

## 石炭ガス化に関する諸問題

## Outstanding Problems on Coal Gasification

富久登\*

Noboru Tomihisa

## はじめに

石油代替エネルギーの開発は、今や世界的な問題として大きくとりあげられているが、中でも石炭の利用は、資源賦存量が最大であることから、燃料としての直接利用は勿論液化、ガス化による合成燃料の製造、石炭化学分野への利用等の面でクローズアップされ、関連する諸問題について毎日報道されているのが現状である。

石炭ガス化に関する諸問題をとらえる場合、石炭資源の賦存量、資源開発等の資源問題、輸送貯蔵等のインフラ・ストラクチャーの問題、天然ガスやLPG等のガス体エネルギーや他の代替エネルギーの中での石炭ガス化の位置づけの問題、商業化、技術開発の問題、環境問題、製造ガスの利用分野に関する問題のみならず政治問題（技術開発・導入に係る国家的乃至は国際的な技術協力、資金援助など）等の多くの事柄に言及する必要がある。本稿ではこれらの問題の中で、石炭の需給、ガス体エネルギーの需給、代替エネルギーの中での石炭ガス化の位置づけ、石炭ガス化の商業化あるいは技術開発の上での問題にしぼって述べることにしたい。

## 1 石炭の需給

長期のエネルギー需給見通しについては、B.P., シェル, S.R.I., I.E.A., エクソン, IIASA等の諸資料に西暦2000年あるいは2030年までの予測が提示されているが、石炭の全エネルギーに占める構成比率は、現在の20%から2000年にはほぼ30%に増加する点でおおよそ一致している。ちなみに石油、天然ガスの占める割合は現在の52%, 19%から2000年には30~36%, 19%とそれぞれなっており、構成比率で見限り石油は減少、天然ガスは横ばいとみられている。

\* 大阪瓦斯(株)技術開発部マネージャー専門部長  
〒541 大阪市東区平野町5-1

表1 石炭需要用途別構成比率

用途		西歴		
		1980	1990	2000
自由圏	鉄鋼(冶金)	12	11	9
	電力	28	29	29
	工業用その他	9	11	12
	合成燃料	—	4	10
共産圏		51	45	40

最近報告されたExxon<sup>1)</sup>の長期予測を引用して石炭の用途別需要構成比率をみると表1のようである。この予測をもとにすれば、合成燃料に石炭が活用されるのは1990年から2000年にかけてとみられている。供給上の問題としては、石炭資源の供給量が自由圏に多いとはいえ、共産圏が約50~40%を占めており、今後の共産圏の需給動向を注目してゆく必要があろう。

Exxonの報告でみる限り、マクロ的には世界の石炭需給はバランスしている。一方我が国のエネルギー需給については、昭和54年8月の総合エネルギー調査会の答申に記載されている昭和70年度までの長期エネルギー暫定見通しが現在公式なものである。しかしその後の省エネルギー、不況等の影響によって、石油の需要は大きく落ち込んでいる。石炭の需要は、価格面での優位性から、鉄鋼業界のオイルレス操業、セメント、電力、紙・パ業界の燃料転換等のいわゆる直接利用により寧ろ見通し量を上まわる伸びを示しており、今年秋には暫定見通しの改訂が行なわれる予定である。一般炭の需要予測は昭和60年度3,400万トン、昭和65年度に6,450万トンになっているが、前述の石油から石炭への燃料転換が比較的容易な業種の需要を推定すると昭和60年度で約4,000万トン、昭和65年には6,900万トン程度になるものとみられる。石炭のガス化向けの需要は、表1の合成燃料（液化、ガス化）に示される

が、今後の石炭と石油との相対価格に大きく影響されるのは勿論、新規ガス田の開発や、コールセンターを含むインフラストラクチャーの整備、技術開発の状況からみて、早期に増加することは考えにくい。やはりExxonの予測のように、石炭ガス化による需要は1990～2000年にかけて増加するものと思われる。

## 2 ガス体エネルギーの需給

ガス体エネルギーの供給は、Exxonの予測からみると西暦2000年までは頭打ちの傾向はないが、米国、カナダ、ヨーロッパ等では需要量を上廻り、これに代って中東、極東、ラテン・アメリカ、共産圏の供給が増加する傾向にある。すでにLNGの国際契約価格は原油価格スライド制が通念となっており、量的な確保は兎も角、価格の先行きについての見通しは原油同様不確定である。特に注目すべき点は、共産圏諸国特にソ連の天然ガスの供給量が増加傾向にあり、自由世界の安全保障問題とからんで輸入問題は政治問題となりつつある。

石炭のガス化や、重質油のガス化によるガス体エネルギーの量は、今世紀末で、全ガス体エネルギーの中で2～3%になると予測されている。我が国の石油代替エネルギー構想の中でのLNG輸入量は、「暫定見通し」に示されているように昭和60年度2,900万トン、昭和65年度4,500万トン、昭和70年度5,000万トンとなっている。当社調べの実績及び予測によれば、昨年度実績1,690万トン、昭和60年度2,800～2,900万トン、昭和63年度には3,500～3,800万トンが見込まれ、政府予測に近い線となるものと思われる。

LPGの位置づけは、「暫定見通し」の中では、石油輸入量の枠内で考慮されており、石油供給量の上限をきめたIEA、政府方針に従う限りは他の石油製品との関連で論議される問題である。中間3品の不足対策として重質油の分解等が実施に移されつつあるものの、LPGはガソリン、灯油等と代替可能な原料であり、製品輸入の増加も考慮されうる原料である。ECの報告<sup>2)</sup>による1980、1985年の需給をみると、1980年の共産圏を除く生産は2,410万トン、1985年の予測は4,740～4,790万トンであり、これに対する需要量は、それぞれ1,100～1,910万トンと2,980～4,330万トンとみられており、この5年間をみる限り500～1,700万トンの余剰生産が見込まれている。これら余剰の原因は、中東、北アフリカ等の油田随伴ガスの回収による所が大きい。最近の需給のゆるみは、世界的な省エネルギー不況にも

よるが、こうした産油国のLPG回収によるものが大きく、予測としては1980年代の需給は軟調とみられる。

以上のようなガス体エネルギーの需給から2000年を適確に予測することは難しいが、少くともここ10年に関する限り、原燃料としてみた場合、余程の価格上昇がない限り、石炭のガス化によるエネルギー生産は、産出国での産炭地に近い所で利用するか、一酸化炭素あるいは水素から附加価値の高い製品を生産しない限り、LNGやLPGに代替しうることが難しいと思われる。ただ現在のエネルギー情勢を予測することは単に需給の問題ではなく、極めて政治的であることを考慮すると、ガス体エネルギーについてもエネルギー多消費国と生産国の動きを常に監視してゆく必要がある。

## 3 代替エネルギー開発に占める石炭ガス化の位置づけ

石炭のガス化を論ずる場合、シェール・オイル、オイル・サンド、アルコール、バイオマス、石炭液化油等の代替エネルギーとの関係を念頭におかねばならない。そこで代替エネルギーを個別にみてゆくことにする。

先づシェール・オイルは現在中国、ソ連で若干利用されているが、資源的には米国、ブラジル、オーストラリアに大量に賦存している。推定<sup>3)</sup>によると1990年における自由世界の生産量は約23万bbl/D.O.E.\*2000年には150万bbl/D.O.E.となっている。米国ではカーター政権時代には1990年には40万bbl/D.O.E.の開発を石油輸入削減のために考えていたが、政権の交替後、政策変更がなされており今後の合成燃料公社等の動きが注目される。いづれにしてもシェール・オイルの本格的生産は1990年以降とみられている。

タール・サンドの開発はカナダのアルバータ州で開始されているが、1990年には自由世界で約70万bbl/D.O.E.2000年には150万bbl/D.O.E.の生産が予測されている。カナダが最大の生産国となるが、米国、ベネズエラでも1985～1990年にかけて生産されてゆくとみられる。

アルコールについては、メタノールとエタノールを燃料用として開発する計画がある。メタノールについては、米国、ヨーロッパ等で事業化が考えられている。我が国でも天然ガスや褐炭等からの燃料用メタノールについて検討が行なわれているが、世界的レベルでの予測では1990年以降に10万bbl/D.O.E.程度とみられている。一方エタノールについてはブラジルですで

\* D. O. E ; day oil equivalent

にガソールとして生産されており、1985年にはブラジル、米国等で約10万bbl/D.O.E, 2000年には約60万bbl/D.O.E.程度に生産されるものとみられる。

バイオマスは太陽エネルギーの変換によって生産される唯一の再生可能資源として注目されている。人類は陸生植物や海生植物を古代から生活の必需品として利用してきた。バイオマスを薪炭以外の形でエネルギーとして利用することについては現在アメリカや日本で研究開発やフィージビリティ・スタディ(F/S)が手がけられている。バイオマスは、直接燃焼、熱分解、アルコール醱酵、メタン醱酵等の技術により利用し易い形に変換される一方、食糧や飼糧生産、建材や紙、パルプ等の原材料としても付加価値が高いため、栽培による計画的なエネルギー用のバイオマスの生産は、前述のブラジルで実施されているアルコール生産以外は、まだまだ試考錯誤の域を脱していない。現実論としては、生産地でエネルギーに変換しない限り、エネルギーの生産性も悪く、貯蔵、輸送等にコストがかかるため在来エネルギーと競合させるにはまだまだ検討事項が多い。一般的には、エネルギー市場に流通するのは2000年以降とみられている。都市廃棄物よりのエネルギー回収を含め当面はローカルエネルギーとしての利用にとどまるものと思われる。

石炭の液化については、溶剤抽出や溶剤中での水添分解あるいはそれらの組合せで直接液化したり、一旦、石炭を合成ガスに変換した後Fisher-Tropsch法によって合成石油へ転換したり、メタノールに転換した後合成ガソリンに転換するモービル法等による間接液化法が企業化あるいは技術開発の途上にある。

直接液化法については、米国、西独、日本等で技術開発が実施されているが、莫大な開発投資が必要なこと、技術開発面、特に工業化の面からまだまだ解決すべき点が多いことも含めて、本格的に代替エネルギー市場に石炭液化油が出まわるのは1990年以降となる公算が大きい。

代替エネルギーを考える上での大きな問題は、代替エネルギーの原料となる資源の問題及びその製品の貿易の問題でありこれらはいづれも政治的である。我が国は、原料資源を自国に持たないため、海外投資や共同開発の形で現地生産する場合が多いと思われるが、生産された代替油を日本に輸入する場合の問題を残している。1例を示せば、米国においては「1977年輸出管理法」に基づいて石油輸出は事実上できない状態が続いてきた、この法律では、輸出により米国の石油供

給や石油価格などに悪影響が出ない場合に限り、石油の輸出を認めることを条件に盛り込んでいる。大統領は輸出を認可する場合こうした点について調査し、議会の承認をうけることになっている。現在米国は石油需要の約40%を輸入しているため自国産の石油輸出は国内石油の需給に影響を及ぼすことが無視できないため、これまで大統領権限を強力に行使しない限り当抵不可能であった。レーガン政権になって輸出が米国の国益を損わない限り、同盟国に石油輸出できるよう「輸出管理法」の弾力的な運用をめざしており、同法の見直しは今秋をめどに結論が出される予定である。米国からの石油輸出は、スワップによって現実のものとなる公算が大きい。技術的にも未完成で、原油と混合し難く、また現状では価格も高い合成燃料油がスワップの対象となるのは、可成り先のことと思われる。

レーガン政権になって、米国は西独のソ連天然ガスへの依存を食い止めようとしているが、代替エネルギー問題を考える場合、各国のこうした政策、法律について注目しなければならない。

石炭ガス化によるガス体エネルギーの生産は、代替石油生産と違って貿易の対象となりにくいものである。

現実論として合成ガスを代替天然ガスに転換しこれを液化し、輸送することは有りえない、可能性としては合成ガスからメタノールに変換しこれを輸送する方法があり実際にF/Sも行なわれている。石炭ガス化の実用化、技術開発の展望については次の4,5に譲る。

代替エネルギーが、どのように各国で実現化してゆくかを予測することは余りにも多くの要因があり極めて難しいがこの要因のなかで、一つの手懸りとなるのは経済性である。代替エネルギーの経済評価についての文献は多いが、その例<sup>4), 5)</sup>を示すと次のようである。これらの結果を導くための数値は、報告書提出機関が信頼しうると考えたものを用いた試算であり、更に詳細には数100万ドル以上をかけたエンジニアリング設計に基いた推算により可能となると思われる。表2に合成燃料製造プラントの価格、表3に合成燃料の経済性比較を示す。

表2、表3からおおよその米国における代替エネルギーの価格がわかる。文献<sup>4)</sup>によれば、これに比較すべき天然ガス価格は15~19\$/bbl, 外国原油は19~25\$/bblであり、シェール・オイルの価格が石炭の液化油の価格や、石炭のガス化によるガス価格に比べて極めて安いのがわかる。また石炭の液化による販売価格が石炭ガス化のそれより安いように見えるが、現在実現

表2 合成燃料プラント価格 (1979年ドル)

	投下資本 (\$/日バレル)	投下資本:(1) 50,000 BPD プラント (10億\$)
<u>シェール・オイル</u>		
地下採掘/地上レトルト	22,800—25,000	1.8
オープンピット採掘/地上レトルト	22,800—24,000	1.2
改良現地処理 (MIS)	17,600—20,400	1.0
MISと地上レトルト併用	16,600—18,000	0.9
<u>石炭液化</u>		
SRC-I	28,500—35,000	1.6
水添液化	35,500—42,000	1.9
間接液化	36,500—43,000	2.0
<u>オイル・サンド</u>		
熱水抽出	20,000—23,000	1.1
現地処理	22,000	1.1
	\$/100万 SCF	
<u>石炭ガス化</u>		
第1世代	3,700—6,800	1.9
第2世代	5,400—8,700	2.1

(1) \$/日バレル投下資本の平均値基準

表3 合成燃料の経済性比較 (1979年ドル)

	販売価格 (\$/バレル)	販売価格(1) (\$/100万 BTU)
<u>シェール・オイル</u>		
地下採掘/地上レトルト	22—26	3.70—4.30
オープンピット採掘/地上レトルト	24—26	4.00—4.30
改良現地処理 (MIS)	15—24	2.50—4.00
MISと地上レトルト併用	15—21	2.50—3.50
<u>石炭液化</u>		
SRC-I	30—36	5.00—6.00
水添液化	34—38	5.70—6.30
間接液化	35—39	5.80—6.50
<u>オイル・サンド</u>		
熱水抽出	26—33	4.30—5.50
現地処理	31	5.20
<u>石炭ガス化</u>		
第1世代	35—46	5.80—7.70
第2世代	35—53	5.80—8.80

(1) 600万 BTU/bbl 基準

可能な石炭間接液化と第1世代石炭ガス化とを比較するとほぼ同じ価格となる。特に石炭直接水添液化はプロセスが確立していないために50%程度の価格誤差を含んでいると考えられる。石炭ガスの価格と石炭液化油の価格評価はこうした前提をもとに評価する必要がある。原油価格は最近の OPEC 内の意見不統一、消費国の石油消費節約の影響により極めて流動的である。

原油価格の上昇は平均的にみてインフレプラス 2—3% の名目の値となっている。プラントの建設コストもインフレによって上昇しているため、早期にプラントを建設する方が、技術開発によって効率を上昇するよりも有利と云う見方もある。こうした意味も含めて米国では石炭のガス化が液化のプロジェクトに先がけて実施に移されつつある。

#### 4 石炭ガス化技術の商業化と技術開発の展望

石炭ガス化技術の商業化は、コークス炉、水性ガス炉、発生炉ガス炉等によって今世紀の前半から実施されている。我が国でも Winkler 法、Koppers-Totzek 法等が 1940 年代から 1950 年代にかけて導入されたが、我が国では日東化学、三井東庄、住友化学等でガス化プラントの改良開発が実施されていた。1950 年代後期から石油時代を迎え、世界的にも新しい石炭ガス化プロセスの開発は中断されていた。1970 年代に入って第 1 次中東戦争前後から、代替エネルギー開発の 1 つとして石炭ガス化プロセスの改良開発研究が米国、英国、西独を中心として再開した。

石炭のガス化は、産炭地での炭鉱内での地下直接ガス化とプラントを使用する地上ガス化に分けられる。

本稿では、地上の石炭ガス化に限って展望する。

石炭ガス化プロセス (地上) は基本的には次の 4 つに分類される。

- 1) 固定床 (半移動床)
- 2) 流動床
- 3) 噴流床
- 4) 溶融浴

それぞれのガス化方式の特徴を表 4 に示す。

表4 石炭ガス化の基本型式の特徴

1) 固定床 (半移動床)
使用炭: 粘結, 膨潤炭の処理難, 石炭粒径 6-50mm 微粉炭の処理難
反応: カーボン転化率大, タール, フェノール等 副生, メタン生成大, プロセス酸素の消費 量比較的小
灰の取出し: 灰の融点以下 (Dry Ash 法) での抜

出し灰の融点以上 (slagging 法) で  
の抜出し

代表的プロセス: Dry Ash Lurgi<sup>6)</sup>, Slagging  
BGC<sup>7)</sup> Lurgi, Ruhr 100<sup>8)</sup>

## 2) 流動床

使用炭: 瀝青炭では凝集防止のため前処理を必要  
とする石炭粒径 (0-5 mm)

反応: タール, 軽油副生, 灰の融点以下の温度に  
維持する必要あり, プロセス酸素の消費量小  
灰の取出し: チャーと一緒に抜出し (灰の融点以  
下)

代表的なプロセス: Winkler 法<sup>9)</sup>, COGAS<sup>10)</sup>,  
HYGAS<sup>11)</sup>, 日立ハイブリッド<sup>12)</sup>

## 3) 噴流床

使用炭: 炭種に比較的制限小, 石炭粒径 < 0.1 mm  
反応: 高温反応, タール, 軽油等の発生なし, プ  
ロセス酸素消費量大, メタン生成小

炭の取出し: 溶融スラッグ抜出し

代表的なプロセス: Koppers-Totzek<sup>13)</sup>, Texa-  
co<sup>14)</sup>, Shell-Koppers<sup>15)</sup>,  
Saarberg-Otto<sup>16)</sup>.

## 4) 溶融浴

使用炭: 炭種に制限小, 石炭粒径 < 3 mm

反応: タール, 軽油副生なし, 高温反応, メタン  
生成少, 溶融物による腐食蝕食問題大  
灰の取出し: 溶融スラッグ抜出し, 溶融塩との分  
離難

代表的プロセス: Saarberg-Otto<sup>10)</sup>

これら 4 つの基本プロセスに関連した代表的なプロセスに詳細については文献を参照されたい。現在すでに商業化されているプロセスとしては Lurgi (Dry Ash) 法, Koppers-Totzek 法, Winkler 法の 3 法がある。Lurgi 法は南アフリカのサゾールで実用化されている。Lurgi 法は高圧操業が可能であるが, 他の 2 法は常圧法である。

これらのものを総称して第 1 世代ガス化プロセスと呼んでいるが, いずれも 1920~1930 年代に開発されたものでその改良が目下各国で実施されている。これらの改良も含めて比較的早く実用化が可能なるものを第 2 世代プロセスと呼び 1983~1990 年にかけて商業化が可能と云われている。この中で BGC/Lurgi 法, Texaco 法等についてはプラント販売の申出や受注がされている。現在多数の第 2 世代プロセスの開発が行われてい

る。いずれも数 10 トン/日から数 100 トン/日のプラントで実施中であるが, その開発資金も数 10 億円から数 100 億円に達するため, 極く一部のものを除き, 政府補助金や EC 補助金で開発が進められている。

原理的には高い効率や有用な副産物を生産する可能性はあるが, 現状ではまだまだ技術開発に時日を要すると考えられるものとして第 3 世代ガス化プロセスがある。

第 2 世代までのガス化法は酸素 (空気) 及び水蒸気をガス化剤としているが, 第 3 世代では高温水素をガス化剤とする City Service/Rockwell 法<sup>17)</sup>, 水蒸気をガス化剤として接触分解する Exxon 法<sup>18)</sup>, 高温ガス炉 (原子炉) の熱を利用する Bergbauforschung 法<sup>19)</sup>, 等 1990 年代に商業化が期待される方法がある。

## 5 石炭ガス化技術の商業化と技術開発上の問題点

石炭ガス化の商業化は, 南アフリカや米国で開始されている。我が国でも国や企業でその F/S がなされているが, 商業化を実施する場合の問題点について二, 三述べる。

### 1 使用炭種とプロセスの選択

4 でも述べたように, プロセスによって使用石炭が制限されるので, 商業化の目的である製品を得るためにどのプロセスが適当かも含めて, 単なるプロセスの経済性だけではなくに, 使用炭種を入手の条件も含めて慎重に選択する必要がある。

### 2 第 2 世代以降のプロセスの選定

開発途上のプロセスは, 前章で述べたように, プラントの規模も小さく, 長期の連続運転実績が少ないものが多い。プロセスの経済性もさることながら, 技術上の危険性についての十分な調査と対応の検討が必要である。

### 3 設備の建設に当たっての問題

設備建設に当たっては, 多額の投資が必要である。米国でも一企業でプラントを建設する場合は稀で企業連合として実施する場合が多い。一企業において, ガス化製品が明らかにメリットを生む場合を除き, 企業連合で商業化を考えることも必要であり, 税法上の優遇措置や, 特別融資制度, 補助金制度について今後の動きを注目するとともに, 環境アセスメントや, 水等の用役資源等についても十分な検討が必要であろう。

技術開発上の問題としては, ガス化炉周辺の問題と粗ガスの精製等のガス化炉後流の問題があげられる。

それぞれについて技術上問題となる点を列記するに止める。

### 1) ガス化炉周辺での問題

#### 原料移送

石炭粉砕方式—乾式及び湿式粉砕装置の寿命

(材料の摩耗, 腐食対策等)

移送方式—スラリー及びニューマティック移送—移送機器, 配管の寿命

#### ガス化炉

材 料—耐火物の選択

構 造—石炭, 灰のチャンネルング防止

石炭, 灰の凝集防止

石炭, 灰の飛散防止

灰の抜き出し部分のつまり, 摩耗,

侵食防止

タール等による開塞防止

スケール・アップスケール・アップ技術の確立

冷却系 チャー, 灰, タール等の分離方式

構造材の耐食, 耐摩耗性

冷却器の構造

精 製 最終製品製造に適した精製プロセス選択と

それに関連する触媒, 材質,

環境対策のためのプロセス(重金属, SS等)

検討

### おわりに

石炭ガス化についての問題のほんの一部をしかも、表面をなでるような形で述べたに過ぎないが、我が国の石炭ガス化への対応は新エネルギー総合開発機構を中心に急ピッチで進められている。世界的にみれば商業化が始まっているもののまだまだ技術的な問題も多い。一般にガス化炉周辺の技術問題は検討されているが、ガス化してからの粗ガスの利用面での検討はこれからと云ってよからう。その用途—複合発電, 化学工業利用, SNG製造—によって粗ガスの精製の度合いも異なり, 粗ガス中に含まれる微量不純物の処理法も異なるわけで, 単なる既存技術の組合せで商業運転が保証されるかどうかについては正直云ってこれからの問題とも云えよう。

石炭のガス化は技術ではなく「芸術」と云う人もいる。石炭ガス化技術の本格的な開花はこれからであるが, 今後の技術開発に負う所が極めて多いものと思われる。長期の連続運転を保証するためには, プラントのどの部分も故障しないことが必要である。こ

う意味では, ロケット開発のように, 構成する各部分のハード, ソフトの信頼性とそれを有機的につなぎ合わせるシステムの開発が必要であり, 技術を芸術まで昂めるため関連企業の協力と質的向上が是非とも必要であろう。

### 文 献

- 1) Exxon, "World Energy Outlook", (Dec. 1980)
- 2) MDE Cameron, Speech of the Symposium "Gas Transportation and Storage", (Oct. 1978)
- 3) 日本エネルギー経済研究所, "合成燃料開発の現状と展望" (1981年2月)
- 4) US DOE, "National Energy Plan II" (1979)
- 5) "Overview of Synthetic Fuels Potential to 1990" 米国土院予算委員会レポート
- 6) P. F. H. Rudolph, 4th Synthetic Pipeline Gas Symposium (1972)
- 7) R. B. Sharman et al., The Synfuels International Conference (May 1981)
- 8) R. Specks et al., 1st International Gas Research Conference (June 1980)
- 9) F. Boegner et al., "Winkler Fluid Bed Coal Gasification Experience with Low Grade Coals"
- 10) R. J. Eby, 10th Synthetic Pipeline Gas Symposium (Oct 1978)
- 11) P. B. Tarman, 1st International Gas Research Conference (June 1980)
- 12) 平戸瑞穂他, 化学装置, 22, (5), 28(1980)
- 13) R. W. Whiteacre et al., Clean Fuel from Coal Symposium (1975)
- 14) W. G. Schlinger, 6th Annual International Conference on Coal Liquefaction and Conversion to Electricity (1979)
- 15) E. V. Vogt et al., CEP, 76, (3), 65(1980)
- 16) W. Brocke et al., 1st International Gas Research Conference (June 1980)
- 17) J. Silverman et al., 1st International Gas Research Conference (June 1980)
- 18) J. E. Gallagher et al., 6th Annual International Conference on Coal Gasification, Liquefaction, and Conversion to Electricity (1979)
- 19) 燃料協会, "石炭の流動燃焼・ガス化技術に関するヨーロッパ視察報告書" (1980. 12)

