

## CCS実用化に向けた二酸化炭素地中貯留技術研究組合の役割

RITEは、有力な地球温暖化対策技術である二酸化炭素回収・貯留技術（CCS）の実用化に向けて、2016年4月に4つの民間企業、国立研究機関とともに、二酸化炭素地中貯留技術研究組合を設立しました。本組合では、我が国の貯留層に適した実用化規模（100万トン/年）での効率的なCO<sub>2</sub>地中貯留技術、CCSの安全性を高める技術、CCS普及のための条件整備等の研究開発を行っています。今回、組合の理事の皆様、組合におけるこれまでの活動や今後の抱負について語っていただきました。



研究推進委員会 委員長：佐藤光三（東京大学大学院工学系研究科 教授）

理事長：山地憲治（公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE） 理事・研究所長）

理事：平松晋一（応用地質株式会社 常務執行役員 技術本部長）

柄川哲朗（国際石油開発帝石株式会社 技術本部 参与）

竹花康夫（石油資源開発株式会社 執行役員 環境・新技術事業本部長）

矢野雄策（国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター長）

今村 聡（大成建設株式会社 執行役員 原子力本部長）（誌上参加）

**山地** 2016年4月に二酸化炭素地中貯留技術研究組合を設立し2年目の後半に入りました。今日は組合の理事の皆様と研究推進委員会の委員長をお願いしている佐藤光三先生に参加していただいて、CCS実用化に向けた組合の役割をテーマにして座談会を行います。忌憚ない意見をお願いしたいと思います。

### 組合に期待する役割

**山地** ではまず佐藤先生に研究組合に期待する役割をお話しいただきたいと思います。

**佐藤** CCSには経済的なインセンティブがない、経験も少ないとよく言われ、コストが高いとか、CO<sub>2</sub>漏えいのリスクが心配だという懸念が付き纏います。これは、



何もしない現状をリスクフリーの状態だという誤った見方をしているためで、そこと比べるとCCSはコストがかかり、リスクもあるということになってしまふ。しかし、無為無策

は2℃シナリオの達成を阻害し気候変動を引き起こすため、コストとリスクが非常に高い状態を招くこととなります。この高コスト・高リスク状態に比べると、気候変動を抑制するCCSを適切に操業すれば、これはリスクを低減するのであって、相対的にはプロフィットを生むことになる。コストとリスクの低減には2種類あります。1つは、元々高い状態から、コストやリスクを



下げるもの。もう1つは、リスクフリーのところになたな技術を導入する際に発生するコストやリスクを低く抑えるものです。この2つでは、設定すべき目標のレベルは自ずと違ってくると思っています。CCS研究は前者に当たり、コストやリスクが高い状態からそれらを下げることが目的とした研究であって、設定すべき目標は後者のそれとは違うということ意識するべきだと思っています。パブリックアクセプタンスに関して、この点に気を配った結果の公表の仕方に気を配るべきでしょう。例えば、コストをいくら下げたというのではなく、費用がこれだけ減った結果、プロフィットがこれだけ増えたと捉えられるべきだし、漏えいに関して、こういう技術で漏えいのリスクを減らせたというのではなく、安全性がより高まったという感覚を人々に持って貰えるような伝え方をすべきだと思います。

山地 ありがとうございます。そもそもCCSの役割は先生のお話にあったように地球温暖化というとても大きなリスクへの対策です。しかしCCSに伴うリスク問題もある。そこをしっかりと社会との関係を考えて上手く成果を伝えて下さい、というお話だったと思います。では次に、理事の皆さんに組合に入ったきっかけや、組合に期待していることをお話したいと思っています。

### 組合に参加したきっかけ、期待するもの

竹花 当社はE&P (Exploration & Production) 企業として、色々な技術開発や研究を進めてきました。その中の1つとして、二酸化炭素の溶解促進に関連するマイクロバブルの技術は非常に期待できる技術ではないかという手応えを感じており、実用化したいという強い思いが以前からありました。RITEさんはマイクロバブル技術に関して先進的な取り組みをされ、豊富な経験をお持ちであるし、関係各社の方とも組合という組織の中で同じ目的意識を持って、しっかりと議論をしながら技術開発をしていくことが、当社の目標、目的を達成する上で非常に意味のある取り組みだと考え、参加させていただきました。

栃川 2015年に当社は「気候変動問題への対応」というポジションペーパーを出したのですが、その中でしっかりとCCSの重要性を謳っていて、CCSには貢

献すべき、また貢献できるだろうという思いがありました。これが組合に参加した動機です。また、CCS以外の技術開発も全てそうですが、自分達だけでやるというのは限界があると思っています。ですので、お互いのコラボレーションの中で刺激を受けながらシナジーを最大化していく、ちょっと大袈裟ですが、ケミカルリアクションを起こしていく、そういったことも期待してこの研究組合に入らせていただきました。

平松 当社は一般的には公共事業の地質調査をしている会社だと思われていますが、実はもう随分前から原子力の仕事もさせていただいていたので、エネルギーの問題、そしてその裏側にある地球環境問題についても以前から意識していました。そこで、ある意味、引き出しを増やそうという思いで地球環境問題にも関心を持ち、長岡の弾性波トモグラフィを使ったモニタリングや、エンジニアリング協会さんと一緒に全国の貯留層の貯留量評価等を行って来ました。これらを通じて、我々が土木地質から培った検層技術やトモグラフィ、あるいは地質学の知識がCCSの実用化のために役立てられるのではないかと考えていたところ、組合へのお誘いを受けましたので、会社としてもこの重要な地球環境問題に対する事業を今後、進めていこうということで参画しました。



矢野 産総研は2001年の創立の当初から地中貯留の研究に関わってきました。と言うよりも、産総研が創立される前は私どもは15の研究所でしたが、その内の1つの地質調査

所で、CCSの考え方の萌芽の時から携わってきました。2005年からは地中貯留の経済産業省のプロジェクトにも参加してやってきましたので、地中貯留については長い歴史を持っています。その中で培ってきた私どもの技術は、1つは地球物理学的なモニタリング技術、それから地化学技術、あるいはジオメカニクス技術といったものであり、これらの技術が地中貯留の今後に役立てることができると考えていました。そして、この組合が、CCSを本当に実用化して民間に繋いでいくために関係者が一本化していこうという動きだ

と思いましたので産総研も参加した次第です。



**今村** 当社は様々な建設工事に関わる地下水環境保全、土壌汚染浄化、放射性廃棄物の地層処分、エネルギー地下備蓄などのプロジェクトを通じて、地下水の流れや物質移行の調査・解析技術を培ってきました。地球温暖化に対して当社が貢献できることの1つとして、CCSをターゲットに、CO<sub>2</sub>の地中挙動シミュレーションに取り組んできました。以前より、RITEさんの研究開発や苫小牧などの実証試験などにはシミュレーション技術でご協力させていただいておりましたが、技術の実用化は地下探査や貯留のコア技術をお持ちのパートナーとの連携が不可欠で、できれば政策にも近いところでの研究開発が望ましいと考えておりました。また、ゼネコンとしてCCSの貯留システム設計・施工への参入の可能性の検討をしていた段階で組合参加へのお誘いがありましたので、ゼネコンのCCSでの貢献のあり方、可能性を模索する狙いもこめて参加を決意いたしました。

**山地** RITEは、組合設立以前は産総研さんとペアのような形で研究開発を行ってきました。また、応用地質さんをはじめ、各社からRITEに出向者を出す形でご協力をいただけてきました。これまでに、2003年から2005年にかけてRITEが長岡で1万トン規模のCO<sub>2</sub>貯留の実証試験を行い、現在は苫小牧でJCCSさんが年間10万トン規模の実証試験を行っていますが、その次の年間100万トンという実用規模にもって行く段階では本格的に民間企業さんと一緒に研究開発を推進していく体制が必要であり、そういう意味でこの組合が設立されたと理解しています。そして、当然ながらRITEもこの組合に参加させていただきました。

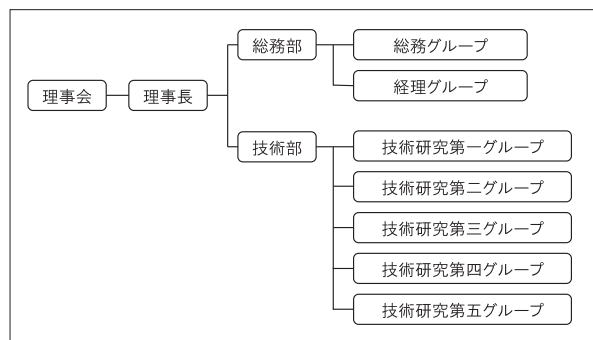
### 組合員としての役割、研究課題

**山地** CCSの実用化がこの組合の使命ですが、各々組合員としての研究課題、これまでの成果や今後の目標などについてお聞きしたいと思います。

**矢野** モニタリング技術、長期的な遮蔽性能を評価する技術、そして水理と力学の連成解析技術、これらが私どものコア技術です。まずモニタリング技術に関しては、今後、地中貯留をやっていく場合、貯留した後の長期的なモニタリングは必ず必要で、それをいかに低コストで行うか、その方法として、重力をモニタリングすることが有効だろうと考えており、超伝導重力計を用いた技術開発を苫小牧で実際に測定しながら行っています。次にキャップロックの長期的な遮蔽性能評価ですが、これも産総研では組合発足以前から取り組んでいます。特に地化学反応がどう影響を及ぼすのかということの研究しており、それが水理特性や力学特性にどう影響しているのかということを実験によって検証しています。超臨界のCO<sub>2</sub>と水の系での地化学反応、これが遮蔽性能にどう影響を及ぼすかということについて見た時に、1つは岩石の種類によって影響が変わってくるということを見出しました。またジオメカニクスのモデリング技術も私どものコア技術ですので、RITEさん等が研究されている光ファイバーによるひずみ測定に今後お役に立ちたいと思っています。



**平松** 私どもは技術研究第一グループに属しており、地質モデルの構築という課題に取り組んでいます。具体的には苫小牧の実証試験サイトの4本の坑井の検層データを解析して地質性状を評価しています。対象の地層は萌別層の下部層で、自然放射能、比抵抗、孔隙率、P波速度等の相関関係、物性値との相関関係を見ながらモデリング



二酸化炭素地中貯留技術研究組合 組織図





曲線との比較を行っています。坑井によってややデータのバラつきがあり、正直、苦戦しているところではありますが、坑井のコア試験のデータもありますので、今後はこれも加味しながら大雑把な貯留層というのではなく、その中の岩相を細かく区分しながら分割して見ていこうとRITEさんと一緒に頑張っているところです。

栃川 当社のコア技術は貯留層に近いところでは、例えば地下のイメージング技術は当社のコア技術として従来から蓄積してきたものです。今回、DAS (Distributed Acoustic Sensing : 分布型音響計測) や光ファイバーを使ったVSP (Vertical Seismic Profile : 鉛直地震探査) を試みっていますが、できるだけ信頼性のある情報を、できるだけ低コストで示すことが当社の課題だと思っています。今年、当社の油田で実際に計測を行っていますが、これは世界でも新しいと言われていて、我々のジオフィジストを含む関係者が凄くワクワク感を持ってやっているのが非常によいなと感じています。来年には何か画像でお見せできればと考えています。

山地 やはり現場のフィールドを使って実際にやれるというところは、組合を作ったメリットだと思います。



竹花 当社が取り組んでいる課題は、マイクロバブルの技術を使っていかに二酸化炭素の貯留効率を高めるかということです。CCSのプロフィットを高めるためには、地下の貯留層をいかに有効に活用するか、貯留効率を高めていくか、そのところがポイントだと思っています。そのため、地下1,000メートルや2,000メートルという深度でマイクロバブルを発生させ、それを貯留層の中に送り込むツールを新たに開発することが我々の使命だと思っています。もう1つはCO<sub>2</sub>マイクロバブルが貯留層の中に浸透していくプロセスとそのメカニズムの解明です。いかにして貯留効率が高まっていくのか、実験室でのコア試験、フィールドでの観測データやシミュレーション等を上手く組み合わせながら明ら

かにすることが我々のもう1つの使命だと思っています。今年度は坑内で使用するツールの試作機の開発を行っており、実際に坑内に下げて正常に作動するかどうか、CO<sub>2</sub>マイクロバブルが発生するかどうかをチェックしています。来年度以降はフィールドにおいてCO<sub>2</sub>マイクロバブルの貯留層への注入試験を行う予定です。

今村 当社は主にCO<sub>2</sub>地中挙動シミュレーションに関わる課題を担当しております。地下の探査精度には限界があるため、地中貯留のコスト予測あるいは安全性の評価が難しい面があります。わが国の将来の大規模貯留でどのくらいのコストが現実的に必要なのか、事業者から見るとやはり不透明と感じています。現在、経済産業省と環境省のジョイントで適地調査が進められていますが、リアリスティックな貯留量を不確実性もあわせてできるだけ早く評価し、提示することが重要と感じます。当社が技術組合で主に取り組んでいる課題は、地層の調査データの不確実性を踏まえながら、必要な貯留量を確実に確保できる坑井本数や貯留場所を合理的かつ低コストで設計する手法です。これには、当社が保有する超並列計算機による高速シミュレーション技術を活用できます。もう1つ、地中貯留の安全性を確率論的手法により分かりやすく定量化して評価する手法にも取り組んでいます。これについては、当社が培ってきた原子力分野の技術も役立つのではないかと期待しています。

山地 RITEでは「大規模CO<sub>2</sub>圧入・貯留の安全管理技術の開発」、「大規模貯留層の有効圧入・利用技術」、「CCS普及条件の整備、基準の整備」を柱に技術開発を進めています。CO<sub>2</sub>圧入によって、地中の圧力が増加し、地震を誘発することが懸念されるため、CO<sub>2</sub>圧入サイトでは地震観測など様々なモニタリングが行われていますが、技術研究第一グループではこれらの観測結果に基づいたCO<sub>2</sub>圧入管理システム (ATLS : Advanced Traffic Light System) を開発しています。本研究ではCO<sub>2</sub>圧入サイトの各種モニタリング情報を、緑・黄・



赤の3段階でリスクを評価し、適切な対応を行います。また、貯留サイトの安全管理には、貯留層のモニタリングだけでなく、地表のモニタリングも重要です。現在、貯留層のモニタリング技術の開発を進めています。また、貯留層の有効圧入・利用技術の開発も進めています。CCS普及条件の整備、基準の整備も進めています。

赤の3段階でリスクを評価し、適切な対応を行います。また、貯留サイトの安全管理には、貯留層のモニタリングだけでなく、地表のモニタリングも重要です。現在、貯留層のモニタリング技術の開発を進めています。また、貯留層の有効圧入・利用技術の開発も進めています。CCS普及条件の整備、基準の整備も進めています。



赤の信号器の色で表現し、圧入状況も勘案したより発展的な機能を有するシステムとして開発中です。また、モニタリング技術として、光ファイバーによる深度方向に連続的に地層変形（ひずみ）を測定する技術開発を行っており、既存の坑井を活用した地層変形観測の現場実験では、砂岩互層の変形特性や力学的解析モデル構築に関する重要な知見を得ることができました。その他にも万が一に備えて、CO<sub>2</sub>漏出が起きていないことを確認するためのモニタリング（漏出監視）技術として、サイドスキャンソナー（Side-Scan Sonar）を用いたCO<sub>2</sub>気泡の検知手法の開発に取り組んでいます。今後、これらの技術を事業化を見据えて現場に実適用していくわけですが、そのためにはこの組合の枠組を使って、組合員の皆さんと協力しながら実施していくことが、CCS普及に向けての近道ではないかと思っています。

山地 佐藤先生、ここまでのお話で何かコメントはありますか。

佐藤 最初に申し上げたCCSに特有の目標設定ということですが、例えば、複数坑井の最適配置について、石油開発の場合、採るだけ採る方が石油会社の利益につながるので、最適化を突き詰めることは理にかなっていると思います。しかしCCSの場合は入れる量は決まっていますから、その量さえ入れればよい。加えて、地下のことですので、不確実性は絶対に付随します。CCSに関しては一番入るところを見つけるのではなく、この辺りのエリアであればどこに入れても予定している貯留必要量はカバーできますよ、という目標設定にすべきだと思います。地質モデルの構築に関しても石油開発で突き詰めるような地質モデルの作り方ではない、CCSに合った地質モデルの作り方があると思います。これは組合の全ての技術検討で言えることだと思いますので、是非、CCSに特有の目標設定を意識して、研究を進めて頂きたいと思っています。

### 組合のこれまでの活動についての評価と今後の課題

山地 それでは最後に、組合に参加して2年、これまでの活動をどう評価しているか。よかった点やこれからの課題、あるいは抱負をお願いできればと思います。

竹花 同じ問題意識を持っているサブサーフェイスのスペシャリストと言いますか、そういう集団の中で問題を解いていくこと、そして栃川さんの発言にもありましたが、自社だけでできることというのはどうしても発想なりが限定されるのに対して、組合は異業種の方もいらっしゃいますし、そういった中で議論ができることは有意義だと思います。また、組合の研究推進委員会で独立的な視点から有識者の方に、適宜、研究の方向性について率直な意見をいただけることは非常に有難く、組合に参加してよかったと思う点です。課題としては、先ほど申し上げたように、新しい技術を開発するというところで、色々はまだ試行錯誤している部分があります。佐藤委員長が仰ったように、“CCSとして必要な技術”という視点で、いかにして残り3年で作り上げていくか、しっかりと取り組まなければいけないと考えています。



栃川 一人でやるよりは複数でやった方が刺激がある。そしてその中で化学反応を起こしていくことへの期待を最初に私は言いましたが、そこがまだ足りないかなと思っています。例えば、課題設定についてはCCS全体としてどうしていくのかという議論があるべきで、我々は貯留だけを対象にして他のことは知らないというのは少し違うのかなと思っています。組合には5つのグループがありますが、横の関係を強くする仕組みを考えて、互いの課題設定について議論し合うようなことをしないと研究組合として特色が出てこないと思います。またこの一年、気候変動問題へのE&P業界の対応は急速に進展したと感じておりその意味でも海外の色々なコンソーシアムとも何か、刺激とか化学反応という意味合いで一緒にできることがあると思います。例えば、Total、Shell、StatoilやGassnova等、そういうところと最初は意見交換から始まるかもしれませんが、何か一緒にできるのではないかと思います。

山地 最近、研究開発とか起業の時にグリーンケミストリーとかエコシステムとか言いますが、組合の中でもそういうことは大事ですね。



平松 私は新卒の入社試験の面接を何年もやっているのですが、「志望動機は？」と聞くと「御社のホームページを見ると地質調査だけではなくCCSやメタンハイドレートもやっている。そういう色々なことをしてみたい。特に地球環境問題に興味があります」という若者が凄く多い。そういう意味で、単なる地質調査会社というイメージではなく引き出しが広がったというメリットがあったと思っています。また面接を通じて、自然科学をやっている若い人たちはCCSにかなり興味を持っていると感じます。そういう意味で、もっと業界誌や関連の学会誌、雑誌等にも積極的にアピールして、もうちょっとCCSが一般的になったらいいんじゃないかと思います。今後の抱負ですが、先ほど栃川さんが横のつながりと仰いましたが、去年、茂原でDAS-VSPの震源車を当社は持っているの、使っていただきましたけど、海底重力計やP-Cable（高分解能海上3次元反射法探査）等、様々なツールを当社は持っていますので、これからモニタリングの現場でもお手伝いできたらと思っています。

矢野 組合に参加してよかったと感じるのは、こうして皆さんとお会いできたことが一番ではないかと思えます。これは抽象的な話ですが、地中貯留に取り組む国研として単独でやっているよりも、国プロを関係者が一体となってやっているところに入って、全体として評価や意見をいただきながら、そこで私どもの力も伸ばしていける点がよかったと感じています。産総研としては、国のプロジェクトを今後も組合員として一体の中で取り組み、産学官の連携を深めていければ有難いと思っています。

今村 組合設立から2年弱となり、各技術研究グループでの研究もそれぞれ着実に進んでおり、国の政策担当者や組合員間の密接な情報共有や連携が実現されつつあると感じています。また、研究推進委員会の先生方のサジェスションも的確であり、効率的な技術開発の場を提供していただいていると思います。今後の課題としては次のような項目があると考えています。1つは電力事業者の積極的な参加および経済産業省、環境省の電力事業者に対するインセンティブの付与、2つ目は省庁・事業者とともに社会的に受容性を得るための継続的な活動、3つ目は環境影響や漏えいのモニタリング方法と信頼性、4つ目は貯留能力推定の精度

の向上です。これらの課題を官民連携によって少しでも早くクリアしてCCSの実用化に寄与できればと考えております。

山地 佐藤委員長、ここまでお聞きになっていかがでしたでしょうか。最後に一言お願いします。

佐藤 変な言い方になりますが、本研究組合の自己否定、つまりCCSに関しては安全性を云々する必要がない状況というのが一番よいわけです。今後、そのような状態に近づけていくためにも、不必要に高精度化を追い求める考え方やアプローチは避けるべきと思っています。例えば、井戸数が少ないからモデル構築が困難であり、それにチャレンジしているという姿勢は、受け取る人にとっては“綱渡りのオペレーションで怖い”と映るかもしれません。そうではなく、CCSには井戸2~3本で評価できる地質モデルで十分であり、それでリスクを抑えた安全な貯留ができるし、CO<sub>2</sub>の挙動を推定できるのだという意識を持つべきだと思います。少し肩の力を抜いて、最高を目指すというのではなく、2番目、3番目、4番目ぐらいの解でもよいので、それでもCCSのオペレーションであれば十分リスクを低減して適切にマネジメントできる、というような意識で組合としての取り組みや世の中への発信を考えていただけるとよいと思います。

## 最後に

山地 組合設立の目的は、大規模なCCSの実用化に向けた研究を進めていく、ということです。その中で、特に民間企業4社さんに入っていただいて実用化への橋渡しをしていく役割、それはこの2年間で着実に進んできていると思います。ただ、より大きな目で見ると、佐藤先生のご意見にありましたように、我々がいただいた課題の中には安全管理のための技術開発だけではなく、社会的受容性に関するものもあるわけです。今日の座談会を通して、微小振動とか漏えいとかが大丈夫ですよと言うだけではなく、CCSそのものの必要性も併せて説明していく、それが大事なんだと改めて思いましたので、今後の取り組みに生かしていきたいと思っています。今日はありがとうございました。