

目次

1 核融合炉と構造工学	1
1.1 核融合炉について	1
1.1.1 核融合炉の開発計画	1
1.1.2 実験炉と動力炉	2
1.2 核融合装置の基本構造	3
1.2.1 トロイダル磁場コイルとポロイダル磁場コイル	4
1.2.2 真空容器およびブランケット/遮蔽体	7
1.2.3 第一壁およびダイバータ板 (プラズマ対向機器)	10
1.3 核融合炉に作用する荷重と構造工学	13
1.3.1 熱応力とは	13
1.3.2 電磁力とは	15
1.3.3 核融合炉の構造健全性	17
2 構造工学の基礎	21
2.1 固体力学の基礎	21
2.1.1 微小変形弾性理論	21
2.1.2 2次元問題	30
2.1.3 平板の曲げ問題	35
2.1.4 はりの曲げ問題	39
2.2 破壊力学の基礎	40
2.2.1 線形破壊力学	41
2.2.2 非線形破壊力学	44
2.2.3 破壊現象の取扱い	46

2.3	有限要素法の基礎	47
2.3.1	有限要素法とは	47
2.3.2	応力解析の支配方程式	48
2.3.3	仮想仕事の原理	49
2.3.4	最小ポテンシャルエネルギーの原理	51
2.3.5	要素剛性マトリックス	54
2.3.6	破壊力学パラメータの計算方法	58
2.3.7	有限要素解析汎用プログラム	59
2.3.8	CAE システム	63
3	熱に起因する現象	67
3.1	熱伝導現象の基礎	67
3.1.1	熱伝導方程式	67
3.1.2	境界条件	68
3.1.3	熱伝導の解析解	69
3.2	熱応力	73
3.2.1	熱応力の定義	73
3.2.2	熱応力の解析解	75
3.2.3	熱応力の性質	79
3.2.4	有限要素法による熱応力の解析方法	81
3.3	溶融・凝固問題	85
3.3.1	核融合炉に生じる溶融・凝固問題	85
3.3.2	溶融・凝固現象の解析	85
3.3.3	移動境界の取り扱い方	86
3.4	プラズマ対向機器の寿命評価	89
3.4.1	寿命評価の必要性	89
3.4.2	寿命決定因子	90
3.4.3	寿命評価方法	91
3.4.4	寿命評価結果	93
4	渦電流と電磁力	99
4.1	電磁気学の基礎	99
4.1.1	マクスウェル方程式	99

4.1.2	ベクトルポテンシャルによる解法	104
4.1.3	電流ベクトルポテンシャルによる解法	109
4.2	渦電流解析	111
4.2.1	核融合装置に生じる渦電流	111
4.2.2	有限要素法による解析法	113
4.3	磁性体と磁場解析	121
4.3.1	核融合炉における磁性材料	121
4.3.2	磁性体の磁場解析	121
4.3.3	非線形解析法	123
4.4	電磁力と動的応力解析	125
4.4.1	電磁力	125
4.4.2	運動方程式	128
4.4.3	固有値問題とモード合成法	129
4.4.4	直接積分法による応力解析	133
4.4.5	電磁応力解析の対称性	135
4.5	電磁構造連成問題	140
5	構造設計基準	143
5.1	構造設計基準とは	143
5.2	機器の分類	145
5.3	運転状態の分類	147
5.4	応力の分類と破損様式	149
5.5	応力の制限	154
5.5.1	応力強さ	154
5.5.2	設計応力強さ	155
5.5.3	延性破断および塑性崩壊の防止基準	156
5.5.4	シェイクダウンと熱ラチェットの基準	157
5.5.5	疲労破損の防止	159
5.6	核融合炉構造設計基準への課題	163
6	プラズマ対向機器の構造設計	165
6.1	プラズマ対向機器と熱負荷条件	165
6.1.1	プラズマ対向機器の種類	165

6.1.2	実験炉の熱負荷条件	170
6.2	第一壁	172
6.2.1	第一壁の構造設計例	172
6.2.2	第一壁の製作方法	176
6.3	ダイパータ板	179
6.3.1	ダイパータ板の構造設計例	179
6.3.2	アーマ材の接合方法	183
	参考文献	185