

# OPCOM NEWS

Presented by Group of Information Photonics

情報フォトニクス研究グループ機関紙

Vol.23, No.3, 2006

---

## 1 第6回情報フォトニクス研究グループ研究会(秋合宿)報告

---

1.1 総合報告	赤尾佳則	1
	成瀬誠、渡邊恵理子	
	川田宗太郎、生源寺類	
1.2 講演要旨と講演に関する感想		
1.2.1 ナノフォトニクス:光技術の質的変革	大津元一	4
1.2.2 「ナノフォトニクス:光技術の質的変革」を聴講して	三浦雅人	5
1.2.3 システムから見たナノフォトニクス	成瀬誠	6
1.2.4 「システムから見たナノフォトニクス」を拝聴して	富岡正嗣	7
1.2.5 伝搬光・近接場光変換素子の開発	野村航	8
1.2.6 「伝搬光・近接場光変換素子の開発」を聴講して	豎直也	9
1.2.7 分子通信:ナノバイオ技術を利用した新通信システム	檜山聡	10
1.2.8 「分子通信:ナノバイオ技術を利用した新通信システム」 を聴いて	角脇一誠	11
1.2.9 光クロスリンク能や光修復能をもつ人工核酸の開発	吉村嘉永	12
1.2.10 「光クロスリンク能や光修復能をもつ人工核酸の開発」 への感想文	牧野貴雄	13
1.2.11 DNAを利用した光ナノ情報技術	小倉裕介	14
1.2.12 「DNAを利用した光ナノ情報技術」を聴講して	中嶋薫	15
	石川さゆり、大津知子	

---

## 2 お知らせ

---

2.1 入会案内	16
2.2 連絡先	16

---

# 第6回情報フォトンクス研究グループ研究会 (秋合宿)報告

「情報フォトンクスの拡がりーナノから光システムへ、光システムからナノへー」

赤尾佳則, 成瀬 誠, 渡邊恵理子 (幹事)

川田宗太郎, 生源寺 類 (幹事補佐)

2006年9月11日(月)から12日(火)まで、静岡県裾野市の富士教育研修所において、第6回情報フォトンクス研究グループ研究会(秋合宿)が開催され、一般27名、学生17名、計44名の多くの方々のご参加を賜りました。

今年の秋合宿のテーマは、「情報フォトンクスの拡がりーナノから光システムへ、光システムからナノへー」であり、近年のナノスケールにおけるめざましい研究成果によってもたらされる新たな機能システムを、情報・システム、社会等における価値実現の立場から捉えるとともに、従来の光技術や電子技術との差異を考察することにより、情報フォトンクスの新たな拡がりを模索することをねらいといたしました。

一日目の講演では、ナノフォトンクスのパイオニアである東京大学の天津元一先生、大津研究室でご活躍の野村 航先生、分子通信技術のご研究で有名なNTTドコモの檜山 聡先生、光と人工核酸を用いた遺伝子操作技術のご研究で知られる北陸先端科学技術大学院大学の吉村嘉永先生をはじめ、ナノフォトンクス分野及び分子技術分野における6名の先生方をお招きし、ナノスケールにおける最先端の研究成果について、興味深いお話を伺いました。フロアからは多くの質問が寄せられ、限られた時間ではありましたが、活発な議論が展開されました。(各先生のご講演内容については、講演要旨及び参加者による感想文をご覧ください。)

夕食後には、昨年好評であったポスター・デモセッションを行い、6大学、14名の学生参加者から最近の研究成果を発表していただきました。学生参加者の合宿への参加感が高まるとともに、インタラクティブな質疑応答を通じて学生と一般参加者との交流が深まったように思います。セッションと同時に行われた親睦会は、セッション終了後も深夜まで続き、参加者同士のつながりがさらに拡がりました。

二日目のパネルディスカッションでは、一日目にご講演下さいました天津先生、大阪大学の小倉先生、そして生物界のコンセプトをとりいれた次世代ネットワークをはじめ、新しい形のネットワークのご研究で広く知られるカリフォルニア大学アーバイン校の須田達也先生をパネリストにお迎えし、「分子計算・分子通信・ナノ光学が目指すことー応用の要求と実現技術の接点ー」というテーマで議論をおこないました。一日目のご講演ではお聞きできなかった技術や概念の詳細についてお話をじっくりと伺い、さらにパネリストと活発に議論することにより、参加者の理解が深まったように思います。密度の濃い時間は瞬間に過ぎ、終了の時間となりました。

今回の秋合宿は、講演、パネルディスカッション、ポスター・デモセッション、親睦会のいずれも充実したものとなったと考えておりますが、これはお忙しい中、ご講演をお引き受け下さいました講師の先生方をはじめ、研究会を盛り上げて下さった皆様のお力添えの賜と存じます。幹事一同、温かいご協力を下さった皆様にご心より御礼を申し上げます。

(文責: 赤尾佳則)

# 講演プログラム

9月11日(月)

## 【ナノ光学・ナノフォトニクス】

- 「ナノフォトニクス:光技術の質的変革」 大津元一(東京大)  
「システムから見たナノフォトニクス」 成瀬 誠(NICT・東京大)  
「伝搬光・近接場光変換素子の開発」 野村 航(東京大)

## 【分子系と光システム】

- 「分子通信:ナノバイオ技術を利用した新通信システム」 檜山 聡(NTTドコモ)  
「光クロスリンク能や光修復能をもつ人工核酸の開発」 吉村嘉永(北陸先端大)  
「DNA を利用した光ナノ情報技術」 小倉裕介(大阪大)

## 【ポスター・デモセッション】

1. 「顔の自動追尾を用いた顔色変化シミュレータの開発」 牧野貴雄, 津村徳道, 中口俊哉, 三宅洋一(千葉大)
2. 「Substituting crossed textures for super resolution of video」 上村健二, 津村徳道, 中口俊哉, 三宅洋一(千葉大)
3. 「リアルタイム液体シミュレーションにおける安定化手法と広範囲液面生成手法」 濱野 量, 津村徳道, 中口俊哉, 三宅洋一(千葉大)
4. 「位相制御を用いた超微細 Volume Phase Holographic (VPH) グレーティングの作製と応用」 中嶋 薫, 渡邊恵理子, 小館香椎子(日本女子大)
5. 「光位相相関演算に基づく携帯電話顔認証システム」 石川さゆり, 渡邊恵理子, 小館香椎子(日本女子大)
6. 「高速画像検索エンジンによる顔認証システム-3次元データベースによる高精度化-」 大津知子, 渡邊恵理子, 小館香椎子(日本女子大)
7. 「積層反射型ホログラフィックディスクメモリスシステム」 三浦雅人, 大沼宏和, 仁田功一, 的場 修, 吉村武晃(神戸大)
8. 「3次元物体認識」 前原聖子, 仁田功一, 的場 修, 吉村武晃(神戸大)
9. 「最適回転角法による計算機ホログラムを用いたホログラフィックフェムト秒レーザー加工」 高橋秀知, 長谷川智士, 早崎芳夫(徳島大)
10. 「光学的評価により設計された計算機ホログラムを用いたホログラフィックフェムト秒レーザー加工」 長谷川智士, 早崎芳夫(徳島大)
11. 「空間光変調素子を用いた可変干渉フェムト秒レーザー加工」 常峰啓伸, 長谷川智士, 田北啓洋, 早崎芳夫(徳島大)
12. 「バイオナノプロセスを用いた高密度  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> ナノ結晶構造に関する研究」 皆川亨介, 布下正宏(奈良先端大)
13. 「オンチップ DNA 検出用光・電位デュアルイメージ CMOS センサ」 角脇一誠, 太田 淳(奈良先端大)
14. 「フォトニック・ネットワークの基幹技術:波長多重通信のための光回路」 伊熊雄一郎, 津田裕之(慶応大)

9月12日(火)

## 【パネルディスカッション】

「分子計算・分子通信・ナノ光学が目指すこと - 応用の要求と実現技術の接点 -」

- パネリスト : 大津元一(東京大)  
須田達也(カリフォルニア大学アーバイン校)  
小倉裕介(大阪大)  
モデレータ : 成瀬 誠(NICT・東京大)

## 【ワーキンググループ活動報告】

- バイオインスパイア情報フォトニクスWG活動報告 谷田 純(大阪大)  
高度ビジュアルインターフェイスフォトニクスWG活動報告 宮崎大介(大阪市立大)

## 【国際会議報告】

- ICO Topical Meeting on Optoinformatics/Information Photonics 2006 報告 入江 寛(大阪大)



講演



ポスター・デモセッション  
(& 親睦会)



パネルディスカッション



閉会後の集合写真

# ナノフォトニクス: 光技術の質的変革

Nanophotonics:

Qualitative innovation for optical technology

大津 元一<sup>1</sup>

Motoichi OHTSU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻、113-8656 東京都文京区弥生 2-11-16

<sup>1</sup>The University of Tokyo

E-mail: ohtsu@ee.t.u-tokyo.ac.jp

## 要旨

フォトニックデバイスの寸法、機能、消費電力などの原理的限界が見えてきた現在、これらのデバイスを使ったフォトニックシステム これらのデバイスを作成するための微細加工なども、その原理的限界を見据えて検討する必要が高まっている。本講演ではこれらの原理的限界を打破するために筆者が 1993 年に提案したナノフォトニクスについて述べる。ナノフォトニクスでは回折限界を超えたデバイスの微少化、超低消費電力化により量的変革を実現している。また、従来のフォトニックデバイスとは異なる動作原理によりデバイスを機能させることにより、新機能を生み出し、質的変革を実現している。この質的変革こそがナノフォトニクスの本質である。

ナノフォトニクスの原理は近接したナノ物質間の近接場光エネルギー移動に基づいている。ナノ物質と近接場光からなるナノ系は周囲の巨視系(巨視的寸法をもつ物質や入射光、散乱光などからなる)に埋もれている。ナノ系は巨視系から励起子ポラリトンを移動させる。特に仮想励起子ポラリトンの移動によりナノ系では非共鳴的相互作用が可能となる。この移動を媒介する電磁場が近接場光である。この非共鳴相互作用を利用して構成されるナノフォトニックデバイスの機能が質的変革を実現させる。これを微細加工に適用したナノフォトニック加工でも質的変革が実現する。講演ではこれらのデバイス、加工、システムの概要についても説明する。

# 「ナノフォトニクス:光技術の質的変革」を聴講して

三浦 雅人

神戸大学大学院自然科学研究科, 657-8501 神戸市六甲台町 1-1

E-mail: masato@brian.cs.kobe-u.ac.jp

## 大津先生の講演の感想

第 6 回情報フォトニクス研究グループ研究会での、東京大学の天津元一先生の講演「ナノフォトニクス:光技術の質的変革」の感想を書かせていただきます。

講演は大津先生が提案したナノフォトニクスに関する講演であり、フォトニックデバイスの寸法や微細加工の寸法、光ディスクの記録密度などを制限する光の回折限界を超えることができるという非常に興味深い講演でした。さらに従来の光技術と原理が異なるため、今までにない新規のデバイスや加工技術を実現できるという「質的変革」を特に強調されていました。ナノフォトニクスという新しい分野を専門知識の無い私にもイメージ的に分かりやすく説明していただき、とても勉強になりました。

近接場光の原理は光の流れが双方向であったり、近接場を観測するのに他の粒子が必要であったり、今までに学んできた光学と全く異なり興味深い概念でした。回折限界を超える「量的変革」について、光メモリの高密度化は私の研究対象であるホログラフィックメモリの目標でもあるので、特に興味深く聴くことができました。「質的変革」については、古典的な光学の延長線上にないナノフォトニックシステム、加工の紹介をしていただき、古典的な光学の考え方が持っていない私にとっては驚くばかりでした。

回折限界は光を使っている限り付き纏うものだと思っていましたが、ナノフォトニクスはそれを超えることができ夢のような技術と思いました。「質的変革」は古典的な光学の知識しか持っていない私にとっては想像できない領域でした。今までに無かった新規のナノフォトニックデバイスを早期に実現できるよう、今後の大津先生らのご活躍に期待したいと思います。

## 秋合宿の感想

第 4 回, 5 回と秋合宿に参加してきて、今回の第 6 回の秋合宿は計 3 回目の参加となりました。これまでの若手メインという方針と異なり、今回は大先生らの話を聴くことができ、違った印象を持ちました。私にとっては回折限界を超えられるナノフォトニクスは特に興味深い話であり、とても勉強になりました。

# システムから見たナノフォトニクス

## System perspective for nanophotonics

成瀬 誠<sup>1,2</sup>

Makoto NARUSE<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>独立行政法人 情報通信研究機構 超高速フォトニックネットワークグループ

184-8795 小金井市貫井北町 4-2-1

<sup>2</sup>東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻, 113-8656 文京区弥生 2-11-16

<sup>1</sup>National Institute of Information and Communications Technology

<sup>2</sup>The University of Tokyo

E-mail: naruse@nict.go.jp

### 要旨

波長以下のナノスケールで展開されるナノフォトニクスは、微細加工技術に代表される近年の実現技術の高度化とも結びつき、とりわけ回折限界打破のキーテクノロジーとして実用的意義が高まっているが、システムから見たナノフォトニクスには、回折限界を超えた集積性の高さに加えて注目すべき様々な特徴が存在し、従来の光システムの基本原理を根底から考え直す必要に迫られていると考えられる。もちろん、省エネ化、セキュリティ、ユビキタス対応など社会が期待する価値・実用性や技術的実現性も議論の前提となる。本講演では、システムアーキテクチャの立場から、近接場光相互作用に基づく情報処理の素過程の一部を概説するとともに、従来の光技術や電子技術との差異をエネルギー散逸等の視点から議論し、システムからのナノフォトニクスへのアプローチ例を紹介する。具体的には以下の2つの近接場光相互作用の原理をもとに、システムから見たナノフォトニクスの特徴を議論する。

#### (1) 近接場光相互作用によるエネルギー移動:

情報処理の基礎となる論理演算の基本ゲートを、近接場光相互作用によるエネルギー移動機構を用いて実現する方法を概説するとともに、エネルギー効率、耐タンパー性(セキュリティ)、量子コヒーレンスの利用などの立場から、現在までに明らかになっている原理的な特徴を示す。また、光データレータにおける宛先検索などに見られる超並列処理の実現に必要なグローバル演算(Global summation/Broadcast)を、局所的原理である近接場光相互作用で実現する方法を実験例とともに示す。

#### (2) 階層性:

近接場光相互作用が示すスケール依存性(階層性)は、システムの立場からは、マクロ世界とナノ世界の接続におけるインターコネクションボトルネック回避においてキーとなる属性であるほか、光励起移動に基づくナノフォトニックシステムと電子の移動に基づく電子システムの原理的差異であり、さらに、直接的に機能システムとして利活用することもできる。アンギュラー・スペクトル展開等に基づく近接場光相互作用の階層性の解析・設計例を示すとともに、階層型光メモリや痕跡記録型光メモリなどの具体的システム例の評価を示す。

# 「システムから見たナノフォトニクス」を拝聴して

富岡 正嗣

徳島大学大学院先端科学教育部システム創生工学専攻

tomioka\_m@opt.tokushima-u.ac.jp

第6回情報フォトニクス研究グループ秋合宿においてご講演されました東京大学大学院の成瀬先生の「システムから見たナノフォトニクス」についての感想を述べさせていただきます。

近接場光は従来のレーザー光などにあげられる電磁場としての光とは異なる点が多く、終始興味深くご講演を聴かせていただきました。成瀬先生はこの近接場光相互作用によって実現される数々のシステムをひとつひとつ丁寧に紹介され、頭に講演内容がどこか心地よく染みこんでゆくようにすら感じました。

先生の講演では主に理論演算のゲート、階層型光メモリについて説明されました。これらは近接場光相互作用がもたらす局在性、散逸、階層性といった属性をうまく利用してシステムの形成をされていると感じました。実際に紹介されたシステムの実現を達成するにはこれからのナノフォトニックデバイスの開発研究の進展が待たれるところなのかなと感じましたが、デバイス面での進歩は著しいものがあり期待が高まる思いでした。

ご講演された中で特に面白いと感じたのは、近接場相互作用の階層性と呼ばれる属性を応用し、並べられた粒子との空間スケールの違いによって異なった情報—例えば文字列や画像などを取得する事ができるであろうという内容でした。もちろん、期待される情報を得るためにはいかに粒子を並べるのか??ということが一つの問題になってくると思われるのですが、私の勝手なイメージに置き換えると、従来の光(レーザー光など)では普通には見えないものを新しい光(近接場光)で見ることができるとするのは将来の新しい記録や読み出し手法になりうる可能性を秘めているように感じました。

今回、近接場光に関する講演を聴いたのは初めてでしたが、システムという観点からは、どのような場面においても利用する現象の理解の不可欠さを改めて痛感させられたように思います。ものごとの理解なくして新しいアイデアは生まれません。また、近接場光だけにかかわらず合宿で先生方がご講演された内容はどれもハイレベルなものばかりで、非常に刺激を受けることができました。さらに、学生同士での交流も深めることもでき有意義な合宿であったと思います。最後に、このような場を提供していただいた皆様に感謝の意を申し上げます。



# 伝搬光・近接場光変換素子の開発

## Development of optical far- /near-field conversion device

野村 航<sup>1</sup>, 八井 崇<sup>2</sup>, 大津 元一<sup>1,2</sup>

Wataru NOMURA<sup>1</sup>, Takashi YATSUI<sup>2</sup>, Motoichi OHTSU<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻, 113-8656 文京区本郷 7-3-1,

<sup>2</sup> 科学技術振興機構 SORST ナノフォトニクスチーム, 194-0004 東京都町田市鶴間 687-1 第  
17 天幸ビル 4F,

<sup>1</sup>The University of Tokyo,

<sup>2</sup>Japan Science and Technology SORST Nanophotonics Team,

E-mail: nomura@nanophotonics.t.u-tokyo.ac.jp

### 要旨

近接場光特有の量子ドットの励起子結合エネルギー間のエネルギー移動を利用することで、回折限界以下の寸法で全光動作する論理回路である、ナノフォトニックデバイスが実現できる。これを集積したナノフォトニック集積回路は、非常に低消費電力なナノ光 CPU 等の応用が期待される。しかし、このデバイスを動作させるには、入力端子として伝搬光を近接場光に変換する素子が不可欠である。本講演では、この伝搬光・近接場光変換素子の開発に関して発表する。

まず、この変換素子として表面プラズモンポラリトン(SPP)を用いて段階的に微小化する構成を提案した。SPP は金属表面を伝搬する自由電子の振動であり、いわば 2 次元の光波として利用することができ、金属膜の垂直方向 100nm 以下の範囲に光エネルギーを閉じ込めることが可能である。しかし、これを面内方向にも絞ろうとしても、通常の光同様に回折限界が存在する。近接場光領域に光を導入するためには、ナノ寸法の幅で光を伝送する導波路として機能する箇所が必要であるため、SPP だけではこれは実現できない。

そこで、金属微粒子に発生する局在表面プラズモン(LSP)を利用したナノドットカップラーを備えることとした。これは、金属微粒子を近接して配置したもので、LSP が隣の微粒子とカップリングすることで光エネルギーを伝送するものである。この構造により、低損失なナノ光伝送路が実現できるものと期待される。

このようなデバイスの試作として、SPP のレンズとして機能するプラズモン集光器を Au 膜上に備え、その集光点を起点にナノドットカップラーを配置した赤外光( $\lambda=785\text{nm}$ )用の伝搬光・近接場光変換素子を作製した。これを、集光モードの近接場光学顕微鏡により SPP 及び LSP の分布を測定することで、集光及び光エネルギー伝送の特性を評価した。その結果、プラズモン集光器によって集中した SPP のエネルギーがナノドットカップラーに結合し、低損失に伝送される様子が確認された。またナノドットカップラーに関しては伝送効率が高いだけでなく、曲げ損失がほとんど無く、金属微粒子のサイズに応じて最適な伝送波長を持つという特性を備えるということを実験的に確認した。

# 「伝搬光・近接場光変換素子の開発」を聴講して

豎 直也

科学技術振興機構, 565-0871 吹田市山田丘 2-1(大阪大学)

E-mail: tate@ist.osaka-u.ac.jp

野村先生のご講演は、全光で動作するナノフォトニック集積回路のキーデバイスとなる伝搬光・近接場光変換素子の原理および作製された素子の諸特性に関する内容でした。野村先生のご講演に先立ち、東大・大津先生と NICT・成瀬先生からナノフォトニクス研究の全体像とシステム概要についてそれぞれご講演いただいたことにより、大局的・局所的両視点から“ナノフォトニクス”のイメージを掴むことができました。野村先生は、作製された素子に関する多様な動作検証の結果を多くの SEM 像や NOM 像を用いて明示されており、理論とシミュレーションによる知見しか持ち合わせていなかった私にとっては特に興味深いご講演でした。

ナノフォトニック集積回路における信号伝達は、複数のナノ物質間の近接場光エネルギーの移動に基づいています。近接場とは、ナノ物質間の光エネルギーの移動を媒介する電磁場を指し、近接場光は巨視系の励起子ポラリトンによって励起されます。回路への信号入力は外部の巨視系からの伝搬光により実行されることから、伝搬光・近接場光変換素子はナノフォトニック集積回路の構築において必要不可欠な素子であり、その作製精度が回路全体の性能をも左右すると言えます。先生が作製された素子では、金属微粒子から励起される表面プラズモンポラリトンを用いることにより、垂直方向 100nm 以下の領域に光エネルギーを閉じ込めることが可能です。また、水平方向の光エネルギー分布の制御のため、金属微粒子を近接して配置することにより、局在表面プラズモンを利用して光エネルギーの伝送を行うナドットカップラーを作製されました。

伝搬光から近接場光への変換に伴うエネルギー損失の改善のため、金属微粒子から励起されるプラズモンのエネルギーを効率的に収集するためのプラズモン集光器を提案されました。これは、複数の金属微粒子を同心半円状に配置することにより、半円の外側からの伝搬光により励起されたプラズモンを中心方向に集光させるものです。集光したエネルギーの伝搬方法については、作製されたナドットカップラーの方が導波路と比較して伝搬効率に優れていることをシミュレーションと実験の両面から実証されました。また、ジグザグ形状のナドットカップラーも作製され、伝搬経路の折れ曲がりに伴うエネルギー損失がほとんどないことも示されました。これらは、いずれも(伝搬光とは異なる)近接場光ならではの特性を活かしたユニークなものでした。

伝搬効率についてはさらなる改善の余地があるようで、金属微粒子の散乱光の幅、共鳴サイズ、サイズ依存性等、様々な要素を考慮した上で作製されていることがよくわかりました。また、素子の波長選択性についても示唆されており、機能面のさらなる拡張性も伺えました。

ナノフォトニック集積回路の開発は、大津先生が提唱されるナノフォトニックシステムの実現において最も重要な要素の一つであり、今回のご講演で野村先生が発表された作製技術の蓄積はその発展に大きく寄与するものであることを強く感じました。

# 分子通信: ナノバイオ技術を利用した新通信システム

## Molecular Communication: A New Communication System Using Nano and Bio Technologies

檜山 聡<sup>1</sup>, 森谷 優貴<sup>1</sup>, 須田 達也<sup>1,2</sup>, 須藤 和夫<sup>3</sup>

Satoshi HIYAMA<sup>1</sup>, Yuki MORITANI<sup>1</sup>, Tatsuya SUDA<sup>1,2</sup>, Kazuo SUTOH<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(株)NTTドコモ 総合研究所, 239-8536 横須賀市光の丘 3-5 NTT DoCoMo R&D センタ,

<sup>2</sup>カリフォルニア大学アーバイン校 情報コンピュータ科学専攻, Irvine, CA 92697-3425 USA,

<sup>3</sup>東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻, 153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1

<sup>1</sup> NTT DoCoMo, Inc., <sup>2</sup> University of California, Irvine, <sup>3</sup> The University of Tokyo

E-mail: hiyama@nttdocomo.co.jp

### 要旨

筆者らは、情報が符号化された化学物質(タンパク質や DNA などの分子)の伝送を制御することによって、情報のみならず実体を有する分子そのものを伝達し、その分子を受容(受信)した受信側に生化学的なリアクションを生起する新たな情報通信機構として「分子通信」を提唱し、そのコンセプトの実現化に向けた検討を進めている。分子通信は、電磁波を利用して情報を伝達する既存の電気・光通信とは異なる新たなコミュニケーションパラダイムとなる基礎技術であり、情報通信分野のみならず情報処理分野や医療分野など多方面への応用展開の可能性を秘めている。分子通信研究では、細胞間・細胞内シグナル伝達機構をはじめとする分子を介した生物界における情報通信機構を、人為的に制御可能な情報通信システムとして再構築し、分子の受容によって生化学的なリアクションを生起する情報通信モデルの創成に主眼を置いている。

分子通信は、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、情報通信工学分野を融合した学際的かつ萌芽的な研究エリアであるため、多くの技術課題を有している。主要な技術課題領域は、1) 情報が符号化された分子(情報分子)の送受信機能を実現する分子送受信機的设计、2) 分子送受信機間での情報分子の伝達を実現する分子伝送システム的设计、3) 情報分子の生化学的・物理的な性質に依らない通信を実現する分子通信インターフェース的设计、4) 上記 1)~3)を体系化・数理モデル化した分子情報通信理論の構築に大別される。本稿では、2)の分子伝送システムに焦点を絞り、生細胞内での能動輸送機構を担う分子モーターと人工的に合成された DNA とを工学的に活用したシステム的设计例を紹介する。具体的には、マイクロソグラフィ技術によってパターンニングした基板上に固定化したモータータンパク質上を、情報分子を荷積みしたフィラメント状のタンパク質(キャリア分子)を滑走運動させることで、分子送信機から分子受信機まで情報分子を伝送する。そして、分子送信機におけるキャリア分子への情報分子の荷積み、および分子受信機におけるキャリア分子からの情報分子の荷降ろしは、キャリア分子、情報分子、分子受信機近傍の基板表面上に各々結合した一本鎖 DNA 同士の自律的かつ特異的な結合・解離現象を利用して実現する。

# 分子通信: ナノバイオ技術を利用した新通信システム

角脇 一誠

奈良先端大物質創成科学研究科, 630-01010 生駒市高山町 8916-5

E-mail: k-issei@ms.naist.jp

今回、私は「分子通信: ナノバイオ技術を利用した新通信システム」の感想文を書かせて頂くことになりましたが、率直に最も興味深かった講演と感じておりましたので非常に光栄です。

- 発表内容のあらまし

本講演では、生体分子を情報のキャリアに用いた新たな情報通信の手法として分子通信を提案し、その実現に向けた研究に関しての話をお伺いしました。分子通信では生物界で行われている情報通信機構を、人為的に制御可能な情報通信システムとして再構築し、分子の受容により生化学反応を生起する情報通信モデルの創成を目指しております。この技術は、動植物とのコミュニケーションや過去の記憶の再現(生化学状態メモリ)、自分以外の人との「通心」等を実現することが期待できます。しかし、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、通信技術を融合した学際的かつ萌芽的な研究であるため多くの技術課題を有しています。今回の講演ではそのような課題の一つである分子伝達を実現する分子伝送システムについてご教授頂きました。本システムは分子モーターと DNA を用いて回路のようなものを作り、情報を持つ分子の荷積み、輸送、荷降ろしを行うというものでした。従来の通信技術と比較して、生体分子を用いるため、外力、電源を必要せず、リサイクルできることが特徴です。分子通信は萌芽的な研究ではありますが、近年脚光を浴び始めた分野であり今後とも発展すると予想されます。

- 講演を聴いて

私は生体分子を用いた通信という全く予想できない技術がもうすでに動き出しているということにインパクトを受けました。インターネットに代表される現在の通信技術は人と人の距離を縮め心と心の距離も縮めてきましたが、分子通信技術では人と人の距離をもっと縮めることができると期待できます。目で見て伝えること、耳で聞いて伝わることなどは従来の通信技術を用いれば可能です。しかし体験したこと、経験したことは言葉で伝えきることはできません。本人が経験しないと理解できないものです。その経験というものを他人に伝えることができるという点でとても素晴らしい技術だと思います。またそのようなシステムは実際にどのように達成されようとしているのか、講演では実際に DNA が輸送され、積み下ろしされる様子を映像で拝見することができました。外界からの力をほとんど受けずに、生体分子を人為的に操作するシーンを実際に見る機会はないので今回の映像は鮮明に残っております。ゲノム解析が完了して数年、いったいどこまで DNA は活躍する場所を広げていくのでしょうか。ナノバイオテクノロジーは萌芽的な研究のために課題も多いですが、インパクトに長けていると感じます。また、生体関係の研究は再現性や、実験技術により結果が異なる等、現場の方々是非常に大変だと思いますが、脚光を浴びている間に実社会で有用な技術が根付くことを期待します。

最後に蛇足ではありますが、NTT ドコモ様が生化学分野の研究を進めていることに対して不思議な気持ちでいっぱいです。

# 光クロスリンク能や光修復能をもつ人工核酸の開発

## The development of artificial DNA bases exhibiting photocrosslink ability or photochemical repair ability

吉村 嘉永

Yoshinaga YOSHIMURA

北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科,

923-1292 石川県能美市旭台 1-1

Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST)

E-mail: yosinaga@jaist.ac.jp

### 要旨

遺伝子进行操作するには、核酸連結酵素であるリガーゼといった酵素などが主として用いられる。しかしながら、酵素を使用する際には至適温度、至適 pH、至適塩濃度などの使用制限がある。DNA チップで使用する場合には酵素の基盤への非特異的な吸着のため溶液系に比べて効率が下がるという問題点がある。近年、DNA 合成技術の急速な発展に伴って、人工核酸を用いた DNA 操作技術がいくつか報告されている。酵素を用いない DNA 操作技術は、特定の DNA や RNA 配列の検出法の開発や DNA ナノ構造の構築への応用として注目を集めている。

われわれはこれまでに鋳型核酸存在下光反応部位を有する人工核酸に光照射することで DNA 一本鎖同士を連結することを報告している。この反応は人工核酸のビニル基とチミンの C5-C6 二重結合との [2 + 2] 光環化反応によって進行する。光を用いた DNA 操作法は反応する際に新たに試薬を加える必要がなく、光照射方法を最適化することによって反応時間をコントロールできるという大きな利点を有する。この光連結法は DNA チップ上で高感度かつ高選択的に DNA や RNA を検出可能であった。光連結法を用いることで枝分かれ DNA を合成し DNA ナノ構造の構築に有用であった。われわれは光連結能を有する人工核酸のほかにも機能性を持つ光応答性人工核酸の開発を行っている。

本発表では、「フェノール骨格を有する人工核酸を用いた光クロスリンク反応」と「カルバゾール骨格を有する人工核酸を用いたチミンダイマーの触媒的光修復反応」について発表する。フェノール骨格を有する人工核酸に 366 nm 光を照射することで相補的な DNA に対して 97% の収率でクロスリンクし、DNA 二本鎖の劇的な安定化に成功した。カルバゾール骨格を有する人工核酸に 365 nm 光を照射することでチミンダイマーを含む DNA を 92% の収率で修復した。また、この光修復反応には触媒活性が見られた。カルバゾール骨格を有する人工核酸からチミンダイマーへの電子移動は蛍光消光実験によって評価し、カルバゾール骨格を有する人工核酸は触媒的光修復反応において有用な電子ドナーとしてはたらくことを明らかにした。

# 「光クロスリンク能や光修復能をもつ人工核酸の開発」 への感想文

牧野 貴雄

千葉大学大学院自然科学研究科

E-mail: makino@graduate.chiba-u.jp

北陸先端科学技術大学院大学の吉村先生による講演「光クロスリンクや光修復能をもつ人工核酸の開発」を大変興味深く聞かせていただきました。遺伝子工学は生物の遺伝子の操作・合成を行い、農学・薬学・医学など様々な分野において社会に有益をもたらす技術分野であり、今日まで長く研究が続けられてきています。例えば医学分野においては病気の原因遺伝子の同定、診断および治療、そして創薬などに結びつけるための研究が行われており、今後のさらなる発展が期待されています。

吉村先生らは既に、光応答性人工核酸を用いた遺伝子連結の技術を提案されています。これは光反応部位を有する人工核酸に光を照射することで遺伝子を連結する技術であり、試薬の投与が不要、光により反応時間をコントロール可能などの大きな利点が挙げられていました。さらに本講演では連結能だけでなく2つの機能性を持った新たな人工核酸の開発とその有用性について発表されていました。1つ目はフェノール骨格という構造を有する人工核酸であり、この人工核酸に366nm光を照射することでクロスリンク反応を起こし、遺伝子の大きな熱的安定化を実現することができます。2つ目はカルバゾール骨格という構造を有する人工核酸であり、365nm光を照射することでチミンダイマーを含む遺伝子を92%の収率で修復可能とするものでした。またカルバゾール含有核酸は電子トナーとしても用いられ、遺伝子内の電子移動を解析可能であるという特徴も持ち合わせていました。これらの核酸は遺伝子医療において有用であると考えられています。

私は遺伝子工学の分野については全くの素人であり、聞く内容のほぼ全てが新鮮だったのですが、光によって遺伝子操作・修復を行うという今回の技術は特に驚かされました。我々の研究室でも光を取り扱う研究は数多く行われていますが、遺伝子の結合、さらには修復するといった用途に利用可能であるという、光の新たな一面を知ることができました。今後、光を用いて難病の治療や創薬が可能になる日を、光に携わる研究者の一人として心待ちにさせていただきます。また、医学分野以外にも、遺伝子組み換えやクローン技術など様々な分野での応用が可能な技術であると感じました。今後の更なる研究成果を楽しみにしております。

私は今回初めて情報フォトンクス研究会の合宿に参加させていただきましたが、普段研究室や学内では聴く事のできない分野の講演に参加することができとても勉強になりました。また、様々な大学・団体の方々とお会いしお話しする機会を得ることができ、大変刺激になりました。改めて合宿に参加させていただいたことにお礼申し上げます。

# DNA を利用した光ナノ情報技術

## Photonic nanoscale information technology using DNA

小倉裕介

Yusuke OGURA

大阪大学 大学院情報科学研究科, 565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

Osaka University

E-mail: ogura@ist.osaka-u.ac.jp

### 要旨

ナノ領域における加工や計測, デバイス創出の方法論が次々と確立される中において, ナノ領域の情報技術開発は科学技術に広く関わる重要なテーマであり, 幅広いアプローチが必要である. 情報フォトニクスは, 並列化技術, 画像技術, 三次元技術などを基に情報技術において独自の役割を果たしており, ナノ情報技術開拓への貢献も期待される.

空間並列性, 可視性, 高速伝搬性など, 情報媒体としての光の特長を活かす観点からは, 光を展開して利用することが効果的である. ただし, ナノ領域で情報を扱うためには, 光の回折限界を克服するためのアイデアが必要となる. そこで, 分子系に潜む優れた情報処理能力に着目した. 特に, DNA の特異的反応性, 自律反応性を利用した DNA コンピューティングに関する研究は急速に進展しており, ナノ構造体の構築やナノマシン, 合成生物学など多方面の技術展開がなされ, その能力が実証されている.

我々は, ナノ領域での分子と, マクロ領域での光を協調的に動作させることにより情報を扱う新しい並列コンピューティング—光・分子協調コンピューティング—を考案した. マイクロスケールの光信号入力に対して多数の分子それぞれが自律的に反応するため, 実効的に光によるナノ情報操作が可能となる. 本研究では, 光技術の応用に基づくナノ情報技術の開発を最終的な目標とし, その実現方法を検討する.

光・分子協調コンピューティングを具現化するための基盤技術として, 光を用いた DNA の位置制御技術と局所反応技術を開発した. DNA の位置制御は VCSEL アレイを用いた光マニピュレーションにより行う. 微小球を用いて作製した情報 DNA の群 (DNA クラスタ) の並列輸送や積み上げ構造の形成に成功している. 一方, 反応制御は, 光吸収層を塗布した基板上に反応溶液を置き, レーザーを集光照射することにより行う. ヘアピン DNA を含む系に対して, 適切な光照射スケジュールを用いることにより, 情報 DNA の微小球への結合・分離を繰り返し制御できることを示した. さらに, 光照射を行いながら微小球を輸送することにより, 基板上の進行経路内に存在する情報 DNA を微小球に順次転送できることを実証した.

# 「DNA を利用した光ナノ情報技術」を聴講して

中嶋薫、石川さゆり、大津知子

日本女子大学大学院 理学研究科、〒112-8681 文京区目白台 2-8-1

TEL/FAX: 03-5981-3615

「情報フォトニクスの広がり」というタイトルで、近接場光学（ナノフォトニクスの領域）、分子通信、バイオと融合した光ナノ情報技術などの研究についての講演を聴くことができました。

この中で、新領域でご活躍されている大阪大学の小倉裕介先生の「DNA を利用した光ナノ情報技術」に関する講演概要と感想を述べさせていただきます。ナノ領域における光の振る舞いを利用した加工や計測、デバイス創出の方法論が確立される中、分子系に潜む優れた情報処理能力に着目して考案された「光・分子協調コンピューティング」に関しての講演でした。ナノ領域での分子と、マイクロ領域での光を協調的に動作させることにより情報を扱う新しい並列コンピューティングの確立を目指しています。光と分子を協調的に動作させるためには、マイクロ領域とナノ領域間の情報通信が重要であり、光を介して行います。この光・分子協調コンピューティングは、情報フォトニクスや分子コンピューティングにおける考え方を融合したものであり、有効な相乗効果が期待できるということです。具現化するための技術として、VCSEL アレイを用いた光マニピュレーションにより、光 DNA 制御技術を行っています。局所的 DNA 反応技術にはレーザー照射で温度を変化させ、DNA の結合・解離・反応等の制御を行います。DNA クラスターの並列輸送や積み上げ構造の形成に成功したという内容でした。本講演は、分子には情報を載せることができ、更に光で制御を行うというバイオとフィジクスの融合で、両者のメリットを生かし発展させた情報技術についての興味深い内容でした。



他の講演では、感動などの感情の復元、他者との感情の共有をめざす研究、DNA をアドレス代わりにし、キャリア分子からの情報分子 (DNA) の荷積み／降ろしの様子を捉えた顕微鏡による動画像 (分子通信) などを始めとして、バイオとの融合が、大きく発展していることを知りました。アイデアの宝庫と言われている生物の多様性に着目した光科学のバイオ分野への参入への興味深い発想に触れることができました。異分野間との融合により、未知の世界が飛躍的に広がると共に、光科学技術の無限の可能性を感じました。

今回の情報フォトニクス講演会は、それがあるとなぜ幸せなのかという原点に立った、如何に研究するかの大切さなど、研究に関しても考えさせられる非常に有益な講演会でした。ポスター発表や懇親会も含め、研究者の方々や学生たちと幅広く交流し、研究に対する良い刺激を得ることができ、今後の研究を進める上での活力に繋がりました。落ち着いた研修所で1泊するという秋合宿で、実りある有意義な時間を過ごすことができました。このような機会に恵まれましたことに感謝申し上げます。





## 2. お知らせ

### 2.1 入会案内

情報フォトニクス研究グループに新たに入会を希望する方は、各ワーキンググループ代表者または下記の事務局までご連絡ください(入会金、年会費は不要です)。また、入退会、住所の変更等を希望する方は、下記の事務局までご連絡ください。

記

〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1

徳島大学 工学部 光応用工学科 早崎芳夫

E-mail: hayasaki@opt.tokushima-u.ac.jp

### 2.2 連絡先

- ・ 情報フォトニクス研究グループ ホームページ

<http://www.i-photonics.jp/>

- ・ OPCOM NEWS に関するお問い合わせ及び原稿送付先

〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255

埼玉大学 工学部 情報システム工学科 吉川宣一

Tel: 048-858-9208, E-mail: yosikawa@ics.saitama-u.ac.jp

Nobukazu Yoshikawa,

Faculty of Engineering, Saitama University,

255 Shimo-Okubo, Sakura, Saitama 338-8570, JAPAN

〒630-0101 奈良県生駒市高山町 8916-5

奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 松本和美

Tel: 0743-72-6050, Fax: 0743-72-6059, E-mail: matsu-k@ad.naist.jp

Kazumi Matsumoto,

Secretary of Photonic Device Science Lab., Nara Institute of Science and Technology,

8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 630-0101 JAPAN

－ 編集後記 －

今年も残すところわずか1ヶ月余りとなってしまいました。カレンダーもあと1枚……。年賀状の準備に忘年会、大掃除やおせちの用意と日が大きくなるにつれ忙しさが倍増する師走の到来です。

さて、今回は9月に行われました秋合宿の様様をお伝えいたしました。

次号は年が明けての発行になります。来年もどうぞよろしくお願い申し上げます。

松本和美

**編集発行人 日本光学会(応用物理学会)情報フォトニクス研究グループ**

**©2006 日本光学会(応用物理学会)情報フォトニクス研究グループ**

**(許可なしに内容の一部または全部を、転載、複製、翻訳することを禁ずる。)**