

## 論文の内容の要旨

農学生命科学研究科  
農学国際専攻  
受託研究員  
氏名 東野 孝明  
指導教官 谷田貝 光克

論文題目 木質系廃棄バイオマスの炭化生成物の研究

近年、地球温暖化の問題が取りざたされている。地球温暖化の原因は、石油、石炭及び天然ガスなどの化石燃料の使用による大気中への過剰な二酸化炭素の排出である。一方、廃棄物の処理においてもほとんどが焼却処理によるもので、大量の二酸化炭素が大気中に排出されている。二酸化炭素を吸収したバイオマスの炭化は、二酸化炭素の回収・固定化の最も単純な方法であり、回収・固定化の効果を最大限に得る方法が固体炭化物(炭)、液体炭化物(酢液・タール)及びガス成分の有効利用であると考えられる。

本研究ではバイオマス炭化により地球温暖化を軽減することを目的として、建築解体材、集成材、ヤシガラ、バガス、ベイツガ材等、各種バイオマスを自燃式炭化装置である縦型連続炭化装置(以後 VCCS)および乾留式炭化装置(以後 RCS)を用い炭化し、固体炭化物、酢液、タール等の炭化生成物の基本的な性状を検討し、その有効利用の可能性を明らかにした。一方、木質系廃棄バイオマスの炭化による利活用において最も問題になるCCA処理材の炭化物に関しても、炭化による銅、クロム、砒素の所在を明らかにし、利用の可能性を示唆した。また、木酢液の各構成成分の定量による品質規格の策定の可能性を明らかにした。

本研究に用いた供試試料を Table 1 に示した。

Table 1. Sample and method of carbonization.

Sample	Method of carbonization
Waste wood of architecture	VCCS <sup>a)</sup>
Waste laminated wood	VCCS
Waste wood of architecture+Natural wood	VCCS
Coconut shell	VCCS
Coconut shell+Waste wood of architecture	VCCS
Western hemlock	RCS <sup>b)</sup>
Plastic waste	RCS
Bagasse	RCS
Coconut shell	RCS

a)VCCS:Vertical Continuous Carbonization System

b)RCS:Retort carbonization system

## 1. 固体炭化物(炭)の性状と有効利用の可能性

VCCS 及び RCS による固体炭化物の性状を Table 2、Table 3 に示した。VCCS での固定炭素は 76～82%で、一般的な木炭と同程度であった。ヨウ素吸着性能は集成材廃材が 172.9mg/g と最も高かった。

RCS による試験において固体炭化物の固定炭素はベイツガ材とヤシガラは同程度であったが、バガスは 65.7%と低くなった。灰分はバガスが 18.7%と非常に高く、サトウキビは土中のミネラル類を吸収しやすいと推測される。

プラスチック廃材は灰分量が高く、固定炭素含有量が低いので他の炭化物に比べて大きな違いがあるが、それ以外は農業資材や土壌改良材等の用途を仮定した場合に、特に問題となる結果でないと考えられる。

Table 2. Characteristics of char(VCCS).

Sample	Water content(%)	Ash(%)	Volatile matter(%)	Fixed carbon(%)	Iodine adsorption performance(mg/g)	pH
Waste wood of architecture	8.91	2.73	7.31	81.05	52.10	7.17
Waste laminated wood	8.13	1.32	14.11	76.45	172.9	8.30
Waste wood of architecture +Natural wood	7.88	1.40	8.94	81.78	15.6	8.05
Coconut shell	7.35	1.97	8.87	81.82	31.2	7.43
Coconut shell +Waste wood of architecture	9.25	1.86	7.04	81.86	4.5	8.33

Table 3. Characteristics of char(RCS).

Sample	Water content(%)	Ash(%)	Volatile matter(%)	Fixed carbon(%)	Iodine adsorption performance(mg/g)	pH
Western hemlock ( <i>Tsuga heterophylla</i> )	3.80	0.90	12.80	82.50	56.2	6.9
Bagasse	2.70	18.70	12.90	65.70	-	7.3
Coconut shell	3.50	1.70	8.30	86.50	44.7	8.8
Plastic waste	5.20	27.60	10.70	56.50	35.3	5.8

## 2. 液体炭化物の酢液とタールの性状およびその有効利用の可能性

VCCS による酢液の定量分析結果を Table 4 に示した。ヤシガラの酢液成分は木質系と比較して多少の成分バランスの違いが見られるが、各供試試料とも酢酸を主成分とする成分構成は一般的な木酢液成分と変わりがなく、木酢液と同等な有効活用の可能性が示唆される。

次に RCS による酢液の定量分析結果を Table 5 に示した。バガス、ベイツガ材及びヤシガラの酢液は、酢酸の含有量の違いはあるが酢酸が多く、一般的な木酢液と同等の用途が考えられる。またバガスとヤシガラのフェノール類の含有量が多く、特にフェノールの含有量が特徴的に多かった。この特徴を活かした高殺菌力の酢液等としての利活用の可能性が示唆された。

タール成分の定量分析結果を Table 6 に示した。同じ木質である建築廃材と天然木の混合物とベイツガ材を比較すると、グアヤコールと4-メチルグアヤコールの含有量が、ベイツガ材のほうが3～4倍も多く含まれていた。この理由は、窯内で発生した熱分解ガスが窯内に留まることなく誘引される RCS と違い、VCCS は炉内で発生した熱分解ガスが炉内で循環されるために、重合が起こり6成分以外のタールピッチ分が多くなったと推測される。

一方、RCS によるヤシガラのタール成分はフェノールの含有率が非常に多く特徴的であった。しかしながらフェノール以外のフェノール成分についてはベイツガ材に比べ低くなった。検出成分はベイツガ材とほぼ同じ成分が検出された。また、バガスのフェノール、p-クレゾールの含有率が非常に高いのも特徴的であった。

## 3. 建築廃材等の炭化物中の CCA とその溶出問題の検討

固体炭化物中の銅、クロム、砒素の含有について、VCCS による5種類の実験結果では、砒素は一部のサンプルで検出されたが環境基準以下であった。銅は一部のサンプルで環境基準(農用地のうち田に限る)を上回る結果となったが、

農用地以外での用途での利用が考えられる。本実験では土壌が全て炭化物であると仮定して環境基準と比較した。しかし実際の炭化物の使用法を考えると、農地の土壌を全て炭化物と入れ替えて使うようなことはないと考えられ、実用上から考えると環境基準と比較して問題ないと思われる。また砒素は銅とクロムと比べ溶出しやすいため、使用前に炭化物の洗浄をおこなうのも一つの方法ではないかと思われる。しかしながら廃棄物由来の固体炭化物を利活用する場合は、常に銅、クロム、砒素の挙動を確認する必要がある。

次に土壌溶出試験に準じて溶出試験をおこなった。銅及びクロムは全てのサンプルで定量限界以下となった。これは、土壌改良剤等の用途を仮定した場合に、炭化物中に含まれる銅及びクロムは環境中に溶出せずに炭化物中に安定的に固定されると思われる。一方、砒素については建築廃材、集成材廃材、及び建築廃材と天然木の混合物のサンプルで溶出が確認され、一部のサンプルで地下水の環境基準をわずかに上回った。本実験では土壌が全て炭化物であると仮定して環境基準と比較したが、実際の炭化物の使用法を考えると、農地の土壌を全て炭化物と入れ替えて使うようなことはないと思われ、実用上から考えると環境基準と比較して特に問題ないと思われる。しかしながら炭化物を繰り返し足していった場合は、砒素の継続的な溶出と土壌への蓄積が懸念される。廃棄物由来の固体炭化物を利用する場合は常に、砒素の挙動を確認することにより有効利用が可能となると示唆される。

酢液中の銅、クロム、砒素の含有量については、建築廃材や集成材は廃棄物で性状が一定していないために、得られた結果にばらつきがあった。砒素は地下水の環境基準を大きく上回るサンプルがあった。木酢液の使用法では原液のまま使用することは一般的にないが、土壌に砒素が蓄積され環境汚染や人体への汚染の危険がある。そこで実用性を検討するには砒素を環境基準以下とすることにより、農業資材や土壌改良材等の有効利用の可能性が示唆される。

#### 4. 液体炭化物(酢液)有効利用のための規格化の検討

本研究で得られた液体炭化物(酢液)有効利用の為の規格化の可能性の検討の為に、市場で見られる蒸留木酢液を検討材料とした。管理された蒸留による製造方法で蒸留木酢液を製造することにより、原料および炭化方法によって発生した木酢液の成分偏差の影響を小さくし、ある一定の偏差をもつ蒸留木酢液を作ることができることを明らかにした。そして、その偏差は正規分布しており、その偏差の範囲も他の工業製品と同様な品質管理が可能で値となっていると考えられる。よって、蒸留木酢液は各構成成分の定量による品質規格の策定が可能であると示唆され、その品質規格により他の工業製品と同等に品質管理が可能であると考えられる。このことによって、蒸留木酢液の品質再現性が確保され、今後の蒸留木酢液の公的品質規格策定の可能性を開くものと期待でき、本研究で得られた液体炭化物(酢液)も同様に可能性があるとして示唆される。

Table 4. Comparison of constitution ratio of components of pyroligneous acid(VCCS).

Compounds	Waste wood of architecture	Waste laminated wood	Waste wood of architecture +Natural wood	Coconut shell	Coconut shell +Waste wood of architecture	(wt%)
						Typical distilled wood vinegar
Methanol	0.64	0.36	0.88	0.56	0.69	0.00
Acetic acid	1.65	1.24	1.97	3.94	2.57	3.62
Hydroxyacetone	0.48	0.49	0.74	0.17	0.19	0.40
Propionic acid	0.02	0.15	0.21	0.19	0.14	0.23
n-Butyric acid	0.07	0.06	0.08	0.04	0.04	0.05
2-Cyclopentene-1-one	0.07	0.00	0.06	0.03	0.04	0.01
Furfural	0.14	0.15	0.18	0.15	0.11	0.01
-Butyrolactone	0.11	0.09	0.15	0.17	0.06	0.14
2-Acetyl furan	0.03	0.03	0.03	0.08	0.01	0.01
3-Methyl-2-cyclopentenone	0.07	0.05	0.06	0.01	0.02	0.03
Phenol	0.06	0.08	0.09	0.02	0.55	0.04
Cyclotol	0.12	0.09	0.14	0.86	0.03	0.05
o-Cresol	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01
m,p-Cresol	0.05	0.07	0.09	0.05	0.03	0.02
Guaiacol	0.10	0.07	0.10	0.10	0.07	0.07
4-Methylguaiacol	0.12	0.13	0.16	0.03	0.03	0.03
4-Ethylguaiacol	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01	0.00
Subtotal	3.75	3.06	4.02	6.41	4.62	4.72
Etc	6.69	3.01	8.22	4.90	5.82	0.2
Water content	89.56	93.93	87.76	88.69	89.56	95.08
Specific gravity	1.023	1.022	1.026	1.021	1.013	1.011
pH	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.35
Acidity(%)	3.2	2.5	3.4	5.8	4.1	4.4

Table 5. The constitution ration of components of pyrolygneous acid (RCS).

Compounds	(wt%)		
	Western hemlock ( <i>Tsuga heterophylla</i> )	Bagasse	Coconut shell
Methanol	1.98	3.94	0.49
Acetic acid	3.18	3.80	8.25
Hydroxyacetone	0.69	0.25	0.67
Propionic acid	0.32	0.30	0.33
n-Butyric acid	0.60	0.11	0.08
2-Cyclopentene-1-one	0.18	0.07	0.14
Furfural	0.77	0.12	0.05
-Butyrolactone	0.08	0.13	0.12
2-Acetyl furan	0.14	0.02	0.02
3-Methyl-2-cyclopentenone	0.10	0.04	0.03
Phenol	0.06	0.47	0.90
Cycloten	0.04	0.03	0.08
o-Cresol	0.02	0.09	0.03
m,p-Cresol	0.03	0.18	0.05
Guaiacol	0.28	0.62	0.14
4-Methylguaiacol	0.08	0.01	0.05
4-Ethylguaiacol	0.02	0.01	0.02
Subtotal	8.57	10.19	11.45
Etc	5.60	1.91	14.00
Water content	85.83	87.70	74.55
Specific gravity	1.014	1.006	1.010
pH	2.2	3.0	2.0
Acidity(%)	5.8	4.9	14.1

Table 6. The constitution ratio of components of tar oil.

Compounds	%(w/w)			
	Western hemlock ( <i>Tsuga heterophylla</i> )	Coconut shell	Bagasse	Waste wood of architecture + natural wood
Method of carbonization	RCS	RCS	RCS	VCCS
Phenol	3.6	42.2	21.5	3.0
o-Cresol	3.1	2.0	4.5	1.2
p-Cresol	4.3	1.8	14.8	3.0
Guaiacol	14.9	4.6	0.9	3.2
4-Methylguaiacol	12.3	2.9	17.7	4.8
4-Ethylguaiacol	5.1	1.7	0.87	3.3
Subtotal	43.3	55.2	60.3	18.6
Etc	56.7	44.8	39.7	81.4

## 5. まとめ

本研究では地球温暖化問題と廃棄物処理問題の解決策の一助とするために、各種バイオマスの炭化生成物の基本的な性状を研究した。ヤシガラやバガスの炭化生成物は木炭、木酢液及び木タールと同様な利活用の可能性が示唆された。木質系廃棄バイオマスの炭化による利活用において最も問題となるのが CCA 処理木材の問題である。今回の結果では銅、クロムは炭化物中に比較的安定して留まるが、砒素は溶出しやすいことが明らかとなった。そこで炭化物の使用に先立ち、炭化物中の砒素の除去には洗浄も一つの方法ではないかと考えられる。

酢液については、CCA 処理木材を炭化した場合、砒素は炭化物中に残留しにくく、気化しやすいと言われており本実験の結果からもそのことが確認できた。酢液中の砒素の除去には精留をおこなえば 100%近い除去効果も報告されており、これも一つの方法と思われる。建築廃材等を用いる場合は、常に銅、クロム、砒素の挙動を確認していく必要がある。木質系廃棄バイオマスの炭化生成物の有効活用には CCA 等の問題があり、コスト面で天然材を原料にするのと比べ製造コストは増えるが、炭化物の前処理等によって使用可能である。

木酢液の成分規格化の可能性は、各構成成分の定量による品質規格の策定が可能であることが明らかとなった。今後の蒸留木酢液の公的品質規格策定の可能性を開くものと期待でき、液体炭化物(酢液)についても同様に期待できる。

本研究により木質系廃棄バイオマスの炭化生成物の有効活用は可能であり、地球温暖化問題と廃棄物処理問題の解決策の一助となり得ると示唆される。