

北海道工業開発試験所技術資料

第 1 号

英国石炭化学調査委員会の報告書

Report of Committee on Coal Derivatives

昭和 36 年 3 月

工業技術院
北海道工業開発試験所

北海道工業開発試験所の 技術調査活動について

北海道工業開発試験所は、工業技術院の才12番目の試験所として誕生したもので、その使命とするところは北海道における諸産業の振興、発展をはかるため、工業技術院所属試験研究所の研究成果の工業化を行うことにあるが、かゝる地域開発的な性格を有していることは異色ある存在と言えよう。

このような意味から諸般の試験研究を実施するのみならず、北海道工業開発の基礎資料となるような広範な技術調査をも併せて行うべきことが強く要望されていたのであるが、こゝに技術調査資料の才1号として英国の石炭産業の今後の動向を卜すべき文献を入手したのでその全訳を発行し、広く江湖の参考に供するものである。

現下のわが国の石炭産業の置かれている状況に鑑みて極めて時宜を得た資料になるものと信ずる次才である。

工業技術院長

後 藤 以 紀

北海道工業開発試験所 技術資料発刊に際して

当所の現在の設備計画は才一次として3カ年以内に人員120名敷地約2万坪程度の規模として差当り北海道の最も恵まれた地下資源であり、しかもその対策に緊急を要する石炭の有効利用を主体とする地下資源の工業化と、工業技術センターとしての役割をはたす才一步としての分析試験関係の設備充実を目途とし、既に昨35年4月より発足している。36年度からは“新乾留法による道炭の利用合理化”なるテーマの下に特別研究を実施する予定である。

工業技術センターとしての役割をはたすためには研究の実施に先行して綿密な国内外の文献調査ならびにそれぞれの分野における動向を充分把握して研究推進に万全を期すると共に極力無駄をはぶき有益な研究成果を迅速に挙げる必要がある。

このような観点から当所の今後の研究推進の基礎資料とするために技術資料を随時発刊することとした。関係各位の参考となれば幸甚である。

北海道工業開発試験所長

馬 場 有 政

ま え が き

本技術資料は英国王室印刷局 (Her Majesty Stationary Office) が1960年8月に発刊した Command Report 1120、題名"Report of the Committee on Coal Derivatives" を翻訳したものである。元来 Command Report とは英国の各国務大臣が政策を審議決定するのに必要な資料を得る目的で調査委員会を組織し、その結論を英国議会に答申させる報告書のことである。本原書もこの例にならい英国動力省長官の委嘱によつて Wilson 氏を長とする石炭化学調査委員会が組織され、英国の石炭化学の実状を調査し、将来を洞察し、研究開発の方向を勧告したものであり、いわゆる Wilson Report と称されているものである。

従つて国家的委員会が英国議会に答申した点及び権威者が委員に任命されている点等から見て内容は相当権威あるものと思われる。

企画課長 伊 集 院 兼 正

内 容 目 次

前 言

才Ⅰ章 緒 言	1
---------	---

本委員会が実施した調査範囲	1
---------------	---

一般的な技術的考慮事項	5
-------------	---

報告書作製要領	9
---------	---

才Ⅱ章 委員会が調査の対象として選んだ研究計画	11
-------------------------	----

才Ⅲ章 都 市 ガ ス	17
-------------	----

緒 言	17
-----	----

都市ガスの特性	18
---------	----

Lurgi式ガス化法	20
------------	----

高熱量ガス	24
-------	----

メタン化反応	25
--------	----

水添ガス化法	25
--------	----

結 論	26
-----	----

才Ⅳ章 ガス化炉の将来の発展	27
----------------	----

高圧固定層ガス化炉	28
-----------	----

Otto-Rummel 式ガス化炉	30
-------------------	----

地下ガス化	31
-------	----

結論	32
----	----

才Ⅴ章 石炭から石油類の製造	33
----------------	----

緒 言	33
-----	----

ドイツにおけるフィツシャー・トロプツシュ法	
-----------------------	--

の発展	33
-----	----

米国におけるフィッシャー・トロプツシュ合成法 の発展	36
南アフリカにおけるフィッシャー・トロプツシュ 合成法の発展	40
其の他の研究開発	41
英国の実状に参考となる外国の例	42
英国における石油合成法企業化の可能性	43
結 論	48
才Ⅵ章 石炭を原料とする化成品の製造	51
緒 言	51
石炭乾留の副産物から誘導される各種化成品	52
アセチレンを原料とする化成品の製造	56
合成ガスから出発する化成品の製造	57
その他の石炭の理論的利用法	60
結 論	61
才Ⅶ章 工業用ガスの供給	63
緒 言	63
工業用ガス輸送管	63
発生炉ガス・プラント	64
結 論	67
才Ⅷ章 研究開発に必要な組織	69
緒 言	69
ガス化の研究開発に必要な組織	70
結 論	72

才Ⅸ章	委員会の調査した結論と勧告	73	頁
	委員会の調査に協力した諸団体	80	
	委員会構成員	82	

英国石炭化学調査委員会の報告書

Report of the Committee on Coal Derivatives

※

館 林 昌 平 訳

前 言

1. 本委員会は次の事項を調査する目的で前動力省長官 Lord Mills 氏により 1959 年 4 月 23 日任命された。即ち石炭を主原料として市場価値の高い各種化成品、またはガス状ないし液状炭化水素を製造する各種方法の近年における発展状況を調査し、工業利用に関する研究開発の方向とこれを実施するのに必要な最適の機構または組織について勧告することが主任務であつた。

2. 石炭は構造が極めて複雑であつてこれを原料として市場価値の高い製品に転換する方法を見出す方向に研究の主体を向けることは当然必要である。本委員会の報告は技術的事項を扱うのであるが詳細な技術的文献は附録に出来るだけつけるように全力をつくした。本報告に使用した術語集は附録 I に示してある。※※

3. 本委員会が勧告せんとする事項は石炭の利用研究が経済的に如何に連繫しているかと言うことであるが、基礎的な研究を実施しないで、研究目的や成功の確信もなく応用研究や大規模な開発試験かいずれかを行なうことは不経済である。

※ 企画課才 3 係研究員

※※ (訳者註) 附録は I ~ IX まで添附されているが、この附録の訳は全文削除した。

本委員会の使命は研究結果が経済的な価値を伴う方向に研究開発計画を進めるよう勧告することである。この研究計画は極めて広範なものとなる。従つて本委員会の勧告を研究開発計画に折込み、関係ある各種企業に応用し得る段階に研究を推進することを希望して止まない。

第 I 章 緒 言

委員会が実施した調査範囲

4. 石炭を直接加工して得られる主要なものは熱及び動力、コークス、石炭ガス、タール及び各種化成品である。年間約 1.4 億トンの石炭が熱及び動力の発生に直接使用され、5,000 万トンが乾留に向けられコークス、石炭ガス及び各種各様の副産物を製造している。乾留に向けられる石炭の半分以上はコークス炉で冶金用の緻密なコークスを生産し、残余は主として都市ガスの発生に使われている。

5. 石炭を利用して熱及び動力を発生する面は本委員会の調査項目外である、石炭を処理して各種製品を製造する場合においても本委員会の調査対象外となるものもある。従つてまず最初に調査範囲を決める必要があつた。次に述べる才 6～14 項は調査する際着目した点である。これ等の項目からも明白なように本報告書の主眼を石炭の完全ガス化においた。

6. 乾留した石炭の約 $\frac{1}{3}$ がガス、タール及び粗軽油である、従つて乾留の両部門については本委員会の調査項目を製品の大規模生産に限定した。コークスは鉄、亜鉛及びアルミニウム鉍の還元やその他の用途にも使用されている。歴史的に見て石炭乾留はガス軽油及び各種化成品の最初の根源であり、且つ各種化成品の製造原料に使われているが、主製品は固形物であるから乾留工程の調査には重点をおかなかつた。又一方、石炭乾留の附属工程である副産タールの 2 次的処理やタールから化成品の抽出等にもかなり注意の目を向けた。

7. 石炭乾留の将来は主として主製品であるコークスの需要によつて決まる。入手した資料※によればコークスの消費面では、あるものは増加し、一方他のものは減少を示している。全体的に見て乾留用石炭の消費量は一定するものと思われる。従つて乾留は石炭処理法中最も重要であると考えられる。

8. 既述せるごとく工業発展の基盤となつた在来の乾留法とは異なる新しい方式の乾留法が開発されガスや電力の発生と同時に固体無煙燃料の製造を含む単位工程として良く進歩するかも知れない。この考えから流動乾留法が固体燃料製造用に広範に採用されるようである。本委員会は流動乾留法について詳細には触れなかつたが、流動乾留法は特に英国石炭庁が固体無煙燃料の製造を目的とする主要な研究開発課題である。パイロット・プラントによる研究結果は一年後には役に立ち始めるものと思われる。

9. ガスの値段が安くなればその需要が増大すると思われるので、ガス事業は副産固体燃料を必要としない石炭又は石油の完全ガス化に益々関心を寄せている。

10. コークスをガス化する方法はガス事業に多年利用されて来たが、技術的問題とコストの関係から大幅な需要に応ずることが出来ない。石炭を主原料とするガス事業がその発展を期するためには石炭自身を完全にガス化する低廉且つ有効な方法を開発してこれを採用する必要がある。

※ 大気汚染防止条令から生ずる固体無煙燃料に対する需要量は固体無煙燃料委員会で最近調査した。

1 1. もし石炭を低廉で取扱いの容易なガス体燃料又は液体燃料に転換することが出来るなら、工業燃料として石油と競合する上において極めて都合が良い。工業目的に適するガス体燃料は石炭を完全ガス化して製造出来るが、ガス事業が供給する都市ガスに合致する必要はない。

1 2. 完全ガス化によつて製造される一酸化炭素と水素を原料とする合成法は、石炭から油を製造する方法中最も低廉なものである。

1 3. この他、一酸化炭素と水素は化成品合成の原料ガスとなる。

1 4. 従つて才 5 項に述べた様に石炭の完全ガス化法の全貌を調査することは本委員会の主題である。

1 5. 石炭以外の原料から誘導されるすべての製品についても本委員会は考慮した、炭素を含有する物質を原料とすることも技術的には可能であり、最も有効なものは石油原油である。この問題については厳密に技術的事項にのみ限定することが出来ない。然し本委員会に課せられた使命が現在行なわれている石炭を原料とする方法を調査しこれについて改善すべき勧告をすることであるならば委員会の任務は著しく単一なものとなるだろう。然し本委員会の課題はもつと幅の広いものである。本委員会が答申すべき事項は工業的に利用出来る諸般の方法を研究し開発する方向について勧告するものである。石炭ばかりでなく、石油を原料とする他の方法と経済的に競合出来る可能性のある石炭の利用方法を広範に研究する様勧告する際に、今述べた事項を検討する必要が生じて来る。従つて委員会の作業は石炭と石油の双方について今日行なわれている方法だけではなく将来の研

究開発によつて開拓されると思われる分野において多種多様の方法について経済的な比較研究をせねばならなかつた。

16. すでに行なわれている方法の場合でも一つの製造単位で行なわれる生産コスト——特に設備資金を正確に比較する必要があつた。委員会としてこれを実施することは不可能であつたから委員会としてなし得る限り各方面——即ち建設担当メーカーや生産会社から詳細な資料を得る様努力した。特に各種方法の大部分は未だ大規模運転を行なつた経験のないものもあり、中には実験室的な範囲を出ていないものすらあつた。又研究を続けている内に、計画した方法に幾度となく改良が加えられ、量産工程に入る前に新しい研究結果によつてこれを確めなければならない場合が多かつた。

17. 詳細な資本投下計画について勧告することは委員会の任務外であることは明らかであり、資本投下計画には本委員会の報告書に書かれていない各種要素によつて決定されるものである、委員会の調査は将来生産プラントの建設に結びつけられる研究開発計画の基本線を勧告するのが本務であつた。本委員会が考えた原価計算は大規模の資本投下の基礎資料としては充分正確であるとは言い難いが、工業的に重要性を持つと考えられるもの及びこれと反対に重要性のないものについて一応の結論を出さざるを得なかつた。

18. 本委員会は純然たる技術的及び経済的事項にのみ着眼を限定した。即ち社会的——政治的——戦略的関連事項については本委員会はこれを除外した。

一般的な技術的考慮事項

19. 石炭はその化学構造が極めて複雑である。即ち構造の大部分が炭素で、これに少量の水素、酸素及び窒素、硫黄等が種々な範囲で結合しており、この他多少の不活性の無機質も含まれている。これに反し石炭より誘導する製品として考えられるものは比較的単純な化合物の混合物である。都市ガスは大部分が水素とメタンで炭酸ガスや窒素が不活性物質としてこれに混入されている。(現在、水素の他に一酸化炭素を含んでいるものが多いが、これは好ましい成分ではなく、新しい装置によるガスでは一酸化炭素の含有量が5%以上とならない様に注意しているものもある)。ガソリンとディーゼル油は比較的簡単な炭化水素の混合物であり、重油はかなり複雑であるが大部分が炭化水素である。

20. これら石油系製品の特長は石炭に比べると水素含有量が極めて高いことである。燃料として使う場合重要である有効水素について考えると、石炭の場合は大部分の水素が酸素 窒素 硫黄と結合している。

オI表は有効水素と炭素の比率を他の各種燃料と比較したものである。有効水素はその他に夫々水、アンモニア、硫化水素の形で酸素、窒素、硫黄を除去するのに必要なものである。

オI表 結合した水素を考慮した上での、各種燃料に含まれている水素と炭素の重量比

コークス	0.6-2.7	コールタール	6.0	ガソリン	16.8
無煙炭	2.8	クレオソート	6.5-9.5	ブタン	21.0
亜瀝青炭	4.3	ベンゼン	8.0-8.8	プロパン	22.4
瀝青炭		重質燃料油	13.5	都市ガス	32.4
低品位	4.3	軽質燃料油	14.3	メタン	33.6
高品位	4.7	ディーゼル油	14.8		

2 1. 石炭は有効水素含有量が低いので乾留してもベンゼンの収量が低く、又水素含有量の高いタールやガスの得量も少く、一方乾留残渣としてのコークスの収量が大となる。（コークスは灰分を別にすると大部分が炭素である）。これに反し石油は有効水素含量が非常に高いので乾留（石油では熱分解と言う）するとガスや軽質炭化水素製品の収量が比較的大となる。

2 2. 複雑な炭素含有物質から、コークスを同時に生成しないようにして有益な製品を得るには従つて水素を添加する必要がある、これには2つの方法がある。

2 3. 才1の方法は分解水素添加と呼ばれるもので、水添ガス化法もこれに含まれる。これは水素の加圧下に原料物質を熱分解するものである。

2 4. 才2の方法は2段階に分けられる。即ち、才1段階は完全ガス化であり、原料物質を水蒸気と作用させて一酸化炭素と水素を製造する——これは通常合成ガスと呼ばれている。才2段階では合成ガスを接触的に必要な応じ各種の液状物又はガス状物質に変えるものである。主要反応の概要は附録Ⅱに示す。

2 5. この方法で造られる製品のコストは主として合成ガス又は水素の価格によつて決まるし（特に水添液化の場合）、原料物質及び最終製品の有効水素含有量の産によつて決まる。

2 6. 才2 4項に述べた如く合成ガスは含炭素物質を水蒸気と反応させて

一酸化炭素と水素を発生させて製造するものである。この反応は吸熱反応であるから何らかの方法で熱を供給しなければならない。このため才1の方法は反応物質を外熱方式で加熱する。才2の方法は一定時間原料物質を空気で燃焼させて温度をあげ、次いで水蒸気を吹込むサイクル方式、才3の方法は水蒸気と酸素を同時に吹込んで燃焼とガス化反応を同時に生起させる方式である。

2.7. 才1の方式——反応物質を外熱する方式——はガス状の原料又は揮発性の高い含炭素原料にのみ適用されているもので触媒を使用して水蒸気と反応させる。円筒形の反応筒を在来型の炉内に設置し反応を行なわせるもので、石炭や重質で不揮発性の石油を原料とする場合には適しない。才2の方式は従来から長い間にわたってコークスから水性ガスを発生する場合に應用されて来たもので、特殊な石炭には應用することが出来る。才3の方式——酸化剤として水蒸気と酸素を使用——は石炭の有効利用の観点から最も将来性のあるものである。

2.8. この一般的原理に従つて多くの新しいガス化炉に関する開発研究が行なわれて来た。これらのガス化炉は固定層式、流動層式、噴流式に大別される、Leatherhead と Solihull で開発されている Lurgi式ガス化炉と熔滓式ガス化炉 (Slagging gasifier) ※は固定層式の代表的なもので、Winkler 式と Hydrocarbon Research ガス化炉は流動層式の代表的なもので Koppers-Totzek, Texaco 及び Ruhrgas 式は噴流式の代表的なものである。これらの分類に属しないガス化炉も多数あるが、

※ 才II章才39項を参照。

その一例として Otto-Rummel 式をあげた IV 章で説明する。

29. 一般的にいつて、加圧下即ち 20—40 気圧でガス化する傾向が目立つて来た。加圧ガス化炉の設備資金は高額であるが、加圧で操業するために装置の能力が増し且つガスを高圧で利用し、または配給出来るのでこの高額の設備資金を相殺し得る利点がある。

30. これら各種のガス化炉及びその類似装置の中で将来発展すると思われるものと、調査基準として役立つ確立された方法について触れる積りである。これらならびに他のガス化炉の詳細な技術的資料 (Leatherhead で開発中の熔滓式ガス化炉を除く) は下欄に附記した文献を参照せられたい。※※

31. 燃料油を水蒸気と酸素に同時に反応させて完全ガス化することによつて (Texaco 法、及び Shell 法) 合成ガスを経済操業で製造することは既に行なわれている。この他、炭化水素ガス又は石油留分を原料とする接触水蒸気改質法も合成ガス生産に採用され得る。

32. 原料として使用する石炭、燃料油、炭化水素ガス、石油ナフサの価格はまちまちであるから、合成ガスの種々の方法について結論を出す場合には建設費も含めた完全なコスト計算が必要であつた。

※※ 例えば "Gas Making" (British Petroleum Technical Publications) and Review of the British Coal Utilization Research Association "Total Gasification of Coal" by H.R. Hoy and D.M. Wilkins (1958).

33. コスト計算をする場合に、工業用に特に適する品位のものを好都合の場所で大量の引渡しをする場合に次の数値を採用した——微粉炭 2,500円／トン、低品位高灰分炭 2,700円／トン、燃料油 6,800円／トン、軽質ナフサ 10,000円／トン、ディーゼル油販売価格 11,500円／トン、ガソリン販売価格 15,200円／トン、本委員会が見積つた現在の石炭と石油価格の関係が将来変わるだろうという反証は無かつた。

報告書作製要領

34. この報告書で取扱う主要製品（油とガス）は石炭の水素添加又は石炭の完全ガス化のいずれかによつて製造することが出来る。従つて出発物質として石油を使用するものに対抗する石炭処理の次の4方法をあげて検討しなければならなかつた

- (1) 燃料ガスを得る目的で石炭をガス化し、この際副産物としてタールや化成品を得る方法。
- (2) 液状炭化水素と燃料ガスを製造するため合成用ガスを得る目的で石炭をガス化し、且つ副産物として各種化成品を得る方法。
- (3) 高熱量ガスを得るための石炭の水添ガス化法、この際に得られる半成コークスはガス化して水添用の水素を製造する。
- (4) 液状炭化水素と燃料ガスを得る目的で石炭を水素添加し、且つ副産物として各種化成品を得る方法。

これ等の各方法は夫々関連しているので報告書でも各章にまとめるためにはやゝ独断的に区分をする必要があつた。

35. 次の章では調査しようとした分野における最近の研究開発事項について触れ、特に関心のある事項について焦点をあてゝ見た。本委員会は政

府機関、石炭及びガス事業と各種研究団体において行なつた経費についても資料を集めた。

36. 才Ⅲ章ではガス事業ですでに完成された各種ガス化法の適用を、才Ⅳ章ではこれら諸方法の改善法について述べた。ガス化炉を根本的に改善することが石油合成法を英国で企業化出来るかどうかの分れ目であるから才Ⅴ章ではこれに関する可能性を論じた。才Ⅵ章では石炭を原料とする各種化成品の製造を、才Ⅶ章では工業用の石炭ガス化法について述べた。研究遂行に必要な組織上の問題は才Ⅷ章に、才Ⅸ章には結論をまとめた。

第 II 章 委員会が調査の対象として 選んだ研究計画

37. 近年における石炭利用研究開発の発展をふり返る時、まず英国に焦点をあてゝ見た。然し諸外国の政府機関や民間企業とも広く連絡して技術上の発展に関する資料の蒐集にも努力した。委員会の要望により、委員の一人が米国を視察して委員会の調査範囲と特に関係の深い団体について調査した。本委員会は特に米国鉱山局の行なっているフィッシャー合成計画の研究成果に関心を寄せた。この11ヶ年計画の研究には約8,200万ドル(295億円)が消費された。研究成果については1959年に下欄の文献として発行されている。※ 我々は米国鉱山局やその他のアメリカにおける公共ならびに民間企業が行なつた研究報告——石炭のガス化と水素添加液化も含む——を多数入手することが出来た。

38. 石炭の完全ガス化と石油合成の研究における最近の進歩の状況は次の章に述べる。

39. 次に述べようとする総括は近年英国における最も重要な研究開発計画である。調査の場合には各大学や英国石炭利用研究所 (British Coal Utilization Research Association) が行なっている基礎的な研究計画は含めなかつた。

※ "The Bureau of Mines Synthetic Liquid Fuels Programme, 1944-45, Part I: Oil from Coal." Report of Investigations 5506, 1959.

ガ ス 化 炉

- (a) Lurgi 式ガス化炉。この炉は才 2 次大戦終結までは瀝青炭を原料としたことがなかつたので英国炭を使用する前にガス委員会 (Gas Council) の業務の一部として更に研究する必要があつた。本年末目下建設中のプラントが運転を開始するが、この研究は継続実施して最新のプラントの設計や機能を改良する必要がある。
- (b) 高圧熔滓式ガス化炉。Lurgi 熔滓式ガス化炉 (Lurgi Slagging Gasifier) のパイロット・プラントを一基動力省が購入し 1956 年にガス委員会の Solihull 研究所に建設しガス委員会がこの開発業務を担当して来た。動力省は 1958 年に英国石炭利用研究所の Leatherhead 地区の委託会社が新しい型の熔滓式ガス化炉を建設し会社と委託契約を結んで開発研究を行なわせた。この研究を支援するため英国石炭利用研究所は、動力省と契約して熔滓条件を検討するため Leatherhead で常圧のパイロット・プラントについて研究を進めた。
- (c) 流動層式ガス化炉。才 2 次大戦直後、科学工業技術庁 (Department of Scientific and Industrial Research Station) の燃料研究所 (Fuel Research Station) と Imperial Chemical Industries, Ltd. が流動層式ガス化炉の研究を行なつたが技術的困難を理由にこの計画は中止した。
- (d) 水性ガス発生炉 (断続式)。戦争以来、在来型の水性ガス発生炉が多数建設されコークスの代りに石炭を使う方法が開発された、この炉は増熱して都市ガスを製造するのが目的であつた。例えば International Furnace Equipment Co., Ltd. (Gas Integrale), West's Gas Improvement Co., Ltd. (West Tully) 及び Power Gas Corporation, Ltd. のもの等である。

(e) その他の発生炉。 ガス協会は試験用の Otto-Rummel 熔滓式ガス化炉を建設する計画を立てた。

ガ ス 発 生 炉

英国石炭利用研究所は長年ガス発生炉の開発に関心をよせて来た。そして燃料研究所が流動層式発生炉、熔滓式サイクロン発生炉、熔滓固定層式発生炉の工業試験を実施して来た。二段式発生炉の開発については著しい成果を収めた。

精製とガスの処理

ガス中の硫黄等の不純物の除去方法に関する研究も行なわれた。又水性ガス転化反応（水性ガスの一酸化炭素を水素に変化させるもの）の研究も行なわれ、ガス協会はこの研究に特に関心を示した。

水素添加ガス化法

戦争以来、石炭を水添して高熱量のガスを直接製造する水素添加ガス化法が研究されて来た。この研究はガス協会によつて行なわれた。

地下ガス化法

地中に埋蔵している石炭を採掘して地上でガス化する代りに地中に埋蔵したままガス化することも可能である。戦争以来相当研究が進められて来た。英国では最初動力省がこの問題を取りあげ 1956 - 1959 年にわたつて英国石炭庁が実験して来たが現在では中止されている。

石 油 合 成 法

水素と一酸化炭素から石油を合成する研究は過去 24 年にわたつて科学工業技術庁がこれを行なつて来た。最初は燃料研究所で、最近では Warren Spring 研究所が行なつている。メタン合成の研究も燃料研究所とガス委員会が行なつている。

石炭より化成品の製造法

コールタール研究所と Benzole Producers, Ltd. は、英国石炭庁や地域ガス局と同じように、乾留副産物のタールやベンゾールの回収と抽出物質に関する研究を行なつて来た。

研 究 予 算

40.1959 年に英国内における石炭と主に関連ある団体が石炭の研究（採炭、鉱内保安、石炭の利用法）に消費した内訳※は次の通りである：

	ポンド	億円
動力省.....	560,000	(5.6 0)
科学工業技術庁（傘下の研究経費を含まない）.....	253,000	(2.5 3)
英国石炭庁（傘下の研究所経費を含む）.....	2,427,300	(24.3 0)
電力委員会と中央電力庁（研究所経費を含む）.....	130,000	(1.3 0)
ガス委員会（研究所経費を含む）.....	363,500	(3.6 4)
研究所及びその他の機関の経費		
（上に含まれないもの）.....	456,700	(4.5 7)
計	4,190,500	(41.9 1)

※ 研究所の経常費は含まれているが他の経常費は普通除外してある。

4 1. 上述した国家的研究予算の大半は広範囲の石炭利用研究に使われたが、委員会の直接関係する項目たる石炭利用計画に関する 1959 年中の消費内訳は次の通りである：－

川 内 四	ガス化	<u>ポンド</u>	<u>億 円</u>	<u>ポンド</u>	<u>億 円</u>
	動力省	170,000	(1.70)		
	ガス委員会	120,000	(1.20)		
	英国石炭利用研究所	10,000	(0.10)		
	計			300,000	(3.0)
ガスの精製及び副産物の処理					
		<u>ポンド</u>	<u>億 円</u>	<u>ポンド</u>	<u>億 円</u>
	ガス委員会	188,000	(1.88)		
	英国石炭庁	18,700	(0.18)		
	計			206,700	(2.06)

石 油 合 成

科学工業技術庁 85,000 (0.85)

タール及びベンゾール

コールタール研究所 100,000 (1.00)

Benzole Producers Ltd. 50,000 (0.50)

計 150,000 (1.50)

その他の研究スポンサーのある大学の研究を含む)

	ポンド	億円
英国石炭利用研究所	41,000	(0.41)
ガス委員会	10,800	(0.11)
英国石炭庁	12,300	(0.12)
計	64,100	(0.64)
総計	805,800	(8.06)

42. これらの消費内訳に加えてガス委員会と英国石炭庁が新型のガス化装置の研究に使った金額は次の通りである：－

1959－1961年ガス委員会： Otto-Rummel 熔滓式発生炉
210,000ポンド(2.1億円)

1960－1961年英国石炭庁： Ruhrgas 式ガス化炉
575,000ポンド(5.75億円)

これら装置の建設後はこれらガス化炉の運転は相当の経費を要する。

1960－1961年の間英国石炭庁は固体無煙燃料製造法の研究開発に2.25百万ポンド(約2.2億円)使った。

第 III 章 都 市 ガ ス

緒 言

4.3. レトルトを使つて石炭を乾留する従来の都市ガスの製造方法では大量のコークスとタールが得られる。これ等副産物による収益はガス事業の大部分を示めている。1958—59年におけるガス事業のガス販売額は226百万ポンド(2,260億円)であつたがこの場合コークスと粉コークスの販売額は88百万ポンド(880億円)でタール、ベンゾールその他産物の販売額は19百万ポンド(190億円)であつた。従つてコークスの販売価格は都市ガスの価格を決める重要な要素となる。

4.4. こゝ数年間ガスの販売額は一定であつた。然しガス事業はガスの値段を高くしなければならなかつた。最近まで、ガス価格騰起の主な要素は高品位炭の年々の値上りであつたが、最近3ケ年間は石炭の価格騰起が抑制されて来た。然し最近では副産するコークスの有望な市場を確保する点にだんだん困難さが出て来ている。従つてガス事業はガス価格を安くする新しいガス発生方式を開発し、ガス事業が他と競合出来る態勢を確立する必要が生じて来ている。この問題は容易に消費され得る副産コークスを大量に生産することでは解決しない。

4.5. 又都市ガスの消費量が電力の様に増加しない理由を見つけ出すことは難しいが、その一つの理由として考えられるものは消費者がガスの値段が高過ぎると思つている点にあるようである。ガス委員会が述べた意見として、この状態を改善するにはガスの値段を10d/Therm ※

※ Therm は 100,000B.T.U. d は ペンス (約 4.2 円) (訳者註)

——設備資金も含め——以下に下げる必要があるとしている、これは相当大巾な値下である。従つて本委員会としては、現在の方法を新しい方法に変えて 10 d / Therm 以下の値段で都市ガスを無理なく製造出来る基準に従つて種々の製造方法の利点を評価検討出来ると想定した。

都市ガスの特性

46. 石炭乾留ガスは遊離水素含有量が約 50 % であるから、燃焼性が良く且つ焔も少い、英国のガス燃焼器具はこの性質に合致するように設計されている。これから新しく開発されるべきガス発生方法による燃料ガスは現在使われている燃焼器具に合うためには、従来のガスと余りかけ離れたものでなく、且つ値段を非常に安くして新しい器具を買つても間に合うものでなくてはならない。米国で天然ガスが非常に安く配給出来たので新しい燃焼器具が採用された、然し英国の場合では燃焼器具の値段はせいぜい 10 ポンド (10,000 円) 程度であろう。従つて新しく開発すべき発生方式では上述した点も考慮に入れて研究しなければならないだろう。

47. 従来のガスの発熱量は 450—500 B.t.u./立方フィートで、空気に対する比重は 0.43—0.51 であり H_2 を 50 % 程度含んでいる。新しい方法を想定する場合、3 成分のガスの混合物である従来型のガスと同じものを考えると都合が良い。即ち(1)低熱量ガス——熱量 300 B.t.u./立方フィート、(2)高熱量ガス——900—3,000 B.t.u./立方フィートでメタンや高分子の炭化水素を含むもの、(3)窒素か炭酸ガスのいずれかを含む不活性ガスである。

48. 完全ガス化法による都市ガスの生産はガス事業にとつては全く新規

なものではないが、但し原料がコークスや石油に限定されていた。大量な都市ガスの需要に応ずる最も便利な方法はコークスを原料として水性ガスを発生させこの 300 B.t.u./ 立方フィートのガスを増熱するのに石油を混入する方法で、即ち水蒸気と水性ガスの存在の下で油を熱分解するものである。1958—1959 年には 140 万トンのコークスと 50 万トンの油から約 4 億 Therm の増熱水性ガスが製造された。然し技術的にも價格的にも成功を収めたとは言えない——最近石油軽質留分が安く手に入る場合でも同じである。水性ガスの発生能力はガス事業全般の約 37% であるとは云え、1958—1959 年における増熱水性ガス量は全ガス発生量に対し僅か 17% であつた。

49. 過去数ケ年にわたつて、ガス委員会は重油と工業用非粘結炭から燃料ガスを発生させる新しい方法を研究して来た。石油を原料とすると技術的にも簡単であり開発も容易であつた。

50. 新しく開発さるべき都市ガスの経済性は低熱量ガスと高熱量ガスの價格を勘案して考えるべきである。低発熱量ガスの製造原価は都市ガスの場合には 10 d / Therm 以上になることがある。増熱ガスとしてプロパンやブタンを使う場合、最低の入手源から大量に得る場合には 7.5 d / Therm にしかならず、高熱ガスを加える場合に実際には都市ガスの最終價格よりも安くすることがあり得るのである。増熱ガスを石炭から経済的に製造することは無理であることが解つた。ガス委員会がこの研究を採りあげているものは長期的な計画としてである。現状では低熱量ガスを石炭から製造し増熱には石油又は天然ガスからの高熱ガスを使う方法が妥当であると考えられる。

Lurgi式ガス化法

5 1. Lurgi 法はドイツで開発された方法で褐炭のガス化が目的であるが、1955年にDorsten に建設されたものは例外であり、建設されたガス化炉は非粘結性炭で操業したものである。弱粘結炭をガス化するには相当の研究が必要であり、Dorsten で実験が行なわれ長い試験期間の後に英国の瀝青炭を原料と出来るまでになった。Wesfield, Fife と Coleshill, Birmingham の2基のLurgi 炉は目下建設中であるので実験は East Midland の炉で行なわれている。目下建設中の2基は英国炭を大量に処理する方法を開発するものでその意義は極めて重大なものがある。

5 2. 本法は約10フィートの厚さの整粒した燃料層を加圧下(20—30気圧)に酸素と水蒸気でガス化する方式である。かなり粘結性の強い石炭の場合には上部に攪拌装置を取りつける必要がある。灰はガス化炉の底部から機械的火格子によつてホッパーに取出す様にする。灰の取出しを容易にするため大きいクリンカーの生成は極力さけなければならない。このため大量の水蒸気を吹込んで燃焼層の温度を過度に上昇させない様に注意しなければならない。水蒸気と酸素は炉底から吹込まれ炭層下部は炭酸ガス、一酸化炭素、及び水素の混合ガスに変わり、この際この混合ガスが上層部を通り抜ける場合に少量のメタンが出来る。吹込まれる酸素と水蒸気の比率は灰の軟化点によつて異なるが通常容積比6:1と8:1の間である。

5 3. 吹込まれた水蒸気の約半分はガス化炉の底部で反応し残余は未反応のまま炉外に出る。このためガス処理の後の過程で薄いフェノール液が大量

に生成されるので廃液の処理問題が Lurgi 式の欠点の一つである。又厚い燃焼層を形成する原料炭粒度範囲も重要であり、最近の実際の粒度は 3/32 インチ以下でガス化を行なっている。

5 4. 新しい装置で都市ガスを製造するのにガス委員会が規定した標準に合格するためには生成ガスを精製し、水蒸気と共に触媒層に通して一酸化炭素と蒸気を炭酸ガスと水素に転化させねばならない。炭酸ガスは種々の方法で除去しなければならない。精製し不純物を取除いた後でも発熱量は極めて低く 400 B.t.u./ 立方フィートにすぎないのでこれを増熱しなければならない。才 50 項に述べた如く、増熱の最も簡単で安価な方法はプロパン、ブタン又はメタンを混合することであるが高圧をかける場合にはブタン、プロパンは不適當であるから地下に貯蔵する必要がある（才 61 項参照）。

5 5. ガスの比重を調節するには不活性ガスを添加するが、これは酸素製造装置から誘導された窒素である。又生成した炭酸ガスを完全に除去せず不活性ガスとして残して置く方法もある。炭酸ガスは水と化合するので地下貯蔵には適せず、これに反し窒素は適している。

5 6. East Midland の Lurgi 式炉の研究結果についてガス委員会が資料を提供して呉れたが、それによると Lurgi 式は大型炉（109 百万立方フィート／日都市ガス）の場合に多くの利益がもたらされ、現在の英国の状況にも適合するものと思われる。

5 7. この研究では、全能力の 86.5 % で操業が行なわれており、年間に

100万トンの高灰分の低級炭を消費し172百万 Therm の都市ガスが発生され、増熱にはブタンが使われる計画である。工業立地としては大炭礦の貯炭場の近傍が適している、又粒度は35%以上が3/32 インチ以下でなくてはならない。この細粉炭所要量は工場の水蒸気や電力発生に必要な量を上廻るので余分が出た場合は売電に向けられるだろう。プラントの建設費は18百万ポンド(180億円)で原料炭価格は2.93 d / Therm (オ33項に引用した整粒細粉炭の価格の重量平均)混合ブタンは7.5 d / Therm であり、製品都市ガスの価格は8.59 d / Therm となる(副産物を含めるとガス代は1.5 d / Therm 安くなる)。これを全体的に計算すると夫々石炭—3.68d、ブタン2.75 dで※これに減価償却費2.02 dを加えなくてはならない(以上の数値はすべて都市ガス Therm 当り計算したものである)。

58. 減価償却は年8%と見積つたが、これは装置の寿命に基づく償却を同率としガス委員会で償却費に対し計算している率で利子を含めたものである。もし償却率を12%にあげると数値はなお一般的になるがガス価格は1 d上ることになる。

59. プラントの機能に関し本委員会が得た資料を次にまとめた：—

- (1) 種々の段階のガスの組成をオII表に示した。メタン、水素及び一酸化炭素の熱量の差によるが、下表の数値から見て精製低熱量ガスの熱量の $\frac{1}{3}$ は比較的低い濃度のメタンによることが解る。

※ 最終都市ガスの熱量の37%はブタンで残余は石炭からである。

才Ⅱ表 Lurgi式プラントにおける種々の
段階のガスの容量組成（％）

	未精製ガス	精製低熱量ガス	最終製品
CO ₂	29.0	17.5	16.4
H ₂ S	0.8	—	—
Cm Hn	0.3	0.3	0.3
H ₂	41.0	64.7	60.5
CO	18.7	5.2	4.8
CH ₄	9.4	11.0	10.3
N ₂	0.8	0.9	0.9
O ₂	—	0.4	0.4
C ₃ —C ₄ 炭化水素	—	—	6.4

- (2) 精製した低熱量ガスの価格は 9.1 d / Therm である。この内訳は
未精製ガス——6.7 d、脱硫——0.6 d、一酸化炭素転換——0.7 d、
炭酸ガスの部分的除去——1.1 dである。
- (3) メタンはガス化炉で発生するのでメタンを含まない低熱量ガスの実
際価格を出すことは不可能である。然し、メタン価格は 7.5 d / Therm
と考えるならば、この能力で約 10 d / Therm の低熱量ガスを
生産しなければならないことが解る。

60. 以上述べたことが都市ガスの製造に Lurgi 式を実施している現状
にある。全 Lurgi式プラントが調査結果より必しも良好とは思われないが、
才57項に記した生産コストは非常に低く有望であると思われる。事実こ

のコストは大工場を炭鉱に設け操業度を 86.5 %に見た場合のものである。この種ガス化炉は夏と冬の需要の差に適應するようにやゝ低い操業度で運転するのは当然である。もし操業度を 70 %に落した場合にはガス価格は 0.8 d / Therm に増加するだろう。

6.1. ガス事業に Lurgi式を採り入れて成功するかどうかは好条件の場所に発生量の大きい炉を建設することが出来るかどうか、100～200マイル※以内の消費中心部に安く供給出来るかどうかにかゝっている。恐らく地下貯蔵と関連して英国内にガス輸送管を整備することが Lurgi 式の成功を裏づける重大な要素となろう。

6.2. Lurgi 式は種々有益な点もあるが、将来の研究によつて改善しなければならない欠点も伴っている。これについては才Ⅳ章において述べる。才Ⅵ章 才163～169項 にはガス事業に採り入れるかも知れない他の種類のガス化炉について述べる。

高熱量ガス

6.3. すでに検討したように、完全ガス化によつて都市ガスを製造するには熱量 900 B.t.u. / 立方フィートで価格が 7.5 d / Therm 程度の炭化水素ガスが必要である。この増熱ガスの可能な供給源は石油精製の廃ガスや輸入液化メタン、プロパン及びブタンである。これらガスが大量に希望する地域から入手出来るならば増熱用として最も安価なものとなろう。

※ 英国石炭庁による資料で Lurgi 式の良い場所について附録Ⅲでふれている。

石炭を原料として増熱ガスを得る方法としてメタン化反応によつてガスを合成するものと石炭の水素添加によるものの2つを考えた。

メタン化反応

64. ニッケル触媒を使つて一酸化炭素と水素からメタンを合成することが出来るから、低熱量ガスの熱量を増加し得る、もし一酸化炭素と水素の比を正しくすれば、メタンを添加すると低熱量ガスを950 B.t.u./ 立方フイートまで増熱することが出来る。理論的には H_2 及びCO 1.28 熱量単位から CH_4 1 熱量単位が出来る。従つてメタンの価格が相応して低熱量ガスの価格より高くなる。このことは大部分の目的に対しメタン化は不可能となる。

水添ガス化法

65. 石炭を水素添加して高熱量ガスを得ることも出来る。この方法では石炭の約40% (揮発分を含め) が水素添加され、残余は半成コークスとなり水添に必要な水素の発生に使われる。

66. ガス委員会の Midland 研究所が今述べた方法について実験を行なつて来た。その方法は石炭をあらかじめ500℃に加熱処理して粘結性を弱め、次いで900℃-30~50 気圧で新に水素添加する。

67. 現在まで、実験は回分式反応筒で行なわれて来たが、工業化するには流動床により連続的に行なう必要がある。今の処装置建設に必要なデータやコスト計算の資料もそろつていない。現在の段階で言い得ることは水添によつてメタンを得る反応の方がメタン合成法よりも水素消費量が

かなりすくなくすむということである。水添ガス化は石炭から高熱量ガスを
得るため昔から行なわれた方法である。水添ガス化法は小型のパイロ
ット・プラントで実験を続行し、企業的に成り立つかどうかを正確に検討
する必要があることを勧告する。

結 論

6.8. 結論を下にまとめた：－

- (1) ガス価格が 10 d / Therm (減価償却を含め) 以下で都市ガスを
発生出来る新しい方法が完成されると現在の方法と交替することにな
るだろう (才 45 項)。
- (2) 大規模の Lurgi 式炉を山元に建設し、石油系原料によつて増熱す
る方法をとれば低廉なガスが得られ企業として成り立つだろう (才
60 項)。
- (3) 石炭から増熱ガスを経済的に発生する方法はない (才 63－67 項)。
- (4) メタン合成法は生産コストから、企業としては成り立たない (才
64 項)。
- (5) 石炭から高熱量ガスを発生させるため現在行なっている実験は小型
のパイロット・プラントで続行し詳細なデータによつて企業的可能
性を検討するよう本委員会は勧告する (才 67 項)。
- (6) Lurgi 式炉が成功するかどうかは工業立地を適切にし大規模操業を
行なうことにかゝっている。地下ガス貯蔵と連繫して英国内の輸送管
を整備することも重要な要素である (才 61 項)。

第 IV 章 ガス化炉の将来の発展

緒 言

69. 目下建設中の Lurgi 式装置が完成すると、英国炭を最大限有効に活用するための研究が必要とされるだろう。更に従来の Lurgi 法を改良する可能性—例えばガス化圧力を増す効果—についても特別検討項目の一つである。Lurgi 法の最重要な点~~※~~は石炭中の灰がクリンカーになるのを防ぐことが必要である。これがため反応層の温度を灰の融点以下に保持するように十分な量の水蒸気を酸素と混合して吹込まなくてはならない。水蒸気と酸素の比率は 6 : 1 から 8 : 1 の間であり、吹込んだ蒸気の半分以上が反応層で分解する。このため未反応の水蒸気が多いのでガス化炉の能力を制限するし又ガス冷却精製系統で過剰の蒸気が凝縮するため大量の薄まった害を及ぼす液が生ずる。廃水から有用な化成品を回収する場合はコストが高くつく結果となる。

70. 現在 Lurgi 式の欠点をカバーする新しいガス化炉としては次の条件が必要となつて来る。即ち

- (1) 建設費を軽減するためガス化炉の能力を大とすること。
- (2) 低融点の灰分含有量の高い各種の石炭を使用出来る能力を有すること。
- (3) 使用する水蒸気と酸素量を少くし廃水の生成量を減少出来るもの。
- (4) 現行の Lurgi 式と同等の熱効率を発揮出来るもの。

71. これらの要求に合致させるために、高圧熔滓式ガス化炉に関する研究が行なわれている。この方法は固定層を採用し原料の石炭と生成ガスが

※ 第 III 章、第 52—53 項参照。

熱交換出来るようにし、吹込み水蒸気量を制限して灰の融点以上に温度を上昇させるものである。かくして灰は融解し熔滓として発生炉から回収し、水で冷却される。高圧熔滓式ガス化炉及び常圧熔滓式ガス化炉に関しすでに行なわれた実験結果について次に述べて見る。

高圧熔滓 固定層式ガス化炉

72. 石炭液化計画※の一環として英国動力省はLurgi 社から実験用熔滓式ガス化炉を購入しガス委員会の Solihull 研究所に 1956 年に建設した。このガス化炉は附録Ⅳに示してあり詳しい報告書が出されている。※※

73. この研究を支援するため動力省は英国石炭利用研究所 (British Coal Utilization Research Assoc.) に対し、原料炭供給方法、熔の物理的特性、タッピング (Tapping)、消火法、高圧ガス化炉からの熔滓の取出し法の基本的事項について研究する様指示した。

74. 更に 1956 年には、反応圧を高め一酸素と水蒸気消費量を少くし一且つ粉炭を原料とする改良型の高圧熔滓式ガス化炉の研究開発を行なうことを決めた。これには微粉炭を炉底から石炭床の下方に吹込む形式を採用した。これ等の要求に合致するよう設計した実験用ガス化炉を英国石炭利用研究所に近い Leatherhead に建設し 1958 年 6 月に試運転を開始した。この研究開発の現状は附録Ⅳに記述してある。

※ 第Ⅴ章、第 119～122 参照。

※※ Gas Council Research Communication G C.50. D.Heben and R.F. Edge, "Experiments with a slagging pressure gasifier".

1958 年 11 月にガス技術協会に提出。

7 5. 微粉炭でガス化することが重要な点とされていたが、実験開始以来幾分考え方が変つて来た(第V章、第121項参照)

7 6. Solihull と Leatherhead のガス化炉は未だ研究開発の段階にあるので相当の改良が加えられるものと思われる。両者の原理は基本的には同一であるが、技術的工学的な細部の点の差異が装置の運転を成切させるかどうかにかかっている。二種類の設計の異なる熔滓式ガス化炉がそれぞれ成功を収めるとは思われないうが、開発途上で双方の長所を併用するものと思われる。

7 7. 熔滓式ガス化炉の未精製ガスは少量の炭酸ガスを含むが、 CO/H_2 比率は可成り高い。第Ⅲ表に未精製ガスの代表的組成をかかげた、比較として第Ⅲ章、第Ⅱ表の Lurgi ガス化炉で引用した数字を再び示した。

第Ⅲ表 熔滓式ガス化炉と標準 Lurgi 式ガス化炉
の未精製ガスの組成比較 (%)

	熔滓式ガス化炉	標準Lurgi 式ガス化炉
CO_2	4.7	29.0
H_2S	0.7	0.8
C_mH_n	0.2	0.3
H_2	25.6	41.0
CO	58.8	18.7
CH_4	9.0	9.4
N_2	1.0	0.8

78. 第Ⅲ表の数字から熔滓式ガス化炉による未精製ガスは一酸化炭素含有量が高いことが解る。従つて都市ガスにする場合は在来の Lurgi 式ガス化炉ガスに比べて熔滓式ガス化炉ガスの方が値段がやや高くなる。建設費と操業費を低くして高いコストを償う必要がある。

79. 高圧熔滓式ガス化炉は未だ研究に取りかかつたばかりであるがかなりの利点があることを示している。本委員会の意見としては模範的大規模プラントまで実験用ガス化炉を発展させるには少くとも約5年かかるものと思われる。この段階までに要する経費は約200万ポンド(約20億円)と推定される。もしこの開発研究が成功すれば標準 Lurgi 炉に比べ次の諸点において利益があると考えられる：一即ち発生能力が著しく大となる、各種各様の石炭が使用出来る、廃水処理の問題が本質的に減少する。これらの利点は石炭ガス化法の技術に進歩をもたらしガス化のコストを非常に引下げることになるだろう。従つて本委員会はこの研究開発が遂行されるよう勧告する(どのように実施すべきかは第Ⅷ章、第199—203項で検討する)。

Otto—Rummel式ダブル・シャフト ガス化炉

80. 第Ⅰ章第26項にすでに述べた如く、合成ガスを発生させるガス化炉は普通断続的に運転するか又は空気の代りに酸素を直接吹込む方式のいずれかで操業する。Otto—Rummel ダブルシャフトガス化炉は空気を使つて連続運転するものである。

81. ガス化炉は2つのシャフトを有して単一の円い熔滓槽から出来ている。原料炭は水蒸気と共に熔滓の中に一方のシャフトの底から吹込んでガ

ス化させる。発生ガスは水性ガスと非常に分解された乾留ガスの混合物である。未反応炭素を若干含有している熔滓は噴射機により循環させて遮壁の下を通つて他のシャフトの下方に入るようになっている。熔滓中に空気を吹込み残留炭素を燃焼させる一又必要によつては燃料を追加してガス化層に循環する前に熔滓温度を維持する。

82. この方法は開発をはじめたばかりであるし熔滓を熱媒体とする点でもかなりの困難性を伴う。未精製ガス中の H_2/∞ 比は約1.1 : 1である。もし技術的な問題が解決されるならば企業的に成立する可能性があると考えられる。

83. ガス委員会は200万立方フィート/日の能力を持つ実験用ダブルシャフトガス化炉の建設を決定した。この方法は酸素を必要としないので経済寸法の酸素プラントを必要とする程大きくない装置で充分であるので本委員会は本研究を推進するガス委員会の決定に賛成した。

地下ガス化

84. 熔滓式ガス化炉の研究開発によつて石炭ガス化のコストを著しく引下げることが出来るかも知れない。然し原理としては既に実用化されたものを発展させるとは云え、これには相当の日時を要するものと思わなくてはならない。従つて根本的に異つた方法を採用しガス価格も大幅に引下げることが出来ないのだろうかとの疑問が起きて来る—例えば地下ガス化法等がその一例である。

85. 地下に埋蔵している石炭を採掘して地上に運び出す費用の大部分は

労務費であるから、地下ガス化法は一見した所では非常に着目され米国、ソ連邦、及び英国で実験が進められた。然し英国では大規模な地下ガス化の実行に適していないので数年間の検討の末英国石炭庁は地下ガス化研究の中止を決定した。この決定の概要は第V章に記述してある。

86. 従つて全く新しい技術でも生れない限り英国の地下ガス化は企業的に成立たないというのが本委員会の結論である。

結 論

87. 本委員会の結論は次の通りである：—

- (1) 高压熔滓式ガス化炉は研究開発に取りかかつたばかりであるがその原理から見て相当期待出来る利点があるものと思われる。これらの利点から転じてガス化のコストを相当引下げてガス化技術の向上をもたらすことになる。本委員会は高压熔滓式ガス化炉の開発を遂行させるべきことを勧告した（第79項参照）。
- (2) 熔滓式ガス化炉を模範的大規模プラントまで持つて行くには少く共5ヶ年かかるものと見られる。この間の所要経費は200万ポンド（約20億）と推定される。
- (3) 本委員会はOtto-Rummel ダブルシャフトガス化炉の建設をするガス委員会の決定に賛成した（第83項）。
- (4) 全く新しい画期的な技術でも生れない限り地下ガス化法は英国では企業的に成り立たない（第86項）。

第 V 章 石炭から石油類の製造

緒 言

88. 石炭から炭化水素油や化成品を製造することが技術的に可能であることが解つたのは可成り昔のことである。ドイツが褐炭を工業的に水添液化したのは 1930 年であつたし、英国が数年後にこの方法を瀝青炭に採算的に始めて応用した。[※]第 2 次大戦中ドイツは石油の大半を石炭の直接液化法によつて製造し残余はフィッシャー・トロプツシュ合成法に依つた。英国では石炭の代りにクレオソート油を原料として水添液化を行なつた。この方法は大战前と戦争中では意義があつたが、戦後炭価が高騰し石油製品が容易に役立ち得る状態においては英国でもヨーロッパでもこの方法は断念されてしまつた（特殊な製品を製造する若干の小型装置を例外として）。

89. 生産コストを大体調べて見ても石炭の高圧水添はフィッシャー・トロプツシュ合成法に比べても一層企業的に成立し得ないことが解る。特に直接液化の場合は低灰分の特別に選定した石炭を原料としなくてはならない。従つて本委員会は附録Ⅵに述べた説明は別としても直接水添液化法を現実性あるものとしては報告書には含めなかつた。

90. フィッシャー・トロプツシュ合成法の将来の発展予想ならびに英国における工業化を考える前に、本法の歴史について回顧して見よう。

ドイツにおけるフィッシャー・トロプツシュ法の発展。

※ この分野の開発は国防委員会石炭液化専門部会により 1938年に発表された。

9 1. フィッシャー合成の原理は Mülheim-Ruhr の Kaiser Wilhelm 石炭研究所の Franz Fisher と Hans Tropsch 氏が 1925 年に発見したものである。Fischer 等は鉄-ニッケル-コバルト触媒の存在下に水素と一酸化炭素の混合ガスは 180 - 250°C 常圧下において反応して炭化水素を生ずること、そしてこの際自動車ガソリンやディーゼル油として使い得る溜分が得られることを知った。研究を進めている内に極めて活性の高いコバルト触媒を調製することに成功しパイロットプラントによるこの方法の実現化を行なった。

9 2. この方法の業績の重要性が過剰コークスの販路を捜していたドイツのルール炭評議委員会 (Ruhr Coal Syndicate) によつて認められ 1934 年に至るや Ruhr-chemie A.G. (Oberhausen Holten) が企業化研究を引受けた。1936 年にナチスの 4 ケ年計画の一環として早急に実施する他の化学工場の建設と共に最初の大規模の工場が建設され、1939 年になると全部で 9 工場 - 全生産能力 740,000 トン/年 - がドイツで建設を完了した。

9 3. 1937 年には Ruhr-chemie の特許により北フランスの Pas-de-Calais の Harnes に公称能力 20,000 トン/年の工場が建設された。戦時中日本も同様の工場を建設したが触媒の不足から設計能力には遙かに達しなかつた。

9 4. ドイツのフィッシャー工場の 7 工場までが原料の一酸化炭素と水素 (合成ガス) を水性ガス工場におけるコークスの完全ガス化、またはこれとコークス炉ガスとから製造し、他の 2 工場は褐炭を直接ガス化したもの

であつた。9 工場共にコバルト触媒を使い常圧又は 9—11 気圧のいずれかで反応させ、合成炉には固定の粒状触媒を充填した。

9.5. これ等工場は 1944 年の秋と冬の大空襲によつて破壊されるまで戦時中操業を続けた。最大年産量は 570,000 トンにも達し、これはドイツの国内生産石油の約 8 % に及んだ。フイツシャー法の最終製品の 72 % は液体燃料（ガソリン、ディーゼル油）で残余の 28 % は精製ワックス、潤滑油、清浄剤、合成洗剤、脂肪等の特殊製品であつた。ドイツのこれら早期のフイツシャー工場に関する詳細な情報は 1945—1946 年に行なつた連合情報部分科会及びイギリス情報部分科会（Combined Intelligence Objectives Sub-Committee と British Intelligence Objectives Sub-Committee）の調査結果に基づくものである。※

9.6. 1935—1945 年の間ドイツはフイツシャー法の研究開発を進めた。これは Ruhr-Chemie A. G. 及びその同系ばかりでなく I. G. Farbenindustrie A. G. の若干の工場でも行われた。この研究は特にコバルト触媒の代りに鉄触媒の向上に関連を有するものであり、良質の自動車燃料を高収量で得るかあるいは化学工業にとつて有用な各種製品を得るよう製造工程に改良を加えたものである。即ち従来の固定層によらず反応を促進するように改良した技術向上である。この研究は戦後ドイツだけでなく諸外国でフイツシャー法を改良した技術の基礎となつた。

9.7. 戦後 Ruhr-Chemie A. G. は研究を続け鉄触媒を使用する非常に

※ "The Petroleum and Synthetic Oil Industry in Germany".
B.I.O.S. Overall Report No.1, H.M.S.O., 1947.

改良された固定層による方法を完成した（南アフリカの Sasol 計画に採り入れられた—後述の第 111 項参照）そして Gewerkschaft Rheinpreussen は 1937 年に液相スラリー法を開始し続いてパイロットプラントまでにこの方法を発展せしめたが、充分試験をする前に研究の続行を中止した。

98. 改良操業条件で精製ワックス、洗剤製造のための炭化水素留分、及び化学工業に有用な各種化成品を製造するため、旧工場の一つが小型装置で現在運転されていると伝えられる。又現在の東ドイツには 3 工場が建設され（一つは現在のポーランド）運転中である。

米国におけるフィッシャー・トロプツシュ合成法の発展

99. 1942 年米国が参戦した直後米国政府は国内石油の不足を痛感した。1944 年になると政府は合成液体燃料法を立法化し実験工場を建設して操業する見込の下に米国鉱山局に石炭及び油母頁岩の液化に関する研究開発の総合計画を推進するよう委任した。当初の計画によると予算は 5 ヶ年間に総額 3000 万ドル（約 108 億円）であつたが後に修正して 11 年間に総額割当 8750 万ドル（約 320 億円）に増額された。

100. 米国鉱山局の合成液体燃料計画には石炭の直接液化法、石炭ガス化、合成ガスの精製、フィッシャー・トロプツシュ合成法、及び油母頁岩の採掘及び乾留も含まれていた。

101. フィッシャー・トロプツシュ合成の分野では触媒の調製、反応作用及び反応機構等に関し価値ある研究が沢山行われた。プロセス開発の面

においては、スラリー法も研究されたが“油循環法”の開発に重点がおかれた。この方法（I. G. Farbenindustrie の研究所が開発したもの）では冷却油と合成ガスを同時に循環させ、粒状触媒の固定層を通過させてから外部の廃熱ボイラーに送るものであつた。1950年ミズリー州のルイジアナに直径6フィート高さ30フィートの油循環式反応塔を採用した実験工場を石炭水添液化装置の一側に建設した。この装置の合成ガス発生量は60,000立方フィート/時で1951—53年の間に4回連続運転が行われ総日数は100日に及び全産油量は40,000ガロンに達した。この装置では粒状触媒が壊れ、このため油循環系統に故障が起き成功したとは言い難いものであつた。米国石油委員会のコスト計算によれば、（米国鉱山局の提供した技術的データーを基礎とした）粉炭を酸素と水蒸気でガス化し、油循環式合成法で年間125万トンの規模で自動車燃料を合成した場合は25セント（90円）/ガロンで同じ時期の天然石油から分留した自動車がソリンの11.5—13.5セント（41—48円）/ガロンに比較すると可成り高価なものであつた。

102. 1955年に合成液体燃料計画が終了した。この間消費された金額は実に8200万ドル（29.2億円）に達した。尙この内の800万ドル（2.9億円）はフイツシャー合成の基礎研究に、1450万ドル（5.2億円）が合成法の実験装置関係に消費された。11ヶ年間に及ぶ液体燃料計画の全状況は最近出版されている。※

103. 米国鉱山局は目下割当てられた予算で、この予算は非常に削減さ

※ "The Bureau of Mines Synthetic Liquid Fuels Programme, 1945-55, Part I: Oil from Coal". Report of Investigations 5506, 1959.

れた予算ではあるがフィッシャー・トロプツシュ合成の研究を続けている。研究の重点は触媒に関する基礎研究と合成反応に関する研究におかれていたが、“ガス循環法”(I. G. Farbenindustrie の開発した方法)の改良法も行われ、この方法では反応熱が高速循環合成ガスの潜熱の形で取除かれる。

104. Brownsville 工場。1930 年に米国の石油工業がフィッシャー・トロプツシュ合成に関心を示したが、これは米国各地で産出される安価な天然ガス※からガソリンや各種化成品を合成するのが目的であつた。

105. 戦争中行われた研究によつて“Hydrocol”法が開発された。この方法は I. G. Farbenindustrie によつて研究された合成法の変形で熔融鉄触媒を使用し比較的高温高圧下に良質の自動車ガソリンを主製品として得るものであつた。米国がフィッシャー合成に寄与した点は石油の接触クラッキングで成功を取めた流動法技術を合成法にも導入したことである。

106. 1950 年に Carthage Hydrocol 社(米国の 9 社によつて 1945 年に組織されたもの)が Brownsville 工場を Texas に建設し 9000 万立方フィート/日の天然ガスから年産 350,000 トンのガソリン及び其の他の液体燃料と 40,000 トン/年の化成品を製造した。この場合の

※ メタンを主成分とする天然ガスはフィッシャー・トロプツシュ法に必要な一酸化炭素と水素との混合合成ガスに容易に変成することが出来る。この方法の技術は固体、気体の含炭素物質から誘導する合成ガス原料には関係しない。

合成ガスは天然ガスを加圧下に酸素で部分酸化して製造し、 320°C — 20 気圧で鉄触媒を使い流動層で反応させ低沸点炭化水素—アルコール及びその他の化成品を製造した。この工場を運転するまで約3年かかったが、予定生産量の30%程度しか機能を発揮出来なかつた、そして最初運転した後大低運転不能となつた。

107. 1953年6月この工場は閉鎖された、それまでに建設費その他に約5,000万ドル(約180億円)が投ぜられたと報告されている。

1954年3月に Stanolind Oil and Gas Corporation が化成部を設け、全体的合成業務を引受けてこの工場の改造補修に取りかかつた。

1957年9月に同工場運転上の問題点は解決されたが、その時には経済状況が全く変化してしまつたので予定生産量を確保したとしても天然ガス、石油、酸化化成品を有効利用するために経済操業を行なう意味がなくなつた。従つて会社(爾後に Amoco Chemicals となつた)は計画を放棄し閉鎖した。この工場の歴史と技術的諸問題は発表されている。※

108. この工場の初期においては、メタンの部分酸化による合成ガスの製造に技術的難点があつたが、その後この問題も解決され工程は比較的スムーズに行なわれた。唯必要とする能力で良く運転するために最後に残された問題点は流動層式反応塔の故障であつた。1957年工場を閉鎖する時期にはこの問題解決の見通しもついたとは云え、結論的には、この種フィッシャー・トロプツシュ合成法で完全に成功を取めたものは無いということが出来る。

※ Chemical Engineering Progress, October, 1957, P. 50.

南アフリカにおけるフィッシャー・トロプツシュ合成法の発展

109. 南アフリカの中央部は石炭液化工場の立地には非常に適している、即ち容易に採掘出来る石炭の埋蔵量が豊富であり、原油輸入には輸送費が高いからである。従つて南アフリカが1933年以来フィッシャー・トロプツシュ合成に関心をよせて来たのは当然である。1953年 Anglo-Transvaal Consolidated Investment Company が南アフリカにおける Ruhr-chemie A.G.の特許実施権を獲得したが、戦争が勃発したので工場建設計画は放棄せざるを得なかつた。戦後南アフリカ政府委員会は近代的なフィッシャー・トロプツシュ法を導入するため調査を行ない、この勧告に基づいて1950年 "Sasol" (Suid-Afrikaanse Steenhool Olieen Gas-korporasie Beperk) として知られている会社を設立し南アフリカ政府が支援して Johannesburg の南方50マイルの Coalbrook (Orange Free 州) にフィッシャー・トロプツシュ合成工場を建設し運転を開始した。

110. この工場は1955年に完成し、そのフィッシャー・トロプツシュ法による能力はガソリン、ディーゼル油及び化成品250,000トン/年である。各種の技術的困難のため全系統を通じての順調な一貫連続運転はごく最近行なわれただけである。生産量は当初の計画数字をかなり下廻り、工場を増設してこの数字をやや上廻るよう努めている所である。

111. 高度に機械化された炭鉱から来る低級炭(工場渡し6シリング/トン。約300円/トンをやや上廻る)をこの工場では使用する。原料炭をLurgi式炉でガス化し、合成反応は2段に行なう。第1段は Ruhr-chemie Lurgi 社が開発した固定層法を採用し、第2段では M.W. Kel-

A logg 社の新しい方法を採用している。第2段における触媒、温度、圧力
4 の反応条件は Brownsville 工場の場合と類似しているが、触媒は良
く調整された流動層の代りに合成ガス気流中に懸垂されて反応内を連続
的に循環させる。詳細な技術的事項は既に発表されている。※

112. 約 1,300,000 ポンド (約 13 億円) の償却費を見込んでこの工
場は 1959 年 6 月 27 日までに約 400,000 ポンド (約 4 億円) の損失が
あつた。計画で投入した可成りの設備費を償却する前にこれだけの損失を
出した。

113. 本工場の成功は精製ワックス、化成品の販売から得る利益にかか
つていと考えられている。この考え方からすると SASOL は好条件の
位置にある、即ち現在の操業規模でも、同等の副産物を地域的に他から供
給する所がないような南アフリカでは全部消化されるからである。

其の他の研究開発

114. SASOL 計画とヨーロッパで行なわれているいくつかの小規模な
工場が現在企業的に操業を行なっているフィッシャー・トロブツシュ合成
工場の全部である。文献によれば既に記述した米国の鉦山局或いはその他
の石油会社が実験室的に研究を行なっている他、ソ連邦、中共、日本、イ
ンド、オーストラリア、でも研究が進められている。

※ Hoogendoorn, J.C., and Salomon, J.M., British Chemical
Engineering, 1957, 2.

115. ソ連邦と中共は化成品の生産に重点をおいており、インドとオーストラリヤは石炭から液体燃料の生産を目的としている。

116. 英国では企業的にフィッシャー・トロプツシュ合成工場を建設した例がない。1930年英国のRobinson Bindley社(後のSynthetic Oil Limited)は初期のコバルト触媒を改良しScotlandに小規模工場の建設に着手したが資金の不足からこの工場は完成されず会社は中止してしまつた。

117. 1936年以来、研究開発業務(パイロット・プラントによる実験を含む)は科学工業技術庁の研究所によつて行なわれて来たが、これについては附録Ⅶに記す。1955年までに行なわれた更に詳しい研究についても報告が出されている。※

英国の実状に参考となる外国の例

118. 石炭から油を企業的に合成する唯一の工場はSasolで他の工場はそれぞれの理由から中止してしまつた。Sasolの条件はそのまま英国の実状にはあてはまらない好適の利点が揃つている。先ず第一にSasolの原料は英国の炭価に比べると僅か1/4にすぎない。第二にSasolの製品の平均販売価格は36ポンド/トン(36,000円/トン)である。このように製品が非常に高く売れるのはもし外国から輸入する場合輸送費

※ "Research on the Fisher-Tropsch Process at the British Fuel Research Station". Hall, C.C., La Rivista dei Combustibili, 1955, 9, pt. 5 (in English).

A
5
外
が高くつくからである。この様な Sasol の実状がそのまま英国にあてはまるものでないことは明らかである。

英国における石油合成企業化の可能性

119. 1953年、英国動力省は石油合成が企業化出来るような工場設計上における根本的な変化が起きるかどうかを調査させた。合成ガスの精製や炭酸ガスの除去等においては相当進歩を示しているが、これを応用しても合成法のコストを低くするような決定的要素ではない。コストを著しく低下させるには現在開発段階にあるものよりも数段改善された新型ガス化炉が出現しなくてはならない。

120. これに必要な条件をあげると固定層ガス化炉で酸素水蒸気により20気圧でガス化出来るものが望ましく次に述べる附随的特徴もあげられる：—

- (1) 連続熔滓式ガス化炉であること。
- (2) 水蒸気／酸素比率が1以内であること。
- (3) 微粉炭含有量の多い低級非粘結性炭を原料とすること。
- (4) 工場建設費を安くし、熱効率を高めるため発生量が大であること。

121. これは英国動力省がガス化炉開発計画に期待した基準であつて、第IV章第72～76項及び附録IVに述べている。この開発計画は1956年にスタートした。前項に述べた事項がガス化炉開発の眼目であり、研究は未だ取りかかつたばかりの段階にある。今までの研究結果によれば、微粉炭含有量の多い石炭を使用すればガス量が著しく減少することが解つた。更に微粉炭の生産と需要状況が当初考えた時と事情が異なつて来ているの

で、微粉炭を原料とすることに企業的な魅力が薄くなりつつある。従つて微粉炭ガス化の技術を開発することは余り重要でなくなつたので、塊炭のみを原料とする熔滓式ガス化炉を完成するのは技術的にも企業的にも有利であるとの見通しが強くなつて来た。然しこれらの有利性は未だ確定されてはいない。但し融通性をもたせるために微粉炭の使用も可能であるように研究し、技術的に又企業的にこれが及ぼす影響も併せ調査する必要がある。

122. 第Ⅲ表（第Ⅳ章第77項）に示した如く、熔滓式ガス化炉の合成ガスは一酸化炭素含有量が高い。従つて石油合成に使うと経済的に有利である。合成ガスに対する生成油の収量が最大であり不必要な副産物の生成が少く、廃ガスの循環が避けられる。 H_2/CO 比の小さいガスを使用するフィッシャー・トロプツシュ合成法の改良は Rheinpreussen スラリー法であるが、これは未だ充分開発されたものではない。この方法は原料ガス組成に融通性があるだけでなく、生成物の種類も変化するので、説明を要するまでもなく、他の改良合成法に比べて生産コストが低くなると思われる。熔滓式ガス化炉とスラリー式合成法とを組み合わせると石炭からの石油合成法は在来の組み合わせ型式に比べ生産コストを下げる事が期待される。スラリー式合成法はパイロットプラントの規模で運転されているが、将来は企業化出来るかも知れない。科学工業技術庁は燃料研究所においてスラリー法の将来性を検討し、その結果を Warren Spring 研究所に移管した。その現状は附録Ⅶに記述した。

123. 委員会の調査結果。英国における石油合成法の将来性を検討するため合成装置に関する各種資料を外部から入手し検討した。委員会の協力者

は石油合成と関連事項に関する設計上の検討を行なつた。この設計研究調査は今後7年間に当然工業化され始めると思われるガス化炉やその他の装置類に基づく技術的及び経済的評価も含んでおり、勿論今後可能となる種々の製品についても考慮した。

124. この設計上の検討の基礎計算は当然一部推定評価に基づくもので完全な実験データによるものではなかつた。従つてこの算出が完全な妥当性を有するとは言ひ切れないが、然し確実な仮定の上に立つて推論した場合でも結論は悲観的であつた。即ち本調査結果から英国では国家から莫大な補助金の無い限り将来企業的生産量で石炭による石油合成を成功させることは不可能であるという結論に達した。

125. フィッシャー・トロプツシュ石油合成工程は2段階に分けられる。即ち原料石炭から合成ガスの一酸化炭素と水素を製造する段階、合成ガスから油類、都市ガス及びその他の生成物を製造する段階である。合成ガスの製造原価が全コストの大部分を占めている。現在行なわれているフィッシャー合成法よりも有効な方法が現れたとしても同法が英国では企業的に成り立たない理由は次の如くである。フィッシャー・トロプツシュ法に最適の合成ガスを石炭からの製造するコストは7.5 d/Thermで、製品のコストも7.5 d/Thermであるから、管理費—労務費—整備費—他の操業費または減価償却費を賄う予地が全くないことになる。

126. 完全な石油合成工場について委員会が検討したコスト計算は総括的には次の通りである。原料炭100万トン/年処理し石油18万トンと都市ガス2,500~3,500万立方フィートを製造するとすれば、製品販売

価格が約600万ポンド（約60億円）で、これに対する操業費（減価償却費を含む）は約700万ポンド（70億円）である。従つて莫大な損失をもたらすものとなるだろう。

127. 従つて石油合成の場合は販売価格の高い特殊な製品を合成しなければならなくなる。然し過去において、多くの会社がこの方法によつて生産した商品を販売しようとして倒産した例がすくなくない。即ち製品価格を相当安くしてもこれに応ずる程販売路が開けないのである。フィッシャー・トロプツシュ合成によつて製造されたワックス等の市場性は特殊な物であるから将来においてもフィッシャー合成の研究が非常に高価な特殊製品の製造に依存することは不可能であろう。

128. 以上の検討結果から英国においてフィッシャー合成を発展させるには合成ガスのコストを第125項の数値計算に考慮した数字より大幅に引下げなければならない。

129. 委員会がこれ等の計算をする場合、国内産原油に対する現行の“国家補助”については考慮しなかつた。この理由及び欧州自由貿易協会の協約（Convention of the European Free Trade Association）とこれの関係は附録Ⅷに記述してある。現行の国家補助額（約63円／ガロン）を認めると年間石炭100万トン処理の工場では年間補助金約300万ポンド（約30億円）となる。この合成工場の年間産油量は英国の総産油量の約1%に相当する。これは英国の国内所要石油を石炭からの合成石油によつて賄えば莫大な補助金を必要とすることになる。

130. 石油合成工場を建設するにはガス化炉及び合成炉の研究や必要なパイロット・プラントならびに大型実験プラントの建設費を含めると必要な開発技術に対して1,000～2,000万ポンド(100～200億円)の莫大な資金が必要である。これ等の研究開発結果が例えば設計研究から予想出来るものより良好なものであるかも知れない。しかし莫大な資金を投入しても成功を収めるといふ確証は何一つ無いのである。

131. 事実将来におけるフィッシャー合成法の企業価値を検討するためこのような莫大な金額を投ずる必要性はみとめられない。熔滓式ガス化炉の開発に重点を指向すべきことを勧告した。現在では熔滓式ガス化炉を研究する目的は燃料ガスを得ることであるが、合成ガスの生産コストが石炭から石油を合成する全生産コストの約70%を占める、従つて熔滓式ガス化炉の開発によつて低コストの合成原料ガスを供給することが出来る望みがあるから、この研究開発によつて石油合成法の経済性を高めるための基礎を将来作るべきである。

132. 石油合成計画を推進するため直ちに特段の措置をとる様勧告するものではないが、石炭ガス化法の本質的发展については絶えず検討を加えなければならないことを勧告する。

133. 各種の石油合成法に加えられる可能な改善発達さえも合成工場の経済性に及ぼす効果は僅少なものであろう。長期間かけてガス化法に著しい進歩が期待されてこそ石油合成法が企業的に成立し得ることになるのである。従つて委員会は Warren Spring 研究所のスラーリー式合成法の技術的研究を一応の成果を収めた時期、即ち今後18ヶ月後に中止する

よう勧告する。

134. 一方 Warren Spring 研究所では各種の基礎研究を行なっているが、技術的研究を縮小すると共に、逆にこれら基礎研究を強化する様勧告する。この研究の目標は次の如きものがあげられる：－

- (1) 合成触媒及び一酸化炭素と水素の反応機構に関する基礎研究。
- (2) 反応塔の設計改善の見地から、反応塔におけるガスと固体の相互作用を追求するための化学工学的研究。

135. これらの研究目標により一般の接触反応化学とこれに関する化学工学の重要な結果が導き出され又一酸化炭素と水素の反応の特殊な関連についても良く検討が加えられるものと思われる。又これによつて新しい化成品生産の方途が開拓されるかも知れない。この研究計画は接触反応を専門的に取扱い一酸化炭素と水素の反応を研究するだけでなくこの分野において諸外国で行なわれている研究開発とも連絡を維持する専門家により続けられるであろう。若し何らかの理由で石炭からの石油合成法に関する開発研究が将来明るいものならば、この分野の研究は直に再開されるだろう。SASOL の如き他の石油合成法の工業的計画と緊密に連絡をとり、石炭と石油の価格関係から企業的に成功を収め得る場所では直ちに操業するかも知れない例に対し注目すべきことを勧告する。

結 論

137. 結論を下にまとめた：－

- (1) 石炭の直接水素添加による石油の製造はフィッシャー・トロプツシュ法よりも更に企業化することが難しい方法である（第89項）。

- (2) フイツシャー法の製品コストの大部分が合成ガス製造コストである（第125～131項）。
- (3) 合成ガスのコストを引下げるため動力省は熔滓式ガス化炉の研究を行なっている。現状では原料として微粉炭をガス化することに過去における程には重点をおかず、塊炭を使用する場合には技術的企業の利点があるかも知れないが、これらの利点はなお確めなければならない（第121項）。
- (4) 英国では現在行なわれているガス化炉よりも更に効率の高い炉が開発されたとしても、合成ガスのコストは製品コストとほぼ等しくなるので、管理費—労務費—整備費—他の操業費—または減価償却費等を出す余地がないこととなる（第125項）。
- (5) 我々が行なつた設計研究から、国家から莫大な補助金なくしては企業化することが出来ないことが解かつた（第129項）。
- (6) フイツシャー合成によつてコストの高い特殊製品を製造しようとするのは賢明ではない（第127項）。
- (7) 石油合成工場を建設するまで必要なパイロット・プラントならびに大型実験プラントを含めるとしてガス化炉及び合成反応塔の研究や必要な技術を開発するのに1,000万～2,000万ポンド（100～200億円）を要する。この様な莫大な資金が捻出されることは妥当であるとは考えられない（第130項）。
- (8) ガス化炉の開発結果から将来石油合成法の経済性を高めるための確実な基礎を作るべきである。従つて石炭ガス化炉の本質的發展については絶えず検討を加える様勧告する（第131～132項）。
- (9) 現在 Warren Spring 研究所がフィツシャー・トロブツシュ合成について行なっている技術的研究は18ヶ月以内に中止する様勧告す

る。但し基礎的研究を強化すべきである（第133～134項）。

- (10) Sasol やその他の石油合成計画と密接に連絡すべきである（第136項）。

第 VI 章 石炭を原料とする化成品の製造

緒 言

138. 石炭を乾留して冶金用コークスを製造する方法以外に、長い間行なわれて来た石炭を原料とする化成品の製造には 3 つの方法がある。オ 1 の方法は石炭を分解乾留して都市ガスとコークスを製造するものでこの際重要な副産物としてアンモニア、ベンゾール及びコールタールが得られる。タールとベンゾールは現在化学工業に使用されている芳香族化合物の主な供給源である。オ 2 の方法はコークスと石灰から電力によつてカーバイドを製造して、これをアセチレンに変え特殊な化成品を合成するものである。オ 3 は肥料工業やプラスチック工業に必要なアンモニアやメタノールの大部分をコークスによる合成ガスから製造するものである。

139. 比較的最近まで英国では糖蜜を原料として脂肪族化合物を製造して来た。糖蜜を醗酵させてエチルアルコールを製造し、これを出発物質として比較的複雑な化学反応によつてエチレン、酢酸、アセトン等を得た。戦後になり、これ等の方法は行なわれなくなり、原料は石油の熱分解によつて容易に造られるオレフィン・ガス（エチレン、プロピレン、ブチレン等）から直接合成されるようになった。所謂石油化学が驚くべき生長を遂げたのは石油を原料としてオレフィンが容易に入手出来、脂肪族化合物のコストが著しく安くなつたからである。

140. 1958 年において英国が含炭素原料から国内で生産した一次化成品の使用内訳を次に示す —

有機化成品……………	1,000,000 トン
アンモニア……………	600,000 トン

其の他の無機化合物……150,000トン(主として CS_2 と CO_2 である)
上述した1,750,000トンの内60%は石炭を原料として製造されたものである。

141.これ等化成品の将来について検討するため、これらを製造工程に従つて分類することとする。

石炭乾留の副産物から誘導される各種化成品

142.現状。1958年において、2,800万トンの石炭がコークス炉で乾留され、2,500万トンがガス事業の原料となり、アンモニア85,000トン、粗ベンゾール475,000トン、タール300万トンが製造された。

143.アンモニアの需要量は石炭乾留によつて製造される量を遙かに上廻っているし、廃安水から製品を造らずに廃棄すればこれに税金が課せられるので副産アンモニアは全量市販されている。一方、粗ベンゾールとタールを抽出して出来る化成品は二、三の例外を除けば、更に処理するための原料または溶剤として現在化学工業が必要としている量を凌駕しているので、粗ベンゾールの一部は自動車ガソリンにし、タールの約80%はピッチ又はクレオソートとして販売されている。

144.粗ベンゾールはコークス炉やガス工場で回収されている。高温乾留によつて粗ベンゾールが出来るが、これはベンゼン、トルエン、キシレンの他に硫黄化合物の如き不純物を含んでいる。特殊なガス工場で製造されるベンゾールにはパラフィン系とナフテン系炭化水素を含有しているし、これを分離するには余計のコストをかけなければならない。

145.ベンゼン、トルエン、キシレンの含有比は約80：15：5であるが化学合成用の主要成分たとえばベンゼンの需要によつて抽出分離する量が異なる。生産されるベンゼン総生産量は化学工業用純ベンゼンの需要量を上廻っているから、高温乾留から製造されるベンゼンだけが化学原料に向けられ残余はガソリンに混ぜられる。

146.1958年におけるベンゼン各種製品の量をオⅣ表に示す、この表からもし純ベンゼン需要量が増加したとしてもそれを生産し得るモーターベンゾールの手持があることが解る。

オⅣ表 石炭から製造されるベンゼン、トルエン、キシレンの量—1958年（単位 1,000トン）

化学用ベンゼン	トルエン	キシレン	モーターベンゾール
136	33	16.5	166

現在製造されているモーターベンゾールの大部分はガス工場から供給されているため、パラフィン系炭化水素を含んでおり芳香族と分離することが困難であるから化学工業原料にすることは経済的に出来ない。

147.粗ベンゾールから抽出されているキシレンは溶剤としてのキシレン需要を満足させるに過ぎない、余分のパラ・キシレンはポリエステル繊維の合成に使われている。このパラ・キシレンは現在石油系原料から製造されているため石炭を原料としては大量に生産する余地がないと思われる。

148.タールから分離される各種製品の年間生産量をオⅤ表に示す（この

数値は理論生産量と対比させたものである)。普通タール蒸留工業で当面する問題点は競合価格で化成品を生産すること、それら化成品の十分な販路を見出すことの2点である。

オV表 1958年におけるタールから化成品の生産量
(単位 1000トン)

	実際生産量	理論生産量
溶剤ナフサ	40.0	40.0
フェノール	16.0	18.0
クレゾールとキシレノール類	70.0	95.0
ナフタリン	57.5	170.0
アンスラセン	2.5	20.5
インデンとクマロン	2.5	13.5
ピリジンとピコリン	1.0	4.0

149.石炭から誘導される主要な化成品で生産が追いつかないのはフェノールだけである(パラ・キシレンを除く)。この不足量はベンゼンから合成によつて製造されていて全生産量の約60%を占めている。

150.将来の状況。将来 — 例えば1970年 — における芳香族化合物の生産と需要を推定することは難しいことである。オ一に、乾留工業の様子が段々変化する、即ち鉄鋼生産量の増大に伴つて冶金用コークス需要が増え、又Lurgiガス化炉が建設されるので発生ガスの単位当りの副産物が減少

する一方この副産物から有用な留分を分離するのは難しい問題となるだろう。無煙燃料の将来性については明白な見通しが立てられていない。然し、一般的意見としては今後10ヶ年間にタールとベンゾールの生産量は僅かながら増加するだろうと見られている。

151.オ2に、芳香族化合物の需要は一般に増大するだろう、各化成品毎の需要量増加の見通しは決して同一ではなく、またその若干のものゝ需要は多少増減がある程度で安定しているかも知れない。

152.芳香族化合物の生産と需要量を正確に把握することは至難であろうが、将来を見通す時二、三の重要な例外はあるが、現在コールタールから分離製造されていない化成品が大量に生産され現在の規模の2倍に膨脹する化学工業の原料として使用されることは間違いないものと思われる。コールタールから製造される化成品は急増するので石油系原料から供給されるものと競争しなければならない。

153.現在コールタール化成品中需要を賄いきれないのはパラ・キシレンとフェノールである。オ147～149項に述べたようにパラ・キシレンは石油から製造されていてこれは今後とも続くものと思われている。クレゾールの需要と供給は多少バランスしているから将来需要量が増えたとトルエンから合成しなければならないしまたはフェノールで若干の最終用途を代用しなければならない。

154.ベンゼンの需要も増加している、将来を見越すならば、新しい供給原料が必要となるだろう。即ちそう考えるとモーターベンゾールから高収

中でベンゼンを抽出する方法について研究を継続する必要がある。

155.ナフタリン需要も増加している、コールタールから抽出される量は或る程度コストを上げることなく増すことが出来るが、それ以上増すと値段が高くなるだろう。ナフタリンは無水フタル酸の原料であるが他の方法によつても無水フタル酸を合成することが出来る。無水フタル酸はオルト・キシレン（パラ・キシレンと同様に石油から製造出来る）、 α 及び β メチル・ナフタリン又はフェナンスレンからも合成出来る。英国で産出されるコールタール中にはもし必要ならば α ・メチル・ナフタリン、 β ・メチル・ナフタリン及びフェナンスレンを年間170,000トン生産し得る。新しい大規模の方法による無水フタル酸製造装置は完全に操業していないがその将来には注意を払う必要がある。

アセチレンを原料とする化成品の製造

156.現状、英国において石油化学が発達するまでは、カーバイドを出発原料としたアセチレンによる脂肪族化合物の合成が糖蜜の醗酵法に代る唯一の方法であつた。英国では火力発電が主であるため水力に依存する諸外国に比して電力費が高いためカーバイドの生産は限定されて来た、1958年における生産量は219,000トンで、74,000トンは輸入に依存した。

157.現在では英国が必要とする脂肪族化合物は石油を原料としたオレフィンガスによるものと、アセチレンによるものとに分けることが出来る。両方を比較すると前者の方が量的に重要であり且つ年々増大しつつある。

158. 1958年において英国が消費した原料オレフィン¹は406,000トンで内訳はエチレン168,000トン、プロピレン165,000トン、高級オレフィン73,000トンであつた。これらの用途は溶剤(137,000トン)、プラスチック(92,000トン)、合成洗剤(77,000トン)、合成ゴム(20,000トン)、その他の化学製品(80,000トン)である。アセチレンの主な用途は塩化ビニール、トリ・クロロ・エチレン及びアクリルニトリルで、アセチレンの総計は48,000トン/年で石炭に換算すると150,000トンとなる。

159. 将来の状況。アクリル繊維の需要増大に伴つて、アクリルニトリルの消費量が増えることが予想される、然し将来はアセチレンよりもプロピレンに依存する方が大となりエチレンから出発した塩化ビニールがアセチレンを原料としたものと競合するようになるだろう。更に、石油から出発したアセチレンの方がカーバイドのものよりも安くなるだろう。従つて今後10ヶ年間に脂肪族化合物の需要が大幅に増えるだろうがカーバイドの使用量は比例して増えはしない。

合成ガスから出発する化成品の製造

160. 現在の状況。合成ガスから出発する化成品を英国では2種類に大別することが出来る、即ち一つはアンモニア及びその誘導体(例えば硝酸)と、メタノールや高級アルコール等である。

161. 1958年、副産物としてのアンモニアが85,000トン生産され、又合成ガスを原料として50,000トンが製造された、各種合成法に使用されたコークスの総量は約900,000トンで石炭に換算すると1,350,000トンとなる。

162.将来の状況。アンモニア、メタノール、及び其の他の有機化合物の需要は1960年末までは上昇を続け、合成ガス所要量は1958年に比較すると約2倍になると考えられる。

163.現在化学工業原料としての合成ガスはコークスから製造されており、その経済性も高められつつあり又現在開発中のものもある、化学工業が直面している技術的諸問題は才Ⅲ章及び才Ⅳ章で論じたようにガス事業が当面するものと全く同じである。然し若干の差異があるが、最も重要な差異はガスの規格が同じでないことである。アンモニア合成の場合は触媒の耐久性と、不都合な酸素化合物の生成を防ぎ、不活性ガスが工程内に残留するのを防ぐため純粋な水素と窒素が要求される。メタノール合成の場合は H_2/CO が2:1でなくてはならない。

164.化学工業では極めて純粋な水素を製造出来る新しいガス化装置を希望しているが、これには3つの方式がある。才1はTexaco又はShellによる石油の部分酸化によるガス化装置である。才2は軽質ナフサーメタン及び軽質炭化水素ガスを水蒸気でリフォーミングするもので、才3は石炭を流動層又は懸垂式ガス化炉で部分酸化するものである。

165.石油の部分酸化法では、過熱水蒸気を石油と水蒸気—油混合物と混ぜ予熱し約30気圧で発生装置に送り、空気分離器で造った酸素により石油を部分的に酸化して合成ガスとする。発生装置を出るガスは水性ガス転化反応によつて一酸化炭素と水蒸気を水素と炭酸ガスに変化させる。炭酸ガスを除去し純粋な水素のみとする。

166. 軽質ナフサ（またはメタン或いは軽質炭化水素ガス）の水蒸気リフォーミングはもつと簡単な方法である、原料に揮発性物質を使い酸素を必要としない利点がある。まずナフサの硫黄分を除去し水蒸気と混合して蒸発させ、触媒上を通過させることによつて混合物を合成ガスに転化させる。続いて水素添化反応を行ないまた一酸化炭素を除去する。

167. 懸垂型のガス化炉も種類が多い。例えば Koppers-Totzek ガス化炉は石炭又は石油から必要性状の水素を発生させるには極めて経済的なものである。この炉は圧力を必要としない — 英国における生産コストは可成り高いので問題である。Texaco の石炭ガス化炉は加圧下に操作しスラリー状の石炭（微粉炭と水から）を原料とするものであるが、未だ企業的には成功していない。

168. Winkler のガス化炉は流動層を採用し、褐炭半成コークスと瀝青炭から水素を製造するため広く使われている。

169. これ等の炉を実際選ぶ場合にはこれに関連する工業の特性と企業的な考慮事項に基づいて決定しなければならない、然し調査結果から軽質ナフサの水蒸気リフォーミングが最もコストが低いことが解つた。化学工業用としてこれに次ぐものは燃料油の部分酸化によるものであることが確められている。長期的に見た場合、Lurgi ガス化炉と熔滓式ガス化炉が石炭の石油に対する競合力を強めるであろうからこれらの炉について研究開発を進めるよう勧告する。

その他の石炭の理論的利用法

170. 10年前までは、石炭は数個の結合環を含む芳香族構造単位により石炭を構成していると広く信じられていた、従つて温和な化学反応によつて中程度の分子量を有する — 石油から容易に作ることが難しい — 商品価値の高い製品が出来ると考えられていた。其の後完全とは云えないが石炭の構造が逐次明らかにされて来て過去の単純な考え方が修正されて来てゐる。

171. 芳香族構成単位は従前考えられていたものより可成り少いが、然し分子構造は複雑な結合状態で温和な反応によつては、その特性を僅に変化させるに過ぎないかまたは酸化反応によつて蓚酸や炭酸ガスの如き簡単な物質が生成されるような分子構造である。ベンゼン誘導体の収量は10%程度にすぎない。石炭を熱分解、酸化、水素添加、弗素化等の化学反応によつて分解すると各種分子の複雑な混合物を生成するが、一種類の石炭の分子は殆んど全く同じではないが一つの型に属していることが明らかになつて来た。このため商品価値のあるものを分離することが價格的に難しくなつて来る。然しこれはある目的（例えば潤滑油）には有利である。長い脂肪族鎖状物質やアセチレンやエチレンの様な簡単な化合物は、一度石炭を一酸化炭素と水素にもどすか又は炭素をカルシウム・カーバイドに変えなければ造ることが出来ない。即ち石炭は脂肪族化合物に簡単には変化させることは出来ない。

172. 以上の理由から、石炭を温和な条件で処理しても有用な化成品に変えることが至難であることを物語つてゐる。理論的には興味のある種々な問題もあるが企業化の観点からはこれ等を重要視する必要がないと思われる。即ち芳香族化合物を得るための水素添化分解、石炭のアルカリ加水分

解によるフェノールや有機酸の製造、硝酸一過マンガン酸加里一オゾン等による石炭の酸化、弗化カーボン等を得る目的の三弗化塩素の如き試薬による石炭の弗素化、石炭を有機溶剤で処理しこれを水素添加して芳香族化合物を得る方法等である。

173. 上述した各種方法は大学工業専門学校または出来得れば国立研究所等で行なうべき研究で企業化して石炭を大量に使用するような方法はないことに注意すべきである。

174. 石炭を大規模に原料として消費する可能性の強いものは、高圧下に石炭を水蒸気と反応させて合成ガスを製造するもの一つだけである。外国ではこの反応に関する基礎研究が進められており、英国のガス委員会もこれに注目している。本委員会はこの方法を早急に開発することを希望して止まない。

結 論

175. 本章の考察により、石炭から化成品を得るため消費される量は（乾留の副産物を除く）約 1,500,000 トン／年で、現在及び将来の合成ガスとアセチレン生産がすべて石炭から賄われるものと計算しても 1960 年末で約 2,500,000 トンにすぎないと結論した。

176. 結論を詳しく述べると次の如くである —

- (1) 1958 年における英国の含炭素原料から製造する国内生産のオール次化成品は約 1,400,000 トンで、この 60% が石炭を原料としている（オ 140 項）。

- (2) 1958年に乾留工業は85,000トンのアンモニアを生産した、粗ベンゾールは475,000トン、タールは3,000,000トンであった。二三の例外を除き、粗ベンゾールとタールから抽出される化成品は現在化学工業が必要とする量を上廻っている。蒸留工業が直面している問題は石油と競合出来る製品用途の発見とその価格を安くすることであり、ベンゼンやナフタリンを抽出分離する研究が必要である(オ142～155項)。
- (3) 今後10ヶ年間は脂肪族化合物の需要が急増すると考えられるが、カーバイドの使用量はこれに比例して増加しない(オ159項)。
- (4) カーバイド以外の合成法に消費されるコークスの全量は1958年において900,000トンで石炭に換算すると1,350,000トンである(オ161項)。
- (5) 1960年末における合成ガス所要量は2倍に増えると思われる(オ162項)。
- (6) 化成品合成用の純水素を製造する最も安い方法は軽ナフサの水蒸気リフォーミングである(オ169項)。
- (7) Lurgi 式ガス化と石炭の熔滓式ガス化炉に関する研究は化学工業用合成ガスを製造する際石油との競合を有利にすると考えられる(オ169項)。
- (8) 石炭から化成品を得る方法で理論的に興味のある方法についても研究する必要がある(オ172～174項)。

第 VII 章 工業用ガスの供給

緒 言

177. 英国で販売されている石炭の $\frac{3}{4}$ は熱源と動力の発生に使用されているが石炭鉱業の当面の問題点はこの市場に強い競争相手が進出していることである。主なこの競争相手は石油工業であり石油は取扱いが容易で燃焼に際して灰を生じない利点がある。燃料ガスもこれ等の利点を有しているから製造が容易で値段が適切であれば石炭の石油に対する競合を有利にする。

178. 才 III 章（才 46-54 項）ですでに述べたようにガス局から一般に供給されるガスは品質と純度に規格がある。これは工業用ガスにはあてはまらない、工業用ガスは安いことが必要であり、且つ輸送するのに精製だけされれば利潤があげられるかも知れない。

工業用ガス輸送管

179. 才 IV 章において低熱量ガスを現在の装置によるよりも低廉に製造出来る方法が開発されていることはすでに述べた。もし大幅にガス価格を下げるような方法が完成されればこれを簡単に精製して工業用に供給出来ることとなる。このような値下げは極めて大型のガス発生装置によつてのみ可能であるから都市ガスの輸送管とは別に工業用ガスの輸送管が必要となる。

180. 輸送ガスは高圧で工場に供給される。輸送管は精製と増熱のためガス局の地方毎の中央処理工場へガスを送り都市ガスの規格に合わせる。もし値段が充分安いならば新しい型の動力源に供給することも出来る（即ち

ガスタービン、又は燃料電池、冶金用、化学工業用等）。燃料ガスを使用することにより小型及び中型のボイラー装置は自動調節が可能となる、またこのことは更に市場を拓げるであろう。

181. 以上は技術的な可能性を述べたものであるが、二本の輸送管を別々に設置することは難しいかも知れない※。このことは調査項目以外の工業的ならびに経済的方策の問題点であるが、新型完全ガス化炉を最も有効に開発するためには長距離ガス輸送の可能性を常に調査することが必要である。

発生炉ガス・プラント

182. 工業用の目的にガスを供給するもう一つの方法は各工場がそれぞれガスを発生することである。才1次大戦と才2次大戦間には発生炉ガスが大規模工業用炉の熱源として各工場に建設され石炭又はコークスを年間約800万トン消費した。

183. 発生炉ガスは石炭又はコークスを空気で不完全燃焼させて発生する。組成は一酸化炭素（若干の水素を含む）と多量の窒素である。従つて発熱量は低く通常130～180 B. t. u/立方フィートであるからパイプ輸送はコストが高くつくので実行出来なかつた。

※ West Midland地区の一部に多年に亘り別の工業用ガス配管方式を使用し現在は縮少しつつあることを覚えている。この方式—Mond ガス化方式—は低カロリーの発生炉ガスを配給し、その状況は上述の検討しているものとは全く異つている。

184. コークスを原料とするプラントは操作が容易であるが、品質の良いコークスは値段が高いため特別の場合しかこの方法を採用することが出来ない。粉コークスを使用することは技術的には可能であるが経済的ではない。

185. 石炭を原料とする旧式の発生炉は欠点が多い。これは特殊な石炭を必要とし、運転条件もまちまちであり且つ毒性ある廃棄物によつて空気を汚染する欠点がある。従つて発生炉ガスに使用される燃料消費量は300万トン／年に落ちていることは驚くに当たらない。

186. 発生炉の設計に改良が加えられ所謂2段階発生炉 — 例えば Gas Integrale, Power Gas, West-Tully 及び Heurty 法等があげられる。亦1段階発生炉の設計にも改良が加えられた。

187. 英国石炭利用研究所と生産会社の協同で発生炉ガスプラントの良好な設備と高度のオートメーション化が可能となつた。

188. 2段階発生炉によつてもたらされた改良点は旧式プラントで問題となつていたタールと炭塵を含まない均一な良質のガスを発生出来るようになったことである。この炉の形式はガス化層が1段階発生炉に比して長く、発生したガスが2個の取出口から抜き出される。即ち頭部と底部からである。この方法では炉の頭部に充填された石炭の揮発分が過度に熱分解を受けるのを防ぐことが出来る。炉の頭部では乾留が行なわれ底部ではコークスによる発生炉として作用する。

189. 石炭を原料とする新しい発生炉では、原料炭価を5ポンド／トン

(5,000 円／トン：約 4.5 d / Therm とすると生成した熱い未精製ガスは減価償却費を含め約 6 d / Therm となり精製すると約 7 d / Therm となることが解つたが、コストはそれぞれの条件によつて変動する。

190.この2 段式発生炉の主な欠点は良く整粒された特殊の石炭を必要とすることである。原料炭は膨脹性が少く品質が一定で灰分の低いものでなくてはならない。

191.英国石炭利用研究所は発生炉ガスの有効利用について検討した結果、発生炉の研究開発はこれを続行すべきであるという結論となつた。本委員会としても各種の石炭特に低品位炭を発生炉に使用出来る方法を開拓する研究が望ましいと考えている。

192.注目を引いている特殊な発生炉について述べなくてはならない、これは Ruhrgas 発生炉でドイツが開発したものである。英国石炭庁は Manvers Main コークス工場に Ruhrgas の試験装置を建設しコークス炉を加熱する燃料ガスを発生し、コークス炉ガスはこれを分配するためガス局へ送っている。

193. Ruhrgas 法では微粉炭を予熱した空気でガス化するが、堅型炉の大きさは高さ 100 フィート直径 10 フィートでサイクロンを附属している。燃料と予熱した空気はサイクロンに吹込まれ混合を良くし石炭粒子が急速にガス化するようにする。ガス化層の温度は約 1,500 °C である。灰分が熔解し炉外に取出せる様な石炭ならどの品質のものでも使用すること

が出来る。

194. Ruhrgas 法の採用によつて英国石炭庁は副産物を洗滌除去出来るようになった。発生炉ガスの熱量は $90-100 \text{ B.t.u/立方フイート}$ である。英国石炭庁はこの方法の採用によつてコークス炉ガスの値段を約 $7d \sim 8d / \text{Therm}$ にするととが可能であると推定している。もしこの方法が完全に成功すれば、他のコークス炉にも採用出来るし又他の工業用目的にも応用されるかも知れない。この方法の特長の一つとして多量の水蒸気を副生することである。この研究は発展するものと期待し英国石炭庁がこれを完成する様希望している。

195. 才 IV 章にガス委員会が建設している Otto-Rummel 法について述べた。この種の簡単な型式の炉が発生炉ガスの製造に利用出来るのでこの装置の可能性について検討すべきであると考えている。

結 論

196. 本委員会の結論は次の如くである ; —

- (1) 考えている各種ガス化炉が開発されるならば低熱量ガスが大規模に製造されガス価格も著しく安くなり、精製も簡単になり工場用ガスの広範な市場が開かれると思われる (才 179 項)。
- (2) ガス輸送管を別個に 2 本 (工業用ガスと都市ガス用) 設置することは難しいと思われる。然し新しい完全ガス化炉を最も有効に開発させるためにはガスの長距離輸送管を設置する可能性を検討する必要がある (才 181 項)。
- (3) 1 段階ガス発生炉の設計を改善する余地がある (才 186 項)。

- (4) 2段階ガス発生炉の設計が著しく進歩したので、今後は各種石炭を原料と出来る様研究すべきである(才188~191項)。
- (5) 発生炉ガスの利用に関する研究はこれを続行すべきである(才191項)。
- (6) 英国石炭庁がRuhrgas 発生炉の建設を決定したことに賛意を表する(才124項)。

第 VIII 章 研究開発に必要な組織

緒 言

197. 勧告しようとする研究開発に必要な組織を論ずる前に本委員会の結論を次の様に総括するのが便利であると考え：—

- (1) 石炭の完全ガス化については相当研究する必要がある、特に都市ガスと工業用燃料ガスに利用出来る高圧熔滓式ガス化炉の開発に重点をおくべきである。
- (2) 都市ガスと発生炉ガスの製造に利用出来る他の型のガス化炉についても注意を払う必要がある。
- (3) 芳香族化合物を製造する目的のタールやベンゾールの有効利用も引続いて研究すべきである。
- (4) 最後に石炭から石油を製造する方法（フィッシャー法）が企業的に成立するのは可成り遠い将来であろうから、この分野の技術的研究に力を注ぐことは無意味であるから、ガス化法を完成してから再度石油合成の可能性を検討すべきを至当と考える。

198. コールタールやベンゾールの精製に関する研究はそれぞれ関係ある生産会社等で合理的に行われているが、将来はベンゼンやナフタリンの需要が増えることを考慮してこの事情を研究に折込むべきであると考え。ガス化の研究組織について詳細な勧告を行う前に、この研究開発を適切に実施するため基本となる事項を次に規定することとする：—

- (1) 開発研究は工業化を前提として行なうべきもので、これがため現在

開発中の方法を利用し生産を行なう生産会社等と連繋してパイロット・プラントを建設する必要がある。

- (2) 研究開発計画の調整は一本化し、過去においてこの種研究開発に経験のある人々の努力を結集して行なうべきである。
- (3) これがため研究開発を行なつた経験者を1名以上参加させ現行の研究を支援させる。研究担当者には運転経験の深い化学工学、機械工学のエキスパートも含める必要がある。
- (4) かくして編成された研究委員会には明確な目標を指示し、充分な設備を与え、目的遂行のため計画を強力に推進し得る権限を附与すべきである。
- (5) 研究結果の経済性を検討し研究が正しく行なわれるようにする。

ガス化の研究開発に必要な組織

199.Lurgiガス化炉はガス委員会によつて開発されている。一方、ガス委員会はLurgi式の熔滓式改良型を開発している、調査結果では動力省のガス化研究の主力は都市ガスの製造に向けられるべきことを提案している(すでに述べた如く輸送管を2系統設置出来るならば工業用ガスも含まれることになる)。

才Ⅳ章に述べたように熔滓式ガス化炉は2種類研究されているがこれは好ましい状態ではなく、ある段階で両者の特長を融合させて一つの型に開発されると考えられる。

200.ガス委員会はガス発生炉を最終的に使用する立場にあるのであるから熔滓式ガス化炉について確固たる決意を示すべきであり又研究開発業務にも責任がある。

201.ガス委員が熔滓式ガス化炉の研究開発業務全般に責任を持つことに
対して賛意を表するものであるが、勧告を直に実行することは出来ないと思
われる。Solihull と Leatherhead に建設されたガス化炉は異なる目的
で、別個のグループが開発業務を行なつて来たのでこの研究計画を統合し
て一つの方向に持つて行くことは至難であり無理して行えば各々の計画を
挫折させる恐れがある。

202. Leatherhead の施設に多額の予算が投ぜられているので最も良
い結果が得られるものと期待される。動力省と研究契約をしている英国石
炭利用研究所の研究も重要であるからこれを続行すべきであると考える。

203.各種団体機関ではどの様にして研究上の責任をガス委員会に転移す
べきかという点で論議がなされているが、混乱をさけるため現在のまま熔
滓式ガス化炉の研究を続けることが至当と考える。

204.ガス委員会が英国炭を原料とする標準型 Lurgi 式ガス化炉、
Otto-Rummel ガス化炉の研究、及び将来都市ガスに使用されるガス化炉
の研究開発にも責任を持つかという点に関しては勧告する案を持つていな
い。

205.前項に述べた勧告の中で例外なのは発生炉ガスでガス委員会として
余り関心を示していない事項である。発生炉ガスの研究開発に関心を示し
ているのは石炭消費量を増す責任を持つている英国石炭庁である。従つて
発生炉ガスの研究開発は英国石炭庁の所管であると考える。英国石炭庁は
すでに Ruhrgas 発生炉を調査しているがこれ等を石炭庁の管轄下におく

ことは至極当然である。

結 論

206.結論を次に述べる：—

- (1) コールタールとベンゾール精製の研究は適切に行なわれているが、将来ベンゼンとナフタリンの製造量が増加することを考慮に入れて現在の研究を続けるべきである（才198項）。
- (2) 英国炭を原料とする標準型 Lurgi 式ガス化炉、Otto-Rummel ガス化炉 及び将来都市ガスを製造する発生炉に関する研究はガス委員会の担当事項と考える（才204項）。
- (3) 現在動力省が所管している研究を移管することは難しいだろうが、熔滓式ガス化炉の開発はガス委員会の責任であると考え（才200～201項）。
- (4) 熔滓式ガス化炉に関する研究責任をどのような方法でガス委員会に移管するかについて各機関で論議されているが混乱をさけるため現在のまま研究を続行すべきと考える（才203項）。
- (5) 英国石炭庁は発生炉ガス工場の開発に責任を持つを至当と考える（才205項）。

第 IX 章 委員会の調査した結論と勧告

207.調査結果によれば英国の石炭処理の最も重要な方法は乾留である。将来における乾留工業の規模は一にコークスの需要量によつて決定されるが、ガスや化成品も乾留によつて大量に生産される。

208.調査範囲では都市ガスの膨脹が最も著しいが、これを可能にするためには現在の方法よりもガス価格を大巾に引下げる必要がある。このように石炭を多量に使用するためには Lurgi 式が最も適している。然しこの方法で製造したガスは供給する以前に増熱しなくてはならない、現在の処石炭から直接増熱ガスを製造する経済的な方法はない。Lurgi 式炉で製造された低熱量ガスを増熱するためには石油系ガスが経済的である、この面においては石炭と石油が共存し得る。

209.現在建設中のプラントが完成すれば英国炭を使用して Lurgi 式炉の能率を増す研究が可能となる。標準型の Lurgi 式ではコストの引下げに限界があるが、高圧熔滓式ガス化炉の開発によつて石炭ガス化の技術が改善せられ結果的に石炭ガス化のコスト引下げが可能となるだろう。この種ガス化炉の主目的は都市ガス（及び工業用ガス—輸送管が完成されるならば）の製造であるからガス委員会はこの種ガス化炉の開発に責任を持つべきであると勧告する。

210.英国においては石炭を原料として炭化水素油を製造することは（フィッシャー法）遠い将来の問題であろうから、現在の研究が一段落した時期に技術的な研究に終止符を打つを得策と考える。但し合成石油のコスト

の大部分が合成ガスの値段であるから、石炭ガス化法が著しい進歩をとげた時期にフィッシャー合成法の経済性を再検討する必要がある。Warren Spring 研究所で行なっている技術的研究が中止された後は基礎的研究に重点をおくべきである。現在世界で石油合成が企業化されている唯一のSASOL工場や他の石炭から石油を合成する工業的計画とは緊密な連絡を取る必要がある。

211.次は石炭から化成品の製造であるが、芳香族化合物の需要増加は乾留の副産物であるベンゾールとタールの抽出によつて賄うことが出来ると考える。然しこの分野では石油系の製品と競合しなくてはならない。現在この分野で行なわれている研究体制は妥当であると考えられる。

212.合成ガスを原料とする化成品の需要も増加するだろう、現在約900,000トンのコークスが合成ガスの製造に使われている、調査結果によれば軽質ナフサの水蒸気改質による方法が一番安いものであることが解つた。長期的に見れば、Lurgi式ガス化炉と熔滓式ガス化炉が石炭のこの分野における競合力を高めるようになると思われる。

213.石炭から低熱量ガスを製造するコストが著しく引下げられれば、工業用として増熱せずに供給出来るようになる。コストの引下げは大規模装置によつてはじめて可能となるもので、又工業用輸送管も設ける必要がある。現在研究中の新しい完全ガス化炉を最も効果的に開発するには長距離ガス輸送の是非について常に調査をしておくことが必要となつて来る。

214.工業用ガス発生炉の能率を増す余地があるため英国石炭庁が発生

炉ガスの研究開発に責任を持つべきであると勧告する。

215. 結論とこれに基づく勧告を次にまとめる：—

ガス化

- (1) 都市ガスを製造する新しい装置が現行の方法に代るためにはガス価格が償却費を含め約 10 d/Therm 以下でなくてはならない（オ 45 項）。
- (2) 工場立地を適切にして Lurgi 式大型炉を建設し、石油系原料で増熱すれば企業として成功すると思われる（オ 60 項）。
- (3) 石炭から増熱ガスを経済的に製造する方法はない（オ 63—67 項）。
- (4) 石炭のメタン化による増熱ガスの製造はコスト的に成り立たない（オ 64 項）。
- (5) 石炭から高熱量ガスを発生する水添ガス化法はパイロットプラントで実験しその企業価値を確かめることを勧告する（オ 67 項）。
- (6) Lurgi 式ガス化炉の規模を拡大するには工場立地を適切にし大量にガスを発生しなければならない、これがためガスの地下貯蔵と国営の輸送管を結びつけることが重要な因子となる（オ 61 項）。
- (7) 高圧熔滓式ガス化炉の開発は未だ初期の段階であるがその原理からして相当の効果を収めるものと期待される。これによつて石炭ガス化技術を改善し石炭のガス化コストを大幅に引下げることが出来ると思われる（オ 79 項）。
- (8) 熔滓式ガス化炉の開発が試験工場建設の段階まで行くには最少限 5 ケ年位かかるものと思われる、これに要する経費は約 200 万ポンド（約 20 億円）である（オ 79 項）。
- (9) 合成ガスのコストを引下げるため英国動力省は熔滓式ガス化炉の研

究を行なつて来た。現在では微粉炭のガス化には昔程に重点が置かれず、整粒炭だけを使用して熔滓式ガス化炉を操業する場合には技術的企業の特長があるかも知れないが、この特長はなお良く確めるべきである（オ 74、75 及び 121 項）。

(10) ガス委員会が Otto-Rummel 式のダブルシャフトガス化炉の実験装置を建設したことに賛意を表する（オ 83 項）。

(11) 劃期的な技術が開発されない限り英国における地下ガス化は企業的には成り立たない（オ 86 項）。

石炭から石油を製造する方法

(12) 石炭の高圧水素添加法はフィッシャー・トロプツシュ法よりも一層企業として成立する可能性がない（オ 89 項）。

(13) フィッシャー合成法による製品コストの大部分は合成ガスの値段である（オ 125 項～オ 131 項）。

(14) 英国における石油合成ガスのコストは、例え現在のものより能率の良いガス化炉を採用したとしても、フィッシャー・トロプツシュ合成法によつて製造した化成品のコストと略々同じであるから、事務費— 労務費 — 整備費 — 操業費等の諸経費が損失となる（オ 125 項）。

(15) 調査したことから考えると国家から莫大な補助金があれば石炭による石油合成法は企業規模では成り立たない（オ 129 項）。

(16) 石油合成によつてコストの高い特殊製品を製造する研究は賢明なものではない（オ 127 項）。

(17) 石油合成工場を建設する以前に、研究開発費として 1000 万～2000 万ポンド（100 億円～200 億円）必要とする、これにはガス化炉や合成反応塔の研究やパイロットプラントや工業化プラントの建設費も含めている。この様に多額な研究費が妥当であるとは考え

ていない（オ130項）。

(18) 既に実施中のガス化炉に関する研究結果に基づいて将来における石炭による石油合成法の経済性の評価の確実な根拠を出すべきであり、且つガス化炉が著しい進歩を示した時に再び合成法の可能性を調査するよう勧告する（オ133項及びオ134項）。

(19) Warren Spring 研究所において行なっているフィッシャー・トロブッシュ法の技術的研究は18ヶ月間にこれを取纏めた後中止し爾後は基礎研究を強化するよう勧告する（オ133～オ134項）。

(20) SASOL及び其の他の石炭による石油合成計画との連絡を緊密にするべきである（オ136項）。

石炭から化成品の製造

(21) 1958年、英国において国内生産した含炭素原料から製造した原料化成品は約175万トンであつた。このうち60%は石炭を原料とするものであつた。化学工業に使用した石炭全量（乾留副産物を除く）は約150万トンであつた（オ140～175項）。

(22) 1958年において乾留工業は85,000トンのアンモニアを生産し、粗ベンゾールは475,000トンでタールは300万トンであつた。二三の例はあるが、粗ベンゾールとタールから分離される化成品は化学工業が必要とする量を上廻っている。蒸留工業が直面する問題は化成品のコストを石油と競合出来る所まで下げ且つ販路を開拓しなければならないことで、ベンゼンやナフタリンの分留に関する研究は続行する必要がある（オ142～155項）。

(23) 今後10年間は脂肪族化合物の需要が急激に増加するが、カーバイドの消費量はこれと比例して延びない（オ159項）。

(24) 1958年において、カーバイドを原料とする合成法以外のすべて

の合成法に使用されるコークスの全量は約 900,000 トンで石炭に換算すると 1,350,000 トンとなる（才 161 項）。

(25) 1960 年末には合成ガスの所要量は約 2 倍となると思われる（才 162 項）。

(26) 近い将来には軽ナフサの水蒸気リフォーミング法が純粋な水素を製造する最も安い方法であると思われる（才 169 項）。

(27) Lurgi 式と熔滓式ガス化炉を研究することによつて化学工業用合成ガスを製造する際の石炭の競合力を強めることになる（才 169 項）。

(28) 理論的に考えられる石炭の利用法についても研究を進めるべきである（才 172～174 項）。

工業用ガス

(29) 現在開発されている各種のガス化炉によつて低熱量ガスが大量に製造されるようになりコストも引下げられるので簡単に精製するだけで工業用燃料として供給されるようになるだろう（才 179 項）。

(30) 工業用ガスの輸送管と一般用の輸送管を別々に設けることは困難であろうが、新型の完全ガス化炉を最も効果的に開発するには長距離輸送管の可能性を常に調査しておくことが当然必要となつてくる（才 181 項）。

(31) 1 段階ガス発生炉の設計も将来相当進歩する余地があると考えられる（才 186 項）。

(32) 2 段階発生炉の設計も相当進歩して来ているので、各種の石炭を原料となし得るよう研究が進めらるべきである（才 188～191 項）。

(33) 発生炉ガスの利用法に関する研究も続行すべきである（才 191 項）。

(34) 英国石炭庁が実験用 Ruhrgas 発生炉を建設するよう決定したことに賛意を表する（才 194 項）。

石炭化学研究に必要な組織

- (35) コールタールやベンゾールの精製分野における研究は適切に行なわれている、研究はベンゼンやナフタリンの需要が増加する点を考慮して続行すべきである（オ198項）。
- (36) ガス委員会は英国炭を原料とする標準型の Lurgi 式ガス化炉及び Otto-Rummel ガス化炉、更に都市ガス発生に適したガス化炉研究を担当すべきである（オ204項）。
- (37) 現在動力省が行なっている研究開発業務を移管することは難しいだろうが、ガス委員会は熔滓式ガス化炉の開発を担当するのが本筋である（オ200～201項）。
- (38) 熔滓式ガス化炉の研究担当をガス委員会に移管することが各方面で論議されているが混乱をさけるため現在のまま研究を続けるべきである（オ203項）。
- (39) 英国石炭庁は発生炉ガスプラントの研究開発を担当すべきである（オ205項）。

附 記

216.最後に、本委員会の調査に際し各種資料を提供された各位に心から謝意を表す。又調査に際し有益な技術援助 — 特に原価計算 — を提供された各建設メーカーの方々にも特に御礼を述べる。本報告書作製に当つて、困難な作業であるにも拘らず終始熱心に協力された書記局の方々にも深甚な謝意を表すものである。

委員長 A.H. Wilson
 M.A.L. Banks
 Henry Benson

Henry E. Collins

W. Gregson

R. Holroyd

W.K. Hutchison

Marcus A. Matthews

B.E.A. Vigers

秘 書 W.R.G. Bell

副秘書 D.P. Milne

1960年7月7日

委員会の調査に協力した諸団体

Association of British Chemical Manufacturers.

Benzole Producers Ltd.

F.W. Berk & Co., Ltd.

A. Boake, Roberts & Co., Ltd.

British Association of Colliery Management.

British Chemical Plant Manufacturers Association.

British Coal Utilization Research Association.

Dr. D.S. Broadbent.

Mr. A.J.H. Brown.

Central Electricity Generating Board.

Coal Utilization Research Advisory Committee, Australia.

Consolidation Coal Company, U. S. A.

Constructors John Brown Ltd.

Coppee Company (Great Britain) Ltd.

Federation of Rhodesia and Nyasaland.

Sir Alexander Fleck, K.B.E., F.R.S., Dc., Chairman of the
Scientific Advisory Council of the Minister of Power.

Gas and Fuel Corporation of Victoria, Australia.
Gas Council.
Gibbons Brothers Ltd.

Humphreys & Glasgow Ltd.

Imperial Chemical Industries Ltd.
Institute of Gas Technology, Illinois University,
Chicago, Illinois.
International Furnace Equipment Co., Ltd.

M.W. Kellogg Company, New York
Heinrich Koppers, G.m.b.H.

Dr. R. Lessing, C.B.E.
Low Temperature Coal Distillers Association.
Lummus Company Ltd.
Lurgi Gesellschaft für Wärmetechnik.

Monsanto Chemicals Ltd.

National Coal Board.
National Research Development Corporation.
National Union of Mineworkers.

Philadelphia and Reading Corporation, New York.
Power Gas Corporation Ltd.

Ruhrchemie, A.G.

Professor R.J. Sarjant, O.B.E., D.Sc.
Simon-Carves Ltd.
Suid-Afrikaanse Steenkool, Olie en Gaskorporasie Beperk.

Tar Distiller Association.
Texaco Development Corporation, New York.
Trades Union Congress.

Union Carbide Corporation, New York.
United Kingdom Scientific Mission, Washington.
U.S. Bureau of Mines Appalachian Research Station,
Morgantown, W. Virginia.

U.S. Bureau of Mines, Bituminous Coal Research Station,
Bruceton, Pennsylvania.
U.S. Bureau of Mines, Lignite Experimental Station,
Grand Forks, N. Dakota.
U.S. Department of Interior, Bureau of Mines, Washington.
U.S. National Coal Association, Washington.
U.S. National Coal Policy Conference, Washington.

Mr. L.E. Wells.
West Midlands Gas Board.
West's Gas Improvement Co., Ltd.
Woodall-Duckham Construction Company Ltd.

委員会構成員

Mr. A.H. Wilson, F.R.S.

Mr. M.A.L. Banks
(Director of British Petroleum Co., Ltd.)
Mr. Henry Benson, C.B.B.
(Chartered Accountant)
Mr. H.B. Collins, C.B.E.
(Member of the National Coal Board for Production
and Reconstruction)
Captain (E) W. Gregson, C.B.E., R.N.R.
(Chairman of the Minister of Power's Fuel Efficiency
Advisory Committee, Past President of the Institution
of Mechanical Engineers)
Dr. R. Holroyd, F.R.S.
(A Deputy Chairman of Imperial Chemical Industries Ltd.)
Mr. W.K. Hutchinson, C.B.E.
(Deputy Chairman of the Gas Council)
Dr. M.A. Matthews
(Planning Co-ordinator of Shell International Chemical
Co., Ltd., Director of Shell Chemical Co., Ltd.)
Mr. B.E.A. Vigers
(Deputy Chairman and Technical Director of Laporte
Industries Ltd.)

Mr. S.H. Clarke, C.B.E.
(Warren Spring Laboratory, Department of Scientific
and Industrial Research)

Dr. C.C. Hall
(Warren Spring Laboratory, Department of Scientific
and Industrial Research)

Mr. D.A.B. Llewelyn

Mr. W.R.G. Bell

Mrs. D.P. Milne