

保存処理廃材の焼却処分

伊 東 英 武

はじめに

木材製品の生産および処理の際に排出される廃材は、一部の再利用を除いて廃棄されます。また本来の使命を終えた古材は粗大ゴミとして処分しなければなりません。このような廃材の処理は、再利用、埋め立ておよび焼却によって行なわれ、再利用と焼却（熱源としての利用）は、原料としての利用であり、埋め立てはゴミ処理といえることができます。

ところで特に薬剤処理した廃材の処分には、住民の健康阻害および環境汚染などさまざまな検討を必要とする課題を内在しています。処理木材のいわゆるリサイクルは、やがては廃棄される運命をたどることになります。埋め立てを含む貯木には、薬剤成分の溶脱による遊離の心配があるうえに広い用地と長期の管理を必要とします。廃棄処理方法としての焼却処分は、容積を著しく減らし保存剤の一部を熱分解できる⁸⁾と同時に熱エネルギーを利用できる²³⁾長所があります。しかしながら、無制限に焼却できるわけではなく、注入処理廃材を分別して高性能の施設と最良の条件で燃焼

させ、環境汚染を防止しなければなりません。以下、燃焼によって排出されるガスおよび灰には、人体や環境に影響を与えるおそれのあるどのような成分を含んでいるかについて、述べることにします。

保存薬剤を含む廃材の発生と処分方法

原木から数次の加工を経て、消費され材料としての使命を果たし終えた廃材の各段階で、以下の発生源と処分方法があります。

最初に木材が保存薬剤処理される機会は、伐採直後の湿材害虫の予防剤や青変防止剤の散布です。現在わが国ではこの種の処理は行なわれていませんが、かつては山土場における変色腐朽防止にペンタクロルフェノール（PCP）やフッ素化合物が使用されていました^{12,14)}。次に、製材後主として流通段階での防カビおよび変色防止を目的とする処理¹⁷⁾、さらに最終用途に対する防虫および防腐処理が行なわれ、これに加えて被害部分の補修のために同様の処理を受けることがあります。このような処理工程途中で排出される廃材には、樹皮、端材、破片、木紛などが、古材では住宅解体材、家具、梱包材、枕木、電柱、杭、柵などがあります。

木製品の生産工程から排出される廃材と同様に木材保存剤およびその他の添加剤を含む廃材の処分方法には、次の方法があります⁸⁾。

再利用（リサイクル）

保存処理木材の再利用には、限界があります。実用的に可能なのは、クレオソート注入枕木、電



建築廃材置場

柱材の柵や庭園用材への利用がありますが、クレオソートの一部に含まれる発ガン成分が人および環境を脅かすおそれがあり異論が出ています。

処理木材のパーティクルボードへの再生も、技術的には確かに可能であっても、これがおおむね屋内用として使用されることから、消費者の健康保護の観点から疑問視されています。一方、処理廃材からセルロース、紙およびファイバーボードの製造、防虫処理剤成分のピレスロイドを生物的分解しながらの堆肥化、クレオソートの微生物分解²⁰⁾が可能であるかどうかは、なお研究が必要です。

埋め立ておよび貯木

処理廃材の通常の埋め立て処分は、溶脱または他の現象で遊離した薬剤成分が無秩序に空気、土壌および地下水を汚染^{3, 15)}するおそれがあります。

焼却

処理廃材の最も有望視される方法は焼却です。焼却することによって廃材の容積をおよそ50から100分の1に著しく減らすことができる上に環境に影響する化合物の一部が熱や酸化により心配のない化合物に分解³⁾されます。しかしながら、燃焼過程で発生する有害ガスや濃縮されたさまざまな物質が問題になります。

廃材に含まれる木材保存剤

廃材中に存在する薬剤の種類は、過去に使用されたすべての薬剤、現在禁止または使用中止になっているものも含めて、農薬から防虫および防腐剤を考慮しなければなりません。

その主な薬剤を列挙するとクレオソート油、銅クロムヒ素剤、銅クロムホウ素剤、昇汞、ホウ酸塩、リンデン、DDT、PCP、デイルドリン、クオルデン、TBTO、パーメスリンなどで、これらに含まれる焼却時に問題となりそうな主な元素は、硫黄、塩素、フッ素、ホウ素、銅、クロム、錫、ヒ素、水銀などです。

焼却に伴う危険性

上記のような薬剤を含む廃材の焼却で排出され

る成分は、排ガス分と残さとしての灰分に大別でき、これらの排出物に環境に影響する物質がどのように移行するかが焦点になります。排ガス、いわゆる煙は、気体および気化した成分と気流に乗って運ばれる微粒の飛散灰（フライアッシュ）から構成されますが、便宜上排ガス（飛散灰を除いて）および灰（飛散灰と焼却炉またはボイラーの火格子に残る燃え殻灰）に分けられます。

排ガス

木材の化学組成で大部分を占める炭水化物および炭化水素が、理想的な状態で燃焼すると、二酸化炭素と水に酸化されます。しかし酸素の供給、温度および燃料の水分などの条件による影響を受けて、酸化と還元が平行する複雑な平衡状態の結果、一酸化炭素や炭化水素を放出します。この他に亜硫酸（SO₂）、ハロゲン化水素、窒素酸化物（NO_x）、揮発性の金属、特に塩素の存在で発生するダイオキシンが重要です。これらのなかで最も環境への影響が高いおそれがあるヒ素とダイオキシンについて、少し詳しく見ていきます。

処理木材焼却中のヒ素の揮発は、古く1953年から研究されていました²⁾。しかし銅-クロム-ヒ素木材防腐剤の使用に関連して放出されたヒ素の環境への影響および人体安全の重要性が検討されたのは1970年代からです。室内実験でCCA処理木紛を点火し、発生するガスを液体窒素で冷却した捕集器に通して集め、残った灰と合わせた分析では、ヒ素の揮発率が16から24%になり、同様の室内実験により、20~40分、800 の加熱でおおよそ40%。60~360分、1000 では77%のヒ素の放出があったということです⁹⁾。加熱時間が短い場合放出されるヒ素の量が22%であるのに対して、6時間に延長すると40から77%までのヒ素が揮発することに注目して、ヒ素の放出は、燃料の量よりむしろ残さとなる灰がどれだけ長く高温に曝されるの方が影響が高いことになります。また、三酸化ヒ素の方が五酸化ヒ素より毒性が強いのですが粒子状で回収されるヒ素の亜ヒ酸（3価）/ヒ酸（5価）の比率は、800 で6:1、400 と1000 では1:1になり、一方灰のヒ素化合物は

ほとんど5価でした。いくつかの条件を想定した場合、焼却によって放出されるヒ素は、使用中の溶脱を無視すれば、計算上38～765mg/排ガス m^3 の水準に達します¹⁾。これをヒ素の含有量が平均15mg/kgとされている石炭と比較すると、CCA注入木材の平均注入量2.6g/kg (AWPAのタイプCおよび木材の密度を0.5g/cm 3 として)は、特別な排ガス浄化装置をもたない場合、同熱出力に対して数字のうえでは、およそ100倍のヒ素を放出することを意味します。

ゴミ焼却場の灰からダイオキシンが発見されたように、木材および木質廃材の焼却でポリ塩化ジベンゾダイオキシンおよび - フラン (PCDD / PCDF) の発生問題が関心を集めています^{5, 19, 24)}。

ダイオキシンは、塩素数により多数の異性体があり、発ガン性、催奇性をもつ猛毒物 (放出制限0.1ng/m 3) です。化学合成、熱反応、焼却など人為的過程や環境の中で意図しない副産物として生成します。ダイオキシンには、さまざまな発生源があり、塩素化炭化水素の合成、セルロースの塩素漂白、石炭および木材燃焼炉および内燃機関はもとより冶金工業でも発見されています。現在では痕跡量の有機または無機塩素化合物を含む燃焼現象が、これらの化合物が生成するおそれがある発生源とされています。

燃焼によるダイオキシン生成の前提は、炭素化合物と塩素化合物の共存であり、優れた浄化性能をもつ工業的な燃焼施設でも、排ガス中の有機物の生成は、少なくともはなつたのですが皆無ではないので、ダイオキシンの放出問題は、燃料中の塩素化合物におのずと集中します。

そもそも自然の木材は、微量の塩素を含んでいます。ヨーロッパ産およびアメリカ産のナラ、ブナ、トウヒ、マツ、ダグラスファーから30ppmの塩素が検出されています²¹⁾。これに対して廃材からは、塩素系保存剤、接着剤の硬化剤、ポリ塩化ビニールなどオーバーレイ材の混入があるためさらに高濃度の塩素が検出されます。従来純粋な木材中の塩素は、実用的に問題にされることはありませんでした。しかし、燃焼によって硫黄と並ん

で、燃焼施設の腐食を起こす酸性ガス (塩酸および硫酸) を発生することと環境に影響するという理由で関心もたれるようになりました。

1990年代の初期までは、廃材燃焼施設からのPCDD / PCDF放出測定データはきわめて少なかったのですが、最近ではダイオキシンに言及した論文が増えています^{4, 18, 19, 24)}。燃料としての木材の放出値は、平均して石炭より低く、天然ガスおよび灯油よりは高い位置にあります。

現在検出例からみて、木材および木質廃材の燃焼でPCDD / PCDFの生成に対する異論はなくなっています。特別な浄化装置をもたない通常の燃焼施設の場合でも、無処理の木材からの放出値は、上記の制限値を超えることはないといわれています。しかし、塩素を含むリンデンやPCPが加わるとこの濃度が飛躍的に増加する²¹⁾と報告されています。排煙ガス中のダイオキシンの内訳は、PCDDよりPCDFの濃度が高く (60～80%) なります。テトラ (四) からオクタ (八) 塩素同族体の比率では、テトラ-CDFが30～50%生成し、オクタ置換体にかけて減少する傾向が認められます。PCDDではテトラ-CDDが8～12%生成し、PCDFと同様にオクタ置換体になるにしたがって低下します。史上最強の毒物として知られる2,3,7,8 - 四塩素化ダイオキシン生成は最大でもその0.1%となっています¹⁹⁾。アミノ樹脂を含むパーティクルボードの熱分解から生成するアンモニアがPCDD / PCDFの生成を阻害するという報告があります。しかし、ダイオキシンの生成機構には不明な点が多く、燃焼施設と規模、木材の含水率、塩素の供給源、共存添加物など条件の検討が必要です。

灰の組成

焼却の結果生成する灰を構成する元素は、カルシウムが最も多く、次に鉄、カリウム、マグネシウムが続き、ナトリウムとマンガンは少量です。

木質廃材の焼却は、その容積を劇的に減少できても、なお燃え殻を含む灰と飛散灰 (フライアッシュ) を生み出します。一般的な木質廃材は、木材とともに接着剤、化粧材、塗料、顔料、充填剤、木材保存剤などを含み、樹皮や古材は砂、釘、ね

じなどの金属が混入しています。焼却によって燃え殻や飛散灰の形で生成する無機残さの埋め立てなど廃棄処分に際して、これがどのような物理的特性と化学組成をもつのか調べておく必要があります。

木材工業で使用されている焼却施設から採取した19例の固形分残渣の分析結果¹⁶⁾による物理的特性は、水分0.1~54.5%、赤熱損失0.1~47.7%、塩酸不溶分2.9~91.8%、pH7.9~13.3となっています。

灰の水分変動には、乾式か湿式かによる灰の分離方式の差が大きく現われ、不燃物の量に関わる赤熱損失は、焼却施設の性能の反映です。8から13のpH値は、炭酸アルカリおよびアルカリ土類が多いためです。

灰(比較のため赤熱損失および不溶性成分を控除した)の主成分として取り出した主要6元素の構成は、カルシウム12.5~43.3%、鉄0.3~16.0%、カリウム0.67~7.56%、マグネシウム2.34~9.28、マンガン0.46~4.04%、ナトリウム0.47~4.56%となっています。鉄を除いてこれらの元素は、純粋な木灰の構成に準じていますが、鉄だけが異常に多くなっています。この理由は、鉄製の燃料施設の磨耗だけでは説明できないことから、古材中に混入した鉄製品の影響を受けていると推定されます。しかし鉄は環境に影響が低い元素ですからこの灰の埋め立て処分にとって障害にはなりません。次に無機系の木材保存剤に使用される元素についての結果は、ヒ素(無検出)~65.0ppm、ホウ素89~662ppm、フッ素22~546ppm、亜鉛153~6990ppm、クロム28~3360ppm、銅82~2930ppm、塩素186~39600ppmという数値になっています。純粋な木灰には700ppm程度の塩素を含むとされており、なかに40g/kgという異常に高いものがあり、前途のダイオキシンの生成を抑えるためには不利です。この高塩素量の原因は、塩化アンモニウムおよび/または塩化ナトリウムに由来すると容易に推定できます。

木材保存剤、すなわちクロム - フッ素 - ホウ素、クロム - 銅 - ホウ素、銅 - ビス - (n - サイクロ -

ヘキシルジアゾニウムジオキシシ)、クレオソートおよびジクロルフルアニド、フルメシクロックス、パーメスリンなどの油剤をあらかじめ処理した木材を焼却した時に生成する灰の量は、投入容積の約1%以下に縮小し、その分析結果によれば、多量のホウ素、銅およびクロムが存在し、最大それぞれ5.6、67および70g/kgに及んでいます。この事実は、CCA処理材では焼却中にクロムの放出が非常に少ない¹⁷⁾ことを意味します。埋め立て処分に際して、水質汚濁に関係がある灰の水溶性成分で最も障害になるのは、pHが高いことですが、重金属の水酸化物が実際には不溶性という長所も考慮に入れるべきです。この灰については、酸性の工業排水の中和、林業用肥料、成分の回収、建築用材の添加材などの利用が検討されています。

なお廃棄物の焼却で発生する排ガス、フライアッシュおよび灰残さの分析方法について、本稿で参考にした報告ではDIN(ドイツ規格)による例を散見しましたが、わが国では大気汚染防止、水質汚濁防止、産業廃棄物、土壌汚染防止などの法律に指定する方法およびJIS(日本工業規格)によります。これらは多くの場合、対象物ごとに分析方法を定めていますが、多種類と濃淡の差が大きい物質および元素の分析には、複数のものを迅速に監視できる方法が望まれます。罰則を伴う法律の制限に触れるすれすれの場合には分析精度が非常に問題になりますが、分析方法内容の詳細は、本稿の趣旨から外れますので、文末に論文を列挙するだけにとどめます^{6, 10, 21, 22)}。

焼却処分の見通し

屋外で使用される木材あるいは屋内でも予防措置としての保存処理を、断念するわけにはいきません。しかし数十年かの使用期間後には必ず排出される廃棄物処理の観点から目標としなければならない課題は、ゴミとして処分される量を少なくして再利用することです。そのためには、廃棄された時に問題が大きい薬剤を、毒物学的に懸念が小さく、環境に対して焼却だけではなく、保護処理および使用中にも影響が低い代替薬剤に転換が必

要です。また使用量についても過剰な処理を避け、さらにその処理材が解体時に行方不明にならないようにする必要もあります。

産業廃棄物だけではなく消費者から排出される廃棄物もその量を少なくし、また再利用を図ることを総体としての目標とするべきですから、廃材の焼却が唯一の方法ではありません。処理廃材に限れば最善ではないにしても、望ましい処分方法ですが、これを昨今厳しさを増す環境保護の観点からの規制に触れないように実行するには、それ相当の対策が必要です。これには焼却施設の性能向上と燃料としての木質廃棄物の分別が課題となります。

焼却施設

木材は、300 以上の温度でガス状成分と固形の炭素に分解し、500 までに木質物の85%がガス化されます¹³⁾。焼却に際して、水分を含んだ木材と外部から供給される空気が一酸化炭素、水素および炭化水素などにガス化します。

木材の完全燃焼にとって最も重要な条件は、高温度、この高温での滞留時間、空気との混合および可燃性ガスの存在です。高温を維持しながら空気と可燃性ガスとの混合を実現するためには、赤熱域で一次空気により木材をガス化し、生成したガスに二次空気を混合して完全燃焼させるように分割して空気を供給します。すなわちガス化、酸化の促進および大低の場合熱エネルギーの取出しに区分されます。したがって環境を汚染しない焼却施設の条件としては、(1)一次および二次空気の分割、(2)可燃性ガスと二次空気の均一混合、(3)高温を維持できる二次燃焼室の三点になります。

ここでもうひとつの問題は、従属的な部類に入りますが、高温で発生する窒素酸化物 (NOx) の生成です。木材に本来含まれている窒素の他に特に尿素系の接着剤が存在する廃材ではこの濃度が高くなる点について、排ガスの循環や選択的触媒の投入の検討などが研究途上にあります¹³⁾。

理想的な燃焼で生成した排ガスは、⁹⁹煤や有機物の粒子を含みませんが、灰の粒子が残ります。これの分離では、小規模の施設では慣性式除塵機が

使用され、規模が大きくなると静電気式のろ過機の併用などで微粒子の分離も可能になっており、最近ではセラミックのろ過材の使用も試みられています。このような微粒子の分離問題は、パーティクルボードの削片など粉塵が発生する乾燥で環境負荷の観点から重要視されています^{7, 11, 27)}。

木質廃棄物の分別

木材保存剤を含む廃材と一般無処理の廃材を一括して焼却することは、環境保護の立場から見て到底主張できません。この対策の一案は、焼却を含めて、もっと根本的な廃材の処理方法ができるまでは、必ずしも最善ではないにしても、保存剤の含有量が相対的に低い表面処理と無処理材の廃材を一般燃料として利用し、特に問題がある種類の薬剤処理と加圧注入材は高性能施設で焼却することです。いったん集積されたかさ高の廃材を細かい処理の程度に識別することは、もはや不可能という現実問題があります。将来の分別に備えて、例えば建物など構造物の一週に保護処理に使用した薬剤の種類と処理年を記載した標識を残すことが提案されています。

おわりに

わが国は、ほぼ6億トンの資源を輸入し、3億トンを廃棄物として捨てているということ（現代用語の基礎知識、1993年版）。木質廃棄物の発生量の調査²⁸⁾によれば、平成4年度木材工業から排出される廃材の量は、1,566万³m³、木材工業以外の廃材は、解体材、新築時の廃材、パレット材、梱包廃材を合わせ2,180万³m³に達しています。

戦後第二期の住宅建築ブーム時代に建てられた木造住宅の改築期に入り、およそ25万³m³と予測される解体廃棄される防腐土台の量²⁵⁾は、このような莫大な木質廃棄物に比較すれば、数字の上では少量といえるかもしれませんが、この取り扱いには、厳重な管理を必要とし、国連環境計画²⁶⁾が勧告しているように、専門技術者と高性能の装置を備えた専門施設が当たる分野です。したがってたとえ少量でも保存剤の注入が明らかな廃材を野焼きに類する方法で焼却することなどは慎まなけれ

ばなりません。国連環境計画²⁶⁾は、加圧注入廃材をどんな状況下でも料理ストーブ、暖炉またはバーベキューの燃料に使用してはならないと警告し、また「全ての中で最大の危険は、無知である」と指摘しています。

1988年(一部86~89年)世界諸国の加圧注入木材の生産量²⁰⁾は、フランス22万m³、ドイツ100万m³、スカンジナビア/フィンランド137万m³、英国197万m³、アメリカ合衆国1601万m³、南アフリカ43万m³、オーストラリア94万m³、ニュージーランド146万m³であり、主要生産国の調査に限れば、木材防腐剤の年間使用量は、クレオソート油タイプ35万トン、水溶性タイプ9万トンおよび有機溶媒タイプ1億1000万リットルと集計されています²⁶⁾。わが国では、年間40万m³の生産量に対して、防腐剤10万トンを消費しています。つまりこれほどの薬剤が毎年国土に蓄積しているわけです。

人のいかなる営みにも一定の危険を伴います。しかし、快適な生活のために追求した保存処理の代償に出現する有害物質の散在蓄積を避け、封じ込める一貫した保存処理体系が必要です。さらに将来の保存剤には、利用技術と経済的な長所のみならず、廃棄処理時の環境への適応性を兼ね備えた特性が求められます。

参考資料

- 1) Bringezu, S. : Arsen im Holzschutz. Mögliche Gesundheits- und Umweltgefahren. Holz als Roh- und Werkstoff, 48, 237-243, (1990)
- 2) Dobbs, A. J. and Grant, C.: The volatilization of arsenic on burning copper-chrom-arsenic (CCA) treated wood. Holzforschung, 32, 32-35(1978)
- 3) Evans, F. G.: Leaching from CCA-impregnated wood to food, drinking-water and silage. IRG document No : IRG/WP/3433, 1987.
- 4) Graf, E. : Ökologische Aspekte zur chemischen Hausbock-Bekämpfung. Holz als Roh- und Werkstoff 47, 383-387(1989)
- 5) Graf, E. : Zur Problematik der Verbrennung von mit Schutzmitteln behandeltem Holz. Holz als Roh- und Werkstoff, 49, 291-297(1991)
- 6) Hansen, L. D., Richter, B.E Lamb, D. K. and Eatough, D.J.: Determination of arsenic and sulfur species in

- environmental samples by ion chromatography. Analytical Chemistry, 51, 633-636(1979)
- 7) Marutzky, R. : Grenzen der Emissionsminderung bei Holzspanetrocknern unter Berücksichtigung der neuern TA Luft. Holz als Roh- und Werkstoff, 45, 421-427 (1987)
 - 8) Marutzky, R. : Entsorgung von mit Holzschutzmitteln behandelten Holzern. Holz als Roh- und Werkstoff, 48, 19-24(1990)
 - 9) McMahon, C. K., Bush, P. B. and Woolson, E. A. : How much arsenic is released when CCA treated wood is burned? Forest Products Journal, 36, 11/12, 45-50 (1986)
 - 10) Nadikarni, R. A. : Multitechnique multielemental analysis of coal and fly ash. Analytical Chemistry, 52, 6, 929-935(1980)
 - 11) Nimz, H. H. : Probleme, Kenntnisse und Hoffnungen zum Thema "Holzstaub". Holz als Roh- und Werkstoff, 46, 117-121(1988)
 - 12) 布村 昭夫:「ヒラタキクイムシの生態と防除(2)」北林産試月報 No. 233, 1-6(1968)
 - 13) Nussbaumer, T.: Anforderung an umweltfreundliche Holzfeuerungsanlagen. Holz als Roh- und Werkstoff, 48, 445-450(1991)
 - 14) 小田島輝一, 大山幸夫:「広葉樹生丸太防腐剤としての酸性弗化物の諸性質及び実地試験」北林指月報 No. 99, 10-14(1961)
 - 15) petrowitz, H.-J. und Kruger, K. : Veränderungen der chemischen Zusammensetzung von Steinkohlenteeröl in Buchenschwellen unter tropischen Bedingungen. Holz als Roh- und Werkstoff, 49, 349-352(1991)
 - 16) Pohlandt, K., Marutzky, R. : Zusammensetzung und Eluierbarkeit von Aschen aus industriellen Feuerungsanlagen holzverarbeitender Betriebe. Holz als Roh- und Werkstoff, 51, 193-196(1993)
 - 17) Richardson, B. A. : Sapstain control. Paperi ja Puu, 10, 613-624(1972)
 - 18) Salthammer, T., Klipp, H., Peek, R.-D. and Marutzky, R. : Emissions from the combustion of wood treated with organic and inorganic preservatives. No : IRG/WP 94-50019(1994)
 - 19) salthammer, T., Klipp, H., Peek, R.-D. and Marutzky, R. : Untersuchungen über Emissionen bei der thermischen Verwertung von holzschutzmittelhaltigen Holzresten. Holz als Roh- und Werkstoff, 52, 247-252(1994)
 - 20) Schmidt, O., Dittberner, D., Faix, O. Zum Verhalten einiger Bakterien und Pilze gegenüber Steinkohlenteeröl. Material and Organismen, 1, 13130(1991)
 - 21) Schriever, E. : Zur Bestimmung von Chlor und Schwefel

- in Holz und Holzwerkstoffen.
Holz als Roh- und Werkstoff, 42, 261-264(1984)
- 22) Schriever, E. : Bestimmung von natriumhaltigen Zusatzstoffen in Holzwerkstoffen.
Holz als Roh- und Werkstoff, 43, 29-31(1984)
- 23) Seeger, K. : Holz, : Rohstoff oder Brennstoff? Holz als Roh- und Werkstoff, 38,181-183(1980)
- 24) Strecker, M., Marutzky, R. : Zur Dioxinbildung bei der Verbrennung von unbehandelten und behandelten Holz und Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff,52,33-38(1994)
- 25) (社)日本木材保存協会,「保存処理木材のリサイクル利用技術ならびに安全廃棄技術」平成6年
- 26) UNEP Environmental Aspects of Industrial Wood Preservation. A Technical Guide.
Technical Report Series, No. 20(1994)
- 27) Winkler, H.D. : Die Novellierung der TA-Luft-Wuswirkungen auf die Spanplattenindustrie. Holz als Roh- und Werkstoff, 42,19-24(1984)
- 28) (財)日本住宅・木材技術センター木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書(1)発生・再利用 実態調査事業,平成6年

(林産試験場 主任研究員)