

## 連続型X-pinch負荷のための同軸ガスジェット型液体金属流供給法の開発 Development of liquid metal supply with coaxial gas jet for continuous load of X-pinch system

本間 佑奈\*, 渡部 祥史, 武脇 大樹, 高橋 一匡, 佐々木 徹, 菊池 崇志, 原田 信弘

Yudai Homma\*, Yoshifumi Watanabe, Daiki Takewaki, Kazumasa Takahashi,  
Toru Sasaki, Takashi Kikuchi, Nob. Harada

長岡技術科学大学  
Nagaoka University of Technology

高輝度短波長光源の一つとして X-pinch 型プラズマ源[1]があるが、放電するたびに細線がアブレーションするため、負荷の連続的な供給が困難である。そのため、細線の代わりに液体金属流を用いて連続的に負荷を供給できる X-pinch 型プラズマ源が提案されている[2]。液体金属流によるピンチプラズマの形成には、高い磁気圧が必要であるため、液体金属流の直径が重要なパラメータである。そこで本研究では、液体金属流の流速の調整、及び液体金属流の周囲のフリージェットにより液体金属流の直径を制御し、流速と直径との関係性を評価した。

液体金属流の流速を上げると液体金属流のウェーバー数が変化する。ウェーバー数の増加により、ノズル先端での表面張力よりも液体金属流の慣性力の方が上回り、ノズル先端での液体金属流の初期直径が減少すると考えられる。さらに、液体金属流周囲にフリージェットを供給することで、液体金属流とフリージェット間で速度シアが形成されることから、液体金属流の節をさらに細くすることができると考えられる。

液体金属を供給する装置には直径80  $\mu\text{m}$ の液体金属流供給ノズルを使用した。使用した液体金属は常温で液体状態のGalinstan (Ga: 68.5%, In: 21.5%, Sn: 10%)を用いた。また、フリージェット供給装置には直径2 mmのエアロスパイクノズルを使用し、液体金属供給ノズルの同心軸上に設置した。短波長光に対して光学的に薄いため、使用したガスにはHeを採用した。真空チャンバー内に $\text{N}_2$ ガスで液体金属を押し出し定常的に供給した後、真空度の低下を避けるため、パルス遅延発生器と電磁弁を用いてHeガスを導入した。Heガスが真空チャンバー内に到達する時間を考慮し、30 ms後にキセノンフラッシュランプを20  $\mu\text{s}$ 発光させ、液体金属流の挙動をカメラで撮影した。この際、Heガス噴射前のチャンバー内圧力を0.1 Paとし、定常的に真空引きを行った。

本実験では、液体金属流の流速を変化させるため、液体金属を押し出す $\text{N}_2$ ガスのレギュレータ圧力 $P_{\text{N}_2}$ を0.2~0.6 MPaに変化させ、フリージェットを供給することで液体金属流を制御した。この結果、 $P_{\text{N}_2}$ の上昇に伴い液体金属流の最小直径が減少することが確認できた。フリージェット無しの条件では、 $P_{\text{N}_2}=0.2$  MPaの場合、液体金属流の最小直径は112  $\mu\text{m}$ であったのに対し、 $P_{\text{N}_2}=0.6$  MPaの場合だと95  $\mu\text{m}$ となり、15 %程度縮小したことが確認できた。さらに流速の増加に伴い、ノズル先端での液体金属流の初期直径が減少傾向になることが確認できた。また、フリージェット有りの条件では、 $P_{\text{N}_2}=0.6$  MPaの場合、液体金属流の最小直径は81  $\mu\text{m}$ となり、フリージェット無しの条件と比べソーセイジ形状化が促進され、最小直径が10 %程度縮小したことが確認できた。

連続型X-pinch負荷の実現のため、液体金属流の供給方法について検討を行った。液体金属流の流速を速くすることで、液体金属流の直径が細くなることが確認できた。さらに、液体金属流周囲にフリージェットを供給することで、液体金属流の直径が縮小することを確認できた。

[1]. J. Wu *et al.*: “Aluminium and tungsten X-pinch experiments on 100kA.100ns linear transformer driver stage”, *Phys. Plasma.*, Vol. 18, No.052702 (2011)

[2].武脇 大樹 他:「高輝度短波長光源に向けたパルス発生器の設計と超音速Heガス流による液体金属流の制御法の検討」, 電気学会論文誌A, Vol.135, No.3 pp155-160 (2015)