

I-1 原子炉施設の EXCLUSION AREA について

京都大学工学研究所 正員 高橋幹二

1. まえがき

原子炉施設を建設する場合には、施設周辺の環境に対する安全管理、保安対策のために、原子炉施設の周囲にある範囲の隔離区域を設けることが望ましい。すなわち、その区域内では、平時より立入制限、汚染監視などにより、積極的な安全管理を行い、一般の居住を排除して、平常時あるいは事故時における原子炉周辺の放射能汚染による危害を防ぎ、一般生活環境の安全を確保しようとするもので、この区域を EXCLUSION AREA と名づける。

この区域の必要面積は、原子炉の型式、目的、規模、安全設備の状況はもちろん、その地域の気象、地理条件や社会条件などによって変わりうるものであつて、EXCLUSION AREA の決定には、原子炉の事故特性あるいは施設周辺の放射能汚染の算定方法などについて基本的な問題を解明する必要がある。

こゝでは、ある仮想的な（たゞしあるていどの現実性をもつて予想される）事故時を想定して、EXCLUSION AREA の概算法を述べ、合わせて EXCLUSION AREA 設定の保安工学上の問題点について考察する。

2. EXCLUSION AREA 算定の諸条件

1) 原子炉事故と核分裂生成物 (F.P.)

暴走その他の大事故により原子炉が急激にエネルギーを放出し、核反応を停止した時は炉内に生成される F.P. の量は半経験的に次式で表わされる。¹⁾

a. 長時間定常 P_0 (KW) で運転後の場合

$$P \text{ (Mev/sec)} = 2.33 \times 10^{16} t^{-0.21} P_0 \text{ (KW)}, t > 1 \text{ sec} \quad (1)$$

または

$$Q \text{ (curie)} = 9.5 \times 10^3 t^{-0.21} P_0 \text{ (KW)} \quad (1')$$

b. 短時間運転後（起動時など） P_0 (KW-sec) のエネルギーを放出した場合

$$P \text{ (Mev/sec)} = 4.8 \times 10^{13} t^{-1.21} P_0 \text{ (KW-sec)} \quad (2)$$

$$10^3 \text{ sec} > t > 1 \text{ sec}$$

または

$$Q \text{ (curie)} = 1.3 \times 10^3 t^{-1.21} P_0 \text{ (KW-sec)} \quad (2')$$

実際には、生成 F.P. の一部分が施設外に放出される。この割合は放出率として表わされ、これを実証的に決定しうる資料はないが、Parker & Healy²⁾ によると大気中への放出率は 1% 程度としてよい。

2) 緊急時における人体の許容被曝放射線量 (AED)

AED としては ICRP, NBS による値、25 rem をとる。これはおおよそ、F.P. による汚染濃度が 1 C/m^3 の空気中に 1 sec、表面汚染濃度が 0.05 C/m^2 の地表に 1 day さらにした場合の被曝線量に相当する。³⁾

3. 事故時の人体放射線被曝量の算定

1) 破壊した原子炉内の F.P. による被曝線量
遮蔽体の破壊により施設外に放出された F.P. からうける γ 線量 $D_{\gamma}(r)$ は原子炉から $d \text{ m}$ の地表において次式で表わされる。

たゞし、線源は奥深く地表には障害物なく、地表面からの散乱効果も無視する。

$$D_{\gamma} = \frac{P \cdot G(d)}{4\pi (6.8 \times 10^{10})} \int_0^{t_1} f(t) dt \quad (3)$$

こゝに P は F.P. の放出量 (Mev/sec),
 $G(d) = B(d) \cdot \exp(-\mu d) / d^2$, $B(d) = 1 + \mu d$, μ は空気の線吸収係数 (cm^{-1}), $f(t)$ は F.P. の減衰函数で $t^{-0.21}$ または $t^{-1.21}$, t_1 は被曝時間 (sec)

3) 汚染空気による被曝線量

γ線のみ外部被曝線量 $D_{G2}(r)$ は距離 dm の地表面において

$$D_{G2} = \frac{\mu}{4\pi(6.8 \times 10^{10})} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty f(t) \cdot G(r) \cdot X(x, y, z, t) dx dy dz dt \quad (4)$$

また、汚染空気中に人体がさらされたときの被曝線量を $C\text{-sec/m}^3$ または Mev/m^3 で表わすと

$$D = \int_0^{t_1} X(x, y, z, t) \cdot f(t) dt \quad (5)$$

すなわち、 $G(r) = B(r) \cdot \exp(-\mu r) / r^2$,
 $r^2 = (x + ut - d)^2 + y^2 + z^2$, u : 地表付近の平均風速(cm/sec)
 x, y, z は汚染空気塊の中心を原点にとり、風下を x 方向と x 軸、 z 軸は鉛直な水平、鉛直方向をそれぞれ y, z 軸とする移動坐標軸上の点である。

$X(x, y, z, t)$ は空気中の汚染濃度を表す函数で Sutton は f と $\frac{Q}{4\pi h C \sqrt{2\pi C t}}$ 瞬時的に発生する臭源から内値な空気中に拡散する場合に次式で表わされり。

$$X(x, y, z, t) = \frac{2Q}{\pi^{1/2} C^2 (\sqrt{2\pi C t})^{3/2}} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2 + z^2}{C^2 (\sqrt{2\pi C t})^2}\right] \quad (6)$$

すなわち、 h : 放射線 F.P. の地表高さ (m), n : 空気不安定度を示すパラメータ, C : 拡散係数 (m^2/sec)

3) 地表汚染による被曝線量

地表汚染による被曝線量を $C\text{-day/m}^2$ の単位で表わす。空気中の汚染エアロゾルが地表に降下する速度 α は量は Chamberlain のこと。(C は瞬間臭源に対する全降下量 (C/m^2))

a. 重力降下の場合

$$C = \frac{Q \cdot m}{2\pi^{1/2} \cdot C \cdot d^{2-1/2}} \quad (7)$$

b. 降水時の降下

$$C = \frac{Q}{\pi^{1/2} \cdot C \cdot d^{2-1/2}} \quad (8)$$

したがって被曝線量 $D(C\text{-day/m}^2)$ は

$$D = C \cdot \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (9)$$

ただし、 t (day)

4. EXCLUSION AREA の算定

3 で述べた各ケースについてそれぞれ独立に被曝量を計算し、AED 以上の被曝の恐れある範囲を EXCLUSION AREA とする。また HW の原子炉が長時間経過後事故を生じたものとして計算した例を次表に示す。

被曝線量 距離 $d(m)$	100	200	300	500	600	備考
3-1) (r)	170	38	14	3.5	2	$\left. \begin{array}{l} \eta = 0.3 \\ C = 0.1 \\ \bar{\alpha} = 3.0 \end{array} \right\}$
3-2) ($C\text{-sec/m}^3$)	120	60	30	14	10	
3-3) ($C\text{-day/m}^2$)	0.62	0.18	0.078	0.035		

この場合、EXCLUSION AREA の半径を 500~600 m とすればよいことが分る。一般には空気汚染の場合被曝量が最も小さいが、 $m, C, \bar{\alpha}$ の法定は実測値により十分慎重に行なうべきである。

5. 結語

以上の諸計算より、出力 $P(MW)$ の原子炉に必要な EXCLUSION AREA の半径 $R(Km)$ の概算式が $R = \alpha P^\beta$ で表わされたとす。すなわち $\alpha = 0.5 \sim 0.7, \beta = 0.6$ くらいと取り。一方、Harley と Fry は $\alpha = 1.7 \sim 2.3 P^{0.5}$ であるが、これらの式は計算の過程に多くの非実証的仮定を含んでおり、土地条件の非常に散らわらぬ国において実用的に充分なものとするにはなお多くの理論的、実験的な研究の余地がある。また、EXCLUSION AREA の設定を防災たりしは保安工学上の問題として考える以上、当然保安効果についての経済的考察も必要であり、これらの諸問題については現在研究を行いつつある。

参考文献

- 1) K. Way & E. P. Wigner, Phys. Rev. 20, 115, (1946)
- 2) H. M. Parker & J. W. Healy, Int'l Conf. of Peaceful Uses of Atomic Energy, A/Conf. 8/P. 482 (1955)
- 3) W. G. Harley & T. M. Fry, Ibid, A/Conf. 8/P. 394 (1955)
- 4) O. G. Sutton, Proc. of the Roy. Soc of London, 135, 143~165
- 5) O. G. Sutton, Quart. Jour. of the Roy. Meteor. Soc. 23, 257
- 6) O. G. Sutton, Ibid, 427
- 7) AECU 3066, USAEC, 1955.
- 8) A. C. Chamberlain, AERE, HP/R, 1261 (1953)