

## 小特集

# 磁場閉じ込め核融合施設における電磁環境と安全指針

## Electromagnetic Compatibility in Magnetic Confinement Fusion Facilities and its Safety Guideline

## 1. はじめに

田中将裕

核融合科学研究所

(原稿受付：2012年5月1日)

地球温暖化や、化石燃料の枯渇問題の解決に寄与することが期待される核融合発電システムの開発研究が、精力的に進められている。核融合研究の進展に伴い、近年は比較的大型の核融合プラズマ試験装置を用いて、高温高密度プラズマを対象とした研究が行われるようになった。大型の核融合試験施設では、「電離放射線」が存在する。このため、電離放射線の監視測定はもちろんのこと、作業従事者の安全管理の観点から実験室内や放射線管理区域への立ち入りが厳しく制限される。一方で、磁場閉じ込め核融合装置では、高温高密度のプラズマを生成し制御するために、常伝導コイルによるパルス磁場や超伝導コイルによる定常的な強磁場の励磁、プラズマと電磁波との集団相互作用によるイオン、電子の加熱や非誘導電流駆動、高エネルギー中性粒子入射 (NBI) によるプラズマの加熱生成などが行われる。超伝導コイルで励磁される強磁場は、時間的変動を伴わない静磁場であり、コイル形状や配置により核融合試験装置の外周辺部にまで漏えい静磁場として存在する。このような定常強磁場を励磁するために、コイルには大電流を通電する必要がある。その大容量電源は極低周波電磁界 (Extremely low frequency field, <300 Hz) の発生源となる。さらに、装置真空容器内の放電洗浄のため、超短波やマイクロ波、ミリ波といった数十 MHz から数百 GHz の周波数帯域をもつ大出力 (MW 級) の高周波発信装置が建屋施設内に設置される。

核融合試験装置における電磁界挙動の特徴として、電磁界エネルギーがプラズマショットと同期してパルスの投入されるため、装置周辺環境の漏洩電磁界も時間的に変化し、かつ統計的に発生することが挙げられる。以上のような周波数帯域の電磁界は、電離作用を伴わないことから、「非電離放射線」と呼ばれる。したがって、核融合試験施設では、「非電離放射線」と「電離放射線」が共存する特異な

電磁界環境であり、このような電磁界作業環境に従事する場合は、様々な周波数帯域の電磁界にさらされる可能性のもと、防護指針に沿った安全管理手法を確立しておく必要がある。

非電離放射線の発生源として、携帯端末や無線 LAN の基地局、放送や無線通信の電波、家庭用電子レンジ、医療分野では核磁気共鳴画像 (MRI) 装置といったものが比較的身近な例として挙げられる。このような電磁界を利用した機器の普及や高度化に伴い、電磁界が人体や医療機器に与える影響に対する懸念が増大している。電磁界による人体への直接的な影響は、主に電流刺激による生体作用と深部体温の上昇を伴う熱作用である。現段階では科学的知見に基づいた防護指針 [1-4] が策定されており、防護指針値を下回る電磁界強度によって健康に悪影響を及ぼすという確固たる証拠は認められていない。

実際の電磁界環境の問題として、電子機器や携帯端末からの電磁界が、他の電子機器や医療機器に影響を及ぼすことが考えられる。例えば医療機器として心臓ペースメーカーのような埋め込み式電子機器の場合、外部からの電磁界が正常動作を妨害する可能性が指摘されている。また、施設における特徴的な電磁環境として、上述した核融合試験施設の電磁界環境は、対象となる機器が広範囲に点在するため、多点監視システムが必要であり、複合的なばく露環境を想定した防護方針の構築が望まれる。核融合施設を含む放射線取り扱い施設における電磁環境として、入退管理システムの非接触読取装置と半導体式放射線検出器との相互作用による誤動作は、作業従事者の放射線被ばく管理において問題を提起する。

本小特集では、2章において電磁波の基礎特性から人体影響/相互作用と安全指標の根拠について概説するとともに、人体モデルによる最新のシミュレーション研究成果を

## 1. Introduction

TANAKA Masahiro

author's e-mail: tanaka.masahiro@nifs.ac.jp

述べる。3章では非電離放射線の防護指針について、世界保健機関（World Health Organization, WHO）や国際非電離放射線防護委員会（International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP）における活動紹介とともに、規制の科学的な根拠、動向について概説する。4章では、電波防護指針評価を目的とした電磁界計測の可視化について、近年比較的安価に入手できるWEBカメラなどと電磁波計測機器を組み合わせたリアルタイム空間分布可視化手法を紹介する。後半では、5章において、核融合関連施設の電磁波環境と機器との電磁波相互作用を中心に紹介する。はじめに、代表的な大型核融合研究施設として核融合科学研究所の大型ヘリカル装置を取り上げ、その特徴的な電磁環境を述べるとともに、環境電磁場の監視システムを紹介する。また、核融合試験施設で特徴的なバースト的に発生する電磁場の解析手法と、事故時の対応を踏まえた安全対応を取り上げる。次に、電子機器と電磁波との相互作用について、心臓ペースメーカーや放射線管理施設で使用する半導体式放射線線量計の誤動作問題を取り上げる。埋込型心臓ペースメーカーの電磁干渉では、ペースメーカーセンシング回路素子の非線形性が主に寄与することを解説し、それをを用いた定量的な評価結果を紹介する。電磁干渉による半導体式放射線線量計（EPD）の誤動作については、携帯電話機およびカードリーダーからの電

磁場強度分布からEPDの誤動作を防止する距離を明らかにし、EPDの電磁耐性レベルについて記述する。最後に6章において本小特集をまとめ、今後の安全管理／指針の課題について述べる。

電磁環境問題に関する記事は、1999年にも小特集として取り上げられている[5]。前回の記事と比較しながら、本小特集記事を読んでいただくと、防護指針の動向や、人体モデルによる人体影響研究、核融合施設における環境電磁波研究の進展がみえてくるだろう。

ここで紹介した記事が、将来の核融合発電施設における非電離放射線の安全管理手法の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- [1] ICNIRP: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), *Health Phys.* **74**, 494 (1998).
- [2] ICNIRP: Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields, *Health Phys.* **96**, 504 (2009).
- [3] ICNIRP: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz), *Health Phys.* **99**, 818 (2010).
- [4] 電気通信技術審議会答申諮問第38号, 電波利用における人体の防護指針 (総務省, 1990).
- [5] 宇田達彦 他: プラズマ・核融合学会誌 **75**, 17 (1999).