

## 廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

研究課題名 = 木材系廃棄物の利用法の拡大に関する研究 (K1649)

国庫補助金精算所要額(円) = 25,553,000

研究期間(西暦) = 2002-2004

研究年度(西暦) = 2004

代表研究者名 = 後藤純雄((独)国立環境研究所)

共同研究者名 = 中島大介、江副優香、酒井伸一((独)国立環境研究所)、石井忠浩、矢島博文、(東京理科大学)、吉澤秀二(明星大学)、高月紘(京都大学)

### 研究目的

持続可能な社会を構築するためには、様々なタイプの廃棄物を再生しその利用法を拡大するなどの再資源化を図ることが極めて重要である。一方、廃棄物には様々な有害物質が含まれる場合が多いことから再生利用においては安全性を確保すると同時に環境への負荷を最小限にすることも重要である。そこで本研究においては、各種建設廃材の中でも再利用や再生利用があまり進んでいない木材系廃棄物の利用法を拡大するための検討として、木材系廃棄物の炭化物の製造法や加工法及び有害ガス状物質の吸着能の利用法について検討すると共に、木材系廃棄物に含まれるか又はその可能性の高い有害物質の挙動についても検討を加えた。

### 研究方法

木材系廃棄物の利用法の拡大に関する研究においては、木材の炭化物の有害ガス吸着能を室内で利用する方法などについて検討した。即ち、1) 木炭をセルロース繊維等で接着して炭化物ボードを作成し、モデル実験室内でホルムアルデヒド、トルエン、アンモニアの吸着及び炭化物ボードの難燃化などについて検討した。また、合板及びヒノキの炭化物の有害ガス(ベンゼン、スチレンなどの単独及び混合物)の吸着能に及ぼす炭化温度条件などを調べた。更に、2) 作成した炭化物の物性評価に関して、レーザーラマン分光、熱重量測定、全反射赤外吸収などの分析結果から炭化レベルを調べる方法の検討を行った。一方、再生利用時の安全性確保に関する研究に関しては、3) 炭化物に含まれる可能性の高い有害成分としてダイオキシン類や変異原性物質の測定法及び生成挙動を検討すると共に、炭化物中に残留する重金属類の除去法などについても検討を加えた。一方、廃木材の再利用

に関する研究では、5) 重金属類処理、PCP 処理及びクレオソート処理廃木材などの再利用に伴うリスク評価などに関して、化学分析及びバイオアッセイを用いた検討を行った。

## 結果と考察

本研究の再生利用に関する研究では、主に炭化物の有害ガス吸着能を室内で利用する方法について検討した。即ち、1) 炭化物をセルロース繊維とコラーゲン繊維と接着して炭化物ボードを作成し、モデル実験室に設置すると、一年間にわたるホルムアルデヒド除去効果が確認できた。また、アンモニアでは、相対湿度が高くなるほど吸着量が増加したが、逆にトルエンでは相対湿度が低くなるほど吸着量が増加することを認めた。炭化物ボードを室内で利用する場合の難燃化については、コーンカロリメーターを用いて評価した。その結果、低軟化点ガラスに酸化ホウ素を炭化物ボードの表面に添加することにより、難燃化が可能となることなどを認めた。炭化物のガス吸着能に関して、ヒノキ炭化物の VOC 吸着能に及ぼす炭化温度などの影響を調べた結果、単一ガス成分または多成分混合ガスとも、炭化温度が 400 °C ではほとんど吸着能を示さないが、炭化温度が 600 °C、800 °C (1000 °C) となると吸着能が高くなることなどを認めた。また、多成分を混合した場合には吸着量が大幅に低下する成分 (ベンゼン、四塩化炭素、ヘキサンなど) があることが認められた。更に、合板 (シナランバー) を炭化した場合でも同様の傾向があることを認めた。また、2) 炭化物の物性に関する検討では、走査型電子顕微鏡 (SEM) による構造観察のほか、レーザーラマンスペクトルから炭化レベルを調べる方法について検討した。その結果、レーザーラマン分光では炭化温度が高くなるとラマン強度全体が下がる傾向にあることや結晶性グラファイト由来の G バンドに比べて非晶質炭素に由来する D バンドの相対強度が上昇する傾向にあることなどを認めた。また、脱脂綿、パルプ及びヒノキの炭化による化学構造変化を、TG-DTA 曲線や IR スペクトルで調べた結果、炭化温度が上昇すると、水酸基やエーテル結合が減少するが、TG-DTA 曲線が大きく変化する 360 °C 付近では、カルボニル基が生成し、更に温度が上昇するとそれが減少する傾向にあることなどを認めた。3) 炭化物に含まれる可能性の高い有害成分については、市販の木炭に微量に含まれるダイオキシン類の抽出法を調べ、アセトン溶媒としたソックスレー抽出が有効であることなどを認めた。また、市販木炭 4 種中に含まれる PCDDs は検出限界以下 ~0.03ng/g、PCDFs では検出限界以下 ~0.004ng/g となり、ごく微量しか含まれていないことを認めた。塩ビ製壁紙を含む木材系廃棄物を焼却した場合には一般にダイオキシン類が発生するが、酸素不足 (窒素雰囲気;900 °C) で 1 時間炭化した場合には、極めて低いか又は未検出となることなどを認めた。木質系の建築廃棄物には、石こうや金属類などの不純物が混入する可能性が高いことから、それら不純物が炭化に及ぼす影響についても検討を加えた。CaCO<sub>3</sub>、CaSO<sub>4</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cu 粉を混合した木材を炭化し、X 線回折パターン、比表面積、pH の変化などを測定した。また、CaSO<sub>4</sub> を添加した場合、生成した CaS が大気中の水と反応することにより、H<sub>2</sub>S を発生し易くなるため、取り扱いの注意が必要となることなどを認めた。木材の炭化

処理に伴い発生する変異原性物質の挙動については、市販木炭の溶媒抽出物の変異原性を Ames プレインキュベーション法で調べた。その結果、サルモネラ菌 TA98 株の代謝活性化条件(+ S9)において陽性を示すことやそれ以外の条件でも擬陽性を示すことが多いことなどを認めた。更に、炭化時にガス状成分を採取して調べたところ、その変異原性物質は主にガス状で放出されることを認めた。有害物質の対策に関する検討として、4) 木材系廃棄物の炭化物に残留する可能性の高い重金属類の除去法などについても検討を加えた。市販の ACQ 材(銅を含む)の炭化物中に含まれる銅を除去する方法を検討した結果、600 以上で炭化物を作製し、これを陽極として希硫酸に入れ、白金板等を陰極として直流を通ずることにより、炭化物中の銅が容易に除去、白金板上に回収し得ることを認めた。5) 直接廃木材を再使用する時の安全性に関しては、重金属類処理廃木材、PCP 処理廃木材及びクレオソート処理廃木材の各有害物質の濃度レベル調査値や当該薬剤処理モデル木材を用いた気中への発散量などから切断作業時や室内利用時におけるヒト健康リスクに係わる曝露量解析を行った。その結果、曝露量が日常レベルを大きく上回ることや発がんリスクが  $10^{-4}$  レベルまで高くなる可能性があることが示唆された。クレオソート処理木材を使用していた集合住宅の空気成分調査では、主成分 7 物質が検出され、それらの細胞増殖阻害作用も認められた。また、クレオソートを塗布した木片をモデルボックスに設置した実験では、成分濃度が温度の上昇に伴って増加する傾向にあることなどを認めた。家屋解体材等の廃木材を原料とした家畜敷料の製造が行われている、この敷料に含まれる多様な有機・無機有害化学物質について化学分析と共にバイオアッセイによる評価を行った。その結果、工業製品に由来する PCBs や Pb、CCA 処理廃木材の混入が示唆された。さらに、化学的に安定で残留性の高いダイオキシン様ポリハロゲン化芳香族炭化水素を検出するための一連の前処理(硫酸シリカゲル加熱還流法)と組み合わせた CALUX、アッセイの廃木材試料への適用を試みた結果、CALUX-TEQ は WHO-ダイオキシン類-TEQ と良く一致し、本バイオアッセイの実効性が確認された。

## 結論

廃棄物には様々な有害物質が含まれる可能性が高いことから、その再利用においてはそれらの実態を把握し、安全性を確保することも重要である。本研究では、その観点から木材系廃棄物の利用法の拡大に関する研究を行った。再生利用法については、主に炭化物について検討した。炭化物を主原料として作製した炭化物ボードの室内空気汚染物質(VOC)の吸着除去や難燃化に関する検討、及び炭化物中に含まれる可能性の高い有害物質(ダイオキシン類、変異原性物質、重金属類)の測定や挙動に関する研究を実施した。その結果、炭化物ボードの長期使用の可能性、炭化条件を変えることによる炭化物のガス吸着能の向上を認めると共に、難燃化が可能であることなどを認めた。更に、塩化ビニルと木材の炭化ではダイオキシン類が殆んど発生しないこと、変異原性物質は煙中に含まれるが炭化物中には殆んど残らないこと、重金属類は炭化物中に残留するが、希硫酸中で通電すること

により容易に除去出来ることなどを認めた。廃木材の再使用に関する研究では、直接廃木材を再使用した場合の安全性評価について主に検討した。重金属処理廃木材、PCP 処理廃木材、クレオソート処理廃木材の切断作業や室内利用時のヒト健康リスクが高くなることや、廃木材中有害成分の化学分析（WHO-ダイオキシン類-TEQ）による評価とバイオアッセイ（CALUX-TEQ）による評価がほぼ一致することなどを認めた。今回の研究結果から木材系廃棄物を再利用、再生利用する上では有害成分を除去するなどの処理を行い、安全性を十分考慮した上で使用することが重要であると考えられた。