

1. 序 標題の分離法 (AVLIS) は被分離元素の蒸気レーザー照射し、それぞれの同位体の共鳴電離度の違いを利用して同位体の分離、濃縮を行うものであり、照射レーザー部、被分離元素の蒸気発生部、電離蒸気捕獲部等から成る。後二者の系で被分離元素の蒸気がいかなる電離度を持って発生し、いかなる空間分布をとるか、更にこの状態での蒸気にレーザー照射を施す場合、新たにいかなる電離度が得られ、最終的にいかなる同位体分離係数が達成されるかを知るためのシミュレーション計算は、実験的検証と同様に重要な事柄である。ここではウランの AVLIS を考慮し、その系内での電離ウラン数密度の時間空間推移を推算するためのモデルを作成した。

2. モデル化 システムの断面模式図を図1に示す。このシステムでのウラン原子の電離過程は以下のとおりである。(1)ウラン蒸気は、るつぼ内の金属ウランに上方から電子ビームを照射する事によって得られる。蒸気ウランの熱電離度および蒸発速度は、金属表面温度に依存して決まる。この表面温度はるつぼ形状と境界条件、および電子ビーム照射条件を仮定すれば、電子ビーム照射によって溶融する金属ウランの流動方程式、熱伝導方程式、および表面形状を決定するための Young-Laplace の方程式を連立して解く事によって得られる。(2)溶融表面から蒸発したウラン原子は、金属を溶融、気化させるための電子ビームそのものによって直接照射され、又、表面からのバックscatterや二次電子によっても電離される。この場合、蒸発ウランの電離度を算出するために、電子の衝突による電離、溶融金属表面からの高温輻射による光電離、および自由電子との衝突による再結合等の原子-電子過程を考慮する必要がある。(3)蒸気源から膨張するウラン蒸気の数密度、速度、温度等の時間空間分布は、Boltzmann 方程式を解く事によって得られる。膨張するウラン蒸気の電離度は、自由電子との衝突による電離、金属表面の高温輻射による光電離、中性原子同志の衝突による電離、およびこれらの逆反応に支配されて決まる。(4)膨張するウラン蒸気のうち、電離成分および自由電子はイオン捕獲用電極が作る電場に支配されてその空間分布が決まる。このため、蒸気密度や速度の空間分布は単純な自由膨張のそれとは異なる。この状況は荷電粒子の運動方程式、および Maxwell の方程式を用いて算定できる。(5)この種の蒸気に外部からレーザー照射を行う場合、レーザー照射領域では注目する同位体 (U-235) の電離度はレーザー照射条件に従って増加する。しかし、介在する電場の効果や原子の自由運動、有限なレーザー波長幅などのために不要な同位体 (U-238) も同時に電離され、これらに対応する自由電子も生成する。極板間で生成するこれらの荷電粒子の時間空間挙動は、(4)と同様な方程式に支配されて決まる。

当シミュレーションモデルは以上の五過程を順に連結したものであり、電子ビームおよびレーザービームの入力条件によってウランの空間分布や最終的な電離同位体組成比がいかなるものとなるかを推算することができる。いくつかのケーススタディを報告する。

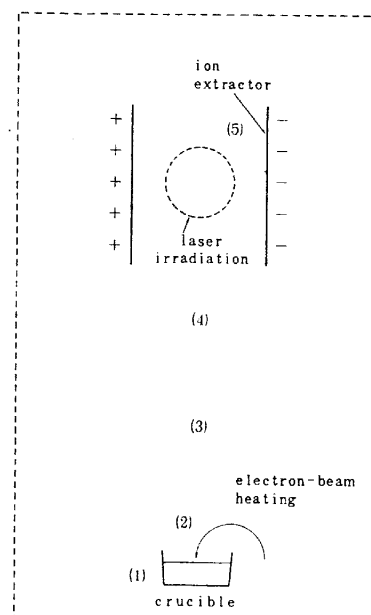


図1 AVLIS断面模式図