

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月22日現在

機関番号：32105

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21650215

研究課題名（和文） 多糖類ゲルを化学反応リアクタとして活用した新規化学実験教材の開発

研究課題名（英文） Development of New Chemical Experiment Teaching Materials using Polysaccharide Hydrogel as a Chemical Reactor

研究代表者

高藤 清美 (TAKATO KIYOMI)

筑波学院大学・経営情報学部・教授

研究者番号：00279556

研究成果の概要（和文）：多糖類ゲルを化学リアクタとして用いた新規化学実験教材の開発に取り組んだ。多糖類ゲル中での結晶成長実験では、均一溶液系に比べ大きな結晶が得られることを明らかにした。化学電池の電解液の多糖類ゲルによる固体化では、均一溶液と同等の起電力が得られることを明らかにした。バイオ光化学電池の有機物燃料の多糖類ゲルによる固体化では、 O_2 の輸送速度が遅いため長時間の反応持続が困難であると考察した。バイオ光化学電池の定量実験装置の開発では、マイクロコンピュータを用いた装置を開発できた。

研究成果の概要（英文）：Development of new chemical experiment teaching materials using polysaccharide hydrogel as a chemical reactor was investigated. In the crystal growth experiment in polysaccharide hydrogel, it was shown clearly that larger crystals were obtained compared with a homogeneous solution experiment. Using the solid electrolyte made by polysaccharide hydrogel of a chemical cell, it was shown clearly that electromotive force equivalent to a homogeneous solution was obtained. Using the solid organic fuel made by polysaccharide hydrogel, for a bio photochemical cell, the transport velocity of O_2 was too small then stable reaction over a long time will be difficult. Development of quantitative experimental device for the investigation of bio photochemical cell was succeeded.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	0	1,300,000
2010年度	900,000	0	900,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	300,000	3,500,000

研究分野：科学教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学、科学教育

キーワード：科学教育、化学実験教材、化学反応リアクタ、分析デバイス、多糖類ゲル、結晶成長、化学電池、バイオ光化学電池

1. 研究開始当初の背景

多糖類ゲルは化学リアクタとして興味深い性質を有している。この特性を応用することで、教室で活用できる新規化学実験教材を

実現できると考えられる。しかし、多糖類ゲルの化学リアクタへの応用研究は系統的には進められていない。そのため、化学リアクタとしての化学実験教材への応用もおこな

われていない。多糖類は安全で安価なものも多く、また化学的な処理により様々な特性を付与することができる。このような特徴を持つ素材の化学教材への応用方法を研究することで、通常の化学実験だけでなく、従来の方法では手間が掛かったり、安全に実施することが困難であるような実験までもが容易にかつ安全に実施できるようになり、理科や化学の実験を興味深く、効果の高いものに改善することができると考えている。

2. 研究の目的

本研究では、多糖類ゲルを化学リアクタとした新規化学実験教材の開発の研究と共に、多糖類ゲルの化学リアクタとしての特性の解明も主要な研究テーマの一つとして考えている。(1)、(2)を主要課題とする。

(1) 多糖類ゲル中の液相における化学反応特性の解明多糖類ゲルは化学リアクタとして興味深い性質を有するにもかかわらず化学リアクタとしての研究事例は少ない。多糖類ゲル中の液相における化学反応のメカニズムについて系統的に研究することは重要であると考え。多糖類ゲル中の液相に取り込まれた分子やイオンの特性と多糖類ゲルを構成する高分子鎖の相互作用などについて、系統的に研究を進める。

(2) 多糖類ゲルを化学リアクタとした新規化学実験教材の開発適切な条件で多糖類ゲルは硬く調製することができ、教室の中で使用する化学リアクタとしては使いやすさのもの一つである。また固体状でもゲル中の液相は大量の溶液を含む。この特性を応用することで、従来は均一溶液中で扱われている化学反応を固体中で実現することが可能となる。この系は「固体状なので反应用の容器が無くても実験に使用できる」、「固体状なので取扱いが容易である」、「適切な多糖類を用いることで多糖類ゲルを透明なものにすることができ、実験の観察が容易である」、「多糖類ゲルは、水を大量に含むが、多糖類ゲル中での対流がほとんど見られず、通常の溶液中では観察できない反応を観察することができる」、などの特徴を持つため、教室の中で使用する教材として良好な特性を持つ。

以上に加え、研究成果を元に実験教材化するためにひつようなマイクロコンピュータ回路や電子回路の開発もおこなう。

3. 研究の方法

研究の背景、研究の目的に示した議論を元に、次のテーマを中心に研究を進めた。

(1) 多糖類ゲル中での結晶成長実験

多糖類ゲル中ではマクロ的な自然対流(分子の輸送)が抑制される、一方でミクロ的な輸送を均一溶液中と同等に調製することも容易であるという実験結果をすでに得てい

る。このような化学的環境のなかでは、結晶成長に対して大きな影響が生じると考えられる。この実験では、学校の実験の中でよく取り上げられる結晶化しやすい試薬を用い、多糖類ゲル中と均一溶液中での結晶成長の比較を行った。

(2) 多糖類ゲルを用いた化学電池の研究

多糖類ゲル中に形成される化学反応場の評価のための研究として、化学電池の電解液を多糖類ゲルにより固体化する実験をおこなった。電解液を固体化することで、普通教室等の実験設備が整っていない環境での実験も可能となり、実験機会を増やすことが期待できる。また電解液の取り扱いを容易にでき、安全に実験に取り組むことも可能となる。

(3) バイオ光化学電池における多糖類ゲルの活用

バイオ光化学電池は、一種の燃料電池といえる系であるが、燃料として様々な有機物(水溶性または懸濁液化した状態のもの)を用いることが可能である。例えば、調理時に発生する生ゴミや家畜等の尿尿なども燃料とすることができる。燃料となる有機物は電池の稼働中にCO₂と水など(成分によってはN₂なども発生)に分解される。勿論、エネルギーとして使用できる電力も取り出せる。このようにバイオ光化学電池は、社会問題となっているゴミの問題、電力等のエネルギー資源の問題を同時に解決できる可能性を持った系であり、学校教育の中で取り扱うことは大きな意味があると考え。

本テーマでは、燃料となる有機物を多糖類ゲルにより固体化することで、実験装置の取り扱いを容易にする事を目的とした研究をおこなった。

(4) バイオ光化学電池の定量的な取り扱いを目的とした実験装置の開発

光電池の発電効率を定量的に求めるには電流-電圧特性を元に算出する方法を用いるが、専用の測定装置の準備や専門的な知識、技術が必要である。この手法を学校の授業の中で使用することは困難であると考えた。そこで、簡易的な手法ながら、学校の授業等でも簡単に使用でき、ほぼ定量的な比較が可能である実験装置の開発を目指した。

4. 研究成果

(1) 多糖類ゲル中での結晶成長実験

① 多糖類ゲル中におけるミョウバンの結晶成長

でんぷんゲル中と均一水溶液中における結晶成長について実験観察をおこなった。溶液調整後、2週間程度経過後の結晶を取り出して比較したところ、でんぷんゲル中で成長した結晶は、均一系に比べ、最大4倍程度の大きさまで成長した(図1)。



図1 ミョウバン結晶の比較, (a) でんぷんゲル中で成長した結晶, (b) 均一溶液中で成長した結晶

②液-液界面における結晶成長実験

酒石酸の水溶液層にエタノール等の溶液を接触させると、水溶液層から脱水がおこなわれる。これにより液-液界面を中心に酒石酸の針状結晶が成長する。両液層の間にκ-カラギーナンゲルの層を置くことにより、より大きな針状結晶の成長が見られる (図2)。

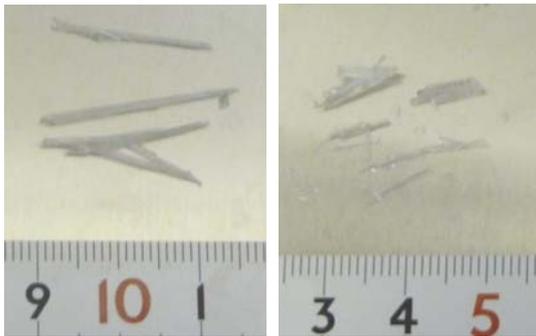


図2 酒石酸の結晶の比較, (a) κ-カラギーナンを使用した場合, (b) 均一系の場合

多糖類の一種のアガロースゲル中の拡散速度を測定した結果では、拡散速度は自己拡散の理論通りであり、拡散現象に対流による影響はほとんど見られなかった。今回の実験条件においても、ヒドロゲル中では分子輸送に対流の影響があまり作用しなかったために、結晶が大きく成長したと考えられる。

(2) 多糖類ゲルを用いた化学電池の研究

化学電池の電解質を多糖類ゲルにより固体化する実験をおこなった。寒天ゲルを使用した実験では、均一溶液系と同等の起電力 (約 1.0 V) が発生することを確認できた。このことから、寒天ゲル中に形成されている溶液場は、均一溶液中と同等の特性を持つことが明らかになった。また、寒天ゲルにより固体化することで、取り扱いが容易になり、普通教室など理科実験室以外の場所においても実験が可能になる。

(3) バイオ光化学電池における多糖類ゲルの活用

バイオ光化学電池 (図3、図4) はバイオマスと光を組み合わせることで、これらの持つエネルギーを電気エネルギーとして取り出すことのできる新しいタイプの光化学電池である。使用できるバイオマスは多岐に渡り、雑排水のような状態のものからでも電気エネルギーを取り出すことができる。

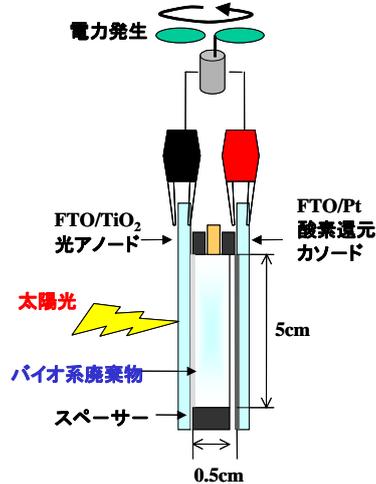


図3 バイオ光化学電池模式図, ラボスケールサイズの例

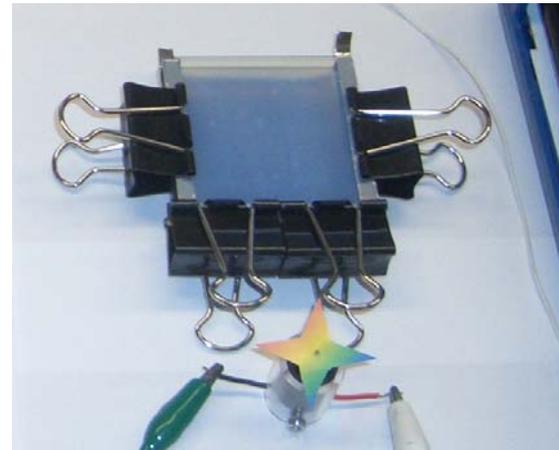


図4 バイオ光化学電池セルと小型モーター

バイオ光化学電池の反応機構を図5に示す。バイオ光化学電池は、バイオマスと酸素の共存下で、アノード側 (n型半導体電極) に光を照射することで高活性状態を生じさせ、アノード側ではバイオマスの酸化による分解が、カソード側では酸素 (O₂) の還元が進行する。アノード側での生成物はバイオマスを分解した CO₂ や N₂、カソード側の生成物は酸素を還元した水である。アノード側の還元反応で発生したプロトン (H⁺) は溶液中を、電子 (e⁻) は外部回路を通して、それぞれカソード側に移動する。

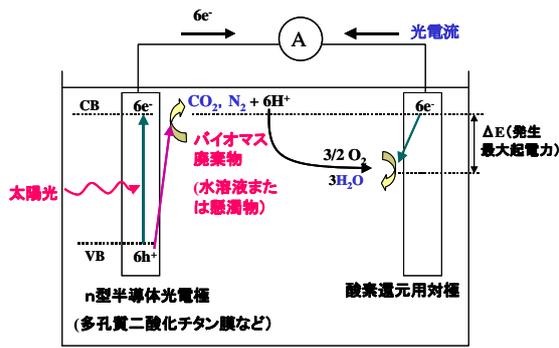


図5 バイオ光化学電池の反応機構

表1にバイオ光化学電池による発電実験の結果を示す。この実験では、光源としてキセノンランプ（電極面の光量 = 450 mWcm⁻²）を使用し、バイオマスのモデルとしてグルコースおよびアンモニアを使用した。現状では、バイオ光化学電池の反応で有効な波長は紫外域に限られるので、見掛け上の発電効率は低いように感じられる。

表1 バイオ光化学電池による発電実験の結果

試料	グルコース (0.5M)	グルコース (0.05M)	アンモニア (10M)
Voc/V	0.64	0.6	0.86
Jsc/mAcm ⁻²	0.5	0.8	0.64
FF	0.32	0.2	0.49
η/%	0.023	0.021	0.052

Voc:開放電圧、Jsc: 短絡電流密度 = 短絡電流/光照射面積、FF=(最大出力点の電圧×最大出力点の電流)/(開放電圧×短絡電流) : フィルファクター、η : 光電変換効率

バイオ光化学電池を教材として用いることで、自然環境および社会環境中に賦在する資源について、またそれらからのエネルギーの獲得方法等について、幅広く学習することが可能と考えられる。バイオ光電池は、エネルギー源として使用するバイオマスは、溶液または水との懸濁液状である必要があり、教室や実験室で教材として取り扱うことが面倒である。懸濁液を多糖類ゲルにより固体状にし、発電実験をおこなったが、光照射の初期段階では均一溶液中と同様の結果が得られたが、長時間に渡っては良い結果を得られなかった。この原因は、ゲルのような固体状の物質中では、反応機構(図5)の対極における反応で必要となるO₂の輸送速度が遅くなり、O₂の供給量が十分に確保でないためと考えられる。

(4) バイオ光化学電池の定量的な取り扱いを目的とした実験装置の開発

バイオ光化学電池はバイオマスと光を組み合わせることで、これらの持つエネルギーを電気エネルギーとして取り出すことのできる新しいタイプの光化学電池である。使用できるバイオマスは多岐に渡り、雑排水のような状態のものからでも電気エネルギーを取り出すことができる。バイオ光化学電池を教材として用いることで、自然環境および社会環境中に賦在する資源について、またそれらからのエネルギーの獲得方法等について、幅広く学習することが可能と考えられる。バイオ光化学電池は様々なバイオマスを使用することが可能であるため、それぞれの結果を定量的に比較することで、資源・エネルギーに対する考え方を深めることができると期待できる。本研究では、教室での定量的な実験のために必要となる、光源の検討、出力電力の評価方法の検討等をおこなった。光源としては、近年開発が進んでいる紫外線発光ダイオードを数種類選択し、効果を検討した。またフォトダイオードとマイクロコンピュータを用いて、簡便に使用できる光量測定方法を提案した。製作した装置の写真を図6に示す。

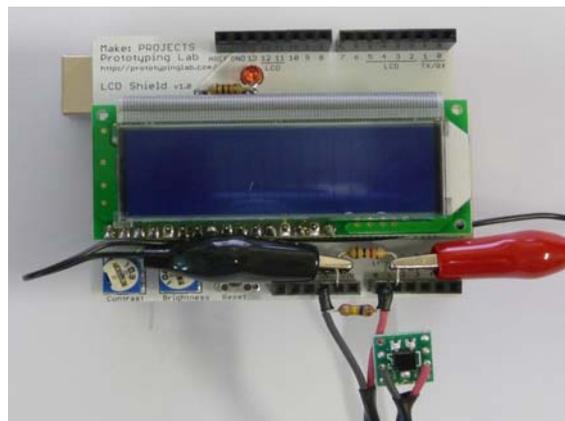
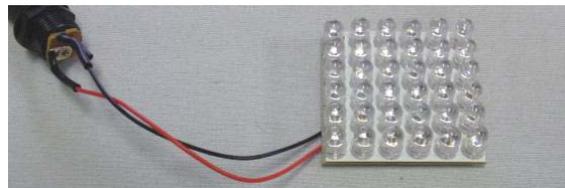


図6 バイオ光化学電池ための実験装置、(上)紫外線LEDによる光源、(下)フォトダイオードとマイクロコンピュータを用いて構成した光量測定装置

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ① 高藤清美、上野寛仁、根本純一、金子正夫、バイオ光化学電池を用いた資源・エネルギー教材の開発(2)－実験用光源の改良と出力電力の測定方法の検討－、日本科学教育学会 第35回年会、2011年8月24日、東京工業大学すずかけ台キャンパス (神奈川県)
- ② 高藤清美、金子正夫、バイオ光化学電池の開発と応用、SAT10周年記念TXテクノロジー・ショーケースinつくば～「つくば研究祭」&「高校生科学研究発表会」～、2010年12月24日、つくば国際会議場(茨城県)
- ③ 高藤清美、金子正夫、根本純一、上野寛仁、多糖類ゲルを利用した化学実験教材の開発(2)－多糖類ゲル中での結晶成長実験－、日本科学教育学会 第34回年会、2010年9月12日、広島大学東広島キャンパス (広島県)
- ④ 高藤清美、金子正夫、根本純一、上野寛仁、バイオ光化学電池を用いた資源・エネルギー教材の開発、日本科学教育学会 第34回年会、2010年9月11日、広島大学東広島キャンパス (広島県)
- ⑤ 高藤清美、根本純一、上野寛仁、金子正夫、多糖類ゲルを利用した化学実験教材の開発、日本科学教育学会 第33回年会、2009年8月26日、同志社女子大学今出川キャンパス (京都府)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高藤 清美 (TAKATO KIYOMI)
筑波学院大学・経営情報学部・教授
研究者番号：00279556

(2) 研究分担者

金子 正夫 (KANEKO MASAO)
茨城大学・名誉教授／株式会社バイオフォトケモニクス研究所
研究者番号：90109794
(H21年10月より研究協力者に変更)

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

金子 正夫 (KANEKO MASAO)
茨城大学・名誉教授／株式会社バイオフォトケモニクス研究所
根本 純一 (NEMOTO JUNICHI)

株式会社バイオフォトケモニクス研究所
上野 寛仁 (UENO HIROHITO)
株式会社バイオフォトケモニクス研究所