

O-41

ガスパフ Z ピンチプラズマ中の金属微粒子計測のための 真空アークパルス X 線源開発

Development of Pulse X-Ray Source Based on a Vacuum-Arc for Measurement of Metallic Fine Particles in the Gas-Puff Z-Pinch Plasma

○宮崎孝基¹, 西尾峰之², 高杉恵一³*Takanori miyazaki¹, Mineyuki Nishio², Keiichi Takasugi³

1. はじめに

ガスパフ Z ピンチ装置は、電極間の沿面放電を必要とせず、プラズマに対し高効率のエネルギー注入が可能な、高温高密度プラズマ生成装置である。本研究室の SHOTGUN-1 装置は、繰り返し放電が可能な小型装置で、ガス種及び電極金属の変更により、紫外線から X 線にわたる広い波長領域において、プラズマからの輻射光を得ている。特に Sn 電極 - Ar Gas を用いた実験においては、13.5nm の極端紫外 (EUV) 光の輻射とともに、1~100 μ m の Sn 電極金属微粒子が生成される^[1]。この金属微粒子は、Z ピンチの中心軸上に生成される Hot Spot を取り囲む様に、雲状構造として観測されるが、これは最大ピンチ時に発生する電子ビームにより、金属微粒子が励起されることで K α スペクトルが放射される為に、その存在が確認される^{[2][3]}。

そこで本研究では、微粒子の生成過程と、ピンチプラズマの時間進展に伴う金属微粒子の時間空間分布に着目し、その解明を目指して、アクティブな計測手段として高速コマ撮りによる X 線シャドウグラフ計測を計画し、その為の X 線バックライターを開発した。本稿では、開発した X 線バックライターの諸性能について概説する。

2. X 線スペクトル分析

バックライター用 X 線源は、Cu 平板ターゲットカソードと真鍮針状アノード間（電極間距離 1mm）に、0.15 μ F のコンデンサ 3 個と 3 個のギャップスイッチからなる Marx 電源より 18~90kV の電圧を印加する事で、真空アーク放電を起こし、加速された高エネルギー電子の制動放射連続スペクトルを得る方法で、実現した。

図 1 は、マイカの結晶を用いた凸型結晶分光器による、今回開発した X 線源の放射光分光計測結果である。実験は、90kV 充電で行い X 線フィルム (Kodak Biomax -Ms X-Ray Films) を用い 100shot の積算写真として計測した。

図 1 より、Cu の K α 特性スペクトル 1.54 \AA と、0.1~1 \AA にかけての制動放射連続スペクトルがある事がわかり、その強度を比較すると後者の方が、断然強度が強い事が読み取れる。これは、電極間にて加速された電子のエネルギーが、内殻励起を起こさせる確率より、電子の軌道変化による運動エネルギー損失に伴う制動放射過程の頻度の方が、多い事を示している。

また銅の K α スペクトルは、Cu ターゲット電極、真鍮針状電極に由来する単色スペクトルであると考えられるが、これらの金属は加工こそ容易な物の、融点が低く繰り返し放電による電極の損耗が著しいと考えられる。そこで本研究では、電極物質に依存せず、強度が強い制動放射スペクトルを、X 線バックライターに採用した。

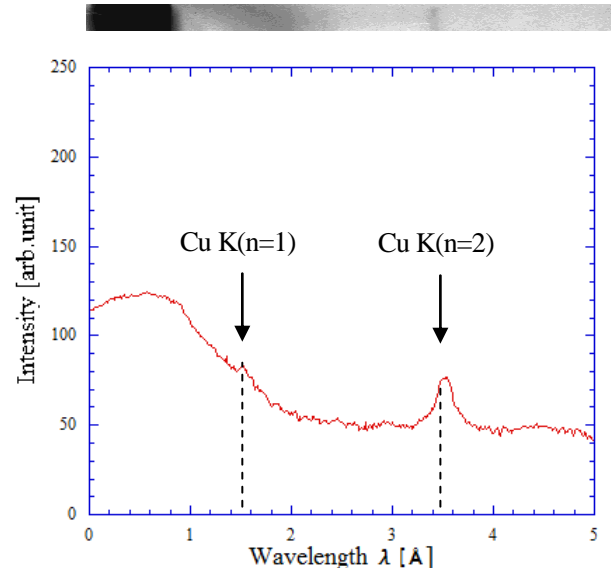


Fig 1. X 線スペクトルの詳細 (90kV, 100shot)

3. X線バックライターの制御

図2はX線吸収法を用いて、開発したX線源の電源電圧を18~90kVに変化させた場合に対する、放射フォトン平均エネルギー変化の関係を示したグラフである。図2より、電源電圧18~90kVに対し、放射フォトン平均エネルギーが17~54keVの範囲で制御できる事が確認できる。また、90kV近傍の印加電圧に対し、放射フォトン平均エネルギーが約60%前後に低下する事がわかった。これは、パルス電源の多段使用時における、コンデンサ間の短絡特性による、電源のジッターが原因していると考えられる。この種のジッターは、放電毎に100nsレンジでランダムに変化する事が確認されており、光源の時間再現性の低下を招いている。一方で、コンデンサ1段における18~30kV放電においては、電源由来のジッターが10ns前後と、ピンチプラズマの時間変化に対し1/100以内に収まる為、時間再現性があると言える結果になっている。

図3はロゴスキーコイルによる放電電流計測とScintillation Probeによる放射X線の時間測定結果をまとめたものである。Scintillation Probeは直径3mmのプラスチックシンチレータを用い、厚さ5 μ mのBeフィルターを通す事で10~100keVのエネルギーのフォトンに感度領域を持つ計測器である。図3より、電極間に放電回路が形成され電流波形が立ち上がりと同時にX線の放射強度が減少する事が確認できる。これは、X線領域の高エネルギーフォトンの発生が、電極間に電界放出現象によって放出される電子の、ターゲット電極板衝突で生ずる、制動放射連続スペクトルに由来する為である事と考えられる。また、X線強度の半値幅を取ると、X線の放射時間は30nsである事が確認された。

4. SHOTGUN-1装置への適用と計測へのアプローチ

SHOTGUN-1装置におけるX線シャドウグラフ計測の実施には、(a)ピンチプラズマからの放射X線のエネルギー確認と有効な遮蔽機構の構築 (b) 1Shotで撮影可能な十分なX線源の強度確保 (c) ガスパフ放電トリガーとバックライタートリガーの動機化、などの工学的な問題解決が必要である。現時点においては、微粒子計測に関する実験的議論は困難であり、類推による議論のみとなっている。当日の発表では、実際のX線シャドウグラフ計測の実施と微粒子観測に関する初期実験の開始について、述べる予定である。

5. 参考文献

- [1] Akiko Maeda, Mineyuki Nishio and Keiichi Takasugi, "Production and Dispersal of Tin Fine Particles in a Gas-Puff Z-Pinch Experiment", NIFS-PROC-87, 26. (2010)
- [2] E.O. Baronova, K. Takasugi, V.V. Vikhrev and T. Miyamoto, "X-Ray Spectra of Argon and Iron Ions in a Gas-puff Z-Pinch", 13th Beam Conf. 784 (2001)
- [3] Keiichi Takasugi, Satoru Narisawa and Hisashi Akiyama, "Spatial Structure of Emission of a Gas-puff Z-Pinch Plasma", AIP Conf Proc. 651, 131. (2002)

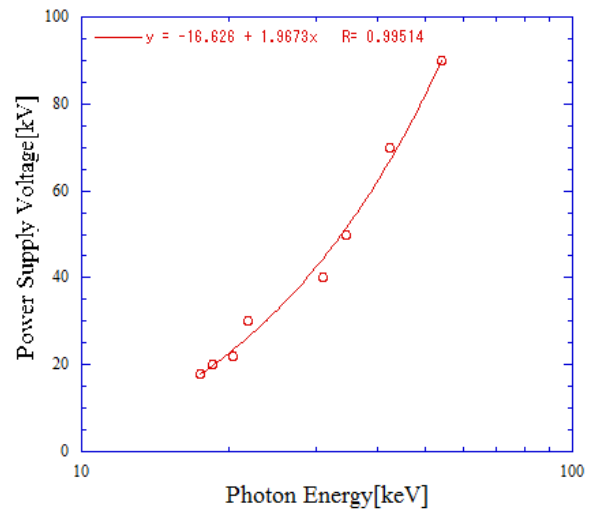


Fig 2. 電源電圧による放射フォトンエネルギー制御

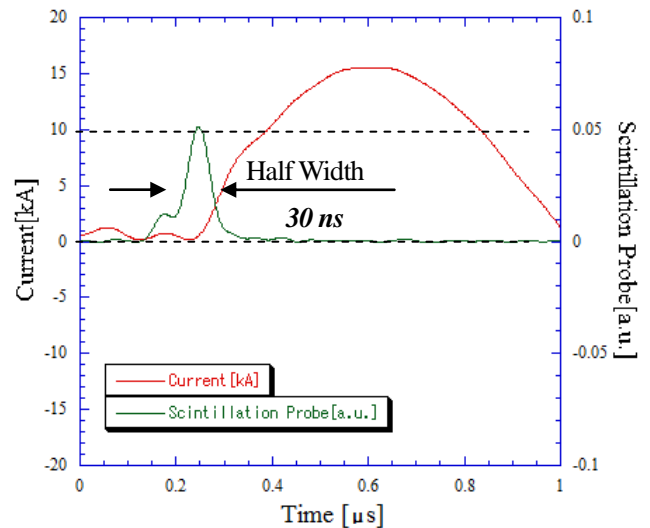


Fig 3. X線パルス幅 (30kV)