

バイオマス発電プラントの燃料に使用される木質系廃棄物の元素組成

斉藤勝美 山内 繁^{*1} 桑原正章^{*1} 世良耕一郎^{*2}

秋田県健康環境センター環境部
010-0975 秋田県秋田市八橋字下八橋 191-42

^{*1} 秋田県立大学木材高度加工研究所
016-0876 秋田県能代市海詠坂 11-1

^{*2} 岩手医科大学サイクロトロンセンター
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村字留が森 348-58

1 はじめに

間伐材や樹皮などの木質系廃棄物を燃焼させてエネルギー化するバイオマス発電は、循環型資源の利用として期待されてはいるが、燃焼残灰の活用を含めた処理が課題となっている。燃焼残灰の活用あるいは廃棄物として処分するにしても、その中に含まれている化学組成、特に元素組成を把握することが重要な要素である。そのため、すでに稼動している能代バイオマスプラントを対象に、発生する燃焼残灰と燃料となる間伐材、樹皮など木質系廃棄物の元素含有量を PIXE 法で分析をしている。本報告では、燃焼残灰のもととなる木質系廃棄物の元素含有量について述べる。

2 方法

能代バイオマスプラント (Fig. 1) で燃料として使用している木質系廃棄物は、建設廃材 (合板), 建設廃材 (角材), 製材端材 (無垢板), 製材端材 (化粧合板), 製材端板 (ハードボード), 風倒木 (アカシヤ), マツ食い虫被害木材, スギ樹皮およびインシュレーションファイバーの 9 種類である。インシュレーションファイバーを除く 8 種類の木質系廃棄物は、カッテングミルにより直径 0.5mm の木粉とした。インシュレーションファイバーは、最初から木粉となっている。

PIXE 分析の照射用試料を作成するために、木粉とした木質系廃棄物の約 50 mg を Futatsugawa *et al.*¹⁾ のマイクロオープンを用いての硝酸加熱灰化法に準じて分解した。すなわち、テフロン製容器に試料約 50 mg を精秤して入れ、



Fig. 1 Photograph of Noshiro bio-mass power plant.

これに濃硝酸（電子工業用，林純薬工業製）1 mL と内部標準元素として In 標準溶液（1000 mg/L 原子吸光分析用標準液，和光純薬工業製）を試料重量に対して 1000 $\mu\text{g/g}$ になるように添加し，テフロン製容器の蓋をしたのちポリプロピレン製外装容器に封入して，マイクロオーブン（200W）にて2分加熱，10分間放置，2分再加熱した。PIXE 分析の照射用試料は，クリンベンチ内であらかじめ Mylar[®] film（500 μm ポリエステル製）に貼り付けた 4 μm のポリプロピレン製フィルム上に，硝酸分解した試料をマイクロピペットにより 10 μL 滴下して自然乾燥させて作成した。照射用試料は9種の木質系廃棄物に対して，それぞれ5個作成した。

PIXE 分析は，(社)日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンター（NMCC）で行った。スモールサイズのサイクロトロンからの 2.9MeV のプロトンビーム（6 mm ϕ ）を真空チャンバー内で照射試料に照射し，これにより発生した特性 X 線を低エネルギー用と高エネルギー用の 2 台の Si (Li) 検出器で同時に測定してスペクトルを得た。これらのスペクトルを取得した際のビーム電流値は 40-70 nA，電荷量は 10-100 μC ，また照射は 5-25 分であった。スペクトルから検出元素のピーク面積を解析するには解析プログラム”SAPIX”²⁾，ピーク面積から定量値を求めるには内部標準法¹⁾によった。

3 結果

PIXE 分析を行った木質系廃棄物の元素含有量を Table 1 に示した。Table 1 に示す元素含有量は，木質系廃棄物を 110 $^{\circ}\text{C}$ で 48 時間乾燥させて求めた含水率で補正している。木質系廃棄物からは 24 元素 (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Br, Rb, Sr, Hg および Pb) が定量され，9 種類すべての木質系廃棄物から定量された元素は，P, Cl, V, Cr, Co, Ni, Ga, Br, Rb および Hg を除く 14 元素であった。主要元素は，Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca および Fe の 8 元素である。

主要元素の濃度をみると，木質の種類によって元素濃度は異なるものの，建設廃材（角材），製材端材（無垢板），製材端材（化粧合板）は K を除けばほぼ同じ濃度レベルである。他の木質系廃棄物は，元素濃度に数倍の違いがみられる。微量元素では，風倒木（アカシヤ）とマツ食い虫被害木材に Hg が含有されており，建設廃材（合板）とインシュレーションファイバーの Zn と Pb の濃度が，他の木質系廃棄物より多少高くなっている。

参考文献

- 1) S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, S. Saitou and K. Sera, “Present status of NMCC and sample preparation method for bio-samples, *Int. J. PIXE*, **3**, 319-328 (1993).
- 2) K. Sera, T. Yanagisawa, H. Tsunoda, S. Hutatukawa, Y. Saitoh, S. Suzuki and H. Orihara, “Bio-PIXE at Takizawa Facility (Bio-PIXE with a Baby Cyclotron)”, *Int. J. PIXE*, **2**, 325-330 (1992).

Table 1 Elemental concentration (dry weight) in waste woods used for fuel of bio-mass power plant *1

Element	Mean \pm SD								
	Wood-1	Wood-2	Wood-3	Wood-4	Wood-5	Wood-6	Wood-7	Wood-8	Wood-9
Na (mg/g)	0.777 \pm 0.057	0.099 \pm 0.020	0.094 \pm 0.017	0.131 \pm 0.020	0.135 \pm 0.029	0.163 \pm 0.009	0.112 \pm 0.013	0.215 \pm 0.053	0.173 \pm 0.02
Mg (mg/g)	0.212 \pm 0.021	0.104 \pm 0.008	0.148 \pm 0.016	0.136 \pm 0.017	0.038 \pm 0.016	0.282 \pm 0.065	0.262 \pm 0.032	0.297 \pm 0.035	0.260 \pm 0.04
Al (mg/g)	0.108 \pm 0.006	0.066 \pm 0.024	0.050 \pm 0.010	0.081 \pm 0.003	0.372 \pm 0.034	0.053 \pm 0.008	0.134 \pm 0.016	0.149 \pm 0.007	1.57 \pm 0.01
Si (mg/g)	0.370 \pm 0.088	0.205 \pm 0.028	0.242 \pm 0.007	0.233 \pm 0.031	0.197 \pm 0.040	0.218 \pm 0.022	0.214 \pm 0.028	0.457 \pm 0.006	1.58 \pm 0.10
P (mg/g)	0.159 \pm 0.023	<LOQ	0.027 \pm 0.007	0.445 \pm 0.013	0.055 \pm 0.012	0.175 \pm 0.015	0.081 \pm 0.012	0.208 \pm 0.033	0.040 \pm 0.009
S (mg/g)	0.431 \pm 0.013	0.123 \pm 0.005	0.080 \pm 0.010	0.073 \pm 0.015	0.109 \pm 0.014	0.386 \pm 0.049	0.163 \pm 0.016	0.341 \pm 0.026	0.150 \pm 0.006
Cl (μg/g)	92 \pm 28	15 \pm 4	26 \pm 12	62 \pm 12	<LOQ	<LOQ	<LOQ	22 \pm 5	29 \pm 11
K (mg/g)	1.94 \pm 0.06	1.17 \pm 0.14	0.319 \pm 0.055	0.566 \pm 0.012	0.250 \pm 0.031	1.49 \pm 0.17	0.409 \pm 0.062	1.86 \pm 0.01	0.372 \pm 0.022
Ca (mg/g)	2.51 \pm 0.11	1.16 \pm 0.15	1.87 \pm 0.04	1.28 \pm 0.03	0.530 \pm 0.032	3.21 \pm 0.32	4.04 \pm 0.18	8.71 \pm 0.15	2.70 \pm 0.18
Ti (μg/g)	15.4 \pm 3.0	5.1 \pm 0.7	11.8 \pm 1.6	83.7 \pm 15.7	12.0 \pm 2.8	14.7 \pm 1.6	7.3 \pm 3.7	9.3 \pm 1.7	80.0 \pm 2.1
V (μg/g)	<LOQ*2	1.0 \pm 0.1	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2.2 \pm 0.2	1.4 \pm 0.1	<LOQ	2.6 \pm 0.5
Cr (μg/g)	2.1 \pm 0.7	1.2 \pm 0.2	1.3 \pm 0.9	1.2 \pm 0.1	1.0 \pm 0.2	<LOQ	<LOQ	1.3 \pm 0.2	5.4 \pm 0.3
Mn (μg/g)	19.7 \pm 1.5	11.5 \pm 0.7	1.4 \pm 0.2	26.9 \pm 1.9	11.3 \pm 0.7	11.5 \pm 1.0	26.0 \pm 1.1	12.3 \pm 0.7	22.1 \pm 2.0
Fe (mg/g)	0.138 \pm 0.030	0.050 \pm 0.004	0.081 \pm 0.006	0.075 \pm 0.014	0.074 \pm 0.004	0.057 \pm 0.004	0.063 \pm 0.027	0.153 \pm 0.007	0.335 \pm 0.072
Co (μg/g)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.7 \pm 0.2	<LOQ	<LOQ	1.7 \pm 0.1	1.9 \pm 0.2
Ni (μg/g)	1.1 \pm 0.2	0.4 \pm 0.0	0.7 \pm 0.5	0.9 \pm 0.2	1.3 \pm 0.2	1.3 \pm 0.1	<LOQ	1.7 \pm 0.5	0.6 \pm 0.2
Cu (μg/g)	5.8 \pm 0.6	3.5 \pm 0.6	3.2 \pm 0.7	2.5 \pm 0.3	2.7 \pm 0.5	3.1 \pm 0.3	4.7 \pm 0.4	4.4 \pm 0.2	6.9 \pm 0.6
Zn (μg/g)	44.6 \pm 0.8	25.5 \pm 5.1	7.1 \pm 1.4	6.4 \pm 2.0	5.8 \pm 1.7	23.3 \pm 3.9	17.1 \pm 0.3	7.5 \pm 0.6	35.1 \pm 2.4
Ga (μg/g)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.3 \pm 0.1	<LOQ	0.4 \pm 0.1	<LOQ	<LOQ
Br (μg/g)	1.9 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1	<LOQ	0.5 \pm 0.2	0.5 \pm 0.1	1.0 \pm 0.3	0.4 \pm 0.1	0.7 \pm 0.2	18.2 \pm 10.0
Rb (μg/g)	1.7 \pm 0.4	0.8 \pm 0.1	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2.2 \pm 0.1	<LOQ
Sr (μg/g)	23.0 \pm 0.1	4.8 \pm 0.3	12.6 \pm 1.1	7.8 \pm 0.2	2.4 \pm 0.1	25.1 \pm 2.1	18.4 \pm 0.9	14.2 \pm 1.4	6.5 \pm 0.4
Hg (μg/g)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1.5 \pm 0.3	2.0 \pm 0.4	<LOQ
Pb (μg/g)	10.8 \pm 1.3	3.9 \pm 0.4	8.2 \pm 2.1	6.8 \pm 1.3	8.3 \pm 0.5	7.9 \pm 0.3	7.2 \pm 0.9	12.8 \pm 3.2	13.2 \pm 0.1

*1: Mean and SD of five measurements. *2: Below limit of quantification. Wood-1 is construction waste plywood. Wood-2 is construction waste square wood. Wood-3 is solid board. Wood-4 is fancy plywood. Wood-5 is hardboard. Wood-6 is false acacia. Wood-7 is tree attacked by pinewood nematode. Wood-8 is Japanese cedar bark. Wood-9 is insulation fiberboard.

Elemental compositions in waste woods used for fuel of bio-mass power plant

Katsumi Saitoh*¹, Shigeru Yamauchi*², Masaaki Kuwahara*² and Koichiro Sera*³

*¹Department of Environmental Science,
Akita Prefectural Research Center for Public Health and Environment
191-42 Yabase-Shimoyabase, Akita 010-8975, Japan

*²Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University
11-1 Kaiezaka, Noshiro 016-0876, Japan

*³Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa 020-0173, Japan

Abstract

The elemental contents of waste woods used for fuel of bio-mass power plant were determined by PIXE analysis. Kinds of the waste wood were construction waste plywood, construction waste square wood, solid board, fancy plywood, hardboard, false acacia (trees attacked by strong winds), tree attacked by pinewood nematode, Japanese cedar bark and insulation fibreboard. PIXE analysis of the waste wood samples revealed 24 elements, of which Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca and Fe were found to be the major components. For the major components, construction waste square wood, solid board and fancy plywood were the almost same concentration levels, except for K. However, in other waste woods, several times of differences was found to the major elements concentration. In the trace element, Hg was detected from the false acacia and the tree attacked by pinewood nematode. Zn and Pb concentrations of the construction waste plywood and the insulation fibreboard were somewhat higher than other the waste woods.