

北開試/北工研における石炭直接液化研究開発  
～サンシャイン計画・ニューサンシャイン計画～

吉田 諒一・吉田 忠  
北海道工業開発試験所／北海道工業技術研究所

要 旨

サンシャイン計画以前は当所では北海道大学工学部と緩やかな学官の連携ともいうべき形で石炭液化に関する基礎的研究を実施していたが、サンシャイン計画に 1975 年（昭和 50 年）に参画した後はサンシャイン計画推進本部の指導のもと、当所に設置された 0.1t/d 流通式石炭液化ベンチプラントの設計・建設・運転研究を中心に幅広い産学官連携による研究開発が推進され、2000 年（平成 12 年）まで続けられた。ベンチプラント運転研究では、液化反応性に及ぼす炭種の影響を調べる目的で、国内炭、中国炭、カナダ炭、豪州炭など 20 種類以上の炭種を用いて延べ 9000 時間に及ぶ運転研究（47Run）を実施するとともに、液化反応塔内における気液固三相の流動特性に関する工学的研究をはじめとして運転パラメーターに関する種々の工学的データを取得し、またサンシャイン計画の石炭液化プロジェクトに参加した民間企業の多くの技術者が当所のベンチプラントの運転研究を通して経験を積み、NEDO が実施した瀝青炭液化技術の開発研究に大きく貢献した。一方、基礎研究では高圧 DTA-DPA、固体  $^{13}\text{C}$  n.m.r.、FI-MS など最新の分析機器を駆使した石炭液化反応の特性解明や石炭・液化油の構造解析、さらには各種鉄-硫黄系触媒の開発や石炭-非在来型資源のコプロセス反応に関する研究を実施した。

また産学官の研究者の交流および情報交換の場を提供し続けた北海道石炭研究会は、1975 年（昭和 50 年）から 2006 年（平成 19 年）まで 31 年にわたり 78 回の研究会を開催し、我が国の石炭液化技術の発展に大きく貢献するとともに、カナダ、米国、豪州などの大学・研究機関との共同研究や人的交流を通して国際研究交流の推進に努めた。

1. はじめに：サンシャイン計画以前の北海道における石炭液化
  
2. サンシャイン計画/ニューサンシャイン計画
  2. 1 0.1 t/d 石炭液化ベンチプラント
    2. 1. 1 産学官連携による液化技術開発の推進
    2. 1. 2 中国石炭科学研究総院北京煤化学研究所
    2. 1. 3 液化反応塔内における気液固三相の流動特性
    2. 1. 4 石炭-オイルサンドピッチューメンのコプロセス反応
  
  2. 2 基礎研究における特筆すべき研究成果
    2. 2. 1 高圧示差熱分析-示差圧分析による石炭の水素化分解反応の解析
    2. 2. 2 石炭および石炭液化油の化学構造解析法の開発
    2. 2. 3 微粉碎した天然パイライトの触媒効果
    2. 2. 4 非在来型資源と石炭のコプロセス反応
  
3. 海外における石炭液化研究開発と国際交流
  
4. 北海道石炭研究会
  
5. おわりに

<謝辞>

<参考文献・資料>

<著者略歴>

## 1. はじめに：サンシャイン計画以前の北海道における石炭液化

第2次世界大戦前、当時のエネルギー事情から国内に石油資源を持たない日本の液体燃料問題を解決するために、石炭を原料とする液体燃料の製造を目的にした人造石油製造事業法が1937年（昭和12年）に制定され、1938年（昭和13年）に石炭資源が豊富な北海道でも北海道人造石油株式会社が創立された。

このような状況下で、1938年（昭和13年）に北海道帝国大学工学部に燃料工学科が設立され、北海道人造石油株式会社の従業員数人が北海道帝国大学工学部燃料工学科に実習生として派遣され、大塚博助教授（後に教授、工学部長）の指導のもと、500ccのオートクレーブを用いて、北海道炭の高圧水素添加特性（直接液化法）の研究がなされ、「これが道内における石炭液化研究の端緒であろう」と燃料工学科の第1期生で、その後応用化学科（燃料工学科の後身）の教授になられた久郷昌夫先生がその著書<sup>1)</sup>で述べておられる。

一方、北海道人造石油株式会社では、フィッシャー・トロプシュ法（間接液化法）に基づく滝川工場を建設し、太平洋戦争が始まった1942年（昭和17年）に総合運転を開始し、同社の留萌研究所は1941年（昭和16年）から本格的な研究を開始している。余談であるが、筆者は留萌生まれ（昭和16年生まれ）で終戦後いつの頃かは定かではないが母が「今日はジンセキ（人石）にカボチャを買いに行く」とよく言っていたのが何となく記憶に残っている。当時筆者は「ジンセキ」が何を意味するのか勿論何も知らずに過ごしていたわけであるが、現在の留萌市緑ヶ丘町付近（当時は通称「ジンセキ」（人石）で通っていたようであるが、何という地名であったのだろうか？）は住宅が建ち並んでいるが、終戦当時は多分農地が広がっていたものと想像される。留萌研究所のメインビルディングは現在、陸上自衛隊留萌駐屯地本部（留萌市緑ヶ丘町1-6）として活用され、その面影を今に伝えており、その建物の傍に「北海道人造石油株式会社 留萌研究所」という文字が右から左に書かれている石碑が建てられている。

時は太平洋戦争当時に戻るが、商工省燃料研究所（後の資源環境技術総合研究所）で当時我が国最大の3 t/dの石炭液化装置で石炭の直接液化研究に従事しておられた武谷愿先生が1943年（昭和18年）に北海道帝国大学工学部燃料工学科助教授として赴任され、以後石炭化度の異なる多種類の石炭類の化学構造（個性）と化学反応性（挙動）とを対比させ、これらの関係を普遍的な体系として把握すべく、石炭の代表的な化学反応として直接液化反応に取り組み、1975年（昭和50年）に退官されるまで研究並びに後進の育成に努められた<sup>2)</sup>。

終戦後28年経った1973年（昭和48年）、第4次中東戦争を契機に発生した第1次石油危機当時、北海道工業開発試験所（北海道の鉱工業開発のための試験研究の推進を目的として1960年（昭和35年）に設立され、1993年（平成5年）10月1日に北海道工業技術研究所（北工研）に所名変更した）には武谷愿先生門下の吉田雄次氏（研究部長後に所長）はじめ長谷川義久氏、前河涌典氏、上田成氏などが在職し、再び注目を集め始めた石炭関連研究に従事しており、1965年（昭和40年）から経常研究で石炭の化学的利用法開

発を目的として液化研究を開始し、1973年度（昭和48年度）には科学技術庁の特別研究促進費によるプロジェクト「石炭の液化特性に関する研究」で石炭液化の予備的研究を開始した。

## 2. サンシャイン計画/ニューサンシャイン計画

第1次石油危機を契機にエネルギー問題とそれに付随する環境問題の抜本的な解決を目指して、1974年（昭和49年）通商産業省工業技術院によるサンシャイン計画（新エネルギー技術開発計画）がスタートし、当所では1975年（昭和50年）から石炭液化技術開発の直接水添液化法を担当し、基礎研究として石炭の化学構造を踏まえた液化反応の解析を行うと共に0.1 t/dの石炭処理能力（石炭スラリー処理量5 L/h規模）を有する石炭直接液化連続装置（以下、0.1 t/d石炭液化ベンチプラントと記す）の製作を1977年（昭和52年）より開始し、1979年（昭和54年）に完成し、工業化の基礎である連続液化試験を開始した<sup>3)</sup>。

1984年（昭和59年）からはサンシャイン計画における石炭液化プロセスの開発方向がNEDOL法として統合され、当所ではNEDOLプロセスの原料炭の多様化に対応するための炭種による液化特性の研究と、液化プラントのスケールアップを合理的に進めるための工学的物性値に関する研究を実施した。0.1 t/d石炭液化ベンチプラントにおいては国内炭、中国炭、カナダ炭、豪州炭など20種類以上の炭種を用いて延べ9,000時間に及ぶ運転研究（47Run）が行われ<sup>4)、5)</sup>、1996年度末（平成8年度末）に解体された。

1997年（平成9年）からは、石炭液化技術および液化油アップグレーディング技術の解析・評価を目的として、各種原料炭の構造と液化反応性の相関並びに液化粗油のアップグレーディング生成物分布の予測手法等を開発し、2000年（平成12年）に研究を終了した。因みにサンシャイン計画は、1993年（平成5年）にニューサンシャイン計画として再編成され、2000年（平成12年）に終了している。

### 2. 1 0.1 t/d 石炭液化ベンチプラント

#### 2. 1. 1 産学官連携による液化技術開発の推進

サンシャイン計画推進本部の指導のもと、当所の0.1 t/d石炭液化ベンチプラントの設計・建設・運転研究を中心に産学官（企業、大学、国立研究所）の連携が推進された。0.1 t/d石炭液化ベンチプラントの設計に際しては、北海道大学などの小型連続液化装置などを参照しながら千代田化工建設株式会社、株式会社新潟鉄工所などから最新技術の指導を受け、最終的な設計は三井造船株式会社と当所で煮詰め、同社により1979年（昭和54年）に建設された<sup>3)</sup>。これを契機に三井造船株式会社から当所に技術者が派遣され、基礎的な研究から0.1 t/d石炭液化ベンチプラントのメンテナンス、運転まで密接な連携がなされた。

1980年（昭和55年）からは、当所の0.1 t/d石炭液化ベンチプラントによる運転結果も



0.1 t/d 石炭液化ベンチプラント開発研究に携わった産学官メンバー  
(1980年2月1日 連続試験 RUN800 終了)

含めた基礎試験結果を基に、直接水添液化プロセス確立のための 2.4 t/d PDU (Process Development Unit) 石炭液化プラントの建設が、日本鋼管株式会社川崎地区 (現在、JFE スチール(株)東日本製鉄所京浜地区) で三井造船株式会社と日本鋼管株式会社との共同受託によって開始された。これを契機に日本鋼管株式会社からも技術者が当所に派遣され、基礎的な研究および 0.1 t/d 石炭液化ベンチプラントの運転などにおいて密接な連携が図られた。また出光興産株式会社とは液化油の物性評価などについて連携が図られ、その他旭化成株式会社、株式会社神戸製鋼所、株式会社北辰電機製作所などとの連携も図られた。

このように当所の 0.1 t/d 石炭液化ベンチプラントの運転研究を通して経験をつんだ三井造船株式会社、日本鋼管株式会社などの技術者は、2.4 t/d PDU 石炭液化プラントさらには NEDOL プロセス 150 t/d 瀝青炭液化パイロットプラントによるプロセス開発研究においても活躍し、これらのプロジェクトが成功裏に達成された一因と言えよう。因みに、石炭液化プロセスの開発プロジェクトには、民間企業 20 社、約 2,000 名の技術者が参画し、また推進母体であった NEDO (1980 年 (昭和 55 年) 10 月 1 日新エネルギー総合開発機構として設立され、1988 年 (昭和 63 年) 10 月 1 日新エネルギー・産業技術総合開発機構に改称) には 60 名の技術者が民間企業から出向している。

一方、プロジェクトの管理・推進・評価においても大学・国立研究所の多数の研究者が参画し、プロジェクトの着実な推進を支援したが、これには NEDO が大きな役割を果たした。NEDO 内に設置された各種委員会には、大学および国立研究所からそれぞれ約 50

名の研究者が参画し、各専門分野の知見に基づきプロジェクトの結果を評価するとともに、さらに国立研究所からは 11 名（うち 4 名は当所から出向）の研究者が NEDO に出向し、プロジェクトの進捗管理を担当するなど技術開発の最前線でその重責を担った。また NEDO とは別に、工業技術院のサンシャイン計画推進本部にも延べ十数名の研究者が国立研究所から出向している。このように石炭液化技術開発研究は、産学官の緊密な連携のもとその規模からしてまさに国を挙げての一大プロジェクトであったと言える。

この産学官連携を研究者の目線で捉えた活動として、後述する北海道石炭研究会が誕生し、プロジェクト開発のほぼ全期間を通して産学官の間の情報交換や研究者の交流の場を提供し続け、研究開発の推進に大きく貢献した。

## 2. 1. 2 中国石炭科学研究総院北京煤化学研究所

1982 年に、NEDO 事業の一環として中国石炭科学研究総院北京煤化学研究所に、反応器の攪拌方法は異なるが当所の 0.1 t/d 石炭液化ベンチプラントとほぼ同じ仕様の連続液化装置が設置され、中国炭の液化性能試験が行われた。その関連で筆者らも技術交流の一環として 1985 年（昭和 60 年）と 1990 年（平成 2 年）11 月に北京煤化学研究所に派遣され、石炭の各種分析法やアップグレーディングに関する講義を行った。北京煤化学研究所では、日本からの 0.1t/d 連続液化装置のほかに西ドイツおよび米国の石炭液化試験装置も設置されており、見学する機会を得た。日本からの 0.1 t/d 連続液化装置は、当所のベンチプラントに精通し運転経験も豊富な三井造船エンジニアリング株式会社の小山斎技師（現在、三井造船プラントエンジニアリング株式会社プロジェクト部主管）がほぼ常駐に近い形でメンテナンスおよび運転指導に当たっていたが、西ドイツの装置は石炭液化連続試験に使用し、米国の装置はアップグレーディング用に使用しているとの説明を受けた。

その後、2000 年（平成 12 年）に日本からの 0.1 t/d 連続液化装置は反応器を気泡塔型に改造し、NEDOL モードとして、2002 年（平成 14 年）3 月まで運転研究が続けられた。

現在、中国では、2008 年末（平成 20 年末）から神華集団が内モンゴル自治区オルドス市で世界初の商業規模となる石炭直接液化プラントの操業を始め、2010 年（平成 22 年）から正式操業に入ったとされている<sup>6)</sup>。

## 2. 1. 3 液化反応塔内における気液固三相の流動特性

石炭液化プロセスは高圧・高温下での気液固三相の流動を伴う複雑な系であるため、これらの流動特性を明らかにすることは液化反応塔の合理的な設計並びにスケールアップを行う際に重要となる。

0.1 t/d 石炭液化ベンチプラントの液化反応塔の気液比（ガスホールドアップ）を測定した結果、ガス密度は温度の増加とともに増加し、ガス流速の増加とともに減少すること、液相密度は温度の増加とともに減少し、石炭スラリー濃度の増加に伴い増加すること、また液相が石炭スラリーの場合、そのガスホールドアップは加圧コールドモデルの場合と異

なり、高温高圧下の液化反応塔内ではガス分散板上の気泡のサイズは小さく、合体しにくくなる結果、小気泡で満たされた均一気泡流動状態になり易いことが分かった。この結果から、液化反応塔の加圧コールドモデルの結果から予測された値に比べて、ガスホールドアップ値はかなり大きくなることを明らかにした。さらに直径が 6.5cm から 120cm の液化反応塔内におけるガスホールドアップは、空塔ガス線速度に依存して増加し、その相関式を提案している<sup>7)</sup>。このように液化反応塔内が均一気泡流動状態になると粒子の沈積ひいてはコーキングなどの原因になりやすいので、反応塔内に大気泡を発生させ攪乱流動状態を惹起するような水素の導入法の検討が必要であることを明らかにした。

0.1t/d 石炭液化ベンチプラントを用いた石炭スラリー系のガスホールドアップの測定は、気液系で用いた差圧法は粒子の沈積の恐れがあるので適用できず、代わってガス遮断法により行った。この方法は水素の供給を瞬時遮断して石炭スラリーのみを供給し、液面レベルの経時変化を測定してガスホールドアップを測定する方法である。運転中に水素の供給を停止することは反応系の閉塞などの危険を伴う操作ではあったが、このベンチプラントでは反応系の閉塞トラブル<sup>3)</sup>を幾度か経験済みであったこともあり、当時の前河涌典プロジェクトリーダーの決断とプロジェクトメンバーの協力のもと決行し、無事目的を達成することができた。

これらの研究成果は、2.4 t/d PDU 石炭液化プラントや NEDOL プロセス 150 t/d 瀝青炭液化パイロットプラントなどの運転・解析に資するとともに、その学術的価値が広く認められ、北海道大学との連携により論文ドクターが誕生している。

#### 2. 1. 4 石炭-オイルサンドビチューメンのコプロセス反応

非在来型資源の一つであるオイルサンドビチューメンは、カナダのアルバータ州に豊富に賦存しており、その水素化分解処理によりナフサ、ガソリン等の軽質油を商業生産している。当所は Alberta Research Council との共同研究で、石炭-ビチューメンのコプロセス反応を 0.1 t/d 石炭液化ベンチプラント<sup>8)</sup>を用いて行い、その反応特性について調べた。

実験ではビチューメンに異なる濃度の石炭あるいは石炭液化油を添加し、ビチューメンの分解反応性に及ぼすこれらの添加効果を調べた。その結果、450℃でのビチューメン単独の水素化分解反応では著しい逆反応が認められたが、10%程度の石炭あるいは石炭液化油を添加することで逆反応が抑制され、軽質留分の収率が増大した。一連の反応試験結果から、石炭-ビチューメンのコプロセス反応では、石炭あるいは石炭液化油は水素ドナーとして作用することでビチューメンの逆反応を抑制し、軽質化反応を促進させることが明らかになった。一方石炭自身の分解は、ビチューメンとの共存で特に促進されるような結果は認められなかった<sup>9)</sup>。

このような非在来型資源と石炭とのコプロセス反応は、プロセス的には **once-through** であり、従来の石炭液化プロセスのような溶剤循環システムを必要としないためプロセスとしては比較的シンプルであり、①運転操作性の向上、②処理量当たりの反応器効率の向

上、③処理量当たりのプラント建設費の軽減などが期待されることから、非在来型資源と石炭の両資源を有するカナダ、米国などにおいて研究開発が盛んに行われ、上述のようにカナダの Alberta Research Council との間で共同研究が実施された。

## 2. 2 基礎研究における特筆すべき研究成果

### 2. 2. 1 高圧示差熱-示差圧分析による石炭の水素化分解反応の解析

高圧示差熱分析 (Differential Thermal Analysis, DTA) 装置は 1960 年代から北海道大学工学部の武谷愿教授の研究室で開発、改良がなされ、当所においてはこの開発、改良研究に参画するとともに、高圧下での DTA と同時に示差圧分析 (Differential Pressure Analysis, DPA) を行い、石炭などの高圧水素化分解反応に関する研究を実施した<sup>10)</sup>。

従来の回分式オートクレーブでは、一般に各反応温度レベルで反応時間を変え反応過程を追跡するため多くの回数の実験を必要とするが、高圧 DTA-DPA においては一定速度で昇温しながら反応に伴う標準室と反応室との間の温度差 (DTA) および圧力差 (DPA) を測定し、反応系の変化を比較的簡単に広範囲の温度領域にわたって追跡できる特徴を有している。

高圧 DTA-DPA により石炭の液化反応について観察される大きな発熱ピークは、生成物分布との相関関係から石炭が分解しオイルおよびアスファルテンを同時に生成する初期反応過程に起因するものと理解され、このことから発熱ピーク頂点温度の比較から炭種間の液化反応特性の相違<sup>10)</sup> や触媒活性の相違<sup>11)</sup> などが明らかにされた。

また一酸化炭素と水による石炭の液化反応に高圧 DTA-DPA を適用したところ<sup>10)</sup>、反応が開始して発熱する発熱開始温度が原料炭の酸素含量の増加とともにより低温側で開始し、酸素含量の多い原料炭ほど一酸化炭素と水による液化反応は速やかに進行し、この反応系ではまず水性ガス反応によって生じる発生期の水素が高圧水素を用いる反応系に比べて原料炭中の酸素結合と選択的に反応して低分子化と脱酸素反応を進行させることが明らかにされた。

さらに反応熱の測定が、反応室内に設けられた校正用微小ヒーターにより反応室内に与えた電気量と発熱ピーク面積の関係を用いて検討され、この手法により測定された反応熱はパイロットプラントの熱収支から求められたオーバーオール値よりも小さく、これは前述のように高圧 DTA の発熱ピークは石炭が分解しオイルおよびアスファルテンを同時に生成する初期反応過程に起因することによるものと理解されている<sup>10)</sup>。

このような石炭液化反応系の反応温度の上昇に伴う熱的变化 (DTA) と圧力変化 (DPA) についての研究成果は、液化プラントの運転・解析に資するとともに、その学術的価値が広く認められ、北海道大学との連携により論文ドクターが誕生している。

### 2. 2. 2 石炭および石炭液化油の化学構造解析法の開発

石炭の液化反応は、ガス化反応や熱分解反応に比べて反応温度が低いため、炭種間の化



学構造の違いが反応性や生成物の化学構造分布に少なからず影響を及ぼす。したがって石炭やその液化生成物の化学構造解析は、石炭の化学構造と反応性の関係を解明する上で非常に重要であるが、石炭の化学構造は非常に複雑でその液化生成物も多成分系混合物であるため、これらの分析には多くの困難を伴った。当時、溶液および固体  $^{13}\text{C}$  核磁気共鳴装置( $^{13}\text{C}$ -NMR) や電界電離/電界脱離型質量分析法(FI/FD-MS) などの新しい分析法が開発され、これらは固体である石炭や多成分系混合物である液化油の分析を可能し、石炭研究に新たな知見をもたらすようになった。

当所での一連の研究の結果<sup>1,2)</sup>、固体 CP/MAS  $^{13}\text{C}$ -NMR からは石炭の炭素分布のみならず、炭素に直接結合する含酸素官能基の分布についても情報をもたらし、これらの結果から炭種間の骨格構造の違いを明らかにした。また石炭の低温空気酸化と加熱処理実験の結果、いずれも石炭の脂肪族部分の  $\text{CH}_2$  基が著しく減少し、この脂肪族構造の選択的变化が石炭の各種反応性や諸物性に大きく影響することを明らかにした。液化油の分析では、 $^{13}\text{C}$ -NMR による平均構造解析法と FI-MS による構造分布解析が新たに可能となり、その結果、液化油の芳香族部分の骨格構造の分布が得られるようになった。特に FI-MS は分子イオンピークのみからなる単純なスペクトルを与えるところから、多成分系混合物である液化油の分子量分布の直接測定を可能にした。

これらの解析法を用いて石炭の分解反応機構を調べた結果、石炭の構造単位を結ぶ架橋構造の開裂が低分子化に寄与し、かつ液化油収率は石炭中の  $\text{CH}_2$  基量に概ね比例するなど分子レベルで液化反応特性が明らかとなり、その研究成果は国際的にも認められ、北海道大学との連携により論文ドクターが誕生している。

### 2. 2. 3 微粉碎した天然パイライトの触媒効果

石炭液化反応における赤泥+硫黄、予備硫化した赤泥、トロイライト ( $\text{FeS}$ )、調製したピロータイト ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ )、パイライト ( $\text{FeS}_2$ ) などの各種鉄-硫黄系触媒の効果に及ぼす硫黄の添加方法などが系統的に研究された。その活性種は反応場で生成するピロータイト ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ) であり、その出発物質としては微粉碎した天然パイライトが優れた触媒活性を示すことが明らかにされ、合成パイライトの場合に比べ中間生成物アスファルテンの原子比  $\text{H/C}$  が高く、芳香族性  $\text{fa}$  が低いところから石炭の一次分解のみならず、アスファルテンのオイルへの二次分解反応に対しても高い触媒活性を有し、またオイルの酸素含量および芳香族性  $\text{fa}$  も低いところから水素化能にも優れていることが認められた<sup>11)</sup>。この研究成果は NEDOL プロセス 150t/d 瀝青炭液化パイロットプラントにおいて活用されることとなった。

### 2. 2. 4 非在来型資源と石炭のコプロセス反応

近年、米国ではシェールガスの生産技術を応用したシェールオイルの生産量が増大し、2013年に石油生産量トップであったサウジアラビアや2位のロシアを2014年には追い抜

き米国が世界最大の産油国になり<sup>13)</sup>、このような状況のもと米国では第1次石油危機を受け1975年に制定した原則原油の輸出を禁止するエネルギー政策・保存法を40年ぶりに解禁する動きなども報じられている。

このような非在来型資源であるシェールオイル系<sup>14)</sup>、<sup>15)</sup> およびオイルサンドビチューメン系<sup>16)</sup> の非石炭系重質油を石炭スラリー調製のための溶剤として使用し、石炭の液化と非在来型重質油の軽質化を同時に可能とする石炭液化プロセスの一つの変形であるコプロセス反応の技術開発が1980年代に当所で実施された。

シェールオイルと石炭とのコプロセス反応<sup>14)</sup>、<sup>15)</sup> では石炭液化におけるオイル収率の向上、ガス化率および水素消費率の低減が可能であり、同時にシェールオイルの改質も可能であることが明らかになり、これはシェールオイルが石炭系重質油に比べ水素供与性に富む供与性水素、およびフリーラジカル・スカベカンジャー能を有し、水素供与性にも優れているヘテロ環式窒素化合物をより多く含むことに起因するものとされた。

またオートクレーブ実験によるオイルサンドビチューメンと石炭とのコプロセス反応の結果<sup>16)</sup> では、反応温度400℃では石炭液化に対する溶剤効果は明らかではないが、450℃では石炭系重質油に比べガス化率が抑制され、水素消費率当たりの石炭転化率およびオイル収率が高いことなどが明らかにされた。

因みに、我が国においてもシェールオイルは石油資源開発株式会社（JAPEX）が秋田県由利本荘市の鮎川油ガス田で2014年（平成26年）4月に約35kl/日で商業生産を開始している<sup>17)</sup>。一方、オイルサンドビチューメンについても石油資源開発株式会社（JAPEX）系のカナダオイルサンド株式会社が2003年（平成15年）8月からカナダのアルバータ州アサバスカ地域で商業生産に入り、ビチューメンを5000～6000バレル/日規模で生産している。

### 3. 海外における石炭液化研究開発と国際交流

石炭の液化技術開発研究は、我が国をはじめ米国、豪州、カナダ、英国、ドイツ、ロシアにおいて実施され、これらの国々の研究機関・大学との共同研究や技術交流など国際的な交流が活発に行われた。1975年から1998年の間に、当所からも下記9名の石炭液化に携わる研究者が派遣され、共同研究の推進はもとより国際的なネットワークの構築に大きく貢献した。

国名	氏名	派遣期間	研究テーマ
カナダ	Alberta Research Council		
	前河 涌典	1975.11 ～1977.11	石炭の直接液化に関する研究
	小谷川 毅	1977.12 ～1978.12	炭化水素合成反応に関する研究
	成田 英夫	1988.2 ～ 1989.8	石炭液化反応器内のシミュレーションに関する研究

	CANMET/Energy Research Laboratory		
	吉田 忠	1985.12 ~1987.11	タールサンドビチューメンの水素化分解生成物中に含まれる極微量ヘテロ化合物の定量分析法に関する研究
	University of Alberta		
	永石 博志	1993.5~1995.5	タールサンドビチューメンの水素化分解反応における逆反応解析に関する研究
豪州	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)		
	上田 成	1977.2 ~ 1978.4	石炭直接液化技術に関する研究
	奥谷 猛	1979.11 ~ 1981.9	石炭直接液化用触媒に関する研究
米国	University of Utah		
	吉田 諒一	1977.11 ~1979.11	石炭液化技術に関する研究
	Pennsylvania State University		
	佐々木 正秀	1996.10 ~1998.8	溶融塩触媒を用いた重質油のアップグレードニングに関する研究

#### 4. 北海道石炭研究会

サンシャイン計画のもと、1975年（昭和50年）に当時の北海道工業開発試験所の一研究室で産声を挙げた北海道石炭研究会は、以後2006年（平成19年）までの31年間にわたって78回の研究会が開催され、産学官の研究者の交流と情報交換の場を提供し続け、延べ248人の講師と5,000人を超す参加者が集った。研究会では、各界を代表する講師陣から液化技術やその周辺技術、さらには他のエネルギー技術分野についても最新情報が提供された。一方参加者もまた日本全国の各界・各層から多数が参集し熱い議論を交わすなど、まさに我が国の液化技術開発研究の牽引車としての役割を果たしたと言える。当初は不定期で開催された研究会も、夏冬の年2回に定例化することで参加者には北海道の自然を楽しんでもらうなど、通常の学会活動とは一味違う自由な雰囲気での開催方法が長年の活動に繋がった一因とみることできる。特に釧路で開催した第69回研究会（1999年）では、当時の太平洋炭鉱のご厚意で坑内見学が実現し、切羽で稼働するドラムカッターを真近かで見たときの迫力は今でも鮮明に記憶している。

長期間にわたった液化技術開発研究も、NEDOLプロセスのパイロットプラント運転研究の終了とともに一段落したことで、次第にこの分野の研究者・技術者も減少し研究会も転換期を迎えることとなった。2002年（平成14年）の第73回北海道石炭研究会からは、日本エネルギー学会北海道支部との共催でエネルギー・環境研究会講演会を開催し、石炭研究のみならず天然ガス、水素エネルギーや分散型システムなど幅広い分野での研究交流が企画され、参加者も次第に世代交代を迎えた。

北海道石炭研究会を支えてきた関係者の多くは、定年退職や異動、他の研究分野に移る

こととなり、その結果、2006年の第78回石炭研究会をもって31年にわたる活動に幕を閉じることとなった。

## 5. おわりに

プロジェクトを振り返ってみると、当所ではサンシャイン計画以前は北海道大学工学部と緩やかな学官の連携ともいうべき形で石炭液化に関する基礎的研究を実施しており、サンシャイン計画の立上げ時には石炭関連の研究者グループが所内に既に存在しており、そのため比較的スムーズにスタートすることができた。さらにサンシャイン計画に参画した後はサンシャイン計画推進本部の指導のもと産学官連携により企業の技術者と密接に連携しプロジェクトを推進することができ、所内的には新採用の研究者が補充されるなど、プロジェクト期間を通して人の交流あるいは研究の血液とも言うべき人材が補充され研究開発が推進され、あらためて人／情報の交流並びに人材の確保の重要性に思い到った次第である。

### <謝辞>

執筆にあたり有益な御教示をいただいた前河涌典氏、上田成氏、井戸川清氏並びに小山齋氏の各位に深く感謝の意を表する。

### <参考文献・資料>

- 1) 久郷昌夫、「エネルギー 動向および解説」、資源エネルギー研究所、1982年（昭和57年）7月10日発行
- 2) 吉田諒一、「科学技術者人物群像伝 武谷愿先生 時流を越えて石炭研究を推進」、工業技術、36 (2)、36 (1995)
- 3) 前河涌典、上田成、長谷川義久、吉田諒一、横山慎一、奥谷猛、中田善徳、吉田忠、成田英夫、吉田雄次、高橋道夫、松本礼一、三枝等、神田伸靖、原祥夫、久保田文夫、小山齋、渡辺純一、神谷博、酒井直秀、舟迫正広、森下学、「北海道工業開発試験所における石炭の直接液化連続試験」、第17回石炭科学会議発表論文集、p.123、1980年10月（東京）
- 4) 吉田諒一、「石炭の液化技術開発と北開試における研究」、北海道工業開発試験所報告、第50号、p.1、1990年（平成2年）3月
- 5) 成田英夫、吉田諒一、横山慎一、吉田忠、前河涌典、「ベンチプラントを用いた各種原料炭の液化試験」、日本エネルギー学会誌、71、454 (1992)
- 6) 「規制緩和で復活する中国の石炭液化プロジェクト」、JPEC レポート（2014年第9回）、2014年（平成26年）8月12日
- 7) K. Idogawa, H. Nagaishi, H. Narita, T. Fukuda, T. Kotanigawa, R. Yoshida, T. Yoshida, S. Yokoyama, M. Yamamoto, A. Sasaki, M. Sasaki, T. Hirama, Y.

- Maekawa, S. Ueda and T. Chiba, 「Gas Holdup in a Bench-Scale Direct Coal Liquefaction Reactor」, J. Chem. Eng. Japan, 27(1), 95 (1994)
- 8) Y. Maekawa, R. Yoshida, T. Kotanigawa, T. Yoshida, S. Yokoyama, M. Yamamoto, H. Nagaishi, T. Fukuda, K. Idogawa and T. Hirama, 「Co-Processing of Coal with Bitumen」, Proceedings of the 3rd China-Japan Symposium on Coal and C<sub>1</sub> Chemistry (Kunming, China), p.213 (1990)
- 9) T. Yoshida, H. Nagaishi, M. Sasaki, M. Yamamoto, T. Kotanigawa, A. Sasaki, K. Idogawa, T. Fukuda, R. Yoshida and Y. Maekawa, 「Addition Effects of Coal-Derived Oil and Coal on Upgrading of Oil Sand Bitumen」, Energy & Fuels, 9, 685 (1995)
- 1 0) 上田成、「高圧示差熱分析法による水素化分解反応の研究」、石油学会誌、18、739 (1975)
- 1 1) 横山慎一、吉田忠、成田英夫、吉田諒一、前河涌典、「石炭液化における天然パイライトの触媒効果 (Ⅲ) 微粉碎した天然パイライトの触媒作用機構」、燃料協会誌、68、881 (1989)
- 1 2) 吉田忠、「石炭および液化油の構造解析法」、石油学会誌、35、1 (1992)
- 1 3) 北海道新聞、2015年(平成27年)6月14日
- 1 4) R. Yoshida, M. Miyazawa and Y. Maekawa, 「Co-processing of Coal and Shale Oil」、Chemistry Letters, p.1113 (1984)
- 1 5) 吉田諒一、吉田忠、横山慎一、中田善徳、成田英夫、奥谷猛、長谷川義久、後藤藤太郎、前河涌典、宮沢誠、「石炭の液化法」(特許番号第2045786号)、1996年(平成8年)4月25日
- 1 6) R. Yoshida, M. Miyazawa and Y. Maekawa, 「Battle River Coal Liquefaction and Its Co-processing with Tar-Sand Bitumen」、Bull. Chem. Soc. Jpn., 60, 369 (1987)
- 1 7) 北海道新聞、2014年(平成26年)4月8日

#### <著者略歴>

吉田 諒一 (よしだ りょういち)

1970年 通商産業省工業技術院北海道工業開発試験所入所

1977年～1979年 米国ユタ大学燃料工学科博士研究員

1986年～1988年 新エネルギー総合開発機構石炭技術開発室主任研究員

1989年 通商産業省工業技術院北海道工業開発試験所資源エネルギー工学部石炭工学課長

1990年 同所研究企画官

1993年 通商産業省工業技術院北海道工業技術研究所資源エネルギー基礎工学部長

1998年 同所首席研究官

2000年～2005年 JICA トルコ省エネルギープロジェクトリーダー

**吉田 忠（よしだ ただし）**

1975年 通商産業省工業技術院北海道工業開発試験所入所

1985年～1987年 カナダ国 CANMET エネルギー研究所博士研究員

1992年～1994年 新エネルギー総合開発機構石炭技術開発室主任研究員

1994年 通商産業省工業技術院北海道工業技術研究所マクロ分子研究室室長

2000年 通商産業省工業技術院北海道工業技術研究所産学官連携推進センター長

2001年 独立行政法人産業技術総合研究所北海道センター所長代理

2003年 独立行政法人産業技術総合研究所北海道センター所長

2006年 独立行政法人産業技術総合研究所東北センター所長

2009年～2014年 財団法人日本品質保証機構地球環境事業部特別参与

受理日：2016年3月27日