

イオン源におけるビーム引出し機構の解析

八坂保弘 井上信幸 二瓶仁 *浅井謙一 内田啓二郎 東大工 *新日鉄

最近、核融合装置におけるプラズマ追加熱の一方法として中性粒子ビーム入射が注目されているが、その中性粒子ビーム生成には大容量のイオン源が必要である。そしてこのイオン源は、大容量であると同時に、安定でビームの発散の少ない良質のビームを取り出せることが要求される。この研究は、ソースプラズマからのイオン引出しを、コンピュータ・シミュレーションによって解析し、イオン源装置におけるイオン引出し部の設計に役立てようとしたものである。

計算は図1のような配置で2次元で解析する。それ故、スリット状電極によるイオン引出しに対応する。パラメータは、ソースプラズマのイオン飽和電流密度 I_{is} (mA/cm^2)、イオン比電荷 q ($\frac{e}{A}$)、電極の厚さ T (mm ; 簡単のため3電極とも同じ厚さとする。)、そのスリットの中 W (mm ; 同様に同じとする。)、電極間のきまり D_1, D_2 (mm)、スリット中心面のずれ C (mm ; ビーム偏向に帰する量で、同様に同じずれとする。)、計算は $D_2 = 2.5 \text{ mm}$, $T = 1.5 \text{ mm}$ で行った。解くべき方程式は

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{ポワソンの方程式})$$

$$M \frac{dV}{dt} = \sum e E \quad (\text{運動方程式})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (\text{連続の式})$$

であって、このプログラムは、プラズマ表面の形と位置が、与えられた電位と配置により自動的に決まるようになっているのが特徴である。プログラムのブロック線図は図2に示す。

結果の一例を図3に示す。ここでいう引出電圧 (V_0) とは正電極 (V_p) と負電極 (V_N) の電位差のことで、実際の電位は発散角が最小であるということ、 $V_N = \frac{1}{7} V_p$ としてある。

主な結果は次の通りである。まずビームの発散(全ビームの75%がどの位広がるかを考えてある。)の最も小さな引出電圧 $V_{D,opt}$ と、そのときの発散角 ω_{opt} (度) は

$$V_{D,opt} \cong 0.135 I_{is}^{2/3} W^{1/2} D^{1/2} T^{-1/2}$$

$$\omega_{opt} \cong 1.11 \times 10^2 D^{-3/2}$$

である。またビームの偏向については、スリットの中心面をずらすことによる偏向角 θ (度) は

$$\theta \cong 40 \cdot \frac{C}{D}$$

であり、イオン飽和電流密度の空間的な非一様性 (I_{is} のスリット面上での勾配) による偏向角は、イオン飽和電流の空間的勾配 $\epsilon \left(\frac{dI_{is}}{dx} \right)$ ($\text{mA}/\text{cm}^2/\text{mm}$) として

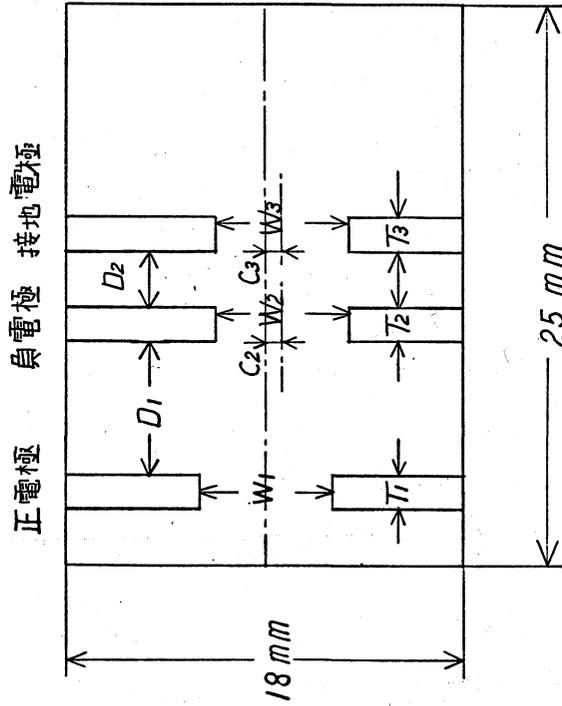
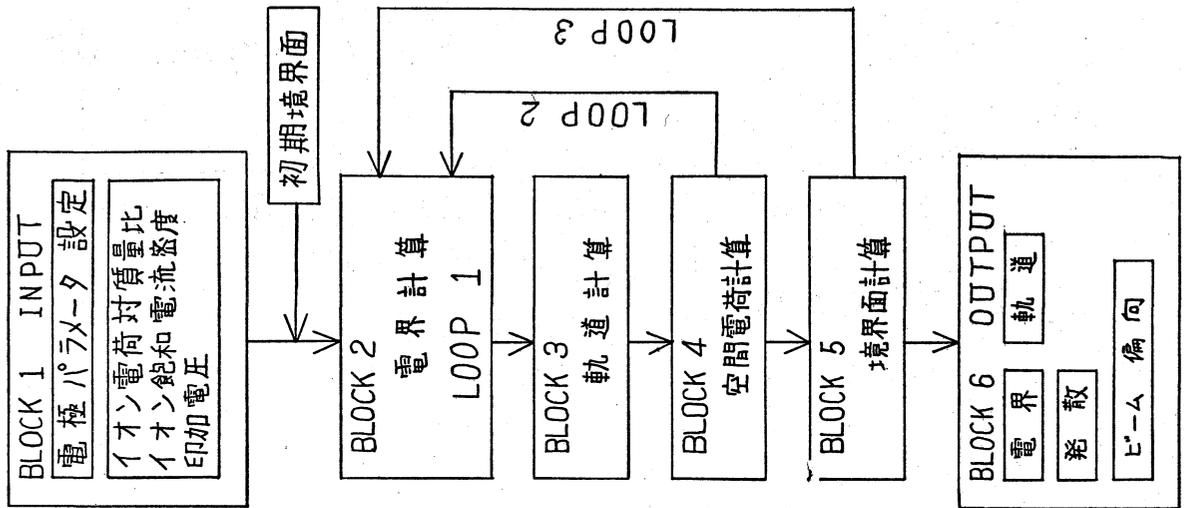
$$\theta \cong \frac{4}{I_{is}} \cdot \left(\frac{dI_{is}}{dx} \right) \cdot W$$

である。以上が、コンピュータ・シミュレーションにより得られた結果である。

(参考文献)

1. さらに詳しくは 浅井謙一; 東大工原子工学科修士論文(1975)

図. 2 プログラムのブロック線図



注) 実際の計算は、 $W \equiv W_1 = W_2 = W_3$, $D = D_1$,
 $C \equiv C_1 = C_2$, $D_2 = 2.5$, $T_1 = T_2 = T_3 = 1.5$
 としてパラメータを制限して行った。

図. 1. 電極パラメータ

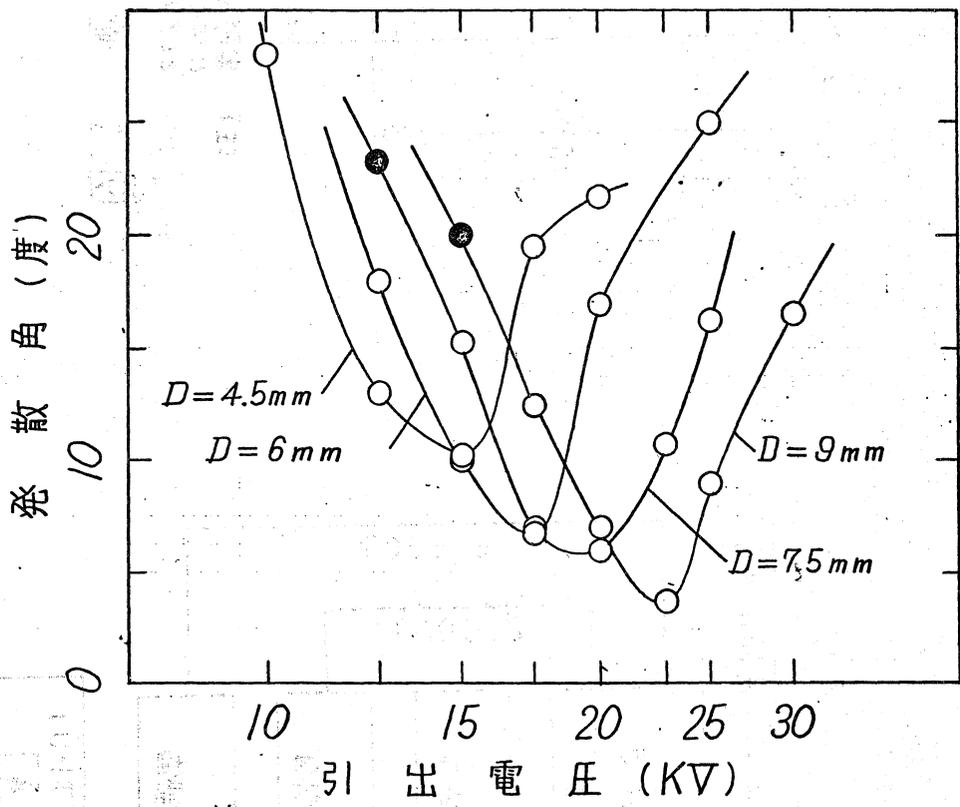


圖 3 計算例 $W = 6\text{ mm}$