



●核融合科学研究会ニュース 43●



LHD ツアー



第21回講演会

CONTENTS

核融合科学研究所
オープンキャンパス（一般公開） 2

核融合科学研究会 第21回講演会
「CO₂回収型発電の動向と
将来システムの開発」
講師 財団法人電力中央研究所
エネルギー技術研究所
高効率発電領域
領域リーダー 犬丸 淳 氏 3



事務局だより・編集後記 6

核融合科学研究所オープンキャンパス（一般公開）

核融合科学研究所では、核融合科学研究会のご支援を頂いてオープンキャンパス（一般公開）を毎年開催しています。今回は11月14日（土）に開催されました。午前中は雨模様であったにもかかわらず約2300名の市民の方々にお越しいただき、秋の一日を楽しんでいただきました。今回は「プラズマが つくる未来の エネルギー」をテーマに掲げ、市民の皆様にも未来のエネルギー源の研究に関心を持っていただき、また、子供たちに科学のおもしろさを体験してもらうため、多くの企画を準備しました。大型ヘリカル装置の見学ツアーをはじめとする実験棟の公開や各種展示物での説明の他に、科学実験や科学工作などの約50の企画を見て、聞いて、体験していただきました。例年、好評をいただいているセラミック折り紙、ロボット工作（サッカーロボットを作ろう）、おもしろ科学実験・工作コーナーは、今年も終日行列ができる賑わいでした。大気圧プラズマやぼんぼん船などの新企画も楽しんでいただくことができました。研究所のマスコットのプラズマくんは、うながっば（多治見市）ととっくりとっくん（下石陶磁器工業協同組合）と一緒に登場して、子供たちに大人気でした。

② 新たな企画として、小学生向け、中学生向け、一般向けの3つの公開講座を開催しました。小学生向けには「みんなの元気で電気をつくろう」をテーマに体験型の講演を行い、ハプニングつきで楽しんでいただきました。中学生向けには「エネルギーとプラズマ」と題してエネルギー問題について丁寧に説明しました。一般向けには「乱（気）流とプラズマの閉じ込め」と題して最近の研究を紹介しました。難しい題目にも拘わらず、多数のご参加をいただきました。また、今年も、教育連携企画として7校の高校生による科学研究発表会と企画展示が行われ、高校生同士の連携とお互いの研究活動への大きな刺激となりました。

昨年に引き続き、集中豪雨や煙を体験できる防災体験

コーナーを開設し、たくさんの方にご体験いただきました。土岐川観察館主催の“ザリガメワールドによろこぞ”のコーナーでは土岐川に住む生物の紹介とザリガメ釣り体験が行われ、子供たちの人気を集めていました。下石陶磁器工業協同組合からは「とっくりとっくん」の置き物をご提供いただき、各展示場に配置させていただきました。

屋外の催しでは、現役トッププロテニスプレイヤーの有本尚紀選手をコーチに迎えてのテニス教室、並びに第8回NIFS杯少年サッカー交流大会が行われました。サッカー交流大会は、近隣のグラウンドもお借りして2カ所で開催することにより、16チーム全員にご参加いただき、予選の結果に基づいて4チームずつ4つのトーナメントブロックで勝負を競っていただきました。雨でぬかるんだグラウンドにも負けない熱戦の末、刈谷市の富士松FCが見事優勝の栄誉を勝ち取りました。

この日のために9月初旬からの種まき、水遣り、草取りを行って準備を進めてきましたコスモス畑は、丁度満開となっていたのですが、あいにくの雨でぬかるみができてしまったため触れていただくことができませんでした。午後からは花も元気を取り戻し、ご来場の皆様の目を和ませることができたのではないかと考えております。

今回の研究所オープンキャンパスでも、多くの方の協力によりエネルギーをテーマとした楽しい企画をたくさん用意することができました。また、地元からも企画にご参加いただきました。オープンキャンパスは、研究所職員と市民の方々の交流だけでなく、研究所の全職員が一丸となって取り組むことによる内部交流の機会も提供しており、広い意味で研究環境の改善に大きく貢献しているといえます。

（文責：今川 信作

2009年核融合科学研究所
オープンキャンパス実行委員長）



公開講座（小学生）



プラズマボール

核融合科学研究所 第21回講演会 「CO₂回収型発電の動向と将来システムの開発」

講師 財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所
高効率発電領域 領域リーダー 犬丸 淳 氏

平成22年3月3日(水)、財団法人電力中央研究所エネルギー技術研究所 高効率発電領域 領域リーダー 犬丸淳先生をお迎えして、第21回核融合科学研究所講演会が、核融合科学研究所にて開催されました。講師の犬丸淳先生は、1983年に(財)電力中央研究所に入所され、以来2003年まで、^{なこま}勿来 IGCC (石炭ガス化複合発電) 実証機の原型炉である2トン/日石炭ガス化炉を用いて、空気吹き石炭ガス化技術の研究開発などに従事されました。この間、1990~1992年にIGC 研究組合 (石炭ガス化複合発電技術研究組合) にご出向、200トン/日パイロットプラント計画に参加され、さらに、1995年にはカナダ・トロント大学化学工学科の客員研究員を務められました。2007年から現職となり、IGCCをはじめとする火力発電技術全般の研究開発に従事しております。

中長期的な温暖化防止対策オプションの一つとして炭酸ガスの分離回収・貯留 (CCS; CO₂ Capture and Storage) が注目され、欧米を中心に導入に向けた動きが活発化しています。そこで、今回の講演会では、CCS に関わる内外の最新動向、ならびに現在考えられている CO₂回収型火力発電システムの開発状況や課題とともに、新たな将来型発電方式として提案されている「CO₂回収型高効率 IGCC システム」の概要についてご紹介いただきました。

エネルギー資源における石炭の位置づけとして、埋蔵量が豊富で偏在性が低く、さらに、価格も比較的低位で安定しているという特長が挙げられる。しかし、昨今の中国およびインドにおける石炭需要の急激な増加によって、石炭の可採年数は、2008年段階で122年となっている (BP 世界のエネルギー統計レビュー2009)。可採年数は、ここ数年、毎年のように、10年近くずつ減少している。今後のエネルギー需給において、需要面では中国、供給面では、最大の輸出余力を有するロシアの動向が重要である。石炭資源を取り巻くこのような世界情勢の中で、日本では今後も発電用燃料としての石炭活用が不可欠であり、その安定確保が大きな課題である。それと同時に、石炭は、石油や天然ガスに比べて炭素排出係数が高いことなどから、環境負荷低減が課題となる。すなわち、「エネルギーセキュリティの確保と地球環境問題への対応」に向けた技術開発が重要課題となっており、(1) 石炭火力発電の高効率化、(2) バイオマス利用、(3) 燃料の多様化、(4) ゼロエミッション化などの取り組みが展開されている。(1) については、USC (超々臨界圧発電)、IGCC、IGFC (石炭ガス化燃料電池複合発電) などの技術開発、(2) は、微粉炭ボイラでの

混焼、(3) は、比較的若く水分の多い亜瀝青炭や褐炭といった低品位炭の利用や高品位化、(4) は、CCS などが挙げられる。

日本の排出 CO₂の起源は、電気事業者による発電が3割強を占めている (自家発電を含むと38%程度)。その燃料起源別では、石炭が58%程度と、石油、天然ガスからの排出を大きく上回っている (EDMC [The Energy Data and Modelling Center] / エネルギー・経済統計要覧2008年度版)。したがって、石炭を高効率かつクリーンに使う技術開発が望まれることになるが、火力発電の大容量化、蒸気の高圧・高温化 (超々臨界圧発電技術 USC 等)、複合発電におけるガスタービンの高温化など、すでにその血のにじむような努力がなされてきており、火力発電効率は、日本は世界最高レベルを推移しているのが実情である。石炭の大量消費国となりつつある中国およびインドでの高効率プラント技術導入などによって底上げを図ることも効果的であろう。それと同時に、日本でも、さらなる高効率化に向けた取り組みがなされている。「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」(2008年3月経産省策定)では、重点的に取り組むべきエネルギー革新の21技術の中で、IGCC、CCS が挙

3



講演会の様子

げられ、2050年ごろまで CO₂分離・回収、地中貯留実証とともに、技術開発ロードマップが策定されている。USC については、蒸気温度の現状600℃級から700℃級(Advanced-USC)へ、ガスタービンについては、現状1500℃級から1700℃級へ、IGCCについては、現在の実証プラント(福島県勿来市)での開発を経て、上記の高温化されたガスタービン技術の導入によって Advanced-IGCC へ、といったプロジェクトが計画され、発電端の熱回収効率(HHV)として、50%前後の高効率化を目指している。CCS のプロジェクトを進める母体として、2008年5月に、電力11社を含む29社によって、日本 CCS 調査株式会社が設立された。低炭素社会づくり行動計画(2008年7月閣議決定)においても、CCS の早期大規模実証計画への着手、2020年までの実用化を目指すこととされ、2020年代に1000円台/t-CO₂という低コストを実現することが盛り込まれるなど、CCS 技術開発を積極的に促進する情勢となっている。

「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」にも盛り込まれた CO₂の地中貯留は、分離・回収した CO₂を、輸送、地中に圧入する概念である。国内の適地探査地域としては、大別して、凸型の背斜構造を示す遮蔽層による構造トラップに期待できる貯留層(カテゴリ A とする)と、ゆるく傾斜した地層からなる帯水層による構造トラップと残留ガストラップに期待できる貯留層(B とする)がある。これまでの調査で、A は排出源近傍すなわち陸域にはあまりないことがわかっている。A (B) で301 (1160) 億 t-CO₂を貯留できるという試算もあり(RITE [(財)地球環境産業技術研究機構]、二酸化炭素地中貯留技術研究開発成果報告書(2006))、電気事業からの CO₂排出量(2006年度)の3.65億 t-CO₂から鑑みても大きな可能性を感じさせる。しかし、CO₂貯留を商業的に行っているのは、世界で4か所(ノルウェー2、カナダ、アルジェリア)のみであるのが実情である。ノルウェーでは、CO₂排出に対する課税措置が、海域地下への貯留事業を後押ししている。また、カナダ Weyburn では、油田に CO₂を圧入することで、石油を増産しようという目的もある。日本では、長岡での帯水層貯留(1万 t-CO₂)の実験例があるのみである。技術開発によるコスト削減も大きな課題であると考えられる。

海外の CCS 動向を概観する。EU は積極的に取り組んでおり、欧州議会で「CCS に関する EU 指令」が採択された(2008年12月)。石炭の使用割合が高い東欧への配慮もあり、CCS の義務化は見送られたが、CCS 適合性の評価、CCS 施設のためのスペース確保などが盛り込まれた。これを受けて、例えば英国では、電気法のプラント設置手続きの一環として、30万 kW 以上の燃焼発電プラント新設に対して、将来的に CCS への移行が保証されないプラントの新設は許可しない、つまり、「Capture Ready Plant」が義務化された(2009年4月)。CCS 技術の実証に向けた代表的な取り組みとして、英国政府による UK CCS Competition がある。これは、2014年の運転開始を目指した実証プロジェクト300MW 以上の燃焼後回収事業に補助を行うものである。2つの候補にまで絞られたということまでは聞こえてきているが、その後の動きははっきりしていない。燃焼後

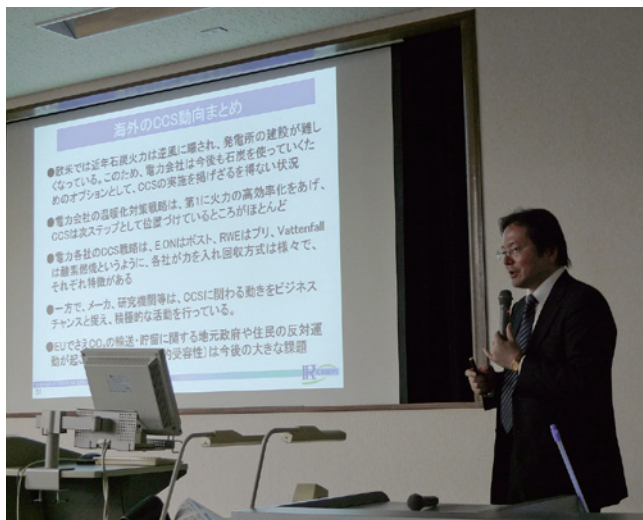
回収ということで、既設発電所への導入が想定されているが、これは、中国やインドなどへの早期売り込みというビジネス展開の側面も大いにある。E.ON (EU 第2位)、RWE (同3位)、Vattenfall (同5位)などの欧州電力会社も、ビジネスチャンスとしての側面もあり、様々な CO₂削減および CCS 戦略を展開している。また、米国でも、いったんエネルギー省(DOE)によって計画が大幅再編されていたが、オバマ政権下で復活し、実証機計画が進行している。オーストラリアは、石炭輸出国として、石炭への悪いイメージの払しょくも意図して、国および州政府のサポートによって、既設発電所での燃焼後回収 CCS 実証、IGCC などの幅広い開発計画が推進されている。しかし、CO₂の輸送・貯留に関する地元政府や近隣住民の反対運動も起こっているのが実情で、社会的受容性(PA)が今後の大きな課題である。

現在検討されている CO₂回収型発電技術として、(1)燃焼後回収システム(“Post”-Combustion)、(2)酸素燃焼システム(“Oxy-fuel” Combustion)、(3)CO₂回収型 IGCC (“Pre”-Combustion)の3方式がある。(1)は排煙処理の際に、アミンなどの CO₂吸収液を利用して回収する方式で、既設発電所への装着が容易であり、すでに実用化されている方式であるが、回収に必要なエネルギーの低減が課題である。(2)は、ボイラでの燃焼の際に、空気ではなく、酸素を注入して窒素フリーの燃焼を実現し、排煙を CO₂と水分のみにすることで、吸収液が不必要、水分除去のみでの回収を可能とする方式である。一部の CO₂を循環させてボイラでの燃焼に用いることで燃焼制御を行うことも可能である。実証段階であり、酸素製造動力の低減や腐食対策が課題として挙げられる。(3)は、ガス化炉を利用する“ガスコンバインドサイクル”で、ガス精製の後に、シフト反応器を置き、CO+H₂O → H₂+CO₂反応によって CO₂とし、それを吸収液で回収し、H₂をガスタービン/排熱回収ボイラに導入することで燃焼発電を行う方式である。実証段階であり、CO₂回収エネルギーの低減などが課題である。このような技術開発は進められているが、「発電+CCS」は、実証規模以上の実施は現時点でゼロである。また、100MW 以上の実証プロジェクトは、世界で91件[(1)46件、(2)9件、(3)36件]発表(2009年3月現在)されているが、アドバルーン的側面もあり、実施に移されるかどうかは不透明なものが多いのが実情である。排出権取引価格のオークション化の動向もあり、取引価格が不透明になるのではないかと懸念も、この“様子見”の背景になっていると言える。ただ、2015年くらいからは、いくつかは実施に移されるものがあるのではないかと考えられる。規模は小さいながらもプロジェクトが進んでいる例として、米国電力会社 AEP の Mountaineer 発電所(方式(1)、回収量10万 t/年、地下帯水層への貯留もこの規模では世界初2009年10月に実施)、ドイツ Vattenfall (方式(2)、ボイラ熱出力30MWth)などがある。Vattenfall では、近隣への貯留も計画されていたが、住民の反対運動によって未実施となっている。

100万 kW 発電所1か所での CO₂回収量としては、2万 t-CO₂/日(→500~600万 t-CO₂/年)が見込まれている。

CO₂分離・回収技術には、大別して3つの方式がある。化学吸収法、物理吸収法、膜分離法である。化学吸収法は、CO₂を化学反応で吸収液に吸収させる(40~60℃)方式であり、回収ガスのCO₂濃度は99%以上となっている。化学プラントなどで実用化されている実績があり、100t-CO₂/日クラスの回収プラントがすでに稼働している。Weyburnでは、約1万t-CO₂/日のプラントも稼働している。低圧低濃度の“Post”回収に適しているが、吸収液の再生に大きなエネルギーが必要であること、再生の際に蒸気を用いるため、蒸気タービンの出力が低下してしまう点が課題となっている。物理吸収法は、高圧のCO₂を吸収液に溶解(-15~10℃)させた後、減圧してCO₂を放散させて回収する方式であり、高圧ガスの湿式脱硫として実用化され、実プラントでの実績も豊富である。3000t-CO₂/日クラスのプラントもすでに稼働している。吸収液にH₂やCH₄も吸収されてしまうため、回収ガスにもこれらが混入し、回収ガスのCO₂濃度が95~98%と、化学吸収法に比べて低下してしまう課題がある。膜分離法は、高分子膜などでCO₂またはH₂を選択的に透過させて分離・回収する方式である。装置が簡単で、分離に必要なエネルギーが化学吸収法の3割程度で済むが、分離膜のコスト高、大容量化の困難さなどから、実用段階には至っていない。CO₂分離に必要な理論エネルギーは、回収ガスのCO₂のモル分率が高いほど、また、温度が低いほど高くなる傾向がある。しかし、実際にはこの理論値を大きく(~数倍)超えるエネルギーが必要となっている。

CCSコスト、発電効率の検討も進んでいる。新設石炭火力発電所に関して、100万t-CO₂/年を回収するとした場合、分離回収、昇圧、輸送、貯留を含めて、7000円/t-CO₂という試算がなされている。また、CO₂回収により、送電端効率(HHV)が2~3割程度低下することが予測され、発電コスト(円/kWh)も、回収を行うことで1.5倍、貯留まで行うことで2倍になるという試算もなされている。CO₂の回収、貯留を行うことでコスト高、効率低下を招き、より多くの石炭を使用することになりうる、ということが許容されるのかどうか検討も必要である。



ご講演中の犬丸先生

このような中で、IGCCは、微粉炭火力発電に比べて熱効率が高い(送電端で50%に迫る)、灰容積が少ない(微粉炭の約5割)、低灰融点炭向き(安価に入手できる可能性)などの特長を持っており、石炭を利用した高効率発電方式として研究開発が進められている。石炭ガス化炉では、噴射導入した石炭と、完全燃焼に必要な量の半分以下の空気入射によって部分酸化を起こすことで、COとH₂が生成される。このCO₂のガス化促進によって、チャー(石炭の燃え残り)の量も大幅に低減される。ライフサイクルCO₂排出量も、微粉炭火力発電より2割程度小さくなり、重油火力発電と同程度となる試算もある。IGCCでは、石炭を融かして運転するため、従来のUSC向きの高融点炭種よりも融点が高い(<1400℃程度)比較的安価な炭種が適している。日本に輸入可能な石炭量の4割強がこのような炭種であり、活用できる炭種の拡大は、石炭の有効利用にとっても意味のある特長である。

日本では、4半世紀に亘る空気吹きIGCC技術の開発経緯があり、石炭ガス化炉技術は純国産である。電中研横須賀におけるベンチ炉(2t/日、1983~1995)、IGC組合におけるパイロットプラント(200t/日、1991~1996)、そして、電力9社、電源開発、電中研が共同で設立した(株)クリーンコールパワー研究所による実証プラント(1700t/日、2007~)である。この実証機計画は、ガス化炉(空気吹き)、湿式ガス精製(吸収液使用)、ガスタービン(1200℃級)によって、出力250MW級、送電端の熱効率40.5%を実現しようとするもので、2007年度からの4年間の計画となっている。現在、2年ほどの試験を行い、さらに2010年度も試験を継続する計画である。電中研では、石炭ガス化炉内におけるガス化特性の数値シミュレーションなどの支援研究を行っている。

さらに、IGCC技術とCCS技術を組み合わせることで、CO₂回収を行っても高効率発電(送電端HHVで40%以上)が期待できる「CO₂回収型高効率IGCC」が電中研から提案されている。従来型のCO₂回収型IGCCでは、前述のシフト反応器、そこへの蒸気導入が必要であるが、高効率IGCCでは、石炭ガス化炉から回収したCO₂を、ガスタービン(酸素-CO₂燃焼クロズド・ガスタービン)での燃焼における酸化剤の一部として用いることにより、プラントの効率を大幅に向上させることができる。チャー回収装置、再生熱交換器など各要素機器のコンパクト化、ガスタービンの最適化設計とプラント制御方法の最適化、実用規模プラントのフィージビリティ・スタディによる性能およびコスト評価が今後の課題である。これらの課題解決に向けた取り組みの一例として、電中研/九州大学の産学連携による基盤研究事業(資源エネルギー庁/NEDO)「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」が、2008年から実施されている。来年度の中間評価の結果を受けて、2011~2012年度にベンチプラント基本設計に取り組む計画である。

このようなご講演内容に対して、予定時間を越えて活発な質疑応答がなされました。

Q: 回収したCO₂の行き先は?

A：勿来の実証プラントでは、いわき沖の枯渇ガス田への貯留が行われている。

Q：海外では多くのCCS実証プロジェクトが発表されているが、実現に移されない理由は？

A：経済性が一番の原因と考えられる。排出権取引のオークション化による価格不透明化への懸念もある。

Q：貯留したCO₂が万一漏れた場合の生物的影響は？

A：勿来では、もともとガス田であった所に貯留しているので、もともとのガス田からガスが漏れなかったという実績がある、と言える。微量の漏れは影響ないと考えられるが、莫大な量の漏れについては検討すべき課題であろう。海洋の場合、漁業権などへの配慮も必要であろう。

Q：ドイツで貯留地付近での反対運動があるという話があったが、反対運動の原因は？

A：CO₂がどういうものであるか、ということがきちんと伝わっていないことが原因に挙げられる。ある学会によるアンケートによると、CO₂が毒であると思ってい

る人も多いようである。市民への説明や広報活動が重要である。

Q：CCS技術に関して、「ビジネスチャンス」というお話があったが、具体的なビジネスモデルのようなものはあるのか？

A：吸収エネルギーの小さい吸収液の開発、CO₂回収プラント自体の売り込みなどが挙げられる。

Q：ガス化炉における燃焼で、「酸素導入、COが出る」と聞くと、危険性が懸念されるが？

A：化学プラントではすでに実績のある方式であるとともに、勿来の実証プラントでも若干の酸素導入で、ノウハウを蓄積している。4半世紀にわたる技術開発で、着実な検討を積み重ねてきている。

(文責：横山 雅之)

核融合科学研究所大型ヘリカル研究部
理論・データ解析研究系 准教授、
総合研究大学院大学 物理科学研究科
核融合科学専攻/兼任)

6

事務局だより

核融合科学研究会 平成22年度評議員会・総会のご案内

日時 平成22年5月25日(火) 午後2時半～3時半頃まで(予定)

場所 核融合科学研究所 管理棟 4階会議室

総会終了後、例年通り、講師の方をお迎えして、特別講演会も開催する予定です。
なお、総会及び特別講演会についての詳細は、後日お知らせさせていただきます。

編集後記

厳しき経済情勢にもかかわらず、核融合科学研究会の活動に格別のご高配を賜り、深く感謝申し上げます。
当研究会では、今後もこれまで以上に事業内容を充実させ、会員の皆様にとって有意義な研究会でありつづけるように努力してまいりたいと考えております。

ご意見ご感想などがございましたら、お気軽にお寄せください。

今後とも、当研究会ならびに核融合科学研究所への一層のご理解、ご支援をよろしくお願い申し上げます。

核融合科学研究会ニュース
第43号(2010年3月)

融 會

編集・発行
核融合科学研究会

〒509-5292 岐阜県土岐市下石町322-6

TEL 0572-58-0622 / FAX 0572-58-0626

E-mail: yu-kwai@tcp-ip.or.jp

URL: <http://www.nifs.ac.jp/yu-kwai/index.html>