

機関番号：52301

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20310049

研究課題名 (和文)

レーザー照射によるアスベスト無害化の基礎的研究

研究課題名 (英文)

Fundamental research to make asbestos harmless by laser irradiation

研究代表者

小島 昭 (KOJIMA AKIRA)

群馬工業高等専門学校・特命教授

研究者番号：40042593

研究成果の概要 (和文)：

レーザー照射によるアスベスト含有物の溶融分解処理を試み、各種レーザー光源と連続照射・パルス照射を比較し、安価なCO₂レーザーのパルス照射型で処理が可能であることがわかった。種々の処理条件を50W出力の小型レーザー装置で検討し、小型装置であっても、スレートの厚さ6mmに近い、5mmを処理できる条件を見だし、処理部のSEM観察ではアスベストが残らないことを確認した。

研究成果の概要 (英文)：

We investigated decomposition of composites containing asbestos by melting using laser irradiation. Many laser sources were compared and continuous and pulsed irradiation were tested, and we discovered that pulsed irradiation from a low-cost CO₂ laser can be used for processing. Various processing conditions were investigated with a small laser system with 50W output. We found a condition that allows a small laser system to process 5mm-thick asbestos, which is close to 6mm, the thickness of a slate. Observation by SEM of the processed region confirmed removal of asbestos.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2009年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
総計	12,700,000	3,810,000	16,510,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学 ・ 環境技術・環境材料

キーワード：アスベスト、レーザーによる分解、スレートの迅速分解、アスベストの無害化

1. 研究開始当初の背景

本研究は、健康障害を引き起こすアスベストおよびそれを含む材料にレーザー光を照射し、アスベストを構成している化学結合を切断し、アスベストの繊維形態をガラスに、結晶をアモルファス状に変化することで、安全で安心な新しいアスベストの無害化技術をナノレベルで確立するとともに、実用的な技術に移行するための基礎的な検討を行う

ことである。

① 研究動向および位置づけ

アスベストの無害化は、非繊維化、非石棉化、無毒化であると申請者は定義している。環境省が定めるアスベストの無害化の定義は、「人の健康または生活環境に係わる被害が生じるおそれが無い性状」との曖昧な規程であることから、「無害」の解釈に差が見られている。

これまでに試みられたアスベストの分解方法は、(1)高温で熔融しガラス化する、(2)セメント複合材を焼成しセメント中のCa成分とアスベスト中のSi成分とでカルシウムケイ素酸化物を生成する、(3)低融点化合物を添加し熔融ガラス化する方法、(4)スラグ、ガラス等の融体にアスベストを熔融する方法、(5)アスベストを酸等の薬品で熔融分解する方法、(6)アスベストの微粉化による繊維形態の分解などである。しかし、いずれも実用化には距離のある方法であり、我が国に4200万トンあるアスベスト含有物質を分解する段階には達していない。このようにアスベストを分解し無害にする研究は、我が国ではほとんど実施されてないといえる。

申請者は、アスベスト問題が発生する2年前から研究を開始し、5年間にわたってアスベストの無害化の基礎研究を行ってきた。研究開始当初は、フロン分解物とアスベストを混合し約700℃に加熱するとアスベストの分解することを発見し、15年12月には特許出願した(特許3769569)。この現象を基盤に16年4月からは経済産業省地域コンソーシアム研究が始まった。これら応用研究とは別に、フロン分解物を構成している成分中の塩化カルシウムが重要な作用を果たすことを解明し、17年8月に特許を申請し、11月には特許が成立した(特許3747246)。この特許は、国民にとって重要であると国は判断し、これを実用化すべく科学技術振興機構は、19年3月に美濃窯業(株)に開発を委託した。さらに、アスベストは活性なカルシウムと加熱すると500℃以下で分解することを熱力学的計算から解明し、塩化カルシウムを少量添加することで、アスベストが融解し、分解速度が大となることをつきとめ論文5報にまとめた。また、16年3月には、非飛散性アスベスト建材の無害化の特許を出願した(特許3830492)。

環境省は、アスベストを高温に加熱し融解することが無害化であるとした。申請者は、高温に保持するには莫大なエネルギーが必要であり、この無害化は日本の国土にはなじまないと考えた。そこで、エネルギー消費量が少なく、迅速に融解する方法を種々検討し、19年6月アスベスト含有建材にレーザーを照射すると瞬時に分解し無害化できることを発見し、特許を出願した(特願2007-169456)。

②これまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯

アスベストを分解・融解する方法として、カルシウム化合物と加熱する方法を提案した。しかし、この方法は、固体-固体反応であり、加熱温度が800℃では1~2時間ほどの反応時間が必要であった。本研究申請者は、

アスベストおよびアスベストを含む建材を短時間、あるいは瞬時に融解する無害化ができないか鋭意研究を進めていた。試行錯誤を繰り返して、レーザー光をアスベストに照射すると、アスベストは瞬時に分解・熔融または蒸発し、無害化し、19年6月27日に特許を出願した。レーザーを照射したスレート板表面をSEMで観察した様子を写真1に示す(写真1)。熔融して球状になっている。この発明は、これまでの方法に比べて、簡便かつ迅速に行うことができる無害化方法である。

2. 研究の目的

これまでの研究成果を発展させる内容

本申請課題が発見したレーザーによるアスベストの迅速分解技術は、新聞、TVなどで紹介され、多くの期待と注目を集めた。しかし、詳細な内容、例えば分解条件や分解機構の解明はこれからである。アスベストを含有する建築材料は、レーザー光照射によって切断すると、切断面のアスベストが熔融・凝固し、切断面に、アスベストの大気中への飛散防止膜が形成された。破壊物体に対するレーザー光の照射形状は、点状、線状、面状、リング状など任意形状に制御することができ、最も効果的な形状でレーザー光を照射することが可能である。これらの点については、本研究で完成させる。

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

本研究の目的は、安全で、安心な、低温でのアスベストの非繊維化、非石綿化を実施するものである。本研究では、レーザー照射を用い、極めて短時間で無害化できる簡単な装置を開発する。

そこで、最適なレーザー光の選定、分解条件の検討(出力、間隔、スポットの直径、形状、時間など)を行う。そして、分解物を分析(アスベストの有無、SEM, TEM, XRDなど)し、非繊維化、非石綿化を検証し、分解機構を解明する。さらに、アスベスト繊維のレーザーによる融解状況をFE-SEMを用いて精密観察を行い、より詳細な分解メカニズムを解明する。この技術を実用化に結びつけるために、レーザーを照射する材料(吹き付けおよび、スレートなど)の種類と厚さなどに対応したレーザー出力と照射時間、および発生ガス、ミストの形態や性状などについても検討するが、厚さ6mmの一般的なスレート板の熔融分解条件の検討を中心とした。

3. 研究の方法

1)最適なレーザー光の選定

レーザーを発生する光の波長を選定す

る。レーザーの波長には、種々あるが、最も効果的で分解速度の高い、波長を選定する。

2) 照射装置の設計、試作

研究室で使用するレーザー照射装置を組み立てる。なお、レーザー照射装置は20年度に購入する。

3) レーザー照射条件の検討

レーザーの照射条件として、出力、試料と光源との間隔、焦点の大きさ（直径）、焦点の形状、照射時間などが。これら照射因子と、アスベストの分解状況との関係を検討し、分解物に最適な照射条件を選定する。

4) レーザー照射条件と無害化領域との関係把握

出力、間隔、レーザー光焦点の形状、焦点の面積とアスベストの無害化との関係を把握する。

5) レーザー照射条件と無害化速度との関係把握

出力、間隔、レーザー光焦点の形状、焦点の面積とアスベストの無害化速度との関係を把握。

6) レーザー照射条件と深さ方向での無害化領域の把握

出力、間隔、レーザー光焦点の形状、焦点の面積とアスベストの深さ方向での無害化状況を把握する。

7) レーザー照射時に発生する気体、ミスト、フュームの分析および観察

レーザー照射時に発生する気体があれば採取し、分析する。さらに、発生するミストやフュームの有無および形状を観察する。

8) 分解物の分析 (SEM, TEM, XRD など)

アスベストの分析は、走査型電子顕微鏡で観察する。さらに、分析機能付きのFE-SEMを用いて、より詳細に分解状況を観察し、非繊維化を確認する。またX線回折装置を用い、非石綿化を確認する。さらに、研究の進捗状況によっては、高分解能透過型顕微鏡を活用して、非石綿化、非繊維化を確認する。

9) アスベスト含有材料の種類によるアスベストの分解状況

アスベスト建材は、アスベストと他の補強材と複合化するのが一般的である。それに使用される補強材は、高融点をもつカルシウム化合物が主流を占めており、アスベストの融点よりも、さらに高温にしなければ全体を熔融することはできない。ない、複合材中のアスベストの含有量は、スレート材で15~20%、ケイ酸カルシウムで5~25%である。アスベスト含有建材は、1500℃程度に加熱すれば融解はできるが、補強剤の種類や含有量によっても差が見られる。

4. 研究成果

各種レーザーを用いてアスベストの熔融・ガラス化法を検討した。CO₂、半導体、エキシマレーザーなど各種レーザーの比較、連続波とパルス波の効果を比較した。CO₂レーザーの照射の様子と連続・パルス照射結果の比較を図1,2に示した。その結果、CO₂レーザーのパルス波が効果的であった。これらの結果を踏まえ、照射条件を変化させてスレートの熔融状況を検討した。

レーザー光の照射によって形成される溝の幅、すなわちレーザー光が照射された部位の周辺に加わるレーザー光の照射エネルギー量は、照射出力、照射速度および照射距離の影響を大きく受けた。

照射出力が大きいほど、照射速度が遅いほど、照射距離が焦点距離から外れるほど、レーザー光が照射された部位の周辺に加わるレーザー光の照射エネルギー量は多くなった。

レーザー光の照射によって形成される溝の深さ、すなわちレーザー光が照射された部位の深さ方向に加わるレーザー光の照射エネルギー量は、照射出力、照射速度、照射距離

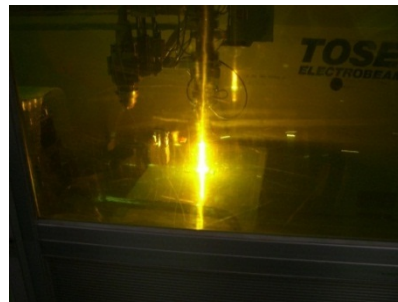


図1 CO₂ レーザー照射の様子

CO₂ 4kW 2秒 における連続波とパルス波の比較

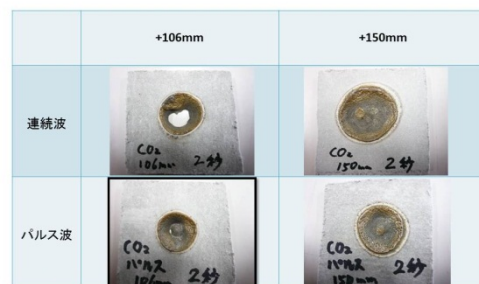


図2 CO₂ レーザーの照射例

および照射回数の影響を大きく受けた。照射出力が大きいほど、照射速度が遅いほど、照射距離が焦点距離に近いほど、照射回数が多いほど、レーザー光が照射された部位の深さ方向に加わるレーザー光の照射エネルギー量は大きくなった。また、レーザーパルスレ

トは、溝の幅および深さの両方に変化を与えないことから、供試体に加わるレーザー光の照射エネルギー量の変化に影響を及ぼさなかった。

本研究結果からレーザー光の照射出力、照射速度、照射距離および照射回数を適切に選択することにより、多様な形状、敷設状態のアスベストを含む物質に対して、アスベストを無害化することができた。本研究では、主にスレートを対象としたが、吹き付け材や織物などのアスベスト単体についてもレーザー照射技術によって無害化が可能であった。

レーザーを用いてアスベストの溶融・ガラス化法の検討から、CO₂レーザーによるパルス波が効果的であったことから、照射条件を変化させてスレートの溶融状況を検討した。レーザー光の照射によって形成される溝の幅、すなわちレーザー光が照射された部位の周辺に加わるレーザー光の照射エネルギー量は、照射出力、一定区間(1インチ)あたりの照射回数および照射口の移動速度の影響を大きく受けた。

照射出力が大きいほど、照射口移動速度が遅いほど、レーザー光が照射された部位の周辺に加わるレーザー照射エネルギーによる溶融は進が、一定距離あたりの照射回数には実験範囲内で差がなかった。これは、レーザーの照射口径と移動速度の関係で、レーザー照射面が連続したことによると思われた。また、レーザー光の照射によって形成される溝の深さ、レーザー光の照射エネルギー量は、照射出力、照射口移動速度、一定区間の照射回数で制御できることから、スレート面に1x1cm²の正方形を2個描いて、分解実験を行い、重量減少、照射面上の残存物、溶融物の観察を行った。また、6mm スレートの半分にあたる3mmの分解を行い、分解物のTEM観察、SEM-EDS観察を行ったが、溶融部からアスベストは認められなかった。

本テーマではレーザーを用いてアスベストの溶融・ガラス化法を検討し、効果的なレーザー光源、レーザーの連続照射・パルス照射、エネルギー量などを検討し、アスベスト溶融分解に有効照射条件を検討した。本年度は、レーザー照射によりアスベスト含有スレートの分解処理を試みた。スレート材に直接照射した場合は、レーザー装置の出力が小型(50W)であるため、1x1cmの面を走査して分解した場合は、溶融分解部分がスレート材の暑さの1/3~1/4程度までであった。図3にスレート板に1x1cmの面をレーザー照射で2個描いた様子、図4,5に処理面の溶融部SEM画像(50倍、10,000倍)を示した。

また、図3に示した溶融部の断面は、図6,7,8(50,250,10,000倍)のように気泡が見られた。高倍率での観察においてもアスベストは見られなかった。

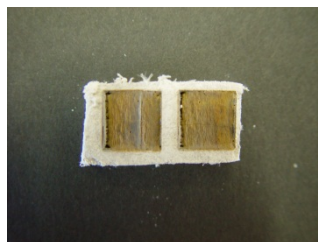


図3 スレート板に1x1cmの面をレーザー照射で2個描いた

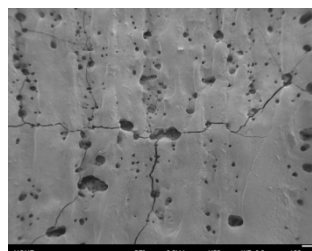


図4 レーザー照射による溶融面 SEM 画像 (50 倍)

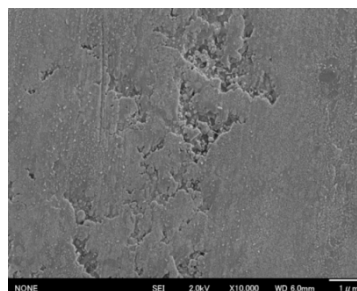


図5 レーザー照射による溶融面 SEM 画像 (10,000 倍)

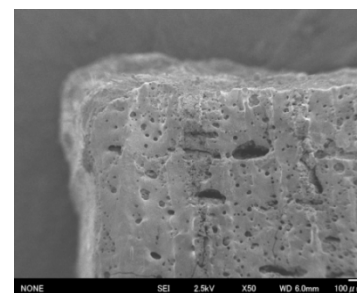


図6 溶融部断面の SEM 画像 (50 倍)

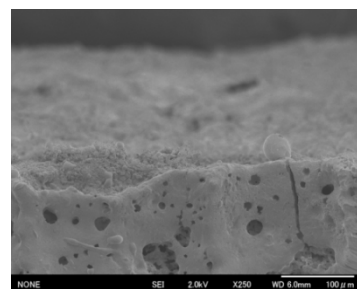


図7 溶融部断面 SEM 画像 (250 倍)

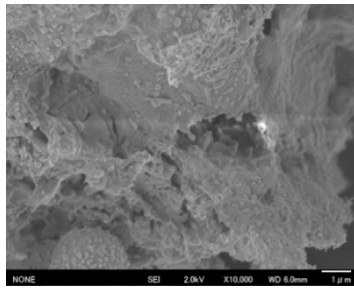


図 8 熔融部断面 SEM 画像 (10,000 倍)

処理された厚さの測定

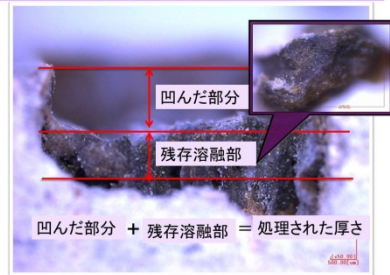


図 9 レーザー照射スレート板の断面

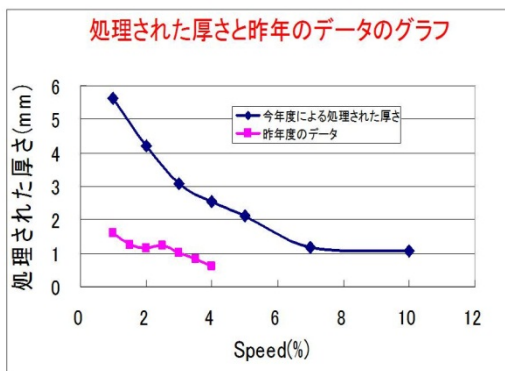


図 10 レーザー照射口移動速度 (speed) の変化とスレート板処理厚さ (深さ)

STEP 2 両面照射

非熔融部の観察

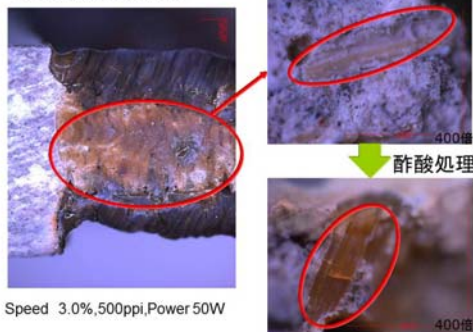


図 11 スレート板内の未処理部中のアスベスト由来繊維の確認

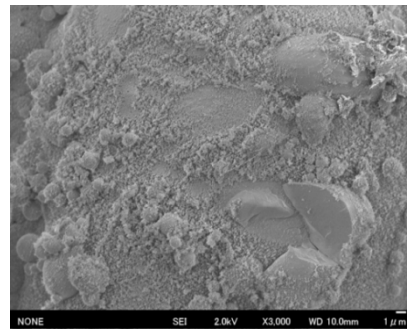


図 12 レーザー照射時の飛散粒子 01

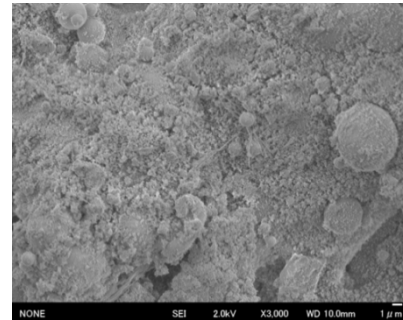


図 12 レーザー照射時の飛散粒子 01

スレートを直接レーザー処理した場合、スレート中の結晶水を含む水分の蒸発のためにエネルギーが費やされるため、550℃で前処理を行った。このことで、レーザーエネルギーが熔融処理用のエネルギーとなるようになったことから、10x20mm の熔融処理面に対してレーザー照射口を移動する走査条件でも6mmのスレート板をレーザーが一部貫通するように熔融分解が進行した。スレート板の内部は均一でないため、貫通する部分と止まってしまう部分があるが、裏表からのレーザー照射により、高速走査でもスレートの熔融分解が可能であることがわかった。図 9 に示すように、レーザー照射によるスレートの変化を熔融部、変色部に分け処理条件を比較し、図 10 に示した。非熔融部中には図 11 に示すようにアスベスト由来繊維が見られた。また、レーザー照射時のレンズ保護のための空気吹き出しによる熔融物飛散微粒子中には図 12, 13 に示すように、スレート表面付着のベスト繊維と見られるものが極希に観察された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 2 件)

- ① 小島昭、藤重昌生、アスベスト無害化 (上) 誕生したアスベスト無害化技術、「化学経済」、査読無、Vo1. 55、2008、70-75.
- ② 小島昭、藤重昌生、アスベスト無害化

(下)レーザーを用いたアスベスト無害化技術、「化学経済」、査読無、Vol. 55、2008、82-87.

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.chem.gunma-ct.ac.jp/inorg/kojima/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小島 昭 (KOJIMA AKIRA)

群馬工業高等専門学校・特任教授

研究者番号: 40042593

(2) 研究分担者

藤重 昌生 (FUJISHIGE MASAO)

群馬工業高等専門学校・物質工学科・准教授

研究者番号: 70218999