

1 はじめに

1-1 核融合の目的、歴史

「エネルギー問題」解決の切り札

D-D反応 : 3.7×10^9

D-T反応 : $1700Q(4.7 \times 10^7 Q)$

軽水炉 : 2.4Q

高速炉 : $350Q(3 \times 10^6)$

化石燃料 : 90Q

核融合の利用 : 第1回原子力エネルギー平和利用国際会議が出発点

インドのバーバが20年後には核融合の研究は完成すると予言

核融合研究の歴史は、核融合の困難さを明らかにした。実用化の見込みはどんどん先にのび、予測ができなくなった。

1-2 核融合の話題

4大トカマク（ヨーロッパ、アメリカ、ロシア、日本）における性能向上

JETにおけるDT実験による核融合発熱実験

原研JD60のめざす臨界条件

ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor)計画の進展

自己点火条件の実現をめざす実験炉

核融合研究は規模を拡大しながら順調に進行しているように見える。高速炉と違って国際協力も順調。（困難さの反映）

常温核融合騒動：日本の原子力開発体制の欠陥を典型的に示す。

批判を内包しない：専門家

評価グループを持たない：政策当局

2 核融合の原理

2-1 核融合反応と特徴

核融合反応の種類（図1）

エネルギー保存と運動量の保存から反応生成物は2個以上必要

核融合反応は加速器では最も起こしやすい反応

原爆を起爆材にすると容易に起こすことができる。

原爆の周りに ^6LiD をおけば水爆になる

天体のエネルギー源

D-D反応が主体、巨大な天体の重力による圧力のもとで可能、

エネルギー密度は極めて小さい

核融合反応はクーロン障壁のため非常に起こりにくい。

反応断面積（図2）

反応率： $R=n^2\sigma v$ （図3）

数億度に加熱する必要。加速器ではほとんど起こせない

核分裂反応は電荷を持たない中性子によって起こされるため大変起こりやすい。加速の必要がない。臨界にするのは非常に簡単。

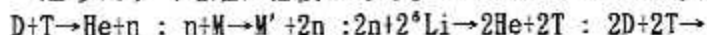
核融合では自己点火条件の達成が非常に困難。

自己点火条件とローソン条件（臨界条件）
D-T反応が最も起こしやすいので、核融合の利用はD-T核融合である。

3 核融合炉

D-T反応の燃料サイクル

Tは天然には存在しない（宇宙線中性子によりわずかに生成される）ので、
造りだす（増殖）必要がある。そのために ^6Li が必要。



制御核融合の方法は、高温プラズマの磁場閉じこめと慣性核融合：熱核融合
数億度とDT粒子の高密度化の実現をはかる。

磁場閉じ込めの原理（図4）

磁場閉じ込めの困難さ：高速流体、遠距離、近距離相互作用、
種々の発散モード、

閉じ込めによる不純物の増加、放熱の増加

長時間の安定性

プラズマの加熱の困難さ

燃料補給と不純物の排出

プラズマによる炉壁の損傷とその汚染

4 トカマク炉の現状、将来計画

4-1 トカマクの原理（図5）

トカマクの構造（図6）

JT60がめざす臨界条件（図7）

4-2 JETによるD-T実験：核融合の実証、核融合の困難さを実証

実験の経過：準備実験

トリチウムの導入(53Ci/1000Ci)

プラズマ加熱(PINI)によるD-T反応（図8、図9）

Diverter カーボンブルームによる反応の停止

プラズマの汚染による放熱の増大

中心イオン温度：18.8keV、電子温度：9.9keV、

平均燃料イオン密度： $1.6 \times 10^{19}/\text{m}^3$

中性子発生数： 7.2×10^{17}

発熱量：2 MJ

洗浄実験（トリチウム除洗）

抵抗加熱、放電、粒子入射加熱等による除洗効果の実験

残存量：2カ月で18 Ci/53 Ci、4カ月で8 Ci/53 Ci

4-3 ITER実験炉

計画目標

炉構造（図10）

炉工学の開発課題（図11）

5 慣性核融合

慣性核融合の原理：小型水爆

半径数ミリ以下のガラス、プラスチックの小球内にD,Tを充てん。あらゆる

方向から瞬間的に大量のエネルギーを注入。

慣性核融合の問題：

レーザー光への変換効率、ペレット吸収効率、圧縮効率
炉構造が考えられない。出力の持続が困難。

6 常温核融合騒動の実態

6-1 発端：

ポンズ・フライシュマン：発熱と弱い放射線（ガンマ、中性子）の観測

ジョーンズ：微少の中性子の観測

パラジウムに及ぼされたDによるD-D反応

6-2 その後の経過

発熱は観測：信頼性がない

中性子は観測されてない：観測を報告した実験は皆でたらめ。

Heの観測

6-3 問題点：

イ) D-D反応の確率：

$\sigma_{D-D} = [(288/W) \exp(-45.8W^{-1/2})] \times 10^{-24} \text{ cm}^2$: W =エネルギー(keV)

1 keV と10 keVで 10^{13} 違う

ロ) 放射線のでない核融合は運動量保存を満たせない。

ハ) 発熱より放射線が計りやすい。

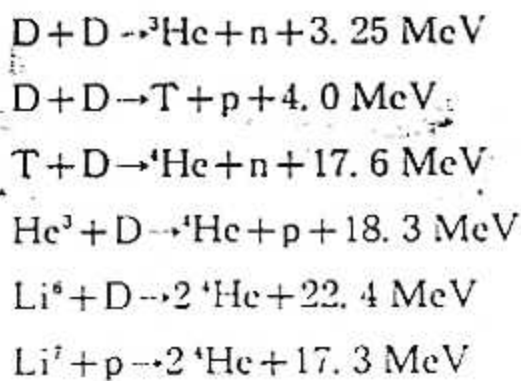
ニ) 日本における研究推進の問題

研究者

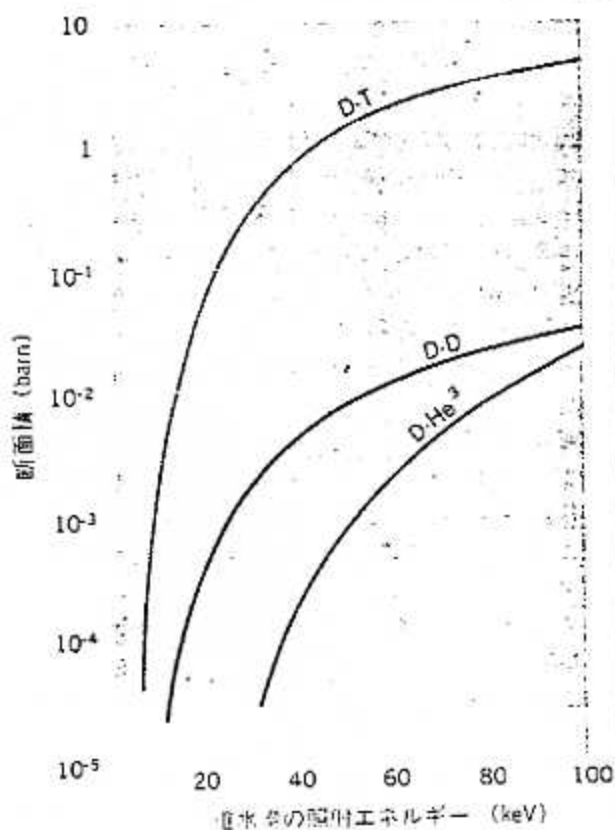
企業

資源エネルギー庁

資料整理 - 40 AJ.

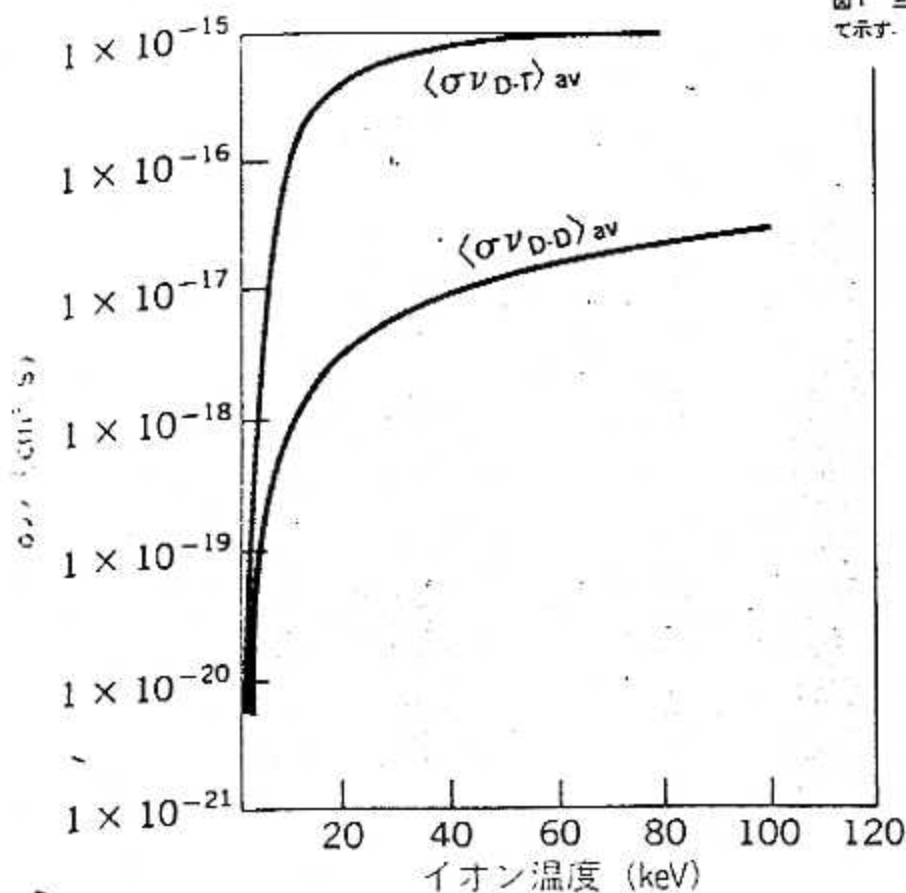


12/1.



12/2.

図1 三つの簡単な核融合反応の断面積を照射エネルギーの関数として示す。



3
図2 D-D 反応, D-T 反応について, $\langle \sigma v \rangle$ の値をイオン温度の関数として示す。

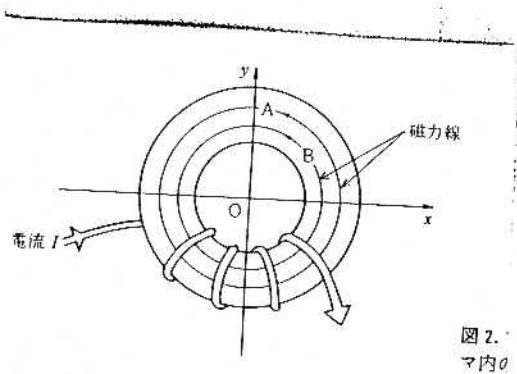
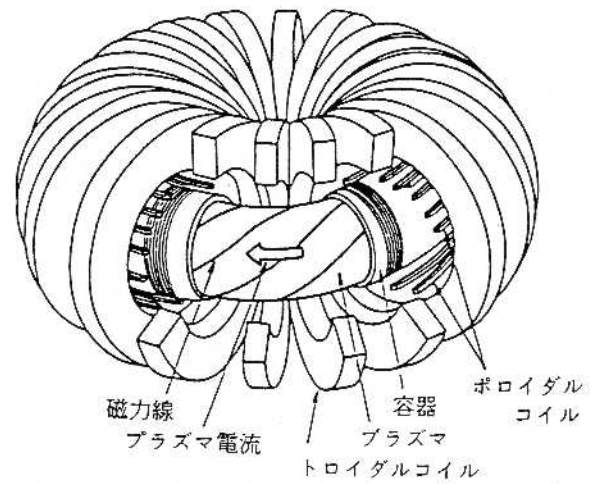


図 4.



第 2.1 図 トカマクの構成

図 5

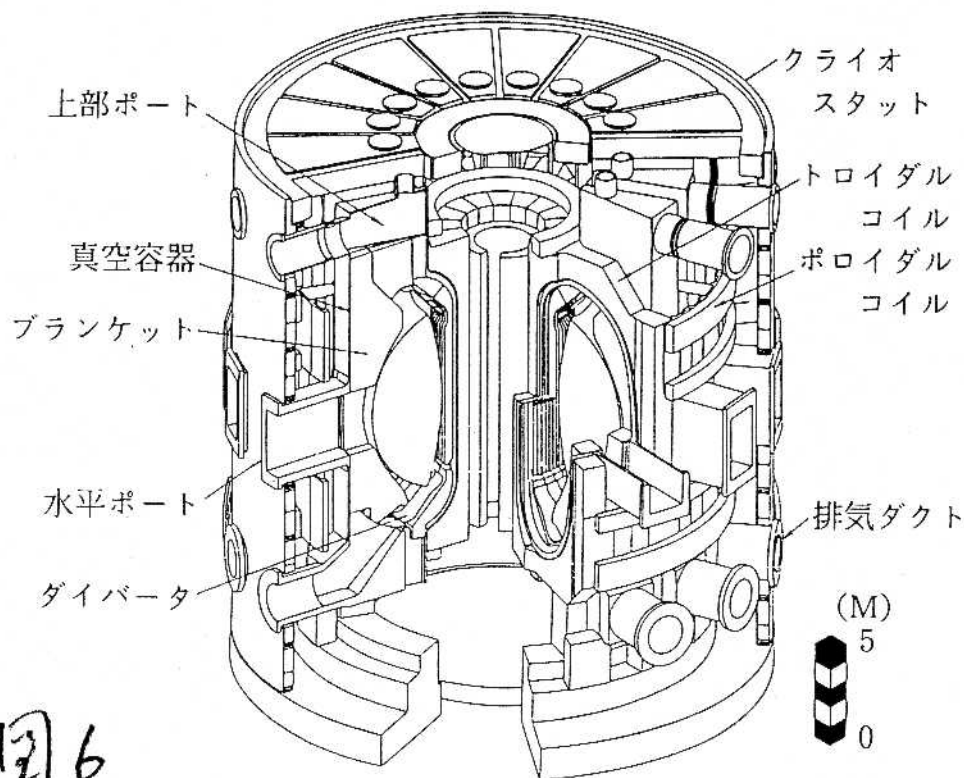


図 6

第 3.1.1 図 国際熱核融合実験炉 (ITER) の概念鳥瞰図

6

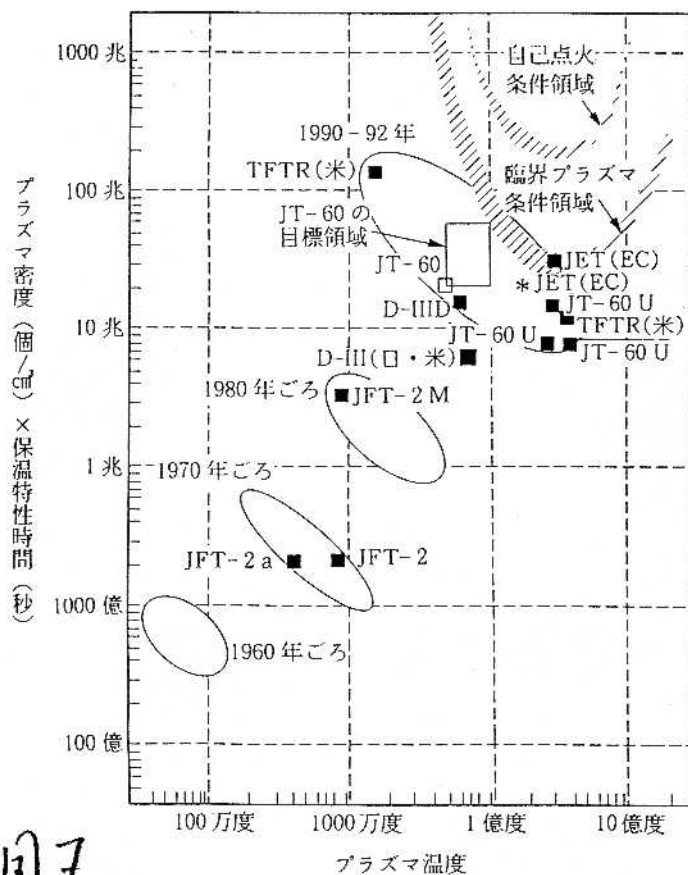
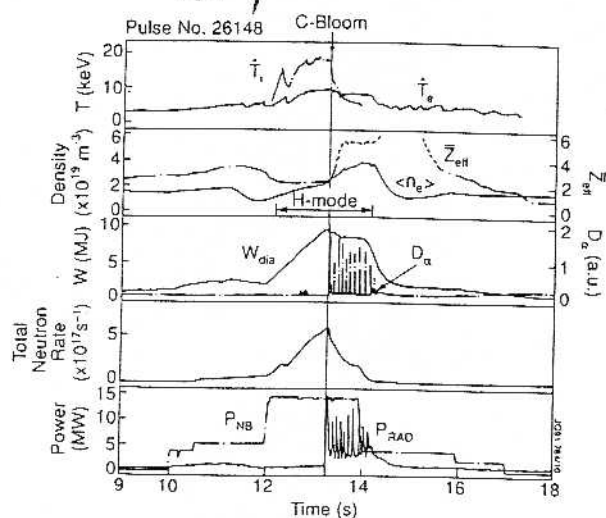
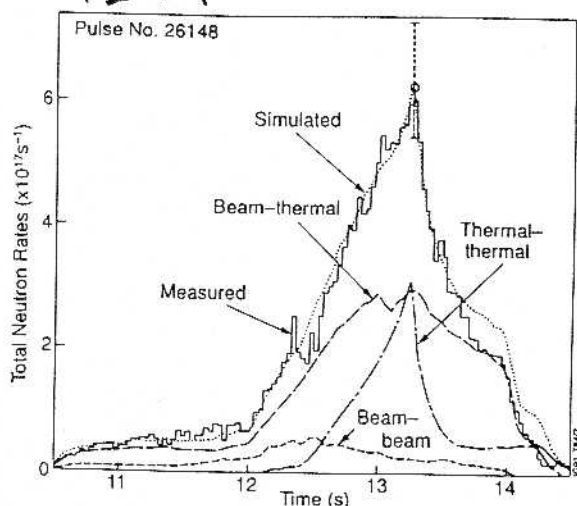


図7

第2.3図 トカマク型核融合関連のプラズマ特性の進展



第4図 DT デモンストレーション実験の放電トレースと中性子発生量の時間変化(文献(1)より引用)

上から、中心でのイオンと電子温度(T_i , T_e)、体積平均電子密度($\langle n_e \rangle$)と平均荷電数(Z_{eff})、プラズマ内部エネルギー(W_{dia} :反磁性計測による)と D_α 光強度、全中性子発生量(大半が 14 MeV)、中性粒子入射パワー(P_{NB})とプラズマからの放射損失パワー(P_{rad})。

縦の線は、カーボン・ブルームが発生した時刻を示す。