

目 次

1 フュージョン炉の基本

1.1	フュージョンエネルギーとは	1
1.1.1	核分裂反応とフュージョン（核融合）反応の違い	2
1.1.2	重水素・三重水素の反応	3
1.2	1億℃を閉じ込める方法（磁場とレーザー）	4
1.2.1	磁場による閉じ込め	5
1.2.2	慣性力による閉じ込め（レーザー方式）	6
1.3	過去の開発史と日本の試験装置 JT-60SA	7
1.3.1	磁場方式フュージョン炉の基本構造	7
1.3.2	磁場方式による開発の歴史	9
1.4	国際協力で建設が進むフュージョン実験炉 ITER	11
1.4.1	ITER 計 画	11
1.4.2	今後の計画	14
1.5	フュージョン炉のおもな要素技術	15
1.5.1	原型炉実現に向けた五つの要素技術	15
1.5.2	統合装置としての ITER の役割	21
1.6	実用化に向けた開発計画とコスト	21
1.7	フュージョン炉の基本のまとめ	23

2 フュージョン炉に関するよくある疑問と回答

2.1	水爆のように爆発しないのか	24
-----	---------------	----

2.2 福島事故のようにならないか	26
2.2.1 冷却できなくなったらどうなる?	26
2.2.2 それでも止まらなかつたら?	27
2.3 放射性廃棄物で破綻しないのか	28
2.3.1 廃棄物の放射能は100年で減衰する	29
2.3.2 100年後の廃棄物の量	30
2.3.3 ITERの廃棄物量	32
2.3.4 安全性と潜在的ハザード比較	32
2.4 1億℃なのにお湯を沸かして発電するのか	33
2.5 フュージョン炉を造る材料はあるのか	35
2.5.1 実験炉ITERの材料	35
2.5.2 原型炉の材料	36
2.5.3 実用炉の材料	37
2.5.4 じつは役に立っている中性子	37
2.6 フュージョン炉に関するよくある疑問と回答のまとめ	38

3 磁場方式フュージョン炉

3.1 閉じ込め磁場の構成	39
3.1.1 トカマクフュージョン炉の構成	39
3.1.2 磁力線をねじる方法	40
3.2 1億℃への加熱と電流の駆動	42
3.2.1 電磁誘導による電流の駆動	43
3.2.2 いろいろな加熱方法	44
3.2.3 電磁誘導ではない電流の駆動法	49
3.3 日欧の成功と米国の挫折	52
3.3.1 3大トカマクの時代	52
3.3.2 Lモードによる危機	53
3.3.3 Hモードの発見	54

3.3.4 Hモードへの対応が死命を制した	56
3.4 プラズマ性能の制約条件	57
3.4.1 エネルギー閉じ込め指数 H	58
3.4.2 プラズマ圧力指標 G	61
3.4.3 プラズマ密度指数 R	61
3.4.4 原型炉に向けたJT-60SAとITERの役割	62
3.5 磁場方式フュージョン炉のまとめ	62

4 資源量と燃料増殖の仕組み

4.1 燃料資源はどこにあるのか	64
4.1.1 資源量での比較	65
4.1.2 重水素濃縮の工業技術はすでにある	66
4.2 燃料増殖：リチウムから三重水素を作る	67
4.2.1 三重水素の増殖方法	67
4.2.2 リチウム6の濃縮法	68
4.3 最初に三重水素がなくても起動できる	69
4.3.1 DDスタートとその重要性	70
4.3.2 DDスタートの副産物	72
4.4 資源量と燃料増殖の仕組みのまとめ	74

5 ITER計画の進捗と目標

5.1 ITER計画の進捗	75
5.2 実験炉ITERの仕様と構造	77
5.2.1 ITERの大きさと設計仕様	77
5.2.2 ITERのコイル構造と建造方法	79
5.3 ITERの目標と達成の見通し	82
5.3.1 ITERの物理目標：第1段階	82

5.3.2 ITERの物理目標：第2段階	83
5.3.3 フュージョン炉工学技術の統合試験	84
5.4 ITER計画の進捗と目標のまとめ	85

6 イノベーションの歴史と期待

6.1 プラズマ性能のイノベーション	86
6.1.1 トカマクの発明	86
6.1.2 自己駆動電流の発見	88
6.1.3 期待されるイノベーション：自己燃焼プラズマ	90
6.2 超伝導コイルのイノベーション	92
6.2.1 ニオブスズ導体コイルのイノベーション	93
6.2.2 期待されるイノベーション-1：React and Wind	93
6.2.3 期待されるイノベーション-2：長寿命絶縁体	95
6.2.4 期待されるイノベーション-3：高温超伝導	95
6.3 ダイバータでのイノベーション	97
6.3.1 ダイバータによるHモードの実現	97
6.3.2 ダイバータに必要な今後のイノベーション：来る前に冷やす	97
6.4 ブランケットでのイノベーション	98
6.4.1 ブランケット構造での過去のイノベーション	98
6.4.2 ブランケット構造での期待されるイノベーション	100
6.5 加熱・電流駆動装置のイノベーション	102
6.5.1 宇宙技術から来たNBI	103
6.5.2 負イオンNBIのイノベーション	104
6.6 遠隔保守のイノベーション	105
6.6.1 ITERの遠隔保守	105
6.6.2 今後に期待されるイノベーション：上に抜く，横に抜く	106
6.7 イノベーションの歴史と期待のまとめ	107

7 磁場フュージョン炉の概念設計と経済性

7.1 ITERで発電したら正味電力は出るか	108
7.2 フュージョン炉の概念設計	110
7.2.1 実用炉の概念設計	110
7.2.2 原型炉の概念設計	114
7.2.3 CSコイル容量と装置サイズの関係	117
7.3 建設コストと発電コストの予測分析	119
7.3.1 総建設費の分析	119
7.3.2 発電原価の分析	120
7.4 磁場フュージョン炉の概念設計と経済性のまとめ	122

8 慣性（レーザー）方式フュージョン

8.1 レーザー方式の原理と特長	123
8.2 米国におけるレーザー方式の進展	125
8.3 日本の発明：高速点火法	129
8.3.1 高速点火法と中心点火法	129
8.3.2 爆縮で発生する不安定性	131
8.4 レーザーフュージョン炉の概念設計	132
8.5 レーザー方式特有の技術課題	133
8.6 慣性（レーザー）方式フュージョンのまとめ	137

9 ベンチャーによる早期実用化の実情

9.1 いろいろなフュージョン反応	139
9.2 先進燃料フュージョン実現には高いハードルがある	141
9.2.1 ヘリウム炉の場合	142

9.2.2	ボロン炉の場合	144
9.3	民間投資に関する法的背景の視点	147
9.4	ベンチャーによる早期実用化の実情のまとめ	148

10 実用化に向けた開発計画

10.1	日本の開発ロードマップ	150
10.2	海外の開発計画	152
10.2.1	欧州の開発計画	152
10.2.2	米国の事情と計画	153
10.2.3	英国の事情と計画	153
10.2.4	中国は日欧に迫る	154
10.3	実用化に向けた開発計画のまとめ	156

11 今後に向けての提言

引用・参考文献	159
おわりに	162