

自然放射能の挙動解析に基づく排気モニタリング技術の向上
— 排気モニタバックグラウンドの低減化手法等 —
(技術報告)

2001年1月

核燃料サイクル開発機構
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

自然放射能の挙動解析に基づく排気モニタリング技術の向上
～排気モニタバックグラウンドの低減化手法等～
(技術報告)

井崎 賢二 *
岩田 克弘 *
樫村 義雄 **
野田 喜美雄 *

要 旨

本報告書では、放射線管理業務の中でも重要な排気中放射性物質濃度の管理について、その技術を向上させるため、施設内における自然放射能の挙動解析を行うとともに、解析結果から「排気モニタバックグラウンド（自然放射能による計数）の低減化手法」及び「排気ダクトなどのリーク判定手法」について検討し、報告する。

排気モニタのバックグラウンドの低減化については、排気サンプリング位置を変更すること等によって可能であり、施設の新設時及び排気モニタの更新時にその手法を適用することができる。また、排気ダクトなどのリーク判定については、排気ろ紙に捕集された自然放射能の核種分析等を行うことによって容易に行えるものであり、施設運転の安全確保及び放射線管理技術の向上にも役立つものである。

* 東海事業所 安全管理部 放射線管理第一課
** 検査開発株式会社

Improvement of the technique for stack monitoring based on behavior analysis of natural radio-nuclides

~ The technique for reducing the value of the exhaust monitor's background ~

Kenji Izaki*, Katsuhiko Iwata*, Yoshio Kashimura**, Kimio Noda*

Abstract

Stack monitoring is the most important work in radiation control works. Exhaust monitors used for stack monitoring have the background (which is the counts by natural radio-nuclides) on normal condition, and the values of the background vary with the facilities. Therefore, if the value of background is high, it is difficult to estimate rapidly the radioactive concentration in the exhaust.

In order to estimate rapidly the radioactive concentration in exhaust, we analyzed the behavior of natural radioactivity in the facilities and examine the technique for reducing the value of the background. As a result of the examination, we found that it is possible to estimate rapidly if we change over the monitoring point to immediately after the HEPA filters on the exhaust duct.

In this reports, the analyzed results of behavior of natural radio-nuclides in the facilities and the technique for reducing the values of the background are described.

To reduce the value of the background has a major effect on not only rapidly estimating the radioactive density in the exhaust but also finding the unusual things on stack monitoring.

* Plutonium Radiation Control Section, Environment and Safety Division, Tokai Works, JNC

** Inspection Development Coporation

目 次

1. はじめに	-----	1
2. 自然放射能について	-----	2
2.1 ラドン・トロン等の分類	-----	2
2.2 ラドン・トロン等の性質	-----	2
3. 施設内の自然放射能の挙動について	-----	4
3.1 施設内空気の換気経路	-----	4
3.2 施設内のR n 子孫核種とT n 子孫核種の生成量の比較	-----	4
4. 排気モニタバックグラウンドの低減化手法について	-----	6
4.1 排気モニタバックグラウンドの低減化手法	-----	6
4.2 理想的な排気サンプリング構造	-----	6
4.3 排気モニタバックグラウンド低減化手法と安全審査指針との整合	-----	6
5. 排気ダクトなどのリーク判定手法について	-----	8
5.1 排気ダクトなどのリーク判定の必要性	-----	8
5.2 排気設備又は排気モニタ設備の異常事象	-----	8
5.3 排気ダクトなどのリーク判定手法	-----	8
6. おわりに	-----	11
7. 参考文献	-----	12

図 表 目 次

図 2-1	ラドン・トロン等の壊変系列	13
図 2-2	ラドン・トロン等の減衰に係る時間変化	14
図 3-1	施設内におけるラドン・トロン等の挙動	15
図 3-2	排気中における T_n に対する T_n 子孫核種の生成率	16
図 3-3	エアスニファろ紙及び排気ろ紙の減衰曲線	17
図 4-1	理想的な排気サンプリング構造	18
図 5-1(1)	排気モニタ指示値変動によるリーク判定手法 (リークの可能性がない場合の排気モニタ指示値トレンド)	19
図 5-1(2)	排気モニタ指示値変動によるリーク判定手法 (リークの可能性がある場合の排気モニタ指示値トレンド)	20
図 5-2(1)	排気モニタ指示値及び空気モニタ指示値の比較によるリーク判定法 (リークの可能性がない場合の排気モニタ指示値トレンド)	21
図 5-2(2)	排気モニタ指示値及び空気モニタ指示値の比較によるリーク判定法 (リークの可能性がある場合の排気モニタ指示値トレンド)	22
図 5-3(1)	排気ろ紙の α 線核種分析結果	23
図 5-3(2)	エアスニファろ紙の α 線核種分析結果	24
図 5-4(1)	排気ろ紙の γ 線核種分析結果	25
図 5-4(2)	エアスニファろ紙の γ 線核種分析結果	26

1. はじめに

排気中の放射性物質濃度の管理は、放射線管理業務の中でも重要な業務である。本業務では、排気中放射性物質濃度の異常を早期に発見することはもとより、施設内で事故・トラブルが発生した場合には、施設外への放射性物質の漏洩の有無にかかわらず、迅速に排気中放射性物質濃度の評価を行わなければならない。

放射線管理員による排気中の放射性物質濃度の管理は、排気モニタによる連続監視と、排気ろ紙の放射能測定による濃度評価がある。しかし、排気中には自然放射能が混在しているため、排気モニタの指示値は通常数 cpm 程度のバックグラウンドがあり、また、濃度評価を行う際にも、排気ろ紙に付着した自然放射能が完全に減衰するのを待ってから、最終的な濃度評価（自然放射能の影響を除いた濃度評価）を行っているため、評価結果を報告するまでにかかなりの時間を要している。

このような状況の中、昨今の原子力施設の事故・トラブルを受け、異常時の迅速対応及び情報公開が要求されており、放射線管理情報として重要な排気モニタの指示値が外部へ提供されるようになってきた。しかし、前述にあるように、排気モニタの指示値は、施設が正常な状態であるにもかかわらず、バックグラウンド（自然放射能による計数）があり、また、その指示値変動も大きい施設があることから、情報提供を行った際には、「施設から放射性物質が漏えいしている」という誤解を招く可能性がある。

放射線管理第一課では、これら問題の対策のひとつとして、排気モニタのバックグラウンドを低減化することを目的に、自然放射能の挙動解析を行うとともに解析結果からバックグラウンドの低減化手法を検討した。

2. 自然放射能について

自然放射能とは自然界に存在する放射性物質であり、様々な核種があるが、本報告書においては、空气中放射性物質濃度の管理に影響する自然放射性物質として、Rn、Tn及びそれらの子孫核種（以下、総称してラドン・トロン等という）を取り上げる。

なお、本報告書においては、自然放射能を以下のとおり定義する。

「Rn」	: Rn-222
「Rn子孫核種」	: Po-218 から Pb-206 に至るまでの核種の総称
「Tn」	: Rn-220
「Tn子孫核種」	: Po-216 から Pb-208 に至るまでの核種の総称
「ラドン・トロン等」	: 「Rn」、「Tn」及びこれらの子孫核種の総称

図2-1にラドン・トロン等の壊変系列を示す。

2.1 ラドン・トロン等の分類

ラドン・トロン等を大きく分類すると表2-1のとおりとなる。

表2-1 ラドン・トロン等の分類

分類	物理的状态	半減期
Rn (Rn-222)	希ガス	3.82日
Tn (Rn-220)	希ガス	55.6秒
Rn子孫核種	粒子	約35分*
Tn子孫核種	粒子	約11時間*

* 子孫核種の半減期は、壊変系列以下の混合核種としての半減期を示す。

2.2 ラドン・トロン等の性質

ラドン・トロン等の特徴として、本報告書において重要となるのは、「物理的状态」と「半減期」であり、それぞれ以下の性質がある。

1) 物理的状态について

Rn及びTnは希ガスであることから、容易に高性能フィルタ（排気中のダストを除去するため排気ダクトに設置されているフィルタ）やダストモニタ（空气中的ダストをろ紙に集塵し、ろ紙の放射能を連続的に測定するモニタ）のろ紙等を通過してしまう。また、Rn子孫核種及びTn子孫核種については大気中のエアロゾルに付着した状態であることから、高性能フィルタに集塵されたり、ダストモニタのろ紙に付着しバックグ

ラウンドとして検出される。

2) 半減期について

R_n と T_n を比較すると、 R_n は半減期が3.82日であるのに対して、 T_n は半減期が55.6秒と短いことから、すぐに壊変して子孫核種になりやすい性質がある。また、粒子状の R_n 子孫核種と T_n 子孫核種を比較すると、 R_n 子孫核種の半減期は約35分であるのに対して、 T_n 子孫核種の半減期は約11時間であることから、ろ紙の減衰測定を行った場合、 T_n 子孫核種は比較的減衰しにくい性質がある。この T_n 子孫核種の影響により、空气中（排気中）放射性物質濃度を評価する際には、通常、6～7半減期（3日程度）ろ紙を放置してから測定を行っている。

図2-2にラドン・トロン等の減衰に係る時間変化を示す。

3. 施設内の自然放射能の挙動について

3.1 施設内空気の換気経路

核燃料取扱施設の換気経路は、外気給気口 → 廊下等 → 工程室 → 排気ダクト → 排気筒 → 施設外 となっており、この経路間に設置された高性能フィルタ等の影響により、ラドン・トロン等の構成割合が変化する。

図 3-1 に施設内におけるラドン・トロン等の挙動を示す。

3.2 施設内の R_n 子孫核種と T_n 子孫核種の生成量の比較

ダストモニタ（空気中のダストをろ紙に集塵し、ろ紙上に集塵された放射性物質を連続的に測定するモニタ）などによる計測において、バックグラウンドとして検出されるのは、ラドン・トロン等のうち、粒子状の子孫核種であり、それらは希ガスの R_n 及び T_n が壊変した後に生成されたものである。

1) 工程室内空気中の子孫核種

R_n 子孫核種と T_n 子孫核種の生成量は、R_n と T_n が施設内に入気されたときの初期濃度及び入気後の壊変数に直接関係するものである。初期濃度を一定とした場合、R_n 子孫核種と T_n 子孫核種の生成量は、施設内を通過する時間に対して、R_n 及び T_n の半減期を因子に持った関数となる。工程室内においては、空気が通過する時間は長く、R_n と T_n が壊変する時間が充分与えられるため、作業環境の空气中放射性物質濃度を管理する α 線用空気モニタ（工程室内の空気中のダストをろ紙に集塵し、ろ紙の α 放射能を連続的に測定するモニタ）やエアスニファ（工程室内空気中のダストをろ紙に集塵する放射線管理用設備）のろ紙には、R_n 子孫核種と T_n 子孫核種の両方が付着する。ただし、各施設内の換気回数や工程室内の設備配置の相違から、空気の流れが異なっており、R_n 子孫核種と T_n 子孫核種の生成比及び生成量も施設によって異なっている。

2) 排気中の子孫核種

排気中に含まれる粒子は排気される前に高性能フィルタで除去されるため、R_n や T_n が壊変し粒子となる箇所は、高性能フィルタと排気ろ紙の間を通過する間となる。この時間は長くても数十秒程度となっているため、半減期の長い R_n（半減期：3.82 日）は壊変数が少なく、ほとんど R_n のままで施設外に放出されるが、半減期の短い T_n（半減期：55.6 秒）は壊変が進み、T_n 子孫核種が生成される。したがって、排気モニタろ紙に集塵され、排気モニタ（排気中のダストをろ紙に集塵し、ろ紙の放射

能を連続的に測定するモニタ)のバックグラウンドとして検出されるのは、そのほとんどがT_n子孫核種である。

図3-2に排気中におけるT_nに対するT_n子孫核種の生成率を示す。

3) エアスニファろ紙及び排気ろ紙の減衰曲線

空気中に含まれる粒子状のラドン・トロン等として、工程室内においてはR_n子孫核種及びT_n子孫核種が混在しているが、排気中においてはほとんどがT_n子孫核種であるため、エアスニファろ紙と排気モニタろ紙の減衰測定を行った場合、エアスニファろ紙の減衰測定結果では初期にR_n子孫核種による減衰(約35分の半減期にしたがった減衰)が観測されるのに対して、排気ろ紙の減衰測定結果ではR_n子孫核種による減衰は観測されず、初めからT_n子孫核種による減衰(約11時間の半減期にしたがった減衰)が観測される。

図3-3にエアスニファろ紙及び排気ろ紙の減衰曲線を示す。

4. 排気モニタバックグラウンドの低減化手法について

4.1 排気モニタバックグラウンドの低減化手法

自然放射能の挙動解析の結果、排気モニタのバックグラウンドとして検出されている自然放射能は、 T_n 子孫核種であることが分かった。この T_n 子孫核種は、高性能フィルタを通過した T_n が半減期にしたがって生成されているもので、生成量は時間経過とともに増えてくる。(図 3-2 参照)

したがって、排気モニタのバックグラウンドを低減させることは、 T_n が壊変する時間を与えないようにする、つまり、 T_n の半減期に対して充分短い間に排気サンプリングを行うことによって可能となり、具体例として以下の方法があげられる。

- ① 排気モニタの排気サンプリング場所を高性能フィルタの直後にする。
- ② 高性能フィルタから排気サンプリングろ紙までの間の配管を短くする。
- ③ 排気サンプリング流量率を上げ、排気が排気モニタに到達する時間を短くする。

しかし、排気ダクトなどの構造は建屋の設計時に決定されており、施設の稼働後には変更することが難しい。したがって、建屋設計時に本手法を考慮に入れ、設計を行うことが望ましい。

4.2 理想的な排気サンプリング構造

排気モニタのバックグラウンドを低減させるためには、排気が排気用高性能フィルタから排気ろ紙の間の排気系統を通過する時間を短くする必要がある。

したがって、排気ダクトの構造は、できるだけ排気ダクトの最後部に高性能フィルタを設置しやすく、かつ、排気筒までの距離を短くするため、排気ダクトを短い一本のダクトにする必要がある。また、排気ダクトの形状についても、ダクト内の排気が乱流とならないよう直線的にすることによって、排気ダクト内に排気モニタサンプリングプローブ(ダクト内に設置する排気サンプリング口)が設置しやすく、かつ、代表的な空気をサンプリングできる構造とする必要がある。

一方、放射線管理設備の設計としては、排気モニタサンプリングユニットを排気ダクトの近傍に設置し、排気モニタサンプリング配管を短くする必要がある。

図 4-1 に理想的な排気サンプリング構造を示す。

4.3 排気モニタバックグラウンド低減化手法と安全審査指針との整合

「原子力安全委員会 安全審査指針集(監修:科学技術庁 原子力安全局 安全調査室)」において、排気のサンプリング位置は、「最終ダクト又は排気筒」であり、また、サ

ンプリング位置の詳細な選定条件としては、「放出放射性物質の濃度を代表する位置、つまり各排気ダクトの合流点各ダクトの直径の5倍から10倍以上離れた場所」として記載されている。したがって、排気ダクトのうち、可能な限り高性能フィルタに近く、かつ、安全審査指針集に記載された条件（上記条件）を満たす位置に排気サンプリング位置を設定すれば、本手法の適用に関して問題はない。

5. 排気ダクトなどのリーク判定手法について

5.1 排気ダクトなどのリーク判定の必要性

施設外に気体廃棄物を放出する際には、施設内で取り扱われる核燃料物質等が施設外に漏えいしないように、排気ダクトに設置した高性能フィルタによって放射性ダスト等を除去した後、施設外に放出している。

したがって、高性能フィルタの後の排気ダクトなどに穴が空いていた場合には、排気ダクトが設置されている部屋の空気が直接施設外に放出されるため、万一、その部屋で空気汚染が発生した場合には、汚染した空気が施設外に漏えいすることとなる。

これまで、排気ダクトなどのリーク発見方法としては、作業者が現場に行き、穴が空いている場所を目視により確認する方法で行われている。しかし、この方法では、作業者の見落としが多く、実際にすべての穴を確認できるとは言い難く、特に高性能フィルタ通過後の排気ダクトが長い場合には、穴を発見することが困難である。

よって、別の角度から排気ダクトなどのリークの有無を発見する方法を検討する必要がある。

5.2 排気設備又は排気モニタ設備の異常事象

自然放射能の挙動解析結果より、高性能フィルタ通過後の排気中には、子孫核種としては Tn 子孫核種しかほとんど存在しておらず、また、施設内空気には Rn 子孫核種と Tn 子孫核種が混在していることが分かっている。

したがって、排気モニタろ紙に排気中に含まれているはずのない Rn 子孫核種が付着していた場合には、以下のようなことが考えられる。

- ・ 高性能フィルタ通過後の排気ダクトや排気モニタサンプリング配管に穴が空いており、施設内の空気が排気に混入している。
- ・ 高性能フィルタの設置不良などの要因により施設内空気（高性能フィルタ設置場所付近の空気）が排気中に混入している。
- ・ 排気ろ紙の設置不良など排気サンプリング系統の不良により、施設内空気（排気モニタ設置場所付近の空気）中に含まれる Rn 子孫核種が排気ろ紙に集塵されている。

5.3 排気ダクトなどのリーク判定手法

排気ダクトなどリークの有無の判定は、通常、排気中には存在していない Rn 子孫核種が排気ろ紙に付着しているかを確認することによって行える。 Rn 子孫核種が排気ろ紙から検出された場合には、排気設備又は排気モニタ設備の異常があると推測される。

排気ろ紙へのR n子孫核種の付着の有無に関する確認手法としては、以下の手法があげられる。

1) 通常の排気中放射性物質濃度管理における判定手法

本判定は、R n子孫核種とT n子孫核種の半減期の相違（R n子孫核種の半減期：約35分、T n子孫核種の半減期：約11時間）に注目し、判定を行うものである。

(1) 排気モニタ指示値の変動傾向による判定手法

排気ろ紙には半減期の長いT n子孫核種しか付着していないことから、排気モニタ指示値は急激には下降しない。最も急激な下降でも半減期11時間（T n子孫核種の半減期）に沿った減衰曲線となる。したがって、排気モニタ指示値に11時間よりも短い減衰曲線がみられた場合には、R n子孫核種が混在している可能性がある。ただし、排気設備が点検等により停止していた場合には、この限りではない。

図5-1(1)及び図5-1(2)に排気モニタ指示値変動によるリーク判定手法を示す。

(2) 排気モニタ指示値及び空気モニタ指示値の比較による判定手法

空気モニタの指示値の変動は、主にR n子孫核種による変動であり、R n子孫核種の変動は、主に工程室内の空気の滞留状況により変動する。したがって、空気モニタの指示値変動は作業者の出入りや換気設備の調整等にも起因している。

排気モニタの指示値の変動は、T n子孫核種の変動であり、主に排気風量の変化に伴い変動する。施設運転時においては排気風量の変動はあまりないことから排気モニタ指示値変動も小さく、また、排気モニタ指示値と空気モニタ指示値は、変動要因が異なることから、通常は連動しない。

よって、空気モニタ指示値と排気モニタ指示値が連動した場合には、排気中に施設内空気が混在している可能性がある。

図5-2(1)及び図5-2(2)に排気モニタ指示値及び空気モニタ指示値の比較によるリーク判定手法を示す。

2) 排気ろ紙の核種分析によるリーク判定手法

排気ろ紙に付着する核種を求めることによって判定する方法であり、判定手法の中でも最も確実な手法である。特に、排気モニタ指示値の最も高い時刻に排気ろ紙を採取し、核種分析を行うと、効果的である。

(1) α 線核種分析による判定手法

排気ろ紙の α 線核種分析を行い、排気ろ紙に付着した α 放射能を分析する方法である。通常の状態では、 α 線核種分析を行った場合、T n子孫核種であるBi-212から放出される6.1MeVの α 線と、Po-212から放出される8.8MeVの α 線のピークが観測されるが、万

一、排気ダクトのリークなどがあった場合には、R n 子孫核種である Po-214 から放出される 7.7MeV の α 線のピークも観測されるようになる。

図 5-3 (1) 及び図 5-3 (2) に排気ろ紙の α 線核種分析結果及びエアスニファろ紙の α 線核種分析結果を示す。

(2) γ 線核種分析による判定手法

排気ろ紙の γ 線核種分析を行い、排気ろ紙に付着した γ 放射能を分析する方法である。通常の状態では、 γ 線核種分析を行った場合、T n 子孫核種から放出される γ 線が主に検出されるが、排気ダクトのリークなどがあった場合には、R n 子孫核種から放出される γ 線も検出されるようになる。

図 5-4 (1) 及び図 5-4 (2) に排気ろ紙の γ 線核種分析結果及びエアスニファろ紙の γ 線核種分析結果を示す。

3) 減衰測定によるリーク判定法

排気ろ紙の減衰測定（ろ紙に付着した放射能の時間的変化の測定）を行うことにより求める方法である。通常の状態では、T n 子孫核種による減衰（半減期約 11 時間に沿った減衰）が見られるのに対して、排気ダクトのリークなどがあった場合には、初期に R n 子孫核種による減衰（半減期約 35 分に沿った減衰）が見られる。（図 3-3 参照）

6. おわりに

本手法は、排気モニタのうち、 α 線用ダストモニタ及び β 線用ダストモニタに効果があり、また、施設建設時及び排気モニタの更新時に本手法を適用することによって、自然放射能の濃度が高い施設においてもバックグラウンドを低く抑えることができるため、今後の放射線管理設計に反映できる。

また、自然放射能の挙動解析結果については、放管員の知識向上、及び自然放射能による空气中放射性物質濃度上昇時の対応において活用できる。通常、施設内では換気設備の運転状況の変化などにより、自然放射能の空气中放射性物質濃度はたえず変化しており、時には空気モニタの警報が吹鳴することもある。その場合、警報吹鳴原因が自然放射能によるものであることが放射線管理上分かっていたとしても、放射能測定などによる方法ではその評価が難しく、放管対応を遅延させている。自然放射能の挙動解析結果や各種のろ紙分析結果は、自然放射能の濃度上昇原因の究明や、空気モニタの警報吹鳴時の放管対応において行うべき測定・評価の参考となるため、今後の放管対応の迅速化のためにも参考にできる。

7. 参考文献

- (1) 池田 長生, 一宮 勉, 他 : アイソトープ手帳, 改訂9版(1996), 丸善, P12~P13
- (2) 村上悠紀雄, 團野 皓文, 小林 昌敏 : 放射線データブック, 地人書館, 1982, P257

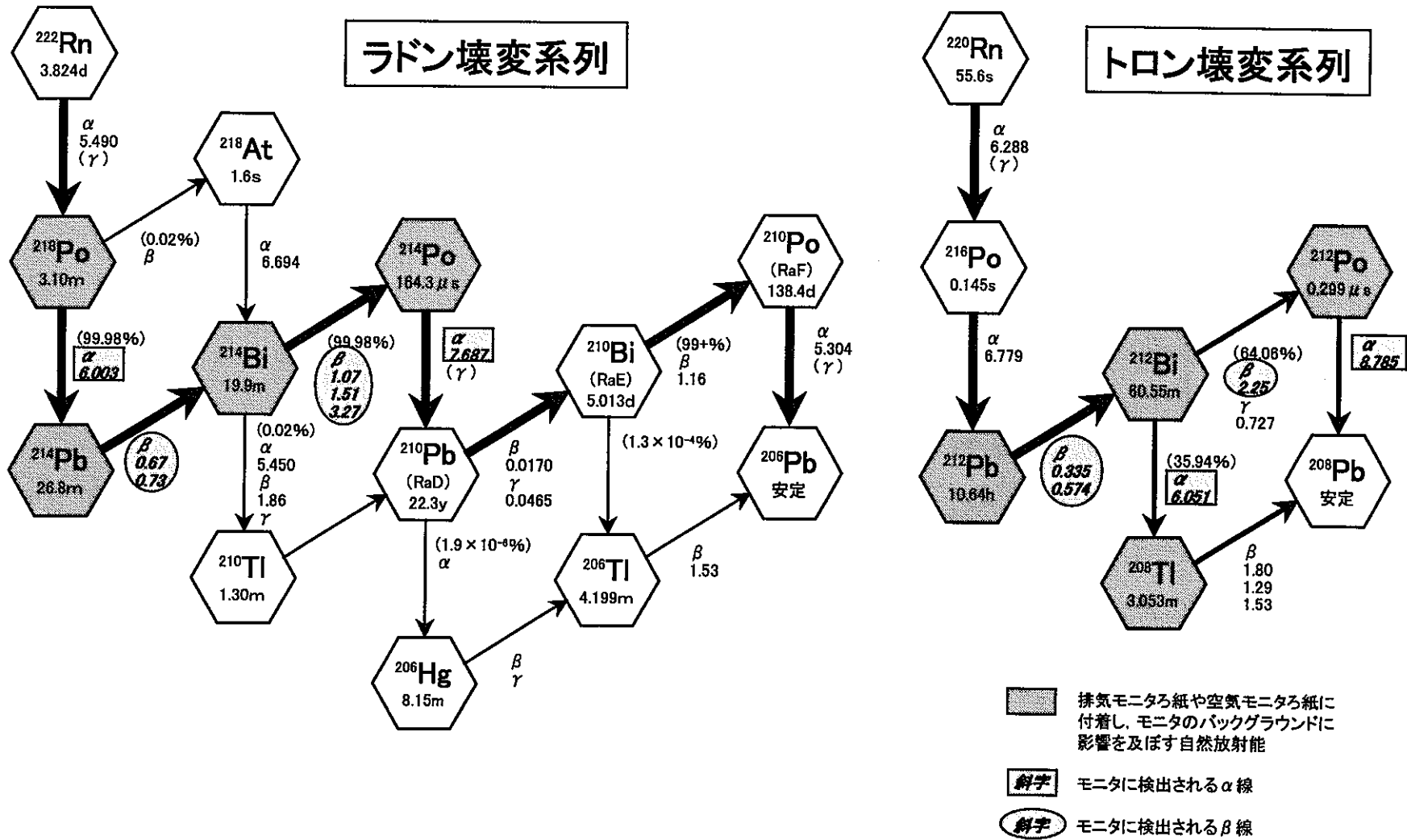


図2-1 ラドン・トリオン等の壊変系列

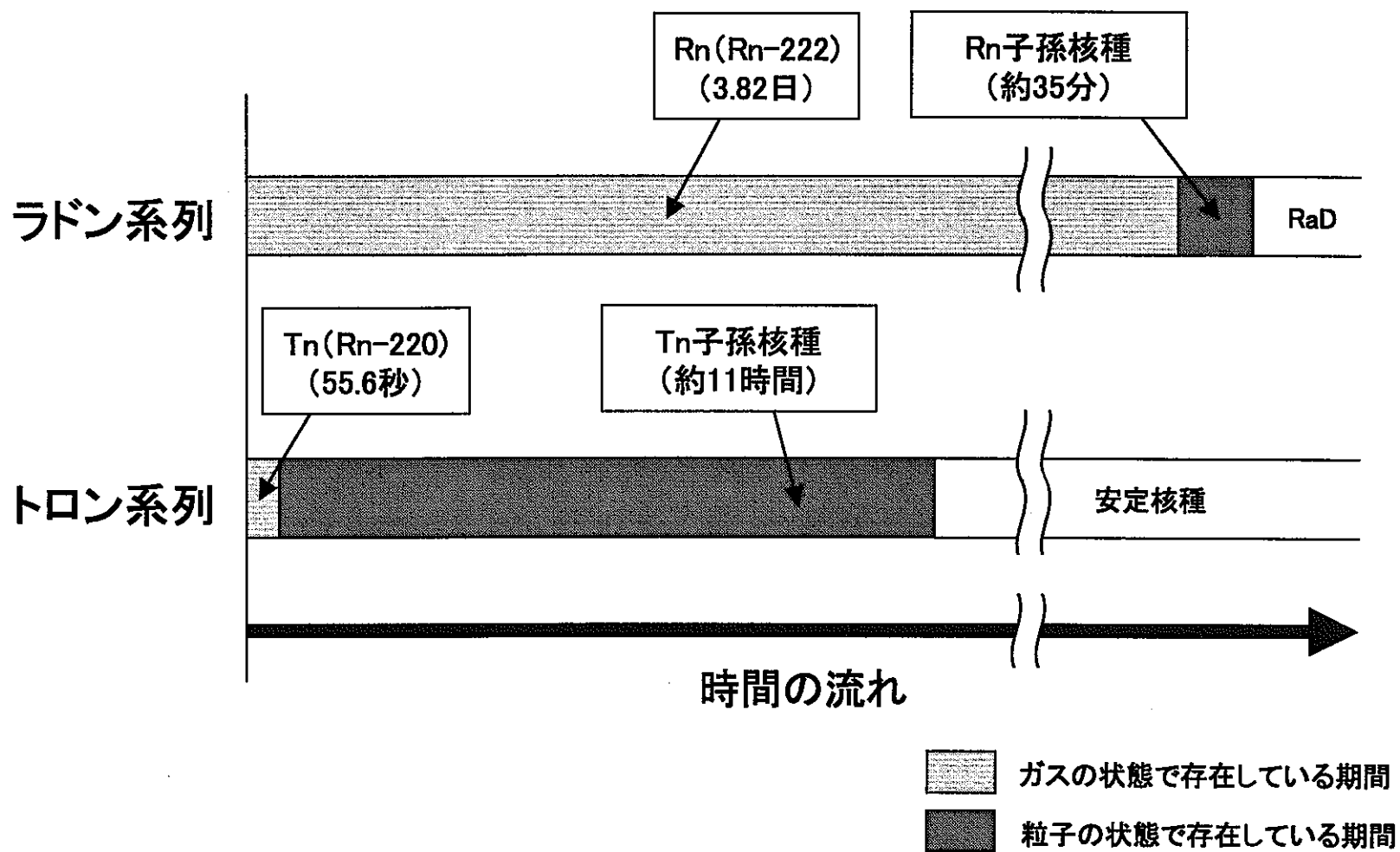


図2-2 ラドン・トロン等の減衰に係る時間変化

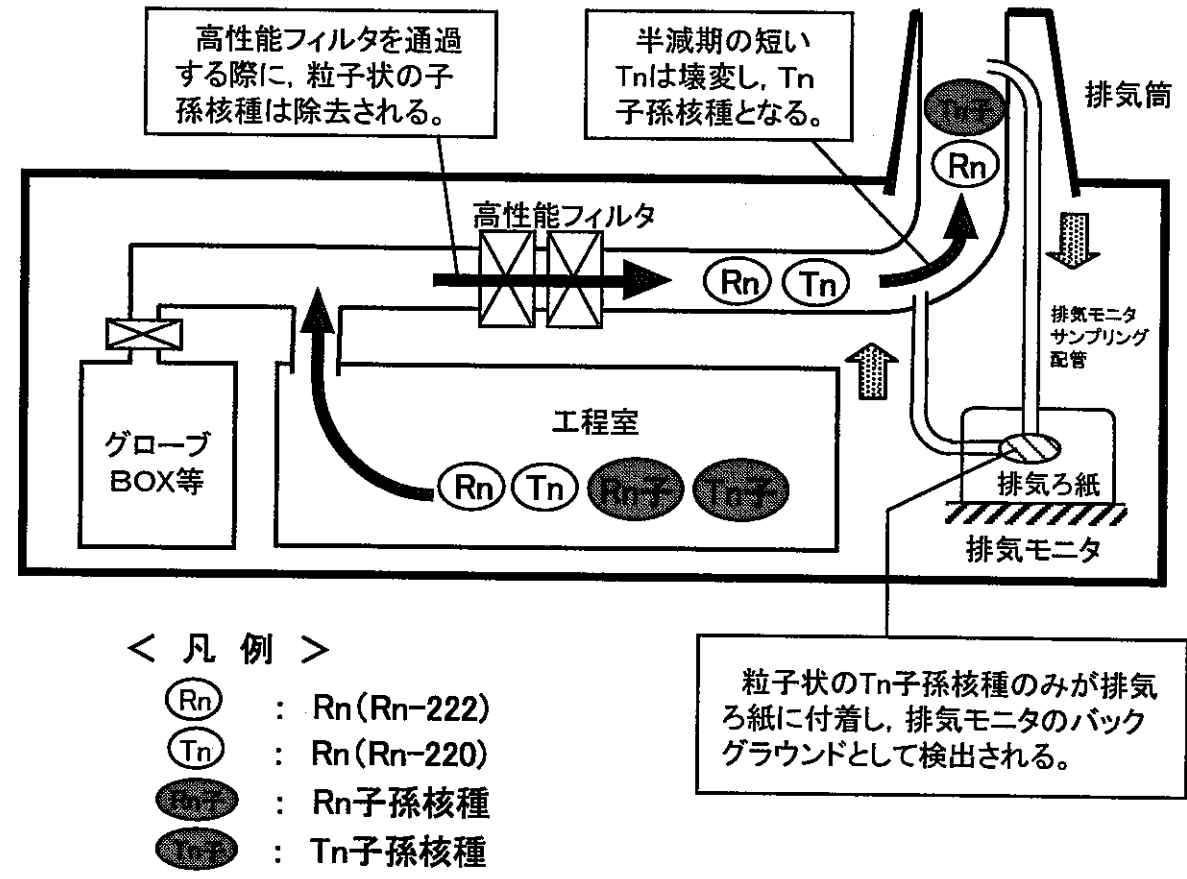


図3-1 施設内におけるラドン・トロン等の挙動

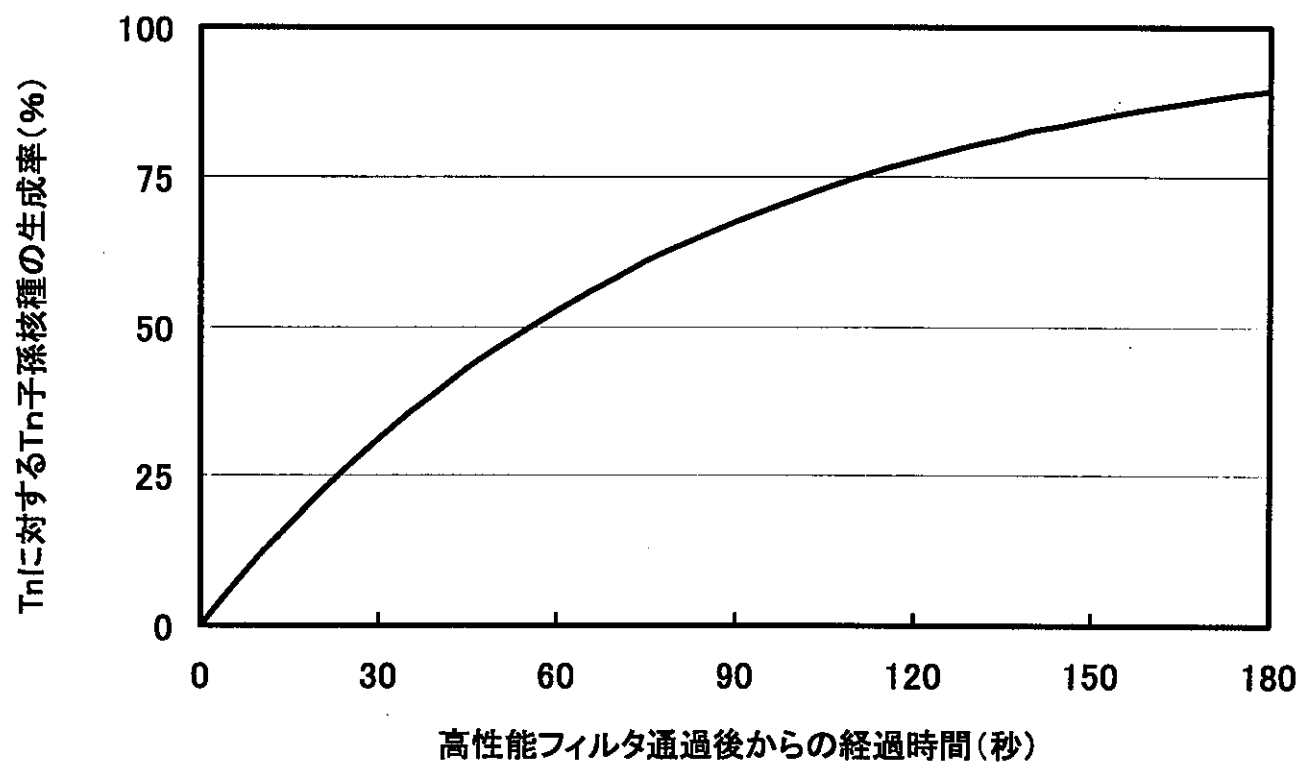


図3-2 排気中におけるTnに対するTn子孫核種の生成率

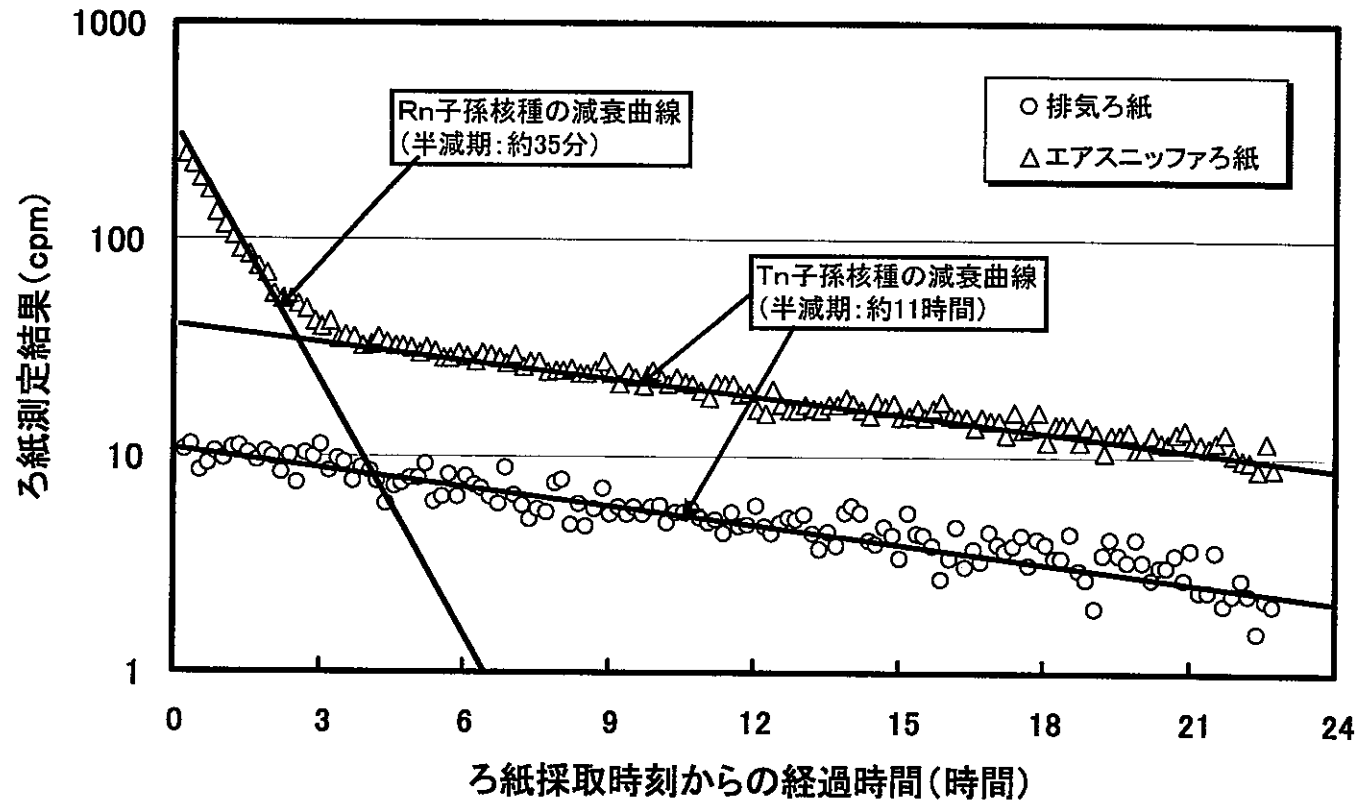


図3-3 エアスニフアろ紙及び排気ろ紙の減衰曲線

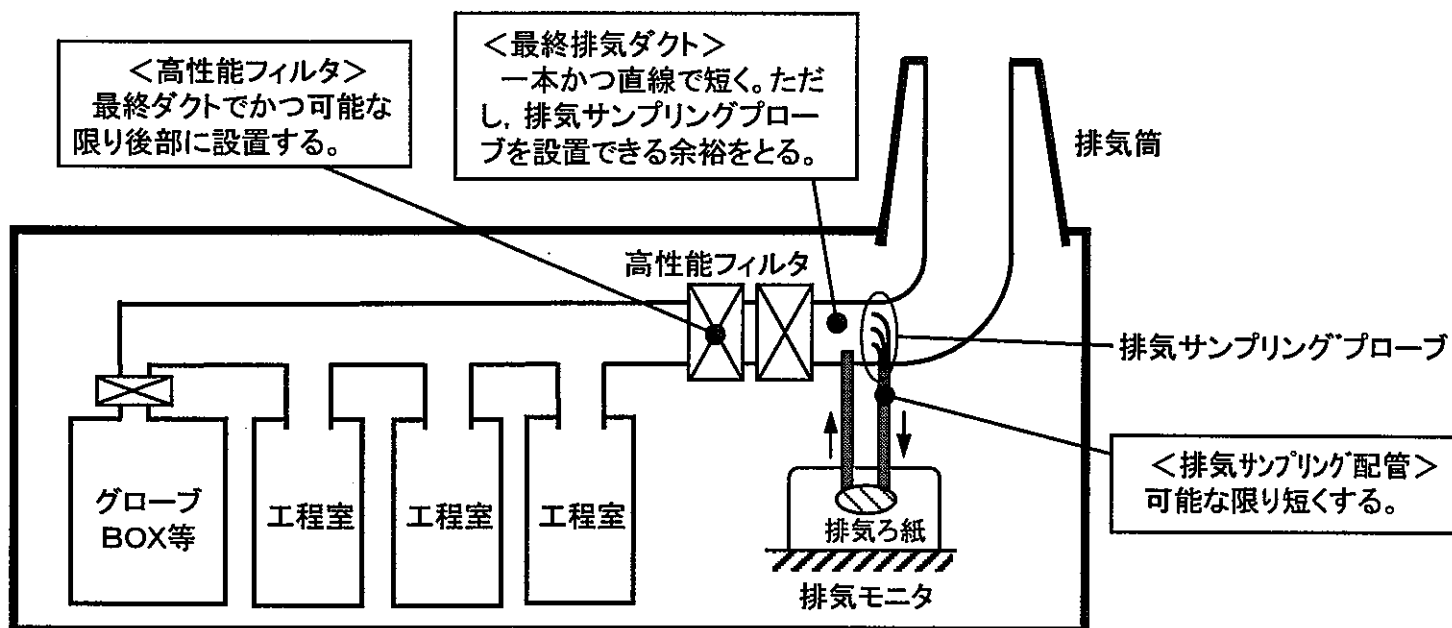


図4-1 理想的な排気サンプリング構造

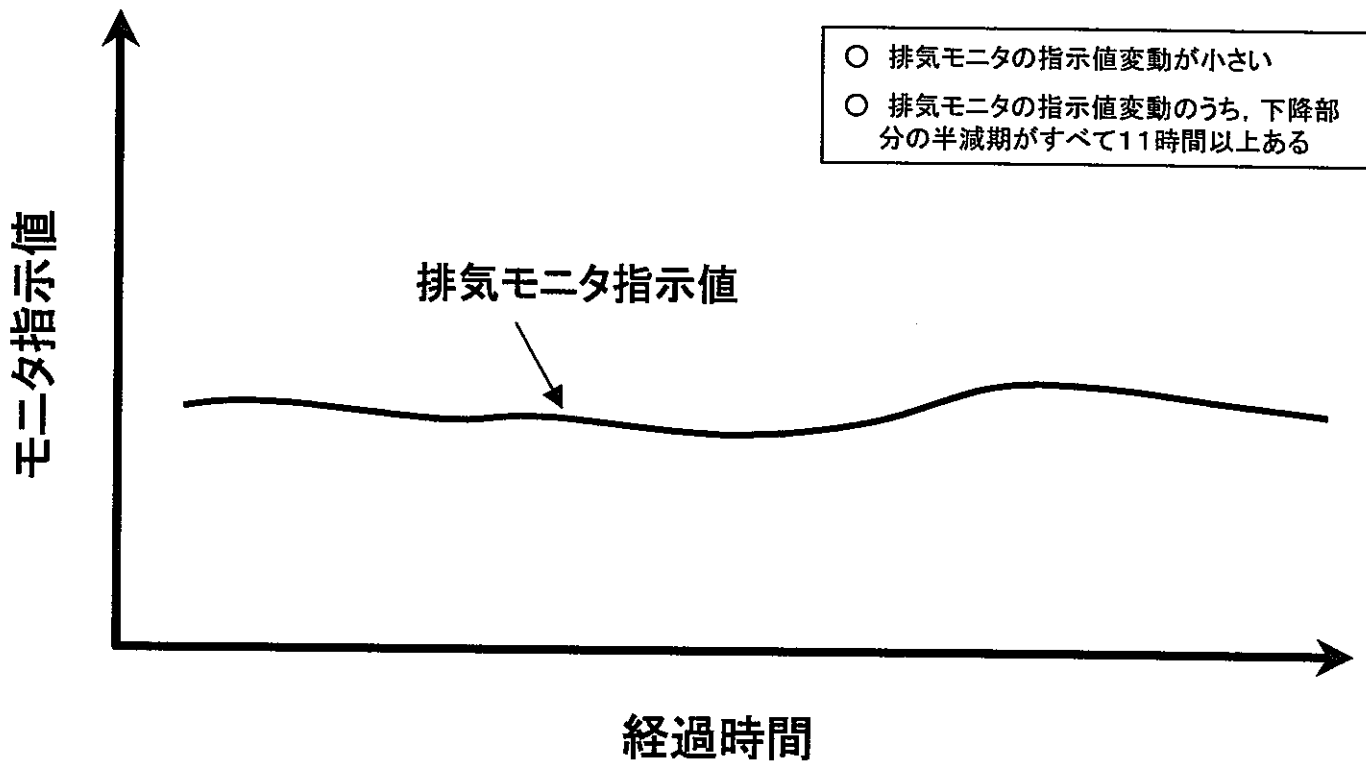


図5-1(1) 排気モニタ指示値変動によるリーク判定手法
(リークの可能性がある場合の排気モニタ指示値トレンド)

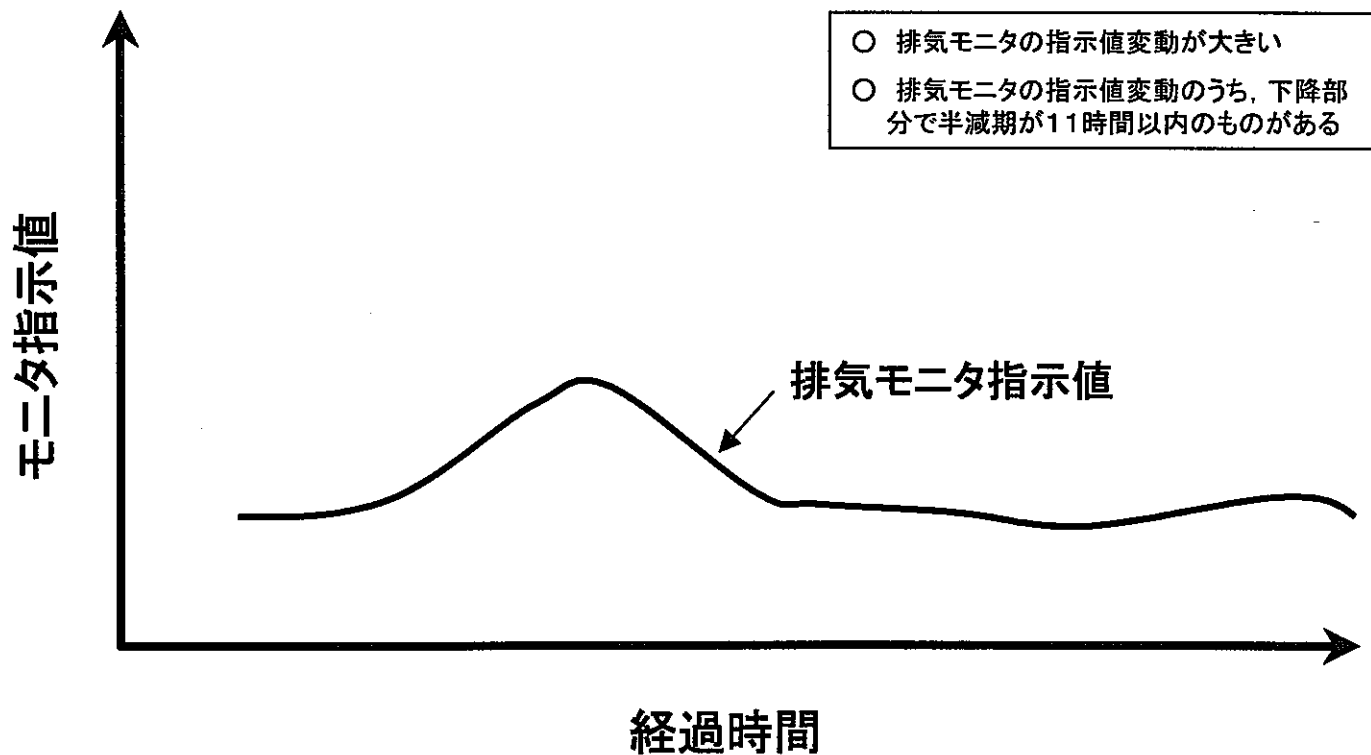


図5-1(2) 排気モニタ指示値変動によるリーク判定手法
(リークの可能性がある場合の排気モニタ指示値トレンド)

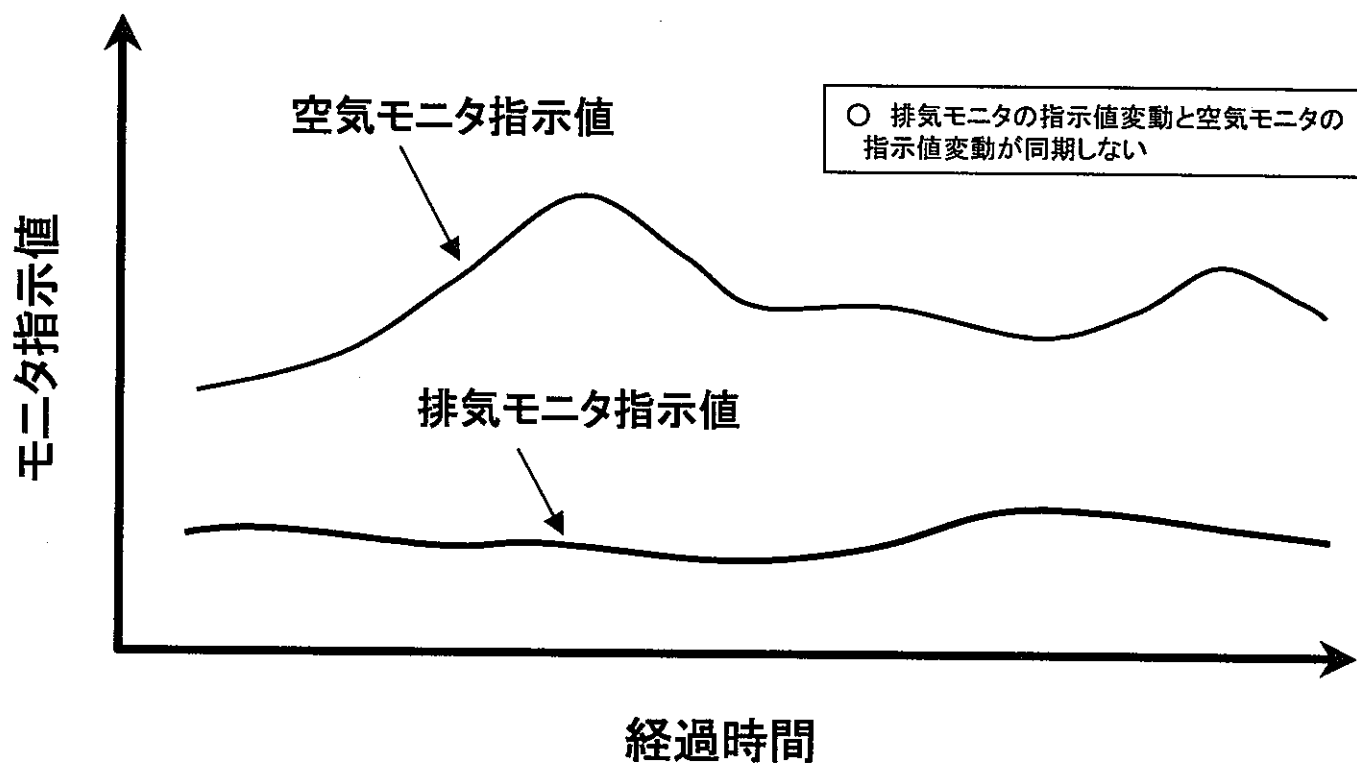


図5-2(1) 排気モニタ指示値及び空気モニタ指示値の比較によるリーク判定法
(リークの可能性がない場合の排気モニタ指示値トレンド)

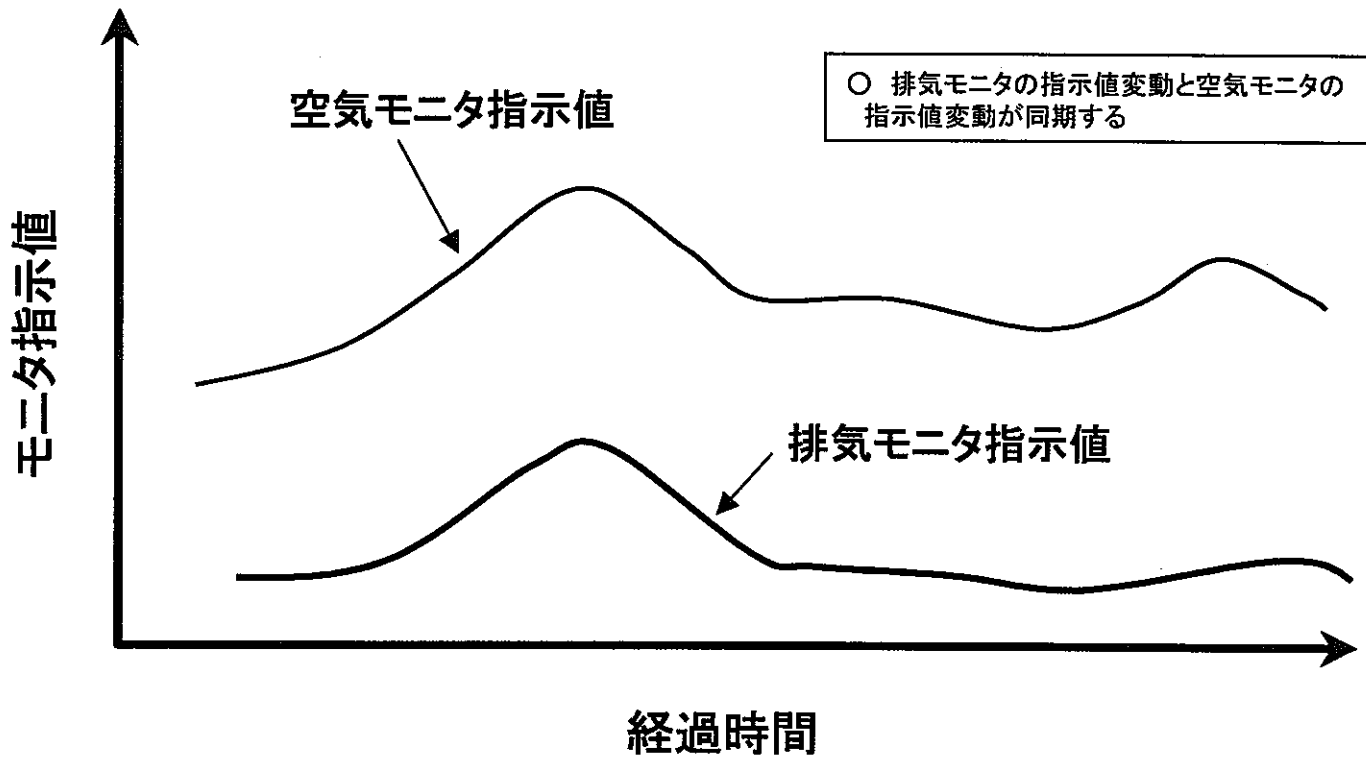


図5-2(2) 排気モニタ指示値及び空気モニタ指示値の比較によるリーク判定法
(リークの可能性がある場合の排気モニタ指示値トレンド)

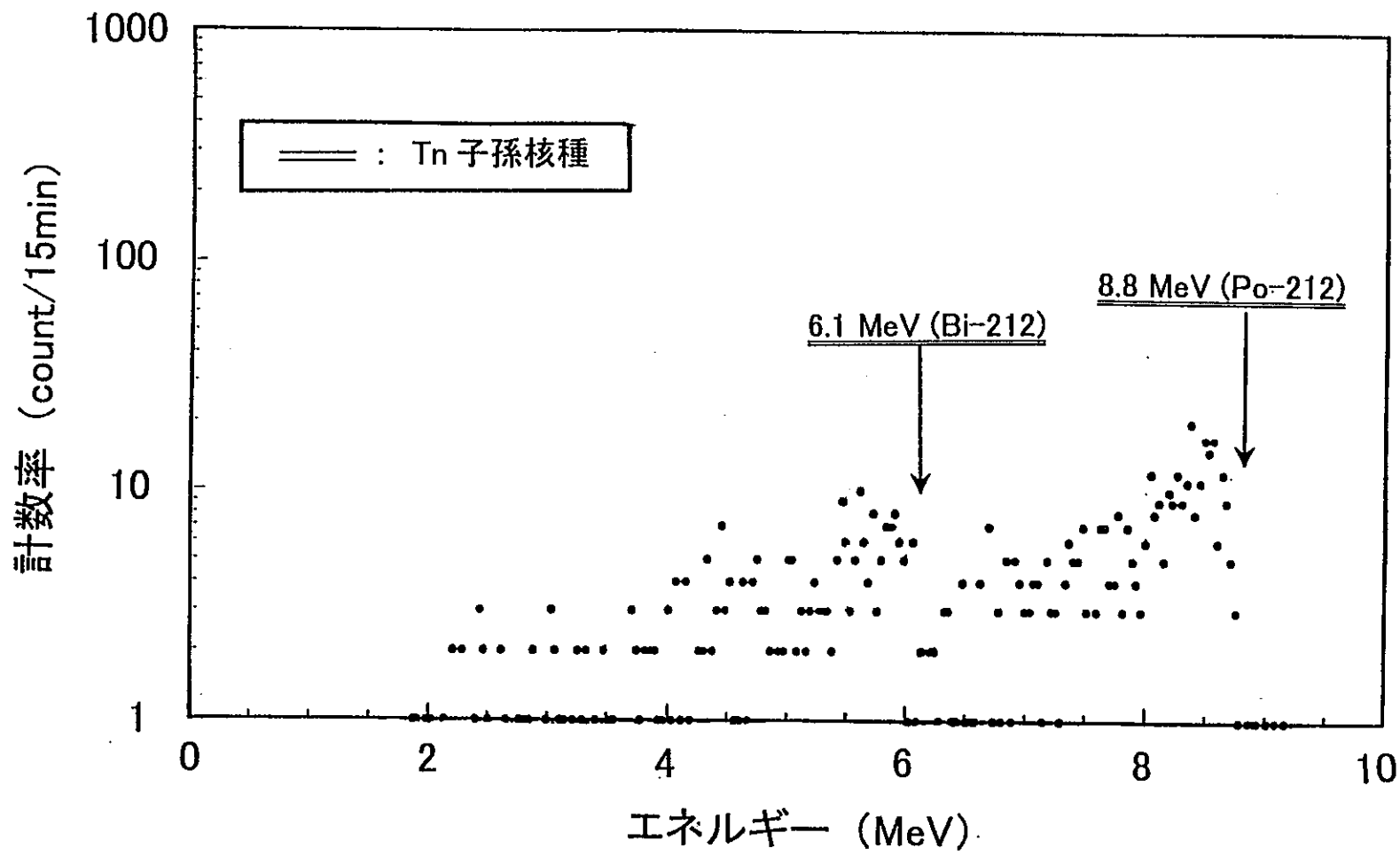


図 5-3 (1) 排気ろ紙の α 線核種分析結果

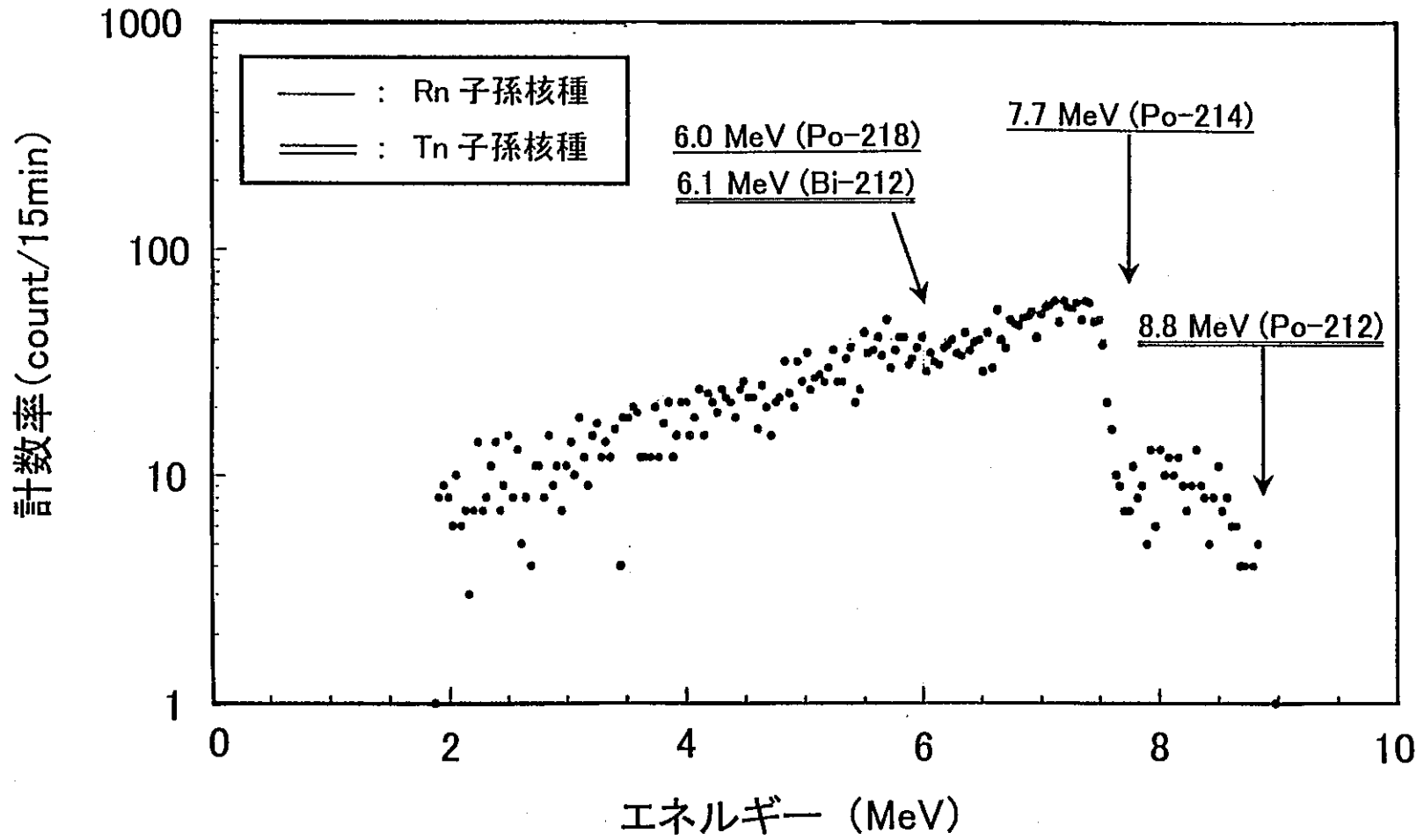


図 5-3 (2) エアスニファろ紙の α 線核種分析結果

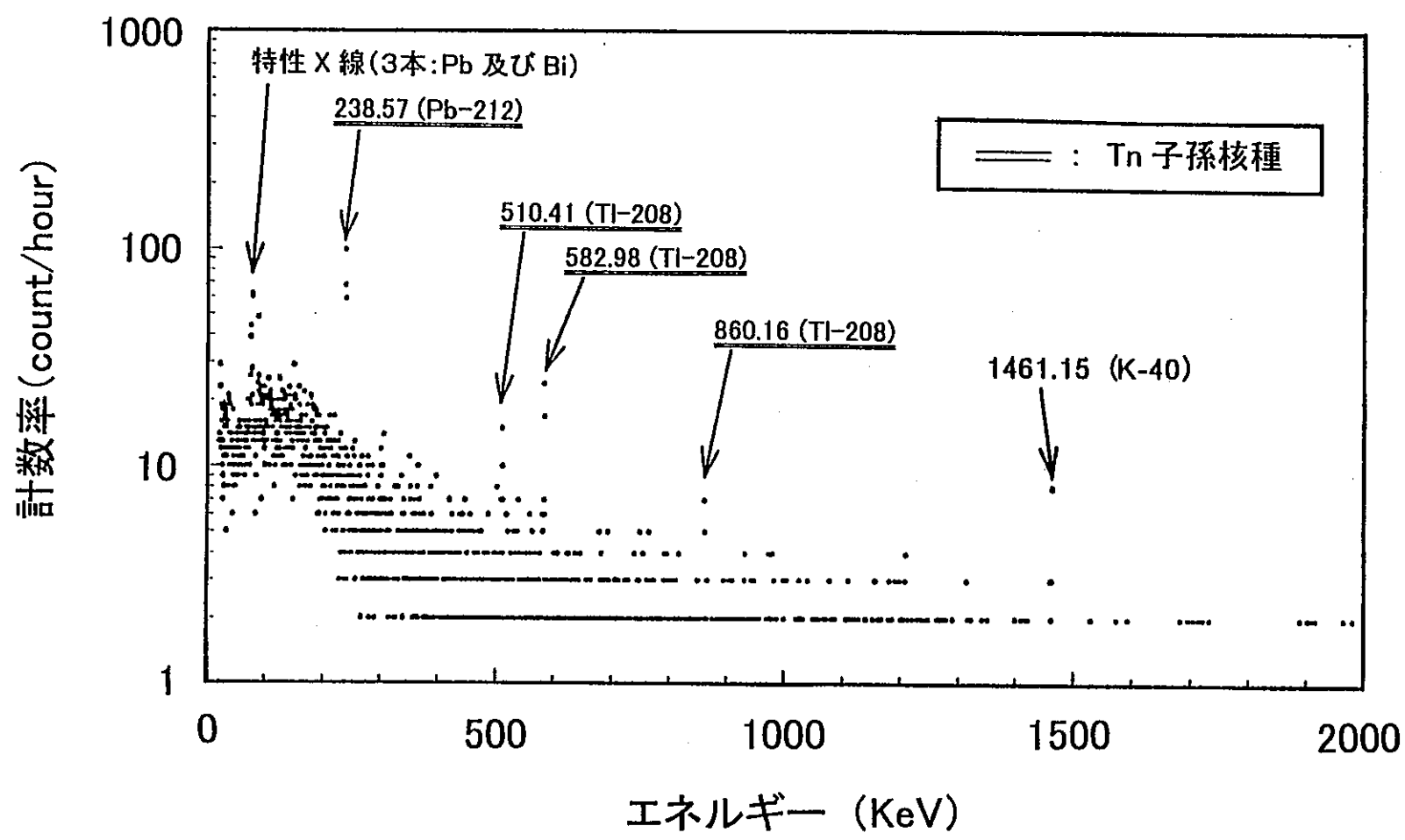


図 5-4 (1) 排気ろ紙の γ 線核種分析結果

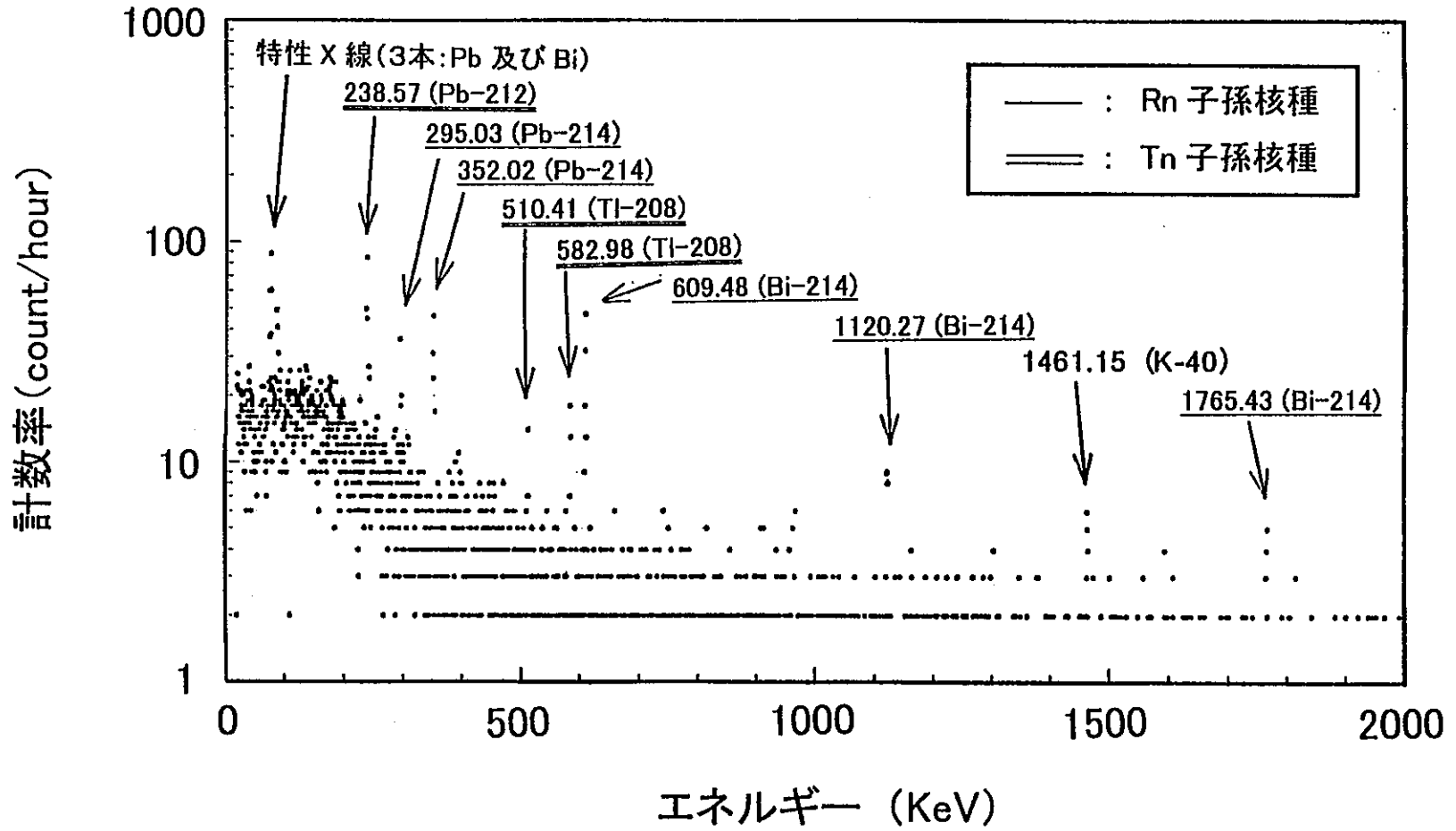


図 5-4 (2) エアスニファろ紙の γ 線核種分析結果