炭鉱メタンの回収と濃縮装置の開発による利用技術について*

松本 裕之¹ 川嶋 祥太² 内田 景己³
市原 義久⁴ 鈴木 良明⁵

Recovery of Coal Mine Methane and Its Utilization with a Newly Developed Gas Concentration System

by Hiroyuki MATSUMOTO^a*, Shota KAWASHIMA^b, Kagami UCHIDA^a,
Yoshihisa ICHIHARA^a and Yoshiaki SUZUKI^a

a. Kushiro Coal Mine Co., Ltd. 5-2-23, Okotsu, Kushiro-City, Hokkaido, 085-0811, Japan

(*Corresponding author, E-mail: hmatsumoto@k-coal.co.jp)

b. Osaka Gas Co., Ltd. 4-1-2, Hirano-Cho, Chuo-ku, Osaka-city, Osaka-fu, 541-0046, Japan

Kushiro Coal Mine is located in southeast of Kushiro-City, Hokkaido, Japan and the only underground as well as under seabed coal mine. Paleogene Harutori Coal Bearing Formation is mined over the long period. During the mining, associated methane gas called as Coal Mine Methane (CMM) is extracted for safety reasons. In addition, another type of methane from the Cretaceous is also extracted, and mixed with CMM. Taking these factors into consideration, Kushiro Coal Mine has researched and studied for the development of gas collection technique and effective utilization system. As part of the investigation, Kushiro Coal Mine and Osaka Gas have promoted the effective utilization by gas concentration technique using Pressure Swing Adsorption, and the whole system has operated in 2017. The purpose of this article is to review general design of the gas concentration project of Kushiro Coal Mine.

KEY WORDS: Kushiro Coal Mine, Osaka Gas, Coal Mine Methane, Methane Gas Concentration, Pressure Swing Adsorption

1. はじめに

釧路コールマインは、北海道釧路市の東南に位置する、現在、我が国唯一の坑内採掘海底炭鉱である。その前身は、大正9年から平成14まで稼働した太平洋炭礦株式会社（以降太平洋炭鉱）であり、釧路コールマインは平成14年1月末、太平洋炭鉱の閉山翌日から操業を開始し、現在、海面下約300メートル以浅を採掘対象として操業している。Fig. 1に釧路コールマインの位置と坑内概況図を示す。石炭の採掘は、太平洋炭鉱時代同様、釧路市から太平洋の沖合に向かって5度～6度の傾斜で賦存する海底下の新生代古第三紀の春採炭層であり、そのうちの4番層（上層）、5番層（本層）と6番層（下層）を対象に行っている。太平洋炭鉱時代は、採掘に伴い、メタンガスが大量に湧出することから、これらを積極的に回収利用を促進してきた。この随伴ガスをCMM（炭鉱メタン：Coal Mine Methane）と呼ぶ。一方、石炭層の下位に堆積する白亜系岩盤層には大量の基盤水があり、排水ボーリングの際にメタンガスが湧出することから、CMMと併せて、都市ガス供給会社へ提供していた。

その後、都市ガスの規格が13Aへ転換され、都市ガスへの転用が困難となったため、供給は停止した。また、釧路コールマイン移行後は、採掘区域（鉱区）が太平洋炭鉱時代の1/3程度となったこと、浅部で既採掘区域近傍を採掘対象としていること等で、CMMの回収量が減少したため、メタンガス利用が停滞していた。しかしながら、近年、天然ガスの利用促進が提唱されるに至ったことを背景に、釧路コールマインにおいてもCMMの積極的利用を行うべしとの判断から、現在、将来の高度利用を念頭に、その回収技術開発や利用技術開発を目指して、調査・研究を推進することとした。とは云え、白亜紀層の基盤水から湧出するメタンガスは高濃度であるが、CMMは、濃度が30～40%と低濃度で、しかも変動するため、利用が限定的である。そこで、これまで、CMMを対象に、濃縮技術の開発を大阪ガスとの共同研究にて推進してきた。その成果については、資源・素材2015（熊本）において、「釧路コールマインのメタンガス開発と濃縮利用」¹⁾として発表させて頂いた。内容は、釧路コールマインの採炭方式やCMM回収技術、大阪ガスとの共同研究で実施した低濃度CMM濃縮試験、および高濃度CMM濃縮試験結果の概要であった。

釧路コールマインと大阪ガスは、引き続き共同研究を続けてきたが、平成28年度に経済産業省資源エネルギー庁の補助金の一部を充当し、釧路コールマインの坑内から回収した30～35%程度の低濃度CMMを対象に、ボイラー燃料への転換を図るべく、本邦初の商業ベースのCMM濃縮装置を建設し、稼働させることに成功した。その概要については、「釧路コールマインのメタンガス開発と濃縮利用 第2報」²⁾として、資源・素材&EARTH2017（札幌）において報告させていただいた。

*2018年2月7日受付 2018年5月16日受理

1. 正会員 工博 釧路コールマイン株式会社 専務執行役員

2. 大阪ガス株式会社 係長

3. 正会員 釧路コールマイン株式会社 資源開発部長

4. 正会員 釧路コールマイン株式会社 庶務部長

5. 釧路コールマイン株式会社 通気担当リーダー

[著者連絡先] FAX: 0154-91-9549

E-mail: hmatsumoto@k-coal.co.jp

キーワード：釧路コールマイン、大阪ガス、炭鉱メタン、メタンガス濃縮、圧力スイング吸着法

Fig.1 Outline of Kushiro Coal Mine.

Fig.2 Picture of fully mechanized long-wall mining system.

本論では、既報をベースに、一部追記して改めて報告するものである。なお、白亜系岩盤内に胚胎するメタンガスに関する調査・研究については、別途平成 25 年より資源・素材学会秋季講演会にて報告しており、資源・素材 & EARTH2017 (札幌) においても、「岩層ガス採掘小委員会の活動報告第 5 報」³⁾ を発表した。

2. 釧路コールマインの CMM 回収技術

2・1 CMMの回収方法

釧路コールマインの石炭採掘方法は、太平洋炭鉱が昭和 40 年代に自走枠（シールド枠）とドラムシアラを組み合わせで開発し、以降世界標準となった長壁式機械化採炭方式（当社では SD 採炭システムと呼ぶ）を採用している。Fig. 2 に、SD 採炭方式の切羽写真を示した。また、Fig. 3 に、採炭方式の模式図を示した。採炭切羽は、Fig. 3 にあるように、外気を送り込み、石炭を運搬するベルトコンベヤを敷設した「ゲート」と呼ばれる約 1 km の坑道と、排気を司る「風坑」と呼ばれる同じく約 1 km の坑道を掘り、それらをつなぐ様に「切羽面」または、「切羽面坑道」と呼ばれる約 200 m の坑道を掘り、切羽面坑道に自走枠とドラムシアラを設置して稼働させるものである。

CMM は、主として、採炭や掘進等の採掘に伴う地圧変化で応

Fig.3 Schematic view of fully mechanized long-wall mining system.

力が解放され、亀裂が進展し、石炭表面積が増加することによって湧出が促進されて出るメタンガスを指す。採炭に伴い湧出するメタンガスは、送風された外気によって希釈され、風坑から排出されるものと、Fig. 3 に記載されている「採掘跡」（払跡＝はらいあと）に留まるものがある。そこで、採炭開始前や採炭中に、採炭終掘地点か近傍の坑道からメタンガスを回収するためのボーリングを、採掘跡や採炭区画上方に向けて実施する。一例として、Fig. 4 にその概略を示した。ボーリングは、高さや長さによって、長孔・中孔・短孔と区分し、採炭区画全域を網羅するよう設計・配置する。

ボーリング完成後はストレーナーパイプを挿入し、採炭終了時までメタンガスを坑外へ吸引・誘導するが、採掘跡は短時間で完全に閉塞しないため、採炭終了後もメタンガスが出続ける限り吸引・誘導する。一方、ガス湧出量の多い炭鉱では、直接石炭層にボーリングを行う、いわゆる「地山ガス抜きボーリング」を実施する場合があるが、釧路コールマインでは頻度は少ない。また、採炭が終了した際には、ゲートおよび風坑が充填密閉されるが、採掘跡と直結しているため、ガス抜き誘導管を設置し、監視するとともに、必要があれば坑外へ吸引・誘導する。

2・2 CMMの坑外への誘導とボイラー燃料としての利用

SD 採炭切羽における各種ボーリング孔、また採掘跡や密閉裏

Fig.4 Schematic view of methane gas drainage system for fully mechanized long-wall mining system.

Fig.5 Schematic view of methane gas drainage system from underground to surface facilities.

Fig.6 Brower system for methane gas drainage.

等から CMM を坑外へ誘導するため、吸引器である「ガス抜きブロウ」を坑外に設置している。坑内から坑外に至るメタンガス誘導システムの概略図を Fig. 5 に示した。坑内から誘導されるメタンガスは、ガス誘導管に接続され、ガス抜きブロウで吸引された後、CMM 濃縮設備を経由して坑口ボイラーに供給される。坑内

のガス誘導管には、メタン濃度計、一酸化炭素濃度計、ガス流量計、そして負圧計が設置されており、伝送ラインによって保安監視室である「指令室」へデータが送られ、常時監視している。

Fig. 6 にブロワの概念図を示した。このブロワには、前段に2基の水封安全器を備えている。これは、水タンクであり、その

Fig.7 Development of low level CMM concentration system.

容積は1基あたり、1,300リットルである。ブロワ本体は、A群、B群の2基が設置されており、それぞれ55kWの電動機を備え、吸引量15m³/min、吸引圧力ー29.4kPaの能力を持っている。ブロワの吐出側には、流量計の他、管内および座内にメタン濃度計と一酸化炭素濃度計を設置し、指令室にデータ伝送して常時監視している。なお、現在はA群またはB群の一系統のみ稼働している。

3. 炭鉱メタンガスの濃縮技術

大阪ガスはこれまで、コア技術である「吸着技術」を活用して2種類の炭鉱メタン濃縮技術を開発してきた。

1つ目は、「低濃度CMM濃縮技術」であり、CH₄濃度が20～40%のCMMをターゲットとしている。メタンを選択的に吸着する吸着材料を用いた真空圧力スイング吸着法 (Vacuum Pressure Swing Adsorption: VPSA) を活用し、未利用で大気放散されているCMMを50～60%程度まで濃縮することにより、ガスエンジンやボイラー燃料として有効利用することが可能になる。

2つ目は、「高濃度メタン濃縮技術」であり、CH₄濃度が50%以上のCMM・炭層メタン (Coal Bed Methane: CBM)・廃坑メタン (Abandoned Mine Methane: AMM) をターゲットとしている。メタン以外の成分を選択的に吸着する吸着材料を用いた圧力スイング吸着法 (Pressure Swing Adsorption: PSA) を活用し、原料ガスを都市ガスやCNG・LNG規格まで濃縮することにより、ガスエンジンの燃料としてのみ利用されていた原料ガスをさらに高付加価値なガスとして有効利用することが可能になる。

これらの技術は、大阪ガス製作の試験装置により、模擬ガスを用いて試験を行い、様々なデータを取得した上で、実炭鉱ガスによる影響を評価するため、試験装置を釧路コールマインへ移設し、実炭鉱ガスによる濃縮試験を実施した。これら技術試験装置の結果を踏まえ、「低濃度CMM濃縮技術」を適用した、商業ベースのCMM濃縮装置を2016年度に建設し、実稼働に至ったことから、その概要を以下に記す。なお、大阪ガスによる低濃度CMM濃縮に関する技術開発経過をFig. 7に示した。

3・1 低濃度CMM濃縮技術プロセスの概要

本プロセスの代表的なフローをFig. 8に示す。VPSAへ導入された原料ガスは、メタンを選択的に吸着する材を通過することで、塔頂よりメタン以外の成分および一部のメタンが取り出され、吸着材に吸着したメタンリッチガスは真空ポンプで塔底より吸引することで取り出される。真空ポンプにより取り出された製品ガスは、吸引開始時はCH₄濃度が低く、徐々に高くなるため、濃度の均一化を目的として製品ガスタンクを備えており、タンクより

Fig.8 Process flow of low level CMM concentration system.

ボイラーへ送出する。製品ガスタンク出口でのCH₄濃度は、65～70%程度であるが、濃度が高すぎて調整が必要な場合は、原料ガスの一部を製品ガスに混ぜることで、目的の製品ガスCH₄濃度にて、送出が可能である。

3・2 低濃度CMM濃縮装置

坑内から誘導されたCMMは、ガス抜きブロワで吸引された後、CMM濃縮設備で濃縮され、坑口ボイラーへと供給される。今回建設したCMM濃縮設備は、CH₄濃度30%以上のCMMを最大250Nm³/h処理することができる設備である。主な設備の仕様をTable 1に、設備の全景をFig. 9に示す。

本設備は、主に原料ガスブロワ・脱湿のための熱交換器と気液分離器・吸着塔・真空ポンプ・製品ガスタンクで構成されている。設備内のCH₄濃度は、メタン濃度計により常時監視されており、吸着塔を除き、3%以下か30%以上とし、CH₄の爆発範囲 (CH₄濃度5～15%) を避けるように設備は設計されている。抽出されるCMMは、30～35%の間で変動しているが、吸着塔上部より排出されるオフガスのCH₄濃度が3%を超えないよう、吸着塔の切り替え時間を自動で制御している。本制御は、大阪ガスのノウハウであり、特許も保有している。また、設備の取り扱い点には、フレイムアレスタを設けており、逆火防止対策を施した。

3・3 実稼働結果

3・3・1 低濃度CMM濃縮設備の性能確認運転 本設備により、実際にCMMを吸着塔へ180Nm³/h供給、濃度調整ラインは使用せずに運転し、濃縮性能・CH₄回収率の性能確認を行った。Fig. 10に実稼働時の原料ガス・製品ガス・オフガスそれぞれのCH₄濃度の経時変化を示す。CH₄濃度31%のCMMを安定的に65%以上まで濃縮できたことが分かる。製品ガス流量は83Nm³/h、CH₄回収率は97%であった。

3・3・2 坑口ボイラーとの連結運転 吸着塔の定格処理量の

Table 1 Specification of low level CMM concentration system.

	全体の処理性能 (濃度調整ライン使用時)	吸着塔部分の処理性能 (濃度調整ライン不使用時)
原料ガス (CMM)		
流量 [Nm ³ /h]	250 180Nm ³ /h は吸着塔へ 70Nm ³ /h は濃度調整ラインへ供給	180
CH ₄ 濃度 [%]	30 ~ 35	30 ~ 35
製品ガス		
流量 [Nm ³ /h]	146 ~ 154	78 ~ 86
CH ₄ 濃度 [%]	50 ~ 55	65 ~ 70
設備性能		
濃縮性能 [%up]	20	35
CH ₄ 回収率 [%]	93 以上	90 以上

Fig.9 Picture of low level CMM concentration system.

Fig.10 Trend of methane gas concentration at operating state.

Fig.11 Picture of boiler.

約 1/3 である約 63 Nm³/h の CMM を濃縮し、製品ガスの坑口ボイラーへの送出を行った。CH₄ 濃度約 32 % の CMM を安定的に約 58 % (約 31 Nm³/h) まで濃縮、坑口ボイラー入口直前で、CH₄ 濃度約 32 % で約 219 Nm³/h の CMM と混合させ、CH₄ 濃度約 35

% で約 250 Nm³/h の燃料を製造、ボイラーにて安定して燃焼することを確認した。Fig. 11 に、製品ガスを供給した坑口ボイラーを示す。

なお、現在、ボイラー効率の向上を目指して、新規の貫流ボイ

Table 2 Methane gas concentration result measured by gas chromatography.

項目	濃縮装置投入前 (CMM)	濃縮装置投入後 (製品ガス)
O ₂	4.410 %	3.676 %
N ₂	61.560 %	35.594 %
CH ₄	32.423 %	58.149 %
C ₂ H ₆	25.004 ppm	52.381 ppm
C ₃ H ₈	0.428 ppm	0.485 ppm
i-C ₄ H ₁₀	0.000 ppm	0.000 ppm
n-C ₄ H ₁₀	0.000 ppm	0.000 ppm
1-C ₄ H ₈	0.000 ppm	0.000 ppm
t ₂ -C ₄ H ₈	0.000 ppm	0.000 ppm
i-C ₄ H ₈	0.000 ppm	0.000 ppm
c ₂ -C ₄ H ₈	0.000 ppm	0.000 ppm
CO ₂	1.605 %	2.576 %
CO	0.233 ppm	0.898 ppm
C ₂ H ₄	0.000 ppm	0.000 ppm
C ₃ H ₆	0.000 ppm	0.000 ppm
+C ₄ H ₈	0.000 ppm	0.000 ppm

ラーを建設中である。この貫流ボイラーは、メタンガス濃度が55%～60%程度必要とすることから、所定の濃度を維持できるか試験を行い良好な結果を得ることができた。Table 2 に濃縮装

置投入前後のガス成分分析結果を示した。

4. お わ り に

坑内採掘石炭鉱山において、可燃性ガスであるメタンガスの管理、処置は、鉱山保安法によって規制されており、大変重要な課題である。特に同法によって、甲種炭鉱では、ガス抜きブローヤや集中監視システムの設置が義務づけられており、本邦石炭鉱山の保安確保に大きな足跡を残した。一方、メタンガスは温室効果ガスであり、大気放出は出来るだけ避けなければならない。その様な環境下にあつて、今次、低濃度 CMM の濃縮装置が商業ベースで実稼働し、ボイラー燃料として有効利用できたことは大変有意義なことであると考えます。

また、メタンガスはボイラー燃料として使われる他、ガスエンジン発電燃料や水素製造原料としても価値が高い。その意味においても、CMM 濃縮装置の可能性は一段と高まったと認識する。これを契機に、今後も CMM の利用拡大に努めたい。

References

- 1) H. Matsumoto, K. Uchida, Y. Ichihara, Y. Suzuki, T. Kotani and S. Kawashima: MMIJ Fall Meeting (2014), [A10-8].
- 2) H. Matsumoto, S. Kawashima, K. Uchida, Y. Ichihara, Y. Suzuki: MMIJ Fall Meeting (2017), [3601-06-05].
- 3) H. Matsumoto, K. Uchida, T. Sato, A. Sato, J. Aizawa, H. Suenaga: MMIJ Fall Meeting (2017), [2301-06-06].