



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57号



役立つ科学

レーザーを利用した貴金属回収研究

My favorite

野球観戦

日本世界見聞録

アルプス山中の美しい小村

研究装置紹介

DNA 塩基配列解析システム



## Q1. どのようにして、貴金属回収にレーザーを利用するのですか？

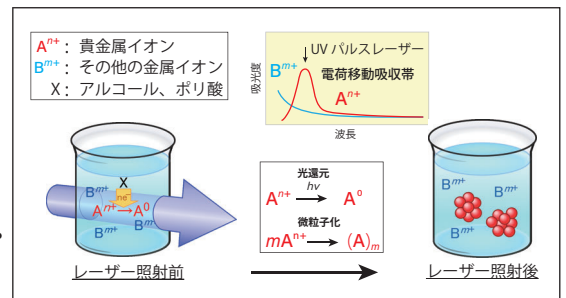
家電製品に使われる半導体や電子部品には金や銀、パラジウムなどの貴金属が含まれ、日本の蓄積量は金 6,800 トン、銀 60,000 トンと推測されており、これは資源国の埋蔵量に匹敵します。半導体や電子部品からの貴金属回収技術として、電気精錬、溶媒抽出、イオン交換が開発されていますが、電気精錬はバッチ式で処理量が限られること、溶媒抽出は廃液処理が必要なこと、イオン交換は樹脂に強く吸着した貴金属の回収が困難であることなどの課題があります。

レーザーを利用した貴金属回収は、電子部品などの処理工程で発生した貴金属廃液に還元助剤（アルコールやポリ酸など）を加え、これにレーザー光を照射することで貴金属イオンだけを選択的に還元・粒子化し、溶液から分離回収することができます。

## Q2. 貴金属イオンの溶液にレーザーを照射すると、なぜ粒子化するのですか？

貴金属イオンは短波長領域（<400 nm）に電荷移動吸収帯と呼ばれる電子遷移を持ち、この電子遷移に共鳴したエネルギーのレーザー光を吸収すると、添加したアルコールやポリ酸から供給される電子を受け取って、0価まで還元されます。還元された金属原子は電気的は反発力を失うので、自発的に凝集して微粒子を形成します。

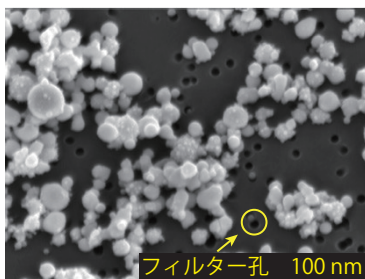
レーザー光の強度を変えると特定の貴金属を優先的に回収することができます。また、レーザー光をパルス化するとより大きな微粒子が生成するため、濾過などによる回収効率を向上させることが可能です。しかし、レーザー波長・強度、貴金属イオンの種類、溶液の種類・酸濃度、還元助剤の濃度・種類によっても粒径が変化するため、これらのパラメータをうまく調節して回収効率を最大化することが重要となります。



レーザー照射による貴金属イオンの粒子化

## Q3. 効率的な粒子化に必要なことは何でしょうか？

貴金属イオンを効率的に還元・粒子化するためには、アルコールやポリ酸などの還元助剤の添加が欠かせません。アルコールは貴金属イオンの電子供給源として利用され、自身はアルデヒドに酸化されます。また、ポリ酸はレーザー光を吸収して活性化し、アルコールや水の酸化反応を促進することにより、電子量を増やして貴金属イオンを還元しやすくします。



粒子化した貴金属イオン

ルテニウム (Ru)、ロジウム (Rh)、パラジウム (Pd)、ネオジム (Nd) を含む使用済み核燃料廃液の模擬溶液に 266 nm レーザーを照射すると、Rh と Pd はほぼ 100%、Ru は 60% 程度の効率で粒子化して Nd と分離回収することができます。Ru の低粒子化は同イオンは他の貴金属イオンと異なり様々な化学状態を持ち、それぞれ電荷移動吸収帯が異なるためと考えられます。また、Nd が全く粒子化しないのは、Nd イオンが 266 nm 付近に電荷移動吸収帯を持たないためです。

## Q4. 今後の研究について教えてください。

令和 3 年度に JST A-step 事業を通じて、工場実廃液を使った貴金属回収や処理量のスケールアップに関する研究開発を行いました。コスト面などまだ解決すべき点はありますが、強力な還元剤を使わずに貴金属を回収できる本手法は企業からも興味を持たれており、その特徴を活かした技術に発展させていきたいと思っています。

# My favorite

## 野球観戦

私の趣味は野球観戦です。小さい頃から野球が大好きで、小学生の頃は毎日のように地上波で巨人戦のナイターをテレビ観戦していました。当時の放送時間は 19:00 ~ 21:00 が基本でしたが、試合の進捗によっては 21:30 頃まで放送延長するのは当たり前で、21:00 からドラマを見たくて待機していた姉が「また野球で延長している！ いつ始まるのよ！」とよく怒っていたのを覚えています（笑）。

現地観戦ももちろん好きで、東京ドームの巨人戦へ両親と行ったとき、当時大ファンだった松井秀喜選手が試合終盤に大ホームランを放ち、とても感動したことは本当に良い思い出です。その日以降私は毎日のように新聞のスポーツ欄で松井選手の試合成績を確認し、「4 打数 2 安打か・打率が 2 厘上がった！ やった！」とシーズン成績の僅かな上下に一喜一憂するのが日課となっていました（笑）。その日課は現在も続いており、今は対象が大谷翔平選手に変わっただけ、というのはここだけの話です。



野球観戦以外にも楽しい BallPark

話は変わりますが、2023 年 3 月に野球で世界一の国を決める WBC という大会が開催されます。



20 各国が参加する 2023WBC

過去 3 大会では、日本は 2009 年優勝、2013 年 3 位、2017 年 3 位と素晴らしい成績を残しており、今回もぜひ優勝を目指して頑張ってもらいたいものです。日本からはメジャーリーグで活躍中の大谷翔平選手やダルビッシュ有選手を含め多くのトップ選手が参加予定とのことで、大いに盛り上がること間違いなし！いちファンとして今から本当に楽しみです。

野球大好き（ペンネーム）

# 日本世界見聞録

## アルプス山中の美しい小村

2022 年 9 月にスイスのダボスで開催された ICSCRM (炭化ケイ素および関連材料に関する国際会議) に参加しました。本学会はデバイスに関する報告がメインですが、今回は量子欠陥に関するセッションが独立に 3 つも組まれました。応用寄りのこの分野においても量子技術への関心が高まっているようです。

ダボスは、世界各国から様々な分野のリーダーが集まって経済や環境など幅広い議題を討議することで有名な世界経済フォーラム（通称ダボス会議）が開催される町として、その名をご存知の方もおられると思います。そのため、かなり大きな町を想像していましたが、実際は山あいのこじんまりとした町でした（さすがにホテルは多いです）。徒歩でも 1 時間程で周り切れるくらいの広さなので、学会会場まで歩いて通う人、



ダボスの街並み

休憩時間に散歩に出かける人など、参加者は様々な方法でスイスの自然と街並みを楽しんでいました。バンケットは 11 km 離れた Klosters という町で行われましたが、鉄道の国らしく（スイスは人口一人当たり年間鉄道利用距離世界 1 位、ちなみに 2 位は日本）移動



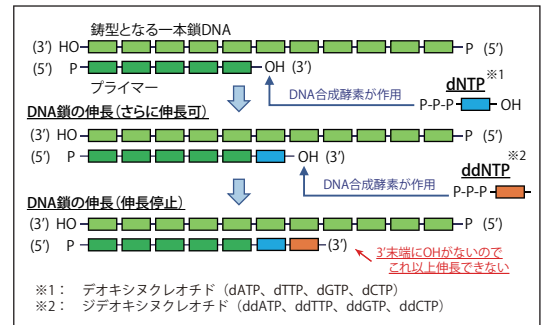
特別編成列車を示す掲示板

手段が学会参加者専用の特別編成列車でした。食事もスイス民謡の生演奏が流れる雰囲気の中いただくことができ、スイスならではのバンケットを楽しむことができました。帰国時は出発 3 時間以上前に空港についたにも関わらず、非常な混雑のため、延々行列に並ぶこと 3 時間、一息つく間もなく帰国便搭乗となりました。ヨーロッパはすでにコロナ後の生活がはじまっていると感じられた一幕でした。

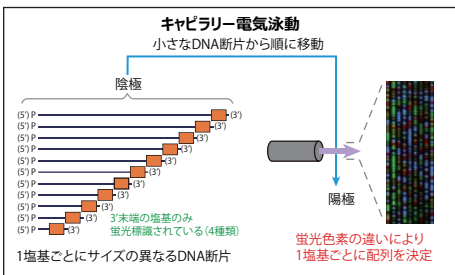
## 【原理と特徴】

DNA 塩基配列解析システムは、サンガー法による DNA 合成とキャピラリー電気泳動型 DNA シーケンサーを用いて、DNA を構成する 4 種類の塩基 A(アデニン)、T(チミン)、G(グアニン)、C(シトシン)の結合順序(配列)の情報を決定することができます。

サンガー法では、まず二本鎖 DNA を変性させて鋳型となる一本鎖 DNA を作ります。次に 3' 末端に水酸基(OH 基)を持ち鋳型 DNA に相補な塩基配列であるプライマーと DNA 合成酵素によって DNA を 1 塩基ずつ伸長合成します。このとき、4 種類の dNTP と異なる蛍光色素で標識された 4 種類の ddNTP の両方を DNA 合成の基質とします(図参照)。dNTP の代わりに ddNTP が取り込まれると、ddNTP は DNA 合成に必要な 3' 末端に OH 基を持たないので、DNA 伸長合成が停止します。この伸長合成の停止はランダムな位置で生じるため、DNA の長さが 1 塩基ずつ異なる長さの DNA 断片が合成されます。



サンガー法による DNA の伸長反応

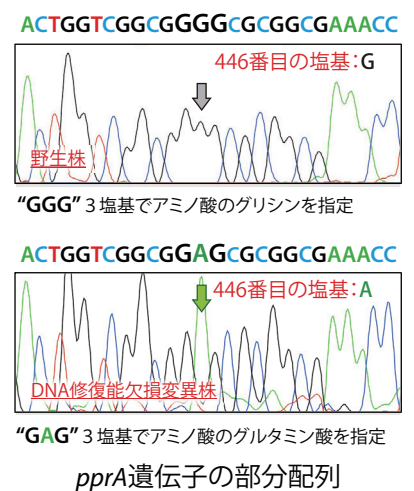


合成された DNA 断片は負に帯電したリン酸基を持つため、電場により DNA シーケンサー内のキャピラリーに充填されたポリマー中を陽極側に移動します。1 塩基ごとにサイズの異なる DNA 断片は小さい順に次々に移動し、キャピラリーの末端部に設置されたレーザー光によって蛍光色素が発色します。蛍光色素の発色強度の違いにより DNA 断片の末端の塩基がどの塩基であるのかを読み取り、1 塩基ずつ配列を決定します。

DNA シーケンサーによる塩基配列決定

## 【実際の測定】

本システムを利用して、DNA 修復能が欠損した放射線抵抗性細菌の変異株について DNA のどの部分の塩基配列に突然変異が生じているのかを調べました。図は、放射線抵抗性細菌から発見した新規 DNA 修復促進タンパク質 PprA の遺伝情報の一部を示しています。蛍光色素の発色強度から、野生株と変異株の塩基配列を比較しました。その結果、変異株の pprA 遺伝子(855 塩基対)の 446 番目の塩基 G が A に変異を起こしていることを明らかにしました。すなわち、PprA タンパク質(284 個のアミノ酸で構成)の 149 番目のアミノ酸(3つの塩基の並びで1つのアミノ酸を指定)がグリシンからグルタミン酸に変化していることから、変異型 PprA タンパク質は、このたった1か所のアミノ酸の変化によって、その DNA 修復に関わる機能が失われることが分かりました。



## Qメッセージ

新年あけましておめでとうございます。量研高崎量子応用研究所は、今年 60 周年を迎えます。人間に例えるなら満 60 才、還暦の年となります。干支が一巡して元に戻ることを意味する還暦の年に際して、高崎研では、量子ビームに関する先端科学研究にとどまらず、量子センシングや量子コンピュータの実現に貢献する量子機能材料やカーボンニュートラルを目指すエネルギー・環境材料、更には医療・食料問題に資するバイオ材料、スマート農業など新たな分野を切り開く元年にしてまいります。(高崎量子応用研究所長 前川康成)