

### 3.3 第一研究部門 未来ICT研究センター

研究センター長 益子信郎

#### 研究センター概要

第一研究部門 未来ICT研究センターでは、10年、20年後の情報通信技術における『種』の創出を目標に、バイオICT、ナノICT技術に関する先導的研究・開発を実施している。バイオICT技術では、情報通信の新概念につながる技術の実現を目指して、人間の脳機能や生物の生体機能を解析し、脳情報の利用技術や超低エネルギーで高機能なバイオ型の分子利用通信技術、状況・環境の変化を自律的に判断し柔軟に情報通信を行うことができる、生物に学ぶアルゴリズムなどの情報通信の新概念につながる研究開発を行う。また、ナノICT技術は、原子・分子・超伝導体などの新たな材料を用いて、量子特性の高度な制御技術や低エネルギー化に導く光子レベルの情報制御技術、テラヘルツ帯技術、原子・分子レベルの構造制御・利用技術などによる、高性能・高機能の次世代通信デバイスの研究開発を実施する。人に優しい豊かな未来創造のため、全く新しい観点からの情報通信技術イノベーションを目指している。

#### 主な記事

##### 【バイオICTグループ】

##### (1) 脳情報通信技術の研究開発

非侵襲脳活動計測である脳磁界計測法と機能的磁気共鳴画像法の統合解析法の研究開発を行い、視覚刺激の位置と時間変化を脳活動の信号から再現することに成功した。また、文脈における妥当な意味理解とこれに関連する脳部位と活動時間の同定及び感情的成分を含む音声刺激に対する脳活動と生理指標の同時計測に成功した。

##### (2) 分子通信技術の研究開発

分子通信構築のための生体機能要素の解析として、生体分子の情報伝達能力の定量化と特性評価を行い、分子通信の設計指針を得た。

##### (3) 生物アルゴリズムの研究開発

細胞内情報伝達に対応した情報理論の定量的な表現、符号化及び通信能力のシミュレーションによる検証、リン酸化と脱リン酸化分子スイッチを対象としたシステム生物学モデルの構築に成功した。

##### 【ナノICTグループ】

##### (1) 分子ナノ材料を用いた分子光素子、光・電子融合デバイスの研究

単一分子の基材埋め込みと光子相関測定技術の開発、フォトニック構造による分子の発光制御技術の研究開発を進め、蛍光相関計測系を構築した。高効率MSMフォトダイオード作製プロセスを開発し、デバイス作製に成功した。

##### (2) 超伝導を用いた光・電磁波デバイス、光インターフェース技術の研究

厚さ5nmの極薄膜において10K以上の超伝導転移温度を有する高品質超伝導窒化ニオブ薄膜のエピタキシャル成長技術や、スプレージェット法などの分子クラスター作成技術を開発した。

##### (3) 極微小・微弱シグナルの高機能センシング技術の研究

有スピン分子を含む中空クラスターの微弱スピン電子シグナルの取扱いに必要な基盤技術、対象物の形状と光学特性を精密計測し、微細加工する基本技術を開発した。また、8nmピッチの微細グリッド構造の、自発的形成・制御技術を開発した。

成果の普及のために国際バイオEXPO、オルガテクノ2006、ナノテク2007などへの出展、国際会議、ワークショップの開催など積極的な広報活動、研究交流を実施した。また、国内外との協調・連携を強化し、若手研究員の登用を積極的に行った。

### 3.3.1 未来ICT研究センター バイオICTグループ

グループリーダー 大岩和弘 ほか25名

#### 未来のコミュニケーション技術をより快適なものとする萌芽的コア技術の開発

##### 概要

ヒトの脳機能や生物の生体機能を解析し、脳情報の利用技術や超低エネルギーで高機能なバイオ型分子の利用通信技術、状況・環境の変化を自律的に判断し柔軟に情報通信を行うことができる生物のプログラムに学ぶ(バイオインスパイアード)アルゴリズムなどの萌芽的な要素技術の研究開発を行う。

- (1) 脳情報通信技術の研究開発：人間の脳機能の非侵襲脳機能計測法の統合・高度化を通じて脳情報抽出技術の精ち化を進める。課題実験に対する脳の反応をこの計測法を用いて測定、情報の受け手の「わかり」(理解度)や「情報ストレス」に関する情報を獲得する。視覚や運動制御に関連する課題実験に対する脳機能の計測により、情報の送り手の視覚イメージや運動意図の複合化の基礎的実験を行う。
- (2) 分子通信技術の研究開発：細胞や生体分子の情報処理・伝達機能を詳細に解析し、この機能を再構築する。この情報処理機能の測定によって、細胞・分子による情報処理伝達を実証する。
- (3) 生物アルゴリズムの研究開発：細胞等のバイオモデルの知見を調査し、その解析から新しい情報処理アルゴリズムの抽出、コンピュータ上でのモデル化を行う。

##### 平成18年度の成果

###### (1) 脳情報通信技術の研究開発

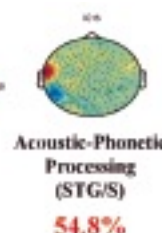
- ① 非侵襲脳活動計測の統合化として、200チャンネル式脳磁界計測法(MEG)と機能的磁気共鳴画像法(fMRI)の統合解析法の研究開発を進めた。この統合解析法によって、四半視野を2Hzで移動する視覚刺激の位置と時間変化を再現できる情報を脳活動信号から抽出することに成功した。



- ② 文脈や期待に基づく妥当な意味の理解とこれに関連する脳部位と活動時間を同定することができるようになった。また、感情的成分を含む音声刺激に対する脳活動や生理指標を同時に計測することを可能とする技術開発を進めた。これらにより、理解・感情・感性的反応の客観的指標の確立に向けて研究が大きく前進した。



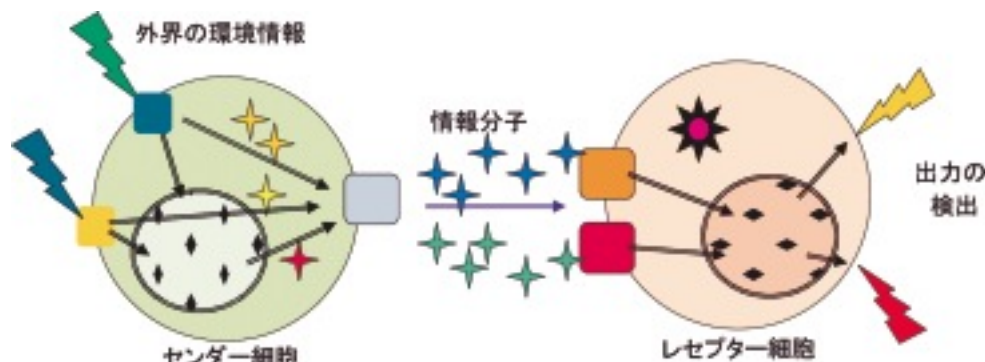
- ③ 視覚や運動制御に関連する脳活動の計測では、脳活動から視覚的注意のレベルが推定できることが明らかになり、情報の受け手の状態を理解した効率的なコミュニケーション信号を生成する方法の開発に向けて大きく前進した。



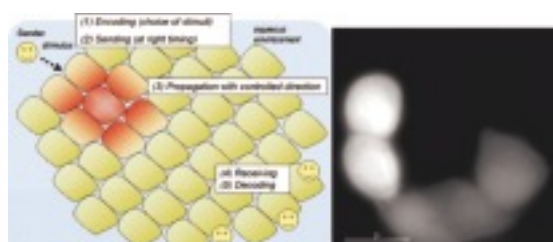
運動性言語野(ブローカ野)の脳活動(MEG)から、ノイズの中からba(バ)とda(ダ)を聞き分けるなどの音声認識の成績を推定

## (2) 分子通信技術の研究開発

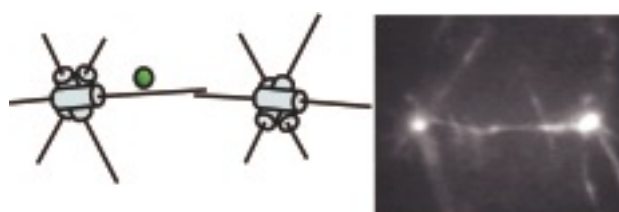
- ① 分子通信構築のための生体機能要素の解析として、生体分子の情報伝達能力の定量化と特性評価を行い、分子通信の設計指針を得た。
- ② 信号選択性の高い受信機能の研究開発として、遺伝子改変による細胞間情報伝達を司るタンパク質発現を行い、細胞内 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度を利用した培養細胞間情報伝達の実験モデル構築を行った。隣接する細胞間での情報伝達を可視化することに成功、分子通信の実証実験として大きなマイルストーンとなった。



細胞・生体分子の情報伝達技術・インタフェース技術の抽出と工学的再現を目指した「分子通信技術」のターゲットイメージ



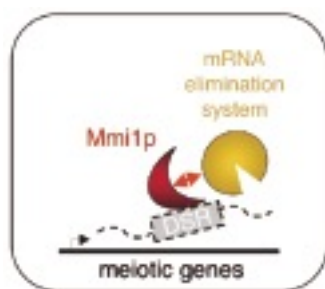
$\text{Ca}^{2+}$  を情報担体とした細胞間の情報伝達の再現実験



生体分子を用いた分子スケールのネットワークシステムの構築

## (3) 生物アルゴリズムの研究開発

- ① 生物内の反応プロセスや細胞内信号伝達回路を解析することによって、減数分裂を調整する分子機構に新たな機構を提唱したほか、細胞核膜の内外での情報分子の流れを解析することに成功した。
- ② 細胞内情報伝達において、それに対応した情報理論の定量的な表現、符号化及び通信能力をシミュレーションによって検証し、リン酸化と脱リン酸化分子スイッチを対象としたシステム生物学モデルを構築できた。
- ③ ネットワーク人工化学を利用することで、3次元溶液空間中の溶質分子の動きと反応を数学的に記述することで分子間相互作用系の検討を進めた。
- ④ 著名な国際的科学誌『Nature』に論文を発表した。



“Selective elimination of messenger RNA prevents an incidence of untimely meiosis”  
(Nature, Vol.442, 6 July 2006)

### 3.3.2 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 ほか17名

#### ナノICTに関する研究開発

#### 概要

新たな原理・概念に基づく未来の情報通信技術の創出を目指し、原子・分子・超伝導などの新たな材料を用いて、量子特性の高度な制御技術や低エネルギー化に導く光子レベルの情報制御技術、原子・分子レベルの構造制御・利用技術の基盤技術の研究開発を行う。

- (1) 分子ナノ材料を用いた分子光素子、光・電子融合デバイスの研究：分子ナノ材料を用いた分子光源技術やナノ技術による光ナノインターフェース技術を確立し、単一光子発生システムや分子ロジック・スイッチ素子の研究開発を行う。
- (2) 超伝導を用いた光・電磁波デバイス、光インターフェース技術の研究：高品質超伝導材料と高精度デバイス技術を確立し、100MHz以上の高速動作の超伝導単一光子検出器と光・超伝導インターフェース回路技術の研究開発を行う。
- (3) 極微小・微弱シグナルの高機能センシング技術の研究：多様な機能・情報を有する原子・分子応用技術を確立し、情報検出・記録、伝搬性能を飛躍的に向上させる高感度・高精度センシング技術の研究開発を行う。

#### 平成18年度の成果

- (1) 分子ナノ材料を用いた分子光素子、光・電子融合デバイスの研究
  - ① 単一分子計測・解析及び分子系による単一光子発生光源の評価を行うために、単一光子レベル蛍光相関測定系の構築及び初期実験を実施した(図1)。

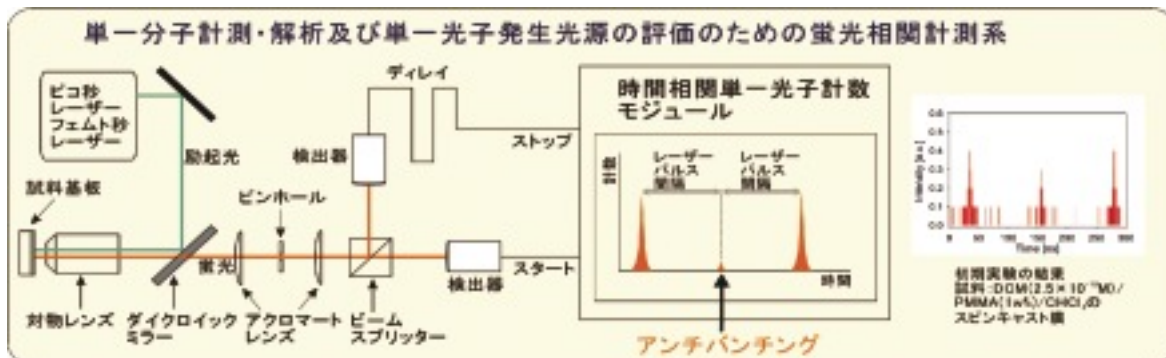


図1 単一光子レベル蛍光相関測定系及び実験結果

- ② フォトニック構造により発光を制御する単一分子光素子に向けたフォトニック結晶(図2)の作製及び安定な単一光子発生光源として蛍光分子をマトリックス分子中に閉じ込めた分子クラスターを作製する技術の構築に着手した。
- ③ 表面プラズモンの超集束モードの波動方程式を近似的に解く方法を検討し、表面プラズモンによる光エネルギー集束構造の作製に向けた解析的検討手法を開発した(図3)。



図2 フォトニック結晶

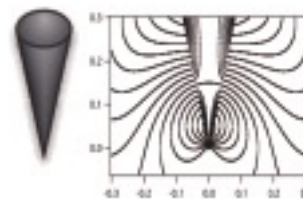


図3 集束モード解析的記述

- ④ 伝搬光と円筒形の表面プラズモン伝搬モードとの高効率な結合方法を検討し、ラグールガウス光発生のための空間位相変調パターンの簡易発生法を開発した。

## (2) 超伝導を用いた光・電磁波デバイス、光インターフェース技術の研究

- ① 厚さ5nm以下極薄高品質超伝導NbN薄膜作製技術を確立し、膜厚2.8nmの薄膜では、約10Kの超伝導転移温度を達成した(図4)。
- ② 電子線描画技術とフォトリソグラフィ技術を融合して線幅200nm超伝導ナノワイヤ単一光子検出素子の作製に成功した(図5)。
- ③ 光パルス照射実験を試み、単一光子レベルの入力信号に対して出力信号の捕捉に成功した。
- ④ InGaAs/InPベースのMSMフォトダイオードを作製し、1.55 $\mu\text{m}$ 波長帯の光入力に対して応答感度0.6 A/Wを達成した(図6)。
- ⑤ 光パルスによる高速応答実験を実施し、時間幅1.5psの入力光パルスに対して半価全幅30psの応答特性を得た(図7)。

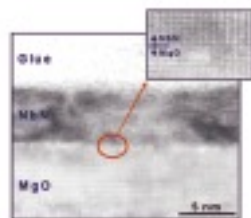


図4 極薄超伝導NbN薄膜



図5 超伝導単一光子検出器

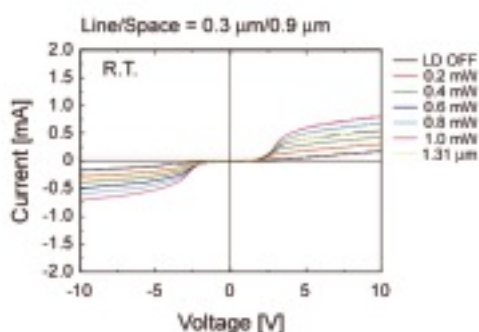


図6 MSMフォトダイオードの光応答特性

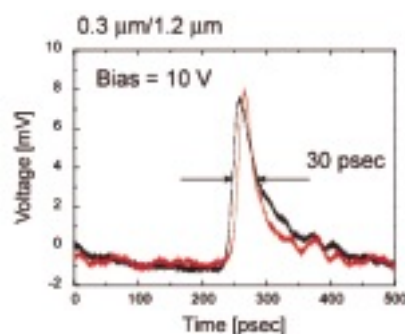


図7 MSMフォトダイオードのパルス応答特性

## (3) 極微小・微弱シグナルの高機能センシング技術の研究

- ① ナノスケール磁性を利用する分子デバイス開発において核となる有スピン機能分子やこれを内包する中空クラスターを作成し、これに能動的にアクセスするための基盤技術を開発した(図8)。
- ② 多価イオン照射により描いたパターンを利用することで基板上的分子配置精度が飛躍的に高まることを実験的に実証した。
- ③ 異なる化学活性を有する複数種の分子構造体からなる8nmピッチの微細グリッド構造を自己組織化現象によって自発形成させる技術を開発した(図9)。
- ④ 精密なクリーンルームプロセスを必要としないエレクトロマイグレーション法によって単一分子FETデバイスを簡便に作成する技術を開発した(図10)。
- ⑤ 生物学的アルゴリズムによって動作する省電力かつ高信頼性を有するデバイス回路を理論モデル化し、その実現に必要な技術要素の考察と提案を行った。

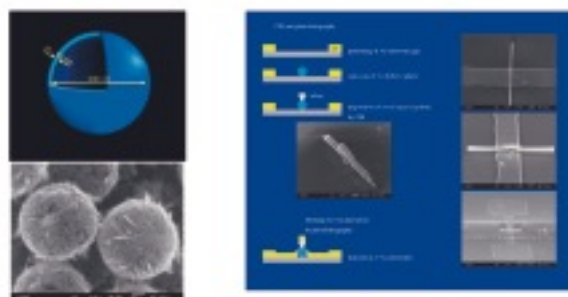


図8 ナノスケール磁性を利用した分子デバイス

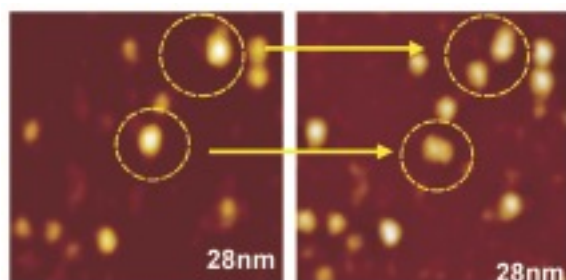


図9 単一分子のマニピュレーション技術

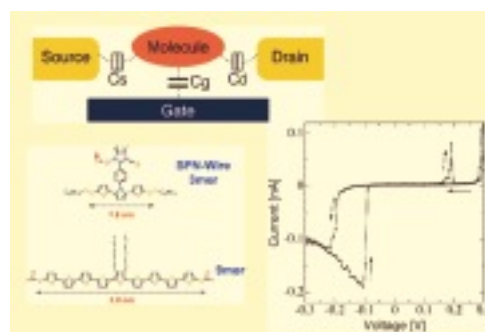


図10 単一分子FETデバイス