

# 放射線防護の考え方

フロンティア科学実験総合センター 実験支援部門 RI 分野 RI 木花分室  
長田 栄二

## はじめに

放射線取扱施設は法の基準に適合するようにデザインされ、施設の利用者及び周りの環境に悪い影響を及ぼさぬように考慮されている。今回は、放射線取扱施設の排気及び排水の考え方について、フロンティア科学実験総合センター実験支援部門 RI 分野 RI 木花分室(以下、「RI 木花分室」という。)を例に報告する。

キーワード:放射線、放射性同位元素、告示別表、排気中濃度、排水中濃度

## 1. 概要

RI 木花分室は、古くはアイソトープセンター、RI センターと呼ばれ、学内でもっとも歴史の長い共同利用研究施設であり、全学部の広範囲にわたる教官、学生に利用され、利用者数は年々増加している。

本施設は各種の放射性同位元素をトレーサーにして物理・化学反応や生体機構あるいは遺伝子構造を調べたり、またガンマ線や中性子線、イオンビームを照射して、種々の物質の特性の解明、有機化合物の改質、成分元素分析などを行うことができる、応用範囲の広い研究施設である。

本施設は、RI 木花分室本館、フロンティア科学実験総合センター実験支援部門分子生物実験分野分子生物実験木花分室内 RI 実験室(以下、「遺伝子 RI 施設」という。)及び実験排水施設内モニタリング室(以下、「実験排水処理施設」という。)からなり、それぞれの用途に応じた実験室と実験設備を整え、放射性物質の安全管理を行いながら研究及び調査等の推進に役立っている。

この報告書では密封されていない放射性同位元素(以下、非密封 RI という)に着目し、本施設の利用者と周りの者に対する影響を排気基準への適合及び排水基準への適合に分けて評価を行い、その際の考え方及び計算方法について述べる。

## 2. 排気基準への適合

排気基準への適合の評価は、非密封RIを使用する人が常時立ち入る場所の空气中放射性同位元素濃度及び排気設備の排気口における排気中放射性同位元素濃度によって行う。

非密封RIを使用する施設では、全館オールフレッシュ空気による空気調整を行っており、空調は機械室より外気を取り入れて、各室ごとに給排気する。各排気設備ダクトから放出する排気は、フィルター

非密封 RI の種類及び数量 表1  
【RI 木花分室本館】

核種	最大使用数量(MBq)			
	年間	3 月間	1 週間	1 日
<sup>22</sup> Na	74	74	25.9	3.7
<sup>36</sup> Cl	74	74	25.9	3.7
<sup>45</sup> Ca	370	370	64.75	9.25
<sup>54</sup> Mn	37	37	25.9	3.7
<sup>65</sup> Zn	37	37	25.9	3.7
<sup>73</sup> As	37	37	25.9	3.7
<sup>85</sup> Sr	37	37	25.9	3.7
<sup>109</sup> Cd	37	37	25.9	3.7
<sup>110m</sup> Ag	37	37	25.9	3.7
<sup>113</sup> Sn	37	37	25.9	3.7
<sup>125</sup> I	740	740	64.75	9.25
<sup>203</sup> Hg	74	74	25.9	3.7
<sup>24</sup> Na	74	74	25.9	3.7
<sup>32</sup> P	2220	1110	129.5	18.5
<sup>33</sup> P	370	370	64.75	9.25
<sup>35</sup> S	2220	1110	129.5	18.5
<sup>42</sup> K	37	37	25.9	3.7
<sup>55</sup> Fe	37	37	25.9	3.7
<sup>59</sup> Fe	37	37	25.9	3.7
<sup>64</sup> Cu	37	37	25.9	3.7
<sup>82</sup> Br	37	37	25.9	3.7
<sup>86</sup> Rb	74	74	25.9	3.7
<sup>131</sup> I	74	74	25.9	3.7
<sup>198</sup> Au	37	37	25.9	3.7
<sup>3</sup> H	2220	1110	129.5	18.5
<sup>14</sup> C	2220	1110	129.5	18.5
<sup>51</sup> Cr	37	37	25.9	3.7

【遺伝子 RI 施設】

核種	最大使用数量(MBq)			
	年間	3 月間	1 週間	1 日
<sup>45</sup> Ca	370	185	25.9	3.7
<sup>32</sup> P	1110	555	64.75	9.25
<sup>35</sup> S	1110	555	64.75	9.25
<sup>3</sup> H	1110	555	64.75	9.25
<sup>14</sup> C	1110	555	64.75	9.25

ユニットでフィルターした後、排気口の直前で混合され排気中に含まれる放射性同位元素の濃度を連続モニターしながら、排気口より大気中に放出する。

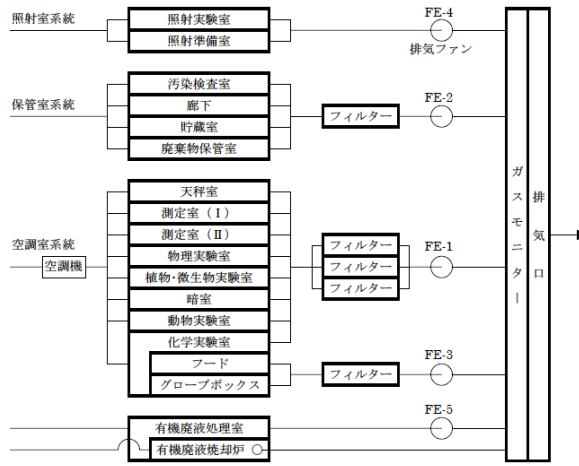


図1 排気系統図(RI 木花分室本館)

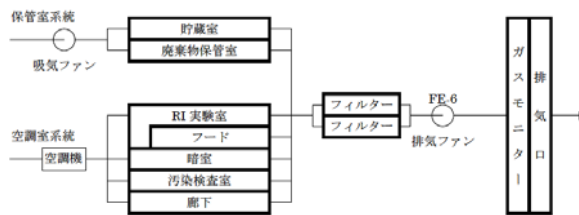


図2 排気系統図(遺伝子 RI 施設)

排気系統能力 表2

【RI 木花分室本館】

系統	排風機	台数	馬力 (KW)	排気量 (m <sup>3</sup> /h)	フィルター 枚数
FE-1	片吸込ターボファン	1	5.5	9,000	3
FE-2	片吸込ターボファン	1	0.75	1,450	1
FE-3	片吸込ターボファン	1	1.5	1,010	1
FE-4	片吸込シロッコファン	1	0.4	1,210	0
FE-5	片吸込シロッコファン	1	0.2	1,000	0
	有機廃液焼却炉本体ファン	1	0.3	530	0

【遺伝子 RI 施設】

系統	排風機	台数	馬力 (KW)	排気量 (m <sup>3</sup> /h)	フィルター 枚数
FE-6	片吸込ターボファン	1	2.2	2,950	2

人が常時立ち入る場所の換気能力 表3  
【RI 木花分室本館】

室名	室容積 (m <sup>3</sup> )	換気能力 (m <sup>3</sup> /時)	換気回数 (回/時)
測定室 (I)	38.0	780	20
測定室 (II)	29.9	780	26
物理実験室	58.8	1,350	23
化学実験室	58.8	1,390	23
動物実験室	79.3	1,930	24
植物・微生物実験室	84.0	2,200	26
暗室	15.9	370	23
天秤室	19.8	200	10
有機廃液処理室 (廃棄作業室)	29.4	1,000	34

【遺伝子 RI 施設】

室名	室容積 (m <sup>3</sup> )	換気能力 (m <sup>3</sup> /時)	換気回数 (回/時)
RI 実験室	108.2	1,620	15
暗室	16.6	350	21

2. 1. 人が常時立ち入る場所の空气中放射性同位元素濃度

人が常時立ち入る場所の換気能力は表3のようになっており、これを用いて空气中放射性同位元素濃度を求める。

(1) 計算方法

① i 番目の核種の 8 時間平均空气中濃度 Pi を求める。

$$P_i = \frac{i \text{ 番目の核種の 1 日最大使用数量} \times \text{飛散率}}{8 \text{ 時間当たりの排気量}}$$

② 上の Pi を用いて、空气中濃度の告示別表濃度限度に対する割合の和 P を求める。

$$P = \sum_i \frac{P_i}{i \text{ 番目の核種の告示別表濃度限度}}$$

(2) 計算結果

人が常時立ち入る場所の空气中濃度の告示別表濃度限度に対する割合の和は、RI 木花分室本館の化学実験室:0.0193<1、動物実験室:0.0139<1、遺伝子 RI 施設の RI 実験室:0.00189<1、暗室:0.00873<1 となるので排気基準に適合する。

## 2. 2. 排気設備の排気口における排気中放射性同位元素濃度

施設の総排気能力は表2から求められるので、これを用いて排気中放射性同位元素濃度を求める。

### (1) 計算方法

①  $i$  番目の核種の3月間平均排気中濃度  $V_i$  を求める。

$$V_i = \frac{i \text{ 番目の核種の 3 月間使用数量} \times \text{飛散率}}{1 \text{ 日の総排気量} \times 3 \text{ 月間使用日数} \times \text{フィルター透過率}}$$

② 上の  $V_i$  を用いて排気中濃度の告示別表濃度限度に対する割合の和  $V$  を求める。

$$V = \sum_i \frac{V_i}{i \text{ 番目の核種の告示別表濃度限度}}$$

### (2) 計算結果

排気設備の排気口における排気中濃度の告示別表濃度限度に対する割合の和は、RI 木花分室本館:  $0.242 < 1$ 、遺伝子 RI 施設:  $0.0808 < 1$  であるので排気基準に適合する。

## 2. 3. 排気能力の総合評価

人が常時立ち入る場所の空气中濃度の告示別表濃度限度に対する割合の和は、RI 木花分室本館、遺伝子 RI 施設ともに1以下であり、排気口における排気中濃度の告示別表濃度限度に対する割合の和は、RI 木花分室本館、遺伝子 RI 施設ともに1以下出るので、排気基準に適合する。

## 3. 排水基準への適合

排水基準への適合の評価は、RI 木花分室本館の使用施設で毎日12名、遺伝子 RI 施設の使用施設で、毎日3名の合計15名の者が非密封 RI を使用すると考える。

その際に使用後の溶液並びに器具等の1次及び2次洗浄水は濃厚なため、専用の廃液容器に保管廃棄する。器具等の3次洗浄水以降を貯留槽へ流すが、その量は  $90 \frac{\text{リットル}}{\text{人}}$ 、また、手洗い等の洗浄水を  $10 \frac{\text{リットル}}{\text{人}}$  とする。そうすると、1日の合計排水量は  $1.5 \text{ m}^3$  となる。

なお、15名中の1名は1週間に1日の割合で、RI 木花分室本館の有機廃液処理室で放射性有機廃液の焼却作業に従事するものとする。焼却時に生じる凝縮水及び洗浄水は貯留槽に流す。

1日合計  $1.5 \text{ m}^3$  の排水は、2基の前置槽 ( $2 \text{ m}^3$ ) に流入する。次に、ポンプで4基の貯留槽 ( $10 \text{ m}^3$ ) へ順次移送する。各貯留槽中の排水中放射性同位

元素濃度を測定したのち、希釈槽 ( $20 \text{ m}^3$ ) へ移送し、井水を加えて希釈放流する。

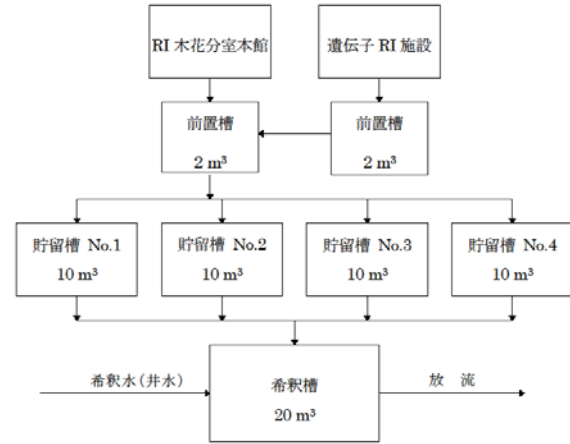


図3 排水系統図

排水系統能力 表4

	RI 木花分室本館	遺伝子 RI 施設
1 日間の排水量	$12 \text{ 人/day} \times 100 \frac{\text{リットル}}{\text{人}}$ $1.2 \text{ m}^3$	$3 \text{ 人/day} \times 100 \frac{\text{リットル}}{\text{人}}$ $0.3 \text{ m}^3$
合計	$1.5 \text{ m}^3/\text{day}$	
前置槽	$2 \text{ m}^3 \times 1 \text{ 基}$	$2 \text{ m}^3 \times 1 \text{ 基}$
貯留槽	$10 \text{ m}^3 \times 4 \text{ 基}$	
希釈槽	$20 \text{ m}^3 \times 1 \text{ 基}$	

## 3. 1. 使用施設から排出される排水濃度の計算

使用施設の排水能力は表4のようになっており、これを用いて排水中放射性同位元素濃度を求める。

### (1) 計算条件

- $S_d$  : 放射性同位元素の1日最大使用数量 (MBq)
- $w$  : 1日の排水量 ( $\text{m}^3$ )
- $W$  : 貯留槽の容量 ( $\text{m}^3$ )
- $n$  : 貯留槽の数 (個)
- $M$  : 1つの貯留槽が満水になるのに要する日数 (day)
- $X$  : 貯留槽中排水の放射性同位元素濃度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ )
- $z$  : 告示別表排水中の放射性同位元素濃度限度 ( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ )
- $Z$  : 貯留後の排水中濃度と告示別表排水中濃度限度との比
- $T$  : 放射性同位元素の半減期 (day)
- $\lambda$  : 放射性同位元素の壊変定数 ( $\text{day}^{-1}$ )

$t = 0$  のときに  $N(0)$  の放射性同位元素があるとき、時間  $t$  経過した後に残っている放射性同位元素  $N(t)$  は、壊変定数  $\lambda$  を用いると

$$N(t) = N(0) e^{-\lambda t}$$

と表される。

また、半減期 T と  $\lambda$  の間には

$$\frac{N(T)}{N(0)} = e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}$$

の関係があるので、

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

である。

(2) 計算式

① i 番目の核種の排水中濃度  $X_i$  を求める。

1 つの貯留槽が満水になるのに要する日数 M は

$$M = \frac{W}{w} \quad (\text{day})$$

1 つ目の貯留槽が満水になった時点で、貯留槽中に存在する放射性同位元素の量  $S_{1M}$  は

$$\begin{aligned} S_{1M} &= \int_0^{M-1} \frac{1}{100} S_{1d} e^{-\lambda t} dt \\ &= -\frac{S_{1d}}{100 \lambda} [e^{-\lambda t}]_0^{M-1} \\ &= -\frac{S_{1d}}{100 \lambda} [e^{-\lambda(M-1)} - 1] \quad (\text{MBq}) \end{aligned}$$

すべての貯留槽が満水になったとき、1 番目の貯留槽に残っている放射性同位元素の量  $S_1$  は

$$\begin{aligned} S_1 &= S_{1M} e^{-\lambda(n-1)M} \\ &= -\frac{S_{1d}}{100 \lambda} [e^{-\lambda(M-1)} - 1] e^{-\lambda(n-1)M} \\ &= -\frac{S_{1d}}{100 \lambda} [e^{-\lambda(nM-1)} - e^{-\lambda(n-1)M}] \quad (\text{MBq}) \end{aligned}$$

となり、この貯留槽中排水の i 番目の核種の放射性同位元素濃度  $X_i$  は

$$X_i = \frac{S_i}{W} \quad (\text{Bq/cm}^3)$$

と表せる。

② 上の  $X_i$  を用いて排気中濃度の告示別表濃度限度に対する割合の和 Z は

$$Z = \sum_i \frac{X_i}{i \text{ 番目の核種の告示別表排水中濃度限度}}$$

と求められる。

(3) 計算結果

排水設備の貯留槽における排水中濃度の告示別表排水中濃度限度に対する割合は、使用施設全体として 1.653 となる。

### 3. 2. 有機廃液処理室から排出される排水濃度の計算

有機廃液処理室に設置されている放射性有機廃液焼却装置の仕様は表5のようになっており、これを用いて排水中放射性同位元素濃度を求める。

放射性有機廃液焼却装置仕様 表5

名称型式	桑和貿易株式会社製 “SOVAX”放射性有機廃液焼却装置
焼却方法	熱気化逆転火炎燃焼方式
焼却物	液体シンチレーション計測廃液 ( $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{45}\text{Ca}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{33}\text{P}$ )
焼却能力	2.5 リットル/時 (乳化シンチレーター含有率 50%)

(1) 計算条件

$S_y$  : 焼却処理有機廃液の上限濃度目標値  
( $\text{Bq/cm}^3$ )

$Y$  : 有機廃液焼却処理容量 ( $\text{cm}^3$ )

$w$  : 1 日の排水量 ( $\text{m}^3$ )

$W$  : 貯留槽の容量 ( $\text{m}^3$ )

$n$  : 貯留槽の数 (個)

$M$  : 1 つの貯留槽が満水になるのに要する日数 (day)

$X$  : 貯留槽中排水の放射性同位元素濃度  
( $\text{Bq/cm}^3$ )

$z$  : 告示別表排水中の放射性同位元素濃度  
限度 ( $\text{Bq/cm}^3$ )

$Z$  : 貯留後の排水中濃度と告示別表排水  
中濃度限度との比

$T$  : 放射性同位元素の半減期 (day)

$\lambda$  : 放射性同位元素の壊変定数 ( $\text{day}^{-1}$ )

(2) 計算式

1 つの貯留槽が満水になるのに要する日数 M は

$$M = \frac{W}{w} \quad (\text{day})$$

である。

すべての貯留槽が満水になったとき、1 番目の貯留槽に残っている放射性同位元素の量 S は

$$S = S_y Y e^{-\lambda(n-1)M} \quad (\text{MBq})$$

となり、この貯留槽中排水の放射性同位元素濃度 X は

$$X = \frac{S}{W} \quad (\text{Bq/cm}^3)$$

と表せる。

これより、貯留後の排水中濃度と告示別表排水中濃度限度 z との比 Z は

$$Z = \frac{X}{z}$$

であることがわかる。

(3) 計算結果

実際に焼却するにあたって、廃液中に複数の放射性同位元素が存在する場合は、それぞれの濃度の目標に対する割合の和が 1 を超えないので、有機廃液処理室から排出される排水中放射性同位元素の濃度と濃度限度との割合が一番大きな値、 $^{125}\text{I}:0.074$  で評価を行うことになる。

### 3. 3. 排水能力の総合評価

排水設備の貯留槽における排水中濃度の告示別表排水中濃度限度に対する割合は、使用施設: 1.653、有機廃液処理室:0.074 であるので、合計: 1.727 なる。

ここで、貯留槽 1 基の容量が  $10\text{m}^3$  に対し希釈槽の容量は  $20\text{m}^3$  であるので、貯留槽 1 基の排水は希釈槽にて 2 倍に希釈可能であるから、排水設備の排水口における排水中濃度の告示別表排水中濃度限度に対する割合の和は、

$$\frac{1.653 + 0.074}{2} = 0.864 < 1 \text{ (限度)}$$

となり、排水基準へ適合する。

## 4. まとめ

以上より RI 木花分室における人が常時立ち入る場所の空気中濃度、排気設備の排気口における排気中濃度及び排水設備の排水口における排水中濃度のすべてにおいて基準に適合し、施設の利用者及び周りの環境へ悪い環境を及ぼさないようになっている。

## 参考文献

- ・アイソトープ法令集(I)2001年版  
(社)日本アイソトープ協会
- ・アイソトープ便覧  
(社)日本アイソトープ協会
- ・放射線計測ハンドブック  
Glenn F. Knoll  
日刊工業新聞社
- ・承認使用に係る変更承認申請書  
宮崎大学アイソトープセンター