

レーザー駆動イオン加速における クラスターターゲットに対するサイズ分布解析手法の開発 Development of Size Distribution Analytical Method for Cluster Targets in Laser-Driven Ion Acceleration

○神野 智史¹、金崎 真聡²、宇野 雅貴²、福田 祐仁^{3,4}

(1. 東大院工、2. 神大院海事、3. 量研機構関西、4. 九大総理工)

°Satoshi Jinno¹, Masato Kanasaki², Masataka Uno², Yuji Fukuda^{3,4}

(1. The Univ. of Tokyo, 2. Kobe Univ., 3. KPSI-QST, 4. Kyusyu Univ.)

E-mail: jinno@nuclear.jp

レーザー集光強度 10^{17} - 10^{19} W/cm² におけるレーザー駆動イオン加速実験において、我々はクラスターターゲットを採用することにより、加速エネルギーの最大値の著しい増加を実証した[1]。PW 級レーザーを用いた、レーザー集光強度 10^{22} W/cm² でのイオン加速実験を行えば、例えば、直径数百 nm の水素クラスターのクーロン爆発によって 100 MeV 級のクリーンな陽子線発生が可能である。また、相対論効果により、イオンがレーザー進行方向に指向性を持って加速されることも期待できる。これらのことを実証するため、本研究では、冷却機構付パルスバルブを用いた水素クラスターターゲット生成装置を開発し、Mie 散乱を用いて生成した水素クラスターのサイズ計測を行った。Mie 散乱を用いたクラスターサイズの測定では、Nd:YAG レーザーの 2 倍高調波である波長 532 nm のパルスレーザーをクラスターターゲットに照射し、そこからの散乱光の角度分布測定し、Mie 散乱理論を用いて数値解析することにより、クラスターサイズ分布を得る[2]。

散乱角度分布 $I(\phi)$ からクラスターサイズ分布 $q(x)$ を得る問題は典型的な逆問題である。Mie 散乱理論より応答関数行列 $F(\phi, x)$ を作ることができ、散乱角度分布とクラスターサイズ分布の関係は $I(\phi) = F(\phi, x) \cdot q(x)$ と表すことができる。未知数 q の数が測定値 I よりも多い場合、悪条件であると呼び、解 q のノルム $\|q\|$ を最小にするという制限を加えた最小ノルム法という手法を用いて解を求める。しかしながら、悪条件の場合、測定値 I に含まれるノイズに解 q が敏感に反応し、安定な解が得られない。そこで、本研究では Tikhonov の正則化法を用いた。途中経過を省くが、 $q = (F^T F + \gamma E)^{-1} F^T I$ を解けば良いことになる。ここで E は単位行列であり、 γ は正則化パラメータと呼ばれる。正則化パラメータを適切に設定することによって、安定化した解を得ることができる。さらに測定誤差による重み W を付けると、 $q = (F^T W F + \gamma E)^{-1} F^T W I$ と表すことができる。また、本研究において、サイズ分布である解は必ず正の値なので、非負の最小二乗法(NNLS)を用いて解を正に限定した。これによって物理的に意味のある結果を得ることが可能になる。適切な γ を求める方法としては、L-カーブ法を採用した[3]。講演では解析方法と結果について報告する。

[1] Y. Fukuda et al., Phys. Rev. Lett. **103**, 165002 (2009); Y. Fukuda et al., Radiat. Meas. **50**, 92 (2013).

[2] S. Jinno et al., Appl. Phys. Lett. **102**, 164103 (2013); S. Jinno, et al., Optics Express **21**, 20656 (2013).

[3] P. C. Hansen, SIAM **34**, 561 (1992).