

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19350071

研究課題名 (和文) 超分子化学発光

研究課題名 (英文) Supramolecular Chemiluminescence

研究代表者

袁 德其 (DE-QI YUAN)

長崎大学・大学院医歯薬学総合研究科・准教授

研究者番号：70304962

研究成果の概要 (和文)：

分子認識の概念と化学発光を始めて融合して分子認識能を有する色素を創出し、カシュー酸エステル化学発光反応に対する発光強度の増幅を図った。 α -、 β -および γ -シクロデキストリンを分子認識素子として使用した。それらのシクロデキストリンの水酸基を一または二箇所位置選択的に修飾し、それに anthracene、dansyl、fluorescein を含む多種の色素を導入して数多くの色素-シクロデキストリン連結体および分子認識型色素二量体を合成・構造決定した。それらを用いて、過シュウ酸エステルの化学発光反応について詳細に検討を行った結果、シクロデキストリンと連結していない色素に比べ、acridine、anthracene および dansyl のシクロデキストリン連結体は小さな増感効果をしか示さなかったが、pyrene、coumarin および fluorescein のシクロデキストリン連結体に大きな増感効果を認めた。また、増感効果の高い pyrene、coumarin および fluorescein-シクロデキストリン連結体について、連結部位、シクロデキストリンの環構造、色素の数等が増感効果に大きな影響をもたらすことが認められた。さらに、紫外・可視光吸収スペクトル測定や蛍光測定などにより、分子認識部位と色素間の振舞いおよび化学発光への寄与について検討を行った結果、シクロデキストリンの分子認識能は、シュウ酸エステルの反応により生じた化学エネルギーの色素へ移動効率を大幅に向上させることを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

This research project aimed at developing novel supramolecular methodologies to improve the light outputs of chemiluminescence (CL) reactions of peroxalate esters by incorporating the concept of molecular recognition to CL. α -, β - and γ -cyclodextrins were employed as molecular recognition sites. One or two of the specific positions of cyclodextrins are selectively modified, and to which various fluorophores such as anthracene, dansyl, and fluorescein were introduced to produce a large varieties of fluorophore-cyclodextrin conjugates and dimeric fluorophores partaking of molecular recognition ability. In the reaction of trichlorophenyl oxalate with H_2O_2 , the cyclodextrin conjugates of acridine, anthracene, and dansyl did not show much improvement in harvesting the chemical energy produced in this reaction in comparison with the corresponding non-modified fluorophores. However, the cyclodextrin conjugates of pyrene, coumarin, and fluorescein demonstrated greatly improved CL intensities than the corresponding non-modified fluorophores. The CL intensity was significantly influenced by the size and shape of cyclodextrin cavities, the sorts of fluorophores, and the spacer connecting them. Detailed examination on the various steps of CL process revealed that the principal contribution of the CD moieties is to greatly improve the transfer of chemical energy to the dye pigments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2008年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：超分子、化学発光、分子認識、シクロデキストリン

1. 研究開始当初の背景

シュウ酸エステルは過酸化水素によって酸化されると、高エネルギー中間体を与える。この高エネルギー種は直接発光しないが他の色素を励起して発光させることができる。この現象は超微量物質の検出や特殊照明などに利用されている。しかし、多くの化学エネルギーは、最初の化学反応から光を発するまで多段階において絶えず浪費されるため、発光効率は極めて低い。そのため、発光効率を増強させることが化学発光分析における核心課題である。分析感度を高めるには、エミッター（励起された色素）の生成・発光効率を向上させることが極めて重要である。

一方で、超分子概念が日の出の勢いであらゆる分野へ浸透しつつあり、その威力を発揮してきている。例えば、pre-organization（又は超分子形成）を経る反応は衝突反応に比べ遙かに起こり易い。また、数多くの色素はホスト分子によって包接されれば蛍光効率が大幅に増大することが良く知られている。さらに、蛍などの多くの昆虫や微生物による生物発光は酵素などによって精密に制御された上で進行し効率が極めて高い。

これらの知見から、申請者らは初めて超分子原理を化学発光研究に取り込んだ超分子化学発光概念を提唱し、色素-CD 連結体を用いて、シュウ酸エステル TCP0 を包接し、高エ

ネルギー中間体を色素分子の傍に形成させることで、発光強度を二桁以上！増加させることに成功した。さらに、色素-CD 連結体の大きな増感効果が主に反応中間体から色素への化学エネルギー移動効率の向上によるものと申請者らは判明したので、従来の化学発光機構における化学エネルギー移動の効率が低かったことが判った。これは過シュウ酸エステル化学発光における反応中間体から色素へのエネルギー移動効率が高いという従来の考えを覆す結果であった。

2. 研究の目的

本研究では、シクロデキストリンを分子認識のための基本素子として用い、様々な蛍光性能色素を機能化することによって分子認識型蛍光性色素を開発する。また、それらの新規色素をシュウ酸エステルの化学発光反応に用い、従来の二分子（化学・物理）過程を一つの超分子内で進行させる超分子化学発光方法論を確立する。さらに、超分子化学発光の各段階を制御する鍵因子を解明するとともに、効率の飛躍的に向上した超化学発光系を創出することを図る。

3. 研究の方法

分子認識型色素の合成：シクロデキストリン

の特定一箇所又は二箇所の水酸基を選択的に活性化し、それを通じて、色素と連結させる。分離精製には中圧逆相クロマトグラフを用いる。

色素の構造および光化学特性： TOF-MS、各種 1D および 2D NMR、UV-vis、CD、蛍光スペクトルなどを用いて測定する。

化学発光測定： 2, 4, 6-トリクロロシウ酸エステルと過酸化水素との反応をモデル反応として用いる。

4. 研究成果

① 過シウ酸エステルと色素間のエネルギーマッチングの最適化： β -シクロデキストリン (CD と略) の一級水酸基一個をアミノ基に置き換え、そのアミノ基に適切なスペーサを通じてダンシル、ピレン、アントラセン、クマリン、アクリジン、ローダミン、フルオレセインなどの蛍光性色素を導入して多種の CD-色素連結体を合成し構造を決定した。また、NMR、円二色性、蛍光などのスペクトル測定を行った。さらに、これらの CD-色素連結体を過シウ酸エステルの化学発光反応に用い、発光強度を系統的に測定した。得たデータを総合的に分析し、ピレン、クマリンおよびフルオレセインの CD 連結体に発光強度の大きな増加が認められたので、ピレンを用いて次項 2 の研究を行った。

② 分子認識部位と色素間の協同作用の最適化：ピレンを α 、 β および γ -CD の 2、3、6 位にそれぞれ導入し、CD 空洞の大きさと形状、空洞と色素の相対的立体配置などが互いに異なった CD-ピレン連結体を 12 種類合成し、構造を決定した。化学発光を検討した結果、全ての CD-ピレン連結体にピレンより強い発光が認められた。また、 α および γ -CD-ピレン連結体より、 β 体は遥かに大きい発光強度を示した。さらに、ピレンを β -CD の 6 位に結合したものに 160 倍の最も大きい増感効果が観察された。しかし、空洞が歪んだ CD-ピレン連結体には極僅かな発光強度の増加しか認められなかった。クマリン及びフルオ

レセインを中心にして、CD およびスペーサの構造を変化させることによって CD 空洞と色素が最も共同作用しやすい組み合わせを見出すことを図った。 α 、 β 及び γ -CD の 6-OH、3-OH および 2-OH 一個をアミノ基に置き換えた後、色素を導入し、CD 空洞の大きさと形状、空洞と色素の相対的立体配置などが互いに異なった CD-クマリンおよび CD-フルオレセイン連結体を計 16 種類合成し、構造を決定した。これらの CD-色素連結体を TCPO と過酸化水素との化学反応に用い、反応に伴う化学発光の強度を測定して分子認識素子の導入による化学発光の増幅効果について検討を行った。その結果、CD-クマリン連結体の場合では、 α および γ -CD-クマリン連結体より、 β 体は遥かに大きい発光強度を示した。また、クマリンを β -CD の 3 位に結合したものに 152 倍の最も大きい増幅効果が観察された。フルオレセイン系では、 β -CD の 6 位に結合したものは最も効果的であり、52 倍の増幅効果を示した。

③ 超分子化学発光効率を制御する要因の解明：各色素の吸収および蛍光効率を測定し、CD が励起状態になった色素の発光効率に有意な影響を及ぼすことが認められなかった。その結果、CD は主に色素の化学的励起の段階で機能する、即ち、化学反応から色素へのエネルギー移動の効率を向上することが明らかとなった。また、NMR そくていにより、CD-色素連結体と TCPO との超分子形成を裏付けた。

④ トポロジー制御した蛍光性色素の創出：シクロデキストリンの一級水酸基側をシステインでキャップし、それにダンシル、クマリンなどの色素を導入し、endo-型と exo-型のトポロジーを有する蛍光色素計 8 種類を合成し構造を決定した。これらをシウ酸エステルの化学発光に用いて発光効率を評価した。いずれの色素もシウ酸エステルの化学発光反応において増幅効果を示したが、以前に検討した相応の柔軟な色素-シクロデキストリン連結体に及ばなかった。

⑤ 分子認識型多量体蛍光性色素の創出： β -及び γ -シクロデキストリンの一級水酸基

側にクマリン残基を二つ導入し、計7つのクマリン二量体を合成し構造決定した。いずれの色素も相応のクマリン単量体の数分の一の増幅効果しか示さなかった。紫外-可視光吸収スペクトル、蛍光スペクトルおよび円二色性スペクトル測定により、化学発光の各段階について検討を行った。その結果、色素残基間の相互作用による蛍光消光が起こったが、化学エネルギーによる色素の励起効率は相応のクマリン単量体と同程度かそれより僅かに改善した。

⑥ 蛍光性 dendrimer の創出: ポリプロピレンジアミン dendrimer の外縁に β -及び γ -シクロデキストリンまたはそのダンシル修飾体を16-32個導入し、シクロデキストリンの dendrimer を構築し、その分子認識能はシクロデキストリン単量体より、3桁増強したことを明らかにした。しかし、これらの色素 dendrimer の合成および分離は困難であるため、化学発光の検討に必要な量を手することが今後の課題として残った。

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)

[雑誌論文] (計 14 件)

1. C. Smanmoo, M. Yamasuji, T. Sagawa, T. Shibata, T. Kabashima, D.-Q. Yuan, K. Fujita, M. Kai, Diimine ligand as a novel chemiluminescence enhancer of luminol-containing compounds. *Talanta*, **77**, 1761-1766 (2009).
2. C. Yang, C. Ke, K. Fujita, D.-Q. Yuan,* T. Mori, Y. Inoue,* pH-Controlled supramolecular enantiodifferentiating photocyclodimerization of 2-anthracene carboxylate with capped γ -cyclodextrins, *Aus. J. Chem.*, **61** (8), 565-568 (2008).
3. D.-Q. Yuan,* Y. Kitagawa, K. Aoyama, T. Douke, M. Fukudome, K. Fujita,* Imidazolyl cyclodextrins: Artificial serine proteases enabling regiospecific reactions, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **46** (26), 5024-5027 (2007).
4. D.-Q. Yuan,* Y. Kitagawa, M. Fukudome, K. Fujita,* A *vector-selective* reaction enables efficient construction of specific topology upon the primary side of β -cyclodextrin, *Org. Lett.*, **9**, 4591-4594 (2007).
5. D.-Q. Yuan,* K. Koga, I. Kouno, T. Fujioka, M. Fukudome, K. Fujita,* The first topologically controlled synthesis of doubly bridged β -cyclodextrin dimers, *Chem. Commun.*, 828-830 (2007).
6. M. Fukudome, K. Yoshikawa, K. Koga, D.-Q. Yuan,* K. Fujita,* Selective modification of β -cyclodextrin: an unexpected tandem reaction enables the cross-linking of C2A and C2B via a sulfur atom, *Chem. Commun.*, 3157-3159 (2007).
7. D.-Q. Yuan,* J. Lu, M. Atsumi, J.-M. Yan, M. Kai, K. Fujita,* Cerium complexes of cyclodextrin dimers as efficient catalysts for luminol chemiluminescence reactions, *Org. Biomol. Chem.*, **5** (18), 2932-2939 (2007).
8. M. Fukudome, K. Shimosaki, K. Koga, D.-Q. Yuan,* K. Fujita,* Selective synthesis and ester cleavage ability of 3A,2B-anhydro-3B-deoxy-3B- thio- β -cyclodextrin, *Tetrahedron Lett.*, **48**, 7493-7497 (2007).
9. M. Fukudome, T. Onizuka, S. Kawamura, D.-Q. Yuan,* K. Fujita,* Selective functionalization of β -cyclodextrins: efficient conversions of 2,3-alloepoxy pyranosides to 2,3-mannoepithiopyranosides, *Tetrahedron Lett.*, **48** (38), 6665-6668 (2007).
10. D.-Q. Yuan,* A. Izuka, M. Fukudome, M. V. Rekharsky, Y. Inoue, K. Fujita,* Heptakis(6-deoxy-6-guanidino)- β -cyclodextrin: an artificial model for mitochondrial ADP/ATP carrier, *Tetrahedron Lett.*, **48**, 3479-3483 (2007).
11. H. Yu, Y. Makino, M. Fukudome, R.-G. Xie, D.-Q. Yuan,* K. Fujita,* Hetero-bifunctional γ -cyclodextrins having dansylcysteine and tosyl groups at two adjacent sugar units: Synthesis and determination of regio-chemistry, *Tetrahedron Lett.*, **48**, 3267-3271 (2007).
12. D.-Q. Yuan,* Y. Zhao, M. Fukudome, K. Fujita,* Coumarin conjugated cyclodextrins: remarkable enhancement of the chemical-to-light energy transfer efficiency, *J. Inclusion Phenom. Macrocyclic Chem.*, **57**,

125-129 (2007).

紀要

13. D.-Q. Yuan, M. Fukudome, K. Fujita: New Methodologies for Regioselective Modification of Cyclodextrins, The 14th International Cyclodextrins Symposium proceedings 54-59 (2008)
14. Y. Yamamoto, K. Koga, M. Fukudome, D.-Q. Yuan, K. Fujita: The Self-Inclusion and Molecular Sensing Behavior of 6-(8-Sulfo-2-Dibenzofuransulfamido)- β -Cyclodextrin, The 14th International Cyclodextrins Symposium proceedings, 193-196 (2008)

[学会発表] (計 38 件)

1. De-Qi Yuan, Makoto Fukudome, Kahee Fujita: New Methodologies for Regioselective Modification of Cyclodextrins, 第14回国際シクロデキストリンシンポジウム, 招待講演IL09, 京都 (2008)
2. 下崎香, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: 変形空洞を持つチオ- β -シクロデキストリン合成・構造決定およびニトロフェニルアセテート分解活性の*m/p* 選択性, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, P11, 鳥取 (2007)
3. 河村聡志, 鬼塚俊行, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: ヘテロ三員環を合成原料としたヘテロ二官能化CDの合成, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, P12, 鳥取 (2007)
4. 田中夏美, Yue-wei Zhao, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: ピレン修飾による過シュウ酸エステル化学発光の高効率化, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, P60, 鳥取 (2007)
5. 道家利彦, 吉川一規, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: パーマンノエポキシシクロデキストリンの効率的one-pot 合成法の開発, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, P66, 鳥取 (2007)
6. 内藤潤, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: 修飾シクロデキストリンの α -1,4-結合の位置特異的な1ヶ所開裂, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, P67, 鳥取 (2007)
7. 福留誠, 吉川一規, 杉本佑士, 袁徳其, 藤田佳平衛: CD-2-O-ジスルホナートの選択的モノエポキシ化を用いたCD 二級水酸基側ヘテロ官能化, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, P70, 鳥取 (2007)
8. 牧野裕司, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: γ 二量体IV錯体によるイソルミノール化学発光の増感効果, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, A7, 鳥取 (2007)
9. 北川由美香, 牧野裕司, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: 立体構造を制御した6-(N-dansyl-cysteine)-capped-CDの合成と分子認識能, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, A8, 鳥取 (2007)
10. 福留誠, 白谷智宣, 野上靖純, 袁徳其, 藤田佳平衛: シクロデキストリンからのシクロマンニン合成, 第33回反応と合成の進歩シンポジウム発表要旨, P137, 長崎 (2007)
11. 北川由美香, 青山恵典, 道家利彦, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: β -シクロデキストリンの一級水酸基側における特異的[1,22] 遠隔官能化, 第33回反応と合成の進歩シンポジウム発表要旨, P128, 長崎 (2007)
12. 河村聡志, 鬼塚俊行, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: ヘテロ三員環の開環反応を利用したヘテロ二官能化CDの合成, 第24回日本薬学会九州支部大会講演要旨集, 2C-15, 福岡 (2007)
13. 北川由美香, 牧野裕司, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: β -シクロデキストリンの一級水酸基側におけるベクトル選択的反応の開発, 第24回日本薬学会九州支部大会講演要旨集, 2C-16, 福岡 (2007)
14. 下崎香, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: 変形空洞を持つチオ- β -シクロデキストリンの選択的合成およびニトロフェニルアセテート分解における*m/p* 選択性, 第24回日本薬学会九州支部大会講演要旨集, 2C-17, 福岡 (2007)
15. 内藤潤, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: シクロデキストリン誘導体を原料とした直鎖糖の合成: α -1,4-結合の位置特異的1ヶ所開裂, 第24回日本薬学会九州支部大会講演要旨集, 2C-18, 福岡 (2007)
16. 田中夏美, Yue-wei Zhao, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: 分子認識型ピレン誘導体を用いる過シュウ酸エステル化学発光の高効率化, 第24回日本薬学会九州支部大会講演要旨集, 2C-19, 福岡 (2007)
17. 道家利彦, 吉川一規, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: シクロデキストリンの新規2-スルホニル化法によるパーマンノエポキシ体のone-pot 合成, 第24回日本薬学会九州支部大会講演要旨集, 2C-20, 福岡 (2007)
18. 福留誠, 吉川一規, 古賀和隆, 袁徳其, 藤田佳平衛: 選択的 β -CD 修飾: 分子内タンデム反応による2A 及び2B 炭素のS 架橋, 第24回日本薬学会九州支部大会講演要旨集, 2C-21, 福岡 (2007)

19. Cheng Yang, Hidehiko Okazaki, Yumika Kitagawa, Makoto Fukudome, De-Qi Yuan, Kahee Fujita: A Polypropylenimide Dendrimer Peripherally Grafted with β -Cyclodextrin: Synthesis and Binding Properties, 第14回 国際シクロデキストリンシンポジウム, P1-08, 京都 (2008)
20. Yoshio Yamamoto, Kazutaka Koga, Makoto Fukudome, De-Qi Yuan, Kahee Fujita: The Self-Inclusion and Molecular Sensing Behaviors of 6-(8-Sulfo-2-Dibenzofuran sulfamido)- β -Cyclodextrin, 第14回 国際シクロデキストリンシンポジウム, P1-21, 京都 (2008)
21. Makoto Fukudome, Jun Naito, De-Qi Yuan, Kahee Fujita: Regioselective One-Site Cleavage of the α -1,4-Linkages of Cyclodextrins Modified on the Secondary Hydroxyl Side, 第14回 国際シクロデキストリンシンポジウム, P1-36, 京都 (2008)
22. 福留誠, 河村聡志, 袁徳其, 藤田佳平衛: UV 照射による糖鎖生成: 3A-アジド-モノアルトロ- β -CD の開環, 第25回日本薬学会九州支部大会, 2D-12, 宮崎県延岡市 (2008)
23. 福留誠, 吉川一規, 古賀和隆, 袁徳其, 藤田佳平衛: 歪んだ空洞をもつ β -CD 合成: タンデム反応による2A 及び2B 炭素のS 架橋, 日本薬学会第128 年会, 26PW-pm084, 横浜 (2008)
24. 山本嘉男, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: ジベンゾフランで修飾したシクロデキストリン誘導体の合成とセンシング機能, 日本薬学会第128 年会, 26PW-pm085, 横浜 (2008)
25. 山本嘉男, 田中夏美, 道家利彦, 古賀和隆, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: α -シクロマンニンの合成戦略, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, O-11, 宇都宮 (2009)
26. 岩下卓, 古賀和隆, 福留誠, 袁徳其: 3A-Benzoylthio-altro- β -CD の分子間アシル転移反応, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, 1P-20, 宇都宮 (2009)
27. 小塩和人, 北川由美香, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: 6-(D(L)-cysteine)- β -CD 分子内エステルの合成及び分子認識, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, 1P-21, 宇都宮 (2009)
28. 岡崎英彦, 福留誠, 古賀和隆, 袁徳其: β -シクロデキストリンの二級水酸基におけるヘテロ三官能化, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, 1P-22, 宇都宮 (2009)
29. Mostafa M. Ahmed, Makoto Fukudome, Kazutaka Koga, De-Qi Yuan: Recognition of choline and related compounds by cucurbit[7]uril, the significance of the goodness of fitting between the host and guest molecules, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, 1P-23, 宇都宮 (2009)
30. 福留誠, 河村聡志, 袁徳其, 藤田佳平衛: UV 照射によるアジ化シクロデキストリンからのアジ化糖残基脱離, 第25回シクロデキストリンシンポジウム講演要旨集, 1P-24, 宇都宮 (2009)
31. 山本嘉男, 田中夏美, 道家利彦, 古賀和隆, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: α -CDからの効率的な α -シクロマンニン合成, 第26回日本薬学会九州支部大会, 1C-03, 福岡市 (2009)
32. 岩下卓, 古賀和隆, 福留誠, 袁徳其: β -CDの二量体形成による位置特異的分子間アシル転移反応, 第26回日本薬学会九州支部大会, 1C-04, 福岡市 (2009)
33. 福留誠, 下崎香, 袁徳其, 藤田佳平衛: 2-(p-メチルベンジルチオ)-モノ-アルトロ- β -CDの酸触媒による一ヶ所開裂反応, 第26回日本薬学会九州支部大会, 1C-05, 福岡市 (2009)
34. Mostafa M. AHMED, 古賀和隆, 福留誠, 袁徳其: Cucurbit[7]uril によるアミノ酸およびジペプチドの分子認識, 日本薬学会第127 年会講演要旨集, 29P-am023, 岡山 (2010)
35. Mostafa M. AHMED, 古賀和隆, 福留誠, 袁徳其: Molecular recognition of cucurbit[7]uril for quaternary ammoniums, 日本薬学会第127 年会講演要旨集, 29P-am024, 岡山 (2010)
36. 福留誠, 下崎香, 袁徳其, 藤田佳平衛: 2-(p-メチルベンジルチオ)-モノ-アルトロ- β -CD の酸触媒による開環, 日本薬学会第127 年会講演要旨集, 29P-am040, 岡山 (2010)
37. 小塩和人, 古賀和隆, 北川由美香, 福留誠, 袁徳其, 藤田佳平衛: 6-cysteine- β -CD 分子内エステルの立体選択的合成及び構造-分子認識能の相関, 日本薬学会第127 年会講演要旨集, 29P-am042, 岡山 (2010)
38. 岩下卓, 古賀和隆, 福留誠, 袁徳其: 3A-Benzoylthio- β -CDの超分子型二量体形成による位置特異的分子間アシル転移反応, 日本薬学会第127 年会講演要旨集, 29P-am014, 岡山 (2010)
6. 研究組織
 (1) 研究代表者
 袁 徳其 (DE-QI YUAN)
 長崎大学・大学院医歯薬学総合研究科・准教授
 研究者番号: 70304962