

多原料バイオコークスの特性と CO₂ 削減誘導型産業炉への適用

Characteristics of multi-material biocoke and application to CO₂ reduction
by inductive type with industrial furnace

井田民男*

1. はじめに

地方自治体が公衆衛生を持続する上で際限なくかつ、時とともに変化しつづけ、対応を求められる施策に一般廃棄物処理がある。一般廃棄物処理は、単に家庭から廃棄されるごみを処理し、公衆衛生を維持・向上するだけでなく、地球温暖化への影響を懸念し、低炭素社会実現に向けて改善が求められたり、ゼロ・エミッション構想により循環型社会実現に向けて改善を求められたりして、市民生活環境の向上に資する施策が盛り込まれてきた。さらに、昨今では地震や台風等による災害、天災等に対応すべく避難先としての機能が求められつつあり、「生活を守る」から「命を守る」と言う多機能な施設として位置づけられつつある。特に、国際連合が提唱するSDGsの「11 住み続けられるまちづくりを」にも連動しており、そのターゲットでは以下の項目が該当する。

- 11-3 2030 年までに、包摂的かつ持続可能な都市化を促進し、すべての国々の参加型、包摂的かつ持続可能な人間居住計画・管理の能力を強化する。
- 11-6 2030 年までに、自治体などによる廃棄物管理への特別な配慮などを通じて、都市部の一人当たり環境影響を軽減する。
- 11-7 2030 年までに、女性・子ども、高齢者および障害者を含め、人々に安全で包摂的かつ利用が容易な緑地や公共スペースへの普遍的アクセスを提供する。
- 11-b 2020 年までに、包含、資源効率、気候変動の緩和と適応、災害に対するレジリエンスを目指す総合的政策および計画を導入・実施した都市および人間居住地の件数を大幅に増加させ、仙台防災枠組 2015-2030 に沿って、あらゆるレベルでの総合的な災害リスク管理の策定と実施を行う。

このように地方自治体における一般廃棄物処理の位置づけは、年々高度化し、重要な取り組みとして進められている。

一方、地方におけるバイオマス資源の活路は、里山復興と未利用バイオマスにある。先ず、里山復興のため木質バイオマスを活用するには、その特徴と林業がおかれている状況をつかむ必要がある。木質バイオマスは、国内地形の搬出困難さに加え、その対象を人工林依存、森林組合依存等から脱却できない状況があり、里山復興の切り札として導入されたFIT 制度でも経済指標により海外バイオマス資源への依存傾向が高い結果となっている。

森林生態系の特性を理解しつつ、固定化された木質系バイオマスを活用する工学的な手法の導入については、次の3点について課題を明確にしつつ解決策を提案する必要がある。⁽¹⁾

- ①木材をビジネスとする林業分野は、長期かつ極度な不況状態にある
- ② 国内での森林生態系が山深く、傾斜度が急な林地が多い
- ③ 山林の所有権として個人所有の財をエネルギー源にし、細分化されていることが多い

次に地方に潜在する未利用バイオマス資源としては、食品廃棄物が最大のポイントとなる。食品ロスをなくす取り組みは社会活動として推進されるものの、再資源化技術は開発途上にある。課題は、高含水率である。食品廃棄物をメタン発酵に掛けるには、発酵対象成分が不均質で低効率で、固形燃料化するには乾燥が必要だが直接燃焼ではほぼ発熱量がゼロであるため助燃材を必要とする。

このように地方における廃棄物処理は、地方自治の在り方を尊重しつつ、持続可能なエネルギー確保

* 近畿大学 バイオコークス研究所 所長/教授

の両面を自立させつつ、環境と社会に関する際限のない改善を進める宿命を持つ。

ここでは、近畿大学バイオコークス研究所が取り組むバイオコークス事業について、現状と展開を解説する。2007年にバイオコークスプロジェクトをNEDO及び北海道経済産業局／経済産業省の支援を受け、バイオコークスの基礎研究のみならず、ナニワ炉機研究所の協力によりバイオコークス量産装置開発からバイオコークス専焼燃焼装置開発、キュポラでの溶解実証試験、さらにはバイオコークスの普及活動や地域や教育機関への再生可能エネルギーに関わる教育活動にも取り組んでいる。特に、バイオコークスによる石炭コークス代替は、鉄鋼分野や一般廃棄物処理（高温ガス化溶融炉）で利活用されており、化石資源からの二酸化炭素を直接削減でき、

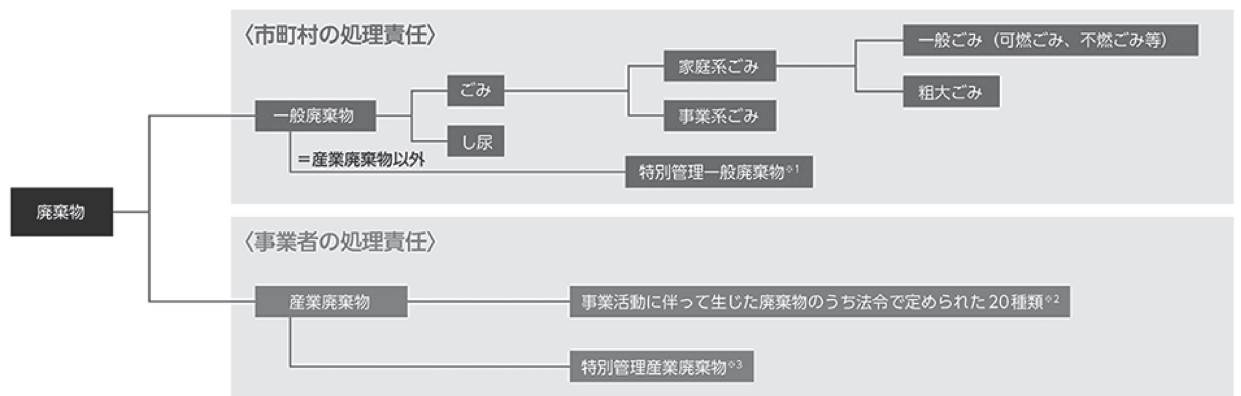
その検証も進み海外展開に向け、その可能性を秘めている。⁽²⁻⁵⁾

持続可能な再生可能エネルギーを基盤とし、これらの目標を実現するため、未利用バイオマス資源、特に非可食部食品、食品ロスから高密度かつ高硬度な固形バイオ燃料の形成・物理・燃焼特性から脱化石資源の代替燃料としての可能性と社会貢献の取り組みについて述べる。

2. 廃棄物の発生と最終処分

図1～3は、一般廃棄物の資料として平成30年度環境省白書；第2部各分野の施策等に関する報告；第3章循環型社会の形成；第1節廃棄物等の発生、循環的な利用及び処分の現状から引用した。⁽⁶⁾

図1に廃棄物の区分を、図2に処理フロー（2016



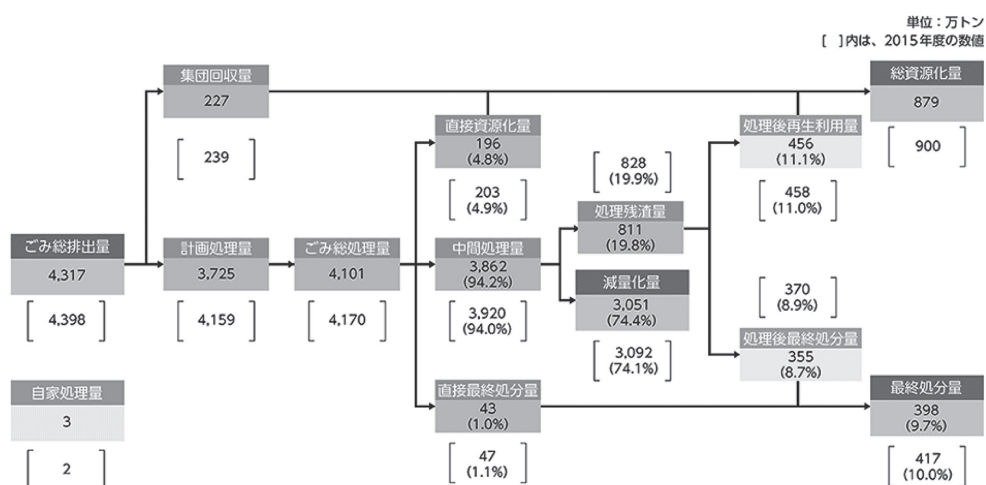
※1：一般廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれのあるもの。

※2：燃え殻、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類、紙くず、木くず、繊維くず、動植物性残渣（さ）、動物系固形不要物、ゴムくず、金属くず、ガラスくず、コンクリートくず及び陶磁器くず、鋳さい、がれき類、動物のふん尿、動物の死体、ばいじん、輸入された廃棄物、上記の産業廃棄物を処分するために処理したもの。

※3：産業廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがあるもの。

資料：環境省

図1 廃棄物の区分



注1：（ ）内は、ごみ総処理量に占める割合を示す（2015年度数値についても同様）。

2：計画誤差等により、「計画処理量」と「ごみの総処理量」（＝中間処理量＋直接最終処分量＋直接資源化量）は一致しない。

3：減量化処理率（％）＝〔（中間処理量）＋（直接資源化量）〕÷（ごみの総処理量）×100とする。

4：「直接資源化」とは、資源化等を行う施設を経ずに直接再生業者等に搬入されるものであり、1998年度実績調査より新たに設けられた項目。1997年度までは、項目「資源化等の中間処理」内で計上されていたと思われる。

資料：環境省

図2 廃棄物の処理フローと総処理量（2016年度）

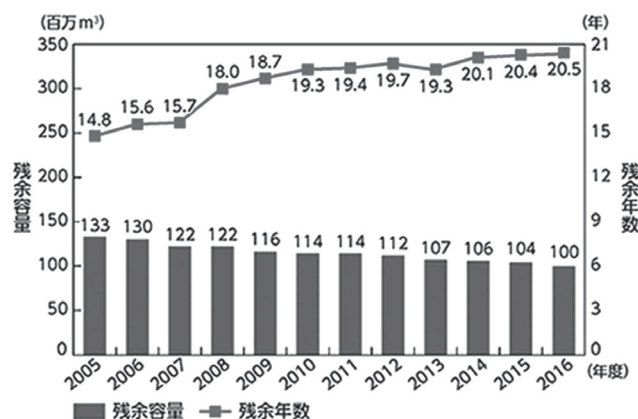
年度)を示す。廃棄物には、一般廃棄物と産業廃棄物がある。一般廃棄物は、地方自治体がその全処理責任を負っている。特に、家庭系ごみの処理では、2016年度で全国のごみ総排出量は、4,317万 ton/年に達し、国民一人当たり約0.3ton/年が廃棄されている。ペットボトル換算(20g/本)で15,000本が廃棄される試算となる。図から分かるように再資源化は、約5%であり、膠着状態にある。そのほとんどが中間処理を経て、74.4%を燃焼処理し19.9%が残渣する。その残渣のほとんどは灰分であり、無機質な性状を持つ。

無機質な性状を有しているのでコンクリート等に混入することができ、その再生量は11.1%(残渣分の56%)と有効活用される。最終約8.7%(残渣分の44%)が埋設処理されることになる。

図3に最終処分場の残余容量及び残余年数の推移を示す。最終処分残余容量は、確実に徐々にではあるが、減少の一途を辿っている。2016年度末時点で、一般廃棄物最終処分場は1,661施設(うち2016年度中の新設は16施設で、稼働前の9施設を含む。)、残余容量は99,963千 m^3 であり、残余年数は全国平均で20.5年と危機的な状況となっている。

図3から最終処分場残余容量は減少傾向にあるが、残余年数が幾分増加傾向にあることが分かる。これは、新規の最終処分場を増場する一方で灰分を溶融減量化する延命技術開発が進んだ背景がある。

一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について(公布日:平成10年3月26日生衛発508号)「一般廃棄物の高温による溶融固化については、1200℃以上の温度でダイオキシン類を分解し、その削減に有効であるとともに、廃物の減容化に資するものである。」が施行され、地方自治体の取り組みが行われた。



資料：環境省

図3 最終処分場の残余容量及び残余年数の推移

さらに、日本のPFI/PPPは1999年のPFI法成立後で、一般廃棄物処理施設でのDBO第1号は2002年の西胆振廃棄物広域処理事業の開始から約20年であり、官民一体となってこの際限ない課題に取り組んでいる高い成果と評する。

ここでは、バイオコックスを適用した灰溶融への可能性について後述する。

3. 木質バイオマスの可採資源量の推定

急峻かつ狭い国土を有する国内での木質バイオマスの可採できる資源量は、大きく林道整備の状況と傾斜林率に依存している。林道整備は、技術的な課題より経済的な課題(木材価格)に左右されているところが大きい。従って、林道が延長されれば、比例的に搬出量が増量されることになる。一方、傾斜林地におけるコスト問題を含み搬出量の改善は、急峻な地理条件に覆われている国内林業の最大の課題であり、人的作業の限界と林業機械の性能に極めて依存している。このように木質バイオマスを搬出するための要因と搬出量を推定するためには、林道整備に対する数値目標や林業機械に求められる限界性能などを具体化する必要がある。¹⁾

我が国の森林面積率は、世界の中でフィンランドと並んでトップクラスを誇る国である。ところが北欧では木材火力を成立させるための開発が進み、一部実用化されているのに対し、日本では多くの森林がエネルギー用にも材料用にも、見放されている状態にある。主たる原因の一つは、国内の山林において急傾斜林が多いことが指摘されるが、定量的な解析が少ないため、打開の方向付けさえできていない。

特に、究極資源量では、温帯林の標準的な純生産量10 Dry-ton/ha・yから推定して、250 Dry-Mton/y(Mton:百万トン)の森林資源を有しているにも関わらず、現状での利用資源量は、僅かに15 Dry-Mton/yの伐採量に留まっている。この森林資源の生産量を向上させるには、放棄されている潜在バイオマス資源を有効に利用する必要がある。すでに、北欧では廃材からの木質ペレットが、発電用から地域熱暖房、家庭用ストーブまで幅広く普及している。特に、日本と地理的条件が相似なオーストリア(狭い国土で急峻な山林に覆われている)では、国産ペレット供給の消費と共に、カナダから輸入しているほどである。

国内の木質バイオマス資源量は、森林面積の25 Mhaと年間成長量10 Dry-ton/haから導き出した量が究極資源量とされているが、森林から搬出する際

の作業性を無視して、伐採困難として放棄された量も含まれている。また、可採資源量に影響する山林の険しさの調査方法として、高度な GIS 等を用いる方法も考えられるが、森林に対しては、森林管理を対象にした研究開発がほとんどである。

日本における木質バイオマスの有望な供給地として、生育に有利である豊富な日射量・降水量を有する南九州、四国、紀伊半島が考えられるが、ここでは、紀伊半島の傾斜地分布を調べ、傾斜地とバイオマス資源量の相関より可採資源量を推定した結果を紹介する。

図 4 に三重県、奈良県、和歌山県の各市町村における行政区域面積と林野率の相関を示す。紀伊半島における平均林野率（森林面積と草生地（野草地）を合計した面積を行政区域面積で割った値）は、0.73 と非常に高い値となっている。所有区分では、国有林と民有林の割合は、5 : 95 で圧倒的に民有林が多い状態である。材積密度は、民有林の場合はバラツキがあるが平均で 0.2 千 m³/ha であり、国有林ではバラツキが少なく 0.16 m³/ha となり、民有林の材積密度が若干まざっていることが分かる。

図より、行政区域面積が 5 千 ha 以下の地域では、林野率が低い傾向にあり、それ以上では、急激に林野率が増し、10 千 ha 付近で、ほぼ林野率が 0.8 に

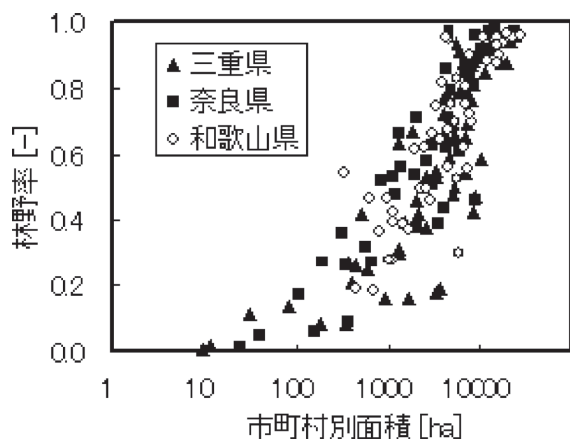


図 4 紀伊半島での市町村面積と林野率の関係

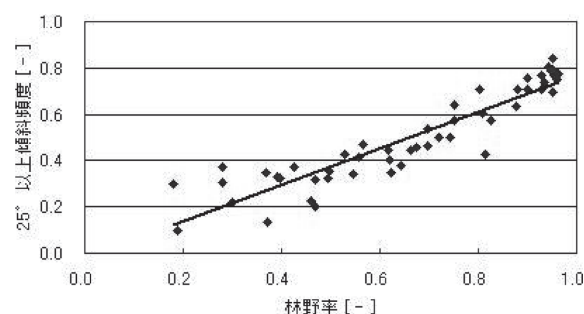


図 5 林野率と 25°以上傾斜頻度の関係

近い値となっている。従って、これらが意味することは、行政区域面積が大きくなるに従い、木質バイオマス資源の潜在量が急激に増加することである。また、この行政区域面積と林野率の相関は、紀伊半島 3 県ともに同様な傾向であることも分かる。

しかし一方では、未利用バイオマス資源を有効に活用するには、傾斜度が課題となる。図 5 に傾斜頻度（25°以上）と林野率の関係を示す。両者の間に強い相関があることがわかる。

和歌山県では、林野面積の約 60% が伐採可能な面積であり、可採材積量は約 53.9 百万 m³ である。ここで、含水率 0% の木材比重を約 0.5、発熱量を約 20 GJ/ton とすると、27.0 百万 dry-ton (539 PJ) の搬出可能な資源量があることになる。一方、木の生長量から求めると温帯林での成長量は約 10 dry-ton/年であるので、可採面積 214,855 ha より 2,148,550 dry-ton/年 (42 PJ/年) の搬出可能な資源量となる。これに対し、和歌山県の平成 5 年素材生産量は 303 千 m³/年 (3 PJ/年) であり、未活用の森林資源が多く存在することが試算される。

4. 海外の状況

平成 24 年度 JICA 協力準備調査（BOP ビジネス連携推進）におけるラオス人民民主共和国現地での調査現場を写真 1（写真中央が筆者）に示す。一般廃棄物を燃焼処理する慣習は、ASEAN 諸国などになく、このように埋め立て埋設処理を行っている。この最終処分場が満杯になると、首都ビエンチャンよりさらに遠い方向に最終処分場を増設する国策になっているが、公衆衛生の面から JICA が中心となり、打開策を打っているところである。⁽⁷⁾



写真 1 ラオス人民民主共和国でのランドフィル

一方、シンガポールでは一般廃棄物は燃焼処理され灰分が残渣し、セマカウ島を最終処分場として埋め立て処理を行っているが、日本貿易振興機構アジア経済研究所『アジア各国における産業廃棄物・リサイクル政策情報提供事業報告書』経済産業省委託（2007年）によると、セマカウ最終処分場の残余年数を50年に引き伸ばし、埋め立てゼロを目指すところがある。

5. バイオコークスによる灰溶融

バイオコークス化技術は、原料として光合成に起因するバイオマス全般を対象とし、相対重量収率がほぼ100重量%であり、転換前後でゼロ・エミッションを実現できる数少ないバイオマス転換技術である。⁽⁸⁻¹³⁾ 通常の未利用バイオマス資源はもとより、技術相談を受け、特別に試作した例として、

- ① 野菜の生産調整で廃棄対象となったピーマン
 - ② 台風被害でジュースにもできないレモン
 - ③ ロンドン条約で海洋投棄できなくなった焼酎滓
 - ④ 裁断時に破棄される端布／残布
 - ⑤ 回収されたが燃焼処分を余儀なくされた古着
- など多様な社会背景を抱えた廃棄バイオマス資源もバイオコークスとして再構成され、高度な燃料化が可能である。さらに、バイオコークス化技術は、混在した多原料からの転換が可能であり、その特性は推測範囲を超え次の研究対象となる。特に、国内の未利用／廃棄バイオマス資源を対象とすると四季、気候、経済等の影響を受け、年間通じて均一なバイオマス資源を確保することは至難であり、多原料化することにより、収集量の安定確保が可能となる。

高温ガス化直接溶融炉（JFE エンジニアリング社製）でのバイオコークスの燃焼挙動を解説する。図6にシャフト炉内での燃焼・溶融イメージを示す。バイオコークスは、炉上部から一般廃棄物と石炭

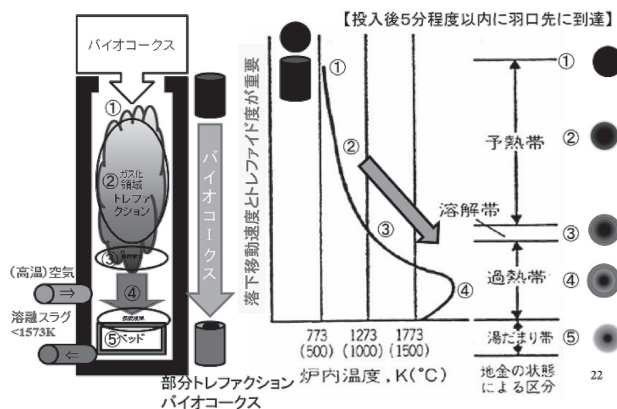


図6 シャフト炉内の燃焼イメージ

コークスと混在で投入され、炉底での燃焼により一般廃棄物の灰分を溶融し、スラグ化する。この間、バイオコークスは高温環境下に暴露されることになり、外周部からトレファクションが進行し、炭化物へと移行することになるが、上部投入から炉下部まで数分程度で到着するものと考えられており、ほぼ全量を炉内で燃焼することとなる。⁽⁵⁾

6. 多原料バイオコークスによる燃焼試験

写真2にバイオコークス研究所が所有する小型溶解燃焼試験装置（ナニワ炉機研究所製）とその燃焼の流れを図7に示す。

本装置は、実機・溶解量2,000 kg/hの約1/4モデルで、ハンドリングの良さも加え実機へのフィードバックを可能にしている。特に、高温の熱風回収システムや廃熱を有効に回収し、エネルギー転換するとともにシステム全体の省エネルギーを可能にする仕様となっている。

本装置の流れを説明する。キュボラ内部の流れは、集塵装置（e）の後流のプロワーにより引き起こされている。先ず、キュボラ本体（a）で被加熱材が層状に積層されて溶解される。この過程において加熱材である石炭コークス／バイオコークスがガス化しながら、キュボラ底部へと移動しながらチャー燃



写真2 小型溶解燃焼試験装置（ナニワ炉機研究所製）

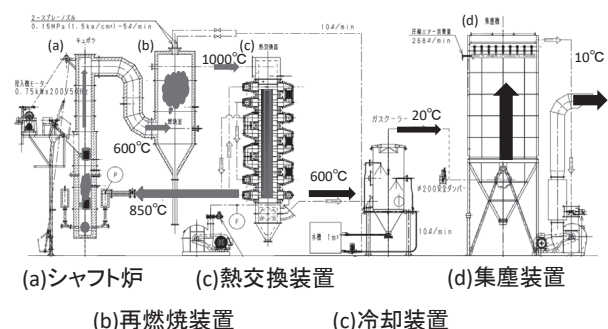


図7 燃焼の流れ（右端のプロワーの吸引により左端のシャフト炉から流れが誘引されている）

焼へと移行する。ガス化した揮発成分は、2次燃焼装置 (b) で再熱利用するためにこのオフガスを燃焼する。この後、熱交換装置 (c) により高温空気を作り、キュボラ底部から供給する。この後、排ガスはスクラバー (d) により冷却され、集塵機を介して清浄化し、大気放出される。

この装置を用い、模擬的に燃焼灰を混在投入し、石炭コークス 100% を基準として、左から石炭コークス 80% + 緑茶バイオコークス 20%、石炭コークス 50% + 緑茶バイオコークス 50%、そば殻バイオコークス 100% + 一般廃棄物バイオコークス 100%、緑茶バイオコークス 100% により燃焼試験を行った。

平均燃料消費速度を図 8 に示す。石炭コークスに比して、消費速度が速いことが分かる。一方では、燃焼速度が速い分、溶解速度が向上しており、バイオコークスを用いると石炭コークス 100% に比して、溶解エネルギー効率が良いことが分かっている。⁽⁵⁾

7. 多原料バイオコークスの特性

図 9 に EFB と椎木 (赤)、EFB と緑茶を混在したバイオコークスの熱間圧縮試験結果 (熱間圧縮試験条件：炉内設置後、70 分で常温～973 K まで昇温し、圧縮試験を実施) を示す。椎木及び緑茶を混在したバイオコークスの特性は、実験的な予測から大きく外れていることが分かる。特に、約 20% と約 80% の混在率において、極大値を示しており、相乗効果が発現していることがうかがえる。

また、熱間圧縮強度が約 1～2 MPa 付近に存在しているが、石炭コークス値で約 12 MPa から推算すると、約 1/10～1/5 の高温圧縮強度を保持していると考えられる。

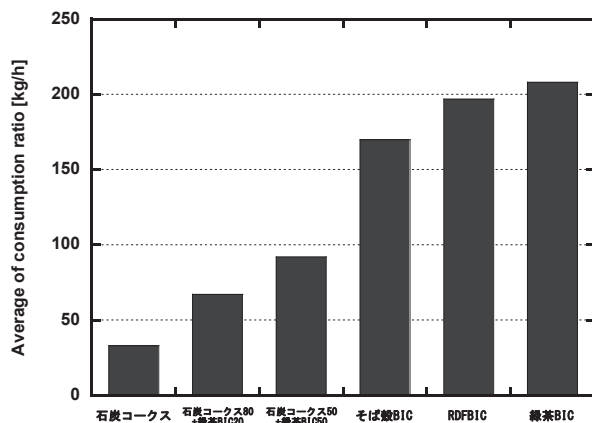


図 8 各種バイオコークスによる平均燃焼消費速度

8. おわりに

世界が注目する SDGs の 17 項目は、平和とやすらぎ、平等を実現するために必要な目標である。その基盤には、持続可能で争奪することのないエネルギー基盤が必要である。なかでも、バイオエネルギーは、低密度で地球上に生息するものの化石資源に比して広範囲に均質に生息している。さらに、光合成を介して炭素循環し、太陽エネルギーを生化学的エネルギーとして構築する持続可能なエネルギー資源として位置づけられる。特に、バイオ固形燃料は、バイオマスからの再構築転換技術として位置づけられ、物理特性、材料特性、燃焼特性などの機能を発現でき、さらには備蓄機能も兼ね備えている。バイオコークスは、水の相変化における亜臨界状態において、水を触媒とする再結合構築技術であり、飛びぬけた備蓄機能を有している。バイオコークス化技術は、開発の入り口である。数百年、数千年、この地球で人類が社会生活を営むには、このようなバイオ固形燃料による溶解技術とエネルギー備蓄機能は必要不可欠であることは言うまでもない。さらに、改良、改善が加えられ、化石資源枯渇後の世界を支えることができる技術まで発展することを期待したい。

謝辞

本解説では、四季や天候等の変動を受けるバイオマスを年間通じて安定に確保するための多原料を念頭にバイオコークスの特性を紹介し、地方自治体が

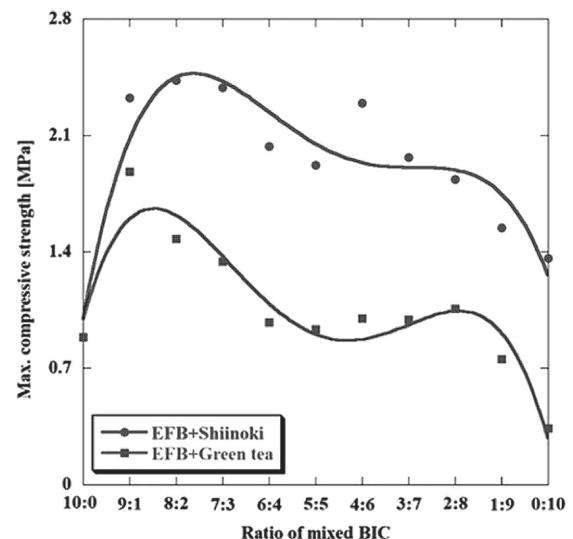


図 9 多原料バイオコークスの熱間圧縮試験

抱える一般廃棄物処理に適用し、環境とエネルギーの同時解決を図った研究成果について解説した。本研究開発を進めるにあたり、環境省、石炭エネルギーセンター及びJFEエンジニアリング株式会社の協力を得、社会実装を進めることができた。ここに深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 森田明宏, 井田民男, 渕端学, 澤井徹, 佐野寛, 傾斜度を考慮した推定法による紀伊半島における木質バイオマス資源調査, エネルギー・資源, 26 (4), 53-57 (2005).
- 2) 平成 29 年度環境省環境再生・資源循環局委託, CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 (多原料バイオコークスによる一般廃棄物処理施設での CO₂ 排出量 25%削減の長期実証) 報告書 (2018). <http://www.env.go.jp/recycle/report/h30-06.pdf>
- 3) 環境省, 環境省の固体燃料化に関する取り組み事例 (2018). https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_senmonka/attach/pdf/08-13.pdf
- 4) 平成 31 年度環境省環境再生・資源循環局委託, CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 (多原料バイオコークスによる一般廃棄物処理施設及び鋳物製造業での CO₂ 排出量削減の長期実証) (2019). <https://www.env.go.jp/recycle/report/r2-02.pdf>
- 5) 内山武, 奥山契一, 渡辺純也, 秋山肇, 鈴木康夫, 小田昭浩, 星靖, 村田博敏, 田中一嘉, 井田民男, 高温ガス化直接熔融炉におけるバイオコークス使用による CO₂ 排出量削減, 日本機械学会論文集 (B 編), 78-789, 1008-1010 (2012).
- 6) 環境省, 平成 30 年度, <https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h30/index.html>
- 7) 国際協力機構, 平成 24 年度協力準備調査 (BOP ビジネス連携促進), ラオスにおける BOP 訴求型の農林業由来のバイオコークス製造販売事業 FS 調査報告書 (2012).
- 8) 水野諭, 井田民男, 渕端学, 難波邦彦, 加子坂篤志, 藤田修, 草本系バイオマスを原料とする高硬度・高密度固形物の成形特性, 日本エネルギー学会誌, 91-1, 41-47 (2012).
- 9) Satoru MIZUNO, Tamio IDA, Manabu FUCHIHATA Kunihiro NAMBA, Effect of specimen size on ultimate compressive strength of Bio-coke produced from green tea grounds, Mechanical Engineering Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, 3-1, 2016.
- 10) Nami TAGAMI and Tamio IDA, Effect of moisture content and structural components on Biocoke solidification from various biomass resources, Mechanical Engineering Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, 5 (5), 18-00030 (2018).
- 11) Nami TAGAMI and Tamio IDA, Solidification characteristics of green tea as raw material of solid fuel, Mechanical Engineering Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, 18-00294.
- 12) Supitchaya CHERDKEATTIKUL and Tamio IDA, "The influence of additional hemicellulose on Japanese cedar based pre-carbonized solid biofuel properties", Mechanical Engineering Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, 6 (6), 19-00282 (2019), DOI : 10.1299/mej.19-00282]
- 13) Supitchaya CHERDKEATTIKUL, Yusuke MORISAWA, and Tamio IDA, "Surface Structural Transformation of Pre-Carbonized Solid Biomass from Japanese Cedar via ATR-FTIR and PCA" Analytical Sciences, 36-6, 723-729 (2020).

著者略歴



昭和 37 年 大阪府生まれ
 昭和 62 年 豊橋技術科学大学大学院
 工学研究科修士課程エネルギー工学専攻修了
 平成 7 年 豊橋技術科学大学 博士 (工学) 取得
 平成 17 年 米国ケンタッキー州ケンタッキー大学
 工学部機械工学科にて在外研究
 平成 20 年 近畿大学理工学部機械工学科准教授
 平成 21 年 近畿大学・資源再生研究所兼務
 平成 23 年 新エネ大賞 資源エネルギー庁長官賞 受賞
 平成 24 年 バイオコークス研究所 副所長 就任 (12/1)
 平成 24 年 地球温暖化防止活動環境大臣賞 受賞

(12/12)
 平成 25 年 バイオコークス研究所 所長就任 (12/1)
 平成 26 年 理工学部 教授 昇格
 平成 27 年 日本鑄造工学会 豊田賞 受賞
 平成 27 年 日本鑄造工学会 研究奨励賞 受賞
 平成 28 年 近畿大学メディアアワード特別賞 受賞
 平成 29 年 日本機械学会 環境工学部門 環境工学シンポジウム功労賞 受賞
 平成 29 年 日本実験力学学会 技術賞 受賞
 平成 29 年 放送大学 客員教授 (大学院研究指導担当)
 令和 元年 日本機械学会 環境工学部門 研究業績賞 現在に至る

【主な研究活動】

平成 19-20 年度 イノベーション実用化開発費助成金 (NEDO マッチングファンド)
 研究開発代表者 「鑄造コークス代替となる高硬度固形バイオ燃料の量産機開発と実証」
 平成 20 年度 低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業 (経済産業省委託事業)
 研究開発代表者 「北海道発・草本資源を利活用した次世代ゼロ・エミ燃料による低炭素社会への実証モデル」
 平成 21 年度 地域資源型産業創出緊急対策事業 (農水省補助事業)
 分担研究開発者 「林産資源の鑄造炉用燃料活用事業」 (大阪府森林組合 再委託)
 平成 21 年度 ものづくり中小企業製品開発等支援補助金 (経済産業省・近畿経済産業局補助事業)
 分担研究開発者 「バイオマス固形燃料試作装置及び環境負荷低減型新溶解炉の試作開発」
 平成 22 年度 地域イノベーション創出研究開発事業 (経済産業省・北海道経済産業局委託事業)
 研究開発代表者 「道内未利用バイオによる高効率ソフト・バイオコークスの研究開発」
 平成 23 年度 バイオマスエネルギー技術研究開発 / 戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業 (次世代技術開発)」 (NEDO)
 研究開発代表者 「先進的トレファクション技術による高密度・高炭化率固形燃料の研究開発」
 平成 25 年度 「貿易投資促進事業」 (経済産業省・委託事業)
 「タイ・工業省の産業政策に合致したバイオコークス技術活用に関する技術協力事業」

研究開発代表者：株式会社 ナニワ炉機研究所：再委託：近畿大学
 平成 25 年度産学共同実用化開発事業 (科学技術振興機構・支援事業)
 「海外未利用バイオマス資源を活用したバイオコークスの実用化検証」
 平成 26 年 1 月～平成 31 年 12 月 (予定)
 研究代表者：大阪ガスエンジニアリング株式会社 菊井 康順部長：再委託：近畿大学
 経済産業省・平成 26 年度地球温暖化対策技術普及等推進事業「タイにおけるバイオコークス技術の導入による JCM プロジェクト実現可能性調査」
 研究代表者：みずほ情報総研 (株)：再委託研究代表者：井田 民男
 環境省・平成 27 年度 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「多原料バイオコークスによる一般廃棄物処理施設での CO₂ 排出量 25% 削減の長期実証」
 研究開発代表者：石炭エネルギーセンター
 環境省・平成 28 年度 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「多原料バイオコークスによる一般廃棄物処理施設での CO₂ 排出量 25% 削減の長期実証」
 研究開発代表者：石炭エネルギーセンター
 環境省・平成 29 年度 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「多原料バイオコークスによる一般廃棄物処理施設での CO₂ 排出量 25% 削減の長期実証」
 研究開発代表者：石炭エネルギーセンター
 環境省・平成 30～31 年度 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「多原料バイオコークスによる一般廃棄物処理施設及び鑄物製造業での CO₂ 排出量削減の長期実証」
 研究開発代表者：石炭エネルギーセンター
 文部科学省・平成 28 年～平成 31 年度私立大学研究ブランディング事業・「世界のエネルギー資源の礎となる近大バイオコークスのネットワークを活かしたブランディング」
 研究開発代表者：近畿大学バイオコークス研究所

学外活動

ISO/TC238 Solid biofuel 日本代表
 日本機械学会 環境工学部門 第 2 技術委員会委員長
 スマートプロセス学会 理事
 エネルギー資源学会 代議員
 日本鑄造工学会、日本鉄鋼協会