

原子力開発に伴う環境汚染

高 橋 幹 二*

はじめに

わが国の長期発電計画によれば、1975年までに約600万kWe、さらに、1985年までには約3000万kWeの原子力発電所が建設されることになり、それに伴って、年間の使用済燃料は1975年で約200t、1980年で約600tと予想されている。いま、使用済燃料として何らかの処理、処分の対象となる時期を、燃料取出し後180日として概算すれば、その放射能はそれぞれ $6 \times 10^8 \text{Ci}$ 、 $2 \times 10^8 \text{Ci}$ 程度になる。もっとも、このうちのほとんど大部分に対しては、いわゆる高レベル廃棄物として環境から隔離処分する方式がとられるので、その方法と管理とが十分である限り、直接環境汚染の対象となるのは希釈処分の対象となる低レベル廃棄物で、その放射能は、全放射性物質のごく一部にすぎない。

このような放射性物質は核分裂生成物を主とするものであって、その大部分は燃料再処理工場に取り扱われるが、一方、原子力発電所では、空気、冷却材あるいは廃食物などが放射化され、それらのうちの相当量が核分裂生成物の一部とともに直接周辺環境に放出される。表1¹⁾はアメリカ合衆国のいくつかの原子力発電所から、定常運転時(BWR型炉の場合は、ごく小さな燃料破損があったときの値が含まれている)に環境に放出された放射能の実績値である。

放射性廃棄物の処理、処分に關する一般的な問題につ

いてはすでに本誌(昭和43年2月号)の特集記事で述べられているので、以下、ここでは放射能による環境汚染対策上、問題となる二、三の限られた問題を取り上げて述べてみよう。

1. 放射性物質に対する環境汚染基準

空気中や飲料水中の放射性物質については、すでに200以上の核種の最大許容濃度が、法令によって規定され、同様に、放射性廃棄物を環境に放出する場合についても、これらの値と関連して、放出口における制限値が与えられている。放出から環境を経て人体に摂取されるまでの希釈効果や放射能減衰効果を考慮すれば、一つ一つの放出口の放出濃度を規制することは多くの場合安全側ではあるが、一方、ある種の生物による蓄積効果や、原子力施設の集中したある特定地域の汚染を考えると必ずしも妥当な方法とはいえない。すなわち、環境に放出された放射性物質は、呼吸、飲料水、食物を通じていろいろな形で放射線の影響を人体におよぼすが、人体摂取許容量と環境放出許容量とを結びつけるには、放出から人体に至る間の放射性物質の挙動、すなわち環境汚染の実態が十分明らかにされる必要がある。この問題に対する解決策の一つは、環境汚染の実態をたえず監視しつつ、その実態に基づいて、放出を規制することであるが、放射能汚染の特質からして、その進行がきわめて徐々であり、また、いったん問題が生じた後での処理が困

表-1 原子力発電所からの放射性物質放出実績

名 称	Dresden I	Big Rock Pt.	Humboldt Bay	Elk River	Indian Pt.	Yankee
炉 型	BWR	BWR	BWR	BWR	PWR	PWR
炉 出 力 (MWt)	700	157	165	58	585	600
(MWe)	200	50	52	24	163	185
負 荷 率 (%)	64	45	80	70	50	70
放出排気中の放射能 (年間平均 $\mu\text{Ci}/\text{sec}$)						
希ガスを主とするもの	3000~25000	20~35000	40~23000	0~109	0.07~1.6	0~0.70
ハロゲンおよび粒子状のもの	0.002~0.003	1.2	0~0.07	0~ 3×10^{-5}	$\sim 2 \times 10^{-8}$	—
放出排液中の放射能 (年間平均)						
トリチウム以外の全量 (Ci/year)	4.1	5.8	1.3	0.01	11.1	0.01
同上濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$)	$10^{-6} \sim 5 \times 10^{-8}$	$2 \times 10^{-8} \sim 10^{-7}$	$2 \times 10^{-9} \sim 2 \times 10^{-8}$	$10^{-10} \sim 10^{-7}$	$3 \times 10^{-10} \sim 2 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-10} \sim 2 \times 10^{-9}$
トリチウム (Ci/year)	5~10	20	20	10	500	1300

*正会員 工博 京都大学教授 工学研究所

表-2 海水中最大許容濃度の計算例

放射核種	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁰ Sr	¹⁰⁶ Ru	¹³¹ I	¹³⁷ Cs	¹⁴⁴ Ce	²³⁹ Pu
海産食品の濃縮係数	1×10 ⁴	5×10 ³	2×10	5×10 ⁴	1×10 ⁴	5×10	1×10 ³	1×10 ³
飲料水の最大許容濃度 (μCi/kg)	5×10 ⁻¹	1	1×10 ⁻³	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²
海水の最大許容濃度 (μCi/kg)	5.0×10 ⁻⁶	1.2×10 ⁻⁶	3.4×10 ⁻²	2.0×10 ⁻⁶	1.6×10 ⁻³	1.5×10 ⁻¹	1.0×10 ⁻⁴	2.2×10 ⁻⁶

難なことを考えると、やはり放出規制値としてきわめて安全側の値を取らざるを得ない。幸いにして、原子力発電所をはじめこれまで設置された多くの大規模原子力施設では、これらの点を考慮して、特に立地上の規制がなされ、また、その後の運転管理面でも種々の保健物理的配慮がなされている。

環境汚染に関する研究成果を、実際の放射線廃棄物の放出規制や環境汚染規制に取り入れようとする試みの一つに Derived Working Limit (DWL) の考え方が²⁾ある。これは、前述

の空気、飲料水中の最大許容濃度を、放射線被曝の対象となるすべての環境物質について適用し、その許容汚染限界値ともいべきものを定めようとするもので、この値を算定するためには、たとえばある食品については、その食様式、食物連鎖などが、すべて定量的に明らかにされる必要がある。一方、海産物についてみると、その最終的な食品ごとにこの値を求め前に、まず第一段階として中間的な海水の DWL を決めておくことも大きな意味がある。表-2³⁾は、このような考え方に基づく試算例であって、多くの場合、海産物の濃縮効果のため、海水中の許容濃度は飲料水中のそれよりも厳しくなっている。

2. 大気汚染源としての原子力発電所

表-1 にみられるように、原子力発電所から直接環境に放出される放射性物質のほとんどは気体状のもので、通常その影響は施設周辺に限られる。しかしながら、将来、原子力発電所の都市接近化などを考えるとその影響は重要である。こうした意味から概算的ではあっても、他の通常火力発電所の場合の環境汚染と比較して、その重要性の程度を認識しておくことも有意義であろうと思われる。

さて、SO₂ によって代表されるような通常火力発電所からの有害物質と放射性物質との危険度を同じ物差しで比較するとすると種々の困難があるが、ここでは、単位エネルギーあたりに放出される有害物質量を求め、これをそれぞれの規制値まで希釈するに必要な空気量の大小によって、その汚染源としての重要度を比較する⁴⁾。表-3 はその計算値であるが、計算値に用いた数値は、石油、石炭についてはそれぞれ発熱量が 10 MWt-h/kl,

表-3 大気汚染源としての各発電方式の比較

エネルギー源	汚染物質	制限値*	放出量 (単位/MW・年)	必要希釈量 (m ³ /MW・年)
石油(重油) 石炭	SO ₂	0.05 ppm	5.8×10 ⁴ kg	4.4×10 ¹¹
	SO ₂	0.05 ppm	2.1×10 ⁴ kg	1.6×10 ¹¹
原子力 (Indian Pt.) (Yankee) (Dresden I)	²²⁶ Ra	1×10 ⁻¹³ μCi/cm ³	150 μCi	1.5×10 ⁹
	²²⁰ Ra	1×10 ⁻¹³ μCi/cm ³	46 μCi	4.6×10 ⁸
	Kr+Xe	3×10 ⁻⁹ μCi/cm ³	6.2×10 ⁵ μCi 1.7×10 ⁵ μCi 7.4×10 ⁸	2.1×10 ⁷ 5.7×10 ⁶ 2.5×10 ¹⁰
(Elk River)			~6.2×10 ⁹ μCi 2.0×10 ⁸ μCi	~2.1×10 ¹¹ 6.7×10 ⁹

注：放射性物質については職業人の呼吸空気許容濃度の 1/100 をとった。

7 MWt-h/t：硫黄含有量が 2%，0.5%，熱効率は 30%，石炭中の ²³⁸U, ²³²Th 含有量はそれぞれ 1.1 ppm, 2 ppm とした。また原子力発電所からの放出量は表-1 の実績値によった。なお、SO₂ に対する脱硫効果、Ra 等に対する脱塵効果は考慮していない。さらに、放射性物質についてはその蓄積効果を加えるべきであるが、そのほとんどは ¹³³Xe を主とする短半減期のものであるので、これも無視した。もし、これらの計算値から何らかの意味をくみ取るとするならば、原子力発電所からの大気汚染は、通常火力発電所の場合よりも、むしろ小さいといえる。もちろん、これらの比較は平常運転時についてのものであって、事故時の安全性の立場から検討すれば、また異なった結論が得られよう。

3. トリチウムによる汚染

表-1 に示す通り、これら原子力発電所からのトリチウムの環境放出量はかなりの量にのぼる。幸いにトリチウムの危険度は小さく、飲料水中の最大許容濃度は 3×10⁻³ μCi/cm³ であるから、このような放出がますます環境汚染上重大な問題となることはないが、その半減期はかなり長く (12 年)、また、水と全く同じ挙動をするので広い環境を汚染するため、その汚染状況については今後の監視が必要であろう。なお、これらの問題の詳細については他の文献⁵⁾を参照されたい。

参考文献

- 1) Blomeke, J.O. and F.E. Harrington : ORNL-4070, 1968
- 2) Freke, A.M. : Health Phys., 13, 743, 1967
- 3) 佐伯誠道 : 原子力工業, 13, 36 1967
- 4) Fish, B.R. : Nuclear Safety, 10, 119, 1969
- 5) Weaver, C.L. and G.E. Stigall : Health Phys., 13, 189, 1967