

<報告>

メインテーマ：【循環型社会の構築】



日時：7月9日(土) 13:35~16:30

参加者：90名

場所：オンライン (Zoom) CPD：3.0時間

講演1「脱炭素化と経済成長～カーボンプライシングの役割をどう考えるか」

諸富 徹氏

講師：諸富 徹氏 (京都大学 大学院 経済研究科 教授)

本講演では脱炭素と経済成長にどのような関係があるのか、日本は技術革新と産業構造転換により、脱炭素化を図りつつ経済成長を遂げられるかについて述べられた。

(1) 日本の気候変動政策と経済成長の現状

日本の温室効果ガス排出量推移は1990年度～2018年度までほぼ横ばいになっている。京都議定書基準年である1990年度の12億7600万トンをやや下回ったのが2018年度である。また、同時期の各国のCO<sub>2</sub>排出量と経済成長をみると経済成長とCO<sub>2</sub>排出量はデカップリングになっている。すなわち経済成長はするが、CO<sub>2</sub>排出量は減少している。デカップリングにある国では炭素税というカーボンプライシングの導入が段階的に進められている。しかし、日本ではデカップリングが不明瞭になっている。欧州を中心に先進国では2000年頃から経済成長とCO<sub>2</sub>排出量が切り離される時代に突入し、経済構造が変化していることが分かる。日本は産業構造が20世紀のままであるといえる。

日本は1970年石油ショック以降省エネを進め、また世界に先駆けて太陽光発電を行ってきた。その結果、最高水準の排出削減技術を持っている等で先駆的な温暖化対策に取り組む必要がなく、さらなる温暖化対策は経済成長にマイナスであると言われていた。ここ10数年、脱炭素の取り組みがあまり進まなかった。このことは日本のエネルギー多消費型産業(鉄鋼、化学等)の鉱工業指数当たりのエネルギー消費原単位推移をみても明らかである。

一方、欧州では冷戦が終結した1990年以降、脱炭素に本格的に着手し、再生可能エネルギーのコストも大幅に下がることも加わって、CO<sub>2</sub>排出量を減らしながら経済も成長している。

(2) 欧州における「産業の脱炭素戦略」とは何か

欧州の温室効果ガス排出削減は2030年で1990年比△55%を目標とし2045年頃には実質ゼロ、それ以降は森林の吸収源、CCSでマイナスを目指している。しかし、実際は2010年頃より産業分野の排出削減は横ばい状況であり産業の自主的な取組だけでは目標達成は難しくなっている。その対策として炭素税や排出量取引制度(EU ETS)を導入している。事業者は削減のための投資コストを負担するか、それとも炭素税や排出権価格を支払うかの選択を迫られることになる。現状では排出削減のための投資より炭素税や排出権価格の方が安く済むため、欧州ではその解決方法として脱炭素を促進するための投資補助金やグリーン公共調達等を政策手段として導入する。日本も産業界と行政がタイアップして産業構造の転換に向けて動き出した。

(3) 脱炭素化と炭素生産性

脱炭素と経済成長の同時解決として炭素生産性について述べる。一般に生産性指標では分子にGDPまたは付加価値、分母に労働1単位を用いるが、炭素生産性では分子は同じだが分母に炭素投入量(CO<sub>2</sub>排出量)を使用する。

炭素生産性は1995年には、スイスを除いて日本がOECDのトップレベルであったが、その後横ばいか減少、2015年までに各国は炭素生産性が上昇し日本は米国を除くと最下位になっている。

その背景には、各国の平均実効炭素価格(排出量取引、炭素税等のコストをCO<sub>2</sub>排出量で割った数値)と炭素生産性の関係には正の相関があり、炭素価格が高くなるにつれて炭素生産性が上

昇するという関係がある。一人当たりの総資本形成と平均実効炭素価格の関係を見ても、正の相関がある。

また、日本の CO<sub>2</sub> 大量排出上位 11 業種における炭素生産性と総資本営業利益率（ROA）に關係を調査した結果、輸送用機械器具製造業（自動車製造）は炭素生産性と ROA とともに製造業平均より高い一方で、炭素生産性と ROA がともに製造業平均より低い業種として、素材集約型産業（化学、鉄鋼を除く）を挙げることができる。カーボンプライシング（炭素税や排出権価格）の導入により、炭素生産性の高い業種へのシフトにより日本の産業構造の転換が生じることになる。このことは欧州が脱炭素に向けてやってきたことである。

#### （4）「製造業のサービス産業化」と日本の製造業の将来展望

G7 国の中では日本の 2 次産業の GDP 比は 30%（2018 年度）と高い。また、どの先進国も 2 次産業から 3 次産業への移行は同じ傾向にある。今後日本の製造業のサービス化が進み、「物的生産が主でサービスが従」というビジネススタイルから、「サービス提供のために物的生産を行う」というビジネススタイルに変化する。また、産業のデジタル化は、消費者との接点を拡大する手段を提供してくれる。

スウェーデンでは 2000 年以降 CO<sub>2</sub> 排出量と経済成長のデカップリングが起こっているが、日本はデカップリングしきれておらず、ようやく 2013 年以降兆候がみられる。スウェーデンでは、産業構造の転換によりデジタル技術を用いてグローバルに展開する新興企業が生まれ、経済を牽引している。産業構造がものづくりからサービスにシフトしている。新興企業は素材産業ではないため CO<sub>2</sub> 排出が少なく、再生可能エネルギーを利用しやすい。先進国で起こっている産業構造の転換は、実質経済成長率及び賃金の伸びの両方をもたらしている。

最近日本でも優れた技術を持ち脱炭素に挑戦している企業がある。ダイキンは温暖化ガスを含む冷媒が不要で、消費電力 8 割を占める圧縮機を用いない「磁気冷凍技術」を研究開発している。また、ダイキンはシンガポールのスマートシティで住民は空調設備を買うのではなく、使用時間に応じて料金を支払うという製造業のサービス化に取り組んでいる。小松製作所は販売した建機すべてに GPS を搭載し、世界で稼働している建機の使用状況を IoT 技術の活用により故障する前にメンテナンスを行うことで建設時間のロスを削減するサービスを行っている。また、別会社を設立し得られたデータの分析等によりサービス向上につとめている。このように日本の企業でもサービス化への新しい動きが出てきている。また、講演の中で脱炭素と DX がどのように結び付くかの説明もあった。

#### （5）結論

2050 年のカーボンニュートラル達成が GDP にどのような影響を与えるかをシミュレーションした諸富研究室と英国ケンブリッジエコノメトリックスとの共同研究成果では、カーボンニュートラルをした方が GDP を 3.0~4.5%分だけ増大させる結果となった。

炭素税が脱炭素化投資を誘発し、雇用拡大による賃金上昇が消費を刺激、その効果がエネルギーコスト上昇による消費抑制効果を上回るからである。また、原発フェーズアウトによる投資縮小効果を再エネ拡大による投資拡大効果が上回るため、原発なしのシナリオの方が、原発ありのシナリオより高い成長率を達成する予測である。

まとめるとカーボンプライシングを含む脱炭素化を進める方が経済を成長させるというパラドクスが成立する。日本がこのパラドクスを実現させるためには再エネ分散型電力システムの拡大と DX との融合、産業構造の転換がキーになる。

（文責：奥村 勝/濱崎彰弘 監修：諸富 徹）

講演2「マイクロプラスチック問題とプラスチック資源循環

～マイクロプラスチックとメカニカル&ケミカルリサイクル～

講師： 府川 伊三郎 氏（株式会社旭リサーチセンター

シニアリサーチャー 元旭化成株式会社・中央技術研究所長）



府川伊三郎氏

はじめに

本テーマは、(一社)化学物質管理士協会から講師の推薦を受けて実施された。

講師の先生から、プラスチックの環境問題は昔から存在し、2018年ころに海洋汚染ゴミ問題からの派生でマイクロプラスチック(以下MP)が社会問題として大きく取り上げられたこと、SDGsなどにより、樹脂全体のサステイナブル問題が社会問題となっていることが述べられた。

本講では、前段で海洋プラ問題、後段でプラ資源循環を取り上げて解説された。

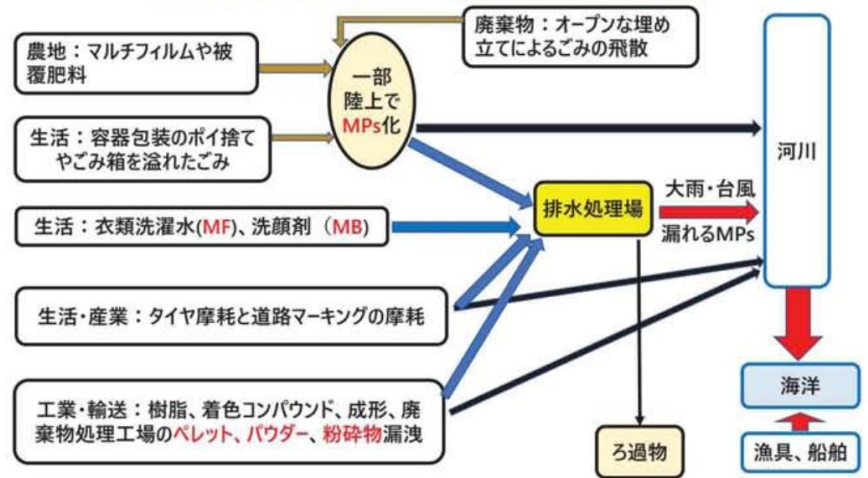
(1) 海洋プラスチック問題

海洋プラスチック問題としてMPによる生体系や健康への影響、放置漁具、漂着ごみが挙げられている。漂着ごみの調査で大半が容器包装のシングルユースプラスチックであったが、繊維やゴム製品も問題にされるようになってきた。PE、PP、PSは酸素存在下で酸化劣化しやすく比重が軽いので、漂着した海岸や海面でMP化してしまう。スクラブ用のマイクロビーズは米国では禁止された。下水処理場でMP(粒子、ファイバー)は大部分除去されるが、欧米では下水処理場の汚泥を肥料として農地に散布するので、MPが川から海に流れ込んでしまう。

海洋浮遊MPの測定は日本が進んでいる。湾内のMPは意外と少なく、外海で多いのは中韓からの漂着が多いためと考えられる。

MPの発生源と海への輸送経路が図のように考えられている。発生量が多いのは自動車タイヤが圧倒的に多く、道路塗装、人工芝などが続く。問題の解明には海洋学だけでは不足で、他分野からのアプローチも必要になる。PEは紫外線暴露で分子切断しカルボニル基が発生するが、生分解する分子量の500以下になるには長期間かかると推算される。海洋学の研究者はMPとマイクロファイバー(以下MF)を区別せず、網(ニュー

マイクロプラスチックの発生と輸送の概念図



ストーンネット)に引っかかるものをまとめてMPとして計数していた。欧米では、MFがMPの中で占める比率はかなり高い。近年海洋を浮遊しているMPが推定排出量よりはるかに少ないという報告が相次ぎ、原因究明が進められてきた。350μm以下に微粒化すると網目に引っ掛からないこと、バイオフィルムの生成や魚の誤食による沈降、海洋の垂直混合現象が原因と考えられている。台風直後の湾内のMP量は台風前に比べ激増したが、すぐ外洋に排出されMP量は2~3日で低下してしまうことが確認された。海底を調査したところ、MPの沈降が確認されている。

2022年3月の第5回国連環境総会(UNEA-5.2)で、“プラスチック汚染を終わらせるため2024年までに国際的な法的拘束力ある合意を形成する”という決議が承認された。国際的な取り組みが今後加速される。



## (2) プラスチック資源循環

以下の項目について解説された。

- ① プラスチックリサイクルの背景：EU はプラスチックのリサイクル技術が優れ、法規制や基準・規格を含めて世界をリードし、リサイクル市場を席捲しようという意図が見える。リサイクル率の出し方には議論があるが、再生材含有量で規制されると逃げようがない。
- ② メカニカルリサイクルとケミカルリサイクルの比較：メカニカルリサイクルができるならそれが最良。ケミカルリサイクルはモノマーに戻すもの、油化してナフサに戻すもの、ガス化法等がある。日本の検討が世界で一番進んでおり、PET なら PET、PS なら PS だけを回収できるなら、効率よくモノマーに戻す技術はある。再重合物は食品用途にも使える。また PE/PP/PS の混合廃プラなら、熱分解してナフサに戻す技術ができています。このナフサからつくった PE・PP・PS は食品用途にも使える。リサイクルプロセスが長く、PVC を事前に排除する必要があり、コストが高いのが悩み。ガス化法は CO<sub>2</sub> 副生の問題はあるが、PVC や PET が入っていても問題ないのが利点。  
各種樹脂の加熱熱重量曲線が取得されており、各樹脂の分解特性が説明できる。モノマー分解法と熱分解法の特徴はクローズドループ化が原理的に可能なことで、理想形になる。食品用途も可能で、化学メーカー主導で技術開発をやる利点がある。マスバランス方式は現代の魔法の杖で、熱分解油ナフサやバイオマス由来ナフサをバージンナフサに混ぜてクラッキング → モノマー → ポリマーとした時に、実際には存在しない 100%再生品や 100%バイオ品を計算上作り出すことができる。熱分解法の課題であるナフサ収率の低さは、触媒検討が行われている。PVC と PS の混入が問題であるが、現実的には選別機をおいて対応するのが良かろう。熱分解後の精製に手間がかかるなどの問題もある。
- ③ PET ボトルのリサイクル：日本ではリサイクルが非常にうまく進んでおり、ボトルをすべて無色に統一、キャップとラベルの材質統一、ポリマーの分子量まで統一と、まず関連部材の統一が図られた。表面をアルカリ洗浄する技術と固相重合により分子量を上げる技術が完成したことが成功の鍵になった。一方ケミカルリサイクルは、技術はあるがコスト高。

### おわりに

世界のプラスチック資源循環の趨勢を考えると、燃焼によるサーマルリカバリーは通用しなくなり、リサイクルの拡充が喫緊の課題である。そのためにも、従来輸出している廃プラはすべて国内でリサイクルすべきだろう。将来はプラスチックの供給源として石油化学以外にリサイクル由来さらにバイオマス由来が加わるだろう。

## (3) 質疑応答

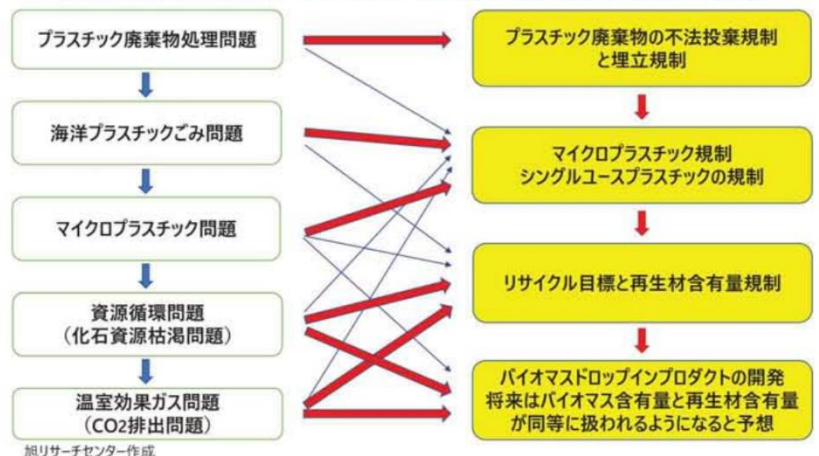
Q ロングスパンで見たときに、まだ化学の力でやれることはあるか

A 海洋プラスチックは使用量の 3~5% の話なのに対し、廃プラ処理の話は全量が対象で、海洋プラ問題を解決しても廃プラ問題の解決には直結しない。欧州は電力でやったように、プラスチックリサイクルについても流れを作ろうとしていることを理解したい。

Q MP 削減のために PET ボトル削減は効果があるか。

A PET は耐候性が良いので、MP 化の可能性は小さいはず。むしろリサイクル工程粉碎時に発生

### プラスチックのサステナビリティに関する問題と規制の推移



旭リサーチセンター作成

する破片が海に流れるのが問題ではないか。

Q メカニカルリサイクルの粉碎時に分子量低下に伴う物性低下が起こり、100%リサイクルは難しいのでは。

A PETは固相重合で分子量を元に戻すことができるが、PE・PPではそれは不可能。100%と言っているのは状態の良い部分を使っているのではないか。

Q メカニカルリサイクルが進まない理由は品質か、コストか、仕組み作りの問題か。

A いずれの理由もある。日本も廃プラ輸出をやめ国内でリサイクルする仕組み作り、エンドユーザーもリサイクル品を受け入れる意識改革が必要だろう。

Q 日本はリサイクルに関して優れた技術を持っているのに、世界をリードできないのは。

A 日本はサーマルリサイクルがうまく行ったので、そこで止まってしまったきらいがある。プラスチックリサイクル分野では、日本の技術が優れているとは言えないのではないか。

Q 超臨界流体による廃プラスチックのリサイクルの現状は。

A Mura Technologyが超臨界水技術をライセンスしており、三菱ケミカルがライセンスを受けてプラントを計画中。両社のHPを参照願いたい。

Q ポリエチレン繊維がどの期間変質・分解しないで存在しうるのか。

A 分からない。

Q PETのバージン原料とリサイクル原料の簡便な検査方法があるか。特にPETケミカルリサイクルの場合はバージンとの差が出ないと思われ、原料メーカーのガバナンスに頼りしかないと考えて良いか。

A 通常、樹脂の分子量と色(透明度)がチェックされるであろう。再生材の場合はさらにおいと、異物のチェックが必要で、例えば小さなフィルムを作れば、色、におい、異物はチェックできるだろう。

(文責：出口義国 監修：府川伊三郎)