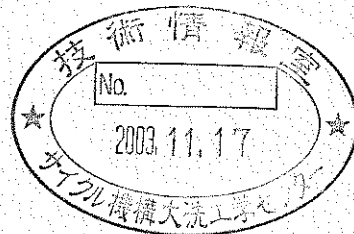


材料強度・構造信頼性評価システム MSS-REAL

使用説明書

Version 1.0

2003年6月



核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2003

Material Strength and Structural Reability Evaluation

System Ver. 1.0 Users Manual

MSS-REAL Ver. 1.0 使用説明書

(ユーザーズマニュアル)

加藤 猛彦¹ 浅山 泰²

要旨

MSS-REAL は、REAL-A&D(旧 SMAT-A&D^[1])と REAL-P からなるプログラム群で、材料データの統計処理及び特性式の定式化に加え、それらの統計データに基づく構造機器の信頼性評価(確率論的強度評価)を行うことができます。

高速増殖炉の信頼性及び健全性評価において、構造材料に関する強度評価や設計評価は重要な研究項目の一つです。それらの研究は多岐に渡り、新材料の研究から材料強度基準の作成など、材料の基本特性をベースにあらゆる角度から検討が加えられ今日に至っています。

MSS-REAL は、それら構造材料に関する多様な評価を支援するため、現在表計算ソフトとして最も普及している MS EXCEL*用に開発したソフトウェアです。REAL-A&D は、材料データの統計処理および定式化等を行うもので、既に多くのユーザーに使用され改良重ね今日に至っています。REAL-P は、今回新たに開発したソフトウェアで、内圧及び熱過渡を受ける原子炉機器において、防止すべき主要な破損モードであるクリープ疲労と延性破断を取り上げ、破損の要因となるき裂の発生や溶接部等の初期欠陥からのき裂進展をシミュレートし確率論的に破損評価するものです。その過程で、材料強度のみならず、検査や製造技術に係わる因子も考慮します。REAL-P は、従来の構造設計の信頼性・安全性・経済性をより向上させるべく開発中の新たな高温構造設計体系「システム化規格」の実用化のための必要性に基づき開発したものです。REAL-P は、「システム化規格」の開発に大きく反映されるばかりでなく、実用炉の設計研究においても有力なツールとして活用されることが期待できます。このように MSS-REAL は、構造機器の材料強度評価や健全性及び信頼性評価を行う上で強力なツールと成り得るでしょう。

¹ 常陽産業株式会社

² 大洗工学センター 要素技術開発部 構造信頼性研究グループ

* Windows、EXCEL 及び VBA(Visual Basic for Applications)は米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標です。

目次

1. はじめに.....	1
2. MSS-REAL インストール方法.....	3
2-1. 実行環境.....	3
2-2. インストール方法.....	3
2. 3 アンインストール方法.....	8
3. 基本材料について.....	9
3-1. BDS①及びDDS⑦の出力について.....	9
3-2. 材料特性及び基準値の引用文献.....	9
4. REAL-A&D について.....	11
4-1. REAL-A の機能.....	11
4-2. REAL-D の機能.....	13
4-3. プログラム構成.....	14
4-4. 統計処理方法.....	15
4-5. 単位について.....	15
5. REAL-A&D の起動と終了.....	17
5-1. 起動方法.....	17
5-2. 終了方法.....	18
6. REAL-A の操作方法.....	19
6-1. 初期画面.....	19
6-2. 基本材料特性式回帰処理.....	20
6-3. 回帰結果出力処理.....	27
6-4. 新材料特性の設定.....	29
7. REAL-D の操作方法.....	34
7-1. 初期画面.....	34
7-2. 材料強度特性値出力.....	38
7-3. 材料強度基準値出力.....	41
7-4. 材料強度評価.....	42
7-5. 材料強度特性値出力 (画面出力).....	43
8. REAL-A&D 計算例.....	48
8-1. REAL-A.....	48
8-2. REAL-D.....	52
9. REAL-A&D 注意事項.....	56
10. REAL-P について.....	57
10. 1 き裂発生確率.....	57
10. 2 き裂進展確率.....	58
10. 3 不安定破壊確率.....	59
10. 4 破損の定義.....	60
10. 5 破損確率.....	60
参考文献.....	71
付録A.....	73
11. REAL-P プログラム仕様.....	74
11. 1 構成.....	74
11. 2 確率変数.....	74

1 1. 3	荷重条件.....	75
1 1. 4	簡易き裂進展評価法.....	75
1 1. 5	応力ひずみ関係式.....	75
1 1. 6	クリープき裂進展速度パラメータ.....	75
1 1. 7	PSI 及び ISI の設定.....	76
1 1. 8	不安定破壊確率評価.....	76
1 1. 9	保存ファイル.....	76
1 1. 10	き裂発生+進展破損確率.....	77
1 2.	REAL-P 使用手引き.....	82
1 2. 1	REAL-P 入力データ.....	82
1 2. 1. 1	REALP カード.....	83
1 2. 1. 2	TITLE カード.....	85
1 2. 1. 3	COND カード.....	85
1 2. 1. 4	MATER カード.....	87
1 2. 1. 5	COFIN カード.....	90
1 2. 1. 6	COFPF カード.....	91
1 2. 1. 7	PROB カード.....	92
1 2. 1. 8	STRAT カード.....	93
1 2. 1. 9	CRITE カード.....	94
1 2. 1. 10	GEOM カード.....	95
1 2. 1. 11	PISI カード.....	95
1 2. 1. 12	CELL カード.....	97
1 2. 1. 13	DEFE カード.....	98
1 2. 1. 14	UNDES カード.....	99
1 2. 1. 14	PFAIL カード.....	100
1 2. 1. 15	OUTP カード.....	103
1 2. 1. 16	\$カード.....	104
1 2. 1. 17	END カード.....	104
1 3.	REAL-P 解析例.....	109
1 3. 1. 1	例-1.....	110
1 3. 1. 2	例-2.....	116
1 3. 1. 3	例-3.....	123
1 3. 1. 4	例-4.....	129
1 4.	サポート.....	132

1. はじめに

MSS-REAL は、材料強度基準に用いられた各種材料特性式について材料定数の回帰処理及び新材料の設定を行う REAL-A、基本材料及び REAL-A で定義した材料特性について材料強度評価や寿命評価等を行う REAL-D、き裂の発生から破損に至る破損確率及び初期欠陥よりき裂が進展し破損に至る確率の両者を総合的に破損評価する REAL-P の三つのプログラムから構成されています。

REAL-A 及び D (以降 REAL-A&D と呼ぶ) の実行プログラムは、マイクロソフト社の表計算ソフト EXCEL に実装されている VBA(Visual Basic for Applications)* で作成されアドインとして登録可能なツールです。ユーザーは、EXCEL の「ツール」メニューから選択しワークシート上で直接操作するため、あたかも EXCEL の機能の一部のように操作することが可能となっています。REAL-P は、DOS 上で実行可能なモジュールで、通常の DOS コマンドとして扱います。本マニュアルは、既に報告された REAL-A&D のマニュアルに REAL-P のマニュアルを追加したものです。

REAL-A&D は、主にワークシート上の材料データを基に特性式の回帰を行う REAL-A と材料の強度特性値の出力、強度基準値の出力、寿命計算等を行うプログラム REAL-D から構成されています。その機能は、長年の材料強度評価のノウハウの蓄積と、昨今のパソコンの目覚ましい発展と OS 及び EXCEL を含むビジネスソフトの高度化により実現したものです。REAL-A&D は各種の材料特性の強度計算が可能ですが、最大の特徴は REAL-A で回帰処理をした材料特性式を新材料として登録すれば、REAL-D においてその新材料の材料強度評価をリアルタイムで行うことができることです。さらに、REAL-A&D は EXCEL にアドインとして組み込まれユーザーは、あたかも Excel の一つの機能として操作することができることです。このように REAL-A&D は、材料強度評価する上でデータ処理を伴う作業を短時間で簡便に行うと共に強力なツールと成りえます。

REAL-P は構造機器の健全性評価や信頼性評価に力を発揮します。原子力機器の破損要因であるき裂発生から破損に至る確率や初期欠陥からのき裂進展により破損に至る確率を含めた総合的な破損確率を評価します。その過程では、製造、検査、材料、製作手法等のプラントの設計に関わる多くの要素を評価します。

MSS-REAL を用いれば、構造材料の強度評価から各種の構造機器の信頼性評価など総合的な評価を行えます。しかしながら、まだ多くの開発余地が残されており今後もユーザーのニーズを反映させ機能充実及び高度化を図り改良していく予定です。

REAL-A、REAL-D 及び REAL-P の主な機能を以下に示します。

REAL-A の機能

- (1) 基本材料特性式回帰処理
高速原型炉用材料強度基準等 (以下 BDS) 及び高速増殖実証炉用材料強度基準等 (以下 DDS) で用いられた材料特性式を基本とし、ワークシート上から必要なデータを読み込み回帰処理を行います。処理結果は、必要に応じて回帰結果保存データファイルに保存します。
- (2) 回帰結果出力処理
回帰結果保存データファイルより、いつでも必要な時に回帰結果を出力する。データと回帰結果のオーバープロットを自動(マクロ)で作図する機能も付加しています。
- (3) 新材料特性の設定
REAL-D で強度評価を行うための材料特性式を設定する。材料パラメータは、手動による

設定や回帰結果保存データ及び基本材料の材料特性式より選択することが可能です。

REAL-D の機能

- (1) 材料強度特性値出力
任意の条件に対し、グラフ作成用としてワークシート上に各種材料特性値を出力します。
- (2) 材料強度基準値出力
グラフ作成用としてワークシート上に各種材料基準値を出力します。
- (3) 材料強度評価
EXCEL のワークシート上の材料データを基に強度評価の計算を行います。
- (4) 材料強度特性値出力 (画面出力)
任意の条件に対し、画面上に各種材料特性値が出力されます。

REAL-P の機能

- (1) き裂発生確率評価
直接及び層別サンプリングのモンテカルロ法によりクリープ疲労のき裂発生サイクルの確率論的評価を行います。
- (2) き裂進展破損確率評価
き裂深さ分布とアスペクト比を層別サンプリングとしたモンテカルロ法により構造機器のクリープ疲労き裂進展破損確率の計算を行います。その際、PSI 及び ISI の検査も考慮に入れることが可能です。なお、き裂進展評価に用いられる簡易き裂進展評価法は、JNC 版と電中研版を用意しています。
- (3) 破損確率評価
クリープ疲労を伴う構造機器のき裂が発生し進展その後破損に至るまでの確率と初期欠陥が存在しその欠陥が進展し破損に至る確率を含めた総合的な破損確率を算出します。このとき、不安定破壊が生じる確率も評価することが可能です。

2. MSS-REAL インストール方法

2-1. 実行環境

実行環境は、以下の通りでWindows 搭載マシンが前提です。

■対応システム

Windows98、NT4.0、2000、XP

■必要なソフト

REAL-A&D のみ MS Excel2000 以降必須、EXCEL97 以前では実行できません。

2-2. インストール方法

■セットアップファイル

REAL-A 及び REAL-D のセットアップファイルは、個別にそれぞれ有ります。いずれも単独で実行可能ですので、目的に応じてインストールして下さい。

・REAL-A

フォルダー：REAL-A for Windows

セットアップ：setup.exe

・REAL-D

フォルダー：REAL-D for Windows

セットアップ：setup.exe

・REAL-P

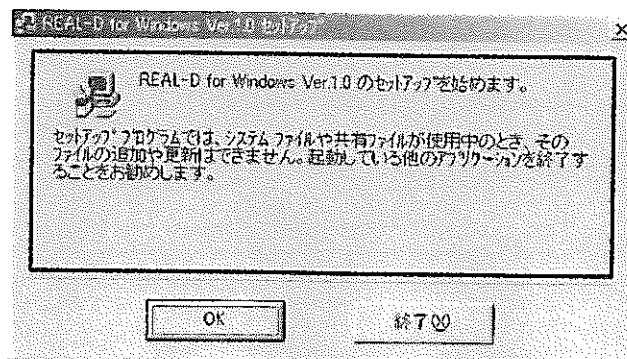
フォルダー：REAL-P

セットアップ：setup.exe

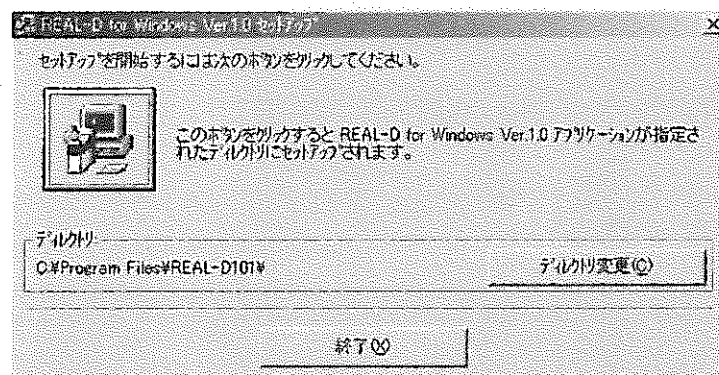
■インストール

REAL-A、REAL-D 及び REAL-P をそれぞれ setup.exe を実行しインストールします。実行は、指定されたフォルダーにアドインファイルを展開します。なお、この取扱説明書(pdf)は、REAL-D 及び REAL-P のインストール先に” MSS-REAL_V01 ユーザーズマニュアル” として保存されます。

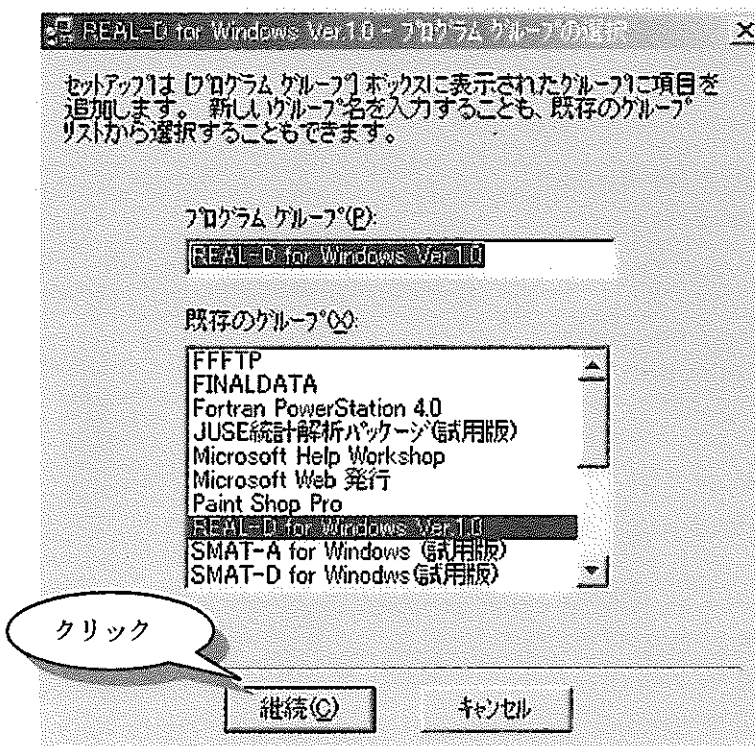
① setup.exe の実行



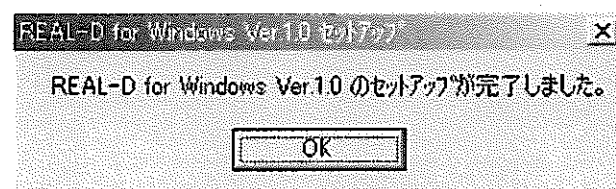
② アドインファイル及び必要なファイルの展開先を設定します。



③ プログラムグループの設定をします。継続ボタンでコピーが始まります。

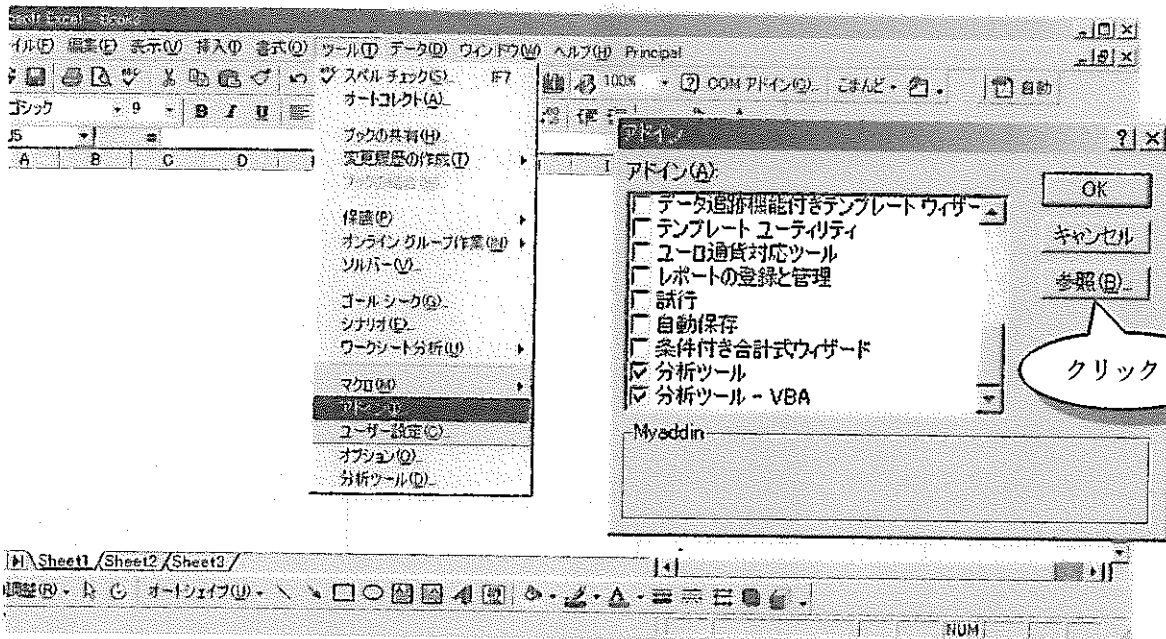


④ セットアップの終了

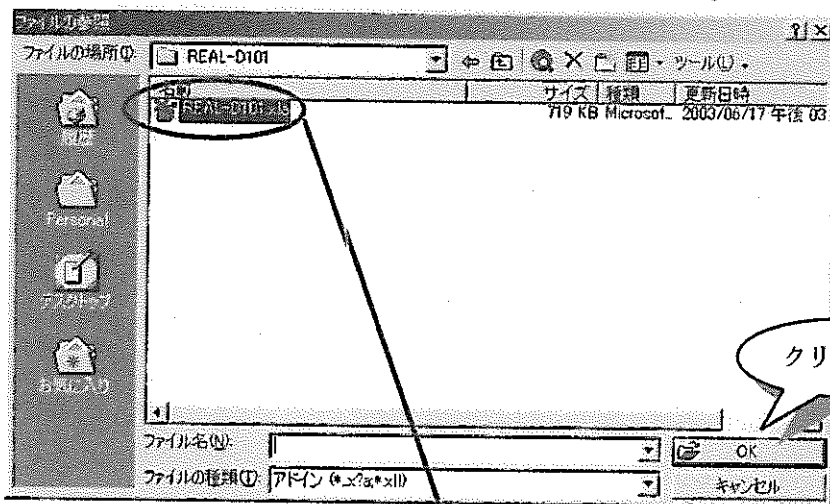


■EXCEL の設定 (REAL-A 及び REAL-D のみ対応)

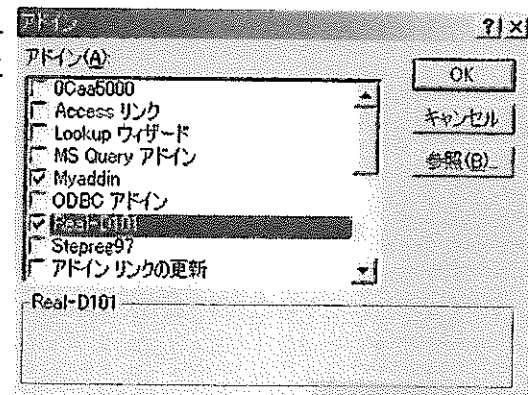
① 「ツール」 - 「アドイン」 を選択します。



②参照ボタンでアドインファイルの設定画面となります。インストールしたフォルダーから REAL-a101.xla 若しくは REAL-d101.xla を選択し o k ボタンを押します。

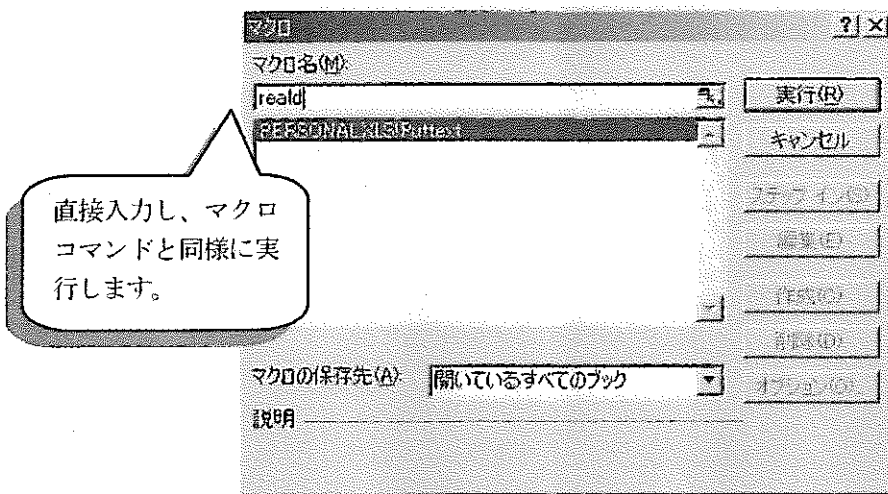


アドインの設定画面に、REAL-A101 及び REAL-D101 が登録されます。チェックボックスをオンにすることで、マクロからの参照 (呼び出し) が可能になります。



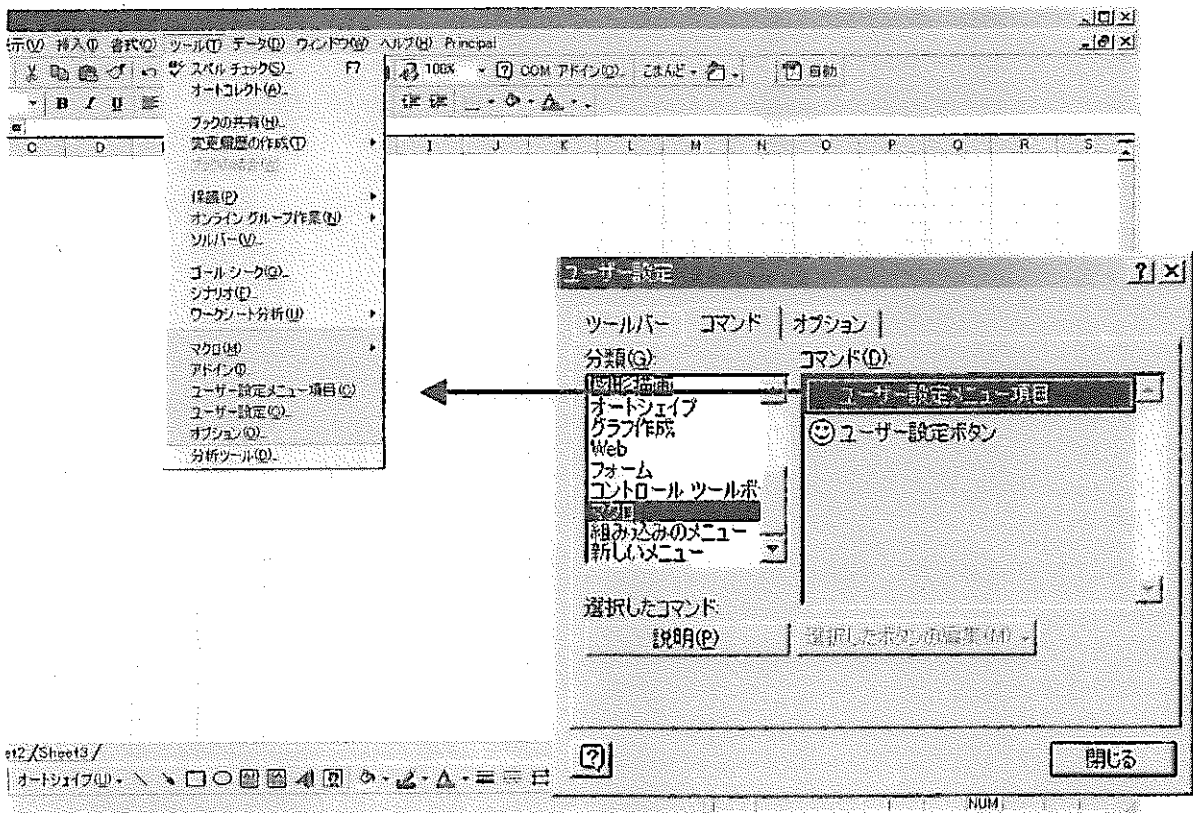
③ マクロコマンドとして直接実行する場合

「ツール」－「マクロ」より、コマンド”REALD”若しくは”REALA”を①に入力して実行します。使用頻度が低いと思われる場合は、この方法を勧めます。

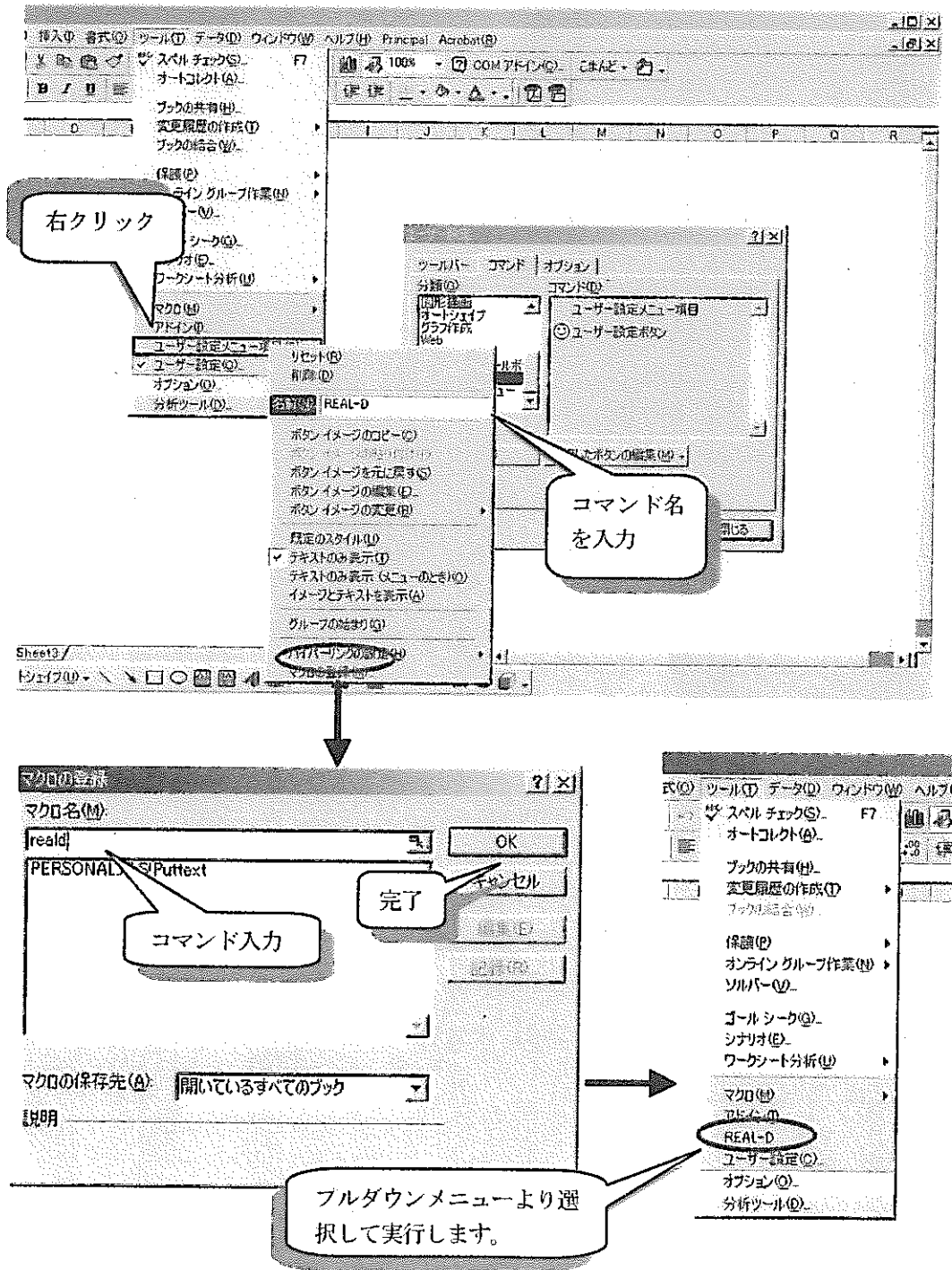


④ 「ツール」メニューから実行

「ツール」－「ユーザ設定」より、「ツール」メニューに新しい項目を作成し、それに当コマンドを割り当てます。この場合、「アドイン」で参照をオンにしておく必要があります。この設定は、使用頻度が高いと思われる場合に勧めます。



「ツール」 - 「ユーザー設定(C)」をクリックしダイアログを表示します。次に再び「ツール」をクリックしプルダウンメニューを表示します。画面にダイアログとプルダウンメニューを同時に表示させます。ユーザー設定のダイアログで「コマンド」を選択し、分類をマクロとしてコマンドの[ユーザー設定メニュー項目]をドラッグし、「ツール」のメニューに追加します。追加した[ユーザー設定メニュー項目] を選択し右クリックでメニューが表示されます。名前 (reala or reald) を入力し最下段のマクロの登録をクリックします。マクロの登録の画面が表示されマクロ名を REALD 若しくは REALA を入力し OK ボタンを押します。以上で、「ツール」のプルダウンメニューから REALD 及び REALA が実行可能となります。



2. 3 アンインストール方法

REAL-A、REAL-D はアドインの設定を解除後、本体をアンインストールして下さい。

① アドインの削除

EXCEL の「ツール」－「アドイン」で参照をオフにします。OK ボタンを押してシート画面に戻します。

② 本体のアンインストール

[設定]-[アプリケーションの追加と削除]より削除して下さい。

3. 基本材料について

3-1. BDS[®]及びDDS[®]の出力について

REAL-DにおいてBDS及びDDSの材料強度基準値の出力可否の一覧を示します。

表 3-1 BDS 及び DDS の材料強度基準値の出力可否の一覧

材料強度基準値	BDS (SUS304、SUS316、 SUS321 伝熱管、 21/4Cr-1Mo(NT)板、 21/4Cr-1Mo(NT)伝熱管)	DDS (316FR、Mod. 9Cr-1Mo)
最大許容応力強さ S_0	可	可
設計応力強さ S_m	可	可
設計応力強さ S_t	可	可
設計降伏点 S_y	可	可
設計クリープ破断強さ S_R	可	可
設計引張強さ S_u	可	可
設計緩和強さ S_r	可	可
縦弾性係数 E	可	可
ポアソン比	可	可
熱膨張係数 α	可	可
許容ひずみ範囲(A) ϵ_t	可	可
許容ひずみ範囲(B) ϵ_t	可	可
許容ひずみ範囲(C) ϵ_t	可	可
等時応力ひずみ関係	可	可
D*、D**簡易式	可	否
D*、D**詳細式	可	否

3-2. 材料特性及び基準値の引用文献

REAL-A&Dにおいて、BDSやDDSで公開されている材料はプログラムの中にあらかじめ組み込まれています。これらの材料の一覧と引用文献を下記に示します。なお、REAL-Aでユーザーが作成した材料は、101番より自動的に番号が付けられます。

表 3.2 材料特性及び基準値の引用文献一覧

番号	材料	材料特性式	材料強度基準値
1	SUS304	BDS 案 ①	BDS 案 ①②
2	SUS316	BDS 案 ①	BDS 案 ①②
3	SUS321	BDS 案 ①	BDS 案 ①②
4	2.25Cr-1Mo(板)	BDS 案 ①	BDS 案 ①②
5	2.25Cr-1Mo(伝熱管)	BDS 案 ①	BDS 案 ①②
6	Mod.9Cr-1Mo(NT)	JNC 案 ③④	JNC 案 非公開 設計疲労線図のみ公開 ④

7	9Cr-2Mo	非公開	無し
8	9Cr-M-V-Nb	非公開	無し
9	316FR	JNC案⑤	JNC案⑤
10	316FR(非弾性解析用)	JNC案⑥	無し
11	316FR(DDS)	DDS案 疲労:BDS と 同じ⑦、動的:SUS316 と同じ	DDS案⑧
12	Mod.9Cr-1Mo(NT+SR)	DDS案⑦、動的⑩	DDS案⑧
13	HCM12A(暫定版)	METI案⑨、動的⑩	METI案⑨
14	316FR(DDS板+鍛)	DDS案 疲労:板+鍛 ⑦、動的:SUS316 と同 じ	DDS案 316FR(DDS)と 同じ⑧
15	316FR(DDS板)	DDS案 疲労:板⑦、 動的:SUS316と同じ	DDS案 316FR(DDS)と 同じ⑧
16	316FR(DDS鍛)	DDS案 疲労:鍛⑦、 動的:SUS316と同じ	DDS案 316FR(DDS)と 同じ⑧
17	316FR(DDS動的平均)	DDS案 疲労:BDS 動 的:平均⑩	DDS案 316FR(DDS)と 同じ⑧

【 引用文献 】

- ① 動力炉核燃料開発事業団, 解説 高速原型炉高温構造設計指針 材料強度基準等 昭和59年11月
- ② 動力炉核燃料開発事業団, 解説 高速原型炉第1種機器の高温構造設計指針 昭和59年11月
- ③ 青砥 紀身, 和田 雄作, 既存鋼種とのアナロジイによる新規開発材料の高温材料特性評価手法 日本機械学会論文集 第523号A編
動力炉核燃料開発事業団, 高速増殖炉高温構造設計基準材料強度基準等の高度化に関する検討報告(I) 昭和62年度KOM-MSS W/G活動報告 1988年4月 PNC SN9410 88-105
- ④ 小峰 龍司, 川崎 弘嗣 他, Mod.9Cr-1Mo(NT)設計疲労線図(1991年度暫定案)の策定 1992年3月
- ⑤ 渡士 克己, 青砥 紀身 他, 高速炉構造用316の材料強度基準等(案) 1993年6月 PNC ZN9410 93-142
- ⑥ K. Aoto et al. : "Inelastic stress-strain relationship of FBR-grade type 316FR stainless steel at elevated temperature", proc. The 5th International Symposium on Plasticity and Its Current Applications, (1995), P577
- ⑦ 日本原子力発電株式会社, 解説 高速増殖炉実証炉高温構造設計指針 材料強度基準等(案) 平成11月3月
- ⑧ 日本原子力発電株式会社, 高速増殖炉実証炉高温構造設計指針 材料強度基準等(案) 平成11月3月
- ⑨ 日本原子力発電株式会社, 平成13年度 発電用新型炉技術確証試験 事業報告書 その1 設計手法高度化確証試験
- ⑩ 日本原子力発電株式会社, 平成受託研究報告書 炉システム共通技術の検討 構造設計手法に関する研究 平成12年度度 平成13年3月

4. REAL-A&D について

REAL-A&D for Windows は、回帰処理を行う「REAL-A」と材料特性評価を行う「REAL-D」の二つの独立した機能を EXCEL の VBA で作成しアドインとして実行可能にしたものです。ユーザーは EXCEL の機能の一部として扱っている様に操作でき、シート上から直接計算可能となります。

4-1. REAL-A の機能

REAL-A は、ワークシート上の材料データを基に、各種材料特性式を回帰する機能、回帰結果の表示及び作図する機能、新材料特性を設定する機能から構成されています。

(1) 基本材料特性式回帰処理

高速原型炉用材料強度基準に用いた材料特性式を基本とし、ワークシート上から必要なデータを読み込み回帰処理を行います。処理結果は、必要に応じて回帰結果保存データファイルに保存することができます。

表 4.1 回帰可能な材料特性式

材料特性	特性式	型式	材料特性保存データ
引張	応力ひずみ関係式	Ludwik 型式	単一温度のみ可、材料特性として登録不可
	弾性定数	多項式	登録可
	降伏応力	多項式	登録可
クリープ	クリープ破断式	4種類 (Lerson-Miller 型式、Orr-Sherby-Dorn 型式、Manson-Succop 型式、Manson-Haferd 型式)	登録可
	定常クリープひずみ速度式	Monkman-Grant 式	登録可
疲労	疲労破損式	Manson-Coffin 型式 Langer 型式	単一温度のみ可、材料特性として登録不可
		Diercks 式	登録可
	動的応力ひずみ関係式	Ludwik 型式	登録可
多項式	—	多項式	温度依存の関数にすれば引張特性として登録可。

(2) 回帰結果出力処理

回帰結果保存データファイルより、いつでも必要な時に回帰結果を出力します。回帰したデータは自動でオープンし回帰対象のセル範囲をアクティブにします。また、データと回帰結果のオーバープロットを自動で作図する機能も付加しています。グラフの仕様を以下に示します。

① 標準グラフの仕様

材料特性	特性式	X 軸	Y 軸
引張	静的応力ひずみ関係式	ひずみ	応力
	弾性定数	温度	弾性定数
	降伏応力	温度	降伏応力
クリープ	クリープ破断式	破断時間	応力
	定常クリープひずみ速度式	破断時間	定常クリープひずみ速度
疲労	疲労破損式	破損繰返し数	ひずみ範囲
	動的応力ひずみ関係式	ひずみ範囲	応力範囲
多項式	—	X 値	f (X 値)

② 信頼値の正規分布

信頼値	下限値	上限値
95%信頼幅	-1.96	1.96
99%信頼幅	-2.576	2.576
95%信頼上下限值	-1.645	1.645
99%信頼上下限值	-2.326	2.326

③ CAL-OBS のグラフ仕様

材料特性	特性式	X 軸 (予測値) 及び Y 軸 (実測値)
引張	静的応力ひずみ関係式	$\sigma - \sigma_p$
	弾性定数	弾性定数
	降伏応力	降伏応力
クリープ	クリープ破断式	破断時間
	定常クリープひずみ速度式	定常クリープひずみ速度
疲労	疲労破損式	破損繰返し数
	動的応力ひずみ関係式	$\Delta \sigma - 2 \sigma_p$
多項式	—	f (X 値)

④ TTP- σ (クリープ破断式のみ)

クリープ破断式	X 軸	Y 軸
Lerson-Miller	Lerson-Miller-Parameter	応力
Orr-Sherby-Dorn	Orr-Sherby-Dorn-Parameter	応力
Manson-Succop	Manson-Succop-Parameter	応力
Manson-Haferd	Manson-Haferd-Parameter	応力

(3) 新材料特性の設定

ユーザー独自にREAL-Dで強度評価を行うための材料特性を設定します。材料パラメータは、手動による設定や、回帰結果保存データ及び基本材料の材料特性式より選択することが可能です。定めた材料特性は、新材料として材料特性保存データに登録され、更新、削除等が可能です。材料番号は、101より順に自動生成されます。ここで設定された材料は、REAL-Dで新材

料として読み込まれ、各種強度評価が可能になります。ただし、設定する材料は SI 単位で作成することが前提です。

4-2. REAL-D の機能

REAL-D は 3 つの機能から構成され、Excel のワークシート上で実行されます。結果は、指定セルに出力されます。REAL-D で扱う材料特性式は、BDS 及び DDS に準じています。

材料特性	材料特性式	型式
引張	静的応力ひずみ関係式	Ludwik 型式
クリープ	クリープ破断式	Lerson-Miller 型式、Orr-Sherby-Dorn 型式、Manson-Succop 型式、Manson-Haferd 型式
	定常クリープひずみ速度式	Monkman-Grant 式
	クリープひずみ式	Black-Burn 型式
疲労	最適疲労破損式	Diercks 式
	動的応力ひずみ関係式	Ludwik 型式

(1) 材料強度特性値出力

材料強度特性値出力は、グラフ出力用に X 軸に相当する値として温度、時間及びひずみ等が Y 軸に相当する値はそれに対応する材料特性値がシート上に出力されます。

材料特性	X 軸	Y 軸
引張	温度	弾性定数、降伏応力、比例限、m、k
	ひずみ or 塑性ひずみ	応力
クリープ	クリープ破断時間	応力、定常クリープひずみ速度
	クリープ時間	クリープひずみ
	保持時間 (リラクゼーション)	緩和応力、クリープ損傷
	TTP(LMP、OSDP 他)	応力
疲労	繰返し破損回数	ひずみ範囲
	ひずみ範囲	応力範囲
クリープ疲労	繰返し破損回数	ひずみ範囲
	保持時間	破損繰返し数

(2) 材料強度基準値出力

材料強度基準値出力は、グラフ作成用として各種基準値が出力されます。

- ・ S_0 、 S_m 、 S_t 値など各種材料強度基準値及び等時応力ひずみ関係のワークシートへの出力
- ・ D^* 、 D^{**} の簡易式及び詳細計算による出力

(3) 材料強度評価

材料強度評価は、EXCEL のワークシート上の材料データを基に予測値の計算を行います。実測値を指定している場合は、予測値との相関係数、標準偏差等の統計処理を行います。クリープひずみ速度は、式中の破断時間を実測値若しくはクリープ破断式より算出した破断時間のいずれかを選択することが可能です。クリープ疲労では、保持時間がゼロ若しくはセル範囲を設

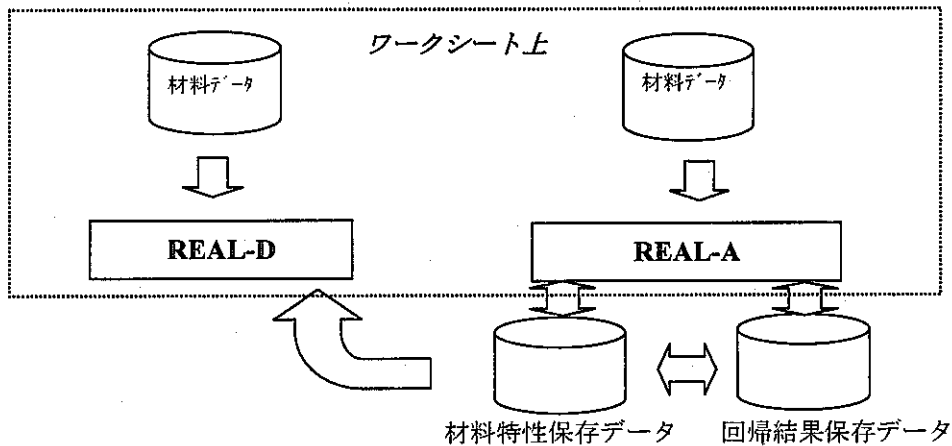
定しない場合疲労寿命を計算します。また、1サイクル当たりの初期応力値や損傷値の出力は、オプションで設定可能です。

材料特性	入力値	予測値
クリープ	温度、応力	破断時間
	温度、応力、破断時間	定常クリープひずみ速度
疲労 (クリープ疲労)	温度、ひずみ速度、 保持時間	破損繰返し数 (保持時間=0の時、疲労)

(4) 材料強度特性値出力 (画面出力)

材料強度特性値出力 (画面出力) は、(1) 材料強度特性値出力の材料特性に加え等時応力ひずみ関係の任意の条件について、計算結果をシート出力せず画面に出力します。グラフ用のデータを作成するのではなく材料特性の任意の負荷条件を算出します。

4-3. プログラム構成



- 回帰結果保存データ：回帰処理結果、統計処理結果、セル範囲、ワークブック保存場所等が登録されています。
- 材料特性保存データ：新規材料の引張、クリープ、疲労の各種材料特性式のパラメータが登録されています。

4-4. 統計処理方法

REAL-A 及び REAL-D の統計処理情報は、平均傾向に対するバラツキや偏差を算出します。これらの値は、従属変数のタイプ（線形 or 対数）により変わります。なお、REAL-D の「3. 材料強度評価」の標準偏差は、自由度をデータ数Nとして算出したものです。

項目	線形 (従属変数)	対数 (従属変数)
相関係数 R	$\frac{\sum (y - \bar{y})(y^* - \bar{y}^*)}{\sqrt{\sum (y - \bar{y})^2 \cdot \sum (y^* - \bar{y}^*)^2}}$	$\frac{\sum (Y - \bar{Y})(Y^* - \bar{Y}^*)}{\sqrt{\sum (Y - \bar{Y})^2 \cdot \sum (Y^* - \bar{Y}^*)^2}}$ Y=log y、Y*=log y*
標準偏差	$\sqrt{(\sum (y - \bar{y})^2) / (N - p - 1)}$ p: 係数パラメータの数	$\sqrt{(\sum (Y - \bar{Y})^2) / (N - p - 1)}$ Y=log y、Y*=log y*
自由度調整済み 重相関係数 R*2	$1 - \frac{N-1}{N-p-1} (1 - R^2)$ p: 係数パラメータの数	
分散比 F0	$\frac{V_R}{V_e}$, V _R : 回帰による分散、V _e : 回帰からの残差の分散	
SEE	$\sqrt{(\sum (y - \bar{y})^2) / (N - 1)}$ Y=y/y*, Yは平均値	$\sqrt{(\sum (Y - \bar{Y})^2) / (N - 1)}$ Y=log(y/y*), Yは平均値

材料特性式の回帰計算時における従属変数の計算タイプを示します。

材料特性式	従属変数	タイプ
.....	log(· -· p)	対数
.....	E	線型
.....	· y	線型
.....	log(·)	対数
.....	logt·	対数
.....	Log(· ·)	対数
.....	log(· · -2· p)	対数
.....	f(x)	対数 or 線型 (任意)

4-5. 単位について

REAL-A 及び REAL-D で扱う単位は、下表に示す様にメニューやワークシート上の入力データと材料特性式の単位の扱いが異なります。オプションでは、材料特性式の単位が合うように標準の係数値が設定されています。ユーザーは、下表に従わない入力データの単位の場合、オプションで材料特性式の単位に合うように係数を調整する必要があります。特に問題が無ければ、下表の入力データの単位で入力することを勧めます。

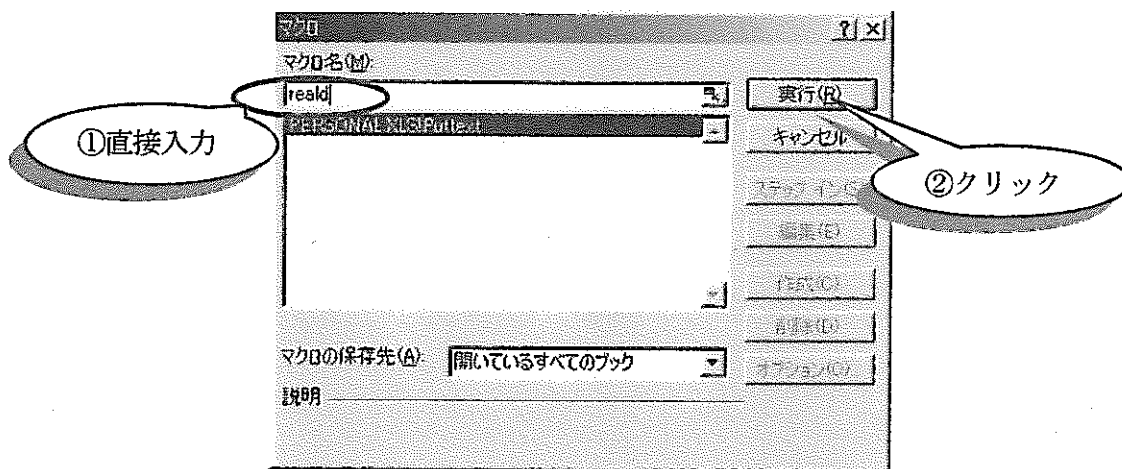
	入力データ	係数 (標準)	材料特性式
温度	°C	—	°C
時間	hr	—	hr
ひずみ、ひずみ範囲	%	0.01	mm/mm
応力	N/mm ²	1	N/mm ²
ひずみ速度(疲労)	%/sec	0.01	mm/mm/sec
ひずみ速度(クリープ)	%/hr	0.01	mm/mm/hr

5. REAL-A&D の起動と終了

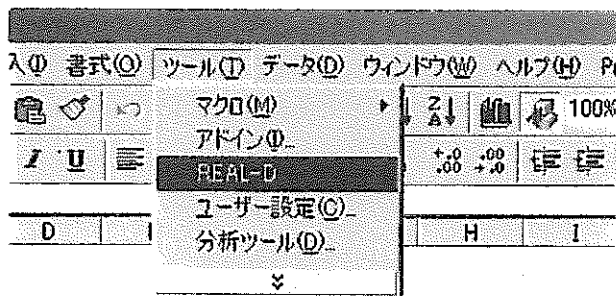
REAL-A 及び D は、それぞれアドインとして登録します。その起動方法は、2通りあり必要に応じて使い分けて下さい。使用頻度が高い場合は、「ツール」のメニューとして登録しておくことを勧めます。なお、REAL-A 及び REAL-D を同時に実行することは可能ですが動作は保証されません。

5-1. 起動方法

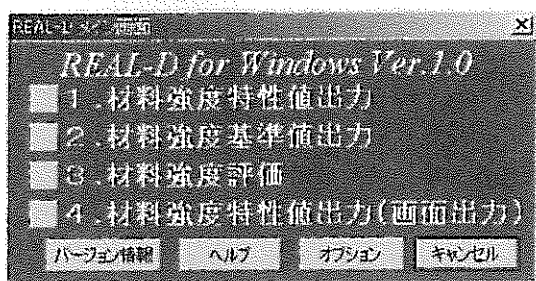
■ 「ツール」 - 「マクロ」 - マクロコマンドで "reald" 若しくは "reala" をキー入力し実行。使用頻度が低い場合は、この方法を勧めます。



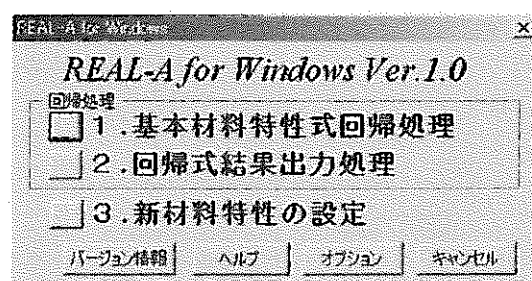
■ 「ツール」 - 「REAL-A」若しくは「REAL-D」のメニュー選択で実行。使用頻度が高い時は、「ツール」 - 「ユーザー設定」において、あらかじめプルダウンメニューに定義しコマンド "REAL-A" 及び "REAL-D" を割り当てておきます(参照 2-2. インストール方法)。「ツール」のプルダウンメニューから「REAL-A」 or 「REAL-D」が実行できます。



REAL-D 初期メニュー画面



REAL-A 初期メニュー画面



5-2. 終了方法

キャンセル で終了です。

6. REAL-A の操作方法

6-1. 初期画面

初期メニュー画面です。3つの項目から選択します。

<REAL-A 初期メニュー>

シートのデータより材料特性式の回帰処理を行います。

登録した回帰式の結果出力及び作図処理を行います。

新規の材料を作成し登録します。REAL-D で参照されます。

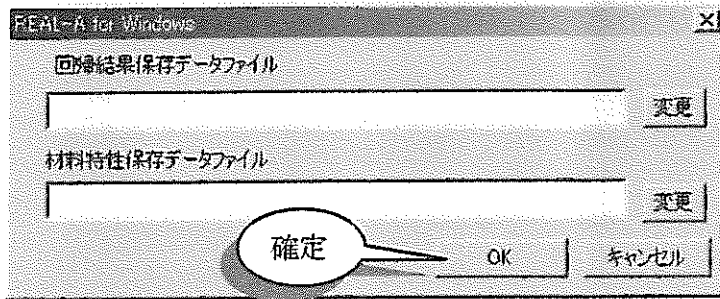
<バージョン情報>

<ヘルプ>

REAL-D も同じ HELP です。

<オプション>

REAL-A の初期ダイアログのオプションは、回帰結果保存データと材料特性保存データのファイルの所在を変更します。ここで変更したファイルは、REAL-A だけでなく REAL-D の材料特性の選択にも反映されます。また、他ユーザーが作成した回帰結果保存データや材料特性保存データに変更し参照することも可能です。さらに、ファイルをネットワーク上に置けば複数のユーザーで共有することも可能です。変更は、本システムが終了しても有効になります。



・回帰結果保存データファイル拡張子が prm のバイナリファイルです。

・材料特性保存データファイル拡張子が mdb のバイナリファイルです。

新規保存データの作成

REAL-Aで作成される回帰結果保存データと材料特性保存データを現状ファイルとは別に新たに作成する場合、REAL-Aの「オプション」から「変更」ボタン押し、ファイル選択ダイアログより存在しない任意のファイル名に変更します。なお、エクスプローラより現状のファイル名を変更しても構いません。この場合、既に設定したファイル名で新規に作成されます。

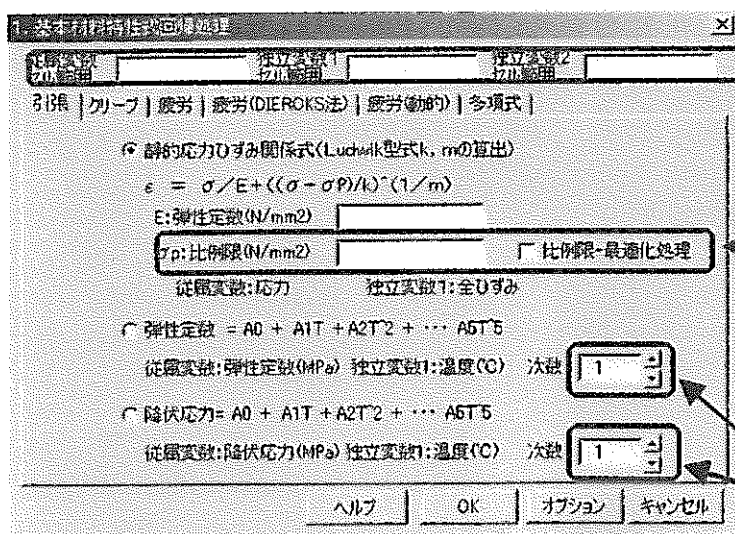
6-2. 基本材料特性式回帰処理

【引張】

静的応力ひずみ関係(Ludwik 式)のパラメータを回帰処理と、温度と弾性定数及び降伏応力の関係を回帰処理します。後者は、新材料を設定する際、呼び出し可能になります。

Ludwik 型式

$$\epsilon = \sigma / E + ((\sigma - \sigma_p) / k)^{1/m}$$



セル範囲の指定はダブルクリックでマウスにより設定できます。

比例限を収束計算で求め最適な応力ひずみ関係を導出するオプションです。このオプションを適用しない場合、最適化処理は行わず定数値を採用します。

最大5次です。

【クリープ】

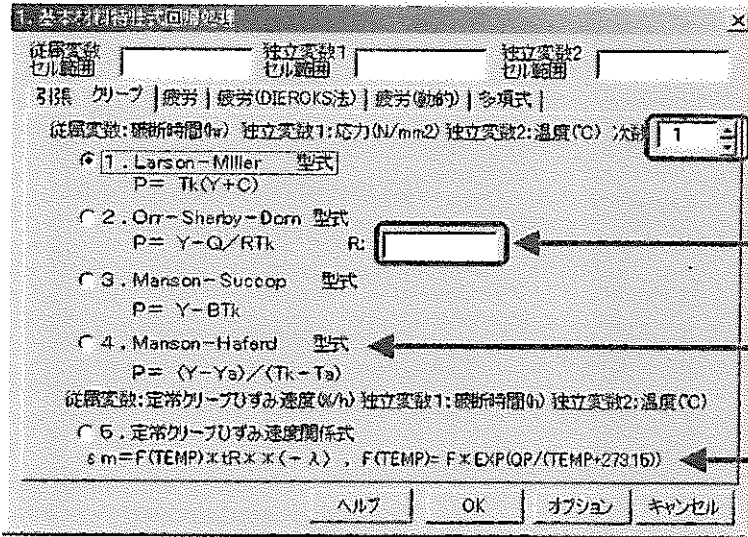
クリープ破断式4種類及びクリープひずみ速度式 (Monkman Grant 型式) の回帰処理を行います。

1. リープ破断式

$$p = \sum_{i=0}^N A_i \log \sigma^i \quad N: \text{次数}$$

2. 定常クリープひずみ速度式

$$\dot{\epsilon}_m = F(T) \times t_R^{-\lambda} \quad F(T) = F \times \exp(QP / (T + 273.15))$$



最大5次です。

ガス定数です。

クリープ破断式の Manson-Haferd は取戻計算するため、データの並びによっては取戻できない場合があります。

F、QP、λの結果が出力されます。

【疲労】

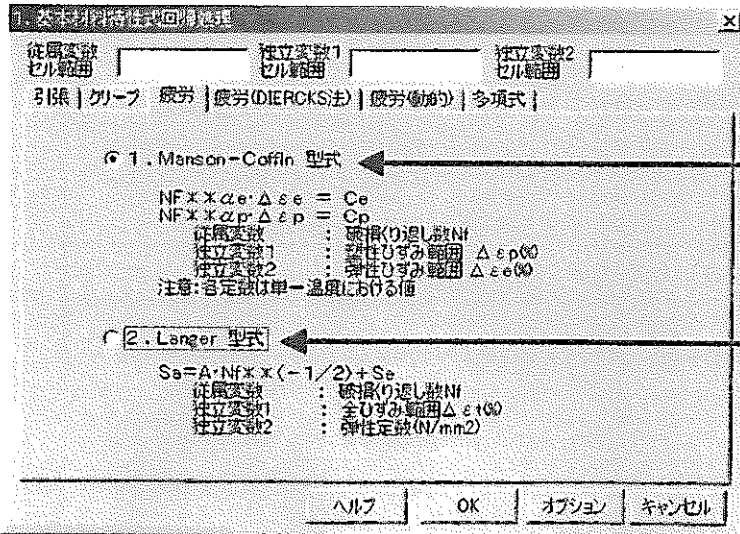
Manson-Coffin 型式及び Langer 型式による疲労関係を回帰処理します。標準偏差は、いずれも破損繰り返し数の対数標準偏差です。

1. Manson-Coffin 型式

$$Nf^{\alpha_e} \cdot \Delta \epsilon_e = C_e \quad Nf^{\alpha_p} \cdot \Delta \epsilon_p = C_p$$

2. Lager 型式

$$S_a = A \cdot Nf^{(-1/2)} + S_e$$



Manson-Coffin 型式のパラメータ αe、Ce、αp、Cp を回帰処理します。

Langer 型式によるパラメータ Sa、A、Se を回帰計算します。

【 疲労 (Diercks) 】

Diercks ら用いた汎用解析手法に準じた最適疲労破損式の作成を行う。

① 基礎式の策定

温度及びひずみ速度を固定し、基礎式全ケース(60 ケース)を回帰計算します。ここでは、基礎式の形 α 及び項を決めるだけの処理を行います。

$$\log(N_f)^\alpha = \sum_{i=0}^4 A_i S^i \quad S = \text{Log}(S) \text{ ひずみ範囲}$$

セル範囲の指定はダブルクリックでマウスにより設定できます。

基礎式を回帰処理若しくは任意に設定するか選択します。

基礎式が設定されてないと、次のステップ2に進めません。

1. 温度及びひずみ速度を固定し、基礎式を導き出す。

☞ **回帰処理で算出** を選択した場合

$\alpha = 1, 1/2, -1/2, -1$ の4種類と $\text{Log}(N_f)^\alpha = A_0 \cdot S \sim \text{Log}(N_f)^\alpha = A_0 \cdot S + A_1 \cdot S + A_2 \cdot S^2 + A_3 S^3 + A_4 S^4$ の全ての組合せについて回帰計算を行います。組合せ総数は60 ケースです。

ボタン	処理内容
画面表示	回帰結果を表示します。
ソート	相関係数が良好なものから並び替えます。
作図	データ及び回帰ケースの結果を追加シートに出力し、その結果を基に自動でデータと回帰式のオーバープロットをグラフ(散布図)に出力します。なお、回帰式は、複数選択が可能です。「Shift」及び「Alt」キーで選択して下さい。またグラフは、「選択」若しくは「キャンセル」ボタンで押した後自動追加されます。
選択	選択したケースが、基礎式となります。
キャンセル	キャンセルします。

基礎式の選択
 α と次数の組合せ60ケースのうち1ケースを選択して下さい。
 $S = \log_{10}(\Delta \epsilon t)$ $\Delta \epsilon t$:全ひずみ範囲 $\alpha = 1, 1/2, -1/2, -1$ $f(S) = \sum A_i S^i, i=0 \sim 4$

番号	α	次数	相関係数	標準偏差	A0	A1	A2	A3	A4
001	1	1 0 0 0	0.906	0.236	-7.20E-01	-1.99E+00			
002	1	0 1 0 0	0.923	0.214	1.14E+00	5.21E-01			
003	1	0 0 1 0	0.930	0.205	1.81E+00	-1.74E-01			
004	1	0 0 0 1	0.930	0.205	2.18E+00	7.1E-02			
005	1	1 1 0 0	0.929	0.206	3.05E+00	1.97E+00	1.02E+00		
006	1	1 0 1 0	0.930	0.205	2.09E+00	2.14E-01	-1.91E-01		
007	1	1 0 0 1	0.931	0.204	1.59E+00	5.95E-01	5.95E-01		
008	1	0 1 1 0	0.930	0.205	2.00E+00	-1.52E-01	-2.24E-01		
009	1	0 1 0 1	0.931	0.204	1.87E+00	1.46E-01	4.58E-02		
010	1	0 0 1 1	0.930	0.204	1.97E+00	-9.49E-02	2.89E-02		
011	1	1 1 1 0	0.932	0.203	-1.70E+00	-6.41E+00	-3.79E+00	-8.69E-01	
012	1	1 1 0 1	0.932	0.203	-1.73E+00	-3.71E+00	2.93E+00	1.22E-01	
013	1	1 1 0 0	0.932	0.203	-5.19E-01	-9.63E+00	-1.36E+00	1.17E-01	
014	1	0 1 1 1	0.932	0.203	1.85E+00	1.69E+00	1.10E+00	2.83E-01	
015	1	1 1 1 1	0.932	0.203	-5.96E+00	-1.44E+01	-1.06E+01	-3.42E+00	-3.47E-01

画面表示 ソート 作図 選択 キャンセル

作図のみ複数選択可

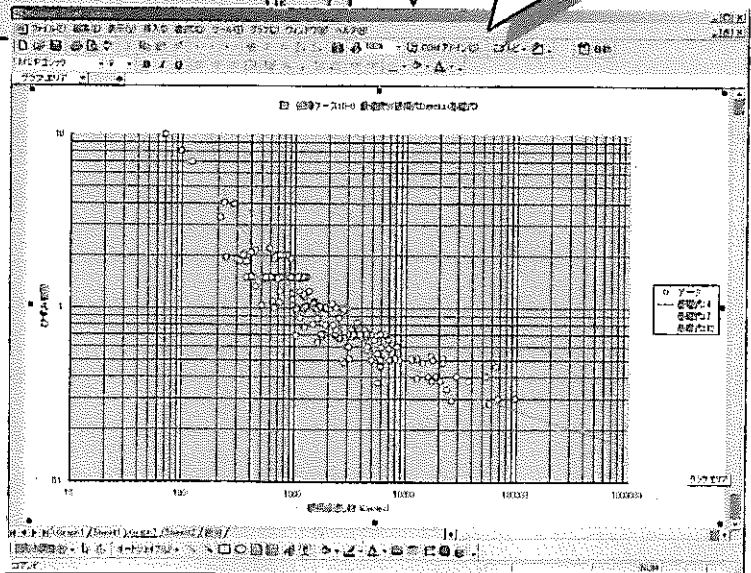
4次までのフラグです。0の場合その項が無いことを示します。例えば、1 0 0 1の場合、 $f(S) = A_0 + A_1 \times S + A_2 \times S^2$ を示します。

最適疲労破壊式-基礎式
 材料特性式: 最適疲労破壊式Diercks式
 基礎式番号: 12
 基礎式: $\log_{10}(N_f) = 1 = A_0 + A_1 S + A_2 S^3 + A_3 S^4$
 パラメータ値
 $A_0 = 1.9959999999999994$
 $A_1 = 1.00000000000001 \times S$
 $A_2 = -4.724216910757E-14 \times S^3$
 $A_3 = 1.3908806782200E-14 \times S^4$
 相関係数: 1
 標準偏差: 1.43957629885062E-14
 $S = \log_{10}(\Delta \epsilon t)$

自動で作成

グラフ及び曲線の数に制限はありません。

基礎式の回帰結果は保存されません。コピー等で保存して下さい。



任意設定 を選択した場合

予め基礎式の形が決まっている場合、基礎式を設定します。

任意指定 X

疲労破損式基礎式
 $(\log Nf)^\alpha = A0 + A1 \log S + A2 (\log S)^2 + A3 (\log S)^3 + A4 (\log S)^4$
 $S = \log(\Delta \epsilon \dot{\epsilon})$ $\Delta \epsilon \dot{\epsilon}$: ひずみ範囲

パラメータ: α

$\alpha = 1$ $\alpha = 1/2$ $\alpha = -1/2$ $\alpha = -1$ ← パラメータ α を4つから選択します。

基礎式(右辺)

A0: 固定

$\log S$ $(\log S)^2$ $(\log S)^3$ $(\log S)^4$ ← 任意に選択します。

2. 上記基礎式に対し3変数の相乗項不可の組合せで疲労破損式を算出する。

相乗項を不可の組合せとは、基礎式のひずみ範囲の次数を含まない3変数の組合せを指します。

$$\log(Nf)^\alpha = \sum_{i=0}^4 A_i S^i + A5 R^{NR1} T^{NT1} + A6 S^{NS1} R^{NR2} + A7 S^{NS2} T^{NT2}$$

R: ひずみ速度、T: Tc/100 Tc 温度(°C)、なおNR、NS、NTは最大で4次で式中のA0は必須です。この処理は、基礎式が定まっていないと実行できません。

基礎式 相関係数で並び替え

疲労破損式
 $(\log Nf)^\alpha = -1/2 = A0 + A1S^1 + A2S^2 + A3S^4 + A5T^1 \times R^1 L2 + A6R^1 M1 \times S^1 M2 + A7T^1 N1 \times S^1 N2$

総ケース: 640

No.	L1	L2	M1	M2	N1	N2	相関係数	標準偏差	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7, A8
0001	1	1	1	1	1	1	0.962	0.155	1.06E+00	5.48E-01	1.67E-01	-3.48E-03	-2.03E-06	9.09E-04	-4.12E-06	
0002	1	1	1	1	2	2	0.961	0.155	1.06E+00	5.30E-01	1.66E-01	-3.42E-03	-2.54E-06	-4.30E-04	-3.24E-08	
0003	1	1	1	1	3	3	0.961	0.155	1.04E+00	5.16E-01	1.64E-01	-3.31E-03	-3.13E-06	-1.95E-03	-2.90E-11	
0004	1	1	1	1	4	4	0.961	0.155	1.09E+00	5.05E-01	1.62E-01	-3.18E-03	-3.64E-06	-3.21E-03	-2.55E-14	
0005	1	1	1	2	1	2	0.962	0.154	1.08E+00	5.52E-01	1.67E-01	-1.00E-02	-2.01E-06	9.15E-04	2.09E-06	
0006	1	1	1	2	2	2	0.961	0.155	1.07E+00	5.44E-01	1.71E-01	-9.30E-03	-2.41E-06	-1.59E-04	1.89E-08	
0007	1	1	1	2	3	3	0.961	0.155	1.08E+00	5.33E-01	1.70E-01	-9.72E-03	-2.88E-06	-1.35E-03	1.70E-11	
0008	1	1	1	2	4	4	0.962	0.155	1.08E+00	5.65E-01	1.86E-01	-1.21E-02	-2.73E-06	-9.48E-04	3.25E-06	
0009	1	1	1	2	1	2	0.962	0.155	1.08E+00	5.47E-01	1.68E-01	-3.41E-03	-1.93E-06	9.73E-04	5.54E-06	
0010	1	1	1	2	2	2	0.961	0.155	1.07E+00	5.40E-01	1.68E-01	-3.53E-03	-1.87E-06	-1.79E-04	-4.28E-08	
0011	1	1	1	2	3	3	0.961	0.155	1.06E+00	5.28E-01	1.66E-01	-3.44E-03	-2.56E-06	6.19E-06	-4.11E-11	
0012	1	1	1	2	4	4	0.961	0.155	1.04E+00	5.19E-01	1.64E-01	-3.31E-03	-3.13E-06	-1.95E-03	-2.90E-11	
0013	1	1	1	2	2	1	0.962	0.155	1.09E+00	5.69E-01	1.86E-01	-1.21E-02	-2.73E-06	-9.48E-04	3.25E-06	
0014	1	1	1	2	2	2	0.961	0.155	1.08E+00	5.52E-01	1.67E-01	-1.00E-02	-2.01E-06	9.15E-04	2.09E-06	
0015	1	1	1	2	2	3	0.961	0.155	1.07E+00	5.44E-01	1.71E-01	-9.30E-03	-2.41E-06	-1.59E-04	1.89E-08	
0016	1	1	1	2	4	1	0.961	0.155	1.08E+00	5.74E-01	1.86E-01	-1.21E-02	-2.73E-06	-9.48E-04	3.25E-06	
0017	1	1	1	3	1	1	0.962	0.155	1.08E+00	5.65E-01	1.86E-01	-1.21E-02	-2.73E-06	-9.48E-04	3.25E-06	

登録番号: 23 4

A0= 1.07778E+00 $\alpha =$ -1/2

A1= 557563E-01 × S¹ P 6

A2= 1.68124E-01 × S² 点数 204

A3= -954497E-03 × S⁴

A4= -1.33149E-05 × T¹R¹ 相関係数 0.962

A5= -3.76015E-04 × S¹R² 標準偏差 0.155

A6= -5.19911E-05 × S¹T²

組合せの総数です。

ENTERで改行できます。最大300文字まで有効です。

回歸結果保存データファイルに保存します。

【 疲労（動的） 】

Ludwik 型式の動的応力ひずみ関係式を回帰処理します。

動的応力ひずみ関係式回帰処理

引張 | クラブ | 疲労 | 疲労(DIERCKS法) | 疲労(動的) | 多項式

動的応力ひずみ関係式(Ludwik型式)
 $\log_{10}(\Delta\sigma - 2\sigma_p) = A_0 + A_1 \times \log_{10}(\Delta\varepsilon - \Delta\sigma/E)$

従属変数1: 応力範囲(N/mm²) 独立変数1: 温度(°C) 独立変数2: ひずみ範囲(%)

弾性定数&比例限
 材料: 1. SUS304

次数(最高5次)
 A0: 1 A1: 1

ヘルプ OK オプション キャンセル

動的応力ひずみ関係式を作成する際の弾性定数及び比例限の材料を指定します。すなわち、静的応力ひずみ関係式の材料を選択します。

弾性定数及び比例限は、SMAT-A で回帰した材料から選択することも可能です。基本材料の材料特性式以外から弾性限及び比例限を設定する場合は、予めSMAT-A 「3. 新材料特性の設定」の「引張」において弾塑性応力ひずみ関係式の材料定数を設定しておいて下さい。

Ludwik 型式の温度関数である A0、A1 の次数を入力します。それぞれ最大で5次です。

$\log(\Delta\sigma - 2\sigma_p) = A_0 + A_1(\Delta\varepsilon - \Delta\sigma/E)$ 、 σ_p 及び E は静的応力ひずみ関係式より導き出されます。

$$A_0 = \sum_{i=0}^N A_{0i} T^i \quad , \quad A_1 = \sum_{i=0}^M A_{1i} T^i$$

計算結果

登録番号: 24 - 10

動的応力ひずみ関係式
 $\log_{10}(\sigma - \sigma_p) = \sum A_{0i} T^i + \sum A_{1i} T^i \times \log_{10}(\varepsilon_p)$

A00=	-1.177644E+01	A10=	-7.539753E+00	S=log10
A01=	9.816297E-02	A11=	5.183813E-02	x S
A02=	-2.137692E-04	A12=	-1.152759E-04	x T x S
A03=	1.520562E-07	A13=	8.461788E-08	x T^2 x S
A04=		A14=		x T^3 x S
A05=		A15=		x T^4 x S

弾性定数&比例限の材料: 1. SUS304

注意: 下記の統計情報は、log10(σ-σ_p)の実際値と計算値で算出したものです。

P	点数	標準偏差	相関係数	R ²	F0値	SEE
6	204	0.03	0.926	0.850	117.67	0.03

コメント(必要に応じて)

セル位置(シート出力時必要)

シートへ出力 保存 キャンセル

動的応力ひずみ関係式の回帰結果です。

最大 300 文字、ENTER で改行

指定したセルに結果を出力します。

【多項式】

独立変数 1 個の多項式の回帰計算を行います。

回帰計算は、ファクタを乗じた入力データを基に行います。回帰結果の作図用データは、ファクタを乗じてない入力データを出力します。

「オプション」

回帰計算時シート上の入力データに対する係数を定めるオプションです。デフォルトは、オプションで定めている値です。REAL-A&Dでは入力値の単位は、応力値N/mm²、ひずみ量%として扱っています。材料特性式の単位は、それぞれN/mm²、mm/mmです。そのため以下に示す係数を入力データに乗じています。

項目	回帰式 (特性式)	パラメータ	係数	備考
引張	Ludwik 方式の応力ひずみ関係式	応力	1	
		ひずみ	0.01	%→mm/mm
		塑性ひずみ制限値	0	制限値以上の塑性ひずみのデータを回帰対象とします。
	弾性定数、降伏応力	弾性定数、降伏応力	1	
クリープ	クリープ破断式	応力	1	
	定常クリープひずみ速度式	定常クリープひずみ速度	0.01	%/hr→mm/mm/hr
疲労-1	Manson-coffin 型式	塑性ひずみ範囲	0.01	%→mm/mm
		弾性ひずみ範囲	0.01	%→mm/mm
	Langer 型式	全ひずみ範囲	0.01	%→mm/mm
		弾性定数	1	
疲労-2	Diercks 型式	ひずみ範囲	0.01	%→mm/mm
		ひずみ速度	0.01	%/sec→mm/mm/sec

	動的応力ひずみ関係式	ひずみ範囲	0.01	%→mm/mm
		応力範囲	1	

6-3. 回帰結果出力処理

「5-2. 基本材料特性式回帰処理」で保存した回帰式について、結果の画面出力、ワークシート出力やグラフ作成を行います。これを実行するには、「5-2. 基本材料特性式回帰処理」で結果を最低1ケース登録しておく必要があります。

材料特性の種類を選択します。

結果表示
画面に回帰結果を表示します。

作図
グラフ用x-yデータを出力し作図処理も行います。

登録ケース削除
選択したケースを削除します。

材料特性式登録番号：○○-△△、○○は特性式識別番号、△△は通し番号

材料特性識別番号及びグラフ作成用 X-Y データの仕様

材料特性式	材料特性式識別番号	X 軸	Y 軸
静的応力ひずみ関係式	1	ひずみ	応力
弾性定数	2	温度	弾性定数
降伏応力	3	温度	降伏応力
クリーブ破断式	11 : Lerson-Miller 型式 12 : Orr-Sherby-Dorn 型式 13 : Manson-Succop 型式 14 : Manson-Haferd 型式	破断時間	応力
定常クリーブひずみ速度式	15 : Monkman-Grant 型式	破断時間	定常クひずみ速度
最適疲労破損式	21 : Manson-Coffin 型式 22 : Langer 型式 23 : Diercks 型式	破損 繰り返し数	ひずみ範囲
動的応力ひずみ関係式	24	ひずみ範囲	応力範囲
多項式	31	X	f(x)

⑥ 結果表示 を選択した場合

回帰計算結果

最適疲労破断式
回帰登録番号: 21-3

----- 統計処理情報 -----

データ点数: 42

標準偏差	相関係数	R ²	F0値	SEE
0.141	0.969	0.929	204.711	0.186

パラメータ値
 CP = 1.6429923E+00
 AP = 7.3418682E-01
 CE = 4.9899712E-03
 AE = 5.6114629E-02

<コメント>

セル位置: [] シート出力

指定したセルに結果を出力します。

● **作図** を選択した場合

回帰した Excel ファイルをオープンし、回帰処理に用いたセル範囲をアクティブにします。

登録番号 21 - 3 最適疲労破断式

C2:C43 破損繰返し数 D2:D43 塑性ひずみ範囲
E2:E43 弾性ひずみ範囲

解析に準じた作図処理

選択 データ 回帰線(平均傾向線)

信頼幅

<input type="checkbox"/> 95%信頼幅上限値	<input type="checkbox"/> 95%信頼幅下限値
<input type="checkbox"/> 95%信頼幅上限値	<input type="checkbox"/> 95%信頼幅下限値
<input type="checkbox"/> 99%信頼幅上限値	<input type="checkbox"/> 99%信頼幅下限値
<input type="checkbox"/> 99%信頼幅上限値	<input type="checkbox"/> 99%信頼幅下限値

標準偏差 + 2σ - 2σ

グラフのみ有効 αR = 10

オプション(如: 破断式はクリープ、疲労破断は動的破断に有効)
 データ依存 マニュアル

CAL-OBS
 TTP-σ(グラフのみ有効)

グラフ出力
 グラフデータのみ グラフデータ及び作図

OK キャンセル

回帰処理に用いたセル範囲、他のシートのセル範囲に変更可

セル上のデータ及び平均傾向の回帰曲線のX-Yデータを出力指示します。

- ・信頼幅、信頼上下限値を出力します。
- ・標準偏差±nσ、n任意を出力します。
- ・αRはクリーブ破断式、定常クリーブひずみ速度式に有効です。

温度依存の特性式について、任意の温度及びx軸の範囲を設定します。

X: 予測値、Y: 実測値を出力します。

クリーブ破断式に有効です。

シートを追加し結果を出力します。その結果を基に作図処理を行います。

新規のワークシートは、作図メニュー単位で作成されますのでこの画面が表示されている限り追加されることはありません

信頼幅及び上下限値の確率分布を以下に示します。

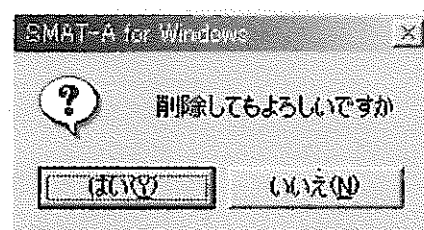
項目	95%	99%
信頼幅	±1.96	±2.576
信頼上下限值	±1.645	±2.326

回帰保存データが存在しない場合

回帰した Excel ファイルが存在しない場合は、他のワークシートのデータを選択し回帰曲線と共に作図することができます。また、回帰曲線のみ作図することも可能です。

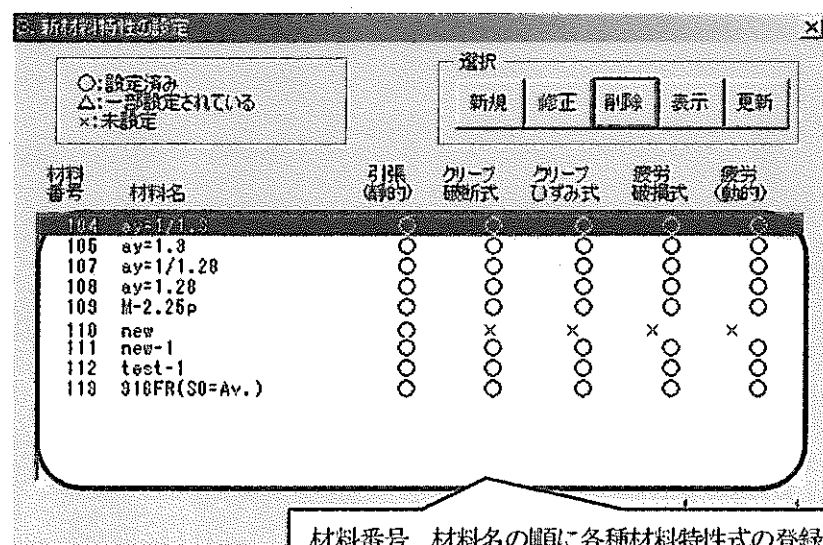
「登録ケースの削除」を選択した場合

削除するか指示を行います。



6-4. 新材料特性の設定

新材料の設定を行います。ここで、作成された材料特性は、REAL-D で参照され強度計算に反映されます。



材料番号、材料名の順に各種材料特性式の登録状況が表示されます。

○：特性式の材料定数が全て設定されていることを示します。

△：材料定数が一部設定されていることを示します。

×：材料定数が設定されていないことを示します。

新規 を選択

新しい材料を設定します。材料番号は 101 番から自動的に付けられます。
材料名を入力する以外、操作は修正と同じです。

必ず材料名を 40 文字以内で入力して下さい。

SMAT-D の強度計算に必要な材料特性を設定します。

材料定数を手動で入力します。

回帰結果保存データより読み込みます。

材料特性保存データに保存する確定ボタンです。

基本材料及び材料特性保存データに登録されている材料より選択します。

- コメント** 登録する材料にコメントを 300 文字まで追加できます
- 実行** 選択の 3 項目について処理を実行します。
- キャンセル** 保存されません。

- ヘルプ** HELP を起動します。
- 保存** 材料特性保存データに登録されます。REAL-D より呼び出し可能となります。

任意設定(定数の表示も含む)

材料定数を直接入力できます。また、回帰結果保存データから読み込んだ材料定数を確認することもできます。入力画面は、材料特性式により異なります。

デジタル値入力設定画面

引張、クリープ関係	最適疲労破損式	動的応力ひずみ関係式

※クリープひずみ式の設定画面について
クリープひずみ式のパラメータ値と画面上のパラメータの関係を以下に示します。

$$\epsilon_c = C1 (1 - e^{-t1}) + C2 (1 - e^{-t2}) + \epsilon_m t$$

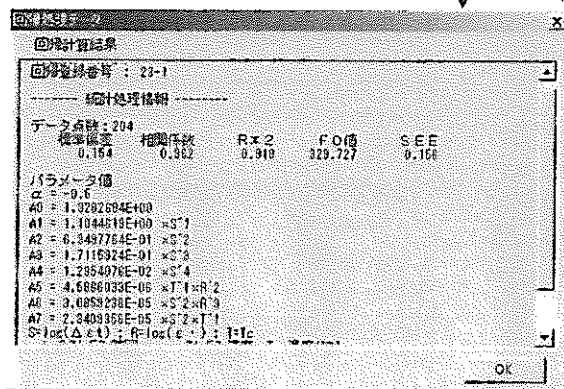
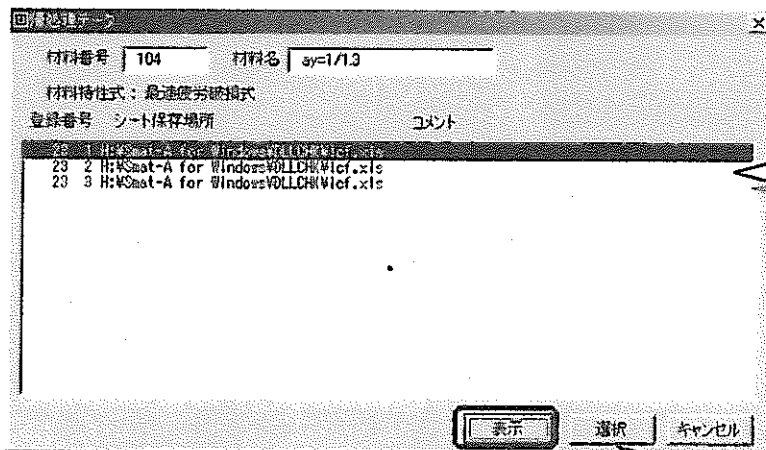
$$\dot{\epsilon}_m = \text{Fexp} \left[\frac{QP}{8.31(T+273.15)} \right] t_R^{-RAMD}$$

$$C1 = G1 \epsilon_m^{\beta1} / r_1 \quad C2 = G2 \epsilon_m^{\beta2} / r_2$$

$$r_1 = S_1 t_R^{\alpha1} \quad r_2 = S_2 t_R^{\alpha2}$$

④ 回帰結果保存データ

指定した材料特性式について回帰結果保存データに登録されているケースを表示します。



回帰式の特性式識別番号は以下に示す通りに割り振られています。識別番号の后者の番号は、通し番号です。全ての材料特性式が新材料の特性式として採用できるとは限りません。

識別番号 (前)	内容	採用
1	静的応力ひずみ関係式(Ludwik 型式)のパラメータ k、m	×
2	温度と弾性定数の関係	○
3	温度と降伏応力の関係	○
1 1	クリーブ破断式 (Lerson-Miller 型式)	○

1 2	クリーブ破断式 (Orr-Sherby-Dorn 型式)	○
1 3	クリーブ破断式 (Manson-Succop 型式)	○
1 4	クリーブ破断式 (Manson-Haferd 型式)	○
1 5	定常クリーブひずみ式(Monkman Grant 型式)	○
2 1	疲労破損式 (Manson-Cofin 型式)	×
2 2	疲労破損式 (Langer 型式)	×
2 3	疲労破損式 (Diercks 型式)	○
2 4	動的応力ひずみ関係式(Ludwik 型式)	○
3 1	多項式	○

採用：○は新材料特性を設定する際、回帰保存データから選択可能なものです。

既存の材料より

基本材料 (参照 3. 基本材料について) 及び既に REAL-A で登録した新材料より選択します。新材料の特性式の構成が不備でも設定することは可能です。

修正 を選択

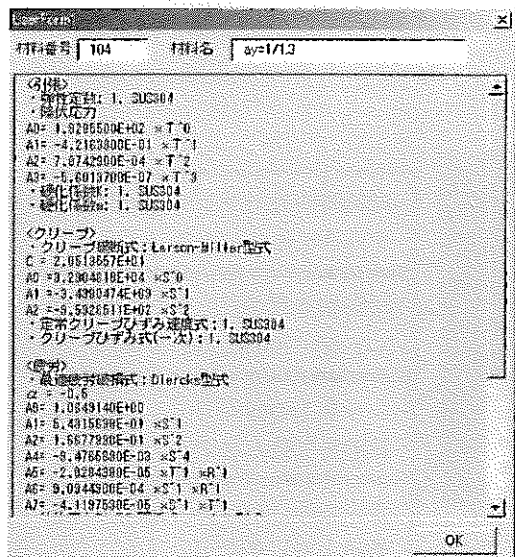
既に登録してある材料特性データを修正します。材料名の入力を除いて操作は「新規」と同じですが、材料名も修正可能です。既に登録されている材料特性式については赤色で、今回修正した特性式は青色で表示します。回帰保存データより材料定数を読み込んだ場合、任意設定でそのデジタル値を確認することが可能です。また、その数値を修正することも可能です。

削除 を選択

選択したケースを削除します。

表示 を選択

材料特性の登録情報を表示します。



全ての材料特性式の登録状況を表示します。

更新 **選択**

登録ケースの一覧を再表示します。新規及び修正した場合に有効です。

7. REAL-D の操作方法

7-1. 初期画面

<REAL-D 初期メニュー>

The screenshot shows the 'REAL-D for Windows Ver. 1.0' main menu. It contains four numbered options and four buttons at the bottom. Callouts on the right explain each option:

- Option 1: 材料強度特性値出力 (Material strength characteristic value output) - Callout: 材料特性式のグラフ作図用 X-Y データを出力します。
- Option 2: 材料強度基準値出力 (Material strength standard value output) - Callout: 材料強度基準値のグラフ作図用 X-Y データを出力します。
- Option 3: 材料強度評価 (Material strength evaluation) - Callout: シート上の材料データに対し予測値を計算します。
- Option 4: 材料強度特性値出力(画面出力) (Material strength characteristic value output (screen output)) - Callout: 設定条件に対し材料特性値の画面出力をします。

Buttons: バージョン情報, ヘルプ, オプション, キャンセル

1. ~ 3. はシート上に結果を出力します。4. は画面出力します。

バージョン情報 及び ヘルプ は 6-1. REAL-A 操作方法を参照して下さい。

<オプション>

【入出力】

入出力値に掛かる係数及び項目の出力の設定をします。ここで示している数値は入出力の標準の値で入出力値にかかる係数です。プログラム内部では、応力値を N/mm^2 、ひずみ量を mm/mm として計算していますが、入力値はそれぞれ N/mm^2 、%としているため 0.01 及び 1 の係数を設けています。有効にするには「適用」ボタン若しくは「OK」ボタンを押して下さい。オプションのメニューをオープンしたまま、REAL-D の処理も行えます。なお、変更した場合 REAL-D の全ての処理に有効になります。

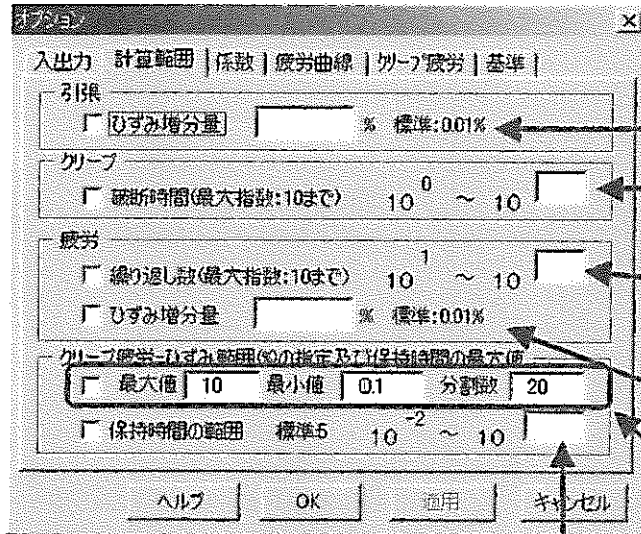
The screenshot shows the 'オプション' (Options) dialog box with the '入出力' (Input/Output) tab selected. Callouts explain the settings:

- 入力値 (入力値に掛かる係数):**
 - ひずみ、ひずみ範囲: 0.01
 - ひずみ速度: 0.01
 - 応力: 1
- 出力値:**
 - 項目出力 (標準: 有り): 無し
 - ひずみ、ひずみ範囲: 100
 - ひずみ速度: 100
 - 単位 (標準: SI単位): 非SI単位

Buttons: ヘルプ, OK, 適用, キャンセル

【 計算範囲 】

標準で定められた計算範囲以外の設定を行います。有効にするには、チェックボタンをオンとして数値を入力し「適用」ボタン若しくは「OK」ボタンを押して下さい。



静的応力ひずみ関係式のひずみ増分を変更します。

クリープ破断関係における破断時間の計算範囲を変更します。

疲労曲線の破損繰り返し数の計算範囲を変更します。

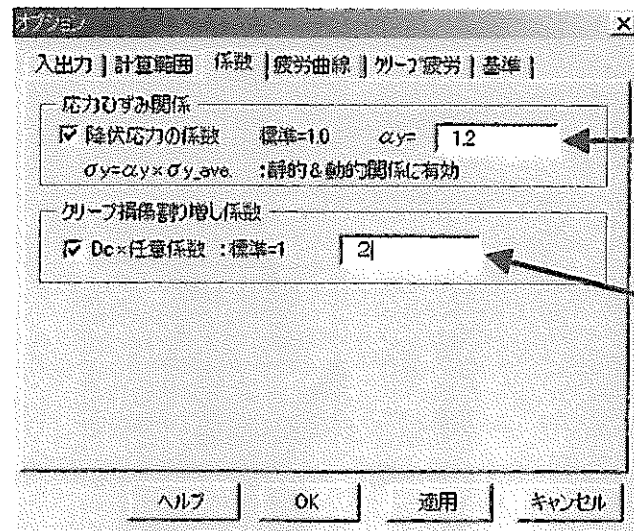
動的応力ひずみ関係式のひずみ増分を変更します。

クリープ疲労は、ひずみ範囲を入力としている。そのひずみ範囲を最大値と最小値及びその間の分割数を変更します。標準では、10%から0.1%の間を20分割します。

X 軸-保持時間、Y 軸-破損繰り返し数の作図データを計算する際の保持時間の計算範囲を設定します。

【 係数 】

降伏応力及びクリープ損傷に掛かる係数を変更します。

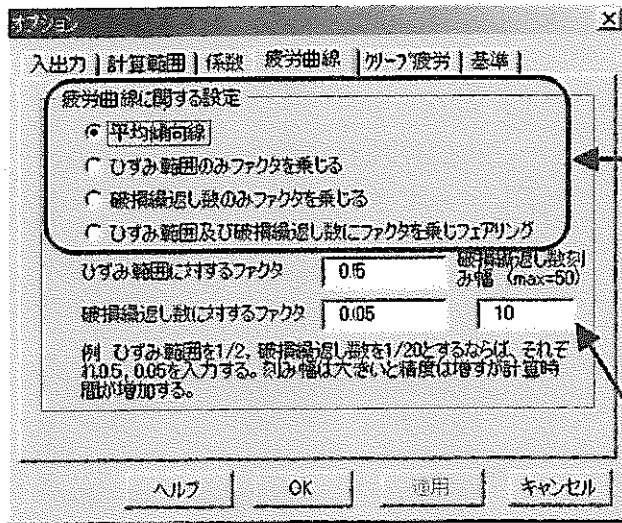


静的及び動的応力ひずみ関係式において、降伏応力に掛かる係数を定めます。応力ひずみ曲線や初期応力値が変更されます。

クリープ損傷の Dc に係数を乗じます。クリープ疲労寿命やリラクセーションの損傷値が変更されます。

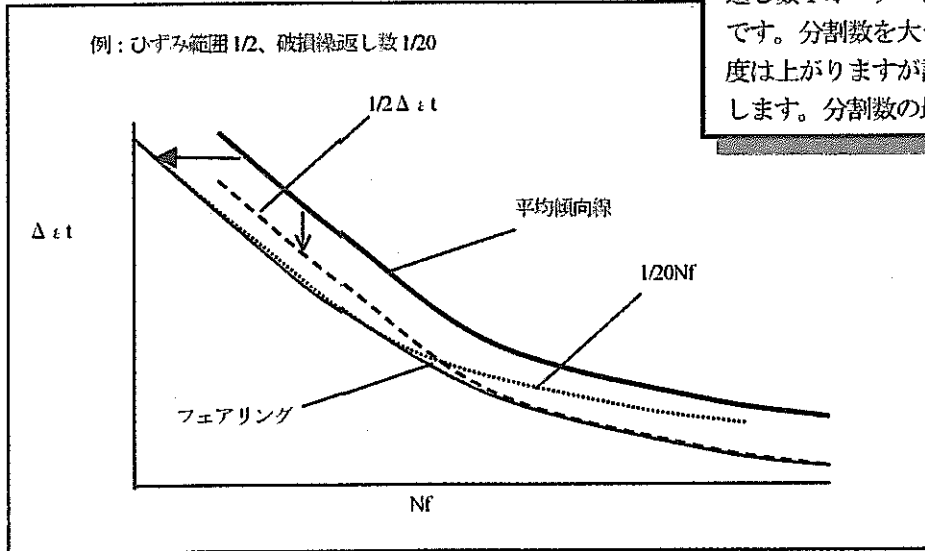
【 疲労曲線 】

疲労曲線に関する設定です。このオプションで変更しない限り平均傾向線を用います。平均傾向の他に、ひずみ範囲及び破損繰返し数にそれぞれ係数を乗じる場合とそれらをフェアリングする場合の3種類あります。



- ひずみ範囲のファクタを乗じる場合、ひずみ範囲に対するファクタを入力します。
- 破損繰返し数のみファクタを乗じる場合は、破損繰返し数に対数ファクタを入力します。
- フェアリングをする場合は、ひずみ範囲及び破損繰返し数に対するファクタを入力します。

フェアリングを指定した場合のみ有効です。対数スケールの破損繰返し数1オーダーあたりの分割数です。分割数を大きくするほど精度は上がりますが計算時間が増大します。分割数の最大は50です。



各種疲労曲線

【 クリープ疲労 】

時間消費則で計算するクリープ疲労の破損クライテリアの設定及び初期応力値、1サイクル当たりの疲労損傷、クリープ損傷の出力指示をします。また、損傷則として、延性損耗則に変更できます。なお延性損耗則の破損クライテリアは $D_c + D_f = 1$ です。

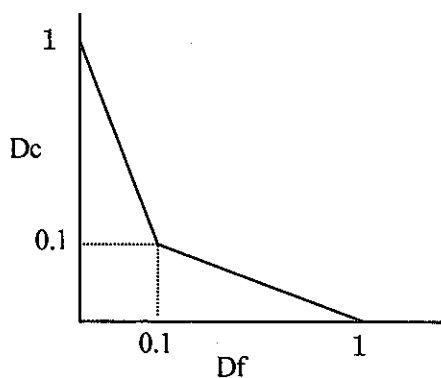
破損クライテリア D を設定します。時間消費則及び延性損耗則に有効になります。

クリープ疲労寿命計算において、緩和時の初期応力及び1サイクル当たりの疲労損傷及びクリープ損傷の出力指示を行います。出力は破損繰返し数の右側に順に出力します。

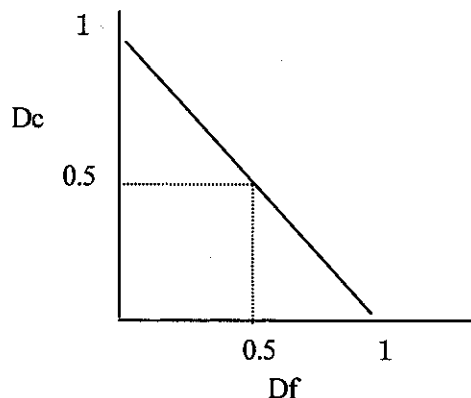
延性損耗則の破断延性 δ を入力します。mm/mm で入力します。延性パラメータを参照して下さい。

破損クライテリアについて

例



制限値 $D=0.1$



制限 $D=0.5 (Dc+Df=1)$

延性損耗則について

延性損耗則によるクリープ損傷の計算を以下に示します。

$$Dc = \int \frac{\dot{\epsilon} c}{\delta} dt \quad \delta : \text{破断延性}$$

破損クライテリア : $Dc + Df = 1$ (標準)

【 基準 】

入出力 | 計算範囲 | 係数 | 疲労曲線 | クリープ疲労 | 基準

D*最大初期応力
225Cr-1Mo, Mod9Cr-1Mo(酸化材)のみ適用
500 MPa 応力増分:10(N/mm²)

D**ひずみ範囲 4 標準:4%

等時応力ひずみ曲線
αG= 1 2材料強度基準値出力に有効
高温使用時間(デフォルトより優先されます)

ヘルプ OK 適用 キャンセル

D*計算時の最大応力値を入力します。

D**計算時のひずみ範囲を入力します。

等時応力ひずみ曲線を出力する際のクリープひずみ式の時間パラメータを設定します。

通常等時応力ひずみ曲線は、1温度につき高温使用時間0~300000hrの間を12本の作図用データを出力しますが、これとは別に高温使用時間を設定したい場合に入力します。

7-2. 材料強度特性値出力

ワークシート上に各種材料特性についてグラフ作成用のX-Yデータを出力します。材料は、基本材料(参照3. 基本材料について)及びREAL-Aで設定した新材料を選択できます。

【 引張 】

静的応力ひずみ関係式について各種材特性を指定したセルに出力します。

材料強度特性値出力

必須
セルの位置 A1 材料 1. SUS304

初期値 100 最終値 650 増分値 10

5桁 | クリープ | 疲労 | クリープ疲労 |

温度 vs 降伏応力, 弾性定数, 比例限, m, K
複数選択可
 弾性定数 降伏応力 比例限 m K

応力ひずみ関係(ε-σ)
選択
 全ひずみ 塑性ひずみ

ひずみ 0~ 3 %

ヘルプ OK キャンセル

クリック

温度:初期温度を入力した場合、その温度のみ計算の対象となります。

静的応力ひずみ関係における各種材料パラメータを算出します

ひずみの増分量は、デフォルトで0.01%です。変更は、オプションで行って下さい。

実行します。

【クリープ】

クリープ特性は、クリープ破断式、定常クリープひずみ速度関係式、クリープひずみ式(一次クリープ)より算出されます。材料番号 101 以上の REAL-A で設定した材料については、関係式が不備な場合その旨を画面に通知し実行されません。

TTP vs 応力は、クリープ破断パラメータ(LMP、OHDP、MHP等)と応力の関係を算出します。

処理必要なパラメータ

処理項目	必要な時間パラメータ及びQ
破断時間 vs 応力	αR
破断時間 vs 定常クリープひずみ速度	$\alpha R, \alpha c$
クリープひずみ挙動	$\alpha R, \alpha c$
リラクセーション挙動	$\alpha R, \alpha c, Q$
TTP vs 応力	-

【疲労】

破損繰返し数とひずみ範囲の関係は最適疲労破損式(Diercks)により算出します。ひずみ範囲と応力範囲の関係は、動的応力ひずみ関係式より算出します。オプションで最適疲労破損式のひずみ範囲若しくは破損繰返し数にファクタを乗じた疲労曲線の出力が可能です。また、フェアリング操作も選択可能で材料強度基準と同等の設計曲線を出力することができます。

材料強度特性値出力

セルの位置 A1 材料 1. SUS304

温度(°C) 初期値 450 最終値 550 増分値 25

引張 | クリープ | 疲労 | クリープ疲労

破損繰返し数(N) vs ひずみ範囲(%)

ひずみ速度 0.1 (%/sec)

任意指定
 スプレッドシートのひずみ範囲(%)はひずみ範囲の増分値に等しい。
 ひずみは対数 破損繰返し数は

ひずみ範囲(%) vs 応力範囲(N/mm²)

ひずみ範囲 0 ~ 3 ∞

ヘルプ OK キャンセル

最適疲労破損式の破損繰返し数とひずみ範囲の関係を出力します。

動的応力ひずみ関係を出力します。

最大ひずみを%で入力します。ひずみ増分量は標準で0.01%ですが、オプションで設定変更が可能です。

【クリープ疲労】

クリープ疲労の計算を行います。出力は、破損繰返し数 vs ひずみ範囲と保持時間 vs 破損繰返し数の2通りから選択します。

材料強度特性値出力

セルの位置 A1 材料 1. SUS304

温度(°C) 初期値 100 最終値 550 増分値 10

引張 | クリープ | 疲労 | クリープ疲労

ひずみ速度(%/sec) 0.1 温度は、1:温度(初期値)のみ対象とします。

破損繰返し数(N) vs ひずみ範囲(%)

保持時間(hr) 10 初期応力、D1、Dc (1サイクル当たり)の出力はオプションで指示して下さい。

保持時間(hr) vs 破損繰返し数(N)

ひずみ範囲(%) 1 0.5 0.3

初期応力&パラメータ設定(共通項目)

静的応力ひずみ関係 初期応力割増し係数 標準: 1 1

動的応力ひずみ関係

α_R 1.0 α_c 0.3 0 1.0

ヘルプ OK キャンセル

破損繰返し数とひずみ範囲の関係を出力します。ひずみ範囲は、標準で10%~0.1%の間を20分割し破損繰返し数を算出します。分割数により曲線の滑らかさが変化します。分割数の変更はオプションで行って下さい。

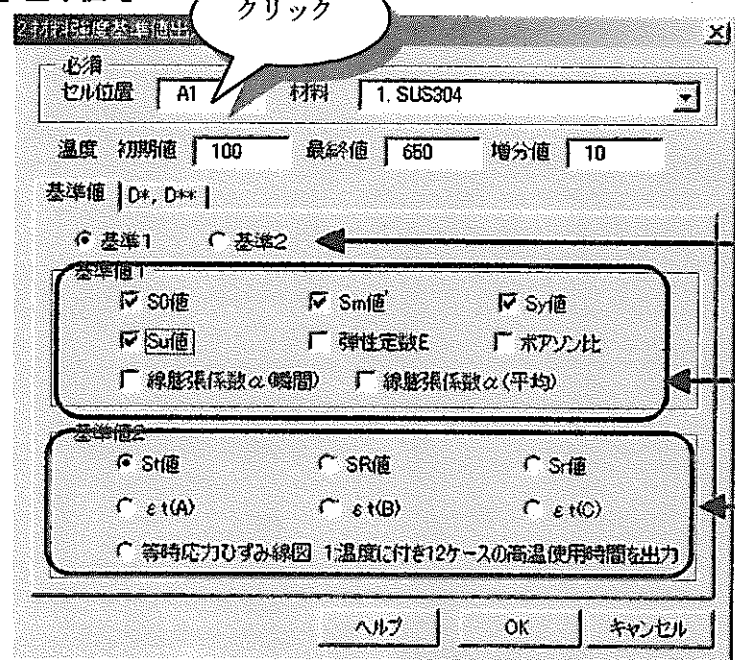
入力したひずみ範囲に対する保持時間と破損繰返し数の関係を算出します。保持時間は、0.01~1000hrの間を計算しますが、オプションで変更可能です。

初期応力に掛かる係数を入力します。

7-3. 材料強度基準値出力

「2. 材料強度基準値出力」は、BDS 及び DDS に準拠した各種材料強度基準値及びクリープ損傷係数 D^* 、 D^{**} の簡易計算値(設計値)と詳細計算値を出力します。対象となる材料は、基準値として登録されている材料のみです。ただし、等時応力ひずみ関係のみ REAL-A で登録した材料についても出力することが可能です。

【基準値】

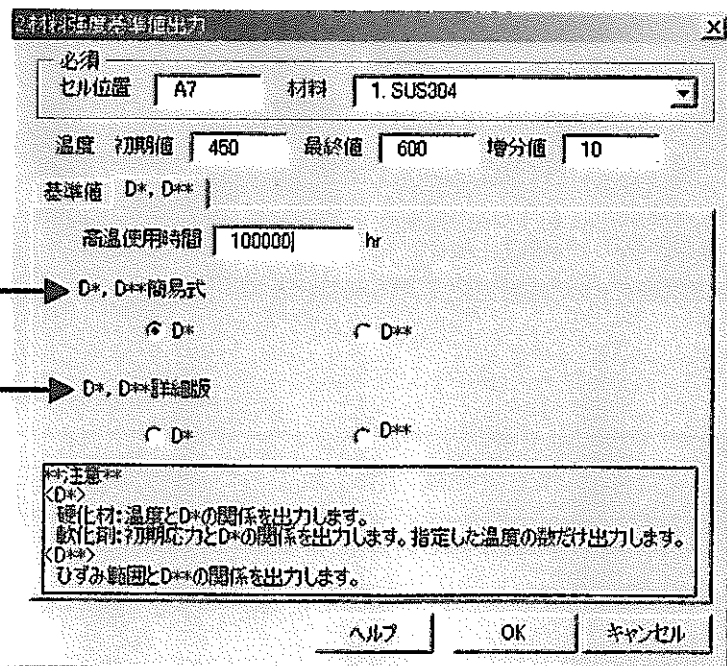


基準1：温度のみ依存性がある基準値。
 基準2：温度とそれ以外のパラメータに依存する基準値。
 一部非公開の基準値も有ります。詳細は3. 基本材料についてを参照して下さい。
 各種基準値のテーブルを出力します。

【 D^* 、 D^{**} 】

D^* 、 D^{**} の簡易式 (BDS) について出力します。軟化材 (2.25Cr-1Mo、Mod.9Cr-1Mo) は最大応力をオプションで変更することができます。

D^* 、 D^{**} の詳細式 (BDS) について出力します。



7-4. 材料強度評価

クリープ破断時間及び疲労を含むクリープ疲労の寿命計算の計算を行います。また、実測値を設定することで、計算値と実測値の相関を評価します。入力データの中に必要な値が設定されていない場合、そのレコードの計算は行いません。セル範囲は、ダブルクリック若しくは手入力で設定して下さい。

【クリープ】

クリープ破断時間及びクリープひずみ速度の予測値を算出します。データとの相関等を算出したい場合は、それぞれの実測値を選択します。しない場合は、統計処理は行われません。

ワークシート上のデータの範囲をマウスで選択します。

クリープ破断評価若しくは定常クリープ速度評価のどちらか一方を選択します。

ダブルクリック

クリック

クリープひずみ速度の予測値を計算する場合、式中のクリープ破断時間を実測値（データ）とするか、クリープ破断式より算出した計算値を用いるか選択します。

統計処理結果(クリープ破断寿命評価)

	温度	応力	破断時間	ϵ_m	備考
クリープ破断寿命	○	○	△	—	
ϵ_m	○	▲	▲	△	応力、破断時間(実測値)のどちらかを選択

○：必須 △：任意(選択した場合、統計処理を行います。) ▲：必ず一方を選択

【クリープ疲労】

疲労及びクリープ疲労の予測寿命を算出します。疲労だけの計算であれば、保持時間や時間係数等を入力する必要はありません。また、保持時間が空白の場合若しくはゼロが入力されている場合は、疲労寿命を算出します。破損寿命を設定すれば、特性式との相関係数、標準偏差等を算出します。温度、ひずみ速度、ひずみ範囲等計算に必要な入力値が無い場合（空白の場合）は、そのレコードは計算されません。

材料強度評価

セル位置 HI 材料 1. SUS304

クリープ クリープ疲労

セル範囲
 A2:A25
 D2:D25
 C2:C25
 B2:B25
 E2:E25
 G2:G25

保持時間が零若しくは設定しない場合は、疲労寿命を計算します。
 :温度(C)
 :ひずみ速度(%/sec)
 :ひずみ範囲(%)
 :保持時間(hr) hr min sec

初期応力(N/mm²) 実測値はセル範囲を指定
 実測値 静的 動的 係数 1

破損寿命 : 指定しない場合統計処理は行いません。
 時間係数
 αR 1.0 αc 03 Q 1.0

ヘルプ OK キャンセル

クリック

ダブルクリック

保持時間の単位を hr に変換します。例えば、min を指定すると内部で 1/60 を乗じて hr に変換し計算します。

初期応力を実測値、静的応力ひずみ関係、動的応力ひずみ関係より選択します。初期応力を実測値とした場合、実測値が入力されているセル範囲を指定します。必要に応じて初期応力の係数を入力します。係数は、初期応力全てに掛かります。

7-5. 材料強度特性値出力 (画面出力)

材料強度特性値出力は、引張、クリープ、疲労、リラクセーション、クリープ疲労、等時応力ひずみ関係について、任意の条件における材料特性を画面に出力します。等時応力ひずみ関係のひずみから応力を算出する場合、クリープ破断関係の極値を下回った応力は算出されません。入力及び出力値は、原則的に SI 単位系で統一していますが、オプションで出力値のみ kg 単位系に出力することが可能です。また、ひずみは%で入出力しますがオプションで mm/mm で出力することが可能です。これらの処理は、REAL-A で登録した材料についても同様の処理が施されます。

ページ	入力値	出力値
【引張】	ひずみ	応力、塑性ひずみ、弾性定数、比例限、降伏応力
	塑性ひずみ	応力、塑性ひずみ、弾性定数、比例限、降伏応力
	応力	ひずみ、塑性ひずみ、弾性定数、比例限、降伏応力
	温度	弾性定数、比例限、降伏応力、m、k
【クリープ】	応力	破断時間、定常クひずみ速度
	破断時間	応力、定常クひずみ速度
	応力、時間	クリープひずみ、破断時間、定常クリープひずみ速度、クリープひずみ速度
【疲労】	破損繰り返し数	ひずみ範囲
	ひずみ範囲	破損繰り返し数
	ひずみ範囲	応力範囲、塑性ひずみ範囲、比例現、弾性定数
	塑性ひずみ範囲	応力範囲、ひずみ範囲、比例現、弾性定数
	応力範囲	ひずみ範囲、塑性ひずみ範囲、比例現、弾性定数
【リラクセーション】	実測値（初期応力）	緩和応力、Dc
	静的応力ひずみ関係	初期応力、緩和応力、Dc
	動的応力ひずみ関係	初期応力、緩和応力、Dc
【クリープ疲労】	応力値	Nf、Df、Dc
	静的応力ひずみ関係	初期応力、Nf、Df、Dc
	動的応力ひずみ関係	初期応力、Nf、Df、Dc
【等時応力ひずみ関係】	ひずみ	応力
	応力	ひずみ

太字は主要パラメータ

【引張】

静的応力ひずみ関係を基に、応力若しくはひずみを温度と入力値の掛け合わせた分だけ算出します。

材料 | 1. SUS304

引張 | クリープ | 疲労 | リラクセーション | クリープ疲労 | 等時

入力値 出力値

1. ひずみ(%) => 応力 (N/mm²)

2. 塑性ひずみ(%) => 応力 (N/mm²)

3. 応力(N/mm²) => 全ひずみ、塑性ひずみ(%)

4. 温度 => 弾性定数、比例限、降伏応力

温度(°C)	550	600	650		
ひずみ(%)	0.3	0.5	1		

温度×入力値の数だけ出力されます。

ヘルプ OK キャンセル

温度×入力値の掛け合わせを算出します。

「出力例」



No	温度 (°C)	応力 (N/mm ²)	ひずみ (%)	塑性ひずみ (%)	降伏応力 (N/mm ²)	比弾限 (N/mm ²)	弾性定数 (N/mm ²)
1	550.	138.5	0.3	0.21	137.7	92.1	154000
2	550.	149.3	0.5	0.408	137.7	92.1	154000
3	550.	158.0	1.	0.892	137.7	92.1	154000
4	600.	139.8	0.3	0.21	133.1	89.6	149000
5	600.	144.2	0.5	0.408	133.1	89.6	149000
6	600.	160.3	1.	0.892	133.1	89.6	149000
7	650.	127.7	0.3	0.211	126.9	86.7	144000
8	650.	137.7	0.5	0.404	126.9	86.7	144000
9	650.	159.3	1.	0.894	126.9	86.7	144000

【クリープ】

クリープ破断関係式、クリープひずみ式を基に、破断時間、応力、クリープひずみ等のクリープ特性を算出します。3. 応力 (N/mm²) , 時間(hr)はを選択した場合、温度×応力×時間の掛けあわせた分だけ出力されます。出力例は省略。

材料 | 1. SUS304

引張 | クリープ | 疲労 | リラクゼーション | クリープ疲労 | 等時 |

入力値 | 出力値

① 1. 応力 (N/mm²) => 破断時間 (hr), 定常クリープひずみ速度 (%/hr)

② 2. 破断時間 (hr) => 応力 (N/mm²), 定常クリープひずみ速度 (%/hr)

③ 3. 応力 (N/mm²), 時間 (hr) => 応力 (N/mm²), 定常クリープひずみ速度 (%/hr)

αR | 1 | αc | 1

温度 (°C)	550	600	650		
応力 (N/mm ²)	150	200	250		

温度×入力値の数だけ出力されます。

ヘルプ | OK | キャンセル

【疲労】

最適疲労破損式を基にひずみ範囲若しくは破損繰り返し数を、及び動的応力ひずみ関係を基にひずみ範囲若しくは応力範囲を算出します。最適疲労破損式は、オプションでひずみ範囲や破損寿命にファクタを乗じた関係やフェアリングの関係で評価することが可能です。

材料 | 1. SUS304

引張 | クリーブ | 疲労 | リラクセーション | クリーブ疲労 | 等時 |

入力値 | 出力値

破断繰返し数(Cycles) => ひずみ範囲(%) 最適疲労破損式

ひずみ範囲(%) => 破断繰返し数(Cycles) 最適疲労破損式

ひずみ速度(%/sec) | 0.1

ひずみ範囲(%) => 応力範囲(N/mm²) 動的応力ひずみ関係

静的ひずみ範囲(%) => 応力範囲(N/mm²) 動的応力ひずみ関係

応力範囲(N/mm²) => ひずみ範囲(%) 動的応力ひずみ関係

温度(°C)	550	600	650		
破断繰返し数	10000	100000	1000000		

温度×入力値の破だけ出力されます。

ヘルプ | OK | キャンセル

最適疲労破損式を基に算出します。

動的応力ひずみ関係式を基に算出します。

【 リラクセーション 】

実測値、静的応力ひずみ関係及び動的応力ひずみ関係より初期応力を与え、緩和挙動を計算し最終的な緩和応力やクリーブ損傷等を算出する。解析は最大で5ケース可能です。

材料 | 1. SUS304

引張 | クリーブ | 疲労 | リラクセーション | クリーブ疲労 | 等時 |

入力値 | 出力値

実測値 => 緩和応力, Dc

静的応力ひずみ関係 => 緩和応力, Dc

動的応力ひずみ関係 => 緩和応力, Dc

αR | 1 | αc | 1 | 0 | 1

注意：入力データは温度、入力値、保持時間で一組です。

温度(°C)	550	600	650		
実測値(N/mm ²)	200	250	300		
保持時間(hr)	100	200	300		

ヘルプ | OK | キャンセル

緩和応力, Dc

【 クリーブ疲労 】

クリーブ疲労寿命を計算する際の初期応力は、デジタル値として入力するケースとひずみ範囲を与え静的応力ひずみ関係及び動的応力ひずみ関係より求めるケースを用意しています。クリーブ疲労寿命は、標準で時間消費則による保持時間中のクリーブ損傷と疲労損傷からキャンベル線図の制限値Dを基に算出します。延性損耗則への変更や疲労損傷を決める最適疲労破損式のファクタやクリーブ疲労寿命を決める制限値Dの変更は、オプションで任意に設定することができます。

材料 | 1. SUS304

引張 | クリーブ | 疲労 | リラクゼーション | クリーブ疲労 | 等時

初期応力 1 2 3 4 5

応力値(N/mm²)

静的応力ひずみ関係式 <= ひずみ範囲(%)

動的応力ひずみ関係式 <= ひずみ範囲(%)

ひずみ速度(%/sec) | 0.1 | qep | 3

αR | 1 | αc | 1 | $Q(qc)$ | 1

1 2 3 4 5

温度(°C) | 550 | 550 | 650 | | |

ひずみ範囲(%) | 1 | 0.5 | 0.3 | | |

保持時間(hr) | 10 | 100 | 10 | | |

出力形式

ひずみ範囲 Sp値

ヘルプ OK キャンセル

ひずみ範囲：ひずみ範囲を入力しクリープ損傷計算を行います、
 Sp 値：Sp 値と弾性追従係数 qep よりひずみ範囲を算出します。なお、Sp 値は片振り値です。

【等時応力ひずみ関係】

静的応力ひずみ関係式及びクリープひずみ式より、全ひずみ = $\epsilon_e + \epsilon_p + \epsilon_c$ 若しくは応力を算出します。計算ケースは、温度×入力値(ひずみ or 応力)×高温使用時間の組み合わせの数だけ出力されます。

材料 | 1. SUS304

引張 | クリーブ | 疲労 | リラクゼーション | クリーブ疲労 | 等時

等時応力ひずみ関係より任意の応力及びひずみを算出

入力値 出力値

ひずみ(%) => 応力

応力(N/mm²) => ひずみ

αc | 1

温度(°C) | 550 | 600 | 650 | | |

ひずみ(%) | 1 | 1 | 1 | | |

高温使用時間(hr) | 1000 | 10000 | 300000 | | |

温度×入力値×高温使用時間の組み合わせの数だけ出力されます。

ヘルプ OK キャンセル

温度×入力値×高温使用時間の掛け合わせを算出します。この例では、3×3×3=27ケース計算されます。

8. REAL-A&D 計算例

8-1. REAL-A

1. 材料特性式回帰処理

例-1. クリープ破断式 (Lerson-Miller 型式) の作成。

The screenshot shows the REAL-A software interface. The main window displays a table of creep rupture data with columns for time (t), stress (σ), and temperature (T). The data points are as follows:

1	破断時間	応力	温度
2	212.5	382.6	500
3	34562.7	215.9	500
4	2787.6	215.6	500
5	1235.4	235.2	500
6	518.8	254.6	500
7	89.6	294	500
8	1639.9	156.8	600
9	530.9	176.4	600
10	343.1	196	600
11	1740.8	107.8	600
12	1039	117.6	650
13	212.5	137.2	650
14	24.9	176.4	650
15	9107.5	196	550
16	6842	137.2	600
17	3884.6	98	650
18	20361.9	176.4	600
19	12056.6	127.4	600
20	6454.2	88.2	600
21	20362.3	117.6	600
22	16809.2	76.4	650
23	795.5	332.2	500
24	1407.7	313.6	500
25	4401	274.4	500
26	3768.8	411.6	450
27	6115.4	392	450

The regression analysis dialog box shows the following settings:

- 材料名: ACA01, 破断式1: 62B30, 破断式2: C2C30
- 破断式1: Larson-Miller 型式
- 破断式2: Orr-Sherby-Dorn 型式
- 破断式3: Manson-Sucoco 型式
- 破断式4: Manson-Haferd 型式
- 破断式5: 定常クリープのみ適用 (破断式1: 破断式2: 定常クリープのみ適用関係式 $\ln t = F(TEMP) * R * (T - T_0) - F(TEMP) * F * X * E$)

The regression results table is as follows:

P	点積	標準偏差	相関係数	R ²	F値	SEE
0	20	0120	0065	0974	345619	0421

例-2. 動的応力ひずみ関係式の作成

The screenshot shows the REAL-A software interface for dynamic stress-strain analysis. The main window displays a table of data with columns for strain rate (dot{ε}), strain (ε), and stress (σ). The data points are as follows:

1	温度	ひずみ速度	応力範囲
2	450	1.53	630.14
3	450	1.01	588.88
4	450	0.82	566.44
5	450	0.61	511.56
6	450	1.46	695.8
7	450	0.95	654.64
8	450	0.07	618.58
9	450	0.46	539.98
10	450	0.57	524.594
11	450	0.8	534.266
12	450	0.4	503.716
13	450	1.51	649.446
14	450	0.98	588
15	450	0.68	562.716
16	450	1.5	613.186
17	450	0.665	596.722
18	450	0.87	632.006
19	450	1.195	662.872
20	450	1.906	695.016
21	450	2	673.26
22	450	1.5	652.96
23	450	1	609.56
24	450	0.8	648.0
25	620	1.52	539.98
26	620	0.86	497.84
27	620	1.89	579.16
28	620	1.48	655.66

The regression analysis dialog box shows the following settings:

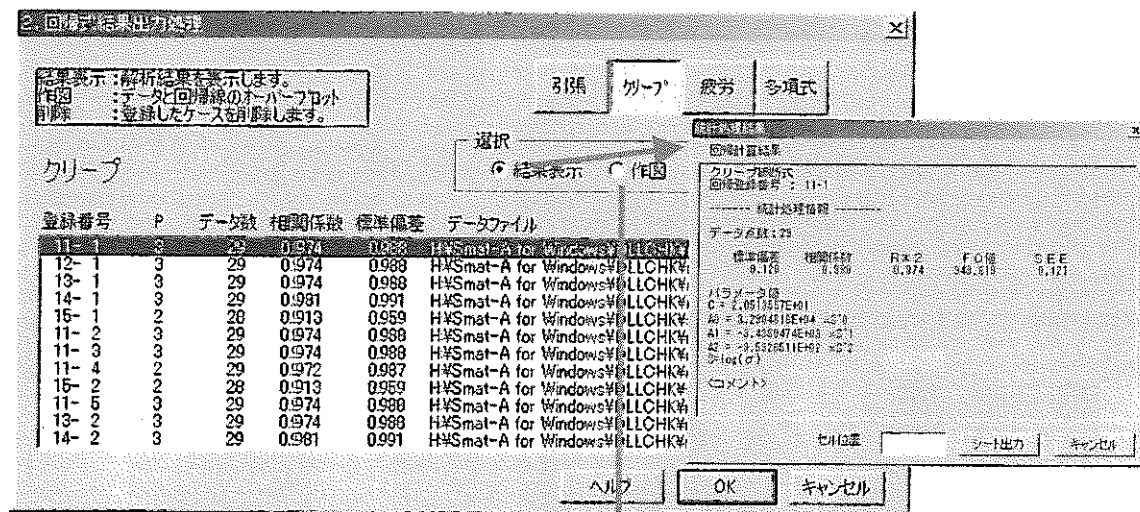
- 材料名: C2C145, 破断式1: ACA146, 破断式2: 62B146
- 破断式1: Larson-Miller 型式
- 破断式2: log₁₀(dot{ε} * 2.0 * 10⁶) = A0 + A1 * log₁₀(dot{ε} * 1 - dot{ε} / dot{ε}_D

The regression results table is as follows:

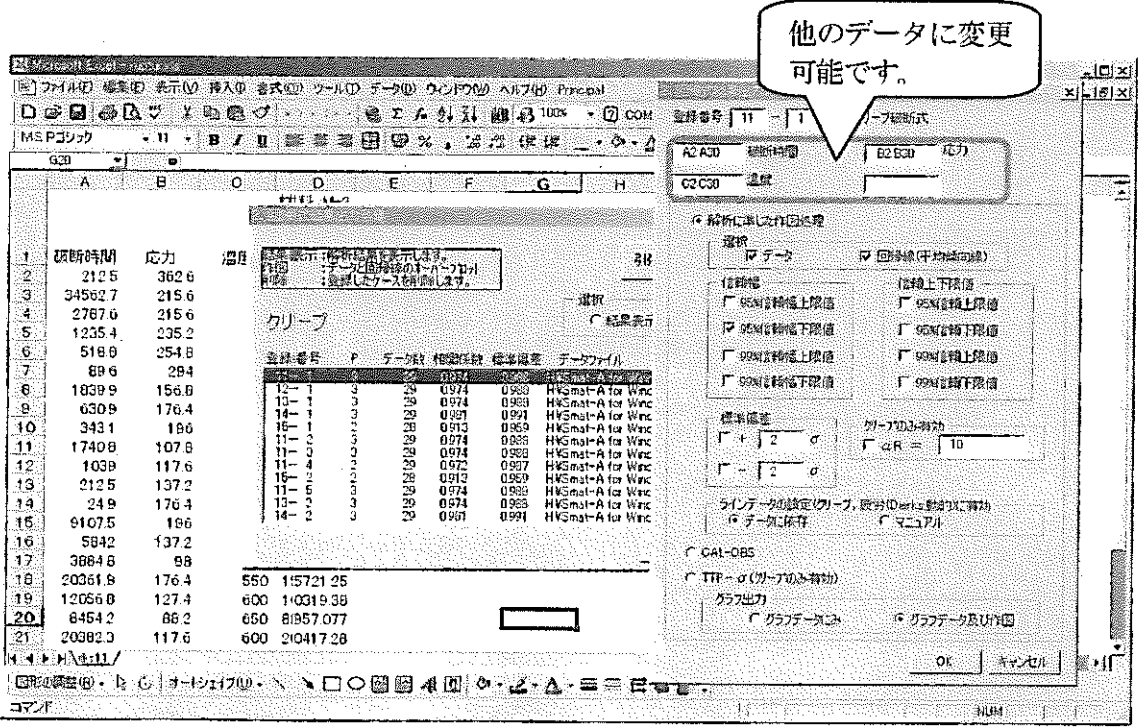
P	点積	標準偏差	相関係数	R ²	F値	SEE
0	145	003	0926	0660	11770	003

2. 回帰結果出力処理

クリープに関する特性式の回帰処理結果一覧を表示します。回帰ケースを選択し結果を表示します。

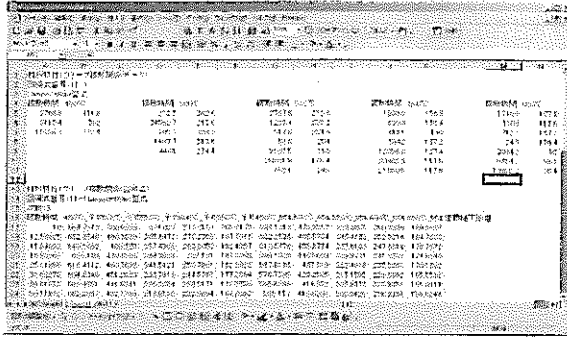


「作図」—「解析に準じた作図処理」は、データ、平均傾向線及び95%信頼幅下限値をオーバープロットしたグラフを作成します。自動オープンしたファイルではなく、他のファイルのデータをプロットしたい場合は、改めてセル範囲を選択し直します。

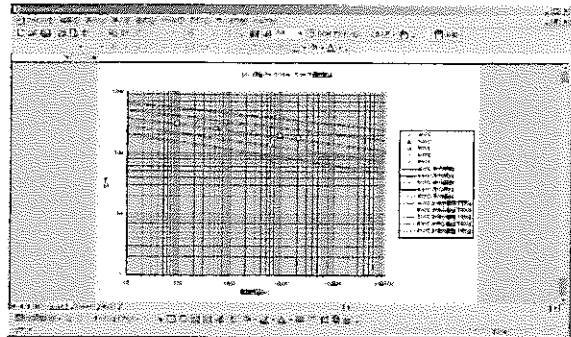


選択したケースのExcel ファイルをオープンし回帰に用いたワークシート上のセルをアクティブにします。

シート及びグラフは自動的に追加されます。



自動的に追加されたワークシート



自動的に追加された作図用のX-Yデータを出力したグラフシート

3. 新材料特性の設定

例-1. 材料特性保存データを修正

新規及び修正のボタンを押した場合は、下図の画面になります。既に、特性式が設定されている場合は赤色に、今回修正した場合は青色に項目が表示されます。保存ボタンを押してすべての特性式のデータが保存されます。

新材料特性の設定

○:設定済み
△:一部設定されている
×:未設定

選択: 新規 修正 削除 表示 更新

材料番号	材料名	引張 (引張)	クリープ (引張)	クリープ (ひずみ)	疲労 (破断)	疲労 (引張)
105	ay=1.3	○	○	○	○	○
107	ay=1/1.20	○	○	○	○	○
108	ay=1.20	○	○	○	○	○
109	B=2.26p	○	○	○	○	○
110	n6w	○	×	×	×	×
111	n6w-1	○	○	○	○	○
112	n6w	○	○	○	○	○
113	316FR(S0=Av.)	○	○	○	○	○

ヘルプ キャンセル

材料番号 104 材料名 ay=1/13

クリープ

クリープ破断式: Larson-Miller型式
 $C = 2.0613557E+01$
 $A0 = 2.094818E+04 \times S^0$
 $A1 = -3.438047E+03 \times S^1$
 $A2 = -9.592651E+02 \times S^2$
 通常クリープひずみ速度式: 1. SUS304
 クリープひずみ式(一次): 1. SUS304

疲労

疲労破断式: Dierrich-型式
 $\alpha = -8.5$
 $A0 = 1.064514E+03$
 $A1 = 6.481562E-01 \times S^1$
 $A2 = 1.667730E-01 \times S^2$
 $A3 = -3.476530E-02 \times S^3$
 $A4 = -2.616450E-03 \times S^4$
 $A5 = 9.034490E-04 \times S^5$
 $A6 = -4.119750E-05 \times S^6$

OK

新材料特性の設定

材料番号 104 材料名 ay=1/13

修正

赤色:既に設定されていることを示します。
 青色:今回修正されたことを示します。

引張 クリープ 疲労

クリープ破断式

種類

Larson-Miller法 On-Sherby-Dorn法
 Manson-Suoco法 Manson-Haford法

通常クリープひずみ速度
 クリープひずみ式(一次クリープのみ)

疲労

任意設定(定数の表示も含む)
 回帰処理データ
 既存の材料より 1 SUS304

コメント ヘルプ 実行 保存 キャンセル

新材料特性の設定

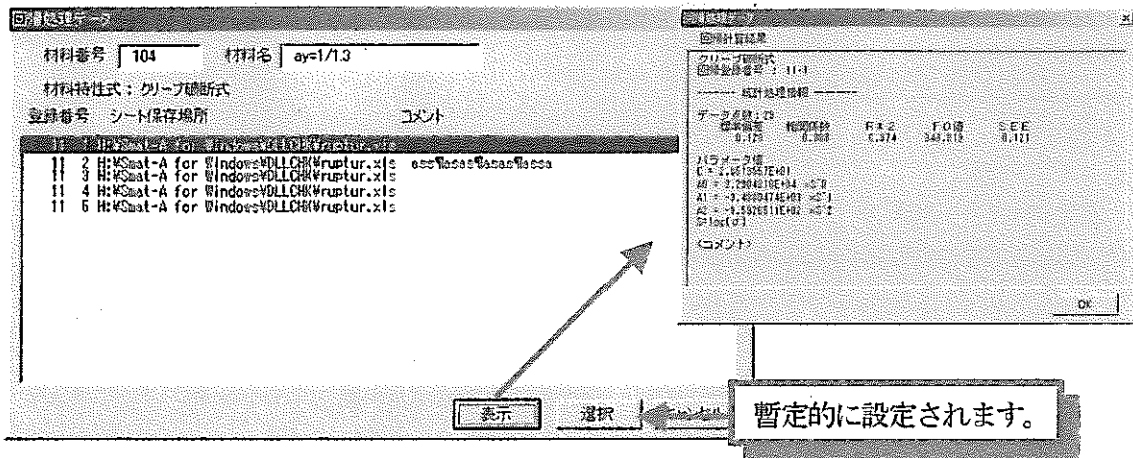
材料番号 104 材料名 ay=1/13

材料特性式: クリープ破断式

パラメータ	係数	次数
C	2.0613557E+01	
A0	3.2904818E+04	
A1	-3.438047E+03	S ¹
A2	-9.592651E+02	S ²
A3		S ³
A4		S ⁴
A5		S ⁵
A6		S ⁶

参照材料名

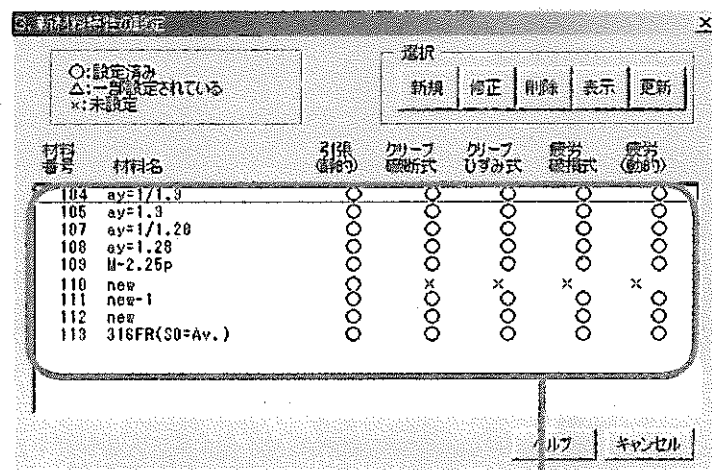
OK キャンセル



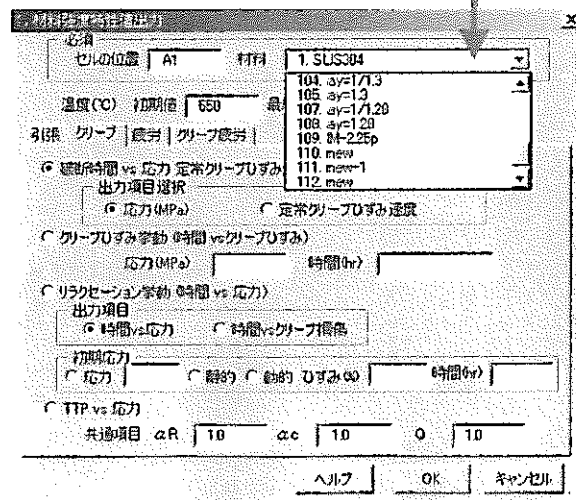
例-2. REAL-A と D の連携

REAL-A で新材料を設定すれば、REAL-D でその材料特性の強度評価ができます。

<REAL-A の材料設定画面>



<REAL-D のメニュー画面>



2. 材料強度基準値出力

例-1. 温度依存の設計値 (基準1) の出力
 100°C~600°Cを25°C刻みで、基準1の設計値を全てを選択し出力します。

The screenshot shows a software window with a spreadsheet and a dialog box. The spreadsheet lists material properties for SUS304 at various temperatures from 100°C to 600°C. The dialog box is titled '必須' (Required) and shows '材料' (Material) as '1. SUS304'. It has '温度' (Temperature) set to '100', '最終値' (Final Value) set to '600', and '増分値' (Increment) set to '25'. Under '基準値' (Criteria), '基準1' (Criterion 1) is selected. The '基準値1' (Criterion 1) section has several checkboxes: S_{0.2}値, S_m値, S_y値, S_u値, 弾性定数E, ポアソン比, 線膨張係数α(瞬間), and 線膨張係数α(平均). The '基準値2' (Criterion 2) section has S_{0.2}値, S_R値, S_y値, ε_{1(A)}, ε_{1(B)}, ε_{1(C)}, and 瞬時応力ひずみ線図. The dialog box has 'ヘルプ' (Help), 'OK', and 'キャンセル' (Cancel) buttons.

例-2. SUS304のSt値の出力例
 温度425°C~650°Cの間を25°C刻みで、各温度毎に時間とSt値の関係を出力します。

The screenshot shows a software window with a table and a dialog box. The table lists '基準値: St値' (Criteria: St Value) for SUS304 at temperatures from 450°C to 625°C. For each temperature, it shows '時間' (Time) and 'St値' (St Value). The dialog box is titled '必須' (Required) and shows '材料' (Material) as '1. SUS304'. It has '温度' (Temperature) set to '450', '最終値' (Final Value) set to '650', and '増分値' (Increment) set to '25'. Under '基準値' (Criteria), '基準1' (Criterion 1) is selected. The '基準値1' (Criterion 1) section has S_{0.2}値, S_m値, and S_y値. The '基準値2' (Criterion 2) section has S_{0.2}値, S_R値, S_y値, ε_{1(A)}, ε_{1(B)}, ε_{1(C)}, and 瞬時応力ひずみ線図. The dialog box has 'ヘルプ' (Help), 'OK', and 'キャンセル' (Cancel) buttons.

3. 材料強度評価

例-1. クリープ破断時間の予測値

クリープ試験データの破断時間について、予測値の計算と実測値と予測値の統計処理を行っています。なお、空白若しくは零がある行は計算されません。

破断時間	応力	温度	SUS304 σR-1
2125	302.6	500	474.2489
345627	215.6	500	66048.418
27876	215.6	550	2893.951
1235.4	235.2	550	1343.191
516.0	254.0	550	660.6579
89.6	284	550	184.7151
1639.8	156.0	600	2484.682
630.9	176.4	600	850.6609
343.1	198	600	389.331
1740.6	107.8	650	3214.504
100.9	117.6	650	1660.907
2125	137.2	650	511.7681
24.9	176.4	650	73.56813
8107.5	186	650	6882.611
584.2	137.2	600	7392.428
3884.8	80	650	6602.7418
20361.8	176.4	550	16775.22
12656.8	127.4	600	13464.83
6454.2	88.2	650	14570.15
20382.3	117.6	600	25664.72
1880.2	78.4	650	35111.52
785.5	33.2	500	1057.873
1407.7	313.6	500	1806.962

例-2. クリープ疲労寿命の予測値

クリープ疲労試験データ破損寿命について、予測値の算出と実測値と予測値の記述性の統計処理を行っています。併せて、1 サイクル当たりの損傷値も出力しています。損傷値の出力はオプションで行います。

温度(°C)	保持時間	ひずみ範囲	ひずみ速度	初期応力	疲労
550	10	2	0.1	40	157 108801.4 347.4085 0.00
550	10	1.4	0.1	36.6	310 197.882 304.3515 0.00
550	10	1	0.1	32.8	566 354.1749 268.4874 0.00
550	10	0.7	0.1	30.3	1420 687.0575 234.6334 0.00
550	10	0.5	0.1	23.2	2460 1381.705 205.7879 5.76
550	60	2	0.1	39.6	166 93.15406 347.4085 0.00
550	60	1.4	0.1	35	277 163.684 304.3515 0.00
550	60	1	0.1	33	502 280.2806 268.4874 0.00
550	10	1.4	0.1	37.3	383 197.882 304.3515 0.00
550	10	1	0.1	35.6	445 354.1749 268.4874 0.00
550	10	0.7	0.1	30.3	1278 687.0575 234.6334 0.00
550	60	1.4	0.1	36.6	241 163.684 304.3515 0.00
550	60	1	0.1	34.3	295 280.2806 268.4874 0.00
550	1	1.64	0.1	33.6	807 187.5652 322
550	1	1.38	0.1	31.4	1148 251.4216 302
550	1	1.11	0.1	29	1604 407.1722 271
550	1	0.85	0.1	25.9	2738 740.1151 252
550	1	0.59	0.1	22.9	8066 1856.006 219
550	3	1.63	0.1	32.8	785 170.6167 322
550	3	1.33	0.1	31.1	925 245.9535 298
550	3	1.12	0.1	29.7	1230 338.0138 280
550	3	0.86	0.1	26.5	2504 572.8291 253
550	3	0.59	0.1	22.9	6810 1359.426 219

9. REAL-A&D 注意事項

(1) 単位の扱い

REAL-A&D のひずみやひずみ速度の入力値の単位は%、%/sec、%/hr ですが、プログラム内部の材料特性式のひずみ部分の単位は mm/mm で扱っています。応力値は何れも SI 単位で扱っています。そのため入力値を内部の単位に合わせるため、オプションで必要な係数を定めています。ひずみを例にとれば、入力値やシート上のデータの単位が標準の%ではなく mm/mm であった場合、そのまま実行すると mm/mm に対し 0.01 を掛け想定外の計算になり不具合を来す原因となります。このような入力条件では、オプションで掛かる係数を 0.01 から 1 に設定し、内部の mm/mm の単位に合わせます。応力値も同様です。つまり、入力値の単位が%や SI 単位であれば、オプションで係数を変更する必要はありません。それ以外の単位の場合は、材料特性式の入力単位に合わせるようにオプションで係数を変更します。

(2) 入力データの制限

REAL-A&D は、数値計算を高速化するため主要な計算処理は DLL 化しています。また、温度、ひずみ及び応力等の入力には外挿することを考慮し制限を設けていません。よって適用範囲を大きく超えた計算や想定外の入力データで DLL 内にエラーが生じ VBA 側で対処できない場合 EXCEL 自体強制終了します。

(3) 時間パラメータ α_R 及び α_c

α_R 及び α_c の扱いは、クリープひずみ式内部で破断時間 $t_R = t_R / \alpha_R / \alpha_c$ の関係になっています。それぞれ独立に計算したい場合は、 α_R はそのままの値を入力し、 α_c は α_R で除した値を入力します。

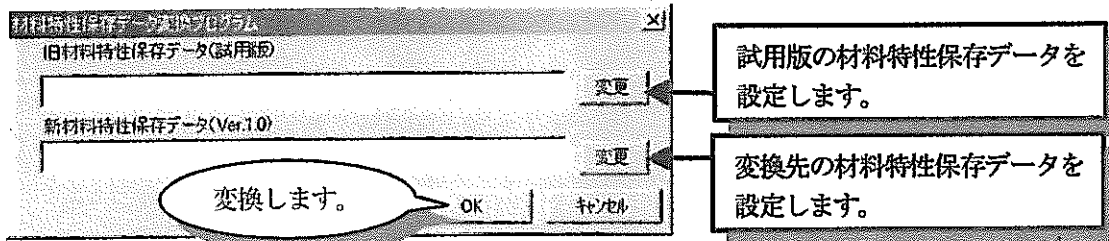
(4) 保存データの変更

REAL-A で作成される回帰結果保存データと材料特性保存データを現状ファイルとは別に新規に作成する場合、REAL-A の「オプション」から「変更」ボタン押し、ファイル選択ダイアログより存在しない任意のファイル名に変更します。なお、エクスプローラより現状のファイル名を変更しても構いません。この場合、既に設定したファイル名で新規に作成されます。

(5) 試用版の材料特性データの変換

試用版で作成した材料特性保存データは、Ver. 1.0 では使用できません。使用したい場合は、以下の操作を行って下さい。SMAT-A&D Ver. 1.0 で作成したファイルは、この操作をする必要はありません。

- ① 「ツール」－「マクロ」より、コマンド名 “Convmdb” を入力し実行します。
- ② 以下のダイアログに必要なデータファイル名を設定します。



- ② 保存データを変更します。参照「保存データの変更」。

10. REAL-Pについて

REAL-Pにおける破損確率算出の基本的な流れは、き裂発生確率及びき裂進展確率の確率密度分布を求め、両者のコンボリューションをき裂の発生・進展による破損確率とし、同時に破損クライテリア a/t に達する前に不安定破壊する不安定破壊確率を評価します。全体の流れを図 10-1 に示します。それぞれの確率計算は単独で計算が可能です。確率変数を全て定数とした場合は、決定論的評価を行います。本資料の手順は、標準的な仕様ではありますが柔軟な評価ができるように様々な選択肢を実装しています。本プログラムの仕様を表 10-1 に示します。

10.1 き裂発生確率

① 解析条件の設定

温度、ひずみ範囲(公称応力)、保持時間などの解析条件を設定します。

【確率変数】

- ・ 確率変数は、温度、ひずみ範囲、公称応力、初期応力、降伏応力、疲労強度 (N_i : 標準試験片のき裂発生回数も含む)、クリープ強度 αR (α_3 : 第3クリープ開始時間、 α_3 で代用)、クリープひずみ速度 αc より選択可能です。
- ・ 確率分布は、指数分布、正規分布、対数正規分布、ワイブル分布より選択します。
- ・ BDS 及び DDS の材料物性値は、表 1-2、表 1-3 に示す付属の材料ライブラリより選択することが可能です。
- ・ 疲労強度は、平均値はもとよりひずみ範囲及び疲労寿命のファクタ (α 、 β) と両者のフェアリング、 $N_i (\Delta \epsilon_p)$ 、設計許容ひずみ範囲及び付録 A を合わせた6項目より選択します。

② クリープ疲労破損クライテリア

クリープ疲労破損クライテリアは時間消費型の線形損傷則としますが、延性損耗則も選択可能です。また、キャンベル線図の折れ曲がり点も任意に変更可能です。

$$D_f = \frac{N}{N_f}$$

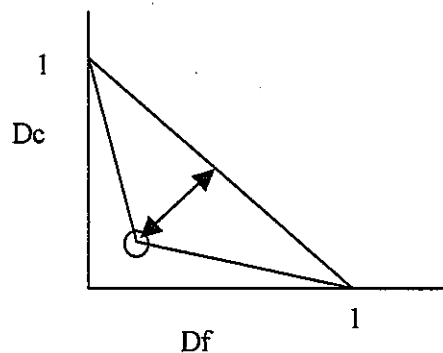
$$D_c = N \int_b^a \frac{dt}{t_r}$$

$$D_c + 7/3 D_f < 1 \quad (0 < D_f \leq 0.3)$$

$$7/3 D_c + D_f < 1 \quad (0.3 < D_f \leq 1)$$

ここで、

- N : 繰り返し数
- N_f : 疲労寿命
- D_f : 累積疲労損傷
- D_c : 累積クリープ損傷
- t_r : クリープ破断時間
- t_h : ひずみ保持時間



キャンベル線図

③ 処理方法

層別若しくは直接サンプリングによるモンテカルロ法を用いて、き裂発生確率密度関数 $f(x)$ を求めます。確率変数は、任意に選択可能とし層別サンプリングの対象となる確率変数は1変数とします。材料特性に相関があるものについては、乱数の発生に当たって、

これを考慮します。これは、クリープひずみ速度を示す時間係数 αR 及び αc に当たります。

④ き裂発生確率

き裂発生確率密度関数 $f(x)$ の平均値は、材料特性式で評価した破損寿命とします。なお計算されたき裂発生確率は、試験片 1 本あたりのき裂発生確率と考えます。以上の処理フローを図 10-1 に示します。

10. 2 き裂進展確率

① き裂進展解析に関する基本的な条件

- ・ き裂進展解析は、き裂が発生しその後進展する初期欠陥無しの解析と、予め初期欠陥が存在しそのき裂が進展する解析の両者を行います。
- ・ 初期き裂形状は、平板の半楕円き裂と円筒の周方向及び軸方向の内面若しくは外面の半楕円き裂とします。また、全周き裂も選択可能です。
- ・ 初期き裂の個数及び存在確率を考慮することが可能です。
- ・ 簡易き裂進展評価法は、JNC 版^[2]と電中研版^[3]と共にき裂進展速度のみで評価する手法より選択します。

② 解析条件

- ・ 基本的な負荷条件は、「10. 1 き裂発生確率」と同じです。それ以外の条件として、荷重条件、弾性追従係数等を設定します。

③ 物性値及びき裂進展パラメータ

- ・ 応力ひずみ関係式は、静的若しくは動的応力ひずみ関係式の Ludwik 型及び Ramberg-Osgood 型より選択します。Ramberg-Osgood 型は、SUS304 及び 316FR のみライブラリに登録されています。
- ・ クリープひずみ式を Blackburn 型及び Norton 型より選択。Norton 型は、SUS304 及び 316FR のみライブラリに登録されています。

【確率変数】

- ・ 荷重条件、初期き裂形状(表面き裂長さ、アスペクト比)、疲労き裂進展特性、クリープき裂進展特性、降伏応力を確率変数として与えます。
- ・ 確率分布は、定数値、指数分布、正規分布、対数正規分布、ワイブル分布より選択します。
- ・ 表面き裂長さ及びアスペクト比のいずれかを固定して計算することも可能です。

④ PSI/ISI の考慮

- ・ ISI のレベルを設定は、PNL モデル^[4]を標準とし用います。PNL モデル以外でも、き裂深さ及びき裂長さを関数にした検出モデルを設定可能です。なお PSI も設定は、初期欠陥有りのき裂進展解析に有効で、ISI と独立にモデル設定が可能です。

<ステンレス鋼>

Poor:	$POD = \Phi\{0.24 + 1.485 \ln(a/t)\}$
Good:	$POD = \Phi\{1.526 + 0.533 \ln(a/t)\}$
Advanced:	$POD = \Phi\{3.63 + 1.106 \ln(a/t)\}$

<フェライト鋼>

Poor:	$POD = \Phi\{0.432 + 0.163 \ln(a/t)\}$
Good:	$POD = \Phi\{1.75 + 0.583 \ln(a/t)\}$
Advanced:	$POD = \Phi\{3.63 + 1.106 \ln(a/t)\}$

- ・ ISI の頻度を設定する。

検出された欠陥は補修され、もとの強度に復元されると仮定します。

⑤ 処理方法

層別サンプリング若しくは直接サンプリングによるモンテカルロ法を用いて、クリープ疲労き裂進展計算を行い、き裂進展確率密度関数 $f_c(x)$ を計算します。層別サンプリングは、き裂深さ及びアスペクト比についてセル分割を可能です。両者のいずれか一方を層別サンプリングとして設定することが可能です。直接サンプリングは、任意の確率変数を選択し計算を行います。結果は、対数正規分布とワイブル分布に近似したパラメータを算出します。

$$\frac{da}{dN} = \left(\frac{da}{dN} \right)_f + \left(\frac{da}{dN} \right)_c$$

$$\left(\frac{da}{dN} \right)_f = C_f (\Delta J_f)^{m_f}$$

$$\left(\frac{da}{dN} \right)_c = C_c (\Delta J_c)^{m_c}$$

(A1.2)

ここで、

da/dN	: クリープ疲労き裂進展速度
$(da/dN)_f$: 疲労き裂進展速度
$(da/dN)_c$: クリープき裂進展速度
ΔJ_f	: 弾塑性 J 積分範囲
ΔJ_c	: クリープ J 積分範囲
C_f	: 疲労き裂進展速度の定数
m_f	: 疲労き裂進展速度の定数 (指数)
C_c	: クリープき裂進展速度の定数
m_c	: クリープき裂進展速度の定数 (指数)

10. 3 不安定破壊確率

REAL-P で扱う不安定破壊確率評価は、破損クライテリア(a/t)に達する前に破損する確率で Z 係数、流動応力及び実弾面応力で表す電中研提案式より評価します。き裂が進展し不安定破壊する確率は、き裂貫通確率と独立に算出することが可能です。

$Z\sigma a < \sigma_f$... 不安定破壊を生じない

$Z\sigma a \geq \sigma_f$... 不安定破壊を生じる

σa : 実断面応力

σ_f : 流動応力

Z : 応力割り増し係数 (Z 係数)

また、両者を同時に考慮することも可能です。その場合、以下の確率計算を行っていることとなります。

$$P = P_u + P_c - P_u \cap P_c$$

P : き裂貫通確率と不安定破壊確率を同時に考慮した確率

P_u : 不安定破壊確率

P_c : き裂貫通確率

10.4 破損の定義

き裂進展評価における破損の定義は、許容き裂深さを板厚で割った a/t と許容表面き裂長さを半板幅で割った c/w を破損のクライテリアとする場合と 1.3 不安定破壊確率を採用する場合に分けられます。REAL-P では、両者のいずれかを選択するか若しくは両者の合計を破損確率として計上するか選択します。なお、き裂進展に入る前の段階でき裂深さ分布により破損に至った場合、破損確率に計上するかどうか選択可能です。具体的な破損の定義は、評価者によって違うため個々の判断に委ねるとします。

10.5 破損確率

(1) き裂破損確率

き裂の破損確率は、き裂が発生しその後き裂が進展し破損する確率と初期欠陥が進展し破損に至る確率を合わせたものになります。破損確率を P_f すれば、次式で表せます。

$$P_f = p_i p_p + p_c (1 - p_i p_p) \{1 - (1 - p_p')^n\}$$

p_i : 1 個の疲労き裂が発生する確率

p_p : 1 個の疲労き裂が進展し、貫通する確率

p_c : n 個の初期欠陥が存在する確率

p_p' : 1 個の初期欠陥からき裂が進展し、貫通する確率 :

n 個の初期欠陥のうち、いずれか 1 個以上の欠陥からき裂が進展し、貫通する確率 :
 $1 - (1 - p_p')^n$

- ① き裂発生+進展の破損確率 $p_i p_p$ は、2. き裂発生確率、3. き裂進展確率を基に、次式によりを求める。

$$P_i P_p = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^k f_i(i) \cdot f_p(k-i)$$

ここで、

$f_i(x)$: $n=x$ cycle において $a=a_{ini}$ のき裂が発生する事象の確率密度関数

$f_p(x)$: $n=x$ cycle の間に $a=a_{ini}$ のき裂が $a=a_{cr}$ まで進展する事象に関する確率密度関数

- ② 1 個の初期欠陥からき裂が進展し貫通する確率 p_p' は、初期欠陥 (き裂深さ) の確率分布に基づき、き裂進展解析から得られた累積破損確率分布です。

	損傷評価法		①時間消費則 ②延性消耗則(延性限界は任意の定数として設定可能)	αc αR αc と αR の相関係数 延性限界															
	クライテリア		①キャンベル線図(折れ曲がり点は任意に設定可能)																
欠陥の設定	初期欠陥	個数	①n個	存在確率															
		大きさ	1) 深さ 2) 長さ(アスペクト比)	欠陥深さ 欠陥長さ(アスペクト比)															
		アスペクト比	①アスペクト比	アスペクト比															
	損傷により発生したき裂の大きさ	個数	①1個																
		大きさ	1) 深さ 2) 長さ(アスペクト比)	欠陥深さ 欠陥長さ(アスペクト比)															
		アスペクト比	①アスペクト比	アスペクト比															
	形状		①平板の半楕円表面き裂 ②円筒の周方向断面半楕円内面表面き裂 ③円筒の周方向断面半楕円外面表面き裂 ④円筒の軸方向断面半楕円内面表面き裂 ⑤円筒の軸方向断面半楕円外面表面き裂 ⑥円筒の周方向断面内面全周き裂 ⑦円筒の周方向断面外面全周き裂																
	応力拡大係数		①平板の半楕円表面き裂(JNC) ②円筒の周方向断面半楕円内面表面き裂(JNC) ③円筒の周方向断面半楕円外面表面き裂(JNC) ④円筒の周方向断面内面全周き裂(JNC) ⑤円筒の周方向断面外面全周き裂(JNC) ⑥平板の半楕円表面き裂(電中研) ⑨円筒の周方向断面半楕円内面表面き裂(電中研) ⑩円筒の周方向断面半楕円外面表面き裂(電中研) ⑪円筒の軸方向断面半楕円内面表面き裂(電中研) ⑫円筒の軸方向断面半楕円外面表面き裂(電中研) ⑬円筒の周方向断面内面全周き裂(電中研) ⑭円筒の周方向断面外面全周き裂(電中研)	応力拡大係数 (適用制限に注意)															
	簡易き裂進展評価法		①JNC法 ②電中研法(平成12年度版)																
疲労き裂進展	設定条件		1) 温度 2) 公称応力(膜、曲げ、ピーク) 3) 弾性追従係数(疲労)	温度 公称応力 弾性追従係数															
	応力ひずみ関係		1) JNC法: Ludwik型 2) 電中研法: ①Ludwik型、R-O型	降伏応力		○		○											
	疲労き裂進展則		①Paris則(JNC) ②Paris則(電中研)	係数 指数 係数 指数		○		○	○	○									
	疲労き裂進展速度増倍係数		任意の値を設定可能																
クリープき裂進展	設定条件		1) 温度 2) 公称応力(膜、曲げ、ピーク) 3) 弾性追従係数(クリープ)	温度 公称応力 弾性追従係数															
	クリープひずみ式		1) JNC法: ①Blackburn型、②Norton型 2) 電中研法: ①Blackburn型、②Norton型			○		○											

	クリープき裂進展則		①Paris則(JNC) ②Paris則(電中研)	係数 指数 係数 指数	○ ○ B,M B,M		○ ○ B, M, B, M	○ ○	○ ○
	クリープき裂進展速度増倍係数		任意の値を設定可能						
	クリープ疲労き裂進展		$da/dn=(da/dn)^f+(da/dn)^c$						
PSI/ISI	手法/精度 (モデル名は仮称)	VT (目視試験)		POD(欠陥検出確率)	○	○	○	○	○
		UT (超音波試験)	①PNLモデル(ステンレス鋼) ②PNLモデル(フェライト鋼) ③TOFD法	POD(欠陥検出確率)	○	○	○	○	○
		MT (磁粉探傷試験)	①Kauppinen(フェライト鋼、自然欠陥および疲労き裂) ②村田(止端割れ、国内データ)	POD(欠陥検出確率)	△	△	△	△	△
		PT (浸透探傷試験)	①Kauppinen(フェライト鋼、オーステナイトステンレス鋼、アルミニウム合金、自然欠陥および疲労き裂) ②①のうち溶接部	POD(欠陥検出確率)	○	○	○	○	○
		RT (放射線透過試験)	①Halmshaw(鋼材、ポロシティ) ②Halmshaw(鋼材、スラグ巻き込み) ③Halmshaw(鋼材、融合不足) ④Halmshaw(鋼材、溶込不足) ⑤Halmshaw(鋼材、き裂)	POD(欠陥検出確率)	○	○	○	○	○
		ECT (渦流探傷試験)	①座古(耐熱アルミニウム合金、疲労き裂) ②Yang(耐熱アルミニウム合金、疲労き裂) ③US DOE-1(クラッドアルミニウム、疲労き裂) ④US DOE-2(クラッドアルミニウム、疲労き裂)	POD(欠陥検出確率)	○	○	○	○	○
		手法の組合せ	異なる手法を3種類まで同時に適用可		○	○	○	○	○
	頻度		①任意のサイクル間隔を指定可能 ②第1回までの間隔とその後の間隔を別々に任意に指定可能						
破損の判定			①き裂発生 ②き裂深さ(板厚の75%以内の任意の値を指定可能) ③不安定破壊確率(正味断面応力+Z係数) ④不安定破壊確率(2パラメータ)						
数値解析手法			1)き裂発生:直接モンテカルロ法+層別モンテカルロ法 2)き裂進展:層別モンテカルロ法(セルは任意に設定可)、直接モンテカルロ法(確率変数は任意選択可)						

表 10-2. 材料ライブラリで扱う材料特性式

材料特性	特性式	型式
引張	応力ひずみ関係式	Ludwik 型式 Ramberg-Osgood 型式 (SUS304、316FR のみ適用可)
クリープ	クリープ破断式	Lerson-Miller 型式
	定常クリープひずみ速度 式	Monkman-Grant 式
疲労	疲労破損式	Diercks 式
	動的応力ひずみ関係式	Ludwik 型式 Ramberg-Osgood 型式 (SUS304、316FR のみ適用可)

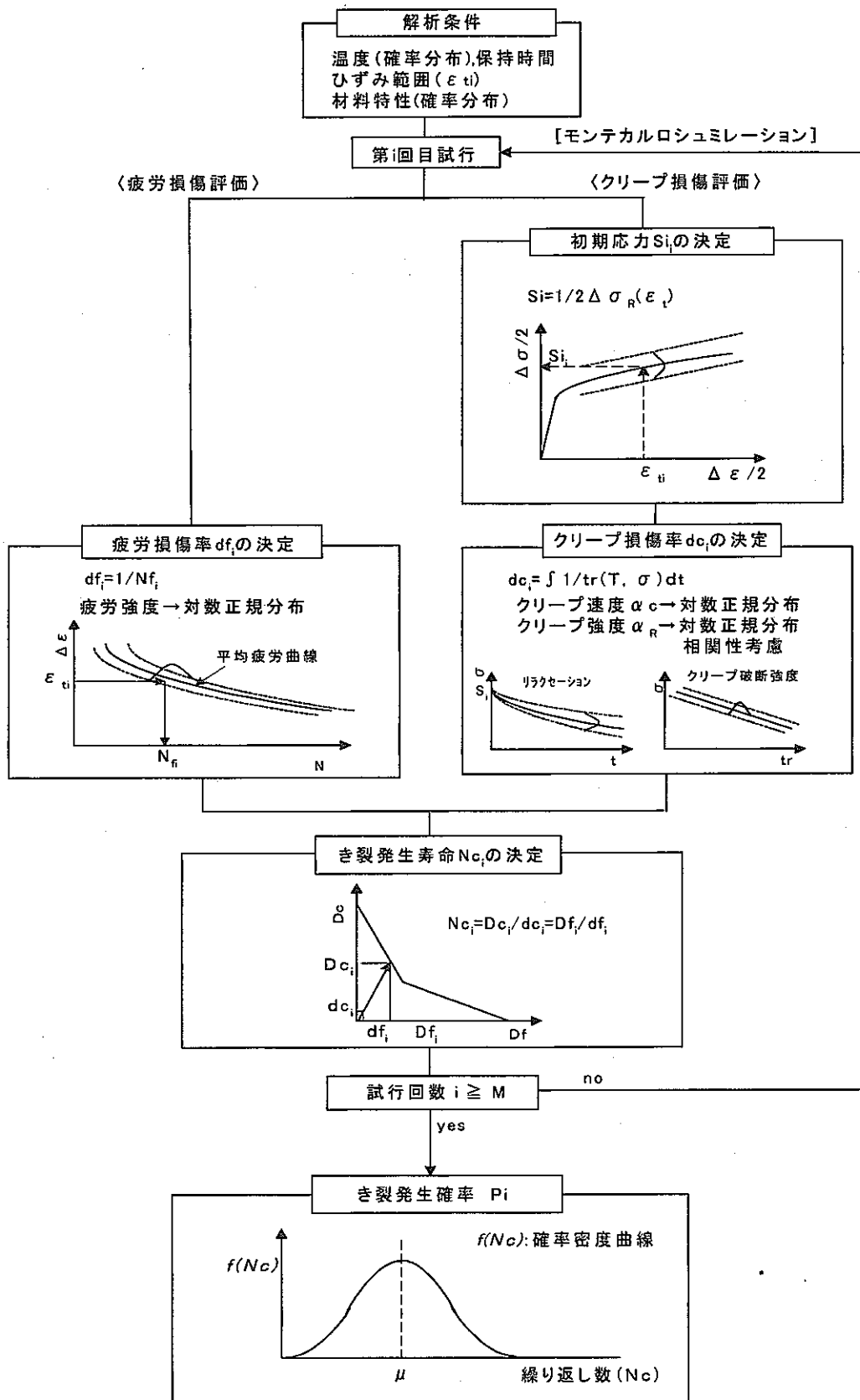


図 10-1 クリープ疲労き裂発生確率評価フロー

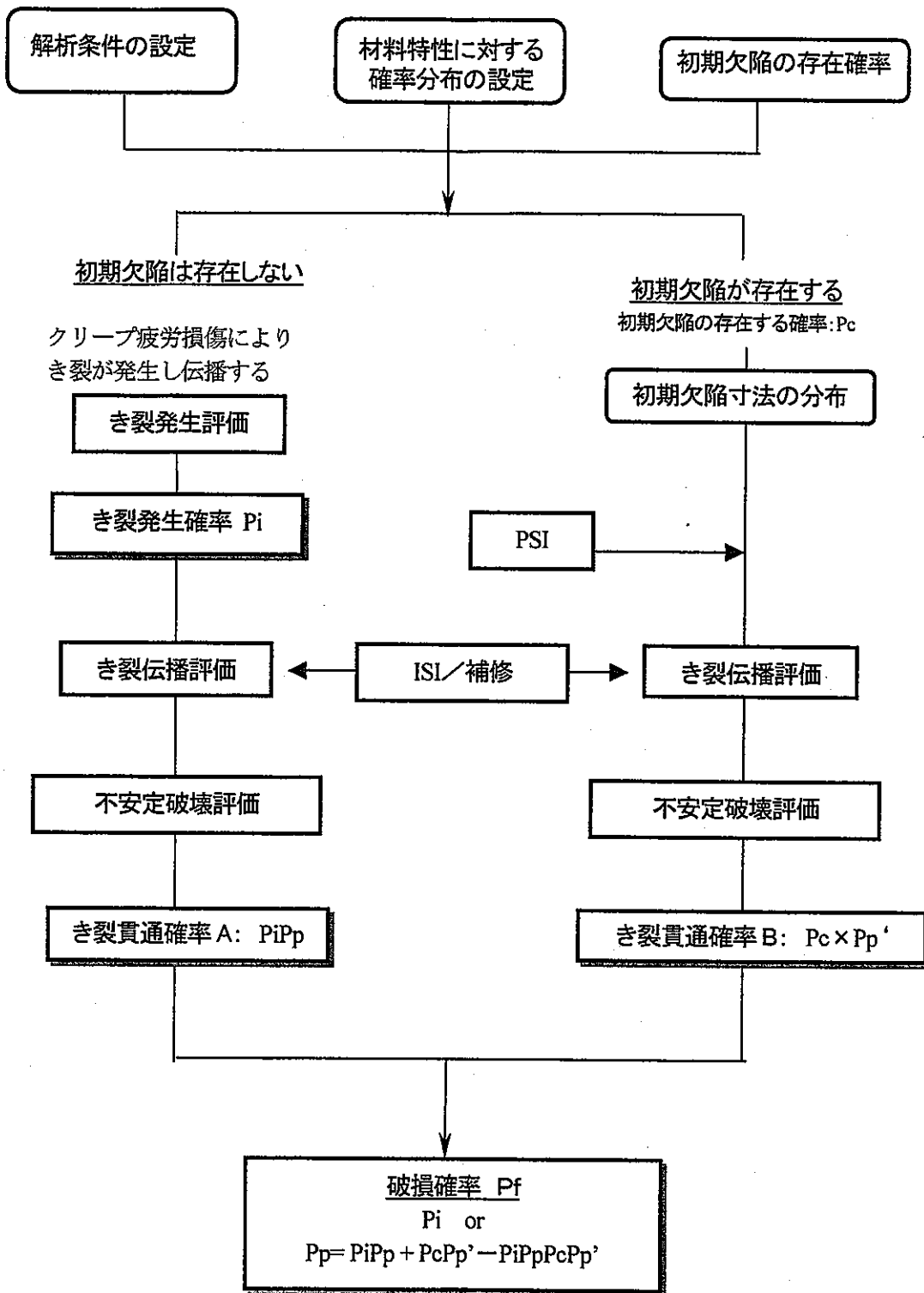


図 10-2 クリープ疲労の破損確率評価フロー

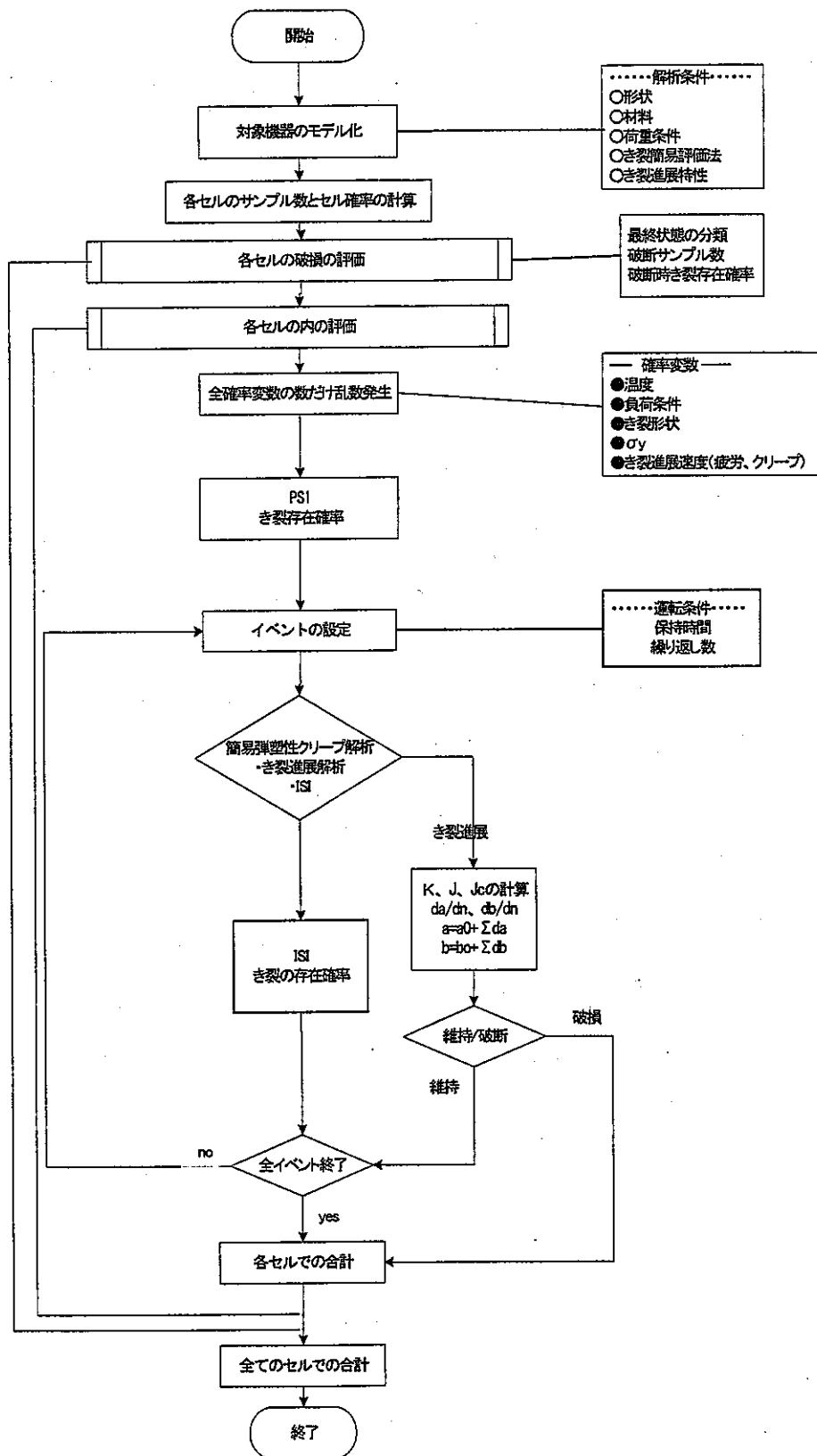


図 10-3 確率論的破壊力学評価フロー

参考文献

- [1] 加藤猛彦、浅山 泰、SMAT-A&D for Windows Ver.1.0 取扱説明書 (ユーザーズマニュアル)、JNC TN9520 2002-001
- [2] 若井 隆純、青砥 紀身、高速増殖大型炉機器・配管に対する欠陥評価指針の検討(その1)、JNC TN9400 2001-078 (2001)
- [3] (財)電力中央研究所 平成12年度発電用新型炉技術確証試験(高速増殖炉技術確証試験)調査報告書 別冊 高温構造健全性評価指針 (案)
- [4] Simonen, F. A. and Woo, H. H., Analysis of the impact of inservice inspection using a piping reliability model, NUREG/CR-3869 PNL-5149 (1984)

付録A

疲労き裂発生寿命の予測式は式(1)とする。疲労き裂の発生は表面長さ0.5mmで定義している*。

$$N_f = N_j \times 10^{-0.4759 \times \Delta \varepsilon_f + 0.1614}$$

適用範囲 $0.340\% \leq \Delta \varepsilon_f \leq 1\%$ (改定版)

* 日本原子力発電株式会社 受託研究報告書 設計手法高度化に関する検討(その1) 平成14年度、平成15年3月、三菱重工業株式会社、株式会社 東芝、他

11. REAL-P プログラム仕様

11.1 構成

REAL-P は、以下の3つのプログラムから構成されています。それぞれ単独で実行することが可能ですが、一度に順次実行することも可能です。図 11.1 参照。

- クリープ疲労き裂発生確率計算
疲労損傷及びクリープ損傷と破損クライテリア（キャンベル線図）によりクリープ疲労寿命の計算を行います。決定論的な計算と共に、温度、ひずみ範囲、降伏応力（ α_y ）、初期応力、疲労寿命、クリープ特性（ α_R 、 α_c ）を確率変数として、直接サンプルによるモンテカルロ法及び1次元の層別サンプルによるモンテカルロ法を行うことができます。
- クリープ疲労き裂進展解析（初期欠陥有りき裂進展解析も含む）
簡易き裂進展評価法によるクリープ疲労の決定論的なき裂進展解析と確率論的破壊力学による破損確率の計算を行います。簡易き裂進展評価法は、JNC 法と電中研法より選択できます。温度、負荷荷重、降伏応力、き裂深さ、アスペクト比、進展速度等を確率変数とします。き裂深さ及びアスペクト比は、層別サンプリングの対象となる確率変数で個々に層別サンプリングによる破損確率を計算することも可能です。また、確率変数を任意に選択し直接サンプリングで算出することも可能です。
- クリープ疲労破損確率計算
き裂発生確率計算及びき裂進展解析より導出した確率分布関数を基づきき裂発生+進展の破損確率と初期欠陥が存在するき裂進展の破損確率の両者を掛け合わせた総合的な破損確率を算出します（11.5 破損確率を参照）。

11.2 確率変数

REAL-P で使用される適用される確率変数は、表 11-1 に示す通りです。確率分布は、正規確率分布、指数分布、ワイブル分布から選択できます。き裂深さ及びアスペクト比以外の平均値、標準偏差等の確率パラメータは、全て相対値（平均値に対する比）に対応した値を用います。確率分布関数の適用範囲を表 11.2 示します。層別サンプリングの対象となった確率変数は、下限値と上限値より確率が1になるように各区間に係数を乗じます。それ以外の確率変数は、上限値と下限値の間で分布関数に準じた数値を発生します。確率分布関数の詳細は、表 11.4 を参照して下さい。

<確率分布関数>

- 正規分布、 $ltype=1$

$$F(x) = \phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

μ : 平均値

σ : 標準偏差

- 指数分布、 $ltype=2$

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x-a}{\mu}\right)$$

a : 下限値

μ : 平均値

- ワイブル分布、 $ltype=3$

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right\}$$

- a: 位置母数
- b: 尺度母数
- c: 形状母数

11. 3 荷重条件

REAL-P は高速炉の高温機器を前提とした計算を行います。従って、扱う荷重は2次荷重を主体とし一次荷重は評価の対象としていません。ただし、電中研法では一次荷重との比較があるため、内部では自重及び内圧で占める1次荷重を30MPaとして扱います。

11. 4 簡易き裂進展評価法

JNC 法及び電中研法の簡易き裂進展評価法において、記述に不明な個所が有り以下の様に解釈しています。なお、参照応力が有効なき裂範囲は、 $a/t \leq 0.8$ までです。

・ JNC 法

膜、曲げが重畳する場合の F_{ent} の扱いは、両者を別々に F_{netm} 及び F_{netb} として評価します。

$$\sigma_{ref} = F_{net} (P_m \cdot \sigma_m + P_b \cdot \sigma_b) \quad \dots \dots \dots \text{報告書}$$

$$\sigma_{ref} = F_{netm} \cdot P_m \cdot \sigma_m + F_{netb} \cdot P_b \cdot \sigma_b$$

・ 電中研法

参照応力の算出方法に断面曲げ応力 σ_{bg} を組み入れました。 $\Delta \sigma_b$ に $\Delta \sigma_{bg}$ が含まれていると解釈しても良いですが、明瞭にするため3つの応力より参照応力を計算すると解釈しました。参照応力の適用範囲は、最大 $t/a=0.8$ までです。

$$\Delta \sigma_{ref} = f_{ref} (\Delta \sigma_m, \Delta \sigma_b) \quad \dots \dots \dots \text{報告書}$$

$$\Delta \sigma_{ref} = f_{ref} (\Delta \sigma_m, \Delta \sigma_b, \Delta \sigma_{bg})$$

なお、JNC 法及び電中研法の簡易き裂進展評価法は、解析モデルにより制限があるので注意して下さい。表 11.3 を参照。

11. 5 応力ひずみ関係式

き裂発生確率を算出する場合、応力ひずみ関係式は Ludwik 型式の静的及び動的応力ひずみ関係式より選択します。き裂進展解析に用いる応力ひずみ関係式は、Ludwik 型式及び Ramberg-Osgood 型式のそれぞれ静的若しくは動的応力ひずみ関係式より選択します。ただし、簡易き裂評価法が JNC 版の場合、応力ひずみ関係式は Ludwik 型式のみ対応しています。詳しくは、12. 1 REAL 入力データを参照して下さい。

11. 6 クリープき裂進展速度パラメータ

クリープ進展速度パラメータ C_c 及び m_c は以下の式を基本とします。

$$(da/dN)_c = \int_0^H \left[\frac{C_c}{\tilde{\epsilon}_f} \cdot J^{m_c} \right] dt$$

入力データは、 C_c 、 m_c 及び ϵ_f を入力します。 ϵ_f は温度と高温使用時間の関数で与えられます。

$$\tilde{\varepsilon}_f = (ef + ef2 \times \log 10 t_r) \exp \left[\frac{ef3}{T + 273.15} \right]$$

ef, ef2, ef3 : パラメータ
 t_r : 累積高温使用時間
 T : 温度

ε_f が定数の場合は、efのみ与えます。

11. 7 PSI 及び ISI の設定

PSI 及び ISI のき裂検出確率は、PNL モデルとします。PNL モデル以外は、き裂深さの分布関数として設定することができます。PSI 及び ISI はいずれも一度に3回まで検査を行うことが可能です。ISI は、初回のサイクルと繰り返しのインターバルを設定します。

・PNL モデル

ステンレス鋼

Poor : $Pd = \phi(0.24 + 1.485 \log(a/t))$
 Good : $Pd = \phi(1.526 + 0.533 \log(a/t))$
 Advanced : $Pd = \phi(3.63 + 1.106 \log(a/t))$

フェライト鋼

Poor : $Pd = \phi(0.432 + 10.163 \log(a/t))$
 Good : $Pd = \phi(1.75 + 0.583 \log(a/t))$
 Advanced : $Pd = \phi(3.63 + 1.106 \log(a/t))$

a : き裂深さ t : 板厚

・き裂深さを変数とした分布関数

正規分布、指数分布、ワイブル分布で表示可能。

$Pd = F(a)$ a : き裂深さ

・き裂長さを変数とした分布関数

き裂長さ=2c を変数とします。

$Pd = F(2c)$ 2c : 表面き裂長さ c : 半き裂長さ

・検出確率を一定とする場合、 $0 < pd < 1$ の定数値を入力。

11. 8 不安定破壊確率評価

不安定破壊確率評価 (Pu) は、簡易き裂進展評価法が電中研法の場合のみ対応します。き裂進展の破損評価は、不安定破壊確率評価の他にき裂深さと板厚の比 (a/t, Pc) で評価できます。いずれも、独立に評価可能ですが、破損確率 $Pf = Pu + Pc - Pu \cap Pc$ として両者を同時に評価することも可能です。

11. 9 保存ファイル

REAL-P は、初期欠陥無し及び有りのき裂進展解析結果をを保存することができます。出力するファイル構成を以下に示します。図 11.2 を参照。

入力データセット名.fds 初期欠陥無しき裂進展解析結果 (簡易法)

入力データセット名.pds 初期欠陥無しき裂進展解析結果 (厳密解)
 入力データセット名.dds 初期欠陥有りき裂進展解析結果

1.1. 10 き裂発生+進展破損確率

き裂発生+進展破損確率は、1.5破損確率で述べられているようにき裂発生及びき裂進展破損確率の確率密度分布の積算です。ただし ISI を考慮している場合、き裂進展破損確率は ISI の開始サイクル及びインターバルに依存します。例えば、N サイクル時の破損確率を求める場合、き裂発生サイクルは $i=1 \sim N$ まで、き裂進展サイクルは $j=N-i+1$ の組合せで積算します。厳密には、発生サイクルが $i=n$ の時のき裂進展は $j=n+1$ からき裂進展することになるので、 $i=n$ 以前の ISI は無かったこととなります。 $i=n+1$ から次の ISI の時間差が開始時間となるき裂進展破損確率が必要となるので、ISI の開始時間とインターバルのいずれか大きい方のサイクルについて1サイクルからそのサイクルまでのき裂進展解析を全て行う必要があります。例えば、ISI の期間が最大で50サイクルとした場合、1～50回の ISI を考慮したき裂進展解析を行う必要があります。これは計算時間を増大し、ケースによっては途方もない時間を費やします。REAL-P では、前述の厳密解を算出する方法と共に、厳密解とほぼ同等な破損確率を算出できる簡易計算を提供しています。簡易計算法は、N サイクルとNサイクルまでに最も近い ISI サイクルの間にき裂発生サイクルが置かれたとき、き裂進展破損確率は ISI 無しの破損確率を採用することです。それ以外のサイクルの時は、1サイクルからのき裂進展破損確率を採用します。この結果は、厳密解より小さくなることはなくその差は非常に小さく常に保守的に評価します。

1.1. 11 影響関数テーブル

電中研のき裂進展評価に用いる影響関数テーブルにおいて、明らかに傾向と相違する値は、 t/R 、 a/t 、 a/c との傾向を見て最も適当と思われる値に修正しています。また、空白の部分は、き裂深さについて内挿値、表面き裂については最外値をそのまま用いています。

表 11-1. 確率変数の一覧

確率変数	き裂発生 評価	き裂進展 評価	備考
温度	◎	○	
ひずみ範囲	◎	—	
降伏応力	◎	○	
公称応力	◎		
初期応力	◎	×	
疲労強度	○	—	
クリープ破断強度 αR	○	—	相関考慮
クリープひずみ速度 αc	○	—	
荷重分布 ($\sigma_m, \sigma_b, \sigma_p$)	×	○	
き裂深さ、初期欠陥	—	◎	
アスペクト比	—	◎	
疲労き裂進展特性 C_f	—	○	分布は仮数部のみ考慮
クリープき裂進展特性 C_c	—	○	分布は仮数部のみ考慮

◎ : 層別サンプリングとして適用可 ○ : 適用可 × : 適用不可 — : 対象外

表 11.2 確率分布関数の下限値と上限値

確率分布関数	下限値	上限値
正規分布	-30σ	8σ
指数分布	$\phi=1-\exp(-X), X=0$	$\phi=1-\exp(-X), x=36$
ワイブル分布	位置母数	$\phi=1-\exp(-X), x=36$

表 11.3 簡易き裂進展評価法の適用範囲

No	き裂モデル	JNC 法	電中研法
1	半楕円表面き裂平板	適用可	適用可
2	円筒の周方向断面半楕円内面表面 き裂	適用可、配管のみ	適用可
3	円筒の周方向断面半楕円外面表面 き裂	適用可、配管のみ	適用可
4	円筒の軸方向断面半楕円内面表面 き裂	適用不可	適用可
5	円筒の軸方向断面半楕円外面表面 き裂	適用不可	適用可
6	円筒の周方向断面内面全周き裂	適用可、配管のみ	適用可
7	円筒の周方向断面外面全周き裂	適用可、配管のみ	適用可

表 11.4 確率分布関数一覧

	確率密度関数	確率分布関数	平均	分散
正規分布	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$	$F(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$	μ	σ^2
対数正規分布	$f_{Le}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{Le}x} \exp\left\{-\frac{(\ln(x)-\mu_{Le})^2}{2\sigma_{Le}^2}\right\}$	$F_{Le}(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x)-\mu_{Le}}{\sigma_{Le}}\right)$	μ_{Le}	σ_{Le}^2
指数分布	$f(x) = \frac{1}{\mu} \exp\left(-\frac{x-a}{\mu}\right)$ $x \geq a$	$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x-a}{\mu}\right)$	μ	—
ワイブル分布	$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left\{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right\}$	$F(x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right\}$	$b\Gamma\left(1+\frac{1}{c}\right) + a$	$b^2 \left[\Gamma\left(1+\frac{2}{c}\right) - \left\{ \Gamma\left(1+\frac{1}{c}\right) \right\}^2 \right]$

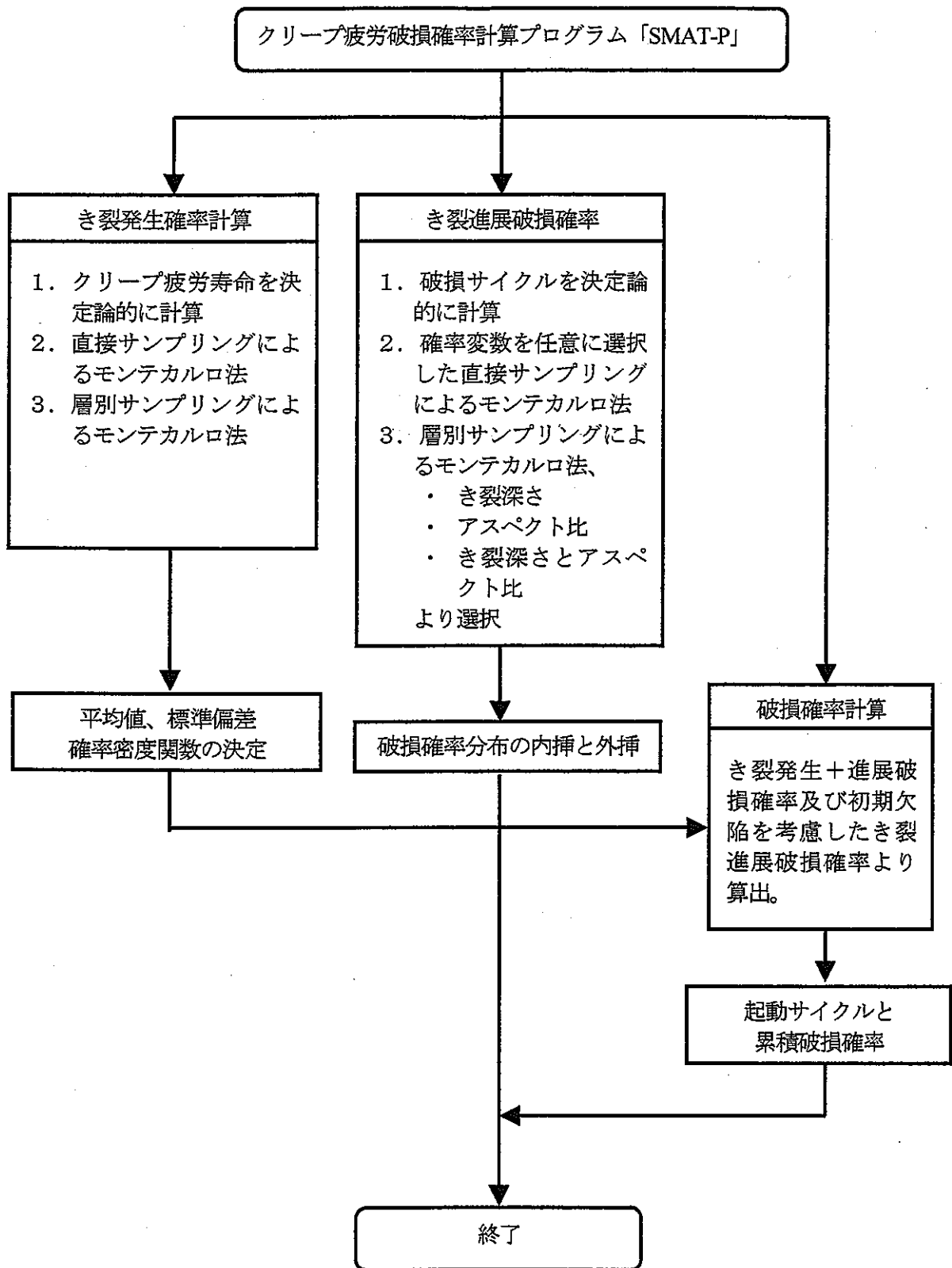


図 11.1 クリープ疲労破損確率計算プログラム「REAL-P」の処理の流れ

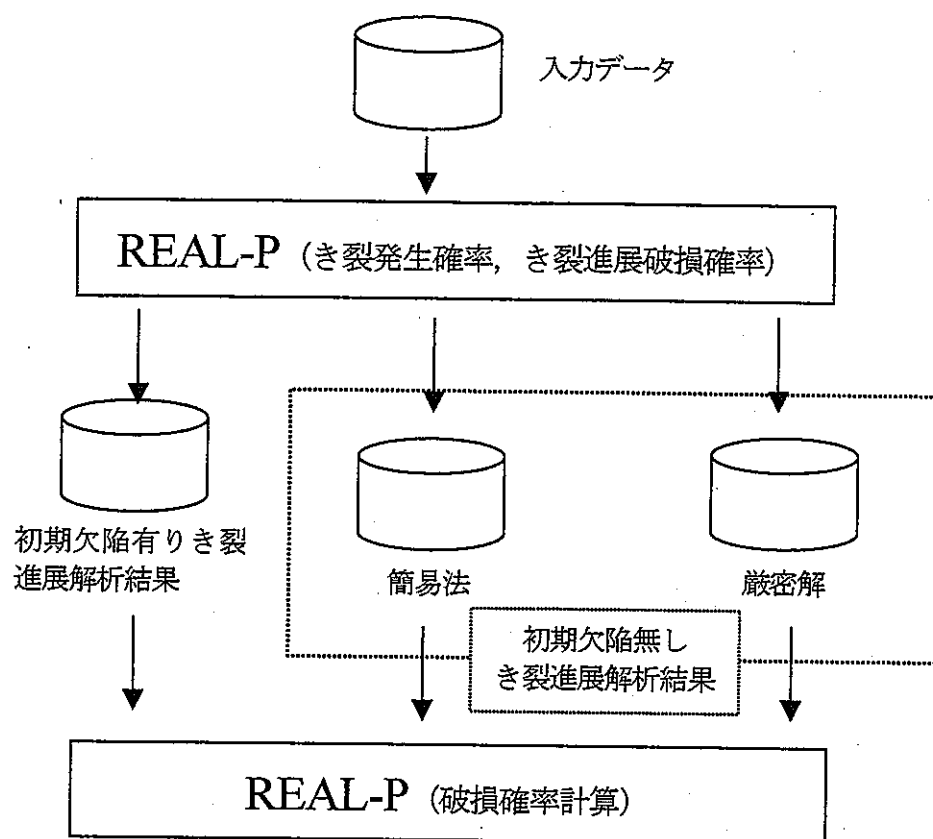


図 11-2 REAL-P ファイル構成

1 2. REAL-P 使用手引き

1 2. 1 REAL-P 入力データ

入力データは、以下に示す18のカードから構成され、REALP カードから始まり END カードで終わります。その間に入るカードの順序は問いません。

No	カード	内容
1	REALP	4つの処理の実行指示、決定論的か確率論的かの計算指示など REALP をコントロールするデータ
2	TITLE	タイトルを指定
3	COND	温度、ひずみ範囲、保持時間、荷重条件等を設定。
4	MATER	材料物性値の設定。
5	COFIN	き裂発生確率計算に必要なパラメータの設定
6	COFPF	き裂進展確率計算に必要なパラメータの設定
7	PROB	確率変数の分布特性の設定。
8	STRAT	き裂発生確率計算において層別サンプリングを指示するデータ
9	CRITE	き裂発生及びき裂進展解析の破損クライテリアの設定。
10	GEOM	き裂進展解析のモデル条件
11	PISI	PSI、ISI の設定
12	CELL	き裂進展破損確率計算において層別サンプリングを指示するデータ。き裂深さ分布は、表 3.1 の識別番号 25 を採用します。
13	DEFE	初期欠陥有りのき裂進展破損確率において層別サンプリングを指示するデータ。データ内容は、CELL カードと同じで初期欠陥(き裂深さ)の分布について表 3.1 の識別番号 29 を採用します。
14	UNDES	不安定破壊確率評価に必要なパラメータの設定
15	PFAIL	破損確率計算を指示するデータ
16	OUTP	結果出力の出力指示するデータ
17	\$	コメント行
18	END	データの終わり

本プログラムは、き裂発生確率、き裂進展破損確率、破損確率、初期欠陥有りき裂進展解析の4つのプログラムで独立に構成されていますが、入力データはそれぞれ共有しています。

No	カード	き裂発生確率計算	き裂進展破損確率計算	き裂発生+進展破損確率計算	欠陥有りき裂進展破損確率計算
1	REALP	◎	◎	◎	◎
2	TITLE	○	○	○	○
3	COND	◎	◎	◎	◎
4	MATER	◎	◎		◎
5	COFIN	○			
6	COFPF		◎		◎
7	PROB	◎	◎		◎
8	STRAT	○			

9	CRITE	○	◎		◎
10	GEOM		◎		◎
11	PISI		○		○
12	CELL		◎		
13	DEFE				◎
14	UNDES		◎		◎
15	PFAIL			◎	
16	OUTP	○	○	○	○
17	\$	○	○	○	○
18	END	◎	◎	◎	◎

◎必須、○省略可

簡易き裂進展評価法が対応できる材料特性について示します。

評価法	応力ひずみ関係 (静的、動的)		クリープひずみ式	
	Ludwik	Ramberg=Osgood	Black=burn	Norton 則
JNC 法	○ (適用可)	× (適用不可)	○	×
電中研法	○	○	○	○

1 2. 1. 1 REALP カード

	10	20	30	40	50			
A	REALP	<i>excri</i>	<i>expfm</i>	<i>exfal</i>	<i>exdef</i>	<i>ndrul</i>	<i>ktype</i>	<i>nsampl</i>
	60	70	80					
	<i>nopcr</i>	<i>nopfm</i>	<i>kudes</i>	<i>krnd</i>	<i>kpre</i>	<i>kiint</i>		

REAL-P 全体の処理の流れを設定します。零若しくは無記入の場合実行しません。*nopcr* 及び *nopfm* に 1 を入力した場合、き裂発生及びき裂進展について決定論的な計算を行います。簡易き裂進展評価法は、JNC 法と電中研法より選択できます。JNC 法はを選択した場合、応力ひずみ関係は Ludwik 型式のみ対応しています。電中研法は、Ludwik 及び Ramberg-Osgood 型式どちらも選択可能です。*ndrul* は、き裂発生確率計算時のクリープ損傷則を定めます。延性損耗則を選択した場合、CRITE カードで破断延性を入力する必要があります。*kpre*=1 と入力すると、き裂進展破損確率の結果を保存します。この保存データは、PFAIL カードで破損確率を算出する場合に入力データとして指示できます。なお、不安定破壊確率評価は電中研法のみ対応しています。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	REALP と記入	*
	11~15	整数	<i>excri</i>	0: 実行しません。 1: き裂発生評価の計算を行います	0
	16~20	整数	<i>expfm</i>	0: 実行しません。 1: 欠陥無しき裂進展評価の計算を行います。	0

21~25	整数	<i>exfal</i>	0: 実行しません。 1: 破損確率の計算を行います。	0
26~30	整数	<i>exdef</i>	0: 実行しません。 1: 初期欠陥有りき裂進展評価の計算を行います。	0
31~35	整数	<i>ndrul</i>	クリープ損傷則 の選択 0: 時間消費則 1: 延性損耗則 延性損耗則を選択した場合、CRITE カードで破断延性を 入力します。入力しない場合、22%で設定されます。	0
36~40	整数	<i>ktype</i>	簡易き裂進展評価法 の選択 0: INC 法 1: 電中研法 2: 簡易き裂進展評価法を用いないき裂進展評価法、き裂進 展速度のみで計算	0
41~50	整数	<i>nsampl</i>	き裂発生確率計算における直接サンプルによるモンテカル ロ法のサンプル数、制限はありません。	1
51~55	整数	<i>nopcr</i>	0: 層別若しくは直接サンプリングのモンテカルロ法による き裂発生確率計算を行います。 1: 決定論的に計算	0
56~60	整数	<i>nopfm</i>	0: 層別若しくは直接サンプリングのモンテカルロ法による き裂進展破損確率計算を行います。 1: 決定論的に計算	0
61~65	整数	<i>kudes</i>	き裂進展時の破損の定義 0: 破損クライテリア a_t (P_c) で評価。 1: 不安定破壊確率評価 (P_u) で評価。 2: 両者で評価 $P_f = P_u + P_c - P_u \cap P_c$	0
66~70	整数	<i>krnd</i>	乱数発生法の選択 0: 混合合同法 周期 $2^{31}-1$ 1: IMSL Visual Fortran 数値計算ライブラリ、周期 $2^{31}-1$ 2: Mersenne Twister ¹ 周期 $2^{19937}-1$	0
71~75	整数	<i>kpre</i>	初期欠陥無し及び有りき裂進展確率計算結果の保存指示 0: 保存しません。 1: 保存します。 保存するファイル名は以下の通りである。これらのデー タは、PFAIL カードの入力名となり破損確率を算出するた めに用いられます。 初期欠陥無し: 入力データ.fds (ISI 考慮、簡易版 $kiint=0$)、 入力データ.pds (ISI 考慮、詳細版 $kiint=1$) 初期欠陥有り: 入力データ.dds	0
76~80	整数	<i>kiint</i>	ISI 有りのき裂発生+進展の組合せ計算方法を選択 0: ISI 間隔を考慮します (簡易版)。 1: ISI 間隔を考慮します (詳細版)。	0

1 2. 1. 2 TITLE カード

	10	20	30	40	50
A	TITLE			title	
	60	70	80		

タイトルを記入します。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	TITLE と記入	*
	11~80	和英数字	title	コメント行	

1 2. 1. 3 COND カード

	10	20	30	40	50
A	COND	temp	strss	etd	htime
	60	70	80		
	ytime	dytim	isptr		
	10	20	30	40	50
B1	TENS	smt	sbt	spt	sgbt
	10	20	30	40	50
B2	COMP	smc	sbc	spc	sgbc
	10	20	30	40	50
C1	TENSA	st0	st1	st2	st3
	60	70	80		
	st4				
	10	20	30	40	50
C2	COMPA	sc0	sc1	sc2	sc3
	60	70	80		
	sc4				

解析条件の設定を行います。温度及び保持時間は、き裂発生及びき裂進展解析の共通の条件です。応力緩和計算の初期応力の選択は、*isptr=0* の時 *strss* にひずみ範囲を *isptr=1* の時公称応力を入力します。公称応力を選択した場合、確率変数のひずみ範囲 DEPT の分布は有効でなくなり、公称応力 NSTR の分布が有効になります。B1~C2 カードは、き裂進展解析の荷重条件を設定するカードです。基準表面は、き裂が存在する側が表面となります。TENS は、引張側、COMP は圧縮側の荷重条件を入力します。TENSA 及び COMPA カードは、円筒モデルの断面に作用する応力状態を多項式近似した場合にその係数を入力します。このカードは、簡易き裂進展評価法が電中研法のみ有効で TENS、COMP カードと共に入力します。各応力成分の与え方は、図 3.1 を参照して下さい。またき裂進展解析の荷重条件において、JNC 法と電中研法では入力方法が異なるので注意して下さい。

「応力分布の設定」

JNC 版 : 膜、曲げ、ピークが有効、TENS、COMP カードで設定

電中研法 : 膜、曲げ、TENS、COMP カードで設定

板厚内応力分布、TENZA、COMPA カードで設定 (円筒断面のみ)

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	COND と記入	*
	11~20	実数	temp	温度 (°C)	*
	21~30	実数	strss	ひずみ範囲(%)若しくは公称応力 Sn、isptn で変更します。	*
	31~40	実数	etd	ひずみ速度(%/sec)	*
	41~50	実数	htime	保持時間(hr) 保持時間が零の場合、疲労計算となります。	0.0
	51~60	実数	ytime	経過時間	0
	61~70	実数	dytim	発生周期	0
	71~75	整数	isptn	き裂発生計算において、ひずみ範囲若しくは Sn で入力するかの指示。 0 : ひずみ範囲 1 : 公称応力 Sn	0
B1	6~10	英字	-	TENS と記入	*
	11~20	実数	smt	引張側膜応力	0.0
	21~30	実数	sbt	引張側曲げ応力 (基準表面値)	0.0
	31~40	実数	spt	ピーク応力、JNC 法のみ入力します。	0.0
	41~50	実数	sgbt	円筒断面梁曲げ応力、電中研法のみ入力します。	0.0
B2	6~10	英字	-	COMP と記入	*
	11~20	実数	smc	圧縮側膜応力	0.0
	21~30	実数	sbc	圧縮側曲げ応力 (基準表面値)	0.0
	31~40	実数	spc	ピーク応力、JNC 法のみ入力します。	0.0
	41~50	実数	sgbc	円筒断面梁曲げ応力、電中研法のみ入力します。	0.0
C1	6~10	英字	-	TENZA と記入、簡易き裂進展評価法が電中研法の時有効。	*
	11~20	実数	st0	断面に作用される引張側応力状態の近似式 $\sigma(w/t) = \sigma_0 + \sigma_1(u/t) + \sigma_2(u/t)^2 + \sigma_3(u/t)^3 + \sigma_4(u/t)^4$ の σ_0 を入力します。	0.0
	21~30	実数	st1	引張側応力状態の近似式の係数 σ_1 を入力する。	0.0
	31~40	実数	st2	引張側応力状態の近似式の係数 σ_2 を入力する。	0.0
	41~50	実数	st3	引張側応力状態の近似式の係数 σ_3 を入力する。	0.0
	51~60	実数	st4	引張側応力状態の近似式の係数 σ_4 を入力する。	0.0
C2	6~10	英字	-	COMPA と記入、簡易き裂進展評価法が電中研法の時有効。	*
	11~20	実数	sc0	断面に作用される圧縮側応力状態の近似式 $\sigma(w/t) = \sigma_0 + \sigma_1(u/t) + \sigma_2(u/t)^2 + \sigma_3(u/t)^3 + \sigma_4(u/t)^4$ の σ_0 を入力します。	0.0
	21~30	実数	sc1	圧縮側応力状態の近似式の係数 σ_1 を入力します。	0.0
	31~40	実数	sc2	圧縮側応力状態の近似式の係数 σ_2 を入力します。	0.0

	41~50	実数	sc3	圧縮側応力状態の近似式の係数 σ_3 を入力します。	0.0
	51~60	実数	sc4	圧縮側応力状態の近似式の係数 σ_4 を入力します。	0.0

1 2. 1. 4 MATER カード

	10	20	30	40	50			
A	MATER	matno	isstp	idytp	rflyp	icrtp	kstat	
	10	20	30	40	50			
B1	STSS	nstat		elast	sigy	k		
	60	70	80					
	m	pois	s0					
	10	20	30	40	50			
B2	DYSS	ndyss		sgp	kd			
	60	70	80					
	md							
	10	20	30	40	50			
B3	CREEP	ncreep	B	m				
	10	20	30	40	50			
B4	FATPR		ef	mf				
	10	20	30	40	50			
B5	CRPPR	mcrpr	Cc	mc	ef			
	60	70	80					
	ef2	ef3						
	10	20	30	40	50			
B6	CFAPR	kcfa	kcftp	a0	a1	a2		
	60	70	80					
	a3	a4	a5					
	10	20	30	40	50			
C1	m	x1	y1	x2	y2			
	60	70	80					
	x3	y3						
	10	20	30	40	50			
Cn		xn-2	yn-2	xn-1	yn-1			
	60	70	80					
	xn	yn						

MATER カードは材料物性値を入力するカードです。材料ライブラリを利用する場合は、A カードのみ入力します。材料ライブラリを参照せず材料物性を変更したい場合は、B1 から B5 を任意に入力します。材料ライブラリは、表 3.2 で示す材料の他に電中研法については SUS304 及び 316FR の Ramberg-Osgood の動的応力ひずみ関係と Norton 則のクリープひずみ速度式も含んでいます。B1 から B5 で入力した材料特性は、材料ライブラリより優先し不足し

ている材料特性はライブラリ参照となります。ただし、き裂進展進展速度はライブラリ化していないので、き裂進展解析を行う場合は必ず入力する必要があります。疲労破損式は、ひずみ範囲及び疲労寿命に掛かる係数を任意に設定することが可能です。また、両者の係数を考慮したフェアリングや材料強度基準値の設計疲労線図で評価することも可能です。なお、B1 から B5 カードで材料特性を設定した場合、温度分布効果は考慮されないので注意して下さい。B6 カードは、REALP カードで $ktype=2$ と指定した場合、有効になります。き裂進展パラメータを用いないで、与えられたき裂進展速度のみでき裂進展評価を行います。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	MATER と記入	*
	11~15	整数	<i>matno</i>	材料ライブラリ参照の番号 表 3.2 参照	*
	16~20	整数	<i>isstp</i>	き裂発生確率計算時の応力ひずみ関係(Ludwik JNC)の種類 0: 静的, 1: 動的	0
	21~25	整数	<i>idytp</i>	き裂進展寿命計算時の応力ひずみ関係の種類 0: 動的(Ludwik JNC) 1: 動的 (Ramberg-Osgood 電中研) 2: 静的(Ludwik JNC) 3: 静的 (Ramberg-Osgood 電中研) [注意] Ramberg-Osgood 電中研は、SUS304 および 316FR のみ対応しています。	0
	26~30	整数	<i>nftyp</i>	疲労破損式の種類。 0 or 空白: 平均傾向 1: ひずみ範囲に係数を乗じた疲労破損式を採用 2: 疲労寿命に係数を乗じた疲労破損式を採用 3: ひずみ範囲及び疲労寿命の係数を基にフェアリングを実施 4: 設計疲労線図を採用 5: 表面き裂 0.5mm の疲労き裂が発生する寿命に基づき定められた最適疲労き裂発生式を採用(付録 A 参照) [注意]nftyp=1,2,3 の場合、COFIN カードでひずみ範囲及び疲労寿命の係数を入力します。	0
	31~35	整数	<i>icrtp</i>	クリープひずみ速度の種類 0: Blackburn 型式, 1: Norton 則	0
	36~40	整数	<i>kstat</i>	不安定破壊確率評価に用いる単調応力ひずみ関係式の種類を選択します。 0: Ludwik 型式, 1: Ramberg-Osgood 式	0
B1	6~10	英字	-	STSS と記入	*
	11~15	整数	<i>nstat</i>	単調応力ひずみ関係式の種類 0: Ludwik 型 1: Ramberg-Osgood 型	0
	21~30	実数	<i>elast</i>	弾性定数(N/mm ²)	*
	31~40	実数	<i>prolm</i>	降伏応力 (σ_y) (N/mm ²)、Ramberg-Osgood 型の場合、入力する必要はありません。	*

	41~50	実数	k	硬化パラメータ k	*
	51~60	実数	m	硬化パラメータ m 、Ramberg-Osgood 型の場合 n	*
	61~70	実数	$pois$	ポアソン比	0.3
	71~80	実数	$s0$	応力ひずみ関係式 Ramberg-Osgood 式の基準応力を入力します。	*
B2	6~10	英字	-	DYSS と記入	*
	11~15	整数	$ndyss$	動的応力ひずみ関係式の種類、0 : Ludwik 型、1 : Ramberg-Osgood 型	0
	31~40	実数	sgp	$ndyss=0$: Ludwik 型式の比例限 (N/mm^2) $ndyss=1$: Ramberg-Osgood 式の基準応力 (N/mm^2)	*
	41~50	実数	kd	動的応力ひずみ関係の硬化パラメータ k	*
	51~60	実数	md	動的応力ひずみ関係の硬化パラメータ m 、Ramberg-Osgood 型の場合 n	*
B3	6~10	英字	-	CREEP と記入	*
	11~15	整数	$ncreep$	1 と記入、Norton 近似式のみ対応。	1
	21~30	実数	B	Norton 近似式材料定数 ($mm/mm/hr$)	*
	31~40	実数	m	Norton 近似式クリープ指数	*
B4	6~10	英字	-	FATPR と記入	*
	21~30	実数	cf	疲労き裂進展パラメータ cf	*
	31~40	実数	mf	疲労き裂進展パラメータ mf	*
B5	6~10	英字	-	CRPPR と記入	*
	11~15	整数	$mcrpr$	破断延性修正係数 ϵf について、下限値及び上限値の設定指示を行います。 0 : 制限を設けません。 1 : ϵf が 0.2 を下回る場合は 0.2、1.6 超える場合は 1.6 として計算を行います。	0
	21~30	実数	Cc	クリープき裂進展パラメータ Cc	*
	31~40	実数	mc	クリープき裂進展パラメータ mc	*
	41~50	実数	ef	破断延性修正係数 ϵf を入力する。若しくは、累積高温使用時間 tr を関数にした破断延性修正係数のパラメータを入力します。定数の場合、 ef のみ入力します。 $\tilde{\epsilon}_f = (ef + ef2 \times \log_{10} tr) \exp \left[\frac{ef3}{T + 273.15} \right]$	1.0
	51~60	実数	$ef2$	上式のパラメータ $ef2$	0.0
	61~70	実数	$ef3$	上式のパラメータ $ef3$	0.0
B6	6~10	英字	-	CFAPR と記入	*
	11~15	整数	$kcfa$	き裂進展速度式のタイプ、REALP カードの $ktype=2$ で有効になります。 0 : 定数 1 : き裂深さ a を関数としたき裂進展速度式 2 : き裂深さ a とき裂進展速度の関係をテーブルで与えます。	0

	16~20	整数	<i>kcftp</i>	き裂深さ a の型 0:線型 1:対数	0
	21~30	実数	<i>a0</i>	き裂進展速度とき裂深さの関係式が次式で示されている時の係数 a0 を入力します。 <i>kcfa=0</i> の時は、定数値のき裂速度を入力します。 $da/dN=a0+a1X+a2X^2+a3X^3+a4X^4+a5X^5$ $x=a \text{ or } \log(a)$	0.0
	31~40	実数	<i>a1</i>	き裂進展速度とき裂深さの関係式が上式で示されている時の係数 a1 を入力します。	0.0
	41~50	実数	<i>a2</i>	き裂進展速度とき裂深さの関係式が上式で示されている時の係数 a2 を入力します。	0.0
	51~60	実数	<i>a3</i>	き裂進展速度とき裂深さの関係式が上式で示されている時の係数 a3 を入力します。	0.0
	61~70	実数	<i>a4</i>	き裂進展速度とき裂深さの関係式が上式で示されている時の係数 a4 を入力します。	0.0
	71~80	実数	<i>a5</i>	き裂進展速度とき裂深さの関係式が上式で示されている時の係数 a5 を入力します。	0.0
C1	6~10	整数	<i>m</i>	<i>kcfa=2</i> : き裂深さとき裂進展速度の関係をテーブルで入力する場合の組数	
	11~20	実数	<i>x1</i>	き裂深さ a を小さい方から入力します。	
	21~30	実数	<i>y1</i>	き裂進展速度 da/dN を小さい方から入力します。	
	31~40	実数	<i>x2</i>	き裂深さ a	
	41~50	実数	<i>y2</i>	き裂進展速度 da/dN	
	51~60	実数	<i>x3</i>	き裂深さ a	
Cn	61~70	実数	<i>y3</i>	き裂進展速度 da/dN	
	11~20	実数	<i>xm-2</i>	き裂深さ a	
	21~30	実数	<i>ym-2</i>	き裂進展速度 da/dN	
	31~40	実数	<i>xm-1</i>	き裂深さ a	
	41~50	実数	<i>ym-1</i>	き裂進展速度 da/dN	
	51~60	実数	<i>xm</i>	き裂深さ a 最終値	
61~70	実数	<i>ym</i>	き裂進展速度 da/dN 最終値		

1 2. 1. 5 COFIN カード

	10	20	30	40	50
A	COFIN	<i>alpr</i>	<i>alpc</i>	<i>q</i>	<i>alpha</i>
	60	70	80		
	<i>beta</i>	<i>cofidc</i>	<i>gqep</i>		

き裂発生確率計算を行う場合の各種パラメータを設定します。このカードを入力しない場合は、 $\alpha R = \alpha c = 1$ 、疲労破損式は平均傾向をクリープ損傷に掛かる係数は1として計算します。クリープひずみ速度式を Norton 則で選択した場合、 αR のみ有効でクリープ損傷に反映されません。疲労破損式は、ひずみ範囲及び疲労寿命に掛かる係数(ファクター値)を入力することで平均値に対する予測寿命を変化させることが可能です。例えば、設計疲労線図をと同等にしたい

場合は、 $\alpha=2$ 、 $\beta=20$ を入力します。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	COFIN と記入	*
	11~20	実数	<i>alpr</i>	クリープ時間係数 αR	1.0
	21~30	実数	<i>alpc</i>	クリープ時間係数 αc	1.0
	31~40	実数	<i>q</i>	き裂発生時のクリープに関する弾性追従係数	1.0
	41~50	実数	<i>alpha</i>	疲労破損式のひずみ範囲掛かる係数 α	1.0
	51~60	実数	<i>beta</i>	疲労破損式の疲労寿命に掛かる係数 β	1.0
	61~70	実数	<i>cofalc</i>	クリープ損傷に掛かる係数	1.0
	71~80	実数	<i>gqep</i>	公称応力 S_n を指示した場合の弾塑性応力ひずみ関係の弾性追従係数。COND カードの <i>isptr</i> =1 で有効。	1.0

1 2. 1. 6 COFPF カード

	10	20	30	40	50
A	COFPF	<i>qep</i>	<i>qc</i>	<i>alpc</i>	<i>mfmng</i>
	60	70	80		
	<i>mcmng</i>	<i>njnc</i>	<i>ucrei</i>		

き裂進展計算時の弾性追従係数及びクリープ時間係数を設定します。*mfmng* 及び *mcmng* は、それぞれ MATER カードで設定した疲労き裂進展速度及びクリープ進展速度に掛かる係数です。*ucrei*、電中研法の簡易き裂進展評価法の場合に有効になるき裂開口比 U です。*njnc* は、JNC 法のき裂簡易評価法の場合に有効になるき裂開口を考慮する係数 n です。

• JNC 法

$$\Delta K_{eff} = qclos \cdot \Delta K$$

$$qclos = (1 - R)^{n-1}$$

ただし、 $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$

$R \geq 0$: $n=1$ (従って、 $qclos=1$)

$R < 0$: $n=0$ (従って、 $qclos=1/(1-R)$) 標準で設定されています。

njnc は $R < 0$ の場合の n を入力します。 n と $qclos$ の関係を以下に示します。

n	$qclos (R=-1)$
0	0.5
0.138	0.55
0.263	0.6
0.379	0.65
0.485	0.7
0.585	0.75
0.678	0.8
0.766	0.85

0.848	0.9
0.926	0.95
1	1

は標準値

● 電中研法

$$\Delta J_f = U \cdot F \cdot \Delta J_e$$

$$F = \frac{\Delta \sigma_{ref}^{EP} \cdot \Delta \epsilon_{ref}^{EP}}{\Delta \sigma_{ref}^E \cdot \Delta \epsilon_{ref}^E} \cdot \Delta J_e$$

標準でU=1.0が設定されています。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	COFPF と記入	*
	11~20	実数	<i>qep</i>	き裂進展時の弾塑性変形に関する弾性追従係数	1.0
	21~30	実数	<i>qc</i>	き裂進展時のクリープ変形に関する弾性追従係数	1.0
	31~40	実数	<i>alpcc</i>	き裂進展時のクリープ変形に関する時間係数	10.0
	41~50	実数	<i>mfmg</i>	疲労き裂進展速度に掛かる倍率	1.0
	51~60	実数	<i>mcmg</i>	クリープき裂進展速度に掛かる倍率	1.0
	61~70	実数	<i>njnc</i>	き裂開口を考慮する係数 n、簡易き裂進展評価法が JNC 法の場合に有効、 <i>njnc</i> =0~1.0	0.0
	71~80	実数	<i>ucrei</i>	き裂開口比 U、簡易き裂進展評価法が電中研法の場合に有効。ただし、 $0 < ucrei$	1.0

1 2. 1. 7 PROB カード

	10	20	30	40	50
A	PROB	<i>corre</i>			
	10	20	30	40	50
B1	<i>label</i>	<i>itype</i>	<i>ltype</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>
	60	70	80		
	<i>pmin</i>	<i>pmax</i>	<i>cept</i>		

確率変数の確率分布特性及びクリープひずみ時間パラメータ αR 、 αc の相関係数を設定します。相関係数は、 αR 及び αc が正規分布の確率変数の場合に有効です。零の場合相関係数を考慮しない計算が行われます。B カードで入力した材料特性は確率変数として確率分布に従った計算を行い、入力しなければ材料特性は平均傾向値を用います。各変数の平均値は、き裂特性の一部を除き予測値に対する相対値です。材料特性の平均傾向値を用いるとすれば、確率変数の平均値は1となります。標準偏差も同様に実測値/予測値の分布より算出したものです。*itype*=0を指定した場合、定数値は *p1* に物性値を乗じた値になります。REALP カードで決定論的な計算を指示をした場合も、*p1* に物性値を乗じた値になりますがワイブル分布の平均値はガンマー関数と母数から求めた値を採用します。分布関数の下限値及び上限値は、表 11.2 を参照して下さい。また、アスペクト比については *c/a* の分布データを入力することに注意して下さい。

い。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	PROB と記入	*
	21~30	実数	<i>corre</i>	クリープひずみ挙動の α_R と α_c の相関係数	0
B	6~10	英字	<i>label</i>	確率変数の識別名 表 12.1 参照	*
	11~15	整数	<i>itype</i>	確率分布関数の設定 0: 定数 1: 正規分布 2: 指数分布 3: ワイブル分布。	0
	16~20	整数	<i>ltype</i>	変数の型、0: 線型 1: 対数	0
	21~30	実数	<i>p1</i>	相対値 (実測値/予測値) の平均値を入力します。ワイブル分布の場合位置母数を入力します。	1.0
	31~40	実数	<i>p2</i>	標準偏差 (実測値/平均値) を入力します。対数型の場合は、対数標準偏差を入力する。指数分布の場合、下限値を入力する。ワイブル分布の場合、尺度母数を入力します。	1.0
	41~50	実数	<i>p3</i>	ワイブル分布の場合、形状母数を入力します。	1.0
	51~60	実数	<i>pmin</i>	下限値	*
	61~70	実数	<i>pmax</i>	上限値	*
	71~80	実数	<i>cept</i>	ラベル=FATGH の場合に有効。疲労寿命を2つの分布で表す時に設定します。低ひずみ側と高ひずみ側の区分するひずみ範囲(%)を入力します。	0.5

12. 1. 8 STRAT カード

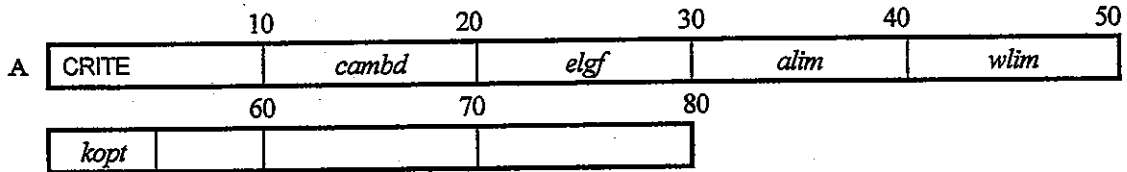
	10	20	30	40	50
A	STRAT	<i>nstra</i>	<i>modes</i>	<i>ndsmp</i>	<i>nint</i>
	10	20	30	40	50
B1	<i>nsp11</i>	<i>xstr11</i>	<i>xstr1u</i>		
	10	20	30	40	50
Bn	<i>nsp1n</i>	<i>xstr1l</i>	<i>xstr1u</i>		

き裂発生確率計算において、層別サンプリングによるモンテカルロ法で計算する場合に入力します。層別サンプリングの対象となる確率変数の識別番号を *nstra* に入力します。空白 (零) の場合、層別サンプリングは行われず直接サンプリングによる解析となり B1~Bn カードは有効でなくなります。セル分割は、分割数を入力する等分割とユーザーが任意に設定できる2つの方法があります。等分割 *modes=0* をとした場合、PROB カードの対象となる確率変数の最大値及び最小値を分割数 *nint* で等分に分割します。手動分割 *modes=1* を選択した場合、層別サンプリングの対象となる確率変数に対し、B1 から Bn カードに PROB カードで示した下限値から上限値を任意に分割し入力します。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	STRAT と記入。	*

	11~15	整数	<i>nstra</i>	層別サンプリングの対象となる確率変数の識別番号1~5より選択します。空白の場合、直接サンプリングによるモンテカルロ法で計算します。表12.1を参照	0
	16~20	整数	<i>modes</i>	層別の分割のタイプを入力します。 0:等分割 1:手動 1を入力した場合、B1 から Bn カードを入力する必要があります。	0
	21~25	整数	<i>ndsmp</i>	層別サンプリングの1区間内サンプル数を <i>ndsmp</i> 倍する。等分割 <i>ndsmp</i> =0 の場合、1区間当たりのサンプル数を入力します。	1
	26~30	整数	<i>nint</i>	分割数を入力	30
B1	6~10	整数	<i>nspll</i>	区間1のサンプル数	100
	11~20	実数	<i>xstrll</i>	区間1の下限值	*
	21~30	実数	<i>xstrlu</i>	区間1の上限值	*
Bn	6~10	整数	<i>nsplu</i>	区間 <i>nint</i> サンプル数	100
	11~20	実数	<i>xstrnl</i>	区間 <i>nint</i> の下限値	*
	21~30	実数	<i>xstrnu</i>	区間 <i>nint</i> の上限値	*

12. 1. 9 CRITE カード



クリープ疲労き裂発生サイクルを算出するためのキャンベル線図のクライテリア、延性損耗則の破断延性等を定めます。き裂進展に関しては、き裂深さ方向及び長さ方向の破損限界を定めます。破損の定義をき裂深さの破損限界のみで評価する場合は、表面き裂長さ方向のき裂限界 (*c/w*) を大きな数値例えば 10、100 等を入力することを勧めます。初期のき裂深さの分布において、進展解析をする前にき裂深さが破損限界を超えた場合の破損確率の扱いを指示します。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	CRITE と記入	*
	11~20	実数	<i>cambd</i>	キャンベル線図の折れ曲がり点。空白の場合、時間消費則は 0.3、延性損耗則は 0.5 となります。0 < <i>cambd</i> ≤ 0.5	0.3, 0.5
	21~30	実数	<i>elgf</i>	延性損耗則の破断延性(%)。	22
	31~40	実数	<i>alim</i>	表面き裂深さ方向の破損限界 (<i>a/t</i>)	0.8
	41~50	実数	<i>wlim</i>	表面き裂長さ方向の破損限界(<i>c/w</i>)	0.8
	51~55	整数	<i>kopt</i>	初期破損の扱い。 0: 発見され補修されたとし、破損確率に計上しません。 1: 破損したとし N=0 に破損確率を計上します。	0

12. 1. 10 GEOM カード

	10	20	30	40	50
A	GEOM	<i>shape</i>	<i>ncra</i>	$w(R)t$	<i>thick</i>
	10	20	30	40	50
B		<i>depoc</i>	<i>carck</i>		

き裂進展解析のき裂モデルの設定をします。REALP カードで決定論的なき裂進展解析 $swpfm=1$ とした場合、B カードで入力されたき裂形状に対しき裂進展解析を行います。*ncra* の数だけ初期き裂深さと表面長さを B カードで入力します。初期表面き裂長さは、実長さの 1/2 を入力します。き裂モデル形状の寸法の入力は、図 12.2~12.7 を参照して下さい。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	GEOM	*
	11~15	整数	<i>shape</i>	=1 半楕円表面き裂平板 =2 円筒の周方向断面半楕円内面表面き裂 =3 円筒の周方向断面半楕円外面表面き裂 =4 円筒の軸方向断面半楕円内面表面き裂 =5 円筒の軸方向断面半楕円外面表面き裂 =6 円筒の周方向断面内面全周き裂 =7 円筒の周方向断面外面全周き裂	1
	16~20	整数	<i>ncra</i>	初期き裂形状のデータ数。max=30、 $swpfm=1$ の時有効。	0
	31~40	実数	$w(R)$	平板の場合半板幅 W、円筒の場合内半径 R	*
	41~50	実数	<i>thick</i>	板厚 t	*
B	11~20	実数	<i>depoc</i>	初期き裂深さ a	*
	21~30	実数	<i>carck</i>	初期表面き裂長さ (半長) c	*

12. 1. 11 PISI カード

	10	20	30	40	50
A	PISI	<i>npsi</i>	<i>nisi</i>	<i>inte</i>	
	10	20	30	40	50
B1	PSI	<i>model</i>	<i>itype</i>	<i>ltype</i>	<i>pm1</i>
	60	70	80		
	<i>pm3</i>	<i>cofp</i>			
	10	20	30	40	50
B2	ISI	<i>model</i>	<i>itype</i>	<i>ltype</i>	<i>pm1</i>
	60	70	80		
	<i>pm3</i>	<i>cofp</i>			

PSI、ISI の設定を行う。PSI は、初期欠陥有りのき裂進展解析のみ有効です。ISI は $nisi > 0$ で有効となりその数値は ISI が始まるサイクル数になります。*inte* は、ISI が始まる時間からの繰り返しインターバルです。ISI を 1 回のみ行う場合は、経過時間を超える時間 *inte* を入力します。B1 及び B2 カードの入力した数が 1 回当たりの欠陥検出操作の回数となり最大 3 回まで設定で

きます。なお欠陥検出モデルは、以下より選択します。このカードを入力しない場合若しくは B1 及び B2 カードが入力しない場合は、検査を行いません。

- **model=0** PNL モデル、標準のき裂検出モデル

2.7 PSI 及び ISI の設定を参照。

$$Pd = \phi (Pm1 + Pm2 \times \ln (a/t))$$

- **model=1** PNL モデル以外のき裂深さで分布関数を表示できるモデル

- ① 正規分布の場合

$$Pd = \phi \left(\frac{a - pm1}{pm2} \right)$$

pm1 : 平均値 pm2 : 標準偏差 (対数標準偏差)

- ② 指数分布の場合

$$Pd = 1 - \exp \left(- \frac{a - pm2}{pm1} \right)$$

pm1 : 平均値

- ③ ワイブル分布の場合

$$Pd = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{a - pm1}{pm2} \right)^{pm3} \right\}$$

pm1 : 位置母数 pm2 : 尺度母数 pm3 : 形状母数

a : き裂深さ(mm) t : 板厚(mm)

- **model=2** PNL モデル以外のき裂長さで分布関数を表示できるモデル

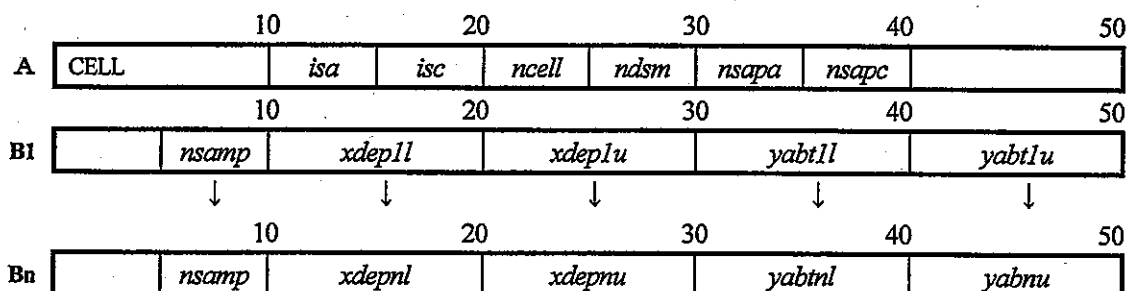
分布関数は、model=1 においてき裂深さをき裂長さに置き換えた関数を使用します。ここで、き裂長さは半長ではなく全長です。

確実にき裂が発見される割合が一定の場合は *cofp* を設定します。この場合、上記の検出モデルは無視されます。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	—	PSI と記入	*
	11~15	整数	<i>npsi</i>	PSI の設定、0 : 無効 1 : 有効	0
	21~30	実数	<i>nisi</i>	ISI の設定 0 : 無効 0.0 < nisi : 有効、ISI が行われる最初の時間	0.0
	31~40	実数	<i>inte</i>	ISI のインターバル	0.0
B1	6~10	英字	—	PSI と記入	*
	11~15	整数	<i>model</i>	き裂検出モデルの番号を入力	0
	16~20	整数	<i>itype</i>	確率分布関数の設定、 <i>model=1,2</i> に有効、1 : 正規分布 2 : 指数分布 3 : ワイブル分布。	1
	21~25	整数	<i>ltype</i>	変数の型、 <i>model=1,2</i> に有効、0 : 線型 1 : 対数	0
	31~40	実数	<i>ppsl</i>	パラメータ 1 を入力	0.0

	41~50	実数	<i>pps2</i>	パラメータ 2 を入力	0.0
	51~60	実数	<i>pps3</i>	パラメータ 3 を入力	0.0
	61~70	実数	<i>cofp</i>	確実にき裂が発見される割合 $0 < cofp < 1$	0.0
B2	6~10	英字	-	ISI と記入	*
	11~15	整数	<i>model</i>	き裂検出モデルの番号を入力	0
	16~20	整数	<i>itype</i>	確率分布関数の設定、 <i>model</i> =1,2 に有効、定数 1:正規分布 2:指数分布 3:ワイブル分布。	1
	21~25	整数	<i>itype</i>	変数の型、 <i>model</i> =1,2 に有効、0:線型 1:対数	0
	31~40	実数	<i>pps1</i>	パラメータ 1 を入力	0.0
	41~50	実数	<i>pps2</i>	パラメータ 2 を入力	0.0
	51~60	実数	<i>pps3</i>	パラメータ 3 を入力	0.0
	61~70	実数	<i>cofp</i>	確実にき裂が発見される割合 $0 < cofp < 1$	0.0

1 2. 1. 1 2 CELL カード

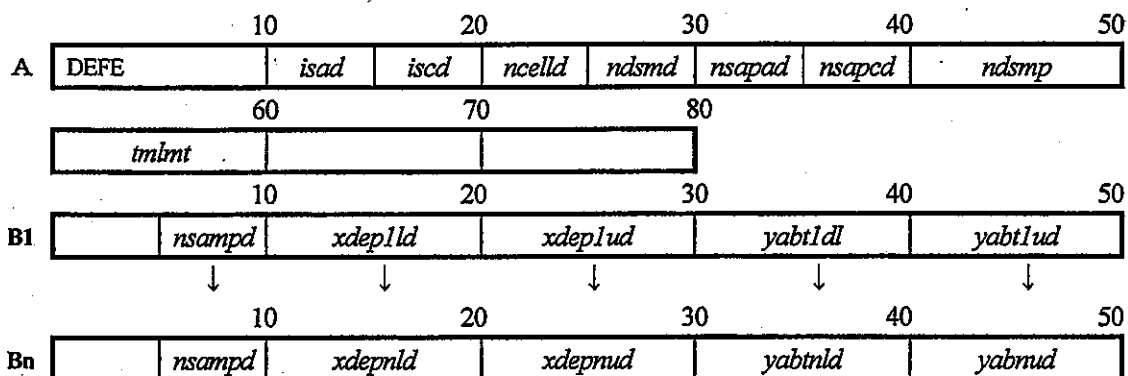


初期欠陥無しのみき裂進展破損確率計算において、層別サンプリングの設定を行います。層別サンプリングの対象となる確率変数は、 a/t 及び a/c で、両方若しくはどちらか一方を層別サンプリングに設定した計算が可能です。セル分割は、分割数を入力する等分分割とユーザーが任意に分割を設定できる方法があります。セル分割を手動とした場合 B1~Bn カードの数がセルの分割数となります。また、等分割で a/t と a/c の両方を選択した場合、セルの数は $nsapa \times nsapc$ です。セル全体の最大値と最小値は、必ず PROB カードで設定した上限値と下限値に合わせます。なお、セルの数は等分割では制限はなく任意設定では最大 50000 個までです。また、1セル内のサンプル数の上限はメモリの容量が許す限り設定可能です。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	CELL と記入。	*
	11~15	整数	<i>isa</i>	0: a/t の層別サンプリングは行いません。 1: a/t の層別サンプリングの指示	0
	16~20	整数	<i>isc</i>	0: a/c の層別サンプリングは行いません。 1: a/c の層別サンプリングの指示	0
	21~25	整数	<i>ncell</i>	セルの分割について、 0: 等分割 1: 任意設定	0

	26~30	整数	<i>ndsm</i>	1区間内サンプル数を <i>ndsm</i> 倍する。 <i>ncell</i> =0の場合、1セル当たりのサンプル数を入力。	1
	31~35	整数	<i>ndsma</i>	セルの分割を 0：等分割と選択した場合の確率変数 a/t 分割数。	10
	36~40	整数	<i>ndsmc</i>	セルの分割を 1：等分割と選択した場合の確率変数 a/c 分割数。	10
B1	6~10	整数	<i>nsamp</i>	セル1内サンプル数	100
	11~20	実数	<i>xdepll</i>	a/t セル1の下限值	*
	21~30	実数	<i>xdeplu</i>	a/t セル1の上限值	*
	31~40	実数	<i>yabtl1</i>	a/c セル1の下限值	*
	41~50	実数	<i>yabtlu</i>	a/c セル1の上限值	*
Bn	6~10	整数	<i>nsamp</i>	セル <i>nabt</i> 内サンプル数	100
	11~20	実数	<i>xdeprl</i>	a/t セル <i>n</i> の下限値	*
	21~30	実数	<i>xdepru</i>	a/t セル <i>n</i> の上限値	*
	31~40	実数	<i>yabtr1</i>	a/c セル <i>n</i> の下限値	*
	41~50	実数	<i>yabtru</i>	a/c セル <i>n</i> の上下限値	*

12. 1. 13 DEFE カード



初期欠陥有りのき裂進展破損確率計算において、層別サンプリングの設定を行います。層別サンプリングの対象となる確率変数は、 a/t 及び a/c である。それぞれ単独でも可能です。両者をどちらも選択しない $isad=iscd=0$ の場合、直接サンプリングによる確率計算となります。セル分割は、分割数を入力する等分割とユーザーが任意に分割設定できる方法があります。セル全体の最小値と最大値は、必ず PROB カードで設定した上限値と下限値に合わせます。セルの個数は、任意設定で最大 50000 個であるが等分割では無制限です。1セル当たりのサンプル数もメモリの容量が許す限り設定可能です。なおここで参照されるき裂深さの確率分布は、表 12.1 の識別番号 29 の初期欠陥の分布です。このカードの設定は、CELL カードと同一でき裂深さ分布が異なるだけです。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	DEFE と記入。	*
	11~15	整数	<i>isad</i>	0： a/t の層別サンプリングは行いません。 1： a/t の層別サンプリングの指示	0

	16~20	整数	<i>iscd</i>	0: a/cの層別サンプリングは行いません。 1: a/cの層別サンプリングの指示	0
	21~25	整数	<i>ncelld</i>	セルの分割のタイプ 0: 等分割 1: 任意設定	0
	26~30	整数	<i>ndsmd</i>	1 区間内サンプル数を <i>ndsm</i> 倍します。 <i>ncell</i> =0 の場合、1セル当たりのサンプル数を入力。また、 直接サンプリングの計算の場合サンプル数になります。	1
	31~35	整数	<i>ndsmad</i>	等分割とした場合の確率変数 a/tセル分割数。	10
	36~40	整数	<i>ndsmcd</i>	等分割とした場合の確率変数 a/cセル分割数。	10
	41~50	整数	<i>ndsmp</i>	直接サンプリングの場合のサンプル数、空白の場合 REALP カードの <i>nsamp</i> で設定したサンプル数になります。	
	51~60	実数	<i>tmlmt</i>	直接サンプリングの場合、き裂進展解析の最大有効時間を入力します。空白の場合、 <i>tmlmt</i> = <i>htime</i> ×100 に置き換えます。	
B1	6~10	整数	<i>nsampd</i>	セル1内サンプル数	100
	11~20	実数	<i>xdeplld</i>	a/tセル1の下限值	*
	21~30	実数	<i>xdeplud</i>	a/tセル1の上限值	*
	31~40	実数	<i>yabtlld</i>	a/cセル1の下限值	*
	41~50	実数	<i>yabt lud</i>	a/ctセル1の上限值	*
Bn	6~10	整数	<i>nsampd</i>	セルnabt内サンプル数	100
	11~20	実数	<i>xdepnld</i>	a/tセルnの下限值	*
	21~30	実数	<i>xdepnud</i>	a/tセルnの上限值	*
	31~40	実数	<i>yabtnld</i>	a/cセルnの下限值	*
	41~50	実数	<i>yabmud</i>	a/cセルnの上下限值	*

1 2. 1. 14 UNDES カード

	10	20	30	40	50
A	UNDES	<i>ges</i>	<i>zcof</i>	<i>flows</i>	

不安定破壊評価は、き裂進展全般において $Z\sigma_a \geq \sigma_f$ に達した時を不安定破壊とします。
REALP カードで不安定破壊評価を指示した場合は、必ずこのカードで必要なパラメータを設定する必要があります。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	UNDES と記入	*
	11~20	実数	<i>ges</i>	不安定破壊評価を行う場合の弾性追従係数 <i>ges</i> ≤ 0 の場合、次式で計算を行います。 $q_{ev} = 2.68 \exp \left[-2.96 \left(\frac{a}{t} - 0.5 \right)^2 \right]$	0
	21~30	実数	<i>zcof</i>	Z 係数	1.0

	31~40	実数	flows	流動応力	*
--	-------	----	-------	------	---

12. 1. 14 PFAIL カード

	10	20	30	40	50
A	PFAIL	<i>fcycle</i>	<i>pc</i>	<i>ndfct</i>	<i>icn1</i> <i>icn2</i>
	60	70	80		
	<i>icn3</i>	<i>ista</i>			
	10	20	30	40	50
B1	CRINI	<i>itype</i>	<i>ltyp</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i> <i>p3</i>
	60	70	80		
	<i>ncych</i>	<i>p4</i>	<i>p5</i>		
	10	20	30	40	50
B2	CRPFM	<i>itype</i>	<i>ltyp</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i> <i>p3</i>
	60	70	80		
	<i>ncych</i>	<i>p4</i>	<i>p5</i>		
	10	20	30	40	50
B3	CRPDF	<i>itype</i>	<i>ltyp</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i> <i>p3</i>
	60	70	80		
	<i>ncych</i>	<i>p4</i>	<i>p5</i>		
	10	20	30	40	50
C1	CRFDS			<i>file1</i>	
	60	70	80		
	10	20	30	40	50
C2	CRDDS			<i>file2</i>	
	60	70	80		

PFAIL カードは、破損確率計算を指示するデータです。*icn1*、*icn2*、*icn3* は、それぞれき裂発生確率、初期欠陥無しき裂進展確率、初期欠陥有りき裂進展確率の入力形式を示します。零と置いた場合、当該入力データ (CELL、DEFE カードで指示) で計算された確率分布で破損確率を算出します。*icn2* 及び *icn3* を 1 と入力した場合、それぞれの確率分布を B1~B3 カードで指示した関数形より算出します。*icn2* 及び *icn3* を 2 を入力した場合、確率分布データを外部から読み込みます。外部データは、REALP カードで保存指示した時に作成されるファイルで、C1 及び C2 カードにてそのファイル名を入力します。ここで、初期き裂有りき裂進展破損確率を直接サンプリングのモンテカルロ法で求めた場合、確率分布は対数正規分布とワイブル分布で近似し分散が小さい方を PFAIL の破損確率の計算に用います。

B1 カードは、き裂発生確率計算で算出した平均発生サイクルと標準偏差を入力します。対数正規分布に設定した場合、平均値及び標準偏差は対数化した値を入力します。B2 カードは、初期欠陥無しき裂進展破損確率計算で算出した破損寿命と標準偏差を入力します。確率分布が線型ではなく 2 直線で近似する場合、それぞれの平均値及び標準偏差を入力することができます。ただし、2 直線による表示は、正規分布のみ対応します。B3 カードは、初期欠陥有りき

裂進展確率分布を入力します。1個の初期欠陥が存在する確率 pc が入力されない場合、欠陥有りからのき裂進展破損確率は加算されません。き裂進展確率から、標準偏差と平均値を求める方法を以下に示します。

$$\eta = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

次式に変換します。

$$x = \sigma\eta + \mu$$

- ① x サイクル数及び η をそれぞれ対数化 (自然) します。サイクル数は、経過時間を発生周期で割ったものです。
- ② 最小自乗近似で σ と μ を求める。この値を、データに入力します。2直線近似の場合は、低確率側と高確率側が上手く近似できるように回帰します。
- ③ 正規分布以外のワイブル分布等で近似する場合は、サイクルと累積確率からパラメータを求める。

C1 及び C2 カードは、確率分布を外部入力データより読み込むもので、REALP カードの $kpre=1$ を設定し保存されたファイル名を入力します。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	PFAIL と記入	*
	11~20	実数	<i>fcycle</i>	経過時間 0 : COND カードで設定した経過時間を採用	0
	21~30	実数	<i>pc</i>	n 個の初期欠陥が存在する確率	0
	31~40	実数	<i>ndfct</i>	初期欠陥の個数(n)	1.0
	41~45	整数	<i>icn1</i>	き裂発生確率分布の選択 0 : 入力データで計算された数値を採用 1 : CRINI カードのデータを採用	0
	46~50	整数	<i>icn2</i>	初期欠陥無しき裂進展破損確率分布の選択 <0 : き裂発生+進展破損確率計算を行いません。 0 : 入力データで計算された破損確率を採用 1 : CRPDF のデータを採用 2 : CRFDS カードで指示されたファイルより読み込みます。 <i>Ista=0</i> とした場合、拡張子が <i>fid</i> のファイル名を、 <i>Ista=1</i> とした場合拡張子が <i>pds</i> のファイル名を入力します。	0
	51~55	整数	<i>icn3</i>	初期欠陥有りき裂進展破損確率分布の選択 <0 : 初期欠陥有りき裂進展破損確率計算を行いません。 0 : 入力データで計算された破損確率を採用 1 : CRPFM のデータを採用 2 : CRDDS カードで指示されたファイルより読み込みます。	
56~60	整数	<i>Ista</i>	き裂発生+進展の積算処理方法の選択 (2.10 を参照) 0 : 簡易法 1 : 厳密解	0	

B1	6~10	英字	-	CRINI と記入	*
	11~15	整数	<i>itype</i>	き裂発生確率分布のタイプ 1: 正規確率分布 2: 指数分布 3: ワイブル分布	*
	16~20	整数	<i>ltyp</i>	変数の型、0: 線型、1: 対数	0
	21~30	実数	<i>p1</i>	<i>ltyp</i> に合わせて平均値を入力する。ワイブル分布の場合位置母数を入力します。	1.0
	31~40	実数	<i>p2</i>	標準偏差を <i>ltyp</i> に合わせて入力する。指数分布の場合、下限値を入力します。ワイブル分布の場合は、尺度母数を入力します。	1.0
	41~50	実数	<i>p3</i>	ワイブル分布の場合形状母数を入力します。	1.0
	51~60	整数	<i>ncych</i>	2直線で分布関数を表す場合、交差するサイクルを入力します。対数化した時間ではありません。	0
	61~70	実数	<i>p4</i>	2直線の高確率側の平均値を線型で入力します。	0
	71~80	実数	<i>p5</i>	標準偏差（高確率側）を入力する。対数の場合、対数標準偏差を入力します。	0
B2	6~10	英字	-	CRPFM と記入	*
	11~15	整数	<i>itype</i>	初期欠陥無しき裂進展破損確率分布のタイプ 1: 正規確率分布 2: 指数分布 3: ワイブル分布	1
	16~20	整数	<i>ltyp</i>	変数の型、0: 線型、1: 対数	0
	21~30	実数	<i>p1</i>	線型な平均値を入力する。ワイブル分布の場合位置母数を入力します。	1.0
	31~40	実数	<i>p2</i>	標準偏差を入力。対数の場合、対数標準偏差を入力します。指数分布の場合は、下限値を入力する。ワイブル分布の場合は、尺度母数を入力します。	1.0
	41~50	実数	<i>p3</i>	ワイブル分布の場合形状母数を入力します。	1.0
	51~60	整数	<i>ncych</i>	2直線で分布関数を表す場合、交差するサイクルを入力します。	0
	61~70	実数	<i>p4</i>	2直線の高確率側の平均値を線型で入力します。	1.0
	71~80	実数	<i>p5</i>	標準偏差（高確率側）を入力します。対数の場合、対数標準偏差を入力します。	1.0
B3	6~10	英字	-	CRPDF と記入	*
	11~15	整数	<i>itype</i>	初期欠陥有りき裂進展破損確率分布のタイプ 1: 正規確率分布 2: 指数分布 3: ワイブル分布	1
	16~20	整数	<i>ltyp</i>	変数の型、0: 線型、1: 対数	0
	21~30	実数	<i>p1</i>	線型な平均値を入力する。ワイブル分布の場合位置母数を入力します。	1.0
	31~40	実数	<i>p2</i>	標準偏差を入力、対数の場合、対数標準偏差を入力します。ワイブル分布の場合は、尺度母数を入力します。	1.0
	41~50	実数	<i>p3</i>	ワイブル分布の場合形状母数を入力します。	1.0
	51~60	整数	<i>ncych</i>	2直線で分布関数を表す場合、交差するサイクルを入力します。	0
	61~70	実数	<i>p4</i>	2直線の高確率側の平均値を線型で入力します。	1.0

	71~80	実数	<i>p5</i>	標準偏差（高確率側）を入力します。対数の場合、対数標準偏差を入力します。	1.0
C1	6~10	英字	-	CRFDS と記入	*
	11~80	英字	<i>file1</i>	初期欠陥無しき裂進展破損確率計算結果保存ファイル名、修飾子が <i>fds</i> のデータ	*
C2	6~10	英字	-	CRDDS と記入	*
	11~80	英字	<i>file2</i>	初期欠陥有りき裂進展破損確率計算結果保存ファイル名、修飾子が <i>dds</i> のデータ。REALP カードの <i>kint=0, kpre=1</i> で保存したファイル。	*
D2	6~10	英字	-	CRPDS と記入	*
	11~80	英字	<i>file3</i>	ISI 間隔を考慮した初期欠陥無しき裂進展破損確率計算結果保存ファイル名、修飾子が <i>pds</i> のデータ。REALP カードの <i>kint=1, kpre=1</i> で保存しやファイル。	*

1 2. 1. 1 5 OUTP カード

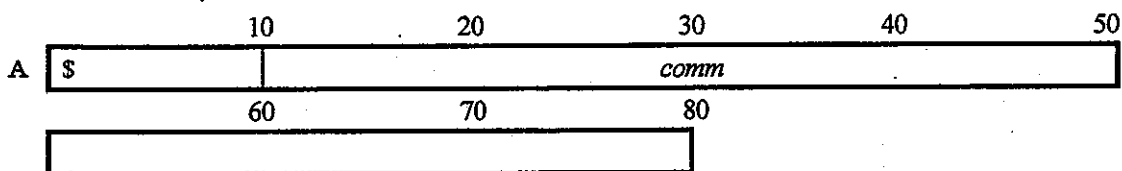
	10	20	30	40	50	
A	OUTP	<i>nint1</i>	<i>nint2</i>	<i>oint2</i>	<i>oint3</i>	<i>iavtp</i>
	10	20	30	40	50	
B	OUT1	<i>opb1</i>	<i>opb2</i>	<i>opb3</i>	<i>opb4</i>	
	60	70	80			
	<i>opb5</i>	<i>opb6</i>	<i>opb7</i>			

解析結果の出力 STEP のインターバルを指示します。このカードを入力しない場合は、全 STEP が出力対象になります。B カードは、き裂発生確率計算において平均値とモンテカルロ法で算出された標準偏差で破損確率を算出します。平均値は、モンテカルロ法若しくは決定論的に算出された値を用いるか選択できます。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	英字	-	OUTP と記入。	*
	11~15	整数	<i>nint1</i>	き裂発生確率の直接サンプリングによる計算結果について、出力するサンプルのインターバル、0 の場合平均値及び標準偏差等の統計情報のみを出力します。層別サンプリングは対象としません。	1
	16~20	整数	<i>nint2</i>	初期欠陥有りき裂進展破損確率の直接サンプリングによる計算結果について、出力するサンプルのインターバル、0 の場合平均値と標準偏差及び破損確率等の統計情報を出力します。層別サンプリングは対象としません。	
	21~30	実数	<i>oint2</i>	き裂進展解析の計算結果について、出力する時間のインターバル、0 の場合破損時間若しくは最終時間を出力する。初期欠陥が存在するき裂進展解析も有効になります。	1

	31~40	実数	<i>oint3</i>	き裂発生+進展確率の計算結果について、出力する時間のインターバル、0の場合破損時間若しくは最終時間を出力します。	1
	41~45	整数	<i>iavtp</i>	破損確率及び破損寿命を算出する際の平均値のタイプ。 0: 決定論的に算出した平均値 1: モンテカルロ法で算出した平均値	0
BI	6~10	英字	-	OUT1 と記入	*
	11~20	実数	<i>opb1</i>	き裂発生確率を求めたい時間	0
	21~30	実数	<i>opb2</i>	き裂発生確率を求めたい時間	0
	31~40	実数	<i>opb3</i>	き裂発生確率を求めたい時間	0
	41~50	実数	<i>opb4</i>	き裂発生確率を求めたい時間	0
	51~60	実数	<i>opb5</i>	き裂発生確率を求めたい時間	0
	61~70	実数	<i>opb6</i>	き裂発生確率を求めたい時間	0
	71~80	実数	<i>opb7</i>	き裂発生確率を求めたい時間	0

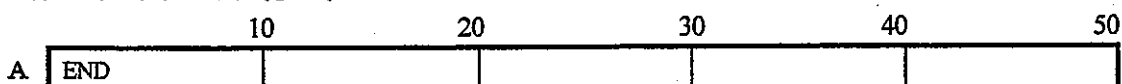
12. 1. 16 \$カード



コメント行です。入力位置は問いません。REALP~END 以外の位置でも良いです。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1	記号	-	\$と記入	*
	11~80	文字	<i>comm</i>	コメント行	

12. 1. 17 ENDカード



データの終了を示します。

カードの種類	カラム	タイプ	変数	内容	空白
A	1~5	記号	-	END と記入	*

*1

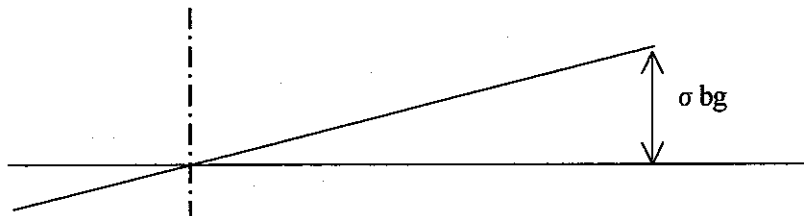
MT法 (Mersenne Twister 法) は、京都大学松本眞氏 (総合人間学部数理基礎論講座) の開発によるもので、以下のホームページで公開されている。

ホームページ <http://www.math.h.kyoto-u.ac.jp/~matumoto/>

表 12.1 確率変数の入力形式

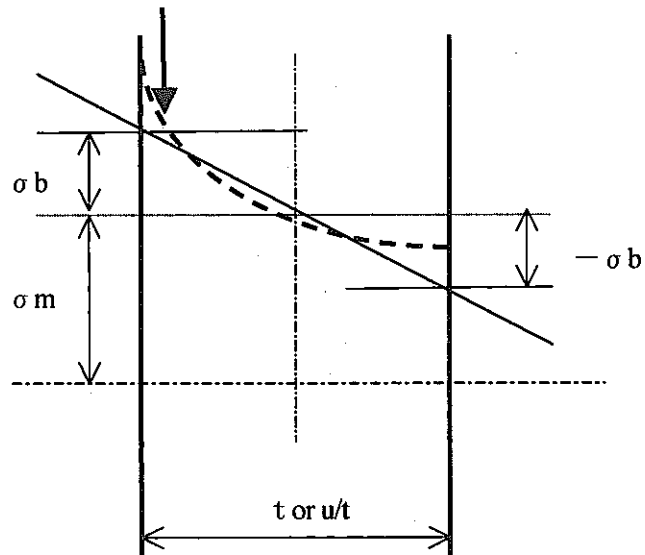
識別番号	識別名	内容	入力形式
1	TEMP	温度	相対値
2	DEPT	ひずみ範囲	相対値
3	NSTR	公称応力	相対値
4	SIGY	き裂発生確率計算時における応力ひずみ関係の降伏応力。	相対値
5	SINT	初期応力	相対値
6	CRAR	クリープ時間係数 αR	相対値
7	CRAC	クリープ時間係数 αc	相対値
8	FATG	疲労寿命	相対値
9	FATGH	疲労寿命、高ひずみ側	相対値
2 1	STRM	膜応力 S_m (引張、圧縮)	相対値
2 2	STRB	曲げ応力 S_b (引張、圧縮)	相対値
2 3	STRP	ピーク応力 S_P (引張、圧縮)	相対値
2 4	SGYC	き裂進展破損確率計算時に動的応力ひずみ関係式の降伏応力。ただし、Ramberg-Osgood 型式を選択した場合、有効でなくなる。	相対値
2 5	A	き裂深さ	
2 6	CA	表面き裂アスペクト比 (c/a)	
2 7	CF	疲労き裂進展速度相対値	相対値
2 8	CC	クリープ進展速度相対値	相対値
2 9	AD	初期欠陥深さ	
3 0	CFA	き裂進展速度、REALP カードで $ktype=2$ とした場合に有効	相対値

層別サンプリングの対象となる確率変数。



電中研の簡易き裂進展評価法の場合、応力分布を u/t の関数で与える。

$$\sigma(u/t) = \sigma_0 + \sigma_1 \left(\frac{u}{t}\right) + \sigma_2 \left(\frac{u}{t}\right)^2 + \sigma_3 \left(\frac{u}{t}\right)^3 + \sigma_4 \left(\frac{u}{t}\right)^4 \dots \text{き裂形状により異なる}$$



- σm : 膜応力
- σb : 曲げ応力
- σp : ピーク応力
- σbg : 断面曲げ応力
- t : 板厚

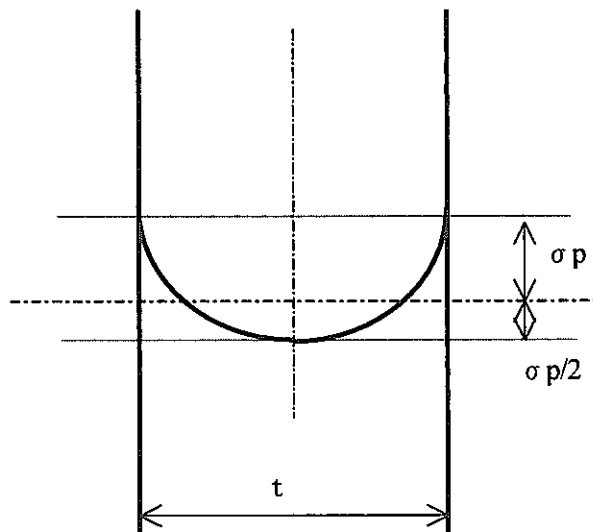


図 12.1 応力成分の与え方

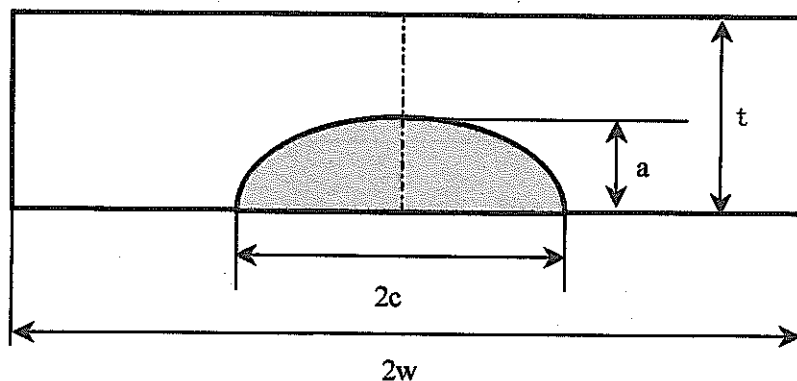


図 12.2 ①半楕円表面き裂平板

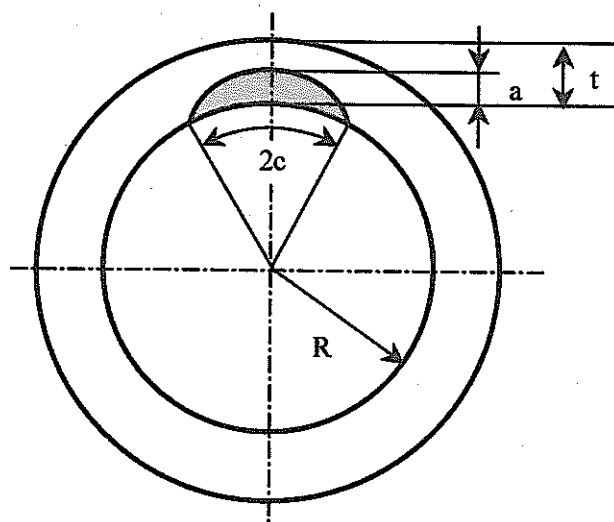


図 12.3 ②円筒の周方向断面半楕円内面表面き裂

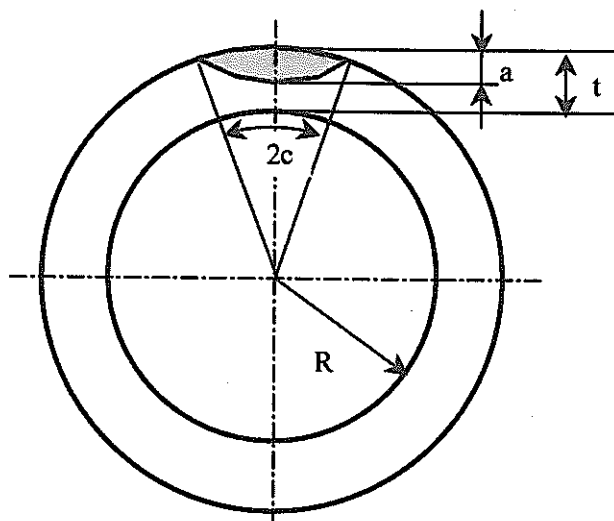


図 12.4 ③円筒の周方向断面半楕円外面表面き裂

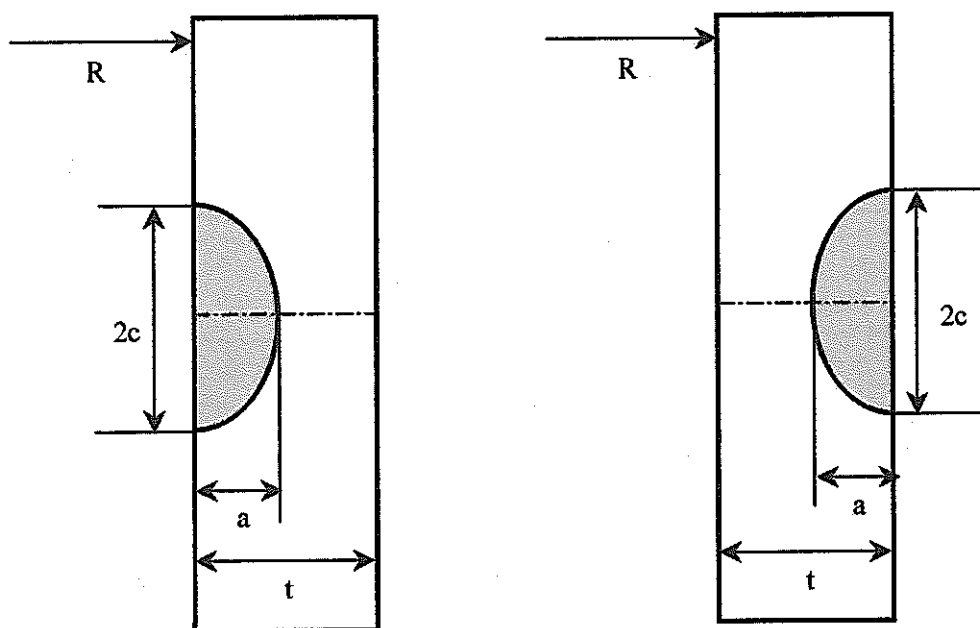


図 12.5 ④円筒の軸方向断面半楕円内面表面き裂、⑤円筒の軸方向断面半楕円外面表面き裂

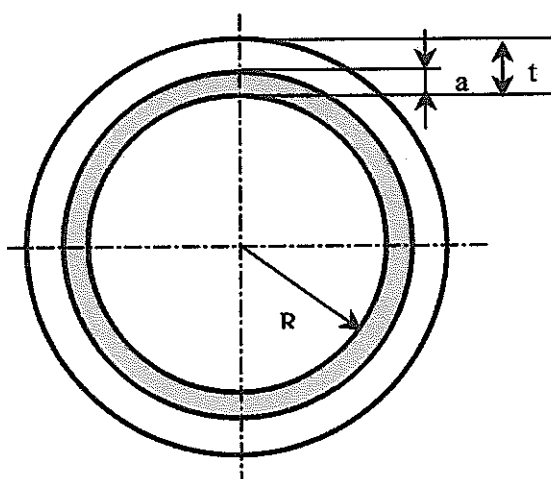


図 12.6 ⑥円筒の周方向断面内面全周き裂

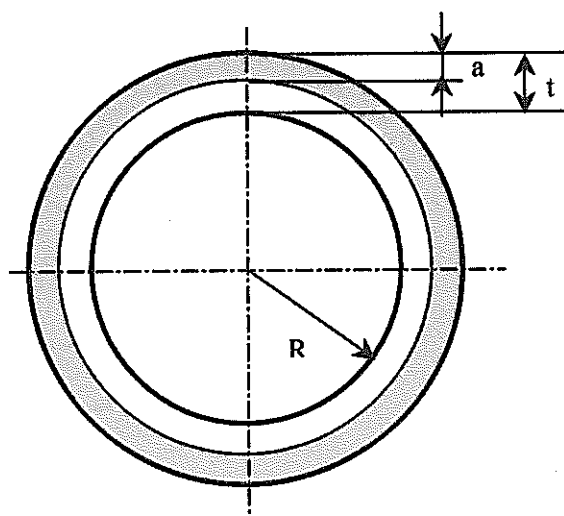


図 12.7 ⑦円筒の周方向断面外面全周き裂

13. REAL-P 解析例

例題は、REAL-P の代表的な機能を試行したものです。例題 13.1.1～13.1.3 の解析条件は、共通です。

- 解析モデル
400→200°C コールドショックを受ける外径 508mm、板厚 12.7mm の高速炉機器溶接部の疲労破損確率を算出します。
- 解析条件

項目	値	確率分布他
温度	400°C	平均値：1.0、標準偏差：0.02、下限値：0.9、上限値：1.1
保持時間	0	疲労として計算
モデル形状 内半径 板厚	241.3 12.7	
き裂モデル		円筒の周方向断面半楕円内面表面き裂
簡易き裂進展評価法		電中研法
経過時間	60 年	
発生周期	0.1 年	1 年で 10 回

- 材料特性

項目	値	確率分布
材料	SUS304	材料ライブラリ
ひずみ範囲	0.365%	平均値
ひずみ速度	0.0001%/sec	
応力ひずみ関係		き裂発生：Ludwik 型動的応力ひずみ関係式 き裂進展：Rambeg-Osgood 型動的応力ひずみ関係式
降伏応力	材料ライブラリ	平均値
疲労特性	材料ライブラリ	$\beta=0.5$ 、平均値：1.0 標準偏差：1.0 下限値：0.05 上限値：5.0

- き裂進展パラメータ

項目	値	確率分布他
σ_m (引張)	4.8	
σ_b (引張)	220	
σ_m (圧縮)	-4.8	
σ_b (圧縮)	-220	
σ (u/t) 引張	$\sigma_0=435$ $\sigma_1=-976$	$\sigma(u/t)=$ $\sigma_0 + \sigma_1(u/t) + \sigma_2(u/t)^2 + \sigma_3(u/t)^3$

	$\sigma_2=201$ $\sigma_3=36.4$	
$\sigma(u/t)$ 圧縮	$\sigma_0=31.9$ $\sigma_1=71$ $\sigma_2=13.6$ $\sigma_3=2.1$	$\sigma(u/t)=$ $\sigma_0 + \sigma_1(u/t) + \sigma_2(u/t)^2 + \sigma_3(u/t)^3$
弾塑性関係における弾性 追従係数 Q_{ep}	4	
き裂深さ(a)	0.5、1、2、5	
き裂長さ(c)	1、2、4、10	
き裂発生からのき裂深さ 分布		平均値：0.5 の指数分布
初期欠陥		平均値：1.34 指数分布
アスペクト比(c/a)		平均値：1.336 標準偏差：0.5382
疲労き裂進展特性	$C_f=1.434E-4$	平均値：1.0 標準偏差：0.42 下限値：0.5 上限値：2.0
	$m_f=1.37$	
PSI	考慮	RT：ワイブル分布 $POD = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x-0.62}{68.26}\right)^{0.29}\right\}$
ISI	考慮	UT 初回 10年 10年毎 Advanced: $POD = \Phi\{3.63 + 1.106 \ln(a/t)\}$
破損限界	$a/t=0.75$ $c/w=0.75$	

13. 1. 1 例—1

疲労のき裂発生寿命と 1000 サイクルまでのき裂進展挙動 4 ケースを決定論的に算出します。

- データ
 入力データ：sample-1.dat
 結果：sample-1.dat.f06
- 結果
 - ① 入力データイメージ
 - ② 計算結果 (最初の入力データイメージは省略)

例-1 入力データイメージ

\$	1	2	3	4	5	6	7	8
SMATP	1	0	0	1	0	1	20000	1 1 1 0
TITLE	Sample-1							
\$								
COND	400.	0.365	0.0001		0.0	60.	0.1	0
TENS	4.8	220.0						
COMP	-4.8	-220.0						
TENSA	435	-976	201	-36.4				
COMPA	-31.9	71.0	-13.6	2.10				
\$								
MATER	11	0	1	2	0			
\$ CREEP	1		1.E-2	0.5				
\$ DYSS					2328.	0.320		
FATPR		1.43E-4	1.37					
\$ CRPPR		1.64E-2	0.941					
\$	1	2	3	4	5	6	7	8
COFIN		1.	1.	1.	1.0	2.	1.	3.0
COFPF		4.	1.	1.	1.0	1.0		
PROB		0.83						
TEMP	1		1.0	0.02		0.9	1.1	
FATG	1	1	1.0	1.0		6.8E-3	148.0	
A	0		0.5			0.0	12.7	
CA	1	1	1.336	0.5382		1.0	50.0	
CF	1	1	1.	0.42		5.290E-2	18.9	
AD	2		1.34			0.1	12.7	
\$								
\$	1	2	3	4	5	6	7	8
CRITE		0.3	23.	0.75	0.75			
\$								
GEOM	2	4		241.3	12.7			
		0.5	1.					
		1.	2.					
		2.	4.					
		5.	10.					
PISI	1		10.	10.				
\$ PSI RT								
PSI	1	3		0.62	68.26	0.29		
\$ ISI UT								
ISI				3.63	1.106			
\$	1	2	3	4	5	6	7	8
CELL	0	1	0	100	0	20		
\$								
DEFE	1	1	0	100	20	20		
\$								
\$								
PFAIL					0	0	0	
CRINI	1	1	8.5	1.0				

\$	CRPFM	1	1	6.698	0.5036			
	CRPFM	1	1	13.299	2.1414	265	184.56	49.656
	CRPDF	1	1	11.839	4.0282			
\$	CRFDS sample.dat.fds							
\$	CRDDS sample.dat.dds							
OUTP		0		0.1	0.1			
END								

例-1 計算結果

```

*****
*           き裂発生確率計算           *
*****

解析モード： 決定論的き裂発生寿命算出

+--- 解析条件 ---+
材料          : 11 316FR (DDS)
温度 (°C)     : 400.
ひずみ範囲 (%) : 3.650E-01
ひずみ速度 (%/SEC) : 1.000E-04
弾性追従係数 qep : 1.000
保持時間 (hr) : 0.000E+00

+--- 物性値 ---+
応力ひずみ関係      : 静的 (Ludwik)
疲労破損式の種類    : 疲労寿命に係数      α : 1.00      β : 2.00
クリープひずみ速度式 : Blackburn 型式
クリープ損傷則      : 時間消費則      Dc の倍率 : 1.000E+00
αR      : 1.00      αc      : 1.00      qc      : 1.00

+--- 確率変数 ---+
変数名      適用 関数 変数型      P1      P2      P3      P4      P5
温度        ○      1      0 1.00      0.200E-01 0.00      0.900      1.10
ひずみ範囲  ×      0      0 1.00      0.00      0.00      0.00      0.00
公称応力    ×      0      0 1.00      0.00      0.00      0.00      0.00
σy (発生)   ×      0      0 1.00      0.00      0.00      0.00      0.00
初期応力    ×      0      0 1.00      0.00      0.00      0.00      0.00
αR          ×      0      0 1.00      0.00      0.00      0.00      0.00
αc          ×      0      0 1.00      0.00      0.00      0.00      0.00
疲労寿命    ○      1      1 1.00      1.00      0.00      0.680E-02 148.
疲労寿命(高) ×      0      0 1.00      0.00      0.00      0.00      0.00
αR-αc 相関係数 : 0.830

+--- 破損クライテリア ---+
キャンベル線図制限値 D (折れ曲がり点) : 0.300

      N 温度      Sn      Δεt      αy      σ0      αR      αc      Df      Dc
Nf
      1 400.0 0.000E+00 3.650E-01 1.000E+00 1.297E+02 1.000E+00 1.000E+00 2.635E-05 0.000E+00
37951. Average

Sample-1

*****

```

* 初期欠陥有りき裂進展破損確率計算 *

解析モード : 決定論的き裂進展解析

き裂モデル : 2 内表面周方向半楕円表面き裂円筒

解析モデル : 半板幅(半径)= 241.30 板厚= 12.70

+- 解析条件 -+

材料 : 11 316FR (DDS)
 温度 (°C) : 400.
 保持時間 (hr) : 0.000E+00

	σ_m (MPa)	σ_b (MPa)	σ_P (MPa)	σ_{gb} (MPa)
引張	4.8000	220.00	0.0000	0.0000
圧縮	-4.8000	-220.00	0.0000	0.0000

	σ_0	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_{gb}
引張	435.	-976.	201.	-36.4	0.00	0.00
圧縮	-31.9	71.0	-13.6	2.10	0.00	0.00

+- 物性値 -+

「応力ひずみ関係」
 動的応力ひずみ関係式 : Ramberg-Osgood 型
 弾性追従係数 qep : 4.000
 「クリープ特性」
 クリープひずみ式 : Blackburn 型式
 qc : 1.00 αc : 1.00

+- き裂進展簡易評価法 -+

評価法 : 電中研版 (平成12年度)
 *** き裂進展特性 ***
 疲労 Cf : 1.430E-04 mf : 1.370E+00

+- 確率変数 -+

変数名	適用	関数	変数型	P1	P2	P3	P4	P5
温度	○	1	0	1.00	0.200E-01	0.00	0.900	1.10
膜応力 σ_m	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
曲げ応力 σ_b	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ピーク応力 σ_p	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
σ_y (進展)	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
き裂深さ	×	0	0	0.500	0.00	0.00	0.00	12.7
アスペクト比 c/a	○	1	1	1.34	0.538	0.00	1.00	50.0
Mf	○	1	1	1.00	0.420	0.00	0.529E-01	18.9
CC	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
初期欠陥 (a)	○	2	0	1.34	0.00	0.00	0.100	12.7
き裂速度	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

+- 破損クライテリア -+

表面き裂深さの破損限界 : 0.750 表面き裂長さの破損限界 : 0.750

+- き裂進展解析結果 -+

温度 (°C) : 400.00
 α_y : 1.00
 き裂深さ (mm) : 0.50
 き裂長さ (mm) : 1.00

Time	a (mm)	c (mm)	a/t	c/w	ΔK_a	ΔK_c	ΔJf_a
ΔJf_c (da/dN)	Jfa (dc/dN)	Jfc (da/dN)	Jca (da/dN)	Jcc	$\Delta \sigma_{ref}E$	$\Delta \varepsilon_{ref}E$	$\Delta \sigma_{ref}EP$
0.10	5.002E-01	1.000E+00	3.939E-02	1.286E-03	4.875E+02	4.760E+02	1.426E+00
2.479E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.849E+02	1.686E-03	2.670E+02	2.005E-03	1.494E+00
0.20	5.005E-01	1.000E+00	3.941E-02	1.286E-03	4.876E+02	4.761E+02	1.426E+00
2.480E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.849E+02	1.686E-03	2.670E+02	2.005E-03	1.495E+00
0.30	5.007E-01	1.001E+00	3.943E-02	1.286E-03	4.876E+02	4.762E+02	1.427E+00
2.481E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.849E+02	1.686E-03	2.670E+02	2.005E-03	1.495E+00
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
59.80	6.524E-01	1.169E+00	5.137E-02	1.502E-03	5.188E+02	5.210E+02	1.618E+00
3.182E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.869E+02	1.698E-03	2.685E+02	2.026E-03	1.793E+00
59.90	6.527E-01	1.169E+00	5.139E-02	1.503E-03	5.188E+02	5.210E+02	1.618E+00
3.183E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.869E+02	1.698E-03	2.685E+02	2.026E-03	1.793E+00
60.00	6.529E-01	1.169E+00	5.141E-02	1.503E-03	5.189E+02	5.211E+02	1.618E+00
3.184E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.869E+02	1.698E-03	2.685E+02	2.026E-03	1.794E+00
温度(°C) : 400.00 αy : 1.00 き裂深さ (mm) : 1.00 き裂長さ (mm) : 2.00							
Time	a (mm)	c (mm)	a/t	c/w	ΔK_a	ΔK_c	ΔJf_a
ΔJf_c (da/dN)	Jfa (dc/dN)	Jfc (da/dN)	Jca (da/dN)	Jcc	$\Delta \sigma_{ref}E$	$\Delta \varepsilon_{ref}E$	$\Delta \sigma_{ref}EP$
0.10	1.001E+00	2.000E+00	7.878E-02	2.571E-03	6.488E+02	5.993E+02	2.542E+00
4.701E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.919E+02	1.727E-03	2.722E+02	2.078E-03	2.384E+00
0.20	1.001E+00	2.001E+00	7.882E-02	2.572E-03	6.489E+02	5.994E+02	2.543E+00
4.703E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.919E+02	1.727E-03	2.722E+02	2.078E-03	2.384E+00
0.30	1.002E+00	2.001E+00	7.886E-02	2.572E-03	6.489E+02	5.995E+02	2.543E+00
4.705E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.919E+02	1.727E-03	2.722E+02	2.078E-03	2.385E+00
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
59.80	1.312E+00	2.312E+00	1.033E-01	2.972E-03	6.538E+02	6.468E+02	2.593E+00
5.831E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.969E+02	1.757E-03	2.758E+02	2.131E-03	2.790E+00
59.90	1.313E+00	2.313E+00	1.034E-01	2.973E-03	6.538E+02	6.470E+02	2.594E+00
5.835E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.969E+02	1.757E-03	2.758E+02	2.131E-03	2.791E+00
60.00	1.313E+00	2.313E+00	1.034E-01	2.973E-03	6.538E+02	6.471E+02	2.594E+00
5.838E-04	0.000E+00	0.000E+00	2.969E+02	1.757E-03	2.758E+02	2.131E-03	2.792E+00
温度(°C) : 400.00 αy : 1.00 き裂深さ (mm) : 2.00 き裂長さ (mm) : 4.00							
Time	a (mm)	c (mm)	a/t	c/w	ΔK_a	ΔK_c	ΔJf_a
ΔJf_c (da/dN)	Jfa (dc/dN)	Jfc (da/dN)	Jca (da/dN)	Jca	$\Delta \sigma_{ref}E$	$\Delta \varepsilon_{ref}E$	$\Delta \sigma_{ref}EP$
0.10	2.001E+00	4.001E+00	1.576E-01	5.143E-03	8.120E+02	7.814E+02	4.049E+00
9.949E-04	0.000E+00	0.000E+00	3.096E+02	1.832E-03	2.849E+02	2.271E-03	4.120E+00
0.20	2.002E+00	4.002E+00	1.576E-01	5.144E-03	8.120E+02	7.816E+02	4.049E+00
9.956E-04	0.000E+00	0.000E+00	3.097E+02	1.832E-03	2.849E+02	2.271E-03	4.122E+00
0.30	2.003E+00	4.003E+00	1.577E-01	5.145E-03	8.120E+02	7.817E+02	4.049E+00
9.963E-04	0.000E+00	0.000E+00	3.097E+02	1.832E-03	2.849E+02	2.271E-03	4.124E+00
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
59.80	2.602E+00	4.721E+00	2.049E-01	6.068E-03	8.316E+02	8.857E+02	4.299E+00
5.360E+00	1.426E-03	1.426E-03	0.000E+00	0.000E+00	3.228E+02	1.910E-03	2.940E+02
59.90	2.603E+00	4.722E+00	2.050E-01	6.070E-03	8.316E+02	8.858E+02	4.300E+00
5.362E+00	1.427E-03	1.427E-03	0.000E+00	0.000E+00	3.229E+02	1.910E-03	2.940E+02

60.00	2.604E+00	4.724E+00	2.050E-01	6.071E-03	8.316E+02	8.860E+02	4.300E+00	
5.364E+00	1.428E-03	1.428E-03	0.000E+00	0.000E+00	3.229E+02	1.911E-03	2.941E+02	2.423E-03
温度(°C)	:	400.00						
α_y	:	1.00						
き裂深さ(mm)	:	5.00						
き裂長さ(mm)	:	10.00						
	Time	a(mm)	c(mm)	a/t	c/w	ΔK_a	ΔK_c	ΔJf_a
ΔJf_c (da/dN)	Jfa(dc/dN)	Jfc(da/dN)	Jca(da/dN)	Jca	$\Delta \sigma_{refE}$	$\Delta \epsilon_{refE}$	$\Delta \sigma_{refEP}$	$\Delta \epsilon_{refEP}$
	0.10	5.001E+00	1.000E+01	3.938E-01	1.286E-02	8.499E+02	1.153E+03	4.781E+00
9.675E+00	3.204E-03	3.204E-03	0.000E+00	0.000E+00	3.984E+02	2.358E-03	3.398E+02	3.398E-03
	0.20	5.002E+00	1.001E+01	3.939E-01	1.286E-02	8.499E+02	1.153E+03	4.781E+00
9.676E+00	3.204E-03	3.204E-03	0.000E+00	0.000E+00	3.985E+02	2.358E-03	3.399E+02	3.399E-03
	0.30	5.004E+00	1.001E+01	3.940E-01	1.287E-02	8.498E+02	1.153E+03	4.781E+00
9.678E+00	3.205E-03	3.205E-03	0.000E+00	0.000E+00	3.985E+02	2.358E-03	3.399E+02	3.399E-03
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	59.80	5.724E+00	1.208E+01	4.507E-01	1.552E-02	8.367E+02	1.209E+03	4.730E+00
3.747E-03	0.000E+00	0.000E+00	4.298E+02	2.543E-03	3.561E+02	3.852E-03		
	59.90	5.726E+00	1.208E+01	4.508E-01	1.553E-02	8.367E+02	1.209E+03	4.730E+00
3.748E-03	0.000E+00	0.000E+00	4.299E+02	2.544E-03	3.561E+02	3.852E-03		
	60.00	5.727E+00	1.209E+01	4.509E-01	1.553E-02	8.367E+02	1.209E+03	4.730E+00
3.749E-03	0.000E+00	0.000E+00	4.299E+02	2.544E-03	3.562E+02	3.853E-03		
<< REAL-P 実行条件と CPU TIME >>								
き裂発生確率計算	:	ON						
き裂進展破損確率計算	:	OFF						
初期欠陥有き裂進展破損確率計算	:	ON						
破損確率計算	:	OFF						
CPU TIME	:	0.00	分					

13. 1. 2 例-2

き裂発生確率計算では直接サンプリングによるモンテカルロ法で疲労の発生寿命分布を、初期欠陥無しき裂進展破損確率計算及び初期欠陥有りのき裂進展破損確率計算ではき裂深さとアスペクト比を層別サンプリングの確率変数としたモンテカルロ法にてき裂進展破損確率を求めます。さらに、上述の破損確率を基に、総合的な破損確率をき裂検出検査有る無しについて算出します。

- き裂発生解析条件
 試行回数：20000回とします
- 初期欠陥無しき裂進展解析
 き裂深さ：平均値 0.5mm の指数分布
 き裂深さ×アスペクト比 (c/a)：20×20 のセル分割、1セルのサンプル数 100 個
- 初期欠陥有りのき裂進展解析
 き裂深さ×アスペクト比 (c/a)：20×20 のセル分割、1セルのサンプル数 100 個
- データ
 入力データ：sample-2.dat
 結果：sample-2.dat.f06
- 結果 (入力データイメージは省略)

例-2入力データイメージ

\$	1	2	3	4	5	6	7	8			
REALP	1	1	1	1	0	1	20000	0	0	1	0
TITLE	Sample-2										
\$											
COND	400.	0.365	0.0001		0.0	60.	0.1	0			
TENS	4.8	220.0									
COMP	-4.8	-220.0									
TENSA	435	-976	201	-36.4							
COMPA	-31.9	71.0	-13.6	2.10							
\$											
MATER	11	0	1	2	0						
\$	CREEP	1	1.E-2	0.5							
\$	DYSS				2328.	0.320					
\$	FATPR		1.43E-4	1.37							
\$	CRPPR		1.64E-2	0.941							
\$	1	2	3	4	5	6	7	8			
COFIN	1.	1.	1.	1.0	2.	1.	3.0				
COFPF	4.	1.	1.	1.0	1.0						
PROB	0.83										
TEMP	1	1.0	0.02	0.9	1.1						
FATG	1	1	1.0	1.0	6.8E-3	148.0					
A	2	0.5	0.0	12.7							
CA	1	1	1.336	0.5382	1.0	50.0					

CF	1	1	1.	0.42		5.290E-2	18.9	
AD	2		1.34			0.1	12.7	
\$								
\$	1	2	3	4	5	6	7	8
CRITE		0.3	23.	0.75	0.75			
\$								
GEOM	2	4		241.3	12.7			
		0.5	1.					
		1.	2.					
		2.	4.					
		5.	10.					
PISI	1		10.	10.				
\$ PSI RT								
PSI	1	3		0.62	68.26	0.29		
\$ ISI UT								
ISI				3.63	1.106			
\$	1	2	3	4	5	6	7	8
CELL	1	1	0	100	20	20		
\$								
DEFE	1	1	0	100	20	20		
\$								
\$								
PFAIL						0	0	0
CRINI	1	1	8.5	1.0				
\$ CRPFM	1	1	6.698	0.5036				
CRPFM	1	1	13.299	2.1414		265	184.56	49.656
CRPDF	1	1	11.839	4.0282				
\$ CRFDS sample. dat. fds								
\$ CRDDS sample. dat. dds								
OUTP	0		0.1	0.1				
END								

例一2 計算結果

```

*****
*           き裂発生確率計算           *
*****

解析モード：直接サンプリングによるモンテカルロ法

乱数発生法：混合合同法

+--- 解析条件 ---+
材料           : 11 316FR (DDS)
温度 (°C)      : 400.
ひずみ範囲(%)  : 3.650E-01
ひずみ速度(%/SEC): 1.000E-04
弾性追従係数 qep : 1.000
保持時間(hr)   : 0.000E+00

+--- 物性値 ---+

```

応力ひずみ関係	: 静的(Ludwik)									
疲労破損式の種類	: 疲労寿命に係数		α : 1.00	β : 2.00						
クリープひずみ速度式	: Blackburn 型式									
クリープ損傷則	: 時間消費則		Dc の倍率 : 1.000E+00							
αR	: 1.00	αc	: 1.00	q_c	: 1.00					
+--- 確率変数 ---+										
変数名	適用	関数	変数型	P1	P2	P3	P4	P5		
温度	○	1	0	1.00	0.200E-01	0.00	0.900	1.10		
ひずみ範囲	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
公称応力	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
σ_y (発生)	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
初期応力	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
αR	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
αc	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
疲労寿命	○	1	1	1.00	1.00	0.00	0.680E-02	148.		
疲労寿命(高)	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
αR - αc 相関係数 : 0.830										
+--- 破損クライテリア ---+										
キャンベル線図制限値D (折れ曲がり点) : 0.300										
Nf	N	温度	Sn	$\Delta \epsilon t$	αy	σ_0	αR	αc	Df	Dc
	1	400.0	0.000E+00	3.650E-01	1.000E+00	1.297E+02	1.000E+00	1.000E+00	2.635E-05	0.000E+00
37951.	Average									
	1	398.5	0.000E+00	3.650E-01	1.000E+00	1.298E+02	1.000E+00	1.000E+00	6.526E-05	0.000E+00
15323.										
	2	397.9	0.000E+00	3.650E-01	1.000E+00	1.298E+02	1.000E+00	1.000E+00	3.106E-05	0.000E+00
32197.										
		↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	19998	395.8	0.000E+00	3.650E-01	1.000E+00	1.300E+02	1.000E+00	1.000E+00	4.189E-05	0.000E+00
23870.										
	19999	395.0	0.000E+00	3.650E-01	1.000E+00	1.300E+02	1.000E+00	1.000E+00	2.644E-05	0.000E+00
37815.										
	20000	402.3	0.000E+00	3.650E-01	1.000E+00	1.296E+02	1.000E+00	1.000E+00	1.473E-06	0.000E+00
678903.										
平均値 : 38036.										
標準偏差 : 1.008E+00										
+--- 破損確率と破損寿命 ---+										
n σ	破損寿命	破損確率								
-1	1.384776E+04	1.587E-01								
-2	5.052854E+03	2.275E-02								
-3	1.843716E+03	1.350E-03								
-4	6.727464E+02	3.167E-05								
Sample-2										

* 初期欠陥無しき裂進展破損確率計算 *										

解析モード : 層別サンプリングによるモンテカルロ法										

乱数発生法 : 混合合同法

き裂モデル : 2 内表面周方向半楕円表面き裂円筒

解析モデル : 半板幅(半径)= 241.30 板厚= 12.70

← 解析条件 →

材料 : 11 316FR(DDS)

温度 (°C) : 400.

保持時間(hr) : 0.000E+00

	σ_m (MPa)	σ_b (MPa)	σ_P (MPa)	σ_{gb} (MPa)	
--	------------------	------------------	------------------	---------------------	--

引張	4.8000	220.00	0.0000	0.0000	
----	--------	--------	--------	--------	--

圧縮	-4.8000	-220.00	0.0000	0.0000	
----	---------	---------	--------	--------	--

	σ_0	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_{gb}
--	------------	------------	------------	------------	------------	---------------

引張	435.	-976.	201.	-36.4	0.00	0.00
----	------	-------	------	-------	------	------

圧縮	-31.9	71.0	-13.6	2.10	0.00	0.00
----	-------	------	-------	------	------	------

← 物性値 →

「応力ひずみ関係」

動的応力ひずみ関係式 : Ramberg-Osgood 型

弾性追従係数 qep : 4.000

「クリープ特性」

クリープひずみ式 : Blackburn 型式

qc : 1.00 αc : 1.00

← 簡易き裂進展評価法 →

評価法 : 電中研版 (平成 12 年度)

*** き裂進展特性 ***

疲労 Cf : 1.430E-04 mf : 1.370E+00

← 確率変数 →

変数名	適用	関数	変数型	P1	P2	P3	P4	P5
温度	○	1	0	1.00	0.200E-01	0.00	0.900	1.10
膜応力 σ_m	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
曲げ応力 σ_b	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ピーク応力 σ_p	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
σ_y (進展)	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
き裂深さ	◎	2	0	0.500	0.00	0.00	0.00	12.7
アスペクト比 c/a	◎	1	1	1.34	0.538	0.00	1.00	50.0
Mf	○	1	1	1.00	0.420	0.00	0.529E-01	18.9
Cc	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
き裂速度	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

← PSI&ISI →

<< ISI >>

開始サイクル : 1.000E+01 インターバル: 1.000E+01

No.	Model	関数	型	P1	P2	P3
1	0	1	0	3.630E+00	1.106E+00	0.000E+00

← 破壊クライテリア →

表面き裂深さの破壊限界 : 0.750 表面き裂長さの破壊限界 : 0.750

← セル確率 →

セル N. Sample <— a/t —> <— a/c —> 確率(a/t) 確率(a/c) 確率(Ccel)

1	100	0.000	0.050	0.822	1.000	7.19168E-01	1.92129E-01	1.38173E-01
2	100	0.000	0.050	0.676	0.822	7.19168E-01	2.04588E-01	1.47133E-01
3	100	0.000	0.050	0.556	0.676	7.19168E-01	1.91176E-01	1.37488E-01
↓	↓		↓		↓	↓	↓	↓
397	100	0.950	1.000	0.036	0.044	2.38399E-11	8.12423E-08	1.93681E-18
398	100	0.950	1.000	0.030	0.036	2.38399E-11	1.06828E-08	2.54678E-19
399	100	0.950	1.000	0.024	0.030	2.38399E-11	1.23236E-09	2.93794E-20
400	100	0.950	1.000	0.020	0.024	2.38399E-11	1.24716E-10	2.97322E-21
合計	40000							1.00000E+00

— 解析結果 —

Time	破損カプル	確率(NO ISI)	確率(ISI)	破損確率(a/t)	不安定破壊確率
0.000	0	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.100	9	2.28961E-13	2.28961E-13	2.28961E-13	0.00000E+00
0.200	24	1.04134E-11	1.04134E-11	1.04134E-11	0.00000E+00
0.300	32	2.01497E-11	2.01497E-11	2.01497E-11	0.00000E+00
↓	↓	↓	↓	↓	↓
59.700	7278	1.77890E-08	1.71932E-10	1.77890E-08	0.00000E+00
59.800	7288	1.78176E-08	1.71932E-10	1.78176E-08	0.00000E+00
59.900	7293	1.78547E-08	1.71932E-10	1.78547E-08	0.00000E+00
60.000	7299	1.78875E-08	1.71932E-10	1.78875E-08	0.00000E+00

Sample-2

 * 初期欠陥有りき裂進展破損確率計算 *

解析モード：層別サンプリングによるモンテカルロ法

乱数発生法：混合合同法

き裂モデル：2 内表面周方向半楕円表面き裂円筒

解析モデル：半板幅(半径)= 241.30 板厚= 12.70

— 解析条件 —

材料	: 11 316FR (DDS)					
温度 (°C)	: 400.					
保持時間 (hr)	: 0.000E+00					
	σ_m (MPa)	σ_b (MPa)	σ_P (MPa)	σ_{gb} (MPa)		
引張	4.8000	220.00	0.0000	0.0000		
圧縮	-4.8000	-220.00	0.0000	0.0000		
	σ_0	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_{gb}
引張	435.	-976.	201.	-36.4	0.00	0.00
圧縮	-31.9	71.0	-13.6	2.10	0.00	0.00

— 物性値 —

「応力ひずみ関係」
 動的応力ひずみ関係式 : Ramberg-Osgood 型
 弾性追従係数 qep : 4.000
 「クリープ特性」
 クリープひずみ式 : Blackburn 型式

— 簡易き裂進展評価法 —

評価法 : 電中研版 (平成12年度)

*** き裂進展特性 ***

疲労 Cf : 1.430E-04 mf : 1.370E+00

+- 確率変数 -+

変数名	適用	関数	変数型	P1	P2	P3	P4	P5
温度	○	1	0	1.00	0.200E-01	0.00	0.900	1.10
膜応力 σ_m	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
曲げ応力 σ_b	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ピーク応力 σ_p	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
σ_y (進展)	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
アスペクト比 c/a	◎	1	1	1.34	0.538	0.00	1.00	50.0
Mf	○	1	1	1.00	0.420	0.00	0.529E-01	18.9
CC	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
初期欠陥(a)	◎	2	0	1.34	0.00	0.00	0.100	12.7
き裂速度	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

+- PSI&ISI -+

<< PSI >>

No.	Model	関数	型	P1	P2	P3
1	1	3	0	6.200E-01	6.826E+01	2.900E-01

<< ISI >>

開始サイクル : 1.000E+01 インターバル: 1.000E+01

No.	Model	関数	型	P1	P2	P3
1	0	1	0	3.630E+00	1.106E+00	0.000E+00

+- 破損クライテリア -+

表面き裂深さの破損限界 : 0.750 表面き裂長さの破損限界 : 0.750

+- セル確率 -+

セル	N. Sample	← a/t →		← a/c →		確率(a/t)	確率(a/c)	確率(Ccel)
1	100	0.008	0.057	0.822	1.000	3.75122E-01	1.92129E-01	7.20717E-02
2	100	0.008	0.057	0.676	0.822	3.75122E-01	2.04588E-01	7.67455E-02
3	100	0.008	0.057	0.556	0.676	3.75122E-01	1.91176E-01	7.17143E-02
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
398	100	0.950	1.000	0.030	0.036	4.95098E-05	1.06828E-08	5.28906E-13
399	100	0.950	1.000	0.024	0.030	4.95098E-05	1.23236E-09	6.10139E-14
400	100	0.950	1.000	0.020	0.024	4.95098E-05	1.24716E-10	6.17467E-15
合計	40000							1.00000E+00

+- 解析結果 -+

Time	破損サンプル	確率(NO ISI)	確率(ISI)	破損確率(a/t)	不安定破壊確率
0.000	0	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.100	15	1.00195E-07	5.75797E-08	1.00195E-07	0.00000E+00
0.200	30	1.00837E-07	5.79486E-08	1.00837E-07	0.00000E+00
59.800	7466	1.10021E-04	4.34795E-06	1.10021E-04	0.00000E+00
59.900	7474	1.10360E-04	4.34795E-06	1.10360E-04	0.00000E+00
60.000	7482	1.10632E-04	4.34795E-06	1.10632E-04	0.00000E+00

Sample-2

 * 破損確率計算 *

+- 確率密度分布 -+-

確率分布	分布 型	P1	P2	P3	N(cross)
き裂発生確率分布	1	1.054E+01	1.008E+00		
き裂進展破損確率分布	: 入力データによる計算値				
初期欠陥き裂進展破損確率分布	: 入力データで計算				
n個の初期欠陥が存在する確率	0.000E+00				
初期欠陥の個数	1.000E+00				

き裂検出モード :PSI/ISI 無し

+- 解析結果 -+-

Time	き裂発生確率	き裂発生進展破損確率	初期欠陥き裂進展破損確率	累積破損確率
0.10	7.00332E-25	0.00000E+00	1.00195E-07	0.00000E+00
0.20	3.67533E-22	1.60349E-37	1.00837E-07	1.60349E-37
0.30	1.18467E-20	9.12832E-35	1.17250E-07	9.12832E-35
↓	↓	↓	↓	↓
59.80	1.92757E-05	2.45776E-15	4.34795E-06	2.45776E-15
59.90	1.94146E-05	2.47692E-15	4.34795E-06	2.47692E-15
60.00	1.95542E-05	2.49620E-15	4.34795E-06	2.49620E-15

<< REAL-P 実行条件と CPU TIME >>

き裂発生確率計算	: ON
き裂進展破損確率計算	: ON
初期欠陥有き裂進展破損確率計算	: ON
破損確率計算	: ON
CPU TIME	: 21.17 分

13. 1. 3 例-3

き裂発生確率計算について、温度を層別サンプリングとしたモンテカルロ法により発生確率分布を算出します。き裂発生からのき裂進展破損確率計算は、き裂深さを0.5mmとしアスペクト比を層別サンプリングとしたモンテカルロ法で破損確率を算出します。初期欠陥よりき裂進展し破損する確率計算は、直接サンプリングによるモンテカルロ法にて破損確率を算出します。さらに、総合的な破損確率を算出します。この場合、ISI等は考慮しません。なお、き裂進展速度は、厳しめに評価するため10倍してあります。

- き裂発生確率密度分布
温度を層別サンプリングとしたモンテカルロ法で算出します。
セル分割数：50、1セルのサンプル数 100 固
- 初期欠陥無しき裂進展確率密度分布
き裂深さ 0.5mm 固定とし、アスペクト比を層別としたモンテカルロ法で算出。
き裂深さ×アスペクト比 (c/a) : 1×50 のセル分割、1セルのサンプル数 100 固
- 初期欠陥有りき裂進展確率密度分布
温度、き裂進展速度、き裂深さ、アスペクト比を確率変数とした直接サンプリングによるモンテカルロ法で算出します。
サンプル数：5000 固、最大経過時間：10000
- データ
入力データ：sample-3.dat
結果：sample-3.dat.f06

例-2 入力データイメージ

	1	2	3	4	5	6	7	8			
REALP	1	1	1	1	0	1	20000	0	0	1	0
TITLE	Sample-3										
COND	400.	0.365	0.0001		0.0	60.	0.1	0			
TENS	4.8	220.0									
COMP	-4.8	-220.0									
TENSA	435	-976	201	-36.4							
COMPA	-31.9	71.0	-13.6	2.10							
MATER	11	0	1	2	0						
CREEP	1		1.E-2	0.5							
DYSS					2328.	0.320					
FATPR		1.43E-4	1.37								
CRPPR		1.64E-2	0.941								
COFIN	1.	1.	1.	1.0	2.	1.	3.0				
COFPF	4.	1.	1.	10.	1.0						
PROB	0.83										
TEMP	1	1.0	0.02		0.9	1.1					
FATG	1	1	1.0	1.0	6.8E-3	148.0					
A	0	0.5			0.0	12.7					
CA	1	1	1.336	0.5382	1.0	50.0					
CF	1	1	1.	0.42	5.290E-2	18.9					

	AD	2	1.34		0.1	12.7			
\$									
\$		1	2	3	4	5	6	7	8
CRITE			0.3	23.	0.75	0.75			
\$									
GEOM		2	4		241.3	12.7			
			0.5	1.					
			1.	2.					
			2.	4.					
			5.	10.					
PISI		1		10.	10.				
\$ PSI RT									
PSI		1	3		0.62	68.26	0.29		
\$ ISI UT									
ISI					3.63	1.106			
STRAT		1	0	100	20				
\$									
\$		1	2	3	4	5	6	7	8
CELL		0	1	0	100	20	50		
\$									
DEFE		0	0	0	100	20	20	5000	10000.
\$									
\$									
PFAIL			1	1		0	0	0	
CRINI		1	1	8.5	1.0				
\$ CRPFM		1	1	6.698	0.5036				
CRPFM		1	1	13.299	2.1414		265	184.56	49.656
CRPDF		1	1	11.839	4.0282				
\$ CRFDS	sample.dat.fds								
\$ CRDDS	sample.dat.dds								
OUTP		100		0.1	0.1				
END									

例一3 計算結果

```

*****
*           き裂発生確率計算           *
*****

解析モード：層別サンプリングによるモンテカルロ法

乱数発生法：混合合同法

+--- 解析条件 ---+
材料       : 11 316FR(DDS)
温度(°C)   : 400.
ひずみ範囲(%) : 3.650E-01
ひずみ速度(%/SEC) : 1.000E-04
弾性追従係数 dep : 1.000
保持時間(hr) : 0.000E+00
    
```

← 物性値 →

応力ひずみ関係 : 静的(Ludwik)
 疲労破損式の種類 : 疲労寿命に係数 α : 1.00 β : 2.00
 クリープひずみ速度式 : Blackburn 型式
 クリープ損傷則 : 時間消費則 Dc の倍率 : 1.000E+00
 α_R : 1.00 α_c : 1.00 q_c : 1.00

← 確率変数 →

変数名	適用	関数	変数型	P1	P2	P3	P4	P5
温度	◎	1	0	1.00	0.200E-01	0.00	0.900	1.10
ひずみ範囲	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
公称応力	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
σ_y (発生)	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
初期応力	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
α_R	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
α_c	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
疲労寿命	○	1	1	1.00	1.00	0.00	0.680E-02	148.
疲労寿命(高)	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

α_R - α_c 相関係数 : 0.830

← 破損クライテリア →

キャンベル線図制限値D (折れ曲がり点) : 0.300

Nf	N	温度	Sn	$\Delta \epsilon t$	α_y	σ_0	α_R	α_c	Df	Dc
	1	400.0	0.000E+00	3.650E-01	1.000E+00	1.297E+02	1.000E+00	1.000E+00	2.635E-05	0.000E+00

37951. Average

← セル確率 →

確率変数 : 温度

区間	N	a	b	P	平均値	分散
1	100	9.000E-01	9.100E-01	3.111E-06	3.357E-05	3.495E-06
2	100	9.100E-01	9.200E-01	2.827E-05	3.098E-04	3.573E-05
3	100	9.200E-01	9.300E-01	2.010E-04	2.182E-03	2.085E-04
4	100	9.300E-01	9.400E-01	1.117E-03	1.228E-02	1.107E-03
5	100	9.400E-01	9.500E-01	4.860E-03	5.212E-02	4.267E-03
6	100	9.500E-01	9.600E-01	1.654E-02	1.773E-01	1.341E-02
7	100	9.600E-01	9.700E-01	4.406E-02	4.666E-01	4.478E-02
8	100	9.700E-01	9.800E-01	9.185E-02	9.972E-01	9.624E-02
9	100	9.800E-01	9.900E-01	1.499E-01	1.630E+00	1.421E-01
10	100	9.900E-01	1.000E+00	1.915E-01	2.022E+00	1.690E-01
11	100	1.000E+00	1.010E+00	1.915E-01	1.994E+00	1.735E-01
12	100	1.010E+00	1.020E+00	1.499E-01	1.581E+00	1.453E-01
13	100	1.020E+00	1.030E+00	9.185E-02	9.543E-01	8.981E-02
14	100	1.030E+00	1.040E+00	4.406E-02	4.574E-01	4.697E-02
15	100	1.040E+00	1.050E+00	1.654E-02	1.703E-01	1.983E-02
16	100	1.050E+00	1.060E+00	4.860E-03	4.897E-02	5.428E-03
17	100	1.060E+00	1.070E+00	1.117E-03	1.132E-02	1.401E-03
18	100	1.070E+00	1.080E+00	2.010E-04	2.059E-03	2.364E-04
19	100	1.080E+00	1.090E+00	2.827E-05	2.840E-04	3.557E-05
20	100	1.090E+00	1.100E+00	3.111E-06	3.141E-05	4.351E-06
合計				1.000E+00	1.058E+01	9.538E-01

平均値 : 39319.

標準偏差 : 9.766E-01

+- 破損確率と破損寿命 -+-

nσ	破損寿命	破損確率
-1	1.429178E+04	1.587E-01
-2	5.382080E+03	2.275E-02
-3	2.026815E+03	1.350E-03
-4	7.632699E+02	3.167E-05

Sample-3

 * 初期欠陥無しき裂進展破損確率計算 *

解析モード : 層別サンプリングによるモンテカルロ法

乱数発生法 : 混合合同法

き裂モデル : 2 内表面周方向半楕円表面き裂円筒

解析モデル : 半板幅(半径)= 241.30 板厚= 12.70

+- 解析条件 -+-

材料 : 11 316FR (DDS)
 温度 (°C) : 400.
 保持時間(hr) : 0.000E+00

	σm (MPa)	σb (MPa)	σP (MPa)	σgb (MPa)		
引張	4.8000	220.00	0.0000	0.0000		
圧縮	-4.8000	-220.00	0.0000	0.0000		
	σ0	σ1	σ2	σ3	σ4	σgb
引張	435.	-976.	201.	-36.4	0.00	0.00
圧縮	-31.9	71.0	-13.6	2.10	0.00	0.00

+- 物性値 -+-

「応力ひずみ関係」
 動的応力ひずみ関係式 : Ramberg-Osgood 型
 弾性追従係数 qep : 4.000
 「クリープ特性」
 クリープひずみ式 : Blackburn 型式
 qc : 1.00 αc : 1.00

+- 簡易き裂進展評価法 -+-

評価法 : 電中研版 (平成 12 年度)
 *** き裂進展特性 ***
 疲労 Cf : 1.430E-03 mf : 1.370E+00

+- 確率変数 -+-

アスペクト比(a/c) 固定 : 7.485E-01

変数名	適用	関数	変数型	P1	P2	P3	P4	P5
温度	○	1	0	1.00	0.200E-01	0.00	0.900	1.10
膜応力σm	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
曲げ応力σb	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ピーク応力σp	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
σy (進展)	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

き裂深さ	×	0	0	0.500	0.00	0.00	0.00	12.7
アスペクト比 c/a	◎	1	1	1.34	0.538	0.00	1.00	50.0
Mf	○	1	1	1.00	0.420	0.00	0.529E-01	18.9
CC	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
き裂速度	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
+— PSI&ISI —+								
<< ISI >>								
開始サイクル : 1.000E+01 インターバル: 1.000E+01								
No.	Model	関数	型	P1	P2	P3		
1	0	1	0	3.630E+00	1.106E+00	0.000E+00		
+— 破損クライテリア —+								
表面き裂深さの破損限界 : 0.750 表面き裂長さの破損限界 : 0.750								
+— セル確率 —+								
セル	N. Sample	<— a/t —>		<— a/c —>		確率(a/t)	確率(a/c)	確率(Ccel)
1	100			0.925	1.000		7.37857E-02	
2	100			0.855	0.925		7.81146E-02	
3	100			0.791	0.855		8.09711E-02	
↓	↓			↓	↓		↓	
47	100			0.025	0.027		3.34244E-10	
48	100			0.023	0.025		1.34078E-10	
49	100			0.022	0.023		5.26609E-11	
50	100			0.020	0.022		2.02515E-11	
合計	5000						1.00000E+00	
+— 解析結果 —+								
Time	破損ラプトル	確率(NO ISI)	確率(ISI)	破損確率(a/t)	不安定破壊確率			
0.000	0	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00			
0.100	0	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00			
0.200	0	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00			
↓	↓	↓	↓	↓	↓			
59.800	1083	5.10383E-02	9.56922E-09	5.10383E-02	0.00000E+00			
59.900	1086	5.10388E-02	9.56922E-09	5.10388E-02	0.00000E+00			
60.000	1087	5.12791E-02	9.56922E-09	5.12791E-02	0.00000E+00			
Sample-3								

* 初期欠陥有りき裂進展破損確率計算 *								

解析モード : 直接サンプリングによるモンテカルロ法								
乱数発生法 : 混合合同法								
き裂モデル : 2 内表面周方向半楕円表面き裂円筒								
解析モデル : 半板幅(半径)= 241.30 板厚= 12.70								
+— 解析条件 —+								
材料	: 11 316FR (DDS)							
温度 (°C)	: 400.							

保持時間(hr)	: 0.000E+00							
σ_m (MPa)	σ_b (MPa)	σ_P (MPa)	σ_{gb} (MPa)					
引張 4.8000	220.00	0.0000	0.0000					
圧縮 -4.8000	-220.00	0.0000	0.0000					
σ_0	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_{gb}			
引張 435.	-976.	201.	-36.4	0.00	0.00			
圧縮 -31.9	71.0	-13.6	2.10	0.00	0.00			
+--- 物性値 ---+								
「応力ひずみ関係」								
動的応力ひずみ関係式 : Ramberg-Osgood 型								
弾性追従係数 qep : 4.000								
「クリープ特性」								
クリープひずみ式 : Blackburn 型式								
qc : 1.00 α_c : 1.00								
+--- 簡易き裂進展評価法 ---+								
評価法 : 電中研版 (平成12年度)								
*** き裂進展特性 ***								
疲労 Cf : 1.430E-03 mf : 1.370E+00								
+--- 確率変数 ---+								
変数名	適用	関数	変数型	P1	P2	P3	P4	P5
温度	○	1	0	1.00	0.200E-01	0.00	0.900	1.10
膜応力 σ_m	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
曲げ応力 σ_b	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ピーク応力 σ_p	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
σ_y (進展)	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
アスペクト比 c/a	○	1	1	1.34	0.538	0.00	1.00	50.0
Mf	○	1	1	1.00	0.420	0.00	0.529E-01	18.9
CC	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
初期欠陥 (a)	○	2	0	1.34	0.00	0.00	0.100	12.7
き裂速度	×	0	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
+--- PSI&ISI ---+								
<< PSI >>								
No.	Model	関数	型	P1	P2	P3		
1	1	3	0	6.200E-01	6.826E+01	2.900E-01		
<< ISI >>								
開始サイクル : 1.000E+01 インターバル: 1.000E+01								
No.	Model	関数	型	P1	P2	P3		
1	0	1	0	3.630E+00	1.106E+00	0.000E+00		
+--- 破壊クライテリア ---+								
表面き裂深さの破壊限界 : 0.750 表面き裂長さの破壊限界 : 0.750								
+--- き裂進展解析結果 ---+								
直接サンプリングによるモンテカルロ法の計算結果								
採用データ : 4992 / 5000								
<< 対数正規分布 >>								
対数平均値 : 6.88132E+00								
対数標準偏差 : 5.38895E-01								
<< ワイブル分布 >>								

```

位置母数      : 0.0
尺度母数      : 1.23386E+03
形状母数      : 2.43949E+00

分散(対数)
対数正規分布 : 5.896E-03
ワイブル分布 : 4.015E-02

Sample-3

*****
*          破損確率計算          *
*****

+--- 確率密度分布 ---+
確率分布          分布 型          P1          P2          P3    N(cross)
き裂発生確率分布          1    1 1.054E+01  8.078E-02
き裂進展破損確率分布      : 入力データによる計算値
初期欠陥き裂進展破損確率分布: 入力データで計算
n個の初期欠陥が存在する確率 1.000E+00
初期欠陥の個数          1.000E+00

き裂検出モード      :PSI/ISI 無し

+--- 解析結果 ---+
Time  き裂発生確率  き裂発生進展  初期欠陥き裂  累積破損確率
      破損確率      破損確率      進展破損確率  破損確率
0.10  0.00000E+00  0.00000E+00  1.21643E-37  0.00000E+00
0.20  0.00000E+00  0.00000E+00  8.02330E-31  0.00000E+00
0.30  0.00000E+00  0.00000E+00  3.65298E-27  0.00000E+00
  ↓      ↓      ↓      ↓      ↓
59.80 0.00000E+00  0.00000E+00  1.82718E-01  1.82718E-01
59.90 0.00000E+00  0.00000E+00  1.83541E-01  1.83541E-01
60.00 0.00000E+00  0.00000E+00  1.84364E-01  1.84364E-01

<< REAL-P 実行条件と CPU TIME >>

き裂発生確率計算          : ON
き裂進展破損確率計算      : ON
初期欠陥有き裂進展破損確率計算 : ON
破損確率計算              : ON
CPU TIME                  :      5.22 分
    
```

13. 1. 4 例-4

き裂発生確率及びき裂進展破損確率を入力データと外部データから読み込みで破損確率を

計算する。外部データは、例-3の結果を用いる。なお、例-3において初期欠陥有りき裂進展確率密度分布を直接サンプリングによるモンテカルロ法で求めているため、PSI、ISIを考慮していない破損確率を計算することになる。

- き裂発生確率密度分布
対数平均値：6.698、対数標準偏差：0.5036
- 初期欠陥無しき裂進展確率密度分布
外部データ：sample-3.dat.fds
- 初期欠陥有りき裂進展確率密度分布
外部データ：sample-3.dat.dds
- データ
入力データ：sample-4.dat
結果：sample-4.dat.f06

例-4入力データイメージ

```

$-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
REALP      0  0  1  0  0  1  20000  0  0  1  0
TITLE      Sample-4
$
COND       400.  0.365  0.0001  0.0  60.  0.1  0
  TENS      4.8  220.0
  COMP     -4.8 -220.0
  TENSA    435  -976   201  -36.4
  COMPA   -31.9  71.0  -13.6  2.10
$
$-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
PFAIL
  CRINI    1  1  8.5  1.0
  CRPFM    1  1  6.698  0.5036
  CRFDS    sample-3.dat.fds
  CRDDS    sample-3.dat.dds
OUTP      100  0.1  0.1
END
    
```

例-4計算結果

```

*****
*          破損確率計算          *
*****

+--- 確率密度分布 ---+
確率分布          分布 型          P1          P2          P3          N(cross)
き裂発生確率分布          1  1  8.500E+00  1.000E+00  1.000E+00          0
き裂進展破損確率分布          : 外部入力データで計算
  ファイル名: sample-3.dat.fds
初期欠陥き裂進展破損確率分布: 外部入力データによる計算
  ファイル名: sample-3.dat.dds
n 個の初期欠陥が存在する確率  1.000E+00
初期欠陥の個数          1.000E+00
    
```

き裂検出モード :PSI/ISI 無し

← 解析結果 →

Time	き裂発生確率	き裂発生進展 破損確率	初期欠陥き裂 進展破損確率	累積破損確率 破損確率
0.10	8.16624E-17	0.00000E+00	1.21643E-37	0.00000E+00
0.20	1.17073E-14	6.63750-153	8.02330E-31	6.63750-153
0.30	1.80886E-13	1.04759-135	3.65298E-27	1.04759-135
↓	↓	↓	↓	↓
59.80	1.76207E-02	1.30716E-05	1.82718E-01	1.82729E-01
59.90	1.76934E-02	1.32798E-05	1.83541E-01	1.83552E-01
60.00	1.77662E-02	1.34908E-05	1.84364E-01	1.84375E-01

<< REAL-P 実行条件と CPU TIME >>

き裂発生確率計算 : OFF
 き裂進展破損確率計算 : OFF
 初期欠陥有き裂進展破損確率計算 : OFF
 破損確率計算 : ON
 CPU TIME .: 0.00 分

14. サポート

始めに、このプログラムの使用によって生じた損害等については責任を負わないものとし
ます。要望・不具合のご報告は下記にメールをください。不具合にはできるかぎり対処します。
要望は、次回バージョンに反映したいと思います。

【連絡先】

核燃料サイクル開発機構 大洗工学センター

TEL : 029-267-4141 Fax : 029-266-3675

担当 加藤 (内線5708) E-Mail : jy_ktu@oec.jnc.go.jp

浅山 (内線5703) E-Mail : asayama@oec.jnc.go.jp