資 料

喫煙者の実効線量評価 —タバコに含まれる自然起源放射性核種—

岩岡和輝, 米原英典

独立行政法人 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター 規制科学総合研究グループ
263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

タバコに含まれる ^{210}Po や ^{210}Pb は喫煙の燃焼によって揮発して人体に取り込まれるため、喫煙者はこれら核種によって被ばくする。本稿では、喫煙者の線量評価に関する様々なパラメータのレビューを行い、それらのデータから喫煙者の年間実効線量を評価した。喫煙者の年間実効線量はおよそ 0.2 mSv y^{-1} であり、商品の輸出入の際に用いられるICRP Publ. 82の介入免除レベル(1 mSv y^{-1})よりも低かった。

Key Words : NORM, dose estimation, cigarette, leaf tobacco, smoking

1. はじめに

土壌や空气中に存在する自然起源放射性核種(主として ^{238}U 系列核種・ ^{232}Th 系列核種・ ^{40}K)は、根や葉を経由して様々な農作物に取り込まれる。農作物の中でも葉タバコ(タバコ製品の原料)は身近な嗜好品であるため、含まれる自然起源放射性核種による喫煙者の実効線量について、しばしば新聞・雑誌等で取り上げられる^{1), 2)}。

喫煙者の実効線量については阪上ら³⁾によって1990年にまとめられているが、それ以降にも多数の研究が報告されている。それゆえ、本稿では近年の知見を含めてレビューを行い、それらレビューした結果を基に計算した喫煙者の実効線量について報告する。なお、タバコ製品には紙巻タバコ(cigarette)、葉巻(cigar)、嗅ぎタバコ(snuff)などの種類があるが本稿においては紙巻タバコのみを対象とした。

2. 線量評価のための重要なパラメータ

喫煙者は、紙巻タバコから主流煙に移行した自然起源放射性核種を吸入することによって被ばくする。それゆえ喫煙者の線量を評価するに

あたっては、「紙巻タバコに含まれる自然起源放射性核種の種類及びその放射能濃度」、「紙巻タバコに含まれる自然起源放射性核種の主流煙中への移行比」、「吸入された自然起源放射性核種の線量換算係数」等のパラメータの情報が重要である。それぞれのパラメータについて下記に詳しく述べる。

2・1 紙巻タバコの放射能濃度

紙巻タバコには、 ^{238}U 系列核種・ ^{232}Th 系列核種・ ^{40}K ^{4) - 6)}の自然起源放射性核種が含まれているが、それらの核種のなかで喫煙による燃焼で揮発して人体に有意な量で取り込まれるものは ^{210}Po と ^{210}Pb とされている^{7) - 8)}。このため、喫煙による被ばくを考える場合には、紙巻タバコに含まれる ^{210}Po 及び ^{210}Pb の放射能濃度に関する情報が重要である。

自然環境中の ^{210}Po 及び ^{210}Pb が農作物に取り込まれる経路としては、大気中に存在する ^{210}Po 及び ^{210}Pb (一般的に、大気中の ^{210}Po 及び ^{210}Pb のほとんどは、地殻から散逸したラドンが壊変して生成されたものである)の直接沈着と、土壌に存在する ^{210}Po 及び ^{210}Pb の根からの吸収の2通りが考えられるが、葉タバコにおいては前

者が主経路とされている^{8)~11)}。また葉タバコが収穫され紙巻タバコ（製品）の原料として利用されるまでに、 ^{210}Pb と ^{210}Po の間で永続平衡が成立すると報告^{10),12)~15)}されており、紙巻タバコに含まれる ^{210}Po 及び ^{210}Pb はほぼ同じ放射能濃度を有している。

これまでの紙巻タバコに含まれる ^{210}Po と ^{210}Pb の放射能濃度に関する報告によると、その濃度は産地や銘柄によって大幅に異なることはなく、1本あたり9.3～24 mBqであり（表1）、それらの算術平均は14 mBqである。それぞれの報告における紙巻タバコは“単純に産地で販売されているもの（製造元が特定されていないもの）”若しくは“製造元が産地であるもの（製造元が特定されているもの）”に分類することができ、それぞれがどちらに分類されるかについては表1に示した。なお、日本が葉タバコ（原料）を輸入していることからわかるように²⁵⁾、製造元が特定されているものであっても葉タバコの栽培から製品製造までが同一国内で行われたものとは限らない場合もある。

2・2 紙巻タバコから主流煙への ^{210}Po 及び ^{210}Pb の移行比

紙巻タバコに含まれる自然起源放射性核種のなかで ^{210}Po と ^{210}Pb は喫煙時の燃焼（600～800℃）^{7),8)}で一部揮発して主流煙や副流煙等に移行する。

紙巻タバコから主流煙への ^{210}Po の移行比は、様々な論文^{15),16),20),22),26),27)}で報告されており、実験で発生させた主流煙をフィルタで採取し、“そのフィルタの放射能濃度”の“紙巻タバコの放射能濃度”に対する比で求められている。この移行比の値は実験条件によって大幅に異なることはなく0.09～0.22であり、それらの算術平均は0.12である（表2）。なお、紙巻タバコから灰、吸殻、副流煙への ^{210}Po の移行比は、0.09～0.21, 0.29～0.37, 0.25～0.41であり、それぞれの算術平均は、0.16, 0.32, 0.32である（表2）。

紙巻タバコから主流煙への ^{210}Pb の移行比については、報告数が少なく、現在のところSchayerら¹⁵⁾、Ferriら²⁸⁾による報告が参考になる。それらの報告によると、 ^{210}Pb の移行比は ^{210}Po と同様な方法（実験で発生させた主流煙をフィルタで採取して、“フィルタの放射能濃度”の“紙巻タバコの放射能濃度”に対する比）で求められており、算術平均で0.095である（表3）。紙巻タバコから灰、吸殻、副流煙への ^{210}Pb の移行比については、現在のところ報告はなく、今後調査されることが期待される。

2・3 ^{210}Po 及び ^{210}Pb の実効線量換算係数

現在までに様々な研究において、喫煙者の内部実効線量評価が行われてきた^{10),29),30)}が、それらの線量評価には、ICRP（国際放射線防護委員会）Publ.72³¹⁾の実効線量換算係数が使用されている。ICRP Publ.72の実効線量換算係数は、典型的な条件（鼻を通した吸入、日常の呼吸速度0.45～3.0 m³h⁻¹、エアロゾルの粒子径1 μm）での値であるが、喫煙時の主流煙の吸入に関しては、鼻を通した吸入ではなく口からの吸入であるほか、吸煙速度は日常の呼吸速度とは異なることを考えると、喫煙者の線量評価にはICRP Publ.72の実効線量換算係数よりも吸煙条件に応じた線量換算係数を使用することが望ましい。更に、線量換算係数は吸入するエアロゾル粒子径によって異なるため、吸煙条件に加えて主流煙の粒子径にも応じた線量換算係数を使用する方がより望ましい。現在のところ、吸煙速度については、喫煙者の実態に合うように国際的に統一された標準吸煙条件（35 ml/1回吸煙、2秒/1回吸煙）^{32),33)}が定められており、吸煙サイクルを4秒（吸煙2秒、排煙2秒）と仮定すれば、吸煙速度は31.5 m³h⁻¹となる。主流煙の粒子径については、Chenら³⁴⁾、Hinds³⁵⁾によってそれぞれ0.45 μm（MMAD：空気力学的質量中央径）、0.37～0.52 μm（MMAD）と報告されており、粒子中の ^{210}Po と ^{210}Pb が均質に含まれていると仮定すればそ

表1 紙巻タバコ1本あたりの ^{210}Po (^{210}Pb) の放射能濃度 (mBq/本)

産地	産地の種類*	^{210}Po (^{210}Pb)			文献
		ブランド数	平均値**	最小値	最大値
日本	製造	8	11.5	10.1	15.0
中国	製造	1	12.5	12.5	12.5
イタリア	販売	17	11.8	6.8	17.5
ポーランド	販売	14	13.3	4.2	24.1
エジプト	製造	2	16.6		
ギリシャ	販売	7	10.5 (10.7)	2.9	13.4
中国	販売	7	14.6	11.1	18.3
トルコ	販売	6	14.3 ***	12.6	16.0
ハンガリー	販売	29	22.0 (20.9)	10.0	33.5
日本	製造	5	18.8	12.1	27.8
フィネランド	販売	8	11.0	7.8	14.4
アメリカ	製造	2	12.2	11.8	12.6
アメリカ	製造	4	15.7	14.4	17.8
中国	製造	12	23.5 (21.2)	18.0	29.0
アメリカ	製造	3	9.3 (7)	6.0	11.0
エジプト	販売	5	15.0	11.3	19.2
フィリピン	製造	16	11.7	5.5	16.6
日本	製造	16	13.0	10.1	14.5
アメリカ	製造	14	11.8	9.2	14.1
算術平均****			14.2		

*：“販売”とは単純に産地で販売されていること、“製造”とは産地が製造元であることを意味する。

**：0内は ^{210}Pb の放射能濃度

***：最大最小の平均値

****：平均値の算術平均

表2 紙巻タバコから主流煙、副流煙、灰、吸殻（フィルター）、全煙への ^{210}Po 移行比

文献	サンプル数	実験条件	紙巻タバコから主流煙への移行比			紙巻タバコから副流煙への移行比			紙巻タバコから吸殻(フィルター)への移行比			紙巻タバコから全煙への移行比		
			平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値
Takizawa ら, 1994 ¹⁶⁾	9	35ml/吸煙1回/2秒/吸	0.10	0.07	0.13	0.41	0.29	0.51	0.21	0.16	0.27	0.29	0.21	0.39
Kelly ら, 1965 ²⁰⁾	11	35ml/吸煙1回/60秒		0.07	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	0.64
Mussalo ら, 1985 ²⁰⁾	1	35ml/吸煙1回/58秒				-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hill ら, 1965 ²⁷⁾	3	35ml/吸煙1回/2秒/吸				-	-	-	-	-	-	-	-	-
Radford ら, 1964 ²²⁾	4	35ml/吸煙1回/60秒	0.10	0.07	0.12	0.30	0.28	0.32	0.18	0.16	0.19	0.37	0.34	0.41
Schayer ら, 2009 ¹⁵⁾	2	50-4/吸煙1回/3秒/吸	0.22	0.18	0.25	0.25	0.21	0.29	0.09	0.07	0.11	0.29	0.24	0.38
算術平均*			0.13	0.12	0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			0.12			0.32			0.16			0.32		0.46

*：平均値を算術平均した値

表3 紙巻タバコから主流煙への²¹⁰Pbの移行

文献	サンプル数	実験条件	紙巻タバコから主流煙への移行比		
			平均値	最小値	最大値
Schayer ら, 2009 ¹⁵⁾	2	50ml/吸煙1回, 2秒/吸煙1回, 吸煙1回/30秒	0.08	0.08	0.08
Ferri ら, 1967 ²⁸⁾	6	54ml/吸煙1回, 3秒/吸煙1回, 吸煙1回/26秒	0.11	0.09	0.14
算術平均*			0.095		

*: 平均値を算術平均した値

表4 実効線量換算係数

核種	実効線量換算係数 (Sv Bq ⁻¹)	
	本研究(LUDEP)	ICRP Publ.72*
²¹⁰ Pb	1.4E-06	9.0E-07
²¹⁰ Po	1.4E-05	3.3E-06

*: ²¹⁰Pb: type F, ²¹⁰Po: type M.

表5 LUDEP 設定条件

カテゴリー	パラメータ	入力値
摂取	吸入、放射能	1
時間	線量計算期間 y ⁻¹	50
沈着	呼吸速度 m ³ h ⁻¹	31.5*
	鼻を通る比率	0
	空気力学的放射能中央径 μm	0.4
吸収	²¹⁰ Po / ²¹⁰ Pb	M / F
核種	²¹⁰ Po / ²¹⁰ Pb	— / Super-merge
バイオキネティック	ICRP30, ²¹⁰ Po / ²¹⁰ Pb	Po(W).MOD / Pb(D).V.MOD

*: 国際的標準人工喫煙条件^{32), 33)}においては2秒で35mlの吸煙量をスタンダードとしており、LUDEP計算には吸煙のサイクルを4秒(吸煙2秒、排煙2秒)とし、吸煙速度(呼吸速度)を31.5m³h⁻¹とした。

れぞれの MMAD を AMAD (空気力学的放射能中央径) とみなせる。それらの条件より喫煙速度を 31.5 m³h⁻¹, 空気力学的放射能中央径を 0.4 μm と仮定し, ICRP Publ. 66³⁶⁾ の呼吸気道モデルに基づいた内部実効線量計算プログラム LUDEP* で算出した²¹⁰Po 及び ²¹⁰Pb の実効線量換算係数は 1.4×10^{-5} , 1.4×10^{-6} Sv Bq⁻¹ であり, ICRP Publ. 72 のそれよりも数倍大きい(表 4)。なお, 具体的な LUDEP 設定条件につ

いては表 5 に示す。

3. 喫煙者の線量評価

一般的な喫煙者の年間実効線量の算出にあたっては, 紙巻タバコに含まれる²¹⁰Po と²¹⁰Pb の放射能濃度に表 1 の算術平均値を使用し, 紙巻タバコから主流煙への²¹⁰Po 及び ²¹⁰Pb の移行比に表 2, 3 の算術平均値を使用し, 実効線量換算係数に表 4 の LUDEP の算出値を使用した。また, 1 日の喫煙本数を日本人平均の 20 本³⁸⁾ とし, 毎日喫煙することとした。以上の条件で式(1) ~ (3)から算出した喫煙者の年間実効線量は 0.19 mSv y⁻¹ であり, ICRP Publ. 82 の介入免除レベル^{39), 40)}である 1 mSv y⁻¹ よりも低い値であった。なお, 介入の免除とはすでに存在

*LUDEP³⁷⁾は様々な放射性核種の吸入による内部実効線量を計算するために開発されたプログラムである。英国放射線防護局 (NRPB, 現在, 英国健康保護局: HPA) から一般に配布されており, ICRP Publ. 66 の呼吸気道モデル及び Publ. 30 の胃腸管モデルに基づいた計算が可能である。

する線源からの被ばくによる健康に対するリスクがさほど大きくないという理由で, 介入を行う必要がないとすることをいう。

$$Z_{po} = A_{popb} \times B_{po} \times C_{po} \times D \times E \quad (1)$$

$$Z_{pb} = A_{popb} \times B_{pb} \times C_{pb} \times D \times E \quad (2)$$

$$Z_{popb} = Z_{po} + Z_{pb} \quad (3)$$

Z_{popb} : 年間実効線量 (mSv y^{-1})

Z_{po} : ^{210}Po の年間実効線量 (mSv y^{-1})

Z_{pb} : ^{210}Pb の年間実効線量 (mSv y^{-1})

A_{popb} : 紙巻タバコの ^{210}Po (^{210}Pb) の放射能濃度 (mBq Bq^{-1})

B_{po} : 紙巻タバコから主流煙への ^{210}Po の移行比

B_{pb} : 紙巻タバコから主流煙への ^{210}Pb の移行比

C_{po} : ^{210}Po の実効線量換算係数 (Sv Bq^{-1})

C_{pb} : ^{210}Pb の実効線量換算係数 (Sv Bq^{-1})

D : 365 (d y^{-1})

E : 1 日の喫煙本数 (本)

また表 1 の紙巻タバコの放射能濃度の算術平均値を用いて, 1 mSv y^{-1} となるような 1 日の喫煙本数を逆算して求めると, 108 本であり, 現実的に考え難い喫煙本数であった。

4. おわりに

喫煙者の年間線量は, 介入免除レベル 1 mSv y^{-1} よりも低いことが明らかとなった。しかしながら, 紙巻タバコのような一般消費者にとって身近な商品による放射線被ばくに関しては, しばしば新聞や一般的な雑誌で取り上げられる場合がある。そのようなときに不安に感じた一般の人がリスクを正しく認知できるように, 放射線に関する様々な正しい情報を WEB サイトなどで公開・整備していく必要がある。

また, 喫煙においては, 煙中に放射性物質以外の有害成分 (ジエチルニトロアミンやホルムアルデヒドなどの発がん性物質, 発がん促進物質) が含まれているため⁴¹⁾, それらによる健康影響を総合的に評価する必要がある。また副流

煙による実効線量についても評価することが重要であり, そのためにも不足しているパラメータについて今後調査する必要がある。

文 献

- 1) Puffing On Polonium, The New York Times, Published December 1, 2006, <http://www.nytimes.com>, 閲覧 2010 年 11 月 5 日
- 2) ロシア元スパイ毒殺した放射性物質ポロニウムがふつうのタバコに含まれていた, 週刊現代, 6・13 合併号 (2007)
- 3) 阪上正信, 西脇 安, 井上武一郎, 小林和久, たばこ煙中の放射性物質とその生体影響に関する文献的考察, 喫煙科学財団研究報告 (1990)
- 4) Papastefanou, C., Radiation dose from cigarette tobacco, *Radiat. Prot. Dosim.*, **123**, 68-73 (2007)
- 5) Papastefanou, C., Radioactivity in tobacco leaves, *J. Environ. Radioact.*, **53**, 67-73 (2001)
- 6) Khater, A. E. M., El-Aziz, N. S. A., Al-Sewaidan, H. A. and Chaouachi, K., Radiological hazards of Narghile (hookah, shisha, goza) smoking: activity concentrations and dose assessment, *J. Environ. Radioact.*, **99**, 1808-1814 (2008)
- 7) Singh, D. R. and Nilekani, S. R., Measurement of polonium activity in Indian Tobacco, *Health Phys.*, **31**, 393-394 (1976)
- 8) Savidou, A., Kehagia, K. and Eleftheriadis, K., Concentration levels of ^{210}Pb and ^{210}Po in dry tobacco leaves in Greece, *J. Environ. Radioact.*, **85**, 94-102 (2006)
- 9) Skwarzec, B., Ulatowski, J., Struminska, D. I. and Borylo, A., Inhalation of ^{210}Po and ^{210}Pb from cigarette smoking in Poland, *J. Environ. Radioact.*, **57**, 221-230 (2001)
- 10) Khater, A. E. M., Polonium-210 budget in cigarettes, *J. Environ. Radioact.*, **71**, 33-41 (2004)
- 11) Marunakara, N., Avadhani, D. N., Mahesh, H. M., Somashekarappa, H. M., Narayana, Y. and Siddappa, K., *J. Environ. Radioact.*, **51**, 349-362 (2000)
- 12) Godoy, J. M., Gouvea, V. A., Mello, D. R. and Azeredo, A. M. G., $^{226}\text{Ra}/^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ Equilibrium in tobacco leaves, *Radiat. Prot. Dosim.*, **45**, 299-300 (1992)
- 13) Desideri, D., Meli, M. A., Feduzi, L. and Roselli, C., ^{210}Po and ^{210}Pb inhalation by cigarette smoking in

- Italy, *Health Phys.*, **92**, 58-63 (2007)
- 14) Kovacs, T., Somlai, J., Nagy, k. and Szeiler, G., ^{210}Po and ^{210}Pb concentration of cigarettes traded in Hungary and their estimated dose contribution due to smoking, *Radiat. meas.*, **42**, 1737-1741 (2007)
 - 15) Schayer, S., Nowak, B., Wang, Y., Qu, Q. and Cohen, B., ^{210}Po and ^{210}Pb activity in Chinese cigarettes, *Health phys.*, **96**, 543-549 (2009)
 - 16) Takizawa, Y., Zhang, L. and Zhao, L., ^{210}Pb and ^{210}Po in Tobacco-with a special focus on estimating the doses of ^{210}Po to man, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **182**, 119-125 (1994)
 - 17) Tokonami, S., Kovacs, T., Yoshinaga, S., Kobayashi, Y. and Ishikawa, T., ^{210}Po and ^{210}Pb inhalation dose by cigarette smoking in Gansu and Yunnan Provinces, China, *Jpn. J. Health Phys.*, **43**, 131-134 (2008)
 - 18) Karali, T., Olmez, S. and Yener, G., Study of spontaneous deposition of ^{210}Po on various metals and application for activity assessment in cigarette smoke, *Appl. Radiat. Isot.*, **47**, 409-411 (1996)
 - 19) Okabayashi, H., Suzuki-Yamamoto, M., Hongo, S. and Watanabe, S., On the evaluation of Po-210 Bioassay for uranium mine workers in Japan for the personal exposure index to radon daughter, *J. Radiat. res.*, **16**, 142-151 (1975)
 - 20) Mussalo-Rauhamaa, H. and Jaakkola, T., Plutonium-239, ^{240}Pu and ^{210}Po contents of tobacco and cigarette smoke, *Health Phys.*, **49**, 296-301 (1985)
 - 21) Rajewsky, B. and Stahlhofen, W., Polonium-210 activity in the lungs of cigarette smokers, *Nature*, **209**, 1312-1313 (1966)
 - 22) Radford, E. P. and Hunt, V. R., Polonium-210 : A volatile radioelement in cigarettes, *Science*, **143**, 247-249 (1964)
 - 23) Khater, A. E. M. and Al-Sewaidan, H. A. I., Polonium-210 cigarette tobacco, *Int. J. Low Radiat.*, **3**, 224-233 (2006)
 - 24) Enriquez, E. B., Iwaoka, K. and Yonehara, H., Polonium 210 in cigarettes and dose estimates in smokers, PNRI 50th Anniversary, Quezon City, December 8-12 (2008)
 - 25) 貿易統計 2007, 財務省
 - 26) Kelley, T. M., Polonium-210 content of mainstream cigarette smoke, *Science*, **149**, 537-538 (1965)
 - 27) Hill, C. R., Polonium-210 in man, *Nature*, **208**, 423-428 (1965)
 - 28) Ferri, E. S. and Christiansen, H., Lead-210 in tobacco and cigarette smoke, *Pub. Health Rep.*, **82**, 828-832 (1967)
 - 29) Carvahio, F. P., ^{210}Po and ^{210}Pb intake by the Portuguese population : the contribution of seafood in the dietary intake of ^{210}Po and ^{210}Pb , *Health phys.*, **69**, 469-480 (1995)
 - 30) Peres, A. C. and Hiromoto, G., Evaluation of ^{210}Pb and ^{210}Po in cigarette tobacco produced in Brazil, *J. Environ. Radioact.*, **62**, 115-119 (2002)
 - 31) International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 72, Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides : Part 5 complication of ingestion and inhalation dose coefficients (1996)
 - 32) たばこ事業法, 昭和 59 年 8 月 10 日法律第 68 号, 財務省
 - 33) International Organization for Standardization, ISO 3308
 - 34) Chen, B. T., Namenyi, J., Yeh, H. C., Mauderly, J. L. and Cuddihy, R. G., Physical Characterization of cigarette smoke aerosol generated from a Walton smoke machine, *Aerosol sci. technol.*, **12**, 364-375 (1990)
 - 35) Hinds, W. C., Size characteristics of cigarette smoke, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **39**, 48-54 (1978)
 - 36) International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 66, Human respiratory tract model for radiological protection (1994)
 - 37) Jarvis, N. S., Birchall, A., James, A. C., Bailey, M. R. and Dorrian, M. D., Ludep 2.0-personal computer program for calculating internal doses using the ICRP 66 respiratory tract model, NRPB-SR287 (1996)
 - 38) 厚生労働省, 平成 17 年国民健康・栄養調査報告書
 - 39) International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 82, Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure (1999)
 - 40) 財団法人放射線影響協会, 放射線影響・放射線防護用語辞典 (2007)

- 41) 常俊義三, エアロゾル研究, **9**(3), 207-214(1994)

Abstract

Estimation of Effective Dose to Smokers—Naturally Occurring Radionuclides in Cigarettes—

Kazuki IWAOKA and Hidenori YONEHARA : Regulatory Sciences Research Group, Research Center for Radiation Protection, National Institute of Radiological Sciences, 4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba Pref.

263-8555, Japan

^{210}Po and ^{210}Pb contained in the cigarette are volatilized at the temperature of a burning cigarette and are taken into the human body. This might contribute to an increase in the internal dose. Data of various parameters concerning smoker's dose estimation were reviewed, and the effective doses of smokers were estimated using those data. The effective doses of smokers were found to be about 0.2 mSv y^{-1} , which was lower than intervention exemption levels (1 mSv y^{-1}) given in ICRP publ.82.