

3.5 中性子・トリチウム発生量評価

以下に運転回数を制限する要素となる中性子およびトリチウム発生量について考察する。

(1) NBI 加熱によるもの

(A) 想定最大中性子発生率

中性子が最も多く発生する条件は3.3.2(1)で述べたNBIを中心として加熱能力が最大となる場合から得られる。これらを元にしたプラズマパラメータと中性子発生率の計算結果を図3.5-1に示す。

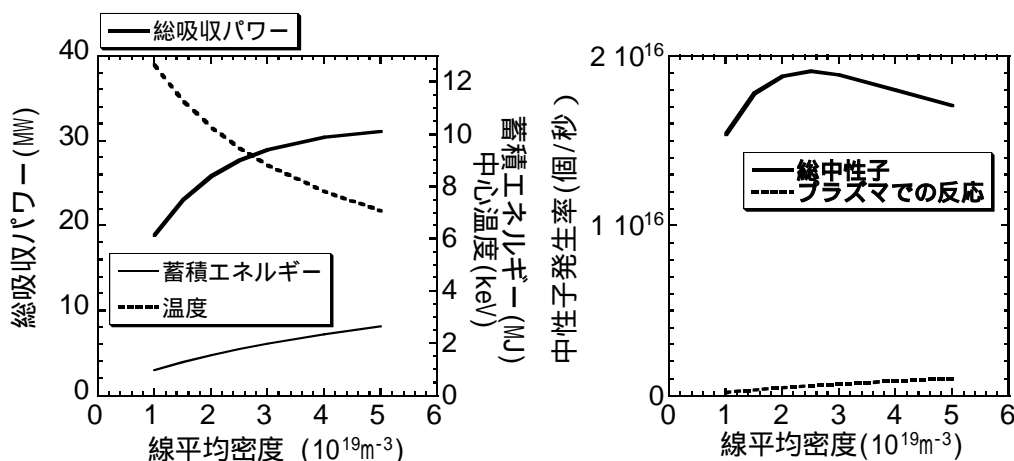


図 3.5-1 最大加熱条件時の線平均密度に対する総吸収加熱パワーとその時のプラズマパラメータ(左図)および中性子発生率(右図)

最大中性子発生率は密度が $2.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ で見られる。これらの結果より、最大中性子発生率が想定される運転条件は上記加熱条件に加えて、下記のようなになる。

線平均密度	$2.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$
総加熱吸収パワー	27.7 MW
中心温度	9.46 keV
蓄積エネルギー	1.77 MJ
中性子発生率	1.91×10^{16} 個/秒 (このうち熱中性子反応は 5.98×10^{14} 個/秒)

となる。また、3秒間の放電1回で生じるトリチウム量は 0.10 GBq ($2.7 \times 10^{-3} \text{ Ci}$) となる。

(B) 標準放電

中性子発生の最大想定条件は加熱入力最適化された理想的な状態であり、平均的に見て、この6割程度の加熱入力が多いの実験に供せられると考えられる。180keV 接線入射については1機のみを重水素運転とする。すなわち、入射加熱パワーとして、80keV 垂直入射 10.8MW、180keV 接線入射は軽水素ビームが5.4MW、重水素ビームが3MWとする。さらに、ICH、ECH については複数の加熱を組み合わせる複合加熱にも特殊な有効条件と研究開発要素があるため、ここでは用いないものとする。

さらに、閉じ込め磁場配位などを調べるために変化させるので、平均的にはISS95則に対

する改善度は 1.5 を仮定する。

磁場は 3T とする。

密度を変化させた時のプラズマパラメータと中性子発生率の計算結果を図 3.5-2 に示す。

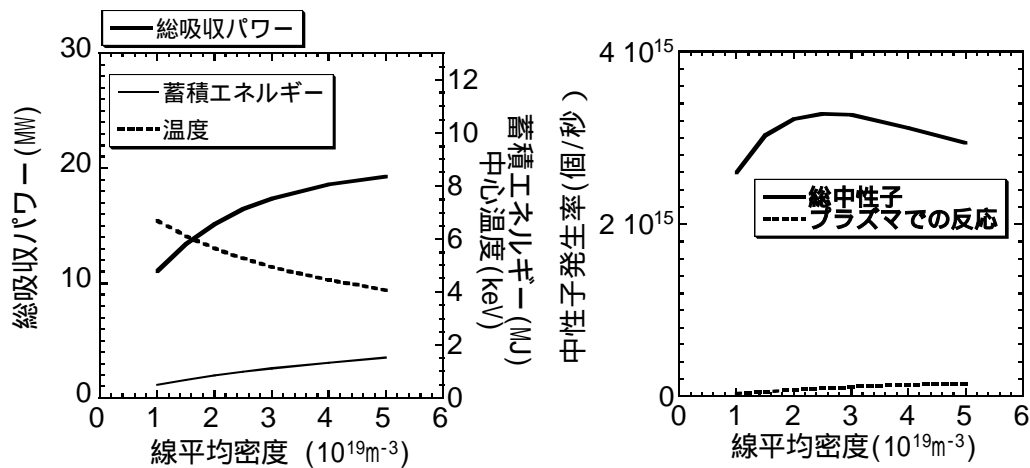


図 3.5-2 標準放電時の線平均密度に対する総吸収加熱パワーとその時のプラズマパラメータ(左図)および中性子発生率(右図)。

これらの条件での、中性子発生は密度に対して比較的变化は小さく、最大値は(A)と同じく $2.5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ の密度で生じ、その値は(A)の想定最大値約6分の1となる。

線平均密度	$2.5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$
総加熱吸収パワー	13.5 MW
中心温度	5.28 keV
蓄積エネルギー	0.99 MJ
中性子発生率	3.28×10^{15} 個/秒 (このうち熱中性子反応は 9.69×10^{13} 個/秒)

となる。

3秒間の放電1回で生じるトリチウム量は 0.017GBq ($4.7 \times 10^{-4} \text{Ci}$) となる。

許認可申請に当たっては最大中性子発生率の3分の1程度となる条件を検査用放電とすることが求められるとすれば、この放電条件では中性子発生率が不足しており、もう1機の180keV接線ビームの重水素化が求められる可能性があるため、許認可条件とNBI整備計画との合理的な合致を、今後詳細に詰める必要がある。

この検討においては、加熱吸収分布を固定した計算を行っているため、閉じ込め改善などを見込んだ、特に中程度の密度領域における加熱吸収分布の影響と効果を今後の実験において明らかにし、実験機会回数の考え方とのバランスにおいて判断していくことが必要である。

また、垂直入射NBIのエネルギーを60keVとした場合は、ビームとプラズマとの核融合反応が軽減され、80keVの場合と比べて、中性子発生率はおよそ1割減る。

(2) ICRF 加熱による定常実験

水素マイナリティの標準的な ICRF 加熱実験では、重水素はバルクプラズマであって、高エネルギーに加速されないと考えられるため、バルクプラズマでの DD 反応を考慮すればよいと考えられる。しかしながら、加熱モードによっては高エネルギーの重水素が発生することは否定できないため、特に放電時間を 10 秒までに限った条件から研究を進め、加熱機構を明らかにしつつ、全体計画に支障をきたさない範囲で長時間化を図る。上述の 3MW での 1 時間放電 ($\langle n_e \rangle = 5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$, $T_e = T_i = 2.7 \text{keV}$) について、バルクプラズマ中での DD 熱核反応を考えると中性子発生率は 2.9×10^{13} 個/秒であり、1 時間で、 1.0×10^{17} となる。この仮定が正しければ、長時間 ICRF 運転も実現可能と考えられるが、イオン温度に敏感な領域であり、実験データの蓄積による判断が必要である。

(3) 中性子発生量についてのまとめ

以上の中性子発生量の予測をトリチウムの発生量および実効線量当量と合わせて表 3.5-1 にまとめた。ICRF 加熱による定常放電(1 時間)では、中性子およびトリチウムの発生量は最大中性子発生率が想定される実験のほぼ 2 回分に相当する。

表 3.5-1 各種放電条件における実験放電 1 回当たりに発生する中性子とトリチウム量

運転条件	放電時間	中性子発生量	トリチウム量
従前の標準放電 NBI 250keV, 20MW	10 秒	2.4×10^{17} 個	0.41GBq ($1.1 \times 10^{-2} \text{Ci}$)
今回検討の中性子最大発生率を伴う放電 NBI 80 keV, 18MW 180 keV, 14MW など	3 秒	5.7×10^{16} 個	0.10GBq ($2.7 \times 10^{-3} \text{Ci}$)
今回検討の平均放電 NBI 80 keV, 10.8MW 180 keV, 8.4MW など	3 秒	9.8×10^{15} 個	0.017GBq ($4.7 \times 10^{-4} \text{Ci}$)
ICRF 定常放電	3600 秒	1.0×10^{17} 個	0.17GBq ($4.6 \times 10^{-3} \text{Ci}$)