



Title	CCA木材の処理とリサイクルに関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	阿賀, 裕英
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11901号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58841
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Hirohide_Aga_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 阿賀 裕英

審査担当者 主査 特任教授 古市 徹
副査 教授 廣吉 直樹
副査 教授 蟹江 俊仁
副査 准教授 石井 一英

学位論文題名

CCA 木材の処理とリサイクルに関する研究
(Studies on treatment and recycling systems of CCA-treated wood)

CCA(クロム・銅・ヒ素化合物系木材保存剤の略称)は、1960 年前後から世界中に広く普及した木材保存剤で、その有害性から、先進国を中心に規制などで市場は大きく縮小する流れにあるものの、これまで供用されてきた CCA 木材が老朽化等で廃棄されつつあり、その適正処理が世界的に大きな課題となっている。国内では今後、解体住宅からの CCA 処理土台だけで年間およそ 20 万 m^3 余りもの排出が見込まれており、有効なリサイクル技術が確立されていないことから、建設リサイクル法基本方針においては「分別して焼却又は埋立を適正に行う必要がある。」とされている。しかしながら一般的な産廃焼却施設での焼却や埋立処分の際の環境面での適正性についての情報は乏しい。それ以前に CCA 木材の分別に違反罰則などの強制力がないことから、ボイラー燃料や家畜敷料等のリサイクル物への CCA 成分の混入が懸念されているが、国内では実態把握もほとんどされていない状況である。これらの実態を明らかにして改善を図ることが重要であることは勿論、新たな処理・リサイクル技術の早期確立が、資源の循環利用という観点から重要であり、建設リサイクル法基本方針においてもその必要性が明記されている。そこで本研究では、CCA 木材の処理の現状と課題を明らかにして改善策を提案するのみならず、新たな処理・リサイクル技術についても検討を行い、CCA 木材の発生・分別段階から処理・リサイクルに至るまでの一貫した適正処理システムの提案を行っている。

第 1 章では、本研究の背景と目的について述べている。今後も大量に排出される CCA 木材の処理やリサイクルの不適正な実態や課題を明らかにして改善策を提案するとともに、新たな処理・リサイクル技術の開発を行って、CCA 木材を適正な処理・リサイクルシステムへ導くため、本研究の目的を以下の 3 項目としている。

CCA 木材の処理の現状と課題を明らかにして改善策を提案すること。

CCA 木材から重金属を除去するための処理条件の検討。

木質バイオマスと副産物のリサイクル実用化に向けた実験的・経済的検討。

第 2 章では、CCA 木材の廃棄処理に係る法規制と現行の処理に係る課題について、国内外の文献調査やヒアリング調査を中心に分析している。その結果、国内外ともに不十分な法規制のため、ボイラー燃料や家畜敷料等のリサイクル物への混入が見られ、仮に分別されて廃棄処理される場合も、排ガス処理等必要な対策が不十分あるいは不明確であることから、環境汚染が懸念されるという実態があり、特に、国内では実態調査がほとんど行われていないことが分かった。CCA 木材の処理・リサイクル技術についても、これまで世界的には研究が行われているが、環境汚染リスクの低い溶媒抽出処理法等に限ると、コストなどの課題が多く、未だ実用化の報告例はない。本研究で提案するような木質バイオマスと金属成分の双方の資源化に至るまでを、一貫した処理・リサイクルシステムとして検討している研究例も無いことを述べている。

第 3 章では、まず現行の焼却や埋立処分の環境面の適正性を評価するため、実炉(既存産廃焼却施設)における焼却試験及び焼却前後の溶出試験を行った。焼却試験からは、バグフィルター出口でヒ素が $1.152mg/Nm^3$ で検出された。国内では排ガス規制値が設定されていないので EU の排ガス規制値 ($0.5mg/m^3$) と比較するとこれを大きく上回るほか、既報試験例 ($0.0040mg/Nm^3$) との差もあることから、排ガス処理設備の性能によっては支障の可能性があるレベルでヒ素が揮散するこ

とが分かった。また、溶出試験からは、焼却の有無によらず、参考値ながらヒ素が特別管理産業廃棄物の該当基準 (0.3mg/l) を大幅に上回る $2.31 \sim 8.24\text{mg/l}$ が溶出したほか、炉床残渣からはやはり参考値ながら 6 価クロムが同基準 (1.5mg/l) をはるかに上回る 241mg/l が溶出した。したがって、埋立にあたっては相応な対応が必要である。続いて CCA 木材の分別処理状況を明らかにするため、解体業者に対するアンケート調査を行った結果、分別を実施している業者は約 6 割に留まり、分別を実施していても目視判別の精度の低さから大半は見落とされていると考えられた。解析の結果、分別漏れした CCA 木材は全体の約 71% にも上ると見積もられた。また、ボイラー燃料、ボード原料など木くずの各種リサイクル品への CCA 木材の混入状況を調べるため、サンプル調査及び関連文献調査を行った結果、ボイラー燃料やボード原料からヒ素が $0.71 \sim 7.9\text{mg/kg}$ 、木質家畜敷料 85 サンプル中 9 サンプルからヒ素が 2mg/kg 以上 (最大 14mg/kg) 検出された。いずれも国内に基準値はないので、ドイツのヒ素の基準値 (2mg/kg 未満) と比較すると、いずれもこれを大きく上回っていることを明らかにしている。

第 4 章では、2 章や 3 章の結果を基に、まず CCA 木材の現状処理改善策として、分別推進のためには解体業者への CCA 木材に関する基本的情報の周知徹底、一定の強制力、処理施設の受け入れ体制整備の促進、簡便で確実な判別法の普及促進が必要であること、そして適正な焼却や埋立のためには、必要な排ガス処理設備の性能、埋立時に必要な重金属不溶化処理法が明示されるべきであると提案した。一方、リサイクルを考慮した新たな処理・リサイクル技術について検討を行った結果、希硫酸による重金属除去後、木質バイオマスは硫酸糖化により合理的にバイオエタノール化し、廃酸について当面はリサイクルルートの存在する金属である銅のみを回収、ヒ素やクロムは鉄塩を用いて共沈処理するシステムを提案している。

第 5 章では、CCA 木材から重金属を除去するための希硫酸処理条件を検討し、後段プロセスである廃酸からの銅の選択的回収操作への影響や、最終的な有機性廃水処理の負荷をなるべく抑制できるよう、木質成分の溶出を抑制しつつ、重金属を効率的に抽出できる条件を実験的に検討した。その結果、CCA 木材のチップ化試料に対し、0.5N 硫酸、50℃、8 時間の処理により、ヒ素、銅を 90% 以上、クロムも 90% 近く除去できること、有機炭素溶出率はその場合、約 2% に抑制できることを示している。

第 6 章では、木質バイオマスの硫酸糖化を経るバイオエタノール化の可能性、廃硫酸からリサイクルルートが存在する銅のみを選択的に回収する手法、銅回収後の廃酸中のヒ素やクロムの鉄塩による共沈処理法について検討を行い、提案する処理・リサイクル技術システムの経済性の試算を行った。その結果、¹⁾については、発酵阻害を抑制できるレベルまで CCA 木材中の重金属を希硫酸抽出できることから、処理後の木材をバイオエタノール原料として使用可能であることを示した。²⁾については、想定される最高濃度の CCA 成分を含む廃硫酸に対してもキレート樹脂 DowexM4195 により 100% 近く回収できることを示した。³⁾については、いずれも一律排水基準値以下まで処理できることを示した。一連のコスト評価については、入手した CCA 木材の濃度レベルの場合、CCA 木材の調達価格を逆有償 4 万円/t とし、2014 年秋時点のガソリン店頭価格を 150 円/ℓ として試算したエタノールの妥当価格で出荷販売すると、提案する処理・リサイクルシステムの収支は 43,384(円/t-CCA 木材)の支出と見積もられた。有害物質を含む廃棄物を適正処理する、そして資源回収するためのコストとして妥当であると判断できることから、提案する処理・リサイクルシステムは実用化できる可能性があることを示した。

第 7 章は総括であり、論文全体の成果を要約した。

これを要するに、著者は、過去に大量に使用され廃棄時期にきた CCA 木材の現状の処理とリサイクルの方法が環境面で不適正であることを実態調査により検証し、その改善策としての資源化を考慮した新たな CCA 木材の処理・リサイクル技術を開発し、実用化可能であることを示しており、環境工学特に廃棄物管理工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。