総説

石炭層メタンの採掘技術・利用目的の現状 と将来展望*

緒 方 義 弘¹

A Now and Future View of Mining Technologies and Utilizing Purposes of Coal Seam Methane

by Yoshihiro OGATA^a

a. Dr., Director-General, Coal Mine Safety Research Center, Hokkaido, National Research Institute of Resources
and Environment, Shiroishi-ku, Sapporo 003-0029, Japan

The residual reserves of oil and natural gas in the world are able to be mined for only about 40 and 60 years. On the other hand, it is estimated in the long-term future that the thermal nuclear fusion will be utilized to the main energy, and that the atomic power generation and another natural energies will be utilized to the supplementary and local energies.

Coal is reserved over about 11 trillion tons in all the world and about 15 billion tons in Japan. In Hokkaido island, coal is reserved about 8 billion tons and coal seam methane is reserved about 300 billion m³. But the amount over 90 % of these coal and coal seam methane can not be mined by the now technologies.

The author evaluates the now mining technologies and utilizing purposes of coal seam methane, and proposes the following items.

(1) From the viewpoints of the available utilization of fossil resources and the global environments, the coal seam methane have to be utilized to the energy resources of fuel cell etc. and the raw material of chemical products.

(2) In order to mine and utilize the native coal seam methane that are reserved in Japanese interior, the innovative mining and utilizing technologies have to be researched and developed in Japan.

(3) These researches and developments have to be enforced at once by Japanese Government.

KEY WORDS : Coal Seam Methane, Mining Technology, Utilizing Purpose

1. ま え が き

日本は、近年食料さえもその自給率がカロリー換算で 41 % まで下がり、自立できる資源は非常に少ないといえる。特にエネルギー資源は 80 % 以上を輸入に依存しているため、輸出国の政策に大きく左右されることになる。

エネルギー資源の中で石油は約 99.7 % を輸入に依存しているし、天然ガスは国内での生産量が多くなってきているものの、LNG や LPG の輸入に依存している。一方国内で唯一自立の可能性を持っていたのが石炭であるが、国内での生産は需要量の約 3 % に過ぎない。すなわち、いずれのエネルギー資源も輸入に依存しているし、これからも依存することになる。

ところで、石油および天然ガスはその残存埋蔵量が世界的に約 40 数年および 60 数年との予測がある一方、石油の輸出が主要産業である産油国は資源の温存を図るための生産調整を行い、これによって石油価格は将来上昇するといわれている。このため、残存埋蔵量および価格の両面から、ポスト石油、ポスト天然ガスとしてのエネルギー資源の確保は重要な課題である。また、石油や天然ガスはエネルギー資源の原材料としてのみでなく、各種の化学製品の原材料として高度に利用されていることから、これらの

資源の枯渇は化学製品の原材料の確保にも大きな影響を及ぼすことになる。すなわち、エネルギーの代替資源としては、例えば各種の自然エネルギーや長期将来には熱核融合等が考えられるが、化学製品の代替資源は見つかっていないのが現状である。

このような中で、石炭および石炭層内に大量に包蔵されているメタンガスは世界的に、また国内でも大量の埋蔵量が確認または推定されていることから、これらの開発と利用が日本のみならず、世界的にもエネルギー資源および化学製品の原材料を確保するための大きな鍵を握っているといっても過言ではない。ただし、石油、石炭ともに燃焼による二酸化炭素の大気への放出や化学製品の廃棄や焼却が地球温暖化物質や環境ホルモン等の発生等の原因の一つであることから、現状の利用方法では大きな制約を受けることになる。また石炭および石炭層内のメタンガスは埋蔵量が膨大ではあるが、その大部分は既存技術では採掘不可能な状態で賦存しているため、革新的な採掘技術の開発、環境への影響が無い製品への変換技術や処理技術等の利用技術の開発が今後の重要な課題といえる。

本稿では、現在主にエネルギー資源として利用されている石油、天然ガス、石炭等の化石資源の残存埋蔵量（採掘寿命）や利用状況等を概観し、特に国内にも大量に埋蔵している石炭層内のメタンガスを取り上げ、その開発・利用について現状と将来展望について巻末に掲載した各種の報告書や文献等よりまとめ、私見を述べることにする。

* 2000 年 8 月 24 日受付 2001 年 3 月 15 日受理

1. 正会員 博士(工学) 資源環境技術総合研究所北海道石炭鉱山技術試験センター 所長

[著者連絡先] FAX 011-864-3469 (資源研・北海道)

キーワード: 石炭層メタン, 採掘技術, 利用目的, 石炭

2. 化石資源の残存埋蔵量

2・1 石油

石油の残存埋蔵量は石油危機が危惧されるたびに40数年間という数字が上げられてきた。1998年6月号の「日経サイエンス」に「しのびよる最後の石油危機」と題した特集記事が掲載された。この記事と通産省資源エネルギー庁監修の「資源エネルギー年鑑(1999～2000)」によれば、現時点での石油の採掘寿命として約43年間という数字が上げられていて、これまでにいわれてきた数字とほぼ同じである。

日経サイエンスの記事は米国の2人の石油地質学者、C. J. CampbellとJ. H. Laherreの論文を翻訳したもの¹⁾であるが、このなかで、埋蔵量の定義そのものの不明確さ、公表値の不正確さ等を指摘しつつ、既存油田の残存埋蔵量の推定、未発見埋蔵量の将来予測、将来発見される油田の規模予測、油田発見と石油生産量の推移等から再評価を行うと、全世界の石油埋蔵量は約1兆8,000億バレルであるとしている。そのうちこれまでに約8,000億バレルが採掘済みで、未発見の埋蔵量が約1,500億バレル、したがって現時点で採掘可能な埋蔵量は8,500億バレルと予測している。一方、世界全体における生産量は約250億バレル/年であると推定されているので、世界の石油の全残存埋蔵量が約1兆バレルであるとすれば、現状の生産量を維持した場合の石油の採掘寿命は約40年となる。

一方、各産油地域および世界全体の生産量は2005年頃をピークに減少すると予測されており、その結果この生産量がピークを迎える時期以降には原油価格が上昇すると推定されている。

2・2 天然ガス

1998年1月現在の天然ガスの埋蔵量は世界全体で約144兆m³とされ、また理論的な埋蔵量は約300兆m³との推定もある。一方、1997年の生産量が約2.3兆m³であるから、採掘寿命は約63年となる。しかし、天然ガスの生産量は増えているが、消費量も確実に増えてきている。したがって、天然ガスの埋蔵量は必ずしも十分ではないといわれている。

我が国における天然ガスの埋蔵量は1998年1月現在で約400億m³とされ、また毎年の生産量はこの約20年間では全国で20～23億m³であるので、天然ガスの寿命は約20年となるが、現実的には石油と同等の寿命あると考えられる。ただし、天然ガスは石炭および石油と比べた場合、硫黄分をほとんど含有していない場

(注) 埋蔵量とは確認埋蔵量 (Proved Amount in Place) + 予想追加埋蔵量 (Estimated Additional Amount in Place)。可採埋蔵量はProved Recoverable Reservesで確認埋蔵量の内数。

図1 世界の石炭の埋蔵量の概念

合が多い上に、メタンが大部分を占めているため、環境への影響負荷が少ないエネルギー資源とはいえ、このことが使用量の増加、すなわち生産量を増加させ、採掘寿命を短めることになる。また天然ガスは最近石油と同様に色々な化学製品の原材料としても利用されている。

2・3 石炭

図1は確認埋蔵量と予想(理論的)埋蔵量を合わせた石炭の全世界の埋蔵量と、その中で採掘可能な埋蔵量を2つの炭質に分けて表している²⁾。これによれば、究極的な埋蔵量は約11兆tであるが、そのうち既存技術および既存技術の延長線上で個体として採掘可能な埋蔵量は全埋蔵量の約10%に当たる約1兆tといわれている。炭質での内訳は瀝青炭+無煙炭と亜瀝青炭+褐炭とでは全埋蔵量と採掘可能な埋蔵量ともほぼ同じ量である。なお、石炭の特徴は埋蔵量が多いこと他に、図2²⁾に示すように、賦存地域が石油ほどには偏っていないことである。

一方、全世界の年間採掘量は1997年で約38億tであるので、採掘寿命は約260年となる。ただし前述のように採掘可能とは何を指しているか、すなわち坑内採掘が可能な条件をどのように設定

(注) 1. 白枠と()外の数字は埋蔵量で、世界全体では約5.3兆tである。
2. 黒正方形と()内の数字は上記埋蔵量内の可採埋蔵量で、世界全体では5,194億tである。
(出所) 第16回世界エネルギー会議 (1995年)

図2 世界の瀝青炭と無煙炭の埋蔵量

しているかによって、採掘可能埋蔵量も変わる。また、石油および天然ガスの減産に伴う石炭の増産によって採掘寿命が短くなることも考えられる。

日本における石炭の埋蔵量は昭和31年の埋蔵炭量評価で出されたデータのみしかなく³⁾、その後は調査も行われていないが、その時点での確定、推定および予想を合計した理論可採埋蔵量は約200億tである。そのうち採掘された量が約43億tであるので、残存埋蔵量は約157億tとなる。北海道内における理論可採埋蔵量は全国の半分以上を占めているので、残存埋蔵量は約80億t以上になる。これらの数字は昭和31年時点での評価であることを考慮すると、実際の残存埋蔵量はもっと多いものと思われる。なお、平成9年に北海道通産局で開催された「CMG & CBM」のワークショップの資料⁴⁾によれば、石狩炭田における残存埋蔵量は約80億tと評価されていることから、全北海道ではさらに多くの残存埋蔵量が期待できる。

3. 新メタン資源

新メタン資源として非在来型天然ガスが注目されており、その種類と特性は表1の通りである^{5)~7)}。これらの中で特に注目されているのが「深層天然ガス」、「メタンハイドレート」および「コールベッドメタン」の3種類である。日本国内では特に「メタンハイドレート」が注目されている。またこれらのガスに関して、(財)エネルギー総合工学研究所が調査研究を行い、平成4年にその報告書⁷⁾を出しているが、その概要は次の通りである。

(1) 深層天然ガス：地球深部に賦存するとされ、いろいろな起源が推測されている。しかし、実体は未だ把握されていないし、開発等の対象にもなっていない。

(2) メタンハイドレート：永久凍土の中にシャーベット状の水和物の形で存在するメタンガスがよく知られている。日本では相模湾から四国沖にかけての南海トラフ内の他、北海道のオホーツク海、奥尻島周辺、苫小牧沖周辺の大陸棚下に大量に賦存するとされ、その埋蔵量は約2兆m³に達するとの説もある。なお、これらは物理探査による地質構造上での推測であり、より詳細な物理探査やボーリング調査等での確認が待たれるところである。

(3) コールベッドメタン：植物が高温、高压で石炭化される段階で生成されるメタンが石炭の中に包蔵されたガスある。したがって、その埋蔵量は石炭の埋蔵量に比例するが、石炭の炭化の程度、火成岩の貫入の影響、石炭に対する吸着力が大きい二酸化炭素の存在等の種々の要因に影響される。国内での石炭の生産は約370万t/年に減ってしまったが、石炭そのものは未だ大量に賦存しているので、この純国産の化石資源である石炭およびコールベッドメタンをいかに開発し、利用するかが今後の大きな課題

表1 非在来型天然ガスの種類とその特性

種 類	起 源、賦 存 状 態 等
コールベッドメタン * Coal Bed Methane * Coal Mine Gas	・石炭の炭化に伴って生成されたガス ・石炭内に自由及び吸着状態で包蔵
ガスハイドレート (メタンハイドレート) Gas Hydrate Methane Hydrate	・深海等の堆積物中の有機物 ・水分子とメタンの包接体(氷状)
深層天然ガス ・非生物起源ガス ・沈み込み帯生物起源ガス ・大深度堆積盆地ガス	Abiogenic Gas Subducted Organic Origin Gas Deep Sedimentary Basin Gas * 地下数十kmに賦存 * 地球誕生に起源したガス * 海洋堆積物有機物由来ガス * 下方に屈折した深い堆積盆地堆積岩ガス
タイトフォーメーションガス (タイトサンドガス) Tight Formation Gas Tight Sand Gas	・低浸透性白堊紀砂岩中に賦存
高圧水溶性ガス Geopressured Zone Gas	・地下深部の異常高圧水層中に水溶性ガスとして賦存
オイルシェールガス (オイルサンド) Oil Shale Gas Oil Sand Gas	・砂岩や頁岩中に石油として賦存
バイオマスガス Biomass Gas	・各種生物の腐敗による発生メタン
スワンプガス Swamp Gas	・熱帯、亜熱帯の湖沼での発生メタン

である。なお、コールベッドメタン(CBM:Coal Bed Methane)は石炭層メタン(CSM:Coal Seam Methane)、石炭層ガス(CSG:Coal Seam Gas)、炭鉱ガス(CMG:Coal Mine Gas)等のいろいろな呼び方がされているが、本稿では石炭層メタン(CSM)と呼ぶことにする。

4. 石炭層メタン

4・1 石炭層メタンの成分

石炭層メタンは植物が地中で高温、高压で石炭に変化する際に生成され、石炭の中の割れ目や空隙の中に自由ガスとして、また石炭表面には化学的吸着ガスとして閉じ込められたガスである。すなわち石炭層メタンは石炭生成時の副産物である。この石炭層メタンはメタン、二酸化炭素、窒素、ヘリウム等で構成されていて、炭質や石炭層の賦存状態等にもよるが、一般にはメタンが80～97%を占めている。例えばオーストラリアやベトナムの一部では、二酸化炭素の割合が非常に多い石炭層も報告されている。これは生成時に二酸化炭素が多く生成されたとも考えられるが、生成後の石炭層が浅いところに賦存しているため、メタンが石炭層から地表に繋がる亀裂や断層等を通して地表に放出され、比重の重い二酸化炭素が残留したこと、更には火成岩の貫入の影響等種々の要因が考えられる。国内の石炭層ガスは93～97%がメタンであるとの報告がある。

一般に石炭層メタンは石炭の炭化の程度に従って生成量が異なり、遡青炭の段階が最も多く発生するといわれている。図3⁷⁾は石炭の炭化の程度(石炭の質)とメタンの生成量の関係を示している。例えば、1tの無煙炭が生成された場合、理論的には約200

図3 石炭化とガス発生量の関係

図4 石炭の賦存深度とガス吸着量の関係

m^3 のメタンが生成されるとの説もある。また、先に述べたように石炭の賦存状態によっても埋蔵量が異なる。例えば図 4⁷⁾は賦存深度と吸着量との関係を示しているが、メタンの埋蔵量は浅いところは前述のような理由で時間の経過に伴って減少し、一方深いところでは地圧の増加や地温の上昇等の影響で、埋蔵量が飽和状態になるとされている。

4・2 石炭層メタンの埋蔵量

石炭層メタンの埋蔵量は国によってその評価に差があり、現状では全世界的な評価は難しいため、ここでは国内の埋蔵量について述べる。

石炭は国内にも未だ数 10 億 t から数百 10 億 t の残存埋蔵量が見込まれている。この石炭の残存埋蔵量、採取した石炭試料のメタン包蔵量（吸着量）、採炭前に行われるガス抜き時のメタンの濃度と量、通気量と通気中のメタン濃度等からメタンの埋蔵量の評価や推定が行われている。

図 5⁹⁾は昭和 56 年度から平成 3 年度までの国内数か所の炭鉱の出炭 t 当たりのメタンガス湧出量の推移を示している。これらを平均化したものが表 2⁹⁾である。図 5 から太平洋炭鉱以外の北海道の炭鉱のメタンガスは非常に多いことが分かる。例えば空知炭鉱の場合は $100 \sim 140 \text{ m}^3/\text{t}$ の湧出量が報告されている。特に石狩炭田に位置する炭鉱におけるメタンガスの平均的湧出量は $70 \text{ m}^3/\text{t}$ を超えている。これは元々石狩炭田の石炭は石炭化が進んでいること、ガス湧出量には稗行炭層のみならず隣接する炭層からのガスも含まれていること等が大きな要因と推定される。この数字を用いて石炭層メタンの埋蔵量を推定することが可能であるが、ガス湧出量の少ない炭鉱も含めた平均的な値である $37 \text{ m}^3/\text{t}$ を用いた場合、先に示したように石炭の残存埋蔵量が約 80 億 t とすれば、北海道全体の石炭層メタンの埋蔵量は約 3,000 億 m^3 になる。ただし、石炭のメタン包蔵量の評価にはいろいろな要因（石炭の炭化度、石炭の賦存状態、石炭の構造、石炭層の地質構造特性等）があるため、湧出メタンガス量のみでの算定には不確実さを伴うが、いずれにしても大量の石炭層メタンの賦存が見込まれることは確かである。

図 5 国内主要炭鉱のメタン湧出量の推移

表 2 生産が安定している期間におけるガス湧出量

炭鉱名	生産量 (千トン/年)			メタン湧出量 (m³/t)			ガス抜き比率 (%)			調査期間
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	
空知	555	450	509	141	119	131	41	36	38	1986～1993
芦別	854	822	836	78	66	75	41	33	38	1986～1993
砂川	1,075	981	1,047	71	68	69	44	40	42	1986～1988
南大夕張	1,160	998	1,098	75	66	70	60	57	58	1986～1988
太平洋	2,481	2,129	2,307	26	19	22	36	26	31	1986～1995
三池	4,975	4,264	4,528	6	4	6				1986～1989
池島	1,530	1,408	1,448	32	27	29				1986～1990

4・3 石炭層メタンが環境に与える影響

石炭層ガスは 80～97% がメタンで、残りが窒素、二酸化炭素、ヘリウム等から構成されている。したがって、単に燃焼に使用した場合についていえば、燃焼によって発生する二酸化炭素、 NO_x および SO_x の量が極端に少ないため、天然ガスと同様に環境に優しいエネルギー資源といえる。ただし、二酸化炭素、窒素、硫黄等の量が多い石炭層メタンもあり、この場合は、利用時に問題となることがある。しかし、一般にはメタン以外の物質が少ないために、石炭層メタンを前処理無しで他の化学製品に直接変換した場合でも、変換効率が悪くなることはないと考えられる。

4・4 石炭層メタンの開発・利用の各国の現状

4・4・1 米国の場合

米国における石炭層メタンの開発は 1980 年代後半から本格的に行われ、1993 年には米国の利用総ガス量の約 3% を占めるに至っている。その後は図 6¹⁰⁾に示されているように徐々に増え、1997 年には約 5% までに至っている。

石炭層内に包蔵されるメタンガスは 1930 年代から注目されていたが、開発技術およびコストの関係から実際の取り組みは 1970 年代に入ってからである。したがって、当初は坑内保安上、ガス抜きの効率的な実施が主であったが、その後廃坑跡からのメタン回収と利用に移行している。1970 年代には石炭層メタンの埋蔵量の調査が経済性を中心として検討され、1980 年代に入ってから、有望な炭田を対象とした採掘技術の開発と実際の採掘による評価が行われてきた。

米国の炭田は大きく四つの地域に分けられ、そのうち石炭層メタンの開発の対象としては東部アパラチア炭田最南端のブラック・ウォリア (Black Warrior) および西部ロッキー山脈炭田最南端のサン・ファン (San Juan) の 2 か所の石炭盆地が選ばれ、採掘が開始された。この 2 か所の石炭盆地における石炭層メタンの包蔵特性および採掘実績の概要は表 3¹¹⁾の通りである。

米国で石炭層メタンの開発の対象になっている石炭層は飽和水または地下水で飽和されているため、まず水抜きを行う必要があり、その技術の開発も重要視されている。特に前記の 2 つの石炭盆地の場合、実際にメタンガスを採掘できるまでには、1 年間に

図 6 米国における石炭層メタン生産量の推移

表 3 米国の 2 か所の石炭層メタンの採掘対象堆積盆地の特性

項 目	サンファン堆積盆地	ブラック・ウォリア堆積盆地
深 度	～1200m	～1200m
面 積	20,000km ²	46,000km ²
炭 層 厚	平均 2～5m	平均 2m
炭 化 度	高～低揮発性遼青炭	高～低揮発性遼青炭
ガ ス 量	10～16m ³ /トン(1000m)	5～15m ³ /トン(300m)
資 源 量	1兆4200億m ³	5700億m ³
坑 井 数	1368本(1991/12)	2737本(1991/12)
坑井平均深度	1000m	460m
平均生産量/坑井	15000m ³ /日(1992/10)	2000m ³ /日(1992/10)
年間生産量	73億m ³ (1991)	19億m ³ (1991)

上飽和水の汲み上げを行うことが必要となっている。

なお、米国において石炭層ガスの商業化生産が成功したのは国による税制上の特別な優遇やエネルギー省鉱山局等の政府機関が全面的に支援したこと、既設のガスパイプラインへの接続が容易であったこと等が上げられる。

4・4・2 オーストラリアの場合 オーストラリアの場合は、日本と同様に坑内保安に関連したガス抜き技術の開発が主な目的であった。特に深度が浅い場合には、地表からのボーリングによってガス抜きが行われ、そのための技術開発や抜き取ったメタンを自家発電や燃料に利用した経緯がある。

石炭層メタンの開発が始められた当初は、採掘跡空洞からのガスの採掘を対象とした研究が行われたが、その後1970年代後半になってからは、図7¹¹⁾に示すような2つの石炭盆地を中心になら広い範囲の炭田を対象として、商業生産を念頭に置いた開発が始められた。この場合、石油開発会社を中心となって探査が進められたが、有望な炭田すなわち商業化できる炭田を発見するには至らなかった。

しかし、1980年代後半の米国での石炭層メタンの採掘実験の成功の報告に刺激されて、探査活動が再開され、また有望な石炭層の発見もあり、生産設備を備えた試験採掘が行われ始めた。ただし、この場合においても資源量の問題から試験段階の域を脱し得なかった。更にその後、1990年代に入ってから3か所の石炭盆地でパイロット規模での開発が進められ、そのうち2か所は商業生産に発展したが、もう1か所は未だ開発の段階である。これらの3か所の概要を表4¹²⁾に示した。

オーストラリアの場合は、米国で行われていた税制上の優遇処

図7 オーストラリアにおける石炭層メタンの開発対象炭田

表4 オーストラリアにおける石炭層メタンの開発状況

炭田地域	Dawson Valley	Fairview	Peat
石炭盆地	Bowen Basin	Bowen Basin 南西部	Bowen Basin 南西部
石炭層	Baralaba 夾炭層	Bandanna 累層	Baralaba 夾炭層
石炭層厚さ	総厚 11 ~ 20m (各層 1 ~ 5m)		(各層 5 ~ 11m)
ガス含有率			
坑井数	35 本	24 本	11 本 1998 年に 4 本追加予定
生産開始	1996 年	1997 年	評価中
生産量		7,000m ³ /d/本 41Mm ³ (1996 ~ 1997 年)	
利用目的	既存パイプラインに接続		
備考	・開発: OCA 社 Oil Company of Australia ・課題: 非経済的水準 新規坑井掘削 ステイムレーション	開発: Tri-Star Petroleum 社	開発: OCA 社

置や政府機関の支援等はほとんどなく、当初から一般企業(特に石油開発会社)が自己資本で開発を行っている。なお、CSIRO 等の政府および州機関の研究所が技術面での支援を行っている。

オーストラリアに関して特記すべき事項は、三菱ガス化学(株)が1991年から1992年にかけてメタノールの原材料として石炭層メタンの開発をBowen Basin 北部で試みたことである。この場合10本の調査坑井が掘削されたが、粘土質鉱物等によって空隙等が充填されていて、浸透率が非常に低いため、生産は断念された。しかし、表4に見られるようにオーストラリアで商業生産が行われているのはBowen Basin の南西部であることから、もし三菱ガス化学(株)がBowen Basin の南西部を対象としていたとすれば、商業生産ができたことは容易に想像できる。

4・4・3 中国の場合 中国における石炭層メタンの全埋蔵量は深さが2,000m以浅では約35兆m³¹³⁾、主要炭田では約14兆m³¹⁴⁾と推定されている。一方石炭の採掘に伴って湧出している石炭層メタンは露天掘りを含めた約680の炭鉱全体で年間約49億m³(1994年、出炭量約51億t/年)、このうち何らかの形で利用されている石炭層メタンは年間約4億m³、すなわち年間約45億m³が大気中に放出されていることになる。

中国の場合、主要炭鉱の大部分はメタンが高压の状態にあるかあるいは突出しやすい状態にあるといわれていることから、石炭層メタンの採掘は基本的には炭鉱の安全性の向上と生産性条件の改善のためのガス抜きが主目的である。このため、1950年代から採掘対象の石炭層から事前に地上および坑内からのボーリングによるガス抜きを実施してきている。また採掘跡からも同様に地上からのボーリングによるガス抜きを行ってきている。

中国においては、ガス抜きで採掘されたメタンガスの回収と利用は各地区の鉱務局が実施していて、代表的な地域で行われている採掘・回収の方法およびその量、利用方法とその量を表5¹³⁾に示した。

しかし、近年は石炭産業の戦略として石炭層メタンの開発を目指し、1990年代に入ってから石炭層メタンを本格的に採掘するプロジェクトが、中国政府(高压ガス鉱務局、煤炭工業部、中国石油天然ガス公社等)が中心となって図8¹³⁾に示す21か所で進められている。このプロジェクトにおいては、1990～1994年にかけて資源量評価と生産のためのボーリングが39本掘削されているが、1995年現在で生産されている下記の通りである。

- (1) Xuhai 炭田: 採掘跡から500～1,000 m³/日
- (2) Lubei 炭田: 未採掘区域から6,000 m³/日
- (3) 松遼炭田: 採掘跡および事前ガス抜きから21,600 m³/日
- (4) 沁水炭田: 未採掘区域から3,000～5,000 m³/日(米国企業との共同で実施)

上記のほかに、古城子褐炭炭田では米国との共同で水圧破砕に

表5 中国におけるガス抜きで回収されたガスの利用状況

地域名	採掘・回収		利用		メタン濃度 %
	方法	量、m ³	目的	量、%	
撫順	ガス抜き	1億1千万 (1993)	家庭 化学工業 発電	75 20 5	33～58
鉄法	ガス抜き	1600万 (1994)	家庭 大気放出	25 75	30～90
鶴壁	ガス抜き	650万 (1994)	家庭 炭鉱施設	78 13	30～40
開梁	ガス抜き	900万 (1992)	家庭	90	30～40
陽泉	ガス抜き	9000万 (1993)	家庭	全量	?
松遼	ガス抜き	6000万 (1990)	家庭 炭鉱施設 工業	35 47 13	100?

図8 中国における石炭層メタンの開発プロジェクト地域

による坑井刺激(スティムレーション)を行い、 $1,800 \text{ m}^3/\text{日}$ の生産実績がある。

以上から推察すると、中国の場合は石炭層メタンをエネルギー資源として採掘、利用するプロジェクトも推進されているが、既存の炭鉱から大量に大気へ放出されている石炭層メタンをいかに回収し、利用するかが地球環境およびエネルギー資源の有効利用の両面から重要な課題であるといえる。

4・4・4 日本の場合 日本の場合は、採掘前のガス抜き効果を高めるためのボーリング技術や水圧破砕法の検討、また室内実験、シミュレーション解析、現場実験等が行われてきたが、石炭層メタンそのものの開発は対象とされなかった。これは国内の石炭層メタンは埋蔵量(資源量)および経済環境の上から有望ではないとの見方が強く、大部分の専門家は海外での開発に期待を寄せていることである。すなわち、このことが現在国内での研究開発を阻害している一つの大きな要因になっている。

資源環境技術総合研究所では、(財)エネルギー総合工学研究所の調査報告によれば国内においても大量の石炭層メタンが賦存する可能性が高いこと、また次世代のエネルギー資源としてだけでなく各種の化学製品の原材料としての役割が大きいこと等を踏まえて、平成6年度から平成10年度までの5年間、工業技術院ニューサンシャイン計画(NSS)プロジェクト「コールベッドメタンの採取利用技術」として研究が行われた。図9はこのプロジェクトにおける研究開発の概念を表している。このプロジェクトでは①採取技術、②メタンの選択回収プロセス、

③化学変換プロセスの3項目についての研究が行われた。しかし予算上の制約等もあり、基礎的な部分およびプロセスの研究に限られた。例えば採取技術に関しては、国内2炭鉱の石炭の基礎物性(強度、透気係数)試験とそのデータによる採掘シミュレーションの検討であった。

また平成9年度から10年度にかけて、資源エネルギー庁石油部開発課および石油公団の委託でNEDO、JCOALが北海道を対象にした石炭層メタンの資源量調査を既存の資料を元に実施し、成果は平成10年9月に北海道通産局で開催されたワークショップで報告された⁴⁾。一方、JCOALが資源エネルギー庁石炭新エネルギー部石炭課の事業(NEDOの委託事業)で開発途上国、特に中国における炭鉱ガスの回収・利用の技術援助を行う形でかかわってきている。しかし、これは地球環境への取り組みの一環としての対応であり、将来の化石資源の確保との視点とはかなり異なっている。なお、JCOALは旧石炭技術研究所時代から国内の石炭層メタンに関する調査や実験・試験および米国を中心とした海外の石炭層メタンの採掘・利用技術に関わる調査研究を継続して実施してきている。

4・4・5 その他の国の場合 その他の国の場合は石炭層メタンの開発を主目的としたものではなく、炭鉱保安におけるガス抜き技術の開発としての研究である。しかし、英国等で行われているガス抜き技術およびそれに関連した石炭層内でのガスの流れの数値モデル化の研究等¹⁵⁾¹⁶⁾は石炭層メタンの効率的な採掘技術(採掘システム)の開発や、英国やフランス等の古い産炭地を有するところにおける閉山炭鉱でのメタンガスの回収に大いに役立つものと考えられる。

5. 石炭層メタンの採掘技術

5・1 石炭層メタンの採掘技術の現状

石炭層メタンの開発を商業化したのは米国およびオーストラリアであることから、両国での開発段階から現在までの技術的な経緯を中心に採掘技術の現状を概観する。

石炭層メタンの採掘に当たっては、大きくは下記の3つの項目についての調査、研究や技術開発等が必要である。

- ① 石炭および石炭層の物性や地質学的特性等の評価
- ② 最適採掘システムの選定
- ③ 採掘の経済性評価

図9 資源研における石炭層メタンの採掘・利用技術の研究開発概念

なお、ここでは①と②についてのみに触れることにする。

5・1・1 石炭および石炭層の物性や地質学的特性等の評価

まず、メタンを包蔵する石炭層全体の貯留形態やメタンの埋蔵量等が評価される。特に未開発の石炭層の場合は、これらを実地する既存の資料が少ないため、物理探査やボーリング調査、採取したコアによる室内試験等によって総合的な評価が行われる。ここでの試験や評価が正しく行われないと、埋蔵量を正確に評価できないだけでなく、②の最適採掘システムの選定や③の採掘の経済性評価等も正確に行えないことになる。すなわち、この最初の段階における各種の評価が石炭層メタン開発の成功の大きな鍵を握っているともいえる。

検討や評価の対象とされる項目は次の通りである。

- (1) 石炭の埋蔵量
- (2) 石炭層の地質構造特性：深度、傾斜、炭丈、不連続性、地圧、浸透水（飽和水）等
- (3) 石炭の化学的特性：炭化度、メタン吸着度（包蔵量）
- (4) 石炭の物理的特性：空隙率、浸透率等

これらの情報を基にして、石炭層メタンの埋蔵量、石炭、砂岩、頁岩で構成される地層形態等を評価し、数値モデルを用いたシミュレーション等を含めて、最適な採掘技術やシステムが決められる。例えば、米国では石炭層メタンの貯留層の評価に表6¹⁷⁾に示すような項目が用いられている。

5・1・2 最適採掘システムの選定

(1) 坑井掘削技術 メタンの採掘を効率的に行うには、坑井の掘削が重要な要素の一つである。米国においては、当初坑井は石炭層内を層に沿って掘削（沿層ボーリング）するのが最良であるとの観点から、地表から垂直に掘削した坑井をターボドリル等を用いて途中から曲げ、最終的には石炭層内を掘進する方式が検討された。しかし、実用化には至らなかった。これは石炭層が多数の亀裂（割れ目）等が入った複雑な構造をしている一方、軟弱な層や擾乱帯等が影響して、切削や掘削制御が難しいことが要因として上げられる。このため、坑井は地上から垂直に掘削し、石炭層を貫くような方式が取られ、以降この方式が用いられている。

坑井の掘削は一般にケーシングを入れながら、地上から石炭層に直交するように行われるが、その際石炭層の部分にケーシングを入れるか否かによって、図10¹⁷⁾のように3種類の方法が取られている。

- (a) 採取対象石炭層部分が裸坑の場合
 - (b) 坑井全長にケーシングを入れ、石炭層の部分のケーシングには切れ目を入れる場合
 - (c) (a)と(b)の混成であり、採掘対象の最下部の石炭層部分にはケーシングを入れない場合
- いずれを選択するかは採掘の対象となる石炭層、地

表6 米国で用いられている石炭層メタンの貯留層評価のための主要要因

ファクター	評価のためのデータ取得源
1 地質的ファクター 深度 炭層厚さ（正味） 温度 亀裂（炭理）間隔 ガス量（吸着量）	物理探査、坑井検層 物理探査、坑井検層 坑井検層 コア分析 コアテスト
2 貯留体ファクター 吸着時間 ラングミュア容積 ラングミュア圧力 透過率 相対透過率 空隙率（空隙率） 圧力 ガス比重	コアテスト コアテスト コアテスト 坑井テスト ヒストリーマッピング（履歴照合） 坑井テスト 坑井テスト サンプルガス分析

下水（包蔵水）の影響、坑井の安定性等の種々の要因や条件を考慮して決められている。

(2) スティムレーション（坑井刺激）技術 石炭層メタンの最適採掘システムの選定に当たって重要な課題は、石炭層メタンを包蔵している石炭および石炭層内におけるメタンガスの流動特性の評価にある。基本的な流動パターンは図11¹⁷⁾のような過程が一般的なモデルとしてよく用いられている。特に石炭中の炭理や微細孔、石炭層内の天然亀裂等は石炭層メタンの流動性や流動範囲を左右する透過性（透気性、透水性）と密接に関連している。しかし図11のような過程でメタンガスが坑井まで流動する範囲は極く限られるため、この流動性を高め、流動範囲を拡大する必要がある。

一般には透過性を左右する炭理や微細孔、石炭層内の天然亀裂等は

- ① その量が十分にあり、坑井まで繋がっている
- ② その量が十分にあっても、坑井まで繋がっていない
- ③ その量は少ないが、坑井までは繋がっている
- ④ その量が少なく、坑井まで繋がっていない

の4つの状態が考えられる。これらの状態のうち、石油や天然ガスのように自噴する①の例は少なく、通常石炭の空隙や石炭層の亀裂等は地圧によって閉じた状態になっている場合が多いため、②、③、④の場合を想定すべきであろう。したがって石炭層メタンが流動しやすいように、石炭層内にガス道を作成することがもう一つの大きな技術的な課題である。これをスティムレーション（坑井刺激）と呼んでいる。

スティムレーションの方法としては水圧破碎法が一般に用いられている。これは石炭層の部分の坑井の一部をパッカーと呼ばれているゴム製の栓で仕切り、このゴム栓で仕切られた区間に高圧の水を押し込むことによって、石炭層内に亀裂（割れ目）を入れ、この亀裂をガス道にする方式である。しかし、このような人工の亀裂は破碎作業の終了後に水圧を下げると、亀裂が閉じるため、砂やプロパントと呼ばれる材料を開いた亀裂の中に押し込んで、水圧を下げても亀裂が閉じないような工夫を行う必要がある。これをプロッピング（支持）と呼び、プロッピングに用いられる砂やプロパント等の材料をプロッピング材と呼んでいる。

図12¹⁸⁾は、米国のWarrior炭田における水圧破碎時の時間の経

図10 掘削後の坑井仕上げの方法

図11 石炭の中でのメタンガスの流動パターン

図 12 水圧破砕による破砕面の広がり の経時変化

過(水の押し込み量の変化)に伴う破砕面の広がり状況を示している。この場合、破砕が深度約 1,400 ft の坑井周辺で発生した後、その破砕面が時間の経過に伴って右上方に広がっていることが分かる。破砕面は水平方向に約 300 ft (約 100 m)、垂直方向に約 400 ft (約 130 m) 広がっている。なお作用している地圧の大きさが方向によって扁平でなければ、水圧によって発生する破砕は通常坑井を中心にして対称的になるため、この破砕面は水平方向に約 600 ft (約 200 m)、垂直方向に約 400 ft (約 130 m) の範囲で、蝶々が羽を開いたような形で広がる。これを表した例が図 13¹⁹⁾であり、これは Warrior 炭田の Black Creek で行われた水圧破砕における最終破砕形態(推定)を示している。しかし水圧破砕による亀裂の作成は対象となる地層や石炭層等の特性および地圧等に大きく支配されるため、設計通りの亀裂を作成するのは困難である。例えば図 13 の場合は二次元の縦断面図であるため、三次元的な広がりとは不明であるが、破砕面は垂直縦方向に広がっていると推測される。すなわち、この場合は図面の上下方向からの地圧が最大で、図面に直交する方向からの地圧が最小であることが推測できる。このような破砕形態が形成されるのは、地圧の大きさが作用する方向によって大きく異なる場合であり、その差が小さい場合は破砕形態が石炭層および上下岩盤の特性、特にクリークと呼ばれている石炭層内の亀裂や節理(炭理)等の大きさや方向に支配される。このような水圧破砕による破砕形態のいくつかのパターンを模擬的に示したのが図 14²⁰⁾である。図 14 の破砕形態のパターンを地圧のみとの関係で説明すると、(A) のパターンは垂直方向の地圧が最小で、水平方向の地圧が最大、(B) のパターンは図面に直行する

図 13 水圧破砕による最終破砕面(推定)

図 14 水圧破砕による破砕面の形成様式 の概念

方向の地圧が最小で、垂直方向の地圧が最大、(C) のパターンは地圧の大きさの方向による差が小さい場合をそれぞれ示している。多分(B) のパターンが図 13 に相当している。すなわち、スティムレーションは前述の地質構造や石炭の物理特性等の評価、坑井掘削技術等と併せて総合的に設計することが必要である。

スティムレーションには一般に水圧破砕が採用されているが、オーストラリアにおいてはその他特殊なスティムレーション技術の研究開発も行われている。例えば坑井周辺の石炭層部分に何らの方法で空洞を作成し、この空洞を地圧で押し潰すことによって周辺の石炭層内に亀裂を発生、伸長させ、透過率を大きくする方法である。この空洞を作成する方法をキャビティ法と呼んでいる。この空洞の作成方法としては、

- ① 塩酸等で坑井周辺の石炭を溶かす方法
- ② 石炭層の部分のみを拡孔掘削や水噴流掘削等で広げる方法
- ③ 坑井内に高压(水圧または空気圧)を加えた後、急激に減圧する方法

等が研究され、また現場での実験も行われている。図 15¹³⁾ は石炭層部分に穴あきライナーを用いて、③の方法で空洞(キャビティ)を作成した状態を模擬的に示している。また図 16¹³⁾ は空洞が作成された後、時間の経過に伴う空洞周辺の岩盤層および石炭層の変形や応力状態の変化を示している。

5・2 石炭層メタンの採掘技術の長期展望

5・1 で石炭層メタンの採掘技術の現状の概要を示したが、地上からの坑井の掘削と水圧破砕によるスティムレーションとを組み合わせた採掘システムが基本になっている。ただしスティムレーションに関して水圧破砕以外の技術の研究開発がオーストラリアを中心実施されており、その中のキャビテーション法は現場への適用が試みられている。しかしそれ以外の技術は未だ研究開発の段階である。

石炭層メタンのみを採掘の対象とした場合は、次の 3 つの項目を解決する必要がある。

- (1) 石炭層メタンの包蔵状態(含埋蔵量)の的確な評価
- (2) 坑井掘削技術の開発および坑井システムの設計

図15 キャビティー応力除去法による坑井仕上げの例

(3) スティームレーション技術の開発

このうち、(1)および(2)に関しては、日本、特に北海道の石炭層は米国やオーストラリアの比較的水平的な石炭層に比べて激しい褶曲作用等を受けているため、既存の探査技術や評価手法および掘削技術等をそのまま適用することはできない。したがって我が国の石炭層の地質構造に適した技術や手法への改良や開発が必要である。一方(3)に関しては、例えば水圧破碎の場合は石炭層および周辺地層の地質構造(地圧を含む)等に大きく影響を受け、またキャビテーション法の場合は坑井のごく周辺部に限られる等の欠点があり、より革新的なスティームレーション技術の開発が必要である。

つぎに現在考えられているスティームレーション技術では必ずしも採掘できない、石炭に化学的に吸着している大部分の石炭層メタンの採掘の課題が大きい。この吸着メタンの採掘方法としては、石炭への吸着力が強い二酸化炭素を利用する方法が考えられる。すなわち、石炭層内に二酸化炭素を送り込み、メタンを化学的に脱着させる方法である。この方法は①石炭層メタンの採掘効率の向上と②二酸化炭素の石炭層内への固定、処分の両面において、大きなメリットが期待でき、米国ではその研究が進められている。また我が国では平成12年度に住友石炭鉱業を中心にJCOAL、北海道大学、資源研北海道センター、米国エネルギー省等が国際共同研究として実施している(NEDO事業)。このプロジェクトの概念を図17に示した。なお、この方法の場合は二酸化炭素が石炭に吸着されるため、将来同じ石炭層を地下ガス化や地下液化等で採掘する場合には、二酸化炭素の存在が影響することが考えられる。

しかし一方では、石炭層をメタンの再生工場として利用する発想もある。これは、図17の石炭層内でメタン生成菌を利用して、石炭層に固定、吸着させた二酸化炭素をメタンに変える方法である²¹⁾。メタン生成菌に関しては、炭鉱内における自然発火現象の研究の課程でその存在の可能性が示唆されている²²⁾。ただし、この方法の欠点はメタン生成に要する時間が非常に長いことである。

石炭層メタンの革新的な採掘技術に関しては、石炭層メタンのみを単独で開発する視点からではなく、個体としての石炭をどのように採掘し、利用するかを超長期的な視点から検討し、その中で石炭層メタンの採掘、利用について検討すべきである。

6. 石炭層メタンの利用目的

6・1 石炭層メタンの利用目的の現状

石炭層メタンの成分は基本的には天然ガスと同じである。天然ガスの国内における利用目的は図18²⁾のように分類され、また利用目的ごとの割合は表7²⁾の通りである。この表によれば、天然

図16 キャビティー法で作成された空洞周辺炭層・岩盤の変形・応力状態の経時変化の概念

図17 石炭層メタンの採掘技術と二酸化炭素の石炭層内固定技術に関する国際共同研究の概念

ガスは都市ガスや発電等のエネルギーの原材料としての利用が主であったが、1997年以降は民生用(都市ガス)としての利用が53%に増えている。これは発電用の原材料として輸入LNGの使用が増えていること、都市ガスが国内産のカロリーの高い天然ガスに次第に転換されてきていることによるものと思われる。

米国における石炭層メタンの開発は、そもそも国内の天然ガスの埋蔵量への不安が発端になっているといわれている。したがって、石炭層メタンもほぼ全量が天然ガスの既存パイプラインに接続され、ガス会社に販売されているのが実状である。

オーストラリアの場合もほぼ同様であり、例えば、Dawson Valleyの場合はこの地域からWallumbilla Gladstoneの既存の幹線ガスパイプラインまで新しいパイプラインを敷設し、天然ガスの一部として販売されている。

中国の場合は表5に示したように、ガス抜きガス(メタン濃度30~50%)の大部分が炭鉱地域の家庭用や炭鉱施設用として利用されている。この場合、ガス抜きによるガスは一度加圧タンクに貯蔵され、都市ガスのように加圧されて各家庭に送られている場合もある。ただし、中国全土で利用されているガス抜きガスは前述のように全量の約10%に過ぎず、今後は大気放出されているガスの回収と利用をいかに進めるかが課題であろう。なお、1990年代に入ってから始まった未採掘石炭層からの石炭層メタンの開発プロジェクトで採掘されたメタンに関しては、その具体的な利用についての報告はされていない。

日本における利用概況を表8に示した。基本的にはガス抜きしたガス(メタン濃度は炭鉱により異なる)が自社内の暖房用や発電用の燃料として利用されているが、都市ガスの一部として販売も

図18 天然ガスの国内における利用目的の分類

されている。その他にメタノール用の原材料として販売された実績もある。また三菱大夕張炭鉱の場合はメタノール合成工場を建設し、抜き取ったガスの大部分をその原材料として利用していたのが、国内における石炭層メタンの利用では特徴的であるといえる。現在は、太平洋炭鉱がガス抜きガス（メタン濃度約40%）を都市ガス会社へ販売するとともに、このメタンからDME（ディメチルエーテル）を製造するためのパイロットプラント（NEDO事業、日産5t）による試験を釧路で実施している。

6・2 石炭層メタンの新しい利用法

現在、国内では約5,000万tの石炭が発電用に使用されている。また国内炭は約370万tの全量が発電用である。一方、地球環境の観点から発電用エネルギーの原材料は石油や石炭から原子力や自然エネルギー、将来的には熱核融合に転換されることが十分に予測される。また、自動車の原動力は電気や燃料電池への変換が確実に進んできている。これは石油、天然ガスおよび石炭のエネルギー資源としての使命が次第に小さくなるであろうことを示唆しているといえる。とはいえ、究極のエネルギーといわれている熱核融合が実用化されるまでの間は、石炭および石炭層メタンに頼らざるを得ないことも事実である。そのため、我が国では産炭国から低価格で安定的に長期間輸入するため、採掘および保安に係わる技術の協力や移転を行っているが、将来的には石油・天然ガスの産出国が逆に輸入国になり、石炭の価格の高騰や供給の不安定化を招くことは十分に予測される。

つぎに、現代社会で使用されている各種の工業（化学）製品の原材料には金属、石油、天然ガス等が使用されている。しかし、石油や天然ガス、金属鉱物等は有限の資源であり、これらが枯渇した場合の代替原材料は未だに見つかっていない。また一方では、石油、天然ガスおよび外国産石炭の輸入が不安定になってくるとも考えられる。このような観点から考えた場合、純国産である石炭層メタンおよび石炭が担う役割は大きい。

石炭層メタンの新しい利用方法としては大別して（1）エネルギーの原材料、（2）工業（化学）製品用の原材料であろう。

まず（1）に関しては、石炭層メタンを採掘し、天然ガスパイプラインに投入し、比較的安価な燃料として利用している海外、特に米国と比べた場合、国内では採掘施設の建設や消費地までの運搬等に要する経費が膨大になり、石炭層メタンを直接燃焼させる現在の利用方法は経済性上不可能に近い状況にあるといえる。このため、燃料として直接燃焼させる場合には、例えば石炭との混合燃焼や二酸化炭素の採掘跡への固定・貯蔵との組み合わせ等、より効率的な利用技術の開発が必要である。

一方、利用に際しては石炭層メタンの付加価値を高めることが重要である。そのためには、自動車用燃料電池や今後一般家庭にも普及していくであろう燃料電池用の燃料に利用することを目的

表7 天然ガスの利用目的別の利用割合（1991）

	民生用 (都市ガス)	発電用	化学工業用
世界全体	29%	29%	42%
米国	45%	16%	39%
日本 (1996年)	24% (53%)	67% (29%)	9% (14%)

注1) 日本の場合、1996年以降は発電用燃料にLNGの使用が増えている。

注2) 1996年は3つ利用目的以外にその他14%がある。

表8 石炭層メタンの国内における利用概況

年	会社	利用目的	内容
1935～1953	新幌内炭鉱	燃料	2000kw発電用ボイラー用 総ガス量：13500万m ³
1944～?	常磐炭鉱	化学製品用原材料 燃料	メタノール原料として販売 暖房ボイラー用 都市ガス用
1956～?	日本炭鉱	化学製品用原材料	アンモニア原料として販売
1959～?	三菱大夕張炭鉱	化学製品用原材料 燃料	メタノール用（約21百万m ³ /年） 発電用（約6百万m ³ /年） 暖房用（約3百万m ³ /年）
～現在	太平洋炭鉱	燃料 化学製品用原材料	都市ガス用、自家暖房用 DME用（パイロットプラント）

として、メタン濃度の高いガスの生成技術や水素への直接転換技術の開発、これらの消費地までの安全で安価な運搬技術の開発等、採掘現場における生産システムや供給システムの構築が重要であろう。

次に（2）に関しては、現在も各種の工業（化学）製品用の素材として利用されているが、金属材料の性質に匹敵する素材、リサイクルや再資源化が可能な素材、更には最終処分段階においても環境への影響がないまたは非常に少ない素材として利用できる技術の開発等が重要である。

以上の利用の目的や方法は現状の技術の延長線上で達成可能な部分もあるが、長期的には更に革新的な利用や利用技術の開発が必要と思われる。

7. あとがき

石油、天然ガスに比べて大量に賦存している石炭に付随している石炭層メタンの採掘技術および利用方法の現状を分析し、これらの長期的な将来展望を示した。これらの概要をまとめると以下の通りである。

（1）石油、天然ガスの資源量は有限で、残存埋蔵量も少なくなってきた。このため、ポスト石油、ポスト天然ガスとしては、資源量や環境の面から超長期的には熱核融合の実用化が望まれるが、それまでの間のエネルギーの原材料の確保が重要な課題である。

（2）原子力や各種の自然エネルギーは工業（化学）製品等の原材料にはなり得ない。

（3）石炭および石炭層メタンは有限ではあるが、石油や天然ガスに比べてその量が多く、国内にも大量に賦存する純国産の化石資源である。

（4）炭層メタンは燃料電池用燃料等や各種工業（化学）製品等の原材料等の付加価値の高いものへ転換して利用すべきである。

（5）石炭層メタンは他の非在来型天然ガスに比べて資源量や採掘技術等の基礎資料が比較的多いとはいえ、効率的かつ経済的な採掘および利用を図るためには

- ① 賦存状態および資源量の精密調査
- ② 革新的な採掘・利用技術の研究開発が重要である。

(6) (5)を実施することが、資源の乏しい我が国における資源の確保と安全を保障することになる。

最後に、本稿では石炭層メタンに限ってその採掘技術および利用方法について現状と将来展望を述べたが、米国およびヨーロッパ連合体 (EU) は地下ガス化技術の開発など、石炭の革新的な採掘技術の開発を国家事業として長期間にわたって継続に行っている。一方国内では昭和 30 ～ 40 年代に行ったのみで、以降は全く実施されていない。

近い将来の化石資源の枯渇や産出国の輸出制限等などに直面した場合に備え、米国やヨーロッパ連合体と同様に、石炭および石炭層メタンの採掘・利用に関わる自前の技術を持つことは百年単位の超長期的な観点から政府が国家プロジェクトとして真剣に取り組むべき重要な課題であると考えられ、これらの採掘技術や利用技術の開発を早急に推進することを提案する。

謝辞 本稿の作成に当たっては、次に掲げる各種の報告書、論文、文献等を参考、引用、参照させて頂いた。また JCOAL の玉利彬調査役には貴重なご意見を頂いた。ここに各位に感謝を申し上げる。

引用文献

- 1) 日経サイエンス社：日経サイエンス，No. 6, p. 19-45, (1998)
- 2) 資源・エネルギー庁監修：資源エネルギー年鑑 (1999-2000)
- 3) 小川克郎：第 11 回エネルギー総合工学シンポジウム資料，p. 43-45, (1992)
- 4) (財) 石炭エネルギーセンター：石炭層メタンガスワークショップ資料集，(1998)
- 5) 藤田和男：資源と素材，Vol. 110, No. 12, p. 919-926, (1994)
- 6) 浅川 忠：石油技術協会誌，Vol. 60, No. 2, p. 128-135, (1996)
- 7) (財) エネルギー総合工学研究所：非在来型天然ガスに関する調査報告書，p. 255-368, (1992)
- 8) NEDO：コールベッドメタン資源導入システムの可能性調査，p. 18-72, (1991)
- 9) NEDO：石炭及び石炭層ガスに係る総合資源評価に関する基礎調査，p. 9-57, (1993)
- 10) Byrer, C.W. et al. : Proc. of Int. Coalbed Methane Symp., p. 325, (1999)
- 11) NEDO：コールベッドメタン利用に関する技術開発課題調査，p. 15-88, (1992)
- 12) Mellett, C.W. : Coal Seam Methane in Australia, 石炭層メタンガスワークショップ資料集，(1998)
- 13) (財) 石炭技術研究所：コールベッドメタン，p. 137-214, (1996)
- 14) Byrer, C.W. et al. : Proc. of Int. Coalbed Methane Symp., p. 1-12, (1999)
- 15) Durucan, S. et al. : Mining Science and Technology, p. 205-216, (1986)
- 16) Durucan, S. et al. : Proc. of Int. Coalbed Methane Symp., p. 33-49, (1992)
- 17) (財) 石炭技術研究所：コールベッドメタン，(1992)
- 18) Lambert, S. W. et al. : Oil and Gas Journal, p. 87-92, (1989)
- 19) Schraufnagel, R. A. et al. : Oil and Gas Journal, p. 48-54, (1990)
- 20) Holditch, S.A. et al. : Final Report of Gas Research Institute, (1987)
- 21) 小出 仁，他：資源・素材学会春期大会講演集，p. 222-223, (2000)
- 22) 羽田博憲，他：日本鉱業会誌，Vol. 103, No. 1192, p. 373-376, (1987)