「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」
研究領域 領域活動･評価報告書
－平成25年度中間評価実施研究課題－

研究総括 松永 是

1. 研究領域の概要

本研究領域は､藻類･水圏微生物を利用したバイオエネルギー生産のための基盤技術創出を目的とします。藻類・水圏微生物には、高い脂質・糖類蓄積能力や多様な炭化水素の産生能力、高い増殖能力を持つものがあることに着目し、これらのポテンシャルを活かした、バイオエネルギー創成のための革新的な基盤技術の創出を目指します。

具体的には、近年急速に発展したゲノミクス・プロテオミクス・メタボロミクス・細胞解析技術等を含む先端科学も活用し、藻類・水圏微生物の持つバイオエネルギーの生産等に有効な生理機能や代謝機構の解明を進めるとともに、それらを制御することによりエネルギー生産効率を向上させるための研究を対象とします。さらに、バイオエネルギー生産に付随する有用物質生産や水質浄化等に資する多様な技術の創出に関する研究も含みます。

将来のバイオエネルギー創成につながる革新的技術の実現に向けて、生物系、化学系、工学系などの幅広い分野から新たな発想で挑戦する研究を対象とします

2. 中間評価対象の研究課題･研究者名

件数: 1件(うち、通常型1件)

※研究課題名、研究者名は別紙一覧表参照

3. 研究実施期間

平成 23 年 4 月～平成 26 年 3 月(※平成 28 年 3 月終了予定)

4. 中間評価の手続き

研究者の研究報告書を基に、評価会(領域会議等)での発表･質疑応答、領域アドバイザーの意見などを参考に、下記の流れで研究総括が評価を行った。

(中間評価の流れ)

平成25 年11月 評価会開催

平成26 年 1月 研究総括による中間評価

平成26 年 1月 被評価者への結果通知、研究計画見直し

5. 中間評価項目

(1)研究の進捗状況と今後の見込み

(2)研究成果の現状と今後の見込み

6. 評価結果

天尾研究者は全研究者 28 名のうち唯一の 5 年型研究である。研究内容は、緑色単細胞微細藻類スピルリナプラテンシスの水中での効率的な光合成機能に着目し、光合成反応場である光合成膜を電極上に固定し、これを用い、水・二酸化炭素を作動媒体とした低炭素燃料生成機能を有する光電変換系を創製することである。天尾研究者は、この分野に新たな可能性を示すことのできる研究課題を提案し、当さきがけ領域に 5 年型として採択された。さまざまな技術課題を着実に解決し、論文として発表した。今年度までに、スピルリナの光合成組織をデバイス化した電極を構築し、太陽光エネルギーによる発電中に二酸化炭素を削減し、ギ酸が同時に生産可能な多機能太陽電池システムのプロトタイプを確立できた。さらに、アメリカ化学会での招待公演、大阪市立大学で開催された国際シンポジウムでの自己セッションの企画運営など国際的視野に立った活動を積極的に行った。

1. 天尾 豊 研究者 「藻類由来光合成器官の電極デバイス化とバイオ燃料変換系への展開」

本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、

以下の通り、事後評価を行った。

提案された研究課題を達成するためには、生物機能材料の均一性、電極材料特性の理解と改良、変換効率測定系の確立及びそれの複合的連続反応を正確に計測する技術開発など、多岐にわたる分野の専門的知識を吸収し、要素技術を確立することで自己のアイデアを証明することが必要となる。

まず、濃緑色単細胞微細藻類であるスピルリナプラテンシスの培養と電極上に固定するために必要な酸素発生能を保持した光合成膜の分離・精製を行い、この光合成膜を酸化チタン薄膜電極上に固定化して光電変換能、酸化電位印加状態における可視光照射による酸素発生機能を評価し、白金電極と組んだ光電変換系の作動と光電流発生を確認した。次いで、二酸化炭素分子変換の最初の段階であるギ酸脱水素酵素が関与する反応について、ビオローゲンを基盤として新規に合成した人工補酵素の合成を進め、ギ酸脱水素酵素とともに電極基板上へ固定化し、ビオローゲンの還元電位に相当する電圧を印加し二酸化炭素がギ酸に変換されること確認した。そこで、開発した光合成膜固定電極とギ酸脱水素酵素固定電極とを組み合わせた光電変換系を構築し、光照射による光電流の発生と二酸化炭素からのギ酸生成に成功した。以上のように、光合成組織をデバイス化した電極を構築し、太陽光エネルギーによる発電中に二酸化炭素を削減し、ギ酸を同時に生産可能な多機能太陽電池システムのプロトタイプを確立できた。

この成果は 5 年型研究の中間地点としては、十二分な成果であると評価でき、今後の遂行を強力にサポートすべきであると考える。

今後は、研究者が独自に開発している二酸化炭素をメタノールに変換する機能を持つ脱水素酵素と電子伝達分子に関する研究を行い、藻類由来光合成膜との融合により世界初の水と二酸化炭素を原料とし，太陽光エネルギーで発電しながらバイオ燃料物質を直接合成できる多機能性バイオ太陽電池システムの構築に挑む。残りの2年間で、これらの最終目標を達成し、実証できるものと判断する。

7.　評価者

研究総括　東京農工大学　学長

領域アドバイザー（五十音順。所属、役職は平成 26 年 3 月末現在）

石倉　正治　王子ホールディングス株式会社研究開発本部開発研究所バイオエタノール研究室上級研究員
井上　勲　筑波大学生命環境系　教授
大倉　一郎　東京工業大学　名誉教授
大竹　久夫　大阪大学大学院工学研究科　教授
大森　正之　東京大学　名誉教授
嵯峨　直恒　北海道大学大学院水産科学研究院　院長
竹山　春子　早稲田大学理工学術院　教授
田畑　哲之　（財）かずさDNA研究所　所長
民谷　栄一　大阪大学大学院工学研究科　教授
横田　明穂　奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科　教授
横山　伸也　鳥取環境大学環境学部環境学科　教授

（参考）

件数はいずれも、平成 25 年 12 月末現在。

（1）外部発表件数

	国　内	国　際	計
論　文	1	2	3
口　頭	5	4	9
その他	1	0	1
合　計	7	6	13

（2）特許出願件数

国　内	国　際	計
0	0	0

（3）受賞等
　なし

（4）招待講演
　国際　3件
　国内　2件

別紙

「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」領域
中間評価実施　研究課題名および研究者氏名

研究者氏名 （参加形態）	研　究　課　題　名 （研究実施場所）	現　職（平成 26 年 3 月末現在） （応募時所属）	研究費（3 年間） （百万円）
天尾　豊 （兼任）	藻類由来光合成器官の電極デバイス化とバイオ燃料変換系への展開 （大分大学・大阪市立大学）	大阪市立大学・教授 （大分大学工学部・准教授）	47

研 究 報 告 書

「藻類由来光合成器官の電極デバイス化とバイオ燃料変換系への展開」

研究タイプ:通常型
研究期間: 平成23年4月～平成28年3月
研 究 者: 天尾 豊

1. 研究のねらい

地球環境保全のためには環境低負荷型エネルギー循環システムの構築や有害物質を有効利用するエネルギー変換システムの開発が必須であり，特に二酸化炭素の削減技術を取り入れた低炭素社会の構築が急務である．低炭素社会を築き上げていくために必要なエネルギー源として，水，木材廃棄物等に含まれるセルロースやデンプンなどの多糖類バイオマス，太陽光エネルギー，メタノールなどの低炭素燃料の利用があげられる．特に様々な機能を付与した太陽光発電システムは今後ますます重要なアイテムになっていく．また，2009 年国連地球変動サミットで「日本は 2020 年までに 1990 年比で 25%の温室効果ガスを削減する」と明言し，二酸化炭素も大幅に削減する技術も同時に必要となっている．本提案では，多機能性バイオ太陽電池の基盤技術確立を目指し，濃緑色単細胞微細藻類であるスピルリナの水中での効率的な酸素発生型光合成機能に着目し，スピルリナ由来の光合成膜を固定した電極を用い，水と二酸化炭素を原料とし，太陽光エネルギーで発電しながらメタノールを同時に生産できる光電変換系を構築する．本提案で構築されるシステムは，スピルリナの酸素発生型光合成機能による太陽光エネルギーの利用，水を原料とし，二酸化炭素を削減しながら発電し，さらに同時に低炭素燃料であるメタノールの生産を可能とする，藻類の機能をデバイス化した全く斬新かつ革新的なバイオエネルギー創成多機能型太陽電池の構築を狙ったものである．

2. 研究成果

(1)概要

本研究では以下の４つの研究項目に分類して最終目標達成のために要素技術を十分に検討した．

① 濃緑色単細胞微細藻類であるスピルリナプラテンシスの培養と光合成膜の分離精製
② 光合成膜固定酸化チタン電極の調製と光電変換能の評価
③ 電子伝達分子−ギ酸・アルデヒド・アルコール脱水素酵素固定電極の調製と機能評価
④ 光合成膜固定電極とギ酸脱水素酵素固定電極による光電変換機能評価

スピルリナプラテンシスの定常的な培養法を確立し，さらに電極上に固定するために必要な酸素発生能を保持した光合成膜の分離・精製に成功した．スピルリナから分離した光合成膜を酸化チタン薄膜電極上に固定化及び光電変換能，酸化電位印加状態における可視光照射による酸素発生機能について評価した．酸化電位印加状態において酸化チ

タン薄膜電極上の光合成膜に光照射するとこで酸素が発生し，さらに白金電極と組んだ光電変換系が作動することを明らかにし，電極 1cm^2 あたり 20μA 程度の光電流が得られた．電子伝達分子−ギ酸・アルデヒド・アルコール脱水素酵素固定電極の調製と機能評価に関して，特に重要な二酸化炭素分子変換の最初の段階であるギ酸脱水素酵素が関与する反応について，ビオローゲンを基盤として新規に合成した人工補酵素の合成を進め，ギ酸脱水素酵素とともに電極基板上への固定化を達成した．二酸化炭素飽和下においてビオローゲンの還元電位に相当する電圧を印加したところ二酸化炭素がギ酸に変換されることを見出した．さらに光合成膜固定電極とギ酸脱水素酵素固定電極とを組み合わせた光電変換系を構築したところ，光照射によって光電流（電極 1cm^2 あたり 55μA 程度）が観測され，発電と同時に二酸化炭素が還元されギ酸（3 時間の発電で 30μM 程度）が生成することを見出した．

（2）詳細

４つの研究項目について得られた成果の詳細を以下に示す．

① 濃緑色単細胞微細藻類であるスピルリナプラテンシスの培養と光合成膜の分離精製

スピルリナプラテンシスの培養は以下の方法を用いた．スピルリナプラテンシス（NIES-39株）は国立環境研究所微生物系統保存施設より購入した．スピルリナプラテンシスはSOT培地を用い，光強度3000ルクスで12時間光照射・未照射繰り返し，振盪培養した．スピルリナプラテンシス由来の光合成膜は以下の方法で分離した（図1）．スピルリナプラテンシス1gを4℃で3分間3000gで遠心分離した．続いて0.5mlの新しく調製した培地に懸濁し-20℃で凍結した後，氷浴上で解凍し、pH6.8に調整した溶液（100mM Tris-HCl、100mM NaCl、5mM $MgCl_2$、0.2% アスコルビン酸ナトリウム、0.2% PVP、1mM アミノヘキサン酸、1mMアミノベンザミジン）に加えた．5分間28kHzで超音波破砕した後4℃で3分間3000gで遠心、上澄み液を採取した．最後に上澄み液を4℃で30分間75000gで超遠心分離し，沈殿物として光合成膜（チラコイド膜）を得た．またジクロロインドフェノール（DCPIP）存在下で光合成膜の懸濁液に可視光照射すると酸素が発生することを確認した．

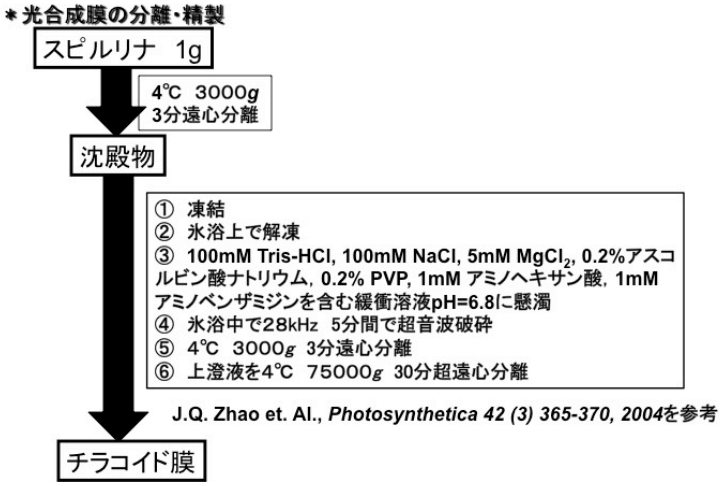

図 1．スピルリナプラテンシス由来光合成膜の分離法

② 光合成膜固定酸化チタン電極の調製と光電変換能の評価

酸化チタン粉末（PM2.5）3g に対して硝酸 4ml，メタノール 13ml，及び少量の水を

加え，ホットスターラーを用いて 80℃で 8 時間加熱した．加熱処理後，乾燥させ粉末状にした．得られた粉末状酸化チタンを水に再分散させ，少量のポリエチレングリコール（分子量約 20,000）を加え，ホットスターラーで 30 分間撹拌し，次いで超音波洗浄機で 30 分間分散させ酸化チタンペーストを調製した．導電性ガラス基板の導電面上に調製した酸化チタンペーストを適当量滴下し，ガラス面に薄く押し広げ薄膜を作製した．ホットスターラーで 2 時間乾燥させた後，電気炉で 50℃30 分間加熱し，その後 500℃で 30 分間加熱焼成することによって酸化チタン薄膜電極を調製した．上記（1）で得られた光合成膜をリン酸塩緩衝液（pH＝7.0）に懸濁し，冷蔵庫内（4℃）で酸化チタン薄膜電極を浸漬し．電極表面に光合成膜を固定した．

光合成膜固定電極を正極，白金電極を負極，リン酸塩緩衝液（pH＝7.0）をベースとした電解質溶液を用い，図 2 に示すような光電変換系を構築した．電極面積は 1cm^2，光源には 100mWcm^{-2} のソーラーシミュレータを用いた．

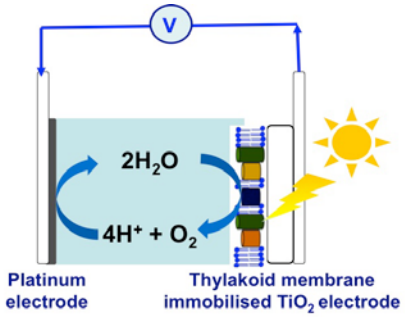

図 2 光合成膜固定電極を正極，白金電極を負極とした光電変換系

最初に酸化電位印加状態における可視光照射による酸素発生機能について評価した結果，酸化電位印加状態において酸化チタン薄膜電極上の光合成膜に光照射することで酸素が発生することがわかった．

次に光合成膜固定電極を正極，白金電極を負極として用いた光電変換系について，光照射・未照射を繰り返した光電流応答を調べた結果を図 3 に示す．光照射・未照射に対応して光電流が応答していることがわかった．光照射時の光電流は電極 1cm^2 あたり 20μA であった．電解質溶液中には酸化力あるいは還元力を持つ物質を添加していないことから図 2 に示すような水を電子媒体とした光電変換サイクルが達成できたと考えられる．

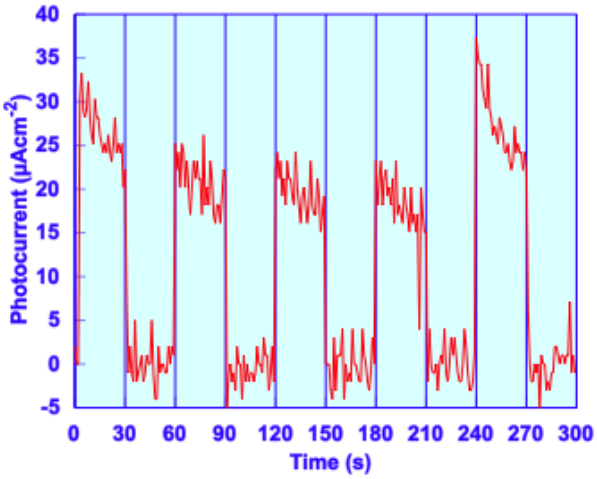

図 3 光合成膜固定電極を正極，白金電極を負極とした光電変換系の光電流応答の経時変化

③　電子伝達分子−ギ酸・アルデヒド・アルコール脱水素酵素固定電極の調製と機能評価

電子伝達分子−ギ酸・アルデヒド・アルコール脱水素酵素固定電極の調製と機能評価に関して，特に重要な二酸化炭素分子変換の最初の

n=6～9

段階であるギ酸脱水素酵素が関与する反応について，ビオローゲンを基盤として新規に合成した人工補酵素の合成を進め，ギ酸脱水素酵素とともに電極基板上へ固定化した．具体的には末端にカルボキシル基を有するビオローゲン誘導体を合成し，ギ酸脱水素酵素とともに導電性ガラス電極基板上に固定した．

最初にビオローゲン誘導体のみを固定した電極の電気化学的特性を評価した．作用極にビオローゲン固定電極，対極に白金ワイヤー電極，参照極に銀塩化銀電極を用いた．第一還元電位はビオローゲン部位とメチレン鎖長とに依存せずすべての分子において-550mV であった．図 4 に-550mV の印加電圧下における電極表面の色調変化を示す（2 時間の電圧印加）．電極表面がビオローゲンの一電子還元体に由来する青色に変化していることがわかった．このことから本電極上にギ酸脱水素酵素が存在すれば二酸化炭素をギ酸に変換できることが予測された．

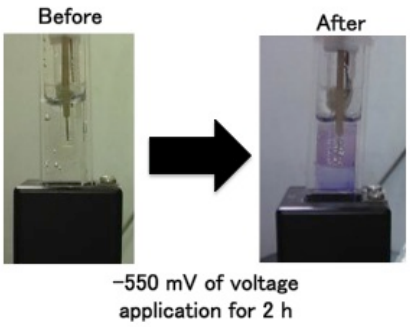

図 5 一定電圧印加下におけるビオローゲン固定電極表面の色調変化

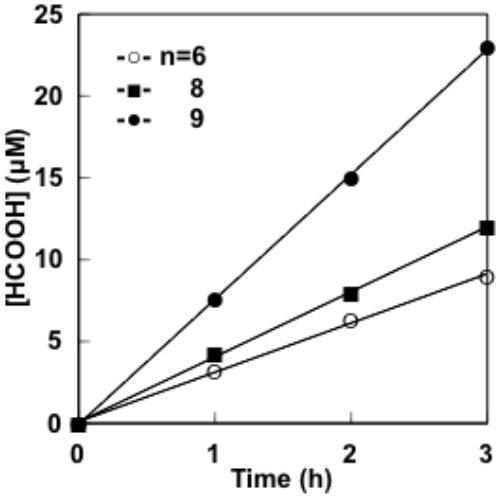

図 4 二酸化炭素を飽和したピロリン酸ナトリウム緩衝液中，一定電圧印加下における FDH-ビオローゲン固定電極を用いたギ酸生成反応の経時変化

次にギ酸脱水素酵素とビオローゲン誘導体を固定した電極（FDH-ビオローゲン固定電極）の電気化学的特性を評価した．作用極に FDH-ビオローゲン固定電極，対極に白金ワイヤー電極，参照極に銀塩化銀電極を用いた．二酸化炭素を飽和したピロリン酸ナトリウム緩衝液中で両極間にビオローゲンの第一還元電位に相当する-550mV を引加し，生成したギ酸をイオンクロマトグラフで定量した．図 5 にはギ酸生成量の経時変化を示している．いずれの場合も電圧印加時間とともにギ酸生成量が増加していることがわかる．またギ酸生成量はビオローゲン誘導体のビオローゲン部位とカルボキシル基との間のメチレン鎖長に依存しており，長くなるほどギ酸生成量が増加した．電極表面上に固定されているビオローゲン誘導体及びギ酸脱水素酵素の量を一定にしていることから電極表面とギ酸脱水素酵素との距離がギ酸生成量に影響を与えていると考えられる．

④　光合成膜固定電極とギ酸脱水素酵素固定電極による光電変換機能評価

最後に光合成膜固定電極を正極，FDH-ビオローゲン固定電極を負極，ピロリン酸ナトリウム緩衝液をベースとした電解質溶液を用い，図 6 に示すような光電変換系を構築した．電極面積は 1cm^2，光源には 100mWcm^{-2} のソーラーシミュレータを用いた．光合成膜固定電極を正極，FDH-ビオローゲン固定電極を負極として用いた光電変換系について，光照射・未照射を繰り返した光電流応答を調べた結果を図 7 に示す．光照射・未照射に対応して光電流が応答していることがわかった．光照射時の光電流は電極 1cm^2 あたり 55μA であった．電解質溶液中には酸化力あるいは還元力を持つ物質を添加していないことから図 6 に示すような水を電子媒体とした光電変換サイクルが達成できたと考えられる．

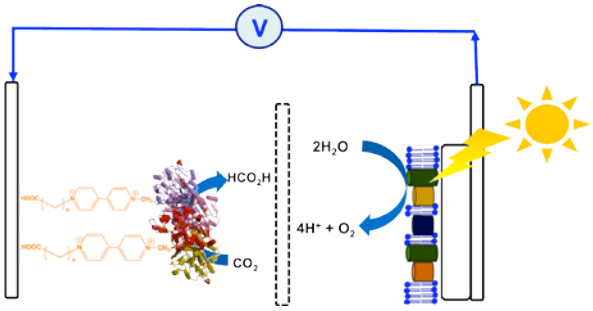

図 6 光合成膜固定電極を正極，FDH-ビオローゲン固定電極を負極とした光電変換系

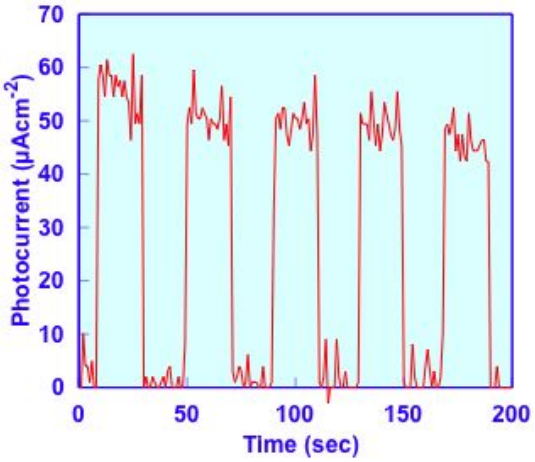

図 7 光合成膜固定電極を正極，FDH-ビオローゲン固定電極を負極とした光電変換系の光電流応答の経時変化

次に光照射による発電中の FDH-ビオローゲン固定電極側の生成物分析について検討した．光照射時間に対するギ酸生成量の経時変化を図 8 に示す．定常的に光照射すると光電流値は 55μA で一定であったが，ギ酸生成量は光照射時間に比例して増加した．発電と同時に二酸化炭素が還元されギ酸（3 時間の発電で 30μM 程度）が生成することを見出した．

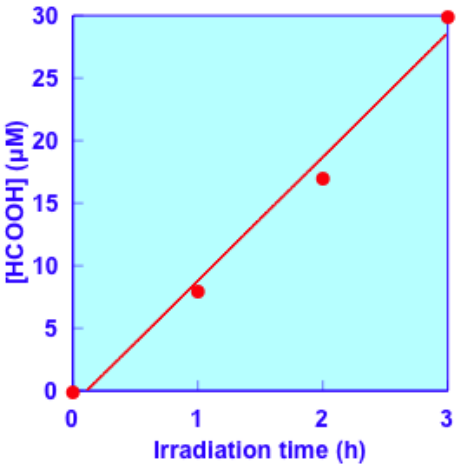

図 8 光合成膜固定電極を正極，FDH-ビオローゲン固定電極を負極とした光電変換系における負極側のギ酸生成の経時変化

3.　今後の展開

研究開始３年度までは，システムの重要要素であるスピルリナの培養の効率化，スピルリナ由来の光合成膜固定酸化チタン薄膜電極の調製と機能評価，光電変換効率向上に関する研究を進めた．同時に電子伝達分子-ギ酸・アルデヒド・アルコール脱水素酵素固定電極の調製と機能評価に主眼を置いた研究を進めた．当初計画では要素技術の確立を３年間の目標としていたが，上述の研究成果で述べたように光合成膜固定電極とギ酸脱水素酵素固定電極による光電変換機能評価について光照射によって発電しながら二酸化炭素が有機分子に変換可能なシステムのプロトタイプの構築に成功した．しかしながらメタノール生成機能を持つ電子伝達分子-ギ酸・アルデヒド・アルコール脱水素酵素固定電極の達成にはいたらなかった．

今後２年間について水と二酸化炭素を作動媒体としたメタノール生成機能を持つ光電変換系の構築に関する研究に着手し，最終年度には最終型のデバイス構築する予定である．具体的には二酸化炭素–メタノール変換機能を持つ電子伝達分子-ギ酸・アルデヒド・アルコール脱水素酵素固定電極の構築に注力し，達成できている光照射によって発電しながら二酸化炭素が有機分子に変換可能なシステムのプロトタイプへ適用する．またスピルリナ由来の光合成膜固定酸化チタン薄膜電極についてもさらなる安定化・効率化を目指し，電極基板上への配向性を持たせた光合成膜固定化方法を検討，さらには可視光照射下における酸素発生活性能向上を進める予定である．

4.　評価

（1）自己評価

本研究は，多機能性バイオ太陽電池の基盤技術確立を目指し，濃緑色単細胞微細藻類であるスピルリナの水中での効率的な酸素発生型光合成機能に着目し，スピルリナ由来の光合成膜を固定した電極を用い，水と二酸化炭素を原料とし，太陽光エネルギーで発電しながらメタノールを同時に生産できる光電変換系を構築することを狙ったものである．当初の計画では，研究開始３年度までは，システムの重要要素であるスピルリナの培養の効率化，スピルリナ由来の光合成膜固定酸化チタン薄膜電極の調製と機能評価，光電変換効率向上に関する研究を進める．同時に電子伝達分子-ギ酸・アルデヒド・アルコール脱水素酵素固定電極の調製と機能評価に主眼を置いた研究を進め，後半２年を目途に水と二酸化炭素を作動媒体としたメタノール生成機能を持つ光電変換系の構築に関する研究に着手し，最終年度には最終型のデバイス構築する予定とした．

上述の研究成果のとおりスピルリナ由来の光合成膜固定電極とギ酸脱水素酵素固定電極による光電変換機能評価について光照射によって発電しながら二酸化炭素が有機分子に変換可能なシステムのプロトタイプの構築に成功したことは，当初計画の後半２年に実施する計画の一部である．水と二酸化炭素を原料とし，太陽光エネルギーで発電しながら二酸化炭素を還元できる光電変換系ができることを証明できたことは当初計画以上の成果である．一方で．二酸化炭素をメタノールに変換する機能を持つ電子伝達分子-ギ酸・アルデヒド・アルコール脱水素酵素固定電極の構築が不十分であった．この項目については後半２年間で注力することで既に組み上がっているプロトタイプへ適用することで最終目標を達成できる．

（2）研究総括評価（本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、中間評価を行った）。

本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った。

提案された研究課題を達成するためには、生物機能材料の均一性、電極材料特性の理解と改良、変換効率測定系の確立及びそれの複合的連続反応を正確に計測する技術開発など、多岐にわたる分野の専門的知識を吸収し、要素技術を確立することで自己のアイデアを証明することが必要となる。

まず、濃緑色単細胞微細藻類であるスピルリナプラテンシスの培養と電極上に固定するために必要な酸素発生能を保持した光合成膜の分離・精製を行い、この光合成膜を酸化チタン薄膜電極上に固定化して光電変換能、酸化電位印加状態における可視光照射による酸素発生機能を評価し、白金電極と組んだ光電変換系の作動と光電流発生を確認した。次いで、二酸化炭素分子変換の最初の段階であるギ酸脱水素酵素が関与する反応について、ビオローゲンを基盤として新規に合成した人工補酵素の合成を進め、ギ酸脱水素酵素とともに電極基板上への固定化し、ビオローゲンの還元電位に相当する電圧を印加し二酸化炭素がギ酸に変換されること確認した。そこで、開発した光合成膜固定電極とギ酸脱水素酵素固定電極とを組み合わせた光電変換系を構築し、光照射による光電流の発生と二酸化炭素からのギ酸生成に成功した。以上のように、光合成組織をデバイス化した電極を構築し、太陽光エネルギーによる発電中に二酸化炭素を削減し、ギ酸を同時に生産可能な多機能太陽電池システムのプロトタイプを確立できた。

この成果は5年型研究の中間地点としては、十二分な成果であると評価でき、今後の遂行を強力にサポートすべきであると考える。

今後は、研究者が独自に開発している二酸化炭素をメタノールに変換する機能を持つ脱水素酵素と電子伝達分子に関する研究を行い、藻類由来光合成膜との融合により世界初の水と二酸化炭素を原料とし，太陽光エネルギーで発電しながらバイオ燃料物質を直接合成できる多機能性バイオ太陽電池システムの構築に挑む。残りの２年間で、これらの最終目標を達成し、実証できるものと判断する。

5. 主な研究成果リスト

（1）論文（原著論文）発表

1. 天尾 豊. 光合成器官を利用した分子デバイスによる水素製造及びバイオ燃料電池への展開. 水素エネルギーシステム. 2013, 38, 38−42
2. Yutaka Amao, Naho Shuto “Formate dehydrogenase-viologen immobilized electrode for CO_2 conversion toward the development of artificial photosynthesis system” *Research on Chemical Intermediates,* 2014 掲載決定
3. Yutaka Amao, Akemi Tadokoro, Miki Nakamura, Naho Shuto, Ayumi Kuroki “Chloroplast from *Spinach* adsorbed nanocrystalline TiO_2 electrode for photovoltaic conversion device toward artificial photosynthesis system” *Research on Chemical Intermediates,* 2014 掲載決定

（2）特許出願

研究期間累積件数: 0 件

(3)その他の成果

国際会議招待講演

1. Yutaka Amao “Development of Artificial Leaf Device for Solar Fuel Production” アメリカ化学会 243 回 National Meeting　アメリカ合衆国サンディエゴ, 2012 年 3 月
2. Yutaka Amao “Solar Fuel Production Based on the Bio-hybrid Artificial Photosynthesis System” 2012 OCARINA Annual International Meeting--Launch of the Artificial Photosynthesis Research Center – 大阪市立大学, 2013 年 3 月
3. Yutaka Amao “Photovolatic conversion system using Thylakoid membrane from microalgae immobilised electrode” 1st Korea-Japan Microalgae Symposium(KJMS2013) KAIST, 韓国, 2013 年 10 月

国内会議招待講演

1. 天尾　豊「藻類由来光合成器官を利用した光電変換デバイスの機能評価」2013 年有機太陽電池シンポジウム　京都大学, 2013 年 7 月
2. 天尾　豊「ソーラー燃料生成のためのハイブリッド型人工光合成システムの構築」日本太陽エネルギー学会関西支部 2013 年度シンポジウム　大阪大学, 2013 年 11 月

著書

1. 天尾　豊「第 11 章　藻類由来光合成機能を利用したバイオ燃料変換系への展開」微細藻類によるエネルギー生産と事業展望　p88-93　　シーエムシー出版