

# FT-IR を用いたプラズマ対向ミラーの反射特性の測定

名古屋大学工学部・工学研究科 高田昇治

## 1. はじめに

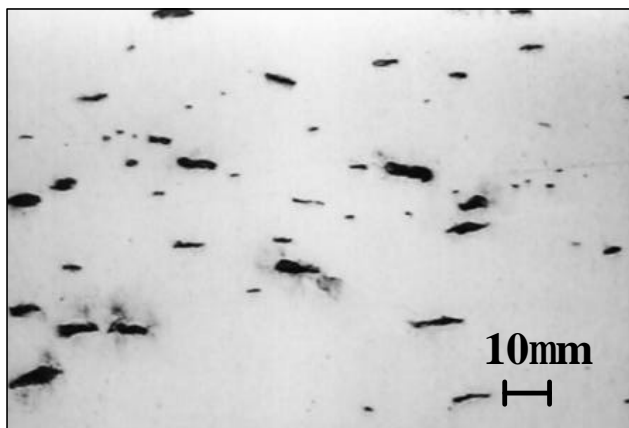
1985年ジュネーブにおいて米ソ首脳会談における「核融合研究の重要性と国際協力の拡充を支援する」共同声明をきっかけとして、日本、欧州連合(EU)、ロシア、アメリカの四極の協力で、International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) 国際熱核融合実験炉計画が始められた。この計画では、制御自己点火と誘導放電による約 1000 秒のフラット・トップ、中性子束約  $1\text{MW}/\text{m}^2$  の燃焼実証、核融合炉技術の統合されたシステムとしての実証などが目標とされている。まず、1988年からの3年間で四極平等参加にて概念設計活動(CDA:Conceptual Design Activities)が行われた。1992年7月からは工学設計活動(EDA:Engineering Design Activities)が進められた。更に、これと並行して工学設計に必要な不可欠な研究開発活動として工学 R&D と物理 R&D が行われている<sup>1)-2)</sup>。ITER のプラズマ容器内に設置された計測用ミラー(プラズマ対向第一ミラー)に関する R&D は、この一つとして位置づけられている。日本原子力研究所(JAERI)では、現在各極で行われているミラーに関する R&D と合わせて、ITER でのミラーを評価し、設計などに役立てるために、基礎データベースの構築を行っている。これまでに、候補の一つであるモリブデン(Mo)ミラーに対して重水素ビームを照射し、ミラー表面の劣化の観測や 250-2000nm の波長領域における反射測定を既に行っている。しかしながら、ITER ではこれらの波長領域だけでなく、中赤外や遠赤外領域においてもプラズマ計測は、表 1 に示されたように予定されている。著者が、研究支援を行っている研究室では、今年度より、JAERI と共同研究を行っており、2-20 $\mu\text{m}$  の中赤外領域におけるプラズマ対向ミラーの中性粒子照射による表面変化が及ぼす反射特性への影響について調査が進められている。そこで、本研究では、実際に反射測定を行う際に工夫をした点や測定精度についての評価手法などを中心に報告する。

表 1. ITER における中・遠赤外域のプラズマ計測予定

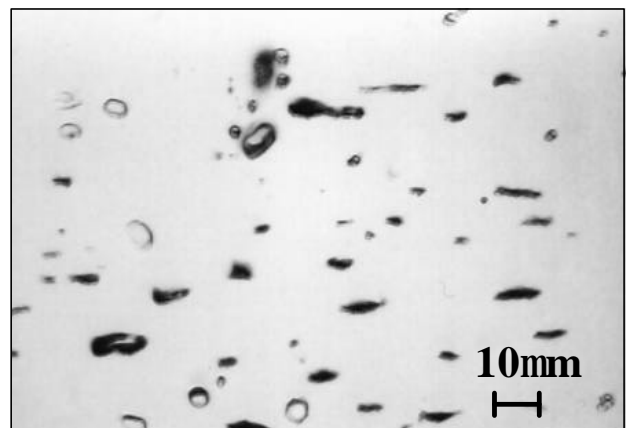
計測法	波長域	位置	備考
Thomson Scattering (Core)	300-1000nm	EP/2000mm	Erosion, deposition, distortion from plasma rad. heating
Thomson Scattering (Edge)	?-1060nm	TP/2000mm	Ditto
⋮			
Polarimetry	10-100 $\mu\text{m}$	EP/?mm	Erosion, deposition, distortion from plasma rad. heating
Collective Scattering (CO <sub>2</sub> Option)	10.6 $\mu\text{m}$	EP/	?
Vis/IR TV (Wide angle view)	1-5 $\mu\text{m}$	?	?
⋮			

## 2. JAERI より提供されたサンプル

本研究で用いられた Mo ミラーは、JAERI で製作および重水素ビーム照射が行われた。25mm×25mm×5t の大きさのサンプルに、加速電圧：200V(D<sup>3+</sup>, D<sup>+</sup>)、照射エネルギー：D(67eV)92.3%, D(200eV)7.7%、粒子束密度  $5.2 \times 10^{19}/\text{m}^2/\text{s}$ 、フルーエンス： $1.3 \times 10^{25}/\text{m}^2$  の条件で照射が行われている。照射後の表面の写真を照射前と比較して図 1 に示した。照射前には、製造上生じた凹部が観測されているが、照射後には、これに加えて照射により生じた凸部が観測されている。この表面上の盛り上がりは、不純物ではなく、モリブデンであることが X 線マイクロアナライザ (EPMA: Electron Probe Micro-Analysis) により確認されている。



(A) 照射前



(B) 照射後

図 1. JAERI より提供されたサンプルの表面写真

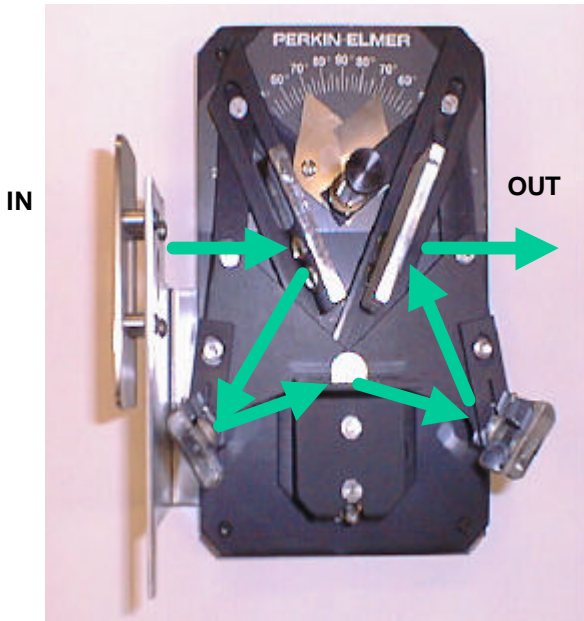


図2 . 反射測定用アクセサリ

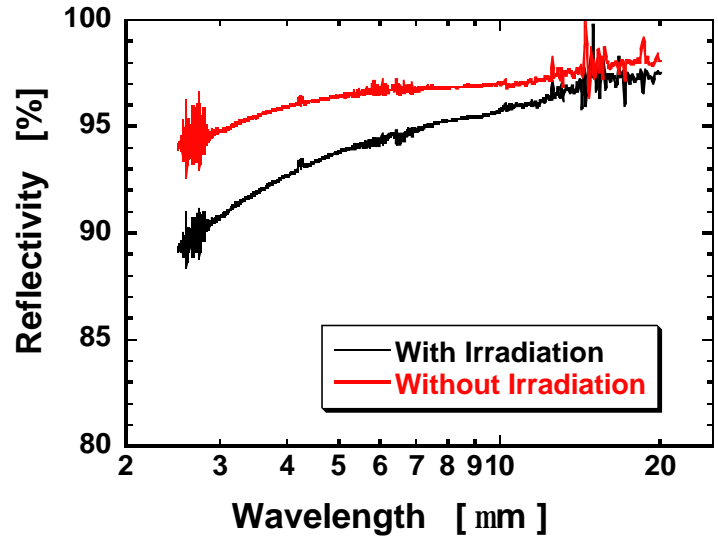


図3 . 重水素ビームの照射の有無による反射率の違い (入射角：45度)

### 3. 測定方法

測定に用いた装置は、通常、透過タイプとして用いている FTIR 装置(Perkin Elmer 社製、model:Paragon1000) (Fourier Transform-Infrared Spectrophotometer)である。実際には、角度が15度から80度まで可変の図2に示した反射測定用アクセサリをこの装置に取り付けて行った。測定方法としては、アルミコーティングが施された参照用ミラーのスペクトルをバックグラウンド(BG)として記録を行った後、直ぐに試料の反射率を測定した。また、測定する度に BG を取り直し、16回平均をしてスペクトルを得た。更に、空気中の水分や二酸化炭素によって生じる測定誤差を可能な限り少なくするために、装置本体の検出器室および試料取付室を窒素で充満させ、得られるスペクトルの再現性を確認した。この結果については、講演の際に報告する。

### 4. 測定結果および考察

図3には、入射角45度の場合の反射測定の結果を示した。縦軸および横軸は、それぞれ反射率および測定波長を示している。スペクトルに見られるスパイク状の吸収は、 $H_2O$  及び  $CO_2$  によるもので、Mo ミラーによる吸収ではない。重水素ビームを照射していないサンプルでは、測定波長  $2.5\mu m$  において反射率が約94%であったが、照射された試料では、約89%に減少することがわかった。一般的に、反射率はモリブデンミラーの表面の物理的な特性が変化していなければ、表面の粗さだけで評価される。従って、反射率  $R$  は以下のような式で表される。

$$R(\lambda, \theta_i, \delta) = R_0(\lambda, \theta_i, \delta) \exp\{-(4\pi\delta \cos(\theta_i)/\lambda)^2\}$$

ここで、 $\lambda$ は入射波長、 $\theta_i$ は入射角、 $\delta$ は表面粗さ(rms)を示している。また、 $R_0$ は平坦な表面を有する参照ミラーの反射率を現わしている。今、照射前の反射率  $R(\text{before})$  と照射後の反射率  $R(\text{after})$  の比を求めると、

$$R(\text{after})/R(\text{before}) = \exp\{-(4\pi\Delta\delta \cos(\theta_i)/\lambda)^2\}$$

となる。従って、これより照射前と照射後の表面粗さの差を  $\Delta\delta$  として評価することが可能である。図3に示したスペクトルを用いて上式により計算を行った結果、 $60nm < \Delta\delta < 80nm$  となることがわかった。

次に、モリブデンミラーの表面の粗さを測定し、照射による反射率の減少が、本当に表面の粗さに依存した結果となっているかどうかを調べた。この結果の詳細については、講演で報告する。

謝辞:本研究会に参加するにあたり、名古屋大学工学部技術部より旅費を支出して頂いたことに感謝します。

#### 参考文献

- [1] “プラズマ・核融合学会誌” Vol.75 Supplement, 1995.
- [2] “プラズマ・核融合学会誌” Vol.76, No.1, 2000.
- [3] 永津雅章、高田昇治、杉江達夫、”プラズマ・核融合学会第17回年会予稿集” 29pA07P, 163, 2000.