

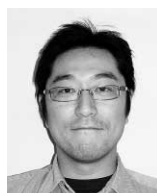
(解説)

石炭液化技術開発の概要とその展開

Outline of Coal Liquefaction Technology Development and New Turns on This Technology



安室元晴*
Motoharu YASUMURO



高橋洋一*
Yoichi TAKAHASHI



奥井利明*
Toshiaki OKUI



小松信行*
Nobuyuki KOMATSU



田村正明*
Masaaki TAMURA

Kobe Steel has been proceeding with R&D on direct coal liquefaction since the 1970's and established the Brown Coal Liquefaction (BCL) process for lignite. Since then, new R&D projects such as Upgraded Brown Coal (UBC), Hyper Coal and Slurry Phase Hydrocracking (SPH) have been promoted based on the elemental technology of the BCL process. This paper presents the background and outline of the coal liquefaction project and other new R&D projects.

ま え が き = 2004年以降原油価格は高騰傾向にあり、2008年6月には初めて1バレル (bbl) 140ドルを突破して過去最高値を更新した。今後、中国、インド、その他の新興国・途上国を中心にエネルギー需要はますます拡大することが見込まれており、原油の高値傾向は今後も続く気配を示している。一方、米国やアジアに豊富な埋蔵量を有する石炭の活用を拡大し、石炭から液体燃料を合成する石炭液化が石油を補完する技術として何度か注目を集めている。最初が1913年のBergiusによる石炭液化法の発明から第二次世界大戦にかけて、二度目は1970年代の石油危機以降から1980年にかけて、今回は三度目であり、その実用化が中国、インドネシアをはじめとするアジア諸国や欧米で期待されている。

当社は1970年代から石炭液化基礎研究に取組み、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization, 以下NEDO という) から委託を受けた「豪州褐炭液化プロジ

ェクト (1981~1993年)」、「褐炭液化改良合理化研究 (1993~1997年)」および「インドネシア褐炭液化FS (Feasibility Study, 1999~2002年)」を通して、褐炭に適したBCL (Brown Coal Liquefaction) プロセスを確立するにいたった¹⁾。

BCLプロセスは、①スラリー調製・脱水、②液化、③系内水素化処理、④溶剤脱灰の4工程 (要素技術) から成立っており¹⁾、1990年以降、これらの要素技術を応用展開した新しい技術開発も積極的に進めている (図1)。例えば、石炭の脱水工程を応用した「改質褐炭 (UBC®: Upgraded Brown Coal) 製造技術の開発」、液化・水素化処理工程を応用した「超重質油水素化分解技術の開発」、溶剤脱灰工程を応用した「ハイパーコール製造・利用技術の開発」などである。

本稿では褐炭液化技術開発の経緯、成果の概要、新規展開した技術開発の概要について紹介する。

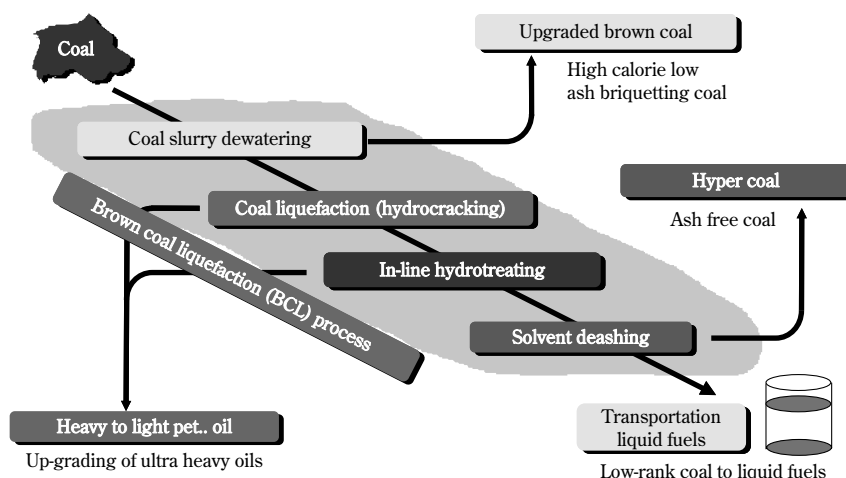


図1 石炭液化技術の新規展開
Fig. 1 Taking new turns on coal liquefaction technology

*技術開発本部 石炭エネルギー技術開発部

1. 褐炭液化技術開発の経緯

1.1 石炭液化研究の始まり (1939 ~ 1980 年)

当社における石炭液化研究の開始は、陸軍の要請で石炭液化事業に参画して満州石炭液化研究所を設立した1939年にさかのぼる。1944年から試運転を行ったものの、1945年の終戦後、工場設備などはソ連軍に接収された²⁾。

現在の研究は、1960年代以降の経済成長の情勢下、コークス製造用原料炭の不足・価格高騰への対応策として溶剤精製炭 (Solvent Refined Coal, 以下 SRC という) に着目し、豪州ビクトリア褐炭から SRC を製造する研究に着手した (1972 年) ことが始まりである。その後、第二次石油危機 (1979 年) を契機に石油代替燃料の開発気運が高まり、褐炭液化技術開発へと発展していった。

1.2 豪州褐炭液化プロジェクト (1981 ~ 1993 年)

豪州ビクトリア褐炭は 330 億トンもの経済的採埋蔵量を有する世界有数の褐炭田である。多量 (約 60wt%) の水分を含み、乾燥すると自然発火しやすいため、現地の発電燃料として利用される以外ほとんど利用されていない。1981 年、この褐炭を対象とした液化プロセスの開発が日豪共同プロジェクトとして開始され、日本褐炭液化 (株) (当社をはじめ、三菱化成 (株) (現三菱化学 (株))、日商岩井 (株) (現双日 (株))、出光興産 (株)、アジア石油 (株) (現コスモ石油 (株)) の 5 社より構成、以下 NBCL という) が NEDO の委託のもと研究開発を推進した。本プロジェクトは、豪州に建設した無水・無灰炭基準の褐炭処理量 50 トン/日規模 (生褐炭ベースで 150 トン/日) のパイロットプラント (以下、PP という) (図 2) および、神戸・岩屋地区に建設した 0.1 トン/日の連続反応装置の運転研究を中心にスケールアップデータを取得して商業化に備えるものであった。表 1 に示す全ての課題を達成して 1993 年に成功裏に終了した。

1.3 褐炭液化改良合理化研究 (1993 ~ 1997 年)

その後、国際的な原油価格の低迷などの情勢変化により、さらにプロセスの経済性 (コストダウン) や環境調和性 (エネルギー効率) を向上させる必要性が生じたた



図 2 豪州 50 トン/日褐炭液化パイロットプラント
Fig. 2 50t/d brown coal liquefaction pilot plant (Australia)

表 1 褐炭液化 50t/d PP における開発目標と成果³⁾

Table 1 Development targets and results of 50t/d pilot plant operation³⁾

Development targets	Results
Distillate yield more than 50wt%	Distillate yield of 52wt% (48wt% from primary hydrogenation, 4wt% from secondary hydrogenation) was achieved.
Continuous operation longer than 1,000hrs	Continuous operation of 1,700hrs was achieved.
De-ashing performance of ash content in the DAO product less than 1,000ppm	De-ashing performance of 300 ppm (toluene de-ashing) and 700 ppm (naphtha de-ashing) were achieved respectively.
Development of highly active fixed-bed catalyst	Continuous operation of 3,400hrs in PP and 7,800hrs in life test were achieved respectively.
Development of economical new de-watering process	New slurry de-watering process that is 1/3 energy consumption of the existing technology was established.



図 3 0.1トン/日 石炭液化連続反応装置 (BSU: Bench Scale Unit, 高砂製作所内)

Fig. 3 0.1t/d coal liquefaction BSU (Bench Scale Unit, at Takasago)

め、NBCL の研究体制を当社高砂製作所内に集約して高砂液化センターを設立した (1993 年)。同センター内に 0.1 トン/日規模の連続反応設備を有するベンチスケールプラント (Bench Scale Unit, 以下 BSU という) (図 3) を建設し、液化プロセスの改良・合理化研究に取り組んだ。その結果、従来の触媒に比べて極めて高活性で、粉碎性やハンドリング性に優れた水酸化鉄系の鉄鉱石触媒の開発や重質液化生成物 (ボトム) のリサイクルによる高液化油収率の達成、液化粗油の品質を大幅に改善する系内水素化処理技術の開発、運転の信頼性を向上させる種々の改良を実施し、経済性、環境調和性を向上した BCL プロセスを開発した (1997 年)。

1.4 インドネシアなどへの展開 (1994 年~)

1994 年、インドネシア共和国の科学技術応用評価庁と NEDO は石炭液化に関する研究協力覚書を交わした。これに基づき、NEDO の委託を受けた NBCL はインドネシアとの研究協力に着手することとなった。当時インドネシアは、2010 年頃には原油輸出国としての地位を失うことを懸念しており、自国の豊富な褐炭を液化して液体燃料に転換したいとの意向から我が国政府に協力を依頼してきたものである。本研究協力では、インドネシア褐

炭の資源調査や液化試験を通して液化候補炭のスクリーニングを行うとともに、インドネシア技術者の指導や液化試験機器の供与を通して液化技術のレベルアップを図ってきた。なお、1994年から1997年までの4年間でインドネシア研修生をのべ28名受入れ、触媒粉碎機、水素化処理反応設備、蒸留設備などの多くの機器を供与した。また、1999年から2002年にかけて、3カ所のインドネシア褐炭田を対象に、技術面および経済面からプロジェクトの実施可能性を調査する Feasibility Study (FS) を行い、液化技術は有望との結論を得ている^{4), 5)}。

従来予想より早く原油の純輸入国に転じたインドネシアは、褐炭液化プログラムの実施を支援する大統領令 2006 年第 2 号を発令するとともに、日本政府に対して褐炭液化協力に関する支援を要請した(2006年3月)。これを受け、日本-インドネシア首脳会談(2006年11月)において日本が石炭液化の技術協力を行うことが表明された。当社は、NEDO から委託されたインドネシア褐炭液化事業に関する種々の調査を実施することなどでインドネシアにおける石炭液化の商業化を支援してきた。また、2008年の原油価格高騰の影響で石炭液化が注目されるなか、米国の石油会社などとともに石炭液化試験を共同で進め、現在にいたっている。

2. 褐炭液化技術の概要³⁾

本章では、褐炭液化技術である BCL プロセス、液化生成物の収率と品質、褐炭液化の経済性と商業化への課題・展望について概説する。

2.1 褐炭液化 BCL プロセス

BCL プロセスのフローを図4に示す。本プロセスは①褐炭を油中で脱水するスラリー調製・脱水工程、②褐炭を水素化分解して液体に転換する液化工程、③液化油を水素化処理して精製する水素化処理工程、④灰分および残渣(ごんさ)を溶剤中で沈降分離する溶剤脱灰工程の主要4工程より構成される¹⁾。

粉碎された褐炭は、原料溶剤である循環 CLB (Coal Liquid Bottom, 重質生成物, 沸点 (boiling point, 以下 b.p. という) 420°C以上の留分)、循環溶剤 (b.p.300 ~ 420°C留分)、および循環 DAO (De-ashed Oil; 脱灰溶剤, b.p.300°C以上の留分) と混合・スラリー化(標準の石炭/溶剤比=1/2(wt/wt))された後、脱水工程に送られる。脱水工程では 140 ~ 150°C (0.3MPa) の条件下で褐炭中の水分(豪州褐炭: 約 60wt%, インドネシア褐炭: 約 35wt%) の 95wt%以上が蒸発除去される。脱水後のスラリーは鉄系触媒と混合後昇圧され、高压水素と混合、予熱された後、液化工程で気泡塔反応器を用いて液化(標準条件: 450°C, 15MPa)される。液化生成物は気液分離器で気相と液/固体相に分離後、気相に含まれる液化粗油(主に b.p.420°C以下の留分)は一段目固定床反応器で水素化処理(標準条件: Ni-Mo 触媒, 320°C, 15MPa)された後、軽・中質油 (b.p.300°C以下の留分) と重質油 (b.p.300~420°C留分) に分離される。重質油は原料調製工程に水素化循環溶剤としてリサイクルされる。軽・中質油は二段目固定床反応器で再度水素化処理(標準条件: Ni-Mo 触媒, 360°C, 15MPa)された後、蒸留塔で軽質油 (b.p.220°C以下の留分) と中質油 (b.p.220~300°C留分) に分画され、製品として回収される。一方、気液分離器の液/固相(主に b.p.300°C以上の留分)はその一部が循環 CLB として原料調製工程にリサイクルされ、一部は CLB ランダウンとして系外に排出され、残りは脱灰工程に送られる。脱灰工程では、自生ナフサを溶媒とした沈降分離によって灰分を含まない重質ボトム (DAO: b.p.300°C以上の留分) とスラッジ(重質残渣と灰分, 触媒)に分離され、ボトムは循環 DAO として原料調製工程へリサイクルされ、スラッジはボイラ燃料として利用される。

本プロセスは以下のような特長を有する。

- ・スラリー脱水法の採用により通常の乾燥法に比べて大幅にエネルギー効率を改善

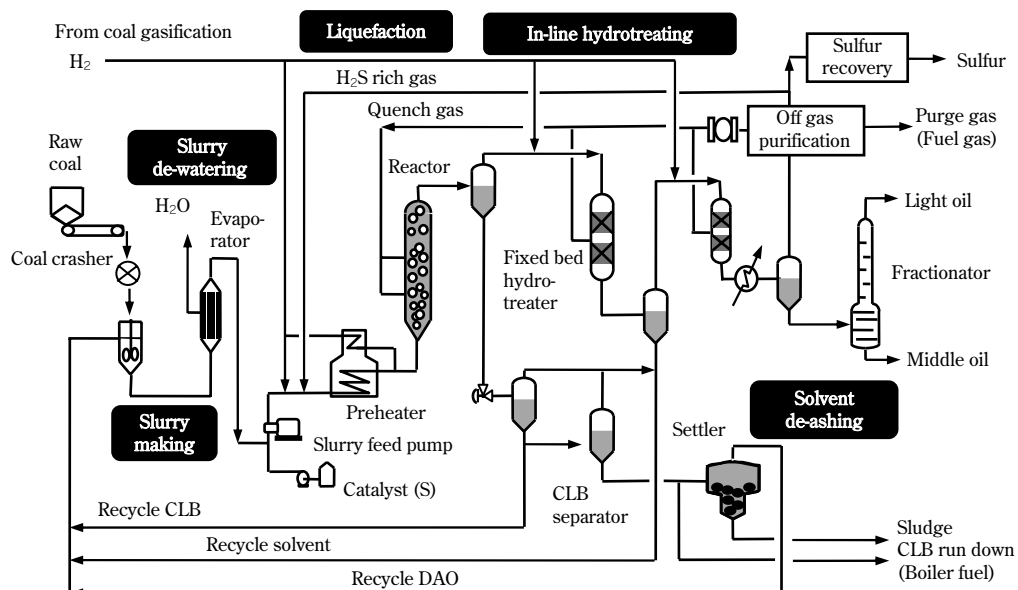


図4 BCL プロセスの概略フロー³⁾
Fig. 4 Simplified flow diagram of BCL Process³⁾

- ・安価で高活性な水酸化鉄系鉄鉱石触媒の採用と CLB (重質生成物) リサイクルによる高液化油 (C₅ ~ 420°C留分) 収率の獲得
- ・溶剤脱灰により排出される有機重質残渣の極小化 (液化油収率の向上)
- ・プロセス系内の熱, 圧力エネルギーを利用した水素化処理工程の採用

2.2 石炭液化生成物の収率と品質

表 2 に液化原料として用いたインドネシア・カリマンタン島南東部産 Mulia 褐炭の品質を示す。水分が約 35wt % 含まれており, また炭化度が低い酸素の含有量が 20.9wt % と高い⁶⁾。Mulia 炭を液化した際の生成物の収率を表 3 に示す。表 3 に示した収率は液化工程のみならず 2 段の水素化処理工程 (図 4 参照) における反応を含めた値であり, いわば液化プラントの最終製品の収率に相当する。無水無灰炭ベースの液化油 (Distillate) 収率は 63.5wt %, LPG (C₃, C₄) の収率が 3.9wt % であり, これらが液化製品として外販される。残渣である CLB (収率 7.3wt %) や CO, C₁, C₂ はプラント内で燃料として消費される⁷⁾。CLB 収率をさらに低減させ液化油収率を増加させることは技術的に可能であるが, CLB リサイクル法を採用しているため, 石炭中の灰分や触媒成分の一定量を CLB や脱灰スラッジとともに系外に排出する必要があり, CLB 収率はこの点を考慮して設定される。これらのことを考慮すると, 改良 BCL プロセスはほぼ極限まで液化油収率の向上を可能としたプロセスであるといえる。

インドネシア褐炭を液化・水素化処理した生成物の品質を表 4 に示す。灯・軽油留分 (Kerosene, Gas Oil) 中の窒素および硫黄濃度は 10ppm 以下であり, クリーンな製品であることがわかる。一環芳香族成分を 10~20% 含有しており, 飽和炭化水素の割合 (飽和分) は 80~90% であった。ただし, ナフテン構造の飽和分が主要を占めるため, 軽油留分の Cetane Index (セタン指数) は 38.6 と若干低く, ディーゼルエンジンに使用するには二次水素化処理, 石油製品とのブレンド, あるいはセタンブースタの添加などの対策が必要である⁸⁾。一方, ナフサ留分からは良質のガソリン基材が製造できることが

表 2 インドネシア Mulia 褐炭の品質³⁾

Table 2 Properties of Mulia coal (Indonesia)³⁾

	Ultimate analysis (as-received)		Elemental analysis (daf base)				
	Water	Ash	C	H	N	S	O (diff.)
Mulia coal	35.0	5.1	73.0	4.9	1.0	0.2	20.9

表 3 Mulia 炭液化生成物の収率 (水素化処理工程含む)³⁾

Table 3 Product yields of Mulia coal liquefaction (including hydrotreating section)³⁾

Yield (wt% on dafc)									
Distillate ⁽¹⁾ C ₅ ~420°C	LO ⁽²⁾ C ₅ ~220°C	MO ⁽³⁾ 220~300°C	HO ⁽⁴⁾ 300~420°C	CLB ⁽⁵⁾ +420°C	H ₂ O	CO+CO ₂	C ₁ ~C ₂	LPG	H ₂ consumption
63.5	31.2	26.2	6.1	7.3	16.3	10.7	5.4	3.9	-7.1

(1) Distillate: (LO+MO+HO), (2) LO: Light Oil, (3) MO: Middle Oil, (4) HO: Heavy Oil, (5) CLB: Coal Liquid Bottom

Reaction conditions

Liquefaction section : Cat: Fe catalyst 1wt% as Fe, CLB recycle : 60 wt% on dafc,

DAO recycle 18wt% on dafc, 450°C, 15MPa, 1.1h,

1st in-line hydrotreating section : Ni-Mo Cat. 320°C, 15MPa, LHSV = 1 (h⁻¹)

2nd in-line hydrotreating section : Ni-Mo Cat. 360°C, 15MPa, LHSV = 1 (h⁻¹)

報告されている⁹⁾。

2.3 褐炭液化の経済性

BCL プロセス (図 4) でインドネシア褐炭を液化する商業プラントの FS が実施されており⁴⁾, Mulia 褐炭を対象とした商業プラントの概要と経済性評価結果を紹介する。

2.3.1 液化商業プラントの概要

褐炭液化商業プラントは, 無水・無灰炭基準の液化用褐炭供給量 (ボイラ用および水素製造用を除く) を一系列・6,000 トン/日の規模とした。なお, 別途ケーススタディーとして, ①準商業機として初期投資をできるだけ抑制した 3,000 トン/日のケース, ② 6,000 トン/日プラントを 2 系列並列に配置した 12,000 トン/日の 3 ケースを検討した。

各プラントの液化油生産量と建設費等を表 5 に示す。6,000 トン/日商業プラントの液化油生産量は約 27,000

表 4 二段目水素化処理生成物の品質³⁾

Table 4 Properties of 2nd in-line hydrotreated products³⁾

	Naphtha C ₅ ~180°C	Kerosene 180~240°C	Gas oil 240~350°C
Elemental analysis			
C (wt%)	85.06	86.52	86.93
H (wt%)	14.34	13.25	12.81
N (ppm)	<10	<10	<10
S (ppm)	30	<10	<10
H/C atomic ratio	2.01	1.83	1.76
HPLC analysis (vol%)			
Total aromatics	—	11.7	19.4
1-ring	—	11.7	17.9
2-ring	—	0	1.4
3-ring	—	0	0.1
Olefines	—	0	0
Saturates	—	88.3	80.6
Density (g/cc, 15°C)	0.801	0.880	0.907
Cetane index	—	—	38.6

表 5 液化設備の規模と液化油生産量, プラント建設費³⁾

Table 5 Plant scale, production capacity and plant construction costs for commercial plant³⁾

Plant scale ⁽¹⁾ (t/d)	Manpower requirement (persons)	Oil production (bbl/d)	Plant construction costs in 2006 ⁽²⁾	
			MM (¥)	MM (US \$)
3,000	524	13,453	144,000	1,200
6,000	576	26,905	241,600	2,013
12,000	973	53,810	426,300	3,552

(1) The amount of feed coal for liquefaction, dry ash free basis

(2) Including hydrogen production system, utility system, power generation system, pipeline and terminal for product transportation and shipping
1US \$ = 120 ¥

We referred "PCI/PPI Report 2006"¹⁰⁾ and supposed that the plant construction cost in 2006 is 1.5 times of cost in 2001⁶⁾

バレル/日であり、年産約834万バレル(310日/年稼働)となる(1バレル=0.159m³として日産4,293m³、年産133万m³)。褐炭液化商業プラントには液化プラント本体のみならず、水素製造設備、ユーティリティ設備、発電設備、パイプラインや出荷ターミナル等も含まれており、6,000トン/日プラント建設費は約2,400億円(2006年度試算)と巨額の投資が必要となる。

2.3.2 経済性評価

財務分析手法として、世界の多くの企業で用いられている多年度収益法(Discounted Cash Flow, 以下DCF法という)を用いた。この方法は、決められた自己資本利益率(Return on Equity, 以下ROEという)を確保しながら返済計画どおりに元金を返済したときの、プラント運転開始年から運転終了年までの各年のキャッシュフロー合計を自己資本と対比し、その差が0となるよう液化油の販売価格を求める方法である。

経済性評価の前提条件を表6に示す。プラント建設期間は4年、運転期間は25年間、プラントは年間310日稼働(55日/年メンテナンス、稼働率85%)とした。自己資本比率は25%、労務費単価、固定資産税率、法人税、長・短借入金金利などはインドネシア側から得た情報に基づいて設定した。また、原料石炭、液化生成油、プラント建設費、労務費および化学品などの物価上昇率はいずれも3.5%/年とした。

DCF法を用いて経済性を試算し、液化油の販売価格とROEの関係をプロットしたものが図5である。褐炭液化油の製造コスト(ROEが0の場合)は30~40\$/bbl程度と計算された。仮に液化油が80\$/bblで販売できたと仮定した場合、ROEは12,000トン/日プラント運転の場合40%、6,000トン/日プラント運転では35%、また、3,000トン/日の準商業機運転においては25%以上であった。液化油は水素化処理により脱窒、脱硫など、高品位化されていること、今後石油資源の枯渇化に伴い原油

表6 経済性評価の前提条件³⁾

Table 6 Summary of main conditions and assumptions for economic analysis³⁾

Items	Assumptions
Construction period	4 years
Operating period	25 years
Depreciation	20 years
Construction cost grace	4 years
Repayment for construction cost	15 years
Equity ratio	25%
Operation factor	85%
Cost for trial run	3% (vs. const. cost)
Value after depreciation	0% (vs. const. cost)
Mean annual wage	9,800 US \$ /person · year
Fixed property tax	0.1% (vs. book value)
Company income tax rate	30 (vs. dividend)
Raw coal price	24~26 \$ /t(AR basis)
Long term bank interest rate	7%
Short term bank interest rate	5%
Various price escalation	3.5%/year

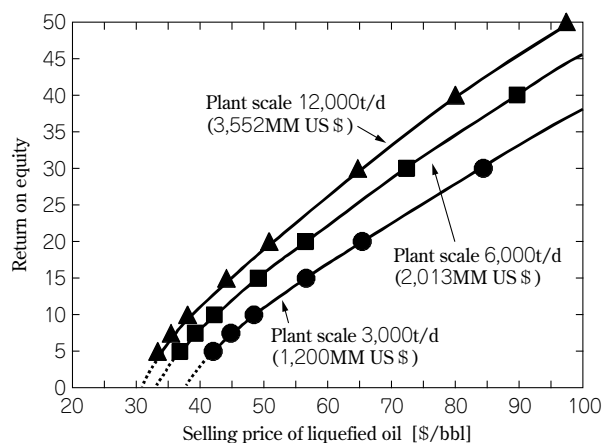


図5 液化油販売価格とROEの関係(Mulia 炭ケース)³⁾

Fig. 5 Correlation between oil selling price and ROE (Mulia Coal Case)³⁾

価格が高値安定していく可能性が高いことなどの状況から判断して、褐炭液化は収益性の高いプロジェクトとなる可能性がある。

2.4 商業化への課題と展望

石炭液化の場合、石油精製と異なりスラリーという流体を扱うため、配管での閉塞、コーキング、スケール・スラッジ堆積、機器・配管・バルブなどのエロージョンやコロージョンなどのトラブルが予測される。これらを回避するため、機器設計、材質選定、配管の形状や調節弁などの形式選定における適切な対応が求められる¹¹⁾。また、日本では50トン/日BCL-PPや150トン/日NEDOL-PPの運転研究が終了した段階にあり、商業規模(6,000トン/日)へのスケールアップは技術的には可能と考えられるが、40~120倍のスケールアップ比であることより、一号機の褐炭液化プラントは、まず3,000トン/日規模の準商業機を建設し、ここで種々の課題を解決・克服した後、同じサイトに3,000トン/日設備を追加建設して6,000トン/日規模に仕上げる方法が推奨される。また、上述したように、褐炭液化は収益性の高いプロジェクトとなる可能性がある一方で、6,000トン/日商業プラントの建設費が約2,400億円と巨額の投資が必要であることなどから民間企業が単独実施するにはリスクが大きく、政府レベルの支援が不可欠であることは言うまでもない。

3. 石炭液化要素技術の新規展開

1990年以降、褐炭液化BCLプロセスの要素技術(工程)を応用展開し、「改質褐炭(Upgraded Brown Coal, 以下UBCという)製造技術」、「超重質油水素化分解技術」、「ハイパーコール製造・利用技術」などの研究開発を進めている(図1参照)。本章ではそれぞれの技術開発の経緯と概要を紹介する。

3.1 UBC製造技術

褐炭や垂瀝青炭をはじめとする低品位炭は、水分含有量が高いため発熱量が低い。また前述のように、乾燥すると自然発火するなどの問題があることからその利用は極めて制限されている。山元での発電利用は、低品位炭の発熱量が低いため送電端効率が低く、環境に大きな負

荷を与えているといわれる。

UBC 製造技術は、こうした低品位炭を油中で脱水改質することによって発熱量および安定性を一般炭(瀝青炭)と同等レベルにまで向上させる技術である。将来、瀝青炭資源が枯渇して低品位炭の需要が高まる時代が到来するとの予測のもと、豪州褐炭液化プロジェクトの関係者が、プロジェクト終了間際に、石炭液化を通じて開発した要素技術の新規展開を模索したなかで、スラリー脱水技術から生み出されたのが UBC 製造技術であり、当社の独自技術である。

1992年に基礎研究を開始し、1996年からは豪州ビクトリア褐炭を対象とした石炭処理量0.1トン/日規模のバッチ式脱水試験装置(BSU)を用いた研究開発を進めた((財)エネルギー総合工学研究所から受託)。1999年にインドネシア褐炭を対象とした研究開発に着手、インドネシア・西ジャワ州チレボン市に建設したUBC生産量3トン/日規模のパイロットプラントの運転を通してUBCプロセスの連続運転性を実証した(2001~2004年、(財)石炭エネルギーセンター(Japan Coal Energy Center, 以下JCOALという)から受託)。現在、インドネシア・カリマンタン島サツイにUBC生産量600トン/日規模の実証プラント建設し、プロセスの確立、FS、市場調査(バルクサンプルによる燃焼試験など)を目的とした運転を行っており(2006~2009年の予定、当社がJCOAL事業に参画する体制で実施)、早ければ2010年の商業化実現を目指している。

3.2 超重質油の水素化分解技術(KOBELCO SPH プロセス)

非在来型石油資源であるオイルサンド(石油を含んだ砂岩)やオイルシェール(油母頁岩(ゆぼけつがん)とも呼ばれる油分を含んだ頁岩)は、その潜在資源量の多さと利用の技術的可能性の高さから利用が期待されている。また、既存の石油資源は重質化傾向にあり、精油所における原油の蒸留残渣の有効利用も重要な課題である。これらを処理する方法としてコーキング技術が主流となっているが、貴重な資源の有効利用の観点から水素化分解技術が期待されている。

KOBELCO SPH (Slurry Phase Hydrocracking) プロセスは、オイルサンドや原油の蒸留残渣などの超重質油を水素化分解・水素化処理して極めてクリーンな輸送用燃料を製造する技術である。原油価格の低迷により、日本の国策として開発されてきた石炭液化の実用化が極めて不透明になった1990年代、ポスト石炭液化技術として原料を石炭から超重質油に転換して開発されたものである。

1990年代半ば、関連石油会社より原油の蒸留残渣などの重質油を入手して基礎研究を開始した。1999年度より2年間、ブラジル・マリム原油の減圧蒸留残渣(VR)を対象とした研究開発(NEDO事業)を実施した。以降、カナダ・Syncrude社や石油会社との共同研究においてバッチ式オートクレーブや連続反応装置(BSU, 図3参照)を用いた運転を実施し、SPHプロセスを確立するにいった¹²⁾。SPHプロセスは以下の特長を有する。

- ・水素化分解工程の触媒原料として安価で高活性な天然水酸化鉄系鉄鉱石を使用。
- ・高活性な触媒の使用とボトムリサイクル運転などにより、他の既存あるいは開発中のプロセスに比べて低圧力で高オイル収率を獲得することが可能。
- ・プロセス系内の熱、圧力エネルギーを利用した水素化処理工程により、効率的にクリーンな液体燃料を製造することが可能。

最近の原油価格高騰のあおりを受け、カナダのオイルサンドをはじめとする超重質油の改質技術が再び注目されるなか、商業化を目指して研究開発を推進している。

3.3 ハイパーコール製造・利用技術

石炭を溶剤中で加熱抽出(石炭の一部が溶解)して可溶分と不溶分を固液分離し、可溶分から溶剤を除去して得られる無灰炭をハイパーコールと称している。

石炭消費量の増加に伴って増加する石炭灰(無機質)は、石炭を利用する上での大きな障害である。セメント産業による石炭灰の受入能力は飽和状態に近づいており、灰処理問題が顕在化してくると予想されるなか、灰分の低減技術、とりわけ灰のない石炭が待ち望まれていた。

石炭の一部が有機溶剤に溶解することは以前から知られていたが、この技術を工業レベルにまで高め、さらにハイパーコールをガスタービンで直接燃焼させて発電効率を飛躍的に高めることを目的とする「ハイパーコール利用高効率燃焼技術開発」をNEDOが2002年よりスタートさせた。石炭液化の溶剤脱灰技術が適用できることから当社がこれに参画、高砂液化センター内に石炭処理量0.1トン/日の連続反応設備(BSU)を建設・運転して2007年にハイパーコールの製造技術を確立するにいった¹³⁾。

一方、研究開発の過程においてハイパーコールは良好な軟化溶解性を発現することを発見し¹⁴⁾、燃焼用途のみならず、高強度コークス製造のためのバインダや高機能炭材の原料などの幅広い用途が期待できることがわかった。コークス製造用バインダへの適用に関しては関西熱化学(株)との共同研究を実施するとともに、NEDOのCOURSE50事業(「環境調和型製鉄プロセス技術開発」、2008年~)に参画、高機能炭材への適用に関しても関連会社との共同研究を実施し、それぞれの実用化を検討中である。

むすび＝石炭、石油などの炭化水素資源をほとんど有しない我が国にとって、エネルギーの安定確保は重要な課題である。比較的豊富な埋蔵量を有する石炭資源ですら良質な資源には限りがあり、その可採年数は227年(1999年予測)から133年(2007年予測)へ8年間で94年も減少し¹⁵⁾、低品位炭資源の利用へと移行している。当社は、1970年代より褐炭液化の技術開発に着手して以来、40年近くにわたって研究開発を継続的に実施してきた。そのなかで、UBCをはじめとする低品位炭の有効利用技術や、超重質油水素化分解、ハイパーコールのような資源の高付加価値化に関連する技術開発を展開している。

このような技術を実用化させることによって、我が国におけるエネルギーの安定供給に貢献するとともに、海外におけるクリーン・コール・テクノロジー（石炭を効率的に利用する技術の総称）の普及を進めて国際貢献にも努めていく所存である。

参 考 文 献

- 1) 嶋崎勝典ほか：日本エネルギー学会誌，Vol.78, No.10(1999)，pp.807-826.
- 2) 創立100周年記念事業実行委員会編：神戸製鋼100年，(2006)，p.64，神戸製鋼所．
- 3) 三浦孝一監修：石炭利用の最新技術と展望，(2009)，pp.219-232，シーエムシー出版．
- 4) NEDO：平成13年度成果報告書，石炭液化技術に関する研究協力，(2001)．
- 5) NEDO：平成14年度成果報告書，低品位炭液化技術開発に関する研究協力，(2002)．
- 6) NEDO：平成14年度成果報告書，低品位炭液化技術開発に関する研究協力，(2002)，p.14.
- 7) NEDO：平成14年度成果報告書，低品位炭液化技術開発に関する研究協力，(2002)，p.30.
- 8) NEDO：平成14年度成果報告書，低品位炭液化技術開発に関する研究協力，(2002)，p.28.
- 9) NEDO：事後評価報告書，石炭液化技術開発 液化基盤技術の開発（アップグレーディング等技術），(2003)，pp.2-14.
- 10) 日本機械輸出組合：2006年PCI/LF(プラントコストインデックス/ロケーションファクター) 報告書，(2006)，p.1
- 11) NEDO：平成18年度成果報告書，インドネシアにおける褐炭液化技術普及のための課題に関する調査，(2006)．
- 12) T. Okui et al.：Proceedings of International Symposium on Utilization of Super-Heavy Hydrocarbon Resources，(2000)，pp.21-27.
- 13) NEDO：平成19年度成果報告書，石炭利用次世代技術開発調査 ハイパーコール利用高効率燃焼技術の開発，(2007)．
- 14) 奥山憲幸ほか：鉄と鋼，Vol.92 (2006)，p.109.
- 15) 石炭エネルギーセンター：石炭の開発と利用のしおり，(2009)，p.3.