

---

---

**調査・分析・予測**

---

---

**四川省天然ガスDMEプロジェクトのフィージビリティ・スタディ****要 約**

DME（ジメチルエーテル (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。物理的性質がLPGに近いので、LPG代替燃料として使用でき、この時既存のLPG貯蔵と流通の設備がそのまま利用できるという利点がある。又ディーゼル油の代替として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分かっている。更には、燃料電池のための水素源としての利用も期待されている。

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。

この新エネルギーであるDMEを効率よく合成する技術を開発しつつあるNKK（日本鋼管株式会社）がNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託を受け、中国四川省の天然ガスを原料としてDMEを製造し、それを発電や交通燃料、LPG代替燃料として利用するプロジェクトについて、調査研究を行った。

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。四川省でのディーゼルとLPGの消費はそれぞれ  $1,500 \times 10^3$ 、 $150 \times 10^3$  トン/年となっている。これらはいずれも極めて長距離の内陸輸送を必要とするため、現状では供給に限界がある。

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。

本研究ではDME製造プラントの規模を 500 トン/日 ( $165 \times 10^3$  トン/年) とした。これは現状のLPG消費量にほぼ見合う量である。原料となる天然ガスの必要量は  $0.2 \times 10^9 \text{Nm}^3$  /年であり、一方四川省での天然ガスの総産出量が  $10 \times 10^9 \text{Nm}^3$  /年であるから、原料としての天然ガスの供給にも問題はない。

この規模のプラントの建設費は、中国国内での機器製造費、建設労働費、などを考慮して 110 億円と推定された。更に原料である天然ガスや工業用水、運転の為に人件費などを考慮して、その経済性を検討した結果、税後総資金内部収益率 (ROI) は 10% を若干越えた値となり、経済性にも優れた有望なプロジェクトであることが分かった。ROIは総投資

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、つまり金利の違いによる影響を受けないものである。

これに対し、借入金の金利の影響を検討する為、環境特別円借款、及び制度金融の両方の場合で、税後自己資金内部収益率（ROE）を算出した結果、環境特別円借款を適用した場合にはROEは30%を超え、又制度金融では20%を若干下回る値となった。両ケース共に資金不足が起こることはないが、為替の変動などのリスクを考慮すると、本プロジェクト実現の為には、よりソフトな条件である、特別環境円借の適用が望ましい。

又製品価格、原料価格、プラントコストの変動による感度分析の結果では、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であることも分かった。

又原料である天然ガスの価格の影響も大きい。この価格は中国政府によって統一的に、国際的にみても高い値に設定されており、環境保全やエネルギーの国内生産といった観点からの行政的な優遇策も、プロジェクト実現の為には極めて大きな影響力を持つ。

DME生産500トン/日という規模は、エネルギー生産設備としては比較的小規模なものである。将来的には更に大規模な、2,500トン/日程度のプラントにより、経済性を更に向上させることが出来る。このスケールアップについての技術的課題は、スラリー反応器の大型化に伴う熱除去が主なものであり、その開発は十分に可能と考えられている。

又経済性の更なる向上の為には、触媒寿命や合成ガス炉の改善も重要となる。

新エネルギーであるDMEの利用では、LPG代替として家庭用コンロ、ディーゼルエンジン、発電に際してはマイクロガスタービンへの適用、更には燃料電池の燃料である水素の製造、等についての技術的開発が必要だが、そのいずれについても大きな技術的問題は提出されていない。

目 次

1. 概 要	5
1.1 はじめに	5
1.2 中国のエネルギー事情	5
1.3 新エネルギー源としてのDMEの特徴及びその用途	6
2. 四川省のエネルギー状況	9
2.1 四川省の概況	9
2.2 四川省1次エネルギーの需給	9
2.3 四川省の天然ガス生産	10
2.4 天然ガスパイプライン	12
2.5 四川省天然ガスの用途	14
2.6 天然ガスの品質	15
2.7 天然ガスの価格	15
2.8 四川省における電力需給	15
2.9 農村部のエネルギー	16
2.10 LPGの需給	16
2.11 ディーゼル油の需給	17
3. DMEの潜在需要	18
3.1 DMEの潜在需要	18
3.1.1 スプレー剤	18
3.1.2 LPG代替燃料	18
3.1.3 ディーゼル油代替	20
3.1.4 発電燃料	20
3.1.5 化学工業原料として	21
3.1.6 潜在需要のまとめ	22
3.2 中国におけるDMEの生産とその用途	23
3.3 DME利用発電技術	24
4. DMEプラント	25
4.1 生産量及び基本条件	25
4.1.1 DME製造プラントの製造能力	25
4.1.2 基本条件	26

4.2	プロセス	26
4.2.1	合成ガス製造工程	26
4.2.2	DME反応工程	27
4.2.3	DME分離工程	28
4.2.4	DME精製工程	28
4.2.5	DME貯蔵	28
4.3	物質収支／熱収支	29
4.4	プラント候補地	29
4.5	建設コスト	29
4.6	輸送と貯蔵	29
5.	環境問題	33
5.1	大気汚染	33
5.2	火力発電	34
5.3	民生用エネルギー	34
5.4	交通燃料	34
6.	経済評価	36
6.1	プロジェクト実施計画	36
6.2	必要資金	37
6.3	財務評価	39
6.4	運転費用	40
6.5	総合評価	44
7.	課題	45
7.1	経済的課題	45
7.2	技術的課題	45
7.2.1	反応器	45
7.2.2	触媒寿命	46
7.2.3	燃料用DMEのスペック	47
7.2.4	合成ガス炉	47
7.2.5	利用技術の開発と展開	49
8.	結論	50

## 1. 概要

### 1.1 はじめに

本報告書は、輸送や貯蔵が容易なクリーン燃料であるジメチルエーテル（DME）を効率よく製造する技術を開発しつつある日本鋼管株式会社が、NEDOからの業務委託を受け、その技術を四川省及び周辺の豊富な天然ガスを原料とした発電事業に適用し得ることを実証するために行った調査研究業務の結果を報告するものである。

本実証研究では、環境を汚染することなく中小都市の電力不足を補い、更に一部余剰のDMEを家庭用あるいはディーゼル自動車用に利用することで、エネルギー事情のみならず環境をも改善することを目的とする。

日本鋼管株式会社がベンチプラントの操業データなどからDMEプラントの概念設計を行い、それに基づいて丸紅株式会社の協力の下で経済性の検討を行った。又、そのなかで調査業務の一部を中国側の四川石油管理局及びその傘下の四川石油设计院に依頼した。

### 1.2 中国のエネルギー事情

中国は世界有数のエネルギー資源国であり、豊富な国内資源を開発生産してその膨大な、エネルギー需要を賄ってきた。特に最も潤沢な埋蔵量を持つ石炭は中国の主力国産エネルギーとして、極めて重要な役割を果たしてきた。又中国は大産油国でも有り、その原油生産量は1994年時点では $145 \times 10^6$ トンと、世界6位の生産量となっている。又膨大な埋蔵量が期待される天然ガス、開発可能量としては世界1位のポテンシャルを持つ水力、現在のはたった3基しかないが、将来において大規模な開発が計画されている原子力発電など、エネルギー生産のポテンシャルは高い。

しかし現実には、近年の旺盛な経済発展に伴うエネルギー需要の堅調な増大に、鈍化する国内生産の伸びが追いつかず、1985年には石油換算で $39 \times 10^6$ トンのエネルギー輸出国だったが、1993年にはついに石油の純輸入国に転落した。ちなみに1995年の石油製品の輸入量は $10 \times 10^6$ トンあまりである。

更に今後の中国のエネルギー需給バランスを展望すると、大幅な需要増大が予想される一方で、エネルギーの国内生産増加にはさまざまな制約が有り、その結果需給バランスが大きく変化して行く事が予想される。この需給ギャップを埋める中心的な役割は石油輸入が果たす可能性が高いと考えられる。その理由としては、まず第1に交通用燃料の需要増大を背景とした大幅な石油需要の伸びに対して、国内原油生産の大幅な伸びは期待できない、という中国国内の石油需給動向そのものに由来する。第2に石油そのものに元々輸送と貯蔵が容易であるという性質が有り、かつそれがために国際実物市場が存在し、きわめてフレキシブルに輸入する事が可能であること。第3に、この増大する中国の需要を賄うに足るだけの生産余力がいまだ中東には有ると考えられる事である。<sup>3)</sup>

こうした事情によって、1997年には、石油製品と原油の輸入が合計で $32 \times 10^6$ トンにも上り、これが更に2000年には40から $50 \times 10^6$ トンまで増加すると予想されている。

しかし増大する石油輸入は、中国の今後の経済発展に対しても大きな制約となる可能性が高い。

又、今日の中国では全 1 次エネルギーの 70%強は石炭によって供給されている。ちなみに 1994 年の石炭生産量は  $1.21 \times 10^9$  トンで、世界第 1 位である。そして可採埋蔵量も膨大で、 $114.5 \times 10^9$  トンとなっており、可採年数は 100 年に近い。しかし石炭の生産地は山西省を始めとする華北部であり、経済発展の盛んな南部や沿海部への輸送に問題が有る。更に、石炭の大量燃焼による大気汚染は中国全土で深刻な事態を引き起こしつつある。

環境保護の点から燃料は石炭から石油へ、更に環境と資源の点から、次第に天然ガスの比重が高くなってきているのが、世界的な傾向である。しかし中国では天然ガスは四川省が主な産地であり、ガスを分配するパイプライン網も四川省にしか存在しない。

又、中国には、沿海部に比べて開発の遅れている内陸西部の開発を進めるといふ大きな国家的課題があるが、石油製品不足分を輸入で賄ったとしても、沿海部から内陸西部への運搬という大きな問題が残されている。

こうした事情から、中国ではつぎ政策が進められている。

- ① 辺境西部のエネルギーを新たに開発し、それを内陸西部や東の沿海部へ供給することにより、輸入原油を減らす。
- ② 石炭から石油へ。すなわち、不足する石油製品を、中国に豊富に存在する石炭によって、補うという政策である。

この両者を同時に解決するような新たなエネルギー源の開発が中国では強く望まれている。その条件としては、クリーンで、輸送と貯蔵に便利で、更に国内資源から製造が可能である事。

これら全ての条件を満たすエネルギーとして考えられるのが、ジメチルエーテル (DME) なのである。

こうした中国のさまざまな条件を加味した上で、本研究では、四川省に豊富に存在する天然ガスを原料として、輸送や貯蔵が容易なクリーン燃料であるジメチルエーテル (DME) を製造し、近隣のエネルギー源として利用する場合につき調査研究をおこなった。

### 1.3 新エネルギー源としてのDMEの特徴及びその用途

石炭燃焼による環境汚染や世界的な石油資源の枯渇という事情から、エネルギー供給における世界的なトレンドは石炭から石油へ、更に天然ガスへという傾向が明らかになっている。こうした傾向の中で、LNG製造には適さない規模の中小ガス田の利用や、石油生産に伴って産出される随伴ガスの多くが燃焼廃棄されたり油田に注入されているだけで有効に利用されていない現状、更にはバイオマスや、非在来型エネルギーと呼ばれる炭層メタン (Coal Bed Methane) やメタンハイドレートのエネルギーとしての利用が世界的に注

目を集めている。これら未利用の天然ガス資源を有効に利用する手段である、天然ガスの液体製品への転換はGTL (Gas To Liquid) と呼ばれ、世界的にもその動向が注目を集めている分野である。

その一つはFT反応による石油製品の合成である。これらの原料を部分酸化や、水蒸気分解により合成ガス ( $H_2$ 、 $CO$ ) とし、それを原料として、FT反応によって石油製品を合成する。この方法は南アフリカでは石炭を原料として実用化されているが、投下資本が大きくなるので、中小ガス田には別の方法を考える必要があるだろう。

いま一つはやはり合成ガスからメタノールを合成しエネルギーとして利用するものである。しかし、メタノールはその燃焼熱が小さく、工業的には毒性、腐食性の問題など、エネルギーとしての広汎な使用には大きな課題が残されている。

ここでこれらのすべてを解決する新エネルギー源として世界的に注目を集めつつあるのがジメチルエーテル (DME) なのである。なぜならば、DMEはLPGに良く似た物理的性質を持ち、取り扱いが容易で硫黄などの有害物質を含有しないクリーンな燃料となりうるからである。

現在、DMEはメタノールの脱水反応又はメタノール合成の副産物として小規模に製造されているに過ぎず、日本国内で約  $10 \times 10^3$  トン/年、世界で  $100 \times 10^3$  トン/年程度の生産量となっている。



DMEはオゾン層破壊や人体に対する毒性が非常に低いので、現在の生産量の大部分は、フロンガス代替用としてスプレーなどの噴射剤として利用されているだけである。メタノールの脱水反応による製造方法では製造コストが高く、エネルギーとしての利用には困難がある。そのため石炭、炭鉱ガス、天然ガス更にはバイオマスなどを原料にして製造される合成ガス ( $H_2$ 、 $CO$ ) から直接、メタノールを経由することなく高効率でDMEを合成する技術が開発されつつある。これにより、低廉で大量のDMEが製造できる可能性が開け、新たなエネルギー源として大きな期待を集めているのが実状である。

DMEは常温常圧で無色のガスであり、常圧で  $-25^\circ C$  に冷却するか、又は常温で 6 気圧程度に加圧すると容易に液体となる。DMEの物性はLPGと良く似ているため、LPGと同様な取扱い方法で貯蔵・輸送・利用が出来るという特徴を有している。

DMEが安価に製造されるならば、その用途としては一般家庭でのLPG代替燃料から、大規模な発電所での燃料などが考えられる。

このほかに最近特に注目されているのはディーゼルエンジン燃料としての用途である。DMEはディーゼルエンジン燃料の燃焼特性を示すセタン価が 55 以上と軽油 (50 以下) より高く、又低分子量の含酸素化合物であるため、エンジン燃焼特性が非常に良い。その結果、ディーゼルエンジン排気ガスの最大の問題である煤が排出せず、 $NO_x$  の発生も大きく低減されるとともに、熱効率も軽油と同等であることが確認されている。<sup>6)</sup>

このような特徴を有するDMEは、大気汚染やエネルギー不足に悩む中国にとってばかりでなく、世界的に見ても最も有望な新エネルギー源といえるのである。

天然ガスの利用という観点で見れば、最も実用化の進んでいるのはLNGであるが、これは投下資本が膨大になるため、大規模ガス田でしか経済性がないとされている。DMEをLNGの代替として採用する場合、製造プラントが安価になるばかりでなく、LNGはその貯蔵・流通のために低温・高圧が必要であることから、LPGなみの設備ですむDMEは有利である。更に、原料源についてもLNG化できる大型ガス源は限られており、今後LNGの調達コストは相当に上昇することが予想されるのに対し、石炭や中小天然ガスから製造が可能なDMEは、将来的に柔軟な供給体制の構築が可能であると考えられる。