

復興技術 マイクロ波で アスベスト処理

堀越 智

1. はじめに

東日本大震災が発生してから3年が経過した。発生当時に比べ震災に対するニュースや報道は著しく減り、震災当時のことを思い出す人は少なくなっている。筆者は震災が発生した直後の2011年4月に東京理科大学から上智大学へ移動し、物不足の中で多くの方々の協力によって研究室の立ち上げを行うことができた。このことから、年の節目には必ず震災の頃を思い出す。また、本稿で解説するマイクロ波によるアスベストの処理装置は、津波すべてが流されてしまった被災地で実証実験を行ったため、慰靈祭などの行事にも参加させていただいた。テレビで見る被災地の状況とは違った災害の恐ろしさを目の当たりにした。

震災後、上智大学から多くの学生が被災地復旧のためのボランティアとして参加したが、私たちは科学技術の力で復興や未来の災害対策を行いたいと考え、環境省環境研究総合推進費（復興費）の下で、瓦礫に含まれるアスベストの迅速処理技術の開発を行った。プロジェクトメンバーは、京都大学（電波：篠原真毅、樺村京一郎）、東北大学（金属材料：吉川 昇）、中部大学（大型装置：佐藤元泰）、上智大学（化学・環境：堀越 智）で、各メンバーはマイクロ波化学の共通点を持っている。また、協力企業として日本スピンドル製造（株）、日工（株）、高砂工業（株）の技術的サポートにより開発を進めた（図1）。

2. マイクロ波

マイクロ波でアスベストの処理？と思われる読者もあると思うが、マイクロ波加熱は化学、材料、環境保全分野で有効的な技術であることが知られている。既存の加熱（燃焼、スチーム、電熱線など）は、試料の外から伝熱によって内へと徐々に温めていく、いわゆる外部加熱と呼ばれる方法であるが、マイクロ波加熱は容器や試料雰囲気を温めることなく試料が自己発熱することから内部加熱と呼ばれている。たとえば、電子レンジでお弁当を温めると、驚くぐらい早く食品（誘電体）だけが選択的に温まるが、お弁当の容器やレンジの庫内は全く温まらない。当たり前のように日常的に使っているが、この温めたいものだけを迅速に加熱する技術は、既存の熱源では達成することができない（図2）。



図1 プロジェクトメンバー 左から樺村・堀越・吉川・佐藤・篠原・木嶋（日本スピンドル製造（株））

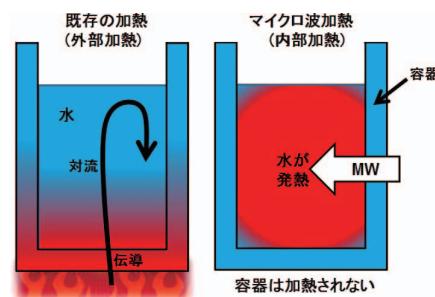


図2 既存加熱とマイクロ波加熱の熱移動イメージ

3. アスベストの処理

東日本大震災では地震による被害に加え、津波によって多くの家屋が倒壊し流された。この瓦礫には、法令で規定された有害物質が多数混入しており、復興作業に伴う瓦礫の処理の妨げになっている。特に、アスベスト（石綿）建材が津波によって大量の瓦礫の中に一色单となってしまい、震災瓦礫全体の処理スピードや経費を著しく悪化させた。アスベストにはいくつかの種類があるが、これら建材に含まれる主なアスベストの種類はクリソタイル ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) で、化学物質としては無害である。アスベストは耐久性、耐熱性、耐薬品性、電気絶縁性などに優れ、安価であることから、「奇跡の鉱物」としてさまざまな用途に使用されてきたが、1970年代頃から人体や環境への有害性が問題となり、我が国では2011年度から全廃することが進められている。アスベストは纖維状の鉱物で、その直径は $0.02\sim0.35\mu m$ （髪の毛の $1/5000$ ）程度である。したがって、これを大量に吸入すると肺癌や中皮腫の誘因となり、健康に大きな悪影響を与える。建材におけるアスベストの主な用途は、セメントや微粉けい石などの補強纖維として屋根用化粧石綿スレート（スレート瓦）に使用してきた（累積出荷量 4300万t）。これらのスレート瓦の処理は埋め立て処理も行われているが、埋め立て前に無害化はされていないため、未来に対する安心を確保しているわけではない。一方、

アスベストの無害化法として加熱溶解処理による形状変化が施設で行われているが、もともと断熱材や耐熱材として使われてきたアスベストを加熱処理することは、熱伝導性や加熱温度の観点から効率が非常に悪く、従来法では長時間の処理が必要である。

4. 実験室レベルでの実証実験

廃棄物中に含まれていたスレート瓦のSEM写真を以下に示す（図3）。アスベスト繊維状の表面には針状物が大量に吸着している様子が見てとれる。これをマイクロ波で900℃に加熱すると表面や内部には針状物がなくなり、溶解固化している様子が観測された。また、JIS A 1481の評価方法より、位相差・分散顕微鏡やX線回折分析からクリソタイルがマイクロ波処理で消失していることが確認された。一方、900℃の電気炉加熱を行った試料からは、クリソタイルの処理があまり進んでいないと判明した。既存法（電気炉）に比べマイクロ波

法では、より低温で迅速に処理できるとわかった。この理由として、廃棄物スレート瓦に対するマイクロ波（2.45GHz）の浸透深さ（マイクロ波出力が36.8%減衰する深さ）は4.0cmであり、スレート瓦を粉碎しなくても中心から自己発熱による溶解固化が進行するためである。一方、既存法では、アスベスト建材が保温性に優れていることから、表面のアスベスト繊維が溶解固化したとしても、内部まで溶解温度に達するには、更なる高温場で長時間加熱しなければならない。また、針状アスベストが数マイクロ以下で接近していると、マイクロ波の電場が集中してほかの成分との相乗効果からホットスポットが発生することが、電磁界シミュレーションの結果から予測されている。このような局所高温場の影響も、迅速にアスベストが処理できた理由と考えられる。

5. アスベスト含有廃棄物のオンラインサイト処理

本プロジェクトでは、宮城県閑上町にある閑上中学校跡地に全長は19メートル以上におよぶマイクロ波低温迅速アスベスト処理装置を時限設置し実証実験を行った（図4）。アスベスト含有廃棄物をロータリーキルン型マイクロ波炉内へ投入し、そこへマイクロ波を照射することで瓦礫の連続加熱処理を行った。既存のアスベスト処理工場では、160kgのアスベスト処理に1500℃以上の温度で10時間加熱する必要がある。

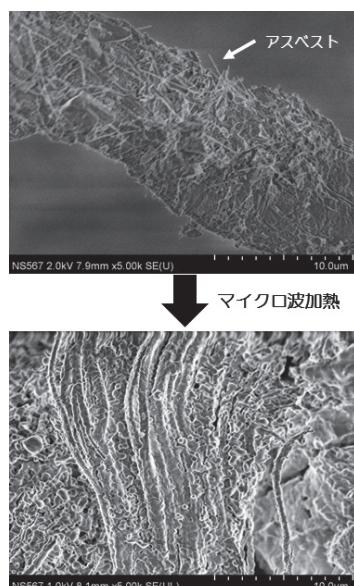


図3 未処理アスベスト（上）と
マイクロ波処理により溶解
したアスベスト（下）の
SEM画像



図4 マイクロ波迅速アスベスト含有廃棄物連続処理装置
(宮城県名取市閑上中学校廃校跡地で実地試験)

しかし、本装置ではロータリーキルン内を数十分間通過させることで、マイクロ波によるアスベスト含有廃棄物の連続無害化が可能であることが実地試験からわかった。また、処理温度を950℃に設定しても、アスベストを迅速に処理できるため、炉の寿命も長くなる利点がある。

本装置では復興地での利用を目的としていることから炉の後段に燃焼炉を接続し、木材瓦礫も同時に焼却できる装置構成になっている。この時、木材瓦礫の燃焼により発生した熱は、アスベスト処理炉に熱風として送り込み庫内の保熱の役割を担っている。現在、2t/日の処理を達成しており、処理後のスレート瓦のアスベストはほぼ法令基準以下に無害化できた。

本技術は国内外企業の視察やテレビ番組や新聞等で紹介され、この新しい処理装置の関心が高いことが示された。このシステムはトレーラーなどに積み、移動可能なサイズで、また他の廃棄物熱処理炉として応用することができることから、さまざまな現場において将来起こり得る災害に備える装置としても期待が高まる。古くて新しいマイクロ波加熱技術が社会的ニーズに合致する事例であったと言えるだろう。

謝 辞 この実験の成功は、京都大学、東北大学、上智大学の学生の協力と努力の賜物でもあったことを最後に記します。

■筆者紹介 堀越 智

兼務 日本電磁波エネルギー応用学会副理事長、材料技術研究協会理事、(独)科学技術振興機構研究成果最適展開支援プログラム専門委員、無機マテリアル学会編集委員、Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy エディター、Chemical Engineering エディター、東京理科大学客員准教授、東京学芸大学非常勤講師。
〔連絡先〕 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町7-1 上智大学理工学部物質生命理工学科
E-mail: horikosi@sophia.ac.jp URL <http://pweb.cc.sophia.ac.jp/horikosi/>

[投稿歓迎－編集委員会では「ほっと」spring欄への会員からの投稿を歓迎します。編集事務局までご一報ください。]