

氏 名	井 本 三 夫 い もと みつ お
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 8 号
学 位 授 与 の 日 付	昭和34年 3 月23日
学 位 授 与 の 要 件	理学研究科物理学専攻・博士課程修了者 (学位規則第5条第1項該当)
学 位 論 文 題 目	Essential Limitations and T-Nt Diagram for Self-sustaining Fusion Systems (自立核融合系に対する基本的制限と T-Nt 図表) (主 査)
論 文 調 査 委 員	教 授 湯 川 秀 樹 教 授 小 林 稔 教 授 林 忠 四 郎

論 文 内 容 の 要 旨

高温プラズマの制御された熱核融合反応系においては、核反応によるエネルギー生成があっても、諸種のエネルギー損失の過程を避けることができない。エネルギー損失に寄与する諸種の過程の中で最も重要なのは、電子とイオンの衝突による制動輻射の放出過程である。天体の場合は別にして、地上の規模の装置では、プラズマは輻射に対して透明であるので、発生した輻射をプラズマ内に閉じておくことは不可能である。さらに、核反応のエネルギーは、生成核の運動エネルギーとして放出されるが、とくに、中性子はプラズマを自由に通過して系外に逸脱するので、放出エネルギーの一部が、プラズマ自身の加熱に用いられるにすぎない。これらの損失エネルギーをプラズマの外部で捕捉して、再びプラズマに注入することによりその冷却を防ぐにしても、ある値以上の効率をもってこれを行なうことはできない。したがって、実用的なエネルギー源としての自立核融合系の作動が可能なためには、上述の効率を考慮して、核反応のエネルギー生成量が損失量を十分上廻ることが必要である。J. D. Lawson は、D-D 反応と D-T 反応の二つの発熱的核融合反応をエネルギー生成の基本過程とする系について、エネルギー利用に必要な条件を調べ、それぞれの場合に、プラズマの温度 T および密度 N と持続時間 t の積 Nt が、ある値以上に大でなければならないことを見出した。温度と持続時間の二つの因子は、高温プラズマの制御可能性を左右するものとして、現在、各国における高温プラズマ研究の目標となっている。

Lawson の条件は、核融合反応が進行しても、プラズマの組成が変化しないという仮定、および、電子間相互の衝突による制動輻射が無視できるという仮定のもとに導かれたものである。

井本三夫は、この種の非現実的な仮定を除いた場合、またさらに、放出エネルギーの種類によってその再利用の効率を区別した場合に、条件がどう変化するかを詳しく検討した。まず、燃料が純重水素の場合 (D-D 燃料) と、重水素と三重水素とが等量混合している場合 (D-T 燃料) の二つを選び、各温度について、熱核反応によるプラズマ内の D^2 , T^3 , He^4 の濃度の時間的变化を数値積分によって求め、各時刻におけるエネルギー生成量と損失量とを計算した。この際、衝突と核反応はともに二体の反応であるから、反応の進行度は Nt (換算時間) で記述される。ついで、これらの数値を用いて、エネルギー利用が可能な

T と Nt の領域を、再利用効率として各種の値を仮定した場合について求めたのである。

その結果によると、D-T燃料の場合は、T-Nt 図上にエネルギー利用の条件をみたす有限領域が存在することが示された。温度に上限があるのは、高温においては制限輻射による損失がエネルギー生成を越すためであり、時間の上限は、ヘリウムの蓄積による制動輻射の増加と燃料の減少のためである。D-D燃料の場合には、放出される中性子のエネルギーの特別な利用法を考えない限り、上述の条件をみたす領域が存在しないという、重要な結論が導かれた。核燃料としての三重水素は自然に存在しない高価なものであるから、核融合のエネルギー利用の具体的方針を確立するためには、中性子を再利用する効率のよい方法を見出さねばならないのである。

以上に述べたように、主論文は、今後の核融合研究を進めてゆくための基礎的な資料として、重要な意味をもつものと思われる。

論文審査の結果の要旨

主論文は、制御された核融合系反応によるエネルギー利用の条件を、原子核反応理論とプラズマ理論を用いて、詳細に分析したものである。これまで、この種の条件は、核反応の進行にともなう系の組成の変化を無視した近似のもとに求められていた。

井本三夫は、反応生成物の蓄積が輻射損失を増大させること、また、高温では電子—電子衝突による制動輻射の発生が無視できないことを考慮に入れて、厳密かつ一般的なエネルギー利用の条件を求め、この条件は、系の温度と反応の換算持続時間が適当な範囲内の値をもつときに限り満足されることを示した。とくに、純重水素を燃料とする場合には、放出される中性子の特別な利用法を見出さない限り、条件は満足されないことを示した。この研究成果は、プラズマの加熱および保持の方法の選定などに関して、今後の核融合研究の指針を与えるものとして、研究の発展に寄与するところが大きい。

参考論文のその一(注1)とその四(注2)は、水素を消費し尽くした星の内部において、ヘリウム核相互の融合反応によって C, O, Ne が生成される過程を理論的に検討し、その星の構造と進化に及ぼす影響を調べるとともに、生成される元素の存在比を求めたものである。

井本三夫が、その共同研究者と協力して、着実な研究態度のもとに、複雑な問題を如何に処理したかを示す、興味ある論文である。

参考論文のその二(注3)、その三(注4)は、主論文の先駆となったもので、制御された核融合系における反応の進行度は密度と時間の積である換算時間で記述されること、また、反応生成核の内には一般に不燃性のもののほかに、三重水素のような有効な燃料が含まれることを最初に明らかにしたものである。

参考論文その五(注5)は、星の内部における水素と他の元素の融合反応の反応率を系統的にしらべ、C-N 循環反応のほかに、Ne-Na, Si-P, S-Cl の諸循環反応が可能なことを示し、その反応時間を求めたものである。

要するに、井本三夫は、参考論文が示すように、その着実な研究態度によって、天体核現象ならびにプラズマ現象の理論の展開に重要な寄与をなした。とくに、その主論文は、熱核融合研究の基礎となるべきエネルギー利用の条件を明確にしたものであって、今後の、核エネルギー利用の進展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。

〔主論文公表誌名〕

Journal of Nuclear Energy, Part C. (創刊号予定)

〔参 考 論 文〕

- 注 1. Helium Capturing Reaction in Stars (天体におけるヘリウム捕獲過程)
共著者 ~ 林 忠四郎・早川幸男・菊池 健
Progress of Theoretical Physics, Vol. 16 (1956), No. 5.
- 注 2. 天体における He^4 捕獲過程
共著者 ~ 林 忠四郎・早川幸男・菊池 健
素粒子論研究 第9巻(昭. 30)第5号
- 注 3. On the Time-Variation in the Thermonuclear-Fusion Systems
(熱核融合系の時間変分について)
共著者 ~ 藤井三朗・富永五郎
Progress of Theoretical Physics, Vol. 21 (1959), No. 5.
- 注 4. T-Nt Diagram for Fusion Researches (熱核融合研究からの T-Nt 図表)
共著者 ~ 藤井三朗・富永五郎
Progress Theoretical Physics, Vol. 21 (1959), No. 6. (予定)
- 注 5. サイクリックな熱核反応 I
共著者 ~ 小川 潔・山口嘉夫
素粒子論研究 第14巻(昭. 32)第3号

— 医 学 博 士 の 部 —