

3. DMEの潜在需要

本章では、前章にて述べた四川省のエネルギー状況に基づき、DMEの潜在的需要について概説する。始めにDMEの潜在需要について述べ、次に中国におけるDMEの生産とその用途についての現状を報告する。又、発電技術の動向と中国の国家政策についても述べる。

3.1 DMEの潜在需要

第 1.3 章にて述べたようにDMEの用途としては、スプレー剤、LPG代替燃料、及びディーゼル油の代替が主なものである。更には、化学工業の原料としての使用も考えられる。これらについて述べる。

3.1.1 スプレー剤

1996 年世界でエアゾール製品は 10.1×10^9 本の販売があり、中国でのスタートはやや遅れているが、その生産量は急速に伸びている。1997 年中国のエアゾール製品の生産量は既に 0.58×10^9 本に達しており、1990 年代の平均成長率 5.8% で計算すると 2005 年には 0.91×10^9 本になり、2010 年には 1.21×10^9 本となることが予想される。

エアゾール製品には従来は多くのCFCs（塩素含有フロン）が使用されてきたが、放出されたCFCsは、オゾン層を破壊し、人間の健康・動物の成長と地球生態環境に大きな影響を与えてきた。そのためモントリオール協定にてこのCFCsの製造、及び使用が禁止され、中国も 1998 年より噴霧剤のCFCs（医療用品以外）の使用を禁止している。CFCsの代替品として現在はLPG、DME、圧縮空気（ CO_2 、 N_2 、 N_2O ）、HCFC、HFCなどがあり、うちDMEの使用量は国外又は中国でもLPGに次いで第二位となっている。西欧とアメリカでは噴霧剤の約 25% にDMEが使用されており（ちなみに日本では約 10%）、この比率で計算すれば、2005 年には中国で約 0.228×10^9 本、2010 年には約 0.3×10^9 本にも上るエアゾール製品にDMEが使用される事になる。もし一本当たりDMEの使用量を 100g で計算すると、2005 年にはエアゾール級のDMEが 22.8×10^3 トン／年、2010 年には 30×10^3 トン／年ものDMEが必要との計算となる。

3.1.2 LPG代替燃料

DMEの燃料としての物理的性質を表 3-1-2 に示す。比較のために、LPGとメタン、メタノールの性質も同時に示す。

表 3-1-2 DMEと関連する各種燃料の物理的性質及び燃焼特性

項 目	ジメチルエーテル	プロパン	n-ブタン	メタン	メタノール
化学式	CH ₃ OCH ₃	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CH ₄	CH ₃ OH
沸 点 (°C)	-25.1	-42.0	-0.5	-161.5	64.6
液密度 (g/cm ³ , 20°C)	0.67	0.49	0.57	—	0.79
ガス比重 (対空気比)	1.59	1.52	2.00	0.55	—
蒸発潜熱 (kcal/kg)	111.7	101.8	92.1	121.9	262
飽和蒸気圧 (atm, 25°C)	6.1	9.3	2.4	246	—
最大燃焼速度 (cm/s)	50	43	41	37	-52
発火エネルギー (10 ⁶ J)	45	30	76	33	21
発火温度 (°C)	350	504	430	632	470
爆発限界 (%)	3.4~17	2.1~9.4	1.9~8.4	5~15	5.5~36
セタン価	55~60	(5)	(10)	0	5
低位発熱量 (kcal/Nm ³)	14,200	21,800	28,300	8,600	—
低位発熱量 (kcal/kg)	6,900	11,100	10,930	12,000	5,040

() …推定値

DMEの燃料としての特徴は、蒸気圧がプロパンとブタンの中間に有ること、又単位質量当たりの発熱量がメタノールよりも勝るが、LPGの 62%程度である事が、上表より分かる。この始めの性質により、DMEはLPGのように圧縮により液化しやすく、その常温での液化貯蔵圧力は 1.35Mpa程度であり、それはLPGの貯蔵圧力である 1.92MPaより小さい。このため在来のLPG用の貯蔵及び輸送設備が転用できるという最大の特徴を有しているのである。

又DMEを燃料とする場合、LPG用の器具はその発熱量の相違から若干の改良が必要だが、メタン（天然ガス）用の器具ならそのまま使用できる。燃料としてのDMEはそれ自身酸素を含み、燃焼は良好であり、煤の発生が無く、残液もない。燃焼オフガスはSO_x、NO_xともに極めて低く、完全に国家衛生基準に達し、理想的なクリーンな燃料の一つといえる。又DMEは一定の比率で都市ガス又は天然ガス中に入れピーク時の調節用にも、又カロリーアップのためにも使用出来る。

中国は 1990 年より大量にLPGを輸入しており、南方沿海地区の需要の迅速な膨張に伴い、年間輸入量は 1990 年の $117 \times 10^3 \text{t}$ から 1998 年には $4,765.9 \times 10^3 \text{t}$ に増え、年間平均 59% の高い伸び率を示している。中国での大型LPG冷凍タンクが徐々に完成するに伴い、将来のLPG輸入量は引き続き大きく伸びると考えられる。もし最近 10 年のLPGの輸入成長率を 10%で計算すると、2005 年での中国のLPGの輸入量は $9,290 \times 10^3 \text{t}$ となり、2010 年には $14,570 \times 10^3 \text{t}$ となる。これらはそれぞれDMEに換算して $15,000 \times 10^3$ トン／年、 $23,500 \times 10^3$

トン／年の熱量にあたる。

又、四川省でのLPG需要は第 2.9 章に述べたように、約 150×10^3 トン／年であり、その 87%が他省からの輸入である。

3.1.3 ディーゼル油代替

表 3-1-2 に示されるようにDMEは非常に高いセタン価を持ち（55－60）、直接自動車用の燃料として使用できる。同じ代替燃料であるメタノール燃料が低温での起動性と加速性に問題を有しているのに対して、DMEはそれらの問題が無いばかりでなく、高い燃焼効率と更に低汚染という特徴を持っている。又騒音も低く、排出するオフガスも煤を含まず、処理をすること無くアメリカ・カリフォルニア州の自動車に関する厳しい排ガス規定を満たす事が出来る。

又、アモコ石油の経済分析によると、DMEのコストは現状では軽油より高いが、しかし液体プロパンと圧縮天然ガスなどの低汚染代替交通燃料よりは低くなる可能性を有しているとされる。又、西安交通大学ではDMEを燃料としたディーゼルエンジンの研究を行い、その最適化により軽油を燃料とするよりも、DME燃料のほうが熱効率が数%上昇するという結果を得ている。

国家統計局によると、今年上半期中国での軽油消費量は 28.89×10^6 トン／年で、去年の同じ時期に比べ約 5.74×10^6 トン／年伸びている。今年の軽油消費量は 51×10^6 トン／年と予想されており、もし毎年の増加率を 2%で計算した場合、2005 年で中国の軽油消費量は 57.43×10^6 トン／年となり、2010 年で 63.41×10^6 トン／年となる。このうちDMEによって代替される量を 2005 年に 5%とすると燃料級DMEは 3.73×10^6 トン/年前後必要となり、又 2010 年には 10%代替として 8.24×10^6 トン／年必要という計算になる。

又、四川省での軽油の需要は第 2.10 章に述べたが 1.5×10^6 トン／年程度であり、その殆どは他省からの輸入である。

四川省を代表とする中国内陸部は、油田が無く、こうした増加しつつある交通エネルギーをどうやって沿海部などから輸送するかという特別な問題がある。

DMEが優れた軽油代替燃料であることはすでに述べたが、新しい燃料に転換する場合は、インフラが問題になる。DMEを燃料に用いる場合は、既存のLPG自動車用供給技術や施設を利用できる点が極めて大きな魅力である。国際機関であるIEA (International Energy Agency) のAMF (Alternative Motor Fuels) において「自動車燃料としてのジメチルエーテル」に関するワークショップが設置され、燃料規格の確立、自動車燃料としてのDMEの安全性の評価、他の燃料と比較した場合のDMEの環境影響への評価なども検討され始めている。

3.1.4 発電燃料

先にも述べたように四川省の電力は現状では 57%が水力、43%が石炭火力である。DME

をこの火力発電の燃料として用いる場合には次のような特徴をあげる事が出来る。

- ① 石炭燃焼のボイラー発電に対しては、ガスタービン式複合発電を使用できることから発電効率が高くなる。
- ② 輸送・貯蔵が石炭に比べ効率的になる。
- ③ 炭層メタンもDME合成原料として有効利用できる。
- ④ アッシュのないクリーンな燃料が得られる。

第 2.9 章にて述べたように、四川省農村部の電力は数多くの、石炭炊き小型火力、小型水力発電及び電力ネットワークによって賄われている。この石炭炊き小型火力による大気汚染の実態は明らかではないが、小型火力の場合は排出ガスの処理が難しく、石炭燃焼に伴う煤、NO_x、SO_xなどの排出がかなりの規模になっているものと考えられる。だからこそ省政府はこうした小型火力の閉止を行ってきているのである。この電力ネットワークからもれる農村部への電力供給を考えた場合、その土地の状況によって次のようないくつかの案が考えられる。

- ① 大規模な水力発電や火力発電と都市部を結ぶ電力ネットから、電力を供給する。
しかしこの場合にはその距離によっては電力ケーブルが長大になり、採算が合いにくい。
- ② 天然ガスパイプラインを農村部まで伸ばし、天然ガス炊きとする。しかしこれも上と同様に、距離によっては、パイプラインが長大になる。
- ③ LPG又はその代替としてのDMEを燃料とする。農村部までの輸送にはローリーが使用され、初期投下資本は少なくすむ。この場合、更に次の3つの選択肢が有る。
 - 1) 石炭炊きのボイラーの燃料をLPG又はDMEに変更する。
 - 2) 石炭炊きのボイラーをやめ、ディーゼルエンジン駆動の発電機とする。
 - 3) やはり石炭炊きのボイラーをやめるが、ディーゼルエンジン駆動ではなく、更に進んだマイクロガスタービン駆動の発電機とする。

3.1.5 化学工業原料として

DMEは合成硫酸ジメチルエステルなど多くの化工製品の原料に成りうる。中国の硫酸ジメチルエステルの生産はメタノールと硫酸を原料としており、DMEはその生産過程の中間製品として得られる。このプロセスでは気化したメタノールと硫酸の反応により、硫酸水素メチルが生成し、これが一定の温度の下で引き続きメタノールと反応し、DMEガスを生成する。このDMEは更にSO₃と溶剤中で反応し、最後に真空蒸留後製品の硫酸ジメチルエステルを得る。同プロセスは全体のフローが長く且つ設備の腐食問題を抱え、特に中間製品の硫酸水素メチルは毒性が強い物質で有る為、作業環境が極めて悪いにもかかわらず、現在中国の大多数の工場ではこの方法によって硫酸ジメチルエステルが生産され

ている。

この場合にDMEを原料とする事が出来れば、DMEが直接SO₃と反応するので、劇毒物質である硫酸水素メチルの生成を避ける事が出来る。このようなプロセスは、国外では既に工業化されている。

現在中国の硫酸ジメチルエステルの生産量は 32×10^3 トン／年である。この原料が完全にDMEに置き換わるならば、それによって約 11×10^3 トン／年のDMEが必要となる。

このほかにも、有機シリカ化合物、酢酸メチル、エチレングリコールジエチルエーテル等の製品の原料としてDMEが使われる可能性が有る。この他、DMEは低カーボンオレフィンの合成にも重要な役割を果たす可能性がある。

3.1.6 潜在需要のまとめ

石炭化学、石油化学、天然ガス化学の分野における技術の進歩と、社会経済の発展、更には人々の環境意識の増強に伴い、DMEは次第に社会の関心を集めつつある。世界中でいろいろな国が積極的にDME及びその関連商品の開発とその応用研究を行っており、DMEの需要量は大幅に増える可能性が高い。前節までに述べたDMEの潜在需要をまとめて表3-1-6に示す。

表 3-1-6 将来 5 年後と 10 年後のDME需要予測

単位：全てDMEへ換算して 10^3 トン／年

年 代 項 目	1999 年	2005 年	2010 年	ノ ー ト
エアゾール（全国）	11	62	100	25%がDMEに代替されると仮定
LPG（全中国）	9,300	15,000	23,500	10%/Yの伸び率を仮定、LPG全てがDMEに代替された場合
LPG（四川省）	210	360	590	他省からの輸入分全てをDMEが代替した場合（省内LPG生産 20,000t/年）
ディーゼル用燃料（全中国）	82,000	92,000	100,000	2%/Yの伸び率を仮定、ディーゼル油全てがDMEに代替された場合
ディーゼルエンジン用燃料（四川省）	2,400	2,600	2,900	2%/Yの伸び率を仮定、四川省のディーゼル油消費のうち 100%がDMEに代替された場合
農村部電力	80	80	80	50kw農村火力の 1,000 個所がDMEに変換を仮定
化学原料（全中国）	110	110	110	硫酸ジメチルエステルの原料がすべてDMEへ変換を仮定

このような現在はほとんど使用されていないエネルギー物質の将来の需要予測にはさまざまな仮定が可能である。逆に言えばさまざまな不可知の要素が残されている。上表にお

いても、ディーゼルの使用量が群を抜いて多く、その代替率を幾らに仮定するかでDMEの需要は大きく変わりうる。いずれにしろ、もしDMEの価格が下がり、LPGやディーゼル油の代替燃料となる事が出来れば、その需要が飛躍的に伸びる事は明らかである。

3.2 中国におけるDMEの生産とその用途

中国におけるDMEの生産は、古くは硫酸ジメチルエステルの生産に伴って生成するDMEを少量抽出し、純度を上げ、DMEを製品として販売していた。これらの多くは 0.05%と言う高いメタノールとその他の不純物を含んでおり、強い匂いを持つ工業用のDMEなので、エアゾールクラスの純度には達していない。DMEの応用の広がりにより、特にエアゾール製品への適用により、中国でもメタノール脱水法にてDMEを生産する工場が出て来ている。統計によると、現在中国でのエアゾール向けDMEの生産能力は 14×10^3 トン／年で、燃料級DMEの生産能力は 50×10^3 トン／年に達しているといわれる。

現在中国でエアゾールクラスのDMEを生産しているメーカーの生産能力、実際生産量、製品クラス、製品価格、用途については表 3-2 を参照のこと。

表 3-2 DME生産者リスト

生産メーカー	原 料	生産能力 (t/a)	実 際 生産量 (t/a)	製品クラス	生産価格 (元／トン)	用途
広東中山ファインケミカル 実業有限公司	ピュアメタノール	5,000	3,500	エアゾール用	4,500	噴霧剤
安徽省蒙城县化工廠	ピュアメタノール	2,500	1,800	エアゾール用	5,000	噴霧剤
義烏市光陽化工実業有限公司	ピュアメタノール	2,500	2,500	エアゾール用	5,000	噴霧剤
呉県合成化工廠	ピュアメタノール	1,000	800	エアゾール用	5,500	噴霧剤
上海申馬化工廠	ピュアメタノール	800	600	エアゾール用	5,500	噴霧剤
成都六菱化工廠	ピュアメタノール	2,000	0	エアゾール用	5,000	噴霧剤
昆山化学原料廠	ピュアメタノール	1,000	600	エアゾール用	5,500	噴霧剤
北京社器恒聡燃料廠	粗メタノール	10,000	0	燃料用	2,000	燃 料
陝西社器恒聡燃料廠	粗メタノール	10,000	0	燃料用	2,000	燃 料
安徽社器恒聡燃料廠	粗メタノール	10,000	0	燃料用	2,000	燃 料
河南社器恒聡燃料廠	粗メタノール	10,000	0	燃料用	2,000	燃 料
遼寧社器恒聡燃料廠	粗メタノール	10,000	0	燃料用	2,000	燃 料
雲南恒聡燃料廠	ピュアメタノール	2,000	2,000	燃料用	2,500	燃 料

以上のメーカーにて生産されている“社器ブランド”のアルコール燃料は、粗メタノールを原料とし、製品中のDMEは僅か 40～50%で有り、燃料DMEクラスの製品要求は到達

出来ず、現在は殆どすべてのメーカーでは生産が中止している。雲南恒聡燃料廠のみはピュアメタノールを原料とし、現在生産が需要に間に合わず、新規に 2,000 トン／年の燃料級DME生産プラントの建設を計画している。広東ファインケミカル実業有限公司は西南化工研究院のメタノール気相分解脱水法でエアゾール用のDMEを生産するプロセスを利用し、現在の 5,000 トン／年の生産能力をベースに、更に 8,000 トン／年の生産装置を建設する予定となっている。

3.3 DME利用発電技術

既に見てきたように天然ガスパイプラインネットワークが主要大都市を結んでいる四川省においては大規模火力発電の燃料としてDMEを利用する可能性は、現時点では少ない。DMEを燃料とした発電は、農村部向けの中小発電のほうが可能性が高い。

近年の環境保全に対する社会的要請の高まりから火力発電においても公害防止対策の強化が進められており、低硫黄燃料の利用や排煙脱硫装置、排煙脱硝装置、電気集塵機、高煙突の採用による排煙対策や、排水処理装置の高度化等による水質保全対策が実施されている。更に地球温暖化防止のために脱炭技術等の研究開発が進められている。

DMEを発電用燃料として採用する場合、石炭火力にとっては深刻な問題となりつつある石炭灰の処理の問題も解決できる。又DMEはクリーンなエネルギーでN・Sが含まれておらず燃料由来の窒素酸化物の発生がなく、硫黄酸化物も発生しないため環境対策設備は軽微ですむ。更に石炭ヤードが必要ないことから立地条件でも非常に有利になる。

DMEを発電燃料として適用できる発電方式はBTG発電の他に、クリーンガスであることからガスタービンにも適用できる。更にセタン価が 55～60 と高く、軽油（40～50）と同程度であり、ディーゼル機関にも適用可能である。

公表はされていないが、米国のあるガスタービン製造業者が、DMEを燃料とした実験を行ったといわれている。その結果、ガスタービンの熱効率ほぼ天然ガスと同等であり、メタノールよりは高かったとされている。

4. DMEプラント

4.1 生産量及び基本条件

4.1.1 DME製造プラントの製造能力

四川省におけるDMEの潜在需要は前章（表 3-1-6）にまとめられている。四川省のエネルギー需給の実態や、ガスパイプラインの整備の点から見て、最も可能性のあるDMEユーザーはLPG代替燃料と考えられる。実際の製造を考える場合、最も参考にすべきはLPGの消費量であろう（DME換算で 210,000 トン／年）。この際、DMEの製造開始と同時に全てのLPGがDMEに変わってゆくとは考えにくく、燃焼装置の変更などにもかなりの時間がかかるものと思われる。その間に、スプレー剤としての需要の伸びも有りうる。

一般的にプラントはその能力が大きいほど経済的である。能力が2倍になっても、プラントのコストは2倍にはならないからである。これをスケールメリットと称する。この点からはプラントの能力は大きいほど良い。しかしこれにも機器によって制限が存在する。機器があまりに大きくなって輸送の制限を越えるようならば、その機器は2つに分割しなければならず、スケールメリットという効果は半減する。又コンプレッサーやポンプなどの回転機によっても制限される。

又、原料となる天然ガスの供給可能な量も問題となる。

このようにプラントの能力を決める際に、考慮しなければならない点が多い。

ここでは、こうした全てを考慮して、その能力を 500 トン／日とし、これをベースにDME製造プラントの概念設計を行った。

この量は年産ではほぼ 165,000 トンに相当し、四川省全体での現在のLPG消費量よりも、少し小さな量となる。又原料の点から云えば、天然ガスの必要量は $0.2 \times 10^9 \text{m}^3$ ／年となり、これは四川省における 2000 年の計画生産量である $10 \times 10^9 \text{m}^3$ ／年の 2%程度となり、現在の生産計画から十分に供給の可能な量であるといえる。

しかし、この規模は又エネルギー生産プラントとしては、スケールの的に小さく、スケールメリットの望めない範囲にある。よって将来的には更に規模を大きくして製品DMEの価格を下げる事が望ましい。この点で、この規模のプラントは、DMEの需要を掘り起こすことをも目的とした初期段階のものであると言える。

4.1.2 基本条件

(1) 原料条件

中国側から提示された 2 つのガスの平均組成とした (50% ずつの混合)。
それらの原料条件を下表に示す。

供給温度 (°C)	20
供給圧力 (Kg/cm ² A)	30
組成 (VOL%)	
CH ₄	93.88
C ₂ H ₆	3.14
C ₃ H ₈	0.81
C ₄ H ₁₀	0.32
C ₅ H ₁₂	0.14
C ₆ H ₁₄	0.07
N ₂	1.30
CO ₂	0.33
H ₂ S	20mg/Nm ³

(2) 製品DME仕様

DME製造量 : 500ton/d

不純物組成 : DME純度 99mol%以上

CO₂ 0.1mol%以下

MeOH 0.4mol%以下

H₂O 0.2mol%以下

4.2 プロセス

本設備のプロセスフローを添付図フローシートに示す。本設備のプロセス工程はプロセスフローの上流から合成ガス製造工程、DME反応工程、DME回収工程、DME精製工程、DME貯蔵の 5 工程に大別できる。この他に用役工程がある。

4.2.1 合成ガス製造工程

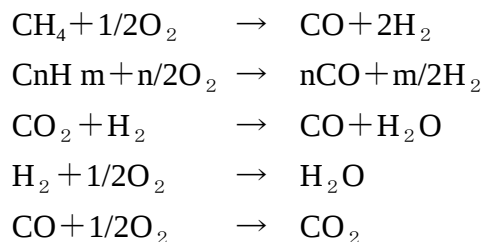
合成ガス製造工程は、原料である天然ガス、純酸素と炭酸ガスの流量調整や予備加熱を行う原料ガス調整設備、原料ガスを合成ガスに変換する合成ガス発生改質炉、高温の合成ガスの熱を利用してスチームを発生する熱回収設備より構成されている。

原料ガス調整設備では、パイプラインから送られる天然ガスを蒸気により加熱し、DME精製工程からリサイクルされる炭酸ガスとを混合し、更に加熱炉 (F-101) によって加熱

した後、合成ガス発生改質炉（R-101）に供給する。

又、深冷式空気分離装置によって得た純酸素ガスも加圧、加熱、流量調整を行って合成ガス発生改質炉に供給される。

合成ガス発生改質炉では、1,000℃強の高温によって、以下の反応でCO及びH₂を発生する。又、同時に水も生成する。

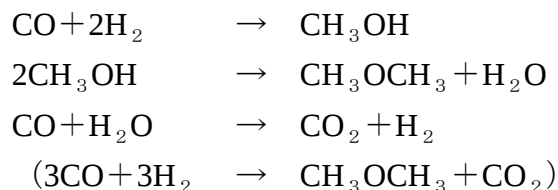


この反応及びCO₂のリサイクルする比率を調整することによって、ほぼCO/H₂=1 の合成ガスが得られる。合成ガス発生改質炉から出た合成ガスは、1,000℃を超える高温なため、熱回収によって高压スチームを製造後、常温まで冷却して凝縮水を除去する。その後、合成ガスコンプレッサー（K-121）で約 52Kg/cm²Aまで昇圧する。

4.2.2 DME反応工程

DME反応工程は、合成ガスを原料として、DMEを反応生成する工程である。

合成ガスはガス／ガス熱交換器（E-201）で 200℃以上まで昇温して、DME反応器（R-201）に供給される。DME反応器内は触媒（固体）及び溶媒（液体）のスラリー相となっており、合成ガスは反応塔下部に設置したノズルより、スラリー内に細かな気泡となって噴出する。合成ガスの気泡はスラリー内を浮上するうちに、触媒の作用を受けて以下の反応により、DMEを合成する。



この反応は温度 250～280℃、圧力 5MPaG程度の条件で行うが、反応は発熱反応であり、この熱を除去し、反応の温度を一定に保つため、反応器内部には伝熱管を挿入し、スチームを発生するようになっている。

DME反応器で反応したガスは、ガス／ガス熱交換器（E-201）で反応器入口ガスの予熱用熱源として使用した後、溶媒クーラー（E-202）で 100℃まで冷却し、反応ガスに伴った気化溶媒を液化分離し、溶媒セパレータ（V-211）で回収する。回収した溶媒は、溶媒リサイクルポンプ（P-211）でDME反応器へ戻す。

4.2.3 DME分離工程

反応ガスはその後、ガスクーラー（E-211、E-212）で 40℃まで冷却してメタノール、水の大部分と一部のDMEを液化し、それをメタノールセパレータ（V-212）で分離する。分離した液は、DME精製工程へ送られる。又メタノールセパレータを出たガスは低温のガス及び冷媒によってチラー（E-213）でマイナス（－）40℃近くまで冷却し、ガス中のDMEの大部分を液化してDMEセパレータ（V-213）で回収する。液化したDMEは、DME精製工程へ送られる。DMEセパレータを出たガス（リサイクルガス）はE-213 でその冷熱を回収した後、リサイクルガスコンプレッサー（K-221）で加圧し、DME反応器にリサイクルし、合成ガスと合流する。

4.2.4 DME精製工程

DME反応工程で生成した反応ガスには目的生成物であるDME以外にも未反応残留物である一酸化炭素、水素、DME生成反応と同時に生じる二酸化炭素、副反応生成物のメタン、反応中間物質であるメタノール、又反応器より同伴される若干の溶媒等が含まれる。この工程は反応生成物を蒸留することによって、これら不純物を取り除き、高純度のDMEを精製することを目的とする。

DME反応工程で合成、液化されたDMEは（C-301）へ供給する。CO₂ストリッパーでは蒸留操作によりDMEより軽い水素、一酸化炭素、CO₂、メタン等の低沸成分を分離除去する。塔頂にはCO₂コンデンサー（E-301）、CO₂リフラックスドラム（V-301）、CO₂リフラックスポンプ（P-301）を、又塔底にはCO₂リボイラー（E-302）を設置しており、不純物中の一酸化炭素、水素、メタン及び二酸化炭素はほぼ完全に塔頂より分離排出する。塔底にはDME、メタノール、溶媒、水等が残る。この塔底生成物はその後、DME精製塔（C-311）へ送り、DMEより重たい成分を塔底より分離除去する。塔頂にはDMEコンデンサー（E-311）、DMEリフラックスドラム（V-311）、DMEリフラックスポンプ（P-311）を、又塔底にはDMEリボイラー（E-312）を設置している。DME精製塔塔頂では、純度 99%以上のDMEが液として得られる。

塔底に残ったメタノール、水等は、更にメタノール精製塔に（C-321）に送られる。塔頂にはメタノールコンデンサー（E-321）、メタノールリフラックスドラム（V-321）、メタノールリフラックスポンプ（P-321）を、塔底にはメタノールリボイラー（E-322）を設置している。メタノール精製塔塔頂では、純度 99%以上のメタノールが液として得られるが、これは、メタノールリサイクルポンプ（P-322）で加圧し、R-201（DME反応器）に戻し、DMEに再度転換することによりメタノールの排出を防いでいる。

4.2.5 DME貯蔵

DME精製塔（C-311）塔頂で得られたDMEは、DMEクーラ（E-313）で約 40℃に冷却された後、DME貯蔵に送られる。本計画ではDME貯蔵設備として 6,000m³ の球形タンク 2

基を設けることとしている。これは1基当たりほぼ1週間分の生産量に相当する。貯蔵したDMEは払い出しポンプで加圧され、貨車に積み込まれる。

4.3 物質収支／熱収支

DME製造プラントの入口及び出口の物質収支を添付図 4-1-1 と 4-1-2 に示す。

4.4 プラント候補地

中国側から示されたプラント候補地は、綿陽市に2ヶ所、江油市、徳陽市にそれぞれ1ヶ所の計4ヶ所である。原料ガスのパイプライン、製品運び出しの鉄道ターミナル、道路へのアクセス、電気と水の供給などの点につき、いずれの場所にも大きな問題はなく、基本的にはどの土地でも可能と考えられる。プロジェクトがより具体化した段階で、現地側の意向も取り入れた上で決定すれば良い。

4.5 建設コスト

建設コストの算出には中国側の調査結果である、中国における製缶物（压力容器、多管式熱交換器、タンクなど）と現場労働力の値段とが考慮されている。又詳細設計の一部も中国にて行うこととし、日本国内に建設する場合よりも割安となっている。全ての基本設計と残りの詳細設計、更にはプロジェクトのマネジメントコストが、日本ベースとなっている。今後これらの一部をも中国に取り入れることによって、更なるコストダウンの可能性はある。

4.6 輸送と貯蔵

四川省でのLPG消費量は約 150×10^3 トン／年であり、うち 130×10^3 トン／年が外部の省から鉄道によって輸送されている。このLPGは11ヶ所のLPGタンクステーションにて荷下ろしされ、更にそこから40ヶ所のボトリングステーションまでローリーによって運ばれている。

このプロジェクトで考えているDMEの生産量は500トン／日、年間では 165×10^3 トンに当たり、これはほぼ現在のLPG消費量には若干下回っているだけの値である。従いDMEの輸送と貯蔵にも、現在のLPGの流通システムを利用するのが最も合理的と考えられる。

すなわちDMEの消費量の増加にしたがって、現在LPGの貯蔵に用いられているタンクを順次DMEに切り替えて行くのである。なおLPGとDMEの混合を避ける為、配管と充填設備の増設は必要である。

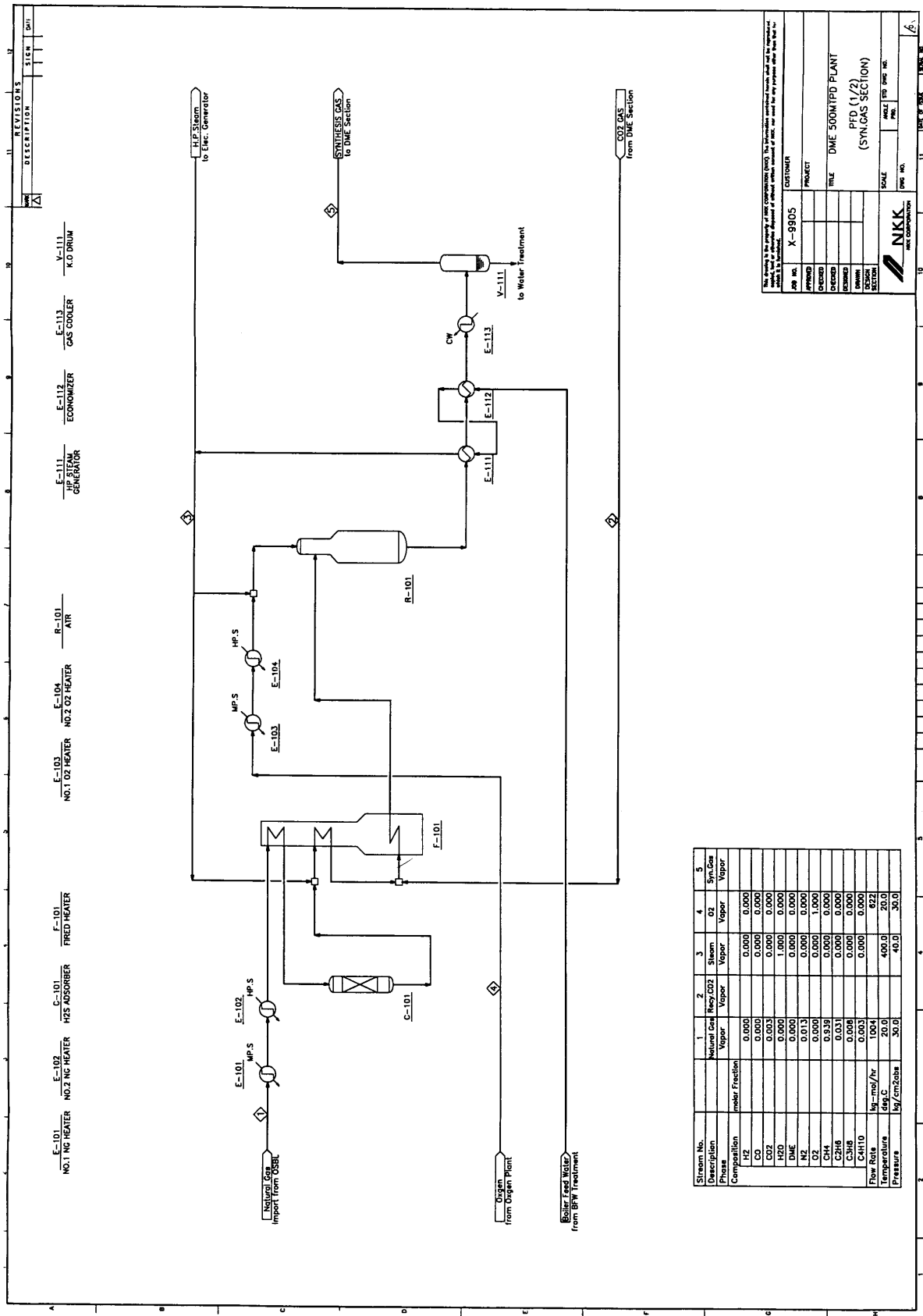
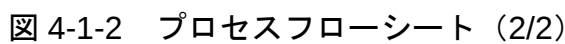


図 4-1-1 プロセスフローシート (1/2)



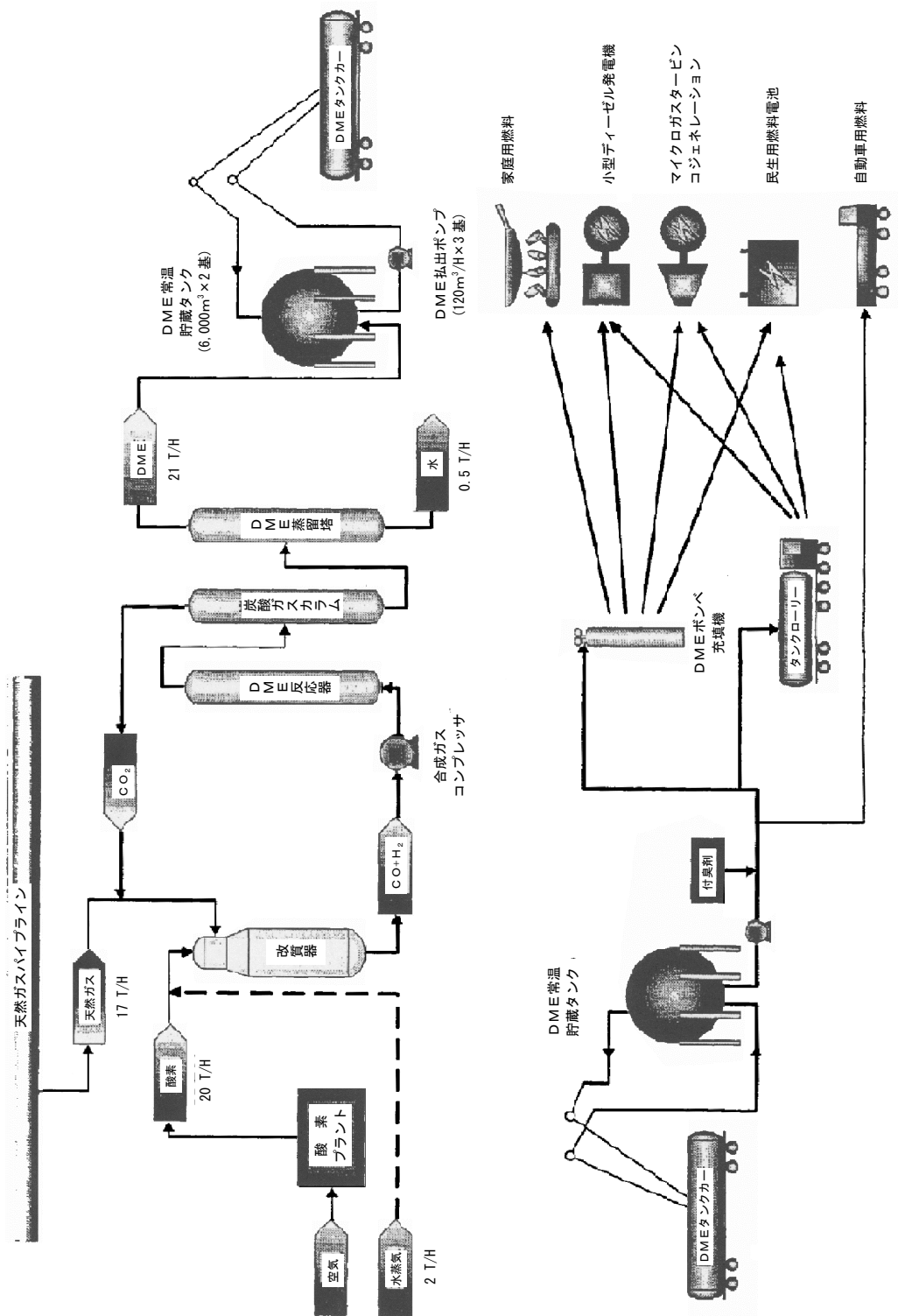


図 4-6 製品DMEの貯蔵と輸送の概念図

5. 環境問題

本省ではまず中国及び四川省における大気汚染の実態を概観する。次にエネルギーの主な使用先について、問題点とDME代替による効果について述べる。

5.1 大気汚染

既に見てきたように全中国の 1 次エネルギーの 80%近くが石炭によって供給されており、この事情は四川省においても変わりはない。次表に示すように、1995 年に全中国では、粉塵（粒径 100 ミクロン以下の浮遊粒子状物質）が約 20×10^6 トン、煤塵（粒径 30 ミクロン以上、沈降速度 1cm/s以上の煤など）が 18×10^6 トン、二酸化硫黄が 19×10^6 トン、窒素酸化物が 6×10^6 トン排出されている。これらの内、二酸化硫黄の 92%、粉塵の 76%が石炭の燃焼によるものとされている。⁴⁾

表 5-1-1

	1989 年		1995 年					
	排 気		粉 塵		煤 塵		二酸化硫黄	
	10^{12}m^3	%	10^6t	%	10^6t	%	10^6t	%
全国鉱工業企業合計	10.0	100	19.97	100	18.38	100	19.45	100
県以上鉱工業企業	8.32	83.1	6.39	32	8.45	46	13.96	71.8
郷鎮鉱工業企業	1.69	16.9	13.58	68	9.93	54	5.49	28.2

小規模な郷鎮企業による排出が大半を占めていることが注目され、この小規模企業による排出割合は近年増加し続ける傾向にある。

これらの汚染物質による大気の実際の汚染状況を見てみる。

粉塵については、都市居住地域の基準値 ($0.3\text{mg}/\text{m}^3$) の達成率は 54.5%にとどまっている。煤塵についても中国の平均値は 1997 年で、 $15.3\text{t}/\text{km}^2\text{M}$ であり、これは日本の平均値 ($3.8\text{t}/\text{km}^2\text{M}$) の約 4 倍となっている。

二酸化硫黄は酸性雨の主な原因物質であるが、都市部の年平均濃度は 1997 年で $0.066\text{mg}/\text{m}^3$ といわれ、2 級基準 ($0.06\text{mg}/\text{m}^3$) の達成率は 51.1%に過ぎない。これに対し日本では年平均濃度が $0.021\text{mg}/\text{m}^3$ 、基準達成率が 99.7%と、中国の深刻な事態が容易に見て取ることが出来る。

窒素酸化物については、中国における 1997 年の年平均濃度が $0.045\text{mg}/\text{m}^3$ 、2 級基準 ($0.050\text{mg}/\text{m}^3$) の達成率が 63.8%となっている。日本の場合では、1996 年時にて年平均が $0.057\text{mg}/\text{m}^3$ 、基準達成率は 97.5%となっている。平均濃度を単純に比較すると、中国の現状は日本ほど深刻ではないではない様に見える。しかし、自動車の保有台数は、中国の 11×10^6 台に対して日本が 69×10^6 台である。人口ベースでは中国の自動車の普及率が

僅か 0.9%なのに対して、日本は 54.5%に達している。今後の自動車の増加に伴う窒素酸化物汚染は中国のほうが明らかに深刻である。⁴⁾

又酸性雨について見てみると、1985 年に既に国土面積の 18%に相当する 175 万km² の範囲で確認され、それが 1993 年にはその汚染面積は国土の 29%、280 万km² まで拡大しているのである。更に、1990 年代後半になるとその汚染は国土の 40%にまで及んでいるといわれる。⁴⁾ このように中国全土における大気汚染は既に容易ならざる事態となっているのである。

北京市の統計ではガンによる死亡が、死因の第 2 位に浮上しているが、その最大の比率を占めるのが大気汚染に起因した肺ガンだといわれている。³⁾

5.2 火力発電

火力発電の主力は石炭火力であることは既に述べた。ここで特筆すべきは石炭の硫黄含有率と発電の効率の問題である。

石炭の硫黄含有率は全国平均で 1.15%程度とされている。これに対し、中国産原油では 0.3%、更に潜在的な代替燃料である DME には硫黄は全く含まれない。石炭火力が硫黄酸化物の主要な排出源であることは明らかである。石炭火力を原油や DME に変換すれば、それだけ硫黄酸化物の排出が減ることになる。

中国における石炭火力の効率は 1995 年において 28%程度である。⁴⁾ 日本より 10%近くも低い。石炭を代替燃料である DME に変更し、高効率なガスタービン利用のコンバインドサイクルを適用し発電効率を 50%にまで上げることが出来れば、燃料消費量そのものをも減少させることが出来るのである。

5.3 民生用エネルギー

国家統計局によると民生用に使われる全エネルギーは 140×10^6 トン（石油換算）であり、これは全 1 次エネルギーの 13.5%を占める。そのうち石炭が 76%を占めており、しかもその 95%が原炭のまま使われている。⁴⁾

又 IEA 統計によると家庭部門におけるエネルギー消費は 300×10^6 トンであり、そのうち非商品エネルギー（薪、藁など）が 200×10^6 トンを占めるという。

このように民生用に使用される石炭も巨大な量となる（石油換算で 100×10^6 トン、石炭量では 140×10^6 トン）。そして石炭の硫黄含有量 1.15%を考え合わせれば、民生用石炭からの硫黄酸化物の排出も巨大な量であることが容易に理解される。これらを DME で代替できれば、硫黄酸化物の排出は全く無くなるのである。

5.4 交通燃料

自動車の保有台数は、5.1 節に述べたように中国の 11×10^6 台に対して日本が 69×10^6 台である。人口ベースでは中国の自動車の普及率が僅か 0.9%なのに対して、日本は 54.5%

に達している。それでいて、現状の大気中の窒素酸化物濃度は中国と日本でほぼ同等の値を示しているのである。今後の自動車の増加に伴う窒素酸化物汚染は中国のほうが明らかに深刻である。⁴⁾

ディーゼルエンジンの燃料にDMEを使用した場合の研究によれば、排ガス中の黒煙、NO_x共に大幅に軽減されることが解っている。そのデータを次図に示す。横軸は回転数一定での、パワーの変化を示す。排ガス中の黒煙は検地限界よりも下回り、NO_xの排出も20%以上改善している事が分かる。⁶⁾ このように、ディーゼルオイルの替わりに、DMEが使用されるようになれば、それが環境汚染にもたらす効果も明らかである。

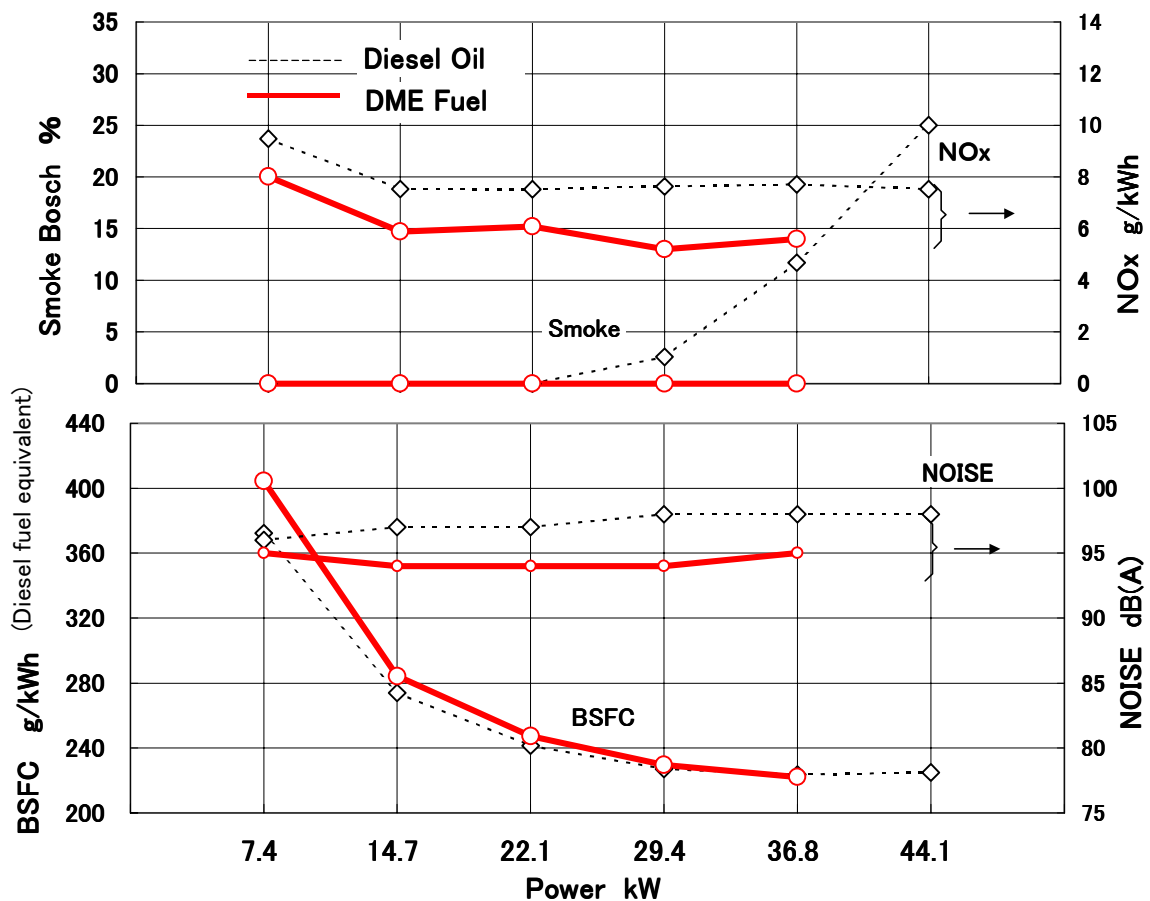


図 5-4 A comparison of the Performance for DME and Diesel fuel at Engine speed 2000 rpm

6. 経済評価

6.1 プロジェクト実施計画

本事業に関して、プロジェクト実施計画を下記の通り想定するものとする。

6.1.1 プラント建設計画

プラント建設は、これまでの試験プラントの建設の実績及び中国国内でのプラント建設実績の経験を踏まえ下記のスケジュールで進むものとする。

年 度	建設進捗率 (進捗率合計)
初年度	20% (20%)
2 年目	30% (50%)
*3 年目	50% (100%)

*3 年目：プラント建設は、建設開始からプラントコミッショニング終了まで 30 ヶ月で終了するものとする。

6.1.2 生産計画

下記はプラント操業開始以降の年度別プラント稼働率、生産量である。

年 度	稼働率 (操業日数)	生産量 (T/Y)
初年度	80% (264 日)	132,000
1 年目	90% (297 日)	148,500
2 年目	100% (330 日)	165,000

2 年目以降は稼働率 100%（操業日数 330 日）で操業するものとする。

6.1.3 所要人員計画

プラント運転は 4 直 3 交替制で行われ、1 直 10 名で行うものし、それ以外に工場管理者、プラントメンテナンス要員等 60 人を仮定し、合計 100 名がプラント運営に従事するものとする。

6.1.4 運転訓練計画

プラント運転要員、メンテナンス要員はプラント試運転期間にコントラクターがスーパーバイザーを派遣して行うものとし、他のプラントでの訓練は行わないものとする。

6.2 必要資金

本事業に関して必要資金を下記の通り想定するものとする。

6.2.1 算出の基本条件

- ー プラント建設費は調査時点の 1999 年 12 月の価格である。調査時点からプロジェクト開始時期までプラント建設費のエスカレーションは考慮しない。
- ー 基準通貨はUS\$で、主要通貨の交換利率は以下の通りである。

$$1\text{US\$} = 8.2795\text{RMB (Bank of America, 1999 年 12 月 31 日付)}$$

$$= 102.1 \text{ 円 (Bank of America, 1999 年 12 月 31 日付)}$$
 又、円建てを基本とし、為替の変動は考慮しないものとする。
- ー プラント建設費同様、販売単価・原料費・人件費・修繕費その他の固定費、変動費についてはエスカレーションを考慮しないものとする。

6.2.2 プラント建設費

プラント建設費は以下の通りである。

	項 目	建設費（百万円）
1)	エンジニアリングフィー	739
2)	機器・材料費（輸送費を含む）	7,554
3)	工事費（現場監督費を含む）	2,105
4)	その他	618
	合 計	11,016

原料供給用のパイプラインは原料の供給者が敷設するものとし、この費用は含まれていない。

製品販売に関しても、購入者が工場で買い付けを行うものと仮定し、製品輸送用のパイプライン、タンクローリー等に費用は含まないものとする。

*その他：その他の費用の中には建中期間のアドミニストレーションコストが含まれるものとする。

6.2.3 土地代

プラント施設に必要なおよそ 60,000m² の土地代は 1m² 当たり 152 人民元の土地価格を基準とし、112,105 千円とする。尚、建設開始年度で一括支払いとする。

6.2.4 操業前費用／初期運転費用

操業前のプラントオペレーションに関するトレーニング、試運転費用、触媒の在庫等を含めプラントコストの 3% (330 百万円) を考慮するものとする。

6.2.5 長期借入金借入条件

長期借入金に関しては、下記 2 つのケースを考えるものとする。

CASE.1 日本国際協力銀行の環境特別円借款

金利率	:	年率 0.75%
元本返済猶予期間	:	操業開始後 10 年間
元本返済スケジュール	:	半年賦 60 回 30 年払い (均等返済)

CASE.2 日本国際協力銀行の輸出金融

金利率	:	年率 2.2%
元本返済猶予期間	:	操業開始後半年
元本返済スケジュール	:	半年賦 20 回 10 年払い (均等返済)

6.2.6 資本金比率

総所要資金のうち約 70%を長期借入金にて賄い、残り約 30%を資本金にて賄う。借入条件によって下記の通り借入額が異なる。

(単位：百万円)

CASE.1	環境特別円借款	CASE.2	輸出金融
借入金	8,100	借入金	8,300
資本金	3,471	資本金	3,626
	11,571		11,926

6.2.7 総所要資金

長期借入金種類別の総所要資金の内訳は下記の通り。

(単位：百万円)

CASE.1	環境特別円借款	CASE.2	輸出金融
プラント建設費	11,016	プラント建設費	11,016
建中金利	72	建中金利	219
初期運転資金	330	初期運転資金	330
合 計	11,418	合 計	11,565

(土地代を除く)

6.3 財務評価

財務評価を行うに当たり下記を前提条件とし仮定するものとする。

6.3.1 プロジェクトの期間

契約締結から操業開始までの期間	30 ヶ月
プロジェクトライフ	操業開始後 20 年

6.3.2 原料価格

原料の天然ガスの価格は、供給先の四川石油管理局との交渉の結果、現状 9.04 円/m³ (0.733RMB/m³) が最低価格とのことでこの価格を用いることとした。

6.3.3 生産計画／製品販売価格

製品DMEの販売価格はプロジェクトの経済性分析において、最も重要な項目の一つである。ここではLPGの現状の小売値が 3,000RMB/tonであることから、それと発熱量当たりではほぼ同等な価格である 2,000RMB/tonとした。

生産計画：6.2 項参照

製品販売価格：24,663 円/ton (2,000RMB)

6.3.4 中国国内税金の前提条件

法人所得税

現行の中国法人所得税率の 33%を適用するものとする。

付加価値税（増値税）

現行の中国国内の増値税税率は 17%であり、原料の天然ガスには 14%、触媒には 17%の増値税が掛かるものとする。

固定資産投資調整税

本件は天然ガス有効利用の案件であり免税となることが予想される為、考慮しないものとする。

教育付加税

課税率は営業税の 3%であるが、本案件はサービス業に範疇ではなく営業税が発生しない。よって本案件においては考慮しないものとする。

三項基金（奨励福利基金、準備基金、企業発展基金）

国内企業向けに対する既定はないが、一般的な状況として、税引き後利益の 5%を三項基金として内部留保するものとする。

6.3.5 輸入関税

本プロジェクトに必要な輸入機器・材料、エンジニアリング等は輸入免税の措置が受けられるものとする。

プラント運転に必要な、触媒に関しては 12%の輸入関税が課せられるものとする。

6.3.6 貿易保険料の前提条件

6.2.2 項のプラント建設費には、プラントコントラクターに必要な貿易保険に関する費用は含まれていない。貿易保険料に関しては、これまでの経験から下記の通り設定するものとする。

CASE.1 環境特別円借款を使用した場合

借入金の 0.5%

CASE.1 輸出金融（サプライアーズ クレジット）

借入金の 3%

6.3.7 減価償却

14 年定額償却とした。

6.3.8 運転資金

売 掛 金 : DME販売に対し、現金回収期間を 30 日とした。

買 掛 金 : 天然ガスの購入に対し、ユーザンスを 60 日とした。

製 品 在 庫 : 考慮しないものとする。

原材料在庫 : 触媒年間消費量の 1 年分。

6.3.9 資金計画

6.2.4 項及び 6.2.5 項の内容を前提とした。

6.4 運転費用

プラント 100%操業時の変動費、固定費は下記の通り。

6.4.1 変動費

製品トン当たりの製造原価における変動費は下記の通り。

項 目	原単位 (t-DME)	単 価 (円)	関税込み (円)	金 額 (百万円／年)
原料天然ガス (Nm ³)	1,080	9.04	9.04	1,610
燃料天然ガス (Nm ³)	28.8	9.04	9.04	42
触 媒 (ton)	—	2,500,000	3,276,000	131
水 (m ³)	8.64	17.88	17.88	25
合 計	—	—	—	1,808

必要な電力に関しては、プロセス中の反応熱を廃熱回収ボイラーで回収し、少量の燃料ガスとタービンを回し発電する予定で、電力の購入は必要ない。

6.4.2 固定費

原価償却費 : 6.3.7 項参照

人 件 費 : 所要人員計画に関しては 6.1.3 項参照。

単価に関しては、中国の一般的な状況を考慮し 40 万円／人・年とした。又、福利厚生を含む。

アドミニストレーションコスト:

施設管理塔のメンテナンス、リーガルコストや会計事務所との契約等、プラントの運営管理に係るコストを考慮し、毎年 60 百万円とする。

修 繕 費 : プラント生産開始後 1 年間はプラント建設費のうちの機器・材料費の 5%を、その後は 2%を基準費用とした。

6.4.3 財務諸表（環境特別円借款・輸出金融の 2 ケース）

損益計算書 : 9-1 項参照

資 金 繰 上 表 : 9-2 項参照

貸借対照表 : 9-3 項参照

6.4.4 内部収益率

- IRROI (IRR on Investment : 投下資金内部収益率)

IRROIとは、投下資本の全てを自己資本金で賄うと想定した場合の内部収益率のことであり、借入金等の条件等をすべて除外したプロジェクト本来の収益性を示す財務指標である。

- IRROE (IRR on Equity : 自己資金内部収益率)

IRROEとは、資本金に対する内部収益率のことであり、借入金を除いた資本金のみ

の収益性を示す財務指標のことである。

6.4.4.1 税後総資金内部収益率（ROI）

（単位：％）

	環境特別円借	輸出金融
ROI	11.2	11.0

6.4.4.2 税後自己資金内部収益率（ROE）

（単位：％）

	環境特別円借	輸出金融
ROE	33.5	18.6

6.4.5 主要財務指標

6.4.5.1 Debt Service Coverage Ratio（DSCR）

ローンライフDSCR

環境特別円借の場合 ： 1.76

輸出金融の場合 ： 1.77

ローンライフDSCRは、ローンライフに生み出したDebt Service前のCash FlowをローンライフにおけるTotal Debt Serviceで割った数値。

6.4.5.2 感度分析

(1) 製品価格

ベースケース ： 2000RMB/T

CASE.1 特別環境円借款の場合

	前提価格 (RMB/T)	ROE	ROI
10%上昇	2,200	38.0	13.4
ベースケース	2,000	33.5	11.2
10%下降	1,800	28.6	8.8

CASE.2 輸出金融の場合

	前提価格 (RMB/T)	ROE
10%上昇	2,200	23.1
ベースケース	2,000	18.6
10%下降	1,800	13.8

(2) 原料価格

ベースケース : 0.733RMB/m³

CASE.1 特別環境円借款の場合

	前提価格 (RMB/m ³)	ROE	ROI
ベースケース	0.733	33.5	11.2
10%下降	0.659	35.3	12.1
20%下降	0.528	38.4	13.6
30%下降	0.369	41.9	15.4
40%下降	0.222	44.9	16.9

CASE.2 輸出金融の場合

	前提価格 (RMB/m ³)	ROE
ベースケース	0.733	18.6
10%下降	0.659	20.4
20%下降	0.528	23.6
30%下降	0.369	27.2
40%下降	0.222	30.5

(3) プラントコスト

ベースケース : 11,016 百万円

CASE.1 特別環境円借款の場合

	前提価格 (百万円)	ROE	ROI
10%上昇	12,117	31.3	10.1
ベースケース	11,016	33.5	11.2
10%下降	9,914	36.1	12.4

CASE.2 輸出金融の場合

	前提価格 (百万円)	ROE
10%上昇	12,117	16.5
ベースケース	11,016	18.6
10%下降	9,914	21.2

感度分析グラフ : 9-4 項 感度分析グラフ参照

6.5 総合評価

6.5.1 税後総資金内部収益率

6.4.4.1 項に示すように税後総資金内部収益率は、基本的に総投資資本に対する収益性をその資金手当て方法の影響がない状態で評価する手法である。

従って原則として金利の違いによる影響を受けないものであるが、環境特別円借款、及び制度金融の両方の場合で 10%を若干越えた数字であり、有望なプロジェクトということが言える。又、資金繰表を見ても両ケース共に資金不足が起こることはないが、環境への貢献度が考慮されるとすれば、特別環境円借の適用が望ましい。

6.5.2 税後自己資金内部収益率

6.4.4.2 項に示すように、環境特別円借の条件下では高い数字を示しており、本案件における自己資本投下に対しては十分な収益を生み出すことを示唆している。

6.5.3 感度分析

製品価格、原料価格、プラントコストで見た場合、製品価格の変化の内部収益率に対する影響が一番大きく、今後プロジェクトを実現する上ではマーケットの調査が最重要課題になると思われる。

7. 課 題

7.1 経済的課題

第 2.7 節にて述べたように四川省天然ガスの値段は発熱量 (LHV) 8,200Kcal/Nm³ で 0.733 元/Nm³ である。このガス価格は 1.1¥/Mcal、2.7\$/MMBTU に相当し (1 元=12.3¥、1\$=102.1¥ と仮定)、国際的に見ても原料としては極めて高価なものと言える。この値段は中国政府により、一元的に決められているもので、実際にかかるコストと言うよりは、国有企業としての構造的な問題をも含んだ政策的な値段であろう。

これに対し、中近東の井戸元などでは 0.5 から 1\$/MMBTU 程度といった極めて安価なガスを利用してメタノールを製造しており、そのメタノールから脱水反応で DME を製造した場合と比べれば、本プロジェクトが上のガス価格では採算性に困難を生じるのも当然であろう。

プラントのコストダウンへの努力は今後とも進められなければならないが、それにも限界がある。

ここで考えなければならないのは、エネルギーの現地生産という観点である。原油又は LPG やディーゼルオイルといった石油製品を輸入することと、現地で入手可能な原料である天然ガスからそれらの代替エネルギーを製造することをどのように評価するのか、という問題である。又環境保護政策も中国にとっては最も重要な問題であろう。

これらの点から、DME 製造への優遇策が採用されて当然と考える。具体的には、原料ガスの値下げと燃料としての利用に際しての税軽減などの優遇策である。経済検討に際して、原料ガスの値段をいろいろに仮定したのも、こうした優遇策を想定してのことである。又行政側からの DME 優先使用に対する行政指導や奨励策も強く望まれる。

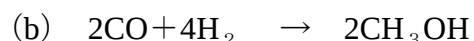
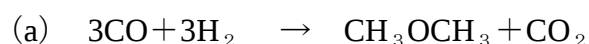
7.2 技術的課題

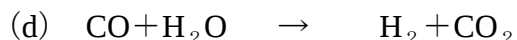
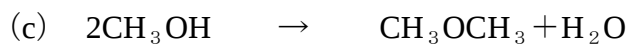
5 トン/日の生産能力を持つ釐路の DME 製造プラントは 1999 年夏より順調な運転を開始し、DME の生産に成功した。この実績を踏まえて、今後の更なる大規模化への技術的課題について述べる。

主な論点は反応器、触媒、合成ガス炉、更に利用技術の展開といった問題である。

7.2.1 反応器

合成ガスから直接 DME を合成する反応は、(a) 3 分子の一酸化炭素と 3 分子の水素が反応して、1 分子ずつの DME (CH₃OCH₃) と二酸化炭素を生成する。この反応は、(b) 原料の一酸化炭素と水素からのメタノール合成反応、(c) 生成したメタノール 2 分子から DME が生成する脱水反応、(d) 一酸化炭素と水から水素を生成するシフト反応の 3 つから成り立つ総括反応である。





合成ガスからのDME合成の研究が行われるようになったのは、1980 年前後からで、ガソリン合成の中間ステップとしてであり、いずれもメタノール合成触媒と脱水触媒を混合した固定床を用いていた。国内においても、新燃料油研究組合の研究テーマの 1 つとして研究が行われてきた。

この反応は発熱反応であり、DME生産量 1kg 当り 1,280kcal というかなり大きな発熱量をどのようにして反応器から除去するかという問題がある。一方、DME直接合成触媒は安定な反応温度以上の高温にさらされると、徐々にその性能が低下するという性質を有する。したがって、DME直接合成反応では反応熱を効率良く除去し、反応器の温度を安定に制御することが重要なのである。

本プロセスではDME合成の反応器に、スラリー反応床を採用し、脱水触媒にシフト機能を追加していることが基本的特徴である。スラリー床の最大の特徴は温度を均一に保つことが容易で、局所的なホットスポット（高温度域）による触媒の劣化を防ぐことが出来る点にある。又運転中でも触媒の交換が可能というメリットもある。

逆にそのデメリットは反応槽としての容積が、固定床などと比べて大きくなることである。

このように本質的なメリット、デメリットはあるが、スラリー床反応器のスケールアップは工学的にも確立されており、その面ではさしたる問題はない。工学的に重要なのは反応器の大きさによって必然的に熱除去の形式が変わってくることである。スラリーの流動を阻害すること無く、ホットスポットを発生させず、そして良好に反応熱を除去できるものでなければならない。反応器の径によって、コイル式、多管式、管挿入式、ジャケット式など各種が考えられるが、この最適な形式についていまだ結論は得られていない。

スケールメリットを目指した、大型化の過程での研究課題の 1 つである。

7.2.2 触媒寿命

技術開発のポイントを新触媒の開発と新触媒が安定してその性能を発揮できるスラリー床反応器技術を開発することにより、1989 年より東京大学工学部藤元薫教授と共同で合成ガスからのDME合成の研究を行ってきた。ここで得られた成果を元にDME直接合成技術の核である合成反応部分の技術開発のため、DME生産量 50kg/日のベンチプラントを1995年に製作し、研究を進めた。その結果、次のような良好な結果が得られた。

① 260℃、5MPaの条件で 50%を超える 1 パス反応転化率が得られた。

② 非常に高いDMEの選択性が得られる目処がついた。

実験では、DMEの選択性は約 90%、メタノールが残り 10%で、副生成物のメタンの生成はごくわずかであった。メタノールはDME合成反応過程の反応中間体

であるので反応器に戻せば最終的にDMEに転換される。

- ③ 約 1,000 時間の触媒寿命実験により、触媒の初期性能低下は特に問題ないことが確認出来た。

こうした優れた触媒の開発に成功したが、その触媒寿命についての研究は充分とは言えず、今後の商業化とプラントの大型化の過程における課題の一つである。なお本件は平成 12 年度釧路大型ベンチプラントの運転計画には既に盛り込まれている。

下に 50kg/日のベンチプラントで得られた反応率の経時変化を示す。1,000 時間連続運転後の活性低下が約 10%となっている。

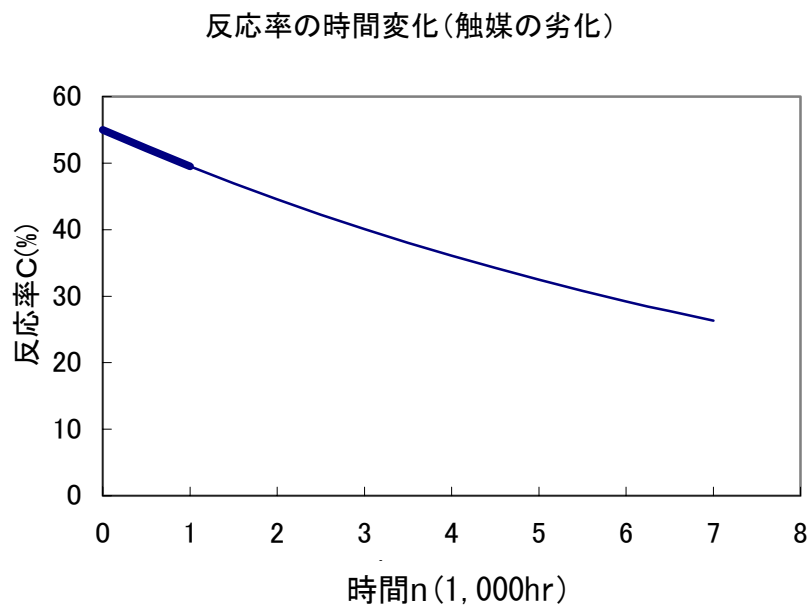


図 7-2-2 反応率の経時変化

7.2.3 燃料用DMEのスペック

DMEを燃料として商業的に利用した例は中国山西省及び陝西省に若干あるのみで、世界的にも極めて希である。従って、燃料としてのDMEの仕様（スペック）にも明確な規定は存在しない。ディーゼルエンジン燃料としての規格、LPG代替燃料としての規格、など新しい燃料としてのDMEの規格整備が是非とも必要である。

7.2.4 合成ガス炉

大規模なDME生産が実用化される場合、その原料は石炭、炭層メタン、あるいは天然ガスなどである。図 7-2-4 にそのブロックフローを示す。

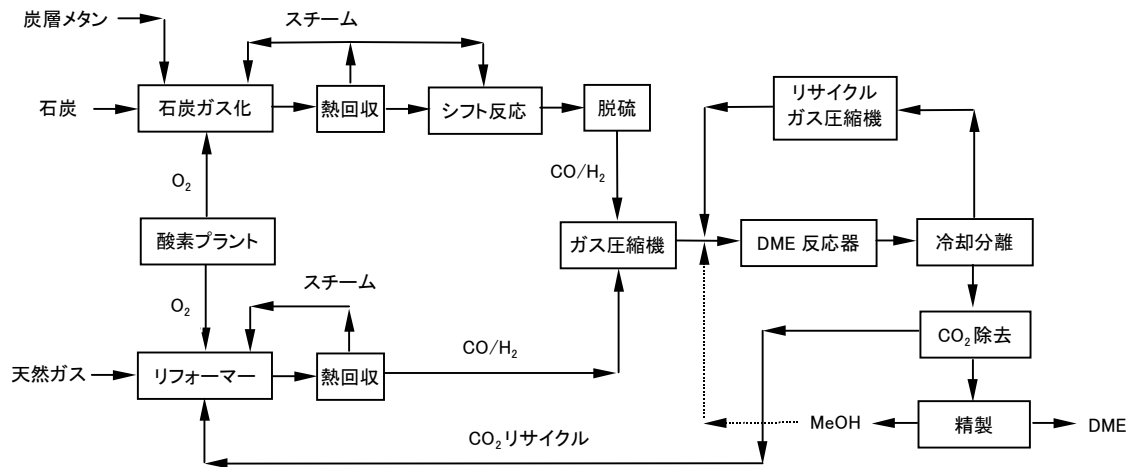


図 7-2-4 DME商業プラントのフロー

石炭原料の場合はまず石炭をガス化し、シフト反応によって石炭ガス化ガス中の一酸化炭素と水素の比率をほぼ同一にした後、レクチゾールプロセスなどによって硫黄成分と二酸化炭素を除去する。DMEの製造工程後は蒸留によって製品分離するとともに、必要によって高純度のDMEを精製する。副生するメタノールは反応器にリサイクルしてDMEに転換しても良いし、製品の一つとして精製しても良い。石炭ガス化の熱回収で得られる高圧スチームは、主に石炭ガス化、シフト反応等のプロセスと回転機動力に使用する。DME反応器で得られる低圧スチームは、主に蒸留などの熱源に使用する。

天然ガスが原料の場合では、DME直接合成過程で副生する二酸化炭素の全量を炭素源として再利用し、メタンをリフォーミングする。このリフォーミングで、一酸化炭素と水素の量がほぼ等しい反応原料ガスを製造することができる。その後のプロセスの流れは石炭原料の場合と同じであるが、天然ガス原料の場合は、DME製造プラントにおいて副生成物として二酸化炭素の排出がほとんどないシステムとすることが出来る。

このようにDME製造は天然ガス、石炭、炭層メタンなど、多様な原料を用いることが出来る。

原料がどの場合であっても、DME合成には一酸化炭素と水素の量が1:1となるリフォーマーが必要であり、これには部分酸化法が適用され、しかも酸素消費量は一酸化炭素と水素の比が1:2のメタノール合成よりも大きくなる。このことは、相対的にリフォーマーが割高になり易い傾向となる。又炭素析出の問題も考えられる。

これに対し成熟技術であるスチームリフォーミングにはこうした不安要素は少ない。しかしスチームリフォーミングを採用した場合は一酸化炭素と水素の比が1:3となり、この余剰水素を使用できる可能性は少なく、上の問題点は解決されることが必要である。

又、中国四川省では既に見てきたように天然ガスを原料とした肥料プラントが多数存在

している。このリフォーマーを利用出来る可能性も高いが、この際スチームリフォーマーをどのようにしたら部分酸化リフォーマーに修正できるか、という技術的問題も残っている。

しかしこれらの問題点を含みながらも、新しいDME合成法は、メタノール合成と比較すると、1 パスでの転化率が高いためリサイクルガス量、パージガス量が少なくなり、全体でのエネルギー消費量が少なくなっている。プラント設備費もメタノール合成に対し、10%程度低くなると推定される。

7.2.5 利用技術の開発と展開

既に述べた様に、現状ではDMEのエネルギーとしてのユーザーはほとんど存在していない。LPG代替、ディーゼル代替、発電燃料、そして燃料電池の燃料といったそれぞれの利用方法に対して、利用技術についての問題点も開発される必要がある。

LPG代替としてはまず家庭用コンロの開発があるが、NKK及び山西省煤炭化学研究所の実験では、天然ガス用のコンロで良好な燃焼状態が得られており、特別な技術的問題は考えられない。

ディーゼル代替においても、NKKは市販のディーゼルエンジンを用い貯蔵タンクと、噴射系統の改良だけで、エンジンそのものには全く手を加えることなく、その走行試験に成功している。⁶⁾ 又、陝西省西安の交通大学の研究では、各種のパラメータの修正により、ディーゼル油よりも高い熱効率のエンジンを実現している。いずれの実験でも排気ガスの汚染は大幅に改善されている。DME専用市販エンジンの開発にはまだ時間がかかろうが、それ以前に既存ディーゼル車の簡単な改良によってDME車が普及されて行くと考えられる。この点においても、特別な技術的課題は提出されていない。

DMEを発電の燃料に用いる場合、適用される可能性の高いのは農村部での小規模発電なので、最も効率的なのはガスタービンを用いたコンバインドサイクルシステムであろう。この際、DMEは燃焼速度が速く、火炎温度が低くなる傾向にあるので、ガスタービンの効率は若干下がることも考えられる。しかしこれも排ガスの熱回収によってカバーされる。DMEをガスタービンに用いた実験は行われた報告はあるが、発表はされていない。今後の重要なテーマの1つである。

燃料電池の当面の燃料である水素は取り扱いの甚だ困難なガスである。軽く、漏れやすく、爆発限界が広く、圧力を高めても大きな量は運べない、等。その輸送形態としては圧縮ボンベ、水素貯蔵合金、液化水素、メタノール、それにDMEなどが考えられている。このそれぞれに一長一短はあるが、このうちではDMEは最も有望な形態であろう。この際に必要となる、DMEを分解し水素を得る反応の研究もなされていない。しかしこれもDME合成に比べたら技術的な困難は少ないと予想されている。

以上DMEを新しいエネルギーとして利用することを考えた場合、大きな問題点は考えられないが、新たに開発、検討すべき点もまだ多く残されているといえる。

8. 結 論

DMEディメチルエーテル (Di Methyl Ether) は環境にやさしい新エネルギーとして世界的に注目を集めつつある。DMEには主に 3 つの用途がある。

- ① LPG代替。DMEはその物理的性質がLPGに近いので、LPG貯蔵と流通の設備がそのまま利用できるという利点もある。
- ② ディーゼル油代替。輸送燃料や発電燃料にも使用できる。この際ディーゼルの最大の問題点である環境汚染、特に煤塵の発生がDMEでは検知限界以下にまで減少することが知られている。
- ③ 燃料電池のための水素源。

このような用途を持つDMEは天然ガスをはじめ、炭層ガスや、石炭、更にはバイオマスなどいろいろな原料から製造できる。

四川省は水力と天然ガスには恵まれているが、原油はほとんど産出しない。そのため電力は石炭火力と水力を中心としてほぼ需要を満たすことができるが、輸送用燃料であるディーゼルと家庭用燃料であるLPGの不足が大きな問題となっている。

こうした事情により、四川省に豊富なエネルギーである天然ガスを原料として、DMEを製造し、不足がちなディーゼルとLPGの代替として利用することには、現地にも強い期待がある。

四川省でのDMEの用途としては、

- ① 発電は石炭火力と水力が中心であり、DMEの大規模な需要は当分の間見込めそうにない。発電としては、電力ネットワークから外れた農村部での、小規模な発電設備（ディーゼル、又はマイクロガスタービン）が当面の需要である。
- ② 家庭用燃料としてのLPGの代替は最も有望である。
- ③ 交通燃料の需要は増大しつつあり、その点ではディーゼル代替需要も大いに伸びる余地がある。この際インフラの整備が問題となる。トラックやバスよりも、ディーゼル機関車に適用すれば、インフラの問題も早急に解決できよう。

前章にて述べたように、DME製造プラント規模 500 トン／日 (165×10^3 トン／年) のプロジェクトでも十分に有望であることが解った。今後これを更に経済的にするにはいくつかの課題が有る。

- ① 原料ガスの値段。
- ② DMEの市場開拓。
- ③ DMEを使用することへの行政側からの優遇策。
- ④ 有利なファイナンス。特に環境特別円借の適用。
- ⑤ 設備の大型化。500 トン／日は小規模であり、経済的には、2,500 トン／日程度

が望ましい。

⑥ 四川省に隣接する雲南省、貴州省へのマーケティング。

これらの問題はいずれも大きな困難を伴うものではなく、早晩解決されて、DMEプラントプロジェクトが実現することになると考えられる。

(平成 11 年度 NEDO成果報告書要約)

引用文献

- 1) “中国四川省の電力需給の実態及びその政策動向並びに今後の展望に関する調査”、平成 9 年 3 月、新エネルギー・産業技術総合開発機構、財団法人日中経済協会
- 2) “中国における天然ガス需給動向・インフラ整備・IPP事業への外国企業参入可能性調査”、平成 8 年、石油公団、天然ガス・新石油資源事業部
- 3) “中国エネルギー戦略”、茅原郁夫編、芦書房、1996 年 12 月
- 4) “中国の環境保護システム”、李志東著、東洋経済新報社、1999 年 4 月
- 5) “四川省統計年鑑” 1998 年版
- 6) 生澤勝美他、“小型トラック用直噴ディーゼルエンジンの燃焼特性”、社団法人自動車技術会学術講演会前刷集、No. 86-98