

# 核融合反応プラズマ実験装置 (R装置) 技術報告 (IV)

## アルミ合金化トカマクの検討

### 目 次

まえがき

1. 緒 言 .....	1
1.1 1次設計について .....	1
1.2 代替設計としてのアルミ系トカマク .....	1
1.3 アルミ系トカマクにおける重点課題 .....	2
1.4 検討参加者について .....	2
2. 低放射化装置のためのパラメータ設定 .....	3
2.1 序 論 .....	3
2.2 低放射化材料に対する誘導放射能の検討 .....	4
2.2.1 R装置における構造材選択の考え方 .....	4
2.2.2 誘導放射能の計算モデル .....	4
2.2.3 各種元素の誘導放射能 .....	5
2.2.4 コイル導体のアルミ合金化 .....	6
2.2.5 鉛によるコイルの遮蔽 .....	7
2.2.6 本体遮蔽体 (普通コンクリート) の放射化 .....	8
2.3 新しいパラメータの設定 .....	25
2.3.1 装置パラメータ最適化の必要性 .....	25
2.3.2 関係諸式の導出 .....	25
2.3.3 パラメータの変更 .....	27
2.4 NBIの入射角の検討 .....	32
2.4.1 NBIダクトと真空容器との接続 .....	32
2.4.2 計 算 条 件 .....	32
2.4.3 計 算 結 果 .....	33
2.4.4 ま と め .....	49

2.5	磁場リップルの影響の検討	50
2.5.1	磁場リップルに関する研究の必要性	50
2.5.2	弱いリップルの場合の拡散(リップルプラトー領域)	50
2.5.3	$\alpha$ 粒子に対するリップルの影響	56
2.5.4	衝突周波数の更に低い領域での拡散	57
2.5.5	結 語	58
2.6	0次元コードによるシミュレーション	59
2.6.1	計算モデル	59
2.6.2	各種パラメータ依存性	60
2.6.3	アルミ合金系装置パラメーターに対する計算	61
2.6.4	ま と め	62
2.7	トカマク輸送コードによる1次元シミュレーション	74
2.7.1	コードの改良点	74
2.7.2	シミュレーション・パラメータ	76
2.7.3	シミュレーションの結果	76
2.8	ま と め	84
3.	トロイダルコイルおよびポロイダルコイル	85
3.1	序 論	85
3.2	アルミ合金導体トロイダルコイル	86
3.2.1	概 要	86
3.2.2	構 造	86
3.2.3	電 磁 諸 量	86
3.2.4	強 度 評 価	87
3.3	鉛遮蔽材付銅導体トロイダルコイル	95
3.3.1	概 要	95
3.3.2	構 造	95
3.3.3	電 磁 諸 量	95
3.3.4	強 度 評 価	95
3.4	コイル枠の誘導電流	103
3.4.1	概 論	103

3.4.2	基本方程式	103
3.4.3	電源関連諸量の評価	104
3.4.4	電源の最適化	107
3.5	コイル補強枠の渦電流対策	114
3.5.1	構造	114
3.5.2	強度検討	114
3.5.3	カットがある場合の渦電流ロス	114
3.6	ポロイダルコイル	116
3.6.1	概要	116
3.6.2	配置および起磁力	116
3.6.3	全体構造	117
3.6.4	電磁諸量	117
3.6.5	冷却水量および温度上昇	125
3.6.6	機械的強度	125
3.7	電源	126
3.7.1	トロイダルコイル電源	126
3.7.2	ポロイダルコイル電源	129
3.8	まとめ	143
4.	真空容器	144
4.1	序論	144
4.2	真空容器の渦電流効果	145
4.2.1	概論	145
4.2.2	プラズマディスラプションに起因する電磁力	145
4.2.3	トロイダル磁束の変化による電磁力	160
4.3	プラズマ生成とプラズマ電流・位置制御性	165
4.3.1	はじめに	165
4.3.2	低一周抵抗容器内でのプラズマ生成	165
4.3.3	長時間の時定数をもつ容器内への外部垂直磁場の浸透と プラズマ位置制御性	183
4.3.4	プラズマ電流の制御性	183

4.3.5	外部垂直磁場の瞬時浸透率と絶縁ブレイク幅との関係及び位置制御性	183
4.3.6	ま と め	189
4.4	ベローズ方式の真空容器	194
4.4.1	各種ベローズ方式の検討	194
4.4.2	厚肉シェル構造方式	199
4.4.3	厚肉シェルの応力解析	202
4.4.4	問題点の整理と対策	203
4.5	ポリイミドブレイク方式の真空容器	210
4.5.1	構造概念	210
4.5.2	ブレイク材およびシール材	211
4.5.3	荷重条件と変形量	213
4.6	リブ構造方式真空容器	240
4.6.1	リブ構造	240
4.6.2	荷重条件	240
4.6.3	応力検討	243
4.6.4	製作手順と問題点	246
4.7	ベローズ部応力について	258
4.7.1	はじめに	258
4.7.2	解析方法とテスト	258
4.7.3	解析結果	259
4.7.4	ま と め	261
4.8	アルミ合金製真空容器の問題点とR & D項目	278
4.8.1	はじめに	278
4.8.2	各種真空容器構造案に対する問題点とR & D項目	278
4.8.3	試験方法	279
4.9	低放射化金属真空容器用材料について	280
4.9.1	序 論	280
4.9.2	諸特性について	281
4.9.3	ま と め	282

4.1.0	セラミック真空容器	287
4.1.0.1	はじめに	287
4.1.0.2	放射化特性	287
4.1.0.3	候補材料	288
4.1.0.4	SiCの諸特性	289
4.1.0.5	真空容器の製作にあたって	290
4.1.0.6	まとめ	290
4.1.1.	まとめ	301
5.	リミター及び第1壁	303
5.1	序論	303
5.2	渦電流解析	304
5.2.1	タイル・ホルダー上の渦電流	304
5.2.2	厚肉効果による渦電流	306
5.3	具体的諸案	309
5.3.1	バンパーリミター	309
5.3.2	ベローズ保護ライナー	325
5.3.3	第1壁及びリミターへの高熱伝導セラミック(SiC)の適用	335
5.4	まとめ	339
付 録		
A. 1	トロイダルコイルの三次元電磁応力解析	340
A. 1.1	解析の目的	340
A. 1.2	コイル形状と計算モデル	340
A. 1.3	解析結果	343
A. 1.4	梁要素モデルとの比較	348
A. 1.5	まとめ	349
A. 2	トロイダルコイル磁場発生に関する考察	392
A. 2.1	概 論	392
A. 2.2	トロイダル磁場発生系の基本的考察	392
A. 2.3	トロイダル磁場発生波形と真空容器に働く電磁力の関係	396

A. 2.4	液体窒素冷却による通電時間の延長	403
A. 2.5	ま と め	410
A. 3.	モンテカルロ法による高速イオン生成分布の計算コード“RFREYA”	431
A. 3.1	序 節	431
A. 3.2	概 要 説 明	431
A. 3.3	入 出 力 説 明	439
A. 3.4	コードの使用方法	450
A. 3.5	ま と め	450
A. 4.	渦電流解析コードの開発	452
A. 4.1	定 式 化	452
A. 4.2	仮定と計算法	455
A. 4.3	EDDYTOR 1	457
A. 4.4	EDDYTOR 2	457
A. 4.5	EDDYTOR 3	459
A. 4.6	EDDYTOR 4	460
A. 5.	軸対称シェル要素によるベローズ解析	461
A. 5.1	定 式 化	461
A. 5.2	コードの精度	462
A. 5.3	ベローズ応力解析	462
あ と が き		485
検討参加者・執筆者について		486