

3. 結論

火葬場における放射性物質及び六価クロムについて、残灰、飛灰中の実測を行った結果、以下の知見が得られた。

2 施設において、残灰および飛灰中の放射性物質の調査を行ったところ、残灰 327、飛灰 129 検体において、医療用器具や投与薬に起因する放射性物質は検出されなかった。一方で事故由来放射性物質である Cs-134、137 及び天然由来の K-40 が検出される施設はあった。Cs-134 と Cs-137 の濃度は合わせて 300Bq/kg 以下であった。

2 施設における調査では、残灰、飛灰ともにクロムはすべての試料で検出された。炉内の架台について、ステンレス鋼が使用されている炉はセラミック素材の炉に比べて有意に 2 倍以上残灰及び飛灰中クロム濃度が高かった。

残灰 10 サンプル及び飛灰 10 サンプルについて、六価クロムの含有量及び溶出濃度を測定すると、残灰の 4 サンプルが含有量の環境基準 (250mg/kg) を超え、溶出試験では、全 20 サンプル中 19 サンプルが環境基準 (0.05mg/L) を超えた。飛灰の場合、六価クロムが含まれるとほぼすべてが溶出する傾向があったが、残灰は必ずしもそうではなかった。

参考文献

- 1)江口正司、火葬炉の燃焼制御と環境負荷低減に関する研究、京都大学博士論文、2007
- 2)原子力資料情報室、カリウム-40、<http://www.cnrc.jp/knowledge/2584> (2015.3 閲覧)

第3節 火葬場作業者の放射線被ばく量に関する検討

1. シード線源からの被ばく量の再評価

「シード線源による前立腺永久挿入密封小線源治療の安全管理に関するガイドライン」(日本放射線腫瘍学会、日本泌尿器科学会、日本医学放射線学会、平成23年)(以下、ガイドライン)では、火葬場作業者の前立腺永久挿入密封小線源に含まれる I-125 (病院退出時 1,300MBq) による被ばく量を、 $1.87 \mu\text{Sv}/\text{年}$ と評価している¹⁾。これは以下の仮定に基づく値である。

仮定1) 永久挿入線源 (ヨウ素 125 : 1,300MBq (退出時)、半減期 59.4 日) を挿入された患者が、挿入されてから 1 年後に死亡し、即日火葬される場合を考える。(永久挿入密封小線源治療を受けて 1 年以内に患者が死亡した場合、剖検にてシード線源を取り出し、病院の貯蔵施設にて保管しておく必要がある。このことについて、あらかじめ患者や家族の同意を文書で得ておき、これが必ず守られる。)

仮定2) 線源は、火葬により燃えまた飛散することはなく、密封性を保ったまま骨壺にすべて納められるものとする。または、火葬場での骨灰は火葬場作業者により、骨灰の回収業者に渡され、もう一度骨灰業者により再び焼かれ埋設されることとする。この場合、線源は上記密封性等を保ったまますべて骨灰中に存在しているものとする。

これらの結果、火葬場作業者の被ばく量は以下のように計算される。

(1年に1回遭遇すると仮定)

$$E = 18.4 \times 0.0124 \times 2.0 \div 0.5^2 = 1.83 \mu\text{Sv}$$

E : 実効線量 (μSv)

18.4 : 永久挿入線源 (I-125 : 1,300MBq (退出時)) の 1 年後の放射能 (MBq)

0.0124 : 実効線量率定数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

2.0 : 作業時間 (h)

0.5 : 永久挿入線源から作業員までの距離 (m)

この計算条件を「標準条件」と呼ぶこととし、上記の仮定が崩れた場合についての被ばく量を評価してみる。まず、仮定1が崩れた場合の被ばく量は表 6-7 のようになる。(ここでは、作業時間、作業距離については標準条件としている。)

表 6-7 患者が I-125 線源を取り出さずに火葬された場合の火葬場作業者の被ばく量 (μSv)

退院後火葬までの期間→	退院 1 ヶ月後	退院 6 ヶ月後	退院 1 年後
1 年間に遭遇する回数↓			
1 回	90.9	15.4	1.83
2 回	182	30.8	3.66
3 回	273	46.2	5.49

また、仮定2が崩れた場合の被ばく量として、表 6-7 での被ばくに加え、火葬後、密封小線源が床に落ち、1 週間程度、作業場に留まっていた場合を考える。これはガイドラインが

対象とする密封小線源は「I-125 が米粒大のカプセル（直径約 1mm×長さ約 4.5mm）に密封されたもの」であることから、灰清掃作業などにおいて、床などに落下したまま見逃してしまう事態が発生する可能性があると考えたことによる。このとき、1 週間内での放射線壊変による減衰を無視し、作業者は 1 週間に 48 時間作業し、線源から 1m の距離で 1 日に 8 時間被ばくし続ける場合を仮定すると、被ばく量は表 6-8 のようになる。

表 6-8 I-125 線源が床などに落ち、1 週間被ばくし続ける場合の火葬場作業者の被ばく量 (μSv)

退院後火葬までの期間→ 1 年間に遭遇する回数↓	退院 1 ヶ月後	退院 6 ヶ月後	退院 1 年後
1 回	636	108	12.8
2 回	1270	215	25.6
3 回	1910	323	38.3

このように、いささか可能性が低い仮定ではあるが、線源が挿入されたまま、患者が 1 年以内に火葬され、なおかつ線源が骨灰中からきちんと回収されなかった場合は 1mSv/年を超える被ばく量となる場合もあり得なくはない。これらの値は放射線業務従事者の年実効線量限度 (50mSv/年) よりもずっと低い値ではあるが、火葬場作業者が放射線被ばくを想定した作業者ではないことから、一般公衆に対する年実効線量限度 (1mSv/年) を適用する方が妥当だと考えると、この線量限度を超える可能性もあり得なくはない、という結果となったことから、退院後 1 年間は火葬されない、という条件が厳密に守られる必要があることがわかる。

なお、ここではガイドライン同様、密封小線源は火葬場作業において、密封が破壊されることはなく、I-125 が外気中に出ることはないとして仮定している。これは一般に密封小線源がチタン（融点：1,668°C）製のカプセルに密封されており、高温化でもカプセルの密封が破壊されることはない、と仮定しているためであるが、もし密封が破壊された場合は体内被ばくの可能性も考慮する必要があるため、密封小線源の耐熱性については、十分な検証が求められる。

2. 耐火レンガからの被ばく量評価

ジルコン (ZrSiO_4) サンドには U-238 で 0.5Bq/g 以上、Th-232 で 0.5Bq/g 以上の放射性物質が含まれており、ジルコンサンドは耐火レンガの原料等として用いられる²⁾。また、人形峠のウラン残土が耐火レンガに加工され、一般に販売されていることも有名な話である（人形峠レンガ加工場におけるレンガ製造運転報告書, JAEA-Technology 2012-049, 日本原子力研究開発機構, 2013）。これらのことから、耐火レンガにはウラン・トリウム系列の放射性物質が含まれることが多いと考えられ、実際に、A 斎場において耐火レンガを積んだ場所、および主燃焼炉の周囲は図 6-2 のような空間線量分布であった（測定装置、Aloka TCS-172）。図 6-2 で灰色四角は主燃焼炉、白色四角は前室、黒色四角は耐火レンガを積んだものである。炉や前室の壁の上の数字は、炉や前室の外側壁表面での 1m 高さでの空間線量 ($\mu\text{Sv/hr}$)、

前室内の数字は炉内台車上 10cm での空間線量 ($\mu\text{Sv/hr}$)、ただし、耐火レンガを積んだ場所で、 $0.24\mu\text{Sv/hr}$ はレンガを積んだ上表面での値、 $0.38\mu\text{Sv/hr}$ はレンガで囲まれた隙間に測定プローブを入れた時の値である。

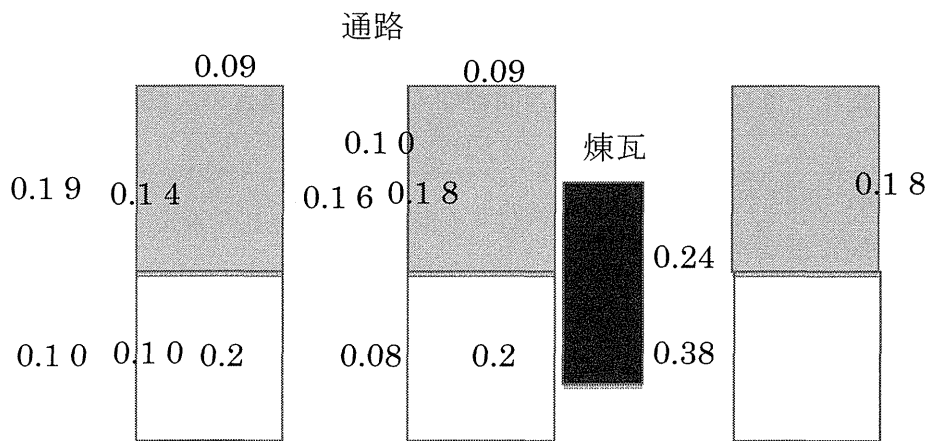


図 6-2 A 斎場の主燃焼炉周辺の空間線量分布 ($\mu\text{Sv/hr}$)

バックグラウンドの空間線量が $0.07\mu\text{Sv/hr}$ 程度であるとすると、耐火レンガ周辺における火葬場作業に伴う追加線量は、主燃焼炉周辺での作業において、 $0.02\mu\text{Sv/hr}$ (図 6-2 において、通路側主燃焼炉壁近辺での値からバックグラウンドを引いたもの)、主燃焼炉壁周辺や炉内台車近辺での作業による追加線量として、 $0.10\mu\text{Sv/hr}$ (図 6-2 において、主燃焼炉壁側面や炉内台車近辺での代表値を $0.17\mu\text{Sv/hr}$ と仮定し、この値からバックグラウンドを引いたもの) を仮定し、主燃焼炉周辺で年間 2,085 時間 (変形労働時間制における 1 年間の総労働時間の上限) 労働するとして、その内、主燃焼炉周辺での労働が 9 割、主燃焼炉壁近辺や炉内台車近辺での労働時間が 1 割だとすると、火葬場作業による年間追加線量は次のように見積もられる。

$$0.02 \times 2085 \times 0.9 + 0.10 \times 2085 \times 0.1 = 58.4 \mu\text{Sv/年}$$

これは一般公衆に対する年実効線量限度 (1mSv/年) と比べても 1 桁以上小さい値であり、健康上問題となる値ではないと考えられる。また、実際の作業者の年間被ばく量は「1. シード線源からの被ばく量の再評価」で評価した値と、ここで評価した耐火レンガによる被ばく量を合計して評価する必要があるが、退院後 1 年間は火葬されない、という条件が厳密に守られる場合は、一般公衆に対する年実効線量限度を超えることはないと推定される。

ただし、ここでも耐火レンガの摩耗や劣化によるレンガ含有放射能の飛散を考慮しておらず、よって、体内被ばくについては考慮していない。耐火レンガ周辺での火葬場作業に起因するウラン・トリウム系列核種による体内被ばくの可能性の有無については、別途調査する必要がある。

3. 火葬炉におけるご遺体近傍での空間線量変化のモニタリング

昨年度の分析結果では、対象とする物質の放射性物質の検知はなかったため、ご遺体からの放射性物質の未取り出しに関する事故はめったにない可能性があり、この方法では検知するのが難しい可能性が高いと判断される。したがって、比較的火葬件数の多い施設において、施設内に個人線量計を複数箇所設置し、累積増加量をモニターすることにより、放射性物質の存在可能性について当初検討しようとしたが、それでは検知が難しいと判断し、下記に示す装置を火葬炉の前室に設置して、ご遺体を連続的にモニターすることとした。

使用機器：

- ・ スケーラ- (図 6-3 写真左上)：

Ludlum Measurements 社製 Model 2241-2

16.5cm (高) × 8.9cm (幅) × 21.6cm (長)

- ・ γ 線検出プローブ (図 6-3 写真右上)：Model 44-2

5.1cm (径) × 18.5cm (長)

- ・ 検出器コリメータ (図 6-3 写真下)：Model L-4002-227

6.0cm (径) × 7.6cm (長)

- ・ ノートパソコン

スケラ-と RS-232C-USB ケーブルで接続



図 6-3 用いた測定装置

様々な医療用 RI の使用が考えられるが、ここでは前立腺癌治療の永久挿入線源として使用する I-125 と Pd-103 を仮定。これらから放出される主たる光子は、I-125 が 27.4keV、31.1keV、35.5keV、Pd-103 が 20.1keV と 22.8keV なので、低エネルギーの X 線が測定できるプローブを使用することが必要だが、Model 44-2 型はエネルギー測定範囲が X 線・ γ 線 20keV~1.5MeV なので、使用可能である。なお、バックグラウンドを抑えるために、Model 44-2 型プローブの先端に検出器コリメータ (Model L-4002-227 型) を接続する。測定プローブは図 6-4 に示すように、前室に炉内台車を置いた時、炉内台車の真上に位置する排気口内に、前室の扉口からは見えないように設置し、排気口に穴を開けてケーブルを出し、スケラ-、そしてパソコンへと接続した。Model 2241-2 スケラ-が持つ RS232C への測定値ダンピング機能を用い、2 秒ごとの計数値をパソコンに転送し、記録していった。測定は 2015 年 11 月 30 日から 2016 年 1 月 7 日まで実施したが、ダンピングデータ記録ソフトの容量オーバーや電池の電圧低下などがあり、合計で 22 のご遺体からの放射線量を記録するにとどまった。

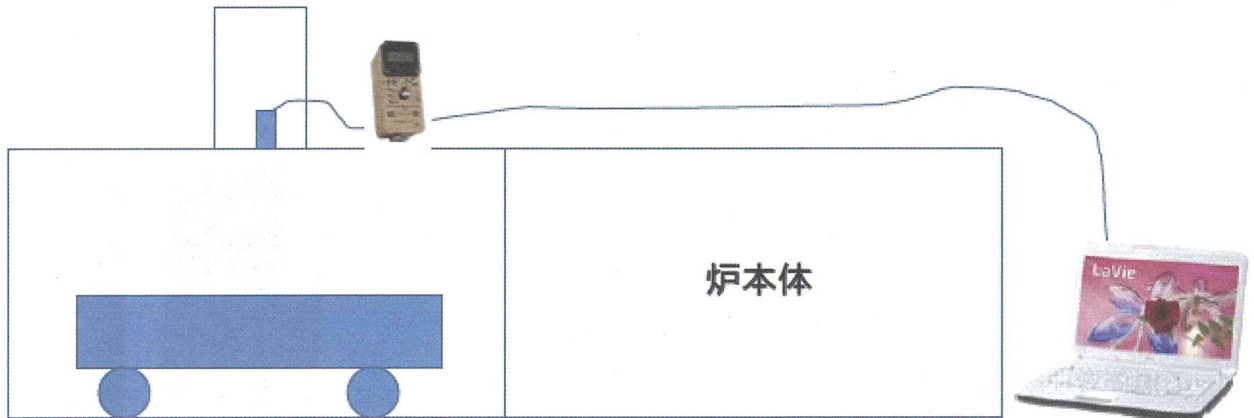


図 6-4 測定装置の設置状況

測定結果を全モニタリング期間について図 6-5 に、各連続したモニタリング期間について図 6-6～図 6-10 に示す。これらの図では 2 秒毎の測定値を 1 分間での平均値に変換してプロットしている。なお、この線量値については、ご遺体からの異常放射能を検出するために排気口にコリメーターを付けたプローブを設置して測定した値であり、作業者の被ばく管理における線量値として用いる性質のものではなく、被ばく量評価においては、あくまでも参考値程度に考える性質のものであることに注意する必要がある。各図において多くの時間帯は $0.3\sim 0.4\ \mu\text{Sv/h}$ の放射線量を示しているが、時々 30 分から 1 時間ほど放射線量が $0.1\ \mu\text{Sv/h}$ 程度に低下するときがある。これは不定形耐火材を打った炉内台車が炉本体に入ったため、あるいは前室から外に出されたため、耐火物からの放射線が低下した時間帯である。A 斎場では毎朝 7 時頃に始業前点検と清掃のため炉内台車を前室から出すので、この時間帯にも放射線量が低下するが、それ以降の作業時間内の放射線量の低下は、ご遺体の焼却のための炉内台車の移動によるものであり、この低下の前後に異常な放射線量の上昇があれば、ご遺体からの線量によるものと考えられる。「1. シード線源からの被ばく量の再評価」の計算過程で示したように、退出時に $1,300\text{MBq}$ の I-125 の永久線源の 1 年後の放射能である 18.4MBq の I-125 線源から 0.5m の距離での実効線量は、 $0.91\ \mu\text{Sv/h}$ 程度、 1m の距離でも $0.23\ \mu\text{Sv/h}$ 程度となるので、このような条件でご遺体中にシード線源などが残されていた場合は、ご遺体からの異常な放射線を検出することは可能であったと考えられる。

上述した炉内台車の動きと放射線量との関係から、ご遺体が乗せられた炉内台車が炉本体に入れられ、放射線量がほぼ一定値に減少した時の前 5 分間の放射線量の平均値 A_b 、炉内台車が炉本体に完全に入れられ再び出されるまでの期間の放射線量の平均値 A_d とその標準偏差 S_d 、燃焼後に炉内台車が炉本体から出されて前室で冷却していると考えられる最初 10 分間の放射線量の平均値 A_a 、そして、各測定日において最後にご遺体を焼却した 30 分後から翌日の始業前点検の 30 分前までの期間での放射線量の平均値 A_n と標準偏差 S_n 、加えて、 A_d と S_d それぞれの平均値とその平均値から求めた変動係数 (=標準偏差/平均値)、 A_n と S_n それぞれの平均値とその平均値から求めた変動係数を表 6-9 に示す。これらの結果より、まず、 A_b や A_a には特に A_n に比べて大きな値が観測されなかったことから、今回測定した

22のご遺体には、問題となるような放射線源は含まれていなかったと考えられる。また、燃焼中で炉内台車が無いときの前室の放射線量 A_d は $0.11\sim 0.12\ \mu\text{Sv/h}$ 程度で安定しており、炉内台車が静置されている時の放射線量である A_n の値も $0.34\sim 0.35\ \mu\text{Sv/h}$ 程度の値で安定している。それぞれの場合の変動係数は放射線量の値が小さい焼却中については 6%程度であり、放射線量値が比較的高くなる炉内台車が静置されている時間帯では 13%と高くなるが、この違いは使用した測定器の特性によるものと考えられる。

今回、前室で測定された放射線量は $0.3\sim 0.4\ \mu\text{Sv/h}$ 程度であり、この前室に毎日短時間入ったとしても、「2. 耐火レンガからの被ばく量評価」で推定した被ばく量と大きく変わるものではなく、一般公衆に対する年実効線量限度 (1mSv/年) と比べて1桁以上小さい値と考えられるため、耐火レンガからの放射線は問題となるレベルではないと考えられる。

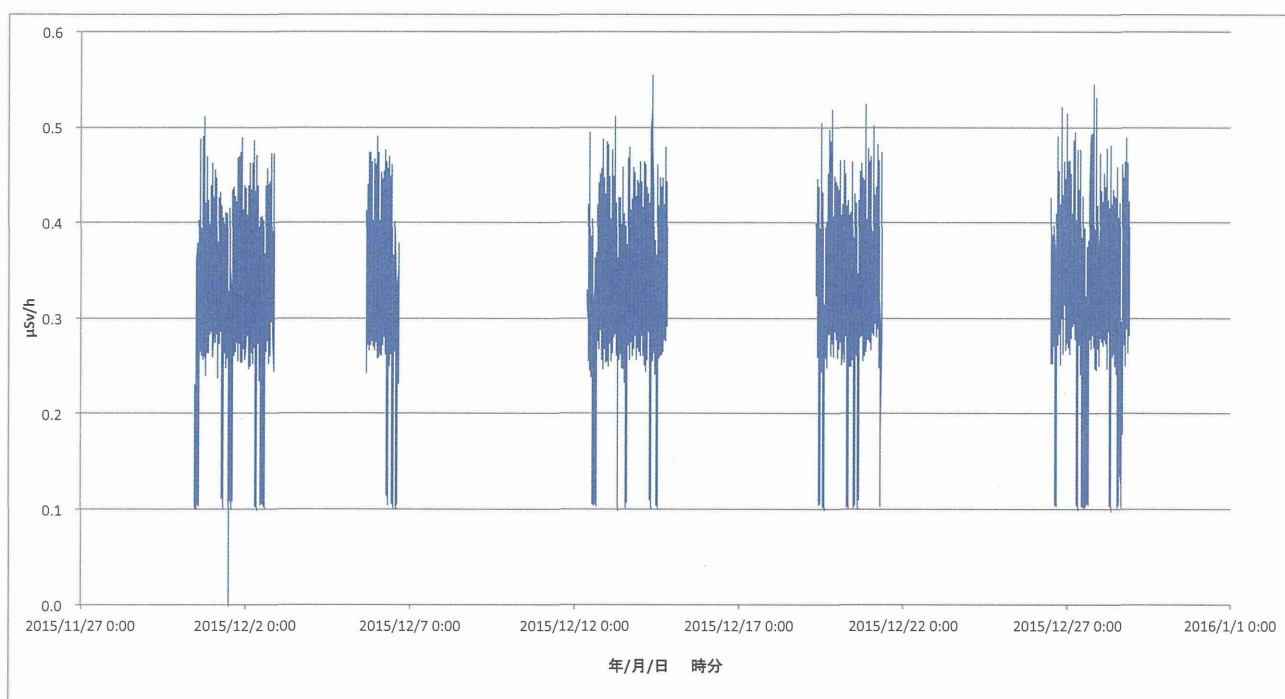


図 6-5 11月30日～12月29日の前室モニタリング結果

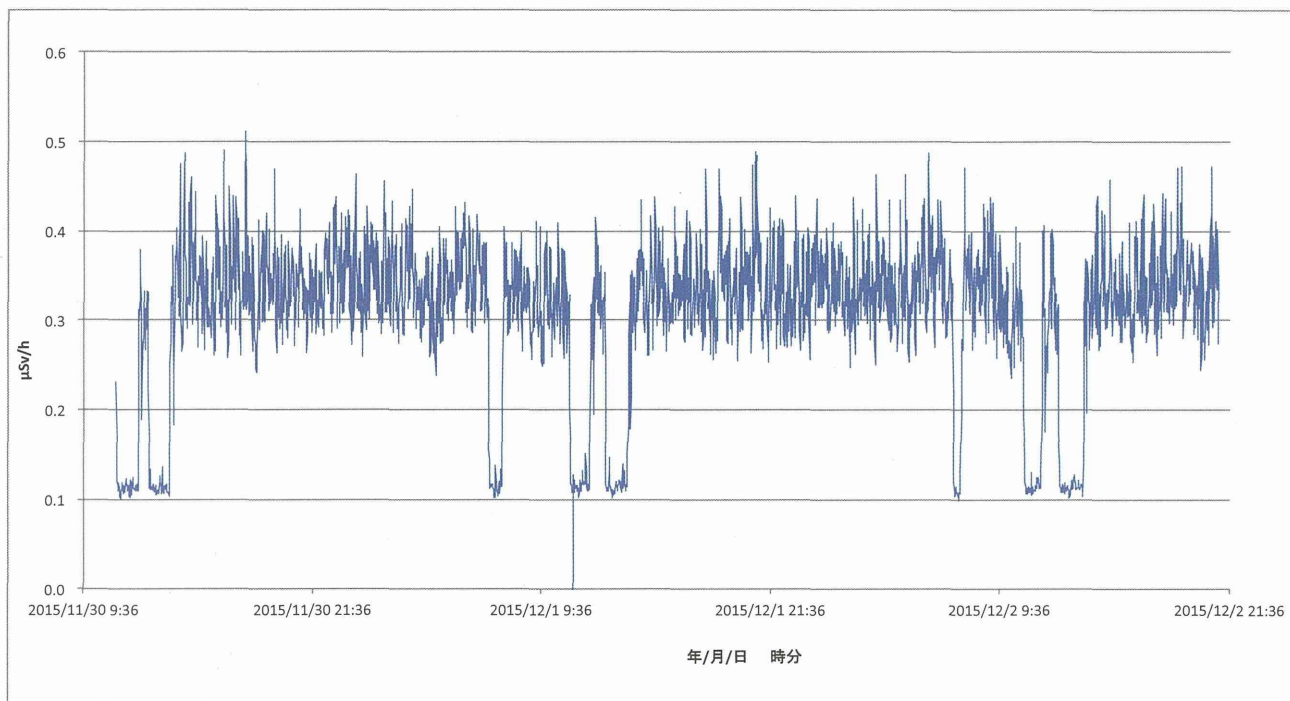


図 6-6 11月30日～12月2日の前室モニタリング結果

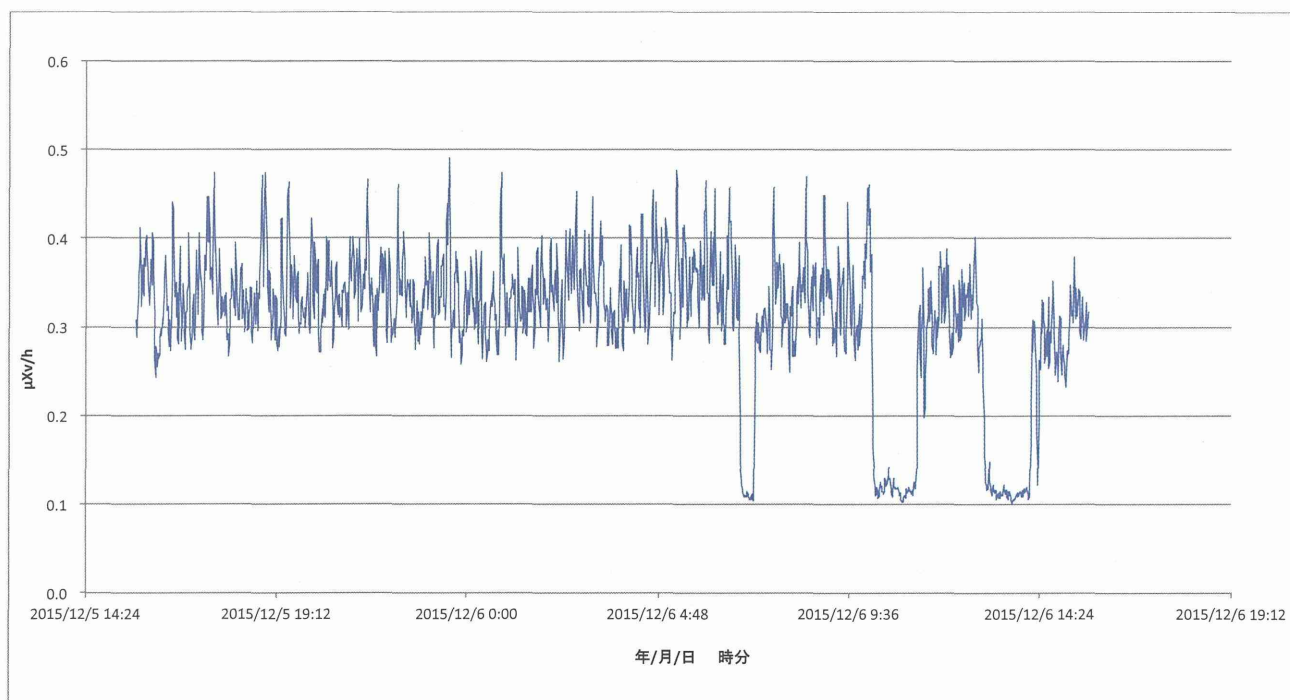


図 6-7 12月5日～12月6日の前室モニタリング結果

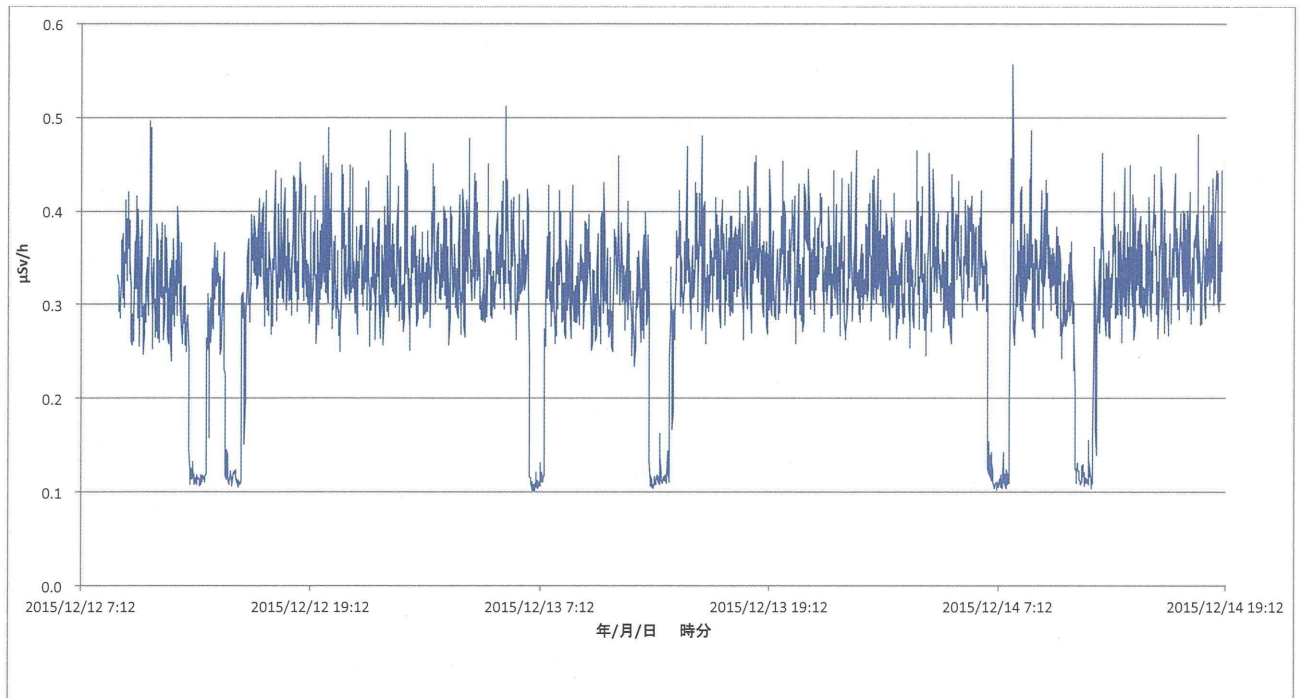


図 6-8 12月12日～12月14日の前室モニタリング結果

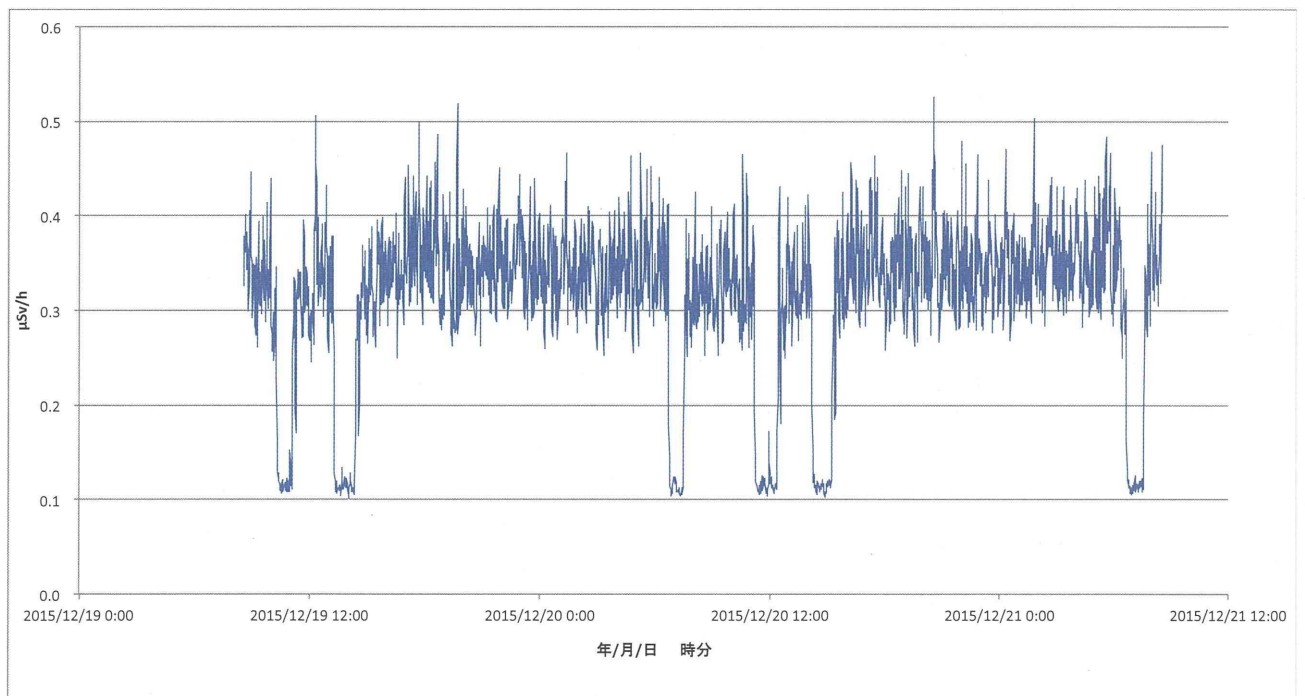


図 6-9 12月19日～12月21日の前室モニタリング結果

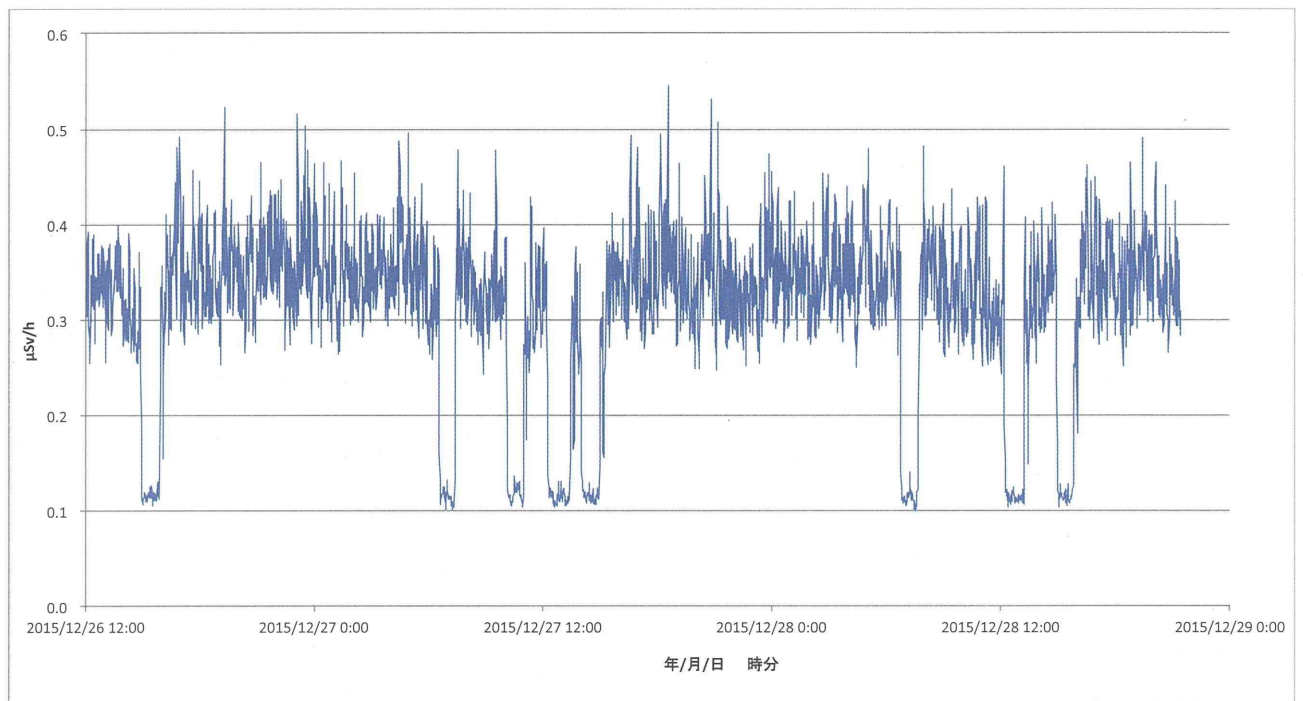


図 6-10 12月26日～12月29日の前室モニタリング結果

表 6-9 前室モニタリング結果の統計値（表中の線量の単位は μ Sv/h）

ご遺体番号	観測日	燃焼前5分間の線量平均値	燃焼中線量の平均値	燃焼中線量の標準偏差	燃焼後10分間の線量平均値	時間外の線量平均値	時間外の線量標準偏差
1	11/30	0.156	0.112	0.005	0.296		
2		0.126	0.113	0.006	0.304	0.336	0.058
3	12/1	0.178	0.116	0.008	0.285		
4		0.209	0.116	0.008	0.244	0.339	0.041
5	12/2	0.131	0.113	0.005	0.321		
6		0.158	0.113	0.005	0.292		
7	12/6	0.194	0.117	0.008	0.210		
8		0.171	0.114	0.007	0.258	0.342	0.043
9	12/12	0.185	0.114	0.005	0.238		
10		0.205	0.116	0.008	0.268	0.342	0.042
11	12/13	0.210	0.115	0.010	0.274	0.342	0.041
12	12/14	0.202	0.116	0.009	0.273		
13	12/19	0.138	0.115	0.009	0.284		
14		0.255	0.113	0.006	0.258	0.343	0.040
15	12/20	0.209	0.113	0.005	0.130		
16		0.203	0.114	0.005	0.275	0.350	0.041
17	12/26	0.238	0.114	0.005	0.304	0.353	0.045
18	12/27	0.223	0.117	0.008	0.256		
19		0.207	0.114	0.006	0.271		
20		0.220	0.114	0.005	0.270	0.344	0.044
21	12/28	0.213	0.112	0.005	0.300		
22		0.232	0.113	0.006	0.275		
		平均＝	0.114	0.007	平均＝	0.343	0.044
		変動係数＝	0.057		変動係数＝	0.128	

4. 結論

シード線源からの被ばく量を再評価するとともに、耐火レンガからの追加線量も評価した結果、前立腺永久挿入密封小線源治療患者が退院後1年間は火葬されない、という条件が厳密に守られる場合は、一般公衆に対する年実効線量限度を超えることはないと推定され、特段の処置をとる必要はないと考えられる。しかし、この条件が厳密に守られない場合は、放射線作業従事者ではない火葬場作業者の被ばく量が一般公衆に対する年実効線量限度を超える場合も考えられることから、できれば、骨灰の放射能をモニタリングすることが望ましい。なお、I-125 から放出される光子のエネルギーは比較的 low (27.4keV, 31.1keV, 35.5keV)、一般によく用いられるシンチレーションサーベイメータでは測定できない場合があるので注意が必要である。また、これらの評価においては体内被ばくの可能性が無視されていることから、その可能性の有無について、さらなる調査が必要だと考えられる。

A 斎場の前室でご遺体を連続測定した結果、測定された 22 のご遺体からの異常な放射線は検出されなかったが、主燃焼炉や炉内台車に用いられている耐火レンガからと推定される放射線のため、通常環境の放射線量の数倍程度の放射線量が前室において観測された。この耐火レンガ近くにおいて、毎日作業することによる追加被ばく線量は、数十 μSv /年程度であり、これは一般公衆に対する年実効線量限度 (1mSv/年) と比べても 1 桁以上小さい値であることから、健康上問題となる値ではないと考えられる。

参考文献

- 1) 日本放射線腫瘍学会、日本泌尿器科学会、日本医学放射線学会：シード線源による前立腺永久挿入密封小線源治療の安全管理に関するガイドライン 第五版 (2011)
- 2) 平成 15 年度文部科学省委託調査研究「自然起源の放射性物質等を含む物に関する調査報告書」原子力安全技術センター，平成 16 年，p.10 (2004)

第4節 火葬場における作業環境測定

1. 調査方法

1.1 サンプルング

単位作業場所* での計測を実施した。

1.1.1 炉の裏側でご遺族が不在時のみに連続運転

- (i) ハイボリュームサンプラーによる** 全粒径の粒子状物質の捕集を、就労時間に実施した。
- (ii) ロープレッシャーインパクトによる粒径毎の粒子状物質の捕集を、就労時間に実施した。

1.1.2 炉の表側でご遺族が不在時のみに連続運転

- (i) デジタル粉じん計により、作業環境測定法による A 測定を実施した。同一測定箇所にて、温湿度計を設置した。
- (ii) 単位作業場における作業中に、粒度分布計測器 (SMPS+OPS) にて個数濃度をモニタリングした。

1.1.3 炉の表側でご遺族が不在時に随時測定

- (i) 作業場での気流を調査するために、発煙装置、熱線風速計を用いて風向や風速を測定した。
- (ii) 作業者の行動範囲、従事時間、作業内容を調査、ヒアリングした。

* 単位作業場所は、粒子状物質が高いと予測される炉の周辺を想定している。

** 「作業環境測定ガイドブック 2 電離放射線関係」(社団法人日本作業環境測定協会)、「廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル」(独立行政法人国立環境研究所)に従い測定を行った。

1.2 持込み装置

主な大型装置は下の4項目で、これに加え温湿度計などの小型機器を持参した。

- (i) ハイボリュームサンプラー (HVS:HVC-500N、柴田科学)、1点

全粒径の粒子状物質を石英フィルターに捕集する。捕集時間と積算流量が記録できるため、これらの値から体積当たりの重量濃度を求める。



【サイズ・容量】

W530×D160×H230 mm、質量：9.5 kg

(ii) SMPS3910 (TSI)、1点

粒子径が 10~300 nm の個数濃度を、一定の粒径毎に測定する。約 1 分間で個数濃度を計測可能。バッテリー駆動により電源は不要。



【サイズ・容量】
W450×D230×H390 mm、質量：8 kg

(iii) OPS3330 (TSI)、1点

粒子径が 0.3~10 μm の個数濃度を、一定の粒径毎に測定する。約 30 秒間で個数濃度を計測可能。バッテリー駆動により電源は不要。



【サイズ・容量】
W210×D220×H130 mm、質量：2 kg

(iv) デジタル粉じん計 (LSDC:LD-3、柴田科学)、3点

サブミクロンからミクロンサイズの粒子数をカウント値として計測する装置。カウント値は換算計数 (K 値) を用いて、質量濃度に変換できる。



【サイズ・容量】
W70×D105×H185 mm、質量：1.2 kg

1.3 調査地点

1.3.1 A 火葬場

1.3.1.1 見取図と調査エリアの状況

A 火葬場の見取図と測定機器の配置場所を図 6-11 に示す。また、調査地の状況や作業環境に関する情報を下に記す。

- a 炉は 40 年近く稼働しており、前室の無い構造のみ。
- b 灯油によるバーナーで燃焼し、燃焼条件などは作業員の経験から判断。

- c 遺族不在時でも、マスクなどの保護具の着用は無い。
- d 炉の前の部屋は、換気などの装置は無い。
- e **A** 測定は炉の前の部屋での燃烧前、燃烧時、整骨、清掃時を対象とした。
- f **B** 測定は全て作業を通じて最も高い濃度を示した値を用いた。

1.3.1.2 調査スケジュールと状況

測定内容と炉の運転スケジュールを図 6-12 に示す。この他の運転に関する情報を下に記す。

- a 炉の運転は昼を挟んだ 2 回であった。
- b 燃烧中の炉裏は、目視で確認ができる程度の煙濃度であった。
- c 燃烧直後の冷却開始時と、清掃時の灰をスコップで集める作業時にも、煙濃度が高い。

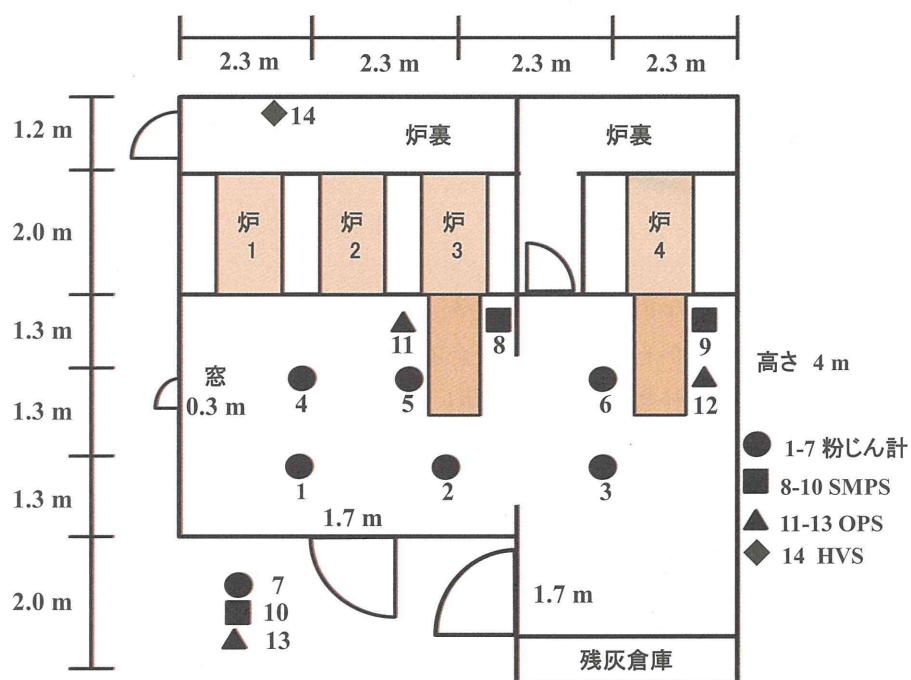


図 6-11 A 火葬場の見取図と測定機器の配置場所

Time	Operation	粉じん計	OPS	SMPS	HVS	
10:00		Measurement points				
10:10	↑ 炉稼働前(3号炉) ↓	↑ 1, 2, 3	↑ 11	↑ 8	↑ 14 ↓	
10:20						
10:30		↓ 4, 5, 6	↓ 11	↓ 8		
11:35	↑ 炉稼働中(3号炉) ↓	↑ 1, 2, 3	↑ 11	↑ 8	↑ 14 ↓	
11:45						
11:55		↓	↓	↓		
12:40	X 整骨(3号炉) ↓	↑ 1, 2, 3	↑ 11	↑ 8	↑ 14 ↓	
12:50		↓ 4, 5, 6	↓ 11	↓ 8		
13:10	↑ 清掃(3号炉) ↓	↑ 1, 2, 3	↑ 11	↑ 8	↑ 14 ↓	
13:20		↓ 4, 5, 6	↓ 11	↓ 8		
13:30	↑ 整骨(4号炉) ↓		↑ 12	↑ 9	↑ 14 ↓	
13:40		↓ 7	↓ 13	↓ 10		
13:50						

図 6-12 測定内容と炉の運転スケジュール

1.3.1.3 測定機器の設置場所

粉じん計は3台あり、これらを炉の奥から手前に移動させることで、6点（等間隔抽出）の観測を行った。また、SMPSとOPSによる計測（発生源近傍のB測定）は火葬中に炉の表と裏で行った。なお、火葬終了後の作業は、収骨前に御骨を整える作業（整骨）と収骨終了後の清掃作業が行われた。B測定は、それぞれの作業に対して台座に近づき、その両側に装置を移動させて実施した。粉じん計の設置高さは人の呼吸時の高さに相当する120～150cmに設定した。

1.3.2 B斎苑

1.3.2.1 見取図と調査エリアの状況

B斎苑の見取図と測定機器の配置場所を図6-13に示す。また、調査地の状況や作業環境に関する情報を下に記す。

- 炉は、タイプの異なる2系統が7炉設置。
- 収骨は燃焼後冷却したのちの状態のまま行う。清掃は翌日に全ての炉を一括して行う。
- 炉を格納している対象作業場は換気システムが整備された室内。
- 作業の際、マスクの着用がなされていた。

1.3.2.2 調査スケジュールと状況

測定内容と炉の運転スケジュールを図6-14に示す。HVSは測定の始めから終わりまで図6-13の位置に固定した。粉じん計は作業工程を踏まえた上で10分間の測定を炉の奥と手前とで前後に移動させて行なった。その設置高さは、人の呼吸時の高さに相

当する 120~150 cm に設定した。

また、SMPS と OPS は発生源近くで測定（B 測定）を行うため、単位作業場へ移動させ、燃焼中の炉の前、清掃作業時の台座近傍における飛散粒子を測定した。清掃作業時には、マグネットによる金属の回収、ステージの回収、骨などの回収が行なわれ、掃除機をかけた後、台座に保護材を撒いていた。

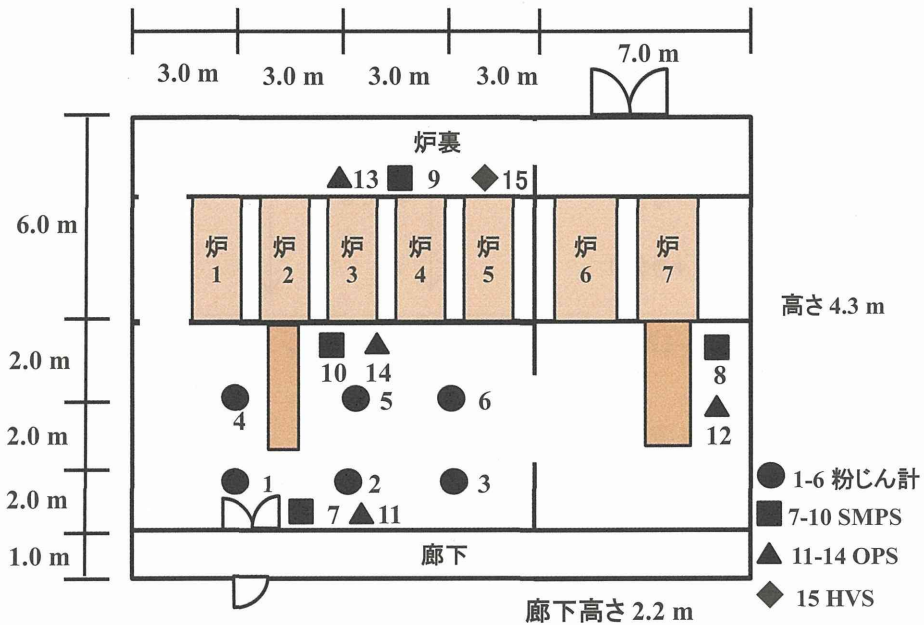


図 6-13 B 斎苑の見取図と測定機器の配置場所

Time	Operation	粉じん計	OPS	SMPS	HVS	
9:00		Measurement points				
9:10	↑ 清掃(2号炉)	↑ 1, 3	↑ 11	↑ 7	↑ 15	
9:20	↑ 清掃(7号炉)					
9:30	↓	↓ 4, 5, 6	↓ 12	↓ 8		
9:40			↓ 13	↓ 9		
9:50						
12:30	↑ 炉稼働中(3号炉)	↑ 1, 2, 3	↑ 14	↑ 10		
12:40		↓ 4, 5, 6	↓ 13	↓ 9		
13:00	↓					
15:00	↑ 収骨後(3号炉)	↑ 1, 2, 3	↑ 14	↑ 10		
15:10		↓ 4, 5, 6	↓ 13	↓ 9		
15:20	↓					

図 6-14 測定内容と炉の運転スケジュール

1.3.2.3 測定機器の設置場所

B 測定の実施に伴って観測器（SMPS と OPS）を稼働中の炉付近へ移動させた。粉じん計による測定では、作業場の面積をおおよそ均等に割り振り、3 台の機器を火葬炉の手前と奥に移動させることによって 6 点観測を行った。

1.4. 粉じん計による作業環境測定

1.4.1. A 測定評価方法

1.4.1.1 粉じん計による管理濃度導出

粉じん作業場において、相対濃度計を用いて測定して得られた相対濃度（粉じん計では 1 分間の当たりのカウント数（cpm））から質量濃度を求めるには相対濃度値に質量濃度変換係数 K 値を乗じて質量濃度を算出する。

$$K = C / (R_D - D) \quad (1-1)$$

C : 質量濃度 [mg/m³]

R_D : 粉じん計によるカウント数 [cpm]

D : バックグラウンド値

測定現場から得られた値を使用して K 値を計算した。 K 値を用いて粉じん計の測定結果を質量濃度に変換し、作業環境評価を行った。

作業環境評価は、第一評価値 EA_1 （5 %相当の推定濃度）と第二評価値 EA_2 （平均濃度からの推定濃度）を算出することで、これらを境界とした 1~3 の管理区分として評価する。なお、各区分の解釈は、第 1 管理区分（作業環境管理が適切であると判断される状態）、第 2 管理区分（作業環境管理になお改善の余地があると判断される状態）、第 3 管理区分（作業環境管理が適切でないと判断される状態、再測定と改善措置が必要）となっている。作業環境測定における管理区分は表 6-10 の通りである。

表 6-10 作業環境測定における管理区分表

		A測定		
		第1評価値<管理濃度	第2評価値≤管理濃度≤第1評価値	第2評価値>管理濃度
B 測 定	B測定値<管理濃度	第1管理区分	第2管理区分	第3管理区分
	管理濃度≤B測定値≤管理濃度×1.5	第2管理区分	第2管理区分	第3管理区分
	B測定値>管理濃度×1.5	第3管理区分	第3管理区分	第3管理区分

各サンプル点の測定値に対する幾何平均を次の式により求める。

$$\log M = (\sum \log C_i) / n \quad (1-2)$$

また幾何標準偏差 σ は、

$$\log\sigma = \{ \sum (\log C_i)^2 - n(\log M_i)^2 \} / (n-1) \quad (1-3)$$

求める EA_1 は、次の式で求めた。

$$\log M_{A1} = \log M + 1.645 \log \sigma \quad (1-4)$$

粉じんの管理濃度の式は、

$$E = 3.0 / (1.19 Q + 1) \quad (1-5)$$

E : 管理濃度 [mg/m³]

Q : 遊離けい酸含有率 [%]

粉じんの管理濃度値は、粉じんの遊離珪酸が 100 % 含まれたとすると 0.025 mg/m³、0 % とすると 3 mg/m³ となる。

1.4.1.2 遊離けい酸含有率計測

施設内に設置した HVS を用いて、フィルター上に捕集した浮遊粉じんに対する遊離けい酸含有率（石英、トリジマイト、クリストバライト）を、X線回折分析により求めた。計測に用いた機器は、XRD-6100（島津製作所製）を使用した。定量分析では、標準資料石英、トリジマイト、クリストバライトの検量線を作製し、検量線の定量下限値（検量線勾配と 10 σ の積）を設定した。

表 6-11 X線回折測定器による分析条件

測定法	定性分析	定量分析
X線源	CuK α 40 kV-30 mA	
モノクロ	湾曲グラファイトモノクロメータ使用	
走査条件	連続走査 2°/min 0.02° 毎 0.6秒積分	ステップ走査 0.02° 毎 4秒積分
走査範囲	2 θ : 5 - 70°	石英: 26.6°; 26 - 27° トリジマイト: 20.6°; 20 - 21.2° クリストバライト: 22.1°; 21 - 22.5°
スリット	DS: 1°, SS: 1°, RS: 0.3 mm	

1.4.2 B 測定評価方法（発生源に対する作業環境測定評価方法）

評価は、質量濃度で行うため、粉じん計で計測した全ての作業を通じ、最も高い値を示した作業近傍での濃度を評価値とした。また、SMPS と OPS を用いて、発生源近傍で作業における粒径ごとの個数濃度の測定、作業に対する継時変化の分析を行った。

1.4.3 建築物環境衛生管理基準との比較

建築物衛生法に規定される管理基準値（浮遊粉じん）と本調査場での粉じん計測による結果を比較し、空気環境の評価を行った。浮遊粉じんに対する建築物環境衛生管理基準値は、 0.15 mg/m^3 以下と定められている。

1.5 誘導結合プラズマ質量分析（ICP-MS）による粉じん中に含有する総クロムと六価クロムの定量分析

1.5.1 ICP-MSによる総クロムの定量

HVSを使用し、浮遊粉じんの捕集に用いたガラス繊維フィルターを8等分割し、そのうち3片に酸を加え、マイクロウェーブ分解装置にて分解し、検液を調整した後、ICP-MS（Thermo Scientific X series 2）による定量分析を行った。以下にその詳細を示す。ICP分析試料液作製の前処理は、濃硝酸（60%）、超純水、過酸化水素（30%）をそれぞれ3:3:2の比で調合し、その溶液10 mlを当該フィルターに混合した。その混合溶液をマイクロウェーブ分解装置（Mars OneTouch Technology, CEM）を用いて分解を行なった。分解条件は180~200℃において3段階に温度を上昇させ、約1時間半かけて加熱分解した。その後、超純水を加えて硝酸の濃度を1 Nに調整した。また内標準液はイットリウム（Y）を使用した。希釈標準系列を測定することで検量線を作成し、検出下限値はブランクフィルターに対する定量標準偏差 σ の $+3\sigma$ 、定量下限値を $+10\sigma$ とした。ブランクフィルターは、異なる3枚のフィルターを同様に前処理し、ICP-MSを用いて定量し、平均を求めた。

検液から検出した捕集粉じん中の ^{52}Cr の重量濃度を求め、フィルター1枚分に捕集したクロム質量に換算した。この値に対し、HVSの稼働時間分を積算した吸入量で除することで大気流量中に対する濃度に換算した。

1.5.2 ICP-MSによる六価クロムの定量

六価クロムは土壌の溶出試験（JIS K0102:65.2）に従って溶出させた。8等分割したフィルター試料2片に対し、溶媒液（超純水に炭酸ナトリウム 0.005 mol 及び炭酸水素ナトリウム 0.01 mol を溶解させ1 Lに調整）に、重量体積比3%の割合で混合した。その試料液を室温（25℃）、常圧（1気圧）で振とう機（毎分200回、振とう幅4 cm以上5 cm以下）を用いて、2時間連続して振とうさせた。振とう容器は、ポリエチレン製容器を用いた。十分攪拌分離した後、孔径 $0.45 \mu\text{m}$ のメンブランフィルターでろ過してろ液を採り、これを検液とした。この検液をICP-MS（Thermo Scientific X series 2）を用いて定量分析を行った。

1.6 六価クロムに対するヒト健康リスク評価

1.6.1 非発がん性の有害影響リスク評価

クロム化合物を取り扱う作業場で吸入曝露に伴う影響として、非発がん性の有害影響と発がん影響が見られるが、六価クロム化合物による非発がん性の影響は、呼吸器系では鼻出血、鼻中隔潰瘍、鼻粘膜萎縮などが見られ、それぞれに閾値が存在する。非発がん性に対する有害影響は、吸入参照濃度 (*RfC*) で示され、この値は当該物質を生涯にわたり、吸入してもヒトの健康に影響がない大気濃度とされる。呼吸器系における最小毒性レベル (*LOAEL*)、または、無毒性レベル (*NOAEL*) のいずれかを用い、不確定係数 (*UF*) で除すことで、*RfC* は算出される (式 1-6)。

$$RfC = LOAEL/UF \quad (1-6)$$

六価クロムの非発がん性に対する有害影響の *LOAEL* は $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である¹⁾。本調査施設において、作業者の曝露時間が 8 時間/日、5 日/週であることを考慮して連続曝露時の値に補正すると、式 1-7 より、*LOAEL* の値は $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。

$$LOAEL = 2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \frac{8 \text{ 時間}}{24 \text{ 時間}} \times \frac{5 \text{ 日}}{7 \text{ 日}} = 0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad (1-7)$$

UF は、*LOAEL* から *NOAEL* の外挿と影響の感受性の個人差に安全側のデフォルト値である 10 をそれぞれ用い、積の 100 を設定した。

これらの値を代入することで、リスク評価の吸入参照濃度である *RfC* の値 $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ を得た。

1.6.2 発がん性リスク評価

発がん影響については、閾値は存在しないが、ユニットリスク (基準量の発がん性物質が含まれる空気を生涯吸引した際の発がん確率: 単位 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹) の値は存在する。

吸入に伴って罹患する肺がんによる死亡に対するユニットリスク (*UR*) は、*P*₀ を人口における推定肺がん死亡率、*RR* をコホートの肺がんによる死亡の相対リスク、*d* を作業者の曝露量とすると式 1-8 により表される。

$$UR = P_0 \times \frac{RR-1}{d} \quad (1-8)$$

Mancuso の疫学研究²⁾によると *P*₀ は 0.036、*RR* は 7.2、*d* は $15.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。上式に代入して計算するとユニットリスクの値は $1.4 \times 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ となる。本調査においてこの疫学調査の値を用いた。求めたユニットリスクの値に対し、 10^{-5} のリスクレベルに相当する濃度を求めると $0.71 \text{ ng}/\text{m}^3$ となる。