

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	水から水素発生するラン藻モデル細胞創成に必要な光合成レドックス代謝ネットワークの完全理解
研究機関・ 部局・職名	大阪大学・蛋白質研究所・教授
氏名	栗栖源嗣

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	135,000,000	135,000,000	0	135,000,000	135,000,000	0	
間接経費	40,500,000	40,500,000	0	40,500,000	40,500,000	0	
合計	175,500,000	175,500,000	0	175,500,000	175,500,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	200,000	55,310,180	22,281,221	27,031,812	104,823,213
旅費	0	2,666,370	1,673,030	1,522,504	5,861,904
謝金・人件費等	0	3,546,430	10,627,727	9,192,613	23,366,770
その他	0	177,020	618,022	153,071	948,113
直接経費計	200,000	61,700,000	35,200,000	37,900,000	135,000,000
間接経費計	0	342,298	10,478,482	29,679,220	40,500,000
合計	200,000	62,042,298	45,678,482	67,579,220	175,500,000

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
Ni-NTA Agarose	キアゲン(500ml)	1	529,872	529,872	2011/4/20	大阪大学
超音波ホモジナイザー	BRANSON社製	1	822,150	822,150	2011/4/26	大阪大学
嫌気性チャンバー・ガスアナライザー	COY社製	1	2,220,750	2,220,750	2011/7/29	大阪大学
低温低湿制御システム	サンヨー社製	1	4,307,310	4,307,310	2011/8/11	大阪大学
タンパク質結晶化卓上型自動化システム	Rigaku社製	1	21,000,000	21,000,000	2012/1/16	大阪大学
タンパク質結晶化ロボット	嫌気チャンバー向け(古河機械金属)	1	12,705,000	12,705,000	2012/2/24	大阪大学
ガラスプレート整列型分注	FHDM1-SGP	1	724,500	724,500	2012/5/7	大阪大学
グローブチャンバー	MLR-352	1	892,500	892,500	2012/9/26	大阪大学
タンパク質観察自動化システム	GalleryDT	1	10,500,000	10,500,000	2012/10/29	大阪大学
LCP専用デッキチャンバー	アズワン 2-2203-13	1	630,000	630,000	2013/4/25	大阪大学
オートクレーブ	トミー精工 LSX-700	1	630,000	630,000	2013/5/14	大阪大学
微量高速冷却遠心機	トミー精工 MX-307	1	861,000	861,000	2013/5/14	大阪大学

## 様式20

プリントグラフ	アトー AE-6933FXES-W	1	1,312,500	1,312,500	2013/5/17	大阪大学
Elix Advantage 3 一式	ミリオア MIP-ZRXV003JP	1	974,967	974,967	2013/5/20	大阪大学
バイオシェーカー	タイテック BR-23FP・MR	1	598,500	598,500	2013/5/24	大阪大学
嫌気性チャンバーシステム	COY社製 Type C	1	2,051,206	2,051,206	2013/9/30	大阪大学
ガスアナライザー	COY社製 CAM-12	1	531,794	531,794	2013/9/30	大阪大学
AKTAprime Plus	GEヘルスケア	1	1,680,000	1,680,000	2013/9/30	大阪大学
窒素ガス細胞破砕器	セントラル科学貿易 NCD-920	1	905,139	905,139	2013/11/11	大阪大学
紫外線可視分光光度計	日本分光(株) V-630ST	1	1,249,500	1,249,500	2013/11/28	大阪大学
電動式フレンチプレス	大岳製作所 5501-M	1	2,415,000	2,415,000	2013/12/27	大阪大学

## 5. 研究成果の概要

研究計画は、対象とする酵素タンパク質ごとに、大きく3つの研究テーマに分かれている。

緑藻型[FeFe]ヒドロゲナーゼ(HydA1)に関しては、活性型と非活性型の混合物として精製されてしまうために、研究開始当初は良質な結晶を得る事が出来ない問題に直面した。研究期間中に、独ルール大学との共同研究の成果として再構成法により活性型HydA1の純度を向上させることに成功した。期間内に完全な活性型の立体構造解明に到達することは出来なかったが、サンプル調製法に非常に新しい知見を得ることができた。

光化学系 I (PS1)に関しては、野生型FdとPS1の複合体結晶作成に成功し4.2Å分解能で構造解析を行った。光吸収によりFdが解離するnative型Fdに代わり、[2Fe-2S]クラスターを[2Ga-2S]に置換したGa置換体Fdを用いて複合体を調整する事とし、複合体結晶の分解能が大きく向上した。結果的に、期間中にFdの分子モデルを構築できるレベルで複合体の構造解析に成功している。

窒素同化ではたらくグルタミン酸合成酵素(Fd-GOGAT)に関しても、170kDaにもおよぶ巨大な分子サイズをもつ酵素ではあるが、Fdとの電子伝達複合体の結晶化に成功し、徐々に分解能を向上させる事にも成功して、現在2.0 Å分解能での構造解析を終了している。複合体構造を基にFd-GOGATの機能解析を行って、複合体形成が誘導する構造変化を検証している。

課題番号	GSO16
------	-------

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます
------------------

研究課題名 (下段英語表記)	水から水素発生するラン藻モデル細胞創成に必要な光合成レドックス代謝ネットワークの完全理解
	Structural analysis of the entire electron transfer network of photosynthetic energy transduction for light-driven bio-hydrogen production
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	大阪大学・蛋白質研究所・教授
	Osaka University, Institute for Protein Research, Professor
氏名 (下段英語表記)	栗栖 源嗣
	Kurusu, Genji

### 研究成果の概要

(和文):

藻類やシアノバクテリアがもつ蛋白質のうち、光を化学エネルギーに変換している膜蛋白質複合体、グルタミン酸合成酵素そして水素発生酵素の三つに焦点を絞り、反応中の様子に近い状態で構造解析を行いました。これまで困難とされてきた弱い相互作用で形成する電子伝達複合体の構造解析に成功し、嫌気性の[FeFe]ヒドロゲナーゼの成熟化機構にも新たな知見を得ました。還元力分配の鍵となる光化学系 I 複合体と窒素同化の鍵酵素であるグルタミン酸合成酵素が、電子伝達蛋白質と溶液状態でどのように相互作用するのかも解析し、好熱性ラン藻をつかったバイオ水素生産プロジェクトに貴重な基礎データを提供します。

(英文):

Productive structure of the three photosynthetic proteins from algae or cyanobacteria, Photosystem I that converts light energy to chemical energy, glutamate synthase important for nitrogen assimilation and algal [FeFe] hydrogenase, has been extensively studied. Crystal structures of the transient electron transfer complex and the oxygen sensitive [FeFe] hydrogenase have been solved. Molecular interaction of Ferredoxin that is important for branching a reducing electron from Photosystem I to glutamate synthase and other dependent enzymes has

also been studied by solution NMR. Accumulation of these basic informations is important to design the artificial cell of cyanobacterium for bio-hydrogen production.

1. 執行金額 175,500,000 円  
(うち、直接経費 135,000,000 円、間接経費 40,500,000 円)
2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

### 3. 研究目的

世界的エネルギー需要の増加にともない、再生可能なエネルギー源の探索が非常に重要な課題になっている。そうしたなか、理想的な次世代エネルギー源として注目されているのが、大気汚染物質を排出しない水素ガスである。しかし、低コストで環境負荷を抑えた水素ガス生産方法は未だ確立されていない。生物機能を応用した環境にやさしい水素生産の方法として、ヒドロゲナーゼと呼ばれる酵素が触媒する水素の酸化還元反応( $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$ )の利用が挙げられる。種々あるヒドロゲナーゼの中で、緑藻が持つ[FeFe]型ヒドロゲナーゼは、非常に活性が高く、水素の回収効率が非常に高い。さらに好ましいことに、緑藻が持つ[FeFe]型ヒドロゲナーゼは光合成電子伝達蛋白質であるフェレドキシン(Fd)を電子供与体としており、光合成エネルギー変換反応を直接利用して水素生産を行うことが可能である。こうした研究背景を基に、好熱性ラン藻を用いた *in vivo* での光駆動型水素発生を目指して様々なアプローチが試みられてきた。しかしながら、現在までのところ継続的かつ高収量での *in vivo* 水素発生には程遠い状況にある。

原因として大きく次の 2 つの理由が考えられる。まず、緑藻型[FeFe]ヒドロゲナーゼが持つ金属クラスター(H-クラスター)の特殊構造と不安定性が挙げられる。緑藻型[FeFe]ヒドロゲナーゼは高活性であるが酵素自身が不安定であるため、活性型の立体構造が解明されていない。すなわち、決定的に構造情報が不足している状況にある。次に、細胞内の還元力がヒドロゲナーゼに分配される効率の悪さが挙げられる。光合成生物は多くのレドックス代謝反応を光合成のエネルギー変換反応に依存している。光合成電子伝達の末端で働く電子キャリア蛋白質の Fd が、無機酸化物の同化反応、ヘムや脂肪酸の代謝反応、クロロフィルの生合成反応など非常に幅広い代謝酵素に過不足無く還元力を供給し、葉緑体内の生命秩序維持に寄与する仕組みとなっている。しかし一方で、Fd が過剰に発現しているわけではなく、葉緑体における還元力分配の仕組みを分子レベルで解明することが高効率の水素発生には必須なのである。

本研究では、長く光合成レドックス代謝ネットワークの構造研究を進めてきた立場から、「水から水素を発生するラン藻モデル細胞」の実現に向け、光合成レドックス代謝ネットワークの完全理解に向けた構造生物学研究を推し進める。具体的には、(1)Fd へ電子を伝達する巨大膜タンパク質複合体である光化学系 I 複合体(PS1, 1,000kDa)、(2)窒素同化酵素の代表である Fd 依存性グルタミン酸合成酵素(Fd-GOGAT, 170kDa)、そして(3)緑藻が持つ[FeFe]型ヒドロゲナーゼ(Fd-H<sub>2</sub>ase, 47kDa)を取り上げ、それぞれ Fd との複合体状態での結晶構造を解析する。各酵素単

体の構造とより機能状態に近い Fd との複合体構造の双方を単結晶構造解析により解析することで、アミノ酸残基の保存性や部位特異的変異実験で得られている知見以上の原子レベルでの相互作用様式を検証する。

#### 4. 研究計画・方法

FdとFdに依存する酵素タンパク質との認識は、数 $\mu\text{M}$ から数百 $\mu\text{M}$ 程度の比較的弱い相互作用をベースにしているが、その特異性は非常に高い。非常に弱いが厳密な特異性を発揮する相互作用が光合成レドックス代謝ネットワークを駆動する構造基盤となっている。本研究では、電子伝達複合体の構造解析を通して Fd からの還元力の流れを人工的にデザインするための基礎データを提供する。本研究課題で取り上げる、光化学系 I 複合体(PSI)、窒素同化酵素であるグルタミン酸合成酵素、そして緑藻型ヒドロゲナーゼのどれも高活性状態で大量に試料調整することが可能であり、個別に以下の計画・方法により精製純度の向上および構造解析を展開した。

(1)好熱性ラン藻 *T. elongatus* 由来の PSI については 2.5 Å 分解能で結晶構造が報告されていたが(Jordan, 2001 *Nature*), Fd との複合体構造の解析の報告はない。非常に巨大な膜タンパク質複合体であるが、複数のサブユニットに His-tag を導入することで高活性状態の可溶化タンパク質を高純度で精製することが可能となった。さらに、PSI はアンテナタンパク質を含む膜タンパク質複合体であるため、光吸収により PSI と Fd との複合体結晶は電子伝達反応が進行してしまう。そのため、安全光下で実験しなければならない。この目的のために安全光を用いる結晶自動観察装置を作成し、継続的に Fd+PSI 複合体の結晶化に取り組んだ。また、複合体結晶化が計画通りに進展しない場合に備え、Fd の[2Fe-2S]クラスターを酸化還元活性のない Ga クラスターに再構成し、安定化を図って複合体結晶化を行った。

(2)分子量の大きい Fd 依存性同化酵素としてグルタミン酸合成酵素(GOGAT, 170kDa)である。GOGAT は窒素同化において重要な役割を果たし、Fd から 4 電子を受け取って 2 分子のグルタミン酸を合成する。Fd との複合体については、イタリアのグループが 2003 年に X 線小角散乱で 1:1 複合体の形成を確認・報告しているが、原子レベルでの解析には程遠い(van den Heuvel 2003 *J.Mol.Biol.*)。常温性ラン藻 *L. boryana* 由来の GOGAT を大量に調整する実験系が確立されており、常法により Fd+GOGAT 複合体の結晶化スクリーニングを行った。窒素同化酵素である GOGAT に関しては、研究を効率的に進める工夫として、精製の最終ステップに Fd カラムを用いたアフィニティー精製を導入した。CNBr で活性化したアガロースゲルに大量調整した Fd を固定化し、Fd に均一に結合する GOGAT のみを NaCl の濃度勾配で溶出する手法である。SDS-PAGE や吸収スペクトルでは均一に見える試料であっても、物理的な立体構造まで均一であるとは限らない。これまで Ferredoxin-NADP<sup>+</sup> Reductase や Sulfite Reductase の Fd 複合体結晶化で、Fd カラムによる精製純度の向上が有効であることを確認しているため、本研究提案でも積極的に採用した。また、構造解析の精度向上と相補性を担保するため、NMR による相互作用実験を併用した。<sup>15</sup>N でラ

ベルしたFdにGOGATを滴定した際の化学シフトの変化と溶液条件を基に、溶液状態での複合体構造を検証した。

(3) 緑藻型[FeFe]ヒドロゲナーゼは、活性型の組換え体発現が非常に難しい。共同研究先であるドイツ・ルール大学からの技術供与により、嫌気性細菌 *C. acetobutylicum* をホストとした活性型組換え体の発現系を導入した。しかし、apo 型と holo 型が混在し精製純度に問題が生じたため、嫌気性光合成細菌 *C. tepidum* をホストとした組換え体の発現系構築も検討した。さらに、研究期間中に同じ共同研究者によって apo 型酵素をベースに高活性の holo 型酵素を人工合成する手法が開発された (Esselborn, 2013 *Nature Chem. Biol.*)。最終的には、この再構成の手法を用いて活性型蛋白質の立体構造解析を推進した。緑藻型[FeFe]ヒドロゲナーゼは、嫌気条件で精製・結晶化を行う必要がある。そのため申請者は、チャンバー内に設置可能な非常に小型の自動結晶化ロボットを(株)古川機械金属工業と開発し、研究プロジェクトに導入した。安定な変異体の作成や精製条件の改良、チャンバー内での構造解析実験の操作系確立などソフト・ハード両面から多面的に構造解析に取り組んだ。

## 5. 研究成果・波及効果

本研究課題は、光合成生物を対象に「水素ガス生産」という応用研究と、「蛋白質間相互作用の構造生物学」という基礎研究とを、ドイツ・ルール大学との国際共同研究として推進する研究提案であった。基礎研究部分に相当する日本側の研究提案では、蛋白質間相互作用解析を三つのサブテーマに分けて研究を遂行した。すなわち、(1)還元力を供給するエネルギー変換膜にある膜蛋白質複合体、(2)光合成生物の生育に必須の窒素同化酵素、そして(3)応用研究に展開可能な有用酵素ヒドロゲナーゼである。以下に個別に研究成果を報告する。

(1) 光化学系 I (PS1) に関しては、好熱性ラン藻 *T. elongates* が持つ PS1 と Fd とで結晶化に成功し、5.0Å 分解能で構造解析を行った。分解能向上の方策として、研究計画で述べた通り Ga 置換体 Fd を用いた。この置換体 Fd が Native Fd の代替えとなり得るかが定量的に評価されていなかったため、Ga 置換体 Fd の結晶構造を 1.40Å 分解能で解析した。その結果、主鎖レベルで rmsd=0.29Å と極めてよく似た立体構造をとり、十分に野生型の代替えとなり得る事を証明した。現在、Ga 置換体 Fd を用いて複合体結晶の高分解能化を精力的に行っており、4.2Å 分解能で構造解析を終了している。金属置換体タンパク質が過渡的な複合体を構造解析する上で、非常に有用なツールとなることを示した意義は大変大きい。

(2) グルタミン酸合成酵素(GOGAT)に関しては、プロジェクトで導入した自動化装置を用いて網羅的に結晶化条件を検討した結果、良質な単結晶を得る事に成功した。継続的な分解能改善努力の結果、最終的に 2.0Å 分解能で構造解析を完了した。glutaminase 反応を行う部位と 2-iminoglutarate 還元反応を行う部位とを繋ぐ分子内チャンネルが存在し、チャンネル内に水分

子が整列して配置していることを発見した。この分子内チャンネルは、Fdの結合により初めて確認されたことから、Fdの結合が2つの活性中心を同期させることを示した初めての研究結果であると言える。

(3) 緑藻型[FeFe]ヒドロゲナーゼ(HydA1)に関しては、嫌気性細菌 *Clostridium acetobutylicum* をホストとして発現させた比較的高活性の試料を用いて結晶化を行っていたが、混在する活性を持たない apo 型 HydA1 のみが結晶化してしまい、活性型 HydA1 の結晶を得る事は出来ず、apo 型 HydA1 のみの結晶構造を得ていた。そこで、apo 型 HydA1 を多く含む試料にヒドロゲナーゼの H-cluster を構成する前駆体錯体を添加することにより、活性型 HydA1 を効率よく得る方法を確立した。並行して、緑色光合成細菌 *Chlorobaculum tepidum* を用いて、嫌気状態で大量の組換え体を得る事に成功し、その試料を用いて結晶構造解析を行った。その結果、活性型が持つ H-cluster の代わりに成熟化途中と思われる新規クラスターの形成を確認した。H-cluster の成熟化機構に新しい知見を与えると考えて、精力的に配位子の同定と配位化学の詳細を検討中である。非常に不安定な活性中心をもつ酵素・蛋白質の構造研究を進める上で、その成熟化過程に新知見を得られた事は、生物無機化学的に非常に興味深い。今後、ユニークな金属中心を持つ酵素・蛋白質の研究に有用な知見を与えたと考えている。

生物科学の中では、光合成エネルギー変換とそれに関連するレドックス代謝の研究領域は、歴史的に構造研究が進んでいる領域である。しかし、素反応が統御されてシステムとして機能する仕組みを原子レベルで解明するには至っていない。精製・結晶化や構造解析に困難を伴うにも関わらず、より機能状態に近い複合体で構造解析をすることは非常に特徴的かつ独創的で、関連する蛋白質科学、光合成研究の研究領域に強いインパクトを与えた。

光合成は無尽蔵にふりそそぐ太陽光エネルギーを利用する反応であり、応用展開が現実になると循環可能なエネルギー源の創成という点でグリーン・イノベーションに大きく寄与する。既に、今回得られた研究成果を基に、独ルール大学の Matthias Rögner 教授のグループでは、構造情報を基にした計算機シミュレーションによって、ラン藻モデル細胞創成をめざした応用研究が進行中である。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計10件</p>	<p>Shinmura K, Muraki N, Yoshida A, Hase T, <u>Kurisu G</u>. Crystallization and preliminary X-ray studies of an electron-transfer complex of ferredoxin and ferredoxin-dependent glutamate synthase from the cyanobacterium <i>Leptolyngbya boryana</i>. <i>Acta Cryst. Sect F</i> (2012) <b>68</b>, 324-7.</p> <p>Kon T, Oyama T, Shimo-Kon R, Imamura K, Shima T, Sutoh K, <u>Kurisu G</u>. The 2.8 Å crystal structure of the dynein motor domain. <i>Nature</i> (2012) <b>484</b>, 345-50</p> <p>Kon T, Sutoh K, <u>Kurisu G</u>. X-ray structure of a functional full-length dynein motor domain. <i>Nature Struct Mol Biol.</i> (2011) <b>18</b>, 638-42</p> <p>Shimegi T, Takusagawa Y, Ohtsuki T, Noda S, <u>Kurisu G</u>, Kusunoki M, Ui S. Construction of a tailor-made L (2S,3S)-butanediol dehydrogenase by exchanging domains between native structural analogs. <i>Protein Pept Lett.</i> (2011) <b>18</b>, 825-30.</p> <p>Sakakibara Y, Kimura H, Iwamura A, Saitoh T, Ikegami T, <u>Kurisu G</u>, Hase T. A new structural insight into differential interaction of cyanobacterial and plant ferredoxins with nitrite reductase as revealed by NMR and x-ray crystallographic studies. <i>J Biochem.</i> (2012) <b>151</b>, 483-492</p> <p>Twachtmann M, Altmann B, Muraki N, Voss I, Okutani S, <u>Kurisu G</u>, Hase T, Hanke GT. N-terminal structure of maize ferredoxin:NADP+ reductase determines recruitment into different thylakoid membrane complexes. <i>Plant Cell</i>, (2012) <b>24</b>, 2979-2991</p> <p>Liau P, Mashiba T, Kopcak M, Wiegand K, Muraki N, Kubota H, Kawano Y, Ikeuchi M, Hase T, Rögner M, <u>Kurisu G</u>. Cloning, expression, crystallization and preliminary X-ray studies of the ferredoxin-NAD(P)+ reductase from the thermophilic cyanobacterium <i>Thermosynechococcus elongatus</i> BP-1. <i>Acta Cryst. F</i> (2012) <b>68</b>, 1048-1051</p> <p>Narikawa R, Ishizuka T, Muraki N, Shiba T, <u>Kurisu G</u>, Ikeuchi M. Structures of cyanobacteriochromes from phototaxis regulators AnPixJ and TePixJ reveal general and specific photoconversion mechanism. <i>PNAS</i> (2013) <b>110</b>, 918-923</p> <p>Kimata-Ariga, Y., Kubota-Kawai, H., Lee, Y.H., Muraki, N., Ikegami, T., <u>Kurisu, G.</u>, Hase, T. Concentration-dependent oligomerization of cross-linked complexes between ferredoxin and ferredoxin-NADP+ reductase. <i>Biochem. Biophys. Res. Commun.</i> (2013) <b>434</b>, 867-872</p> <p>Fujieda, N., Yabuta, S., Ikeda, T., Oyama, T., Muraki, N., Kurisu, G., Itoh, S. Crystal structures of copper-depleted and copper-bound fungal pro-tyrosinase: insights into endogenous cysteine-dependent copper incorporation. <i>J. Biol. Chem.</i>, (2013) <b>288</b>, 22128-22140</p> <p>(掲載済み一査読有り) 計10件</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 計0件</p>
<p>会議発表 計17件</p>	<p>Genji Kurisu 「X-ray structure of a functional full-length dynein motor domain」 Madrid, 22nd Congress, 2011, 8/22-30, International Union of Crystallography</p> <p>栗栖源嗣 「暗所作動型プロトクロロフィリド還元酵素の結晶構造－蛋白質の構造と分子進化－」 兵庫県立大学, 第49回年会, 2012年9月16-18日, 日本生物物理学会</p> <p>Genji Kurisu, 「Structure-function of the Dark-operative Protochlorophyllide Reductase -Evolutionary implications-」 国立台湾大学, 第10回会議, 2011年11月8日, 台湾結晶学会</p> <p>大山拓次, 昆隆英, 下-昆理恵子, 須藤和夫, 栗栖源嗣 「細胞質ダイニンモータードメインの結晶構造」 北海道大学, 平成23年度年会, 2011年11月24-25日, 日本結晶学会</p> <p>新村加奈子, 村木則文, 吉田綾子, 長谷俊治, 栗栖源嗣 「Structural analysis of the electron transfer complex between cyanobacterial Fd and Fd-GOGAT」 京都産業大学, 第53回年会, 201</p>

	<p>2年3月16-18日, 日本植物生理学会          新村加奈子, 村木則文, 長谷俊治, 栗栖源嗣 「X-ray Structure of the Electron Transfer Complex between Ferredoxin and Ferredoxin-dependent Enzyme」 慶應日吉キャンパス, 日本化学会公開シンポジウム, 2012年3月25-28日, 日本化学会主催          久保田寿子, 和田元, 栗栖源嗣 「<i>Synechocystis</i> sp. PCC6803 光化学系 I 複合体の 6.1Å 分解能におけるX線構造解析」東京工業大学, 第3回年会, 2012年6月1-2日, 日本光合成学会          真下忠彰, 福西快文, 神谷成敏, 福田育夫, 米澤康滋, 昆隆英, 栗栖源嗣, 中村春木 「GPU を利用した Zero-dipole summation 法による静電相互作用の高速計算」名古屋国際会議場, 第12回年会, 2012年6月20-22日, 日本蛋白質科学会          三角将輝, 坂本順司, 栗栖源嗣 「シトクロム bd 複合体の結晶学的研究」東北大学, 平成22年度年会, 2012年10月25-26日, 日本結晶学会          Kanako Shinmura, Norifumi Muraki, Toshiharu Hase, Genji Kurisu, 「Structural analysis of the electron transfer complex between Ferredoxin and Ferredoxin-dependent glutamate synthase」, Adelaide Convention Centre, Asian Crystallographic Association 2012, 2012.12.2-6, Adelaide Australia          「結核菌呼吸鎖に含まれるシトクロム c1c サブユニットの高分解能構造解析」          市川 純平、田中 真之、坂本 順司、北 潔、昆 隆英、栗栖源嗣          日本蛋白質科学会年会、2013年6月12日(水)~14日(金)、とりぎん文化会館(鳥取市)          「緑色硫黄細菌が持つシトクロム c-556 の結晶構造解析」          山本和矢、浅井智広、大岡宏造、栗栖源嗣          日本結晶学会、平成 25 年 10 月 12 日(土)~13 日(日)、熊本大学(熊本県熊本市)          「脂質キュービックフェーズ法を用いたシトクロム bd 複合体の結晶化」          三城佑樹、三角将輝、田中良樹、島村達郎、坂本順司、栗栖源嗣          日本結晶学会、平成 25 年 10 月 12 日(土)~13 日(日)、熊本大学(熊本県熊本市)          「CRYSTAL STRUCTURE OF Ga-SUBSTITUTED FERREDOXIN AND ITS INTERACTION SITES FOR PHOTOSYSTEM I AND FERREDOXIN-NADP+ REDUCTASE」          Risa Mutoh, Norifumi Muraki, Hisako Kubota-Kawai, Toshiharu Hase, Takahisa Ikegami and Genji Kurisu          AsCA 2013, The 12th Conference of the Asian Crystallographic Association, 7-10 December 2013          「CRYSTAL STRUCTURE OF PHOTOSYSTEM I FROM <i>SYNECHOCYSTIS</i> SP. PCC6803 AT 5.1 Å RESOLUTION」          Hisako Kubota-Kawai, Hajime Wada Genji Kurisu          AsCA 2013, The 12th Conference of the Asian Crystallographic Association, 7-10 December 2013          「生物化学における結晶学」          栗栖源嗣          日本化学会第 94 春季年会(2014)、2014 年 3 月 27 日(木)~30 日(日)、名古屋大学          「4 つのヒスチジンからなる金属結合部位をもつタンパク質の酸化的自己修飾反応」          谷口勇希・石濱謙一・藤枝伸宇・西河洋祐・栗栖源嗣・伊東忍          日本化学会第 94 春季年会(2014)、2014 年 3 月 27 日(木)~30 日(日)、名古屋大学</p> <p>専門家向け 計17件          一般向け 計0件</p>
<p>図書          計0件</p>	

様式21

<p>産業財産権 出願・取得 状況</p> <p>計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>大阪大学・最先端・次世代研究開発支援プログラム <a href="http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/program_next">http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/program_next</a></p> <p>大阪大学大型教育研究プロジェクト支援室・最先端・次世代研究開発支援プログラム <a href="http://www.lserp.osaka-u.ac.jp/index_jisedai.html">http://www.lserp.osaka-u.ac.jp/index_jisedai.html</a></p>
<p>国民との科 学・技術対 話の実施状 況</p>	<p>大阪大学×大阪ガス「アカデミックッキング」vol.11 「ようこそ！タンパク質ワンダーランド」 2011年8月5日、大阪ガスクッキングスクール千里にて開催、小学生と保護者対象、参加40名 料理の材料を題材に、料理教室に併せて身近に利用されているタンパク質や酵素について講演を行った、</p> <p>大阪大学×大阪ガス「アカデミックッキング」vol.23 「ようこそ！タンパク質ワンダーランド」 2012年8月8日、大阪ガスクッキングスクール千里にて開催、小学生と保護者対象、参加40名 料理の材料を題材に、料理教室に併せて身近に利用されているタンパク質や酵素について講演を行った、</p> <p>大阪大学×大阪ガス「アカデミックッキング」vol.36 「ようこそ！タンパク質ワンダーランド」 2013年8月21日、大阪ガスクッキングスクール千里にて開催、小学生と保護者対象、参加人数40名 料理の材料を題材に、料理教室に併せて身近に利用されているタンパク質や酵素について講演を行った、</p>
<p>新聞・一般 雑誌等掲載 計7件</p>	<p>平成23年8月23日 毎日小学生新聞「タンパク質、食べて学んで」 平成24年3月8日 産経新聞「細胞内の物質運び屋タンパク質構造解明」 平成24年3月10日 読売新聞「運び屋タンパク質構造解明」 平成24年3月11日 日刊工業新聞「細胞運動担う分子モーター阪大が原子構造解明」 平成24年8月11日 産経新聞「料理から学ぶ」 平成24年8月15日 電機新聞「親子で知ろう タンパク質」 平成25年10月25日 日経新聞ドイツ版「光と水で水素効率製造」</p>
<p>その他</p>	

7. その他特記事項