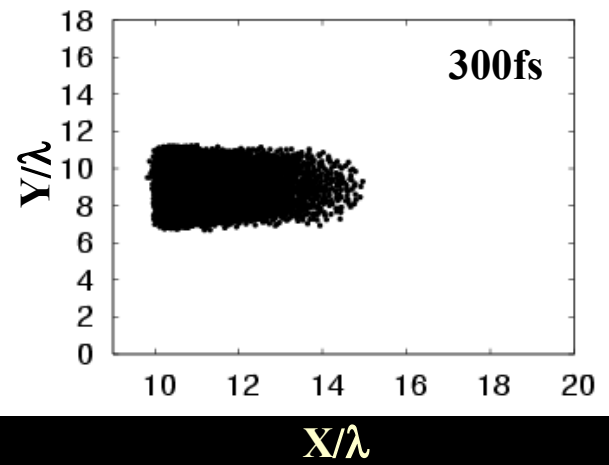
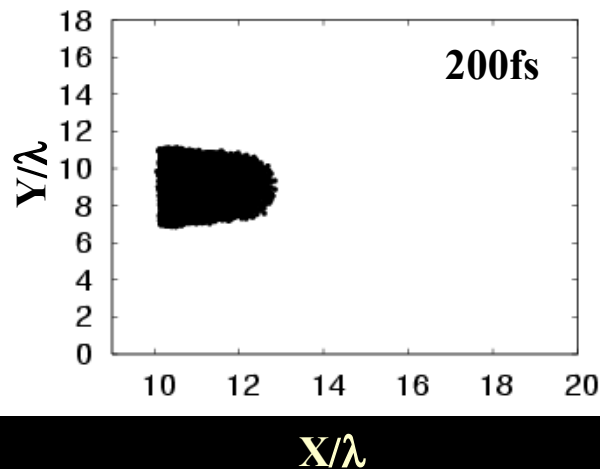
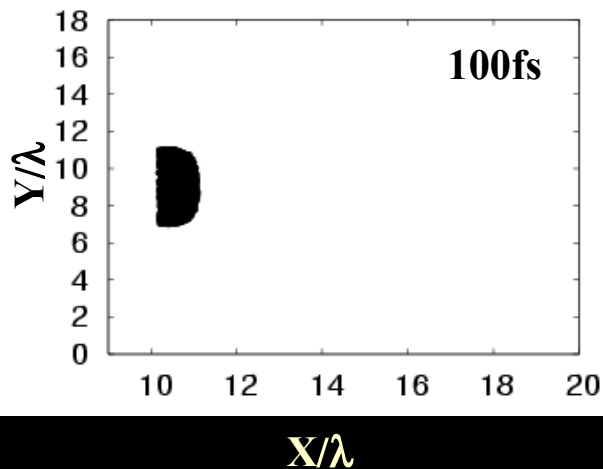
X/λ



X/λ

プロトンビームは横方向に対して広がられている。

Proton Beam Distribution in Case 2



プロトンビームの横方向に対しての広がりが、ローカライズした電子によりうまく抑えられた。

Conclusions

- 加速されるイオンビームの広がりは電子の雲の形状により決まる.
- 電子雲の形状をターゲットの形状を変化させることにより制御した.
- 制御された電子雲がイオンビームの発散を抑制させた.
- ホールターゲットを用いることによりエネルギーを減少させることなく横方向の広がりだけを抑えることができた.

Reference

- **Ryo Sonobe Shigeo Kawata et al.**

**“Suppression of transverse proton beam divergence
by controlled electron cloud in laser-plasma interaction”**

Physics of Plasmas 12, 073104 (2005)

<http://scitation.aip.org/dbt/dbt.jsp?KEY=PHPAEN&Volume=12&Issue=7#MINOR6>