

産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会
二酸化炭素貯留事業等安全小委員会
CCS 事業技術基準検討ワーキンググループ（第2回）
議事録

日時：令和8年2月5日（木）15時00分～17時00分

場所：経済産業省別館2階227会議室、Teams

議題

1. CCS 導管輸送工作物の技術基準に係る解釈例の重要な事項に関する検討

(ア) CCS 導管からの CO₂ の漏えいに対する高濃度化防止措置（案）について

(イ) CCS 導管に係る内面腐食対策の考え方について

2. CCS 導管輸送工作物の技術基準に係る解釈例の方向性（案）

議事内容

○佐藤監理官 定刻になりましたので、CCS事業技術基準検討ワーキンググループを開催いたします。

委員の皆様におかれましては、御多忙のところ御出席いただき、ありがとうございます。本ワーキンググループは、対面・オンラインでのハイブリッド形式で開催いたします。

オンライン参加の方は、カメラと音声を発言時以外はオフにさせていただきますようお願いいたします。発言時のみ、音声をオンにいただき、可能な方はカメラもオンにした上で、御発言をお願いいたします。

なお、議事の公開ですが、本ワーキンググループは、YouTubeの経産省チャンネルで生放送させていただきます。

それでは、以降の議事進行は澁谷委員長をお願いしたいと思います。よろしくお願いいたします。

○澁谷委員長 委員長の澁谷でございます。よろしくお願いいたします。

今回のワーキンググループの議事でございますが、議事次第にあるとおり大きく2つございます。まず1つ目は、CCS導管輸送工作物の技術基準に係る解釈例の重要な事項に関する検討について、特に高濃度化防止措置について事務局とJOGMEC様から説明をお願いしております。一度ここで区切って意見をいただきたいと思いますので、よろしく

お願いいたします。

その次に、内面腐食対策と2つ目のCCS導管輸送工作物の技術基準に係る解釈例の方向性（案）について事務局から説明をお願いする予定でございます。その後、また意見をいただきたく思いますので、委員の皆様方におかれましては、よろしくお願いいたします。

それでは、まず資料1から始めたいと思います。資料1について事務局から説明をお願いします。

○近藤係長　それでは、資料1、CCS導管からのCO₂の漏えいに対する高濃度化防止措置（案）について説明させていただきます。

次のページをお願いいたします。まず基本的な考え方になります。CO₂の導管輸送では、プロジェクトごとにCO₂による人への健康の影響度といったものが異なる特性がございます。そちらも鑑みまして、リスク評価の結果を勘案し、必要な保安措置を求めるといふ考えとしてはどうかということをご提案させていただきます。

このリスク評価の際は、こちらに挙げさせていただいている1から3番の観点において評価を実施したいと考えております。

1つ目の観点は、プロジェクトごとにリスク評価を行うということ。2つ目は、低濃度による長時間暴露と高濃度による短期間暴露の双方をシミュレーションにより評価をすること。3つ目は、このシミュレーションというのは高低差や保安物件の所在等を勘案して、必要な範囲で実施するということとなります。

次のページをお願いいたします。健康影響の程度を評価する際の基準に関しましては、CO₂の特性として、人への健康影響というのは、一定濃度のCO₂が一定時間暴露するという濃度と時間の2つの観点によって引き起こされるという特性がございます。弊省といたしましては、短期間暴露する場合の濃度基準値と長期間暴露する場合の濃度基準値の双方を評価することを考えております。

濃度基準値といたしましては、死亡リスクではなく、人の健康保護を目的として設定された濃度と暴露時間の2つを設定することを考えております。英国であったり日本の職業の暴露限界値を参考とさせていただき、短期間暴露する場合の濃度基準値としましては15,000ppm、15分。長期間の基準値といたしましては5,000ppm、8時間を考えているところでございます。

次のページをお願いいたします。こちらはCO₂の各濃度に応じた人体に対する影響を整理した表となっております。こちらの表は2024年12月2日の第2回CCS小委員会の

資料を一部加工したものとなっております。今回我々が設定する5,000ppm、また、15,000ppmというのは、この表からも分かりますように、重症度を示すような基準ではないというところが、こちらでお示ししたいところとなります。重症ではないものの、英国や日本において基準値として設定されているという背景から、今回、基準値として考えたところがございます。

次のページをお願いいたします。シミュレーションの実施方法といたしましては、滞留するCO₂の拡散範囲と、その滞留時間の2つのシミュレーションにより求めることと考えております。また、このシミュレーションに用いるソフトといたしましては、国が妥当性を確認済みの計算モデルを備えたソフトウェアを使用することを原則と考えております。

シミュレーションの対象シナリオといたしましては、技術基準を満たしていたとしても、発生する可能性のある漏えいシナリオを対象とすることを考えており、人への健康影響が生じる範囲の保安物件の有無を確認し、また、人の健康への影響度をシミュレーションにより確認することを求めたいと考えております。

このシミュレーションの条件といたしましては、国からは気象条件であったり孔径といったところを指定する予定でございますが、圧力や流量等は事業者様の設計パラメータに準じていただくことを考えております。

次のページをお願いいたします。今回のシミュレーションの対象ケースといたしましては、こちらの図で挙げさせていただいているケースAとケースBのうち、ケースAを対象とすることを考えております。

ケースAというのは、土中を物理的に破壊した上で、いわゆるクレーターを発生する漏えいケースを指しております。一方で、ケースBは、地中をしみわたるような形で漏えいするようなケースを指しております。ケースAとケースBを比較した上で、ケースAのほうがより影響度が高いと考えられることから、今回のシミュレーションの対象ケースとしては、ケースAを求めることと考えております。

なお、ケースBの影響度把握を目的としまして、今年度、JOGMEC様にて実証事業を実施中となっております。こちらの詳細につきましては、資料2を用いて、JOGMEC様から御説明いただく予定となっております。

次のページをお願いいたします。後ほど資料2を通して詳細をJOGMEC様から御説明いただく予定ではございますが、概要はこちらのページで御説明いたします。

今回の実証事業は、ケースBにおいての地表面における濃度の拡散状況を把握すること

を目的としております。こちらの目的を達成するために、実験及びシミュレーションを実施し、シミュレーションの妥当性を検証することを目的としております。妥当性を確認したシミュレーションを用いて、事業者が想定する設計パラメータに基づいたケースBにおける地表付近のCO₂の拡散状況を把握することが最終目的となっております。

次のページをお願いします。弊省にて考えているシミュレーションソフトについて具体的なところを御説明させていただきます。

人の健康影響の評価におけるシミュレーションに当たっては、リスクの有無を把握するためには、影響評価解析ソフトを使用することを必須と考えております。ただし、地形や障害物等を個別かつ詳細に評価する場合には、数値流体解析ソフトの使用を考えております。

下の表は、影響評価解析ソフトと数値流体解析ソフトを比較した表になります。モデルの観点でいきますと、影響評価解析ソフトは、実験・理論に基づいて設定されているモデルが搭載済みという特徴がございます。一方で、数値流体解析ソフトは、使用者自らが都度都度モデルを構築するという特徴がございます。

設定の容易さの観点でいきますと、モデルがもともと搭載されている影響評価解析ソフトは容易であるという一方、数値流体解析ソフトは、専門的知識がないとモデルを構築できないといった特徴がございます。

実験結果との整合でいきますと、影響評価解析ソフトは、既にソフトのメーカーにて実験との整合性を確認済みのモデルが構築されているという特徴があります。一方で、数値流体解析ソフトは、使用者が作成したモデルを個別に検証を行う必要があるという特徴がございます。

一方で、モデルの自由度という観点から見ますと、影響評価解析ソフトは、もともとモデルが構築されているということですので、モデルが固定されているという特徴があり、数値流体解析ソフトは、個別にカスタマイズ可能といったところになります。

したがって、地形や障害物、地盤中の拡散といった詳細なシミュレーションを行う際は、影響評価解析ソフトは不可であり、数値流体解析ソフトにおいては、個別にカスタマイズ可能ですので、可能といった違いがございます。

最後の解析時間につきましては、影響評価解析ソフトにおいては、数十分などの短い時間である一方、数値流体解析ソフトは、最大で数日かかるといった特徴がございます。

こういった特徴の違いからも、上の2つのポツで挙げさせていただきましたように、リ

スクの有無は影響評価解析ソフトを使用するということで使い分けを考えているところ
でございます。

本日の説明においては、この影響評価解析ソフトの使用の具体的な流れを説明させてい
たいただきます。

次のページをお願いいたします。影響評価解析ソフトに求める要件としましては、こち
らに挙げさせていただいた7つの要件を考えております。

1つ目は、シミュレーションの確かさとしまして、実態にどれだけ即しているのかとい
ったところを求めたいと思います。2つ目と3つ目は、リスクの有無の評価のためにも、
CO₂の拡散範囲、また、滞留時間の2つを評価できるというところを要件として求めま
す。また、CCS導管特有の条件に対応するためにも、超臨界状態及び高圧ガス状態の2
つの相を対象としてシミュレーションができること。また、埋設導管を対象としたシミュ
レーションができることを求めております。評価精度の調整のためにも、気象条件であつ
たり、遮断弁の閉止といった影響も考慮したシミュレーションができることを求めており
ます。

なお、こちらは参考にはなりますが、上記の全ての要件を満たすソフトの例として、D
NVが販売するPhastといったものが考えられているところでございます。ただ、国とし
てPhastに限定するということをお願いいたわけではなく、これら7つの要件を満たすソフ
トであれば、国が認める方針といったところで考えております。

次のページをお願いいたします。こちらは参考にはなりますが、Phastの機能を御紹介
させていただきます。

1つ目の機能といたしましては、高さ×水平距離と拡散範囲をシミュレーションするこ
とが可能でございます。また、ある1地点における濃度と時間のシミュレーションも視覚
化できるという機能がございます。

次のページをお願いいたします。このページ以降で、具体的な影響評価解析ソフトの使
い方を御紹介させていただきます。

まず、事業者様には水平拡散距離の設定をしていただくことを考えております。水平拡
散距離とはどういったものかといいますと、短期許容濃度値のCO₂が到達せず、かつ長
期許容濃度値のCO₂が長期間滞留しないといった距離が水平拡散距離となります。

具体的にどのように設定するかといいますと、左下の図を御覧いただきたいです。こち
らが高さ×水平距離のシミュレーション結果となっておりまして、紫の線が15,000ppm

の拡散範囲となっております。この15,000ppmの拡散範囲＝短期許容濃度値の拡散範囲の最も水平距離が遠い地点、赤い丸の部分の水平距離を水平拡散距離と設定いただきます。また、この赤い丸の部分において、濃度と時間のシミュレーションを実施していただき、5,000ppm以上の濃度が8時間以上滞留しないことを確認いただきます。8時間以上滞留しないとなったならば、この赤い点線よりも右側の範囲は15,000ppmが到達しない、かつ5,000ppmが8時間以上滞留しない、いわゆる影響を受けるリスクがないというようなことを判断できますので、この赤い点線よりも左側の領域が影響があり得るところから、この左側の部分をより影響があるのかどうかという確認をします。次のページ以降で、確認する手法を御説明させていただきます。

次のページをお願いします。水平拡散距離が求まりましたら、導管の両側面に水平拡散距離の平行線を引いていただき、緑の斜線部のように水平拡散範囲を設定していただいた上で、1キロメートルごとに区域を区切っていただき、その区域ごとに保安物件の有無を確認いただくことを考えております。

次のページをお願いします。区域内に保安物件がある場合は、水平面上では影響があり得るところに物件があるというような判断ができますので、次に高さにおける影響の領域に入っているのかの確認、また、時間の観点からも健康影響が生じ得る時間滞留するのかどうかといったところを確認いただくことを考えております。

高さの確認の方法といたしましては、まずは簡易評価を実施していただくことを考えております。ここでいう簡易評価というのは、ワーストケースにおける評価を指しております。今回、我々が考えているワーストケースというのがどういったものか御説明しますと、真ん中の拡散範囲の図を見ていただきたいのですが、紫の拡散範囲の図を見ると分かりやすいように、物件が高ければ高いほど拡散範囲とかぶる可能性がございます。また、漏出地点、左側の地点に近づけば近づくほど拡散範囲と重なるという特徴もございます。したがってワーストケースというのは、物件が最も高く、かつ漏出地点に最も近い位置にいるという建物がワーストケースと設定しております。

したがって、ワーストケースの確認方法、簡易評価の方法といたしましては、まずは区域内の全ての物件の高さを区域内の最も高い物件高さに合わせて仮想高さとして一律に設定いただきます。その上で区域内で最も導管に近い位置において、その仮想高さが拡散範囲とかぶるのかどうかという確認をしていただくことが簡易評価となります。この簡易評価において、15,000ppmの拡散範囲にかぶっていた場合は、次に時間の観点から、その

影響を受ける滞留時間はあるのかどうかという確認をしていただきます。

簡易評価において影響があると判断された場合は、次のページをお願いします。簡易評価において影響があると判断された場合は、次に実際の高さにおいても同様の確認を行い、影響があるのかどうかを確認いただきます。実高さにおいても、先ほどの流れと同様に高さ方向でまずは拡散範囲にかぶるのかどうか、かぶった場合は、滞留時間の観点から影響があるのかどうかといったところを確認いただくことを考えております。

実高さにおいても影響があると判断された場合は、次に数値流体解析ソフトを用いて、より精緻な確認を実施していただき、影響の有無をさらに確認いただくといったところを考えております。

本日の説明においては、影響評価解析ソフトの使用に関してまででとどめさせていただきますので、本資料の説明は以上となります。

○澁谷委員長 ありがとうございます。次に、資料2についてJOGMEC様より説明をお願いいたします。

○赤井プレゼンター どうもありがとうございます。JOGMECの赤井と申します。私から資料2について説明させていただきたいと思っております。

次の資料をお願いします。コンテンツとしては、我々JOGMECが今委託調査業務として実施している試験の概要について説明させていただいて、2ポツ目では、実施している漏えい試験、その内容、途中経過について報告させていただきます。さらに3ポツ目で、シミュレーションのところを説明させていただいて、4ポツ目で今後の展望についてお話しさせていただきます。

次のページをお願いします。こちらにございますのが、委託調査業務の概要となります。業務内容としては、CCS事業におけるCO₂導管輸送に関するリスク評価の一環として、矢羽根が2つございますが、埋設CCS導管からのCO₂漏えい試験の実施、実際に地下に埋設された導管からCO₂が漏えいした場合、地中をどう拡散するか、こういったところの試験的なデータを得ようとしているというところがございます。そして2つ目が土壌内でのCO₂拡散挙動の数値流体解析シミュレーションの妥当性の検証、これらを目的としております。

ここでシミュレーションと申しておりますのは、先ほど経産省さんからございましたPhastといったソフトウェアのシミュレーションではなくて、経産省さんの資料の中で説明されていた数値流体解析ソフトを用いた検討になってございます。

委託先としては、一般財団法人エンジニアリング協会様に委託させていただいて実施しており、契約期間としては、今なお実施中でありまして、今年の3月に終了予定です。

本委託調査業務における埋設CO₂導管からの漏えい評価の方針ですが、まず、3段階にあると考えております。

1ポツ目ですが、やはり実験上の制約というのもございますので、低流量でまずは漏えい試験を実施する。これは大体2,000Ncc/minといったような低流量で試験を実施し、試験により得られた土壌内でのCO₂拡散挙動と、シミュレーションによる評価結果を比較し、シミュレーションの妥当性の検討を行うというのが1つ目のステップ。

次のステップで試験可能な最大流量での漏えい試験、20リットルから50リットル毎分になるのですが、これを実施し、試験により得られた土壌内でのCO₂拡散挙動と、シミュレーションによる評価結果を比較し、シミュレーションの妥当性の検証を行う。

最後に3ポツ目、地層破壊を引き起こさない程度の漏えい事象について、土壌内及び地表への漏出挙動をシミュレーションにより評価を行う。こういう3段階を考えております。

ここで重要なのは、この委託調査業務のターゲットはあくまでも地層破壊を引き起こさないような漏えい事象でありまして、やはりCO₂は空気より重たいので、土壌の中を沈降していくような挙動が想定されますが、そのような挙動が本当に再現されるのか、そしてそれはシミュレーションで表現できるのか、この辺りにフォーカスした実験を実施しております。

次のページをお願いします。実際の実験の概要になりますが、分かりやすいのは右側にご覧いただけます写真、実際に敷地に穴を掘って、埋設導管をイメージした、模擬したような実験設備を構築して実験を実施しております。横幅が0.9メートルで、奥行きが10メートル、深さ2メートルのトレンチを設けて、そのトレンチの中に実際に導管、パイプラインは置かないのですが、そのパイプラインから小さな亀裂が生じた、穴が生じたというような状態を想定して、点源、ポイントソースでCO₂漏えいポイントを設置してございます。

その後、実際のパイプラインの敷設状況を模擬して、山砂で埋め戻して、表層は碎石を敷いて、その上にアスファルト施工して一番右側のあるような形で埋め戻してございます。

真ん中にご覧いただけますが、いわゆるCO₂漏えい点源なのですけれども、深さが約1.2メートルのところから、点源でここからCO₂を放出して、ここから地中をCO₂がどう挙動するかというものの実験データを得ております。

次のページをお願いします。冒頭の資料で今は低流量で実施していると申しましたが、

低流量での試験がちょうど昨年末で終わったところで、試験期間としては28日間の間CO₂圧入試験を実施しました。圧入レートは、最初は100Ncc/minから徐々に上げていって最後は2,000Ncc/minへと段階的に上昇させました。

その間、土壌内のCO₂濃度の測定のために配置したセンサにより、土壌内でのCO₂濃度変化を測定しておりました。しかし、残念ながら冬場の結露の環境の下、多くのセンサが作動不良を示したというところがございます。したがって、観測ポイントとしては、正常に作動していたセンサを用いてCO₂濃度を評価しているというところがございます。

3ポツ目にありますが、稼動しているセンサ及びガスサンプリング、実際に土中からのガスをサンプリングして測っているのですが、その分析結果からは圧入CO₂は、圧入点近傍、半径約1.25メートル、ここでいくと青色のハッチをかけているようなエリアに広がって、即座に下部の原地盤のほうへ沈降していったということが強く示唆される測定結果得ております。

左側に圧入レートの推移を書いてございますが、11月末から始めて12月25日まで約1か月間、100ccから2,000ccまで圧入を行いました。これによって、トータル、重さでいくと110キログラム相当のCO₂を圧入して完了しております。

次のページをお願いいたします。次のページで、先ほどのページは実験をお見せしたのですが、今度はシミュレーションですとどのようにシミュレートできるかといったところで、このスライドではシミュレーションについて説明させていただきます。

シミュレーションモデルは、土中の物質移行を表現できるダルシー則に基づくシミュレーションを実施しました。さらにはCO₂の拡散、まず、土中は、最初は空気で満たされているわけですが、そこにCO₂が入って行ってCO₂が拡散していくという状態をフィックの法則に基づいて表現しております。さらに、土壌内が完全にかからからというわけではございませんので、土壌内中に水分があると。そして、その水分にCO₂が一部溶解していきます。このCO₂の溶解というのも、モデルの中に取り込んで表現してございます。

このシミュレーションを実施するに当たっては、土壌のパラメータ、土質パラメータを入力する必要があります。例えば空隙率であったり浸透率であったりといったものを入力する必要があります。これらについては、既往研究で報告されている一般的な値を用いております。実際に2009岡本らの試験を参考にしたのですが、同じように山砂を用いて碎石を敷き、アスファルトを埋め戻して、プロパン等の漏えい試験を実施されておま

す。さらに、その際に山砂であったり、砕石の土壌サンプルを取って、土質パラメータの測定を行ってございますので、この測定値を借用してシミュレーションの入力にしているというところでございます。

結果としては、絵に示しているとおりで、黄色で示しているのが、冒頭申し上げた幅0.9メートル、奥行き10メートル、深さ2メートルのトレンチを示しているのですが、各断面に示すようにCO₂は基本的には、例えば左下のXZ断面が分かりやすいのですが、長手方向の10メートルと縦方向の2メートルを示しているのですが、漏えいポイントからCO₂は空気より重たいので、下の方へ沈降していくと。広がりも圧入点から約1.25メートルの形で、こういった形状で下部へ沈降していくという挙動がシミュレートされました。

次のページをお願いします。実験結果の比較なのですが、さきのページで場所をお伝えしておくべきでしたが、4点、4つのグラフを示しておりますが、横軸に経過日数、縦軸に観測したCO₂濃度、モル分率で示しております。

4つ図面がありますが、これは4地点での観測結果です。左下にLoc. 1、ロケーション1と書いてありますが、これは圧入点のすぐ直上に配置したセンサでのCO₂検出挙動、さらに上へ行って、ロケーション2とございますが、これはもう一段上の浅部において配置したセンサでの観測挙動、右側に行きまして、右の下、ロケーション3は、圧入点から右側へ水平方向に1.25メートル離れたところでの観測挙動、そして水平方向に1.25メートル離れて、さらにもう一段高い、浅いレベルに上がったところのロケーション4での観測挙動というのをシミュレーションと実測をともに示しております。まず、当然ながら、圧入点の直上、ロケーション1、ここで一番最初にCO₂の濃度を感知します。実線がシミュレーション、丸書きが実験での観測結果になるのですが、まず、実験で用いたセンサの観測上限値が25%といったところで、実験では約5日目からCO₂の濃度の検出を始めて、比較的線形に上がって行って14日目ぐらいには25%に振り切れているという挙動が観測されました。

シミュレーション2においても同じように約5日目にCO₂の濃度の上昇が見られて、シミュレーションでは即座に濃度が上がると。そして、約20%で安定化して、その次に圧入レート2,000Ncc/minに切り替えると、検出上限25%に振り切れる形でさらに上がって行って、約80%で安定化したという挙動がシミュレートされました。

上のロケーション2については、2,000Ncc/minを実施した圧入経過から14日目の時点

で、シミュレーション、観測ともに、約4%の濃度を検出したといったような挙動を観測しております。

ロケーション3については、センサは作動していなくて、データはないのですが、CO₂のサンプリング分析をしております。サンプリング分析では、試験圧入から19日経過後に濃度上昇、CO₂を検知しております。同様にシミュレーションにおいてもCO₂の濃度上昇が見られるという形になっております。

最後、ロケーション4、一番離れているのですが、この場所ではセンサもシミュレーションもともにCO₂の検知をしなかったといったところになります。

補足ですが、一番左下のところですが、シミュレーションでは即座にCO₂濃度が上がった。一方、実験では比較的緩やかに線形的に濃度が上がっていったと。異なる挙動が確認されておりますが、これは実験のセンサのところの空間部分にCO₂がたまっていくために、濃度上昇に時間遅れが生じたものと考えております。

次のページをお願いします。こちらが最後のまとめになります。冒頭お話しした3ステップについて今の現状を青字でまとめさせていただいております。

まずは、これまで1.の低流量の試験を実施したところでございますが、既往文献において報告されている一般的な土壌の物性値を用いてダルシー則に基づくシミュレーションを実施しました。数値流体解析を実施しました。試験結果との比較を実施した結果、整合の兆候が見られたと考えております。さらに、地表への到達、漏出挙動の確認を目的として、流量を増加させた2.の試験内容をデザインしてございます。

そして2.試験可能な最大流量での漏えい試験を今まさに実施している最中なのですが、20リットルから50,000Ncc/min、この実験は1月より試験可能な最大流量にて試験を実施予定です。これにより地表付近と追加で地表アスファルトの上、地表に設置したセンサにより、CO₂が地表へ到達するような挙動が観測できるものと考えております。

3.上記の試験を用いて検証したシミュレーションモデルを用いて、シミュレーションにより、地層破壊を引き起こさない程度の漏えい事象について、到達時の影響評価を実施予定でございます。

私からは以上です。

○澁谷委員長 ありがとうございます。ただいまの説明を踏まえて、委員及びオブザーバーの皆様から意見をいただきたいと思います。大変恐縮ではございますが、会議時間に限りがございますので、発言は3分程度でまとめるようお願いいたします。

それでは、まずは委員の皆様から御意見を伺いたいと思いますが、委員の皆様で御意見のある方は挙手をお願いしたいと思います。よろしいですか。では、川畑先生、お願いします。

○川畑委員 東京大学の川畑です。御説明どうもありがとうございました。

近藤さんから御説明いただいた資料のほうで質問を申し上げますと、例えば7ページだとか、その次の具体的な手順のところにあるのですけれども、事前に御説明いただいたときにも申し上げましたが、高圧のCO₂導管が、CO₂が漏えいするという事象を考えるときに、どのぐらいの開口部があるかということで吐出圧というのはすごく違うと思うのです。今、例ということかも分からないのですけれども、具体的な手順のところ、12ページ、あるいは13ページのほうに、これは圧力が非常に高いということで、非常に大きく高さ方向に立ち上るといようなイメージを書かれていると思うのです。私の専門は破壊で、導管、鋼管の破壊というのが私の専門なのですけれども、こういう漏えいが導管から起こるとい事象は幾つかあると思うのですが、もし破壊ということであるとすると、他工事損傷を考えているということであると、高速延性破壊は起こらないということ別途取り決めているわけなのですが、亀裂が高速化しないまでも、止まるまでにはある一定の距離がやはりかかるわけで、もう本当に瞬時に止まるわけではないです。

ですので、開口部というのは結構広くなると。そうした場合に、圧力が急に低下して、非常に地表面をはうような、そのような漏出のパターンというのがあると。このように点で漏出するというようなパターンもあると思うのですけれども、どちらが人が住んでいる区域に対して安全側というか危ない方かということを考えなくてはいけないのではないかとというのが私の質問というか感じたことなのですが、今の御説明がこうやってやるよという1つの例であるとするならば特に問題ないと思うのですが、これが考えなければいけないケースですということであれば、今申し上げたことは非常に重要な観点かなと思いました。

以上です。

○澁谷委員長 川畑先生、ありがとうございます。続いて、廣本先生、お願いします。

○廣本委員 NIMSの廣本です。御説明ありがとうございました。

今回のシミュレーションは、健康被害につながることを考えていられるということは承知しているのですけれども、私の専門の腐食の観点からしますと、ケースBとおっしゃっている土中にCO₂がしみ出していくような場合ですと、地下水までいかないかもしれ

ませんが、水分にCO₂が溶け込むとpHが下がりますので、その周りが鉄鋼材料、導管にとっての腐食が厳しい環境に変わっていきますので、そうすると、これは上で検知できない状態で長時間起こると、導管の腐食が進んでどこかでいきなり壊れるということにもつながりかねないのかなと思いましたが、このシミュレーションを基に導管近傍のpHの変化とか、そういうことも考えていただけるといいかなと考えております。

以上です。

○澁谷委員長 廣本先生、ありがとうございます。そのほか、いかがでしょうか。

○小野委員 産業技術総合研究所の小野です。御説明ありがとうございました。

資料1について、人の健康を守るという観点からCO₂のリスクの有無の評価について、死亡というエンドポイントではなく、人の健康保護を目的として設定された濃度及び暴露時間というところに着目されたのは非常によいコントロールの視点と思っています。1万5,000ppmというのも、英国HSEの基準に沿ってということで、根拠としても妥当と思います。

さっき川畑委員がおっしゃったところの、水平拡散距離の設定に関連して、このシミュレーション結果のコンター図ですが、高さが高いほうが広がっており、このような図になる漏えい条件を、いま一度、検討されるのが良さそうです。今、川畑委員の御指摘で、亀裂、穴の空き方によって、とありましたが、この形状が変化するのかどうかというところを、もう一度確認をされてからでよいと思います。

一方で、水平拡散距離の設定の考え方というのはこちらで妥当でして、高く上がる場合というのは下のほうにも必ず居住している人とか、ビルの中にいる人がいるということなので、高く上がった場合も含めて、水平拡散距離が一番大きくなるという設定は妥当なものかと考えますので、御参考になれば幸いです。

以上です。

○澁谷委員長 ありがとうございます。そのほか、委員の皆様はよろしいでしょうか。

(「なし」の声あり)

それでは、オブザーバーの皆様から何か御発言を御希望される方はいらっしゃいますか。では、松浦様、よろしくお願ひします。

○松浦オブザーバー エネルギー資源開発連盟の松浦です。

本ワーキンググループにおきましては、我々は事業者側なのですが、実際のパイプラインの敷設作業など、導管輸送、それから貯留事業、実作業に即した形で検討を進めていた

だいて非常に感謝申し上げます。

1点だけちょっと全体的なことでコメントをさせていただきたいと思います。高濃度化防止措置において事業者側が実施する、いわゆるリスクアセスメント、リスク評価、それから必要に応じてシミュレーションを実施しますと。この結果を国側で確認、審査いただく際なのですが、事業者側が策定します、摘出したリスクに対するいわゆる防護措置とか、安全対策についても考慮いただきたくお願いしたいと思います。

リスク評価の結果、摘出されたリスクに対して、いわゆる防護措置、緩和対策、軽減対策を行うというのがリスクマネジメントにおいては重要な要素で、事業者が対策を実施することによって、摘出されたリスクが緩和、軽減できるのであれば、計画を承認するというようなことも必要ではないかと思えます。

仮に審査の際にこういうものが考慮されないということになってしまうと、例えばこのルートだとパイプラインは敷設できないとか、適切な代替ルートもないというようなことにもなりかねないではないかと懸念をしております。

主要な論点ではないのかもしれないですけども、この点については、今後も事業者への意見聴取などを行っていただきながら、引き続き御検討をしていただきたいと考えます。

以上です。ありがとうございます。

○澁谷委員長 ありがとうございます。そのほか、オブザーバーの皆様、御意見はございますでしょうか。では、小山田さん、お願いします。

○小山田オブザーバー 高圧ガス保安協会的小山田でございます。御説明ありがとうございます。

資料1の中で、シミュレーションソフトを用いた評価というところで御説明いただきましたけれども、まずモデルというか、プログラムの検証みたいなことも書かれておりましたが、特に数値流体解析ソフトの場合、モデルは手動でというか、カスタマイズが可能ということですが、そういったときにどういったプログラムが、検証するということになりますと、やはりリファレンスデータが必要になってくるのではないかと、また、ガイドライン的なものも必要になってくるのではないかと思えます。

本日、御説明いただきました埋設の低圧の漏えい以外に、当然高圧の場合もありますし、地上設置もあると思えますし、先ほど川畑委員からも穴の空き方ということがありましたけれども、穴の空く方向とか、風の向きとか、それは国が指定するとなっておりますが、その辺り、指定の方法と、その評価の中でやはり検証データというのがもっといろいろ必

要になるのではないかとということでコメントをさせていただきます。

以上でございます。

○澁谷委員長 ありがとうございます。では、お願いします。

○近藤オブザーバー 天然ガス鉱業会の近藤です。御説明どうもありがとうございました。

現時点で先進的CCS、既にプロジェクトのほうも始まっていますので、ある程度、技術的に網羅する必要もあると思うのですが、ALARPという考え方というか、自主的に可能な範囲で基準を設定してもらって、ある一定の実績を積んだところで見直しをするというような考え方も必要なのではないかと思っていますところ。

あまり条件を設定するのに時間を取られてしまうと、実際のプロジェクトも進まないということも考えられますので、そこら辺は臨機応変にやっていただければと思っています。

以上です。

○澁谷委員長 ありがとうございました。あと、オンラインでJIAの森廣様から手が挙がっておりますので、森廣様、御発言をお願いいたします。

○森廣オブザーバー 日本ガス機器検査協会の森廣でございます。ご説明ありがとうございました。

私からは、資料1において、事業者が実施したリスク評価結果の国による審査について確認をさせていただきたいと思います。

資料1の2ページ、(1)のところに、保安措置に係る国の審査とございますけれども、これは申請件名ごとに国が適合性を評価する委員会のような会議体を設ける審査ということでしょうか。もしくは地方監督部が確認するという記載もございますので、地方監督部で適合性を評価するということでしょうかというようなところを確認させていただければと思います。

以上です。

○澁谷委員長 ありがとうございました。委員の皆様、オブザーバーの皆様から御意見を一通りいただいたと思いますが、追加で何か御発言を御希望される方はいらっしゃいますでしょうか。よろしいでしょうか。

(「なし」の声あり)

川畑委員、小野委員からの御発言で御指摘がありましたように、圧力の高いシナリオだ

けではなくて、径が大きくなって圧力が下がって最終的に地面をはうようなシミュレーションも必要ではないかという御指摘は当然ごもっともだと思います。今日の例は条件も出していないので、これはあくまでも一例としてお考えいただければと思いますが、その辺りは、そこまで話をすると今度、地表面の境界状況をどうしましょうという次の宿題が出てくるので、さらに議論が必要になってくるかなと。

その意味では、小山田さんから御発言があったとおり、シミュレーションソフトの検証だとかリファレンスをどうするのかということろまで含めて議論が必要になってくるかなと。

また、廣本委員から御指摘がございました土中の炭酸ガスによる腐食という問題も非常に懸念すべき事項でございます。この辺りもし今 JOGMEC で行われている実験で pH を測ったような実績があれば御確認いただければと思います。

それでは、委員、オブザーバーの皆様からいろいろ御指摘いただきましたが、事務局からコメントをお願いいたします。

○佐藤監理官 監理官の佐藤です。委員の皆様におかれましては、貴重な御意見をありがとうございます。オブザーバーの皆様におかれましても、ありがとうございます。私から回答させていただきます。

まず、川畑委員のコメントにありましたとおり、試験の前提条件、こちらはおっしゃるとおり重要なポイントだと思っております。今回のケースでは、高圧ガス、3 MPa 程度を念頭に置いて、他工事での穴空きということで、20mm から 30mm 程度の穴、穴の方向は上向きを想定して行ったシミュレーションになっております。

こちらは、横に空いた場合の影響なども、今後まさに検証していきたいと思っております。横に空いたとしても、さらに土に当たって上に行くというような簡易的な結果は現時点で見えているところではありますが、その点も引き続き検証していきたいと思っております。

また、高速延性破壊の影響で穴のサイズが大きくなるというリスクについても、川畑委員から以前から御指摘いただいていることと承知しております。こちらは穴が広がらないことを念頭に考えていたというのも事実でございます。その点は引き続き情報収集をしながら、資料 4 で説明させていただきますとおり、ISO ではガス相 CO₂ については、バッテリー 2 カーブ法が参考にできる、使えるという言及があることも事実でございますが、他方、先生がおっしゃるとおり、それを明確に示す実験データがないということも事実だ

と思いますので、この辺りの関係については、引き続き情報収集をしながら検討していきたいと考えております。

廣本委員からの御指摘については、水分にCO₂が溶解してpHが下がって酸性が強くなるということ、こちらは重要な御指摘だと思っております。これは外面腐食の原因にもなり得ると思いますので、こちらについては、今後検討させていただきたいと思います。今、ガス事業法の世界でやっている電気防食などの効果が御指摘の状況に対してどの程度効果があるのかとか、また、もしも漏えいした場合には、当然ガス導管の交換作業なども必要になってきますので、その際に改めて土の影響を検討していくとか、そういったことの必要性について、今後検討させていただきたいと思います。貴重な御指摘ありがとうございます。

小野先生からは、やはり亀裂、穴の空き方とか、横への広がりとか、そういったシミュレーションの前提条件について御指摘があったかと思っております。こちらは先ほど川畑委員のコメントに対する回答のとおり、引き続き穴の空き方、広がり前提条件についてはしっかり検証していきたいと思っております。

気象条件についても、過去の平均データに加えて、風がほとんど吹いていないケースと風が強く吹いているケース、これらもそれぞれ一長一短があると思っております。風が弱ければ、拡散範囲は狭くなりますが、滞留時間は長くなるだろうという、これはその予想どおりになるかと思っております。他方で、風が強い場合には、拡散範囲は広がるけれども、滞留時間は短くなる。こういったことも今見えてきておりますので、これらを踏まえた上で、気象条件についても、こういった条件で設定してシミュレーションをやっていただくかということは、引き続き検討していきたいと思っております。

松浦オブザーバーから御意見をいただいたシミュレーションの結果、どうしても市街地を通す場合などには、住宅とかそういった保安物件にその影響が出てしまう結果になった場合の対策として、こちらもおっしゃるとおり、それをもって引けないということにはならないよう、それを踏まえて保安措置を適切に検証していくということを、今後我々のほうでもぜひ検討させていただきたいと思っております。

例えば漏えい時間を短くするためには、一番技術的に明らかなのは、遮断弁の間隔を狭めていくということが考えられます。ただ、遮断弁をどれだけ短くできるのかというのも、ガス事業法や高圧ガス保安法などの経験も踏まえて、そこでの技術基準、あと海外での動向、例えばアメリカの米国機械学会（ASME）の規格なども参照にして、国内では高圧

ガス保安法のコンビ則がございますので、高圧ガス管に遮断弁を設置する条件や考え方について、そういったことも参考にしながら、やはり市街地を通す場合にはできる限り短くしていただくというのが基本的に必要だと思いますので、まずそれを検討していきたいと思っております。

あと、埋設深さについても高圧ガス管はできるだけ低いところにといたガス事業法や高圧ガス保安法の基本的な考え方もございますので、そちらもしっかりと今回のCCS導管も高圧導管ですので、その経験を踏まえて検討していきたいと思っております。

さらに、今でも二重管にするとか鉄板にするとといった防護措置もあろうかと思っておりますので、それで極力、他工事によるリスクを極限まで引き下げて、それをもって対策を講じたことにするとといった考え方もあろうかと思っておりますし、あと安全対策としてソフト対策もあろうかと思っております。事前に関係者とういったリスクがあることを共有しておくといったこともあろうかと思っておりますので、ぜひその辺はシミュレーションの結果をもって、追加の保安措置というのはどういったものがあり得るかというのを深掘っていければと考えております。少なくともガス導管では市街地を通しているケースはありますので、そういったことも念頭に置いて、どこまでの対策をすべきかというのをぜひ検討していきたいと思っております。

小山田様から御意見をいただきました。前提条件が主なポイントだったと思っておりますけれども、こちらは先ほど申し上げたとおり、いろいろ検証をしていきたいと思っております。あと、埋設だけではなくて、地上にある場合は、これは少なくともシミュレーションは必要と今考えております。

あと、穴の空き方とか風については過去の気象条件のデータや、最大と最小のときのリスクも見た上で、どういった条件でやっていくかというのを引き続き検討していきたいと思っております。

あと、近藤様から御意見がありましたプロジェクトはもう既に始まっているということで、我々の保安措置についても、法律が5月に完全施行されますし、試掘は苫小牧のプロジェクトはもう始まっておりますので、事業判断をするに当たっても、どこまでの保安措置を求めるのかというのは非常に重要な根拠になろうかと思っておりますので、我々もそのスケジュールに合わせて、しっかりと検証していきたいと思っております。

その上で、確かにおっしゃるとおり、どうしても定量的に設定できないところも出てくると思っておりますので、ここはプロジェクトと並行して検証して、知見がたまってきた段階で、解

積例を少し追加していくとか、そういったことを我々はもともと想定しておりましたので、次のテーマにある腐食対策などは、まさにそうしていく必要があると今も思っておりますので、後ほど腐食対策のところでも、そういった議論をさせていただければと思っております。

あと、森廣様からありました国による審査で、こういった今日の場のような外部有識者の意見も踏まえた上で審査をするのか、それとも国の産業保安監督部のほうで審査を完結させるのかについては、これは内容次第だと思っております。

我々が自分たちで決定できる、審査できる内容であれば審査をやりますけれども、どうしても外部専門家の先生方に御意見をいただく必要があると思ったものについては、このような会議体を開催して、評価をしていくということを考えております。

では、何が外部評価を必要としているか、あと、何が自前でできるかというところについては、今まさにこの検討の成果を踏まえて、今後整理していきたいと思っております。

私からの回答は以上になります。

○澁谷委員長 赤井様からもコメント願います。

○赤井プレゼンター 廣本委員に指摘いただいた地盤の酸性化については、ぜひ測定できるように努めていきたいと思えます。

○澁谷委員長 ありがとうございます。ただいま監理官からも御回答がございましたが、それを踏まえて委員の皆様から何か追加で御発言がある方はいらっしゃいますでしょうか。よろしいでしょうか。

(「なし」の声あり)

ありがとうございます。それでは、こちらについては、まだまだ皆様から御意見をいただいて検討すべきこともございますかと思えますので、引き続き事務局で検討のほうを進めていきたいと思えます。

それでは、次の議題のほうに移らせていただきたいと思います。続いて、資料3でございます。資料3について事務局から御説明をお願いいたします。

○川原課長補佐 事務局の川原でございます。資料3、CCS導管に係る内面腐食対策の考え方について御説明させていただきます。

まず最初のスライドですが、導管の腐食対策につきましては、特にCO₂が通る内面に対して措置を講ずることが重要となると考えております。腐食の要因となる水分や不純物をあらかじめ除去するということが重要なのですけれども、材料や構造、防食措置等の解

積例を実際どのような規定とするかということを経務局で検討した際に、例えば何の材料を使えば腐食に対して大丈夫かとか、何の不純物をどこまで除去すればよいかといったことは、水分量については一定の基準があるものの、世界的にも定量的に示された基準があまりないということが検討の中で分かってまいりました。

このため、材料の選定から事業開始後の腐食状況の監視まで総合的な対策が必要であるということで、今回整理した案がこちらになっております。

1 ポツ目のところで、導管に係る腐食対策については、まず100%純度のCO₂でない限り腐食するというを前提として、材料、水分、不純物、事業者の運転圧力や温度の状況、こういったものの組合せに応じて、不純物の除去を含めた腐食低減措置、腐れしろの設定、腐食状況の監視といった措置が必要であると考えております。

2 ポツ目のところで、事業者の使用環境、CO₂の流体組成ですとか圧力、温度、こういったものはプロジェクトごとに異なりますので、選定した材料に対して、導管の使用環境に応じた腐食速度をまずは事業者で評価いただき、その結果に応じて必要な腐れしろを設けて、必要に応じてコーティング等による措置を講ずるということとしております。

また、事業を開始した以降は、技術基準とは少し異なるのですけれども、施行規則に定める期間ごとに腐食の状況を実際に検査を実施して、減肉の状況を見ていただき、腐食の進行速度の評価結果の予想を上回って腐食が進行するといったこともあろうかと思っておりますので、技術基準に適合できていないくらい腐食が進行した場合には、導管を取り替えていただくといった対応も求めたいと考えております。

下半分の参考1というところで、日本、米国、英国の既存の腐食に関する規制の概要を記載してございます。

まず国内の高圧ガス保安法ですけれども、腐食のあるガスに侵されない材料の選定、腐食しろの設定、内面のコーティングなどを講じると書かれております。

米国のCFRは、「※」のところに補足がありますけれども、連邦規則集です。こちらの中でも、腐食作用を調査して、内部腐食を低減するための措置を講じなければならないとされています。

英国のHSE、労働安全衛生庁のガイドラインでは、水分の含有量を考慮して材料を選定すること、それから不純物も水と反応して腐食を起こすといったことが書かれております。

いずれも定量的というよりは、定性的な規定にとどまっているということが分かるかと

思います。

最後のスライドです。こちらは少し進んだ事例としての御紹介になります。以前、ワーキンググループではなく小委員会の場で、KHK様より、米国のミシシッピ州で2020年に発生した破断事故について御紹介があったかと思いますが、米国ではその事故を踏まえて、より具体的で規制を強化した改定案が当時バイデン政権時に示されておりますが、その後、トランプ政権になりまして、その改定の動きというものが現在、凍結状態となっております。ですが、その後、カリフォルニア州が、その当時のバイデン政権時の改定案をベースに基準を策定しようという動きがありまして、その概要がこちらになっております。

1ポツ目、3ポツ目辺りは先ほどの米国のCFRと同じような記載をしておりますけれども、2ポツ目で腐食に影響のある成分が具体的に書かれております。水ですとか硫化水素、SO_x、NO_xというのは知られているところですが、微生物といったことも書かれております。

4ポツ目のところでは、監視に関して、腐食影響成分量の把握や、腐食影響成分を低減するための技術として、抑制剤ですとかクリーニング、こういったものを行うことが求められております。また、(i)、(ii)のところ、水分について、先ほどなかなか定量的な基準がないと申し上げましたが、水分については50ppm、硫化水素は20ppm以下に制限されているといったことが書かれておりますし、また、監視については、アメリカでは年4回行うといったことが書かれております。

この水の50ppmについては、ISOでも示されている基準値になりますけれども、科学的に明確なコンセンサスが得られたものではないとされておりますが、カリフォルニア州では50ppmの採用する方向ということになっております。

資料3につきましては、以上でございます。

○澁谷委員長 ありがとうございます。続いて、資料4について、引き続き事務局から説明をお願いいたします。

○川原課長補佐 続いて、資料4、解釈例の方向性について、引き続き御説明させていただきます。

まず左側、技術基準の方向性、それから解釈例に記載するポイントといったところは、前回、第1回ワーキンググループでお示したものを基準として、その後、事務局の検討の中で、一部記載を具体的にしたり、あるいは前回のワーキンググループで委員の皆様か

ら御指摘いただいたところがありますので、そういったところを修正した部分がございます。

上から御説明いたしますと、まず導管の材料でございます。導管に使用する材料は、これを使えばいいというものはお示しできないのですが、ガス事の解釈例で様々材料規格がございますので、まずはそこで選定していただいて、ここにあるとイとロ、内面腐食、外面腐食、それから高速延性破壊の発生について考慮していただいた上で選定することとしております。

下段の構造の部分ですが、まず左側の耐震基準のところ、前回、我々事務局ではレベル2地震動についてのみ記載をしておりましたが、御指摘を踏まえまして、レベル1地震動も追記しております。

まず、導管の厚さについてですが、イ、ロ、ハとありまして、イの応力に耐え得る厚さということは、既存のガス事法の解釈例について同様の規定と考えております。

ロのところは、先ほどの資料でも御説明しましたとおり、使用環境、流体の組成ですとか圧力、温度、こういったことに応じた腐食速度をまずは評価していただいて、その結果に応じた腐れしろ設けていただくとおります。

それから、先ほどの議論でも少しありました高速延性破壊をまずは防止するというところで、気相と超臨界に分けて記載してございます。まず気相ですが、ISOでバツェル2カーブ法により評価が可能だということが知られておりますので、亀裂伝搬速度とガスの減圧速度の関係性を見ていただいて、これに適合していれば使えるだろうということがISOでも書かれておりますので、それで評価できるかと考えております。

超臨界も同じくISOで、こちらは一部、実際にデータが取れているものがありますので、それと同じ条件であれば適合していると言えるかと思いますが、それから外れるような条件の場合には、それは試験データなどで正当性を証明していただくというように記載しております。

それから接合方法と耐震性能はガス事の解釈例と同様の規定としておりますが、耐震性能につきましては、ガス事の解釈例では埋設導管に限られておりますので、地上設置導管についても当然、耐震性能を求めていくということで、現在、参考にできるものなどを確認しながら検討しているところでございます。

続いて、次のページ以降、耐圧試験、気密試験、溶接に関すること、続いて、防護措置、この辺りは既存のガス事法などと同様の規定と考えてございます。

続きまして、計測については、以前お示ししたポイントの中でも高圧法の例示基準で、流量、圧力、温度を計測するというようにしておりますので、それをベースに我々はCO₂ということですので、腐食性というものを考慮して、水分計といったことも追記してございます。

下段の警報装置ですが、これも前回、ワーキンググループで御指摘がありました。もとの事務局案では下のほうに小さい字で書いておりますが、導管の損傷に至るおそれのある状態に検知・警報ということに記載しておりましたが、それがどういう状態か明確でないという御指摘をいただきまして、異常な事態が発生した状態というように改めまして、導管が壊れそうな状態だけではなくて、漏えいした状態も検知・警報するものと改めております。

右側の1、2ポツがありますが、基本的には高圧法のコンビ則をベースに考えているのですが、一部記載を変えている部分もございます。

まず1ポツ目で、警報の受信部は、警報を発した場合に直ちに必要な措置を講ずることができる場所に設けるということで、しっかりとオペレーターに知らせるということを目的としております。

2ポツ目のところで、どのような状態で警報させるかということを書いておりますけれども、圧力や流量に一定の変動があった場合に警報するとしております。

一部、圧力や流量のところ、一定程度という記載にしておりますけれども、ここも適合性の確認ができていないところもありますので、具体的にどうするかといったところは、引き続き検討したいと考えております。

加えて、ホのところ、漏えいを検知したときと記載しておりますが、これもどのような検知方法があるかといったところは、事務局のほうで今検討しているところです。前回お示ししたポイントのところでも、左側の欄で、米国のCFRでシミュレーションとの乖離が生じた場合といったことでもありますので、こういったことを参考に検討したいと考えております。

続いて、水分除去措置でございます。こちら前回お示ししたポイントでは、「※」の1つ目にありますDNV、ノルウェーの国際機関でございますが、ここでは水分量について、結露が起り得る含水量の2分の1以下ということを求めておりまして、それに加えて先ほど資料3のところ、御説明しましたとおり、ISOとか米国カリフォルニアの例とかでは50ppmといったことを定めておりますので、右側の方向性のところでは、含水量

の2分の1、または50ppm以下と記載をしております。

続いて、防食措置でございますが、こちらは先ほど資料3で御説明したとおりではあります。まず1ポツ目で材料と構造については、先ほどの再掲でございます。内面腐食と外面腐食を考慮して材料を選定するということと、導管の厚さについては、使用環境に応じた腐食速度を評価して、腐れしろを設けていただきます。その上で、コーティング等で、さらにリスクを下げるといった手法もあるかと思っておりますので、そういったことを講じていただくとしております。

「※」で書いてあるのは技術基準ではないのですが、先ほど申したとおり、しっかりと腐食の状況といったものを実際に見ていただく必要があるということで、そういったことの確認を求めています。

外部腐食については、先ほど漏えい時の土の状況といった話もありましたけれども、そこは引き続き検討するとして、今、解釈例を参考に規定すると考えております。

続きまして、高濃度化防止措置は、先ほど資料1で御説明した内容を記載しております。8-2の欄で、ベントスタックについては、基本的にはガス事の解釈例と同様の規定を設けると考えております。

一番下の遮断装置も既存法に沿って遮断弁を設置することについて記載しておりますけれども、先ほどの議論でもありました遮断弁の間隔については、シミュレーションの結果を踏まえて検討いただくといったことがあろうかと思っておりますが、国内外の事例とかを踏まえて、今後、具体的な提示をしたいと考えております。

続いて、9ページ目、この辺りはCO₂に特化した話ではないので、導管の設置に関する話、標識の話は既存の規定と同様と考えております。

ここから圧送機に関してですが、以降のスライドは導管のような論点はあまりございませんので、ほぼ割愛させていただきますけれども、11番、圧送機の材料については、高圧法ですとか、前回のワーキンググループで御説明いただきましたKHKSのあたりを参考に、JIS Bで圧力容器に関する基準がありますので、これと同様の規定を定める方向で考えております。

これ以降は構造、誤操作防止、保安電力、敷地境界からの距離、安全装置、計測、警報、ここまでの圧送機に関する内容で、ここからが圧送機の設置場所ということで、立ち入り防止、警戒標、通信設備、換気や漏えい検知、安全制御措置について記載しております。

続いて、最後のスライド、計器室、この辺りも同様に既存の規定と考えております。

資料は以上ですけれども、最後に1点、補足させていただきますと、既存法と同様の内容を規定すると簡単に書かせていただいておりますが、実際には様々な規定が記載されておりまして、今回、詳細な御説明はできておりませんが、必要な規定は入れ込む方向で事務局としては考えてございます。

事務局からは以上でございます。

○澁谷委員長　ありがとうございます。ただいまの資料3及び資料4の説明を踏まえて委員及びオブザーバーの皆様から意見をいただきたいと思っております。こちらもまた大変恐縮ですが、1人3分ほどを目安に御発言をいただきたいと思っておりますが、まず委員の皆様から御発言をお願いします。廣本委員、お願いします。

○廣本委員　NIMSの廣本です。御説明ありがとうございます。

幾つかあるのですけれども、まず資料3なのですが、3ページ目、アメリカのカリフォルニア州の事例で、いろいろ具体的に気をつけなければいけない成分とかについて、書いていられるのですが、日本の場合ですと、海に囲まれていますので、塩化物イオンというのは、やはり考慮に入れないといけないのではないかと考えながら聞いておりました。どこから入ってくるかと言われると困るのですけれども。

それから、ちょっと話が後先になるのですけれども、後先でもないかな。導管が大分腐食したら最終的には交換するということになるというお話だったと思うのですけれども、それを決めるための腐食評価の方法、検査方法ですとか、そのときにどんな検査項目にするかとか、そういうところはこういう考え方のところに入れていく必要があるのかとか、何か想定されるものがあるかというのがあれば教えていただきたいということがあります。

次は資料4についてなのですけれども、これは表現の問題なのですが、資料4の最初のところで、流体に含まれる水分及び不純物等に起因する内面腐食とあるのですが、CO₂の場合、CO₂主成分そのものが腐食因子なので、文言を工夫していただいたほうがいいかなと思いました。

以上です。

○澁谷委員長　廣本委員、ありがとうございます。今の確認ですけれども、CO₂は水分がない状態でも腐食成分として認識されているという。

○廣本委員　水分がなければ大丈夫とは言われているのですけれども、ただ、ここに書いておかないと、何となく腐食因子として一番重要なものが抜けているという感覚になってしまいますので、その程度で、すみません。

○澁谷委員長　ありがとうございます。続いて、川畑委員、お願いします。

○川畑委員　私の専門分野の見地から少し質問というかコメントをさせていただきます。

高速延性破壊を防止するということに対して、解釈例にどう書くかという議論を続けてきたわけですが、最終的にどうか今の状態で、材料の特性で破壊を防止するのだということが打ち出されていると感じましたので、非常によいと思いました。やはり途中でアレスタというような考え方もあったのですが、そうすると、アレスタの間隔は全部開口するというので、今日前半にあったアセスメントのほうですよ。漏えいのほうに非常に大きな影響を及ぼすので、材料で停止させるというようなことが前面に出ているというのが非常によいと思いました。

気相と超臨界と分けて書いていただいているので、今のこの解釈の方向性（案）というのはスケッチみたいなものだと私は思ったのですが、亀裂伝播速度とガス減圧速度の間の記号がイコールを含んだ不等号になっていて、これはちょっとまずいのではないかと思います。

イコールの状態というのは、要は不安定破壊が進行する状態ということを示しているというように我々は解釈しているので、要はガスの減圧と亀裂伝播が同じスピードでも落ちないというように、ずっとその状態が続いていくということを示している部分があるので、これはイコールを含まない不等号にしていればよいと思いました。

気相のほう、バツェル2カーブを使えると確かにISOで書いてあるのですが、今日、前半であったような開口部の大きさというのがダイレクトに漏えいの初期圧に影響するだとか、そういうこともあるので、やはりどこかでそういう他工事損傷があった場合、かつ高速延性破壊が起こらない場合にどのぐらい開口するのかというのを見るためにも気相のバースト試験のようなことも、これは解釈例として書くという意味ではないですが、どこかで確認したほうがよいなと個人的には思っております。

以上です。

○澁谷委員長　ありがとうございます。今の川畑先生の御発言は、他工事事務所プラス内圧でどれぐらい亀裂が延びるかという御指摘と。

○川畑委員　そうです。他工事損傷はパワーショベルみたいなもので、がばっといってパイプに穴が空くということをイメージしているのですが、穴が空いたプラス止まるまでに伝播するのです。例えば近藤さんにも川原さんにも、私のラボでCO₂ではないのですが、バーストの実物を見ていただきましたけれども、損傷しているところから、止

まるのですが、少し伝播するのです。なので、そのようなことがどのぐらいの開口を生むのか。材料がどれだけよくても少し伝播しますから、そういうことを今申し上げました。

○澁谷委員長　ありがとうございます。それでは、北村委員、お願いします。

○北村委員　ありがとうございます。JOGMECの北村です。

腐食に関しましては、我々貯留のほうで取り組んでいるところ、これは鉱火付さんとも、いろいろと議論させていただいているところです。

腐食に関しては、この導管輸送のほうは、貯留のほうに比べると、まだコントロールはしやすいのかなという印象は持ちつつも、導管輸送に関しても、恐らく排出源のほうから入ってくる性状というのは必ずしも一様ではない点に課題があるのではないかと思います。

特に後からつなげてくる排出業者さんというのも恐らくいらっしゃる。そういったときに、排出業者さんに対して性状をある程度一様にしてもらおうという考え方もあるのかもしれないですけれども、その辺りをどう考えてパイプラインの設計をするかで、特に腐食速度を評価する際の条件の設定に関係してくると思うのですが、その設定というのは、ある程度、事業者の想定によるところなのかもしれないですが、そこをしっかりと設定してもらおうというようなところが1つ重要なのかなと感じました。

それに関して、腐食速度の評価と書かれているのですけれども、先ほどの漏えい拡散のほうはしっかりとシミュレーションを課すというような形で具体例があったのですが、この腐食速度の評価を具体的にどうするかというのは、ここでは示されていないのかなと思ったのですが、そこは事業者さんにお任せするという理解でいいのかというところを1つ確認させていただければと思います。

私からは以上です。

○澁谷委員長　ありがとうございます。続いて、小野委員、お願いします。

○小野委員　産総研の小野です。御説明ありがとうございました。

おおむね方向性としてはよろしいのではないかと思います。資料4について、解釈例の方向性についての確認なのですけれども、この資料はまだ調整中という理解ですが、8ページの高濃度化防止措置について、解釈例の方向性としては、滞留時間をシミュレーションにより求めることとし、そのシミュレーションに用いるソフトウェアが、国が妥当性を確認済みの計算モデルでえあると書いてありまして、一方で、資料1のほうでは、必ずしもソフトウェアを明示した形ではないということなのですが、この辺、整合性がちょっと不明確と感じました。、数値シミュレーションのほうは、数値流体解析ソフトと資料1に

あるのですけれども、それは各事業者さんがあまり汎用的に使うものではないと私は理解はしています。その辺の、国が妥当性を確認した計算モデルというところについて、今後の御対応方針を教えてください。

あと、全般的なことになりますが、この解釈例は非常に定性的だということで、事務局からコメントがあったやにも思いますが、このCCS導管というものは地域性も土質も環境が異なるものなので、解釈例の中に一律に数字を入れ込むのはあまりなじまないのではないかというのが私の見解です。

事業者の自主管理に任せるとするのは非常によい方向性だと思いますし、それでコストが全般的に減るのではないかと思います。また、事業者が自らシミュレーションをすることが事業者を鍛えるということになるので、自らのベストな技術を選んでもらうということになると思うので、よい方向だと思って拝見しておりました。

後半はコメントですが、以上です。

○澁谷委員長 小野委員、ありがとうございます。委員の皆さんは皆、御発言されたと思いますので、続いて、オブザーバーの方から御発言のある方はいらっしゃいますでしょうか。では、小山田さん、お願いします。

○小山田オブザーバー 高圧ガス保安協会的小山田でございます。

まず、この資料4のほうで、材料のところでいろいろコメント、そのとおりだと思っておりますが、導管の材料のところ、腐食と高速延性破壊だけが書かれていますが、腐食以外に侵食とかその他の溶接部の割れといったものもあるかもしれませんので、そういったものも含めて材料選定されるような、一番左側の省令のほうはそうなっていると思うので、それを受けた解釈例としては、いろいろ現実のところ、即した解釈例の構成ということにしたほうがいいのではないかと思いますというところでございます。

あと、先ほど御説明の中で、必要な規定は入れ込む予定という補足説明がありましたけれども、KHKのほうの取組といたしまして、前回御説明いたしました、KHKのCCSのパイプラインの基準というのも発行しておりますので、そちらの御活用につきましても、この方向性の中で、この解釈例の中でどう活用するのかみたいなことも御検討いただければと考えております。

もう一点、追加なのですけれども、こちらのハードウェア、緊急時対策とかいろいろありますが、緊急時対策の実際、例えば地震が起きたときとか、そういうときも含めて異常が起きたときにどういう手順で事業者さんが安全を担保するかみたいなことは、危害予防

規程とか、予防規程とか、そういったところのソフト対策も含めて対応されるということでお考えになっているということでもよろしいでしょうかということ、最後の1点は、御確認ということをごさせていただければと思います。

以上でございます。

○澁谷委員長　ありがとうございます。そのほかオブザーバーの方から御発言はございますでしょうか。では、お願いします。

○近藤オブザーバー　天然ガス鉱業会の近藤です。御説明どうもありがとうございました。

資料3については、カリフォルニアの例が載ってはいるのですが、米国内でもカリフォルニアとテキサス州で全然別の考え方もありますので、カリフォルニアにあまりこだわる理由もないかなと思っています。

資料4の解釈例の方向性で、ガス事業法だとか、一般高圧ガスだとか、コンビ法とか、実績のあるものを基につくられていて、分かりやすくいいのかなと思います。こちら辺はCO₂の実績がたまってきたところで、やはりこれはほかの法規と違う方向が必要かなと思われたら、そこら辺で変えていただければいいと思ったところです。

あと、資料4で6ページに導管の水分除去のところがあるのですが、ここが最終的に適切な水分除去の措置は、結露が起り得る含水量の2分の1以下、または全体体積比の50ppmということが書いてあるのですが、実質的にこれは遊離水を発生しなければいいというのであれば、結露が起らない、実運用の面を含めて、そのように書いてもいいのかなと思っています。

圧力だとか温度だとかによって結露する条件が変わってきますので、そこら辺、特に本当に入れたくなければ、水分計を使って遮断弁を使って、基準値を超えれば遮断するというのも可能ですので、そういったことを考えれば、ここまでここで厳しく書かなくてもいいのかなという感触を持っているというのが私の感想です。

私からは以上です。

○澁谷委員長　ありがとうございます。そのほか、オブザーバーの皆様から何か、JIAの森廣様からお手が挙がっているかと思しますので、御発言をお願いいたします。

○森廣オブザーバー　ありがとうございます。日本ガス機器検査協会の森廣です。

私からは、資料3の内面腐食対策と資料4の防護措置についてコメントを差し上げたいと思います。

まず、内面腐食対策、資料3のほうでございますが、2ページに、導管の使用環境はプロジェクトごとに異なるため、腐食速度を評価し、適切な腐れしろを設け、必要に応じてコーティング等による内面防食措置を講じることとするとありますが、この内面防食措置を判断するために、今後、具体的な検査要領や客観的な基準等は何らかの形で示すことが必要であると考えておりますので、どうぞよろしく願いいたします。

次に、資料4、4ページの防護措置の3-5でございます。こちらにつきましては、掘削により周囲が露出することとなった導管に対する防護措置に係る技術基準を受けての解釈例で、ガス事業法と同様に、事業者及び事業者以外の者の掘削による露出の両方のケースを想定し、事業者以外の者にも基準の適合を要求するものと拝察しております。そうであれば、その旨を法律で明確にしておく必要があるのではないかと考えますので、御検討のほう、よろしく願いいたします。

以上でございます。

○澁谷委員長　ありがとうございます。そのほか、御発言を御希望のオブザーバーの方はよろしいでしょうか。

（「なし」の声あり）

委員の皆様並びにオブザーバーの皆様からいろいろ多岐にわたる御意見、コメントをいただけたかと思えます。廣本委員から腐食の文言についての御指摘がございましたとおり、水分が完全に除去されていない以上、懸念のある物質だということを考えると、やはり二酸化炭素というのは、きちっと書き込んでおく必要があるのではないかと思います。

また、個別の項目については、様々な御指摘をいただいたかと思えますので、こちらについては監理官から、事務局から御回答をお願いしたいと思えます。

それでは、事務局からただいまの討議についてまとめて御回答をお願いいたします。

○佐藤監理官　改めまして、監理官の佐藤です。貴重な御意見ありがとうございます。それでは、順に御回答させていただきます。

廣本委員からございました日本特有の事情として塩化物イオンも腐食成分として検討の俎上にのせたほうがいいのではないかという点、ぜひ今後御教示いただければと思っております。我々も廣本委員からの御指摘で、そういった懸念物質があることを今把握させていただきましたので、継続的にこの点は御教示いただければと思えます。

その上で、腐食評価の方法なのですけれども、こちらはアメリカのカリフォルニアのプログラムには年に4回ぐらいはやるということも言及されております。これはCO₂導管

と言いながらも、99%はCO₂なのかもしれないのですが、残りの1%の腐食成分というのはいろいろな成分が含まれていて、一律の腐食対策というのはなかなか難しいということからモニタリングを重視しているのだと捉えております。

これは日本の事情も全く同じだと思っていて、様々な腐食成分がありまして、こちらは北村委員からの御指摘の回答にもなってくるのですけれども、排出者とのすり合わせみたいなことも恐らく必要になってくると思っております。導管輸送の事業だけで、肉厚を厚くするとコーティングをしていくだけではなくて、排出者側とのすり合わせをして、成分をできる限り低減していくとか、そういった措置が必要になってくると思います。

御指摘にあった塩化物イオンが入っているのか入っていないのかとか、そういったことも確かめる必要があると思えますし、アメリカのカリフォルニアの例では微生物も悪さをするということが描かれていますので、そういったものも入っているのか、入っていないのかとか、そもそも入る余地があるのかどうかとか、もしかしたら洗浄プロセスとかで入り得る可能性もあると考えられるので、この辺りのことについて排出側とのすり合わせをした上で、1個1個の腐食成分の評価を個別にやるのか、さらに総合的にやっていくのか、こういったことをしっかりと考えていくということが重要になってくると思っております。

これはシミュレーションでやるのか、実験をやるのかということも、実はこれも明確な、これをやればいいのだという手段が今世界的に見てもない状態ですので、ここはやはり事業者様と、我々規制当局でしっかりとすり合わせをして進めていくべきものだと思っていて、今の段階では事業者様から提案をしていただきたいと考えております。

小野委員からも、こういった一律に決まったやり方ではなくて、プロジェクトごとに状況も違うし地域性も違う、地域によっても確かに腐食成分というのは変わってくると思えますし、鉄鋼会社から出てくるもの、電力会社から出てくるものでも確かに変わってくるかもしれませんので、ぜひそこは今明確に固定した方法ではなくて、総合的に事業者様が提案をしていただいて、その妥当性を評価する。ただ、それが確実に大丈夫かどうかというのも、これは事業者様も規制当局も、そこでは明確な判断はできないと思えますので、しっかりとモニタリングをすることで、その実効性を担保していく。モニタリングをして大丈夫だということであれば、そのやり方は正しかったということで、解釈例をアップデートして、こういったやり方であれば過去大丈夫だったということで上乗せして、解釈例も、今は定性的ですが、具体的な解釈例にも徐々に仕上げていけるのではないかと考えております。だから、アップデートもしていくということも前提になってくると思います。

それで、腐食のモニタリングの仕方なのですけれども、こちらも事前にKHKさんにもいろいろ御意見をいただいたりして、超音波検査で肉厚を見るということも基本的にはできるということで、だから、そういったことをやることを前提に導管を設計していただいて、全面やるわけではなくて、ポイントポイントで腐食がしやすいような場所を選んで、そこを見ていく。それを継続的に見ていって何か大きな問題がありそうだったら内部もしっかりと、ピグランチャーを飛ばして見ていただく。それで、本当にこれは問題があるということであれば、導管の交換をしていただくとか、そういった対策を求めていくことになるかと考えております。

川畑先生から、改めてバースト試験の必要性について御意見をいただき、ありがとうございます。こちらはちょっと繰り返になってしまうのですけれども、ISOの理論上、使えると言っていたことと、試験との関係について、引き続きいろいろ情報収集をしていきたいと思っております。

あと、イコールはなくしたほうが良いという、亀裂伝播速度よりもガス減圧速度のほうが大きいことを条件にするという御意見はまさにおっしゃるとおりだと非常に強く感じましたので、その方向で修正していきたいと思っております。

あと、北村委員への回答は、先ほどのとおりだと思います。

小野委員への回答も、数値流体解析について今後どのように考えているのかというのは、今日は汎用ソフトの使い方までを、考え方を示したままで、詳細シミュレーションについてはまさにこれからぜひ検討していきたいと思っております。その際も小野委員やJOGMEC様とも御相談をさせていただきながら検討を深めていきたいと考えております。

小山田様から御意見のありました、侵食とか割れとかそういった一般的な構造規格という材料に求められる要件なのですけれども、今回CO₂特有の事情で考えると、やはり腐食というのは非常に重要だと。あと、川畑委員からございました高速延性破壊。腐食と高速延性破壊というのが非常に重要なポイントだと思っております。その他一般的な強度については、ガス事業法とか高圧ガス保安法の定めをうまく適用していけば総合的に適切な基準になるのではないかと考えているのですけれども、その点はまた詳しく引き続きいろいろ意見交換させていただければと思っております。

我々はもともとKHK Sとガス事業法の解釈例をベースにして、それに加えてCO₂特有の重要な検討事項を今回上乘せしているという考え方ですので、引き続き、そこは意見交換をさせていただきながら、検討を深めていきたいと思っております。

近藤様から御意見のありましたカリフォルニアの件なのですけれども、こちらはもともとバイデン政権時にアメリカ連邦政府として発表された規制措置案でございます。それがトランプ政権になって、規制強化ではなく規制緩和の方向となっても安全性をしっかりと確保していくということで、自主保安的な流れにアメリカ連邦政府全体ではなっているという認識です。カリフォルニア州はかなり忠実にバイデン政権時の規制を引用してつくったということなので、もともとアメリカ全体で、バイデン政権時では、こういった方向でやっていこうというものをベースにしているのです。我々としてはそういった背景もあって、少し重視してこれを見ておりました。腐食対策というのは非常に入念に見ていこうということなので、これは引き続き強く我々も意識して、今後この解釈例を整備していきたいと思っております。

ただ、内容的には、やはり排出源とのすり合わせも含めて、不純物成分の低減措置なども含めて、モニタリングを含めた総合的な対策を事業者様に御提案いただいて、進めていくということになると考えております。

あと、森廣様からの意見は、川原から回答する形でよろしいですか。

○川原課長補佐 御質問ありがとうございます。森廣オブザーバーから、検査要領のお話があったかと思っております。内面の防食措置に関する検査要領を示すことが必要ではないかというお話でありましたけれども、先ほど冒頭の監理官からの回答の中でも、今検査の手法というのが、これということが示せていないので、事業者の提案でというお話もあったかと思っております。なので、それが無い現時点においては、どういう要領でというのはなかなか示せないのかなと思っておりますので、そういう検査の手法というのがある程度確立した段階で、必要に応じてアップデートということは考えさせていただければと考えております。

あとは小山田様からの最後のコメントにつきまして、地震とか非常時の際の手順のお話は、工作物の技術基準ということで、今回御紹介した解釈例とは別の話かと思っております。小委員会の最後の第5回の会で、施行規則の中で、非常時の対応等について保安規程で定める必要があるということを説明しております。

したがって、こういった対応については、各事業者の中で定めていただく必要があるのかなと考えてございます。

○佐藤監理官 失礼しました。小山田様から、確かにおっしゃるとおり緊急時の対策についての手当てということで、もう川原から答えたように、保安規程を事業者に求めるというのが別の定めで今準備しておりますので、その中では災害時の従業員の安全確保のため

めの防災訓練とか、さらに必要があれば自治体とか消防との連携というのも、その中で我々は求めていくことになろうかと思っておりますので、そちらのほうでソフト対策として進めていきたいと思っております。

ですから、導管輸送事業もハード対策に加えて、そうしたソフト対策も、保安規程の中での取組というのにも必要になってくると思っております。ありがとうございます。

○川原課長補佐 森廣様からの2点目の御質問、資料4の3—5、防護措置のところ、自社の掘削だけではなくて他工事も含めて、これはガス事にならって、そういったところも含めるということで考えております。

それから、近藤様から水分の基準値の話があったかと思っております。事務局としては、2分の1と50ppm、またはということで今考えておりますけれども、ここまで厳しく書かなくともというお話があったかと思っておりますが、いただいた御意見含めて、この2択なのか、また別の示し方があるのかというのは引き続き検討させていただければと考えています。

○澁谷委員長 ありがとうございます。そのほか、全体を通して何か御質問、コメント、御発言、言い足りなかったこととか、ございますでしょうか。

(「なし」の声あり)

ありがとうございます。最後のコメントにございました近藤様からの御発言で、水分量についての規定ですけれども、国としては基本的には性能規定化を目指していますので、国としては要件としてはこのようにしないでくださいという要件を出すというのが基本的な姿勢ですので、近藤様の御指摘というのは、仕様規定ではないかという御指摘かと思えます。こちらについても、将来的にどういう方向に持っていくかということは、事務局のほうでも議論していただくことになろうかと思っておりますので、引き続きよろしく願いいたします。

それでは、全体を通してオンラインのほうからも御意見はないようですので、こちらで本日用意した議題は以上になります。

本日は長時間にわたりまして御議論いただき、誠にありがとうございました。本日いただいた指摘なども含め、事務局には技術基準の解釈例のさらなる具体化の作業を進めていただきたいと思います。次回の日程や詳細については、追って事務局から連絡をいたします。

それでは、本日はこれにて閉会といたします。どうもありがとうございました。

お問合せ先

産業保安・安全グループ 鉦山・火薬類監理官付

電話：03-3501-1511（4961）

FAX：03-3501-6565