

特別企画シンポジウム「バイオマスのさらなる利用に向けて」

講演録

2019年11月28日(木)

公立鳥取環境大学 大講義室(11講義室)

(1) 講演録 (第1部のみ収録)

○司会 それでは、定刻となりましたので、令和元年度公立鳥取環境大学サステナビリティ研究所特別シンポジウム「バイオマスのさらなる利用に向けて」を開催いたします。

開催に先立ちまして、サステナビリティ研究所・所長の横山より御挨拶申し上げます。

○横山所長 皆様こんにちは。私は、本学のサステナビリティ研究所の所長をしております横山と申します。本日の特別シンポジウム開催に当たりまして、一言御挨拶申し上げます。

私どものサステナビリティ研究所は、その名前の示すとおり持続可能性を追求するために、地域と連携しながらさまざまな活動を展開してまいりました。特に、2015年に国連サミットで採択されましたSDGs、すなわち持続可能な開発目標を達成するために、本学も昨年10月に「SDGs取組宣言」をしたところでございます。SDGsは、幅広い17の目標を掲げて持続可能な世界を実現することを目標としております。このSDGsの理念は、本学の理念と一致するものと考え、SDGsと整合性をとりながら活動を進めたいと考えております。

さて、今回の特別シンポジウムのテーマは、「バイオマスのさらなる利用に向けて」であります。皆様ご承知のように、IPCCの第5次報告によれば、20世紀半ば以降の温暖化傾向は95%以上の確率で人為的な温室効果ガスの排出によるものとされております。我が国もパリ協定に基づき、2013年を基準年として2030年までに温室効果ガスを26%削減し、2050年までに80%削減することを目標としております。これを実現するためには、全てのセクターの努力が必要ですが、とりわけ再生可能エネルギーの果たす役割は極めて大きいものがあり、バイオマスもその中のエネルギー源の一つと考えられております。

本シンポジウムは、第1部と第2部から構成されております。

第1部は、お二方の講演でございます。まずは、公益財団法人地球環境産業技術研究機構の理事長でいらっしゃる茅陽一先生による「地球温暖化とその対応策」と題する特別講演です。茅先生からは、近年深刻さを増している地球温暖化現象の実態について解説いただき、さらには、いかにしてこの温暖化に対応すべきかについてお話をいただきます。

お二方目は、国立研究開発法人産業技術総合研究所の福島再生可能エネルギー研究所・所長代理の坂西欣也先生による「再生可能エネルギーとしてのバイオマスの役割と展望」でございます。坂西先生からは、再生可能エネルギー技術の現状とバイオマスを含めたその可能性についてお話をさせていただきます。

第2部では、パネルディスカッションを行います。初めに、4名のパネリストから話題提供をしていただきます。三洋製紙株式会社の林材部部長・花原久様からは、木質バイオマス発電、三光ホールディングス株式会社の代表取締役CEO・三輪陽通様からは、廃棄物のサーマルリサイクル、本学の田島正喜教授からは、下水汚泥からの水素製造、広島大学大学院

統合生命科学研究科の中島田豊先生からは、海洋バイオマス利用に関するお話をいただきます。

第1部と第2部の後に、質疑応答の時間を設けてございます。ご意見やお聞きしたいことがありましたら、遠慮なくご発言をお願いする次第でございます。よろしくお願ひ申し上げます。簡単ですけれども、一言御挨拶を申し上げます。ありがとうございました。(拍手)

特別講演「地球温暖化とその対応策」

○横山所長 それでは、茅陽一先生のご紹介でございます。茅陽一先生のご略歴ですが、東京大学工学部電気工学科の教授を務められ、御退官後は我が国のエネルギー環境行政にかかわる多くの要職を歴任されております。現在は、公益財団法人地球環境産業技術研究機構の理事長をされておられます。

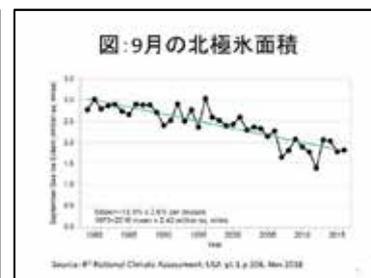
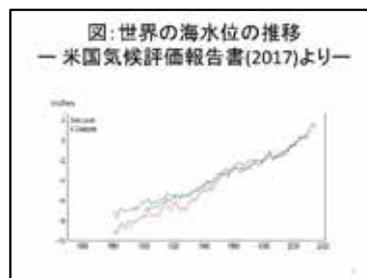
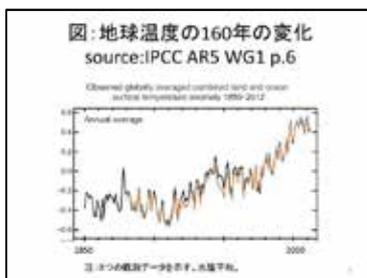
茅先生は、数々の賞を受賞され、ご業績も多岐にわたっておられますが、とりわけ有名で国際的な評価が高いのは、「茅恒等式」と呼ばれるものでございます。これは、CO₂排出量と経済活動との関係を解析できる独創的で画期的なツールとして、世界中で使われております。ご講演の中でも説明いただけたらと思いますので、ぜひ注目していただければ幸いです。

それでは、茅先生お願いいたします。(拍手)

○茅氏 御紹介いただきました茅でございます。

きょうの私の話は、温暖化の話でございますが、内容的には最初の序論で温暖化がいかに進展しているかという話、その次にしばしば最近出てまいります「パリ目標」というもので、1.5℃目標という問題についてでございます。しかし、これは実は非常に難しいんですが、ちょっと甘く考えられているところがある。その辺について、指摘をしたいと思います。そして、その後は今後の対策をどうするかということで、主に発電部門を中心に説明をしたいと思います。そして、最後のところで、8割温室効果ガスを削減するという目標があるんですけども、日本がこれを現実にやろうとしたらどのぐらい大変なものなのかということ、具体的な計算の結果を例にして説明をしたいと思います。

「温暖化の進展とその原因の人為性」



これは、皆さんよくご存じの絵で、地球の温度が1850年から現在までで、どんなふうになってきているかという絵ですが、最初の19世紀のうちはともかく、それから温度が上がってきているということがよく見えます。こういった状況の変化として、海水の水位がどんどん上がってきているということがよく見られます。また今度は、北極の氷の面積がだんだん減って氷が溶けてきているということがわかる。

こういうふうには、我々の周りには、温暖化を示すいろいろな指標というものがよく見えてく

るわけですが、しかし、これが果たして人間が原因で起こったものだろうかということについては、ご承知のアメリカのトランプ大統領のように疑問を持つ人も少なくないわけです。現に、アメリカの共和党の議員のかなりの数は、温暖化というものを必ずしも人間が引き起こしたものは思っていないという状況がありますし、トランプは、温暖化は中国の陰謀だということを彼の選挙運動の時代に申しておるくらいでございます。

気候変動の原因 (IPCC記述)

Source: IPCC Climate Change 2014 Synthesis report, SPM

人為的温室効果ガス排出は、他の人為的刺激を含め、20世紀中葉以後の温暖化の主要な原因である可能性がきわめて高い(extremely likely)。

* extremely likely = 95%以上 probability

では、これを信じていいのだろうか。決してそうではないと、私は思っております。これについて一つ、一番学問的に信用できる報告というのはIPCCでございます。そのIPCCというのは、1989年から現在まで活動しており、その5回の報告の中で、毎回この温暖化がいかにか人間によるものであるかということ、検証しようという努力をしております。ここにあるのは、その一番新しい報告でどう書いてあるか

ということでございますが、人為的温室効果ガスの排出は、他の人為的刺激を含めて、20世紀中葉以後の温暖化の主要な原因である可能性が極めて高いと書いております。英語ではextremely likelyという言葉で言っております、IPCCはこういった表現の仕方がどの程度の確率かということを決めていまして、extremely likelyという言葉は、95%以上の確率というつもりでございます。その意味で、これは温暖化の主要な原因は、人間の温室効果ガスの排出だと我々は信じている、と言っているということでございます。これはそう主張しているというふうに捉えるかもしれません。それに対して、次は科学雑誌ネイチャーの中に出ている一つの論文の例でございます。

**過去2000年の地球温度変化の特徴
—20世紀後半の高温化—**

1. 従来の地球気候分析
地球を一本化して考慮
Little Ice Age: 15—19世紀
Medieval Warm Period: 8—12世紀

2. 最近の分析 *
地球の地域別分析
地球全体に共通した過去2,000年間の温度分布の特徴
20世紀後半の最高温—98%の地域で共通
原因: 自然的原因—太陽放射変化 ×
人為的原因—CO2などGHGの排出増大 ○

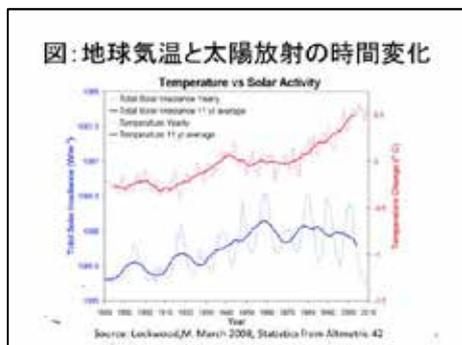
* Neukom, R. et al: Nature vol.371 pp.550-559,2019

それは過去2000年からの歴史を振り返ってみると、地球の温度はいろいろ変化しているわけですが、そのために我々は小氷河時代であるとか、あるいは中世の温暖化時代といったいろんな言葉を聞いております。しかし、実は地球というのは決して一つではなくてたくさんの地域に分かれていて、地域ごとに見ると温度の変化というのは、意外に違っているというのが過去の実情だそうでございます。この論文は、地球の

2000年間の温度の変化を、木の年輪とかいろんなものを調べてきちんと調査しまして、その中で20世紀後半の温暖化というものを見て、これが各地域でどういう位置づけになっているかを調べたんですね。そして地球の98%の地域で過去2000年で一番暖かかったのは、実はこの20世紀の後半だということに一致しているという結果を出しております。

こういうふうに地球全体でほとんどのところで、確かに20世紀後半に温暖化が起きているということを言ったわけですから、これは非常にはっきりとした世界的な現象なんです。その理由を考えてみると、自然的な原因だとすると当然のことですが、外から来たものしか

地球全体同じ様というのがあり得ない。となると、太陽の影響というのを誰でも考えます。そうでなかったら、さっき申し上げたように人為的な原因で人間がどこでも温室効果ガスを出して、それが世界中に拡散されているという現象です。



ところが、太陽から来るエネルギーである太陽放射の過去1850年からの変化を書いたものが下の絵で、上が先ほどお見せした温度上昇です。見るとお分かりのように、20世紀の半ば近くまでは、この2つのカーブはよく似ておまして、それから後に温度は急激に上がってきているんですが、実は太陽放射はむしろ下がってきているんですね。ちょうど逆の相関だということになります。したがって、太陽放射という自然現象が温暖化を

招いていたということは、明らかに成り立たない考え方になります。

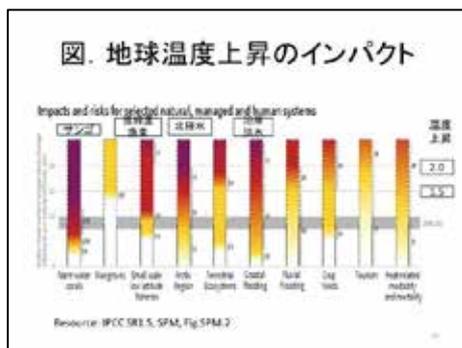
ですから、そうなる和我々の現在感じているような温暖化は、やはり人為的な温室効果ガス、特にCO₂=炭酸ガスの上昇のせいだということになります。したがって、トランプの言葉を信じるのではなく、むしろトランプにこういった論文があるよということをお我々はぜひ知らしむべきだと、私などは思っております。

「パリ協定と1.5℃目標の難しさ」

パリ協定の目指す目標

1. 今世紀の大気温を工業化以前のレベルに比し十分(well below)2℃以下とする
2. 更に温度上昇を1.5℃に抑える努力をする
3. 今世紀後半中に温室効果ガスの排出と吸収の均衡を達成する

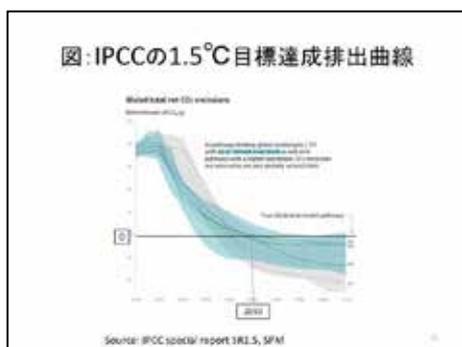
さて、こういうことで温暖化が人間の放出した温室効果ガス、特に中心になるCO₂によって温度が上がっているということになると、それを抑えたいというのが当然で、そのために「パリ協定」というのが2015年に合意されたわけです。この資料には、現在の大気温を工業化以前、つまり温室効果ガスをたくさん出すということをやっていない前のレベルに比べて温度上昇を2℃以下にすると書いており、well belowという言葉を使っておりますが、できるだけそれより低くする、そして努力して1.5℃に抑えたい。そして、そうするためには温室効果ガスの増加を抑えることしかないから、資料の3番目に書いてあるように、温室効果ガスの排出と吸収の均衡を図るということを行っているわけです。



こんなふうにするのは、温度が上がってきますという現象の具合が悪くなってまいりまして、それを抑えるために温度を一定に抑えたいということです。ここにある絵の右側を見ていただくと、1.5と書いてあるのが1.5℃上昇、2.0と書いてあるのが2℃上昇で

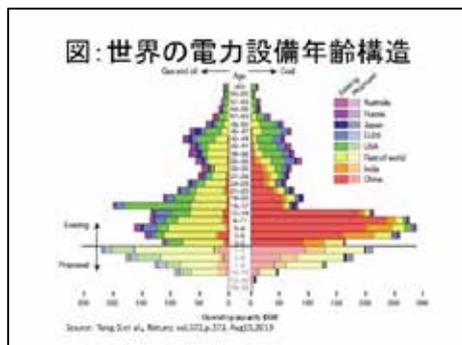
ざいます。色がついた棒がたくさん立っていますが、これはいろんな現象、例えば一番左側はサンゴ礁がだんだんやられるという現象でございまして、ご覧になるともう1℃でもかなり赤くなっておりまして、温度が更に上がると非常に強く赤くなっていくわけです。つまり、大変だめになるということです。温度上昇すると、どんどん悪くなっていくのが多いですけども、いかにそういうものがたくさんあるのかが分かります。これらを見て、先ほどの

1. 5℃だの、あるいは2℃って話が出てきたわけですが、それに対してどうしたらいいかということで、実は先ほど話に出ましたIPCCの中でつくった報告書に出ているんですが、一つのアイディアとしてあるのが温度上昇を1.5℃以内に抑えるためには、ここにあるような温室効果ガスの排出の抑え方をするのがよいという絵でございまして。そこに書いてあるように温室効果ガス、特にCO₂の排出を現在から急激に抑えて、そして2050年にほぼゼロにするというわけです。現在が2019年ですから、ほぼ30年で温室効果ガス、特にCO₂



の排出をゼロまで持っていきたいというわけです。すごい目標を考えたものだと思いますが、国連で9月23日、今から2カ月ほど前ですが、気候変動行動サミットというものを催しており、国連の事務総長グテレスという人が提案をいたしまして、「2050年ゼロエミッション」、つまり温室効果ガスの排出をゼロにするということを、各国で試みようではないかという提案をしたわけです。何とこの提案に対して、ヨーロッパの主要国、イギリス、ドイツ、フランスなどを含めて77の国が賛成をしているのです。ですから、この2050年ゼロエミッション、そして1.5℃の温度上昇を実現するという考え方は、世界的にかなり合意をされているというふうに思えます。けれど、1.5℃というのですが、実は工業化以前から現在まででもう既に温度が1℃上がっているんですね。ですから、あと0.5℃しか余裕がない。この余裕がない

ところでこんな提案をして実際にできるのか、そのことをこの人たちは考えているのでしょうか。



実はこういう論文があります。これも、今年出てきた論文なんですが、世界には化石燃料、特に石炭を使っている国というのはたくさんあるわけです。特に中国です。石炭はご承知のように発電に一番使われますし、次に鉄鋼生産に使われる。ここにある絵は縦軸が年齢で横軸は数なんですが、世界の石炭とか石油といった化石燃料を使う設備、これは主に火力発電所が多いわけですが、そ

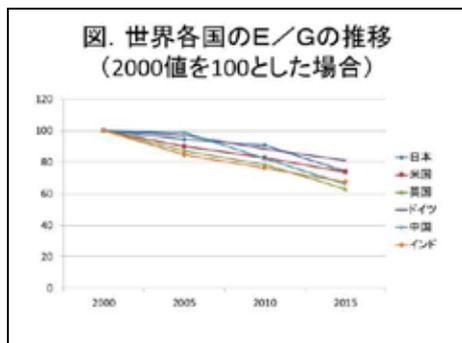
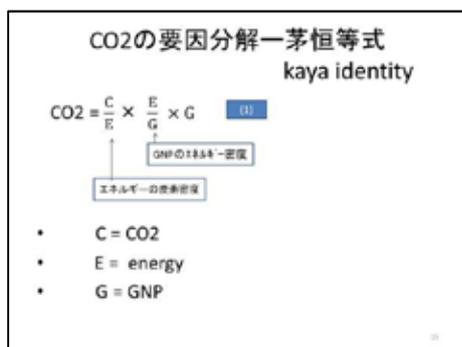
れの年齢構造を世界全体にとって書いたものです。石炭を使う発電所について大部分は中国にあります。このように、世界にある化石燃料を使う発電所や鉄鋼生産設備の年齢が、かなり若くて多い。したがって、こういうところが一応それぞれの年齢いっばいに石炭や石油を使ったとすると、実はそれだけで温度上昇はもう1.5℃を超してしまうという話なんです。詳しいことは省きますが、CO₂の累積と温度上昇がほぼ比例するというのが、科学界の一般常識でございます。そういう面からすると1.5℃になるまでにあとどれだけCO₂を出すことができるという、俗にカーボンバジェットと呼ばれる考え方に従うと、今ある設備を生き



ている間使うだけで、もう1.5℃を超してしまうという結果が出てくる。これは大変恐ろしいことでございます。つまり我々自身が、相当無茶苦茶に今使っているのも途中でやめなければ、1.5℃を抑えられないということになります。ですから、口で簡単に1.5℃を抑えようと、そのために2050年にゼロエミッションにしようと言っても、これはそう簡単にできるものではないということをご理解いただきたいわけです。だから私

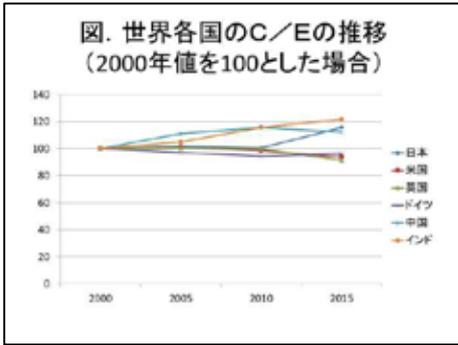
は、努力をするなどというのではありません。むしろ、我々が抱えている問題がいかに大変な問題かということ、こういう話から理解していただきたいわけです。

「今後の対策の方向」



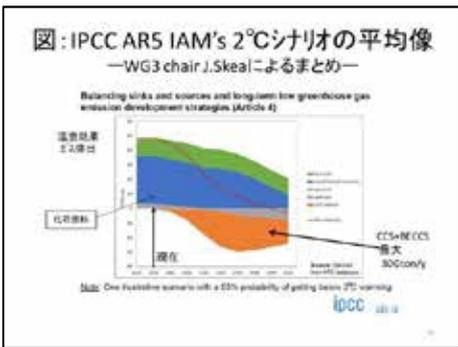
さて、ではどういうことをやったらいいだろうか、それを考える場合に、これは「Kaya Identity」と俗に言われている式を出したものでございます。何も難しい式ではありません、簡単な関係です。温暖化の一番の元凶CO₂ですが、これを式で書くとCO₂割ることのエネルギーEと、エネルギー割ることのGDP、あるいはGNPでもいいですが、そしてGNPという3つの積に掛けるわけです。これを考えますと、C/Eというのは、CO₂のエネルギーの中に含まれる率ですから、言うなればエネルギーの炭素依存率ということになります。それから、E/Gと書いたのは、経済のエネルギー依存率ということになる。そして、Gはもちろん経済の成長を表す値です。ですから、こういったもので分けて我々は考えてみると、将来CO₂を減らそうというならば、ここにあるような3つのファクターが、今後どう変わる

るかを考えればいいことになる。しかし経済Gはどなたもお分かりのように、世界は今後と



も伸びていこうと考えているわけですから、増える方向に行ってしまう。したがって、我々はC/E、あるいはE/Gを下げるのが今後の目標ということになります。これは、E/Gというものがどう変わっているのかを21世紀に入ってからのものを見たわけですが、幾つかの国をとってみると、いずれも単調に減っているんですね。これは、省エネルギーです。要するに、世界の国はありがたいことに省エネルギーという面ではかなりの

の努力をされていて、恐らく今後も続けてくれるだろう。ところが、もう一つのもの、これは何かというとC/Eです。エネルギーの炭素依存率はむしろほとんど変わらないか、あるいは悪くなっているんですね。日本の場合は、ご承知の原子力発電所の事故で原子力を使わず、石炭火力を使うようになったのが大きな原因です。これはその原因だとしても、世界的にはほとんど改善されていない。したがって、我々の将来の最も重要なターゲットはC/Eを下げる、すなわち、エネルギーの炭素依存率を下げるということだということがお分かりになると思います。



それでは、世界を見た場合、どういうことをしたらいいだろうかということを考えるときに、一つの例として、次の絵はこのようにしたならば最終的に温度が安定になるのではないかとこの絵でございます。これはいろいろなもので目標を計算いたしまして、そのシナリオの代表的なものを掲げたものです。ご覧いただくと、左側が現在で、右側が大分先ですが2100年、その間に全体がだんだん下がって行って、真ん中のところがちょうど0

ですけれども、最後の2100年には上の部分、つまり排出の部分と、下の部分、つまり吸収の部分とがちょうど平衡しているんですね。こうなれば、もうそれから後は温度は上昇しないということになるわけで、こうやって温度を安定化したいということも一つシナリオとして書かれているわけです。

大規模BECCSの物理的実現困難性

BECCS: バイオマスの回収燃焼と燃焼ガスからのCO2回収・貯留
CO₂ネット排出 = 排出 - 吸収
人為的吸収: BECCS, 植林

大規模BECCSの実現の困難性

- 例: 15Gton/yのCO₂吸収ケースの実現条件
- 1) 植生必要面積は米国全面積の(0.4~1.0)倍*
- 2) 1Mton/yの大規模貯留井1.5万個必要

* 熱帯雨林〜サバンナのデータ
出典: Woodwell, G.M. et al, Science vol.199, Jan 1978

ところが、こういうことが簡単にできればいいんですが、そこに出ているように非常に大きな吸収というものがある。どのぐらいの値の吸収かということ、大体現在の世界の排出と同じぐらい、つまり年間300億トンのマイナスのCO₂排出を実現しなければいけないわけです。どういうことかということ、俗にBECCSと呼んでおりますけれども、バイオマスつまり植物を燃やして、その排煙から出てくるCO₂をどこか地下に押し込めようという考え方でございます。こうするとなぜいいかということ、バイ

オマス＝植物は大気中のCO₂を光合成によって吸収して、自分の体になっているわけですから、それを引き出して地面の中に押し込めてしまえば、ネガティブエミッションになると、つまり吸収だというわけです。ですから、こういうことが簡単にできるならば、それはこの絵が実現されることになります。

しかし、現実是非常に大変なんです。なぜかという、ものすごい面積がいるんですね。例えばの例では、その半分の150億トンぐらいのCO₂を吸収させるのでも、アメリカ全体の半分から全部ぐらいの面積の植物を毎年刈りとらなきゃいけない。刈り取って燃やして、燃やすことは発電でも使うということがあるんでしょうけれども、排煙から全部CO₂を集めてどこか地面の中に押し込めなきゃいけない。こんなことができるだろうか。そうすると、刈り取ることはもちろん大変だし、CO₂を押し込む場所もなかなか簡単に見つからないだろうということで、大規模なBECCSというのは非常に難しいことがわかります。つまり、

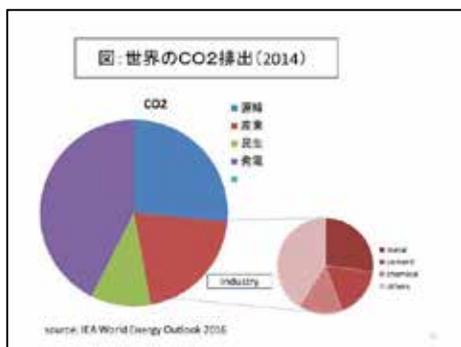
今後の温暖化対応方向

1. 各セクターで出来るだけエミッションを低減する努力
2. 各セクターで一定程度のCCSの実現に努力
3. 残ったエミッションをBECCS等の吸収でカバー
ただし、出来るだけBECCSは少なくする努力が必要

さっき言ったシナリオは、一つの夢としては考えられませんが、現実としてはほとんどできないと考えたほうがよろしいことになります。ただ、このBECCSという方法は、ある範囲では当然必要で、つまりマイナスの吸収ということを実現する方法としては考えられる方法ですが、大きなものを考えるのは非常に難しい。だから、今後の温暖化対策は、各セクター、いろんな部門でできるだけ排出を減らすと。できればゼロエミッション、何にも

出さないということですが、その努力をすることも大事で、ただどうしてもできないところがある。それはBECCSである程度は抑えるしかないのではないかとということになります。

「発電部門での対応」



あとこの後で、主として電力だけに絞って説明いたします。これは、世界のCO₂の排出を見たものですが、絵の左側半分は、実はこれ電力なんです。発電が世界で半分近くのCO₂を排出している一番大きな部門です。ですから、CO₂を減らそうとしたら、まず発電のCO₂を減らせ。ゼロエミッションの電力を作れということになります。

電力の場合、現在半分近くのCO₂を出すほど電力は使われているんですが、重要なことは、今後もなお電力化は進むだろうと考えられていることです。ご承知のように、電気自動車は非常に増えてきております。それから産業部門でも水素を利用しようという考え方もだんだん増えていまして、特に鉄鋼は水素を使って鉄鉱石を還元しようという考え方が長期の目標として出てきております。そういった水素は何から

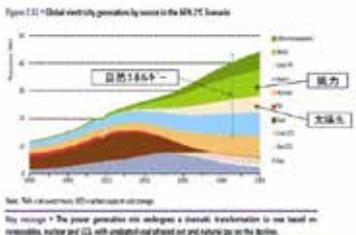
将来の電力比率上昇の可能性

1. 運輸部門
乗用車・小型貨物の電気自動車化
2. 産業部門
水素利用の拡大
例: 鉄鋼業での水素直接還元利用
3. 民生部門
HP利用の拡大
調理での電力利用拡大

表: 我が国電力の電源構成とCO2排出

	2014	2030政府計画	備考
原子力	0	20~22%	
従来再エネ	8	13~15	水力、地熱等
変動再エネ	1	7	
太陽光			
風力		1.7	
火力	91		
石炭		26	
石油		0	
LNG		27	
排出CO2	0.43 × 10 ⁹ ton	0.32 × 10 ⁹ ton	

図: IEA 2°Cシナリオにおける電力構成



作るかという、一番考えやすいのは水の電気分解になります。となると、電気がCO₂を出さないものでなければ意味がないわけです。電化は、ご承知のようにもちろん皆さん方の暮らしの中でもどんどん増えていまして、例えばヒートポンプを使って家を暖めるのはどんどん増えていまして、調理だって電化が進んでいるわけです。したがって、電力を何とかしたいと日本もそう考えていて、この電力の発電構成を見ていただくと、2030年の政府の目標つまりほぼ10年先の目標が書かれています。それを見ると原子力が20~22%、それから再生可能エネルギーが13~15%になっています。再生可能エネルギーの中で中心は太陽光と風力です。同じような考え方をIEAが作ってまして、これは2°Cで抑えようという考え方を実現しようとして作った資料ですが、そこに2050年までの絵が描いてあります。

日本語で私が注釈をつけているところを見ていただきたいのですが、その中に自然エネルギーと書いてあるのがあります。これは、水力と風力、太陽光といったいわゆる再生可能エネルギーが実は半分近くになっている。今日のシンポジウムの主題は、再生可能エネルギーですけども、これが今後電力の中で大きくなることをいかに期待されているかが分かります。ただ、こういった再生可能エネルギーを使う場合、そう簡単にできる

ものではありません。実は、再生可能エネルギーの従来の第1の問題は価格でした。つまりエネルギーの値段が高かったんです。ところが、最近は技術の進歩があつて、急激に値段は下がってきていまして、特に太陽光の値段は非常に下がっていて、例えば中国とかアメリカの一部では、もう普通の化石燃料とほとんど違わなくなっている。したがって日本はややまだ高いんですけども、今後の努力によってはこういう問題は解決される可能性が十分にあると言えます。

発電部門の脱炭素化

1. 再エネ利用と問題点
需給調整電源/蓄電装置問題
慣性問題—周波数安定化問題
2. 化石燃料電力(火力)の必要性
1) 非炭素電源の量の限界
2) 需給調整電源の必要
3) 系統慣性の低下の抑制
—周波数安定化の必要

ただ、2つ問題があります。一つは、再生可能エネルギーは変動が激しい。例えば太陽光発電は日が照れば発電しますし、日が照らなければ、つまり雲が来たり夜になったりすれば発電しないというふうに変動がありますので、需要と供給がいつも一致しなければならないという電力の要求からすると、どうしても何か他のエネルギー源で補う必要がある。一番考えやすいのは

バッテリーです。バッテリーに電気を貯めてこれに対応するわけですが、再生可能エネルギーをたくさん使うとなると、バッテリーが非常にたくさん要る。ですから、再生可能エネルギーが安くなっても、実はバッテリーのコストが大きな問題の一つとなります。

<回転機慣性と回転数（周波数）変動>

回転機の運動方程式

$$A J \frac{df}{dt} = P_s - P_d \quad (1)$$

↑ ↑ 駆動 E 負荷 E

慣性 回転数変化
(電力周波数)

右辺の変化に対して J が小さいほど
回転数（周波数）変化が大い

慣性問題への対応

0. 一定量以上の同期発電機の維持

1. Synchronous condenserの利用
2. Synthetic inertiaの導入
 - 1) df/dt の計測とそれに比例した出力の系統投入—df/dtの計測問題
 - 2) df/dtにかわるΔfの投入

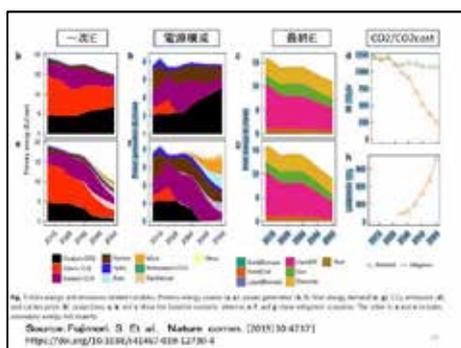
もう一つは、これは慣性＝イナーシャという問題です。皆さんもご承知のように、例えば発電機を蒸気で回すのを火力発電というわけですが、回転機で発電機を回す場合、一般に同期発電機を使ってやりますと、その回転数がそのまま周波数になって出てきます。そういう同期発電機の式を書いてみると、左側にあるのは $A J$ 、 df/dt と書いてありますが、これは運動方程式で質量×加速度、つまり回転機なので、そういうものを慣性と呼ぶんですが、それが $A J$ です。それから f というのは回転数、ないしはそれと同じ意味での周波数です。だから、ここで言っている意味は何かというと、周波数の変動、 df/dt とは時間的な変化ですが、これが発電機側から出るエネルギーと使う側のエネルギーとの差で変わるという式なんです。これが同期発電機が一番基本の運動方程式ですが、そうしま

すと、例えば急に負荷が増えたとすると、 df/dt がマイナスになる。つまり、回転数が下がるわけです。ということは周波数が下がる。だから、それを防ぐのが実は慣性の働きで、慣性が大きければ df/dt は小さくて済むわけです。つまり、周波数変動を抑えるのが慣性の役割なんです。ところが再生可能エネルギー、例えば太陽光発電や風力発電になると、これらは慣性というものが全くないものですから、今言ったような働きができない。つまり、周波数の変動が大きくなりやすいんですね。これをどう防ぐかというのが一つの大きな問題です。いずれにしても、慣性が少なくなるほど周波数の変動は大きくなると言われており、周波数の大きな変動をいかに解決するかということで技術的にいろんな努力がなされていますが、まだ完全に解決するという段階までは参っておりません。例えば人工的につくった慣性を入れるとか、いろんな工夫が考えられていますが、本当の意味での解決はこれからです。こういったふうに、電力でも我々は再生可能エネルギーをたくさん使うということを非常に重要な問題だと考えていますが、それを実現しようとすると、こういった技術的な問題をいろいろ解決する努力が必要なこととなります。

「温室効果ガスを2050年までに8割削減する目標について」

そして、ここで一つ申し上げたいのは、お手元にある差し込まれた絵でございます。これは、実は先ほど司会をされた横山先生から私に質問が寄せられておまして、「日本はCO₂

等を含む温室効果ガスを2050年までに8割削減するという目標を既に政府が約束をしている、これを実際にやろうとしたらどういう問題があるだろうか」という質問でございます。もう既に今から3年前に、政府は将来の対策として8割の温室効果ガスを2050年までに削減するという目標を閣議で決定いたしました。当時、実はそれまでに、2050年までに世界の排出を半分にしようという考え方があったんですが、そのためには先進国がもっと努力しなきゃいけないから、例えば先進国は排出量を8割減らそうとイギリスなどが強く言いまして、それに日本も同意して、3年前に決定をしたわけです。



Fujimori論文の図のポイント説明
—2010 vs. 2050—

1. 一次エネルギー供給
 石炭/石油が中心→需要半減以下/石炭少量
2. 電源構成
 石炭/ガス中心→石炭0/再エネ5割
3. 最終エネルギー
 需要半減・電力不変
4. CO2
 CO2排出量100→20(日本政府目標)
 CO2価格150\$/t-CO2 → 1,000\$/t-CO2

それがどれぐらい簡単にできるのか、それを考える一つのエグザンプルというのが、国立環境研究所のグループが自分たちのモデルを使って計算したこの例でございます。これも実は科学雑誌に掲載された非常に新しい論文でございます。スライドを説明しますと一番左端の2つの絵は、一次エネルギー構造でございます。つまり、どんなエネルギーが使われているかというので、一番上が天然ガス、真ん中の大きい赤いのが石油、真っ黒のように見えるのが石炭でございます。そして、上側が現在、2050年が下でございます。努力をし、80%削減をやった結果が下でございます。見ると分かるように、2つの点が目につきます。一つは右側の2050年を見ていただくと分かるんですが、全体の大きさが小さくなって、ほとんど半分に近くなっている。つまり需要が減ると。これは省エネルギーが一つは重要なファクターになり

ますが、場合によっては景気が悪くなるということも入るかと思えます。そして、見るとほとんど石炭はなくなってしまっている。つまり石炭が一番CO₂をたくさん出す、そういった化石燃料がほとんどなくなって、そうしてその間に色が薄いところが幾つか出てまいります。これは物によってはCO₂を回収して地中に押し込むというCCSという方策をした結果です。そういう努力をいろいろしないとだめだと。そしてこの下の絵はいずれも大分いろんな色が濃いものが減ってきているように見えますが、これは我々がいろんな努力をしたということを示しています。

では、こういうことは、そう簡単にできるのだろうかということになるんですが、この絵の一番右側に絵が出ていまして、上側に出ているのはCO₂がこれから30年間、2050年までの間にどう下ってくるかという絵です。上側からずっと大きく下がっていきまして、実は20%まできている。つまり8割削減を実現している絵がこれなんです。ところが、それに対して下にあるのは、我々はCO₂を否定なしに減らさなければいけないわけですが、減らす場合にどうしてもお金がかかります。そうした場合、いろんなやり方をして減らすわけですが、ものによって値段が違う。その中で一番コストがかかるものは何かというのを調べ

る俗にマージナルコストと呼ぶものがあるんですが、この絵を見ていただくとわかるように、その値が現在から将来、2050年にかけて急激に上がってきていて、現在はせいぜいトンCO₂当たり数十ドルなんですけれども、何と2050年にはほとんど1,000ドルになるという結果になっています。つまり、1桁ぐらい高いお金をかけてCO₂を減らさないと、これが実現できないということになります。当然、それは非常に大きな影響を経済に与えます。CO₂削減の費用が全部この高い値だということではありません。その中の一番高いものだというのですが、平均したってこれは高くなるんですね。したがって、我々は今後抜本的な努力をしないとこれだけ減らすことができないという、そういった絵でございます。

従いまして言えることは、我々は今後ゼロエミッションはおろか、8割削減するとい

まとめ

1. 温暖化は温室効果ガスの排出という人為的
原因で起こっている可能性が極めて強い
2. 1.5℃目標はこれまでのエネルギー投資
からみても達成できない可能性が高い
3. 電力ゼロエミッション化にはCCSが必須の手段
4. 電力の再エネ拡大には慣性問題を乗り越え
るための努力が必要である
5. 運輸燃料、特に船舶航空の脱炭素化には大きな努
力が必要である程度の時間がかかることを覚悟すべ
きである
6. 今後エネルギー利用の効率化には一層の力点を置くべき
(Fugimori論文参照)

だけでも大変な努力を要求される、そういうことを我々は覚悟して今後を過ごさなければいけないということになります。いずれにしてもいかにこの問題が大変かということ、これを見て皆さんがご理解いただければありがたいと思います。

それでは、時間もまいりましたので、これで私の話は終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。(拍手)

○横山所長 茅先生、ありがとうございました。CO₂削減の問題は、先生がおっしゃったように大変難しい問題で、今日は最新のデータを使っていかに大変であるか、だけでも放っておくと大変なことになるという、そういうようなお話でございました。ありがとうございました。

講演「再生可能エネルギーとしてのバイオマスの役割と展望」

○横山所長 それでは引き続きまして、坂西欣也先生のご紹介でございます。坂西欣也先生は九州大学工学部応用化学科をご卒業され、主に石炭、石油、炭素材料のご研究をなされてきました。その後、資源環境技術総合研究所、現在の産業技術総合研究所に異動されまして、バイオマス関連のご研究に深く関わっていらっしゃいました。現在は、福島にある福島再生可能エネルギー研究所の所長代理を務めていらっしゃいます。坂西先生は、東南アジアであるとか、あるいは南米ブラジルなどとの国際的な研究もご活発で、バイオマスの分野では我が国の第一人者でございます。

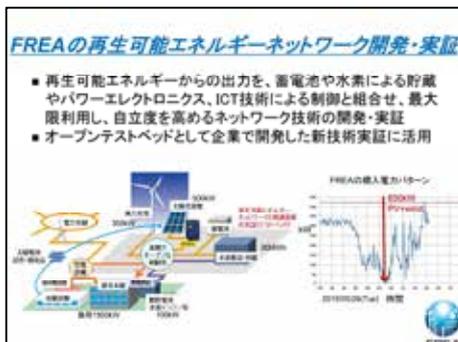
それでは、坂西先生、お願いいたします。

「FRE Aの設立」



○坂西氏 横山先生、ご紹介をありがとうございます。産総研、福島再生可能エネルギー研究所の坂西です。産総研はつくばにありますけれども、最初に研究所の紹介をさせていただきます。福島再生可能エネルギー研究所は、ご存じのように2011年3月11日の東日本大震災の後、政府の復興の基本方針の中に、福島県に再生可能エネルギーの研究機関を作ろうということで産総研が受けまして、私も含めてここに異動しまして、震災から3年後の2014年4月に開所して、いま6年目を迎えております。

「FRE Aの再生可能エネルギーネットワーク開発・実証」



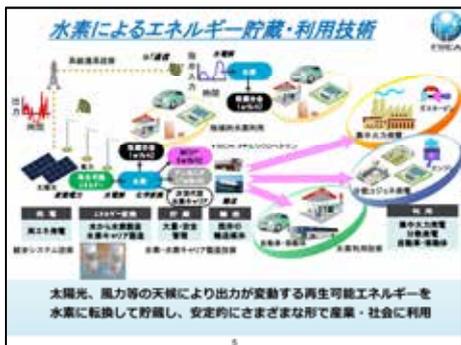
太陽光750キロワットと風車300キロワットを合わせて1,050キロワットの再エネ電源を持っておりまして、研究所全体で再生可能エネルギーをどの程度使っているのかという実証をやっております。これはある日の私たちの研究所のところですが、風車、太陽光で作った電気を実際に私たちの研究所や実験棟に送ってまして、特に昼間晴れて風が吹いていればほとんど電気の要らない時間がありますけれども、こんなふうに変動してしまいます。このように変動する分を400キロワットリチウムイオン蓄電池で貯めたり、例えば土日とか、私たちが研究で電気を使わないときに水素を水電解で作っているような形で貯めるというようなことを、研究開発とともに節電でどのぐらい再生可能エネルギー

ギーを使っていけるかという実証をやっております。ここは研究設備なので時々点検したり止めたりしますが、今電気代的には3割ぐらいは節約できております。私は九州の出身ですが、福島県、特に東北、北海道は今頃の寒い冬の朝は、電気をいっぱい使っています。ですから、そういう熱源を今後増やしていかないといけないというようなことです。



私たちのところでは、太陽光、風力で、水の電気分解をして水素吸蔵合金で貯めたり、あるいはトルエンという有機化合物を水素化してメチルシクロヘキサン (MCH) というガソリンのような液体水素キャリアにするようなこととか、アンモニアを作ったりしております。あと、研究レベルで水電解して出てきた酸素を使って、バイオマスから水素や合成ガスを作るといったようなこともしております。このMCHから水素だけを取り出してデ

ィーゼルエンジンに入れて、ディーゼルエンジンにバイオ燃料を使えばCO₂フリーのディーゼルエンジン、コージェネエンジンにできるのではないかといいようなこともしております。全体的には、天候で非常に変動しやすい太陽光、風力で発生した電力を蓄電池や、水電解したときには水素吸蔵合金とか、アンモニアとか、そういうメチルシクロヘキサンにいか



めることができるかですね。先程来ありましたように、石炭火力とかCO₂をたくさん出すようなところで、例えばアンモニアを混焼するとか、ガソリンスタンドのインフラでMCHのような水素キャリアから水素を取り出して燃料電池自動車で使うといったような取り組みをして事業所で減らすことと、あと火力発電所や皆さんの車などの運輸で減らしていけるかと、分散型のスマートシティとかコミュニティや大学でどのくらい減らせるかとか、そういったようなことも今後やっていければと思っております。



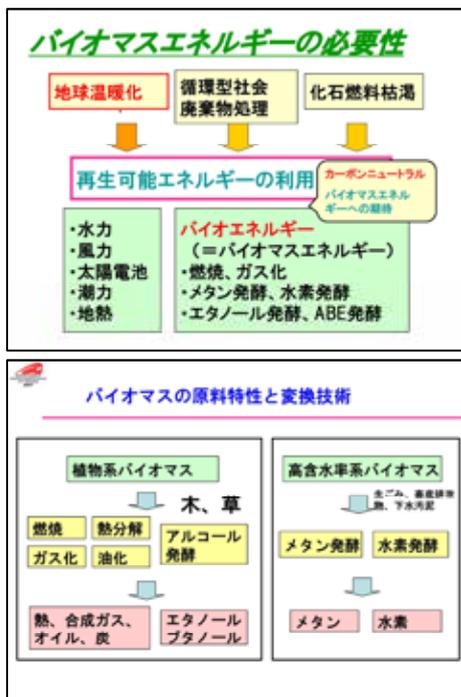
福島県は、先ほど言いましたように、2040年に再エネで福島県の一次エネルギー100%以上を目指すという高い目標があります。ご存じのように福島第一原子力発電所の事故の影響で、福島県は特に再生可能エネルギーを増やしていくことを目標にしており、日本の平均

からすると現在一次エネルギーベースで40%近くまでかなり上がってきております。

鳥取県も電気、発電の分野では35%ぐらいは風力やバイオマス、再生可能エネルギーで賄っていると伺っております。一次エネルギーベースですので、福島県は水力発電所もあるので、電力だけでもう60%以上は再エネで賄っているというようなことができますけれども、自動車とか暖房用とかいろんなところに熱を使ったり、水素を使ったりしないと1

00%というのは非常に難しいという状況です。

「バイオマスエネルギーの必要性」



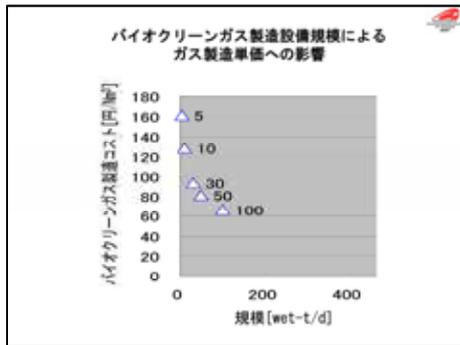
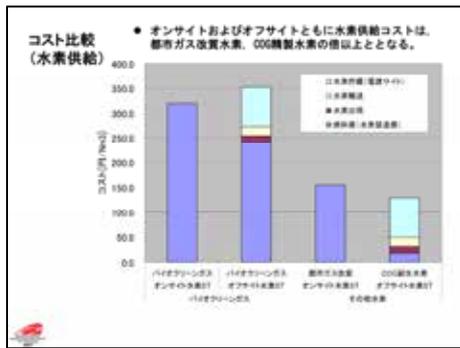
今日の主題であるバイオマスや、再生可能エネルギーというのは、地熱発電所のようにベースロード電源になるようなもの、あと大型水力といったものもあるんですけども、まず特に太陽光がたくさん増えてきますと、例えば天気が悪いとか、夕方にはダックカーブとなって夜には発電できませんので皆さんが夜家に帰ったときに太陽光発電は止まってしまいます。発電できないので、そういったところの補助電源、再エネ補助電源としてバイオマスが利用できるのではないかと考えております。後ほど言いますけれども、バイオマスというのはいろいろな形態で使えますので、バイオマスエネルギーはまず地球温暖化防止、CO₂削減、温室効果ガス削減のためにも必要です。バイオマスは皆さんが日常的に出すごみも含まれますし、農業残渣とか植物といったいろんなものが含まれます。そういったものを利用することで植物

は光合成をしますし、カーボンニュートラルと言われることで、バイオエナジー・ウィズ・シーシーエス（BECCS）というように、バイオマスから出てくるCO₂を減らせばもっと減らせると、ネガティブエミッションという言葉も言われているぐらいですけれども、バイオマスで化石燃料を代替していくことで、変動しない形・いろんな形で電気や熱やメタン、水素、エタノール、そういった燃料にも使えるというような3つの大きな役割を果たすことも可能です。

「水素・メタン二段醗酵とメタン発酵の比較」

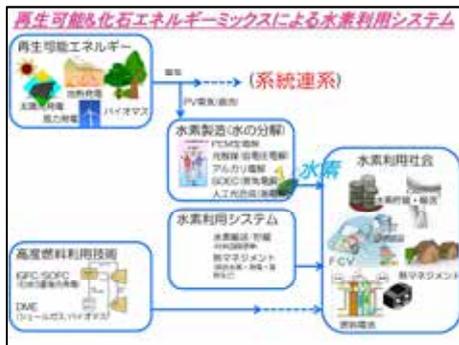


このあと第2部でもいろいろメタン発酵とか水素の話も出てきますが、私たちは木や草や食べられない植物系のバイオマスから、エタノールといったガソリンやディーゼルの燃料の代わりになるようなものを考えております。これは横山先生が以前、産総研の中国センターの所長をされていたころに、広島県呉市で当時はやっておりました、後に京都大学へ異動された澤山教授を中心としてやっていたんですけども、実際に私たちのつく

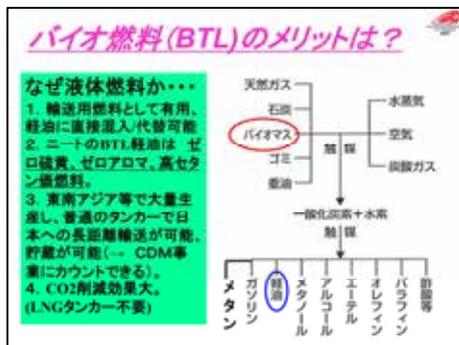


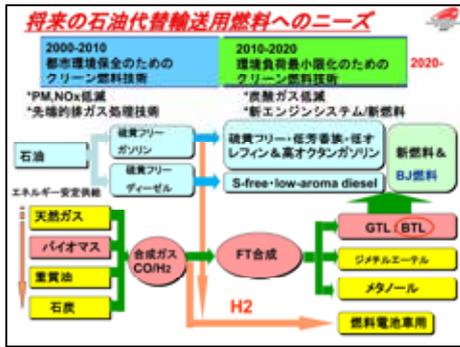
います。あと鉄鋼会社さんのコークオーブンガスから水素を取ってきたものとバイオマスを比較したりしました。縦軸は水素の値段ですけれども、バイオマスから水素を作るということは、原料だけでも非常に高いと。オンサイト型の場合の水素ステーション、オフサイト型でバイオクリーンガス、また水素を作る場合もいろいろ貯蔵設備が必要だということで、都市ガスや鉄鋼会社から出てくる副生水素と比べると非常に高いのですが、私たちが呉にいた頃の中国木材さんでは、木くずで毎日500トンぐらいバイオマス発電をされていました。木くず原料で100トン以上で、今後2030年以降に1立方メートルあたり30円、20円を目標にしないといけないのですが、2、300トンある規模で動かせれば、バイオマスは石炭に比べて、常温常圧で水素を作ることができるため、規模を大きくしていくことである程度100円以下の、将来的にはもう少し規模を大きくしたり効率を高めて水素を作るといことも、木質バイオマスの例ですけれども、可能だということを当時明らかにしました。

「再生可能&化石エネルギーミックスによる水素利用システムそしてバイオ燃料のメリット」



先ほど茅先生からありましたように、化石資源の代替としてバイオマスは利用可能ですし、バイオマス自体もそういう、変動する再生可能エネルギーの代わりに補助にもなるということで、将来、水素社会に向けてバイオマスも役に立つのではないかと。それはこの後もお話があるかと思えます。このBTLというのはバイオマス・トウ・リキッドということですが、これは戦前にドイツ、今は南アフリカでも石炭をガス化していろんな合成ガス、一酸化炭素、水素から、いろんな軽油、ガソリンやアルコールを作るといようなことができるんですけれども、これをバイオマスに変えることでCO₂削減もできますし、FT合成=フィッシャー・トロプシュというドイツの有名な研究者が開発した触媒で炭化水素、軽油、ガソリン留分も作れますし、航空機用バイオジェット燃料とか、あるいはジメチルエーテルとかメタノールとか、そういったものもバイオマスから作る場合に非常に効率がいいのではないかと。将来





的には水素を作るといようなことも先ほど紹介したとおりです。

「低炭素社会に向けたバイオマスコンビナートの役割」



バイオマスは化石資源代替にも、ガスや石油や、炭化すれば石炭の代わりにできたり、ペレットなどの固形燃料としても使えるということですが、量が化石資源に比べると非常に少ないため、今後大規模植林やいろいろな方法が必要ですが、ある程度一定の割合、1割、2割の化石資源を代替することで、バイオマスを化学品にも変えていくバイオマスコンビナートという取り組みも、今、進んできているということです。

I R E N A という国際再生可能エネルギー機関では、バイオマスは輸送用燃料や発電と建物などで、分散型で使うというのが望ましいと言われております。CO₂利用についてはこの後、広島大の中島田先生からもあると思いますが、CO₂削減に向けて全てバイオマスで賄うことは無理としても、バイオマスはCO₂を光合成で取り込んで炭水化物、植物としていろいろな形で今後使っていくべきであり、そういったものの一翼を担うということで、微細藻類とか植物油とかそういったものも含めてバイオマスの有効利用がまた進むだろう。発電から燃料やガスや熱として利用していくという取り組みが進んできているということです。

水素と炭素の比でいいますと、石炭が大体1とすると石油が2で、バイオマスはCH₂Oという元素組成でいうとC₆H₁₂O₆、酸素はあるんですけども、天然ガスだとCH₄なので4と、水素なら無限大ということですね。先ほど茅先生からもありましたように、燃料の水素と炭素の比から考えると、バイオマスはやっぱりエタノールとかメタノールとか、含炭酸素燃料として使うほうが一番効率よく作れるのではないかとということで、これをガソリンとかケミカルとかいろんなものにしていくということで、最近はAlcohol To Jet (ATJ) とかMethanol To Olefin (MTO) といったメタノールをまず作っておいてそれからケミカルに変えていくというような取り組みも進んできているという状況です。これは宣伝ですけども、来月バイオマス科学会議で私たちが福島県郡山市で、私が幹事、実行委員でやるんですけども、その中で本日のテーマの一つであるかもしれませんけれども、RE100と、最近いろいろリコーさんとかアップルさんとか、再生可能エネルギー100%を目指す企業

が国内外で増えていまして、その中でバイオマスはどういう役割をするかというパネル討論を12月11日に開催して、こういった方々と一緒に議論しますので、御関心があればぜひ参加していただければと思います。

ということで、私たちの福島、これは磐梯山と猪苗代湖ですので、ぜひお越しになって見学していただければと思います。以上です。ありがとうございました。(拍手)

○横山所長 先生、ありがとうございました。

大変幅広いバックグラウンドの中からバイオマスエネルギーの話をしていただきました。ありがとうございました。

質疑応答

○横山所長 それでは、お二方の御発表の後ですけれども、何か御意見であるとか御質問があれば、どうぞ遠慮なく挙手を願いたいと思います。

○会場発言 大変興味のあるお話をありがとうございました。

CO₂の削減のことで質問したいのが、海の底にCO₂を沈めるといような計画といような研究を聞いたことがあるんですけども、ハイドレートといような形とかで沈めて、空中にCO₂を出さないように努力することも始まっているといような話を聞いたことがあります。それとか森林のほうで、今、伐採をいかに食いとめるかといすることも重要ではないかなとい、CO₂がほとんど、植物などにとっては0.03%とかの比率しかないので、それが少しでも増えれば植物も有効活用できるといような、効率よく光合成を行えるといような取り組みもあるように聞いたことがあります。

そこでCO₂を削減する方法の一つとして、炭素を燃焼させて発生するのを縮小するといやり方ではなくて、既に存在するCO₂、空中に存在するCO₂をいかに物理的とかで縮小できるかといお話の一つは海の底あるいは森林の効果など、現在どのような効果を期待されていますか。

○茅氏 大気中のCO₂を回収することについては、既にDACと呼んでいる技術で実現しようと、盛んに開発をやっております。これはDACという名前で略称しておりますが、ただ問題点は、大気中にあるものを回収するといことになるとコストが非常に高くなって、現段階では大体トンCO₂当たり600ドルとか700ドルといった値段で非常に高いんです。これらが将来下がるといことがあれば大分話が違ってくると思うんですが、現状ではそれだけのことをするとコストでまずだめになってしまうとい感じがいたします。

もう一つ伺いましたのは海で処理をするとい話は十分考えられることで、CO₂をある程度の形で海に沈めると下のほうではこれは凝縮してむしろ上に出て来にくくなるので、我々もそういう技術を考えられないかといことを大分考えたことがあるんですが、ご承知のようにロンドン条約といのがありまして、海に物を捨てることに対して非常に厳しい制約が現在ではかかっている。そのために海での処理といことは盛んにいろんな人が考えるんですが、現実化するのはい今の段階では法律的に非常に難しい状況だと思えます。

ただ、その可能性はあるので、ごく最近、先ほどのIPCCが海におけるCO₂の回収を含めた海とCO₂に関する特別報告書を出しておりますので、場合によってはそれを参照されたらいかがでしょうか。

○会場発言 ありがとうございました。

もう1点、森林のほうの話は、これは植物系の研究者から聞いた話なんですけれども、植

物にとっては今現在の地球の環境というのは、森林の食料となるCO₂がものすごく不足している状態であえていっているぐらいに少ないという、動物にとっては呼吸困難になる可能性があるんですけども、植物にとっては0.03%という物すごく低い栄養分しかないので、それが少しでも増えれば植物の光合成が今よりも効率よく行えるというようなことも聞いたりしていますので、自然の植物にCO₂が逆に栄養になるような取り組みで効率よくCO₂を減らせるのではないかと。

○茅氏 なるほど。

○会場発言 光合成が活発化することによる方策もあるように思うんですが。

○茅氏 そういった考え方もあるだろうと思います。ただ、現段階では特別にそういったことを推進するような動きは、少なくとも私の知っている範囲ではございません。ただ、いずれにしても、植物や森林などがCO₂を吸収するのはやはり一番自然なことなので、そういったことを少しでも推進、より増やすという方法があれば、それについての反論は恐らく出ないだろうと思います。

○会場発言 どうもありがとうございました。

○横山所長 ほかに御意見や御質問があればお願いいたします。

○会場発言 地球温暖化の対応策について、茅先生にお伺いしたいと思います。

地球温暖化によって近年、この数十年間は山火事の発生可能性も高くなり、山火事でのCO₂排出によってさらなる地球温暖化が一段と加速すると言われていています。私は地球温暖化の対応策について勉強しておりますが、山火事の防止について聞いたことが余りないので、山火事の予防は世界中に重視されていないということで理解してもいいでしょうか。

○茅氏 おっしゃる問題は、現在、特にアメリカ西部で起きている問題ではないかと思いますが、それおっしゃるとおりですね。まことに困った現象です。ただ、私も残念ながら火事の専門家ではないので、火事をどうやって減らすかという方法については普通の人以上のアイデアはないのです。

○会場発言 山火事について最近出た論文で、いわゆる森林によるCO₂の吸収とそれから森林が燃えてしまっただけでその後に植生が出てくるんですけども、その植生によるCO₂の吸収を比べると後者のほうが圧倒的に大きい。だから山火事なり何なりをしてそれでそこから植生を、それは考えてみれば当たり前なんですね。成長して炭酸、有機物に固定していくわけで

すから、その間の速度が高くなるというのは当たり前なんです。問題はマスで、蓄えられている有機質は森林のほうが圧倒的に大きいですよ。だから一時的にやっぱり当然上がりません。なので、山火事でCO₂がマスとしては出るんだけど、吸収速度は上がるという、そういう考え方ですね。よろしいですか。

○会場発言 ありがとうございます。

○坂西氏 今、言われたコメントに追加ですけれども、山火事の原因は幾つかあるかと思うので、この間のブラジルやインドネシアもそうですが、焼き畑をして結局農地をふやすとか、いろいろそういったのが山火事の原因になったり、カリフォルニアの場合とはちょっと原因が違っていると思うんですけれども、おっしゃるようなある程度もう高齢化した木というのは、ある程度若返らせていくというのは実は日本の森林も同じで、五、六十年たつてあんまり切られていないと、人間と同じであんまりもう成長しないわけなので、CO₂を吸収できなくなっていますので、ある程度古くなったというか、五、六十年伐期を迎えた木というのは植えかえていくということで、今、先生がおっしゃったようにCO₂吸収量がふえていくということは、ある程度森林を活用すると、森林でCO₂の吸収量を上げていくという大規模植林のお話、茅先生からもありましたように、非常に重要なことであると考えております。以上です。

○横山所長 ほかにいかがでしょうか。

○会場発言 いわゆるバイオマスの利用について坂西先生へ質問です。やはり大規模に集約化してバイオマスを利用していくというケースと、それからいわゆるオフサイトとオンサイトという考え方ですけれども、エネルギー需要の集約化か分散化かという議論と、それからエネルギー生産の集約化、分散化という、多分その両方のバランスだというふうに考えます。

いわゆるエネルギー需要を分散化してそこに対して直結するエネルギー生産系をつくると、いわゆるオンサイトでのバイオマスの利用に対してそこでやると。そうすると先ほどのエネルギーの需給の変動というものが今度問題になると思います。いわゆる地域ごとで最適化したエネルギー生産と需要のバランスをどうやってとっていくかということは、こういう議論の中には含まれているのでしょうか。

○坂西氏 ええ、含まれているかと思えます。

茅先生のお話であったように、今までは例えば石炭火力だと50万とか100万キロとか原子力発電所もそうですが、大規模な発電所で一極的にある程度電気を供給するという体制から、今スマートグリッドとか、うちの研究所自体でも1メガワット単位で、BEMSというビルディング・エネルギー・マネジメント・システムとか。最近、工場でファクトリー・

エネルギー・マネジメント・システムということで、自動車会社さんとかいろんなところでもそういった太陽光とか、バイオマスの地域熱利用、この後、第2部でお話があると思うんですけども、CEMS＝コミュニティ・エネルギー・マネジメント・システムという形の考え方ですね。バイオマスで考えると、私はやっぱり皆さんが日常的に出しているごみ焼却場が、例えばこの鳥取だったらどこにあって、皆さんがごみの量を減らすということも必要ですし、今、単に石油をかけて燃やすだけの焼却炉も多いので、そういったところのバイオマスを有効利用するということが非常に重要であると考えます。

よくフードロスと言われてはいますが、日本は食料の自給率も40%ぐらいで、森林自給率もまだ30数%ですので、日本は木がありますし、食料もそこそこあって、しかも捨てているという状況なので、廃棄物系のバイオマスを有効利用していくというのは非常に重要であるとも考えています。今日は学生の方がたくさん来られていますけれども、そういうことを積み重ねていくとちりも積もればということで、バイオマスステーションといった10%ぐらいは自分の身の回りのごみを有効利用することで熱とか電気とかガスとかを供給してエネルギーを賄うというようなことは、私たち全員ができることかなと思いますので、それを積み重ねていくと石炭や石油の使用量を減らしていけるのではないかなと思います。

○横山所長 ありがとうございます。

それでは、時間が来ましたので、これで第1部を締めたいと思います。改めてご講演いただいた茅陽一先生と坂西欣也先生に盛大な拍手をお願いいたします。(拍手)
ありがとうございました。

(2) アンケート結果

シンポジウムに参加していただいた方々にアンケート調査を行いました。

アンケート集計結果

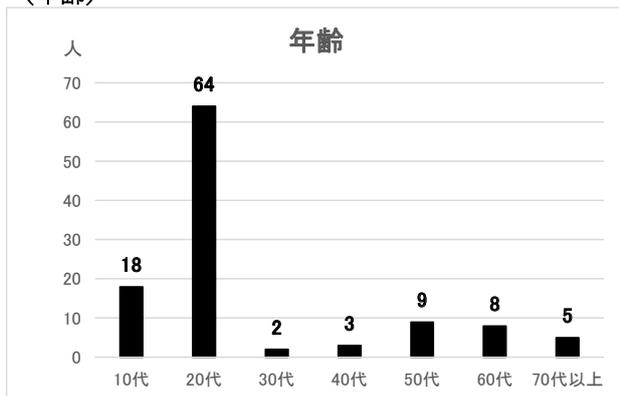
【1. 年齢、性別、職業】

(性別)

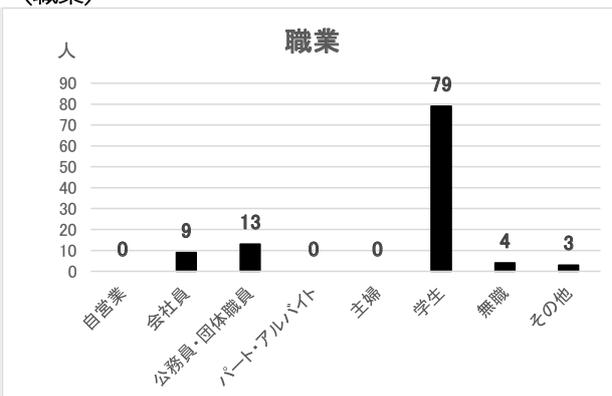
男性	女性	無回答
72人	36人	1人

参加者数	回答数	回答率
278	109	39%

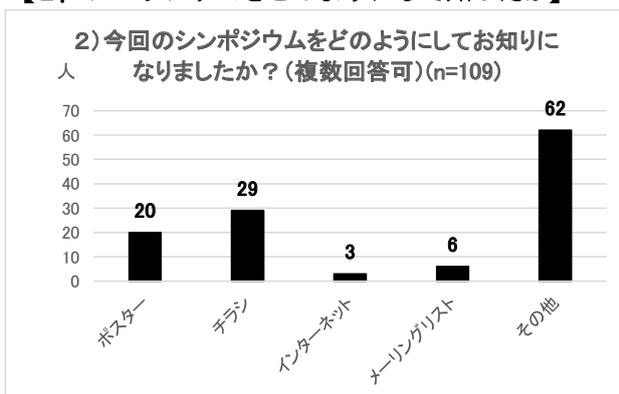
(年齢)



(職業)



【2. シンポジウムをどのようにして知ったか】



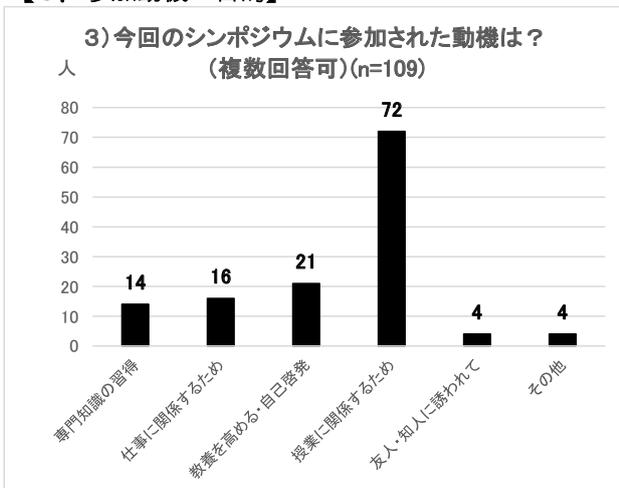
※チラシの入手先

- ・授業(8) ・県庁(2) ・職場(3) ・郵送(1)
- ・大学(1) ・図書館(1) ・大学掲示板(1)

※その他

- ・授業(59) ・市報(2) ・大学からの案内文(1)

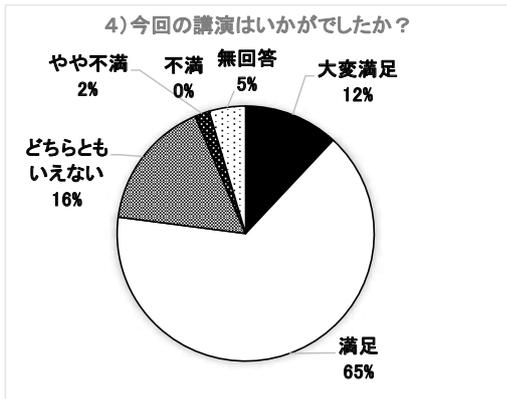
【3. 参加動機・目的】



※その他

- ・仕事に活用できないかどうか
- ・木質バイオマスについて知りたかった
- ・気になったため

【4. 講演について】



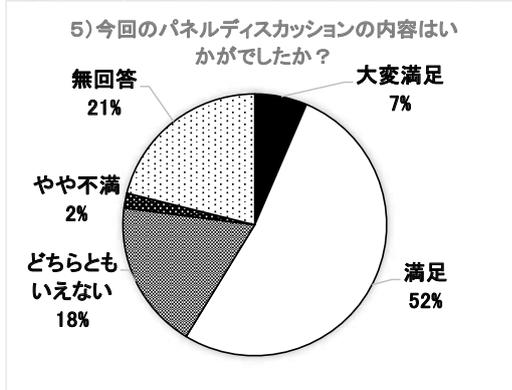
※一般

- ・ 勉強になった
- ・ 「バイオマスのさらなる利用」についての戦略のような内容があればもっとよかった。
- ・ 21世紀後半までに温暖化ガス排出ゼロにしなければならないが相当の覚悟と努力が必要。
- ・ 政策的な所から最新技術まで聞けたため。
- ・ 茅先生のバイオマス技術の普及によるCO2の削減について関心があります。

※学生

- ・ 授業があったため参加できなかった。
- ・ バイオマスについての知識をたくさん身につけました。
- ・ 木質バイオマスの現状、取組について少し理解できたため。
- ・ バイオマスの現状が知れた。
- ・ とても興味深い内容だったから。
- ・ 興味深かった分もっと時間を取って説明してほしいかった。
- ・ 現状を知ることができたり新しい知識を得ることができたが、自分の知識不足もあり、少し難しかった。
- ・ 今まで知らなかったことを知ることができた。
- ・ 難しい内容ばかりだったが面白かったから。
- ・ バイオマスについては全く分かっていなかったが、様々な人からバイオマスについて知れた。
- ・ 様々な話が聞けた。バイオマスのことを知らなかったが勉強になった。
- ・ バイオマスを多様な面からみることができた。

【5. パネルディスカッションについて】



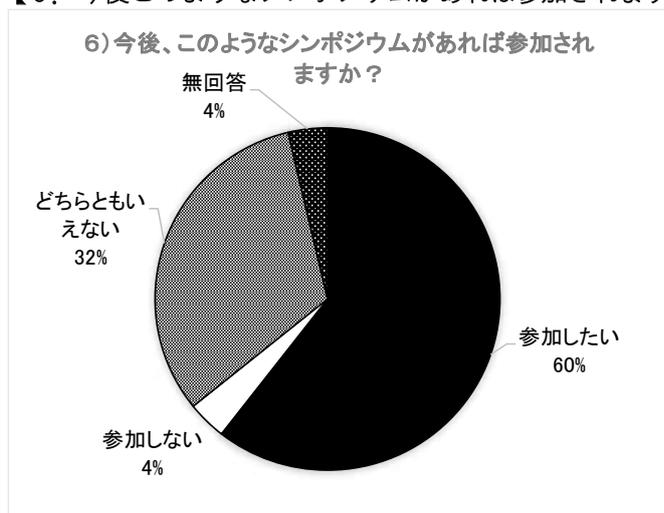
※一般

- ・ 講演で不足していた内容を補足してもらった。
- ・ 実践的な事例、取組を知ることができた。
- ・ 話題提供での4名の方々の取組、感銘を受け、拝聴しました。

※学生

- ・ 内容が難しかった。
- ・ グラフや図等で詳しく示されていたのでわかりやすかった。
- ・ とても深い内容について知ることができた。
- ・ 丁寧に質問に答えていたから。
- ・ 自分にとって理解するには内容が濃密すぎた。
- ・ バイオマスの現状を掘り下げた内容であったが、多少難しい内容もあった。
- ・ 様々な視点から意見を聞いた。
- ・ 持ってない知識を得られた。
- ・ 具体的な内容を企業から聞くことができたから。
- ・ 新しい知識を得ることができた。
- ・ 教養が高まった。

【6. 今後このようなシンポジウムがあれば参加されますか】



【意見・感想】

※一般

- ・ バイオマス「カミマルチ」「発電」「ボイラー」事業や3千世帯発電など他に水素製造事業費などを説明してほしい。
- ・ バイオマスに関する基本的な情報を聞くことができた。
- ・ 「森林バイオマスの活用」についてを期待して参加したのですが、内容があまりなく残念です。当地域は山林の割合が多く、そのテーマも次回は加えていただければ有難いです。（お世話になりました）
- ・ バイオマスの期待のみならずコスト以外の課題等にも触れてほしかった。
- ・ 講演中の室内照明をもっと明るくしてほしい（メモが取りにくい、手元資料が見にくい）。
- ・ 専門的な講義でしたが、何とか概要はつかめたと思います。
- ・ 専門的な内容もわかりやすく講演していただき勉強になりました。
- ・ 興味深いお話でした。専門的な科学の話は難しく感じました。不要なものを利活用することは素晴らしいと思った。
- ・ バイオマスの利用について、もっと利用テーマを絞った多角的に掘り下げる内容に関心があります。
- ・ スタッフの皆様、ご苦労様です。山とか農地で何か薬品か菌でセルロースを光の波長より小さくすることは可能ですか。

※学生

- ・ 茅先生の講演を全部聞きたかった。
- ・ 温暖化抑制のための課題や様々な議論されていることを知ることができた。もっと勉強していかないといけないと感じました。バイオマスに対する意識が少し強まりました。
- ・ 貴重な経験ができた。
- ・ CCSとかBECCSなど興味がそそられるが、自分に足りない知識があったのでもっと関心を持とうと思いました。今日聞いたことをもとに資料などを読みたい。
- ・ 著名な先生方を呼んでいただけて本当に良かった。なかなか得難い機会だった。気になっていたことがわかり、自分の勉強をもっと進めていこうと思った。次回以降もこのような機会があったら必ず参加する。
- ・ 非常に興味深い内容ばかりでした。
- ・ 時間が限られているので仕方がないことかもしれないが、1人の発表時間が短く、早口で発表されるので、聞き取りにくい部分や説明しきれていない部分があったように感じたので、人数を減らしてもっと深い話を聞けてもよかったのではないかと思います。
- ・ 塩分濃度を高いものをメタン発酵し、最終的にエタノールを作ることができる技術があることを知った。
- ・ 木質バイオマスについての質問が多かったので次回同様のシンポジウムがある場合、森林組合の方などのお話も聞いてみたいです。
- ・ 廃熱の利用等知らなかったことが知ることができよかった。
- ・ 工場ボイラー廃熱を利用して養殖を行ったり、多量なCO2を利用してレタスの成長促進させたりなど難しい講演内容の中でも興味深い事業を発見することができてよかった。