

LHD 重水素プラズマ実験のためのコンパクト中性粒子分析器の遮蔽設計

Shielding design of the compact neutral particle analyzer for the LHD deuterium plasma experiments

*西谷 健夫¹、尾崎 哲¹、斉藤健二¹、神尾修二¹、小川 国大^{1,2}、

磯部 光孝^{1,2}、河瀬 広樹²、普 能²

¹核融合科学研究所, ²総研大

LHD の重水素プラズマ実験のために、コンパクト中性粒子分析器(CNPA)の遮蔽設計を MCNP6 を用いて行い、15cm 厚のボロン入りポリエチレンの中性子遮蔽を施した。さらに詳細なモデルに基づき解析を行い、中性粒子飛行管からのストリーミングが遮蔽体から透過中性子とほぼ同等になっていることを示した。

キーワード：LHD、コンパクト中性粒子分析器、重水素プラズマ実験、遮蔽設計、MCNP6

1. 緒言

大型ヘリカル装置(LHD)では 2017 年 3 月から重水素プラズマ実験を開始した。重水素実験では発生する中性子による計測装置、各種制御装置等への照射効果が重要な課題になっている。計測装置については、可能な限り、検出部を地下や LHD 本体から遠ざける、検出器を半導体系から放射線に強いものに交換する等の対策を取っているが、どうしても LHD 本体近傍に置いて、プラズマを直視しなければならないものもある。その一つとしてコンパクト中性粒子分析器(CNPA)がある。ここではその遮蔽設計を行った。

2. CNPA の遮蔽設計と解析

CNPA はロシアのヨッフェ研究所で開発された、永久磁石を用いてコンパクトな中性粒子分析器であり、荷電交換反応でプラズマから飛び出してくる中性粒子のエネルギーを測定するものである。LHD では水平ポート(O-ポート)に取り付けられている。粒子検出器にはチャンネルトロンが用いられているが、正常に中性粒子を測定するには中性子フラックスを $1 \times 10^7 \text{ n/cm}^2\text{s}$ 以下にする必要がある。

計算では LHD 本体、本体室コンクリート壁および CNPA を CAD 図を基にモデル化した。計算は MCNP6 と核データライブラリー ENDF/B-VII.1 を使用し、粒子ヒストリー数は 5×10^8 個以上とした。遮蔽材の候補を普通ポリエチレン、10%入りポリエチレンとし、CNPA が取り付けられている計測ステージの耐荷重も考慮して設計計算を行った結果、15cm 厚のボロン入りポリエチレンの遮蔽を採用し、CNPA に施工した。

3. 実験結果

実際に重水素プラズマ実験で CNPA を使用したところ、60-80keV の垂直 NBI 入射時（中性子発生率：約 $1 \times 10^{14} \text{ n/s}$ 以下）では十分な遮蔽が確認できたが、180keV の接線 NBI 入射時には中性子によるノイズが無視できなくなることがわかった。

4. 遮蔽の詳細な解析

施工した遮蔽の詳細なモデルを使用して、ケーブル貫通孔等からのストリーミング効果も含めて解析を行った。粒子検出器の中性子束は、遮蔽全体からの透過成分と前方の中性粒子飛行管からのストリーミング成分がほぼ同等になっていることがわかった。中性粒子飛行管の径をできるだけ細くすることにより、粒子検出器の中性子束を 1/2 近くまで減少させることが可能なことを示した。

*Takeo Nishitani¹, Tetsuo Ozaki¹, Kenji Saito¹, Shuji Kamio¹, Kunihiro Ogawa^{1,2}, Mitsutaka Isobe^{1,2}, Hiroki Kawase², and Pu Neng²

¹NIFS, ²SOKENDAI