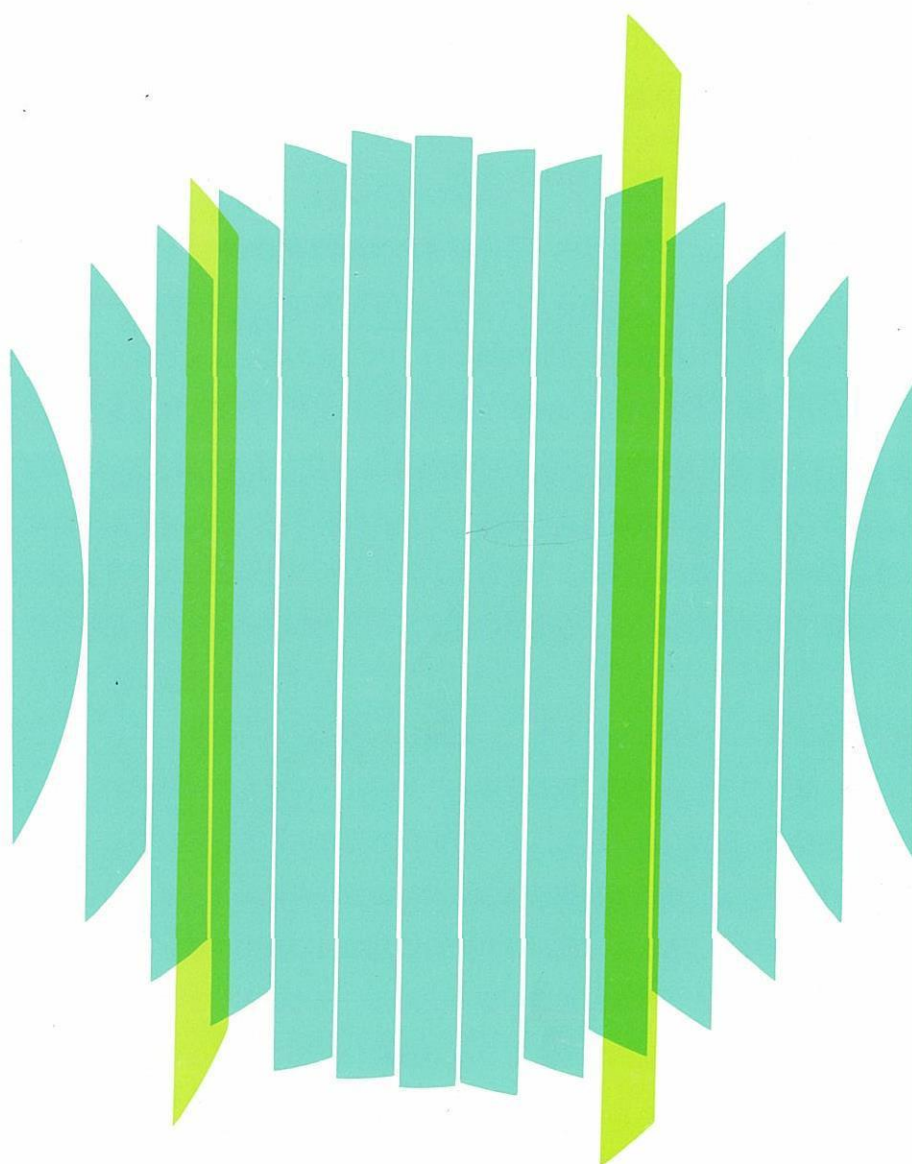


季報 エネルギー総合工学

Vol. 7 No. 4 1985. 1.



財団法人 エネルギー総合工学研究所
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

目 次

技術開発と国際協力.....	理事・東京電力株副社長 堀 一 郎.....	1
液体金属冷却高速増殖炉(L M F B R)開発の現状とコスト低減対策		
<“F B R 大型炉開発国際シンポジウム”の概要報告>.....	谷 口 武 俊.....	2
合成ガスより炭化水素合成法の技術進歩の動向		
.....	東京大学名誉教授 功 刀 泰 碩.....	15
ソ連のエネルギー事情と原子力利用のバックエンド	理事長 山 本 寛.....	29
研究所のうごき		37
第7巻通巻目次		39

技術開発と国際協力

理事・東京電力株副社長

堀 一郎

本研究所の主催で、昨（1984年）秋11月東京で「F B R大型炉開発国際シンポジウム」が開催された。世界的にみて原子力の開発がやや低調の傾向にある時にも拘らず、欧米日各国から代表的専門家が340名も参加し、内容も充実し、盛会であった。

本企画に参画した一人として感想を一、二述べてみたい。今日のわが国の経済発展は技術開発に負うところが大きいが、いづれの分野でも概ね外国の導入技術が主体となっている。電力に関しても高効率火力、軽水炉等同様であるが、F B Rの開発は準国際燃料であるプルトニウムの有効活用をはかる点で極めて重要であるため、当初より自主開発を建前として進められた。各国とも建設費が著しく嵩むところから、国際的技術協力を強化してコスト低減に努力する趨勢にある。また一方、各国とも政府が援助する研究開発の成果を逐次商業化するため、民間に有効円滑に技術移転することが問題となっている。

欧州では、昨年1月仏、西独、伊、ベルギー、オランダ、英の六カ国で政府間協定を結び、この20年間は大型炉3基程度を共同で建設、運転し、その実績を見ようとしている。米国は不況で電力会社が弱体であり、政府も議会対策、国民感情緩和の意味から、暫くF B R大型炉の計画は基礎的研究調査に留め、より市場性のある中小型のモジュラー型を開発し、設計の合理化を指向しようとしている。日本は欧米より離れて孤立している処から、直接共同建設に参加することは難しいので、民間主体で米、仏、西独等と二国間の協定により技術情報の交換から進めようとしている。

国情が異なり、技術レベルに差異があり、政府間の協定、民間相互の協力、政府と民間の協調等の問題を抱えて、今後わが国は国際協力に如何に対処すべきか、官民一体となって真剣に検討すべき時期にあると思う。（ほり いちろう）

液体金属冷却高速増殖炉(LMFBR) 開発の現状とコスト低減対策

＜“FBR大型炉開発国際シンポジウム”の概要報告＞

谷 口 武 俊

序

FBR(高速増殖炉)について、その将来を展望するとともに、実用化へ向けての主要課題と考えられているコスト低減戦略を中心とした情報交換、討論のため、“IAE International Symposium on LMFBR Development”(FBR大型炉開発国際シンポジウム)が昨1984年11月6日から9日までの4日間(ただし、第4日目はテクニカル・ビジット)東京の如水会館で開催された。

本シンポジウムは、通商産業省など関係官庁、電気事業者、原子力プラント・メーカー、研究開発機関等の御指導、御協力を得て、当研究所が主催したものである。シンポジウムには海外から40数名、国内から約300名の専門家、関係者が参加し、海外22名、国内13名のスピーカー、パネリストによる発表、討論が活潑に行なわれ、原子力開発分野でのわが国の国際協力にいささかの貢献をしたのではないと思われる。

シンポジウムは、山本寛(当研究所所長)及び松田泰(資源エネルギー庁審議官)両氏のオープニング・アドレスにより始まった。

続く、飯田孝三(関西電力(株)副社長)及び永根五郎(動力炉・核燃料開発事業団副理事長)両氏の司会によるセッション1“FBRへの期待と展望”では、本シンポジウムの組織委員会委員長である堀一郎(電気事業連合会FBR推進会議議長)、Dr. Vendryes(フランス原子力庁長官特別補佐官・代表理事)並びにMr. J. W. Vaughan(米国エネルギー省原子力担当次官補代行)の3氏による、日本、ヨーロッパ、米国それぞれの国におけるFBR開発に関する現状報告並びに将来展望の発表が行なわれた。

初日(11月6日)の午後から2日目にかけては、次の三つのセッションが開かれ、各国のコスト低減戦略が発表された。すなわち、セッション2では“ヨーロッパにおけるコスト低減戦略”(司会:石橋周一九州電力(株)副社長)を、セッション3では、“米国におけるコスト低減戦略”(司会:林政義中部電力(株)副社長)を、セッション4では、“日本におけるコスト低減戦略”(司会:近藤駿介東京大学教授)をとりあげ、それぞれにおいて電気事業者、原子力プラント・メーカー、研究開発機関の代表者により各国のコスト低減戦略が述べられ、活潑な討論がくりひろげ

られた。

続く3日目(11月8日)には、FBRのコスト低減戦略にかかわる主要技術課題を、次の四つのセッションに分けてとりあげた。セッション5「耐震設計」(司会：飯田庸太郎三菱重工(株)副社長)、セッション6「高温構造設計」(司会：青井舒一(株)東芝副社長)が午前中に併行して開かれ、午後から、セッション7「安全設計基準」(司会：西政隆(株)日立製作所副社長)、セッション8「燃料加工と再処理」(司会：三島良績東京大学名誉教授)が、いずれもパネル討論の形式で、日欧米の代表パネリストにより発表、討論が行なわれた。そして、当日の最後のクロージング・セッション(司会：近藤駿介東京大学教授)において、中川弘氏(電気事業連合会FBR開発準備室)がこのシンポジウムのレビューを行ない、3日間の発表、討論を盛会裡に終了した。(表一1参照)

4日目(11月9日)には、シンポジウム参加者のうち希望者によるテクニカル・ビジットが行なわれた。そのコースは、三菱重工(株)の高砂研究所、(株)日立製作所の日立工場及びエネルギー研究所、(株)東芝の原子力技術研究所、動燃事業団の大洗工学センター、電力中央研究所の我孫子事業所及び土木研究所の5コースであった。さらに11月12日に動燃事業団の原型炉「もんじゅ」の建設サイト(敦賀)の見学も実施された。

以下、シンポジウムでの講演を中心に、日欧米におけるFBR実証炉開発の現状とコスト低減策を簡単にレビューする。なお、紙面の都合と内容が専門にわたりすぎることを考えて、3日目にとりあげた「主要技術課題」については割愛させていただくことをご了承

願いたい。

1. わが国における高速炉の開発

わが国のFBRの開発は、1967年10月に開発体制の中核として動力炉・核燃料開発事業団(以下動燃事業団と略す)が設立され、スタートした。その後、動燃事業団において高速実験炉「常陽」(1977年臨界)の建設、同炉々心の燃料材料照射試験用炉心MK-IIへの移行(1982年)等、種々のR&Dが実施されており、さらに1983年には原型炉「もんじゅ」が、その安全審査をパスして、現在、1990年頃臨界を目標に建設工事が進められている。

ところで、わが国のFBR開発の基本的考え方は、1982年6月原子力委員会策定の「原子力開発利用長期計画」の中で次のように述べられている。「高速増殖炉は発電しながら消費した以上の核燃料を生成する画期的なものであり、ウラン資源を最大限に利用しうるので、核燃料の資源問題を基本的に解決でき、将来の原子力発電の主流となるものと考えられている。高速増殖炉としては、ウランとプルトニウムの混合酸化物燃料を用いるナトリウム冷却型炉を対象としており、実用化のための信頼性、経済性等の確立には、なお一層の開発努力を要する。しかし、エネルギーセキュリティ上の意義に鑑み、出来るだけ早期に実用化されるべきであり、2010年頃の実用化を目標に開発を進めることとする。」

この基本方針に従い、原型炉「もんじゅ」に続く今後の実証炉開発については、上記長計において、国の支援のもとに電気事業者が積極的役割を果たすことが期待されており、こ

表-1 シンポジウムのプログラム

第1日 (11月6日(火))			第2日 (11月7日(水))		
挨拶 9:15~9:30	山本 寛 勲エネルギー総合工学研究所理事長 松田 泰 通商産業省資源エネルギー庁審議官		セッション3 9:00 }	コスト低減戦略(アメリカ)	司会者：林 政義(中部電力)
	セッション1 9:30 }	司会者：飯田 孝三(関西電力) 永根 五郎(動燃)			3-1 DOEプログラムにおけるコスト低減戦略 Dr. L. Wilcox (DOE)
		1-1 日本における大型FBR開発の展望 堀 一郎(FBR推進会議) ＜コーヒーブレイク＞ 1-2 FBRへの期待と展望 — ヨーロッパ — Dr. G. Vendryes (CEA、フランス) 1-3 新型炉への期待と展望 — アメリカ — Mr. J. Vaughan (DOE)			3-2 液体金属冷却炉(LMFBR)のコスト低減戦略に対する米国電力の考え方 Dr. D. C. Gibbs (COMO) ＜コーヒーブレイク＞ 3-3 LMFBRコスト低減へのアプローチ Dr. W. H. Arnold (WH) 3-4 液体金属冷却原子力プラントの経済性実現について Dr. J. S. Armijo (GE) 3-5 大型液体金属タンク型プラントのコスト低減に関する設計改良 Mr. G. W. Meyers (RI)
セッション2 14:00 }	セッション2 14:00 }	司会者：石橋 周一(九州電力)	セッション4 14:00 }	コスト低減戦略(日本)	司会者：安 成弘(東大) *
		2-1 FBRのコスト低減に関する欧州電気事業者の見解 Mr. B. Saitcevsy (EDF、フランス) 2-2 SNR-2に選定されたコスト低減戦略 Dr. A. W. Eitz (RWE、西ドイツ) ＜コーヒーブレイク＞ 2-3 コスト低減に関する欧州製造者の見解 A 商業化の目標 Mr. R. D. Vaughan (NNC、イギリス) B 建設・運転経験 Mr. J. Villeneuve (Novatome、フランス) C 経験から導出されたコスト低減のための教訓 Mr. Brandstetter (INTERATOM、西ドイツ) 2-4 コスト低減のためのR&D活動 Mr. A. D. Evans (UKAEA、イギリス)			4-1 我が国の実証炉開発におけるコスト低減化戦略 小島 孝(電事連) 4-2 経済性向上をめざしたタンク型FBRの概念 吉島 重和(東芝) 4-3 タンク型FBRにおけるコスト低減化実現へのアプローチ 寺沢 昌一(日立) 4-4 高速増殖炉プラントのコスト低減方策 青木 一郎(三菱重工) ＜コーヒーブレイク＞ 4-5 コストダウンへの視点と電研の活動 服部 禎男(電研) 4-6 コスト低減のためのR&D活動 望月 恵一(動燃)
	レセプション 18:30~20:30	パレスホテル ローズルーム			

(注) *) 都合により近藤駿介東京大学教授が代行

第3日 (11月8日(木))		
セッション5 9:00 ～ 10:45	耐震設計 (パネル)	オリオンルーム 司会者：飯田庸太郎(三菱重工) パネリスト ヨーロッパの原子炉における耐震設計のキーポイント Dr. G. Cicognani (ENEA、イタリア) 日本における耐震設計の活動と観点 櫻井 彰雄(電研) 進んだ耐震設計によるコスト低減 Mr. L. K. Severud (HEDL、アメリカ) ＜コーヒープレイク＞
セッション6 9:00 ～ 10:45	高温構造設計 (パネル)	スターホール 司会者：青井 舒一(東芝) パネリスト 高速増殖炉の高温構造設計における重要技術課題 Dr. J. Corum (ORNL、アメリカ) 高温構造設計に関するヨーロッパの活動と観点 Dr. K. Vinzens (INTERATOM、西ドイツ) LMFBRの高温構造設計に関する日本の活動と観点 岡林 邦夫(動燃) ＜コーヒープレイク＞
セッション7 11:15 ～ 13:00	安全設計基準 (パネル)	司会者：西 政隆(日立) パネリスト ヨーロッパの商用規模高速増殖炉の安全設計基準における主要問題 Dr. Heusener (KFK、西ドイツ) 主要技術課題に対するアメリカの見解と活動状況 Dr. J. F. Marchaterre (ANL、アメリカ) 安全基準の合理化とシビアアクシデントの防止 佐治 憲(高速炉エンジニアリング)
セッション8 15:00 ～ 16:45	燃料加工と再処理 (パネル)	司会者：三島 良績(東大) パネリスト ヨーロッパにおけるFBR再処理活動の現状 Mr. R. H. Allardice (UKAEA、イギリス) ヨーロッパにおけるFBR燃料サイクルに関する今後のプログラムに対する展望 Mr. R. Lallement (CEA、フランス) 動燃事業団におけるFBR燃料サイクル技術開発の現状について 植松 邦彦(動燃) 主要技術課題に対するアメリカの見解と活動状況 Dr. W. D. Burch (ORNL、アメリカ)
クロージング 16:45～17:00		近藤 駿介(東大) 中川 弘(電事連)

れを受けて1980年6月電気事業連合会の中に

「高速増殖炉開発推進会議」、さらに実施組織として「高速増殖炉開発準備室(以下FPOと略す)」が設置され、実証炉概念設計研究が1981年より開始されている。

我が国における実証炉の設計研究は、1966年原研で行なわれたものを最初に、それ以後動燃事業団、1981年からは電力による電気出力100万kWのループ型炉設計がFPOにより実施されてきた。1984年4月からの3年間を目的に、電力、メーカーによるループ型、タンク型炉について徹底した合理化を目指し、軽水炉と競合しうる炉設計の開発が開始されている。図-1にわが国のFBR開発スケジュールを示す。スケジュールは前述の設計検討結果を基に電気事業としての炉型選定を1987年に行ない、その後基本設計、詳細設計と進め、1990年中頃に着工、2000年少し過ぎに臨界を予定している。図-2にわが国のFBR開発体制を示す。現在の実証炉概念設計は、電気出力100万kWで、経済性目標を軽水炉の建設費の1.5倍以下、安全性、信頼性、運転保守性については軽水炉並みとしたプラントを対象とし、国内メーカーを2グループに分け、各々ループ型、タンク型炉につき、電力会社とプラントメーカーの協力によって進められている。更に、各グループとも担当の炉型外のものについても、自社研究を実施しており、それらをまとめ炉型比較評価用資料の作成を実施することとしている。なお、図-2でも見られるように、電気事業連合会と動燃事業団との間に『FBR連絡協議会』、電力中央研究所との間に『FBR研究連絡会』が設置されている。

FBR核燃料サイクルの確立についても、

FBRプラントと同様、ウラン資源の有効利用を図り、自立性の高い原子力発電体系を構築する上で重要であるため、早期実用化を目指した開発が望まれている。燃料加工については、動燃事業団において将来施設の拡張により実証炉用に対処可能な原型炉用の加工施設を建設中であり、再処理についても、これまでの各種研究開発成果を基にした再処理試験施設の基本設計に1985年頃より着手、1995年頃運開を目標とし、従来通り動燃事業団を中心として開発が実施される予定である。

国際協力については、国内の自主開発を補完し、整合のとれたものにするという国の方針に従い、これまで、国、動燃事業団が中心となって進めてきたものに加え、1984年より電力業界独自の国際協力として、2国間での情報交換が開始された。その1つは、1984年1月、フランス電力庁(EDF)と電気事業連合会との間でのもので第1回の会合(パリ)が開催された。また、1983年12月にEPRI(米国の電力研究所)とFPO間で情報交換に関する覚書が締結され、1984年5月東京において第1回会合がもたれた。

我が国の国際協力への参加は、地理的に欧米から遠く離れているため、欧州のような実証炉の共同建設への参加は困難であると考えられるため、前述した様な情報交換を中心としたもので進めるという考え方である。このように国内の自主技術を中心とした開発に加え、自主開発路線を損わず、これを補完して実用化を効率的に早めるというのが我が国の国際協力に関する方針である。

2. 欧州における高速炉の開発

西欧諸国のエネルギー資源にかかわる状況は、我が国と非常に似ている。欧州ではこれらの状況に鑑み、1950年代から30年間にわたりFBR開発が行なわれている。まず最初に欧州各国におけるFBR開発状況を簡単に述べる。

2.1 フランス

フランスでは1974年に原型炉Phenixが完成以来、30億kWhの発電量、65%の稼働率を記録し、最大燃焼度も9~10万MW D/tonを達成しており、プール型FBRのフィジビリティ及び運転の容易さが確認された。1977年からは実証炉 Super-Phenix-1(以下、SPX-1と略す)の建設を開始した。現在、建設及びNa注入が完了し、臨界前の試験実施中で1985年末に電力系統に連けい予定となっている。それに続くSPX-2(150万kWe)は1983年フランスの安全当局より出された安全基準に従い、詳細設計の段階にある。これは、SPX-1の1年間の運転状況をみて、発注、立地点承認が予定されている。SPXは国際共同プロジェクトとして建設されており、発注者はNERSA(EDF 51%, ENEL 33%, SBK¹⁾ 16%の共同出資会社)で、各々の出資に応じて電力を引き取ることになっている。建設受注者としてはNSSS²⁾部をNOVATOME-NIRAが、BOP部³⁾は直接NERSAが受けている。

(注) 1) SBKの株主構成: RWE(西独)68.85%, Electromenuclaire(ベルギー)14.75%, SEP(オランダ)14.75%, CEB(英国)1.65%

2) Nuclear Steam Supply Systemの略、原子炉蒸気供給系で、原子力発電施設の主要部分を構成する。

3) Ballance of Plantの略、原子力発電施設のNSSS部分を除いた残りの部分

FISCAL YEAR	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
EXPERIMENTAL PLANT	START OF CONSTRUCTION JOYO		INITIAL CRITICALITY Apr. 1977						
PROTOTYPE PLANT			START OF PREPARATORY WORK	EXCAVATION OF FOUNDATION MONJU		FIRST CRITICALITY			
DEMONSTRATION PLANT			CONCEPTUAL DESIGN - I	CONCEPTUAL DESIGN - II	REACTOR TYPE SPEC. AND EVALUATION	SYSTEM AND DETAIL DESIGN	CONSTRUCTION WORK AND OPERATION		

図-1 わが国の高速炉開発計画

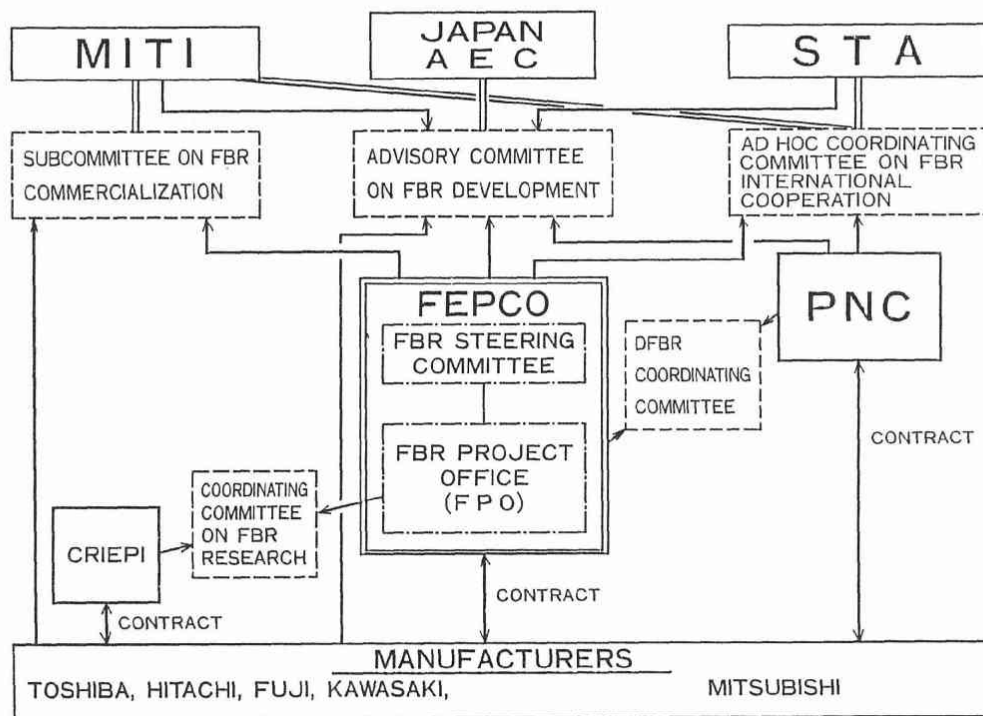


図-2 わが国の高速炉開発体制

(FEPCO:電気事業連合会, PNC:動燃事業団,
CRIEPI:(財)電力中央研究所)

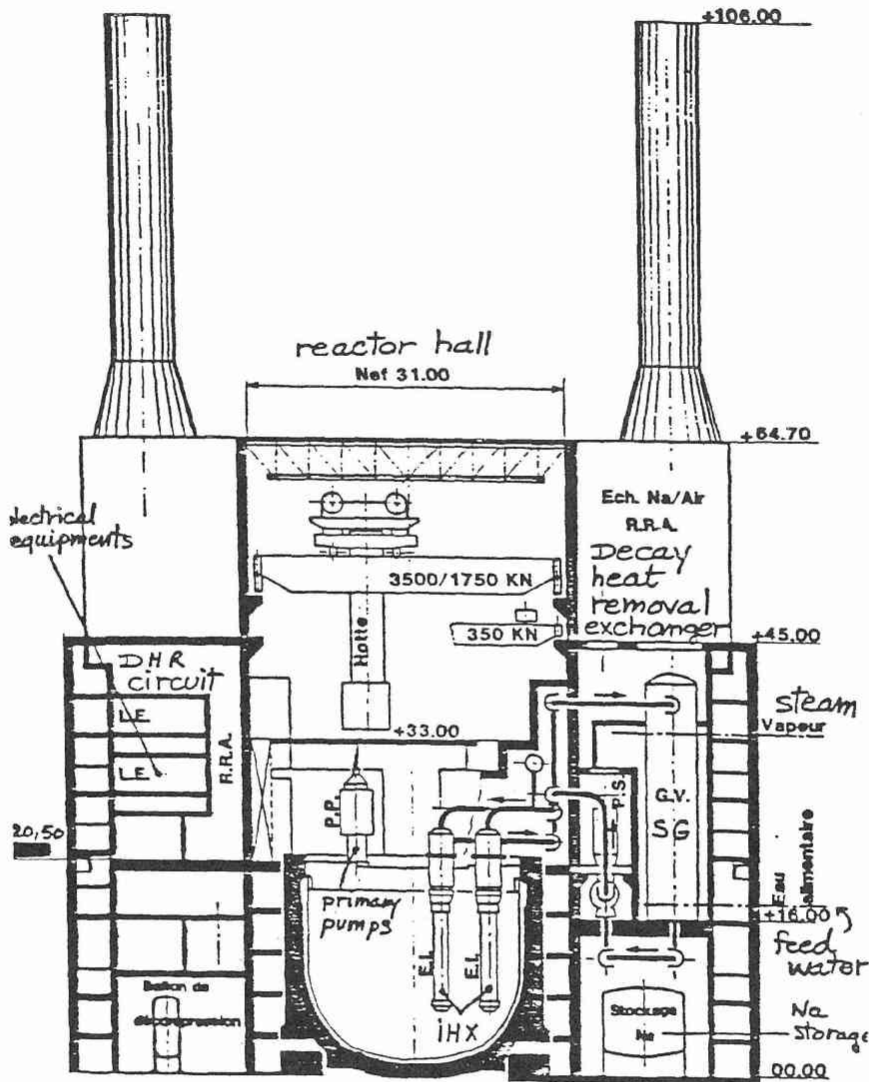


図-3 Super Phenix-2 炉建屋の断面図

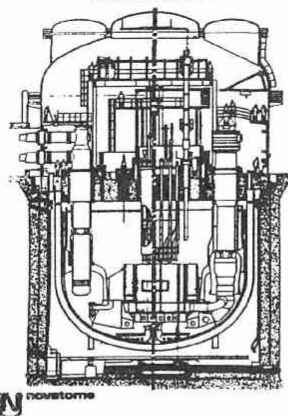
図-3にSPX-2の断面図を、図-4にはSPX-1とSPX-2の比較図を示す。

SPX-2の設計では、Phenix および SPX-1での経験を反映させ、大きなコスト低減策が行なわれている。例えば、主系統の内部構造の新構成、配管長、配管まわりやスペースの節約、より低いレベルに2次系ポンプを配置する新システム、原子炉主容器上部のドームの削除、炉外貯蔵槽の削除があげら

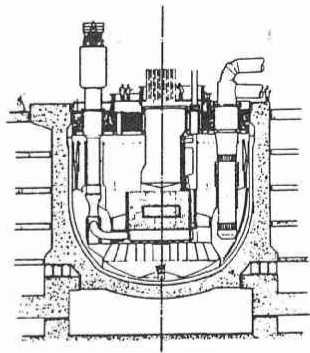
れる。これらの変更により、SPX-1に較べてSPX-2は20%の出力上昇と20%の物量削減が可能になったとされる。前述のコスト低減策をサポートする安全設計基準は、十分均衡のとれた安全性を達成するという点を基本とし、LMFBRに固有の特性により信頼を置く方針としている。この例としては仮想的炉心破壊事故(HCDA)を設計基準事故(DBA)から除くとか静的方法で機能す

REACTOR BLOCK

SUPERPHENIX 1

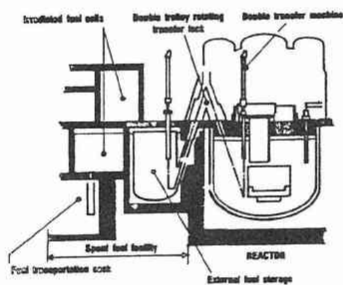


SUPERPHENIX 2

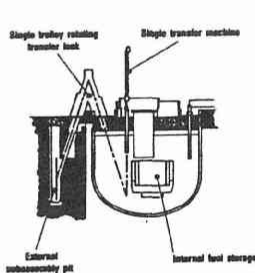


FUEL HANDLING EQUIPMENT

SUPERPHENIX 1

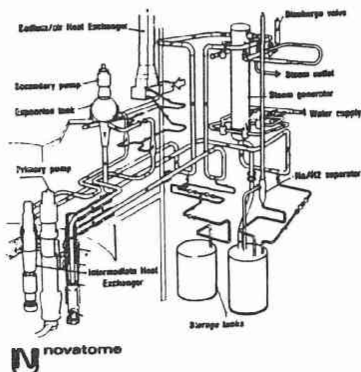


SUPERPHENIX 2



INTERMEDIATE LOOPS

SUPERPHENIX 1



SUPERPHENIX 2

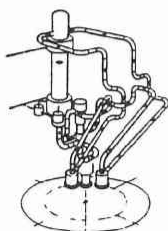


図-4 Super Phenix-1と2との比較

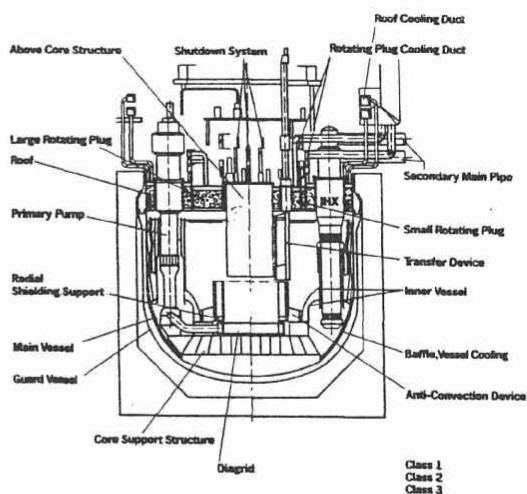
る非常用崩壊熱除去系の採用が挙げられる。

2.2 西 独

西独は、現在、ベルギー、オランダ三国共同でS N R-300を建設している。この炉の建設は、西独の多段階許認可システム、反核運動、環境保護運動によりスケジュールに大きな遅れが生じた。次の実証炉S N R-2 (150万kW) は仏E D F、イタリアE N E Lも含む国際共同プロジェクトとしてR W E 社が中心となり設計が行なわれている。

図-5にS N R-2の断面図を示す。

S N R-2の炉型については、ループ、プールの両タイプの間に技術、安全、コスト上に著しい差はないが、S P Xの建設、運転経験を最大限生かせるという観点からプール型にしたとしている。S N R-2で採用された安全概念は、S P X-2でのものと同様で、これによりプラントの簡素化が図られた。例としてはガードベッセルの削除、非常用ディーゼル発電機の削除、安全系統数の低減があげられる。S N R-2の経済性目標は、同規模の最新P W Rのコストとはほぼ同程度であるが、



**SNR-2
Reactor Block;
Classification of Structures**

図-5 SNR-2の炉断面図

このようなコスト低減策によりその達成は可能であるという見解を示している。

2.3 英 国

イギリスの開発状況をみると、ドンレイ高速実験炉に続き、1974年に原型炉PFRを臨界にしている。しかし、その後同国のエネルギー政策によりFBR開発はスローダウンさせることになり、欧州との共同開発路線に乗ることとなった。1984年1月に欧州5カ国（仏、伊、西独、ベルギー、英）の政府間協力の覚書に調印し、SPX-2への出資を表明した。英国はこれまで蓄積してきた技術の分散を防止するとともに、世界の技術進歩に遅れをとらないよう、できるだけ海外の大型炉開発に協力し、PFR建設経験を基にSPX-2以上の合理化を目標としたCDFR（130万kW_e）の設計研究を進めている。

2.4 欧州に共通する見解

以上のように、欧州には商用化一歩手前のサイズのプラントの建設経験（Phenix, PFR, SNR-300, PEC）や運転経験（Phenix, PFR）等の広い基盤が既に存在している。欧州の大手電気事業者（英、CEGB、仏、EDF、伊、ENEL、西独、RWE）は次のような共通見解を持っている。それは、FBRコスト低減は発電コスト要素（投資、運転、燃料サイクル）全般にわたらなければ

ならず、これらは実規模プラントの建設、運転経験に基づくものでなければならない、ということである。また、欧州のより経済的なFBR概念は単一モデルを段階的に技術革新を図ることから生み出されるものとしており、この技術革新は5～7年毎の商業規模プラントの建設・運転を経て図られるものとしている。

したがって、R&D計画も当面のプラントの要求事項に高いプライオリティを与えるけれども、より長期の課題についてもかなりの力を注ぐとの考えである。コスト低減の可能性はあらゆる分野で検討されるが、特に発電所の長寿命化と高いプラント稼働率達成へのR&Dに重点がおかれる予定である。これらは当然共に資本費及び燃料サイクルコスト低減に大きな効果をもたらすだろう。

3. 米国における高速炉の開発

米国はFBR開発に最も長い経験を有しているが、エネルギー資源が豊富であるという国情と現在までの原子炉運転経験、そして、原型炉C R B Rの1983年建設中止をふまえ、バランスのとれた混合エネルギー供給システム達成を目指し、商用炉開発プログラムを再構築中である。

この新しいプログラムは将来の予見し難いニーズに応える多様な技術の開発、規制手続の変更、核不拡散、国際的な原子燃料・サービス・機器の供給者の地位の維持などを前提とし、安全、建設、経済性および運転保守の諸観点から見て魅力的な新型炉の概念を構築

するための技術開発を意図するものである。

最近、米国では電力需要の伸び悩みや、米国の平均的電力会社は比較的小規模であること、また小容量プラントは短期工程で建設が可能であるなどの理由で、小型モジュラー炉に関心が集まっている。

以下に米国のFBR実証炉設計研究例を紹介する

1) ウェスチングハウス (WH) 社

WH社はLow Cost Plant設計案として図-6に示すものを提案している。コスト低減策としては、革新的な格納設計、Na-水反応システムの除去、燃料交換機、回転プラグ設計改善、上部機構の簡素化、機器間の新しい配管引き廻しがある。さらに建設スケジュー

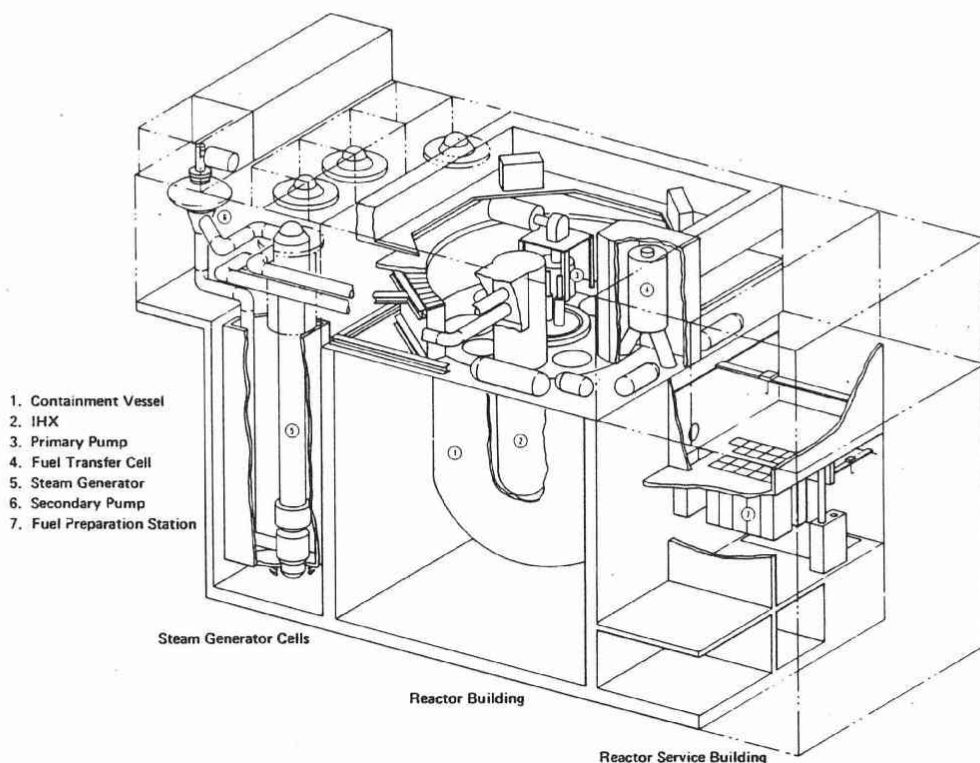


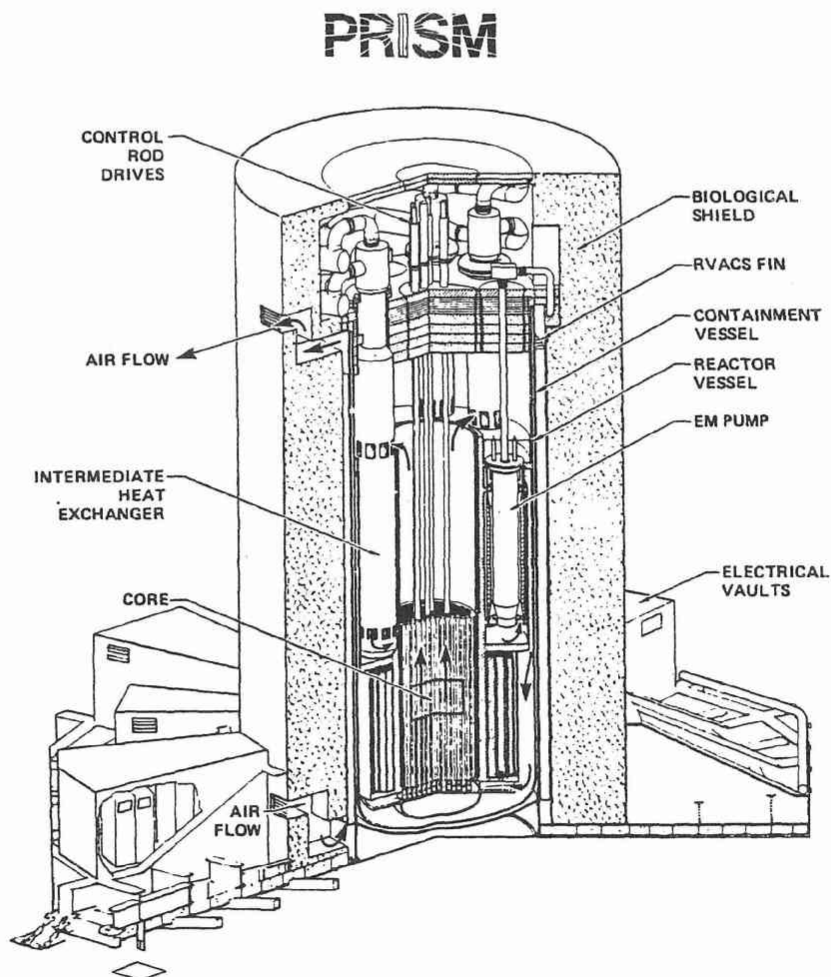
図-6 WH社提案のモジュラー型高速炉

ールを予測できれば、資本費予測はより確かとなり、加えて建設期間短縮が可能になれば、絶対的コストは減るという観点から、最大限に工場組立式のモジュール化を提案している。また安全性の面では、炉停止を保証する炉心フィードバック機構の設計、熱除去を保証する自然対流システムの向上という静的設計を取り入れ、許認可前打合せを行ない、許認可済生産を考えている。また、同一サイトで燃料の製造、再処理等の一環したサイクルを完成していることも著しい特徴としてあげられ

る。これは核不拡散への配慮も高めたものである。

2) ゼネラル・エレクトリック (GE) 社—PRISM

次にGE社では、かつてはスケールメリットを追求した経済性のある大型炉(100~135万kW)の実現を目指し、革新的考え方を導入したが、まだ経済的に不十分であるという点から、現在では、多量生産で小型かつ標準化された原子炉熱供給モジュール(PRISMと称する)の評価が実施されている。図一



図一 7 GE社提案のモジュール型高速炉(PRISM)

7に示したPRISMの1モジュールは約13万kWeで、このモジュールを組合せることにより必要な発電所が可能となる。モジュールのサイズは小型プラントの持つ本質的な安全性を生かせるように選定されている。静的な自己炉停止性と静的崩壊熱除去系によりコスト低減が図られ、またBOPを原子炉施設の範囲外にできることによるコスト低減も可能となっている。また、WH社と同様工場での製作範囲が広がることにより建設現場でのコスト低減ができ、モジュールであるため、輸送、交換、廃炉についても有利となっている。

3) ロックウェル・インターナショナル(RI)社
最後に、RI社ではコスト競争力があり、固有の安全性を有する大型タンク型プラント(135万kWe)の設計を行なっている。(図-8参照)設計としては、建屋構築物の

効果的配置、ルーフハッチ採用による格納建屋のコンパクト化、IHX(中間熱交換器)とSG(蒸気発生器)の近接配置、設備機器の共用化等により、コンクリートと鉄鋼構造物の物量を同規模軽水炉より30%減少させている。

ま と め

以上、本シンポジウムで発表された高速炉開発の現状と将来展望について概説した。このシンポジウムを通じ、世界各国が21世紀実用化へのkey pointとして、コスト低減について非常に積極的に挑戦していることが感じられた。各国ともこれまでの建設、運転経験をフルに活かしつつ、革新的アイデアと新技術開発成果を導入し、徹底的合理化設計の研究開発を進めている。さらに、FBR実用

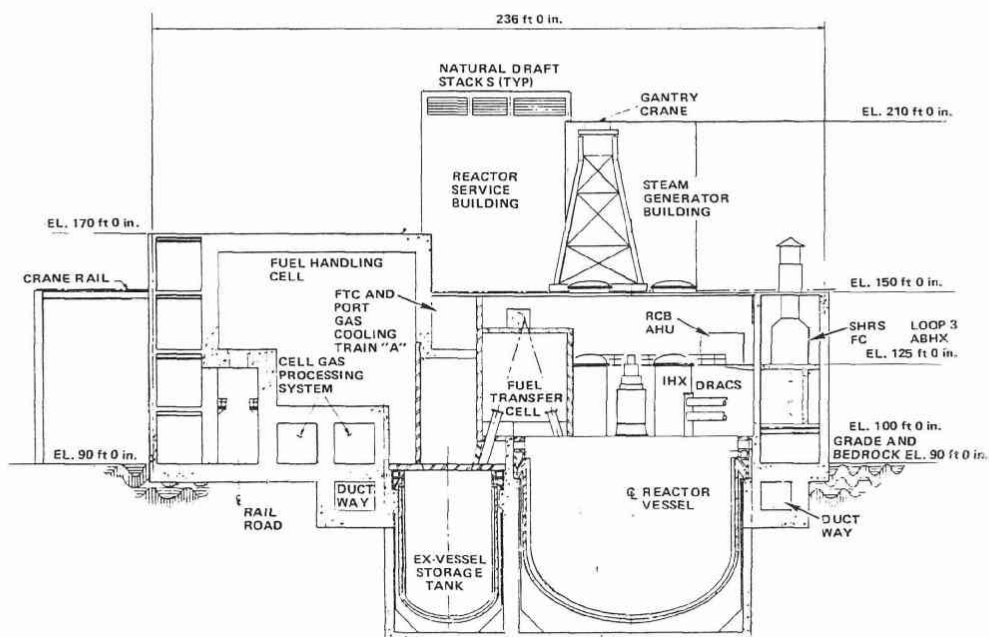


図-8 RI社提案の大型高速炉断面図

化の研究開発には莫大な投資を必要とするので、国際協力の必要性が改めて強調された。

本（1985年）年はフランスの商業規模炉S P X-1の運開をひかえており、F B R開発に携っている人たちにとっては、記念すべき年となるであろう。さらに、わが国においても、電力業界を中心に民間一体による開発2年目にあたり、なお一層重要な年となるであろう。

最後に、本シンポジウム開催にあたり、ご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表したい。それとともに本シンポジウムが世界のF B R開発への一助となることを願いつつ筆をおく。（研究員 たにぐち たけとし）

（注）本シンポジウムの「プロシーディングス」は、目下作成中であり、シンポジウム参加者以外の方で、ご関心をおもちの向きは、当研究所に問合せられたい。

合成ガスより炭化水素合成法の 技術進歩の動向

東京大学名誉教授 功 刀 泰 碩

1. 緒 言

石油のだぶつきはかなり長期にわたると予想されるので、石油代替燃料の技術開発は国によって政策に大きな違いが出て来た。アメリカは石炭の直接液化には殆ど熱意を失っており、むしろ石炭自体のクリーン化（脱灰、イオウ及び窒素分の除去など）、スラリー輸送など研究の方向が変わって来た。唯一つ合成ガスからの炭化水素合成だけが活発に研究されている。

逆に西独は石炭の直接液化に注力しているが、あと目ぼしいものは Rheinbraun 社の流動層ガス化法で、褐炭をガス化しメタノール合成を計画している程度である。無資源国日本は NEDO の直接液化の他に、RAPAD（後記）が産業界の協力を得て着実に技術の向上に務めているのは非常に頼もしい。

ところで Fischer-Tropsch 合成という用語は Mobil 社の Z S M（Zeolite of Socony Mobil の略）触媒の開発、利用研究以来、炭化水素合成の内容が非常に広くなり、新しい化学反応もいくつも見つかって来ているので、これらも含めて Fischer-Tropsch 合成と呼ぶのは適当でない。別の新しい用語を見付

けるべきである。こゝでは取り敢えず「合成ガスから炭化水素の合成」または単に「炭化水素合成」と呼ぶことにする。

本稿では筆者が2回訪問して具に見学、勉強し、その後詳細な解析、検討をしたSASOL法と1/4世紀前に製鉄所の廃ガスの有効利用を計画して直接 Kölbel 教授の指導の下に筆者自身が30名に及ぶ協力者に助けられて我が国で行った Slurry 法の二つを中心に解説し、更に近年の炭化水素合成法の進歩の動向を紹介することにした。

2. SASOL 法¹⁾

2.1 ま え が き

SASOL 社は1950年に設立され、南アフリカ共和国（以下南アと略称）の Johannesburg の南方80kmの Sasolburg に工場が建設され、周辺に産出する劣質炭をガス化し、これからガソリン合成を始めた。はじめ South African Synthetic Oil Co. と称したので SASOL の略称が生れたが、1964年にはアンモニア合成、合成ゴム用のブタジェンとスチレン、翌年にはナフサ分解による石油化学も営む化学工場に生長したので、正式の社名も South African Coal, Oil & Gas Corp. と変った。

南アは人口約2,350万人で、内訳は白人（オランダ系が主体）440万人、Colored（白人、インド人、黒人の混血）240万人、黒人1,600万人、インド人70万人となっており、白人の能力は極めて優秀である。

南アは石油、天然ガス以外の資源は極めて豊富で、石炭は確認埋蔵量1,120億トン、可採埋蔵量520億トンと云われ、炭層は浅く殆ど水平に広がり、採掘費は非常に安い。1983年の産炭量は1億4,600万トンで世界第5位、うち国内消費は1億1,600万トン、輸出3,000万トンで、金に次いで重要な輸出品となっている。石炭の国内消費は一次エネルギーの80%、発電用燃料の95%を占める。

SASOL 法の石炭液化プラントは三工場ある。SASOL-I は Sasolburg にあり、55年から稼動を始めた第1号プラントで、アンモニア及びバイオウを除いた製品の生産量は約60万トンである。SASOL-II は Johannesburg の東方約110kmに広がる Secunda と云う町にあり、82年末にフル操業に入った。炭化水素合成用の反応器は Synthol と呼び、SASOL-I の反応器を大型化したもので、燃料油、エチレン、エタノールなどの含酸素化合物の生産能力は表-4に示したように計197万t/年である。SASOL-III は

IIの隣りに位置し、プラントの構成、製品及びその生産能力はIIと殆ど同じと云われ、83年6月にフル操業に入っている。従って自動車燃料の生産能力はI、II、IIIを合せて年間約370万トンに達する。

2.2 SASOLで使われている石炭

SASOL-I で使っているSigma炭は表-1に示したように灰分の極めて多い劣質炭で、輸出しようにも引取り手がないので山元で処理する他ないとのことである。SASOL-II 及びIIIでは Bosjesspruit（ボッシュブルイット）炭及び Waterberg 炭が使われる。Waterberg 炭は直接液化にも向く²⁾という以外に情報がないが、他の2種の石炭は砕け易く、Sigma 炭では Lurgi の旧型ガス化炉に使える6~38mmの砕炭の収率は50%で、残りの細い方はスチームの発生用に使っている。SASOL-II の新型ガス化炉には2.5~5mmのものが使える。その収率は70%である。

SASOL-II の石炭使用量は表-4に示したように44,000t/日で、稼動日数を年間300日とするとIIIの使用分も含めて2,660万t/年となる。

表-1 S A S O L 炭 の 性 状
(moisture free)

炭 田	Sigma	Bosjesspruit	Waterberg
灰 分 wt %	29.8	22.5	10.0
揮 発 分 %	21.5	24.8	34.7
固 定 炭 素 %	48.7	52.7	52.0
発 熱 量 kcal/kg	4,800	5,850	7,910

2.3 ガス化

SASOL-Ⅱのガス化炉はSASOL-Ⅰの経験を加えて改良されたLurgi/SASOL Gasifier Mark IVで、石炭処理量は1基当たり900 t/日。湿式粉碎と水篩で分けた径2.5～5 mmの碎炭を水分19%を含んだまま使う。

ガス化炉の説明は省略するが、炉内の石炭の滞留時間は30～60分、粗ガス1,000Nm³当りの所要酸素量は156Nm³、水蒸気720kgで、ガス化率は約85%、冷ガス熱効率は約75%、稼働率85%と報告されている。SASOL-Ⅱが建設を終った時ガス化炉は36基であったが、その後の運転でガス化以後の行程に対してガスが不足であることが分り、急遽4基増設して40基とし、10基1組、4列が架台に組み込まれている。

表-2 ガス組成

	粗ガス	精製ガス
H ₂ mol %	41.0	58.6
CO %	18.5	26.4
CO ₂ %	30.3	1.0
CH ₄ %	8.6	12.3
低級オレフィン %	0.4	0.6
N ₂ +Ar	0.8	1.1
H ₂ S	0.4	0.07ppm (total S)
H ₂ /CO (分子比)	2.2	2.2

ガス化炉を出た粗ガスはタール及びガス液を分離した後スクラバーで水洗して煤と少量のタールを除き、Rectisol unitで-55℃のメタノールで洗って酸性ガスを除くと表-2のような組成の精製ガスが得られる。

2.4 炭化水素合成

燃料油合成用のSynthol反応器はSASOL-

Ⅱ及びⅢにそれぞれ7基あり、1基当りの炭化水素合成能力は25～30万t/年と推定される。この反応器は図-1に示すような気流反応型で、400メッシュに粉碎された鉄触媒をホッパーから160℃に予熱された合成ガスに乗せて流すと直ぐに合成反応が起って発熱のために昇温し、冷却器の入口では最高370℃まで昇温することもあり、反応はここまでで殆ど終るものと思われる。反応圧力は22気圧程度、反応管の出口温度は330℃前後である。反応管を出るとガスの線速度が落ちるので触媒はガスから分離してホッパーにたまる。サイクロンで更に触媒を除いた炭化水素を含む廃ガスは油の処理工程に入る。

触媒は近くにある製鉄所ISCOR社のミルスケールをベースとし、助触媒を添加、加工して微粉にしたもので、ライフは45～50日位である。

Synthol 反応器からの生成物の一例を表-3に示した。反応温度が高いためにメタンが多いが、C₂～C₄が33%、C₅～C₁₈が44%となっている。また鉄触媒を使っているのでオレフィン分が非常に多いことも特徴的である。含酸素化合物のうち55%がエタノール、約13%がプロパノール、約10%がアセトン、有機酸のうち70%は酢酸である。

ナフサ留分のオクタン価(R. O. N.)は55と云われ、オクタン価を向上し、且ガソリンの得率を上げるために次の行程が加わる。

- ① C₃, C₄ からポリマーガソリンの製造
- ② C₅, C₆ 留分の異性化
- ③ C₇ 以上はPlatformingにかけ、次いで水素化してオレフィン分を25%以下にする。

これらの後処理によりオクタン価は80～85

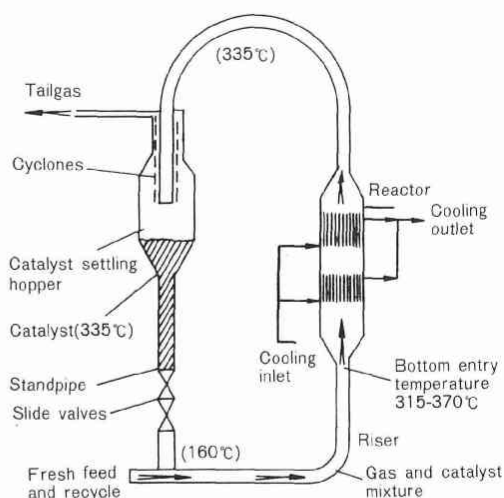


図-1 Synthol 反応器

表-3 Synthol法の生成物

Temp., °C	330
Pressure, atm	22
H ₂ /CO	2.8
Conversion of CO, %	85
Composition, wt %	
CH ₄	10.0
C ₂ H ₄	4.0
C ₂ H ₆	6.0
C ₃ H ₆	12.0
C ₃ H ₈	2.0
C ₄ H ₈	8.0
C ₄ H ₁₀	1.0
C ₅	8.0
C ₆ ~C ₁₂	31.0
C ₁₃ ~C ₁₈	5.0
C ₁₉ ~C ₃₀	4.0
C ₃₁ +	2.0
Non acidic compounds	6.0
Acids	1.0

に上昇し、更に加鉛して93オクタンにしてマーケットに供給する。

別のタイプの合成法としてSASOL-Iに戦時中ドイツで工業化された固定床のAR

GE反応器があるが、C₁₉以上の炭化水素はワックスを含めると全成品の41%を占め、その販路が限られている上に、ARGE法は操業上煩わしい点が多く、スケールアップも困難なので、すでにその使命は終わったと見てよい。

熱効率はメタンの処理の仕方大きく変わる。

SASOL-Iではメタンは都市ガスとしてSasolburgに供給しているが、SecundaはSASOL-II及びIIIから出る大量のメタンを都市ガスとして使い切れないので水蒸気改質して原料ガスに戻している。都市ガスとして売れば炭化水素合成の熱効率は55~58%であるが、水蒸気改質して戻すと35~38%と大幅に低下する。

SASOL社のVan der Pas²⁾によると将来計画としてガス化炉は更に大型のMark V(粗ガス生産量9~10万Nm³/時)を導入する。これは今のMark IV(粗ガス生産量5.5万Nm³/hr・基)の石炭処理量900t/日に比し、1,500t/日と約1.7倍になっている。また合成にはFixed Fluidized Bed方式を採用したいとのことである。

最後にSASOL-IIの諸元を表-4に示した。

2.5 SASOL法に対する筆者の意見

(a) D. A. Lurgiガス化炉は炭化水素合成用としては不適當である。

第二世代のガス化炉であるBGC-Lurgi Slaggerに対し従来のLurgiガス化炉はDry Ash Lurgi Gasifierとして区別している。これは前者が灰分が融けてスラッグになっているのに対し、後者は融かさないように運転するからである。

表-4 SASOL-Ⅱの諸元

Coal Consumption	
Gasification	31,000 t/日
Steam Generation	13,000 t/日
Oxygen Consumption	9,500 t/日
Gasification	
Lurgi / Sasol Gasifier (Mark IV)	40 Units
Rate of Operation	85%
Raw Gas	1,833,000 Nm ³ /時
Pure Gas	1,222,000 Nm ³ /時
S in Pure Gas	0.07 ppm
F-T Synthesis	
Synthol Reactors	7 Units
Unit Capacity	250,000 t/年
Products	
Motor Fuel	1,667,000 t/年
Ethylene	206,000 t/年
Chemicals	94,000 t/年
Tar Products	200,000 t/年
Ammonia	111,000 t/年
Sulfur	100,000 t/年
Total Saleable Products	2,378,000 t/年

D. A. Lurgi炉では石炭の炭素が合成ガスに転化する割合は50%に達しない。表-5は筆者の手許にあった資料で概算した各種石炭ガス化炉の炭素が合成ガスに転化する割合を示したものである。D. A. Lurgi炉は出口のガス温が600℃以下と低いので粗ガスに含まれる炭酸ガスは表-2に示したように30モル%に及び、またメタンも多い上に、タール類が出る。このように合成ガスの収率が悪くは間接液化用のガスの製造には向かない。

現在第二世代のガス化炉で工業化が始ったのは Ruhrkohle / Ruhrchemie の Texaco 炉

である。Cool Water Coal Gasification Projectは84年春から運転が始った。こゝではTexaco炉に石炭1,000 t/日をフィードするが、その運転状況からみて筆者はTexaco炉で2,000 t/日の石炭のガス化炉の建設は可能と確信した。そうするとSASOL-ⅡのD. A. Lurgi炉40基は石炭2,000 t/日のTexaco炉だと10基で済む。SASOL社の副社長 J. C. Hoogendoorn はかねてから石炭のガス化炉はトラブルが起り易いから10基程度のガス化炉を持つ必要があると主張しているが、丁度その主張にマッチする数字

表－5 各ガス化炉の合成ガスに
転化した炭素の効率

ガス化炉	炭素の利用効率
D. A. Lurgi	47 %
Winkler	57 %
Koppers-Totzek	85 %
Texaco	85 %

になる。

(b) D.A.Lurgi炉は不当に高価格である。

SASOL－Ⅲは SASOL－Ⅱと全く同じ規模で、建設費は1979年ベースで37億米ドルと発表されている。建設費の内訳は Van der Pas の講演²⁾で表－6と発表されているから、ガス化設備とユーティリティの合計額は13.69億米ドルとなり、酸素プラント及びその他のユーティリティも割振った D. A. Lurgi 炉1基当りの価格は1ドル230円と仮定して87.5億円となり Texaco 炉などに比し余りにも高すぎる。

(c) Synthol 反応器は炭化水素合成用としては極めて不満足な反応器である。

合成ガスから鉄触媒を使って炭化水素を合成するに当り、ガソリン、ディーゼル留分のような軽質留分を Synthol 反応器で得るには反応温度を高くしなければならない。それは図－1に見られるようにライザーの上にクーラーがあってワックスが出来ると触媒とワッ

表－6 SASOL－Ⅲの建設費内訳

ガス化設備とユーティリティ	37 %
合成関係	15 %
合成油の回収と後処理	18 %
炭鉱、土地、各種附帯施設	30 %

クスの混合物がクーラーを詰めるからである。そこでクーラー入口のガス温を315℃以上とした。

このように温度が高いと鉄触媒がカーバイド化したり、炭素が生成して触媒の活性が落ちる。これを抑えるために原料ガス中の水素をふやさざるをえない。表－3に示したようにH₂/COのモル比を2.8と非常に大きくとっている。ガス化炉から出る精製ガスのH₂/CO比は2.22であるから、これを2.80にするのに水素400万Nm³以上を加えなければならない。これはアンモニア2,000 tに相当する水素量で、ガスを循環する動力費がかさむ。

これを要するに南アで炭化水素合成が大規模に工業化されていることで、我が国のエネルギー関係の指導者や企業家が石油危機が再来した時、このプロセスを採用して乗り切ればよいと思われるのは困るという意味で、敢えてここに厳しい批判をしたわけである。

しかし、戦後始めて炭化水素の工業的生産を決意した南ア政府の決断と、この難しい技術を成功裏に完成したSASOL社の技術陣に対しては最大級の賛辞を惜しむものではない。衷心より敬意を表する次第である。

3. Slurry法³⁾

3.1 パイロットプラント

スラリー式炭化水素合成は Rheinpreussen A. G. の H. Kölbel によって創始され、1938年に発表されたが、パイロットプラントの研究が行われたのは戦後の1953年からで、Technische Universität Berlin に移った Kölbel 教授、Rheinpreussen A. G. 及び

Koppers G.m.b.H. の協力のもとに合成油生産量11.5 t /日の試験装置が成功裏に運転された。

このパイロットプラント運転の目的はガソリンベース油の合成であって、100Fe : (0.1~0.3) Cu : (0.05~0.3) K₂Oなる組成(重量比)の沈でん鉄触媒をイオウ分及び窒素分のない油に15wt%以下の量懸だくさせ、気泡塔反応器の底部から合成ガスを微細な泡状で吹込む。触媒の活性化は290℃で合成ガスによって行う。活性化終了後温度を下げ、230~270℃の間の低い温度から合成反応を始める。圧力10~15気圧、合成ガスの組成は CO/H₂ 比 2.0~0.5, SV 270hr⁻¹ 程度。一酸化炭素の転化率が下って来たら少

しづつ反応温度を上げる。反応中合成ガスが微細な泡の状態を保つように反応器の中にインターナルが設置されていて、細い泡が合体して大きな泡になることを防いでいる。触媒の寿命は40~45日、合成油の収量は鉄1 kg当り約450kgである。

研究室用の小型反応器は内径5 cm, 長さ約6 m, パイロットプラントは内径155cm, 高さ8.6mである。両者の反応成績を表一7に示した。反応中の触媒は一部を抜き出し再付活して反応器に戻すことも、また新触媒を注入することも可能である。反応時間と共に合成油が増加するので、所定のパイプからスラリーを抜き出し、油と触媒を分けて触媒は反応器に戻してやる。反応器の中に水冷管が入っ

表一7 Slurry 法 (1 段) の 反 応 成 績

	Demonstration plant	Laboratory plant
Reaction volume (ℓ)	10,000	6
Catalyst (kg)	800	0.4
Operating pressure (bar)	12	11
CO/H ₂ ratio (mole ratio)	1.5	1.5
Feed rate (Nm ³ /hr)	2,700	1.3
Superficial gas velocity at operating temperature and pressure (cm/sec)	9.5	3.5
Synthesis gas used (Nm ³ /hr)	2,300	1.1
Per unit volume (Nm ³ /m ³ · hr)	230	183
Per kg of Fe (Nm ³ /kg · hr)	2.6	2.45
Average reaction temperature (°C)	268	266
CO conversion (%)	91	90
CO+H ₂ conversion (%)	89	88
Product yield referred to consumed CO+H ₂		
C ₁ + (g/Nm ³)	178	176
C ₁ +C ₂ (g/Nm ³)	12	11
C ₃ + (g/Nm ³)	166	165
Water soluble product (g/Nm ³)	3	2
Space time yield of C ₃ + (kg/m ³ · hr)	38.8	30.8

ていて反応熱を約30気圧の水蒸気として回収する。また反応器内のスラリー温度は±1℃の範囲に保たれ、触媒上のホットスポットはすぐ冷却されるのでメタンの収率は全生成物に対し3%以下と非常に少い。スラリー反応器の概念は図-2を参照されたい。

このスラリー法は第二世代のガス化炉から得られる一酸化炭素のリッチな合成ガスがそのまま使える点が大きなメリットであり、そのガスから表-7に見られるように1Nm³当りの生成全炭化水素は178gに及び、2H₂+COから得られる炭化水素の化学量論的収率208g/Nm³に対し非常に優れた成績と云える。

3.2 生成油の炭素数分布の調節

Kölbel は、その触媒 Fe-Cu-K₂O系のK₂CO₃の配合量及び反応温度を変えることによって、表-8に示したように生成炭化水素の炭素数分布を大幅に変え得ることを見出した。鉄と銅の比率は変わらないが、鉄に対しK₂CO₃をK₂Oとして0.05~0.2%添加するとガソリン(C₅~C₉)が高収率に得

られ、0.4~0.6%ではC₁₀~C₂₅が主体となり、0.7~1.2%ではワックスが好収率に得られる。一般にK₂CO₃が多い程活性が増大し、反応温度も下がる。微量に含まれる銅は鉄の還元を容易にすると共に、鉄カーバイドの生成を抑制する効果を持つと考えられている。

得られたガソリンのリサーチオクタン価は73位、ディーゼル留分のセタン価は約70である。

3.3 スラリー式炭化水素合成法の特徴と問題点

合成ガスから脂肪族系炭化水素の合成法については、古くから既にいくつかのタイプの反応器が提案されているが、原料ガスのもつ燃焼熱の24%にも及ぶ発熱の除去法とメタンから高融点ワックスに至る幅広い生成物分布をいかにして狭い範囲に収めるかと云うかなり難しい課題が課せられており、最も有望と思われるスラリー法もまだ満足すべき技術水準に達していない。

その理由は、戦後に行われたスラリー法のパイロットプラント以後、見るべき研究が行われなかった為であって、オイルショックとUOP社⁴⁾が発表した各プロセスの経済性評価の論文に刺激されて、近年改めてスラリー法の再検討が始った次第である。

すなわち、アメリカではMobil社が中心となり、DOEの援助を受けて本格的な開発研究に取り組んでおり、日本でも新燃料油開発技術研究組合(RAPAD)の開発研究と各大学の基礎研究が活潑に行われているのに、西独だけはPDU(Process Development Unit)以上の規模で行われている研究はないということを1983年秋西独を調査した時に

表-8 Slurry法に於ける生成油の炭素数分布の調節

Molecular weight	Low	Middle	High
C ₃ +yield (g/Nm ³)	166	175	182
Distribution in C ₃ +(wt%)			
C ₃ +C ₄	18.2	6.9	2.2
C ₅ -190℃	68.0	40.0	7.1
190-320℃	10.8	25.7	8.2
320-450℃	2.4	18.3	40.0
450℃+	0.6	9.1	49.5

知ったが、誠に理解に苦しむ所である。石炭の直接液化の開発研究は Ruhrkohle のパイロットプラント研究を始めとしていくつかのプロセスの研究が進んでおり、しかも最近では熱効率は直接液化も間接液化も共に55~58%に達しているにも拘らず、西独が間接液化を研究しない理由が分らない。

(a) スラリー法の長所

従来の炭化水素合成法に比し興味ある長所をいくつかも持っている。第一に挙げられるのは第二世代の石炭ガス化炉から得られる一酸化炭素の含有量の多いガスがそのまま使えることで usage ratio は $\text{CO}/\text{H}_2 1.67 (\text{H}_2/\text{CO} 0.6)$ である。⁵⁾ 但しメタンの水蒸気改質では水素が多過ぎるのでガスの製造に工夫を要する。

第二に Mitre Corp. (USA) が南アの石炭転換会議で1982年秋に発表した論文によると、Texaco 法以外の噴流層ガス化法と Kölbel のガソリン合成を組合せた場合の熱効率 (HHV) は58.7%に達するとのことである。この情報はスラリー法の有望なことを示唆するものであるが、更に一段の検討を必要とする。

次にスラリー法ではガソリンよりもディーゼル油を作る方が収量も多く、油のセタン価も高いからこの場合の触媒の K_2CO_3 は K_2O として0.4~0.6%のものを使うことになる。パラフィニックのディーゼル油の炭素数を C_{10} ~ C_{27} , 併産されるナフサの炭素数を C_5 ~ C_9 で表すと C_1 2.9%, C_2 ~ C_4 11.3%, C_5 ~ C_9 4.7%, C_{10} ~ C_{27} 66.8%, C_{28} 以上12.7%, 含酸素化合物1.6% (いずれも wt%) なる分布の生成物が得られた⁶⁾。ディ

ーゼル油合成では必ず高沸点油ができるから、これは水素化分解して中間三品に変える他ない。

その他固定床法、流動床法、気流反応法ではいづれもワックストラブルがあるが、スラリー法ではワックスは媒体油に溶けて触媒の活性を損うことがない。

また炭化水素合成時の激しい発熱を効率よく除去できる。熱伝達係数は500~1,000 kcal / $\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ で、エクセルギーの大きい30気圧の中圧蒸気として回収できる。

最後に一般に鉄触媒は反応中にカーバイド化、炭素生成などのために粉化し、これが固定床、流動床、気流反応法にとっては嫌な現象となるが、スラリー法はもともと数ミクロンという粒径の触媒を使うので、触媒の粉化はトラブルにならない。

(b) スラリー法の欠点

唯一の欠点はガス空塔速度が 3~8 cm / sec (最大10 cm / sec) と原料ガスの吹込速度の範囲が狭く、またスラリー中の鉄の濃度は15%が上限である。これは泡を微細且つ均一に保つことにより一酸化炭素の転化率を90%以上に維持する上で必要である。反応圧力12 bar, 反応温度265°C程度の条件下では S V 270 hr^{-1} , STY は60 kg炭化水素 / $\text{kg-cat} \cdot \text{hr}$ 程度に抑えられる。

STY を大きくするにはもっと活性の大きい触媒、例えば Ru を TiO_2 に担持した触媒などを使うこと、圧力を25~30 bar に上げること、反応器を多段に使うことなどが必要である。反応器を2個シリーズにつないで Kölbel が行った例を示そう。第一段反応器 (I) には一度使った触媒を用い、反応温度

は250℃以下で反応を行うとCO転化率63%。
第二段反応器（Ⅱ）には新しい触媒を用い、
Ⅰから出たガスをⅡの底部に吹込み262℃で
合成を行うとCO転化率はⅠ、Ⅱを合せて96
%になる。反応器一つで得られる炭化水素は
Fe 1 kg当り450kgであるが、上記のように
2段の反応では触媒のライフは2倍になり、
炭化水素も2倍近い800kg/kg-Feが得ら
れたという。

3. 4 炭化水素合成に対するUOP社の経済性の評 価⁴⁾

近年UOP社が各種炭化水素の合成法の経
済性の比較、評価を行った。比較の対象と
なったプロセスは気流反応法（Synthol 法）、
Tube-Wall 法（米国 PETCで開発）、スラ
リー法（Kölbel）および沸騰床法（Ebullat-
ing Bed, Chem System社）である。比較の
前提条件は合成ガス反応量793,000m³/hr
（油として25,000バレル/日に相当）、圧力

27.2barで、この圧力は第二世代のガス化炉
の圧力に合わせてある。各反応器の出口反応
温度 T_{out}, 供給ガスの H₂/CO比, ガスリ
サイクル比を表一9に示した。これらの数値
は実証されているか（Synthol法）、または
エンジニアリング的に可能と見積もられてい
る値である。スラリー法の圧力27.2 barと云
うのは実績がないが実施可能と思う。

ガソリンを主製品とした時の生成物を表一
10に示す。沸騰床法の生成物はスラリー法と
同じとした。各プロセスの経済性の比較を表
一11に示した。設備投資は Synthol 法が
既に工業化されているのでこれを100とした。
触媒のコストは on-site で触媒を生産した
場合の年間の触媒価格を1980年ベースで示し
た。

Synthol 法と沸騰床法には熔融鉄触媒

表一10 各反応器の生成油収量(kg/hr)

Reactor Type	Synthol	Tube-Wall	Slurry
C ₁	20,000	19,300	3,500
C ₂ -C ₄	57,200	37,000	49,400
Gasoline (C ₅₋₁₁)	45,300	61,700	88,100
Diesel (C ₁₂₋₂₅)	14,900	23,700	11,400
Heavy (C ₂₆₊)	5,500	4,700	1,000
Alcohols	12,700	6,000	2,600
Acids	2,000	2,400	—
Total	157,600	154,800	156,000

表一9 比較のための基礎条件

Reactor Type	T _{out} , °C	H ₂ /CO Ratio	Recycle Ratio
Synthol	335	2.4	2.3
Tube-Wall	338	2.0	0.4
Slurry	275	0.7	0.1
Ebullating	286	0.7	0.1

表一11 各プロセスの経済性の比較

Reactor Type	設備投資の相対比較	触媒コスト (10 ³ \$/Y)	反応熱回収率 (水蒸気として, %)
Synthol	100	6,720	36
Tube-Wall	208	14,200	85
Slurry	45	3,420	91
Ebullating	65	14,400	91

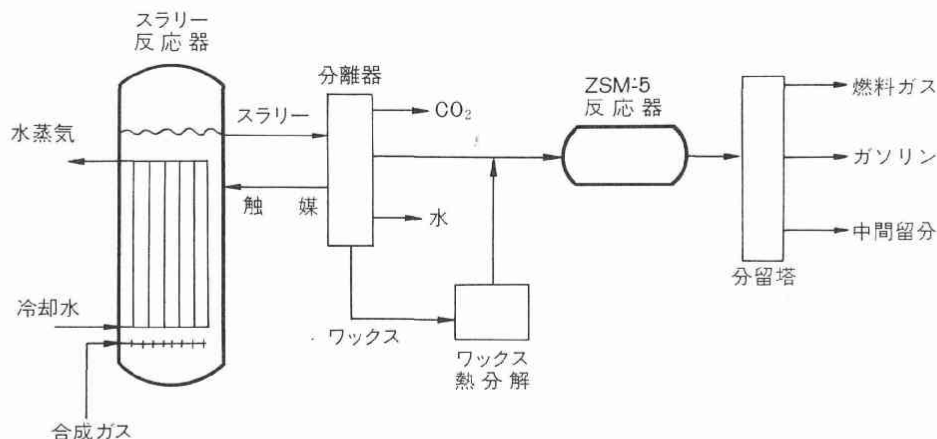


図-2 Slurry / ZSM-5 Process

を使った。Tube-Wall 法に使う溶射法の触媒のコストは PETC の情報による。スラリー法には値段の高い沈でん鉄触媒を使った。

触媒のライフと反応器への装入量は触媒のコストに大きく響く。ライフは Synthol 法と沸騰床法は60日、Tube-Wall 法は6カ月、スラリー法は38日とした。装入量は Synthol 法の場合 catalyst settling hopper と stand pipe にも入るために多くなるが、加えて触媒がガス流に乗って廻るため摩耗ロス分を装入量の約1%毎日補給しなければならない(図-1参照)。Tube-Wall 法の触媒は労働集約的とも云える flame-spraying technique のために非常に高価になる。スラリー法では非常に細い粉末触媒を使うのに対し、沸騰床法では触媒の粒径が1~2mmあるので、同じ有効表面積で比べるとスラリー法の30倍量の触媒を要する。

熱回収は原料合成ガスのもつ燃焼熱の20~24%に及ぶ反応熱を、どれだけ価値のある状態で回収できるかで示したものである。Synthol法では炭化水素を含む335℃のガスは急冷塔で循環油により138℃まで冷却されると共に微粉触媒を除き、BFW (boiler feed

water) により反応熱の30%が回収される。しかし、この熱は価値の低いものである。ライザーの上にあるクーラーで回収されるエクセルギーの大きいスチームの熱量は36%である。このような検討を行いながら表-11が作られた。

このUOP社の評価によってスラリー法が見直され、アメリカ及び日本の研究陣に強い刺激を与えた。

4. 炭化水素合成法のその後の進歩

4.1 Slurry 法

アメリカでは Mobil Research and Development Corp. がガソリン合成を、Air Products and Chemicals, Inc. がディーゼル油の生産を目標にして4~5年前から研究を開始したが、まだ十分な成果を挙げる所までは行っていないようである。

日本ではRAPADが触媒の研究を行っており、Ru/MnO₂系、Ru/Al₂O₃系などRu系触媒を重点的に検討し、スラリー床のベンチスケール反応装置の試運転を始めた。

Mobil 社がスラリー法を手がけた理由は、

第二世代の石炭ガス化炉から得られる一酸化炭素の多い合成ガスからメタノールを作って MTG プロセスに使うのは得策でないうえに、またスラリー法でハイオクタンガソリンを合成することは相当に難しいからである。そこで、ZSM-5 触媒でスラリー法の直鎖炭化水素を分解することを考え、Two-stage Slurry Fischer-Tropsch / ZSM-5 Process という構想で DOE から研究を委託された⁷⁾。

スラリー法の追試はまづ内径 5 cm、高さ 750cm の空塔をリアクターに使った。これは Kölbel の研究室にあったもの及び筆者がかつて使ったものと同じものである。触媒はいずれも Fe-Cu-K₂CO₃ 系である。ZSM による分解は内径 5 cm、長さ 100cm の固定床リアクターでテストした。図-2 のような Block Flow Diagram になっていると想像される。その後の進歩についてはまだ発表がない。

4. 2 Mobil 社のガソリン及び中間留分製造プロセス⁸⁾

Mobil 社が MTG プロセスを開発している間にディーゼル燃料を生産するプロセスの開発も必要なることを痛感するようになった。かねてからメタノールから ZSM 触媒で軽質オレフィンが出来ることが分かっていたので、エチレンから C₉ オレフィンに到るオレフィン混合物を合成する MTO (Methanol to Olefins) プロセスを開発した。このプロセスの生成物の選択率を表-12 に示した。C₃, C₄, C₅ のオレフィンが多いことが特色である。この研究は 4 バレル/日の規模の PDU で行っており、これが終わったら 100 バレル/日のパイロットプラントを西独の Wesseling

表-12 MTO プロセスの生成物 (wt %)

C ₁	2.0
C ₂	0.4
C ₂ '	5.2
C ₃	2.1
C ₃ '	32.9
i-C ₄	2.3
n-C ₄	0.7
C ₄ '	19.1
C ₅ '+	19.7
C ₅ +	15.6

表-13 プロピレン、ブチレンから MOGD プロセスで得られる製品 (wt %)

	留出油 max の場合	ガソリン max の場合
C ₃	1	4
C ₄	2	5
C ₅ -330°F	18	—
330°F+	79	—
C ₅ -400°F	—	84
400°F+	—	7

で 1985 年から始める予定といわれる。

この低級オレフィンから中間留分を作る MOGD プロセスは Mobil Olefin-to-Gasoline-and-Distillate Process の略称とのことである。このプロセスは表-12 のようなオレフィンに限らず、製油所の各種プラントから出る軽質オレフィンを処理できる汎用プロセスである。表-13 は接触分解で得られるプロピレン、ブチレン混合ガスからガソリン収率が最大 84% の場合、中間留分 79%、ガソリン 18% という中間留分最大の両極端な例を示してある。勿論、この中間の組成のものも得られるわけである。パラフィン分はリアクターを素通りして LPG として回収される。このプロセスは Mobil 社の工場でプロピレ

ン、ブチレン混合ガスから210バーレル／日の留出分を得るテストプラントで実証された。

4.3 我が国のRAPADの研究⁹⁾

我が国の新燃料油開発技術研究組合（略称RAPAD, 理事長野口照雄興亜石油社長）は1980年に設立され、合成ガスから炭化水素及び混合アルコールの合成、オイルサンド油及びオイルシェール油等の改質精製、バイオマス利用技術などに取組んでいるが、ここには前項の Mobil 社と同じ日に同じ会場で発表された三菱重工業とアジア石油の共同研究を紹介する。この発表は Mobil 社が開発したMTG及びSTG技術を更に触媒の改良によって進歩を計ったものである。

RAPAD の MTG 用触媒はゼオライト系ではあるが違った触媒で、Mobil 触媒と同等又はそれ以上の性能を有するとのことである。しかし特許出願の関係があり、一方 Mobil 法は天然ガスを原料とするメタノールからハイオクタンガソリン14,000バーレル／日を固定床反応器を使ってNew Zealandで1985年から生産開始するとのことであるから、ここではこれ以上MTG法には触れないことにする。

STG (Syngas to Gasoline) 法はメタノールを経由することなく直接ガソリンを合成する方法であるが、Mobil 社は最近この関係の情報を流さなくなった。そして図-2に紹介した Two-stage Process などを発表しているので、あるいはSTGプロセスの開発を断念したのかも知れない。

表-14に RAPAD の STG 反応の成績を示した。触媒Cは非常に面白い成績である。これだけの成績が得られていればもっと

表-14 RAPAD の STG 反応成績
(固定床)

触 媒	C
H ₂ /CO	2.0
反応温度 ℃	290
圧力 kg/cm ² ・G	36
GHSV hr ⁻¹	900
ガスリサイクル比	0.54
転化率 %	CO H₂ 83.8 90.5
選択率 %	CO₂ 炭化水素 0.7 99.3
炭化水素組成 wt %	
C ₁	13.9
C ₂	1.2
C ₂ '	0
C ₃	2.1
C ₃ '	0.8
i-C ₄	0.3
n-C ₄	5.5
C ₄ '	1.3
C ₅ +ガソリン	47.3
ケロシン	8.7
ガスオイル	18.9

大きなベンチスケールテストをやる必要がある。メタノール5バーレル／日規模の装置に2種のリアクターを設置し、一つは固定床、他は流動床とスラリー床共用とのことであり、主としてSTG反応を研究する。発熱の多いSTG反応には後者のリアクターで好成績が期待される。

5. 今後の展望

液体燃料の新しい製造法とその原料とは工業化の可能性の点から見ると国によってそれぞれ異なる。本稿の合成ガスの原料としては石炭と天然ガスが考えられるが、石炭→合成ガス→液体燃料というルートは日本では

経済性がないだろう。しかし、宇部興産が工業化したようにアンモニアと云う chemicals, すなわちカロリーベースで評価されないものの製造は可能である。

我が国で経済性がみこめる原料はメタンであるが、LNGはカロリーベースで石油と価格が余り変わらないので駄目である。原油の随伴ガスは原油の消費が減れば先細りになる可能性がある。従って非石油系のメタンが選ばれる。

燃料メタノールの輸入価格の試算は方々で行われているが、燃料メタノール導入に賛成するグループと反対派とではかなりの差がある。

Mobil 社のMTGは燃料メタノールが導入されればその魅力は減るだろう。STGの経済性がよくなれば当然この方が将来性がある。Mobil 社のスラリー法と ZSM-5 による接触分解の組合せは迂遠である。

ディーゼル燃料の製造法としての Mobil 社のMOGDプロセスも同様に魅力がない。ディーゼル燃料はメタノールは別として炭化水素では改良スラリー法が一番有望である。

かつ炭などの安い石炭を一日に2,000～3,000トンガス化出来るガス化炉が開発され

れば、中国をはじめとする産炭国の液体燃料事情に大きく寄与できるだろう。(くぬぎたいせき)

文 献

- 1) SASOL 法の詳細な説明は次の文献参照
功刀泰碩, 炭素々原料の化学原料化, 1981, p. 91
(CPC研究会編); 松沢清吾,
PETROTECH, 3, 1125 (1980)
- 2) Theo Van der PAS, 新エネルギー財団主催講演 (1984 Sept. 17)
- 3) 藤元薫, 功刀泰碩, 燃料協会誌, 62, 728 (1983)
; H. Köbel, M. Ralek, Catalysis Review, 21, 225 (1980)
- 4) M. L. Riekena, A. G. Vickers, E. C. Haun & R. C. Koltz, Chem. Eng. Progr., 1982, April, 86
- 5) C. N. Satterfield, ICC Post-Congress Symposium "C₁-Chemistry", July 9, 1984 (at University of Karlsruhe)
- 6) 酒井朝也, 功刀泰碩, 石油学会誌, 17, 863 (1974)
- 7) J. C. W. Kuo, DOE/PC/30022-3
(DE 82003065) (1981)
- 8) S. A. Tabak, G. J. Weiss, Synfuel's Fourth Worldwide Symposium, November 8 (1984), Washington, D. C.
- 9) G. Oda, A. Nara, M. Tamai, T. Suzuki, Synfuel's Fourth Worldwide Symposium, November 8 (1984), Washington, D. C.

ソ連のエネルギー事情と 原子力利用のバックエンド

理事長 山 本 寛

本稿は、昭和59年11月14日開催の当研究所第5回評議員会での「訪ソ雑感」と題する講演の前半部分について、講演速記をもとに著者が修正、加筆したものです。

はじめに

ソ連という国は、私自身、実際、よく分からない。日本の多くの方々も、ソ連というのはどんな国だか内情がよく分からないのではないのでしょうか。どうもあまり感じの良くない国だというイメージを持っている人が多いし、私自身もそう感じている一人であります。でも、できるだけソ連の実情を知ること必要であるし、たとえごく一部のことにしろ事情が分かれば、それはそれなりにその方面の方々にとってお役に立つこともありうると思われれます。

私は過去2回ソ連にまいりました。第1回は1980年の冬、第2回は今年、1984年の夏です。春と秋には行っていないわけですが、合計にして25～26日は居たことになります。ですから、決して長い期間ではありませんので、とても「ソ連は」などというお話はできませんが、私の見聞した一端だけに限れば、ある程度のソ連事情をお伝えすることはできるか

と思います。何故ソ連へ行ったかと申しますと、次にお話するような事情でまいりました。原子力関係の団体で「日本原子力産業会議」（原産）というのがございます。一方、ソ連には、日本でいうとやや原子力委員会に近いものかと思いますが、「ソ連原子力利用国家委員会」というのがあります。この委員会と原産との間で協定が結ばれており、年に何回かソ連から日本にチームがやってくる。逆にまた、日本からも年に何回かソ連にチームが行くということで、いろいろ情報交換を行なうことになっています。この情報交換が始まったのは、たしか、1977年ではなかったかと思っています。しばらくやっておりましたところ、大韓航空機事件とか、その他いろいろなむずかしい問題が両国間にできたため、しばらく交流が途絶えておりました。しかし、いつまでもこのままではいけないという気運がでてきて、つまり日本とソ連との間に雪解けムードがでてきました。そこで、中断のあとに迎えた雪解け時にとりあげる問題は、あまりセンシティブ（sensitive）なものではない方がよからうということで、それならばあまりそのような問題を含んでいない廃棄物処理がよからうということになりました。この頃新聞にもよくでてきますので、ご承知と思



写真-1 ソ連から記念品を贈られる
(ザコルスク ラドン研究所で)

いますが、いま下北に3点セット、ウラン濃縮と再処理と廃棄物の施設を造るという話がでております。日本としても、いま、廃棄物、特に処分の問題について大変さし迫った話になっているという事情もありまして、私のほか5～6人の者が一緒にソ連にまいったわけがあります。

センシティブな分野でないにも拘らず、この方面、特に原子力発電所の廃棄物処理についてのソ連の実情は、いままで余り正確には分かっていませんでした。今回訪ソしましたことにより若干実情が分かり、プラスの面はあったかと思うわけです。

その話に入る前に、ソ連のいろいろな資料等をもとにして、皆様方よくご存知のことかも知れませんが、ソ連のエネルギー事情がどうなっているかについて、最初に少しふれたと思います。

1. エネルギー事情

申すまでもなくソ連は大変エネルギー資源

に恵まれた国です。最近のソ連のエネルギー資源の重要な部分は、ヨーロッパロシアの部分からシベリアの方に移っており、現在、ソ連のエネルギー資源、エネルギー供給の中心はシベリアということになってきています。

まず、石油についてみますと、ソ連石油の産出量は年間6億トン

を若干超えています。この産油量は、国別では現在、世界第一位であります。石油の輸出については、ここ数年150万b/dとか、あるいはそれを少し上回るぐらいの量が西側に輸出されています。したがって、全生産量の中に占める輸出の割合はそんなに大きなものではありませんが、この輸出量もここ2～3年のうちに200万b/dを超すだろうと専門家はみているようです。この年産6億トンの石油のうち半分がシベリアで産出されています。ヨーロッパ部分の石油生産量は下降線を辿ってきておりますから、これからシベリアの石油産出のソ連内での重みは非常に高くなってくるわけであります。石油の生産予測というのは、なかなかむずかしいわけで、予測する人により随分違う見通しをたてていますが、だいたいのソ連の専門家は、2000年までは生産は上昇するであろう、それから先はよく分からない、といっているようです。もっと長く生産上昇をつづけるという人もあるし、そうでないという人もおりますけれども、2000年ぐらいまでは、ソ連の石油の全生産量は年々

増えるだろうというようなことをソ連の人達は言っておるようであります。石油についてはそのような状況であります。

天然ガスについては、日本の新聞にもニュースとしてよくでています。これもやはり産出はシベリアが非常に多いわけです。ただ、パイプラインを敷設することがなかなか難事業でして、それをいま一所懸命にやっておりますが、天然ガスも非常に豊富であることは間違いありません。

次に、石炭については、ソ連の資料によりますと、世界の石炭埋蔵量の半分以上はソ連にあると書いたものもあります。しかし、私も詳しく調べたわけではないので良く分かりませんが、最も信頼のおける世界エネルギー会議作成の資料によりますと、ソ連の石炭埋蔵量は世界の30%ぐらいということになっております。世界の半分だか、30%だか、その辺のところはともかくとして、その大量の石炭の多くの部分がやはりシベリアにあるということも間違いのないところであります。

このような状況を踏まえまして、ソ連のいろいろの開発が、ヨーロッパの部分-ウラル山脈から西の部分-からシベリアの方にどんどんと発展しておるわけであります。これは学術、技術の開発面においてもそうでして、少し前にできたソ連の科学アカデミーの分所がどんどん大きくなりまして、いまではシベリアに非常に沢山の技術者、研究者がおります。アカデミー会員の数で必ずしも比べるわけにはいきませんが、アカデミー会員の数もシベリアでは非常に増えてきているというのが実情です。

先程の石炭のところで一つ言い落しましたので、ここで付け加えたいと思います。シベ

リアにある石炭のうち、瀝青炭については、固体を運ぶのですから大変ですがけれども、運んでも十分経済的に使えますから、需要地に運んでそこでそのエネルギーを利用することができます。kg当りの発熱量が8,000~10,000 kcalぐらいの高カロリーの石炭があるとソ連の資料に書いてあります。この瀝青炭の他に非常に大量の褐炭資源がシベリアにあります。非常に大きな褐炭田として有名なのは、カンスクやアンドレイェフスクでして、kg当り発熱量は4,000kcalぐらい、水分約40%の褐炭であります。これを需要地に運んでエネルギー源として利用することは、コスト高となって、到底成立しません。現在、ソ連では、この褐炭を生産地で火力発電に使い、電気にしてエネルギーの需要地に送るということで、非常に大きな火力発電所ができております。私のみた資料は少し古いのでそれ以後さらに増えているかも知れませんが、640万kWの火力発電所が稼動しており、大きなものでは1ユニットで160万kWというようなものが建設されております。需要地までの距離が遠いので、送電に難点がありますから、超高圧直流送電が計画されているようであります。品位の低い石炭については、このように石炭のエネルギーを電気エネルギーに変換して、需要地に運ぶというような広い国ですから、計画自体が壮大なものになっています。

水力発電につきましては、全エネルギー供給に占める水力発電の比率は世界各国並みでして、5~7%とっております。日本でも、長期計画では、水力はだいたい5%ですし、台湾などをみてもせいぜい6~7%ですから世界のすう勢とそんなに違わないだろうと思います。

2. 原子力発電

ソ連はこのようにエネルギー資源に大変恵まれている国であります。目下、原子力の開発に非常に力を入れております。国が広いので、エネルギーの供給地と需要地とが遠く離れているところが泣き所で、殊に産業が非常に発達しているウラル以西の地域には、天然ガスなどを随分送っておりますが、それでもエネルギーが足りないということから、原子力発電に非常に力を入れております。と同時に、ソ連の特徴的な点は熱供給源としての原子力を非常に重視していることで、日本などとはかなり異なった面があります。もう一つ、原子力を非常に重視しているところはシベリアの北部であります。この地域は輸送が困難なので、燃料輸送が非常に簡単にすむ原子力発電所を造る。ただし、シベリアの北部ですから、発電もするが、熱供給が主体であります。シベリアの北部のことですから、そう大きな人口を抱えた都市がありません、産業としてもそんなに大規模なものではありませんので、原子力発電所は極く小さなものでよろしいわけでありまして。現に、この地域にはユニットの小さな原子力発電所が造られており、今後もソ連の考え方としてシベリア北部では原子力が非常に重味をもっている。だいたいそんなところではないかと思っております。

現在、ソ連の原子力発電の規模は2,275万kWで、米、仏に次いで世界第三位であります。日本はその次に位して第四位で、2,000万kWを若干切っております。ただ、ソ連の場合には、今後の計画が膨大で、暦年の来年（1985年）の末には、一応現在計画されてい

る数字をもとにしますと、3,500万kWという数字になるわけです。目下、世界第二位のフランスがだいたい3,100万kWぐらい、来年の末には多分3,900万kWぐらいになるとと思いますが、フランス政府は、電力需要の伸びがこのところ落ちていますので、原子力発電所建設のペースをスローダウンすることにしております。少し先になりますと、毎年1基ぐらいずつの建設ペースになってきます。そうなりますと、多分その時点では、ソ連がフランスを追い越すのではないかと思います。このように原子力発電に大変力を入れておるわけでありまして。

石油、石炭資源につきましては、どこにその産地があるかということはいわゆる分かっています。原子力につきましても、原子力発電所は、どこに、どれくらいの発電所を作る計画である、ということについては、原産が半年に1回刊行している「原子力発電所一覧」という冊子に掲載されておりますので、分かっております。どんな形式の炉を造るかということも、分かっております。

それによるとソ連が建設する原子炉の主体は加圧水型炉（PWR）であって、しかもそれが全部100万kW（発電容量）に統一されております。日本の場合には、それぞれの電力会社にいろいろな事情があり、大きなものもあり、小さなものもありということですが、ソ連の場合には、100万kWで全部揃っております。そういうところが国柄で可能であるのかと思いますが、建設その他も全部同じにしまして、どんどん造っていく。そんな格好になっています。

いま述べましたように原子力発電所の建設される場所についてはだいたい分かっています。

ですが、ことが最近新聞によくでてきます核燃料サイクル施設ということになりますと、ソ連ではいったいどうなっているのか皆わかりません。核燃料サイクルの主なものを挙げますと、ウラン濃縮、再処理、燃料加工があるわけですが、いったいどこに工場があってどれくらいの製造能力をもっており、どんな方法で造っているのかということになると全く分かりません。私のあと、東大名誉教授の三島さんが、核燃料関係のチームを結成してソ連にまいりましたが、「どこで加工しているか少しは分かりましたか」とききましたら、「ぜんぜん分からない」と言っていました。そういうことは一切言わないので、断片的にどんなことをやっているか推察するよりしょうがありません。いわば、「群盲象を撫でる」というか、断片的な話から総合して推察する以外に方法がないのですが、今のところさっぱり分からないというのが実情であります。

ただ、私のまいりました主題の廃棄物関係のことなどは、先程申しましたようにセンシティブな話ではないので、ソ連側も質問をすれば、ある程度話をしてくれました。ただし、向うに都合の悪いようなことには、質問しても答えてくれません。「データがいま手元にないから」とか、あるいは「数日後に返事を与える」といっておきながら、やはりだめだった、ということもありました。そんなことで都合の悪いことは多分ださないのだろうと思いますが、やはりセンシティブでないが故にかなり分かった点もあるわけです。

3. 放射性廃棄物の管理

先きにもふれましたようにソ連の原子力発

電は世界第3位ですが、日本で問題になっている発電所からでてくる放射能の低い廃棄物の処置はいったいどうしているのでしょうか。

日本では、初期の頃はセメントで固めて、それが現在発電所内の倉庫に沢山収納されています。現在、その量が可成り多くなり、海に捨てようと思ったところが、その見透しははっきりしないということで、今度はなるべく量を減らそうということになり、各電力会社とも大変苦心をしておられ、メーカーの方々もいろいろ技術開発をしておられるわけです。ところが、ソ連の場合には、日本ではセメントで固めている程度のもので、もちろん蒸発し放射能がある程度高くなったものですが、ステンレス鋼で内張りしたコンクリートの大きなタンクに、液状のままおいてあります。そういうことができるだけソ連という国は広



写真-2 革命記念の巡洋艦オーロラ号を背景に(レニングラードで)

いいですか、あるいはそういうことができる国であるということかと思います。しかし、いつまでも液体で貯めておくわけにもいかないということで、いま日本では関西電力（株）を中心にやっておられる、アスファルトで固化するという方法が、ソ連でも、どうも主流になるようであります。これから方々の発電所にアスファルトで固める設備を造り、固体の状態にするというようなことにとりかかるのではないかと思います。もちろん放射能の非常に低いものは、日本と同じように、大気中あるいは水中に放出しておりますが、現在、外にだせない、要するに放射能濃度を高めたものについては、以上に申しあげたようなことでやっております。

高い放射能の廃棄物について、日本では、動燃事業団でやっているガラスの中に封じ込めるようなことや、あるいはメーカーで検討中のある種の岩石類に中低レベル放射性廃液を滲みこませて固化するといった技術開発が進められていますが、このような技術開発の項目は、ソ連も日本と同じであります。ただ、日本の方が大きな設備を使い、お金をかけて立派なものを造っているという違いがあります。非常に高い放射能の廃棄物はガラスを固化することを考えているようですが、まだ技術開発の途上ですので、その方法をひとつには絞っておりません。方法の一つは、ドイツで開発しているような、ガラスをビーズ玉にして、鉛のような金属の中に落として、固めてしまうというやり方。もう一つは、日本の動燃事業団がやっているように、ガラスを容器の中に固めるという方法です。日本のガラスもパイレックスのような融点の高いガラスの中に封じこめるのですが、ソ連の場合に

は、日本のそれと異なり、硼素を沢山含んだ天然鉱物、ダトー石、にいくつかの他の鉱物を混ぜて高融点のガラス質にします。このような技術開発を進めていますが、再処理工場がどうなっているのか、よく分かりませんので、実際にこれらの技術をどうやって実用化するのか、そのへんのところはよく分かりません。

日本の原子力でもそうですが、原子力というのは先端技術である筈なのですが、実は先端技術があまり原子力に使はれていない。目下、新聞紙上を賑わしているような先端技術というのが、日本の原子力発電所に、これからどんなものが、どう使えるかというような検討を、実はいま始めている段階です。ソ連の場合、現在、私の見ました原子力技術は先端技術とは全く無関係のようでして、決して先進的とは思われません。そのへんの違いはありますが、技術開発の狙いとやっていることはどうも同じようです。

話を放射性廃棄物の処分に移したいと思います。日本でもこれは重要な問題です。先程ちょっと下北の話をしました。日本も、究極的には、あそこに持って行って、そのままおいておき、なし崩し的にある程度の期間をかけて、普通のゴミと変わらないところまでもっていこう、こういうことでやっているわけです。原子力発電所からの廃棄物の話ではありませんが、ソ連の場合、土地が広いものの、処分場の選定については非常に厳重に規制しているようです。粘度層の条件の恵まれたところを探しましてそこにコンクリートのピットを掘り、その中に処分する固体廃棄物を入れ、そこに放射能の低い廃液にセメントを混ぜたミルクを注入して、一体にして固めてし

まうということでやっております。このような処分場がソ連全体で32カ所ありますが、そこで行っているやり方も原子力発電所からの廃棄物の処分法と無関係ではないでしょう。

処分の点では、国柄からソ連が一番恵まれているように思います。

日本では、下北はまだ地元の了解をえられた

わけではないので、候補地ということになっています。これからどうなるか分かりませんが、うまく行くよう願われます。アメリカも、いま、大変悩んでおります。法律ができて、1986年1月1日以降は、協約を結んだ州以外からは放射性廃棄物を持って入ることができなくなるということになっています。ところがそれがなかなか具体的に進んでいません。フランスも悩んでおりまして、現在使っている所が遠からず一杯になるので、二つばかり場所を探しておりますが、これもなかなかむずかしい。イギリスは、現在使っているところに多少余裕があるのですが、また新規に候補地を選びまして、これからうまくいけば公聴会にかけよう、かという段階ですが、地元の反対があつてうまくいくかどうか分からないという状況です。世界各国とも大変悩んでいるわけですが、ソ連は土地の広いせいもありますが-アメリカも決して狭くはないのですが-、そういう処分については、場所の選定に厳しい条件を課しているものの、まあまあ実際にはそんなに頭の痛い問題では

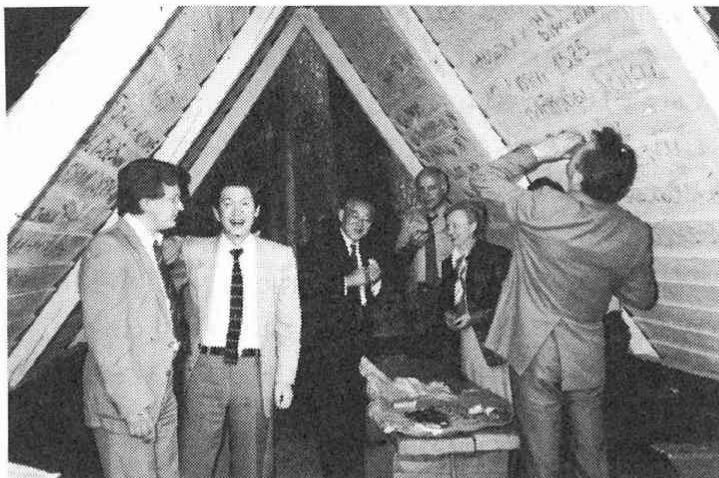


写真-3 ドライブの途中で小休止（ザコルスクラドン研究所からの帰途）

なさそうであります。

最後に、放射線の被ばく線量に関する規制について、ちょっとふれたいと思います。日本でも、一般の人とか、原子力の職業に携っている人とかが、どれくらいまでの原子力の平和利用による放射線の被ばくが許されるかという話があります。これについては、日本では勿論法律でしっかりと規制していますが、ソ連でも法律ですべての原子力や放射線利用について一つの体系のもとにかなり詳しく規定しています。日本の場合、事業所の外では科学技術庁が規制の元締めですが、ほかの国では、イギリスにしても、アメリカにしても、あるいはソ連にしても、それぞれやり方が違ってきます。ソ連の場合には保健省という省が規制をしています。アメリカの場合は、複雑ではありますが、環境に関する限りはEPA（環境保護庁）という役所がみえています。イギリスの場合は、やはり環境省などが規制しています。日本の場合には、厚生省や環境庁はタッチしていないわけです。

放射性廃棄物の放射能が時とともに減衰し

て最終的に放射能が殆んどなくなった場合には、一般の産業廃棄物として扱うという話が出ていますが、厚生省が必ずしも「うん」と言わないというところがあります。なかなかむずかしい問題があらうかと思いますが、日本以外の国では、環境関係の役所であるとか、あるいは保健関係の役所がだいたい一元的にみているというのが実情であります。いま申しあげました職業人、一般人の被ばく、それから施設を建設する際の法律に基づいた規制関係、これらについては保健省が中心になっ

てソ連の場合は規制が行なわれているというのが実情であります。そして、一定の放射能濃度以下のものは放射性廃棄物としては取扱っておりません。

以上のようなことで、ソ連の放射性廃棄物の管理、あるいは原子力施設を建設する場合のいろいろな規制がどうなっているかということはかなり分かってきましたが、それらについては別のところで報告してありますので、今回はこれ位で終らせていただきます。

（やまもと ゆたか）

研究所のうごき

(昭和59年10月1日～12月31日)

◇ 評議員会

第5回評議員会開催

日 時：11月14日(水)15:00～17:30

場 所：経団連会館(9F)クリスタルルーム

議 題：

- (1) 議長挨拶
- (2) 〔報告〕
昭和58年度事業報告及び収支決算
昭和59年度事業計画及び収支予算
- (3) 〔講演〕
訪ソ雑感(山本理事長)
- (4) 懇 談

◇ 月例研究会

第17回月例研究会

日 時：10月26日(金)14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F)1303会議室

議 題：

- (1) 原子力発電プラントへの先端技術の応用可能性について(主管研究員 竹内 光)
- (2) エネルギーベストミックスへのアプローチ—これまでのIAEの活動—(専務理事 武田 康)

第18回月例研究会

日 時：11月30日(金)14:00～16:00

場 所：航空会館(7F)第1会議室

議 題：

- (1) 海外における原子力発電所からの熱供給の現状(主任研究員 長田武嗣)
- (2) 小型分散電源によるコジェネレーションの問題点(プロジェクト試験研究部長 斉藤晴通)

第19回月例研究会

日 時：12月21日(金)14:00～16:00

場 所：幸ビル(13F)1303会議室

議 題：

- (1) 「FBR大型炉開発国際シンポジウム」の概要報告(研究員 谷口武俊)

(2) 省エネルギーの新技术と材料について

(主任研究員 田中謙司)

◇ 主なできごと

10月2日(火) 「次世代型軽水炉構想」第2回委員会開催

12日(金) 「燃料用メタノールの利用可能性に関する検討調査」第1回委員会開催

18日(木) 「プルサーマル」第5回委員会開催

26日(金) 第17回月例研究会開催

30日(火) 「FBR大型炉国際シンポジウム」第2回組織委員会開催
同上合同委員会(実行委,幹事会,プログラム委)開催

11月6日(火) FBR大型炉国際シンポジウム開
～9日(金)催

14日(水) 第5回評議員会開催
第2回「LNG広域供給技術調査研究会」開催

15日(木) 「新シーズ」第2回委員会開催

16日(金) 「プルサーマル」第6回委員会開催

22日(木) 「原子力プラント運転の信頼性研究会」開催(第38回)

26日(月) 「燃料用メタノールの利用可能性に関する検討調査」第2回委員会

27日(火) 「エネルギーフロンティア計画調査」第3回委員会開催

28日(水) 「エネルギー需給構造」第1回委員会開催

12月3日(月) 「SPS」第4回委員会開催

5日(水) 「FBR実用化」第1回委員会開催

6日(木) 「メタノール環境安全性検討」第2回委員会開催

17日(月) 「ウラン濃縮事業化調査」第1回委員会開催

18日(火) 「石油トータルエネルギーシステム調査」第1回委員会開催

19日(水) 「エネルギー需給構造」第2回委員会開催

20日(木) 「新シーズ」第3回委員会開催

21日(金) 第19回月例研究会開催

12月24日(月) 「次世代炉に関する安全設計」懇
談会開催

25日(火) 「海外立地CWMフィージビリティ
調査」最終総会開催

◇ 人事異動

○ 10月1日付

主任研究員 安藤順康 退職(出向解除)

(採用) 渋谷紳一 主任研究員に任命, プロ
ジェクト試験研究部配属

◇ その他

外国出張

- (1) 三井英彦副主席研究員は、「フランス、西独
及び米国における原子炉廃止措置の動向把握」
のため、10月20日から11月4日までの間、西
独と米国に出張した。
- (2) 高倉毅主管研究員は、日本エネルギー経済
研究所の委嘱により、「インドネシア共和国パ
ンコ炭有効利用計画調査の現地調査」のため、
10月23日から11月3日の間、インドネシア共
和国に出張した。
- (3) 原谷裕三主任研究員と蓮池宏研究員とは、
「燃料メタノール製造技術及び自動車への利
用技術に関する最近の動向把握」のため、12
月1日から同月16日の間、米国に出張した。

第 7 卷 通 卷 目 次

VOL. 7, No. 1 (1984. 4)

科学と政治	理事・京都大学名誉教授 榎 木 義 一	1
昭和59年度における資源エネルギー		
関連技術開発の重点事項について	福 島 章	3
エネルギーフロンティア計画調査の概要	長 田 武 嗣	14
LNGに関する海外調査報告	桑 原 脩	23
海外における原子炉の廃止措置	三 井 英 彦	36
研究所のうごき		48

VOL. 7, No. 2 (1984. 7)

民間の活力	理事・(財)日本エネルギー経済研究所理事長 生 田 豊 朗	1
FBR大型炉開発国際シンポジウムの開催について(ご案内)		2
ソフトエネルギー「その期待と限界」	桑 原 脩	4
石炭ガス化炉の開発動向について	菅 野 孝 悦	18
FBR耐震設計に関する海外調査	安 藤 順 康	28
米国と濠州の炭鉱をみて	片 山 優久雄	38
アメリカにおける燃料電池技術開発の現状と展望		
— J. P. Ackerman 博士の講演から —	石 川 力 雄・児 玉 皓 雄	46
研究所のうごき		60

VOL. 7, No. 3 (1984. 10)

第4回 エネルギー総合工学シンポジウム(特集)

熱・電力併給システムの開発と課題

＜エネルギーの多段階利用による省エネルギーシステムの実用化＞

開会のあいさつ	所 長 山 本 寛	1
〔基調講演〕コジェネレーションの意義と展望		
.....	東京大学工学部教授 吉 田 邦 夫	4

熱・電力供給システムの現状

〔報告1〕 ホテルの実施例……………	東京都プラザ取締役	大神 正 幸	14
〔報告2〕 燃料電池でのケーススタディ……………	当研究所主任研究員	中 村 政 則	24
〔報告3〕 発電用小型エンジン……………	神鋼造機㈱プロジェクト本部課長	金 子 隆	31
〔パネル討論〕 コージェネレーションの可能性について……………			50

座 長……………専務理事 武 田 康

パネリスト (五十音順)

㈲電力中央研究所電力研究所所長 上之蘭 博

鹿島北共同発電㈱技術環境グループ グループリーダー 木 村 達 幸

筑波大学社会工学系助教授 丹 羽 富士雄

㈱日本ガス協会技術開発室室長 正 宗 有 三

閉会のあいさつ……………常務理事 柴 田 誠 一 72

研究所のうごき…………… 73

VOL. 7, No. 4 (1985. 1)

技術開発と国際協力……………理事・東京電力㈱副社長 堀 一 郎 1

液体金属冷却高速増殖炉 (LMFBR) 開発の現状とコスト低減対策

＜“FBR大型炉開発国際シンポジウム”の概要報告＞……………谷 口 武 俊 2

合成ガスより炭化水素合成法の技術

進歩の動向……………東京大学名誉教授 功 刀 泰 碩 15

ソ連のエネルギー事情と原子力利用のバックエンド……………理事長 山 本 寛 29

研究所のうごき…………… 37

第7巻通巻目次…………… 39

季報エネルギー総合工学 第7巻第4号

昭和60年1月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区新橋1-1-13

東新ビル(7F)

電話 (03) 508-8891

無断転載を禁じます。(印刷)和光堂印刷株式会社