

## 直線プラズマ放電において観測された大振幅電場パルスとバーストの粒子加速に対する寄与

### Contribution of large amplitude electric-field pulse and bursts to particle acceleration in a high-voltage linear plasma discharge

# 竹田 保正 [1]

# Yasumasa Takeda[1]

[1] なし

[1] none

著者が日本大学理工学部にて在職中、プラズマ宇宙研究室にて行った高電圧直線プラズマ放電の実験 [ 1 ] [ 2 ] で、装置の中央部にて測定した電場（主として磁場に平行な成分）の時系列データを図 1 に示す。ただし、ここに示した電場データは、直線プラズマ放電の放電電流が流れ始めた瞬間の 2 micro.secs の区間を拡大したものである。

図 1 直線プラズマ放電の開始時に観測された電場の時間トレース

この放電ショットでは、重水素プラズマを初期プラズマとして用いた。この電場トレースは、時刻  $t = 26.6 \text{ micro.sec}$  に発生した正の電場パルスと、それから  $0.25 \text{ micro.sec}$  遅れて発生したバーストにより特徴づけられる。上のような電場（以後 E 2 と略称）の時間的变化に対応して、磁場に垂直、および平行方向から検出した硬 X 線、装置中央部で検出した DD 核融合反応による中性子 ( $2.45 \text{ MeV}$ ) 放射の信号がどのように変化するか、E 2 とこれらの放射線信号との相互相関関数を計算して調べた。（紙面の制限により、E 2 と硬 X 線放射、中性子放射の信号との相互相関関数のグラフ表示を割愛する。）

( 1 ) 初めに、電場パルスによる粒子加速に注目して、E 2 の区間  $t = 26.4 \text{ micro.sec} - 27.1 \text{ micro.sec}$  のデータを用いて、硬 X 線放射と中性子放射の信号との相互相関関数を求めた。その結果から得られた注目すべき点を以下に述べる。

装置の中央部で検出した核融合中性子（以後 Nu と略称）と、磁場に垂直方向の硬 X 線放射（X 2 と略称）のそれぞれの検出器への飛行時間の差 ( $55 \text{ ns}$ ) を考慮すると、E 2 と Nu との相互相関関数  $\text{Cor E 2 Nu}$  の  $1 \text{ st}$  ピークのタイムラグ  $0.05 \text{ micro.sec}$  は、正確に  $\text{Cor E 2 X 2}$  の  $1 \text{ st}$  ピークのタイムラグに一致する。従って、E 2 の正パルスとその前駆的な振動を含む時間  $0.2 \text{ micro.sec}$  に比べて、 $\text{Cor E 2 X 2}$ 、 $\text{Cor E 2 Nu}$  の  $1 \text{ st}$  ピークのタイムラグは約  $1/4$  である。故に、磁場に垂直に放射される X 2 と Nu を発生させているのは、正パルス（そのプリカーサーである振動も含め）であると結論される。

従って、この電場パルスを電気二重層であると解釈すると、この放電ショットにより、強い電気二重層による高エネルギー電子、重陽子イオンの加速 - Nu の発生が実験室で初めて証明された。

この電場パルスを電気二重層であると解釈する根拠が、磁場にほぼ平行な硬 X 線放射 X 4 と X 5 の比較によっても得られる。すなわち、E 2 と陰極側から検出した X 4 との相互相関関数  $\text{Cor E 2 X 4}$  と、同じく陽極側にて測定した X 5 との相互相関関数  $\text{Cor E 2 X 5}$  を比較すると、それぞれの  $1 \text{ st}$  ピークのタイムラグが  $0.08 \text{ micro.sec}$ 、 $0.013 \text{ micro.sec}$  であり、陽極側の硬 X 線放射 X 5 が非常に早いことが判る。

この結果の解釈として、電場パルスの極性が正であるから、静電的加速であるとする、電子は陽極方向に電気二重層のポテンシャル差だけ加速される。したがって、X 5 は E 2 の正パルスにより、陽極方向に加速された電子のビーム成分により生じたものと考えられる。

( 2 ) 次に E 2 の  $t = 27.0 \text{ micro.sec} - 28.0 \text{ micro.sec}$  の区間における波動バーストと硬 X 線放射 X 2 - X 5 との相互相関関数、および中性子放射 Nu との相互相関関数から得られた所見を簡単に述べる。

電場バーストと硬 X 線放射、中性子放射との相互相関関数には、あるタイミングで共通の加速機構が働いていることを示唆するピークが現れている。すなわち大振幅波動バーストは、電場パルスと異なった形であるが粒子加速、とりわけ磁場に垂直方向の高エネルギー電子の生成に寄与している。

まとめとして、図 1 に示した電場パルスは、電気二重層のポテンシャル差により加速された電子のビーム成分の発生を示唆しているが、他に単純な電気二重層の静電的加速では、説明がつかない指向性を示す硬 X 線データも得られており、電場パルスがどのように粒子加速に寄与しているかについては、まだ未解決の問題が含まれている。

電場バーストは磁場に平行方向の硬 X 線放射に顕著な指向性を与えており、その周波数スペクトルのプロフィールがローハイブリッド周波数近傍に局在している場合に、それが顕著である。しかし、粒子加速、とりわけ高エネルギー電子の発生は、周波数スペクトルが高域にシフトした場合に、著しく強まることが判明した。

[文献]

- [ 1 ] Y. Takeda and K. Yamagiwa,  
Phys. Fluids B, 3(2), 288(1991)
- [ 2 ] Y. Takeda and H. Inuzuka,  
Proc. 13th International Toki  
Conference on Plasma Physics and  
Controlled Fusion(ITC-13)  
J. Plasma Fusion Res. SERIES,  
Vol.6(2004),562

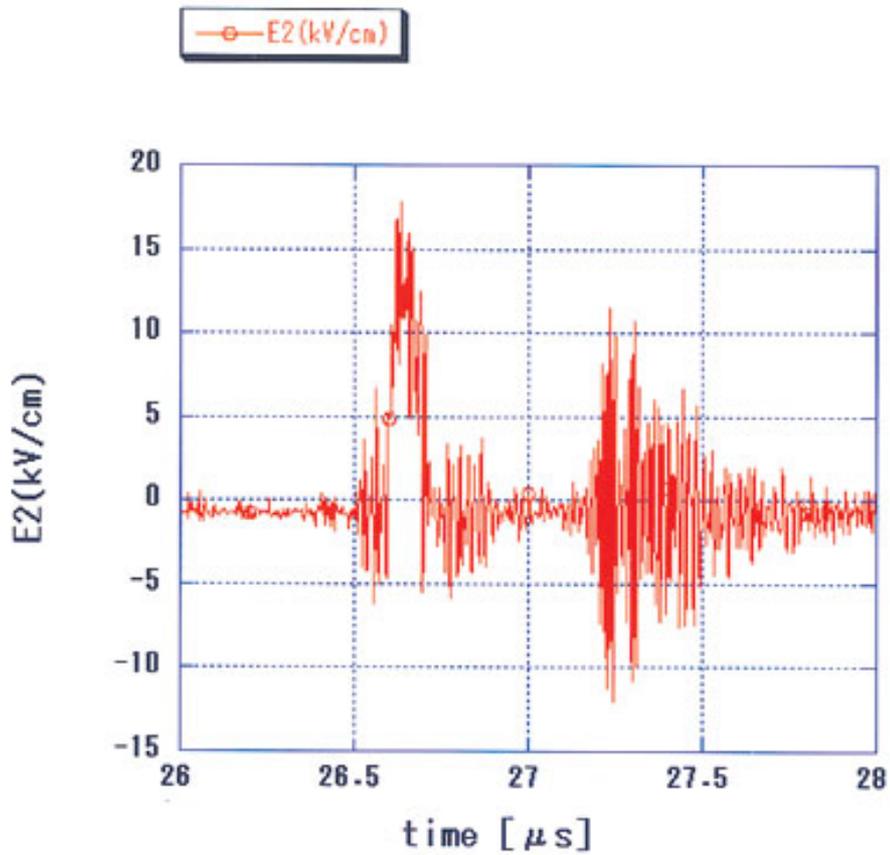


図1 直線プラズマ放電の開始時に観測された電場の時間トレース