報告

炭層ガス回収・利用に関する研究開発 の国際的動向*

島田 荘平¹

International Trend of R&D on Recovery and Utilization Technology of Coalbed Methane by Sohei SHIMADA¹

1. Course of Environment Systems, Institute of Environmental Studies, Graduate School,
of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656

Coalbed Methane (CBM) is a natural gas recovered from coal seams. It is sometimes called Coal Mine Gas (CMG), when the gas is recovered related to coal mining activities. This report summarizes the recent topics on recovery and utilization technology of CBM and CMG. The topics include gas recovery by CO₂ injection, CO₂ sequestration into coal seams, power generation by small sized IC-engine fueled by methane, synthetic oil production from coal mine gas and heat recovery from methane of very low concentration (mine ventilation air). This report focused on the importance of the international projects on CMG projects in considering the emission trade of global warming gases.

KEY WORDS : Coalbed Methane, Coal Mine Gas, Gas Recovery, Gas Utilization, Power Generation, CO₂ Sequestration

1. ま え が き

1980年代に米国で開発が開始されたコールベッドメタン (Coalbed Methane = CBM) は、米国や豪州で商業生産が行われており、もはや開発当初の「非在来型天然ガス」という呼び方は適切でない状況になってきた。米国での1996年のCBM生産量は約1,000 Bcf (= 28.3 × 10⁹ m³) で、この量は米国の天然ガス生産量の数%に相当する(図1)¹⁾。

コールベッドメタンの資源量についてはいろいろな報告があるが、エネルギー総合工学研究所が主要石炭生産国についてまと

めた結果では、米国11兆m³、中国6.4兆m³、オーストラリア6.2兆m³となっている。まとまった調査を行っている米国のCBM資源量を基準に、筆者が石炭埋蔵量をもとに計算した世界のCBM資源量は、控えめに見積もって140兆m³である²⁾。

コールベッドメタンは、本来、石炭開発に伴って発生し、ガス爆発の原因となったガスと起源は同じであり、古くから炭層ガスなどと呼ばれてきた。我が国でコールベッドメタンという言葉を目にするようになったのは、80年代後半からである。米国のサン・ファン・ベースンやブラック・ワリアー・ベースンなどでの開発状況とその開発技術に関するレポートが作成された。米国でのCBM開発は、米国内天然ガスの埋蔵量減少の対策として、新しいタイプの天然ガス源を確保することを目的として行われた。税制に優遇策を設けてCBM坑井の開発を援助したため、多くの坑井が掘削され、その結果、CBM開発に関する技術的な多くの知見が得られた。現在、税制優遇措置は撤廃されたが、CBM開発は継続して行われている。

その後我が国では、米国のCBM生産と同じく従来の天然ガス開発のように、地上からのボーリングだけではなく、炭鉱坑内でのガス回収も視野においた炭層ガス (Coal Seam Gas = CSG) という用語が復活した。このCSGという用語は、CBMと同義で使われる場合もある。我が国では、CBMは地上からのみのガス回収、CSGは地上からのガス回収と炭鉱開発に関連したガス回収も含めたものというように、ガス回収方法の違いとして捕える場合が多い。

このCSGの概念をさらに前進させたものとして、炭鉱ガス (Coal Mine Gas = CMG) という用語がここ数年使われ始めた。CMGは炭鉱開発に関連したガス回収だけを視野にいたったものである。この

図1 米国のCBM生産量推移(地域別)

* 1999年12月15日受付 2000年2月16日受理
1. 正会員 工博 東京大学助教授 大学院新領域創成科学研究科
[著者連絡先] FAX 03-3818-7492 (東大・地球システム)
E-mail: shimada@geosys.t.u-tokyo.ac.jp.

キーワード: コールベッドメタン, 炭鉱ガス, ガス回収, ガス利用, 発電, CO₂ 固定

表1 炭層中メタンガスの呼称

名 称	ガス回収の 主要目的	備 考
コールベッドメタン (Coalbed Methane: CBM)	燃料、化学原料	地上からのガス回収 (非在来型天然ガス)
炭層ガス (Coal Seam Gas: CSG)	保安確保 燃料、化学原料	地上からのガス回収 地下でのガス回収
炭鉱ガス (Coal Mine Gas: CMG)	燃料、化学原料 保安確保 地球環境保全	地下でのガス回収 (一部地上からの ガス回収: 保安確保が主目的) 大気放出メタンの減少 (低濃度ガス (濃度1%以下)の利用。 Clean Development Mechanism)

用語には、坑内でのガス抜きの基本目的である保安という目的の他に、低濃度メタン（濃度1%以下）も含む回収ガスの有効利用による大気へのメタン放出減少、すなわち地球環境保全対策という目的が付加されている。これらをまとめると表1のようになる。

CBM に関し定期的に開催されている国際会議で最も長い歴史を持つのは、2年ごとに米国のアラバマ州で開催されている会議である。1987年から始まっているが、この会議での発表も当初のCBMに関する内容から最近ではCMGに関するものも多く発表されている。これには米国環境庁(EPA)がメタン放出抑制事業を全世界的に展開していることも大きく影響している。EPAでは次のような用語を用いている³⁾。

Coalbed Methane: 炭層中に存在するメタン

Coal Seam Gas: 炭層中のすべてのガス(メタンおよびその他のガス)

Coal Mine Methane: 採炭活動に伴い炭層およびその周囲岩盤から放出されるメタン

このように、EPAではガスの種類を中心に分類しているのが分かる。CBMの呼称の混乱を避ける切り札はないが、我が国の現状では、次の分類が良いと考えている。

A. 回収方法による分類

コールベッドメタン(CBM): 在来型天然ガス資源と同じような採掘方法で回収される炭層中のメタン

炭鉱ガス(CMG): 採炭活動に伴って回収される炭層中のガス

B. ガスの種類による分類

コールベッドメタン(CBM): 炭層中のメタン

炭層ガス(CSG): 炭層中のすべてのガス(CBMはCSGの一部)

本報では、概ね上記分類による呼称に基づいて炭層ガスを分類し、最近の炭層ガス開発と利用に関する話題を報告する。

2. 生産技術

2.1 坑井刺激技術

2.1.1 キャビティ・コンプリーション CBM開発でよく利用されている坑井刺激方法は水圧破碎とキャビティ・コンプリーションである。キャビティ・コンプリーションは、窒素または空気等のガスを用いて、坑井に加圧、除圧作用を繰り返して与え、オープンホール仕上げの坑壁の破壊ならびに亀裂の成長を促進させて浸透率を高めるものであり、強度の小さい石炭層に対して効果のある特有の刺激方法である。米国のSan Juan Basinでは、直径7 inch (= 17.5 cm)の坑井を1,500 psi (= 10 MPa)の空気により数回加圧・除圧を繰り返し、半径4.5 ft (= 1.35 m)のキャビティを作っている。この刺激方法はSan Juan Basinのフェアウエイ(同BasinでのCBM生産性が高いゾーンの俗称)で広く採用されている。

2.1.2 炭酸ガス注入⁴⁾⁵⁾ 石油の生産ではEORは広く普及した技術であるが、CBM生産ではEGR(Enhanced Gas Recovery)はまだ技術開発の端緒にすぎないばかりである。石炭は炭酸ガスとの吸着量が多く強いため、炭酸ガスを炭層内に圧入し、メタンと炭

酸ガスを置換させメタンを生産するものである。二酸化炭素を炭層内に固定できるという副次的な効果もある。

Burlington Resources社ではSan Juan Basin北部のAllison Unitにおいて、炭酸ガス圧入によるCBM強制回収のパイロットプラント試験を行っている(図2)。このプラントは、4本の注入井と9本の生産井で構成されている(図3)。対象炭層であるFruitland層の深度は3,000 ft (= 910 m)、炭層の厚さは50 ft (= 15 m)である。生産井では炭酸ガス注入の約5年前からCBM生産を開始している。生産井の半数はキャビテーション法で仕上げた。CBM生産は排水の結果、1995年にピークに達した。同1995年に注入井を掘削したが、注入井は炭酸ガスの炭層外部へのリークをなくすため水圧破碎などの刺激は行わなかった。CO₂注入速度は坑井一本当たり21,000 m³/日であった。注入開始後、生産井からのガス生産は注入前より減少し、水の生産が増加した。注入開始から6か月後にメタンと炭酸ガスの置換を促進するために、生産井をシャットインした。CBM生産量がもっとも多かった、#115生産井での生産履歴を図4に示す。総量で57 M m³のCO₂を注入したが、生産ガス中のCO₂濃度は注入期間中ほぼ0.4%と一定であり、ブレイクスルーは見られなかったことから、CO₂とメタンの置換がうまくいき、CO₂は炭層中に固定されたと考えられる。これらのパイロット試験結果から推定したCO₂によるCBM強制回収の生産コストは約\$1/Mcf(1 Mcf = 28.3 m³)である(表2)。

2.1.3 地下ガス化 新しいCBM回収方法として、最近地下ガス化による坑井刺激が提案されている⁶⁾⁷⁾。石炭の地下ガス化(Underground Coal Gasification = UCG)にはいろいろな方式があるが、CBM回収に利用される方式は、地上からの水平ボーリングを応用した方法である。CBM回収に関してみれば、UCGには次の効果がある。

1) 水平孔(ガス化空洞)の半径を大きくできるので、ガス回収速度を速めることができる。

図2 Allison Unit パイロットプラントの位置

図3 Allison Unit パイロットプラントの坑井断面概念図

図4 #115 生産井の生産履歴

表2 CO₂ 注入による CBM 強制回収のコスト (坑井総本数 100 本)

Item	Unit Cost	Number Per Project	Total Cost (\$MM)	Incremental Cost ¹ (\$/Mcf CH ₄)
CO ₂ Injection Wells (new; M\$)	300	50	15.0	\$0.12
CO ₂ Inj. Wells (recompletion; M\$)	100	50	5.0	\$0.04
Hot Tap Connection (M\$)	150	1	0.15	\$0.001
CO ₂ Lateral Line (M\$/mile; 6-in)	120	10	1.2	\$0.01
CO ₂ Distribution Lines (M\$/mile) ²	80	50	4.0	\$0.03
CO ₂ Injectant (\$/Mcf) ¹	0.25-0.35	250,000	62.5-87.5	\$0.50-0.70
Total Capital & CO ₂ Costs			88-113	\$0.70-0.90
Incr. O&M Costs (M\$/month)	10	240	2.4	\$0.19
Total Costs (undiscounted)			90-115	\$0.89-1.09

¹ Assuming 25% improvement in recovery in a typical 5-Bcf well, for a total 125 Bcf of ECBM (undiscounted), and a 2:1 net CO₂/CH₄ ratio. ² Assuming 320-acre injection well spacing.

- 2) ガス化空洞の周辺に亀裂が形成されるので、浸透率が大きくなる。
- 3) 炭層の浸透率に関係なくこの方法を採用できる。
- 4) ガス化空洞が比較的大きくなるので、複数層の場合には上層がじょうらんを受け、ガスが湧出しやすくなる。

2・2 閉山炭鉱からのガス回収

現在、世界的に閉山炭鉱から湧出するガスを利用する傾向にある。ここでは、海外の2炭鉱での例を紹介するが、国内では旧赤平炭鉱で閉山炭鉱からのガス回収のFSを実施中である。閉山炭鉱からのガス回収の経済性を考える場合には、

- 今後の放出ガス量の予測(時間と量)
- 放出ガス量の変動状況
- ガス需要先(または電力需要家)の確保

を考慮することが重要である。

2・2・1 Golden Eagle Mine⁸⁾

Golden Eagle Mine は米国コロラド州にある炭鉱である。約100万t/年の瀝青炭を産出した炭鉱であったが、経済的な理由により1995年に閉山した。ピーク生産時には、払分から $34 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{日}$ 、払跡から $28 \sim 35 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{日}$ のガスを回収していた。1996年から閉山のための密閉作業を開始したが、ガスの漏洩が止まらず、ガスを利用することに切り替えた。ガス圧とガス流量の計測、リークテストなど経済性評価に必要な基礎調査を実施し、ガス販売はフィージブルとの結論を得た。1998年以降は51

$\times 10^3 \text{ m}^3/\text{日}$ の一定量の生産が続いている(図5)。

2・2・2 Houillers du Bassin de Lorraine(HBL)⁹⁾

HBL社はフランス東部のドイツ国境を挟んで賦存するロレーヌ炭田にあり、1998年現在3炭鉱が稼働している。閉山炭鉱からは立坑に直径12 inch (= 30 cm)の4本のパイプを設置し、ガスを回収している。立坑は立坑口元部と中間部で厚さ約20 mの鉄筋コンクリートによりシールされ、上部炭層と下部炭層とに分け、それぞれ2本のパイプによりガスを誘導している。ガス流量は $3,000 \sim 7,000 \text{ m}^3/\text{h}$ の範囲にある。1995年以降ガス需要が少ない7～9月はガス誘導を行っていない。誘導を止めるとその間にリザーバ内圧力が回復し、ほぼ1年前の状態に戻っている。

3. 利用技術

炭層ガスの主要な利用方法は、燃料と各種化学原料である。

米国EPAのパブリケーションの中で、CBM利用に関するレポートには次のようなものがある¹⁰⁾。これから最近のCBM利用ならびに利用技術開発の傾向が分かる。

A. 発電に関するもの

- 炭鉱排気の発電用燃焼空気としての利用
- 炭層ガスを利用した燃料電池発電
- 炭層ガスを利用したマイクロ・タービンによる発電

図5 Golden Eagle Mine でのガス生産量推移

図6 Appin 炭鉱の発電ユニット全景

炭層ガスを用いた小型モータによる発電
炭層ガスを用いたコジェネレーション発電システム

B. 燃料・熱源としての利用に関するもの

石炭焚きボイラーでの低濃度メタンの混焼
炭層ガスの炭鉱サイトでの内燃機関燃料としての利用
炭層ガスを用いた塩水処理
温室暖房への炭層ガス利用
酸化剤としての炭鉱排気利用による熱回収
溶鉱炉での炭層ガス利用
炭鉱設備暖房への炭層ガス利用
炭層ガスの乾燥機熱源としての利用
炭層ガスを用いた坑内通気加熱

C. 化学原料、化学的な処理に関するもの

中濃度ガスの濃縮
炭層ガスからのメタノール製造
炭層ガスからの合成燃料製造
炭層ガスを用いた液化天然ガス製造

D. その他

廃止炭鉱跡跡への炭層ガス貯蔵

3・1 内燃機関を用いた発電

3・1・1 Nelms 炭鉱¹¹⁾ 前に述べた閉山炭鉱などではガス量が少なく変動することもあるので、それに対応した発電システムの開発が行われている。米国オハイオ州にある Nelms 炭鉱では閉山炭鉱からの 6,400 m³/日のガスを使用し、675 kW の発電を行っている。設備コストは US \$ 800 / kW、発電コストは US \$ 0.025 / kWh である。

3・1・2 Appin 炭鉱⁹⁾ オーストラリア、シドニー近辺にある Appin 炭鉱は、年 200 万 t 出炭している炭鉱である。ガス抜きは、採掘跡密閉からのガス抜き、未採掘炭層からのガス抜き、長壁採炭での先行ガス抜きの 3 種の方法でガス抜きを行っており、総ガス抜き量に対するガス抜き割合は、それぞれ 10 %、50 ~ 60 %、30 ~ 40 % となっている。ガス抜き量は 330 m³/min、メタン濃度は 42 %、また総排気量は 21,000 m³/min、メタンの平均濃度は約 0.8 % である。それぞれを純メタンに換算するとガス抜きでは 138 m³/min、総排気では 168 m³/min である。

発電は 1 ユニット 1 MW の発電容量をもつ発電ユニットを 56 ユニット設置して行っている（図 6）。小型の発電ユニットを多数設置するのは、ガス抜き量の変動に応じて発電量をコントロールしやすいためである。燃料のガスは坑内ガス（濃度 40 ~ 50 %）、排気中

図7 VOCSIDIZER の構造概念図

(1: 熱交換床, 2: 電気ヒーター, 3: 給排気チャンバー, 4: 切替バルブ)

メタン（濃度 0.8 ~ 1.0 %）、天然ガス（濃度 100 %：補助燃料としてガス会社から購入）を使用している。総排気はその量の 1/3 を燃料として使用している。

3・2 低濃度ガス（炭鉱排気）の利用

排気の利用に関する最初のオプションは燃焼用空気として利用することである。メタン濃度が 1 % 程度であるとする、石炭焚き火力発電所では約 5 % の燃料（石炭）を節約できる。この利用方法では、排気量が膨大なため、すべての排気量をこのオプションで使用するのとは不可能である。

排気中の低濃度メタンを熱に変換し、これで発電するというプロジェクトが進行中である。ここでは 2 件紹介するが、いずれもパイロットプラントでの実験を計画中である。

3・2・1 VOCSIDIZER^{11) 13)} このプロセスは MEGTEC Systems によって開発されたもので、各種の工業プロセスから空気中に排出される低濃度の揮発性有機化合物（VOCs: Volatile Organic Compounds）を処理するシステムである。本原理を用いたシステムは、現在世界で 3,000 基ほど設置されている。この原理を応用して炭鉱排気から熱回収を行うものである。本プロセスでは燃焼を持続させるため、再生高温酸化方式（regenerative thermal oxidation）を採用している。VOCSIDIZER の構造概念図を図 7 に示す。主要部分は断熱された燃焼室で、シリカ粒子あるいはセラミック製熱交換体からなる熱交換床である。電気ヒーターが中心部に挿入されている。排気供給・排出用チャンバーが上下に取り付けられている。燃焼室を通る排気流の流れを変更させるための配管がなされている。始動ではヒーターを用いてメタン酸化（燃焼）が始まる温度まで加熱する。酸化が始まると炭鉱排気中のメタンが持続的に燃

図8 CFRR の構造概念図

図9 CFRRのメタン濃度と熱効率の関係

焼する。排気を供給する下流側の熱交換床は次第に高温になるので、周期的に供給方向を切りかえる。このようにすると外部への熱損失を減少できる。本システムが運転できる理論的最低メタン濃度は0.1%である。熱交換床の温度維持に必要なエネルギーはメタン濃度0.1%分である。

3・2・2 CFRR (Catalytic Flow Reversal Reactor)^{11) 14) 15)} Natural Resources Canada (NRCan) は触媒反転流式反応器 (CFRR) を開発中である。この原理は VOCSIDIZER とほぼ同じであるが、CFRR では触媒酸化による熱を発生させる点が異なっている。図8にCFRRの構造概念図を示す。メタン濃度0.1%以上で運転が可能で、濃度1%では90%という高い熱効率が期待できる(図9)。触媒酸化による温度は600～800℃である。排気の供給方向を反転させて熱効率の低下を防いでいる。反応炉直径500mmのパイロットプラントを製作し、基礎実験は終了している。さらに商業化のための炭鉱サイトでの実証試験をノバスコチア半島のPhalem炭鉱で行う予定であったが、同炭鉱の閉山によりプロジェクトは中断している。

3・3 DME (Dimethyl Ether)^{16) 17)}

DME(ジメチルエーテル)は従来、メタノールの脱水反応によって製造されていたが、DMEを燃料として利用するためには、安価かつ大量に製造する必要がある。最近、合成ガスから直接DMEを合成する技術開発が行われている。

石炭利用総合センター、日本鋼管、太平洋炭鉱、住友金属工業は、共同で釧路の太平洋炭鉱の坑内から回収される炭層ガスを利用したDMEのパイロットプラント試験(DME製造能力:5t/日)を実施し、最近世界で初めて製造に成功した。図10にパイロットプラントのプロセスフロー概念図を示す。

DMEは燃料としてみると低位発熱量は6,900 kcal/kgであり、気体では14,200 kcal/kgとメタンより高い発熱量を有している。ディーゼルエンジンでの燃焼試験では、すすやSO_xが全く発生せず、NO_x発生も軽油使用時よりは低くなっている。この技術が大規模に商業化されれば炭層ガスの輸送がより便利になり、小規模の炭層ガス田開発の経済性も増加するものと考えられる。

4. 国際的 活動

4・1 米国EPA

米国EPAがCoalbed Methane Outreach Programというキャンペーンを実施していることは上に述べた。この他の米国EPAのCBMに関する活動としては、ロシア(クズバス)、中国(北京)でのEPA援助によるCBM情報センターの設置があげられる。現在ク

図10 DME製造パイロットプラントのプロセスフロー概念図

ズバスへのEPAからの援助は終了している。情報センター設置後、これまで、両国のCBM資源量、地質情報などを収集した。また他の国(例えばポーランド¹⁸⁾、チェコ共和国¹⁹⁾)においてもCBM資源量評価、CBM回収・利用プロジェクトの経済性評価を実施している。CBM資源の資源量調査・回収にあたっては全世界的にWorld Bank、国連等の資金を使い、米国の資源エンジニアリング企業を使っている。

中国CBM情報センター(中国CBMクリアリングハウス)²⁰⁾

当センターは1994年8月に中国石炭鉱業省の石炭情報研究所の一部として開所した。主な業務は、CBMプロジェクト・ファイナンスとその経済性分析、中国国内でのCBM情報提供、中国のCBM政策立案への助言、ニュースレターの発行等である。

ロシアCBM情報センター²¹⁾ 当センターは米国のPartners in Economic Reform(PIER)と米国EPAの援助で1989年に、ケメロボ市の石炭・石炭化学研究所に設立された。センターの活動目的は、中国CBMクリアリングハウスの活動と同じで、企業や機関にCBMに関する情報を提供し、ロシアでのメタン回収を促進することにある。しかし、昨年EPAからの援助は打ち切りとなった。

PIERからは現在ウクライナ(キエフ)のAlternative Fuel Centerに援助が行われており、筆者の推測ではあるがEPAはCBM情報収集のターゲットをロシアからウクライナに変更したものと思われる。

4・2 Alberta Research Council^{22) 23)}

カナダのAlberta Research Councilは1996年から2002年までの7年計画で、Alberta州の炭層にCO₂を注入しCBMを回収し、同時にCO₂を炭層中に固定する研究を開始している。このプロジェクトでは生産したメタンにより発電し、発電所から排出される炭酸ガスを回収してCO₂注入によるメタンの強制回収の炭酸ガスとして使用するものである。このシステムは、化石燃料の燃焼、発生する炭酸ガスの回収、炭酸ガスの地中固定、炭酸ガス注入によるCBM生産、生産したメタンによる発電というクローズドサイクルを構成する点が特徴である(図11)¹⁾。このプロジェクトにはUSDOE、IEAなどの公的な機関の他に石油会社等の民間企業も参加している。

4・3 JCOAL^{24) 25)}

JCOAL(石炭エネルギーセンター)は中国遼寧省にある鉄法鉱務局において、炭層ガスを回収し、山元の家計用ガスや鉄法市と鉄嶺市の都市ガスとして使用する事業を行っている。このプロジェ

図 11 CO₂ 圧入による CBM 回収・発電クローズドシステムの概念図

クトは 1998 ～ 2002 年にわたるもので、鉄法鉱務局に属する 7 炭鉱での炭層ガス回収率を、プロジェクト開始前の 5.5 % から 32 % まで増加させ、メタンの大気中への放出を削減させる。坑内でのガス回収法は、沿層ガス抜きと密閉ガス抜きとを採用している。事業終了年である 2003 年の 7 炭鉱からの総ガス回収量は、メタン換算で約 4000 万 m³/年であり、この量は炭酸ガス換算では約 5 万 t/年となる。この事業は COP3 での議定書に基づき、我が国の温室効果ガス排出量をクリーン・ディベロップメント・メカニズム (CDM) を利用して削減することを目的としている。同センターでは本プロジェクトの他に、中国の山西省ならびに河北省、ロシアのクズバスでも同様なメカニズムを利用した炭層ガス回収・利用のプロジェクト・ファインディングのための調査を行っている。

今後 CDM や排出権取引にからみ、CMG 回収・利用プロジェクトは、中国やロシアなどで実施されていくものと思われる。

5. ま と め

以上に炭層ガス開発・利用に関する研究開発の現状について述べた。これらの 21 世紀での技術開発等の方向と課題をまとめると次のようになる。

- 1) 浸透率の小さい炭層をも対象にできる効果的な坑井刺激方法の開発
- 2) 炭酸ガスの炭層内固定をも目的とした CO₂ 強制 CBM 回収技術の確立

- 3) 内燃機関式発電機による炭層ガス発電の普及
- 4) 低濃度メタン (炭鉱排気) を利用した発電システムの実用化
- 5) 炭層ガスからの合成燃料製造の実用化
- 6) 排出権取引に関連した国際的なプロジェクトの増加

引 用 文 献

- 1) Byrer, C. W. and Guthrie, H. D.(1999) : Proc. Intern. CBM Symposium, p. 319 327
- 2) 島田 莊平 (1995) : 資源・素材学会誌, 第 111 巻, p. 135 143
- 3) EPA コールベッドメタン・アウトリーチプログラム : ホームページ www.epa.gov/coalbed
- 4) Stevens, S. H., Kuuskraa, V. A., Spector, D. and Riemer, P.(1998) : Proc. 4th Intern. Conf. on Greenhouse gas Control Technologies, p. 175 180
- 5) Stevens, S. H., Schoeling, L. and Pekot, L.(1999) : Proc. Intern. CBM Symposium, p. 309 317
- 6) Wolf, K. H. A. A. et. al. : (1997) : Proc. Intern. CBM Symposium, p. 409 418
- 7) Kreynin, E. V. and Zolotykh, S. S.(1997) : Proc. Intern. CBM Symposium, p. 143 150
- 8) Hupp, K. L., Bilber, C. J. and Pilcher, R. C.(1999) : Proc. Intern. CBM Symposium, p. 449 460
- 9) 石炭エネルギーセンター (1998) : 炭鉱ガス高効率回収利用技術調査報告書
- 10) EPA コールベッドメタン・アウトリーチプログラム : パンフレット集
- 11) 石炭エネルギーセンター (1999) : 炭鉱ガス高効率回収利用技術調査報告書
- 12) Hindmarsh, W.E., et. al.(1998) : Total Utilization of the Methane Resources at Gassy Mines, Preprint for Intern. Conf. on CBM, May, 1998, Szczyrk, Poland
- 13) Foulds, G. A., et. al.(1999) : Proc. Intern. CBM Symposium, p. 475 481
- 14) Sapoundjiev, F. A., Aube, F., Gauthier, J. E. D. and Trottier, R.(1999) : Proc. Intern. CBM Symposium, p. 269 278
- 15) Sapoundjiev, F. A. and Aube, F.(1999) : Proc. Intern. Joint Coal Symposium, Sept. 1999, (JCOAL) p. 203 211
- 16) 石炭利用総合センター他 : 資料「ジメチルエーテル」
- 17) 大野陽太郎 (1999) : 第 12 回エネルギーシンポジウム (早稲田大学理工学総合研究センター, エネルギー研究部会) 資料, p. 11 18
- 18) EPA(1995) : Reducing Methane Emission from Coal Mines in Poland : EPA / 430 / D / 95 / 001
- 19) EPA(1992) : Assessment of the Potential for Economic Development and Utilization of CBM in Czechoslovakia : EPA / 430 / R-92 / 1008
- 20) China CBM Clearinghouse : Introduction Circular
- 21) Russian CBM Center : Introduction Circular
- 22) Alberta Research Council 他 : Canadian Coalbed Methane : (パンフレット集)
- 23) Dawson, F. M.(1998) : The State of CBM Exploration and Development in Canada, Preprint for APEC CMG Workshop, May 1998, JCOAL
- 24) Yoshida, H.(1999) : Proc. Intern. Joint Coal Symposium, Sept. 1999, (JCOAL) p. 212 225
- 25) Hirasawa, H.(1998) : APEC Coal Mine Gas Project (Phase II), Preprint for APEC CMG Workshop, May 1998, JCOAL