



新天地で躍動！ コミュニケーションの未来を変える新たな研究

特集Ⅰ 光科学技術における本格的なブレークスルーを追求し、
光デバイスの未踏領域を切り拓く

特集Ⅱ 脳の中の力学 特に遅れの効用を追究し
情報通信への応用をめざす

クローズアップ研究者

単一分子計測と光・分子デバイスへの展開

梶 貴博 博士(工学)

脳の柔軟で省エネな情報処理の実現には『ゆらぎ利用』が不可欠

下川 哲也 博士(工学)

NICT

独立行政法人
情報通信研究機構

KARC FRONT

未来 ICT 研究センタージャーナル

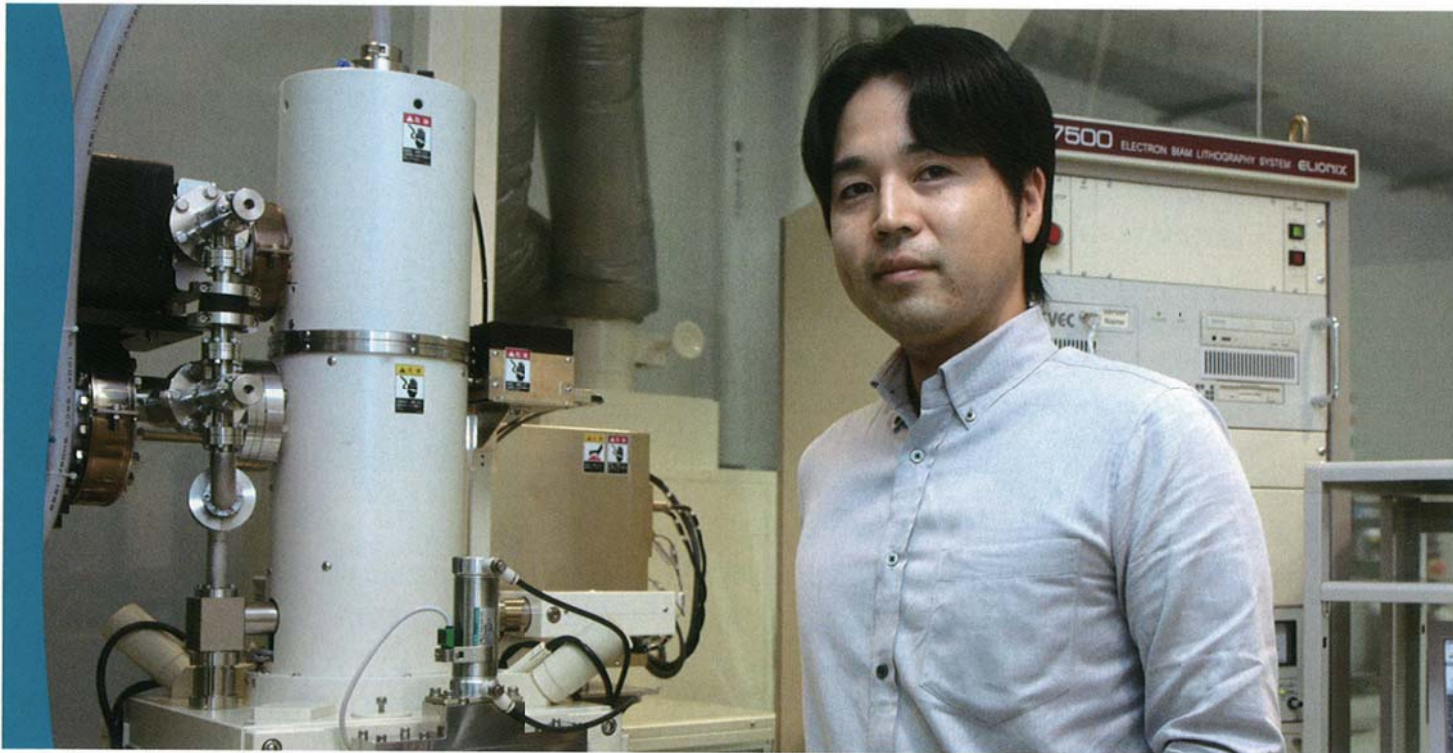
VOL.19
2010
WINTER

**新天地で躍動!
コミュニケーションの未来を変える新たな研究**

CONTENTS

特集 I	3
光科学技術における本格的なブレークスルーを 追求し、光デバイスの未踏領域を切り拓く	
井上 振一郎 博士 (工学)	
特集 II	6
脳の中の力学 特に遅れの効用を追究し 情報通信への応用をめざす	
梅原 広明 博士 (理学)	
KARCフロント・トピックス	8
クローズアップ研究者①	12
単一分子計測と光・分子デバイスへの展開	
梶 貴博 博士 (工学)	
クローズアップ研究者②	14
脳の柔軟で省エネな情報処理の実現には『ゆらぎ利用』が不可欠	
下川 哲也 博士 (工学)	
未来 ICT 研究センター STAFF 総覧	16





特集 I

光科学技術における本格的なブレークスルーを追求し、光デバイスの未踏領域を切り拓く

分子フォトニックプロジェクトの井上主任研究員は、スローライト（極限的に光を減速させる技術）などの光の本質的な制御技術の開発、有機材料とシリコンデバイスの利点を両立させる新たなナノ複合化技術の開発を行い、次世代の超高速光情報処理分野における画期的なブレークスルーをめざしている。有機材料をもちいて、従来素子性能の限界を打破する超小型・極低消費電力、且つ超高速な光デバイス実現に挑む現状について語ってもらった。

研究の背景

Q: 次世代の情報媒体は光だといわれていますが、電子と光ではどんな違いがありますか。

井上: 現在の情報システムを構築している電子デバイス、シリコン・エレクトロニクスは登場以来すでに数十年をへて成熟期を迎え、その到達点は物理学的な限界にすら達しつつあります。にもかかわらず、現代の情報トラフィックの増大は留まることを知らず、さらに高速な情報媒体が求めています。これに応えることができるのは、フォトニックデバイスであり、ナノフォトニクスこそが唯一の解決策と考えられます。

光は非常に高速な情報媒体で、長距離を低ロスで伝搬でき、発熱も少ないという特徴があります。しかしその一方で、光は物質との相互作用が小さく、また回折の効果によって急峻に曲げることができず、通常ワンチップの中に集積化することが困難です。このため現状の光変調器などのデバイスは、単体でも数センチメートル程度と非常に大きなサイズとなってしまうのです。

一方で電子デバイスは集積化には有利で、年々微細化を進めることで、性能の向上と大量生産による低コスト化が図られてきました。しかしこれ以上の集積化を進めることはトンネル電流や発熱の問題から原理的に困難になります。また集積化が進むと、電子同士が互いに影響を及ぼす多体効果などにより理論予測が難しくなり、設

計と実際の結果とが合致しにくく、試行錯誤に頼る以外にないという問題点があります。

これに対して光デバイスは、厳密な理論計算に沿ってデバイス設計をすれば実際の実験と非常によく一致し、ロジカルに設計しやすいというメリットがあります。よって新しい発想次第で、思い通りの斬新な動作が見込めます。

無機材料から有機材料へ

Q:有機材料、ナノ光デバイスに注目する理由は何ですか。

井上:光変調器や光スイッチなどの非線形光学材料として、現在は主に無機素材のLN(ニオブ酸リチウム)単結晶が使われています。また光と物質との相互作用が小さいことをカバーするためにデバイス長を大きくして相互作用長を稼ぎ動作させています。

これをどう小さくし、ワンチップ上に集積するかが世界的に大変重要な課題になっています。ここで、この問題を解決できる最も有望な手法の一つが、有機材料を用いたナノフォトニックデバイスであると考えています。

共役した π 電子結合(炭素-炭素間の不飽和結合)が、鎖状あるいは平面状に繋がった共役 π 電子系有機材料は、 π 電子の非局在化によって、LNなどの無機・半導体を遙かに凌駕する極めて大きな非線形光学性能を有しています。また有機材料は、フレキシブルな機械的特性をもち、どんな材料とも組み合わせることができます。この特性から発想したものが有機材料とシリコンデバイスをハイブリッドしたナノフォトニックデバイスです。

従来、有機材料は性能が高いものの屈折率が低く、集積化には向かないと考えられてきました。しかし屈折率の高いシリコンと組み合わせることで、ナノ領域での光閉じ込めが可能となり、様々な新しい集積化光制御が実現できるようになります。

例えば、有機ナノフォトニック構造を周期的に操作することで、光の速度を1/100程度まで減速させたスローライトという極限的な光状態を創り出すことが可能となりま

す。エネルギー保存則から、光の強度は群速度に反比例するため、このスローライトと高密度なナノ光空間を利用することで、光と物質の相互作用を数百~数千倍以上に増幅することができます。

光の相互作用が大きくなれば、デバイスをコンパクトにできるばかりでなく、劇的な低消費電力化も実現でき、発熱の問題も解決できます。距離が短くなれば当然高速化にも貢献します。また有機材料とシリコンとのハイブリッドデバイスは、現在使われているLSIなどのシリコン電子デバイスと共存した複合デバイスの実現も可能になります。

過去の資産を生かせる光と電子の融合

Q:フォトニクスとエレクトロニクスとの複合デバイスには、どんな利点がありますか。

井上:これまでに蓄積されてきたエレクトロニクスの技術は非常に有用です。有機ナノ光デバイスとエレクトロニクスが融合した複合デバイスを実現すれば、過去の蓄積を継承しつつ、現在の電子デバイスのボトルネックとなっている発熱箇所や高速信号処理が必要な部分だけを光に置きかえた超高速・集積化デバイスを実現できます。

加工技術の確立がナノ光デバイスの鍵

Q:実用化にはコスト面などが重要ですが、有機材料はその点についてはいかがですか。

井上:LNなど無機材料は价格的に非常に高価であるだけでなく、レアアースなどの希少な原料が必要となります。さらに加工性が悪くナノ微細加工に不向きで作製プロセスが大掛かりになり加工コストも高くなります。

一方、有機材料は炭素や水素などのありふれた原料で構成され、シリコンテクノロジーとの整合性も良く、スピコート法などにより大口径ウェハープロセスで薄膜を形成できるため低コストです。加えて、金型モールドを有機材

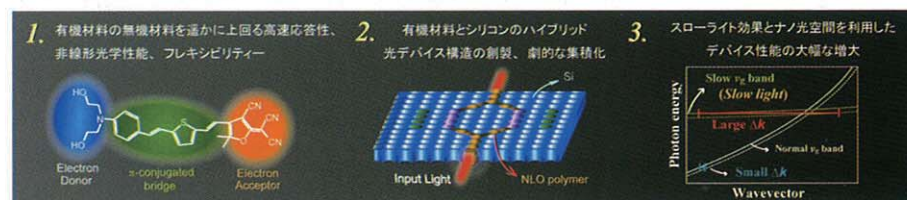


図1 有機材料を用いたナノフォトニックデバイスのメリット

従来型光デバイスと比べ、劇的な低消費電力化、集積化、高速化が実現可能

料にスタンプのように押しつけて導波路などを成型するナノインプリント法が使えます。この手法ならば微細加工の時間や工程を効率化でき、低コスト・処理速度の大幅な向上がはかれます。

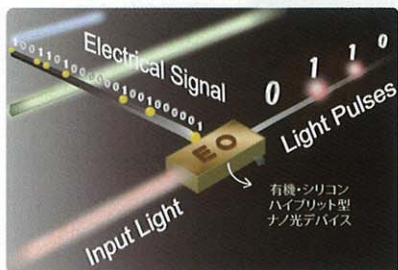


図2 光/電気ナノ・ハイブリッド型デバイス
電子バスを光バスに超高速に置き換える電気・光信号変換処理をコンパクトな1チップ内に集積化することができる

ナノ光デバイスの拓く未来

Q: 有機ナノ光デバイスの実用化と方向を教えてください。

井上: 有機材料は、その長期耐久性・劣化の問題をどう克服するかが実用上極めて重要な課題です。現在研究開発を進めている極低エネルギー動作化の実現によって、有機分子・高分子系光デバイスを将来実用化する上で鍵となる長期安定性・信頼性についても、従来とは異なる切り口から、新たな解決の突破口を与えるものと期待しています。

また有機ナノ光デバイスは、素子の低消費電力化、高集積化を可能とするばかりではなく、外部シグナルに対して極めて高感度なセンサーも実現することができます。光は外来の電磁波などによるノイズに強いというメリットもあり、極めて微弱な生体や人体の情報を取り込むバイオセンシングも視野に入ってきます。例えば、脳内のシグナルを光で取り出し、考えたことをコンピューターなどの外部の機器に伝えるというような高度光センシングネットワークも実現できるかもしれません。

これまで優位性は認められつつも、実用上ではさまざまな制限があった光デバイスですが、有機ナノ光デバイスの開発によってこれらの問題を解決する突破口を開けると信じています。将来的には、有機ナノ光デバイスを核として、現在の電子デバイスに代わる、ワンチップのオール光デバイスの実現や、超小型・高感度、フレキシブルな光デバイスによる生体・安全・環境分野への波及、貢献までを見据えて研究を進めています。

KARCの研究環境

Q: 大学から研究の場を KARC に移したことで、変わったことはありますか。

井上: KARC はナノ光デバイス開発に不可欠なクリーンルーム、大型の微細加工機器など、高いレベルの設備が充実しています。また、NICT は情報通信に特化した機関ですから、統一された方向性で異なる専門分野の研究者が集中し、システム、アルゴリズム、標準化、脳についてなど最先端の情報を手に入れ、指向性の高い論議を深め研究を進めていけます。

情報通信の基礎研究、脳情報、バイオ ICT などが研究されている KARC ならば、光デバイスの研究を進めながら、脳情報とのリンク、脳シグナルの光を使ったモニタリング、光とバイオの融合などのチャレンジングな分野の開拓も可能だと思います。

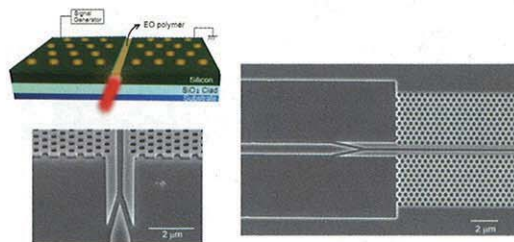



図3 提案する有機・シリコン集積型ナノフォトニック素子
高精度なナノオーダーの微細加工を実現し、有機材料とシリコンデバイスをナノ領域でハイブリッドすることで、互いの優位性を引き出すことが可能となる



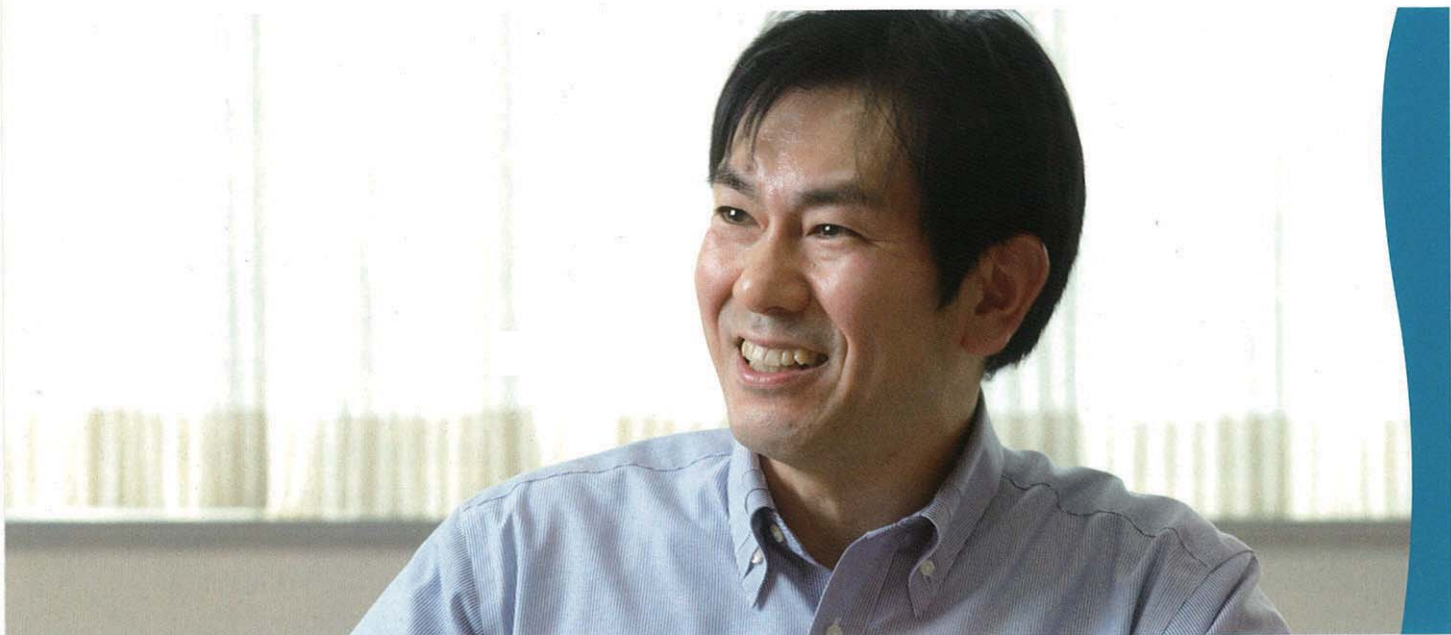
神戸研究所 未来 ICT 研究センター
ナノ ICT グループ 分子フォトニック
プロジェクト 主任研究員

井上 振一郎 博士 (工学)

学歴
2004年3月 東京工業大学大学院総合理工学
研究科
物理情報システム創造専攻博士
課程修了 博士 (工学)

職歴
2001年4月 理化学研究所 和光研究所 JRA
研究員
2004年4月 理化学研究所 和光研究所 基礎
科学特別研究員
2007年4月 九州大学 先端物質化学研究所
先端素子材料部門 (大学院担当:
総合理工学府 物質理工学専攻)
助教
2010年4月 情報通信研究機構 入所
主任研究員 (現職)

週末は3歳になる子供と触れ合う時間を大切にしています。なかなか時間を確保するのに苦労していますが、読書が好きで専門書だけではなく文学や実用書など、広い分野の書籍に親しんで視野を広げようとしています。週末、ゴルフ練習場で汗を流すのもよい気分転換になっています。



特集Ⅱ

脳の中の力学 特に遅れの効用を追究し 情報通信への応用をめざす

脳情報プロジェクトの梅原主任研究員は、“遅れ”を積極的な意味で基礎からとらえなおし、その数理構造を解明することによって、情報通信に変革をもたらそうとしている。その研究内容の方向性についてうかがった

研究の背景

Q: NICT において、現在の研究に至った経緯をお聞かせください。

梅原: 着任前は物理学、天体力学を専攻しており、鹿島宇宙通信センター（現、鹿島宇宙技術センター）では、激増する人工衛星の衝突などの事故防止のために、衛星集団の力学に基づいた軌道計測や制御の研究をしていました。

その後、企画戦略室に異動となり、実用化に直結した研究の重要性をさらに意識することとなりました。その一方で、だからこそ情報通信技術のイノベーションを本格的に創出することを目指すならば、実用化への道筋に配慮しつつも基礎から抜本的に考える研究が不可欠である、と考えるようになりました。縁あって KARC 脳情報プロジェクトに配属され、情報通信に直結する「脳の中の力学」について研究することになりました。

脳の中の力学とは

Q: 力学というと、物の運動と力の作用のようなものがイメージされますが、「脳の中の力学」とはどのようなものですか。

梅原: 脳がはたらいているとき、脳の中で常に変化が起きています。この変化を動力学の視点から解析してみようという研究です。力を受けた天体の運動や軌道を考えるというより、化学変化を分子集団の熱力学や統計力学の見地から考える感覚です。実際、脳の神経細胞による集団的な化学変化や電気的な変化といった現象に対して研究しています。

ただ、脳の力学を考える際に私が興味を抱いたのは、脳の中では、情報の伝達が無視できないほどに遅いことです。遅れの影響は、天体の運動ではほとんど現れない

ことなので、私にとって新鮮な驚きです。さらに、「遅れ」こそが大切なのではないかと予想し始めています。

脳情報プロジェクトでは、ひらめくしくみ・わかるしくみの研究が進められていますが、私は現在「遅れ」に着目した数理的解析を試みています。

遅れの効用

Q:「遅れ」のない方がスピーディーになって好都合というわけではありませんか。

梅原: 脳のふるまいを考えると、そう単純に考えることはできません。同様に、情報通信ネットワークの分野においても遅れが生じます。単純な立場でいえば速いほうがよいので、遅れを避けたり減らしたりすることに努力が傾けられます。しかし、ここで遅れの効用について思いをはせてもよいのではないかと、と思っています。この「遅れ」にこそ人の脳ならではの創造性を導く上で大切な意味が隠されている可能性があります。遅れによる不可逆過程の解析を通して、「ひらめく」、「わかる」という機能を含んだ論理代数が組み上げられるかもしれません。

構想の段階なので確たることを言うことはできませんが、「遅れ」の根底に、結合法則 $(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$ の関係を満たさない代数が潜んでいる気がしています。こういったことなどへの思いを膨らませながら、実際は地に足を付けて、遅れに着目した脳の力学を研究し、脳の働きの数理構造を解明したいと考えています(図1)。



図1 「わかった」について、ひらめいている予想

実用に直結した研究としての脳の力学

Q:「ひらめく代数」は、どのようなことに結び付くのでしょうか。



神戸研究所 未来 ICT 研究センター
バイオ ICT グループ
脳情報プロジェクト 主任研究員

梅原 広明 博士 (理学)

学歴
1992年3月 慶應義塾大学物理学卒業
1994年3月 早稲田大学物理学及び応用物理学専攻修士課程修了
1998年3月 総合研究大学院大学天文学専攻後期博士課程修了

職歴
1996年4月 日本学術振興会特別研究員
1998年4月 通信総合研究所 宇宙制御技術研究室 任期付研究技官
2001年4月 情報通信研究機構 宇宙サイバネティクスグループ 研究員
途中、2003年12月～2004年11月 文部科学省在外研究員 (グラスゴー大学航空宇宙工学科客員研究員)
2006年4月 同機構 企画戦略室 プランニングマネージャー
2008年1月 同機構 宇宙通信ネットワークグループ 主任研究員
2009年8月 現職

休日は自宅付近にある舞子の海岸を妻と散歩したり、夏季限定ですが泳いだり (というか、ぶかぶか浮いているだけ) ということが多いです。こののどかな光と音の雰囲気は自分にとっての哲学の道ならぬ「哲学の海」です。

梅原: 情報伝送量が膨大になっていく世の中で、それに対応する通信ネットワーク技術の革新を進めるには、脳の原理をネットワーク制御に活用するほかに、情報量を抑えながらも理解してもらいたい本質を伝える、伝えることで創造性を生む、などといった人と人とのコミュニケーションの質に着目した解決策もあり、人の脳をもとに抜本的に考え直すべき段階にきているのでは、とプロジェクト内で議論されています。

数学は人を含んだ自然を記述する言語、すなわち、われわれの意志ですから、数学の創出は潜在能力の実在化です。人にそなわっていながら現在我々が気づいていない本来の数理体系を見つけることで、今までとは異なる原理に基づいて効率的・効果的に情報をやりとりすることができるプロトコルが創出されるかもしれません。

KARC の印象

Q: 研究の場を KARC に移した印象はいかがですか。

梅原: 脳情報プロジェクトはチームプレーと個人プレーが適度な流動性で結びつき「木も見て、森も見られる」ことができます。実験をする人と環境に身近に接することができ、研究上のモデル化や理論を考えていく上で大きな力になっています。

KARC フロント・トピックス

▶ 森田高総務大臣政務官（山中秘書専門官） ご視察対応報告

10月25日（月）神戸研究所未来 ICT 研究センターは、総務省森田総務大臣政務官、山中秘書専門官、久保田官房総括審議官、山内研推室長のご視察を受けました。今回のご視察においては、富永理事、熊谷理事と共に当センターの脳情報通信研究について「fMRI」・「MEG」を用いたデモを行い説明しました。「fMRI」実験では、ユーザのひらめきや分かりに関わる脳活動を検出するために、隠し絵提示による脳活動計測をご覧いただきました。「MEG」実験では、意識・無意識の過程を調べるデモを行い、「BMI 技術」としての指先の動きを脳活動だけから PC 上に再現する研究成果をムービーによって紹介しました。また、二つの fMRI を同時に用いて、一対一のコミュニケーションを行なっているユーザの脳活動計測を行なう実験風景をご覧いただくなど、コミュニケーション技術としての脳活動計測研究の現状をご覧いただきました。医師でもある森田総務大臣政務官は、ご専門の立場からも脳と情報通信の関係に興味を持たれて、計測機の進歩についてのご質問や、計測機内の実験協力者と会話をされるなど、脳情報通信について理解を一層深められたご様子でした。視察後の質疑応答においては、柳田大阪大学教授（総務省「脳と ICT に関する懇談会」主査）と脳情報通信研究の重要性について熱心に議論されるなど、脳情報通信への強い関心を示されていました。

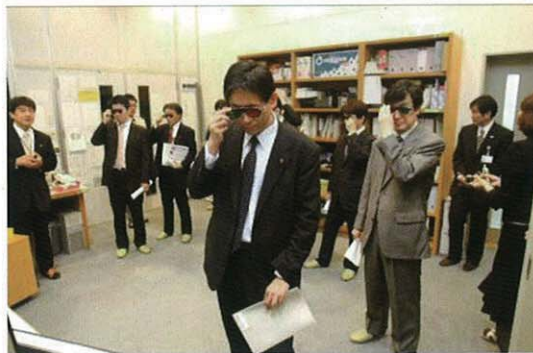
● 質疑応答の様子（第一研究棟 特別会議室）



● ご視察の様子（第三研究棟 fMRI 室）



● ご視察の様子（第三研究棟 MEG 室）



KARC フロント・トピックス

▶ 「脳活動計測で指先の動きを PC 上に正確に再現する」 技術開発に成功

バイオ ICT グループの今水寛グループリーダーと国際電気通信基礎技術研究所（以下「ATR」）、長岡技術科学大学との共同研究（一部は ATR への委託研究「複数モダリティ統合による脳活動計測技術の研究開発」にて実施）により、開発した成果を 10 月 20 日（水）報道発表しました。

四肢を動かすための脳活動を使って、ユーザの運動（四肢の運動）をコンピュータやロボットなどの機械で再構成する技術は、ブレイン・マシン・インターフェイス（BMI）の基礎技術として注目されてきたが、脳を傷つけずに計測（非侵襲計測）する技術においても、ユーザに長期的な訓練を強いる必要がありました。今回の成果は、ユーザに特別な訓練や身体的負担を要求することなく、指先の素早い運動（運動時間約 0.4 秒）を外科的処置なしに計測した脳活動情報を用いて、四肢の運動をコンピュータ上に再構成するものであり、世界初の成果

です。脳活動による機械制御技術（BMI 技術）を、医療応用だけでなく、情報通信におけるユーザインターフェイスとして広く利用が期待されます。なお今回の研究成果は本研究分野の権威ある国際誌 NeuroImage (IF=7.168) に掲載予定です。また、この報道発表の内容は、10 月 21 日（木）日経産業新聞（11 面）、東京新聞（24 面）、日刊工業新聞（18 面）、10 月 29 日（金）朝日新聞（13 面）に掲載されたほか、8 紙に取り上げられました。



バイオ ICT
グループリーダー

今水 寛 博士（心理学）

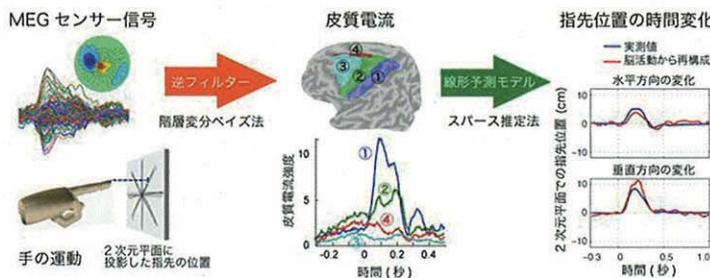


図 1 手先の運動を脳活動から再構成する手法の概要

▶ 新たな細胞核の分裂様式とそのメカニズムを発見

10 月 22 日（金）バイオ ICT グループ原口徳子上席研究員は、新たな細胞核の分裂様式を発見し、その成果を報道発表しました。バイオ ICT グループでは、生物の遺伝における情報処理メカニズムを解明し、これを情報通信技術に応用するための萌芽的な研究を行っています。今回の成果は、単細胞微生物の細胞が減数分裂を行う際、細胞質と核を隔てる核膜および物質の出入り口である核膜孔の構造を変化させることなく維持したまま、細胞質と核の間における物質移動を実現し、核の分裂を進行させるものです。これは、エネルギーコストを抑えた情報制御法として、生体分子による情報伝達を行うシステム「分子通信」の実現に向けて重要な知見となります。なお、この現象は東京大学山

本正幸教授のグループにおいても独立に発見されており、Current Biology 2010 年 11 月 9 日号において両グループの論文が同時掲載されます。また、この報道発表の内容は、10 月 22 日（金）日経産業新聞（8 面）、日刊工業新聞（26 面）他 3 誌に掲載されました。



NICT 上席研究員

原口 徳子 医学博士

KARC フロント・トピックス

▶ 産学交流会（第 20 回Σ産学交流会、 第 5 回 KARC-Σ連携セミナー）開催報告

9月28日(火)神戸研究所 未来ICT研究センターにおいて、「産学交流会」を開催しました。神戸研究所 未来ICT研究センター(KARC)と大阪大学 基礎工学研究科(Σ)とは、2005年3月の連携推進協定の締結より研究連携を進めており、この交流会は、KARCとΣの更なる連携強化を目的として2009年12月に第1回を開催した「KARC-Σ連携セミナー」の一環として開催されました。今回の交流会では、「ポスターセッション」「講演会」「神戸研究所所内見学」等により、今後のKARCとΣで連携を進める研究を紹介しました。どのプログラムも好評で活発な意見交換が行われ、特に「講演会」には企業を含む外部からの参加も合わせて70名を超す聴講者がありました。

神戸研究所では、この連携セミナーを継続して実施し、今後もΣとの情報通信分野での相互協力による研究展開をめざしていく方針です。



ナノICTグループリーダー
王 鎮



基礎工 教授
夢田 博一



ナノICTグループ研究マネージャー
大友 明



基礎工 教授
荒木 勉

▶ 第1回脳情報通信早期着手研究セミナーの開催

10月28日(木) バイオICTグループでは、脳情報通信融合研究早期着手研究課題の研究者を中心としたセミナーを開催しました。脳情報融合研究の始動へ向け、早期着手研究が4つのPJで進んでいますが、PJ間の融合と、研究融合の芽の探索、そして本格始動への準備として、今回3つのPJからこれまでの研究内容が発表され、専門の研究者による今後の展開等の議論が行われました。

講師には大澤教授(大阪大学)、吉岡教授(大阪大学)、村田グループサブリーダー(NICT)を迎え、画像認識における脳内コラムの詳細、fMRI等の非針襲計測機器の新計測手法、情動等の人の高次機能の定式化など、各PJで進む研究成果が報告されました。セミナーでは、参加した専門の研究者から多くの質問があり、非常に活発な議論が行われました。脳情報通信早期着手研究では、本セミナーを通し、研究がより具体的、融合的に進み、本研究へ繋がっていくものとして、今後も定期的にセミナーを行う予定です。



セミナーの様子(大阪大学) 左: 柳田教授



バイオICTグループサブリーダー
村田 勉

KARC フロント・トピックス

▶ 受賞報告



受賞者：成瀬 康 研究員

受賞名：計測自動制御学会 生体・生理工学部会 研究奨励賞
- ベイズ推定を用いた新しい α 波瞬時位相、振幅の推定法の提案 -

授与団体：社団法人計測自動制御学会 システム・情報部門 生体・生理工学部会

本賞は社団法人計測自動制御学会生体・生理工学部会が企画するシンポジウムにおいて優れた内容の研究報告を行った者に贈られる賞である。

成瀬康研究員が脳波、脳磁界を用いた神経科学的研究および工学的応用の発展のために開発した、統計的手法に基づく新しい α 波の瞬時位相、瞬時振幅の推定法が評価され、今回の受賞となった。



受賞者：寒 重之 専攻研究員

受賞名：IFCN Fellowship

授与団体：International Federation of Clinical Neurophysiology

本学会は国際臨床神経生理学学会連合 (IFCN) が4年に1回開催する学術大会で、今回は日本臨床神経生理学学会および日本学術会議との共同主催。

本賞は、ICCN2010において発表した "The reticular activating system is associated with spontaneous fluctuations of alpha rhythm : a simultaneous EEG/fMRI study" が優秀と認められ受賞となった。



受賞者：岩本 政明 専攻研究員

受賞名：日本原生動物学会賞

授与団体：日本原生動物学会

本賞は、日本原生動物学の分野で研究を行う研究者のこれまでの業績を評価し、更なる発展を期待して贈られる賞である。

岩本 政明 専攻研究員は、織毛虫テトラヒメナに注目して、この生物が状況に合わせて2つの核に情報を分別して伝える仕組みを分子レベルで解明した。情報制御の観点で解析を進めた結果、原生動物の2核性の理解という当該分野の長年の命題に解決の糸口を与えた研究である。国内外から高い評価を得ており、今回の受賞となった。



受賞者：武内 史英 専攻研究員

受賞名：第43回日本原生動物学会 ベストプレゼンテーション賞

授与団体：日本原生動物学会

本賞は、第43回日本原生動物学会大会における講演「織毛中テトラヒメナの核分化過程における核膜孔複合体のダイナミクス」が、特に優れた研究発表と認められ、今回の受賞となった。

紹介 クローズアップ研究者①

単一分子計測と光・分子デバイスへの展開

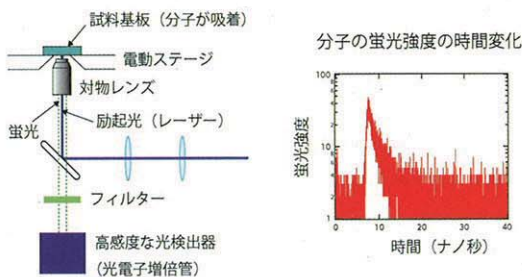
神戸研究所 未来 ICT 研究センター ナノ ICT グループ 専攻研究員 分子フォトリックプロジェクト
梶 貴博 博士 (工学)

一つの分子を見る

分子は、世の中にある機械や生き物で使われる部品の最小単位のひとつといえます。一方、光は、高速かつ低消費エネルギーで情報処理を行う媒体として注目されています。そのような、分子と光を用いることで、今ある生物でも機械でもない、超低エネルギーで動作する全く新しい情報処理デバイスを実現できるかもしれません。そのための第一歩として、分子の一つ一つを「見る」ことの意義があります。それでは、分子のような小さいものを見るにはどうすればよいのでしょうか。単に顕微鏡をのぞくだけでは、分子の一つ一つを「見る」ことはできません。そこで、私たちは2つの特殊な顕微鏡技術を使って、分子を見ることに取り組んでいます(図1)。まず、一つ目は、蛍光ペンなどに使われる蛍光色素から出て

くる光を観測することで一つの分子を見る、単一分子蛍光顕微鏡と呼ばれる方法です。そして、二つ目は、微小な針をスキャンしながら、針に流れる電流や針の振動の変化を読み取ることで一つの分子を見る、走査プローブ顕微鏡と呼ばれる方法です。一つ目の方法の特徴は、非常に短い時間に関する情報が得られることです。特に、分子から出てくる光(光子)のタイミングを一つ一つ数える、単一光子計数という方法を用いることで、ピコ秒(10⁻¹²秒)からナノ秒(10⁻⁹秒)の時間分解能で分子一つ一つの「動き」の情報を得ることができます。一方、二つ目の方法は、非常に小さい空間に関する情報が得られます。こちらは光を用いませんが、分子一つ一つの形を、原子レベルの空間分解能で、文字通り、画像として「見る」ことができるのです。このような、顕微鏡技術が生まれたのは、ちょうど今から20~30年前のことです。そして、急速に発展したのはここ10年くらいのことでしょうか。しかし、現時点ではこれら技術はそれぞれ単独で進化している過程にあるにすぎません。今後、色々な分野と融合しながら、新たな発展を遂げていく段階にあると感じています。

単一分子蛍光顕微鏡



走査プローブ顕微鏡

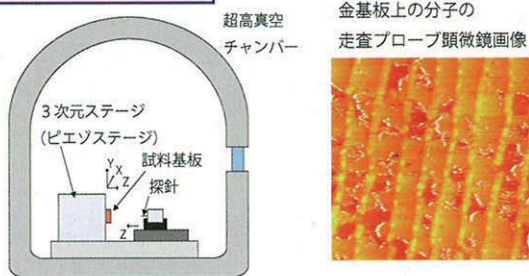


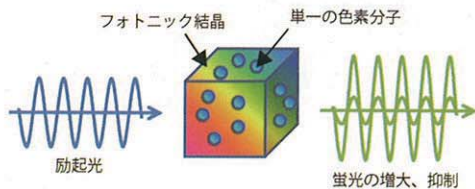
図1 単一分子蛍光顕微鏡と走査プローブ顕微鏡

見えなかった単一分子を見る方法の開発

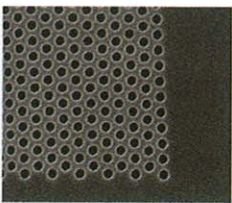
そのような中、私たちが現在進めている研究のひとつは、これまで見えなかったような単一分子からの蛍光を観測する手法の開発です。蛍光色素には、よく光るものとあまり光らないものがありますが、これまで単一分子の観測に用いられていた分子は、最もよく光る一握りの分子に限られていました。そこで、このようなあまり光らない分子についても単一分子観測を可能にするために、フォトリック結晶と呼ばれる特殊な構造に着目しました(図2)。フォトリック結晶とは、2種類の異なる屈折率をもつ物質が光の波長程度のサイズで周期的に並んだ構

造であり、自然界に存在するオパールなどが代表的なものです。フォトニック結晶の内部では、構造に共鳴する光の強度が増大することが知られています。そのため、単一の蛍光色素の蛍光強度も増大すると期待できます。私たちは、ノイズとなるバックグラウンドの光がほとんどない非常に「透明」なフォトニック結晶の作製を進めています。このようなフォトニック結晶が作製できれば、単一分子の蛍光観測だけにとどまらず、超高感度なバイオセンシングや、さらには新しい光と分子をつなぐデバイスへの展開も期待できます。また、一方では、走査プローブ顕微鏡の空間分解能と、単一分子蛍光顕微鏡の時間分解能を併せ持った単一分子の観測装置の開発も進めています。この装置が実現すると、これまで明らかになっていなかった、分子のナノスケールの周囲の環境と分子自身の「動き」や「個性」に関する情報を直接得ることができるようになります。これにより、どのように分子を一つ一つ配置すれば最も効率的に動作するかなどの、光・分子デバイスの設計に向けて重要な知見が得られることが期待できます。

フォトニック結晶による色素分子の発光制御の模式図



合成石英ガラスの上に作製したフォトニック結晶



蛍光色素 (左: ペリレンビスイミド、右: ポルフィリン)

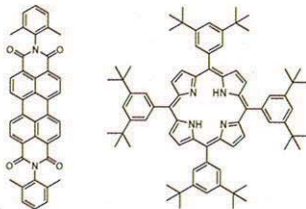


図2 フォトニック結晶による色素分子の発光制御

光・分子デバイスの今後の展開について

現在のエレクトロニクスのデバイスは、分子のサイズからすると非常に大きな物質の中の電子を利用するデバイスです。一方、私たちが目指すデバイスは、分子サイズで制御された分子と光を利用するデバイスです。素子の大きさが最小単位なので、最も低エネルギーかつ最小の空間内で



学歴
2006年 大阪大学大学院生命機能研究科生命機能専攻
攻博士課程修了 (修士号取得)
2009年 大阪大学大学院基礎工学研究科物質創成専攻
攻博士後期課程修了

職歴
2009年 グローバルCOE (物質の量子機能解明と
未来型機能材料創出) 特任助教 (大阪大学)
2009年 12月より現職

近況
「尺八の師範をもつ祖父にすめられて」という堀さん、今年からその尺八を本格的に習いだしたとのこと。西洋的な音階にはない独特の音色を楽しんでいるようです。「集中力が高まるし、肺活量も増えたような気がします」

高効率に動作することが期待できます。分子は光と相性が良く、また、再生可能でクリーンな材料です。例えば、自然界の光合成における反応中心では、ナノサイズで精巧に配置された色素分子の間を高速で光エネルギーが移動しており、また電子も移動しています。これにより、光エネルギーから化学的なエネルギーへの変換が行われています。このようなスケールでは、光エネルギーや電子の移動 (情報通信) と化学的なエネルギー変換 (物質変換) は同じレベルで行われているといえます。すなわち、光・分子デバイスの将来の形のひとつとして、光を介した情報通信にとどまらず、光や電子と関わって何らかの物質の変換が伴うものが考えられます。例えば、通信機能をもった超小型の太陽電池や燃料電池のようなものに応用されるかもしれませんし、超小型の医薬品の製造装置などになるかもしれません。そのような、既存のデバイスとは全く異なる機能をもつデバイスの実現のため、基盤となる技術の開発を進めていきたいと考えています。

紹介 クローズアップ研究者②

脳の柔軟で省エネな情報処理の実現には『ゆらぎ利用』が不可欠

神戸研究所 未来 ICT 研究センター
 バイオ ICT グループ 専攻研究員 脳情報プロジェクト
 下川 哲也 博士 (工学)

研究の背景

世界の情報量は年々 1.5 ~ 2 倍で上昇しており、このままいけば 2030 年には全世界の消費エネルギーの 50% が情報ネットワークのために消費されると試算されています。ところが人間の脳は、数十兆の結合をもつ超大規模複雑なシステムであるにもかかわらず、代謝に 20 ワット、思考中に 1 ワットしか消費しません。おそらく脳には、従来の手法とは原理の異なる制御方法で超複雑なシステムを柔軟に省エネルギーに制御しているものと思われませんが、その仕組みはいまだ明らかにされていません。そこで私は、こうした脳の認知情報処理を明らかにすべく、2010 年 4 月より大阪大学から KARC へ移り、脳情報プロジェクトの一員として研究を進めることにしました。

“ゆらぎ” の役割

私は、脳の柔軟な情報処理には「ゆらぎ」が重要な役割を担うと考えています。2010 年 3 月まで所属していた大阪大学において、「文部科学省科学技術振興調整費 先端融合領域イノベーション創出拠点の形成 『生体ゆらぎに学ぶ知的人工物と情報システム』」(通称: ゆらぎブ

プロジェクト)の一員として研究を進めてきました。その研究の結果、脳を含めた生体システムでは、大きなエネルギーを用いて厳密さを追求する方法ではなく、むしろ、ノイズやゆらぎを遮断せず利用することにより、高次元システムをコアス (coarse, いい加減) に制御していることが分かりました。

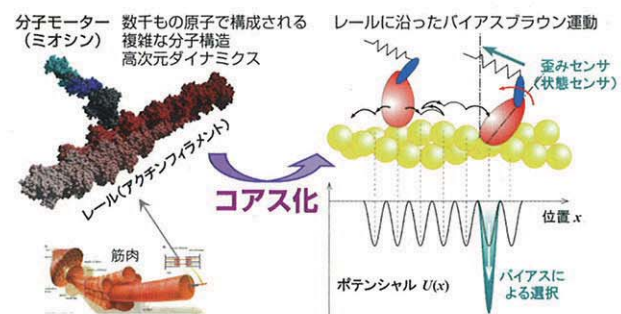
例として、筋肉を動かしたり、細胞内で小胞を運んだりしているタンパク分子機械であるミオシン分子モーターの場合を示します (図 1)。私が所属していた大阪大学柳田研究室では、20nm 程度の大きさしかないミオシン 1 分子をイメージング、ナノ計測する先端計測技術を開発し、分子 1 個の運動と化学反応を直接、詳細に測定してきました。その結果、ミオシンは、レールタンパク分子であるアクチンの上を、ブラウン運動を利用して進むことが明らかになりました。ミオシン分子は、外力を検知する「歪みセンサ」を持ち、このセンサがランダムなブラウン運動から一方向の運動を選択、さらには負荷など状況に応じて力や運動速度を変調しています。運動は熱ゆらぎで駆動され、化学エネルギーはセンサの駆動にのみ用いられます。トランジスタをはじめとした従来の人工物では、厳密制御を実現するために、熱ゆらぎのエネルギー $k_B T$ の千倍以上という莫大なエネルギーを使って熱ゆらぎを抑えようとします。しかし分子モーターの場合、熱ゆらぎをむしろ利用して一方向の運動を実現するため、熱ゆらぎのエネルギー $k_B T$ と同程度の非常に低い消費エネルギーで動作することができるのです。

この時のミオシンの運動は、次のゆらぎ方程式で表されます (図 2)。

ここで、 B は、アクチンとの相互作用の歪みセンサによる変調の度合いに対応するパラメタで、ブラウン運動をバイアスする働きを持ちます。

ミオシンは数千もの原子から構成されますが、上で示したように、相互作用をアクチンに沿った 1 次元のポテ

図 1



ンシャルに単純化（コアス化）し、そのポテンシャル上での運動を制御していることが、実験結果から示唆されます。ミオシンは、状況を歪みセンサで感知し、その状況に合った相互作用地点（着地点）をブラウン運動で探索し選択決定していることとなります。

図 2

ランジュバン方程式

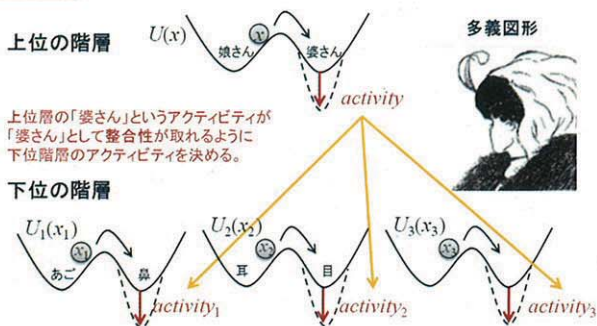
$$\frac{d}{dt} x = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial U(x,t)}{\partial x} B + \sqrt{\frac{2k_B T}{\rho}} \eta(t)$$

ρ : 粘性係数、 $U(x,t)$: モーターとレールとの相互作用ポテンシャル関数、 B : バイアス（相互作用の変調）、 $\eta(t)$: 熱ゆらぎ（白色ガウス雑音）

視覚認知情報処理への応用

この仕組みを、脳の視覚認知情報処理に応用してみます。例えば、お婆ちゃんと娘さんと2つの見え方を持つ多義図形の知覚認知について考えてみます（図3）。上位階層として、「婆さん」と「娘さん」と2通りの安定な認知状態が存在します。U(x) はエネルギー関数のようなもので、状態はU(x) の谷へ安定的に居続けようとします。

図 3



下位階層として、多義図形の一部では「あご」あるいは「鼻」と2通りの安定な認知状態が存在します。分子モーターにおけるバイアスの項は、ここでは activity と呼んでいます。おそらく、下位階層の認知状態が「鼻」、「目」などと、すべて上位階層の「婆さん」と整合性が取れるときに、上位階層のアクティビティと連動して、「婆さん」という状態を安定化させるようにポテンシャルが変化するものと思われます。下位階層ではそれぞれ独立にランダムに状態遷移していて、全体として整合性が取



学歴
 1999年 大阪大学大学院基礎工学研究科システム人間系専攻博士課程前期修了
 2001年 大阪大学大学院基礎工学研究科システム人間系専攻博士課程後期早期修了

職歴
 2001年 大阪大学大学院基礎工学研究科 助手
 2006年 大阪大学大学院生命機能研究科 特任准教授
 2010年 情報通信研究機構未来 ICT 研究センター 専攻研究員

近況
 休日には愛犬の豆柴と散歩したり、料理や日曜大工をしたりすることの多い下川さん。最近では、寝室の内壁をまるごと自分で塗り替えたそうです。「健康にも良い珪藻土を使ったので、納得いく模様替えができました」

れたとき、上位階層より下位階層へアクティビティの増加の指令がわたり、トップダウン的に上位階層の知覚認知を安定化させるのではないかと。これがゆらぎ方程式に基づいた多義図形の視覚認知機構の仮説です。

今後の展開

この仮説を検証するには、非侵襲脳活動計測（fMRI、MEG、EEG、NIRS、TMS など）が不可欠です。また、得られたデータを理解するためには、確率過程論および非線形力学系、非平衡統計力学などの数学、物理学による理論的解析が必須です。今後は、実験家と共同して、脳の柔軟で優れた認知機能の仕組みを研究し、従来とは原理の異なる新たな情報通信システムの創成、そして最終的には、脳科学研究の立場から、未来社会が遭遇するであろう超複雑情報社会におけるエネルギー問題の解決を目指します。

未来 ICT 研究センター STAFF 総覧

研究センター長 大岩 和弘 理学博士
 上席研究員 平岡 泰 理学博士
 上席研究員 原口 徳子 医学博士

センター付

専攻研究員 鈴木 秀明 理学博士(情報学)
 専攻研究員 劉 健勤 工学博士(情報学)
 専攻研究員 寒 重之 博士(学術)
 専攻研究員 片桐 祥雅 工学博士
 専攻研究員 小池 耕彦 博士(情報学)
 有期技術員 鳥居 信夫 博士(医学)

推進室

推進室長 久保田 徹 博士(工学)
 研究マネージャー 宮内 哲 医学博士
 主任研究員 川上 彰 博士(工学)
 特別研究員 高濱 祥子 博士(心理学)
 管理チームリーダー 金釘 敏
 主任 山本 俊太郎
 有期技術員 大山 良多
 有期技術員 高橋 恵子
 有期補助員 相田 有実

ナノ ICT グループ

グループリーダー 王 鎮 工学博士
 研究マネージャー 大友 明 Ph.D.
 主任研究員 兵頭 政春 博士(工学)
 主任研究員 川上 彰 博士(工学)
 主任研究員 寺井 弘高 博士(工学)
 主任研究員 三木 茂人 博士(工学)
 主任研究員 Peper Ferdinand Ph.D.
 主任研究員 照井 通文 博士(理学)
 主任研究員 山田 俊樹 博士(工学)
 主任研究員 笠井 克幸 博士(工学)
 主任研究員 井上 振一郎 博士(工学)
 研究員 山下 太郎 博士(理学)
 専攻研究員 中尾 正史 工学博士
 専攻研究員 丘 偉 Ph.D.
 専攻研究員 牧瀬 圭正 博士(理学)
 専攻研究員 梶 貴博 博士(工学)
 特別研究員 内藤 幸人 博士(理学)
 特別研究員 長谷川 裕之 博士(理学)
 有期技術員 三木 秀樹 薬学博士
 有期技術員 青木 勲
 有期技術員 上田 里永子

計算神経プロジェクト(在けいはんな)

グループリーダー 今水 寛 博士(心理学)
 研究員 内藤 栄一 博士(人間・環境学)
 招聘専門員 野崎 大地 博士(教育学)
 招聘専門員 荒牧 勇 博士(理学)
 招聘専門員 玄 相昊 博士(工学)
 専門研究員 杉本 徳和 博士(工学)
 専門研究員 宮脇 陽一 博士(工学)
 専門研究員 吉岡 利福
 専門研究員 清水 優 Ph.D.(数学)
 専門研究員 Ganesh Gourishanker Ph.D.
 短時間専門研究員 山岸 典子 Ph.D.
 短時間専門研究員 OZTOP Erhan Ph.D.(Computer Science)
 短時間専門研究員 大須 理英子 博士(文学)
 短時間専門研究員 野田 智之 博士(工学)
 専門調査員 古川 友香
 専門調査員 Ugur Emre
 専門調査員 中野 直
 専門調査員 池上 剛
 有期補助員 南部 功夫 博士(工学)
 有期補助員 廣瀬 智士 博士(人間・環境学)
 有期補助員 Matthew Joseph de Brecht 博士(情報学)

バイオ ICT グループ

グループリーダー 今水 寛 博士(心理学)
 グループサブリーダー 村田 勉 博士(薬学)
 研究マネージャー 澤井 秀文 工学博士
 研究マネージャー 小嶋 寛明 博士(工学)
 主任研究員 榊原 斉 理学博士
 主任研究員 田中 裕人 理学博士
 主任研究員 丁 大橋 博士(理学)
 主任研究員 近重 裕次 博士(理学)
 主任研究員 藤巻 則夫 工学博士
 主任研究員 加藤 誠 博士(医学)
 主任研究員 山田 章 理学博士
 主任研究員 梅原 広明 博士(理学)
 主任研究員 井原 綾 博士(保健学)
 主任研究員 劉 国相 博士(工学)
 主任研究員 Leibnitz Kenji 理学博士
 主任研究員 小林 昇平 博士(工学)
 専攻研究員 西浦 昌哉 博士(学術)
 専攻研究員 矢倉 晴子 博士(保健学)
 専攻研究員 岩本 政明 博士(理学)
 専攻研究員 松林 淳子 博士(工学)
 専攻研究員 平林 美樹 博士(工学)
 専攻研究員 前川 裕美 博士(理学)
 専攻研究員 小川 英知 博士(イノベーション)
 専攻研究員 魏 強 博士(工学)
 専攻研究員 武内 史英 博士(理学)
 専攻研究員 松田 厚志 博士(理学)
 専攻研究員 清水 洋輔 博士(農学)
 専攻研究員 古田 健也 博士(工学)
 専攻研究員 森戸 勇介 博士(理学)
 専攻研究員 曾嶋 崇弘 博士(文学)
 専攻研究員 下川 哲也 博士(工学)
 専攻研究員 篠崎 隆志 博士(科学)
 招聘専門員 阪井 清美 工学博士
 招聘専門員 鈴木 良次 工学博士
 招聘専門員 早川 友恵 博士(心理学)
 招聘専門員 眞溪 歩 博士(工学)
 招聘専門員 江田 英雄 博士(工学)
 専門研究員 山田 順一 工学博士
 有期技術員 吉雄 麻喜
 有期技術員 堤 千尋
 有期技術員 荒神 尚子
 有期技術員 糸井 誠司 博士(工学)
 有期技術員 野界 武史
 有期技術員 山根 美穂
 有期技術員 大槻 千鶴
 有期技術員 岡正 華澄
 有期技術員 森 知栄
 有期技術員 小坂田 裕子
 有期技術員 梶谷 知子
 有期補助員 樋口 美香
 有期補助員 高村 佳美
 短時間補助員 小田 正起

新世代 NW 研究センター 量子 ICT グループ

主任研究員 早坂 和弘 博士(理学)



編集後記

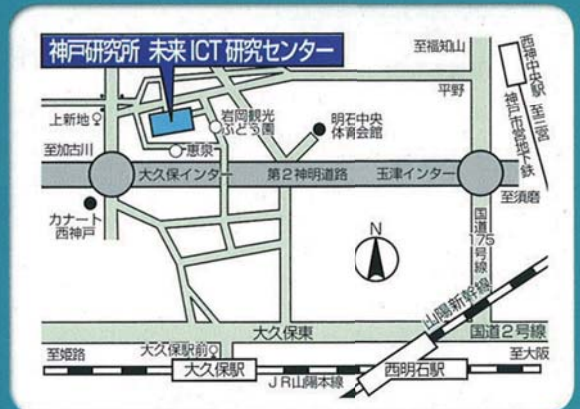
KARC・Front vol.19 (2010年冬号)では、昨年から今年にかけて新しくKARCの一員となり、この神戸研究所で新たな研究をスタートさせた研究者を取り上げました。大学の研究室、NICT 他分野からなど、さまざまな研究環境、研究分野からKARCの研究者となった方々です。KARCでの研究は、自身の研究をより発展させたり、他の分野との融合を図ったり、そして全く新しい分野に飛び込んだり、その進む方向は様々ですが、それぞれの研究は今後KARCの推進する研究プロジェクトを担う、新しく力強い研究となって行くと思います。

その中から、巻頭では、特集I「光科学技術における本格的なブレークスルーを追求し、光デバイスの未踏領域を切り拓く」と題して、ナノICTグループ 分子フォトニックPJから、井上 振一郎氏の研究を紹介しています。研究は、ナノフォトニクスを駆使した画期的な有機光デバイス・システムを構築する、非常に意欲的な内容です。大学の研究室から、KARCの研究環境に移り、これらの研究が一層進むことが望まれます。特集IIとしては、「脳機能理論とその情報通信への応用～脳の中の力学と遅れの効用～」と題して、バイオICTグループ 脳情報PJから、梅原 広明氏の研究を紹介しています。その研究は、まだまだ端緒に付いたばかりではあるが、自身の持つ研究資産を背景にしながらも、NICT内のまったくの異分野から飛び込んだ、KARCならではの非常にユニークな研究となると期待しています。

研究トピックスでは、神戸研究所で進む脳情報通信融合研究に関連して、森田政務官の研究所訪問を紹介いたしました。また、ナノICT、バイオICTそれぞれで進む連携研究シンポジウムを紹介しております。バイオICT 研究関連では、報道発表、学会などの受賞報告がなされ、非常に活発で、すばらしい研究成果が発信されて行きました。今後、このようなさまざまな活動を通し、神戸研究所の基礎研究がより一層推進されることが期待されます。研究者紹介では、特集企画に合わせ、ナノICTグループ 分子フォトニックPJから梶 貴博氏、バイオICTグループ 脳情報PJから下川 哲也氏の2人をピックアップし、その研究を紹介しています。お二人とも大学の研究室から、KARCへ移り研究を進めている研究者で、それぞれの分野での最先端の研究がここ神戸研究所で進むことを期待します。

最後に、本号の編集において、インタビュー、研究紹介などへの対応や編集・校正にご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

推進室長 久保田 徹



独立行政法人
 情報通信研究機構 神戸研究所
未来 ICT 研究センター

〒651-2492 兵庫県神戸市西区岩岡町岩岡 598-2
 TEL.078-969-2100 FAX.078-969-2200
<http://www-karc.nict.go.jp/> Email: karc@po.nict.go.jp

