

CO₂ の排出削減を通じて、 安全・安心で持続可能な社会の実現を目指す

九州大学

板岡 健之 教授
辻 健 教授
林 潤一郎 教授



富士電機 技術開発本部

技師長 吉田 隆
主席 齋藤 秀介
マネージャー 中川 功夫

九州大学の研究者と、富士電機の技術者が会し、温暖化の実情やエネルギー・環境技術の課題などについて語り合った。

CO₂ 排出が地球温暖化に及ぼす影響

司会 昨今、CO₂ の排出削減が盛んに叫ばれています。なぜ CO₂ の大気への排出を抑える必要があるのでしょうか。

板岡 大気中の CO₂ やメタンなどのガスは、毛布のように地球をくるみ、地球に入射した太陽エネルギーを宇宙に跳ね返すことを妨げます。これらを“温室効果ガス”と呼ぶのはそのためです。中でも CO₂ は、地球温暖化に大きな役割を果たしています。

温暖化がなぜ良くないかという点、第一に、水循環が活発化して大雨の頻度と程度が高まり、甚大な被害をもたらします。また、マラリアなどの動物媒介病も北上するでしょう。水の膨張と氷の溶解により海面が上がり、人が住む陸地も少なくなります。

こうしたデメリットを回避するためには、温暖化の原

因物質である CO₂ の濃度を安定化させなければいけません。CO₂ は自然排出もされますが、植物などによる吸収で均衡が保たれています。問題は CO₂ の人為的排出です。地下にあった炭素（化石燃料）を人為的に掘り出し地上で燃焼した結果、CO₂ 濃度が上昇しました。

辻 過去の地球の CO₂ 濃度の変化は、地層の記録からおおよそ推測できます。研究によると、数万年という長い時間を掛けて CO₂ 濃度が数十 ppm 上昇し、地球が温暖になった時期がありました。今はわずか数年で同程度上昇しています。多くの気候学者が、過去のデータを基に将来を予測しようと試みていますが、過去のデータが参考にならないほどのスピードです。つまり、このように急激な CO₂ 濃度の増加が地球環境に与える影響を予測できないところが怖いと思っています。

九州大学



板岡 健之

九州大学 教授
カーボンニュートラル・エネルギー国際
研究所 (I²CNER)
マルチスケール構造科学ユニット

カーボンニュートラル実現の社会全体の仕組みを研究している。CCUS についても取り組んでいる。



辻 健

九州大学 教授
大学院工学研究院 地球資源システム部門
カーボンニュートラル・エネルギー国際
研究所 (I²CNER)
マルチスケール構造科学ユニット長

元々は地質学、最近は資源探査、月や火星の探査、地熱発電などを研究テーマにしている。I²CNER では、CCS、特に CO₂ のモニタリング手法を開発している。



林 潤一郎

九州大学 教授
大学院総合理工学府 量子プロセス理工学
専攻
先導物質化学研究所

一貫して炭素系資源の変換利用に関わる研究に携わる。石炭に関する研究や最近では主にバイオマス変換を研究している。

CO₂ 濃度上昇がもたらす非可逆的な事態

司会 問題は濃度上昇のスピードなのですね。

辻 もう一つ重要な問題は、非可逆的な事態が今、起き始めているということです。例えば氷や雪が溶けると太陽光の反射率が低下し、太陽の熱をさらに吸収します。また、気温が上昇すると北極やロシアなどにあるメタンハイドレートが溶け、メタンが大気中に放出される。メタンはCO₂より温室効果が大きいガスなのです。

齋藤 毎年のように地球のどこかで大規模な森林火災が起きています。自然災害がCO₂濃度上昇に与える影響は大きいのでしょうか。

板岡 例えばインドネシアの温室効果ガスの推計を見ると、森林や泥炭の火災による排出が大きく、年によっては非常に突出した値となっています。これはあくまで人間の活動の影響です。しかし、山火事には温暖化の影響があるかもしれませんが、基本的には自然の影響と捉えられていて、地球規模で見ると自然の山火事よりも人為的排出が圧倒的に濃度上昇に寄与しています。

中川 地球の生命を維持する上で境界になるような、CO₂の値はあるのでしょうか。

林 私は門外漢ですが、その点については分からないというのが答えではないでしょうか。われわれ人間は気候変動に対して謙虚に、いい意味で正しく恐れて、そして未来の社会や産業のあり方を考えていくことが大事だと思います。

辻 人間はCO₂に強いと思っています。CO₂濃度計を研究室に設置していますが、1,000 ppmになっても何も感じません。ただ、CO₂に弱い生物が育たなくなるなど、

影響が出てくる可能性は大きいでしょうね。CO₂が海に溶け込みpHが下がれば、殻を持つ生物は生きにくくなる。そうしたことが回り回って人間に影響を与えることは十分に考えられます。

板岡 九州にはCO₂が湧いている温泉があります。軽く1,000 ppmを超えますが、皆さん気持ち良く入っていますね。

富士電機 の 取組み

吉田 富士電機の歴史は、エネルギーの歴史と言っても過言ではありません。事業分野も発電から送電、変電、配電、そして需要家サイドまで、エネルギー全般に関係した分野に展開しています。その中では、エネルギーの変換の効率を上げて省エネを図る取組みもあれば、地熱、水力、太陽光、風力、バイオマスなど再生可能エネルギー源の普及にも取り組んでいて、これらの事業を通してCO₂の発生を抑えることに努力してきた会社だと自負しています。

今、CO₂のゼロエミッションという新しいメッセージが世界規模で出てきています。カーボンニュートラルに対して、どういったソリューションを探索し作り上げていけるかが、今後の課題だと考えます。

齋藤 富士電機の主な視点は、CO₂がなるべく出ないように効率を上げ、電化するというものでした。しかしこれからは、排出したCO₂を回収するという視点も必要だと感じています。

中川 CO₂を回収する技術開発も重要ですが、企業人としてはいかに低コスト化して利益を上げるかということも考える必要がある。先生方のアドバイスを生かし、推

富士電機



吉田 隆

技術開発本部 技師長



齋藤 秀介

技術開発本部 技術戦略室 イノベーション推進部 主席



中川 功夫

技術開発本部 先端技術研究所 エネルギー技術研究センター
熱エネルギー技術研究部 マネージャー

太陽電池、パワー半導体、エネルギー変換など富士電機の技術全般に従事してきた。

富士電機が将来取り組むべき技術を調査・探索する技術マーケティングに従事。最近ではカーボンニュートラルにも取り組んでいる。

燃料電池の研究開発に携わり、水素を取り出す改質器や脱硫器、化石燃料から水素を取り出す反応器、触媒の利用技術の研究開発を中心に従事してきた。

進していきたいです。

吉田 再生可能エネルギーをどのくらい日本が使いこなせるかも問題です。再生可能エネルギーの量を増やすことを試みると、系統側に大きな負荷が掛かります。その課題に対し、富士電機ではパワエレ技術をベースにした安定化装置や制御装置などで、系統の安定化に貢献しています。

電化だけでエネルギーは成り立つのか

林 温暖化対策を考える上で大事なキーワードが二つあります。一つは電化です。私自身は、電化は進めるべきだと考えています。最近の日本の電力の発電量（電力生産量）は1億kWくらいです。今後はモビリティの電化が急速に進むでしょうし、今は燃料を焚いて温めている加熱も電化するとすると、電力需要は今より明らかに多くなります。極端に言えば倍になってもおかしくありません。具体的に言えば、CO₂を多く排出している製鉄業を仮に電化した場合、最近の試算では3,000億kWは下りません。

これだけの電力需要量を太陽光発電で賄おうとすると、パネルの設置面積は、わが国の宅地面積を大きく超えてしまいます。太陽光発電の普及に期待していますが、将来的にどこまでやるべきかという議論がほとんどなされていないような気がします。

もう一つのキーワードはCO₂です。世界で今、年間300億tくらいのCO₂が排出されていると言われており、これは膨大な量です。御社としての技術開発への取り組みについてお話がありましたが、民間企業だけに対策を委ねるのではなく、政府が積極的に主導していくべき時期に来ているのではないかという思いもあります。

吉田 太陽光パネルの設置面積が足りないのは明白です。太陽光に風力などをプラスして、さらに足りない電力をどうするかは、1社だけではなく国全体で考えなければいけないテーマだと感じています。

発電の世界でいうと、発電量と需要量は一致させなくては行かなくて、電力に携わる者はいかに一致させるかに苦労しています。今の発電の主役はガス火力で、発電量と需要量の調整役でもあります。今後その調整の役割をどうしていくのか、未来像をきちんと描く必要があると思います。

CO₂の大幅削減に有望な CCS^{*2}

齋藤 CO₂を日本近海にCCS技術で埋めることを増やしていけば、今のエネルギーシステムのままもう少しいけるだろうと思うのですが、辻先生、いかがでしょうか。

辻 CCSはコストがさほど安くないなどの問題はありますが、近未来的に大量のCO₂を削減するには、CCSは非常に有効な技術だと思います。

齋藤 日本でCCSが進まないのはなぜでしょうか。

辻 CO₂問題を一挙に解決するドリームテクノロジーが生まれることを期待し過ぎているように感じます。どのようなCO₂削減技術にも長所と短所があります。CO₂削減技術では、三つのファクターを考えなくてはなりません。一つ目は、どれくらいのCO₂を減らせるかということ。二つ目は、CO₂をいつまでに減らせるかということ。そして三つ目はコストです。この三つをすべて満たす技術は今のところありませんし、その技術を開発している間にもCO₂濃度はどんどん上がってしまいます。

CCSは三つのファクターのうち、一つ目、二つ目の点では魅力的な技術です。そもそもCO₂は地下にたくさんあり、そこに埋め戻すだけですから。

板岡 世界全体でカーボンニュートラルを2050年で実現させることは大変難しい。先進国は2050年での実現に向かって努力していますが、現実的には再生可能エネルギーを中心としたニュートラルな姿の実現は2070年や2100年でしょう。そこにつなぐためのブリッジテクノロジーとしてCCSを使っていくことは重要だと考えます。

吉田 再生可能エネルギー比率が増えているドイツなどでは、電気の価格が高くなってきています。これはFIT制度^{*3}などの賦課金^{*4}によるもので、特に、家庭用の電気料金が高くなっています。カーボンニュートラルの実現に向けて、これから社会の仕組みはどうなっていくのでしょうか。

林 エネルギー価格は、これまで低過ぎたと思います。低いと大胆な技術革新がどうしても抑えられる傾向にあります。日本は緊縮財政を続けていますが、欧米は考え方を始めました。マクロ的な視点で経済に対する考え方・見方を変えていかないと、エネルギー問題は解決しないのではないかと思います。CCSも、確かに新しいシステムの導入にはコストがかかります。しかし、CCSによってGDPが生み出されるという見方もあるわけですね。

板岡 エネルギー価格が低過ぎたことについて、私も同感です。現在少額の温暖化対策のための税がかかっていますが、近い将来、カーボンプライシングが生活に影響を与えるようなレベルになるでしょう。社会全体での温暖化対策に対する金銭的負担と引き替えに社会的厚生を上げるという考え方で社会の全体像を捉えるわけです。グリーンGDPなど、今のGDPを超えた価値基準で、社会を再評価する仕組みをつくる必要があると思います。

世界的な視点でカーボンニュートラルを捉える

吉田 世界に目を転じると、発展途上国もCO₂を多く排出しています。2050年にカーボンニュートラルを目指す中で、日本は対外的にはどうしていったらいいのでしょうか。

板岡 カーボン削減のためのお金の掛け方という点では、日本の場合は、よりカーボンの少ない燃料に替える、あ



るいは太陽光発電のように価格が下がっている再生可能エネルギーから始めるなどが考えられます。しかし、それだけでは削減はならず、お金の掛かる方法でも削減していかないと、カーボンニュートラルに行き着かないという状況です。

それに比べれば、途上国で削減するほうがはるかに安く済みます。世界が取り組んでいるのは、地球全体でCO₂濃度を安定化させる、気温を大きく上げないことなので、目的の整合性から考えれば、一国の目標というよりも世界で削減コストを捉え、安い国や地域で削減していくことがベストなわけです。そう考えるとカーボン・クレジットの導入は必然と言えます。とにかく安く温室効果ガス排出を下げやすいところで下げる努力を、地球全体で進めなければいけません。

辻 CCSについて言えば、IEAの1.5℃シナリオを達成するためには、15%程度の量のCO₂をCCSによって削減しなければなりません。そのためには年間100万tのCO₂を貯留できる場所が、世界中に6,000か所ほど必要になります。日本の周辺にもCO₂を貯留できる場所が多く存在しますが、大量のCO₂を日本周辺だけで貯留するには課題もありますから、世界全体でCO₂を貯留しやすいところで貯留すべきです。そうなってきたときは二国間取引のようなシステムが必要になります。

燃焼系エネルギーの可能性を探る

林 石炭火力でいうと、途上国に日本の技術を輸出していくことはCO₂削減に効果的だという議論が以前からありましたが、国際的に理解を得られなくなってきたのが実状です。石炭火力だけを押し通すことは極めて難しく、CCSがプラスされない限り厳しいと思っています。

板岡 安いエネルギー、特に電気へのアクセスを保証することは、SDGsでも取り上げられるように非常に重要な

ことですが、安定供給ができて最も安いエネルギーは石炭なのですね。もっとエネルギーを普及しなければいけないのに、石炭が使えないとなると逆に困ってしまう。石炭は単位当たりのCO₂排出量が圧倒的に高く、何とかしなければいけません。世界全体の持続的成長を担保するために、何を使ってエネルギー供給していくべきかは、大きな課題です。

齋藤 燃焼系エネルギーでは、バイオマスが考えられます。地球上のバイオマスの利用可能な量を算出すると、世界が1年間で使うエネルギー量に匹敵するという報告があります。資源としてのポテンシャル量は十分にあり、あまりコストが掛からないのであれば有望だと思うのですが、技術的ハードルが高いのでしょうか。

板岡 バイオマスは既存のエネルギーシステムとの互換性も良く、一時は大いに注目されました。地産地消という観点からもバイオマスを利用していく社会は、可能性としてあるように思います。

林 化石資源を代替するという意味では、バイオマスを利用しない手はないでしょう。まず世界的に取り組まなければいけないことは、ポテンシャルと現実に定常的に使える量のギャップをどう埋めるかということです。木質バイオマスであれば、植林によるサイクルの確立や、輸送も含めたサプライチェーン、インフラなどです。ヨーロッパは寒冷地が多く、早くから排熱利用する発電が進んでいました。森林の路網の整備が進み、その密度が高く、お手本になります。一方、途上国では農業バイオマスが多く、森林のように集積する必要がありません。

ただ、バイオマスは太陽光などに比べると、電力資源として効率がいいわけではありません。私はバイオマスを炭素源として、化学工業や製鉄業の還元剤に利用するのがいいと思います。

化学向けのバイオマス研究開発はかなりの勢いで進ん

でいます。ヨーロッパで多額の資金が投下されていますし、アメリカも継続的に研究しています。

板岡 供給側の持続的・安定的・環境整合的なバイオマスの供給が課題です。燃焼系で使うとすると、流動床炉では石炭でもバイオマスでも、両方とも燃やせますし、今の火力発電システムと整合性がある。再生可能エネルギーの調整電源としても有望でしょう。特に系統安定性を考えた場合、回転系で慣性力がある発電を残すとすると、その一翼を担う可能性がバイオマスにはあると思います。

林 日本は、バイオマスの供給システムを整えてパッケージとして輸出できる可能性もあります。

例えば農業バイオマスの場合、カリウムなど肥料起源の厄介物を低コストで処理する供給システムです。そこには、その地域の人たちへの教育も含むべきです。水道のようなインフラとは違う、環境というエッセンスが入ったトータルパッケージを日本発で実現していくわけです。土地によってバイオマスの質が違うので、土地の状態にカスタマイズしていけるエンジニアリングは需要が高いと思います。

脱炭素社会の実現に向けて技術の集結を

板岡 技術を総動員した温暖化対策が求められています。安くて使い勝手のいい技術を、よいタイミングで選び導入していくことです。カーボンリサイクル系の技術には、リサイクルに必要なエネルギーやコストが掛かるものもあります。そうした経済性も含めてきちんとした評価をもとに導入すれば、仕組みも整うのではないのでしょうか。

辻 江戸時代の生活に戻ったらいいのではないかという議論もありますが、技術を捨てて過去に戻ることは難しいです。下手をすると、もっとCO₂を出してしまいます。やはり科学技術の力で、大気中のCO₂を減らしていかなければいけません。

地球の中には、元々カーボンがたくさんありました。地中をうまく使って、地球全体でCO₂をマネジメントしたいというのが私の夢です。将来もしかしたら寒冷期が到来するかもしれません。そういうときは地中に眠っているCO₂を外に出して地球を暖め、気温が高くなってきたらCO₂を地下に埋め戻す。部屋のように地球全体の大気をコントロールするイメージです。

CCSでは、CO₂を鉱物化する技術も出てきています。アイスランドでは圧入したCO₂の約95%が2年以内で鉱物化しました。結構速いスピードで安定してCO₂を

貯留できます。

また、大気中からCO₂を回収する技術(DAC^{*6})は非常に注目されていますが、ドリームプロジェクトとも言う人も多いです。大気中からCO₂を回収しても、濃縮した高濃度のCO₂を作ることが難しいのです。ただ、大気中から回収されるCO₂の不純物は酸素や窒素などで、有害物質ではありませんから、地下と一緒に埋められるのではないかという新しいコンセプトも考えられています。それらをうまく組み合わせれば、今、皆さんが考えているよりも安全で安価なCCSができるのではないかと思います。

林 いい技術はたくさん生まれていますが、実装が追いつかず賞味期限が切れてしまう。昨今のエネルギー分野には、そういう歯がゆさを感じています。後倒しできない技術の検討の時期に差し掛かっているのではないのでしょうか。

中川 技術の視点で多くのアドバイスがありましたので、いろいろ参考にさせていただきたいなと感じました。市民レベルで考えたとき、社会全体として脱炭素への啓蒙活動や教育の必要性も感じました。

齋藤 議論でもありましたが、環境と経済の問題を両立させないと、いい技術があっても普及はしないと思っています。これからも先生方の研究を活用させていただきながら、われわれも社会貢献できるようなものを開発していきたいと思いました。

吉田 カーボンニュートラルは難しさもありますが、エネルギーに関連した仕事をしている以上、意気に感じて取り組んでいかなければならないことを再確認しました。みんなで人類に貢献していきたいなと思いました。どうもありがとうございました。

* 1 CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) : CO₂の回収・有効利用・貯留

* 2 CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) : CO₂の回収・貯留

* 3 FIT (Feed-in Tariff) : 再生可能エネルギーの固定価格買取制度

* 4 賦課金 : 再生可能エネルギーで発電した電気の買取りのために、電気の利用者から集められた費用

* 5 IEA (International Energy Agency) : 国際エネルギー機関

* 6 DAC : Direct Air Capture

* 撮影時以外はマスクを着用し、撮影中は会話を行わないなど、新型コロナウイルス感染症への対策を行った上で撮影しています。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。