

地球温暖化・エネルギー対策調査特別委員会会議記録

地球温暖化・エネルギー対策調査特別委員長 柳村 一

- 1 日時
令和4年9月1日（木曜日）
午前10時1分開会、午前11時31分散会
- 2 場所
第2委員会室
- 3 出席委員
柳村一委員長、山下正勝副委員長、佐々木順一委員、郷右近浩委員、千葉伝委員、
佐々木茂光委員、川村伸浩委員、斉藤信委員
- 4 欠席委員
佐々木朋和委員、千葉絢子委員
- 5 事務局職員
角館担当書記、古澤担当書記
- 6 説明のため出席した者
大阪公立大学人工光合成研究センター
教授・センター所長 天尾 豊 氏
- 7 一般傍聴者
なし
- 8 会議に付した事件
 - (1) 調査
人工光合成技術の可能性
 - (2) その他
 - ア 次回の委員会運営等について
 - イ 委員会県外調査について

9 議事の内容

○柳村一委員長 ただいまから、地球温暖化・エネルギー対策調査特別委員会を開会いたします。

佐々木朋和委員、千葉絢子委員は、所用のため欠席とのことでありますので、御了承願います。

これより、本日の会議を開きます。

本日は、お手元に配付しております日程のとおり、人工光合成技術の可能性について、調査を行いたいと思います。

本日は、講師として大阪公立大学人工光合成研究センター 教授・センター所長の天尾

豊様をお招きいたしておりますので、御紹介いたします。

○**天尾豊参考人** ただいま御紹介いただきました大阪公立大学の天尾と申します。この4月から、私がかつともいた大阪市立大学と大阪府立大学が統合し、一つの大阪公立大学になりました。引き続き人工光合成の研究を大学の要として進めていくことになっております。きょうは、少しでも参考になる情報を提供できればと思っております。よろしくお願いいたします。

○**柳村一委員長** よろしく御願いたします。天尾様の御略歴につきましては、お手元に配付している資料のとおりでございます。

本日は、人工光合成技術の可能性と題しまして、お話しいただくこととしております。

天尾様におかれましては、御多忙のところ、この度の御講演をお引き受けいただき、改めて感謝申し上げます。

これから、お話をいただくことといたしますが、後ほど、天尾様を交えての質疑・意見交換の時間を設けておりますので、御了承願いたいと思います。

それでは、天尾様、よろしくお願いいたします。

○**天尾豊参考人** よろしく御願いたします。本日は、人工光合成技術の可能性と題しまして、1時間ほどお時間をいただいております。通常ですと、資料を大体60枚は用意してお話ししますが、この人工光合成というのは、理系の学生でも比較的的理解し難いところがあるため、少し枚数を減らして、詳しくお話ししたいと思います。

本日の内容ですが、ここに書いた3点についてお話しさせていただきます。1番目に、皆様も御存知とは思いますが、日本を取り巻く環境問題、特に二酸化炭素の問題とはどこが問題なのかということをお話しさせていただきたいと思います。2番目に、人工光合成技術とはと題しまして、天然の光合成に対しこれを人工光合成としたときに、何を目標にするのか、どんな違いがあるのかというところをお話しさせていただきます。3番目に、次世代エネルギーとしての人工光合成技術について、私たちの研究センターで進めている以外で、日本をリードしている研究をいくつか御紹介しながら、お話しさせていただきます。

最初に、日本を取り巻く環境問題について、こちらの動画をごらんください。これは地球全体の年平均気温の推移を表しており、日本はここです。産業革命あたりの1837年くらいから現代に至るまで、地球全体で気温がだんだん上昇傾向にあることがわかります。ここに温度のバーがありますが、青は気温が低く、赤に行くに従って気温が高くなっていきます。2013年から2017年と、つい最近のところで見ると、やはりロシアや中国、南米、そして発展途上国などで少し気温が上がっています。絶対値ですから、北極のところも気温が上がっています。

これを日本で見てみます。2020年を起点とし、過去にさかのぼって年平均気温を見ていくと、明治時代には、やはり1.5度くらい低かったということがわかります。上がったたり下がったりを繰り返していますが、平均的に、科学的に見ると、確かに直線的に上がって

いる形となっています。明治時代、大正時代、そして昭和時代へと鉄道が進化していく過程で、平均気温もずっと上がってきていることがわかるかと思います。私が中学生や高校生のころ、学校の教室にクーラーはありませんでしたし、家にも一つの部屋にあるくらいで、確かに暑さに耐えてはいましたが、週末だけ使うくらいでした。私はこれまで東京都や大分県にも赴任してきましたが、今の大阪府は冷房がないととても暑さに耐えられませんか、確かに気温が上がっていると感じます。これが産業活動で上がっているのか、あるいは地球の何億年かの中の短いスパンで上がっているのかという議論はありますが、このように地球が温まっていることは確実です。世界と比較して、日本も例外なく平均気温が上昇しており、確かに気候変動が起こっていると言えます。

次に、気候変動枠組条約締約国会議について、お話します。一番有名なのはフランスで開催されたCOP21で、そちらについては後ほど少しお話しさせていただきますが、その前にこの二酸化炭素の問題を提起したのは、実は、1997年の12月に京都府で開催されたCOP3です。ここで二酸化炭素の問題を真剣に考えましょうということが話し合われ、いわゆる京都議定書ができました。それからずっと時を経て、ここで決めたことには守られた部分もありますが、結局、なかなかうまく行かずずっと進んできてしまったため、このままでは本当に地球全体が危ないのではないかということで、2015年のCOP21において、もう一度二酸化炭素の問題について話し合われました。その後も、このパリ協定を進めるためにはどうしたらいいかということでずっと進んできており、ことしはエジプトで開催される予定です。

京都議定書で何が話し合われたかということ、当時は、温室効果ガスの削減と言われており、二酸化炭素以外にもメタンや代替フロンなどのほか、硫黄とフッ素の化合物のような、いわゆる冷媒などで使われているものを6種類選び、これらを減らしましょうということでした。少し古い話になってしまい恐縮ですが、この1997年から10年後にスタートし、2012年までが第1約束期間で、それも既に10年前に終わっているのですけれども、実は、達成できた部分はあまりありません。

京都議定書でどういう目標が立てられていたかということ、二酸化炭素については、基準年を1990年とし、総排出量を少なくとも5%減らしましょうというものでした。当時、EUはちょうど一緒になるかならないかの瀬戸際でしたが、全体でマイナス8%、アメリカも2001年に離脱を表明してしまうものの、マイナス7%を目標としていました。日本の目標のマイナス6%とは、カナダやポーランド、ハンガリーと同じぐらいの目標でした。一応、この期間にさまざまな努力がなされたのですが、結局、有効に減らすというところまでは至りませんでした。このグラフは、2007年の京都議定書を発効する直前に、各国がどれぐらい二酸化炭素を排出していたかを示しています。国の面積に大体比例していますが、中国、アメリカ、ロシア、インド、その次に日本が来て、ドイツ、イギリス、カナダとこのような順番になっており、大体4割は中国とアメリカで占めている形です。全体で300億トンぐらいのうちの大体4%は、当時の日本が出していたということになります。

ここから、少し二酸化炭素のお話をします。先ほど、地球全体の温度変化をお見せしましたが、今度は地球全体の大気中二酸化炭素濃度の推移を動画でお見せします。青や紫のほうがかすんで、赤いほうが濃くなるというふうに見てください。1985年から見ていくと、このあたりはずっと青ですが、2000年を境にどんどん濃くなってきて、やはり先ほどの気温と同じように、地球全体が真っ赤になってしまいます。2020年近くになるとかなり濃くなっており、警鐘を鳴らすための動画としては非常に見やすいものですが、実は、大気中の濃度としては大体0.03%が0.04%になったということですから、0.01%ぐらい濃くなったということです。一方で、工場などで排出された二酸化炭素が、薄まっても全体としてこれぐらいふえているということからいくと、やはり、局所的にふえているところを何とかしていかなければいけないのだということがわかります。

教科書では、大気中の分布は大体窒素が8割で酸素が2割と書いてありますが、このグラフで二酸化炭素はこの部分です。白の部分ではなく、この横の線の部分です。このぐらいしかないのですが、1985年には大気を45リットルのごみ袋にとるとその中に二酸化炭素は3グラムぐらい入っていたところ、2016年には4グラムぐらいにまでふえてきています。日本全体を箱として考えたとき、大気中で二酸化炭素が97万トンから128万トンぐらいまでふえている計算ですから、全体としては、やはりふえていると認識せざるを得ないということです。

先ほどの京都議定書のときは、いろいろなガスをターゲットにしていますが、だんだん時がたつと二酸化炭素が少し悪者になってきて、パリ協定では、まず明治初期ぐらいの二酸化炭素濃度に戻さなければいけないということで、産業革命前からの世界の平均気温上昇を2度未満、1.5度未満に抑えなければいけないということになりました。現在、我々技術者も含め、企業もかなりいろいろな取り組みをしており、実は、二酸化炭素は少しずつ減ってきています。このオレンジ色の傾きのとおり、あと8年後の2030年には、3割ぐらいまでは減らせるだろうという見込みです。ただし、2050年にさらに8割ぐらいを減らすには、従来の取り組みの延長では無理ですから、ここからもう一段傾きを下げる努力が必要です。思い切った技術革新が求められていると書かせていただきましたが、従来の取り組みにプラスして何か新しいことを考えていく必要があるという現状です。

そうは言っても、世界の二酸化炭素排出量を見てみると、2009年には291億トンだったところ、3年前だと335億トンですから、結局、頭打ちになっています。先ほどお見せした2007年のグラフからこの比率はあまり変わっておらず、日本は4%を切って3%ぐらいまで来ていますが、国別の排出量割合にそこまで大きな変化はないということが言えます。

パリ協定では、各国がどのような形でどのぐらい二酸化炭素を減らすかという目標を定めているのですが、実は、この削減目標の数値には、大きく見せるいろいろなマジックをかけることができます。例えば、中国やインドのGDP当たりの二酸化炭素排出量とは、実質GDPで国の二酸化炭素排出量を割るという計算で、それが低くなれば効率的な製造構造になっているということが言えます。つまり、分母となる実質GDPがふえれば、二

酸化炭素をたくさん出したとしても、パーセンテージは減らせるということです。ほかに、そのスタート時点を変えて大きくすることもできますし、EUのように単純に40%削減しようというところもあり、それぞれのお国柄が見えてきます。その中で日本は、2013年比で2030年までに大体26%を削減しようとしています。

では、本当に地球温暖化は危ないのかということについてです。確かに、最近異常な暑さが続いていますし、各地で起きる高潮や洪水、生態系の変化、インフラの機能停止、乾燥、猛暑、それから大雨など、このあたりは確かに、今の気候変動に起因するのではないかと考えられているところもあります。ただ、冒頭にもお話ししましたが、それが産業活動によるものなのか、あるいは地球の長い歴史の中での変動なのかについては、そんなに議論されていないところがあるため、後者の可能性も少し残しているということです。その可能性ですと、我々としてはなかなか対処しづらいところがありますが、産業活動で排出される二酸化炭素がこれらの事象に直結するのであれば、減らさなければいけないということを念頭に考えていく必要があるでしょう。

次に、地球が温まる仕組みについてです。まず、地球を覆っているオゾンなどいろいろな温室効果ガスの層が適度であれば、余分な熱を宇宙に逃がしてくれるため、地球は温まりません。では、最近はどうなっているかということ、たくさん出た二酸化炭素がたまってこの層が厚くなり、余分な熱が宇宙に逃げず、層にぶつかってまた戻ってきてしまうため、地球全体が先ほどの動画のように温まっています。また別な話ですが、オゾンホールは、逆に紫外線が層を抜けて入ってきてしまうため、それもまた危険ということになります。

さて、それでは二酸化炭素とは一体どういうものなのでしょう。二酸化炭素とは、有機物を燃やしたときに出る炭素の酸化物で、地球上で最も安定的かつ代表的な無機化合物です。基本的に、それ以上は何にも変わりません。我々も呼吸をすれば、最終的に二酸化炭素を排出するのと同じで、有機物が燃えた後の燃えかすということです。ただし、何にも使えないものかということそうではなくて、身近で比較的使われています。気体は炭酸ガスで、例えば、金属加工の炭酸ガスレーザーなどに使われています。また、冷やせばドライアイスとして冷媒になります。ほかにも、水に吹き込めばいわゆる炭酸水になり、飲料水としても使われていますから、実は、用途がないわけではありません。よって、これらの用途と、産業活動で出てくる二酸化炭素のバランスを取っていくという必要があります。ただし、炭水化物の燃えかすですから、それを活用するため有機物に戻そうとすれば、知恵もいるし、恐らく結構エネルギーもかかるだろうということです。

現在、二酸化炭素を地中に埋めてしまおうという大規模な実証試験が苫小牧市で進んでいます。工場の横にパイプラインを掘り二酸化炭素を地中に埋めてしまい、大気中から物理的に隔離するというものです。ただ埋めるだけですから、処理方法としては非常に簡単ですが、二酸化炭素が地層の中で何か別の有用物質に変わってくれるようなことがなければ、もう生産性がないということになります。緊急避難的に二酸化炭素を減らす技術としてはいいですが、まだ、本当に地層に収まった二酸化炭素がこちら側に出てこないかとい

うあたりも少し疑問があります。ですから、物理的に二酸化炭素を減らす方法の一つではありますが、恐らくこれだけでは何も事が進みません。

この図のように、例えば、工場で出た二酸化炭素を人工的に燃料や化成品に変え、有効的に再利用する方法を確立した上で、先ほどの地中貯留や、もう一度木を植え直し天然の光合成で二酸化炭素の吸収量をふやすという自然に任せる方法などと、バランスを取りながら組んで二酸化炭素を減らしていくことが必要となります。そこで、人工光合成という話が出てきます。

では、人工光合成とはどういうものなのかということをお話します。まず、一般的な小学校や中学校、高校も含め、学校の教科書では、自然界の光合成とは、葉っぱが太陽光エネルギーを使い、炭酸ガスと水から炭水化物のブドウ糖やでん粉をつくって酸素を放出するという、大体こういう記述しかありません。少し進んだ教科書では、葉っぱのイラストに細かく細胞が書かれていて、ここに葉緑体があって光合成が起こるということが書かれています。この光合成がなぜ再生可能エネルギー技術としてずっと注目されてきたかということ、太陽光エネルギーが使えて、かつ二酸化炭素がブドウ糖に変わるという点からです。ブドウ糖は葉っぱが生きていくためのエネルギーですから、太陽光と二酸化炭素からエネルギーが取れるということで、古くから太陽光エネルギー利用として注目されてきました。葉っぱの中で起こっている現象は、我々科学者としては興味があります。光合成を解明し人工的に模倣することで、太陽光と二酸化炭素から、ブドウ糖ではなくとも何か有用なものをつくり、二酸化炭素を積極的に有用なものに変えられないかと昔から注目されてきました。

光合成とは、実に複雑な反応が関わっています。二酸化炭素を原料にブドウ糖をつくるためのエネルギーや還元力を太陽からもらう過程は、光に関わるため明反応、二酸化炭素を原料にブドウ糖をつくる過程は、光に関わらないため暗反応と言われ、この二つが連動し、最終的に二酸化炭素からエネルギーをつくります。なかなか人工光合成の研究が進まなかった理由の一つとして、このような光合成の反応過程が、あまりにも複雑だったということがあります。

次は、このように解明した反応過程の一つ一つを、人工的に再現する研究となります。私たちの大学におられる神谷特別招聘教授が、水を分解して酸素発生させるたんぱく質の構造解明という、結晶をつくってたんぱく質はこんな形になっているということを見だし、ノーベル賞候補となっています。ただ、これがすぐにエネルギーにつながるかというと、そういうわけではありません。将来的には再生可能エネルギーの利用につながるかもしれないかもしれませんが、やはり学術的な研究の側面が多いため、こういうものができても、ある種、すごいですねというところで終わってしまいます。一方、これは、まだ学術的なところも脱していませんが、一部では少し実用化の研究にも進んできています。光合成の複雑な反応過程を単純化していき、その重要部分をまねて有用物をつくり出すというもので、例えば、葉っぱに似たようなものをつくり、そこに二酸化炭素を入れて光を当て、二酸化炭素

を化学原料の一酸化炭素やメタノールなどの燃料に変えるというものです。ほかにも、水を光分解して水素をつくる、炭酸ガスをベースにプラスチックなどの有用物質に変えていくという人工光合成の研究もあります。私の研究は下のほうです。上のほうはとても時間がかかってしまうため、そういう意味では、実用化に向けてこの人工光合成というものが一つの鍵となってきます。

イラストにするとこのような形です。化学式で申し訳ありませんが、これは6個の水と6個の二酸化炭素という意味で、光が当たると、6個の酸素と1個のブドウ糖ができるという反応です。二酸化炭素とは、先ほどもお話したように炭水化物の最終酸化物、つまり燃えかすで、水は水素が燃えた後の最終酸化物です。どちらも安定しているものに光を当ててブドウ糖ができるということですから、非常に不思議な反応です。放っておけばこんなことはできませんが、こういう光エネルギーや光合成の仕組みが、この非常に難しい反応を単純化し、それを使って植物たちは生きているということです。この反応はなかなか実現できませんが、これを人工光合成にして、葉っぱに似たようなこういうものをつくり、光を当てて、例えば、水を分解して酸素と水素にするとか、二酸化炭素を一酸化炭素やギ酸、メタノールのような炭素が少ない燃料に変えるということが、この人工光合成の今のトレンドと言えるかと思います。少し熱量としては少ないですが、燃えたときに出てくる二酸化炭素が少ない燃料をつくっていくことが可能になってきます。

人工光合成というと、世界各国で研究が進められているのではないかと、あるいは結構しのぎを削っているのではないかという感じを持たれるかもしれませんが、そんなことはあまりなくて、実は、もともとこういう現象を見つけたのは日本人です。1972年に、もうお亡くなりましたが、本多先生と藤嶋先生がいわゆる本多—藤嶋効果を発見しました。これは、京都で舞子さんが塗るおしろいに含まれている酸化チタンという物質と白金というものを使い、酸化チタンのほうに紫外線を当てると、酸化チタン側から酸素が出て、白金側から水素が出るという、いわゆる水の光分解が初めてできた例です。この記事は、1974年1月1日の朝日新聞1面に出ていたものですが、当時、実は少し今と同じ感じで、オイルショックが起き石油が足りないという時期だったため、太陽光から水素をつくることができるという水素の活用が非常に注目されました。それがこういう葉っぱの現象と同じようであるというところから、これを契機に人工光合成を含めていろいろな研究が進んできたということです。

さて、では二酸化炭素の利用のために、どのように太陽光をマネジメントしていくかというところに興味湧いてくるわけですが、これも間違った情報を与えられがちです。これらは、NEDOなどのホームページに出ているものです。地球に降り注ぐ太陽光のエネルギーは、大体1時間で世界の人類が1年間で消費するエネルギーに匹敵するとか、太陽エネルギーは二酸化炭素や有害物質を排出することがなくクリーンで、かつ数十億年消えることのない無尽蔵のエネルギーであるというのは間違いではありません。結構惹かれますし、一般の方もこれを大学の教員が言っているのだから正しいのではないかと、期待を

持ってしまうところもあるかと思えます。しかし、こういう数字にはつられてしまうところもあります。例えば、太陽エネルギーは地球のエネルギー消費量の1万倍、日本のエネルギー消費量の100倍だと言われると、これがあればほかの電源は要らないのではと思ってしまうし、また、太陽光の1時間分が地球2個分の消費エネルギー1年分に匹敵するというのも、もちろん間違っていないのですが、これはあくまで、地球に降り注ぐ全ての太陽光エネルギーを使った場合にこれぐらいということであり、実際に全ての太陽光エネルギーを使えるかということそんなことはできません。その辺をどういうふうに正しく理解していくかということです。

太陽光発電のソーラーパネルがその一例です。太陽光は、日焼けする紫外線からスタートして、赤外線までこういう分布となっています。我々が目に見えるような可視光線や赤外線の部分が非常に大きな強度分布ですが、従来の太陽光電池では、実は、紫外線の部分だけしか使われていません。あとの部分は捨てていることになるため、当然、ここを使うことを考えなければいけないということになります。一方で、ここだけを使ってもある程度発電ができるということは、太陽光電池の非常に優れた技術革新と考えられます。ですから、太陽光を使うという点では、やはり、この目に見える可視光線なども含めて進めなければ、先ほどお話ししたところに達成することはなかなかできないということになります。

さて、ここまで御説明したことを頭に入れておいていただき、ここからは、次世代エネルギーに関して、この人工光合成がどのように対応できるかということをお話ししていきたいと思えます。

実は、先ほど出てきた太陽光の話は、1974年ぐらいから日本の新エネルギー研究プロジェクトとしてずっと進んできており、サンシャイン計画やムーンライト計画などとして、数千億円単位の結構な額が投入されてきました。重点研究分野としては、石炭の液化や地熱利用、太陽光発電、水素エネルギーの技術開発などがあり、これらが新エネルギーとなっていました。私はもともと光合成には興味を持っていましたが、1992年、1993年ぐらいから、太陽光エネルギーを使った研究をしようと大学院に進み、1997年に学位を取っており、ちょうどこういうこともあるということで、こういう研究をやりたいという夢を見ていたのですが、これらは2000年で突然終わってしまいました。地球再生計画などもあったのですが、終わってしまいました。その原因の一つは、社会情勢の変化です。確かに、今思うと2000年はそんなに二酸化炭素の話もクローズアップされていませんでしたし、電気が突然なくなるという話もありませんでした。あと、ちょうど省庁再編などもあり、その後は、少し言い方が悪いですが、原子力発電のほうにかじを切るようなところがあったため、こういう再生可能エネルギーの件は、我々研究者も、やっても無駄だと言われることが多くなってしまい、非常に闇黒な時代に入った頃に、ちょうど私は大学の教員になって現在の研究を始めたわけです。ここが契機になっていて、そこから10年前ぐらいまでは、本当に注目されない技術として歩んできたという経緯があります。

その後、東日本大震災や再生可能エネルギー、そしてパリ協定などいろいろな項目が出てきて、一昨年、政府から 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略という話が出てきたということです。いろいろと書いてありますが、その中に、発想の転換や変革といった言葉を並べるのは簡単だが、実行するのは並大抵の努力ではないという一言が書いてあります。まさにそのとおりで、今までやっても無駄だと言われたものを、もう一回掘り起こさなければいけません。あの 2000 年の頃に、二酸化炭素利用の研究をやめてしまった研究者がかなり大量にいて、その規模をもう一回復活させなければいけません。ここは非常に重要なところで、まずこういう研究に興味を持ってくれる学生や若手を育てて、人材を確保していかなければいけないということです。

私は、このグリーン成長戦略は、一つに絞らないという点については、非常にいいかなと思っております。風力発電、アンモニア、水素産業などいろいろとあるなかで、人工光合成はどこに属するかというと、このカーボンリサイクル産業というところから、バイオ燃料やプラスチック原料などを二酸化炭素でつくっていきこうというところから、カーボンリサイクルに属しています。つまり、水素発生というよりも、二酸化炭素を積極的に使っていきこうということで、成長 14 分野の中の 11 番に相当すると位置づけられています。

ここからは、我々のところではなくて、実際に進んでいる人工光合成の実証プロジェクトを二つ紹介させていただきたいと思います。

一つ目は、人工光合成化学プロセス技術研究組合、ARPC hem と呼ばれているもので、ちょうどことしの 3 月に第 1 期が終わり、経済産業省から 10 年間支援を受け、今第 2 期に入っています。これは人工光合成研究者としては喜ばしいことで、10 年やって、やはり駄目だったとは終わらなかったということです。つまり、2030 年までのあと 10 年に、実証化を進めていく道筋ができていくということになります。この技術は、どちらかというと二酸化炭素の利用というよりも、まず水素製造のプラントをつくり、太陽光エネルギーの変換効率を 10% くらいに上げて、太陽光により水を分解して得た水素と酸素から、水素を分けて、オレフィンという化学原料をつくっていきこうというものです。この赤枠の部分が人工光合成の部分で、水を分解して水素と酸素をつくるという工程です。

この技術も古く、先ほどの藤嶋先生の頃からあり、フラスコレベルの中では比較的効率よく水の分解系はできていましたが、これをこの組合では大型化して、100 平米ぐらいの大規模でソーラー水素をつくるという実証試験がもうできております。水を光で分解して酸素と水素に分ける光触媒と呼ばれる材料を 1 枚の板に塗り、太陽光パネルのようなシートをつかって、ここに太陽光を当てるという仕組みです。材料はチタン酸ストロンチウムという、先ほどの酸化チタンにストロンチウムという金属をつけたもので、今はスプレーなどで表面に塗布できるものができています。我々の基礎研究であれば 1 センチメートル角ぐらいで満足するのですが、最初は 25 センチメートル角ぐらいのものから実証試験が開始されています。実際の太陽光を使い、1 枚のパネルから泡のような形で水素と酸素が出てくることが実証できています。一応、野外の環境で、1 年ぐらいは光照射で水素と酸素

の混合ガスができてくるという実証ができていく過程です。次は、出てきた水素を二酸化炭素と反応させてオレフィンをつくるという段階ですが、現状、恐らく水素は集めていると思いますが、実証試験としてはただ単に水素をたくさんつくって外へ逃がしてしまっているかと思います。せっかく水素をつくっているのが非常にもったいないところではありますが、100平米ぐらいのパネルで人工光合成が達成できることになっています。

二つ目は、トヨタ自動車関連の豊田中央研究所です。こちらでは、二酸化炭素を有用物質に変えるという実証試験を進めています。こういう太陽光電池と電極を2本使って、片側で水を分解して酸素を出して、片側で二酸化炭素をギ酸というものに変えてあげるといいう研究です。あまり聞いたことがないかもしれませんが、ギ酸とは、アリを潰すとちくちくとするアリが持っている酸です。後ほどお話ししますが、化学原料や水素の貯蔵媒体にもなったりします。そういうものが二酸化炭素からつくられるということです。この数字のところも微妙な言い回しですが、もともと2011年で0.04%ぐらいの太陽光エネルギー変換効率だったところ、7年前には大体4%、現在は7.2%までできていて、これが植物を上回るとあります。この言葉にあまりごまかされてほしくないのですが、もともと植物の太陽光エネルギー変換効率は0.1%から2.5%といわれており、あまり大したことはありません。光合成の必要なところだけを取って組んだり、受光する部分を区分したりすれば、実は、ここは、ある程度のところまでは上げられるところがあります。

現在、少し大き目のこのような人工光合成セルをつくり、太陽光から二酸化炭素を7.2%還元してギ酸をつくるというところまでは既にできています。この7.2%というのは非常に大きな値ですが、使用する太陽光電池の変換効率が2割ぐらいであっても、実は、その2割までは還元ができず、結局、7%ぐらいまで落ちてしまうというところで、少し難しさはあります。

お話ししてきたように、いろいろな社会情勢もあり、前進したり後退したりというところもありながら、古くからこの基礎研究は進められてきました。恐らく、きょうお話を聞いていただいて、この出口は一体何なのかというところが、一番思ったところかと思えます。水素をつくれます、ギ酸をつくれます、だけれどもその先どうするのだろうかというところが、実は、この技術の理解や普及の妨げになっています。ここにも書かせていただきましたが、それらをどのように使うのか、そのままためておくのか、二酸化炭素の削減にどうつながるのかというところが、恐らくピンとこないところだと思います。

そこで、私たちの研究センターで進めている企業との実証試験を少し紹介させていただきたいと思えます。岩手県全体で計算しようと思ったのですが、間に合わなかったため、大阪市のデータで御容赦ください。大阪市は、このぐらいの面積で、世帯数はこれぐらいあり、年間の電気料は、大阪市全体では1年間に大体6,000ギガワットアワー、我々の大学がある住吉区は1年間に大体300ギガワットアワーが必要です。先ほどもお話ししたように、人工光合成は、そんなに効率がいいわけではありませぬので、私自身の考えでいくと、この人工光合成の技術一つだけで、大阪市や大阪府、あるいはお隣の堺市のエネルギ

一を賄うということは、恐らく現段階では難しいだろうと思います。一つの例として、光合成細菌という微生物と太陽光を使って水素をつくるシステムがありますが、それで日本全体の電力を賄おうとすると、神奈川県ぐらいの面積が必要となってくるため、やはり規模感としては大きすぎます。

現在、我々は、東京の住宅メーカーとの共同研究により、家1軒をこの人工光合成技術で動かしてみようという実証を、沖縄県の宮古島で行っております。

どのような実証かという、実験棟としてこういう一軒家を建て、人工光合成で二酸化炭素からギ酸をつくります。そのギ酸を水素と二酸化炭素に分解して、その水素からエンジンなどの動力を使って家の中の電力を賄い、さらに二酸化炭素を再回収して、人工光合成に戻すというものです。そうすれば、人工光合成でできたギ酸の使い道も明確になるだろうということで、2015年から共同研究をしております。

では、ギ酸が本当に使えるかということですが、この動画をごらんください。これはビーカーに入ったギ酸です。その中に白金の微粒子を入れると、ギ酸が水素と二酸化炭素に分かれます。この茶色い液体が白金の微粒子ですが、少し見づらいかもしれませんが、入れた瞬間にコーラを振ったような泡が出てきます。これが水素と二酸化炭素の混合ガスです。発生した水素を小型の燃料電池につなぎ供給すると、このように羽が回ります。ただし、水素は地球上で一番軽い気体で、エネルギーとして使うには結構な量が必要です。水素を直接使うとなると、例えば、5人家族の一軒家で燃料電池を使って家を動かすには、水素を大体1時間に600から1,000リットルは常に供給しなければいけません。24時間だったら1,000リットルの水素を24本用意しておかなければいけませんから、非常に効率が悪いということになります。これを、例えば、二酸化炭素からつくったギ酸でためておき、必要な時に水素と二酸化炭素に分けるとすると、ギ酸であれば1キログラムから2キログラムで足りることになります。こうしたことを使い、二酸化炭素から水素源になるものを用いて、また再利用するという形です。

現在、このようなギ酸生成パネルをつくっており、だんだんいろいろと進化してきています。先ほどの豊田中央研究所の数値を借りると、このような計算ができて、大体5メートル四方のパネルが必要となります。2015年に私たちの研究がスタートしたときは、家1軒を動かすために、長居球技場ぐらいの人工光合成のパネル面積が必要で、しかも、それでやっと家1軒ですから、とても割に合いませんでした。それから、だんだん技術が進化してきて、現在では大体畳15から16枚分までにはできてきているところです。屋根に載せるか、庭に置くかというのはまだ議論の余地がありますが、小規模なところで、実際に人工光合成を実証していく過程をつくり上げて、もう少し詰めていくという形です。

そもそも、カーボンニュートラルとは、2050年までに再生可能エネルギーを使って、これまで排出してきた二酸化炭素と、これから吸収する二酸化炭素のバランスを取ってゼロにするという概念です。きょう言いたいことの一つは、再生可能エネルギーをどう使っていくかということですが、水力発電や太陽光発電、バイオマス発電、地熱発電そして風力

発電といろいろある中で、一つの的を絞って何かしようとする、計画はほとんど破綻してしまいます。要は、風が吹かないところで風力発電のシステムつくってもあまり意味がないということです。きょうのような日は、もちろん太陽光発電は動きませんから、こういったときにどうするかということを考える必要があるということです。なお、この例の中で、火力発電と原子力発電にバツをつけていますが、使うなということではなく、これは再生可能エネルギーには相当しないということです。

日本の電源構成を見ていきますと、徐々にではありますが、再生可能エネルギーの割合はふえてきています。しかし、それでもまだ10%ぐらいです。原子力発電も、東京電力福島第一原子力発電所の事故を境に減っています。そうすると、結局、天然ガスと石炭がメジャーになります。

そこで、エネルギーミックスという概念をつくる必要があります。結局、太陽光エネルギーや風力発電は、その場所その場所によって配置していかなければ意味がありません。人工光合成があるから全てがうまくいくというわけではなく、これからはいろいろなエネルギー源を組んで、適材適所で再生可能エネルギーの技術を使い分けるといふ必要があるのではないかと考えております。

さらに、今後の展望としてお話ししたいのは、そうはいつでも、二酸化炭素を利用する技術の難しさというものがあるということです。現在は、まだこのようなものはできていませんが、例えば、人工光合成で炭酸ガスと水から、計算しやすいように、炭素が7個のヘプタンというガソリンができたと仮定します。それを、ガソリン車を満タンにする60リットルをつくるために二酸化炭素はどれぐらい必要かということ、大体6万5,000リットルです。重さでいうと、128キログラム相当が必要という計算になります。これを、先ほどの生活圏の二酸化炭素をかき集めてつくろうとすると、160万リットルぐらいの大気をかき集める必要があります。ドラム缶で8,000本ぐらいの大気をかき集め、二酸化炭素を取り出し、先ほど御説明したような複雑な反応をさせて、やっと車1台のガソリンができるとなると、通常的生活圏での二酸化炭素の捕集は現実的ではなく、むしろ、逆に二酸化炭素が出て行く方向になってくるということで、非常に難しいところがあります。

一つの提案としては、事業所で責任を持って二酸化炭素を地産地消するという事です。この二酸化炭素の地産地消とは私が考えた概念です。製鉄所や石炭火力の発電所などで出た二酸化炭素を集め、それを地中に埋めることも一つですが、少しは外に出してしまいますから、その一部を回収し、例えば、人工光合成により製鉄所で使う液体燃料などに変えて使用し、そして再び発生した二酸化炭素を回収します。石炭火力も同じで、石炭に混ぜられるような物質に変えてあげて、ここで発電し、また二酸化炭素をキャプチャーしてあげれば、石炭火力のいいところも使えてくるということとなります。そうすれば、少なくともこれらの事業所内においては、二酸化炭素がリサイクルされ、いわゆるゼロエミッション、カーボンネガティブ、そしてカーボンニュートラルが達成できるということが言えるかと思えます。

最後に、私が勤務しているセンターを少し紹介させていただきますと、来年で開所からちょうど10年になります。私は、ちょうどここができたときに赴任してきたので、建てる経緯などはよくわかっていなかったのですが、大阪市の補助金8億円により産学連携拠点という位置づけでこういった建物が建てられ、現在はこういうメンバーで活動しております。

きょうは次世代エネルギーの話をさせていただきました。私は、定年まで残り10年ほどですが、現在は、二酸化炭素を使って生分解性プラスチックをつくるという人工光合成の研究を学生と一緒に進めています。まだ基礎研究で、この先どうなるかはわかりませんが、燃料をつくる以外にも、このような人工光合成技術もあるということを紹介させていただきたいと思います。

少し時間が延びてしまいましたが、まとめに入ります。まず、必ず脱化石資源社会を構築しなければならないということは、命題だと思います。ただし、再生可能エネルギーは、一つに的を絞ると非常に危険で、それがだめになってしまうと全部がだめになるというところがあります。それから、二酸化炭素の排出をゼロにすることはできません。実質ゼロにするためには、当然、排出量を削減する科学技術が必要になってきます。そのような科学技術により排出と回収、そして利用のバランスを取り、実質ゼロを達成していくというのが、2050年までの命題になってくるということです。ただし、きょうお話しした人工光合成のシステムは、恐らく、現時点ではコストには全く見合わないため、経済性を取るか、地球環境を取るかというところは、いろいろな立ち位置があると思いますから、経済も含めた文系や理系、それぞれの観点から議論すべき課題であるということをお話したいと思います。

最後に、きょうの資料には載せていませんが、先ほどお話しした再生可能エネルギーを含めてエネルギー源を一つに絞らないということに関する警鐘ですが、一つは、インターネットなどの情報を完全に信用すると、結構危険です。紙面の都合上で、この実質ゼロという言葉から、実質が消えていたりすることがあります。

もう一つは、我々大学の教員も含めてですが、メディアに出ると少し舞い上がってしまって、自分の研究をアピールするために少し行き過ぎた発言をする方が多いです。例えば、藻を使えばバイオマスエネルギーとして石油が取れるため日本は産油国になる、それを5年後に実用化するという話をお聞きになったことがあるかもしれません。この話が出て既に5年たちましたが、産油国にはなっていないということをみんなが忘れてしまっているところがあります。サツマイモの発電も同様ですが、結局、あらゆる問題を解決してくれるものはありません。私が一番困ったのは、ちょうど原子力発電所の事故があったあたりに、二酸化炭素が資源となる人工光合成技術が完成すれば、原子力発電所は無用の長物と発言された方がいました。では、あれから10年たってどうなったのかといえば、無用の長物にはなっていません。このようになってしまうのです。ですから、この御都合主義的な二酸化炭素の削減というものは、やはり研究者も気をつけなければいけません。バイオマ

スに関しても、植物由来であれば、それを燃やして出た二酸化炭素を植物が再度吸収してくれるため、二酸化炭素を排出していないことと同じであると言う方もいますが、本当に植物が再度その二酸化炭素を吸収しているのかという確認はできません。ですから、私自身は、こういう再生可能エネルギーの研究者自身が、それぞれの研究をしっかりと理解した上で、足を引っ張らず、適材適所のマネジメントを組んでいってあげれば、もっと利用価値が上がっていくのではないかと考えております。

少し長くなってしまいましたが、これで私のお話しは終わりです。御清聴、どうもありがとうございました。(拍手)

○柳村一委員長 大変な貴重なお話、ありがとうございました。

これより、質疑・意見交換を行います。ただいまお話いただきましたことに関し、質疑、御意見等がありましたなら、お願いいたします。

では、私から伺います。資料 38 ページのスライドにある人工光合成の実証実験とは、まずギ酸をつくり、そのギ酸から水素を生み出すとのことでしたが、再び発生した二酸化炭素は再利用するということでよろしいでしょうか。

○天尾豊参考人 そうです。

○柳村一委員長 ということは、二酸化炭素は減っていかないということでしょうか。

○天尾豊参考人 減りません。発生した二酸化炭素を、そのままもう一度再利用するという形です。この家の中ではカーボンニュートラルが完結するということから、二酸化炭素を外へ出さなければ、外にある二酸化炭素の濃度は変わらないということであり、二酸化炭素自体は減りません。二酸化炭素を利用した燃料の話は全てそういうことで、いずれ、使えばまた二酸化炭素は出てきてしまうので、それをいかに回収するかということです。

実は、この技術にはもう少し考えがありまして、現在はこういう形ですが、ほかにも住宅で出るごみなどがあります。それらからも二酸化炭素は別途出てくるはずですから、そういった二酸化炭素もこの回収ラインに少しずつ乗せていってあげれば、基本的には、この家の中で二酸化炭素は処理できるということを考えています。もう少しお話すると、少しずつでもサイクルしながら大気中の二酸化炭素を取っていけば、ほんの少しずつでも減っていくこととなります。ただ、そこまでできるかどうかというところは、まだ検討している段階です。

さらに、この家のもう一つの目標は、一般住宅で一般の方がカーボンニュートラルを体験できる、自分たちはカーボンニュートラルに貢献しているということを実感できるような住宅にすることです。二酸化炭素から何か物をつくり、それを再利用して燃料にするという場合、どうしても二酸化炭素は発生しますが、それをさらに再回収し、各住宅や事業所の中で二酸化炭素をニュートラルで使うという形が重要になってくるということです。

○柳村一委員長 自然界の光合成であれば、二酸化炭素を吸収して酸素とブドウ糖になるわけですから、そうすれば二酸化炭素はなくなるということでもよろしいでしょうか。

○**天尾豊参考人** そこがよく誤解される部分です。実は、植物も呼吸をしていますから、夜には二酸化炭素を排出しています。バランス的には吸収している二酸化炭素のほうが多いですが、これから森林をふやしていけば二酸化炭素が徐々にゼロになっていくというわけではありません。さっきのバイオマスの話ではありませんが、植物は自分たちが呼吸し排出した二酸化炭素を、再度自分たちが生きるために吸収しているので、そういう意味では、カーボンニュートラルができているというふうに見ていただいてもいいかと思います。

○**柳村一委員長** もう一点ですが、先生のなさっている二酸化炭素をプラスチックに変える研究とは、逆に言えば、二酸化炭素を封じ込めるという解釈でいいのでしょうか。

○**天尾豊参考人** そのとおりです。生分解性プラスチックの原料を二酸化炭素と光からつくるところまではできているところです。これは、少し私たちが行っている研究と矛盾してしまうところですが、燃料として使ってしまうと一瞬でなくなってしまうため、太陽光を使い、手間暇をかけてギ酸づくりしました。ですが、先ほどお話ししたように、1時間に1,000リットルくらいの水素が必要となるため、すごく手間をかけてつくる割には、一瞬で電力としてなくなってしまう、また回収しなければいけません。それを考えると、技術としてはもったいないなと思っており、そこで、光合成は二酸化炭素からブドウ糖をつくるというところに目をつけ、二酸化炭素をプラスチックに固定し、それが10年、20年の耐久性を持つようなものになれば、その間はそこに固定されるということですから、それをこのサイクルに入れてあげれば、また同じものができてくるということになります。そうすれば、燃料として使うよりも、サイクルがゆっくりになってくれます。今はプラスチックが二酸化炭素と同じで悪者にされつつありますが、とはいっても、プラスチックもなくなるということはありませんから、先ほど御説明したような地中に埋める代替として、化合物の中に二酸化炭素をため込むという感覚で、この新しい技術にトライしているというところでは。

○**柳村一委員長** 製品ではなく、貯蔵のためにも活用できるということですね。

○**天尾豊参考人** それは可能です。人工光合成ではありませんが、例えば、二酸化炭素を炭酸カリウムなど、長期間放っておいても二酸化炭素にならない違うものに変えてあげれば、ある程度、材料としては生かすことができ、かつ二酸化炭素の削減につながるかと思っています。

一方、燃料に関しては、非常にシビアなところがあり、そのサイクルがすごく早くなってしまいます。メタノールもできますが、ガソリンに比べて熱量が少ないため、たくさんつくらなければならず、ただ、使うのは一瞬というふうになってしまいます。そのサイクルを考えれば、光で二酸化炭素を貯留するための材料をつくっていくというのが人工光合成のミッションの一つです。ただ、あまりそこを研究されている方がおらず、燃料のほうにかじを切る方が多いです。私はあまのじゃく的なところがあるため、こういう材料をつくることを、次世代の人工光合成として、現在進めているということになります。

○**柳村一委員長** 先生の研究しているほうが、費用対効果的にはいいのですか。

○天尾豊参考人 現段階では、まだ技術としては非常に高く、コスト的にはまだ全く見合っていない。先ほどの豊田中央研究所とも雑談的な議論をするのですが、この技術を一般化したときに、次の企業がどういう形で安くしていくかとか、ある程度の効率が保てたらその面積をどうするかというのは、なかなか私たち大学の教員としては難しいところですが、例えば、それらを縦に並べるとか横に並べるなどのところで、どんどん値段を下げていくということになってくると思います。まだ走り出したばかりの技術ですから、コストや経済性という点でいくと、正直なところ、なかなか基礎研究の域を脱していないという現状ではあるかと思っています。

○柳村一委員長 最後に、大阪市立大学と大阪府立大学が一緒になったということは、大阪府としては、これからはこれを進めていこうとしているためでしょうか。

○天尾豊参考人 大阪府がどうかはよくわかりませんが、大学としては、統合前から2030年、2050年に人工光合成を実証化するというミッションで、もともとこのセンターが建てられましたから、行政としても、基本的にはこの技術を進めていくという方向になっているかと思っています。ただ、それを大阪府のどこに入れるかというところは、まだ議論されていないようではありますが、再生可能エネルギーの一つとして、技術がもう少し成熟すればという点では、現在行っている家の実証が少し大事になってきて、あれがどれぐらいできるかは一つの鍵となってくるかなと思っています。

○柳村一委員長 ありがとうございます。

ほかにありませんか。

〔「なし」と呼ぶ者あり〕

○柳村一委員長 ほかにないようですので、本日の調査は、これをもって終了いたします。

天尾様、本日はお忙しいところ、御講演いただきまして、誠にありがとうございました。

(拍手)

○天尾豊参考人 どうもありがとうございました。

○柳村一委員長 委員の皆様には、次回の委員会運営等について御相談がありますので、しばし、お残り願います。

次に、1月に予定されております、当委員会の調査事項についてであります。御意見等がありますか。

○斉藤信委員 私は、住宅の断熱化について、全国の取り組みを調査していただきたいです。北海道と東北の議員交流大会で、山形県がやまがた健康住宅という、かなりレベルの高い断熱性能の住宅に対して、3年間で9億円ぐらいの予算を計上し、建物であれば100万円、設備でさらに100万円という補助を行っているとのことでした。また、鳥取県でも、ヨーロッパ並みのかなりレベルの高い断熱性能の住宅に対して、数年間で数千件というかなりの補助件数があるようです。長野県でも、ZEH基準だと思いますが、そういうレベルの高い住宅の断熱化の取り組みを進めているようです。岩手県もリフォームの助成は試験的な予算が出たところですが、私は、住宅の断熱化は一つのキーポイントになると考え

ておりますので、その点をぜひ調査のテーマにさせていただきたいと思います。

○郷右近浩委員 齊藤委員のお話に、私も同感です。併せて、今テレビCMで盛んに取り上げられておりますが、トヨタ自動車が富士山の下のほうで行っている実証実験について、水素エネルギーの活用などを含め、どのようなまちづくりをしようとしているのか、今まさに走り出したところだとは思いますが、そうしたところで、もし何か視察できるような機会があれば、それも考えに入れていただければと思います。

○柳村一委員長 ほかにございますか。

〔「なし」と呼ぶ者あり〕

○柳村一委員長 それでは、ただいまの意見等を踏まえ、決定したいと思います。

なお、詳細については、当職に御一任願います。

次に、1月から2月にかけて予定されております、当委員会の県外調査についてであります。お手元に配付しております委員会調査計画（案）のとおり実施することといたしたいと思います。

ただし、昨今の新型コロナウイルス感染症拡大防止の観点に鑑み、状況を見極めながら対応したいと思いますので、調査実施の有無も含め、当職に御一任願いたいと思いますが、これに御異議ありませんか。

〔「異議なし」と呼ぶ者あり〕

○柳村一委員長 御異議なしと認め、さよう決定いたしました。

なお、調査計画に変更があった場合には、おって通知することといたしますので、御了承願います。

以上をもって、本日の日程は全部終了いたしました。本日は、これをもって、散会いたします。お疲れさまでした。