

## 新設研究室紹介

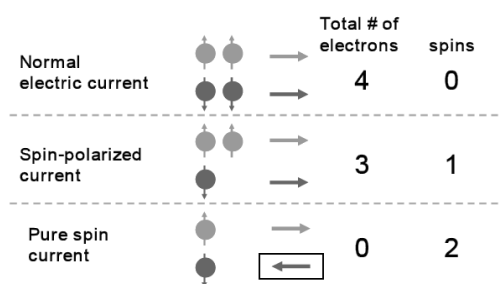
### 電子物理工学講座極微真空電子工学分野（白石研究室）

<http://cmp.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

#### 「IV 族半導体などの固体中における純スピン流物性の基礎と応用に関する研究」

当研究室は2013年10月に白石が、2014年4月に安藤がそれぞれ大阪大学大学院基礎工学研究科から着任し、それまでの後藤・辻が遂行してきた極微真空工学分野の研究に加え、スピントロニクスという新たな研究の軸が設定されました。今回はこのスピントロニクスに関する当研究室の研究の一端をご紹介します。

スピントロニクスは電子の有する電荷自由度とスピン自由度を同時に制御することで従来のシリコンベースのエレクトロニクスで実現しにくかった新研究領域を創成していこうという研究分野です。この分野は2007年のノーベル物理学賞の受賞者である Fert, Gruenberg による巨大磁気抵抗効果（GMR）効果の発見に端を発し、その後 Miyazaki, Moodera によるトンネル磁気抵抗効果（TMR）の発見により金属スピントロニクスという研究領域が創出・発展しました。応用面では磁気センサーが実用化されただけでなく、MRAM の開発が進むなど急速な発展を見せています。さらに1990年代からは GaAs などの化合物半導体に少量の磁性元素を混ぜた希薄磁性半導体の研究が盛んになり半導体スピントロニクスという研究分野も創出されました。2000年代には、よく知られた電荷電流とは根本的にことなるカレントである純スピン流という、電荷移動を伴わないスピン角運動量の流れがナノテクノロジーの発展による素子のナノサイズ化によって実験的にも生成できるようになり、基礎研究としての面白さも一層深まった感があります。純スピン流は図に示すようにアップスピンとダウンスピンが互いに逆向きに流れるカレントであり、互いが互いの時間反転対称操作におけるパートナーであるために時間反転対称カレントとなっています。時間反転対称性を有する運動はエネルギー散逸がないため、純スピン流は理想的には情報伝播にエネルギー散逸を伴わないカレントです。スピンは電荷とは異なり保存量ではないため通常は一定の割合で散逸があり、それ故に完全に情報伝播をエネルギー散逸無しに実現はできませんがスピン緩和の少ない材料を見い出すことができれば情報伝播にエネルギー散逸を極端に少なくした新機能デバイスが創出できる可能性があり応用面でも将来性があることから、現在は世界中で純スピン流の研究が非常に活発に行われています。



我々は2007年に、やはり2010年のノーベル物理学賞を受賞した Geim, Novoselov らが発見(?)したグラフェンに室温ではじめて純スピン流を生成し伝播させることに成功し[1]、以来純スピン流の持つ様々な基礎物性の理解と、電磁気学のスピン版への拡張という視点に基づく純スピン流の基礎学理の統一的理解、さらには無機・有機半導体における純スピン流伝播・スピン緩和機構の解明と純スピン流情報素子の実現を目指して多角的に研究を進めています。最近の主なトピックスとしては、グラフェンなど分子材料同様に注入スピンのコヒーレンスが結晶の空間反転対称性故に良好であることが期待できるシリコンを対象材料に、p型[2]とn型[3]のシリコンにおける世界初の室温純スピン流伝播の実現や電流を一切用いない純スピン流の伝播の実現[2, 4]、半導体やグラフェン中の純スピン流伝播物性の解明[5-7]など産官学共同研究も効率的に推進しながら基礎から応用まで幅広いスコープで研究を行っています。最近では金属でも絶縁体でもない新しい相であるトポロジカル絶縁体表面のヘリカル純スピン流の観測にも挑戦しており、近日中に面白い結果を発信できそうな段階にあります。この研究分野は世界的な競争も激しく大変な領域でもありますが日々楽しんで研究を進めています。

**参考文献**：[1] M. Ohishi, M. Shiraishi et al., Jpn. J. Appl. Phys. 46, L605 (2007). [2] E. Shikoh, M. Shiraishi et al., Phys. Rev. Lett. 110, 127201 (2013). [Editor's Suggestion & Spotlighting Exceptional Research] [3] T. Suzuki, M. Shiraishi et al, Appl. Phys. Express 4, 023003 (2014). [4] Z. Tang, M. Shiraishi et al., Phys. Rev. B87, 140401 (R) (2013) [Editor's Suggestion]. [5] M. Shiraishi et al., Adv. Func. Mat. 19, 3711 (2007). [6] Y. Aoki, M. Shiraishi et al., Phys. Rev. B88, 140406 (R) (2013). [7] M. Shiraishi et al., Phys. Rev. B83, 241204 (R) (2011).

## 通信システム工学講座 デジタル通信分野（原田研究室）

<http://www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/>

### 「無線資源管理技術、高度送受信信号処理技術による無線伝送技術の研究開発」

携帯電話・PHSの加入数は平成25年度末で1.5億近くになり、さらに、今後は一般利用者のみならず、装置、センサー、メーター等の各種機器も接続する必要性がでてくるため、数億以上の利用者を収容可能な通信システムを構築する必要がある。しかし、移動通信に適した周波数帯（主に6GHz以下）は逼迫しており、利用者が想定する広帯域通信は行いにくい現状がある。本研究室では、このようにワイヤレス技術により様々な機器、装置、センサー、メーターが縦横無尽にネット接続され、特に意識しなくともその恩恵を自然と受けられる時代に必要となる無線資源の管理技術や送受信信号処理が一体化した高度な無線伝送技術の研究開発を行っている。具体的には、(1) 電波の利用状況の認識技術、管理技術、(2) 電波管理技術を基盤とした広帯域無線通信システム、(3) センサー、メーターとブロードバンド無線通信システムとの連携通信技術である。

(1) に関しては各無線局の位置、利用アンテナ、周波数帯域、送信電力等から、電波の利用状況（免許局の位置、想定通信エリア等）計算し表示する周波数管理データベースに関する研究開発を行っている。この周波数管理データベースは、各周波数帯における電波の干渉も推定できるため、無線局の位置における利用可能な周波数、通信方式、無線パラメータ（出力電力等）を示すことが可能である。この周波数管理データベースを利用した無線通信技術をコグニティブ無線技術と呼ぶ。

(2) に関しては、コグニティブ無線技術を利用可能なVHF/UHF/マイクロ波帯を用いた次世代ブロードバンド無線通信システムの研究開発を行っている。特に、現在まで狭帯域通信が中心であったVHF帯、UHF帯においてチャンネルあたり数Mbps—数10Mbps以上の広帯域伝送が可能な通信方式、システムの研究開発、国際標準化を行っている。図1はVHF帯（170-202MHz）で動作させることが可能な無線機の開発例である。見通し内で10km程度の通信エリア、山間部等の見通し外においても数km以上の基地局—移動局間通信可能な受信信号処理技術を搭載したものである。また、図2はUHF帯（TV周波数帯、470-710MHz帯）において周波数管理データベースを利用し、TV放送と共存しながらブロードバンド通信が実現可能な無線機の開発例である。また併せて、基地局-端末、基地局間中継、端末連携を使った通信エリア拡張および高品質ブロードバンド送受信技術の研究開発も行っている。

(3) に関しては、(2) において開発した広域広帯域無線通信システムに接続可能な、センサーおよびメーター用無線通信技術の研究開発である。センサー、メーターは必ずしも電源供給が可能であるところに設置されているとはかぎらないため、電池駆動を想定した低消費電力型の無線通信システムが必要となる。この低消費電力を実現するための同期回路、通信フレーム構成、及び電波をできるだけ出さない、聞かない通信プロトコルの開発を行っている。このような通信方式を米国IEEE802.15.4gおよび4eで国際標準化させ、この標準化システムをもとに各メーカーが相互接続可能な通信規格Wi-SUNシステムの開発、推進を行っている（図3）。今後はこれら(1)–(3)の研究成果をもとに2020年頃の実現を目指す第5世代移動通信システムの実現に寄与していきたい。

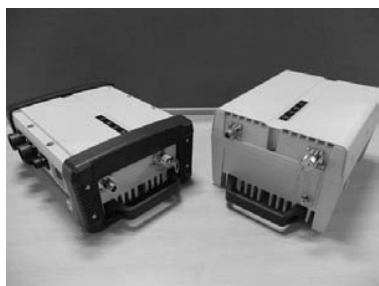


図1：VHF帯（170-190MHz帯、5W）広域広帯域無線通信機。



図2：UHF帯（470-710MHz帯、1W）広域広帯域無線通信機。

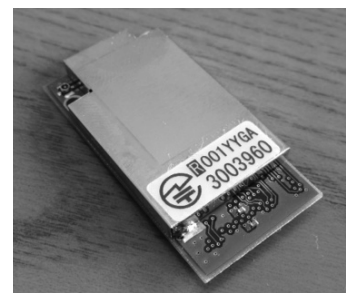


図3：メーター用（920MHz帯、4cm × 2cm）Wi-SUN無線通信機。