



研究課題名 百年以上の超長期秘匿性を保証する情報通信ネットワーク基盤技術

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授

とみた あきひさ
富田 章久

研究課題番号： 18H05237 研究者番号： 60501434

キーワード： 情報理論、ネットワーク、暗号

【研究の背景・目的】

近年、ゲノムデータや製薬情報など長期間秘匿性を担保する必要がある情報を電子的に伝送、保管、処理することが進められている。例えばゲノムデータはヒトの寿命を考えれば少なくとも百年は安全に保管されるべきである。ところが、現代の暗号は20年から30年ごとに世代交代が繰り返されている。現在の技術で暗号化された情報が百年以上たった後も安全であるとは考えにくい。

そこで、本研究では、将来いかに技術が進歩しても安全性が保たれる、情報理論的安全な情報保管ネットワークの基盤技術を開発する。安全な情報保管のために秘密分散を用いる。また、量子暗号鍵配送(QKD)技術によって秘密分散ネットワークを安全にする利用するために必要な秘匿通信を行う。最終的に、情報理論的に安全なデータの中継と保存、秘匿計算・復元を行うネットワークを実現可能とする。

【研究の方法】

本研究で実現を目指すネットワークの構成の概略を図1に示す。秘密分散サーバにおいてマルチユーザ化、サーバ同期、秘匿計算などネットワークに必要な機能を実現する。ユーザ-サーバ間・サーバ-サーバ間では近距離高速なQKDリンクを利用して鍵を共有してデータの秘匿伝送を行う。離れたエンドユーザ間でも長距離伝送可能なQKDリンクによって短いパスワードを共有して認証を行うことで情報理論的に安全なデータ中継が可能になる。

本研究は①ネットワーク構築技術、②長距離QKD技術、③近距離高速QKD技術、④安全性保証・効率的な鍵生成プロトコル理論の4つについて行う。前

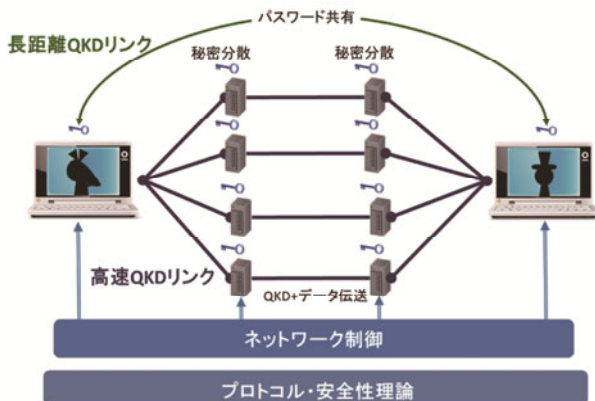


図1 情報理論的安全なネットワーク構成

半では候補となる方式の実現性を理論と実験の両面から精査する。これにより情報理論的安全なネットワーク、長距離(100-300km)QKDリンク、高速(1TBデータ転送)かつ光通信と共存するQKDリンクのそれぞれを実現する方式を決定する。後半では装置の製作およびそれらを取りまとめるシステム設計とソフトウェア開発、統合システムの動作実証を行う。

【期待される成果と意義】

本研究は情報理論的な現代暗号技術と量子鍵配送技術との融合によって長期間秘匿性を保つことができる情報通信ネットワークを実現するものである。ここで実現される光量子ネットワーク基盤技術は高速光通信技術、標準技術、暗号技術等のIT技術と量子情報技術が結び付いた世界に先駆けたものである。従来、情報理論的安全な暗号技術やQKD技術は、将来的な可能性はあるものの実用には適さないとも考えられていた。それに対し本研究では両者の長所を組み合わせて真に実用可能なネットワーク基盤を確立し、超長期間の情報の安全性を担保する新たな枠組みを構築する。さらに要素技術として開発する光パルスの同期やレーザの位相・周波数制御は光通信の高度化にも寄与する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- K. Nakata, A. Tomita, M. Fujiwara, K. Yoshino, A. Tajima, A. Okamoto, and K. Ogawa, "Intensity fluctuation of a gain-switched semiconductor laser for quantum key distribution system," *Optics Express*, **25**, 622-634 (2017)
- M. Fujiwara, A. Waseda, R. Nojima, S. Moriai, O. Wakaha, and M. Sasaki, "Unbreakable distributed storage with quantum key distribution network and password authenticated secret sharing," *Scientific Reports*, **6**: 29988, 1-8 (2016).

【研究期間と研究経費】

平成30年度-34年度
148,200千円

【ホームページ等】

<http://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/hikari/index.htm>



研究課題名 オムニポテントファイバレーザをコアとするデジタルフロンティア光計測の研究

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

やました しんじ
山下 真司

研究課題番号： 18H05238 研究者番号：40239968

キーワード： センシングデバイス、信号情報処理

【研究の背景・目的】

サイバー空間とフィジカル空間が様々な形で相互に影響し合い、そこから新たな産業やサービスが生まれる社会は超スマート社会あるいは Society 5.0 と呼ばれている。そこでサイバー空間とフィジカル空間を繋ぐものとしてセンシング技術が重要である。

本研究では、デジタル的な特徴と高い機能をもつ万能レーザを意味するオムニポテントレーザをファイバレーザで実現し、これとデジタルコヒーレント信号処理技術とを融合させることで、サイバー空間とフィジカル空間とをつなぐ革新的なデジタルフロンティア光計測の実現を目指す(図1)。

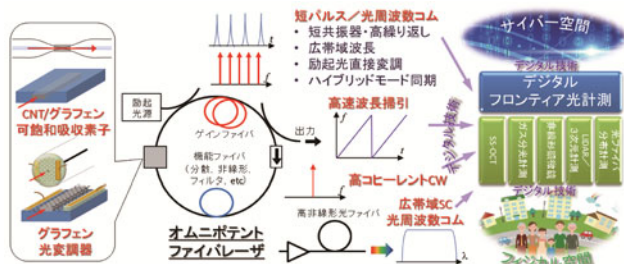


図1 オムニポテントファイバレーザをコアとしたデジタルフロンティア光計測

【研究の方法】

本研究は、研究代表者が進めてきた2つのオリジナル技術を基盤とする。その第一はカーボンナノチューブ(CNT)およびグラフェンを用いた受動モード同期ファイバレーザである。CNT・グラフェンは超高速・超小型で低コストな受動モード同期素子で、光ファイバ・導波路との相性が良いためファイバレーザに適しており、また広い波長帯域で使用できるという特長がある。オリジナル技術の第二は分散チューニング能動モード同期ファイバレーザで、これは能動モード同期と波長分散を利用して波長の掃引を可能にするものである。光フィルタが不要でその速度・帯域に制限されず、ゲインと分散さえあればどんな波長でも実現が可能という特長をもつ。

この2つのオリジナル技術をベースとして研究を進めてきたのが図1に示すオムニポテントファイバレーザで、受動/能動モード同期技術を利用し、高強度な短パルスのみならず、分散や非線形などの機能ファイバの活用により、高繰り返し・広波長帯域・高速波長掃引など、デジタル的な特徴と高い機能をもつファイバレーザを意味する。同様の機能を実現

できる類似技術は存在するが、我々の提案するオムニポテントファイバレーザはレーザのもつ多彩な機能をモード同期という単一の技術により引き出せるという特長を持っており、コスト・安定性・動作速度などの多くの面で優位にあると考えている。

オムニポテントファイバレーザを用いた光計測として本研究で提案しているのがデジタルフロンティア光計測である。従来のアナログ光計測ではレーザー光で空間光学系による干渉などを利用して被測定物の計測を行い、受光後は振幅情報のみをアナログ信号処理により取り出していた。これに対してデジタルフロンティア光計測では、オムニポテントレーザ光を空間光学系だけでなく光ファイバや光導波路などを介してフィジカル空間の計測を行い、デジタルコヒーレント受信により振幅と位相情報の両方をデジタル化して信号処理する。得られた信号は圧縮センシングや深層学習などのさらに高度な信号処理を施し、サイバー空間とフィジカル空間との橋渡しを行う。このようにデジタルフロンティア光計測はオムニポテントファイバレーザとデジタル信号処理技術をフルに利活用した革新的な光計測技術である。

【期待される成果と意義】

このデジタルフロンティア光計測技術を図1にあげてあるような様々なセンシング技術、光コヒーレントモグラフィ(OCT)、ガス分光計測、非線形顕微鏡、LIDAR/3次元計測、光ファイバ分布計測などに応用することで、安全・安心な超スマート社会の実現に資することが期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- S. Yamashita, A. Martinez, and B. Xu, "Short pulse fiber lasers mode-locked by carbon nanotube and graphene (Invited)," *Optical Fiber Technology*, vol.20, no.6, pp.702-713, Dec. 2014.
- S. Yamashita, "Dispersion-tuned swept lasers for optical coherence tomography (Invited)," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol.24, no.3, 6800109, May 2018.

【研究期間と研究経費】

平成30年度-34年度
144,800千円

【ホームページ等】

<http://www.cntp.t.u-tokyo.ac.jp>

【基盤研究(S)】

大区分C



研究課題名 震災軽減のためのヘテロ解析による地殻イメージング手法の開発とその適用

東京大学・地震研究所・准教授 **いちむら つよし**
市村 強

研究課題番号：18H05239 研究者番号：20333833

キーワード：地震工学、地震防災、応用力学、計算科学

【研究の背景・目的】

本研究では、最先端の計算科学と観測・解析の融合により震災軽減のための地殻イメージング（地殻構造推定や震源状態推定など）の高度化を目指す。地震・地殻変動観測の高度化（海溝型巨大地震震源域直上の海域での観測等）に伴い、より高分解能・高精度な地殻イメージングの可能性が高まりつつあるが、そのためにはより高分解能・高精度な解析手法が必要とされる。大規模有限要素法はこのような地殻応答解析に適しているものの、大規模有限要素モデル構築及びこれを用いた解析のコストは膨大であり、最適な地殻構造推定・地殻応答解析を行うことは容易ではない。本研究では、大規模有限要素法モデルの高速自動構築手法・これを用いた高速な地殻応答解析手法・これらを用いた地殻構造最適化を、ヘテロコンピューティング的アプローチにより実現することを目指す。また、開発した手法と実観測データを用いて、実問題を対象とした地殻イメージングを試みる。

【研究の方法】

研究代表者である市村強のグループが解析手法を開発し、分担者である堀高峰のグループが開発された解析手法と実観測データを用いて地殻イメージングを試みる。具体的には、市村グループにおいてヘテロコンピューティング及び大規模有限要素法に基づく高詳細3次元不均質地殻構造モデルでの地震動・地殻変動の超高速計算技術を駆使した最適化手法の開発・この手法に適した解析基盤の導入・この解析基盤へのアルゴリズム実装を行う。堀グループでは、海陸で観測される地殻変動データと震源状態の時空間変化のモデルを整合させる手法を開発するとともに、市村グループにより開発された手法を順次導入することで、地殻イメージングシステムのプロトタイプを構築し、実観測データを用いて地殻イメージングを試みる。

【期待される成果と意義】

震災の軽減を図る上で、震災想定は重要な情報である。これを作成する上で地殻構造や震源状態の情報は基本的な情報として大きな役割を果たしている。例えば、地震動や津波高の想定を行う際、地殻構造や震源状態の情報を用いて、想定震源シナリオの構

築やこれを入力とした地震動・津波解析が行われる。本研究では、最先端の計算科学と観測・解析を融合することで、上記情報の信頼性を高めることを目的としており、震災軽減に対して大きな貢献が期待される。

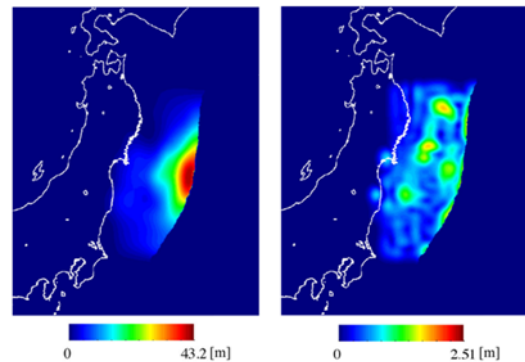


図 地殻構造の曖昧さを考慮した震源断層すべり分布の推定実験（左：平均のすべり分布，右：ばらつきの分布）

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Ichimura, T., Fujita, K., Quinay, P. E. B., Madgededara, L., Hori, M., Tanaka, S., Shizawa, Y., Kobayashi, H. and Minami, K., Implicit Nonlinear Wave Simulation with 1.08T DOF and 0.270T Unstructured Finite Elements to Enhance Comprehensive Earthquake Simulation, SC15: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, Article No. 4, 2015.
- Hori, T., Hyodo, M., Nakata, R., Miyazaki, S., Kaneda, Y., A forecasting procedure for plate boundary earthquakes based on sequential data assimilation, Oceanography, 27, 2, 94-102, 2014.

【研究期間と研究経費】

平成30年度～34年度
144,700千円

【ホームページ等】

http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sensing_and_simulation/
<http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/researcher/etfsrc/>

【基盤研究(S)】

大区分C



研究課題名 超高速ハイブリッドカスケード光電荷変調による 極限時間分解撮像デバイスと応用開拓

静岡大学・電子工学研究所・教授

かわひと しょうじ
川人 祥二

研究課題番号：18H05240 研究者番号：40204763

キーワード：光電荷変調素子、高時間分解撮像、バイオメディカルイメージング、先端光計測

【研究の背景・目的】

極微弱可視光、近赤外光、高背景光下の微弱光等を検出対象とし、100フェムト秒にも迫る極限的時間分解能を有する超高速時間分解撮像デバイスとその応用に関して研究を行う。提案する新概念の超高速光電荷変調素子であるハイブリッドカスケード光電荷変調素子(HyCAM; hybrid cascade photo-charge modulator)によって、可視から近赤外光までの極微弱光に対して極限的な高時間分解能を有する撮像デバイスが実現され、他に類を見ない本質的に優れた性能、機能性を有することを試作と応用計測によって実証する。これにより生命科学、先端医療の発展、先端科学計測等の発展に寄与することを目的とする。

【研究の方法】

ハイブリッドカスケード光電荷変調素子 HyCAM (図1)は、埋込フォトダイオードのp+領域を電極化し、これによる垂直電界制御と先に提案したLEFMによる横方向電界制御からなるカスケード電界制御により、光電子の走行チャネルの電位分布変調を行い、大受光面に対して高速かつ戻り電荷の発生しない光電子輸送制御を行う素子である。大受光面のマルチタップ型光電荷変調素子に適し、多窓時間分解による極限的な時間分解能を実現する上で優れた構造である。

HyCAMの形成条件の確立、構造最適化、特にマルチタップ型高速光電荷変調素子構造について、極めて高い時間分解能、検出感度、低ノイズ特性を有することを実験的に示すための基本素子群と少数画素による2次元レイの設計と試作を行う。p+電極間にホー

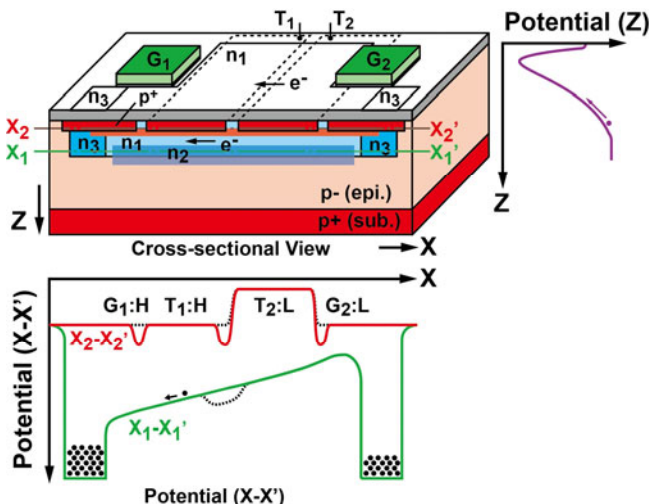


図1 ハイブリッドカスケード光電荷変調素子。

ル電流を流さないための電位障壁の形成(X_2-X_2')と、電位ディップのない光電子高速走行チャネルの形成(X_1-X_1')の両立が重要である。基本素子試作の結果を踏まえて、その応用計測に適した仕様と機能による時間分解撮像デバイスを開発し、各種の応用計測に適用し、その有用性を明らかにする。特に、癌検出内視鏡を目指した自家蛍光の蛍光寿命イメージング、時間・空間分解法により、定量性を高めた血液動態(脳活動)近赤外分光イメージング、誘導ラマン散乱分光計測による無染色バイオイメージング、サブ100 μm の超高分解能、高背景光下での高分解能光飛行時間3次元画像計測等に応用し、光応用計測分野に新しい価値をもたらす可能性を検証する。

【期待される成果と意義】

ハイブリッドカスケード光電荷変調は、日本発の新しい撮像デバイス原理であり、これを用いた時間分解撮像デバイスは、従来の時間・空間走査型から時間並列・空間並列型へと時間分解撮像のパラダイムシフトをもたらすものである。

微小な半導体素子としての特徴も含めて、医学・医療機器を革新し、先端科学計測の発展と新しい産業計測手段の提供をもたらすキーテクノロジーとなり得るもので、本研究を通してその技術の基礎が確立され、その体系化がなされることは、学術的に極めて大きな意義がある。未知の応用分野の開拓も含めて、その成果が光応用計測にもたらすインパクト・波及効果は計り知れない。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- M.-W. Seo, Y. Shirakawa, Y. Kawata, K. Kagawa, K. Yasutomi, S. Kawahito, "A time-resolved four-tap lock-in pixel CMOS image sensor for real-time fluorescence lifetime imaging microscopy", IEEE J. Solid-State Circuits, vol.53, pp.1-12, 2018.
- D. X. Lioe, K. Mars, S. Kawahito, M. Hashimoto, "A stimulated Raman scattering CMOS pixel using a high-speed charge modulator and lock-in amplifier," Sensors, vol. 16, pp.532-547, 2016.

【研究期間と研究経費】

平成30年度～平成34年度
147,600千円

【ホームページ等】

<http://www.idl.rie.shizuoka.ac.jp/kawahito@idl.rie.shizuoka.ac.jp>



研究課題名 ナノ構造メタ界面の力学・マルチフィジックス特性設計

京都大学・大学院工学研究科・教授 きたむら たかゆき
北村 隆行

研究課題番号： 18H05241 研究者番号： 20169882

キーワード： ナノ構造、メタ界面、力学、マルチフィジックス、設計

【研究の背景・目的】

デバイス等の微小機器は多くの材料から構成されており、異材界面が随所に存在する。一般的に、異材界面は機能的に劣る部分として知られている。本研究では、多数の微小構造体を配列した界面（分散ナノ構造メタ界面）に発現する特異な力学特性およびマルチフィジックス特性の機構を明らかにする。これによって、界面を利点とした設計へと発展を図ることを目的とする。そのため、(1)10~30 nm 程度の構造体に対する負荷実験手法を開発してナノ構造メタ界面の構成要素であるナノ構造体の幾何形状が生み出す力学特性を実験評価し、(2)その集合体である分散ナノ構造メタ界面全体が持つ力学機能を引き出して設計・実証する。また、(3)ナノ構造体間の接触や大変形による非線形相互作用を積極利用することで、メタ界面が持つ機能を拡張設計する。さらに、これらの実験観察・解析技術を発展させて、(4) 分散ナノ構造メタ界面の磁性や強誘電性を含むマルチフィジックス特性へと機能発展を図る。

【研究の方法】

動的斜め蒸着法によって精緻に形状・寸法を制御したナノメートルスケールの極小構造体が密集した分散ナノ要素集合構造の作製に成功している(図1)。この層は、ナノレベルの分散的な構造を有する集積構造材料であることに特徴があり、異材界面に配置すれば(ナノ構造メタ界面)、特別な力学的機能やマルチフィジックス機能を発現することが、申請者らの予備研究から示唆されている。本研究では、まず微小構造体に対する力学実験装置を開発(図2)し、実験・解析を行う。その後、マルチフィジックス特性に関する第一原理解析および装置の拡張およびそれによる実験により、要素の特性とメタ界面の特性

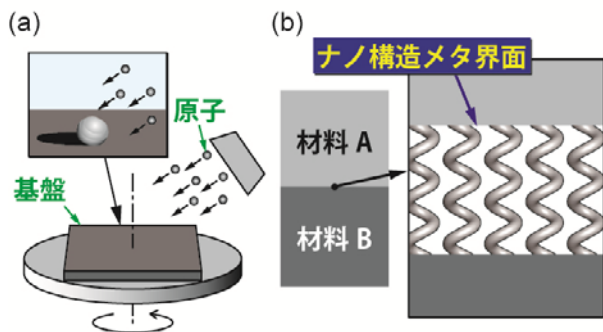


図1 (a)動的斜め蒸着法、(b)ナノ構造メタ界面

を解明する。

【期待される成果と意義】

- ・構造的には弱点と考えられてきた界面に精密に制御したナノ構造の界面を設計・製造することによって、今までにない優れた力学特性が発現させること。すなわち、材料力学および機械材料学をナノ領域へ発展させること。
- ・ナノ構造メタ界面の機能をマルチフィジックスに展開して、ナノ材料力学および材料学を融合することによって新領域を開拓すること。
- ・精密なナノスケール構造体の強度実験法およびマルチフィジックス実験法を確立すること。
- ・従来の材料力学の枠を超える、力学-物性間相互作用「マルチフィジックス特性」に関する新たな学術領域へ発展させること。

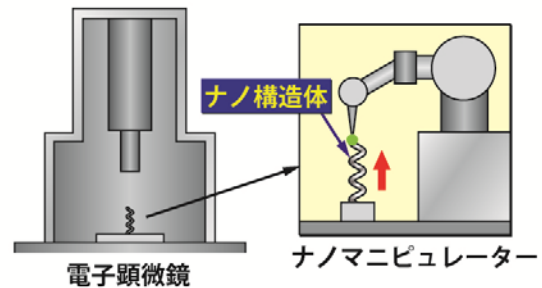


図2 微小構造体に対する力学実験装置

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Kitamura, T. Sumigawa, H. Hirakata and T. Shimada, "FRACTURE NANOMECHANICS" 2nd Edition (Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., (2016)), ISBN 978-981-4669-04-7.
- ・ Y. Umeno, T. Shimada, Y. Kinoshita and T. Kitamura, "MULTIPHYSICS IN NANOSTRUCTURES" (Springer, (2017)), ISBN 978-4-431-56571-0.

【研究期間と研究経費】

平成30年度-34年度
150,700千円

【ホームページ等】

<https://www.me.t.kyoto-u.ac.jp/ja/research/introduction/zairyoubusseii>

【基盤研究(S)】
大区分C



研究課題名 機械学習によるナノ粒子流の制御と一分子識別技術への応用

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

かわの さとゆき
川野 聡恭

研究課題番号：18H05242 研究者番号：00250837

キーワード：分子流体力学、ナノ粒子、一分子計測、機械学習、MEMS/NEMS

【研究の背景・目的】

超微細加工技術の進展に伴い、電極付きマイクロ・ナノ流路内の分子運動をイオン電流等として捉え、時空間ビッグデータのAI解析をも見据えた新しい高速一分子識別の試みが活発化している。しかし、実用化は道半ばで、ブラウン運動、電流計測速度および収率に関連する対象分子の局所/大域的流動制御が本質的な技術障壁とされる。本研究は、イオン、原子、分子および荷電微粒子の電磁場下における特殊流動を統合的に究明し、分子流動科学の利導と機能発現に繋げる新学術構築を目指す。すなわち、従来の流体力学体系に「熱揺動と大偏差原理」「電気泳動、熱泳動および光圧」「機械学習による最適設計と制御」に関する知識と技術を融合する。具体的には、図1に示すように、対電極群が付加された流体デバイスによる一分子識別に関し、in situ 電流計測、シミュレーションおよびベイズ推定を高速・高精度化し、分子流体力学、ナノテクノロジーおよびAIの援用によるゲノム医療の基盤技術創成に資する。

【研究の方法】

未知未踏の分子流動現象を「知る」「創る」「測る」「操る」「惟る(推定する)」ことを戦略カテゴリーとし、それぞれの予測・制御技術および可視化計測技法を系統的かつ統合的に深化させる。これらと縦横する3課題：揺らぎの個性に基づく分子識別(Theme 1)、液相における極性粒子流のトンネル電流計測とEHD(Electrohydrodynamics)制御(Theme 2)、局所レーザー照射による分子マニピュレーション(Theme 3)を重点サブテーマとして研究を進める。Theme 1では、揺動散逸定理の前提を超える拡張型

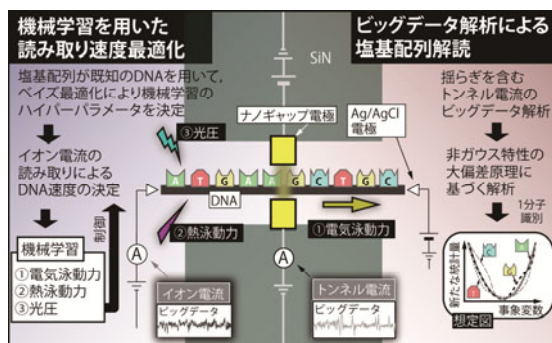


図1 機械学習により最適化されるナノ粒子(花粉アレルゲン、ウイルスおよびDNA)を想定識別用流体デバイスと研究構想の概略図

力学量を定義し、再現性のあるレア・確率事象の評価と制御法を大偏差原理に基づき構築する。Theme 2では、ベイズ最適化の導入により、EHD流れのin situ フィードバック制御や流路設計法を確立する。また、分子流を起源とするイオン電流とナノギャップ電極間の量子力学的効果であるトンネル電流計測を高速化し、広域流動場と局所イオン濃度場の同時流動計測技術に挑戦する。Theme 3では、局所レーザー照射による光圧(Gaussian Beam理論等に基づく高周波電場)とそれに伴う熱泳動力(温度勾配に沿う力：微粒子や溶媒性状により正あるいは負の力が観測され、理論的には未解決課題)を駆動源とした分子操作技術を、機械学習スキームとともに確立する。研究期間後半から3課題の融合を加速し、最終的に一分子識別デバイスとナノポアDNAシークエンサーの創製・実証試験を目指す。

【期待される成果と意義】

本研究で拓くMolero-Fluid Science and Informaticsは、電子、イオン、原子、分子、微粒子の流動と物性を統合的に究明し、創発性の利導や新機能発現に繋げる未踏学術分野である。マイクロ・ナノ流体工学を基軸とした量子エレクトロニクス、生命科学、非平衡統計力学および情報科学との融合学術創成とともに、先導的な挑戦課題として、ナノ電極群を実装したMEMS流体デバイスによる一分子識別技術の確立が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- C. Kawaguchi, T. Noda, M. Tsutsui, M. Taniguchi, S. Kawano, T. Kawai, Electrical Detection of Single Pollen Allergen Particles Using Electrode-Embedded Microchannels, *J. Phys.: Condens. Matter*, 24, 164202, 2012.
- I. Hanasaki, N. Yukimoto, S. Uehara, H. Shintaku, S. Kawano, Linearisation of λ DNA Molecules by Instantaneous Variation of the Trapping Electrode Voltage Inside a Micro-Channel, *J. Phys. D*, 48, 135402, 2015.

【研究期間と研究経費】

平成30年度-34年度
119,000千円

【ホームページ等】

<http://bnf.me.es.osaka-u.ac.jp/>



研究課題名 堅牢な分子識別センサエレクトロニクスの学術基盤創成

九州大学・先導物質化学研究所・教授

やなぎだ たけし
柳田 剛

研究課題番号：18H05243 研究者番号：50420419

キーワード：分子識別、エレクトロニクス、ナノ材料

【研究の背景・目的】

我々の身の回りの情報を“長期的”に計測し、サイバースペースに蓄積するセンサエレクトロニクスが新しい学術と産業を切り拓きつつある。現状では、堅牢（頑強）な“物理”センサがその研究の主流であるが、“化学”的な分子の情報（生体ガス等）を長期的に“電気”識別する分子センサエレクトロニクスは未だ極めて限定的である。本研究では、身の回りの実空間とサイバースペースとの化学情報の架け橋となる“堅牢な分子センサエレクトロニクス”を、分子識別機能を有する金属酸化物ナノワイヤ界面と集積化ハイブリッド分子センサにより開拓する。申請者が展開してきた①酸化物ナノワイヤの結晶成長制御技術と分子識別機能を持つナノワイヤ表面の形成技術、②酸化物ナノ構造をシリコン基板上でデバイス集積化する微細加工技術を駆使して、①により“ナノワイヤ表面に分子形状を記憶”させた堅牢な分子識別機能を創出し、②によりシリコン基板上における酸化物ナノワイヤ構造とセンサとの集積化ハイブリッド分子センサを創製する。

【研究の方法】

呼吸中の揮発性分子群をターゲットとして、①官能基（アルコール、アルデヒド、ケトン、カルボン酸、アミン）、②分子量、③構造異性体、④芳香族に関して分子を変化させた系に対する酸化物ナノワイヤ表面の分子認識能を検証する。検証手法としては、これらの分子骨格パラメータが分子認識能（GC-MS 脱離スペクトル解析）に与える影響を、その固体表面構造（TEM 解析、ラマン分光）と分子吸着状態（赤外分光 pMAIRS 法）に関する情報を加味して検証する。異なるアプローチとして、コア/シェルナノワイヤ構造のシェル層形成時にターゲット分子を介在させ、その分子形状を記憶させたナノワイヤ表面を形成する。この手法では、異方性結晶成長の枠組みを超えたより幅広い結晶成長雰囲気で行うことが可能となり、その適用可能な分子種の範囲を拡張させることが期待される。また、温度依存性を調べることで、ナノワイヤ分子識別機能の堅牢性とそのメカニズムを検証する。堅牢性を担う材料物性は、酸化物において、金属イオンと酸素イオンの結合エネルギーである。分子認識機能を有する酸化物ナノ

ワイヤを、空間選択的な結晶成長技術を駆使して、シリコン基板上で集積化ハイブリッド分子センサとして形成する。同一基板上で i) 分子認識機能を有した分子捕集部としての酸化物ナノワイヤ構造と ii) 電流検知センサ部を、マイクロ/ナノスケールでハイブリッドアレイ化した構造である。分子認識能に関しては、脱離温度に加えて吸着温度の制御による認識能の向上も検討する。前述のターゲット分子混合物に対して作製された種々の集積化ハイブリッド分子センサを用いて、電気的な分子識別を行う。酸化物ナノワイヤ表面における分子識別能とセンサ部における識別能を掛け合わせることで更なる分子識別能の向上を実証する。

【期待される成果と意義】

“堅い”酸化物ナノ表面によって“柔らかい”分子形状を識別する研究分野へと波及し、センサ研究に留まらずに分子選択的な触媒研究分野への幅広い波及効果が期待される。その堅牢性を利用することによって、スマートフォン等で常時呼吸診断を可能にする IoT 分子センサへの展開が大きな産業展開としてある。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

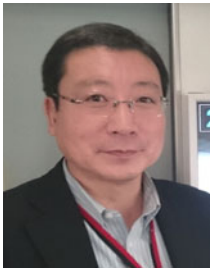
- Nanoscale Thermal Management of Single SnO₂ Nanowire: pico-Joule Energy Consumed Molecule Sensor, G.Meng, F.Zhuge, K.Nagashima, A.Nakao, M.Kanai, Y.He, M.Boudot, T.Takahashi, K.Uchida and T.Yanagida, *ACS Sensors*, 1, 997 (2016).
- Long-Term Stability of Oxide Nanowire Sensors via Heavily-Doped Oxide Contact, H.Zeng, T.Takahashi, M. Kanai, G.Zhang, Y.He, K.Nagashima and T.Yanagida, *ACS Sensors*, 2, 1854 (2017). *Cover of ACS Sensors*

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度－34 年度
150,200 千円

【ホームページ等】

<https://yanagida.weebly.com/>



研究課題名 次世代医療用高温超伝導スケルトン・サイクロトロン
の設計原理・開発基盤の確立

早稲田大学・理工学術院・教授 いしやま あつし
石山 敦士

研究課題番号：18H05244 研究者番号：00130865

キーワード：電気機器工学、超伝導材料、加速器、量子ビーム、癌

【研究の背景・目的】

本研究の最終目標は、RI (RadioIsotope) 内用療法 (核医学治療) の中で、遠隔転移などの進行がんへの効果が期待されている「アルファ (α) 線内用療法」の普及の鍵となる α 線放出 RI (^{211}At) の多量・安定・分散生産のための世界初の超小型・高強度・エネルギー可変の加速器「高温超伝導スケルトン・サイクロトロン」HTS-SC」を開発することである。これまで、その根幹となる「5-High：高機械強度・高電流密度・高熱的安定・高磁場・高精度磁場」を可能とする超伝導応用基盤技術の開発を進めてきた。本研究課題では、ビーム加速に不可欠な磁場分布を高精度に形成するための高温超伝導マルチコイルシステムを実現するために、5-High 技術を統合した革新的コイル化技術を開発し、それに基づく HTS-SC の設計原理・開発基盤の確立を目指す。

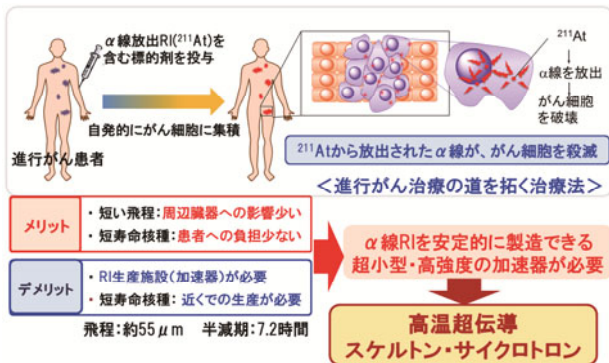


図1 α線内用療法とその普及のための課題

【研究の方法】

HTS-SC は、従来の加速器では常識の鉄芯を用いないのが特徴で、複数の空芯コイルから成るマルチコイルシステムのみでビーム加速に必要な高精度磁場形成を行う。これにより、小型・高強度化が可能であることに加え、鉄芯の非線形磁化特性の影響なく磁場を変化させ、出力を制御することができる

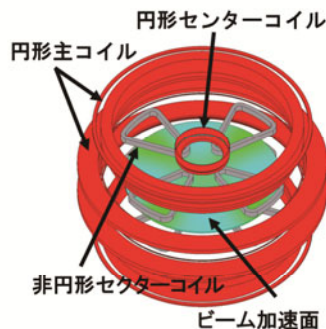


図2 空芯高温超伝導マルチコイルシステム

ため、多機能化 (α線放出 RI 製造、PET-CT 用 RI 製造、中性子捕捉療法用熱中性子照射等) が可能となる。本研究では、HTS-SC 用マルチコイルシステム開発のための革新的コイル化技術として、1)高機械強度化のための新しいコイル補強構造 (Super-YOROI コイル構造)、2)高電流密度化と高熱的安定化を両立する技術 (無絶縁コイル巻線技術)、3)高精度の磁場を発生する技術 (遮蔽電流による不整磁場の低減法)、4) 5-High 統合技術を活かしたマルチコイル設計最適化技術を確立する。そして、小型モデル (Baby HTS-SC コイルシステム) の設計・試作・実験により、HTS-SC の成立性 (発生磁場の空間分布精度や時間安定度) と有効性 (出力エネルギー可変) を実証するとともに、得られた成果・知見に基づき、実規模 HTS-SC の早期実現に向けた開発課題を明らかにする。

【期待される成果と意義】

本研究で開発を目指す HTS-SC は世界初の提案であり、これにより、RI 製造用だけでなく、重粒子線 (陽子線・炭素線) ががん治療用加速器への展開が可能となり、超小型化、空間自由度の拡大、低コスト化、治療照射の高効率化 (エネルギー切替やマルチビーム取出しによる複数同時治療) など、医療用加速器応用に格段の広がりを持たせることが期待できるようになる。さらに革新的コイル化技術が確立されれば、10T 以上の超高磁場 MRI への応用、さらに医療用だけでなく、次世代小型核融合炉用や高貯蔵密度超伝導電力貯蔵装置用コイルなど未踏ステージでの応用実現にその技術を活かすことが可能となる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ A.Ikeda et al., “Transient Behaviors of No-Insulation REBCO Pancake Coil during Local Normal-State Transition,” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 26, No. 4, 4600204, 2016
- ・ H.Ueda et al., “Conceptual design of next generation HTS cyclotron” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 23, No.2, 4100205, 2014

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度～34 年度
148,800 千円

【ホームページ等】

<http://www.eb.waseda.ac.jp/ishiyama/>



研究課題名 超伝導シングルフォトンカメラによる革新的
イメージング技術の創出

情報通信研究機構・未来 ICT 研究所・上席研究員

てらい ひろたか
寺井 弘高

研究課題番号：18H05245 研究者番号：10359094

キーワード：単一光子検出器、イメージセンサ、超伝導デジタル信号処理

【研究の背景・目的】

光子の空間・時間情報の高精度な検出は、量子情報処理、量子通信、光子分光、天体観測、バイオイメージング等、幅広い分野で重要となる基盤技術である。現状最も優れた感度を持つイメージセンサである冷却 CCD は月明かり（約 1 ルックス）の 1 億分の 1 の光を検出することが可能であるが、光子数に換算すると 1 秒あたり数万個に相当する。それよりも微弱な光を検出するためには光子計数が可能な光電子増倍管やアバランシェ光検出器を用いる必要があるが、イメージセンサとして機能する大規模フォーマットのアレイはこれまでのところ実現していない。また、近赤外光は生体内部に浸透するため生体深部を観察するのに有用な波長帯域であるが、近赤外領域での CCD の感度は可視領域に比べると著しく低く、フレームレートは最も高速な電子増倍 CCD (EMCCD) でも 20 kHz 程度である。

超伝導ナノワイヤ光子検出器 (SSPD) は、深紫外から中赤外に渡る幅広い波長範囲に感度を持ち、量子情報分野での利用が進んでいる。1.55 μm での検出効率は 90% を超え、1 cps 以下の低暗計数率、20 ps 以下のタイミングジッタという優れた低ノイズ性、高時間精度を有している。SSPD の 2 次元アレイ化により、深紫外～赤外での高い検出感度、超低ノイズ、高い空間・時間分解能を兼ね備えた光子イメージング技術の実現が期待されるが、冷凍機に実装できるケーブル数の制約から、これまでに実現しているアレイ規模は 64 ピクセル程度である。本研究では、単一磁束量子 (SFQ) 回路による極低温信号処理技術を導入することで、これまでの限界を打破し、超伝導シングルフォトンカメラとも呼ぶべき 100x100 ピクセル規模の SSPD アレイの実現、高い空間・時間分解能を持つ革新的光子イメージング技術の創出を目指す。

【研究の方法】

NIST が提案する行列読み出し方式の 2 次元 SSPD アレイと極低温信号処理を組み合わせた図 1 に示す構成で、大規模 SSPD イメージセンサの実現を目指す。極低温信号処理回路として、これまで取り組んできた SFQ 回路に加えて、より小さなバイアス電流で駆動可能な断熱型磁束量子パラメトロン (AQFP) を導入する。SSPD アレイ信号処理回路の作製は AIST Nb 標準プロセスを用いて行い、最終的に 100x100 ピクセル規模の SSPD イメージセンサを実

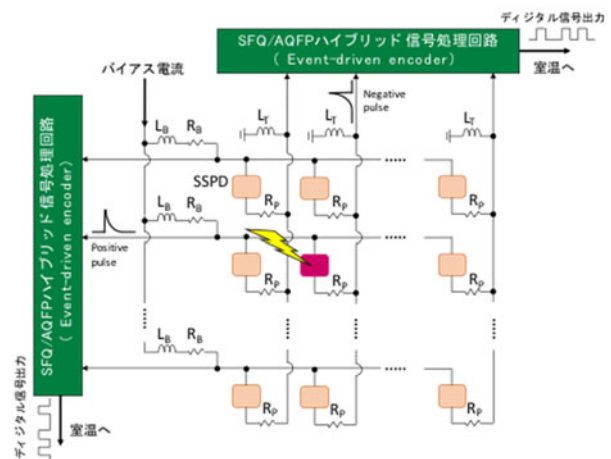


図 1 超伝導単一光子イメージセンサの構成

現し、光子分光システムやバイオイメージングでその有用性の実証を目指す。

【期待される成果と意義】

本研究により、深紫外～中赤外という広い波長帯域で、光子計数可能な感度と低ノイズ、高い空間・時間分解能を兼ね備えた究極のカメラとも呼ぶべきイメージセンサを実現できれば、バイオ・医療、先端計測を始めとする様々な分野で革新的なツールとなり、新しい学術の創出に大きく寄与するものと考えている。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ N. Takeuchi, T. Yamashita, S. Miyajima, S. Miki, N. Yoshikawa, and H. Terai, Optics Express 25, 32650 (2017).
- ・ S. Miki, T. Yamashita, H. Terai, and Z. Wang, Optics Express 21, 10280 (2013).
- ・ H. Terai, S. Miki, T. Yamashita, K. Makise, and Z. Wang, Appl. Phys. Lett. 97, 112510 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度～34 年度
149,400 千円

【ホームページ等】

<http://www2.nict.go.jp/frontier/super/terai@nict.go.jp>