

SICORP 日本－中国 (MOST)

「エネルギー利用の高効率化」領域

事後評価結果

1. 共同研究課題名

「機能性たんぱく質とナノマテリアルとの複合体をはじめとした、高効率な光電気化学機能材料の研究開発と、そのエネルギー変換、環境浄化、および医療への応用」

2. 日本－相手国 研究代表者名(研究機関名・職名は研究期間終了時点):

日本側研究代表者 池北 雅彦 (東京理科大学理工学部・教授)

中国側研究代表者 Jinfang ZHI (中国科学院 理化学技術研究所・教授)

3. 研究実施概要

本研究では、太陽光のような自然エネルギーを取り入れた高効率な光電気化学機能材料の研究開発を行い、エネルギー変換、環境浄化、医療応用への適用を目的とした。具体的には、光触媒技術を環境浄化などに適用することを目指し、抗菌・抗ウイルス装置、脱臭・水処理装置、植物工場、上皮がん治療方法の基礎研究に関する検討を行った。また、日本と中国が相補的に取り組むことで、光触媒技術と他の酸化処理技術を融合し、両国にとって共通の課題であるエネルギー・環境・医療問題に有効な技術開発を試みた。

抗菌・抗ウイルス装置の検討では、細菌、細菌芽胞、真菌に対して光触媒反応による殺菌評価を実施し、細胞形態が光触媒の殺菌効果に及ぼす影響を検討した。また、芽胞形成菌(栄養源枯渇や水分減少などの劣悪環境下で厚い殻をもつ芽胞を形成し、アルコール消毒や煮沸下でも死滅しない菌)に対し、光触媒による不活化法を見いだした。脱臭・水処理装置の検討では、光触媒とダイヤモンド電極を併用することにより、殺菌性能と有機物分解能を発揮しつつ、塩素やクロロホルムの生成を抑制することができた。植物工場への光触媒技術の応用では、光触媒反応が希少糖生成に利用できること、光触媒から生成した活性酸素種により発芽率を向上させる現象を見いだした。上皮がん治療方法の基礎研究では、酸化チタンによる細胞傷害の測定法を確立し、光触媒によって誘導される細胞死の作用機序について検討した。

4. 事後評価結果

4-1 研究の達成状況及び得られた研究成果

(論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

水環境の悪化は世界的に深刻な問題の一つである。この問題に対し、太陽光のような自然エネルギーを取り入れた光電気化学機能材料の応用として、光触媒技術の応用が一つの選択肢として捉えることができる。酸化チタンなどの光触媒は、紫外線によって励起した電子と同時に生成した正孔による強い酸化力によってほとんどの有機物を分解するが、水中では紫外線が届く範囲が狭く、物質の拡散速度も比較的遅いため、水中での光触媒反応効率は、空気中のそれに比べて著しく低くなることが課題であった。一方、酸化チタンは食品や化粧品添加物としても広く用いられているが、生理活性促進物質としての作用メカニズムが分かれば、医療などへの新たな利用方法を開発することに繋がる。そのような背景から、本プロジェクトでは4つの課題について日本と中国の研究チームが合同で取り組み、光触媒の新たな応用に繋がる様々な成果を得ている。

1) 抗菌・抗ウイルス装置

酸化タンゲステンとエタノールを組み合わせることにより、可視光照射下でも芽胞形成菌を不活化できる現象を見いだした。その作用機序として、過酸化水素生成が原因と推定するに至っている。芽胞形成菌はアルコール消毒や煮沸下でも死滅させることは難しいため、それらの組み合わせはこれまでにない抗菌技術として期待できる。

2) 脱臭・水処理装置

酸化チタン系光触媒材料として、蛍光灯下においてアセトアルデヒドを3時間程度で完全分解できる酸化チタン系光触媒材料を開発するに至った。また、光触媒による酸化反応およびダイヤモンド電極を利用した電気分解反応を併用した污水浄化システムを構築した結果、本システムは殺菌性能と有機物分解能を発揮しつつ塩素やクロロホルムの生成が少ない性質を伴うことから、有害物質の発生が抑えられる污水処理システムに繋がると考えられる。処理水の汚染度を測定するためのセンサー技術の検討では、酸化チタンナノファイバー光電極のファイバー内部および表面に金ナノ粒子を分散させることで、生体分子として重要な働きを持つグルタチオンに選択性あるセンサーの開発に至っている。この成果は英国王立化学会誌(J. Mater. Chem. B)の表紙として採択されている。

3) 植物工場

アルドヘキソースを酸化チタンで処理することにより α 炭素が一つ減じたアルドペントースが規則的に生成されること、さらに天然に豊富なガラクトースから希少糖であるリキソースの生成に成功し、希少糖の新しい生産法に繋がると思われる。

4) 上皮がん治療方法の基礎研究

酸化チタンによる細胞傷害の測定方法を確立し、細胞死の分類と細胞膜脂質過酸化について検討した。しかし、その作用機序は十分に解明されず、*in vivo* までの評価に繋がらなかったことは残念であった。

いずれの課題も、半導体光触媒機能を応用展開するものであるが、プロジェクト開始時から産業化に取り組むのではなく、日本チームは主に光触媒反応で誘起される分子過程、後続過程の物質変換過程の解明に焦点を当て、中国チームは主に半導体光触媒材料の新規開発を中心に検討を進めながら、相互の研究着想、研究成果を相互訪問と研究討論により有機的に展開することができたと判断できる。

論文、特許取得、口頭発表については、それぞれの研究チームが成果をあげていると評価される。発表された国際・国内論文について日本側と中国側の共著はないが、日本側単著で 32 報、中国側単著で 58 報ある。日本側は単著ではあるが 19 件の著作物も出版している。また、日本側から 3 件、中国側から 18 件の特許出願を行っており、研究成果を事業化に結びつけるための積極的な取組がなされていると評価できる。学会発表においては共同発表 1 件、日本側 149 件、中国側 17 件の発表により研究成果を積極的に報告していると判断できる。日本側と中国側双方の出張日は 3 年間で約 811 人・日に至るなど日中間の協力も極めて良好であった。

総評としては、当初掲げた 4 つの課題がカバーする領域が極めて広く、翼を広げすぎた感があることは否めない。しかし、それぞれの課題における研究途上での偶発的な発見の蓄積を単に拡散させるのではなく適切に収束させながら展開している研究戦略、光触媒の新たな利用方法をいくつも見いだした点で当初の多くの目標を達成しており評価できる。できるだけ投入エネルギーが少なく済む有効な環境浄化方法の開発に挑戦する姿勢として、「出口からみた課題設定」を行った後、実際の研究推進段階では「出口を見据えた研究戦略」を採用しており、3 年という短期間での二国間共同研究を実りあるものとした点は高く評価できる。以上より、日中共同研究の達成状況と得られた研究成果は、当初の目標に照らして十分な研究成果が得られていると評価される。

4-2 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、わが国の科学技術力強化への貢献

本プロジェクトで得られた個々の研究成果は、研究途上で偶然発見されたものや、萌芽的な研究成果を含んでおり、今後、その多くが実用化に向けた一層の展開に繋がるものと考えられる。これまでの半導体光触媒による環境浄化機能研究は現象論的

な研究結果集積が多く見られたのに対し、本プロジェクトでは、新たに半導体光触媒の細胞死への効果を化学過程にまで掘り下げて解明しようと挑戦したことや、グルコースの脱炭酸反応による希少糖の生産を発見するなど、新たな「物質生産」への端緒となる結果も得ている。現時点では、科学技術や社会へのインパクトについて具体的な評価はできないが、新たな科学技術力の萌芽となる可能性がある。