

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23750197

研究課題名(和文) ホタルルシフェラーゼの補酵素A結合部位の探索と立体選択性発現理由の解明

研究課題名(英文) Finding the coenzyme A binding sites and mechanism of enantioselectivity of firefly luciferase catalyzed thioesterification reaction

研究代表者

加藤 太一郎 (Kato, Dai-ichiro)

兵庫県立大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：60423901

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：発光反応を触媒する酵素として有名なホタルルシフェラーゼは、それとは全く違う立体選択的なチオエステル化反応をも触媒できる。しかし立体選択性発現理由の詳細や補酵素A結合部位など、未だ解明されていない部分もある。そこで本研究では、補酵素A結合部位および構造変化に必須のアミノ酸残基を明らかにすること、また得られた情報を基に、立体選択性が発現する理由を解明することを目標とした研究を行った。アミノ酸配列相同性からケトプロフェンの不斉識別に重要な役割を果たすアミノ酸残基の特定にも成功し、当初の目標を十分達成することができた。

研究成果の概要(英文)：Firefly luciferase, which is very famous enzyme for bioluminescence reaction, can also catalyze the enantioselective thioesterification reaction toward 2-arylpropanoic acid. The detail catalytic mechanisms for enantioselectivity and/or a binding site of coenzyme A, however, were not disclosed. Thus in this project, we tried to find the binding site for coenzyme A and tried to explain the mechanism of enantioselectivity toward 2-arylpropanoic acid. Finally we achieved to find some important residues for identifying of substrate chirality.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・生体関連化学

キーワード：ホタルルシフェラーゼ チオエステル化 立体選択性 補酵素A 結合部位

1. 研究開始当初の背景

「光る虫」といえば「ホタル」とすぐに連想できるほど、我々にとってホタルは身近で、かつ心が惹きつけられる存在である。この光るという現象は、ホタルルシフェラーゼという酵素タンパク質が、基質である D-ルシフェリンを化学変換することで生じるということが分かっており、この仕組みの様々な利用方法が提案されている。

このように、ホタルルシフェラーゼといえば発光反応を触媒する酵素だと思われがちであるが、実はカルボン酸に対するチオエステル化能力をも有することが知られている。特に申請者は、本酵素がチオエステル化反応の際に基質の不斉を識別できることを世界に先駆けて発見していた[FEBS J. 2007, 274, 3877-3885]。

例えば構造中に 1 つの不斉点を有する 2-アリアルプロパン酸を基質とした場合、ヘイケボタル由来ルシフェラーゼ(LUC-H)は、R 体を優先的にチオエステルへと変換する。ラセミ体のケトプロフェンを基質とした場合には、鏡像体分離能(E 値)³⁵にて効率よく両鏡像体を分割できる。酵素を用いてラセミ体から光学活性体を調製する場合にはリパーゼを用いるのが一般的であるが、ホタルルシフェラーゼは ATP を利用して反応が進行するため、リパーゼとは全く違ったタイプの光学分割酵素としての利用展開が期待された[特開 2007-29017]。

ホタルルシフェラーゼによる立体選択的チオエステル化反応の不斉点識別機構について、申請者は本研究を開始する前に、以下の 2 点について明らかにしていた。

つまり、①詳細な速度論解析により不斉識別の段階はアシル-AMP 中間体形成後であること、また②アシル-AMP 中間体アナログを用いた結晶構造解析により、基質結合部位に隣接している p-loop 部分(S200-L205 部分)の挙動の違いが不斉識別に関与している可能性が高いこと、を明らかにしていた。分子動力学シミュレーションでも本 p-loop 部分の挙動の違いの重要性が予測される結果を得、さらに p-loop 部分(S200, S201)に対して変異導入を行うことで、期待通り立体識別能力が消失することを確認していた。

一方 Gulick らは、ホタルルシフェラーゼと同じアシル-AMP 形成酵素スーパーファミリーに属するアセチル-CoA リガーゼと補酵素 A との複合体像を解析し、補酵素 A が結合する際には C 末端ドメインの大きな構造変化が生じるという研究成果を報告していた[A.M.Gulick et al., *Biochemistry* 2003, 42, 2866-2873]。

2. 研究の目的

申請者は、上述した自身の研究により、ホタルルシフェラーゼによるチオエステル化反応では基質の不斉の違いによってアシル-AMP 中間体形成後の p-loop の挙動が違って

おり、これが不斉識別能力の発現に重要な役割を果たしていることを明らかにしていた。しかし p-loop のような酵素の局所的な構造変化だけでは、不斉識別およびチオエステル化活性の発現理由を完全には説明できないでいた。特にチオール基質である補酵素 A の結合部位は予想すらできていない状況であった。

そこで申請者は、Gulick らの研究成果を基に、ホタルルシフェラーゼが補酵素 A と相互作用する場合にも、C 末端ドメインの構造変化が引き起こされるのではないかとという仮説を立て、これを検証することとした。また構造変化によって、補酵素 A との結合部位が新たに生じ、チオエステル化活性、ひいては立体識別能力が発現するのではないかと予想した。

つまり本検討課題において申請者は、ホタルルシフェラーゼにおける補酵素 A 結合部位および構造変化に必須のアミノ酸残基を明らかにすることを計画した。また、得られた情報を基に作製した変異体を用いて立体選択性が発現する理由を解明することも試みた。

3. 研究の方法

本研究では、ホタルルシフェラーゼによる立体選択的チオエステル化活性発現時に C 末端ドメインの構造変化が引き起こされているという仮説のもと、①酵素中の補酵素 A 結合部位および構造変化に必須のアミノ酸残基の探索と、②変異体を用いた立体選択性発現理由の解明を進めることを目的とした。

上記目的を達成するために、チオエステル化段階の構造が既知の類似酵素の情報を利用することを計画した。これとヘイケボタル由来ルシフェラーゼ(LUC-H)の構造を比較することで、LUC-H 中に潜むチオエステル化活性発現に必須のアミノ酸残基を特定することを試みた。また、特定された部位の変異体に対して速度論解析および発光阻害解析を行うことによって、それぞれのアミノ酸がどのような役割を担っているのかを明らかにすることを目指した。

4. 研究成果

1. チオエステル化活性発現に必要なアミノ酸残基の特定

ホタルルシフェラーゼはアシル-AMP 形成酵素スーパーファミリーに属しており、アシル-AMP 中間体を經由する 2 段階反応にてチオエステル化が進行する。アシル-AMP 中間体を形成する段階をアデニル化段階、本中間体に対して補酵素 A が攻撃する段階をチオエステル化段階と呼ぶ。申請者はこれまでに、カルボン酸基質としてケトプロフェンを用いた X-線結晶構造解析を進め、本基質のアシル-AMP 中間体アナログとヘイケボタル由来ルシフェラーゼ(LUC-H)との複合体像取得に成功している。しかし得られた構造はアデニ

ル化段階を示すもので、補酵素 A 結合部位を特定することはできていなかった。

そこでまず、本構造を基にチオエステル化活性発現に必要なアミノ酸残基の特定を行うことを目指した。本目標を達成するために申請者は、アシル-AMP 形成酵素スーパーファミリーの中でチオエステル化段階の構造が既に明らかにされている類似酵素の立体構造情報、アセチル-CoA シンセターゼ(PDB ID:1PG4)を用いた。本構造はアシル-AMP と補酵素 A の複合体像であり、補酵素 A の結合や酵素構造変化に関する情報を含んでいると考えられた。本酵素と LUC-H の 3 次元構造は高い類似性を示す。よってそれぞれの酵素のドメインごとの構造や補酵素 A との距離情報を比較することによって、LUC-H 中に潜むチオエステル化活性発現に重要なアミノ酸残基を特定することを試みた。図 1 に示す構造変化予測より補酵素 A 結合サイトおよび構造変化に伴って N および C ドメイン間で相互作用を行うだろうと考えられるアミノ酸候補を 9 ヶ所抽出した。本部位について部位特異的ランダム変異導入を行い、各種変異体を取得後、R-体および S-体ケトプロフェンに対するチオエステル化活性を測定した(表 1)。

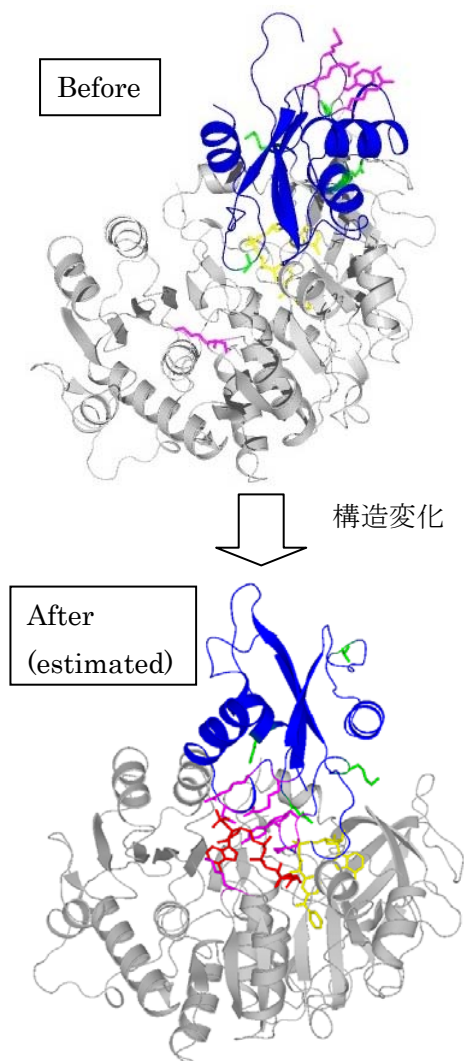


図 1. 構造変化と補酵素 A 結合部位の予測

表 1. 各変異体のチオエステル化活性比較

position	substitution	Relative activity (%)	
		R-form	S-form
WT		100	100
No.1	S	20	< 0.01
	D	12	233
	A	1	< 0.01
No.2	S	40	233
	R	4	< 0.01
No.3	A	32	< 0.01
	V	4	< 0.01
	R	< 0.01	< 0.01
No.4	V	60	< 0.01
	N	16	233
No.5	F	116	33
	L	80	133
No.6	S	20	< 0.01
	A	16	< 0.01
	P	8	< 0.01
	G	4	< 0.01
No.7	P	4	< 0.01
No.8	M	32	< 0.01
	V	28	< 0.01
	L	12	< 0.01
	D	4	< 0.01
No.9	W	440	168
	F	272	150
	S	268	< 0.01
	L	32	< 0.01
	G	24	200

Specific activity: R-ketoprofen (25 nmol/min/mg), S-ketoprofen (0.3 nmol/min/mg)

抽出した部位の内 No.1~8 についてはアミノ酸置換によってチオエステル化活性の低下が確認された。また速度論解析結果より(結果は非公開)、この活性低下が、補酵素 A に対する親和性の低下によって引き起こされていることも確認でき、目的通り、ホタルルシフェラーゼにおける補酵素 A 結合部位を明らかにすることに成功した。

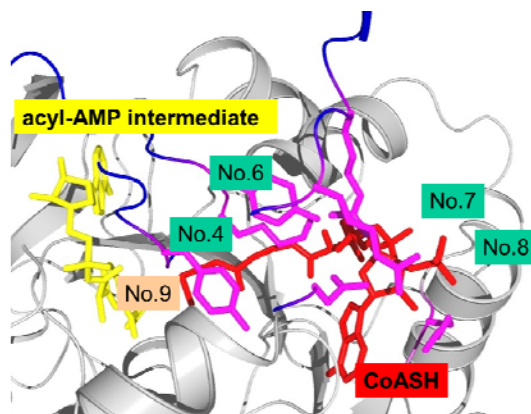


図 2. No.9 と補酵素 A および結合に影響を与えるアミノ酸残基との空間的關係

一方、No.9 の部位については、チオエステ

ル化活性の低下だけでなく、向上するアミノ酸置換も見出すことができた。また速度論解析結果より、この反応速度向上が補酵素 A との親和性向上ではなく、触媒活性の向上によるものであるという興味深い結果も得ることができた。予想基質-酵素複合体像より、No9 部位は補酵素 A だけでなく、他の補酵素 A の結合に影響を与えるアミノ酸部位周辺に位置していることが分かった。本部位のアミノ酸が変化することによって、間接的に補酵素 A の結合に影響を与え、微妙な結合位置の変化をもたらす反応速度が変化したものと考えられた(図 2)。

2. 立体選択性発現理由の解明

本課題検討中に申請者は、ホタルルシフェラーゼによる立体選択的チオエステル化活性はホタルの由来によって異なり、2-アリールプロパン酸に対して作用できないものがあることを見出した。例えば、ヘイケボタル由来ルシフェラーゼ(LUC-H)やゲンジボタル由来ルシフェラーゼ(LUC-G)、ミヤコマドボタル由来ルシフェラーゼ(PmL)では効率よくケトプロフェンをチオエステル化できる一方、ヒメボタル由来ルシフェラーゼ(HpL)では認識できないことが分かった。そこで、PmL と HpL をモデル酵素としてケトプロフェンの不斉認識に重要な役割を果たすアミノ酸残基の特定を目指した。

立体構造とアミノ酸アラインメント情報を基に、活性部位周辺のアミノ酸の比較を行った(図 3)。その結果 PmL と HpL はアミノ酸配列レベルで 60% 程度の相同性であるにもかかわらず、基質から 5Å 以内のアミノ酸は完全に一致していることが分かった。そこで 5-10Å に位置するアミノ酸にまで対象を広げたところ、I350 および M397 に違いがあることが確認された(図 4)。そこでこれらのアミノ

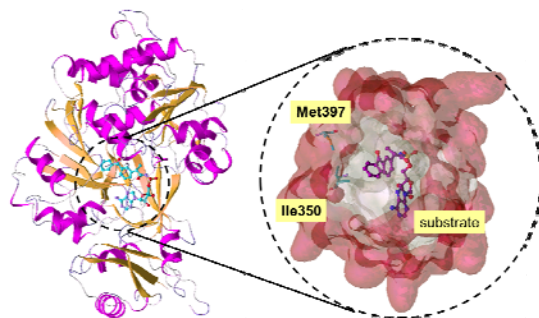


図 4. 基質と I350, M397 の空間的位置関係

酸を相互に入れ替えた変異体を作成し、チオエステル化活性に対する速度論解析を行った。

炭素数 12 の直鎖脂肪酸に対してはアミノ酸置換によって有意な差はみられなかった一方、ケトプロフェンに対しては活性の大きな変化が観察された(表 2)。野生型ではケトプロフェンに対して高いチオエステル化活性を示した PmL は I350F-M397S 変異体とし、HpL 型へと変化させることによって、その活性は著しく低下することが観察された。一方、元々チオエステル化活性がなかった HpL は F351I-S398M 変異体(PmL 型)とすることによって、ケトプロフェンに対する明らかなチオエステル化活性を発現した。またりたい選択性についても PmL 型から HpL 型へと変化させることによって低下し、逆に HpL 型から PmL 型へとすることによって完全な R-体選択性を示すことが分かった。本来の酵素活性である発光活性および発光色には影響を与えなかった。

これら 2ヶ所のアミノ酸が基質認識に与える影響を確認するために、MD シミュレーションを用いた構造予測を行い、安定構造における酵素と基質の距離情報を比較した。その

PmL (<i>P. miyako</i>)	K207	V209	L211	H222	C223	R224	V227	F228	G229	N230	T240	I242
PpL (<i>P. pyralls</i>)	K	V	L	H	A	R	I	F	G	N	S	V
LcL (<i>L. cruciata</i>)	K	V	L	H	A	R	I	Y	G	N	T	V
LUC-H (<i>L. lateralis</i>)	K	V	L	H	A	R	I	Y	G	N	T	V
HpL (<i>H. parvura</i>)	K	V	I	H	A	K	I	Y	G	N	T	V
LmL (<i>L. mingrelica</i>)	K	V	I	H	A	K	I	Y	G	N	T	V

P243	H245	Q248	M249	F250	T252	L253	G254	Y255	S285	A286	L288	V289	P290	F293	E312	I313	A321
P	H	G	M	F	T	L	G	Y	S	A	L	V	P	F	E	I	S
P	H	G	M	F	T	L	G	Y	S	V	L	V	P	F	E	I	S
P	H	G	M	F	T	L	G	Y	S	V	L	V	P	F	E	I	S
P	H	G	M	F	T	L	G	Y	S	V	L	V	P	F	E	I	A
P	H	G	M	F	T	L	G	Y	S	V	L	V	P	F	E	I	A

K322	I337	T346	I350	I351	T353	P354	G361	A362	G364	K365	V367	E390	L391	V393	M397	Y402	L412
K	I	T	I	L	T	P	G	A	G	K	V	E	L	V	M	Y	L
K	V	T	I	I	T	P	G	A	G	K	V	E	V	V	M	Y	L
K	V	T	I	I	T	P	G	A	G	K	V	E	V	V	M	Y	I
K	V	T	F351	I	T	P	G	A	G	K	V	E	I	V	S398	Y	T
K	V	T	F	I	T	P	G	A	G	K	V	E	I	V	S	Y	T

L419	H420	G422	I424	A425	F433	F434	V436	D437	L439	K440	S441	A453	E456	G526	L527	G529	I531
L	H	G	L	A	F	F	V	G	L	K	S	A	E	G	L	G	R
L	H	G	I	G	F	F	V	D	L	K	S	A	E	G	L	G	I
L	H	G	I	G	F	F	V	D	L	K	S	A	E	G	L	G	I
L	H	G	I	G	F	F	V	D	L	K	S	A	E	G	L	G	I
L	H	G	I	G	F	F	V	D	L	K	S	A	E	G	L	G	I

図 3. 各種ホタル由来ルシフェラーゼにおいて基質から 5-10Å の距離に位置するアミノ酸残基

表 2. 各種変異体のチオエステル化活性及び発光活性比較

Luciferase	Specific activity [nmol/min/mg]		R/S ratio	Kinetic parameter for (R)-ketoprofen			I _{max} [nm]
	(R)-ketoprofen	(S)-ketoprofen		k _{cat} [s ⁻¹]	K _m [mM]	k _{cat} /K _m [s ⁻¹ •mM ⁻¹]	
PmL_WT	12.1	0.5	23	0.052 ± 0.0012	0.04 ± 0.004	1.3	554
PmL_I350F	9.0	0.9	10	0.049 ± 0.0024	0.11 ± 0.016	0.45	556
PmL_M397S	7.4	2.6	3	0.046 ± 0.0036	0.09 ± 0.018	0.51	553
PmL_I350F-M397S (Hpl-type)	3.0	1.2	3	0.029 ± 0.0004	0.11 ± 0.009	0.26	556
Hpl_WT	< 0.01	< 0.01	-	-	-	-	567
Hpl_F351I	< 0.01	< 0.01	-	-	-	-	567
Hpl_S398M	3.3	< 0.01	> 100	0.037 ± 0.0008	0.01 ± 0.003	0.37	569
Hpl_F351I-S398M (PmL-type)	5.0	< 0.01	> 100	0.047 ± 0.0012	0.04 ± 0.007	1.2	566

結果、ケトプロフェンを認識できる PmL 型に比べて、認識できない Hpl 型では基質の揺らぎが大きく、うまく基質と相互作用できていないことが示唆される結果を得た。

以上の結果より、350 および 397 番目のアミノ酸は、ホタルルシフェラーゼにおけるケトプロフェンに対する立体選択性発現に重要な役割を果たしていることを明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計 9 件)

1. D.Kato, T.Tatsumi, A.Bansho, K.Teruya, H.Yoshida, M.Takeo, S.Negoro, “Enantiodifferentiation of Ketoprofen by Japanese Firefly Luciferase from *Luciola lateralis*”, *J. Mol. Catal. B: Enzymatic* (査読有), 69, pp 140-146, 2011.
2. H.Liu, K.Nakagawa, D.Kato, D.Chaudhary, M.O.Tadé, “Enzyme Encapsulation in Freeze-dried Bionanocomposites Prepared from Chitosan and Xanthan Gum Blend”, *Mater. Chem. Phys.* (査読有), 129, pp 488-494, 2011.
3. D.Kato, K.Yokoyama, Y.Hiraishi, M.Takeo, S.Negoro, “Comparison of Acyl-CoA Synthetic Activities and Enantioselectivity toward 2-Arylpropanoic Acids in Firefly Luciferases”, *Biosci. Biotech. Biochem.* (査読有), 75, pp 1758-1762, 2011.
4. D.Kato, Y.Hiraishi, K.Yokoyama, K.Niwa, Y.Ohmiya, M.Takeo, S.Negoro, “Enantioselective thioesterification activity in bioluminescent enzyme, firefly luciferase”, *Luminescence* (査読有), 27, pp 124-125, 2012.
5. M.Maenaka, D.Kato, T.Kubo, K.Niwa, Y.Ohmiya, M.Takeo, S.Negoro, “Color tuning of bioluminescence reaction by modifying the hydrogen bond network around the active site in firefly luciferase”, *Luminescence* (査読有), 27, pp 137-138, 2012.
6. K.Niwa, Y.Ichino, M.Maenaka, T.Kubo,

Y.Hiraishi, D.Kato, Y.Ohmiya, “Quantum yield and kinetics of the bioluminescence reaction using various beetle luciferases”, *Luminescence* (査読有), 27, pp 147-148, 2012.

7. D.Kato, T.Kubo, M.Maenaka, K.Niwa, Y.Ohmiya, M.Takeo, S.Negoro, “Confirmation of color determination factors for Ser286 derivatives of firefly luciferase from *Luciola cruciata* (LUC-G)”, *J. Mol. Catal. B: Enzymatic* (査読有), 87, pp 18-23, 2013.
8. D.Kato, Y.Hiraishi, M.Maenaka, K.Yokoyama, K.Niwa, Y.Ohmiya, M.Takeo, S.Negoro, “Interconversion of ketoprofen recognition in firefly luciferase-catalyzed enantioselective thioesterification reaction using from *Pylocoeria miyako* (PmL) and *Hotaria parvura* (Hpl) just by mutating two amino acid residues”, *J. Biotechnol.* (査読有), 168, pp 277-283, 2013.
9. V.R.Viviani, R.A.Prado, D.R.Neves, D.Kato, J.A.Barbosa, “A Route from Darkness to Light: Emergence and Evolution of Luciferase Activity in AMP-CoA-Ligases Inferred from a Mealworm Luciferase-like Enzyme”, *Biochemistry* (査読有), 52(23), pp 3963-3973, 2013.

〔学会発表〕(計 16 件)

1. D.Kato, T.Kamon, E.Nishimura, M.Takeo, S.Negoro, “Acyl-CoA synthetase (ACS) can catalyze the amide bond formation reaction between fatty acid and amino acid”, *Biotrans2011 - 10th International Symposium on Biocatalysis*, (October 2-6, Giardini Naxos (Messina) Sicily, Italy, 2011), pp. P140 (ポスター発表).
2. D.Kato, Y.Hiraishi, K.Yokoyama, K.Niwa, Y.Ohmiya, M.Takeo, S.Negoro, “Enantioselective thioesterification activity in bioluminescent enzyme, firefly luciferase”, *ISBC2012 - 17th International Symposium on Bioluminescence and Chemiluminescence*,

- (May 28-June 2, Guelph, Canada, 2012), pp. P18 (ポスター発表).
3. M.Maenaka, D.Kato, T.Kubo, K.Niwa, Y.Ohmiya, M.Takeo, S.Negoro, "Color tuning of bioluminescence reaction by modifying the hydrogen bond network around the active site in firefly luciferase", ISBC2012 - 17th International Symposium on Bioluminescence and Chemiluminescence, (査読有), (May 28-June 2, Guelph, Canada, 2012), pp. P20 (ポスター発表).
 4. K.Niwa, Y.Ichino, M.Maenaka, T.Kubo, Y.Hiraishi, D.Kato, Y.Ohmiya, "Quantum yield and kinetics of the bioluminescence reaction using various beetle luciferases", ISBC2012 - 17th International Symposium on Bioluminescence and Chemiluminescence, (May 28-June 2, Guelph, Canada, 2012), pp. session Bioluminescence - fundamental(III) (口頭発表).
 5. D.Kato, Y.Hiraishi, K.Yokoyama, K.Niwa, Y.Ohmiya, M.Takeo, S.Negoro, "Finding the enantioselective thioesterification activity in firefly luciferase", 7th CeBiTec Symposium "Bio-integrated Organic Synthesis in Industry:Biocatalytic Breakthroughs, Industrial Processes, Emerging Fields", (December 17-19, Center for Interdisciplinary Research (ZiF), Bielefeld University, Germany, 2012), pp. P24 (ポスター発表).
 6. D.Kato, M.Maenaka, T.Kubo, K.Niwa, Y.Ohmiya, M.Takeo, S.Negoro, "Active site environment effects on the catalytic activities of firefly luciferase", Biotrans2013, (July 21-25, Exchange Conference central at Manchester Central, Manchester, UK, 2013), pp. 129 (ポスター発表).
 7. K.Niwa, Y.Ichino, D.Kato, Y.Nakajima, Y.Ohmiya, "Firefly Luciferases Bioluminescence Activity Profile Based on Quantum Yield and Kinetics", Biotrans2013, (July 21-25, Exchange Conference central at Manchester Central, Manchester, UK, 2013), pp. 208 (ポスター発表).
 8. 加藤太一郎, 平石善洋, 武尾正弘, 根来誠司:「ホタルルシフェラーゼが触媒するチオエステル化反応で基質認識をつかさどる部位の解析」, 第 63 回日本生物工学会大会(2011)講演要旨集, (平成 23 年 9 月 26-28 日, 東京農工大学小金井キャンパス), pp. 2Dp16 (口頭発表).
 9. 加藤太一郎, 掃部恭弘, 西村絵梨子, 武尾正弘, 根来誠司:「アシル-CoA シンセターゼは脂肪酸とアミノ酸のアミド化反応も触媒できる」, 第 63 回日本生物工学会大会(2011)講演要旨集, (平成 23 年 9 月 26-28 日, 東京農工大学小金井キャンパス), pp. 3Da07 (口頭発表).
 10. 前中美華, 加藤太一郎, 丹羽一樹, 近江谷克裕, 武尾正弘, 根来誠司:「ゲンジボタル由来ルシフェラーゼ活性中心における酵素-基質間相互作用」, 生物発光化学発光研究会第 28 回学術講演会要旨集, (平成 23 年 10 月 8 日, 長崎大学文教キャンパス), pp. P02 (ポスター発表).
 11. 久保貴矢, 加藤太一郎, 前中美華, 丹羽一樹, 近江谷克裕, 武尾正弘, 根来誠司:「ゲンジボタル由来ルシフェラーゼ活性中心 Ser286 変異体の発光活性解析」, 生物発光化学発光研究会第 28 回学術講演会要旨集, (平成 23 年 10 月 8 日, 長崎大学文教キャンパス), pp. P03 (ポスター発表).
 12. 前中美華, 加藤太一郎, 久保貴矢, 丹羽一樹, 近江谷克裕, 武尾正弘, 根来誠司:「活性部位周辺の水素結合ネットワークに着目したホタルルシフェラーゼの発光色制御」, 第 15 回生体触媒化学シンポジウム(東京)要旨集, (平成 23 年 12 月 22 日, 慶應義塾大学薬学部芝共立キャンパス), pp. P09 (ポスター発表).
 13. 前中美華, 加藤太一郎, 久保貴矢, 丹羽一樹, 近江谷克裕, 武尾正弘, 根来誠司:「ホタルルシフェラーゼの発光反応における水素結合ネットワークの重要性」, 第 64 回日本生物工学会大会要旨集, (平成 24 年 10 月 23-26 日, 神戸国際会議場), pp. 4Ca07(口頭発表).
 14. 加藤太一郎, 白川大暉, 奥田真利, 丹羽一樹, 町田幸大, 今高寛晃, 武尾正弘, 根来誠司:「デラセミ化プロセスを利用したキラルフリーなホタルルシフェラーゼ発光反応システムの構築」, 第 65 回日本生物工学会大会講演要旨集, (平成 25 年 9 月 18-20 日, 広島国際会議場), pp. 1P-075 (ポスター発表).
 15. 加藤太一郎, 前中美華, 白川大暉, 丹羽一樹, 近江谷克裕, 武尾正弘, 根来誠司:「ルシフェリンアナログとホタルルシフェラーゼの相互作用と発光色の関係」, 第 65 回日本生物工学会大会講演要旨集, (平成 25 年 9 月 18-20 日, 広島国際会議場), pp. 2P-064 (ポスター発表).
 16. 加藤太一郎, 白川大暉, 奥田真利, 丹羽一樹, 町田幸大, 今高寛晃, 武尾正弘, 根来誠司:「ホタルの生合成経路を模倣した L-ルシフェリン発光システムの構築」, 生物発光化学発光研究会第 30 回学術講演会要旨集, (平成 25 年 11 月 2 日, 東京工業大学蔵前会館), pp. P17 (ポスター発表).
- [その他]
ホームページ等
<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/msc/msc3/top.html>
6. 研究組織
 - (1)研究代表者
 - 加藤 太一郎 (KATO, Dai-ichiro)
 - 兵庫県立大学・大学院工学研究科・助教
 - 研究者番号: 60423901