

京都大学	博士（工学）	氏名	長田 守弘
論文題目	廃棄物溶融プロセスにおける有害物質の挙動とライフサイクルアセスメント		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、多様化する廃棄物処理方式の中で、溶融処理の果たすべき役割や有効性を整理するとともに、溶融処理過程における有害物質の挙動を研究している。また、これらのデータに基づきライフサイクルアセスメント（LCA）手法を用いて、多面的な視点から溶融処理と他方式との比較評価を行った研究をまとめたものであり、5章からなっている。</p> <p>第1章は、緒論であり、研究背景として溶融処理技術開発の経緯と課題についてまとめ、本研究の目的を述べている。</p> <p>第2章では、溶融処理技術は、焼却残さを溶融する灰溶融とごみから直接溶融するガス化溶融に大別されるが、ダイオキシン問題や処分場枯渇を解決すべく、環境省の後押しもあって両者が競い合いながら2000年代に急速に普及し、200施設を超えるに至った。副産物の溶融スラグはJISが制定され、有効利用が進められているが、重金属の濃縮した溶融飛灰は、一部山元還元にて資源回収されるものの、大半は溶出防止を図って埋立てられている。こうした重金属の挙動は溶融炉内の雰囲気（酸素分圧）や温度により制御されることが明らかとなっている。ただし、溶融処理はエネルギー消費が大きい側面がある一方で、有害廃棄物処理に力を発揮することを期待されていることから、その利害得失を評価することが求められる。とくに溶融処理方式として最も実績の多いシャフト炉式ガス化溶融炉を取り上げ、その特徴と開発成果の実用化状況をレビューした。一方で、こうした特徴を維持しつつコークスの使用量を削減するプロセス開発を継続し、究極はカーボンニュートラルなバイオマスコークスに置き替える開発にも目途を得たとしている。また、燃焼排ガスより回収する蒸気の高温・高圧化を図り、高効率発電も実現していることを示した。</p> <p>第3章では、シャフト炉により廃自動車破碎残渣（ASR）溶融処理試験を実施し、溶融プロセス内での臭素系難燃剤、ダイオキシン類縁化合物及び重金属類等有害物質等の挙動を調査した結果、臭素系難燃剤、ダイオキシン類縁化合物が十分分解され、低沸点重金属類は溶融飛灰へ、高沸点重金属類は溶融メタルへ分離濃縮していることを確認した。そして溶融スラグ中には有害な重金属類はほとんど残らず、環境安全性を担保できることを示した。また、ここで得られた環境排出インベントリは次章でのLCA評価の基礎データの一部として活用された。</p>			

プロセスより排出された有害物質が環境に及ぼす影響について評価するための手法について検討した。ASR リサイクル・処理の評価において一般的にその挙動が知られていない臭素系難燃剤については最近の平井らの研究成果を適用し、次節でのライフサイクルアセスメント評価に必要なデータの補完を行った。また、アスベストの曝露リスクの評価法については、まだ一般的な方法が定まっておらず、これまでに報告されている寺園らの研究成果をレビューし、次節での環境影響評価に適用することとしている。

第4章では、ASRの資源化・処理方式に関する4つのシナリオ（埋立、焼却+埋立、溶融+埋立、溶融+山元還元）を対象に地球温暖化、酸性化、有害物質、生態毒性、廃棄物(埋立地消費)の観点からLCAを行った結果を述べている。すなわち、溶融+山元還元が最も影響が少なく、次いで溶融+埋立が続く、焼却+埋立、埋立の順に大きくなるという結果となり、溶融は埋立や焼却に比べ温室効果ガスの排出が多いものの、重金属類等の排出による人間健康影響や生態毒性が少ないことと埋立地削減効果がこれを上回るという評価になった。また、溶融と埋立や焼却との比較において人間健康、社会資産、一次生産量、生物多様性の4つ被害評価額の合計として算出した経済効果が溶融の処理費用増分を大幅に上回るという結果になった。特に、山元還元は溶融による重金属の分離回収機能を活かし、健康影響、生態系へ影響をさらに低減する有効な手段である。アスベスト廃棄物の処理・処分に関して埋立と溶融の2つのシナリオを有害化学物質、廃棄物、地球温暖化の観点から、比較評価した結果、アスベスト曝露の影響や地球温暖化の影響は小さく、埋立地消費での社会資産被害で、埋立が溶融より被害額が大きいという評価結果になった。

第5章は、結論であり、本論文で得られた成果について要約している。なお、本研究で開発・評価されたASR リサイクル・処理及びアスベスト廃棄物の無害化処理の両技術については、シャフト炉式ガス化溶融炉を採用している北九州エコエナジー(株)にて実用化されている。

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、有害物質を含む廃自動車破碎残渣 (ASR) やアスベスト廃棄物を対象に取り上げ、熔融処理の有効性評価に関する一連の検討を行ったシステム研究であり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. シャフト炉式ガス化熔融システムでは、若干のコークスを添加することで幅広い廃棄物を確実にリサイクルできる点と炉内を高温還元雰囲気を保つことで、鉛、亜鉛等の低沸点重金属の揮散を促進し、熔融飛灰中に濃縮するとともに、スラグ中への移行を抑制する効果があることを明らかにした。

2. ASR の熔融処理試験において、ASR に多く含まれる臭素化ビフェニルエーテルやテトラブロモビスフェノール A 等に関して高い分解率を得ることができており、シャフト炉の臭素化難燃剤やダイオキシン類縁化合物の分解技術としての有効性を示した。

3. シャフト炉の実機設備によるアスベスト廃棄物熔融処理試験結果において、アスベストの無害化が達成されていることを確認した。とくに透過型電子顕微鏡等による詳細な観察・評価実施した結果、副産物の熔融スラグや熔融飛灰の石綿繊維確認から十分な分解がなされていたことを検証し、施設周辺の環境にもほとんど影響を与えていないことを確認している。

4. 熔融は埋立や焼却に比べ温室効果ガスの排出が多いものの、重金属類等の排出による人間健康影響、生態毒性が少ないことと埋立地削減効果がこれを上回るという評価、熔融と埋立や焼却との比較において人間健康、社会資産、一次生産量、生物多様性の4つの被害評価額の合計として算出した経済効果が熔融の処理費用増分を大幅に上回るという結果は、政策判断に提供できる結果となっている。

以上、本論文は、多様な廃棄物処理技術を評価する上で、地球温暖化のみならず、人間健康や生態系への影響、埋立地の消費等も加味した総合的な評価をすることが重要であることを示した。こうした観点で熔融処理を他の処理方式と比較評価すれば、とくに有害物質を含む廃棄物処理において、その有効性が顕著であることを明らかにした。また、ライフサイクルアセスメント評価のインベントリ作成に際し、熔融プロセスにおける有害物質の挙動を解明し、無害化の検証も行ったものであって、その知見は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 1 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。