

超高速荷電交換再結合分光装置の開発 Development of Ultra-Fast Charge Exchange Recombination Spectroscopy

小林進二¹、呂湘潯²、居田克巳³、小林達哉³、吉沼幹朗³、門信一郎¹、大島慎介¹、長崎百伸¹、
岡田浩之¹、南貴司¹、山本聡¹、中村祐司¹、石澤明宏¹、西岡賢二⁴、木島滋¹、水内亨¹
S. Kobayashi¹, X. X. Lu², K. Ida³, T. Kobayashi³, M. Yoshinuma³, S. Kado¹, S. Ohshima¹, et al.

¹京大エネ理工研、²京大エネ科、³核融合研、⁴名大理
¹IAE Kyoto Univ., ²GSES Kyoto Univ., ³NIFS, ⁴Grad. Sch. Sci., Nagoya Univ.

近年、乱流揺動に起因した熱輸送・運動量輸送を理解するための計測法の開発が進んできた。非接触法による電子温度揺動計測にはECE法が広く用いられているが、荷電交換再結合分光(CXRS)法によるイオン温度・プラズマ回転速度(流速)の時間分解能は、広く使用されているCCDカメラのフレームレート(数百Hz~2kHz程度)で制限されている。これは乱流の周波数帯(数kHz~数百kHz)での揺動成分を計測できない。そこで著者らはイオン温度・流速の高周波揺動計測を目指した超高速CXRS装置の開発を進めている¹。本研究では装置の概要および初期試験の結果を報告する。

開発の目標として、観測可能な揺動周波数: 数kHz~百kHz、イオン温度 T_i ・流速 v の平均値に対する揺動強度 $T_i/\langle T_i \rangle \cdot v/\langle v \rangle$: 1%、を設定する。図1に超高速CXRS装置の概略を示す。本装置はカメラレンズにエシェール型回折格子を組み合わせた高スループット(F2.9)・高分散(0.19nm/mm)分光器に、アレイ型のアバランシェフォトダイオード(APD)を用いた高速・高感度カメラ(Fusion Instruments社製APDCAM)を光検出に用いる。アレイ型APDは素子サイズ1.6mm x 1.6mm、素子間ピッチ2.3mm、画素数8x4である。分光器の分散と荷電交換再結合スペクトルのドップラー広がり・ドップラーシフトを考慮して出口スリット側に拡大光学系を備え、スペクトルをAPDCAMの受光面に投影する。APDCAMの遮断周波数は200kHzである。上述の分光器の逆線分散は通常のCXRS計測で用いられている分光器のそれと比べて3~10倍高いため、高速APDカメラのような大面積の受光素子に適している。またスループットが高く揺動計測にも最適である。なお、対物光学系は観測対象とするヘリオトロンJに既存の光学系を用いるため、観測可能な径方向の波数は0.7以下と

なる。

LED光源(中心波長655nm)を高周波回路で駆動し、LED光の微弱変化に対する応答を調べた。LED電流のDC成分 $\langle i_d \rangle$ に対する50kHzの揺らぎを i_d とし、その比 $i_d/\langle i_d \rangle$ を10%、1%、0.1%と変化させAPDCAM出力を取得した。その結果、10%、1%の場合ではそれぞれ1、10のアンサンブル数で平均することで揺らぎの成分を計測できたが、0.1%の場合にはノイズ成分との切り分けが難しく、最低200のアンサンブルが必要である事が分かった。これらの初期試験結果を用い、目標値を達成するために必要となる課題を議論する。

1 X. X. Lu, S. Kobayashi, et al., HTPD2016, Madison WI USA, Jun/5-9/2016 #7.2.37.

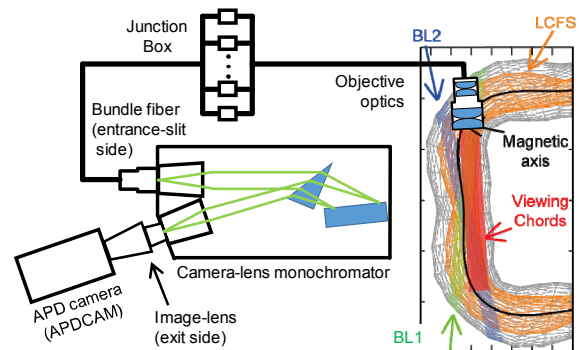


図1. 超高速 CXRS 装置の概略図

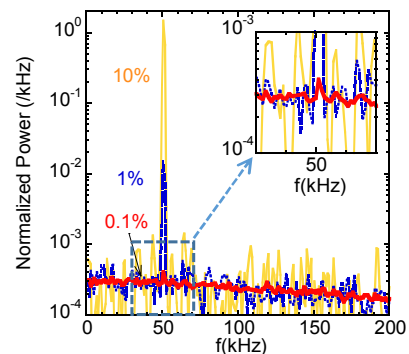


図2. 微弱な発光の揺らぎに対する APDCAM 出力の周波数スペクトル。