

進歩賞受賞記念



マイクロ波加熱による高速アスベスト無害化技術 ～高温材料プロセスにおけるマイクロ波加熱の応用例～

中部大学 工学部 檜村 京一郎

〒487-0025, 愛知県春日井市松本町 1200

kashimura@isc.chubu.ac.jp

1. はじめに

廃棄物処理問題において、「アスベスト含有材の迅速加熱」は重要な課題である。多くの専門家はアスベストの有毒性を古くより指摘してきたが、これが重要な課題と認識されるには 1960 年代まで待たなければならない。この時期には、米国、英国、南アフリカにて集団中皮種、悪性腫瘍が報告され、これらの健康被害がアスベスト由来である事が指摘された [1-3]。これらの事件をきっかけとし、アスベストの有毒性は重要な社会問題として認識されるようになった。我が国においても 1975 年に吹き付けアスベストの使用規制、2005 年には石綿 0.1% 以上を含む製品の出荷が原則禁止など、アスベスト代替及びそれに伴う法的整備は着実に進んでいる。このような背景を受け、現在のアスベスト問題は「アスベスト製品をどのような物質で代替するのか」から、「既に使用されたアスベスト材をどのように処理するのか」といった課題へと変遷してきた。

アスベストは、高温処理(法令上は 1500℃ の処理がとされる)を行うことでその毒性を除くことができる。しかし、アスベストを含む材料の温度を上げる事が極めて困難であるため、アスベスト無害化処理のコストは非常に高価である。それに対し、世界的に見ても既に出荷されているアスベスト含有物質製品の量は非常に多い。例えば、我が国における石綿含有建材の累積出荷量は、平成 15 年においては 4,300 万トンであり、

この多くは住宅屋根用化粧スレートをはじめとしてスレート板・瓦に用いられている [4]。これらの物質は高い断熱性を有しているため、その無害化高温処理には長時間の高温処理が必要となるが 1050℃ で加熱された「アスベスト含有物質は高い断熱性をもつため加熱が困難である事」が、アスベスト無害化プロセスの効率を大きく損ね、これが高価格に直結している。

アスベスト含有物質は従来の熱工学的な加熱アプローチに制限を加えている事(つまり、「粉碎処理」が適切でない事)も、無害化処理の低価格化への大きな障害となっている。従来の物質を対象とする場合であれば、対象物を砕いて粒子直径を小さくし、これにより熱供給を円滑にする方法がとられる。しかし、アスベスト含有物質の場合は「砕く」工程は二次飛散を生じ、アスベストの毒性を高めてしまう。そのため、「砕く」工程を省きつつ、アスベスト含有物質の内部まで迅速に加熱する技術が望まれる。

2. 無害化技術原理と無害化挙動 (ラボ試験)

2.1 アスベスト繊維のマイクロ波加熱挙動

マイクロ波により加熱が困難なアスベスト含有物質へ速やかに内部まで加熱する。この概念がマイクロ波加熱方式によるアスベスト無害化プロセスの要となる。この設計思想は、アスベスト無害化に対してマイクロ

波による特殊な効果を期待せず、学術的にまだ研究段階にある「マイクロ波効果」などの未知の効果がなくても、安定にプロセスを運用できる点で技術的な困難はほとんど生じない。しかも、本方式のアスベスト無害化処理は、マイクロ波にエネルギー供給能のみを期待しているだけではあるが、それにより既存プロセスよりも大幅なプロセス時間短縮を達成できる効果が得られる。

図 1 にクリソタイル(白石綿)含有セメントを試験体(10 g)としたマイクロ波照射実験における内部温度及び外部温度計測結果を示す。2.4kW マイクロ波照射における被加熱物質は、90 分の加熱で目的とする温度まで昇温し(700-1050 °C)、その後 90 分間保持した。図に示すとおり、内部と外部で異なる温度を示し、内部の方がおよそ 50°C 程度高い温度を示している。従来加熱では逆となるこの温度分布は、マイクロ波加熱が①内部まで迅速にエネルギーを供給すること、② アスベスト含有セメントが高い断熱性をもつことの 2 点の原因である。つまり、従来加熱では加熱が難しい被加熱物質の高い断熱性が、マイクロ波法では長所となることがこの測定からわかる。

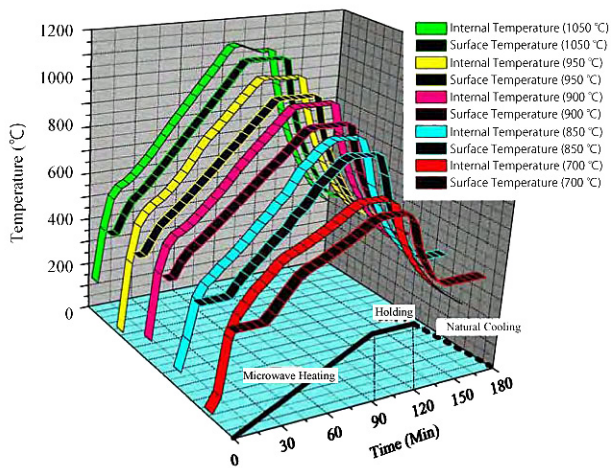


図 1 クリソタイル(白石綿)含有セメントを試験体(10 g)としたマイクロ波照射実験(2.4 kW)における内部温度及び外部温度計測結果

2.2 無害化処理後のアスベスト繊維数

図 2 に、JIS1481 に準拠して測定した残存アスベストの繊維数と保持温度と保持時間との関係を示す。クリソタイルは、高温下でマイクロ波を照射すると、分

解し始め、残存繊維数が温度に対し指数関数的に減少し、900°C以上の温度で検出できなくなる。これは X線回折法によって、結晶構造の解析を行うと、クリソタイル結晶構造中の結晶水がマイクロ波加熱により、400°C程度から徐々に脱水につれてピーク強度が低下し、さらに高温の 810~820°C程度からフォルステライト[Mg₂(SiO₄)]などに变化するためと考えられる。このように、マイクロ波処理では、通常の火炎や放電のように 1500°C以上の高温で熔融させなくても、900°C程度で結晶構造を変性させて無害化できる。これはマイクロ波加熱であるため低温で無害化できるという理解ではなく、「迅速なエネルギー供給が可能になるため必要以上にエネルギーを消費しない」という解釈が妥当である。

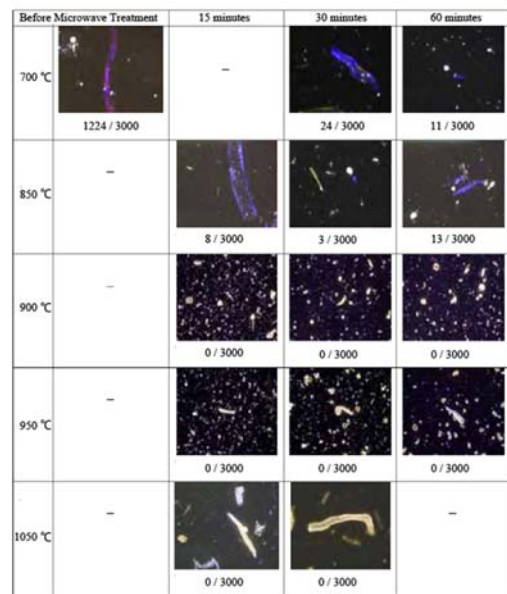


図 2 アスベスト含有材のマイクロ波無害化(ラボ試験)の温度 vs 繊維数結果。マイクロ波処理は表面温度 900°C以上でアスベスト繊維を完全無害化できる。

3. スケールアップ試験

一般的に、マイクロ波による加熱装置は小型であると言った特徴を有している。ゆえに、アスベスト無害化処理炉はこの特徴を継承し、可搬性を有する。アスベスト無害化は1日 2ton の処理能までスケールアップする事が可能であり、阪神淡路大震災、東日本大震災のような有事において重要な意味を持つ。図 3 は東日本大震災において生じたアスベスト含有スレート瓦

の写真とその位相差顕微鏡画像である。我が国では既に4,300万トンを超えるアスベスト含有物質が累積出荷されており、これは有事の際に瓦礫として突然出現する事になる。アスベストを含む物質はその輸送から規制されており、この処理設備への輸送は法令上の多くの手続きを必要とする。そのため、被災地におけるアスベスト問題は多くの時間・コストを要し、結果として、これが震災復興を妨げる要因となりえる。特に、東日本大震災においては放射性物質が拡散しており、現在、放射性廃棄物、アスベスト含有物質共にその廃棄が規制され、それぞれ基準を満たした廃棄物のみが許可される。そのため、アスベスト規制、放射性規制を共に満たした廃棄手続きは大きな困難を伴う。このようなケースでは、小型・可搬なマイクロ波無害化設備を用いることで、この法令上の困難を回避できるだけでなく、円滑・迅速で現地瓦礫処理に着手する事が可能となるので、この事例としてスケールアップ研究を紹介したい。

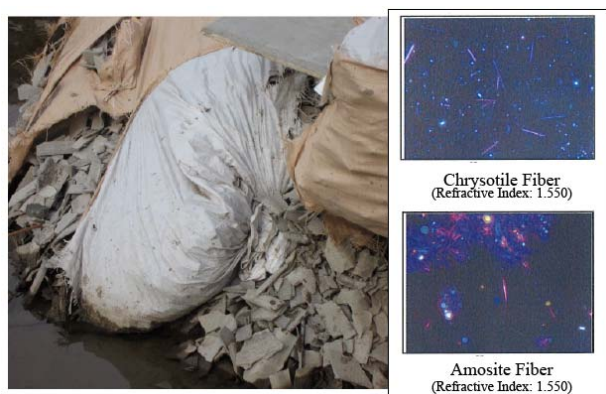


図3 東日本大震災において採取された非飛散性アスベストを含むスレート瓦。これまで搬出されたアスベスト建材は有事の際に突然出現し、震災復興を妨げる要因となる。この特徴は、東日本大震災時においても観測された。

小型・可搬である優位性を示す一例として、東日本大震災起因震災瓦礫の処理設備を紹介したい。この設備はマイクロ波方式によるアスベスト無害化処理技術の持つ二つの特徴（緊急対応性、迅速性）が、震災起因の瓦礫処理に極めて有効である事を実証した。この試験設備は、前段燃焼炉（木質瓦礫処理設備）、アスベスト処理装置および排ガス処理装置（高温集塵機）

を直列（カスケード）に接続している。前段燃焼炉では、木質系瓦礫を燃焼させて減量を計ると共に、その高温燃焼ガスをアスベスト処理装置の雰囲気温度制御と炉壁加熱の熱源として使用する（図4）。アスベスト処理装置にスクリー式両羽供給機を通して、強化スレート瓦礫を投入する。マイクロ波と高温燃焼ガスの複合的加熱によってアスベストの結晶を変性させて無害化する。高温集塵機は、排ガス中に含まれる粉塵を取り除くために設けられている。右端に示す煙突の直前に設置した吸引送風機によって、炉内を負圧に保ち、燃焼ガス、瓦礫からの粉塵が外部に漏れ出さない設計になっている。この設計の基で、東北地方に緊急設置されたマイクロ波方式アスベスト無害化処理は木質瓦礫・アスベスト含有スレート瓦をおよそ5 ton/day 処理できる能力を持ち、キルンの一行程20分の送り時間においてアスベスト繊維数0の完全無害化を達成した（アスベスト含有瓦処理量: 40kg/hour, 80kg/hour においての業績値, 図5-6）。また、この可搬性に主眼をおいた研究として、車載型アスベスト無害化装置が提案されている。既に述べたようにマイクロ波加熱装置の有する軽量性を活かせば、中型トラックに処理設備を組み込む事が可能である。アスベストはその回収、輸送、廃棄に至るまで多くの法令手続き・人員を必要とする事を鑑みれば、輸送・廃棄基準を満たすように廃棄物成型を行う事ができる本方式は大きな優位性を持つ。



図4 東北地方に緊急設置されたマイクロ波方式アスベスト無害化処理。この試験では、処理施設として津波により無人となった校舎を利用している。

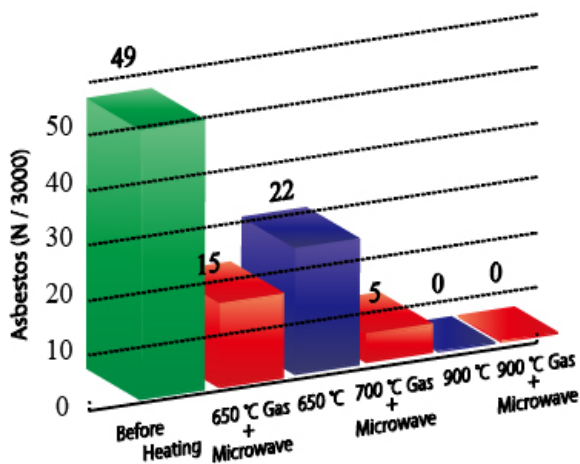


図5 建造されたアスベスト無害化システム分解能試験結果（40 kg / hour 処理におけるアスベスト含有スレート処理）。40kg / hour でスレート瓦を処理した場合、900℃以上でアスベスト無害化が確認できる。

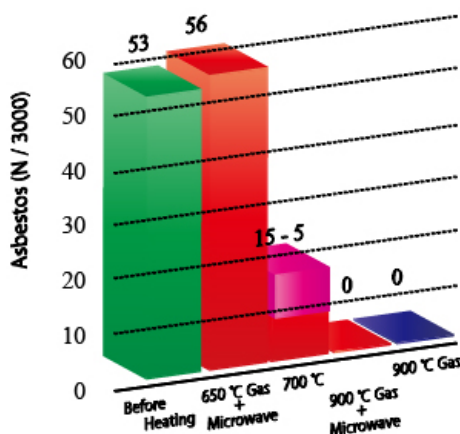


図6 建造されたアスベスト無害化システム分解能試験結果（80 kg / hour 処理におけるアスベスト含有スレート処理）。アスベスト含有スレート瓦の処理量を倍加しても、900℃以上でアスベスト無害化が確認できる。

4. おわりに

マイクロ波をアスベスト含有スレート瓦に作用させると、迅速にその内部まで無害化することができる。我が国では既に 4,300 万トンを超えるアスベスト含有物質が累積出荷されており、これは有事の際に瓦礫として突然出現する。マイクロ波加熱技術を用いれば、解体現場や災害被災地で生じた有害物質をその場で無

害化でき、輸送の制約やアスベスト暴露の危険を回避が期待されている。また、この可搬性に主眼をおいた研究として、車載型アスベスト無害化装置が提案されている。本稿では、同技術の研究事例を紹介し、我が国におけるスケールアップ試験の現状を紹介した。また、近年明らかになってきたマイクロ波法による無害化メカニズムの研究事例を紹介した。本稿がマイクロ波加熱技術の発展とその応用展開の一助となることを心から望む。

- [1] J. C. Wagner, C. A. Sleggs, and Paul Marchand: Diffuse Pleural Mesothelioma and Asbestos Exposure in the North Western Cape Province, *Brit. J. industr. Med.*, 17 (1960) 260 - 271.
- [2] Muriel L. Newhouse and Hilda Thompson: Mesothelioma of Pleura and Peritoneum Following Exposure to Asbestos in the London Area, *Brit. J. industr. Med.*, 22 (1965) 261 - 269.
- [3] I. J. Selikoff, M.D., and E. C. Hammond: Environmental Epidemiology. 3. Community Effects of Nonoccupational Environmental Asbestos Exposure, *American Journal of Public Health*, Vol. 58, No. 9 (1968) 1658 - 1666
- [4] (社)日本石綿協会資料, H15.12. 1
- [5] *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste* (2014) 04014041-1-5