

前田三男 村岡克紀* 赤崎正則*

M. Maeda K. Muraoka* M. Akazaki*

九州大学工学部 *総理工

Kyushu University

§ 1. まえがき レーザレーダ(ライダ)の最も基本的な手法は、対象とする物体による送信パルスレーザ光の後方散乱を時間的に分解して受光し、そのエコーパターンから物体の空間分布を得ることにある。その空間分解能 Δx は送信する電磁波の波長より十分長い範囲で、 t_p をレーザのパルス幅、 t_d を光検知系の応答時間、 c を光速とすると $\Delta x = c(t_p + t_d)/2$ 程度となる。従来のライダではもっぱら 100 m以上のサイズのものを対象としていたが、ピコ秒パルスレーザと検知系としてピコ秒ストリークカメラを使えば、原理的にはミリメートルサイズまで適用可能である。しかし、そのように小さなサイズのものにライダの手法を適用するのは高度の技術を要するので、有益な結果を得るには、測定対象の内部に直接検知系を置けず、測定装置と対象との間には最小限の光学窓しか設けられないような特殊な場合に限られるであろう。

本論文ではトムソン散乱による大形臨界プラズマ実験装置におけるライダ法を用いた電子温度および密度の空間分布計測について考察する。この手法は Stuttgart大学の Salzmann らによって 1982 年に提案され、¹⁾ 大形トカマク JETでの適用が検討されているが、まだ実験された例はない。現在臨界プラズマを得るための大形トカマク装置がアメリカで T F T R, ヨーロッパで J E T, 日本で J T - 60 とあいついで完成し、実験にかかっている段階である。これらの装置はトラス主半径 2~3 m、プラズマ断面の半径 1 m程度の大きさを持ち、次世代の核融合実験炉(たとえば I N T O R など)ではさらに大形化する。これらのトカマクで D-T燃焼が実際に行なわれれば、放射能をさけるため測定器は数 m以上離れた隔壁の外に置かねばならないし、観測窓の大きさも制限されるから、そのような段階ではライダ法の有効性は非常に高まるものと予想される。

§ 2. 測定の原理 これまでにも磁気封じ込めプラズマ発生装置のプラズマパラメータの計測にレーザは重要な役割をはたしてきている。干渉法による電子密度の計測、トムソン散乱による電子・イオン温度やプラズマのゆらぎの計測、蛍光法による原子・イオンの密度やスペクトル形の計測などがあるが、中でもトムソン散乱法による電子温度の計測は重要で、大形の装置は必ず図 1 (a)に示したような計測システムを備えている。良好な SN 比を得るには 10 J程度の出力を要するので、Qスイッチルビレーザが使われることが多い。散乱光は通常 90° 方向から観測され、多チャンネルの分光計測装置によってそのスペクトル分布を求め、そのプロファイルより電子温度を決定する。プラズマ小半径方向の空間分布は、半径方向に設置した多数の受光系により行なうが、プラズマ装置の大形化に伴い一回のショットでできるだけ多くのデータを取り込む方向に進んでいるため、光学系も複雑になり、大きな観測窓が必要となる。図 1 (b)はライダ法によるトムソン散乱装置の配置図を示すもので、レーザとしてはパルス幅 0.3~1 ns (分解能 Δx : 4.5~15 cm) の Nd : ガラスレーザの第 2高調波(SHG, 波長 530 nm) を考える。受光素子としては多チャンネルプレート形の光電子増倍管、波形処理には帯域 1 GHz以上のオシロスコープまたは波形メモリ装置を使うことができる。レーザ光は直線偏光で、ほ

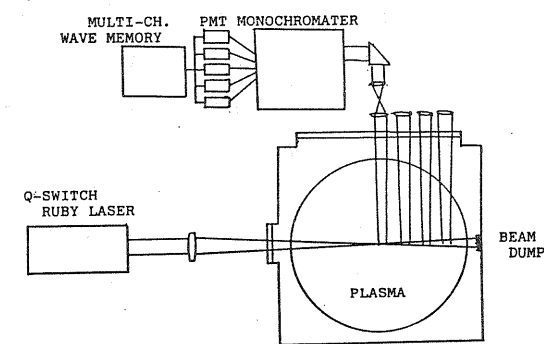
ば 0° に近い後方散乱光を多チャンネルの分光計測器で受ける。図 2はそのスペクトルプロファイル
電子温度 T_e をパラメータとして示したものである。²⁾ 放射線シールド壁内には 1個のレンズと直径
10 cm程度の窓しか配置されていない。

今、S-20の光電面を有する光電子増倍管を使用し、受光系の総合的な透過率を 10%、受光立体角を
 5×10^{-4} srad、分解能を 0.5 nm(7.5 cm)、1チャンネル当たりのスペクトル幅を 50 nm、直径 5 cm
程度のレーザービームを考えると、たとえば電子温度 10 keV のプラズマに対し波長 400 nm 近くの分光
チャンネルで検知される信号光電子数 N は $N = 3.7 \times 10^{-12} \times n_e \text{ [cm}^{-3}] \times I_0 \text{ [J]}$ 程度となる。¹⁾ ここ
で電子密度 $n_e = 10^{14} \text{ [cm}^{-3}]$ 、レーザー光のパルス当たりのエネルギー $I_0 = 3 \text{ [J]}$ とすると、1000
個以上の光電子が期待できる。この場合背景雑音として、窓や容器による散乱は時間的に除かれるので、
プラズマからの制動放射が主なものと考えられるが、そのオーダは 1桁以上小さいと推定されるので、¹⁾
十分高い精度でプロファイルの計測が可能であろう。

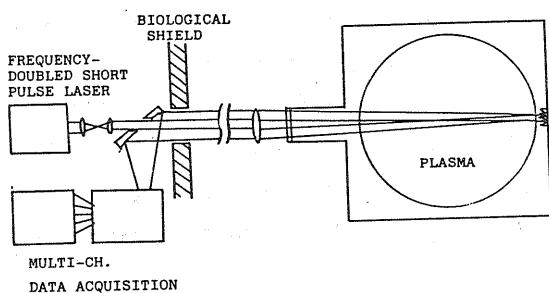
§ 3. まとめ 半径 1 m 以上の大形臨界プラズマ装置のトムソン散乱計測にライダ法を適用し
た場合、パルス幅 0.5 ns、出力数 J のガラスレーザー SHGにより高い SN 比で計測ができることを示し
た。この方法の利点は小さな 1個の観測窓と、少数光学素子により離れた位置からプラズマ内の T_e 、
 n_e の空間分布を単一パルスにより計測できる点にある。

1) H.Salzmann, K.Hirsch: Inst.fur Plasmaforschung, Univ.Stuttgart IPF-82-16(1982)

2) M.Mattioli, P.Papoular: Plasma Phys.17(1975)165



(a) 従来の方式



(b) ライダ法の適用

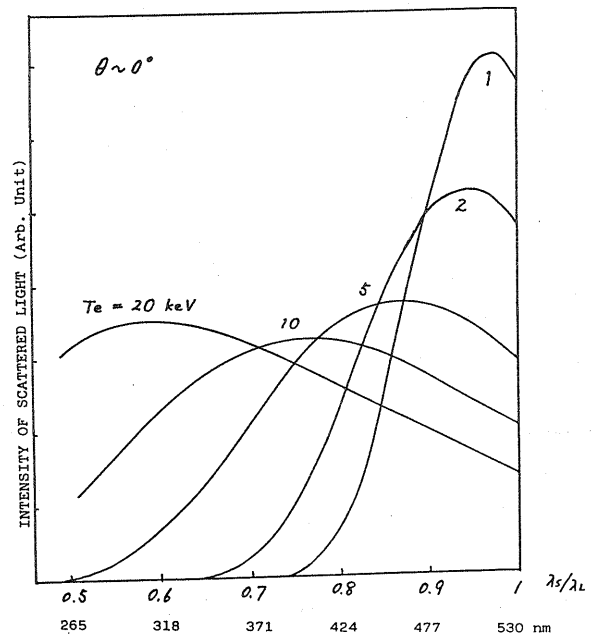


図 2 $\lambda = 530 \text{ nm}$ に対するトムソン散乱光のプロファイル

図 1 レーザ・トムソン散乱法によるプラズマ計測