

HIGH SENSITIVITY DETECTION OF ASBESTOS BY USING ELECTRON LINEAR ACCELERATOR

Ryoichi Taniguchi¹, Norio Ito, Takao Kojima and Shuichi Okuda
Radiation Research Center, Osaka Prefecture University
1-2 Gakuen-cho, Naka-ku, Sakai, Osaka, 599-8570

Abstract

High sensitivity detection methods of asbestos have been studied by the use of the electron linear accelerator. The asbestos contain U and Th for the minor components. The activities of them can be enhanced with the photo-nuclear reaction of U and Th by the irradiation of high energy X-ray. The experimental results show that the magnification of the activities was extremely sensitive to the energy of the X-ray. On the whole, the method would be prospective for the high sensitivity detection method of asbestos.

電子線形加速器を用いた超高感度アスベスト検出法の検討

1. はじめに

アスベストは耐久性、耐熱性にすぐれ、近年まで建築材をはじめ様々な用途で使用されてきた。しかし、石綿肺、中皮腫など有害性が指摘され社会問題化し、現在では製造、使用がほとんど禁止されている。ところが、古い建築物等には、まだ、かなりの量のアスベストが残留していると言われ、解体、改築等での大きな問題となっている。そのため、我々のグループは、新たな検出法として、アスベスト中に含まれる自然放射線に注目し、その放射線の測定によって、アスベストを非破壊的に検知することを試みている。

放射線は自然界に広範に存在し、あらゆる材料中に放射性物質は含まれている。それらは、大きく分けて、カリウムの同位体であるカリウム 40 から放出されるものと、ウラン、トリウムから放出されるものに分類され、この両者で、自然放射線の9割以上を占める。前者はアルカリ金属で、生物体あるいは、それに由来する材料に多く見られ、後者は土類金属と言われる元素であり、土や岩石に多く見られる。図1は、身の回りに広く存在する材料中の放射線の強さを、横軸にウラン・トリウムの強度の対数、縦軸にカリウム 40 の強度の対数をとって、2次元的に表示したものである。精製された材料で、カリウムも土類元素も含まない高純度材料の自然放射線は低レベルであり、図の左下に分布する。人体、食物、木材などの生物由来の材料中にはカリウムが多く含まれ、土類元素が乏しいことから図の左上に分布する。また、岩石、土壌などは、土類元素を多く含むことから、図の右側に分布するが、成分の違いが大きく、図の中央部に広く分布する。アスベストは岩石の一種であることからウラン・トリウムを多く含む。我々は、いくつかのアスベスト試料の自然

放射線の測定を行った。結果を図1に黒丸で示す^{1),2)}。図のように、アスベストの自然放射線レベルは、かなり高く、図中に示す土壌、あるいは石綿の母岩でもある、かんらん石などより1桁程度高いレベルとなっている。元来、アスベストは、かんらん石、角閃石等の造岩鉱物が熱水変成をうけて含水の繊維状鉱物になったものである。その成因から考えると、熱水鉱床で産出されるレキ青ウラン鉱石などと同様に土類元素である天然放射性核種（ウラン、トリウム）を集積し、放射性物質をその母岩よりも多く含むようになったものと考えられる。これを利用すれば、自然放射線を利用したアスベストの非破壊検出法が可能となると考えられる。

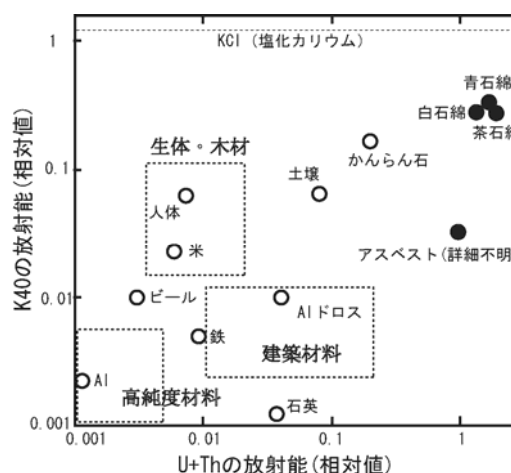


図1 各種材料中の自然放射線

2. 放射線によるアスベスト検出

アスベスト中の自然放射線は極めて微弱であり、そのまま測定することは、検出器の感度、測定時

¹ tan@riast.osakafu-u.ac.jp

間の関係から見ても現実的ではない。そのため、高エネルギー X 線を照射し、アスベストに含まれる微量のウラン・トリウムからの放射線を増幅する方法の検討を行った。

高エネルギー X 線を照射することによって引き起こされる核反応を、光核反応と総称するが、このうち今回の放射線増幅に寄与するものとしては、(a)光核分裂反応、(b)光中性子放出反応(γ, n)がある。(a)の反応は U,Th 等の超重元素に特有のものである。また(b)の反応は図 2 に示すように、しきい値反応であり、軽元素の場合十数 MeV 以下の X 線では反応しないのに対して、ウラン等では数 MeV で反応を起こす。このため入射電子ビームのエネルギーを適当に選択することによって、U,Th の放射線のみを増幅し、その他の物質の放射化をほとんど無視できるようにすることができると考えられる。また、これらの放射線を画像化し、アスベストの繊維構造が識別できるようになれば、さらに強力な検出法となる。天然繊維、人工繊維で、ウラン、トリウムを多く含むものは皆無に近いことから、画像検査によって、極端に言えばアスベスト 1 本の検出も可能となる。このことを念頭におき、本研究でも、照射したサンプルの放射線画像の撮像を試みた。

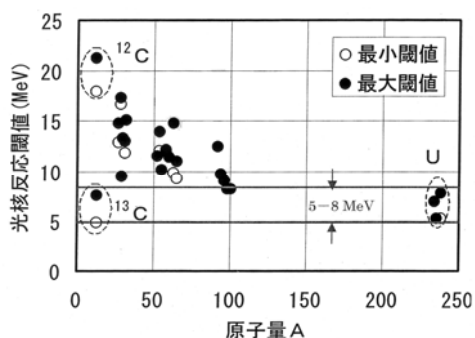


図 2 光核反応のしきい値

3. 電子線照射実験

実験では第一に、試料に高エネルギーの X 線を照射して、放射線を増幅する方法を検討した。図 3、図 4 に実験体系を示す。実験には大阪府立大学放射線研究センターに設置されている電子線形加速器を用いた。図 3 のように取り出された電子ビームは、厚さ 1mm の金ターゲットに入射し、ここで制動 X 線に変換され、後方に設置した試料を照射する。実験では、アスベストと同程度のウラン・トリウムを含む耐火レンガの粉末を 10g 含む試料を用い、一定時間照射した後、Ge 半導体検出器で残留放射線を測定した。

図 5 に、実験結果の一例を示す。図は、10.5MeV の電子線を金ターゲットに照射し、取り出された制動 X 線を前述の耐火レンガの粉末に照射したものである。縦軸は放射線の増幅度、横軸は経過時間を

示している。図のように、照射直後は、放射線量が大きく増加する(光核分裂)。核分裂生成物は短寿命の核種が大半であることから、この値は時間の経過とともに、しだいに減少し、光中性子反応の値に落ち着いたものと解釈できる。

光核分裂成分に関して、図 6、図 7 により詳しい結果を示す。図の横軸は経過時間を対数で示し、縦軸は、照射による放射線の増幅度を対数で示している。また、この値は照射電子ビームの電流値で規格化している。図のように照射直後は、11.5MeV の場合、放射線の値が 70 倍程度増幅されているが、時間とともに減衰している。これは光核分裂の生成物によるものと考えられるが、図のように、電子線エネルギーに極めて敏感である。10.5MeV に比べて数倍の増加が見られた。一方、照射時間に関しては、図 7 のように、20 分程度の照射時間で十分であることが分かる。

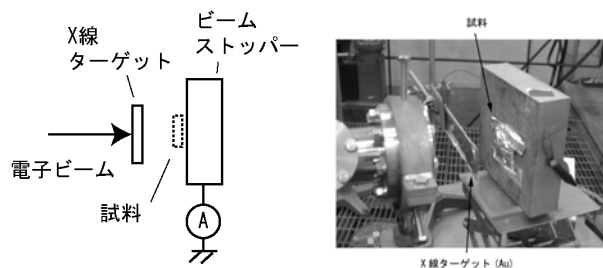


図 3 照射実験体系

図 4 実験体系の外観

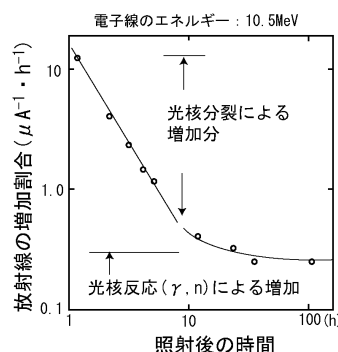


図 5 U,Th を含む試料の X 線照射による放射線の増加

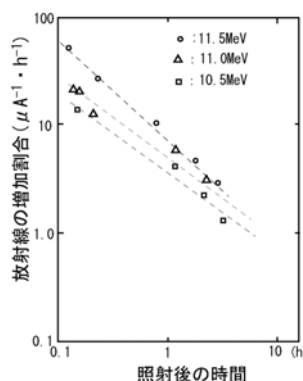


図 6 放射線増幅度の変化

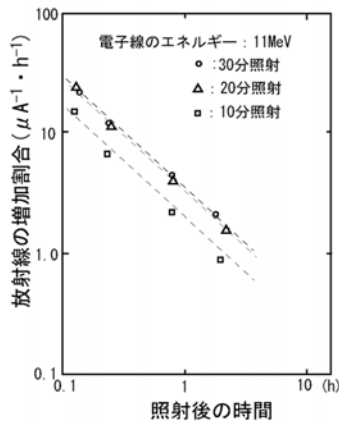


図7 照射時間を変化させた場合の変化

4. 放射線画像の撮影

放射線画像の測定には、イメージングプレート (IP) を用いた。IP は高感度であり、位置分解能も $100\mu\text{m}$ 程度あることから、アスベストの繊維構造の識別能力があると考えられる。ただし、IP を長時間露光する場合、フェーディング (潜像退行) という現象があり、長時間露光に明確な限界があった。そのため IP を数日以上露光することは稀であるが、本研究の対象は微弱であることから、最初に長時間露光法の検討を行い、その上で、アスベスト模擬試料の放射線画像の撮像を行った。

4.1 IP の長時間露光法の開発

図8に、IP の長時間露光実験の体系を示す。実験は、常温保存、低温保存、低温保存かつ鉄板で遮へい、低温保存かつ鉛板と鉄板で遮へい、の4つの条件で行った。低温で長時間照射、保存した場合、フェーディングは軽減されるが環境放射線の影響によるカブリの影響が懸念されることから、このような実験による評価を行ったものである。図9に結果を示す。図の横軸は保存時間を対数で示している。縦軸はIP のカブリの量を示している。IP は保存しているだけでも自然放射線によるカブリを受ける。一方、カブリそのものもフェーディングにより減少することから、常温保存よりも低温保存の方がカブリの影響が大きい。図では、この2つのカーブが、ある時点から急に立ち上がっているように見えるが、これはIP の読み出し装置に低レベル応答をカットする機能がある影響によるものである。

図のように、低温保存のデータは常温保存の半分程度の時間でカーブが立ち上がっている。このことは逆に低温保存の方が、フェーディングを抑えて常温に比べて2倍近く実効的な感度が向上していることを意味している。次に、遮へい付のデータ (と) を見てみると、その効果が明確に現れている。しかも、1mm の鉄板程度の簡単な遮へいであって

も、その効果は絶大であった。これらの結果をもとに、試作した低温照射装置を図10に示す。これは図8の条件の遮へいを持った10段の棚を冷蔵庫内に設置したものである。以下の画像実験では本装置を用いてIPの照射を行った。

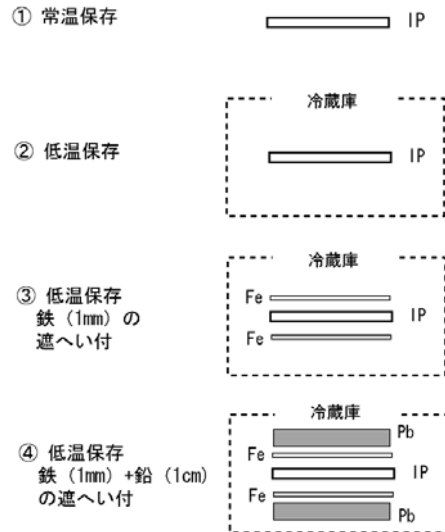


図8 IP の露光条件

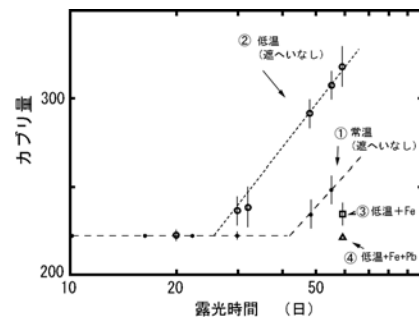


図9 IP の長時間露光特性



図10 試作した低温照射装置

4.2 IP を用いたアスベスト模擬試料の撮像

放射線画像の実験体系を図11に示す。実験は図3と同様の体系を用い、図13で示すように粉末

を樹脂で固定した平板状の模擬試料を X 線ターゲットに密着させて行った。照射時の電子ビームのプロフィールを図 12 に示す。このようなビームであることから、照射された部分は試料の一部 (7mm 程度) である。図 14、図 15、図 16 に照射によって得られた画像の例を示す。これらの画像は、平板状試料を図 11 の体系で一定時間照射した後、アルミ製のカセット内で IP と密着させ、図 10 の体系で長期間低温露光し、その後 IP 読み出し装置で画像化したものである。図 16 に示すように、照射をしない場合、放射線パターンが現れるのは、通常 40 日から 50 日の低温露光が必要である。これに対して X 線で照射した部分は図 14、図 15 で示すように、これよりも短い期間で画像化されている。約 53 日間露光した図 16 の場合でも、照射された部分は他の領域よりも濃く現れている。また電子ビーム照射

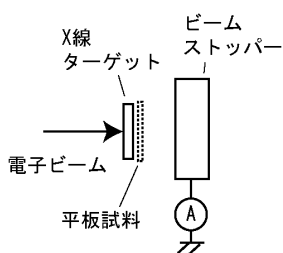


図 11 放射線画像実験体系

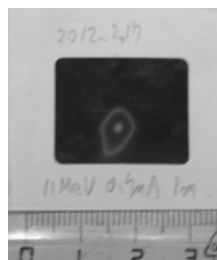


図 12 電子ビーム形状



図 13 平板状模擬試料の例(111mg)

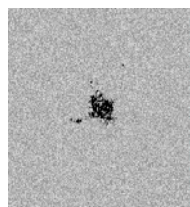


図 14 照射画像 1
10.5MeV、0.6 μ A、
10 分照射、34 日間露光

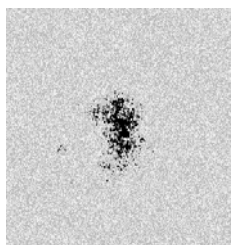


図 15 照射画像 2
11MeV、0.7 μ A
20 分照射、24 日間露光

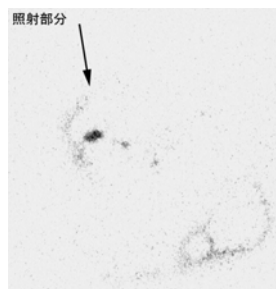


図 16 照射画像 3
11MeV、0.7 μ A
20 分照射、53 日間露光

条件の検討の項で示したように、高エネルギー照射の図 15 の画像は、図 14 よりも優れており、短時間で、より明確な像が得られていることが分かる。

5. まとめ

今回の結果から、

IP の低温照射は有効であり、
電子線エネルギーはできるだけ高い方が良く、
照射時間は 20 分程度で十分である、

ことが明らかとなった。放射線画像測定には、結局 3 週間以上の露光時間を要した。この場合、放射線の増幅には、光核分裂成分と (γ 、n) 反応成分の両方を利用していることになる。光核分裂成分のみで画像化が可能になれば、この期間は数時間に短縮可能となる。

以上のように、X 線照射によって誘起される光核分裂生成物による放射線成分は、数時間程度で減衰するが、11MeV 前後の照射によって数十倍増幅できることが明らかとなった。この値はエネルギーに敏感であり、0.5MeV 程度の変化でも増幅度に数倍の変化を及ぼす。また照射時間は 20 分程度で十分であることも明らかとなった。一方、放射線画像の測定は、イメージングプレート (IP) の低温、低バック照射環境を整備して行った。X 線照射アスベスト模擬試料の放射線画像測定は 3 週間程度の露光が必要であり、空間分解能が不十分なことから繊維構造の弁別には至っていないが、今後有望な測定手段であることが明らかとなった。

本研究の一部は、科学技術振興機構平成 23 年度研究成果展開支援プログラムによるものである。

参考文献

- [1] 谷口良一、小嶋崇夫、奥田修一、"アスベスト中の自然放射線の測定"、原子力学会 2006 年秋の大会予稿集 F33(2006)
- [2] 谷口良一、小嶋崇夫、奥田修一、"放射線を利用したアスベストの高感度非破壊検知法"、非破壊検査協会平成 18 年秋季講演大会概要集 (2006) pp73-74