



第10回若手科学者によるプラズマ研究会  
3/14-16 於日本原子力研究開発機構 那珂核融合研究所

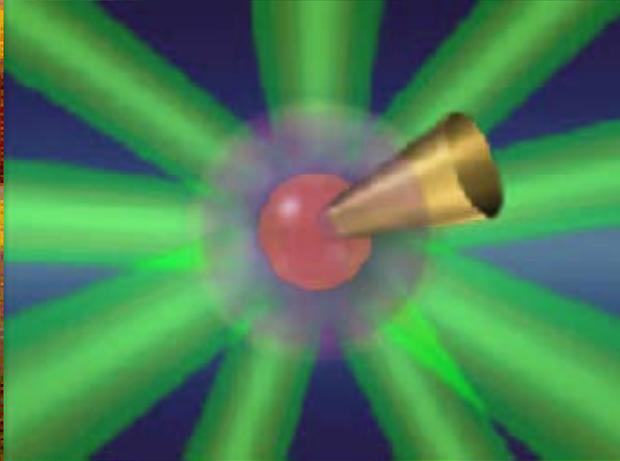
# ゾーンプレートを用いた 裏面X線計測による ペタワットレーザー照射時の 電子輸送観測

武田和夫、疇地宏、白神宏之、重森啓介、  
兒玉了祐、PHI、PDT、TM、GODグループ

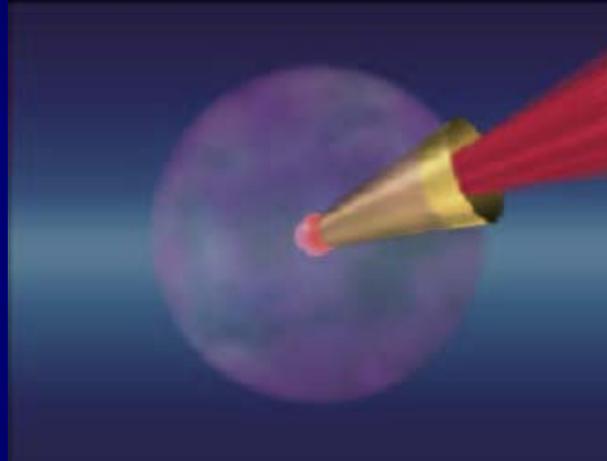
大阪大学レーザーエネルギー学研  
究センター



# 高速点火核融合



爆縮



高速加熱

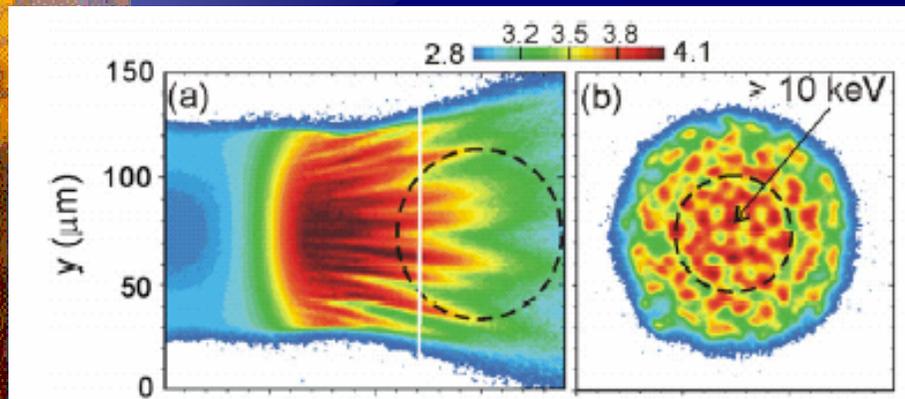


点火・燃焼

超高強度レーザーによる加熱では、高速電子がエネルギーキャリアとなるが、其の伝播についてはよくわかっていない。



# 高速電子はWeibel不安定性により 分布をもって伝播する



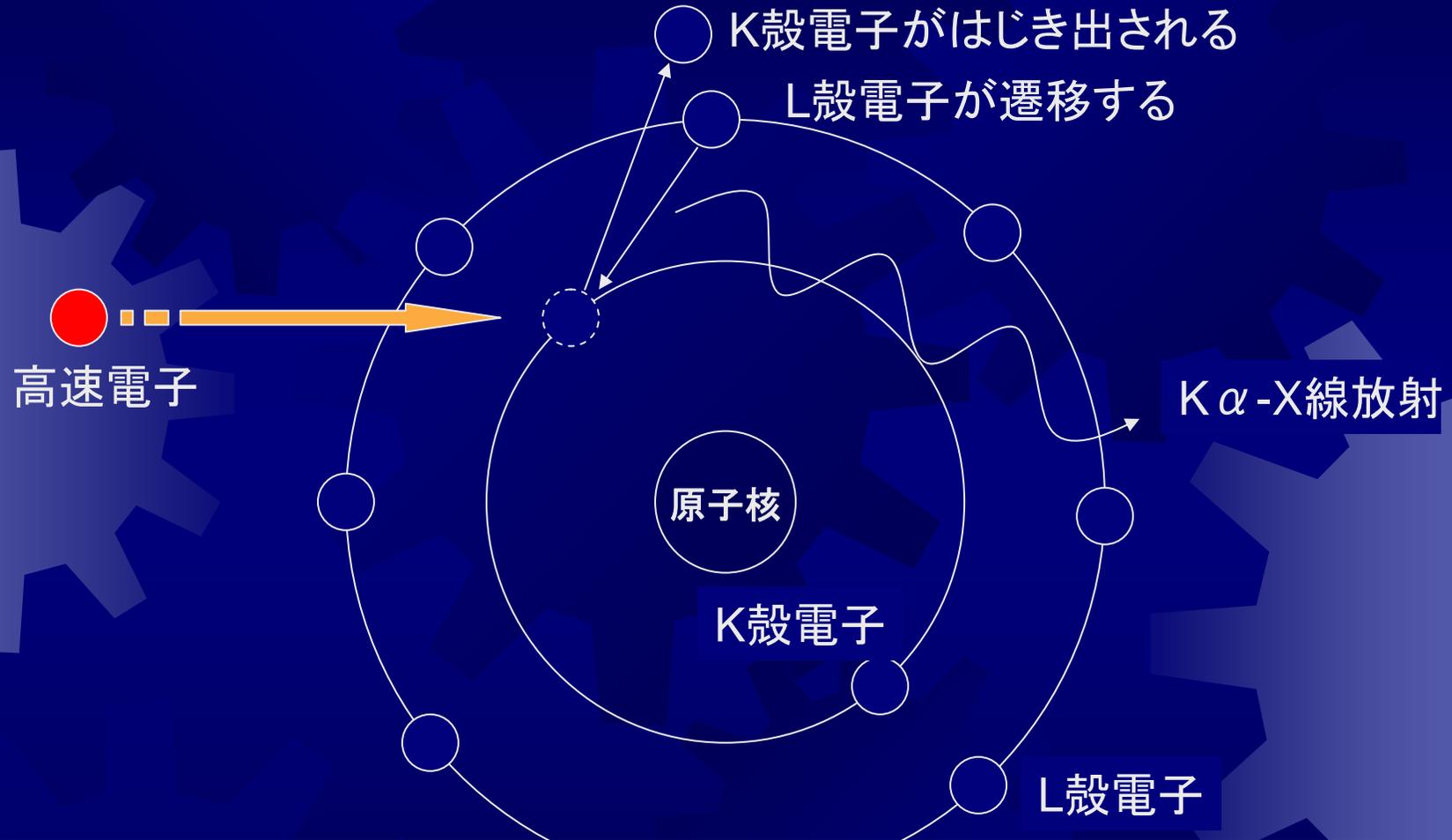
J.J. Honrubia and J. Meyer-ter-Vehn,  
Nucl. Fusion **46** (2006) L25-L28

シミュレーションにより空間スケール $10 \mu\text{m}$ 程度の分布を持つことが予測されている。

→ 高空間分解能の画像計測により実際に高速電子の伝播を観測する



# K $\alpha$ 線発光を用いて高速電子の伝播を計測する

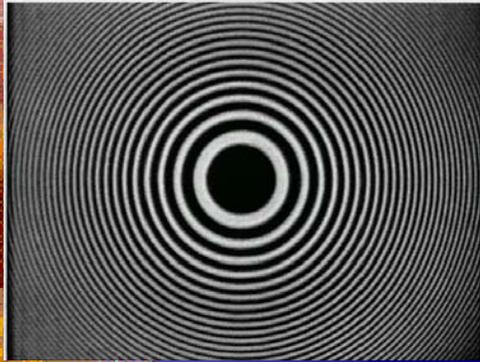


K $\alpha$  線のエネルギーより高いエネルギーを持つ高速電子によってX線が放射される



# 高空間分解能X線結像素子: 位相型ゾーンプレート

PZP

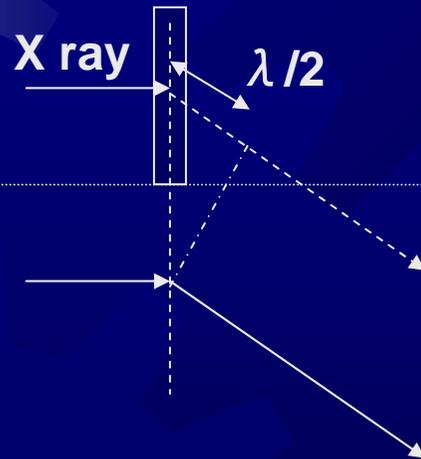


$K\alpha$  線の結像には位相型ゾーンプレート(PZP)を用いる。

PZP:

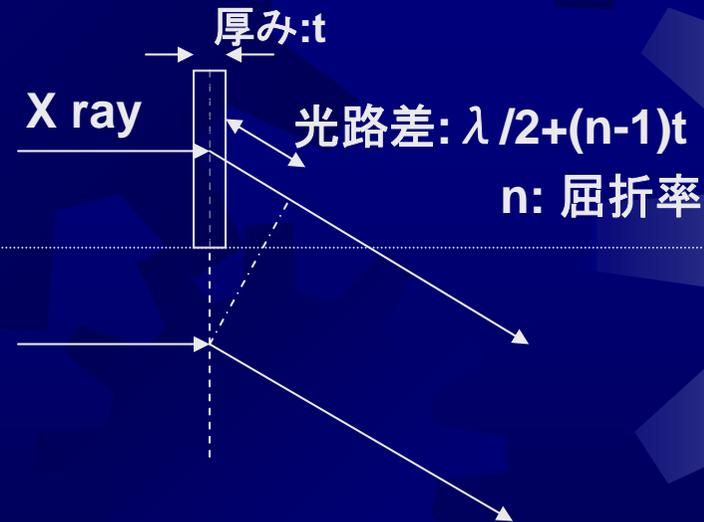
- ・回折により結像する素子で高空間分解能を持つ
- ・高エネルギーX線でも結像することが可能

通常のゾーンプレート



位相が反転している成分を止める

位相型ゾーンプレート



位相制御を行って位相を揃える  
(if  $\lambda/2 + (n-1)t = m\lambda$  [ $m: 0, 1, \dots$ ])



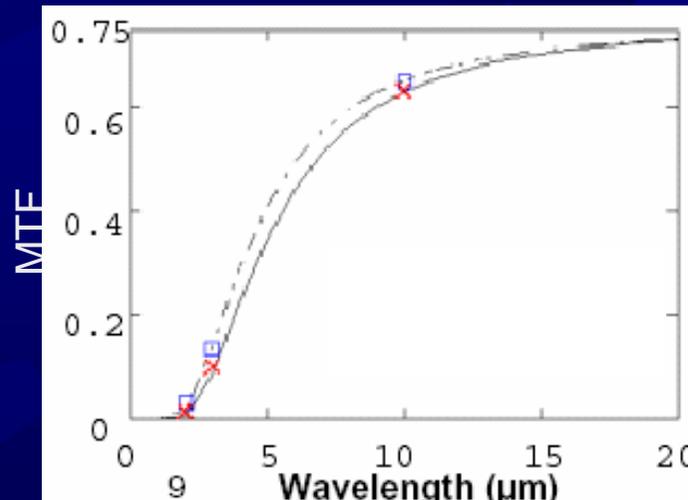
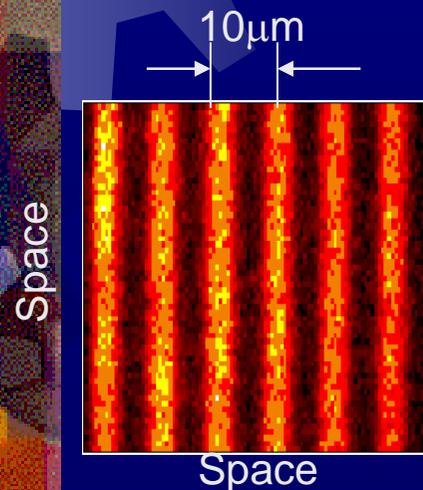
# 位相型フレネルゾーンプレート空間分解能は $2.2 \mu\text{m}$

位相型フレネルゾーンプレートは高い空間分解能を持つ

10  $\mu\text{m}$  間隔のグリッドの影絵を撮影し、そのラインプロファイルをフーリエ級数展開する  
得られたフーリエ級数と、理想的なグリッドのフーリエ級数を比較し、各成分の係数から MTF (Modulation Transfer Function) を求める。

その、MTF の立ち上がり 5% の波長を空間分解能とする。

撮影された 10  $\mu\text{m}$  グリッドの影絵



× 実験から得られた点  
□ CCD の効果を除いた点

空間分解能  $2.2 \mu\text{m}$



# K $\alpha$ 線計測における実験配置

PW laser

Pulse width: 0.8 ps  
Energy: 100 ~ 250 J

21°

50  $\mu\text{m}$   
20  $\mu\text{m}$

Al | Ti  
target

X ray  
4.5 keV

24°

PZP

magnification: 10

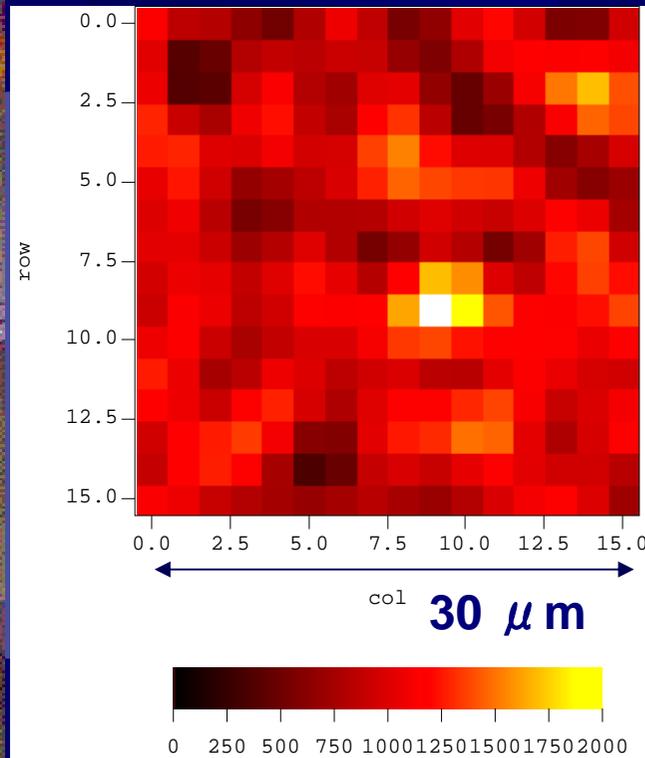
Detector  
(CCD camera)



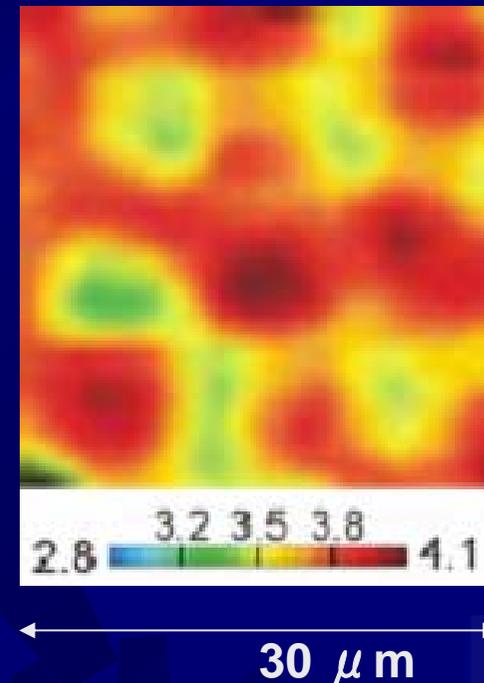


# 得られたK $\alpha$ 像とシミュレーション予測の像

experiment



simulation



J.J. Honrubia and J. Meyer-ter-Vehn,  
Nucl. Fusion 46 (2006) L25-L28

実験条件

レーザーエネルギー: 109.9 J

(照射強度:  $7.8 \cdot 10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>)

ターゲット:

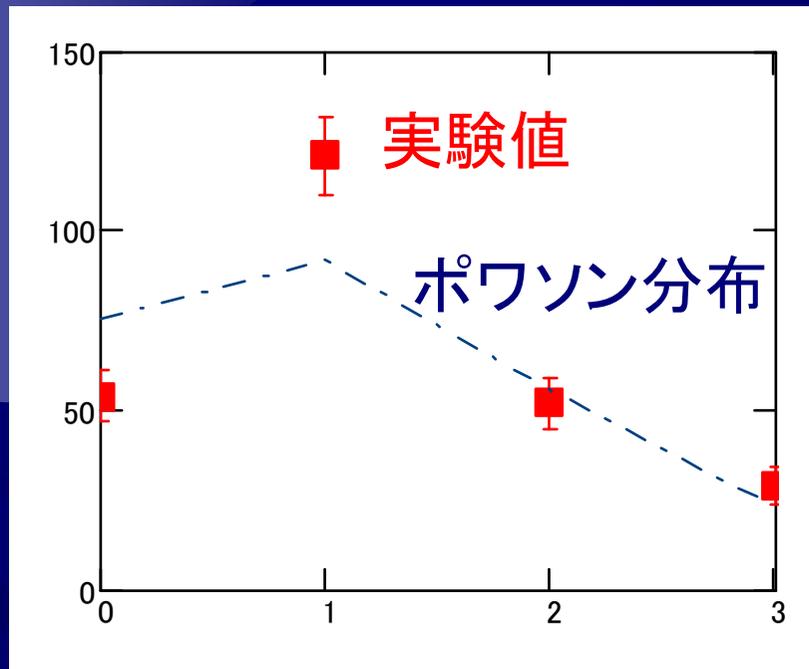
Al 20  $\mu$ m + Ti 50  $\mu$ m + CH 110  $\mu$ m

シミュレーション予測での空間スケールと実験で得られた像の空間スケールは同等

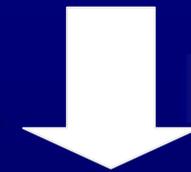


# 得られた画像から光子数の統計を取る

計測したTiのK $\alpha$ 線のエネルギーは4.51 keV  
これを用いて画像内での光子の分布を見る



実験値の光子数の頻度分布はポワソン分布よりずれている



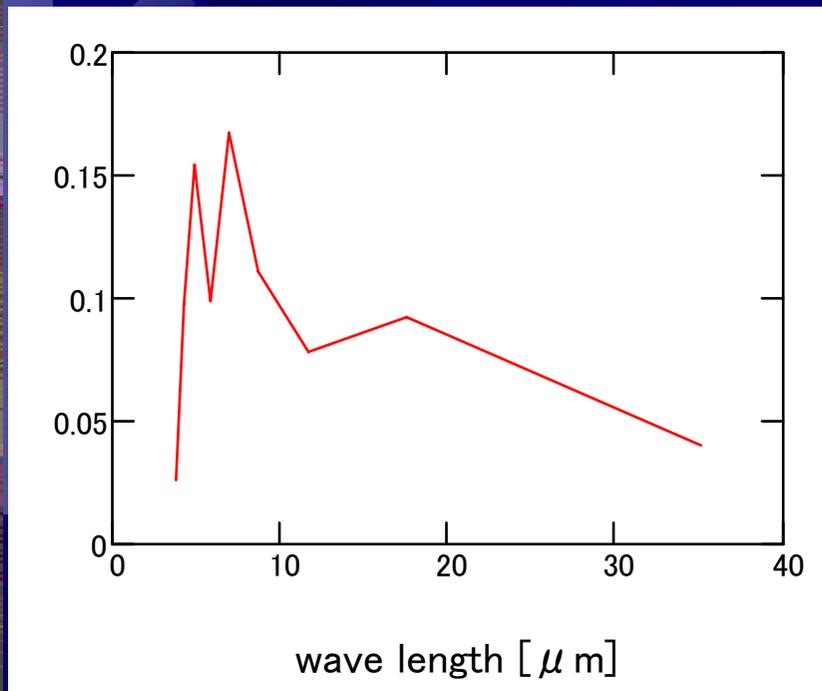
統計的なノイズ成分では無い

光子数

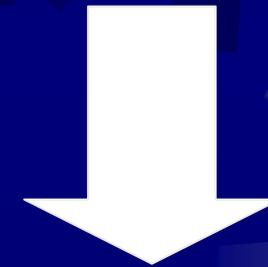


# 構造の大きさは10 $\mu\text{m}$ 程度

得られたK $\alpha$ 像のフーリエ成分



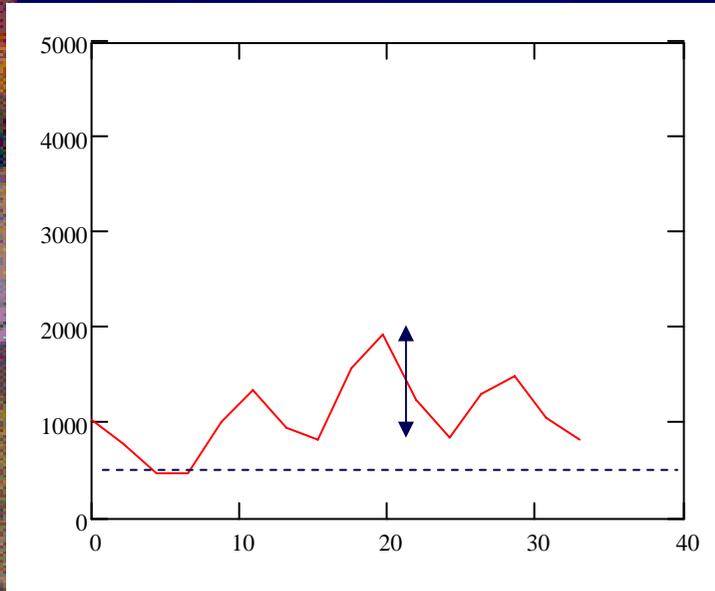
10  $\mu\text{m}$ 程度の空間スケールで構造がある



シミュレーションの空間スケールと同等である



# 強度が高くなるとフィラメントが マージする前兆が見られる



空間( $\mu\text{m}$ )

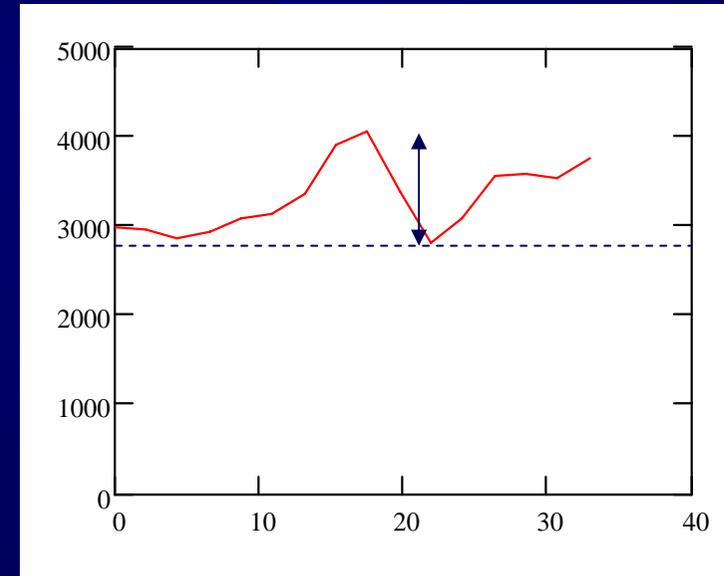
実験条件

レーザーエネルギー: 109.9 J

(照射強度:  $7.8 \cdot 10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>)

ターゲット:

Al 20  $\mu\text{m}$  + Ti 50  $\mu\text{m}$  + CH 110  $\mu\text{m}$



空間( $\mu\text{m}$ )

実験条件

レーザーエネルギー: 174.4 J

(照射強度:  $1.3 \cdot 10^{19}$  W/cm<sup>2</sup>)

ターゲット:

Al 20  $\mu\text{m}$  + Ti 50  $\mu\text{m}$  + CH 110  $\mu\text{m}$



## まとめ

- ・超高強度レーザー照射により加速された高速電子の伝播を $K\alpha$  発光と位相型ゾーンプレートとの組み合わせによって計測した。
- ・取得した $K\alpha$  像は $10 \mu\text{m}$ 程度の大きさの構造を持っており、シミュレーションにより予測された空間スケールとほぼ等しいことを確認した。
- ・強度が高くなるとフィラメント同士が結合する前兆がみられた。