

KOBE ADVANCED ICT RESEARCH CENTER

KARC FRONT

未来 ICT 研究センタージャーナル

VOL.16
2009
AUTUMN

特集 I

“超”高速と“超”省電力を 同時に達成できる超伝導技術

特集 II

幅広い分野への応用が期待されるテラヘルツ領域

クローズアップ研究者

超伝導技術による省電力ネットワークを目指した
技術革新への挑戦

寺井 弘高 博士(工学)

原子の波の性質を利用した高精度小型慣性センサの研究

兵頭 政春 博士(工学)

NICT

独立行政法人
情報通信研究機構

KOBE ADVANCED ICT RESEARCH CENTER

KARC FRONT

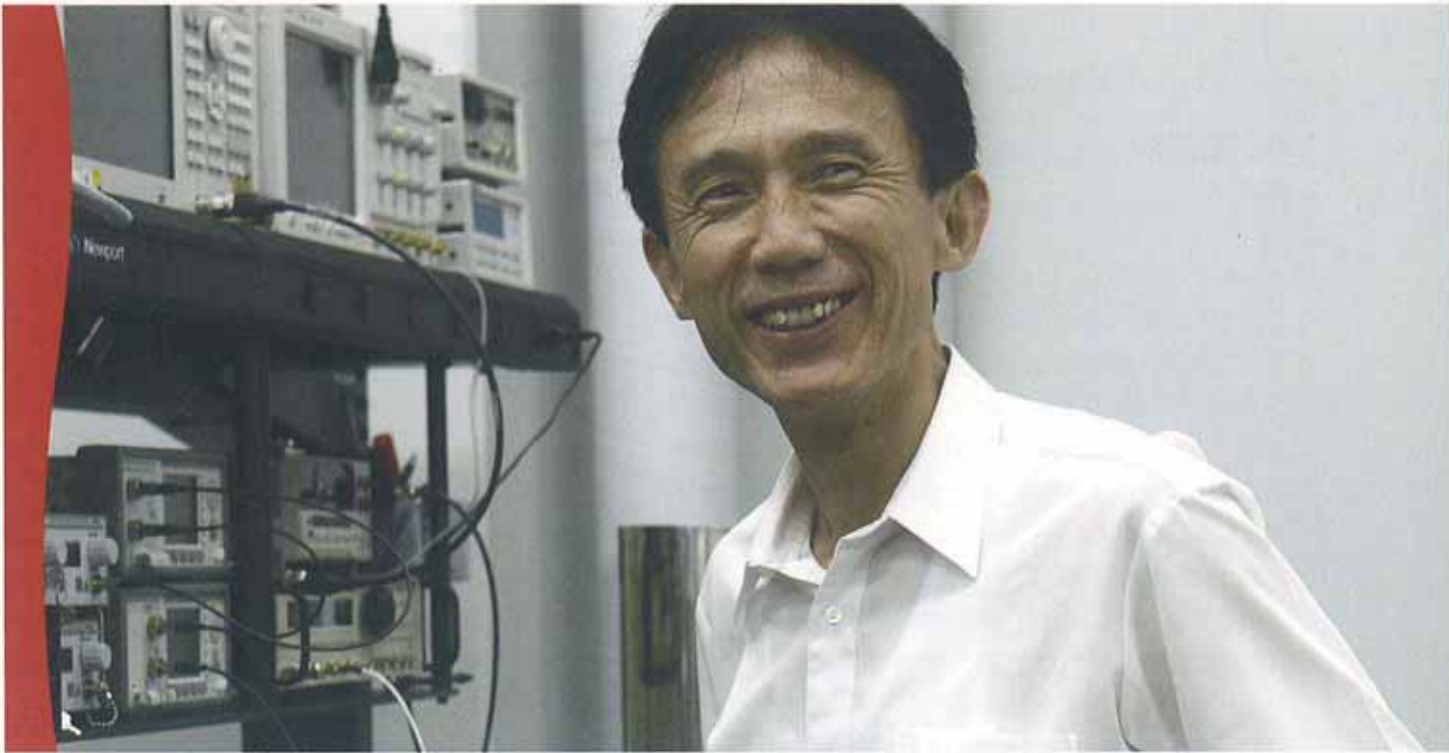
未来 ICT 研究センタージャーナル

VOL.16
2009
AUTUMN

CONTENTS

- 特集 I _____ 3
- “超”高速と“超”省電力を同時に達成
できる超伝導技術**
- 王 鎮 工学博士
- 特集 II _____ 6
- 幅広い分野への応用が期待される
テラヘルツ領域**
- 阪井 清美 工学博士
- KARCフロント・トピックス _____ 8
- クローズアップ研究者① _____ 12
- 超伝導技術による省電力ネットワークを目指した技術革新への挑戦**
- 寺井 弘高 博士 (工学)
- クローズアップ研究者② _____ 14
- 原子の波の性質を利用した高精度小型慣性センサの研究**
- 兵頭 政春 博士 (工学)
- 未来 ICT 研究センター STAFF 総覧 _____ 16





特集 I

“超”高速と“超”省電力を同時に達成できる超伝導技術

高速処理、高感度、そして低消費電力を実現できる超伝導技術。ナノ ICT グループの王グループリーダーに「超伝導プロジェクト」が進める超伝導デバイス・回路技術についてお聞きしました。

Q: 未来の技術といわれる超伝導、すでにさまざまな場面への応用が始まっていますが、あらためて超伝導とはどのような現象でしょうか。

王: 超伝導の特性は極低温状態で電気抵抗がゼロになることです。これは電流を流しても電圧が発生しない、すなわち発熱しないことを意味します。

もう一つの特性として、マイスナー効果という、強力な磁石上に超伝導体を置くと、反発力で浮き上がる現象があります。超伝導状態になった超伝導体内部の磁場はゼロ（完全反磁性の状態）で、外から磁場を加えると、超伝導体への磁場の侵入が阻止されます。

超伝導ナノワイヤ単一光子検出技術の実用化が近づく

Q: インターネットセキュリティで広く利用されている RSA 暗号は将来も情報処理において安全でしょうか。

王: インターネットによる情報通信で使われている RSA 暗号は、量子コンピュータが開発されれば、瞬時に解答を引き出せてしまいます。この対策として量子力学の原理を利用した「量子暗号」が開発され、現在その利用が検討されています。量子暗号では光の粒子である光子を暗号鍵とし、送信している途中で第三者が暗号を盗もうとすると、不確定性原理により、光子の状態に必ず痕跡が残り、盗聴されたことが検知されます。

Q: 光子の検知にはどのような方法があるのでしょうか。

王: 光子を検知するには単一光子検出器があり、今までは半導体光子検出器がよく利用されていますが、応答速度が遅く、また熱雑音によって感度も低い。検出器としての性能が不十分です。

これらの課題を解決するため、超伝導体を利用した「超伝導単一光子検出器 (SSPD)」が提案され、「超伝導プ

プロジェクト」では SSPD の実用化に向けた研究開発を行っています。

Q：超伝導単一光子検出器（SSPD）の原理を教えてください。

王：図 1 のように、超伝導 NbN 極薄膜で形成した、厚さ 4nm で幅 100nm のメアンダ状（ジグザグ状に曲がりくねった）に加工したナノワイヤに単一光子が入射されると、超伝導体のクーバーペア（電子対）が破壊され、ホットスポットと呼ぶ常伝導状態が発生します。この時に超伝導ナノワイヤの中の抵抗値の変化により発生した電圧パルスが検出されます。SSPD の応答速度は原理的に数十 GHz と非常に高速で、また、極低温（4.2K）で動作できるため、雑音が半導体検出器と比較して圧倒的に低いことも SSPD の特徴になります。

Q：SSPD をどのようにして使うのでしょうか。

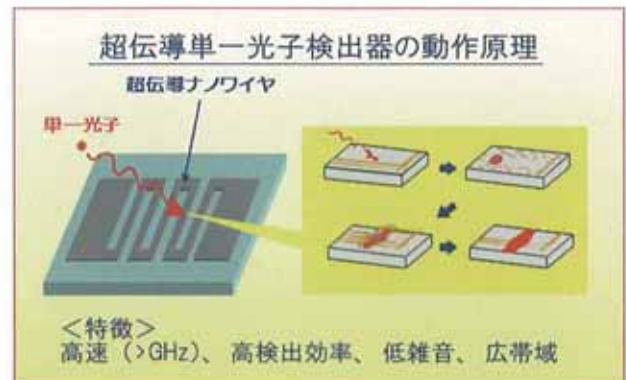


図 1

王：SSPD 素子を実用化するために、SSPD 素子と光ファイバーを μm オーダーの精度で実装できる技術と、液体ヘリウムを使わず、100V で駆動できる小型冷凍機を用いた SSPD システムを開発しました。この SSPD システムを使った量子暗号鍵伝送（QKD）フィールド実験では、世界最長距離（97km）最高速（10 kbps/photon）に達成しました。

増大するインターネットによる電力使用量を抑制する

Q：将来のネットワークの消費電力を低減するための超伝導技術とはどのようなものなのでしょうか。

王：5 年で 10 倍にも増える情報量进行处理するため、ルータやサーバの膨大な電力使用量を抑制しなければなりません。2020 年にはネットワークの消費電力が日本全体の消費電力の 20% に達するという予測もあります。

低消費電力かつ高速動作できるネットワークデバイスには、超伝導単一磁束量子（SFQ）回路と呼ばれるものがあります。

Q：超伝導単一磁束量子（SFQ）回路とはどのようなものなのでしょうか。

王：SFQ 素子は、超伝導素子とリング状にした超伝導体からなります。SFQ 素子には磁束（磁力線が集まったもの）を単位ごとに閉じ込めることができます。これを磁束の量子化といい、量子化された磁束の最小単位を単一磁束量子（SFQ）と呼びます。SFQ 素子の電流制御によって、SFQ の有無を情報として利用することが可能となります。SFQ 回路は数百 GHz を超える超高速動作が可能



で、かつ低消費電力を達成できます。

省エネ社会を築く超伝導技術

Q: 超大容量通信の実現には量子コンピュータによる演算処理や量子メモリなど、量子ビットデバイスという未踏技術の開発が必要です。この技術の開発状況をお聞かせください。

王: 量子ビットデバイスは量子情報を処理・制御するトランジスタに相当するものです。量子ビットデバイスは、二つの超伝導電極に薄い絶縁物をはさんだ超伝導トンネル接合で作りますが、絶縁膜の厚みは10から20Åで、ひとつのピンホールも許されず、かなり難易度の高い技術に挑戦しています。この素子の大きさは1μm以下で、サブミクロン微細加工技術や集積化技術などの基盤技術を作り上げなければなりません。

超伝導量子ビットデバイスの最も重要なファクターである量子もつれや量子重ね合わせを壊さない、コヒーレンス状態を長く保てる素子作製技術が必要です。今の段階ではコヒーレンス時間はμsで、これをmsまでにしたい。

超伝導量子ビットデバイスは量子コンピュータの信号処理、量子メモリなど色々な応用があり、そして極めて低消費電力で、未来の情報通信にとって大きな貢献をする技術です。

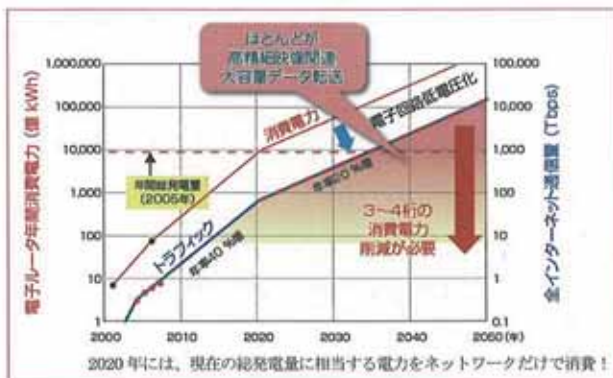


図2：ネットワーク電力消費の将来予測

Q: 超伝導物質は他の物質ではできない特性を持っていますが、冷やさないとその性能があらわれないところが弱点です。今、実際に超伝導が応用されているものを紹介ください。

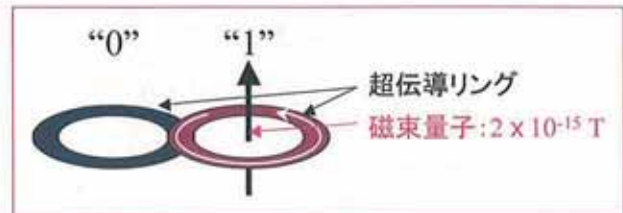


図3：SFQ回路の原理

王: 極低温で動作できるからこそ、超伝導デバイスは、ほかのデバイスで絶対に達成できない究極な高性能をもたらします。例えば、星や宇宙のチリなどから放射された微弱な電波や大気など地球環境の観測に超伝導トンネル接合を用いた高感度 SIS 受信機が使われています。

また、人間の脳や心臓からの磁気を計測する脳・心磁計、人体の断面像が見られる MRI も超伝導材料やデバイスを使用しており、現代医療現場にはなくてはならない検査機器です。ほかに、リニアモーターカーや、損失なく電力を送る超伝導送電ケーブルなどは実用化に向けて試験が重ねられています。

Q: “未来の技術”と思われていましたが、われわれの生活にも不可欠なテクノロジーとして、徐々に浸透しつつあるわけですね。

王: 超伝導は低消費エネルギーで、地球温暖化をすすめる原因の一つに挙げられている二酸化炭素の削減に貢献します。25%の炭酸ガス削減には大いにこの技術が注目されるでしょう。



神戸研究所 未来 ICT 研究センター
ナノ ICT グループ グループリーダー
王 鎮 工学博士

学歴
1978年 中国南京大学物理系卒業 同年同大学物理系助手
1991年 長岡技術科学大学大学院工学研究科博士課程修了、工学博士

職歴
1991年 郵政省通信総合研究所 (現情報通信研究機構) 入所
関西先端研究センター 超伝導エレクトロニクスグループグループリーダー
2000年 郵政大臣賞受賞
2007年～現職

近況：趣味は KARC に入所して以来続けているテニスという王グループリーダー。「昼休みと勤務の終わった後は、所内にあるテニスコートで汗を流します。大岩研究センター長と組むダブルスは絶妙なコンビネーションのプレーでポイントを取るの、まだまだ若い人には負けませんよ (笑)」



特集Ⅱ

幅広い分野への応用が期待されるテラヘルツ領域

テラヘルツ帯は人類共通の財産として、開拓しておくべき重要な領域です。テラヘルツ波研究の第一人者である阪井清美専門研究員（NICT / SCAT）にテラヘルツ波の応用分野などをお聞きました。

Q：テラヘルツ波はどの領域になるのでしょうか。

阪井：最後の未開拓領域と呼ばれてきた光と電波の境界領域がテラヘルツ領域です。現在の定義では周波数 100 GHz-10 THz（波長にして 3mm ~ 30 μm）の領域を指します。この領域は発生・検出ともに困難とされ、大気中の伝搬では水蒸気の吸収による減衰が大きく、非常に取り扱いにくい領域でした。テラヘルツ波の特徴は、可視光や赤外光より透過性が高く、低エネルギーで安全、そして水分に敏感などがあります。

Q：テラヘルツ波をより身近なものにした新技術とはどのように出会われたのでしょうか。

阪井：1988年のハワイでの国際会議で、米国のオーストン博士らが開発した“光伝導スイッチを超短光パルスで励起してテラヘルツ波を送・受信する方法”を知りました。1991年の神戸での国際会議でオーストン博士に偶然にもお会いし、きわめて単刀直入に「先生の方法でテラヘルツ波が出ていることを確認するにはどうすればよろしいか」

と質問しましたら、「あなたが持っている高感度検出器を、まず使いなさい」と答えられました。ちょうどその頃に KARC に移籍し、数千万円する固体フェムト秒レーザーが導入でき、この新技術を研究テーマとして取り上げました。この頃、“光伝導スイッチと固体のフェムト秒レーザー”を使うテラヘルツ波発生・検出の新手法が世界中に広がり始め、日本では KARC がトップを切りました。

Q：テラヘルツ波の発生と検出の原理を教えてください。

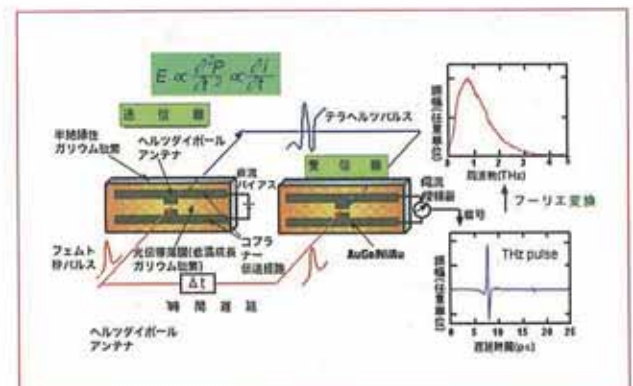


図 1：テラヘルツ波の発生と検出

阪井: 図1のように、低温成長ガリウムヒ素で作られた光伝導膜上に、ダイポールアンテナという狭いギャップを有する金属電極を送信器、および受信器として形成します。この電極にバイアス電圧をかけ、ギャップ部をフェムト秒レーザーパルスで励起するとパルス電界が発生し、これがテラヘルツ帯の広帯域電磁波（信号波）になっています。受信器は、送信器と同形状で、電圧の代わりに電流増幅器を接続した形です。この方法ではテラヘルツ帯の電磁波のコヒーレントな（位相が揃った）送・受信ができて、振幅と位相の情報を同時に得ることができます。

Q: 時間波形が測定できる分光法としてテラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) が注目されていますが、どのような原理でしょうか。

阪井: 図1にもとづいて説明します。固体のフェムト秒レーザーからの約100フェムト秒以下の光パルスは80MHz程（メーカーにより100MHzもある）の繰り返しで発生し、テラヘルツパルスも同じ繰り返しで発生して受信器に入ってきます。発生に使う各フェムト秒パルスの一部を分岐し、時間遅延をかけた上で受信器にあてて、入ってくるテラヘルツパルスをサンプリングする形で、元のテラヘルツパルスを再現します。このテラヘルツパルスをフーリエ変換すると数THzまでの周波数が含まれていることが分かります。THz-TDSは分光やイメージングに使いますが、図2は粉体中に隠されたプラスチック製のチェスの駒をテラヘルツ波によってイメージングしたものです。



図2: 粉体中のチェスの駒の透過

Q: 宇宙背景放射の観測にテラヘルツ波が活躍していると聞きました。



神戸研究所 未来 ICT 研究センター
短時間専門研究員 (SCAT)
阪井 清美 工学博士

経歴
1990年 大阪大学工学部助教授から、通信総合研究所（現 NICT）入所。第2特別研究室長。テラヘルツテクノロジーに関する研究に従事
2000年 選任、SCAT 参与、テラヘルツテクノロジーフォーラム会長。福井大学遠赤外線域開発研究センター 客員教授
現在も NICT 短時間専門研究員として神戸研究所に在籍

近況: 今も現役の時とほとんど同じ状態という阪井研究員。国際会議の委員を務めるため、少なくとも毎年一回は海外に出かけ、講演をこなす。「ここ数年、夏休みに家内と旅行するのが楽しみになりました。昨年と今年は避暑もかねて北海道へ出かけ、自然を満喫しリフレッシュしました」

阪井: 宇宙成立の謎の解析に宇宙背景放射を観測します。宇宙背景放射は2.7Kの黒体放射として観測され、放射は波長1mm（周波数300GHz）近傍にピークを持ちます。テラヘルツ領域に入ります。2006年のノーベル物理学賞は宇宙背景放射の精密な測定に対して贈られました。テラヘルツ波が貢献しているんです。この観測には1990年代までの技術が使われました。

Q: 様々な分野への応用が期待されますが、主にどのようなところに使われるのでしょうか。

阪井: 分光、あるいはイメージングの手法を使って幅広い応用の検討が始まっています。一部は具体化されており、たとえば空港での凶器所持検査、スペースシャトルの燃料タンクに使われる断熱材の非破壊検査、郵便物の危険物検査、車の塗装検査、医薬錠剤の多層コートなどの品質検査、病院で渡される包装薬の誤成分チェック、薬品工場での異種剤混入検査、粉ミルクなど粉体中の異物検出などです。

Q: テラヘルツ波の技術はライフサイエンス、環境、情報通信、安全・安心など時代の要請に応える技術ということが分かりました。積極的にこの技術に関わっていかねばならないですね。

阪井: 情報通信の分野では近距離の無線通信に向けた取り組みが始まっています。またバイオ分野への応用も今後真剣に検討すべき課題となります。

KARC フロント・トピックス

▶ 施設一般公開2009を開催

神戸研究所未来 ICT 研究センターでは平成 21 年度施設一般公開を 7 月 25 日（土）に開催しました。当日は一時激しい雨が降るなど悪天候の中、475 名の方にご来場いただきました。訪れた来場者は当日催されたクイズラリーへの参加や、各プロジェクトが工夫した体験型の展示に参加されるなどして、当センターの施設・研究を十分に楽しまれた様子でした。また、当日は当センター研究員による、DNA、超伝導、脳情報科学の一般向け講演会も催し、当センターの持つ最先端研究の一端を紹介しました。会場では熱心な参加者から多数の質問があり、時間が延長する場面もありました。

本年の一般公開は、悪天候の中でしたが、事故やトラブル等なく無事に終了することができました。ポスター掲示等ご協力いただいた関係各所に感謝いたします。

● 各プロジェクトブース

各プロジェクトブースにも楽しい体験がいっぱい！！



ブロッコリーの DNA をとりだして観察。



「MY 顕微鏡」のコーナー

近畿情報通信局のブース



分子を使った「ナノテクノロジー」の展示

「脳」のはたらきについて知る展示



パラボラに熱を置く実験コーナー

風船を -200℃ に凍らせる実験コーナー

● KARC クイズラリー

各ブースからクイズを出題。



● KARC 研究講演会の開催

当センターの研究員が脳・バイオ・ナノの 3 つの分野についてわかりやすくレクチャーする講演会を開催しました。



バイオ「0 歳からの DNA」

脳「脳科学」



ナノ
「超伝導って何？」

● 神戸研究所 展示室

展示室では 7 月 22 日の皆既日食特別展示を開催しました。



KARC フロント・トピックス

▶ 第二回 神戸研究所 研究交流会を開催

10月15日(木) 神戸研究所未来 ICT 研究センターにおいて、神戸研究所に所属する研究者による「研究交流会」を開催しました。この交流会は研究者がプロジェクトの枠を超え研究成果・技術に関する情報・意見交換を行うことにより、新たな融合研究・領域横断的研究の掘り起こしと促進を図ること、また研究者間の親睦を深め、コミュニケーションの活性化を促進することを目的として、昨年に続き二度目の開催となります。当日は所内参加者約90名の他に熊谷博理事、細川瑞彦新世代ネットワーク研究センター長他3名の参加をいただきました。発表数59点、各研究者が前半・後半に分かれ3時間のポスターセッションの間、活発な意見交換を行いました。総評で熊谷理事より「活発なセッションだった。但し十分な時間が無く残念」とのご意見もいただくほど盛況となりました。

神戸研究所では、理事のご意見や同時に行ったアンケートの結果を考慮し、「研究交流会」の継続と更なる発展を検討しております。



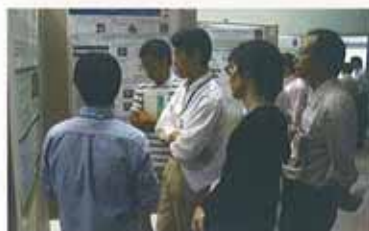
神戸研究所 未来 ICT 研究センター大会議室



説明を受ける熊谷博理事



細川瑞彦新世代ネットワーク研究センター長(左)、阪井清美客員研究員(右)



交流会の様子



研究奨励賞受賞者

● 研究奨励賞を受賞した発表ポスターの紹介

- 「DNA を鋳型とした自己集合に基づく高密度バイオデバイスの構築」**
 神戸研究所 未来 ICT 研究センター バイオ ICT グループ 生体物性プロジェクト 専攻研究員 古田 健也
- 「KIF2C ネック領域ペプチドによる微小管のプロトフィラメントへの分割とリング状構造の形成」**
 神戸研究所 未来 ICT 研究センター バイオ ICT グループ 生体物性プロジェクト 専攻研究員 清水 洋輔
- 「光ナノインターフェースの研究開発」**
 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 専攻研究員 山本 和広
- 「ソフトマテリアルの構造制御とそのデバイス応用」**
 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 専門研究員 菊池 宏

KARC フロント・トピックス

▶ 染色体の構造変化に関わる新たなタンパク質を発見 ～最新の研究成果を報道発表～

～生命の多様性をもたらす遺伝情報組み換えシステムの一端を明らかに～

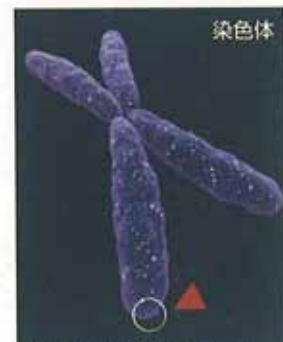
バイオ ICT グループ近重裕次主任研究員の研究成果が、11月3日報道発表されました。

【背景】

遺伝情報を組み換え、コピーして精子や卵子などの生殖細胞に分配するために生殖細胞が行う減数分裂では、壊れやすい遺伝情報を安全・確実に組み換え、娘細胞（分裂後の細胞）に送り届けるために、染色体は一時的に特殊な構造になります。この構造変化は、酵母やテトラヒメナのような単細胞微生物からヒトのような高等動物の細胞まで共通して見られ、遺伝情報の組み換えを効率的に行い、生命の多様性を生むために極めて重要であると考えられています。そして、この生命の多様性創出の現場としての染色体が構造変化を起こすメカニズムの解明が久しく求められていました。

【今回の成果】

減数分裂において、細胞の核内に存在する染色体の末端（テロメア）が核膜上の1点に集合する特殊な構造（ブーケ配置）をとり、遺伝情報の組み換えが行われます。今回、われわれはこの構造を形成する因子としてテロメアを核膜につなぎ止める働きがあるタンパク質（Bqt4）と Bqt4 を酵素による分解から守る働きがあるタンパク質（Bqt3）を新たに発見しました。NICT がこれまでの研究で発見した Bqt1 および Bqt2 というタンパク質に加え、これらの新しいタンパク質を発見したことは、核内における染色体の構造変化メカニズムの解明につながるもので、減数分裂における細胞核構造の変化の意義を解き明かす上で大きな進展となります。この成果は国際誌ジャーナル・オブ・セル・バイオロジーの2009年11月2日号に掲載されます。なお、本成果は国立大学法人大阪大学との融合研究の一環として得られたものです。

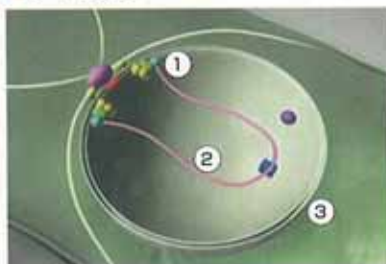


©Sebastian Kaulitzki - Fotolia.com
染色体の末端を「テロメア」と呼ぶ

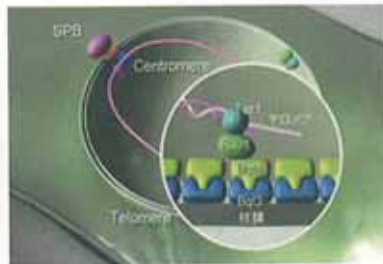
【今後の展開】

今回の発見をもとに、ほぼすべての動植物に共通して見られる染色体の核内構造変化メカニズムを持つ生物学的意義を解き明かし、生物が持つ優れた特徴を取り入れた、柔軟でロバストな情報通信システムへの応用につなげていきます。

●ブーケ配置



① テロメア ② 染色体 ③ 核膜



Bqt3 は Bqt4 を酵素による分解から守り、Bqt4 はテロメアを核膜につなぎ止める働きを持つタンパク質。

テロメアが核膜上のある1点に集合する構造。遺伝情報の組み換えを効率的に行うために重要な構造であると考えられている。テロメアが1点に集合して束になったような構造が花束のような姿になることからその名が付けられた。

KARC フロント・トピックス

▶ 第13回 細胞生物学ワークショップを開催

神戸研究所未来 ICT 研究センターにおいて8月17～22日の6日間、第13回細胞生物学ワークショップを開催しました（主催：NICT、大阪大学大学院、北海道大学）。本ワークショップは、若手研究者のバイオイメージング技術修得の促進を目的としており、今回、全国から選抜した大学院生と若手研究者あわせて24名が参加しました。講師は、NICT 平岡泰上席研究員、原口徳子上席研究員を含めた大学や企業の研究者・技術者など約50名。参加者は最先端の蛍光顕微鏡装置を実際に使用して、細胞内の生体分子のダイナミクスを解析するのに必要な蛍光顕微鏡の基礎と方法論を、講義・実習を通して学びました。人材育成の観点から、研究成果の社会的還元と関連研究分野への貢献として、今後も継続して実施していく予定です。



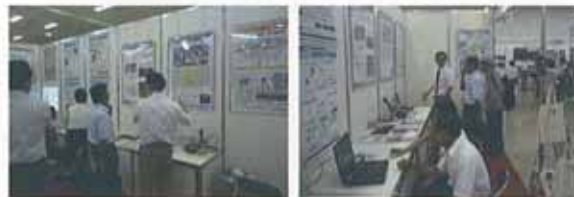
▶ 神戸研究所の成果を「国際フロンティア産業メッセ 2009」に出展

国際フロンティア産業メッセ 2009
(The International Industrial Fair 2009 KOBE)

開催日程：2009年9月3日（木）～4日（金）

場 所：神戸国際展示場

参加人数：合計 19,115 人
(3日 9,318 人、4日 9,797 人)



展示内容：高感度超伝導単一光子検出器・超小型モバイルイオンポンプ（実機展示）・遺伝子産物細胞内局在データベース・未来 ICT 研究センター紹介

▶ NICT スーパーイベント 2009 に出展

NICT スーパーイベント ～人へ、地球へ、未来へ。ICT の最新研究。～

開催日程：2009年10月6日（火）～10日（土）

場 所：幕張メッセ HALL5
(CEATEC JAPAN 2009 内)

参加人数：合計 150,302 人 (CEATEC 全体)
(6日 26,653 人、7日 31,405 人、8日 12,793 人、
9日 44,833 人、10日 34,618 人)



2009年10月6日（火）～10日（土）の5日間、幕張メッセにて開催された CEATEC JAPAN 2009 内において「NICT スーパーイベント」が開催されました。

神戸研究所では「脳から始まる未来の情報通信－ NICT が進める脳情報通信研究－」と題して、神戸研究所の脳情報プロジェクトによる脳情報研究の紹介や、fNIRS の実演を行いました。同時に行われたシンポジウムでは、大岩研究所長による「脳情報通信」に関する講演もあり、神戸研究所での脳情報通信研究や未来の情報通信のための脳研究の重要性を発信する場となりました。

紹介 クローズアップ研究者①

超伝導技術による省電力ネットワークを目指した技術革新への挑戦

神戸研究所 未来 ICT 研究センター ナノ ICT グループ 主任研究員
寺井 弘高 博士 (工学)

研究の背景

インターネットが広く社会に浸透し、ネットワークを流れる情報量は増加の一途を辿っています。このまま情報量が増加を続けると、2020年には情報通信機器の消費電力だけで日本の全電力消費量の20～30%にも達すると予想されており、地球温暖化が大きな社会問題となるなか、ネットワークの省電力化はきわめて重要な課題となっています。これまでネットワークの発展を支えてきた半導体技術は、性能の限界に近づいており、今後もネットワークの持続的発展を維持していくためには、新たな技術革新が不可欠と考えられます。われわれは、将来のネットワーク省電力化を実現するキーテクノロジーとして、超伝導技術に着目して研究に取り組んでいます。

「超伝導」とは物質の電気抵抗がある温度以下でゼロになる現象であり、リニアモーターカーや医療用MRI（核磁気共鳴画像法）装置などですでに使われています。一方、微小な信号を取り扱うエレクトロニクス分野でも、超伝導は重要な技術となっています。脳活動を計測する磁束

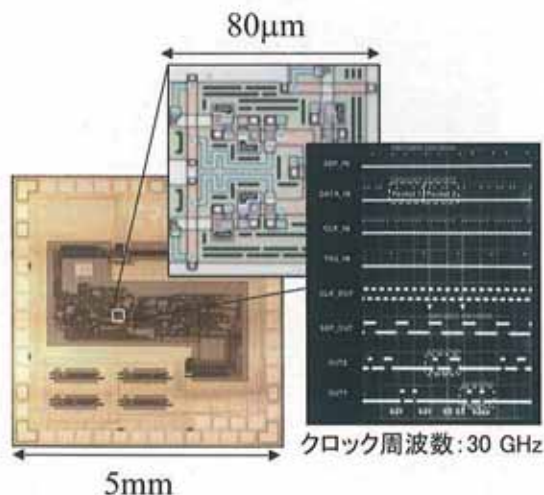
計、宇宙の成り立ちを解明する電波天文と呼ばれる分野で使用されるサブミリ波（周波数300GHz～3THzの電磁波）受信機で、超伝導素子の高感度性は不可欠となっており、近年では光子1個を検出可能な高感度光センサーとしても注目を集めています。このような各種検出器の他に、電圧標準や論理演算素子にも利用可能です。本稿では、論理演算素子としての応用に焦点を当て、ネットワーク省電力化を目指したわれわれの研究を紹介します。

研究の内容

超伝導素子の長は、高速性と低消費電力性を兼ね備えていることである。素子単体であれば、化合物半導体（GaAs, InP等）を材料とした素子にも、100GHzでの動作が可能なのは存在しますが、これらの素子の消費電力は大きく、大規模な集積化には適しません。100GHzを上回る高速性と、大規模集積化が可能な低消費電力性を兼ね備えているのは超伝導素子だけであり、情報が集中する幹線ネットワークのルータなど、膨大な電力を消費する機器に超伝導素子を適用することで、ネットワークの省電力化に貢献できるはず。しかし、その実現には、回路規模の拡大、冷凍機への実装技術の開発などが必要です。

超伝導集積回路では、磁束量子という微弱な磁場（ 2.07×10^{-15} T）を情報担体とするため、半導体とは動作原理が根本的に異なります。そのため、回路設計から作製、計測に到るまで、新たな研究開発が必要です。図1は超伝導チップの顕微鏡写真ですが、このチップにはネットワークスイッチに用いる回路が集積化されており、30GHzという半導体素子を1桁上回る速度で動作することが確認されています。この素子の最小寸法は2 μ mで、最先端の半導体回路に比べてまだ1桁以上大きいのですが、今後、素子の微細化を進めることで、さ

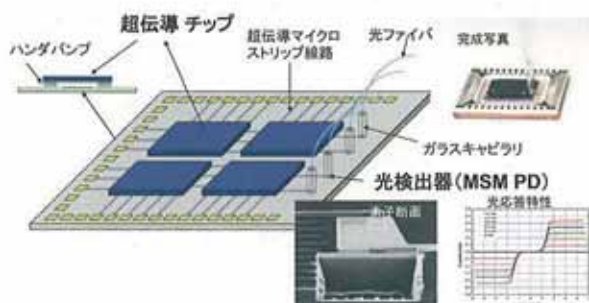
図1 超伝導チップの顕微鏡写真



らなる高速動作と10万～100万素子の集積化が可能
です。

一方、超伝導回路を冷凍機に実装する時に重要となる
のが、光信号入出力です。ネットワークでは、伝送速度
10 Gbps (10¹⁰ ビット/秒) 以上のデータが光信号
として流れているため、これを電気信号に変換すること
なく、直接超伝導回路に入出力することが望ましいので
す。図2は、われわれが開発を進めている光信号入力モ
ジュールの構造ですが、光検出器として、半導体基板上
に櫛形の金属電極を形成した金属-半導体-金属 (Metal-
Semiconductor-Metal: MSM) 型の光検出器を用い、
超伝導回路に入力パルス幅 100 ps (10⁻¹⁰ 秒) の光信
号を入力することに成功しました。今回実験に成功した
光波長は 830 nm ですが、適切な半導体材料を選択す
ることで、通信波長帯 (1.55 μm) での光信号入力が
可能になると考えます。

図2 開発中の光信号入力モジュール



今後の研究展開

超伝導回路への光信号入出力が実現することで、光技
術と超伝導技術の密接な連携が可能となり、よりエネル
ギー効率の高いネットワーク機器の実現が期待されます。
そのためには、現状で動作可能な回路規模 (素子数 1 万
個程度) を、さらに 10 倍～100 倍に拡大する必要が
ありますが、素子微細化、多層配線の導入により十分可
能でしょう。一方、現状で動作可能な素子数 1 万個規模
の回路を、超伝導光子検出器の出力信号処理に適用する
研究を進めており、このような超伝導が得意とするセン
サと一体化した実プロダクトを目指した研究開発を進め
ていくなかで、回路作製技術、実装技術等をさらに成熟
させ、ネットワークの省電力化に貢献し得るコア技術の
創出を目指していきます。



学歴
1993年
名古屋大学工学部電子工学科博士前期課程修了
1996年
名古屋大学工学部電子工学科博士後期課程修了

職歴
1996年
日本電気(株)基礎研究所研究員
1997年
通信総合研究所 COE 特別研究員
1998年
通信総合研究所(現:情報通信研究機構)入所
2009年10月現在
未来ICT研究センター ナノICTグループ
主任研究員

撮影場所を選んだのは、センター内にあるテ
ニスコート。「明石市民大会での上位入賞と
実業団テニス大会決勝リーグ進出を目指し、
週末はもっぱら練習に明け暮れます」



経歴
1990年4月
郵政省通信総合研究所（現 NICT）勤務 現在に至る
2000年3月
博士（工学、神戸大学）

週末は自宅近くの六甲山系の山に登ることが楽しみ、自然を感じながら運動不足を解消でき、山上から眺める瀬戸内海の美しい景色で「気分もリフレッシュできます」

紹介 クローズアップ研究者②

原子の波の性質を利用した高精度小型慣性センサの研究

神戸研究所 未来 ICT 研究センター
ナノ ICT グループ 主任研究員

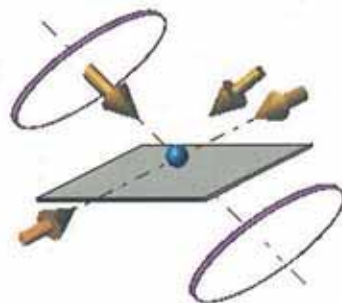
兵頭 政春 博士（工学）

研究の背景

携帯電話の国内の契約台数はすでに1億台を超え、今後は通信速度の高速化に加え、便利な機能を持った端末がますます増加すると見込まれます。あるアンケート調査の結果によると、携帯端末に求められる機能として、テレビや電子マネー機能と並んでナビゲーション機能が上位にランキングされています。これを裏付けるかのようにGPSナビの機能を持った携帯端末も普及してきましたが、GPS電波が届かない地下街やビルの中では役に立ちません。仮に地下街やビルの中で大災害に巻き込まれた場合、暗闇の中で、手探りで出口を探し出すことは至難の業です。そのような場合に、携帯端末が自らの居場所と出口の方向を即座に示してくれればどれほど心強いでしょう。

そのようなGPSを必要としない究極の自立型ナビゲーションを実現するための慣性センサが提案されています。

図1 原子捕獲装置の概略図



原子捕獲装置の概略図。灰色の板状の部分が平面基板で、上面が鏡になっており、直下には捕獲磁場発生用の特殊な電流路が設けられる。黄色い矢印はレーザー光、紫色の楕円は補助的な磁場発生用のコイルである。中央の青い球が捕獲されたルビジウム原子を表す。

原子を利用した回転速度センサ（原子ジャイロ）

一般に自立型のナビゲーションを実現するためには慣性センサが必要で、大きく分けて加速度センサと回転速度センサ（ジャイロスコープ）の二種類があります。加速度センサは小型で高精度のものが開発されていますが、回転速度センサは小型化すると原理的に必ず精度が低下してしまうため、高精度と小型化を両立したものはまだ開発されていません。例えば視覚障害者を街中で安全に誘導するためには、東京駅の新幹線ホームを端から端まで歩いて1往復した場合に10cm程度の誤差に抑える必要があります。これは航空機に搭載されている最先端の光ファイバージャイロスコープと同等の性能が必要であることを意味しますが、そんな大がかりなジャイロスコープを持ち運ぶことは到底不可能です。

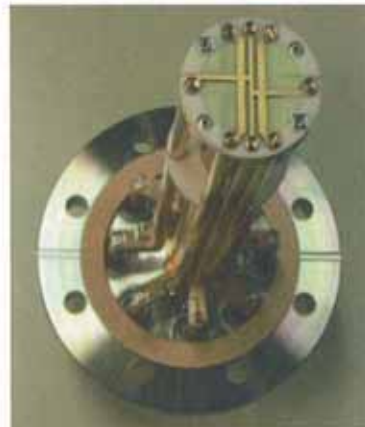
そこで注目されるのが、原子の波の性質を利用し、これまでと全く違う原理に基づいて動作するジャイロスコープです。量子力学によれば、すべての粒子はド・ブロイ波と呼ばれる波の性質を持っています。回転する座標系で右回りと左回りのド・ブロイ波を干渉させると、回転速度に比例して干渉縞がシフトします。このシフトの大きさを測定すれば回転速度を知ることができます。シフトの大きさは粒子の静止質量エネルギーに比例するので、光の波の代わりに質量の大きな原子の波を使うことでジャイロスコープの感度を桁違いに高くすることができます。海外の研究機関ではこのような高い精度を持つ原子ジャイロがすでに開発されていますが、現状では2m以上もある巨大なものです。これは原子の運動量を揃えるために原子をビーム状にして飛ばす必要があるためですが、原子を極低温まで冷却して平面基板上に捕獲する技術を使い、運動量を揃えることができれば、原子ジャイロの精度を保ったままで大きさを1/100以下、つまり1cm程度にまで小型化できる可能性があります。これなら最先端の光ファイバージャイロと同等の性能を持つ原子ジャイロを携帯端末に組み込むことも夢ではありません。

これまでの研究成果

小型の原子ジャイロを実現する上で、平面基板上にできるだけ多くの原子を捕獲することが信号対雑音比の向上につながります。そのためには、捕獲領域にできるだ

け均一な四重極性の磁場を形成させる必要があります。さらに、捕獲された原子の波を制御するためにレーザー光の精密な制御技術も必要です。私たちはこれまでに、原子を捕獲するための平面基板上に設ける電流パターンを工夫することにより、捕獲できる原子の数を従来の2倍に増やし、しかも消費電力を1桁減らすことに成功しています。また、捕獲した原子に向かって適度に調整されたレーザー光を照射することにより、90%の効率で原子スピンを揃える実験にも成功しています。

図2 平面基板を見下ろした写真



平面基板を見下ろした写真。平面基板自体は透明なため、下側にある電流路が黄色く透けて見えている。

今後の研究展開

小型の原子ジャイロを実現するためにはまだまだ多くの研究課題が残されています。例えば、原子の波に対する導波路を作って光ファイバーのように原子の波を伝送したり、原子の波の正確な重ね合わせ状態を作ったり、原子同士の相互作用を制御したり、原子数をむだなく計測できる技術を開発したりしなければなりません。それには苦労も多そうですが、世の中にまだ存在しないものを作り出せるという喜びをきっと味わうことができるでしょう。

小型で高精度なナビゲーション機能が実現されれば、健常者や視覚障害者の日常の暮らしが便利になるだけでなく、災害時にも頼もしい存在となるはずで、「命を託せる携帯端末」の実現をめざして、安全・安心な社会の実現に大きく貢献できるような研究をこれからも続けていきたいと思っています。

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	群衆・社 (医学)
専攻研究員	劉 健勳	工学・社 (医学)
専攻研究員	小池 耕彦	博士 (情報学)
専攻研究員	片桐 祥雅	工学博士
専攻研究員	寒 重之	博士 (学術)
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	
一般職員	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 有美	

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	Paper 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	田中 秀吉	博士 (理学)
主任研究員	笠井 克幸	博士 (工学)
専攻研究員	山本 和広	博士 (工学)
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	山下 太郎	博士 (理学)
専攻研究員	牧瀬 圭正	博士 (理学)
専門研究員	菊池 宏	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)
特別研究員 (月1回)	李 佳	博士 (工学)
専門調査員	三木 秀樹	理学博士
専門調査員	中浜 龍夫	
専門調査員	青木 勲	
専門調査員	上田 里永子	
専門調査員	上門 敏也	医学博士

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)
研究マネージャー	内藤 栄一	博士 (人基・情報学)
短時間専門研究員	山岸 典子	Ph.D
専攻研究員	荒牧 勇	博士 (理学)
専門研究員	玄 相興	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	小笠原 英明	博士 (医学)
専門研究員	吉岡 利福	
専門研究員	清水 優	Ph.D (数学)
短時間専攻研究員	野崎 大地	博士 (教育学)
短時間専門研究員	OZTOP Ehan	Ph.D (Computer Science)
短時間専門研究員	大須 理英子	博士 (文学)
専門調査員	古川 友香	
専門調査員	Ugur Emre	
短時間補助員	上原 信太郎	

バイオ ICT グループ

グループリーダー	今水 寛	博士 (心理学)
グループリーダー	村田 勉	博士 (医学)
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	榎原 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)
研究員	小林 昇平	博士 (工学)
専攻研究員	志鷹 裕司	博士 (工学)
専攻研究員	劉 国相	博士 (工学)
専攻研究員	西浦 昌哉	博士 (学術)
専攻研究員	木村 成輝	博士 (理学)
専攻研究員	成瀬 康	博士 (工学)
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	社 労士 (労務)
専攻研究員	魏 強	工学博士
専攻研究員	浅川 東彦	博士 (理学)
専攻研究員	武内 史英	博士 (理学)
専攻研究員	清水 洋輔	博士 (工学)
専攻研究員	古田 健也	博士 (学術)
専攻研究員	森戸 勇介	博士 (理学)
専攻研究員	江田 英雄	博士 (工学)
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	工学博士
専門研究員 (NTT)	山田 順一	工学博士
有期技術員	吉雄 真喜	
有期技術員	菊本 真人	博士 (理学)
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	
有期技術員	野界 武史	博士 (工学)
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	
短時間補助員	小田 正起	
有期補助員	樋口 美香	
有期補助員	高村 佳美	

総合ICTセンター 野ICTグループ/未来ICTラボグループ

主任研究員	早坂 和弘	博士 (理学)
主任研究員	齋藤 伸吾	博士 (理学)
短時間研究員 (SCAT)	阪井 清美	工学博士



編集後記

前号に引き続き、本広報誌の企画、編集を進めてきましたが、今回個人的になかなか手が回らず、執筆いただい皆様や周囲の方々にご迷惑をおかけした中で、なんとか本号の発刊にごぞつきました。初めての前号とはまた違った意味で、広報誌編集の難しさを実感いたしました。

KARC・Front vol.16 (2009年秋号)では、「超伝導」や「量子」をキーワードに、「物性」「物理」を基礎とした応用技術に関する特集を企画いたしました。

本年度に取り上げた「脳情報融合研究」、前号の「ナノ・バイオ融合研究」と同様、KARC内の一つの研究の方向性を示すものとなります。

巻頭では、「超」をイメージできる、高速度性と省電力性を持つ「超伝導技術」の現在と今後の研究について、広く大きな視点から、ナノICTグループグループリーダー 王氏にお話をいただきました。

また関連する分野として「テラヘルツ領域」にもスポットを当て、分野の第一人者である阪井氏に、さまざまな分野で工学応用が期待されるテラヘルツ波の研究についてお教えいただいております。

研究トピックスでは、「施設一般公開」、「研究交流会」などKARCで行われたイベントや、内外への広報、成果発信を行ったイベントを紹介しております。また、生物情報PJでは、多くの研究成果の中から行われた報道発表の内容を詳しく紹介しております。

研究者紹介では、特集企画に合わせ、ナノICTグループ 超伝導PJから寺井氏、同じくナノICTグループ 分子フォトニクスPJから兵頭氏の2人をピックアップし、現在進んでいる「超伝導」「量子」の最先端研究を紹介していただきました。

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 兵庫県神戸市西区宮岡町岩間 588-2
TEL 078-969-2100 FAX 078-969-2200
http://www.karc.nict.go.jp/ Email: karc@po.nict.go.jp

