



国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構（量研）

高崎量子応用研究所

第58号

高崎研だより

役立つ科学

使用済みテフロンのリサイクルに関する研究

日本/世界見聞録

ドイツ出張 ミュンヘンからヴェルツブルクへ

My favorite

No Coffee! No Life!

研究装置紹介

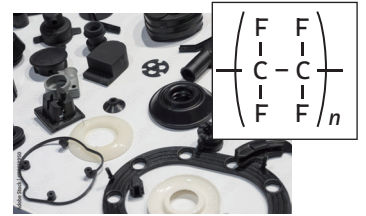
フーリエ変換赤外分光光度計



Q1. テフロンについて教えてください

テフロンとはポリテトラフルオロエチレン（PTFE：Polytetrafluoroethylene）のことで、フッ素と炭素からなるフッ素樹脂の 1 つです。耐熱性や耐薬品性などに優れるため、例えばフライパンの表面加工や小型半導体製造プロセス用の耐薬品材料、高耐久性ケーブルなどに使用されています。

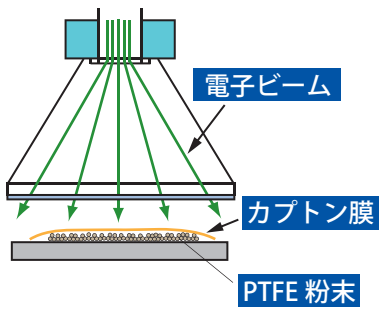
フッ素樹脂の原料である蛍石の年間生産量は年間 7,000 トン程度で、主な産出国は中国（60%程度）とメキシコ（20%程度）です。日本はそのほとんどを輸入しており、またフッ素樹脂の需要も高いことから、近い将来フッ素樹脂の供給不足という問題が生じる可能性があります。そこで、既存製品からフッ素樹脂をリサイクルする技術の開発に着手しました。



テフロン製品とその化学構造

Q2. どのようにして、リサイクルするのですか？

使用済みのテフロン製品を分解してリサイクルします。テフロンの分解は、通常加熱または薬品添加により行われます。しかし、テフロンは耐熱性及び耐薬品性が高いため、500℃以上の加熱や高温高圧状態での処理が必要で、リサイクルにコストが掛かります。このように、テフロンはその特性から産業利用が進む一方、リサイクルが難しい材料です。

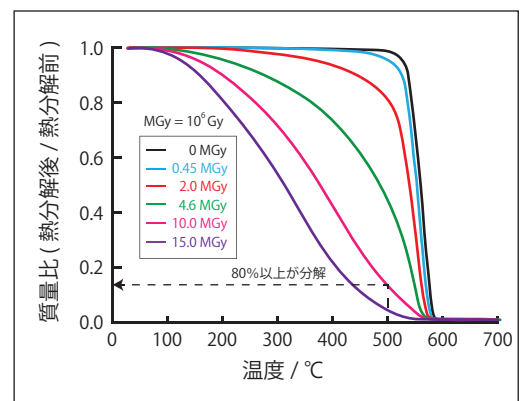


PTFE への電子ビーム照射の様子

ところが、テフロンが唯一といっていいほどに苦手な相手がいます。放射線です。テフロンに放射線を照射すると、炭素とフッ素の結合を容易に切断することができます。また、放射線として電子ビームを利用すれば被照射物質が加熱されるため、放射線分解と熱分解を同時に行うことができます。この特性を利用して、左のイラストのように、テフロンを粉末にした後電子ビームを照射して、発生するガスを回収するリサイクルプロセスについて研究を行っています。

Q3. テフロン分解に対する電子ビームの効果について教えてください

テフロン粉末に 0 ~ 15 MGy の電子ビーム照射した後、加熱したときの重量変化を下図に示します。未照射のテフロンは 500℃以上に加熱しないと分解しませんが、例えば、10 MGy 照射したテフロンはおよそ 150℃から分解し始め、500℃ではその重量の 80%以上がガス化していることが分かります。同じ温度で加熱分解される割合は線量が高いほど大きくなります。ガス化した成分については現在解析を進めていますが、炭素とフッ素のみで構成されるフッ素化合物のほか、二酸化炭素など空気中の酸素との反応により生成した物質も検出されています。



照射・未照射 PTFE の熱分解挙動

この結果から、電子ビーム利用によるリサイクルは、加熱のみの処理と比較して経済的に優れていることも分かりました。

Q4. 今後の研究について教えてください。

添加物の効果などを含め高効率な分解条件の模索とメカニズムの解明を行います。また、電子ビーム利用した当該リサイクル法について、今後詳細な経済性評価を行います。長年研究されたテーマですが、社会実装を念頭に研究を遂行していきたいと考えています。

2022年11月、来年の春からのドイツ留学の打合せのため、ドイツのミュンヘンとヴュルツブルグを訪れました。最初に訪問したミュンヘン大学では、私の留学中の研究計画について発表し、研究室のメンバーから多くの質問や提案をいただくとともに、陽子線治療研究用の小動物実験プラットフォームを紹介していただき、大変有意義な時間を過ごすことができました。

次にヴュルツブルク大学を訪問し、核医学の研究施設や病院を見学させていただきました。ありがたいことに、両大学とも夕食を用意していただき、ドイツ料理とビールを味わいながら、楽しい食事ができました。

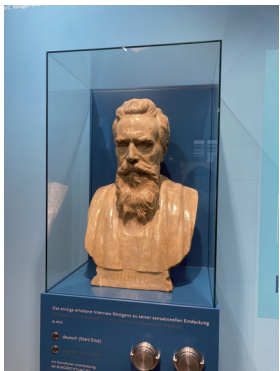
ドイツでは節電のため、観光スポット周辺にイルミネーションはなく、夜は路地の電灯と自動車の明かりだけだったため、朝方から街を散策しました。

ミュンヘンでは、マリエン広場の新市庁舎や庭園など手当たり次第に観光スポットを巡っていると、気づいたら2時間ほど歩いていました。いつもより多く歩きましたが、かえって食事が進み、体重はあまり減りませんでした。

ヴュルツブルクではX線を発見したレントゲン博士の記念館に行きました。レントゲン博士がX線を発見した当時のままの実験室があり、実験道具や資料が無料で展示されていました。放射線に携わる研究者や医療関係者なら一見の価値があります。他にも世界遺産に指定されているヴュルツブルク宮殿などの人気スポットにも足を運ぶことができました。



マリエン広場の新市庁舎



レントゲン博士の銅像

矢部 卓也 (放射線生物応用研究部)

My favorite

No Coffee! No Life!



皆様は珈琲をよく飲まれますか？ 私は、朝の一杯の珈琲から1日が始まります。この「My Favorite」の原稿も珈琲を飲みながら作成しています。

珈琲については学生時代から興味を持ち始めましたが、その飲み方や楽しみ方は少しずつ変化しています。当初は、缶コーヒーや飲食店などの身近な珈琲をよく飲んでいましたが、社会人になってからは、生豆を購入して焙煎するまでに至りました。自家焙煎は、とあるYouTubeで片手鍋一つで手軽にできることを知り、物は試しと始めたことがきっかけです。



片手鍋で焙煎中

初めての自家焙煎では、生豆を煎る具合が分からず、煎りムラなどが発生して良い香りが出せず、豆臭い珈琲でした。しかし、回数を重ねるごとに、変化する香りやハゼ（豆内部にある水分が加熱されて水蒸気となり高圧力により細胞壁が破壊される音）、豆の膨らみ・色から焙煎具合をコントロールし、美味しい珈琲を入れることができるようになりました。



生豆と焙煎した豆

香りについては、焙煎が進むにつれて、甘い香りから、豆固有の香り、焦げ臭い香りと変化するだけでなく、焙煎直後と1日置いた後でも異なり、また、挽いた時・入れた時の香りも多種多様です。今では、珈琲豆の産地や種類を組み合わせ、マイブレンドを模索中です。「パプアニューギニア産エリンバリ」は香りがお気に入りの生豆ですが、約2年前から購入先での仕入れがなく、マイブレンドの完成はいつになることやら・・・



焙煎家 (ペンネーム)

【原理と特徴】

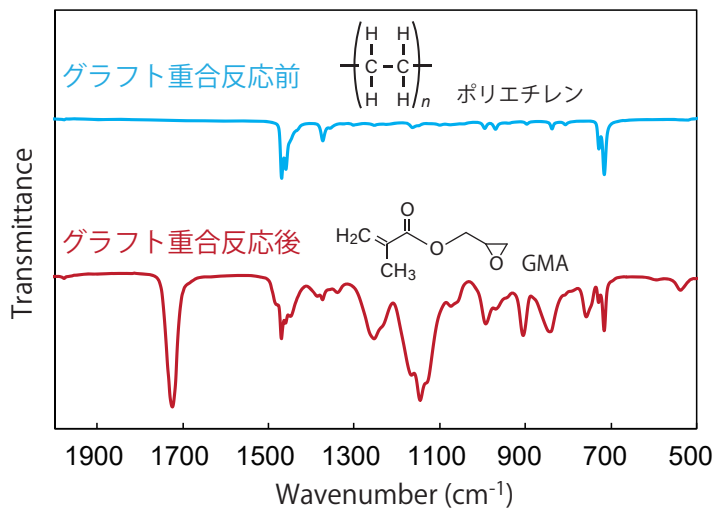
フーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR：Fourier Transform Infrared Spectroscopy）は、光源からの赤外光を光路長の異なる光として2分割したものを合成し、これを光路長を変化させながら試料に照射します。照射により得られた信号は、フーリエ変換してスペクトルを得ることができます。FT-IRは試料の分子構造を推定する分析技術です。

赤外光が試料に照射されると、分子結合の振動や回転運動のエネルギーとして吸収されるため、試料の化学構造中の -COOH（カルボキシル基）や -OH（ヒドロキシル基）、-NO₂（ニトロ基）などの官能基の存在の有無を調べることができます。また、吸収する赤外光の光量は、試料を構成する分子中の官能基密度に比例することから、ピークの高さや面積を用いて特定の官能基の定量を行うことも可能です。

一般的に、FT-IR は高分子を含む有機化合物にどのような官能基が含まれているかを決定したいときに役立つ分析装置です。現在では試料の前処理を行う必要がなく、形状によらず液体を含む幅広い試料を非破壊状態で測定可能な全反射測定法（ATR:Attenuated Total Reflection）がよく用いられます。ATR 法は食品や医薬品などに混入した異物の分析などにも応用されています。また、円筒形のセルを用いることにより気体試料の測定も可能です。

【実際の分析例】

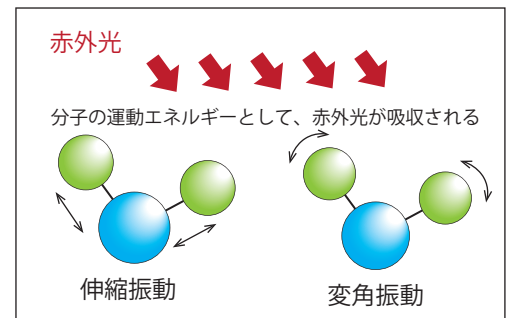
例として、グリシジルメタクリレート（GMA）の放射線グラフト重合反応前後のポリエチレン不織布をFT-IRで測定したときのスペクトルを示します。横軸は照射した赤外光の波数（Wavenumber）、



GMA グラフト重合ポリエチレンの FT-IR スペクトル

縦軸は透過率（Transmittance）です。グラフト重合前のスペクトルには、ポリエチレンのメチレン基（-C-H-）に帰属するピークが 1460 cm⁻¹ 及び 720 cm⁻¹ 付近に見られます。

これに対して、重合後は 750 cm⁻¹（-C-O-C）、1160 cm⁻¹（-C-O-）、1250 cm⁻¹（-C-C-）、1720 cm⁻¹（-C=O-）に帰属するピークが観察され、これらは GMA の化学構造に由来するものであることから、ポリエチレン不織布の表面に GMA グラフト鎖が形成していることがわかります。このように、FT-IR は化学反応が進行しているかを確認する手法として非常に有用です。



赤外光吸収による分子の振動

Q メッセージ

「りょうし」や「りょうけん」と聞いて「漁師」でなく「量子」、「猟犬」でなく「量研」と頭に思い浮かぶでしょうか。2016年に発足した量研は、今年の3月に7年間の第一期中長期計画が終了し、4月から第二期に入ります。最先端の量子技術の研究を推進することは勿論ですが、量子技術を私たちの身近な技術としてどれだけ普及できるかといったことも研究所の使命であり、第二期では「量子」という単語をどれだけ社会に浸透できるかも意識して行きたいと感じています。（量子機能創製研究センター長 大島武）