難処理有害物の非加熱・完全無害化^{*}
(明日の命を支える使命としての技術)○眞目 薫¹⁾、赤澤貴志²⁾、松尾辰也³⁾、齋藤文良⁴⁾、加納純也⁴⁾Complete detoxification process of harmful compounds
under nonheating mechanical condition
[Technology for new generation]○Kaoru Shimme¹⁾, Takashi Akazawa²⁾, Tatsuya Matsuo³⁾,
Fumio Saito⁴⁾, Junya Kano⁴⁾

はじめに

現在の豊かさは、やはり大量生産・大量消費が産んだ賜物であり、それを可能にした人間の欲望と、技術のひたむきで強力な支えがあったからである。

現在では誰もが眉をひそめるフロンやPCBでさえ、史上に登場した頃は世紀を代表する発明として迎えられ、実際に多くの産業に貢献を果たした。しかし、ただただ前進し続けた私たちの足元は、当時では思いもつかなかった結末として、人間が創り出した自然界では分解不可能な有害物質で満ち満ちてしまった。

もともと自然界は、何一つ無駄なく大いなる循環のもと、綿々と膨大な生態系を築き上げてきた。ただ人間のみが「より豊かに」をめざして、その「環」を破壊し、地球に消えない「毒」を浸透させてしまった。

現在は、その修復と代替物質の機能向上のために、「技術」を要として、人間の意識や行政の対応、企業のリスクやメリットの狭間で、前進と後退の境を振り子のように揺り動いている。

リサイクルとは何か。資源再生化の方向性を追って

リサイクルの真の意図は、無駄をなくすために単に形や用途を変えて再利用するだけではない。

日本ではモノの終着駅を「焼却」としてきた国の施策がある。従ってあらゆるモノには、焼却時に起こる反応が、安全か否かが基本的に問題視されねばならない。日本では一つの商品に、機能を優先させるために多くの異なる素材を組み合わせ、重金属を含む煩雑な添加物が

混入されている。現状では焼却場ばかりに有害物の課題が押しつけられがちであるが、モノの製造段階、そして次のチャンスであるリサイクル時にこそ、終着駅を見据えた無害化がしっかり図られ、いっどこでどんな形に変わろうと、どのように廃棄・焼却されようとも、分解を可能とする技術がそこに介在されなければならない。リサイクルが単にモノの形を変えるだけでは、有害物がグルグル市場を循環するだけで、さらに機能を取り戻すために添加物も混入されて、ますます危険度が増幅されていくにすぎない。

古紙のリサイクルに関してはインクの有害物をどう除去するかが問題とされるし、飛灰・焼却灰の溶融固化についても、有害物が水溶出ししない分析法のみを是とする、エコセメント固化法、ガラス固化法においては、有害物が封じ込められているにすぎないため、有害物は単に形を変えてどこかに存続することになる。これらの現状は、他に技術や方法があったとしても、一つには、つい最近まで誰も問題視しなかった有害化学物質の危険性が急に言及されて、その対処に行政がそこまで早急にリスクコストをかけられないで、「焼却費」を基準とした従来の相場でしか、技術の評価と、ことの重大さを受け止められない状況によることもある。

しかし分解されない残留性有害化学物質は、不触不見で気がつかないだけで、地球上のありとあらゆる生命を危険にさらし、さらにDNAに関与して、その子孫までを脅かす可能性を確実に秘めている。有史以来続いた食物連鎖体系において、空気や水は勿論、人が口にする食べ物に至るまで、私たちの首元までその汚染度は迫ってきている。

リサイクルにおいて、もう一つ忘れてはならない基本として、さらに挙げておきたいのは、リサイクルすることによって、原料となる資源自体の軽減が図られなければならないことだ。紙にしても木材パルプの輸入の制限、

*平成13年11月1日 本会第107回例会において発表

**1 住友金属工業株式会社

**2 住友重機械工業株式会社

**3 株式会社ヤマサキ

**4 東北大学多元物質科学研究所

平成13年8月28日受理

さらには森林伐採の減少が果たされなければ、バージン商品より手間もコストもかかるリサイクル品が市場に受け入れられるはずがない。これは加工国として他国より抜群に多い比率で多くの輸入原料に頼ってきた日本の、これからの国のあり方が問われる課題でもある。

難処理化合物の完全無害化に成功

我々の開発した無害化技術は、前記のような現実をふまえた上での研究開発である。従って、PCBやダイオキシン、農薬、またそれらによって汚染された土壌などの分解率も、環境基準を上回る、残留率ゼロを目指した。これは本技術の目標が難処理化合物の完全無害化だけが前提でなく、その後の資源再生に力を入れた結果である。従って、分析基準も行政指導内容も他技術と比較した場合も、評価は厳しく、市場評価としても「理想的な技術だが、完全無害化にかかるコストを、その分低減受注した方が得策だ」との指摘もある。第一「焼却」を前提とした日本のコスト試算では、いかに資源再生化が必要と称えても、現在は単なる付加価値としての対応しか見えてこない。しかし私達の開発では、完全無害化した処理後の粉末を水造粒(水和固化)して、安全な肥料等を添加し、生物に適用できる農業用土壌や魚礁材に再生できるというメリットがある。それも毒物の封じ込めでなく、完全に無害化するからこそその自信であり、自分たちの子孫が安心して口にする食物を育む、その基礎となる土壌へと変えることができる。

このメリット、「安心な」という言葉に変わるものはない、というのが私達の基本理念である。

MC技術の概要

MC(メカノケミカル/MC)法の原理は、非加熱で、常圧下、クローズドシステムにおいて、有害塩素化合物

から塩素を安全な組成の物質に変える(化学反応)、完全無害化の技術である。また、分解中には排気・排液を発生させることもなく、現地(オンサイト処理)で操作できるので、汚染物を移動させる必要もない。さらに、機械力で反応させるので、分解中もCO₂(燃焼ガス)は発生しない。非常にクリーンで安全なため、住宅地周辺での設営も可能である。

具体的に言えば、MC反応とは非加熱の粉碎操作で、機械エネルギーにより原体の結合を切断し、構造を変化させて活性化させることによって、強制的に固相反応を促進させるものである。その原理を図1に示す。つまりダイオキシンを例にとると、MC装置(図2)にダイオキシンに汚染された、土壌、飛灰あるいは焼却灰をCaO等の無害化剤とともに直接挿入し、これを微粉碎する。この時の機械エネルギーによってダイオキシンを構成する炭素-塩素結合等を切断する。分子構造において塩素が最も結合エネルギーが低く、原体から一番最初に離れるため、活性状態におかれる。この塩素は同時に添加されたCaOと結合(化学反応)し、CaOHC₂ClやCaCl₂となり、ダイオキシンは無害化される。

同様の原理で、PCB、PVC、農薬(錠剤、乳剤)等、従来、難処理といわれた物質が安全に、しかも低コスト(機械エネルギーのみ。添加物もCaO等の安価な土壌成分)で完全に無害化できる。

実証実験

[ダイオキシンの無害化]

200Kg規模の実証試験装置に、ダイオキシン 7,500pg-TEQ/gを含む土壌をCaOを主成分とする無害化剤とともに挿入し、MC処理を行った。その結果、8時間で99.8%、20時間で100%(毒性等量=0pg-TEQ/g)の完全無害化を達成した。(図3) この時、MC装置の回転数を増加させ

図1 メカノケミカル法による化学反応概要図

図2 MC装置の概要図

ると、処理時間の短縮ができる。

〔P C Bの無害化〕

200g規模の基礎実験装置に、P C B 60%を含むトランス油をCaOを主成分とする無害化剤、及び反応助剤とともに挿入し、M C処理を行った。その結果、2時間で、99.96%、8時間で、99.999%以上の無害化を達成した。(図4)

〔P V Cの脱塩素〕

実証実験装置に、P V CをCaOを主成分とする脱塩素剤とともに挿入し、M C処理を行った。その結果、27時間で99.3%、52時間で99.9%以上の脱塩素ができた。

(図5)

〔農薬の無害化〕

実証実験装置に、エンドリン21%を含む乳剤をCaOを主成分とする無害化剤とともに挿入し、M C処理を行った。その結果、2時間で99.96%、4時間では99.999%の無害化を達成した。(図6)

〔アスベストの無害化〕

実証実験装置に、アスベスト繊維をCaOを主成分とす

る無害化剤とともに挿入し、M C処理を行った。その結果、4時間のM C処理で、Mg-Si-O系(クリタイル)の有害な繊維は、1 μ m以下の、Ca-Al系、Ca-Al系及びMg-Al-Si系の組成をもつ粒状となり、無害化できた。(写真1)

また、汚染物を無害化する場合、M C以外の他技術では、原体(対象物)と木片、石、汚染物(布、紙、ビニール、ビン、缶など)等を選別し、処理する必要があったが、M C技術では分解プロセスの粉碎機能をフルに発揮し、一括同時分解処理ができる。紫外線にあたりボロボロになり、砂や土が付着して洗浄ができない農業用シートもそのままM C装置にかけられるので、実に実用的だ。

さらに、M C処理中の処理物の温度は最大でも100℃程度なので、脱塩素反応以外の副次反応が極めて起こりにくく、高毒性化合物の生成が防止できることも、安心(メリット)といえる。

図3 ダイオキシン類による汚染土壌の無害化実証実験

図5 PVCの脱塩素実証実験

図4 PCBの無害化実証実験

図6 エンドリンの無害化実証実験

写真1 アスベストの無害化実証実験

MC処理後の再資源化

(完全ゼロエミッションを目指して)

上述のように、脱塩素反応等により無害化したあとの粉末は有効な素材として再生できる。例えば、DXNs汚染土壌をMC処理で完全無害化した後の粉末は、水を添加するだけで土壌成分が水和固化反応を呈し、化学結合する。すなわち、微細土壌組成粉末が化学的に再結合し、コンクリート強度に匹敵する高強度素材[1,000Kgf/cm²(100MN/m²)以上]になり(図7)、コンクリートより養生期間も短い[約7日間]という特長生まれる。また無害化剤として添加したCaOはSiO₂やAl₂O₃等と結合し、外部に溶出するアルカリ量が少なく[pH=8.5~9](図7)、しかも焼成していないので、バクテリアが育成できる環境を呈し、植生や藻の育成に適した土壌に再生することができる。

さらに汚染土壌だけではなく、アスベストを分解して安全性のある素材に再生させたり(写真1)、高富栄養化や建設が問題視されているダムの浚渫土、赤土や火山灰等、超微粉粒子の土壌についても、これを、高強度・低アルカリ溶出素材として再生することができる。

浚渫土の場合には、微粉粒子を含むスラリーを高速乾燥し、微粉末状にしてMC処理を行い、処理後の粉末を作業環境の悪い山間の峡谷等から、パイプラインで気流輸送して、目的地で水和固化成型し、これを活用することができる。

一方、PCB、PVC、農薬、等は、MCでの脱塩素無害化後は、有機化合物と無機化合物に分離し、無機化合物は上述のように土壌として、あるいは高強度素材として活用し、有機化合物は塩素を含まない、炭化水素系の化合物として再生できる。これらの炭化水素系有機化合物は、燃料はもとより、リサイクル素材として有効に使いきれる。

このように、MC技術を活用すれば、有害物の残留率がゼロに極めて近いからこそ、廃棄物が生じず、真のゼ

図7 MC処理後の再生土壌の強度と溶出アルカリ量

ロエミッション化が可能なのである。さらにMC技術は適用範囲が広く、各業界での適用検討が既に始められ、MCの将来が期待されている。(図8)

まとめ

「After all tomorrow will be another day!」というのは、マーガレット・ミッチェルの「風とともに去りぬ」のスカレットオハラ、のあまりにも有名な言葉だ。「明日は明日の風が吹くのだ」と言って、すべてを失った失望のどん底で、キッと顔を上げて彼女はこの言葉を口にする。戦争があり、時代が流れ、希望も、愛する人もすべてをなくしたとしても、もし人間がそこから立ち直れるとしたら、「そこに自分を育ててくれた大地があるから」と、この作品は訴え続けてきた。

時や場所が変わっても、やはり人間がこれからも生き続けていくためには、かつて私達が享受してきた、安全で安心な母の懐のような豊かな自然がそのよりどころとなることに全く変わりはない。これをなくして次代の私達にいったい何が残るだろう。

私達は明日の命を支える使命として、「MC技術」が、その着実な一歩となることを願ってやまない。

追記

1. ダイオキシン含有土壌の無害化実証実験は、1999年度環境庁請負業務「土壌中ダイオキシン類浄化技術の実証調査」として、住友金属工業(株)が、住友重機械工業(株)、鹿島建設(株)、東北大学素材工学研究所の協力を得て行った。

2. PVCの脱塩素実証実験は、2000年度厚生科学研究費補助金厚生科学特別研究事業「軟質PVCの非加熱脱塩素・再資源化法の開発」として、東北大学素材工学研究所と住友金属工業(株)が、住友重機械工業(株)、(株)ヤマサキの協力を得て行った。

3. 200Kg実証実験設備は住友重機械工業(株)製のものを使用した。(写真2)

写真2 200Kg規模の実証試験設備

参考文献

- 1) 眞目薫：「地球を守る環境技術100選(4-044)」、公害対策技術同友会(環境庁編集協力)編、pp.120-121(2000.6)
- 2) 張其武、齋藤文良、眞目薫、増田誠一：粉体工学会誌、VOL. 36、No. 6、pp.18-23(1999)
- 3) 眞目薫、久保敏彦、加納純也、齋藤文良：第141回日本鉄鋼協会春期講演大会、p.199 (2000)
- 4) 張其武、齋藤文良、M. Baron、畑田清隆、眞目薫：資源素材学会平成12年度春期大会講演集(Ⅱ)素材編、p.209 (2000)
- 5) Shu Saeki, Junya Kano, Fumio Saito, Kaoru Shimme, Seiichi Masuda, Tsuyoshi Inoue : J. Master. Cycles Waste manag., 3, pp.20-23(2001)