

# 木質系廃材の資源化に関する研究（第2報）

中島 俊・名取 潤\*<sup>1</sup>

## Study of Wooden trash change to Resources (Part II)

Toshi NAKAJIMA and Jyun NATORI

### 要 約

前年度試作した木材用マイクロ波乾留装置（1.2Kw）を使って、廃材ならびに廃材とプラスチック混合物の乾留実験を行った。この結果、廃材だけの乾留と廃材とプラスチックの混合物を乾留したものは、乾留液や発生ガスの組成がことなる。また、試料、分解方法などの分解条件が異なると乾留液の成分量が異なるので品質の安定化のためには成分調整を要する。

### 1. はじめに

産業廃棄物処理場では廃材（木材）、紙、布、プラスチック等の廃棄物を混合したまま焼却している。資源として再利用するにはできるだけ分別して同質の素材類を集めることが望ましいが、分別に手間がかかりコスト的とうてい無理である。

産業廃棄物の中から廃プラスチック類を含む廃材を採取してきて、木材用マイクロ波乾留装置を使って、廃材ならびに廃材とプラスチック類を乾留して、その生成物を調べ、マイクロ波乾留の基礎的知見ならびにマイクロ波乾留の有効利用について検討した。

### 2. 実験方法

#### 2-1 試 料

##### 1) 試料の採取と調整

実験に使う試料は丸中工業(株)（山梨県東八代郡一宮町）の産業廃棄物のストックヤードから紙、布類を除去して採取した。試料の採取はロットの状態および質を考慮して5箇所からインクリメントを採取し、これを合して大口試料とした。廃プラスチックは破砕機で20~30mmに細かくし、廃材は約2cm角位の大きさに調整した。この大口試料を小分けして工業分析・元素分析ならびに乾留試験用の試料とした。表1に廃棄物の構成を示した。

廃材には竹、ツガ、杉、ヒノキ、カラ松、ラワン等が含まれていた。

表1 廃棄物の構成

種 類	構成 %	内 容
紙 類	20~30	段ボール、セメント袋、コピー紙
廃 材	10~20	合板、建築廃材、枝
プラスチック類	60~70	下水道管、農業用フィルム、人造皮革、断熱材、カセット・テープ、クッション、ケース類、ポリ袋、包装用フィルム等
そ の 他	~5	布等

廃プラスチックにはいろいろの種類プラスチックが含まれているが、正確に分類することはなかなか困難である。そこで廃棄されたプラスチックの製品形態でおおよそ分類してみた。その結果廃プラスチックにはポリエチレン（軟質）、ポリプロピレン、塩化ビニル樹脂（ポリ塩化ビニル）、ポリスチレン（スチロール樹脂）、ポリ塩化ビニリデン、エチレン・酢酸ビニル樹脂、飽和ポリエステル樹脂、ポリウレタン、アクリロニトリル・スチレン樹脂等が含まれていることが推定できる。

#### 2-2 乾留試験

##### 1) 実験装置

実験には高出力マイクロ波による急速加熱の原理を利用した木材用マイクロ波乾留装置を用いた。実験装置はマイクロ波の入射波・反射波が測定できるようにパワーモニターが設置してある。実

\* 1 山梨県林業技術センター

験装置の仕様は以下の通りである。

実験装置の仕様

- (1) 処理方式 : マイクロ波誘電加熱処理方式
- (2) マイクロ波出力 : 最大1.2Kw (0~1.2Kw 連続可変)
- (3) 周波数 : 2450±30MHz
- (4) 処理容器 : 12ℓ アルミナ容器 (200φ×385)
- (5) 計装機器 : 熱電対温度計 (0~1050°C) 処理容器低部より10cm・中心部に設置
- (6) 所要電力 : AC200V, 3相3線 50Hz
- (7) 設置条件 : 周囲温度 5~40°C 周囲湿度 10~90%RH

実験装置の構成は、パワーモニター、パワーユニット、操作盤、パワーモニター検出部、加熱炉(処理容器を内蔵)、熱電対温度計、サイクロン、コンデンサー、排気ポンプからなる。図1に実験装置の概要を示す。

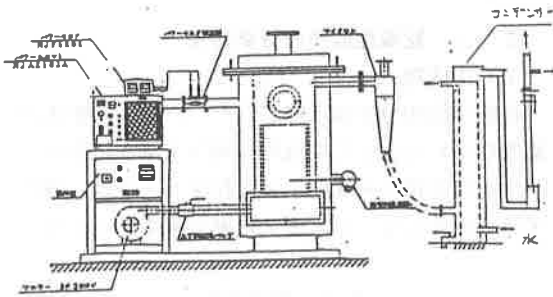


図1 実験装置

2) 実験内容

実験は試料の性状分析(かさ比重, 工業分析, 元素分析), 乾留, 分解生成物(発生ガス, 乾留液)の成分分析について行った。

乾留は廃材ならびに廃材とプラスチックの混合試料について行った。廃材の乾留は処理容器に廃材を2.5kg入れて, 1.2kwのマイクロ波を照射して室温から400°Cまでの乾留液ならびに発生ガスの採取と実験炉内の温度上昇の確認を行った。

廃材とプラスチックの混合物の乾留は処理容器に廃材1.34kg, プラスチック0.36kg(容積的には

半々)を入れて, 廃材の乾留と同様の条件で行った。

プラスチックはマイクロ波で加熱できないので単体での乾留実験は行わなかった。

採取した乾留液と発生ガスの成分分析項目と分析方法は表2, 表3の通りである。また, マイクロ波乾留で得られた乾留液の他にカラマツおよびナラ, クヌギの木炭製造で得られた木酢液についても成分分析を行った。

表2 乾留液の分析項目と分析方法

測定項目	下限値	単位	測定方法
酢酸	0.01	V/V%	GC-FID法
メタノール	10	μℓ/ℓ	GC-FID法
エタノール	10	μℓ/ℓ	GC-FID法
アセトン	10	μℓ/ℓ	GC-FID法
ベンゼン	10	μℓ/ℓ	GC-FID法
フェノール類	10	mg/ℓ	吸光光度法
溶解タール類	0.01	W/W%	重量法

なお, 表中でGC-FID法はGas Chromatography-Flame Ionization Detector(ガスクロマトグラフィー水素炎イオン化検出器)の略である。

表3 発生ガスの分析項目と分析方法

測定項目	下限値	単位	測定方法
酸素	0.1	V/V%	GC-TCD法
窒素	0.1	V/V%	GC-TCD法
一酸化炭素	0.1	V/V%	GC-TCD法
二酸化炭素	0.01	V/V%	GC-TCD法
水素	0.01	V/V%	GC-TCD法
硫化水素	1	V/VPPm	GC-FPD法
メタン	10	V/VPPm	GC-FID法
エタン	10	V/VPPm	GC-FID法
エチレン	10	V/VPPm	GC-FID法
プロパン	10	V/VPPm	GC-FID法
n-ブタン	10	V/VPPm	GC-FID法
アセチレン	10	V/VPPm	GC-FID法
1,3-ブタジエン	10	V/VPPm	GC-FID法
n-ペンタン	10	V/VPPm	GC-FID法
メタノール	10	V/VPPm	GC-FID法
エタノール	10	V/VPPm	GC-FID法

なお、表中でGC-TCDはGas Chromatography-Thermal Conductivity Detector (ガスクロマトグラフィー熱伝導度検出器)の略、GC-FPDはGas Chromatography-Flame Photometric Detector (ガスクロマトグラフィー炎光光度検出器)の略である。

### 3. 実験結果および考察

#### 3-1 試料の性状

##### 1) かさ比重

かさ比重の測定結果を表4に示した。廃材のかさ比重 (g/cm<sup>3</sup>) は鋸屑が0.19~0.22, チップが0.24~0.27であった。チップよりも鋸屑の方が比重が低い。この時の含水率は8.5~10.9%で、かなり乾燥した状態であった。破碎して細かくした廃プラスチックのかさ比重は0.07~0.08であった。含水率は3.4%で、表面に水分が少し付着した状態であった。

表4 かさ比重 (g/cm<sup>3</sup>)

廃材 (チップ)	廃材 (鋸屑)	廃プラスチック
0.24~0.27	0.19~0.22	0.07~0.08

##### 2) 工業分析, 元素分析の結果

廃材ならびにプラスチックの工業分析の結果を表5に示した。廃材は乾燥しているようでもプラスチックよりも水分が多く、揮発分はプラスチックの方が廃材よりも約20%多い。固定炭素は逆にプラスチックよりも廃材の方が約3倍多いことが分析の結果分かった。従って、プラスチックは乾留するとほとんどガス化するが、廃材は約20%前後炭になる。

表5 工業分析結果 W/W%

項目	廃材 (鋸屑)	プラスチック
水分	8.5~10.9	3.4
揮発分	64.3~64.5	86.0
固定炭素	20.9~24.5	7.2
灰分	2.5~3.9	3.4

廃材ならびにプラスチックの元素分析の結果を表6に示した。

炭素量および水素量はプラスチックの方が廃材よりも多く、酸素量は逆にプラスチックよりも廃材の方が5倍以上も多くなっている。塩素化合物、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>等の有害ガスの原因物質であるイオウ、塩素ならびに窒素量はプラスチックの方が廃材よりも多い。特に塩素の量は廃プラスチック中に含まれる塩化ビニルの量に比例して多くなる。

発熱量は水分ならびに酸素の含有量の少ないプラスチックが廃材より多いのは当然で、発熱量の測定結果はプラスチックが8,450Kcal、廃材が4,390Kcalであった。

表6 元素分析結果

測定項目	廃材	プラスチック	単位
炭素	50.4	68.1	W/W%
水素	6.98	10.4	W/W%
窒素	0.17	1.39	W/W%
酸素	37.5	6.85	W/W%
可燃性イオウ	0.06	0.16	W/W%
塩素	0.05	11.2	W/W%
発熱量	4390	8450	Kcal%
灰分	4.8	1.9	W/W%

#### 3-2 乾留生成物の分析結果

##### 1) 生成物

乾留は約90分でほぼ終了した。ただし、炉内の温度むらが大きくて生成物の量は正確さに欠けるが、炭化率は26~36%、ガス化率5~7%、液化率56~68%となった。表7に熱分解率を示した。

表7 熱分解率

炭化率 (%)	ガス化率 (%)	液化率 (%)
26~36	5~7	56~68

##### 2) 乾留液の分析結果

廃材ならびに廃材とプラスチックの混合試料の乾留液の分析結果を表8に示した。乾留の結果酢酸の量は廃材は4.31%、廃材とプラスチックの混合物が5.02%であった。廃材だけを乾留したものより廃材とプラスチックを混合した物の方が酢酸量は多くなった。メタノールの量は廃材が970 μl/l<sup>-1</sup>、廃材とプラスチックの混合物が370 μl/l<sup>-1</sup>であった。メタノールは逆に廃材を乾留したものが多かった。溶解タールの量は廃材が

20.2%、廃材とプラスチックの混合物が26.5%であった。

タールの量は混入するプラスチックの量が多くなると増えるものと考えられる。

表8 乾留液の分析結果

測定項目	廃材	廃材+ プラスチック	単位
酢酸	4.31	5.02	V/V%
メタノール	970	370	$\mu\text{l}/\text{l}$
エタノール	<10	<10	$\mu\text{l}/\text{l}$
アセトン	<10	<10	$\mu\text{l}/\text{l}$
ベンゼン	<10	<10	$\mu\text{l}/\text{l}$
フェノール類	650	430	mg/l
溶解タール類	20.2	26.5	W/W%

木炭製造時に得られるカラマツ、ナラ・クヌギの木酢液の分析結果を表9に示した。マイクロ波による廃材の乾留液の方がカラマツ、ナラ・クヌギの木酢液よりもタール分、酢酸ならびにメタノール量が多かった。フェノールは逆にカラマツ、ナラ・クヌギの木酢液の方がマイクロ波による廃材の乾留液より多かった。

木炭の製造は部分燃焼で熱分解するのに対してマイクロ波による乾留は空気を遮断した熱分解である。乾留液と木酢液の成分の違いは材料の違いも大いに関係しているが、乾留方法の違いによるところが大きいと考えられる。

表9 木酢液の分析結果

測定項目	カラマツ	コナラ・ブナ	単位
酢酸	3.90	2.18	V/V%
メタノール	50	40	$\mu\text{l}/\text{l}$
エタノール	<10	<10	$\mu\text{l}/\text{l}$
アセトン	<10	<10	$\mu\text{l}/\text{l}$
ベンゼン	<10	<10	$\mu\text{l}/\text{l}$
フェノール類	1010	890	mg/l
溶解タール類	0.83	4.30	W/W%

### 3) 発生ガスの分析結果

廃材ならびに廃材とプラスチックの混合試料の発生ガスの分析結果を表10に示した。炉内の温度が上昇するにつれてガスが発生してくる。ガスの組成は窒素、酸素が大半であった。これは炉内に

蓄積していた空気に由来していると考えられる。

乾留温度が400℃以下と低温乾留であるために発生ガスは少なかった。ガスの組成はプラスチックを混合した試料よりも廃材だけの試料の方がメタン、エタン、エチレン、プロピレン、メタノール分が多く含まれていた。

表10 発生ガスの分析結果

測定項目	廃材	廃材+ プラスチック	単位
酸素	12.0	19.7	V/V%
窒素	70.9	76.8	V/V%
一酸化炭素	5.9	0.8	V/V%
二酸化炭素	8.04	1.53	V/V%
水素	1.15	0.02	V/V%
硫化水素	2	2	V/VPPm
メタン	9200	1290	V/VPPm
エタン	700	150	V/VPPm
エチレン	960	120	V/VPPm
プロパン	120	50	V/VPPm
プロピレン	350	90	V/VPPm
n-ブタン	<10	20	V/VPPm
アセチレン	20	<10	V/VPPm
1, 3-ブタン	50	<10	V/VPPm
n-ペンタン	<10	20	V/VPPm
メタノール	1320	490	V/VPPm
エタノール	<10	<10	V/VPPm

## 4. 結論

マイクロ波は内部から加熱して短時間で試料を炭化するが、タール分の発生が多く、冷却管やバルブが詰まるなどタールによるトラブルが生じるのが欠点である。従って、バルブやタールトラップなどの取り付け方法を改善する必要がある。

廃材とプラスチック類を混合して熱分解処理したが、乾留液の酢酸量は若干ふえるもののタール量がふえ、メタノール、フェノール類が減少するなどの欠点もある。また、廃プラスチックの中に塩化ビニールの混入などによって重金属などの有害物が生成物中に混入する恐れがある。従って、プラスチック類と廃材は混合して乾留しない方が良いと考えられる。

マイクロ波による乾留液や木炭の製造時に得られる木酢液は分解の条件によって成分のばらつき

が大きい。乾留液や木酢液の品質を安定化するために酢酸、メタノール、フェノール類および溶解ター類の成分の調整が必要と考えられる。

今回の実験でマイクロ波による熱分解の基礎的知見を幾つか得た。今後は、マイクロ波乾留装置の有効利用を考えていきたい。

今回の実験にあたってご協力いただいた新日本無線(株)並びに東電環境エンジニアリング(株)に感謝致します。

#### 文 献

- 1) 廃棄物処理・再利用編集委員会：廃棄物の処理・再利用，(株)建設産業調査
- 2) 木材のガス化による燃料油生産に関する調査報告書，(財)エンジニアリング振興協会，昭和57年3月
- 3) JIS K 0060-1992

- 4) (財)日本機械学会：機械工学便覧1968，P12-14
- 5) 平成元年度バイオマス生産利用に関する調査研究報告書，(財)エンジニアリング振興協会，平成2年3月，P35~49
- 6) 木材工業ハンドブック，丸善(株)，昭和57年6月30日，P871~915
- 7) 越島哲夫：木を科学する，思文閣出版(1991)，P47
- 8) 堀津浩章：廃棄物学会誌，VOL. 2，No. 2，P39~40
- 9) 三浦正勝他：マイクロ波による木材の急速熱分解(第4報)，第42回日本木材学会大会研究発表要旨集(1992)，P512
- 10) 安濃由紀他：木材の乾留試験(第1報~3報)，昭和55年1月~5月