

サイエンス教室inコミセン ～エネルギー・環境～

Science Classroom in Community Center
～Energy and Environmental～

絹川 ゲニイ
Gheni KINUGAWA

要旨

教育・研究機関である大学と地域住民、自治体の連携を強め、大学と共存する地域住民の環境問題、クリーンエネルギーに関する理解を深めること、科学技術知識を共有すること、そして現代社会構想が必要としている地域貢献活動の促進等の目的で、市内のイベント会場や地域のコミュニティセンターを利用した公開講座を展開した。「エネルギー・環境」に関するテーマを選定し、「(1) 燃料電池の仕組みと純水素型燃料電池の実演 (2) 二酸化チタン光触媒応用技術の紹介と実演」を行い、地域住民のクリーンエネルギーとして注目されている水素エネルギーと現在幅広く使用されている光触媒技術に関する理解を深め、市民レベルでの「エネルギー・環境」問題に関する様々な知識を共有しながら科学技術知識普及を図った。

キーワード：エネルギー・環境、水素エネルギーと燃料電池、二酸化チタン光触媒、水の浄化

1. はじめに

近年、人間活動による地球環境の悪化が目に見える形で表れて来ている。その一つの側面は気候大異変である。このような気候の変化は、産業革命以降の化石燃料の大量使用による二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量の増加に伴う、地上気温や海水温と海面水位の上昇、生態系の変化、雨の酸性化などで表面化し、今後もさらに悪い方向に向かって進んで行く可能性が高いとされている。もう一つの側面は人工化学物質の存在であり、現在人々の生活をより便利で快適なものにする上で欠かすことができないものになっていて、職場や家庭の内外に、そして家電製品から事務機器、また衣類や自動車など、あらゆるところにあふれている。人工化学物質は優れた点も多く、現代の社会と人々の生活に便利さを齎しているが、反面、その中には大気汚染や水質汚濁や土壌汚染などを引き起こし、人々の健康に害を与えたり、生態系を壊したりするものもある。今回実施した公開講座では、前方の問題を念頭に置きながら現在のエネルギーミックスにおいて、約8割を占める化石

燃料から地球環境に優しい再性可能エネルギーへとシフトして行く中でクリーンエネルギーとして注目されている水素エネルギーについて知識を深めるため、純水素型燃料電池について、その原理と発電メカニズムを、燃料電池を実演しながら紹介した。後方の問題では、現在環境浄化等の幅広い分野で実用化されている光触媒とその応用技術に対する理解を深めるため、光触媒である二酸化チタン(TiO_2)を取り上げた。それを触媒にして有機分子で汚染された汚水の浄化を実演しながら光触媒の原理の説明とその応用技術について身近なところでの応用例を紹介した。今回は、筆者が自分で企画し、地域貢献として大学周辺地域で行った活動の内容と得られた効果について報告する。

2. テーマと内容

2.1 燃料電池の仕組みと純水素型燃料電池の実演

火力発電では、石油・石炭や液化天然ガス(LNG)を燃焼させ、発生する熱エネルギーを使い、水を沸騰、その時に生じる高温高圧の水蒸気でタービンを回し、運動エネルギーをつくり、その運動エ

エネルギーで発電機を回して電気をつくる。化学エネルギーを運動エネルギーに変え、運動エネルギーを電気エネルギーに変える。

燃料電池は、水素と酸素を化学反応させて電気エネルギーを取り出す発電装置のことである。燃

料電池を一般の火力発電などと比較して次の図-1に示す。火力発電とは違い、燃料電池の場合は、化学反応で移動する電子を電気エネルギーに変えるので、運動エネルギーにする過程はないということになる¹⁾。

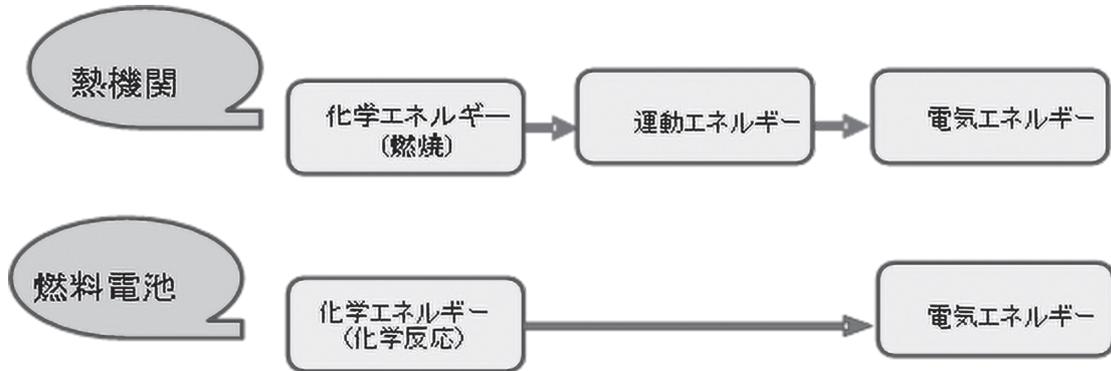


図-1 火力発電と燃料電池の比較

燃料電池の化学反応は、化学反応として水の電気分解の逆反応と一般的に言われており、その反応式を次の図-2のように書くことができる。水を

電気分解すれば酸素と水素になるが、燃料電池の場合は、水素と酸素が反応して電気エネルギーが得られ、多少の水ができ、熱も発生する。

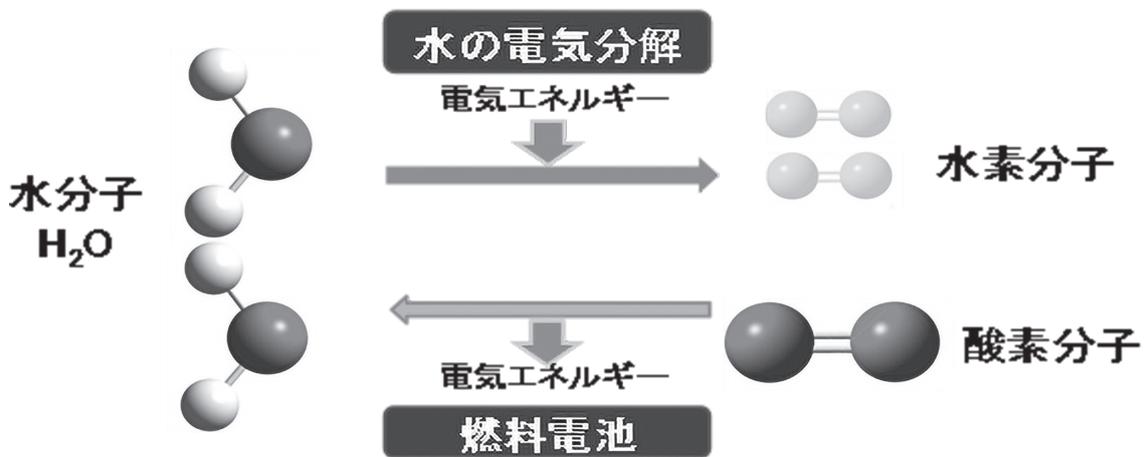
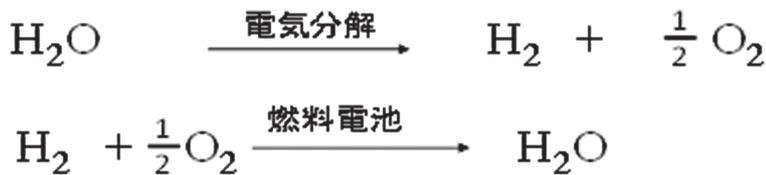


図-2 水の電気分解と燃料電池の化学反応

燃料電池の原理を模式的に図-3に示す。図に描いた通りに、燃料電池は二つの電極とその間に挟まれる高分子膜からなる。また、各電極に白金触媒が組み込まれている。純水素を水素ポンプ等から電極に流すと負極で水素が白金触媒の影響を受け、水素イオンと電子に分かれる。水素イオンは

高分子膜を通り抜け、電子は導線を通して正極へ移動する。また、燃料電池は大気中から酸素を自動的に取り込む仕様になっており、取り込まれる酸素は負の電極から移動してきた水素イオンと結びついて水になる(図-3を参照)。

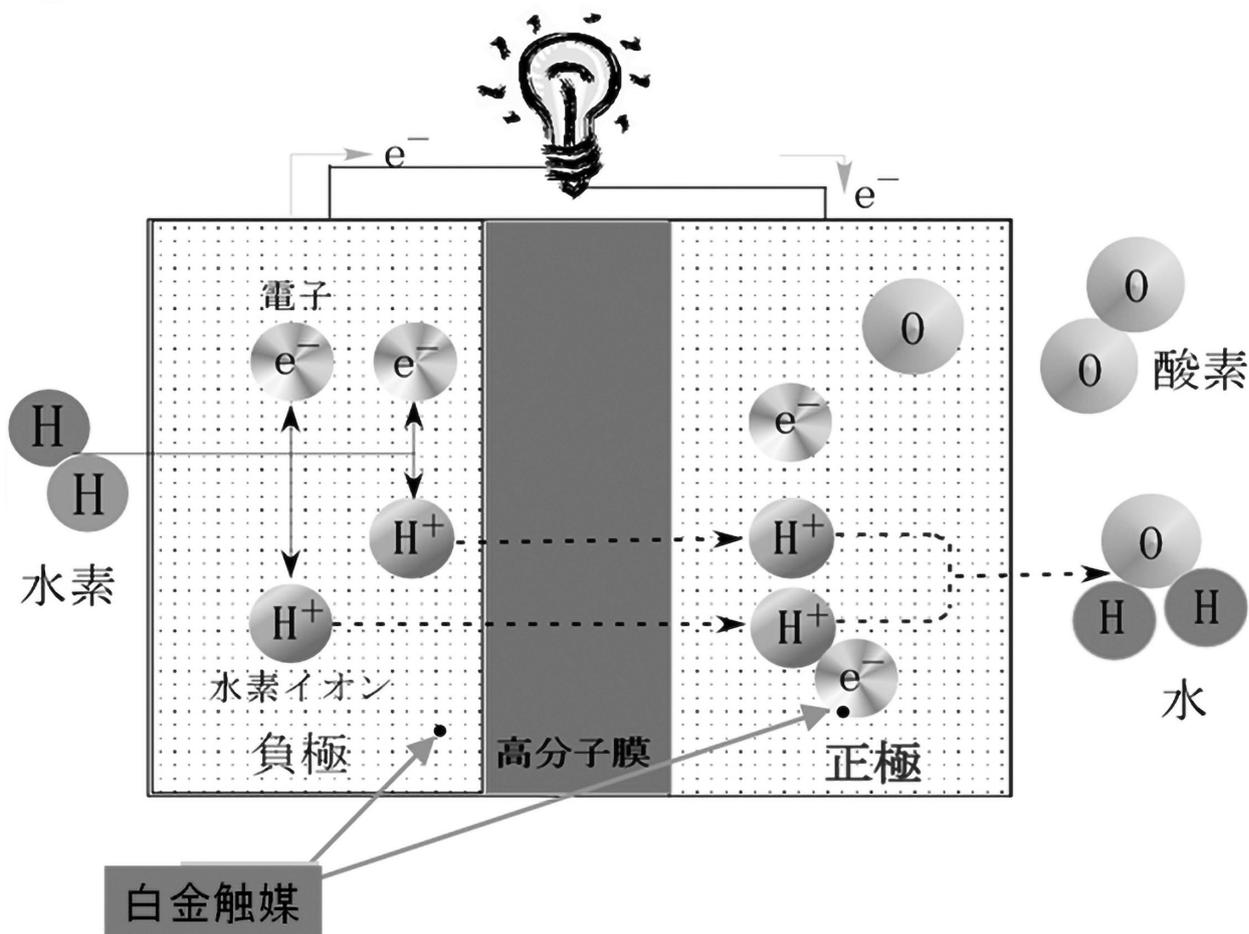


図-3 燃料電池の発電原理

2.2 二酸化チタン光触媒応用技術の紹介と実演

光触媒を理解する前に、触媒という概念を理解する必要がある。触媒とは、化学反応の際に自分自身は変化せず、他の物質の仲立ちとなって反応の速度を変える物質のことである。光触媒というのは光のエネルギーによって働く触媒のことである。現在光触媒として最もよく用いられるのは、二酸化チタン（ TiO_2 ）である。二酸化チタン光触媒による環境浄化技術が環境対策として注目され、色々なところで実用に至っている。また、今後も更なる応用拡大が期待されている^{2,3)}。

二酸化チタンは半導体であり、紫外線の光があ

る場合、その触媒作用が発揮する。半導体はn型半導体とp型半導体があるが、二酸化チタンはn型半導体であるため、図-4のようなバンド構造をもっている。この二酸化チタンのバンドギャップのエネルギーに相当する光は波長が380nmの光であり、この波長の光を照射すると、価電子帯の電子は励起されて伝導帯に移る。波長380nmの光は紫外線の光波長範囲にあり、このような紫外線環境があれば二酸化チタンの触媒作用が活発になると言える。

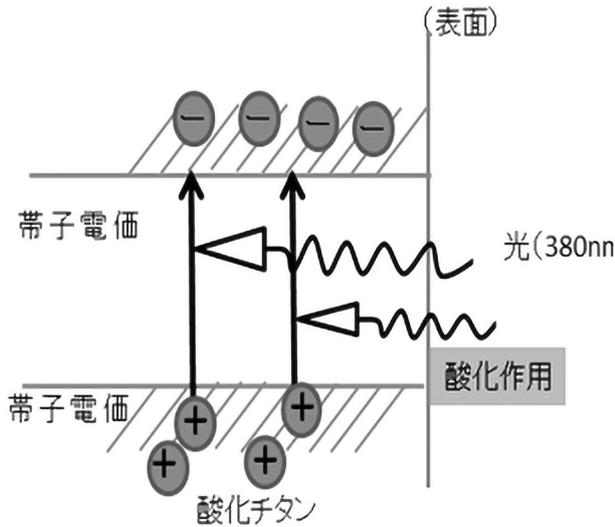


図-4 光触媒の原理

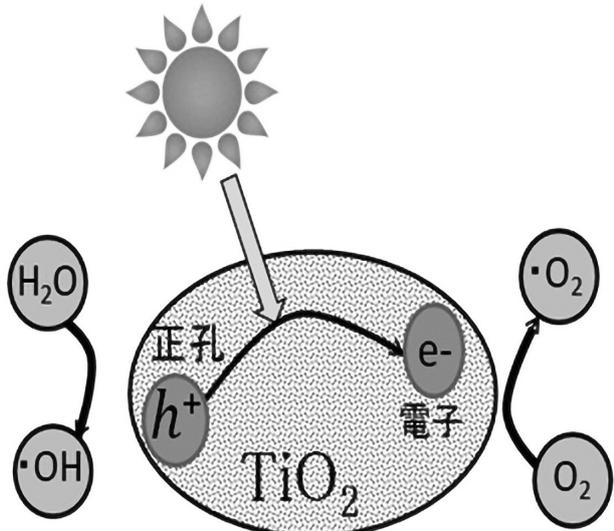


図-5 TiO₂光触媒の作用模式図

二酸化チタン光触媒に紫外線が当たると、その表面から電子が飛び出し、電子 (e⁻) と電子が抜け出た穴、正孔 (h⁺) ができる。この電子と正孔が空気中の酸素と水と反応することにより、二酸化チタン表面にスーパーオキサイドアニオン (O²⁻) とヒドロキシラジカル (·OH) という活性酸素が発生する。二酸化チタンの触媒作用を、図-5 に模式的に示す。

これらの活性酸素は強い酸化力を持っており、付着した有機物の汚れ、臭い成分、雑菌を分解して破壊することができる。一般的な有機分子に存在する化学結合のエネルギーを表-1 に示す。OH

ラジカルの結合エネルギーは120 cal/molであり、このOHラジカルのエネルギーと表-1 の一般的な有機分子に存在する化学結合エネルギーを比較するとOHラジカルのほうがどの結合エネルギーよりも大きいことがわかる。このOHラジカルは、強力な酸化力を持つために近くの有機物から電子を奪い、自分自身が安定になるうとする傾向があり、OHラジカルが有機分子に接触すると有機分子の結合をつくっている電子が奪われ、有機物の化学結合は切断、最終的には分子が破壊され、二酸化炭素や水となる。

表-1 有機化合物中の結合エネルギー

結合	cal/mol
C - C	83
C - H	99
C - O	84
O - H	111
C - N	70
N - H	93

出典：有機化学概論

< 120 cal/mol

ヒドロキシラジカル (·OH)
120 cal/mol

酸化力が強く有機物の
化学結合を切断、分子を
破壊する

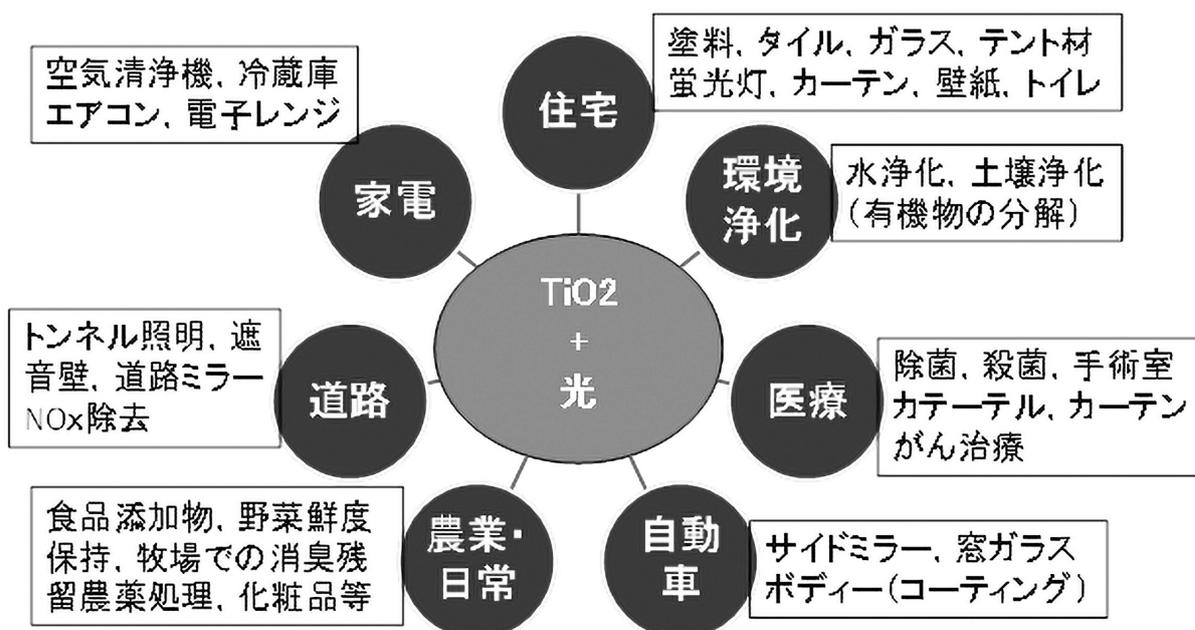


図-6 光触媒の応用例

二酸化チタンは、抗菌殺菌作用、酸化作用によって汚れを分解する能力、有害物質を酸化して破壊する作用、超親水性によって水滴や曇りを防ぐなどの効果が知られている。その効果は、二酸化チタン粉末や二酸化チタン薄膜として幅広い分野で応用されることに繋がっている。二酸化チタン光触媒の応用例を、図-6にまとめた。図-6からわかる通りに、家電製品、例えば、空気清浄機、冷蔵庫、電子レンジ等で空気クリーニングや脱臭等の目的で使用されている。また、住宅の場合は、住宅の外壁、外装、建材、テント等、住宅内では、タイル、ガラス、カーテン、壁紙、蛍光灯、トイレ等の防汚・防臭目的で使用されている。その他、交通関連では、トンネル照明、遮音壁、道路ミラー、化石燃料から発生する窒素酸化物 (NO_x) の除去等で使用されている。農業関連では、食品添加物、野菜鮮度保持、牧場での消臭残留農薬処理等で使用されている。また、自動車のサイドミラー、窓ガラス、ボディーのコーティングで使用され、マイカーの綺麗な状態を保つ役割を果たしている。医療の現場では、除菌、殺菌、手術室、カテーテル、カーテン、がん治療等で使用されている。環境保全分野で、有機物により汚染された水の浄化、土壌の浄化等で使用されている。また、日常生活用品では、石鹸や歯磨き粉、お菓子のクリームにも使われる。紫外線を吸収するので化粧品にも使われる⁴⁾。

3. 器具・試薬・実演

3.1 燃料電池の実演

燃料電池は本学が所有する固体高分子形燃料電池 (PEFC)、出力100Vの試作電源燃料電池ユニット (12w×4) を使用した。純水素は株式会社巴商会から購入した純水素 (10Lボンベ) を使用した。この他に、燃料電池に水素を流入する時に水素圧力を調整するための高圧ガス圧力計 1 個、実演用パナソニック製ポータブルDVDプレーヤー 1 台、実演用市販のクリスマスツリー 1 セット、ガス配管等を用意した。純水素を燃料電池に流し (0.05atm) 発電させ、その電気で用意した家庭用DVDプレーヤーを作動させ、地球環境関連のDVD動画を鑑賞した。また同時に、電気をクリスマスツリーに送り、クリスマスツリーを点灯させたりして、実演を行った。実演のイメージを図-7に示す。

3.2 二酸化チタン光触媒による汚水浄化の実演

市販の電気攪拌機 2 台、マグネット 2 個、100mlのビーカー 2 個、ブラックライト付き電気スタンド 2 台を用意した。また、分解する有機物質としては青い液体のメチレンブルーを選定、その試薬はホームセンタームサシで購入した (無毒の物質)。光触媒である二酸化チタン粉末は市販品を使用した。有機分子メチレンブルーの水溶液 (青色) が入った二つのビーカーの片方に二酸化チタン光触媒 1gを入れた。もう片方には二酸化

化チタン光触媒は入れずにそのまま使用した。二つの青い液体が入ったビーカーを、攪拌機に乗せ、攪拌しながらブラックライトの紫外線を照射し、経時に伴う溶液色の変化を観察した。実演のイメージを図-9に示す。

4. 成果

4.1 燃料電池の仕組みと純水素型燃料電池の実演

クリーンエネルギー時代の扉を開く鍵と言われている水素エネルギーを利用する例として、過去に公益財団法人内田エネルギー科学振興財団・科学技術知識普及事業費助成金で購入し、本学が所有している水素型燃料電池の実演を行い、その原理と発電機構の説明を行った。水素は、様々な資源からつくることができる⁵⁾。例えば、水の電気分解で水素を取り出すことができる。石油や天然ガスなどの化石燃料の水蒸気改質、メタノールやエタノールの酸化分解で得ることもできる。また、製鉄所や化学工場などでも副生成物として発生するので回収すれば使えるということになる。バイオマスや有機廃棄物の熱分解、水蒸気分解、微生物分解などで生成されるので資源的な制約はないと言える。これらの中で、一番理想的な方法は水から水素を製造する方法であるが、化石燃料を使って得られる電気エネルギーで水を分解して水素をつくり、その水素で燃料電池を作動させて電気をつくるということは、あまり意味はない。近年は、太陽電池と組み合わせて太陽光で電気をつくり、その電気で水を分解して水素をつくる施設が試験的に運転されている⁶⁾。また、光触媒等を利用して水をもっと簡単な方法で分解して水素をつくることできないかも研究されている⁷⁾。公開講座ではこれらについて説明を行った。これにより水素エネルギーや燃料電池に関する理解を深めることができた。参加の市民が水素エネルギーについて知識を深めると同時に、燃料電池に関する問題

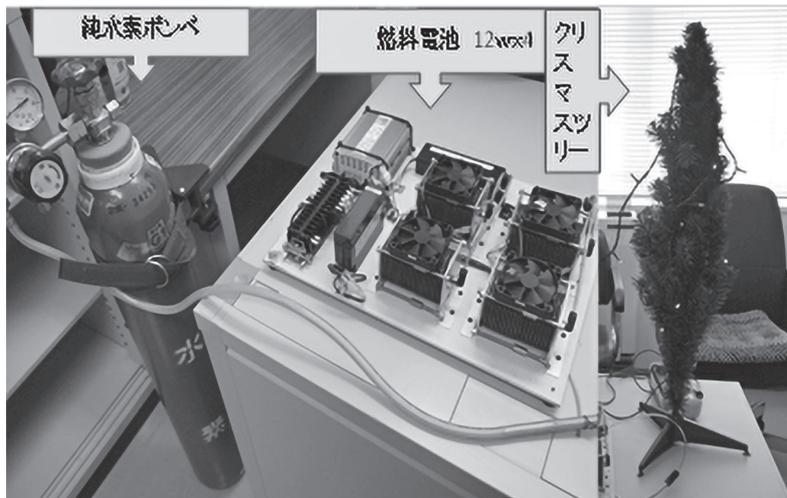


図-7 公開講座「燃料電池の仕組みと純水素型燃料電池の実演」より（実演）



図-8 公開講座「燃料電池の仕組みと純水素型燃料電池の実演」より（講演）

関心が高く、現在使われている水素原について質問をしたりしていた。また、講座の一部として、トヨタ自動車が開発して販売を開始している新型燃料電池自動車MIRAIについて説明とその宣伝動画を鑑賞した⁸⁾。新型燃料電池自動車MIRAIについても市民の興味が深く、価格や水素スタンドのことなどについて質問をしたりした。「もう少し安くなって欲しい」とか、「早く水素スタンドができればいいな」、「一度でも走らせてみたいな」と言いながら熱心だった。講座のイメージを図-8に示す。同様な公開講座は柏崎市と刈羽村の複数の会場において複数回行った。講座を通してクリーンエネルギーである水素エネルギーに関する知識普及に貢献できた。

4.2 二酸化チタン光触媒による環境浄化技術の紹介と実演

光触媒の原理と二酸化チタン光触媒の応用についての講演と合わせて有機物によって汚染された水の浄化例として、有機分子であるメチレンブルーの水溶液（青色）に光触媒である二酸化チタン粉末（白粉）を入れて、攪拌しながらブラックライトの紫外線を照射し、時間の経過に伴い、約30分程度で青色溶液が脱色して行く様子が確認された。これは水に混ざっていた有機分子のメチレンブルーがなくなって行ったことを裏付けた。また、二酸化チタン粉末（白粉）を入れずにブラックライトの紫外線を照射しながら攪拌した青色溶液は時間が経過しても何も変わらない様子を観察しながら説明した。青色溶液で変化は見られないことは、溶液中のメチレンブルーは変化せずにそのまま存在していることを裏付けた。これにより、ブラックライトから波長が380nmの紫外線を照射して行った実演で二酸化チタン光触媒が有機分子のメチレンブルーを破壊したことが証明できた。また、二酸化チタン光触媒の応用についても様々な例をあげながら説明した。二酸化チタンの応用例の中で自動車の窓ガラスやフロントガラス、ボディ等のコーティング、道路の曇り防止反射鏡、塗料・プラスチック・製紙、石鹸や歯磨き粉、お菓子のクリームにも使われること、紫外線を吸収するので化粧品にも使われること等に関心が高く、話題になった。参加者は、身近なもので、例えば自動車や住宅などで使用されているものについて質問し、「なるほど、こういうことだったのか」と言って興味の深さを感じさせた。講座のイメージを図-10に示す。公開講座の説明と実演を通して二酸化チタンの光触媒作用や二酸化チタンによる水の浄化と様々な分野での応用に関する知識を深め、市民レベルでの知識共有ができた。



図-9 公開講座「二酸化チタン光触媒の応用技術の紹介と二酸化チタンによる環境浄の実演」より（実演）



図-10 公開講座「二酸化チタン光触媒の応用技術の紹介と二酸化チタンによる環境浄の実演」より（講演）

5. まとめ

環境・エネルギーに関する知識普及の新たな試み「サイエンス教室inコミセン」を、「(1) 燃料電池の仕組みと純水素型燃料電池の実演 (2) 二酸化チタン光触媒応用技術の紹介と実演」のテーマで実施した。このサイエンス教室は主に市中心から少々離れた場所に位置する集落の住民を対象に開催、また、開催場所としても地域のコミュニティセンターを利用した。このような公開講座を地域の各種イベントと組み合わせることにより地域イベントの盛り上がりにも貢献すると共に市民レベルで環境・エネルギーに関する科学技術知識の普及と科学技術知識の共有にも貢献できた。長年の経験から言えば、地方の市中心地に開催される科学技術系の公開講座に参加する市民が非常に小人数であったのに対して、ここで紹介した公開講

座の場合は、市中心などで実施される公開講座の会場まで足を運ぶことが比較的困難な集落のお年寄りから子供までの幅広い層からの参加者がいて盛り上がった。今回の複数の講座を通して地元の教育機関である大学と地域の連携強化を図り、地域の活性化にも大いに貢献できた。このような講座を今後も継続して行っていくことは集落のコミュニティの強化とさらなる地域貢献に繋がると信じる。

6. 謝辞

この公開講座は、公益財団法人内田エネルギー科学振興財団・科学技術知識普及事業費助成を受けて実施したものであり、ここに謝意を表す。

7. 参考文献

1. 森田 敬愛 (著), トコトンやさしい燃料電池の本 第2版 (今日からモノ知りシリーズ) (日本語) 単行本, 日刊工業新聞社, 2018年03月.
2. 図解光触媒のすべて, 監修 橋本和仁・藤島昭工業調査会, 2003年出版.
3. 光触媒とはなにか, 佐藤しんり 著, 講談社, 2004年出版.
4. 国立研究開発法人科学技術振興機構, <https://www.jst.go.jp/> 2020年8月, 閲覧.
5. 経済産業省 資源エネルギー庁 <https://www.enecho.meti.go.jp/> 2020年8月, 閲覧.
6. 株式会社富士通研究所 <https://pr.fujitsu.com/jp/news/2018/07/19.html>, 2020年8月閲覧.
7. 前田 和彦, 水素エネルギーシステム, Vol.33, No.2, 2008.
8. トヨタ自動車WEBサイト, <https://toyota.jp/mirai/> 2015~2020年8月, 閲覧.