

## 課題研究の成果をもとに初の特許出願（本校初、県内私学初）

静岡北高校では次の2件の特許を出願しました。

1. 還元性有機物と光を利用した水素製造方法と水素製造装置（特願 2019-232455）
2. リン酸イオンと硝酸イオンを除去する汚染浄化方法および装置（特願 2019-232456）

理数科では、平成8年度（1996年）から通算して、延べ2,000名以上の生徒が巴川（ともえがわ）流域の水質調査を行い、データや考察を先輩から後輩へ引き継いでいます。起点から河口までの11定点に出向き、毎月1～2度、同時刻に一斉に調査してきました。巴川は静岡市北部を起点とし、市内を蛇行しながら貫流し、駿河湾に注ぐ2級河川です。

理数科では、平成13年度（2001年）に課題研究を始めました。その後、水質調査や課題研究等の探究的な学習や活動が評価され、平成19年度（2007年）に文部科学省からスーパーサイエンスハイスクール（SSH）指定を受け、現在では、全校で課題研究を行っています。平成20年度（2008年）以降、水質調査を体験した生徒の中で更に水に関する興味（例えば、水をきれいにしたい、水質をもっと詳しく分析したい、水辺をもっと詳しく観察したい等）を持った生徒が集まってできた課題研究の研究班が水質班です。令和元年度（2019年）の水質班は13名（3年生5名、2年生6名、1年生2名）が活動しています。

今回の特許出願のきっかけは、巴川の水質汚染の原因となっているリン酸イオンの除去実験であり、長年、巴川の環境を見つめてきた本校らしい実験風景から生まれました。

鉄イオンを用いたリン酸イオン除去実験で、鉄電極から鉄イオンが溶出しやすくするために電源装置につないで、電圧をかけた際、通常、水（ $\text{H}_2\text{O}$ ）の電気分解は3V以上の電圧が必要ですが、1.5V程度で $\text{H}_2\text{O}$ の電気分解が起き、水素（ $\text{H}_2$ ）と酸素が発生しました。 $\text{H}_2$ はクリーンなエネルギー源です。しかしながら、現在の $\text{H}_2$ 製造の大部分は化石資源の水蒸気改質等で行われているため、化石資源の枯渇や炭酸ガスによる地球温暖化問題を考慮すると、 $\text{H}_2\text{O}$ を電気分解する製造方法が望まれています。通常、電気分解では、トータル3V程度の電圧が必要であるため、電気分解による $\text{H}_2$ 製造コストの大部分は電力です。つまり、電力コストの削減という課題が解決されれば、環境に負荷をかけない「真のクリーンな $\text{H}_2$ 製造」が達成できます。

2018年に、リン酸除去実験で起きた1V程度の低電圧で起きる $\text{H}_2\text{O}$ の電気分解（以降、低電圧水電解）は $\text{H}_2\text{O}$ の代わりに2価の鉄イオン（ $\text{Fe}^{2+}$ ）が酸化されることによって起きるといふ仮説を立て、当時、理数科2学年の木津悠翔さん、松本颯斗さん、池田彩里さんと教員2名が協力して検証を行いました。

透析用の半透膜を隔膜とした2槽式電解装置を自作し、陽極槽の $\text{Fe}^{2+}$ 濃度や攪拌速度を

変化させた結果、陽極近傍の  $\text{Fe}_{2+}$  濃度が高いほど、低電圧水電解による  $\text{H}_2$  生産の効率が  
高いことが検証できました。更に、陽極槽に  $\text{Fe}_{2+}$  と 3 価の鉄イオン ( $\text{Fe}_{3+}$ ) を混合した溶  
液を用いても、 $\text{Fe}_{2+}$  の酸化による低電圧電解は起きることも検証できました。

しかしながら、低電圧水電解を持続させるには、陽極で消費された分の  $\text{Fe}_{2+}$  を供給する  
か、再生する必要が生じました。そのため、光触媒によって  $\text{Fe}_{3+}$  を還元し、 $\text{Fe}_{2+}$  に再生す  
る工程を  $\text{Fe}_{2+}$  を酸化させる低電圧水電解に組み込む構想を立てました。可視光応答型光触  
媒である硫黄ドープ二酸化チタンを用いてある程度の  $\text{Fe}_{3+}$  還元率を達成しましたが、触媒  
合成に伴うエネルギー消費に見合う還元率ではありませんでした。

更に高い  $\text{Fe}_{3+}$  還元率を達成するために、ドープや攪拌方法の工夫や他の触媒との混合等  
を試していましたが、目立った成果を得られないで悩んでいる時に、鉄イオンとポリフェ  
ノールを用いた「布の黒染め」を行う機会がありました。黒染めは日本古来の染色技術  
で、お茶に含まれているポリフェノールと鉄イオンが錯体を形成すると、発色します。加  
えて、静岡県が茶ならびに茶飲料の生産が日本一であることから後押しされて、茶粕を用  
いた  $\text{Fe}_{3+}$  光還元挑戦しました。その結果、茶粕を鉄イオンの溶液に入れて光を当てるだ  
けで、硫黄ドープ二酸化チタンを用いた場合の 20 倍の  $\text{Fe}_{3+}$  還元率を得ました。更に、2 槽  
式電解装置の陽極槽に茶粕と可視光で光還元させた  $\text{Fe}_{3+}$  溶液を入れ、電解を行った結果、  
 $\text{H}_2\text{O}$  の電解電圧の半分以下の電圧で電解が起きました。そのため、光エネルギーを  $\text{Fe}_{2+}$  と  
して蓄積し、必要なときに低電圧電解を行い、通常の  $\text{H}_2\text{O}$  の電解電圧との電圧差のエネ  
ルギーを  $\text{H}_2$  として取り出せることを示すことができました。

ここまでの成果をまとめ、「還元性有機物と光を利用した水素製造方法と水素製造装置  
(特願 2019-232455)」として出願しました。

世界の多くの湖沼で富栄養化が深刻です。その原因は、窒素やリン等の栄養塩であり、  
人間生活のあらゆる局面で排出されるが、有効な除去方法は確立していません。そこで、  
2019 年においては、理数科 3 学年の木津悠翔さん、松本颯斗さん、池田彩里さんと、理数  
科 2 学年の小川福史さん、三室裕暉さん、相原聖玲星さんと教員 2 名が協力して、上記の  
省エネ水電解と環境に優しい鉄炭素電池を組み合わせたシステムを開発し、硝酸イオンと  
リン酸の持続的な除去法と除去装置を開発しました。

低電圧水電解の電源として、鉄板を負極、炭素板を正極とした鉄炭素電池を用いまし  
た。鉄炭素電池から溶出する鉄イオンによって水中のリン酸イオンが沈殿除去され、回収  
された沈殿物からはリン酸が回収できました。更に、鉄炭素電池で処理した後の溶液を電  
解装置の陰極槽に注入して、鉄炭素電池から供給される電力を用いた低電圧電解による水  
素製造を行うと、溶液中の硝酸イオンが還元され、窒素ガス ( $\text{N}_2$ ) として水外へ除去され  
ました。以上により、鉄炭素電池によるリン酸イオンの除去・回収と、同電池の電力を用  
いた低電圧電解で生成した水素ガスによって、水中の硝酸イオンの除去が同時に実現でき  
ることを示すことができました。このシステムは構造が単純であるため、途上国の河川や

湖沼等での活用ができ、先進国では従来の浄化槽等へ組み込むことによって、窒素とリンの同時除去機能を安全かつ安価に付加できます。そのため、ここまでの成果を「リン酸イオンと硝酸イオンを除去する汚染浄化方法および装置（特願 2019-232456）」として出願しました。

今後、これらの特許出願したアイデアをもとに、地域や企業と協力して地域の水質保全や地域における新しいエネルギー生産に貢献できるような具体的な方策を創出することを目標に活動して行きます。また、この度の特許出願は、本校が継続してきた課題研究が、次世代の優秀な科学技術系イノベーション人材を地域で育成する取り組みを促進させる機会になり得ると考えています。