

令和元年6月14日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05810

研究課題名(和文) フォトクロミズムによる応答差分検出に基づく高精度糖センシングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of high-precision sugar sensing systems based on differential signal detection by photochromism

研究代表者

遠田 浩司 (TOHDA, Koji)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号：60212065

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)： 低侵襲的に皮下間質組織液中の血糖値をモニターできるウェアラブル光学センサの精度向上を目的とし、フォトクロミズムによるセンサ応答のon/off差分検出に基づく高精度糖センシングシステムの開発を行った。スピロピラン共重合フォトクロミックフィルム中では、スピロピランはpH感受性のメロシアニン型で存在するが、可視光を照射すると異性化し、pHに対して不感化する。このフォトクロミックフィルムとグルコース酸化酵素に基づく、pH変化を応答の指標とするグルコースセンサを構築した。このセンサは光学的なバックグラウンドの変動を完全にキャンセルしながらグルコースを高精度で差分検出することが可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

フォトクロミズムをオプティカルセンサシグナルのon/offに用い、そのシグナル差分を検出することによってバックグラウンドシグナルの影響を除去するという試みは、これまで一切なされていない。本法は同一のセンサからセンシングシグナルと参照シグナルの両方を取得するものであり、バックグラウンドの変動の影響を受けない精度の高い測定が可能で、皮下滞在型光学式血糖値センサの実用化に大きく寄与するものと期待できる。

研究成果の概要(英文)： In order to improve the precision of wearable optical sensors that can monitor blood glucose levels in subcutaneous interstitial fluid in a minimally invasive manner, we have developed a high-precision sugar sensing system based on differential detection of sensor responses by photochromism. In spiropyran-copolymerized photochromic films, spiropyran exists in pH sensitive merocyanine form, but it is isomerized and insensitive to pH when irradiated with visible light. Based on this photochromic film and glucose oxidase, we constructed a glucose sensor with pH change as an indicator of response. This sensor is capable of differentially detecting glucose with high precision while completely canceling out optical background fluctuations.

研究分野：分析化学

キーワード：血糖値センサ 差分検出法 フォトクロミズム 光リセット 光応答性ゲル オプティカルpHセンサ オプティカルグルコースセンサ

1. 研究開始当初の背景

糖尿病患者の厳密な血糖値管理のため、血糖値を連続的かつ精度良く測定でき、患者の負担の少ないセンシングシステムの開発が切望されている。これまで種々の低侵襲血糖値センシングシステムが報告、開発されてきたが、実際に認可され市販されているものはグルコース酸化酵素(GOX)を用いた電気化学検出に基づくものだけで、極めて高価であるだけでなく、皮膚を横切るワイヤーのため感染症を引き起す等の問題があり、患者の負担が大きい(例えば, E. H. Koschwanetz, et al., *Biomater.*, **2007**, 28, 3687)。これに対し、センサ自身を皮膚直下に完全に埋め込み、皮膚を介してセンサの光学的特性変化をモニターするかたちの、より患者の負担の少ないシステムが考案されている。McShane らは、GOX と蛍光色素を含浸させたセンシングビーズを作製し、これを皮膚直下に埋め込むことにより、間質組織中のグルコースをモニターする“スマート刺青”を提案している(E. W. McShane, et al., *Anal. Chem.*, **2008**, 80, 1408)。また我々は、皮膚組織からの光学的妨害の少ない pH 感受性近赤外吸収色素と GOX を透過性制御膜で覆ったかたちの、酵素反応による局所的 pH 変化を指標とする皮下埋め込み用色変化応答型微小グルコースセンサの開発を行なった (基盤研究(c)平成 21~23 年, K. Tohda, et al., *Supramol. Chem.*, **2010**, 22, 425 等)。更に近年、化学的安定性に難がある酵素に代わって、糖と可逆的にエステル錯体を形成するボロン酸レセプターに基づくセンサが報告されてきている。Takeuchi らは、蛍光性糖レセプターを高分子ゲルに固定したかたちのグルコースセンサを開発し、センサを長期間マウスの耳に埋め込むことが可能で、血糖値に応じた蛍光強度変化が得られることを示している(S. Takeuchi, et al., *PANS*, **2010**, 107, 17894, *PANS*, **2011**, 108, 13399)。また我々は、シグナル増幅能を有するオプティカル糖センシング高分子ゲルの開発を行なっている(基盤研究(c)平成 25~27 年, K. Tohda, *Bunseki Kagaku*, **2013**, 62, 903)。これは、糖レセプター/機能性色素複合体を架橋点とする高分子ゲルに基づくもので、試料中の糖濃度に応じて競争的錯生成反応により架橋点のレセプターが錯形成し、この際色素が解離してセンサの色が変化する。これにより架橋点が減少し高分子ゲルは膨潤し、架橋点のレセプター/色素間距離が増大するため、更なる色素の解離が起こり色変化応答の増大をもたらすものである。我々は既に、試作した糖センシング高分子ゲルが試料溶液中のグルコース濃度に応じて可逆的に膨潤/収縮し、高分子ゲル表面にレセプターと色素を固定化したセンサに比べ色変化応答シグナルが 5 倍以上増大することを見いだしている。

このような血糖値を連続的にモニターする光学的センサを実用化するためには、その応答の信頼性(精度/確度)は極めて重要となる。特にセンサをインシュリンポンプと連動させる場合は、低血糖状態をセンサが検知できなければ致命的な結果をもたらす。しかし、皮下滞在型光学的センサは、皮膚組織の光学的信号や迷光もセンサシグナルと同時に検知してしまうため、センサからの出力を電流として直接検出する電気化学センサと比べ精度が劣る可能性がある。また、複数の波長のシグナルをモニターするレシオメトリーは光学的センサの精度を向上させる良い手法であるが、各波長の光学的バックグラウンドの変動が大きな皮膚下という環境では適用に難がある。従って、皮下埋め込み型センサ応答の精度/確度を担保するためには、センサからのシグナルと皮膚組織等からの光学的妨害を分離して検出できる機構を組み込む必要がある。

一方、近年機能性高分子の開発研究が盛んに行われており、光による外部刺激によって膨潤/収縮する高分子ゲルがいくつか報告されている。例えば K. Sumaru らは、スピロピランを共重合した水ゲルが可視光照射により可逆的に収縮/自発戻りし、光で駆動するアクチュエーターとして作動することを見いだしている(K. Sumaru, et al., *Chem. Mater.*, **2007**, 19, 2730, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2011**, 13, 7322)。この水ゲルでは、共重合したスピロピランは極性の高い環境のため電荷を持った pH 感受性メロシアニン型として存在するが、可視光照射による逆フォトクロミズムによってスピロピランへと光異性化し、pH 感受性を失う(図 1)。そこで我々は、この光駆動ゲルの概念をこれまで開発してきたグルコースセンサに組み込むことによって、フォトクロミズムによりセンサ応答シグナルを on/off し、その差分を検出するかたちの、光学的バックグラウンドの影響を受けないシステムを構築できるものと考えた。すなわち、スピロピラン固定化水ゲルを組み込んだグルコースセンサに可視光を照射し、フォトクロミズムによりセンサ応答を周りの環境に依存しない off の状態に『リセット』することができれば、off 状態のセンサシグナルと可視光非照射時の通常に反応している on 状態のセンサのシグナルの両者を測定することができる。この on/off スwitching を迅速に行なえば、両者のシグナルに含まれるバックグラウンドシグナルはほぼ等しいと考えられるので、on/off 差分のシグナルを検出することによりバックグラウンドの妨害を除去できる (図 2a)。

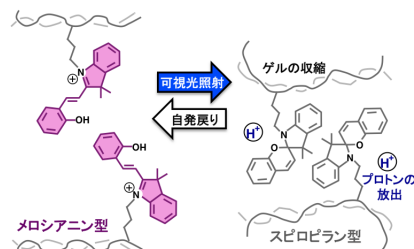


図1 スピロピランに基づく光駆動ゲルの概念図

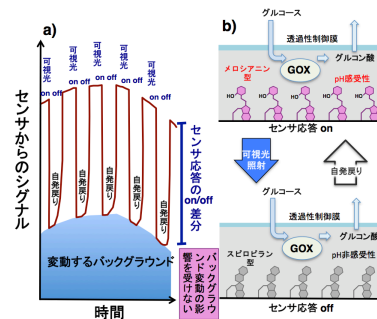


図2 a) フォトクロミズムによるon/off差分検出の原理、b) GOXに基づくセンサの光リセットの原理

我々が開発した、ハイドロゲルに GOX と pH 感受性色素を固定化し透過性制御膜で覆った私たちの皮下埋め込み用グルコースセンサにスピロピランゲルを組み込めば、フォトクロミズムによりグルコースの酵素反応で生じた pH 応答を不感化でき、センサを『リセット』したのと等価になる(図 2b)。この可逆的なフォトクロミズムによるセンサ応答シグナルの on/off によって、オプティカル血糖値センサの皮下埋め込み時の光学的妨害を除去でき、連続的かつ精度の高い血糖値モニターが可能となるものと考えた。

2. 研究の目的

本研究は、低侵襲的に皮下間質組織液中の血糖値をモニターできるウェアラブル光学センサの精度の向上を目指した、フォトクロミズムによる応答の on/off 差分検出に基づく高精度糖センシングシステムを開発することを目的とする。これは、我々がこれまで開発してきたオプティカル糖センサに、可視光照射により光異性化し照射を止めると可逆的に自発戻りするスピロピラン共重合ゲルを組み込むもので、可視光照射によって糖センサ応答が不感化される。可視光照射を周期的に繰り返しながら、センサ応答の on/off 状態でのセンサシグナルの差分を測定する私たちの、変動する迷光に依存しない、高精度の糖センシングシステムの開発を図る。

3. 研究の方法

1) 重合性部位を有するスピロピラン誘導体の合成

重合性官能基としてメタクリル基を有するスピロピラン **1** および **2** の合成を行なった。2,2,3-trimethylindolenine に hydroxyethyl 基を導入した後 *o*-vanillin あるいは 3-hydroxy-5-methyl-2-pyridinecarboxaldehyde を縮合させ、塩基存在下 methacryloylchloride で処理することにより総収率 18%(3 ステップ)でスピロピラン **1** を、収率 8%(5 ステップ)でスピロピラン **2** を得た。

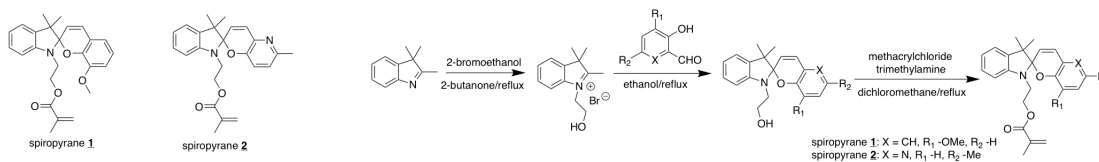


図3 重合性官能基を有するスピロピランの合成経路

2) pH 感受性フォトクロミックフィルムの調製

表面を疎水化処理した2枚のスライドガラスで厚さ 100 μ m のスペーサーを挟み込むことによって鑄型を作製し、スライドガラスの隙間にスピロピラン **1** あるいは **2** (2 mg) とアクリルアミド(AA)等のモノマー (70 mg)、架橋剤(エチレングリコールジメタクリレート) (2 mg) を含む溶液を流し込み、ラジカル熱重合によって pH 感受性フォトクロミックフィルムを得た。

3) フォトクロミックフィルムに基づくグルコースセンサの構築

3-(tetramethoxysilyl)propyl methacrylate で処理することにより、表面にメタクリル基を導入したスライドガラス上に、直径 1mm のディスク状に切り取った pH 感受性フォトクロミックフィルムを置き、グルコースオキシターゼ(GOX)/PBS 溶液を含浸させた。これを別途調製したヒドロキシエチルメタクリレート(HEMA)を主成分とする厚さ 12 μ m の透過性制御膜で覆い、光重合法を用いてスライドガラス表面に接着した。

4) フォトクロミックセンシングフィルムの pH 及びグルコースに対する差分応答測定

調製した pH 感受性フォトクロミックフィルムあるいはフォトクロミックグルコースセンサを自作のプロセルに組み込み、種々の pH あるいはグルコース濃度の溶液を送液しながら、光ファイバ分光器を用いて吸収スペクトルを連続的に測定した。青色レーザー光(波長 470 nm, 10 mW)をセンシングフィルムに2分~5分間照射することにより、センサ応答をリセットした。

4. 研究成果

1) pH 感受性フォトクロミックフィルムの pH に対する吸収スペクトル変化と光異性化挙動

スピロピラン **1**/アクリルアミド(AA)共重合フィルムの pH 3.1 及び 7.4 の水溶液中における吸収スペクトルを図 4 に示す。pH が増加するに従い、420 nm の最大吸収波長における吸光度が減少していることが分かる。この結果は、スピロピラン **1** が極性の高いポリアクリルアミドゲル中で開環し、pH 感受性のメロシアン型となっていることを示している。このフォトクロミックフィルムに青色レーザー光(470 nm, 10 mW)を2分間照射したところ、pH 3.1 の水溶液中では、フォトクロミックフィルムの光異性化に伴い 420 nm における吸収がほぼ消失し、レーザー照射終了後 12 分かけて元の吸収スペクトルに自発戻りした(図 4(a))。一方、pH 7.4 の水溶液に接しているフォトクロミックフィルムは、青色レーザー光を照射してもその吸収スペクトルはほとんど変化しない(図 4(b))。これは、中性 pH 領域でメロシアニンのフェノールプロトンが解離し大きく分極するため、極性の極めて高いポリアクリルアミドゲル中で安定化し、レーザー光照射によるスピロピランへの光異性化

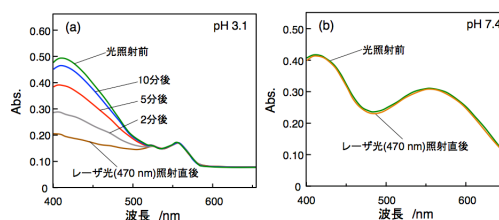


図4 pH 3.1 (a)及びpH 7.4の溶液に接しているスピロピラン1/アクリルアミド(AA)共重合フィルムのレーザー光(470 nm)照射に伴う吸収スペクトル変化

が進行しなかったためと考えられる。

そこで、中性 pH 領域で光異性化を示すフォトクロミックフィルムを得るために、共重合に用いる単官能モノマーの種類について検討を行った。その結果、アクリルアミドよりも極性が低く、分

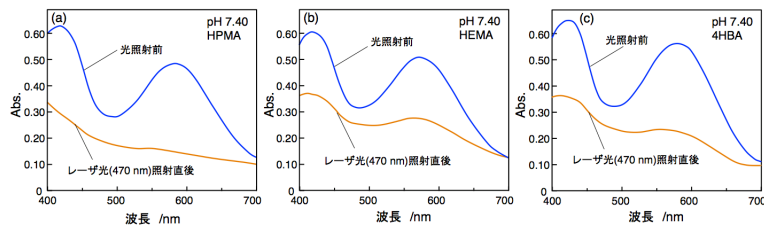


図5 中性pH溶液(pH 7.40)中でのスピロピラン1共重合フィルムのレーザー光(470 nm)照射に伴う吸収スペクトル変化 (a) スピロピラン1/HPMA共重合フィルム、(b) スピロピラン1/HEMA共重合フィルム、(c) スピロピラン1/4HBA共重合フィルム

子内に水酸基を有するモノマーである 2-hydroxymethyl methacrylate (HEMA), hydroxypropyl methacrylate (HPMA), 4-hydroxybutyl acrylate (4HBA)に基づくフォトクロミックフィルムが、中性 pH 領域で光異性化を示すことを見出した(図5)。これは、ハイドロゲル中の水酸基がメロシアニン型色素と水素結合し、プロトン解離に伴うメロシアニン分子の分極を抑制したためであると考えている。このうち、HPMAに基づく共重合フィルムは、2分間のレーザー光照射により 570 nm の吸収ピークが完全に消失するという優れた光異性化能を示した(図5(a))。

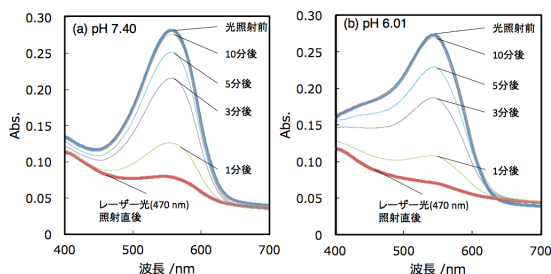


図6 pH 7.40 (a)及びpH 6.01の溶液に接しているスピロピラン2/アクリルアミド(AA)共重合フィルムのレーザー光(470 nm)照射に伴う吸収スペクトル変化

一方、分子内にビリジン環を有するスピロピラン 2 に基づくフォトクロミックフィルムは、

スピロピラン 1 に基づくものとは異なった光異性化挙動を示す。スピロピラン 2/AA 共重合フィルムの pH 7.40 及び 6.01 水溶液中での青色レーザー光照射による光異性化と自発戻りに伴う吸収スペクトル変化を測定した結果、スピロピラン 2/AA 共重合フィルムは、中性 pH 領域で光異性化及び自発戻りを示すことが分かった(図6)。

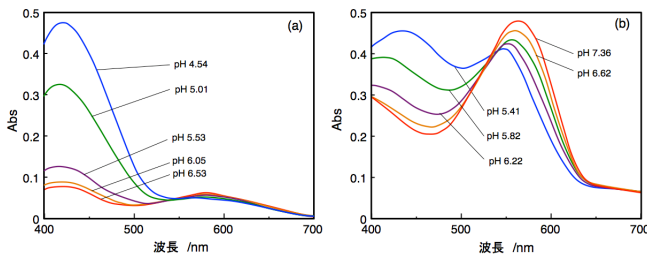


図7 各pH水溶液中のフォトクロミックフィルムの吸収スペクトル (a) スピロピラン1/ヒドロキシプロピルメタクリレート(HPMA)共重合フィルム (b) スピロピラン2/アクリルアミド(AA)共重合フィルム

これは、中性 pH 領域ではスピロピラン 2 のフェノールプロトンが解離するものの、分子内ビリジン環の窒素原子にプロトンが付加し分子内分極が抑制され、極性の高いポリアクリルアミド中でも光異性化が進行したものと考えられる。

スピロピラン 1/HPMA 共重合フィルム及びスピロピラン 2/AA 共重合フィルムの pH に対する吸収スペクトル変化を図7に示す。スピロピラン 1 に基づく共重合フィルムは、pH が増加するに従って 420 nm 付近の吸光度が減少し、570 nm 付近の吸光度がわずかに増加した。これは共重合膜中で存在するスピロピラン 1 のメロシアニン型異性体のフェノールプロトンの解離に伴う吸収スペクトル変化であると考えられる。吸収スペクトル変化から見積もったスピロピラン 1/HPMA 共重合フィルムの見かけの pK_a は 5.2 であった。一方、スピロピラン 2/AA 共重合フィルムの場合は、pH が増加するに従い、545 nm と 525 nm の二つの等吸収点を伴って、430 nm 付近の吸光度が減少し、580 nm 付近の吸光度が増大した。これは共重合膜中で存在するスピロピラン 2 のメロシアニン型異性体のフェノール及びビリジニウムプロトンの解離に伴う吸収スペクトル変化であると考えられる。吸収スペクトル変化から見積もったスピロピラン 2/AA 共重合フィルムの見かけの pK_{a1} は 6.3、 pK_{a2} は 6.7 であった。いずれの共重合フィルムも、pH に応じて大きく吸収スペクトルが変化することから、pH センシングフィルムとして機能するものと考えられる。

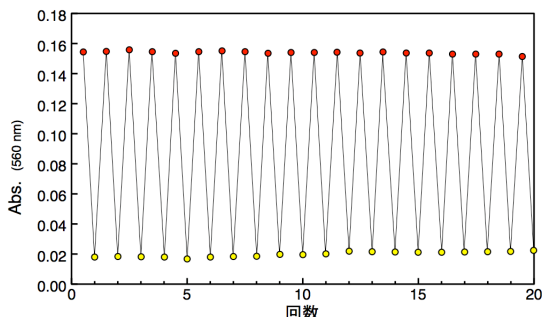


図8 pH 7.40の水溶液中でのスピロピラン2/アクリルアミド(AA)共重合フォトクロミックフィルムのレーザー光(470 nm)照射による光異性化と自発戻りに伴う吸光度(560 nm)変化 ● レーザー光照射(5分間)直後の吸光度 ● レーザー光照射終了15分後の吸光度

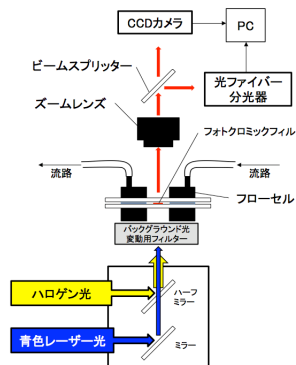


図9 人為的にバックグラウンド光強度の変動が可能なセンサ応答差分測定システムの概略図

2) フォトクロミックセンシングフィルムの pH に対する差分応答特性

pH 7.40 の水溶液に接しているスピロピラン 2/AA 共重合フォトクロミックフィルムの、5分間の青色レーザー光(470 nm)照射直後及びレーザー光照射終了15分後(自発戻り)の 560 nm における吸光度変化を図8に示す。青色レーザー光照射により吸光度が減少し、レーザー光照

射終了後 15 分でほぼ元の吸光度に回復していることが分かる。レーザー照射/自発戻りのサイクルを 20 回繰り返した場合の、吸光度の差分の変動係数は 1.2% であり、pH に対する差分応答を検出するのに十分な繰り返し再現性を有しているものと考えられる。

次に、変動するバックグラウンド光下でセンサ応答を精度良く検出可能か検証するために、人為的にバックグラウンド光強度を変動させることが可能な、センサ応答差分検出システムを構築した (図 9)。これは、pH 感受性フォトクロミックフィルムを組み込んだフローセルに、光透過率の異なる複数のフィルター (バックグラウンド光変動用フィルター) を介して入射光を照射し、フォトクロミックフィルムからの透過光を検出するものである。

図 10 に、バックグラウンド光強度変動下における pH 感受性スピロピラン 2/AA 共重合フォトクロミックフィルムの pH 7.35 の溶液に対するレーザー照射/自発戻り差分検出の結果を示す。測定系にバックグラウンド光変動用フィルターをセットすると、そのフィルターの透過率に応じて自発戻り時のフォトクロミックフィルの見かけの吸光度は増加するが、青色レーザー照射によりセンサ応答をリセットすると、その吸光度はフィルターの透過率に対応したものとなる。すなわち、pH に対して感受性を有する自発戻り時のセンシングフィルムではバックグラウンド光変動用フィルターの透過率に応じて見かけの吸光度は大きく変動するが、差分検出によってバックグラウンド変動の影響がほとんど除去できることが分かる。

図 11 に pH 感受性スピロピラン 2/AA 共重合フォトクロミックフィルムの pH に対する検量線を示す。異なる透過率の 10 種のバックグラウンド光変動用フィルターを用いた場合、560 nm における吸光度の平均値は pH の増加にしたがって大きくなるが、pH 変化に伴う吸光度応答の大きさよりも標準誤差の方が遥かに大きく、精度の高い pH 測定は明らかに困難である (図 11(a))。一方、青色レーザー照射/自発戻りの吸光度の差分の平均値をプロットした検量線 (図 11(b)) は極めて小さな標準誤差を示し、精度の高い pH 測定が可能であった。これらの結果は、フォトクロミズムによる応答差分検出によって、バックグラウンド高強度が大きく変動しても、高い精度の pH 測定が可能であることを示している。

3) フォトクロミックセンシングフィルムに基づくグルコースセンサのグルコースに対する差分応答特性

スピロピラン 2/AA 共重合フォトクロミックフィルムに基づくグルコースセンサの各濃度のグルコース溶液に対する吸収スペクトルを図 12 に示す。グルコース濃度が増加すると、450 nm 付近の吸光度が大きく増大し、570 nm 付近の吸光度が減少することが分かる。この結果は、試料溶液中のグルコースが透過性制御膜を横切ってセンサ内に拡散し、酵素 (GOX) 反応によりグルコン酸に酸化され、これによりセンサ内の pH が減少し、pH 感受性フォトクロミックフィルムの吸収スペクトルが変化したことを示している。実際、スピロピラン 2/AA 共重合フォトクロミックフィルムの中性 pH から弱酸性 pH への吸収スペクトル変化 (図 7(b)) の傾向は、作製したグルコースセンサのグルコース応答に伴う吸収スペクトル変化と同様であった。

図 13 に、バックグラウンド光強度変動下におけるスピロピラン 2/AA 共重合フォトクロミックフィルムに基づくグルコースセンサの 11.2 mM グルコース溶液に対するレーザー照射/自発戻り差分検出の結果を示す。測定系にバックグラウンド光変動用フィルターをセットすると、

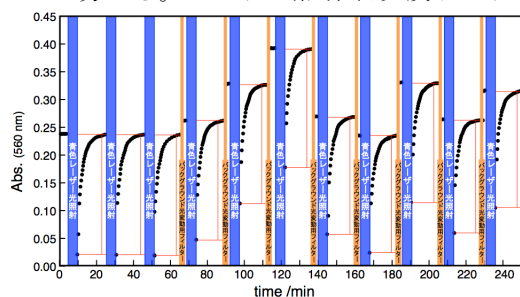


図10 バックグラウンド光強度変動下におけるスピロピラン2/アクリルアミド(AA)共重合フォトクロミックフィルムのpH7.35の溶液に対するレーザー照射/自発戻り差分検出

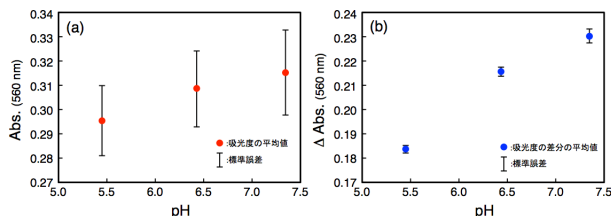


図11 スピロピラン2/アクリルアミド(AA)共重合フォトクロミックフィルムのpHに対する検量線
(a) 10種類のバックグラウンド光強度変動フィルターを用いた場合の吸光度応答の平均値と標準誤差。
(b) 10種類のバックグラウンド光強度変動フィルターを用いた場合のレーザー照射/自発戻りの吸光度の差分の平均値と標準誤差

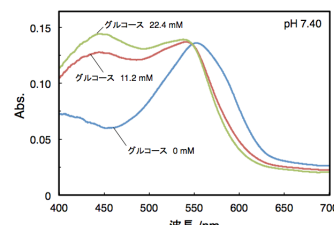


図12 各濃度のグルコース溶液(pH 7.40)に接しているスピロピラン2/アクリルアミド(AA)共重合フォトクロミックフィルムに基づくグルコースセンサの吸収スペクトル

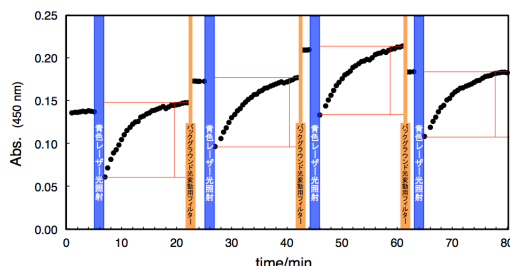


図13 バックグラウンド光強度変動下におけるスピロピラン2/アクリルアミド(AA)共重合フォトクロミックフィルムに基づくグルコースセンサの11.2 mMグルコース溶液に対する青色レーザー照射/自発戻り差分検出

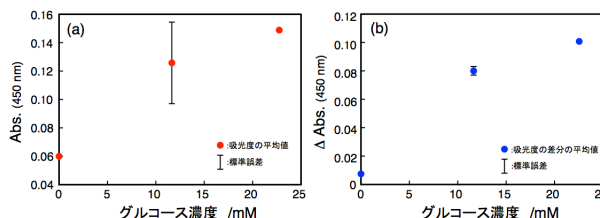


図14 スピロピラン2/アクリルアミド(AA)共重合フォトクロミックフィルムに基づくグルコースセンサのグルコースに対する検量線
(a) 4種類のバックグラウンド光強度変動フィルターを用いた場合の吸光度応答の平均値と標準誤差。
(b) 4種類のバックグラウンド光強度変動フィルターを用いた場合のレーザー照射/自発戻りの吸光度の差分の平均値と標準誤差

そのフィルターの透過率に応じて自発戻り時のフォトクロミックフィルの見かけの吸光度は増加するが、青色レーザー光照射によりセンサ応答をリセットすると、その吸光度はフィルターの透過率に対応したものとなる。すなわち、センサ応答（自発戻り時）は透過率の異なる数種のバックグラウンド光変動用フィルターをセットすることにより大きく変動するが、青色レーザー光照射により不感化したセンサシグナル（吸光度）の差分を取ることににより、バックグラウンド光変動の影響がほぼキャンセルされていることが分かる。

図 14 にスピロピラン 2/AA 共重合フォトクロミックフィルムに基づくグルコースセンサのグルコースに対する検量線を示す。異なる透過率の 4 種のバックグラウンド光変動用フィルターを用いた場合、450 nm における吸光度の平均値はグルコース濃度増加に従って大きくなるが、標準誤差が大きく、精度の高いグルコース濃度測定は明らかに困難である（図 14(a)）。一方、青色レーザー光照射/自発戻りの吸光度の差分の平均値をプロットした検量線（図 14(b)）は極めて小さな標準誤差を示し、精度の高いグルコース測定が可能であった。

これらの結果は、フォトクロミズムによる応答差分検出によって、バックグラウンド高強度が大きく変動しても、高い精度のグルコース測定が可能であることを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- ① **K. Tohda**, N. Hosokawa, T. H. N. Dao, A. Kanno, Development a Flow Rinsing System for Improving the Detection Limit of Solvent Polymeric Membrane Ion-selective Electrodes, *Bunseki Kagaku*, 67, 2018, 239-247 (査読あり). <https://doi.org/10.2116/bunsekikagaku.67.239>

〔学会発表〕（計 11 件）

- ① 遠田 浩司, 低侵襲持続血糖測定システム構築のためのオプティカル糖センサーの開発, 日本分析化学会 第 67 年会, 2018, 9/12, 東北大学, 仙台 (依頼講演).
- ② 小竹 俊哉, 津田 翔平, 菅野 憲, 遠田 浩司, 光リセット能を有するオプティカルグルコースセンサーの開発, 日本分析化学会 第 67 年会, 2018, 9/12, 東北大学, 仙台.
- ③ 鷹羽 佑太, 菅野 憲, 遠田 浩司, 酵素と近赤外吸収色素に基づくグルコースセンシングビーズの開発, 日本分析化学会 第 67 年会, 2018, 9/12, 東北大学, 仙台.
- ④ 津田 翔平, 小竹 俊哉, 菅野 憲, 遠田 浩司, 中性 pH 領域で作動するセンサ応答リセット用フォトクロミックポリマーの合成及び評価, 日本分析化学会 第 67 年会, 2018, 9/12, 東北大学, 仙台.
- ⑤ 棚橋 祐斗, 鷹羽 佑太, 菅野 憲, 遠田 浩司, グルコースレセプター感受性近赤外吸収色素の設計と合成, 日本分析化学会 第 67 年会, 2018, 9/12, 東北大学, 仙台.
- ⑥ 小竹俊哉, 菅野憲, 遠田浩司, センサ応答リセット用フォトクロミックポリマーの合成及び評価, 日本分析化学会 66 年会, 2017, 9/10, 東京理科大学, 東京.
- ⑦ 北山和志, 菅野憲, 遠田浩司, レセプター/色素錯体を高分子架橋点とするオプティカルグルコースセンシングフィルムの開発, 日本分析化学会 66 年会, 2017, 9/10, 東京理科大学, 東京.
- ⑧ 北山和志, 菅野憲, 遠田浩司, ビスベンゾボロキソール型糖レセプターの開発とグルコースに対する結合様式の解析, 日本分析化学会 65 年会, 2016, 9/15, 北海道大学, 札幌.
- ⑨ 日下部智陽, 菅野憲, 遠田浩司, 高分子ゲルの膨潤をシグナル増幅の原理とするオプティカルグルコースセンシングフィルムの開発, 日本分析化学会 65 年会, 2016, 9/14, 北海道大学, 札幌.
- ⑩ 日下部智陽, 菅野憲, 遠田浩司, ビスベンゾボロキソールレセプターと機能性色素に基づく糖センシングフィルムの開発, 第 76 回分析化学討論会, 2016, 5/28, 岐阜薬科大学, 岐阜.
- ⑪ 遠田浩司, ベンゾボロキソール型レセプターに基づくオプティカル糖センシングフィルムの開発, 第 76 回分析化学討論会, 2016, 5/28, 岐阜薬科大学, 岐阜 (依頼講演).

〔その他〕

ホームページ <http://enghp.eng.u-toyama.ac.jp/labs/ac06/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：菅野 憲

ローマ字氏名：KANNO Akira

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。