

平成 22 年 6 月 8 日現在

研究種目：基盤研究(B)  
研究期間：2007年度～2009年度  
課題番号：19404021  
研究課題名(和文) 中国都市周辺地域における有機性廃棄物炭化処理による炭素資源創出と利用システム調査  
研究課題名(英文) Investigation on carbonaceous resources and utilization system from solid organic waste carbonizing processes in urban areas of China  
研究代表者 王 青躍  
(Wang Qingyue (O Seiyō))  
埼玉大学大学院・理工学研究科・准教授  
研究者番号： 30344956

## 研究成果の概要(和文)：

本研究では、中国の都市部とその周辺地域において、経済発展・産業活動に伴い、大量排出の都市有機性廃棄物及び農林業廃棄物などについて、焼却処理に代わって、それらの有機性廃棄物を無害化・減量化として、比較的低温低圧での熱分解・炭化処理プロセスを研究し、炭化処理生成物(以下炭化物)の循環性炭素資源創出技術を開発することを目的とした。特に、中国代表的な地域におけるフィールド調査、データ収集の基に、炭化物有効利用システムの可能性を検討した。

## 研究成果の概要(英文)：

In this study, we comparatively studied the organic waste carbonizing processes under the low temperature and low pressure as the technique for detoxification and reduction of the organic solid waste disposal discharged from urban, agriculture and forestry industries in substitution of the incineration processing for those wastes with the economic development and highly industrial activities in large quantities in several urban regions in China and their neighboring areas. It was aimed at the developing technology of renewable carbonaceous resources based on the effective utilization of the processing products (carbide). With field investigation in a representative area in China, data collection, we also examined and studied in particular the possibility of the carbide utilization system.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：リサイクル工学（基盤研究(B) 海外学術調査）

キーワード：(1) 中国、(2) 都市部、(3) 有機性廃棄物、(4) 無害化・減量化、(5) 炭化处理、(6) 微粉炭代替燃料、(7) バイオマス、(8) ガス化

## 1. 研究開始当初の背景

中国の都市部とその周辺地域において、経済発展・産業活動に伴い、多岐にわたる大量の都市有機性廃棄物及び農林業廃棄物などの有機性廃棄物が大量に排出されており、腐敗・悪臭・公衆衛生問題、又は地下水汚染のほか自然発火による大気汚染などが報告されている。そのため、焼却処理技術によって無害化、体積の減量化が主な計画として進められていこうとしているが、不適切な焼却処理におけるダイオキシン等の有害物質の生成・排出が問題視され、さらに、年間約 5.0 億トン標準石炭相当の有機性廃棄物が排出され、もし全て焼却処理された場合、地球温暖化原因物質である CO<sub>2</sub> が大量排出してしまうことから、それに代わって、それらの有機性廃棄物を無害化・減量化として、一旦、比較的低温低圧での熱分解・炭化处理プロセスを経て、用途の多い炭化处理回収物(以下炭化物)の循環性炭素資源創出技術の確立が求められている。

## 2. 研究の目的

中国対象都市部とその周辺地域において、

- (1)有機性廃棄物の排出と処理実態の調査
- (2)炭化处理技術の普及可能性調査
- (3)炭化处理生成物(以下炭化物)等、循環性炭素資源創出とその利用システムの検討
- (4)炭化物再資源化の研究事例として、有機性廃棄物の主成分と炭化物・添加剤成分の接触性を向上させ、混合、高圧成形・造粒製法、並びに粉体粉碎加工による高分散微粉炭複合技術を研究し、廃棄バイオマスー炭

化物ー廃棄石炭の高分散微粉炭代替燃料(以下 CBF)の開発を試み、その燃焼特性・環境負荷低減効果などについて評価する。

(5) 利用システムの一環として、クリーンエネルギー(流体燃料)への転換の基礎的な知見を得ることも目的としてきている。

## 3. 研究の方法

(1) 基礎的な現地調査による観測とデータ収集 (中国研究機関と連携して、対象都市の選定とその周辺地域のエネルギー利用形態、有機性廃棄物の種類・組成・分布・回収利用・供給量・処理利用法など)

(2) 中国(対象地域)における有機性廃棄物の炭化处理技術(無害化、減量化、処理条件の適正化、エネルギー密度の評価、廃棄バイオマスの有効利用など)と利用システム構想の検討に併せて、その炭化物等を用いて化石代替燃料への再生資源化技術の開発のための諸因子についての現地調査

(3) 炭化物有効利用のための事例開発研究：  
CBF 高分散微粉炭代替燃料に関する共同調査研究

(i) 直接的な物理的利用特性(成型・粉碎特性、粒度分布、流動性、鉍物触媒)

(ii) CBF 高分散微粉炭代替燃料の直接的な燃焼利用に関わる化学的特性のマイクロスケールから分子レベルの挙動把握

(4) 循環性炭素資源の利用技術・流体燃料化・システム構築の検討

## 4. 研究成果

日本国内において、多岐にわたる産業活動

に伴い大量の産業廃棄物が排出されており、年間 4 億 t にも達している現状である。埼玉県さいたま市を例とすれば、そのごみ排出量は平成 14 年度まで増加傾向であったが、それ以降は減少傾向にある。しかし、今後は人口増加やごみの発生量に関係の大きい世帯数の増加の影響などもあり、緩やかな増加傾向になることが予測され、平成 22 年度には年間 48 万トンの排出が予測される。一方、東南アジアの諸途上国においては、高い経済成長を示しつつあり、これに伴ってエネルギー需要が急速に増大し、特に石炭などの化石エネルギーの消費が急増し続けている。その結果、地球温暖化原因物質である二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の大量排出、低品位石炭燃焼起因の大量二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)及び粉塵による大気汚染、健康被害などが深刻化し、建造物等の被害に止まらず、森林生態系の破壊に伴う農林業への大きな経済損失をもたらすとともに、東南アジア地域の環境酸性化や周辺国への越境大気汚染は極めて大きくなるものと予測される。

そこで、本研究では、循環性資源である廃棄バイオマスの炭化処理プロセス、炭化生成物の利用研究の一部成果を踏まえ、枯渇性石炭資源の節減と代替を目指している。特に、炭化処理プロセスからの中間生成物の化学的・物理的特性を解析した上で、バイオブリケット化技術(BB)を用いて、混合、加圧成形・造粒手法によって BB 燃料を試作し、木質系バイオマス主成分(リグニン、セルロースなど)と炭化生成物または石炭成分の接触性を向上させた。それらの BB 燃料の粉体加工によって、鉄鋼製造プロセス、流動層燃焼炉、微粉炭燃焼炉などで利用可能な廃棄バイオマス-炭化物-廃棄石炭の高分散微粉炭代替燃料(以下 CBF)の開発を試みた。さらに、CBF 高分散微粉炭代替燃料の水蒸気ガス化

特性に関する評価実験を通して、ガス化反応性の改善、生成ガス発熱量の増加などが評価できた。

炭化処理プロセスの検討として、廃木材、鶏糞、廃タイヤなどの廃棄バイオマス試料の炭化特性を調査するため、回分式の固定床反応装置にて炭化(熱分解)実験を行い、高速昇温電気管状炉付示差熱・熱重量同時測定装置(TG-DTA 同時測定装置(DTG-60))を用いて炭化条件による減量化効果、炭化生成ガスの評価を行った。各種の廃棄バイオマスに対する H<sub>2</sub> ガスの生成は比較的高い温度から(500°C以上)始まり、800°C前後で排出量がピークになった。そして、温度が上昇すると共に排出量が増加し、生成ガスの 20 ~ 25 % を占めた。CO と CO<sub>2</sub> ガスの生成は比較的低い温度から始まり、400°Cでピークになった。CH<sub>4</sub> 及び C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> の生成温度もほとんど同じで 600°Cでピークになった。これらのガス以外また、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>、*n*-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>、及び *iso*-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> ガスなどガスも少量生成した。300 ~ 500°Cの主分解域を最終温度にすると試料の熱伝導率の低さが減量化へ影響を与えそうだが、500°C以上では昇温速度の減量化への影響はほとんどないと考えられる。

各試料に対する易分解性炭素量への温度影響を調査した結果、焼却処理との比較を行うため、各試料の燃焼灰も記載してある。これによると、木材について、300°C処理では原料と同等の易分解性炭素量が示されたものの、400°Cの炭化処理では検出されなくなった。鶏糞では 300°Cにおいても原料と比較して減少が見られたが、400°Cまで易分解性炭素が検出され、500°Cにおいて易分解性炭素の抑制が示された。タイヤに関しては、原料の段階で含有酸素が微量であり、ゴム分子の構造上も酸素を含まないため、易分解性炭素は検出されなかった。以上のことから、廃

木材や鶏糞に対しては、炭化処理による安定化が有効であり、それぞれ 400℃、500℃での炭化処理条件がより低温にて安定・無害化が可能な条件であることが示された。

炭化物の燃焼性への昇温速度の影響を調査したところ、昇温速度の増加に伴う着火温度の低下（燃焼反応性の増加）が見られた。低速昇温では長時間処理のため高速昇温より炭素構造が発達・秩序化したため、炭化物表面がより不活性化し、一方、高速昇温では、表面が秩序化される前に処理が終わるため、より活性な表面を持った炭化物が得られたと考えられる。また、鶏糞の炭化物があまり昇温速度の影響を受けなかった理由として、鶏糞は廃木材より多量の灰分を含んでおり、最終温度 500℃での炭化処理後は単位重量当りの灰分割合が増加したため（40 wt.%程度）、炭化物の燃焼性が炭素構造の影響を受けにくくなったことが考えられる。以上より、廃木材においては炭化物を燃料として用いる場合でも、高速昇温の方が反応性の高い炭化物を得られるため有利であることが確認された。内熱式かつ高速連続炭化プロセスの構築を提案した。

炭化生成物、バイオマス(廃木材チップ)、硫黄固定剤 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) を混合し、ハイプレッシャージャッキ (J-15 Iuchi) を用いて高压成型した。この時作成した成形物を廃タイヤバイオブリケット (廃タイヤ BB)、牛糞バイオブリケット (牛糞 BB)、鶏糞バイオブリケット (鶏糞 BB) を作製した。さらに、粒径 250  $\mu\text{m}$  以下に再粉碎加工し、バイオマスは 1 mm 以下に粉碎・画分した。これらの試料はそれぞれ工業分析、元素分析、発熱量基礎測定を行った。これから、高分散微粉加工(粒度:10~200  $\mu\text{m}$ )により CBF 高分散微粉炭代替燃料(BB 燃料)を作製した。それらを用いて燃焼時に排出される物質 ( $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{HCl}$ )

を捕集・分析した結果、炭化廃棄物を BB 化、及び燃焼制御することにより燃焼排出物質中の硫黄分、及び塩素分の低減が示唆された。

CBF 高分散微粉炭代替燃料の水蒸気 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ガス化反応特性の評価実験では、バイオマス添加割合 (0, 25, 50, 75 wt.%) を変化させて、熱分解実験より作製した BB チャーの、ガス化反応時間における転換率を調査した。バイオマス添加割合を増やすにつれてガス化反応性が改善されることが示唆された。これは、バイオマス添加割合を増やすにつれ、ガス化反応性に影響するチャーの比表面積が増加したこと、また、燃焼開始後バイオマスの熱分解と燃焼に伴って、 $\text{O}_2$  やガス化剤が拡散しやすく、ガス化触媒として働くバイオマス中のアルカリ金属 K, Ca 成分が増加したためであると推定された。バイオマス添加割合を増やすことによって、ガス化反応性の改善、生成ガス発熱量の増加などが評価できた。しかし、本研究において、噴流層のバーナー実験を用いる実験では安全管理上で不可能だったが、そのガス化反応性から、火炎内燃焼機構を推定することができ、様々な環境問題を引き起こしている炭化物と廃棄石炭 CBF 燃料の利用可能性が示唆された。従って、その物理的・化学的な分散・接触特性の改善、均一な発熱量と分解・燃焼挙動による炉内温度の安定性、有害化学物質の排出抑制などの諸特性も示唆された。

なお、本研究の一部成果は、ガス化による流体燃料、化工原料への転換、ならびに直接的な燃焼利用としての新エネルギー源の開発に寄与することが期待されている。廃棄バイオマスや廃棄石炭からの燃料転換は、製造時におけるエネルギー産業の転換効果が見込め、枯渇性資源から循環性資源への高効率転換（技術や産業）を導き、エネルギー対策だけでなく、効果的な酸性雨・温暖化ガス排

出抑制対策に寄与することも可能である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. 黄錚、外岡豊、関口和彦、王青躍、坂本和彦、汚染産業移転仮説と環境政策選択-地域間経済格差からみた中国の環境問題-、*環境科学会誌*, 23(2)、67-80 (2010).
2. Huang, Z., Tonooka, Y., Sekiguchi, K., Wang Q., Sakamoto, K. Long-term Sulfur Emissions and Environmental Kuznets Curves: Comparison and Implications, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 3, pp.19-26 (2009).
3. Huang Z., Tonooka Y., Wang Q. and Sakamoto K., Olympic City and environmental kuznets curves: air pollution trends and control strategies in Beijing, *Environmental Science*, 22(5), 348-361 (2009).
4. 山田公子, 王青躍, 坂本和彦, 家庭用ストーブの模擬燃焼条件におけるバイオブリケットの硫黄固定効果, 大気環境学会誌, 43, pp.264-272 (2008). (Yamada K., Wang Q., Sakamoto K., Sulfur-fixation effect by coal-biomass briquettes under simulated combustion conditions of household stoves. *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, 43, pp.264-272 (2008) (in Japanese with English abstract).
5. 王青躍、宿崎直登、山田哲夫、混合バイオマス粒径による廃棄石炭利用バイオブリケットのガス化反応性への影響、*埼玉大学大学院理工学研究科紀要 (工学系)*、(2008)
6. 王青躍、井古田亘佑、石炭ガス化にお

けるタールと灰分との不均一反応に関する基礎研究、*埼玉大学大学院理工学研究科紀要 (工学系)*、(2008)

7. 王青躍、アパルパタル、野崎友義、都市固形有機性産業廃棄物の高速炭化処理とその生成ガスの解析、*埼玉大学地域オープンイノベーションセンター紀要*、Vol. 1, pp. 117-119 (2008).
8. Yamada K., Sorimachi A., Wang Q., Yi J., Cheng S., Zhou Y., and Sakamoto K., Abatement of indoor air pollution achieved with coal-biomass briquettes in a household in Chongqing, China. *Atmospheric Environment*, 42, pp.7924-7930 (2008).

[学会発表] (計 7 件)

1. 王青躍、アパル パタル、タリプトオフテイ、柏木 信明、坂本 和彦、黒川 秀樹、杉山 和夫、廃棄木質系バイオマスの炭化処理温度条件による各種炭化生成物への影響、第46回石炭科学会議 (口頭)、2009年11月26日~27日、鹿児島東急ホテル、2009.
2. 王青躍、柏木 信明、アパル パタル、タリプトオフテイ、杉山 和夫、植物油凝集法による有機炭素成分回収時の微粉廃棄石炭の粒径や攪拌条件の調査、第46回石炭科学会議 (口頭)、2009年11月26日~27日、鹿児島東急ホテル、2009.
3. 王青躍、アパルパタル、タリプトオフテイ、黒川秀樹、中島大介、杉山和夫、第19回廃棄物学会研究発表会論文集、木質系廃棄バイオマスにおける高速内熱式炭化処理プロセスに関する基礎研究、国内学会、口頭発表、2008年11月19日~21日、京都大学、2008.
4. Shirai T., Mogi F., Sekiguchi K., Wang Q., Kurokawa H., Yoshimura Y. and Sakamoto

K.: Measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons in bio-diesel exhaust particles, Proceedings of the 2007 International Symposium on Environmental Science and Technology (2007 ISEST), 516-522 (2007).

5. 宿崎直登, 王青躍, 廃棄石炭利用バイオブリケットのガス化へのバイオマス混合粒径の影響, 第44回石炭科学会議発表論文集, 日本エネルギー学会, 国内学会, 口頭発表, 2007年10月、新宿学院大学、pp.100-101, (2007).
6. 王青躍, 飯島敦史, アパルパタル, 関口和彦, 坂本和彦, 黒川秀樹, 中島大介, 廃木材と鶏糞の炭化処理昇温速度およびその炭化物着火特性に関する研究, 第18回廃棄物学会研究発表会論文集, 廃棄物学会, 国内学会, 口頭発表, 2007年11月19~21日, つくば国際会議場、pp.558-560, (2007).
7. 表面技術協会 カーボン・プラスチック表面技術部会みちのくフォーラム2007, 王青躍, 中国における炭素資源の有効利用とその創出, カーボン・プラスチック表面技術部会研究発表会, 国内学会, 基調講演, 2007年10月18日、青森、pp.1-10, (2007).

〔図書〕(計 1 件)

王青躍, 日本の効果的な環境協力の展開、環境協力のパッケージ化、*海外環境協力センター(OECC)会報*, No.58、pp.5-6 (2009.12)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 石炭粉末及び/又は廃棄炭化物、並びに植物系高分子有機物粉末からのバイオマス-石炭融合微粉燃料、燃焼性ガス、並びに

燃焼性ガス及びチャーの製造方法

発明者: 王青躍、坂本和彦、秋林鉄雄

権利者: 埼玉大学

種類: 環境・エネルギー

番号: 特開 2007-169484 (P2007-169484A)

出願年月日: 2007年12月

国内外の別: 国内

〔その他〕

平成16~20年度「都市固形有機性廃棄物の熱炭化処理システムの最適化とその利用に関する評価研究」について、(財)住友財団助成金、(財)鉄鋼業環境保全技術開発基金、本学理工学研究科共同研究費、並びに民間共同研究などの研究費も獲得し、本研究と連携して行っており、国際環境協力および地域環境対策とも貢献できた。

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

王 青躍 (Wang Qingyue (O Seiyu))

研究者番号: 30344956

埼玉大学大学院・理工学研究科・准教授

##### (2)研究分担者

該当者なし

##### (3)連携研究者

黒川 秀樹 (KUROKAWA HIDEKI)

研究者番号: 50292652

埼玉大学大学院・理工学研究科・准教授

杉山 和夫 (SUGIYAMA KAZUO)

研究者番号: 80114213

八戸工業高等専門学校物質工学科・教授

中島 大介 (NAKAJIMA DAISUKEI)

研究者番号: 10281411

独立行政法人国立環境研究所循環型社会形成推進・廃棄物研究センター・研究員