

核兵器（2003.3.14版）

1 初めに

この解説を読むとき、唯一の原爆被爆国として核兵器廃絶であるべき、この国において公開すべき内容かどうか疑問が生じるかもしれない。公開することが危険であると感じる読者はインターネットの適当な検索ソフトで核兵器保有国、例えばアメリカ、またはイギリスにアクセスし、nuclear weaponと入力することをすすめる。本解説でもその一部を引用するが、驚くべき量と種々の水準の資料がすでに公開されていることが理解されるであろう。実はインターネット上でなければ、かなり以前から関連情報は公刊された書籍や資料にも公開されていたのだが。

それだけではなく、核テロリズムまたは原子炉への通常兵器による攻撃の危険性への警鐘など、この国では殆ど社会的には話題になっていないことについて、傾聴すべき見解が表明されていることも知ることができよう。“危ないこと”から眼をそらす、または無知であることから事態の改善は生まれにくいことも明らかであろう。率直に言えば、核兵器または関連する危険の内容またはその所在に無知であること、そのこと自体が危険であるともいえると筆者は考える。

2 核兵器開発の小史

1942年：パイエルス・フリッツの核分裂連鎖反応の臨界量推定メモ

1942年：アインシュタインからルーズベルト米大統領へ原爆製造進言の手紙

1943年：マンハッタンプロジェクト（原爆製造秘密計画）開始

1945.7.15：最初のプルトニウム原爆実験の成功

8.6：最初のウラン原爆実験の広島への投下

8.9：2発目のプルトニウム原爆の長崎への投下

3 核兵器の種類

3.1 核兵器の定義

核兵器とは何か、その定義を考えてみる。

核分裂、核融合反応のいずれか一方または両方を用いて、物理的破壊、または人体の殺傷を目的とする兵器を核兵器と定義することにする。高濃縮ウランまたはプルトニウム²³⁹と高速中性子による核分裂連鎖反応または重水素、三重水素、リチウムなどによる核融合連鎖反応、あるいはこれを組み合わせて、巨大な爆発力を発生させる。その際、膨大な放射性物質が生成される。

核兵器と通常兵器との違い：圧倒的な破壊効果と放射能による短期長期の殺傷効果

核兵器と生物化学兵器との相違と関連

1. 大量殺戮兵器としての共通点
2. 使用された場合には両者とも放射能汚染領域、生物的、化学的汚染領域の処理は困難であることはほぼ共通。
3. 物理的殺傷効果には著しい相違がある。生物化学兵器の物理的効果は核兵器のそれと比べて著しく小さい。
4. 開発費用は核兵器が生物化学兵器よりもはるかに高価である。

3.2 核兵器の種類

1. 原子爆弾（略称、原爆、より正確には核分裂爆弾）
2. 水素爆弾（略称水爆、より正確には核融合核分裂混成爆弾）
3. 中性子爆弾（より正確には放射線強化弾頭）

4 核分裂兵器の原理と構造

4.1 高速中性子による核分裂連鎖反応

高速中性子による爆発的な核分裂連鎖反応を考えてみる。通常、原子炉では制御された核分裂反応が起こり、核爆発は制御されない連鎖反応であると解釈されている。しかし、以下に示すように、核兵器においては“逆向きの制御”がなされている。すなわち、核兵器においては高濃縮ウランまたはプルトニウムを利用してではあるが、核分裂エネルギーが極短時間に放出されるように高精度で制御されるのである。

1. 中性子の吸収による核分裂のミクロ断面積を σ_f 、核分裂性の原子核の数密度（＝単位体積あたりの個数）を n とすれば、中性子の平均自由行程 λ_f は

$$\lambda_f = \frac{1}{n\sigma_f}. \quad (4.1)$$

となる。

2. 中性子の運動エネルギーを E_n 、質量を m とする。一回の核分裂について中性子の平均自由時間（＝緩和時間）は連鎖反応の1世代（generation）の時間でもあるので、 t_g と表す。核分裂の緩和時間は、中性子の速度 v を用いて近似的につぎのように表わされる。

$$t_g = \frac{\lambda_f}{v} = \frac{1}{vn\sigma_f} \quad (4.2)$$

一方、速度と運動エネルギーの関係より

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2}mv^2 \\ \rightarrow v &= \sqrt{\frac{2E}{m}} \\ \rightarrow t_g &= \frac{1}{n\sigma_f} \sqrt{\frac{m}{2E}}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

3. 連鎖反応中のある時刻 t の中性子の数を $N(t)$ とし、1回の核分裂で発生する平均の中性子数を f , 系外に漏洩する平均の中性子数を ℓ とすると、連鎖反応の1世代あたりの中性子数の増加は $\{N(t) \cdot (f - \ell) - N(t)\}$ である。ここで、 $(f - \ell - 1) \equiv x$ とおくと、関係式

$$\begin{aligned} \frac{dN(t)}{dt} &\approx \frac{N(t)x}{t_g} \\ \rightarrow N(t) &= N_0 \exp\left(\frac{xt}{t_g}\right) \end{aligned} \quad (4.4)$$

が得られる。ここで、 N_0 は連鎖反応が始まったときの中性子数である。 $N(t)$ は連鎖反応の世代数 ($t/t_g \equiv n$) の関数と見なすこともできるから、関係式 (4.4) は

$$N(n_g) = N_0 \exp(x n_g) \quad (4.5)$$

と表わすことができる。

4. ウランの密度 $\rho = 18.7\text{g/cm}^3$, エネルギー $E = 2\text{MeV}$ に対するウラン ^{235}U の核分裂断面積を $\sigma_f = 1.4 \text{ barn}$ ($1 \text{ barn} = 10^{-24}\text{cm}^2$) とすれば

$$n = \frac{18.7\text{g/cm}^3}{235\text{g}} \times (6 \times 10^{23}) = 0.477 \times 10^{23}\text{cm}^{-3}, \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} \lambda_f &= \frac{1}{(0.477 \times 10^{23} \text{ 1/cm}^3) \times (1.4 \times 10^{-24}\text{cm}^2)} \\ &= 14.97 \text{ cm}, \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$v = c \sqrt{\frac{2E}{mc^2}} = 0.065c = 0.195 \times 10^{10}\text{cm/s}, \quad (4.8)$$

$$t_g = \frac{14.97 \text{ cm}}{0.195 \times 10^{10}\text{cm/s}} = 0.768 \times 10^{-8}\text{s}. \quad (4.9)$$

また、 $f = 2.5, \ell = 0.5$ であるとすれば、近似的に $x = 1.0$ となるので、関係式 (4.4) は

$$N(n_g) = N_0 \exp(n_g). \quad (4.10)$$

となる。

5. s 回連鎖的に核分裂が起こったときに、発生する中性子の総数 $N(s)$ はどう表わされるだろうか。簡単のために、最初中性子数 $N_0 = 1$ とする。(後述するように、この仮定は現実的ではない。) 求めるべき $N(s)$ は等比 e の等比級数の和であるから

$$\begin{aligned} N(s) &= e + e^2 + \cdots + e^s, \\ &= \frac{e(e^s - 1)}{e - 1}, \quad (e = 2.718) \end{aligned} \quad (4.11)$$

となる。ここで、ウラン 1kg 中の ^{235}U 核の個数を計算すると

$$\frac{1\text{kg}}{235\text{g}} \times 6 \times 10^{23} \text{ nuclei} \approx 2.56 \times 10^{24} \text{ nuclei} \quad (4.12)$$

が得られる。

広島型原爆に使用された高濃縮ウラン (^{235}U) は約 60kg といわれている。爆発所要時間を推定するために、ウラン 60kg 中の ^{235}U 核の個数に近い世代数 $s = 60$ を用いれば、発生する総中性子数は

$$N(s = 60) = 1.79 \times 10^{26} \quad (4.13)$$

となる。この世代数 $s = 60$ を用いて、連鎖反応の全過程でかかる時間 $t_{\text{explosion}}$ は次のように推定される。

$$\begin{aligned} t_{\text{explosion}} &\approx 0.768 \times 10^{-8} \text{s} \times 60 = 46.08 \times 10^{-8} \text{s} \\ &\approx 0.46 \mu\text{s}. \end{aligned} \quad (4.14)$$

すなわち、爆発的な連鎖反応の全過程でかかる時間は約百万分の 1 秒程度である。発生する核分裂エネルギーは中性子数に比例すると考えてよい。さらに、次式で示されるように、各世代で発生する中性子数は指数関数的に増加する。

$$N(n_g = 55) = \exp(55) = 7.65 \times 10^{23}, \quad (4.15)$$

$$N(n_g = 56) = \exp(56) = 2.08 \times 10^{24}, \quad (4.16)$$

$$N(n_g = 57) = \exp(57) = 5.65 \times 10^{24}, \quad (4.17)$$

$$N(n_g = 58) = \exp(58) = 1.54 \times 10^{25}, \quad (4.18)$$

$$N(n_g = 59) = \exp(59) = 4.18 \times 10^{25}, \quad (4.19)$$

$$N(n_g = 60) = \exp(60) = 1.13 \times 10^{26}. \quad (4.20)$$

このように、爆発エネルギーの 99.9%以上は最後の数世代によりもたらされることがわかる。核兵器こそ極めて高い精度の制御が必要である。また、後述するように、最後の約 20 世代だけが通常爆弾との差異をもたらす。すなわち、約 15000 トン TNT 火薬相当と 1 トン TNT 火薬相当との差異をもたらす。逆に言えば、制御が高度であれば、高い爆発威力が得られるが、粗雑な装置であれば、核爆発装置としては不完全爆発、しかし、通常爆弾よりもかなり大きな威力の爆発装置となる可能性がある。

4.2 核分裂連鎖反応の臨界量

核分裂において中性子の発生数は核分裂性物質の体積に比例する、すなわち半径の 3 乗に比例する。一方、系外に漏洩する中性子数は表面積に比例する、すなわち半径の 2 乗に比例する。したがって、自立的な核分裂連鎖反応が実現される最小量 (臨界量、critical mass) が存在する。

臨界量は

1. 核分裂性物質を含む材料の密度
2. 核分裂性物質を含む材料の純度 (濃縮度)
3. 反射体 (の存否、性能)

の条件で決まる。臨界量の密度依存性については後述する。他の物質の混在が少ないほど、中性子が核分裂を起こさずに不純物と核反応を起こして無駄に使用される確率が小さくなる。したがって、純度（濃縮度）が高くなるほど臨界量は小さくなる。

臨界量の純度（濃縮度）依存性のグラフ

表（掲載予定）のように、臨界量の純度依存性はウランとプルトニウムでは大きく異なる。ウランの場合には低濃縮の場合には臨界量は著しく大きくなり、爆発的連鎖反応には不利になる。他方、プルトニウムの臨界量の濃縮度への依存性はかなり小さい。この意味でもプルトニウムが核兵器材料としてより優れているといえる。

表1に示されているように、臨界量は中性子の反射体があるかないか、また反射体の性能により種々の値をとる。実際の核爆発装置においては様々な工夫がなされているである

表 1: 臨界量（通常の密度の場合）

核種	反射体	厚さ (cm)	臨界量 (kg)
ウラン 235	なし		49
ウラン 235	ベリリウム	10	14
ウラン 235	天然ウラン	10	18
プルトニウム 239	なし		12.5
プルトニウム 239	ベリリウム	5.2	5.4
プルトニウム 239	ベリリウム	32	2.5
プルトニウム 239	天然ウラン	5	6.4
プルトニウム 239	天然ウラン	24	4.4

う。

臨界量の密度依存性

核分裂性物質中での中性子の平均自由行程をこの核分裂性物質のサイズ（例えば半径）とする。連鎖反応が実現するための臨界条件は新たに発生する中性子が系外に飛び出す前に最低ちょうど1個の中性子を発生させることである。

1回の核分裂により平均して f 個の中性子が発生するとすれば、連鎖反応の1世代ごとに $(f - 1)$ 個の中性子が新たに生成される。これらの中性子が系の外に飛び出す前に少なくとも $1/(f - 1)$ 回の核分裂をおこななければならない。核分裂のミクロ断面積 σ_f とサイズ r により構成される "体積" $\sigma_f r$ の中には $1/(f - 1)$ の原子核が存在しなければならない。

単位体積中の原子核の個数を n とすれば臨界半径 r_{cr} は次の関係式を満たさねばならない。

$$\sigma_f r_{cr} n \approx \frac{1}{f-1}. \quad (4.21)$$

ここで、核分裂性の原子核の質量数を A 、核分裂性物質の密度を ρ 、アボガドロ数を N_a とする。臨界半径 r_{cr} と臨界量 m_{cr} は

$$\text{臨界半径 } r_{cr} \approx \frac{1}{n\sigma_f(f-1)} = \frac{A}{n_a \cdot \sigma_f(f-1)\rho}, \quad (4.22)$$

$$\text{臨界量 } m_{cr} \approx \frac{4\pi r_{cr}^3}{3} \rho = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{A}{N_a}\right)^3 \frac{1}{\sigma_f^3(f-1)^3 \rho^2} \quad (4.23)$$

と表される。これらの関係式は近似的にしか成立しないので、その妥当性を吟味する必要があるだろう。そこで例えば、エネルギー 2 MeV 程度の高速中性子に対するウラン 235 とプルトニウム 239 の核分裂を考える。

1. ^{235}U : $\rho = 19.04\text{g/cm}^3$, $f = 2.5$, $\sigma_f = 1.4$ barn を代入すると

$$r_{cr} \approx 9.76 \text{ cm}, \quad m_{cr} \approx 74.1 \text{ kg}, \quad (4.24)$$

2. ^{239}Pu : $\rho = 19.8\text{g/cm}^3$, $f = 3.0$, $\sigma_f = 2.2$ barn を代入すると

$$r_{cr} \approx 4.54 \text{ cm}, \quad m_{cr} \approx 7.8 \text{ kg}, \quad (4.25)$$

このように、定性的な導出法にしては表 1 に掲載された値に近い、少なくとも遠くはない値が得られる。

ここで注目すべきことは、核分裂反応の特性 σ_f 、 f の大きさからプルトニウムがより優れた材料であること（同じ質量であれば爆発威力はより大きいこと）、および臨界量が密度の 2 乗に反比例することである。何らかの方法で圧縮することができれば臨界量は大幅に減少する。例えば、密度が半分になれば臨界量は 4 分の 1 になる！

4.3 タンパー

1. 膨張による事前爆発の防止
2. 中性子反射による臨界量の減少化
3. 宇宙線など外部からの偶然的な中性子入射の防止

重くて膨張しにくい元素が望ましく、タングステンや天然ウランが用いられる。

4.4 未臨界部分系の集合から臨界超過へ; 砲身型と爆縮型の爆発方式

1 個の核分裂爆弾（弾頭）をつくるには臨界量を大きく上回る十分な量の核分裂性物質を集めなければならない。というのは核分裂性物質が余分にあるほど、中性子の系外への

漏れを少なくできるし、連鎖反応の1世代あたりのその有効な数は多くなり、全過程がより速やかに進むからである。しかし、この核分裂性物質全体は爆発開始前には装置には害を与えないように保たなければならない。すなわち、爆発開始以前にはひとつひとつは臨界量以下である小さな塊として分散されていなければならない。つまり、爆発開始は合体すれば臨界量を大きく越えるようになるこれらの塊を集合することである。

急速に反応を起こさせることは非常に困難である。結合すると爆発を起こす2個の部分があるとしよう。この2個を接近させると、その全体は完全接触以前に臨界に達する。(そうでなければ、密度の高い全体が臨界を越えることにはならない。)このときから、連鎖反応により発生するエネルギーにより2つの塊は加熱されながら連鎖反応は展開されるであろう。それはまだ「爆発」とよべるほどのエネルギー発生ではなくても、熱の放出のために、核分裂性物質と爆弾を構成する部品が膨張し始める。膨張すると核分裂反応の密度が低下するので、期待される量のエネルギーを放出するのに必要なだけの中性子の世代が継続する前に、全体が臨界量以下となってしまう恐れがある。このことを事前爆発(predetonation)という。

4.4.1 熱中中性子を用いては原爆は不可能であること

減速材を用いて高速中中性子を熱中中性子に変えて爆発発的連鎖反応が可能かどうかを検討してみる。この場合には秒速2000メートル程度になり、連鎖反応に時間が相当にかかる。連鎖反応に時間がかかると、温度も一挙に上昇することはない。その場合、天然ウランや減速材を含む装置全体の温度が時間をかけて上昇していくので、装置全体が膨張を起こす。ウランが膨張すると体積は増えるが、原子核総数は変化しないので、原子核間の間隔が大きくなる。すると中性子が原子核に吸収される確率が小さくなり、反応率が低下し、連鎖反応は途中で停止してしまう。

長すぎる、またはゆるやかな点火をさけるには主として、連鎖反応の開始にともなう系の膨張時間が重要な問題である。反応速度は反応が発生するエネルギーの効果の伝播速度と少なくとも同程度でなければならない。上述のような遅すぎる爆発開始を避けるには発射装置を敏速に作動するものにしなければならない。そこで次の2つの爆発方式、砲身型と爆縮型が考えられた。

4.4.2 砲身型(gun-burrel type)

この方式は広島に投下されたウラン原爆に採用された。核分裂性物質の一方を一種の銃により他方に入射させる。(または2つを相互に衝突させる。)入射される塊は静止状態から出発して、その塊の大きさと同じ程度の距離を走行することになる。高性能の爆薬により、連鎖反応全体の時間の100倍程度以下にすることができると言われている。1940年代初頭、アメリカ陸軍の砲弾の速度は秒速900mに達した。この速度であれば、1cmを走行するに必要な時間は約1万分の1秒となり、爆発的核分裂連鎖反応全体の時間である約100万分の1秒の約100分の1となる。

ポロニウム・ベリリウムによる起爆装置 (initiator)

これまで、連鎖反応は1個の中性子から始まる場合を想定した。実際には連鎖反応の開始は中性子1個から始まるのではなく、臨界量に到達する瞬間に一種の起爆装置が一瞬に中性子を放出する。例えば、半減期138.4日でほとんどアルファ崩壊だけで崩壊するポロニウム (^{210}Po) からのアルファ粒子による軽い元素、おそらくベリリウムとの中性子生成反応 $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ を用いる。起爆以前にはポロニウムとベリリウムを2つに分けられた塊に別々に付加させておき、合体の瞬間に中性子源として作動するようにしておく。

もし、1000個(1世代に約2.7倍に増加するとすれば、約 2.7^7 個)の中性子しか瞬間的に注入されないとしても7世代分の中性子数の節約ができる。ちなみに、ベリリウムはガンマ線を吸収しても中性子を放出する $^9\text{Be}(\gamma, n)^8\text{Be}$ 、1個の中性子を吸収すると2個の中性子を放出する $^9\text{Be}(n, 2n)^8\text{Be}$ という性質があるので、起爆装置の重要な構成要素であろう。

4.4.3 爆縮型 (implosion type)

この方式は長崎に投下されたプルトニウム原爆に採用された。これは臨界量以下に分割された核分裂性物質の集合体の外側に高性能の火薬を、凸レンズで光を焦点距離のところに集光するように、特別の様式(爆縮レンズと呼ばれる)で配置し、球の中心に向かって集中的に圧縮するように爆発させる(爆縮)。核分裂性物質の塊の相互の距離は短く、爆縮は速やかなので、爆発開始時間は砲身型より短い。非常に強い圧縮(中性子増殖に時間を短くし、中性子の漏洩を減少させること)によって、別項で述べたように、臨界量は少なく済むだけでなく、爆発効率をあげることも可能である。この実現のためには、周囲に配置された火薬への着火は厳密に同時でなければならぬので、いくつかの困難な技術的な問題がある。

プルトニウム・コア

球状の中心付近にはポロニウムを4分の1ミリ程度の厚さをもつアルミホイルで包み、その外側にはベリリウム粉がついている。アルファ粒子は電荷をもつので物質中でほとんど走行できず停止する。したがってアルミホイルも貫通できない。しかし、爆縮の際にはアルミホイルなども容易に破られるので、ポロニウムからのアルファ粒子がベリリウムに吸収されて、中性子源として作動開始する。

しかし、爆発開始の時間のかなりの部分が、爆発の条件ではなく、着火の条件に支配されることは免れない。したがって、偶発的な爆発(事前爆発)を引き起こす偶発的に存在(発生)する中性子を可及的に避けなければならない。これらの偶発的中性子の発生源としては次の3つがある。

1. 宇宙線
2. 核分裂性金属元素のアルファ崩壊により放出されたアルファ粒子と、この金属元素に不純物として含有される軽い元素の原子核との中性子を生成する反応 (α, n)。
3. ウラニウムまたはプルトニウムの種々の同位元素核の自発核分裂

第一の危険は装置の大きさの縮小(これは他のいくつかの点で好都合である)と、それを

頑丈な容器で包み込むことで緩和される。この容器 (tamper) は運搬の邪魔にならず、宇宙線を遮断して、葉きょうの密閉座金のように、ゆっくりした爆発を避けて、爆発の効果を高める役目もする。

第二の危険を避けるためには、核分裂性物質は極わずかな不純物も除いた純粋の金属でなければならない。核分裂性物質と隣接する充填物もまた十分に選択する必要がある。

第三の中性子源が最も危険と考えられる。自発核分裂による中性子の放出は、アルファ粒子の放出に比べて非常に微量であっても、ウラン 235 の 1 kg あたり 1 秒間に約 100 個程度の中性子となり、プルトニウム (^{240}Pu) の場合には、約 100 万個に達する。(歴史的にはこの危険性の克服のために爆縮方式が物理学者のネッターマイヤーにより考案され、数学者ノイマンらにより球対称性からのずれは 5% 以下でなければならないことが指摘され、化学者のキスチャコフスキーにより爆縮レンズが実現された。)

まとめると、爆縮型は爆発効率の著しい向上と爆発威力の調節の可能性により砲身型よりも格段に優れていると言える。その後も現代にいたるまで、米国とロシアなどにおいて核弾頭の小型化の鍵として爆縮過程の精密な実験が未臨界核実験 (流体核実験、hydronuclear experiment, HNE) という名称で続けられていることはあまり知られていない。

4.5 参考 (核兵器の威力 (爆発力) の単位について)

高性能火薬 (成分名により TNT 火薬と略) の千トン相当のエネルギー、および対応する核分裂性物質の質量は次のように定義されている。

$$1\text{kton of TNT} \equiv \text{fission of } 0.057\text{kg of fissionable material} \quad (4.26)$$

$$\equiv \text{Fission of } 1.45 \times 10^{23} \text{ nuclei} \quad (4.27)$$

$$\equiv 4.18 \times 10^{12} \text{ joule} \quad (4.28)$$

$$\equiv 2.6 \times 10^{25} \text{ MeV.} \quad (4.29)$$

5 核融合兵器、核融合核分裂混成兵器

5.1 水爆とは何か

核融合爆弾は核融合反応により発生するエネルギーを利用した兵器である。このための核融合反応には水素核の同位体である重水素核と三重水素核の次の核融合反応が用いられた。このため歴史的には水素爆弾 (水爆, Hydrogen bomb, H-bomb) と呼ばれた。



これらの反応のうち 3 つは中性子の発生を伴っている。それぞれの反応で発生するエネルギーは核分裂で発生するエネルギーよりも一桁小さい。しかし、単位質量あたりのエネルギー

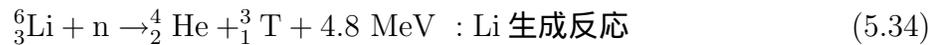
ギーは平均約3倍ほど核融合が効率的である。また、放射線の危険性が高い三重水素核を除けば、熱核融合反応では直接には放射性物質を使ったり生じたりしないことに注意する。

核融合反が起るためには水素同位核間の電的反発力に打ちかって相互に接近する必要がある。このために必要なエネルギーを得るため、種々の方法が検討されたが、核兵器で採用されてきた方法は材料の温度を上げて粒子の運動エネルギーを高める方法である。そのためにこの反応は熱核反応と呼ばれ、これを利用した熱核兵器と呼ばれることもある。

原理的には、このような高温は小規模(実験室規模)ならば非常に強力なレーザービームを重水素核と三重水素との適当な混合物に照射することにより作り出せるかもしれない。(この種の研究は内外で長期間継続されているが、成功したという報告はまだない。しかし、実現すれば純粹の核融合兵器となり、小型化など核兵器拡散のしきい値を下げる恐れある。)

核融合に必要な高温をつくり出す、これまでに知られた唯一の方法は爆発の瞬間に高温を生じることができる原爆(核分裂兵器)だけである。したがって、いわゆる水爆は2つの段階からなっている。すなわち、引き金として働く核分裂装置と、それによって作られた高熱で点火される核融合装置とである。

三重水素核はかなり半減期の短い(約12.3年)放射性気体で、自然にはない元素であるために直接に扱うのは面倒なことである。この問題の一つは固体化合物である重水素化リチウム(LiD)を用いることで解決する。この場合、リチウムは主として同位体 ${}^6\text{Li}$ で構成されるものを用いる。リチウムを使用するもうひとつの理由は別の反応で発生した中性子がリチウムをヘリウムと天然にはない三重水素核に変化させることである。



このようにして生成される三重水素核が重水素核と反応を起こして、核融合エネルギーを放出する。

5.2 核分裂・核融合の相互促進効果—ブースター原理—

核分裂装置、特にプルトニウムの球を中空にして、その中心部分に少量の核融合物質を置いた場合には、爆縮による圧縮と加熱の双方で小規模の核融合反応が起こりうる。この核融合で放出される大量の中性子がプルトニウムに吸収されると、もとの連鎖反応以上の核分裂を起こす。このようにして核分裂収量の合計は著しく増大する。このような効果をブースター効果(booster effect, 後押し効果)と呼ぶ。(水素爆弾が開発される以前に実験が行われた。)

5.3 核融合核分裂混成兵器

5.3.1 引き金としての1次系の複合構造

ブースター効果を

5.3.2 主要な核融合反応部分としての2次系

5.3.3 選択枝(オプション)としての3次系

5.4 核融合爆弾(水爆)

テラー・ウラム配置と多層膜による軟X線の反射率向上

5.5 ブースター爆弾

5.6 核分裂-核融合-核分裂爆弾(3F爆弾)

1次系 = プルトニウムまたはウランの核分裂(+ブースター効果)

2次系 = 核融合

3次系 = 天然ウランまたは劣化ウラン(高性能のタンパーとしての爆発力強化と高速中性子による核分裂効果)

2次系で発生する中性子は1次系で発生する中性子に比べてはるかに多い。この型の爆弾の場合、爆発総威力のうち、核分裂の占める割合(すくなくとも半分以上または3分の2以下)が大きい。同じ装荷重量ならば、3次系を利用した方が爆発威力ははるかに大きい。核分裂をより多く含むので、この種の爆弾は「汚い爆弾(dirty bomb)」と呼ばれる。

5.7 中性子爆弾または放射線強化爆弾

5.8 ソールティング(saulting)

5.9 純核融合兵器の可能性とその周辺

6 準核兵器-核兵器と通常兵器の中間的兵器-

6.1 汚い爆弾(放射能爆弾)

通常兵器と核兵器の中間的領域にある兵器としての(または準核兵器としての)劣化ウラン弾と汚い爆弾(放射能爆弾)

通常の爆弾に有毒な放射能を持つ物質をつめてまき散らす兵器を「汚い爆弾(ダーティーボム,dirty bomb)」という。放射線源は、放射線治療やレントゲン撮影をはじめ、非破壊検査や発電用熱源などに広がっている。テロリストグループなどが汚い爆弾を使って新たなテロをたくらんでいるという報道が時折流される。

その理由は主に二つ。一つは原爆のような核兵器と異なり、放射能を持つ物質はわずかでいいので、原子力発電所などで核燃料を使用した後にごみとなったものでも十分に材料になるという点。核兵器をつくととなると、高度な技術が必要で期間も長くなるが、汚い爆弾ならあまり知識がなくてもつくれる。

このような目的のためにはコバルト 60、セシウム 137 などの代表的な放射性物質は転用可能である。また、核爆弾を製造するには少なすぎる少量のプルトニウムなどの核分裂物質であっても、この目的への転用は可能である。

二つ目は、放射線は目に見えないので、それだけで周辺に住んでいる人たちは不安になり、テロをたくらんでいるグループにとっては大きな目的が果たせるという点。

放射能を大量に浴びれば、毛がぬけてきたり、水ぶくれができたりして、ひどい場合には死ぬ可能性がある。そう考えただけでも人々は恐怖で混乱してしまう。さらに、放射能で汚染された土や地下水はふれたり、飲んだりすることもできないため、放射能が健康に害がない程度に弱くなるまで人びとは生活することができなくなる。

通常、放射性物質は強い放射線が放出されるので、そのままの取り扱いは極めて危険であるからむやみに近づく人は少ないと考えられる。しかし、自らの命を惜しまないテロリストにはこのような想定はあたらず、必ず防護措置が必要である。。

6.2 劣化ウラン弾

[劣化ウラン]

天然ウランはウラン 238 (含有率または存在比約 99.3%) とウラン 235 (存在比約 0.7%) で構成される。天然ウランから原子力発電の核燃料を生成したり、核兵器製造のために濃縮する過程の副産物として発生するのが重いウラン 238 の含有率が天然ウランよりも低いウランであり、劣化ウラン (depleted uranium、DU) とよばれる。これは硬くて重いので貫通効果が大きく、一部の通常砲弾の先頭部分に使用され、劣化ウラン砲弾と呼ばれる。

1. ウラン 238 から放出されるアルファ線の殺傷効果
2. ウラン 238 の放射性壊変により生じる娘核から放出されるガンマ線の殺傷効果
3. 未抽出のプルトニウム 239 などからの放射能の殺傷効果 (一定期間稼動した原子炉の核燃料が再処理されてプルトニウムを取り出した残りとしての「劣化ウラン」からはプルトニウムが完全には抽出されずに残る。)
4. 重金属としてのウランの微粒子が生体にとって化学的毒性が高いこと (および一部残存してウラン 235 および

6.3 核兵器の物理的效果

核爆発により発生するエネルギー配分

1. 熱線 (全エネルギーの約 35%)
2. 爆風と衝撃波 (全エネルギーの約 50%)
3. 初期放射線 (全エネルギーの約 5%)
4. 残留放射線 (全エネルギーの約 10%)
5. 電磁パルス (全エネルギーの約 0.01%)

物理的效果

1. 巨大火の玉の出現による大気の擾乱
2. 熱線による至近距離にある物体表面の溶融と一次火災
3. 爆風と衝撃波による建物の破壊、2次火災と人的殺傷
 火事嵐（火風、旋風火災、fire storm）と大火（conflagration）.
 広島で火事嵐型の火災が発生し、直後に黒い雨（放射性塵を大量に含んだ雨）が降下した。
4. 初期放射線による急性放射線症による殺傷
5. 残留放射線による晩発性放射線症によるがん誘発など
6. 電磁パルスによる電子通信機器の破壊損傷

6.4 通常兵器による核施設等の爆破：汚い爆弾の極致

従来は殆ど注目されていなかったが、原子力発電所、核燃料再処理施設、移動中の核物質（核分裂物質）の通常兵器による攻撃は核兵器を使用しない核攻撃と等しい。 [2] この重大性の認識と関連する防護措置は必要不可欠である。 [3]

起きてからでは遅すぎる !!

6.5 核兵器による原発爆破：爆発力、放射性物質飛散の最悪の事態

原子力発電所の大威力の核兵器による攻撃があれば、致死領域を含む危険な範囲は広大になること [4] は殆ど想像されていないことは非常に奇妙であるといわざるを得ない。

7 核兵器配備状況

参考文献

- [1] S.Glasstone and P.J.Dollan, The Effects of Nuclear Weapons, (United States Department of Defence and Energy Research and Development Administration, USA, 1977年)
- [2] latest Draft of Technology Trap New Edition Chap 1-11
<http://www.tgarden.demon.co.uk/writings/techtrap/ttdraft.html>
 Chapter 7 Nuclear Physics
<http://www.tgarden.demon.co.uk/writings/techtrap/draft7.html>
- [3] NCI President Lyman to Congress: Give priority to making today's nuclear plants safe from terrorists, not building new
 March 5, 2003.
<http://www.nci.org/>

- [4] ジョセフ・ロートブラット(ノーベル平和賞受賞)「核戦争と放射線」、東京大学出版会。
- [5] 山田克哉「原子爆弾」(講談社ブルーバックス、1996年)
- [6] ジュール・ゲロン「原子力エネルギー」(白水社クセジュ文庫、1978年)