

核融合工学部会セッション

核融合炉の潜在的リスク

Potential risks of fusion reactors

(3) レーザー核融合施設での潜在的リスク

(3) Potential risks on laser fusion facilities

*重森 啓介

大阪大学

レーザー核融合炉を中心としたレーザー核融合施設においては、(方式によらない) 核融合炉に共通の存在するリスク, およびレーザー方式における特有のリスクが存在し、それぞれを定量的に評価する必要がある。

DT 反応ベースとしたレーザー核融合炉は、他の方式と同様にトリチウムを軸とした安全性の確保が重要であり、その安全対策を逸脱した事象が潜在的なリスクとなる。レーザー核融合炉はパルス運転炉であり、1 回 (1 ショット) あたりに消費する燃料ペレット中は μg オーダーであるものの、冷却系やトリチウム回収系の炉システム内、そして貯蔵燃料ペレットを含めたインベントリーは相当量となる。例えばレーザー核融合炉「光陽」の設計例では、トリチウム増殖比が 1.1、燃焼率が 30% の場合、炉システム全体でのトリチウムインベントリーは 0.24 kg である。炉システムのインベントリーを減らすためには、核融合燃焼率の高効率化、トリチウム回収から燃料ペレットの生成までの工程・時間の短縮などが挙げられ、これらの項目を解決することが安全性向上に繋がる。

レーザー核融合炉では、磁場核融合とは異なりブランケット設計に磁場の影響を考慮する考慮する必要があることから、液体 (金属) を第一壁とする設計が多く提案されている。プラズマと接する面に液体金属流をブランケットと冷却材の役割を持たせ、中性子などによる照射損傷を提言する効果がある。一方で高温の液体金属を自由表面に曝すことになることから、その取り扱いには十分な注意を要する。特にレーザー核融合炉を水素製造に活用する場合、IS 法などの熱化学法を想定すると冷却系の温度を 850℃ 以上に設定する必要がある。この条件はこれまでの核融合炉設計では考慮されていなかった領域であり、最適な材料設計について高温ガス炉の知見などを参考にすることがある。さらに冷却系に含まれるトリチウムの拡散係数は温度の関数で増大するため、トリチウムに関する安全確保という意味でも重要な課題である。

更に磁場核融合炉との違いとして、核融合反応がパルスの起こることから、放射線の遮蔽という観点でも異なる考え方で設計を行う必要がある。点滴的にはナノ秒以下の時間スケールで 10^{19} の反応が点光源的に集中して発生するため、これを踏まえた空間・時間的遮蔽方法を実施する必要がある。過去のレーザー核融合炉設計においても、これらを考慮した最終光学系の配置や炉本体の遮蔽などが検討されてきたが、装置の保護や長寿命化、環境に対する影響をより詳細に評価した設計が必要となる。

上記に挙げた例は既にリスクとして認識されている項目であり、「潜在的」リスクという意味では検討不足な面が多い。レーザー核融合炉はエネルギー変換システムとして未だ実機を想定したスケールダウンモデルを製作した実績が無いため、設計段階における想定外のリスクを予見することが困難である。今後、フュージョンエネルギーの実用化という観点では、発電実証という大きなマイルストーンと同時並行して安全性に関する技術的検討・解決策の提示することが求められる。

*Keisuke Shigemori¹¹Osaka Univ.