

レーザー加工により発生する微粒子の解析と核種同定手法の開発 (4) 空力学レンズを用いた微粒子計測方法の提案

Analysis of particles generated by laser processing and development of their nuclide identification methodology

(4) Proposal of particle measuring technique using an aerodynamic lens

*伊藤 主税¹, 山田 知典¹, 大道 博行², 宮部 昌文¹, 柴田 卓弥¹, 長谷川 秀一³

¹JAEA, ²レーザー総研, ³東大

微粒子の計測方法として、空力学レンズを用いて微粒子の濃縮ビームを生成し、オンラインで核種同定し、また、粒径分布をその場測定する手法を提案し、レーザー切断時に発生する微粒子への適合性を確認した。

キーワード：レーザー加工, 微粒子, 粒径計測, 空力学レンズ, 飛行時間法, レーザー分光

1. 緒言

燃料デブリの切断によって生じる微粒子の粒径や元素・同位体組成を分析するためには、その性状の変化を伴う前処理を行わずに遠隔でその場測定できることが重要で、そのためには効率的かつその後の分析に供する形態で微粒子を計測部へ導入することが重要となる。特に、レーザー切断時に発生する微粒子の粒径は $0.05 \sim 10 \mu\text{m}$ とされ、この領域は拡散しやすいこともあり、吸引して吸着等により捕集する手法は困難を伴う。そこで、本研究では、空力学レンズを用いて微粒子の濃縮ビームを生成する手法を提案する。

2. 空力学レンズを用いた微粒子計測法

微粒子の移行挙動は、その粒径に依存し、大粒径では重力沈降や慣性衝突の効果が大きく、小粒径では拡散効果により気体のように振舞う。窒素ガス流体中のナトリウムエアロゾルの伝送効率のエアロゾル粒径分布依存性の評価例では、概ね粒径 $0.1 \mu\text{m}$ を境にそれ以上では重力沈降が支配し、それ以下は拡散効果の支配域となる。レーザー切断時に発生する微粒子の粒径はこの境界を含む範囲に分布すると考えられ、吸引・吸着による捕集の効率は粒径によって変化の大きい領域と考えられる。

そこで、微粒子を効率的に計測する技術として、空力学レンズの導入を提案する。高速炉の微少 Na 漏えい検知技術として開発された Na エアロゾル集積法[1]では、シミュレーションでは概ね粒径 $0.06 \sim 2 \mu\text{m}$ のエアロゾルが通過する設計の空力学レンズが設計・製作されており(図1)、目標とする粒径の領域の大半を含むことから、レーザー切断時に発生する微粒子への適合性はよいと考えられる。本手法では、濃度が 10^7 倍に濃縮された粒子ビームが生成されることから、狭い領域に働きかけるレーザー光との相性は良く、前段の粉塵発生部と後段のレーザー分光と組み合わせてオンライン化を図ることができる。

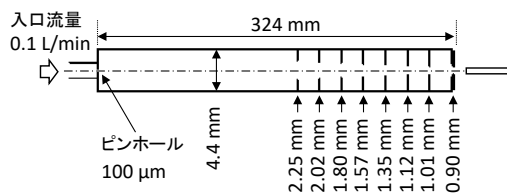


図1 空力学レンズ

また、微粒子の挙動の解明においては、その粒径分布が重要な情報である。空力学レンズを通過した空気分子は断熱膨張により $500 \sim 600 \text{ ms}^{-1}$ の超音速流となり、粒子は空気分子との衝突によって加速され、その速度は粒子の慣性に依存するため、粒径の違いによる速度差が生じる。これを利用して、飛行時間法により粒径分布が計測できる。空力学レンズを通過した粒子は、イオン化チャンバまで 40 cm の飛行距離での飛行時間は $700 \sim 800 \text{ ms}$ になるので、 100 Hz で回転する 1% スリット付き円盤で粒子ビームをチョッピングすれば、粒子ビームを飛行時間に対して十分小さい矩形状に分割でき、飛行時間計測が可能となる。

3. 結論

空力学レンズを用いて微粒子をその発生源から効率的に計測部へ導入し、その粒径分布をその場測定するとともに、レーザーによる原子化・イオン化と組み合わせてオンライン化で核種同定する手法を提案し、レーザー切断時に発生する微粒子への適合性を確認した。今後は、空力学レンズを用いた計測装置を構築し、レーザー加工により微粒子を発生させて、その濃縮ビーム生成実験により本手法を実証する予定である。

本研究は、日本原子力研究開発機構「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」により実施された「レーザー加工により発生する微粒子の解析と核種同定手法の開発」の成果である。

参考文献 [1] 日本原子力学会「2008 年秋の大会」C51

*Chikara Ito¹, Tomonori Yamada¹, Hiroyuki Daido², Masabumi Miyabe¹, Takuya Shibata¹ and Shuichi Hasegawa³

¹JAEA, ²Institute for Laser Technology, ³Univ. of Tokyo