

ナノサイズの水クラスター・クーロン爆発とその応用

－ デブリフリーのコンパクト中性子源開発 －

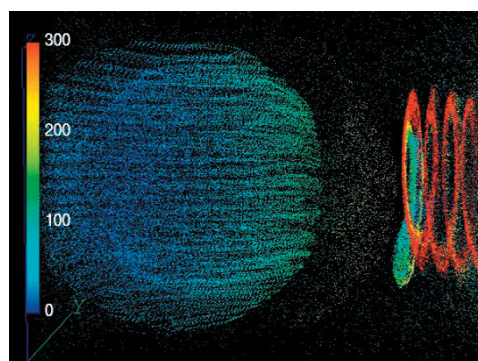
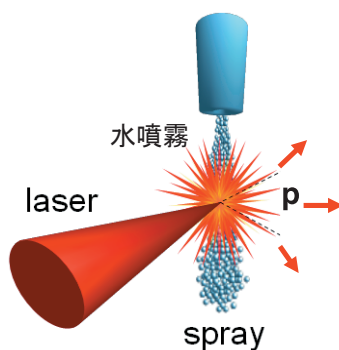
Coulomb explosion of nano-water-cluster and application

村上匡且 教授

水クラスターを使ったクーロン爆発

ナノスケールの水分子クラスターをノズル先端から噴霧し、これを超短・超高強度レーザーで照射すると(下図左)、まず電子が瞬時に遠方に吹き飛ばされ、残された正電荷を持つ酸素イオンと水素イオン(プロトン)が、ほぼ球対称に加速される。これがクーロン爆発と呼ばれるものである(下図右)。最近の理論およびシミュレーションの研究から、2種イオンの混合した固体でのクーロン爆発を考えると、軽い方のイオン(今の場合プロトン)が最もエネルギー効率の高い状態で加速される条件は、イオンの質量数と電離度の組み合わせから決定され、水分子は理論的な最適解に近いクーロン爆発を起こすことが見出された。実際に、100 - 200ナノメートルの直径の水クラスター噴霧に超高強度レーザー

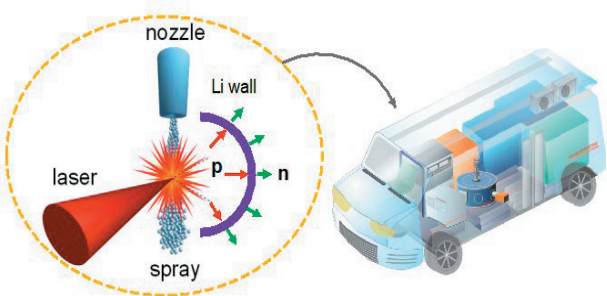
を照射したところ、1.5MeVにエネルギーピークを持つ準単色のプロトンビームが初めて観測された。理論的には、吸収エネルギーからプロトンに分配されるエネルギー効率は20~30%と極めて高い。加えてエネルギー幅はピークエネルギーのわずか10%以下に抑えられる。こうして、水滴のサイズとレーザー強度を調整することでデブリフリーのプロトン源システムを構築することが可能となる。



応用1

コンパクトなレーザー中性子源の開発

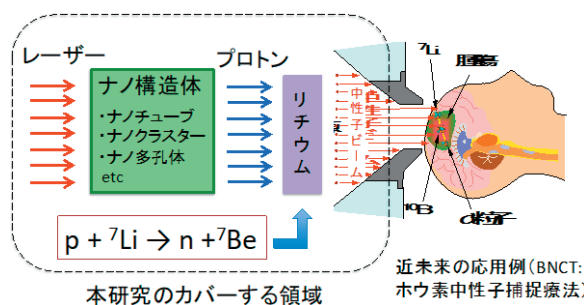
上記のような手法で水クラスターから得られるMeVクラスのエネルギーを持つプロトン源はエネルギー効率は高いが、球状にプロトンが放射されるため指向性の観点において効率に問題がある。しかし、下図のようにプロトン源の周りにリチウムやベリリウムを配置することで、核反応により中性子を生成することが可能であり、原子炉で得られる中性子に比べるとずっと低いエネルギーでコンパクトな中性子源として開発すれば様々な応用に供することが期待される。



応用2

BNCTなど医療応用のための中性子源として

左記のように、水分子のサイズを調整することで、必要なエネルギー帯のプロトンが得られ、これを使ってリチウムに照射すると、吸熱反応であることから、数百keV程度の中性子束を得ることができる。これらのエネルギーは比較的程エネルギーであることから、必要とされるモデレーターの厚みは高々数cm程度に収めることができ、将来的には携帯用レーザー生成中性子源として様々な用途に使うことが期待される。下図は医療応用の一例である。



グループHP <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/csn/>

キーワード クーロン爆発、水クラスター、理工応用

