

低品位炭層における二酸化炭素固定の実現可能性評価

環境システム学専攻 エネルギー環境学分野

56761 山口幸之助

1. 研究の背景と目的

温室効果ガスの削減やエネルギー問題の対処法のひとつとしてコールベットメタン増進回収 (ECBMR) が注目されている。ECBMR は炭層中に二酸化炭素を注入することにより、炭層中のメタン (CBM) と置換させ二酸化炭素炭層固定と天然ガス開発を実現できるというメリットを有している。

ECBMR プロジェクトの対象地域としては高品位炭層が望ましいが、低品位炭層でも浸透率が高いなどの炭層特性を有する炭層ならば、経済的に採炭対象とならなくても、主に二酸化炭素固定を目的とした ECBMR プロジェクトが適用できると考えられている。

しかし ECBMR は炭層内のガス挙動メカニズムが複雑で解明されていない上、実地試験もあまり行われていないので炭層に関するデータも少ないのが実情であり、ECBMR プロジェクトが経済的に成立するかどうか評価する必要がある。

2. 研究の目的と方針

ECBMR プロジェクトの対象地域は高品位炭層が望ましいが、低品位炭層でも浸透率が高いなどの炭層特性を有する炭層ならば、ECBMR プロジェクトが適用できると考えられている。全世界の石炭埋蔵量の 54% に当たる 3 兆 8724 億トンが低品位炭なので、低品位炭層でも ECBMR の対象地域になるとすると、対象地域となりうる炭層は膨大な量になり、メタンの回収だけでなく、二酸化炭素の固定サイトとしての役割も期待されている。そのような理由から低品位炭層における ECBMR プロジェクトの経済性指標を示し、実現可能性評価を行うことを本研究の目的とする。

本研究では、上記二酸化炭素注入に伴う浸透性の低下を考慮したうえで、低品位炭の炭層データと、比較対象となる標準的な瀝青炭の炭層データを各炭層条件として、開発計画の違いがプロジェクトの経済性にどのように影響するかを評価することとする。開発計画の項目としては坑井間隔、注入ガス成分とした。

3. シミュレータ

炭層をガスの貯留層としてみた場合、炭層中のガスの挙動メカニズムが複雑であるため、ガスの生産や固定を予測するにはシミュレーションが不可欠になる。そのシミュレータとして研究室において開発してきたシミュレータを用いた。概要は次のとおりである。

炭層モデルは炭層マトリックスとフラクチャーからなる二重孔隙モデルとし、炭層マトリックスにおけるガスの吸着はラングミュアの吸着等温式、炭層マトリックス-フラクチャー拡散はフィックの法則、フラクチャー中の移流はダルシー則に従うとし、支配方程式は各ガス成分と水の質量保存式、解法は有限体積法・風上差分法・完全陰解法を用いた。

4. 開発計画の違いによる生産性

CBM の生産性は、貯留炭層特性と開発計画に影響を受ける。最も重要な炭層特性である絶対浸透率は低品位炭層では 50[md]、瀝青炭層では 5.0[md]とした。開発計画については、坑井間隔を 400,800,1200,1600,2000[m]、ガス注入に関しては、Primary (一次回収) と増進回収 (注入二酸化炭素成分を 0.25,0.50,0.75,1.00) と設定して計算を行った。残りの注入ガス成分は窒素である。

¼ of 5-Spot Pattern 5x5 Grid System

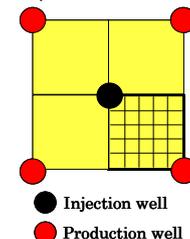


図1 坑井モデル

4.1 炭層マトリックスの膨張

ガス注入によりメタン脱着・二酸化炭素吸着現象が起こり、炭層マトリックスが膨張し浸透率が下がる様子を図に示した。どのグリッドでも浸透率はいったん上昇し、その後低下する。浸透率が上昇するのは炭層マトリックスに吸着していたメタンが脱着し、マトリックスが収縮するので浸透率が増加すると考えられる。一方、浸透率が低下するのは、二酸化炭素が炭層マトリックスに吸着し膨張するからである。グリッドごとに浸透率が低下する時期が異なるのは、注入ガスが達する時期の違いにより膨張が起こる時期が異なるからである。

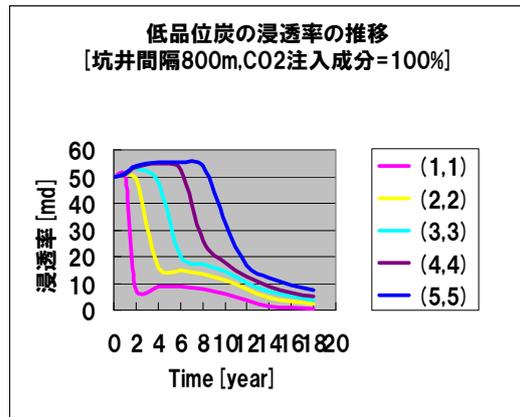


図2 浸透率の推移

4.2 坑井間隔

低品位炭層においてメタン生産速度を比較すると、坑井間隔が長いほど生産速度のピークに到達する時間は長く、ピーク値は高い。これは注入してから生産されるまでの移動距離が長く、坑井当たりの生産対象となる領域が広いからである。注入ガスを注入する増進回収ではその効果が観察された。

瀝青炭層における坑井間隔の違いによるメタン生産速度の推移の傾向は低品位炭層のそれと似ているが、低品位炭層との違いはピーク時の時期とその値が異なること、低品位炭のほうで急激に生産速度が低下するという点である。これらは本研究では、低品位炭層の浸透率が非常に高いため生産を開始してからメタンの移動速度が速くなる。炭層中に最初に存在するメタンの量は低品位炭層でも瀝青炭層でも同じであるとしているので、はじめ生産速度が高いとそれだけ時間の経過とともに生産速度の低下が生じる。そもそも、低浸透率炭層における生産が遅い要因は、生産井付近でガスの流動性が低いから、周囲において圧力の低下によるメタンの脱着が進みにくいことにある。

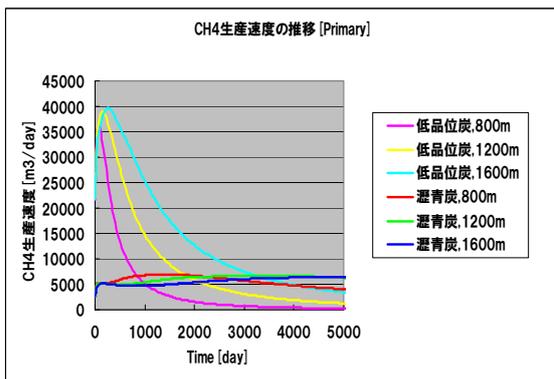


図3 メタン生産速度 (Primary)

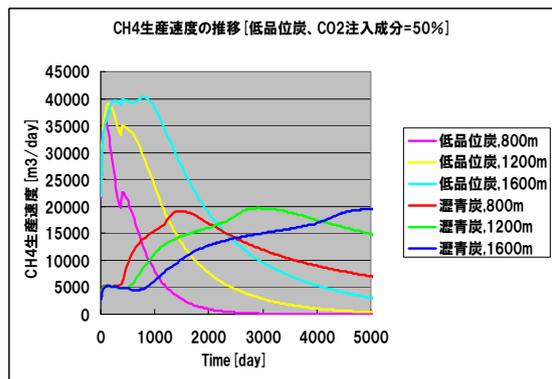


図4 メタン生産速度 (CO2-50%)

4.3 注入ガス成分

低品位炭層、坑井間隔 1200m におけるメタン生産速度、生産ガス中のメタン濃度・窒素濃度を示した。生産ガス中のメタン割合をみると、Primary と CO2-100% の場合のそれは、生産開始から 5000 日を過ぎても 100% である。Primary の場合は炭層中にメタンしか存在しないので当然であるが、CO2-100% の場合は二酸化炭素の吸着力が強いため、生産井に達するまで相当な時間がかかるということである。この時間は坑井間隔が短ければ短く

なり、坑井間隔が長ければ長くなる。

図から二酸化炭素濃度が低いほど、つまり窒素濃度が高いほどメタン生産の増進効果があるという結果になったが、その一方で、生産ガス中のメタン濃度が低くなることがわかった。これは生産ガス中の窒素濃度が高いからである。なぜなら吸着等温線からもわかるように窒素の吸着力は二酸化炭素やメタンのそれよりも弱いので、注入された窒素が注入井から生産井に至るまでの時間がはやいからである。

生産中に含まれるメタンの濃度が低下すると、生産ガスの発熱量が低下するため、生産ガスの精製過程を考えなければならぬため、そのためのコストがかかる。また、注入ガスの注入速度には注入圧の制約があるため、二酸化炭素濃度の低いガスを注入する場合は、二酸化炭素の固定量が低下することになる。そういったことから、二酸化炭素濃度が高いほ

ど生産速度は遅いが、メタン濃度の高いガスを効率的に回収できるといえる。

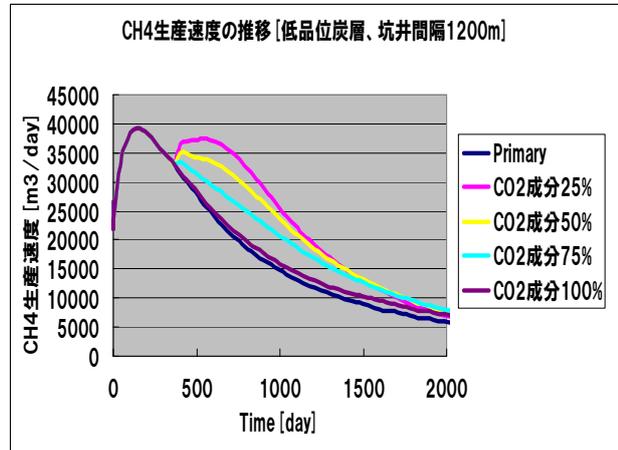


図5 メタン生産速度

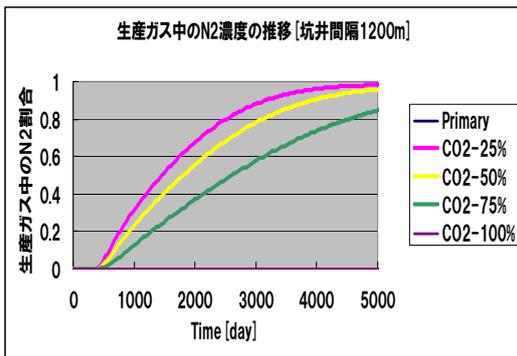


図6 生産ガス中の窒素濃度

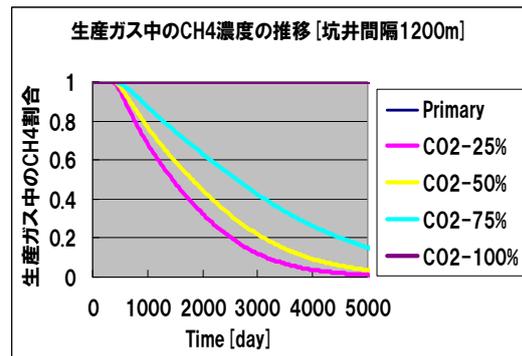


図7 生産ガス中のメタン濃度

5. 経済性評価手法

資源開発プロジェクトを評価する際に、最も重要なのはその経済性である。温室効果ガス排出削減オプションは複数あるので費用対効果の高い対策ほど優先順位が高くなる。

本研究では ECBMR システムを①発電所からの CO₂ 分離回収、②ガス圧縮、③注入ガス輸送パイプライン、④ガス注入とガス生産、⑤CH₄ の分離回収、⑥生産ガスの輸送パイプラインの6段階に分けて、対象炭層区域 7.2x7.2[km²]をブレイクスルー(生産ガス中の CO₂ 濃度が 10%以上) 到達年数と 18 年を比べて小さいほうの期間で開発すると仮定した。ECBMR の利益要素である CH₄ 販売価格を 4.44[US\$/MMBTU]、CO₂ クレジットを 30[US\$/t-CO₂]とした。排ガス購入費用は算入していない。

6. 開発計画の違いによる経済性

炭層条件はガス包蔵量が多く浸透率の高い炭層が良いが、特定の炭層条件下では坑井間隔や注入ガス成分が経済性に影響を与える。そこで、坑井間隔ごとに注入二酸化炭素成分を変えて、純現在価値を表1と表2に示した。低品位炭層について以下の分析を行った。

6.1 坑井間隔

低品位炭層においては注入二酸化炭素成分が 100%の場合以外、坑井間隔が長くなるにつれて純現在価値は大きくなる。坑井間隔が長くなるにつれて、坑井コストと生産ガス分離コストは小さくなり、二酸化炭素固定量も小さくなり、前者では純現在価値はプラス、後者ではマイナスに作用する。累積メタン生産量は一概には決まらないが、坑井コストと生産ガス分離コストが大きく影響することがわかる。

注入二酸化炭素成分が高いほど、生産開始から短い期間で一気に二酸化炭素固定が起こるが、それは本研究では経済指標として純現在価値を用いているため二酸化炭素固定による収益の影響は注入二酸化炭素成分が高いほど大きくなっていき、注入二酸化炭素成分が 100%では坑井間隔が 800m のときに最も純現在価値が大きくなっている。

6.2 注入ガス成分

低品位炭層で同じ坑井間隔において、一次回収と増進回収を比較すると、坑井間隔 800m 以外では一次回収のほうが純現在価値は大きくなっている。これは増進回収では注入井の坑井コストがかかるのに対し、一次回収ではそれが不要で生産ガスの分離回収コストもかからないからである。

増進回収間で比較すると注入二酸化炭素成分が高いほうが純現在価値は大きくなっている。注入二酸化炭素成分が 100%以外の場合では生産ガスの分離回収コストがかかるのに対し、注入二酸化炭素成分が 100%の場合では不要であり、さらに上記の収益の分析からも注入二酸化炭素成分が高いほうが純現在価値は大きくなっていることは説明できる。

表 1 純現在価値（低品位炭層）

		坑井間隔				
		400m	800m	1200m	1600m	2000m
一次回収(Primary)		-177	6	37	43	41
増進回収 (CO2成分)	25%	-555	-211	-94	-36	-13
	50%	-385	-129	-47	-13	-1
	75%	-300	-36	-6	6	9
	100%	-199	23	22	17	12

6.3 低品位炭層と瀝青炭層における純現在価値の比較

低品位炭層と瀝青炭層における純現在価値をそれぞれ表 1、表 2 に示した。純現在価値がプラスになる開発計画には色をつけた。このように同じ開発計画での純現在価値の比較が可能になり、開発計画によりどちらの炭層条件が適しているのか、またはその逆で炭層条件によりどのような開発計画が適しているかわかる。

表 2 純現在価値（瀝青炭層）

		坑井間隔				
		400m	800m	1200m	1600m	2000m
一次回収(Primary)		-46	12	2	-5	-9
増進回収 (CO2成分)	25%	-771	-137	-53	-40	-34
	50%	-353	-63	-31	-30	-28
	75%	-60	0	-13	-23	-27
	100%	-124	43	-3	-21	-29

7. 結論と今後の課題

注入二酸化炭素を吸着することにより炭層マトリックスが膨張し浸透率が低下することが確認できた。低品位炭層と瀝青炭層において、開発計画（坑井間隔と注入ガス成分）の違いがプロジェクトの経済性に与える影響を示した。本研究で用いた炭層データにおいて低品位炭層では坑井間隔が長いほうが概ねプロジェクトの経済性があることがわかった。注入ガス成分については、一次回収と増進回収では一次回収、増進回収間では概ね注入二酸化炭素成分が高いほうに経済性があった。このことから開発計画によっては低品位炭層での炭層固定プロジェクトを導入することが考えられる。しかし、経済性に影響する炭層特性は浸透率だけではないので、広く炭層特性を集めて経済性評価を行う必要がある。