技術論文

レーザー誘起蛍光顕微分光法によるアスベストの識別

大 図 章^{®1}, 江坂 文孝¹, 安田健一郎¹

蛍光顕微分光分析によるアスベスト粒子（クリソタイル）の同定，識別計測を目的として，顕微鏡観察下での紫外域のレーザー照射によるアスベスト粒子とその代替建材粒子（グラスウール）の蛍光特性を調査した。その結果，顕微鏡で観測される各粒子の蛍光寿命と蛍光量においてクリソタイルとグラスウールと間に顕著な差異が観測された。これら蛍光特性の差異を蛍光顕微分析に利用することによってアスベスト粒子をアスベスト以外の建材粒子と識別して同定できることが分かった。

1 緒 言

レーザー誘起蛍光分光法（LIFS：Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy）は，現在様々な学術，産業分野で物質，生物等の分析に広く使用されており，物質識別の一つの有効な手段として活用されている¹⁾²⁾。特に，生化学，バイオ分野での生体，非生体試料からの蛍光を観察する蛍光顕微鏡技術の進展は近年著しい。アスベスト {クリソタイル：蛇紋石 $[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]}$ } も有意な蛍光を発することから，近年，これを出発材料とした蛍光体の合成の取り組みもなされている³⁾。しかしながら，アスベスト計測には位相差あるいは偏光を用いた顕微鏡が標準分析計測法として現在幅広く使用され，目視観察による人為誤差等，様々な計測にかかわる問題点が指摘されてはいるが，LIFSをアスベストの識別，同定に適用した顕微鏡による計測技術はこれまで確立されてこなかった^{4)~7)}。

顕微鏡観察下で数ミクロン程度の微小なアスベスト粒子から光照射によって発生する生の蛍光は非常に微弱であるため，検出が難しくなると予想される。しかし，光源に尖頭値の高いパルスレーザーを用いれば高い照射強度が得られ，通常のランプ光源を用いる場合に比べて高い強度の蛍光の発生が期待でき，検出も比較的容易になると考えられる。更に，数ナノ（ 10^{-9} ）秒程度のパルス幅のパルスレーザーを用いれば蛍光寿命の精度の高い計測も期待できる。

このため，著者らはレーザー誘起蛍光によるアスベストの識別計測を目的として，5種類（クリソタイル，クロシドライト，アモサイト，トレモライト，及びアンソフィライト）のアスベスト，及びアスベスト代替繊維建材であるグラスウール，ロックウール，及び非繊維建材のタルク，石膏等のバルク試料からのレーザー誘起蛍光スペクトルを

調査した⁸⁾⁹⁾。その結果，アスベストの種類間及びアスベストと他の建材試料との間にはレーザー誘起蛍光の特性（スペクトル形状，蛍光寿命，蛍光量）に顕著な差異が存在することを突き止めた。また，スペクトル形状，蛍光寿命，及び蛍光量の差異をそれぞれ数値化してアスベスト識別を行う手法として，二つの離れた波長間の強度比，蛍光の減衰比，及び単位面積当たりの蛍光量比の三つの比較法が有効であることを示した。更に，これらの比較法を利用した光学顕微鏡観察下でのアスベスト識別法を検討，提案してきた。前報⁹⁾では，バルク試料を用いた分光試験で蛍光特性を調査し，取得した分光データをもとに蛍光を利用した識別法を提案したが，バルク試料で得られた蛍光特性が実際の顕微鏡観察でも同様の特性を有するかまでは確認できなかった。

今回，著者らは，レーザー誘起蛍光によるアスベスト識別法を光学顕微鏡で実現する次のステップとして，LIFSを光学顕微鏡に適用した蛍光顕微鏡を構築し，バルク分光試験結果をもとに蛍光顕微鏡での粒子識別試験を実施した。サンプル試料として，最も多く使用されてきた代表的なアスベストであるクリソタイル粒子とその代替建材試料としてやはり多く使用されているグラスウール粒子を用いた。蛍光によりそれら粒子を可視化画像計測してそれらの蛍光特性を調査し，バルク試料を用いた LIFS 分光試験結果（バルク分光試験）⁹⁾と比較した。

本報では，それら比較試験結果と蛍光の減衰比と単位面積当たりの蛍光量比を組み合わせた顕微鏡でのレーザー誘起蛍光を用いる実用的なアスベスト識別法について報告する。

2 実 験

Fig. 1 に構築した蛍光顕微鏡装置の概念図を示す。装置は，(a) パルスレーザー装置，(g) 光学顕微鏡及び (i) イメー

¹ 日本原子力研究開発機構：319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

Fig. 1 A schematic diagram of the experimental setup.

ジインテンシファイヤ付 CCD (I.I.CCD: Image Intensified CCD, C7265S: 浜松ホトニクス製) カメラで構成される。使用した (a) レーザー装置は、Q スイッチ Nd:YAG レーザー (Polaris III: ニューウェーブリサーチ製) で、波長 266 nm、レーザーパルス出力 ~ 3 mJ、パルス幅 ~ 4 ns (半値幅) の (b) レーザーパルスを繰り返し数 10 Hz で発生させる。(g) 光学顕微鏡は、市販の対物レンズ (M Plan APO: ミットヨ製) と顕微鏡部品等を組み合わせた自作のものを使用した。画像検出器として高速ゲート露出機能付の (i) I.I.CCD カメラを用いた。レーザーパルスと I.I.CCD のゲート開始時間の同期及びレーザーパルスに対するゲートの遅延時間は、(k) 遅延パルス発生器 (DG-535: SRS 製) によって制御されている。

(d) サンプル試料は、クリソタイル粒子及びグラスウール粒子の少量を紫外域 (200 $\sim$ 400 nm) に良好な透過特性 ($>90\%$) を有する (c) 石英スライドガラスに封入したものを使用した。(b) レーザーパルスは、(d) サンプル表面に浅い角度 (<30 度) で入射され、(c) の中のクリソタイル又はグラスウール粒子から発生した (e) レーザー誘起蛍光は、サンプル表面の鉛直方向に設置された (g) 対物レンズに導かれて (i) I.I.CCD カメラで画像計測される。顕微鏡にはサンプル表面からの (f) レーザー散乱光を除外するためにカットオフ波長 363.8 nm の (h) ローパス光学フィルター (Edge Filter) が使用された。

レーザー照射によって発生する蛍光量は、光検出器のゲート時間幅 (t_g) をレーザー照射直後より約 200 ns として、その露出時間幅内で発生した (e) レーザー誘起蛍光を (j) 計測用 PC で 100 個加算平均した粒子画像の輝度から計測した。蛍光減衰比の測定試験では、(h) ローパス光学フィルターを波長 540 nm 付近を透過するバンドパスフィルター (干渉フィルター) に交換して t_g を 5 ns とした。減衰比は、レーザー照射直後の粒子の蛍光量 (輝度) を基準

Fig. 2 Optical micrograph of a chrysotile (asbestos) and glass wool (building material) particle using laser-induced fluorescence.

にしてゲート露出開始時間をレーザーパルスに対して順次遅延させることにより、経過 (遅延) 時間 Δt_d に対する画像の輝度 (蛍光量計測と同様に 100 個加算平均) から求めた。

3 結果と考察

3.1 蛍光量による識別

Fig. 2 に長さ数 100 ミクロン程度のクリソタイルとグラスウール粒子をレーザー誘起蛍光で可視化した画像を示す。これらの粒子は、一つのスライドガラス内にクリソタイルとグラスウール粒子の両方を封入したサンプル粒子群にレーザー光を照射し、それら粒子から発生する蛍光を画像計測したものである。このとき、I.I.CCD カメラの t_g をレーザー照射直後より 200 ns と設定し、波長約 363.8 nm 以上の可視域の蛍光を積算して可視化した。

画像中の二つの粒子は、その輝度 (蛍光量) によって容易に識別できた。画像に示すように右の粒子は左の粒子よりも非常に明るく写っており、その粒子の中心部の輝度を計測したところ右の粒子は左の粒子よりも数十倍高かった。画像解析により、この画像でのそれぞれの粒子画像での単位面積当りの蛍光量比 (粒子の蛍光量/粒子面積の平均値, t_g : 200 ns) を比較したところ、右の粒子は左の粒子の約 23 倍であった。これは、前報⁹⁾のバルク分光試験 (t_g = 200 ns) でのクリソタイルに対するグラスウールの蛍光量比の値 (27 倍) に相当する値である。この数値の差により図中左の粒子はクリソタイル、右はグラスウールと識別することができるが、念のためにクリソタイルとグラスウール粒子を別々のスライドガラスに封入したサンプルを用いてそれぞれの粒子の輝度を個別に計測した。その結果、Fig. 2 の結果と同様の蛍光量比が観察され、上述の識別結果が正しいことを確認することができた。

顕微鏡観察試験での単位面積当りの蛍光量は、バルク分光試験よりも約 15% 程度低い値となった。その差は、それぞれの試験で用いた分光装置（光学素子、カメラ）の装置関数（波長に対する透過率、感度等）の差によるものと考えられる。レーザー散乱光を除外するための（h）ローパス光学フィルター（Edge Filter）はバルク分光試験及び今回の顕微鏡試験でも同一のものを使用した。他の光学素子や光検出器は同様の特性を持つものではなかった。バルク分光試験では試料で発生した蛍光の分光器への導入に紫外域の透過特性（ $>98\%$: 400 nm）の良い光ファイバーを用い、かつ検出器の ICCD カメラも紫外域（ <450 ）の感度特性が良いものであった。それに対して、今回の顕微鏡試験では、使用した対物レンズの紫外域（400 nm）での透過率は低く約 50% であり、かつ用いた ICCD カメラは赤外域（600~800 nm）に高い感度を有するものであった。バルク試料を用いた分光試験で求めた蛍光量比は、蛍光スペクトルを波長 350 から 700 nm にかけて積算した値であり、厳密には波長 700 nm 以上の蛍光量は加算されていない。バルク分光試験では、紫外域に感度が高い計測系を使用し、反対に顕微鏡試験では赤外域に感度が高い計測系を使用した。この差が顕微鏡試験で単位面積当りの蛍光量比が 15% 程度低い値となった理由と考えられる。

紫外線照射により発光するアスベストやガラス物質等の鉱物は蛍光体としての機能を有する。蛍光体の母体は、ほぼ透明（結晶）な物質であり絶縁物である。その中に不純物原子や格子欠陥を中心とする局在的な部分が紫外線などの光を吸収すると高い電子エネルギー状態に励起され、励起された電子はある一定の確率でそのエネルギーを何らかの形で放出して、再度低いエネルギー状態に戻る。そのときエネルギーを光として放出する過程で蛍光を発する。発生する蛍光の特性（蛍光波長、強度等）は、この不純物の濃度や種類、不純物イオンの配位構造、及び結晶構造などに依存する。アスベストは不純物金属として Mg, Fe, Na 等を含むが、ガラスウールは更に Al, Ca, B, Ba, Ti, Zn 等の多種類の元素を含む。クリソタイルとガラスウールの蛍光寿命、蛍光量の差は、これら不純物金属元素の種類数とその濃度、及び母材の光の吸収、透過率等の差に起因するものと考えられる。

アスベストとガラスウールの各々の蛍光量子収率（蛍光の光子数/蛍光体に吸収された励起光の光子数）は、実測していないので不明である。また、これに関する報告例も著者らの知る限りない。アスベスト及びガラスウールと同類の母材のケイ酸塩系の代表的な蛍光体（ $\text{Zn}_2\text{SiO}_4:\text{Mn}^{2+}$ ）⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ の量子収率（ ~ 0.7 ）を参考にすると、アスベストとガラスウールの量子収率は 0.7 程度と推定される。しかし、その蛍光体は、ケイ酸塩に人工的に遷移金属元素 Mn を添加し、成分調整されて開発された蛍光体の中でも

高い量子収率を有するもので、蛍光ランプに実用化されてきたものである。これに対して、クリソタイルは合成蛍光体の母材として着目されてはきたが、ガラスウールとともに蛍光体として着目された実績がない。このため、アスベストとガラスウールの実際の量子収率は 0.7 よりもかなり低いと考えられる。

今回の顕微鏡試験でバルク分光試験時に観測された値に相当する蛍光量比が同様に確認された。これにより、バルク分光試験の結果をもとに提案した単位面積当たりの蛍光量比の比較によるアスベスト識別法は顕微鏡でも有効であることが示された。また、前報で予想したように、実際にバルク分光試験と実際の粒子を観察する顕微鏡システムから得られるそれぞれの蛍光量比には、装置関数が異なるためずれが生じた。このため、レーザー誘起蛍光法を顕微鏡システムに適用し単位面積あたりの蛍光量比を用いたアスベスト識別法を実用化する場合には、蛍光量比による識別誤差を可能な限り低減させるために実際に使用する顕微鏡システムで校正した蛍光量比を使用すべきことが今回の試験で確認できた。

3.2 蛍光減衰比による識別

上記の単位面積当りの蛍光量比による識別では、使用する計測器、光学素子の波長に対する装置関数（透過率、感度等）がすべて同一でないためバルク試料での分光試験と実際の顕微鏡で観測される蛍光量比にはわずかな違いが発生する。一方、蛍光の減衰比はそれらの装置関数には関係なくバルク試料を用いた分光試験と顕微鏡での計測する蛍光の減衰比は一致すると考えられる。

Fig. 2 の粒子画像が見える状態状態で t_g を 5 ns とし、更に顕微鏡のローパスフィルターを波長 540 nm のバンドパスフィルターに交換してレーザー照射直後からの経過時間 Δt_d を増やしたときの粒子の蛍光の減衰比を計測した。その結果を分光試験で得られた結果（波長 540 nm での減衰比）とともに Fig. 3 に示す。顕微鏡試験での減衰比は、Fig. 2 の蛍光画像の各粒子の明るい部分の $10 \times 10 \mu\text{m}$ の複数の領域の輝度を平均したものから算出した。図に示すようにバルク分光試験と顕微鏡試験のほぼ減衰比はほぼ一致し、顕微鏡観察でもバルク分光試験での結果をもとに減衰比でアスベストを識別できることが確認できた。経過時間 10、又は 15 ns 以上のクリソタイル及びガラスウールの蛍光画像の輝度は検出限界以下となったため算出することはできなかったが、それら以下ではバルク試験の結果とほぼ同じ値となった。また、別の波長域（450 nm）での減衰比を計測したところ波長 540 nm の場合と同様に顕微鏡試験とバルク分光試験の減衰比が一致した。これにより、クリソタイルやガラスウール以外の他のアスベストや建材試料の顕微鏡での減衰比もバルク分光試験時の減衰比と同様に

Fig. 3 Comparison of the decay ratio of the fluorescence intensity at 540 nm between the results of the spectroscopic study using bulk samples and those of the microscopic study.

なることが予想され、顕微鏡でのアスベスト識別の有効な手法として使用できることが分かった。

3.3 蛍光量と蛍光減衰比を組み合わせた識別法

上記顕微鏡試験により、バルク分光試験で予測したように顕微鏡観察においても蛍光量比あるいは蛍光減衰比を用いることによってアスベストを他の建材試料と識別して同定できることが確認できた。蛍光量比でアスベストを実際に識別する方法は、粒子の明暗の差が大きい場合には簡単に粒子を識別できる。しかし、明暗の差が小さい場合には顕微鏡画像中の粒子の蛍光量を積算して単位面積当りの蛍光量を画像解析によりPC上で算出する処理作業が必要になる。また、使用する光学素子、検出器の波長に対する透過率、感度等の装置関数の影響を受けやすく、数値で識別する場合、蛍光の減衰比を用いる場合よりも精度が低くなる恐れがある。一方、減衰比を用いる場合には、精度よく識別するために複数の経過時間で減衰比の比較ポイントを増やすために経過時間を長くして減衰比を計測する必要がある。しかし、実際に顕微鏡である任意の波長域の蛍光減衰比を計測すると、経過時間が20 ns以上では粒子からの蛍光輝度が検出器の限界以下となるため計測が困難となる恐れがある。蛍光量比及び減衰比を実際に単独で光学顕微鏡に適用する場合には、このような計測にかかわる問題が共に存在する。このため、これらの問題点を考慮して、レーザー誘起蛍光によるアスベスト識別法を実際の光学顕微鏡に適用する場合により精度よくアスベストを識別する方法として蛍光量比と減衰比を組み合わせた識別法を検討した。

Fig. 2に示した蛍光画像は、波長363.8 nm以上の蛍光を露出時間 t_g を200 nsと長く設定した場合である。減衰比を

Fig. 4 Decay curves of the total fluorescence of five types of asbestos (chrysotile, crocidolite, amosite, tremolite, and anthophyllite) over the wavelength region from 350 to 700 nm.

Fig. 5 Decay curves of the total fluorescence of five types of building materials (glass wool, rock wool, rock fiber, talc, plaster, and cement) over the wavelength region from 350 to 700 nm.

計測するために t_g を5 ns、あるいはそれ以下にすると、Fig. 2よりもっと暗い粒子画像となる。経過時間 Δt_d を長くして画像計測すると、画像中の粒子画像は粒子を構成する各物質の蛍光特性（蛍光寿命）に従って明暗の差が Δt_d に依存し変化、減少する。仮に、波長363.8 nm以上の全蛍光量の減衰比を指標とすれば、単一の波長域の蛍光量よりも大きな信号強度が得られるため経過時間を長くしても減衰比を精度よく計測できると期待される。Fig. 4, 5に、 t_g を5 nsに設定して計測したアスベスト5種類と6種類の建材試料のバルク分光試験結果での時間分解蛍光スペクトルを波長350～700 nmの範囲で積算して得られた単位面積当りの全蛍光量のレーザー照射直後の値を基準にした減衰比をそれぞれ示す。

Fig. 6 Relative decay curves of the total fluorescence of five types of asbestos over the wavelength region from 350 to 700 nm.

アスベストでは、 Δt_d が 15 ns 以下では種類間の減衰比の差は最低と最大で 2 倍程度であるが、経過時間が長くなるにつれて差は大きくなり 100 ns では 6 倍となる。 Δt_d が 50 ns 以上では、アモサイトとトレモライト以外はほぼ同様な減衰曲線となることが分かった。また、 Δt_d が 25 ns 付近では、アスベスト種類間で減衰比がそれぞれ異なっており、この経過時間の減衰比でアスベストの種類を同定することが可能となる。しかし、それ以外の経過時間では減衰比がアスベストの種類によって多数重なっているところがあり、アスベスト種類間の完全な識別は難しくなる。一方、建材試料の場合は、各試料間の減衰曲線のばらつきがアスベスト種類間の場合よりも大きく、 Δt_d が 100 ns では減衰比の差はグラスウールとロックファイバーで 100 倍近くになる。Fig. 4 と Fig. 5 を比較すると Δt_d が 10, 15, 35 ns でアスベストと建材試料間が明確に判別できることが分かる。 Δt_d が 10 ns の場合、アスベストの 5 種類の減衰比は 0.18~0.065 の範囲にあり、この範囲に減衰率を有する建材試料は無い。また、 Δt_d が 15 と 35 ns の場合でもアスベストと建材試料間で同じ減衰比を有するものは無く、それらの経過時間の減衰比でアスベストと建材試料の識別が可能である。この方法でアスベストの種類まで識別するには、まず Δt_d が 10, 15, 35 ns のいずれかで、アスベストと建材試料の識別を行い、次に Δt_d を 25 ns に設定してそのときの減衰比でアスベストの種類を同定するという手順となる。しかしながら、数値間の差が小さいので減衰比の高精度な測定が必要となる。

更に、単位面積当りの蛍光量と減衰比を組み合わせる方法で比較する数値の差を更に拡大させる方法として、Fig. 4, 5 のように Δt_d が 0 ns の蛍光量比を基準にして 1 とすることなく、クリソタイルの単位面積当りの蛍光量を基準

Fig. 7 Relative decay curves of the total fluorescence of five types of building materials over the wavelength region from 350 to 700 nm.

とした相対的な単位面積当りの蛍光量の減衰比で比較する方法を検討した。

Fig. 4, 5 を相対的な単位面積当りの蛍光量比の減衰比で書き直すと、それぞれ Fig. 6, 7 になる。Fig. 6 と 7 を比較すると、アスベストの減衰比はセメントを除く他の建材試料よりも低い値を示した。セメントは、他の建材試料よりも 1~2 桁低い数値となっており、アスベストのトレモライトに近い値を示した。経過時間 20 ns 以下を見ると、アスベスト種類間で減衰比の値が重なるものがないので、この経過時間の減衰比でアスベストを個別に識別できることが分かる。一方、建材試料では、経過時間 20 ns 以下では減衰比が建材試料同士で相互に重なりあうものがあるが、アスベストのものは重なりあうものがない。よって、この経過時間内の減衰比でアスベストの種類間や建材試料との正確な識別が可能となる。相対的な単位面積当りの蛍光量の減衰比を用いれば、このようにアスベスト種類間、及びアスベストと建材試料間の減衰比の差が顕著になり容易にアスベストを識別できることが分かった。

3.4 実用化への展望

今回の試験により顕微鏡観察下でレーザー誘起蛍光を用いてアスベストを他の建材試料から識別できる目途がついた。蛍光量あるいは減衰比等の数値によって識別できるため、従来の目視による位相差、偏光顕微鏡による識別よりも精度よくアスベストを同定できると考えられる。本方法は、従来の顕微鏡にすぐに適用可能であるので、早期の実用化が期待される。実用化に当たって蛍光画像から蛍光量あるいは減衰比等を数値化するための画像解析ソフトの開発や紫外域のパルスレーザー、高感度のカメラが必要になる。試料の作成に関しては、標本試料は通常の位相差ある

いは偏光顕微鏡での標本作成と同様の手順で準備したものを使用できる。しかし、分散染色法による位相差顕微鏡の場合と比較すると使用する分散浸液の調整が必要ないのでむしろ簡単になると考えられる。蛍光量比を用いて識別する場合には、蛍光量比は計測システムの装置関数の影響を受けるので上述したように構築した顕微鏡システムでの校正試験が必須となる。

更に、今回建材試料として用いたグラスウールは人造の鉱物繊維であり、アスベストと形態的に類似しているためその安全性が近年調査され始め、アスベストと同様な健康影響の存在が示唆されている¹²⁾。本識別法は、ここで示したようにアスベストのみならず鉱物繊維であるグラスウール、あるいは天然素材のロックウール、ロックファイバーも精度よく識別できるものである。このため、アスベスト同様にグラスウール等の人造鉱物繊維の環境調査が将来義務付けられたときの有効な手段としても役立てられる可能性がある。

4 結 言

光学顕微鏡の観察下でレーザー誘起蛍光によってクリソタイルとグラスウール粒子を同時に可視化計測し、その蛍光画像より蛍光減衰比と蛍光量の特性を調査した。その結果、蛍光減衰比と蛍光量比はバルク試料を用いた分光試験結果とほぼ一致し、これらの比の数値を用いて顕微鏡観察でアスベストを識別できることを実証した。また、蛍光量の計測には、使用する光学素子又は機器によって波長に対する透過率、感度等の特性が異なるため、それらを考慮して蛍光量比を計測する必要があることを示した。更に、実

際に顕微鏡観察で検出されるアスベスト粒子からの蛍光が微弱であることを考慮して、蛍光減衰比と単位面積当りの蛍光量比を組み合わせたアスベスト識別法を提案した。

今回の試験によって、レーザー誘起蛍光による顕微鏡での数値によるアスベスト識別又は同定が可能であることが示された。アスベストが3種類から6種類に義務付けられた現在、アスベスト計測の迅速化と高精度を達成する一つの方法として顕微鏡による本識別法の利用が期待される。

文 献

- 1) 小泉英明, 神山 勉, 木下一彦, 成田一夫: “分光技術ハンドブック”, 南 茂夫, 合志陽一編集, p. 164 (1999), (朝倉書店).
- 2) 西川泰治, 平木敬三: “蛍光・りん光分析法”, (1987), (共立出版).
- 3) 今成裕一郎, 野々川貴志, 三好潤一, 戸田健司, 上松和義, 佐藤峰夫, 小菅勝典, 西須佳宏, 小林幹夫: *J. Ceram. Soc. Japan*, **111**, 151 (2003).
- 4) 瀬山春彦: “アスベストの新分析法に関する研究”, (1993), (国立環境研究所研究報告 131 号).
- 5) 神山宣彦: *Eurozoru Kenkyu*, **23**, 21 (2008).
- 6) 榎並正樹: 岩石鉱物科学, **35**, 11 (2006).
- 7) 佐々木一弘, 中倉隆雄, 藤巻宏和: *ぶんせき*, **2007**, 177.
- 8) A. Ohzu, F. Esaka, K. Yasuda: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **48**, 042303 (2009).
- 9) 大図 章, 江坂文孝, 安田健一郎: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **58**, 569 (2009).
- 10) 蛍光体同学会編: “蛍光体ハンドブック”, 第1版, (1987), (オーム社).
- 11) 堀込 純, 和久井隆行, 白崎俊浩: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **58**, 553 (2009).
- 12) 田崎和江, 朝田隆二, 渡邊弘明, 白木康一: 岩石鉱物科学, **35**, 22 (2006).

Identification of Asbestos by Laser-Induced Fluorescence Microscopy

Akira OHZU¹, Fumitaka ESAKA¹ and Kenichiro YASUDA¹

¹ Japan Atomic Energy Agency, 2-4, Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1195

(Received 5 August 2010, Accepted 18 October 2010)

Microscopic studies on laser-induced fluorescence emitted from asbestos (chrysotile) and a building material (glass-wool: an alternative material for asbestos) fibrous particle excited by a ultra-violet (266 nm) laser, have been conducted in an attempt to discriminating asbestos from the other materials. Significant differences in the decay ratio and intensity of the fluorescence were observed between those fibrous particles. The result obtained in this experiment shows that microscopic analysis using the difference in the fluorescence characteristics can be useful for identifying asbestos particles from other building materials under a microscope.

Keywords : laser-induced fluorescence ; asbestos ; glass wool ; identification ; microscope.