

木質バイオマス燃焼灰の林地還元に向けた基礎知見* - カラマツペレット燃焼灰を用いた検討 -

折橋 健**, 山田 敦**, 高橋 徹***, 田代直明****, 古賀信也****

本研究は、木質バイオマス燃焼灰の林地還元に向けた基礎研究である。この研究では次の3点を実施した。すなわち、カラマツペレット燃焼灰を用いて、1) 燃焼灰の化学分析、2) 燃焼灰の固形資材化、3) 燃焼灰と固形資材の苗木への施用を行った。複数のペレットストーブより燃焼灰を収集し、一つにまとめて化学分析用のサンプルとした。燃焼灰は、主要な栄養元素としてカルシウムおよびカリウムを含有し、また強アルカリ性で易溶性のカリウムに富んでいた。重金属類の含有量および溶出量は、汚泥肥料での許容上限値もしくは特殊肥料での基準値と同等もしくはそれ未満であった。固形資材は、ペレタイザーを用いて燃焼灰と堆肥より製造した。その成形率は99%で、燃焼灰と比較して固形資材のpHや電気伝導度は低かった。固形資材の重金属類については、含有量、溶出量ともに上記の許容上限値もしくは基準値を下回った。燃焼灰の施用は、苗木の成長を阻害しなかった。一方、固形資材の施用により一時的に苗木の成長が遅れた。苗木の針葉や幹枝の重量は、燃焼灰や固形資材の施用により増加することが示唆された。
キーワード：木灰、化学成分、固形化、苗木、成長

This study aimed to obtain basic knowledge for returning woody biomass combustion ash (CA) to forest land. Using CA from Japanese larch pellet fuel, three points were focused on: 1) Chemical analyses of CA, 2) Experimentally production of a solid material (SM) from CA, and 3) Application of CA and SM to tree seedlings. The CA sample for chemical analyses was a mixture of ashes collected from several wood pellet stoves. The CA contained calcium and potassium as the main nutrients and was strongly alkaline and rich in easily soluble potassium. Contents and elution of heavy-metals in the CA were equal to or lower than the Japanese permissible upper limits for sludge fertilizers or the Japanese reference values for special fertilizers. A pelletizer was used to make SM from CA and manure compost. The SM yield was 99%. The SM showed low pH and low electrical conductivity compared with CA. Contents and elution of heavy-metals in the SM were lower than the above permissible upper limits or reference values. After an application of CA, seedlings grew without delayed growth. An application of SM temporarily delayed seedling growth. It was also suggested that applications of CA and SM were likely to increase weights of needles, branches and stems of seedlings.

Keywords : wood ash, chemical component, solidification, seedling, growth

1. はじめに

昨今わが国では、木質バイオマスのエネルギー利用に関して様々な技術が開発されている(青柳2004; 坂2005)。实用レベルにおいては、木質バイオマスをチップやペレットなどに加工し、直接燃焼利用する機会が多い(新エネルギー財団2006)が、それに伴って発生する燃焼灰の処理は、木質バイオマスのエネルギー利用の推進において重要課題の一つとされる(山内ほか2007)。

木質バイオマスは再生産可能な資源であり、持続的エネルギーとして期待されている(谷2004)。しかしその持続的な利用を可能にするためには、木質バイオマスの供給源である森林の生産力維持に努める必要がある。燃焼灰は樹

木が森林土壌から吸収したミネラル分を主体としており、森林生態系における物質循環を考慮すると元の森林へ還元することが望ましい。北米やヨーロッパにおいてはすでに燃焼灰の林地散布が行われており(白石2001; The centre for biomass technology 2002)、わが国においても実施が期待される。

燃焼灰の活用にあたり、その含有成分を把握することは重要である(多田野2007; 山内ほか2007)。燃焼灰の含有成分は基本的には木質バイオマス由来と考えられるが、木質バイオマスの収集から加工、燃焼および灰回収までの過程において他成分の混入も考えられる(岩手県2005)ことから、その点を考慮して化学分析が行われるべきである。また、燃焼灰の施用が樹木に与える影響についても事前に

* Ken Orihashi, Atsushi Yamada, Touru Takahashi, Naoaki Tashiro, Shinya Koga

** 北海道立総合研究機構林産試験場
Forest Products Research Institute, Hokkaido Research Organization

*** 北海道立総合研究機構工業試験場
Industrial Research Institute, Hokkaido Research Organization

**** 九州大学北海道演習林
Ashoro Research Forest, Kyushu University

把握を行い、林地還元に必要なことがある。

北海道十勝管内足寄町では、産学官連携の下、地元の豊富な森林資源を活用した地域振興を展開している（北海道2006）。2005年より地元の林地残材を原料とした木質ペレットの生産が行われており、役場庁舎や子どもセンターなどの事業所や、一般家庭においてエネルギー利用されている。2007年のペレット生産量は約450t、町内でのペレット消費量は約400tであり、木質バイオマスの発生地と消費地が同一地域であることや、大口消費施設よりまとまった量の燃焼灰が排出されることから、燃焼灰の林地還元を検討する上で適した地域といえる。

そこで本研究では、わが国での木質バイオマス燃焼灰の林地還元の実施に先立ち、足寄町での実証試験を行うための基礎研究として次の三点を検討した。第一に、足寄産木質ペレットの燃焼灰を採取し、栄養元素や重金属類の含有量や溶出量について分析、考察した。第二に、燃焼灰の林地還元における作業性向上等を念頭に、燃焼灰を足寄産堆肥と混合し、固形資材とすることを試みた。第三に、燃焼灰や固形資材をカラマツ苗木に施用し、それらが苗木の生育に与える影響について調査した。

2. 材料と方法

2.1. 燃焼灰の化学分析

2.1.1. 試料の調製

足寄産カラマツ全木ペレットの燃焼灰を、2006年春に足寄町内の複数のペレットストーブより採取した。これを十分に混合してからふるい、粒径2mm未満を試料とした。

2.1.2. 水分、pH、電気伝導度および栄養元素の分析

水分量は試料を未粉碎のまま測定した。また他項目については、試料を概ね粒径0.5mm未満に粉碎してから分析した。

水分量：土壤標準分析・測定法（土壤標準分析・測定法委員会2003）に準じて測定し、試料生重量に対する水分量の割合（%）を求めた。

pHと電気伝導度（EC）：堆肥等有機物分析法（日本土壌協会2000）にしたがって測定した。試料と水の比は1:10とし、pHは20、ECは25における値を求めた。

栄養元素含有量：炭素（C）、窒素（N）、リン（P）、カリウム（K）、カルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）を対象とした。CとNはCHNコーダー（ヤナコ、MT-3、東京）により、他は肥料分析法（越野2001）にしたがって測定した。

有効成分量：N、P、K、Ca、Mgを対象に、比較的速やかに溶出する量（以下、有効成分量とする）を測定した。すなわち、Nでは含有量×2/6を、Pではブレイ第二法による量（土壤標準分析・測定法委員会2003）を、K、Ca、Mgでは1N酢酸アンモニウム抽出量（土壤標準分析・測定法委員会2003）を有効成分量とした。

2.1.3. 重金属類の分析

元素含有量：総水銀（T-Hg）、カドミウム（Cd）、鉛（Pb）、全クロム（T-Cr）、ヒ素（As）、銅（Cu）、亜鉛（Zn）およびニッケル（Ni）を対象とし、肥料分析法（越野2001）に準じて測定した。

元素溶出量：T-Hg、Cd、Pb、六価クロム（Cr⁶⁺）、Asおよびセレン（Se）を対象とし、昭和48年環境庁告示第13号法（日本環境測定分析協会1996）に準じて測定した。

2.2. 固形資材の試作

2.2.1. 原料の調製

燃焼灰は2.1.1と同じものを使用した。堆肥については、足寄町内の畜産家が牛糞およびカラマツチップを原料に自家製造したものを2006年秋に譲り受けた。風乾、粉碎後にふるい、粒径6mm未満を原料とした。

2.2.2. 固形資材化

試作には、フラットダイ型ペレタイザー（不二パウダル、F-5特殊型、東京）を用いた。ダイは有効厚さ30mm、孔径6mmのものを使用し、温度を100に保持した。燃焼灰と堆肥の混合割合は、絶乾重量比で1:7.1とし、水分を約25%に調整してからペレタイザーにかけた。ペレタイザーからの排出物は全て回収し、これを目の開きが4mm（約5メッシュ）のふるいにかけ、ふるい上に残ったものを固形資材とした。全排出物に対する固形資材の割合（%）を成形率として求めた。

2.2.3. 化学分析

燃焼灰と同じ項目の分析を2.1.2および2.1.3の手法により行った。

2.3. 燃焼灰と固形資材の苗木への施用

2.3.1. 試験地および試験設計

試験地は、九州大学北海道演習林（十勝管内足寄町）の愛冠苗畑であった。ここに1×1mのプロットを1m間隔で設けた。苗木の植栽は、2006年7月27日に行った。1年生のカラマツ（*Larix kaempferi*）をプロットあたり4本植栽し、燃焼灰および固形資材の施用時まで養成した。苗木の生育状況を同年10月20日に調査し、その結果を踏まえて3試験区を設定した。その内訳は、燃焼灰施用区（8プロット、32本）、固形資材施用区（8プロット、32本）、対照区（9プロット、36本）であった。燃焼灰および固形資材の施用は、同年11月16日に行った。施用量に関しては、塘（1971）によるカラマツ苗畑での施肥目安を参考とした。この目安においては、Nの施用量を14g/m²としているが、固形資材についてはNの有効成分量が目安量程度となるように施用量を設定し、苗木1本あたり絶乾重量で111.3g（燃焼灰13.8g、堆肥97.5g）とした。また、燃焼灰の苗木1本に対する施用量は、固形資材の施用における燃焼灰相当分（絶乾重量13.8g）とした。これらは、苗木の周囲、半径12cmの範囲へ施用し、その上に黒土100gを振りかけた。黒土の施用は、

対照区の苗木に対しても行った。

2.3.2. 苗木の生育調査

苗高と地際直径の測定：2007年5月24日，7月6日，8月1日および29日，11月8日および2008年11月6日に行い，試験区間で比較した。統計解析では，田中・垂水（1999）にしたがって，クラスカル・ワリス検定（有意水準は上側5%）とそれに続くボンフェローニ型の多重比較（有意水準は両側5%）を行った。

地上部乾燥重量の測定：2007年8月1日時点の苗高および地際直径に基づいて，各プロットから成長が中位の苗木を1本ずつ乾重測定用に選定した。合計では，燃焼灰施用区と固形資材施用区が各8本，対照区が9本であった。この際，各試験区内の選定木を含む標本と含まない標本とで苗高および地際直径に有意差がないことを確認した。同年8月29日に選定木の地上部を採取し，針葉と幹枝とに分けてから70℃で48時間乾燥して重量を求めた。また，2008年11月6日に，残りの苗木の地上部を全て採取し，幹枝の乾燥重量を同様に測定した。本数は，燃焼灰施用区と固形資材施用区が各24本，対照区が27本である。試験区間での比較には，クラスカル・ワリス検定（有意水準は上側5%）（田中・垂水1999）を用いた。

3. 結果と考察

3.1. 燃焼灰の化学特性

燃焼灰の水分量，pH，ECおよび栄養元素に関する分析結果を表1に示す。pHやECは高い値を示した。含有量については，CaおよびKを主とし，次いでMg，Pが多かった。Nについては0.1%に満たなかった。有効成分量については，Kが主であり，含有量の半分程度が比較的速やかに溶出しうる形態であった。一方Caは，含有量が多い割に有効成分量は少なかった。含有量に対する有効成分量の割合は，Ca，Mgが7%前後，Pが1%未満であり，これらはKと比べて溶出しにくい形態で含まれていることが示唆された。以上のことから，今回対象とした燃焼灰については，主要な栄養元素としてCaおよびKを含有しているといえる。これは，木材チップボイラー燃焼灰の分析事例と傾向が一致した（多田野 2007）。また，強アルカリ性で易溶性のKが多いという特徴も合わせて指摘できる。

先述のように，燃焼灰には木質バイオマスに由来しない他成分の混入もありうるとされる（岩手県 2005）。したがって，林地還元にあたり安全性の確認が不可欠である。燃焼灰の安全性において注視されるのは重金属類である（多田野 2007；山内ほか 2007）。本研究では，産業活動等による排出物をカスケード利用して生産される汚泥肥料での許容上限値もしくは特殊肥料での基準値（農林統計協会 2005）を目安とし検討を行った。なお，汚泥肥料とは，排水，下水，し尿，家畜排泄物などのばっ気処理，発酵処理により得られる汚泥を原料とする肥料（藤原ら 2003）であり，特殊肥料とは，米ぬか，魚かすのような農家の経験と五感によって識別できる単純な肥料や，堆肥のような肥料の価値または施肥基準が必ずしも含有主成分量のみ依存しない肥料で，農林水産大臣が指定した肥料（農林統計協会 2005）のことである。検討の結果，今回の燃焼灰については重金属類の含有量，溶出量ともに許容上限値もしくは基準値以下であり，一定の安全性が確認された（表2）。

木質バイオマス燃焼灰の特性は，樹種，材部や樹皮といった部位，樹木生育時の土壌や気候，燃焼状況，灰の回収や保存における状況など様々な因子に依存し，成分変動も大きい（Demeyer *et al.* 2001）。また，解体材や塗装材，薬剤注入材を燃やして得られる灰は，重金属類を高濃度で含む可能性が高い（Demeyer *et al.* 2001）。これらのことから，燃焼灰の林地還元においては，樹木への影響などを考慮し，燃焼灰成分について品質を把握し，安全性の管理を行うことが望まれる。

3.2. 固形資材の試作

燃焼灰は通常粉体であり飛散しやすい。このため林地還元時の問題として，施用むらの発生や作業員による飛散灰の吸引といったことが想定される。そこで作業性向上と作業員の安全性を念頭に，燃焼灰の固形資材化を試みた。燃焼灰はバインダーなしでの固形化が難しい。そこで本研究では，燃焼灰を堆肥と混合した上で固形化した。堆肥は熱圧成形ボードの試作例（吉田・寺沢 2000）があり，固形化が容易なことから，バインダーになりうると考えた。

木質ペレット製造用のペレタイザーにて試作した結果（図1），成形率は99%と良好であった。原料水分は，木質ペレットを製造する際の原料水分（10～20%程度）と比較して高め（約25%）に調整する必要があったが，ダイの有効厚

表1. 供試物の水分，pH，電気伝導度および栄養元素に関するプロフィール

Table1 Profiles on moisture content, pH, electrical conductivity and nutrient elements of experimental materials.

Materials	MC ^{a)} (%)	pH (in H ₂ O)	EC ^{b)} (ms/cm)	C/N ratio	Total content (%) ^{c)}					Easily soluble content (%) ^{c)}				
					N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Combustion ash	1.7	12.6	15.0	67	0.070	2.5	14	17	3.9	0.023	0.0022	7.6	1.2	0.26
Manure compost	25	6.7	2.3	19	1.9	0.83	1.2	1.9	0.60	0.62	0.71	1.0	0.70	0.42
Solid material ^{d)}	13	9.1	2.9	19	1.6	1.1	2.7	3.5	1.0	0.54	0.57	2.0	1.3	0.33

注：^{a)}生重量に対する水分重量の割合(%)，^{b)}電気伝導度。^{c)}絶乾重量に対する割合(%)，^{d)}図1を参照のこと。

Note: ^{a)} Moisture content as % of original weight. ^{b)} Electrical conductivity. ^{c)} % of bone-dry weight. ^{d)} See Fig. 1.

表2. 供試物の重金属類に関するプロフィール

Table 2. Heavy-metals profiles of experimental materials.

a) 含有量 (mg/kg)^{a)}
a) Content (mg/kg)^{a)}

	T-Hg ^{b)}	Cd	Pb	T-Cr ^{c)}	As	Cu	Zn	Ni
Combustion ash	<0.01	5	8	260	<3	250	510	31
Manure compost	0.04	2	<3	29	<3	83	180	4
Solid material ^{d)}	0.03	2	<3	41	<3	48	180	6
Permissible upper limits ^{e)}	2	5	100	500	50	300 ^{f)}	900 ^{f)}	300

b) 水への溶出量 (mg/L)
b) Elution in water (mg/L)

	T-Hg ^{b)}	Cd	Pb	Cr ⁶⁺	As	Se
Combustion ash	<0.0001	<0.001	<0.02	0.58	<0.03	<0.03
Manure compost	<0.0001	<0.001	<0.02	<0.04	<0.03	<0.03
Solid material ^{d)}	<0.0001	<0.001	<0.02	<0.04	<0.03	<0.03
Permissible upper limits ^{e)}	0.005	0.3	0.3	1.5	0.3	0.3

注: a) 絶乾重量に対する含有量。b) 総水銀。c) 全クロム。d) 図1を参照のこと。e) 本研究では、重金属類に関する安全性の目安として、汚泥肥料の規格で定められた許容上限値を用いた。f) 特殊肥料の品質表示に関する基準値。
 Note: a) Content based on bone-dry weight. b) Total Hg. c) Total Cr. d) See Fig. 1. e) Japanese permissible upper limits for heavy-metals contained in sludge fertilizers were used as the safety criteria of the experimental materials. f) Japanese reference values for the quality labeling of special fertilizers.

さや孔径、温度といったペレタイザーの条件は、木質ペレット製造時の設定を変更する必要はなかった。

固形資材の化学特性を把握するために、燃焼灰と同様の分析を行った。その結果について原料に用いた堆肥の結果と合わせて表1に示す。燃焼灰と比較して、pHやECの値は大幅に低い値となった。栄養元素の含有量については、燃焼灰に対してNが多く、他元素は少なかった。また有効成分量については、燃焼灰に対してKが少なく、他元素は



図1. ペレタイザーを使用して燃焼灰と堆肥の混合物より試作した固形資材

注: 燃焼灰と堆肥の混合比(絶乾重量比)は1対7.1である。
 Fig. 1. The solid material produced experimentally from a mixture of combustion ash and manure compost using a pelletizer.

Note: The ash/compost ratio based on bone-dry weight is 1/7.1.

多い結果となった。栄養元素の含有量に対する有効成分量の割合についてみると、燃焼灰ではKが高く他元素は低かったが、固形資材ではK以外の元素も高く33~74%となった。固形資材の安全性について、燃焼灰と同様に汚泥肥料の許容上限値もしくは特殊肥料の基準値(農林統計協会2005)を目安として検討を行ったところ、含有量、溶出量ともに許容上限値もしくは基準値を下回った(表2)。

燃焼灰と堆肥の混合割合については、本研究では一条件しか検討していないが、成分バランスの調整を目的とした混合割合の変更も想定される。混合割合を変える場合、固形資材の成形性に影響する可能性があるため、今後その点の検討が必要である。足寄町では畜産業が基幹産業となっており(北海道2006)、家畜糞尿を原料とする堆肥が発生する。固形資材が実用化されれば、地域資源の一層の有効利用につながるものと期待される。堆肥については、原料や堆肥化方法の違いなどにより成分が変動すると予測されることから、燃焼灰と同様に品質管理が重要になると考えられる。

3.3. 燃焼灰や固形資材の施用が苗木に与える影響

2007年7月の測定において、各試験区で1本ずつ先枯れが認められた。しかし、対照区も含めて発生本数に差がなかったことから、施用に起因するものではないと考えられた。また他の測定時において、外見上判別できる異常は一切認められなかった。

苗高については、2007年5月の測定時に試験区間で有意差が認められた(図2a)。多重比較により、固形資材施用区の苗高(平均値±標準偏差(cm), 18.5 ± 1.8)が、燃焼灰施用区(19.9 ± 2.7)や対照区(19.8 ± 2.2)のもの比べて有意に低いことが示された。2007年7月以降の測定では、試験区間における苗高の有意差は認められなかった(図2a)。また、地際直径については、いずれの測定においても試験区間で有意差はなかった(図2b)。

燃焼灰施用区の苗木は、試験期間中、対照区のものと同様の成長を示した。したがって、今回の施用量程度であれば、苗木に対して成長阻害をもたらすことなく、燃焼灰の林地還元を実施できるものと考えられる。林地に還元される燃焼灰量は、林地から持ち出された木質バイオマス量に基づいて設定される。その量は、今回の施用量とは異なり、場合によってはさらに多い量となる可能性もある。したがって、施用量をさらに増やした場合の苗木への影響について検討が必要である。

固形資材施用区では、2007年5月の測定時に苗高が他試験区よりも有意に低くなった。試験地は冬に積雪状態となるため、春には融雪水が土壌に供給される。その際、固形資材からの成分溶出が進んで土壌における濃度が過度に上昇し、苗木の伸長を阻害した可能性がある。これは「濃度障害」、「肥焼け」などと呼ばれる現象である(塘 1971)。同様のことは、燃焼灰施用区でも起こり得たことであるが、燃焼灰の施用量は固形資材と比べて少なかったために、確認されなかったのではないかと推察される。2007年7月以降の測定では、固形資材施用区の苗木は、他試験区のものと同様の成長を示した。したがって、仮に今回の現象が濃度障害だったとしても、それは一時的なものであったといえる。

先に述べたように、燃焼灰や固形資材の施用量は、今回よりもさらに多くなる可能性があるが、施用量が多いと

濃度障害が発生しやすくなると考えられる。したがって、今後、濃度障害についても留意の上、施用の時期や方法、量を検討していく必要がある。

針葉および幹枝の乾燥重量については、試験区間で有意差は認められなかったが、燃焼灰施用区および固形資材施用区の平均値は対照区よりも大きい傾向があった(表3)。これは、施用によって針葉や幹枝の重量が増える可能性を示唆するものである。燃焼灰(浅田ほか 2008)や堆肥(佐藤・宮森 1974)の施用により、苗木重量が増加するとの報告もあることから、施用方法や量についてさらに検討することにより、成長量を増加させる効果が認められるのではないかと期待される。

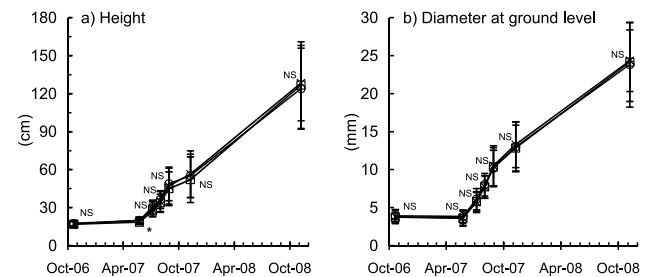


図2. 供試物施用後の苗木の成長

凡例: ○: 燃焼灰施用, □: 固形資材施用, ×: 対照
注: NS: クラスカル・ワリス検定において有意差なし。
*: 5%水準で有意差あり。施用日は2006年11月16日である。
バーは標準偏差を示す。

Fig. 2. Seedling growth after an application of experimental materials.

Legend: ○: Combustion ash treatment, □: Solid material treatment, ×: Control.

Note: NS: Not significant by Kruskal-Wallis test, *: Significant at 5% level.

The application date was Nov. 16, 2006. Bars indicate standard deviations.

表3. 供試物の施用を受けた苗木の地上部乾燥重量

Table 3. Above-ground dry weights of seedlings treated with the experimental materials.

Treatments	Collected on Aug. 29, 2007		Nov. 6, 2008
	Needles (g) ^{a)}	Branches and stem (g) ^{a)}	Branches and stem (g) ^{a)}
Combustion ash	15.0 ± 6.3	9.9 ± 3.9	186 ± 118
Solid material ^{b)}	13.8 ± 4.2	9.1 ± 2.9	199 ± 122
Control	10.4 ± 5.6	7.1 ± 4.3	177 ± 78
	NS ^{c)}	NS ^{c)}	NS ^{c)}

注: ^{a)}地上部は70℃で48時間乾燥した。値は平均値±標準偏差である。^{b)}図1を参照のこと。^{c)}クラスカル・ワリス検定において有意差なし。

Note: ^{a)} Above-ground parts were dried at 70℃ for 48 hours. Values are means ± standard deviations. ^{b)} See Fig. 1. ^{c)} Not significant by Kruskal-Wallis test.

謝 辞

九州大学北海道演習林の馬淵哲也氏、大崎繁氏、扇大輔氏、長慶一郎氏をはじめとする職員の皆様には、燃焼灰や堆肥の採取および苗木の生育試験においてご協力をいただいた。また、北海道立総合研究機構林産試験場の小林裕昇氏、檜山亮氏には、苗木の生育試験においてご協力をいただいた。記して厚くお礼申し上げます。

文 献

- 青柳聡史 (2004) 木質バイオマスのエネルギー変換技術と利用形態. 森林科学 40: 17-24
- 浅田隆之・三角真代・篠村善徳・西条良彦・古城敦・岩崎誠 (2008) カルシウム・マグネシウムに対する樹木の生長応答. 第119回日本森林学会大会講演集: P3g13.
- Demeyer A, Voundi Nkana JC, Verloo MG (2001) Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. Bioresour Technol 77 (3): 287-295
- 土壤標準分析・測定法委員会 (2003) 土壤標準分析・測定法 (POD版). 博友社, 東京
- 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎 (2003) 新版土壤肥料用語辞典. 農山漁村文化協会, 東京
- 北海道 (2006) #7足寄町 - 木質バイオマス資源の活用を目指して (<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srk/sansin/07/07.htm>). 北海道水産林務部森林計画課森林山村グループ, 北海道
- 岩手県 (2005) 木質ペレットの燃焼灰について (平成17年10月). 岩手県農林水産部林業振興課, 岩手
- 越野正義 (2001) 第二改訂 詳解肥料分析法. 養賢堂, 東京
- 日本土壤協会 (2000) 堆肥等有機物分析法. (財)日本土壤協会, 東京

- 日本環境測定分析協会 (1996) 産業廃棄物分析マニュアル. (社)日本環境測定分析協会, 東京
- 農林統計協会 (2005) 2004年 ポケット肥料要覧. (財)農林統計協会, 東京
- 坂 志朗 (2005) 木質バイオマスからのバイオエネルギー. 木材学会誌 51(1): 58-59
- 佐藤昭一・宮森吉次 (1974) 廃材堆肥による苗畑の土壤改良 (I) - ノコ屑堆肥の効果について -. 日本林学会北海道支部講演集 22: 61-66
- 新エネルギー財団 (2006) 「新エネルギー人材育成研修会」テキスト バイオマスコース (木質バイオマス編). (財)新エネルギー財団 計画本部, 東京
- 白石善也 (2001) 木質バイオマス利用と林業. (森のセミナーNo.7森のバイオマスエネルギー 地域資源で快適・おしゃれなあたたかさ. (社)全国林業改良普及協会編, (社)全国林業改良普及協会, 東京). 47-52
- 多田野修 (2007) 生チップボイラーによる燃料利用技術の開発 (その9) - 燃焼灰の成分分析 -. 岩手県林業技術センター研究成果速報 No. 234
- 田中 豊・垂水共之 (1999) Windows版統計解析ハンドブック ノンパラメトリック法. 共立出版, 東京
- 谷 秀治 (2004) 日本のバイオマス政策. 森林科学 40: 4-9
- The Centre for Biomass Technology (2002) Wood for Energy Production. Technology -Environment -Economy. Second Revised Edition. Serup H (ed), The Centre for Biomass Technology, Denmark
- 塘 隆男 (1971) 苗畑施肥と林地肥培. 地球出版, 東京
- 山内繁・斉藤勝美・世良耕一郎・和田佳久・梶原正章 (2007) バイオマス発電燃え殻の元素的特徴 - 荷電粒子励起 X線分析法による多元素同時分析 -. 木材工業 62 (4): 157-162
- 吉田華奈・寺沢実 (2000) コンポストの成形利用. 日本木材学会北海道支部講演集 32: 59-60