

1 はじめに

1.1	はじめに	1-1
1.1.1	内容と前提	1-1
1.1.2	NX Nastran ができること	1-1
1.1.3	Femap / Femap with NX Nastran ができること	1-2
1.1.4	有限要素法とモデル作成、結果評価の手間	1-4
1.1.5	本書の構成	1-7
1.1.6	Siemens 製品関連文書の所在	1-10
1.2	Femap の起動と最初に行うこと	1-11
1.2.1	初期設定	1-11
1.2.2	NASTRAN ファイルの設定	1-14
1.3	参照の手引き	1-20
1.4	Femap with NX Nastran	1-41
1.4.1	NX Nastran の特長	1-41
1.4.2	ハードウェア要件	1-46
1.5	解析機能	1-47
1.5.1	線形静解析	1-51
1.5.2	固有値解析	1-53
1.5.3	座屈解析	1-55
1.5.4	熱ひずみ / 熱応力解析	1-56
1.5.5	オリジナル設計感度解析 (オリジナル DSA)	1-56
1.5.6	定常熱伝導解析	1-57
1.5.7	過渡熱伝導解析	1-58
1.5.8	非線形静解析 (Basic Nonlinear)	1-58
1.5.9	非線形過渡解析 (Basic Nonlinear)	1-60
1.5.10	非線形固有値解析 (Basic Nonlinear)	1-61
1.5.11	非線形座屈解析 (Basic Nonlinear)	1-61
1.5.12	線形過渡解析 (Dynamic Response)	1-63
1.5.13	応答スペクトル解析 (Dynamic Response)	1-64
1.5.14	スペクトル応答解析	1-65
1.5.15	周波数応答解析 (Dynamic Response)	1-66
1.5.16	ランダム応答解析 (Dynamic Response)	1-68
1.5.17	複素固有値解析 (Dynamic Response)	1-69
1.5.18	音響解析 (Dynamic Response)	1-70
1.5.19	Advanced Nonlinear 非線形解析機能 (追加モジュール)	1-71
1.5.20	Advanced Nonlinear 非線形静解析 (SOL601,106)	1-72
1.5.21	Advanced Nonlinear 非線形過渡解析 (SOL601,129)	1-73
1.5.22	Advanced Nonlinear 陽解法非線形過渡解析 (SOL701)	1-73
1.5.23	リスタート解析	1-74
1.5.24	周期対称モデル	1-74
1.5.25	設計感度最適化解析 (追加モジュール)	1-75
1.5.26	スーパーエレメント (追加モジュール)	1-76
1.5.27	DMAP プログラミング (追加モジュール)	1-77
1.5.28	ローターダイナミクス解析 (追加モジュール Rotor Dynamics)	1-78
1.5.29	Aeroelasticity (追加モジュール)	1-78
1.5.30	解析結果	1-80
1.6	線形コンタクト	1-80
1.6.1	どんなとき使うか	1-81
1.7	不整合メッシュの固着 (Glue)	1-82
1.7.1	どんなとき使うか	1-82
1.8	ノード、スカラポイント、座標系	1-82
1.8.1	物理座標系と一般化座標系およびモード座標系	1-83
1.9	要素の種類	1-84
1.10	荷重および拘束条件のタイプ	1-87
1.10.1	構造荷重	1-87
1.10.2	構造拘束条件	1-88
1.10.3	熱荷重	1-89

1.10.4 初期条件	1-89
1.10.5 データサーフェイス	1-90
1.11 マテリアルとプロパティ	1-91
1.11.1 マテリアル	1-91
1.11.2 プロパティ	1-91
1.12 線形材料特性	1-92
1.12.1 等方性材料	1-92
1.12.2 直交異方性材料	1-93
1.12.3 異方性材料	1-94
1.12.4 温度依存性	1-95
1.13 非線形材料特性	1-96
1.13.1 von Mises 材料モデル	1-97
1.13.2 Tresca 材料モデル	1-97
1.13.3 Mohr-Coulomb 材料モデル	1-97
1.13.4 Drucker-Prager 材料モデル	1-97
1.13.5 超弾性材料モデル	1-97
1.13.6 クリープ特性	1-98
1.13.7 非線形弾性材料	1-98
1.14 解析の流れ	1-98
1.15 NX Nastran の解析プロセス	1-100
1.15.1 Femap の起動	1-101
1.15.2 NX Nastran の起動	1-102
1.16 NX Nastran Enterprise との互換性	1-107
1.16.1 チェックサム制限	1-108
1.16.2 並列処理	1-108
1.17 有限要素解析の概要	1-110
1.17.1 有限要素モデルへの抽象化	1-110
1.17.2 解析目的の明確化	1-111
1.17.3 モデル化の検討	1-112
1.17.4 解析タイプの決定	1-113
1.17.5 モデルタイプの決定	1-113
1.17.6 計算資源の検討	1-114
1.17.7 期日の確認	1-114
1.17.8 トレーサビリティの検討	1-114
1.18 試験と解析	1-116
1.18.1 構造試験への適用	1-116
1.18.2 試験結果との検証	1-122
1.19 NASTRAN エラーコードについて	1-127
1.19.1 内部エラー	1-141

2 基本項目

2.1 モデル作成・解析の実行・結果の評価	2-1
2.1.1 Femap の起動とモデル作成	2-1
2.1.2 NX Nastran 解析の実行	2-7
2.1.3 NX Nastran の結果出力ファイル	2-10
2.1.4 解析結果の評価	2-13
2.2 Femap with NX Nastran インターフェイス	2-16
2.2.1 NX Nastran 入力ファイル (*.DAT)	2-19
2.3 NX Nastran の種類と解析タイプ	2-25
2.3.1 NX Nastran の製品ライン	2-25
2.3.2 Femap with NX Nastran の解析タイプ	2-25
2.3.3 NX Nastran Enterprise の解析タイプ	2-30
2.4 解析タイプの指定	2-32
2.4.1 解析セットマネージャ	2-32
2.4.2 解析タイプに関する入力カード	2-35
2.5 SOL 番号	2-50

2.5.1 古いソリューション	2-51
2.6 NX Nastran のケースコントロールコマンド	2-53
2.6.1 ケースコントロールコマンドの一覧	2-53
2.6.2 ケースコントロールコマンドの概要	2-62
2.6.3 ケースコントロールコマンドの構造	2-66
2.6.4 マスターケースとサブケース	2-66
2.6.5 解析結果出力の指定	2-68
2.6.6 マスターケース	2-69
2.6.7 SUBCASE サブケースカード	2-70
2.6.8 サブケースの操作	2-70
2.6.9 STATSUB	2-74
2.6.10 予備情報出力指定カード	2-76
2.6.11 SET m=n カード	2-79
2.7 座標系と単位系	2-80
2.7.1 Femap での座標系定義	2-80
2.7.2 全体直交座標系とローカル座標系	2-80
2.7.3 予約座標系について (重要)	2-93
2.7.4 単位系について	2-94
2.8 PARAM カードと解析機能	2-95
2.9 Advanced Nonlinear のカードと解析機能	2-113
2.9.1 PARAM カード	2-113
2.10 解析結果の出力	2-114
2.10.1 変位出力要求カード DISPLACEMENT	2-116
2.10.2 速度出力要求カード VELOCITY	2-119
2.10.3 加速度出力要求カード ACCELERATION	2-121
2.10.4 拘束点反力出力要求カード SPCFORCE	2-123
2.10.5 拘束条件式反力出力要求カード MPCFORCE	2-125
2.10.6 節点カバランス出力要求カード GPFORCE	2-127
2.10.7 荷重出力要求カード OLOAD	2-128
2.10.8 応力出力要求カード STRESS	2-130
2.10.9 ひずみ出力要求カード STRAIN	2-132
2.10.10 要素内力出力要求カード FORCE	2-135
2.10.11 ひずみエネルギー出力要求カード ESE	2-137
2.10.12 コンタクト解析結果出力 (BCRESULTS)	2-138
2.10.13 モデルマトリクスの出力	2-139
2.11 バルクデータセクションの概要	2-142
2.11.1 PARAM カード	2-142
2.11.2 座標系カード (COORD)	2-142
2.11.3 ノード / スカラポイント / エクストラポイントカード	2-143
2.11.4 材料定義カード (MAT)	2-143
2.11.5 プロパティ定義カード	2-144
2.11.6 エレメント定義カード (C**)	2-146
2.11.7 荷重カード	2-149
2.11.8 拘束カード	2-150
2.11.9 関数カード (TABLE)	2-150
2.11.10 固着定義カード	2-150
2.11.11 接触定義カード	2-151
2.11.12 解析オプションカード	2-151
2.11.13 入力ファイルの最終行 ENDDATA	2-153
2.12 線形コンタクト	2-154
2.12.1 線形コンタクトが使用できる解析	2-156
2.12.2 線形コンタクトの使い途	2-156
2.12.3 結果出力	2-156
2.12.4 コンタクト リージョン	2-158
2.12.5 ペナルティファクタの決定	2-162
2.12.6 高速化	2-166
2.12.7 準備	2-167

2.12.8	コンタクトの定義コマンド	2-168
2.12.9	コンタクトの定義 - 自動定義	2-168
2.12.10	コンタクトを直接指定する	2-173
2.12.11	コンタクトペアの定義カード BCTSET	2-185
2.12.12	コンタクトリージョンのタイプ定義カード BCRPARA	2-185
2.12.13	線形コンタクトパラメータ定義カード BCTPARAM	2-186
2.12.14	線形コンタクト結果の出力	2-190
2.12.15	線形コンタクト使用時のメモリ割り当て	2-192
2.12.16	線形コンタクトモデル化の留意点	2-192
2.13	固着 (グルー) について	2-194
2.13.1	固着のメリット	2-195
2.13.2	制限事項と留意点	2-198
2.13.3	スーパーエレメントでの使用 (重要)	2-200
2.13.4	固着できるエレメント	2-201
2.13.5	固着の定義方法	2-201
2.13.6	生成されるカード	2-212
2.13.7	固着結果出力	2-219
2.13.8	固着剛性	2-220
2.14	プリテンションボルトについて	2-224
2.14.1	ボルトモデリング	2-224
2.14.2	ボルト-ねじ穴結合のモデル化の例	2-224
2.14.3	ボルト-ナットのモデル化の例	2-225
2.14.4	初期張力のモデル化	2-226
2.14.5	プリテンションボルトの制限	2-226
2.14.6	プリテンションボルトの定義	2-226
2.14.7	プリテンションボルトの編集 / 削除	2-229
2.14.8	ボルトリージョン BOLT	2-229
2.14.9	初期軸力の定義	2-230
2.14.10	初期軸力 BOLTFOR	2-231
2.14.11	プリテンションボルトで使用する PARAM カード	2-231
2.15	仮想流体境界 (MFLUID)	2-232
2.15.1	仮想流体が使用可能な解析タイプ	2-232
2.15.2	仮想流体の機能	2-234
2.15.3	閉鎖領域と開放領域	2-235
2.15.4	仮想流体境界の定義	2-237
2.15.5	機能の整理	2-239
2.15.6	Femap での定義	2-239
2.15.7	理論概要と注意点	2-249
2.15.8	MFLUID の計算処理	2-251
2.15.9	ファントム境界要素の使用 (自由水面)	2-255
2.15.10	仮想流体使用上の留意点	2-259
2.16	拘束条件について	2-260
2.16.1	温度拘束について	2-260
2.17	材料物性について	2-261
2.17.1	材料モデルのタイプ	2-261
2.17.2	材料温度依存性	2-261
2.17.3	高度な解析機能	2-266
2.18	座屈について	2-268
2.19	モード特性	2-268
2.20	熱荷重について	2-269
2.21	荷重のタイプと構造解析の対応	2-270
2.21.1	線形静解析で変形を評価	2-271
2.21.2	固有値解析で共振周波数とそのモードを評価	2-273
2.21.3	線形座屈解析で座屈強度を評価	2-274
2.21.4	熱伝導解析で温度を予測	2-276
2.21.5	より高度な解析を実施する	2-276
2.22	NASTRAN 自由度セット	2-280

2.22.1 変位ベクトルセット (Displacement Vector Set).....	2-280
2.22.2 構造解析と自由度セット	2-281
2.22.3 特殊な自由度セット	2-288
2.22.4 自由度セットの定義	2-293
2.22.5 自由度セットの直接定義 (USETi).....	2-293
2.22.6 自由度セットの出力	2-296
2.23 固有値解析とモード自由度セット	2-298
2.23.1 モード自由度セット	2-298
2.23.2 最大成分で正規化	2-299
2.23.3 質量で正規化	2-300
2.23.4 モードベクトルと実変位の関係	2-304
2.23.5 有効質量とモード寄与率	2-304
2.23.6 マトリクスの回転変換	2-324
2.23.7 モード座標とモーダルマトリクス.....	2-324
2.23.8 モード自由度セット	2-326
2.23.9 自由度セットと入力カードとの関係	2-326
2.24 線形コンタクトと非線形コンタクト	2-327
2.24.1 線形コンタクトによる解析例	2-327
2.24.2 非線形コンタクトによる解析例	2-327
2.25 モデルの確認	2-328
2.25.1 解析手法が正しいかどうか	2-328
2.25.2 単位系は正しいかどうか	2-329
2.25.3 質量特性に関する確認	2-329
2.25.4 拘束条件の確認.....	2-341
2.25.5 材料特性は正しいかどうか	2-346
2.25.6 要素形状のチェック	2-346
2.25.7 PARAM,CHECKOUT による高度な確認	2-349
2.26 グローバル反復法ソルバー	2-351
2.27 要素反復法ソルバー.....	2-353
2.27.1 要素反復法ソルバーの制約.....	2-353
2.27.2 要素反復法ソルバーのメリット	2-354
2.27.3 要素反復ソルバーの準備 (重要)	2-354
2.28 マルチ CPU のサポート (SMP).....	2-355
2.29 F06 ファイルの見方	2-357
2.29.1 ヘッダ	2-357
2.29.2 システムパラメータ	2-358
2.29.3 ECHO (入力ファイルの解釈に関する情報)	2-358
2.29.4 モデルサマリ	2-359
2.29.5 GRID POINT WEIGHT GENERATION.....	2-359
2.29.6 GRID POINT SINGULARITY TABLE.....	2-360
2.29.7 個別の解析に関する情報	2-360
2.29.8 DBDICT データベースファイルに関する情報	2-360
2.30 64 ビット版の使用	2-362
2.30.1 実行ファイルのタイプ	2-363
2.30.2 LP-64/ILP-64 の実行	2-363
2.30.3 出力される結果ファイル	2-364

3 Basic 解析ガイド

3.1 線形静解析 SOL SESTATIC/SOL 101	3-365
3.1.1 線形静解析を利用できる製品オプション	3-366
3.1.2 線形静解析の特長と用途	3-366
3.1.3 温度荷重の取り扱いについて	3-376
3.1.4 荷重と拘束条件のセット	3-379
3.1.5 利用可能なノード荷重	3-385
3.1.6 利用可能なエレメント荷重.....	3-388
3.1.7 ボディ荷重の定義	3-389

3.1.8	利用可能な拘束条件	3-390
3.1.9	定義する材料プロパティ	3-391
3.1.10	解析結果のデータ	3-392
3.1.11	必要な入力条件	3-397
3.1.12	SOL 番号とスケルトン	3-397
3.1.13	解析手順	3-398
3.1.14	複数の解析の同時実行	3-412
3.1.15	慣性リリース機能	3-421
3.1.16	熱応力解析	3-428
3.1.17	使用できる PARAM カード	3-433
3.1.18	TAUCS スパースソルバーの搭載	3-434
3.1.19	線形ギャップ (線形コンタクトをご使用ください。)	3-434
3.2	線形コンタクトの使用	3-444
3.2.1	線形コンタクトの概要	3-444
3.3	固有値解析 SOL SEMODES/SOL 103	3-447
3.3.1	運動方程式	3-448
3.3.2	固有値解析を利用できる製品オプション	3-450
3.3.3	固有値解析の用途	3-451
3.3.4	固有値解析で利用できる高度な機能	3-452
3.3.5	固有値解法とその比較	3-453
3.3.6	定義可能な拘束条件	3-456
3.3.7	定義する材料プロパティ	3-458
3.3.8	解析結果のデータ	3-462
3.3.9	解析手順	3-474
3.3.10	SOL 番号とスケルトン	3-491
3.3.11	微分剛性 (Differential Stiffness)	3-496
3.3.12	線形コンタクトの使用	3-508
3.3.13	Lanczos 法に関するオプション機能	3-514
3.3.14	固有値解析でのサブケースの使用	3-519
3.3.15	使用できる PARAM カード	3-527
3.4	座屈解析 SOL SEBUCKL/SOL 105	3-529
3.4.1	座屈現象と線形座屈の仮定	3-529
3.4.2	座屈解析を利用できる製品オプション	3-529
3.4.3	座屈の仕組み	3-529
3.4.4	座屈解析の特長と用途	3-531
3.4.5	座屈解析の解法	3-532
3.4.6	利用可能なノード荷重	3-532
3.4.7	利用可能なエレメント荷重	3-533
3.4.8	利用可能なボディ荷重	3-533
3.4.9	利用可能な拘束/境界条件	3-534
3.4.10	定義する材料プロパティ	3-535
3.4.11	解析結果のデータ	3-537
3.4.12	熱座屈解析	3-537
3.4.13	解析手順	3-541
3.4.14	SOL 番号とスケルトン	3-553
3.5	オリジナル設計感度解析機能 (Original DSA)	3-557
3.5.1	設計感度/最適化解析 (SOL 200) とオリジナル DSA(Original DSA)	3-557
3.5.2	オリジナル DSA の概要	3-562
3.5.3	出力される量	3-565
3.5.4	設計制限値の設定	3-566
3.5.5	設計変数の設定	3-568
3.5.6	設定方法	3-572
3.5.7	解析手順	3-574
3.6	定常熱伝導解析 SOL NLSCSH/153	3-578
3.6.1	熱伝導と熱伝達	3-578
3.6.2	定常熱伝導解析を利用できる製品オプション	3-583
3.6.3	定常熱伝導解析の用途	3-583

3.6.4	定常熱伝導解析に利用できる要素タイプ	3-583
3.6.5	利用可能なノード荷重	3-585
3.6.6	利用可能なエレメント荷重	3-585
3.6.7	利用可能なボディ荷重	3-586
3.6.8	利用可能な境界条件	3-586
3.6.9	定義する材料プロパティ	3-587
3.6.10	熱特性の定義	3-587
3.6.11	定常固体熱伝導の支配方程式	3-595
3.6.12	輻射	3-598
3.6.13	輻射対流要素	3-598
3.6.14	熱荷重条件と初期温度条件	3-599
3.6.15	必要な入力条件	3-600
3.6.16	解析結果のデータ	3-600
3.6.17	固着の適用	3-603
3.6.18	定常熱伝導解析の応用	3-603
3.6.19	解析手順	3-604
3.6.20	SOL 番号とスケルトン	3-614
3.7	過渡熱伝導解析 SOL NLTC SH/159	3-616
3.7.1	定式化と計算手法	3-617
3.7.2	過渡熱伝導解析を利用できる製品オプション	3-618
3.7.3	熱特性の定義	3-618
3.7.4	対流／輻射	3-621
3.7.5	相転移	3-622
3.7.6	固着の適用	3-629
3.7.7	利用可能なノード荷重	3-629
3.7.8	利用可能なエレメント荷重	3-629
3.7.9	利用可能なボディ荷重	3-629
3.7.10	利用可能な境界条件	3-630
3.7.11	定義する材料プロパティ	3-630
3.7.12	拘束セットと荷重セット	3-630
3.7.13	サブケースの使用	3-636
3.7.14	解析結果のデータ	3-637
3.7.15	解析手順	3-638
3.7.16	SOL 番号とスケルトン	3-655
3.7.17	初期条件について	3-658
3.7.18	非線形荷重 NOLINI の使用	3-660
3.8	非線形静解析 SOL 106 (Basic Nonlinear)	3-670
3.8.1	非線形静解析を利用できる製品オプション	3-673
3.8.2	非線形解析の手順	3-674
3.8.3	非線形静解析の内部処理	3-677
3.8.4	荷重セットと荷重ステップの関係	3-679
3.8.5	利用可能なノード荷重	3-685
3.8.6	利用可能なエレメント荷重	3-686
3.8.7	利用可能なボディ荷重	3-686
3.8.8	変形従動荷重の定義 (PARAM, LGDISP)	3-687
3.8.9	利用可能な拘束／境界条件	3-688
3.8.10	利用可能な初期条件	3-689
3.8.11	定義する材料プロパティ	3-693
3.8.12	温度荷重に関する事項	3-693
3.8.13	利用可能な要素とサポートする非線形性	3-695
3.8.14	非線形解析手法	3-698
3.8.15	解析結果のデータ	3-711
3.8.16	必要な入力条件	3-719
3.8.17	解析手順	3-720
3.8.18	荷重シーケンス	3-734
3.8.19	SOL 番号とスケルトン	3-735
3.8.20	非線形固有値解析 (NMLOOP)	3-744

3.8.21	非線形座屈解析	3-750
3.8.22	飛び移り座屈解析 (SNAP-THROUGH)	3-773
3.8.23	屈服座屈 (Snap Back).....	3-775
3.8.24	リスタート解析	3-776
3.8.25	非線形複素固有値解析の例 - リスタート解析	3-777
3.8.26	PARAM カード	3-788
3.9	非線形過渡解析 SOL 129 (Basic Nonlinear)	3-791
3.9.1	非線形過渡解析を利用できる製品オプション.....	3-792
3.9.2	自動タイムステップング	3-792
3.9.3	解析の流れ.....	3-792
3.9.4	非線形過渡解析で考慮される非線形性	3-795
3.9.5	利用可能なノード荷重	3-795
3.9.6	利用可能なエレメント荷重	3-796
3.9.7	利用可能なボディ荷重	3-796
3.9.8	利用可能な拘束条件	3-800
3.9.9	特殊な境界条件	3-800
3.9.10	利用可能な初期条件	3-800
3.9.11	定義する材料プロパティ	3-803
3.9.12	利用可能な要素とサポートする非線形性.....	3-803
3.9.13	必要な入力条件	3-806
3.9.14	解析結果のデータ.....	3-810
3.9.15	SOL 番号とスケルトン.....	3-811
3.9.16	PARAM カード	3-817
3.10	非線形解析と線形解析における変形微分剛性および荷重従動剛性	3-819

4 Basic 例題

4.1	圧力をうける T 分岐板の静解析	4-2
4.1.1	検討	4-3
4.1.2	ソリッドメッシュでモデル化	4-3
4.2	線形静解析の例 - 矩形梁の変形	4-19
4.2.1	解析を実行する前に (手計算による概算)	4-19
4.2.2	モデル化検討	4-21
4.2.3	ビーム要素モデルの手順と結果	4-21
4.2.4	シェル要素モデルの手順と結果	4-38
4.3	張力が作用するケーブル - 線形 / 非線形解析	4-54
4.3.1	基礎検討	4-54
4.3.2	モデルの作成	4-60
4.3.3	拘束条件の設定	4-64
4.3.4	荷重の定義	4-65
4.3.5	解析条件の定義	4-67
4.3.6	解析の実行	4-72
4.3.7	ポスト処理	4-73
4.3.8	非線形静解析の実行	4-74
4.3.9	結論	4-79
4.4	張力が作用するケーブル - 固有値解析	4-80
4.4.1	解析条件の設定	4-81
4.4.2	解析の実行	4-82
4.4.3	解析結果	4-82
4.4.4	考察	4-87
4.5	張力を受けるケーブル (線形静解析 + 固有値解析)	4-88
4.5.1	荷重拘束条件の定義	4-89
4.5.2	固有値解析セットの作成	4-93
4.5.3	解析実行	4-95
4.5.4	解析結果	4-96
4.5.5	考察	4-99
4.5.6	結論	4-101

4.6	ボルト止めされた板の評価	4-102
4.6.1	設計上滑らないことの確認	4-103
4.6.2	モデル化	4-103
4.6.3	コンタクトの定義	4-104
4.6.4	ボルトリージョンと荷重の定義	4-105
4.6.5	拘束条件の定義	4-107
4.6.6	解析条件の設定	4-108
4.6.7	解析実行	4-110
4.6.8	解析結果の確認	4-110
4.6.9	考察	4-116
4.7	コンクリート床に置かれたアングルフレーム	4-118
4.7.1	引く力の最大値の検討	4-119
4.7.2	モデル化の注意点	4-120
4.7.3	コンタクト状態の継承	4-120
4.7.4	サブケース	4-121
4.7.5	解析結果	4-122
4.8	非拘束での固有値解析とメッシュサイズ	4-128
4.8.1	材料特性	4-128
4.8.2	ハニカムプレートの積層構成	4-131
4.8.3	モデルの作成	4-133
4.8.4	解析結果	4-133
4.8.5	考察	4-134
4.9	慣性リリーフ - 紙飛行機の力学	4-135
4.9.1	解析条件の設定	4-136
4.9.2	解析の実行	4-136
4.9.3	解析結果	4-137
4.9.4	考察	4-137
4.10	仮想流体 - スロッシング解析	4-139
4.10.1	モデル化	4-139
4.10.2	解析設定	4-144
4.10.3	解析実行	4-145
4.10.4	解析結果	4-146
4.10.5	考察	4-151
4.11	スペクトル応答解析 - 単軸加振	4-153
4.11.1	モデル化	4-154
4.11.2	解析条件	4-157
4.11.3	解析実行	4-160
4.11.4	解析結果評価	4-160
4.11.5	考察	4-162
4.12	スペクトル応答解析 - 多軸加振 (XYZ)	4-164
4.12.1	モード有効質量の確認	4-164
4.12.2	モデル化	4-165
4.12.3	解析実行	4-169
4.12.4	解析結果評価	4-169
4.12.5	考察	4-171
4.13	線形座屈解析 - 長柱の座屈	4-172
4.13.1	基礎検討	4-172
4.13.2	モデルの作成	4-174
4.13.3	解析セットの作成	4-174
4.13.4	解析実行	4-176
4.13.5	解析結果	4-177
4.13.6	考察	4-177
4.14	線形座屈解析 - 殻座屈の評価	4-179
4.14.1	基礎検討	4-179
4.14.2	モデル化	4-182
4.14.3	解析条件	4-183
4.14.4	解析実行	4-183

4.14.5	解析結果	4-184
4.14.6	考察	4-186
4.14.7	まとめ	4-187
4.15	非線形座屈解析 - 殻座屈の評価	4-189
4.15.1	モデル化	4-190
4.15.2	解析実行	4-199
4.15.3	解析結果の評価	4-199
4.15.4	考察	4-201
4.16	シマリバメのモデル (線形静解析 + 固有値解析)	4-204
4.16.1	基礎検討	4-204
4.16.2	モデル化	4-207
4.16.3	コンタクト定義	4-210
4.16.4	ワイヤ (シェル要素) とピンの固着	4-212
4.16.5	解析条件の設定	4-216
4.16.6	解析実行	4-218
4.16.7	解析結果評価	4-219
4.16.8	考察	4-222
4.17	シマリバメのモデル - 弾塑性	4-223
4.17.1	基礎検討	4-223
4.17.2	モデル化	4-224
4.17.3	解析条件設定	4-227
4.17.4	解析実行	4-229
4.17.5	解析結果評価	4-229
4.18	非線形静解析 - 竿の大変形	4-232
4.18.1	モデル化	4-232
4.18.2	解析条件の設定	4-234
4.18.3	解析実行	4-235
4.18.4	解析結果	4-236
4.18.5	考察	4-237
4.19	非線形静解析 - カテナリー	4-238
4.19.1	モデル化	4-238
4.19.2	解析実行	4-240
4.19.3	解析結果	4-241
4.20	非線形過渡解析 - ケーブルの地震応答 (レイリー減衰)	4-244
4.20.1	大質量法	4-244
4.20.2	モデル化	4-244
4.20.3	解析条件の定義	4-251
4.20.4	解析実行	4-254
4.20.5	解析結果	4-254
4.20.6	考察 - レイリー減衰と大質量法の欠点	4-256
4.21	非線形静解析 - 膜の大変形	4-259
4.21.1	モデル化	4-259
4.21.2	解析条件定義	4-261
4.21.3	解析実行	4-262
4.21.4	解析結果	4-262
4.21.5	考察	4-262
4.22	非線形静解析 - 金属の塑性変形	4-264
4.22.1	モデル化	4-265
4.22.2	解析条件の設定	4-269
4.22.3	解析実行	4-271
4.22.4	解析結果	4-271
4.22.5	考察 - 非線形応力と非線形ひずみ	4-278
4.22.6	補足	4-282
4.23	三点曲げ強度評価 - 積層ソリッド要素	4-283
4.23.1	材料特性	4-283
4.23.2	ハニカムプレートの積層構成	4-287
4.23.3	解析実行	4-289

4.23.4 結果評価	4-289
4.23.5 考察	4-292
4.24 カオス振動	4-293
4.24.1 モデル化	4-295
4.24.2 解析条件の定義	4-299
4.24.3 解析実行	4-302
4.24.4 結果評価	4-302
4.25 静的縮退 (GuyanReduction) と動的縮退 (CMS)	4-305
4.25.1 基礎検討 - 静的縮退と動的縮退	4-305
4.25.2 モデル化	4-307
4.25.3 MasterModel から PCH ファイルを出力する	4-307
4.25.4 YoutElem で PCH を利用する	4-311
4.25.5 YourElem の結果	4-313
4.25.6 考察 - 固有値解析モード法解析の場合 (動的縮退)	4-314

5 動解析ガイド

5.1 線形過渡解析 (Dyn Resp)	5-1
5.1.1 線形過渡解析の特長と用途	5-1
5.1.2 モード法	5-2
5.1.3 直接法 (直接時間積分法)	5-4
5.1.4 大規模モデルでの注意 (~ v5.1 重要)	5-5
5.1.5 解析手法の選択と時間ステップ	5-5
5.1.6 利用可能なノード荷重	5-10
5.1.7 利用可能なエレメント荷重	5-12
5.1.8 利用可能なボディ荷重	5-12
5.1.9 利用可能な拘束 / 境界条件	5-15
5.1.10 定義する材料プロパティ	5-15
5.1.11 特殊な境界条件	5-19
5.1.12 余剰ベクトル応答解析の改良 (重要)	5-19
5.1.13 必要な入力条件	5-20
5.1.14 解析結果のデータ	5-27
5.1.15 線形過渡解析でのサブケースの活用	5-27
5.1.16 過渡応答解析手順 - モード法	5-28
5.1.17 過渡解析手順 - 直接法	5-52
5.1.18 モード法過渡解析 (SOL 12/SOL112) の最大 / 最小値	5-62
5.1.19 モード法の定式化の指定	5-62
5.1.20 線形過渡解析カード	5-64
5.1.21 大規模解析結果の効率的な処理	5-70
5.2 応答スペクトル解析 (Dyn Resp)	5-71
5.2.1 相対応答スペクトルと絶対応答スペクトル	5-71
5.2.2 応答スペクトル解析を利用できる製品オプション	5-75
5.2.3 線要素に関する注意事項	5-75
5.2.4 応答スペクトル解析とスペクトル応答解析の用途	5-75
5.2.5 応答スペクトル解析とスペクトル応答解析の流れ	5-76
5.2.6 解析結果のデータ	5-79
5.2.7 時間刻み幅と応答スペクトルの周波数	5-81
5.2.8 材料温度依存性	5-82
5.2.9 解析の準備	5-82
5.2.10 解析の実施 (モード法)	5-85
5.2.11 出力される結果	5-114
5.2.12 応答スペクトル解析出力カード	5-114
5.3 スペクトル応答解析	5-120
5.3.1 スペクトル応答解析を利用できる製品オプション	5-122
5.3.2 絶対値 (ABS)	5-122
5.3.3 SRSS	5-123
5.3.4 NRL	5-123

5.3.5 NRLO.....	5-123
5.3.6 モードカップリング (クロストーク) の考慮.....	5-124
5.3.7 スペクトル応答解析の特長と用途.....	5-124
5.3.8 必要な入力条件.....	5-125
5.3.9 スペクトルタイプ.....	5-126
5.3.10 ベース加振方向.....	5-126
5.3.11 関数補間について.....	5-128
5.3.12 利用可能な荷重.....	5-129
5.3.13 解析結果のデータ.....	5-130
5.3.14 解析手順.....	5-131
5.3.15 出力される結果.....	5-156
5.3.16 SOL 番号とスケルトン.....	5-157
5.4 周波数応答解析 (Dyn Resp).....	5-165
5.4.1 荷重 (加振方法).....	5-165
5.4.2 周波数応答解析の減衰.....	5-165
5.4.3 周波数応答解析が利用できる製品構成.....	5-166
5.4.4 解析手法.....	5-167
5.4.5 周波数応答解析の特長と用途.....	5-170
5.4.6 利用可能なノード荷重.....	5-170
5.4.7 利用可能なエレメント荷重.....	5-171
5.4.8 利用可能なボディ荷重.....	5-171
5.4.9 利用可能な拘束条件.....	5-172
5.4.10 定義する材料プロパティ.....	5-172
5.4.11 周波数応答解析でのサブケースの活用.....	5-177
5.4.12 特殊な境界条件.....	5-178
5.4.13 必要な入力条件.....	5-178
5.4.14 解析結果のデータ.....	5-197
5.4.15 モード法に関する注意事項.....	5-206
5.4.16 強制運動加振と大質量法.....	5-208
5.4.17 大質量の定義.....	5-212
5.4.18 周波数応答解析手順 - モード法.....	5-225
5.4.19 結合質量マトリクスの余剰ベクトルの取扱い.....	5-250
5.4.20 インコア FRRD1 反復ソルバー (モード法周波数応答解析).....	5-251
5.4.21 解析手順 - 直接法.....	5-253
5.4.22 位相変位出力の評価.....	5-268
5.4.23 モード法の定式化の指定.....	5-271
5.4.24 周波数応答解析出力カード.....	5-272
5.4.25 大規模解析結果の効率的な処理.....	5-278
5.4.26 大規模モデルでの注意 (~ v5.1 重要).....	5-279
5.5 ランダム応答解析 (Dyn Resp).....	5-281
5.5.1 ランダム応答解析の計算.....	5-288
5.5.2 荷重の定義方法 - 重要.....	5-293
5.5.3 強制運動と大質量法.....	5-300
5.5.4 相関関数とパワースペクトル密度の出力.....	5-301
5.5.5 特殊な境界条件.....	5-301
5.5.6 出力される解析結果.....	5-301
5.5.7 ランダム応答解析の材料温度依存性.....	5-304
5.5.8 ランダム応答解析手順 - モード法.....	5-305
5.5.9 モード法の定式化の指定.....	5-337
5.5.10 直接法でのランダム応答解析.....	5-338
5.5.11 生成されるカード.....	5-339
5.5.12 ケースコントロールカード.....	5-339
5.5.13 バルクデータカード.....	5-343
5.5.14 相互パワースペクトル密度の出力.....	5-344
5.5.15 多震源モデル.....	5-347
5.5.16 PARAM カード.....	5-353
5.5.17 出力される解析結果.....	5-355

5.5.18	大規模解析結果の効率的な処理	5-356
5.5.19	大規模モデルでの注意 (~ v5.1 に限り重要)	5-356
5.6	複素固有値解析 (Dyn Resp)	5-358
5.6.1	複素固有値と固有ベクトル	5-358
5.6.2	複素固有値解析を利用できる製品オプション	5-367
5.6.3	複素固有値解析の仕組み	5-368
5.6.4	Hessenberg 法 (Upper Hessenberg)	5-369
5.6.5	複素逆べき乗法 (Complex Inverse Power)	5-370
5.6.6	複素 Lanczos 法 (Complex Lanczos)	5-370
5.6.7	モード法と直接法	5-370
5.6.8	手法の比較	5-371
5.6.9	微分剛性の考慮	5-372
5.6.10	SOL 番号とスケルトン	5-372
5.6.11	SYSTEM(108) の設定	5-375
5.6.12	複素固有値計算エンジン ISRR 法	5-376
5.6.13	解析手順	5-378
5.6.14	ポスト処理	5-381
5.6.15	制御系や摩擦のモデル化	5-386
5.7	動的縮退機能	5-401
5.7.1	静的縮退 (Static Condensation, Guyan Reduction)	5-401
5.7.2	モード縮退	5-405
5.7.3	一般化動的縮退	5-405
5.8	特殊なモデリング	5-406
5.9	音響解析 (Dynamic Response)	5-408
5.9.1	モデルの作成概要	5-408
5.9.2	流体ノードの変位は圧力	5-409
5.9.3	無反射境界 AML(Acoustic Matched Layer) (Advanced Acoustic)	5-410
5.9.4	結果の計測 -0D マイクロフォン要素の定義 (Advanced Acoustic)	5-413
5.9.5	結果の計測 - マイクロフォンアレイ要素の定義	5-413
5.9.6	解析結果の出力概要	5-414
5.9.7	出力要求カード (Advanced Acoustic)	5-415
5.9.8	制限	5-417
5.9.9	支配方程式の概要	5-417
5.9.10	固着のサポート	5-428
5.9.11	Femap による音響解析	5-429
5.9.12	流体のモデル化と境界定義	5-433
5.9.13	音響境界、音響パネルと音響バリア	5-444
5.9.14	音響荷重	5-454
5.9.15	基準音圧の指定と音圧レベルの出力	5-459
5.9.16	モード寄与率	5-460
5.9.17	モード寄与率の出力指定	5-461
5.9.18	粒子速度	5-463
5.9.19	モード影響係数の計算	5-463
5.9.20	便利な PARAM カード	5-463
5.9.21	結果出力などのカードまとめ	5-467
5.9.22	一次元平面波モデル	5-468
5.10	伝達関数とエクストラポイントに関する補足	5-482
5.10.1	増幅器、積分器、微分器	5-484
5.10.2	運動方程式の伝達関数での表現	5-487
5.10.3	伝達関数の定義方法	5-489
5.10.4	例 -2 自由度ダッシュボット系の伝達関数表現	5-492
5.10.5	例 - 逆さ振り子の制御	5-503
5.10.6	状態方程式で定義された系の取り込み	5-519
5.11	NX Nastran での減衰	5-523
5.11.1	オーバーオール構造減衰係数の指定	5-524
5.11.2	材料構造減衰係数の指定	5-526
5.11.3	モード減衰の定義	5-528

5.11.4 減衰要素の定義	5-530
5.11.5 直接法の場合の減衰 - 過渡解析	5-533
5.11.6 過渡解析でのオーバーオール構造減衰と材料減衰の取扱い	5-534
5.11.7 直接法の場合の減衰 - 周波数応答解析	5-536
5.11.8 モード法の場合の減衰 - 過渡解析	5-536
5.11.9 モード法の場合の減衰 - 周波数応答解析	5-539
5.11.10 レイリー減衰	5-541

6 Dynamic 例題

6.1 過渡応答解析の例 - トラスタワーの過渡応答	6-2
6.1.1 モデル化	6-4
6.1.2 考察	6-13
6.2 過渡応答解析の例 - トラスタワーの過渡応答重力考慮	6-14
6.2.1 基礎検討	6-14
6.2.2 モデル化と解析 - 線形静解析	6-14
6.2.3 モデル化と解析 - 過渡解析	6-17
6.2.4 解析実行	6-22
6.2.5 結果評価	6-22
6.2.6 考察	6-23
6.3 応答スペクトル解析 - 衝撃波の評価	6-24
6.3.1 基礎検討	6-24
6.3.2 モデル化	6-26
6.3.3 解析条件の定義	6-32
6.3.4 解析実行	6-36
6.3.5 解析結果	6-37
6.3.6 考察	6-39
6.4 線形過渡解析 - スペクトル応答解析との比較	6-41
6.4.1 モデル化	6-42
6.4.2 荷重条件の定義	6-43
6.4.3 拘束条件の定義	6-44
6.4.4 解析条件の定義	6-45
6.4.5 解析実行	6-48
6.4.6 解析結果評価	6-48
6.4.7 考察	6-54
6.5 周波数応答解析	6-55
6.5.1 モデル化	6-55
6.5.2 解析条件の設定	6-58
6.5.3 解析実行	6-63
6.5.4 解析結果評価	6-63
6.5.5 考察	6-64
6.6 ランダム応答解析 - 単点加振	6-65
6.6.1 基礎検討	6-65
6.6.2 モデル化	6-70
6.6.3 解析条件の定義	6-72
6.6.4 解析実行	6-86
6.6.5 解析結果評価	6-86
6.6.6 考察	6-93
6.7 ランダム応答解析 - 多点加振	6-94
6.7.1 基礎検討	6-95
6.7.2 モデル化	6-95
6.7.3 解析実行	6-99
6.7.4 解析結果評価	6-99
6.8 複素固有値解析 - 共鳴洞の固有振動数	6-100
6.8.1 モデル化	6-100
6.8.2 解析条件の定義	6-104
6.8.3 解析実行	6-106

6.8.4 解析結果評価	6-106
6.8.5 考察	6-113
6.9 音響解析 - 共鳴洞の評価	6-115
6.9.1 空気の減衰に関する注意	6-115
6.9.2 モデル化	6-116
6.9.3 解析条件の定義	6-124
6.9.4 解析実行	6-130
6.9.5 解析結果評価	6-130
6.9.6 考察	6-137

7 高度解析ガイド

7.1 スーパーエレメント (追加モジュール)	7-2
7.1.1 スーパーエレメントをサポートする解析タイプ	7-3
7.1.2 簡単な例 - メインバルクデータスーパーエレメント	7-4
7.1.3 計算メカニズム	7-14
7.1.4 モデリング	7-14
7.1.5 スーパーエレメントの階層構造	7-18
7.1.6 スーパーエレメントの処理順序	7-19
7.1.7 スーパーエレメントの定義方法	7-20
7.1.8 スーパーエレメントの活用	7-24
7.1.9 スーパーエレメントのタイプ	7-28
7.1.10 エクステリアポイントとインテリアポイント	7-30
7.1.11 スーパーエレメント解析の手順	7-31
7.1.12 スーパーエレメントバルクデータへの追加情報	7-32
7.1.13 荷重 / 拘束の定義	7-34
7.1.14 スーパーエレメントに関する解析結果出力	7-49
7.1.15 スーパーエレメントのカード	7-51
7.1.16 プライマリスーパーエレメント	7-59
7.1.17 コレクタースーパーエレメント	7-60
7.1.18 コピースーパーエレメント	7-67
7.1.19 外部スーパーエレメント	7-72
7.1.20 モデルの静的縮退と動的縮退	7-93
7.1.21 モデルの動的縮退 (CMS)	7-94
7.1.22 動的縮退の例	7-106
7.1.23 周波数帯域の考慮	7-122
7.1.24 余剰構造でのコンポーネントモード合成	7-125
7.1.25 スーパーエレメントの境界部分の制御	7-129
7.1.26 スーパーエレメントの動解析	7-129
7.1.27 動的縮退による動解析 - 線形過渡解析	7-130
7.1.28 動的縮退による動解析 - 周波数応答解析	7-140
7.1.29 固着 (グルー) の使用	7-146
7.1.30 例 - 固着を考慮したスーパーエレメント解析	7-146
7.1.31 外部スーパーエレメントの例 (FemapGUI)	7-153
7.2 設計感度最適化解析機能 (SQL DESOPT)	7-178
7.2.1 設計感度 / 最適化解析 (SQL DESOPT) を利用できるオプション	7-179
7.2.2 設計感度最適化機能の用途	7-180
7.2.3 Femap でのモデリング (線形静解析)	7-180
7.2.4 固有値解析での設定概要	7-187
7.2.5 座屈解析での設定概要	7-191
7.2.6 複素固有値解析での設定概要	7-192
7.2.7 周波数応答解析での設定概要	7-193
7.2.8 過渡解析での設定概要	7-195
7.2.9 目的関数 / 設計変数 / 設計感度 / 設計制約条件	7-195
7.2.10 最適化問題の定義	7-198
7.2.11 書式	7-200
7.2.12 ケースコントロールセクションでの記述	7-203

7.2.13	バルクデータセクションでの記述	7-207
7.2.14	DOPTPRM カード	7-209
7.2.15	設計変数カード DESVAR の指定	7-213
7.2.16	設計感度応答の定義 (DRESPI)	7-216
7.2.17	設計変数、目的関数まとめ	7-246
7.2.18	設計感度最適化の設定	7-250
7.2.19	固有値解析の設定方法	7-274
7.2.20	固有値解析の例ーモデル固有値のチューニング	7-279
7.2.21	座屈解析の設定方法	7-292
7.2.22	周波数応答解析の最適化	7-298
7.2.23	その他の最適化	7-299
7.2.24	達成最適化	7-299
7.2.25	DFRFNC カード	7-299
7.2.26	DRSPAN カード	7-300
7.2.27	リスタート解析	7-300
7.3	ローターダイナミクス解析 (追加モジュール)	7-302
7.3.1	回転体の解析機能概要	7-302
7.3.2	ふれまわりと危険速度	7-314
7.3.3	質量の定式化	7-317
7.3.4	コリオリ力とジャイロモーメント	7-317
7.3.5	運動方程式	7-321
7.3.6	振れ回りモード (Whirling) と危険速度 (Critical Velocity)	7-332
7.3.7	回転参照座標系と固定参照座標系	7-332
7.3.8	振れ回り方向と危険速度	7-336
7.3.9	観測座標系による解釈の違い	7-337
7.3.10	キャンベル線図	7-338
7.3.11	サポートする回転体のモデル	7-342
7.3.12	支持方法と回転体の軸対称性	7-342
7.3.13	モデル化	7-344
7.3.14	振れ回りモードと制振機構のモデル化	7-349
7.3.15	複素固有値解析手法とモード数について	7-356
7.3.16	減衰について	7-359
7.3.17	遠心力による剛性の変化	7-366
7.3.18	定義手順	7-385
7.3.19	出力されるカード	7-392
7.3.20	出力される解析結果	7-399
7.3.21	周波数応答解析	7-408
7.3.22	同期解析について	7-424
7.3.23	非同期周波数応答解析	7-427
7.3.24	生成されるカード	7-430
7.3.25	ローターダイナミクス過渡解析	7-440
7.3.26	ベアリングモデルの定義	7-447
7.4	DMAP(追加モジュール)	7-458
7.4.1	DMAP の用途	7-459
7.4.2	ソリューションシーケンスと subDMAP	7-459
7.4.3	DMAP の基本入力と Femap での操作	7-460
7.4.4	メイン subDMAP とサブルーチン subDMAP	7-467
7.4.5	SOL100(重要)	7-468
7.4.6	COMPILE と ALTER, LINK	7-469
7.4.7	DMAP プログラムの記述	7-477
7.4.8	TYPE PARM のステートメントの書式 (変数定義)	7-485
7.4.9	変数	7-486
7.4.10	基本的なメイン subDMAP の記述	7-489
7.4.11	サブルーチンの定義	7-497
7.4.12	演算子	7-514
7.4.13	関数	7-514
7.4.14	条件分岐とループ	7-519

7.4.15	自由度の取扱い USET	7-521
7.4.16	ベクトル	7-525
7.4.17	マトリクス	7-529
7.4.18	DMAP マトリクスの出力	7-542
7.4.19	F06 ファイルへの出力	7-543
7.4.20	テーブルデータ	7-545
7.4.21	MATPCH によるパンチ出力	7-557
7.4.22	外部 OP2/OP4 ファイルへの出力	7-558
7.4.23	OP2/OP4 外部ファイルの読み込み	7-560
7.4.24	テーブルやレポート、数値のプリント出力	7-563
7.4.25	マトリクスの定義と保存の例	7-566
7.4.26	マトリクスの読み込みと利用の例	7-577
7.4.27	線形方程式の計算の例	7-580
7.4.28	DMIG によるマトリクスの定義 (全製品で利用可能)	7-583
7.4.29	テーブル	7-585
7.4.30	通常のソリューションタイプとの使用	7-592
7.4.31	ユーザデータブロック	7-597
7.4.32	主なマトリクスモジュール	7-606
7.4.33	DMAP への入力	7-639
7.4.34	マトリクスとテーブル	7-642
7.4.35	マトリクスの名前	7-642
7.4.36	subDMAP	7-643
7.4.37	NDDL	7-645
7.4.38	FILE ステートメント	7-657
7.4.39	便利な DMAP プログラム	7-657
7.5	マトリクス方程式の直接操作 (DMI)	7-661
7.5.1	マトリクスの形	7-661
7.5.2	DMIG カードの書式	7-664
7.5.3	質量と減衰の DMIG 定義	7-666
7.5.4	補足 - マトリクスの出力 (MALTER)	7-673
7.6	DDAM 動的設計解析法 (SOL187)	7-676
7.6.1	モデルの単位系	7-678
7.6.2	NAVSHOK と加速度スペクトル	7-679
7.6.3	Femap での定義	7-681
7.6.4	必要な変更とファイル	7-684
7.6.5	出力される解析結果	7-697
7.7	リスタート解析	7-698
7.7.1	リスタート解析の手順概要	7-701
7.7.2	データベースの生成と使用方法の概要	7-702
7.7.3	リスタートの仕組み	7-705
7.7.4	リスタート解析の手順概要	7-706
7.7.5	リスタート解析での注意	7-710
7.7.6	リスタートサンプル線形静解析	7-712
7.7.7	RESTART カード	7-730
7.7.8	PROJ ステートメントカード	7-731
7.7.9	ASSIGN カード	7-732
7.7.10	DBDIR カード	7-733
7.7.11	同種解析のリスタート	7-734
7.7.12	バッチ実行でデータベースファイルを保持する	7-735
7.7.13	INCLUDE 文の使用	7-736
7.7.14	異種解析のリスタート	7-737
7.7.15	静解析 - 静解析のリスタート	7-750
7.7.16	定常熱伝導解析 > 過渡熱伝導解析のリスタート	7-752
7.7.17	過渡熱伝導解析 > 過渡熱伝導のリスタート	7-753
7.7.18	固有値 > モード法解析のリスタート	7-757
7.7.19	非線形静解析のリスタート (マルチシナリオ解析)	7-758
7.1	周期対称モデル	7-1

7.1.1	周期対称性	7-1
7.1.2	周期対称モデルの荷重	7-7
7.1.3	周期対称モデルの拘束の定義	7-11
7.1.4	周期対称モデルのカード	7-11
7.1.5	周期対称静解析 (SOL114)	7-27
7.1.6	周期対称静解析の例 - 円筒の圧縮 (軸対称)	7-27
7.1.7	周期対称静解析の例 - 円筒の圧縮 (回転対称)	7-33
7.1.8	周期対称固有値解析 (SOL115)	7-43
7.1.9	周期対称固有値解析の例 - 円筒の固有値 (軸対称)	7-46
7.1.10	周期対称座屈解析 (SOL116)	7-53
7.1.11	周期対称座屈解析の例 - 円筒の圧縮 (回転対称)	7-54
7.1.12	周期対称周波数応答解析 (SOL118 DynResp)	7-62
7.1.13	周期対称周波数応答解析の例 - 平板の振動応答 (2 平面体対称)	7-63
7.1.14	周期対称モデルのまとめ	7-70
7.2	空力弾性解析 (Aeroelasticity 追加モジュール)	7-71
7.2.1	静的空力弾性解析の概要	7-73
7.2.2	フラッター解析の概要	7-77
7.2.3	Advanced Aeroelastic(Aeroelasticity への追加機能)	7-77
7.2.4	空力弾性解析が可能な製品オプション	7-78
7.2.5	空力弾性	7-78
7.2.6	空力弾性解析の用途	7-84
7.2.7	Femap GUI による空力弾性解析	7-85
7.2.8	空力弾性理論	7-135
7.2.9	空力弾性解析の概要	7-159
7.2.10	速度と空力理論	7-171
7.2.11	空力弾性解析の手順概要	7-174
7.2.12	空力ケースコントロールカード	7-183
7.2.13	空力バルクデータカード	7-187
7.2.14	Doublet Lattice 理論 (CAERO1)	7-187
7.2.15	リフティングボディ (CAERO2)	7-199
7.2.16	Mach Box 理論 (CAERO3)	7-208
7.2.17	マッハボックス要素 CAERO3	7-210
7.2.18	Strip 理論 (CAERO4)	7-213
7.2.19	ストリップ理論要素 CAERO4	7-218
7.2.20	Piston 理論 (CAERO5)	7-223
7.2.21	ピストン理論要素 CAERO5	7-224
7.2.22	制御面定義 (トリム解析)	7-230
7.2.23	空力要素と構造要素の SPLINEi での結合	7-235
7.2.24	空力座標系 (Aerodynamic Coordinate System)	7-246
7.2.25	静的空力弾性解析 (SOL 144)	7-249
7.2.26	トリム解析	7-253
7.2.27	空力弾性解析の例: 主翼一音速以下でのトリム解析	7-273
7.2.28	空力弾性解析の例: 主翼一コントロールリバーサル	7-305
7.2.29	ダイバージェンス解析	7-314
7.2.30	空力弾性解析の例: 主翼一ダイバージェンス解析	7-319
7.2.31	フラッタ解析 (SOL 145)	7-330
7.2.32	PARAM カード	7-341
7.3	Advanced Aeroelastic 機能 (Aeroelasticity への追加機能)	7-343
7.3.1	超音速域での相互干渉の考慮	7-343
7.3.2	ZONA51 が処理可能な解析タイプ	7-343
7.3.3	ZONA51 と Doublet Lattice 理論の切り替え	7-343
7.3.4	リフティングボディの表現	7-343
7.4	大規模解析用の設定	7-345
7.4.1	Femap の自動読み込みを切る (重要)	7-345
7.4.2	LP-64/ILP-64 の実行	7-346
7.4.3	データサイズに関する情報	7-351
7.4.4	メモリとデータベースの上限	7-352

7.4.5 NX Nastran データベース	7-357
7.4.6 サイズの意味と設定	7-359
7.4.7 スクラッチデータベースのみを拡張する (GUI)	7-366
7.4.8 XDB ファイルのサイズを拡張する	7-368
7.4.9 実行指定の例	7-370
7.4.10 FMS の例	7-371
7.4.11 スクラッチファイルのデフォルトサイズの拡張	7-372
7.4.12 高速化について	7-373
7.4.13 リスタートの応用 - 解析結果ファイルの分割出力	7-376
7.5 反復法ソルバーパラメータ ITER の説明	7-390
7.6 並列処理について	7-393
7.6.1 SMP と DMP	7-393
7.6.2 SMP の設定	7-395
7.6.3 実行オプション	7-397
7.6.4 SMP 並列処理の動作	7-398
7.6.5 SMP 並列処理の効果	7-399
7.7 PARAM カードの利用	7-400
7.7.1 FemapGUI で設定できる PARAM カード	7-400
7.7.2 AUTOSPCR	7-404
7.7.3 CURV	7-404
7.7.4 RESVEC とその関連指定 (モード法)	7-405
7.7.5 BETA Newmark 法計算パラメータ指定	7-407
7.8 解析結果出力指定	7-409
7.9 解析セットマネージャ	7-413
7.9.1 解析実行	7-417
7.9.2 [モデルチェック] ダイアログボックス	7-418
7.10 解析処理の流れ	7-421
7.10.1 モデルのマトリクス展開	7-421
7.10.2 マトリクス方程式の生成	7-433
7.10.3 NX Nastran での数学モデルの構成	7-434
7.10.4 平面要素の形状関数について	7-435
7.11 有限要素モデル	7-438
7.11.1 単位系について	7-438
7.11.2 座標系について	7-439
7.11.3 剛性マトリクスの定式化について	7-441
7.11.4 質量の定式化について	7-441
7.11.5 アイソパラメトリック要素について	7-442
7.11.6 固有値解析について	7-451
7.11.7 固有値解析の解法	7-453
7.11.8 減衰要素	7-462
7.11.9 レイリー減衰	7-462
7.11.10 機構部品に関する減衰	7-467
7.12 非線形解析手法	7-469
7.12.1 Full Newton 法	7-469
7.12.2 修正 Newton 法	7-470
7.13 非線形性について	7-470
7.13.1 非線形性の種類	7-470
7.13.2 非線形解析の定式化	7-471
7.13.3 材料非線形性	7-471
7.13.4 幾何学的非線形性	7-472
7.13.5 非線形解析での応力とひずみについて	7-472
7.13.6 どんなときに非線形解析を実施するか	7-473
7.14 直接法	7-478
7.14.1 NX Nastran の直接時間積分法	7-478
7.14.2 直接法周波数応答解析	7-479
7.15 モード法	7-480
7.15.1 モード法線形過渡解析	7-480

7.15.2	モード法周波数応答解析	7-482
7.15.3	モード法解析結果の計算	7-482
7.16	強制運動による直接加振について (重要)	7-487
7.16.1	設定方法	7-487
7.16.2	絶対変位法と相対変位法	7-490
7.16.3	比較サンプル	7-492
7.17	Recurdyn RFI ファイルの出力	7-495
7.17.1	RECURDYNRFI カード	7-496
7.17.2	DTI,UNITS カード	7-497
7.17.3	接続点のモデル化	7-498
7.18	ADAMS ニュートラルファイル (MNF) への出力	7-498
7.18.1	解析条件と注意点	7-498
7.18.2	出力されるファイル	7-499
7.18.3	ADAMSMNF ケースコントロールカード	7-500
7.18.4	単位系指定 DTI カード	7-500
7.18.5	質量不変量	7-502
7.19	ユニット番号の割り当て	7-504
7.20	DIAG 診断機能	7-505
7.21	NASTRAN ステートメントとシステムセルの指定	7-508
7.21.1	システムセルの設定方法	7-508
7.21.2	システムセル	7-509
7.22	NASTRAN コンフィギュレーションファイル	7-526
7.22.1	デフォルトでの中身	7-527
7.22.2	追加した方がよいオプション (お勧め)	7-529
7.23	データベースの作成	7-531
7.23.1	データベースの作成	7-532
7.24	並列処理ガイド (DMP)	7-533
7.24.1	DMP と SMP	7-533
7.24.2	DMP 分散処理の効果	7-535
7.24.3	SMP のためのハードウェア構成	7-535
7.24.4	DMP のためのハードウェア構成	7-536
7.24.5	DMP	7-537
7.24.6	解析できるモデルの制限	7-539
7.24.7	MPI について	7-540
7.24.8	領域分割手法	7-540
7.24.9	形状領域静解析 GDSTAT	7-543
7.24.10	荷重領域線形静解析 LDSTAT	7-543
7.24.11	形状領域固有値解析 GDMODES	7-543
7.24.12	周波数領域固有値解析 FDMODES	7-544
7.24.13	階層化領域固有値解析 HDMODES	7-545
7.24.14	リカーシブドメインランチョスソルバー RDMODES	7-546
7.24.15	周波数領域周波数応答解析 FDFREQR	7-547
7.24.16	並列化手法の選択	7-547
7.24.17	DMP の効果	7-548
7.24.18	クラスタマシンの設定	7-550
7.24.19	使用ソフトウェア	7-551
7.24.20	準備	7-551
7.24.21	KSH のセットアップ	7-553
7.24.22	RSH の動作確認と信頼性確立	7-553
7.24.23	チェックシート	7-555
7.24.24	Linux セットアップ	7-556
7.24.25	リモートシェル rsh の設定	7-559
7.24.26	ssh の設定 (HPC)	7-560
7.24.27	データベースディレクトリ (重要)	7-560
7.24.28	スクラッチディレクトリ	7-561
7.24.29	NX Nastran のセットアップ	7-561
7.24.30	DMP 解析の実行	7-563

7.25 並列処理ガイド (GPGPU/MKL)	7-564
7.25.1 はじめに	7-564
7.25.2 設定方法	7-564
7.25.3 起動の確認	7-566
7.25.4 効果	7-567
7.25.5 制約	7-567

8 要素タイプ

8.1 Femap with NX Nastran の要素	8-1
8.1.1 要素の構成	8-1
8.1.2 構造要素と熱要素	8-2
8.1.3 Femap の使用による効率化	8-3
8.1.4 構造要素	8-4
8.1.5 熱要素	8-12
8.1.6 スーパーエレメント	8-14
8.1.7 音響解析要素	8-14
8.1.8 直接マトリクス入力	8-15
8.1.9 DMAP 用要素	8-15
8.1.10 空力要素	8-15
8.1.11 Femap での要素定義方法	8-15
8.1.12 NX Nastran の要素	8-21
8.2 要素の性能	8-28
8.2.1 解析結果	8-30
8.2.2 要素と材料タイプ	8-31
8.2.3 非線形要素の概要 (SOL601 を除く)	8-33
8.2.4 要素の自由度と AUTOSPC	8-41
8.3 結果データの種類	8-48
8.3.1 ノードデータ	8-48
8.3.2 要素データ	8-51
8.4 熱解析に関する解析結果	8-59
8.4.1 ノードの熱解析結果	8-59
8.4.2 要素の熱解析結果	8-60
8.5 ノードとスカラポイント、エクストラポイント	8-61
8.5.1 定義	8-61
8.5.2 ノードの座標系	8-64
8.5.3 永久拘束	8-66
8.5.4 ノード定義カード GRID	8-67
8.5.5 スカラポイント (Scalar Point)	8-68
8.5.6 スカラポイントの使いみち	8-69
8.5.7 スカラポイント定義カード SPOINT	8-71
8.5.8 エクストラポイント (Extra Point)	8-71
8.5.9 エクストラポイント定義カード EPOINT	8-71
8.6 スカラ要素	8-73
8.6.1 DOF/ 接地 DOF スプリング要素 (CELAS2/1, CDAMP2/1)	8-73
8.7 点要素	8-90
8.7.1 質量要素 (CONM2)	8-90
8.7.2 質量マトリクス要素 (CONM1)	8-94
8.8 線要素	8-97
8.8.1 線要素に関するプロパティ	8-97
8.8.2 線要素の非線形特性	8-109
8.8.3 ロッド要素 (トラス要素)	8-110
8.8.4 チューブ要素	8-118
8.8.5 カーブド チューブ要素 (CBEND)	8-123
8.8.6 スプリング要素 (CBUSH, CROD, CVISC)	8-136
8.8.7 CBUSH の非線形/周波数の依存性定義	8-158
8.8.8 バー要素 CBAR	8-161

8.8.9	断面形状付バー要素 CBARL	8-175
8.8.10	ビーム要素 CBEAM	8-180
8.8.11	断面形状付ビーム要素 CBEAML	8-207
8.8.12	ギャップ要素 CGAP	8-214
8.9	平面要素	8-228
8.9.1	フェイスの定義	8-231
8.9.2	要素座標系と材料座標系	8-231
8.9.3	積分点の位置	8-235
8.9.4	応力とひずみの出力位置	8-236
8.9.5	小ひずみ要素の非線形特性	8-240
8.9.6	大ひずみ要素の非線形特性	8-241
8.9.7	プレート要素	8-243
8.9.8	積層要素	8-292
8.9.9	曲げ要素	8-334
8.9.10	平面ひずみ要素	8-342
8.9.11	メンブレン/平面応力要素	8-353
8.9.12	せん断パネル要素	8-365
8.9.13	軸対称要素 (線形/大ひずみ)	8-375
8.9.14	超弾性軸対称要素 (旧タイプ)	8-391
8.10	ボリューム要素	8-397
8.10.1	ソリッド要素	8-397
8.10.2	積分点の位置とコーナーデータ出力	8-398
8.10.3	定義	8-401
8.10.4	利用できる解析のタイプ	8-401
8.10.5	形状	8-401
8.10.6	要素座標系	8-402
8.10.7	プロパティ	8-403
8.10.8	対応する Femap エlement	8-403
8.10.9	小ひずみソリッド要素の非線形特性 (Basic Nonlinear)	8-406
8.10.10	大ひずみ要素の非線形特性 (Basic Nonlinear)	8-406
8.10.11	対応するマテリアルタイプ	8-407
8.10.12	出力データ	8-409
8.10.13	1次/2次六面体要素カード CHEXA	8-414
8.10.14	1次/2次三角柱要素カード CPENTA	8-414
8.10.15	1次/2次四面体要素カード CTETRA	8-414
8.10.16	1次/2次四角錐要素 CPYRAM	8-415
8.10.17	ソリッドプロパティカード PSOLID	8-416
8.10.18	積分手法と積分点の数	8-417
8.10.19	SOL601のソリッド要素	8-418
8.10.20	用法例	8-419
8.10.21	非線形解析での応力とひずみの出力座標系	8-419
8.10.22	積層ソリッド要素	8-421
8.10.23	積層ソリッドプロパティカード PCOMPS	8-430
8.10.24	積層ソリッドの強度評価指標	8-435
8.11	その他の要素	8-440
8.11.1	剛体要素	8-440
8.11.2	剛体要素 RBE2	8-445
8.11.3	剛体補間要素 RBE3	8-448
8.11.4	補間要素 RSPLINE	8-449
8.11.5	スライドライン要素	8-454
8.11.6	クラック 2D 要素 (CRAC2D)	8-461
8.11.7	クラック 3D 要素 (CRAC3D)	8-467
8.11.8	溶接要素 (CWELD)	8-475
8.11.9	CFAST ファスナ要素	8-498
8.11.10	軸対称シェル (CCONEAX)	8-511
8.11.11	非線形軸受けギャップ (NLRGAP)	8-535
8.12	特殊な要素カード	8-538

8.12.1 DMIG ノードへの直接マトリクス入力	8-538
8.12.2 非構造質量追加カード NSMi	8-540
8.13 解析結果の出力要求	8-546
8.13.1 応力出力要求カード STRESS	8-546
8.13.2 ひずみ出力要求カード STRAIN	8-548
8.13.3 ノード位置での応力とひずみの出力	8-549

9 材料モデル

9.1 一般事項	9-1
9.1.1 材料特性の一定義方法	9-1
9.1.2 材料の構造特性と熱特性	9-2
9.1.3 SOL601 の材料 (Advanced Nonlinear)	9-5
9.1.4 材料特性の温度依存性	9-5
9.1.5 非線形特性について	9-7
9.1.6 材料特性と要素タイプの関係	9-9
9.1.7 材料特性としての減衰	9-10
9.2 等方性材料	9-11
9.2.1 構造特性	9-12
9.2.2 熱特性	9-18
9.2.3 等方性材料の定義	9-21
9.3 弾塑性非線形材料	9-26
9.3.1 弾塑性	9-26
9.3.2 応力ひずみ曲線のひずみと応力のタイプ	9-27
9.3.3 バイリニア近似による弾塑性モデル	9-30
9.3.4 参照関数による近似	9-34
9.3.5 塑性変形中のポアソン比の扱い	9-37
9.3.6 等方硬化則 (Isotropic Hardening)	9-38
9.3.7 移動硬化則	9-40
9.3.8 等方 + 移動硬化則 (複合硬化則)	9-44
9.3.9 硬化則の定式化の概要	9-44
9.3.10 von Mises 降伏条件	9-48
9.3.11 Tresca 降伏条件	9-50
9.3.12 Drucker-Prager の降伏条件	9-52
9.3.13 Mohr-Coulomb 降伏条件	9-54
9.3.14 弾塑性／塑性材料モデルを使用できる要素	9-57
9.3.15 応力 - ひずみ曲線について	9-57
9.3.16 弾塑性解析の解析結果	9-60
9.3.17 非線形材料カード MATS1	9-61
9.3.18 弾塑性関数テーブル TABLES1 カード	9-62
9.4 非線形弾性材料	9-63
9.4.1 非線形弾性材料の設定方法	9-63
9.4.2 入力項目	9-64
9.4.3 応力 - ひずみ曲線について	9-65
9.4.4 NX Nastran カード	9-65
9.5 直交異方性材料	9-67
9.5.1 構造特性	9-68
9.5.2 3D 直交異方性材料に関する注意事項 (重要)	9-73
9.5.3 直交異方性材料の熱特性	9-75
9.5.4 入力可能な特性	9-77
9.5.5 2D 直交異方性構造材料カード MAT8	9-78
9.5.6 3D 直交異方性構造材料カード MAT11	9-79
9.5.7 軸対称直交異方性構造材料カード MAT3	9-80
9.5.8 直交異方性材料の熱特性カード	9-82
9.6 異方性材料	9-84
9.6.1 NX Nastran での異方性材料定義	9-84
9.6.2 異方性材料の構造特性	9-85

9.6.3	異方性材料の熱特性	9-87
9.6.4	入力可能な特性	9-89
9.6.5	2D 異方性材料カード MAT2	9-90
9.6.6	3D 異方性材料カード MAT9	9-90
9.6.7	異方性熱材料カード MAT5	9-91
9.6.8	制限	9-91
9.7	材料オリエンテーション	9-92
9.7.1	材料座標系	9-92
9.7.2	平面要素の材料オリエンテーション	9-93
9.7.3	ソリッド要素の材料オリエンテーション	9-95
9.8	材料特性の温度依存性	9-96
9.8.1	材料の温度依存性を考慮できる解析タイプ	9-97
9.8.2	弾性率の温度依存性に関する一般的注意	9-97
9.8.3	Femap での定義方法	9-97
9.8.4	NX Nastran へ出力されるカード	9-98
9.8.5	等方性材料の温度依存性カード MATT1	9-99
9.8.6	熱特性の温度依存性定義カード MATT4	9-99
9.8.7	2D 異方性材料の温度依存性カード MATT2	9-100
9.8.8	2D 直交異方性材料の温度依存性カード MATT8	9-100
9.8.9	異方性熱材料特性の温度依存性定義カード MATT5	9-102
9.8.10	3D 異方性材料の温度依存性カード MATT9	9-103
9.8.11	3D 直交異方性材料の温度依存性カード MATT11	9-103
9.8.12	軸対称材料の温度依存性カード MATT3	9-104
9.8.13	温度依存性関数カード TABLEMi	9-105
9.8.14	非線形特性温度依存性テーブル TABLEST	9-105
9.8.15	材料温度依存性のための設定	9-106
9.8.16	各時刻毎の温度を考慮	9-106
9.8.17	各荷重シーケンスの温度を考慮	9-106
9.8.18	サブケース毎の温度条件を考慮	9-107
9.8.19	1つの温度条件を考慮	9-108
9.9	超弾性非線形材料	9-111
9.9.1	入力と出力	9-111
9.9.2	大変形大ひずみに関する注意	9-113
9.9.3	利用できる超弾性材料モデル	9-119
9.9.4	超弾性材料モデルの定義	9-122
9.9.5	NX Nastran での超弾性材料定義	9-126
9.9.6	超弾性ソリッドプロパティカード PLSOLID	9-127
9.9.7	超弾性平面ひずみプロパティカード PLPLANE	9-127
9.9.8	カード MATHP	9-128
9.9.9	標準の Mooney-Rivlin モデル	9-129
9.9.10	Neo-Hookean モデル	9-129
9.9.11	材料定数の計算	9-129
9.9.12	制限	9-131
9.9.13	実験データカーブフィッティングの例	9-132
9.10	クリープ特性	9-139
9.10.1	クリープの三段階	9-139
9.10.2	セラミックスのクリープ現象	9-143
9.10.3	レオロジーモデル	9-143
9.10.4	NX Nastran のクリープモデル	9-145
9.10.5	クリープ解析の設定	9-149
9.10.6	クリープ材料カード CREEP	9-154
9.10.7	関数テーブル TABLES1 カード	9-155
9.10.8	クリープモデルの解析例	9-155
9.11	熱ひずみについて	9-170
9.11.1	基準温度と初期温度条件	9-171
9.11.2	まとめ	9-174
9.11.3	初期温度の定義方法と解釈 -SOL106/SOL601,106	9-175

9.11.4 初期温度の定義方法と解釈 - そのほかの解析	9-182
-------------------------------------	-------

10 荷重拘束条件

10.1 荷重	10-1
10.1.1 Femap の荷重管理	10-3
10.1.2 荷重セットの定義と管理	10-4
10.1.3 構造荷重の定義	10-14
10.1.4 熱荷重の定義	10-17
10.1.5 温度荷重の制限事項 (重要)	10-19
10.1.6 ノード荷重の定義	10-20
10.1.7 エレメント荷重の定義	10-21
10.1.8 データサーフェイスによる荷重の依存性の定義	10-22
10.1.9 荷重の組合せ	10-45
10.1.10 強制変位	10-46
10.1.11 強制回転変位	10-48
10.1.12 ノードに対する力 (Forces)	10-50
10.1.13 モーメント (Moment)	10-53
10.1.14 速度 (Velocity)	10-62
10.1.15 角速度 (Angular Velocity)	10-64
10.1.16 加速度 (Acceleration)	10-66
10.1.17 角加速度 (Angular Acceleration)	10-68
10.1.18 圧力 (Pressure)	10-70
10.1.19 分布荷重 (Distributed Load)	10-76
10.1.20 温度 (Temperature)	10-79
10.1.21 熱流束 (Heat Flux)	10-84
10.1.22 発熱 (Heat Generation)	10-92
10.1.23 対流	10-94
10.1.24 強制対流熱伝達	10-102
10.1.25 自然対流	10-139
10.1.26 対流荷重まとめ	10-149
10.1.27 閉鎖系の自然対流の表現	10-150
10.1.28 輻射	10-158
10.1.29 輻射交換マトリクスの出力と再利用 - パンチファイルの利用	10-174
10.1.30 輻射対流要素	10-181
10.1.31 ボディ荷重	10-194
10.1.32 プリテンションの定義	10-203
10.1.33 仮想流体境界条件 (MFLUID)	10-205
10.1.34 FemapGUI	10-206
10.2 荷重セットの定義	10-207
10.2.1 静解析の荷重セットの定義	10-208
10.2.2 動解析の荷重構成	10-210
10.2.3 過渡解析の荷重セットの定義	10-212
10.2.4 非線形過渡解析での動的荷重の定義	10-220
10.2.5 周波数応答解析の荷重セットの定義	10-222
10.2.6 温度荷重と熱ひずみ	10-226
10.3 初期条件	10-250
10.3.1 初期条件ケースコントロールカード IC=n	10-250
10.3.2 初期条件定義バルクカード TIC	10-251
10.4 拘束	10-252
10.4.1 定義	10-253
10.4.2 拘束セット	10-255
10.4.3 ノード拘束	10-261
10.4.4 拘束条件式 (Constraint Equations)	10-265
10.5 特殊な拘束	10-268
10.5.1 AUTOSPC	10-268
10.5.2 SUPORT	10-271

10.5.3 AUTOSPRT	10-273
10.5.4 AUTOMPC	10-276
10.6 K6ROT	10-278
10.6.1 K6ROT の範囲	10-279
10.6.2 K6ROT の設定方法	10-279
10.7 非線形荷重	10-281
10.7.1 非線形荷重の用途	10-282
10.7.2 非線形荷重の定義方法	10-283
10.7.3 非線形荷重の指定	10-290
10.7.4 非線形荷重による数値演算	10-291
10.7.5 相対変位の取り扱い	10-294
10.7.6 例題 1-NOLIN1 での和算	10-295
10.7.7 例題 2- 時間ステップ数の増加	10-319
10.7.8 まとめ	10-320
10.8 例題 3- スカラポイント初期値設定	10-321
10.8.1 手順	10-321
10.8.2 結果	10-321
10.8.3 考察	10-322
10.9 NLRGAP による軸接触の模擬	10-323
10.10 従動荷重	10-325
10.11 FORCEi カードによる従動荷重	10-326
10.11.1 FORCE1 カードの書式	10-327
10.11.2 FORCE2 カードの書式	10-327
10.12 MOMENTi カードによる従動荷重	10-328
10.12.1 MOMENT1 カードの書式	10-329
10.12.2 MOMENT2 カードの書式	10-329

11 SOL601/701 解析ガイド

11.1 Advanced Nonlinear モジュール (SOL601&701)	11-1
11.1.1 サポートする解析タイプ	11-3
11.1.2 サポートする要素タイプ	11-6
11.1.3 サポートするケースコントロールカード	11-11
11.1.4 サポートする荷重拘束条件	11-12
11.1.5 サポートするマテリアルタイプ	11-14
11.1.6 サポートする減衰タイプ	11-14
11.1.7 サポートする座標系 (SOL601/701)	11-15
11.1.8 解析ソルバー	11-15
11.2 SOL601/701 解析のタイプ	11-17
11.3 非線形静解析 SOL 601,106(Advanced Nonlinear)	11-18
11.3.1 幾何学的非線形性	11-18
11.3.2 材料非線形性	11-23
11.3.3 SOL601 非線形静解析を利用できる製品オプション	11-26
11.3.4 非線形解析の手順	11-26
11.3.5 非線形静解析の内部処理	11-33
11.3.6 利用可能なノード荷重	11-35
11.3.7 利用可能なエレメント荷重	11-37
11.3.8 利用可能なボディ荷重	11-37
11.3.9 変形従動荷重の定義 (NXSTRAT カード LOADOPT フィールド)	11-39
11.3.10 利用可能な拘束/境界条件	11-40
11.3.11 定義する材料プロパティ	11-41
11.3.12 弾塑性に関する入出力	11-41
11.3.13 温度荷重に関する事項	11-44
11.3.14 利用可能な要素とサポートする非線形性	11-44
11.3.15 非線形解析手法	11-53
11.3.16 Total Load Application と Stabilized Total Load Application	11-56
11.3.17 解析結果のデータ	11-58

11.3.18	必要な入力条件	11-63
11.3.19	解析手順	11-64
11.3.20	SOL 番号とスケルトン	11-89
11.4	非線形過渡解析 SOL 601,129(Advanced Nonlinear)	11-91
11.4.1	SOL601 非線形過渡解析を利用できる製品オプション	11-91
11.4.2	減衰の定義	11-91
11.4.3	解析の流れ	11-92
11.4.4	非線形過渡解析で考慮される非線形性	11-117
11.4.5	利用可能なノード荷重	11-117
11.4.6	利用可能なエレメント荷重	11-118
11.4.7	利用可能なボディ荷重	11-118
11.4.8	利用可能な拘束条件	11-120
11.4.9	定義する材料プロパティ	11-121
11.4.10	利用可能な要素とサポートする非線形性	11-121
11.4.11	必要な入力条件	11-122
11.4.12	解析結果のデータ	11-124
11.5	601/701 用要素タイプ	11-125
11.5.1	ポテンシャルフロー要素	11-126
11.5.2	Femap での要素定義方法	11-126
11.5.3	Advanced Nonlinear 要素	11-126
11.5.4	非線形要素の概要	11-130
11.5.5	結果データの種類	11-137
11.5.6	要素データ	11-138
11.5.7	質量要素 (CONM2)	11-142
11.5.8	DOF スプリング要素 (CELAS2/CELAS1)	11-145
11.5.9	スプリングダンパ要素 (CBUSH,CROD,CVISC)	11-149
11.5.10	CBUSH1D	11-164
11.5.11	ロッド要素 (トラス要素)	11-167
11.5.12	バー要素 CBAR	11-172
11.5.13	断面形状付バー要素 CBARL	11-180
11.5.14	ビーム要素	11-185
11.5.15	断面形状付ビーム要素	11-192
11.5.16	ギャップ要素 (CGAP)	11-197
11.5.17	シェル要素 (MITC)	11-204
11.5.18	積層シェル要素 (MITC)	11-230
11.5.19	平面ひずみ要素	11-245
11.5.20	軸対称要素 (線形 / 小ひずみ / 大ひずみ)	11-255
11.5.21	ソリッド要素	11-268
11.5.22	積分点の位置とコーナーデータ出力	11-269
11.5.23	定義	11-272
11.5.24	利用できる解析のタイプ	11-272
11.5.25	形状と性能	11-272
11.5.26	要素座標系	11-273
11.5.27	プロパティ	11-273
11.5.28	対応する Femap エレメント	11-273
11.5.29	対応するマテリアルタイプ	11-274
11.5.30	出力データ	11-275
11.5.31	1 次 / 2 次六面体要素カード CHEXA	11-278
11.5.32	1 次 / 2 次三角柱要素カード CPENTA	11-278
11.5.33	1 次 / 2 次四面体要素カード CTERTA	11-279
11.5.34	1 次 / 2 次四角錐要素 CPYRAM	11-279
11.5.35	ソリッドプロパティカード PSOLID	11-280
11.5.36	SOL601 のソリッド要素に関する注意	11-281
11.5.37	剛体要素	11-283
11.5.38	2D コンタクト (スライドライン)	11-289
11.5.39	要素の出現と消滅	11-293
11.5.40	要素の出現と消滅をサポートする解析タイプ	11-293

11.5.41 EBDSET=n カード	11-294
11.5.42 EBDSET	11-295
11.5.43 EBDADD カード	11-295
11.6 荷重条件	11-296
11.6.1 対応する荷重とカード	11-296
11.6.2 荷重の時間依存性の定義と取扱い	11-297
11.6.3 従動荷重の定義	11-301
11.6.4 強制変位	11-308
11.6.5 強制回転変位	11-311
11.6.6 ノードに対する力 (Forces)	11-312
11.6.7 モーメント (Moment)	11-313
11.6.8 圧力 (Pressure)	11-314
11.6.9 分布荷重 (Distributed Load)	11-319
11.6.10 温度 (Temperature)	11-322
11.6.11 ボディ荷重	11-324
11.6.12 荷重セットの定義	11-327
11.7 拘束と拘束条件式	11-328
11.8 初期条件	11-328
11.8.1 変位と速度初期条件	11-328
11.8.2 温度の初期条件	11-330
11.9 コンタクト	11-331
11.9.1 コンタクトの種類	11-332
11.9.2 コンタクトの定義方法	11-332
11.9.3 コンタクトリリース	11-341
11.9.4 弾性壁 (通常のコンタクトリリース)	11-346
11.9.5 剛体壁	11-346
11.9.6 コンタクトペア	11-348
11.9.7 マスターサーフェイス	11-350
11.9.8 スレーブサーフェイス	11-351
11.9.9 マスターとスレーブの関係 (重要)	11-351
11.9.10 マスタースレーブのまとめ	11-353
11.9.11 コンタクトプロパティ	11-353
11.9.12 コンタクトアルゴリズム (TYPE)	11-355
11.9.13 拘束関数法 (Constraint Function Method)	11-355
11.9.14 ラグランジュ乗数法 (Lagrange multiplier (Segment) Method)	11-357
11.9.15 剛体ターゲット法 (Rigid Target Method)	11-357
11.9.16 新剛体ターゲット法 (RTALG=0)	11-363
11.9.17 コンタクトモデルの比較	11-368
11.9.18 両面コンタクト (NSIDE=2)	11-368
11.9.19 初期貫入の処理 (INIPENE/TZPENE)	11-369
11.9.20 コンタクトセグメントの厚さ PDEPTH	11-370
11.9.21 サーフェイス法線の補正 (SEGNORM)	11-370
11.9.22 コンタクトリリースオフセット (OFFTYPE/OFFSET)	11-371
11.9.23 コンタクトペアの出現 / 消滅	11-372
11.9.24 標準的なコンタクトアルゴリズム設定	11-373
11.9.25 変位の定式化	11-373
11.9.26 コンシステント剛性モデル (CSTIFF)	11-373
11.9.27 コンタクトペアの固着 (TIED)	11-374
11.9.28 コンタクトリリースの拡張 (EXFAC)	11-375
11.9.29 摩擦 (FRICMOD)	11-375
11.9.30 表面弾性	11-380
11.9.31 動的接触 / インパクトに関する処理	11-381
11.9.32 コンタクトの定義カード	11-382
11.9.33 コンタクト定義の例	11-394
11.9.34 モデル化に関するヒント	11-401
11.9.35 SOL701 のコンタクト	11-404
11.9.36 固着の使用 (コンタクトタイプ)	11-408

11.9.37 SOL701 コンタクトプロパティの定義	11-411
11.10 材料モデル	11-423
11.10.1 ひずみと応力の種類	11-426
11.10.2 線形等方性材料 (Advanced Nonlinear)	11-435
11.10.3 線形直交異方性材料	11-452
11.10.4 二次元直交異方性材料	11-457
11.10.5 三次元直交異方性材料	11-464
11.10.6 非線形弾性塑性材料	11-469
11.10.7 非線形材料カード MATS1	11-480
11.10.8 温度依存弾塑性とクリープ	11-481
11.10.9 クリープ材料モデル	11-490
11.10.10 超弾性非線形材料	11-494
11.10.11 変位法と変位 - 圧力混合法 (u/p Formulation)	11-534
11.10.12 非線形弾性材料	11-534
11.10.13 非線形弾性材料の設定方法	11-535
11.10.14 入力項目	11-536
11.10.15 応力 - ひずみ曲線について	11-537
11.10.16 NX Nastran カード	11-537
11.10.17 ガスケット材料	11-539
11.10.18 形状記憶合金 (Shape Memory Alloy)	11-549
11.11 減衰設定	11-558
11.11.1 レイリー減衰	11-558
11.11.2 質量減衰 PARAM,ALPHA1 カードの書式	11-559
11.11.3 剛性減衰 PARAM,ALPHA2 カードの書式	11-559
11.11.4 Femap での指定	11-560
11.12 熱構造連成解析	11-561
11.12.1 熱構造連成解析用パラメータカード TMCPARA	11-562
11.13 非線形静解析の解析手法	11-564
11.13.1 自動時間刻み幅調整機能	11-564
11.13.2 自動タイムステッピング法 (ATS 法)	11-564
11.13.3 LDC 法 (弧長増分法)	11-566
11.14 収束条件と判定	11-571
11.14.1 非線形静解析の収束条件と判定	11-571
11.14.2 非線形過渡解析の収束条件と判定	11-578
11.14.3 解析手法の比較	11-581
11.15 解析ソルバー	11-592
11.15.1 ダイレクトスパースソルバー	11-592
11.15.2 反復マルチグリッドソルバー	11-593
11.15.3 3D 反復ソルバー	11-595
11.15.4 スパースソルバーとマルチグリッドソルバー	11-597
11.16 モデルの確認項目	11-600
11.16.1 非線形解析を実行する前に行うこと	11-600
11.16.2 計算設定の時に注意すること	11-600
11.17 解析例	11-603
11.17.1 S 字レールの塑性加工 (スプリングバック)	11-603
11.18 陽解法ソルバー SOL701(Advanced Nonlinear)	11-607
11.18.1 SOL701 で使用できる要素	11-607
11.18.2 SOL701 で使用できる材料	11-607
11.18.3 定式化	11-608
11.18.4 CDM の特徴と注意点	11-608
11.18.5 SOL701 の時間コントロール	11-608
11.18.6 質量マトリクス	11-609
11.18.7 減衰	11-609
11.18.8 収束安定性	11-609
11.18.9 音速 c と特性長さ L の計算方法	11-610
11.18.10 時間刻み幅の制御	11-613
11.18.11 SOL701 解析の手順	11-614

11.19 メモリとハードディスクについて	11-627
11.19.1 SOL601 のメモリ使用	11-627
11.19.2 SOL701	11-627
11.19.3 使用メモリの拡張方法	11-627
11.19.4 使用メモリ量の節約	11-629
11.20 初期条件の設定	11-630
11.20.1 初期荷重セットの定義	11-630
11.20.2 速度と変位の定義	11-631
11.20.3 初期条件の指定	11-632
11.20.4 出力されるカード	11-632
11.21 リスタート解析について	11-635
11.21.1 初期解析での設定	11-635
11.21.2 リスタート解析での設定	11-635
11.21.3 リスタートの仕組み	11-636
11.21.4 リスタート解析の手順	11-637
11.21.5 リスタート解析の結果	11-641
11.21.6 リスタート解析での注意点	11-642
11.22 メモリ割当て (NXNA_MEMORY)	11-644

12 Advanced Nonlinear 例題

12.1 ゴムモデルの評価 MoonetRivli+Mullins 効果	12-2
12.1.1 材料特性と荷重	12-3
12.1.2 モデル化	12-3
12.1.3 解析条件の設定	12-9
12.1.4 解析実行	12-14
12.1.5 解析結果評価	12-14
12.1.6 考察	12-16
12.2 ゴムクッションの反発 - 超弾性体 - 陰解法処理	12-18
12.2.1 基礎検討	12-18
12.2.2 モデル化	12-23
12.2.3 解析実行	12-33
12.2.4 解析結果評価	12-33
12.2.5 考察	12-34
12.3 ゴムクッションの反発 - 超弾性体 +Mullins 効果	12-35
12.3.1 モデル化	12-36
12.3.2 解析実行	12-36
12.3.3 解析結果の評価と考察	12-37
12.3.4 補足	12-38

13 解析リファレンス

13.1 はじめに	13-1
13.2 材料の力伝達	13-4
13.3 メソ=スケールでの材料の物性	13-6
13.3.1 弾性率	13-7
13.3.2 ポアソン比とその特徴	13-11
13.3.3 せん断と引張りの関係	13-15
13.3.4 応力についてのまとめ	13-18
13.4 応力テンソル	13-18
13.4.1 面に作用する力のつり合いと応力テンソル	13-19
13.4.2 応力テンソルの使い方 - 三次元での例	13-22
13.4.3 応力テンソルの使い方 - 二次元での例	13-26
13.4.4 応力テンソルの回転座標変換	13-32
13.4.5 全体直交座標からローカル直交座標系への応力座標変換	13-33
13.4.6 直交座標から円筒座標への応力座標変換	13-33
13.4.7 直交座標から球座標への応力座標変換	13-34
13.4.8 NX Nastran での適用例	13-34

13.4.9	いくつかの応力テンソル	13-34
13.4.10	応力楕円体	13-36
13.4.11	主応力と主せん断応力	13-38
13.4.12	平均応力と偏差応力	13-45
13.4.13	主応力の計算方法	13-49
13.4.14	応力テンソルのまとめ	13-50
13.5	応力集中について	13-54
13.5.1	き裂の発生応力	13-54
13.5.2	FEM 解析で応力が無限大になるケース	13-61
13.5.3	複合材料の応力集中	13-65
13.6	ひずみについて	13-66
13.6.1	ひずみテンソル	13-67
13.6.2	ひずみと応力の関係	13-68
13.6.3	等方性材料のひずみと応力の関係	13-70
13.6.4	平面ひずみでの応力とひずみの関係	13-71
13.6.5	平面応力での応力とひずみの関係	13-72
13.6.6	直交異方性材料の応力とひずみの関係	13-73
13.6.7	直交異方性材料の体積弾性率	13-77
13.6.8	直交異方性材料のポアソン比、縦弾性率、せん断弾性率が満たすべき条件	13-77
13.6.9	剛性マトリクスの回転	13-79
13.7	主ひずみと主応力の方向	13-82
13.7.1	ひずみテンソルの使い方	13-83
13.7.2	全体直交座標からローカル直交座標系へのひずみ座標変換	13-85
13.7.3	直交座標から円筒座標へのひずみ座標変換	13-86
13.7.4	直交座標から球座標へのひずみ座標変換	13-86
13.7.5	主ひずみの成分と方向	13-87
13.7.6	ひずみ不変量	13-88
13.7.7	偏差ひずみ	13-88
13.7.8	変位とひずみの関係	13-94
13.7.9	ひずみテンソルのまとめ	13-98
13.7.10	vonMises ひずみと vonMises 応力について	13-102
13.8	熱ひずみについて	13-104
13.8.1	線膨張率の物理的定義	13-104
13.8.2	NX Nastran での線膨張率	13-104
13.8.3	基準温度	13-105
13.8.4	平均線膨張率と瞬間線膨張率	13-105
13.8.5	線膨張率の取りうる範囲	13-107
13.9	ひずみエネルギーについて	13-107
13.9.1	等方性材料のひずみエネルギー密度	13-108
13.9.2	直交異方性材料のひずみエネルギー密度	13-110
13.9.3	ひずみエネルギー密度の計算	13-112
13.10	強度について	13-113
13.10.1	はじめに	13-113
13.10.2	破断 (Rupture) と崩壊 (Collapse)	13-115
13.10.3	崩壊強度と破断強度	13-115
13.10.4	NX Nastran で可能な強度解析	13-117
13.10.5	本章で紹介する強度評価	13-118
13.10.6	線形強度解析の留意点	13-119
13.10.7	まとめ	13-122
13.11	等方性材料の強度評価	13-123
13.11.1	最大 (引張り) 主応力説 (Rankine 強度基準)	13-123
13.11.2	Mohr-Coulomb 強度基準	13-124
13.11.3	修正 Mohr-Coulomb 強度基準	13-128
13.11.4	Drucker-Prager 強度基準	13-130
13.11.5	最大主ひずみ説	13-133
13.11.6	最大せん断応力説 (Tresca 強度基準)	13-133
13.11.7	変位ひずみエネルギー説	13-134

13.11.8 von Mises 応力	13-135
13.11.9 主応力空間での表現	13-137
13.11.10 強度評価の比較	13-150
13.11.11 まとめ	13-154
13.11.12 その他の強度評価	13-155
13.11.13 疲労破壊の指標	13-175
13.11.14 その他の等方性材料強度評価	13-178
13.11.15 せん断強度について (補足)	13-179
13.11.16 二軸応力での降伏	13-183
13.11.17 ファスナの強度	13-183
13.12 安全率と安全裕度	13-185
13.12.1 安全率と制限荷重	13-185
13.12.2 安全裕度	13-194
13.12.3 構造の破壊確率の計算	13-195
13.13 弾塑性の取り扱い	13-200
13.13.1 弾塑性	13-200
13.13.2 von Mises 降伏曲面による硬化則 (Hardening Rule)	13-210
13.13.3 繰り返し荷重による金属の塑性	13-215
13.14 非線形解析での応力とひずみ	13-217
13.14.1 公称ひずみ	13-217
13.14.2 公称応力	13-218
13.14.3 対数ひずみ	13-219
13.14.4 対数ひずみと公称ひずみの比較	13-220
13.14.5 真応力 (Cauchy 応力)	13-221
13.14.6 公称応力 / ひずみと真応力 / 対数ひずみの関係	13-222
13.14.7 変形と力の測定	13-226
13.14.8 ひずみエネルギー	13-229
13.15 異方性材料の強度評価	13-229
13.15.1 複合材料の破壊指標	13-230
13.15.2 強度テンソル (Gol'denblat & Kapnov)	13-230
13.15.3 3 軸 (2 軸) 最大応力説	13-231
13.15.4 Hill('48) の降伏条件	13-232
13.15.5 その他の Hill の降伏条件	13-236
13.16 構造信頼性について	13-237
13.16.1 さまざまな確率密度関数	13-237
13.16.2 構造の破壊確率の計算	13-240
13.16.3 NX Nastran での適用	13-241
13.17 単位系について	13-243
13.17.1 基準単位系	13-243
13.17.2 単位換算の例	13-244
13.17.3 SI 単位系での整合性	13-246
13.17.4 工学単位系	13-252
13.18 解析モデルと実験モデルの整合	13-256
13.18.1 自由度の違い	13-256
13.18.2 実験環境の考慮	13-256
13.18.3 非線形性への考慮	13-257
13.18.4 不確定性への考慮	13-258
13.18.5 試験モデルの作成	13-258
13.19 コリレーション	13-259
13.19.1 2 自由度系モデル	13-259
13.19.2 モードの直交性確認	13-260
13.19.3 MAC (Modal Assurance Criteria)	13-262
13.19.4 CoMAC (Coordinate Modal Assurance Criteria)	13-263
13.19.5 FRAC (Frequency Response Assurance Criteria)	13-264
13.19.6 解析モデル縮退と実験モデル展開	13-264
13.19.7 Guyan 縮退 (静的縮退)	13-265
13.19.8 動的縮退	13-268

13.19.9 IRS 縮退.....	13-268
13.19.10 縮退方法の比較.....	13-269
13.19.11 試験結果の伝達関数.....	13-269
13.19.12 縮小インピーダンス法.....	13-286
13.20 解析モデルの調整.....	13-292
13.20.1 共振周波数と固有値の調整.....	13-292
13.20.2 モードマトリクスから質量マトリクスを推定する方法.....	13-293
13.21 ベクトル計算と力学の基礎.....	13-294
13.21.1 各ベクトル計算.....	13-294
13.21.2 風向きとベクトル場.....	13-295
13.21.3 ベクトルとマトリクス.....	13-295
13.21.4 内積.....	13-299
13.21.5 外積.....	13-306
13.21.6 三重積.....	13-308
13.21.7 ベクトル演算の応用.....	13-310
13.21.8 スカラ場とベクトル場.....	13-314
13.21.9 勾配.....	13-315
13.21.10 ベクトル場の様子.....	13-319
13.21.11 発散 (ダイバージェンス).....	13-319
13.21.12 回転 (ローテーション).....	13-326
13.21.13 ハミルトン演算子.....	13-333
13.21.14 ラプラス演算子.....	13-334
13.21.15 勾配、発散、回転の性質.....	13-337
13.21.16 ガウスグリーンの定理.....	13-340
13.21.17 まとめ.....	13-343
13.21.18 スカラポテンシャルとベクトルポテンシャル.....	13-345
13.21.19 まとめ.....	13-350
13.21.20 線積分と面積分.....	13-351
13.21.21 質点の力学.....	13-356
13.22 偏微分方程式.....	13-357
13.22.1 偏微分方程式の分類.....	13-357
13.22.2 微分方程式と境界条件、初期条件.....	13-359
13.23 複素関数と複素平面.....	13-361
13.24 マトリクス演算と解析.....	13-367
13.24.1 マトリクスの基本演算.....	13-367
13.24.2 線形静解析とスパースマトリクスについて.....	13-369
13.24.3 連立一次方程式の効率的な解法.....	13-370
13.24.4 直接法.....	13-371
13.24.5 正規化と直交化.....	13-378
13.24.6 直接法による大規模システムの解法.....	13-384
13.24.7 反復法.....	13-392
13.24.8 座標変換によるマトリクス分解.....	13-394
13.25 固有値問題について.....	13-402
13.25.1 反復法の考え方.....	13-404
13.25.2 サブスペース法.....	13-404
13.25.3 ランチョス法.....	13-406
13.26 複素固有値.....	13-408
13.26.1 Hessenberg 形式.....	13-408
13.27 数値解析手法について.....	13-409
13.27.1 偏微分方程式とその解法.....	13-409
13.27.2 差分法 (Difference).....	13-411
13.27.3 中央差分法.....	13-417
13.27.4 デジタル計算機の誤差.....	13-423
13.27.5 NewmarkBeta 法とその特徴.....	13-426
13.27.6 変分原理.....	13-429
13.28 応力計算点について.....	13-434
13.28.1 荷重境界条件の決定.....	13-435

13.29 非線形解析での応力とひずみについて.....	13-439
13.29.1 縦弾性率、せん断弾性率、体積弾性率の破綻.....	13-439
13.29.2 対数ひずみ (Henky ひずみ).....	13-441
13.29.3 大せん断ひずみ.....	13-444
13.29.4 Cauchy 応力.....	13-445
13.29.5 大変形大ひずみと計量座標系.....	13-447
13.29.6 変形勾配テンソル (Deformation Gradient Tensor).....	13-452
13.29.7 幾何学的非線形性に対する応力ひずみ.....	13-479
13.29.8 仮想仕事の原理.....	13-485
13.29.9 変形勾配と非線形ひずみ.....	13-487
13.29.10 Henky ひずみ.....	13-490
13.29.11 Green-Lagrange ひずみ.....	13-491
13.29.12 Cauchy 応力の性質.....	13-495
13.29.13 Kirchhoff 応力.....	13-495
13.29.14 第 1 種 Piola-Kirchhoff 応力 (公称応力).....	13-495
13.29.15 第 2 種 Piola-Kirchhoff 応力テンソル.....	13-496
13.29.16 一般化されたフックの法則の非線形拡張.....	13-497
13.29.17 仮想仕事—トータルラグランジュ法 (TL) での表現.....	13-497
13.29.18 アップデートラグランジュ法 (UL) と Almansi ひずみ.....	13-498
13.29.19 アップデート—ラグランジュ・ヨーマン法 (ULJ).....	13-502
13.29.20 トータルラグランジュ法とアップデートラグランジュ法の比較.....	13-503
13.29.21 エネルギー共役.....	13-503
13.29.22 非線形応力の比較.....	13-505
13.29.23 ひずみの比較.....	13-507
13.29.24 変換方法.....	13-511
13.29.25 NX Nastran での幾何学的非線形解析.....	13-512
13.30 超弾性体について.....	13-513
13.30.1 Mooney-Rivlin 超弾性モデル.....	13-517
13.30.2 一般化された Mooney-Rivlin のひずみエネルギー.....	13-519
13.30.3 OGDEN 超弾性モデル (Advanced Nonlinear).....	13-522
13.30.4 Hyperfoam 材料モデル (Advanced Nonlinear).....	13-525
13.30.5 Arruda-Boyce 超弾性モデル.....	13-530
13.30.6 Sussman-Bathe 材料モデル.....	13-536
13.30.7 超弾性材料モデルのまとめ.....	13-538
13.30.8 Mullins 効果.....	13-540
13.31 コンポーネントモード縮退法によるモデル表現.....	13-545
13.31.1 一般化座標系 q-set.....	13-545
13.31.2 振動セット v-set.....	13-546
13.32 微分剛性と座屈現象.....	13-547
13.32.1 微分剛性のメカニズム.....	13-547
13.32.2 圧縮時の微分剛性について.....	13-548
13.32.3 座屈について.....	13-550
13.33 1 自由度系の周波数応答について.....	13-551
13.33.1 1 自由度バネダッシュポッド系の運動 - 自由振動.....	13-551
13.33.2 臨界減衰比 ζ	13-553
13.33.3 1 自由度バネダッシュポッド系の運動 - 質量を力励振.....	13-554
13.33.4 2 自由度バネダッシュポッド系の運動 - ベースを強制変位.....	13-559
13.33.5 ベースへの加振 まとめ.....	13-564
13.33.6 共振角振動数と固有角振動数.....	13-565
13.34 回転体の振動安定性について.....	13-567
13.34.1 遠心力による剛性の変化.....	13-569
13.34.2 回転体の運動方程式.....	13-573
13.34.3 ジャイロモーメント.....	13-579
13.35 減衰について.....	13-584
13.35.1 減衰の定義方法.....	13-584
13.35.2 粘性減衰.....	13-585
13.35.3 構造減衰.....	13-590

13.35.4	等価構造減衰を粘性減衰で近似する	13-602
13.35.5	モード減衰	13-608
13.35.6	クーロン減衰	13-609
13.35.7	レイリー減衰	13-611
13.35.8	減衰要素による減衰	13-614
13.35.9	入力条件としての減衰の決め方	13-616
13.36	離散フーリエ変換について	13-628
13.36.1	離散フーリエ変換	13-628
13.36.2	フーリエ変換との比較	13-628
13.36.3	サンプリング理論について	13-631
13.36.4	窓関数	13-632
13.36.5	代表的な窓関数	13-640
13.36.6	ズーム解析	13-645
13.36.7	データ処理について	13-646
13.36.8	解析結果による窓関数の選択	13-647
13.36.9	NX Nastran での適用	13-648
13.36.10	捕捉 - いくつかの関数のフーリエ変換	13-648
13.37	ランダム振動について	13-651
13.37.1	振動と確率	13-651
13.37.2	複素スペクトル密度	13-658
13.37.3	パワースペクトル密度と伝達関数の使いみち	13-664
13.37.4	ランダム振動の評価	13-664
13.38	音響と振動	13-681
13.38.1	音速と粒子速度	13-681
13.38.2	ピストン中の平板運動	13-687
13.38.3	音響パワ	13-688
13.38.4	音圧レベルと音響パワレベル	13-689
13.38.5	音響インテンシティ	13-691
13.38.6	音響インテンシティレベル	13-692
13.38.7	音響単位のとめ	13-692
13.38.8	音響インピーダンス	13-693
13.38.9	音響放射と音響放射インピーダンス	13-696
13.38.10	音響インピーダンスとめ	13-697
13.38.11	振動する微小な球の音響放射	13-697
13.38.12	音響の制御	13-699
13.39	DDAM について	13-702
13.39.1	NRL1396 と DDS 072	13-704
13.39.2	NAVSHOK の計算	13-705
13.39.3	DDAM でのモードの重ね合わせ - NRL 法	13-707
13.40	輻射について	13-709
13.40.1	形態係数	13-709
13.40.2	遮蔽チェック	13-711
13.40.3	無限平行面間の熱輻射 (散乱面)	13-713
13.40.4	周囲空間および二面間の熱輻射	13-715
13.40.5	ラジオシティと輻射交換係数	13-718
13.41	モデル化と要素タイプの関係	13-719
13.41.1	重さだけ表現したいとき	13-719
13.41.2	十分硬い結合要素として表現する	13-719
13.41.3	トラスとして表現する	13-719
13.41.4	ラーメンの曲げ、ねじり、引張を表現する	13-720
13.41.5	板として表現する	13-720
13.41.6	複合材料のモデル化	13-737
13.41.7	体積として表現する	13-739
13.41.8	結合部分のモデル化	13-741
13.41.9	例：はり構造のモデル化	13-741
13.41.10	はりのねじり変形	13-749
13.41.11	せん断パネル要素に関する解説	13-762

13.41.12 プレート要素に関する解説	13-772
13.41.13 高性能シェル要素 MITC について	13-805
13.41.14 次元の違う要素同士の結合	13-807
13.41.15 メッシュ	13-808
13.42 要素の選択について	13-811
13.42.1 線要素の選択	13-811
13.42.2 平面要素の選択	13-812
13.42.3 ソリッド要素の選択	13-815
13.42.4 品質のよい要素形状について	13-819
13.43 拘束について	13-823
13.43.1 要素に対して有効な拘束	13-823
13.43.2 ローカル座標系と拘束	13-824
13.44 熱伝導について	13-825
13.45 対流について	13-826
13.45.1 プラントル数	13-826
13.45.2 絶対粘度と動粘度	13-826
13.45.3 レイノルズ数	13-827
13.45.4 グラスホフ数	13-827
13.45.5 ヌッセルト数	13-827
13.46 輻射熱伝導について	13-829
13.46.1 放射／吸収／反射	13-830
13.46.2 灰色体仮定	13-831
13.46.3 NX Nastran での輻射の取扱い	13-831
13.47 複合材料について	13-832
13.47.1 特徴	13-832
13.47.2 繊維とマトリクスの物性	13-833
13.47.3 繊維の形態	13-836
13.47.4 繊維強化プラスチック (FRP)	13-836
13.47.5 積層板について	13-837
13.48 FRP の材料特性	13-839
13.48.1 材料特性	13-839
13.48.2 第 1 方向の縦弾性率 (E1)/ 引張強度 (σ_{1t})/ 圧縮強度 (σ_{1c})	13-839
13.48.3 第 2 方向の縦弾性率 (E2)/ 引張強度 (σ_{2t})/ 圧縮強度 (σ_{2c})	13-840
13.48.4 せん断弾性率 (G12)/ せん断強度 (τ_{12})	13-841
13.48.5 第 1 / 第二方向の二軸引張強度	13-842
13.48.6 代表的なレイアップ	13-842
13.49 単軸積層の材料特性の推算	13-844
13.49.1 比例構成則の場合	13-844
13.49.2 改善された材料特性の計算方法	13-850
13.49.3 材料特性の推算まとめ	13-855
13.49.4 クロス材の物性推算	13-856
13.49.5 強度	13-859
13.49.6 引張強度	13-860
13.49.7 積層材の微小破壊モード	13-864
13.49.8 積層材の破壊	13-868
13.49.9 最大ひずみ理論 (MAX STRAIN)	13-869
13.49.10 Hill (Tsai-Hill) 偏差エネルギー理論	13-872
13.49.11 Tsai-Wu 相互応力テンソル理論	13-874
13.49.12 Hoffman 理論	13-876
13.49.13 各層破壊理論の比較	13-877
13.49.14 接着破壊	13-878
13.49.15 等価剛性について	13-879
13.49.16 積層材料の累積疲労について	13-884
13.50 材料モデルについて	13-886
13.50.1 金属材料	13-886
13.50.2 ガラスなどの材料	13-893
13.50.3 木やプラスチックの材料	13-894

13.50.4 一般応力状態での応力ひずみ曲線.....	13-896
13.51 クリープについて.....	13-899
13.51.1 金属のクリープ現象.....	13-899
13.51.2 セラミックスのクリープ現象.....	13-903
13.51.3 レオロジーモデル.....	13-904
13.51.4 NX Nastran のクリープモデル.....	13-908
13.52 疲労破壊について.....	13-911
13.52.1 第一段階.....	13-911
13.52.2 第二段階.....	13-912
13.52.3 疲労の評価.....	13-913
13.52.4 疲労のパラメータ.....	13-916
13.52.5 疲労履歴の評価—時間領域での評価.....	13-917
13.52.6 S-N 曲線 (高サイクル疲労).....	13-918
13.52.7 平均応力の考慮.....	13-920
13.52.8 基本的な疲労限度線図.....	13-921
13.52.9 低サイクル疲労.....	13-925
13.52.10 E-N 曲線.....	13-930
13.52.11 マイナー則.....	13-934
13.52.12 疲労安全率 (FSF).....	13-936
13.52.13 亀裂進展曲線.....	13-938
13.53 空力弾性について.....	13-941
13.53.1 翼と制御面.....	13-942
13.53.2 飛行力学の基礎.....	13-949
13.53.3 翼断面形状と揚力.....	13-950
13.53.4 翼平面形 (Wing Planform).....	13-962
13.53.5 翼理論の基礎.....	13-973
13.53.6 空力弾性による不安定状態.....	13-982
13.53.7 空力弾性理論の基礎.....	13-985
13.53.8 翼の振動.....	13-993
13.53.9 Prandtl-Glauert の特異点.....	13-997
13.54 マトリクスの計算の基礎.....	13-998
13.54.1 行列の演算.....	13-999
13.54.2 マトリクスのタイプ.....	13-1002
13.54.3 空間.....	13-1009
13.54.4 基本演算.....	13-1010
13.54.5 マトリクスの分解.....	13-1011
13.54.6 固有値問題.....	13-1012
13.54.7 Householder 変換.....	13-1013
13.55 機構モデルの作成 機構要素と機構解析.....	13-1013
13.55.1 機構要素のモデル化.....	13-1014
13.55.2 機構モデルに関する注意点.....	13-1018
13.55.3 例題 M1- 機構モデル.....	13-1019
13.56 非線形固有値解析の応用.....	13-1028
13.56.1 運動方程式.....	13-1028
13.56.2 振り子の例.....	13-1029
13.56.3 遠心力が作用するバネ.....	13-1030
13.56.4 回転円板の運動.....	13-1032
13.56.5 補足 - 慣性モーメントとばね定数.....	13-1033
13.56.6 スプリング (剛性) の非線形性.....	13-1037
13.56.7 例題 1- 非線形バネの効果.....	13-1038
13.56.8 例題 2- カオス振動.....	13-1048
13.56.9 加振応答.....	13-1050
13.56.10 例題 3- 接触の影響.....	13-1054
13.56.11 衝撃.....	13-1056
13.57 構造の安定性.....	13-1058
13.57.1 複素固有値解析と機構解析 - 減衰の重要性.....	13-1058
13.57.2 疲労.....	13-1061

13.58 例題 M2- 機構解析減衰の決定	13-1062
13.58.1 手順	13-1062
13.59 参考例題 M3- 着陸ギアの運動	13-1065
13.59.1 解析の実行	13-1066
13.60 参考文献	13-1067
13.60.1 有限要素法および材料構造力学の基礎的情報と理論	13-1067
13.60.2 板理論に関する項目	13-1068
13.60.3 複合材料、塑性材料力学に関する項目	13-1068
13.60.4 空力弾性学に関する情報	13-1069
13.60.5 NX Nastran に関する情報	13-1069
13.61 計算の記号処理	13-1071
13.61.1 ベクトルとマトリクス	13-1071
13.61.2 微分	13-1075
13.62 FRONE Tools	13-1077
13.62.1 全般	13-1077
13.62.2 ノード整列	13-1079