

CCS実証試験実施に向けた専門検討会（第1回）

議事録

日時：平成23年10月26日（水曜日）14：00～17：00

場所：経済産業省別館11階第1120共用会議室

議事

- （1）本検討会の公開について
- （2）本検討会の開催趣旨について
- （3）本検討会の進め方及び報告書の取りまとめ方針について
- （4）苫小牧地点の貯留性能に関する事項について
- （5）苫小牧地点の貯留層の周辺環境に関する事項について

議事内容

○石井補佐　ただいまから、第1回CCS実証試験実施に向けた専門検討会を開催いたします。最初に、経済産業省大臣官房審議官の中西から一言ごあいさつ申し上げます。審議官、よろしくお願いいたします。

○中西審議官　こんにちは。経済産業省産業技術環境担当の中西と申します。本日は皆様お忙しい中をお集まりいただきまして、ありがとうございます。

この検討会はCCSの大規模実証試験実施に向けまして、これまで経済産業省がいろいろな形で進めてまいりました苫小牧地区における地質調査の結果についての技術的な評価を行いますとともに、同じようにこれまで調査事業としてやってまいりました実証試験の計画（案）について、その妥当性の確認をいただくための検討会でございます。今後数回にわたりまして皆様にいろいろとお世話になりますがよろしくお願いいたします。

これも皆様ご案内のとおりでございますけれども、地球温暖化の問題というのは大きな問題だと認識されているところでございますし、とりわけ2008年に日本の北海道で開かれましたG8洞爺湖サミット。その場でも2050年に向けてCO₂排出量を世界全体で半減しようではないかという力強い目標を立てて、各国でそれに向かった努力をやっていこうというような形で進めております。しかしながら、中国とかインドといった新興国は経済発展とともにどんどんCO₂を出している。それに対しては、あらゆる技術的な選択肢を含

めて取り組んでいかななくてはならない形になっていると我々も認識しております。

そういった中で、この間のG8洞爺湖サミット。その中では、要はエネルギー効率化をどんどん進めましょうと。あるいは今後再生可能エネルギーをどんどん広げていきましようといったこととともに、CCSを含めます先進的な技術についても、積極的に取り組んでいくのだという形の合意が得られているところでございます。

とりわけCCSにつきましては、2020年には世界のいろいろな地域で広く実施が進んでいくために、各国でいろいろな努力を具体的に進めていきたいと思いますという中で、大規模な実証試験をどんどんスタートしていこうではないかということでも合意を得られている状況になってございます。

そういったこともありまして、欧米——これは中国も含めてでしょうけれども、各国では具体的な大規模実証プロジェクトがどんどん進んできております。年間数万トンから10万トンレベルのCO₂の地中固定化といった実証プロジェクトがかなり先行していると聞いておりまして、そういった中で我が国としても、この問題について積極的に対応していかななくてはならない状況に置かれているということだと認識をしております。

今回東北の大地震の結果、東京電力福島原発の事故が起きました。そして現在、エネルギー政策全体の見直しがされているところでございます。そういった中でいろいろな再生可能エネルギー。太陽エネルギーとか風力エネルギーといった形での再生可能エネルギーを、どんどん進めていくのだという方向になると思いますけれども、それに加えて、どうしても供給安定性という視点から考えますと、石炭火力の利用を引き続きやっけていかななくてはならない状況もありましようし、大規模な事業者からのCO₂排出というのもある程度の影響はどうしても出てきてしまう。そういった中で我が国としても、いかにCO₂を削減していくのかといった意味では、もう待ったなしの状況に来ているのではないかなと考えております。

この7月に国家戦略室のほうで、エネルギー政策全体の見直しの中での話ですけれども、エネルギー・環境会議といったものが開かれております。7月に中間的な取りまとめをやった中では、CCSにつきましても積極的に、優先的に取り組むべき課題だというような位置づけになっております。そういった位置づけの中で経済産業省は、これまでいろいろな形でやってきたものが具体的な実証の段階に進んでいくところの今大切な段階に来ていると認識しております。この場で皆様の技術的な、専門的な、あるいは社会的な、いろいろな背景をベースに議論していただきまして、安全かつ安心な形で実証試験が進んでいく

ことを期待しています。皆さんの忌憚なきご議論、ご検討をぜひともお願い、私からのご挨拶とさせていただきます。どうぞよろしくお願いいたします。

○石井補佐　　続きまして、資料確認及び委員等のご紹介を事務局からさせていただきます。

机の上にご置きます資料をご確認いただければと思いますが、まず「議事次第」という1枚紙、それから「配付資料一覧」、そして資料1としまして本専門検討会の「委員名簿」、資料2としまして本専門検討会の「公開について（案）」、資料3としまして本専門検討会の「開催趣旨」、資料4としまして「検討会の進め方と報告書の取りまとめ方針（案）」、資料5としまして「苫小牧地点における『貯留層総合評価』及び『実証試験計画（案）』の評価項目（案）」。そしてここから横長の紙でございますけれども、資料6としまして「苫小牧地点における貯留層評価」、資料7としまして「貯留層の周辺環境等評価」。ここから検討資料1という形で少し分厚い資料でございますけれども、「苫小牧地点における貯留層総合評価」、検討資料2としまして「苫小牧地点における実証試験計画（案）」というようになってございます。

なお、委員それから関係者席には平成21年に当省が取りまとめを行いました「CCS実証事業の安全な実施にあたって」、それから参考資料2としまして「関係法令等の抜粋」を配付してございます。これは既に公になって、ウェブ等からダウンロードできるというものでございます。

続きまして、資料1に基づきまして事務局から各委員のご紹介をさせていただきます。

まず初めに、東京大学名誉教授・山地委員です。

○山地座長　　山地でございます。よろしくお願いいたします。

○石井補佐　　なお、本検討会の座長につきましては山地委員にお願いしております。

続きまして、愛知工業大学総合技術研究所客員教授でいらっしゃいます熊沢委員。

○熊沢委員　　熊沢です。よろしくお願いいたします。

○石井補佐　　早稲田大学理工学術院創造理工学部特任教授でいらっしゃいます斎藤委員。

○斎藤委員　　斎藤です。よろしくお願いいたします。

○石井補佐　　九州大学大学院工学研究院教授でいらっしゃいます佐々木委員。

○佐々木委員　　佐々木でございます。よろしくお願いいたします。

○石井補佐　　財団法人地震予知総合研究振興会地震防災調査研究部長でいらっしゃいます澤田委員。

- 澤田委員 澤田です。どうぞよろしく。
- 石井補佐 慶應義塾大学理工学部教授でいらっしゃいます鹿園委員。
- 鹿園委員 鹿園です。よろしくお願いいたします。
- 石井補佐 独立行政法人海洋研究開発機構理事でいらっしゃいます白山委員。
- 白山委員 白山でございます。よろしくお願いいたします。
- 石井補佐 東京工業大学資源化学研究所長・教授でいらっしゃいます辰巳委員。
- 辰巳委員 辰巳です。よろしくお願いいたします。
- 石井補佐 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授でいらっしゃいます徳永委員。
- 徳永委員 徳永でございます。よろしくお願いいたします。
- 石井補佐 東京大学大学院工学系研究科教授でいらっしゃいます松橋委員ですけれども、本日、3時目途に到着される予定となっております。

続きまして、オブザーバーを紹介させていただきます。本日、オブザーバーとしまして苫小牧市から福原次長。

- オブザーバー（苫小牧市） 福原でございます。よろしくお願いいたします。
- 石井補佐 同じく、オブザーバーとしまして北海道から阪田部長。
- オブザーバー（北海道） 阪田です。よろしくお願いいたします。
- 石井補佐 オブザーバーとしまして、京都大学大学院工学研究科教授でいらっしゃいます松岡様。
- オブザーバー（松岡教授） 松岡です。よろしくお願いいたします。
- 石井補佐 以上のお三方にオブザーバーとして出席いただいております。

続きまして、実施者として本日は日本CCS調査株式会社と、それから産業技術総合研究所から担当の方にご出席いただいております。

それでは、これから先の進行につきましては山地座長からお願いいたします。

- 山地座長 座長に指名されました山地でございます。ご協力よろしくお願いいたします。

CCSについては、改めて申し上げるまでもありませんけれども地球温暖化対策として非常に重要な技術でありまして、これは震災、福島事故の前からだったわけですが、先ほど中西審議官がおっしゃいましたように、今回の事故を受けてますます重要性が増しているということでございます。ただ、CCSは上流から貯留のところまで大きなシステムでありますし、それから地下空間を使うということで調査、開発すべきこともいろいろござ

います。またこれから大規模実証という段階に入っていくわけですが、周辺環境への影響とか、貯留の安定性とか、いろいろ課題がございます。今回は非常に重要な局面ということでもありますので、ぜひ皆さんに慎重に審議していただければと思っております。

それでは、議事次第に沿って進めさせていただきますけれども、まず最初は本専門検討会の公開についてでございます。事務局から説明をお願いいたします。

○石井補佐　本専門検討会の公開につきまして、資料2に基づきましてご説明いたします。

本検討会は、以下によるものとする。

1. 専門検討会は原則、公開とする。開催日程は、事前に経済産業省のホームページに掲載する。傍聴については、検討会の運営に支障を来さない範囲で認める。

2. 議事録。これは記名でございますけれども、議事録につきましては原則、会議終了後1ヵ月以内に事務局が作成し、委員の了解を得て経済産業省のホームページに掲載する。また、議事要旨。こちらは無記名でございますが、議事要旨については原則、会議後1週間以内に事務局が作成し、経済産業省のホームページに掲載する。

3. 配付資料は原則、経済産業省のホームページに掲載する。

4. ただし、知的財産権の保護等の観点から、座長の判断により専門検討会を非公開とすることができる。この場合、公開される議事録、議事要旨等につきましては、専門検討会が非公開となった事由に相当する部分は含めないものとする。

以上でございます。

○山地座長　ありがとうございました。

ただいまの説明について何かご質問、ご意見等ございましたらお受けいたしますが、いかがでしょうか。——特にございませんでしょうか。ご意見等ないということでしたら、今説明された内容で本専門検討会の公開を行うということをご了承いただきたいと思いません。

それでは、次は本検討会の開催趣旨についてでございます。多分資料3を使うと思いますが、ご説明をお願いいたします。

○秦室長　それでは、資料3に基づきましてご説明申し上げます。

本検討会の開催趣旨ですが、背景としまして先ほどありましたようなCCSの重要性がございます。それから(1)の②にございますように、経済産業省としては平成20年から国内候補地の調査をやってまいりました。

(2)にありますようにこれまでの進捗状況についてご説明申し上げますと、苫小牧（北海道）、それから勿来・いわき沖（福島県）、北九州（福岡県）の3地点に絞り込みをして、それぞれの現地調査を進めてまいりました。

しかしながら、勿来・いわき沖地点につきましては、本年3月11日の東日本大震災を受けまして当面調査を中止することとしております。それから北九州につきましては基本的なデータが乏しいということもありまして、さらなる現地調査が必要な状況でございます。

こうした中、苫小牧地点につきましては三次元弾性波探査に加えまして、コアサンプルの収集を目的とした調査井の掘削を実施。さらにはCCSを実施するために必要となります設備に関する基本設計も実施済みでございます。こういう状況でありまして、今般調査を委託しております日本CCS調査株式会社から、本地点に関する貯留層総合評価及び実証試験計画（案）が提出されたところでございます。

本検討会の目的は、この貯留層総合評価及び実証試験計画（案）の妥当性について、専門的知見を有する第三者により技術的な観点から確認及び評価を行うということでございます。また貯留層総合評価及び実証試験計画（案）に記載のない事項でありましても、CCS大規模実証試験を進める上で評価すべきと考えられる課題につきましては本検討会で議論をいただきまして、必要に応じて実証試験に反映するというところでございます。

開催スケジュールでございます。きょう第1回、10月から12月にかけて計4回の開催を予定しておりまして、12月、第4回目には、これまでの検討会の議論を踏まえて取りまとめを行う予定にしてございます。

以上でございます。

○山地座長　　ありがとうございました。

今この検討会の開催趣旨について説明がございました。ご質問、ご意見等ございましたらいただきますが、いかがでございましょうか。――よろしゅうございますか。この次の議題で進め方についてももう少し詳しく説明がございますので、その後も結構だと思えます。

したがって、関連もありますので、次の議題ということで資料4を使いましてこの専門検討会の進め方と、それから報告書の取りまとめ方の方針について事務局からご説明をお願いいたします。

○栗原補佐　　それでは、引き続き事務局から検討会の進め方、報告書の取りまとめ方針についてご説明させていただきます。

資料4、1. 具体的な検討の進め方でございますが、事務局から貯留層総合評価及び実証試験計画（案）に関する説明をさせていただきます。その後、苫小牧地点における貯留層総合評価及び実証試験計画（案）の評価項目（案）。これは資料5にございます。後ほど説明させていただきます。資料5に示した各評価項目について議論を行っていただきます。

なお、評価項目につきましては案でございますが、必要に応じて追加または削除をしていただくことは可能でございます。

(2)各評価項目に対する各委員のコメント等を踏まえまして、事務局は貯留層総合評価及び実証試験計画（案）それぞれに対する総合評価（案）を作成いたします。

2. 取りまとめでございます。第3回までこのような議論を行いまして、それを踏まえて事務局が総合評価（案）を含む報告書（案）を作成した後、第4回検討会において審議することとしたいと考えております。

検討会のスケジュールと各回に議論する評価項目の予定でございますが、(1)として第1回検討会、本日でございます。本日ご審議していただく事項につきましては、貯留層総合評価に係る評価項目でございます。貯留性能に関する事項としましては、貯留層の性能、遮蔽層の性能、貯留CO₂の挙動、この3点でございます。

それから貯留層の周辺環境に関する事項としまして裏のページになりますが、活断層の有無と地震活動の状況、(2)としてCO₂漏出の可能性検討。本来、貯留層周辺環境に関する事項には(3)がございます。第3回検討会の下に2. 貯留層の周辺環境に関する事項、(3)地震との関係というのがございます。周辺環境に関する事項は(1)、(2)、(3)の3つの評価項目がございます。

この3番目の地震との関係でございますけれども、先ほど資料3でご説明がございましたが、貯留層総合評価と実証試験計画（案）につきましては、日本CCS調査株式会社さんから経済産業省の委託により報告されたものでございます。貯留層の周辺環境に関する事項で地震との関係につきましては、この中には入ってございません。これにつきましては別途、経済産業省から産業技術総合研究所さんに委託で調査をお願いしております。現在、その取りまとめに時間を要しているということで今回の会議には間に合わなかったのですが、第3回るときに貯留層の周辺環境に関する事項として、地震との関係についてご議論いただきたいと思いますと考えております。

ちょっと戻りますが、第2回検討会では実証試験計画（案）に係る評価項目として、全

体システム、運転計画、CO₂の分離・回収設備、液化出荷・輸送設備、CO₂圧入設備、そして圧入井と、この6項目について評価を行っていただきます。

第3回検討会では実証試験計画（案）の後半部分ですが、モニタリング計画として貯留に係るモニタリング計画、海洋に係るモニタリング計画、そして異常事態発生時の対応・措置等、それに加えて先ほどの地震との関係。この項目についてご議論をいただきたいと考えております。

それらを踏まえまして、第4回の検討会で取りまとめを行いたいと考えております。

続きまして、資料5でございます。本検討会で検討していただきたいと考えている評価項目（案）でございます。これは事務局の案でございますので、必要に応じて適宜追加、削除は行っていただきたいと考えております。

まずI. 貯留性能に関する事項でございます。

貯留性能に関する評価項目につきましては、今後の実用化を念頭に貯留層を選定しているか。また実証試験を行うに足りる浸透率、孔隙率となっているか。この評価項目に関しての論点例としては、想定する圧入レートで安定的に継続して貯留することができるか。貯留層となる地層に連続性はあるか。このような論点例が考えられるかと思っております。

(2) 遮蔽層の性能に関する評価項目でございます。遮蔽層は十分な厚みと広がりがあるか。また実証試験のCO₂圧入レート及び貯留量に対して十分な強度を有し、CO₂を保持することが可能か。論点例といたしましては、想定する圧入レートに対して十分な強度をもつのか。遮蔽層となる地層に連続性はあるか、貯留層を十分カバーしているかということが、論点例として挙げられるかと考えております。

(3) 貯留CO₂の挙動。この評価項目ですが、貯留したCO₂は予定圧入量を圧入した後、いかなる範囲に分布するか。また、その後の長期挙動予測においても貯留層内に安定的にとどまるか。論点例といたしましては、貯留したCO₂が圧入終了後に大きく動くことはないか。圧入終了後、数百年経過してもCO₂は大きく移動することなく、遮蔽層に覆われた貯留層内にあるかというようなことが論点例として挙げられるかと考えます。

次のページでございますが、2. 貯留層の周辺環境に関する事項でございます。

(1) 活断層の有無と地震活動の状況に関する評価項目でございますが、貯留層の周辺の断層は十分調査されているか。特にCO₂の貯留範囲及び長期挙動を考慮したCO₂の移動予測範囲に断層は存在しないのか。論点例としましては、断層の調査対象資料は妥当なものを調べられているのか。貯留層周辺における地震活動の状況はどのような状況である

か。

(2) CO₂漏出の可能性検討。CO₂漏出の可能性が考えられる要因を分析し、十分な対処を行うことを計画しているか。論点例としましては、CO₂漏出要因の分析は十分か、漏出させない対処が検討されているか。坑井など人工構造物が存在する場合、その位置や性状を把握しているか。また、それら人工構造物が漏えいルートとなる可能性はないのか。

(3)は第3回目に予定する項目で、地震との関係の評価項目でございます。CO₂圧入によって地震が誘発されないことが十分に検討されているか。また、周辺の活断層などによる地震が貯留層に与える影響評価が適切なものか。論点例としましては、想定される圧入レートにより地震が誘発される可能性はないか。近隣の活断層が万が一地震を引き起こした場合、貯留層へ影響を与えるか。このようなことが論点例として考えられるかと思えます。

次のページにつきましては、実証試験計画（案）に係る評価項目として大きくは3つ。システム構成、運転計画、そして5ページにまいるまして2. モニタリング計画、最後のページで3. 異常事態発生時の対応・措置等という大きな3つの項目の中でそれぞれ評価項目を立ててございますが、これにつきましては第2回目以降でございますので、その際にまたご説明させていただければと思っております。

事務局からの説明は以上でございます。

○山地座長 ありがとうございました。

先ほどの議題ともまとめて簡単にいうと、本検討会の議論の対象というのは貯留層の総合評価と実証試験計画（案）であるということです。それを専門的な観点から確認して評価をする。ただ、議論の資料に当たってはJCCSさんと産総研さんのほうで準備していただいた。我々はその資料に対して、今ご説明がありました評価項目を確認した上で専門的知見からの確認と評価をする。実証試験計画については必要に応じて計画に反映していく。コメントを出すということでございます。先ほど説明がありましたようにスケジュール的には年内、12月までにきょうを含めて4回行うということで、項目の時間展開も今資料を読んで説明があったところでございます。

それで今この議題のところでは皆さんにご意見を伺いたいのは、とにかくきょう議論すべきことについての評価項目の事務局（案）が資料5で説明されました。これでよろしいかどうかの確認です。もちろん全体スケジュールについてもご意見とかご質問があればお受けいたしますが、いかがでございましょうか。——どうぞ。

○斎藤委員　　今のご説明で実用化を念頭に貯留層を選定しているかということでしたが、それは今考えている苫小牧のところで実用化を実施したいということでしょうか。

○栗原補佐　　こちらの評価項目（案）で、今後の実用化を念頭に貯留層を選定しているかということがございます。これは今回、実証試験を行うためだけに試験地を選定しているのではなく、将来実用化を行う際に、この地域で行うということが可能性としてあるといった観点で地域を選定しているかということでございます。

ただ、この実証試験が終わってすぐそのまま実用化に移れるかというのと、そうではなく、実用化に関しましては、もう少し幅広い調査が必要かと思えます。当然ながら経済性もあわせて考える必要があるので、すぐ実用化というのは難しいかもしれないですが、可能性としては貯留層の広がりとか容積といった観点でみると、将来の実用化というものも十分考えられる。そういう観点で考えております。

○斎藤委員　　わかりました。ありがとうございました。

○山地座長　　ほかには、いかがでございましょうか。

○佐々木委員　(2)遮蔽層の性能についてですが、CO₂を圧入する数年単位の短期的な遮蔽層の安定性というものと、閉鎖後の遮蔽層の安定性というものとを、2つの項目に分けて評価すべきではないかと思われます。

○栗原補佐　　今回ここでは、例えば数年でCO₂が漏えいなり漏出ということは考えてございません。これは長期にわたって、まさに1000年単位といった形でCO₂が貯留できる。そういう観点で考えてございます。

○佐々木委員　　私の質問の趣意は、圧入時点では坑井の坑底圧は貯留層圧より高く設定されるわけです。そうすると高く設定された圧入状態での遮蔽層はある種の影響を受けるわけですが、それは短期的な数年単位の力学的影響ということなんです。その後の長期の貯留で、もともとの自然の貯留層条件に戻っていくわけで、その長い年月ということなんです。圧入時点で坑底圧を何メガパスカルか受けることを前提にした評価と、その後の影響に対する評価が必要ではないかと思えます。

○山地座長　　後で具体的に出てくると思うのですが、圧入しているときの圧力。それから圧入直後の圧力の高い状態。圧入をやめると、いわゆる貯留状態になるのだけど、そのときの圧力は下がってくる。両方をみななければいけませんというご指摘と理解してよろしいですか。

○佐々木委員　　はい。

○山地座長　　いかがですか。

○栗原補佐　　これはまた後ほど実証試験を行う際の実証試験計画（案）の中に記載されていることをございますけれども、各種モニタリングをどのような形でとっていくのか。そういったことも実証試験計画（案）の中に入っている事項でございますので、そこで議論いただきたいと思います。

○山地座長　　ほかには、いかがでございましょうか。――では鹿園委員、どうぞ。

○鹿園委員　　先ほどもお話が出たと思うのですが、実用化に当たっては容積とか広がりという点が重要だということで、実用化の場合、安定的に貯留できることが非常に重要だと思いますし、もう1つは貯留量でどのくらい貯留することができるのか。そういう量的な問題とか、そちらの面も重要だと思いますので、貯留量の推定といった点をもう少し打ち出してもいいのではなからうか。CO₂の圧入・貯留ということに関して安定性も重要なんだけど、前向きにこれだけ貯留できますということをきちんと評価する点がもう少し必要かなと思います。

○栗原補佐　　ありがとうございます。確かに鹿園委員の視点は非常に重要な項目でございます。事務局も認識しているのですが、今回につきましては苫小牧地点における実証試験を行うという観点で貯留層の総合評価を行い、また実証試験計画（案）を立てられているところでございます。

ただ実際、この実証試験というものは当然ながら将来の実用化をにらんでの話でございますので、実証試験を行うことになった際、そういった観点の視点も入れて実証試験を進めるべきだといったご提言につきましては、また試験計画（案）の際にいただければ、評価について反映させていきたいと考えてございます。

○山地座長　　項目としては、最初の（1）貯留層の性能というところを広目にとらえれば、そこでどれぐらいのキャパシティーがあるか、ある程度みきわめをしておく。けど、とりあえず必要なのは今回の大規模実証をやるのに足りるだけのものがあるかということが、まずは最初にクリアすべき項目になる。そういう理解かと思えます。

ほかには、いかがでございましょうか。――徳永委員、どうぞ。

○徳永委員　　言葉の定義だけ理解しておきたいのですが、2番目の（1）活断層の有無と地震活動の状況で評価すべきものは、貯留層の周辺の断層は十分調査されているかということは、そういう評価ができると思うのですが、その次のCO₂の移動予測範囲に断層が存在するか、しないかという評価をするのか。ここでは活断層が存在するか、しな

いかということの評価するのか。それによって多分評価の手法は大きく変わってくると思うので、その言葉だけ正確に理解しておきたいので教えていただければと思います。

○栗原補佐　　ここで一義的に考えているのは活断層でございますが、既知の活断層というのはある程度把握できるのですけれども、わかっていない活断層は、結局のところ明確に判明はしないということになります。ここは明確に書いていないのですけれども一義的には活断層であり、活断層でないものについても調査の段階でわかった断層については、それを踏まえた上で評価をするというようにしたいと考えております。

○山地座長　　よろしいでしょうか。

○徳永委員　　はい。

○山地座長　　ほかには、いかがでございましょうか。——これ以上、特に意見がございませんようでしたら、ここまでが枠組みに関するところでありまして、これから本日の実際の検討会としての内容に入っていくわけです。

最初に申しおくれましたけれども、きょうの検討会、もし早目に終われば終わって結構と思うのですが、一応2時から5時までの3時間を予定しています。長丁場ですので間の3時半ごろに議論の切れ目を考えて少し休憩をとりたいと思いますので、そのように進めさせていただきます。

それでは、次の議題です。まず苫小牧地点の貯留性能に関する事項についてということで、事務局からご説明をお願いいたします。

○石井補佐　　苫小牧地点の貯留性能に関する事項につきまして資料6に基づきましてご説明いたしますが、資料6につきましては大きく2つに分かれております。前半は苫小牧地域の地質構造として、貯留層と遮蔽層に関する部分。後半はCO₂を貯留した場合の圧力変動ですとか、CO₂の挙動のシミュレーションに関する部分というようになってございます。評価を行っていただくに当たりましては、先ほどの資料5の①貯留層の性能、②遮蔽層の性能、③貯留CO₂の挙動について評価を行うということになってございます。

それでは、最初に苫小牧地域の地質構造について事務局の別所からご説明させていただきます。

(パワーポイントNo.1)

○別所係長　　それでは、資料6に基づきまして苫小牧地点における地質構造についてご説明いたします。

(パワーポイントNo.2)

1 ページ開いていただきまして、こちらが北海道南部の広域地質概要になります。今回、苫小牧の実証試験の調査範囲としてみていただくのは赤い箱の部分。ここが今回調査を行った範囲になります。

AからBのV字の部分。ここの断面図を下のほうに示させていただいております。この断面図をみていただければわかりますが、東側に非常に多くの断層が走っているのがみてとれます。ただ、中心から西のほうにいきますと非常に穏やかな形で、断層がないような地層という形でみてとれます。今回、我々が検討しています調査範囲というのは、主に断層のない部分を中心に調査をしているところです。

(パワーポイントNo.3)

次に、今回の調査の概要をご説明いたします。ここが苫小牧港になります。調査といたしましては、三次元弾性波探査を2009年から2010年にわたりまして行いました。2009年には黄緑の点線の枠囲いの部分について行いました。2010年は追加的に、さらに緑の広い範囲について調査を行っております。

また、並行いたしまして苫小牧における調査井を2本掘削いたしました。2010年にCCS-1という調査井です。傾斜井で全長が3,700メートル、垂直深度が約3,000メートルの調査井です。その後にもう1本、追加的に調査井を掘削しております。苫小牧CCS-2という調査井でございます。こちらは垂直井で1,218メートル掘削しております。

また後半でご説明いたしますが、CO₂の長期挙動予測をするためのシミュレーションのモデル構築範囲といたしましては滝ノ上層。この層の名前については後ほどご説明いたします。滝ノ上層という貯留層に対しましてはオレンジの範囲、それから萌別層という貯留対象層に対しては、赤い箱囲いの範囲をモデルの構築範囲として検討を進めました。

(パワーポイントNo.4)

今回の調査及び既存のデータを踏まえまして、苫小牧地点における地質構造についてご説明いたします。

苫小牧の地質構造はこのような形になっておりまして、我々が現在CO₂を圧入できる貯留層として考えていますのは2つございます。1つは深度2,400メートル～3,000メートル付近にあります滝ノ上層T1部層と呼ばれる地層でございます。ここの部分につきましては溶岩、もしくは凝灰角礫岩と呼ばれる岩相及び凝灰岩の岩相が含まれている比較的粗い地層になります。もう1つの貯留対象層といたしましては1,100メートル～1,200メートル程度の黄色い部分ですが、萌別層と呼ばれる砂岩の層がございます。この2つを今回、

実証試験の対象貯留層として検討を進めてまいりました。

(パワーポイントNo.5)

こちらが今回、貯留層の評価に用いました使用データの一覧となります。使用したデータといたしましては三次元弾性波探査のデータ、それから調査井で得ましたコアサンプルの分析データ、坑井速度測定データ、物理検層データ、温度・圧力データ、過去に行われています二次元弾性波探査のデータなどを用いまして総合的に評価を行っています。

(パワーポイントNo.6)

こちらは今回、我々の事業の中で実際に取得いたしました三次元弾性波探査のデータ例でございます。左の図にありますように南北の断面としてとっているものです。中心のあたりが比較的白く透けていますが、これは均一な層があるということを示しておりまして、その下の滝ノ上層T1部層のあたりについては非常に粗くなっておりまして、不均質な層があるということが考えられます。

(パワーポイントNo.7)

続きまして、こちらは東西の断面図の例になります。ここで注目していただきたいのは赤い線。CCS-1の坑井は黒い線になりますが、比較的近いところに断層と思われるようなものがみとれます。

ただ、こちらにつきましては、このスライドの図では平取+軽舞層の下層の部分。紫色の線ですが、ここまでしか断層が来ていないような解釈がなされておりまして、比較的古い段階で活動がとまっているので、活断層ではないのではないかと考えております。

(パワーポイントNo.8)

こちらは、これらのデータにつきまして幾つかの断面をとったものになります。先ほどお示ししました断層で、黒い線の部分に断層があると考えられておりますが、断面図をみる限りオレンジ色の荷菜層と呼ばれている層の下部までしか断層が来ていないことから、過去に既に活動が終わっている断層であり、現在は活断層ではないと考えております。

(パワーポイントNo.9)

続きまして、こちらは滝ノ上層上限深度構造図になります。滝ノ上層の一番上の面、等高線のようなものをとったものとみていただければと思います。数字がマイナスで表記されております。このあたりが一番深度の浅いところでして、山のような形になっているようにみとれます。ここに書かせていただいているとおり、北北西から南南東の軸をもつ背斜構造と考えられます。

それから現在考えている圧入想定地点ですが、黄色い丸のところを考えております。ここは北東方向に向かって約15度傾斜しているところです。一方で西側には先ほどからご紹介している断層が高角、高角というのは垂直に近い角度という意味ですが、そういう断層がここにあるのではないかと考えております。

ただ、先ほどからもご説明しているとおりの比較的深いところで断層がとまっておりますので、現在では活動していない。活断層ではないと考えているところでございます。

(パワーポイントNo.10)

こちらは萌別砂岩層の上限深度構造図になります。先ほどの断層は映っていません。比較的深いところでとまっていますので、ここには断層は認められません。

構造といたしましては山のような形になってはいますが、全体としては西方向に少し傾斜しているような構造になっております。圧入想定地点としては黄色い丸と考えておりました、この辺ではなだらかな北西方向の傾斜が少しみられるところでございます。

(パワーポイントNo.11)

こちらは実際の調査井で取得しましたデータの一例をお示ししています。調査井掘削時には物理検層などさまざまなデータを取得しておりますが、ガンマ線であるとか、比抵抗、音波速度などを取得しています。

また途中の層、ここ（オレンジ色）は萌別層になります。それからこちら（赤色）は滝ノ上層ですが、こういった重要な層については水の圧入テストなどを行っております。コアサンプルの採取も行っております。

またCCS-1の後に掘削いたしましたCCS-2のほうでは、萌別層のコアサンプルの採取をしております。

(パワーポイントNo.12)

このようなさまざまな調査を踏まえまして、貯留層性状として整理させていただいたものでございます。こちらは滝ノ上層の貯留層性状になります。

対象深度は、先ほど図でお示しましたとおり2,400メートル～3,000メートル。

岩相といたしましては、溶岩から凝灰角礫岩及び凝灰岩が含まれていると考えております。

孔隙率に関しましては、今回のコアサンプルによる試験では5～18%。過去にとられていますコア試験のデータでも3～19%ということで、ほぼ同じようなデータが得られているところでございます。

浸透率に関しましては、掘削時の圧入テストで0.68～1.18ミリダルシー。コア試験のほうは少しデータが悪くて0.001～0.01ミリダルシーという形になっておりますが、過去に7ミリダルシーのようなデータも得られております。

それから、水の圧入テストの結果といたしましては最大650キロリットル／日といったデータを得ております。

(パワーポイントNo.13)

次に萌別層ですが、対象深度は垂直深度で1,100メートル～1,200メートルの層厚100メートルの範囲。

岩相は砂岩層となります。

孔隙率に関しましては、コア試験、物理検層の結果においても大体25～40、20～40と同じ程度の値を示しております。

浸透率に関しましては、いずれのデータも非常によい浸透率を示しております、コア試験では1～1,000ミリダルシーと少し幅がありますが大きな値を示しております。

水の圧入テストは、最大1,200キロリットル／日といった数値を得ております。

(パワーポイントNo.14)

それから各層の岩相分布状況でございます。上の図は三次元弾性波探査のデータから得ているもので、色の違いは岩相の種類の違いを示しております。

ここで注目していただきたいのは坑井Aというものでありまして、これは過去に民間企業によって掘削された試掘井ですが、浸透率は非常によいデータが得られております。このことから、濃いオレンジ色の部分が比較的浸透性のよい貯留層に向いている岩相ではないかというように、我々はみております。

下のほうですが、こちらは3Dデータのうち音響インピーダンスを示した図になっております。青色が小さい音響インピーダンスで、赤に近づくほど大きなインピーダンスという形になっております。音響インピーダンスは孔隙率と関係がありまして、低い場合は孔隙率は高い。また孔隙率と浸透率には一般的に相関関係があるといわれておりまして、青い部分、低い音響インピーダンスの部分については高い浸透性が見込まれるのではないかと考えております。

この2つの図をみますと、大体同じようなところに貯留に向けた地層、岩相が分布していると考えられておりまして、例えば白い丸で示しているような場所をターゲットに圧入することを考えていくべきではないかというように、我々は考えております。

(パワーポイントNo.15)

こちらは萌別層の岩相分布になります。萌別層の岩相分布に関しましては比較的均一の層があると考えておりますが、三次元弾性波探査の結果、3つ、4つの種類に分けられております。スロープと呼ばれているもの、それからシェルフと呼ばれている岩相、ファンデルタと呼ばれているところです。赤い部分というのは弾性波探査の振幅強度が非常に強いところでして、ここに非常に質のよい砂岩があるのではないかと考えております。

したがって、萌別層の貯留・圧入のターゲットといたしましてはこういった場所を考えていくというように、我々は今考えております。

(パワーポイントNo.16)

次に、遮蔽層についてご説明させていただきたいと思っております。遮蔽層につきましてはもう一度、こちらの図をみていただければと思っておりますが、滝ノ上層に対する遮蔽層といたしましては、振老層と平取+軽舞層という2つの泥岩層を考えております。それから萌別層は2層に分かれておりまして、下部が砂岩層、上部が泥岩層となっておりますので、上部の泥岩層を遮蔽層と考えております。

(パワーポイントNo.17)

こちらが調査結果に基づく遮蔽層性状、滝ノ上層のほうになります。層序としましては、振老層及び平取+軽舞層になります。

岩相は泥岩です。層厚が約 1,100メートルあります。

孔隙率については12.4~18.0%。

浸透率のほうが非常に小さく、 8.2×10^{-6} ~ 36.7×10^{-6} ミリダルシーとなっております。

スレショルド圧力で2つの方法によるコア試験を行いました。いずれも12.3メガパスカル以上、11.72メガパスカル以上とブレイクスルーしなかったことから、これよりもさらに高い圧力を示すのではないかと考えております。ちなみにブレイクスルーというのは実際に遮蔽層に水がしみ込むことですが、そこに到達しなかったということで、スレショルド圧力としては、さらに大きな圧力を有するのではないかと考えております。

リークオフ圧力としましては45.3メガパスカルというデータを得ております。

(パワーポイントNo.18)

次に、萌別層の遮蔽層性状でございます。萌別層の上層部の泥岩層がターゲットになりますが、岩相としましてはシルト岩~泥岩。層厚は約 200メートルでございます。

孔隙率は32.4~37.2%。

浸透率も $0.80 \times 10^{-3} \sim 1.73 \times 10^{-3}$ ミリダルシーと、比較的小さな値になっております。

スレシヨルド圧力に関しましては3点、データを得ております。0.75、1.65、1.67メガパスカルという数字を得ております。

それからリークオフ圧力については14.6メガパスカルという数字を得ております。

(パワーポイントNo.19)

次に遮蔽層性状の関係で、苫小牧CCS-1における泥水比重の変化についてご紹介をさせていただきます。こちらのデータをみていただければわかりますが、泥水比重は、実際の掘削開始時は1.1という比重で開始しております。荷葉層から深部に掘削するにつれ、泥水比重が非常に大きなものとなっております。これは地下の圧力が大きくなっていることを示しております。このことから滝ノ上層の部分と上部の荷葉層よりも浅い部分とでは圧力の構造が違って、垂直方向での地下水の圧力伝播などというものがないと考えられます。

(パワーポイントNo.20)

こちらは地層水塩分濃度の分布を示しています。東西断面図、南北断面図、位置関係はこちら(右図)になります。ここが、苫小牧港になります。それから赤い点が坑井の位置を示しております、これらのデータを集めて評価しているのが、こちら(左図)の断面図ということになります。

こちら(左図)をみていただきますと幾つかの層に塩分濃度の帯が、濃度範囲が分布していることがみてとれます。上層のほうが比較的低濃度の帯水層という形になっておりますが、それぞれ独立した範囲で存在しており上下方向の地下水の移動はないと考えられます。

(パワーポイントNo.21)

最後に、遮蔽層性状として萌別層の等層厚線図をお示しさせていただきます。数字は出ていませんが、こちらの図が大体200メートルの線になります。先ほどもご紹介しましたが、萌別上層の遮蔽層の泥岩層の層厚としては200メートルあります。南西方向に進むほど層の厚さが厚くなるということがみてとれます。

以上でございます。

○山地座長 どうもありがとうございました。

この資料は長うございますので、冒頭話があったように2つに分けて貯留層と、それから遮蔽層の実質的な構造に関する話のところまでで、ちょっと中断させていただきます。

ここまでのところで委員の先生方からご質問とか、あるいはご意見をいただきたいと思えます。いかがでございましょうか。——徳永委員、どうぞ。

○徳永委員 幾つかお伺いしたいことがあるのですが、まず遮蔽層性状のところでは、上層について、さまざまな物性をはかっていらっしゃるのですが、浸透率は 10^{-6} ミリダルシーぐらいの値の計測をしていることになっています。 10^{-6} ミリダルシーぐらいの計測というのは、本当にきちっとできているのかどうか。十分に低いという意味なのか。それとも、この数字に意味をもたせているのかということが1点。

これはコア試験ではかっているもので、それが広域に性能のよい泥として存在していますということを、多分遮蔽層性能をいうときには確認する必要があると思うのですが、そこをどのように保証されているのかを教えてくださいませんか。

○JCCS（阿部） では、お答えいたします。

滝ノ上層のほうですけれども、 10^{-6} と非常に低い値ですが範囲で書いてございます。何か測定してございまして有意な差が出ておりますので、きちっとはかられているというように判断しております。

それから泥岩のほうですけれども、微化石分析等やっておりますが、地質的に上部半深海から中部半深海下部といった非常に深いような海底で、移動のエネルギーの低いところでたまった泥岩であるということ。あと先ほど弾性波探査の断面図がございましたけれども、厚く3Dの範囲の全域にたまっていることから、この場所でとったサンプルがこの地域の遮蔽層性能を代表しているというように判断しております。

○徳永委員 わかりました。

○山地座長 幾つかあるとおっしゃっていましたが、どうぞ。

○徳永委員 もう1つは滝ノ上層の貯留層性状に関してですけれども、今日いただいている表だと、高いところでも数ミリダルシー程度しかもっていない地層というデータになっているようです。

今日のご説明だと、その次の14ページの坑井Aというところは浸透性がよいので、この岩相分布で想定している、図でいう赤色のところをターゲットにしましょうということですが、そういう観点からいくと今回の調査で想定する貯留層性能として数ミリダルシー程度の連続性は、このように限られている地層をターゲットにして実証試験としてトライをする戦略だという理解でよろしいですか。それとももう少し、例えば滝ノ上層というのは貯留層性能がさらにより可能性があって今回のテストの中で調べていくのですと、そのよ

うなイメージなのでしょうか。

○JCCS（阿部） お手元の資料12ページ目の一覧表ですけれども、ご指摘のとおり浸透率として苫小牧CCS-1のコア試験では0.001~0.01。さらに周辺の坑井の浸透率をみても最大7ミリダルシーというような、コア試験そのものからは、どちらかという低い浸透率にはなっております。

ただし、先ほど出てまいりました坑井Aにつきまして、まずコア試験結果から物理検層データに対応関係をとって、物理検層データから浸透率を評価すると、もっと高い浸透率を期待してもいいのではないかというような評価結果が得られております。

それから実際に陸上のほうになりますけれども、この付近の油田のところでは非常に高い浸透率があるということがわかっております。後ほどまたご説明があるかと思えますけれども、この場所についても高い浸透率を期待していいと考えております。

今回のモデルでは非常にまれかもしれませんが、最大10D程度の浸透率まではいってもいいのではないかという評価はしております。非常に難しいとは思いますが、そこまでを今考えております。

○徳永委員 その辺の推定によって予測のシミュレーションの結果も多分変わってしまうし、実際にどういうオペレーションをして、実証をしていくのかということはかなり変わってくるのではないかという気がするので、そこについて今ご説明いただいたような情報があって、こういう貯留層特性だと。現状推定しているということをご披露いただいて評価をさせていただくほうが、より適切に評価できるのではないかなという気がするのですが、そのあたりはどう理解すればいいのでしょうか。

○山地座長 きょうご説明していただいた以上に、もう少し我々を安心させてくれるものがあれば出してほしいということだと思います。

○JCCS（阿部） 後ほど地質モデルをつくって、いろいろ不確定性を加味したモデルをつくってシミュレーションをやってございますので、そちらのほうとあわせてご議論いただくとありがたいと思います。

○徳永委員 では、そちらをまた聞かせていただきます。どうもありがとうございます。

○山地座長 先に松橋委員の後、澤田委員ということにしたいと思います。

○松橋委員 申しわけありません、私、今発言された徳永委員と違って地質がわからないものですから、非常に素人っぽい質問になってしまうのですが。

1点は、さっき断層のご説明があって3Dデータから、この逆断層は萌別層以浅を切っ

ていないことから活断層ではないと解釈されたのですが、こういうもののリスクはどう考えたらいいのかがわからないものですから、こういう解釈はしているけれども、ひょっとしたら非常に小さいけれども活断層であるリスクがゼロというわけではないのかどうか。そういうときのリスクとして、入れたものが、例えばこの活断層を伝ってずると出てくるリスクは、非常に小さいけれどもゼロではないのかどうかです。そういうところをちょっと教えていただければと思っています。仮にそうだとした場合、海底なので地上にばっと噴き出してくるわけではないと思うのですけれども、万一海底にジョロジョロと出てきたときのシミュレーションも想定しておくべきなのかどうかというのを1点、教えていただければと思います。

もう1点は、萌別層の砂岩に入れるというときに後でご説明があるのですが、例えばハイドレートみたいなものができてとまってしまったり、詰まってしまったりするリスクも考える必要があるのかどうかというあたりを、ちょっと教えていただければと思います。

以上です。

○山地座長　これは分野が違うかもしれませんが。貯留のほうの話でご質問があったのですが、どなたかお答えいただけますか。

○石井補佐　今2点ご質問があったかと思うのですが、まず前半のほう。例えば断層から漏れないかといったところですか、そもそも断層のところまでCO₂が到達するのかといった評価がこれから出てまいります。仮に断層のところには到達した場合にどういふことが起こるのか、地震が起こった場合にどういふことが起こるのかというのは、第3回に議論させていただこうと思っておりますので、そこで議論させていただければと思います。

後半のハイドレートの方ですけれども、JCCSさん如何でしょうか。

○JCCS（阿部）　私よりも多分佐々木委員のほう詳しいかと思うので、海底の温度そのものが冬期であれば当然低くなって、零度近くになる。下がるとは思いますけれども、夏であればそこまで下がらない。もっと高いと思いますので結論としては、私自身はそんなに気にする必要はないと思っておりますけれども、ぜひ佐々木委員にお願いいたします。

○山地座長　では佐々木委員、ちょっと追加的な説明をいただければと思います。

○佐々木委員　ご指名なので説明させていただきます。

貯留層温度自体は40℃～90℃ということで、CO₂のハイドレート化については、実は10℃以上でCO₂がハイドレートになった実験例もありませんし、今まで報告例もありま

せんので、貯留層の中に CO₂を入れる今回の条件でハイドレートができるということなことは一切ないと、私は断言できると思います。

○山地座長 よろしいでしょうか。

○松橋委員 はい、わかりました。ありがとうございます。

○山地座長 それでは、澤田委員。

○澤田委員 非常に初歩的なことで、2ページで教えていただきたいのですが、これは A I S T の調査結果だと思えるのですけれども、A—B、クの字型になった断面の模式図が下にかいてございます。SWからNEの測線だと逆断層がたくさんみえている。その左側の逆断層はよくわからないですけれども、ほとんどないわけではないみたいです。あるいは正断層みたいなことがないわけではないですけれども、この位置で逆断層。例えば右のほうに測線がたくさん出ていまして、調査範囲と書いてあるところは全くみえない。なかったということでもよろしいわけでしょうか。これだけ出ていて連続性といいますか、調査範囲の地質構造との連続性みたいなものをどう考えるのかということが1つです。

それから4ページの断面は調査範囲の中だと思います。北西—南東という断面になっているのですが、例えば3ページの平面図でみてどのように切っているのでしょうか。どの断面なのでしょう。

6ページの南北断面、7ページの東西断面は、ともに断面の位置が白い線にかいてございますが、断面そのものと考えてよろしいだろうと思えるのです。そうしますと7ページの東西断面の場合に、たしか左のほうに垂直に掘って1キロぐらいずっと曲がっている線。これがCCS—1というご説明をいただいたと思えるのですが、どう解釈したらよろしいのか。だから、これは逆になっているのでしょうか。

それから真ん中に四角い黄色いエリアで区切ったところがあるのですが、これは何を意味するのでしょうかということです。

○JCCS（阿部） 済みません、たびたび私からご説明をさせていただきます。

最初の広域地質概要でございますけれども、今ほどの7ページとも関連いたしますが、この地域で少なくとも滝ノ上層を明らかに切っている断層はございました。今逆断層であると考えております。ただし、広域地質断面図の東側にあるような衝上断層型の、どちらかというとな低角な逆断層ではないということが、まず1点ございます。ちょっと性格の異なる逆断層が見つかったということでございます。

それから地層の連続性ということで下の断面図で赤いものが山状にとがってみえますけ

れども、ここは苫小牧リッジということで基盤岩といいますか、変成岩、火成岩の高まりをなしていますが、北のほうの延長上に今回の調査範囲は位置しております。ただ、基盤岩の深度はもっと深くなっております。2番目のご質問、そういう状況でしたでしょうか。

あと4ページに断面図がかいてございまして、N40WからN140Eというように北西—南東の断面でございまして。これは3ページ目の、先ほど澤田委員がおっしゃったように黄色い線が苫小牧CCS—1の傾斜井。傾斜して井戸を掘って上からみた図でございまして。これに沿った方向の断面になってございまして。断面線を引いていなくて大変恐縮なのですが、苫小牧CCS—1を掘りました埋立地の1センチぐらい西のところから断面線が始まって、南東方向にずっと断面を切ったものがこの図面になります。

7ページ目のところですが、先ほど別所様からは黒い線が調査井だというご説明がございました。実は私の説明が間違っておりまして、将来圧入井を掘るとしたら、このように掘ったらいいのではないかとというのが黒い線でございまして。掘った調査井については、この図面の中にはちょっと距離も離れているということで入れてございませぬ。ここに書いてありますとおり左が西で、右が東になります。

この四角ですが、先ほど別所様からご説明がございましたとおり下のほうに赤い、逆断層と解釈しております断層がございまして。この断層が上の堆積岩をどこまでずらせているのだろうかということの評価の意味で、黄色い四角の中をみていただきたいということであえて記してございまして。この断面図上で赤い逆断層は、平取+軽舞層のオレンジの線までは切っていないようなのですが、もう少し南のほうにいきますと、荷葉層までは切っているということが確認されております。

ただし、萌別層の下にあります赤い線。ちょっとみにくくて恐縮ですが、萌別層砂岩層と書いて赤い線が引いてございまして、これについては明らかに切れていないという判断をしております。

その上に大変みにくい字で恐縮ですが、背斜構造西翼部の深部にみられる断層は荷葉層以浅を切っておらず、活断層ではないと解釈ということで、この解釈をするには、ここに注目してほしいということで黄色い四角で囲ってございまして。

○澤田委員 わかりました。ありがとうございます。要するに正断層だということですか。

○JCCS（阿部） この断面図上でみると正断層のようにみえるのですが、滝ノ上層そのものは逆断層であるというように解釈しております。先ほど別所様からもご説

明がありましたように非常に高角ですので、全体としては逆断層でないかと思えます。場所によって、こうやって正断層にみえるところもございます。

○澤田委員 ああ、そうですか。わかりました。ありがとうございます。

○山地座長 では佐々木委員、どうぞ。

○佐々木委員 滝ノ上層、萌別層の遮蔽層の浸透率の記載についてです。滝ノ上層、萌別層の場合、C C S—1のコア試験の条件として「封圧下、空気」という記載がございます。それからその下の記述はただの「封圧下」になっていて、遮蔽層では浸透率が「水浸透率」で記載されています。このように遮蔽層と貯留層で違った流体での測定をされた理由と、浸透率という一般的な書き方なので、これが水平方向なのか、垂直方向なのか、あるいは水平・垂直を含む範囲のものなのか、もう少し追加記載が必要ではないかと思われま

ず第1に、流体が違うものを選ばれた理由、それから空気ではなく、本来ならCO₂を使って測定されるべきものではなかったかと私自身は思っているのですが、いかがでしょうか。

○J C C S (阿部) 後ろから順番にご説明させていただきますと、ご指摘のとおり確かに本来であれば貯留層条件でのCO₂を使った浸透率をはかるのが一番、多分現実に近いのだとは思いますが、装置の制約等もございます。高温高压状態を保つのがなかなか難しいということもございまして、今ここでは比較的容易にはかれる空気、貯留層のほうはCO₂の通りやすさを最終的には表現するという意味で空気です。

それから遮蔽層につきましては、まず1つは水で測定している理由ですけれども、もともと遮蔽層という泥岩は、孔隙は水で飽和されております。それで測定する際に空気ですようと思うと1回、泥岩を乾燥しなければいけなくて、乾燥すると粘土分が多くて、粘土の中に含まれている水が蒸発してしまうことによって変形してしまっていて、割れ目が入ったりして正しい値ははかれないということ。あともともと遮蔽性能ですのでCO₂の通りやすさよりも、まず最初に水が通り抜けるのかどうかということの評価をする意味で水で測定しております。——ほかに、まだありましたでしょうか。

○佐々木委員 この浸透率というのが水平方向なのか、あるいは垂直方向なのか。

○J C C S (阿部) これは縦方向にとったコア試料を、横方向のプラグを抜いております。水平方向の浸透率を評価しております。

もう1点、12ページ目の貯留層のところで浸透率、一番下に周辺坑井のコア試験は「封

圧下」で、空気か水か書いてございません。大変申しわけございませんが、どういう測定をなされたのかまで今きちっと把握できていないということで、多分空気だとは思いますがけれども、今後詳細に確認させていただきたいと思います。まだ今できていないという意味で書いてございません。

○佐々木委員　では、確認をお願いします。

○山地座長　白山委員、どうぞ。

○白山委員　1つだけ教えてほしいのですが、19ページの図でございます。泥水比重が変わってきていて、その解釈として地下水の鉛直方向の移動はないことが考えられるというご説明だったのです。滝ノ上層の関係ではそういうことでよろしいかと思うのですが、一方、萌別層の中はほとんど比重が変わっていないようにみえるのです。これは逆にいうと地層水の移動があると読むのでしょうか。それとも、ずっと同じでも地層水の移動がないこともあり得るというように読むのでしょうか。

○JCCS（阿部）　この図面だけからでは萌別層の上下方向の循環があるのか、ないのか評価できませんけれども、もう1ページめくっていただきまして地層水の塩分濃度の評価をいたしますと、浅いほうの鶴川層、それから萌別層にかけて、深いほうに向かって塩分濃度が高まるような層状をなしておりますので、こういうものが保存されていることから縦方向の地層水の循環はなかったというように今考えております。

○白山委員　ありがとうございました。

○山地座長　それでは、熊沢委員。

○熊沢委員　場違いな質問で、貯留層の浸透率についてですけれども、結局、孔隙は全部つながっている。ネットワークになっていて、孔隙というのは途中でデッドエンドになっているような可能性は、普通はないのでしょうか。浸透率というのは、まさに全部つながったところから出てくるものをはかるわけですから、そういう方法ではかったといえればそれまでですけれども、孔隙率との相関についてはうまくとれるかどうか。その辺が心配になります。——意味がわかりますか。

○JCCS（阿部）　1つは、孔隙については当然デッドエンドといえますか、そういうものはあると思います。今ここで測定しているのはそういうものではなくて、先生がおっしゃったとおり端から端までつながっているものをはかっております。コア試料の中では多孔質媒体です。逆にいえば、はかれるというのはつながっていることであります。ただ、マクロでもっと大きなスケールでみたときにはもうちょっと不均質になるというのは、

また後ほどモデルのところにも出てくるかとは思いますが。

もう1つは何でしたか。

○熊沢委員 孔隙率との相関。

○JCCS (阿部) ご指摘のとおりいろいろな岩相を何でもかんでもプロットしてしまくと、それは相関が非常にばらついたものになりますけれども、岩石学的に同じであろうというものを取り出しまして孔隙率と浸透率をプロットいたしますと、結構幅はありますけれども実際には相関をとっていいというように判断したわけです。

○熊沢委員 ああ、そうですか。わかりました。

○山地座長 鹿園委員、どうぞ。

○鹿園委員 20ページ目の水理地質構造でありますけれども、各層で塩分濃度が違うということで垂直の移動が余りないだろうと。それはいいと思うのですが、地層によって塩分濃度が違うと。では、どうして違うのか。その辺の科学的な説明というものも、一応何かされたほうがいいのではなかろうかと思ひまして。この地域の地史であるとか、地質構造の発達というものを考えまして、かなり上のほうですと割合薄いので、雨水とか天水の影響もあるのではなかろうかと思うのですが、そういうものについての説明が1つ必要かなと。圧入の問題とは直接関係しないかもしれませんが、そういうバックグラウンドも押さえておく必要があるのではなかろうかと思ひます。

それから垂直方向の移動は余りないのかもしれませんが、例えば水平的な移動がどうか、地質構造のモデルはつくられているのですが、地下水流動モデルというのですか。本当はそういうものについても考えたほうがいいと思うのです。恐らく非常に深いところなので流動の速度は非常に遅いのだと思ひますけれども、そういうものについても、例えば滞留時間がどうか、同位体を使うとか、いろいろなデータをとりまして考えておく必要があるのではなかろうかというように、ちょっと思ひました。

後の話にも出てくるのですが、CO₂の挙動を考える場合に自然の地下水の流れによってCO₂を圧入したものが地下水に溶けて、またそれが流れていくとか、CO₂を圧入することによって、水が移動する以外にも自然の現象というものがあるわけですから、それについてどうなのか。そうすると1000年なんかですと、恐らく拡散というものがきいて非常にゆっくりしているのだと思ひますが、時間枠によってもっと長期のことを考えればそういう影響も出てきますから、その辺のところも少し考えておかれるほうがいいのではなかろうかと思ひます。

○JCCS（阿部） 今全部お答えできるだけのデータはないですけども、この辺の地史ということで1つ考えたときに、今回のCCS-1号井で微化石分析をしております。それで有孔虫化石を分析いたしまして堆積環境をみております。

滝ノ上層が堆積して振老層がたまったところに、先ほどもちょっと申し上げましたが中部半深海下部といった堆積環境から次第に萌別層、それから鶴川層に向かってだんだんと浅くなって、上部半深海になって内湾から外海浅海になっていくと。だんだん堆積盆が埋積されていく過程で、ここはできているというように判断していいかと思っております。

それで20ページのスライドなのですけども、例えばA-A'断面というのは海底下でございます。海底下であるにもかかわらず、鶴川層については比較的塩分濃度の低い地層水があるということで、これにつきましては雨水がしみ込んだというよりは、過去海水準が下がったときに何らかの形で陸化して、そこで昔の雨水の影響を受けたということ。

もう1つ、堆積盆が埋積する過程でだんだん浅海化していきますので、そのときに河川の影響をこうむって、だんだん塩分濃度が低くなっているのではないかと考えております。

鹿園委員ご指摘のとおり、実は今地層水の試料がございませんので、その辺につきましては、もし実証試験ということが決まればですけども、圧入井を掘った段階でできるだけ地層水をサンプリングいたしまして、同位体分析等をやって系統的な解析をすることは必要だというように認識しております。

○山地座長 関連だということで、徳永委員。

○徳永委員 鹿園先生が地史を再現することはすごく重要だということをおっしゃいましたが、それは先ほど議論になっていた断層のところをどう理解するのですかとか、それにかかわって堆積プロセスがどうなったのか。僕が最初に質問させていただいた、泥がどれぐらい連続していると判断するのですかという意味で重要になってくると思うのです。断面をとるとこうなりますというご説明をいただきましたが、それに加えてここがどういう歴史的な経緯で、どのように物がたまってきた。なので遮蔽層として期待しているものは、例えば地質学的な知見からはこれぐらい均質に、これぐらいの領域にたまり得るのだと。それとコアとをつないでいくことで、評価していますということがより主張できるのではないかと思いますので、そういう観点で、ぜひ地質学的な発達プロセスというのを整理されておくのはよいかと思います。コメントです。

○山地座長 今のは有益なコメントをいただいたということで、よろしいですね。

では部屋の中も暑くなったので辰巳委員にご意見をいただいて、それに対応していただ

いた後、少し休憩したいと思います。

○辰巳委員 私、専門から非常に遠いところの質問なので、ちょっと的を射ているかどうか分からないですけれども、コア試験。特に滝ノ上層では、浸透率という面から芳しいデータを得られなかったお話だったかと思うのです。これは11ページにあるようなことで理解すると、コア試験はサンプル的には9つとられて、それが0.001~0.01ということなのではないでしょうか。と理解してよければ、たまたまCCS-1のコア試験をやったところが余り当たっていなかった。かといって、そういうものを何個も掘るわけにいかないのだと思います。

ただ一方で、周辺坑井のコア試験ではもうちょっといいデータが得られている。だから、これに期待するというお話だったかと思うのですけれども、例えばその後で音響インピーダンスから推定されたお話がありますよね。そのときの孔隙率とか浸透率という分布から以前に掘られた周辺坑井のところと比べて、結果的にCCS-1はちょっと性状が悪いところを掘っていたのだと、後でわかったということなのではないでしょうか。ちょっとそのあたりは十分理解できていない質問かもしれませんが、どうなのですか。

○JCCS (阿部) 最後のご質問ですけれども、実はCCS-1号井を掘っている途中で3D、三次元弾性波探査を広い範囲にやりまして、そこで同時並行で解析をしたような経緯がございます。その結果として先生ご指摘のとおり、残念ながら掘った場所がどうもよくなかった。わずかに外れたところを掘ってしまったというのが結論でございます。

○辰巳委員 あと非常に大ざっぱなあれで考えると、同じような岩相のときに浸透率と孔隙率は相関が当然あるのではないかと思うのですけれども、その割には滝ノ上層で孔隙率5~18というのがCCS-1であったので、周辺坑井という浸透率的には少しいいデータが出たところは3~19でほとんど大差ないというか、もう同じと考えていいようなことなのですね。このあたりはどう理解すればよろしいですか。

○JCCS (阿部) 後ほどまたプロットが出てくるかと思うのですけれども、同じ孔隙率をもっていても、岩石が違えば浸透率が変わってくるということがございます。

○辰巳委員 だから、これは相関があるといいつつも、やはり2つ掘ったところでは岩相がかなり違ふと。

○JCCS (阿部) はい。

○辰巳委員 やはり同じ岩相で比較しないと、いい相関関係が……

○JCCS (阿部) はい。

○辰巳委員 ありがとうございます。

○JCCS（阿部） それからコア採取ですけれども、滝ノ上層は今回 900メートル掘ったのですが、この中で9回のコア掘りを行っております。9回のコア掘りといいますと1回18メートルずつコア試料を採取して、最後だけ9メートルですけれども、その後でまたプラグコアという小さなコアサンプルをとります。ちょっと正確な数字は忘れちゃいましたが1メートルに1個ぐらいずつの分析を行って、それを全部みても浸透率は余りよくなかったというのが今回の結果でございます。

○辰巳委員 これは深さ方向にとられているわけですね。実際は水平方向にも移動しながらとるといことなのですね。

○JCCS（阿部） 今回42度ぐらいの傾斜で斜めに掘って丸いコアサンプルをとって、そこでまたプラグコアというのを抜くような作業をしております。

○辰巳委員 逆にいうと、そう広い範囲はとれていない。例えば水平方向で200～300メートルぐらいの範囲しか採取できていないということなのですか。

○JCCS（阿部） 上からみれば、そういうことになります。

○辰巳委員 ありがとうございます。

○山地座長 それでは、今から10分程度。私の時計では30分を少し超えているのですが、40分から後半戦を再開したいと思います。

（暫時休憩）

○山地座長 そろそろ予定の開会時間になりましたので、検討会の後半に移りたいと思います。よろしくお願いいたします。

それでは、苫小牧地点における貯留層の評価。資料6の途中まで行いましたが、後半のCO₂貯留の挙動について事務局からご説明をお願いいたします。

（パワーポイントNo.22）

○石井補佐 それでは、資料6の22ページ。CO₂圧入挙動、貯留CO₂の長期挙動予測。まずは滝ノ上層からご説明いたします。

シミュレーションに当たりましては滝ノ上層における岩相分布、それから孔隙分布、浸透率分布を用いることが必要になります。まず岩相分布につきましては3Dデータから取得した岩相分布がございますので、実際に数値シミュレーションをするエリアまで拡大す

るべく、得られた分布の特徴を再現した上でモデル構築エリア内に拡張するという作業を
やっております。

並行しまして孔隙率分布につきましては、ちょうど真ん中の下の絵でございますけれど
も、3Dデータから取得しました音響インピーダンス、あとはCCS-1のデータ、それ
から坑井Aのデータを用いまして、この地点での孔隙率分布のマップを一度作りまして、
その分布のマップと左側の岩相分布の絵を用いて岩相ごとの孔隙率の出現確率を得ており
ます。出現確率、岩相分布、音響インピーダンスから得ました孔隙率分布のマップについ
て、地球統計学的手法を用いて50回計算を繰り返しまして、確率的に等価な50個の孔隙率
分布のモデルを作っております。

ちょうど真ん中にごございます孔隙率分布から浸透率分布の値を出すに当たりましては、
前段でご議論がありましたけれども岩相ごとの孔隙率と浸透率の関係として、そこに示し
ておりますような相関がみられますので、この相関に基づいて孔隙率の分布から浸透率の
分布を算出するということをしております。

(パワーポイントNo.23)

続きまして、今ご説明しました50個のモデルのうち例として4つほどを、示しておりま
す。これからわかりますことは、地球統計学的手法を用いたということで、例えば岩相で
すとか貯留層性状の連続性といったものを維持した形で、モデルを構築することができる
ということです。

孔隙率の頻度分布とか浸透率の頻度分布を下に示しておりますけれども、これも一例で
ございまして、今モデルを4つ作っておりますが、左上のモデルのそれぞれの孔隙率の頻
度分布と、それから浸透率の頻度分布を示してございます。当然のことながら、先ほど出
てきました孔隙率の出現確率を踏まえた形になって現れているところがわかります。

例えばT1上部については、ここでは孔隙率の頻度分布は大体0.19あたりがピークにな
っております。先ほどのT1上部のところをみていただくと大体0.19あたりが多くなって
おりますので、当然のことですけれども、それを踏まえた形になっております。

(パワーポイントNo.24)

24ページですけれども、先ほど作成しました50個のモデルに対して年間25万トンのC
O₂を3年間圧入したところ、実際に地層破壊圧をベースに算出しました圧入圧力上限値
を、坑底圧が上回ることなく圧入可能かどうかというのを調べましたところ、この50個の
モデルについてすべて圧入可能であったという結果が出ております。

50個のモデルに対して、坑底圧の上昇値を示したものが左側の図になります。横軸に3年間圧入した際の坑底での圧力上昇値をとっております。全部で50個のプロットがございますけれども、一番下から5個目のP10というところで圧力上昇値 ΔP の値が1.8メガパスカル。ちょうど半分の下から25個目のところですが、このモデルをP50と呼んでおりますが、この場合で ΔP の値が2.2メガパスカル。下から45個目のところで、このモデルをP90と呼んでおりますけれども、ここでは ΔP の値が3.3メガパスカルとなっております。

P10、それからP50、P90、それぞれのモデルについて浸透率分布を示したものが右側になります。それぞれのモデルについて圧入圧力がどのように変わっていくのか、坑底圧がどう変わっていくのかというのが次でございます。

(パワーポイントNo.25)

25ページをみていただければと思いますけれども、こちらは圧入開始から50年間の圧力挙動について示したものです。P50、それからP10、P90モデルの順にご説明いたします。

まずグラフの見方でございますけれども、青い線が圧入レートでございます。3年間、1年当たり25万トンのCO₂を入れたということを示しております。赤の線でございますけれども、これは坑底圧力の推移でございます。緑のラインでございますけれども、これは貯留層の累計圧入量でございます。

また、滝ノ上層の圧入圧力の上限值でございますけれども、先ほどの調査井CCS-1の振老層下部でのリークオフ圧力が等価泥水比重で1.96となっておりますので、これを用いて貯留層の上限深度での地層破壊圧力に算出し直しまして、その値に90%を乗じた値を圧入圧力の上限值としております。値としては41.9メガパスカルでして、90%を乗じる理由ですけれども、米国の環境保護庁のUIC (Underground Injection Control) の規制に基づき、90%を用いております。

このグラフをみていただくと、ちょうど赤い坑底圧の一番高いところの値でございますけれども、これが36.6メガパスカルということですので、41.9メガパスカルを下回ることから3年間の圧入が可能であると判断してございます。また3年目以降は急激に圧力が低下しています。

もう1点、ちょうど圧入を開始したところですが、こういう形で一気に圧力値がはね上がっているところがございますが、これについては、シミュレーション上は年間25万トンのCO₂を最初から一気に圧入するという形でやっていることが1点。あと圧入開

始直後は圧入井近傍の相対浸透率が低いということから、貯留層内の水を押しよけるのに最初は高い坑底圧力を要するのではないかとということで、その部分の圧力が高くなっているのではないかと考えております。実際のオペレーションでは、一瞬にして年間25万トンという形で一気にCO₂を入れることはしませんので、このような傾向はみられないのではないかと考えております。

(パワーポイントNo.26)

26ページでございます。こちらはP10のモデルでございます。同じように圧入圧力上限値は41.9メガパスカルでして、それを下回る坑底圧力となっております。ここでの最高の坑底圧力の値は36.2メガパスカルとなっております。P50と同様に急激な立ち上がりがございますが、3年目以降は圧力が急に低下するという形になっております。

(パワーポイントNo.27)

27ページです。こちらはP90モデルでございます。これも同様の圧入圧力上限値を用いまして、それを下回る坑底圧力。最大値で37.7メガパスカルになっております。P50、それからP10と同様に急激な立ち上がり、それから3年目以降は圧力が急に低下するという形になっております。

P10、それからP50、P90、いずれのケースにおいても5年目から10年目には大体35メガパスカル以下の値に低下してございまして、それ以降は一定値に近づいていく傾向がみとれます。

(パワーポイントNo.28)

28ページですけれども、こちらではCO₂の長期挙動予測の結果を示しております。ここでも同じようにP50モデル、P10モデル、P90モデルの順にそれぞれ圧入終了時——すなわち3年目ですけれども、それから圧入を開始してから200年後、1000年後のシミュレーション結果を示しております。気相CO₂の飽和率と溶解CO₂の飽和率をそれぞれ示しております。ここで1点補足ですけれども、気相CO₂としておりますが、実際の物性値については超臨界状態のCO₂の値を用いております。

まず3年後のところですが、圧入されたCO₂は西の方向に伸長して広がっておりまして、3年後には東西約400メートル、南北が600メートル程度に広がっております。ちょうど左上の図になります。

溶解濃度については、東西がそれより少し広がっておりまして大体550メートル、南北が700メートル程度に広がっております。

なお、計算の格子——グリッドですけれども、間隔については東西—南北方向が 100メートル、それから垂直方向については15メートル。ただし、圧入井近傍については格子を細かくしております、水平方向、垂直方向ともに3分割しています。

(パワーポイントNo.29)

200年後、29ページでございます。気相 CO_2 と、それから水への溶解 CO_2 は、ともに 200年後で水平方向には 100メートル程度しか移動していない。気相 CO_2 については浮力により上方への移動がみられる。溶解 CO_2 範囲も上方に広がっていることがみてとれます。

(パワーポイントNo.30)

1000年後につきましては気相 CO_2 はほとんど動いていない。それから溶解 CO_2 は水平方向への移動はみられないですけれども、下方への沈降がみられた。これは密度が大きくなっているためではないかと考えております。

いずれにしても遮蔽層には到達していないというのが、このモデルの結果となっております。

(パワーポイントNo.31)

今度はP10のモデルですけれども、同じように圧入終了時から1000年後まで長期挙動予測をしております。上段がP10モデルの CO_2 飽和率ですけれども、P50と同様に西方向に伸長して広がっております、水平方向に約 600メートルとなっております。その後、気相 CO_2 はほとんど移動せず、溶解により CO_2 飽和率は減少しているということがわかります。

下段でございますが、溶解 CO_2 の濃度でございます。圧入終了時は水平方向に約 800メートル広がっております、溶解 CO_2 は、 CO_2 の溶解によりまして地層水の密度が増加するため、やや下方に移動していることがわかります。

(パワーポイントNo.32)

P90のモデルでございますけれども、同じような傾向を示しております。圧入終了時は水平方向に約 400メートル広がっております。その後、気相 CO_2 はほとんど移動しない。溶解により CO_2 の飽和率は減少していることがわかります。

また溶解 CO_2 濃度でございますけれども、圧入終了時は水平方向に約 500メートル広がっておりまして、その後、溶解 CO_2 は、 CO_2 の溶解により先ほどと同様に下方へ移動しているのがわかります。

この場合も、いずれにしても遮蔽層には到達していない。そういう結果になっています。

(パワーポイントNo.33)

続きましてCO₂圧入挙動でございます。こちらは平面図と断面図を用いましてP50、P10、P90、それぞれのモデルに対して圧入終了時、すなわち3年後の分布を示したのになっています。

ちょうど左側が水平の図でございますけれども、ここに黒い線が入っています。これが滝ノ上層と同じ層にあります断層です。

同じように、こちら(右図)が断面図でございます。断面図についても断層が入っております。

これは圧力上昇値を示したものですけれども、主に圧力変化の高いエリアは坑井周辺でして、坑底圧力変化は2.2メガパスカル。それから坑底圧力は圧入終了後、先ほどお示しましたように直ちに降下して、以後ゆっくりと初期地層圧に近づいていく。ここの断層付近の圧力上昇値 ΔP が約1.19メガパスカルとなっています。

(パワーポイントNo.32)

先ほどの説明の中で少し飛ばしてしまったところがあるので1枚戻りますけれども、こちらのP90のモデルですが、ここの断面図で断層が入っています。CO₂の飽和率、それから溶解CO₂濃度についても断層のところまでは到達していないという結果になっておりますので、圧力上昇は断層には到達しているものの、溶解CO₂濃度とCO₂飽和率については断層まで到達していない。そういうシミュレーション結果になっております。

(パワーポイントNo.34)

34ページです。こちらと同じく圧力変化、P10のモデルです。この場合も坑井周辺で圧力が高くなっておりまして、坑底圧力変化は1.8メガパスカル。坑底圧力は圧入終了後、直ちに降下しまして、以後ゆっくりと初期地層圧に近づいていく。同じく断層周辺の ΔP の値は0.96メガパスカルというようになっております。

(パワーポイントNo.35)

同じくP90モデルでございます。35ページです。ここでの坑底圧力変化は3.3メガパスカル。坑底圧力は同じように圧入終了後、直ちに降下しまして初期地層圧に近づいていく。同じように断層のところまでは圧力伝播がありまして、その値 ΔP は1.16メガパスカルになっております。

(パワーポイントNo.36)

以上のシミュレーション結果、これは滝ノ上層でございます。それをまとめますと50モデル、25万トン／年ですけれども、3年間の圧入がシミュレーション上では可能であった。圧入終了時の坑底圧力変化は2.2メガパスカル上昇。これはP50モデルです。坑底圧力は圧入終了後、直ちに降下する。圧入終了時、気相CO₂は大体400～600メートル程度の広がり。圧入終了時の溶解CO₂はもう少し広くて550×700メートル程度の広がり。200年程度で気相CO₂の広がりに変化はみられなくなる。1000年後までは周辺部での地層水へのCO₂の溶解が進み、CO₂飽和率減少が確認される。遮蔽層へのCO₂の到達は確認されなかったという結果になっております。

ちょうど左側の図でございますけれども、薄い黄色い点線で囲まれた範囲が1000年後のCO₂の広がりでございます。その中に黄色い円がございます。ここが圧入終了時、すなわち3年後のCO₂の広がりでございます。

(パワーポイントNo.37)

今度は萌別層についてご説明をいたします。37ページでございます。

前半でご説明をいたしましたとおり、萌別層については層内が4つに分類されます。すなわち、この模式図の中でいいますとちょうど斜面に当たる6番、それから陸棚に当たる7番、あとファンデルタの8番、9番という形になっております。

今回萌別層にCO₂を圧入する場合は、先ほどご説明しましたようにファンデルタのところに圧入するという形になりますので、CO₂を入れるところは8番、ないしは9番といったところになります。8番の上位層に当たります2番、3番、4番、5番については遮蔽層でございますけれども、4番のみ砂岩層になっていまして、2、3、5番は泥岩です。

コア分析の結果では、スレシヨルド圧力の値が2番については0.75メガパスカル、それから5番も泥岩でございますけれども、1.65～1.67メガパスカルというようになっています。

先ほどご説明しましたように今回シミュレーションの対象としているのは8、9ですので、8番の上に当たります5番が遮蔽層として扱われるのですけれども、より安全サイドをとるということから5番のスレシヨルド圧力については、今ご説明しましたように1.65～1.67なのですけれども、シミュレーション上は0.75メガパスカルとして計算しております。

(パワーポイントNo.38)

萌別層のCO₂長期挙動予測でございます。萌別層については先ほどの滝ノ上層と異なりまして貯留層内の均質性が非常によく、異方性もないと考えられますことから地球統計学的手法は用いずに以下に示す7つのパターンに分類して、それぞれシミュレーションしております。

この7パターンのうち低浸透率ケースというのが上から2つ目でございますが、このケースについてのみ3年間、25万トン/年入れることができずに最終的には貯留量が45.2万トンドまりだったという結果になっております。

それぞれのケースですけれども、ベースケースといたしますのは水平浸透率の値が実測値で最も低かった9ミリダルシーと、最も高かった25ミリダルシーを単純に平均しまして17ミリダルシーとしています。それから垂直浸透率の値も実測値を用いております、ただ垂直浸透率と水平浸透率の比は10分の1として、垂直浸透率を1.7というように算出しております。このベースケースの砂岩相が適用されるのは、前のページでございますけれども、堆積相でいうところの4番、8番、9番になります。

泥岩相についてですけれども、先ほどのページの堆積相の1番、2番、3番、5番、6番、7番、10番でございます。ここについてはスレシールド圧力を先ほどご説明しました0.75。垂直浸透率と水平浸透率をそれぞれ0.00173。これは観測値ですけれども、それを用いてやっております。

あと帯水層の容積でございます。一番右から2つ目の欄ですけれども、こちらについては下の注にありますとおり、地質モデル構築範囲の外側も含めた対象貯留層内における地層水の総容積をあらわしております。これをベースケースとしまして、低浸透率ケースについては先ほどの水平浸透率の値を9ミリダルシー、一番低い値にしております。高浸透率ケースについては25ミリダルシーという形にして、それぞれ値を振る形にして7パターンつくってございます。

ここから先は主にベースケース、低浸透率ケース、高浸透率ケースについて考察しております。

(パワーポイントNo.39)

39ページをごらんいただければと思いますけれども、ここから先は具体的な圧入挙動について説明しております。滝ノ上層と同様に圧入圧力上限値を計算しておりまして、その値は13.4メガパスカルになっております。この値以下で結果として圧入できまして、3年

目には坑底圧の値ですけれども、ちょうど赤のラインで13.2メガパスカルとなっております。坑底圧力は圧入終了後、約5年で大きく降下しております、以後ゆっくりと初期地層圧に近づいていくという傾向になっております。ちなみに5年後の坑底圧の値は10.6メガパスカルとなっております。

(パワーポイントNo.40)

続きまして、高浸透率ケースの結果でございます。40ページです。こちらも同様に3年目の坑底圧の値がシミュレーション上は12.5メガパスカルとなっております、圧入圧力上限値13.4メガパスカルを下回るという結果になっております。5年後の坑底圧の値は10.6メガパスカルとなっております、先ほどと同様、坑底圧力は圧入終了後、約5年で大きく降下しまして、以後ゆっくりと初期地層圧に近づくという結果になっております。

(パワーポイントNo.41)

低浸透率ケース、41ページです。こちらについては、結果的に13.4メガパスカルの圧入圧力上限値を超えてしましまして、貯留できたのは45.2万トンということになっております。このときの5年後の坑底圧力ですけれども、その値は10.7メガパスカルとなっております。坑底圧力は前の2つと同様に圧入終了後、約5年で大きく降下しまして、以後ゆっくりと初期地層圧に近づくという傾向になっております。

(パワーポイントNo.42)

42ページでございますけれども、今度はCO₂の長期挙動予測についてご説明いたします。これも同じくベースケース、それから高浸透率ケース、低浸透率ケースのそれぞれについて、圧入終了時、20年後、1000年後の状況を示したものになっております。

まず、ベースケースでございます。ベースケースの圧入終了時、3年後のCO₂の挙動予測でございます。気相CO₂は圧入井近傍で東西約400メートル、南北約600メートルに広がっている。

溶解CO₂濃度は圧入井近傍で東西約400メートル、同じく南北約600メートルに広がっております。

こちらの計算格子の間隔でございますが、水平方向には200メートル、垂直方向には15メートルとなっております、先ほどと同様、圧入井の近傍では水平方向にさらに4分割しております。垂直方向につきましては3分割しています。

(パワーポイントNo.43)

続きまして、20年後のベースケースでございます。20年後につきましてはCO₂の飽和

率で水平方向にはほとんど動かなくなるが、上方への移動がある。

それと連動して、溶解 CO₂濃度は主に垂直方向に広がっているという形になっております。

(パワーポイントNo.44)

44ページ、1000年後の長期挙動予測でございます。1000年後につきましてはベースケースですけれども、気相 CO₂は20年後以降、ほとんど動かない。

溶解 CO₂濃度は主に垂直方向に広がっている。そういう結果になっております。

見ていただくと、ちょうど右下の図でございますけれども、あと上の図もそうですが、気相CO₂と溶解CO₂が遮蔽層に接触しているということがわかります。ここについては後ほど考察したスライドが出てまいりますけれども、滝ノ上層とは異なりまして遮蔽層に接触しているということになっております。

(パワーポイントNo.45)

同じように高浸透率ケースについて圧入終了時から1000年後まで、気相 CO₂と溶解 CO₂濃度がどのように広がっているかを示したものが45ページです。

気相 CO₂につきましては圧入終了時、東西 400メートル、南北 600メートルに広がっておりますが、20年後、1000年後につきましては水平方向には動かなかったけれども、上方への移動がみられた。

溶解 CO₂濃度ですけれども、圧入終了時は東西 600メートル、南北 800メートルで主に垂直方向に広がった。そういう結果になっております。

(パワーポイントNo.46)

続きまして、低浸透率ケースについても同様に圧入終了時から1000年後までの挙動をとっております。

まず圧入終了時の気相 CO₂ですけれども、東西 200メートル、南北 200メートル程度に広がってございましたが、1000年後のところをみていただきますと、それがほとんど動かないということになっております。

溶解 CO₂濃度ですけれども、こちらにつきましては圧入終了時、東西 400メートル、南北 600メートルですけれども、広がり続けたという結果になっております。

(パワーポイントNo.47)

CO₂圧入挙動でございます。こちらはベースケースでございます。47ページですけれども、圧入終了時の圧力変化でございますが、滝ノ上層と同様に圧力変化の高いエリアは

坑井周辺でして、坑底圧力変化は 2.9メガパスカル。坑底圧力は圧入終了後、直ちに降下しまして、以後ゆっくりと初期地層圧に戻っていくということになっております。

上段が圧入終了時点ですべて、下段が圧入から20年後の水平面と断面図になっております。

(パワーポイントNo.48)

同じように、高浸透率ケースでも圧入挙動をとっております。圧力変化の高いエリアは同様に坑井周辺でして、坑底圧力変化は 2.2メガパスカル。坑底圧力は圧入終了後、直ちに降下しまして、以後ゆっくりと初期地層圧に近づくという形になっております。

(パワーポイントNo.49)

49ページですけれども、低浸透率の場合でも同じようにデータをとっております。シミュレーションの結果ですと、低浸透率ケースですけれども圧力変化の高いエリアは坑井周辺でして、坑底圧力変化は 3.1メガパスカル。圧入圧力上限まで達し、3年間では45.2万トンしか入れられなかったということになっております。坑底圧力は圧入終了後、直ちに降下しまして、以後ゆっくりと初期地層圧に近づくという結果になっております。

(パワーポイントNo.50)

貯留層と遮蔽層との境界付近のシミュレーション結果について50ページに示しております。

こちらの見方ですけれども、左上の計算格子が萌別層の全体図になっております。このうち、ちょうど遮蔽層と貯留層の境界あたりを示したものが左下の絵になっております。黄色いところが砂岩です。一番下の黄色い範囲が、先ほどのモデルの中でいうところの8番の層に当たります。ちょうどファンデルタの上のあたりですけれども、ファンデルタ8、9のうちの8番に当たります。まさに今回 CO₂を入れようとしているところに当たるのですけれども、これが8番です。そして、ちょうど真ん中の青色の層が5番の層です。その上の黄色いところですが、こちらが4番の層に当たります。

先ほどご説明しましたように5番の層のスレシヨルド圧力は1.65メガパスカルになっておりまして、さらに上の青いところが2番に当たるのですけれども、ここのスレシヨルド圧力が0.75になっております。

それでシミュレーションした結果なのですが、こちらの右側のグラフになっております。横軸が圧入開始からの時間、縦軸が圧力です。紫色のラインが貯留層、すなわち8番の層の一番上限のセルの圧力の値です。薄い緑のラインが遮蔽層、ちょうど真ん中の5番の層に当たりますけれども、ここの遮蔽層の一番下のセルの圧力の値です。見ていただきます

と圧入終了時3年のところで遮蔽層下限セルの圧力が最も高くなっており、同様に貯留層の上限セルの値も最も高くなっております。その値が遮蔽層の方が10.9メガパスカル、貯留層の方が12.1メガパスカルですので、その差が1.2メガパスカルとなります。先ほど5番の層のスレシヨルド圧力は1.65メガパスカルというようにご説明しましたので、それよりは下回っているという結果になっております。

(パワーポイントNo.51)

以上、萌別層のまとめでございますけれども、51ページですが1年間当たり25万トンで3年の圧入が可能。ただし、低浸透率ケースは除くという結果になっております。圧入終了時、坑底圧力は2.9メガパスカル上昇します。坑底圧力は圧入終了後、約5年で大きく降下する。圧入終了時、気相CO₂は400×600メートル程度の広がり。圧入終了時、溶解CO₂は400×600メートル程度の広がり。20年程度で気相CO₂の水平方向の広がりに変化はみられなくなる。1000年後までは周辺部での地層水へのCO₂の溶解が進みCO₂飽和率減少が確認される。

最後に遮蔽層のところですが、今ご説明したところですが、圧入終了時における貯留層上限での圧力が、圧入終了時における遮蔽層下限の圧力に、スレシヨルド圧力を加えた圧力を超えていないことを確認したということになっております。すなわちこのシミュレーション結果ではCO₂は遮蔽層に触れるけれども、遮蔽層には浸透していかないという結果になっております。

左側の絵でございますけれども、こちらは圧入終了時のCO₂の範囲が少し濃い青で、ほぼ重なっておりますけれども薄い青の範囲が1000年後のCO₂の範囲ということになっております。

(パワーポイントNo.52)

(パワーポイントNo.53)

52ページ及び53ページは、今取りまとめでご説明したところを前段の貯留層の評価も踏まえて示したところですので、ここは割愛させていただきます。

以上です。

○山地座長 どうもありがとうございました。

それでは、ただいまの説明につきまして委員の先生方からご意見、あるいは質問等いただきたいと思っております。いかがでございましょうか。――では、鹿園委員。

○鹿園委員 こういう地下での地下水による物質移行に関していろいろなメカニズムと

というのが重要なので、1つは移流ですね。地下水の流れとか、それから水の中の拡散とか、固相の中の拡散とか、もう1つは化学反応というのが重要だと思いますけれども、今回のモデルは、いわゆる鉱物トラッピングといったような化学反応については考慮されていないということなので、そういうモデルで計算される場合はどのような過程を置いて計算されるのか。

そして本来ならば、その妥当性ということについても検討したほうがいいですけれども、鉱物トラッピングがあると、そのことによってCO₂が固定化されますので移動が押さえられるということなので、今回の場合は1000年後ぐらい考えるので本来ならば鉱物トラッピングもあると思います。保守的な取り扱いであるというように理解しているのですけれども、そのようなことも何かきちんと説明されるほうがいいのではなからうかと。

それから今回のモデルはどういう数式モデル、物理モデルを使われているのかというのが、本当はそういう説明もちょっとあったほうがいいのではなからうかと思えます。それでどういうものがパラメータで、ここでは浸透率ということなのですけれども、どの程度どういう値を使われて、その値の不確実性がどのくらいであるのか。そういったことを本当はきちんとやられているのだと思いますが、何か説明があるといいのではなからうかと思えます。

基本的には浸透率ということで移流で広がっていくことだと思うのですけれども、地層水に溶けたCO₂だったら、それがまた拡散によっても広がるでしょうから、その辺を考慮されているのか、されていないのか。1000年ぐらいの長期的なところでのCO₂の挙動はどういうモデルで計算されているのか、ちょっと教えていただきたいと思えます。

○山地座長　　いかがでしょうか。モデルでどういう計算をしているかというのを簡単に。

○JCCS（阿部）　　まず1つ、拡散のほうですけれども、今回は拡散について考慮はしていません。全く移流部分だけで評価をしております。

それから、どういう計算式でいったらいいのか。済みません、私もどういう言葉を使えばいいのか。シミュレーター自身は、いわゆる石油、天然ガスのほうで使っておりますGEMといわれるもので、もともとはRITEさんのプロジェクトの中でCO₂の貯留部分を開発されたものを使っております。それで基本的には移流ですのでダルシー則にのっとって圧力差と、あと浸透率を評価して移流部分を扱っております。

あと多孔質媒体中での二相流といいますか、CO₂と水との両方の移動を考えなければいけませんので、相対浸透率といった考え方も当然使っております。

それから水への溶解につきましては、ちょっと変形になりますけれどもヘンリーの法則を用いて溶解の評価をしております。

○鹿園委員　それからトラッピングのメカニズムで、よくCO₂の残渣トラッピングというのがありますけれども、その辺のところはどのように考えられ、どのように計算されているのかがちょっとはっきりしないのです。

○JCCS（阿部）　お手元の検討資料1の貯留層総合評価というものがあるかと思えます。済みません、今回パワーポイントのほうに入れてございませんでしたけれども、例えば3-17ページをみていただきますと図3.1-15というのが出てくるかと思えます。

この中で水色で Dissolved。これがCO₂を入れた後に地層水に溶解する溶解トラップの部分。それから朱色で Trappedと書いてございませけれども、これが残留CO₂のトラップ部分になります。もう1つ、極端に減っております Movableというのは残留されなかった部分の評価にしてございませ。このような計算がされておまして、相対浸透率下部でヒステリシスを考慮してこのようなトラップの計算をしております。

ただ1点だけ、これはあくまでもGEMの中での考え方でこのような評価がなされておまして、当社では必ずしも、ちょっと申し上げたいのは Movableの中にも、実は時間がたてば Trapped。残留部分に入るものも出てくるころまではまだ十分に評価が出ていないのではないかと考えておまして、その辺はまた今後もう一度詰めていく必要があると考えてございませ。

○鹿園委員　わかりました。

○山地座長　ほかには、いかがでございませうか。――斎藤委員、どうぞ。

○斎藤委員　幾つかお伺いしたいのですが、1つは、まず3年後に最初に西に移動したということで、これは当然西のほうが浸透率が大きいからで、そうすると浸透率を評価したのは三次元のサイスミックの反射率なりということだと思ふのです。前半の議論にもありましたけれども、サイスミックの断面とか平面が与えられていますが、先ほどのお話のように断層の延長は、あそこの層で切れているというように確認できるほど精度のある図面ではないと思ふのです。

ですから、そういうことの根拠。つまりサイスミックが使われたのはわかるし、クロスプロットも砂岩に対しては凝灰岩層と溶岩。22ページですけれども、クロスプロットの位置を大きく分けているのですが、このクロスプロットのどこに砂岩とか何かが出てくるのか。ちょっとよくわからなくて、孔隙率分布、浸透率分布というのはどれほど精度よく出

ているのかということが1つ。

それから圧力をかけたときに、当然注入開始時にはすごい狭いピークが発生する。例えば26ページ、27ページはオレンジ色の線で坑底圧力をかけた瞬間、当然上がるわけですが、この幅の狭いパルスというか、ピークが精度よくまとまっているのでしょうかということです。これは計算の仕方によってはもっと上がるのではないかという気がして、もし上がると限界を超える。そういう可能性がないのでしょうかということをお伺いしたいのです。

○JCCS（阿部）　　まず1点目、砂岩層につきまして22ページでプロットしてありますのは、あくまでも滝ノ上層の火山岩類についての孔隙率と浸透率の関係をプロットしてございますので、大変申しわけございませんが、浅いほうの萌別層の砂岩層についてのプロットはこの中には出てきておりません。

それから圧入開始後、西のほうに移動するのは、1つは先生ご指摘のとおり浸透率が高いということもあるかとは思いますが、西のほうに地形的にといいますか、深度がだんだん浅くなっていく。圧入したCO₂も気相——超臨界状態ではございますけれども、密度は水よりも若干小さいので浮力が働きますので西のほうに、浅いほうに向かって若干動いていくというような現象をみていただけたと思います。

○斎藤委員　　均質の水の中で浮力は、例えば超臨界のCO₂は地形の影響というか、深さの影響を受けるのでしょうか。もちろん上のほうで高さが違うのはわかりますけれども、そこへ達してからCO₂に気がつくのであって、水の真ん中で注入したときに地形を理解できるとはちょっと思えないです。

○JCCS（阿部）　　地層ですので当然層状になっておりますので、まずは上のほうに動いて地層の層理面に沿ってより浅いところに動いていくというのは、このシミュレーション上では西のほうに若干上がっていくことであらわれているというようにご理解いただければと思います。

もう1つ、シミュレーション上の圧入開始直後のピークの立ち上がりですが、これにつきましては先ほどご説明がございましたとおり、シミュレーション上でいきなり25万トンのフルのレートで圧入するので、こういうことが起きます。仮にもし万が一圧入圧力上限にいけば、それ以上圧力を上げることができませんので、そこではレートを絞らざるを得ないということで、超えてしまうことにはならないような操業をいたします。現実問題といたしまして実際の操業では、このように一気に最初から年間25万トンのレートで

圧入することではなくて、徐々に圧力、レートを高めていくということを行いますので、こういうピークは出てこないのではないかと考えております。

○斎藤委員 わかりました。

○山地座長 それでは白山委員、どうぞ。

○白山委員 2点教えていただきたいのですが、1つは滝ノ上層の28、29、30ですけれども、3年から200年の間で溶解CO₂範囲が一旦上方へ上がって、その後、1000年後には密度が大きいから下に下がっていくと。こういうご説明ですけれども、どういうメカニズムで一たん上方に上がるのかということで、私の想像は気相CO₂が上方に動いているから、そこで溶けるからかなと思うのですけれども、それ以外のご説明があれば教えてほしい。それが1つです。

もう1つは、溶解CO₂は当然水にCO₂が溶解しているということですが、その水と岩石というのですか。周りの基質との間の化学反応というのはいり得るのか。またモデルの中では考慮されているかということを示してください。

○JCCS（阿部） まず1点目の上のほうに上がるということにつきましては先生ご指摘のとおり、1つは浮力によって上がったところで溶けるような現象をみているかと思えます。ドライビングフォースとしてはそれだと思えます。

もう1つ、化学反応につきましては鹿園先生がご指摘のとおり今回は考慮しておりませんが、現実問題としては当然そういうことも起こり得ると思えます。今回地層水の試料はございませんので、きちっとした評価ができないということで化学反応まで含めたシミュレーションをやっておりません。

○白山委員 わかりました。

○山地座長 では、徳永委員。

○徳永委員 前半の話ともかかわってくると思うのですけれども、オペレーションをするときにはリークオフ圧力の9割のところはぎりぎりですという話をされていますが、評価するのに使ったリークオフ圧力のデータは、今回掘削された地点の1ヵ所のデータですよね。それで、例えば振老層でしたか。もう1つ上の地層のリークオフの値を適切に評価できているのかどうかというところは、結局、このシミュレーションをしている評価のやり方そのものにかかってくるのですけれども、それはどうなのでしょう。すなわちリークオフのデータは、本当にその地層のリプレゼンタティブな値になっているかどうか。ある程度データを、その地層に対する、周辺データとあわせて議論して、適切な破壊強度

みたいなものを推定しておく必要があると思うのでけれども、そこは今どのように考えていらっしゃるのか。

○JCCS（阿部）　　まだそのところの評価がきちっとできていないですけども、周辺で石油天然ガスの探鉱開発がなされておりまして、そこと比べる限りはリークオフの値も同じようなところにプロットされる。済みません、本来もってくるべきなのですけども、今ちょっと手元にないですが、同じようなところにプロットされますので代表するといえますか、全く全然違うような値がとれていないということはいえると思っております。

○徳永委員　　議論の仕方だと思うのですが、特に上のほうの地層のリークオフは結果に影響を与えていますし、例えば断層との話でいっても荷葉層でしたか。そこまでは切れている可能性があるけれども、その上の萌別でしたか。上の泥を切っていないということだとすると、最終的にはその評価が結構重要になってくるような気がするのですが、もしデータがおありだったら、そういうところで精査しておいていただくといいかなと思います。というところをぜひお願いしたい。

○JCCS（阿部）　　最終的には実証試験がゴーになればということが前提ですけども、圧入井を掘ったときに、やはり本当に圧入ポイントがどうなのかという評価をしなければいけないと考えております。

○徳永委員　　関連してですけども、50ページの評価をさせていただいているやつは、圧力を貯留層上限セルと遮蔽層下限セルにしていますが、貯留層上限セルは非濡れ相の流体の圧力だという理解でよろしいですか。

○JCCS（阿部）　　そうです。CO₂の圧力。

○徳永委員　　CO₂の圧力で、上の遮蔽層は……

○JCCS（阿部）　　水。

○徳永委員　　水相の圧力ですね。わかりました。

○山地座長　　佐々木委員、どうぞ。

○佐々木委員　　3点ぐらいお伺いします。52ページの滝ノ上層の浸透率のまとめ表についてです。浸透率のデータは7ミリダルシーが最大ですが、実際の地球統計学上の分布をみると100～1,000ミリダルシーの指示色も出ています。萌別層の場合には最大が1,000ミリダルシーという値も表に記載されていて、地球統計学の分布とかなり一致していると思うのですが、滝ノ上層については、この表の分布と地球統計学上の分布がどうも違

っているのではないかということが1つです。

それからスレシヨルド圧力ですが、実際にはコアサンプルから測定されたものだと思います。私たちもこれまで多くのコアサンプルを測定したのですが、非常に固くていいコアだけをサンプルすることになる率が高いようです。それは亀裂層とかの部分ではなかなかコアがとれない、あるいはコアをとったときに崩れてしまったりするということで、一般的なコアでは非常に浸透率が低く、現場で測定するとそれより浸透率が高くなります。スレシヨルド圧力の場合では、コアは非常に高く出るのですけれども、現場ではむしろ低く出るのでないかと思われます。そうするとスレシヨルド圧力についてはある程度の余裕の圧力を見込まなければ、健全性を評価する上では少しリスクが伴うのではないかと気がします。

○JCCS（阿部） スレシヨルド圧力につきましてはご指摘のとおり、今50ページの右側の図面のところでもご説明がありましたように10.9～12.1の間で、1.2メガパスカルの差圧に対して1.65メガパスカルのスレシヨルド圧力があるということです。この余裕を小さいとみるのか、大きいとみるのかあるのですけれども、そんなに大きくはないかと思います。

左側の下の方でも拡大しておりますが、左上のほうをみていただければ遮蔽層としては200メートル分ございますので、トータルとしてみれば遮蔽層としては十分な厚さがあるのではないかと考えております。

ただ、先生ご指摘のとおり今スレシヨルドをはかっているのが、やはりいろいろ壊れたりして難しいところもございますので、0.75と1.65、1.67という3つのサンプルでしかはかれておりません。今後もう少しサンプル数をふやして、きちっと評価していく必要はございます。今度圧入井を掘ったときにできれば、ちょっと難しいのですけれどもできるだけコア掘りを行って評価をやって、ばらつきについてきちっと評価できるようにはしていきたいと考えております。

○佐々木委員 最初の質問の滝ノ上層の浸透率の最大値は、この表では7ミリダルシーですけれども、図では100～1,000ミリダルシーぐらいの指示色が出ているところがあります。

○JCCS（阿部） そうですね。ここで書いたのは、あくまでもコア試験で得られたデータ。直接的に測定できているデータだけを書いてございますので、そういう意味ではシミュレーションと合っていないので記載の方法をもう一回、検討させていただければと

思います。

○佐々木委員 多分萌別層と同じような記載として、物理検層解析結果を滝ノ上層にも記載が必要ではないかと思われま。

○JCCS (阿部) ありがとうございます。修正させていただければと思います。

○石井補佐 そのこの表記のところは先生のご指摘を踏まえまして整合性をとりたと思います。

○山地座長 ほかには、よろしゅうございますでしょうか。——松橋委員。

○松橋委員 今の滝ノ上層のシミュレーションというのを、私も地質のシミュレーションは専門外なので申しわけないですが、一般のリスク分析という観点でみたときに、一般のエンジニアリングというところから考えますと、50モデルというモデルの取り方はちょっと少ないような気がするのです。確率シミュレーションか何かをやって、どれだけ危険でないかをみるために一般にはもっとたくさんやるのだと思いますが、これは1つの計算に物すごく時間がかかるので、50に絞らざるを得ないということなのかが1つ。

それで実際に、もしここに入れ始めたときにモニタリングをして漏れ出てくるものを計測していくと思うのですが、それをやるとどの辺にあるのかというのがかなり、確かに実験してみないと多分シミュレーションどおりにはならないのではないかと思います。そのあたりは、ちょっとはみ出てしまって申しわけないですが、後の実験とうまく絡めて速やかに、この構造と長期の挙動がきちんとした形で出るようにされると思うのですが、そのあたりをちょっと教えていただければと思います。

○JCCS (阿部) 1点目のほうですけれども、50ケース。今回リスク分析と申しますか、いわゆる危険についての評価を行ったわけではなくて、本当にCCS-1の結果が余り芳しくなかったということで、その周りの貯留層が本当にあり得るのだろうかというのを評価するために50通りの評価を行った。その結果、いずれも圧入圧力上限には達しないということが確認できておりますので、これ以上そんなにサンプル数をふやしても違った結果は出てこないのではないかと考えておりますので、入るのか、入らないのかという観点の評価では十分だと考えております。

それからモニタリングで出るのか、出ないのかというところにつきましては、大変恐縮ですが検討資料1の貯留層総合評価で、例えば2-45ページのところで萌別層の弾性波探査シミュレーションというような言い方をしております。先ほどのシミュレーションを行った結果をもとに物性値を与えて、ここで弾性波探査をやったらどのようなデータが得られ

るかというような解析をしております。

例が余りよくないかもしれませんが、2-45ページでは上のほうに赤いものが出ていて、あと下のほうに2つ、赤青のしまが出ています。上の赤が実際に測定できるであろう弾性波探査の結果でございます。この場合は12.5万トンのCO₂を入れれば、赤がきれいにはっきりとみてとれるだろうということが示されております。

ただ、下のほうにつきましては、上にCO₂を入れることによって下にも干渉と申しますか、ゴーストが出てしまうような評価が得られています。実際のモニタリングのときには、きちっとキャンセルできるような手法をやらなければいけないと考えております。

あと2-36ページにもう1つ、滝ノ上層の弾性波探査シミュレーション結果が載っております。上の図2-7-10がCO₂を12.5万トン圧入したときで、四角の一番下に赤い3本が入っていますけれども、ちょっとぼんやりしている。下の図面で25万トンまで入れれば、このようにはっきりみてとれるようなことを確認しております。これは次回になると思えますけれども、実証試験計画のときの圧入量はこのぐらい必要になるだろうということの根拠の1つになってくるものでございます。このような評価を行って実際の弾性波探査、圧入時のモニタリングについては、1つは三次元の弾性波探査をやってこういうものをきちっととらえていくということで、きちっと貯留層にとどまっているのを確認することを計画しております。

○山地座長　　まだあるかもしれないですが、実は議題がもう1件ありますので、その説明と議論をして、また全体で少し議論をする時間をとりたいと思います。ちょっと申しわけございませんが、先へ進めさせていただきたいと思います。

それでは、最後の議題ということになります。苫小牧地点の貯留層の周辺環境について事務局からご説明をお願いいたします。

(パワーポイントNo.1)

○栗原補佐　　それでは、貯留層の周辺環境等の評価について手短にご説明させていただきます。

(パワーポイントNo.2)

まず2ページ目でございますけれども、苫小牧周辺のテクトニクスの概要でございます。北海道につきましては東北日本弧といわれる地層と、あと千島弧のプレートとの衝突場になってございます。東側のほうほど古い地層で、西側に行くに従ってだんだん新しい地層になってございます。

断層につきましては、このような衝突場につきまして衝上断層ができております。この断層につきましては西に行くほど新しい断層となっておりまして、貯留層の対象範囲に一番近いところでいいますと、石狩低地東縁断層帯というものが約20キロメートル程度離れたところに存在してございます。

(パワーポイントNo.3)

少し手短にさせていただきますが、北海道周辺の地震活動はどんな形で起きているのかということでございますけれども、深部 100キロメートル以深の海溝型（プレート境界型）と浅部の20キロメートル～40キロメートル以浅の内陸型地震。この2つのタイプが発生しております。過去、津波を伴うようなマグニチュード8クラスの海溝型の巨大地震も繰り返し発生しております。津波の堆積物の調査からいいますと、約400年～500年周期で巨大津波を経験してきたことがわかっております。これは地震調査研究推進本部の調査データ等によるものでございます。

(パワーポイントNo.4)

次のページでございますけれども、それでは苫小牧周辺の最近の地震活動はどんな状況なのだろうかということで1998年～2008年の10年間、マグニチュード1以上の地震の発生状況について、これは気象庁の一元化震源リストをもとに作成したものでございます。

ここが苫小牧の調査対象範囲でございます。この図からは、周辺に比べて調査対象としている地域は他の地域と比較して大きな差はないということがいえるかと思えます。他の地域と比べて活動的ではないというよりは、他の地域と同じ程度活動しているという状況でございます。

(パワーポイントNo.5)

次に、先ほどの断層の状況でございます。貯留層に一番近いところの断層で石狩低地東縁断層帯というものがございます。この断層につきましては、もともとの範囲（前回定義域）が過去知られていたところなのですが、2010年8月に南側の海域まで伸長されました。南側の海域というのは、ここ（前回定義域）からここ（延長された部分）までなのですが、この幅において新たに断層が存在するのではないかとということで伸長された部分でございます。

ただ、表面までは断層があらわれていないものですから想定されているということでございます。くねくねと曲がったところが背斜構造で、褶曲部分になっているところがございます。実際に地震活動を起こすような断層はこの辺のところであって、ここから褶曲部

に向かって断層があるのではないかとみられているところでございます。ただ、貯留層のところまでは及んでいなくて、ここから約10キロメートル程度でしょうか。そのぐらいあるという状況になってございます。

(パワーポイントNo.6)

次に三次元弾性波探査で、この図は先ほども貯留層の総合評価のところに出ていたかと思えます。活断層につきましてはそういう状況なのですが、三次元弾性波探査をやってみると過去の活動した跡がみられるということで、荷菜層以下のところには断層の跡がみられた。ここで約120万～130万年ぐらいの地層でございまして、それ以降、萌別層のところでは起きていないということでかなりの長い期間、動いていないのではないかと推定しているところでございます。

(パワーポイントNo.7)

まとめでございましてけれども、北海道での地殻応力場は太平洋プレートの西進に伴い東西の圧縮場となっているため、北海道の活断層というのはほぼ逆断層になっております。

北海道周辺ではプレート境界型の地震、それから陸域浅部の地震活動が起きていることがわかっております。

貯留想定地点周辺での地震活動というのは他の地域に比して特別に活動的であるわけではなく、他の地域と同様の活動状況ということがいえるかと思えます。

活断層である石狩低地東縁断層帯(南部)でございまして、これは想定貯留域の東側に走っております。先ほどのくねくねとした背斜構造をなすところですが、その変形域からは約10キロメートル、断層本体からは約20～30キロメートル離れております。

貯留想定域の西側約2キロメートルに先ほどの滝ノ上層から荷菜層付近までを切る断層がありますが、現在では活断層ではないと判断しております。

(パワーポイントNo.8)

続きまして、2つ目の項目でCO₂漏出の可能性検討でございまして。これはIPCCの特別報告書において示されている潜在的な漏えい経路でございまして。地下にCO₂を貯留した場合にどういったところから漏れる経路が考えられるかということで、A、B、C、D、E、F、Gの7つの項目が挙げられてございます。

Aというのは、CO₂のガス圧が遮蔽層の毛管圧を超えて移動するような場合でございまして。

2番目のBでございまして、これは断層に沿ってCO₂が移動する場合。

Cの場合は、キャップロックの局所的な不連続部分を通じた移動。シール層が薄いところがあると、そこを通過してCO₂が漏れていってしまうということでございます。

それからCO₂貯留層圧の増加及び断層の浸透圧の増加によって生じる移動ということで、物を地下に入れることによって流体の移動で断層圧が上がって、この断層を通じた移動が考えられるのではないかと。

プラグの状態が不完全で廃坑井。昔、井戸を掘ったものがあって完全にふさがっていないと、その部分から漏れてしまうのではないかとということです。

FとGについては、地下水に溶解したCO₂が貯留層の外に移動する。地下水に溶けたものが何らかの形で外にくみ上げられる。もしくは、この地層を通過して外に漏れ出す可能性が考えられるのではないかとということです。

(パワーポイントNo.9)

これらについて苫小牧地域に当てはめて考えたとき、どのような点が考えられるかということを検討しております。この地域の場合には、以下の4点が考えられるのではないかと。

遮蔽層の毛管圧を超えて移動するか。断層を通じた移動というものがあるのではないかと。廃坑井を通じた移動というものがあるのではないかと。また圧入井——新たに掘るものがございますが、圧入井等の設置予定の構造物に沿った移動。この4点の可能性があるのでないかとということで、これに対する評価を行ってございます。

(パワーポイントNo.10)

その結果が最後のページでございますけれども、1点目の遮蔽層の毛管圧を超えて移動でございます。先ほどもスレシールド圧を超えるようなお話の議論がございましたが、現在のシミュレーション結果からいいますとCO₂は滝ノ上層、それから萌別層、ともに遮蔽層には浸透せず良好な遮蔽性能が期待されると判断してございます。

2番目の断層を通じた移動でございますけれども、シミュレーションによるCO₂長期挙動予測の結果、近く2キロメートルぐらいのところには断層がみられるのですが、そこまではCO₂が移動していかない。今回の実証において25万トン×3年間の量をやった場合には断層までは届かないということから、断層を通じたCO₂の漏出は対象にならないのではないかと考えております。

それから廃坑井。この近隣で昔、調査のための廃坑井がございますが、シミュレーション上として現状の実証計画量で1000年を経てもCO₂は廃坑井に達しないということから、ここを通過しての漏れは対象にならないのではないかと考えております。

新たに設置する圧入井等でございますけれども、圧入井等の構造物の設計・建設では、CO₂が接触する鋼材、セメント等を耐CO₂仕様にするような対策を施すことで、これら構造物に起因したCO₂の移動は防止することができるのではないかと。

以上のことから圧入井等の構造物を耐CO₂仕様にするにより、基本的にはCO₂の漏えいは生じないのではないかとという検討結果が得られております。

以上でございます。

○山地座長　　ありがとうございました。

それでは、今ご説明いただいた貯留層の周辺環境について、ここでは1件、3番目の地震については3回目に回しますけれども、2項目の点でご質問、コメント等ありましたらいただきますが、いかがでございましょうか。——よろしいでしょうか。

先ほど来、ミネラルゼーション。化学反応の話は今回は入れていないということで、それはどっちかという貯留性というか、密封性からいくと保守的な過程でやっているという理解でいいですね。だから、多分1000年というオーダーだと考えられるのだけど、環境影響という意味では安全サイドに働いている。そういう理解でよろしいですね。

○JCCS（阿部）　　はい。

○山地座長　　私、さっき時間がなかったのでいかなかったけど、密封性というか、貯留の安全性という意味ではそうなのですけれども、思いのほか早くミネラルゼーションのような反応が起こって貯留容量の制約とか、あるいは圧力はもう貯留をやめてしまえば上がらないと思いますけれども、容量が制約されてしまう可能性はあるのではないかと思っています。このテーマとちょっと違う話ですが、そういうことはご検討されているのですか。

○JCCS（阿部）　　化学反応につきましては、まだ検討していない状況でございます。

○山地座長　　済みません。——辰巳委員、どうぞ。

○辰巳委員　　今のお話で、ちょっと私も地質のことがよくわからないのですけれども、凝灰岩とおっしゃっているのは緑色凝灰岩ですか。どういう凝灰岩なのですか。

○JCCS（阿部）　　時代的には中期中新世ぐらいの火山岩か凝灰岩ですね。

○辰巳委員　　グリーンタフ的なやつですか。

○JCCS（阿部）　　そこまで変質はしておりませんでした。みた感じも緑というよりは黒っぽい色をしております。

○辰巳委員　　砂岩層よりも、そっちのほうが何か化学反応性が高いのではないかなと、非常に荒っぽい予感がするのですけれども、恐らく火山灰でアルカリがかなりあるし、反

応するという事は、しかも超臨界に近いような状態ですよね。そういう意味でも化学反応を考慮しないというのは、どういう作業をしたらいいのかわからないですけども、例えばどこかにもってきて超臨界のCO₂をオートクレーブなんかで反応させてみるとか、そういうことができないのかなとちらっと思ったりしているのです。

○JCCS（阿部） その辺につきましては、2000年からRITEさんのほうで長岡での圧入実験をやられて、その過程でいろいろ研究もしてこられて、まだ続けておられると思いますので、いろいろ教えていただきながら今後やっていきたいと思います。

1つは、超臨界で反応するというよりも、CO₂が地層水に溶解した中での化学反応になるというように聞いております。

それからRITEさんの評価結果を私というのもあれですけども、日本の場合は火山性の岩石が多いので、海外に比べると反応速度はもう少し速いのではないかという評価も聞いております。

○辰巳委員 わかりました。

○山地座長 きょうの会合の最後のほうになりましたので今の周辺環境の話だけではなくて、その前の貯留性能についてのところも含めて、皆さんからコメントとかご質問がありましたらお受けしたいと思います。——澤田委員、どうぞ。

○澤田委員 CO₂圧入による圧力変化なのですけども、私が思っていたより随分狭い、小さい範囲だったのでちょっとびっくりしているのです。前に聞いたお話とは大分違うなという感じがしますけれども、例えば35ページで坑底圧力変化は3.3メガパスカルだった。断層の近くでどれくらいなのですかね。ちょっと全然わからないのです。

○石井補佐 断層の近くの圧力上昇値ですけども、例えば35ページであれば1.16メガパスカルです。前のP10モデルですけども、34ページであれば0.96メガパスカル。さらにその前のページ、P50モデルの場合は断層付近で1.19メガパスカル。そういう圧力上昇値になっております。

○澤田委員 わかりました。ありがとうございました。大体1メガパスカルのア라운드、そんな感じですね。

○石井補佐 その通りです。

○澤田委員 どうもありがとうございます。

○山地座長 ほかには、全体を通して結構ですが、いかがでしょうか。——では、佐々木委員。

○佐々木委員 全体の基盤になっているのが数値シミュレーションであるということになります。いろいろな圧力伝播、それからガスと水の飽和が1つのブロックの中で起こっていきます。私たちが数値シミュレーションを行うときに、実はグリッドブロックの大きさというものが、圧力伝播と水の飽和を繰り返していくときに影響し、グリッドブロックが小さいと非常に速く伝播し、溶解と飽和を繰り返していくような傾向をもちます。全体の中で数値シミュレーションの予測は非常に大きな役割を果たしているということで、数値シミュレーションの信頼度をより高めるような実施条件を開示していただくほうがよいと思います。より広範にセンシティブティを実施していただくと、その効果は広くなるかと思えます。すなわち、条件設定はより広範にさせていただきたいという要望です。

○山地座長 どうぞ。

○澤田委員 シミュレーションのほうは、私、素人でよくわからないですけども、例えば圧力伝播みたいなものだと大変気になるのですよね。CO₂の移動そのものももちろん重要ですけども、要するに水が押し出される問題がいろいろな現象を引き起こす可能性がないとはいえないので、これですと調査範囲が非常に狭いですね。シミュレーションはモデル化した調査範囲しか、今のところ計算されていないのだと思うのです。

例えば石狩低地東縁断層帯も、主断層から20キロメートルだと変形帯から10キロメートルぐらいですよね。となると、変形帯ぐらいまでのところでどの程度の影響があり得るのか。それくらいを、もう少し広げた構造といいますか、範囲のシミュレーションが、そんなに精密なものでなくてもいいですけども概查的なものは把握しておいて、肝心かなめのところは確かに狭い範囲でばしっとやらなければいけないと思うのです。そういった段階を踏むということが必要になるのではないかなと思っています。

○山地座長 ほかに、大体よろしゅうございますでしょうか。——特にないようでしたら、あとはその他という議題でございます。事務局から、その他について何かございますか。

○石井補佐 本日の議論は以上でございます。

資料2でご確認いただきましたように、本日の議事要旨は1週間以内に事務局で作成しまして、ホームページで公開いたします。また議事録については各委員の皆様のご確認を頂いた上で原則1ヵ月以内に作成しまして、同様にホームページで公開いたします。

なお、議事録の確認についてですけども、こちらにつきましてはメールで行わせていただきますので、ご協力をお願いいたします。

次回の開催は11月10日、木曜日になります。開催時間は本日と同じく14時から17時で予定しておりますので、よろしくお願いいたします。

事務局からは以上です。

○山地座長　　ありがとうございました。

それでは、皆さんから特にご発言の希望がなければ以上で終わりたいと思いますが、よろしゅうございますでしょうか。——どうもありがとうございました。

では、1回目は以上で終わります。

——了——