核融合炉のパワー収支について. II. 純粋DD炉

倉澤 孝 (東京工業大学理学部)

(1981年5月6日受理)

On the Power Balance in a Fusion Reactor. II. Pure DD Fusion Reactor

Takasi Kurasawa*

(Received May 6, 1981)

Abstract

The criterions for achieving the zero output and the overall plant efficiency $\eta = 30\%$ in the "Pure DD" fusion reactor are obtained by taking account of the effects of the bremsstrahlung loss, the heating device and the direct converter.

前稿 I¹⁾ では, DT炉のパワー収支が議論された。本稿では, Iの方法を純粋DD炉に適用する。以下, Iと同じ記号を使用する。本稿で考察する反応は次の通り: (純粋DD反応)

Dが1個反応したときの発生エネルギー Q_f は, $Q_f = 1.83 \text{ MeV}$, 発生エネルギーのうち荷電粒子のもらう割合 α は $\alpha = 0.66$ である。核融合反応により発生するパワー P_f は

$$P_f = n^2 \langle \sigma v \rangle_{DD \text{ total}} Q_f V, \quad (3)$$

である。ここで

* Faculty of Science, Tokyo Institute of Technology

$$\langle \sigma v \rangle_{DD \text{ total}} = \langle \sigma v \rangle_{DDp} + \langle \sigma v \rangle_{DDn}, \quad (4)$$

であり、 $\langle \sigma v \rangle_{DDp}$ は(1)の反応、 $\langle \sigma v \rangle_{DDn}$ は(2)の反応の断面積とイオンの相対速度の積のマックスウェル分布による平均を表わす。発電プラントの構成は、IのFig. 1に示されているようなものとする(ただし $\eta_r = \eta_t$ とする)。

総合プラント効率の値が η となる出力条件は、Iと同じ方法により、次のようになる：

$$n\tau = \frac{3(1 - \eta_d \eta_h) T}{(\eta_e - \eta) \eta_h \langle \sigma v \rangle_{DD \text{ total}} Q_f - 3.34 \times 10^{-15} (1 - \eta_t \eta_h) T^{1/2}} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}, \quad (5)$$

$$(T(\text{keV}), \quad Q_f = 1.83 \times 10^3 \text{ keV}, \quad \langle \sigma v \rangle (\text{cm}^3/\text{sec})).$$

例として、 $\eta_h = 0.7$, $\eta_d = 0.7$, $\eta_t = 0.4$ のときの零出力条件($\eta = 0$)と総合プラント効率が30%となる出力条件($\eta = 0.3$)を求める。($\eta_e = 0.6$)

零出力条件($\eta = 0$)は、(5)より

$$n\tau = \frac{T}{5.0 \times 10^2 \langle \sigma v \rangle_{DD \text{ total}} - 1.6 \times 10^{-15} T^{1/2}} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}, \quad (6)$$

となる。

総合プラント効率が30%となる出力条件($\eta = 0.3$)は

$$n\tau = \frac{T}{2.5 \times 10^2 \langle \sigma v \rangle_{DD \text{ total}} - 1.6 \times 10^{-15} T^{1/2}} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}, \quad (7)$$

となる。

ローソン数 $n\tau$ の温度依存性はFig. 1に示されている($\langle \sigma v \rangle_{DD \text{ total}}$ の値は文献2)を参照)。
零出力条件は

$$T = 100 \text{ keV} \text{ のとき } n\tau = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}$$

$$T = 200 \text{ keV} \text{ のとき } n\tau = 6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}$$

$$T = 300 \text{ keV} \text{ のとき } n\tau = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}$$

Fig. 1. 零出力 ($\eta=0$) および総合プラント効率30% ($\eta=0.3$) のときのローソン数 $n\tau$ の温度 T 依存性 (純粋DD炉)。

となる。

総合プラント効率が30%となる出力条件は

$$T=200 \text{ keV のとき } n\tau = 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}$$

$$T=300 \text{ keV のとき } n\tau = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}$$

となる。

純粋DD炉においては、上のように、出力条件が $n\tau \sim 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}$ 、 $T \sim 100 \text{ keV}$ となるため、輻射損失の出力条件への影響は大きい (I の (2.9) 参照)。

なお、出力パワー P_n は

$$\begin{aligned} P_n &= \eta P_f \\ &= \eta_t \{ (1-\alpha) P_f + P_r \} + \eta_d (\alpha P_f + P_p) - \frac{P_p + P_r}{\eta_h} \end{aligned} \quad (8)$$

であるため、総合プラント効率 η は

$$\eta = \eta_t \left\{ (1 - \alpha) + \frac{P_r}{P_f} \right\} + \eta_d \left\{ \alpha + \frac{P_p}{P_f} \right\} - \frac{1}{\eta_h} \cdot \frac{P_p + P_r}{P_f}, \quad (9)$$

となる。いま、試みに $T = 100 \text{ keV}$, $n\tau = 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{sec}$ とすると

$$\eta = 0.69 \eta_t + 0.98 \eta_d - \frac{0.67}{\eta_h}, \quad (10)$$

となり、加熱効率 η_h の総合プラント効率におよぼす影響が大きいことが分る。

さらに、温度 $T = 100 \text{ keV}$ のとき、零出力 ($\eta = 0$) のときのローソン数 $n\tau$ の諸効率依存性 (5) で $\eta = 0$) は、Fig. 2 に図示してある。

Fig. 2 の①は、 $\eta_d = 0.7$,

$\eta_t = 0.4$ のときの $n\tau$ の η_h 依存性、

②は、 $\eta_h = 0.7$, $\eta_t = 0.4$ のとき

の $n\tau$ の η_d 依存性、③は、 $\eta_h =$

0.7 , $\eta_d = 0.7$ のときの $n\tau$ の η_t

依存性である。Fig. 2 より、ロー

ソン数への加熱効率 η_h の影響が大きいことが分る。

上の例でみたように、核融合炉で出力パワーを出すためには、加熱効率 η_h の良い炉をつくることが重要であろう。

最後に、有意義な議論をしていただいた宇都宮大学の松浦健哉、明治大学の謝敏鏗の両氏に感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 倉澤 孝・松浦健哉：核融合研究 46 (1981) 123.
- 2) J.L. Tuck : Nucl. Fusion 1 (1961) 201.

Fig. 2 零出力のときのローソン数 $n\tau$ の諸効率依存性 ($T = 100 \text{ KeV}$ のとき),

①は $n\tau$ の η_h 依存性 ($\eta_d = 0.7$, $\eta_t = 0.4$),

②は $n\tau$ の η_d 依存性 ($\eta_h = 0.7$, $\eta_t = 0.4$),

③は $n\tau$ の η_t 依存性 ($\eta_h = 0.7$, $\eta_d = 0.7$)