



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

泥臭い研究にこそ必要な、 本質を見極める力を求めて

Seeking the Ability to Discern the Essence,
which is Necessary for Muddy Research

蘆田隆一
Ryuichi Ashida

京都大学大学院
工学研究科
講師

筆者は、学生時代より、石炭、バイオマス、重質油等の炭素系資源の高効率転換を目指した研究に従事してきた。学生に人気が出そうな最先端でスマートな研究はあまり肌に合わず、泥臭くてあまり誰もやりたがらないが、誰かがやらなければならない研究に魅力を感じ、真に世の中の役に立つ技術を開発したいという強い想いをもって現在も研究を続けている。

化石資源由来のCO₂排出量削減が世界的に叫ばれる中、人類の化石資源への依存度は一般の想像以上に高いのが現実であり、化石資源を少しでも効率よく使うことが実際問題として極めて重要である。また、バイオマスやプラスチックなどの炭素系廃棄物を可能な限り有効利用する方法、それも、全体のエネルギー効率の観点から真に意味のある有効利用法を開発することが求められる。(物質の流れからは一見意味があるように思われても、エネルギーの視点からは無意味な技術が散見される。)

本稿では、そのような考えのもと、筆者がこれまで取り組んできた研究のうち、製鉄用コークスの製造に関わる研究と、バイオマスや低品位炭を利用した発電に関する研究を紹介する。

1 コークス原料の新たな評価法の開発

コークス原料炭の枯渇が懸念される中、劣質な原料炭の使用割合は今後ますます増加すると予測される。また、これまではほとんど使用してこなかった、より低品位の石炭をコークス原料として用いなければならなくなる可能性がある。さらに、化石資源使用量削減の観点からバイオマス廃棄物、廃プラスチック等の炭素系の廃棄物をコークス原料として用いることが求められている。一般に、コークス原料中の劣質

な原料の割合を高めると、コークス製造時の石炭の軟化溶解性が阻害され、十分なコークス強度を得ることができないため、しばしばピッチなどの粘結材の添加によって石炭の軟化溶解性を補填しコークスの強度低下を防ぐ方法が採られる。日本のコークス製造においては、いくつかの指標をもとに配合時の値がすべての指標を満足するように石炭の配合割合および粘結材の添加量をコントロールしている。しかし、それらの指標は必ずしも石炭や粘結材の構造特性に深く基づいたものばかりでなく、今後劣質な石炭の使用量の増加によって粘結材の使用量がこれまでより大幅に増加した場合、また、これまで利用されてこなかった、より低品位の石炭や石炭以外の廃棄物等を原料として使用する場合には、従来の指標の適用に限界が生じる可能性がある。

筆者らは、350℃以下における無極性溶剤による石炭の抽出により、石炭を分解することなく分子量の異なる複数の成分に分離する溶剤抽出フラクションネーション法を提案し、石炭の新たなキャラクタリゼーション法となりうることを示した^{1,2)}。拡大するコークス原料に対しては、それらの分子構造に立脚した新たな評価法が必要との考えのもと、溶剤抽出フラクションネーション法をコークスの原料炭および粘結材に適用した。原料炭および粘結材を原料種に性状が依存しない複数の成分に分画し、その構成割合から石炭と粘結材の配合試料の軟化溶解性、膨張性、コークス強度を合理的に予測できることを示した^{3,4)}。配合試料中の分画成分の構成割合と配合試料から得たコークスの強度の関係を図1に示す。図中のSolubleとは350℃で抽出され室温においても溶剤に可溶である成分(分子量300~500程度)、Depositとは350℃で抽出されるが室温では固体として析出する成分(分子量500~1000程度)、Residueとは抽出温度でも抽出されない成分(分

子量1000以上) である。3つの成分の構成割合とコークス強度の間に明確な相関がみられたことから、この手法は拡大するコークス原料に対しても適用できる分子構造に立脚した新たな配合理論として利用できる可能性がある。

2 バイオマス廃棄物、低品位炭の改質

低品位の石炭は、一般に先述のSolubleのような軽質な成分に乏しく、Residueのような重質な成分の割合が大きいため、コークス原料として利用する場合、Solubleが大部分を占める粘結材を利用せざるを得ない。一方、バイオマス廃棄物は、300℃程度で分解して多量のタールを放出するため密な炭化物とならず、コークス全体の密度が低下し強度低下してしまう。また、タール放出後の炭化物には、Solubleのような軽質成分はほとんど含まれず原料炭のように軟化溶融することがないためコークス原料には適さない。よって、Solubleのような軽質成分の割合を高められるような低品位炭やバイオマス廃棄物の改質方法の開発が望まれる。

筆者らは、できるだけ穏和な条件においてそのような改質を実現すべく、図2にコンセプトを示す、低品位炭やバイオマス廃棄物の溶剤改質法を提案した⁵⁻⁷⁾。低品位の炭素資源の改質においては、構造中の酸素を除く、すなわち含酸素官能基を分解除去することが重要である。低品位炭の場合、通常の熱分解では、含酸素官能基間の強い水素結合のため、官能基の分解がしばしば架橋形成反応を伴い、酸素は除かれるものの高分子化が避けられない。提案法では、液相に分子を分散することで水素結合を解放し、架橋形成による分子の重質

化を抑制した改質を行うことができる。バイオマスの場合、通常の熱分解では官能基が十分分解する前に大部分がタールとして揮発してしまうため、結果的に、改質された固体生成物の収率は低く、揮発分にも酸素が多く含まれる。提案法では、すべての成分を反応器内の液相にとどめ、含酸素官能基を分解除去するため、改質物の収率を高めることができる上、分子を液相に分散した状態で分解するため、分子間の反応による重質化を防ぐことができる。

バイオマス、泥炭、褐炭を含む各種低品位炭素資源を1-メチルナフタレン溶剤中、350℃で脱水・改質し、粘結性を有する低分子量成分 (Soluble) を主体とした改質物に転換することに成功した。溶剤処理による改質を行うことで、バイオマスと褐炭のみから粘結炭コークスに匹敵する強度のコーク

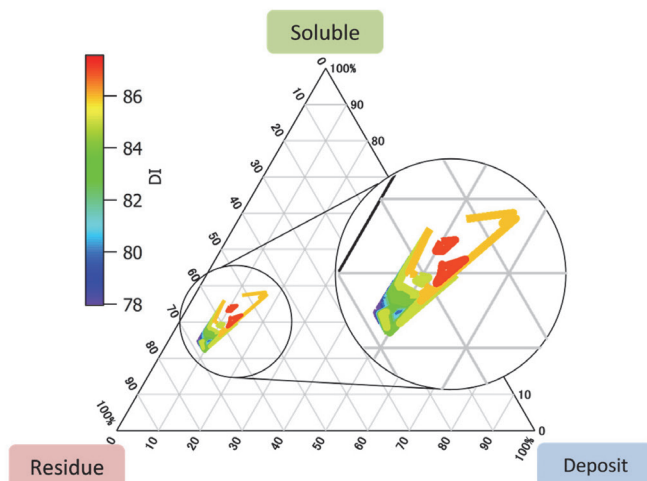


図1 コークス原料中の分子量分画成分の構成とコークス強度 (ドラム指数DI) の関係⁴⁾ (Online version in color.)

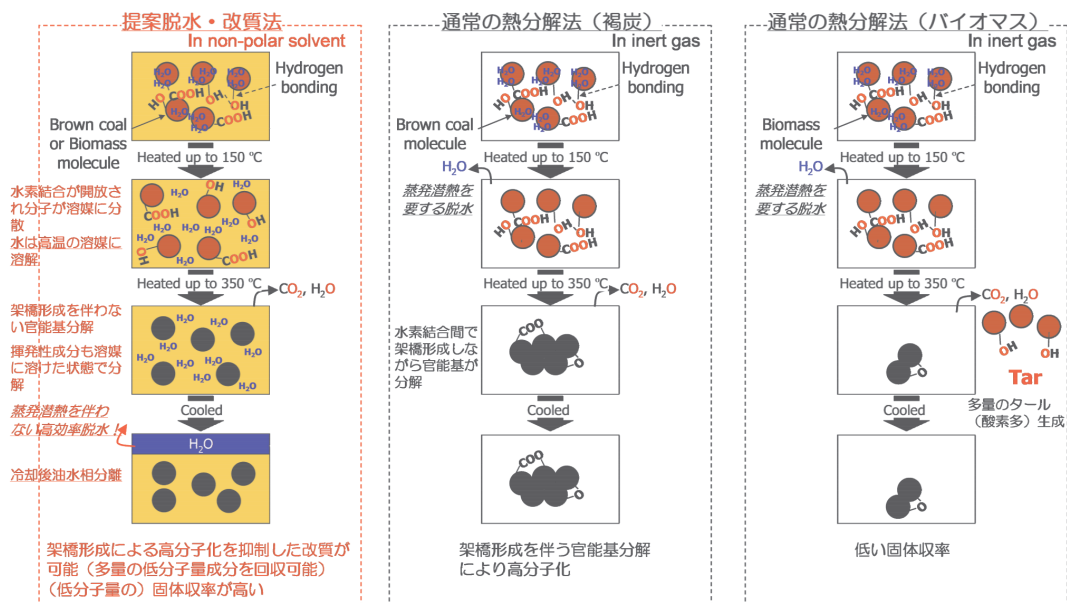


図2 バイオマス廃棄物、低品位炭の溶剤改質法の概念 (Online version in color.)

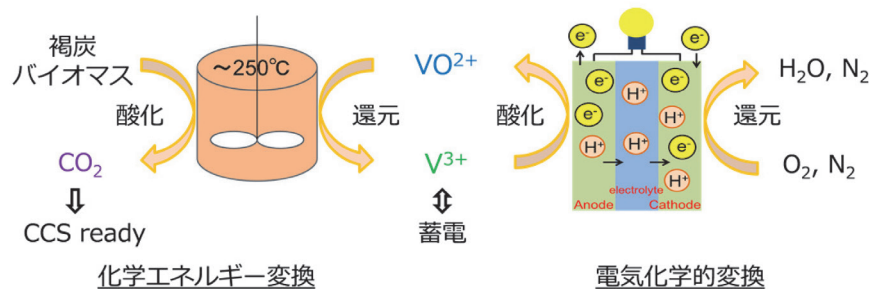


図3 バイオマス廃棄物、低品位炭の新規高効率発電法の概念 (Online version in color.)

スを製造することに成功し、提案改質法を利用して褐炭とバイオマスのみからコークスが製造できる可能性を示した^{8,9)}。

この研究で得た知見に基づき、最近では、日本鉄鋼協会「資源拡大・省CO₂対応コークス製造技術研究会」(主査：産総研 鷹背利公先生、2019～2021年度)において、バイオマス、プラスチックのコークス原料化に取り組んでいる。

3 熱機関を利用しない新規高効率発電法

熱機関を利用した従来の発電方法によるバイオマスや褐炭からの発電効率が10～30 %程度と低い第一の原因は、天然ガスや高品位炭よりも著しく低い発熱量にも拘わらず、まず燃焼により熱エネルギーに変換する点にある。熱エネルギーに変換すれば、そもそもエクセルギーロスが大きい¹⁰⁾が、発熱量が低いため得られる温度が低く、さらにロスが大きくなる。筆者は、熱機関を利用しない新規発電方法を提案している¹¹⁾。提案法ではバイオマスや低品位炭の化学エネルギーを熱エネルギーではなく適切な別の化学エネルギーに変換することでエクセルギーの損失を抑え、さらにその化学エネルギーを電気エネルギーに変換する。具体的には、図3に示すように、例えば、レドックスフロー電池にも用いられるバナジウム化合物をバイオマスや低品位炭により還元し、還元物を電気化学的に酸化する過程で電力を取り出す。バイオマスや褐炭を用いた場合の提案法の理論発電効率は80 %以上となり、電気化学反応等の効率を考慮しても50 %以上の高効率が期待できる。また、提案法では、CO₂の生成を伴う石炭、バイオマスの酸化反応に空気を直接用いないことから、空気中の窒素ガスが排ガスのCO₂に混入しない。すなわち、CO₂の分離回収が極めて容易になり(あるいは事前の空気分離が必要なくなり)、CO₂の分離回収をしても効率の低下はほとんどない。さらに、バイオマス、褐炭によって還元されたV³⁺を貯蔵(充電)することによって、電力需要変動に応じた柔軟な発電が可能である。現在、この方法の実用化を目指し研究開発を進めているところである。

本稿で紹介した研究のみならず、筆者がこれまでに携わった研究は、多くの先生方、企業の方々のご指導、学生諸氏のご協力のもとに進められたものであることは言うまでもなく、ここにあらためて謝意を示すとともに、その恩に報いられるように、今後も泥臭い研究に精進して参る所存です。今後ともご指導ご鞭撻のほどどうかよろしくお願い申し上げます。

参考文献

- 1) R.Ashida, K.Nakagawa, M.Oga, H.Nakagawa and K.Miura : Fuel, 87 (2008), 576.
- 2) R.Ashida, M.Morimoto, Y.Makino, S.Umemoto, H.Nakagawa, K.Miura, K.Saito and K.Kato : Fuel, 88 (2009), 1485.
- 3) 蘆田隆一, 萩本陽和, 三浦孝一, 奥山憲幸, 濱口眞基, 矢戸貴洋, 小松信行 : 日本エネルギー学会誌, 91 (2012), 48.
- 4) 蘆田隆一, 高島健人, 三浦孝一, 奥山憲幸, 濱口眞基, 矢戸貴洋 : 鉄と鋼, 100 (2014), 127.
- 5) R.Ashida, S.Umemoto, Y.Hasegawa, K.Miura, K.Kato, K.Saito and S.Nomura : Proc. of 26th Annual International Pittsburgh Coal Conference, University of Pittsburgh, Pittsburgh, (2009), 5-1.
- 6) J.Wannapeera, X.Li, N.Worasuwannarak, R.Ashida and K.Miura : Energy & Fuels, 26 (2012), 4521.
- 7) X.Li, R.Ashida and K.Miura : Energy & Fuels, 26 (2012), 6897.
- 8) R.Ashida, K.Iwase and K.Miura : ISIJ Int., 57 (2017), 37.
- 9) 鉄鋼研究振興助成 第29回受給 研究テーマ
- 10) 堤敦司 : 化学工学, 77 (2013), 179.
- 11) R.Ashida, T.Nishiura, S.Kaneko and M.Kawase : Proc. of 25th International Conference on Chemical Reaction Engineering, (2018), 162.

(2022年12月22日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

産業技術総合研究所 臨海副都心センター 所長代理

鷹觜 利公

蘆田先生とは先生が学生でおられた頃より関連学会等での知り合いで、かれこれ20年以上になります。学生時代の頃からしっかりとした信念をお持ちで、着々と実験結果を積み重ねて、一つの真実を明らかにするという姿勢を貫いており、まさに研究者に相応しい素質をお持ちの先生です。この度先輩研究者からのエールということで、この執筆依頼を頂戴し、先生から選んでいただいた事を大変光栄に思うとともに、読者の皆様に蘆田先生の事をより知っていただく絶好の機会になればということで、快くお引き受けしました。

さて、先生がこれまで行ってこられた研究分野は、石炭、バイオマス、重質油等の炭素系資源の高効率転換に係る研究であり、記事にも記載の通り、最先端でスマートな研究にはあえて目を向けず、泥臭いが誰かがやらなければならない研究に魅力を感じ、真に世の中に役に立つ技術を開発したいという思いで研究を続けてきておられます。将来のカーボンニュートラル社会の到来が待たれる中、現実としては海外の特にアジア地域でのエネルギー需要の増加、また国内におけるエネルギー安定供給、経済効率性を鑑みると、当分はかなりの部分を化石資源に頼らざるを得ないという予測になっています。そ

うした情勢をわきまえて、蘆田先生は化石資源の高効率利用、またバイオマス、プラスチック等の炭素系廃棄物の有効利用にかかる技術開発を率先して進めてこられたことに敬意を表します。

蘆田先生は、化学工学のご専門で、特に反応工学的なプロセス開発を得意としていますが、それに加えてこれまでの研究のアプローチとして、有機化学的に溶剤を用いたフラクショネーション法や、液相で溶剤に分散させた状態での原料の官能基分解を実現しており、各原料の分子構造に立脚した性状、反応性をうまくコントロールすることに成功しています。研究対象として取り扱う原料は、石炭、バイオマス等の混合物であるのにもかかわらず、あえてその分子構造の特長に基づいた反応場設計、反応制御を絵に描いたように次々と実現されており、その発想力の凄さには感心するしだいです。

2023年からは日本鉄鋼協会「次世代環境調和型コークス製造技術」研究会にて、これまでの研究成果をさらにプロセスに繋げるための研究開発が実施されますので、また先生の先鋭たる発想力に期待しております。今後の益々のご活躍を心より応援しております。

(株)神戸製鋼所 技術開発本部 シニアプロフェッショナル

奥山 憲幸

低品位炭、石油系の蒸留残渣、バイオマスの非可食部、さらには廃プラスチックや下水汚泥といった質の悪い重質な炭素資源を有効に活用していく技術は将来ますます重要となり、カーボンニュートラルな社会構築に向けて必須となる技術であることは疑いようありません。蘆田先生は一貫して、ライフワークとして、確信と信念のもとに地道にその道を切り拓いておられます。このような資源は化学構造が複雑怪奇なばかりでなく、無機物や水分を多く含み、改質転換プロセスには多くのエネルギーや工程を費やすのが常であり工業的に実装できるケースは今のところ少ないのが実情です。その現実から逃げずに蘆田先生は工業化という視点を底に置き、最低限のエネルギー付与のもとで改質転換する技術を指向しておられ、物質個々が有する化学構造を探索し、その個性を生かし、あるいは分画してそれら資源を活用する事を理念としていると思います。本文にある溶剤改質やフラクショネーションはその典型的なアプローチであり、そのアイデアを元に開発された技術の中にはコークス用粘結材等実用化レディな状態にあるものも少なくありません。その上新しい発想の元に新規の非燃焼

型バイオマス発電といった革新に繋がる技術にも挑んでおられます。

物質収支の確認に基づく精度の高い実験結果や、継続的に事実を積み上げた経験的知見にも裏打ちされた提案には説得力とすばみがあり、企業の開発担当者にとってこれほど信頼でき、更には敬慕される若き研究者は希であると断言できます。もちろん学際にある研究者の方々や学生諸君にとっては更には然りであります。

ところで三浦孝一先生は私が最も尊敬する研究者であります。卒業生でもないのに私は三浦マフィアの一員であるとして勝手に吹聴しているアホであります。対して蘆田先生は三浦先生の愛弟子であり、三浦先生の元で長く研究活動をしてられました。そのレガシーを引き継ぎつつ、更に新しい研究も切り拓いていただきたい。さあ、これからも真理を求め、万象への興味、探求への挑戦を恐れず、また教育者として内外の多様な若者達の個性を引き延ばしつつ、国を背負う人材を多く育てあげて下さい。次代の牽引者、蘆田隆一ここにあり。私達は大きな声でエールをおくります。