

解析ハンドブック

NX NASTRAN / Femap with NX Nastran
Simcenter NASTRAN for Femap

Version 2025.x



解析ハンドブック

Copyright © 2025 FRONE Corporation

本書は所有権によって保護されています。無許可の使用、配布または複製は禁止されています。

本書について

本書は数値解析を行う方を念頭に、業務に必要なになると考えられる広汎な情報を可能な限り平易に説明し(ようとし)たものです。記述内容のほぼすべてはこれまでの実設計、受託解析やコンサルテーションなどを通じて必要となった実践的な知識を元にしてあります。なお不十分と痛感し迷いつつも、書きためていくうちに、膨大なページ数になってしまいました。未整理だったり、記述不足な点も多々あります。

電子版をお使いの場合には、検索エンジンを有効にしてご利用ください。ハードコピー版の場合には、1.1 節に章節について内容に関する簡単な説明があります。

本書の内容はなるべく高校3年生程度の理科数学の知識で理解できるよう、配慮しております。

本書がわずかなり皆様のお役に立つことを祈り、ここにお届け致します。

著者敬白

材木 裕

株式会社 FRONE

株式会社 **FRONE**

E-mail: info@frone.jp

Web: <http://www.frone.jp>

商標について

本書では、様々な会社が所有権をもつ他のアプリケーションや商標を参照します。

- Windows、Windows 7、Windows 8.x、Windows 10、および Windows 11 は、アメリカ合衆国およびその他の国における Microsoft Corporation の登録商標です。FEMAP セットアップデータに含まれているソフトウェアの一部は、Microsoft Corporation が著作権を保有します。
- その他の商標または製品名は、それぞれの所有権保持者の商標または登録商標です。
- このソフトウェアの一部は、Spatial Technology, Inc.、Siemens PLM Software Corp.、INRIA、および Microsoft Corporation が、著作権を保有しています。



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 | リリースごとの製品構成 | 1-5 |
| 1.1.5 | 有限要素法とモデル作成、結果評価の手間 | 1-11 |
| 1.1.6 | 本書の構成 | 1-15 |
| 1.1.7 | Siemens 製品関連文書の所在 | 1-18 |
| 1.2 | Femap の起動と最初に行うこと | 1-19 |
| 1.2.1 | セットアップする前に (重要) | 1-19 |
| 1.2.2 | マニュアル類の所在 | 1-19 |
| 1.2.3 | 初期設定 | 1-21 |
| 1.2.4 | NASTRAN ファイルの設定 | 1-24 |
| 1.3 | 参照の手引き | 1-32 |
| 1.4 | Femap with NX Nastran | 1-53 |
| 1.4.1 | NX Nastran の特長 | 1-53 |
| 1.4.2 | ハードウェア要件 | 1-58 |
| 1.5 | 解析機能 | 1-59 |
| 1.5.1 | 線形静解析 | 1-63 |
| 1.5.2 | 固有値解析 | 1-65 |
| 1.5.3 | 座屈解析 | 1-67 |
| 1.5.4 | 熱ひずみ / 熱応力解析 | 1-68 |
| 1.5.5 | オリジナル設計感度解析 (オリジナル DSA) | 1-68 |
| 1.5.6 | 定常熱伝導解析 | 1-69 |
| 1.5.7 | 過渡熱伝導解析 | 1-70 |
| 1.5.8 | 非線形静解析 (Basic Nonlinear) | 1-70 |
| 1.5.9 | 非線形過渡解析 (Basic Nonlinear) | 1-72 |
| 1.5.10 | 非線形固有値解析 (Basic Nonlinear) | 1-73 |
| 1.5.11 | 非線形座屈解析 (Basic Nonlinear) | 1-73 |
| 1.5.12 | 線形過渡解析 (Dynamic Response) | 1-75 |
| 1.5.13 | 応答スペクトル解析 (Dynamic Response) | 1-76 |
| 1.5.14 | スペクトル応答解析 | 1-77 |
| 1.5.15 | 周波数応答解析 (Dynamic Response) | 1-78 |
| 1.5.16 | ランダム応答解析 (Dynamic Response) | 1-80 |
| 1.5.17 | 複素固有値解析 (Dynamic Response) | 1-81 |
| 1.5.18 | 音響解析 (Dynamic Response) | 1-82 |
| 1.5.19 | Multistep 非線形解析 (追加モジュール) | 1-83 |
| 1.5.20 | Advanced Nonlinear 非線形解析機能 (追加モジュール) | 1-85 |
| 1.5.21 | Advanced Nonlinear 非線形静解析 (SOL601,106) | 1-86 |
| 1.5.22 | Advanced Nonlinear 非線形過渡解析 (SOL601,129) | 1-86 |
| 1.5.23 | Advanced Nonlinear 陽解法非線形過渡解析 (SOL701) | 1-87 |
| 1.5.24 | リスタート解析 | 1-87 |
| 1.5.25 | 周期対称モデル | 1-88 |
| 1.5.26 | 設計感度最適化解析 (追加モジュール) | 1-88 |
| 1.5.27 | スーパーエレメント (追加モジュール) | 1-90 |
| 1.5.28 | DMAP プログラミング (追加モジュール) | 1-91 |
| 1.5.29 | ローターダイナミクス解析 (追加モジュール Rotor Dynamics) | 1-91 |
| 1.5.30 | Aeroelasticity (追加モジュール) | 1-92 |
| 1.5.31 | 解析結果 | 1-93 |
| 1.6 | 線形コンタクト | 1-94 |
| 1.6.1 | どんなとき使うか | 1-94 |
| 1.7 | 不整合メッシュの固着 (Glue) | 1-95 |
| 1.7.1 | どんなとき使うか | 1-95 |
| 1.8 | ノード、スカラポイント、座標系 | 1-95 |
| 1.8.1 | 物理座標系と一般化座標系およびモード座標系 | 1-96 |
| 1.9 | 要素の種類 | 1-97 |

| | |
|--|-------|
| 1.10 荷重および拘束条件のタイプ | 1-100 |
| 1.10.1 構造荷重 | 1-100 |
| 1.10.2 構造拘束条件 | 1-101 |
| 1.10.3 熱荷重 | 1-102 |
| 1.10.4 初期条件 | 1-102 |
| 1.10.5 データサーフェイス | 1-103 |
| 1.11 マテリアルとプロパティ | 1-104 |
| 1.11.1 マテリアル | 1-104 |
| 1.11.2 プロパティ | 1-104 |
| 1.12 線形材料特性 | 1-105 |
| 1.12.1 等方性材料 | 1-105 |
| 1.12.2 直交異方性材料 | 1-106 |
| 1.12.3 異方性材料 | 1-107 |
| 1.12.4 温度依存性 | 1-108 |
| 1.13 非線形材料特性 | 1-109 |
| 1.13.1 von Mises 材料モデル | 1-110 |
| 1.13.2 Tresca 材料モデル | 1-110 |
| 1.13.3 Mohr-Coulomb 材料モデル | 1-110 |
| 1.13.4 Drucker-Prager 材料モデル | 1-110 |
| 1.13.5 超弾性材料モデル | 1-110 |
| 1.13.6 クリープ特性 | 1-111 |
| 1.13.7 非線形弾性材料 | 1-111 |
| 1.14 解析の流れ | 1-111 |
| 1.15 NX Nastran の解析プロセス | 1-113 |
| 1.15.1 Femap の起動 | 1-114 |
| 1.15.2 NX Nastran の起動 | 1-115 |
| 1.16 NX Nastran Enterprise との互換性 | 1-120 |
| 1.16.1 チェックサム制限 | 1-121 |
| 1.16.2 並列処理 | 1-121 |
| 1.17 有限要素解析の概要 | 1-123 |
| 1.17.1 有限要素モデルへの抽象化 | 1-123 |
| 1.17.2 解析目的の明確化 | 1-124 |
| 1.17.3 モデル化の検討 | 1-125 |
| 1.17.4 解析タイプの決定 | 1-126 |
| 1.17.5 モデルタイプの決定 | 1-126 |
| 1.17.6 計算資源の検討 | 1-127 |
| 1.17.7 期日の確認 | 1-127 |
| 1.17.8 トレーサビリティの検討 | 1-127 |
| 1.18 試験と解析 | 1-129 |
| 1.18.1 構造試験への適用 | 1-129 |
| 1.18.2 試験結果との検証 | 1-135 |
| 1.19 NASTRAN エラーコードについて | 1-140 |
| 1.19.1 内部エラー | 1-164 |

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 | 2-31 |

| | |
|--|-------|
| 2.4 解析条件定義の作成..... | 2-33 |
| 2.4.1 解析セットマネージャ..... | 2-33 |
| 2.4.2 解析タイプに関する入力カード..... | 2-36 |
| 2.5 SOL 番号..... | 2-51 |
| 2.5.1 古いソリューション..... | 2-53 |
| 2.6 NX Nastran のケースコントロールコマンド..... | 2-54 |
| 2.6.1 ケースコントロールコマンドの一覧..... | 2-54 |
| 2.6.2 ケースコントロールコマンドの概要..... | 2-63 |
| 2.6.3 ケースコントロールコマンドの構造..... | 2-67 |
| 2.6.4 マスターケースとサブケース..... | 2-67 |
| 2.6.5 解析結果出力の指定..... | 2-69 |
| 2.6.6 マスターケース..... | 2-70 |
| 2.6.7 SUBCASE サブケースカード..... | 2-71 |
| 2.6.8 サブケースの操作..... | 2-71 |
| 2.6.9 STATSUB..... | 2-75 |
| 2.6.10 予備情報出力指定カード..... | 2-77 |
| 2.6.11 SET m=n カード..... | 2-80 |
| 2.7 座標系と単位系..... | 2-81 |
| 2.7.1 Femap での座標系定義..... | 2-81 |
| 2.7.2 全体直交座標系とローカル座標系..... | 2-81 |
| 2.7.3 予約座標系について (重要)..... | 2-94 |
| 2.7.4 単位系について..... | 2-95 |
| 2.8 PARAM カードと解析機能..... | 2-96 |
| 2.9 Advanced Nonlinear のカードと解析機能..... | 2-114 |
| 2.9.1 PARAM カード..... | 2-114 |
| 2.10 解析結果の出力..... | 2-115 |
| 2.10.1 変位出力要求カード DISPLACEMENT..... | 2-117 |
| 2.10.2 速度出力要求カード VELOCITY..... | 2-120 |
| 2.10.3 加速度出力要求カード ACCELERATION..... | 2-122 |
| 2.10.4 拘束点反力出力要求カード SPCFORCE..... | 2-124 |
| 2.10.5 拘束条件式反力出力要求カード MPCFORCE..... | 2-126 |
| 2.10.6 節点カバランス出力要求カード GPFORCE..... | 2-128 |
| 2.10.7 荷重出力要求カード OLOAD..... | 2-129 |
| 2.10.8 応力出力要求カード STRESS..... | 2-131 |
| 2.10.9 ひずみ出力要求カード STRAIN..... | 2-133 |
| 2.10.10 要素内力出力要求カード FORCE..... | 2-136 |
| 2.10.11 ひずみエネルギー出力要求カード ESE..... | 2-138 |
| 2.10.12 コンタクト解析結果出力 (BCRESULTS)..... | 2-139 |
| 2.10.13 モデルマトリクスの出力..... | 2-140 |
| 2.11 バルクデータセクションの概要..... | 2-143 |
| 2.11.1 PARAM カード..... | 2-143 |
| 2.11.2 座標系カード (COORD)..... | 2-143 |
| 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..... | 2-144 |
| 2.11.4 材料定義カード (MAT)..... | 2-144 |
| 2.11.5 プロパティ定義カード..... | 2-145 |
| 2.11.6 エレメント定義カード (C**)..... | 2-147 |
| 2.11.7 荷重カード..... | 2-150 |
| 2.11.8 拘束カード..... | 2-151 |
| 2.11.9 関数カード (TABLE)..... | 2-151 |
| 2.11.10 固着定義カード..... | 2-151 |
| 2.11.11 接触定義カード..... | 2-152 |
| 2.11.12 解析オプションカード..... | 2-152 |
| 2.11.13 入力ファイルの最終行 ENDDATA..... | 2-154 |
| 2.12 線形コンタクト..... | 2-155 |
| 2.12.1 線形コンタクトが利用できる解析..... | 2-157 |
| 2.12.2 線形コンタクトの使い途と注意点..... | 2-157 |
| 2.12.3 結果出力..... | 2-158 |

| | | |
|---------|---|-------|
| 2.12.4 | コンタクトリージョン | 2-160 |
| 2.12.5 | ペナルティファクタの決定 | 2-164 |
| 2.12.6 | 高速化 | 2-169 |
| 2.12.7 | 準備 | 2-170 |
| 2.12.8 | コンタクトの定義コマンド | 2-170 |
| 2.12.9 | コンタクトの定義 - 自動定義 | 2-171 |
| 2.12.10 | コンタクトを直接指定する | 2-175 |
| 2.12.11 | コンタクトペアの定義カード BCTSET | 2-188 |
| 2.12.12 | コンタクトリージョンのタイプ定義カード BCRPARA | 2-189 |
| 2.12.13 | 線形コンタクトパラメータ定義カード BCTPARAM | 2-189 |
| 2.12.14 | 線形コンタクト結果の出力 | 2-193 |
| 2.12.15 | 線形コンタクト使用時のメモリ割り当て | 2-196 |
| 2.12.16 | 線形コンタクトモデル化の留意点 | 2-196 |
| 2.12.17 | SOL401/402 のコンタクト (参考) | 2-197 |
| 2.13 | 固着 (グルー) について | 2-198 |
| 2.13.1 | 固着のメリット | 2-200 |
| 2.13.2 | 制限事項と留意点 | 2-203 |
| 2.13.3 | スーパーエレメントでの使用 (重要) | 2-208 |
| 2.13.4 | 固着できるエレメント | 2-208 |
| 2.13.5 | 固着の定義方法 | 2-210 |
| 2.13.6 | 生成されるカード | 2-222 |
| 2.13.7 | 固着結果出力 | 2-228 |
| 2.13.8 | 固着剛性 | 2-229 |
| 2.14 | プリテンションボルトについて | 2-234 |
| 2.14.1 | ボルトモデリング | 2-234 |
| 2.14.2 | ボルトーねじ穴結合のモデル化の例 | 2-235 |
| 2.14.3 | ボルトーナットのモデル化の例 | 2-235 |
| 2.14.4 | 初期張力のモデル化 | 2-236 |
| 2.14.5 | プリテンションボルトの制限 | 2-236 |
| 2.14.6 | プリテンションボルトの定義 | 2-236 |
| 2.14.7 | プリテンションボルトの編集 / 削除 | 2-240 |
| 2.14.8 | ボルトリージョン BOLT | 2-240 |
| 2.14.9 | 初期軸力の定義 | 2-240 |
| 2.14.10 | 初期軸力 BOLTFOR | 2-241 |
| 2.14.11 | プリテンションボルトで使用する PARAM カード | 2-242 |
| 2.15 | 仮想流体境界 (MFLUID) | 2-242 |
| 2.15.1 | 仮想流体が使用可能な解析タイプ (MFLUID) | 2-243 |
| 2.15.2 | 仮想流体の機能 (MFLUID) | 2-244 |
| 2.15.3 | 閉鎖領域と開放領域 (MFLUID) | 2-246 |
| 2.15.4 | 仮想流体境界の定義 (MFLUID) | 2-248 |
| 2.15.5 | 機能の整理 (MFLUID) | 2-250 |
| 2.15.6 | Femap での定義 (MFLUID) | 2-250 |
| 2.15.7 | 理論概要と注意点 (MFLUID) | 2-260 |
| 2.15.8 | MFLUID の計算処理 | 2-262 |
| 2.15.9 | ファントム境界要素の使用 (自由水面) (MFLUID) | 2-266 |
| 2.15.10 | 仮想流体使用上の留意点 (MFLUID) | 2-270 |
| 2.16 | 非圧縮流体質量モデル (INCMPLF Defined Fluid Mass) | 2-271 |
| 2.16.1 | 非圧縮流体質量が使用可能な解析タイプ | 2-272 |
| 2.16.2 | 自由水面の定義 | 2-272 |
| 2.16.3 | 仮想流体との違い | 2-273 |
| 2.16.4 | ポスト処理に関する注記 | 2-274 |
| 2.16.5 | 非圧縮流体質量 (INCMPLF) の定義 | 2-275 |
| 2.16.6 | 音響ソリッドメッシュの生成 | 2-276 |
| 2.16.7 | 解析設定 | 2-278 |
| 2.16.8 | 非圧縮流体質量モデルの実固有値解析 (SOL103) | 2-285 |
| 2.16.9 | 非圧縮流体質量モデルの周波数応答解析 | 2-293 |
| 2.16.10 | 生成されるカード | 2-301 |

| | |
|--|-------|
| 2.17 拘束条件について | 2-307 |
| 2.17.1 温度拘束について | 2-307 |
| 2.18 材料物性について | 2-308 |
| 2.18.1 材料モデルのタイプ | 2-308 |
| 2.18.2 材料温度依存性 | 2-308 |
| 2.18.3 高度な解析機能 | 2-313 |
| 2.19 座屈について | 2-315 |
| 2.20 モード特性 | 2-315 |
| 2.21 熱荷重について | 2-316 |
| 2.22 荷重のタイプと構造解析の対応 | 2-317 |
| 2.22.1 線形静解析で変形を評価 | 2-318 |
| 2.22.2 固有値解析で共振周波数とそのモードを評価 | 2-320 |
| 2.22.3 線形座屈解析で座屈強度を評価 | 2-321 |
| 2.22.4 熱伝導解析で温度を予測 | 2-323 |
| 2.22.5 より高度な解析を実施する | 2-323 |
| 2.23 NASTRAN 自由度セット | 2-327 |
| 2.23.1 変位ベクトルセット (Displacement Vector Set) | 2-327 |
| 2.23.2 構造解析と自由度セット | 2-328 |
| 2.23.3 特殊な自由度セット | 2-335 |
| 2.23.4 自由度セットの定義 | 2-340 |
| 2.23.5 自由度セットの直接定義 (USETi) | 2-340 |
| 2.23.6 自由度セットの出力 | 2-343 |
| 2.24 固有値解析とモード自由度セット | 2-345 |
| 2.24.1 モード自由度セット | 2-345 |
| 2.24.2 最大成分で正規化 | 2-346 |
| 2.24.3 質量で正規化 | 2-347 |
| 2.24.4 モードベクトルと実変位の関係 | 2-351 |
| 2.24.5 有効質量とモード寄与率 | 2-351 |
| 2.24.6 マトリクスの回転変換 | 2-371 |
| 2.24.7 モード座標とモーダルマトリクス | 2-371 |
| 2.24.8 モード自由度セット | 2-373 |
| 2.24.9 自由度セットと入力カードとの関係 | 2-373 |
| 2.25 質量定式化 | 2-374 |
| 2.25.1 集中質量 (Lumped Mass Formulation) | 2-375 |
| 2.25.2 結合質量 (Coupled Mass Formulation) | 2-375 |
| 2.26 線形コンタクトと非線形コンタクト | 2-378 |
| 2.26.1 線形コンタクトによる解析例 | 2-378 |
| 2.26.2 非線形コンタクトによる解析例 | 2-378 |
| 2.27 モデルの確認 | 2-379 |
| 2.27.1 解析手法が正しいかどうか | 2-379 |
| 2.27.2 単位系は正しいかどうか | 2-380 |
| 2.27.3 質量特性に関する確認 | 2-380 |
| 2.27.4 拘束条件の確認 | 2-392 |
| 2.27.5 材料特性は正しいかどうか | 2-397 |
| 2.27.6 要素形状のチェック | 2-397 |
| 2.27.7 PARAM,CHECKOUT による高度な確認 | 2-400 |
| 2.28 グローバル反復法ソルバー | 2-402 |
| 2.29 要素反復法ソルバー | 2-404 |
| 2.29.1 要素反復法ソルバーの制約 | 2-404 |
| 2.29.2 要素反復法ソルバーのメリット | 2-405 |
| 2.29.3 要素反復ソルバーの準備 (重要) | 2-405 |
| 2.30 マルチ CPU のサポート (SMP) | 2-406 |
| 2.31 F06 ファイルの見方 | 2-408 |
| 2.31.1 ヘッダ | 2-408 |
| 2.31.2 システムパラメータ | 2-409 |
| 2.31.3 ECHO (入力ファイルの解釈に関する情報) | 2-409 |
| 2.31.4 モデルサマリ | 2-410 |

| | |
|---|-------|
| 2.31.5 GRID POINT WEIGHT GENERATION..... | 2-410 |
| 2.31.6 GRID POINT SINGULARITY TABLE | 2-411 |
| 2.31.7 個別の解析に関する情報 | 2-411 |
| 2.31.8 DBDICT データベースファイルに関する情報..... | 2-411 |
| 2.32 64 ビット版の使用..... | 2-413 |
| 2.32.1 実行ファイルのタイプ..... | 2-414 |

3 Basic 解析ガイド

| | |
|---|-------|
| 3.1 線形静解析 SOL SESTATIC/SOL 101..... | 3-415 |
| 3.1.1 線形静解析を利用できる製品オプション..... | 3-416 |
| 3.1.2 線形静解析の特長と用途..... | 3-416 |
| 3.1.3 温度荷重の取り扱いについて..... | 3-426 |
| 3.1.4 荷重と拘束条件のセット..... | 3-429 |
| 3.1.5 利用可能なノード荷重..... | 3-435 |
| 3.1.6 利用可能なエレメント荷重..... | 3-438 |
| 3.1.7 ボディ荷重の定義..... | 3-439 |
| 3.1.8 利用可能な拘束条件..... | 3-440 |
| 3.1.9 定義する材料プロパティ..... | 3-441 |
| 3.1.10 解析結果のデータ..... | 3-442 |
| 3.1.11 必要な入力条件..... | 3-447 |
| 3.1.12 SOL 番号とスケルトン..... | 3-447 |
| 3.1.13 解析手順..... | 3-448 |
| 3.1.14 複数の解析の同時実行..... | 3-462 |
| 3.1.15 慣性リリーフ機能..... | 3-471 |
| 3.1.16 熱応力解析..... | 3-478 |
| 3.1.17 使用できる PARAM カード..... | 3-483 |
| 3.1.18 TAUCS スパースソルバーの搭載..... | 3-484 |
| 3.1.19 線形ギャップ (線形コンタクトをご使用ください。)..... | 3-484 |
| 3.2 線形コンタクトの使用..... | 3-494 |
| 3.2.1 線形コンタクトの概要..... | 3-494 |
| 3.3 固有値解析 SOL SEMODES/SOL 103..... | 3-497 |
| 3.3.1 運動方程式..... | 3-498 |
| 3.3.2 マトリクスソルバー (MUMPS/ スパースソルバー)..... | 3-501 |
| 3.3.3 固有値解析を利用できる製品オプション..... | 3-502 |
| 3.3.4 固有値解析の用途..... | 3-502 |
| 3.3.5 固有値解析で利用できる高度な機能..... | 3-503 |
| 3.3.6 固有値解法とその比較..... | 3-505 |
| 3.3.7 定義可能な拘束条件..... | 3-508 |
| 3.3.8 定義する材料プロパティ..... | 3-510 |
| 3.3.9 解析結果のデータ..... | 3-514 |
| 3.3.10 解析手順..... | 3-526 |
| 3.3.11 SOL 番号とスケルトン..... | 3-543 |
| 3.3.12 微分剛性 (Differential Stiffness)..... | 3-548 |
| 3.3.13 線形コンタクトの使用..... | 3-560 |
| 3.3.14 Lanczos 法に関するオプション機能..... | 3-566 |
| 3.3.15 固有値解析でのサブケースの使用..... | 3-571 |
| 3.3.16 使用できる PARAM カード..... | 3-579 |
| 3.4 座屈解析 SOL SEBUCKL/SOL 105..... | 3-581 |
| 3.4.1 座屈現象と線形座屈の仮定..... | 3-581 |
| 3.4.2 座屈解析を利用できる製品オプション..... | 3-581 |
| 3.4.3 座屈の仕組み..... | 3-581 |
| 3.4.4 座屈解析の特長と用途..... | 3-583 |
| 3.4.5 座屈解析の解法..... | 3-584 |
| 3.4.6 利用可能なノード荷重..... | 3-584 |
| 3.4.7 利用可能なエレメント荷重..... | 3-585 |
| 3.4.8 利用可能なボディ荷重..... | 3-585 |

| | | |
|--------|---|-------|
| 3.4.9 | 利用可能な拘束／境界条件 | 3-586 |
| 3.4.10 | 定義する材料プロパティ | 3-587 |
| 3.4.11 | 解析結果のデータ | 3-589 |
| 3.4.12 | 熱座屈解析 | 3-589 |
| 3.4.13 | 解析手順 | 3-593 |
| 3.4.14 | SOL 番号とスケルトン | 3-605 |
| 3.5 | オリジナル設計感度解析機能 (Original DSA) | 3-609 |
| 3.5.1 | 設計感度／最適化解析 (SOL 200) とオリジナル DSA(Original DSA) | 3-609 |
| 3.5.2 | オリジナル DSA の概要 | 3-614 |
| 3.5.3 | 出力される量 | 3-617 |
| 3.5.4 | 設計制限値の設定 | 3-618 |
| 3.5.5 | 設計変数の設定 | 3-620 |
| 3.5.6 | 設定方法 | 3-624 |
| 3.5.7 | 解析手順 | 3-626 |
| 3.6 | 特殊用途での解析 - 全点変位解析 | 3-629 |
| 3.6.1 | スカラポイントの活用 | 3-629 |
| 3.7 | 定常熱伝導解析 SOL NLSCSH/153 | 3-634 |
| 3.7.1 | 熱伝導と熱伝達 | 3-634 |
| 3.7.2 | 定常熱伝導解析を利用できる製品オプション | 3-640 |
| 3.7.3 | 定常熱伝導解析の用途 | 3-640 |
| 3.7.4 | 定常熱伝導解析に利用できる要素タイプ | 3-640 |
| 3.7.5 | 利用可能なノード荷重 | 3-642 |
| 3.7.6 | 利用可能なエレメント荷重 | 3-642 |
| 3.7.7 | 利用可能なボディ荷重 | 3-642 |
| 3.7.8 | 利用可能な境界条件 | 3-643 |
| 3.7.9 | 定義する材料プロパティ | 3-643 |
| 3.7.10 | 熱特性の定義 | 3-644 |
| 3.7.11 | 定常固体熱伝導の支配方程式 | 3-652 |
| 3.7.12 | 輻射 | 3-655 |
| 3.7.13 | 輻射対流要素 | 3-655 |
| 3.7.14 | 熱荷重条件と初期温度条件 | 3-656 |
| 3.7.15 | 必要な入力条件 | 3-657 |
| 3.7.16 | 解析結果のデータ | 3-657 |
| 3.7.17 | 固着の適用 | 3-660 |
| 3.7.18 | 定常熱伝導解析の応用 | 3-660 |
| 3.7.19 | 解析手順 | 3-661 |
| 3.7.20 | SOL 番号とスケルトン | 3-671 |
| 3.8 | 過渡熱伝導解析 SOL NLTCSH/159 | 3-673 |
| 3.8.1 | 定式化と計算手法 | 3-674 |
| 3.8.2 | 過渡熱伝導解析を利用できる製品オプション | 3-675 |
| 3.8.3 | 熱特性の定義 | 3-675 |
| 3.8.4 | 対流／輻射 | 3-679 |
| 3.8.5 | 相転移 | 3-679 |
| 3.8.6 | 固着の適用 | 3-686 |
| 3.8.7 | 利用可能なノード荷重 | 3-686 |
| 3.8.8 | 利用可能なエレメント荷重 | 3-687 |
| 3.8.9 | 利用可能なボディ荷重 | 3-687 |
| 3.8.10 | 利用可能な境界条件 | 3-688 |
| 3.8.11 | 定義する材料プロパティ | 3-688 |
| 3.8.12 | 拘束セットと荷重セット | 3-688 |
| 3.8.13 | サブケースの使用 | 3-694 |
| 3.8.14 | 解析結果のデータ | 3-695 |
| 3.8.15 | 解析手順 | 3-696 |
| 3.8.16 | SOL 番号とスケルトン | 3-713 |
| 3.8.17 | 初期条件について | 3-717 |
| 3.8.18 | 非線形荷重 NOLINi の使用 | 3-718 |
| 3.9 | 非線形静解析 SOL 106 (Basic Nonlinear) | 3-728 |

| | |
|--|-------|
| 3.9.1 非線形静解析を利用できる製品オプション | 3-732 |
| 3.9.2 非線形解析の手順 | 3-732 |
| 3.9.3 非線形静解析の内部処理 | 3-736 |
| 3.9.4 荷重セットと荷重ステップの関係 | 3-738 |
| 3.9.5 利用可能なノード荷重 | 3-744 |
| 3.9.6 利用可能なエレメント荷重 | 3-745 |
| 3.9.7 利用可能なボディ荷重 | 3-745 |
| 3.9.8 変形従動荷重の定義 (PARAM,LGDISP) | 3-746 |
| 3.9.9 利用可能な拘束/境界条件 | 3-747 |
| 3.9.10 利用可能な初期条件 | 3-748 |
| 3.9.11 定義する材料プロパティ | 3-752 |
| 3.9.12 温度荷重に関する事項 | 3-752 |
| 3.9.13 利用可能な要素とサポートする非線形性 | 3-754 |
| 3.9.14 非線形解析手法 | 3-757 |
| 3.9.15 解析結果のデータ | 3-771 |
| 3.9.16 収束条件の評価 | 3-779 |
| 3.9.17 必要な入力条件 | 3-780 |
| 3.9.18 解析手順 | 3-780 |
| 3.9.19 荷重シーケンス | 3-795 |
| 3.9.20 SOL 番号とスケルトン | 3-796 |
| 3.9.21 非線形固有値解析 (NMLOOP) | 3-806 |
| 3.9.22 非線形座屈解析 | 3-812 |
| 3.9.23 飛び移り座屈解析 (SNAP-THROUGH) | 3-835 |
| 3.9.24 屈服座屈 (Snap Back) | 3-837 |
| 3.9.25 リスタート解析 | 3-838 |
| 3.9.26 非線形複素固有値解析の例 - リスタート解析 | 3-839 |
| 3.9.27 PARAM カード | 3-850 |
| 3.10 非線形過渡解析 SOL 129 (Basic Nonlinear) | 3-853 |
| 3.10.1 非線形過渡解析を利用できる製品オプション | 3-854 |
| 3.10.2 自動タイムステッピング | 3-854 |
| 3.10.3 解析の流れ | 3-854 |
| 3.10.4 入力データ形式に関する注記 (重要) | 3-857 |
| 3.10.5 非線形過渡解析で考慮される非線形性 | 3-858 |
| 3.10.6 利用可能なノード荷重 | 3-859 |
| 3.10.7 利用可能なエレメント荷重 | 3-859 |
| 3.10.8 利用可能なボディ荷重 | 3-859 |
| 3.10.9 利用可能な拘束条件 | 3-863 |
| 3.10.10 特殊な境界条件 | 3-863 |
| 3.10.11 利用可能な初期条件 | 3-863 |
| 3.10.12 定義する材料プロパティ | 3-866 |
| 3.10.13 利用可能な要素とサポートする非線形性 | 3-866 |
| 3.10.14 必要な入力条件 | 3-869 |
| 3.10.15 解析結果のデータ | 3-873 |
| 3.10.16 SOL 番号とスケルトン | 3-874 |
| 3.10.17 PARAM カード | 3-880 |
| 3.11 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 | 3-882 |

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 of 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) | 5-5 |
| 5.1.4 | 大規模モデルでの注意 (~ v5.1 重要) | 5-6 |
| 5.1.5 | 解析手法の選択と時間ステップ | 5-6 |
| 5.1.6 | 利用可能なノード荷重 | 5-11 |
| 5.1.7 | 利用可能なエレメント荷重 | 5-13 |
| 5.1.8 | 利用可能なボディ荷重 | 5-14 |
| 5.1.9 | 利用可能な拘束 / 境界条件 | 5-17 |
| 5.1.10 | 定義する材料プロパティ | 5-17 |
| 5.1.11 | 特殊な境界条件 | 5-20 |
| 5.1.12 | 余剰ベクトル応答解析の改良 (重要) | 5-20 |
| 5.1.13 | 必要な入力条件 | 5-21 |
| 5.1.14 | 解析結果のデータ | 5-30 |
| 5.1.15 | 線形過渡解析でのサブケースの活用 | 5-30 |
| 5.1.16 | 過渡応答解析手順 - モード法 | 5-31 |
| 5.1.17 | 過渡解析手順 - 直接法 | 5-56 |

| | | |
|--------|------------------------------------|-------|
| 5.1.18 | モード法過渡解析 (SOL 12/SOL112) の最大 / 最小値 | 5-66 |
| 5.1.19 | モード法の定式化の指定 | 5-66 |
| 5.1.20 | 線形過渡解析カード | 5-68 |
| 5.1.21 | 大規模解析結果の効率的な処理 | 5-74 |
| 5.1.22 | IFFT 解析 (逆フーリエ変換による時刻歴応答解析) | 5-74 |
| 5.2 | 応答スペクトル解析 (Dyn Resp) | 5-86 |
| 5.2.1 | 相対応答スペクトルと絶対応答スペクトル | 5-86 |
| 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 | 5-90 |
| 5.2.3 | 線要素に関する注意事項 | 5-90 |
| 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 | 5-90 |
| 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 | 5-91 |
| 5.2.6 | 解析結果のデータ | 5-94 |
| 5.2.7 | 時間刻み幅と応答スペクトルの周波数 | 5-96 |
| 5.2.8 | 材料温度依存性 | 5-97 |
| 5.2.9 | 解析の準備 | 5-97 |
| 5.2.10 | 解析の実施 (モード法) | 5-100 |
| 5.2.11 | 出力される結果 | 5-129 |
| 5.2.12 | 応答スペクトル解析出力カード | 5-129 |
| 5.3 | スペクトル応答解析 | 5-135 |
| 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 | 5-137 |
| 5.3.2 | 絶対値 (ABS) | 5-137 |
| 5.3.3 | SRSS | 5-138 |
| 5.3.4 | NRL | 5-138 |
| 5.3.5 | NRLO | 5-138 |
| 5.3.6 | モードカップリング (クロストーク) の考慮 | 5-139 |
| 5.3.7 | スペクトル応答解析の特長と用途 | 5-139 |
| 5.3.8 | 必要な入力条件 | 5-140 |
| 5.3.9 | スペクトルタイプ | 5-141 |
| 5.3.10 | ベース加振方向 | 5-141 |
| 5.3.11 | 関数補間について | 5-143 |
| 5.3.12 | 利用可能な荷重 | 5-144 |
| 5.3.13 | 解析結果のデータ | 5-145 |
| 5.3.14 | 解析手順 | 5-146 |
| 5.3.15 | 出力される結果 | 5-171 |
| 5.3.16 | SOL 番号とスケルトン | 5-171 |
| 5.4 | 周波数応答解析 (Dyn Resp) | 5-180 |
| 5.4.1 | 荷重 (加振方法) | 5-181 |
| 5.4.2 | 周波数応答解析の減衰 | 5-181 |
| 5.4.3 | 周波数応答解析が利用できる製品構成 | 5-184 |
| 5.4.4 | 解析手法 | 5-184 |
| 5.4.5 | 周波数応答解析の特長と用途 | 5-189 |
| 5.4.6 | 利用可能なノード荷重 | 5-190 |
| 5.4.7 | 利用可能なエレメント荷重 | 5-191 |
| 5.4.8 | 利用可能なボディ荷重 | 5-191 |
| 5.4.9 | 利用可能な拘束条件 | 5-192 |
| 5.4.10 | 定義する材料プロパティ | 5-192 |
| 5.4.11 | 周波数応答解析でのサブケースの活用 | 5-197 |
| 5.4.12 | 特殊な境界条件 | 5-198 |
| 5.4.13 | 必要な入力条件 | 5-198 |
| 5.4.14 | 解析結果のデータ | 5-222 |
| 5.4.15 | モード法に関する注意事項 | 5-231 |
| 5.4.16 | 強制運動加振と大質量法 | 5-233 |
| 5.4.17 | 大質量の定義 | 5-237 |
| 5.4.18 | 周波数応答解析手順 - モード法 | 5-250 |
| 5.4.19 | 結合質量マトリクスの余剰ベクトルの取扱い | 5-275 |
| 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) | 5-276 |
| 5.4.21 | 解析手順 - 直接法 | 5-278 |

| | | |
|--------|---|-------|
| 5.4.22 | 位相変位出力の評価 | 5-293 |
| 5.4.23 | モード法の定式化の指定 | 5-296 |
| 5.4.24 | 周波数応答解析出力カード | 5-297 |
| 5.4.25 | 大規模解析結果の効率的な処理 | 5-303 |
| 5.4.26 | 大規模モデルでの注意 (~ v5.1 重要) | 5-304 |
| 5.5 | ランダム応答解析 (Dyn Resp) | 5-305 |
| 5.5.1 | ランダム応答解析の計算 | 5-312 |
| 5.5.2 | 荷重の定義方法 - 重要 | 5-317 |
| 5.5.3 | 強制運動と大質量法 | 5-324 |
| 5.5.4 | 相関関数とパワースペクトル密度の出力 | 5-325 |
| 5.5.5 | 特殊な境界条件 | 5-325 |
| 5.5.6 | 出力される解析結果 | 5-325 |
| 5.5.7 | ランダム応答解析の材料温度依存性 | 5-328 |
| 5.5.8 | ランダム応答解析手順 - モード法 | 5-329 |
| 5.5.9 | モード法の定式化の指定 | 5-361 |
| 5.5.10 | 直接法でのランダム応答解析 | 5-362 |
| 5.5.11 | 生成されるカード | 5-363 |
| 5.5.12 | ケースコントロールカード | 5-363 |
| 5.5.13 | バルクデータカード | 5-367 |
| 5.5.14 | 相互パワースペクトル密度の出力 | 5-368 |
| 5.5.15 | 多震源モデル | 5-371 |
| 5.5.16 | PARAM カード | 5-377 |
| 5.5.17 | 出力される解析結果 | 5-379 |
| 5.5.18 | 大規模解析結果の効率的な処理 | 5-380 |
| 5.5.19 | 大規模モデルでの注意 (~ v5.1 に限り重要) | 5-380 |
| 5.6 | 複素固有値解析 (Dyn Resp) | 5-382 |
| 5.6.1 | 複素固有値と固有ベクトル | 5-382 |
| 5.6.2 | 複素固有値解析を利用できる製品オプション | 5-392 |
| 5.6.3 | 複素固有値解析での減衰 | 5-393 |
| 5.6.4 | モード求解指定 | 5-393 |
| 5.6.5 | 複素固有値解析の仕組み | 5-394 |
| 5.6.6 | Hessenberg 法 (Upper Hessenberg) | 5-396 |
| 5.6.7 | 複素逆べき乗法 (Complex Inverse Power) | 5-396 |
| 5.6.8 | 複素 Lanczos 法 (Complex Lanczos) | 5-396 |
| 5.6.9 | モード法と直接法 | 5-397 |
| 5.6.10 | 手法の比較 | 5-398 |
| 5.6.11 | 微分剛性の考慮 | 5-399 |
| 5.6.12 | 周波数依存性 (無効) | 5-399 |
| 5.6.13 | SOL 番号とスケルトン | 5-399 |
| 5.6.14 | SYSTEM(108) の設定 | 5-402 |
| 5.6.15 | 複素固有値計算エンジン ISRR 法 | 5-402 |
| 5.6.16 | 解析手順 | 5-405 |
| 5.6.17 | ポスト処理 | 5-408 |
| 5.6.18 | 制御系や摩擦のモデル化 | 5-413 |
| 5.7 | 動的縮退機能 | 5-428 |
| 5.7.1 | 静的縮退 (Static Condensation, Guyan Reduction) | 5-428 |
| 5.7.2 | モード縮退 | 5-432 |
| 5.7.3 | コンポーネントモード合成法 | 5-432 |
| 5.7.4 | 一般化動的縮退 (旧手法) | 5-440 |
| 5.8 | 特殊なモデリング | 5-441 |
| 5.9 | 音響解析 (Dynamic Response) | 5-443 |
| 5.9.1 | モデルの作成概要 | 5-443 |
| 5.9.2 | 解析機能に関する補足 (v12 以前と以降) | 5-444 |
| 5.9.3 | 流体ノードの変位は圧力 | 5-459 |
| 5.9.4 | 解析結果の出力 | 5-460 |
| 5.9.5 | 荷重の定義 | 5-463 |
| 5.9.6 | 無反射境界 AML(Acoustic Matched Layer) | 5-464 |

| | | |
|---------|---|-------|
| 5.9.7 | 結果の計測 -0D マイクロフォン要素の定義 (Advanced Acoustic)..... | 5-467 |
| 5.9.8 | 結果の計測 - マイクロフォンアレイ要素の定義..... | 5-468 |
| 5.9.9 | 解析結果の出力概要..... | 5-468 |
| 5.9.10 | 出力要求カード (Advanced Acoustic)..... | 5-469 |
| 5.9.11 | 制限..... | 5-471 |
| 5.9.12 | 支配方程式の概要..... | 5-472 |
| 5.9.13 | 固着のサポート..... | 5-482 |
| 5.9.14 | 無限 (無反射) 境界 AML モデルでのリージョンの使用..... | 5-482 |
| 5.9.15 | Femap による音響解析..... | 5-485 |
| 5.9.16 | 流体のモデル化と境界定義..... | 5-490 |
| 5.9.17 | 音響境界、音響パネルと音響バリア..... | 5-502 |
| 5.9.18 | 音響荷重..... | 5-512 |
| 5.9.19 | 基準音圧の指定と音圧レベルの出力..... | 5-517 |
| 5.9.20 | モード寄与率..... | 5-518 |
| 5.9.21 | モード寄与率の出力指定..... | 5-519 |
| 5.9.22 | 粒子速度..... | 5-521 |
| 5.9.23 | モード影響係数の計算..... | 5-521 |
| 5.9.24 | 便利な PARAM カード..... | 5-521 |
| 5.9.25 | 結果出力などのカードまとめ..... | 5-525 |
| 5.10 | 伝達関数とエクストラポイントに関する補足..... | 5-526 |
| 5.10.1 | 増幅器、積分器、微分器..... | 5-528 |
| 5.10.2 | 運動方程式の伝達関数での表現..... | 5-531 |
| 5.10.3 | 伝達関数の定義方法..... | 5-533 |
| 5.10.4 | 例 -2 自由度ダッシュポッド系の伝達関数表現..... | 5-536 |
| 5.10.5 | 例 - 逆さ振り子の制御..... | 5-547 |
| 5.10.6 | 状態方程式で定義された系の取り込み..... | 5-563 |
| 5.11 | NX Nastran での減衰..... | 5-567 |
| 5.11.1 | オーバーオール構造減衰係数の指定..... | 5-568 |
| 5.11.2 | 材料構造減衰係数の指定..... | 5-570 |
| 5.11.3 | モード減衰の定義..... | 5-572 |
| 5.11.4 | 減衰要素の定義..... | 5-574 |
| 5.11.5 | 直接法の場合の減衰 - 過渡解析..... | 5-577 |
| 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..... | 5-578 |
| 5.11.7 | 直接法の場合の減衰 - 周波数応答解析..... | 5-580 |
| 5.11.8 | モード法の場合の減衰 - 過渡解析..... | 5-580 |
| 5.11.9 | モード法の場合の減衰 - 周波数応答解析..... | 5-583 |
| 5.11.10 | レイリー減衰..... | 5-585 |

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 | 解析実行..... | 6-20 |
| 6.2.4 | 結果評価..... | 6-20 |
| 6.2.5 | 考察..... | 6-21 |
| 6.3 | 応答スペクトル解析 - 衝撃波の評価..... | 6-22 |
| 6.3.1 | 基礎検討..... | 6-22 |
| 6.3.2 | モデル化..... | 6-24 |
| 6.3.3 | 解析条件の定義..... | 6-30 |
| 6.3.4 | 解析実行..... | 6-34 |
| 6.3.5 | 解析結果..... | 6-35 |
| 6.3.6 | 考察..... | 6-37 |
| 6.4 | 線形過渡解析 - スペクトル応答解析との比較..... | 6-39 |

| | | |
|-------|---------------------|-------|
| 6.4.1 | モデル化 | 6-40 |
| 6.4.2 | 荷重条件の定義 | 6-41 |
| 6.4.3 | 拘束条件の定義 | 6-42 |
| 6.4.4 | 解析条件の定義 | 6-43 |
| 6.4.5 | 解析実行 | 6-46 |
| 6.4.6 | 解析結果評価 | 6-46 |
| 6.4.7 | 考察 | 6-52 |
| 6.5 | 周波数応答解析 | 6-53 |
| 6.5.1 | モデル化 | 6-53 |
| 6.5.2 | 解析条件の設定 | 6-56 |
| 6.5.3 | 解析実行 | 6-61 |
| 6.5.4 | 解析結果評価 | 6-61 |
| 6.5.5 | 考察 | 6-62 |
| 6.6 | ランダム応答解析 - 単点加振 | 6-63 |
| 6.6.1 | 基礎検討 | 6-63 |
| 6.6.2 | モデル化 | 6-68 |
| 6.6.3 | 解析条件の定義 | 6-70 |
| 6.6.4 | 解析実行 | 6-84 |
| 6.6.5 | 解析結果評価 | 6-84 |
| 6.6.6 | 考察 | 6-91 |
| 6.7 | ランダム応答解析 - 多点加振 | 6-92 |
| 6.7.1 | 基礎検討 | 6-93 |
| 6.7.2 | モデル化 | 6-93 |
| 6.7.3 | 解析実行 | 6-97 |
| 6.7.4 | 解析結果評価 | 6-97 |
| 6.8 | 複素固有値解析 - 共鳴洞の固有振動数 | 6-98 |
| 6.8.1 | モデル化 | 6-98 |
| 6.8.2 | 解析条件の定義 | 6-102 |
| 6.8.3 | 解析実行 | 6-104 |
| 6.8.4 | 解析結果評価 | 6-104 |
| 6.8.5 | 考察 | 6-111 |
| 6.9 | 音響解析 - 共鳴洞の評価 | 6-113 |
| 6.9.1 | 空気の減衰に関する注意 | 6-113 |
| 6.9.2 | モデル化 | 6-114 |
| 6.9.3 | 解析条件の定義 | 6-122 |
| 6.9.4 | 解析実行 | 6-128 |
| 6.9.5 | 解析結果評価 | 6-128 |
| 6.9.6 | 考察 | 6-135 |

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 | Output Transformation Matrix (OTM) | 7-13 |
| 7.1.3 | 簡単な例 - メインバルクデータスーパーエレメント | 7-19 |
| 7.1.4 | 計算メカニズム | 7-29 |
| 7.1.5 | モデリング | 7-29 |
| 7.1.6 | スーパーエレメントの階層構造 | 7-33 |
| 7.1.7 | スーパーエレメントの処理順序 | 7-34 |
| 7.1.8 | スーパーエレメントの定義方法 | 7-35 |
| 7.1.9 | スーパーエレメントの活用 | 7-39 |
| 7.1.10 | スーパーエレメントのタイプ | 7-43 |
| 7.1.11 | エクステリアポイントとインテリアポイント | 7-45 |
| 7.1.12 | スーパーエレメント解析の手順 | 7-46 |
| 7.1.13 | スーパーエレメントバルクデータへの追加情報 | 7-47 |
| 7.1.14 | 荷重 / 拘束の定義 | 7-49 |
| 7.1.15 | スーパーエレメントに関する解析結果出力 | 7-64 |

| | | |
|--------|------------------------------|-------|
| 7.1.16 | スーパーエレメントのカード | 7-66 |
| 7.1.17 | プライマリースーパーエレメント | 7-74 |
| 7.1.18 | コレクタースーパーエレメント | 7-75 |
| 7.1.19 | コピースーパーエレメント | 7-82 |
| 7.1.20 | 外部スーパーエレメント | 7-88 |
| 7.1.21 | モデルの静的縮退と動的縮退 | 7-152 |
| 7.1.22 | モデルの動的縮退 (CMS) | 7-153 |
| 7.1.23 | 動的縮退の例 | 7-165 |
| 7.1.24 | 周波数帯域の考慮 | 7-181 |
| 7.1.25 | 余剰構造でのコンポーネントモード合成 | 7-184 |
| 7.1.26 | スーパーエレメントの境界部分の制御 | 7-188 |
| 7.1.27 | スーパーエレメントの動解析 | 7-188 |
| 7.1.28 | 動的縮退による動解析 - 線形過渡解析 | 7-189 |
| 7.1.29 | 動的縮退による動解析 - 周波数応答解析 | 7-199 |
| 7.1.30 | 固着 (グルー) の使用 | 7-205 |
| 7.1.31 | 例 - 固着を考慮したスーパーエレメント解析 | 7-205 |
| 7.1.32 | 外部スーパーエレメントの例 (FemapGUI) | 7-212 |
| 7.2 | DMAP(追加モジュール) | 7-238 |
| 7.2.1 | DMAP の用途 | 7-239 |
| 7.2.2 | ソリューションシーケンスと subDMAP | 7-239 |
| 7.2.3 | DMAP の基本入力と Femap での操作 | 7-240 |
| 7.2.4 | メイン subDMAP とサブルーチン subDMAP | 7-247 |
| 7.2.5 | SOL100(重要) | 7-248 |
| 7.2.6 | COMPILE と ALTER, LINK | 7-249 |
| 7.2.7 | DMAP プログラムの記述 | 7-257 |
| 7.2.8 | TYPE PARM のステートメントの書式 (変数定義) | 7-268 |
| 7.2.9 | 変数 | 7-269 |
| 7.2.10 | 基本的なメイン subDMAP の記述 | 7-272 |
| 7.2.11 | サブルーチンの定義 | 7-281 |
| 7.2.12 | 演算子 | 7-298 |
| 7.2.13 | 関数 | 7-298 |
| 7.2.14 | 条件分岐とループ | 7-303 |
| 7.2.15 | 自由度の取扱い USET | 7-305 |
| 7.2.16 | ベクトル | 7-309 |
| 7.2.17 | マトリクス | 7-313 |
| 7.2.18 | DMAP マトリクスの出力 | 7-326 |
| 7.2.19 | F06 ファイルへの出力 | 7-327 |
| 7.2.20 | テーブルデータ | 7-329 |
| 7.2.21 | MATPCH によるパンチ出力 | 7-341 |
| 7.2.22 | 外部 OP2/OP4 ファイルへの出力 | 7-342 |
| 7.2.23 | OP2/OP4 外部ファイルの読み込み | 7-344 |
| 7.2.24 | テーブルやレポート、数値のプリント出力 | 7-347 |
| 7.2.25 | マトリクスの定義と保存の例 | 7-350 |
| 7.2.26 | マトリクスの読み込みと利用の例 | 7-362 |
| 7.2.27 | 線形方程式の計算の例 | 7-365 |
| 7.2.28 | DMIG によるマトリクスの定義 (全製品で利用可能) | 7-368 |
| 7.2.29 | テーブル | 7-370 |
| 7.2.30 | 通常のソリューションタイプとの使用 | 7-377 |
| 7.2.31 | ユーザデータブロック | 7-382 |
| 7.2.32 | 主なマトリクスモジュール | 7-391 |
| 7.2.33 | DMAP への入力 | 7-424 |
| 7.2.34 | マトリクスとテーブル | 7-427 |
| 7.2.35 | マトリクスの名前 | 7-427 |
| 7.2.36 | subDMAP | 7-428 |
| 7.2.37 | NDDL | 7-430 |
| 7.2.38 | FILE ステートメント | 7-442 |
| 7.2.39 | 便利な DMAP プログラム | 7-442 |

| | | |
|--------|---|-------|
| 7.3 | マトリクス方程式の直接操作 (DMI) | 7-446 |
| 7.3.1 | マトリクスの形 | 7-446 |
| 7.3.2 | DMIG カードの書式 | 7-449 |
| 7.3.3 | 質量と減衰の DMIG 定義 | 7-451 |
| 7.3.4 | 補足 - マトリクスの出力 (MALTER) | 7-458 |
| 7.4 | DDAM 動的設計解析法 (SOL187) | 7-461 |
| 7.4.1 | モデルの単位系 | 7-463 |
| 7.4.2 | NAVSHOK と加速度スペクトル | 7-464 |
| 7.4.3 | Femap での定義 | 7-466 |
| 7.4.4 | 必要な変更とファイル | 7-469 |
| 7.4.5 | 出力される解析結果 | 7-482 |
| 7.5 | リスタート解析 | 7-483 |
| 7.5.1 | リスタート解析の手順概要 | 7-486 |
| 7.5.2 | データベースの生成と使用方法の概要 | 7-487 |
| 7.5.3 | リスタートの仕組み | 7-490 |
| 7.5.4 | リスタート解析の手順概要 | 7-491 |
| 7.5.5 | リスタート解析での注意 | 7-495 |
| 7.5.6 | リスタートサンプル線形静解析 | 7-497 |
| 7.5.7 | RESTART カード | 7-515 |
| 7.5.8 | PROJ ステートメントカード | 7-516 |
| 7.5.9 | ASSIGN カード | 7-517 |
| 7.5.10 | DBDIR カード | 7-518 |
| 7.5.11 | 同種解析のリスタート | 7-519 |
| 7.5.12 | バッチ実行でデータベースファイルを保持する | 7-520 |
| 7.5.13 | INCLUDE 文の使用 | 7-521 |
| 7.5.14 | 異種解析のリスタート | 7-522 |
| 7.5.15 | 静解析 - 静解析のリスタート | 7-536 |
| 7.5.16 | 定常熱伝導解析 > 過渡熱伝導解析のリスタート | 7-537 |
| 7.5.17 | 過渡熱伝導解析 > 過渡熱伝導のリスタート | 7-538 |
| 7.5.18 | 固有値 > モード法解析のリスタート | 7-543 |
| 7.5.19 | 非線形静解析のリスタート (マルチシナリオ解析) | 7-544 |
| 7.6 | 周期対称モデル | 7-548 |
| 7.6.1 | 周期対称性 | 7-548 |
| 7.6.2 | 周期対称モデルの荷重 | 7-554 |
| 7.6.3 | 周期対称モデルの拘束の定義 | 7-558 |
| 7.6.4 | 周期対称モデルのカード | 7-558 |
| 7.6.5 | 周期対称静解析 (SOL114) | 7-574 |
| 7.6.6 | 周期対称静解析の例 - 円筒の圧縮 (軸対称) | 7-574 |
| 7.6.7 | 周期対称静解析の例 - 円筒の圧縮 (回転対称) | 7-580 |
| 7.6.8 | 周期対称固有値解析 (SOL115) | 7-590 |
| 7.6.9 | 周期対称固有値解析の例 - 円筒の固有値 (軸対称) | 7-593 |
| 7.6.10 | 周期対称座屈解析 (SOL116) | 7-600 |
| 7.6.11 | 周期対称座屈解析の例 - 円筒の圧縮 (回転対称) | 7-601 |
| 7.6.12 | 周期対称周波数応答解析 (SOL118 DynResp) | 7-609 |
| 7.6.13 | 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) | 7-610 |
| 7.6.14 | 周期対称モデルのまとめ | 7-617 |
| 7.7 | 空力弾性解析 (Aeroelasticity 追加モジュール) | 7-618 |
| 7.7.1 | 空力弾性解析機能でできること | 7-619 |
| 7.7.2 | 空力弾性解析の考え方 | 7-620 |
| 7.7.3 | 静的空力弾性解析の概要 | 7-622 |
| 7.7.4 | フラッター解析の概要 | 7-626 |
| 7.7.5 | Advanced Aeroelastic(Aeroelasticity への追加機能) | 7-628 |
| 7.7.6 | 空力弾性解析が可能な製品オプション | 7-628 |
| 7.7.7 | 空力弾性 | 7-629 |
| 7.7.8 | 空力弾性解析の用途 | 7-634 |
| 7.7.9 | Femap GUI による空力弾性解析 | 7-635 |
| 7.7.10 | ガスト応答解析 (非 FEMAPGUI) | 7-691 |

| | | |
|---------|---|-------|
| 7.7.11 | 空力弾性理論 | 7-693 |
| 7.7.12 | 空力弾性解析の概要 | 7-717 |
| 7.7.13 | 速度と空力理論 | 7-729 |
| 7.7.14 | 空力弾性解析の手順概要 | 7-732 |
| 7.7.15 | 空力ケースコントロールカード | 7-741 |
| 7.7.16 | 空力バルクデータカード | 7-745 |
| 7.7.17 | Doublet Lattice 理論 (CAERO1) | 7-745 |
| 7.7.18 | リフティングボディ (CAERO2) | 7-757 |
| 7.7.19 | Mach Box 理論 (CAERO3) | 7-768 |
| 7.7.20 | マッハボックス要素 CAERO3 | 7-770 |
| 7.7.21 | Strip 理論 (CAERO4) | 7-773 |
| 7.7.22 | ストリップ理論要素 CAERO4 | 7-778 |
| 7.7.23 | Piston 理論 (CAERO5) | 7-783 |
| 7.7.24 | ピストン理論要素 CAERO5 | 7-784 |
| 7.7.25 | 制御面定義 (トリム解析) | 7-790 |
| 7.7.26 | 空力要素と構造要素の SPLINE _i での結合 | 7-795 |
| 7.7.27 | 空力座標系 (Aerodynamic Coordinate System) | 7-806 |
| 7.7.28 | 静的空力弾性解析 (SOL 144) | 7-809 |
| 7.7.29 | トリム解析 | 7-813 |
| 7.7.30 | 空力弾性解析の例: 主翼一音速以下でのトリム解析 | 7-833 |
| 7.7.31 | 空力弾性解析の例: 主翼一コントロールリバーサル | 7-863 |
| 7.7.32 | ダイバージェンス解析 | 7-872 |
| 7.7.33 | 空力弾性解析の例: 主翼ダイバージェンス解析 | 7-877 |
| 7.7.34 | フラッタ解析 (SOL 145) | 7-888 |
| 7.7.35 | 動的空力弾性解析 (SOL146) | 7-900 |
| 7.7.36 | PARAM カード | 7-914 |
| 7.8 | 空力弾性解析の例題 | 7-916 |
| 7.8.1 | ガスト応答の例 | 7-916 |
| 7.8.2 | スレンダーボディの例 | 7-917 |
| 7.9 | Advanced Aeroelastic 機能 (Aeroelasticity への追加機能) | 7-929 |
| 7.9.1 | 超音速域での相互干渉の考慮 | 7-929 |
| 7.9.2 | ZONA51 が処理可能な解析タイプ | 7-929 |
| 7.9.3 | ZONA51 と Doublet Lattice 理論の切り替え | 7-929 |
| 7.9.4 | リフティングボディの表現 | 7-929 |
| 7.10 | 大規模解析用の設定 [旧版情報 LP32,LP64 を含む] | 7-931 |
| 7.10.1 | Femap の自動読み込みを切る (重要) | 7-931 |
| 7.10.2 | LP-64/ILP-64 の実行 | 7-932 |
| 7.10.3 | データサイズに関する情報 | 7-938 |
| 7.10.4 | メモリとデータベースの上限 | 7-938 |
| 7.10.5 | NX Nastran データベース | 7-944 |
| 7.10.6 | サイズの意味と設定 | 7-945 |
| 7.10.7 | スクラッチデータベースのみを拡張する (GUI) | 7-953 |
| 7.10.8 | XDB ファイルのサイズを拡張する | 7-954 |
| 7.10.9 | 実行指定の例 | 7-956 |
| 7.10.10 | FMS の例 | 7-957 |
| 7.10.11 | スクラッチファイルのデフォルトサイズの拡張 | 7-958 |
| 7.10.12 | 高速化について | 7-959 |
| 7.10.13 | リスタートの応用 - 解析結果ファイルの分割出力 | 7-962 |
| 7.11 | 反復法ソルバーパラメータ ITER の説明 | 7-976 |
| 7.12 | 並列処理について | 7-979 |
| 7.12.1 | SMP と DMP | 7-979 |
| 7.12.2 | SMP の設定 | 7-981 |
| 7.12.3 | 実行オプション | 7-983 |
| 7.12.4 | SMP 並列処理の動作 | 7-984 |
| 7.12.5 | SMP 並列処理の効果 | 7-985 |
| 7.13 | PARAM カードの利用 | 7-986 |
| 7.13.1 | FemapGUI で設定できる PARAM カード | 7-986 |

| | |
|---------------------------------------|--------|
| 7.13.2 AUTOSPCR..... | 7-990 |
| 7.13.3 CURV..... | 7-990 |
| 7.13.4 RESVEC とその関連指定 (モード法)..... | 7-991 |
| 7.13.5 BETA Newmark 法計算パラメータ指定..... | 7-993 |
| 7.14 解析結果出力指定..... | 7-995 |
| 7.15 解析セットマネージャ..... | 7-999 |
| 7.15.1 解析実行..... | 7-1003 |
| 7.15.2 [モデルチェック] ダイアログボックス..... | 7-1004 |
| 7.16 解析処理の流れ..... | 7-1007 |
| 7.16.1 モデルのマトリクス展開..... | 7-1007 |
| 7.16.2 マトリクス方程式の生成..... | 7-1019 |
| 7.16.3 NX Nastran での数学モデルの構成..... | 7-1020 |
| 7.16.4 平面要素の形状関数について..... | 7-1021 |
| 7.17 有限要素モデル..... | 7-1024 |
| 7.17.1 単位系について..... | 7-1024 |
| 7.17.2 座標系について..... | 7-1025 |
| 7.17.3 剛性マトリクスの定式化について..... | 7-1027 |
| 7.17.4 質量の定式化について..... | 7-1027 |
| 7.17.5 アイソパラメトリック要素について..... | 7-1028 |
| 7.17.6 固有値解析について..... | 7-1037 |
| 7.17.7 固有値解析の解法..... | 7-1039 |
| 7.17.8 減衰要素..... | 7-1048 |
| 7.17.9 レイリー減衰..... | 7-1049 |
| 7.17.10 機構部品に関する減衰..... | 7-1053 |
| 7.18 非線形解析手法..... | 7-1056 |
| 7.18.1 Full Newton 法..... | 7-1056 |
| 7.18.2 修正 Newton 法..... | 7-1057 |
| 7.19 非線形性について..... | 7-1057 |
| 7.19.1 非線形性の種類..... | 7-1057 |
| 7.19.2 非線形解析の定式化..... | 7-1058 |
| 7.19.3 材料非線形性..... | 7-1058 |
| 7.19.4 幾何学的非線形性..... | 7-1059 |
| 7.19.5 非線形解析での応力とひずみについて..... | 7-1059 |
| 7.19.6 どんなときに非線形解析を実施するか..... | 7-1060 |
| 7.20 直接法..... | 7-1065 |
| 7.20.1 NX Nastran の直接時間積分法..... | 7-1065 |
| 7.20.2 直接法周波数応答解析..... | 7-1066 |
| 7.21 モード法..... | 7-1067 |
| 7.21.1 モード法線形過渡解析..... | 7-1067 |
| 7.21.2 モード法周波数応答解析..... | 7-1069 |
| 7.21.3 モード法解析結果の計算..... | 7-1069 |
| 7.22 強制運動による直接加振について (重要)..... | 7-1074 |
| 7.22.1 設定方法..... | 7-1074 |
| 7.22.2 絶対変位法と相対変位法..... | 7-1077 |
| 7.22.3 比較サンプル..... | 7-1079 |
| 7.23 RecurDyn RFI ファイルの出力..... | 7-1082 |
| 7.23.1 RECURDYNRFI カード..... | 7-1083 |
| 7.23.2 DTI,UNITS カード..... | 7-1084 |
| 7.23.3 接続点のモデル化..... | 7-1085 |
| 7.24 ADAMS ニュートラルファイル (MNF) への出力..... | 7-1085 |
| 7.24.1 解析条件と注意点..... | 7-1085 |
| 7.24.2 出力されるファイル..... | 7-1086 |
| 7.24.3 ADAMSMNF ケースコントロールカード..... | 7-1087 |
| 7.24.4 単位系指定 DTI カード..... | 7-1087 |
| 7.24.5 質量不変量..... | 7-1089 |
| 7.25 ユニット番号の割り当て..... | 7-1091 |
| 7.26 DIAG 診断機能..... | 7-1092 |

| | |
|---|--------|
| 7.27 NASTRAN ステートメントとシステムセルの指定..... | 7-1095 |
| 7.27.1 システムセルの設定方法..... | 7-1095 |
| 7.27.2 システムセル..... | 7-1096 |
| 7.28 NASTRAN コンフィギュレーションファイル..... | 7-1127 |
| 7.28.1 デフォルトでの中身..... | 7-1128 |
| 7.28.2 追加した方がよいオプション (お勧め)..... | 7-1130 |
| 7.29 データベースの作成..... | 7-1132 |
| 7.29.1 データベースの作成..... | 7-1133 |
| 7.30 並列処理 (DMP)..... | 7-1134 |
| 7.30.1 DMP と SMP..... | 7-1134 |
| 7.30.2 DMP 分散処理の効果..... | 7-1136 |
| 7.30.3 SMP のためのハードウェア構成..... | 7-1136 |
| 7.30.4 DMP のためのハードウェア構成..... | 7-1137 |
| 7.30.5 DMP..... | 7-1139 |
| 7.30.6 解析できるモデルの制限..... | 7-1141 |
| 7.30.7 DMP の実行..... | 7-1142 |
| 7.30.8 MPI について..... | 7-1145 |
| 7.30.9 領域分割手法..... | 7-1158 |
| 7.30.10 形状領域静解析 GDSTAT..... | 7-1161 |
| 7.30.11 荷重領域線形静解析 LDSTAT..... | 7-1161 |
| 7.30.12 形状領域固有値解析 GDMODES..... | 7-1161 |
| 7.30.13 周波数領域固有値解析 FDMODES..... | 7-1162 |
| 7.30.14 階層化領域固有値解析 HDMODES..... | 7-1163 |
| 7.30.15 リカーシブドメインランチョスソルバー RDMODES..... | 7-1164 |
| 7.30.16 周波数領域周波数応答解析 FDFREQR..... | 7-1165 |
| 7.30.17 並列化手法の選択..... | 7-1165 |
| 7.30.18 DMP の効果..... | 7-1166 |
| 7.30.19 クラスタマシンの設定..... | 7-1168 |
| 7.30.20 使用ソフトウェア..... | 7-1169 |
| 7.30.21 準備..... | 7-1170 |
| 7.30.22 KSH のセットアップ..... | 7-1172 |
| 7.30.23 RSH の動作確認と信頼性確立..... | 7-1172 |
| 7.30.24 チェックシート..... | 7-1174 |
| 7.30.25 Linux セットアップ..... | 7-1175 |
| 7.30.26 リモートシェル rsh の設定..... | 7-1178 |
| 7.30.27 ssh の設定 (HPC)..... | 7-1179 |
| 7.30.28 データベースディレクトリ (重要)..... | 7-1179 |
| 7.30.29 スクラッチディレクトリ..... | 7-1180 |
| 7.30.30 NX Nastran のセットアップ..... | 7-1180 |
| 7.30.31 DMP 解析の実行..... | 7-1182 |
| 7.30.32 DMP パフォーマンスの例..... | 7-1182 |
| 7.31 並列処理ガイド (GPGPU/MKL)..... | 7-1184 |
| 7.31.1 はじめに..... | 7-1184 |
| 7.31.2 設定方法..... | 7-1184 |
| 7.31.3 起動の確認..... | 7-1186 |
| 7.31.4 効果..... | 7-1187 |
| 7.31.5 制約..... | 7-1187 |
| 7.32 設計感度最適化解析機能 (SOL DESOPT)..... | 7-1189 |
| 7.32.1 最適化結果の出力 (ECHO=PUCH()) の指定..... | 7-1191 |
| 7.32.2 設計感度 / 最適化解析 (SOL DESOPT) を利用できるオプション..... | 7-1191 |
| 7.32.3 設計感度最適化機能の用途..... | 7-1192 |
| 7.32.4 Femap でのモデリング (線形静解析)..... | 7-1193 |
| 7.32.5 固有値解析での設定概要..... | 7-1200 |
| 7.32.6 座屈解析での設定概要..... | 7-1204 |
| 7.32.7 複素固有値解析での設定概要..... | 7-1205 |
| 7.32.8 周波数応答解析での設定概要..... | 7-1206 |
| 7.32.9 過渡解析での設定概要..... | 7-1208 |

| | | |
|---------|--|--------|
| 7.32.10 | 目的関数 / 設計変数 / 設計感度 / 設計制約条件 | 7-1208 |
| 7.32.11 | 最適化問題の定義 | 7-1211 |
| 7.32.12 | 書式 | 7-1213 |
| 7.32.13 | ケースコントロールセクションでの記述 | 7-1216 |
| 7.32.14 | バルクデータセクションでの記述 | 7-1221 |
| 7.32.15 | DOPTPRM カード | 7-1222 |
| 7.32.16 | 設計変数カード DESVAR の指定 | 7-1226 |
| 7.32.17 | 設計感度応答の定義 (DRESPI) | 7-1229 |
| 7.32.18 | 設計変数、目的関数まとめ | 7-1260 |
| 7.32.19 | 設計感度最適化の設定 | 7-1265 |
| 7.32.20 | 固有値解析の設定方法 | 7-1289 |
| 7.32.21 | 固有値解析の例ーモデル固有値のチューニング | 7-1294 |
| 7.32.22 | 座屈解析の設定方法 | 7-1308 |
| 7.32.23 | 周波数応答解析の最適化 | 7-1314 |
| 7.32.24 | その他の最適化 | 7-1315 |
| 7.32.25 | 連成最適化 | 7-1315 |
| 7.32.26 | DFRFNC カード | 7-1315 |
| 7.32.27 | DRSPAN カード | 7-1316 |
| 7.32.28 | リスタート解析 | 7-1316 |
| 7.32.29 | 位相最適化機能 | 7-1318 |
| 7.32.30 | 対応する解析タイプ | 7-1324 |
| 7.32.31 | トポロジ最適化の例題 | 7-1329 |
| 7.33 | ローターダイナミクス解析 (追加モジュール) | 7-1343 |
| 7.33.1 | 回転体の解析機能概要 | 7-1343 |
| 7.33.2 | ふれまわりと危険速度 | 7-1355 |
| 7.33.3 | 質量の定式化 | 7-1358 |
| 7.33.4 | コリオリ力とジャイロモーメント | 7-1358 |
| 7.33.5 | 運動方程式 | 7-1362 |
| 7.33.6 | 振れ回りモード (Whirling) と危険速度 (Critical Velocity) | 7-1373 |
| 7.33.7 | 回転参照座標系と固定参照座標系 | 7-1373 |
| 7.33.8 | 振れ回り方向と危険速度 | 7-1378 |
| 7.33.9 | 観測座標系による解釈の違い | 7-1379 |
| 7.33.10 | キャンベル線図 | 7-1380 |
| 7.33.11 | サポートする回転体のモデル | 7-1384 |
| 7.33.12 | 支持方法と回転体の軸対称性 | 7-1384 |
| 7.33.13 | モデル化 | 7-1386 |
| 7.33.14 | 振れ回りモードと制振機構のモデル化 | 7-1392 |
| 7.33.15 | 複素固有値解析手法とモード数について | 7-1399 |
| 7.33.16 | 減衰について | 7-1402 |
| 7.33.17 | 遠心力による剛性の変化 | 7-1409 |
| 7.33.18 | 定義手順 | 7-1428 |
| 7.33.19 | 出力されるカード | 7-1435 |
| 7.33.20 | 出力される解析結果 | 7-1442 |
| 7.33.21 | 周波数応答解析 | 7-1451 |
| 7.33.22 | 同期解析について | 7-1467 |
| 7.33.23 | 非同期周波数応答解析 | 7-1470 |
| 7.33.24 | 生成されるカード | 7-1473 |
| 7.33.25 | ローターダイナミクス過渡解析 | 7-1483 |
| 7.33.26 | ベアリングモデルの定義 | 7-1490 |

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) | 8-98 |
| 8.8 | 線要素 | 8-101 |
| 8.8.1 | 線要素に関するプロパティ | 8-101 |
| 8.8.2 | 線要素の非線形特性 | 8-114 |
| 8.8.3 | ロッド要素 (トラス要素) | 8-115 |
| 8.8.4 | チューブ要素 | 8-125 |
| 8.8.5 | カーブドチューブ要素 (CBEND) | 8-130 |
| 8.8.6 | スプリング要素 (CBUSH, CROD, CVISC) | 8-143 |
| 8.8.7 | CBUSH の非線形/周波数の依存性定義 | 8-166 |
| 8.8.8 | CBUSH1D | 8-169 |
| 8.8.9 | バー要素 CBAR | 8-181 |
| 8.8.10 | 断面形状付バー要素 CBAR | 8-195 |
| 8.8.11 | ビーム要素 CBEAM | 8-200 |
| 8.8.12 | 断面形状付ビーム要素 CBEAML | 8-227 |
| 8.8.13 | ギャップ要素 CGAP | 8-235 |
| 8.9 | 平面要素 | 8-249 |
| 8.9.1 | フェイスの定義 | 8-252 |
| 8.9.2 | 要素座標系と材料座標系 | 8-253 |
| 8.9.3 | 積分点の位置 | 8-257 |
| 8.9.4 | 応力とひずみの出力位置 | 8-258 |
| 8.9.5 | 小ひずみ要素の非線形特性 | 8-262 |
| 8.9.6 | 大ひずみ要素の非線形特性 | 8-263 |
| 8.9.7 | プレート要素 | 8-265 |
| 8.9.8 | 積層要素 | 8-317 |

| | |
|---|-------|
| 8.9.9 曲げ要素 | 8-366 |
| 8.9.10 平面ひずみ要素 | 8-374 |
| 8.9.11 メンブレン / 平面応力要素 | 8-386 |
| 8.9.12 せん断パネル要素 | 8-398 |
| 8.9.13 軸対称要素 (線形 / 大ひずみ) | 8-408 |
| 8.9.14 超弾性軸対称要素 (旧タイプ) | 8-424 |
| 8.10 ボリューム要素 | 8-430 |
| 8.10.1 ソリッド要素 | 8-430 |
| 8.10.2 積分点の位置とコーナーデータ出力 | 8-431 |
| 8.10.3 定義 | 8-434 |
| 8.10.4 利用できる解析のタイプ | 8-434 |
| 8.10.5 形状 | 8-434 |
| 8.10.6 要素座標系 | 8-435 |
| 8.10.7 プロパティ | 8-436 |
| 8.10.8 対応する Femap エレメント | 8-436 |
| 8.10.9 小ひずみソリッド要素の非線形特性 (Basic Nonlinear) | 8-439 |
| 8.10.10 大ひずみ要素の非線形特性 (Basic Nonlinear) | 8-439 |
| 8.10.11 対応するマテリアルタイプ | 8-440 |
| 8.10.12 出力データ | 8-442 |
| 8.10.13 1 次 / 2 次六面体要素カード CHEXA | 8-447 |
| 8.10.14 1 次 / 2 次三角柱要素カード CPENTA | 8-447 |
| 8.10.15 1 次 / 2 次四面体要素カード CTETRA | 8-447 |
| 8.10.16 1 次 / 2 次四角錐要素 CPYRAM | 8-448 |
| 8.10.17 ソリッドプロパティカード PSOLID | 8-449 |
| 8.10.18 積分手法と積分点の数 | 8-450 |
| 8.10.19 SOL601 のソリッド要素 | 8-451 |
| 8.10.20 用法例 | 8-452 |
| 8.10.21 非線形解析での応力とひずみの出力座標系 | 8-452 |
| 8.10.22 積層ソリッド要素 | 8-454 |
| 8.10.23 積層ソリッドプロパティカード PCOMPS | 8-463 |
| 8.10.24 積層ソリッドの強度評価指標 | 8-468 |
| 8.11 その他の要素 | 8-473 |
| 8.11.1 剛体要素 | 8-473 |
| 8.11.2 剛体要素 RBE2 | 8-485 |
| 8.11.3 剛体補間要素 RBE3 | 8-489 |
| 8.11.4 ピン結合要素 RROD | 8-491 |
| 8.11.5 剛体バー要素 RBAR | 8-493 |
| 8.11.6 補間要素 RSPLINE | 8-497 |
| 8.11.7 スライドライン要素 | 8-502 |
| 8.11.8 クラック 2D 要素 (CRAC2D) | 8-509 |
| 8.11.9 クラック 3D 要素 (CRAC3D) | 8-515 |
| 8.11.10 溶接要素 (CWELD) | 8-523 |
| 8.11.11 CFAST ファスナ要素 | 8-546 |
| 8.11.12 軸対称シェル (CCONEAX) | 8-559 |
| 8.11.13 非線形軸受けギャップ (NLRGAP) | 8-583 |
| 8.12 特殊な要素カード | 8-586 |
| 8.12.1 DMIG ノードへの直接マトリクス入力 | 8-586 |
| 8.12.2 非構造質量追加カード NSMi | 8-588 |
| 8.13 解析結果の出力要求 | 8-594 |
| 8.13.1 応力出力要求カード STRESS | 8-594 |
| 8.13.2 ひずみ出力要求カード STRAIN | 8-596 |
| 8.13.3 ノード位置での応力とひずみの出力 | 8-597 |

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) | 9-4 |
| 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 | 9-6 |
| 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 | 9-19 |
| 9.2.3 | 等方性材料の定義 | 9-21 |
| 9.2.4 | 等方性材料の周波数依存性 (MAT1F) | 9-26 |
| 9.3 | 弾塑性非線形材料 | 9-27 |
| 9.3.1 | 弾塑性 | 9-27 |
| 9.3.2 | 応力ひずみ曲線のひずみと応力のタイプ | 9-28 |
| 9.3.3 | パイリニア近似による弾塑性モデル | 9-31 |
| 9.3.4 | 参照関数による近似 | 9-35 |
| 9.3.5 | 塑性変形中のポアソン比の扱い | 9-39 |
| 9.3.6 | 等方硬化則 (Isotropic Hardening) | 9-39 |
| 9.3.7 | 移動硬化則 | 9-42 |
| 9.3.8 | 等方 + 移動硬化則 (複合硬化則) | 9-45 |
| 9.3.9 | 硬化則の定式化の概要 | 9-45 |
| 9.3.10 | von Mises 降伏条件 | 9-49 |
| 9.3.11 | Tresca 降伏条件 | 9-51 |
| 9.3.12 | Drucker-Prager の降伏条件 | 9-53 |
| 9.3.13 | Mohr-Coulomb 降伏条件 | 9-55 |
| 9.3.14 | 弾塑性/塑性材料モデルを使用できる要素 | 9-58 |
| 9.3.15 | 応力 - ひずみ曲線について | 9-58 |
| 9.3.16 | 弾塑性解析の解析結果 | 9-61 |
| 9.3.17 | 非線形材料カード MATS1 | 9-62 |
| 9.3.18 | 弾塑性関数テーブル TABLES1 カード | 9-63 |
| 9.4 | 非線形弾性材料 | 9-64 |
| 9.4.1 | 非線形弾性材料の設定方法 | 9-64 |
| 9.4.2 | 入力項目 | 9-65 |
| 9.4.3 | 応力 - ひずみ曲線について | 9-66 |
| 9.4.4 | NX Nastran カード | 9-66 |
| 9.5 | 直交異方性材料 | 9-68 |
| 9.5.1 | 構造特性 | 9-69 |
| 9.5.2 | 3D 直交異方性材料に関する注意事項 (重要) | 9-74 |
| 9.5.3 | 直交異方性材料の熱特性 | 9-76 |
| 9.5.4 | 入力可能な特性 | 9-78 |
| 9.5.5 | 2D 直交異方性構造材料カード MAT8 | 9-79 |
| 9.5.6 | 3D 直交異方性構造材料カード MAT11 | 9-80 |
| 9.5.7 | 軸対称直交異方性構造材料カード MAT3 | 9-81 |
| 9.5.8 | 直交異方性材料の熱特性カード | 9-83 |
| 9.6 | 異方性材料 | 9-85 |
| 9.6.1 | NX Nastran での異方性材料定義 | 9-85 |
| 9.6.2 | 異方性材料の構造特性 | 9-86 |
| 9.6.3 | 異方性材料の熱特性 | 9-88 |
| 9.6.4 | 入力可能な特性 | 9-90 |
| 9.6.5 | 2D 異方性材料カード MAT2 | 9-91 |
| 9.6.6 | 3D 異方性材料カード MAT9 | 9-91 |
| 9.6.7 | 異方性熱材料カード MAT5 | 9-92 |
| 9.6.8 | 制限 | 9-92 |
| 9.6.9 | 2D 異方性材料の周波数依存性 (MAT2F) | 9-93 |
| 9.6.10 | 3D 異方性材料の周波数依存性 (MAT9F) | 9-94 |
| 9.7 | 材料オリエンテーション | 9-95 |
| 9.7.1 | 材料座標系 | 9-95 |

| | | |
|--------|---------------------------------|-------|
| 9.7.2 | 平面要素の材料オリエンテーション | 9-96 |
| 9.7.3 | ソリッド要素の材料オリエンテーション | 9-98 |
| 9.8 | 材料特性の温度依存性 | 9-99 |
| 9.8.1 | 材料の温度依存性を考慮できる解析タイプ | 9-100 |
| 9.8.2 | 弾性率の温度依存性に関する一般的注意 | 9-100 |
| 9.8.3 | Femap での定義方法 | 9-100 |
| 9.8.4 | NX Nastran へ出力されるカード | 9-101 |
| 9.8.5 | 等方性材料の温度依存性カード MATT1 | 9-102 |
| 9.8.6 | 熱特性の温度依存性定義カード MATT4 | 9-102 |
| 9.8.7 | 2D 異方性材料の温度依存性カード MATT2 | 9-103 |
| 9.8.8 | 2D 直交異方性材料の温度依存性カード MATT8 | 9-103 |
| 9.8.9 | 異方性熱材料特性の温度依存性定義カード MATT5 | 9-105 |
| 9.8.10 | 3D 異方性材料の温度依存性カード MATT9 | 9-106 |
| 9.8.11 | 3D 直交異方性材料の温度依存性カード MATT11 | 9-106 |
| 9.8.12 | 軸対称材料の温度依存性カード MATT3 | 9-107 |
| 9.8.13 | 温度依存性関数カード TABLEMi | 9-108 |
| 9.8.14 | 非線形特性温度依存性テーブル TABLEST | 9-108 |
| 9.8.15 | 材料温度依存性のための設定 | 9-109 |
| 9.8.16 | 各時刻毎の温度を考慮 | 9-109 |
| 9.8.17 | 各荷重シーケンスの温度を考慮 | 9-109 |
| 9.8.18 | サブケース毎の温度条件を考慮 | 9-110 |
| 9.8.19 | 1つの温度条件を考慮 | 9-111 |
| 9.9 | 超弾性非線形材料 | 9-114 |
| 9.9.1 | 入力と出力 | 9-114 |
| 9.9.2 | 大変形大ひずみに関する注意 | 9-116 |
| 9.9.3 | 利用できる超弾性材料モデル | 9-127 |
| 9.9.4 | 超弾性材料モデルの定義 | 9-130 |
| 9.9.5 | NX Nastran での超弾性材料定義 | 9-134 |
| 9.9.6 | 超弾性ソリッドプロパティカード PLSOLID | 9-135 |
| 9.9.7 | 超弾性平面ひずみプロパティカード PLPLANE | 9-136 |
| 9.9.8 | カード MATHP | 9-136 |
| 9.9.9 | 標準の Mooney-Rivlin モデル | 9-138 |
| 9.9.10 | Neo-Hookean モデル | 9-138 |
| 9.9.11 | 材料定数の計算 | 9-138 |
| 9.9.12 | 制限 | 9-140 |
| 9.9.13 | 実験データカーブフィッティングの例 | 9-140 |
| 9.10 | クリープ特性 | 9-150 |
| 9.10.1 | クリープの三段階 | 9-150 |
| 9.10.2 | セラミックスのクリープ現象 | 9-154 |
| 9.10.3 | レオロジーモデル | 9-154 |
| 9.10.4 | NX Nastran のクリープモデル | 9-156 |
| 9.10.5 | クリープ解析の設定 | 9-161 |
| 9.10.6 | クリープ材料カード CREEP | 9-166 |
| 9.10.7 | 関数テーブル TABLES1 カード | 9-167 |
| 9.10.8 | クリープモデルの解析例 | 9-167 |
| 9.11 | 熱ひずみについて | 9-182 |
| 9.11.1 | 基準温度と初期温度条件 | 9-183 |
| 9.11.2 | まとめ | 9-186 |
| 9.11.3 | 初期温度の定義方法と解釈 -SOL106/SOL601,106 | 9-187 |
| 9.11.4 | 初期温度の定義方法と解釈 - そのほかの解析 | 9-194 |

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 | 10-49 |
| 10.1.12 | ノードに対する力 (Forces) | 10-51 |
| 10.1.13 | モーメント (Moment) | 10-54 |
| 10.1.14 | 速度 (Velocity) | 10-63 |
| 10.1.15 | 角速度 (Angular Velocity) | 10-65 |
| 10.1.16 | 加速度 (Acceleration) | 10-67 |
| 10.1.17 | 角加速度 (Angular Acceleration) | 10-69 |
| 10.1.18 | 圧力 (Pressure) | 10-71 |
| 10.1.19 | 分布荷重 (Distributed Load) | 10-77 |
| 10.1.20 | 温度 (Temperature) | 10-80 |
| 10.1.21 | 熱流束 (Heat Flux) | 10-85 |
| 10.1.22 | 発熱 (Heat Generation) | 10-93 |
| 10.1.23 | 対流 | 10-95 |
| 10.1.24 | 強制対流熱伝達 | 10-103 |
| 10.1.25 | 自然対流 | 10-138 |
| 10.1.26 | 対流荷重まとめ | 10-148 |
| 10.1.27 | 閉鎖系の自然対流の表現 | 10-149 |
| 10.1.28 | 輻射 | 10-157 |
| 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 | 10-173 |
| 10.1.30 | 輻射対流要素 | 10-180 |
| 10.1.31 | ボディ荷重 | 10-193 |
| 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) | 10-206 |
| 10.1.34 | FemapGUI | 10-207 |
| 10.1.35 | 独立遠心力荷重 (RFORCE1) | 10-208 |
| 10.2 | 荷重セットの定義 | 10-214 |
| 10.2.1 | 静的荷重セットの定義 | 10-214 |
| 10.2.2 | 動解析の荷重構成 | 10-216 |
| 10.2.3 | 過渡解析の荷重セットの定義 | 10-218 |
| 10.2.4 | 非線形過渡解析での動的荷重の定義 | 10-227 |
| 10.2.5 | 周波数応答解析の荷重セットの定義 | 10-229 |
| 10.2.6 | 温度荷重と熱ひずみ | 10-233 |
| 10.3 | 初期条件 | 10-257 |
| 10.3.1 | 初期条件ケースコントロールカード IC=n | 10-257 |
| 10.3.2 | 初期条件定義バルクカード TIC | 10-258 |
| 10.4 | 拘束 | 10-259 |
| 10.4.1 | 定義 | 10-259 |
| 10.4.2 | 拘束セット | 10-261 |
| 10.4.3 | ノード拘束 | 10-267 |
| 10.4.4 | 拘束条件式 (Constraint Equations) | 10-271 |
| 10.5 | 特殊な拘束 | 10-274 |
| 10.5.1 | AUTOSPC | 10-274 |
| 10.5.2 | SUPPORT | 10-277 |
| 10.5.3 | AUTOSPRT | 10-279 |
| 10.5.4 | AUTOMPC | 10-282 |
| 10.6 | K6ROT | 10-284 |
| 10.6.1 | K6ROT の範囲 | 10-285 |
| 10.6.2 | K6ROT の設定方法 | 10-285 |
| 10.7 | 非線形荷重 | 10-287 |
| 10.7.1 | 非線形荷重の用途 | 10-288 |

| | |
|--------------------------|--------|
| 10.7.2 非線形荷重の定義方法 | 10-290 |
| 10.7.3 非線形荷重の指定 | 10-297 |
| 10.7.4 非線形荷重による数値演算 | 10-298 |
| 10.7.5 相対変位の取り扱い | 10-301 |
| 10.7.6 例題 1-NOLIN1 での和算 | 10-302 |
| 10.7.7 例題 2- 時間ステップ数の増加 | 10-326 |
| 10.7.8 まとめ | 10-327 |
| 10.8 例題 3- スカラポイント初期値設定 | 10-328 |
| 10.8.1 手順 | 10-328 |
| 10.8.2 結果 | 10-328 |
| 10.8.3 考察 | 10-329 |
| 10.9 NLRGAP による軸接触の模擬 | 10-330 |
| 10.10 従動荷重 | 10-332 |
| 10.11 FORCEi カードによる従動荷重 | 10-333 |
| 10.11.1 FORCE1 カードの書式 | 10-334 |
| 10.11.2 FORCE2 カードの書式 | 10-334 |
| 10.12 MOMENTi カードによる従動荷重 | 10-336 |
| 10.12.1 MOMENT1 カードの書式 | 10-337 |
| 10.12.2 MOMENT2 カードの書式 | 10-337 |

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 |
| 11.3.21 ポテンシャル流体解析機能 (SOL601,106 専用機能) | 11-90 |
| 11.4 非線形過渡解析 SOL 601,129(Advanced Nonlinear) | 11-94 |
| 11.4.1 SOL601 非線形過渡解析を利用できる製品オプション | 11-94 |
| 11.4.2 減衰の定義 | 11-94 |

| | | |
|---------|-------------------------------|--------|
| 11.4.3 | 解析の流れ | 11-95 |
| 11.4.4 | 非線形過渡解析で考慮される非線形性 | 11-119 |
| 11.4.5 | 利用可能なノード荷重 | 11-120 |
| 11.4.6 | 利用可能なエレメント荷重 | 11-120 |
| 11.4.7 | 利用可能なボディ荷重 | 11-121 |
| 11.4.8 | 利用可能な拘束条件 | 11-123 |
| 11.4.9 | 定義する材料プロパティ | 11-123 |
| 11.4.10 | 利用可能な要素とサポートする非線形性 | 11-124 |
| 11.4.11 | 必要な入力条件 | 11-125 |
| 11.4.12 | 解析結果のデータ | 11-127 |
| 11.5 | 601/701 用要素タイプ | 11-128 |
| 11.5.1 | ポテンシャルフロー要素 | 11-129 |
| 11.5.2 | Femap での要素定義方法 | 11-129 |
| 11.5.3 | Advanced Nonlinear 要素 | 11-129 |
| 11.5.4 | 非線形要素の概要 | 11-133 |
| 11.5.5 | 結果データの種類 | 11-140 |
| 11.5.6 | 要素データ | 11-141 |
| 11.5.7 | 質量要素 (CONM2) | 11-145 |
| 11.5.8 | DOF スプリング要素 (CELAS2/CELAS1) | 11-148 |
| 11.5.9 | スプリングダンパ要素 (CBUSH,CROD,CVISC) | 11-152 |
| 11.5.10 | CBUSH1D | 11-167 |
| 11.5.11 | ロッド要素 (トラス要素) | 11-170 |
| 11.5.12 | バー要素 CBAR | 11-175 |
| 11.5.13 | 断面形状付バー要素 CBARL | 11-183 |
| 11.5.14 | ビーム要素 | 11-188 |
| 11.5.15 | 断面形状付ビーム要素 | 11-195 |
| 11.5.16 | ギャップ要素 (CGAP) | 11-200 |
| 11.5.17 | シェル要素 (MITC) | 11-207 |
| 11.5.18 | 積層シェル要素 (MITC) | 11-233 |
| 11.5.19 | 平面ひずみ要素 | 11-247 |
| 11.5.20 | 軸対称要素 (線形 / 小ひずみ / 大ひずみ) | 11-257 |
| 11.5.21 | ソリッド要素 | 11-270 |
| 11.5.22 | 積分点の位置とコーナーデータ出力 | 11-271 |
| 11.5.23 | 定義 | 11-274 |
| 11.5.24 | 利用できる解析のタイプ | 11-274 |
| 11.5.25 | 形状と性能 | 11-274 |
| 11.5.26 | 要素座標系 | 11-275 |
| 11.5.27 | プロパティ | 11-275 |
| 11.5.28 | 対応する Femap エレメント | 11-275 |
| 11.5.29 | 対応するマテリアルタイプ | 11-276 |
| 11.5.30 | 出力データ | 11-277 |
| 11.5.31 | 1次/2次六面体要素カード CHEXA | 11-280 |
| 11.5.32 | 1次/2次三角柱要素カード CPENTA | 11-280 |
| 11.5.33 | 1次/2次四面体要素カード CTERTA | 11-281 |
| 11.5.34 | 1次/2次四角錐要素 CPYRAM | 11-281 |
| 11.5.35 | ソリッドプロパティカード PSOLID | 11-282 |
| 11.5.36 | SOL601 のソリッド要素に関する注意 | 11-283 |
| 11.5.37 | 剛体要素 | 11-285 |
| 11.5.38 | 2D コンタクト (スライドライン) | 11-291 |
| 11.5.39 | 要素の出現と消滅 | 11-295 |
| 11.5.40 | 要素の出現と消滅をサポートする解析タイプ | 11-295 |
| 11.5.41 | EBDSET=n カード | 11-296 |
| 11.5.42 | EBDSET | 11-297 |
| 11.5.43 | EBDADD カード | 11-297 |
| 11.6 | 荷重条件 | 11-298 |
| 11.6.1 | 対応する荷重とカード | 11-298 |
| 11.6.2 | 荷重の時間依存性の定義と取扱い | 11-299 |

| | |
|---|--------|
| 11.6.3 従動荷重の定義..... | 11-303 |
| 11.6.4 強制変位..... | 11-310 |
| 11.6.5 強制回転変位..... | 11-313 |
| 11.6.6 ノードに対する力 (Forces)..... | 11-314 |
| 11.6.7 モーメント (Moment)..... | 11-315 |
| 11.6.8 圧力 (Pressure)..... | 11-316 |
| 11.6.9 分布荷重 (Distributed Load)..... | 11-321 |
| 11.6.10 温度 (Temperature)..... | 11-324 |
| 11.6.11 ボディ荷重..... | 11-326 |
| 11.6.12 荷重セットの定義..... | 11-329 |
| 11.7 拘束と拘束条件式..... | 11-330 |
| 11.8 初期条件..... | 11-330 |
| 11.8.1 変位と速度初期条件..... | 11-330 |
| 11.8.2 温度の初期条件..... | 11-332 |
| 11.9 コンタクト..... | 11-333 |
| 11.9.1 コンタクトの種類..... | 11-334 |
| 11.9.2 コンタクトの定義方法..... | 11-334 |
| 11.9.3 コンタクトリージョン..... | 11-343 |
| 11.9.4 弾性壁 (通常のコンタクトリージョン)..... | 11-348 |
| 11.9.5 剛体壁..... | 11-348 |
| 11.9.6 コンタクトペア..... | 11-350 |
| 11.9.7 マスターサーフェイス..... | 11-352 |
| 11.9.8 スレーブサーフェイス..... | 11-353 |
| 11.9.9 マスターとスレーブの関係 (重要)..... | 11-353 |
| 11.9.10 マスタースレーブのまとめ..... | 11-355 |
| 11.9.11 コンタクトプロパティ..... | 11-355 |
| 11.9.12 コンタクトアルゴリズム (TYPE)..... | 11-357 |
| 11.9.13 拘束関数法 (Constraint Function Method)..... | 11-357 |
| 11.9.14 ラグランジュ乗数法 (Lagrange multiplier (Segment) Method)..... | 11-359 |
| 11.9.15 剛体ターゲット法 (Rigid Target Method)..... | 11-359 |
| 11.9.16 新剛体ターゲット法 (RTALG=0)..... | 11-365 |
| 11.9.17 コンタクトモデルの比較..... | 11-370 |
| 11.9.18 両面コンタクト (NSIDE=2)..... | 11-370 |
| 11.9.19 初期貫入の処理 (INIPENE/TZPENE)..... | 11-371 |
| 11.9.20 コンタクトセグメントの厚さ PDEPTH..... | 11-372 |
| 11.9.21 サーフェイス法線の補正 (SEGNORM)..... | 11-372 |
| 11.9.22 コンタクトリージョンオフセット (OFFTYPE/OFFSET)..... | 11-373 |
| 11.9.23 コンタクトペアの出現 / 消滅..... | 11-374 |
| 11.9.24 標準的なコンタクトアルゴリズム設定..... | 11-375 |
| 11.9.25 変位の定式化..... | 11-375 |
| 11.9.26 コンシステント剛性モデル (CSTIFF)..... | 11-375 |
| 11.9.27 コンタクトペアの固着 (TIED)..... | 11-376 |
| 11.9.28 コンタクトリージョンの拡張 (EXFAC)..... | 11-377 |
| 11.9.29 摩擦 (FRICMOD)..... | 11-377 |
| 11.9.30 表面弾性..... | 11-382 |
| 11.9.31 動的接触 / インパクトに関する処理..... | 11-383 |
| 11.9.32 コンタクトの定義カード..... | 11-384 |
| 11.9.33 コンタクト定義の例..... | 11-396 |
| 11.9.34 モデル化に関するヒント..... | 11-403 |
| 11.9.35 SOL701 のコンタクト..... | 11-406 |
| 11.9.36 固着の使用 (コンタクトタイプ)..... | 11-410 |
| 11.9.37 SOL701 コンタクトプロパティの定義..... | 11-414 |
| 11.10 材料モデル..... | 11-425 |
| 11.10.1 ひずみと応力の種類..... | 11-428 |
| 11.10.2 線形等方性材料 (Advanced Nonlinear)..... | 11-437 |
| 11.10.3 線形直交異方性材料..... | 11-454 |
| 11.10.4 二次元直交異方性材料..... | 11-459 |

| | | |
|----------|------------------------------------|--------|
| 11.10.5 | 三次元直交異方性材料 | 11-466 |
| 11.10.6 | 非線形弾性塑性材料 | 11-471 |
| 11.10.7 | 非線形材料カード MATS1 | 11-482 |
| 11.10.8 | 温度依存弾性とクリープ | 11-483 |
| 11.10.9 | クリープ材料モデル | 11-492 |
| 11.10.10 | 超弾性非線形材料 | 11-496 |
| 11.10.11 | 変位法と変位 - 圧力混合法 (u/p Formulation) | 11-536 |
| 11.10.12 | 非線形弾性材料 | 11-536 |
| 11.10.13 | 非線形弾性材料の設定方法 | 11-537 |
| 11.10.14 | 入力項目 | 11-538 |
| 11.10.15 | 応力 - ひずみ曲線について | 11-539 |
| 11.10.16 | NX Nastran カード | 11-539 |
| 11.10.17 | ガasket材料 | 11-541 |
| 11.10.18 | 形状記憶合金 (Shape Memory Alloy) | 11-552 |
| 11.11 | 減衰設定 | 11-562 |
| 11.11.1 | レイリー減衰 | 11-562 |
| 11.11.2 | 質量減衰 PARAM,ALPHA1 カードの書式 | 11-564 |
| 11.11.3 | 剛性減衰 PARAM,ALPHA2 カードの書式 | 11-564 |
| 11.12 | 熱構造連成解析 | 11-565 |
| 11.12.1 | 熱構造連成解析用パラメータカード TMCPARA | 11-566 |
| 11.13 | 非線形静解析の解析手法 | 11-568 |
| 11.13.1 | 自動時間刻み幅調整機能 | 11-568 |
| 11.13.2 | 自動タイムステップング法 (ATS 法) | 11-568 |
| 11.13.3 | LDC 法 (弧長増分法) | 11-570 |
| 11.14 | 収束条件と判定 | 11-575 |
| 11.14.1 | 非線形静解析の収束条件と判定 | 11-575 |
| 11.14.2 | 非線形過渡解析の収束条件と判定 | 11-582 |
| 11.14.3 | 解析手法の比較 | 11-585 |
| 11.15 | 解析ソルバー | 11-596 |
| 11.15.1 | ダイレクトスパースソルバー | 11-596 |
| 11.15.2 | 反復マルチグリッドソルバー | 11-597 |
| 11.15.3 | 3D 反復ソルバー | 11-599 |
| 11.15.4 | スパースソルバーとマルチグリッドソルバー | 11-601 |
| 11.16 | モデルの確認項目 | 11-604 |
| 11.16.1 | 非線形解析を実行する前に行うこと | 11-604 |
| 11.16.2 | 計算設定の時に注意すること | 11-604 |
| 11.17 | 解析例 | 11-607 |
| 11.17.1 | S 字レールの塑性加工 (スプリングバック) | 11-607 |
| 11.18 | 陽解法ソルバー SOL701(Advanced Nonlinear) | 11-611 |
| 11.18.1 | SOL701 で使用できる要素 | 11-611 |
| 11.18.2 | SOL701 で使用できる材料 | 11-611 |
| 11.18.3 | 定式化 | 11-612 |
| 11.18.4 | CDM の特徴と注意点 | 11-612 |
| 11.18.5 | SOL701 の時間コントロール | 11-612 |
| 11.18.6 | 質量マトリクス | 11-613 |
| 11.18.7 | 減衰 | 11-613 |
| 11.18.8 | 収束安定性 | 11-613 |
| 11.18.9 | 音速 c と特性長さ L の計算方法 | 11-614 |
| 11.18.10 | 時間刻み幅の制御 | 11-617 |
| 11.18.11 | SOL701 解析の手順 | 11-618 |
| 11.19 | メモリとハードディスクについて | 11-631 |
| 11.19.1 | SOL601 のメモリ使用 | 11-631 |
| 11.19.2 | SOL701 | 11-631 |
| 11.19.3 | 使用メモリの拡張方法 | 11-631 |
| 11.19.4 | 使用メモリ量の節約 | 11-633 |
| 11.20 | 初期条件の設定 | 11-634 |
| 11.20.1 | 初期荷重セットの定義 | 11-634 |

| | |
|----------------------------|--------|
| 11.20.2 速度と変位の定義 | 11-635 |
| 11.20.3 初期条件の指定 | 11-636 |
| 11.20.4 出力されるカード | 11-636 |
| 11.21 リスタート解析について | 11-639 |
| 11.21.1 初期解析での設定 | 11-639 |
| 11.21.2 リスタート解析での設定 | 11-639 |
| 11.21.3 リスタートの仕組み | 11-640 |
| 11.21.4 リスタート解析の手順 | 11-641 |
| 11.21.5 リスタート解析の結果 | 11-645 |
| 11.21.6 リスタート解析での注意点 | 11-646 |
| 11.22 メモリ割当て (NXNA_MEMORY) | 11-648 |

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 |
| 12.4 形状記憶合金 | 12-39 |

13 SOL401/402 解析ガイド

| | |
|--|-------|
| 13.1 Mutistep Nonlinear モジュール (SOL401/402) | 13-2 |
| 13.1.1 サブケースによる多段解析 | 13-5 |
| 13.1.2 リスタート解析 | 13-8 |
| 13.1.3 非線形解析機能 | 13-8 |
| 13.1.4 関節マルチボディダイナミクス (SOL402) | 13-15 |
| 13.1.5 剛体運動の処理 (SOL401/402) | 13-17 |
| 13.1.6 固有値解析機能 | 13-17 |
| 13.1.7 周期対称とフーリエ調和固有値解析 (SOL401/402) | 13-18 |
| 13.1.8 非線形座屈解析 (SOL401) | 13-18 |
| 13.1.9 線形座屈解析 (SOL402) | 13-19 |
| 13.1.10 要素の出現と消滅 (SOL401) | 13-19 |
| 13.1.11 SOL401 非線形解析機能 | 13-19 |
| 13.1.12 SOL402 非線形解析機能 | 13-19 |
| 13.1.13 コンタクトサーフェイス | 13-20 |
| 13.1.14 初期設定上の注意 (重要) | 13-20 |
| 13.1.15 サポートする解析タイプ | 13-20 |
| 13.1.16 非線形性の指定に関する特記事項 (LGDISP/LGSTRN) | 13-21 |
| 13.1.17 サポートする要素タイプ | 13-33 |
| 13.1.18 サポートする材料タイプ | 13-37 |
| 13.1.19 サポートするケースコントロールカード | 13-40 |
| 13.1.20 サポートする荷重拘束条件 | 13-41 |
| 13.1.21 サポートする減衰タイプ | 13-43 |

| | |
|--|--------|
| 13.1.22 サポートする座標系 (SOL401/402)..... | 13-49 |
| 13.2 解析ソルバー | 13-50 |
| 13.2.1 はじめに : 収束性の考慮と設定 [概要] | 13-50 |
| 13.2.2 SOL401 の解析ソルバー | 13-51 |
| 13.2.3 SOL402 の解析ソルバー | 13-61 |
| 13.2.4 時間積分法の選択 | 13-63 |
| 13.2.5 SOL401 ソルバーの設定 | 13-70 |
| 13.2.6 [ストラテジパラメータ (NLCNTL)] ダイアログボックス (SOL401).... | 13-73 |
| 13.2.7 SOL401 解析設定 | 13-113 |
| 13.2.8 SOL401 解析タイプの設定 | 13-127 |
| 13.2.9 SOL402 の解析ソルバー | 13-135 |
| 13.2.10 SOL402 解析タイプの設定 | 13-136 |
| 13.2.11 SOL402 解析設定 | 13-184 |
| 13.2.12 SOL402 解析タイプの設定 | 13-200 |
| 13.3 数値計算ソルバーの選択 | 13-200 |
| 13.3.1 ソルバータイプの設定 | 13-200 |
| 13.4 F06 ファイルの内容 | 13-205 |
| 13.4.1 SOL401 の F06 ファイル | 13-205 |
| 13.4.2 SOL402 の F06 ファイルエラー、警告情報 | 13-210 |
| 13.5 材料タイプ (SOL401/402) | 13-217 |
| 13.5.1 等方性材料 | 13-220 |
| 13.5.2 高度弾塑性特性の定義 (MPLAS) | 13-228 |
| 13.5.3 MPLAS 弾塑性カード | 13-234 |
| 13.5.4 弾塑性のひずみ速度依存性 (MATSR) | 13-252 |
| 13.5.5 クリープ | 13-261 |
| 13.5.6 MVPLAS クリープ / 粘塑性カード | 13-276 |
| 13.5.7 2D/3D 直交異方性材料 | 13-281 |
| 13.5.8 2D/3D 異方性材料 | 13-282 |
| 13.5.9 超弾性材料 (SOL402) | 13-289 |
| 13.5.10 粘弾性材料特性 (SOL402 Mullins 効果) | 13-302 |
| 13.5.11 Holzapfel 粘弾性材料 (MATEV) (SOL402) | 13-314 |
| 13.5.12 ガスケット材料 (SOL402) | 13-330 |
| 13.5.13 破壊進展モデル | 13-344 |
| 13.5.14 積層破壊特性 (MATDMG) | 13-346 |
| 13.5.15 UD プライモデル | 13-349 |
| 13.5.16 EUD プライモデル | 13-370 |
| 13.5.17 粘着材料 (MATCZ) | 13-384 |
| 13.5.18 ネズミ鑄鉄モデル (MPLAS) | 13-398 |
| 13.5.19 ユーザ定義材料 SOL401 | 13-408 |
| 13.5.20 ユーザ定義クリープ材料 SOL401/402 | 13-410 |
| 13.6 要素タイプ | 13-412 |
| 13.6.1 サポートしないエレメントに関する注記 | 13-413 |
| 13.6.2 質量要素 | 13-414 |
| 13.6.3 質量マトリクス要素 | 13-417 |
| 13.6.4 DOF スプリング要素 (CELAS2/1, CDAMP2/1) | 13-418 |
| 13.6.5 スプリング要素 (CBUSH, CVISC) | 13-427 |
| 13.6.6 CBUSH1D | 13-440 |
| 13.6.7 ロッド要素 (トラス要素) | 13-441 |
| 13.6.8 バー要素 (CBAR) | 13-451 |
| 13.6.9 断面形状付バー要素 CBARL | 13-455 |
| 13.6.10 ビーム要素 CBEAM | 13-460 |
| 13.6.11 断面形状付ビーム要素 CBEAML | 13-466 |
| 13.6.12 ギャップ要素 CGAP | 13-471 |
| 13.6.13 プレート要素 | 13-483 |
| 13.6.14 3D シェル要素 (SOL402) | 13-509 |
| 13.6.15 せん断パネル要素 (SOL401) | 13-526 |
| 13.6.16 張力シェル要素 (Tension Only Shell)[401 専用] | 13-536 |

| | |
|---|--------|
| 13.6.17 積層要素 | 13-546 |
| 13.6.18 平面ひずみ要素 | 13-592 |
| 13.6.19 軸対称要素 (線形 / 小ひずみ / 大ひずみ) | 13-602 |
| 13.6.20 チョーキング要素 (SOL401) | 13-615 |
| 13.6.21 ソリッド要素 | 13-628 |
| 13.6.22 積分点の位置とコーナーデータ出力 | 13-629 |
| 13.6.23 定義 | 13-632 |
| 13.6.24 利用できる解析のタイプ | 13-632 |
| 13.6.25 形状 と性能 | 13-632 |
| 13.6.26 要素座標系 | 13-633 |
| 13.6.27 プロパティ | 13-633 |
| 13.6.28 対応する Femap エレメント | 13-633 |
| 13.6.29 対応するマテリアルタイプ | 13-634 |
| 13.6.30 出力データ | 13-635 |
| 13.6.31 1次 /2 次六面体要素カード CHEXA | 13-638 |
| 13.6.32 1次 /2 次三角柱要素カード CPENTA | 13-638 |
| 13.6.33 1次 /2 次四面体要素カード CTERTA | 13-639 |
| 13.6.34 1次 /2 次四角錐要素 CPYRAM | 13-639 |
| 13.6.35 ソリッドプロパティカード PSOLID | 13-640 |
| 13.6.36 剛体要素 | 13-642 |
| 13.7 ジョイント要素 (SOL402) | 13-647 |
| 13.7.1 ジョイント要素のタイプと定義 | 13-647 |
| 13.7.2 REVOLUTE(回転) | 13-658 |
| 13.7.3 SPHERE(球体関節) | 13-673 |
| 13.7.4 UNIVSL(ユニバーサルジョイント) | 13-679 |
| 13.7.5 CONVEL(等速ユニバーサルジョイント) | 13-699 |
| 13.7.6 SLIDER(スライダージョイント) | 13-702 |
| 13.7.7 CYLDR(シリンダージョイント) | 13-708 |
| 13.7.8 INLINE(インラインジョイント) | 13-714 |
| 13.7.9 SLIUNV(スライダ付ユニバーサルジョイント) | 13-720 |
| 13.7.10 FIXED(固定ジョイント) | 13-726 |
| 13.7.11 ジョイント要素定義カード CJOINT | 13-729 |
| 13.7.12 ジョイント要素プロパティカード PJOINT | 13-730 |
| 13.7.13 ジョイント荷重 (DRIVER) | 13-731 |
| 13.7.14 ジョイント駆動カード -DRIVER | 13-733 |
| 13.7.15 ジョイントの固定と解放 (JCON/JCONADD) | 13-735 |
| 13.7.16 JCONADD セットカード | 13-736 |
| 13.7.17 ジョイント結果出力カード -JRESULTS | 13-736 |
| 13.7.18 ジョイント拘束セットカード -JCONSET | 13-737 |
| 13.8 フレキシブルスライダ (SOL402) | 13-738 |
| 13.8.1 フレキシブルスライダのタイプ | 13-739 |
| 13.8.2 駆動装置 | 13-746 |
| 13.8.3 摩擦モデル | 13-746 |
| 13.8.4 フレキシブルスライダの定義 | 13-747 |
| 13.9 荷重条件 | 13-752 |
| 13.9.1 サポートする荷重 | 13-753 |
| 13.9.2 力荷重 | 13-754 |
| 13.9.3 モーメント | 13-755 |
| 13.9.4 従動荷重の定義 | 13-756 |
| 13.9.5 強制変位 | 13-759 |
| 13.9.6 強制回転変位 | 13-762 |
| 13.9.7 速度 (Velocity) | 13-764 |
| 13.9.8 角速度 (Angular Velocity) | 13-766 |
| 13.9.9 加速度 (Acceleration) | 13-768 |
| 13.9.10 角加速度 (Angular Acceleration) | 13-770 |
| 13.9.11 圧力 (Pressure) | 13-772 |
| 13.9.12 分布荷重 (Distributed Load) | 13-776 |

| | |
|--|---------|
| 13.9.13 温度 (Temperature)..... | 13-779 |
| 13.9.14 デフォルト温度 | 13-780 |
| 13.9.15 ボルト初期荷重 | 13-781 |
| 13.9.16 強制運動に関する注記 -SOL402 | 13-790 |
| 13.9.17 ボルト荷重の例題 | 13-791 |
| 13.10 拘束条件 | 13-857 |
| 13.10.1 ノード拘束 (SPC)..... | 13-857 |
| 13.10.2 ノード強制変位 (SPCD)..... | 13-857 |
| 13.10.3 拘束条件式 (MPC)..... | 13-857 |
| 13.10.4 周期対称境界条件..... | 13-858 |
| 13.11 コンタクト..... | 13-859 |
| 13.11.1 コンタクトの構成と識別 | 13-860 |
| 13.11.2 コンタクトの機能 | 13-862 |
| 13.11.3 ペナルティ法、変形の複雑さとメッシュサイズ | 13-862 |
| 13.11.4 コンタクトと減衰..... | 13-874 |
| 13.11.5 SOL401/402 の接触静解析 | 13-874 |
| 13.11.6 過渡解析でのモデル化..... | 13-877 |
| 13.11.7 接触面のシナリオ | 13-884 |
| 13.11.8 解析タイプによるコンタクト / 固着の有効性 | 13-886 |
| 13.11.9 自己接触 | 13-886 |
| 13.11.10 リージョンの定義 | 13-890 |
| 13.11.11 コンタクトプロパティの定義 | 13-897 |
| 13.11.12 コンタクトペアの定義 | 13-899 |
| 13.11.13 コンタクトの結果出力..... | 13-901 |
| 13.11.14 ペナルティファクタの計算 (SOL401)[重要] | 13-902 |
| 13.11.15 静解析でのコンタクト適用の注意点 [重要] | 13-904 |
| 13.11.16 コンタクト要素 | 13-916 |
| 13.11.17 コンタクトと固着の定義 | 13-917 |
| 13.11.18 固着の機能と設定 | 13-917 |
| 13.11.19 コンタクトモデルの計算 | 13-927 |
| 13.11.20 コンタクトの定式化 -SOL401 | 13-929 |
| 13.11.21 コンタクトの結果出力..... | 13-935 |
| 13.11.22 コンタクト性能と設定の概要 | 13-936 |
| 13.11.23 コンタクトプロパティの設定 -SOL401/402 | 13-937 |
| 13.11.24 コンタクトプロパティ | 13-938 |
| 13.11.25 仮想ねじコンタクト (SOL402)..... | 13-977 |
| 13.11.26 仮想ねじコンタクトの例 | 13-984 |
| 13.12 SOL401- コンタクト例題 | 13-1019 |
| 13.12.1 SOL401 例題 - ダイスの静置 [静解析] | 13-1019 |
| 13.12.2 SOL401 例題 - 帯の落下 [過渡解析] | 13-1030 |
| 13.13 SOL402 例題 - 帯の落下 [過渡解析] | 13-1045 |
| 13.13.1 荷重の変更 | 13-1045 |
| 13.13.2 コンタクトプロパティ | 13-1046 |
| 13.13.3 解析条件 | 13-1047 |
| 13.13.4 解析結果 | 13-1048 |
| 13.14 固着 | 13-1052 |
| 13.14.1 用途 | 13-1052 |
| 13.14.2 固着定義の概要 | 13-1052 |
| 13.14.3 SOL401 の固着定義 | 13-1052 |
| 13.14.4 SOL402 の固着定義 | 13-1056 |
| 13.15 調和解析 (Harmonics Analysis)..... | 13-1058 |
| 13.15.1 節直径とハーモニクス数 | 13-1058 |
| 13.15.2 調和解析のモデル | 13-1060 |
| 13.16 周期対称モデルと解析 (SOL401/402) | 13-1062 |
| 13.16.1 単元モデルの作成 (SOL401/402) | 13-1063 |
| 13.16.2 カードの追加 | 13-1064 |
| 13.16.3 対称面の定義 | 13-1069 |

| | |
|--|---------|
| 13.17 フーリエモデルと解析 | 13-1070 |
| 13.17.1 フーリエモデル | 13-1073 |
| 13.17.2 出力される解析結果 | 13-1077 |
| 13.17.3 解析手順 | 13-1087 |
| 13.18 解析条件の定義 | 13-1092 |
| 13.18.1 グローバルパラメータ (SOL402) | 13-1092 |
| 13.18.2 高度なパラメータ (SOL402) セクション | 13-1097 |
| 13.18.3 リスタートパラメータ (SOL401/402) セクション | 13-1098 |
| 13.18.4 グローバルケース | 13-1098 |
| 13.18.5 グローバルパラメータの設定 | 13-1098 |
| 13.18.6 [マルチステップ制御オプション] ダイアログボックス | 13-1099 |
| 13.19 要素の出現と消滅 (SOL401) | 13-1129 |
| 13.19.1 [要素追加 除去マネージャ] ダイアログボックス | 13-1129 |
| 13.19.2 [要素追加 除去] ダイアログボックス | 13-1129 |
| 13.19.3 要素追加 除去セットダイアログボックス | 13-1131 |
| 13.19.4 要素出現消滅の有効化 | 13-1132 |
| 13.19.5 出現消失時刻とデルタ時間の設定に関する注記 | 13-1133 |
| 13.19.6 ELAR/ELAR2 カード | 13-1133 |
| 13.19.7 ELAR バルクデータカードの書式 | 13-1134 |
| 13.19.8 ELAR2 バルクデータカードの書式 | 13-1135 |
| 13.19.9 GROUP バルクデータカード | 13-1137 |
| 13.19.10 要素の出現 / 消滅のケースコントロール (SOL401) | 13-1138 |
| 13.19.11 結果出力 | 13-1139 |
| 13.19.12 要素の出現 / 消滅の例題 | 13-1140 |
| 13.20 SOL401 解析テンプレート | 13-1152 |
| 13.20.1 非線形座屈解析 | 13-1152 |
| 13.21 SOL401/402 解析タイプ | 13-1154 |
| 13.21.1 非線形静解析 | 13-1154 |
| 13.21.2 固有値解析 | 13-1154 |
| 13.21.3 座屈解析 | 13-1154 |
| 13.21.4 非線形過渡解析 (SOL401/402) | 13-1157 |
| 13.21.5 ボルト初期荷重解析 | 13-1160 |
| 13.21.6 調和解析 (Harmonic Analysis) | 13-1164 |
| 13.21.7 周期対称固有値解析 | 13-1166 |
| 13.21.8 フーリエ固有値解析 | 13-1167 |
| 13.22 例題 | 13-1168 |
| 13.22.1 水平に張ったケーブルの固有値解析 (SOL401) | 13-1168 |
| 13.22.2 角柱の非線形座屈 (SOL401) | 13-1183 |
| 13.22.3 弾塑性のある角柱の引張変形 (SOL401) | 13-1191 |
| 13.22.4 ボルト留めの摩擦保持 | 13-1193 |
| 13.22.5 コンタクトの例題 - アルミ支柱の座屈 (SOL402) | 13-1204 |
| 13.22.6 境界条件の変更 - シートの落下 | 13-1222 |
| 13.23 メモリ割り当て | 13-1234 |
| 13.23.1 SOL401 のメモリ割り当て | 13-1234 |
| 13.23.2 SOL402 のメモリ割り当て | 13-1235 |
| 13.24 F06 ファイルとエラーコード | 13-1236 |
| 13.24.1 全体構成 | 13-1236 |
| 13.24.2 収束エコーの説明 (F06) | 13-1240 |
| 13.24.3 ワーニングとエラー | 13-1240 |
| 13.24.4 エラーリスト | 13-1241 |

14 リファレンス

| | |
|-------------------------------|-------|
| 14.1 はじめに | 14-1 |
| 14.2 単位系 / モノサシ / 力学の基礎 | 14-4 |
| 14.2.1 補助単位あるいはモノサシの目盛 | 14-9 |
| 14.2.2 単位換算の例 | 14-10 |

| | | |
|---------|---|--------|
| 14.2.3 | SI 単位系での整合性 | 14-13 |
| 14.2.4 | 工学単位系 | 14-24 |
| 14.3 | 数値について (実数まで) | 14-29 |
| 14.3.1 | 整数と実数 | 14-29 |
| 14.3.2 | 階乗 (Factorial), 順列 (Permutation) と組合せ (Combination) | 14-49 |
| 14.3.3 | 二項定理 | 14-55 |
| 14.4 | 数列 | 14-59 |
| 14.4.1 | 等差数列 | 14-60 |
| 14.4.2 | 等差数列の和 | 14-60 |
| 14.4.3 | 等差数列の積 | 14-62 |
| 14.4.4 | 等差数列の無限和と無限積 | 14-63 |
| 14.4.5 | 等比数列 | 14-65 |
| 14.4.6 | 等比数列の和 | 14-65 |
| 14.4.7 | 漸化式で定義される数列 | 14-73 |
| 14.4.8 | 関数の級数展開 | 14-77 |
| 14.4.9 | 調和数列とその先 | 14-78 |
| 14.4.10 | 級数無限和の注意点 | 14-83 |
| 14.5 | 関数 | 14-86 |
| 14.5.1 | 最大 (max)、最小 (min) と上限 (sup)、下限 (inf) | 14-88 |
| 14.5.2 | 位置の把握 | 14-92 |
| 14.5.3 | 三角関数、指数関数、対数関数 | 14-93 |
| 14.5.4 | 方程式 | 14-179 |
| 14.5.5 | ベクトルとマトリクス | 14-189 |
| 14.5.6 | 正弦定理 | 14-194 |
| 14.5.7 | 余弦定理 | 14-195 |
| 14.5.8 | 内積 | 14-197 |
| 14.5.9 | 外積 | 14-204 |
| 14.5.10 | 三重積 | 14-207 |
| 14.5.11 | ベクトル演算の応用 | 14-211 |
| 14.6 | ベクトル計算と力学の基礎 | 14-222 |
| 14.6.1 | 各ベクトル計算 | 14-222 |
| 14.6.2 | 風向きとベクトル場 | 14-223 |
| 14.6.3 | スカラ場とベクトル場 | 14-224 |
| 14.6.4 | 勾配 | 14-225 |
| 14.6.5 | ベクトル場の様子 | 14-229 |
| 14.6.6 | 発散 (ダイバージェンス) | 14-229 |
| 14.6.7 | 回転 (ローテーション) | 14-244 |
| 14.6.8 | ハミルトン演算子 | 14-252 |
| 14.6.9 | ラプラス演算子 | 14-253 |
| 14.6.10 | 勾配、発散、回転の性質 | 14-256 |
| 14.6.11 | ガウスグリーンの定理 | 14-259 |
| 14.6.12 | ストークスの定理 | 14-264 |
| 14.6.13 | 応用 - 面積、体積の計算 | 14-266 |
| 14.6.14 | まとめ | 14-267 |
| 14.6.15 | スカラポテンシャルとベクトルポテンシャル | 14-269 |
| 14.6.16 | ナヴィエ = ストークス方程式 | 14-275 |
| 14.6.17 | まとめ | 14-277 |
| 14.6.18 | 線積分と面積分 | 14-278 |
| 14.7 | 複素関数と複素平面 | 14-282 |
| 14.7.1 | 複素数の積 | 14-287 |
| 14.7.2 | 複素数の外積 | 14-293 |
| 14.7.3 | 複素数では四則演算に対して閉じていること | 14-295 |
| 14.7.4 | 複素ベクトル | 14-297 |
| 14.7.5 | 複素ベクトルの空間 (計量ベクトル空間、内積空間) | 14-307 |
| 14.7.6 | マトリクス | 14-307 |
| 14.8 | マトリクスの計算の基礎 | 14-319 |
| 14.8.1 | 行列の演算 | 14-321 |

| | | |
|----------|--------------------------------|--------|
| 14.8.2 | マトリクスのタイプ | 14-355 |
| 14.8.3 | 空間 | 14-370 |
| 14.8.4 | 基本演算 | 14-371 |
| 14.8.5 | マトリクスの分解 | 14-373 |
| 14.8.6 | 固有値問題 | 14-397 |
| 14.8.7 | Householder 変換 | 14-398 |
| 14.9 | 微積分 | 14-399 |
| 14.9.1 | 関数の連続性と微分可能性 | 14-401 |
| 14.9.2 | 様々な関数の微分 | 14-401 |
| 14.9.3 | 微分式の操作 | 14-409 |
| 14.9.4 | 行列と微分 | 14-416 |
| 14.9.5 | 積分 | 14-421 |
| 14.9.6 | 積分式の操作 | 14-427 |
| 14.9.7 | 級数展開 | 14-428 |
| 14.9.8 | 多変数微分と座標変換 | 14-438 |
| 14.9.9 | 変数変換と重積分 | 14-453 |
| 14.9.10 | 積分と極限 | 14-459 |
| 14.9.11 | 関数積の積分 | 14-460 |
| 14.10 | 複素数 | 14-462 |
| 14.10.1 | 複素数関数 | 14-463 |
| 14.10.2 | 複素数の加減 | 14-464 |
| 14.10.3 | 複素数の乗除 | 14-464 |
| 14.10.4 | 複素平面 | 14-464 |
| 14.10.5 | 三角関数の級数展開 | 14-467 |
| 14.10.6 | 複素数の内積 | 14-469 |
| 14.10.7 | 複素ベクトルの定義 | 14-470 |
| 14.10.8 | 複素数の外積 | 14-471 |
| 14.10.9 | 複素数の指数関数 | 14-471 |
| 14.10.10 | 複素数の対数関数 | 14-471 |
| 14.10.11 | 虚数の虚数乗 | 14-477 |
| 14.10.12 | 複素数の三角関数 | 14-478 |
| 14.10.13 | 複素平面の拡張 | 14-480 |
| 14.10.14 | 虚数の無限平方根の級数 | 14-480 |
| 14.10.15 | 解析接続 (Analytical Continuation) | 14-486 |
| 14.10.16 | ガンマ関数 (Γ function) | 14-491 |
| 14.10.17 | ベータ関数 (β 関数) | 14-499 |
| 14.10.18 | Z 関数 (ゼータ関数) | 14-505 |
| 14.10.19 | 写像から等角写像 | 14-506 |
| 14.11 | フーリエ級数展開 | 14-519 |
| 14.11.1 | フーリエ級数展開の例 | 14-520 |
| 14.11.2 | 複素フーリエ級数 | 14-523 |
| 14.12 | 波動方程式 | 14-524 |
| 14.12.1 | 波動方程式の解 | 14-532 |
| 14.13 | 元数 | 14-541 |
| 14.13.1 | 4 元数 (Quater-nion) | 14-541 |
| 14.13.2 | 4 元数の使い道 | 14-554 |
| 14.13.3 | 4 元数のマトリクス表現 | 14-557 |
| 14.13.4 | 表記方法に関する注記 (重要) | 14-560 |
| 14.13.5 | 8 元数 | 14-562 |
| 14.14 | 複素マトリクス | 14-563 |
| 14.14.1 | ユニタリマトリクス | 14-564 |
| 14.15 | 偏微分方程式 | 14-565 |
| 14.15.1 | 偏微分方程式の分類 | 14-565 |
| 14.15.2 | 微分方程式と境界条件、初期条件 | 14-568 |
| 14.15.3 | 連続体の波動方程式 | 14-569 |
| 14.16 | 材料の力伝達 | 14-584 |
| 14.17 | メソ=スケールでの材料の物性 | 14-586 |

| | | |
|----------|-----------------------------------|--------|
| 14.17.1 | 弾性率 | 14-587 |
| 14.17.2 | ポアソン比とその特徴 | 14-593 |
| 14.17.3 | せん断と引張りの関係 | 14-596 |
| 14.17.4 | 応力についてのまとめ | 14-598 |
| 14.18 | 応力テンソル | 14-599 |
| 14.18.1 | 面に作用する力のつり合いと応力テンソル | 14-599 |
| 14.18.2 | 応力テンソルの使い方 - 三次元での例 | 14-602 |
| 14.18.3 | 応力テンソルの使い方 - 二次元での例 | 14-606 |
| 14.18.4 | 応力テンソルの回転座標変換 | 14-612 |
| 14.18.5 | 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 | 14-613 |
| 14.18.6 | 直交座標から円筒座標への応力座標変換 | 14-613 |
| 14.18.7 | 直交座標から球座標への応力座標変換 | 14-614 |
| 14.18.8 | NX Nastran での適用例 | 14-614 |
| 14.18.9 | いくつかの応力テンソル | 14-614 |
| 14.18.10 | 応力楕円体 | 14-616 |
| 14.18.11 | 主応力と主せん断応力 | 14-618 |
| 14.18.12 | 平均応力と偏差応力 | 14-628 |
| 14.18.13 | 主応力の計算方法 | 14-632 |
| 14.18.14 | 応力テンソルのまとめ | 14-633 |
| 14.19 | 応力集中について | 14-636 |
| 14.19.1 | 破壊力学概要 | 14-636 |
| 14.19.2 | き裂の発生応力 | 14-638 |
| 14.19.3 | FEM 解析で応力が無限大になるケース | 14-644 |
| 14.19.4 | 複合材料の応力集中 | 14-648 |
| 14.20 | ひずみについて | 14-649 |
| 14.20.1 | ひずみテンソル | 14-650 |
| 14.20.2 | ひずみと応力の関係 | 14-651 |
| 14.20.3 | 等方性材料のひずみと応力の関係 | 14-653 |
| 14.20.4 | 平面ひずみでの応力とひずみの関係 | 14-654 |
| 14.20.5 | 平面応力での応力とひずみの関係 | 14-655 |
| 14.20.6 | 直交異方性材料の応力とひずみの関係 | 14-657 |
| 14.20.7 | 直交異方性材料の体積弾性率 | 14-661 |
| 14.20.8 | 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 | 14-662 |
| 14.20.9 | 剛性マトリクスの回転 | 14-663 |
| 14.21 | 主ひずみと主応力の方向 | 14-666 |
| 14.21.1 | ひずみテンソルの使い方 | 14-667 |
| 14.21.2 | 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 | 14-669 |
| 14.21.3 | 直交座標から円筒座標へのひずみ座標変換 | 14-669 |
| 14.21.4 | 直交座標から球座標へのひずみ座標変換 | 14-670 |
| 14.21.5 | 主ひずみの成分と方向 | 14-671 |
| 14.21.6 | ひずみ不変量 | 14-671 |
| 14.21.7 | 偏差ひずみ | 14-672 |
| 14.21.8 | 変位とひずみの関係 | 14-677 |
| 14.21.9 | 有限要素法の剛性マトリクス | 14-679 |
| 14.21.10 | 形状関数 | 14-687 |
| 14.21.11 | ひずみテンソルのまとめ | 14-690 |
| 14.21.12 | vonMises ひずみと vonMises 応力について | 14-694 |
| 14.22 | 熱ひずみについて | 14-695 |
| 14.22.1 | 線膨張率の物理的定義 | 14-695 |
| 14.22.2 | NX Nastran での線膨張率 | 14-695 |
| 14.22.3 | 基準温度 | 14-696 |
| 14.22.4 | 平均線膨張率と瞬間線膨張率 | 14-696 |
| 14.22.5 | 線膨張率の取りうる範囲 | 14-697 |
| 14.23 | ひずみエネルギーについて | 14-698 |
| 14.23.1 | 等方性材料のひずみエネルギー密度 | 14-699 |
| 14.23.2 | 直交異方性材料のひずみエネルギー密度 | 14-701 |
| 14.23.3 | ひずみエネルギー密度の計算 | 14-703 |

| | |
|--|--------|
| 14.23.4 構造の変形とひずみエネルギー | 14-703 |
| 14.24 強度について | 14-706 |
| 14.24.1 はじめに | 14-706 |
| 14.24.2 破断 (Rupture) と崩壊 (Collapse) | 14-708 |
| 14.24.3 崩壊強度と破断強度 | 14-708 |
| 14.24.4 NX Nastran で可能な強度解析 | 14-710 |
| 14.24.5 本章で紹介する強度評価 | 14-711 |
| 14.24.6 線形強度解析の留意点 | 14-712 |
| 14.24.7 まとめ | 14-715 |
| 14.25 等方性材料の強度評価 | 14-716 |
| 14.25.1 最大 (引張り) 主応力説 (Rankine 強度基準) | 14-716 |
| 14.25.2 Mohr-Coulomb 強度基準 | 14-717 |
| 14.25.3 Drucker-Prager 強度基準 | 14-721 |
| 14.25.4 Drucker-Prager と Mohr-Coulomb のいずれを使うか | 14-724 |
| 14.25.5 最大主ひずみ説 | 14-725 |
| 14.25.6 最大せん断応力説 (Tresca 強度基準) | 14-725 |
| 14.25.7 変位ひずみエネルギー説 | 14-726 |
| 14.25.8 von Mises 応力 | 14-727 |
| 14.25.9 主応力空間での表現 | 14-729 |
| 14.25.10 強度評価の比較 | 14-742 |
| 14.25.11 まとめ | 14-746 |
| 14.25.12 その他の強度評価 | 14-747 |
| 14.25.13 ボルトの強度区分 | 14-769 |
| 14.25.14 材料強度の参考値 | 14-782 |
| 14.25.15 ボルトゆるみの問題 | 14-785 |
| 14.25.16 溶接強度 | 14-787 |
| 14.25.17 疲労破壊の指標 | 14-794 |
| 14.25.18 その他の等方性材料強度評価 | 14-798 |
| 14.25.19 せん断強度について (補足) | 14-799 |
| 14.25.20 二軸応力での降伏 | 14-803 |
| 14.25.21 ファスナの強度 | 14-803 |
| 14.26 安全率と安全裕度 | 14-805 |
| 14.26.1 安全率と制限荷重 | 14-805 |
| 14.26.2 安全裕度 | 14-815 |
| 14.26.3 構造の破壊確率の計算 | 14-815 |
| 14.27 弾塑性の取り扱い | 14-821 |
| 14.27.1 弾塑性 | 14-821 |
| 14.27.2 降伏曲面の等方硬化、移動硬化 | 14-831 |
| 14.27.3 von Mises 降伏曲面による硬化則 (Hardening Rule) | 14-833 |
| 14.27.4 繰り返し荷重による金属の塑性 | 14-840 |
| 14.28 非線形解析での応力とひずみ | 14-841 |
| 14.28.1 公称ひずみ | 14-841 |
| 14.28.2 公称応力 | 14-842 |
| 14.28.3 対数ひずみ | 14-843 |
| 14.28.4 対数ひずみと公称ひずみの比較 | 14-844 |
| 14.28.5 真応力 (Cauchy 応力) | 14-845 |
| 14.28.6 公称応力 / ひずみと真応力 / 対数ひずみの関係 | 14-847 |
| 14.28.7 変形と力の測定 | 14-850 |
| 14.28.8 ひずみエネルギー | 14-852 |
| 14.28.9 引張強度試験と測度 | 14-855 |
| 14.29 異方性材料の強度評価 | 14-864 |
| 14.29.1 複合材料の破壊指標 | 14-864 |
| 14.29.2 強度テンソル (Gol'denblat & Kapnov) | 14-864 |
| 14.29.3 3 軸 (2 軸) 最大応力説 | 14-865 |
| 14.29.4 Hill('48) の降伏条件 | 14-866 |
| 14.29.5 その他の Hill の降伏条件 | 14-872 |
| 14.30 確率とどんぶり勘定 | 14-874 |

| | |
|--|---------|
| 14.30.1 原則 | 14-875 |
| 14.30.2 統計の重要性 | 14-880 |
| 14.30.3 どんぶり勘定 - 平均 | 14-881 |
| 14.30.4 確率モデル | 14-907 |
| 14.30.5 最初の確率計算と確率モデル - コイントス | 14-909 |
| 14.30.6 ガウス分布との一致度合いのパラメータ | 14-938 |
| 14.30.7 対数ガウス分布 | 14-941 |
| 14.30.8 二項分布 | 14-953 |
| 14.30.9 ベルヌーイ分布 (Bernoulli Distribution) | 14-975 |
| 14.30.10 ワイブル分布 (レイリー分布、指数分布) | 14-980 |
| 14.30.11 指数分布 (ワイブル $m=1$) | 14-982 |
| 14.30.12 レイリー分布 (ワイブル $m=2$) | 14-985 |
| 14.30.13 ポアソン分布 | 14-989 |
| 14.30.14 ガンマ分布 | 14-991 |
| 14.30.15 ベータ分布 (Beta Distribution) | 14-994 |
| 14.30.16 尤度関数とベイズ統計 | 14-1003 |
| 14.30.17 超幾何分布 (HyperGeometric Distribution) | 14-1034 |
| 14.30.18 マクスウェル分布 | 14-1038 |
| 14.30.19 大数法則と中心極限定理 | 14-1041 |
| 14.30.20 複数の分布の合成 | 14-1042 |
| 14.30.21 推定統計学 | 14-1047 |
| 14.30.22 相関の評価 - 危険な例 | 14-1055 |
| 14.30.23 確率事象間の関連性 | 14-1060 |
| 14.30.24 履歴で変化する確率 - マルコフ過程 | 14-1061 |
| 14.30.25 確率構造と関連性を持つ確率 | 14-1069 |
| 14.31 構造信頼性について | 14-1072 |
| 14.31.1 さまざまな確率密度関数 | 14-1072 |
| 14.31.2 構造の破壊確率の計算 | 14-1076 |
| 14.31.3 NX Nastran での適用 | 14-1077 |
| 14.32 単位系について | 14-1078 |
| 14.32.1 基準単位系 | 14-1078 |
| 14.32.2 単位換算の例 | 14-1079 |
| 14.32.3 SI 単位系での整合性 | 14-1082 |
| 14.32.4 工学単位系 | 14-1087 |
| 14.33 解析モデルと実験モデルの整合 | 14-1091 |
| 14.33.1 自由度の違い | 14-1091 |
| 14.33.2 実験環境の考慮 | 14-1091 |
| 14.33.3 非線形性への考慮 | 14-1092 |
| 14.33.4 不確定性への考慮 | 14-1093 |
| 14.33.5 試験モデルの作成 | 14-1093 |
| 14.34 コリレーション | 14-1094 |
| 14.34.1 2 自由度系モデル | 14-1094 |
| 14.34.2 モードの直交性確認 | 14-1095 |
| 14.34.3 MAC (Modal Assurance Criteria) | 14-1097 |
| 14.34.4 CoMAC (Coordinate Modal Assurance Criteria) | 14-1098 |
| 14.34.5 FRAC (Frequency Response Assurance Criteria) | 14-1099 |
| 14.34.6 解析モデル縮退と実験モデル展開 | 14-1099 |
| 14.34.7 Guyan 縮退 (静的縮退) | 14-1100 |
| 14.34.8 動的縮退 | 14-1103 |
| 14.34.9 IRS 縮退 | 14-1103 |
| 14.34.10 縮退方法の比較 | 14-1104 |
| 14.34.11 試験結果の伝達関数 | 14-1104 |
| 14.34.12 縮小インピーダンス法 | 14-1121 |
| 14.35 解析モデルの調整 | 14-1127 |
| 14.35.1 共振周波数と固有値の調整 | 14-1127 |
| 14.35.2 モードマトリクスから質量マトリクスを推定する方法 | 14-1128 |
| 14.36 マトリクス演算と解析 | 14-1129 |

| | | |
|----------|--|---------|
| 14.36.1 | マトリクスの基本演算 | 14-1129 |
| 14.36.2 | 線形静解析とスパースマトリクスについて | 14-1132 |
| 14.36.3 | 連立一次方程式の効率的な解法 | 14-1133 |
| 14.36.4 | 直接法 | 14-1134 |
| 14.36.5 | 正規化と直交化 | 14-1141 |
| 14.36.6 | 直接法による大規模システムの解法 | 14-1148 |
| 14.36.7 | 反復法 | 14-1156 |
| 14.36.8 | 座標変換によるマトリクス分解 | 14-1158 |
| 14.37 | 固有値問題について | 14-1166 |
| 14.37.1 | 反復法の考え方 | 14-1168 |
| 14.37.2 | サブスペース法 | 14-1168 |
| 14.37.3 | ランチョス法 | 14-1170 |
| 14.38 | 複素固有値 | 14-1172 |
| 14.38.1 | Hessenberg 形式 | 14-1172 |
| 14.39 | 数値解析手法について | 14-1173 |
| 14.39.1 | 偏微分方程式とその解法 | 14-1173 |
| 14.39.2 | 差分法 (Difference) | 14-1175 |
| 14.39.3 | 中央差分法 | 14-1181 |
| 14.39.4 | デジタル計算機の誤差 | 14-1187 |
| 14.39.5 | NewmarkBeta 法とその特徴 | 14-1190 |
| 14.39.6 | 一般化 α 法とその変形 | 14-1193 |
| 14.39.7 | 変分原理 | 14-1197 |
| 14.40 | 応力計算点について | 14-1202 |
| 14.40.1 | 荷重境界条件の決定 | 14-1203 |
| 14.41 | 簡単な形状の変形応力計算 | 14-1208 |
| 14.42 | 非線形解析での応力とひずみについて | 14-1212 |
| 14.42.1 | 縦弾性率、せん断弾性率、体積弾性率の破綻 | 14-1212 |
| 14.42.2 | 対数ひずみ (Henky ひずみ) | 14-1214 |
| 14.42.3 | 大せん断ひずみ | 14-1217 |
| 14.42.4 | Cauchy 応力 | 14-1218 |
| 14.42.5 | 大変形大ひずみと計量座標系 | 14-1220 |
| 14.42.6 | 変形勾配テンソル (Deformation Gradient Tensor) | 14-1225 |
| 14.42.7 | 幾何学的非線形性に対する応力ひずみ | 14-1256 |
| 14.42.8 | 仮想仕事の原理 | 14-1262 |
| 14.42.9 | 変形勾配と非線形ひずみ | 14-1264 |
| 14.42.10 | Henky ひずみ | 14-1267 |
| 14.42.11 | Green-Lagrange ひずみ | 14-1268 |
| 14.42.12 | Biot 応力 (Jaumann 応力) と Biot ひずみ | 14-1272 |
| 14.42.13 | Kirchhoff 応力 | 14-1272 |
| 14.42.14 | 第 1 種 Piola-Kirchhoff 応力 (公称応力) | 14-1273 |
| 14.42.15 | 第 2 種 Piola-Kirchhoff 応力テンソル | 14-1274 |
| 14.42.16 | 一般化されたフックの法則の非線形拡張 | 14-1274 |
| 14.42.17 | 仮想仕事—トータルラグランジュ法 (TL) での表現 | 14-1275 |
| 14.42.18 | アップデートラグランジュ法 (UL) と Almansi ひずみ | 14-1275 |
| 14.42.19 | アップデート・ラグランジュ・ヨーマン法 (ULJ) | 14-1280 |
| 14.42.20 | 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 | 14-1281 |
| 14.42.21 | エネルギー共役 | 14-1281 |
| 14.42.22 | 非線形応力の比較 | 14-1283 |
| 14.42.23 | ひずみの比較 | 14-1285 |
| 14.42.24 | 変換方法 | 14-1289 |
| 14.42.25 | NX Nastran での幾何学的非線形解析 | 14-1290 |
| 14.43 | 超弾性体について | 14-1292 |
| 14.43.1 | Mooney-Rivlin 超弾性モデル | 14-1296 |
| 14.43.2 | 一般化された Mooney-Rivlin のひずみエネルギー | 14-1298 |
| 14.43.3 | OGDEN 超弾性モデル (Advanced Nonlinear) | 14-1301 |
| 14.43.4 | Hyperfoam 材料モデル (Advanced Nonlinear) | 14-1304 |
| 14.43.5 | Arruda-Boyce 超弾性モデル | 14-1309 |

| | | |
|----------|----------------------------------|---------|
| 14.43.6 | Sussman-Bathe 材料モデル | 14-1315 |
| 14.43.7 | 超弾性材料モデルのまとめ | 14-1317 |
| 14.43.8 | Mullins 効果 | 14-1319 |
| 14.44 | コンポーネントモード縮退法によるモデル表現 | 14-1324 |
| 14.44.1 | 一般化座標系 q-set | 14-1324 |
| 14.44.2 | 振動セット v-set | 14-1325 |
| 14.45 | 微分剛性と座屈現象 | 14-1326 |
| 14.45.1 | 微分剛性のメカニズム | 14-1326 |
| 14.45.2 | 圧縮時の微分剛性について | 14-1327 |
| 14.45.3 | 座屈について | 14-1329 |
| 14.45.4 | 梁の座屈 (分岐座屈。オイラー座屈) | 14-1330 |
| 14.46 | 殻座屈 / 構造座屈 | 14-1337 |
| 14.46.1 | 平板の座屈 - 四周ピン拘束 | 14-1337 |
| 14.46.2 | 弾性座屈と弾塑性座屈 | 14-1339 |
| 14.46.3 | 薄肉円筒の軸圧縮座屈 -RθZ 並進拘束 | 14-1339 |
| 14.46.4 | 薄肉円筒のねじり / せん断座屈 | 14-1346 |
| 14.46.5 | 薄肉円筒の曲げ座屈 (塑性座屈) | 14-1347 |
| 14.46.6 | 薄肉円筒の円周圧縮による座屈 | 14-1350 |
| 14.46.7 | 複合荷重状態での強度評価 | 14-1350 |
| 14.46.8 | 球殻の座屈 | 14-1351 |
| 14.46.9 | 円錐面の座屈 | 14-1352 |
| 14.47 | 1 自由度系の周波数応答について | 14-1354 |
| 14.47.1 | 1 自由度バネダッシュポッド系の運動 - 自由振動 [粘性減衰] | 14-1354 |
| 14.47.2 | 臨界減衰比 | 14-1356 |
| 14.47.3 | 1 自由度バネダッシュポッド系の運動 - 質量を力励振 | 14-1357 |
| 14.47.4 | 1 自由度バネダッシュポッド系の運動 - ベースを強制変位 | 14-1362 |
| 14.47.5 | 粘性減衰でのベース加振 まとめ | 14-1367 |
| 14.47.6 | 共振角振動数と固有角振動数 | 14-1368 |
| 14.47.7 | 構造減衰での 1 自由度系の応答 | 14-1369 |
| 14.48 | 回転体の振動安定性について | 14-1377 |
| 14.48.1 | 遠心力による剛性の変化 | 14-1379 |
| 14.48.2 | 回転体の運動方程式 | 14-1383 |
| 14.48.3 | ジャイロモーメント | 14-1389 |
| 14.49 | 減衰について | 14-1394 |
| 14.49.1 | 減衰の定義方法 | 14-1394 |
| 14.49.2 | 粘性減衰 | 14-1403 |
| 14.49.3 | 構造減衰 | 14-1408 |
| 14.49.4 | 等価構造減衰を粘性減衰で近似する | 14-1420 |
| 14.49.5 | モード減衰 | 14-1426 |
| 14.49.6 | クーロン減衰 | 14-1428 |
| 14.49.7 | レイリー減衰 | 14-1429 |
| 14.49.8 | 減衰要素による減衰 | 14-1432 |
| 14.49.9 | 入力条件としての減衰の決め方 | 14-1435 |
| 14.49.10 | 粘弾性体の減衰 | 14-1445 |
| 14.50 | 離散フーリエ変換について | 14-1447 |
| 14.50.1 | 離散フーリエ変換 | 14-1447 |
| 14.50.2 | フーリエ変換との比較 | 14-1447 |
| 14.50.3 | サンプリング理論について | 14-1450 |
| 14.50.4 | 窓関数 | 14-1451 |
| 14.50.5 | 代表的な窓関数 | 14-1459 |
| 14.50.6 | ズーム解析 | 14-1464 |
| 14.50.7 | データ処理について | 14-1465 |
| 14.50.8 | 解析結果による窓関数の選択 | 14-1466 |
| 14.50.9 | NX Nastran での適用 | 14-1467 |
| 14.50.10 | 捕捉 - いくつかの関数のフーリエ変換 | 14-1467 |
| 14.51 | ランダム振動について | 14-1470 |
| 14.51.1 | 振動と確率 | 14-1470 |

| | | |
|----------|--------------------------|---------|
| 14.51.2 | 複素スペクトル密度 | 14-1485 |
| 14.51.3 | パワースペクトル密度と伝達関数の使いみち | 14-1492 |
| 14.51.4 | ランダム振動の評価 | 14-1493 |
| 14.52 | 音響と振動 | 14-1511 |
| 14.52.1 | 音速と粒子速度 | 14-1511 |
| 14.52.2 | ピストン中の平板運動 | 14-1518 |
| 14.52.3 | 音源の強さ (Source Strength) | 14-1519 |
| 14.52.4 | 音響パワ (Acoustic Power) | 14-1520 |
| 14.52.5 | 音響エネルギーと音響インテンシティ、音響パワ | 14-1521 |
| 14.52.6 | 音圧レベルと音響パワレベル | 14-1522 |
| 14.52.7 | 音響インテンシティ | 14-1524 |
| 14.52.8 | 音響インテンシティレベル | 14-1525 |
| 14.52.9 | 音響単位まとめ | 14-1526 |
| 14.52.10 | 音響インピーダンス | 14-1526 |
| 14.52.11 | 音響放射と音響放射インピーダンス | 14-1529 |
| 14.52.12 | 音響インピーダンスまとめ | 14-1530 |
| 14.52.13 | 振動する微小な球の音響放射 | 14-1530 |
| 14.52.14 | 音響の制御 | 14-1532 |
| 14.53 | DDAM について | 14-1536 |
| 14.53.1 | NRL1396 と DDS 072 | 14-1538 |
| 14.53.2 | NAVSHOK の計算 | 14-1539 |
| 14.53.3 | DDAM でのモードの重ね合わせ - NRL 法 | 14-1541 |
| 14.54 | 輻射について | 14-1543 |
| 14.54.1 | 形態係数 | 14-1543 |
| 14.54.2 | 遮蔽チェック | 14-1545 |
| 14.54.3 | 無限平行面間の熱輻射 (散乱面) | 14-1547 |
| 14.54.4 | 周囲空間および二面間の熱輻射 | 14-1549 |
| 14.54.5 | ラジオシティと輻射交換係数 | 14-1552 |
| 14.55 | モデル化と要素タイプの関係 | 14-1553 |
| 14.55.1 | 重さだけ表現したいとき | 14-1553 |
| 14.55.2 | 十分硬い結合要素として表現する | 14-1553 |
| 14.55.3 | トラスとして表現する | 14-1553 |
| 14.55.4 | ラーメンの曲げ、ねじり、引張を表現する | 14-1554 |
| 14.55.5 | 板として表現する | 14-1554 |
| 14.55.6 | 複合材料のモデル化 | 14-1571 |
| 14.55.7 | 体積として表現する | 14-1573 |
| 14.55.8 | 結合部分のモデル化 | 14-1575 |
| 14.55.9 | 例：はり構造のモデル化 | 14-1576 |
| 14.56 | はりの力学 | 14-1585 |
| 14.56.1 | はりの特性値 | 14-1585 |
| 14.56.2 | はりのねじり変形 | 14-1589 |
| 14.56.3 | せん断パネル要素に関する解説 | 14-1601 |
| 14.56.4 | プレート要素に関する解説 | 14-1611 |
| 14.56.5 | 高性能シェル要素 MITC について | 14-1644 |
| 14.56.6 | 次元の違う要素同士の結合 | 14-1646 |
| 14.56.7 | メッシュ | 14-1647 |
| 14.57 | 要素の選択について | 14-1650 |
| 14.57.1 | 線要素の選択 | 14-1650 |
| 14.57.2 | 平面要素の選択 | 14-1651 |
| 14.57.3 | ソリッド要素の選択 | 14-1654 |
| 14.57.4 | 品質のよい要素形状について | 14-1658 |
| 14.58 | 拘束について | 14-1662 |
| 14.58.1 | 要素に対して有効な拘束 | 14-1662 |
| 14.58.2 | ローカル座標系と拘束 | 14-1663 |
| 14.59 | 熱伝導について | 14-1664 |
| 14.60 | 対流について | 14-1665 |
| 14.60.1 | プラントル数 | 14-1665 |

| | | |
|----------|--|---------|
| 14.60.2 | 絶対粘度と動粘度 | 14-1665 |
| 14.60.3 | レイノルズ数 | 14-1666 |
| 14.60.4 | グラスホフ数 | 14-1666 |
| 14.60.5 | ヌッセルト数 | 14-1666 |
| 14.61 | 輻射熱伝導について | 14-1668 |
| 14.61.1 | 放射／吸収／反射 | 14-1669 |
| 14.61.2 | 灰色体仮定 | 14-1670 |
| 14.61.3 | NX Nastran での輻射の取扱い | 14-1670 |
| 14.62 | 複合材料について | 14-1671 |
| 14.62.1 | 特徴 | 14-1671 |
| 14.62.2 | 繊維とマトリクスの物性 | 14-1672 |
| 14.62.3 | 繊維の形態 | 14-1675 |
| 14.62.4 | 繊維強化プラスチック (FRP) | 14-1676 |
| 14.62.5 | 積層板について | 14-1677 |
| 14.63 | FRP の材料特性 | 14-1679 |
| 14.63.1 | 材料特性 | 14-1679 |
| 14.63.2 | 第 1 方向の縦弾性率 (E1)/ 引張強度 (σ_{1t})/ 圧縮強度 (σ_{1c}) | 14-1679 |
| 14.63.3 | 第 2 方向の縦弾性率 (E2)/ 引張強度 (σ_{2t})/ 圧縮強度 (σ_{2c}) | 14-1680 |
| 14.63.4 | せん断弾性率 (G12)/ せん断強度 (τ_{12}) | 14-1681 |
| 14.63.5 | 第 1 / 第二方向の二軸引張強度 | 14-1682 |
| 14.63.6 | 代表的なレイアップ | 14-1682 |
| 14.64 | 単軸積層の材料特性の推算 | 14-1684 |
| 14.64.1 | 比例構成則の場合 | 14-1684 |
| 14.64.2 | 改善された材料特性の計算方法 | 14-1690 |
| 14.64.3 | 材料特性の推算まとめ | 14-1695 |
| 14.64.4 | クロス材の物性推算 | 14-1696 |
| 14.64.5 | 強度 | 14-1699 |
| 14.64.6 | 引張強度 | 14-1699 |
| 14.64.7 | 積層材の微小破壊モード | 14-1704 |
| 14.64.8 | 積層材の破壊 | 14-1708 |
| 14.64.9 | 最大ひずみ理論 (MAX STRAIN) | 14-1709 |
| 14.64.10 | Hill (Tsai-Hill) 偏差エネルギー理論 | 14-1711 |
| 14.64.11 | Tsai-Wu 相互応力テンソル理論 | 14-1713 |
| 14.64.12 | Hoffman 理論 | 14-1716 |
| 14.64.13 | 各層破壊理論の比較 | 14-1716 |
| 14.64.14 | 接着破壊 | 14-1717 |
| 14.64.15 | 等価剛性について | 14-1718 |
| 14.64.16 | 積層材料の累積疲労について | 14-1724 |
| 14.65 | 接触応力とその評価 | 14-1726 |
| 14.65.1 | ドライコンタクト | 14-1726 |
| 14.66 | 材料モデルについて | 14-1736 |
| 14.66.1 | 金属材料 | 14-1736 |
| 14.66.2 | 冶金 | 14-1743 |
| 14.66.3 | ガラスなどの材料 | 14-1746 |
| 14.66.4 | 木やプラスチックの材料 | 14-1747 |
| 14.66.5 | 一般応力状態での応力ひずみ曲線 | 14-1749 |
| 14.67 | クリープについて | 14-1752 |
| 14.67.1 | 金属のクリープ現象 | 14-1752 |
| 14.67.2 | セラミクスのクリープ現象 | 14-1757 |
| 14.67.3 | レオロジーモデル | 14-1757 |
| 14.67.4 | NX Nastran のクリープモデル | 14-1761 |
| 14.67.5 | クリープ寿命評価 | 14-1763 |
| 14.67.6 | クリープデータ処理 (クリープパラメータ) | 14-1764 |
| 14.68 | 疲労破壊について | 14-1771 |
| 14.68.1 | 第一段階 | 14-1771 |
| 14.68.2 | 第二段階 | 14-1772 |
| 14.68.3 | 疲労の評価 | 14-1773 |

| | |
|---------------------------------|---------|
| 14.68.4 疲労のパラメータ | 14-1776 |
| 14.68.5 疲労履歴の評価—時間領域での評価 | 14-1777 |
| 14.68.6 S-N 曲線 (高サイクル疲労) | 14-1778 |
| 14.68.7 平均応力の考慮 | 14-1780 |
| 14.68.8 基本的な疲労限度線図 | 14-1781 |
| 14.68.9 低サイクル疲労 | 14-1785 |
| 14.68.10 E-N 曲線 | 14-1790 |
| 14.68.11 マイナー則 | 14-1794 |
| 14.68.12 疲労安全率 (FSF) | 14-1796 |
| 14.68.13 亀裂進展曲線 | 14-1798 |
| 14.69 空力弾性について | 14-1801 |
| 14.69.1 翼と制御面 | 14-1802 |
| 14.69.2 飛行力学の基礎 | 14-1809 |
| 14.69.3 翼断面形状と揚力 | 14-1810 |
| 14.69.4 翼平面形 (Wing Planform) | 14-1822 |
| 14.69.5 翼理論の基礎 | 14-1835 |
| 14.69.6 空力弾性による不安定状態 | 14-1844 |
| 14.69.7 空力弾性理論の基礎 | 14-1847 |
| 14.69.8 翼の振動 | 14-1855 |
| 14.69.9 Prandtl-Glauert の特異点 | 14-1859 |
| 14.70 機構モデルの作成 機構要素と機構解析 | 14-1859 |
| 14.70.1 機構要素のモデル化 | 14-1859 |
| 14.70.2 機構モデルに関する注意点 | 14-1864 |
| 14.70.3 例題 M1- 機構モデル | 14-1865 |
| 14.70.4 リンク機構 | 14-1874 |
| 14.71 非線形固有値解析の応用 | 14-1877 |
| 14.71.1 運動方程式 | 14-1877 |
| 14.71.2 振り子の例 | 14-1878 |
| 14.71.3 遠心力が作用するバネ | 14-1879 |
| 14.71.4 回転円板の運動 | 14-1881 |
| 14.71.5 補足 - 慣性モーメントとばね定数 | 14-1882 |
| 14.71.6 スプリング (剛性) の非線形性 | 14-1891 |
| 14.71.7 例題 1- 非線形バネの効果 | 14-1892 |
| 14.71.8 例題 2- カオス振動 | 14-1904 |
| 14.71.9 加振応答 | 14-1906 |
| 14.71.10 例題 3- 接触の影響 | 14-1910 |
| 14.71.11 衝撃 | 14-1912 |
| 14.72 構造の安定性 | 14-1914 |
| 14.72.1 複素固有値解析と機構解析 - 減衰の重要性 | 14-1914 |
| 14.72.2 疲労 | 14-1917 |
| 14.73 例題 M2- 機構解析減衰の決定 | 14-1918 |
| 14.73.1 手順 | 14-1918 |
| 14.74 参考例題 M3- 着陸ギアの運動 | 14-1921 |
| 14.74.1 解析の実行 | 14-1922 |
| 14.75 参考文献 | 14-1923 |
| 14.75.1 科学的アプローチに関する参考文献 | 14-1923 |
| 14.75.2 有限要素法および材料構造力学の基礎的情報と理論 | 14-1923 |
| 14.75.3 板理論に関する項目 | 14-1924 |
| 14.75.4 複合材料、塑性材料力学に関する項目 | 14-1925 |
| 14.75.5 空力弾性学に関する情報 | 14-1925 |
| 14.75.6 NX Nastran に関する情報 | 14-1926 |
| 14.76 計算の記号処理 | 14-1927 |
| 14.76.1 ベクトルとマトリクス | 14-1927 |
| 14.76.2 微分 | 14-1931 |
| 14.77 FRONE Tools | 14-1933 |
| 14.77.1 全般 | 14-1933 |
| 14.77.2 ノード整列 | 14-1935 |

| | |
|--------------------------------|---------|
| 14.77.3 バネ生成 / コンタクト集計機能 | 14-1938 |
| 14.77.4 ViewSetter 11 | 14-1942 |
| 14.77.5 周波数応力計算 | 14-1942 |
| 14.77.6 FFT 計算 (試作)..... | 14-1944 |