

## 石炭の液化—技術開発の現状と今後の課題—

### Current Development and Problems in Coal Liquefaction Technology

武 谷 愿\*

#### 1. はしがき

筆者は昭和10年4月、学窓を出て最初の仕事として当時の燃料研究所（現在公害資源研究所）において3 ton/dayの中間規模石炭液化試験<sup>1)</sup>（石炭より液体燃料を目的とする直接液化）に従事し、その後北海道大学に移り、昭和30年より50年まで、コールケミカルズの生成も目的に入れた石炭液化の基礎研究に、多くの共同研究者と共に携わった<sup>2, 3)</sup>。これらの経験をもとに表題について直接液化法を中心に述べるので、主観色を帯びたものになるであろうことを予め御諒解を得たいと思う。

#### 2. 技術開発の現状

石炭液化は歴史的に広い意味で捉えれば、石炭からガソリン、クリーンな燃料油、無灰炭、コールケミカルズあるいは最近の溶剤精製炭、粘結材の製造などを目的として、半世紀以上にわたり、各国で研究開発が行われてきた。1910年代のF. Bergiusの発明以来、その時々々の国々の産業経済事情を反映しつつ、各国で種々のプロセスが種々の規模において試みられてきている。第2次大戦中の石炭液化や最近のアメリカを中心とする発展の状況については、既に総説や紹介記事が多数あるので<sup>4-9)</sup>、ここでは基本的なプロセスおよびその近況についてのみ述べる。

石炭液化法を大きく分類すれば、少なくとも三つになる。1) 熱分解法、2) 間接液化法および3) 直接液化法である。

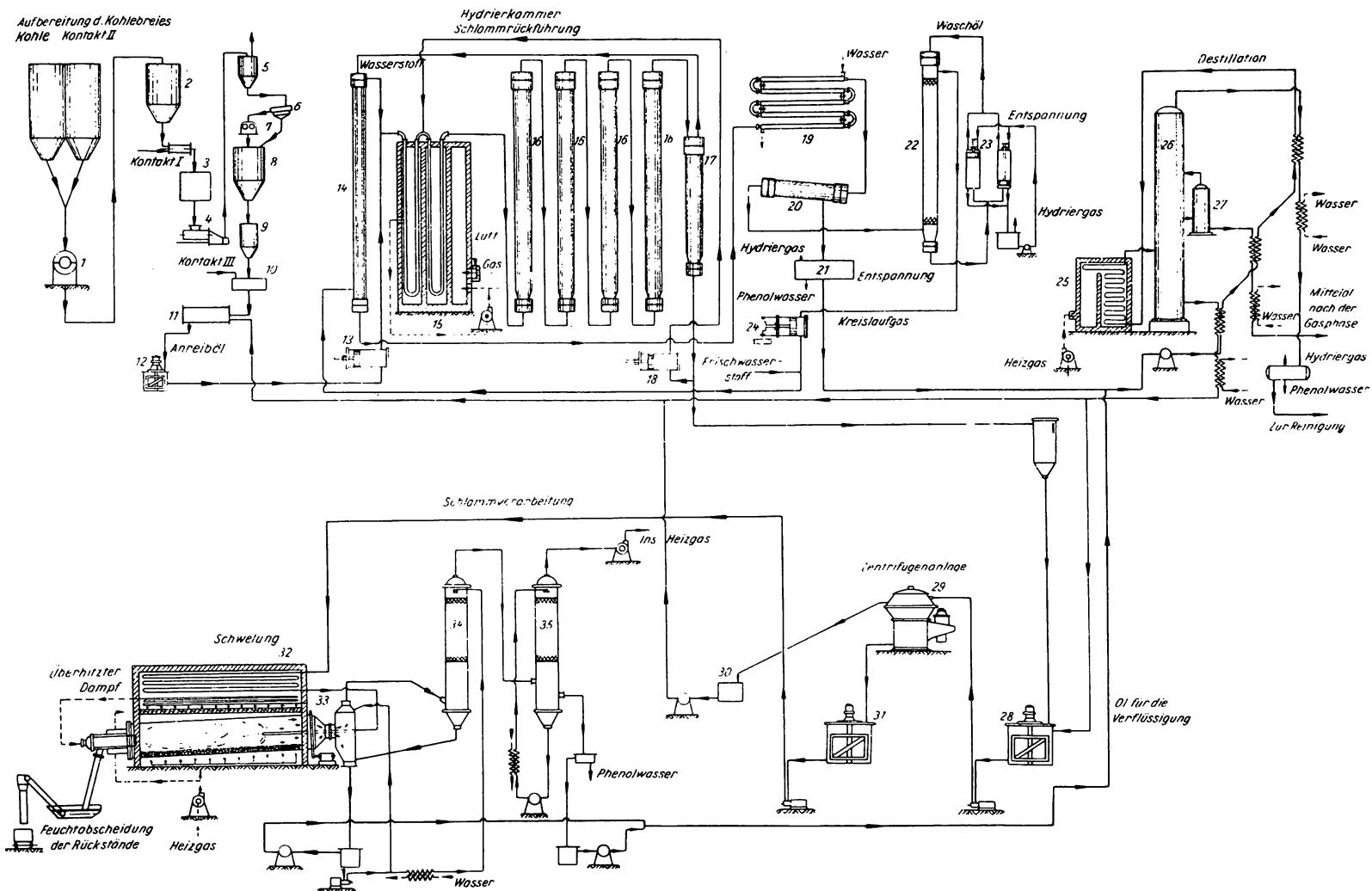
熱分解法は、タール収量の多い温度(500～600℃)で熱分解を行なう。液体燃料を製造するには、収率は

低いが技術的には最も確立した容易な液化方法であり、多くは他の方法と組合せて行なわれてきた。例えば戦時中ルルギ式低温乾留法はドイツおよび日本で大規模に行なわれた。また、米国のCOGAS法<sup>10)</sup>は多段流動層による熱分解とそのチャーのガス化との組合せにより、ガスと合成原油の製造を目的としている。

間接液化法は、石炭を最初にガス化し、水素と一酸化炭素の混合ガスをFischer-Tropsch法により反応させ、炭化水素類を合成する。南アフリカ連邦の10,000bbl/dayのSASOLプラントは、現在工業的規模で稼動している世界で唯一の石炭液化プラントである。新たに40,000bbl/dayのSASOL-IIプラントが稼動しようとしており、この建設費は約28億ドルと報ぜられている。これら二つのプラントが本格的に操業されると南アフリカ連邦は自動車燃料の約40%を自給できるとされている<sup>9)</sup>。また、水素と一酸化炭素の混合ガスからメタノールを合成し、合成ゼオライト触媒を用いてメタノールを一段で高オクタン価ガソリンに転化する方法が、Mobil R&D Corp.によって最近開発された<sup>11)</sup>。

直接液化法は、Bergius法あるいはこれを改良したI. G. 法<sup>12)</sup>（図-1）をその原型としており、石油に比較して水素含量の少ない石炭に、高圧水素化その他の方法で水素を直接的に添加しようとするものであり、これに必要な水素は最近の液化プロセスの開発においては、液化残渣のガス化によって供給される。近代的な直接液化法では米国のSRC-Iが最も早く1962年に研究開発に着手され、1974年10月にはワシントン州Ft. Lewisで50ton/dayプラントの本格的運転に入った。粉碎した石炭が850°F(454℃)で1500psig(102atm)の水素圧下で溶媒に溶解され、石炭中の鉱物質および硫黄が除去され、そのままで燃焼可

\* 函館工業高等専門学校校長



1 Desintegrator; 2 Bunker; 3 Trockenanlage; 4 Transportanlage; 5 Bunker; 6 Schüttelsieb; 7 Walzenbrecher; 8, 9 Bunker; 10 Waage; 11 Kugelmühle; 12 Kohlebreihälter mit Rührwerk; 13 Breipresse; 14 Wärmeaustauscher; 15 Röhrengasvorwärmer; 16 Reaktionsofen; 17 Heißabscheider; 18 Umlaufpumpe für heißen Schlamm; 19 Kühler; 20 Gasabscheider; 21 Aufnahmebehälter für Mittelöl; 22 Gaswäscher; 23 Entspannungsmaschine; 24 Gasumlaufpumpe; 25 Röhrengasvorwärmer; 26 Destillationskolonne; 27 Abstreifer; 28 Schlammbehälter mit Rührwerk; 29 Zentrifuge; 30 Behälter für zentrifugiertes Öl; 31 Rührwerksbehälter für Zentrifugenrückstände; 32 Trommelofen; 33 Staubabscheider; 34 Turm für Vorkühlung.

Fig. 1. I.G. 石炭液化工厂フローシート

B.A.Korndorf, "Hochdrucktechnik in der chemie",  
 Vev Verlag Technik Berlin (1956).

能な、あるいは輸送・貯蔵が容易でクリーンな燃料に転化する。最近、Air Products および Wheelabrator-Frye の共同事業として SRC-I 法と SRC-I 製品の接触の水素処理を行なうプロセスの併用、つまり 2 段液化により液体燃料の製造を目的として石炭 6,000 ton/day 処理 (20,000 bbl/day の合成原油製造) のプラントをケンタッキー州の Newman に建設することが提案された<sup>13)</sup>。この提案によれば、プラントの建設費は約 7 億 2500 万ドルに達し、このうち 1 億 2000 万ドルは Air Products, Wheelabrator-Frye およびケンタッキー州政府が持ち、残り 6 億 500 万ドルは連邦政府からと見込まれている。また両社のフィジビリティスタディによれば、1990 年までに工業的規模のプラントからガソリンが 75~85 cent/gal で生産されうるとされている<sup>13)</sup>。

SRC-II 法は、SRC-I 法に比較して反応条件が 860°F (460°C)、1900 psig (129 atm) および滞留時間 1 時間と苛酷であり、石炭の大部分が直接液体生成物、主としてナフサおよびボイラー燃料に転化する。最近、Gulf Oil は 6000 ton/day (20,000 bbl/day の合成原油製造) のプラントをウエストバージニア州の Morgantown に建設することを提案した<sup>13)</sup>。この提案によれば 1984 年あるいは 1985 年にプラントが完成するまでの建設費は少なくとも 7 億 5000 万ドルと見込まれ、この場合 Gulf Oil はプラント建設費は、まったく負担せず、デモンストレーション計画に伴う建設費以外の費用 1 億ドルを負担する方針であり、プラント建設費 7 億 5000 万ドルの 25% づつを西ドイツと日本が分担し、残り 50% をアメリカ政府が分担する合意が得られている<sup>13)</sup>。しかしながら、最近アメリカ側は、この共同開発 (期間 10 年) の必要資金が試算値の二倍の約 14 億ドルに上る見通しを発表したとされている。

Exxon Donor Solvent (EDS) 法では、粉碎された石炭が分子水素および水素供与性溶媒の存在下に無触媒でプラグフロー反応器中で液化される。液化反応器は 800~880°F (421~471°C) および 1500~2000 psig (102~136 atm) で操作されている<sup>14)</sup>。水素供与性溶媒は 400~850°F (204~454°C) の沸点留分である。この溶媒は液化生成物中の中油留分を通常の固定床反応器中で接触的水素添加したものである。液化反応器を通過後、反応生成物は蒸留によって、ガス、ナフサ、留出油および減圧蒸留残渣に分離される。減圧蒸留残渣は Exxon Flexicoker でコーキングをうけ、ここでさらに液体生成物を生ずる。プロセ

スに必要な水素および燃料は、残渣コークスのガス化および、液化プロセスからの C<sub>1</sub>~C<sub>2</sub> ガスのリフォーミングにより製造される。1 および 50 ton/day のパイロットプラントでの実験後、現在 250 ton/day のパイロットプラントがテキサス州の Baytown に完成し、本年 5 月初旬には Illinois 炭から 625 bbl/day の液体炭化水素燃料の製造が開始される<sup>15)</sup>。この建設費は約 1 億 1600 万ドルと見込まれ、このうち 4200 万ドルは装置購入にあてられた。反応器の製作は日本製鋼所が受注した。1976 年から 1983 年までのこのプロジェクトに対する費用は 3 億 4000 万ドルと見込まれ、このうち約 2 億 4800 万ドルについてはその 50% をエネルギー省、Exxon Coal Co. 23.2%, Electric Power Research Institute 12.2%, Japan Coal Liquefaction Development Co. (日本石炭液化技術開発株式会社) 8.3%, Phillips Coal Co. 2.1%, Arco Coal Co. 2.1% および西ドイツの Ruhrkohle A. G. 2.1% によって分担される<sup>15)</sup>。当面の研究計画は、35 ドル/ton の Illinois 歴青炭についての 15 ヶ月の運転 (3 ヶ月の長期運転を含む)、その後の Wyoming 歴青炭についての 9 ヶ月の運転、および褐炭などについての運転が組まれている<sup>15)</sup>。また、最初の工業的規模のプラント (20,000 ton/day) が多数稼動するようになり、石炭液化工業が確立されるのは 1990 年半ばになるであろうとされている<sup>16)</sup>。

H-Coal 法は、高硫黄含有炭をボイラー燃料および合成原油に転化する接触的水素添加液化法である。60 mesh 以下に粉碎された石炭ペーストは約 200 atm で圧入され、水素とともに予熱され、沸騰触媒床反応器の下部より連続的に装入される。この反応器は多くの優れた特色を有するとされている<sup>17)</sup>。触媒活性は新触媒の定期的添加および廃触媒の抜出しによって維持される。反応器の温度は、予熱器出口温度の調節によってコントロールされる。反応器入口での混合物の温度は 650~700°F (343~371°C) である。600 ton/day の H-Coal パイロットプラントがケンタッキー州の Catlettsburg に建設され、操業を含めた費用は約 2 億 9600 万ドルとされている<sup>9)</sup>。反応器の製作は神戸製鋼所が受注した。EDS パイロットプラントの場合と同様に、この H-Coal パイロットプラントも 1980 年代後半には、中間的なデモンストレーションプラントを経ずに直接工業的規模のプラントまでスケールアップできるほどに、充分大きなスケールであるとされている<sup>9)</sup>。

Table 1 Present German pilot plants for coal liquefaction<sup>21)</sup>

Operator	Period of Project	Capacity in Tons coal/day	Total Cost Mio. DM	Sponsor	Site
Bergbau-Forschung	1974 - 1983	0.5	30	Minister of Economics of the State of Nordrhein-West-Falen	Essen
Ruhrkohle/Veba	1978 - 1983	200	280	Minister of Economics of the State of Nordrhein-West-Falen And Rag/Veba	Bottrop
Saarbergwerke	1974 - 1979	0.5	7	Federal Ministry for Research and Technology State of Saarland Saarbergwerke	Reden
Saarbergwerke	1979 - 1981	6	27	Federal Ministry for Research and Technology State of Saarland Saarbergwerke	Forstenhausen
Rheinische Braunkohlenwerke	1978 - 1980	0.25	-	Federal Ministry for Research and Technology Rheinbraun	Köln

また、1978年9月、ACS Miami meeting で新たにDow Chemicalにより低硫黄燃料油とともに化学原料を指向したDow法が公表された<sup>18)19)</sup>。100 kg/hrのミニプラントで6000時間以上の運転がなされた。

Dow法の主要な特徴は、モリブデンなどの水溶性塩の水-循環油のエマルジョンを触媒として用いることであり<sup>20)</sup>、これによって粒子が小さく、活性が高く、しかも消耗してもかまわない触媒の使用が可能になったと主張している<sup>18)~20)</sup>さらに他の石炭液化法よりも高価値の生成物を生成するように、生成物組成が改善されたとしている。40%石炭ペーストに循環油中でエマルジョン状態を呈する触媒溶液が加えられ、この混合物が予熱器で2200 psig (150 atm)の水素とともに420℃まで予熱される。反応器の温度は約460℃である。反応生成物は気液分離器を通り、ここで未反応水素、生成ガスおよび軽油などと未反応炭、アスファルト質および留出油に分離される。固液分離はまずハイドロクロンでなされ、ハイドロクロンからの上流液は全て循環油としてリサイクルされる。ハイドロクロンからの下流は向流溶媒ディアスファルターを通り、ここでは鉍物質、未反応炭およびアスファルト質がボトムから除去される。ディアスファルターからのオーバーフロー液は循環油が回収され、固体を含まない、低硫黄の脱アスファルト質油となる。この結果、100 kgの石炭から6.2 kgのメタン、LPG 13.1 kg、ナフサ(C<sub>6</sub>~204℃) 13.0 kg、留出油(204~524℃) 33.6 kg、燃料油(524℃~) 4.3 kgおよび残渣21.8 kgが得られると報告されている<sup>19)</sup>。

西ドイツにおいても、1973年の石油危機を契機として戦前のI.G.法が見直され、表1に示したように0.5、6および200 ton/dayのプラントが開発されている<sup>21)</sup>。これらの新しいプラントにおいては、I.G.法と比較して次のように条件が変更された：

- 蒸留によって水素化分解生成物から固体を除去すること。
  - 石炭ペースト調製のために留出油をリサイクルし反応塔内のアスファルト質を減らすこと。
  - 減圧蒸留残渣をガス化して水素を製造すること。
- その結果、表2に示したように次のような改善が可能となった：
- 反応圧を700 bar (691 atm)から300 bar (296 atm)に減ずること。
  - 石炭処理量の増加。
  - 熱回収の改善。
  - 熱効率の増加。

表3には200 ton/dayプラントの原料および生成物、図2にはそのフローシートを示した<sup>21)</sup>。

日本においても、三井グループでは5 ton/dayのSRCプラントを稼動中であり<sup>22)</sup>、その他住友金属工業およびKOMINICにおいてSRC法を開発中と伝えられている。また、北海道工業開発試験所では従来の基礎研究を基盤として、北海道大学および公害資源研究所などにおける石炭の直接水素添加の連続試験装置に改良を加え、さらに新しい高圧機器や制御技術を導入し、1979年3月に0.1 ton/dayのプラントを完成し<sup>5)</sup>、使い捨てできる赤泥を触媒として現在までに

Table 2 Comparison of the test results of Bergbau-Forschung with the expected data of the 200 t/d plant of Ruhrkohle and those of I.G.- Technology<sup>21)</sup>

METHOD OF OPERATION		NEW TECHNOLOGY		I.G. TECHNOLOGY	
		TESTS OF BF	200 t/d-PLANT	MEDIUM OIL	HEAVY OIL
Operating pressure	bar	300	300	700	700
<u>Input coal</u>					
Proximate Analysis					
Water	%	2.0 - 5.5	8.6	10.0	
Ash	%wf	4.4 - 5.1	4.9	5.0	
Volatille Matter	%waf	33.2 - 34.2	37.9	38.0	
<u>Elementary Analysis</u>					
Carbon	%waf	84.1 - 85.5	82.82	80.44	
Hydrogen	%waf	4.7 - 5.1	5.47	4.76	
Nitrogen	%waf	1.5 - 1.7	1.57	1.27	
Sulfur	%waf	1.1 - 1.6	1.22	1.16	
Oxygen	%waf	6.9 - 8.4	8.25	12.37	
Chlorine	%waf	0.1 - 0.2	0.17		
<u>Products, related to waf-coal</u>					
Oil, total	%	54	51.5	44	53.5
Thereof light oil < 200°C	%	25	21	21	23
medium oil ~ 325°C	%	75	36	79	48.5
heavy oil > 325°C	%		43	0	28.5
Hydrocarbon gases C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub>	%	20	21	22	20
Gases, Water, Losses	%	28.5	31		
Vacuum and centrifuge residues incl. mineral matter	%	31	30	33.5	26
therein benzene-soluble	%	48	50	61	47
Digestion of coal	%	91.5	93	94.5	94.5
Chemical demand of hydrogen	%	6	6.1	8.8	

Fig. 2 Block flow diagram of the 200 t/d plant of Ruhrkohle AG/Veba Oel AG<sup>21)</sup>

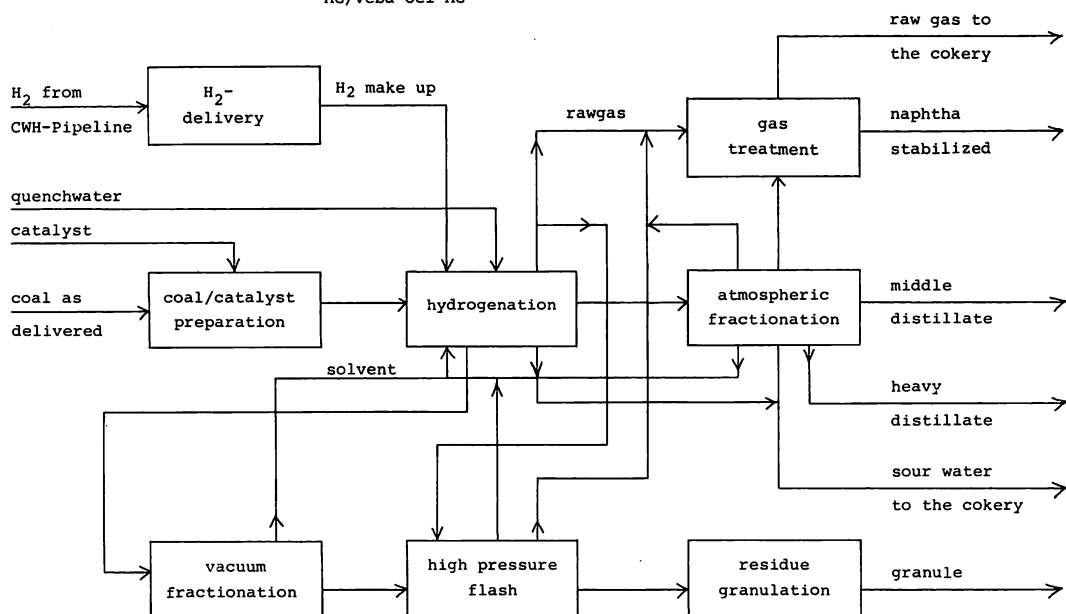


Table 3 Feedstock and products from 200 t/d-plant<sup>21)</sup>

	Unit	
<b>Feed:</b>		
Coal, m.a.f.	t/d	200
Hydrogen H <sub>2</sub> make up	m <sup>3</sup> /d	220,000
Process water	t/d	41.2
Catalyst (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	t/d	4.0
Power	kwh/d	108,000
<b>Products:</b>		
Gas	t/d	61.3
Naphtha (stab.)		
I.P. ... 200°C	t/d	24.4
Middle oil 200 ... 325°C	t/d	69.0 ... 74.7
Heavy oil > 325°C	t/d	—
Residue	t/d	68.6 ... 74.3

102 時間の連続運転を含め、380 時間以上の運転をしている。

### 3. 今後の課題

#### 3・1 基礎研究における課題

石炭の本質（有機質）は、太古に繁茂した樹木が石炭化作用をうけて生成したもので、石炭有機質を構成する構造単位体の大きさや化学構造と、単位体の重合度とが一定ではなく、ともにバラツキを有するようなものからなる天然の高分子物質として、理解されている<sup>23)</sup>。その構成元素（C, H, O, N, S）においても石油とは異なり酸素および窒素が構成上主たるヘテロ原子である。

このような石炭の化学構造特性に着目し、北海道大学（工・応化第2講座）では1956年以降、次のような理念に基いて石炭液化の研究を進めた<sup>24)25)</sup>。

第一に石炭化度の異なる一連の日本の石炭（泥炭、褐炭、非粘結性および粘結性歴青炭）を一括して研究の対象とし、それら石炭類の化学構造（個性）と化学反応（挙動）とを対応させ、両者を並行して研究し系統的な知見を得ようとした。石炭液化についてこのような研究例は内外ともに極めて少ない。言うまでもなく石炭は産出する国、地域によって性状が異なり、様々な個性、特性を有している。各国は主として自国の石炭を研究の対象としており、北海道大学においてもまた国内炭の多くの炭種について、構造と反応と両者の関係を解明することに努めた。この事の意味は、そうすることによって代表的な日本炭についての研究成果（構造と反応）と、外国の石炭資源のそれ（構造と反応）とを適確に比較することが可能となってくる。そうすれば日本炭に特有の、あるいは外国炭と共通の

石炭利用技術についての合理的な採択や、新技術の開拓に寄与しうる最も基礎的な資料を集積することが出来る。このような考え方は、国内に同一炭種の大きな炭田を持たず、需要の多くを広く海外に求めなければならぬ我国にとって、今後も重要である。

第二は石炭液化研究のターゲットを必ずしも液体燃料（炭化水素）だけに限定せず、芳香族核を中心にアルキル基とともに酸素および窒素を含有する石炭の化学構造特性を生かして含酸素、含窒素コールケミカルズを製造することをも目標としたことである<sup>26)</sup>。それは石炭液化の経済性を高める上でも必要な観点だと考えられるからである。この考え方は、1960年に米国ユタ大学のG. R. Hill 博士らにより提案されたドイツI. G. 法とは異なる石炭構造に立脚した石炭の液化利用に対する新しい考え方<sup>23)27)28)</sup>と、基盤において共通するものである。彼らの考え方には石炭の化学構造の中で1) 水素に富む脂肪族、ナフテン環構造部分から主として液体燃料、ガスを得るとともに、2) 多環芳香族系の構造部分からはむしろ炭化物、炭素材を得ようとする、資源の質的な有効利用の狙いが含まれている。しかしながら、このような考え方に基き石炭の化学構造を基にした合理的な液化プロセスと反応装置のデザインに成功するまでには至っていない。このためには、縮合芳香族核の相互の間を結合する架橋構造や石炭のマクロ構造を構成する構造単位の立体的な配列や結合様式などに対する、より深い理解が必要であろう。さらに、高分子石炭質の液化反応の過程や反応速度についても、一層詳細な知見が要望される。

#### 3・2 液化技術における課題

石炭液化を工業化していく場合の技術的な問題点について、筆者の感じた六つのポイントを指摘しようと思う。

第一は、原料石炭の選択という問題である。石炭液化に適した原料石炭の選定をどのように行なったらよいか、国際的に通用するStandardを確立する必要がある、そのための試験方法を確定することが急務だと考える。ここで原料の炭田について重要なことは、埋蔵量の大きさのほかに炭質の均質性ということである。また最近、低石炭化度炭を原料とする際の、Ca化合物等の析出トラブルなど微量成分の操業面への問題点が指摘されている<sup>29)</sup>。

プロセスの面からみると、現在米国のSRC-II法は、原料炭として触媒作用を有する硫化鉄を多く含有する石炭資源を東部にもち、これを対象としている。

米国の場合はこれでよいが、日本のような条件の国にとっては原料石炭に対する融通性のあるプロセスの開発にも留意する必要がある。

第二は、微粉状の石炭を高圧下の液化反応器にポンプで送り込む操作を容易にするために、石炭と重質油を混ぜて原料ペーストの形で送るが、石炭ペーストは石炭の種類によって少なからず違った性質を反応過程で示す。温度を上げていく過程の熱変質や粘度において違った挙動を示す<sup>30)</sup>。これは反応器に入る手前の予熱過程で見られる現象である。これも石炭の性質の差異、つまり原料石炭の選定につながる問題の一つである。

第三は液化反応器について、この分野で日本は過去に満鉄や朝鮮窒素グループが蓄積した技術は少くないということ指摘したい。朝鮮窒素グループは、戦時北朝鮮で内熱式の石炭液化反応器を設計・運転したが、これはアンモニア合成（カザレ式）およびメタノール合成の反応器と関連をもって蓄積された技術に基ずく。これまでの世界各国の石炭液化プロセスの反応器としては、他に例がなく、今後の開発に対して示唆に富む独創性があった<sup>31), 32)</sup>。また2.で既述したように、近年、EDS法の250 ton/dayおよびH-Coal法の600 ton/dayの反応器をいずれも日本のメーカーが納入した実績は、技術の確かさを証明している。

第四は、固液分離あるいは液化残渣の処理の問題である。液化油はサラサラとしたガソリンまたは軽質油だけが出てくれば甚だ簡単であるが、軽質油と重質油やアスファルト質と混ざったものが出てくる。その重質油の中には、鉱物質、未反応残渣などが必ず残る。それらの中から、さらに油だけを回収することは簡単ではない。効率よく経済的に油を分離、回収する上ではまだ問題が残されている<sup>33)</sup>。

第五は、落圧の問題である。高温の液化生成物、温度を低下しながら圧力を低下していかなければならない。石炭ペーストは反応器で液化されて高温分離器に入り、上部から出る流体は熱交換器を通して冷却され、気液（低温）分離器に送られてくる（図-1参照）。高温分離器の下部から出る液相中には未反応残渣、触媒が含まれており、このようなスラリーによる落圧部分のエロージョンが、石炭液化装置の大きな問題点の一つであった。試験装置では、弁座、弁棒にはタングステンカーバイドが使用され、弁の前後に高圧細管や多段オリフィス等を用いて、落圧時の弁への負荷を減少させる等の工夫がされている。弁の摩耗の解決と同

時に気液分離器等に必要な高圧液面計の開発も重要な課題である。現在シール液方式、ガスパージ方式、T線方式等が提案されており、弁と液面計の組合せによって自動的に反応生成物が抜出されるわけであるが、少なくとも数ヶ月間の信頼性の高い稼働が要求されよう。そこにも機械工学分野で工夫の余地がまだ多く残されていると思われる。

第六は、環境保全の問題である。石炭液化プラントを大規模商業プラントにスケールアップするにあたっては、プロセスより排出されるあらゆる種類の汚染物とその影響を事前に予測し、評価しておく必要がある<sup>34)</sup>。Glaserら<sup>35)</sup>は石炭転化プロセス（ガス化および液化）からの廃棄物の主要な源として次の三つを挙げている。1) 原料石炭、水、水素および酸素の貯蔵および調製、2) 転化操作および3) 廃棄物の流通、コントロールおよび処理プロセス。特にフェノール、生成ガス、灰分などを含む多量の廃水および生成油中に含有される多環芳香族化合物（PAH）の自然環境におよぼす影響は、十分に検討されるべきである。石炭液化油中のPAHの同定法はこの10年来著しい発展を示し、ガスクロマトグラフィー/質量分析計による研究は特に活発に行なわれている<sup>36)</sup>。

#### 4. 研究開発について

石炭液化という技術は、まだまだ多くの研究課題を抱えている複雑な技術である。固体、液体、気体の三相が高温高圧下に共存する反応で、他にあまり類例がない。例えて言えば、ヒマラヤの巨峰に挑む登山パーティーの如く、重装備で、良く訓練された技術者の集団が、システマティックに一步一步確実に登っていかなければ、確実な成功を期することは難しいと言えよう<sup>37)</sup>。より良く訓練された技術者の養成および広範囲な学問領域からの人材の参加、協力が研究開発の上で必要であり、このような意味で1979年にMITを始めとしてアメリカ北東部の13大学が結成した the University Coal Research Consortium of the Northeast<sup>38)</sup>のような研究協力組織は十分に意義あるものである。さらに米国エネルギー省では the Surface Mining Control and Reclamation Act のもとに、全米にわたり最大限13もの University Coal Research Laboratories の設立を計画している。我国においても、開かれた特徴あるグループ研究単位を大学または国立研究機関などに設け、それぞれ独自の研究をすると同時に、相互に連携をとる組織を

作ることが今後の研究開発にとって有用であろう。

さらに石炭液化のような世界各国に共通に必要な大きな技術の確立には、国内での国公立関係研究機関および民間企業間の一層効果的な協力体制はもとより、当然幅広い国際協力が求められる。人材の養成、立法措置あるいは資金面からみた場合、技術開発において政府の占める役割は重要である<sup>39)</sup>。2.で既述したようなSRC-II法の6000ton/dayプラント、あるいはEDS法の250ton/dayプラントに対する米国、日本および西ドイツの資金面での分担も国際協力の重要な面ではあるが、各々独自の学術的な研究成果や技術的な基盤に立った国際協力こそ真に有効であろうと思われる。

## 5. あとがき

石炭の高圧水素化分解による直接液化技術は、石炭ばかりでなく、化学構造が類似の原油重質油、タールサンドおよびオイルシェールに含まれる重質油などをクリーンな石油代替燃料に品質改善する際にも有用な共通性をもつ技術である。石油代替資源の利用促進には、基礎研究と製造技術開発研究が一層効果的に国際的な協力のもとになされることを期待したい。

## 謝 辞

本稿をまとめるにあたり、吉田諒一、上田成、横山晋氏らの協力を得た。特に2.技術開発の現状の項は吉田諒一氏による。付記して謝意を表する。

## 文 献

- 1) 黒川真武, 広田和一, 武谷愿, 竹中寛, 工化, 44, 776 (1941)
- 2) G. Takeya, IUPAC XXV the International Congress of Pure and Applied Chemistry (Tokyo, 1977) vol. 1, Chemistry for the Welfare of Mankind, page 1099-1115.
- 3) G. Takeya, Pure and Applied Chemistry, 50, 1099 (1978)
- 最近の紹介文献として4)~9)がある,
- 4) 吉田雄次, 高圧ガス, 16, 507 (1979)
- 5) 前河涌典, 化学装置, 21 (11), 11 (1979)
- 6) 吉田尚, 末次良雄, 燃協誌, 58, 999 (1979)
- 7) 志鷹義明, 燃協誌, 57, 955 (1978)
- 8) 真田雄三, 学術月報, 32, 167 (1979)
- 9) W. Worthy, C&EN, Aug. 27, p.20 (1970)
- 10) M. E. Sacks, R. T. Eddinger, Chem. Eng. Progress 編, Coal Processing Technology (Chem. Eng. Progress technical manual), 2, 94 (1975)
- 11) S. L. Meisel, J. P. McCullough, C. H. Lechthaler, P. B. Weisz, CHEMTECH, February,

86 (1976)

- 12) W. Krönig, "Katalytische Druckhydrierung", Springer - Verlag (1950)
- 13) Anon, C&EN, Aug. 6, p.6 (1979)
- 14) L. E. Furlong, E. Effron, L. W. Vernon, E. L. Wilsor, Chem. Eng. Progress, August, p.69 (1976)
- 15) Anon, C&EN, Feb. 4, p.7 (1980)
- 16) 石油と石油化学, 23 (8), 32 (1979)
- 17) 日本産業技術振興協会編, "石炭のガス化および液化技術の概要", その1 (昭和50年2月), p.159
- 18) Anon, C&EN, Sept. 11, p.22 (1978)
- 19) Anon, C&EN, Sept. 25, p.43 (1978)
- 20) N. G. Moll, G. J. Quarderer, Chem. Eng. Progress, November, p.46 (1979)
- 21) G. Kölling, I. Romey, E. Wolowski, Proceedings of the Sixth Energy Technology Conference, Feb. 26~28, 1979, p.657
- 22) 佐々木章, 経団連月報, 1977年11月号, p.74
- 23) 武谷愿, 学術月報, 25, 719 (1973)
- 24) 武谷愿, 石井忠雄, 伊藤光臣, 久郷昌夫, 林茂, 前河涌典, 真壁正孝, 牧野和夫, 山口義見, 横山晋, 赤間見, 小池茂, 長井弘, 広田和一, 燃協誌, 41, 466 (1962)
- 25) 武谷愿, 北海道大学工学部研究報告, No. 35, p.107 (1964)
- 26) 武谷愿, 化学工業, 23, 314 (1959)
- 27) L. B. Lyon, G. R. Hill, Bull. Univ. Utah, Vol. 51, No. 26, 1~95 (1960)
- 28) G. R. Hill, L. B. Lyon, Ind. Eng. Chem., 54 (6), 37 (1962)
- 29) J. B. Stone, K. L. Trachte, S. K. Poddar, ACS Div. Fuel Chem., Preprints, 24 (2), 255 (1979)
- 30) 奥谷猛, 横山慎一, 前河涌典, 第16回石炭学会議論文集, p.103 (1979)
- 31) 柴田健三, 燃協誌, 31, 267 (1952)
- 32) 宗像英二, 燃協誌, 55, 820 (1976)
- 33) 西田房雄, 化学工学, 42, 216 (1978)
- 34) "Environmental, Health, and Control Aspects of Coal Conversion: An Information Overview", Vol. 1 & 2, (Eds. H. M. Braunstein, E. D. Copenhaver and H. A. Pfuderer), Information Center Complex, Information Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1977
- 35) F. Glaser, A. Hershaft, R. Shaw, "Emissions from process producing clean fuels", BA 9075-015, Booz - Allen Applied Research, Bethesda, Maryland, 1974
- 36) R. V. Shultz, J. W. Jorgenson, M. P. Maskarinec, M. Novotny, L. J. Todd, Fuel, 58, 783 (1979)
- 37) 武谷愿, 燃協誌, 58, 63 (1979)
- 38) TECH TALK, 23, No. 39, June 27, 1979
- 39) Anon, C&EN, Sept. 24, p.23 (1979)