

## イオン加速技術の開発成果と展望

量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 近藤 公伯

### 目指す姿

2000年台に入ってから初めて実験で示された極短パルス高ピーク出力レーザーによる高エネルギーイオン加速現象の実用化は、その後およそ20年間基礎研究を続けながら本格的な実用化に至っていない。レーザープラズマを利用することによる極端な強さの加速電界の発生により加速長が極端に短くできるので、装置の小型化に限界がある従来方式のイオン加速器に比べ、装置規模やそれに伴う価格面で、高いポテンシャルが期待できる。一方で、20年間に及ぶ長い研究期間でも実用化に至っていない背景には、これに携わる研究開発者の目指すものが、プラズマ科学、レーザー科学を極めることに向けられてきたことが挙げられる。本研究開発は、そのような背景も維持しながらも、本格的なレーザー駆動イオン加速装置開発を、明確な目標設定の下に実行し、最終的に本格的な実用化が可能であることを実証することを目指す。具体的な目標は、現在、QST(量子科学技術研究開発機構)が独自に実現を目指す次世代の重イオンがん治療装置(「量子メス」と呼んでいる)に設置可能な炭素イオン入射器をレーザー加速により実現できることを示すことである。量子メスは超伝導加速技術により小型化したシンクロトロン加速器を設置するが、それに見合う規模の入射器としてレーザー駆動イオン加速ベースの小型炭素イオン入射器の実現が期待されており、これが可能なことを目指す。

### 開発目標

上述の「目指す姿」を実現するためには、既存の重イオンがん治療装置における入射器の性能に匹敵する性能が必要であり、すなわち以下の性能がレーザー加速で実現できることを示す。

- (1) 炭素イオンのエネルギー: 核子あたり4 MeV
- (2) 入射炭素イオンの個数: 2秒間に $10^9$ 個、後段に設置予定のシンクロトロン加速器に入射できること
- (3) 繰り返し10 Hz以上で1ショットあたり $10^8$ 個/1% b.w.の炭素線をシンクロトロンへ伝送できること
- (4) 炭素イオンの純度は99 %以上とする

ただし、後段のシンクロトロン加速器入射に必要な炭素線の発生がビーム診断により確認できれば、その後の実際のビーム入射の部分はシミュレーションで進める。

### 方法

QST関西研に設置するイオン加速プラットホームにて、目標の炭素イオン発生に必要なレーザー装置、ターゲット装置、ビーム診断装置を開発して上記目標達成を目指す。現在、レーザーは繰り返し10 Hz、パルスエネルギー1 J、パルス幅40 fsのチタンサファイアレーザーをイオン加速に必要な性能まで引き上げ、 $10^{20}$  W/cm<sup>2</sup>の照射強度によるイオン発生を目指している。ターゲットは各種薄膜ターゲットを試験することで、高純度化を含め、目標達成に適したターゲット装置を探索する。ビーム診断では、四重極磁石や偏向磁石、ピンホールアパーチャーを利用した単色化、高純度化を、さらにデバンチャーによる圧縮により、レーザーとターゲットの相互作用で発生したイオンから、目標に必要な炭素線を選び出し、リアルタイム診断を目指す。

### 成果

レーザーについては10 Hzの繰り返しで $10^{19}$  W/cm<sup>2</sup>以上の照射強度による薄膜照射をおこなった。また、 $10^{20}$  W/cm<sup>2</sup>で薄膜照射に必要な品質に高度化できるように高度化を並行して進めた。また、炭素線発生の高純度化のために薄膜ターゲット裏面の加熱機構を試験し、炭素線純度が向上することを実験で示した。炭素線発生量についてはシミュレーションと実験により10 J程度の照射エネルギーで達成可能なことが示された。ビーム診断では、核子あたり10 keVの炭素線に対し、アインツェルレンズとピンホールの組み合わせによる有限立体角分のイオン捕集と単色化を、ビーム伝送試験とともに実施し、シミュレーションとの比較を行い、問題点の洗い出しをおこなった。

### 結論

量子メスの入射器としてレーザー駆動炭素線加速装置の可能性が確認できた。

### 今後の計画

第2ステージで、POC達成に必要なレーザーやターゲット装置、ビーム診断のためのビーム伝送器や検出器をSG2までに固め、第3ステージでそれを進め、POCを達成する。