

コールベッドメタン増進回収システムの成立性に関する研究

環境システムコース エネルギー環境システム学
26644 児玉 裕幸

1. 研究目的

コールベッドメタン (Coalbed Methane : CBM) は、地中の石炭層に存在するメタンである。CBM は遊離ガスと吸着ガスで構成されるが、9 割以上は吸着ガスであると考えられており、これをいかに回収するかが CBM 開発の大きな鍵であった。

CBM の生産技術の一つとして、ガスを石炭層に注入することにより CH_4 の生産を促進させる、いわゆる CBM 増進回収法が近年注目されている。注入ガスには、主として CO_2 や N_2 が使用される。石炭に対する吸着性は CO_2 が CH_4 の約 2 倍、 N_2 は CH_4 の 1/2 であると言われている。 CO_2 を含んだガスを石炭層に注入すると、 CO_2 は石炭に吸着していた CH_4 と置換して石炭に吸着して固定され、脱着した CH_4 を回収できる。一方で、 N_2 を含んだガスを石炭層に注入すると、 CO_2 を注入するより多くの CH_4 を回収できる。しかし、石炭への吸着性の小ささから N_2 は CH_4 と一緒に生産されてしまうので、生産後に分離する必要がある。従って、コールベッドメタン増進回収システムの設計の際には、 CO_2 分離後のガスを注入する方法と、 N_2 を含んだガスを注入して回収した CH_4 から N_2 を分離する方法のどちらが経済的に有利かを検討する必要がある。

以上の背景を踏まえ、本研究はコールベッドメタン増進回収システムの成立性に注目し、システムの開発可能性を提示することを目的とした。まず、CBM 増進回収シミュレータを開発し、CBM の生産量がどのように変化するかを評価した。次に、システムの採算が合うための条件を検討するためにその経済性を評価した。

2. 石炭層シミュレータの開発

2.1 ECOMERS の改善

本研究室で関口[1]が作成した 2 次元 3 相 CBM 増進回収シミュレータ「ECOMERS」に改善を加えて新たなシミュレータを作成した。ECOMERS は、石炭層内の流体として CH_4 、 CO_2 、 N_2 の 3 種類のガスと水を考慮し、5 スポットパターンで注入・生産を行うことを前提とするシミュレータである。

本研究では、以下の点を主に変更した。

- ・流体の圧力変化による孔隙体積の変化と、絶対浸透率の変化を組み込む。
- ・ガスの石炭に対する吸着・脱着時間を定義する。
- ・CBM 成分としてフラクチャー内の水への溶解ガスを取り扱う。

また、注入ガス量一定の条件での計算を可能にするなど、計算手法を変更した。

2.2 作成したシミュレータの信頼性評価

作成したシミュレータの信頼性を検証するためには、実測データとシミュレーションで得られる結果のマッチングを行う必要があるが、実測データを得ることは難しい。そこでカナダの Alberta Research Council Inc. が開催する石炭層シミュレータの比較研究[2]の結果とマッチングした。この比較研究には、石油会社などが作成する 6 つのシミュレータが参加している。これらのシミュレータは石油生産シミュレータを基礎にして作られたもので、実際に CBM 生産にも利用されており、信頼性があると考えられる。

比較研究では、炭層の地質条件(表1),水・ガスの物性値,注入・生産条件(表2),注入井・生産井配置(図1)などが提供されているので、それによってシミュレーションを行った。

表1 地質条件

炭層厚さ	9 m
炭層深さ	1253.6 m (最高点)
絶対浸透率	3.65 md
孔隙率	0.001
貯留層温度	45
炭層圧力	7650 kPa (一定)
水飽和率	59.2 %
ガス飽和率	40.8 %

表2 注入・生産条件

注入ガス・速度	CO ₂ 100 % 28316.82 sm ³ /day
注入・生産期間	182.5 days
最大注入井坑底圧	15000 kPa
生産ガス	CH ₄ , CO ₂
最大ガス生産速度	100000 m ³ /day
最低生産井坑底圧	275 kPa

2.3 評価結果と考察

前節の条件の下で計算を行った結果を示す。図2はCH₄生産速度が時間の経過と共にどのように推移するかを示したものである。グラフ内の右上にはこの条件の比較研究に参加した4つのシミュレータ名を記載している。結果として、約60日までは他のシミュレータと同じ挙動を示しているが、後半で大きい値を取っている。また、図3は注入井の坑底圧力の時間推移を示している。他のシミュレータでは20日以降約7500~8000 kPaで一定であるのに対し、本シミュレータでは7000 kPa前後の値を取っている。

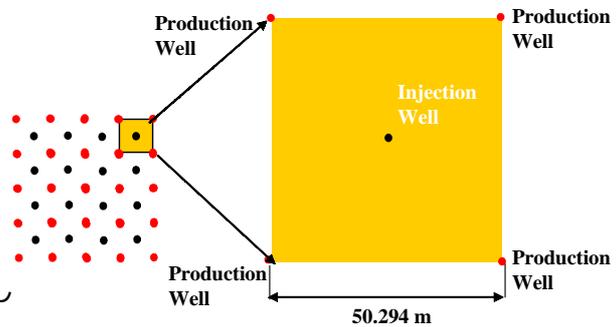


図1 5スポットパターン

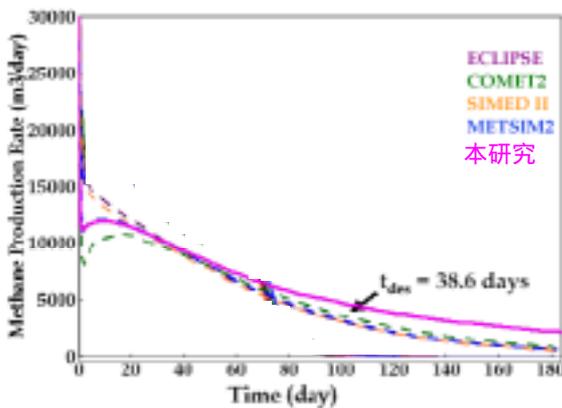


図2 CH₄生産量の時間推移

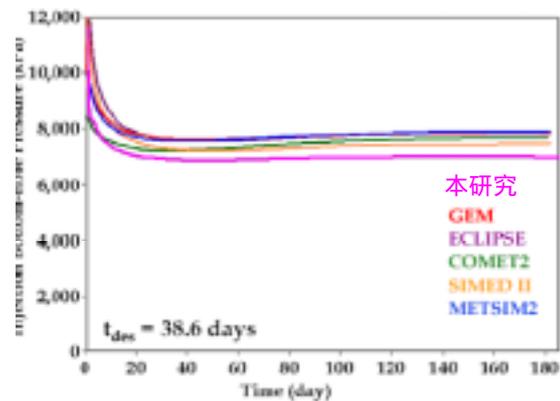


図3 注入井坑底圧の時間推移

この原因のひとつを以下のように考察した。CO₂が石炭に吸着すると、石炭内マトリックスが膨張し、絶対浸透率が減少してCH₄の生産量も減少すると考えられる。しかし、本シミュレータでは、CO₂の吸着による石炭の膨張を考慮しなかった。そのため、その減少分も余分に生産されてしまったと考えられる。今後、石炭の膨張をモデル化してプログラムに取り入れる必要がある。

3. 経済性評価

3.1 コールベッドメタン増進回収システムの設定

日本で ECBMR システムを稼動すると想定する。

今回の経済性評価モデルでは、注入ガスの流量を 25,120 Sm³/h 規模と設定した。そして、後述する技術パラメータに基づいて逆算して CO₂ 分離・回収・圧縮の操業規模やパイプライン規模を想定した。火力発電所は、年間約 400 万 t の排ガスを排出する出力 100 万 kW 級天然ガス焚き火力発電所を想定し、その中から、炭層注入に必要な量のみを ECBMR に利用すると仮定した。発電所の排ガスの成分は、N₂: 71.36%、CO₂: 13.34%、H₂O: 11.03%、O₂: 4.27%、SO₂: 230 ppm、SO₃: 1.3 ppm、NO_x: 350 ppm とする。

システムの経済性評価を行うにあたっては全体を 1)火力発電所からの CO₂ の分離・回収プラント、2)圧縮プラント、3)注入ガス輸送パイプライン、4)炭層へのガス注入と炭層からのガス生産、5)CH₄ の分離・回収プラント、6)生産 CH₄ の輸送パイプラインの 6 段階に分ける。

3.2 経済パラメータの設定

資金調達の間では、開発システムにおいて総投資資金の 30% を自己資本で、残りは借入金で調達されるものとする。開発システムは、建設から経済的操業まで 19 年を想定した。プラント建設に 3 年かかることを想定し、4 年目から 19 年目までの 16 年間で生産するスケジュールを設定した。

運転コストの算出に当たっては、2000 年度を基準年度として想定し、毎年 2% のインフレ率を考慮した。原価要素の内容としては、1)変動費、2)減価償却費、3)修繕費、4)人件費、5)損害保険料、6)金利、7)一般管理費、8)運転用消耗品費、9)マーケティング費、10)法人税・地方税・固定資産税・消費税を想定した。

CH₄ 価格は、2000 年度 LNG の輸送費込み日本受け取り価格の 8 カ国単純平均 4.44 US\$/MMBTU を想定し、削減 CO₂ クレジット価格は 30 US\$/ton、35 US\$/ton、40 US\$/ton、45 US\$/ton を設定した。

3.3 技術パラメータの設定

炭層へのガス注入成分としては、CO₂ 50% と N₂ 50% の混合ガス、100% CO₂ を考える。

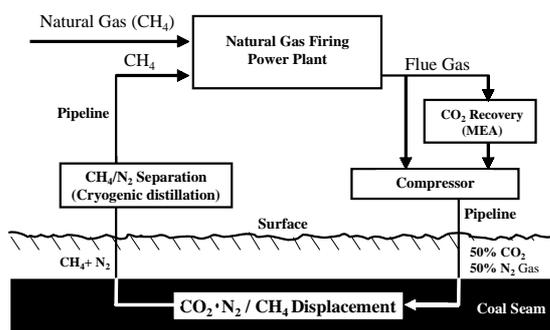


図4 CO₂ 50% と N₂ 50% の混合ガス注入

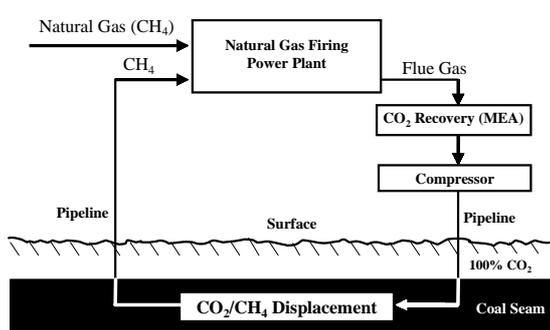


図5 CO₂ 100% 注入

注入ガスが CO₂ 50% と N₂ 50% の混合ガスの場合、注入ガスが CO₂ 100% のときに比べ、CH₄ 生産量が多くなるが、N₂ を分離する大規模な CH₄ の分離・回収プラントが必要になる。一方、注入ガスが CO₂ 100% の場合は、注入ガスが CO₂ 100% のときに比べ CH₄ 生産量は少なくなる。大規模な CO₂ の分離・回収プラントを作る必要があるが、N₂ を分離する CH₄ の分離・回収プラントは必要ない。

注入ガスが CO₂ 50 % と N₂ 50 % の混合ガスの場合について経済パラメータを入れて算出した ECBM システムの総コスト内訳を表 3 にまとめた。

3.3 経済性評価結果と考察

経済性評価を行うにあたり、収益判断指標として、純現在価値 (NPV) を用いた。

(1) ガスを注入する場合

削減 CO₂ クレジット価格が US\$ 30 ~ 40/t では CO₂ 50 % ・ N₂ 50 % の混合ガスの注入によるシステムの方が 100 % CO₂ の注入によるシステムより経済的に有利であった。

両者の経済性の優劣の分岐点は、削減 CO₂ クレジット価格が US\$ 45/t のあたりにある。

(2) ガス注入しない場合

注入パターンの違いによる影響を検討するため、ガスを注入しない場合についても経済性評価を行った。その結果、経済利益が見込める状態となった。ガスを注入しなかった場合に NPV

が正となり、ガスを注入すると NPV が負となる原因としては、炭層の浸透率が高いため、ガスを注入しなくてもガスを注入した場合と遜色ない量の CH₄ を生産するためだと考えられる。ガスを注入しなかった場合でも 100 % CO₂ ガスを注入した場合の 7 割の生産量があった。ガスを注入しない場合は、CO₂ の分離回収・圧縮システム・注入ガスパイプラインが必要ないほか、注入井の掘削をする必要がないため、建設コストやその運転に関わるコストが省略できる。

6. 結論

CBM 増進回収シミュレータを作成した。長期にわたる生産予測をする石炭層シミュレータの開発のためには、石炭の膨張をモデル化するなどの処理が必要である。

コールベッドメタン増進回収システムの経済性評価を行った。その結果、ガス注入の場合に関してはよい経済性の結果が得られなかった。日本では、電力単価、試錐機材コストが高価であるため、CO₂ の分離回収・圧縮に高いコストがかかるためであると考えられる。

参考文献

- [1] 関口健志, 排ガス注入によるコールベッドメタン増進回収法に関する研究, 東京大学大学院工学系研究科地球システム工学専攻修士論文, (2002)
- [2] David H.-S. Law, L.G.H. (Bert) van der Meer and W.D. (Bill) Gunter, " Comparison of Numerical Simulators for Greenhouse Gas Sequestration in Coalbeds, Part III: More Complex Problems ", [http://www .arc.ab.ca/extranet/ecbm/](http://www.arc.ab.ca/extranet/ecbm/) , (2003)

表 3 ECBMR システム (CO₂ 50 % N₂ 50 %)

Item	Capital Cost (M US\$)	Operating Cost (M US\$)
CO ₂ Recovery	33.1	14.1
Compression	8.3	3.9
Pipeline	10.5	0.4
Coalbed (field)	92.9	8.0
Product separation	77.5	8.4
Methane pipeline	11.7	0.4
Sub-total	234.0	35.2
Continuing Expenses	18.0	
Working Capital	16.1	
Total Investment	303.3	

表 4 経済性評価結果 (16 年間)

Sensitivity factors	Continuous injection with 50% CO ₂ + 50% N ₂	Continuous injection with 100% CO ₂	No injection
CO ₂ Price	NPV(\$)	NPV(\$)	NPV(\$)
US\$ 30/t	-39M	-60M	126.8M
US\$ 35/t	-35M	-48M	126.7M
US\$ 40/t	-31M	-37M	126.6M
US\$ 45/t	-27M	-25M	126.5M