



# 目 次

第 1 章	三次元解析総論	11
1	三次元解析の特徴と分類	11
1.1	三次元解析の特徴	11
1.2	三次元解析の分類	13
2	三次元解析に必要な物理的・数学的予備知識	15
3	三次元解析理論入門	17
3.1	有限要素法	17
3.2	境界要素法	19
3.3	磁気モーメント法	20
3.4	有限積分方程式法	21
4	ハードウェアとソフトウェア	21
第 2 章	静磁界解析法	25
第 1 節	有限要素法と厳密解との併用法による静磁界解析 (JMAGシリーズ)	25
1	ベクトルポテンシャルによる静磁界方程式	25
1.1	静磁界の法則	25
1.2	ベクトルポテンシャルおよびゲージ変換	27
1.3	厳密解	29
2	有限要素法	30
2.1	方程式の離散化	30
2.2	アイソパラメトリック要素	32
2.3	ゲージの固定	34
2.4	電流の連続条件	36
3	境界条件	37
4	三次元磁界解析の応用例	39
4.1	リレースイッチの解析	39
4.2	超電導分析電磁石の解析	40
4.3	SORリングの解析	42
第 2 節	磁気モーメント法による静磁界解析 (MAGNA/JIBA)	45
1	磁界解析一般と磁気モーメント法	45

1.1	有限要素法（FEM；Finite Element Method）	46
1.2	積分法（IEM；Integral Equation Method）	47
1.3	混合法	47
2	積分法（IEM）	48
2.1	等価磁化電流法	48
2.2	表面磁荷法	48
2.3	磁気モーメント法	49
2.4	境界要素法（BEM；Bundary Element Method）	49
3	磁気モーメント法	49
4	磁気モーメント法による計算	50
5	磁気モーメント法に用いる要素	51
5.1	各要素の内容	51
5.2	新要素の効果	53
6	要素ライブラリ	55
6.1	磁性体要素	55
6.2	磁石要素	56
6.3	コイル要素	56
7	解析例	57
7.1	磁石の作る磁場（三次元）	57
7.2	コイルの作る磁場（三次元）	59
7.3	磁気ヘッド解析（磁性体とコイル）	59
7.4	偏向ヨーク解析（磁性体と線電流）	61
7.5	電磁力解析（磁石と磁性体）	62
<b>第3章 動磁界解析法</b>		63
<b>第1節 有限要素法による動磁界解析（FLEDY）</b>		63
1	基礎理論と定式化	63
1.1	渦電流場の基礎方程式	63
1.2	有限要素法による定式化	64
2	プログラムの構成と解析手順	66
3	各種機能と入力データ，解析例	67
3.1	交流定常電磁界，過渡電磁界，静磁界解析	68
3.2	非線形解析	71
3.3	諸量の計算と特殊機能	73
4	他の場との連成	79
4.1	温度場との連成（誘導加熱）	79

4.2	熱流体場との連成 .....	83
<b>第2節 有限要素法による動磁界過渡応答解析</b>		
	(JMAG/DYN) .....	87
1	A- $\phi$ 法による動磁界方程式 .....	87
1.1	準定常磁界 .....	87
1.2	ベクトルポテンシャルとスカラポテンシャル .....	89
1.3	過渡応答解析 .....	91
2	有限要素法 .....	93
2.1	空間の離散化 .....	93
2.2	時間の離散化 .....	95
2.3	スカラポテンシャルの役割 .....	97
2.4	電圧制御 .....	99
3	境界条件 .....	101
4	動磁界過渡応答解析の応用例 .....	102
4.1	核融合実験モデル .....	102
4.2	電気学界モデル .....	103
<b>第3節 有限積分方程式法による動磁界解析(MAGNA/FIM)</b>		107
1	MAGNA/FIMの概要 .....	107
2	有限積分方程式法の理論 .....	108
3	二変数T- $\Omega$ 法の定式化 .....	110
4	導体に穴がある場合 .....	112
5	コイル電流の取扱い方 .....	113
6	形状データ概要 .....	114
7	材料データ .....	116
8	境界条件 .....	118
9	非定常解析とリスタート機能 .....	119
10	出力仕様と後処理 .....	119
11	解析例 .....	120
<b>第4章 電界解析法</b>		127
<b>第1節 有限要素法による電界解析(FLEDY)</b>		127
1	基礎理論と定式化 .....	127
1.1	基礎方程式と解析手法 .....	127
1.2	有限要素法による定式化 .....	129
2	プログラムの構成と解析手順 .....	131
3	機能詳細と入力データ, 解析例 .....	131

3.1	電界解析の入力データ .....	131
3.2	箔要素による精度向上 .....	132
3.3	解析例 .....	134
4	電流場，温度場の連成解析 .....	135
4.1	電流場，温度場のデータ .....	135
4.2	連成解析（通電加熱） .....	136
第2節	積分法による電界解析（MAGNA / DENBA） .....	139
1	電界解析一般と表面電荷法 .....	139
1.1	積分法 .....	139
1.2	有限要素法 .....	140
1.3	混合法 .....	140
2	表面電荷法と電荷重畳法 .....	140
3	表面電荷法による計算 .....	140
3.1	三次元場の取り扱い .....	140
3.2	連立一次方程式の構成法 .....	142
3.3	電位係数 $\phi_{ij}$ の計算法 .....	142
3.4	係数 $\alpha$ の計算法 .....	142
3.5	対称条件 .....	143
3.6	面電荷密度の計算 .....	143
3.7	電界の計算 .....	143
3.8	軸対称場の取り扱い .....	143
4	電子軌道の計算 .....	145
5	解析例 .....	145
5.1	平行平板コンデンサ .....	145
5.2	二重円筒 .....	146
第5章	電磁波解析法 .....	149
1	電磁場解析の概要 .....	149
2	電磁波解析の基礎方程式 .....	150
2.1	磁界を未知数とする場合の基礎方程式 .....	151
2.2	電界を未知数にした場合の基礎方程式 .....	152
3	電磁波問題の数値解析法 .....	153
3.1	従来の数値解析法 .....	153
3.2	有限要素法による電磁波問題の解法について .....	153
3.3	スプリアス解の原因 .....	155
3.4	辺要素を用いた有限要素法 .....	156

4	解析事例 .....	158
5	今後の展望 .....	161
第 6 章	三次元解析技法 .....	163
第 1 節	有限積分方程式法における要素分割と 解析結果の三次元グラフィック .....	163
1	はじめに .....	163
2	有限積分方程式法における要素分割 .....	163
2.1	三次元モデルによる解析例 .....	164
2.2	電磁界解析の実際 .....	168
3	解析結果の三次元グラフィック .....	168
3.1	モータのトルク解析 .....	169
3.2	電気学界検証用モデルの渦電流解析 .....	169
3.3	電磁界解析における後処理 .....	170
第 2 節	ICCG 法について .....	173
索引	.....	177