



# 2019年度 サステナビリティ研究所 事業報告書

---

Sustainability Research Institute  
Business Report 2019

## 巻 頭 言

2020年度より横山伸也先生の後任としてサステナビリティ研究所の所長を拝命致しました。2019年度の事業報告書の発刊に際しまして、一言ご挨拶を述べさせていただきます。

本年度よりサステナビリティ研究所は、旧SDGs幹事会を統合し、以前からの特別シンポジウム、エネルギー教室、企業・行政との技術懇話会等の年間諸行事に加えSDGs関連の諸事業の推進を目指して組織改編を実施いたしました。研究所の活動分野が拡充され、体制も副所長ポストが新設され、より強固なものに生まれ変わりました。このような新生サステナビリティ研究所を、今後来るべき新しい時代にマッチした研究所にすべく、運営を図っていく所存であります。

新生サステナビリティ研究所の船出にあたり、今年度の諸行事等の計画を作成しました矢先、新型コロナウイルスによる感染症の日本全国への流行によって、研究所運営のみならず、大学全体の機能を一時期停止せざるをえない事態に遭遇致しました。入学式の中止、新生及び在校生へのガイダンスの大幅延期、慣れない遠隔授業への取り組み等、大学をあげてこの対策を実施する事になり、今現在もその対応は模索、継続されているところであります。

このような世界全体をも巻き込んだ大規模な感染症の流行は、いわゆる「スペイン風邪」以来約百年ぶりの大惨事と聞きます。言い換えれば、前回の大規模感染以降百年間で築いた近代化の文明・技術・生活様式がこのウイルスの脅威にどう打ち勝つことができるかの試練を迎えていると言えるでしょう。この天変地異を目の前にし、われわれ自然科学、人文科学を研究する者にとって、新型コロナウイルスの猛威は大きな教訓を与え、研究テーマ、研究生活を変えるきっかけにもなり得ると感じます。今後のサステナビリティ研究所の方向性を占う結果になるやも知れません。

新型コロナウイルス対応を終え、一日も早く大学運営が正常に戻り、本来のサステナビリティ研究所の研究、運営活動を再開できる事を切に望みます。

最後に、新生サステナビリティ研究所の確実な推進をお誓いすることで、巻頭言に代えさせていただきます。

2020年6月吉日  
サステナビリティ研究所長  
田島 正喜

## 発刊にあたって

報告書を発刊するにあたり、一言ご挨拶申し上げます。サステナビリティ研究所は、運営規程によれば、各部局の教員が横断的な研究を行い、その成果を社会に提供して持続可能な循環型社会形成と地域活性化に資するとあり、同時に教育にも貢献することがその目的とされています。

今年度は本目的のために複数の研究が採択されましたので、この研究成果が将来、教育や地域活性化に繋がることを期待しております。情報提供や成果の普及といった観点から、環境白書をテーマにしたシンポジウムと特別シンポジウム「バイオマスのさらなる利用に向けて」を開催致しました。後者は地球温暖化対策の第一人者である茅陽一先生に特別講演をお願いし、難しい問題を平易にお話いただくことができました。加えて、バイオマスエネルギー利用に関しても、地域で商業化されている技術に加えて、最新の技術に関する情報を発信することができました。また、地域貢献という観点から「エネルギー教室」として、鳥取県西部地域において小学生を対象として父兄と一緒に再生可能エネルギーの現場を見学し、地元企業の活動を直接見聞する機会を得ることができました。

さて、2020年度は本研究所が本学のSDGs（持続可能な開発目標）の取組を推進することになりました。これまでは、主に自然科学の分野をカバーしてきましたが社会科学的な要素が入り、本来の意味でのサステナビリティを追求することになったともいえそうです。

これからも、サステナビリティ研究所に対して、ご支援とご協力をいただくことをお願いして、ご挨拶に代えさせていただきます。

2020年3月31日 記

横山 伸也

(前 サステナビリティ研究所長)

# 目 次

巻 頭 言	2
発刊にあたって	3
研究員成果報告	5
2019年度活動実施報告	19
(1) 本研究所主催事業	20
(2) 特別協力事業	24
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	27
(1) 講演録（第1部のみ収録）	28
特別講演「地球温暖化とその対応策」	30
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」	41
質疑応答	48
(2) アンケート結果	52



## 研究員成果報告

# 星空観察スポットの地域特性を活かした大気及び光害環境の教材化

環境学部 足利裕人

## 1. 概要と目的

都市の照明による光害は夜空を照らし、天の川や暗い星・星雲等を隠している。光害は天体観測の障害になるだけでなく、光を無駄に出すエネルギーの無駄遣いや生態系への悪影響をもたらす。近年、光害に加えて黄砂やPM2.5等の微粒子の飛来も空の透明度を損ね、健康被害も懸念されている。良好な大気環境や美しい星空を地域資源として活用し、持続可能な大気環境を維持するためにも、夜空の透明度観察は役立ち、子どもたちや市民のSDGs意識の向上に寄与することができる。

従来、透明度の目安には特定の星座がどの程度見えるかが使われ、環境省は夜空の写真撮影による、全国からのボランティアのデータを集めている。しかし、科学的な予測が十分でないため、SCW等のスーパーコンピュータによる雲の動きや、雨雲レーダーだけではその日の夜空の透明度が予測できない。

本研究では鳥取市のいくつかの地点を選択し、その地点の地勢やPM2.5の濃度、気温、湿度等を参考にしつつ、スカイクオリティメーターによる空の暗さ(表の透明度)を測定し、将来の星空観察の目安となる物理量を推測した。

## 2. 方法

### 2. 1 使用機材

空の透明度を計測する機材として、以下のものを準備した。

- ① スカイクオリティメーター SQM-L
- ② PM2.5測定器 BOSCH PM1.0 PM2.5 PM10 測定器  
SNDWAY SW-825 PM2.5 DETECTOR
- ③ 湿度計 SNDWAY SW-825 PM2.5 DETECTOR
- ④ 温度計 LCD 温度計 GM1312 K型熱電対  
SNDWAY SW-825 PM2.5 DETECTOR
- ⑤ 高度計 CASIO PRPTREK PRW500J

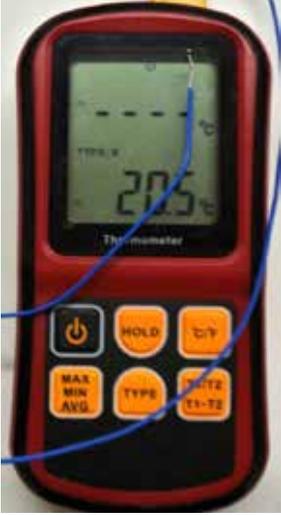
	
スカイクオリティメーター	熱電対温度計
	
SNDWAY PM DETECTOR、温湿度計	BOSH PM 測定器
	
	CASIO PROTREK

図1 測定機器

## 2. 2 測定方法

スカイクオリティメーターを中心に、2. 1の機材を用いて、戸外で短時間の計測を行う。肉眼視とともに同じ望遠鏡機材を用いて f 値、ISO 感度を揃えた星座の写真撮影を行い、各物理量と見え方の比較を行った。

### 2. 3 定点観測小屋の設置

継続した観測データを得るため、定点観測の拠点として、鳥取市河原町小倉の谷の、鳥取道の土砂による埋め立て地を借り、小倉天体物理観測所としてスライディンググループ式の小屋を建設した。これにより、強風や深夜に出る鹿や猪を避け、安定した観測を保障することができた。小倉は表1にあるように、さじアストロパークに匹敵する暗さを示し、用瀬インターから近い有利さを持つ。図2は観測小屋の屋根を全開にし、4月29日午前3時の天の川の背景に撮影した写真である。



図2 定点観測小屋の設置

### 3. 結果

市街地のデータは、鳥取市大杵の住宅街である自宅周辺で計測した。国府町コミュニティーセンターは田畑に囲まれた平原の中にあり、広い公園と駐車場を備える因幡万葉歴史館が隣接している。ただし、街灯が多く、道路沿いの街灯や、自販機の明かりが目立つ。公立鳥取環境大学では、街灯のナトリウムランプが明るい入口のロータリーと、街灯が無く、教育研究棟の明かりが届きにくい教育研究棟裏で計測した。殿ダムは国府町からさらに20分、雨滝方面を登っていった、標高250mの第二駐車場で計測した。ダム湖があるため霧が発生しやすく、湿度が高い。レンズの結露対策が冬場は必要である。また、夜間は鹿が多く出没する。鳥取市街地からは一番近い星空スポットと言える場所で、鳥取市の明かりも山にさえぎられている。さじアストロパ

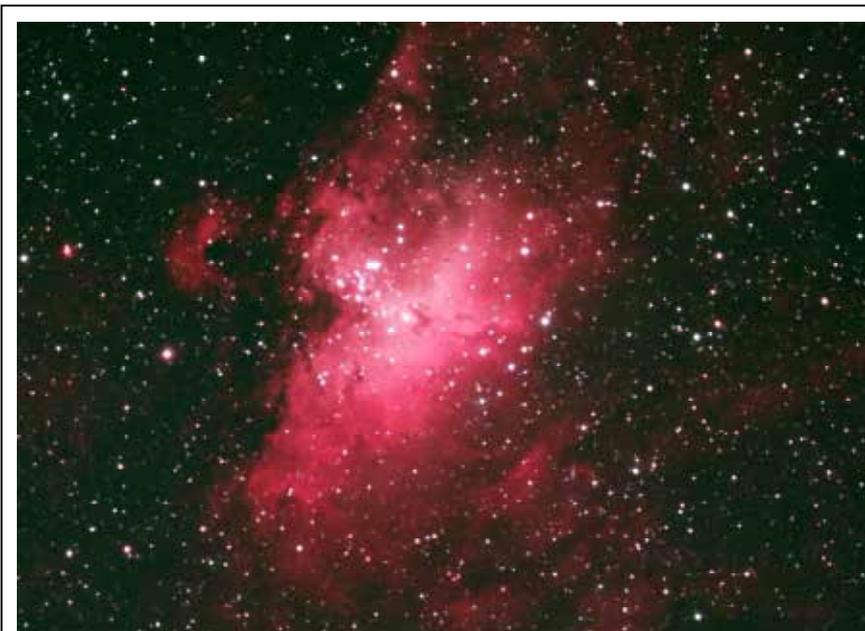


図3 へび座の散光星雲+散開星団のM16わし星雲。中心部には創造の柱（星が生まれるガスが磁場により柱構造を成す）が見える

ークは標高 380m、鳥取市からは最も離れていて、鳥取の天文愛好家の星空観測の中心である。ただし、21 時を過ぎないと施設の明かりが消灯されない。撮影条件としては最も優れた場所の一つである。

定点観測施設を設置した鳥取市河原町小倉は、標高が 220m であるが谷を鳥取道建設時に埋め立て、周囲が山に囲まれ、鳥取市からの明かりが北側の観測対象の少ない方向になるため、星空観測に有利である。一番の難点は風が強いことである。

空の暗さの測定は、満天の星空の下で行わなければならない。しかし、近年快晴の日が少なく、観測の間隔は長くなるが多かった。以下に鳥取市各地点での観測データを示す。

表 1 時系列観測データ

日付	時刻	場所	地勢情報	標高	透明度	温度	湿度	PM2.5	備考
	時：分			m		°C	%	μg/m <sup>3</sup>	
10月9日	2:18	国府町コミュニティーセンター駐車場	田畑の中に位置。多くの街灯や自販機の明かりが影響	20	20.68	14	60	9	街灯の明かり
11月6日	2:15	殿ダム第三展望所	貯水池のため温度が高く、霧が発生しやすい	250	20.93	4.2	63	4	
11月21日	21:25	さジアstroパーク	標高が高く山に囲まれている	380	21.22	5.5	76	3	
		環境大ロータリー	街灯あり	43	20.45				
11月23日	21:30	さジアstroパーク		380	21.23	12.5	76	12	
11月30日	21:00	環境大教研棟裏	街灯無し	38	18.48	5	72	3	
1月22日	3:02	国府町コミュニティーセンター駐車場		20	20.83	-1.2	80	14	
2月14日	21:00	環境大学駐車場	街灯あり	43	18.64	9.7	67	16	
	22:00	国府町コミュニティーセンター駐車場		20	20.19	8	72	13	
2月24日	1:00	国府町コミュニティーセンター駐車場		20	20.77	2	76	9	
3月2日	0:37	大杓390	住宅地で街灯が多い	40	20	6.2	74	10	建物の影で測定
	4:30	国府町コミュニティーセンター駐車場		20	20.83	2.8	81	8	薄雲 透明度低い
3月19日	2:00	国府町コミュニティーセンター駐車場		20	20.79	8	80	34	雲は無い 透明度低い
3月20日	23:00	河原町小倉	山に囲まれ、明かりが無い	220	21.17	8	58	7	
3月25日	1:00	河原町小倉		220	21.39	4.3	77	28	
4月14日	20:00	河原町小倉		220	21.33	8.3	72	8	0時にかけてSQM値上昇
4月25日	20:00	河原町小倉		220	21.1	8	51	14.4	低高度は薄雲。0時にはSQMは21.42に上昇
4月29日	0:00	河原町小倉		220	21.26	13	67	10.8	PM高いが暗い

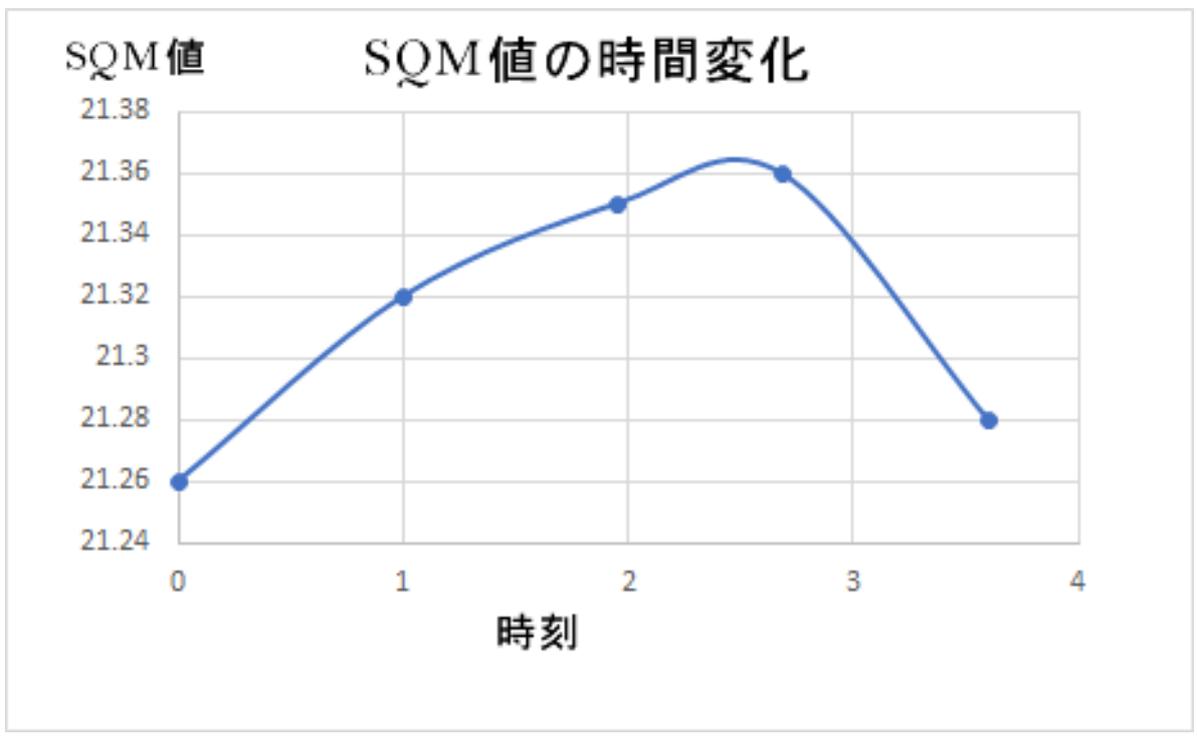


図4 SQM 値の時間変化 (於：小倉)  
 SQM 値＝スカイクオリティメーターによる空の暗さ (表の透明度)

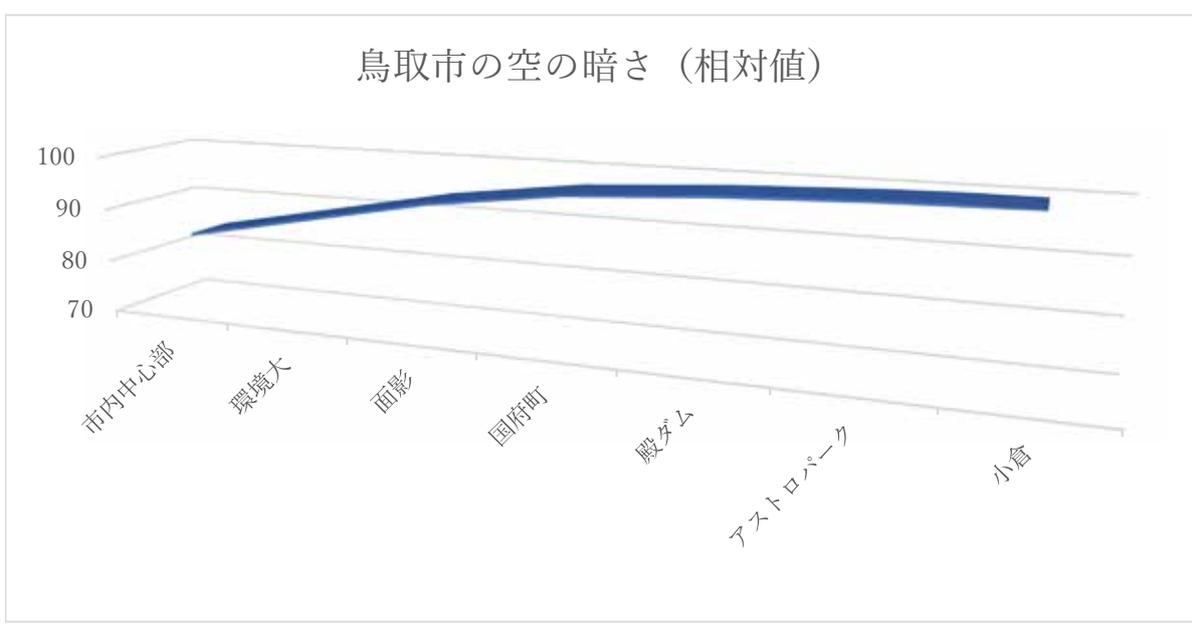


図5 鳥取市の各地点別空の暗さ

#### 4. 考察

スカイクオリティメーターは夜空のバックグラウンドレベル（背景の暗度）を客観的に数値でSQM値として測定することができる。これは実際の星の等級（20等星なら20等級の星の光が平方秒角（1"）に広がっている）でもある。しかし、実際の夜空は水蒸気濃度（湿度に関係）や黄砂、PM2.5、PM10などの浮遊微小物質等に影響される。このため、定点観測を小倉で行ったところ、PM濃度が高くてもSQM値が高く、図6の渦巻銀河のように明瞭な星雲が撮影できるときもある。また、湿度が高く、肉眼では分かりにくい薄雲が広がって透明度が低いときもある。上空の水蒸気量（レーザーで測定）や風力等他の要素を加え、継続した測定データの蓄積が今後の課題である。また、照度計は通常の観測地点では0Luxを示すため、使用に供する機器ではなかった。

小倉に設置した観測所は公立鳥取環境大学の教職課程学生の天体実習や天文部の観測にも供する。今後は星取県の観測スポットとして地域連携を行う予定である。現在、星取県や環境学部のFacebookサイトでも観測成果を公表している。



図6 透明度が高いと星雲は明瞭に撮影できる。上は小倉で撮影、下は国府町コミュニティセンターで撮影

#### 5. 新聞記事より

##### 5. 1 日本海新聞

日本海新聞地方版 2020年4月24日（金）「観測好立地に天文台」2基整備、環境大研究も

##### 5. 2 朝日新聞

朝日新聞鳥取版 2020年5月1日（金）より

鳥取）山あいに宇宙への扉 アマチュア天文家ら観測施設

アマチュア天文家ら2人が、鳥取市河原町小倉の山あいに、直径1.8メートルの天体観測ドームと、屋根がスライドして開く天体観測室（7.2平方メートル）を建てた。名付けて「小倉天体物理観測所」。空が暗く、南や東の視界が開けた好条件を生かして観測し、地元住民を中心にした少人数の観望会を通じて星空の美しさ、見る楽しさも伝えたいという。



小さな「観測所」を開設したのは鳥取市のアマチュア天文家多賀利寛さん（68）と、色とりどりの星雲にひかれて3年ほど前から本格的に天体観測を始めたという公立鳥取環境大特任教授の足利裕人さん（69）。好条件の観測拠点を探しながら県東部の各地で観測を重ねていた多賀さんが、この場所にほれ込んで土地を借りたという。ドームを設置した多賀さんは「山に囲まれて周りからの光も遮られ、天の川の見え方がすごい。地元の方にも素晴らしい生の星空に興味を持ってもらえたら」。

足利さんはスライド屋根の観測室をベニヤ板や繊維強化プラスチック（FRP）で一から手作りし、今月完成した。ピンク色に塗った扉は「どこでもドア」をイメージ。「どこでもドアは『宇宙への扉』。子どもたちが興味を持ってくれるのを願っている」

同大敷地で観測していた天文部も利用する。部員で観測室作りを手伝った同大2年の二若真帆さん（19）は「観測が楽しみ。1年生にも星を見る楽しさを知ってもらいたい」。（斉藤智子）



# 焼却施設における水銀物質フロー推計モデルの精度向上と

## 排出削減への応用

門木 秀幸\*、遠山 碩\*、成岡 朋弘\*\*

\* 公立鳥取環境大学環境学部

\*\* 鳥取県衛生環境研究所

### 1. 研究背景

2013年10月に熊本市・水俣市で開催された外交会議において「水銀に関する水俣条約」が採択され2017年8月16日に発効<sup>1)</sup>した。これを受けて、我が国では水銀による環境の汚染の防止に関する法律（平成27年法律第42号）、大気汚染防止法の一部を改正する法律（平成27年法律第41号）、廃棄物処理法施行令の一部を改正する政令（平成27年政令第376号）が公布され、水銀に関する一層の管理の徹底が図られている。このうち、大気汚染防止法では、水銀の排出基準の遵守が規定された。対象施設は、産業用石炭燃焼ボイラー、非鉄金属（銅、鉛、亜鉛及び工業金）製造に用いられる精錬及び焙焼の工程、廃棄物の焼却設備、セメントクリンカーの製造設備である。この内、国内の水銀の大気への排出の約3割は廃棄物焼却施設が由来している<sup>2)</sup>とされている。そして、焼却施設の適正管理には焼却する廃棄物に含まれる水銀量の把握が重要となる。しかし、一般廃棄物の可燃ごみは、組成が複雑であり多様であることから、各組成における水銀の含有量やその寄与割合は不明である。そこで、本研究では、一般廃棄物焼却施設1施設を対象とし、施設に搬入される水銀量（入口側）と、施設から排出される水銀量（排出側）について調査し、一般廃棄物焼却施設における水銀のマテリアルフローの推計について検討を行った。具体的には、入口側は、ごみ質分析、各組成の水銀含有量・水銀寄与率・その他の水銀起源を調査した。排出側は、焼却残渣中の水銀含有量調査・排ガスの水銀濃度分析・排出先への水銀分配割合の推計を行った。

### 2. 調査方法

#### 2.1 入口側

入口側の調査として、一般廃棄物焼却施設に搬入される可燃ごみ中の水銀含有量を調査した。「一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について（昭和52年、環整95号）」<sup>19)</sup>に基づいて行った。まず、ごみピットから約500kgのごみを採取し、四分法により縮分した後、組成分類項目として「紙・布類」、「ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類」、「木・竹・わら類」、「厨芥類」、「不燃物類」、「その他」の6項目に分別した。水銀含有量は、底質調査方法（平成24年<sup>3)</sup>）における水銀分析方法のうち、硝酸－過マンガン酸カリウム還流分解法により行った。各ごみ質の水銀含有量と各組成の可燃ごみに占める割合から水銀の寄与割合を算出した。また、ごみ以外の水銀起源として、冷却水、消石灰の水銀含有量も調査した。

#### 2.2 排出側

一般廃棄物焼却施設から排出された焼却残渣（焼却灰、落じん灰、固化灰）の水銀含有量を底質調査方法にて分析した。また、落じん灰は、一定期間（平成 30 年 9 月 14 日～平成 31 年 2 月 21 日）に搬出された落じん灰の実績と、その間に搬出された焼却灰の実績から、落じん灰と焼却灰の排出量の比率を算出し、各月の焼却灰の排出量から各月の落じん灰の搬出量を推計した。排ガスの水銀濃度データ（測定方法：環境省告示第 94 号）は施設設置者から提供を受けた。

### 2.3 溶出試験

焼却残渣中の水銀量の安全性を調査するため、環境省告示第 13 号にならない溶出試験を行った。

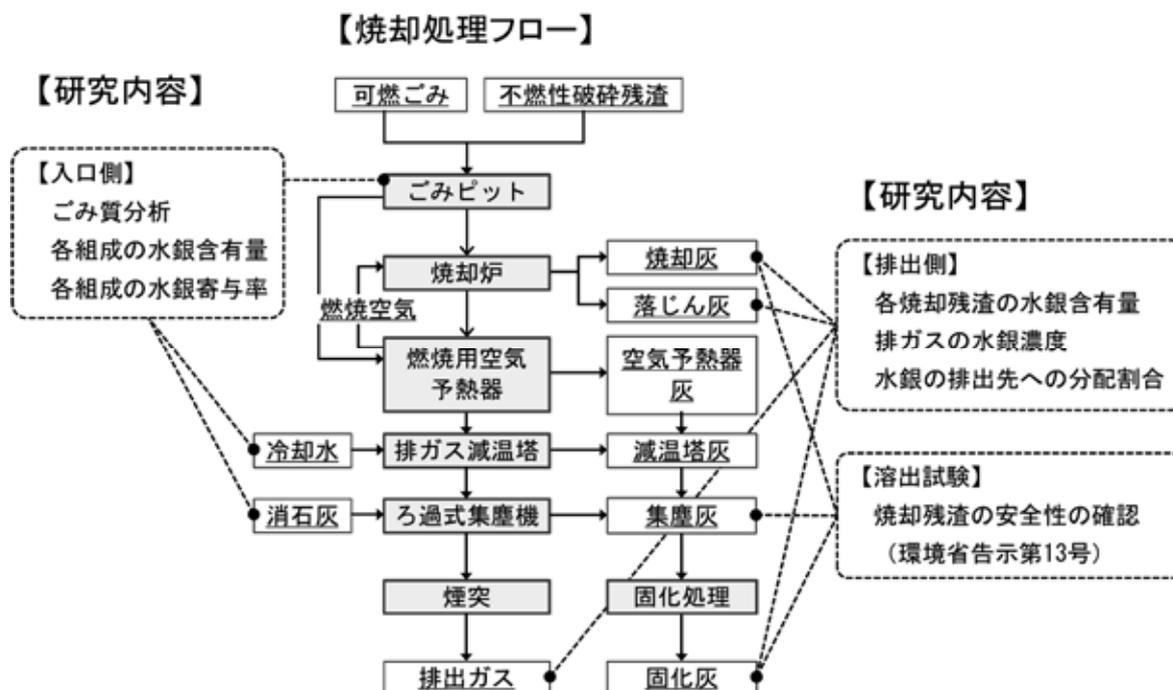


図 1 研究のフロー

「色付き: 廃棄物焼却処理プラント」

「二重線: 物質」

「点線: 研究内容」

## 3. 結果

本研究の調査期間は平成 30 年 4 月から平成 31 年 3 月の 1 年間とした。この間の焼却処理量は、31,015.1 t であった。

### 3.1 入口側

ごみ質分析及び水銀含有量の結果を表 1 に示す。乾燥ベースでは「紙・布類」が 34.9% と多く、次いで「木・竹・わら類」が 31.2% であった。湿ベースでは「厨芥類」が 39.8% と最も多く、次いで「木・竹・わら類」が 27.8% であった。

水銀含有量は、乾燥ベースでは「紙・布類」が最も高く 0.52 mg/kg-dry、次いで「その他」が 0.28 mg/kg-dry であった。湿ベースでは「紙・布類」が 0.33 mg/kg-wet と最も高く、次いで「その他」が 0.19 mg/kg-wet であった。しかしながら、一般的に家庭にも存在する水銀含有製品には、体温計、電池等が上げられるが、これらが混入する可能性のある「不燃物類」は、乾燥ベース、湿ベースとも水銀の含有量は最も低値であった。

表 1 ごみ質分析の結果

	組成割合		水銀含有量		水分
	%-dry	%-wet	mg/kg-dry	mg/kg-wet	%
紙・布類	34.9	24.8	0.52	0.33	36
ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類	10.1	5.6	0.032	0.027	17
木・竹・わら類	31.2	27.8	0.096	0.049	49
厨芥類	20.4	39.8	0.027	0.006	77
不燃物類	1.7	0.8	N.D.	N.D.	10
その他	1.7	1.2	0.28	0.19	33

図 2 に廃棄物に含まれる全水銀量に対する各組成の寄与率を示す。水銀の寄与率は「紙・布類」が 80.4%、「ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類」が 1.5%、「木・竹・わら類」が 13.4%、「厨芥類」が 2.5%、「その他」が 2.2%となった。「紙・布類」及び「木・竹・わら類」で全体の約 94%を占めていた。廃棄物中の水銀量は約 3,160 g/年と推計された。一方、ごみ以外の水銀起源の冷却水、消石灰の水銀含有量を調査した結果、合計で 0.63 g 程度とほとんど寄与しないことが確認された。

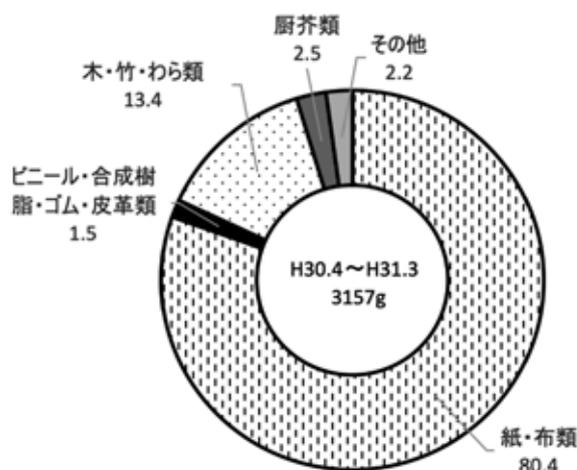


図 2 廃棄物中の全水銀量に対する各組成の水銀量の割合 (寄与率 / %)

### 3.2 排出側

表2に焼却残渣及び排ガスとしての水銀の年間排出量を示す。水銀の含有量のうち固化灰が9.3 mg/kgと最も多くの水銀を含有していた。次いで落じん灰は0.26 mg/kgの水銀を含有していた。分配割合も固化灰が、平均93%（最小89.1%、最大96.2%）と最も大きな割合を占めていた。次いで排ガスが平均6.4%（最小3.0%、最大9.9%）であった。

排出先への分配割合は固化灰が93%、排ガスが6.4%、焼却灰が0.7%、落じん灰が0.1%という結果であった。水銀排出量は固化灰が12,860 g、排ガスが900 g、焼却灰が106 g、落じん灰が19 gとなった。排出側の総水銀量は13,885 g/年と見積もった。この結果から、廃棄物焼却工程では、99%以上の水銀が燃焼ガス側に移行することが確認された。また、燃焼ガス中の水銀は排ガス処理工程（冷却、ろ過）で93%がばいじんとして捕集されることが確認された。

表2 水銀排出量及び各排出先への分配の割合

	排出量 /g	割合 / %
焼却灰	106	0.7
固化灰	12860	93
落じん灰	19	0.1
排ガス	900	6.4

### 3.3 溶出試験

表3に集塵灰、固化灰、焼却灰の溶出試験の結果を示す。

表3 溶出試験結果 (mg/L)

採取日	試料	pH	Hg
2018.6.29	集塵灰	—	0.041
	固化灰	—	<0.0005
	焼却灰	—	<0.0005
2018.9.28	集塵灰	—	0.053
	固化灰	—	<0.0005
	焼却灰	—	<0.0005
2018.12.20	集塵灰	12.3	0.12
	固化灰	12.2	<0.0005
	焼却灰	12.6	<0.0005
2019.3.22	集塵灰	12.3	0.099
	固化灰	12.2	<0.0005
	焼却灰	12.4	<0.0005

今回採取した焼却灰は溶出試験の結果、全て埋立て基準（0.005 mg/L）に適合していることが確認された。一方、集塵灰は溶出基準を超過していたが、集塵灰を固化処理した固化灰については、全て溶出試験の結果、溶出基準に適合していた。すなわち、燃焼ガス中の水銀は90%以上が捕集され、集塵灰（ばいじん）として排出される。しかし、集塵灰は固化処理により水銀を含めた重金属類が不溶化され、最終処分されていることが確認された。

#### 4. まとめ

本研究により、入口側としてごみ質組成毎の水銀の寄与割合を明らかにした。紙・布類が最も寄与割合が高いことが確認された。排出側の水銀は、固化灰に90%以上分配することが確認された。溶出試験の結果、集塵灰に含まれる水銀は固化処理により不溶化され、最終処分されていることが確認された。しかし、水銀のマテリアルフローとして、入口側の水銀量が排出側の水銀量の1/4程度しかなく、収支バランスが整合しなかった。

この要因については、（1）ごみ質分析の回数が少ないことによるデータの不確かさ、（2）廃棄物、冷却水、消石灰以外の水銀の起源の可能性、（3）底質調査方法が定める試料の分解方法の不十分さ、が考えられる。特に（3）の底質調査方法の分解方法（硝酸-過マンガン酸カリウム還流分解法）では、プラスチック類、木、紙、布類が完全に分解できないことが考えられる。すなわち表面に付着している水銀は抽出されて分析できるが、試料内部に存在する水銀の抽出が不十分となる可能性がある。分解方法を変更して検証する必要がある。今後は、さらに分析方法の検証や他の水銀起源の調査などを継続して行い、データの精度の向上を図り、マテリアルバランスの改善を行う必要がある。

（本研究報告は、公立鳥取環境大学環境学部の遠山碩の卒業論文の内容を含むものである）

#### 参考文献

- 1) 環境省：水銀に関する水俣条約の概要、<http://www.env.go.jp/chemi/tmms/convention.html>、2020年4月1日閲覧
- 2) 環境省：2016年度版環境省大気排出インベントリー、<http://www.env.go.jp/air/suigin/inventory.html>、2020年4月30日閲覧
- 3) 環境省水・大気環境局、底質調査方法、5.14.1.1 硝酸-過マンガン酸カリウム還流分解法、平成24年8月



## 2019年度活動実施報告

## ① 本研究所主催事業

### 「夏休みエネルギー教室」(小学生対象！施設見学ツアー)

大学の教育・研究成果を地域社会へ還元するため、地域に根差した「SDGs の取組」、「再生可能エネルギー」の学びを目的とした小学生対象のバスツアーを開催しました。

#### 記

日時：2019年8月3日(土) 9:30～16:15

参加者：小学4年生～6年生(主に米子市) 24名

場所：鳥取県西部のエネルギー関連施設

◎とっとり自然環境館(鳥取県米子市大崎中海ノ一3421-9)

◎三光株式会社 潮見工場(鳥取県境港市潮見町1)

◎イオスエンジニアリング&サービス株式会社(鳥取県西伯郡大山町古御堂138番地1)

<プログラム>

#### ① ミニ講義「エネルギー教室」

講師：サステナビリティ研究所 所長 横山 伸也

#### ② クイズ大会 出題者：(環境学部4年) 薮木 あや、佐々木 優

#### ③ 施設見学



横山所長によるミニ講義



太陽光エネルギーについての解説



廃熱利用を行う廃棄物焼却施設の見学



風力発電機の説明

以上

## 特別企画シンポジウム「持続可能な社会と地域づくりを考える」(第5回)

この特別企画シンポジウムは、「環境白書」を通して最新の国の環境政策や地方が取り組む環境行政を学び、持続可能な社会づくりの在り方について議論することを目的とし、本学の学生及び近隣地域の様々な環境保全活動に関わっておられる一般の方が参加されました。

### 記

日時：2019年10月21日（月）14：40～16：10

場所：本学講義棟100講義室

参加者：175名（学生141名、一般34名）

<プログラム>

① 講演：「令和元年版 環境白書～持続可能な未来のための地域循環共生圏～」

講師：環境省大臣官房環境計画課 課長補佐 木村 真一 氏

② 講演：「紙おむつの燃料化への取組」

講師：鳥取県伯耆町役場地域整備課 課長 井本 達彦 氏



会場の様子



木村氏の講演



井本氏の講演

以上

## 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」

この特別シンポジウムは、国際社会の喫緊の話題を取上げ、世界の環境問題に対する現状や課題などについて、国際的な見地から講演や話題提供、パネルディスカッションを通して、循環型社会に向けた取組みへの意識向上へつながることを目的に開催しました。

今回は地球温暖化対策に向けた温室効果ガス削減への取組現状や課題、そしてバイオマスエネルギーの技術利用と展望について、270名を超える参加者を迎え、講演や話題提供、パネルディスカッションを展開しました。

### 記

日時：2019年11月28日（木）13:00～16:10

場所：公立鳥取環境大学 大講義室（11講義室）

<プログラム>

#### 第1部

##### ① 特別講演：「地球温暖化とその対応策」

講師：公益財団法人 地球環境産業技術研究機構（RITE）理事長 茅 陽一 氏

##### ② 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」

講師：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所

所長代理 坂西 欣也 氏

#### 第2部

##### ③ 話題提供：テーマ「バイオマス利活用の展望」

###### （1）「木質バイオマス発電の現状」

三洋製紙株式会社 林材部 部長 花原 久 氏

###### （2）「わが社のサーマルリサイクル」

三光ホールディングス株式会社 代表取締役 CEO 三輪 陽通 氏

###### （3）「下水汚泥による水素製造技術」

環境学部 教授 田島 正喜

###### （4）「陸上および海洋バイオマス利活用の将来展望」

広島大学大学院 統合生命科学研究科 教授 中島田 豊 氏



茅氏の特別講演



坂西氏の講演



パネルディスカッションの様子



ご登壇いただいた講師陣

以上

## ② 特別協力事業

2015年度から本学が特別協力を行っている(株)廃棄物工学研究所主催のシンポジウム「低炭素社会の実現に向けて」(春季及び秋季)が下記の通り開催されました。

### 記

#### ◆春季シンポジウム「低炭素社会の実現に向けて～再エネ主力電源化における廃棄物発電～」

月日：2019年6月28日(金)

場所：北とぴあ(東京都北区)

参加者：250名(自治体、廃棄物処理関係各社が主)

主催：株式会社廃棄物工学研究所

後援：環境省

特別協力：公立鳥取環境大学

<プログラム>

- ① 開会挨拶・シンポジウム企画趣旨説明：「再エネ主力電源化における廃棄物発電」  
講師：公立鳥取環境大学 客員教授 田中 勝
- ② 基調講演：「廃棄物処理対策としての国の重点施策について」  
講師：環境省 環境再生・資源循環局 廃棄物適正処理推進課 課長 名倉 良雄 氏
- ③ 地方行政解説：「京都市の廃棄物発電とメタン発酵の組み合わせによるエネルギー回収の取組み」  
講師：京都市 環境政策局 適正処理施設部 技術担当部長 藤原 忠 氏
- ④ 特別講演：「再エネ主力電源化と廃棄物発電について」  
講師：東京電機大学 工学部 電気電子工学科 教授 加藤 政一 氏
- ⑤ 技術解説：「AI、IoTを活用した廃棄物処理施設の効率的な運営」  
講師：(一社)日本環境衛生施設工業会 技術委員会 副委員長 増田 孝弘 氏



田中客員教授の企画趣旨説明

◆秋季シンポジウム「低炭素社会の実現に向けて～令和・新時代の廃棄物処理～」

月日：2019年11月19日（火）（大阪会場）・29日（金）（東京会場）

場所：大阪府社会福祉会館（大阪会場）・江戸東京博物館（東京会場）

参加者：61名（大阪会場）・155名（東京会場）

主催：株式会社廃棄物工学研究所

後援：環境省

特別協力：公立鳥取環境大学

<プログラム>

① 開会挨拶：「令和・新時代の廃棄物処理」

講師：公立鳥取環境大学 客員教授 田中 勝

② 基調講演：「一般廃棄物行政の今後」

講師：環境省 環境再生・資源循環局 適正処理推進課

課長 名倉 良雄 氏（東京会場）

課長補佐 大沼 康宏 氏（大阪会場）

③ 地方行政解説：「仙台市のごみの処理施設の延命化、災害廃棄物の活用、廃棄物の資源化の取組」

講師：仙台市 環境局 環境局長 遠藤 守也 氏（東京会場）

仙台市 環境局 施設部 施設課長 小和田 圭作 氏（大阪会場）

④ 特別講演：「地域の産業廃棄物等を広域的に処理する廃棄物資源化構想」

講師：（公財）産業廃棄物処理事業振興財団 資源循環推進部 部長 山脇 敦 氏

⑤ 技術解説：「我が国の廃棄物処理施設からの熱利用などの高付加価値化の事例」

講師：（一社）日本環境衛生施設工業会 技術委員会

委員長 増田 孝弘 氏（東京会場）

副委員長 田中 朝都 氏（大阪会場）



会場の様子

以上



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。

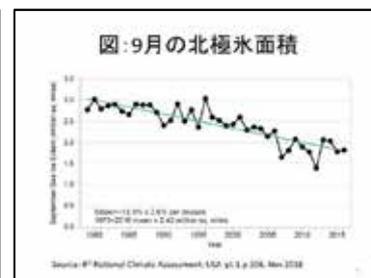
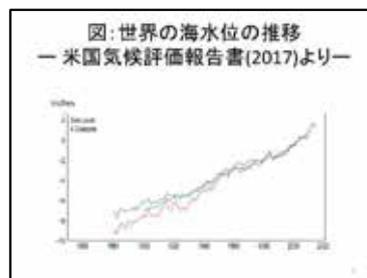
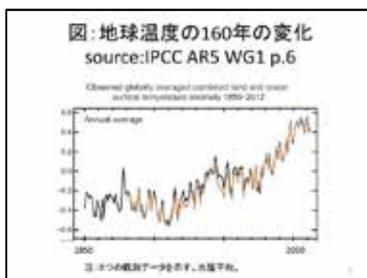
茅先生は、数々の賞を受賞され、ご業績も多岐にわたっておられますが、とりわけ有名で国際的な評価が高いのは、「茅恒等式」と呼ばれるものでございます。これは、CO<sub>2</sub>排出量と経済活動との関係を解析できる独創的で画期的なツールとして、世界中で使われております。ご講演の中でも説明いただけるとと思いますので、ぜひ注目していただければ幸いです。

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行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と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も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して、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 ○

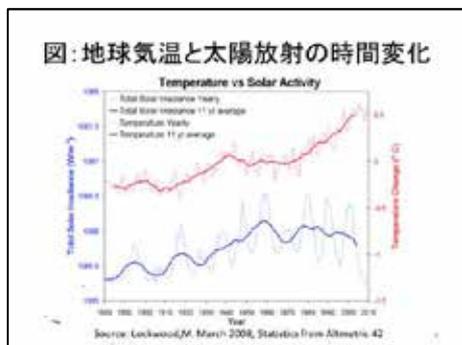
\* Neukom, R. et al: Nature vol.371 pp.550-559,2019

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りましたが、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。

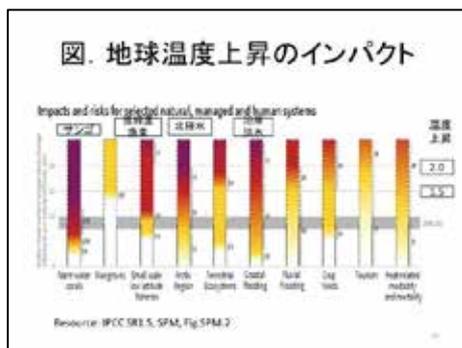
ですから、そうなる和我々の現在感じているような温暖化は、やはり人為的な温室効果ガス、特にCO<sub>2</sub>=炭酸ガスの上昇のせいだということになります。したがって、トランプの言葉を信じるのではなく、むしろトランプにこういった論文があるよということをお知らせしむべきだと、私などは思っております。

### 「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

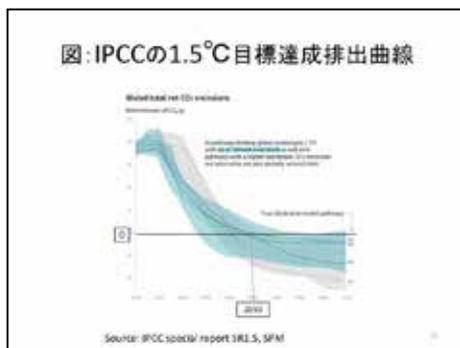
さて、こういうことで温暖化が人間の放出した温室効果ガス、特に中心になるCO<sub>2</sub>によって温度が上がっているということになると、それを抑えたいというのが当然で、そのために「パリ協定」というのが2015年に合意されたわけです。この資料には、現在の大気温を工業化以前、つまり温室効果ガスをたくさん出すということをやっていた前のレベルに比べて温度上昇を2℃以下にすると書いており、well belowという言葉を使っておりますが、できるだけそれより低くする、そして努力して1.5℃に抑えたい。そして、そうするためには温室効果ガスの増加を抑えることしかないから、資料の3番目に書いてあるように、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

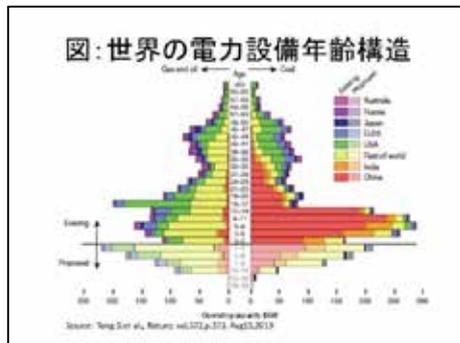
ざいます。色がついた棒がたくさん立っていますが、これはいろんな現象、例えば一番左側はサンゴ礁がだんだんやられるという現象でございまして、ご覧になるともう1℃でもかなり赤くなっておりまして、温度が更に上がると非常に強く赤くなっていくわけです。つまり、大変だめになるということです。温度上昇すると、どんどん悪くなっていくのが多いですけれども、いかにそういうものがたくさんあるのかが分かります。これらを見て、先ほどの

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、一つアイデ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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>



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

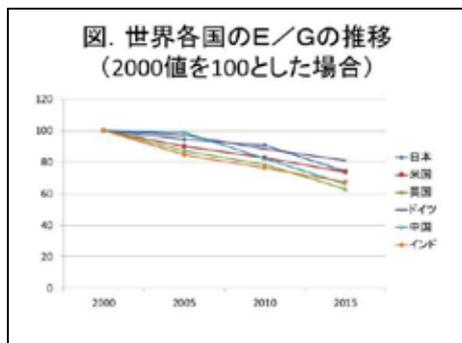
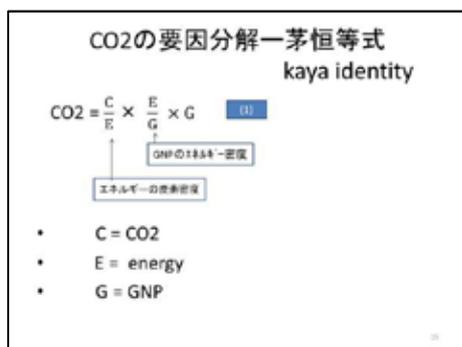
れの年齢構造を世界全体にとって書いたものです。石炭を使う発電所について大部分は中国にあります。このように、世界にある化石燃料を使う発電所や鉄鋼生産設備の年齢が、かなり若くて多い。したがって、こういうところが一応それぞれの年齢いっばいに石炭や石油を使ったとすると、実はそれだけで温度上昇はもう1.5℃を超してしまうという話なんです。詳しいことは省きますが、CO<sub>2</sub>の累積と温度上昇がほぼ比例するというのが、科学界の一般常識でございます。そういう面からすると1.5℃になるまでにあとどれだけCO<sub>2</sub>を出すことができるという、俗にカーボンバジェットと呼ばれる考え方に従うと、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

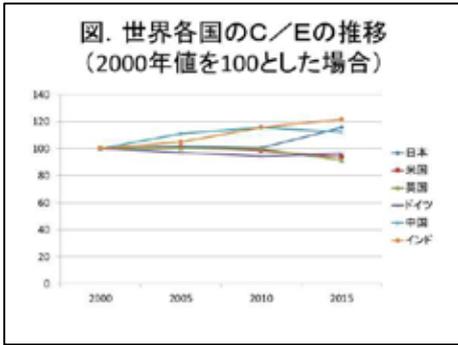
は、努力をするなどというのではありません。むしろ、我々が抱えている問題がいかに大変な問題かということ、こういう話から理解していただきたいわけです。

### 「今後の対策の方向」

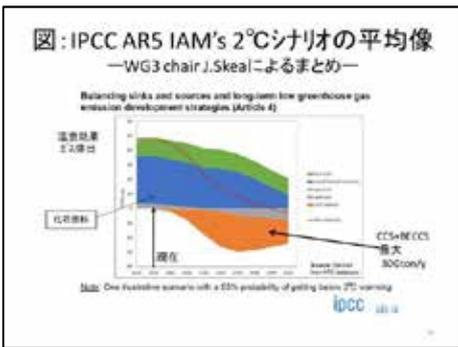


さて、ではどういうことをやったらいいだろうか、それを考える場合に、これは「Kaya Identity」と俗に言われている式を出したものでございます。何も難しい式ではありません、簡単な関係です。温暖化の一番の元凶CO<sub>2</sub>ですが、これを式で書くとCO<sub>2</sub>割ることのエネルギーEと、エネルギー割ることのGDP、あるいはGNPでもいいですが、そしてGNPという3つの積に掛けるわけです。これを考えますと、C/Eというのは、CO<sub>2</sub>のエネルギーの中に含まれる率ですから、言うなればエネルギーの炭素依存率ということになります。それから、E/Gと書いたのは、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CO<sub>2</sub>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努力をしていて、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えず、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  
CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、パイ

オマズ＝植物は大気中のCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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**

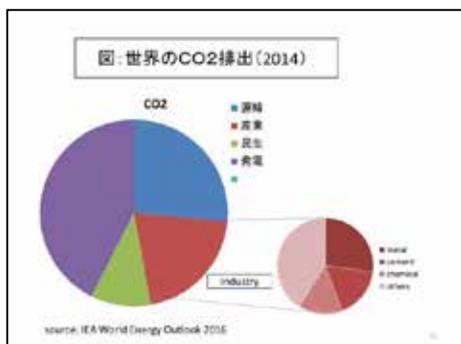
1. 各セクターで出来るだけエミッションを低減する努力
2. 各セクターで一定程度のCCSの実現に努力
3. 残ったエミッションをBECCS等の吸収でカバー

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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を排出している一番大きな部門です。ですから、CO<sub>2</sub>を減らそうとしたら、まず発電のCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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

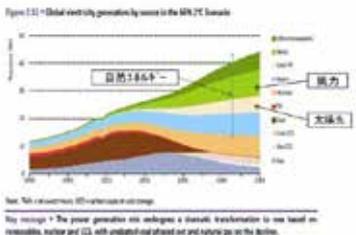
### 将来の電力比率上昇の可能性

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 <sup>9</sup> ton	0.32 × 10 <sup>9</sup> 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CO<sub>2</sub>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

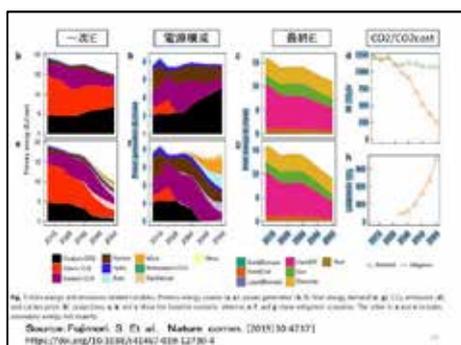
もう一つは、これは慣性＝イナーシャという問題です。皆さんもご承知のように、例えば発電機を蒸気で回すのを火力発電というわけですが、回転機で発電機を回す場合、一般に同期発電機を使ってやりますと、その回転数がそのまま周波数になって出てきます。そういう同期発電機の式を書いてみると、左側にあるのは  $A J$ 、 $df/dt$  と書いてありますが、これは運動方程式で質量×加速度、つまり回転機なので、そういうものを慣性と呼ぶんですが、それが  $A J$  です。それから  $f$  というのは回転数、ないしはそれと同じ意味での周波数です。だから、ここで言っている意味は何かというと、周波数の変動、 $df/dt$  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CO<sub>2</sub>

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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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。CO<sub>2</sub>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。CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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やっております。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にか貯



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CO<sub>2</sub>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%ぐらいいは風力やバイオマス、再生可能エネルギーで賅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%以上は再エネで賅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」



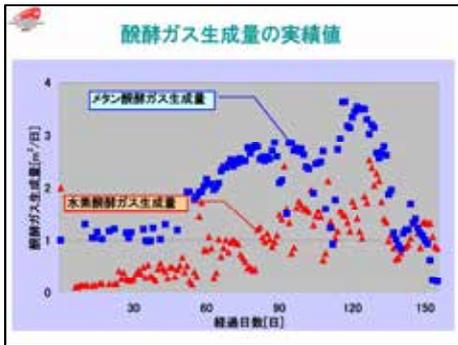
今日の主題であるバイオマスや、再生可能エネルギーというのは、地熱発電所のようにベースロード電源になるようなもの、あと大型水力といったものもあるんですけども、まず特に太陽光がたくさん増えてきますと、例えば天気が悪いとか、夕方にはダックカーブとなって夜には発電できませんので皆さんが夜家に帰ったときに太陽光発電は止まってしまいます。発電できないので、そういったところの補助電源、再エネ補助電源としてバイオマスが利用できるのではないかと考えております。後ほど言いますけれども、バイオマスというのはいろいろな形態で使えますので、バイオマスエネルギーはまず地球温暖化防止、CO<sub>2</sub>削減、温室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CO<sub>2</sub>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



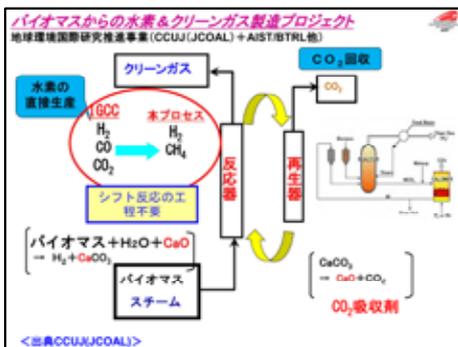
	リン酸型 PAFC	固体高分子型 PEFC (PEM)	溶融炭酸塩型 MFC	固体酸化物型 SOFC
電解質	リン酸	高分子イオン 交換膜	溶融炭酸塩	安定化 ジルコニア
動作温度	150~220℃	室温~150℃	600~700℃	900~1000℃
燃料 内部改質	水素 不可	水素 不可	水素 可	水素 可
発電効率	35~45%	50%以下	45~60%	50%以上
利用形態	分散電源	分散電源 自動車	大規模発電 オンサイト(内 部改質)	大規模発電 オンサイト(内 部改質)

http://unit.aist.go.jp/mfc/

水素・メタン二段発酵ガスは、ガスエンジンで利用可能

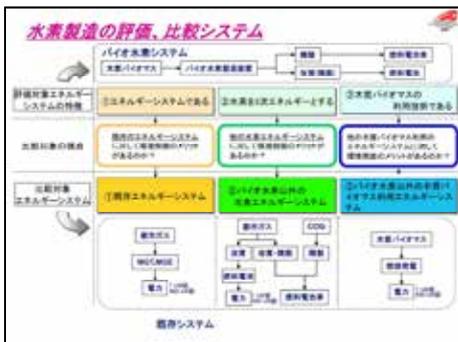
ばの資源環境研のレストランで、ごみとか紙ごみを調査してまず水素をとって、それでメタン発酵もする従来のメタン発酵よりもエネルギーを更に回収して、従来よりも2倍ぐらい早く水素メタン発酵ができる、よりコンパクトにして残渣も減らしてというようなところをやっておりました。これは実際の食堂で出てきたごみから水素とメタンをとるといいますが、15年ぐらい前なのでまだ水素を使うという時代ではなく、エンジニアリング会社さんからすると水素とメタンというのは高压ガスの規制も違うし、なかなか難しいということで、水素メタン二段発酵のガスをガスエンジンで燃やすということも当時はしておりました。今はまだ研究開発途中ですけれども、自動車用に使われているPEM型の燃料電池で水素を使うとか、メタンはメタンで皆さんの都市ガスで使うこともできるのではないかとというようなこともやっておりました。

### 「バイオマスからの水素&クリーンガス製造プロジェクト」

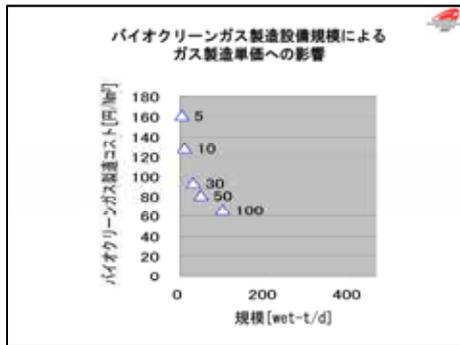
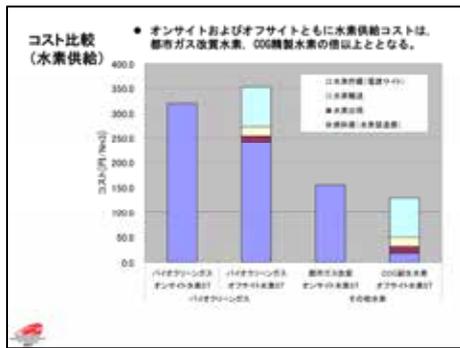


これも広島県呉市のときにやっていたんですけども、当時もバイオマスと水と酸化カルシウムから水素を90%近く回収して残りのCO<sub>2</sub>は炭酸カルシウムで回収するというようなことをやっておりました。今の言葉で言うとBCCSというか、バイオマスでもCO<sub>2</sub>を減らせばネガティブエミッションというようなことで、これも横山先生が所長の頃にされて、ここ15年ぐらい前から実際に成果を上げました。

### 「水素製造の評価、比較システム」

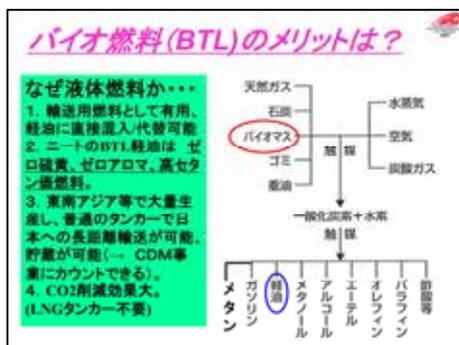
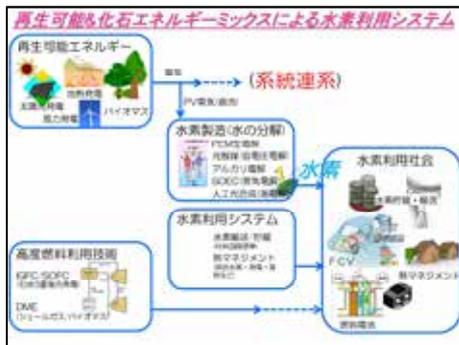


今、水素社会に向けてということよく出てきますけれども、例えば都市ガスのメタンからリフォーミングで水素を作って電力、燃料電池やマイクロガスタービン、都市ガスを燃料電池で、エネファームで、メタンから水素を作って燃料電池でお湯と電気を作るというようなシステムとか私たちが皆さんもよくお聞きになると思



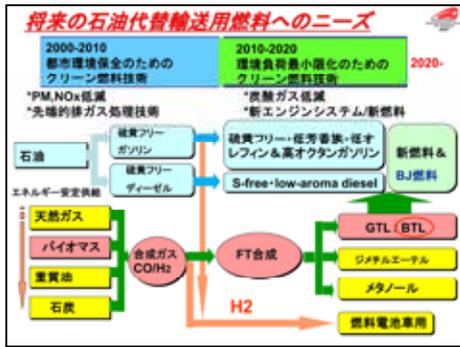
います。あと鉄鋼会社さんのコークオーブンガスから水素を取ってきたものとバイオマスを比較したりしました。縦軸は水素の値段ですけども、バイオマスから水素を作るということは、原料だけでも非常に高いと。オンサイト型の場合の水素ステーション、オフサイト型でバイオクリーンガス、また水素を作る場合もいろいろ貯蔵設備が必要だということで、都市ガスや鉄鋼会社から出てくる副生水素と比べると非常に高いのですが、私たちが呉にいた頃の中国木材さんでは、木くずで毎日500トンぐらいバイオマス発電をされていました。木くず原料で100トン以上で、今後2030年以降に1立方メートルあたり30円、20円を目標にしないといけないのですが、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うことも、木質バイオマスの例ですけども、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も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けども、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ども、これをバイオマスに変えることでCO<sub>2</sub>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ということで、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。CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CH<sub>2</sub>Oという元素組成でいうとC<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>、酸素はあるんですけども、天然ガスだとCH<sub>4</sub>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。

CO<sub>2</sub>の削減のことで質問したいのが、海の底にCO<sub>2</sub>を沈めるといような計画というか研究を聞いたことがあるんですけども、ハイドレートというような形とかで沈めて、空中にCO<sub>2</sub>を出さないように努力することも始まっている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うことも重要ではないかなという、CO<sub>2</sub>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うか、効率よく光合成を行えるという取り組みもあるように聞いたことがあります。

そこでCO<sub>2</sub>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うやり方ではなくて、既に存在するCO<sub>2</sub>、空中に存在するCO<sub>2</sub>をいかに物理的とかで縮小できるかという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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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う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う感じがいたします。

もう一つ伺いましたのは海で処理をするという話は十分考えられることで、CO<sub>2</sub>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うことをお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うのがありまして、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う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います。

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CO<sub>2</sub>の回収を含めた海とCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>が逆に栄養になるような取り組みで効率よくCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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も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。

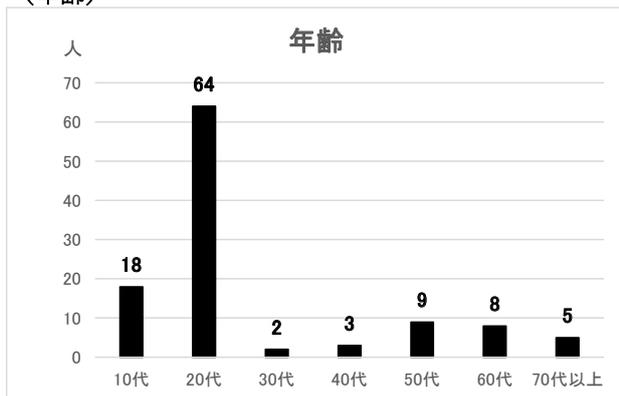
アンケート集計結果

【1. 年齢、性別、職業】  
(性別)

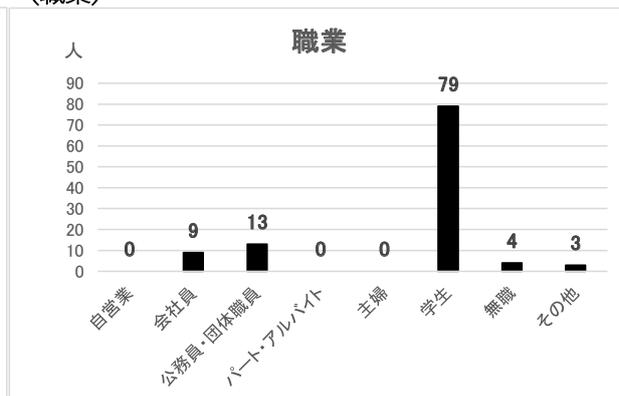
男性	女性	無回答
72人	36人	1人

参加者数	回答数	回答率
278	109	39%

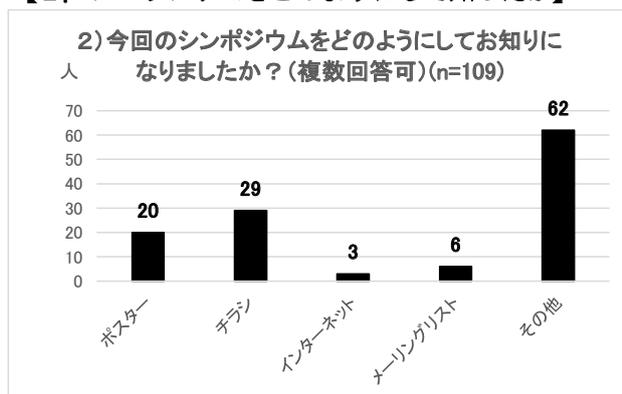
(年齢)



(職業)



【2. シンポジウムをどのようにして知ったか】



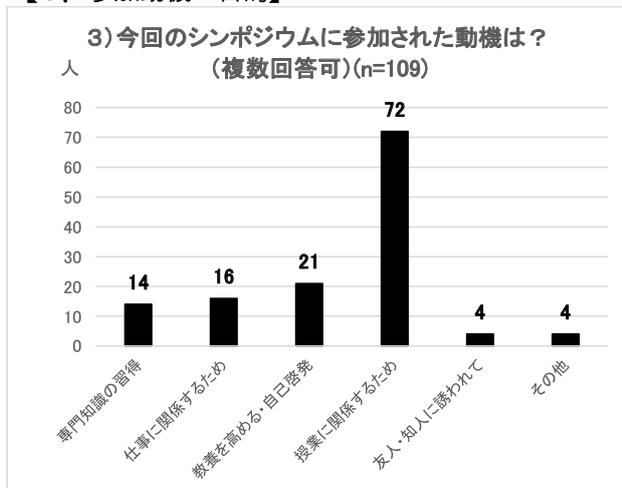
※チラシの入手先

- ・ 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)

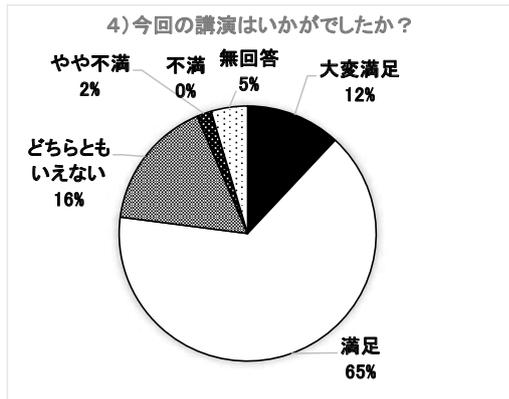
【3. 参加動機・目的】



※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】



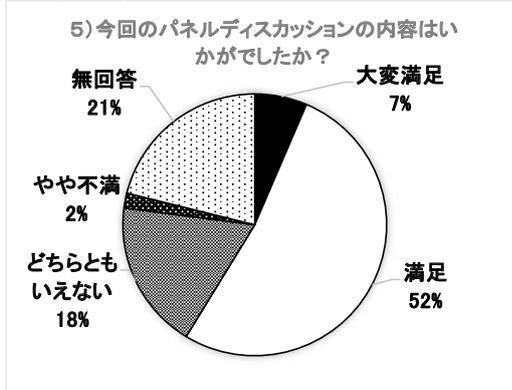
※一般

- ・ 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】



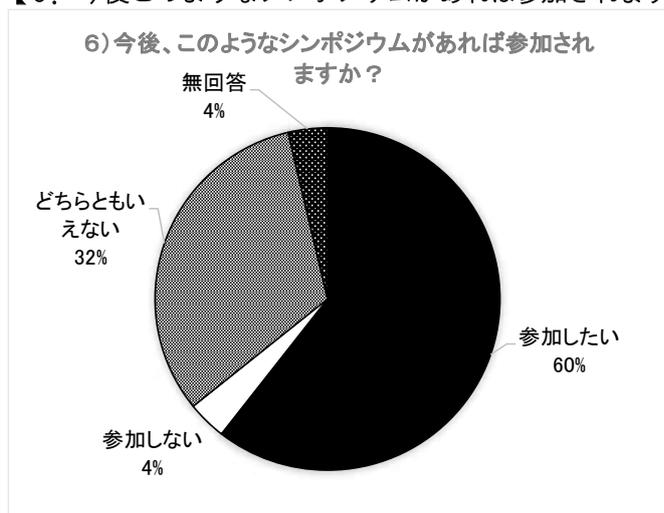
※一般

- ・ 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。

2019年度サステナビリティ研究所 事業報告書

2020年 7月

発行 公立鳥取環境大学サステナビリティ研究所

〒689-1111 鳥取市若葉台北1丁目1番1号

TEL (0857) 32-9100 (代)

FAX (0857) 32-9108

印刷 中央印刷株式会社



