

IV-104

巨大エネルギー防御対策の研究(その1)

正員 ○岡本但夫

正員 三浦行政

日本大学大学院 学員 北村彰浩

1. 緒 論 都市施設が高密度に配置されている大都市圏へのエネルギー供給源などの不測の事故によって大爆発が生じる危険に対処する必要を感じる。また、高速自動車道などにおける危険物輸送に対する安全確保も重要である。さらに、放射性物質の爆発に対する慎重な防御対策がなされることによって被害を減少させ得ることから、中性子のエネルギーについて検討を行う。まず、重水素と三重水素とを接触させると、次のような反応によって中性子が発生する。



すなわち、これらの生成物は17.58MeVの速度エネルギーを有し、そのうち中性子は14MeVを有し、残りはα核が有する。これら2つの粒子はいずれも周囲の空気と衝突しつつ内包エネルギーをその原子核群に分散する。この時、中性子は帯電していないので原子核群の周囲を圍繞している電子群にその運動を少しも妨害されることなく原子核に衝突・吸収されて新しい原子核(残留核)となる。なお、この場合、入射中性子のエネルギーによって、その吸収され方に差異が生ずる。

原子核は核子とよばれるほぼ同数の水素原子と中性子がほぼ球形に集合していて、これら核子相互は核力によって結合されている。しかし、この核力は非常に強い力ではあるが、その影響を及ぼす距離は極めて短かく、隣接する核子相互間にしか及ばない。したがって、同じ原子核内であっても離れた核子相互間には核力が及ばないので、原子核内の核子はあたかも表面張力の強い液体に潰けられた丸い弾丸の集まりのように各核子相互はその表面に作用する強い引張力で相互の安定が保たれている。この状態の所に入射中性子が衝突すると、そのエネルギーは液体に囲まれた核子群全体に及び核子群は入射中性子を吸収して全体が球形から回転長円形にひずむことによって吸収される。しかし、このひずんだ回転長円形は次の瞬間には元の球形に復元しようとするために過剰エネルギーはγ線となって外部に放出される。なお、この過剰エネルギーがさらに強くなると残留核のひずみが一層大きくなるために復元力も強くなってβ線を放出する。

また、入射エネルギーがさらに強くなって10MeV程度に達すると回転長円形の端が切れて残留核を構成していた核子が飛び出すこととなる。この時、中性子と水素原子とが2個ずつの合計4個核子の集合が幾何学的に著しく安定な形(ヘリウム4核、α核)になるので、この形ができることがある。これがα核の放出である。さらに、入射エネルギーが大きくなり、10MeV以上になると飛び出す核子の数も2、3あるいは、それ以上にもなる。しかし、既に中性子の入射によって増えた残留核の核子数も、このような核子の飛び出しで減少すると、酸素や窒素のような軽い原子核については核融合反応の逆の理で核子群全体のエネルギー不足(吸熱反応)となってしまふ。これが核子の飛び出しを抑制したり、そのエネルギー減少を抑制したりする役割を演ずる。

入射粒子が普通の原子核の場合には、それが有する電子と標的核側の電子との間のクーロン力による反発を受け、衝突後の行動も相応の影響を受ける。

2. 空中爆発の場合 窒素と酸素が約8:2の割合で構成されている空気中で水素の爆発が生じると14MeVのエネルギーを有する中性子と3.58MeVのエネルギーを有するα核は、まず、最寄りの窒素もしくは酸素の原子核と衝突するであろう。たとえば、中性子が酸素原子核と衝突すると中性子は酸素原子核に吸収されて、次のような核反応が起こり、衝突前後における質量差が新たなエネルギーとなる。



$$\text{衝突前質量} ; M({}_0^1\text{n}) + M({}_8^{16}\text{O}) = 1.0008665 + 15.999 = 16.9998665 \quad (3)$$

$$\text{衝突後質量} ; M({}_0^{17}\text{O}) = 16.99913 \quad (4)$$

すなわち、質量差(0.0005365)によるMeV換算エネルギーは、0.44MeV(=931.502×0.000536)となる。したがって、入射中性子が当初から有しているエネルギーを14.0MeVとすれば、衝突後の酸素原子核は14.44MeVのエネルギーを有することとなる。この量は回転長円形の新原子核を破り中性子を2個以上放出するに十分である。しかしながら、この爆発は連続的には生じない。それは2つの理由による。まず、最初の衝突によって生じた2つの中性子はそれぞれに別の酸素核または窒素核に衝突しようが、その時に生じるエネルギーは酸素核(または窒素核)が入射中性子を吸収したために生じるエネルギー(0.44MeV)と中性子自身が有しているエネルギーの和であるが、この中性子自身が有するエネルギーは新たな2つの中性子に分割されてしまう。つぎに、この中性子自身が有する当初エネルギー(14.0MeV)は入射中性子が真直に標的核の中心に衝突した場合の値であって、核中心より外れるにつれてその値は小さくなる。この場合の平均エネルギー $\bar{E}_n$ は次式で与えられる。

$$\bar{E}_n = (1 + \alpha) E_n / 2, \quad \alpha = \{(A - 1) / (A + 1)\}^2 \quad (5)$$

ここで、A:原子核の質量、 E_n :中性子の衝突前のエネルギー

たとえば、酸素(A=16.0)の場合には、 $\bar{E}_n = 0.889 E_n$ となり、あらゆる方向についての平均値は最大エネルギー値の0.889倍となる。すなわち、2回目以降の衝突における残留核のエネルギーは次式に示すように逐次弱まり、中性子を放出することなく、回転長円形に復元する際にγ線を放出し得るのみとなり安全となる。

$$14.0 \div (2 / 0.889) + 0.44 = 6.69 \text{ MeV} \quad (6)$$

つぎに、最高エネルギー3.57MeVで飛び出したα核もまた最寄りの窒素もしくは酸素の原子核と衝突しよう。たとえば、酸素核に衝突した場合には、α粒子は2個の水素核であることから2個の電子を所有しているため酸素核が有している電子群との間にクーロン力が作用して妨害を受ける。このために、酸素核に接触した直後のα核のエネルギーは、1.53MeV(=3.57-1.02×2)に減少する。さらに、酸素核は4個の核子を有するα核を吸収することから一応、核子数20の ${}_{10}^{20}\text{Ne}$ なる安定イオン核になるものと考えられる。なお、この際34.56MeVのエネルギーを有するγ線を放出することとなる。

3. 衝突までの飛距離 中性子はクーロン力による抵抗がないことから飛距離が大きくなる可能性がある。いま、想定爆発を400万TNTとすれば、その重量は1tonであり、球半径は62.18cmである。これが爆発後、気体となるとするならば、その半径は $r_0 = 62.18 \times (773)^{1/3} = 570.66 \text{ cm}$ となり、その中の中性子密度はアボガドロ数の半分となる。この時の高速中性子の反応断面積は、およそ $(1.3 \times 10^{-5} \times \text{質量})$ で算出される。その結果、空気の反応断面積の加重平均値は 0.31415×10^{-24} (=0.2×0.33712×10⁻²⁴+0.8×0.30841×10⁻²⁴)となる。また、1cm³当たりの空気の分子数は 2.6886×10^{19} であるから、空気と中性子との反応断面積は 1.68924×10^{-5} (=2×0.31415×10⁻²⁴×2.688×10¹⁹)となる。よって、爆発中心より距離rの所における奥行1cmあたりの衝突数は、 $1.6892 \times 10^{-5} \times (r/r_0)^2 \times 1/2$ であるから、距離 r_0 からrまでの反応断面積の和が1と等しくなる所は、

$$1.6892 \times 10^{-5} \times (1/2) \times \int_{r_0}^r (r/r_0)^2 dr \\ = 0.28153 \times 10^{-5} \times (r^3 / 570.66^2) \quad (7)$$

より、 $r = 4872 \text{ cm}$ を得る。すなわち、中性子と空気との衝突は約50mごとに1~2回なされるのみで、中性子は余り遠くへは飛ばないことが判明した。これを基準とした防御施設の対策を講じる事が重要である。