

放射性廃棄物の処理および安全管理

岩 井 重 久*

1. 放射性廃棄物の処理

(a) 放射性廃棄物の種類、質、量

気体状廃棄物は原子炉より直接発生するものと、放射性物質を取扱う研究室、核燃料精錬工場、核燃料処理工場などから発生するものに大別することができる。これらの気体状廃棄物は建物全体を気密にし、しかも減圧することによって外部にろう出することを防止しており、換気装置によって処理施設まで運ばれる。

原子炉より直接発生するものとしては、核燃料の核分裂により生ずる Kr^{83} , Xe^{133} のような不活性ガスと、 I^{131} などのハロゲンガス等があるが、原子炉の核心部が密閉されているときは運転中にこれが外に出ることはない。ただし、均質型原子炉のように濃縮ウランの水溶液を燃料として用いるものは核反応によつてこの水が分解して水素と酸素になり、これらが反応して爆発する危険があるので再結合して水にもどしているが、この再結合の過程で上述の放射性ガスと分離する。また不均質原子炉では核燃料は棒状または板状をなし、その外側を Al の薄板で包んであるから Kr^{83} , や Xe^{133} , I^{131} が放散することはないが、英国の多くの原子炉のように核心部の冷却にガス冷却法をとるときは、核心部を通過するガスがその強い放射線をうけて活性化し、 A^{14} , C^{14} などを生ずる。この場合、冷却用ガスに不純物（ダスト）が含まれているときは、これが活性化し放射能をもつて外部に出てくることになる。

研究室、工場等からの廃気中にふくまれる可能性のある放射性物質は、上述のものほかに気相中に放散される可能性のある I^{131} , Br^{80} 等のハロゲン元素のほか、廃気の中にふくまれてくるエアロゾルやダストが気体状廃棄物として重要である。このエアロゾルやダストは研究室で行なわれる実験の種類、工場における燃料処理の方法によつて、どんな放射性物質がふくまれているか明瞭ではない。

また上述と全くことなる原因により生ずる気体状廃棄物として、固体廃棄物を焼却するとき生ずる燃焼ガスがある。これも上述の廃気と同様、以下に述べるように処理する。

原子炉室、研究室よりの廃気中に含まれる放射性物質の濃度と廃気量は、たとえば 60 000 kW の加圧水型発

電用原子炉を有する Shippingport における経験によると、 1.6×10^5 dps/cc, 26.8 cfm であつた、との報告がある¹⁾。また廃気中にふくまれるエアロゾルの粒径については 0.05μ 以下から 20μ 程度のものまでが存在しているという報告もある²⁾。固体廃棄物の焼却炉より発生する燃焼ガス中にふくまれる放射性物質の濃度は、Argonne 国立研究所の経験によると、表-1 に示すようになつている³⁾。

表-1 固体廃棄物焼却炉よりの燃焼ガス (Argonne 国立研究所)

放射性廃棄物投入速度 (dpm/min)	燃焼炉ガス流出率 (cu.ft/min)	流出ガス中の放射能 (dpm/cu.ft)	放射能流出率 (dpm/min)	燃焼炉除染係数
2.8×10^{10}	225	7.8×10^5	1.8×10^8	150
2.1×10^{10}	225	7.0×10^5	1.6×10^8	130
1.7×10^{10}	225	2.4×10^5	5.4×10^7	310

(b) 放射性廃棄物の処理

放射性廃棄物が出る場所は十分に換気を行ない、人体に危害のないように注意する。なるべく低い汚染度のところから高いところへと送気するようにし、送流を防止する。特別の場合、たとえば原子炉室などでは廃棄物の外部漏洩を防ぐため、十分な耐気、耐ガスあるいは耐圧構造とし、室内を負圧にすることが多い。換気回数は大体弱放射性部分で 10 回/h, 中放射性で 15~20 回/h, 強放射性で 20 回/h 以上にとることが望ましい⁴⁾が、条件によつてはもつと少なくしうるのである。

放射性廃棄物の処理はエアロゾルのように物理的な方法で容易に除去しうるものと、ハロゲン元素のように化学的な方法で除去しうるものと、不活性ガスのように全く除去することの困難なものにわかれる。

エアロゾルの処理は表-2⁵⁾ に示したような各種の装置を用いて処理することができる。AEC フィルターはこの目的に対しては最適のものであり、 0.1μ くらいまでのエアロゾルを D.F. = $10^3 \sim 10^4$ 程度の効率で処理することができる。ただしこの場合通気抵抗が大きいので比較的ゆつくり (1 m/sec 程度の面速度) 通気する必要がある。電気収じん機、熱収じん機は通気抵抗が小であり、ともに 0.1μ くらいまでのエアロゾルを D.F. = 10^2 程度の効率で処理することができる。これらのほかにサイクロン、湿式フィルター、油膜フィルターや、水を利用する各種のスクラバー類が用いられる。スクラバーに用いた水は廃液処理系統でもつて処理を行なう必要がある

* 正員 工博 京都大学教授、工学部衛生工學教室

表-2 各種気体廃棄物処理法の効率

装置の型式	平均粒径 (μ)	分離効率 (%)	流速 (fpm)	圧力損失 (水柱 in)	利用状況
沈降器	>50	60~80	25~75	0.2~0.5	稀
大型サイクロン	>5	40~85	2000~3500	0.5~2.5	予備浄化
小型サイクロン	>5	40~95	2500~3500	2~4.5	同上
遠心分離器	>5	20~85	2500~4000	—	同上
噴霧洗滌器	>5	20~40	200~500	0.1~0.2	気体冷却
ウェットフィルター	気体と 0.1~2.5 μミスト	90~99	100	1~5	フード用
充填塔	>5	90	200~500	1~10	ガス用
サイクロンスクラバー	>5	40~85	2000~3500	1~5	焼炉用
ベンチュリスクラバー	>1	60~70	1200~2400	6~30	同上
ヴィスコスフィルター	10~25	70~85	300~500	0.03~0.15	換気用
層状ガラス繊維フィルター	<1	99.90~99.99	20	10~30	同上
AECフィルター	<1	99.95~99.98	5	1.0~2.0	フード用
網状ガラスフィルター	<1	99.95~99.99	5	1.0~2.0	同上
電気集塵器(1段)	<1	90~99	200~400	0.25~0.50	フード用
同上(2段)	<1~5	85~99	200~400	0.25~0.5	稀

ので、使用水量を、できるだけ小とすることに考慮をはらわなければならない。

ハロゲン元素類の処理はアルカリ洗滌塔を用いて洗滌したり、硝酸銀系の物質を充填物とする充填塔を用いて除去する。アルカリ洗滌の結果は実験によると 60~80% 程度の除去効率であつたが、充填塔の場合は充填層の温度をやや高く保つことにより、D.F.=10⁴ 以上の効率をもつて除去することができたとされる⁹⁾。

気体廃棄物の大気中への拡散処理は、前述のような処理をうけた廃気および放射性不活性ガスについて考えられるものである。これは廃気を高いエントツから放出せしめ、それが地上に達するまでにうける拡散希釈と、放射能の自己減衰とによつて放射能強度を下げる方法であつて、その効率の大小は気象条件、地形条件、エントツの高さ、廃気条件によつて非常に変化するものである。こうした大気中の拡散についての理論的研究としては、第二次大戦中の毒ガスの拡散に関する研究から出発した英国の Bosanquet and Pearson⁷⁾, Sutton⁸⁾ の研究がある。Bosanquet and Pearson は、前号発表の拡散式(1)(43巻7号,p7)を大気の乱流拡散の場合に関して解いて、地上における濃度を次式で与えた。

$$C(\text{ppm}) = \frac{Q \times 10^6}{\sqrt{2\pi} p q \bar{u} x^2} e^{-\frac{H}{px} - \frac{y^2}{2(qx)^2}} \dots\dots\dots (1)$$

ここに x はエントツよりの距離、 H はエントツの有効高さ、 p は z 方向の風力の変化等により決まる係数、 q は水平方向の拡散係数、 \bar{u} は x 方向の平均風速である。また Sutton は Taylor の Autocorrelation theory⁹⁾ から出発して、次式(2)をえている。

$$C(\text{ppm}) = \frac{2Q \times 10^6}{\pi C_y C_z \bar{u} x^{2-n}} e^{-\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{H^2}{C_z^2} \right)} \dots\dots\dots (2)$$

ここに C_y, C_z は、 y, z 方向の拡散係数である。これらの考え方は、相当理論的に進んだものである

が、大気の気象条件が安定であるときには、一般に実際と合致しないという欠点がある。

大気が安定なときは乱流拡散の度合いが最も少なく、拡散希釈が大して期待できないために、最も危険な状態を生ずるような場合である。一般に大気が安定になるのは早朝や夕刻に多く、また1年中では秋から冬にかけて頻繁に起こり、このような気象条件が生ずる頻度は比較的に高い。従つて大気中に廃気を放出して拡散希釈処理を行なうためには、大気の気象条件が安定であるときの解析が十分に行なわれていなければならないのにもかかわらず、現在の理論式にはこれが欠けているといえるのである。こうした問題について、われわれの研究室では理学部気象学研究室と共同して研究を進めている。

ガス冷却型の原子炉の場合は非常に多量の気体廃棄物を発生するので、前述のような処理を行なうのは困難をとまうことが多い。このような場合は簡単な過装置によつて過したのち、主として高いエントツから排出せしめ、拡散希釈に合わせて、この種放射性物質は半減期が短かいから、自己減衰による消失を期待することが多い。たとえば Brookhaven 国立研究所では 300 ft のエントツから、英国の Windscale 研究所では 400 ft のエントツからこれらの廃気を排出している。このような拡散希釈法をとるときは、地上濃度が最大となる点がどこに生ずるかが最も問題となるが、多くの研究によると大気が不安定の場合、有効エントツ高さの 5~20 倍の風下位置に、中立の場合は 20~50 倍の風下位置に最大濃度を生じ、安定のときには 350 倍の風下位置でもまだ地上に落下到達せず、観測できなかつたことが報告されている¹⁰⁾。また理論的には最大濃度 C_{\max} およびその生ずる位置 x_{\max} を、Bosanquet and Pearson は式(3)、(4) Sutton は式(5)、(6)で与えている。

$$\left\{ \begin{aligned} C_{\max}(\text{ppm}) &= 2.15 \frac{Q \times 10^5 \cdot b}{u H^2 \cdot q} \dots\dots\dots (3) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} x_{\max} &= \frac{H}{2P} \dots\dots\dots (4) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} C_{\max}(\text{ppm}) &= 2.35 \frac{Q \times 10^5}{uH^2} \frac{C_z}{C_y} \dots\dots\dots (5) \\ x_{\max} &= \left(\frac{H^2}{C_z^2} \right)^{1/2-n} \approx \frac{H}{C_z} \dots\dots\dots (6) \end{aligned} \right.$$

2. 固体廃棄物の処理と処分

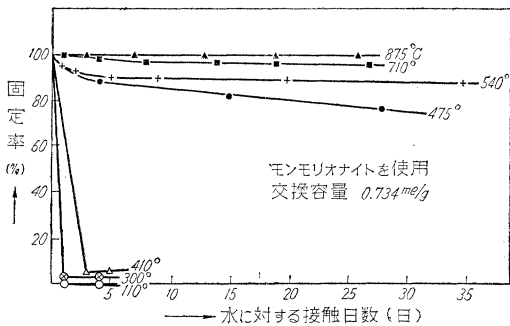
固体廃棄物は研究室、工場等より生ずるろ紙、実験着、ガラス器具、金属器具、実験生物遺体、木材、土壌等から成るが、このほかに廃液、廃気の処理系統より生ずるスラッジ、イオン交換樹脂、フィルター等も固体廃棄物と考えられる。

こうした固体廃棄物の処理法としては、焼却、洗滌処理などの方法があるが、多くは隔離貯蔵、永久埋没、深海投棄によつて処分されているようである。

不燃性物質は水圧機にかけて容積をできるだけ小さくしたのち、井戸側のようにコンクリートで内張りしたドラム缶などにつめ、これをコンクリートと混合して固めて上記のように処分する。土壌や焼却後の残灰、廃液処理で最後に残った汚泥、濃液等も同様な方法で固めることもできるが、汚泥、濃液は粘土類またはガラス原料粉末とまぜて高温度で煨焼し、熔融して固め、同様に処分することも行なわれている。

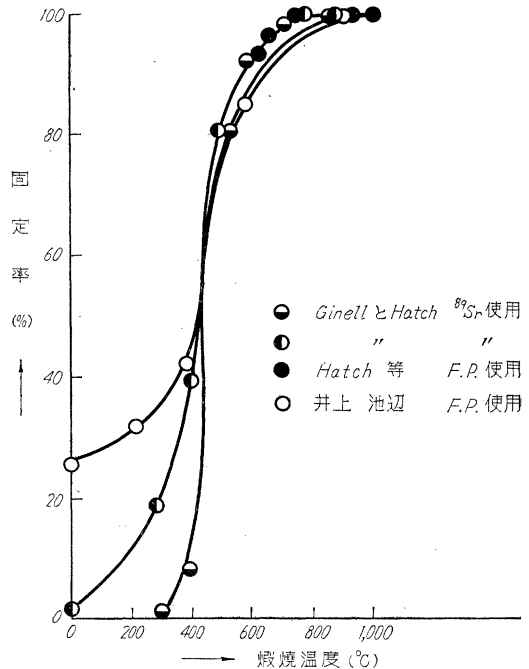
粘土類とまぜて焼固する場合の実験については Hatch and Ginell¹¹⁾ の報告があり、図-1 に示したように

図-1 煨焼温度と固定率



900°C 以上で1時間程度焼けば、容器に入れなくてもそのまま海水と接触せしめても、海水中に放射性物質はほとんど浸出しないので、そのまま地中に埋設したり、海中に投棄しても汚染源となるおそれがない。同様の研究が東京大学の衛生工学研究室および、われわれの研究室でも行なわれた。すなわち、東大の広瀬、徳平¹²⁾は、粘土および凝集沈殿処理における Floc 汚泥を煨焼してその固定効果をたしかめ、京大の井上、池辺¹³⁾は煨焼のさいの条件を求め、900°C 以上1時間煨焼すれば、ほぼ完全な固定効果をうることを知った(図-2 参照)。さらに最近九大山田¹⁴⁾は、Illite がある種の元素、ことに Cs₂ を選択吸着して固定化することを知り、90° に煨焼するだけで溶出率1%以下にならうことを実験的にたしか

図-2 煨焼温度と固定率 (京大衛生工学研究室)

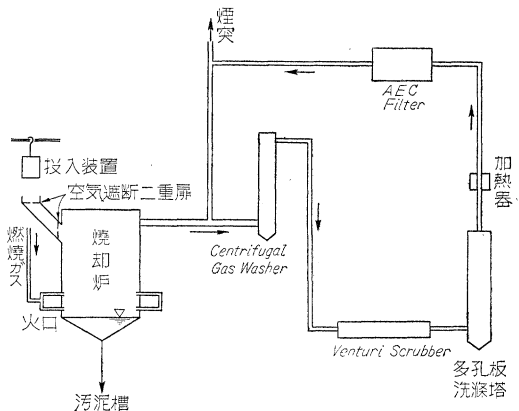


めている。

実験着、ガラス器具、金属器具等が汚染した場合はこれを洗滌して再使用することもあるが、Argonne 国立研究所のように紙製の実験着を使用し、1週間ごとにこれを廃棄処分するところも多い。高汚染を受けた実験器具等を洗滌したり、汚染された部分だけをサンドブラストなどで削り取つて再使用することもあるが、洗滌水は再び処理を要し、削り取りには危険をとまらうので、そのまま廃棄処分することが多い。

可燃性廃棄物には焼却処理を行なっている例もある。Argonne 国立研究所、Los Alamos 原子力研究所、Knolls 原子力研究所には焼却炉が設置され、2,3 年前まで

図-3 固体廃棄物焼却装置 (Argonne 国立研究所)



焼却処分が行われていたが、現在はこれらの3研究所ともに焼却炉の運転を中止している¹⁵⁾。Argonne 国立研究所にあつた焼却炉¹⁶⁾を示すと 図-3 のようである。

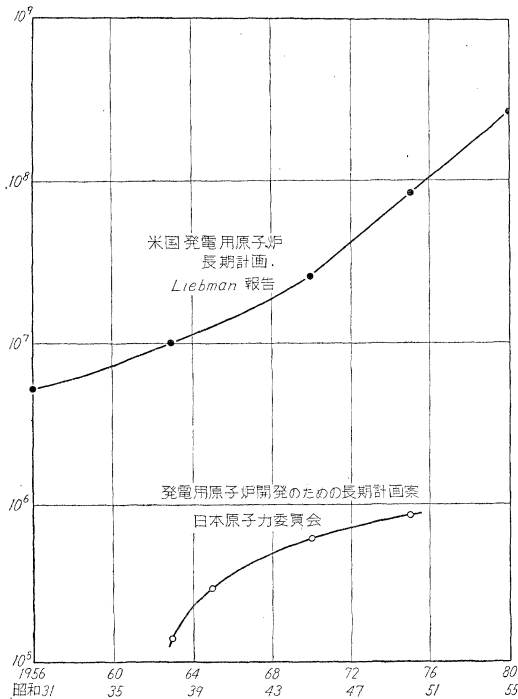
これら焼却炉の運転を中止した理由は、焼却に際して発生する燃焼ガスに伴って出てくる放射能が相当あり、これが空気汚染の原因ともなるし、また可燃性の廃棄物のなかでも、 α 線を出すものは燃焼ガス中に含まれて排出されると非常に危険となるので、焼却前にあらかじめ除去しなければならないためである。このように非常に手間がかかるし、焼却可能な量は比較的少なくなるために、かえって少々かさが増しても焼却せずに圧縮し、固体のまま処分するのが有利とされたのである。

焼却に際しては完全燃焼させることが重要であり、不完全燃焼でタール状物質が生ずると、これが廃液処理施設の方へ流されてくるので処理に困難を感じる。そのため酸素を30%くらいまで増した空気を送り込んで完全燃焼をはかり、また燃焼ガスの発生量をできるだけへらすようにしている¹⁷⁾。燃焼ガスは廃気処理系統に送って処理し、灰は不燃性固体とともに処分する。

3. 動力用原子炉とその廃棄物処理

世界のエネルギー需用量は急速に増加している。米国の例をとれば、その需用量に追いつくために 図-4 に示

図-4 わが国および米国発電用原子炉開発計画



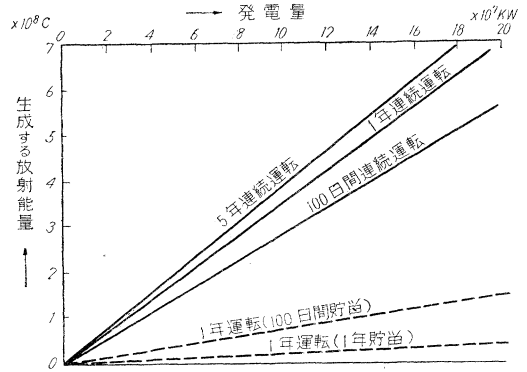
すような計画となつており¹⁸⁾、わが国の長期計画は図中の下部に示すようになってい

る。米国および英国における動力用原子炉の開発計画は、

表-3¹⁹⁾に示すとおり非常に活発であるが、これらの運転にもなつて排出される放射性廃棄物も莫大な量となるものと予想される。現在の日本では、動力協定により使用済み核燃料の処理は行なわれないことになっているにしても、新協定により近い将来に使用済み燃料が日本に譲渡されるようになった場合や、日本独自の核燃料を使用した動力炉が開発される場合を考えると、廃棄物の再生やそれともなう処理の問題は、動力用原子炉の発展のために、今から慎重に考慮しなければならないと考える。

原子炉の出力と、これによつて生産される放射性廃棄物の量とを示すと、図-5²⁰⁾のようになり、これらの廃

図-5 原子炉から生成される核分裂物質の量



棄物の中から有用なアイソトープが回収され、利用されるときも、最終的に処理しなければならない放射性廃棄物の量は多く、質的にも危険をとまなうのである。

以上のべた使用済み核燃料以外に主として発電用原

表-3 動力用原子炉の計画

計 画		電気出力 (MW)	完成予定
英 国	空気冷却 コールドホール型	400~800	1960
	" " 改良型	400~800	1963
	液体金属冷却型	1 000	1965
米 国	PWR (Shipping port)	60	1957
	EBWR (Argonne)	5	1956
	EBR-2	15	1958
	SGR	7.5	1955
	HRE-2	2	1956
工 業 動 力 用	Yankee Atomic Electric Co.	100	1957
	Nuclear Power Group	180	1960
	Atomic Power Devel. Assoc. Inc.	100	1960
	Consumer Public	75	1959
	Consolidated Edison	236	1959

子炉施設においてもこの廃棄物を生ずる。これを分類すると、炉の平常運転時に排出されるものと、事故時に排出されるものになる。

平常運転時の放射性汚染源を列記すると、次のようになる。

- 1次冷却剤 (Coolant) 中の不純物の誘導放射能
- 1次冷却剤自体に含まれてくる放射能 (例えば、

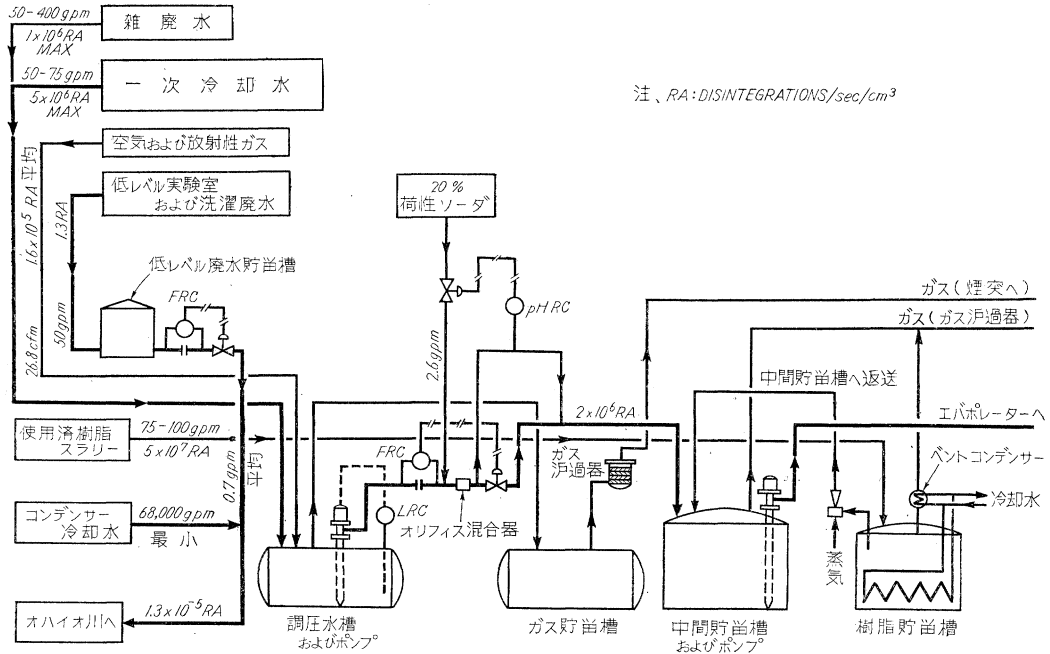
Na や O₂)

- c) 1次冷却系純水装置あるいはガス浄化装置のフィルター イオン交換樹脂等
- d) 燃料要素の破壊による1次冷却系にふくまれる核分裂物質
- e) 使用済み燃料を搬出する前にこれを一時的に浸けておく冷却池 (Canal) 中の水および輸送設備が汚染された場合
- f) 1次冷却系からろう出する水またはガス中の放射能

- g) 原子炉室内の洗滌水中の放射性物質
- h) 運転員の身体, 着衣等の洗滌水
- i) 原子炉室の空気にくまられる誘導放射能
- j) 冷却剤などをサンプルして放射能を常時検査するが, 検査後にこれを冷却系などに返さずにする場合, サンプル中にふくまれる放射能

これらの廃棄物は, 使用済み燃料処理工場の廃棄物となり, 比較的取り扱いやすく, 安全に処理することができる。たとえば, Shipping port に建設中の PWR 型 60 MW 発電用原子炉における処理系統を示すと, 図

図-6 Shipping port の廃棄物処理系統図



—6 のようになる²¹⁾。

事故については, まずこれが起こらないように設計することが第一であり, 万一事故が起こったときでも, できるだけ汚染が拡がるのを防ぐように計画しておくべきである。それで, 近年は原子炉をなるべくコンテナ中に格納するようになってきた。コンテナを設けない場合は, 放出されると予想される放射性物質の拡がる範囲が大きくなり, 従つて立入禁止区域 (Exclusion Area) を十分広くとらねばならない。その範囲については次のような概算式もある²²⁾。

$$\text{半径 (mile)} = 0.01 \sqrt{\text{kW (熱出力)}}$$

これによると一般に立入禁止区域は莫大な面積となり, 日本のように国土の狭少な国家では, 無理なことがわかる。最近是个々の場合について, 炉の出力, 型式やコンテナを考慮し, 詳細な計算を行なうのが普通となつてきた。

原子力発電所の建設地の実例を二, 三のべると次のよ

うになる²³⁾。Shipping port に建設された PWR 型発電炉の位置は Pittsburg 市の西方約 45 mile の Ohio 河畔であり, 敷地面積は約 400 Acres で, 背面は平坦な丘陵地帯である。炉のコンテナは大体その上面まで地下に入っている。

Indian Point に建設中の PWR 型, 236 MW の発電炉は New York 市の北方 25 miles の地点で, Hudson 河畔にあり, 敷地は 350 Acres, 1/2 mile の半径内には人家が 16 戸, 5 miles の半径内には 45 000 人が住んでいる。

Dresden に建設中の BWR 型 180 MW の発電炉は Chicago 市の南方 50 miles の Illinois 河の支流の河畔で, 敷地は 350 Acres, 平坦な農耕地帯である。半径 1-1/2 miles 以内に 105 人, 1-1/2~5 miles の範囲に 2 500 人, 5~10 miles の範囲に 18 500 人, 10~15 miles に 62 000 人, 15~20 miles に 74 000 人, 20~25 miles に 85 000 人が住んでいる。

Lagouna Beach に建設中の FBR 型, 100 MW の発電炉は Detroit 市の南方 30 miles, Erie 湖に面する沼沢地で, 敷地は 950 Acres, 半径 20 miles 以内に 190 000 人が住んでおり, Detroit 市の半分がこの範囲に入る。

使用済み燃料の処理から生ずる強放射性廃棄物の処理は全く困難な問題であつて, なしうることのすべては, 放射性物質を液体から固体へのごとく一つの相から他の相へ転換して容積をへらし, 極力環境への放散を防止することだけである。これを無害化することは, いかなる方法をもつてしても不可能であり, ただ含有放射能を十分に崩壊させるための時間のみによつて, これを可能とすることができるのである。このため極力容積をへらした廃棄物を永久埋没, 海洋投棄, 地下注入することが行なわれている。米国では永久埋没を行なう場所および海洋投棄を行なう場所が規定されており, 前者は Oakridge, Los Alamos, Hanford Savanna, La. Ont. の 5 カ所であり, 後者は大西洋岸では New York から東方で水深 2 000 m の地点, 太平洋岸では Los Angels から西方で水深 1 200 m の地点である²⁴⁾。

4. 安全管理

原子炉施設の安全管理は, 管理区域内の安全管理と, 区域外の安全管理にわけて考えることができる。管理区域内の安全管理としては, 施設従業員の安全を守るために, 彼等の放射線被曝量を線量計, Film Badge で測定

し, 衣服, 手足等の汚染を特殊なモニターにより測定し, 定期的に血球検査などの健康診断を厳重に行なう。

また施設の汚染をできるだけ少なくするように常に厳

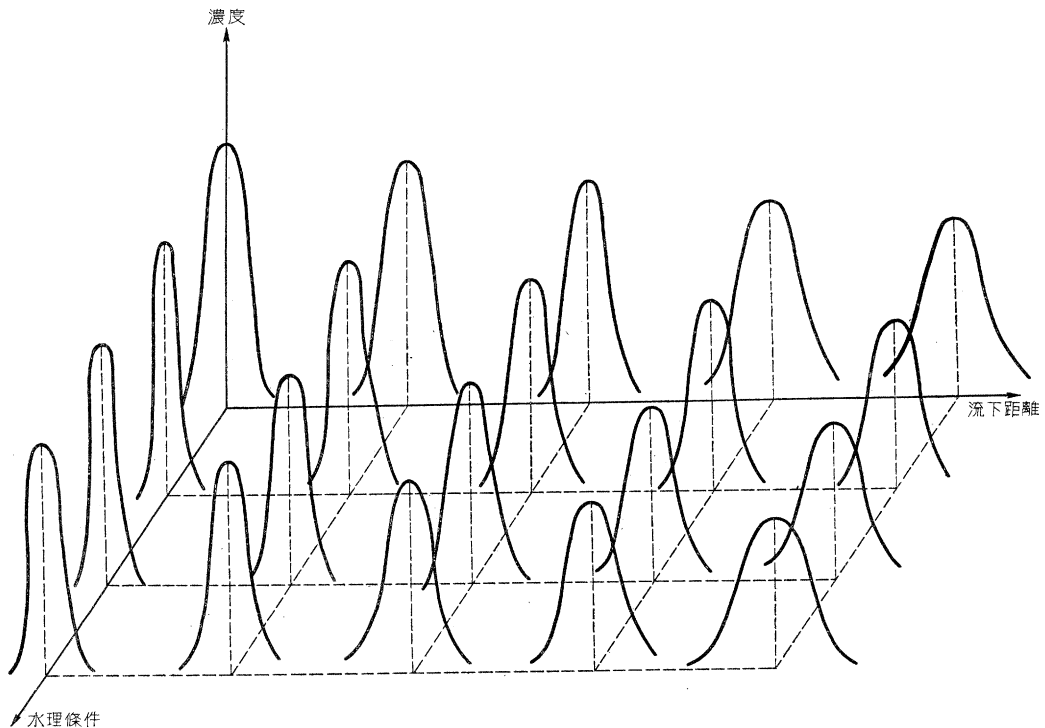
表-4 種類が明らかで一種類である放射性物質の場合の許容濃度

放射性物質の種類	空気中($\mu\text{c}/\text{cc}$)	水中($\mu\text{c}/\text{cc}$)
C ¹⁴	10 ⁻⁵	3×10 ⁻³
Na ²⁴	10 ⁻⁶	8×10 ⁻³
P ³²	10 ⁻⁷	2×10 ⁻⁴
S ³⁵	10 ⁻⁶	5×10 ⁻³
K ⁴²	6×10 ⁻⁷	3×10 ⁻³
Ca ⁴⁵	8×10 ⁻⁹	10 ⁻⁴
Fe ⁵⁵	7×10 ⁻⁷	5×10 ⁻³
Fe ⁵⁹	2×10 ⁻⁸	10 ⁻⁴
Co ⁶⁰	8×10 ⁻⁸	4×10 ⁻⁴
Rb ⁸⁶	4×10 ⁻⁷	3×10 ⁻³
Sr ⁸⁹	2×10 ⁻⁸	7×10 ⁻⁵
Sr ⁹⁰ +Y ⁹⁰	2×10 ⁻⁸	8×10 ⁻⁷
Ru ¹⁰⁶ -Rh ¹⁰⁶	2×10 ⁻⁸	10 ⁻⁴
I ¹³¹	6×10 ⁻⁹	6×10 ⁻⁵
Cs ¹³⁷ -Ba ¹³⁷	2×10 ⁻⁷	2×10 ⁻³
Ce ¹⁴⁴ -Pr ¹⁴⁴	2×10 ⁻⁹	10 ⁻⁴
natural U	3×10 ⁻¹¹	2×10 ⁻⁶
Pu ²³⁹	2×10 ⁻¹²	6×10 ⁻⁶

表-5 種類が明らかでない放射性物質の場合の許容濃度

区 分	空気中($\mu\text{c}/\text{cc}$)	水中($\mu\text{c}/\text{cc}$)
α 線を放出する放射性物質	5×10 ⁻¹²	10 ⁻⁷
α 線を放出しない放射性物質であつて, β 線または γ 線を放出するもの	10 ⁻⁹	10 ⁻⁷

図-7 安全管理図



重な管理、監視を実施することが必要であつて、万一床壁面等が汚染されたときは水、酸、その他の薬剤で洗うか削除する。またあらかじめ壁に strippable paint を塗つたり、ビニール膜でおおつたりして表面をとりかえやすいようにすることも多い。

区域内の安全管理として、上記のほか重要なことは、区域外に放出する放射性物質の量を常に監視することである。放流許容限度として、一応管理区域外に放流される水ないしは気体を、全生涯を通じて摂取しても危害をうけない濃度 (MPC) の 1/10 に取る考え方が、最近施行された総理府令第 83 号、84 号等により明らかにされ、またその数値は、科学技術庁告示第 9 号によつて明らかにされたが、これは米国標準局の定めた基準値とほぼ等しい。その代表的なものを表-4, 5 に示す。しかし管理区域外、ことに下流水源地と関連して、個々の場合につき慎重に検討することが望ましい²⁵⁾。

管理区域外の安全管理では、大気、地表水、地下水、土壌、植生、家畜、食品の汚染状況を測定し、核爆発にともなう放射性降下物、降水による汚染をも勘案し、人類の遺伝におよぼす悪影響まで考えて放射能による公害を未然に防止することが眼目となる。大気に関しては、風速、風向や、前述式 (1), (2) の拡散係数の実測、逆転層などについての微気象学的測定のほかに、一定の監視所における大気の α 線、 β 線の強さ等を測定観視せねばならない。地表水の汚染は、前述放流後の問題に関する項で述べたごとく、放流された廃水の拡散希釈の程度を知る必要があり、拡散係数を実測することによりその河川につき図-7²⁶⁾ に示すような安全管理図を作成して、下流任意地点の放射能強度の分布を知ることが望ましく、われわれの研究室では、こうした実際上の問題についても研究を進めている。管理区域から放流された廃水は最も濃度の高いときでも総理府令で定められた最大許容濃度の 1/10 であり、放流直前の放流槽において嚴重にモニタリングされる。さらにそれが河水により拡散希釈されるから、管理区域外で危険な放射能をもつ場合はまずないが、放射能を吸着した河水浮遊物質の沈降による底質の汚染や、生物による摂取のために、局所的に汚染の進行することがあるから注意を要する。

少なくとも公共水の放射能汚染防止については、従来からの河海衛生学上の知見¹⁷⁾が大いに参考となり、また大気汚染防止についても過去における産業廃気、ばい煙防止に関する知識が最大限に利用されねばならない。ただこのような弱い放射能をふくんだ空気、とくに水を、なるべく連続的に、いかなるサンプリングの方法で、どんなモニターで測ればよいか、ということに未解決の問題が残されている。

またこうした管理区域外における監視組織としては、官民合同の委員会をつくり、わが国原子力平和利用に関

する、自主、民主、公開の 3 原則にもとづき、これを合理的に運営することが望ましい。著者が専門委員として参画している関西研究用原子炉でもこうした方策がとられる予定であり、近く制定されるであろう水質汚濁に関する法律の実施と相まつて、今後こうした問題が科学的に処理されてゆくことを希望する次第である。

5. むすび

以上で原子炉施設の汚染対策につき、われわれの研究室における関連諸研究の成果を紹介しつつ概観してみた。実際例としては外国の資料のみをあげたが、わが国でも東海村の原子力研究所において JRR-1 がすでに運転を開始しており、汚染対策も鋭意進行中であるから、その実績は今後の原子力開発に際し大いに参考になるものと考えられる。

この種の汚染に対して、広い環境まで見わたしつつ釣合のとれた対策を練ることが重要であるにもかかわらず、わが国ではそうした観点に立つ人には技術的な感覚が少なく、逆に汚染処理に関与する技術者は、個々の問題についてはエキスパートであつても、環境衛生学的な観念を欠いているのが常であつた。また、いずれにしろ都市下水や大工場の廃棄物と同様、量的にも比較的多く、質的にはもつと危険であり、しかも処理、処分のための経費にも経済的な限度があるために、やはり諸外国にかけると同様、土木工学、衛生工学系の学者、技術者がこの問題に真剣に取り組まなければならないのではないかと考える。

著者は 6 年前より放射性降下物、降雨の問題から出発し、この種の汚染対策について研究を進め、ひいては、わが国特有の事情から、原子炉施設の立地問題が今後究明されねばならないことを強調してきたが、諸外国でも Site Selection²⁸⁾、Standortwahl²⁹⁾などの表題のもとに、この種の研究が近来盛んとなつてきたことに興味をいだいている。たとえば将来原子力発電が発達した暁には、ダム式水力発電所がすべてピークステーション的な役目をはたし、揚水式発電所が多くなると同時に、ダム貯水そのものが放射性廃水を希釈する目的に使われる、という時代がこないとは断言できないと思う。現在でも、原子炉立地の人工重密地からの距離と炉室コンテナの圧密、気密の程度とは、原子力の利用価値、安全性を経済的に比較して論ぜられている。

昨年、一昨年の両度にわたり、著者は欧米の原子炉、原子力研究所、関係諸官庁を訪問し、特に立地問題の事情についていろいろと見聞する機会をえた、その詳細については省略するが、二、三の所を除き、汚染対策について十分慎重に調査研究の上、立地条件が定められ、十分な施設、細心な操作、嚴重な監視により、科学的合理性をもつて運転されており、たとえ 2 国以上にわたるよう

な河川流減でも紛争の生じていないことを知った。

総理府令第 83 号 (昭和 32 年) 原子炉の設置, 運転等に関する規則, 同 84 号核燃料物質の使用等に関する規則中には, 民間原子炉施設を建設しようとする場合, 政府筋に提出すべき申請願書の内容について規定されているが, その項目中には, 立地条件, 汚染対策に関し, 土木工学, 衛生工学上の問題となつていものがきわめて多い。

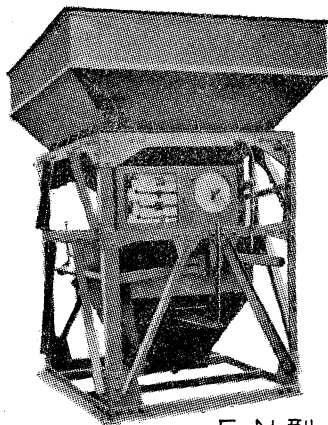
原子炉重量構造物による放射線遮へい, あるいはその耐震問題など, われわれの分野に属する大問題以外にも, こうした汚染対策, ひいては立地問題が原子力の平和利用における根本となつていことを強調し, 諸賢の御後援をえつつ, さらにこうした問題を究明してゆきたいと思う。

本稿を作成するに当たり, 京大土木工学科大学院博士課程学生 植松邦彦 (現在米国留学中), 井上頼輝の両君にいろいろと手伝つて頂いたことを付記し, その労をねぎらいたい。

参考文献

- 1) J.W. Simpson, et al: "Description of the Pressurized Water Reactor (PWR) Power Plant at Shippingport, Pa." Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy Vol.3 (1956) p.223
- 2) 石原健彦: "原子炉廃棄物の処理と活用" 原子力工業, 第二巻, 11号, p.45, 昭和 31 年 11 月
- 3) D.C. Hampson, et al: "Basic Operational Report of the Argonne Active Waste Incinerator" ANL 5067, p.37 (1953)
- 4) 音在清輝: "放射化学実験室の設計", RI 利用講習会 テキスト, p.151, 関西原子力懇談会, 昭和 32 年 11 月
- 5) L. Silverman: "Air and Gas Cleaning for Nuclear Energy Process", Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy Vol.9 (1956), pp 727
- 6) 5) に同じ
- 7) C.H. Bosanquet and J.L. Pearson: "The Spread of Smoke and Gases from Chimneys": Trans. Faraday Society, Vol.32 (1936) pp 1249
- 8) O.G. Sutton: "The Theoretical Distribution of Airborne Pollution from Factory Chimneys," Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., Vol.73 (1947) pp 426
- 9) G.I. Taylor: "Statistical Theory of Turbulence", I-V, Proc. Roy.Soc. Vol.151 (1935), pp 421
- 10) M.E. Smith: "Meteorological Factors in Atmospheric Pollution Problems", Am. Ind. Hyg. Assoc. Quart. Vol.12 (1951) pp 151
- 11) W.S. Ginell and L.P. Hatch: "Permanent Disposal of Radioactive Wastes", BNL-58 (C-11) pp 19
- 12) 広瀬考六郎・徳平 淳: "放射性 Sr⁸⁹ を含む沈殿物の焼固実験" 第八回上下水道研究発表会講演概要集, p.107, 昭和 32 年 5 月
- 13) 井上頼輝・池辺八州彦: "放射性廃液の処理に用いた粘土の類焼実験", 第八回上下水道研究発表会講演概要集, p.108, 昭和 32 年 5 月
- 14) 山田芳雄・宮口伊男: "Montmorin 系土壌を用いた放射性物質除去に関する研究", 第二回日本アイソトープ会議議事録, 印刷中, 日本原子力産業会議
- 15) 原子力国内情報, 原子力産業会議編, 昭和 31 年 11 月
- 16) 3) に同じ
- 17) 3) に同じ
- 18) C.P. Straub: "Environmental Problems of the Atomic Energy Industry", TID-7517, p.587
- 19) "Nuclear Reactor Catalog", Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol.3 (1956), p.388
- 20) J.E. Terrilli, et al: "Fission Products from Nuclear Reactors", Proceedings of ASCE, Vol.81 (1955) Separate No.643, p.31
- 21) 1) に同じ
- 22) S. グラストン, 金関義則他訳: 原子力ハンドブック原子炉編, p.603, 商工会館出版部, 昭和 31 年 4 月
- 23) 吉岡俊男: "発電用原子炉に関する専門講習会講演論文集" p.27, 電気三学会関西支部, 昭和 32 年 3 月
- 24) 15) に同じ
- 25) 岩井重久: "放射性物質の水道水源に及ぼす影響" 衛生工学, pp 15~27, 土木学会関西支部, 昭和 32 年 3 月
- 26) E. Sons: "Abfußmessungen in Druckrohrleitungen mit Hilfe von Radioisotopen", Gas und Wasserfach, Vol.97 (1956) p 676
- 27) 岩井重久: "汚染対策 (主として公共水について)", 最近の海外土木技術, 土木学会関西支部, p.51~61, 昭和 33 年 3 月
- 28) A.E. Gorman: "Waste Disposal as Related to Site Selection", Problems in Nuclear Engineering and Science Congress, Vol.1 (1957) pp 49, Pergamon Press, New York.
- 29) Kommission: "Radioaktive Substanzen und Wasser", Not wendige Massnahmen bei der Entwicklung der Atomwirtschaft zum Schutze der Wasserwirtschaft, Der Bundesminister fur Wirtschaft, Bonn, Entwurf, vom 3, Juni, 1957

エイワの簡易バッチャー



E.N 型

道路舗装 砂防 橋梁河川の工事には
大好評のエイワの簡易バッチャーを!!

☆ 納入迅速 責任保障 ☆

各種簡易バッチャー 設計製作販売
各種土木建築用計量機

御一報次第型録進呈

永和工業株式会社

東京都千代田区神田淡路町2の3
電話 神田 (25) 2624・1067