

核融合炉の実現に不可欠な高ベータプラズマ生成には MHD 平衡・不安定性の研究は必須である。ヘリカル型プラズマ実験装置である大型ヘリカル装置(LHD)では、到達ベータ値を制限する MHD 不安定性の空間構造の変化を計測する目的で多チャンネル軟 X 線計測システムが用いられている。

LHD で現在使用されている多チャンネル軟 X 線計測システムでは、プラズマを直視する PIN フォトダイオードが用いられている。しかし、近い将来予定されている重水素(D)を動作ガスに用いたプラズマ実験では、DD 核融合反応により中性子が多く発生する。最大中性子量が発生する放電条件では、LHD3.5U ポート付近で $10^{13}\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 程度の中性子束となることが予想され、このレベルの中性子環境では半導体検出器を防護なしに使用することは難しくなる。このような条件で MHD 研究に使用できる軟 X 線検出器として、シンチレータを使った新しいタイプの計測器のプロトタイプを開発した。本研究発表では開発した計測器の設計・軽水素プラズマ実験における初期結果・重水素実験時の本計測器の信号の見積もりについて報告する。

開発した計測器の概念図を図 1 に示す。プラズマから発せられた軟 X 線は Be 薄膜で覆われたピンホールを通過し、CsI(Tl)シンチレータが塗布された FOP へと到達する。Be 薄膜により低エネルギーの光が遮断される。軟 X 線はシンチレータで可視光に変換された後、光学系で光ファイバーに集光され、そして光ファイバーの先にあるアバランシェフォトダイオード(APD) で計測される。この APD は、70 kHz までの信号を計測可能な周波数帯域特性を持ち、MHD 揺動の計測のために十分な速度応答性を持つ。今回開発したプロトタイプは LHD3.5U ポートに設置され、LHD 縦長断面部のポロイダル磁気面全体を観測している。現在の視線は 6ch であるが、今後は 13ch まで拡張予定である。

重水素実験時の CsI(Tl) のシンチレーション光強度への軟 X 線、 γ 線、中性子の寄与を定量的に見積もった。計測器として機能するためには、軟 X 線によるパワーが最も大きくなる必要がある。重水素実験時で最大の中性子発生量が見込まれる放電条件で見積もりを行った。その時プラズマの中心電子温度が 9.46 keV、電子密度が $2.5 \times 10^{19}\text{m}^{-3}$ となる。この条件で軟 X 線によるパワーが γ 線・中性子のそれより 2 桁程度大きくなることがわかった。なお、本見積もりでは軟 X 線は制動放射のみを考えているため、実際のプラズマではさらに放射強度は増加することが予想される。さらに、中性子発生量は DORT によって計算された最大発生量を仮定しているため、ほとんどの実験条件では S/N はさらに良くなることが予想される。

第 18 サイクル LHD プラズマ実験において今回開発した計測器の信号と既存の半導体検出器との信号を比較した結果、本計測器は軟 X 線を観測していることが示された。

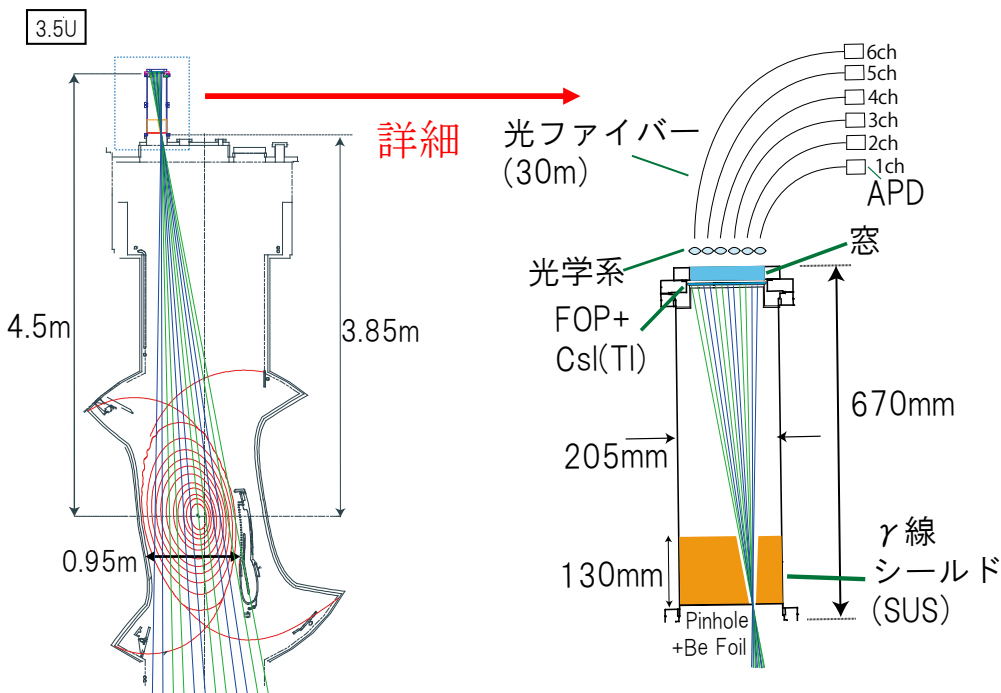


図 1:開発した計測器の概念図