

エネルギー—環境分野の技術潮流～石炭液化技術の経緯と発展～

Technology Trend in Energy and Environment ～History of Coal Liquefaction Technology～

金城 徳幸*・宮寺 博**・柿本 雅明***
KINJO Noriyuki・MIYADERA Hiroshi・KAKIMOTO Masaaki

石炭液化、大島義清、三井高修、野口遵、CO₂削減
Coal Liquefaction, Yoshikiyo Ohshima, Takanaga Mitsui, Shitagau Noguchi, CO₂ Sequestration

要旨

石炭液化技術を例に、技術開発の相違、学際との関係を調査し、サンシャイン計画を経て最近の地球温暖化対策の研究に向けた新たな挑戦まで、技術革新の経緯と発展について考察した。技術開発には省エネ・省資源に相当する逐次的な「改良法」と新規技術に挑戦する「積極法」などの側面があるが、エネルギーや環境問題の解決にはこれら両面の技術革新が必要であり、自ら育成した「地下莖型」技術と外部から導入した「落下傘型」技術とを統合する飽くなき挑戦が技術立国には不可欠である。

はじめに

日本の化学工業には大別して2つの系統がある。一つは三井、三菱、住友など財閥コンツェルンの化学工業部門が成長発展したもので、金融、原料、販売面などで有利な条件をもっていた系統である。もう一つは、日本窒素肥料、昭和電工、日本曹達などのように、有利に確保できる電力を軸にアンモニア、カーバイド、ソーダなどの基礎化学品を出発点として、応用製品を拡大する多角化路線をとった系統である。本報では、工業系統の異なる三井と日本窒素肥料が「石炭液化」という同一の技術に対してどのように取り組んだか、技術革新の相違、学際との関係、その後の発展等の視点から技術革新の歴史を比較し、今後の地球温暖化の課題に取り組んでいる現代までの経緯を明らかにする。

石炭から液体燃料をつくる方法は、1937年に制定された「人造石油法」で定義され、東京帝国大学教授大島義清(1882-1957)が日本工業倶楽部で説明した分類によれば次の三つに分けられる^{2,3)}。

- ① 低温乾溜法：石炭を低温で乾溜して多量のタールを回収する方法
- ② 水素添加法：高温高圧下において、石炭に直接水素を添加して液状化する方法。Friedrich Bergius(1884-1949)が1913年に開発した。
- ③ フィッシャー・トロプシュ法：石炭をガス化して一酸化炭素と水素にし、触媒を通して液状油を合成

する。1921年にカイザー・ウィルヘルム研究所の石炭部で基本技術が開発され、1923年には石油類似の油を得た。

本報では日本における石炭液化の技術開発を次の3点から纏め、各々の研究の流れがその後、どのような技術を生みだしたかの関連性を見る。

- ①学際(大島義清教授および軍部研究機関)
- ②三井におけるフィッシャー・トロプシュ法の導入
- ③日本窒素におけるベルギウス法への取り組み

1. 大島義清の奮闘²⁾

第一次世界大戦以降、石油が勝敗を決するようになった。当時の日本の燃料問題の第一人者、大島義清はどのように考えていたのであろうか。

大島は1915年から2年半、プリンストン大学に留学し、1918年に帰国後、低温乾溜から発生する低温タールや一般タールの利用に関する研究(廃物利用)に取り組んだ。彼は、石油資源は地球上に偏在し、イギリス、フランス、ドイツ、イタリアと同様日本は自国産の石油がないため、燃料問題の解決には、資源を新たに開発する「積極法」か、それに替わる燃料資源を開発する「発展法」か、現存資源を有効に使用する「改良法」しか方法はないと考えていた。

「改良法」は現代の省エネ・省資源に相当するであろう。当時、旧満州の撫順は露天掘りで著名な炭鉱であったが、炭層の上層は油頁岩(Oil Shale)で覆わ

* 東京工業大学国際高分子基礎研究センター 特任教授

** 元大阪工業大学 情報科学部 教授

*** 東京工業大学 有機・高分子物質専攻 教授

* Tokyo Institute of Technology, Research Professor

** Osaka Institute of Technology, former Professor

*** Tokyo Institute of Technology Department of Organic & Polymer Materials,

れ、これには2-6%の頁岩油が含まれていた⁴⁾。従って、石炭採掘にはこの頁岩を破棄しなければならなかったが、破棄された頁岩は自然発火し、南満州鉄道(満鉄)ではその処理に手を焼いていた¹²⁾。

これに対し、軍事的な目的から重油資源の確保に努力していた軍部は、その一つとして頁岩の乾溜による採油に着目した。1920年、撫順産油頁岩の乾溜実験を始めたのが、日本人の人造石油研究の最初と言われている。大島はこの研究に関係し、燃料研究所、海軍、満鉄が一体となり情報を共有した研究体制が取られた。これは資源を新たに開発する「積極法」であろう。当初、満鉄は頁岩からの採油を唯一工業化していたスコットランド式外熱式乾溜法を採ろうとしたが、採算面から内燃式乾溜方式という独自技術を採用した。世界的に重油資源を石油に求めていた時代であり、撫順における頁岩油工業の確立は日本独自の産業技術の代表例の一つである¹⁾。

1930年頃までの液体燃料確保のための石炭技術はヨーロッパで発展したが、人造石油事業と言っても褐炭や石炭(瀝青炭)から得られるタールに水素添加を行うもので、石炭に直接水素を添加させる直接液化はまだ試験(実験)段階であった。大島が検討していた「水素添加による石炭の直接液化」技術を本格的に検討するのは日本窒素が該社創立30周年記念行事として1936年からである^{5,6)}。

一方、半官半民の「銀行ないし投資会社」として資金提供する帝国燃料興業(株)が1938年1月にスタートする。大島はこの理事に迎えられるが、それを機に東京帝国大学と兼任の北海道帝国大学の教授を辞任した。55歳の若さである。兼任は許さないという「自己規律」による大学教官の辞任であったと荒川太一は推察している。後述するが、大島はその後、後述する野口遵の朝鮮人造石油会社の社長を務めるが、「阿吾地式人造石油製造の中止」を確認してから社長の職も辞し、1945年には完全に引退する。

2. 三井化学の先駆的アプローチ³⁾

日本に石油資源のないことを認識してこれらの研究動向に敏感に反応したのは、三井鉱山(株)の研究所であった。1919年に低温乾溜法、1921年にフィッシャー・トロプシュ法、1928年にベルギウスの高圧水素添加法の研究に着手している。研究フェーズから実用化開発のフェーズに移行を決断したのは、三井家の当主の一人、三井高修(たかなが)である。彼はアメリカで教育を受けたためか、研究を非常に重視

し¹⁾、1936年、三井目黒研究所の大増設を行ったのも彼である。1935年、三井高修は三井合名の社長三井高公に「フィッシャー法の特許買収と工場建設の全権を是非任せて欲しい。万一不成功の場合は、私財を抛っても、全責任を負う」と訴えたのが、日本でフィッシャー法による石油合成が実現した端緒と言っても過言ではない、と石田亮一は述べている。

1937年、シナ事変が勃発すると、人造石油の重要性は明らかとなり、三井鉱山はフィッシャー・トロプシュ技術を導入し、三池に石油合成工場を建設、1940年、人造石油の合成に成功する。長崎のアメリカ総領事はこの情報をすぐに本国に打電している。既に、第二次世界大戦がイギリス・フランス対ドイツの間で始まっており、1939年にアメリカは日米通商航海条約を破棄して経済封鎖と「日本には一切石油を送らない」との態度を強め、航空機用燃料技術に関しては、道義的禁輸(Moral embargo)を行った。日本で人造石油が合成されたとの情報はアメリカにとって非常に重要であった。政府は同年12月に外国からの石油の輸入をほぼゼロと見なした施策『外交転換に伴う液体燃料供給対策の方針』を閣議決定し、国内使用の液体燃料全量を人造石油でまかなうことにした。しかし、太平洋戦争の勃発(1941/12/8)と初期緒戦の華々しい戦果、特に南方で1000万klの油田を日本の勢力圏内に納め、人造石油の積極的推進は一時停止してしまう。なお、京都帝大の喜多源逸はフィッシャー・トロプシュ法に取り組んでいる。

日本は、ドイツから技術導入して改良したフィッシャー・トロプシュ法による人造石油の合成技術を、終戦と同時に弊履の如く捨て去って顧みなかったと、関係者は嘆く。戦前、三井化学に入社し、三井グループの中で石炭液化に関係した石田亮一は『石油が潤れる日は必ずやってくる』から、石炭液化は、経済性を無視してもやり遂げねばならない至上命題である、と警告している³⁾。前述した大島義清が1931年5月14日に、天皇陛下に「燃料問題」について進講した時、陛下から「地下の燃料資源が滅絶した時には如何に対応するのか」との御下問があり、「現在(その当時)の化学的手段だけでは将来のエネルギー資源への対応は不可能であろう」と答えたと言う²⁾。

3. 日窒コンツェルンの悪戦苦闘^{5,6)}

三井鉱山がフィッシャー・トロプシュ法で石炭液化を検討していた頃、日本の近代の化学工業に大きな業績を残した会社で、石炭液化を検討し始めて

いた企業グループがあった。後の日窒コンツェルン(現チッソ、旭化成、積水化学の母体)であり、創業者は野口遵(したがう)(1873-1944)である。日窒で石炭液化の研究を始めたきっかけは興味深い。まず、日窒の歴史を紐解いてみる。

野口遵は 1896 年に東京帝国大学電気工学科を卒業後、福島県の郡山電気やシーメンスに勤めた後、1906 年に鹿児島に曾木電気(株)を設立した。野口は当時の日本の経済事情を鑑み、電気化学工業を立ち上げるために、発電所を建設したのである。日清戦争(1894-1895)で勝利した日本は多額の賠償金を得て、紡績、製糸、織物を中心とする軽工業の飛躍的な発展をもたらしたのみならず、重工業に関しても陸海軍工廠を中心とした官営製鉄所や鉄道事業の勃興期でもあった。野口は電力を単に電灯や動力に用いるだけでなく、電力を多量に消費する電気化学工業に結びつけられれば、発電所の建設費は容易に償却できると考えた。発電設備が完成すると直ぐにカーバイド工場を建設した。さらに、1908 年、フランク・カロ法特許(石灰窒素製造法)を購入し、カルシウムカーバイドと窒素の反応による石灰窒素の製造を、熊本県水俣で始めた⁵⁶⁾。現在のチッソ水俣工場であるが、当時の社名は日本窒素肥料(株)である。これはアンモニア合成、ひいては硫酸合成、硝酸製造、火薬製造へと事業を拡大する道でもあった²⁾。事実、1921 年にカザレー式アンモニア合成法の特許実施の手続きをまとめ、1923 年に延岡に合成アンモニアの製造工場を建設する。日本の電気化学工業はこのようにして、外国の技術導入によって始まった。

延岡にアンモニア合成設備を完成させた頃、即ち、1923 年 9 月、竣工祝いの席上で、若手技術者たちはアンモニア合成工場建設の際に修得した高圧技術の活用分野が議論になったと言う。所謂「技術の横展開」を図ろうとしたのである。たまたまベルギウスの石炭液化の特許が出た時期でもあり、この技術に挑戦しようということになった。その後火災事故等によって一時中断したが、石炭液化の研究は継続された。一方、野口の事業意欲は日本国内に留まらず、当時植民地になっていた北朝鮮北部にも事業を展開していた。国際情勢の緊迫につれて、液体燃料の自給自足策は軍事的な要請でもあったため、野口は 1932 年、北朝鮮の永安に石炭低温乾留の工場を建設、さらに 1936 年には、日本窒素創設 30 周年記念事業として、北朝鮮北端の阿吾地に石炭液化工場を建設した。中核となる技術は、野口の技術顧問を務めて

いた大島義清が開発した高圧水素添加による石炭の直接液化法であった。ここに産学連携の萌芽が見られる。事業は発展し、満州国吉林に吉林人造石油(株)を建設するにいたる(1939)。

事業に不運は付き物である。人造石油の技術には水素供給問題と「高圧高温」の反応塔開発という技術的な壁があり、さらに、1940 年 2 月、野口は京城で脳溢血によって倒れる。この翌年 12 月に太平洋戦争が勃発して日本は緒戦で華々しい戦果をあげ、南方油田を獲得した。これを受けて 1941 年、海軍は人造石油の製造には見切りをつけ撤退を決定した。しかし、日窒の技術者たちはその事実を知らずに改善に全力を挙げていた。大島義清は 1942 年 2 月に朝鮮人造石油会社の社長に就任して、いろいろな技術的な課題を解決するが、海軍の方針変更によって、人造石油事業は実質的に終焉する。戦後植民地を失うに伴い、野口が心血を注いだ石炭液化工場を含めて海外資産を全て失い、日窒コンツェルンも解体の憂き目に会う。しかし、人材(技術)が残ったが故に、現在の旭化成や積水化学が育ったのである。敗戦当時、植民地工場の技術者たちは帰国が許されなかった。旧植民地の工場から技術者がいなくなることを恐れたためであろう。さらに、日本に進駐した米国軍司令部は、石炭液化の研究は軍事研究であるとして、国内における研究活動を禁止した。

4. まとめと炭酸ガスの固定化への将来性

戦後石炭液化の技術開発は途絶え、1960 年頃から石炭化学から石油化学の時代に移行する。しかし、1973 年、第一次オイルショックに衝撃を受け、翌年、政府は大急ぎでサンシャイン計画＝「新エネルギー技術研究開発計画」を策定した。太陽、地熱、水素、石炭を 4 本柱としたエネルギー開発の中でも資源量が多い石炭への期待は大きく、特に石炭液化は戦前の技術開発実績もあったために、サンシャイン計画の中では最も多くの予算が投入された。特に高圧水素化による直接液化は、「瀝青炭液化」「褐炭液化」が各種検討された。「瀝青炭液化」はソルボリシス法、溶剤抽出法、直接水添法の特徴を集約した NEDOL 法として 150 トン/日規模の実証プラントが住金鹿島製鉄所内に建設・運転された。また、褐炭液化は、オーストラリアに 50 トン/日規模の実証プラントが建設・運転された。これらの開発過程で三井鉱山(株)は重要な役割をはたしてきたが、ここでも経済性で日の目を見ることなく現在に至っている。

ちなみに石炭液化が実用に供されているのは南アフリカのフィッシャー・トロプシュ法だけである。アパルトヘイト政策のため、石油資源輸入ができず、国産の石炭を利用せざるを得なかったためである。液化用水素ガス発生用ガス化炉は実績に富む移動床式の Lurgi 炉が使用されたが、大量処理には向かないため、日本のサンシャイン計画では流動床や噴流床炉の開発がターゲットとなった。現在クリーンコールパワー研究所が勿来で運転中の IGCC（石炭ガス化複合発電、250MW、2000t/日）や電源開発が燃料電池用水素製造に向けて若松で開発してきた 150t/日実証機の EAGLE はいずれもガス化効率がよく処理量の大きな噴流床タイプである。これらは電力会社が主導して実用化を目指している。

こうした技術は石炭資源をクリーンにかつ温室効果ガスである二酸化炭素(以下 CO₂)の排出量低減にも有効な、先の分類によれば「改良法」の技術として今後もますます重要になると考えられる。

一方温暖化対策として新たな「積極法」技術の開発が注目されている。森林伐採や化石資源利用拡大により CO₂ 排出量が自然界の固定化能力を超え、大気中濃度の上昇に伴う気候変動が深刻な社会問題になりつつある。これを解決するには、国際的な CO₂ の排出規制に向けた努力がなされる一方で、CO₂ の炭酸ガス貯留技術や人工的な固定化促進技術などの「積極法」的な開発も進められている。固定化法の一つとして、CO₂ を C₁ 原料としより少ないエネルギーで効率よく有機化合物に変換する技術は、学問的にも実用的にも重要で興味深い研究テーマである。

東大の井上祥平、鯉沼秀臣らは 1968 年頃 CO₂ を原材料にして一段階で高分子を合成するという挑戦的な研究に着手した。現在、三井化学、旭化成、帝人、住友化学等が CO₂ を原料とした高分子の合成について発表している。帝人と住友化学は東大の野崎京子教授が開発したポリカーボネートの研究グループに参加し製品化を狙うようである。三井化学と旭化成は独自の発想に基づいた開発計画を打ち立てているが、共通点は、両社ともかつて石炭液化の研究に携わった経緯を有していることである。

祖父大島義清が関与した人造石油の周辺を詳しく調査した荒川太一は、帝国大学出身の「学士」の任務の変遷について興味深い指摘をしている。明治～大正時代は世界最先端の技術を見つけその導入を決定することが一番の仕事であった。野口遵が導入したフランク・カロ法や三井鉱山が導入したフィッ

シャー・トロプシュ法はその典型例であろう。しかし、昭和になると事情が一変し、工業化そのものが複雑になり、基本特許だけでは企業化できず、幾つかの基本特許とそれに関係する周辺技術を組み合わせて「総合化」する必要が出てきた。その典型例が人造石油の製造だったが、軍事機密という名目で隠された技術の独占下では成功はおぼつかなかったと指摘している²⁾。昭和肥料(株)(昭和電工の前身)が硫安国産化に踏み切った背景にも同様な状況が読み取れる。日立の記録に『第一次大戦後、日本の硫安工業は外国技術を導入して急速に発展した。一中略—当時、人造肥料の製造はイタリア、フランス、ドイツ等の先進国の技術によらなければ製造不可能とさえ思われていたのである。—中略—この時代に昭和肥料は如何なる理由で国産技術による硫安製造に踏み切ったのか、これは日立の水電解槽製作に重大な関係を持つに至る』とある。昭和肥料は東信電気(株)の新潟渡瀬発電所に直結して石灰窒素工場を建設し、1928 年 10 月に設立された。当時、商工省の東京工業試験所ではハーバー・ボッシュ法を独自に発展させたアンモニア合成法を完成させていたが、昭和肥料の森轟昶(てるのぶ)はこの東工試法を採用し、自社の技術に日立の技術等を投入して硫安の国産化に成功する。

このように技術革新の歴史には自社にない技術を海外あるいは他社から導入する「落下傘型」と自社固有の技術を利用発展させる「地下茎型」とがある。三井化学や旭化成を含め多くの日本企業は、落下傘型で諸外国企業から技術導入した後、時間をかけてその技術を育てて、地下茎的な自主技術に成長させてきている。今後は周辺技術を取り込んだ「統合型」技術への飽くなき挑戦が必須となり、CO₂ 削減対策にもこのような技術者集団の執念が求められる。

参考文献

- 1) 柴村羊五著、『日本化学技術史』日刊工業社、1949.
- 2) 荒川太一著、『人造石油にまみれたある科学者の軌跡』私信
- 3) 石田亮一著、『石炭液化物語』中央出版、1990.
- 4) 石井正紀著、『陸軍燃料廠、太平洋戦争を支えた石油技術者たちの戦い』光人社NF文庫、2003.
- 5) 柴村羊五著、『起業の人 野口遵、電力・化学工業のパイオニア』有斐閣、1981.
- 6) 吉岡喜一著、『野口遵』フジ・インターナショナル・コンサルティング出版、1962.

(2008 年 9 月 26 日原稿受理、2008 年 11 月 4 日採用決定)