

資料

放射線管理

Radiation Control Report

稲垣昌代、松田外志朗、若林源一郎、
志賀大史、瀧口千鶴子、山田崇裕

Masayo INAGAKI, Toshiro MATSUDA, Genichiro WAKABAYASHI,
Hiroshi SHIGA, Chizuko TAKIGUCHI and Takahiro YAMADA

1. まえがき

近畿大学原子力研究所における平成30年4月より平成31年3月までの1年間の放射線管理の結果を報告する。平成30年度における放射線業務従事者は原子力研究所、理工学部及び薬学部など教職員38名、卒業研究のため原子炉施設利用の原子炉等規制法及びトレーサー・加速器棟利用の放射線障害防止法に係る両施設の放射線業務従事者の登録者として理工学部学生26名、放射線障害防止法のみに係る放射線業務従事者として、他大学の共同利用施設等を利用する者も含め理工学部、薬学部学生など49名、(株)ア・アトムテクノ近大社員5名、計118名が放射線管理の対象となった。

平成30年度の原子炉運転状況は、最高熱出力1W、積算熱出力35.41W・h及び延運転時間99.57時間であった。原子力規制委員会による原子炉施設定期検査（立会）が3月14～16日に実施され、原子炉施設保安規定の遵守状況検査（保安検査）は四半期ごと、平成30年6月6日、9月7日、12月7日、平成31年3月5日に行われた。平成30年6月から平成31年3月まで原子炉出力調整用制御棒（調整棒）の駆動用モーターの不具合のため原子炉の運転は行わなかった。平成30年8月1日と平成31年1月24日には東大阪労働基準監督署の原子炉施設に対する立入調査が行われた。放射線障害防止法に係る放射線施設では、法令に基づく定期検査及び定期確認を平成30年11月29日

に受検した。放射線施設のトレーサー・加速器棟の利用状況は、放射性物質（RI）の受入れ10件、払出し1件、使用核種は主に³Hであった。両施設とも、いずれの検査または調査において問題となる事項はなかった。

本報では、平成30年度に定期的実施した環境放射線調査等の結果について報告する。なお、放射線管理業務の補助業務の一部は(株)ア・アトムテクノ近大に委託している。

2. 個人管理

2.1 健康診断

原子力研究所原子炉施設保安規定、放射線障害予防規程及び電離放射線障害防止規則（労働安全衛生法）に基づく放射線業務従事者に対する健康診断は、放射線業務に従事する前及び従事してからは6ヵ月を超えない期間ごとに実施している。当研究所の放射線業務従事者の被ばく線量は、健康診断実施前1年間の実効線量が5mSvを超えず、かつ今後1年間の実効線量が5mSvを超えるおそれがないため、当大学産業医が健康診断の一部省略を認め、血液検査、眼及び皮膚の検査は年度初めの4月とし、一部省略して10月に2回目を実施する。検査は当大学メディカルサポートセンターにて実施しており、その結果を第1表～第4表に示した。これによると白血球数において3000～4000/mm³の範囲の者が4

名いたが、産業医による問診等により、生理学的変動の範囲内で、放射線被ばくによると思われる異常は認められなかった。その他皮膚、爪の異常及び水晶体の混濁などについても放射線被ばくによると思われる異常はなかった。

2.2 個人被ばく線量の管理

個人被ばく線量の測定は、外部被ばくにおいてはガラスバッジ（㈱千代田テクノ製）を主測定器とし、必要に応じて電子ポケット線量計を補助線量計として用いている。ガラスバッジは広範囲用（X、 γ 、 β 線）または中性子広範囲用（X、 γ 、 β 、中性子線）が用いられ、作業者の作業・内容・利用頻度などにより1カ月あるいは3カ月ごとに外部被ばく線量の測定を業者に依頼している。内部被ばくについては、管理区域内空气中放射性物質濃度が警報レベル

未満の場合は、記録レベル未満と判断し、ゼロと算定する。平成30年度の実効線量を第5表に示した。これによると放射線業務従事者の年間実効線量はすべて検出限界（0.1mSv）未満であり、実効線量限度及び等価線量限度に達した者はなかった。なお、ガラスバッジの測定結果で検出限界未満の結果については0として集積した。また、作業時の実効線量の管理目標値、調査レベルを超えたことはなく、原子炉施設及びトレーサー・加速器棟における作業時に内部被ばくの予想される事例もなかった。

3. 施設管理

3.1 場所における線量率の測定

原子炉施設及びトレーサー・加速器棟における作業場の線量率測定は半導体式エリアモニタ（㈱富士電機製）または電離箱式エリアモニタによる連続測

平成30年度 血液検査結果

第1表 白血球数

検査年月		平成30年4月	
		教職員	学 生
白血球数 (/mm ³)	9000 以上	4	5
	5000～9000	32	58
	4000～5000	6	10
	4000未満	2	2
合計（人）		44	75

第2表 赤血球数

検査年月		平成30年4月	
		教職員	学 生
赤血球数 (万/mm ³)	550 以上	1	7
	450～550	33	62
	400～450	10	6
	400 未満	0	0
合計（人）		44	75

第3表 血色素量

検査年月		平成30年4月	
		教職員	学 生
血色素量 (g/dl)	16.0 以上	9	31
	14.0～16.0	31	34
	12.0～14.0	4	10
	12.0 未満	0	0
合計（人）		44	75

第4表 白血球百分率

検査年月		平成30年4月	
		教職員	学 生
好中球	桿状核	0～20%	0～13%
	分葉核	32～73%	35～72%
リンパ球		14～62%	10～59%
単球		2～9%	2～9%
好酸球		0～21%	0～17%
好塩基球		0～7%	0～3%

第5表 放射線業務従事者の被ばく実効線量

区 分	線量分布 (mSv)						総線量 (人・mSv)	平均線量 (mSv)	最大線量 (mSv)
	<5	5～15	15～25	25～50	50<	合 計			
教職員	43	0	0	0	0	43	0	0	0
学 生	75	0	0	0	0	75	0	0	0
計	118	0	0	0	0	118	0	0	—

※外部被ばく線量は、ガラスバッジ（0.1mSv未満（検出限界未満）は0として集積）による測定

定及び記録のほか、電離箱式サーベイメータ（株式会社Aloka製ICS-311など）、シンチレーション式サーベイメータ（株式会社Aloka製TCS-166など）を用いて行った。また平均γ線量率は環境線量測定用のガラスバッジ及びTLD（株式会社松下電器産業製、UD-200S、CaSO₄ (Tm)）を用いて1カ月間の積算線量から計算により求めた。場所の線量率の単位としては、μGy/hなど空気吸収線量率を用いるべきであるが、法令に係る線量限度及び放射線業務従事者の被ばく線量を考慮して線量率μSv/hで表示している。

3.1.1 ガラスバッジによる測定

第6表にガラスバッジによる月間積算線量の測定

結果を示した。これによると、γ線量は原子炉施設の原子炉遮蔽タンク上部で最高値0.1mSvで、トレーサー・加速器棟内も含めその他のすべての場所において検出限界（0.1mSv）未満であった。なお、中性子源利用時間については、中性子源保管場所内で利用した場合も含まれる。

3.1.2 TLDによる測定¹⁾

TLDによる月間平均γ線量率（μSv/h）は1カ月の積算線量（μSv）を設置時間で割り、計算した。原子炉施設内8点における月間平均γ線量率を第7表に、1年間の経時変動を第1-1図と第1-2図に示した。6月初旬から3月初旬まで原子炉の運転がな

第6表 各施設におけるガラスバッジによる月間積算線量

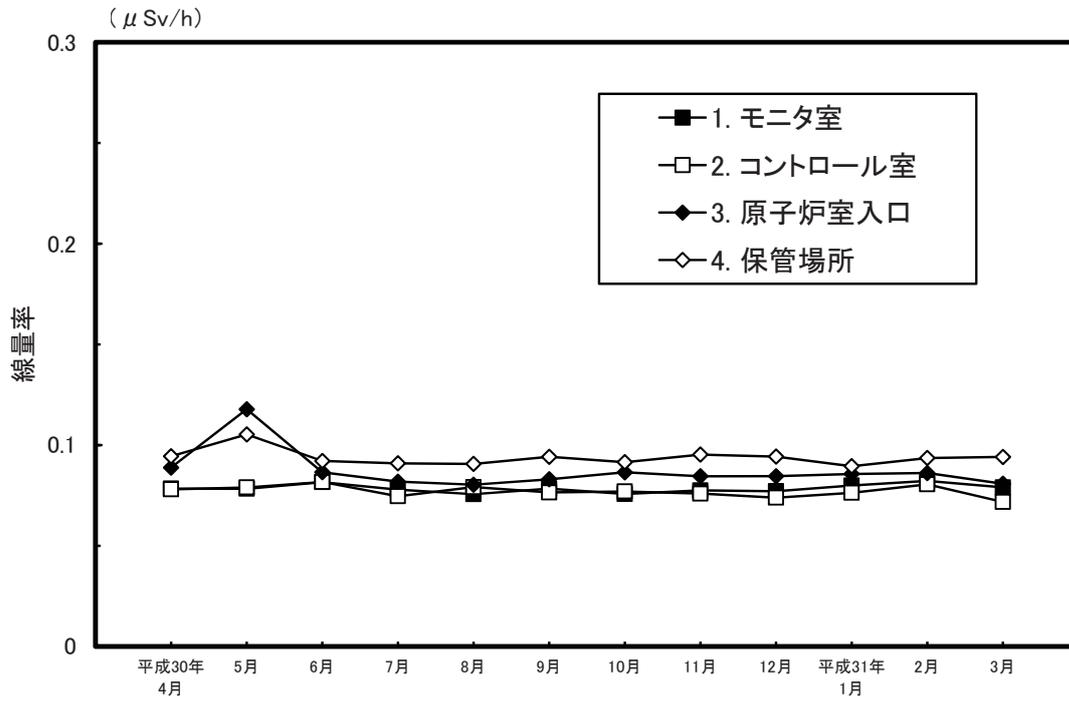
測定位置		平成30年										平成31年			年間積算線量
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
原子炉施設	原子炉遮蔽タンク上部	x	0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0.1+11X	
	使用場所	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	12X	
トレーサー・加速器棟	加速器操作室	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	12X	
管理棟	X線室1	x		x			x			x			4X		
	X線室2	x		x			x			x			4X		
研究棟	22号館A棟6階	x		x			x			x			4X		
	周辺監視区域境界 NW	x		x			x			x			4X		
	NE	x		x			x			x			4X		
	SW	x		x			x			x			4X		
	SE	x		x			x			x			4X		
原子炉運転・積算熱出力 (W・h)		1.77	29.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.14	35.41	
中性子源利用時間 (h)		0	2.8	32.0	24.0	0	672.8	173.0	373.3	580.5	211.0	8.4	8.0	2085.8	

X : <0.1mSv (検出限界未満)

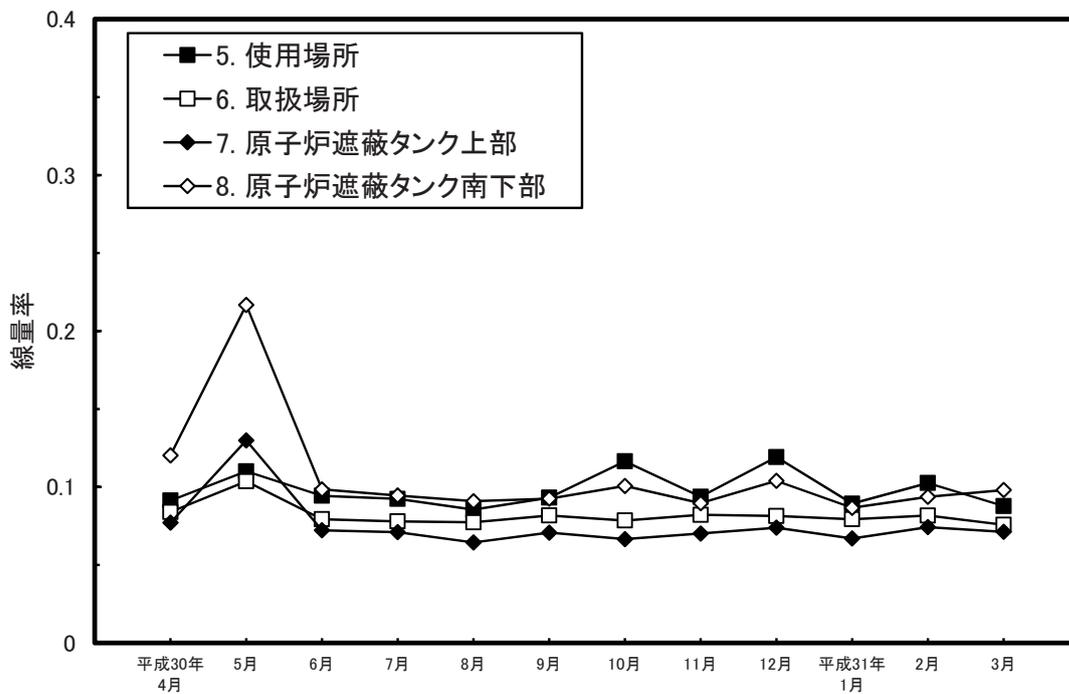
第7表 原子炉施設におけるTLDによる月間平均γ線量率の変動

No.	測定場所	変動範囲	平均値
1	モニタ室	7.6 ~ 8.2	7.8 ± 0.2*
2	コントロール室	7.2 ~ 8.2	7.7 ± 0.3
3	原子炉室入口	8.0 ~ 11.8	8.7 ± 1.0
4	保管場所	9.0 ~ 10.5	9.4 ± 0.4
5	使用場所	8.5 ~ 11.9	9.8 ± 1.1
6	取扱場所	7.6 ~ 10.4	8.2 ± 0.7
7	原子炉遮蔽タンク上部	6.4 ~ 13.0	7.6 ± 1.7
8	原子炉遮蔽タンク南下部	8.7 ~ 21.7	10.7 ± 3.6

* 標準偏差



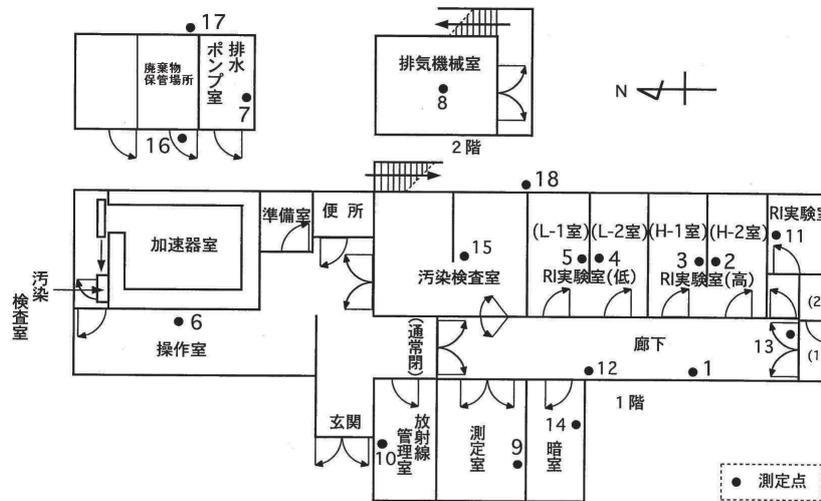
第1-1図 原子炉施設における月間平均γ線量率の変動



第1-2図 原子炉施設における月間平均γ線量率の変動

かったので、運転時間に影響を受けることが少なかったことにより、年間を通して大きな変動はなく、最高値は原子炉遮蔽タンク南下部において平成30年5月に0.22 μ Sv/hであった。また、この場所において放射線業務従事者が1週40時間の作業を行ったとしても15 μ Sv/週以下となり、作業場所における線量限度1mSv/週をはるかに下回っている。トレーサー・加速器棟18点（第2図）における月間平

均 γ 線量率の経時変動を第8表、第3-1図～第3-5図に示した。年間を通して大きな変動はなかったが、最高値は測定室の0.118 μ Sv/hで平成29年4月に測定されたものである。なお、年平均値は全ての場所で0.12 μ Sv/h以下であった。いずれの場所においても、調査レベル以下の線量で自然放射線量率の変動範囲のレベルであった。



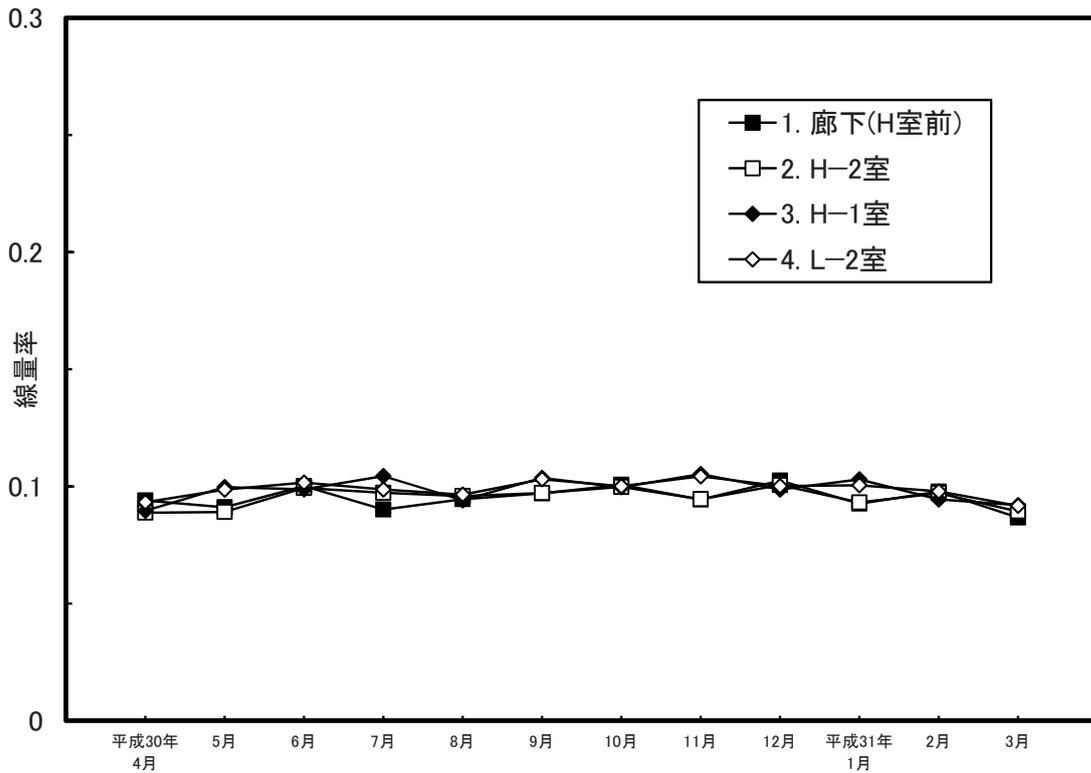
第2図 トレーサー・加速器棟における γ 線量率測定点

第8表 トレーサー・加速器棟におけるTLDによる月間平均 γ 線量率の変動

No.	測定場所	変動範囲	平均値
1	廊下 (H室前)	8.7 ~ 10.2	9.5 ± 0.5*
2	H - 2室	8.9 ~ 10.1	9.5 ± 0.4
3	H - 1室	9.0 ~ 10.5	9.9 ± 0.5
4	L - 2室	9.2 ~ 10.4	9.9 ± 0.4
5	L - 1室	9.5 ~ 11.0	10.1 ± 0.5
6	加速器操作室	9.0 ~ 10.2	9.6 ± 0.4
7	排水ポンプ室	8.2 ~ 9.1	8.7 ± 0.3
8	排気機械室	6.9 ~ 7.9	7.4 ± 0.3
9	測定室	10.8 ~ 12.3	11.5 ± 0.5
10	放射線管理室	9.5 ~ 10.8	10.3 ± 0.4
11	RI実験室	9.1 ~ 10.7	10.1 ± 0.4
12	廊下 (L室前)	9.2 ~ 11.0	10.1 ± 0.6
13	貯蔵室前	8.6 ~ 9.8	9.1 ± 0.4
14	暗室	10.3 ~ 11.9	11.0 ± 0.5
15	汚染検査室	8.8 ~ 9.7	9.2 ± 0.3
16	廃棄物保管庫扉	7.9 ~ 9.6	8.6 ± 0.5
17	廃棄物保管庫裏	8.6 ~ 10.2	9.5 ± 0.5
18	L - 1室外	7.6 ~ 9.4	8.4 ± 0.6

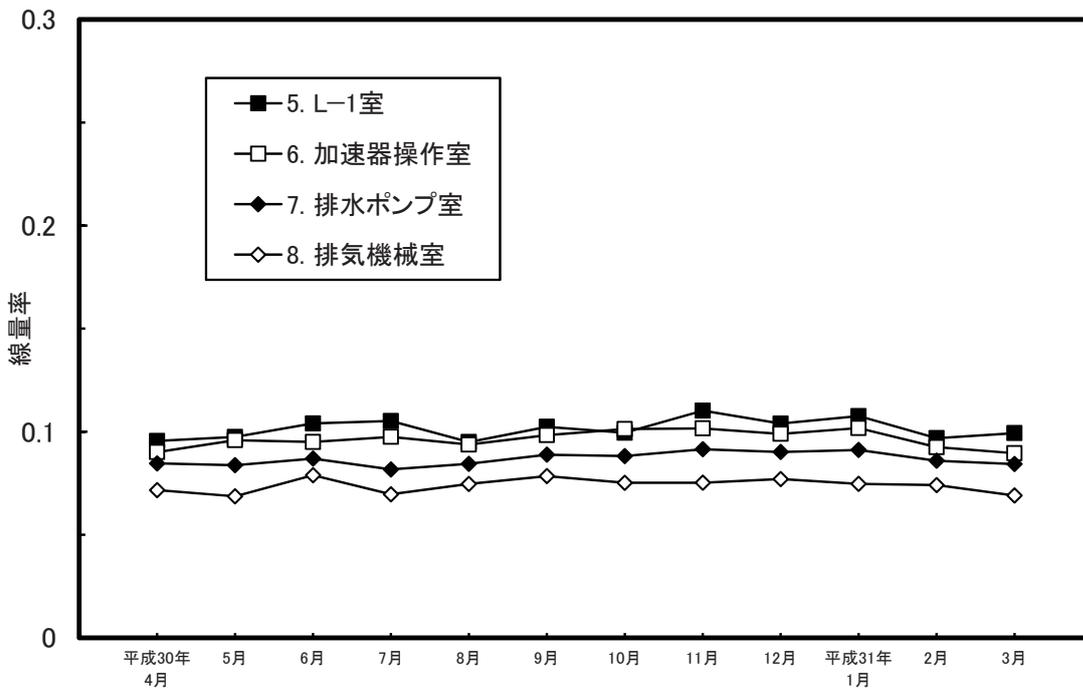
* 標準偏差

($\mu\text{Sv/h}$)

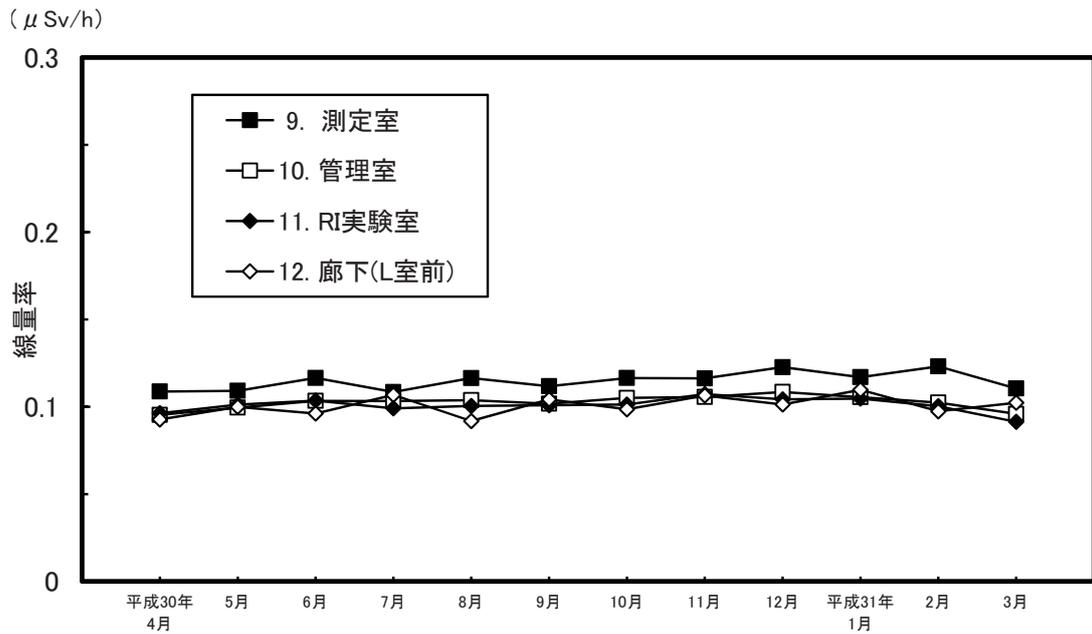


第3-1図 トレーサー・加速器棟における月間平均 γ 線量率の変動

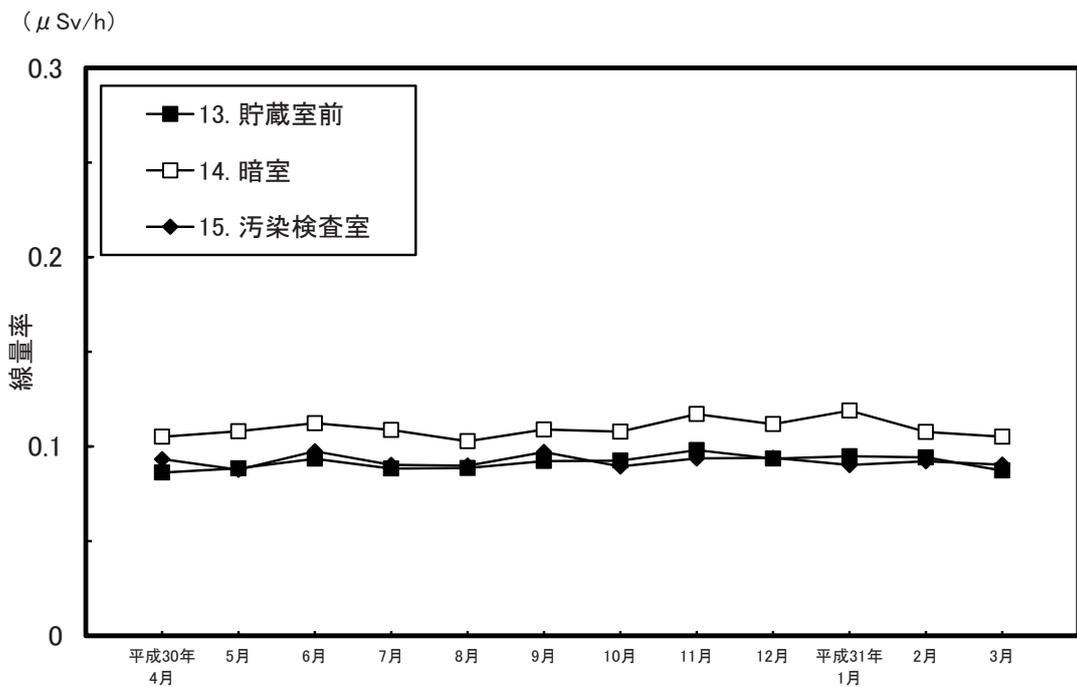
($\mu\text{Sv/h}$)



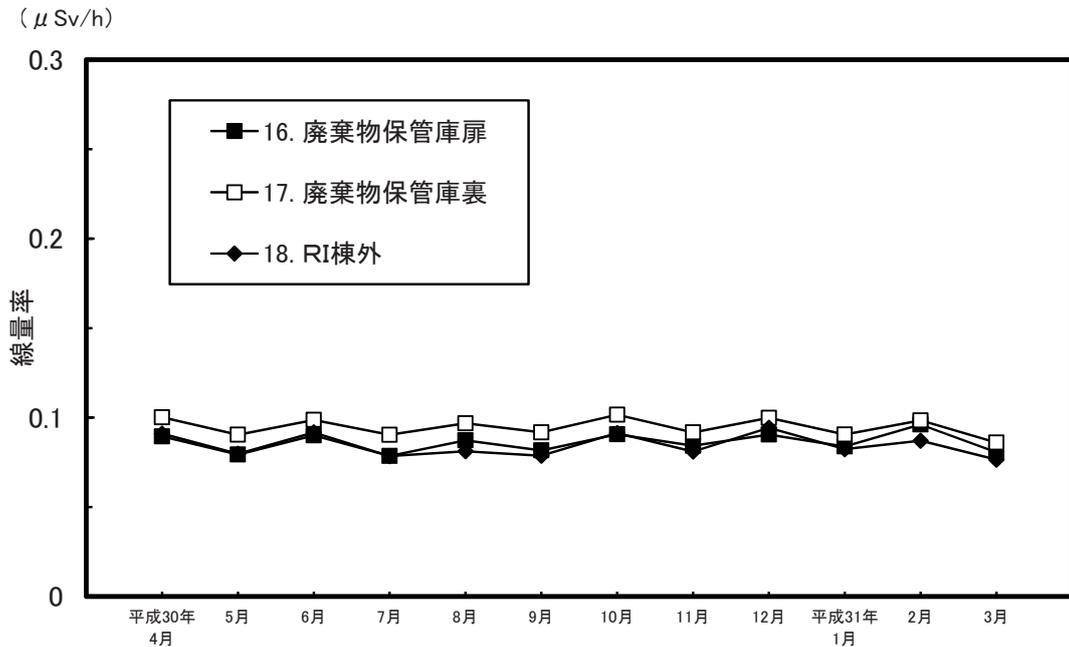
第3-2図 トレーサー・加速器棟における月間平均 γ 線量率の変動



第3-3図 トレーサー・加速器棟における月間平均γ線量率の変動



第3-4図 トレーサー・加速器棟における月間平均γ線量率の変動



第3-5図 トレーサー・加速器棟における月間平均γ線量率の変動

3.1.3 連続放射線総合モニタによる測定

原子炉施設及びトレーサー・加速器棟においては、いずれも㈱富士電機製のエリアモニタ、ダストモニタ、ガスモニタ、水モニタを配置する連続放射線総合モニタにより放射線の測定、監視及び連続記録を実施している。原子炉施設内で測定したγ線量率について、3カ月間毎の原子炉運転中最高値、原子炉運転休止日平均値及び全平均値について第9表に示した。原子炉施設内4箇所のエリアモニタにおいて、年平均値は0.11～0.26μSv/hであった。

3.2 空气中及び水中放射性物質濃度の測定

3.2.1 空气中放射性物質濃度の測定

原子炉施設及びトレーサー・加速器棟の排気口における空气中放射性物質濃度は、原子炉施設は㈱富士電機製ガスモニタを用いて、トレーサー・加速器棟は同社製連続ろ紙式ダストモニタを用いて測定し、第10表及び第11表に測定結果をまとめた。原子炉施設においては排風機運転中に連続吸引測定

を、トレーサー・加速器棟においては施設使用日に限って連続吸引測定を行っている。

両施設の管理区域内における空气中放射性物質濃度（全β放射能濃度）の測定は、原子炉施設は上述のガスモニタを兼用し、トレーサー・加速器棟は㈱富士電機製固定ろ紙式ダストモニタ（NAD-1、NHR）で行い、その結果を第12表及び第13表に示した。トレーサー・加速器棟の管理区域内の空气中放射性物質濃度（全β放射能濃度）の年平均値は、ダスト吸引中飽和値、吸引停止10時間後及び17時間後、それぞれ $8.3 \times 10^{-7} \text{Bq/cm}^3$ 、 $1.1 \times 10^{-7} \text{Bq/cm}^3$ 及び $0.81 \times 10^{-7} \text{Bq/cm}^3$ とバックグラウンドレベルであった。第14表に原子炉施設周辺監視区域内における空气中放射性物質濃度（全β放射能濃度）を示した。吸引中飽和放射性物質濃度の年平均値は $7.0 \times 10^{-7} \text{Bq/cm}^3$ 、吸引停止17時間後の年平均値は $0.27 \times 10^{-7} \text{Bq/cm}^3$ であった。この減衰は自然放射性核種であるラドン・トロン系の壊変系列に属する核種を含むためだと考えられる。

原子炉施設における放射性気体廃棄物の放出量は、ガスモニタによる実測値（平均値）では、いずれの3カ月間においても検出限界以下であった（第15表）。検出限界値は排気中濃度限度よりも高くなっているため、排気中の濃度が濃度限度を上回らないことを計算によって示す必要がある。原子炉が

定格熱出力 1 Wで、通常運転中に放出される放射性気体廃棄物は実際上 ^{41}Ar に限られ、定格出力で十分な運転時間経過後の排気中の ^{41}Ar 濃度は $5.3 \times 10^{-5} \text{ Bq/cm}^3$ と算出され、周辺監視区域外の空気中の濃度限度 $5 \times 10^{-4} \text{ Bq/cm}^3$ よりも十分に小さい。

第9表 原子炉施設におけるエリアモニタによる γ 線量率($\mu\text{Sv/h}$)

測定年月	原子炉遮蔽タンク側面			原子炉室西壁			原子炉遮蔽タンク上部			実験室			積算熱出力量 ($\text{W} \cdot \text{h}$)
	原子炉運転中最高値	原子炉休止日平均値	全平均	原子炉運転中最高値	原子炉休止日平均値	全平均	原子炉運転中最高値	原子炉休止日平均値	全平均	原子炉運転中最高値	原子炉休止日平均値	全平均	
平成30年4～6月	6.61	0.14	0.19	1.66	0.11	0.11	0.85	0.12	0.18	0.19	0.12	0.12	31.27
7～9月	-	0.14	0.14	-	0.11	0.11	-	0.12	0.12	-	0.12	0.12	0
10～12月	-	0.14	0.14	-	0.11	0.11	-	0.12	0.12	-	0.12	0.12	0
平成31年1～3月	6.19	0.14	0.14	0.74	0.11	0.11	6.61	0.13	0.13	0.19	0.13	0.13	4.14
平成30年度	6.61	0.14	0.15	1.66	0.11	0.11	6.85	0.12	0.14	0.19	0.12	0.12	35.41

- : 該当なし

第10表 排気モニタ（ガスモニタ）による放射能濃度測定結果

測定項目	平成30年4～6月	7～9月	10～12月	平成31年1～3月
	排気口ガス β^{*1} (10^{-3}Bq/cm^3)	ND	ND	ND
	ND	ND	ND	ND

*1 原子炉運転休止日の計数率の平均値をバックグラウンドとして差し引いたもの

ND：検出限界 ($1.7 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$) 以下

第11表 トレーサー・加速器棟の排気口における空气中放射性物質濃度

(cpm)

測定年月	空气中放射性物質濃度*1: $\beta\gamma$		空气中放射性物質濃度*1: α	
	吸引中飽和値	吸引停止17時間後	吸引中飽和値	吸引停止17時間後
平成30年4月	21 ~ 48 (34)	18 ~ 21 (19)	≈ 0 (0)	< 0.0
5月	30 ~ 63 (37)	18 ~ 21 (20)	≈ 0 (0)	< 0.0
6月	27 ~ 39 (33)	15 ~ 21 (20)	0 ~ 5 (2)	< 0.0
7月	21 ~ 54 (37)	18 ~ 21 (20)	1 ~ 5 (3)	< 2
8月	30 ~ 42 (35)	18 ~ 21 (19)	2 ~ 5 (3)	< 1
9月	30 ~ 60 (37)	18 ~ 21 (20)	1 ~ 5 (3)	< 1
10月	24 ~ 81 (44)	18 ~ 25 (20)	1 ~ 5 (3)	< 1
11月	21 ~ 90 (43)	18 ~ 26 (20)	2 ~ 9 (4)	< 1
12月	27 ~ 69 (42)	18 ~ 24 (20)	2 ~ 6 (4)	< 1
平成31年1月	18 ~ 60 (41)	18 ~ 24 (21)	0 ~ 5 (3)	< 2
2月	33 ~ 60 (45)	18 ~ 30 (23)	0 ~ 3 (2)	< 0.0
3月	27 ~ 69 (50)	19 ~ 34 (26)	0 ~ 2 (1)	< 0.0
年平均値 (cpm)	40 \pm 11*2	21 \pm 3	2.3 \pm 1.8	< 1
年平均濃度 (Bq/cm ³)	2.1 \times 10 ⁻⁷	1.1 \times 10 ⁻⁷	2.0 \times 10 ⁻⁸	< 8.6 \times 10 ⁻⁹

*1 自然起因の値も含む

*2 標準偏差

() 平均値

第12表 管理区域（原子炉室）における空气中放射性物質濃度

測定器	ガスモニタ
年 月	月平均値 (Bq/cm ³)
平成30年4月	ND
5月	ND
6月	ND
7月	ND
8月	ND
9月	ND
10月	ND
11月	ND
12月	ND
平成31年1月	ND
2月	ND
3月	ND
年平均	ND

ND：検出限界（ 1.7×10^{-3} Bq/cm³）以下

第13表 管理区域（トレーサー・加速器棟）における空气中放射性物質濃度

($\times 10^{-7}$ Bq/cm³)

年 月	ダスト吸引中飽和値		吸引停止10時間後		吸引停止17時間後	
	範 囲	平均値	範 囲	平均値	範 囲	平均値
平成30年4月	3.2 ~ 11	7.0 ± 2.7*	0.00 ~ 2.4	0.9 ± 0.71	0.00 ~ 1.5	0.68 ± 0.54
5月	0.9 ~ 14	6.9 ± 4.0	0.00 ~ 3.0	1.1 ± 1.09	0.00 ~ 2.3	0.79 ± 0.93
6月	3.5 ~ 10	6.9 ± 2.3	0.00 ~ 2.1	1.0 ± 0.76	0.00 ~ 2.1	0.78 ± 0.81
7月	2.5 ~ 11	5.5 ± 2.8	0.35 ~ 2.6	1.2 ± 0.88	0.17 ~ 2.1	0.86 ± 0.86
8月	1.6 ~ 19	6.3 ± 4.7	0.00 ~ 3.3	1.8 ± 1.11	0.00 ~ 2.9	1.56 ± 1.06
9月	5.4 ~ 15	8.0 ± 3.0	0.17 ~ 2.5	1.0 ± 0.70	0.00 ~ 2.1	0.55 ± 0.67
10月	4.8 ~ 13	9.1 ± 2.4	0.36 ~ 3.0	1.5 ± 0.82	0.18 ~ 2.1	1.07 ± 0.77
11月	3.7 ~ 20	10 ± 5.3	0.00 ~ 2.7	1.0 ± 0.96	0.00 ~ 2.3	0.85 ± 0.78
12月	4.4 ~ 17	9.7 ± 3.8	0.00 ~ 3.2	1.0 ± 0.90	0.00 ~ 2.1	0.68 ± 0.62
平成31年1月	6.0 ~ 19	11 ± 4.2	0.18 ~ 2.5	1.2 ± 0.81	0.00 ~ 2.1	0.83 ± 0.73
2月	6.5 ~ 13	10 ± 2.2	0.00 ~ 2.0	1.0 ± 0.67	0.00 ~ 1.4	0.66 ± 0.49
3月	3.6 ~ 13	8.6 ± 3.0	0.36 ~ 1.6	0.7 ± 0.39	0.00 ~ 1.1	0.47 ± 0.33
年平均	8.3 ± 1.8*		1.1 ± 0.29		0.81 ± 0.28	

* 標準偏差

第14表 周辺監視区域内における空气中放射性物質濃度

($\times 10^{-7}$ Bq/cm³)

年 月 日	吸引中飽和値	吸引停止10時間後	吸引停止17時間後
平成30年 4月18日	6.0	0.00	0.00
5月23日	1.8	0.53	0.00
6月21日	4.2	0.70	0.18
7月18日	12	0.35	0.17
9月5日	5.8	1.58	1.41
9月26日	8.5	0.35	0.18
10月18日	4.2	1.06	1.06
11月21日	5.8	0.00	0.00
12月20日	8.8	0.00	0.00
平成31年 1月23日	5.9	0.00	0.00
2月23日	13	0.18	0.00
3月20日	8.2	0.27	0.27
平 均	7.0 ± 3.3*	0.42 ± 0.49	0.27 ± 0.47

* 標準偏差

第15表 放射性気体廃棄物の放出量

(原子炉施設全体)

期 間	実測値
	全希ガス
平成30年4月～6月	※
7月～9月	※
10月～12月	※
平成31年1月～3月	※
平成30年度	※

※ 検出限界 (1.3×10^3 Bq/sec) 未満

3.2.2 排水中放射性物質濃度の測定

排水中の放射性物質濃度は放射線総合モニタにより原子炉施設、トレーサー・加速器棟ともに排水槽A-2槽について連続測定し、排水溝へ放出する前にはA-4槽において採水法により測定を行った。原子炉施設及びトレーサー・加速器棟における排水中の全β放射性物質濃度を第16表に示した。これによると原子炉施設排水の全β放射性物質濃度は採水法による測定で最高 $9.5 \times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3$ で当所の排水中の調査レベル以下であり、年間の放出量(第17表)は $1.8 \times 10^3 \text{Bq}$ であった。トレーサー・加速器棟の排水については最高 $28.1 \times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3$ 、年間の放出量は $14.9 \times 10^3 \text{Bq}$ であった。また排水試料については、環境影響調査のためにさらに詳細分析を実施しており、γ線核種分析の結果として第18表に示した。γ線核種分析は試料約20ℓを採水し、蒸発乾固後、プラスチック容器(100ml容φ50mm)に入れ、真性ゲルマニウム半導体検出器(有効体積80ml、プリンストンガンマテック社製の同軸型)、測定系としてSEIKO EG&G社製7700多重波高分析器、

データの収集及び解析にはSEIKO EG&G社製γ studio及びEPSON Pro-500Lパーソナルコンピュータを用いて、測定及びγ線スペクトル分析により核種分析を行った。検出器は、 ^{60}Co 1332keVのγ線に対する相対検出効率は20%、半値幅は2keVの特性をもつもので、密着状態で測定を行った。トレーサー・加速器棟の排水については、過去のRI利用による影響で、ごく微量の ^{134}Cs が検出された。

原子炉燃料タンク2槽(各60ℓ容量)中の減速水を1カ月毎採水し、全β放射能濃度を2πガスフロー・ローバックグラウンド計数装置(株Aloka製LBC-471P)で測定し、その結果を第19表に示した。これによると減速水の全β放射能濃度は(ND～13.8) $\times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3$ に変動しておりバックグラウンドレベルであった。また北側及び南側燃料タンク内の減速水(交換は年1回)を3カ月毎に採取し、ゲルマニウム半導体検出器を用いてFP(核分裂生成物)検査のための核種分析を行った。その結果を第20表に示したが、いずれもFPは検出されなかった。

第16表 排水中の全β放射性物質濃度

($\times 10^{-5} \text{Bq/cm}^3$)

期 間	原子炉施設		トレーサー・加速器棟	
	最 高 値	平 均 値	最 高 値	平 均 値
平成30年4月～6月	—	—	20.6 ± 1.4	17.9 ± 0.9
7月～9月	5.7 ± 0.9*	5.7 ± 0.9	25.4 ± 1.6	19.0 ± 1.0
10月～12月	9.5 ± 1.0	7.8 ± 0.4	22.5 ± 1.5	22.5 ± 1.5
平成31年1月～3月	—	—	28.1 ± 1.6	28.1 ± 1.6
年 平 均	7.5 ± 0.4		20.7 ± 0.6	

* 計数誤差

— 該当なし

第17表 排水放出時の年間全β放射性物質総量

($\times 10^3 \text{Bq}$)

期 間	原子炉施設	トレーサー・加速器棟
平成30年度	1.8	14.9

第18表 排水中の γ 放射性核種濃度の変動範囲 $(\times 10^{-3}\text{Bq/cm}^3)$

期 間	原子炉施設		トレーサー・加速器棟		
	Cs-137	K-40	Cs-137	Cs-134	K-40
平成30年度	ND	ND	ND	ND 0.009 ± 0.0007*	ND 0.10 ± 0.01

* 計数誤差

ND：検出限界以下

第19表 減速材中の全 β 放射性物質濃度 $(\times 10^{-5}\text{Bq/cm}^3)$

期 間	北側タンク	南側タンク
	変動範囲	変動範囲
平成30年4月～6月	1.2～10.9	2.6～13.8
7月～9月	ND～3.4	ND～3.3
10月～12月	ND	ND
平成31年1月～3月	ND～7.2	ND～7.9

ND：検出限界 $(0.72 \times 10^{-5}\text{Bq/cm}^3)$ 以下第20表 減速材中の γ 放射性核種濃度 $(\times 10^{-3}\text{Bq/cm}^3)$

期 間	核 種	北側燃料タンク	南側燃料タンク
平成30年4月	FP	ND	ND
7月	FP	ND	ND
10月	FP	ND	ND
平成31年2月	FP	ND	ND

FP：核分裂生成物

ND：検出限界以下

3.3 表面密度の測定

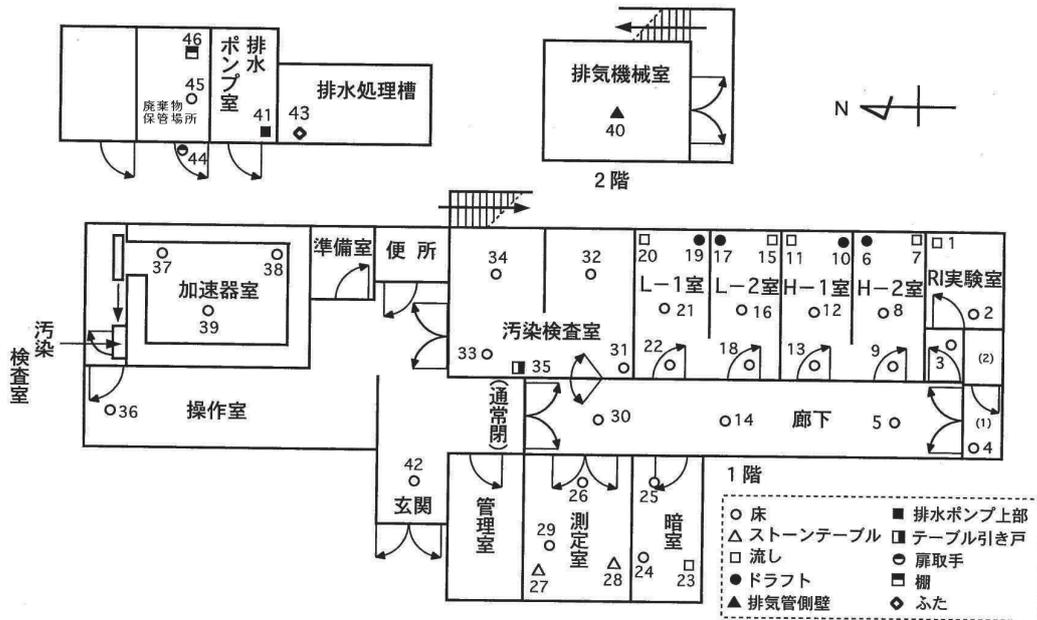
原子炉施設及びトレーサー・加速器棟（第4図）の管理区域内における床、ドラフト、流し及び実験台の表面密度の測定は、スミア法によって定期的に1カ月に1回、原子炉施設23定点、トレーサー・加速器棟46定点、また1週間に1回、月1回の測定点より数カ所選出し、原子炉施設12定点、トレーサー・加速器棟10定点について実施している。表面密度の測定は、全 β 放射能濃度を 2π ガスフロー・ローバックグラウンド計数装置（株）Aloka製LBC-471P）により、 ^3H による表面密度については、液体シンチレーション計数装置（パッカー社製Tri-carb 2250）により行った。月1回行った表面密度の測定

場所の一覧を第21表、第22表に示し、その両施設の全 β 表面密度の結果を第23表に示した。トレーサー・加速器棟における ^3H の表面密度は第24表に示した。原子炉施設、トレーサー・加速器棟における全 β 表面密度は全ての場所で検出限界値 $3.3 \times 10^{-4}\text{Bq/cm}^2$ 以下で、表面汚染の事例はなかった。トレーサー・加速器棟における ^3H 表面密度の最高値は、廊下（測定室前）床で $2.0 \times 10^{-3}\text{Bq/cm}^2$ を示したが、バックグラウンドレベルで表面汚染の事例はなかった。

平成30年度における放射性汚染の異常例はなかった。

第21表 原子炉施設におけるスミア法による測定場所一覧

No.	測定場所	
1	モニタ室	洗面台付近・床
2		管理区域境界付近・床
3	測定室(1)	床
4		サイドテーブル
5	測定室(2)	床
6		入口側壁
7	準備室	床
8	実験室	床
9	廊下	床
10	原子炉室	遮蔽タンク上
11		床
12	保管場所	入口付近・床
13		床
14	コントロール室	床
15	排気機械室	ダクト側壁
16	排水ポンプ室	ポンプ上部
17	取扱場所	入口付近・床
18		床
19	使用場所	床
20	廃水処理槽	上蓋
21		入口扉
22	廃棄物保管庫	ドラム缶下部
23		棚



第4図 トレーサー・加速器棟における表面密度測定点

第22表 トレーサー・加速器棟におけるスミア法による測定場所一覧

No.	測定場所	No.	測定場所
1	R I 実験室 流し	24	暗室 床(1)
2	R I 実験室 床(1)	25	暗室 床(2)
3	R I 実験室 床(2)	26	測定室 床(1)
4	R I 貯蔵室 (1) 床	27	測定室 測定台 (北)
5	廊下 (H 室 前) 床	28	測定室 測定台 (南)
6	高レベル実験室 (H-2) ドラフト	29	測定室 床(2)
7	高レベル実験室 (H-2) 流し	30	廊下 (測定室 前) 床
8	高レベル実験室 (H-2) 床(1)	31	汚染検査室 床(1)
9	高レベル実験室 (H-2) 床(2)	32	汚染検査室 床(2)
10	高レベル実験室 (H-1) ドラフト	33	汚染検査室 床(3)
11	高レベル実験室 (H-1) 流し	34	汚染検査室 床(4)
12	高レベル実験室 (H-1) 床(1)	35	汚染検査室 測定台
13	高レベル実験室 (H-1) 床(2)	36	加速器操作室 床
14	廊下 (L 室 前) 床	37	加速器室 床(1)
15	低レベル実験室 (L-2) 流し	38	加速器室 床(2)
16	低レベル実験室 (L-2) 床(1)	39	加速器室 床(3)
17	低レベル実験室 (L-2) ドラフト	40	排気機械室 (2 F) ダクト付近
18	低レベル実験室 (L-2) 床(2)	41	排水ポンプ室 ポンプ付近
19	低レベル実験室 (L-1) ドラフト	42	トレーサー棟入口 床
20	低レベル実験室 (L-1) 流し	43	排水処理槽
21	低レベル実験室 (L-1) 床(1)	44	廃棄物保管庫 扉
22	低レベル実験室 (L-1) 床(2)	45	廃棄物保管庫 中央床
23	暗室 流し	46	廃棄物保管庫 棚

第23表 全β放射性物質表面密度の測定結果

 $(\times 10^{-5} \text{Bq/cm}^2)$

年 月	原子炉施設	トレーサー・加速器棟
平成30年 4月	ND	ND
5月	ND	ND
6月	ND	ND
7月	ND	ND
8月	ND	ND
9月	ND	ND
10月	ND	ND
11月	ND	ND
12月	ND	ND
平成31年 1月	ND	ND
2月	ND	ND
3月	ND	ND

ND：検出限界 ($3.3 \times 10^{-4} \text{Bq/cm}^2$) 以下

第24表 スミア法によるトレーサー・加速器棟における³H表面密度

No.	測定位置	³ H表面密度 (10 ⁻⁴ Bq/cm ²)	No.	測定位置	³ H表面密度 (10 ⁻⁴ Bq/cm ²)
1	R I 実験室 流し	<12	24	暗室 床(1)	<9
2	R I 実験室 床(1)	<8	25	暗室 床(2)	<19
3	R I 実験室 床(2)	<12	26	測定室 床(1)	<11
4	R I 貯蔵室(1) 床	<12	27	測定室 測定台(北)	<8
5	廊下(H室前) 床	<13	28	測定室 測定台(南)	<10
6	高レベル実験室(H-2) ドラフト	<8	29	測定室 床(2)	<11
7	高レベル実験室(H-2) 流し	<7	30	廊下(測定室前) 床	<20
8	高レベル実験室(H-2) 床(1)	<14	31	汚染検査室 床(1)	<6
9	高レベル実験室(H-2) 床(2)	<8	32	汚染検査室 床(2)	<10
10	高レベル実験室(H-1) ドラフト	<5	33	汚染検査室 床(3)	<12
11	高レベル実験室(H-1) 流し	<14	34	汚染検査室 床(4)	<10
12	高レベル実験室(H-1) 床(1)	<13	35	汚染検査室 測定台	<12
13	高レベル実験室(H-1) 床(2)	<13	36	加速器操作室 床	<14
14	廊下(L室前) 床	<12	37	加速器室 床(1)	<19
15	低レベル実験室(L-2) 流し	<6	38	加速器室 床(2)	<6
16	低レベル実験室(L-2) 床(1)	<12	39	加速器室 床(3)	<16
17	低レベル実験室(L-2) ドラフト	<8	40	排気機械室(2F) ダクト付近	<8
18	低レベル実験室(L-2) 床(2)	<4	41	排水ポンプ室 ポンプ付近	<14
19	低レベル実験室(L-1) ドラフト	<13	42	トレーサー棟入口 床	<17
20	低レベル実験室(L-1) 流し	<12	43	排水処理槽	<11
21	低レベル実験室(L-1) 床(1)	<4	44	廃棄物保管庫 扉	<17
22	低レベル実験室(L-1) 床(2)	<13	45	廃棄物保管庫 中央床	<4
23	暗室 流し	<17	46	廃棄物保管庫 棚	<12

4. 野外管理

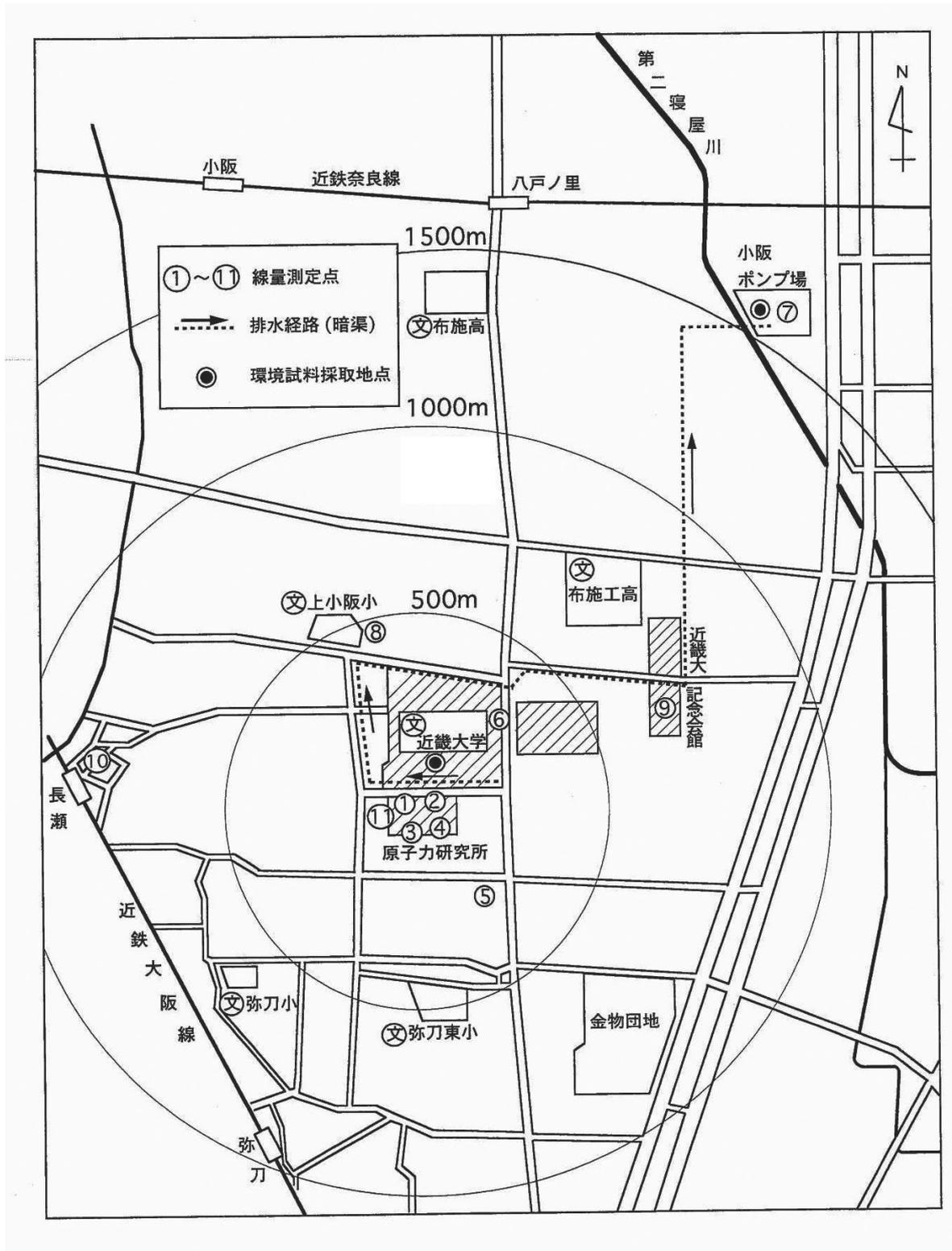
野外管理は原子炉施設保安規定に定めるサンプリング地点(第5図)において、環境γ線量率はTLDによる1カ月間の積算線量をもとに計算により得た。また原子力災害対策特別措置法に係る空間放射線量率の測定は、NaIシンチレータ検出器によるモニタリングポストで連続測定を行った。陸水、植物及び排水溝の沈泥土などの環境試料中の全β放射能濃度は、3カ月間に1回定期的に測定を行った。

4.1 環境γ線量率

環境γ線量率の測定はTLD(CaSO₄(Tm), UD-200S)を用い、原子炉施設を中心に1.5kmの範囲内11サンプリング地点に1カ月間設置して測定した積算線量より月平均γ線量率を計算し、第25表、第6-1図～第6-3図に年間の変動を示した。これによると原子炉施設周辺監視区域内(測定点①～④、⑩)

のモニタリング地点では年平均γ線量率は0.086～0.115μSv/h、周辺監視区域外では0.091～0.110μSv/hとバックグラウンドレベルの範囲の変動で、顕著に高いレベルの場所はなかった。環境γ線量としては、普通一般には吸収線量率μGy/hとして表示するのが適していると思われるが、測定結果そのものを校正係数により補正を行い、μSv/hの単位で表示した。

また、原子力災害対策特別措置法に係るモニタリングポストにより測定した環境γ線量率の変動を第26表に示した。変動範囲は、1分間毎の線量率の最小、最大を示している。モニタリングポストNo.1(株富士電機製)は原子炉より北西40m、モニタリングポストNo.3(株富士電機製)は原子炉より北東30mの位置にあり、それぞれ0.045～0.134μSv/h、0.067～0.118μSv/hで、バックグラウンドレベルであった。



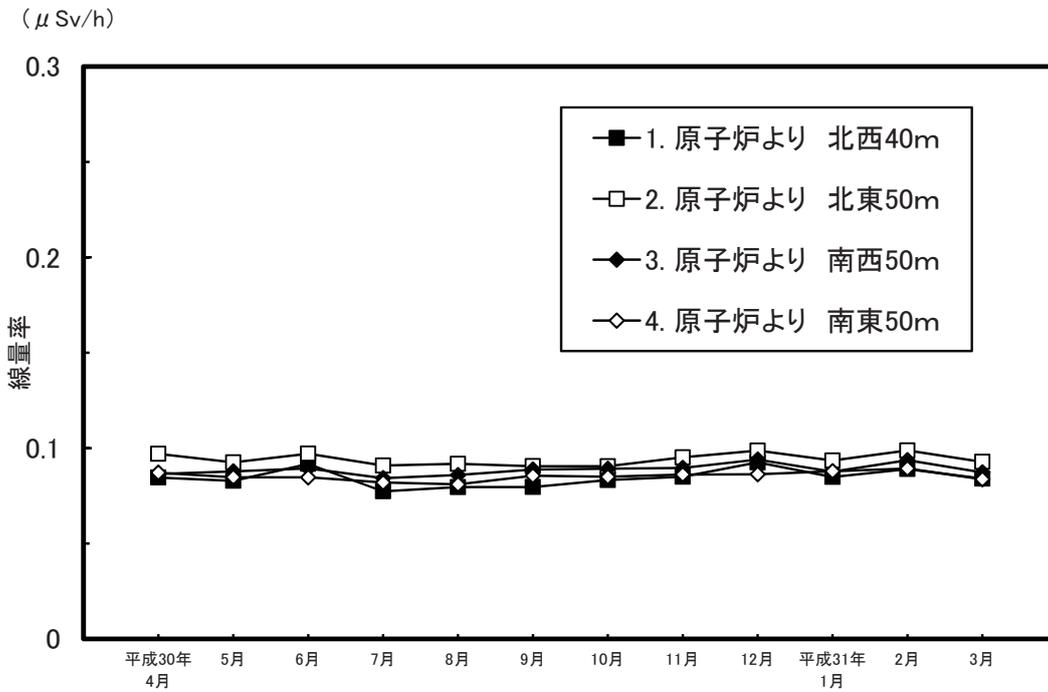
第5図 原子炉施設周辺における測定点

第25-1表 環境γ線量率の変動(1)

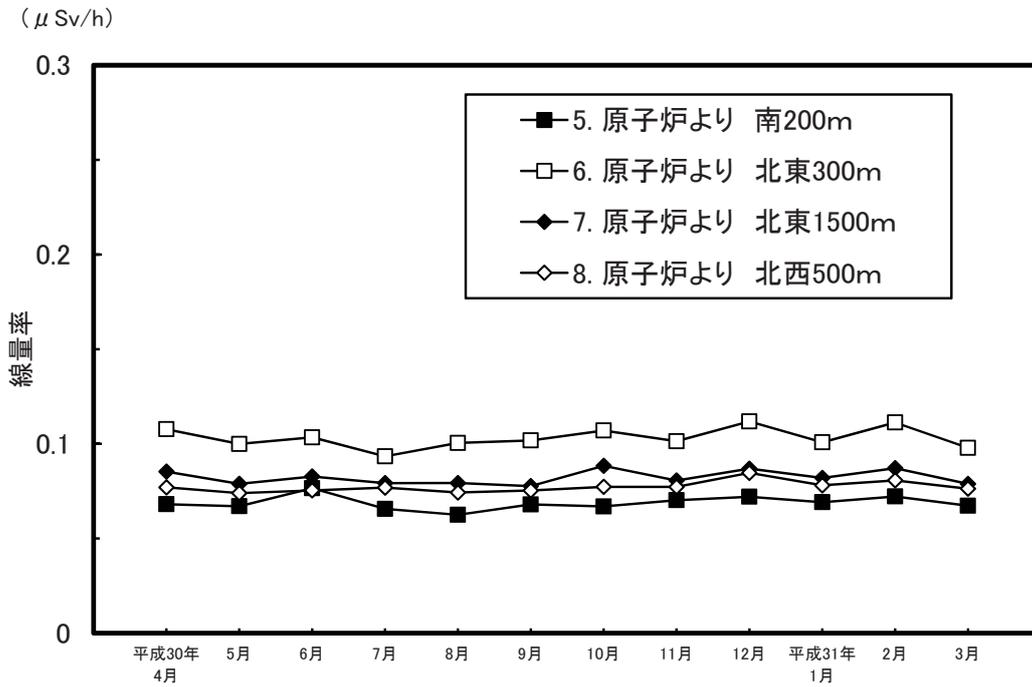
 $(\times 10^{-2} \mu\text{Sv/h})$

No.	測定位置	変動範囲	年平均値
①	原子炉より北西 40m	9.0 ~ 10.2	9.6 ± 0.4*
②	原子炉より北東 50m	8.2 ~ 9.1	8.7 ± 0.3
③	原子炉より南西 50m	6.9 ~ 7.9	7.4 ± 0.3
④	原子炉より南東 50m	10.8 ~ 12.3	11.5 ± 0.5
⑤	原子炉より南 200m	9.5 ~ 10.8	10.3 ± 0.4
⑥	原子炉より北東 300m	9.1 ~ 10.7	10.1 ± 0.4
⑦	原子炉より北東 1500m	9.2 ~ 11.0	10.1 ± 0.6
⑧	原子炉より北西 500m	8.6 ~ 9.8	9.1 ± 0.4
⑨	原子炉より北東 700m	10.3 ~ 11.9	11.0 ± 0.5
⑩	原子炉より北西 900m	8.8 ~ 9.7	9.2 ± 0.3
⑪	原子炉より北西 50m	7.9 ~ 9.6	8.6 ± 0.5

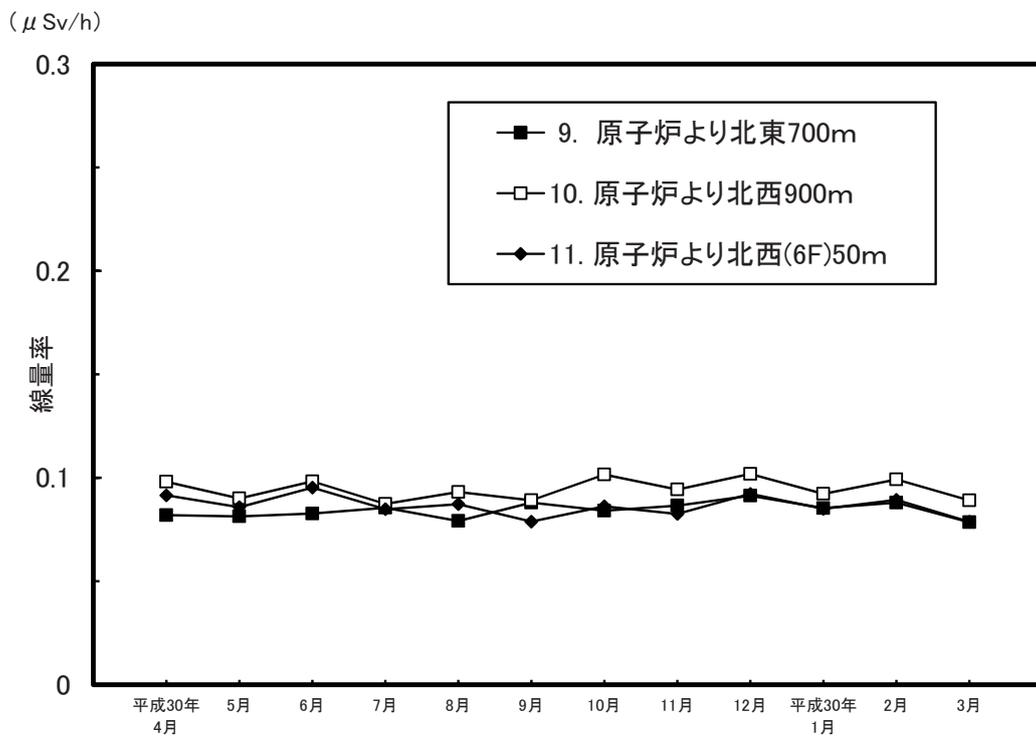
* 標準偏差



第6-1図 周辺監視区域境界における月間平均γ線量率の変動



第6-2図 野外環境における月間平均 γ 線量率の変動



第6-3図 野外環境における月間平均 γ 線量率の変動

第26表 環境γ線量率の変動(2)

	モニタリングポストNo.1 ($\mu\text{Sv/h}$)		モニタリングポストNo.3 ($\mu\text{Sv/h}$)	
	変動範囲	平均値	変動範囲	平均値
平成30年 4月	0.050 ~ 0.131	0.075	0.068 ~ 0.118	0.076
5月	0.049 ~ 0.126	0.077	0.069 ~ 0.106	0.077
6月	0.052 ~ 0.115	0.077	0.069 ~ 0.096	0.077
7月	0.052 ~ 0.134	0.078	0.069 ~ 0.105	0.078
8月	0.053 ~ 0.109	0.079	0.069 ~ 0.093	0.079
9月	0.051 ~ 0.116	0.077	0.069 ~ 0.095	0.077
10月	0.051 ~ 0.112	0.076	0.069 ~ 0.092	0.077
11月	0.049 ~ 0.110	0.075	0.069 ~ 0.094	0.077
12月	0.045 ~ 0.117	0.073	0.069 ~ 0.109	0.076
平成31年 1月	0.045 ~ 0.116	0.072	0.069 ~ 0.110	0.076
2月	0.045 ~ 0.108	0.072	0.067 ~ 0.100	0.076
3月	0.046 ~ 0.111	0.074	0.068 ~ 0.100	0.076
平成30年度	0.045 ~ 0.134	0.075	0.067 ~ 0.118	0.077

4.2 環境試料中の全β放射能濃度

原子炉施設及びトレーサー・加速器棟からの排水経路に沿ったサンプリング地点として原研前及び原子炉より1.5kmにある小阪ポンプ場、また比較対照のため当研究所からの排水経路に該当しない原研上流において採取した陸水、植物及び排水溝の沈泥土などの全β放射能濃度を第27表～第29表に示した。陸水（第27表）の全β放射能濃度は(22～57) × 10⁻⁵Bq/cm³であり、いずれの地点も同じレベルであった。植物試料（第28表）は、サンゴジュ科、ツバキ科の植物について調査し、これら植物の葉茎部の全β放射能濃度は、1.6～4.6Bq/g灰分であった。

採取場所、採取時期によって同一種を試料とすることが難しく、全β放射能濃度の変動が大きい。そこで、一年を通じて採取が可能なものとして例年“ツバキ”、“サンゴジュ”、“キョウチクトウ”を選んでいるが、キョウチクトウについては本学キャンパス整備工事のため伐採されたため昨年度からはキョウチクトウを除く2品種となっているが、全β放射能濃度はカリウム含有量などに大きく左右されていると思われる²⁾。排水溝などの沈泥土（第29表）については0.61～0.83Bq/g乾土と自然の変動範囲内で、採取地による差は認められなかった。

第27表 陸水の全β放射性物質濃度

採水場所	蒸発残渣量 (mg/ℓ)		全β放射性物質濃度 (×10 ⁻⁵ Bq/cm ³)	
	変動範囲	平均値	変動範囲	平均値
対照 原子力研究所上流	262 ~ 433	355 ± 73*	27 ~ 50	38 ± 9.4*
排水経路 原子力研究所前	253 ~ 414	352 ± 71	33 ~ 57	41 ± 9.4
	小 阪 ポ ン プ 場	461 ~ 902	665 ± 237	22 ~ 30

* 標準偏差

第28表 植物の全β放射性物質濃度

採取場所	種類 (科)	生体水分 (%)	植物当灰分 (%)	全β放射性物質濃度 (Bq/g灰分)
近畿大学構内	サンゴジュ (サンゴジュ科)	65.2 ~ 73.5 (69.3 ± 3.8*)	2.6 ~ 3.3 (3.0 ± 0.7)	3.3 ~ 8.0 (5.5 ± 2.0)
	ツバキ (ツバキ科)	534.0 ~ 60.4 (57.9 ± 3.1)	2.9 ~ 4.6 (3.6 ± 0.7)	1.6 ~ 9.7 (4.6 ± 3.6)
小阪ポンプ場	サンゴジュ (サンゴジュ科)	67.2 ~ 80.4 (72.1 ± 5.8)	1.6 ~ 3.7 (2.9 ± 0.9)	1.9 ~ 6.9 (4.9 ± 2.1)

() 平均値
* 標準偏差

4.3 環境試料のγ線核種分析(1,3)

γ線核種分析は環境試料水については約20ℓ、植物試料は新鮮物約1kg、土壌については約1kgを採取し、それぞれ蒸発乾固物、灰分及び乾土をプラスチック容器(100ml容φ50mm)に入れ、真性ゲルマニウム半導体検出器で測定した。

陸水、植物及び沈泥土のγ線核種分析結果を第30表～第32表に示した。陸水試料について検出された核種は⁴⁰Kの自然放射性核種のみであった。植物試料については⁴⁰K、⁷Be及び²³⁸U、²³²Thの壊変系列に属する自然放射性核種のみであった。沈泥土試料については、自然放射性核種のほかに、ごく微量の¹³⁷Csが検出された。これらの¹³⁷Csは東京電力福島第一原子力発電所の事故(平成23年3月)以前と同等のレベルであった。

第29表 排水経路における沈泥土の全β放射性物質濃度

		採取地	変動範囲	平均値
対照	原子力研究所上流		0.68 ~ 0.75	0.71 ± 0.03*
	原子力研究所前		0.61 ~ 0.74	0.67 ± 0.05
排水経路	小阪ポンプ場		0.69 ~ 0.83	0.76 ± 0.06

* 標準偏差

第30表 陸水中のγ放射性核種濃度

採取場所		採取年月日	K-40	Be-7	Pb-212 (Th)	Bi-214 (U)	Cs-137
対照	原子力研究所 管理棟上水	平成30年4月	0.08 ± 0.01	ND	ND	ND	ND
		7月	ND	ND	ND	ND	ND
		10月	0.05 ± 0.01	ND	ND	ND	ND
		平成31年1月	0.09 ± 0.01	ND	ND	ND	ND
対照	原子力研究所上流	平成30年4月	0.34 ± 0.02	ND	ND	ND	ND
		7月	0.05 ± 0.01	ND	ND	ND	ND
		10月	0.32 ± 0.01	ND	ND	ND	ND
		平成31年1月	0.43 ± 0.02	ND	ND	ND	ND
排水経路	原子力研究所前	平成30年4月	0.34 ± 0.02	ND	ND	ND	ND
		7月	0.10 ± 0.01	ND	ND	ND	ND
		10月	0.29 ± 0.02	ND	ND	ND	ND
		平成31年1月	0.45 ± 0.02	ND	ND	ND	ND
	小阪ポンプ場	平成30年4月	0.30 ± 0.02	ND	ND	ND	ND
		7月	ND	ND	ND	ND	ND
		10月	0.28 ± 0.01	ND	ND	ND	ND
		平成31年1月	0.32 ± 0.02	ND	ND	ND	ND

ND: 検出限界以下

第31表 植物試料の放射性核種濃度

(Bq/kg生)

採取場所	試料	採取年月	K-40	Be-7	Ac-228 (Th)	Pb-212 (Th)	Tl-208 (Th)	Ra-226 (U)	Pb-214 (U)	Bi-214 (U)	Cs-137
近畿大学構内	サンゴジュ	平成30年4月	146±2.0	15.7±0.8	3.1±0.2	1.9±0.1	1.7±0.1	3.6±0.8	2.6±0.1	2.1±0.1	ND
		7月	184±1.8	9.4±0.4	2.2±0.2	0.5±0.1	0.6±0.1	ND	2.0±0.1	1.6±0.1	ND
		10月	176±2.2	18.8±0.7	3.5±0.2	ND	0.9±0.1	ND	ND	2.8±0.1	ND
		平成31年1月	153±2.1	ND	4.1±0.2	ND	1.6±0.1	ND	ND	2.6±0.1	ND
	ツバキ	平成30年4月	66±1.5	11.8±0.4	8.5±0.3	6.1±0.1	5.0±0.2	ND	2.9±0.1	2.7±0.1	ND
		7月	67±1.1	12.5±0.3	4.0±0.2	3.2±0.8	2.4±0.2	2.7±0.8	2.5±0.1	2.1±0.9	ND
		10月	88±1.6	13.7±0.3	7.5±0.3	ND	4.1±0.2	ND	ND	3.9±0.1	ND
		平成31年1月	58±1.6	ND	10.1±0.3	ND	5.7±0.2	ND	ND	5.1±0.1	ND
小阪ポンプ場	サンゴジュ	平成30年4月	159±2.0	3.3±0.3	1.4±0.1	0.3±0.1	ND	ND	0.4±0.1	0.4±0.1	ND
		7月	191±2.0	6.3±0.3	4.4±0.2	0.6±0.1	0.4±0.1	ND	1.6±0.1	1.3±0.1	ND
		10月	195±2.0	13.7±0.6	6.3±0.3	ND	1.2±0.1	ND	ND	1.3±0.1	ND
		平成31年1月	188±2.0	ND	5.9±0.3	ND	1.5±0.2	ND	ND	2.4±0.1	ND

ND：検出限界以下

第32表 沈泥土試料の放射性核種濃度

(Bq/kg乾土)

採取場所	採取年月	K-40	Be-7	Ac-228 (Th)	Pb-212 (Th)	Tl-208 (Th)	Ra-226 (U)	Pb-214 (U)	Bi-214 (U)	Cs-137	
対照	原子力研究所上流	平成30年4月	668±11	27.0±3.0	29±1.0	22±1.0	19±1.0	ND	13±1.0	13±1.0	ND
	7月	518±9	28±2.0	24±1.0	24±7.0	20±1.0	29±8.0	16±0.8	13±0.7	ND	
	10月	632±10	9.4±3.0	27±1.0	ND	20±1.0	ND	ND	14±0.7	ND	
	平成31年1月	648±11	ND	27±1.0	ND	20±1.0	ND	ND	14±0.7	ND	
排水経路	原子力研究所前	平成30年4月	650±10	15±3.0	26±1.0	24±1.0	20±1.0	ND	14±1.0	12±1.0	ND
		7月	567±8	12±2.0	20±1.0	18±0.8	16±0.9	ND	12±0.7	10±0.6	ND
		10月	708±11	13±3.0	27±1.0	ND	20±1.0	ND	ND	12±0.6	ND
		平成31年1月	675±11	ND	31±1.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	小阪ポンプ場	平成30年4月	691±11	ND	21±1.0	20±1.0	15±1.0	ND	14±1.0	13±1.0	ND
		7月	579±9	ND	21±1.0	21±0.7	18±0.9	26±7.0	14±0.7	12±0.7	0.83±2.3
		10月	660±10	23±2.0	18±1.0	ND	15±0.9	ND	ND	11±0.7	ND
		平成31年1月	668±11	ND	24±1.0	ND	18±0.9	ND	ND	14±0.7	ND

ND：検出限界以下

6. まとめ

平成30年度の原子炉施設及びトレーサー・加速器棟における放射線管理に関する結果の概要を報告した。放射線安全、環境安全の観点から問題となる点はなかった。原子炉施設周辺の環境放射能調査において、平成23年度と平成24年度には東京電力福島第一原子力発電所事故の影響とみられる放射性セシウムがごく微量検出されたが、今年度は昨年度と同様、事故影響前と同等のレベルであった。

参考文献

- 1) 森嶋彌重, 古賀妙子, 久永小枝美, 丹羽健夫, 河合廣, 他5名;
近畿大学原子力研究所年報, 23, 7～19 (1986)
- 2) 森嶋彌重, 古賀妙子, 久永小枝美, 三木良太, 河合廣, 他3名;
近畿大学原子力研究所年報, 27, 27～46 (1990)
- 3) 森嶋彌重, 古賀妙子, 久永小枝美, 三木良太, 河合廣, 他3名;
近畿大学原子力研究所年報, 24, 65～83 (1987)