

真空紫外線光源としてのプラズマの応用

石 村 勉

エネルギー問題の最終的解決を目標とする核融合の研究は最近におけるトカマク装置の成果などによってますます盛んになりつつあります。ただし、数千万度以上の超高温プラズマの発生とその閉じ込めの問題は極めて困難な問題ですから、その工業的実用化への道はまだまだ険しくその実現は次の世紀のことではないかと云われています。

さて、今までに行なわれてきた研究の結果、実験室の段階では数十万度程度のプラズマの発生は比較的容易であり、閉じ込めの問題を無視すれば数百万度程度のプラズマの発生もさほど困難なく行なわれるようになってきました。核融合の装置としては上記の温度程度のプラズマを発生する装置は、及第点に達しませんから、次第に研究の対象から除外され忘れられようとしているのが現状です。これは他の面から眺めますと大へんもったいないことと思われまます。蛍光灯やネオン・ランプなどの光源用放電管の中で発生したプラズマは照明用はもちろん光化学反応の光源としてなど広く実用に供されています。また一万度程度のプラズマはアークあるいはプラズマ・ジェットの様で溶接などの熱源として工業上欠くべからざるものとなっています。これらのことを考えますと数十万度～数百万度のプラズマ発生装置は核融合の装置としては落第でも他の理工学分野に応用の道をもつはずで

その一つの道はこのようなプラズマを真空紫外線の光源として利用することです。低温プラズマは強い可視光線を発射しますが、プラズマの温度が数十万度～数百万度に達しますとその発する光線の波長は短くなり数十～数百オングストロームの超軟X線～真空紫外線の発射が主となります。そのような光線を真空紫外線分光器を用いてスペクトルに分解して観測します

と、波長のとびとびのスペクトル線以外に波長に対して強度が連続的に変化する連続スペクトルが観測されます。これは理論上からも予期されることでして、プラズマを構成する電子とイオンの衝突の際電子が運動エネルギーの一部を失なって光を放出する過程（制動ふく射の過程）や電子がイオンに付着して結合する際に光を放出する過程（再結合ふく射の過程）を解析しますと上記の事実が説明できます。

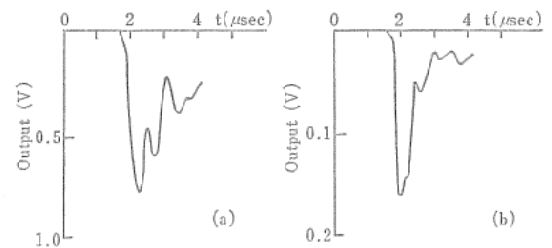


図1 連続スペクトル強度の時間変化。
(a) 225オングストローム、
(b) 239オングストロームの波長位置で測定。

図1はわれわれの研究室でヘリウムを放電用ガスとして用いたテータ・ピンチ・プラズマからの連続スペクトルの波長225オングストロームおよび239オングストロームの光の強度の時間変化を真空紫外線分光器を用いて測定した例です。この場合にはヘリウムの連続スペクトルの強度は波長228オングストロームの位置で不連続的に低下し、この低下の度合の測定によってプラズマの電子温度が推定できることが理論上明らかにされています。しかし、実際にこのような方法で電子温度を求めたのはわれわれの研究が最初です。その結果は図2に示されています。ここで縦軸の温度はeV（電子ボルト）単位で示されていて、1eVは11,600°Kに相当します。したがって、電子温度は放電開始後2μsで40万度で以後減少し3μsで20万度になります。この時間区間の前

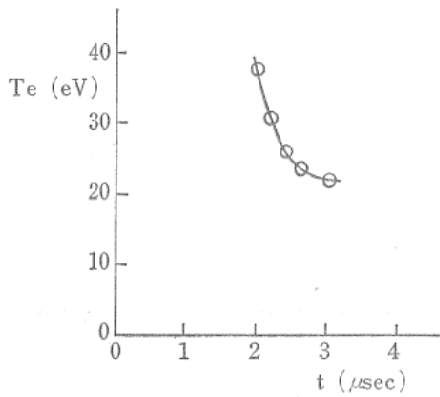


図2 電子温度の時間変化

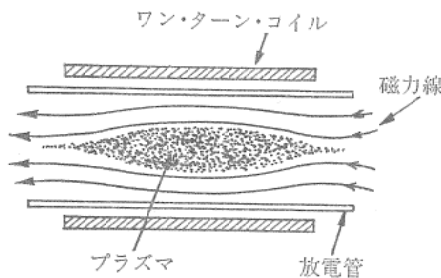


図3 テータ・ピンチ装置の概念図

と後では光の信号が微弱で電子温度の推定はできません。なお、上記の電子温度の値はジャイアント・パルス・ルビー・レーザー光のプラズマによるトムソン散乱光のスペクトルを分光測定することによって求めた電子温度の値と実験誤差の範囲内で一致することを確認しています。

この実験に用いたテータ・ピンチ装置の概念図が図3に示してあります。ワン・ターン・コイルにコンデンサ放電による電流を流すと放電管中に磁界が発生し、その磁力線に包まれたような形のプラズマが生成されます。この実験ではワン・ターン・コイルの内径は20cm、長さは31cm、放電管は石英製で内径14.4cm、長さ50cmで、図では省略しましたが放電管の側面に設けた観測孔を通して測定が行なわれました。放電管中にはヘリウム・ガスを0.05mmHg 充填して放電を行ない、放電管の中心に直径約3cmのプラズマ柱が形成されました。電流供給のための

コンデンサ・バンクは8 μ Fの容量で35kVに充電して実験を行ないました。この程度のコンデンサ・バンクの規模は現在の核融合の実験に用いられているものの百分の一程度のもので、全部の実験装置も大学などの通常の実験室に納められる小規模のものです。

以上の実験はプラズマの電子温度測定法の開発を目標に行なわれたものですが、その結果、この実験装置で発生したプラズマは真空紫外域での連続スペクトルの有用な光源であることも立証できました。そして電子温度が測定できたことはプラズマからの連続スペクトル強度の波長分布が理論から予測されるものと一致することを物語っていますので、このプラズマ発生装置が将来この波長域での強度分布既知の標準光源として使用できる可能性が明らかになりました。

真空紫外線自身の研究およびそれを利用した研究は従来主として理学的見地から行なわれてきましたが、最近では真空紫外線を物質に照射して発生する電子のエネルギー分析によって物質の化学分析を行なう ESCA と云う方法が工学の分野でも実用の域に入りつつあります。現在ではその光源としてヘリウム原子の発生する584オングストロームのスペクトル線が使用されています。しかし、さらに研究を進めるには連続スペクトル光源とモノクロメーターを組合せて使用する光の波長を連続的に変えることができるという利便性です。このような光源として有名なものは電子シンクロトロンであり、それをさらに進めた電子ストレージ・リングであります。このような光源は非常に優れたものですが、もちろん大規模なもので利用できる機会は限られたものです。これと比較しますとわれわれの実験に用いたテータ・ピンチ装置はずっと小規模のもので手軽に使用できますので、真空紫外線に関連した研究が広く行なわれるようになるための助けとなることを期待しています。