

2023 年度年次報告書

リアル空間を強靱にするハードウェアの未来

2022 年度採択研究代表者

澁谷 達則

産業技術総合研究所 計量標準総合センター

主任研究員

半導体ハードウェアセキュリティを強化するナノ X 線源の開発

## 研究成果の概要

本研究では、従来技術では不可能なナノメートル光源サイズの X 線を発生させるため、新しい液体金属を用いた X 線標的を提案している。このナノ液体金属 X 線標的を実現するためには、主に、電子銃、液体金属システム、レーザー光源のそれぞれの要素技術を開発し、最終的に融合させる必要がある。これまでにレーザー光源の開発を完了させており、今年度は主に電子銃と液体金属システムの開発に取り組んできた。電子銃の設計としては昨年度までに電子を標的に強く集束させるためのソレノイド電磁石のシミュレーションを完了しており、本年度はその計算結果に基づいた電磁石本体の製作とその評価を行った。ソレノイド電磁石のヨーク部分には加工性を考慮して、ss400 材を用い、またコイルの巻き数は 500 回、最大電流は 3 A として設計することで、汎用性の高い電圧 10 V ほどのユニポーラ電源で駆動できるようにした。また、取付けの困難さや汎用性なども考慮して、重量を 20 kg 以下、寸法を外寸 200 mm 以下として図面化の上、作製した。通常、電子源から発生する電子は光励起に依存した初期の発散角を持っており、これを平行化することと、平行後の電子を集束化することに特化した2つの電磁石を作製した。磁場の測定プローブには SENIS 社製のテストメータを用いて、電磁石とは独立してステージ上に固定することでプローブスキャンを可能にし、3 次元的に磁場測定を行った。測定結果から電子収束に必要な最大磁場 110 mT を達成しており、また 110 mT での連続運転において電磁石の発熱温度が 60 °C 以下に抑制できることがわかった。

また、液体金属システムの開発では、昨年度に開発した液体フローシステムを用いてまずはマイクロサイズの微小な液体生成に挑戦した。昨年度からは流体フローの配管を 1/8 inch から 1/4 inch に変更することでシステム内部のコンダクタンスを下げ、昨年度の 70  $\mu\text{m}$  から今年度は 20  $\mu\text{m}$  の直径をもつ液体の円柱を生成することができるようになった。さらに、そのダイナミクスを観測することのできるポンププローブシステムを新たに開発することで、その動作をフェムト秒レベルで撮影することが可能となった(9月の国際会議で発表予定)。これによりレーザー照射によって瞬間的に液体金属が変形する様子をマイクロメートルスケールで計測することが可能となった。次年度は連続的に生成できるようになった 20  $\mu\text{m}$  の直径をもつ液体の円柱をレーザー照射によってさらに縮小し、ナノ分解能の X 線発生に資する技術の開発に取り組んでいく。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Shibuya, T. Koshihara, Y. Tadenuma, Y. Maru, S. Washio, M. Fujiwara, T. Kuroda, R. Oshima, N. Stroboscopic X-ray Imaging Technique with Optically Chasing Accelerator Operation for Mechanically Driven Sample, *Energy Reports* accepted (2023).