

過熱水蒸気を用いた間伐材及び孟宗竹の有効活用

佐藤 道祐¹

¹東洋建設株式会社 土木事業本部 土木技術部 (〒135-0064 東京都江東区青海2-43)



本論文は、バイオマスとして着目されている林地残材や里山の生態系に影響を及ぼしている孟宗竹の活用方法として、建設機械を導入した回収方法を紹介し、有効活用を図る1つの方法として回収したチップを過熱水蒸気を用いて炭化処理を行い、農地への土壌改良剤として活用する技術を紹介したものである。過熱水蒸気は、飽和水蒸気を更に加熱した常圧の高温の放射性的なガス体であり、酸素をほとんど含んでいないため、無酸素雰囲気下で熱の伝達が熱風より速いため、チップの炭化処理を短時間で行える。また、製造した炭は、多孔質で、土壌の保水効果を高め、発根促進効果を有している。

キーワード 過熱水蒸気, 炭化, 間伐材, 孟宗竹

1. 現状

(1) 林地残材

農林水産省の統計資料によると林地残材や製材工場残材など木質資源の年間発生量は 3,120 万 m³ (推計)。そのうち、熱エネルギー等としての利用量 1,840 万 m³、未利用量 1,280 万 m³ (41%)。林地残材の発生量 860 万 m³ (推計) のほとんどが未利用である。表-1 には中国地方の林地残材の統計資料を示す。(単位体積重量 0.4t/m³として計算)

表-1 中国地方の林地残材(NEDO 資料より)

区分	林地残材(t)	
	賦存量(t)	利用可能量(t)
鳥取県	30,872	1,523
島根県	64,072	3,000
岡山県	74,306	4,268
広島県	67,708	5,397
山口県	61,521	2,554
中国地方	298,479	16,742
全国	3,356,216	198,612

林地残材は、未処理のまま放置されており、豪雨による河川への流出による二次災害の拡大等が問題となっている。未利用バイオマスとして活用する場合でも、回収等に相当のコストを要し、使用にも限界がある。

(2) 孟宗竹

孟宗竹の都道府県別賦存量を表-2 に示す。

表-2 孟宗竹の賦存量(推定値)

全国順	都道府県	竹林面積 (ha)	平均生産量 (千 wet-t)	平均乾重量 (千 dry-t)
1	鹿児島	16,309	1,996	998
2	大分	13,338	1,632	816
3	山口	11,073	1,354	677
4	福岡	11,020	1,348	674
5	熊本	10,578	1,294	647
6	鳥取	9,719	1,252	626
7	千葉	5,896	721	360
8	京都	5,412	662	331
9	宮崎	4,991	610	305
10	岡山	4,938	604	302
11	高知	4,388	536	268
12	静岡	4,195	513	257
13	愛媛	3,967	485	243
	小計	105,824	13,007	6,503
	全国合計	136,081	18,663	9,316

(社団法人アルコール研究会技術開発部資料 H19.3 より)

近年、竹材の需要が減少し、国内産「たけのこ」も輸入品と競合して、ほとんど市場性をなくし流通は困難な状況にある。さらに竹林管理者の老齢化もあいまって日本の竹林は「管理不全による荒廃」が急激に拡大し、全国的に「大きな社会問題」になりつつある。その竹林外縁にある果樹園や茶園等は猛烈な勢いで侵奪され、杉や檜等の植林も孟宗竹の旺盛な生長力で遮光され「光合成」を妨げられて枯死・壊滅状態が拡大している。急激な侵奪が里山の情景を一変させ、自然の生態系さえ変えてしまう事が懸念される状況に至っている。

2. 処理の手順

林地残材及び孟宗竹の処理の手順を図-1 に示す。

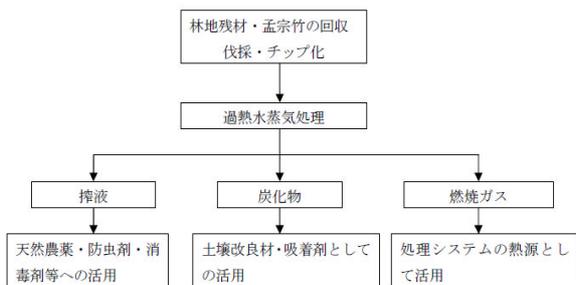


図-1 処理フロー

本報告は、林地残材及び孟宗竹を現地で建設機械のバックホーアタッチメントにより伐採からチップ化までの処理を行い、回収を行う。チップ化したものを過熱水蒸気処理により、液状成分、炭化物、ガスに分解し、それぞれを回収もしくはシステム内で活用する。液状成分は、木酢液、竹搾液として、農業用の資材及び家畜等の防虫剤等への活用を図る。炭化物は、多孔質の炭として田畑の土壌改良材として活用を行う。さらに、処理中に発生する可燃性のガスは、システムの熱源として活用する。

3. 林地残材・孟宗竹の回収

ここで紹介する技術は現在独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「新エネルギーベンチャー革新事業」によりウエダ産業株式会社が開発中のものである。本技術は、登坂能力の優れたバックホーにアタッチメントを取付け伐採及びチップ化を行うもので、傾斜 30°C 程度の斜面上で処理を行い、チップは大型フレコンバックに回収する。

(1) 伐採・切断

竹の定尺切断に要する時間は 5 本程度まとめて切断する場合でも、10 秒単位で切断できる。L=10m 程度の竹では約 1.5~2.0 分程度で切断が可能である。切断時に竹は 1/4 円程度に破碎してしまう。破碎したものはチップ化が容易になる。今後、先端部を改良して立ち木の状態で切断できるよう 360°C 回転式にする。写真-1 には切断状況を示す。



写真-1 切断状況

(2) チップ化装置

竹に関しては、1 次破碎で毎分 0.53m³ (31.8m³/時

間) の能力であった。チップ形状は幅 0.5cm~1.0cm、長さ 3cm~15cm 程度であった。1 時間当たりの処理本数は、Φ20cm の竹で L=10m とすると 108 本相当である。1 日 8 時間稼働では 8×108 本=864 本となる。

また、末口 25cm 程度の木材では、0.08m³/分程度の能力であった。チップ形状は竹と同程度であった。



写真-2 チップ製造状況

4. 過熱水蒸気処理

(1) 過熱水蒸気とは

過熱水蒸気とは、飽和水蒸気を常圧でさらに過熱した、無色無臭の高温の水蒸気のことである。水の温度・圧力を 375°C、22MPa まで上げると、水でもない蒸気でもない均一な流体となる。この点が臨界点で臨界点以上の状態を超臨界水、この水による反応を超臨界水反応と呼ぶ。臨界点よりも温度・圧力の低い熱水（亜臨界水）による反応を水熱反応と呼ぶ。水熱反応は、有機溶媒のような化学物質でなく、水を溶剤として使用するため、環境に優しい。

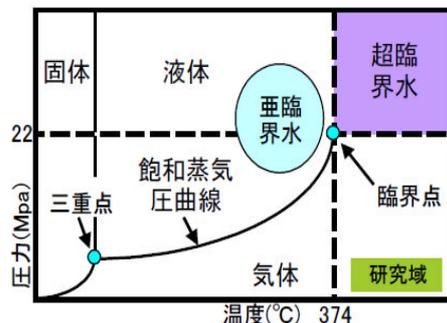


図-2 水の臨界点

(2) 過熱水蒸気の特徴

- 過熱水蒸気とは飽和水蒸気を更に加熱した常圧で無色無臭の高温の放射性ガスで以下の特性を有している。
- ①酸素をほとんど含まない雰囲気比較的簡便にでき、防爆性・非酸化性を有する。
 - ②同温度の空気（熱風）と比べると、放射性ガスによる熱伝達率が高く、大きな熱エネルギーを有しており、設備をコンパクトにできる。さらに、排気を循環利用し、排気によるエネルギー損失が少なくなる。
 - ③処理中に発生した水以外の成分を水蒸気とともに凝縮回収できる。
 - ④有機物を短時間で炭化が可能である。

(3) 過熱水蒸気の炭化メカニズム

処理を無酸素雰囲気で行うため炭窯の中と同

じ状態になり、窯の中で過熱水蒸気により複合伝熱が起
こり、即時に対象物を加温して揮発成分を蒸発させなが
ら、短時間で有機物を炭化物、液状成分、ガス分に分離
する。短時間での処理のため、できた炭化物は、炭窯の
炭と異なり、多孔質の柔らかい炭となる。過熱水蒸気中
に取り込まれた液状成分は、水蒸気を冷却し凝縮させ、
搾液として抽出する。

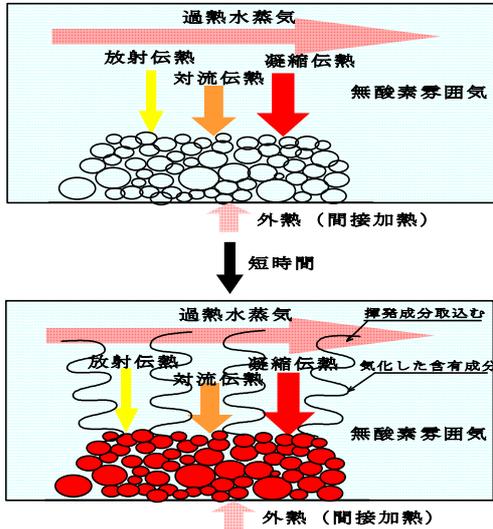
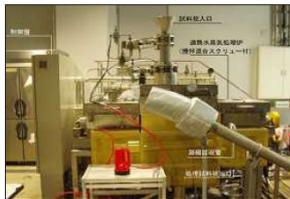


図-3 炭化メカニズム

(4) 装置概要

過熱水蒸気処理の装置概要を写真-3に示す。



東京海洋大設置ラボ機(パッチ式容量 10L)



ジョンソンボイラ社製回文式装置(容量 40L)



いなばJA設置実験機(連続処理300L)

写真-3 装置概要

蒸気諸元は以下の通り。過熱水蒸気温度 500℃
投入蒸気量 ラボ機 10L/時間 回文式 50L/時間
実験機 16L/時間
処理量 ラボ機 ~1kg/時間回文式 ~4kg/時間
実験機 ~30kg/時間

表-3 にはいなば JA 設置の実験機の装置構成を示す。

表-3 過熱水蒸気処理装置概要 (JA いなば設置実験機)

項目	規格・仕様	単位	数量	用途
ボイラー	電気ボイラー	台	1	水蒸気製造
スーパーヒーター	伝熱ヒーター	台	1	水蒸気加熱装置
キルン	Φ40cmL=2.5m	台	1	処理炉
発電機	150KVA	台	1	過熱水蒸気処理装置動力
脱臭炉		台	1	処理蒸気燃焼
投入・排出ホッパー		台	1	材料投入処理物排出用

(5) 処理概要

過熱水蒸気処理の概要を図-4 に示す。チップ化された材
料はキルン内に投入される。過熱水蒸気に暴露されなが
ら、可燃性ガス及び液状成分が揮発する。液状成分は過
熱水蒸気内に取り込まれ、系外の冷却装置へ排出され、
水蒸気を凝縮し、液状成分を抽出する。また、可燃性ガ
スは、冷却装置通過後に分離され、システムの燃料とし
て利用する。有機分は炭化されキルンより排出される。

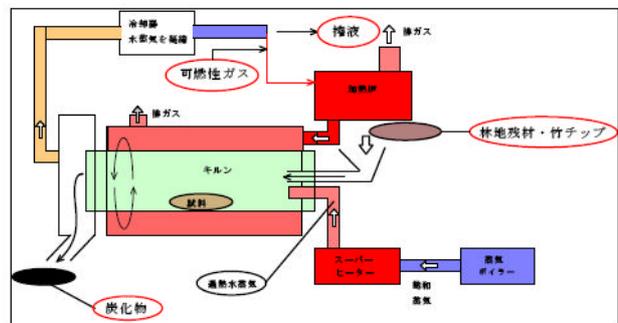


図-4 処理概要

5. 処理物

(1) 炭化物

各装置で孟宗竹を炭化したものを写真-4~5 に示す。
処理条件は、蒸気温度 400℃、暴露時間 15~30 分、蒸気
量 回文式 14kg/時間、いなば JA 設置実験機 16kg/時
間であった。



写真-4 回文式処理

であるが、短時間の急速処理であることと過熱水蒸気を媒体と
して使用しているため、炭素分が飛散して、軟質なものにな



写真-5 チップの炭化物

孟宗竹そのままを回文式で、チ
ップ化した竹を JA いなば設置実験装
置で炭化を実施した。どちらの炭も
多孔質で人力で簡単に破碎できる
柔らかいものであった。従来の炭窯
でできる炭は、炭をたたくと金属
音を発生するくらい硬質のもの

ったと考えられる。

チップを炭化した竹炭の評価をらっきょう農家及び有機栽培農家の方に依頼した評価結果は以下の通りであった。

- ① 土壤に軟質の炭を混合してやると、土壤に空気を含み、通気性が良くなる。
- ② 炭には、保水効果、発根促進効果等の効果があるので、土壤改良材として使用できる。
- ③ らっきょう畑の土壤改良には現在、ヤシ殻炭を輸入して使用しているが、コスト面が折り合えば、竹炭に移行したい。

概ね良好の評価であった。今回は竹炭に関して、炭化を実施したが、林地残材を炭化しても同等な効果が得られるものとする。

(2) 搾液

竹搾液及び木酢液が以下の用途として使用されている。

- ① 農薬添加物（うどん粉病、ベト病、灰色カビ病の軽減）アブラムシ、カイガラムシ、ネコブセンチュウ等の軽減
- ② 竹酢スプレー（葉・茎散布用の滅菌、忌避剤）
- ③ 忌避剤（ムカデ・山ヒル）
- ④ 発根促進剤
- ⑤ 生長促進剤
- ⑥ 連作障害忌避剤
- ⑦ pH中和剤
- ⑧ 地力増進剤
- ⑨ 微生物コントロール剤
- ⑩ 有機肥料（天然有機ペレットなど）
- ⑪ 育苗の発根促進剤
- ⑫ 微生物培養補助剤
- ⑬ 動物用栄養補助剤
- ⑭ 動物用治療薬原料（インターネット検索による）

(3) その他の炭化物

粗殻も同様に過熱水蒸気により炭化処理を実施して、薫炭を製造できる。

薫炭もまた、土壤改良剤として土壤と混合すると、保水効果、発根作用促進等の効果が期待でき、昔から用いられてきているが、近年、野焼きの禁止等により、各戸での製造ができなくなったが、今でも需要は多い。



粗殻投入 1kg (10L)



過熱水蒸気 500℃ 10分暴露

写真-6 薫炭製造（回文式）

図-5にJAIいなか設置の実験機による薫炭製造状況を示す。



- 製造能力: 30kg/時間
- 搾液抽出: 15kg/時間
- 用途: 粗殻、竹、剪定屑、非食部の炭化

図-5 薫炭製造状況

(4) 炭化物の効果

過熱水蒸気で処理した炭化物を生育用土壤に混合して、サヤエンドウの生育状況を確認した。（写真-6参照）



【根の状況】土2kgに対する添加量

- ① 薫炭100g 醤油絞り滓200g
- ② 薫炭100g 醤油絞り滓100g
- ③ 薫炭100g 醤油絞り滓50g
- ④ 薫炭無し、醤油絞り滓100g
- ⑤ 添加肥料無し

薫炭添加の方が発根が促進されている

【収穫状況】

2月上旬開花～4/14迄の収穫量

- ① 16ヶ
- ② 28ヶ
- ③ 22ヶ
- ④ 15ヶ
- ⑤ 15ヶ

薫炭を添加した方が収穫量も高い。醤油絞り滓は最適添加量がある。

写真-6 サヤエンドウへの炭化物の効果

炭化物（薫炭）を混合したものが、根の発達がよく収穫量も多い。

5. まとめ

林地残材や孟宗竹を現地でチップ化して回収し、過熱水蒸気により炭化処理を行い、農業用地の土壤改良材として使用することに関する報告を行った。バイオマスの有効活用は各方面で開始されているが、効率的な回収方法が求められている。回収方法は現在開発中ではあるが、建設機械を効率的に使用し、回収作業を建設業者が実施することで雇用を促進できる。また、木質バイオマスはカーボンニュートラルであり、燃焼しても二酸化炭素の発生量はカウントされないが、土壤改良材として活用することで、大気中に直接二酸化炭素を放出することがなく、植え付けた植物が二酸化炭素を固定するため、温暖化防止になると考えられる。加えて、伐採処理した竹林や林地には再度植林を実施し、里山の環境修復も可能となる。炭化物を有効活用することにより、農業振興にも貢献できるものと考えられる。