

# 新たな廃棄物減容化技術とその応用に関する研究

## Study on volume reduction technology of wastes and its application

代表理事 竹村 公太郎

水循環・まちづくりグループ 研究員 立田 潤一郎

廃棄物処理施設の安全設計により外部費用を抑制しながらも、温室効果ガスの排出も抑制が可能な焼却処理装置の開発、普及が重要な課題と位置付けられる。本研究では、多様な廃棄物を大幅に減容化でき、ダイオキシン及びセシウムの飛散抑制に加えて、温室効果ガスの排出抑制が可能な施設の用途、特徴、システム、応用実績、実証実験の成果について報告する。

2. では、廃棄物の新たな減容化技術として、低温熱分解による炭化減容化方式に注目し、その用途、特徴、システムフローについて説明する。3. では実証研究の成果として、2011年5月28日に、堀河町終末処理場で採取した放射性物質を含んだ下水汚泥約3kgを試料として、低温熱分解による炭化減容化を行った場合の放射性濃度の変化を測定する実験成果を説明する。4. ではこの技術の応用可能な分野として、下水汚泥の固形燃料化、放射性物質を含んだ下水汚泥の炭化減容化処理、放射性物質を含む作物、森林残渣の安全な減容化、塩分を含んだ廃木材の安全処理を取り上げ、説明する。5. では、今後の課題について述べる。

**キーワード：廃棄物処理、低温熱分解、炭化減容化**

Development and wide-use of waste incineration devices that allow maintenance of low cost by safe-design of waste disposal facilities and at the same time, being able to control greenhouse effect gases are regarded an important issue. In this study, we report uses, characteristics, system, performance improvements applied, demonstration experiments of the facilities that can reduce various waste volume significantly, inhibit green house gas emission as well as dioxin and cesium emission.

Secondly, as part of waste volume reduction technology, attention is paid to carbonization debulking method by low temperature heat decomposition and its use, characteristics, system flow will be discussed. Thirdly as part of demonstration, radioactive concentration measurement changes by carbonization volume reduction via low temperature heat deposition will be discussed on the sewage sludge sample of about 3kg that includes radioactive substances taken at Horikawa-machi waste water treatment plant on May 28<sup>th</sup>, 2011. Fourthly in an area of application of this technology, discussion will focus on solidifying fuel from sewage sludge, carbonization volume reduction of sewage sludge that includes radioactive substances, safe volume reduction of crop and forest residues that contain radioactive substances and safe treatment of salty waste wood material. Finally, future issues will be discussed.

**Key Words: waste disposal, low temperature decomposition, carbonization volume reduction**

## 1. 背景と目的

従来の焼却処理による廃棄物処理は、用地取得費用や施設設置費用に加えて、周辺施設の地価低下や周辺住民への負の影響という外部不経済の発生が懸念されている。こうした研究としては、周辺施設の地価低下により外部費用を推計するヘドニック価格法を適用した研究や仮想的な施設計画案に対する住民アンケート調査に基づき、施設設置の外部費用を推計するCVMやコンジョイント分析がある。こうした研究の一つとして、笹尾(2005)により、廃棄物不法投棄のため外部費用が発生した地域での環境再生事業案の評価が実施された。各自治体では、廃棄物削減のためのインセンティブとして、産業廃棄物や家庭ごみの有料化による廃棄物削減インセンティブに関する実証研究としては、磯野(2004)等により産業廃棄物税による廃棄物抑制効果の研究がなされている。

従来から廃棄物処理に伴うダイオキシン類の飛散抑制が課題であったが、東日本大震災による福島第一原発事故に伴う放射性物質が飛散し各廃棄物に付着したため、燃焼時のセシウム等の飛散抑制も大きな課題となった。

また、1992年第1回地球サミット以降、産業革命以降の経済活動による温室効果ガスの増加に伴う各国、各地域の気象変動による潮位上昇、農業生産への悪影響、伝染病の増加が懸念されるようになり、1997年にCOP3京都会議で、2008年～2012年までに温室効果ガスの削減目標が世界で初めて約束された。こうした削減目標に対して、旧ソ連崩壊による経済活動低下により、排出削減が可能になった経済移行国のロシア、東欧諸国では目標値を大幅に上回る排出削減がなされたが、他の国々は目標値に達していない。CDMや共同実施、排出権取引などの京都メカニズムにより削減が実施されることとなる。

こうしたことから、廃棄物処理施設の安全設計により外部費用を抑制しながらも、温室効果ガスの排出抑制が可能な焼却処理装置の開発、普及が、重要課題である。本研究では、多様な廃棄物を大幅に減容化、ダイオキシンやセシウムの飛散抑制、温室効果ガスの排出抑制が可能となる低温熱分解による減容化装置の

用途、特徴、システム、応用実績、実証実験の成果をとりまとめる。

## 2. 新たな廃棄物減容化技術

### (1) 用途

低温熱分解による炭化減容化装置の普及を考える場合、幅広い物質への汎用性が重要である。この装置の適用対象は、下水汚泥、ガレキ、生ゴミ等の一般廃棄物、食品製造残渣、プラスチック類、電気製品、繊維製品、廃材、自動車廃棄物等、汚泥、漁網等に幅広い。低温熱分解による炭化減容化の例として、以下に漁網の事例を示す。



漁網の減容化の実績

### (2) 特徴

#### 1) 環境政策への対応

本技術は、CO<sub>2</sub>のダイオキシンを発生、セシウムの飛散を完全に抑制するとともに、廃棄物の分別化等現代日本の環境対策の要請を満たすものである。

酸化化合物のCO<sub>2</sub>やダイオキシンの発生抑制  
窒素下の無酸素状態で炭化減容化するため、酸化化合物であるCO<sub>2</sub>やダイオキシン類は発生しない。

放射性物質飛散の完全抑制

セシウムの沸点が678.4度であるため、従来の高温

焼却処理装置はこの温度を超えて気化し、放射性物質の飛散を招いてしまう。

従来の高温焼却方式で放射能を含んだ下水汚泥等を処理するためには、最高級の性能のバグフィルターの設置とともに、綿密な交換及び処分を行う必要があるが技術や費用に課題があり、焼却により濃縮された放射性焼却灰が残存するという問題がある。これに対し、低温熱分解による炭化減容化方式では、セシウムが気化せず放射能が飛散しない点に優位性がある。

#### 炭化減容化の副産物の分離可能性

炭化減容化過程を通して、有機物及びプラスチック類が熱分解され、金属、ガラスは 450 環境下では、そのまま残留し、分別処理が可能である。

## 2) 優位性

従来の焼却方式、従来の炭化減容化方式、従来の炭化装置、一般炭素との相違に注目すると、低温熱分解による炭化減容化方式及びそこで生成される炭素の優位性は次の通りとなる。

#### 装置の耐塩性

日本の自治体に普及している焼却炉と比較し、構造的に耐塩性が高い。

#### 発生タールの分離可能性

従来の炭化減容化方式では、タールが発生してしまう。このタールを含んだガスを内燃機関に使用しようとする内部にタールが溜まって詰まってしまうという点に問題がある。ところが、低温熱分解による炭化減容化装置は、熱分解過程でタールを完全に別の容器に導く技術開発に成功済で、管理上の問題がない。



完全に分離処理されたタール液の様子  
粉塵爆発のリスクなし

従来の炭化装置では、炭素の粉塵爆発事故が発生し

た。本装置で生成した炭素を用いて、民間企業の粉体測定技術センターで実施された粉塵爆発の試験では、1m<sup>3</sup>の容器に、100g から 2,000g の生成炭素を噴霧しスパーク点火しても、一切粉塵爆発が発生しないという結果が得られた。粉塵爆発する限界濃度を測定した試験結果は下表の通りとなる。

表 - 1 減容化炭化物の粉塵爆発の下限界濃度の試験結果

試料濃度(g/m <sup>3</sup> )	試験結果				
100	x	-	-	-	-
200	x	-	-	-	-
300	x	-	-	-	-
500	x	-	-	-	-
700	x	-	-	-	-
1000	x	-	-	-	-
1500	x	-	-	-	-
2000	x	x	x	x	x

(注)表中の記号は以下の通りである。x : 不爆、火災の発生なし、- : 未測定。

火災等の発生リスクなし

一般炭素は通電性があるが、この装置で生成された炭素は電気を通さない絶縁体である。



一般の炭素



低温熱分解により生成された炭素

通電性の確認の様子

そのため、落雷等による発火の危険性がなく、屋外でも長期的な安全保管が可能である。



減容化された炭化物が屋外で保管されている様子  
セシウムの低溶出性

生成された炭化物に含有するセシウムの溶出試験結果は 1.4% となり、一般的な焼却システム施設から発生する主灰、飛灰の溶出率（20～80%）と比較して遙かに低い。保管に優れた安全性を有す。

生成炭素の高い発熱性

図1は低温熱分解方式で木材や竹から生成された炭化物の発熱量を、木材、木炭、国産一般炭、輸入一般炭、輸入原料炭などとの比較で、整理したものである。

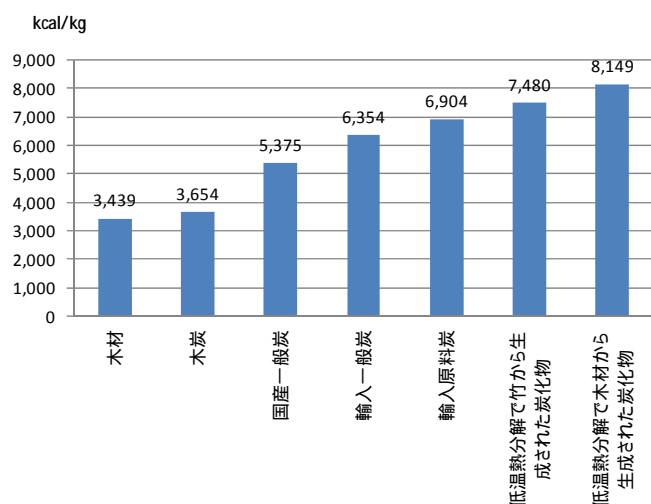


図 - 1 燃料源別の発熱量比較表

(注) 社団法人日本海事検定協会化学分析センターによる分析結果及び経済産業省資源エネルギー庁資料参照。

### 3) 実用性

低温熱分解による炭化減容化装置は、2)で上記したように今日的な環境政策の要請に対応しており、3)で上記したような他の代替的な技術との比較で有意性がある。ここでは、実用性の観点から、小型分散配置可能性、利用実績、特許に関して述べる。

### 小型分散配置可能性

わが国は国土面積の制約から廃棄物処理施設向けにまとまった敷地面積の確保が容易ではないため、敷地面積に応じて、柔軟に装置の配置が可能であることが望ましい。本装置は、複数の熱分解炉を並列する「バッチシステム」であり、必要な処理規模に応じて、敷地形状に応じて、装置を柔軟に建設可能である。またメンテナンス時に全面停止の必要がない。

### 利用実績、特許

この低温熱分解による炭化減容化装置は、民間企業で自動車シュレッダー-RPF を 100 トン/日規模で、2年以上、炭化減容化の運転実績がある。この装置は「再資源化方法及びシステム・コンテナ」という名称で、PCT 加盟の 121 カ国で有効な国際特許 (国際出願 PCT/JP03/08028 号) を始めとして、わが国及び海外で以下の特許を保有している。

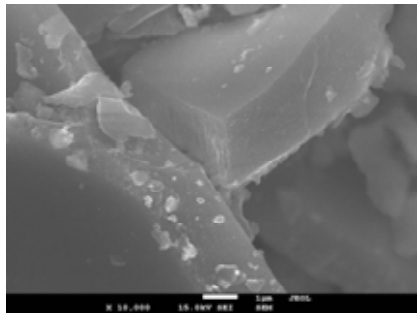
表 - 2 特許出願の様子

	出願番号	特許番号
日本	特願 2004-524102号	第4047331号
台湾	申請番号 92119119	I-230101号
韓国	No.10-2004-7007588	第10-0572241号
中国	申請号 03801355.X	第ZL03801355.X号
香港	申請番号 05104668.8	第HK 1071866
マレーシア	No.PI20032795	-
アメリカ	No.10/483,853号	US7604791 B2
EPC	No.03736245.6(ドイツ、イタリア、フランス、英国)	-

この方式で生成された炭化物は超微細で親水性である点に特徴がある。備長炭、活性炭、石炭などは強い疎水性を有し、性質が異なる。



超微細炭素の様子



走査型顕微鏡で見る炭化物の様子

号で付された熱分解設備の構造として必要な4条件を全て満たしている。すなわち第1には可燃物が燃焼を継続するために必要な酸素濃度を上回らない程度で廃棄物が加熱され、廃棄物中の有機物が熱分解される構造、第2には熱分解室内の温度、圧力を保持、測定できる構造、第3には熱分解処理で発生した炭化物等が外気に触れても発火に至らない温度まで冷却できる構造、第4には処理に伴って生じた不要なガスを薬液洗浄などにより燃焼させることなく適正に処理できる構造である。

(3) システムフロー

この低温熱分解による炭化減容化装置は、平成17年2月18日公布の環廃対発050218003号、050218001

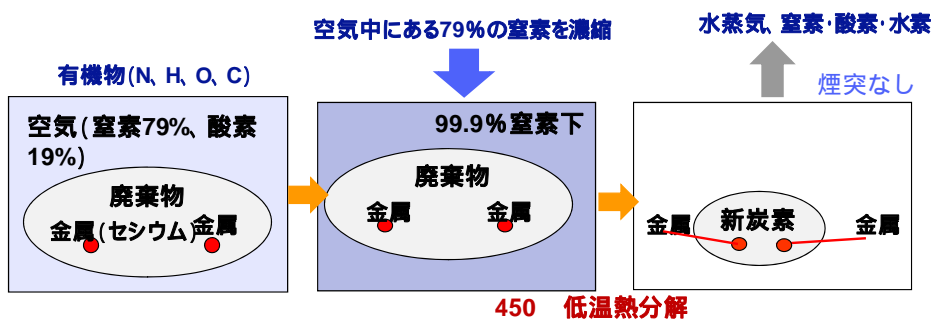
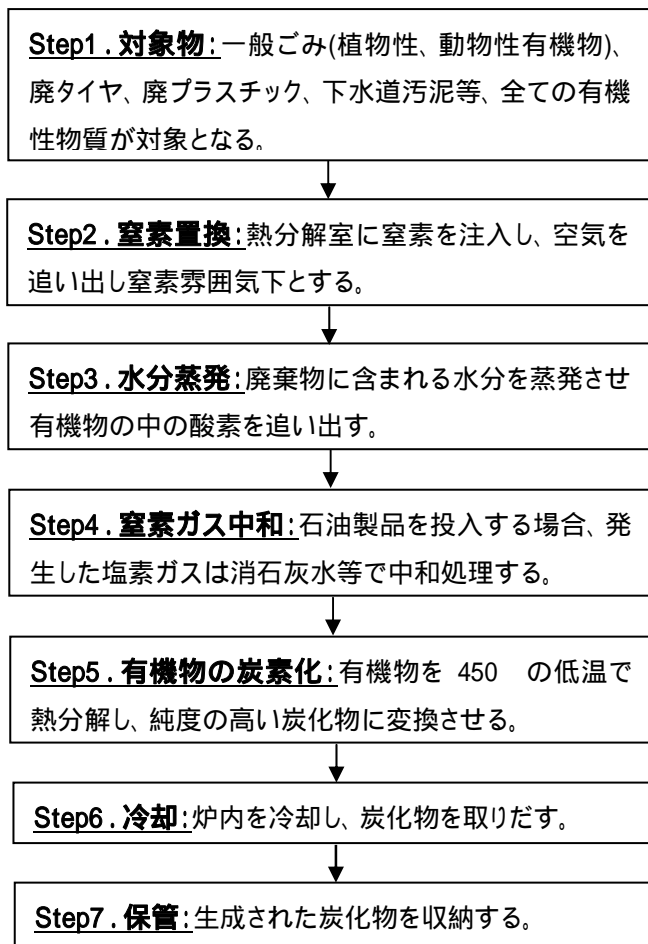


図 - 2 低温熱分解による炭化減容化システムの仕組み

本装置での廃棄物の炭化減容化のフローは次の通りである。

表 - 3 炭化減容化のフロー



(4) 放射線の安全管理

生成された炭化物や減容化対象の廃棄物が放射性物質を含んでいる場合、運搬、試験実施、試験後の保管は、安全に実行される必要がある。また屋外での炭化減容化作業を実施する場合、放射能遮蔽用の鉛板マット等を利用することが放射線管理の専門家から推奨されている。運搬、保管に利用可能なものとして、PACTEC社の放射線遮蔽機能付きのフレコンバッグや鉛箱が存在する。

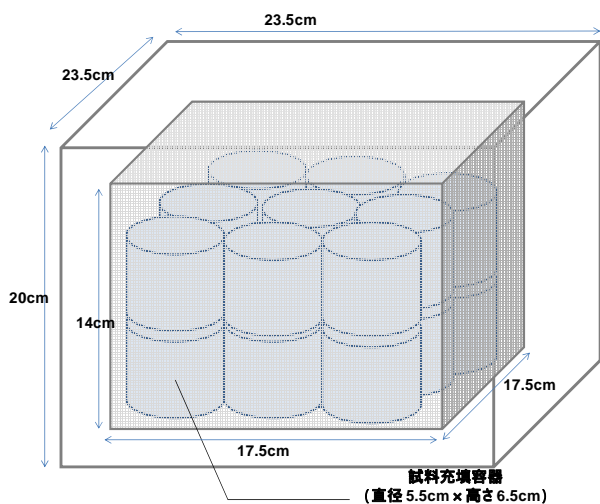
放射線遮蔽機能付フレコンバッグ(LIFTPAC)はIAEA国際原子力機関より放射線汚染物質を安全に輸送・保管する性能を有することが認証されたバッグである。バッグの構造は、内袋(PP)、外袋(PE)、放射線遮蔽シート、耐候性外袋の4層構造からなる。内袋に充填された回収物に水分が浸入することや、回収物が外部へ漏出する恐れはない。このフレコンバッグの放射線遮蔽性能は遮蔽シート厚に比例する。遮蔽シート厚約30mmにて約30%、50mmにて約50%の遮蔽能力を有する。また最終処分時にフレコンバッグが焼却処分され

た際、有害ガスが発生しない。



放射線遮蔽機能付フレコンバッグ (LIFTPAC) の様子

上記のフレコンバッグは、放射性遮蔽効率が 50% 程度であるため、放射線量が大きな廃棄物は、鉛箱で運搬、保管することになる。そのイメージは下図の通りである。



検体の保管、運搬用の鉛箱のイメージ

### 3 . 実証実験の成果

当研究所の竹村は、2011 年 5 月 28 日に、福島市などの協力を得て、堀河町終末処理場で放射性物質を含んだ下水汚泥をサンプルとして、約 3kg 採取した。その後、低温熱分解による炭化減容化を行った場合、放射性濃度の変化を測定する実験を行った。放射性濃度は、線量計を、サンプルが積まれたトレイの中央部に設置した場合(ケース A)、トレイの片隅に設置した場合(ケース B)に分けて、測定を行った。下水汚泥の減容化前及び減容化後の様子は以下の通りである。



減容化前の様子



減容化後の様子

この炭化減容化による試験結果は表 4 の通りとなった。そこでは、体積が 74% 減、質量が 88.1% 減したが、放射線量の増加は、ケース A で 29.8% 増、ケース B で 16.7% 増に留まるという成果が得られた。

表 - 4 炭化減容化による試験結果

	炭化減容化前 の汚泥	炭化減容化後 の汚泥	増減 (%)
重量	2,650g	315g	11.9%
体積	2,000cm <sup>3</sup>	520cm <sup>3</sup>	26.0%
ケース A	12.1μSv/h	15.7μSv/h	129.8%
ケース B	6.5μSv/h	7.6μSv/h	
	0.78mR	0.91mR	116.7%

(出典)竹村(平成 23 年)

この減容化した下水汚泥の炭化物は、翌 2012 年 3 月 16 日に、中外テクノス株式会社関東環境技術センターにて、放射線量の測定及びセシウム溶出の試験を実施した。その結果は、表 - 5 の通りである。

表 - 5 汚泥炭化物の放射線量

汚泥炭化物 放射線量	Cs <sub>134</sub>	82万Bq/kg
	Cs <sub>137</sub>	110万Bq/kg
	Cs <sub>合計</sub>	192万Bq/kg
セシウム 溶出試験	汚泥炭化物	1.4%

減容化された下水汚泥の炭化物の放射線量は、合計で192万ベクレル/kgという結果となった。この減容化された下水汚泥の炭化物のセシウム溶出率は1.4%という試験結果を得たが、これは一般廃棄物の飛灰や焼却灰のセシウム溶出率20%～80%と比較すると、著しく低いという結果が得られた。そのため、保管に関しては、優れた安全性を有すると考えられる。

4. 応用可能性

(1) 放射性物質を含む作物、森林残渣の安全な減容化  
放射性物質が降下付着した樹木、地表植生及び土壌は、広域の森林に及んでいる。林床の汚染物は耕耘されておらず、表土に付着集積した放射性物質の除去が必要である。それらの除染のためには、汚染物の収集と処理が必要であり、対象地面積と必要処理量が膨大であるため、現実的な対策を立案することが困難である。そこで、窒素雰囲気下での炭化処理を基に新たな減容化技術を用いることで、森林内の林床に付着した放射性物質の大幅に減容化することに適用可能である。さらに、自動車搭載型の装置に発展させることで、稼働効率と処理生成物の運搬効率を向上させ、処理費用を軽減するものである。

(2) 塩分を含んだ廃木材の安全処理

東日本大震災により発生した津波により、被災地では木造家屋などが崩れ、押し流されたことから、「多量の塩分を含んだ廃木材」が散在している。こうした

塩分を含んだ廃木材の処理方法として、非燃焼式の低温熱分解による炭化により、ダイオキシンを発生させずに減容化する事業に応用可能である。

こうした事業実施のためには、事業実施前段階で、研究協力農地の選定、現地自治体との連携体制の確立、現地での事業説明会の実施が必要となる。その上で、サンプルの収集、搬送、粗破碎、炭化処理、分析(炭化条件の分析。炭化処理時に産出される炭化物、タール、ガスの安全性の確認。産出した炭化物の減量効果の確認。コスト分析)を実施することになる。

(3) 放射性物質を含んだ下水汚泥の炭化減容化処理

原子力発電所事故により飛散した放射性物質は、富岡町、双葉町、浪江町、大熊町、飯館村、葛尾村、飯館村、川俣町、南相馬市、川内村、いわき市などを中心に分布している。放射性物質を含んだ下水汚泥を、窒素雰囲気下において低温熱分解で炭化処理することにより、飛散を完全に制御し、大幅な減容化する事業に対して、適用可能である。

(4) 下水汚泥の固形燃料化

低温熱分解による炭化減容化装置を、図-3の通り、下水道処理フローに組み込むことで、下水道汚泥の固形燃料化による大幅な省エネルギー効果、エネルギー創出効果が期待される。

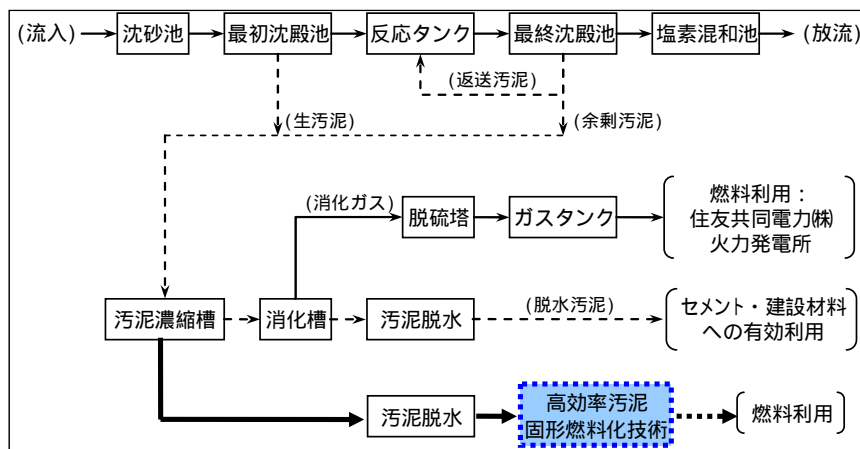


図-3 炭化減容化装置を利用した下水道処理フロー

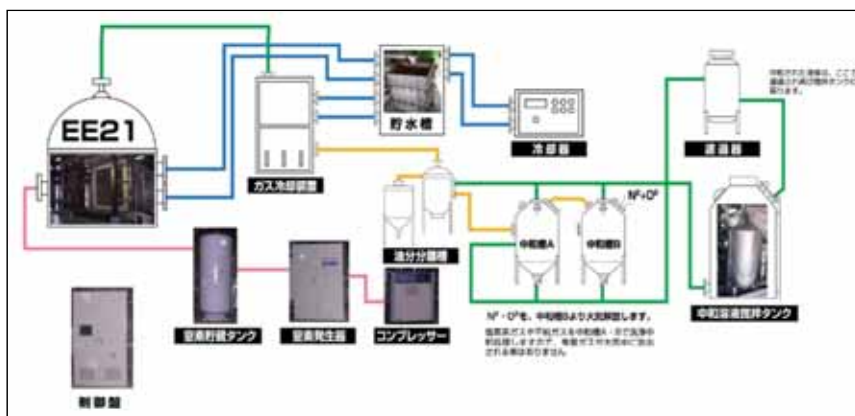


図 - 4 炭化減容化装置のフロー

### 5. 今後の課題

低温熱分解による炭化減容化は、その特徴、優位性、実用性、実証成果を2.と3.で述べたように、優れた技術的性能及び試験成果を有す。また、炭化減容化の対象としては、4.で述べた農産物残渣や林産物残渣、塩分を含んだ廃木材、下水道汚泥だけでなく、2.で述べたように幅広い分野に応用可能である。公益的な便益が発生する分野に関しては、国の実証実験に参画することが必要である。また竹や木材から炭化減容化して生成された炭化物は、7,480cal/g、8,149cal/g程度の発熱量を有し、燃料としても活用可能である。しかしながら、未だ十分に製品展開がなされているわけではない。

低温熱分解による炭化減容化装置は、利用者ニーズを十分に踏まえておらず、オーバースペックになっている可能性がある。例えば、不必要な機能を外して価格を下げて購入したい企業や自治体には、機能を落として供給を行うなどの対応の必要がある。

また現行との比較で代替案のよさを、費用便益的に整理することも必要である。例えば、代替的な装置を利用した場合の費用との比較、廃棄物から低温熱分解で得られた炭素を利用した場合のエネルギー費用削減分との比較などが挙げられる。また、一般的な企業や消費者に対しては購入の動機付けにはならないが、企業がCSR活動の一環として製品購入を考えている場合、代替案を採用した場合のCO<sub>2</sub>排出削減量を比較評価した結果を示すことも有効であるかもしれない。

すなわち、科学的な実験成果を蓄積するとともに、

企業や自治体、消費者のニーズを踏まえて、柔軟かつ真摯な製品供給を行うことが求められる。

### <参考文献>

- ・ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) : 気候変動枠組条約ウェブサイト [http://unfccc.int/ghg\\_data/ghg\\_data\\_unfccc/items/4146.php](http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/items/4146.php) (アクセス日: 2013年8月1日)
- ・ 磯野倫子, 今山智博, 上野将, 山口純弥: 「産業廃棄物税に関する実証分析-地域地特性を考慮した産業廃棄物税の設定による排出抑制効果について-」, 政策フォーラム発表論, (2004年12月), (2004)
- ・ 笹尾俊明(2005): 「青森・岩手県境産廃不法投棄現場の環境再生に関する社会経済的評価」, 『環境経済・政策学会年報第10号(環境再生)』, (東洋経済新報社)
- ・ 竹村公太郎(2011): 「放射性下水道汚泥 炭化減容化試験報告」, 土木学会全国大会地球環境委員会, (2011年9月9日, 個別報告)