

ジンバブエ共和国
アンモニア工場建設計画調査
報告書

(2部)

1989年6月

国際協力事業団

JICA LIBRARY



1075866(2)

19509

ジンバブエ共和国
アンモニア工場建設計画調査
報告書

(2 部)

1989年6月

国際協力事業団

国際協力事業団

19549

目 次

頁

第 II 部

第 1 編 アンモニア・メタノールプロジェクト

第 1 章 石炭化学品の市場メタノール

1.1	はじめに	1-1-1
1.2	メタノールの用途	1-1-3
1.3	世界の需給状況	1-1-9
1.4	ジンバブエ国内の状況	1-1-20
1.5	メタノールの軽油代替について	1-1-30
1.6	結 論	1-1-34

第 2 章 プロジェクトの基本的な考え方

2.1	生産品目と規模	2-1-1
2.2	製品品質	2-1-1
2.3	プラントサイト	2-1-2
2.4	原 料	2-1-2
2.5	アンモニア製造とメタノール製造の類似点と相違点	2-1-4
2.6	まとめ	2-1-6

第 3 章 生産プロセスと生産設備

3.1	プロセスの組合せ	3-1-1
3.2	石炭ガス化	3-1-3
3.3	メタノール合成	3-1-7

第 4 章 考 察

4.1	総 括	4-1-1
4.2	考 察	4-1-2

第2編 アンモニア・コールタールプロジェクト

第1章 石炭化学製品の市場コールタール

1.1	はじめに	2-1-1
1.2	コールタールの用途	2-1-2
1.3	ジンバブエ国内の現況	2-1-4
1.4	結 論	2-1-9

第2章 プロジェクトの基本的な考え方

2.1	プロジェクト成立のための要因	2-2-1
2.2	COGの安定供給	2-2-4
2.3	ガス精製	2-2-5

第3章 生産プロセスと生産設備

3.1	コークスの製造	2-3-1
3.2	コークス炉ガスの精製	2-3-3
3.3	コールタールの利用	2-3-5
3.4	コールタール製造の代案	2-3-6

第4章 考 察

4.1	総 括	2-4-1
4.2	考 察	2-4-1

LIST OF TABLES

VOLUME II

Table I-1-1	Potential Demands of Methanol	1-1-1
Table I-1-2	Demand for Methanol (Estimated value of 1982)	1-1-4
Table I-1-3	Properties of Methanol, Gasoline and Light Oil as Fuel	1-1-6
Table I-1-4	Forecast World Methanol Supply/Demand Balance	1-1-9
Table I-1-5	Demand Indices	1-1-10
Table I-1-6	MTBE Plant Capacity in World.....	1-1-10
Table I-1-7	Past Methanol Demand in Japan.....	1-1-11
Table I-1-8	Methanol Demand in U.S.A.	1-1-11
Table I-1-9	Methanol Plant Capacity	1-1-12
Table I-1-10	World Methanol Supply/Demand Balance	1-1-12
Table I-1-11	Methanol Plant Capacity in U.S.A.....	1-1-13
Table I-1-12	Potential 1987 Methanol Suppliers to U.S.A.	1-1-13
Table I-1-13	Progress of Methanol Product Capacity in Eastern Europe	1-1-14
Table I-1-14	Estimated Price of Natural Gas in Various Countries	1-1-18
Table I-1-15	FOB Price of Imported Methanol	1-1-20
Table I-1-16	Average Exchange Rate	1-1-20
Table I-1-17	Import of Diesel Oil	1-1-22
Table I-1-18	Total Number of Registered Vehicles (1978-1983)	1-1-25
Table I-1-19	Annual Vehicle Population Analysis by Fuel Type and Tax Class (1977-1986)	1-1-26
Table I-1-20	Savathes Cycle Engine Vehicles.....	1-1-27
Table I-1-21	Analytical Result of Exhaust Gas	1-1-31

Table I-1-22	Classification (Concepts) of the Technology for Methanol Utilization and its Characteristics	1-1-32
Table I-2-1	Feedstock Coal Specifications	1-2-3
Table I-3-1	Comparison of Applicable Process Conditions	1-3-10
Table II-1-1	Fractions of Coal Tar Distillation	2-1-2
Table II-1-2	Domestic Production Status	2-1-4
Table II-1-3	Import of Coproducts	2-1-5
Table II-1-4	Imports and Exports of Coke	2-1-6
Table II-1-5	Import of Bitumen	2-1-7

LIST OF FIGURES

VOLUME II

Fig. I-1-1	C ₁ Chemicals from Methanol.....	1-1-3
Fig. I-1-2	Methanol, European Spot Price, FOB	1-1-16
Fig. I-1-3	Methanol, U.S.A. Price Range, FOB	1-1-17
Fig. I-1-4	Relationship between Raw Material Price and Methanol Production Cost	1-1-19
Fig. I-3-1	Block Flow Diagram (Methanol).....	1-3-2
Fig. I-3-2	Relationship between Temperature, Pressure and Ratio at Methanization	1-3-7
Fig. I-3-3	Flow Sheet of ICI Methanol Synthesis Process	1-3-8
Fig. I-3-4	Flow Sheet of Lurgi Methanol Synthesis Process	1-3-9
Fig. I-3-5	Flow Sheet of MGC Methanol Synthesis Process	1-3-9
Fig. II-2-1	Ammonia and Tar by Coke Oven Process	2-2-3
Fig. II-2-2	Process Flow of Cherry-T.....	2-3-5

第1編 アンモニア・メタノールプロジェクト

第1章 石炭化学製品の市場 メタノール

アンモニア・メタノールプロジェクト

第 1 章 石炭化学製品の市場 メタノール

1.1 はじめに

メタノールはアンモニアと共に石炭ガス化によって石炭から製造される代表的製品の1つである。メタノールは多岐にわたる化学誘導品の原料であると共に、オクタン価向上用の燃料としても広く利用されている。そして21世紀にむかって、その燃料としての地位が次第に重みを増して行くであろうと予測されている。しかしながら現状では、石炭を原料とするプラントは南アフリカ連邦のAECIのもつ1,500T/Dプラントおよび米国 TENNESSEE EASTMAN社の150KT/Yのみでこれ以外は全て石油か天然ガスを原料としたプラントで製造されており、特に安価な天然ガス原料の製品が大部分を占めている。この傾向は、石油の国際価格の低落に多かれ少かれ連動して安価な天然ガスが利用出来る状況の続く限り、変わらないであろう。自由経済原理の働く市場においては、それが自然の姿であるが、更に長期の視点に立てば、石油や天然ガスに比し賦存量のはるかに大きい石炭を原料とする経路が、メタノール製造の主流になるであろう。このことと、メタノールの主たる用途は自動車用であることは、WORLD ENERGY CONFERENCE (WEC) で指摘されている。Table I-1-1 に長期的な1つの指標としてWECによるメタノールの潜在需要を示す。

Table I-1-1 Potential Demands of Methanol

Unit: million T/Y

Fields of Consumption	Year	
	2000	2020
Blending with Gasoline	24	38
Substitution for Gasoline (M100)	150	550
Substitution for Diesel oil (M100)	100	230
For Heat and Power generation	—	5
For Chemistry	22	46
Total	296	869

Source: WEC, REPORT 1986, "Methanol Prospects"

現状では、自動車の燃料はガソリン、軽油、LPGが殆どであり、メタノールは、この章で後に詳述する様に、ガソリンへの低濃度混合を除き実質的に実用化されていない。しかし1990年代後半には石油需要がひきしまる予想もふまえて、米国、西独、日本等先進諸国では、自動車排ガスによる大気汚染の防止と、自動車燃料の多様化を目標として、メタノールを燃料とする自動車の開発が進められており、また中国やインドネシアは、将来の自動車燃料の大幅な需要増への対応、多量の石炭資源の活用、石油をより多く輸出にあてる等のため、メタノール燃料の導入に強い関心をもち、調査や試験を進めている。

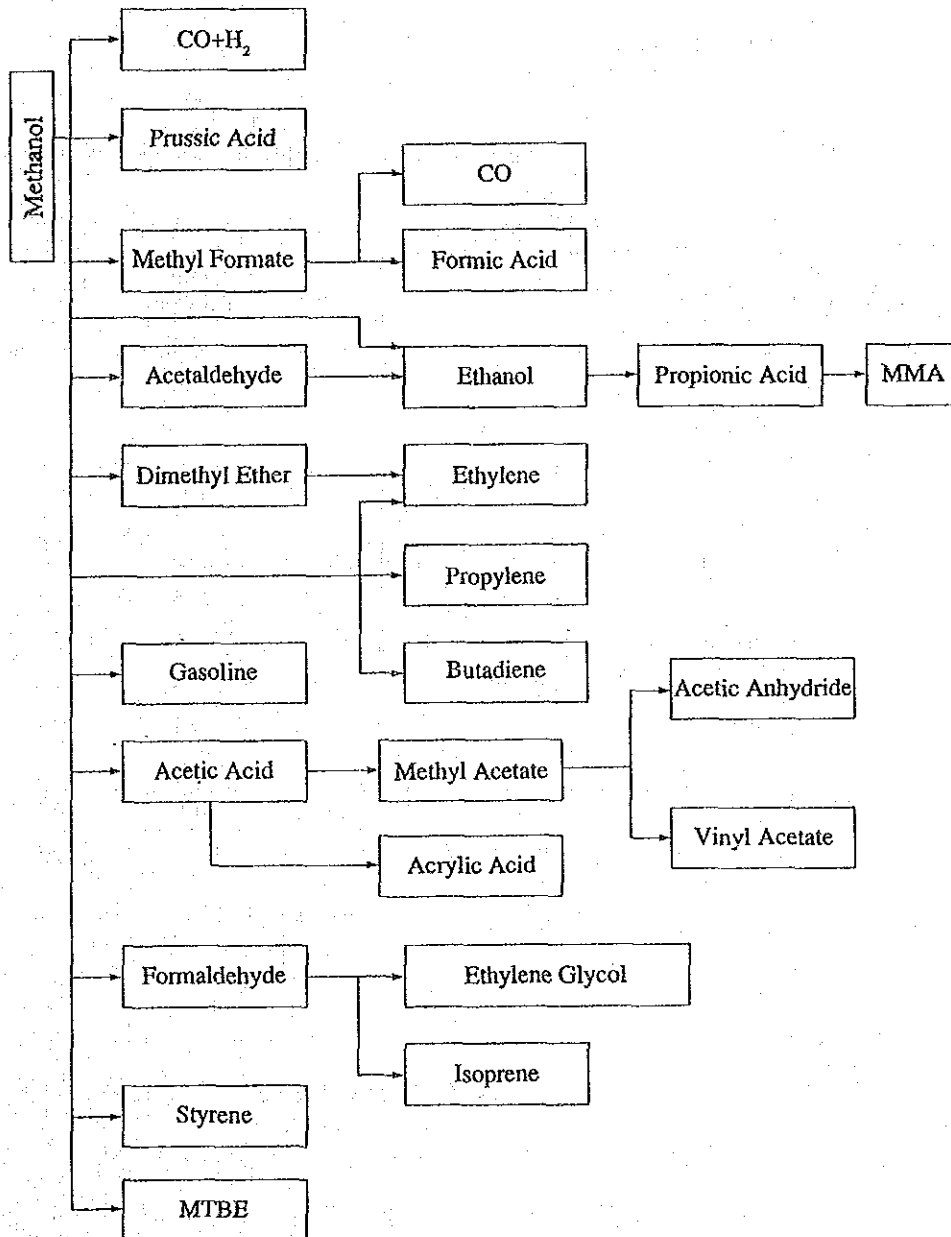
一方、今回調査の中で、次のことがジンバブエ政府の方針として明らかにされた。即ち、OTTOサイクルエンジン（ガソリンエンジン）に、既に実用されて来たガソリン+エタノールの混合燃料の使用を更に推進し、現状エタノール混合比率 13Vol%（279Mklガソリン+40Mklエタノール）を、達成可能な最大混合比25Vol%を考慮して設定した目標値 20Vol%に引きあげて行く。片やメタノールは、その主たる用途をSABATHESサイクルエンジン（ディーゼルエンジン）の燃料とするものとし、軽油の20%をメタノールで置きかえることを目標として、これを軽油・メタノールの混合方式で実現したい、というものである。本計画調査では、以上のジンバブエ国の方針に充分留意して、種々の検討を行った。

1.2 メタノールの用途

メタノールの需要状況を見るに先立ち、本項ではメタノールの用途について概観する。

メタノールの用途は、各種化学製品製造のための工業用と、燃料用に大別される。燃料用の消費は、将来大幅に増加することが予測されてはいるものの、現在は工業用が約80%を占めている。メタノールはC₁化学品の基本物質として各種の誘導品の原料となり得る。

その概略をFig. I-1-1に図示する。



Source: 'Technology and Demand of Methanol', Kagaku Keizai, April, 1983.

Fig. I-1-1 C₁ Chemicals from Methanol

ただし、同図に示した各種の用途は、全てが現在実用されている訳ではなく、
 (CO+H₂)、エタノール、およびスチレンのように、今後の技術展開に期待され
 るものも含まれているので、その点に留意が必要である。

1.2.1 工業用

化学用の需要を把握するために、やや年次は古いが Table I-1-2 を参考と
 して提示する。表示項目中、MTBE、ガソリン混入用等燃料用はその後の伸び
 が著しいので、現在の需給については後述する世界における需給を参照のこと。

Table I-1-2 Demand for Methanol (Estimated value of 1982)

Unit: %

Fields of Demands	U.S.A.	Western Europe	Japan
Formalin	30 %	50 %	47 %
Chloromethanes	9	6	3
MTBE	8	5	—
DMT	4	4	1
Methylamine	4	4	2
MMA	4	3	6
Acetic acid	12	5	10
For solvent	10	6	6
Blending with Gasoline	6	5	—
Others	13	12	25
Total	100	100	100
Demand of Methanol (1,000 T)	3,155	3,257	1,070

Source: 'World trend of Methanol', Kagaku Keizai, January, 1984.

(1) ホルマリン

ホルマリンは、メタノールの化学用途中最大の割合を占め、40%前後の水溶
 液として商品化されている。ホルマリンは、ユリア樹脂、ポリアセタール樹脂、
 フェノール樹脂等樹脂原料として大量に消費される他、ウロトロピン、ペンタ
 エリスリトール、パラホルム等燻蒸剤、医薬、農薬の原料、塗料用等にも使わ
 れている。37%ホルマリンの原単位はメタノール約 430kgである。

(2) 酢酸

メタノールとCOから合成される酢酸は、酢酸ビニール、アセチルセルロース、酢酸エステルの原料として、またテレフタル酸製造に際しての溶媒など幅広く使用されている。近時メタノールの酢酸原料としての需要は増加している。酢酸のメタノール原単位は約 550kgである。

(3) MMA

Methyl metaacrylateは、イソブチレンを原料とするプロセスが主流を占め、重合してガラス状透明な耐候性のよい樹脂を作り、建築材料、照明器具等に用途が広い。メタノールはメタアクリル酸のエステル化に使用され、メタノール原単位は約 340kgである。

(4) DMT

ポリエステル系合成繊維およびフィルムの原料であるDimethyl terephthalateは、パラキシレンとメタノールの縮合で生成される。メタノール原単位は約500kgである。

(5) クロロメタン類

クロロメタン類（メチルクロライド、メチレンクロライド、クロロホルム、四塩化炭素の総称）は、重要な溶剤グループであり、メタノールと塩素から合成される。

1.2.2 燃料用

メタノールは、それ自体としてガソリンの代替、また、それ自体あるいはMTBE等の形で、含酸素化合物としてガソリンのオクタン価向上剤として、ガソリンに添加される。これらの用途へのメタノールの消費は諸国で増加しつつある。メタノールの自動車用燃料としての諸性質を、ガソリンと軽油のそれと比較してTable I-1-3に示す。

Table I-1-3 Properties of Methanol, Gasoline and Light Oil as Fuel

	Methanol	Gasoline	Light oil
Molecular formula	CH ₃ OH	C ₄ -C ₁₂	C ₈ -C ₁₈
Specific gravity (kg/l)	0.792	0.72-0.78	0.82-0.85
Higher calorific value (Kcal/l)	4,290	8,590	9,300
Lower calorific value (Kcal/l)	3,820	7,950	8,650
Theoretical air fuel ratio (Air/Fuel) (kg/kg)	6.5/1	14.5/1	15.0/1
Latent heat of vaporization (Kcal/kg)	263	80 (Approx.)	60 (Approx.)
Temperature drop of mixed gas (°C)	122	18	-
Research octane number	112	91	-
Motor octane number	92	82	-
Cetane number	3	-	40-50
Flashing point (°C)	12	-40	38
Fire point (°C)	464	425-510	210-240
Boiling point (°C)	54.5	27-225	150-390
Freezing point (°C)	-98	< -60	< -20
Explosion limits (Vol. %)	6.7-36.5	1.4-7.6	1.0-7.0
Vapor pressure (37.5 °C) (kg/cm ²)	0.37	0.45-0.8	-
Solubility of water (20°C)	∞	Insoluble	Insoluble

Source: WEC, REPORT 1986, "Methanol Prospects" and others.

メタノールはガソリン、軽油に次ぐ第3の自動車用燃料として、その特殊性が期待されており、種々実用化の研究が行われている。現時点では、OTTO CYCLEエンジン（ガソリンエンジン）にメタノール全需要の20%が消費され、ガソリンに混用するという領域では、実用化は定着して来ている。しかし現在の形式のOTTO CYCLEエンジンでは、ガソリンに置換して全部メタノール（M-100）を燃料として使用する技術は、未だ実用化されていない。

メタノールブレンドガソリンの場合も、M-10（メタノール 10Vol%混合）や、M-15などメタノールを多量に添加したものを長期的に使用した時には、エンジンの腐蝕等種々の障害が認められる。しかし3~5%程度であれば全く支障がないことが認められており、米国でも欧州でも広く使用されている。

日本では既にガソリンの無鉛化が自動車エンジンの改良によって完全に達成されている。しかし米国や欧州ではガソリンの無鉛化が推進されている過程にあり、それに伴うオクタン価向上剤の役割がメタノールを主体とし、またメタノールの

誘導体であるMTBE (Methyl tertiary butyl ether) 等の含酸素化合物に求められている。Table I-1-3に示す様に、メタノールのRON (Research octane number)は112, MON (Motor octane number)は92, MTBEはおのおの117および101であり、ガソリンのオクタン価よりかなり高い。米国で現在ガソリンに混合が認められている含酸素化合物は

メタノール5 Vol%+エタノール	2 Vol%
MTBEまたはTBA	7 Vol%
メタノール/TBA (1:1)	9.5 Vol%
メタノール+高級アルコール	12+3 Vol%

等となっており、1986年にはこうした無鉛ガソリンの消費が、全ガソリン消費の70%を占めている。一方、ECでは1989年10月1日から無鉛ガソリンの導入を義務づけており、このための含酸素化合物のガソリン混入の最大許容濃度を、次の如く規制している。

メタノール	: 3 Vol%
エタノール	: 5 Vol%
I PA	: 5 Vol%
TBA	: 7 Vol%
MTBEなどエーテル類	: 10 Vol%

メタノール3 Vol %を混合する場合には、TBAなどの相溶剤2%の併用を義務づけている。西独における調査では、1984年においてアルコール混合ガソリンが65%を占め、このアルコールの主流はメタノールであった。メタノール添加が行われているのは西独、ベルギー、オランダ、スイス、オーストリーで、MTBEを主流としているのは、スウェーデン、デンマーク、フィンランド、イタリアの諸国である。メタノールとならんで、ガソリンのオクタン価向上剤として使用量の大きいMTBEは、やはりメタノールを原料としている。MTBEはイソブテンとメタノールの反応で合成され、メタノール原単位は約380kgである。

一方、SABATHES CYCLE エンジン（ディーゼルエンジン）に、軽油に代って、
またはその一部代替としてメタノールを使用する研究と開発は、各国で進められ
ているが、未だ実用の域に達していない。この面の調査結果については、1.5 節
にあらためて述べる。

1.3 世界の需給情況

1.3.1 メタノールの需給

世界全体としてのメタノール需給は、1987年から急に逼迫の情況に入ってきている。これは需要の急増に対応する供給能力の増加が期待出来ないことに起因するものであり、この様な状況は1990年代前半まで継続するであろうという観測が支配的である。

(1) 需 要

Table I-1-4 に需要面からみたメタノールの需給予測を示す。

Table I-1-4 Forecast World Methanol Supply/Demand Balance

Unit: 1,000 T

Demand	1987	1988	1989	1990	1991
Formaldehyde	4,765	4,881	4,962	4,991	5,077
DMT	621	641	673	679	682
Acetic acid	1,014	1,151	1,255	1,395	1,388
MTBE	1,321	1,681	2,008	2,248	2,348
Methyl methacrylate	379	381	386	388	388
Gasoline/Fuels	1,920	1,563	1,537	1,540	1,547
Solvents	1,788	1,882	1,939	1,985	2,025
Others/Various	4,057	4,400	4,560	4,684	4,786
Non-tabulated countries	220	230	240	255	260
Total demand	16,085	16,810	17,560	18,165	18,501
Nameplate capacity	18,743	19,133	19,950	20,030	20,030
Percent utilization of nameplate (%)	86	88	88	91	92

Source: DeWitt & Co

European Chemical News, April 18, 1988.

単純に計算してこの期間における年平均のメタノール需要増は、600KT/Y である。

上の Table I-1-4 を整理して Table I-1-5 に示す。

Table I-1-5 Demand Indices

	Share %		Growth Index	Annual Growth Rate %
	1987	1991	1991/1987	
Formaldelyde	29.6	27.4	1.065	1.6
DMT	3.9	3.7	1.098	2.4
Acetic acid	6.3	7.5	1.369	8.2
MTBE	8.2	12.7	1.777	15.5
Methyl methacrylate	2.4	2.1	1.024	0.6
Gasoline/Fuels	11.9	8.4	0.806	-5.3
Solvents	11.1	10.9	1.133	3.2
Others/Various	25.2	25.9	1.180	4.2
Non-tabulated countries	1.4	1.4	—	
Total demand			1.150	3.6
Nameplate capacity			1.069	1.7

工業製品としては酢酸用の需要が総需要の伸びの2倍以上と群をぬいており、燃料用ではMTBEの伸びが年率15.5%と急生長を見込まれている。その一方で直接ガソリンに混合するメタノールの量は有姿でも減少する。MTBEとGasoline/Fuelsをプールしての燃料用は、1987年には3,241KT、1991年には3,895KTと年率4.7%の伸びを示す。

この需要増の大きいMTBEの製造能力の推移を地域別に示すデータを、次のTable I-1-6に参考までに提示する。また、Table I-1-7に日本の、Table I-1-8に米国のメタノールの需要推移を示す。

Table I-1-6 MTBE Plant Capacity in World

Unit: 1,000 T

	1983/End	1984/End	1985/End	1986/End	1987/End	88/End	89/End	Growth ratio (%/Y)
U.S.A.	987	1,163	2,163	3,352	3,472	3,472	3,472	23.3
Western Europe	582	652	697	762	907	958	958	8.7
Eastern Europe	165	203	288	288	288	288	488	19.8
Central and South America	—	141	141	211	211	693	1,193	53.4
Middle East	—	21	21	30	30	530	530	190.0
Asia (excluding Middle East)	—	—	—	—	90	90	390	—
Total	1,734	2,180	3,310	4,643	4,998	6,031	7,031	26.3
Extension ratio per year	—	1.25	1.52	1.40	1.08	1.21	1.17	

Source: Kagaku Keizai, June, 1987.

Table I-1-7 Past Methanol Demand In Japan

Unit: 1,000 T

Use	1984		1985		1986	
	Quantity	Percentage	Quantity	Percentage	Quantity	Percentage
Formalin	577	44.2	591	45.1	594	46.8
MMA	94	7.2	95	7.2	97	7.6
Acetic acid	117	9.0	122	9.3	97	7.6
Others (note)	516	39.6	503	38.4	482	38.0
	1,304	100.0	1,311	100.0	1,270	100.0

Note: Includes DMT, chemical products pharmaceuticals, agricultural chemicals, chloromethane and methylamine.

Source: Calculated from, "Trends in the Chemical Industry by Industrial Sector," Kagaku Keizai, 1987/88, Special Issue p. 45 (August, 1987)

Table I-1-8 Methanol Demand in U.S.A.

Unit: 1,000 T

	1984	1985	1986	1987	1989
For chemistry	3,485	3,308	3,374	3,440	3,580
For Fuel					
MTBE	270	285	601	840	1,055
Gasoline mixture	310	225	60	0	225
Export	99	42	120	120	30
Total demand	4,164	3,860	4,155	4,400	4,890

Source: Kagaku Keizai, June, 1987.

(2) 供給

次の Table I-1-9、10に出所を異にするが、世界のメタノールの設備能力を引用しておく。

1982-1986の間に9百万Tの新プラントが新設され操業に入ったが、一方では世界各地で効率の悪いプラント5百万T相当が休止または廃棄され、実能力増は4百万Tにとどまった。その結果それまで自給の立場にあった日本、スペイン、イタリー、フランス等の諸国が輸入国に変わった。また米国も2.7百万T相当のプラントを閉鎖して、その総需要の35%を輸入に依存せざるを得なくなった。この間の事情は Table I-1-11および12に示す通りである。

Table I-1-9 Methanol Plant Capacity

Unit: 1,000 T

	83/End	84/End	85/End	86/End	87/End	88/End	89/End
U.S.A.	5,015	4,325	3,575	3,725	3,125	3,125	3,125
Canada	1,820	1,820	1,640	1,640	1,640	1,640	1,640
Central and South America	385	781	781	781	851	851	1,601
Western Europe	2,825	2,750	2,635	2,635	2,320	2,320	2,320
Eastern Europe	4,180	4,930	4,930	5,130	5,130	5,030	5,030
Africa	400	400	730	730	730	730	730
Middle East	660	1,360	1,690	1,690	1,690	1,690	1,690
India	44	44	44	44	194	227	227
ASEAN	-	-	660	990	990	990	990
Oceania	400	400	400	1,900	1,900	1,900	1,900
East Asia	200	260	260	260	260	260	260
Japan	396	396	396	253	253	253	253
Total	16,325	17,466	17,741	19,778	19,083	19,016	19,766
For Acetic Acid	150	150	210	210	270	270	270
For Gasoline	-	-	-	1,500	1,500	1,500	1,500
Retotal (Excluding for Acetic acid and Gasoline)	16,175	17,256	17,531	18,008	17,313	17,246	17,996

Source: Kagaku Keizai, June, 1987

Table I-1-10 World Methanol Supply/Demand Balance

Unit: 1,000 T

Capacity	1986	1988	1990
North America	6,207	5,007	5,007
Western Europe	2,394	2,394	2,394
Far East/Asia	3,908	3,908	3,908
South America	563	643	1,393
Mid East/Africa	2,441	2,441	2,441
Eastern Europe	5,720	5,720	5,720
Total world capacity	21,233	20,113	20,863
Total demand	15,646	17,297	18,350
Percent utilization			
@ 90 percent			
Nameplate (%)	82	96	98

Source: ECN, Apr. 27, 87

Table I-1-11 Methanol Plant Capacity in U.S.A.

Unit: 1,000 T

Company	Location	82/End	83/End	84/End	85/End	86/End	87/End
Air Products	Pace, FL.	195	195	195	195	195	195
Allemania	Plaquemine, LA	390	--	--	--	--	--
Borden	Geismar, LA.	600	600	600	600	600	600
Celanese	Bishop, TX.	530	530	530	530	530	530
Celanese	Clear Lake, TX.	690	690	--	--	--	-- Moth-Balling at Feb., '84
Du Pont	Beaumont, TX.	750	750	750	--	750	750 Moth-Balling at Jan., '85 Re-Start at Mar., '86
Geogia Gulf	Plaquemine, LA	300	300	300	300	300	300
Lyondel Petrochemical	Channelview, TX.	600	600	600	600	600	600
Sterling	Texas City, TX.	300	300	300	300	300	--
Texaco	Delaware City, DE	--	300	300	300	300	-- Start at Jan., '83 Moth-Balling at DEC., '86
USI (Du Pont/USI)	Deer Park, TX.	600	600	600	600	--	-- Moth-Balling at Oct., '86
Tenneco	Pasadena, TX.	450	--	--	--	--	-- Moth-Balling at Mar., '83
Tennessee Eastman	Kingsport, TN.	--	150	150	150	150	150 Start at Oct., '83 Raw Coal
Total		5,405	5,015	4,325	3,575	3,725	3,125

Source: Kagaku Keizai, June, 1987

即ち1987年における米国の需要は 4.4百万 T (Table I - 1 - 8 より) 供給能力は公称能力の90%とみて、 Table I - 1 - 11、1987年より

$$3,125 \times 0.9 = 2,820 \text{ K T}$$

であるからその不足分は米国の需要の36%に相当する 1,580 K Tとなった。

Table I-1-12 Potential 1987 Methanol Suppliers to U.S.A

Unit: 1,000 T

Canada	400
Bahrain	225
Malaysia	200
Trinidad	120
New Zealand	80
Saudi Arabia	50
Various/others	50
Total	1,125
Estimated import requirements	1,572
Shortage	447

Source: European Chemical News, April 27, 1987

この不足分を充足する供給側は Table I-1-12に見られる通りであるが、供給不足が予測された様に極めてタイトな状況である。

西欧も、また自動車燃料用メタノールの需要増から、1987年には約 300、400 KTの輸入増を必要とし、この不足分は主として、東欧からの供給でまかなわれたとみられる。Table I-1-13に東欧のメタノール生産能力の推移を示す。

Table I-1-13 Progress of Methanol Product Capacity in Eastern Europe

Unit: 1,000 T

	82/End	83/End	84/End	85/End	86/End	87/End	88/End
Bulgaria	30	30	30	30	30	30	30
Czechoslovakia	100	100	100	100	100	100	-
East Germany	400	400	400	1000	1000	1000	1000
Hungary	70	70	70	70	70	70	70
Poland	280	280	280	280	280	280	280
Romania	300	300	300	300	300	300	300
U.S.S.R.	2100	2850	3600	3600	3600	3600	3600
Yugoslavia	150	150	150	150	350	350	350
Total	3430	4180	4930	4930	5130	5130	5030

Source: Kagaku Keizai, June, 1987

総合して需給のバランスを見れば、Table I-1-10に見られる様に1990年代までは、プラント公称能力の90%が期待出来る最大生産量とみなした場合、それに対してプラントの稼働率が96-98%を達成しなければならぬという厳しい状況が続くであろう。勿論良好な市場価格が長期にわたり予測される場合には、閉鎖されたプラントの再開およびプラントの新增設により需給バランスが改善されることもあろう。この事情をふまえて実現可能性の高いメタノール計画としては、

サウジアラビア : 600 KT/Y
アラブ首長国連邦 : 500 KT/Y
トリニダードトバゴ : 500 KT/Y
アルゼンチン : 700 KT/Y

などが数えられる。

更に長期で見れば、Table I-1-1 に引用したWECの1986年調査の結論の様に、将来のメタノールの主たる用途は自動車用燃料であり、ガソリン、軽油ともに30%を限度としてメタノールに転換される可能性がある。

(3) 価格

Fig. I-1-2、Fig. I-1-3 にメタノールのFOB価格を示す。Fig. I-1-2 に関税のかかっていないEEC域内製品のスポット価格、Fig. I-1-3 に米国国内価格として表示した。1987年後半から88年にかけて、特に米国国内価格に、急騰が見られる。これは前節需給の部分で述べた様に1987年以降の需給の引きしまりを反映しているものであり、このような状況が1990年代半ばまで続くのではないかとの強気の予測が支配的である。

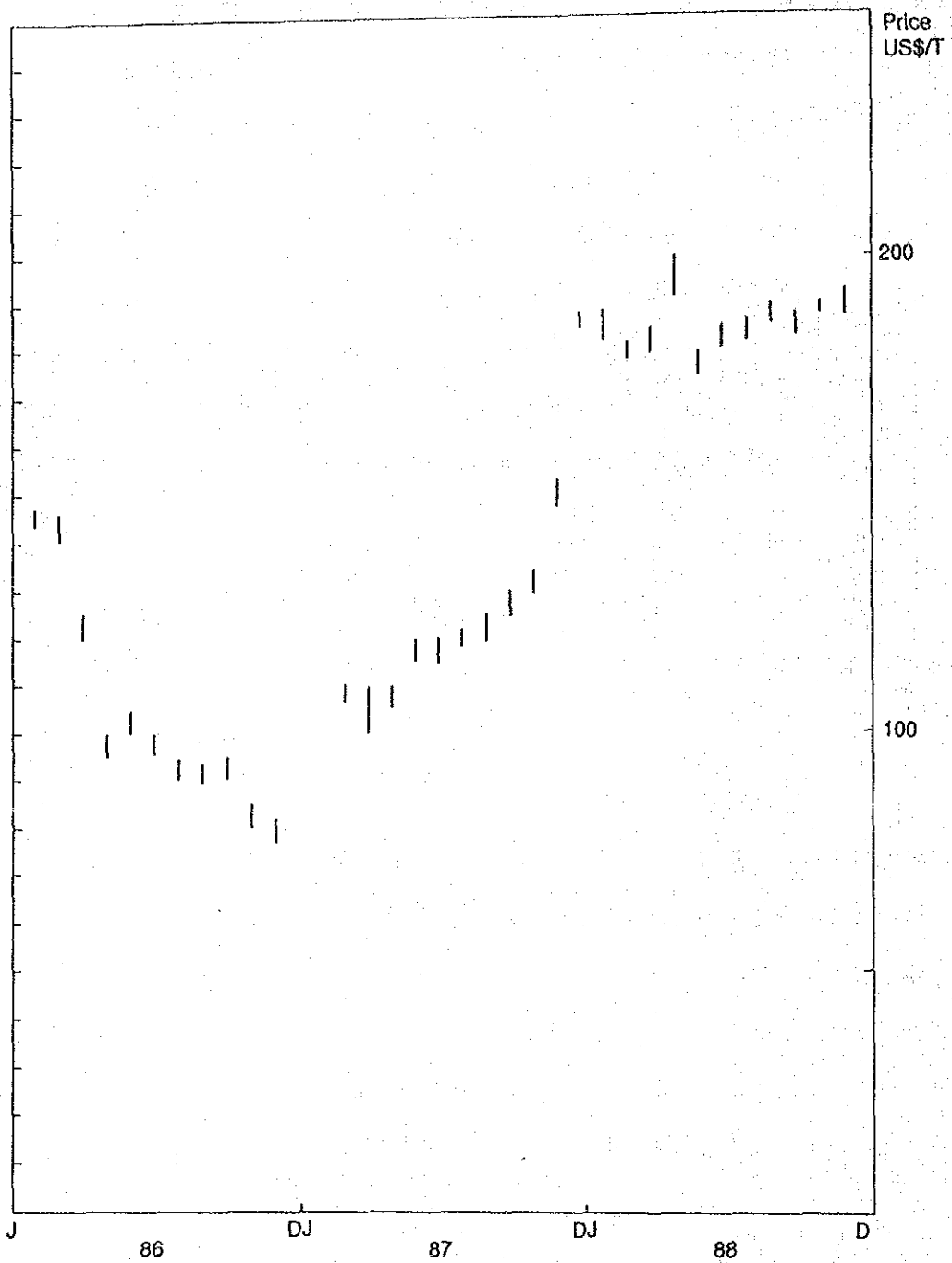


Fig. I-1-2 Methanol, European Spot Price, FOB

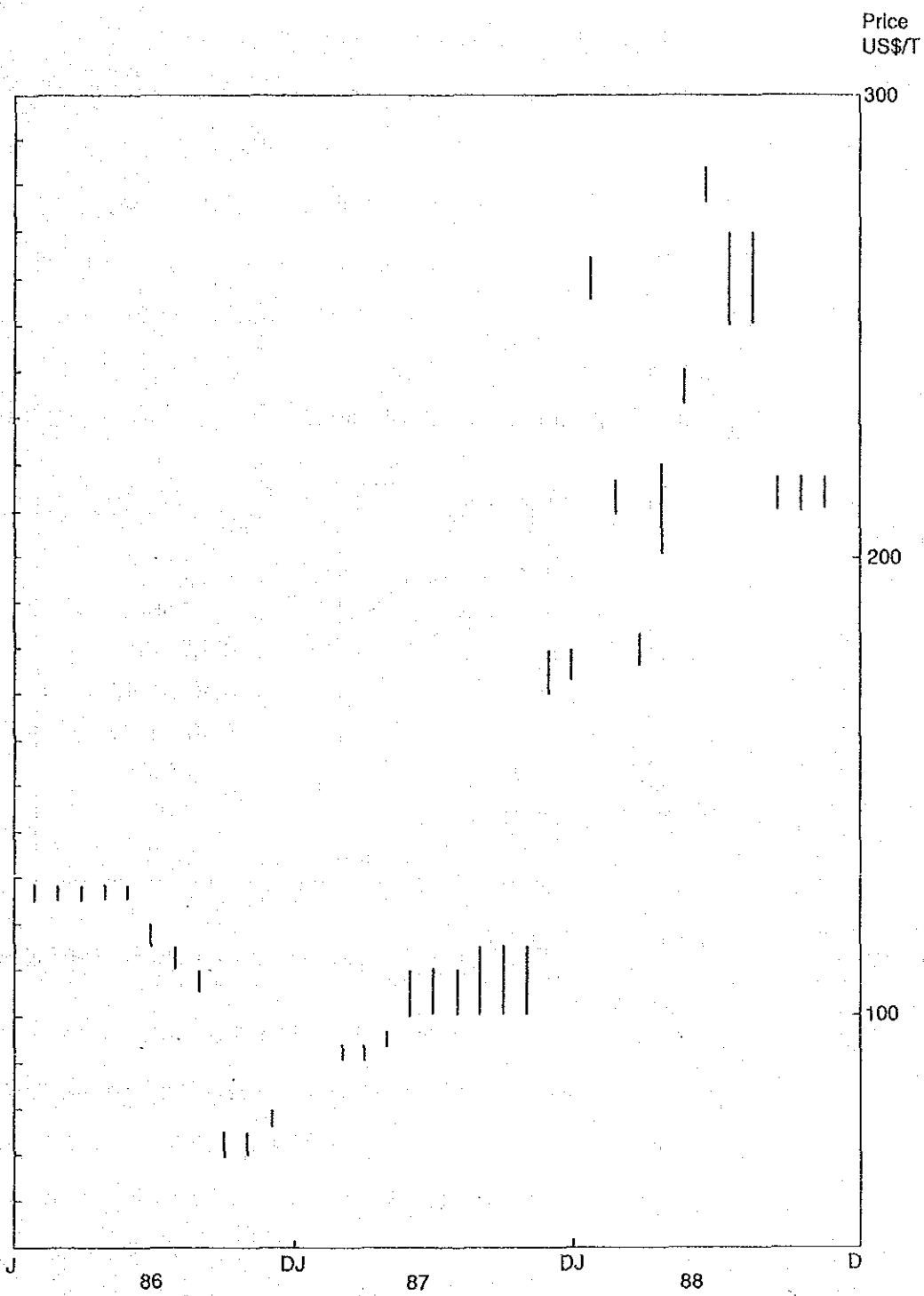


Fig. I-1-3 Methanol, U.S.A. Price Range, FOB

1986-1988年の間のFOB価格単純平均は、ヨーロッパ無税スポット価格で138.0US\$、米国国内価格で144.3US\$であった。

メタノールの市場価格は、アンモニア価格程ではないにせよ変動の激しいものであるが、将来石炭を原料とするケースが蓋然性をもつであろうことを考慮して、製造原価、原料エネルギー価格と市場価格の関連を、概略でよいから把握しておくことが望ましい。現況では先にも述べた様にメタノールの殆ど全部は、天然ガスを原料としている。天然ガス価格は国によってかなりの差があり、その推定値を Table I-1-14 に示した。

Table I-1-14 Estimated Price of Natural Gas in Various Countries

Countries	US \$/MM BTU
Saudi Arabia	0.50
Trinidad and Tobago	0.50
Mexico	0.40 ~ 0.50
Argentina	0.30 ~ 0.40
Chile	0.30 ~ 0.40
Canada	1.00
New Zealand	1.00
Indonesia	1.00

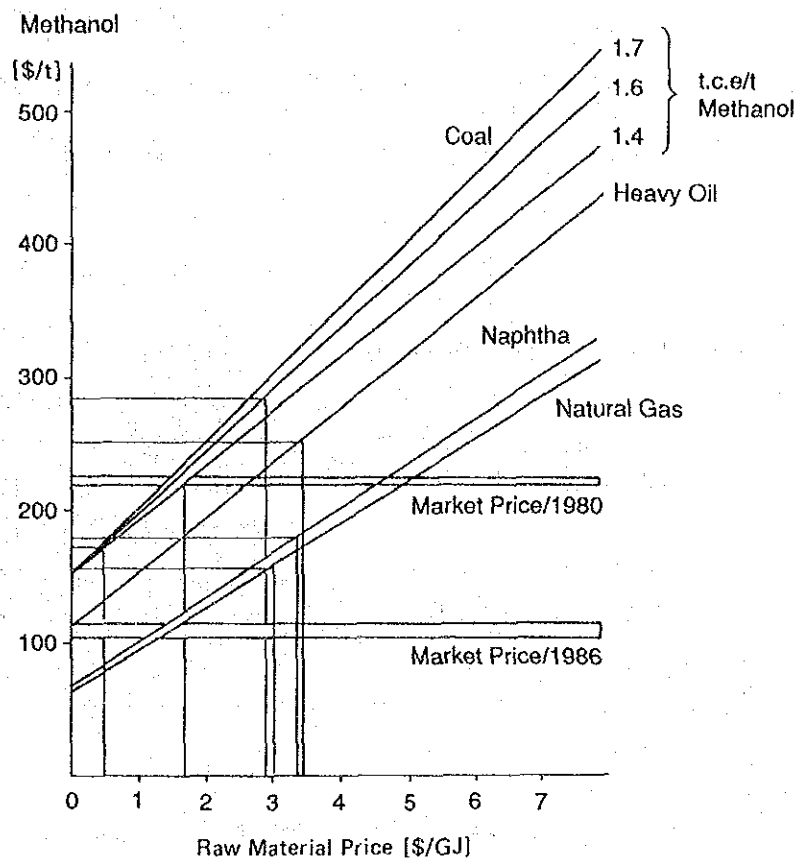
Source: Kagaku Keizai, June, 1987

メタノールの天然ガス原単位を35MMBTUとし、0.50US\$/MMBTUのガスを使う場合には、天然ガスのコストは17.5US\$、これに副資材、ユーティリティーとして10US\$を加算すれば、メタノールの変動費は27.5US\$/Tとなる。

各プラント立地からのメタノールのコスト比較は、ECN 1987.4.27の記事を引用すれば、U.S. Gulf Coastで製品を使用する場合を想定すると、以下の通りである。

プラント立地	ガス価格 (US\$/MMBTU)	製品コスト (US\$/T)
U. S. Gulf	2.00	106
Alberta	1.00	153
Saudi Arabia	0.50	107
Trinidad & Tobago	0.50	80

本命とする石炭ガス化ルートによる場合、WEC Report, 1986 の試算によればメタノール製造原価は Fig. I-1-4 の図表で計算される。



Source: WEC, REPORT 1986, [Methanol Prospects]

Fig. I-1-4 Relationship between Raw Material Price and Methanol Production Cost

発熱量7,000Kcal/kgの石炭を使用するとし、それが15US\$/T (0.5US\$/GJ相当)で供給可能であれば、上記の試算方式によるメタノールの製造コストは約170US\$/Tとなり、かなりきびしい立場にあるといえる。

1.4 ジンバブエ国内の情況

1.4.1 需要と価格

現在ジンバブエ国内でメタノールは生産されておらず、需要量は全て輸入によって充足されている。しかし、その量は少なく、過去5年間需要の伸びはないとあってよさそうである。以下に輸入メタノールの統計と、使用した換算レートを表示する。

Table I-1-15 FOB Price of Imported Methanol

Year	Quantity (T)	1,000 Z\$	1,000 US\$	Unit Price (US\$/T)
1983	130	124	122.7	944
84	189	154	123.8	655
85	146	100	62.0	425
86	129	92	55.3	429
87	101	111	66.8	661

Source: CSO

Table I-1-16 Average Exchange Rate

Unit: Z\$/US\$

1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
0.629	0.677	0.680	0.643	0.689	0.757	1.011	1.244	1.612	1.665	1.661

Source: IMF, International Financial Statistics

メタノールの工業用途としては、本編の1.2.1に述べた様な大口の用途はなく、開発の計画もない。養鶏場の消毒等殺菌用にホルマリンの製造が検討されたことがあるが、経済規模に達しないので見送られた。現在の主用途はエンジンのブラスターとしての航空機用、繊維工業用等である。

価格については Table I-1-15に見られる様、国際価格に比べて著しく割高

であるのが目立つ（小口でスポット買い付けであるため止むを得ぬ事情もあったと推測される）。異常に高い1983年を除く1984-1987年の平均FOB価格は543 US\$であった。これをもとにHarare着on-rail価格を算出すると次の通りとなる。また、比較のために、1986-1988年の間で国際価格の高値圏とみられる250US\$/T FOBで買いつけられたと仮定した場合の価格をケースBとしてあげておく。

	Case A	Case B
FOB	543	250
Ocean Freight	30	30
Railage	135	135
Surtax	106.2	62.3
Miscellaneous	15	15
<hr/>		
U. S. \$/T	829.2	492.3

Railage はDurban-Harare 間をみているが、アンモニアの2倍のレートである（何に起因しているのか不明）。両者とも可燃物であり、アンモニアが高圧ガスであるに対しメタノールは常圧液体であることを考慮すると、少なくとも同率であってよいと思われる。

何れにせよメタノールが自動車用燃料として評価されるためには次節にのべる様な当国に於ける燃料価格が比較の対象となるべきである。

1.4.2 自動車用燃料として

先に述べたジンバブエ国の政策からも明らかな様に、石炭ガス化によるメタノール生産を行う目的は、国内の石炭資源を活用し、製品メタノールをSABATHES CYCLE エンジンの燃料として輸入燃料である軽油の代替を行い、外貨節約を図ることである。軽油の20%をメタノールで置き換えたいという目標値も今回の調査では示された。従ってこの視点に立って当国の有り得べき自動車燃料用メタノールの量と価格について、以下に若干の検討を行う。

(1) メタノール価格

先づ過去の軽油輸入実績を Table I - 1 - 17に示す。1984-1987年の輸入量はほぼ略横這いで、その平均は472,000Kℓである。価格は、購入方式がスポットか、長期契約かによって異なるため一概にはいえないが、例えば1987年価格でいえば、特に高値とはいえず先ずは妥当な水準といえそうである。

Table I-1-17 Import of Diesel Oil

Year	Quantity (m ³)	1,000 Z\$	1,000 US\$	Unit Price (US\$/m ³)
1978	n.a	31,777	46,938	—
79	n.a	67,059	98,616	—
80	n.a	75,789	117,868	—
81	n.a	93,400	135,559	—
82	n.a	66,803	88,247	—
83	318,633	69,813	69,053	216.7
84	468,630	124,370	99,976	213.3
85	490,309	159,142	98,724	201.4
86	476,832	88,676	53,259	111.7
87	453,584	94,744	57,040	125.8

Note: • In 1987, only January through November is covered.
 • FOB price.
 • Conversion rate of Z\$ into US\$ is as per Table I-1-16.

Source: Statistical Year Book of Zimbabwe, 1987 & Information from CSO.

次にNATIONAL OIL COMPANY OF ZIMBABWE(PRIVATE)LIMITEDから得たBeira-Feruka間のRailageを示す。これは33.3US\$/kℓに当たる。

Product	Average Quantity Imported per Year	C & F Beira (Z\$/ℓ)	C & F Landed (Z\$/ℓ)
Diesel (light oil)	438,000,000	25	31
Petrol (gasoline)	237,250,000	20	26
Bitumen	18,000,000	40	44

以上の資料に基づき更に若干の前提をおいて、1995年における軽油を置き換えるべきメタノール価格を、以下に算定した。前提としては、1987年を基準年度とする。

原油価格は1987年、15US\$/bblに対し、1995年 20US\$/bblとする。

Ocean freight は、Beira 揚げで、8.5US\$/klとし、また Miscellaneousを10US\$/klとする。

Table I - 1 - 3 より

	比重量	発熱量
メタノール	0.792	4,290Kcal/ℓ
軽油	0.85	9,300Kcal/ℓ

従って軽油1klに相当のメタノール重量は、

$$1 \text{ kl} \times (9,300\text{Kcal}/\ell / 4,290\text{Kcal}/\ell) \times 0.792\text{T}/\text{kl} = 1.717\text{T}$$

となる。

また軽油のFOB価格は、1987年、125US\$/klに対し、1995年には
 $125 \times 20 / 15 = 166.7\text{US}/\text{kl}$ となる。

以上により1995年のFeruka着on railの軽油価格は、

軽油 FOB Beira	166.7US\$/kl
Import tax (150Z\$/kl)	83.3
Ocean freight	8.5
Railage	33.3
Surtax (15%)	43.8
Miscellaneous	10.0
計	345.6US\$/kl

と評価される。

従って、1995年において軽油 1 *kl* に熱量的に等価なメタノール 1.717Tのあ
るべき単価は

$$345.6 / 1.717 = 201.3 \text{US\$} / \text{T}$$

となり、まるめて、200US\$/Tとみなす。勿論この場合 US\$は1987年の固定価
値としてである。

(2) メタノールの量

一方軽油の需要量であるが、先づ Table I - 1 - 18に当国の自動車保有台数
を最新の統計によって示す。しかし、同表は年次が古いので、更に Table I -
1 - 19に1977-1986年の自動車数増加の資料を補足する。

Table I-1-18 Total Number of Registered Vehicles (1978-1983)

Description of vehicle	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Light motor vehicle up to 2,300 kg n/mass	210,277	211,694	216,729	221,536	227,619	242,592
Heavy motor vehicle over 2,300 kg up to 4,600 kg n/mass	6,645	6,772	6,923	7,143	7,307	7,801
Heavy motor vehicle over 4,600 kg up to 9,000 kg n/mass	7,928	8,156	8,527	9,309	10,072	11,823
Heavy motor vehicle over 9,000 kg	878	853	868	891	923	1,024
Motor cycles up to 70 cm ³	4,549	4,665	4,866	5,175	5,259	5,497
Motor cycles over 70 cm ³	10,099	10,649	12,060	14,845	15,924	17,872
Light trailers up to 550 kg capacity, including caravans, boat trailers etc.	18,833	19,461	20,499	21,352	22,200	23,247
Heavy trailers	6,524	6,731	7,081	7,903	8,588	9,818
Tractors and Construction vehicles	4,103	4,205	4,340	4,731	4,916	5,393
Vehicles not elsewhere classified	16	52	80	94	78	77
TOTAL	269,852	273,238	281,973	292,979	302,886	325,144

Note: 1984 and 1985 information was not available at the time of compilation. Data are counts on the 31st of July each year.

Source: Ministry of Transport.

Statistical Year Book, 1987

**Table I-1-19 Annual Vehicle Population Analysis by Fuel Type and Tax Class
(1977-1986)**

Description of vehicle/Fuel type	0	1	2	3	Total
Light motor vehicle up to 2,300 kg n/mass	105	74,750	5,884	18	80,757
Heavy motor vehicle over 2,300 kg up to 4,600 kg n/mass	8	228	2,136	2	2,374
Heavy motor vehicle over 4,600 kg up to 9,000 kg n/mass	9	245	7,400	3	7,657
Heavy motor vehicle over 9,000 kg	0	12	537	1	550
Motor cycles up to 70 cm ³	3	1,295	2	4	1,304
Motor cycles over 70 cm ³	13	11,660	24	6	11,703
Light trailers up to 550 kg capacity, including caravans, boat trailers etc.	11,136	90	3	0	11,229
Heavy trailers	5,654	60	14	0	5,728
Tractors and Construction vehicles	10	83	1,845	15	1,953
Vehicles not elsewhere classified	1	17	1	8	27
Unspecified	52	17	12	0	81
TOTAL	16,991	88,457	17,858	57	123,363

Note: Fuel type 1: Petrol
2: Diesel

Source: CSO

合のメタノールの量を算出する。

Table I - 1 - 19のデータから、Light motor vehicle 中で軽油を使用する車の比率を求めると、

$$5,884 / 80,757 = 7.3\%$$

を占める。また同 Table I-1-18から大づかみにいってSABATHES CYCLEの車は

- ・ Light motor vehicle の 7 %
- ・ Heavy motor vehicle の全部
- ・ Tractor & construction vehicleの全部

と限定する。 Table I - 1 - 18の中1978年と1983年のSABATHES CYCLEの自動車数をこの限定に従って次表の通り計算する。

Table I-1-20 Savathes Cycle Engine Vehicles

	1978	1983
Light motor vehicles	14,719	16,981
Heavy motor vehicles		
2,300-4,600 kg	6,645	7,801
4,600-9,000 kg	7,928	11,823
over 9,000 kg	878	1,024
Tractors & construction vehicles	4,103	5,393
Total	34,273	43,022

1978～1983年の増加は年率にして、4.65%/Yとなっており、たまたま第一次5ヶ年計画に提示されているGDP成長率 5.1%/Yにほぼ一致するものとなっていた。従って1995年の軽油需要量推定には、前提の1つとしてSABATHES CYCLEエンジン車の増加を5%/Yとおく。

次に基準とした1987年の当国の登録自動車数は、 Table I - 1 - 18中の1978年の総車両数に、 Table I - 1 - 19の1977-1986年の車両増加数を1978-1987年相当と読みかえてその和を求めると

$$269,852 + 123,363 = 393,215$$

となる。これとは別に Table I - 1 - 18中の1983年の登録自動車数が年率5%で増加するとして1987年の総数を求めた

$$325,144 \times (1.05)^4 = 395,215$$

とほぼ一致する。従って1987年の登録自動車数を390千台とみなす。

更にSABATHES CYCLEの車の全車輛に占める比率は Table I - 1 - 19によれば14.5%、Table I - 1 - 20と Table I - 1 - 18を組合せて計算すると、1978年12.7%、1983年13.2%となり、最近の方がその比率が高まっていることをうかがわせる。

以上より1995年のSABATHES CYCLEエンジン車は、1987年の登録自動車総数390千台、その伸び率5%/Y、SABATHES CYCLE比率14%を前提として

$$390,000 \times (1.05)^8 \times 0.14 = 80.7 \text{千台}$$

と計算される。

次にSABATHES CYCLE車の平均年間軽油消費量は、登録自動車数と、軽油の消費量のデータが、平行して使えるのは、1983年のみしかないのでこの年についてみる。先と同様な手法で同年のSABATHES CYCLE車数を数えると (Table I - 1 - 18)

Light motor	16,981
Heavy motor	
2300kg~	7,801
4600kg~	11,823
9000kg~	1,024
Tractors & Construction	5,393
<hr/>	
Total	43,022

1983年の軽油消費は、Table I - 1 - 17より318,633 klである。従って単位消費量は、7.41kl/vehicle となる。

従って1995年の軽油消費の推定量は

$$7.4 \text{ k}\ell / \text{vehicle} \times 80,700 \text{ Vehicle} = 597,200 \text{ k}\ell$$

となる。

そしてこの軽油の 20Vol%がメタノールに置きかえられることになるならば

$$597.2 \text{ 千 k}\ell / \text{Y} \times 0.2 \times 1,717 \text{ Tメタノール} / \text{k}\ell \text{軽油} = 205.1 \text{ KT} / \text{Yメタノール}$$

と計算される。

しかしながら、メタノールをSABATHES CYCLEエンジンに使用するには、その前に種々解決すべき問題がある。次節でその点を概観する。

1.5 メタノールの軽油代替について

メタノールをSABATHES CYCLEエンジンに使用する研究や開発は先進諸国で、OTTO CYCLE エンジンにメタノールを使用する技術の開発と略同時にスタートした。OTTO CYCLE では、ニートメタノール (M-100) の使用は未だ実用化されていないものの、ガソリンにメタノールを混用する方式は既に多くの国で実用に供されている。しかしながらSABATHES CYCLEについては、どこの国でも未だ実用化されておらず、また本格的なFleet Testも完了している所はない。この事実はやはりメタノールを軽油に代えて使用することが、メタノールをガソリンに代替することに比べ技術的に容易でないことを物語るものであろう。

1.5.1 メタノールの短所と長所

SABATHES CYCLEエンジンに軽油代替燃料としてメタノールを使用する場合の問題点は、

- (1) メタノールのセタン価が低いため着火しにくい。

Table I-1-3に見る通り軽油のセタン価は40-50に対し、メタノールは3でしかない。したがってエンジン内で自己着火しないので、何等かの着火補助手段が必要となる。

- (2) 軽油と相溶性が悪い。

メタノールは軽油に実質上溶解しない。Aromatics, ガソリン, 高級アルコール等を30-40%軽油に加えると、常温で約20%メタノールを溶かすと報じられている。しかしこの溶液も0.1%程度の水分が混入すると、低温になると2相に分離する。従って軽油/Aromatics 等/メタノールの溶液が充分高いセタン価をもっている場合にも、この液は通常のSABATHES CYCLEエンジンで実用出来ない。

- (3) 気化熱が大きい

Table I-1-3に見る通り軽油の気化熱が約60Kcal/kgであるに対し、メタノールは263Kcal/kgと大差がある。燃料の気化熱が大きいと低負荷でエンジンがスタートしない欠陥が生ずる。

- (4) メタノールには腐蝕性がある

メタノールは極性をもつので金属を腐蝕させ、またプラスチックやエラスト

マー製の材料を劣化させる。燃料系統に使用されている銅、真鍮、炭素鋼、アルミ、メタクリル樹脂、弗素ゴム等、軽油を対象として選ばれた材料には問題が起こり得る。

(5) 発熱量の差

Table I-1-3に見る様に軽油9,300Kcal/ℓに対し、メタノールは4,290Kcal/ℓと1/2弱である。しかしこの差異は、理論空気比が軽油15.0に対しメタノール6.5とメタノールが軽油の1/2以下であるため、燃料タンクの大きさ等で対応すれば、あまり大きな問題ではない。

一方でメタノールは軽油に対し、決定的な長所をもっている。即ち

(6) 排気がクリーンである

軽油を燃料とする場合、排気の黒煙とNO_x濃度が高く、SEBATHES CYCLEエンジンは動く公害発生源といわれており、その対策はどこの国でも大きな問題である。メタノールを使用する場合、黒煙の発生は皆無、NO_xその他の有害物質の発生も極めて少ない。以下に排出ガスの比較測定例を示す。メタノールの欠点を補う最適エンジンの開発が進めば、この大きな利点の故にメタノールは第3の自動車燃料として、大都会を中心としてすみやかに普及する可能性がある。

Table I-1-21 Analytical Result of Exhaust Gas

	Mode (ppm)		
	Methanol car		Diesel car (Direct Injection type)
	Otto cycle	With spark assist Sabathes cycle	Comparative car
CO	113	62	810
HC	205	83	459
NO _x	215	206	391
Black smoke (Urgent acceleration time)	0	0	32

Source: Masayoshi Nagamitsu, "Fleet Test on Cars Running on Methanol by the Japanese Ministry of Transport"
International Symposium on the Use of Methanol in Cars, February 19, 1987.

1.5.2 メタノール利用技術

以上概観したメタノールの短所を如何に克服するかという技術開発がすすめられている。開発状況をコンセプト別に整理し Table I - 1 - 22に示す。

Table I-1-22 Classification (Concepts) of the Technology for Methanol Utilization and its Characteristics

Classification of Technology for Methanol Utilization		Different fuel sources to be used
Fumigation process	Carburettor system/Injection system	Light oil + methanol (mixture ratio, 10-60%)
Near neat utilization method (Twin fuel-injection method)	Twin-pump, twin injection method • Turbulence chamber • Reservoir chamber • Direct injection	For combustion: Light oil Main fuel: Methanol Light oil substitution ratio: 70-95%
	Twin-pump, single-injection method	Light oil + methanol (10-50%)
Neat, high-concentration utilization, Forced ignition method	Spark assisting method • Cylinder Injection Turbulence chamber Reservoir chamber Direct injection • Gasification Preliminary mixing Glow assisting auto ignition method	Neat, high-concentration method
Neat utilization reform method		
Others	Method of adding additives to speed up ignition	

Source: "Trends in the Research and Development of Cars Running on Methanol" Japan Automobile Research Center

これらの中で実用面から選択され開発が進められているのは、

(1) ニアニート利用・二燃料噴射法

メタノール（または軽油混合物）直接シリンダー内噴射、軽油噴霧圧縮着火

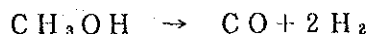
(2) ニート・高濃度利用強制着火法

液状メタノールシリンダー内直接噴射、メタノール噴霧スパークアシスト

(3) ニート利用、改質法

メタノールの排気熱改質ガス吸入、液状メタノールシリンダー内直接噴射、メタノール噴霧スパークアシストである。

識者の見方として、その技術の実用化するのは21世紀にかかるかもしれぬが、on board reforming技術が主流となるであろう、とするものが多くある。この技術は排気の熱利用で



の改質反応を行い、メタノールをガス化して使用する方法である。メタノールの自動車燃料としての諸欠点なくなるばかりでなく、排気熱を回収することでエンジンの熱効率を大幅に高められる可能性をもっている。

何れにせよ、メタノールをSABATHES CYCLEエンジンに使用する技術は、その方向も、最適のエンジン形式も、形式変更の経済負担も耐用性も未だ実用化に向かって確立されたという段階に到達していない。しかし、他の一面として、エネルギー効率向上の可能性も秘めていることに留意したい。

1.5.3 ジンバブエ国内の見方

幅広く調査した訳ではないが、国内関係業者の意見をひろってみると、含酸素化合物 (Oxygenates) を自動車燃料に混入することに対して、基本的に理解は示しているものの、軽油の一部をメタノールでおきかえることは慎重な検討が必要であるという方向であった。

即ち、問題点として

- (1) メタノールが軽油とまざりにくい。
- (2) 軽油に比し発熱量が少ないので多量の燃料を必要とする。
- (3) 着火しにくい。着火改良剤の添加は高くつく。
- (4) エンジンの改造費が高い。
- (5) エンジンの各メーカーによる相違に対応して、改造方式を検討する必要がある。

などがある。更に、経済効果がないことも深く関連して世界のどこでも実施されていないことが、決定的な慎重論となっていた。

1.6 結 論

以上の議論に基づく、アンモニア/メタノール プロジェクトにおけるメタノールの市場調査の結論は、以下の通りである。

本プロジェクトの中で、メタノールプラントの企業化は直ちに実行に移すべきではない。工業用としての大口需要は現状では見込めない。従ってメタノールは軽油の代替として自動車燃料にのみ使用されるという状況の下では、少なくともこの4～5年間、この分野の技術開発と実証が完成されるのを待つべきである。

この勧告の由来する以下の諸因子には留意されたい。

- 1.6.1 国内に豊富に賦存する石炭エネルギーの活用を図り、一方軽油の輸入に支出されている外貨の節約(1986年53百万US\$, 1987年57百万US\$)のためにメタノールを製造するという政策自体はそうあるべきものと評価される。メタノールが21世紀に向けて、自動車用の第3の燃料とみなされている場合もあることに思いを致せば尚更のことである。

軽油の20%をメタノールが代替するという所与の条件下で、1995年のメタノール需要は、200KT/Y と予測され、メタノールプラントとしては600T/Dに相当する。価格は1987年固定価格で200US\$/Tと推定された。

- 1.6.2 石炭ガス化技術とメタノール合成技術は、おのおの実証されているものであり、この2つを組み合わせると石炭からメタノールを合成する技術上の問題はない。

詳しくいえば、アンモニア用の石炭ガス化は H_2 のみを生成させる必要があり、メタノール用の石炭ガス化は $CO + 2H_2$ の成分構成を必要とする。これらは操業条件の変更によって互換し得るが、実施に当たってはアンモニア、メタノール用の石炭ガス化設備はおのおのに設置する様考慮すべきであろう。

- 1.6.3 自動車燃料として軽油の一部または全部をメタノールで代替することは、技術的、機構的、経済的にも、確立も実証もされていない。しかしその中には、on board reforming の様に将来性を秘めた技術もある。

普通性の高い、将来性もある、そして実用化、実証された技術に注目していく必要がある。

1.6.4 MUTAREにて新たに精油所建設が計画されている。この精油所からはガソリン、軽油が生産されるので、軽油代替メタノールの生産を計画する場合には、軽油の取得量を考慮しなければならない。

第2章 プロジェクトの基本的な考え方

アンモニア・メタノールプロジェクト

第2章 プロジェクトの基本的な考え方

2.1 生産品目と規模

1995/96年におけるジンバブエ国の窒素肥料需要予測に基づいた、アンモニアプラントの能力については、すでに第1部で詳述した。同じ目標時点におけるSABATHES CYCLE ENGINE用のメタノール需要についても、本編第1章で市場調査の結果を述べた。従って本プロジェクトが成立する状況の下では、各生産品目とその能力は以下の通りである。

<u>生産品目</u>	<u>能力</u>	<u>年間稼働率 3300/Y</u>
アンモニア	600T/D	198,000T/Y
メタノール	600T/D	198,000T/Y
副生硫黄 (100%S)	36T/D	11,880T/Y

2.2 製品品質

2.2.1 アンモニア

純度	99.7wt%min.
水分	0.3wt%max.
油分	5 ppm max.
圧力	4.3kg/cm ² G
温度	5°C

2.2.2 メタノール

比重	0.798max.
メタノール分	99.3%min
留分	64.0-66.0°C留出量95vol/vol%min.
遊離酸	2 mlN/10 NaOH/50mlmax.
蒸発残分	0.002%max.

2.2.3 硫 黄

純 度 99.5wt%min.

2.3 プラントサイト

本プロジェクトが実施される場合、そのプラントサイトは、すでに第1部第1編第6章で詳述した様に、Hwangeとなるであろう。

2.4 原 料

現在採掘されている品質のWankie炭を使用するものとし、アンモニアプラントの概念設計の前提とされた原料炭と同品質のものを使用する。従って原料炭の灰分は、アンモニアの場合と同様20%以下とする。

原料炭の仕様はTable 1-2-1の通りである。

原料炭の概略所要量は

アンモニア用	727T/D (240,000T/Y)
メタノール用	750T/D (250,000T/Y)

となる。

石炭ガス化炉出口ガスの組成は概略

CO	49.6Vol%
CO ₂	14.0Vol%
H ₂	34.3Vol%

である。

Table I-2-1 Feedstock Coal Specifications

Name	Dry coal for domestic use	
Particle size		
50 mm pass	Min. 99	wt%
Moisture as received	1.4	wt%
Proximate analysis		
Inherent moisture	1.5	wt%
Ash	13.8	wt%
Volatile matter	24.2	wt%
Fixed carbon	60.5	wt%
Gross heating value (inherent moisture basis)	7,090	kcal/kg
Hardgrove grindability index	57	
Ultimate analysis (dry basis)		
Ash	14.0	wt%
Carbon	73.0	wt%
Hydrogen	3.8	wt%
Oxygen	5.28	wt%
Nitrogen	1.5	wt%
Inflammable sulfur	2.29	wt%
Total sulfur	2.40	wt%
Non-flammable sulfur	0.11	wt%
Chlorine	0.021	wt%
Ash fusion temperature	Reducing	Oxidizing
Initial deformation temperature	1,100 °C	1,320 °C
Softening temperature	1,300 °C	1,350 °C
Hemispherical temperature	1,320 °C	1,360 °C

2.5 アンモニア製造とメタノール製造の類似点と相違点

将来メタノールプラントの建設が実現することとなった場合、メタノールプラントを、すでに建設されているであろうアンモニアプラントと、別系統ではあっても、組み合わせて建てることは種々の利点をもつ。この基本的な点を以下に明らかにしておく。

アンモニアプロセスに関しては第1部第2編第2章に詳述してあるのでここでは繰り返さない。またメタノールプロセスについては次章にその概略を述べる。必要に応じてそれぞれを参照して頂きたい。

歴史的に見て、メタノール製造はアンモニアの合成設備をベースとして、アンモニアより小規模な生産を行うという形でスタートした。従って両プロセスは非常に似た設備で構成されている。

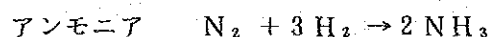
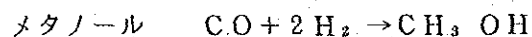
2.5.1 原料の選択

メタノールもアンモニアも、共に水素源を必要とし、天然ガス・ナフサ・重油・石炭等何れもその原料として使用できる。原料のガス化のために空気からの酸素が必要となる。

2.5.2 プロセス

次章のプロセス、フローダイアグラムを第1部のアンモニアのそれと比べれば容易に分る様に、両者を構成するセクションは殆ど同じである。アンモニアの場合に原料窒素ガスの供給という機能も含めて窒素洗浄装置がある所が異なる。

両者の合成の反応式を並べると：



これらの反応式から明らかな様に、両者共原料ガスに由来する水素が主原料である。メタノールでは、窒素が不要な代わりに、水素の半量の一酸化炭素が必要となる。このために、CO転化セクションと酸性ガス除去セクションの機器の構成が部分的に違う。

また、両反応とも多量の発熱を伴う。この反応熱を如何に効果的に除去し有効利用するかが両者に共通したキーポイントである。

2.5.3 合成反応

合成ガスを圧縮して反応させる条件を考えると、両者共反応触媒として、酸化金属系のものを使っている。従って、その合成圧力も非常に似通っている。その合成圧力は、20年前は 350気圧前後であったものが、最近は 100あるいは、150 気圧にまで改良されて下がって来た。

ただし、メタノール合成の触媒にはアンモニア合成のそれに比べ硫黄化合物が強い触媒毒として働く。従って合成に先立ってGuard Desulphurizationが必要となる。

2.5.4 構成機器

この様に両者のプロセスは、ほとんど違わないだけでなく、同一生産量に対する各機器の大きさも余り変わらない。例えば、600T/Dの生産量のアンモニア製造設備は、僅か一部を改変するだけで、同じ600T/Dのメタノールの生産設備に転換が可能である。

特に、プロセスの上流部分、即ち空気分離・スラリー調整・石炭ガス化・灰処理の各セクションは、原料の石炭の仕様に大きな差異がない限り、ほとんど相互に流用する事ができる。

1系列 600T/D のメタノール合成に対しては、2系列の石炭ガス化炉により原料ガスを供給する。この点もアンモニアプラントと全く同様である。

もし600T/Dのアンモニア製造設備を設置した後で、同じ600T/Dのメタノール製造設備を併設する場合があるとすると、前記4セクションのほとんどの機器は同じ設計で済ませることができるし、ガス化セクションの予備のガス化炉は、アンモニアとメタノールの両設備で共用することができる。

2.5.5 運転および保守

両製造設備はプロセス・機器共に非常に類似している上、操業運転の方法も変わらない。これは運転員の研修や、人数の節約に関して、何かと都合が良い要因

である。また、両方のプラントにおいて、多くの予備品や保守技術が、共通して使用できよう。

2.6 まとめ

アンモニア・メタノールを組み合わせた本プロジェクトで、メタノールプラントの建設がアンモニアプラントの建設にかなり遅れて行われる状況下では、実施に先立ってプロジェクトのマスタープランが慎重に作成されるべきである。

第3章 生産プロセスと生産設備

アンモニア・メタノールプロジェクト

第 3 章 生産プロセスと生産設備

3.1 プロセスの組合せ

本プロジェクトは現時点ではメタノールに関して実現の可能性はないといってよい。そのため、ここで生産設備の概念設計に立ち入って、検討することは煩瑣にわたるだけでその必要性に乏しい。従ってここには前章に説明したプロジェクトの基本的考え方にそい、メタノール製造のブロックダイアグラムFig. 1-3-1に示し若干の説明を行う。

プロセスは、

石炭ガス化についてはTexaco法

メタノールについてはICI法

の組み合わせとした。

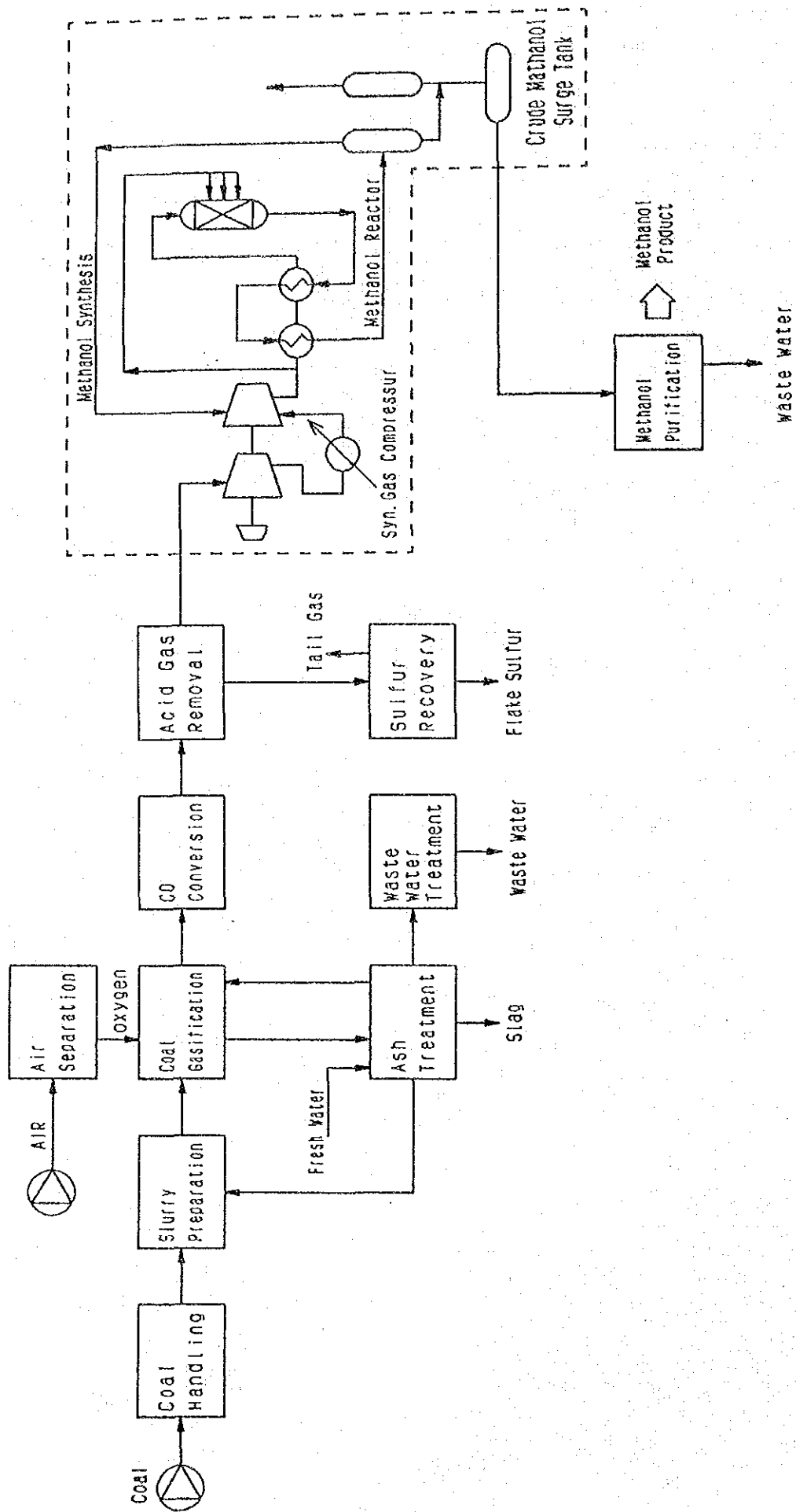


Fig. I-3-1 Block Flow Diagram (Methanol)

3.2 石炭ガス化

Fig. I-3-1 にそって、プロセスの簡単な説明を以下に記述する。なお、Wankie 炭サンプルのテスト結果は第1部第1編第5章に紹介済である。

3.2.1 空気分離セクション

空気分離装置は、高圧下の石炭ガス化に使われる酸素を供給するために設けられている。この装置は基本的には、空気圧縮機と、深冷ボックスと、酸素圧縮機から構成されており、発生した酸素は、98%以上の純度で、石炭ガス化セクションに送られる。

3.2.2 スラリー調整セクション

炭鉱から供給された石炭は、一旦貯炭場に貯蔵された後、ガス化に必要な品質にブレンドされて、石炭サイロにコンベヤーで送られる。このサイロから出た石炭は、二段階で粉碎される。即ち、先ずプレクラッシャーで、10mm以下に粉碎され、次にグレイ・ウォーターと新水とを混ぜて、微粉碎ミルで更に細かくされる。そして最後にこのスラリーに、添加剤、pH調整剤とフラックスがおのおの加えられ、所要の品質に調整される。この様にして調整されたスラリーは、一旦スラリートンクに貯えられ、次いでガス化セクションに送られる。

3.2.3 石炭ガス化セクション

石炭スラリーはポンプでガス化炉に加圧・供給され、ここに酸素も吹込まれる。ガス化反応は、高圧高温下で反応室内で瞬間的に起り、ガスが発生する。このガスの組成はCO、H₂、CO₂、H₂Oと、微量のCH₄、H₂Sとである。この時、反応室内の温度は、石炭スラリーと酸素の供給量の比の調節により、灰の溶融点よりやや高めに調整される。

ガス化炉の反応室を出た高温ガスはクエンチ室に入り、カーボンスクラバーから来る水で冷やされる。反応室で出来た灰と未反応カーボンはスラグとなり、粗スラグは炉のロックホッパーシステムで水と一緒に、間欠的に炉外に排出される。微粒スラグは同様にクエンチ室から、ブラックウォーターと呼ばれる水スラリーとして連続的に排出される。

ガス化炉のクエンチ室を出た生成ガスは、ベンチュリースクラバーと、カーボンスクラバーを通過し、ここで、このガスは、灰処理セクションより来たグレイウォーターと、CO転化セクションから来たプロセス凝縮水とによって洗浄され、灰の粒子と未反応カーボンが完全に取り除かれる。かくしてカーボンスクラバーから出た微粒子の無いガスは、CO転化セクションに送られる。

3.2.4 灰処理セクション

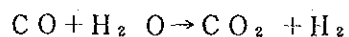
ロックホッパー水と一緒にガス化炉から出た粗スラグは、スラグピットに落ち、スラグスクリーンで漉された後、粗スラグホッパーに送られる。

ブラックウォーターの中の微粒スラグは、濃縮、沈降設備にて処理されたのち、フィルタープレスにて分離される。沈降設備からのオーバーフロー水の一部はガス化炉に戻されて、プロセス水として使用される。

3.2.5 CO転化セクション

生成したガス中のCOとH₂の比率をメタノール合成に適した組成にかえるため、ガスの約半量をCO転化セクションに送る。

カーボンスクラバーを出た微粒子を含まないガスは、CO転化塔に行く前に、CO転化塔プレヒーターにて、転化塔の第一触媒層からの出口ガスと熱交換する。転化塔の触媒層は二段で、硫黄活性化触媒が使用される。シフト反応は次式による。



すなわち、供給ガス中のCOがH₂Oと反応して、それに相当する量のCO₂とH₂Oとなる。

反応は発熱反応であって、第一段触媒層の出口の反応ガス温度は、かなり高くなる。次いで、第二段触媒層の反応の適合温度を確保するため、このガスは、COコンバータープレヒーターで冷却される。この様に冷されたガスは、第二段触媒層を通る際、また温度が上がり、高温になったガスの熱量は、スチームを発生させることにより、回収され、これはプラントの他の部門で使用される。

このセクションでできる凝縮水は、コンデンセイトセパレーターでプロセスガスと分離される。このセパレーターから出た高温の凝縮水は、コンデンセイトポンプにより、カーボンスクラバーに送られ、この間に低温の凝縮水は、灰処理セクションに戻される。

3.2.6 酸性ガス除去セクション

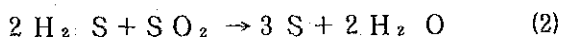
CO転化後のガスはCO転化セクションをバイパスした残りのガスと合流して酸性ガス除去セクションに入る。メタノール合成に適正なCOとH₂の比率に調整されたプロセスガスは、スクラバーに送られ、Rectisolプロセスで酸性ガスが取り除かれる。

除去されたCO₂は、空中に放散され、また塔の底から取出されたH₂Sを多く含んだメタノール溶液は、H₂Sストリッパーにポンプで送られ、H₂S分が取り除かれる。これは、硫黄回収セクションに送られ、ここでフレーク状の硫黄として、回収される。

3.2.7 硫黄回収セクション

酸性ガス除去セクションで分離されたH₂Sと、灰処理セクションからのフラッシュガスより、単体硫黄を回収する。

H₂Sボイラーの燃焼室の中では、送られて来たH₂Sが燃焼して、次のクラウス反応に必要な量のSO₂を発生し、単体硫黄は、次の式に従って作られる。



燃焼室から出た燃焼ガスは、H₂Sボイラーを通り、ここで冷却により一部硫黄を凝縮し、ガスは更にスチームリヒーターの中で、(2)式の反応に必要な温度まで再加熱されクラウス炉に導かれる。

クラウス炉は、二段の触媒層から出来ており、第一層を通ったガスは、H₂Sボイラーに送られて硫黄が凝縮される。更にこの温度の下がったガスは、スチームリヒーターでもう一度熱せられ、第二層に入って反応は進む。第二層から出た

ガスは、冷却されサルファーコンデンサーで、硫黄に凝縮される。

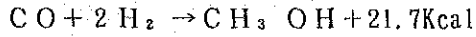
H₂S ボイラーと、サルファーコンデンサーで、凝縮された硫黄は、サルファーピットに集められ、サルファーサンプポンプにより、サルファーフレーターに送られる。ここで作られたフレーク状の硫黄は、フレークサルファービンに貯蔵されてから、包装装置で袋詰めされる。

サルファーコンデンサーから出た残りのガスは、燃料として、ボイラーに送られる。

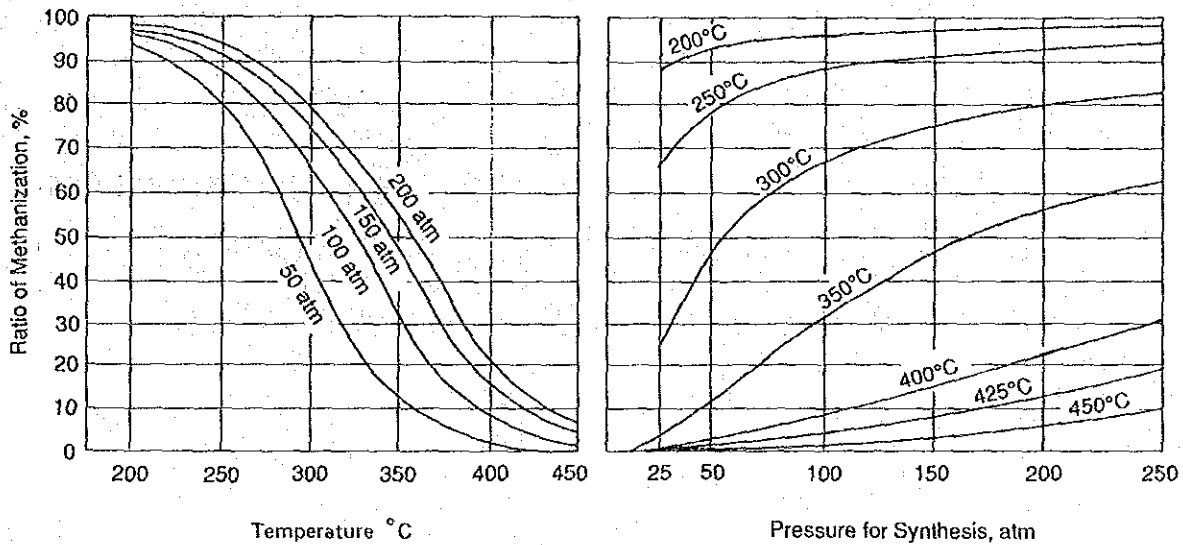
3.3 メタノール合成

3.3.1 メタノール合成反応の特徴

メタノールの合成反応は次の主反応で示される。



この主反応の平衡に対する温度と圧力の影響はFig. 1-3-2に示す通りである。



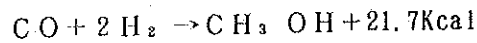
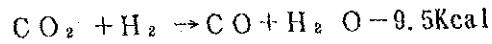
Source: "New Petrochemical Process" published by Japan Petrochemical Society

Fig. 1-3-2 Relationship between Temperature, Pressure and Ratio at Methanization

低温、高圧がメタノール化に有利であり、特に温度が大きく影響する。合成塔1回通過では合成ガスのメタノール比率が低いため、実際にはメタノールを分離した後の合成ガスを、繰返し合成塔に再循環させる。

メタノールの合成触媒は、BASFの開発したZn-Cr系が50年間の長きにわたり主流をなしていた。この触媒を使用する合成条件は320-400°C、300-400 kg/cm²を必要とした。1960年代後半還元銅を主体とするCu-Zn-Alの3元系触媒を、ICIが開発し、中低圧、低温の合成条件の適用と、スチームタービン駆動の遠心圧縮機の採用を可能とした。今日はこれが主流となっている。

なお原料ガス中にCO₂が含まれる場合には、



の反応でメタノールを生成する。この反応では発熱量が主反応に比べ小さくなる
とともに、触媒の活性が増大するので、原料ガス中のCO₂をのこす場合もある。
しかし、その量は種々の効率を考慮してきめねばならない。

いずれにせよ、メタノール合成は大きな発熱を伴うので、合成塔内の触媒層の
温度を均一に保つ方法、さらに反応熱の回収利用方法がプロセスの重要なポイン
トとなる。

3.3.2 プロセス

代表的なメタノールプロセスとして、ICI法、Lurgi法、三菱ガス化学法（MGC）
法等があり、おのおの合成塔の構造や熱回収の方法について独自の工夫をしてい
る。これらのプロセスの概略フローをFig. I-3-3～5に示す。

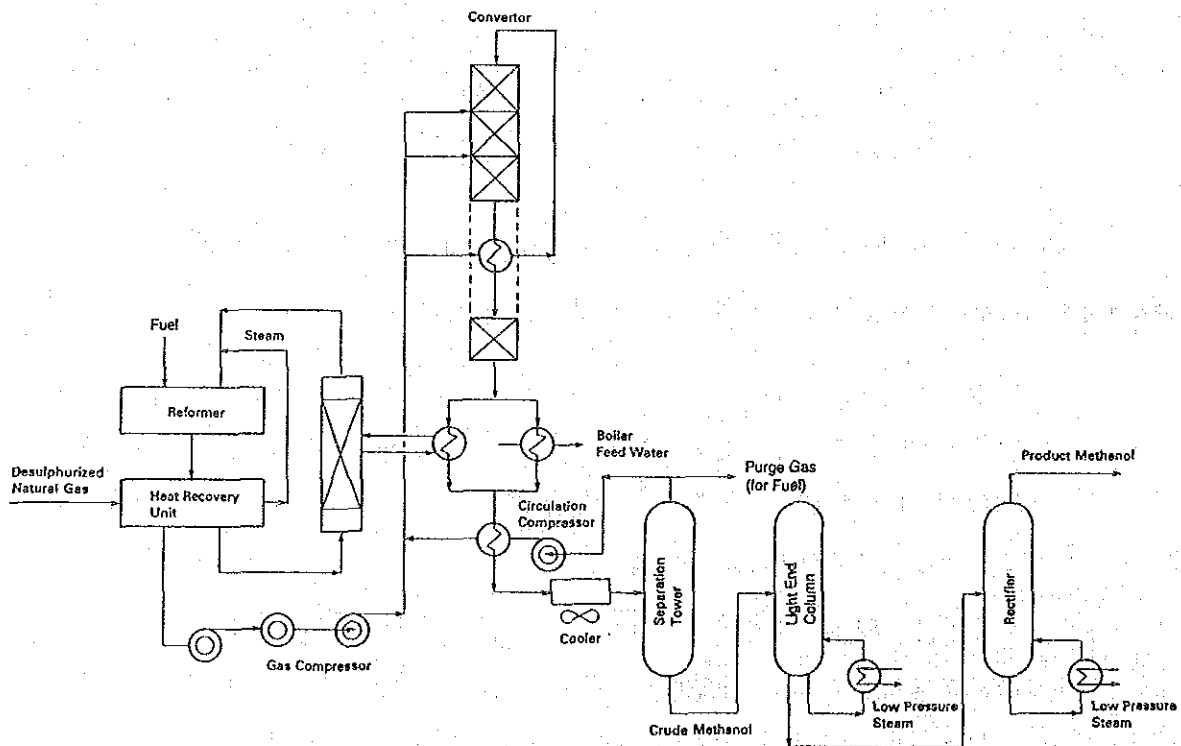


Fig. I-3-3 Flow Sheet of ICI Methanol Synthesis Process

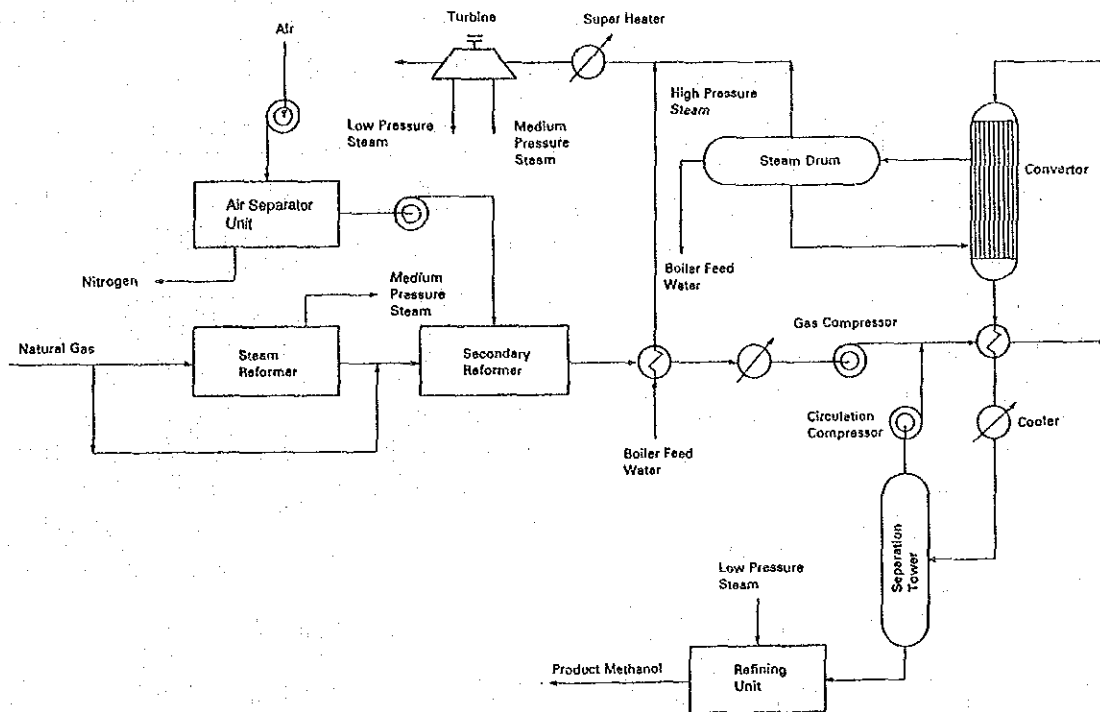


Fig. I-3-4 Flow Sheet of Lurgi Methanol Synthesis Process

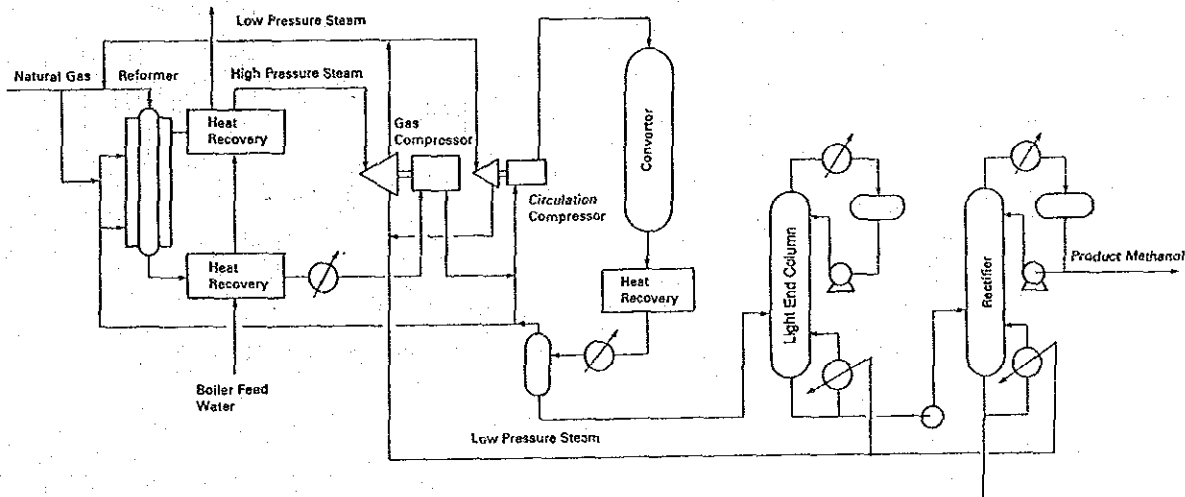


Fig. I-3-5 Flow Sheet of MGC Methanol Synthesis Process

これらのプロセスに適用されている主要条件を、Table I-3-1 に記す。

Table I-3-1 Comparison of Applicable Process Conditions

Process	ICI	Lurgi	MGC
Pressure (atm)	50 - 100	70 - 100	50 - 150
Temperature (°C)	200 - 300	240 - 270	200 - 280
Synthesis column	Tray type	Shell & tube	Tray type
Temp. adjustment	Quenching by blow-in of cooling gas	Catalyst bed cooling with pressurized water	Quenching by blow-in of cooling gas

おのおののプロセスの特徴とみられる点を列記しておく。

ICI法

- (1) 合成塔の構造が簡単で製作が容易である。
- (2) 大型化に適している。
- (3) 触媒の充填と取出しが容易である。
- (4) 反応熱は高圧ボイラーの給水予熱に使われる。

Lurgi法

- (1) 合成塔の構造がやや複雑である。
- (2) 比較的均一な温度分布が得られ、メタノールの転化率が向上する。
- (3) 反応熱は中圧スチームの発生に使われる。

MGC法

- (1) 触媒は優れた活性と安定性を示し、使用可能期間が長い。
- (2) 合成塔の構造が簡単で、また冷ガスが有効に導入され触媒層温度が均一に維持される。
- (3) 反応熱は中圧スチームとして回収される。

本プロジェクトが実現する場合の候補としては、世界的に多数のプラントで実用されているICI法を適当と考察した。ただし、メタノールプラント建設が決定されるまでにはかなりの年月が経過すると予想される一方、メタノール技術は進歩を続けているので、決定に先立つ時点で最適プロセスを改めて検討する必要がある。

Innert Hydrocarbon循環によるCHEM SYSTEM法とか、液相触媒を使って超低圧、低温で合成を行うBROOKHAVEN NATIONAL LABORATORYの方法とか、開発中である。

3.3.3 工程説明

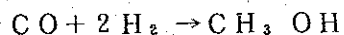
Fig. I-3-1により、メタノール合成および精製セクションの工程を簡単に説明する。

硫黄分はメタノール合成触媒に対し極めて有毒であるので、酸性ガス除去セクションを出た合成ガスは、メタノール合成塔に入る前にGuard Desulphurizerに導入されZnOによる乾式脱硫によって0.5ppmS以下に脱硫される。

次いで合成ガスは、中間でガスが冷却される形式の二段遠心型圧縮機で、約100 kg/cfに昇圧される。この圧縮機の二段目に、合成ガスの5倍のリサイクルガスが入ってくる。

圧縮されたガスの1/3は、メタノール合成塔の出口ガスとの熱交換によって、230℃に予熱されて塔頂より導入され、残りの2/3は、冷却のために合成塔に直接入り、三段の触媒層で反応ガスと混合する。

ガスは合成塔の上部から入り、触媒の中を通る間に、一酸化炭素は、水素と反応して、メタノールになる。



触媒の温度は合成塔入口へのガス供給のあと急に上り、255℃から260℃に達するが、ほとんどの反応熱は蒸気として回収される。

ICI合成塔は、一本の筒状のもので、中に触媒が充填されている。新しい合成ガスは、三段の触媒層におおの配置されたひし形をしたコールドショット分配器を経て反応中のガスの中に吹込まれ、このために、触媒層の中の温度分布状態は、

235℃から 270℃の間で、ジグザグに変動している。

合成塔下部から出た反応ガスは、合成塔入口ガスと冷却水とで冷やされ、残りの熱はループ途中から放出されるパージガスの膨張タービンの中段に供給される。最後にこの反応ガスは、水か空気で冷却されてメタノールと水に凝縮される。凝縮されなかったガスの5%は膨張タービンを通して放出されるが、残りのガスは合成圧縮機に戻される。

粗メタノール溶液は精製セクションのライトエンドコラムに送られ、揮発分が塔の上部より分離される。

ライトエンドコラムの下部留分は、3.5 kg/cm²で精留塔にゆき、上部から高純度のメタノールが回収され、中央部からは高級アルコール（主としてエタノール）が分離され、排水が底部に残る。

ライトエンドリボイラーとメタノールリボイラーの必要熱量は、共に合成ガスにより供給され、最終製品のメタノールの持つ熱は、入ってくる粗メタノールと熱交換される。