

# A01 量子ホール系における分数電荷準粒子の生成・消滅過程の研究

東京工業大学大学院理工学研究科 橋坂 昌幸

分数量子ホール (FQH) 系における分数電荷準粒子のダイナミクスについて研究を行った。FQH 系における素励起はラフリン準粒子と呼ばれ、素電荷  $e$  よりも小さな分数電荷を持つ。分数電荷準粒子の検証には、FQH 系をトンネルする電流のショット雑音測定が用いられてきた [図 1(a)]。本研究では、分数電荷準粒子の「生成過程」について実験研究を行うことを目指した。具体的には、整数量子ホール (IQH) 系中に局所的な FQH 系を準備し、IQH 系から FQH 系に電流を注入する際に、分数電荷準粒子が生成される過程を観測した[1]。

図 1(b)のように IQH 系に挟まれた局所 FQH 系は、IQH 系間のトンネル障壁として働く。この障壁における電流の散乱過程で発生するショット雑音を測定し、分数電荷準粒子の観測を行った。電流ゆらぎの測定には、我々が独自に開発した電流ゆらぎ相互相関測定法[2]を用いた。

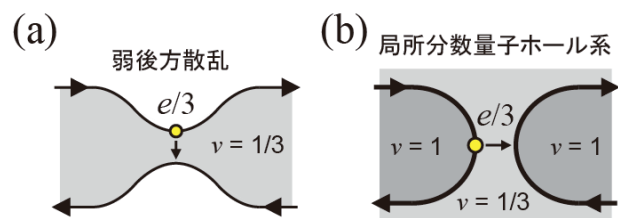


図 1(a) 試料全体が分数量子ホール状態にある系における、分数電荷準粒子のトンネル現象。(b) 局所分数量子ホール系における準粒子トンネル現象。

## 1. 量子ホール接合系における分数電荷準粒子の生成メカニズムの検証

前年度の取り組みにより、局所 FQH 系における分数電荷準粒子の生成過程の観測に成功した[1]。本年度はこの準粒子生成ダイナミクスをより詳細に調べるため、この現象の磁場や温度などの各パラメータに対する依存性を測定した。現状では、準粒子生成時のミクロスコピックなダイナミクスを完全に明らかにするには至っていないが、これまでの測定結果から、準粒子生成に量子ホール系エッジ状態における電荷ダイナミクスが深く関わっていることが分かった。

エッジ状態は 1 次元 1 方向性の伝導チャネルとして知られ、そこでの電荷ダイナミクスは朝永ラッティンジャー液体モデルによってよく説明される。本研究の実験結果を説明するには、まずバルク占有率  $\nu_B = 1$  の IQH 系の試料端を 3 本の並走する分数エッジ状態とみなし、これらの中でチャネル間相互作用を考える。局所 FQH 系 (占有率  $\nu_{QPC} = 1/3$ ) 近傍ではこれらのチャネルが分離し、伝搬モードが変化する (図 2)。この 1 次元伝搬モードのダイナミクスにより、準粒子生成の詳細なダイナミクスを説明できると考えている[3]。

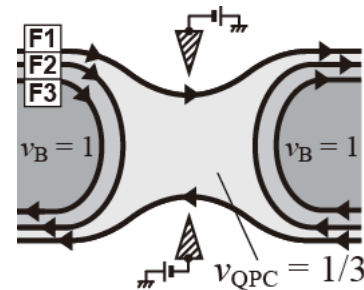


図 2 局所 FQH 近傍における分数エッジ状態の概念図。

## 2. 並走するエッジ状態における電荷ダイナミクスの実験的検証

上記の分数電荷準粒子に関する研究から、エッジ状態の電荷ダイナミクスについて理解の

必要性が認識された。これを踏まえて、並走するエッジ状態における伝搬モードの直接観察を試みた。2本のエッジ状態が並走する場合、伝搬速度が互いに異なる電荷モードと双極子モード（電荷中性モード）の2つが生じる。双極子モードはUp スピンと Down スピンの2本のエッジ状態を考える場合はスピンモードとも呼ばれる [図 3(a)]。これらの伝搬モードは、1次元電子系特有の電荷スピン分離現象の結果とみなすことができる。これまでにこの現象の間接的な証拠が数多く報告されたが、その直接観察は長らく実験研究者の悲願であった。我々はこの1次元電子系特有の電荷ダイナミクスの直接観察に初めて成功した[4]。

図 3(a)は占有率 2 の整数量子ホール系において、試料端を並走する Up 及び Down スピンチャンネルで期待される伝搬モードの概念図である。一方のチャンネルに電荷を注入すると、チャンネル間相互作用によって電荷、及びスピンを運ぶ2つの伝搬モードが生じる。これらは伝搬速度が異なるため、時間的に分離して観測することができる。

図 3(b)に観測された実験結果を示す。各チャンネルに設けられた検出器では、それぞれ電荷スピン分離に対応する時間波形が得られた。これらは電荷モードとスピンモードの分離を示す直接的な証拠である。

### 3. エッジマグネトプラズモンの Mach-Zehnder 干渉計

エッジ状態における伝搬モードは、電荷密度のプラズマ振動（エッジマグネトプラズモン：EMP）として伝搬する。EMP の干渉性を調べるための Mach-Zehnder 干渉計の開発を行った[5]。これは将来エッジ状態を利用したプラズモニクスの開発に有用なデバイスであると考えている。

#### 参考文献：

- (1) M. Hashisaka, T. Ota, K. Muraki, T. Fujisawa, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 056802 (2015). (2) M. Hashisaka, T. Ota, M. Yamagishi, K. Muraki, T. Fujisawa, *Rev. Sci. Instrum.* **85**, 054704 (2014). (3) 橋坂昌幸、太田智明、村木康二、藤澤利正、固体物理 掲載予定。 (4) N. Hiyama, M. Hashisaka, K. Muraki, T. Fujisawa, in preparation. (5) N. Hiyama, M. Hashisaka, K. Muraki, T. Fujisawa, *Appl. Phys. Lett.* **107**, 143101 (2015).

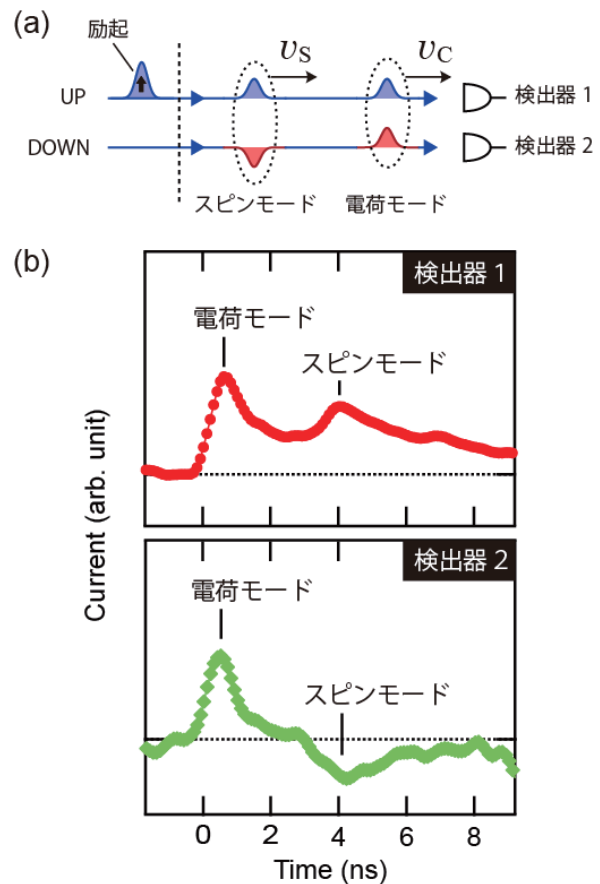


図 3(a) 電荷スピン分離現象の観測実験。(b)実験で観測された電荷モードとスピンモードに対応する時間波形。