

# **SMARTFIRE V4.3**

## **技術参考マニュアル**

(原本: 2013 年 9 月改訂版 4.3.1)

2014 年 1 月

株式会社フォーラムエイト



## 免責事項

FSEG は、英語版以外の外国語版マニュアルの正確さについては責任を持ちません。

オリジナルの英語版と他の言語の翻訳版との間の矛盾や不明確さについては、英語版を優先とします。

何か疑問等ございましたら、販売ディーラーまでご連絡ください。

## 序文

インテリジェント火災フィールドモデリング環境の*SMARTFIRE*をご購入いただきましてありがとうございます。火災シミュレーションに用いる他の計算流体動力学(CFD)ソフトウェアと違い、*SMARTFIRE*は、英国グリニッジ大学の火災安全工学グループ(FSEG)における20年以上におよぶCFD火災モデリングの体験に基づいて、**防火エンジニアのための**火災シミュレーションツールとして**特別に設計開発**されたソフトウェアです。

*SMARTFIRE*は、近年急転換した火災シミュレーション解析法に対応するデスクトップ上の火災実験室を防火エンジニアに提供します。*SMARTFIRE*は、防火エンジニアが、CFDやソフトウェアの使い方ではなく、防火設計そのものに集中し、問題の設定、実行、解析を簡単に効率良くするために設計された多くのユニークな特徴を持ちます。

*SMARTFIRE V4.3*のリリースは、他の類似製品の標準設定に対応する新しいCFD火災解析環境として、4番目の主要なものという位置付けになります。*SMARTFIRE V4.3*の環境は以下のモジュールで構成されます。

- **シナリオデザイナー:** 2D CAD DXFやビットマップの平面図のインポート、2D CAD環境による建物設計を可能にします。基本的に複雑な構造物のシナリオ形状を作成するツールです。
- **ケース指定環境:** 3Dワークスペースでシナリオモデルを設定し、物理的過程や解法コントロールを指定します。
- **メッシュ作成ツール:** 火災解析の要求に合う自動で熟達者のようなメッシュ生成を可能にします。手動メッシュモードにより熟達ユーザは現在作成中のメッシュを更に良く調整できます。
- **CFDエンジン:** 充分な対話型コントロールと解析進行過程モニタリングを提供します。ネットワーク上の複数のマシンによる、あるいは1つのマシンで複数のCPUを利用したパフォーマンス向上のための並列計算環境もあります。
- **データビューア:** 映像データの解析のために、且つ顧客との効果的な対話のためにVRのグラフィックスとアニメーションを容易に作成できます。

この新しい*SMARTFIRE*環境は、独自着想の先駆的考え、使いやすさ、処理の透過性を継続しています。

*SMARTFIRE*は、他の高機能ソフトウェア同様、火災フィールドモデリングを身近にすることを意図しますが、最も効率的な方法で最善の結果に達するためには、*SMARTFIRE*でも例外はなく、マニュアルを勉強し、そのガイドラインに忠実であることが必要です。*SMARTFIRE*が安価に習得でき極めて使いやすいソフトウェアであることに気付いてもらえることを切望します。

*SMARTFIRE*が有用有益と感じたなら是非他の人にもお伝えいただけますようお願いします。もし不具合等を見つけたなら修正しますのでご報告いただけますようお願いします。希望する機能や性能についてのフィードバックも歓迎いたします。smartfire@gre.ac.ukから*SMARTFIRE*の開発チームとコンタクトがとれます(英語)。

## 目次

序文 .....	i
目次 .....	ii
図一覧 .....	iii
表一覧 .....	iii
1 SMARTFIRE のインストールについて .....	1-1
1.1 インストールガイド .....	1-1
1.2 一般的なパフォーマンス性能 .....	1-7
1.3 クイックスタートガイド .....	1-10
1.4 SMARTFIRE を利用するためのヒント .....	1-15
1.5 よくある質問 .....	1-16
1.6 技術サポート .....	1-19
1.7 問合せ窓口 .....	1-19
1.8 バグの報告 .....	1-20
1.9 SMARTFIRE のバグ報告書式 .....	1-21
2 SMARTFIRE システムの概説 .....	2-23
2.1 一般的な説明 .....	2-23
2.2 SMARTFIRE の利用方法 .....	2-24
2.3 シナリオデザイナーの概説 .....	2-25
2.4 ケース指定環境 (CASE SPECIFICATION ENVIRONMENT) の概説 .....	2-27
2.5 対話型メッシュ生成システム (INTERACTIVE MESHING SYSTEM) の概説 .....	2-29
2.6 CFD エンジンの概説 .....	2-31
2.7 データビューアーの概説 .....	2-33
3 SMARTFIRE に関する技術参考資料 .....	3-34
3.1 はじめに .....	3-35
3.2 SMARTFIRE で用いられる基本的な方程式 .....	3-35
3.3 一般的なスカラー方程式 .....	3-51
3.4 全体的な離散化方程式 .....	3-54
3.5 代数方程式 .....	3-56
3.6 境界条件 (BOUNDARY CONDITIONS) .....	3-62
3.7 SMARTFIRE の変数名 .....	3-68
3.8 SMARTFIRE の単位体系 .....	3-72
4 デフォルト値とオプション (DEFAULT VALUES AND OPTIONS) .....	4-73
4.1 概説 .....	4-73
4.2 材料プロパティ .....	4-73
4.3 デフォルトの壁厚 (WALL DEFAULT THICKNESS) .....	4-76
4.4 放射率 (EMISSIVITY) .....	4-76
4.5 周囲温度 (AMBIENT TEMPERATURE) .....	4-76

4.6 最低地点の基準圧力 (LOWEST POINT REFERENCE PRESSURE) .....	4-77
4.7 吸収係数 (ABSORPTION COEFFICIENTS) .....	4-77
4.8 時間ステップのコントロール .....	4-79
4.9 スイープのコントロール .....	4-80
4.10 火災の動力曲線 .....	4-80
4.11 ソルバーおよび変数のデフォルト・コントロール .....	4-81
4.12 毒性設定 .....	4-83
4.13 HCL 沈着設定 .....	4-86
5 SMARTFIRE のサポートファイルフォーマット .....	5-88
5.1 SMARTFIRE CFD エンジンの初期化ファイル: 「SMF_CFD.INI」 .....	5-88
5.2 形状ケース指定ファイル (GEOMETRY CASE SPECIFICATION FILE) .....	5-93
6 ケース指定スクリプトコマンド .....	6-97
6.1 ケース指定スクリプトの概説 .....	6-97
6.2 スクリプトコマンド .....	6-98
7 参考文献 .....	7-178

## 図一覧

図2-1: SMARTFIREのモジュール方式 .....	2-24
図2-2: SMARTFIRE環境 (Environment) の利用方法 .....	2-25
図2-3: さまざまなシナリオを提示する SMARTFIREシナリオデザイナー 平面図 (左)、建物 (右下)、およびシナリオ (右上) .....	2-26
図2-4: シミュレーションシナリオのパースペクティブビュー (多層階の建物、階段、ドア、窓、および1つの火災ソースが含まれています) .....	2-28
図2-5: 高層ビルのシミュレーションケースのために生成されたメッシュを示す対話型メッシュ生成ツール .....	2-30
図2-6: SMARTFIRE CFDエンジンのランタイム・ユーザーインターフェース .....	2-31
図2-7: SMARTFIRE データビュー (Data View) 可視化ポストプロセッサ .....	2-33
図4-1: 温度に対する吸収係数の算定値 .....	4-78
図4-2: EBUモデルと協調した毒性モデルのインターフェース .....	4-83
図4-3: 容積熱源アプローチを使用した毒性モデルのインターフェース .....	4-84
図4-4: コンクリートにパラメータ $b1$ - $b7$ を入力するインターフェース .....	4-86
図4-5: HCl沈着モデルの入力 .....	4-87

## 表一覧

表3-1: SMARTFIREにおいて用いられる単位体系 .....	3-72
表4-1: さまざまな火災タイプに関する吸収パラメータ .....	4-79
表4-2: 時間ステップサイズの推奨用法 .....	4-79
表4-3: さまざまな火災タイプに関する火災放熱率のパラメータ .....	4-81
表4-4: 解決される変数に関するデフォルトのコントロール設定値 .....	4-82

表4-5: 算定される変数に関するデフォルトのコントロール設定値 .....	4-82
表4-6: 毒性モデルパラメータ(PHI1、PHI2、MOD) .....	4-85
表4-7: 毒性モデルパラメータ(A,B,C,D) .....	4-85
表4-8: 様々な壁材料に対するHCl沈着モデルパラメータ .....	4-86

## 1 SMARTFIRE のインストールについて

### ソフトウェア バージョン 4.3

*SMARTFIRE*火災フィールドモデリング環境 (SMARTFIRE Fire Field Modelling environment) の最新版に関するすべての性能、最新機能、および制限条件の完全な説明については、最新の製品説明書を参照してください。

本節では、ソフトウェアのインストール方法および*SMARTFIRE*を用いて始動する方法を説明します。また、バグの報告、技術サポート窓口の詳細、モデリングに関するアドバイス、およびよくある質問への回答に関する情報も含んでいます。

### 1.1 インストールガイド

#### 1.1.1 インストール前のチェック

インストール手順を開始する前に、*SMARTFIRE*ソフトウェアがターゲットプラットフォームに関する有効なライセンスを有することを確認します。

現在のシステムの日付が正確であり、かつ*SMARTFIRE*ハードウェアのロッキングキーで定められたライセンス失効日より後でないことを確認します。

マイクロソフトWindowsNTv4.0、Windows 2000およびWindowsXP(プロあるいはホームエディションSP3)、Windows Vista、Windows 7のプラットフォームに関しては、「管理者」タイプの権限を有するアカウントを用いてインストールする必要があります。管理者の権限がなければ、同僚のシステムサポート職員に依頼して*SMARTFIRE*をインストールしてもらいます。

*SMARTFIRE*をインストールするパソコンが以下のハードウェアおよびソフトウェアに関する推奨事項/要件を満たしていることを確認します。

#### 1.1.2 ハードウェアおよびソフトウェアの要件

*SMARTFIRE*ソフトウェアは、マイクロソフトWindows32 ビットと64ビットのオペレーティングシステムにもとづくパソコン(すなわちWindowsXP、Windows Vista、Windows 7)で実行可能です。Windows 7 64ビットを推奨します。

*SMARTFIRE* V4.3は、Windows VistaおよびWindows 8に関する動作確認の検査をおこなっていませんが、ソフトウェアの一連のバージョンはWindowsのこれらのバージョンに完全に互換性があることが期待されます。

最小限の推奨PCハードウェア要件は、以下のとおりです。

要件	プロセッサ	RAM (MB)	グラフィックス	ハードディスク空き領域
希望 最小要件	Intel Pentium 4 3.2 GHz (シングルコア)	1024	SVGA <sup>*1,*2</sup> (800 x 600)256色	インストールに80 MB ケースに関して 20GB
望ましい 最小要件	Intel Core 2 Duo E8500 <sup>*3</sup>	4096 (DDR3)	SXGA <sup>*2</sup> (1280 x 1024) 24ビット色	インストールに80 MB ケースに関して 80GB
推奨 (Q1 2012)	Intel Core i7 Quad Core 3770 <sup>*3</sup>	24,576 (24GB) 以上 <sup>*4</sup> (DDR3)	SXGA (上と同様) またはそれ以上	インストールに80 MB ケースに関して 500GB

さらに、さまざまなユーザーインターフェースを操作するために、2または3(推奨)ボタンのマウスが必要です。

そのほかのハードウェアプラットフォームあるいはオペレーティングシステムに関するサポートについては、*SMARTFIRE*デベロッパにお問い合わせください。

*SMARTFIRE*は、(プレーンテキスト形式の)データファイルを編集するために、(正しくインストールされ、拡張子が「txt」のファイルを扱うために登録された)適切なテキストエディタプログラムを必要とします。

[\*1] Smartfireメニューのいくつかは、SVGAの表示サイズよりもわずかに大きいことがあります。その場合でも、すべてのメニューは、この解像度で利用可能です。

[\*2] Smartfireは、「小文字フォント」を用いて開発されました。ユーザーのオペレーティングシステムの表示設定(Display Settings)パネルから選択した「大文字フォント」を用いたときは、Smartfire内のメニューが適切に表示されないことがあります。

[\*3] Parallel Smartfire(並列Smartfire)のみ、最新のデュアル/クワッドコアCPUの複数コアを利用できます。

[\*4] 64ビットOS(例: Win 7 x64ビット版)のみがメモリー4GB以上を利用できます。

### 1.1.3 *SMARTFIRE* を CD-ROM からインストールする

*SMARTFIRE*をシステムにインストールするには、以下のステップに従ってください。

- 1) [PCがOFFの状態]。SMARTFIRE USB/ハードキー(Hasp USBドングル)を有効なUSBポートに取り付けます。ハードキーの使用について疑問がある場合、まず技術サポートスタッフと連絡を取ってください。多数のFSEGHaspドングルは正確に機能しないか、ドングルの設定を破損します。Aladdin/SafeNetドングルへのドライバのインストールが自動で行われないようにしてください。
- 2) PCの電源をオンにし、適切なWindowsセッションを起動します。なるべくインストールされたService Pack 3があるWindowsXP ProあるいはインストールされたService Pack 1がある7を推奨します。64ビットをお使いの場合、ステップ4)参照の上、64インストールバージョンを使用してください。
- 3) 「SMARTFIRE v4.3 CD」とラベルの貼られたCDをCD/DVDドライブユニットに挿入します。作業システムは自動的にCDをみつけ、メニューシステムを読み込みます。これはSMARTFIREインストールセットアッププログラムを実行します。



- 4) 設定プログラムが自動的に開始しないときは、タスクバー上の「開始(Start)」および「実行(Run...)」オプションを順に選択します。64ビットの場合、  
`[cd_drive_letter]:\SMARTFIRE_v4_3_Setup_x64`を入力してENTERを押します。32ビットのみの場合、`[cd_drive_letter]:\SMARTFIRE_v4_3_Setup`を入力します。または、任意のブラウザ(「Windowsエクスプローラ」など)を用いて、お使いのシステムのセットアップアプリケーションの正しいバージョンを見つける方法もあります。例えば、32ビットの場合、配布メディア上の `\SMARTFIRE_v4_3_Setup.exe` ファイルを見つけて、64ビットの場合、配布メディア上の `SMARTFIRE_v4_3_Setup_x64.exe` を見つけます。該当するセットアップファイルをダブルクリックすると、インストールが始まります。
- 5) 画面上の設定の説明に従ってください。設定プログラムは、まずライセンス条件に同意すること、次に、インストールのための有効なパスを提供することをユーザーに求めます。*SMARTFIRE*のケースや結果はきわめて大きくなる可能性があるため、十分な空きスペースがある場所にインストールすることが推奨されます。「プログラムファイル」フォルダ内よりハードディスクドライブの内の1つのルートレベルにSMARTFIREを保持をおすすめします。
- 6) インストールが終了したら、コンピュータの再起動を選択し、すべてのシステム変更を現行のセッションに組み込みます。
- 7) 最後に、セットアッププログラムでインストールまだ終了できない場合、*SMARTFIRE*がハードウェアキーを見つけてアクセスできるようにするために、ハードウェアキーのドライバーを設定します。そのためには、単純に、Smartfire v4.3プログラムフォルダ内にある「ハードウェアキーのドライバーをインストール(Install Hardware Key Driver)」と書かれたアイコンをダブルクリックします。最初に*SMARTFIRE*をインストールするときのみこの操作が1回だけ必要になります。
- 8) *SMARTFIRE*を実行するには、「Smartfireケース指定環境(Case Specification Environment)」のアイコンをダブルクリックするか、あるいはプログラムメニューの「Smartfire v4.3」メニューから「Smartfireケース指定環境」を選択します。

#### 1.1.4 インストールに関するトラブルシューティング

**問題:** 多数およびランダムなCDの読み込みエラー。

**潜在的原因:** 本製品のCD-R配布媒体と互換性のない旧式のCDドライブユニットを使用している可能性があります。比較的旧式のCDドライブの一部[6x、4x、およびそれ以下の速度]は、CDRから情報を確実に読み取れないことがあります。CD-R読み取りの互換性があるCDドライブにアップグレードするか、あるいは購入先に代替インストール方法を相談してください。たとえば、ウェブからのダウンロードなどの方法があります。例: Webサーバから設定インストールの電子ダウンロード。

**問題:** 「ハードウェアキーのドライバーをインストール」を実行しようとする、「プログラムデータベースへのアクセスがありません」と表示される。

**潜在的原因:** ユーザーがWindows NT v4.0、Windows 2000あるいはWindowsオペレーティングシステムの「管理者」権限を持っていない。

**問題:** 起動したときにSMARTFIREケース指定環境が「必要な環境変数が設定されていない」と表示する。

**潜在的原因:** システムがまだ再起動されていない、不完全なインストール — 以下の環境変数を設定することによって、この問題を手動で修復できます。

```
SMF_HOME_PATH=[drive:]\[smf_root_dir]
SMF_VERSION=ver_403
SMF_WORK_PATH=[drive:]\[smf_root_dir]\work
```

**問題:** このプラットフォーム上で本ソフトウェアを実行するライセンスがないというSMARTFIREコンポーネントからのメッセージが表示される。

**潜在的原因:** 動作中のUSBポートにUSBハードウェアキーが接続されているか、ハードウェアキーのドライバがシステムにインストールされているか、またこのキーが推奨されるバージョンまたは最新のバージョンであるか、有効なライセンスか、USBポートに関するドライバのエラーがないか、あるいはデバイスが無効または停止になっていないか、ドライバのコンフリクトまたはUSBデバイスにおけるポートの問題がないかどうかの確認を行ってください。

### 1.1.5 SMARTFIRE をアンインストールする

SMARTFIREをコンピュータから削除するには、以下の手順に従います。

- 1) 「スタート(Start)」、「設定(Settings)・・・」、「コントロールパネル(Control Panel)」を順に選択し、「追加(Add)/削除プログラム(Remove Programs)」アイコンをダブルクリックします。
- 2) アンインストールが可能なプログラムのリストから「Smartfire」を選び、「削除(Remove)」ボタンを選択します。
- 3) インストール/アンインストールプログラムによって提供された説明に従ってください。
- 4) ハードキーをUSBポートから取り外すことができます。

SMARTFIREをアンインストールしても、ワークフォルダにあるファイルは削除されませんのでご注意ください。

### 1.1.6 SMARTFIRE :構成および操作モード

SMARTFIREシステムは、以下の主な実行可能なコンポーネントによって構成されています。

<i>smf_sd.exe</i>	: CADフロア平面図をインポートするためのシナリオデザイナー。
<i>smf_gui.exe</i>	: ケース指定環境および自動メッシュ生成ツール。
<i>smf_par.exe</i>	: パラレルCFDエンジンのランチャー/設定ツール
<i>mview.exe</i>	: 形状ファイルおよび情報ビューアならびに整合性チェックユーティリティ。

64ビットのオペレーティングシステムにおける64ビットのインストールで、メモリ集約型のコンポーネントは

全てファイル名の最後に「\_x64.exe」が付きます。例: smf\_cfd\_x64.exeやsmf\_gui\_x64.exe

有効なハードディスクドライブ[ディスク文字(DISK\_LETTER)]上に、*SMARTFIRE*システムに関するディレクトリ構造が以下のように作成されます。

[ディスク文字]: |*SMARTFIRE*|

```
|
+---ver_403|           : 最新バージョンは4.3(すなわち403)
|
|   +---images|         : SMARTFIREで用いる画像のフォルダ
|   +---sounds|         : SMARTFIREで用いるサウンドのフォルダ
|   +---help|           : SMARTFIREで用いるヘルプファイルのフォルダ
|   +---ini|            : 初期化ファイルのフォルダ
|   +---bin|            : SMARTFIREの実行ファイルを含むフォルダ
|   +---bin|dataview_bin| : SMARTFIREデータビュー(DataView)実行形式およびdllファイル
|
|   +---backup|ini|      : 初期化ファイルのバックアップを含むフォルダ
|
+---library|           : ライブラリテストケースのフォルダ
+---utility|           : サードパーティツールおよびその他のユーティリティのフォルダ
|
+---work|              : デフォルトのワークフォルダおよびその下のケースフォルダ
|
|   +---case_a74|        : Steckler A74ケースのファイルを含むフォルダ
|   +---case_name|       : 「case_name」という名前の事例ケースフォルダ
+---tutorial|          : チュートリアルケース
+---docs|              : ドキュメント(文書)
```

ユーザーは(オプションとして)使用するローカルワークディレクトリを以下のように設定できます。

[ディスク文字]: |*MY\_PATH*|*MY\_SMF\_WORK*|

```
|
+---case_a74|           : Steckler A74ケースのファイルを含むフォルダ
+---atrium|             : アトリウムケースのファイルを含むフォルダ
```

以下の環境変数がインストールおよび設定の実行中に作成されます。

```
SMF_HOME_PATH    = [ディスク文字]:¥SMARTFIRE
SMF_VERSION      = VER_403
SMF_WORK_PATH    = [ディスク文字]:¥SMARTFIRE¥WORK
```

ユーザー定義のワークパスを用いる場合は、ユーザーは有効なディレクトリパスに関する環境変数を以下のように変更する必要があります。

***SMF\_WORK\_PATH*** = [ディスク文字]: \MY\_PATH\MY\_SMF\_WORK

これらの環境変数は、*SMARTFIRE*ディレクトリ構造内で設定およびサポートファイル全ての位置を確認するために、*SMARTFIRE*実行ファイルによって用いられます。ユーザーがディレクトリの名前の変更やファイルの移動をおこなうと本ソフトウェアが予期せず動作しなくなるおそれがあるため、おこなわないように注意します。

以下の連続的なイベントは、設定からシミュレーションまでの完全な実行に関して構想されたものです。

ユーザーはオプションとして、以下の名前の*SMARTFIRE*シナリオデザイナーユーザーインターフェースを起動します。

*smf\_sd.exe*

これは、2DのCADフロア平面図をインポートするため、あるいはフロア平面図編集ツールを用いて各階を設計することによって建物シナリオを作成するためのツールです。*SMARTFIRE* CFDエンジンにおけるシミュレーションに先立って、シナリオを構築する結果、モデル設定およびメッシュ生成のために*SMARTFIRE*ケース指定環境内に直接読み込むことができるモデルファイルが作成されます。

既存のモデルは、*SMARTFIRE*ケース指定環境内に直接読み込むことができます。あるいはユーザーは、3Dモデリングスペースにおけるオブジェクトの基本形を用いてシナリオを構築できます。それには以下のファイルを用います。

*smf\_gui.exe* (または64ビットで *smf\_gui\_x64.exe*)

これは、*SMF\_WORK\_PATH*ディレクトリで実行を開始します。*SMARTFIRE*ケース指定環境は、新規の空白の範囲を作成します。

あるいはユーザーは、ワークディレクトリの1つの中から既存のケースを読み込むことを選択することもできます。選択されたモデルは、*SMF\_WORK\_PATH*によって指定されたフォルダの下にあるそれ自体のサブディレクトリに完全に含まれます(ディレクトリには、保存されたケース名前と同じ名前が付けられます)。たとえば、ユーザーは「case\_a74」という名前のケースを作成できます。*SMARTFIRE*ケース指定環境からそのほかの実行ファイルを実行すると、適切に命名されたケースディレクトリ内に適切なファイルが作成されます。*SMARTFIRE*ケース指定環境は、そのほかの実行ファイルおよびサポートファイルがどこにあるかを判断するために、*SMF\_HOME\_PATH*および*SMF\_VERSION*「環境変数」を参照します。このモジュールをユーザーが選択した場合、必要に応じてそのほかの*SMARTFIRE*コンポーネント実行ファイルが起動します(適切な入力ファイルが存在するのを確認するため、それぞれの実行ファイルを起動する前にテストをおこないます)。

ユーザーが形状および物理的組成の指定を完了した後で、メッシュを生成したいとき、*SMARTFIRE*ケース指定環境はメッシュ生成のための統合化ツールウィンドウを開きます。メッシュ生成ツールはまず、現在の形状に用いるセル割当て数に関して質問してから、デフォルトのメッシュ生成ルールを用いて自動的にメッシュ仕様を作成します。自動メッシュ仕様が作成されたら、メッシュ生成ツールは対話型モード

で、ユーザーが現在のメッシュを確定するか、ブロック選択および変更オプションを用いてメッシュ仕様を変更するまで待機します。最終的なメッシュ仕様が確定されたら、本ツールにより、現在のケース名に従って名前が付けられ、拡張子「.smg」(以前は「.geo」)を伴う形状ファイルが作成されます。また、現在のケース名に従って名づけられ、拡張子「.smc」(以前は「.inf」)を伴うインフォームコマンドスクリプトファイルも作成されます。

SMARTFIREケース指定環境を用いて、以下の名前のCFDシミュレーションプログラムを起動できます。

*smf\_cfd.exe* (または64ビットで *smf\_cfd\_x64.exe*)

その結果、このケースに関するコマンドスクリプトファイルの名前である引数(argument) (「case\_a74.smc」など)を受け取ります。CFDコンポーネントは、コマンドスクリプトファイルおよびそれに関連づけられた形状ファイルの読み込みをおこないます。CFDコンポーネントからのすべての出力は、現在のケースディレクトリに入ります。

最後に、SMARTFIREデータビュー(DataView)ポストプロセッシング可視化システムを用いて、CFDシミュレーションから得られたデータを可視化および動画化できます。

*smf\_dv.exe* (または64ビットで *smf\_dv\_x64.exe*)

またユーザーは、インフォームコマンドスクリプトおよび形状ファイルによって指定された物理的特性およびメッシュ設定の整合性をチェックするために、SMARTFIRE CFDエンジンを実行する前に以下のツールを起動することもできます。

*mview.exe*

ユーザーは、SMARTFIREディレクトリ構造内の「ini」(初期化)ディレクトリから(必要な場合に)いくつかの初期化ファイルを変更できます。そのほかのモジュール初期化ファイル(ユーザーによる変更を目的とするもの)は、実行ファイルとともにbinディレクトリに保管されています。SMARTFIREの以前のバージョンから変更された点は、初期化ファイルがバージョンコントロールの下に位置づけられ、SMARTFIREの特定バージョンに関連する初期化ファイルが以下のフォルダ内に収められていることです。

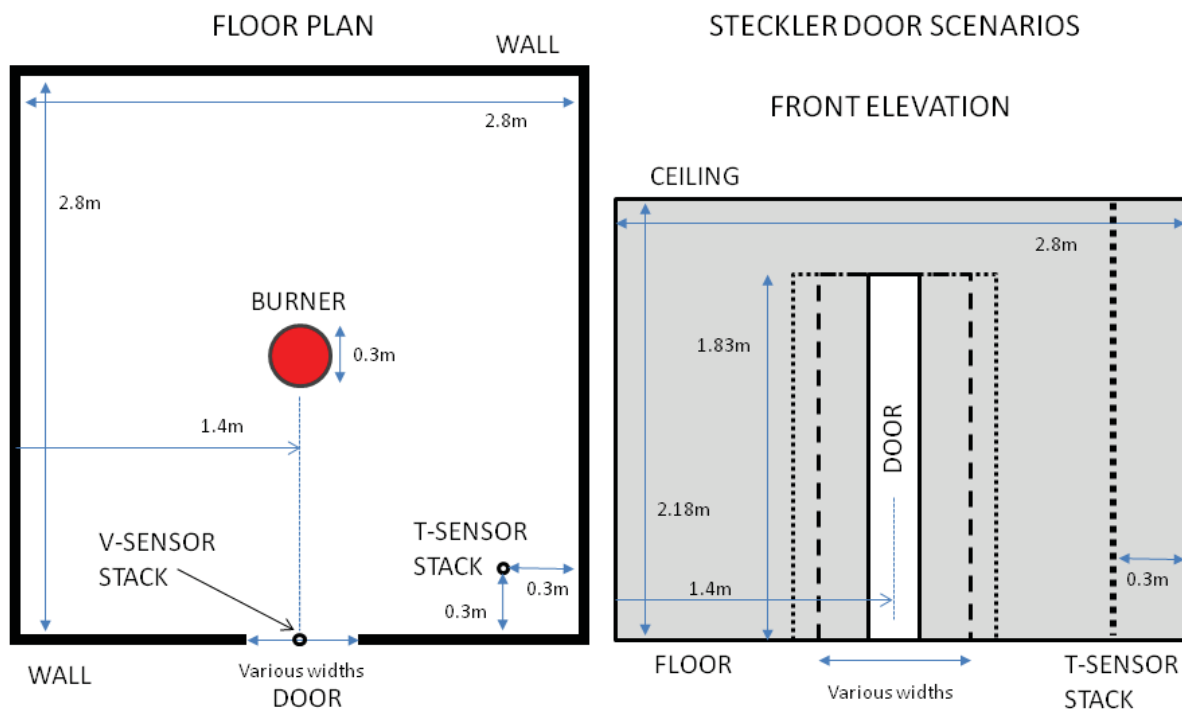
*SMF\_HOME\_PATH\SMF\_VERSION\ini\*

## 1.2 一般的なパフォーマンス性能

SMARTFIREのシミュレーション実行速度は、シミュレーションの性質およびコンピュータのハードウェアに依存しています。このパフォーマンスに影響を及ぼす一次係数は、以下のとおりです。計算メッシュのサイズ、選択された物理的特性オプションの性質、選択された計算オプション、コンピュータプロセッサのタイプ(および速度)、ならびにソフトウェアが利用可能な物理RAMの容量。

パフォーマンスの基準として、以下のシナリオが用いられてきました。

Steckler 室内火災シナリオ



図はStecklerシナリオの平面図と出火元の場所(左)と正面図(右)を表しています。

**形状:** Steckler室内火災ケース、寸法は長さ=2.8m、幅=2.8m、高さ=2.18m、1つの壁の中央に位置し、開いているドアの幅=0.74m、高さ= 1.83m。部屋は26100コントロールボリューム(セル)、ならびに  $n_x=45$ 、 $n_y=20$ 、および  $n_z=29$  の方向性セル割当てを推奨します。中央に配置された火災は端部0.3mの立方体として表されます。これは、59.9キロワットの定常放熱出力か、またはメタン燃料の0.001198のkg/秒の同等の燃料質量放出率を伴います(ガス燃焼モデルを用いたとき)。

**物理的特性:** 2つの放射オプション、すなわち6フラックス(拡張)放射モデルおよび24光線の多重光線放射モデルを用いた熱伝達を伴う一過性の乱流および、圧縮性の理想気体法則。出火は可能です。1つのシナリオにおいて、放熱火災は気体燃料放出火災に置き換えられました。1回の継続時間が1秒(1分間のシミュレーション時間合計を表す)の時間ステップが60回分、時間ステップごとに最大限50スイープを伴ってシミュレートされました。

**ソルバーオプション:** 圧力(Pressure)に関しては200回の内部反復を用い、またそのほかのスカラー変数(SOR使用)に関しては50回の内部反復を用いる残留(Residual)SOR。ただし、5回のみ内部反復を用いる運動量(Momentum)(JOR使用)および放射(Radiation)の場合を除く。

**ランタイム:** 本シナリオは、上記の形状、物理的特性、およびソルバーオプションを用いて、Windows XP ProまたはWindows 7オペレーティングシステムのどちらかを使用した異なる2つのPC上で実行されます。

以下の表は、さまざまなパソコンの設定上でシミュレーションが完了するための所要ランタイムを示します。



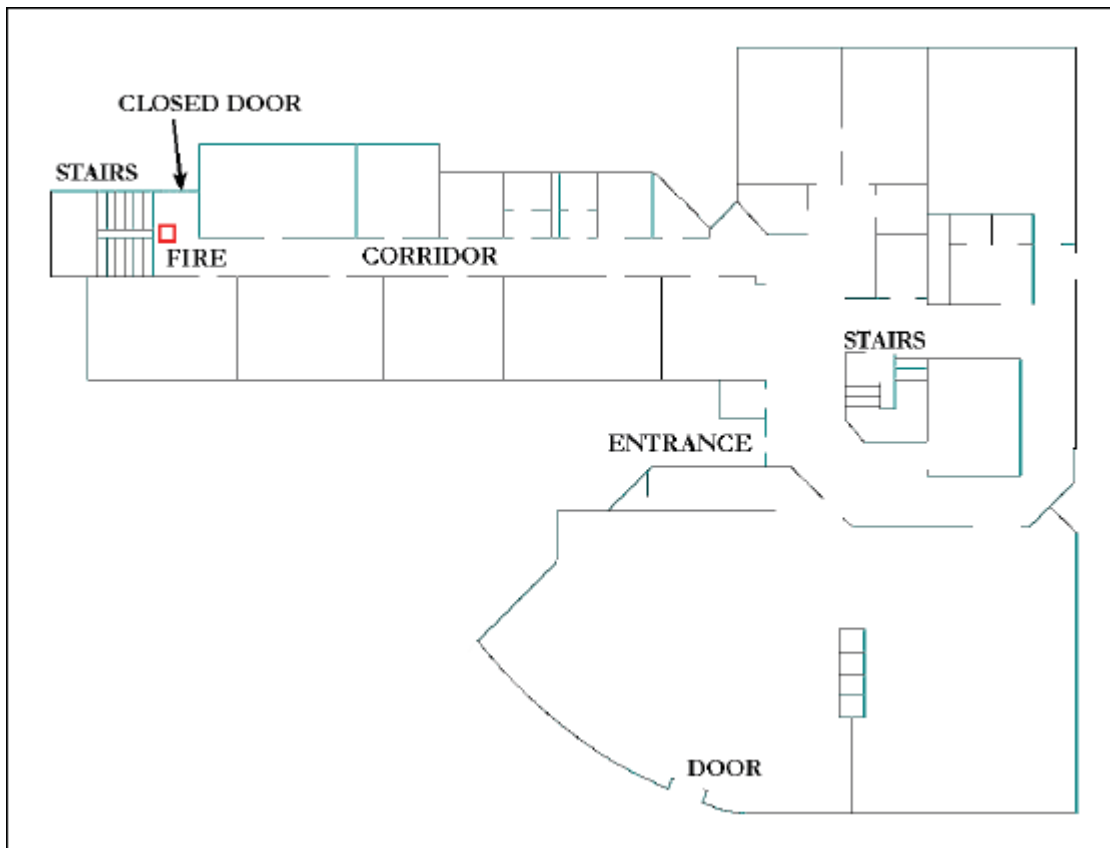
表:Steckler 火災ケース一般的なハードウェアパフォーマンス(ランタイム)

プロセッサ	RAM (GB)	体積 HRR 火災および 6 フラックス放射	体積 HRR 火災および 多重光線放射 (24 光線)	燃焼、火災、毒性およ び 6 フラックス放射 (24 光線)
Intel Pentium 4 (シング ルコア) 3.8 GHz	3	1 時間 54 分 40 秒 (6,800 秒)	2 時間 30 分 42 秒 (9,042 秒)	2 時間 59 分 5 秒 (10,745 秒)
Intel Core i7 (Quad), シングルコア使用	24	49 分 56 秒 (2,996 秒)	1 時間 6 分 29 秒 (3,989 秒)	1 時間 12 分 34 秒 (4,354 秒)
Intel Core i7 (Quad), Parallel 4 コアを使用	24	13 分 40 秒 (820 秒)	22 分 26 秒 (1,346 秒)	27 分 36 秒 (1,656 秒)

## 病院のシナリオ

より大きなシナリオでのシミュレーションの目安を測るために、大規模な火災安全工学応用で想定されるセルの量と更に一般的なシミュレーションを表すために追加で時間分析を行いました。

仮定シナリオでは2つの吹き抜けの階段付きの2階建ての病院を使用します。上階は完全に密封された状態を想定します(すなわち2つの階段以外は上階からの換気がない状況)。1つの階段の下(地上階)に1.75MW(同等)の最高潮の大火災を設定します。このシナリオでは有効な燃焼、煙、多重放射(14)、毒性、HClリリースモデルをシミュレーションします。シナリオの一般的な平面図は下記図で表される通りです。



図は平面図(両フロアに共通)と火災の位置を表しています。

最適化の前に手動でメッシュ細分化を行ったセルは500,960ですが、最適化後に必要のないセルは全て削除され、214,684まで減少します(すなわちセルは閉め切った部屋や建物外の範囲から削除される)。シナリオは10分のシミュレート時間、各タイムステップで最大30の行程で実行されました。さまざまなシリアル且つ並列PC配置を使用した合計の実行時間は、下記表の通りです。

プロセッサ	RAM (GB)	ランタイム
Intel Core i7 (Quad), シングルコア使用	24	21 時間 5 分 32 秒 (75,932 秒)
Intel Core i7 (Quad), 並列 1PCにつき4コア使用	24	49 分 56 秒 (2,996 秒)

SMARTFIRE v4.3を用いたタイミングです。SMARTFIRE v4.0は、内部のソルバー反復にはるかに大きな自由度を導入し、それによりランタイムパフォーマンスを犠牲にしてよりすぐれた収束をもたらすことが注目されます。このことは、SMARTFIRE v4.0には処理速度を高めるいくつかの内部の最適化手段があることにより相殺されます。

(シミュレーションケースを実行させるすべてのアプリケーション、オペレーティングシステム、およびSMARTFIREの)合計使用メモリが利用可能な物理メモリを上回る場合、オペレーティングシステムはディスクへのページングを開始し、ランタイムパフォーマンスはクロールに減速するため、シミュレーションは事実上適用不可能になります。Windows 32 Bitシステムを取り扱い範囲の限界としていることは、いずれのアプリケーションでも使用可能な物理メモリの最大量が2GBであることを意味します。これは、SMARTFIREソフトウェアにおいて約700,000個のセルに相当します。この限界は下記の2つの方法で回避可能です。

Windows 64 Bit(Windows XP Pro x64、Windows Vista x64、Windows 7 x64、Windows 8 x64)に切り替え、SMARTFIREも64 Bitに切り替える。64 Bitではメモリは利用できる物理RAMの量でのみ制限されます。

並列32 Bitを使用して32 Bitの複数のPCで別々にシナリオを実行します。並列シミュレーションの各プロセスタスクがセルの最大数を下回っている場合、より多くのメッシュ量での実行が可能となります。並列SMARTFIREはメッシュを読み込み、分解し、且つ利用可能なプロセッサ上で広げる必要があるという制限は依然あります。

実際の火災モデリングの使用において、全ユーザーはシリアルと並列のどちらのSMARTFIREにおいても64 Bitを使用することを推奨します。

## 1.3 クイックスタートガイド

### 1.3.1 クイックスタート: 概説

SMARTFIREの使用方法を学ぶためのもっとも容易かつ信頼性の高い方法は、提供されたチュートリアル



ルガイドに従い、ユーザーガイドおよび技術サポートセクションを参照することですが、ユーザーが *SMARTFIRE* システムをすぐに起動したい場合は、以下の手順が有効なことがあります。以下の提案、注釈、ヒント、および注意は、*SMARTFIRE* を用いた新規のシミュレーションケースの設定、および *SMARTFIRE* システムの別のコンポーネントを実行するためのアプリケーション環境の使用に関する迅速かつ簡明な指針を示すものです。このクイックスタートガイドは、ユーザーによるシミュレーションの作成、ケースのメッシュ化、新規に定義したケースのCFDエンジンへの読み込み、およびシミュレーションの開始を支援することを理想とします。

### 1.3.2 クイックスタート: 提言

スタートする前に、形状および火災シナリオの簡単なスケッチを紙に描くことをお勧めします(小さな建物の場合)。また、特にシミュレーションが現実世界の火災の経験的なデータにもとづく場合、関係すると思われるそのほかのものを書き留めます。たとえば、以下のような事項が挙げられます。

- 最大火力—火力曲線および係数を定義するために用いられます。
- データが収集される/必要になる前の時間—適切なシミュレーション継続時間を定めるために、時間ステップのサイズおよび数を設定するのに用います。
- データが収集される前の時間—適切なシミュレーション継続時間を定めるために、時間ステップのサイズおよび数を設定するのに用います。

換気、ドアの開閉、火事で影響を受けるオブジェクト(例: 燃える、壊れるなど)などが正しくモデル化されているか注意してください。建物が大きい場合、または換気が複雑な場合、実地調査を行う必要があることがあります。

設定されたケースが安定し、正確に指定されているか否かを判断するために、粗メッシュの使用を試行します(自動メッシュ生成ツールが推奨するよりもかなり少ない(30%まで)セルを使用)。このケースが完了するまで実行する必要はありません。またこのソリューションデータを必要以上に信頼することはありません。収束の安定性を評価し、また火災が要件どおりに起動しているかを確認するために、いくつかの時間ステップに関してテストケースを実行する価値があります。

CFDシミュレーションを開始する前に、Meshビューを用いてメッシュおよび物理的特性パッチの量をチェックします。このビジュアルツールは、CFDコードがどのようにユーザーの形状および指定を解釈するかに関する情報を提供します。

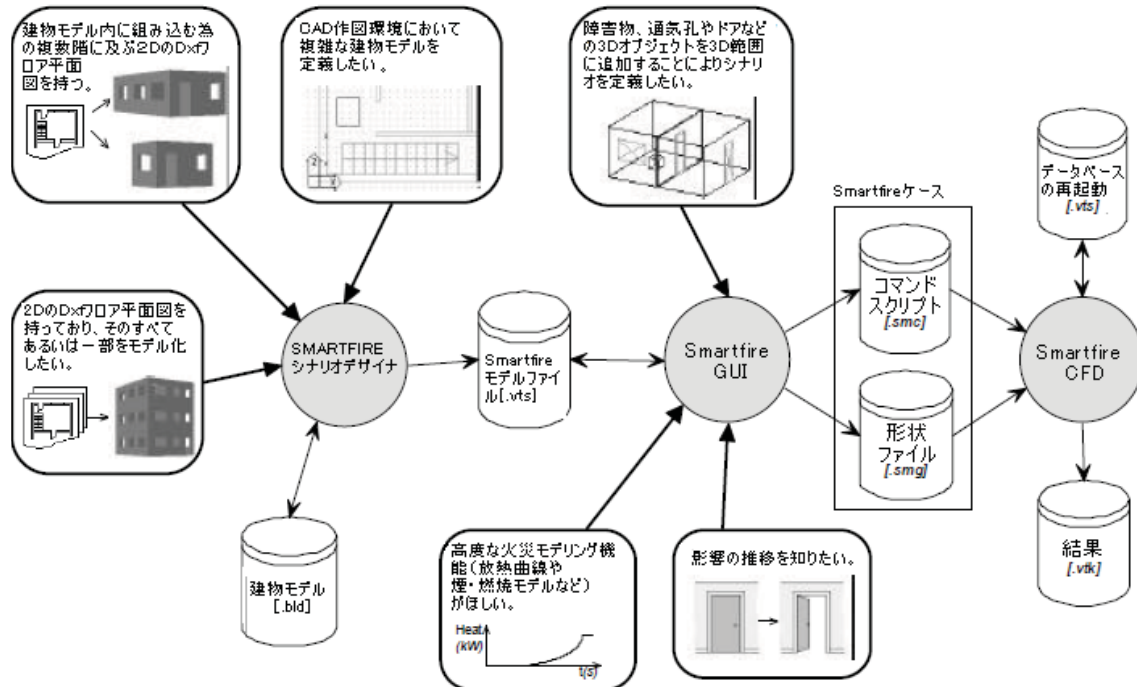
[デバッグ(Debug)]メニューのプルダウンオプション[<case\_name.smc>を閲覧する(View)]を用いると、シミュレーションに適用するケースを設定するためにCFDエンジンが用いる指示を有効にチェックできます。初心者はこのファイルを閲覧する必要はありませんが、その目的と存在を知っておくことは必要です。

### 1.3.3 クイックスタート: いずれのコンポーネントを利用するか

*SMARTFIRE* バージョン4.3に関して、火災モデリングシナリオを作成するための2つの別個のユーザー

インターフェースがあります。**SMARTFIREシナリオデザイナー**(smf\_sd.exe)および**SMARTFIREケース指定環境**(smf\_gui.exe)は、それぞれが特定スタイルの問題に対してよりよく適応するかなり異なる対話モードを提供します。**シナリオデザイナー**は、**ケース指定環境**のすべてのタスクを実行することはできないことに注意します。したがって、CFDシミュレーションの実行が可能になる前に、**シナリオデザイナー**の形状を**ケース指定環境**に読み込み、設定し、メッシュ生成をおこなうことが依然として必要です。

各コンポーネントを最も効果的に利用する方法を示すために、以下の図が役に立ちます。



図は、SMARTFIRE コンポーネントを用いた特定の形状シナリオを取り扱う最適な方法を示します。

本ソフトウェアを最も効果的に用いるためには、まず自分の形状の特性を考慮する必要があります。シナリオにきわめて詳細あるいは複数フロアにわたるフロア平面図 (DXF型式) が含まれている場合、**シナリオデザイナー**を用いる必要があります。それによってこの種の形状を**SMARTFIRE**内に入力するタスクが単純化されるためです。シナリオがただ部屋の小規模の集合あるいは多くの障害物を必要としない単純な構造物 (倉庫など) の場合は、おそらく**ケース指定環境**を利用するほうが容易です。形状がどのような方法で作成されたとしても、**ケース指定環境**の内部でのみ指定可能ないくつかの構成オプション (例えばサブモデル起動、複雑な火災曲線、一過性および専門的な設定値、影響の推移など) およびメッシュの作成があります。形状が**シナリオデザイナー**で作成された場合は、それを保存してから、モデルのシミュレーションに進むために**ケース指定環境**に読み込む必要があります。

### 1.3.4 クイックスタート: 利用手順

- i. **SMARTFIRE**ケース指定環境を起動します。**ヒント:** これは、**SMARTFIRE**システムのその他のコンポーネントを実行するアプリケーションでもあります ([実行 (Run)] メニュー参照)。
- ii. [範囲 (Region)] エディタパネルおよび3つの座標サイズスピンボックスを用いて、シミュレートしたい範囲の寸法 (サイズの単位はメートル) を設定します。**ヒント:** これは、シミュレートしたいすべての区画の内部容積です。**SMARTFIRE**は、範囲の端部上に作成した通気孔に従って必要に応じて、

自動メッシュ指定の操作中に、自動的に拡張範囲を追加します。

- iii. オブジェクトパネルを表示するには、[オブジェクト(Object)]タブを選択します。
- iv. [新規オブジェクト(New Object)]ボタンを用いて、少なくとも1つの火災を追加します。オブジェクトリストメニューからオブジェクトタイプとして「単純火災(SIMPLE\_FIRE)」を選択します。表示エリアに赤いボックスが作成されます。サイズおよび位置スピンボックスを用いて、火災の寸法と位置を設定します。**ヒント:** 火災は(デフォルトにより)エネルギー源としてSMARTFIRE内で入力され、シミュレートされます。火災の体積を選択して火災の面積および高さを表します。火災ソースを完全に閉じ込めるように基底面積を選択し、火災の期待最大高さの約75%の高さを選択することが推奨されます。この体積は、火力出力に影響を及ぼしません。**注意:** 複数の火災が重ならないようにします。重なると、火力計算に誤りが生じることがあります。**ヒント:** 特定のオブジェクトを現在選択中にするには、オブジェクトリストから選択するか、ビジュアルディスプレイ範囲内のオブジェクトをマウスで選択します。[オブジェクト(Object)]パネル上の編集およびプロパティボタンは、(グレーで塗りつぶされた)現在選択中のオブジェクトを指します。
- v. 定義したそれぞれの火災に関して、[プロパティ(Properties)]ボタンを選択してそれぞれの火災の火力曲線を入力します(火力曲線係数は、kW火力値として入力します)。その火災を表現したい複雑度に応じて、5種類の火力曲線があります。[定常(Constant)]火災曲線が想定する火災は、 $t=0.0s$ (秒)で開始し、ただちに最終的な最大値に達します。[単純(Simple)]火災曲線の場合、火災はシミュレーション時間の自乗の関数として定義されます。[エキスパート(Expert)]火災曲線の場合、条件と係数の組合せによってシミュレーション時間に関連づけた火力曲線が作成されます。[単純(Simple)]タイプの火力曲線を有する既定の一般的な火災タイプは4つあります。最後に、表ファイル定義火災のタイプは、さまざまな時間における熱出力を定義するために外部データファイルを用います。**ヒント:** 初心者は、既定の火力曲線の1つか、または定常火災を選択することが推奨されます。**注意:** 値がつねに正数となり、かつ最後に表示された値がユーザーの求める火力と一致することを確認するために、火力曲線を確定する前に火力曲線グラフを入念にチェックします。
- vi. [新規(New)]オブジェクトボタンを用いて、定義した範囲から少なくとも1つの通気孔を外界に追加します。オブジェクトリストメニューから、オブジェクトタイプとして「通気孔(VENT)」を選択します。範囲の表面の1つに、平らなタイルが作成されます。展開範囲表示を用いて、通気孔を配置する面を選択し、必要な通気孔サイズを設定します。これらの通気孔は開いたドア、通気用開口部、建物の窓です。**注意:** 設定プログラムでは、ユーザーが建物の外側や自由ボリュームではなく、建物構造物の内部に火災をモデリングしていると想定します。**ヒント:** 形状においてシミュレーション範囲の高座標の端部上に通気孔を配置すると、CFDエンジンでのデータナビゲーションが少し容易になります。**注意:** 通気孔のない室内に火災が含まれている場合、その部屋はただちに不安定になります。現在のシミュレーションの物理的特性では、酸素空乏のために消火する方法がわからないためです。火災によって増大する熱を除去する過程を伴うことなく、圧力が継続的に上昇します。
- vii. 必要な障害物を追加するには、[新規(New)]ボタンを選択した後、オブジェクトリストメニューから、オブジェクトタイプとして「障害物(OBSTACLE)」を選択します。障害物をアレンジして、内部の間仕切り(パーティション)および家具の表現を作成できます。**注意:** 障害物は、流れを制限するために

のみ用いられます。**ヒント:** フィールドモデリングを用いるときは、すべてのオブジェクト(特に家具)を正確に表す必要はありません。なぜなら、比較的小さい家具のコンポーネントは流れに対して無視できる影響を及ぼす一方、複雑なメッシュ生成に対しては大規模な影響を及ぼすからです。たとえば、単純な4本脚のテーブルは、脚を作成することなく、水平な薄板をテーブルの高さに浮かせることで最適に表現されます。**ヒント:** 2つの区画の間にドアを作成するときは、ドアの両側の壁を表すために2枚の完全な高さのパネルを用い、またドアの上の壁面を表すために、出入り口の天井から短いパネルをぶら下げます。

- viii. モデル化したいすべての項目が作成されていることを確認するために、形状を視覚的にチェックします。また必要な場合は、[ビュー(View)]パネルから平面投映を用いて、向きおよび配置をチェックします。**ヒント:** それぞれのオブジェクトタイプは固有色を有し、重なっているオブジェクトは、端部が点線で表示されます。
- ix. [シナリオ(Scenario)]プルダウンメニュー[問題タイプ(Problem Type)]オプションで、問題タイプの設定をチェックします。。問題タイプメニューでは、時間ステップサイズ、時間ステップ数、スweep数を設定したり、必要の場合は放射(Radiation)モデルを有効にしたりするオプションが与えられます。**注意:** デフォルトでは、このメニューを変更する必要はまったくありませんが、用いた設定を知っておく必要があります。なぜならそれらはシミュレーションの結果およびケースを完全にシミュレートするための所要時間に多大な影響を与えるからです。
- x. [ファイル(File)]メニューのプルダウン項目[名前を付けて保存(Save as)]を用いて、形状設定を新規ケースとして保存します。このケースに名前が付けられ、このケースに関連したすべての出力に関するディレクトリが作成され、また後で検索や編集ができるように、形状および物理的特性が保存されます。**ヒント:** そのほかのシミュレーションから容易に区別できるような記述的な名前を選択します。**注意:** 任意の長さの名前を用いることができますが、スペースの代わりに下線を用い、名前の長さを可能な限り短くすることが推奨されます。
- xi. [実行(Run)]のプルダウンオプション[メッシュの作成(Create Mesh)]を用いて、形状を自動メッシュ生成ツールに渡します。このメッシュ生成ツールは、別のユーザーインターフェースを開きます。ここで、自動生成されたメッシュを用いるには、[確定(Accept)]を選択します。(作成されたメッシュに満足できない場合)そのメッシュを破棄するには、[無視(Decline)]を選択します。この自動メッシュ生成ツールは、このケースをメッシュ化するために必要なセル割当て数に関する質問を示します。ただしデフォルトのオプションは、推奨のセル割当ての適用です。**ヒント:** 必要な場合、別のセル割当て数を用いてふたたび自動メッシュ生成コンポーネントを実行できます。初心者ユーザーは、精密なシミュレーションを目的とする場合には推奨のセル数を、また短時間のテストランが目的の場合には推奨の約40%のセルを用いることが一般的に助言されます。
- xii. このケースでのCFDコードシミュレーションを起動するには、[実行(Run)]プルダウンメニューオプション[CFDエンジンの実行(Run CFD engine)]を適用します。CFDエンジンは、専用のユーザーインターフェースを開き、初期化の後に自動的に中断します。[実行(Run)]を選択すると、シミュレーションを最初のスweepから開始できます。
- xiv. ソリューションステータスウィンドウで残差値もしくは数回の反復に関するスweep残差グラフを見て、



ケースが収束していることを確認します。**ヒント:** 収束に問題がある場合は、さまざまな火災曲線特性、さまざまな時間ステップ、および/あるいは異なる緩和値を用いて、問題を再指定する必要があります。

- xv. シミュレーションがきわめて不安定になり、変数が限界を越えたときは、CFDコードは通常これを知り、エラー検知を示すメッセージウィンドウを表示します。

## 1.4 SMARTFIRE を利用するためのヒント

- 1) SMARTFIREは、(特に再起動、再起動データベース、およびビジュアルの保存に関して)ハードディスクにきわめて大きいデータファイルと結果出力保存を作成することがあります。これは、大きなセル割り当てケースを起動時には特に目立ちます。これを頻繁に行わなくてもいいように、または後処理の可視化に必要となるフィールド変数の出力のみを選択するためには、出力保存の制限を行う必要があるかもしれません。ファイルデータの信頼性のために、定期的にディスクのデフラグソフトウェアを使用して、ハードディスクを最適に保つことを推奨します。
- 2) CFDコードはきわめて複雑かつ高度に連結されたアルゴリズムシステムです。技術、計画、および近似値計算の特定の組合せは、それぞれのCFDシステムが弛緩やソルバーの選択などのパラメータを調整する応答においてほぼ一意的であることを意味します。一般にこのことは、別のCFDコードで学習された詳細な特定戦略をSMARTFIREに適用できないことを意味します。ただし、これらの傾向および応答は類似している可能性が高いです。
- 3) SMARTFIREは、情報伝達、データの可視化、および結果の保存に関してセル中心の速度を用いますが、運動量ソルバーは内部的に、「Rhie-Chow」法と呼ばれる近似値を用いて、表面中心の速度を得ます。セル中心の速度は、必ずしも保全あるいは連続性を満足させる必要はありません。「Rhie-Chow」法により、保全および連続性は実際には表面中心の速度によって満たされることが保証されるからです。そのため、特に逆向きの流れのレイヤや形状面の制約があるセルにおいて、セル中心の速度はわずかに非現実的に見える可能性があります。このことは、SMARTFIREと、保存された表面中心の速度からセル中心の速度を計算する交互に配列されたメッシュCFDコードの間でデータを比較するときに留意します。
- 4) シミュレーションの初期段階に関してデフォルトにより選択された弛緩パラメータは、その後のほぼ安定状態に向けて急激に、弛緩が不十分な状態になる可能性が高いです。そのため、時間ステップサイズがかなり小さい一過性のシミュレーションにおいて弛緩が過小な状態が多すぎる場合は、ソリューションが擬似的な停滞状態に見える可能性があります。この問題は、SMARTFIREの将来版において取り組まれており、ソリューションが進行するにつれてコントロールパラメータを監視かつ修正する動的ソリューション高度コントロールシステム(ICS)を利用しています。その間、ユーザーは(すべてでないにしても)ほとんどのCFDソフトウェアに装備されているこの「特徴」を意識する必要があります。
- 5) CFDソフトウェアのユーザーは、特定のシナリオでシミュレートされることが期待される複雑性および精度に関して思慮深くなければなりません。小規模な障害物および障害を形状内に作成することや、形状特性よりも大きなコントロールボリュームを必然的に作成するきわめて小さいセル割当

て数を選択することには意味がありません。

無制限の計算力およびメモリがある理想的な世界では、きわめて微細なメッシュの使用が推奨されます(たとえば、領域(domain)全体に関して0.01m立方のメッシュセル)。残念ながら、現在のパソコンおよびワークステーションの能力では、メモリの利用可能性と数値処理速度を現実的に考慮すると、このような微細メッシュの解像度は不可能です。

現在の自動メッシュ生成ツールは、入力されたすべての形状は(そうでないと告げられるまで)関連性があると想定します。そのため、微細解像度の形状の詳細部分に低いセル割当て数が強制されている状況において、不十分な品位のメッシュ生成を引き起こす可能性があります。

- 6) *SMARTFIRE*の最新版における実際の火災の表現は、定常または時間依存の熱を出力する既定のボリュームの形をとっています。火災の基底面積はあらかじめわかっているか、容易に予測できることが多いですが、シミュレーション火災の高さは正確に把握することがある程度困難です。これは、実際の火災における加熱は、固定された空間体積ではなく、むしろ火災の高さまで発生するためです。ユーザーは、火災体積を定めるときに、火災高さの可能性を考慮することが推奨されます。これは、さまざまな方法で推定できます。たとえば、Heskestadの相関式[22]を用います。火災体積をさらに現実的に指定できる場合は、火災セルにおける温度およびエネルギーが非現実的なほど大きくなる可能性は比較的低くなることに注意します。エントレインメントの強い火災(例えば、開いている戸口)は、大きな火災体積において非現実的なプルームの温度とプルーム形状を生成するので注意してください。

この火災の大きさが問題となる場合は、気体燃焼モデルを用いて火災を表すことが提言されます。なぜなら、燃料と酸素があればどこでも燃焼は起きるため、さらに現実的な火災ソースの挙動が得られるからです。

## 1.5 よくある質問

*SMARTFIRE*のユーザーからこれまでに寄せられた質問を以下に挙げます。質問に対する回答を示すとともに、適宜、問題を解決するための提言を加えています。

- Q.** 負のプロパティ値(密度など)が検出されたことがCFDコードにより報告されました。
- A.** あまりにも急速な変化、あるいは弛緩パラメータや時間ステップサイズの不適切な選択のためにソリューションが過負荷状態になるとき、1つあるいは多数のソリューション変数が逸脱する可能性があります。これはしばしば、密度の計算で最初に認識されます。なぜなら、密度においては、流れと熱のプロパティの組合せがありかつ、比較的小さな変化でエラーが生じやすいからです。この問題は、火災ソースの真上および天井の真下のセルにおいてもっとも多くみられます。これは、数個のセル深度のスペースにおいて方向を変換しなければならない大きな上向きの流れがあるためです。
- S.** 一般的に、弛緩に達していない状態および適度に小さい時間ステップサイズ(約1.0秒以下)を適切に選択することにより、この問題が回避されます。定常火災出力が約100kWより大きいときに、シミュレーションがこの問題を生じる可能性がもっとも高まりますが、これもまた形状およびメッシュに依存します。この定数火災の場合、最終的な放熱率まで火災出力を増大するために用いられるいく

つかの初期の時間ステップを用いて、一過性モードでシミュレーションを実行することが必要なことがあります。現在、定常シミュレーションにおける火災を増大させる機能はないため、ユーザーは、熱源をダンプするために、擬似時間ステップおよび線形弛緩を用いる必要があります。隣接するセルのサイズが大きく変わる場合や、きわめて小さな体積のセルは、この種の不安定化を引き起こす主要なメッシュ関連問題となる傾向があります。このエラーがシミュレーション時に発生した場合、エラー位置を確認し、その形状やこの位置における(近くの)火災やメッシュへ戻り位置を参照してください。セルの質が悪い場合、セルサイズに大きな変更がある場合またはエラー位置が火災ソースの真上である場合は、何らかの是正措置を行い、メッシュの質を改善させるか、火災により発生した流量の極度を制限する必要があります。これらの問題を引き起こしているもう一つの要因として、流量率が突然大幅に増加したINLETまたはFANオブジェクトの使用が挙げられます。この場合、INLETまたはFANが最大流量率に達する割合を減少させる必要があります。

- Q.** 特定の変数に関して逸脱が検出されたことがCFDコードにより報告されました。
- A.** 時間ステップサイズや火災出力が比較的大きいか、または未弛緩の度合いが比較的小さいとき、シミュレーションが不安定になり、エラーテスト条件が機能しなくなるまで、(1つまたはいくつかの)変数に関する残差の規模が継続的に増大する可能性があります。
- S.** より小さい時間ステップサイズや、さらなる過小弛緩の使用を試みます。
- Q.** さらに大きいセル割当てを同じ形状に用いたときに、ソリューションが必ずしも改善しません。
- A.** これは、さらに細かい解像度効果が得られるように、セル割当て量を増やしてメッシュサイズを小さくしても、新しい(更に微細)メッシュが微細なスケールの特徴を完全に分解できるほどまだ十分細かくないときに起こります。
- S.** オプションとして、セル割当て数をさらに増やすか(メッシュの感度分析の一環として必要なことが多い)、または、結果が許容範囲内である場合には、さらに小さいセル割当て数に戻る方法があります。
- Q.** システムマトリクスの対角線上にゼロの値が検出されたことが、CFDコードにより報告されました。
- A.** 特定の形状および初期状態の組合せにより、システムマトリクス上にゼロの対角線(特にエンタルピーに関して)が生じることがあります。通常、これは擬似時間ステップの弛緩を用いることによって軽減されます。この弛緩により、係数マトリクスを対角線上で優勢にする条件をシステム対角線に追加します。
- S.** 問題の変数上に擬似時間ステップの弛緩があるか否かをチェックします。また、問題のあるセル(通常は壁の内部にあります)が不十分な設定になっていないかを判断するために、形状をチェックすることも必要になることがあります。
- Q.** 残差が2つの値の間で「フラッター(揺れ)」を開始し、正常に収束しているように思われません。
- A.** 以下の2つの一般的な原因をはじめとして、ソリューションが揺れ動くいくつかの潜在的原因があります。過小弛緩の値があまりにも極端な場合や、時間ステップサイズがかなり小さい場合、シミュレーションは当該時間ステップにおいて停滞することがあり、ソリューションを変化させる推進力がほとんどまたはまったくないまま、ソリューションが変動する可能性があります。別の潜在的原因は、現在のソリューション状態が対向する2つの流れの層をもつ可能性があり、対向する流れ間のセル層を占有する方法を決定できないため、中間層における速度は、一方から他方の方向へ反転しがちなことにあります。この挙動の大きさがきわめて小さいことが多く、後続の時間ステップにおいて

消失する可能性が高いです。

- S. フラッター(揺れ)がソリューションの停滞によって引き起こされる場合には、時間ステップサイズを増やすか、あるいは過小弛緩をある程度低減することが必要なことがあります。フラッター(揺れ)の振幅が比較的小さい場合には、後続の時間ステップにおいて自然に消失する可能性があります。それでも継続する場合は、対向する流れの層をさらに精密に解決するために、さらに微細なメッシュ(すなわち、セル割当て数の増加)が必要になることがあります。残差の規模がきわめて小さいときに変動が生じる場合には、一般的に無視できます。

Q. 放熱率モデルを用いて大規模な(メガワット)火災をシミュレートするときは、*SMARTFIRE*は(特に、火災および高温プルームの範囲において)温度を高めにより予測する傾向があります。

- A. コントロールボリュームセルのエネルギー密度が一定の限界を超えると、このエネルギーがセルから離れて拡散するためには、標準的なエネルギー伝達プロセスでは不十分です。また、算定温度は潜在的に非現実的な高さに上昇します。したがって、これは誤りではありません。なぜなら、放熱モデルは現実に対する近似値計算であり、特に高い出力火災の負荷に関しては、「ニアフィールド」における正確な挙動を保証することはできません。また、ユーザーによる火災体積の選択が不適切(小さすぎるなど)であった場合も考えられます。そのため、局所的エネルギー密度がさらに増加することによって問題が悪化します。

- S. 気体燃焼モデルの使用を考慮するとよいでしょう。なぜならそれにより、どこで(およびどれほど)シナリオに熱が加えられるかをさらに現実的に表現できるからです。また、熱をさらに正確に拡散させるために、できるだけ多くのエネルギー伝達プロセスサブモデルを起動させるとよいでしょう。これは、プルームおよび高温層の温度に関するさらに適切な予測を提供するために、伝導性の壁、6フラックスあるいは多重光線放射、および変数吸収係数モデルを有効にすることを意味します。

Q. *SMARTFIRE*の旧バージョンのファイルは、バージョン4.3と互換性がありますか？

- A. *SMARTFIRE*の以前のリリースは、バージョン4.1のファイルと同様のファイル形式を有しています。ただし、ユーザーが認識しておくべきいくつかの相違点もあります。ケース指定モデルファイルの名前には、(バージョン4.3以降)「.smf」という拡張子が付いています。*SMARTFIRE* CFDエンジンに読み込まれたファイル名は現在、コマンドスクリプト(以前は情報(inform)ファイルと呼ばれていました)に関しては「.smc」、形状(メッシュ定義)ファイルに関しては「.smg」というファイル名拡張子がそれぞれ付いています。*SMARTFIRE*の最も新しいバージョンは前(バージョン2.0)の名前を認識しています。これらのファイルのレガシーバージョンが存在する場合は、*SMARTFIRE*はそれが新規の命名規則に適合するようにレガシーファイルを改名できるかどうか尋ねてきます。あるいは、ファイルの新旧両方のバージョンがある場合は、*SMARTFIRE*は、レガシーバージョンを削除可能かどうかを尋ねます。ボリュームパッチの利用を正式のものにするために(合計ソースあるいは単位体積ソースごと)、*SMARTFIRE*[V3.0、V4.0、V4.1、V4.2、V4.3]は現在、ボリュームソース定義において適切なキーワードを見つけることを期待します。コマンドスクリプトファイルの読み込み中に*SMARTFIRE*が適切なキーワードを発見しない場合は、ユーザーはそれぞれのあいまいなボリュームソースパッチが合計ソースパッチなのか、単位体積ごとのソースなのかを選択することを求められます。質問をおこなうダイアログボックスは、ユーザーが情報にもとづくパッチタイプの選択をおこなえるように、特定のボリュームソースパッチに関して与えられた数値パラメータも表示します。新規のバージョン4.3ケース指定環境によって作成されたコマンドスクリプトは、デフォルトの合計ソース(TOTAL SOURCE)の挙動を用い、自動的に適切なキーワードを含みます。*SMARTFIRE* v4.3は、完全に修正された再起動データベースを持っています(V4.1以降全てのバージョンで共通)。



このデータベースでは、大きいサイズのケースであっても実用的な再起動管理が可能です。旧型フォーマットの再起動データベースは検出され、CFDエンジンはユーザーに、レガシーデータベースを新規フォーマットに更新することが許可されるか否かを尋ねます。*SMARTFIRE* v4.3で利用するためには、レガシー再起動データベースを更新しなくてはなりません。

- Q.** *SMARTFIRE*のバージョン4.3のファイルは、以前のバージョンと互換性がありますか？
- A.** バージョン4.3のファイルは、*SMARTFIRE*の以前のバージョンのいずれとも互換性があると想定されません。実際には、新しいバージョン4.3のファイルを、V2.0で用いられたレガシー命名規則に従って改名することはできますし、おそらく読み込むこともできます。しかし、*SMARTFIRE*の旧バージョン内で正確に解析するためには、バージョン4.3内には削除または(コマンドスクリプトファイル内で)上書きを必要とするいくつかのスクリプト拡張子があります。手動の介入が必要になるうえ、利用された場合に、明らかにさかのぼって互換性をもつことのない一定の新機能があります。一般に、コマンドスクリプトパーサ(解析ツール)は、認識されないコマンドの行およびセクションを示します。

## 1.6 技術サポート

商用あるいは類似の環境におけるユーザーは、専門的な維持管理およびサポートがなされないソフトウェアを用いるリスクを冒すことはできません。そのため、*SMARTFIRE*の製作者および公認サプライヤは、任意のソフトウェアサポート契約を提供します。このソフトウェアサポート契約の目的は、適切なレベルの専門的なオンライン(ファクス、eメール、および電話、あるいはいずれか1つ)サポートを*SMARTFIRE*のユーザーに提供することです。公認ソフトウェアサポート(Official Software Support)は、*SMARTFIRE*の開発者あるいは開発者公認のディストリビュータによってのみ提供されます。本ソフトウェアを購入したときの販売元は通常、ソフトウェアサポートを提供します。運用条件に関しては、各自のソフトウェアサポート契約(Software Support Agreement)を参照してください。

また、一連の*SMARTFIRE*ユーザー向け講座がユーザーに提供されます。*SMARTFIRE*ユーザー向けについての詳細は、購入先あるいは開発者にお問合せください。

## 1.7 問合せ窓口

*SMARTFIRE*に関するさらに詳しい情報は、以下の連絡先にお問合せ願います。

WWW: <http://fseg.gre.ac.uk/>

郵送: *SMARTFIRE*,  
Professor E.R. Galea (E.R. Galea教授),  
Fire Safety Engineering Group, (CMS) (火災安全工学グループ),  
The University of Greenwich (グリニッジ大学),  
Old Royal Naval College,  
Park Row, Greenwich,  
London, SE10 9LS, UK (ロンドン、SE10 9LS、英国)

Eメール: smartfire@gre.ac.uk

ファクス: [+44] (0) 208-331-8925

ボイス: [+44] (0) 208-331-8730

## 1.8 バグの報告

すべてのユーザーは、ソフトウェアのバグがあった場合に開発者に報告することが奨励されます。バグはなるべく電子メールで開発者に報告願います。電子メールを利用できない場合は、バグレポートをファクスでお送りください。それが不都合な場合には、バグレポートを下の住所に郵送願います。

バグレポートは電子メールまたはファクスでご送付いただくのが望ましく、電話でのご報告は最後の手段となります。バグレポートが書面の形式で提供され、ソフトウェアのバージョン、ハードウェアの特性、オペレーティングシステムおよびバージョン、ならびに問題の記述に関するすべての関係情報が含まれていると、はるかに効率的にバグに対処できるためです。

ご報告いただいたバグを複製・調査するために追加情報をご依頼する必要にそなえて、ご連絡先のご提供をお願いします。

バグ報告の送付先の電子メールアドレス、ファクス番号、および郵送用住所は以下のとおりです。

**Email:** smartfire@gre.ac.uk

**Fax:** [+44] (0)208-331-8925

**Mail:** SMARTFIRE (Bug Report),  
F.A.O. Dr. J. Ewer,  
Fire Safety Engineering Group, (CMS),  
The University of Greenwich,  
Old Royal Naval College,  
Park Row, Greenwich,  
London, SE10 9LS, UK



**Fire Safety Engineering Group, (CMS),  
THE UNIVERSITY OF GREENWICH,  
Old Royal Naval College,  
Park Row, Greenwich,  
London, SE10 9LS, UK**

## 2 SMARTFIRE システムの概説

### 2.1 一般的な説明

SMARTFIREソフトウェアシステムは、統合型のツールセットです。これにより、ユーザーは迅速に、容易に、かつ信頼性をもって火災シミュレーション問題の作成、シミュレート、および問合せをおこなうことができます。きわめて直観的なコンポーネントとそのユーザーインターフェースにより、エキスパートと初心者ユーザーのいずれもが火災シミュレーション形状およびシナリオを指定して、適切なCFDメッシュを作成し、時間経過や定常状態条件に応じた火災シナリオの効果をシミュレートできます。指定ツールは、任意の複雑なシミュレーションシナリオをかなり柔軟に設定できます。数値シミュレーションエンジンは、中間結果のランタイムビジュアル・数値表示、およびさまざまなグラフとの相互作用性がきわめて高いです。

SMARTFIRE CFDソフトウェアは、単一の任意のサイズの範囲においてモデル化された高温・乱れ・浮力を伴う流れをシミュレートできます。その範囲には、壁と仕切りで分割された複数の内部区画を含むことができます。CFDソフトウェアは、非構造物コントロールボリュームソリューション技術を用います。ただし、現行の自動メッシュ生成システムは、規則的な六面体のコントロールボリュームを作成することに限られています。火災は、容積測定熱源として（単純な時間方程式あるいは表により定義された火災）、または気体燃料の質量ソースとして（渦消散燃焼モデルを使用）表されます。熱放射は、相互反射、拡張型6フラックス放射モデル、あるいは多重光線放射モデルを用いてモデル化できます。乱流は、浮力を考慮した修正kεブシロンモデルを用いてモデル化されます。全体的な流れは圧縮性あるいは非圧縮性の可能性があり、圧力補正アルゴリズム（SIMPLEあるいはSIMPLEC）の1つを用いてモデル化されます。

いくつかの実践的な処理限界（すなわちコントロールボリュームの最大値）があります。それはホストコンピュータの性能（すなわち、空きメモリ）によって規定されます。また、処理速度はホストコンピュータの速度と直接関係があります。

SMARTFIREソフトウェア環境は、CFDソフトウェアのインテリジェントコントロールおよびCFD新技術開発に関する継続中の調査プロジェクトの一環として作成されました。SMARTFIREソフトウェアスイートには現在、おもな4つの論理的コンポーネントがあります。すなわち、DXFによってフォーマットされたCAD図面をインポートするためのシナリオデザイナー、フロントエンドのケース指定環境、自動対話型メッシュ化システム、およびCFD数値エンジンです。

この4つのSMARTFIREコンポーネントは、一般的に上記の順番で、一般的なCFDシミュレーションサイクルにおいて利用されます。このサイクルは、問題を記述する形状情報の作成と使用、メッシュ化ツールによる適切なメッシュの作成（および可能なかぎり微調整）、さらにその後のCFDエンジンにおける問題のシミュレーションによって構成されます。ケース指定環境は、問題の指定を取り扱います。自動メッシュ化システムは、現在の形状に対するメッシュを作成します。またCFDエンジンにおいてシミュレーションが実行されます。シナリオデザイナーを用いて、DXFCAD図面からの建築設計図のインポートを支援できます。それぞれのコンポーネントについては、後節で詳しく説明します。

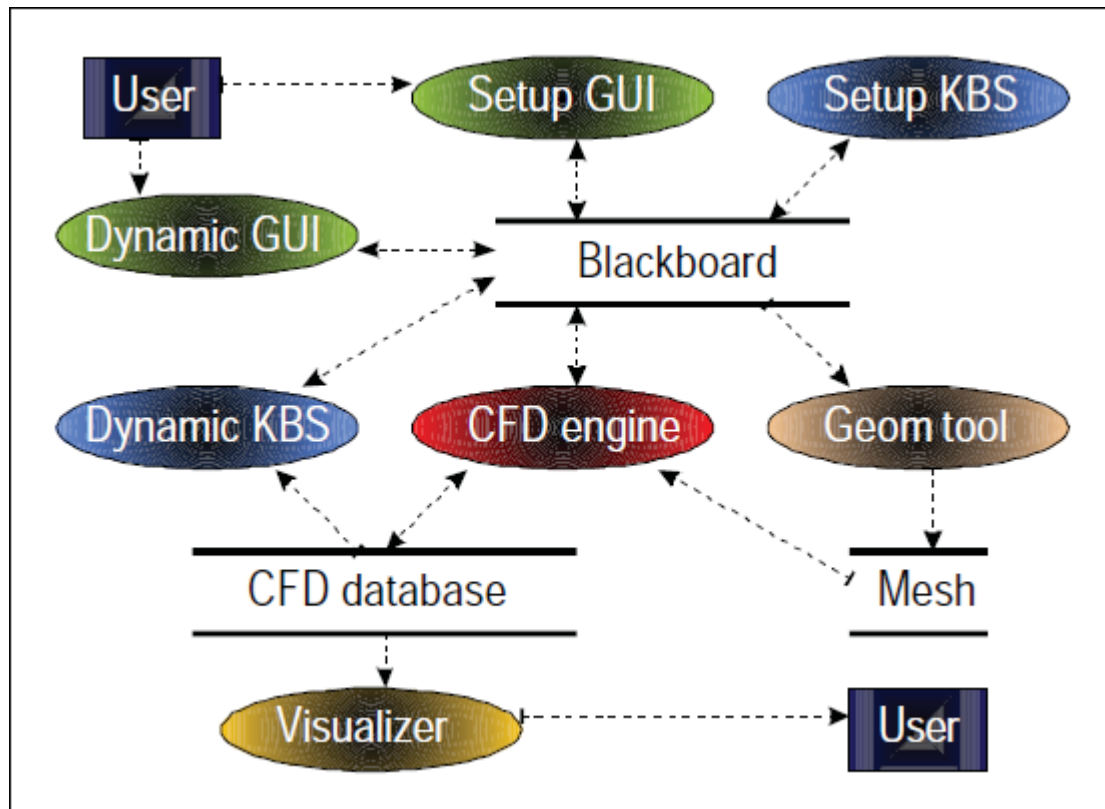


図2-1: SMARTFIREのモジュール方式

SMARTFIREソフトウェアスイートは、自動メッシュ生成システムコンポーネントを用いてCFD初心者をサポートすることを目指します。このメッシュ生成システムは、基本タスクを実行します。すなわち、選択したセル割当て数を用いて、このケースに適切なコンピュータメッシュを指定します。ユーザーが供給する必要があるのは、問題の形状および物理的特性です。形状が指定された後は、自動メッシュ生成システムがCFDコードに関して設定されたパラメータの大半を生成します。これはその後、シミュレーション結果を判定するために実行されます。

## 2.2 SMARTFIRE の利用方法

SMARTFIREバージョン4.0以降、火災モデリングシナリオを作成するための2つの別個のユーザーインターフェースがあります。SMARTFIREシナリオデザイナー(smfi\_sd.exe)およびSMARTFIREケース指定環境(smfi\_gui.exe)は、それぞれが特定スタイルの問題に対してよりよく適応するかなり異なる対話モードを提供します。ただしシナリオデザイナーは、ケース指定環境のすべてのタスクを実行できません。したがって、CFDシミュレーションを実行する前に、シナリオデザイナーの形状をケース指定環境に読み込み、設定し、メッシュ生成をおこなうことが依然として必要です。

各コンポーネントを最も効果的に用いる方法を以下の図に示します。

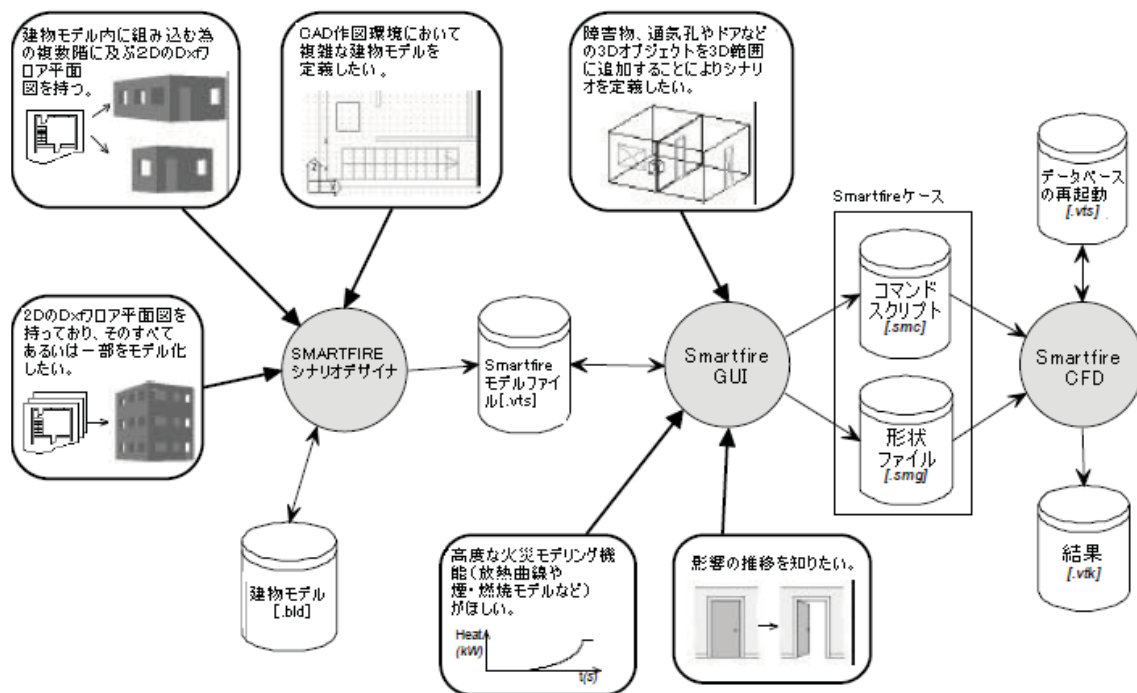


図2-2: SMARTFIRE環境 (Environment) の利用方法

本ソフトウェアを最も効果的に用いるためには、まず自分の形状の特性を考慮する必要があります。シナリオにきわめて詳細あるいは複数フロアにわたるようなフロア平面図 (DXF型式) が含まれている場合、**シナリオデザイナー**を用いる必要があります。それによってこの種の形状をSMARTFIRE内に入力するタスクが単純化されるためです。シナリオが単に部屋の小規模な集合であったり、多くの障害物を必要としない単純な構造物 (倉庫など) であったりする場合は、おそらく**ケース指定環境**を利用するほうが容易です。形状がどのような方法で作成されたとしても、**ケース指定環境**の内部でのみ実行可能ないくつかの構成オプション (例えばサブ モデル起動、複雑な火災曲線、一過性および専門的な設定値、影響の推移など) およびメッシュの作成があります。形状が**シナリオデザイナー**で作成された場合は、それを保存してから、モデルのシミュレーションに進むために**ケース指定環境**に読み込む必要があります。

## 2.3 シナリオデザイナーの概説

SMARTFIREシナリオデザイナーシステムは、2DのCADフロア平面図とSMARTFIRE火災モデリング環境を関連づけた利用を促進するために開発されました。このシステムにより、手動および半自動ツールの組合せを用いて、1つのCADフロア平面図から建物モデルを構築できます。建物モデルに必要なオブジェクトを選択かつ追加すると、SMARTFIREを用いるシミュレーションのシナリオを生成できます。シナリオがエクスポートされた後、ユーザーはシナリオのシミュレーションをおこなう前に、シミュレーションオプションと物理的特性の起動を設定し、(SMARTFIRE ケース指定環境 (Case Specification Environment) において) コントロールボリュームのメッシュを作成する必要があります。



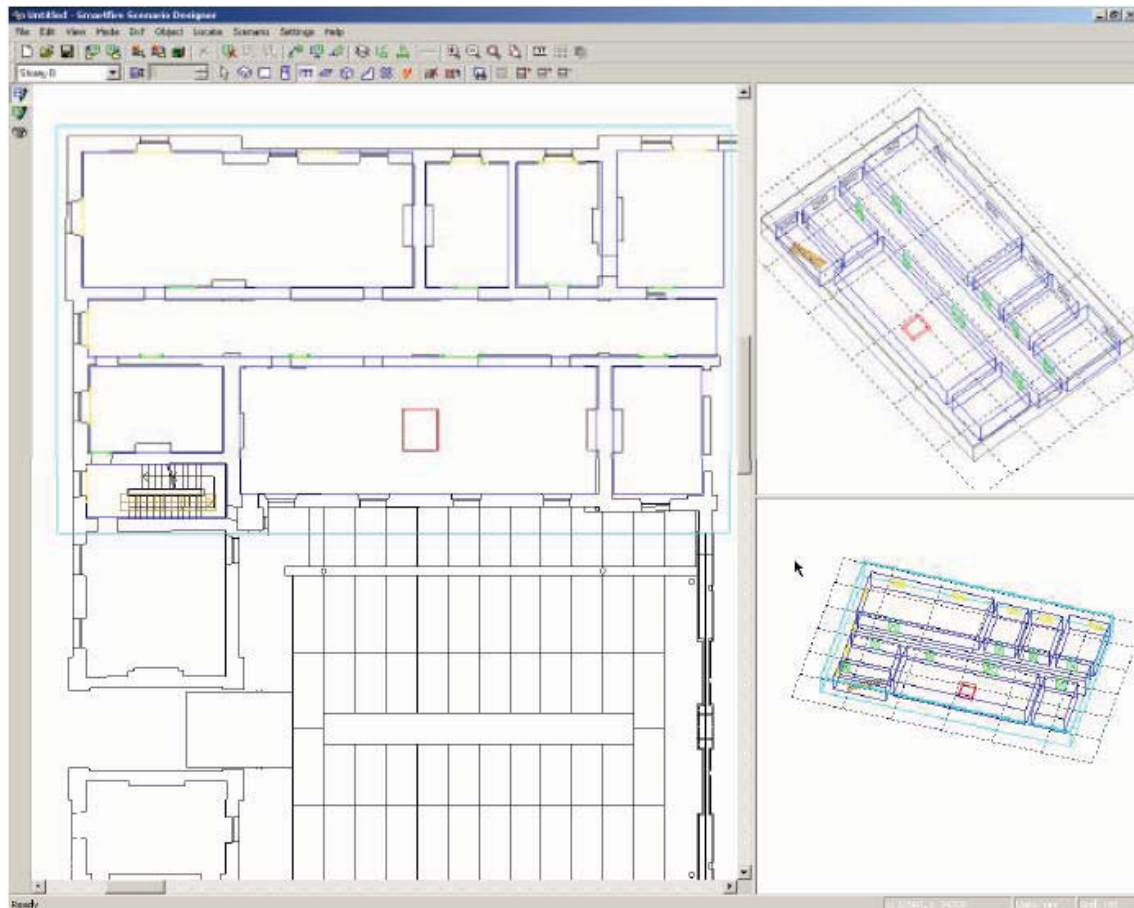


図2-3: さまざまなシナリオを提示するSMARTFIREシナリオデザイナー  
平面図(左)、建物(右下)、およびシナリオ(右上)

シナリオデザイナーには、3つのビューを提供する対話型GUIが装備されています。

**フロア平面図ビュー (Floor Plan View):** これはメインのビューです。DXFフロア平面図および建物モデルの表示と相互作用をおこないます。初期設定では、現在の階におけるすべてのオブジェクトはアクティブです。フロア平面図ビュー高度を設定すると、その高さの水平面を横切らないオブジェクトはすべて無効になります。また高度プロパティをもつ新規のオブジェクトをモデルに追加するときは、その高さにおいて作成されます。

**建物ビュー (Building View):** 建物モデル全体のワイヤフレームを示します。現在の階はカラーで表現されます。そのほかの階はグレーで表現されます。このビューは、マウスを用いて選択ードラッグして回転できます。

**シナリオビュー (Scenario View):** 現在のシナリオのワイヤフレームビューを表示します。シナリオ内に選択されたオブジェクトはカラーで表現されます。そのほかのオブジェクトはグレーで表現されます。ビューオプションは、「シナリオ範囲 (Scenario Extents)」を除いて建物ビューに類似しています。「シナリオ範囲 (Scenario Extents)」は、シナリオが空でない場合、シナリオの範囲に合わせてビューをズームします。

規則的な矩形の形状範囲を見つける部屋探索機能が提供されます。フロア平面図編集モードにおいて、ユーザーは、フロア平面図に投影を描くことによってオブジェクトを追加し、その後適切なオブジェクト編集メニュー（ハイライトされたオブジェクトをマウスで右クリックするとアクセスできます）から高さおよび寸



法プロパティを編集可能です。

シナリオデザイナーは、*SMARTFIRE*モデルファイル(.smf)を作成します。これは、次のシミュレーション構成およびメッシュ生成のために、*SMARTFIRE*ケース指定環境内に直接読み込むことができます。モデルファイルは、求められるオブジェクトを作成するために必要なすべてのオブジェクト定義を含んでいます。モデルファイルにおいて、各部屋はそれらを分離する壁および間仕切り によって定義されます。

## 2.4 ケース指定環境(CASE SPECIFICATION ENVIRONMENT)の概説

各ケースは、ケース指定環境(Case Specification Environment)とその直観的なユーザーインターフェース(UI)を用いて完全に指定・配置されます。ケース指定環境は現在、任意サイズの単一の「ボックス形」の計算領域の定義に制限されています。これは1つの部屋、建物の一部、建物全体、複数の建物を含む非常に大きな建物になりえます。この形状範囲は、任意の数の内部区画(すなわち部屋)に細分化できます。またそこに障害物や、障害および間仕切りを示す薄板を挿入できます。また、シミュレーション範囲内で用いる任意の数の単純または多段階の火災ソース、単純な熱源、障害物、通気孔、ファン、吸気口および排気口を設定することもできます。

ケース指定環境により、ユーザーは形状を指定し、さまざまなタイプの火災を作成し、またさまざまな王bじょくとの作成が行えます(通気孔、ファン、吸気口、排気口、薄板、障害物)。またユーザーはすべてのオブジェクトを取り扱う物理的特性を指定し、指定したセル割当て数を用いて形状に自動的に(手動で)メッシュを生成し、現在のシミュレーションケースを用いてCFDエンジンを起動できます。

指定実行中のシミュレーションケースの一般的なビューは以下のとおりです。

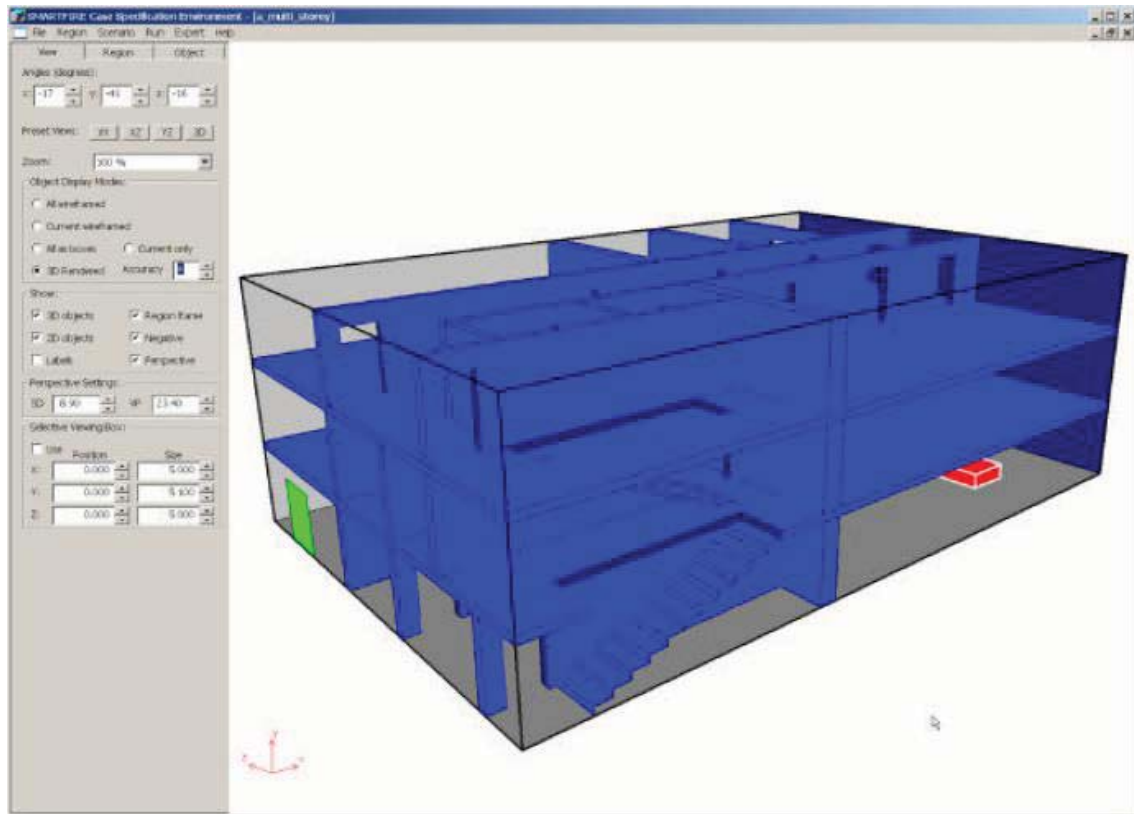


図2-4: シミュレーションシナリオのパースペクティブビュー  
(多層階の建物、階段、ドア、窓、および1つの火災ソースが含まれています)

形状を指定するときは、ユーザーはまず計算領域としてモデル化する形状の最大寸法を指定します。この領域のそれぞれの表面壁に通気孔、吸気口および排気口を配置することは可能です。ここで、ドアやウィンドウのような外部への開口部を表すために、一般的な用語の「通気孔」を用います。すべての通気孔は自然換気をおこなうと想定されます(すなわち強制換気はなし)。それぞれの通気孔の位置および寸法も指定する必要があります。またユーザーは、壁の材料についても、初期値の挙動と異なる場合には指定する必要があります。材料タイプは「れんが」や「絶縁体」のように、ユーザーにわかりやすい用語を用いて指定します。それから実際の材料プロパティおよび境界条件への変換は、メッシュ自動生成ツールの要件に応じて内部で実行されます。

*SMARTFIRE*の最新バージョンにおいて、火災は体積熱源あるいは可燃性ガス(単純なガス燃焼モデルを用いるとき)の体積源として指定されます。ユーザーは火災ソースの物理的な寸法、その位置、および熱出力または気体燃料生成の質量放出率を指定する必要があります。火災の数値「開放速度(release rate)」は、単純な定数開放速度、あるいはシミュレーション時間と関連のある機能を指定する係数に基づいた開放方程式として、または所定の時間における開放速度の表データを指定する外部データファイルから指定できます。

シミュレーションで用いる形状と物理的特性をすべて指定し終わったら、自動メッシュ生成ツールを起動できます。メッシュ生成ツールがセル割当て数の選択肢を提示します。これにより、当該問題に専用で提供されるコンピュータセルの計算上の個数をユーザーがコントロールできます。指定されたセルの数は、精密なシミュレーション(多数の微細セルを使用)と、比較的短時間で結果を得る場合(比較的粗いセルを少なく割り当てて使用)との間のトレードオフを示します。

自動メッシュ生成ツールがケースを解析し、許容できるメッシュ仕様が作成されると、シナリオをシミュレートするためにCFDコンポーネントを始動できます。

## 2.5 対話型メッシュ生成システム (INTERACTIVE MESHING SYSTEM) の概説

SMARTFIRE用の対話型メッシュ生成システムは、自動メッシュ指定ツールに手動メッシュ編集機能が組み込まれたものです。自動メッシュ生成ルーチンにより、多様なシミュレーションシナリオに関するメッシュ生成ソリューションを作成可能です。このツールはSMARTFIREケース指定環境に埋め込まれています。これにアクセスするには(形状と問題タイプを完全に指定した後)、メインのメニューバーで[実行 (Run)]オプションを選択してから、[メッシュの作成]を選択します。

メッシュ自動生成ルーチンは、メッシュ生成ルール(火災シミュレーションのケースに対して適切なもの)とパラメータ(メッシュ生成ライブラリから)の組合せを用いて、提供された火災モデリングシナリオを決定します。シミュレーションで用いる形状と物理的特性をすべて指定し終えたら、自動メッシュ生成ツールを起動できます。

メッシュ生成ツールは、まず現在のシナリオを解析してから、セル割り当て数の選択肢をユーザーに提示します。これにより、問題のシミュレーションに関して専用で提供されるコンピュータセルの数をユーザーがコントロールできます。ユーザーが指定するセルの数は、正確なシミュレーション(多数の微細セルを使用)と、より短い時間で結果を得る場合(少数の粗いセルを使用)との間のトレードオフを表します。自動メッシュ生成システムは、初心者ユーザーが容易に選択できる[推奨]のセル割り当て数をつねに提示します。ユーザーは、そのほかの割り当て方法を選択できます。すなわち、1スライスごとに1個のセルを割り当てる[単位ブロック (Unit blocks)](完全な手動メッシュ指定の際に便利)、あるいはほとんどのメッシュ生成ルールに反することなく可能な限り多くのセルを削除する[粗メッシュ]です。また、[方向別セル割当 (Directional cell budgets)]スピンボックスで[X方向 (dir)]、[Y方向 (dir)]、および[Z方向 (dir)]のセル数を変更することによって[推奨 (Recommended)]値を無効にすることも選択できます。自動メッシュ生成システムはメッシュ生成ルールに厳密に従うため、選択された方向別セル割当て数が正確に生成されるかどうかは保証されません。

メッシュ生成システムは、いくつかの「スマート」なコンポーネントをもっており、設定に矛盾やエラーがないかどうかを調べるためにケース指定のチェックを実行します。これらの検査ツールは、デフォルトの挙動よりも適切な技術を利用しなかったために引き起こされる潜在的な問題のチェックもおこないます。

またメッシュ生成システムは、メッシュセルを解析してセル内部または隣接セル間で問題のあるアスペクト比を調べるメッシュ検査機能を有しています。これらの検査は、ユーザーがメッシュの性質を評価するときに役立ちます。

自動メッシュ生成ツールがケースを解析し、許容できるメッシュ仕様が作成された後、CFDエンジンが処理するケース指定ファイルを作成するには、メッシュを[確定 (Accept)]します。

SMARTFIRE対話型メッシュ生成システム (Interactive Meshing System) は、メインのグラフィカル表示ウィンドウのほか、「メッシュビューアー (Mesh Viewer) およびコントロールウィンドウ (Control Window)」、編

集に関する2つのメインダイアログを含むノートブックパネルによって構成されます。これらのダイアログパネルは、[データ(Data)]ダイアログと[ビュー(View)]ダイアログです。パネルを用いてメッシュに変更が加えられると、複合ビジュアル表示エリア(ウィンドウの右側)が即座に更新されます。パネルは実際、メッシュ生成システムの重要な相互作用機能のすべてを含んでいるため、メインメニューバーを用いる必要はほとんどありません。

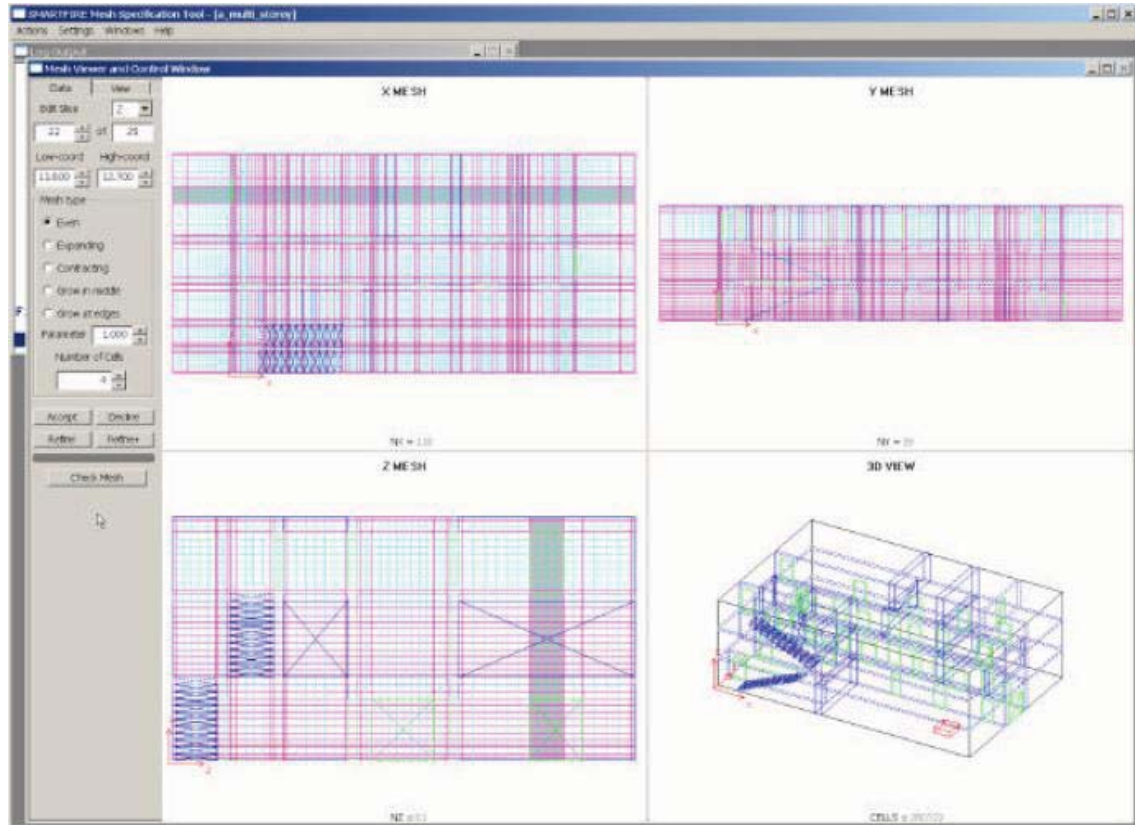


図2-5: 高層ビルシミュレーションケースのために生成されたメッシュを示す対話型メッシュ生成ツール

必要なダイアログを起動するには、ノートブックパネルで適切なダイアログタブを選択します。これらのダイアログは、増分および同時発生にもとづくため、データあるいは設定値に対する変更は、データおよびメッシュ表示領域において明示されます。したがって、これらのダイアログウィンドウの内容を確認する必要はありません。

ユーザーが手動でメッシュと対話するときは、必要なスライス(方向およびスライス数)を選択する2通りの方法があります。第1の方法は、[データ]パネル⇒[スライスの編集(Edit Slice)]方向リスト選択ボックスおよび、スライス数スピンボックスを用いて必要なスライスを選択する方法です。現在選択されたスライスは、表示領域において視覚的にハイライトされます(カラーの塗りつぶし)。または、メッシュ生成ツールの表示部分において、必要なスライスの範囲をマウスで選択する方法もあります。現在選択中のスライスは視覚的にハイライトされます。ウィンドウ内でスライスを選択するときは、一般的に、それぞれの2D平面ビューウィンドウにおいて選択できる2つの利用可能なスライスがあります。メッシュ生成ツールにより(選択された特定のビューにとって)最適なスライスが得られます。しかし、同じ位置で2回目の選択をおこなうと、同じ位置における別の候補のスライスが選択されます。

セルの特定の方向および分布におけるメッシュセルの数は、[データ(Data)]パネル上のコントロールを用いて変更できます。



ユーザーがメッシュに満足した場合、CFDエンジン入力ファイルを保存して、ケース指定環境にコントロールを戻すには、[データ(Data)]または[ビュー(View)]パネルで[確定(Accept)]ボタンを押します。

## 2.6 CFD エンジンの概説

SMARTFIREのCFD数値エンジンは、C++によって書かれ、グリニッジ(Greenwich大学)において既存の(学内)フォートランCFDコードにより開発されました[5]。コードと機能の完全な記述は、参考文献[5]に収録されています。SMARTFIREは、従来型のフォートランコードをC++における追加的なオブジェクト指向の開発によって拡張し、有効性が実証された数値測定法を用いています。

CFDコードは、以下の図に示すような独特のウィンドウベースのユーザーインターフェースをもっています。

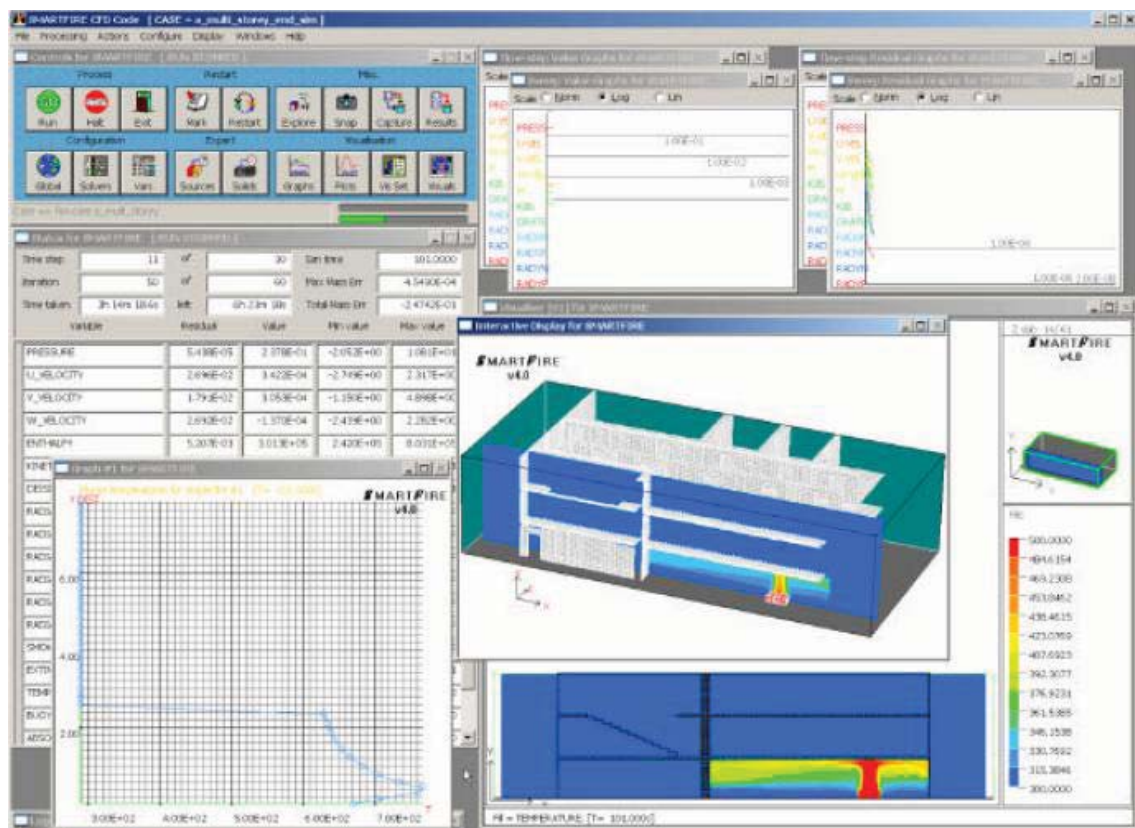


図2-6: SMARTFIRE CFDエンジンのランタイム・ユーザーインターフェース

CFDコードは、3D非構造メッシュ機能を用いており、任意の複雑かつ不規則な形状をメッシュ化できます。CFDコードはSIMPLE[6]圧力補正アルゴリズムを用いるため、一時的あるいは定常状態条件において、乱流(浮力修正を施した2つのk-ε方程式の閉鎖)や層流の複合的な問題を解決できます。また、渦消散(Eddy Dissipation)モデルおよび煙拡散を利用して熱放射(相互反射(Radiosity)、6フラックス(Six Flux)あるいは多重光線(Multiple Ray)放射モデルによる)、単純なガス燃焼を計算するサブモデルもサポートされます。

SMARTFIREの最新バージョンは、ユーザー定義の容積当たり放熱率を利用して、または可燃性ガスの質量源として火災ソースをシミュレートします。火災安全工学グループ(Fire Safety Engineering Group)で

継続中の研究は、固体燃料燃焼のさらに複雑なモデル[13]、ならびにさらに精巧な放射および乱流モデルの開発をめざしています。

従来型の火災フィールドモデルと異なり、*SMARTFIRE*ユーザーインターフェースにより、ユーザーはソリューションと相互作用することができます。この相互作用は、ソリューションの展開の観測を通じて、またコードの操作中にユーザーがコントロールパラメータを調整することで可能になります。一般的に、従来型のCFDコードにおいて、このような調整をおこなうにはシミュレーションの停止、入力ファイルの編集（おそらく浮揚地点番号以外の何も含んでいない大きいファイルの検索）、およびシミュレーションの再開が必要でした。*SMARTFIRE*では、オープンアーキテクチャ、内蔵GUIおよびデータ監視・検査ツールにより、このような動的なユーザーコントロールがついに実行可能となりました。必要なのは、ユーザーインターフェース上のさまざまなボタンの選択肢を選んでクリックすることだけです。このような動的パラメータの調整は、実際、専門家ユーザーのみを対象としています。なぜなら、初心者ユーザーは一般に、どのパラメータを調整するべきか、あるいはどのように調整するべきか知らないからです。ただし、専門家ユーザーにとって、この機能はコンピュータ時間の大きな節約につながる可能性があります。さらに、ソリューションデータがグラフィック的に表示されるとすれば、ユーザーは従来型のCFDコードを利用した場合と比較して、変更がシミュレーションに及ぼす影響をはるかに容易に確認できます。

自動の動的ソリューションコントロールを開発するために、この手法の機能をさらに探索することが計画されています。これは、一定の条件が検出されたときに、自動的にこれらのパラメータをコントロールするエキスパートシステムの開発を通じて達成されます。これは、初心者ユーザーの支援を目的としています。また、時間ステップ、時間ステップ毎の反復、および弛緩値などのパラメータのコントロールを含む見込みが高いです。動的なソリューションコントロールに関する初期の文献によると、未知のケースに関して、さまざまな専門家CFDユーザーが「最適推測」による設定をおこなったときにランタイムの50%が節約されたことが実証されています。これらの節約は、残差の監視、ならびに線形および誤った（またはいづれかの）時間ステップ-弛緩の単純な増加あるいは減少の結果によりもたらされたものです。

CFDコードの基礎となっているオブジェクト指向のデータ構造により、非構造「グループソルバー」として知られる最新ソリューション技術の開発が可能になりました。（まだ開発・試験中の）グループソルバーは、ソリューション領域をいくつかの形状またはソリューションベースのグループに分割します。それぞれのグループは、独立にコントロールできます。セルは、ソリューションにおける重要性に従ってさまざまなグループに配置されます。グループのメンバーシップは動力学的にコントロールされ、物理的プロパティのメンバーシップ許容帯域によって定義できます。高い流量率を伴うセルは、ほぼ定常流のセルよりもソリューションに対する重要性が高いことは明瞭です。

グループの利用には、最も必要とされるところで計算を誘導する潜在的な利点があります。従来型のCFDコードが領域全体に渡って同数の反復手順およびそのほかのコントロールパラメータをもつものに対して、グループソルバーを利用すると、重要な流れを含むエリアに計算作業を集中することが確実にできます。あるいはそのほかのなんらかの方法で、ソリューション全体に大きく貢献します。逆に、それほどソリューションが重要でないエリアに関しては、計算作業の比重を下げるすることができます。たとえば、3つのグループを以下の項目に用いることができます。すなわち、重要な流れ（火災、プリューム、および形状的に制限を受けた流れ）、通常流、ならびにほぼ一定の定常流です。

グループソルバーは現在検証中であり、エキスパートシステムダイナミックコントロールと組み合わせて、CFD技術の精度を維持しつつ、全体的な計算時間の軽減可能性を提供します。

## 2.7 データビューアーの概説

*SMARTFIRE*はCFD処理フェーズの実行中および実行後に、CFDシミュレーションの結果の解析に利用できる多数の対話型ビジュアルおよびデータ問合せツールを装備しています。

*SMARTFIRE*は現在、*SMARTFIRE* データビュー(DataView)ポストプロセッシング可視化/アニメーションツールによってサポートされています。一般に、データビュー(DataView)は、等表面(iso-surfaces)、コンタフィルカット面、速度ベクトル、および体積にもとづく煙の可視化などの一般的に必要な可視化機能を使いやすくします。またデータビュー(DataView)ツールは、それぞれのシミュレーションの時間ステップに関する結果データ(VTKまたはVTU)ファイルがある場合に、簡単に使えるアニメーション機能も提供します。

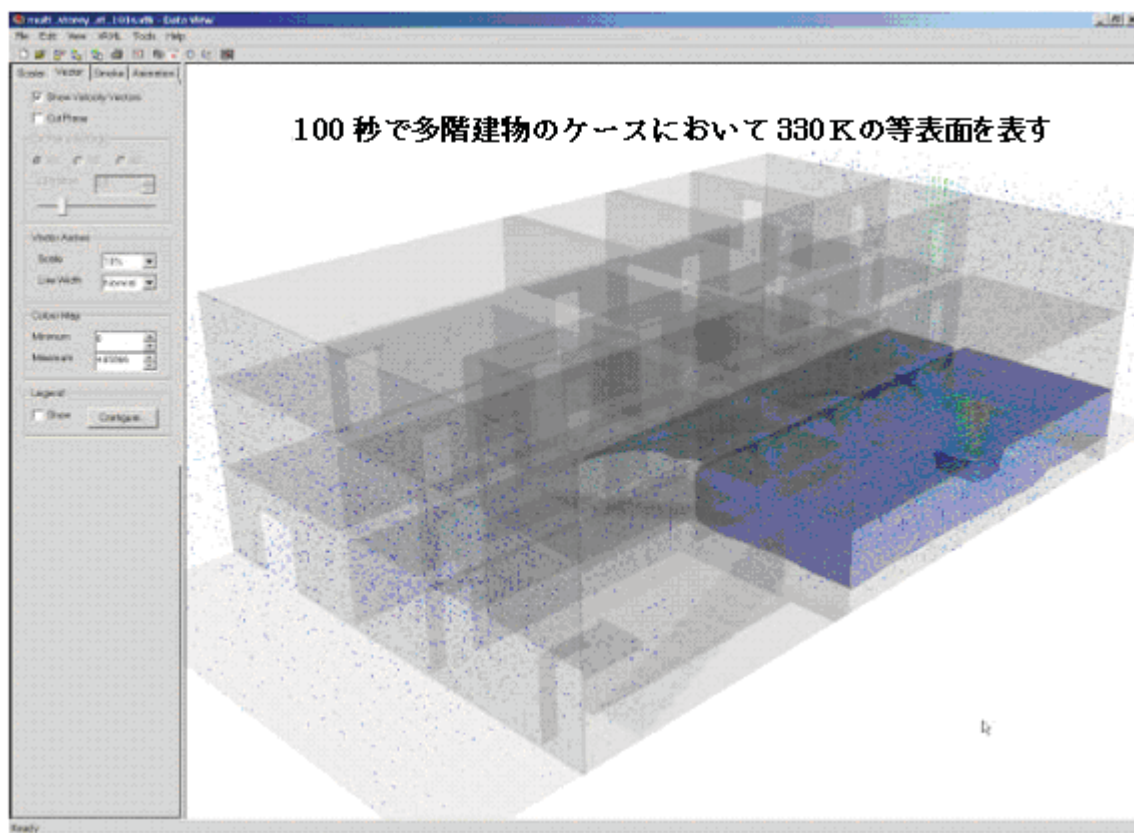


図2-7: *SMARTFIRE* データビュー(DataView)可視化ポストプロセッサ

### 3 SMARTFIRE に関する技術参考資料

#### 用語集

記号	意味	最初に言及される式
$\underline{U}$	速度 (Velocity)	1.1
$T$	時間 (Time)	1.1
$u_i$	I番目の速度コンポーネント	1.2
$P$	圧力 (Pressure)	1.2
$S_i$	I番目の変数/モデルソース条件	1.2
$X_i$	I番目の座標方向	1.2
$H$	伝導率 (Conductivity)	1.3a
$C_p$	比熱容量 (Specific heat capacity)	1.3a
$T$	温度 (Temperature)	1.3b
$K$	運動エネルギー (Kinetic energy)	1.4a
$P$	乱流生成率 (Turbulent production rate)	1.4a
$G$	浮力率 (Buoyancy rate)	1.4a
$C_{1\varepsilon}$	乱流定数 (Turbulent constant)	1.4b
$C_3$	乱流定数 (Turbulent constant)	1.4b
$C_{2\varepsilon}$	乱流定数 (Turbulent constant)	1.4b
$G$	重力 (Gravity)	1.4d
$C_\mu$	乱流定数 (Turbulent constant)	1.4f
$R$	放射フラックス (Radiation flux)	1.5.1a
$A$	吸収係数 (Absorption coefficient)	1.5.1a
$E$	放射率 (Emissivity)	1.5.1a
$S$	散乱係数 (Scatter co-efficient)	1.5.1a
$I, J, K, L, M, N$	6フラックス放射の方向フラックス	1.5.2a
$F$	スカラー量 (Scalar quantity)	1.6
$F$	混合物留分 (Mixture fraction)	1.7b
$f_s$	混合物留分の正規組成値	1.7b
$m_f$	燃料質量留分 (Fuel mass fraction)	1.7b
$m_a$	空気質量留分 (Aire mass fraction)	1.7b
$m_p$	製品質量留分(Product mass fraction)	1.7b
$V_p, V_p^0$	現在/以前の時間におけるセルの体積	2.1.1
$N$	標準コンポーネント (Normal component)	2.1.2a
$A_f$	表面積 (Face area)	2.1.2a
$d_{AP}$	セルノードAおよびP間の距離	2.1.2a
$F_f$	対流の強度 (Strength of convection)	3b
$D_f$	拡散の強度 (Strength of diffusion)	3b
$a_p$	P番目のセル係数	3c
$a_{nb}$	隣接セル係数	3c
$e, w, n, s$	東、西、北および南の隣接物	4.1.1a



$\rho$	密度 (Density)	1.1
$\mu_{\text{eff}}$	有効粘度 (Effective viscosity)	1.2
$\varepsilon$	消散率 (Dissipation rate)	1.4a
$\mu_{\text{lam}}$	層状粘度 (Laminar viscosity)	1.4a
$\nu_t$	乱流動粘度 (Turbulent kinematic viscosity)	1.4a
$\sigma_k$	$k$ に関する乱流のプラントル数	1.4a
$\sigma_\varepsilon$	$\varepsilon$ に関する乱流のプラントル数	1.4b
$\beta$	膨張係数 (Expansion coefficient)	1.4d
$\sigma$	ステファン・ボルツマン定数	1.5.1b
$\Gamma_I$	I番目の変数拡散係数	1.6
$\Phi$	従属変数	2.0
$\Phi_P$	P番目のセルの変数	3c
$\Phi_{nb}$	隣接セルの変数	3c
$\Phi^T$	ベクトルの転置	4.1.2b
$\Delta y_p$	セル中心から壁までの距離	5.2.3
$\tau_w$	壁のせん断力	5.2.4a
$\varphi$	従属変数	5.2.5

## 理論的背景

### 3.1 はじめに

本文書では、*SMARTFIRE*コードの数学的な記述を示します。たとえば、支配方程式、離散化、ソリューション・アルゴリズム、線形ソルバー、および境界条件などです。それにより、以下の事項をおこなうための支配方程式の取り扱い方法を説明します。

- ・ 安定性および収束に関するコードのパフォーマンスの理解に役立つ数値体系を考察する。
- ・ ユーザーから提供された情報がどのようにコードのパフォーマンスおよび最終ソリューションに影響を及ぼすかを解説する。

*SMARTFIRE*で用いる数値技術の理解を深めれば、ユーザーの最終目的を達成する能力、すなわち調査中の流況の収束後かつ安定したソリューションを得る能力が大幅に向上すると思われます。

### 3.2 *SMARTFIRE* で用いられる基本的な方程式

質量保存、運動量、デカルト座標における過渡的な流れのエネルギーを表現する方程式は、以下の形式をとります。

#### 3.2.1 質量保存

任意の流動状況に関して、フロー（流動）フィールドは、以下に示す質量の連続方程式を満たすものとします。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \underline{u}) = 0 \quad (1.1)$$

### 3.2.2 運動量保存

3つの座標方向における運動量保存は、以下の式で求められます。

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \text{div}(\rho \underline{u} u_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \text{div}(\mu_{eff} \text{grad} u_i) + S_{u_i} \quad (1.2)$$

ここで、 $u_i$  は x, y, z 方向における速度、Pは圧力です。

### 3.2.3 エネルギー保存

エネルギー保存に関しては、以下のエンタルピー形式の式を解決します。

$$\frac{\partial (\rho h)}{\partial t} + \text{div}(\rho \underline{u} h) = \text{div} \left\{ \left( \frac{k}{c_p} + \frac{\rho v_t}{\sigma_T} \right) \text{grad}(h) \right\} + S_h \quad (1.3a)$$

ここで、温度は以下の式から評価されます。

$$T = \frac{h}{c_p} \quad (1.3b)$$

### 3.2.4 乱流モデル

浮力を考慮した2つの修正式(k-ε)による乱流モデルによって乱流を表します。このモデルを構成するのは、乱流の運動エネルギー式

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \text{div}(\rho \underline{u} k) = \text{div} \left( \left[ \mu_{lam} + \frac{\rho v_t}{\sigma_k} \right] \text{grad} k \right) + P + G - \rho \epsilon \quad (1.4a)$$

および、消散率方程式です。

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \text{div}(\rho \underline{u} \epsilon) = \text{div} \left( \left[ \mu_{lam} + \frac{\rho v_t}{\sigma_\epsilon} \right] \text{grad} \epsilon \right) + \frac{\epsilon}{k} [C_{1\epsilon} (P + C_3 \max(G, 0)) - C_{2\epsilon} \rho \epsilon] \quad (1.4b)$$

ここで、Pは乱流生成率を表します。

$$P = 2\rho v_t \left\{ \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] \right\} + \rho v_t \left\{ \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right\} \quad (1.4c)$$

また、Gは以下の式で求められる浮力(Buoyancy)項を表します。

$$G = -\beta g \rho v_i \frac{\partial T}{\partial y_i} \quad \text{or} \quad G = g v_i \frac{\partial \rho}{\partial y_i} \quad (1.4d)$$

および

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} \quad (1.4e)$$

見掛けの乱流粘度は以下の式を用いて評価されます。

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (1.4f)$$

乱流モデルは潜在的に調節可能な5つの定数を含んでいます。実際には、これらの「定数」はCFDモデルが適用される特定の応用領域において、標準値として使用されます。火災フィールドモデリングの場合、標準的なk-ε乱流モデルは、以下の表に示す最初の5つの定数を用います。最後の値は、標準的な乱流モデルに適用された浮力補正に関するものです。

$C_\mu$	$\sigma_k$	$\sigma_\varepsilon$	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	$C_3$
0.09	1.0	1.22	1.44	1.92	1.0

### 3.2.5 放射モデル(Radiation Models)

火災をシミュレートするとき、本モデルにおいて熱伝達およびエネルギー収支の特性を十分に表すことが不可欠です。火災モデルには2つの主要な熱伝達のモードがあります。すなわち、対流および放射です。対流熱伝達が伝達方程式によって説明される一方、放射熱伝達は別個の伝達サブモデルを必要とします。*SMARTFIRE*では、3つの放射モデルが提供されます。すなわち、(a)ラジオシティ(Radiosity)モデル、(b)6フラックス放射(Six-Flux Radiation)モデル、および(c)多重光線放射(Multiple Ray Radiation)モデルです。ラジオシティモデルは単純な性質をもち、単一の追加変数のソリューションを伴います。それはそれぞれのセル内の放射ポテンシャルです。本モデルは効率的なCPU時間を達成する一方、放射の表現として精巧ではありません。修正6フラックス放射モデルは、それぞれの座標方向(正および負の方向)で1つずつ、6つの方程式を解決します。これはさらに精密なモデルですが、CPU時間に関しては、ラジオシティモデルと比較すると効率は下がります。多重光線放射モデルは、光線の強度を供給されたいくつかの光線方向において解決します。このモデルは、多数の光線を用いる場合はかなりの費用がかさむ可能性があります。光線方向を適切に選択した場合は、ラジオシティや6フラックスモデルと比較して、さらに現実的な方法で熱が拡散するため利点が生じます。これらのモデルを以下に示します。

### 3.2.5.1 ラジオシティモデル (Radiosity Model)

ラジオシティ(R)に関する方程式は、以下の形式をとります。

$$\frac{d}{dx_i} \left[ \frac{4}{3(\alpha + s)} \frac{dR}{dx_i} \right] + \alpha (E - R) = 0 \quad (1.5.1a)$$

ここで、 $\forall$  は吸収係数、 $s$ は散乱係数、 $E$ は以下の式を用いて計算された流体の黒体放射度です。

$$E = \sigma T^4 \quad (1.5.1b)$$

ここで、 $T$ は流体の温度、 $\sigma$ はステファン・ボルツマン定数です。

放射による熱伝達は、エンタルピー方程式におけるソースを導きます。これは、以下に示すラジオシティ方程式におけるソースの負数と同等です。

$$S_{\text{radiosity}} = -\alpha (E - R) \quad (1.5.1c)$$

### 3.2.5.2 6 フラックス放射モデル (Six-Flux Radiation Model)

6フラックス放射モデル (Six-Flux Radiation Model) では、熱フラックス  $R_i$  は、それぞれのコンポーネント方向において追加的な保存方程式を解くことによって計算されます。この式は、以下の形をとります。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dI}{dx} &= -(\alpha + s)I + \alpha E + \frac{s}{6}(I + J + K + L + M + N) \\ \frac{dJ}{dx} &= +(\alpha + s)J - \alpha E - \frac{s}{6}(I + J + K + L + M + N) \\ \frac{dK}{dy} &= -(\alpha + s)K + \alpha E + \frac{s}{6}(I + J + K + L + M + N) \\ \frac{dL}{dy} &= +(\alpha + s)L - \alpha E - \frac{s}{6}(I + J + K + L + M + N) \\ \frac{dM}{dz} &= -(\alpha + s)M + \alpha E + \frac{s}{6}(I + J + K + L + M + N) \\ \frac{dN}{dz} &= +(\alpha + s)N - \alpha E - \frac{s}{6}(I + J + K + L + M + N) \end{aligned} \right\} \quad (1.5.2a)$$

ここで、 $\alpha$  は吸収係数、 $s$ は散乱係数、 $E$ は流体の黒体放射度、ならびにJ、K、L、M、およびNは、6つの座標方向の放射フラックスです。

放射による熱伝達は、以下に示すエンタルピー方程式においてソースにつながります。

$$S_{\text{six-flux}} = \alpha ((I - E) + (K - E) + (M - E) + (J - E) + (L - E) + (N - E)) \quad (1.5.2b)$$

### 3.2.5.3 多重光線放射モデル (Multiple Ray Radiation Model)

#### 3.2.5.3.1 放射強度の式

$$\frac{d}{dl} I(\Omega, r) = -(a + s) I(\Omega, r) + a I_b(r) + \frac{s}{4\pi} \int_{\Omega' = -4\pi} I(\Omega', r) \Phi(\Omega' \rightarrow \Omega) d\Omega' \quad (1.5.3.1)$$

ここで、 $\Omega$  は指定された方向です。 $I$  は  $\Omega$  に沿った物理的なパスの長さを表します。 $r$  は ポイントの位置です。 $I(\Omega, r)$  は、 $\Omega$  に沿ったポイント  $r$  における放射強度を意味します。 $a$  および  $s$  は、それぞれ吸収係数と散乱係数です。 $I_b(r)$  は、黒体放射強度です。また、 $\Phi(\Omega' \rightarrow \Omega)$  は散乱位相関数です。散乱が無視されるとき、式(1.5.3.1)は以下のように簡略化されます。

$$\frac{d}{dl} I(\Omega, r) = -a I(\Omega, r) + a I_b(r) \quad (1.5.3.2)$$

#### 3.2.5.3.2 ステラジアンの離散化

$4\pi$  ステラジアンのはすべでは、個別の光線の重みと関連づけていくつかの光線に分割されます。

#### 3.2.5.3.3 離散化による方程式の導出

流動領域全体は、いくつかの小さなコントロールボリュームに分割されると想定されます。特定の光線  $\vec{\Omega}$  に関しては、コントロールボリュームにおいて方程式(1.5.3.2)がそのコントロールボリュームに組み込まれます。

$$\int_V \frac{dI}{dl} dV = - \int_V a I dV + \int_V a I_b dV \quad (1.5.3.3)$$

$\int_V \frac{dI}{dl} dV = \int_S I \vec{\Omega} \cdot \vec{n} dS$  であるため、式(1.5.3.3)は、以下のように表されます。

$$\int_S I \vec{\Omega} \cdot \vec{n} dS = - \int_V a I dV + \int_V a I_b dV \quad (1.5.3.4)$$

放射強度  $I$  および黒体放射度  $I_b$  は、ボリュームにおいて一定であり、かつセル中心における放射強度  $I_p$  および  $I_{bp}$  とそれぞれ等しいと仮定すると、式(1.5.4.4)の右辺は以下のように表されます。

$$- \int_V a I dV + \int_V a I_b dV = a(I_{bp} - I_p) V \quad (1.5.3.5)$$

一方、式(1.5.3.4) の左辺は、以下のように表されます

$$\int_S \vec{I\Omega} \cdot \vec{n} dS = \int_{S_{in}} \vec{I\Omega} \cdot \vec{n} dS + \int_{S_{out}} \vec{I\Omega} \cdot \vec{n} dS \quad (1.5.3.6)$$

ここで、 $S_{in}$  は  $\vec{\Omega} \cdot \vec{n} < 0$  である表面部分、また  $S_{out}$  は  $\vec{\Omega} \cdot \vec{n} > 0$  である表面部分を表します。

式(1.5.3.5)および(1.5.3.6)から、以下の式が得られます。

$$\int_{S_{in}} \vec{I\Omega} \cdot \vec{n} dS + \int_{S_{out}} \vec{I\Omega} \cdot \vec{n} dS = a(I_{bp} - I_p)V \quad (1.5.3.7)$$

送出表面における放射強度がコントロールボリューム内部の放射強度と等しいと仮定すると、以下の式が得られます。

$$\int_{S_{in}} \vec{I\Omega} \cdot \vec{n} dS + I_p \int_{S_{out}} \vec{\Omega} \cdot \vec{n} dS = a(I_{bp} - I_p)V \quad (1.5.3.8)$$

ここで、左辺第一項における放射強度は、 $\vec{\Omega}$  方向の上流の隣接セルから得られます。

### 3.2.5.3.4 エンタルピー方程式のソース項

エンタルピー方程式において放射と関係するソース項は、以下のとおりです。

$$S_r = a \int_{4\pi} [I(\Omega) - I_b(\Omega)] d\Omega \quad (1.5.3.9)$$

多重光線放射モデルを用いることによって、セルにおけるソース項は、以下のように表されます。

$$S_r = \sum_{rays} a I_p V \Delta\Omega - 4a\pi I_{bp} V \quad (1.5.3.10)$$

ここで、 $\Delta\Omega$  は  $\vec{\Omega}$  および  $I_{bp} = \sigma T_p^4 / \pi$  に関連づけられた重みです。

### 3.2.5.4 吸収係数(Absorption Coefficient)

吸収係数は、以下の区分的線形近似を用いて評価されます。



$$\begin{aligned}
T < 50 \text{ }^{\circ}\text{C} & \quad \quad \quad \forall = \forall_{\text{ambient}} \\
T > 50 \text{ }^{\circ}\text{C and } T < (T_{\text{plume}}/2) & \quad \forall = \forall_{\text{ambient}} + (c(T_{\text{plume}}/2) - \forall_{\text{ambient}})/((T_{\text{plume}}/2)-50)(T-50) \\
T > (T_{\text{plume}}/2) & \quad \quad \quad \forall = cT
\end{aligned} \tag{1.5.4}$$

### 3.2.6 化学種保存

任意のスカラー量  $f$  の保存は、以下の式によって表されます。

$$\frac{\partial(\rho f)}{\partial t} + \text{div}(\rho \underline{u} f) = \text{div}(\Gamma_f \text{grad}(f)) + S_f \tag{1.6}$$

### 3.2.7 燃焼(Combustion)モデル

単純なワンステップの包括的な化学反応が採用されました。すなわち、



ここで、 $F$ は燃料、 $O$ は酸化性物質、 $P$ は生成物、および  $s$  は燃料に対する酸素の化学量論比です。1単位の質量燃料の消費による放熱は、 $H(J/kg)$ と示されます。

2つの燃焼モデルがSMARTFIREに実装されています。1つは拡散制御、もう1つは動的制御または混合制御と呼ばれるものです。

拡散制御型燃料モデルの場合、混合物留分、すなわち保存されたスカラーのみのみが、その偏微分支配方程式によって解かれます。一方、燃料( $m_f$ )、空気( $m_a$ )、および生成物( $m_p$ )の質量留分は、以下の式によって計算されます。

$$m_f = (f - f_s) / (1 - f_s), m_a = 0, m_p = 1 - m_f \text{ if } f > f_s; \tag{1.7b}$$

$$m_a = 1 - f/f_s, m_f = 0, m_p = 1 - m_a, \text{ if } f < f_s; \tag{1.7c}$$

動的制御モデルでは、燃料質量留分  $m_f$  および、混合物留分  $f$  に関して、さらに2つのスカラー支配方程式が導入されます。空気質量留分  $m_a$  および生成物質量留分  $m_p$  は、以下の代数方程式によって代数的に計算されます。

$$m_a = 1 - m_f - (f - m_p) / f_s \tag{1.7d}$$

$$m_p = 1 - m_f - m_a \tag{1.7e}$$

ここで微分方程式では、 $f_s$  は  $f$  の化学量論値であり、以下の式によって定義されます。

$$f_s = 1 / (1 + s).$$

混合物留分は保存されたスカラーであるため、その支配方程式にはソース項がありません。燃料の質量留分に関する支配方程式のソース項は、渦消散概念を適用しています。すなわち、

$$R_f = A \min(\bar{C}_f, \bar{C}_o / s) \frac{\varepsilon}{k} \quad (1.7f)$$

[Magnussenら、1977]、ここで、 $R_f$  は燃料消費率(kg/秒)、 $A$ は定数、 $\min$ は2つの数のうち最小の方を表します。 $\bar{C}_f$  は時間平均の燃料濃度、 $\bar{C}_o$  は時間平均の酸化性物質濃度、 $k$  および  $\varepsilon$  はそれぞれ乱流の運動エネルギーおよび乱流消散率です。 $A$ のデフォルト値は4です。

流れは圧縮性であると想定されているため、理想気体法則が採用されます。

$$\rho = \frac{p W_g}{RT} \quad (1.7g)$$

ここで、 $\rho$  は密度、 $R$ は一般ガス定数、 $p$  は圧力、 $T$ は温度、および  $W_g$  は気体混合物の分子量で、以下の式によって表されます。

$$1/W_g = m_f/W_f + m_a/W_a + m_p/W_p \quad (1.7h)$$

ここで、 $W_f$ 、 $W_a$ 、および  $W_p$  はそれぞれ燃料、空気、および生成物の分子量です。

静エンタルピー(h)は、以下の式を用いて計算されます。

$$h = \left( \int_0^T c_p(T') dT' - h_0 \right) + m_f H \quad (1.7i)$$

ここで、 $c_p(T)$ は気体混合物の比熱、 $T$ は温度、および

$$h_0 = \int_0^{T_{ref}} c_{pa}(T') dT',$$

$c_{pa}$  は空気の比熱、および  $T_{ref}$  は空気の静エンタルピーがゼロとなる基準温度です。

それぞれのコンポーネントの比熱は、温度( $T$ )の多項式関数と想定され、以下の式で表されます。

$$c_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (1.7j)$$

混合気体物の比熱は、以下の式によって定義されます。

$$c_p = m_f c_{pf} + m_a c_{pa} + m_p c_{pp} \quad (1.7k)$$

ここで、 $c_{pf}$ 、 $c_{pa}$ 、 $c_{pp}$  はそれぞれ燃料、空気、生成物の比熱を表します。

単純化するために、すべてのコンポーネントに関する一定の比熱が用いられています。すなわち、

$c_{pf} = c_{pa} = c_{pp}$ 、および  $b=c=d=0$  です。

### 3.2.8 補助方程式

以下の補助的な式は、重要な算定変数を計算するために用いられます。

#### 3.2.8.1 密度

密度は、以下に示す理想気体法則を用いて計算されます。

$$\rho = PW / RT$$

ここで、Pは圧力、Wは分子量、Rは一般ガス定数、およびTは温度です。

#### 3.2.8.2 浮力(Buoyancy)

以下の「ブシネスク(BOUSSINESQ)」方程式は、それぞれのコントロールボリューム:における浮力ソース項を計算するために用いられます。

$$B = - \alpha ( T - T_{ref} ) \rho_{ref} V g$$

ここで、Bは浮力ソース項、  
 $\alpha$  は熱膨張係数、  
Tはコントロールボリューム温度、  
 $T_{ref}$  は基準温度、  
 $\rho_{ref}$  は基準密度、  
Vは体積 (Volume)、  
および  $g$  は重力による加速度です。

逆に、圧縮性の(理想気体法則にもとづく)流体に関しては、非ブシネスク近似が以下の式で表されます。

$$B = - ( \rho_{ref} - \rho ) V g$$

ここで、Bは浮力ソース項 (Buoyancy source)、  
 $\rho_{ref}$  は基準密度 (reference Density)、  
 $\rho$  は現在の密度 (current Density)、  
Vは体積 (Volume)、  
および  $g$  は重力による加速度 (acceleration due to gravity) です。

### 3.2.9 スプリンクラー/水ミストモデル

水ミストモデルは、PSIセル方式と共役された、連続(ガス)フェーズと不連続(水ミスト)フェーズで構成さ

れた二相システムをモデリングするオイラー・ラグランジェ技術を使用して、注入された液滴と連続システム(空気)の相互作用をシミュレーションするために設計されています。

### 3.2.9.1 連続(ガス)フェーズ

ガス状フェーズは、連続システムです。その性質を予測するには、3次元、再循環、乱流、浮揚性、圧縮性流れの時間依存性挙動をモデル化する必要があります。これらの能力は、計算流体力学(CFD)コードSMARTFIREに完全に実装されています。連続フェーズモデリングは、上記の標準火災現場モデリングに従っています。

### 3.2.9.2 不連続(水ミスト)フェーズ

不連続フェーズモデリングでは、ミストは分離した多数の液滴から成ると仮定されます。液滴は、個別の表面と表面積を持つしっかりした形状です。液滴の初期温度、速度、直径は、ノズルタイプに依存します。水ミストのモデルは、各粒子/液滴を追いません。なぜなら、不可能だからです。代わりに、液滴の典型的サンプルの履歴は、一連の液滴のそれとみなされ、各履歴の計算によって決定されます。

スプレー中の液滴の履歴を決定するための、多数の様々な方法が開発されてきました。ここで採用する方法は、積分方程式法です。これは、次の時間ステップで液滴の状態を予測できる、完全に明確な方程式を与える時間に関して、液滴の状態を示す異なる方程式を集約することが必要です。

### 3.2.9.3 液滴速度方程式

空き場所に置かれた液滴は、動き始めます。動きの軌道は、時間に関してニュートンの第二法則を集約して受けることが可能です。

$$m \frac{d}{dt} \bar{V} = \bar{F}$$

$\bar{F}$  の位置は、液滴上で働くすべての力のベクトルです。液滴の大きさが極めて小さいと仮定すると、わずかな内力を仮定できます。他のすべての力(浮力、サフマン揚力など)が比較的わずかなので、けん引力和重力も考慮する必要があるということも仮定されます。したがって、以下の式が得られます:

$$m_p \frac{d}{dt} (\underline{V}_p) = C_D \rho_g (\underline{V}_g - \underline{V}_p) \left| \underline{V}_g - \underline{V}_p \right| \frac{A_p}{2} + m_p \underline{g}$$

液滴速度の主たる方程式で、 $m_p$ が液滴の質量、 $\underline{V}_p$ が液滴の速度、 $A_p$ が液滴の予測された表面積、 $C_D$ がけん引係数、 $\rho_g$ がガス密度、 $\underline{V}_g$ がガス速度、 $\underline{g}$ が重力です。けん引係数( $C_D$ )とレイノルズ数( $Re$ )は、下記を使用するのに合わせられます:

$$C_D = \frac{24}{Re_p} (1 + 0.15 Re_p^{0.687}); \quad Re_p = \frac{\rho_g |\underline{V}_g - \underline{V}_p| d_p}{\mu_{gl}}$$

$D_p$ が液滴の直径で、 $\mu_{gl}$ が層流ガス粘性です。 $\underline{V}_g$ 、 $\rho_g$ 、 $\mu_{gl}$ は、無限連続値であると思われます。つまり、それらは液滴からかけ離れて数値を求められます。

さらに、小さい時間ステップ $\Delta t$ に対し、ガス特性が一定であると仮定されます。また、間隔に関する液滴の速度と直径の変化は十分に小さく、 $Re_p$ 、 $C_D$ 、 $d_p$ 、 $A_p$ の変化がわずかなので、これらも一定であると仮定されます。これらの仮定をもって、上記の方程式は、次のように書き換えられます：

$$\frac{dV_p}{dt} = \frac{\mu_{gl} Re_p C_D A_p}{2d_p m_p} (V_g - V_p) + g$$

$V_p$  が唯一の変数です。時間間隔に沿って積算すると、次の式が得られます：

$$V_p(t + \Delta t) = V_g - \{V_g - V_p(t)\} \exp(-\Delta t/\tau) + g\tau \{1 - \exp(-\Delta t/\tau)\}$$

$$\tau = \frac{4\rho_p d_p^2}{3\mu_{gl} C_D Re_p}$$

$\rho_p$  は液滴密度です。

### 3.2.9.4 液滴密度方程式

液滴は、火災空気を通して移動するので、気化します。蒸発は、温度の勾配や液滴表面、液滴表面とガスとの間の気体濃度勾配、液滴とガスのノンゼロ相対速度による「」の影響等を含む、多くの要因の影響を受ける複雑な過程です。

これは、次のように仮定されます：

- 1) 液滴の形状には振動がなく、明確な表面を持っている。
- 2) 液滴は、温度に依存しない、一定の速度を持っている。
- 3) 内部温度は一定である（「無限伝導性」モデル）。
- 4) 即座に液滴の表面よりも大きくなる水蒸気は、液滴とともに熱装置内にある。つまり、モデル内の液滴表面と同じ温度を持ち、それはバルク温度と同じである。
- 5) 濃度はこの温度で飽和した水蒸気で、したがって蒸気表から得ることができる。

ここで、液滴からの物質移動速度を考慮する必要があります。この過程を表す様々な公式が提案されてきました。このモデルに関しては、下記を述べるフィックの法則が使用されています：

$$\frac{dm_p}{dt} = -k_m S_p \rho_g (X_v - X_\infty)$$

$S_p$  は液滴の表面積、 $k_m$  は対流物質移動係数、 $X_v$  と  $X_\infty$  は水滴表面とガス内での水蒸気の質量関数です。この方程式を蒸気の仮定と結びつけ、シャーウッド数を取り入れると、下記が得られます：

$$\frac{dm_p}{dt} = -Sh D_{AB} \pi d_p \rho_g (X_v - X_\infty) \quad ; \quad Sh = \frac{k_m d_p}{D_{AB}}$$

$D_{AB}$  は空気中での水の二成分性拡散係数です。この方程式が直径の観点から書き換えられ、テイラー級数に拡張された場合、一次精度に、時間関数としての直径は以下の式で得られます：

$$d_p(t + \Delta t) = d_p(t) - \frac{2Sh \rho_g D_{AB} (X_v - X_\infty)}{\rho_p d_p} \Delta t$$

$\rho_p$  は液滴密度です。シャーウッド数は、下記を使用して合わせられます：

$$Sh = 2.0 + 0.6 Re_p^{0.5} Sc^{0.33} \quad ; \quad Sc = \frac{\mu_{gl}}{\rho_{ref} D_{AB}}$$

Scはシュミット数で、 $\rho_{ref}$ は周囲温度でのガス密度です。

$X_v$ は液滴温度関数で、蒸気表で与えられた質量関数に合う方程式から算出されます。0から100℃の範囲を3分割することによって、適合で1%以下の平均絶対誤差と、2%以上の誤差のある10～90℃の範囲で1ポイントを与える公式を引き出せることが分かりました。

### 3.2.9.5 液滴温度方程式

液滴温度の方程式を得るために、次の追加仮定と概算がなされました：

- 1) 液滴の温度は、常に0℃から100℃の範囲内である。
- 2) この範囲内で、水と水蒸気に対して一定圧での比熱は、両方とも一定である。
- 3) この範囲内で、蒸発の潜熱は一次的に変化する。
- 4) 液滴の比エンタルピーは、そのバルク温度のみの関数である。
- 5) 表面から離れる蒸発液滴蒸気は、液滴の温度であり、したがって、液滴の現在の温度の水蒸気と同じ比エンタルピーを持つ。
- 6) 液滴の合計エンタルピーにおける純変化は、対流熱による増加と、蒸発による減少の合計である。

液滴温度の主たる方程式は、下記のようになります：

$$\frac{dH_p}{dt} = \dot{Q} + h_v \frac{dm_p}{dt}$$

$H_p$ は液滴の合計エンタルピー、 $\dot{Q}$ は液滴への対流熱流束速度、 $h_v$ は液滴から離れる蒸気の比エンタルピーです。0℃になるエンタルピーのゼロ点を取り、℃で温度を測ると：

$$H_p = m_p c_{pp} T_p \quad ; \quad h_v = L_0 + c_{pv} T_v = L_0 + c_{pv} T_p$$

$c_{pp}$ は液滴に対する一定圧での比熱で $c_{pv}$ は蒸気に対して、 $T_p$ は液滴温度、 $T_v$ は蒸気、 $L_0$ は0℃での蒸発の潜熱です。置換し、配列し直すと、下記が得られます：

$$\frac{dT_p}{dt} = \frac{\dot{Q}}{m_p c_{pp}} + \frac{L_0 + c_{pv} T_p - c_{pp} T_p}{m_p c_{pp}} \frac{dm_p}{dt}$$

可変液滴質量と可変蒸発潜熱の両方を明らかにします。液滴への対流熱流束に関しては、ニュートンの冷却の法則が使用されます：

$$\dot{Q} = \pi N u k_g d_p (T_g - T_p) \quad ; \quad N u = \frac{k_c d_p}{k_g}$$

$Nu$ はヌッセルト数、 $k_g$ はガスの熱伝導率、 $T_g$ はガス温度、 $k_c$ は対流熱伝導率です。前述のように、短い期間 $\Delta t$ 中で、温度以外のすべての量は一定であると仮定できます。また、量 $\{L_0 + (C_{pv} - C_{pp}) T_p\}$ は $\Delta t$ における $T_p$ の変化は、マグニチュード $L_0$ により、この量の値にわずかな影響を与えるのに十分小さいので、一定であるとみなされる可能性があることも仮定されます。方程式を置き換えると、下記が得られます：

$$\frac{dT_p}{dt} = \frac{(T_g - T_p)}{\tau} - \frac{Q_L}{\tau}$$

そしてここで：



$$\tau = \frac{d_p^2 \rho_p c_{pp}}{6k_g Nu} ; Q_L = \frac{\{L_0 + (c_{pv} - c_{pp})T_p\} Sh \rho_g D_{AB} (X_v - X_\infty)}{k_g Nu}$$

$\tau$  と  $Q_L$  は両方とも一定です。時間に関して集約すると、下記の温度方程式が得られます：

$$T_p(t + \Delta t) = T_g - \{T_g - T_p(t)\} \exp^{-\Delta t / \tau} - Q_L (1 - \exp^{-\Delta t / \tau})$$

下記を使用して、ヌッセルト数を合わせます：

$$Nu = 2.0 + 0.6 Re_p^{0.5} Pr^{0.33} ; Pr = \frac{\mu_{gl} c_{pg}}{k_g}$$

Prはプラントル数で、 $c_{pg}$ はガス比熱です。

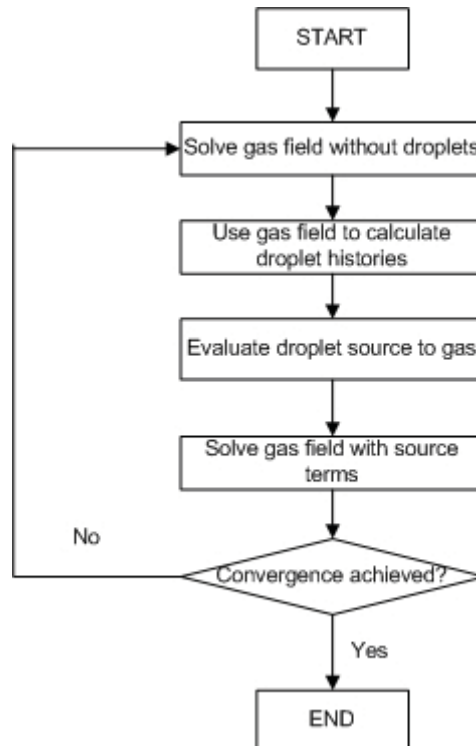
### 3.2.9.6 相関結合

このように、連続(ガス)フェーズと不連続(水ミスト)フェーズの2つの相互作用フェーズをモデル化するために、問題が減少されました。各フェーズのために得られる解決策が、他のフェーズの影響を考慮することとを確実にしなければならない、連続フェーズと不連続フェーズを結合に、方法論が必要です。連続フェーズが他のフェーズに与える影響は、展開された方程式に引き継がれ、それ以上の影響は必要ありません。しかし、連続フェーズには不連続についての認識がありません。オイラー・ラグランジェ文脈では、不連続フェーズを連続に結合するための一般的に採用されたアプローチは、最初にクローが述べた、PSI-Cell方式です。

この方式では、液滴トラッキングコンポーネントが、ガスフェーズ特性と同様に連続ソルバーに使用された計算メッシュの詳細にパスされます。液滴はこのメッシュを通して追跡されるので、それらの特性は、それらが各セルに入り、出たものとして記録されます。これらの特性の値のいかなる変更も、2つのフェーズ間で起こる交換プロセスか、液滴上に作用する外体積力のどちらかによるものでなければなりません。交換プロセスの場合、保存則により、液滴によって失われるすべてのものは、ガスによって得られなければならない、その逆も同様です。したがって、液滴特性の変化から、外体積力、運動量、エンタルピーの影響が可能になり、ガスによって減少/増加した質量は、液滴によって増加/減少したものから算出されることが出来ます。この移動は、液滴がセルを横切っている間に起こるので、セル内の物質へ移動しているものとみなされます。各液滴が決定された履歴が完了すると、各計算セルのソースは、次のガスフェーズ反復での使用のため、連続フェーズソルバーに移動します。この方法で、不連続フェーズが連続に与える影響が考慮されます。

### 3.2.9.7 解決手順

この問題を解決するには、下図に示された反復方法を使用します。この方法では、まず液滴が存在しないと仮定して、ガスフェーズ流動場を計算します。そして、この流動場に対して液滴履歴が計算され、それによって液滴上のガスの影響が考慮されます。その後、これらの履歴とそれらを組み入れて計算されたガスフェーズから、ガスフェーズのソースが計算されます。これは、ガス上の液滴の影響を考慮した、修正された流動場を与えます。液滴履歴は、この新しい流動場を使用して再計算され、それによって自身の存在によって修正された流動場の影響を感じます。変換された解決策が得られるまでこのループの反復を続けることで、ガスフェーズ流動場と液滴履歴のセットが得られ、他への影響がその両方に完全に考慮されます。したがって、2方法の完全な結合が達成されます。



PSI-Cell 解決の仕組みを示したフローチャート

### 3.2.10 毒性モデル

毒性モデルは、火災空間内の毒ガスの生成と移動を予測するために、小規模の実験に由来する空間の収率と等値割当量の間の相互関係を利用します[26, 27]。

制御ボリュームでの局所等量比(LER) ( $\phi$ ) は、混合割合 ( $\xi$ ) と化学量論的混合割合値 ( $\xi_{st}$ ) で算出されます。

$$\phi = \frac{\xi(1 - \xi_{st})}{\xi_{st}(1 - \xi)}$$

空間  $i$  (CO、CO<sub>2</sub>) と O<sub>2</sub> の質量分率は、次の方程式で算出されます：

$$Y_i = y_i(\phi, T)\xi$$

$$Y_{O_2} = \mu_{air,o}(1 - \xi) - y_o(\phi, T)\xi$$

$y_i(\phi, T)$  は、LER  $\phi$  と温度  $T$  を持った空間  $i$  の収率を表し、 $y_o(\phi, T)$  は燃料キログラム単位の酸素消費量です。空間収率に依存する確実な温度がないため、空間  $i$  の収率の相互関係は、現在、等量比のみの形式で表されています[28]。

$$y_i(\phi) = A \left[ 1 + \frac{B}{\exp(\phi / C)^D} \right]$$

A は換気状態の良い空間の収率で、B、C、D はパラメータです。

毒性モデルでは、PHI(最小LER)とPH2(最大LER)の2つの臨界等量を与えられる必要があります。PHIの値は、考慮する火災シナリオの燃焼効率を反映します。換気の良い火災での初期値は0.5です。燃焼効率の低いケースでは、より大きなPHIの値を与られます。前述の方程式の形式での、CO収率の欠点は、GERsが大きくなりすぎた時に、CO収率を過大評価することです。通常、GERが増加すると、COの収率は増加します。方程式は、GERが大きいために燃焼のない場合でも、高いCO収率を示します。実

際、等量比が臨界点を越える場合、COの収率も減少します。この臨界等量比は、初期値3.5のPH2で表されます。LERがPH2よりも大きい場合、収率は、PH2の等量比値でのCOとCO2の収率比である、 $y_{CO}(PH2)/y_{CO2}(PH2)$ CO2の収率から算出されます。

### 3.2.11 HCl 減衰モデル

火災現場モデリングで解かれるすべての変数と同様に、その移動経路の間のHClの蓄積、対流、拡散、破壊の総合効果を表す、HClの方程式が導入されています。この法的式は、HCl主要方程式と呼ばれます。

今のHCl減衰モデル[30,31]は、GallowayとHirschler[32]の修正版です。頑丈な表面に隣接した境界積層セル内のHCl沈着速度 $S_{B,HCl}$ (kg/s)は、下記によって算出されます：

$$S_{B,HCl} = -A_W \min\{((D_{W,HCl} - D_{W,HCl}^{old})/\Delta t + krD_{W,HCl}), \alpha \times \dot{f}_{HCl}\}$$

$A_W$ は境界セル表面の面積(m<sup>2</sup>)で、 $\dot{f}_{HCl}$ は固体表面へのHCl流動(kg/m<sup>2</sup>s)、1.0や $\Delta t$ をとる $\alpha$ は時間ステップサイズ(秒)です。固体表面のHCl濃度 $D_{HCl,W}$ (kg/m<sup>2</sup>)は、平衡状態が達成されている場合、次の方程式を使用して算出されます：

$$D_{W,HCl} = k_e \times \rho_{B,HCl}$$

$$k_e = \frac{b_1 e^{1500/TW}}{1 + b_2 e^{1500/T_w} \rho_{B,HCl}} \left(1 + \frac{b_5 (\rho_{H2O})^{b_6}}{(\rho_{H2O,sat} - \rho_{H2O})^{b_7}}\right)$$

平衡状態が達成されていない場合には、次の方程式を使用して算出されます：

$$\frac{d}{dt} D_{W,HCl} = \alpha \times \dot{f}_{HCl} - k_r D_{W,HCl}$$

$$kr = b_3 e^{-\left(\frac{b_4}{RT_w}\right)}$$

上記の方程式で、 $\rho_{B,HCl}$ 、 $\rho_{H2O}$ 、 $\rho_{H2O,sat}$ は、境界層制御ボリューム内のHClと水、および飽和水の付随密度です[33](つまり、単位体積ごとの、この種の質量、kg/m<sup>3</sup>)。Rは普遍的なガス定数(8.314J/(Kmol))で、TWは固体表面温度(K)です。 $b_1 \sim b_7$ は物質依存のモデルパラメータです。

### 3.2.12 可視性の計算

可視性V(m)は、下記の2つの経験的關係から計算されます。

a) 発行サインの場合

$$V = m / Cs$$

ここでmは5から10の範囲で一定です(1.9.1)。

b) 反射標識の場合

$$V = m / Cs$$

ここでmは2から4の範囲で一定です(1.9.2)。

Cs は煙減衰係数(1/m)です。散乱効果を見捨ると、Cs は煙の吸収係数と等しくないます。

Cs が火災環境の中で空間的に変化するとき、開始点から与えられた方向への可視性Vd は下記の等式から算出されます。

$$Vd = \text{subject to } \leq m$$

ここで計算されるのは、与えられた方向に沿った開始点からのビームのセルi内のセグメントであり、且つセルにおける減衰係数です。

### 3.2.13 HCN 計算

実験データの評価とは、CO質量分布とHCN質量分布の間の燃料特定相関を指します。これにより次の媒介変数方程式[34][35]を使用して、HCN質量分布を簡単に評価することができます。この方法を用いて、計算した変数はSMARTFIREとYHCNで使用されます。これは以下のようにCO質量分布、YCOから計算できます。

$$Y_{HCN} = Y_{CO} \times y_{HCN}^{\max} \times (TANH(3.8 \times (y_{SOFMR} - 1.7) - 2.0) / 1.3 + 1.2) / y_{CO}^{\max} \quad (1.9.3)$$

この形態のモデリングを使用して、追加でHCNを任意の量を放出することはできないので注意してください。そのような機能が必要なとき、ユーザーは追加のガス種(すなわちHCN)において、計算済みの変数に切り替える必要があります。この追加ガス種はHCNの全ソースが明確に定義されている必要があることを意味します。

HCN計算において、以下の3つのパラメータが使用されます。:

$y_{CO}^{\max}$  : Normalised (maximum) yields of CO (kg/kg); (ナイロンのデフォルト値は1.49)

$y_{HCN}^{\max}$  : Normalised (maximum) yields of HCN (kg/kg); (ナイロンのデフォルト値は0.24)

$y_{SOFMR}$  : 燃料(kg/kgまたは無次元)の燃料質量率(SOFMR)への化学量論的酸素(ナイロンのデフォルト値は2.62)

燃料に要素(窒素)を含んでいないとき、 $y_{HCN}^{\max}$  の値は0に設定されます。

これにより相関式に基づいて計算されるHCNは常に0になります。

SOFMRの値は、燃料の完全燃焼生成物がCO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、NO<sub>2</sub>、HCl、HBr、SO<sub>2</sub>であるという仮定で計算されます。

### 3.3 一般的なスカラー方程式

複雑な流体の流れを表すために用いる式の簡潔な導入により、すべての式は以下に示す一般化された形式に変換可能なことが明らかです。

$$\underbrace{\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}}_{\text{Transient}} + \underbrace{\text{div}(\rho\mathbf{u}\phi)}_{\text{Convection}} = \underbrace{\text{div}(\Gamma_{\phi}\text{grad}(\phi))}_{\text{Diffusion}} + \underbrace{S_{\phi}}_{\text{Source}} \quad (2.0)$$

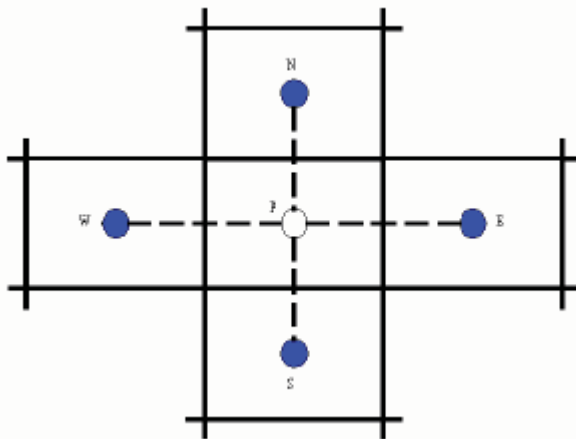
過渡    対流                      拡散                      ソース

ここで、 $\rho$  は密度、 $\mathbf{u}$  はベクトル速度、 $\Gamma$  は量 $\phi$ の拡散係数、および $S$ は任意のポイントにおける $\phi$ のソース項です。方程式における4つの項は、過渡項、対流項、拡散項およびソース項です。この方程式は一般に、トランスポート方程式の対流・拡散形式として知られています。

#### 3.3.1 各項の近似値

対流・拡散方程式を解くためには、その方程式のすべての項の近似値を求める必要があります。以下の説明においてこの手順の詳細な達成方法は示しませんが、完全性を期すために、近似値の最終形式を示します。手順は以下のとおりです。

- (1) 流動領域を離散化してコントロールボリュームの集合にする
- (2) それぞれのコントロールボリュームの表面あるいは体積に関する個別の項を統合する
- (3) 風上の値を用いて1次導関数の近似値を求める
- (4) 適正な平均手法を用いて依存量の表面値の近似値を求める
- (5) 最後に、解決する代数方程式の完全な体系を構築する。



前に言及した近似値は、上述の一般的なコントロールボリュームの配置にもとづいています。これは一般的な2Dコントロールボリュームの設定です。コンピュータ分子は隣接するコントロールボリューム（北、南、西および東）が関心対象のコントロールボリューム（Pと表示）に及ぼす影響を示します。注意点として、*SMARTFIRE*は、実際には3D非構造メッシュを用いますが、類似の概念が適用されます。

### 3.3.1.1 過渡項(Transient Term)

以下に示す後退差分の方法を用いて過渡項の近似値を求めます。

$$\int_{t-\Delta t}^t \int_V \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dV dt \cong \frac{V_P \rho_P \phi_P - V_P^0 \rho_P^0 \phi_P^0}{\Delta t} \quad (2.1.1)$$

### 3.3.1.2 対流項(Convection Term)

対流項は、方程式においてもっとも重要な項です。この項の近似値を求めるときは、慎重におこなう必要があります。慎重に取り扱わずに不適切な近似値を求めると、大きなエラーや不安定性の問題を引き起こす可能性があるからです。これは以下の式によって表されます。

$$\int_V \text{div}(\rho \underline{u} \phi) dV = \int_S \rho (\underline{u} \cdot \underline{n}) \phi dS \cong \sum_f \rho_f (\underline{u} \cdot \underline{n})_f A_f \phi_f \quad (2.1.2a)$$

この方程式において、 $\rho_f$  の値は風上の要素における値が与えられます。したがって、

$$\rho_f = \rho_P \quad \text{if } (\underline{u} \cdot \underline{n})_f > 0.0 \quad \text{and} \quad \rho_f = \rho_A \quad \text{if } (\underline{u} \cdot \underline{n})_f < 0.0 \quad (2.1.2b)$$

表面の対流量  $\phi$  は、さらなる近似値計算を必要とします。1つの可能な手法は、以下のような算術平均を用いることです。

$$\phi_f = \alpha_f \phi_P + (1 - \alpha_f) \phi_A \quad (2.1.2c)$$

この選択を仮定すると、離散化した対流項の最終形式は、以下のようになります。

$$\sum_f \rho_f (\underline{u} \cdot \underline{n})_f A_f [\alpha_f \phi_P + (1 - \alpha_f) \phi_A] \quad (2.1.2d)$$

対流量  $\phi$  のそのほかの可能な選択は「離散化体系」と題された節に示しています。

### 3.3.1.3 拡散項(Diffusion Term)

以下の近似値計算を用いて拡散項の近似値を求めます。

$$\int_S \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}(\phi)) dV = \int_S \Gamma_\phi \text{grad}(\phi) \cdot \underline{n} dS \cong \sum_f (\Gamma_\phi)_f A_f \left( \frac{\phi_A - \phi_P}{d_{AP}} \right) \quad (2.1.3a)$$

ここで、拡散係数の近似値を以下の式によって求めます。



$$(\Gamma_\phi)_f = \frac{(\Gamma_\phi)_A(\Gamma_\phi)_p}{\alpha_f(\Gamma_\phi)_p + (1 - \alpha_f)(\Gamma_\phi)_A} \quad (2.1.3b)$$

### 3.3.1.4 ソース項(Source Term)

一般的に、ソース項は従属変数  $\phi$  の関数であるため、システムマトリクスの対角優性を保証するために、離散化された最終の方程式において線形化の形式が用いられます。

$$S_\phi = S_C - S_P\phi = V_P(S_C - S_P\phi_P) \quad (2.1.4)$$

### 3.3.1.5 乱流ソース項の線形化(Turbulence Source Term Linearisation)

乱流ソースは、取り扱いを向上させて対角優勢を保証するためにさらに修正されます。現在、消散率および運動エネルギー方程式に関する乱流ソースの線形化には3通りの方法があります。線形化を以下の形式において書くことが可能であると仮定すると、

$$S_C - S_L N$$

以下の式は、それぞれの方法の係数を求める公式を表します。

#### 3.3.1.5.1 方法 1

$$\begin{aligned} \text{k ソース項:-} \quad S_C &= v_t \rho G \\ S_L &= C_D v_t \rho / (C_\mu l^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon \text{ ソース項:-} \quad S_C &= C_D \rho v_t C_{1\epsilon} G v_t / (C_\mu)^2 \\ S_L &= C_{2\epsilon} C_D \rho v_t / (C_\mu) l^2 \end{aligned}$$

#### 3.3.1.5.2 方法 2

$$\begin{aligned} \text{k ソース項:-} \quad S_C &= (C_{2\epsilon} - 1.0) C_\mu C_D k^2 \rho / v_t + 1.5 v_t \rho G \\ S_L &= v_t \rho G^{0.5} / k + C_{2\epsilon} C_\mu C_D k \rho / v_t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon \text{ ソース項:-} \quad S_C &= (C_\mu C_D \rho k / v_t) (C_{1\epsilon} v_t G + (C_{2\epsilon} - 1.0) \epsilon) \\ S_L &= (2.0 C_{2\epsilon} - 1.0) C_\mu C_D \rho k / v_t \end{aligned}$$

#### 3.3.1.5.3 方法 3

$$\begin{aligned} \text{k ソース項:-} \quad S_C &= v_t \rho G \\ S_L &= C_D C_\mu k \rho / v_t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \in \text{ソース項:-} \quad S_c &= C_D \rho k C_{1\epsilon} G C_\mu \\ S_L &= C_{2\epsilon} C_D \rho k C_\mu / v_t \end{aligned}$$

ここで、

$G$  はひずみ率の大きさ、

$\rho$  は密度、

$v_t$  は乱流の粘度、

$k$  は運動エネルギー、

$\epsilon$  は消散率、

$l$  は混合距離です。

また  $C_D$ 、 $C_\mu$ 、 $C_{1\epsilon}$  および  $C_{2\epsilon}$  は定数で、それぞれ、0.1643、0.09、1.44、および1.92の値をとります。

### 3.4 全体的な離散化方程式

保存方程式のそれぞれの項の離散化形式に関する式を前節で求めました。完全な方程式の離散化した形式を得るには、単純にすべての寄与を合計します。対流項における表面値  $\phi$  の評価に関する算術平均を想定すると、離散化方程式は、以下のようになります。

$$\begin{aligned} \frac{(\rho_p \phi_p V_p - \rho_p^0 \phi_p^0 V_p^0)}{\Delta t} + \sum_f \left[ \rho_f (\underline{u} \cdot \underline{n})_f \{ \alpha_f \phi_p + (1 - \alpha_f) \phi_A \} A_f - (\Gamma_\phi)_f \left( \frac{\phi_A - \phi_p}{d_{AP}} \right) A_f \right] \\ = (S_C - S_p \phi_p) V_p \end{aligned} \quad (3a)$$

数量  $F_f$  および  $D_f$  を以下のように定義します。

$$\left. \begin{aligned} F_f &= A_f \rho_f (\underline{u} \cdot \underline{n})_f \\ D_f &= A_f (\Gamma_\phi)_f / d_{AP} \end{aligned} \right\} \quad (3b)$$

ここで、 $F_f$  は  $\phi$  の対流の強度、および  $D_f$  は拡散伝導係数、方程式は以下の形式により、さらに単純化して書き出すことができます。

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (3c)$$

ここで、加算はすべての隣接要素に関するものです。また上記の式における係数  $a_p$  および  $a_{nb}$  に関する方程式は、以下のように表されます。

$$\left. \begin{aligned} a_{nb} &= D_f - (1 - \alpha_f) F_f \\ a_p &= \sum_f (D_f + \alpha_f F_f) + a_p^o - S_p V_p \\ a_p^o &= \frac{\rho_p^o \phi_p^o V_p^o}{\Delta t} \\ b &= S_c V_p + a_p^o \phi_p^o \end{aligned} \right\} \quad (3d)$$

従属変数  $\phi$  の対流量は、いくつかの方法で表すことができます。もっとも一般的に用いられる技術は、風上値を用いる方法です。これは風上スキームとして知られており、表面値が以下の法則によって近似値計算されます。

$$\phi_f = \phi_p \quad \text{if } F_f > 0.0 \quad \text{and} \quad \phi_f = \phi_A \quad \text{if } F_f < 0.0 \quad (3e)$$

この場合、係数は以下ようになります。

$$\left. \begin{aligned} a_{nb} &= D_f + \max(-F_f, 0.0) \\ a_p &= \sum_f [D_f + \max(F_f, 0.0)] + a_p^o - S_p V \\ a_p^o &= \frac{\rho_p^o \phi_p^o V_p^o}{\Delta t} \\ b &= S_c V_p + a_p^o \phi_p^o \end{aligned} \right\} \quad (3f)$$

一般的に、 $\phi$  の対流表面値の評価には幅広い選択肢が利用可能です。最終的な離散化方程式の一般バージョンを組み込むために、関数  $A(|P|)$  を導入します。これにより、任意の差分スキームを公式化して組み込むことが可能になります。ここで、 $P$  は  $F_f/D_f$  で表される Peclet 数です。これは、以下のように表されます。

$$\frac{\rho_p \phi_p V_p - \rho_p^o \phi_p^o V_p^o}{\Delta t} + \sum_f \left[ (D_f A(|P_f|) + \max(-F_f, 0.0)) (\phi_p - \phi_A) + F_f \phi_p \right] = (S_c - S_p \phi_p) V_p \quad (3g)$$

ここで、さまざまなスキームに関する  $A(|P|)$  の式を下の表に示します。

スキーム	$A( P )$ の公式
中央差分	$1 - 0.5 P $
風上	1
ハイブリッド	$\text{Max}(0, 1 - 0.5 P )$
べき法則	$\text{Max}(0, (1 - 0.1 P )^5)$

指数	$ P /\exp( P )-1$
----	-------------------

この場合、係数は以下ようになります。

$$\left. \begin{aligned} a_{nb} &= D_f A(|P|) + \max(-F_f, 0.0) \\ a_p &= \sum_f [D_f A(|P|) + \max(F_f, 0.0)] + a_p^o - S_p V \\ a_p^o &= \frac{\rho_p^o \phi_p^o V_p^o}{\Delta t} \\ b &= S_C V_p + a_p^o \phi_p^o \end{aligned} \right\} \quad (3h)$$

**注釈:** さまざまな差分スキームの相対的な長所はここでは論じません。

### 3.5 代数方程式

前節で説明した代数方程式は、適切な方法を用いて解く必要があります。用いる解法の選択は、解の精度および解を求めるために必要な取組みに影響を及ぼします。したがって、多数のさまざまな問題を解くためには、いくつかの解法が利用可能であることが重要です。次節では、*SMARTFIRE*で用いられる解法を簡潔に説明します。

#### 3.5.1 代数方程式の解

あらゆる方程式を解く出発点は、代数方程式のセットです。この場合、以下の表現を用います。

$$Ax = b \quad (4.1)$$

ここで、Aはn x m個の要素のマトリクス、xおよびbは、n個の要素のベクトルです。

有限体積法による離散化の手法により、一連の代数方程式が得られます。これは、マトリクス形式で表したときに、かなり大規模なシステムマトリクスを生成します。用いる型式の特性のために、システムマトリクスは大規模ではあるものの、かなりまばらです。係数自体がほかの従属変数の関数であるため、結果として生じる代数方程式は線形の特性をもたないことから、効率的に解を求めるためには反復ソルバーを用いることが賢明です。

*SMARTFIRE*では、いくつかの解法が利用可能です。すなわち、ヤコビ法 (Jacobi Over Relaxation) (JOR)、逐次過緩和法 (Successive Over Relaxation) (SOR)、共役勾配法 (CG法) (Conjugate Gradient Method) (CGM)、双共役勾配法 (Bi-CG法) (BiCG) および、ホールフィールドソルバー (Whole Field Solver) です。ポイントごとの線形方程式に関してもっとも頻繁に用いられる2つの解法は、JOR法とSOR法です。それぞれの方法について、以下に簡潔に説明します。

### 3.5.1.1 JOR/SOR ソルバー

JORに関しては、一般的なレンガ形のセルが以下のように更新されます。

$$\phi_{p,JOR} = \frac{(a_e \phi_{e,old} + a_w \phi_{w,old} + a_n \phi_{n,old} + a_s \phi_{s,old} + a_h \phi_{h,old} + a_l \phi_{l,old} + b)}{a_p} \quad (4.1.1a)$$

それに対して、SORに関しては、一般的なレンガ形のセルが以下のように更新されます。

$$\phi_{p,SOR} = \frac{(a_e \phi_{e,new} + a_w \phi_{w,new} + a_n \phi_{n,new} + a_s \phi_{s,new} + a_h \phi_{h,new} + a_l \phi_{l,new} + b)}{a_p} \quad (4.1.1b)$$

最終的なセル値は、以下のように線形弛緩を用いて更新されます。

$$\phi_{p,new} = relax * (\phi_{p,old} - \phi_{p,(JOR\ or\ SOR)}) + \phi_{p,(JOR\ or\ SOR)} \quad (4.1.1c)$$

### 3.5.1.2 CGM ソルバー

一般的な反復スキームは、以下の形式において考慮できます。

$$\phi_{p,new} = f(\phi^i, \underline{\underline{A}}, \underline{\underline{b}}) \quad (4.1.2a)$$

ここで、 $f$  は  $\phi^i$  から  $\phi_{p,new}$  への収束を支援する関数です。CGMスキームに関しては、関数  $f$  は以下の式によって規定されます。

$$f(\phi) = 0.5 \underline{\underline{\phi}}^T \underline{\underline{A}} \underline{\underline{\phi}} - \underline{\underline{b}}^T \underline{\underline{\phi}} + c \quad (4.1.2b)$$

この勾配は(対称的なAを想定すると)以下の式に還元されます。

$$f'(\phi) = \underline{\underline{A}} \underline{\underline{\phi}} - \underline{\underline{b}} \quad (4.1.2c)$$

さらに、Aが定正值である場合は、それで  $Ax = b$  の解は関数  $f$  のグローバルミニマムとなります。CGMソルバーは、解としての  $f$  の最小値を得ることを目的とします。

### 3.5.1.3 BiCG ソルバー

BiCGソルバーは、平方マトリクスAが非特異かつ非対称となる可能性があるCGMソルバーの変形です。CGMソルバーの必要に応じて、非特異かつ非対称のマトリクスを対称的かつ定正值のマトリクスに変換



する事前段階があります。

これは、以下に示すAの転置を用いて求められます。

$$[(\underline{A})^T \underline{A}] \underline{p} = (\underline{A})^T \underline{b} \quad (4.1.3)$$

#### 3.5.1.4 ホールフィールドソルバー(WHOLE FIELD SOLVER)

ホールフィールドソルバーは、その名が示すとおり、スイープの最後に方程式を解くことを目的とします。そのとき、すべてのノードポイントが訪問され、システムマトリクスが構築されます。ホールフィールドソルバーがポイントに関するソルバー(JORやSORなど)と異なる点は、追加的な内部ループおよび逆置換を用いて更新された解がそのほかすべてのコントロールボリュームに影響を与えるようにすることです。

### 3.5.2 SIMPLE 解法(SIMPLE Solution Procedure)

火災モデルは高度に非線形かつ密結合の方程式のセットによって構成されます。このような方程式のセットを解くときは、ソリューションが進行する順序と方法が重要です。いくつかの解法を用いて方程式を解くことができます。SMARTFIREでは、方程式のセットを解くためにSIMPLEという解法を用います。この手続きの概要を以下に示します。

- ステップ1: 初期の圧力フィールド $p^*$ を推測する。
- ステップ2:  $u^*$ ,  $v^*$ ,  $w^*$  を得るために、推測された圧力フィールドを用いて運動量方程式を解決する。
- ステップ3: 圧力補正 $p'$ に関して解決する。
- ステップ4:  $p^*$ および $p'$ を用いて新規の圧力フィールドを計算する。
- ステップ5:  $u^*$ ,  $v^*$ ,  $w^*$  および $p'$ を用いて、新規の速度コンポーネント $u$ ,  $v$  および  $w$ を計算する。
- ステップ6: そのほかの保存された数量、すなわち エンタルピー、温度、乱流、濃度、放射、密度、粘度などを解決する。
- ステップ7: 補正された圧力 $p$ を $p^*$ として扱い、ステップ2に戻る。
- ステップ8: 解が収束するまで、ステップ2から7までを繰り返す。
- ステップ9: 次にの時間ステップに関してステップ2から8までを繰り返す。

#### 3.5.2.1 従属変数ストレージの考察

それぞれの座標方向の速度コンポーネントがセル表面に保存される、交互のグリッドストレージ配置は、

圧力ベースのソリューションスキームに関してもっとも広く利用されている技術ですが、このようなスキームに関するストレージの必要性がきわめて大きいことが認識されてきました。*SMARTFIRE*では、それぞれの座標方向の速度コンポーネントがセル中心に保存されるように、併置式のグリッド配置を用いています。このような手法により、以下のような結果が生じました。すなわち、

形状関連の量に関するストレージ必要量の大幅な減少、および望ましくない「チェッカー盤」圧力フィールドの予測。

チェッカー盤圧力フィールドの予測を軽減するために、*SMARTFIRE*は、必要に応じて、チェッカー盤振動がないアルゴリズムによって、セル表面におけるフラックスを予測するために「Rhie-Chow」法を用います。したがって、表面速度は隣接するセルのセル中心で優勢な圧力値（補間は不使用）および、運動量方程式内で用いるそのほかの数量について補間された値に依存します。この手法は、交互配置の手法に類似しており、非交互および交互手法ともに表面のフラックスは同一です。

### 3.5.3 収束および弛緩の方法 (Convergence and Relaxation Methods)

流体の流動方程式は結合型かつ非線形であるため、前節で示したような反復解法を用いるときは、解をコントロールするために弛緩の方法を用います。弛緩法は、解の収束を支援します。*SMARTFIRE*において、3通りの弛緩方法が利用可能です。それは、ソルバー弛緩、線形弛緩、および擬似時間ステップ弛緩法です。これらの技法の詳細は、以下の2項で説明します。

#### 3.5.3.1 線形弛緩 (Linear relaxation)

線形弛緩法では、変数 $\phi$ に関する解決のバリエーションが線形の方法でもたらされます。変数の変動の許容量は、以下の式によって調整されます。

$$\phi_{updated} = \alpha \phi_{calculated} + (1 - \alpha) \phi_{old} \quad (4.3.1)$$

ここで、 $\alpha$  は0から1.7までの値をとります。弛緩を上回る項と下回る項は、下の表に示す $\alpha$ の範囲において定義されます。

$\alpha < 1.0$	弛緩を下まわる
$\alpha = 1.0$	弛緩なし
$\alpha > 1.0$	弛緩を上回る

この方法は、ソルバーの内部および外部で更新を必要とする任意の変数に適用できます。

#### 3.5.3.2 擬似時間ステップ弛緩 (False time step relaxation)

擬似時間ステップ弛緩とも呼ばれる反復弛緩の概念を用いて、以下の方程式が生成されます。

$$\phi_{updated} = \frac{\sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b + F_t \phi_{previous}}{(a_p + F_t)} \quad (4.3.2)$$

ここで、 $F_t$  は擬似時間ステップであり、その単位は、 $a_p$  係数の単位と同じ、すなわち kg/秒です。したがって、 $F_t$  が大きくなるほど、弛緩は強まります。この方法は通常、定常および過渡シミュレーションに関して用いられます。

### 3.5.4 残差計算法 (Residual Calculation Methods)

すべてのソルバーは、終了の基準を必要とします。*SMARTFIRE* の場合、ソリューション段階のいくつかの段階においていくつかのオプションが利用可能です。さまざまな形式を以下に示します。

#### 3.5.4.1 ソルバー残差 (Solver residual)

これは、最新の x 解ベクトルを代数線形方程式の体系に置換し、また方程式の右辺と左辺の最大差を評価することによって評価される最大エラー項です。すなわち、

$$\underline{r} = \underline{Ax}_{p,new} - \underline{b} \quad (4.4.1)$$

ソルバー残差は、収束に達したか否か、またしたがってソルバー内部反復を中止できるかを判断するために用います。

#### 3.5.4.2 変数残差

変数残差は、解のスニープ間の解エラー対策であり、個別の変数の収束をチェックするために用いられます。これには、以下の式が用いられます。

$$\phi_{p,new} - \phi_{old} = r \quad (4.4.2)$$

変数残差を計算するためのいくつかの名前のついた方法が利用可能です。以下にそれを示します。

1	絶対L1基準 (ABSOLUTE L1 NORM)
2	絶対L2基準 (ABSOLUTE L2 NORM)
3	絶対LI基準 (ABSOLUTE LI NORM)
4	相対L1基準 (RELATIVE L1 NORM)
5	相対L2基準 (RELATIVE L2 NORM)
6	相対LI基準 (RELATIVE LI NORM)
7	参照L1基準 (REFERENCE L1 NORM)
8	参照L2基準 (REFERENCE L2 NORM)
9	参照LI基準 (REFERENCE LI NORM)

これらの基準には、以下の評価方法があります。

#### 3.5.4.2.1 絶対 $L_1$ 基準 (Absolute - $L_1$ norm)

$$\|\Phi\|_1 = \sum |\Phi_{new} - \Phi_{last}|$$

#### 3.5.4.2.2 絶対 $L_2$ 基準 (Absolute - $L_2$ norm)

$$\|\Phi\|_2 = \sqrt{\sum (\Phi_{new} - \Phi_{last})^2}$$

#### 3.5.4.2.3 絶対 $L_\infty$ 基準 (Absolute - $L_\infty$ norm)

$$\|\Phi\|_\infty = \text{MAX}(|\Phi_{new} - \Phi_{last}|)$$

#### 3.5.4.2.4 相対基準

相対 (RELATIVE) 基準は、基本的に上記の定義と同じですが、以下の点が異なります。すなわち、項  $(\Phi_{new} - \Phi_{last})$  は、項  $((\Phi_{new} - \Phi_{last}) / \Phi_{new})$  によって置換されます。相対 (RELATIVE) 基準を用いることは推奨されません。なぜなら、 $\Phi$  がきわめて小さいかゼロの場合、 $\Phi_{new}$  による除算はオーバーフローを引き起こす可能性があるからです。

#### 3.5.4.2.5 参照基準

参照 (REFERENCE) 基準を用いると、ユーザーは基準の計算に関して適切な参照値を選択できます。参照基準の計算のために適用される計算法は、基本的に絶対基準と同じですが、以下の点が異なります。すなわち、項  $(\Phi_{new} - \Phi_{last})$  は、項  $((\Phi_{new} - \Phi_{last}) / \Phi_{reference})$  によって置換されます。明らかに、 $\Phi_{reference}$  の値は、ゼロまたはほぼゼロで除したときにオーバーフローが生じるのを防ぐために、適切に

大きくなければなりません。理想的には、参照基準は、シミュレーション全体に関するφの最大期待値を用いるものとします。これは、残差を変数の独立値に正規化する傾向があります。この値は、そのほかの変数間およびそのほかのシミュレーション間でさらに容易に比較できます。

### 3.6 境界条件 (BOUNDARY CONDITIONS)

火災問題の定義を完成するには、境界および初期条件のセットを指定する必要があります。本節では、SMARTFIREで利用可能な境界の条件を扱います。ユーザーが境界条件を正確に指定し、またそれが数値ソリューション手続きにおいて及ぼす影響を理解することはきわめて重要です。本節では、SMARTFIREユーザーインターフェースにおいて用いられる名前に関して解決されるそれぞれの方程式に関連する境界条件について詳しく述べます。

#### 3.6.1 圧力方程式

##### 3.6.1.1 排気口 (Outlet) あるいは自由 (Free) 境界

$$P = P_{\text{external}} \quad \text{or} \quad P = P_{\text{fixed}} \quad (5.1.1)$$

#### 3.6.2 運動量方程式 (Momentum Equation)

##### 3.6.2.1 吸気口 (Inlet)

$$u, v, w, \text{ を速度ベクトル } \underline{V} \text{ として規定します。} \quad (5.2.1)$$

この速度は吸気口の境界となるセルの表面に適用します。速度は常に境界の表面を交差して適用します。－ 局所流からは独立している。

##### 3.6.2.2 排気口 (Outlets)

$$\text{内部セルにおいて計算された } u, v, \text{ および } w \quad (5.2.2)$$

##### 3.6.2.3 層流に関する壁

$$F_{\text{shear}} = \text{area} * \mu p \frac{1}{\Delta y_p} u \quad (5.2.3)$$

##### 3.6.2.4 乱流に関する壁の関数

広範に用いられる壁の対数法則および  $y^+ \left( = \frac{\Delta y_p}{\nu} \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \right)$  の限界を用いると、せん断力は以下の式で表されます。

$$F_{shear} = -\tau_w * area = -\mu \frac{u_p}{\Delta y_p} * area \quad (5.2.4a)$$

この式は通常、それが適用されている流況に応じて変更されます。乱流に関しては、以下のように表されます。

$$F_{shear} = -\rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} \frac{u_p}{u^+} * area \quad (5.2.4b)$$

### 3.6.2.5 シンメトリー

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad (5.2.5)$$

### 3.6.2.6 ファン(Fan)

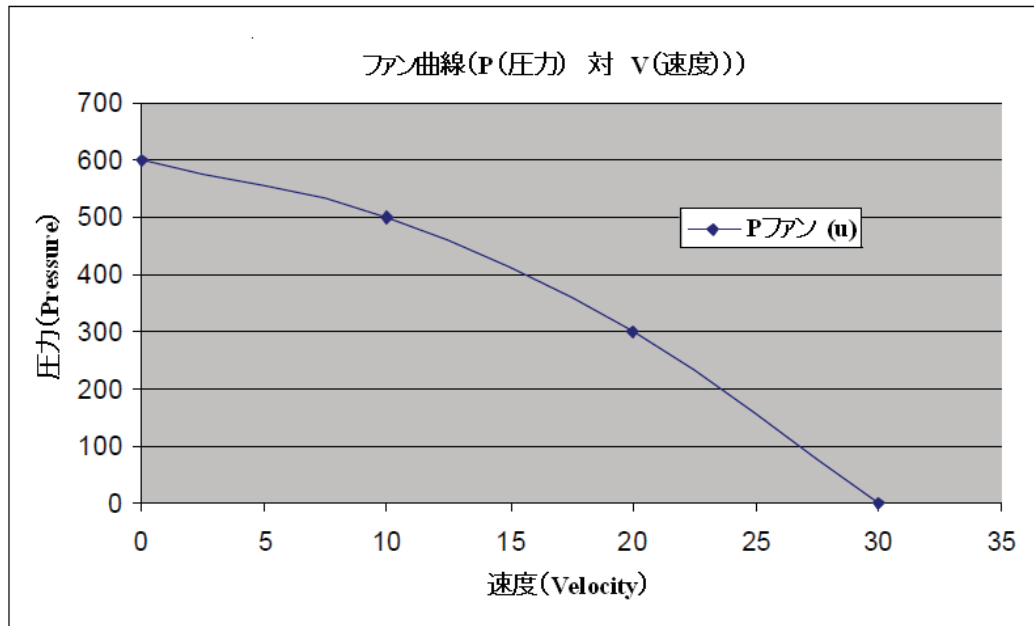
ファンは、空気の流れを特定方向に強制するときに用います。ファンの特性は、ファンを通過して流れる空気の速度に関してファン全体にわたって生成される圧力損失によって説明されます。

ファンの圧力損失 (Pressure Drop) の特性を示す例

$U$	$\Delta P_{fan}(U)$
0	600
10	500
20	300
30	0

このデータは、ファン曲線の形において表すこともできます。





この項は、以下の(式)によって適切な運動量方程式に追加されます。

$$F_{fan} = \frac{\partial P_{fan}}{\partial x}$$

数値モデルのために離散化されたとき、これは以下ようになります。

$$\iiint_V \frac{\partial P}{\partial x} dV \approx \frac{\Delta P_{fan}(u)}{\Delta x} V = \Delta P_{fan}(u) \cdot A$$

したがって、運動量方程式に追加されたソース項は、ファン全体にわたる圧力損失とファンの断面積の積です。

ファンは、領域内部の体積ソースとして扱われます(参考:吸気口境界条件)

### 3.6.3 エネルギー方程式(Energy Equation)

#### 3.6.3.1 エンタルピー-体積ソースとしての火災

$$S_H = \text{Fixed value} \quad (\text{or}) \quad S_H = (A+Bt+Ct^2+De^{Et}) \quad (5.3.1)$$

ここで、A、B、C、D、およびEは、ユーザー定義定数です。

#### 3.6.3.2 壁(Walls)

エンタルピーに関する壁の境界条件の一般記述は、以下のとおりです。

$$-\lambda_w \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_w = H_c(T_w - T_{gas}) + \varepsilon \sigma T_w^4 - \varepsilon \dot{Q}_r \quad (5.3.2.0)$$

ここで、 $\lambda_w$  は壁材料の伝導率、 $T_w$  は壁面温度、 $T_{gas}$  は壁に隣接する空気の気温、 $H_c$  は対流熱伝達係数、 $\varepsilon$  は壁の放射率、および  $\dot{Q}_r$  は壁面における放射熱フラックスです。

#### 3.6.3.2.1 断熱 (Adiabatic)

$$(5.3.2.0) \text{において} \quad \lambda_w = 0 \quad (5.3.2.1a)$$

$$\frac{\partial H}{\partial n} = 0 \quad \text{放射を考慮する場合は、} \quad (5.3.2.1b)$$

#### 3.6.3.2.2 固定温度 (Dirichlet)

$$T_w = \text{既定値、} \quad (5.3.2.2)$$

#### 3.6.3.2.3 固定フラックス (Neumann)

$$\frac{\partial H}{\partial n} = \text{固定値} \quad (5.3.2.3)$$

#### 3.6.3.2.4 フラックス/温度 (対流)

$$\frac{\partial H}{\partial n} = H_c(T_w - T_{gas}) \quad (5.3.2.4)$$

ここで、 $H_c$  および  $T_w$  は、ユーザーが指定します。

#### 3.6.3.2.5 フラックス/温度/材料 (伝導性)

(壁材料プロパティとともに)  $H_c$  (既定) を用いて、既定の  $T_w$  の代わりに用いられる (5.3.2.0) に関して推定される壁Tを計算し、熱フラックスを求めます (5.3.2.5)。

#### 3.6.3.2.6 乱流の壁レイヤ (計算フラックス)

(1) 乱流の壁レイヤ関数を用いて  $y^+$  の距離を見積もります。

(2) 以下の壁関数にもとづき、 $y^+$  値を用いて  $H_c$  値を計算します。

$$\frac{\partial H}{\partial n} = H_c (T_w - T_g) = (\rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} C_p) (T_w - T_g) / T^+ \quad (5.3.2.6)$$

(3) 5.3.2.5と同じ方法で  $H_c$  の計算値を用います。

### 3.6.4 乱流方程式 (Turbulence Equations)

#### 3.6.4.1 運動エネルギー (Kinetic Energy)

壁:  $k$  は、離散化された支配方程式を解決することによって得られます。 (5.4.1)

#### 3.6.4.2 消散率 (Dissipation Rate)

$$\text{Wall: } \varepsilon = \frac{0.1643}{K} \frac{k^{1.5}}{y} \quad (5.4.2)$$

#### 3.6.4.3 対数法則 (Log-Law)

$$y^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) \quad (5.4.3)$$

### 3.6.5 放射方程式 (Radiation Equation)

#### 3.6.5.1 固体表面 (Solid Surface)

$$\left. \begin{aligned} I &= \varepsilon_w E_w + (1 - \varepsilon_w) J \quad \text{for lower surface} \\ J &= \varepsilon_w E_w + (1 - \varepsilon_w) I \quad \text{for higher surface} \end{aligned} \right\} \quad (5.5.1)$$

ここで、 $E_w$  は  $T_w$  から計算されます(それには以下の条件を用います)

固体材料の隣接関係に関しては、 $T_w = T_{\text{solid}}$

断熱、伝導性、あるいは乱流の熱境界に関しては、 $T_w = T_{\text{calculated}}$

#### 3.6.5.2 空き場所 (Free Space)

$$\left. \begin{aligned} I &= E_w \quad \text{for lower surface} \\ J &= E_w \quad \text{for higher surface} \end{aligned} \right\} \quad (5.5.2)$$

### 3.6.5.3 固定温度(Fixed Temperature)

1.5.5.1と同様ですが、 $E_w$  は、以下に示すように、既定の  $T_w$  から計算されます。

$$E_w = \sigma T_w^4 \quad (5.5.3)$$

## 3.6.6 濃度方程式(Concentration Equation)

### 3.6.6.1 固定値(Fixed Value)

$$\phi = value \quad (5.6.1)$$

### 3.6.6.2 固定フラックス(Neumann)

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = value \quad (5.6.2)$$

### 3.6.6.3 線形フラックス(Linear Flux)

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = flux\_coeff * (\phi_{Ambient} - \phi_P) \quad (5.6.3)$$

### 3.6.6.4 対称面(Symmetry Plane)

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad (5.6.4)$$

## 3.7 火炎伝播

SMARTFIREでは、全ての可燃性表面は可燃物と識別されるフェイスパッチを設定します。フェイスパッチではそれぞれその保存場所や材料特性を定義するパッチ番号が付けられます。各タイムステップの終わりに、可燃フェイスパッチのセルフェイスにおける条件が査定され、着火条件に達しているかどうかの決定を行います。可燃性パッチ材料は以下の4つの着火基準のいずれかに従って決定されます。:

材料の表面温度がその着火温度に達している。;

隣接する燃焼中のセル面から問題のセル面までの熱分解の進行(フロントアドバンス);

物質と接触しているエンベロープ炎や炎が臨界期に臨界温度に達している。;

サーフェスが臨界期において限界熱流束にさらされている。

上記の着火基準を査定するには、表面着火温度や火炎伝播率、臨界温度(臨界期有)、臨界熱流束(臨

界期有)がモデル入力時に必要となります。これらの入力パラメータは小規模実験から取得可能です。セルフェイスの表面温度は入射熱流束(放射熱流束と対流熱流束の合計)や材料特性の観点から計算されます。未燃焼セルフェイス(燃焼中のセルフェイスの隣)の着火までの時間は火炎伝播速度に基づいて算出されます。セルフェイスと関連している火炎温度は可燃フェイスセルのすぐ隣の空気セルの温度を参考にします。セルフェイスから受け取った熱流束は使用済み放射モデルで決定します。4つのうちのいずれかの着火基準に達すると、セルフェイスは燃焼を開始します。そのため、セルフェイスが着火すると、小規模実験から収集可能な材料における時間依存の燃焼率(kg/m<sup>2</sup>s)に従って、燃料または熱の一定量の燃料放出が開始されます。燃料損失率は火炎伝播モデルのもう一つの入力パラメータです。

理論的に、表面の着火温度の基準は単独で、可燃性固体表面に従い火炎伝播のシミュレーションには十分です。ところが実際には個体表面の着火はCFD火災シミュレーションにメッシュ依存し、火災は非常に複雑で大規模な現象であるために、不可能ではないにしろ、固体表面上の火炎伝播のシミュレーションから完全にこの欠点を取り除くことは極めて困難です。向かい風の火炎伝播の場合、火炎伝播を正確に予測するためには、炎前方のエリアで極めて細かいメッシュが必要となります。粗メッシュでは、火炎伝播は全く予想されない可能性があります。しかし通常火災は大規模な現象であるため、全てにおいて非常に細かいメッシュを使用するには費用もかかりますし難しいでしょう。しかし最小の火災シミュレーションなら可能です。このジレンマに加えて、メッシュ作成段階において、どの火災条件(風力補助または向かい風)がよいのかをあらかじめ知ることは不可能です。従って実際の応用技術手法として、表面の着火温度と一緒に、さらに多くの着火基準がSMARTFIREでは使用されます。

### 3.8 SMARTFIRE の変数名

SMARTFIREで現在使われ、さまざまなグラフィカルユーザーインターフェース・ウィンドウおよび結果ファイルに表示される利用可能な変数の名前です。またこれらの名前は、CFDエンジンコマンドスクリプトパーサによって認識されます。以下の変数は、指定された問題タイプに関して利用されます。

解決変数(Solved variables)	モデル	単位
圧力(Pressure)	流動(flow)	Pa
速度U(U-VELOCITY )	流動(flow)	$\text{m s}^{-1}$
速度V(V-VELOCITY)	流動(flow)	$\text{m s}^{-1}$
速度W(W-VELOCITY )	流動(flow)	$\text{m s}^{-1}$
エンタルピー	熱	J
運動エネルギー	流動 + 乱流	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
消散率	流動 + 乱流	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
ラジオシティ	ラジオシティ放射	$\text{W m}^2$
放射X NEG	6フラックス放射	$\text{W m}^2$
放射X POS	6フラックス放射	$\text{W m}^2$
放射Y NEG	6フラックス放射	$\text{W m}^2$
放射Y POS	6フラックス放射	$\text{W m}^2$
放射Z NEG	6フラックス放射	$\text{W m}^2$
放射Z POS	6フラックス放射	$\text{W m}^2$
光線強度	多重光線放射	$\text{W m}^2$
混合物留分(MIXTURE FRACTION)	すべての燃焼モデル	—
燃料	混合調節燃焼	—
煙	煙(煤煙MPSなし)	—
煤煙 1(SOOT 1)	煙(煤煙MPSなし)	
煤煙 2(SOOT 2)	煙(煤煙MPSなし)	
煤煙 3(SOOT 3)	煙(煤煙MPSなし)	
HCL	Hcl	—
水蒸気	スプリンクラー / 粒子追跡	—
気体種類 1	気体種類	—



算定変数	モデル	単位
温度	すべてのモデル	K
浮力	流動＋熱	$\text{kg m s}^{-2}$
密度	圧縮性流動	$\text{kg m}^{-3}$
吸収係数	すべての放射モデル	$\text{m}^{-1}$
放射総計(RADIATION SUM)	多重光線放射	$\text{W m}^2$
燃料	拡散調整燃焼	—
酸化性物質	すべての燃焼モデル	—
生成物	すべての燃焼モデル	—
CO	毒性	—
CO2	毒性	—
O2	毒性	—
HCN	毒性	—
煙	煙（煤煙MPS使用時）	—
光の減衰係数	毒性	$\text{m}^{-1}$
水蒸気濃度	スプリンクラー／粒子追跡	$\text{kg m}^{-3}$
減衰係数	煙	$\text{m}^{-1}$

さらに以下に示すいくつかの補助変数があります。

材料プロパティ	モデル	単位
密度	非圧縮性の流動モデル	$\text{kg m}^{-3}$
比熱	すべてのモデル	$\text{J kg}^{-1} \text{K}$
層状粘度	すべてのモデル	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$
伝導率	すべてのモデル	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

追加変数	モデル	単位
速度マグニチュード	流動	$\text{m s}^{-1}$
実際の速度u	流動	$\text{m s}^{-1}$
実際の速度v	流動	$\text{m s}^{-1}$
実際の速度w	流動	$\text{m s}^{-1}$

これらの変数を用いるときは、大文字やシングルスペースを含めて上記の表に正確に従って入力します。速度コンポーネントは、スペースや下線ではなく、ハイフンを使います(ただし、*SMARTFIRE*は柔軟性をもつように開発されてきたため、一般的に代替形式を理解します)。

変数間には、以下のような区別があります。解決することによって得られる**解決変数**は、トランスポート過程によって領域を通じて送られ、プロパティのトランスポート、作成、および破棄にもとづいて係数マトリクスが構築された後に、利用可能なソルバーの1つを用いて解決されます。解決変数に関連づけられた多数のコントロールがあります。逆に、**算定変数**は、ただ単にそのほかの変数および形状の量の組合せから計算されるにすぎません。算定変数に関連づけられたソリューションコントロールはわずか数個しかありません。**材料プロパティ**は、個別のセルごとに保存されます。一定の設定のみがそのほかのシステム変数に依存するためにこれらの材料(Material)プロパティの更新を必要とします。材料プロパティは、*SMARTFIRE*コマンドスクリプト設定ファイルを通じてのみ設定されます。これらに関連づけられたコントロールはごく少数しかありません。最後に、**モニター変数および表示可能な変数**は自動的に維持され、必要な解決または計算される変数にアクセスしても利用できないさらに多くのあるいは簡潔な情報を提供します。このようなモニター変数に関連づけられたコントロールはありません。

上記の基本的な名前は、一定のリストにおいて類似する名前がつけられた補助変数をもつことができます。解決・計算される変数はすべて、親変数の残差の溶液安定性解析と可視化に用いられる残留形態の補助変数を持ちます。たとえば、エンタルピー(ENTHALPY)変数は、CFDエンジンによって自動的に作成されるENTHALPY\_RESという名前のパートナー変数を持ちます。ENTHALPY\_RESは、つねにエンタルピーのエラー残差のセルごとの値を含んでいます。

いくつかの変数は、実行されているシミュレーション(すなわち起動している物理モデルの組み合わせ)のタイプによって異なる方法で利用または計算されることに注意が必要です。

### 3.9 SMARTFIRE の単位体系

ほとんどのSMARTFIREシステムは、入力されたすべての値が整合性をもつかぎり、使用する単位体系の種類から事実上独立しています。ただし、所定の単位体系を必要とする一定のプロパティおよび変数もあります。ソリューションの整合性を確保し、また将来の開発を可能にするには、すべてのプロパティ、数値、および形状プロパティに関してS.I. 単位体系を用います。したがってそれには、INFORMファイルおよび形状指定ファイルへのすべての入力が含まれます。

整合性を確保するために既定の単位体系を以下に簡略に記述します。

表3-1: SMARTFIREにおいて用いられる単位体系

プロパティ	単位 (Units)	次元 (Dimensions)
質量 (Mass)	キログラム (kg)	[M]
長さ (Length)	メートル (m)	[L]
時間 (Time)	秒 (s)	[L]
温度 (Temperature)	ケルビン絶対温度 (K)	[K]
体積 (Volume)	$\text{m}^3$	[L <sup>3</sup> ]
面積 (Area)	$\text{m}^2$	[L <sup>2</sup> ]
密度 (Density)	$\text{kg m}^{-3}$	[ML <sup>-3</sup> ]
力 (Force)	ニュートン (N) = $\text{kg m s}^{-2}$	[MLT <sup>-2</sup> ]
圧力 (Pressure)	パスカル (Pa) = $\text{N m}^{-2}$	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
速度 (Velocity)	$\text{m s}^{-1}$	[LT <sup>-1</sup> ]
加速度 (Acceleration)	$\text{m s}^{-2}$	[LT <sup>-2</sup> ]
エネルギー (Energy)	ジュール (J) = $\text{N m}$	[ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> ]
電力 (Power)	ワット (W) = $\text{J s}^{-1}$	[ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> ]
動的粘度 (Dynamic Viscosity)	$\text{N s m}^{-2} = \text{Pa s}$	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> ]
伝導率 (Conductivity)	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	[MLT <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> ]
比熱容量 (Specific Heat Capacity)	$\text{W kg}^{-1} \text{K}$	[L <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> K]

## 4 デフォルト値とオプション(DEFAULT VALUES AND OPTIONS)

### 4.1 概説

本節では、*SMARTFIRE*システムのさまざまなユーザーインターフェースおよびコマンドスクリプトファイルに用意されているデフォルト値および選択可能なオプションの多くに関する情報を提供します。適宜、デフォルトまたは推奨オプションが示されます。

### 4.2 材料プロパティ

すべての固体(SOLID)材料は、 $1.0e + 10$ の層状粘度(Laminar Viscosity)(流れに対する抵抗)および $1.0e - 10$ の熱膨張係数(Thermal Expansion Coefficient)(温度に伴う体積変化)をもつことに注意します。これらの値は、圧縮性の気体と組み合わせて用いたときに、固体が正しい数値によって取り扱われるように選択されます。流体ガス(Fluid GAS)材料は、層状粘度および熱膨張係数の正確な値をもつ必要があります。またさらに、分子量(Molecular Weight)を正確に指定しなければなりません。すべての流体(領域または範囲全体に関する気体材料)は、以下の完全気体の状態方程式を満たす理想気体であると想定されます。

密度 = (圧力・分子量) / (気体定数・温度)

材料データの情報源は、[22,23]をはじめとするさまざまな参考文献から得られます。使用されるほとんどの材料値は、0°C または 20°Cにおいて決定されたものです。

「標準空気(Standard\_Air)」という名前の材料は、範囲内の空気に関するデフォルトの材料です。気体材料に関しては密度および分子量が定義されていますが、圧縮性流れのシミュレーションにおいては、分子量だけが必要とされます。ユーザーが浮力に関するブシネスク近似を用いて非圧縮性流れの利用を開始する場合には、さらなる情報が必要になります。デフォルトでは、流れはつねに圧縮性であると想定され、浮力に関する非ブシネスク近似が用いられます。

「デフォルトの壁材料(Wall\_Default\_Material)」は、実際には「普通れんが(Common\_Brick)」と同じプロパティをもちます。「デフォルトの壁材料(Wall\_Default\_Material)」は、ケース指定ツール内の障害物および壁面のデフォルト材料タイプです。ただし、デフォルトで「非伝導性材料(Non\_Conducting\_Material)」プロパティをもつ床を除きます。「デフォルトの壁材料(Wall\_Default\_Material)」は、コマンドスクリプトファイル内の壁の材料プロパティを変更したいと考える専門家ユーザーにとって便利な用途を提供します。なぜなら、ユーザーが実際の材料のプロパティ値を「破損」する必要がないからです。

#### 4.2.1 気体材料

##### 4.2.1.1 標準空気(Standard\_Air)

伝導率(Conductivity)	2.62204e-02
比熱容量(Specific Heat Capacity)	1.04578e+03
密度(Density)	1.17736
層状粘度(Laminar Viscosity)	1.56820e-05

熱膨張係数 (Thermal Expansion Coefficient)	3.29218e-03
分子量 (Molecular Weight)	29.35

#### 4.2.1.2 湿り空気 (Moist\_Air)

伝導率 (Conductivity)	2.62204e-02
比熱容量	1.04578e+03
密度 (Density)	1.17736
層状粘度 (Laminar Viscosity)	1.56820e-05
熱膨張係数 (Thermal Expansion Coefficient)	3.29218e-03
分子量 (Molecular Weight)	29.35

「湿り空気 (Moist\_Air)」は現在、「標準空気 (Standard\_Air)」と同じ材料プロパティをもつことに注意します。「湿り空気 (Moist\_Air)」の適切な定義をおこなうために利用可能な信頼できるデータは現在のところありません。CFDシミュレーションにおいて「湿り空気 (Moist\_Air)」を用いてもなんら問題が生じることはありませんが、ユーザーが空気のタイプを混合するのは回避することが推奨されます。CFDエンジンが流体間の境界を材料の不連続状態とみなすために誤った挙動が引き起こされることがあるからです。

### 4.2.2 固体材料

#### 4.2.2.1 デフォルトの壁材料 (Wall\_Default\_Material)

伝導率 (Conductivity)	0.69
比熱容量 (Specific Heat Capacity)	840.0
密度 (Density)	1600.0

#### 4.2.2.2 非伝導性材料

伝導率 (Conductivity)	0.01
比熱容量 (Specific Heat Capacity)	10000.0
密度 (Density)	10000.0

#### 4.2.2.3 硬材 (Hard\_Wood)

伝導率	0.17
比熱容量	2380.0
密度	800.0

#### 4.2.2.4 軟材 (Soft\_Wood)

伝導率	0.14
比熱容量	2850.0
密度	640.0

**4.2.2.5 コンクリート(Concrete)**

伝導率	1.4
比熱容量	880.0
密度	2300.0

**4.2.2.6 普通れんが(Common\_Brick)**

伝導率	0.69
比熱容量	840.0
密度	1600.0

**4.2.2.7 ポリスチロール(Polystyrene)**

伝導率	0.11
比熱容量	1200.0
密度	1100.0

**4.2.2.8 ガラス(Glass)**

伝導率	0.76
比熱容量	840.0
密度	2700.0

**4.2.2.9 銅(Copper)**

伝導率	387.0
比熱容量	380.0
密度	8940.0

**4.2.2.10 鋼材(Steel)**

伝導率	45.8
比熱容量	460.0
密度	7850.0

**4.2.2.11 石膏プラスター(Gypsum\_Plaster)**

伝導率	0.48
比熱容量	840.0
密度	1440.0



**4.2.2.12 石綿(Asbestos)**

伝導率0.15  
比熱容量1050.0  
密度577.0

**4.2.2.13 繊維板(Fibre Board)**

伝導率	0.041
比熱容量	2090.0
密度	229.0

**4.2.2.14 ポリウレタンフォーム(Polyurethane Foam)**

伝導率	0.034
比熱容量	1400.0
密度	20.0

**4.3 デフォルトの壁厚(WALL DEFAULT THICKNESS)**

シミュレーション領域の薄い壁面には、ケース指定ツールにおいてデフォルトの壁厚が割り当てられます。「薄い」壁に通気孔があるために「厚い」壁に変換する必要がある場合は、メッシュシステムによってこの値が用いられます。「厚い」壁は、厚さにおいて1つまたはそれ以上のセルがあり、対応する材料が定義されています。逆に「薄い」壁は、材料タイプおよび概念的な厚さが割り当てられていますが、本当のメッシュセルがまったく作成されていないプレート(板)の境界パッチにすぎません。技術的には、薄い壁でもサーフェスプロパティが各側面内部にあり、そのため「薄い」壁は「厚い」壁の物理行動で一列に合理的な物理行動をしますが、潜在的にはモデリングの精度は低下します。専門家ユーザーは、*SMARTFIRE* コマンドスクリプトファイルの境界条件(BOUNDARY CONDITIONS)において個別の境界に関する「薄い」壁厚を変更できます。デフォルトの壁厚は、0.1mに設定されています。

**4.4 放射率(EMISSIVITY)**

放射シミュレーションに関する放射率のデフォルト値は0.8です。この値は、すべての気体または固体の放射相互作用に関して用いられます。専門家ユーザーがこの放射率を変更して、壁に独立した放射率の値を与えたい場合は、*SMARTFIRE* コマンドスクリプトファイルの境界条件(BOUNDARY CONDITIONS)セクションによりおこなうことができます。異なる材料を使用して表現される物理的障害物には、デフォルト値の放射率のみが適用されることに注意します。

**4.5 周囲温度(AMBIENT TEMPERATURE)**

「周囲温度(Ambient temperature)」の値は、ユーザーがさまざまな周囲温度を指定できます。

この値は、ケルビン絶対温度で示されます。すなわち、0°C(32°F)は273.75Kと同等です。周囲温度の初期値は288.15Kです。これは、15°Cのデフォルト温度と同等です。この値は、いくつかのケースに関し

て少し高いように思われることがあります。値はそれほど重大ではありません。なぜなら、火災温度は一般にはるかに高温であるため(～800℃以上)、比較的低い(大気)温度における小さい誤差は、一般的にそれほど重大でないからです。理想気体法則(Ideal Gas Law)の実装によりS.L.ユニットのケルビンスケールの使用が想定されているため、すべての温度はケルビン絶対温度で入力しなくてはなりません。

#### 4.6 最低地点の基準圧力(LOWEST POINT REFERENCE PRESSURE)

「外圧力(External pressure)」値は、シミュレーション領域(domain)の最も低い地点における大気圧を設定できます。この値は、圧縮性気体に関する理想気体法則の正しい操作のために重要です。初心者ユーザーはこれを変更してはなりませんが、海面より高い位置で実行されるシミュレーションを考慮するために圧力値を変更する必要がある専門家のために、完全性を期す目的で提供されます。[大気圧は、1.01325e05Paと想定されています]。

#### 4.7 吸収係数(ABSORPTION COEFFICIENTS)

吸収係数は熱放射がどのように流体と関連しているかを定義する流体プロパティです。現在のSMARTFIREでは、煙の質量分率を使用して吸収係数は定義されます。理想的には、それぞれのコントロールボリュームの吸収係数は、煤煙、 $CO_2$ 、 $H_2O$ などの全火災生成物の濃度にもとづいて決定されます。煙サブモデルがアクティブでない場合は、ガス状生成物の温度にもとづいて吸収係数の合理的な見積もりを得ることができます。システムは、流体温度から算出されるガス状流体の算出した吸収係数の値を使用します。それぞれのコントロールボリュームの吸収係数を決定するために、現在の気体温度およびその分布範囲にもとづいて吸収係数の最小値と最大値を以下のように用います。

$$[T < T_{\min}]: - \quad A = A_{\text{amb}}$$

$$[T > T_{\min} \text{ and } T < T_{\text{half}}]: -$$

$$A = A_{\min} + ((A_{\min} - A_{\text{amb}}) / (T_{\text{half}} - T_{\min})) * (T - T_{\min})$$

$$[T > T_{\text{half}}]: - \quad A = A_{\min} + ((A_{\max} - A_{\min}) / (T_{\max} - T_{\text{half}})) * (T - T_{\text{half}})$$

ここで  $A_{\text{amb}} = 0.001$ , [大気(新鮮な空気)の吸収係数]

$T_{\max} = 1400.0K$ , [煙流(プルーム)の温度の最大値]

$T_{\min} = 323.0K$ , [吸収係数の算定値に関する最低温度]

$T_{\text{half}} = T_{\max} / 2$ ,

$A_{\max} = T_{\max}$  における吸収係数、および

$A_{\min} = (A_{\max} / 2)$ . [  $T = (T_{\max} / 2)$  における吸収係数 ]

吸収係数の最大および最小値として入力した値は、 $T_{\text{half}}$  (デフォルト値は  $T_{\text{half}} = 700.0K$ ) における吸収係数および  $T_{\max}$  (デフォルト値は  $T_{\max} = 1400K$ ) における吸収係数です。新鮮な空気の吸収係数の値は、0.01に設定されています。これは、温度が  $T_{\min}$  (デフォルト値は  $T_{\min} = 323K$ ) 以下のすべての

セルに適用されます。たとえばメタン火災は、 $T_{half}$  および  $T_{max}$  における  $A_{min}$  および  $A_{max}$  の値がそれぞれ3.5および7.0に設定されています。固定された一定の吸収係数を設定したいときは、吸収係数の最小および最大値を求められる定数値に設定します。これは、HubbardおよびTienの研究[24]にもとづいています。この手法を用いて、さまざまな種類の火災の吸収係数を計算するための一般方程式が以下のように定義されます。

$$A = C * T$$

ここで、 $T$ はケルビン絶対温度、  
 $C$ は火災の種類によって定義された定数です。

吸収係数は、燃焼されている燃料タイプ(および燃焼特性)に依存します。それぞれの燃料タイプに関して、1組の区分線形曲線が作成されます。これは、温度に対する吸収係数の依存性を再現するためのものです。HubbardおよびTienの相関は、火災煙流の測定にもとづいて導出されました。*SMARTFIRE*の実装において、これらの相関は、実験的に測定された煙流温度の半分( $T_{half}$ )を上回る温度に関して適用されます。50°C (323K)未満の温度に関しては、吸収係数は大気値の0.01に設定されます。50°Cから $T_{half}$ までの範囲内の温度に関しては、吸収係数の変動は、相関の下限および上限値の間の線形補間に任意に従います。これらの相関は、流れ領域全体におけるすべてのコントロールボリュームに適用されます。

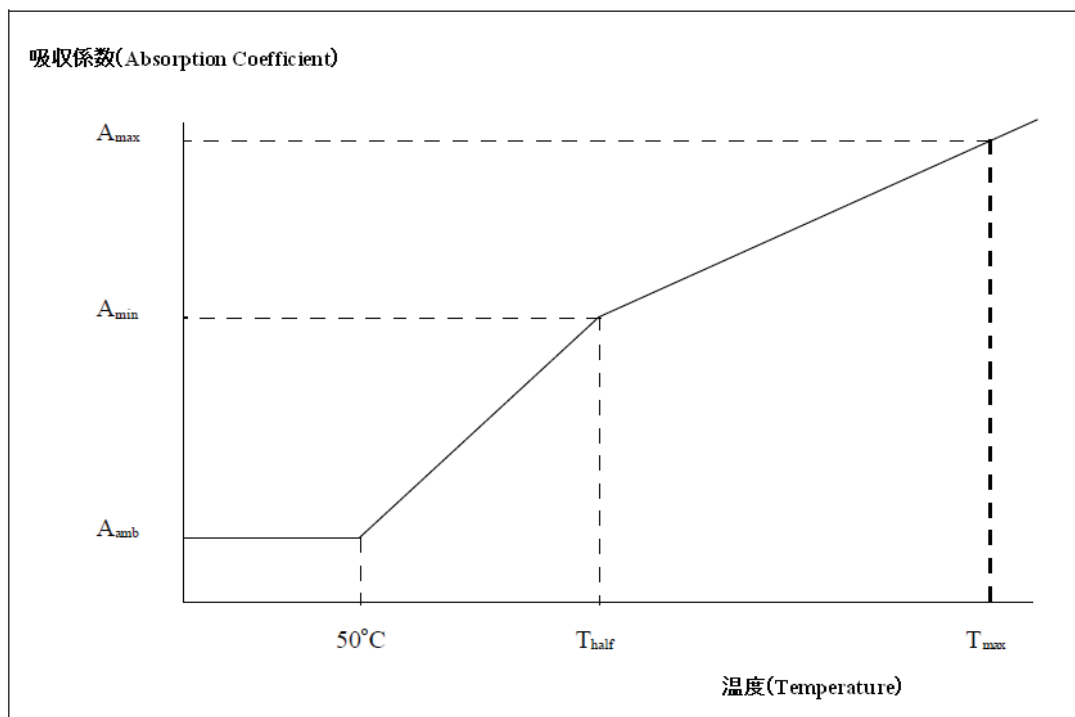


図4-1: 温度に対する吸収係数の算定値

*SMARTFIRE*は、単純化と高い操作性を得るために、デフォルトの煙流温度の一般最大値を1400Kと想定しています。したがって、ユーザーは、700Kおよび1400Kに関する $A_{min}$  および  $A_{max}$  の値をそれぞれ提供すればよいだけです。

以下の表は、さまざまな燃料タイプ [24]に関して実験的に決定された $C$ および $T_{\max}$ の値を示すものです。  
またこの表は、上述した吸収係数の算定に用いる $A_{\min}$ および $A_{\max}$ の推奨値も示しています。

表4-1: さまざまな火災タイプに関する吸収パラメータ

材料	$C$	$T_{\max}$ (K)	$A_{\min}$	$A_{\max}$
メタン	0.005	1289	3.5	7
エタン	0.004	1561	2.7	5.6
プロパン	0.00853	1590	5.97	11.94
木材	0.00045	1732	0.315	0.63
[一般的な燃料]	[ $c = ?$ ]	[1400]	[ $700 * c$ ]	[ $1400 * c$ ]

## 4.8 時間ステップのコントロール

時間ステップサイズの値は、過度シミュレーションのみに用いられ、CFDエンジンが収束したスナップショット・ソリューションを得るごとにどれだけのシミュレーション時間が経過するかを測定する基準となります。デフォルトの時間ステップサイズは、1.0秒です。高い火災出力やソリューション安定性に影響を及ぼすそのほかの形状または流量の複雑性を伴うケースにおいては、時間ステップサイズを縮小する必要があることがあります。時間ステップサイズが小さい場合、ソリューションが安定化する傾向がありますが、その代わり、同一の合計シミュレーション時間を実行するために必要な時間ステップがさらに多く必要になります。したがって、全体的な計算時間が増加します。火災の出力がかなり穏やかかつ形状が相当単純な場合には、比較的大きい時間ステップサイズを用いることができます。

ここでは、

- 火災は極めて低熱出力で送風機なし
- ソリューションは定常状態に近く、
- シンプルな形状です。

時間ステップサイズの一般的な値は、おおまかに以下のように区分できます。

表4-2: 時間ステップサイズの推奨用法

時間ステップサイズ	用法
5.0秒以上	きわめて安定したケース(あるいは定常状態の挙動のクイックチェックとして利用)
1.0秒 – 5.0秒	中程度の火災負荷を伴う安定したケース
0.1秒 – 1.0秒	高い火災負荷および複雑な形状
0.01秒 – 0.1秒	きわめて高い出力の火災、複数の火災、複雑な形状
0.01秒以下	極端な流れ状況(窓の破壊など)にのみ必要

時間ステップのデフォルト数は、100に設定されています。時間ステップサイズが1.0秒の場合は、明らかに100.0秒のシミュレーションに相当します(すなわち、1分半を少し上回ります)。

シミュレーションを不安定にしがちな突然の変更やイベントを軽減するために、時間ステップサイズをコントロールすることが可能です。これはCFDエンジンへGraphical User Interfaceを使用することで可能です。

し、または何か重要なイベントまたは変更が発生した際に時間ステップサイズの運動を可能にするよう事前に設定することもできます。

## 4.9 スイープのコントロール

SMARTFIREが実行するように設定されたスイープのデフォルト数は、問題特性に依存します。定常状態シミュレーションでは、デフォルトで1000回のスイープがあります。一方、過度シミュレーションでは、時間ステップごとに100回のスイープを実行するように設定されています。過度シミュレーションでは、適切な収束を得るために必要なスイープ数がこのデフォルト値よりも多いか少ないことがあります。正確な結果を出すために、シミュレーションが十分に安定していて、収束的かどうかを決定する残余グラフや、あるいは残余値のどちらかを使用してソリューションの収束を監視することが大切です。

## 4.10 火災の動力曲線

火災の動力曲線の一般的な形式は、以下の形式による時間ベースの方程式の項を用います。

$$P = A + Bt + Ct^2 + De^{Et}$$

ここで  $P(kW)$  は火災の合計出力、

$t(s)$  は火災開始後からのシミュレーション時間(すなわち、 $t = t_{\text{sim}} - t_{\text{start}}$ )、

$A(kW)$  は常時放熱係数、

$B(kWs^{-1})$  は線形時間に対する放熱係数、

$C(kWs^{-2})$  は  $t^2$  に対する放熱係数、

$D(kW)$  は指数放熱係数、

$E(s^{-1})$  は線形時間に対する指数項の変更子(exponential term modifier)です。

**注釈:** 上記の式に関連する全体的な時間を制限するために、制限時間(Time limits)を利用できます。制限時間が無制限であったり不適切に指定されたりする場合は、過度シミュレーションにおける火災熱出力が非現実的に大きい、あるいは意味がないほど小さい結果をもたらす可能性があります。制限時間のデフォルト値は、下限値および上限値がそれぞれ0.0秒と1.0秒に設定されています。

**注釈:** 放熱係数がスピンボックスの1つに入力されると必ず、最終的な放熱率が火災プロパティウィンドウで計算され、ディスプレイの右側にあるグラフィックパネルに表示されます。既知の放熱率が必要であるのに、当該期間の動力曲線の一般的な形状が不明なときに、これは1つの計算手段として有効です。

デフォルトの火災タイプは、50kWの固定出力を伴う「一定」火災("Constant" fire)です。火災の制限時間は、一定でない火災に関してのみ定義されることに注意が必要です。すなわち、「一定」火災は、シミュレーション開始時における最大放熱率において開始すると想定されます。ただし火災は指定した時間で終了することが設定されているとき、その指定した「終了時間」で「一定」火災も終了します。100kW以上の一定火災を指定するときは注意が必要です。なぜなら、弛緩および時間ステップのデフォルト値は、一般的にこのような急激な放熱を処理できないからです。ただしこれもまた熱が放出される火災ソースのボリュームにより変化します。高出力の火災を用いる必要があるときは、少なくとも3回の時間ステップ後に最大熱出力に達するように設定された単純(Simple)(または  $t^2$ ) 火災を用いることが強く推奨されます。



どの種類の火災成長曲線が指定されたとしても、SMARTFIREはエネルギー密度の最大増加量の判断を行い、エネルギー密度の増加量が非常に大きく、シミュレーション時に発生する温度が非現実的に高い場合は、警告を出すことがあります。そのようなシミュレーションにおいて、ユーザーは火災熱の放出率曲線の変更や、あるいは火災を発生する燃料の変更を考える可能性があります。そこでは、十分な量の燃料とオキシダントが存在する場所のみを放出した燃料は燃やすため、火災の量が放出されたエネルギー密度に与える影響はより少なくなります。そして燃焼は火災ソースのボリュームに制限されることはありません。

いわゆる「 $t^2$ 」火災は、火災工学アプリケーションにおいてしばしば用いられます。これは[単純 (Simple)]火災タイプとして提供されたものです。プルダウンメニューには観測経験にもとづいた火災拡大率が含まれており、以下の火災タイプ、率、および一般的なソースが定義されています[25]。

表4-3: さまざまな火災タイプに関する火災放熱率のパラメータ

拡大速度	動力曲線 (KW)	一般的な火災ソース
低速	$0.0030 t^2$	水平の木材板
中間	$0.0117 t^2$	綿またはポリエステルマットレス
高速	$0.0469 t^2$	軽量の木製家具(合板の洋服たんすなど)
超高速	$0.1880 t^2$	布張り家具

**注釈:** 放熱率は、正と負の火災係数の値を不適切に選択して組み合わせた場合、いつでも無意味になる可能性があります。これは物理的に非現実的であるため、CFDコンポーネントは、放熱率が負数から0.0までの場合にそれを捕捉しますが、設定火災プロパティメニューは、個別の負の係数に対して異議を表しません(ただし、負の合計放熱率が検出される場合には警告します)。

火力曲線はまた時間ごとの熱発生率のデータ表で定義することも可能です。この場合、どのシミュレーション時間における熱出力も、火災発生から時間ごとの熱発生率のデータ表から決定されます。その機能性はまたデータ表の時間ごとの放熱率を挿入することもできます。

#### 4.11 ソルバーおよび変数のデフォルト・コントロール

以下の表は、SMARTFIREにおいて、解決される変数を用いるデフォルトのコントロールパラメータを示します。



表4-4: 解決される変数に関するデフォルトのコントロール設定値

解決される変数 (Solved Variable)	ソルバーのタイプ (Solver Type)	反復回数 (Number of Iterations)	擬似時間弛緩 (False Time Relaxation)	線形弛緩 (Linear Relaxation)
圧力 (Pressure)	RESIDUAL SOR	40	N/A	0.4
運動量 (Momentum) (すなわち、U、V、W)	DOMAIN JOR	2	0.2	0.6
エンタルピー (Enthalpy)	DOMAIN SOR	20	0.5	1.0
運動エネルギー (Kinetic Energy)	DOMAIN SOR	20	0.1	1.0
消散率 (Dissipation Rate)	DOMAIN SOR	20	0.1	1.0
ラジオシティ (Radiosity)	DOMAIN SOR	20	N/A	0.4
6フラックス放射のフラックス (Six-flux radiation fluxes)	DOMAIN SOR	20	N/A	0.4
燃料 (Fuel)	DOMAIN SOR	20	0.1	1.0
混合物留分 (Mixture Fraction)	DOMAIN SOR	20	0.1	1.0

すべての解決される変数に関して、内部収束試験の許容値のデフォルトは $1.0\text{e-}08$ に設定されています。この値は、特定の解決される変数が設定済みのすべての内部反復を完了する必要があるかを判断するために、ソルバー残差と比較されます。

一般的な収束許容値テストは少し異なります。すべての変数が各スイープの終了時に一般的な許容値と比較されるためです。この場合に用いられる残差は、ソルバー残差ではなく、算定された基準 (指定した算出法を使用) です。すべての変数が収束したことがわかったら、過度シミュレーションにおいては次の時間ステップが開始されます。また定常状態シミュレーションの場合は、シミュレーションが終了します。

以下の表は、SMARTFIREにおける、算定される変数のデフォルトのコントロールパラメータを示します。

表4-5: 算定される変数に関するデフォルトのコントロール設定値

「算定される」変数 ("Calculated" Variable)	線形弛緩 (Linear relaxation)	収束許容値 (Convergence Tolerance)
温度 (Temperature)	1.0	$1.0\text{e-}08$
浮力 (Buoyancy)	0.6	$1.0\text{e-}8$
密度 (Density)	0.6	$1.0\text{e-}8$
吸収係数 (Absorption Coefficient)	1.0	$1.0\text{e-}8$

すべての変数に関する残差の計算法は、デフォルトで参照L2基準 (NORMALISED L2 NORM) に設定されています。基本的にこれが2乗和の平方根の正規化された基準です。よく使用される残差計算法のもう一つの基準はREFERENCE L2 NORMで、ここでの参照値は、2件の極端な参照ケース間でシミュレーション火災の最大熱出力を補間することにより推定されています。それらのケースにおいて、定常状態

条件あるいはその近辺で最大変数の状態が決定されています。この2つ目の方法は完璧にはほど遠いとはいえ、火災シミュレーションの実行中に表示される残差に一定の統一性をもたらしめます。

## 4.12 毒性設定

例として、[3]の収率、[4]の質量光学濃度、PHIとPHI2の値0.5と3.5に基づいた、山火事へのモデル入力は、下記のように表されます。燃焼による関連熱がEBUモデルでモデル化される場合、SMARTFIREでの毒性モデルの入力は下記のように示されます。

**Toxicity model options**

Toxic Gas Species Yields

Curve:  $y = A * (1 + \frac{B}{\text{EXP}(LER / C) ^ D})$

	A	B	C	D
CO Yield:	0.005	44	1.3	-3.5
CO2 Yield:	1.33	-1	2.15	-1.2
O2 Consumed:	1	-0.97	2.14	-1.2

Minimum LER: 0.8 Maximum LER: 3.5

Smoke property

Optical Density: 300

Parameters for HCN

Norm CO Yield: 1.49 Stoic O2 Fuel MR: 2.62

Norm HCN Yield: 0.24

OK Defaults Cancel

図4-2: EBUモデルと協調した毒性モデルのインターフェース

コマンドファイルで、図に示されているモデル入力は、次のように表されます。

### DEFINE TOXICITY

CRITICAL LER RANGE	0.5	3.5		
MASS OPTICAL DENSITY	290			
CO YIELD COEFFICIENTS	0.005	44	-1.3	-3.5
CO2 YIELD COEFFICIENTS	1.33	-1.0	2.15	-1.2
O2 CONSUMED COEFFICIENTS	1.0	-0.97	2.15	-1.2
NORM YIELD CO	1.49			
NORM YIELD HCN	0.24			
STOIC O2 FUEL MR	2.62			

END

燃焼による関連熱が容積熱源アプローチでモデル化される場合、SMARTFIREでの毒性モデル入力は下記のように示されます：

**Toxicity model options**

Curve:  $y = A * (1 + \frac{B}{\text{EXP}(LER / C)^D})$

	A	B	C	D
CO Yield:	0.005	44	1.3	-3.5
CO2 Yield:	1.33	-1	2.15	-1.2
O2 Consumed:	1	-0.97	2.14	-1.2

Minimum LER: 0.8 Maximum LER: 3.5

Smoke property  
Optical Density: 300

Parameters for HCN  
Norm CO Yield: 1.49 Stoic O2 Fuel MR: 2.62  
Norm HCN Yield: 0.24

Parameters for Toxicity without Combustion  
Stoic MR Air to Fuel: 5.21 Stoic MR H2O to CO2: 0.3477  
Heat of Combustion (J/kg): 1.24e+07 Ambient O2 mass frac: 0.23

OK Defaults Cancel

図4-3: 容積熱源アプローチを使用した毒性モデルのインターフェース

EBUが適用された場合と比較した追加入力を説明します。それらは、空気と燃料の化学量論質量比 (Stoic MR Air to Fuel)、H<sub>2</sub>OとCO<sub>2</sub>の化学量論質量比 (Stoic MR H<sub>2</sub>O to CO<sub>2</sub>)、考慮されるシナリオの燃焼の有効(実際の)熱 (Heat of Combustion) および周囲の酸素質量分率 (Ambient O<sub>2</sub> mass frac) です。上記の例で、モデル入力は次のようにコマンドファイルに表されます (追加入力は太字で強調表示しています) :

#### DEFINE TOXICITY

CRITICAL LER RANGE	0.5	3.5		
MASS OPTICAL DENSITY	290			
CO YIELD COEFFICIENTS	0.005	44	-1.3	-3.5
CO2 YIELD COEFFICIENTS	1.33	-1.0	2.15	-1.2
O2 CONSUMED COEFFICIENTS	1.0	-0.97	2.15	-1.2
NORM YIELD CO	1.49			
NORM YIELD HCN	0.24			
STOIC O2 FUEL MR	2.62			
<b>STOIC MASS RATIO AIR FUEL</b>	<b>5.21</b>			
<b>STOIC MASS RATIO H2O CO2</b>		<b>0.3477</b>		
<b>EFFECTIVE HEAT OF COMBUSTION</b>		<b>1.24e+007</b>		
<b>AMBIENT OXYGEN MASS FRACTION</b>		<b>0.23</b>		

END

毒性部分の一般的な形式は、次の通りです:

#### DEFINE TOXICITY

CRITICAL LER RANGE	PHI1	PHI2			
MASS OPTICAL DENSITY	MOD				
CO YIELD COEFFICIENTS		A	B	C	D
CO2 YIELD COEFFICIENTS	A	B	C	D	
O2 CONSUMED COEFFICIENTS	A	B	C	D	

END

表4-6: 毒性モデルパラメータ (PHI1、PHI2、MOD)

燃料	PHI1	PHI2	MOD
木	0.7	3.5	300
PMMA	0.7	3.5	290
ポリスチレン	0.7	3.5	790
ポリプロピレン	0.7	3.5	530
ポリウレタン	0.7	3.5	220-330
ポリエチレン	0.7	3.5	290
PVC	0.3	2.0	120-640

表4-7: 毒性モデルパラメータ (A,B,C,D)

燃料	種類	A	B	C	D
松材	CO	0.005	44	1.3	-3.5
	CO2	1.33	-1	2.15	-1.2
	O2	1	-0.97	2.15	-1.2
アカガシワ (ダグラス)	CO	0.004(0.004)	44	1.3	-3.5
	CO2	1.27(1.21)	-1	2.15	-1.2
	O2	—	-0.97	2.15	-1.2
ポリスチレン	CO	0.06	2.0	1.44	-2.5
	CO2	2.3	-1	2.15	-1.2
	O2	—	-0.97	2.15	-1.2
ポリエチレン (ポリプロピレン)	CO	0.02(0.024)	10.0	1.39	-2.8
	CO2	2.6(2.79)	-1	2.15	-1.2
	O2	—	-0.97	2.15	-1.2
PMMA	CO	0.01	43	1.33	-3.0
	CO2	2.12	-1	2.15	-1.2
	O2	—	-0.97	2.15	-1.2
ナイロン	CO	0.086	36	1.36	-3.0
	CO2	1.16	-1	2.15	-1.2
	O2	—	-0.97	2.15	-1.2
ポリウレタン	CO	0.005	53	0.85	-3.5
	CO2	2.3	-1	1.3	-1.1
	O2	—	-1	1.3	-1.1
ポリ塩化ビニル	CO	0.063	6.5	0.42	-0.8
	CO2	0.46	-0.3	0.53	-11
	O2	—	-0.3	0.53	-11

注釈: (1) PHIの値は、燃焼状況に依存します。表1のこれらのデータ (PHI1) は、通常の燃焼条件ではありません、多くの焼き尽くされていない燃料を残して炎が消える場合、大きなPHIの値が必要になります。

(2) 表2のO2の値は、 $A(\text{CO}_2) \cdot 32/44 + A(\text{CO}) \cdot 16/28$ を使用して、COとCO2の値に従って概算できます。例えば、木のO2の値は、 $1.33 \cdot 32/44 + 0.005 \cdot 16/28 = 0.97 \approx 1.0$ です。

### 4.13 HCL 沈着設定

表4-8: 様々な壁材料に対するHCl沈着モデルパラメータ

材料	$b_1$ (m)	$b_2$ (m <sup>3</sup> /kg)	$b_3$ (1/秒)	$b_4$ (J/k.mole)	$b_5$ (a)	$b_6$ (b)	$b_7$ (b)
塗 装 石 膏	0.0063	191.8	0.0587	7476.0	193	1.021	0.431
PMMA	0.000096	0.0137	0.0205	7476.0	29	1.0	0.431
天井タイル	0.004	0.0548	0.123	7476.0	30	1.0	0.431
セメント ブロック	0.018	5.48	0.497	7476.0	30	1.0	0.431
Marinite ®	0.019	0.137	0.03	7476.0	30	1.0	0.431
石膏	0.015	5.48	0.497	7476.0	30	1.0	0.431

a:  $b_5$ の単位は (kg/m<sup>3</sup>)<sup>(b<sub>7</sub>-b<sub>6</sub>)</sup>

b: 無次元

HCl減衰モデルを適用する場合、まず、固体表面材料性質を、モデルパラメータ $b_1$ - $b_7$ に入力するよう修正しなければなりません。これを行うには、最も適切な材料定義をコピーし、対応するパラメータ値に入力します。「組み込み」の材料は一貫性のチェックや検証が非常になくなるため、修正はできないので注意してください。下図は、コンクリートの表面性質パラメータがどのように追加されるかを示しています：

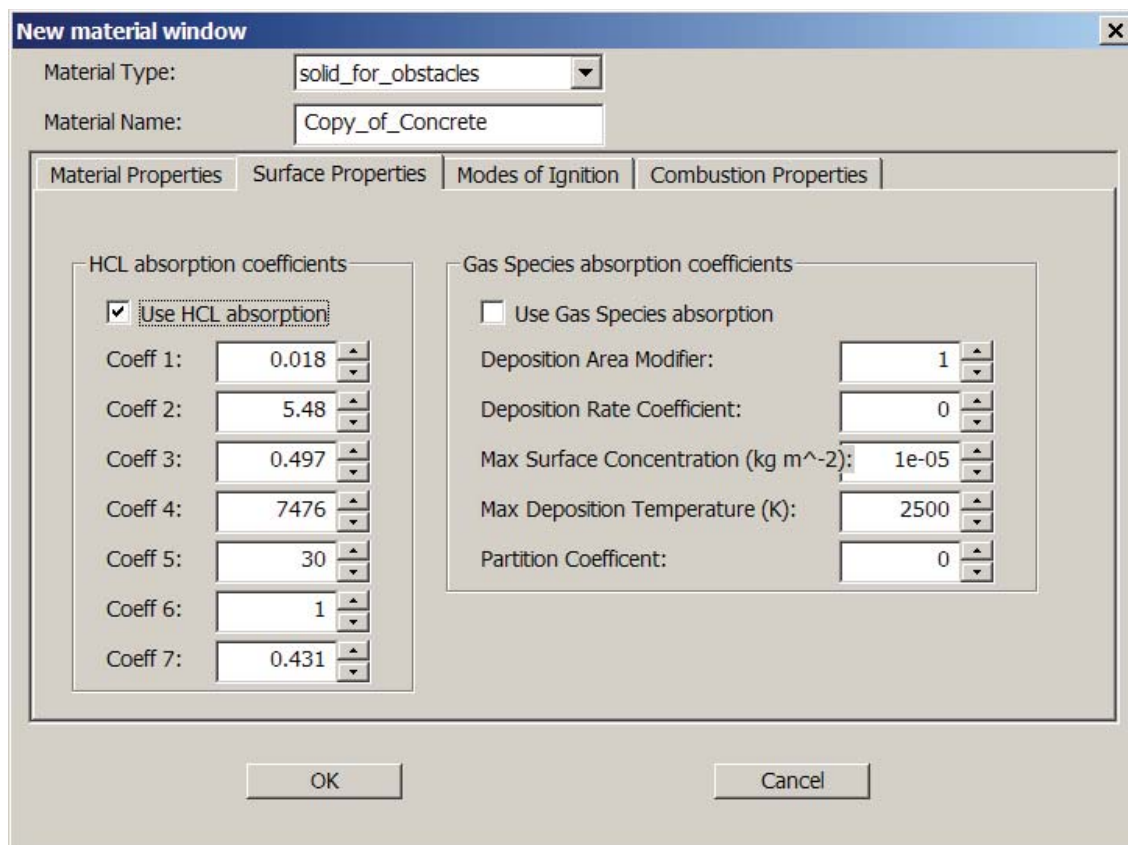


図4-4: コンクリートにパラメータ $b_1$ - $b_7$ を入力するインターフェース

コンクリートの新しい性質は、コマンドファイルに次のように表されます(コンクリートのモデルパラメータは太字で強調表示しています)：

## DEFINE MATERIAL NUMBER 4

```

MATERIAL NAME          Copy_of_Concrete
CONDUCTIVITY CONSTANT  1.4
VISCOSITY CONSTANT     1e+010
SPECIFIC HEAT CONSTANT 880
DENSITY CONSTANT       2300
NATURAL STATE         SOLID
THERMAL EXPANSION      1e-010
DISCONTINUITY HANDLING NO SLIP
USE ABSORPTIVE MATERIAL
ABSORPTION COEFFICIENTS    0.018  5.48  0.497  7476.0  30.0  1.0  0.431

```

END

次に、モデルパラメータは、次の図に示されているように、インターフェースで入力しなければなりません。

図4-5: HCl沈着モデルの入力

周囲の湿度は、絶対値、相対値、水質量分率の3つのモデルで入力できます。**燃料とHClの質量比 (Mass Ratio Fuel to HCl)**は、単位燃料ごとのHClの収率の復帰です。HClが燃焼によるものではない場合、ゼロになります。**H2OとHClの質量比 (Mass Ratio H2O to HCl)**は、燃焼によるH2OとHClの収率の質量比です。**水密度上限 (Water density Upper Limit)**は、1.0に近く、1.0よりも小さい値にならなければなりません。**HCl沈着の最高温度 (Max Temperature for HCl deposition)**は、沈着機能ケースを除いて、427Kになると思われます。モデル入力は、コマンドファイルの一般情報部分で、以下のように表されます：

```

AMBIENT HUMIDITY MASS FRACTION      0.06
MASS RATIO FUEL TO HCL              0.0
MASS RATIO H2O TO HCL              0.0
WATER DENSITY UPPER LIMIT          0.9
MAXIMUM TEMPERATURE FOR DEPOSITION 473.0

```



## 5 SMARTFIRE のサポートファイルフォーマット

本節では、SMARTFIREシステムのサポートファイルの多くにみられるフォーマットおよびコマンドについて説明します。

ほとんどのユーザーは、サポートファイル内のデータを閲覧したり変更したりする必要がありませんが、完全性のためにこれらについて説明します。

### 5.1 SMARTFIRE CFD エンジンの初期化ファイル: 「SMF\_CFD.INI」

SMARTFIREは、「SMF\_CFD.INI」という名前のファイルを用いてCFDコンポーネントのグラフィカルユーザーインターフェースのスタイル、レイアウト、および操作の設定をおこないます。以下にそのファイルの例を示します。"."という文字の後に表示されるテキストは、行コメントの最後です。このファイルはフリーフォーマットであるため、パラメータ値を変更できます。またキーワードの相対的な順序は重要ではありません。ファイルパーサがこれらのうち1行の読み込みに失敗した場合、内部で設定されたデフォルトが適用されて処理が続行します。

```
*****
****
*
*                               CFDエンジンのGUI設定デフォルト                               *
*****
****
*                               注意:このファイルを変更するときは慎重におこなってください                               *
*****
****
1) タイマーパラメータ           100           :ミリ秒
2) 自動サイズを使用する         はい          :自動のウィンドウ配置およびサイズ
3) メインウィンドウのサイズ           145 32      :サイズ[幅、高さ]
4) コントロールウィンドウ         0 0           :相対位置(Rel-pos)[X -左、Y-上]
5) ステータスウィンドウ         0 10 1         :相対位置、モード[0 = アイコン、1 = 開く]
6) ビジュアルウィンドウ         66 10 78 20 1     :相対位置、サイズおよびモード
7) グループウィンドウ           67 11 77 19 0     :相対位置、サイズおよびモード
8) VAL(値)グラフウィンドウ       105 0 39 10 1   :相対位置、サイズおよびモード
9) 残差(RES)グラフウィンドウ     66 0 39 10 1   :相対位置、サイズおよびモード
10) 最大イベントループ          50              :イベント処理パラメータ
11) ビジュアル間のステップ           3           :ビジュアル更新ごとのステップ
12) グラフパラメータ           300 200          :グラフxおよびy上のポイント数
13) グラフのスクロールを使用する   いいえ       :グラフをスクロールする
14) デフォルトの色を使用する       いいえ       :システムの色を使用する
15) アバウトの最大画像数          4            :アバウト(バージョン情報)の画像数
16) ボタンをビジュアル化する       はい         :ボタンをビジュアル化する
17) 完全なボタンを使用する         はい         :ビジュアルボタンにおいてテキストも表示する
18) 画像にスナップする             はい         :画像をファイルにキャプチャする
19) 小さいウィンドウを使用する     はい         :小さいウィンドウを使用する
20) 画像保存フォーマット          1           :画像タイプ[1=JPEG、2=BMP]
21) 自動デフォルト               はい         :自動回答を使用する
22) 警告を使用する                はい         :警告メッセージを使用する
```

- 23) ショートネームを使用する                      いいえ                      : 短いファイル名を保存に利用する  
 24) 黒背景を使用する                      はい                      : 黒背景にビジュアルおよびプロットを描画する  
 25) プロットにセル番号を使用する                      いいえ                      : セル番号をプロットに含める

キーワードおよびそれらのパラメータ値の意味を以下に示します。

**TIMER PARAMETER(タイマーパラメータ)**    <number\_of\_milliseconds(ミリ秒数)>

タイマーは、数値エンジンセルの処理を続行するために処理ステップの生成を続行します。このパラメータをデフォルト値から変更する必要はありません。[注意: このパラメータは、現在SMARTFIREバージョン4.2で使用されています]。

**USE AUTO SIZES(自動サイズを利用する)** { YES(はい)、NO(いいえ) }

「自動サイズを利用する」オプションにより、ユーザーはウィンドウの配置およびサイズ変更の調整をSMARTFIREに任せることができます。デフォルトモードでは、このファイルにおいて設定されたサイズは無視され、ウィンドウのレイアウトが自動的に実行されます。これは、高解像度のディスプレイ(1024x768以上)の場合には一般的にかなり効果的ですが、小さいディスプレイや、ウィンドウマネジャーが大きいフォントを使用するように命令されている状況では、問題が生じる可能性があります。この場合、ユーザーはウィンドウを重ねて、ウィンドウ選択メニューを用いて交互に使用したり、アイコンにするウィンドウを増やしたりできます。

**MAIN WINDOW SIZE(メインウィンドウのサイズ)** <win\_width(ウィンドウの幅)> <win\_height(ウィンドウの高さ)>

アプリケーションウィンドウのサイズは「自動サイズを利用する(USE AUTO SIZES)」のフラグが「いいえ(NO)」に設定されていないかぎり、自動的に設定されます。メインアプリケーションウィンドウのユーザーコントロールが提供されるときは、これによりSMARTFIREのアプリケーションがどれぐらいの大きさで表示されるかが決定されます。すべてのウィンドウのサイズおよび位置と同様に、数字はディスプレイの文字の高さと幅を表します。たとえば、1024x768のモードにおいては、現在のフォントサイズに応じて、スクリーン上には約124x30文字が表示されます。

**CONTROL WINDOW(コントロールウィンドウ)** <x\_pos(x位置)> <y\_pos(y位置)>

手動のウィンドウレイアウトが有効にされたときは、このパラメータにより、コントロールウィンドウの左上のコーナー位置(文字ベース)が設定されます。

**STATUS WINDOW(ステータスウィンドウ)** <x\_pos(x位置)> <y\_pos(y位置)> <initial\_mode(初期モード)>

手動のウィンドウレイアウトが有効にされたときは、このパラメータにより、ステータスウィンドウの左上のコーナー位置(文字ベース)が設定されます。

**VISUAL WINDOW(ビジュアルウィンドウ)** <x\_pos(x位置)> <y\_pos(y位置)> <win\_width(幅)> <win\_height(高さ)> <o\_mode(oモード)>

手動のウィンドウレイアウトが有効にされたときは、このコマンドにより、ビジュアルディスプレイウィンドウ（使用された場合）の左上のコーナー位置（文字ベース）、幅、高さ、および初期状態が設定されます。  
<o\_mode>フラグが0または1に設定されます。ここで、0は「閉じる」、1は「開く」です。

**GROUP WINDOW(グループウィンドウ)** <x\_pos(x位置)> <y\_pos(y位置)> <win\_width(幅)>  
<win\_height(高さ)> <o\_mode(oモード)>

手動のウィンドウレイアウトが有効にされたときは、このパラメータにより、グループディスプレイウィンドウ（使用された場合）の左上のコーナー位置（文字ベース）、幅、高さ、および初期状態が設定されます。  
<o\_mode>フラグが0または1に設定されます。ここで、0は「閉じる」、1は「開く」です。

**VAL GRAPH WINDOW(VAL(値)グラフウィンドウ)** <x\_pos(x位置)> <y\_pos(y位置)> <win\_width(幅)>  
<win\_height(高さ)> <o\_mode(oモード)>

手動のウィンドウレイアウトが有効にされたときは、このコマンドにより、値 (value) グラフディスプレイウィンドウの左上のコーナー位置（文字ベース）、幅、高さ、および初期状態が設定されます。<o\_mode>フラグが0または1に設定されます。ここで、0は「最初に閉じている」、1は「最初に開いている」です。

**RES GRAPH WINDOW(残差グラフウィンドウ)** <x\_pos(x位置)> <y\_pos(y位置)> <win\_width(幅)>  
<win\_height(高さ)> <o\_mode(oモード)>

手動のウィンドウレイアウトが有効にされたときは、このコマンドにより、残差グラフディスプレイウィンドウの左上のコーナー位置（文字ベース）、幅、高さ、および初期状態が設定されます。<o\_mode>フラグが0または1に設定されます。ここで、0は「最初に閉じている」、1は「最初に開いている」です。

**MAX EVENT LOOPS(最大イベントループ)** <num\_of\_event\_loops(イベントループ数)>

たとえCFDコードがアルゴリズムスイープを処理中であっても、イベントループの最大数は、ある程度限られた反復検出を提供します。これは、きわめて大規模なシミュレーションにとって必要です。なぜなら、アルゴリズムスイープは長い秒数を要することがあり、その間、UIが活動していないように見えるからです。反復検出に適切な処理バランスをもたらすために設定済みのパラメータの増減が必要な場合、さまざまなイベント処理要件とともにパラメータの外部コントロールがプラットフォームに提供されます。CFDコードは、そのほかのタスクに移行する前に現在のアルゴリズムスイープを終了する必要があることに注意します。スイープの途中で多くのUIの操作をおこなうのは有効でないからです。ただし、UIは、たとえスイープの途中でであっても、コードへの処理中止要請を検出します。

**STEPS BETWEEN VISUALS(ビジュアル間のステップ)** <num\_steps\_per\_visual\_update(ビジュアル更新ごとのステップ数)>

このパラメータは、データの最新状態を反映するためにビジュアルディスプレイウィンドウが更新される前に、処理ステップが何回実行されるかを決定します。データの最新の値はつねにこのケース内で使用されているため、ビジュアルウィンドウの再描画が必要な状況に影響を与えることはありません。またこのパラメータは、コードの実行中に、UI内部のビジュアル設定メニュー上で変更することもできます。

**GRAPH PARAMETERS (グラフパラメータ) <num\_x\_pixels(xピクセル数)> <num\_y\_pixels(yピクセル数)>**

グラフパラメータにより、グラフウィンドウ内でxおよびy-の仮想ピクセル数を設定できます。これらの仮想サイズは、スクリーン上の実際のウィンドウサイズとは無関係です。サイズを拡大すると、グラフはさらにスムーズになりますが、ストレージの面からは、さらに多くのメモリが必要になります。

**USE SCROLLING GRAPH (グラフのスクロールを使用する) {はい(YES)、いいえ(NO)}**

グラフスクロールのオプションにより、反復の実行回数が増えるにつれて、残差および値のグラフを右から左へ連続的にスクロールできます。また別の使い方として、グラフ化される最新の値がグラフの右側から出る場合、そのグラフ部分が左側のグラフ範囲寄りに圧縮され、右側により多くの値がプロットされます。

**USE DEFAULT COLOURS (デフォルトの色を使用する) {はい(YES)、いいえ(NO)}**

256色以下の一定のディスプレイ上では、可視化に関して256色を作るためにディザリングされるのは16色の純正色のみです。デフォルトのカラースキームは、色をRGBに再配置する意味はないという前提にもとづき、ディスプレイ上で16のデフォルトの純正色を使用します。逆に、RGB機能のあるディスプレイ上でデフォルト色を不使用にした場合、精密な階調が表現された色を表示できます。上記のようなWindowsのディザリングの限界があるため、256色(またはそれ以上)を表示可能なシステム上でSMARTFIREを使用することが推奨されます。

**MAX ABOUT IMAGES (アバウト(バージョン情報)の最大画像数) <max\_images\_available(利用可能な画像の最大値)>**

このパラメータは、SMARTFIREシステムに、「アバウト(バージョン情報)」ウィンドウのために所定数の画像(イメージディレクトリ内にあるもの)を使用することを伝えます。この値はユーザーが変更すべきではないものですが、SMARTFIREの一定レベルのカスタマイズのために提供されています。

**USE VISUAL BUTTONS (ビジュアルボタンを使用する) { はい(YES)、いいえ(NO) }**

「ビジュアルボタンを使用する」オプションにより、コントロールウィンドウが通常のテキストボタンではなくアイコンボタンを用いるように強制できます。このオプションが「いいえ(NO)」に設定されている場合、コントロールウィンドウは最小の大きさになり、ボタン上にテキストが表示されるだけになります。

**USE FULL BUTTONS (完全なボタンを使用する) { はい(YES)、いいえ(NO) }**

「完全なボタンを使用する」オプションにより、コントロールウィンドウがテキストおよび画像の表示されたボタンを用いるように強制できます。これは、親ウィンドウをわずかながらさらに占有することになるため、高解像度のディスプレイ上でのみ用います。

**SNAP TO IMAGE (画像にスナップする) {はい(YES)、いいえ(NO)}**

このオプションは、スナップ(SNAP)オプションがUIにおいてどのように振舞うかを決定します。このオプションが利用可能かつ起動しているとき、ビットマップファイルへの画像キャプチャが実行されます。

**AUTOMATIC DEFAULTS (自動デフォルト) { はい (YES)、いいえ (NO) }**

自動デフォルトオプションは、ユーザーの入力が通常は求められていても実際には重要でない場合に、UIが適切なデフォルトの選択を用いるように強制します。

**USE SMALL WINDOWS (小さいウィンドウを利用する) { はい (YES)、いいえ (NO) }**

ユーザーインターフェースが可能なかぎり最小のコントロールウィンドウおよびソリューションステータスウィンドウを用いるように強制します。これによってそのほかのウィンドウにさらに多くのスクリーン面積が与えられるため、特に、限られた解像度のディスプレイ上で有効です。

**IMAGE SAVE FORMAT (画像保存フォーマット) { 1, 2 }**

スナップショット画像の保存には、1つまたは2つのフォーマットを用いることができます。オプション1は、品質係数が75%のJPEGビットマップ出力です。オプション2は、24ビットのWindows BMPフォーマットです。BMPファイルは、推奨解像度と保存する色数の多さのためにサイズがきわめて大きくなる可能性が高いため、デフォルトのフォーマットはJPEGになっています。画像の目的が動画の作成の場合、BMPフォーマットの方がわずかに小さく、より高品質の動画が最終的に作成される可能性があります。

**USE WARNINGS (警告を使用する) { はい (YES)、いいえ (NO) }**

「警告を使用する」オプションは、コードが適宜警告を発することを強制します。このオプションが無効にされているとき、コードは、実際にはエラーではない潜在的問題をユーザーに警告することなく続行します。このオプションは、ユーザーの監督なしに拡張シミュレーションを実行できるように提供されます。

**USE SHORT NAMES (ショートネームを使用する) { はい (YES)、いいえ (NO) }**

「ショートネームを使用する」オプションは、コードがファイル保存のために短縮名 (ショートネーム) を生成することを強制します。これは、Windows 95、Windows 98 および Windows NTのファイル名の短縮技術が原因で連番を付けたファイルが混乱することがあるDOS 8.3との互換性の問題に関して有効です。

**USE BLACK BACKGROUND (黒背景を使用する) { はい (YES)、いいえ (NO) }**

「黒背景を使用する」オプションにより、可視化およびグラフ作成に関するデフォルトの背景色が選択されます。黒背景は一般に、カラーモニター上で比較的に見やすいのですが、モノクロのプリンターでスクリーンキャプチャを印刷するときは、通常、白背景で絵を印刷したほうが適切です。これにより、一般的に線がより鮮明に見えるだけでなく、インクやトナーの節約になります。デフォルトモードでは、黒背景が使用されます。

**USE CELL NUMBERS IN PLOTS (プロットにセル番号を使用する) { はい (YES)、いいえ (NO) }**

「プロットにおいてセル番号を使用する」オプションは、座標およびデータ値を保存するときに、ソフトウェアがセル番号をプロット (グラフや図面) ファイルに含めるか否かを命令します。サードパーティ製ソフトウェアで、一般的にすべてのデータを一度にプロットしようとする、無意味なプロットが生じるという問題が発見されました。*SMARTFIRE*のデフォルトのモードは、プロットファイルにセル番号を保存しないように



なっているため、サードパーティ製のプロット用ソフトウェアを使った場合でも一般的にユーザーが介入することなく、データファイルを正確にプロットします。

## 5.2 形状ケース指定ファイル(GEOMETRY CASE SPECIFICATION FILE)

本節では、*SMARTFIRE*に関する形状指定ファイルのフォーマットについて説明します。

形状ケース指定ファイルは、ケース指定コマンドスクリプトのパートナーファイルです。後者は、CFDエンジンに読み込まれて、シミュレーションケースの初期化および処理を可能にします。

形状ファイルは現在、フリーフォーマットで読み込まれるため、項目数が表示のサイズと一致するかぎり、ファイルパーサーは一般的にそれらの値を正確に解釈できます。

*SMARTFIRE*はさまざまな形状ファイルのバージョンをサポートしますが、バージョン番号はヘッダーラインに含まれています。*SMARTFIRE* CFDエンジンの最新バージョンは、前回のフォーマットのすべてを読み込むことが可能です。ただし、いくつかのフォーマットは、ケース指定コマンドスクリプトファイルにおいて追加的なコマンドおよびデータ項目を指定する必要が生じることがあります。

### 5.2.1 形状指定ファイルフォーマット(GEOMETRY SPECIFICATION FILE FORMAT)

形状指定ファイルの最新バージョンは、5つのセクションによって構成され、項目数を示すグローバルヘッダがあります。形状ファイルは、ノードの定義、面の定義、コントロールボリューム(セル)の定義、および隣接定義に関するすべての情報を含んでいます。また、面からノード、セルから面、およびセルから境界パッチへのリンクも入力されています。現在、形状指定ファイルはつねに、たとえ(表面上)1次元または2次元の問題に関しても、3次元仕様となっています。

### 5.2.2 形状ファイルフォーマット(バージョン 6)

このバージョン6の形状ファイルは、開口部を通じてリンクされる複数の区画領域を将来的にサポートするために開発されたことに注意が必要です。開口部は特別な種類の境界パッチであり、たとえパッチの両側のセルが開口部パッチをはさんで1対1に整列していなくても流体の流れの結合が可能になります。バージョン5の形状ファイルは、レガシーバージョン1からバージョン5の形状ファイルのすべての機能を拡張し、サポートしています。バージョン6のフォーマットは、将来的なメッシュの適合ならびに面、ボリュームパッチ、および材料オブジェクトの参照基準とともに用いてさらに柔軟なオブジェクト処理をおこなうために、ポイント定義に方向ポイントパッチの追加など、バージョン5の変更点と同時にセル気孔とフェイス気孔を追加しました。

#### HEADER LINE(ヘッダ行)

ヘッダは、(1)バージョン番号、(2)ポイントの数、(3)面の数、(4)コントロールボリューム(セル)の数、(5)グループの数、および(6)開口部のパッチの数を表す6つの整数によって構成されます。

```
<ver_id> <num_points> <num_faces> <num_cells> <num_groups> <num_o_patches>
```



例として、44個のノード、51の面、10個の要素、3つのグループ、および2つの開口部をもつケースは、以下のヘッダ行をもちます。

6      44      51      10      3      2

#### POINT RECORDS (ポイント記録)

ポイント記録のセクションは、ノード(すなわち全コントロールボリュームの頂点)を定義します。それぞれのポイントは、以下のフォーマットを用いて新規の行において定義されます。

```
<X_coord(X座標)> <Y_coord(Y座標)> <Z_coord(Z座標)> <X_patch_id(Xパッチ番号)>
<Y_patch_id (Yパッチ番号)> <Z_patch_id(Zパッチ番号)>
```

X-、Y-、およびZ-座標は、単純に、3つのデカルト座標方向におけるノードの絶対座標位置です。この特定のノードがそれに関連づけられた境界パッチ状況を有するか否かを示すために、X-、Y-、およびZ-パッチの索引が用いられます。一般的に、これらの値は0ですが、特定の方向ノードのパッチを用いる場合、適切な記録および位置においてノードパッチの識別番号が挿入されます。

#### FACE RECORDS (面の記録)

面の記録のセクションは、それぞれの面を構成するノードの索引を定義します。単一面のノード索引は、面の周囲の統一進行順序において定義します。また、面パッチ索引ポインター、面オブジェクト索引および面多孔性値も定義されます。それぞれの面は、2行にわたって定義されます。1行目は、後に続く面定義の頂点の数を示します。フォーマットを以下に示します。

```
<number_of_vertices(頂点の数)>
<node_num_#1(ノード_1番)>... <node_num_#n(ノード_n番)> <connectivity(連結関係)>
<face_patch_id(面パッチ識別)> <face_obj_id(面オブジェクト識別)> < f_porosity(面多孔率)>
```

#### CELL RECORDS (セルの記録)

コントロールボリューム・セルは、それを取り囲む面の索引によって定義されます。それぞれのコントロールボリューム・セルの定義は、2行によって構成されます。1行目は、次のセルを構成する面の数を含んでいます。2行目は、面の索引リスト、材料指標番号、ボリュームパッチ索引ポインタ、およびこのセルが帰属するグループ番号を含んでいます。また、材料オブジェクト索引およびボリュームオブジェクト索引、セル多孔性も定義されます。一般的な計算コントロールボリューム・セルは、以下のように定義されます。

```
<number_of_faces(面の数)>
<face_#1(面_1番)> ... <face_#n(面_n番)> <mat_id(材料識別)> <vol_patch_id(ボ
リュームパッチ識別)> <group_id(グループ識別)> <mat_obj_id(材料オブジェクト識別)>
<vol_obj_id(ボリュームオブジェクト識別)><c_porosity(セル多孔性)>
```

#### ADJACENCY RECORDS (隣接記録)

隣接記録のセクションは、セルがどのようにメッシュに連結されるかを詳細に示します。それぞれのセル

に対して1つの定義行がありますが、セルセクションはすでにこの段階でアクセスされているため、それぞれのセルにおける面の数を再定義する必要はありません。それぞれの定義行は、隣接するセルの索引リストによって構成されます。セルが特定方向に隣接セルをもたない場合、これは隣接リストにおいて0と示されます。また、隣接リストに関する定義の順序は、そのセルが定義されたときの面リストと同じ順序にすることにも注意します。以下のフォーマットを用います。

```
<adj_cell_#1(隣接_セル_1番)> <adj_cell_#2(隣接_セル_2番)> <adj_cell_#3(隣接_セル_3番)> ... <adj_cell_#n(隣接_セル_n番)>
```

#### OPENING PATCHES(開口部のパッチ)

開口部のパッチのセクションは、各要素が開口部全体にわたってどのように連結されるかを詳細に示します。現在の形状に開口部がない場合は、このセクションは空白です。現在、*SMARTFIRE*は、重なり部分のサブセットをもつ開口部のみを取り扱うことができます。サブセット内のそれぞれの重なり部分は、重なりのある1辺上にあり、他方の辺上で任意の数のセルと接触する1個のセルによって構成されていなければなりません。それぞれの開口部は、任意の数の重なり部分をもつことができます。またそれぞれの重なり部分は、重なり部分の他方の辺上のセルと重なる任意の数のセルをもつことができます。それぞれの開口部はヘッダをもち、以下に示すように、開口部内にある重なり部分の数を定義します。

```
<opening_index(開口部_索引)> <number_of_overlaps(_重なりの数)>
```

その後、開口部におけるそれぞれの重なり部分に関して、重なり部分に何個のセルが関連しているか、および特定の重なり部分を構成するセル番号のリストを詳細に示します。

```
<num_overlap_cells(重なり_セルの数)> <adjacent_cell(隣接セル)>  
<opposite_cell#1(反対側のセル1番)> .. <opposite_cell#n(反対側のセルn番)>
```

これらの開口部パッチの目的は、開口部を通じてアクセス可能な別の形状範囲内のセルに値を伝達する必要があるときに、CFDコードに関するリンクのリストを提供することです。

以下のページに、バージョン4の形状フォーマットを用いた形状指定ファイルの例を示します。この形状は、開口部によって連結された、隣接する2つのれんが形のセルを表します

## 5.2.3 形状ファイルフォーマット(バージョン 6)

6	12	11	2	1	1	ヘッダ行 (HEADER LINE)					
0.0	0.0	0.0	0	0	0	ポイント定義セクション					
0.0	1.0	0.0	0	0	0						
0.0	1.0	1.0	0	0	0						
0.0	0.0	1.0	0	0	0						
2.0	0.0	0.0	0	0	0						
2.0	1.0	0.0	0	0	0						
2.0	1.0	1.0	0	0	0						
2.0	0.0	1.0	0	0	0						
4.0	0.0	0.0	0	0	0						
4.0	1.0	0.0	0	0	0						
4.0	1.0	1.0	0	0	0						
4.0	0.0	1.0	0	0	0						
4	面の定義セクション										
1	2	3	4	0	1	1	1.0				
4											
1	5	6	2	0	2	2	1.0				
4											
2	6	7	3	0	3	3	1.0				
4											
3	7	8	4	0	4	4	1.0				
4											
1	4	8	5	0	5	5	1.0				
4											
5	6	7	8	0	0	0	1.0				
4											
5	9	10	6	0	6	6	1.0				
4											
6	10	11	7	0	7	7	1.0				
4											
7	11	12	8	0	8	8	1.0				
4											
5	8	12	9	0	9	9	1.0				
4											
9	10	11	12	0	10	10	1.0				
6	要素の定義セクション										
1	2	3	4	5	6	1	0	1	1	0	1.0
6											
6	7	8	9	10	11	1	0	1	1	0	1.0
0	0	0	0	0	0	隣接定義セクション					
0	0	0	0	0	0						
1	1	開口部の定義セクション									
1	1	2									

## 6 ケース指定スクリプトコマンド

### 6.1 ケース指定スクリプトの概説

ケース指定スクリプト(CFDエンジン入力ファイル)は、*SMARTFIRE* CFDエンジンで設定且つ実行されるシナリオに関する一般的な実行情報および物理的特性の指定を含んでいます。ケース指定スクリプトの基本的な目標は、ユーザーが追加する情報は可能なかぎり少なくする必要があるため、可能な入力の大多数に関して実用的な値をデフォルト設定することです。この後の記述にて、デフォルト値とともにコマンドスクリプトファイルへの適切な入力を全て示します。特に言及されないかぎり、入力にはデフォルト値があり、追加する必要がないことが想定されます。変数の値が必要なときは、そのことが指摘されます。以下に説明するケース指定ファイルの各セクションは、正確な解析および解釈を保証するために、順番に使用する必要があります。ケース指定ファイルの各セクションには、相対的な順番を示すための番号が割り振られています。したがって、たとえば、「問題の実行(RUN PROBLEM)」への入力は、ケース指定ファイルにおいて「問題定義(PROBLEM DEFINE)」の入力より前に配置されなければなりません。

ケース指定ファイルは、後に続くコントロール入力のトピックを示唆する一連のキーワードのセクションタイトルを使用します。上のタイトルキーワードと下のキーワード「END(終了)」がそれぞれのセクションを一括しています。複数のオプションでありながら関連するコマンドを定義する場合は、サブセクションが設定される可能性もあります。サブセクションを用いる場合、最後にキーワード「END(終了)」を用いなければなりません。1つのセクションにおいて、関連するスイッチおよび値は自由フォーマットで記載されます。単一の値のパラメータは、以下のように設定できます。

TOLERANCE (許容値) = 1.0E-06

TOLERANCE (許容値) 1.0E-06

コマンドパーサは、文字間のスペースとイコール記号を無視します。ケース指定ファイルにおけるスペースは、それらが拡張キーワードフレーズや値の一部でないかぎり、無視されます。したがって、行頭から72文字以内にすべての情報が入力されるかぎり、行頭に任意の数のスペースを置いてから行を開始できます。すべての入力において、連続行は使用されません。ただし、関連するコマンドのブロックの多重線の上に複数のコマンドを特徴付けるコマンドブロック(下記に記載)があります。数値は、整数または実数の入力方式と整合性のある任意のフォーマットで入力できますが、CまたはFORTRANプログラムに対する二倍精度ではありません。したがって、「0.1」、「.1」、「1.0e-01」および「1.0E-01」は、すべて同じ数として認識されます。

行頭のスペース以外の文字としてアスタリスク(星印)を配置することによってコメントを挿入できます。また、空白行も許容されます。解釈プログラムはこのような行を無視します。ケース指定ファイルは、キーワード(停止「STOP」)によって終結します。以下において、すべてのキーワードはボールドタイプで表示されます。

ケース指定ファイルのセクションおよびこれらのセクションへの可能な入力は、ケース指定ブロックおよびコマンドに対応する以下の記述において説明されます。特定のセクションにおいて入力が必要ない場合は、タイトルからENDキーワードまでのセクションブロック全体をケース指定ファイルから削除できます。

その後続く情報において、{項目1、項目2、項目3}の使用は、特定のキーワードやパラメータに利用可

能なオプションのリストを示します。キーワードの機能をコントロールするには、オプション項目の1つを用います。コマンドシンタックスにおける角括弧の使用([パラメータ]など)は、特定の機能が必要でない場合、任意の囲まれたパラメータ、名前、あるいはキーワードを無視できることを示します。一般的に、[角括弧で囲まれた]コマンドやフラグは、既存コマンドの変更子です。また、<variable\_name>(変数名)のキーワードも用いられます。これは、実際のコマンドコンテキストで使用できる変数名に制限が適用されないかぎり、以下に挙げる認識された変数名の1つで置き換えます。これらのオプションは、特定の変数に関して、*SMARTFIRE*ケース指定スクリプトコマンド以外のデフォルト機能が必要な場合に限って用いる必要があります。<something>のようにボールドで示されたコマンド項目は、<something>の代わりに値を入力することを必要とします。前後関係および記述は、必要な項目の特性を示唆します。

ファイル(またはコマンド)の断片(フラグメント)が例として表示されるとき、行内コメントを示すために「:」の記号が用いられています。これらのコメントは、入力をさらに詳細に説明するためにここに追加されているのであって、どんな入力ファイルでも用いてはなりません。一般的に、クーリエフォントで表記されたボールドの大文字の識別子は、実際のシンタックスを示します。

## 6.2 スクリプトコマンド

### 6.2.1 問題を実行する(RUN PROBLEM)

#### RUN PROBLEM

このセクションは、ケース指定ファイルに表示される必要があります。このほかのセクションの多くは割愛できますが、コードは問題に依存する情報を必要とします。この情報は、このセクションを通じて入力されます。このセクションは、セクションインジケータ「**RUN PROBLEM(問題を実行する)**」によって開始します。ケース指定ファイル全体で必要な唯一の項目は**ファイル名(FILENAME)**であり、それは本セクションにおいて入力されます。デフォルト値がすべてそのほかの入力に関して適切な場合、ケース指定ファイル全体は以下の行によって完全に指定されます。

<b>RUN PROBLEM</b>	:セクションタイトル
<b>FILENAME test</b>	:ファイル名キーワードおよび値
<b>END</b>	:セクション終了のインジケータ
<b>STOP</b>	:終了インジケータ

以下に示す最初の項目も、シミュレーション実行中に*SMARTFIRE*システムが用いるすべてのファイルを詳細に記述するものです。

**FILENAME** <base\_file\_name\_of\_case>

セクションインジケータのキーワードの後には、キーワード「**ファイル名(FILENAME)**」が続く必要があります。この後に、読み込む入力データファイルのセットの非拡張名(base file name:基準ファイル名)が続きます。

ファイル名の宣言は、このセクションのそのほかすべての入力に先立っておこなわなければなりません。なぜならパーサがそれを最初の項目として期待するからです。ここで入力されたファイル名は、その後、当該問題を特定するすべての関連ファイルを読み込むために使用されます。個別のファイルは、すべて

同じ基準名をもちますが、ファイル拡張子は異なります。

上記で入力された基準ファイル名が以下のように選択されたとします。

FILENAME **my\_fire\_case**

すると、解決される問題のタイプおよびケース指定ファイルで設定されたコントロールに応じて、*SMARTFIRE*がこれを読み込み、以下のファイルのいくつかまたはすべてを作成することが期待されます。そのケースが*SMARTFIRE*ケース指定環境を用いて作成されたものであれば、これらのファイルを格納したフォルダは、「smartfire¥work」フォルダの下に位置し、フォルダ名は「my\_fire\_case」となります。可能な*SMARTFIRE*入力ファイルの完全なセットを以下に示します。

ファイル名	モード	目的
my_fire_case, <u>smf</u>	イン(入)/アウト(出)	設定関係によって読み込みまたは作成されたモデルファイル
my_fire_case, <u>smc</u>	イン/アウト	CFDエンジンを初期化するためのコマンドスクリプト
my_fire_case, <u>smg</u>	イン	CFDエンジンを初期化するための形状/メッシュファイル
my_fire_case, <u>vts</u>	イン/アウト	CFDエンジンを初期化するための再起動データファイル
my_fire_case, <u>d_i</u>	イン/アウト	増分データベース索引表ファイル
my_fire_case, <u>d_h</u>	イン/アウト	増分データベースヘッダ表ファイル
my_fire_case, <u>d_d</u>	イン/アウト	増分データベースデータファイル
my_fire_case, <u>inp</u>	イン/アウト	増分コントロール変更スクリプトファイル

上記のファイル拡張子をもつファイルを見つけることは可能ですが、ケース名の後に「\_restart」あるいは「\_end\_sim」が続くものになります。これらのファイルは、同じ拡張子をもつそのほかのファイルと同じ目的をもちますが、ソフトウェアの再起動中または通常の終了時に*SMARTFIRE*によって自動的に作成されたものです。また、*SMARTFIRE*の実行中に、ケース指定ファイルにおいて設定されたスイッチが原因で、あるいは*SMARTFIRE*のユーザーインターフェースにおいて実行された選択操作が原因で作成されたと思われるデバッグ(バグ修正)、モニタリング、および出力データファイルもあります。

これらは、現在の出力およびモニタリングファイルのセットです。

ファイル名	モード	目的
my_fire_case, <u>log</u>	モニター	情報ログファイルをモニターする。
my_fire_case, <u>run</u>	モニター	表形式のソリューションのモニタリングファイル
my_fire_case, <u>dbg</u>	デバッグ	変換された出力デバッグ情報ファイル
my_fire_case, <u>var</u>	結果	固定フォーマットによるすべての変数の結果
my_fire_case, <u>phi</u>	結果	PHIフォーマットによる結果ファイル(構造化されたケースのみ)
my_fire_case, <u>vtu</u>	結果	VTU結果ファイルと増分データ保存ファイル
my_fire_case, <u>vtk</u>	結果	Legacy VTK結果ファイルおよび/あるいは増分データ保存ファイル。
my_fire_case, <u>wrl</u>	結果	形状出力結果ファイル



my_fire_case, <u>tec</u> 結果	Tecプロット結果ファイル
<various>, <u>csv</u> モニター	様々なモニターとCSVフォーマットのグラフデータファイル

*SMARTFIRE*からEXODUSへのハザードサブボリュームゾーンデータリンクが用いられる場合、それぞれの時間ステップにおける結果要約データを含む以下の名前のファイルが作成されます。

my\_fire\_case\_ zone.dat

CFDエンジンに読み込まれたメッシュまたは形状の指定ファイル(このケース指定スクリプトのパートナーファイル)は、ユーザーガイドのサポートファイルの節でさらに詳しく説明されます。

**TITLE** <text\_description\_of\_case>

**タイトル(TITLE)**のキーワードは、問題を説明するものです。これにデフォルト値はないため、コードがこれを実行しなくても設定する必要があります。この記述は、将来の参照基準として、この特定の指定スクリプトによって表されるシミュレーションのタイプを示すために用いることが推奨されます。

{RESTART(再起動)、NO RESTART(再起動なし)}

デフォルトでは、再起動(restart)のためにデータベースが読み込まれることはありません。キーワード「RESTART」を含めることにより、既存のデータベースが再起動ファイルとして強制的に読み込まれます。その後、シミュレーションは、データベースファイルに保存された最後の反復または時間ステップから継続します。バイナリフォーマットのデータベースファイルは、ファイルの内部フォーマットおよび構造がネイティブC++コンパイラ(およびオペレーティングシステム)に依存するため、異なるマシンアーキテクチャ間でポートすることはできません。ただし、「プリントアウトコントロール(PRINTOUT CONTROL)」セクションには、移植性のあるアスキー再起動ファイルを作成できるオプションがあります。システムは、自動的に再起動ファイルの内部ファイルフォーマットを判断します。再起動以降に用いられる優勢なコントロール条件は、このケース指定ファイル内にあるものとなります。オリジナルの再起動ファイルの作成以前に作成されたすべてのコントロールの変更は、実質的に失われます。現在、*SMARTFIRE*は、ユーザーインターフェース内からブックマーク[マーク(Mark)]が保存された時点で完全な結果のステータス、コントロール設定、およびメッシュを表す複数の「.vts」、「.smc」、および「.smg」ファイルを保存するために増分データベースを用いるため、この再起動方法は旧式のものです。

{CARTESIAN MESH(デカルト座標のメッシュ)、NON CARTESIAN MESH(デカルト座標のメッシュなし)}

キーワード「CARTESIAN MESH(デカルト座標のメッシュ)」は、非直行のメッシュに必要な量を計算するかなりゆがんだメッシュのルーチンの使用を停止します。これらの算定量は、ゆがんだメッシュシナリオにおける流れ方程式を修正するために用いる非直交および非結合性の項です。このキーワードは現在、形状の取り扱いを変更することなく、また要素やポイントなどの入力順序に関する想定をコードにおこなわせることもありません。したがって、余分な項が不要であるというような問題である場合には、このキーワードを含めます。追加的なゆがみ項は、非ゆがみメッシュになんら影響を及ぼさないため、かなりの分量の追加計算がこのようなメッシュに浪費されます。このキーワードがなければ(またはデカルト座標のメッシュなしの場合)、メッシュはゆがむ(すなわち、非直交)と想定されます。

{ **STRUCTURED MESH**(構造化メッシュ)、**UNSTRUCTURED MESH**(非構造化メッシュ) }

これらのキーワードは、コントロールボリュームがどのように配置構成されているかをCFDコードに教えます。メッシュが**構造化メッシュ**である場合は、コードに一定の機能を最適化させ、構造化メッシュタイプ出力ファイルの作成を可能にします。キーワードがなければ、デフォルトは非構造化になるように想定されています。メッシュが構造化されている場合は、以下に示す「**BFC MESH DIMENSIONS**(メッシュ次元)」を設定することが推奨されます。これにより、出力結果ファイルの作成に関するより大きな柔軟性がコードに与えられるためです。

```
BFC MESH DIMENSIONS
    NX      <number_of_cells_in_x_direction>
    NY      <number_of_cells_in_y_direction>
    NZ      <number_of_cells_in_z_direction>
END
```

**BFC MESH DIMENSIONS**のサブセクションは、メッシュが所定の索引次元の構造化メッシュと同等であることをコードに伝えます。この情報は、「**PHI**」ファイル出力が必要な場合に必要とされます。なぜなら、コードは、非構造化内部メッシュを構造化外部メッシュの表現にマッピングするための制約をもつ必要があるためです。また**SMARTFIRE**は、ユーザーインターフェース内からのランタイムの可視化を単純化するためにもこれらの次元を用います。

{ **SETUP MODE**(セットアップモード)、**AUTO START**(自動起動) }

CFD数値エンジンは、(デフォルトで)ケースの入力ファイルが読み込まれると同時に自動的に実行を開始することはありません。これは、いわゆる「**セットアップモード**(**SETUP MODE**)」です。これにより、数値処理を開始する前にユーザーインターフェースにおいて利用可能なコントロールパラメータを変更できるためです。または、「**自動起動**(**AUTO START**)」を用いて、ケース指定ファイル内にあるコントロールパラメータとともにCFDコードが処理を開始することを強制する方法もあります。

**ENABLE KBS**(KBSを有効にする)

KBS(知識ベースシステム(Knowledge Based System))の力学的コントロールモジュールが完了すると、キーワード「**ENABLE KBS**(KBSを有効にする)」を用いて、力学的ソリューションコントロールが発生するようにKBSへのインターフェースを起動します。

## 6.2.2 問題を実行する(RUN PROBLEM example)

以下のコマンドは、ケース指定ファイルの「**問題を実行する**(**RUN PROBLEM**)」セクションの一般的な例を示すものです。ケース事例において、構造化されたデカルト座標のメッシュ( x方向に10個のセル、y方向に15個のセル、 z 方向に5個のセル)について定義されています。シミュレーションは、前回のランから再開されることになっています。

```
RUN PROBLEM (問題を実行する)
    FILENAME      test(ファイル名 テスト)
    TITLE          Just an example case(タイトルケース事例)
    RESTART       (再起動)
```

```

CARTESIAN MESH      (デカルト座標のメッシュ)
STRUCTURED MESH     (構造化メッシュ)
BFC MESH DIMENSIONS (BFCメッシュ次元)
      NX      10
      NY      15
      NZ       5
END
END

```

前述したように、この例はSMARTFIREに、基準名「test」の付いたサポート入力ファイルの検索を強制するものです。また、この基準名の付いた出力ファイルも作成されます。

### 6.2.3 問題の定義 (PROBLEM DEFINE)

#### PROBLEM DEFINE

デフォルトでは、すべてのシミュレーション問題は、定常状態(非過度的)、非乱流、かつ熱伝達を伴わない流れの問題であると想定されます。「問題の定義 (PROBLEM DEFINE)」セクションでは、実行するシミュレーションのタイプを定義します。

{ HEAT TRANSFER(熱伝達)、NO HEAT TRANSFER(熱伝達なし) }

エンタルピーに関連する問題に関しては、キーワード「HEAT TRANSFER(熱伝達)」を含める必要があります。解決される変数はエンタルピーですが、比熱容量およびエンタルピーの値から温度も算定されます。シミュレーションにアクティブな流れが含まれている場合、浮力の値も算定されます。これらは流れ方程式に送り込まれます。エンタルピーの初期値が温度の初期値から計算されることに注意します。ソリューション領域の温度の初期値にきわめて現実的な値が与えられた場合、ソリューションの収束は大幅に促進されます。たとえば、部屋のシミュレーションには、室内の初期の平均温度を与えます。

{ FLOW, NO FLOW } (流れ、流れなし)

「NO FLOW(流れなし)」のキーワードは、流れに関連するソルバーを無効にします。これは、圧力変数および速度コンポーネントが解決されないこと、また乱流ソルバーも無効にされることを意味します。デフォルトの挙動では、「FLOW(流れ)」が有効です。多くの他の火災関連現象などは、多くの他の火災生成物の広がりを活発にする対流媒体や運動量輸送を提供するため、アクティブな流れのモデリングに依存します。

{ TURBULENT, LAMINAR } (乱流、層流)

キーワード「TURBULENT(乱流)」は、K-εモデルを用いた流れシミュレーションのコードの乱流に関連する部分を有効にします。デフォルトでは、乱流は非アクティブです。キーワード「LAMINAR(層流)」を用いると、乱流量が計算されず、また、流れが層流の挙動を示すように想定されます。層流(LAMINAR)はデフォルトの挙動です。ほとんど全ての火災関連シナリオは荒っぽくなるため、TURBULENT(乱流)オプションは有効にするべきです。

**{ NO RADIATION, RADIATION } (放射なし、放射)**

キーワード「NO RADIATION (放射なし)」は、熱放射伝達モデルを無効にします。キーワード「RADIATION (放射)」が含まれているとき、パーサにすべてのパラメータを詳細に示す「放射を定義する (RADIATION)」セクションを読み込み、熱放射モデリングのために放射モデルが使用されることを指示します。熱伝達と高温度 (およそ100Cまたは373K以上) を含むシナリオをモデリング時、熱放射が重要に、または主要な熱エネルギー伝達の形になり始めます。これは温度の4乗に依存する放射エネルギー伝達によるものです。

**NO COMBUSTION (燃焼なし)**

**COMBUSTION (燃焼) { DIFFUSION CONTROLLED, EDDY DISSIPATION CONTROLLED } (拡散コントロール型、渦散逸コントロール型)**

キーワード「NO COMBUSTION (燃焼なし)」は、燃焼を無効にします。*SMARTFIRE*において現在利用可能な単純な気体燃焼モデルとして可能な形式は2つあります。拡散コントロール型の単純な気体燃焼モデルは、キーワード「COMBUSTION DIFFUSION CONTROLLED (拡散コントロール型燃焼)」を用いて起動されます。一方、渦混合コントロール型の単純な期待燃焼モデルには、「COMBUSTION EDDY DISSIPATION CONTROLLED (渦散逸コントロール型燃焼)」のキーワードを用います。燃焼を起動するには、ケース指定ファイル全体にわたってユーザーが追加パラメータを指定して気体燃焼の正確な特性および挙動を示唆する必要がある点に注意します。

**SMOKE PRODUCTION (煙生成)**

キーワード「SMOKE PRODUCTION (煙生成)」は、煙モデルを起動させます。燃焼がアクティブのとき、煙のソースは燃焼率からとられます。燃焼モデルが使用されていない場合、ユーザーは火災ソースのために煙の質量放出率を提供しなければなりません。

**SOOT MPS (煤煙 MPS)**

キーワード「SOOT MPS (煤煙 MPS)」は煤煙モデルに基づいてMultiple Particle Size (MPS)「ドリフトフラックス」を起動させ、煙モデルの煤煙粒子の広がり促進します。煙の全ソースは、異なるサイズの煤煙粒子の (最大) 3つのグループに分解されます。煤煙の各グループは定義した粒子の直径を持ち、関連する割合があります。異なる煤煙のグループは、より大きな混合を生成する異なるレベルの重力沈降を経験することができます。これにより、煙が移動する十分な距離を持つ大きな形状にて、より現実的な煙の層を作成します。

**{ NOT USE ZONE RADIATION SUMMATION, USE ZONE RADIATION SUMMATION } (ゾーンの放射線合計を使用しない、ゾーンの放射線合計を使用する)**

熱放射と危険性のエクスポートを使用時は、非常に正確な光線の合計を使用して、ドメインのサブボリュームにおける放射線障害を決定することが可能です。残念ながらray summation法は計算処理が重くなり、且つ多くのシナリオ (とりわけ大きく複雑なシナリオ) において、相当量の追加の処理時間がかかる可能性があります。キーワード「ZONE RADIATION SUMMATION (ゾーンの放射合計)」は、互換シナリオの多くの正確なray summation法モデルを有効にします。一般的にこのオプションは、デフォルトの放射線評価法が熱放射障害の合理的な近似値であるために必要ではありません。





事前にシミュレーションには無い他の物理量の解を可能にする設定ができます。追加ソルブド変数に関する値は後節で設定します。「EXTRA VARIABLES(追加変数)」の節では、各名前が次節でのプロパティとコントロールの設定に利用できるように、追加変数の全てに対してわかりやすい名前を与えるように記入すべきです。ソルブド変数は、境界条件、輸送メカニズム、初期条件が、解領域で拡散や対流しなければならない特定物理プロパティに対して既知である場合に利用されます。

NUMBER OF EXTRA CALCULATED VARIABLES      <number\_of\_solved\_variables>

「NUMBER OF EXTRA SOLVED VARIABLES(追加の解決される変数の数)」は、デフォルト値は0が与えられていますが、まだ表されていないそのほかの物理量の解決を可能にするために設定できます。解決される変数の追加に関する値は、後のセクションにおいて設定されます。すべての追加変数に認識可能な名前を付けるには、「追加変数(EXTRA VARIABLES)」のセクションを完全に入力します。それにより、後続のセクションにおいてこれらの名前をプロパティおよびコントロールの設定に使用できるようになります。解決される変数は、ソリューション領域を通じて拡散・対流させる特定の物理プロパティに関して境界状況、トランスポートメカニズム、および初期状況がわかっている場合に使用されます。

NUMBER OF EXTRA CALCULATED VARIABLES      <number\_of\_solved\_variables>

「NUMBER OF EXTRA CALCULATED VARIABLES(追加の算定される変数の数)」は、概念的に、「NUMBER OF EXTRA SOLVED VARIABLES(追加の解決される変数の数)」ときわめて類似していますが、算定される変数は解決される変数のように線形ソルバーにおいて解決されない点が異なります。これは、ストレージの必要量が比較的少なく、算定モードのために変数の処理がある程度異なることを意味します。「追加変数(EXTRA VARIABLES)」セクションを用いて、すべての追加変数に名前を付けます。これらの名前は、そのほかのセクションで特定の追加変数を参照するために利用できます。算定される変数は、一般的に、そのほかの解決される変数または算定される変数から比較的単純な方法で算定されます。算定される変数は、特定のコントロールボリューム内の既存の即時的なプロパティにのみ依存します。

NUMBER                      OF                      EXTRA                      SIMPLE                      SOLVED                      VARIABLES  
   <number\_of\_simple\_solved\_variables>

NUMBER OF EXTRA SIMPLE SOLVED VARIABLES(追加の単純な解かれた変数の数)には、初期値0が与えられますが、さらに変数を加えるために増加可能です。単純な解かれた変数はすべて、同じ係数マトリックスを持つ(つまり、同じ拡散係数を持つ)と仮定されます。変数名はEXTRA VARIABLES部分で設定されます。

CELL POROSITIES(セル多孔性)

FACE POROSITIES(表面多孔性)

現在のモデルのセルおよび/または表面の多孔性を有効にします。表面とセルの多孔性は、状況指定環境(Case Specification Environment)の多孔性オブジェクトで作成し、形状ファイル(.smg)を通してCFD Engineに渡ります。多孔性モデリング値は、セルと表面の部分的なブロッキングをそれぞれ提供します。

COMPUTED POROSITIES <number\_of\_steps>

部分的にブロックされている開口部を開けるために多孔性を変更することは可能です。多くのステップに



て、算出した多孔性に徐々にこの変化が起こります。多孔性の変化は記載されるステップ数で直線的に適用されます。

#### **HCl PRODUCTION (HCl生成)**

HClの放出と移動モデルを有効にします。HClは物質の表面(障害物、壁、まばらな植物)に吸収されるということに注意しなければなりません。吸収の活性化と設定は、HCl吸収に必要な表面の材料定義で行います。HCLの種類は輸送されたガスとされるため、HCLを放出する火災にHCL種の質量放出ソースを与える責任はユーザーにあります。

#### **TOXICITY (毒性)**

キーワード「**TOXICITY (毒性)**」は炎からのガス生成や排水の毒性の放出と移動モデルを有効にします。算出された火災生成物は、一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO2)、任意でHCNですが、酸素(O2)レベルも燃焼モデリングに必要であり、火災排水にさらされる人々への危険効果の評価に役立つため、計算されます。毒性モデリングは、ガス種の濃度を決定するために、局所等量比の概念を使用します。この方法は小規模の試験炉間の経験的相関を使用して、大規模な毒性濃度の予測を行うものです。このモデルは、気体種類が局所燃焼条件から算出されるために、これらの火災排水生成物の移動を行わないことに注意してください。

#### **GAS SPECIES RELEASE (ガス種放出)**

追加ガス種放出と、任意のガス種の対流または拡散移動のモデリングを有効にします。一般的に、ガス種はその領域内の空気と上手く混合する、あるいは空気の追加/放出時には完全に混合する(セル内にて)と考えられています。移動モデリングは空気より軽い、または空気より重いガスの重力分離ができません。ただし、ガス種と空気の混合における大きな流れにより、ガスと空気の混合密度による合理的な浮力効果は示されます。

**{ HYDROSTATIC PRESSURE, NO HYDROSTATIC PRESSURE }**

このキーワードは、静水圧計算のオンオフを切り替えます。これは、(OUTLET境界パッチの)圧力が高さによる圧力を下げることができるということです。同様に、圧力が濃度の計算に使用される場合、圧力は高さとともに下がり、考慮されます。一般的に、シンプルな部屋のシナリオでは、高さによる圧力の低下は考慮する必要がありませんが、多層式構造物や大規模(垂直)形状では、圧力の差は重要です。

**TRUNCATE TIME AFTER DIGIT <last\_significant\_digit>**

一時的な実行では、表示と出力に名前をつけるために重要なものとして、どれだけの数字を扱うべきかを示すことができます。多くの一時的な出力ファイルには、現在のシミュレーション時間がファイル名の一部として使用されます。時間ステップサイズが切り捨て限界よりも減少した場合、処理は普通に継続しますが、表示または出力ファイルは、切り捨ての数によるよいステップング時間を指さないかもしれません。

**TRANSIENT**

```

    TIME STEP          <time_step_size>
    NUMBER OF TIME STEPS <number_of_time_steps>

```

シミュレーション問題が定常状態でない場合は、キーワード「TRANSIENT(過渡)」を用いて指定します。キーワード「TRANSIENT(過渡)」の後に、「時間ステップ(TIME STEP)」および「時間ステップ数(NUMBER OF TIME STEPS)」の設定が続きます。これらのキーワードは、キーワード「TRANSIENT」の直後に、別個の行に表示します。これらは、上記と同じ順番でなければなりません。またこれらは規定のキーワードであるため、その後にENDを続けてはなりません。多くの流れシミュレーションは、定常状態を用いて解決できない点に注意が必要です。なぜなら、シミュレーションの期間中に定常状態がないからです。仮定的な定常状態シミュレーションによって逸脱したソリューションがもたらされた場合、シナリオを過渡モードで実行することが必要になります。また、適度に小さい時間ステップサイズを選択することも必要です。そうしなければ、シミュレーションは時間ステップのサイズによって不安定化します。流れに関連する問題の経験則の1つとして、すべてのコントロールボリュームにそれぞれ配置されたすべての概念的な、質量のない微粒子は、選択された時間ステップサイズにおいて隣接するコントロールボリュームの限界を超えて運搬されることはありません。この時間ステップサイズに関する単純な推測は、最小コントロールボリューム寸法を最大期待速度で割った割合となります。たとえば、最小コントロールボリュームサイズが0.1m、最大期待速度が0.5ms<sup>-1</sup>の場合、0.2秒の時間ステップサイズによって十分に処理されます。最小コントロールボリュームサイズは任意のローカル最大速度から排除されることがあるため、この推測には注意が必要です。

```

CRITICAL CHANGES HANDLING { ABSOLUTE, RELATIVE } <changes_data_table>

```

シミュレーションが、処理が不安定になったり、それたりする原因となる事前に設定された変更を含む場合、安定した処理を提供するために、時間ステップサイズ(シミュレーション時間の一定の期間を超える)を調整する臨界変化ハンドラーを登録できます。時間ステップサイズの変化は、使用される(絶対か相対)時間が後続するデータ項目および使用される時間ステップサイズの数であるファイルのフォーマットを備えたデータ表内で規定されます。それぞれの変化は、必要に応じて、CRITICALまたはNON CRITICAL CHANGEの印をつけられ、重要な変化の活性化は、ソフトウェアが、データ表によって決定されるような管理された時間ステップサイズを使用する原因となるでしょう。

```

MINIMUM TIME STEP SIZE <minimum_ts_size>

```

シミュレーションに自動または設定された時間ステップの変更を含む場合、時間ステップサイズを常に規定した最小の時間ステップサイズよりも上になるように制限すると便利です。これにより、シミュレーションの結果として時間ステップサイズが不当に小さくなるのを防ぐことができます。

**CONTROLLED TIME STEP CHANGES(時間ステップ変更の調整)**

```

    CHANGE TIME STEP    <index#1> <index#2> AT <change_time>
    CHANGE TIME STEP    <index#1> <index#2> USING MONITOR <monitor_num>
    USE DATA FILE      <time_step_data_file_name>

```

```

END

```

「CONTROLLED TIME STEP CHANGES」(時間ステップ変更の調整)セクションでは、時間ステップサイズを所定の時間において、または特定のモニターの起動によって変更できます。モニターとは条件式であり、選択されたコントロールボリュームのプロパティを規定値と比較します。この条件は、試験条件

が満たされて試験条件の後の実際の結果が成功する前に擬似結果を返送します。変更イベントは、特定のシミュレーションについて1回だけ適用可能です。単純化のために、おもな時間ステップサイズを変更するための率として、システムは整数値<index#1>および<index#2>を用います。キーワード「AT」は、指定した変更が適用可能になる<change\_time>(変更時間)が後に続くことを示唆します。または、フレーズ「USING MONITOR」(モニターを使用する)は、<monitor\_num>(モニター番号)に関する後続の整数値が、変更を適用する時間を決定するために用いられるモニターの索引であることを示します。モニター条件は、ケース指定ファイルのPRINTOUT CONTROL(プリントアウトコントロール) セクションにおいて定義されます。

このセクションは、TRANSIENT(過渡)シミュレーションに関してのみ意味があります。このセクションでは任意の回数の設定時間ステップの変更がありえますが、キーワード「END」によって終了しなければなりません。たとえば、シミュレーション時間が10秒に到達または経過したときに時間ステップサイズを倍増したいときは、以下のセクション行を追加する必要があります。

```
CHANGE TIME STEP    1        2        AT        10.0
```

逆に、40.0秒において時間ステップサイズを現行の値の3分の1に減らしたいときは、以下のセクション行を追加する必要があります。

```
CHANGE TIME STEP    3        1        AT        40.0
```

ただし、試験条件としてモニター7番を用いて上記の条件を適用することが必要な場合は、以下のシンタックスが適用されます。

```
CHANGE TIME STEP    1        2        USING MONITOR 7
CHANGE TIME STEP    3        1        USING MONITOR 7
```

または、ユーザーはさまざまなシミュレーション時間において用いる正確な時間ステップサイズを指定する表データファイルを提供することもできます。このファイル内のデータは、そのほかの表データ入力ファイル形式と同様に、まずデータのペアの番号に始まり、シミュレーション時間およびそれに対応する時間ステップサイズを定義する列をもちます。実際のシミュレーション時間が提供されたシミュレーション時間データポイントの間にあるときは、先行する時間ステップサイズが適用されます。

3	
0.0	1.0
20.0	0.1
40.0	0.01

(上記の)ファイル例のデータは、時間ステップデータファイルに使用されるフォーマットを示します。与えられたデータは、20秒のシミュレーション時間までは1.0秒の時間ステップを用い、その時点で時間ステップが0.1秒に減少するシミュレーションを定義するものです。これは、40.0秒のシミュレーション時間において、さらに0.01秒に減少します。

**ADAPTION**

ADAPT EVERY <number\_of\_sweeps>(それぞれのスイープ回ごとに適合)  
 ADAPT FROM <starting\_sweep>(スイープの開始時に適合)

END

*SMARTFIRE*にメッシュの適合モジュールが提供されている場合、**ADAPTION(適合)**セクションを用いてモジュールを起動し、どれほどの頻度でそれが呼び出されるかをコントロールします。このセクションは現在、メッシュ適合の進展を調査するためだけに提供されていますが、実際のコードは、*SMARTFIRE*の次のバージョンに搭載されます。メッシュ適合モジュールが利用可能でない場合、このセクションでの設定は有効ではありません。ソフトウェアの現在の機能を判断するには、ユーザーが所持する*SMARTFIRE*のバージョンのリリースノートを参照してください。

**REFINEMENT**

REFINE EVERY <number\_of\_sweeps>(それぞれのスイープ回ごとに改良)  
 REFIN FROM <starting\_sweep>(スイープの開始時に改良)

END

メッシュ改良モジュールが*SMARTFIRE*に装備されている場合、**REFINEMENT(改良)**セクションを用いてモジュールを起動し、どれほどの頻度でそれが呼び出されるかをコントロールします。このセクションは現在、メッシュ改良の進展を調査するためにのみ提供されていますが、実際のコードは、*SMARTFIRE*の次のバージョンに搭載されます。メッシュ改良モジュールが利用可能でない場合、このセクションでの設定は有効ではありません。ソフトウェアの現在の機能を判断するには、ユーザーが所持する*SMARTFIRE*のバージョンのリリースノートを参照してください。

スイッチのいくつかの組合せは、このセクションの解析の終了時にエラーメッセージをもたらすことに注意が必要です。たとえば、**NO FLOW(流れなし)**と**TURBULENCE(乱流)**は、明らかに矛盾しているため、解析実行中に拒絶されます。

**[NO] USE MOMENTUM FALSE TIME IN AP TERM**

キーワード「**USE MOMENTUM FALSE TIME IN AP TERM**(**AP期間でモーメンタムFALSE TIMEを使用**)」は、モーメンタムシステム方式のAp期間にもまたfalse time緩和を含んでいることを示します。NOを前に付けると、Ap期間はfalse time緩和を含まなくなります。

## 6.2.4 問題の定義(PROBLEM DEFINE)の例

結合した流れ、熱伝達シミュレーション、放射および渦混合調整型の燃焼、過渡モードでの実行、時間ステップサイズが0.1秒および時間ステップの合計が1000回(すなわち、100秒のシミュレーション時間)、かつ乱流を伴う本セクションの例を以下に示します。

**PROBLEM DEFINE**

FLOW

TURBULENT

HEAT TRANSFER

RADIATION

COMBUSTION

TRANSIENT

EDDY MIXING CONTROLLED

```

TIME STEP                                0.1
NUMBER OF TIME STEPS                     1000
CONTROLLED TIME STEP CHANGES
CHANGE TIME STEP      1      2      AT      10.0
END
END

```

上記の例は、10.0s（秒）のシミュレーション時間において1から2までの係数（すなわち0.1s => 0.2s）による時間ステップサイズの変更指示を含むことに注意が必要です。

## 6.2.5 追加変数(EXTRA VARIABLES)

### EXTRA VARIABLES

追加変数に関連するほとんどの値は、関連セクションにおいて設定されます。したがって、たとえば、追加変数の初期値は初期値セクションにおいて、通常の変数セットと同じコマンドと、本セクションで定義する追加の名前を用いて設定されます。この段階で、これらの未設定の変数に関連する数量が残されます。それらの値は本セクションで設定されます。本セクションで変数名が指定されると、その名前が解決される変数のリストに追加されます。これにより、ケース指定スクリプトの後半のセクションにおいて、追加変数に関連する値の設定においてその名前を使用できます。境界条件は、追加変数とはわずかに異なるシンタックスを有することに注意が必要です。詳しい情報に関しては、**BOUNDARY CONDITIONS (境界条件)**のセクションを参照してください。

一般的に、これらのコマンドは、追加変数を作成する必要がある研究者にとってのみ実際に有用または必要なものです。一般に、研究者らは、そのほかの変数（および形状）の値を用いて、プロパティを計算したり更新したりするための適切なソースコードルーチンを追加します。**PROBLEM DEFINE (問題の定義)**セクションにおいて起動されるサブモデルに基づいて必要なすべての変数が自動的に作成されるため、初心者ユーザーは、追加変数を作成する必要はありません。

### SOLVED VARIABLE NAMES

```

    <extra_solved_variable_name>
END

```

このセクションでは、追加的な解決される変数の名前が設定されます。この名前は、20文字以下の長さで、内部スペースを含みません。本セクションの導入部に記したとおり、このサブセクションで設定される名前は、解決される変数リストに追加されます。このセクションで設定された名前は、その後、既定の解決される変数と同様の方法で、追加的な変数に関連する値を設定するために用いられます。下の例は、拡散係数の設定における最初の追加的な変数のために設定された名前を用いています。

### CALCULATED VARIABLE NAMES

```

    <extra_calculated_variable_name>
END

```

このセクションでは、追加の算定される変数の名前が設定されます。この名前は、20文字以下の長さで、内部スペースを含みません。本セクションの導入部に記したとおり、このサブセクションで設定される名前は、算定される変数リストに追加されます。このセクションで設定された名前は、その後、既定の算定



される変数と同様の方法で、これらの追加変数に関連する値を設定するために用いられます。

```
DIFFUSION COEFFICIENTS
    <extra_solved_variable_name>    <diffusion_coefficient_value>
END
```

このサブセクションで設定された値は、層流問題に関する拡散項の乗数を表します。現在、追加的な変数に関する定数の拡散係数のみを定義できます。それぞれの追加変数に関する拡散係数をここで設定できます。デフォルト値は、2.61172E-05です。

```
SIMPLE SOLVED VARIABLE NAMES
    <extra_simple_solved_variable_name>
END
```

このセクションでは、追加の単純な解かれた変数の名前が設定されます。名前は、長さ最大20文字で、空白を含んではいけません。このサブセクションで設定される名前は、単純な解かれた変数のリストに追加されます。このセクションで設定される名前は、あらかじめ定義された解かれた変数と同じ方法で、追加の単純な解かれた変数に関連する値を設定するのに使用されます。単純な解かれた変数は、同じ拡散係数を共有する独立したスカラー量に特に有用です。CFD Engineは、単一係数マトリックスを構築し、係数を変更せずに、すべての単純な解かれた変数を解きます。これは、強化されたソリューション性能を与えます。

```
SIMPLE DIFFUSION COEFFICIENT    <diffusion_coefficient_value>
```

単一変数の拡散係数値は、層流問題に関する拡散項の乗数を表します。現在、追加的な単一変数に関する一定の拡散係数のみを定義できます。それぞれの追加変数に関する単一拡散係数をここで設定できます。デフォルト値は、2.61172E-05です。

## 6.2.6 追加変数(EXTRA VARIABLES)の例

燃焼に関する2つの追加変数および、追加の算定変数のケースについて、このセクションの仮定的事例を以下に示します。このセクションの最初の部分では、名前は追加変数に関連づけられています。追加的な変数1の名前は、この追加変数の拡散係数を設定するために、ただちに使用されます。

```
EXTRA VARIABLES
    CALCULATED VARIABLE NAMES
        Smoke-conc
    END

    SOLVED VARIABLE NAMES
        Conc-A
        Conc-B
    END

    DIFFUSION COEFFICIENTS
        Conc-A            1.2E-05
        Conc-B            2.7E-04
```



END

END

## 6.2.7 放射の定義 (DEFINE RADIATION)

### DEFINE RADIATION

DEFINE RADIATION (放射の定義) セクションでは、熱放射効果をモデル化するために用いる放射伝達モデルのタイプを選択できます。また、放射モデルの挙動を定義するためのいくつかの放射パラメータもあります。

{ラジオシティ(RADIOSITY)、6フラックス放射(SIX FLUX RADIATION)、多重光線放射(MULTIPLE RAY RADIATION)}

利用可能な放射モデルは、ラジオシティ(RADIOSITY)、6フラックス放射(SIX FLUX RADIATION) (拡張)、および多重光線放射(MULTIPLE RAY RADIATION)モデルです。ラジオシティモデルは、それぞれのコントロールボリューム内で放射強度を示す単一の解決される変数を用います。6フラックス放射モデルは、正負の座標方向における放射光線計算を行いません。多重光線放射モデルでは、ユーザーが任意の光線方向を選択できます。また、この放射モデルは、これらの光線方向のそれぞれに沿って熱放射を追跡します。HR SMARTとHR MUSCLは、ソリューションの精度を高めるための、高分解能の風上法を備えたMULTIPLE RAY RADIATIONモデルの追加変化です。

注意点として、6フラックス放射モデルは、完全なデカルト座標のメッシュとのみコンパチブルです。ラジオシティおよび多重光線放射モデルは、任意のメッシュに対して使用できます。

多重光線放射モデルを用いるときは、注意が必要です。なぜなら光線方向の選択が不適切な場合「DEFINE RAY (光線の定義) コマンドを参照」、自由表面から熱源の放射分離を引き起こす可能性があるためです。これにより、熱放射が領域を離れるパスがないため(またはパスの減少がないため)、温度が過度に高温になる傾向があります。

NUMBER OF RAYS      <number\_of\_rays>

NUMBER OF RAYS (光線の数) コマンドは、多重光線放射(MULTIPLE RAY RADIATION)モデルが用いられるときのみ使用されます。このコマンドは、MULTIPLE RAY RADIATION (多重光線放射) コマンドに従い、ユーザーが使用したい光線の合計数を指定します。それぞれの光線は、光線方向を示すための適切なDEFINE RAY (光線の定義) コマンドをもちます。

DEFINE RAY   <ray\_number>      <x\_normal>      <y\_normal>      <z\_normal>  
<ray\_weight>

DEFINE RAY (光線の定義) コマンドは、CFD エンジンに多重光線放射(MULTIPLE RAY RADIATION)において用いる光線の方向と重みに関する指示をおこないます。<ray\_number>は、定義されている光線の索引を示します。光線方向は、デカルト座標コンポーネントを用いて単位ベクトル方向を示唆する<x\_normal>、<y\_normal> および <z\_normal> の値を使用して指定されます。<ray\_weight>の値は、光線の立体角(ステラジアン)です。ここで、領域全体の立体角は $4\pi$ ステラジアンです。NUMBER OF RAYS (光線の数) コマンドによって指定されたそれぞれの光線は、それに関連づ

けられた**DEFINE RAY (光線の定義)**コマンドを必ずもちます。

**SCATTERING COEFF**     <scattering\_coefficient\_value>

**SCATTERING COEFF (散乱係数)**の値は、シミュレーション範囲におけるメディアの散乱係数を示します。**ラジオシティ(RADIOSITY)**放射モデルのみがこの値を用います。

**AMBIENT ABSORPTION COEFF**     <ambient\_absorption\_coefficient\_value>  
**MAXIMUM ABSORPTION COEFF**     <max\_absorption\_coefficient\_value>  
**MINIMUM ABSORPTION COEFF**     <min\_absorption\_coefficient\_value>  
**MAXIMUM ABSORPTION TEMP**       <max\_absorption\_temperature\_value>  
**MINIMUM ABSORPTION TEMP**       <min\_absorption\_temperature\_value>

**AMBIENT ABSORPTION COEFFICIENT (周囲吸収係数)**というキーワードにより、ユーザーは周囲(新鮮な大気)の吸収係数の値を指定できます。**MAXIMUM ABSORPTION COEFF (最大吸収係数)**により、ユーザーは火災煙流のもっとも高温の部分に期待される吸収係数を指定できます。**MINIMUM ABSORPTION COEFF (最小吸収係数)**というキーワードにより、ユーザーは高温層の挙動に関する下限温度を指定できます。デフォルトでは、これは最大煙流温度の半分における吸収係数となります。**MAXIMUM ABSORPTION TEMPERATURE (最大吸収温度)**は、期待最大煙流温度です。**MINIMUM ABSORPTION TEMPERATURE (最小吸収温度)**は、一定の「大気」吸収および中程度の温度吸収特性の間の推定推移温度です。上位の範囲の吸収特性は、異なる計算式をもち、最大煙流温度の半分以上を超える温度をもつコントロールボリュームにおいて有効にされます。ユーザーガイドの**技術参考資料(TECHNICAL REFERENCE)**セクションに吸収係数計算の特性に関するさらなる情報が記載されています。

この挙動は、気体燃焼および煙モデルが無効にされた場合に用いられます。**COMBUSTION (燃焼)**および**SMOKE (煙)**が有効にされたときは、上記の近似計算された吸収係数曲線を用いるのではなく、むしろ煙濃度を用いて吸収係数が計算されます。

**WALL EMISSIVITY**       <wall\_emissivity\_value>

**WALL EMISSIVITY (壁放射率)**のキーワードにより、ユーザーは気体と固体の間の放射相互作用の放射率のデフォルト値を指定できます。面境界パッチは、固有の壁放射率の値をもつことがあります。障害物は、このセクションで定義されたデフォルト値のみを用いることができます。

**START ITERATION**                     <radiation\_start\_iteration>  
    { FOR EVERY TIME STEP, ONLY FIRST TIME STEP }

**START ITERATION (開始反復)**のキーワードは、それぞれの時間ステップにおいて熱放射のソリューションをディレイ(遅延)させるために用います。ディレイを用いる理由は、時間ステップの初期スweepが非現実的な大きなエンタルピー値(および温度)をもつことがあることです。そのために、熱放射計算が不安定化する傾向があります。熱放射の計算を遅らせることによって、エンタルピーをより現実的な値に安定させることができます。ユーザーは任意で反復の開始を時間ステップ毎に適用するのか、または最初の時間ステップでのみ適用するのか選択することが可能です。

**STEPS BETWEEN RADIATION ITERATIONS**                     <steps\_between\_rad\_iters>

STEPS BETWEEN RADIATION ITERATIONS (放射相互作用間のステップ)は、放射更新間の外部繰り返し(範囲)の数を設定します。これは、正確さをいくらか犠牲にして、放射を使用する処理費用を減らす手助けになります。

```
{ ENABLE, DISABLE } RADIATION OPTIMIZATION
```

「ENABLE RADIATION OPTIMIZATION (放射最適化を有効にする)」キーワードは、放射のソリューションが必要な時(最終スイープと現在のスイープ間における温度差によって決定時)に解決されるよう、最適化されることを示します。キーワード「DISABLE RADIATION OPTIMIZATION (放射最適化を無効にする)」は放射は最適化されず、全て設定されたように再計算が行われることを示します。

```
RADIATION T4 CHANGE LIMIT <rad_t4_change_limit>
```

RADIATION T4 CHANGE LIMIT (放射T4変化限界)は、放射が解かれる/更新される必要がある前の、温度<sup>4</sup>の最小変化の大きさを指定します。

## 6.2.8 DEFINE RADIATION (放射の定義)の例

以下のセクション例は、直交する6本の光線を伴う多重光線放射モデル(6フラックス放射モデルに類似)の使用を実際に示すものです。

```
DEFINE RADIATION
```

```
    MULTIPLE RAY RADIATION
```

```
    NUMBER OF RAYS          6
```

```
    DEFINE RAY      1      -1.0   0.0   0.0   2.094395
```

```
    DEFINE RAY      2       1.0   0.0   0.0   2.094395
```

```
    DEFINE RAY      3       0.0  -1.0   0.0   2.094395
```

```
    DEFINE RAY      4       0.0   1.0   0.0   2.094395
```

```
    DEFINE RAY      5       0.0   0.0  -1.0   2.094395
```

```
    DEFINE RAY      6       0.0   0.0   1.0   2.094395
```

```
    AMBIENT ABSORPTION COEFF      0.010
```

```
    MINIMUM ABSORPTION COEFF      0.315
```

```
    MAXIMUM ABSORPTION COEFF      0.630
```

```
    MINIMUM ABSORPTION TEMP      323.000
```

```
    MAXIMUM ABSORPTION TEMP      1289.000
```

```
    WALL EMISSIVITY      0.800
```

```
END
```

## 6.2.9 グループソルバーオプション (GROUP SOLVER OPTIONS)

```
GROUP SOLVER OPTIONS
```

GROUP SOLVER OPTIONSキーワードは、グループソルバーの使用設定を変更するのに使用されるセクションを開始します。セクションの対部分はグループソルバー内を調査することを目的としているので、利用可能コマンドのうち2つのみが現在示されています。実行可能なユーザーに適したルーティンが開発され、テストされているので、これらはユーザーに公表され、ここで文書化されるでしょう。

**REMOVE ALL SOLIDS**

**REMOVE ALL SOLIDS**(すべての固体を除去)キーワードは、CFD Engineが表面材料を使用するすべてのセルを取り除き、残りのセルから(できる限り)機能的に同等のシナリオを作成することを示します。セル(Cells)が取り除かれた後に参照されない表面(Faces)とポイント(Points)も取り除かれます。固体の表面は、不伝導(断熱的な)表面として扱われます。この最適化は、壁への熱の損失がそれほど重要ではない、多くの火災現場モデリングシミュレーションに適しています。固体セルの除去は、形状の性質を変化させるので、そのケースは構造化されなくなります。構造化されていないケースは、平面図への異なるアクセス形式を持ちます。なぜなら、I、U、K方向のセルインデックスは、構造化されていないメッシュで負方向には使用できないからです。

セルの除去に使用されるメカニズムは、実際、並列バージョンのルーピングや伝導を意図していないので、このコマンドは、並列計算とは比較できないことに注意が必要です。しかし、CFD Engineの直列バージョンを使用した最適化を行うことは可能です。ケースを再開セットとして即座に保存し、その後最適化コマンドを除去し、そして変更したケースを並列CFD Engineで再開します。

**REMOVE NON CONDUCTING MATERIALS**

**REMOVE NON CONDUCTING MATERIALS**(不伝導材料を除去)キーワードは、DFD Engineが不伝導材料を使用するすべてのセルを取り除き、残りのセルから(できる限り)機能的に同等のシナリオを作成することを示します。セル(Cells)が取り除かれた後に参照されない表面(Faces)とポイント(Points)も取り除かれます。不伝導固体の表面は、不伝導(断熱的な)表面として扱われます。これにより、ユーザーは不伝導材料障害物を、その処理が、シミュレーション結果に有益な効果を与得ることなく処理時間を長くする流動モデリングが必要でない領域(例えば、シミュレーションの間閉鎖されたままの部屋)に適用できます。シナリオは変更されていないケースと機能的に同一なので、この最適化はすべての火災現場モデリングシミュレーションに適しています。固体セルの除去は、形状の性質を変化させるので、そのケースは構造化されなくなります。構造化されていないケースは、平面図への異なるアクセス形式を持ちます。なぜなら、I、U、K方向のセルインデックスは、構造化されていないメッシュで負方向には使用できないからです。

セルの除去に使用されるメカニズムは、実際、並列バージョンのルーピングや伝導を意図していないので、このコマンドは、並列計算とは比較できないことに注意が必要です。しかし、CFD Engineの直列バージョンを使用した最適化を行うことは可能です。ケースを再開セットとして即座に保存し、その後最適化コマンドを除去し、そして変更したケースを並列CFD Engineで再開します。

**6.2.10 グループソルバーオプションの例(GROUP SOLVER OPTIONS example)**

次の例は、不伝導材料の除去を行うためのグループソルバーオプションの使用を示しています。

```
GROUP SOLVER OPTIONS
  REMOVE NON CONDUCTING MATERIALS
END
```

## 6.2.11 ノズル条件(NOZZLE CONDITIONS)

### NOZZLE CONDITIONS

NOZZLE CONDITIONS(ノズル条件)キーワードは、ノズルの任意の数を指定するセクションを開始します。各ノズルは、スプリンクラー/粒子追跡モデルの粒子(液滴)の源として働きます。

{USE DEGREES, USE RADIANS}

USE DEGREES(度使用)キーワードはノズルに関連した角度が度で指定されることを示します。代わりに、ユーザーは角度にUSE RADIANS(弧度使用)を選択できます。

WALL INTERACTION {BOUNCE, STICK, REMOVE}

WALL INTERACTION(壁の相互作用)キーワードは、粒子(液滴)がどのように壁や表面と相互に作用するかを示します。オプションは、BOUNCE—跳ね返る物質の係数と反発係数を使用して、粒子が壁から跳ね返る、STICK—粒子が壁に付着する、REMOVE—粒子が破壊される、です。

COEFFICIENT OF RESTITUTION	<coeff_of_restitution>
COEFFICIENT OF MASS BOUNCED	<coeff_of_mass_bounced>

反発と跳ね返る物質の係数は、粒子が壁に衝突したときにどのように跳ね返るかを決定します。COEFFICIENT OF RESTITUTION(反発係数)値は、元のエネルギーが跳ね返った粒子からどれくらい失われるかを決定します。反発係数値が1.0の場合、跳ね返りはエネルギーを失わず、衝突は完全な弾性衝突として作用します。それよりも低い値は、衝撃により、いくらかのエネルギーが失われることを意味します。COEFFICIENT OF MASS BOUNCED値は、跳ね返り後にいくつかの粒子が表面の後ろに残されるかどうかを決定します。跳ね返った物質の値が1.0の場合、粒子は完全に表面から跳ね返ることを意味します。それよりも低い値は、壁に粒子のかたまりが残されているということを意味します。

NUMBER OF NOZZLES <num\_of\_nozzles>

NUMBER OF NOZZLES(ノズルの数)値は、固有のノズルがいくつあるかを示します。各ノズルはDEFINE NOZZLEサブセクションを使用して定義されます。

NUMBER OF INJECTIONS PER TIME STEP <num\_injects\_per\_time\_step>

NUMBER OF INJECTIONS PER TIME STEP(時間ステップ毎の噴射数)値は、どのくらいの頻度で粒子が(ノズルから)領域内に入れられるかを示します。

NUMBER OF GAS SWEEPS PER PARTICLE TRACKING <num\_gas\_sw\_per\_p\_track>

NUMBER OF GAS SWEEPS PER PARTICLE TRACKING(粒子追跡毎のガス範囲の数)値は、流動計算に対する外部繰り返しと比較して、どのくらいの頻度で粒子追跡ルーティンが呼び出されるかを示します。設定された値が1の場合、粒子追跡ルーティンは、フローアルゴリズムの外部範囲ごとに呼び出されることを意味します。



**DEFINE NOZZLE**

**DEFINE NOZZLE**(ノズルの定義)キーワードは、ノズルを指定するのに使用されるサブセクションを開始します。各ノズルは流動量、温度、多数の軌道について定義されます。軌道は手動で設定するか、またはランダムな軌道を空洞または中空でない円錐領域に適用する、ランダムかノズルがあります。

**POSITION**      <nozzle\_x> <nozzle\_y> <nozzle\_z>

**POSITION**(位置)キーワードにより、ユーザーはノズルの位置を定めることができます。コマンドに続く3つの値は、ノズルのx-、y-、z-座標を示します。

**ORIENTATION NORMAL** <normal\_x> <normal\_y> <normal\_z>

**ORIENTATION NORMAL**(法線の向き)により、ユーザーは、法線が置かれる方向を選択できます。初期方向は(0.0,-1.0,0.0)の法線に対して真っ直ぐ下向きです。

**NUMBER OF TRAJECTORIES**      <num\_trajectories>

**NUMBER OF TRAJECTORIES**(軌道の数)キーワードは、ノズルの定義に軌道をいくつ使用するかを示します。

**NOZZLE TRAJECTORY TYPE { FIXED, RANDOMIZED }**

**NOZZLE TRAJECTORY TYPE**(ノズル軌道タイプ)コマンドは、どのように起動が定義されるかを示します。**固定された(FIXED)**軌道ノズルは、ユーザーが所定方向と核軌道の流動量を設定することを可能にします。これは、わずかな特定の軌道が含まれる場所、または各軌道が異なる流動量と/または水滴直径を持つ場所で使う、仕様モードです。その代わりに、**ランダム化(RANDOMIZED)**軌道ノズルは(中空でないまたは空洞の)円錐領域を定義し、円錐の領域を満たすために軌道をランダムに作成します。各軌道は同じ流動量を持ちます。

**TRAJECTORY**      <num\_p\_s> <x> <y> <z> <u> <v> <w> <diam> <temp> <s\_cell>

**TRAJECTORY**(軌道)キーワードにより、固定された(手動で指定された)軌道を定義できます。**TRAJECTORY**(軌道)はまず、1秒ごとの粒子の数<num\_p\_s>を定義します。軌道の始点は、座標(<x> <y> <z>)(m)で、軌道の初期速度ベクトルは[<u> <v> <w>](m/秒)です。粒子(液滴)の直径は<diam>で、粒子/液滴の初期温度は<temp>(K)です。<s\_cell>パラメータは開始セル指標です(分かれば)。開始セル指標は、初期軌道点の位置決めの検索コストを最小限にする助けとなります。分からない場合は、値を省略するか、1に設定するとよいです。

**THETA MIN**      <theta\_min>

**THETA MAX**      <theta\_max>

**THETA MIN**(最小シータ)と**THETA MAX**(最大シータ)キーワードにより、ユーザーがランダムノズルに最小・最大円錐角を指定できます。ノズルに真っ直ぐ下向きの法線方向の初期方向がある場合、最小シータと最大シータの角度は、使用される軌道方向の範囲(円錐)を、方向ベクトルの周り360°に指定します。**THETA MIN**(最小シータ)は、円錐が**空洞(HOLLOW)**の場合にのみ適切です。そうでない場合は、ノズル軌道が-<theta\_max>から+<theta\_max>まで、中空でない円錐を完全にカバーします。



**WATER TEMPERATURE**      <water\_temperature>

**WATER TEMPERATURE** (水温) は、ノズルによって (すべてのランダム軌道で) 放出されるすべての液滴の、初期液滴温度を設定します。

{ SOLID, HOLLOW } CONE

ランダム軌道範囲は、**中空でない円錐 (SOLID CONE)** と **空洞円錐 (HOLLOW CONE)** のどちらもカバーできます。中空でない円錐が使用される場合、ユーザーは最大シータ値のみを設定する必要があります。空洞円錐が使用される場合、空洞コーンの範囲を指定するために、最大シータと最小シータの両方が必要になります。

**NOZZLE FLOW RATE**      <nozzle\_flow\_rate>

**NOZZLE FLOW RATE** (ノズル流動量) は、ランダム軌道を使用した場合、ノズル全体の (水の) 質量流量 (kg/秒) を指定します。粒子追跡システムは、その流量から、必要な流量に、どれだけの粒子と超粒子 (粒子集団) が必要であるかを決定します。

**INITIAL DROPLET SPEED**                      <initial\_droplet\_speed>

**INITIAL DROPLET SPEED** (初期液滴速度) は、(特定の軌道に沿った) ランダム軌道を使用するノズルを離れる液滴の初期速度 (m/秒) を指定します。

**NOZZLE { ON, OFF }**

キーワード「**NOZZLE ON / NOZZLE OFF**」はノズルの現在の状況を示します。ノズルの初期状態を定義するだけでなく (すなわち液滴を放出しているかどうかの定義)、シミュレーション再開のために必要なノズルの状態の設定にも使用できます。シナリオからシミュレーションを不意に変更したり、前回保存済みであると言われることがあるため、コマンドスクリプトファイルの手動編集には注意が必要です。

**DROPLET OFFSET DISTANCE**      <droplet\_offset\_distance>

**DROPLET OFFSET DISTANCE** (液滴オフセット距離) は、液滴 (または粒子集団) が実際に現れ、流計算に見られるまでの (各ランダム軌道に沿った) 距離 (m) を指定します。これは液滴が隣り合うセルからトラックを開始できるため、やや大きいノズル周辺のメッシュで便利です。これにより、単一のセル内における液滴の多方向への流量問題 (局所空気における対立ドラッグの影響) を解決することができます。

**DROPLET DISTRIBUTION DATA**

キーワード「**DROPLET DISTRIBUTION DATA** (液滴分布データ)」は、後に続くコマンドが液滴サイズの範囲と、それらのランダム軌道ノズルに対する頻度を設定することを示します。少なくとも1つの液滴サイズ分布が定義される必要があります (液滴の実際のサイズ)。1つ以上の (ノズルから出た) 粒子のサイズがある場合、そのサイズとそれぞれの頻度は定義される必要があります。

**DROPLET DISTRIBUTION FILE**      <droplet\_data\_file\_name>

キーワード「**DROPLET DISTRIBUTION FILE (液滴分布ファイル)**」により、液滴分布データを異なる ASCII フォーマットデータファイルから読み込むことができます。データファイルのフォーマットは下記のように液滴のサイズ (size) や頻度 (frequency) に従います。

```
<num_droplet_sizes(N)>
<droplet_size_1> <droplet_norm_frequency_1>
<droplet_size_2> <droplet_norm_frequency_2>
.
.
<droplet_size_N> <droplet_norm_frequency_N>
```

```
NUMBER OF DROPLET SIZES    <num_droplet_sizes>
                           <droplet_size>      <normalized_frequency>
```

**NUMBER OF DROPLET SIZES** (液滴サイズの数) は、ノズルによってどれだけの異なる粒子/液滴のサイズが放出されるかを指定します。各液滴サイズには、サイズや、特定の液滴サイズの放出の (標準化された) 相対頻度が示された定義ラインが必要になります。**NUMBER OF DROPLET SIZES** ラインの下には、**<num\_droplet\_sizes>** ラインが必要で、それぞれ、各液滴サイズに対して **<droplet\_size>** (m) と **<normalized\_frequency>** ( $s^{-1}$ ) を持ちます。このノズルに対するすべての **<normalized\_frequency>** 値の合計は、1.0 まで加えます。これは、例を用いて最も例証されます。ノズルが直径 0.001、0.005、0.01m の 3 つの異なる液滴サイズを放出し、平均して 1000 の液滴を放出すると考えると、700 は直径 0.001m、200 は直径 0.005m、そして 100 が直径 0.01m となります。これらの頻度を標準化するために、0.7、0.2 および 0.1 の標準化された頻度をそれぞれ得るために、1000 (放出された合計液滴) までに分割します。これらの液滴サイズと頻度を指定するために、次のコマンドが必要です：

```
NUMBER OF DROPLET SIZES 3
    0.001  0.7
    0.005  0.2
    0.01   0.1
```

#### CONTROLLED NOZZLE CHANGES

**CONTROLLED NOZZLE CHANGES** (制御されたノズル変更) キーワードは、ノズルの時間的制御の設定ができるサブセクションを開始します。シミュレーション内 (つまり、モニターを使用)、あるいは規定された時間の条件により、独特にノズルを作動させるか作動させないことが可能です。

#### [NON] CRITICAL CHANGE

**CRITICAL CHANGE** (重要な変化) キーワードは、後に続く変化が安定問題の原因になりそうであるということを示し、重要な操作が可能である場合、これらの変化が起こると、管理された時間ステップサイズが使用されます。**NON CRITICAL CHANGE** (重要でない変化) キーワードは、後に続く変化が安定問題の原因になりそうではなく、管理された時間ステップサイズが必要ではないということを示します。

```
CHANGE NOZZLE STATE <nozzle_index> <nozzle_state> ... AT <time>
CHANGE NOZZLE STATE <nozzle_index> <nozzle_state> ... USING      MONITOR
<mon_num>
CHANGE NOZZLE STATE <nozzle_index> <nozzle_state> ...
                                USING MONITOR NAME
```

&lt;monitor\_name&gt;

**CHENGE NOZZLE STATE**(ノズル状態の変更)キーワードにより、ユーザーは、ノズルがどのようにシミュレーションデータの時間の影響を受けるかを設定できます。<nozzle\_index>は、ノズルが定義される順番から生じる、特定のノズルの固有指標です。<nozzle\_state>は0または1に設定され、0の場合、ノズルをオフにするコマンドデータとなり、1の場合、ノズルを作動させるコマンドデータとなります。AT <time>データは、変更が所定の時間で起こることを示し、また、**USING MONITOR**<mon\_num>データは、データモニター<mon\_num>があるソリューション状態によって作動させられる場合に変更が起こることを示します。また、ユーザーはフォーマット**USING MONITOR NAME** <monitor\_name>を使用した名前でデータモニターを参照することができます。

[NOT] ALLOW MULTIPLE USES

キーワード「**ALLOW MULTIPLE USES**(複数使用の許可)」は制御された変更評価装置がその他のオブジェクトの起動への変更を引き起こす可能性のある条件の監視を続けることを示しています。NOTを前に付けると、評価装置の使用は一度のみとなります。

## 6.2.12 NOZZLE CONDITION(ノズル条件)の例

次の例は、空洞円錐(真っ直ぐ下向きから45°と90°の間)内で100のランダム軌道と、20°C(293K)で2kg/秒の水流量を持つ、下向きの単一ノズル(0.5、2.4、3.2)と、直径0.01mと直径0.02mの2つの液滴サイズを同じ頻度で生成するノズルを指定するための、ノズル条件セクションの使用を説明しています。壁の相互作用は、壁に衝突したときに消える液滴を持ちます。初期液滴速度は1.0m/秒で、液滴はノズル中心から2cm(0.02m)のところからスタートします。

### NOZZLE CONDITIONS

USE DEGREES

WALL INTERACTION REMOVE

NUMBER OF NOZZLES

NUMBER OF INJECTIONS PER TIMESTEP 1

NUMBER OF GAS SWEEPS PER PARTICLE TRACKING 1

DEFINE NOZZLE

NOZZLE ON

POSITION 0.5 2.4 3.2

ORIENTATION NORMAL 0.0 -1.0 0.0

NUMBER OF TRAJECTORIES 100

NOZZLE TRAJECTORY TYPE RANDOMIZED

THETA MIN 45

THETA MAX 90

WATER TEMPERATURE 293

HOLLOW CONE

NOZZLE FLOW RATE 2.0

INITIAL DROPLET SPEED 1.0

DROPLET OFFSET DISTANCE 0.02

DROPLET DISTRIBUTION DATA

NUMBER OF DROPLET SIZES 2

0.01	0.5
0.02	0.5

END

END

### 6.2.13 形状の設定(GEOMETRY SETUP)

#### GEOMETRY SETUP

**GEOMETRY SETUP(形状の設定)**のキーワードは、「.smg」形状ファイルにおいて提供される形状を変更するために用いることができるセクションを開始します。一般的に、これらのコマンドは必要ではありません。なぜなら形状ファイル内のすべての情報は完ぺきであり、ケース指定環境において指定されたケースと整合性をもつからです。時として、追加のパッチを(手動で)追加したり、既存のパッチに穴を作成したりするために形状を変更する必要があります。またこれらのコマンドを用いて、グループソルバーにおいて用いる定常グループを指定することもできます。一般的に、これらのコマンドは領域のボックス型のサブ領域上で操作されます。適切なすべての面またはセル(コマンドに応じて)が新規の設定によって変更されます。

一般的に、パッチ索引またはボリウムソース参照基準が0の場合、指定されるパッチやボリウムソースがないことを示唆します。材料索引およびグループナンバーは、ゼロになることは決してありません。

また、ユーザーの責任において、このセクションで実行される変更がケース指定スクリプトのそのほかのコマンドと整合性をもつことを確保しなければならないことに注意します。追加的な参照基準(新規ナンバー)の作成は、ケース指定スクリプトのそのほかのセクションにおける適切なパートナー定義(追加的材料・面・ボリウムパッチなど)を必要とします。

```
SET FACES TO PATCH NUMBER <new_face_patch_index>
    USE REGION      <low_x> <low_y> <low_z> <high_x> <high_y> <high_z>
    FACES NORMAL TO      <face_x_normal> <face_y_normal> <face_z_normal>
END
```

**SET FACES TO PATCH NUMBER(パッチナンバーに面を設定する)**のキーワードにより、どの形状面が境界パッチ識別子を<new\_face\_patch\_index>(新規面パッチ索引)によって設定された新規索引に変更するかを指定するサブセクションを開始します。USE REGION(範囲を使用する)コマンドは、「箱のような」立方体の範囲を指定します。その中で、FACES NORMAL TO(垂直な面)コマンドによって指定されたすべての正確な方向の完全に包含された面は、それぞれのパッチナンバーを変更します。USE REGION(範囲を使用する)コマンドは、立方体が<low\_x>、<low\_y>、<low\_z>、および<high\_x>、<high\_y>、<high\_z>座標の限界によって完全に指定されることを期待します。FACES NORMAL TO(垂直な面)コマンドは、<face\_x\_normal>、<face\_y\_normal> および<face\_z\_normal>によって指定された単位直角ベクトルをとり、これを用いてUSE REGION(範囲を使用する)コマンドによる面と比較します。提供された直角方向に適合する面のみがパッチ索引を変更します。

```
SET FACES TO POROSITY VALUE <new_porosity_value>
    USE REGION <low_x> <low_y> <low_z> <high_x> <high_y> <high_z>
    FACES NORMAL TO <face_x_normal> <face_y_normal> <face_z_normal>
END
```

SET FACES TO POROSITY VALUE (表面を多孔性値に設定) キーワードは、形状表面が <new\_porosity\_value> で設定された新しい表面多孔性値を持つように指定するサブセクションを開始します。USE REGION (使用領域) コマンドは、(FACES NORMAL TO コマンドで指定された正しい方向の) 完全に含まれた表面が、変更された表面多孔性値を持つ「箱のような」立方体の領域を指定します。USE REGION (使用領域) コマンドは、その立方体が <low\_x> <low\_y> <low\_z> と <high\_x> <high\_y> <high\_z> 座標の範囲で完全に指定されることを期待します。FACES NORMAL TO コマンドは、<face\_x\_normal>、<face\_y\_normal>、<face\_z\_normal> で指定された単位法線ベクトルをとり、これを USE REGION (使用領域) コマンドによる表面との比較に使用します。与えられた法線方向と合う表面のみが、変更された表面多孔性値を持ちます。

```
SET CELLS TO MATERIAL NUMBER      <new_material_number>
    USE REGION    <low_x> <low_y> <low_z> <high_x> <high_y> <high_z>
END
```

SET CELLS TO MATERIAL NUMBER (材料ナンバーにもとづいてセルを設定する) のキーワードにより、どの形状セルが材料索引を <new\_material\_number> (新規材料ナンバー) によって設定された新規材料ナンバーに変更するかを指定するサブセクションを開始します。USE REGION (範囲を使用する) コマンドは、「箱のような」立方体の範囲を指定します。その中で、完全に包含されたセルの材料ナンバーが変更されます。USE REGION (範囲を使用する) コマンドは、立方体が <low\_x>、<low\_y>、<low\_z>、および <high\_x>、<high\_y>、<high\_z> 座標の限界によって完全に指定されることを期待します。

```
SET CELLS TO SOURCE NUMBER <new_source_patch_number>
    USE REGION    <low_x> <low_y> <low_z> <high_x> <high_y> <high_z>
END
```

SET CELLS TO SOURCE NUMBER (ソースナンバーにもとづいてセルを設定する) のキーワードにより、どの形状セルがボリュームソースパッチナンバーを <new\_source\_patch\_number> (新規ソースパッチナンバー) によって設定された新規パッチ番号に変更するかを指定するサブセクションを開始します。USE REGION (範囲を使用する) コマンドは、「箱のような」立方体の範囲を指定します。その中で、完全に包含されたセルのソースパッチナンバーが変更されます。USE REGION (範囲を使用する) コマンドは、立方体が <low\_x>、<low\_y>、<low\_z>、および <high\_x>、<high\_y>、<high\_z> 座標の限界によって完全に指定されることを期待します。

```
SET CELLS TO GROUP NUMBER <new_group_number>
    USE REGION    <low_x> <low_y> <low_z> <high_x> <high_y> <high_z>
END
```

SET CELLS TO GROUP NUMBER (グループ番号にもとづいてセルを設定する) のキーワードにより、どの形状セルがグループメンバーシップ索引を <new\_group\_number> によって設定された新規グループ番号に変更するかを指定するサブセクションを開始します。USE REGION (範囲を使用する) コマンドは、「箱のような」立方体の範囲を指定します。その中で、完全に包含されたセルのグループ番号が変更されます。USE REGION (範囲を使用する) コマンドは、立方体が <low\_x>、<low\_y>、<low\_z>、および <high\_x>、<high\_y>、<high\_z> 座標の限界によって完全に指定されることを期待します。



```
SET CELLS TO POROSITY VALUE      <new_porosity_value>
    USE REGION    <low_x> <low_y> <low_z> <high_x> <high_y> <high_z>
END
```

SET CELLS TO POROSITY VALUE (多孔性値にセルを設定) キーワードは、形状セルが <new\_porosity\_value> によって設定された新しい多孔性値に変更された体積多孔性を持つように指定するサブコマンドを開始します。USE REGION (使用領域) コマンドは、完全に含まれるセルが変更された体積多孔性値を持つ「箱のような」立方体の領域を指定します。USE REGION (使用領域) コマンドは、その立方体が <low\_x> <low\_y> <low\_z> と <high\_x> <high\_y> <high\_z> 座標の範囲で完全に指定されることを期待します。

#### 6.2.14 形状の設定(GEOMETRY SETUP)の例

以下の例は、所定のエリアおよび面方向に関する新規の面パッチを作成するための形状設定セクションの用法を示すものです。ユーザーは、変更を必要とする面の数値的な範囲限界を知っていることを前提とします。これらの面は、z=1.4m におけるz方向の面に関して0.2m x 0.2mのXY のエリアを指定するもので、始点はx=0.2m およびy=0.8m です。表示されたコマンドは、選択された面が面パッチナンバー7 (これはケース指定スクリプトのBOUNDARY CONDITIONS (境界条件) セクションで定義する必要があります) を用いるように設定します。

##### GEOMETRY SETUP

```
    SET FACES TO PATCH NUMBER    7
        USE REGION    0.2      0.8      1.3999  0.4      1.0      1.4001
        FACES NORMAL TO    0.0      0.0      1.0
    END
END
```

#### 6.2.15 DEFINE TOXICITY (毒性定義)

##### DEFINE TOXICITY

DEFINE TOXICITY (毒性定義) キーワードは、毒性モデルの操作を指定するのに使用できるセクションを開始します。

```
CRITICAL LER RANGE <critical_min_ler> <critical_max_ler>
```

CRITICAL LER RANGE (臨界LER範囲) は、LER範囲の最小・最大範囲を指定します。

```
MASS OPTICAL DENSITY      <mass_optical_density>
```

MASS OPTICAL DENSITY (質量光学濃度) により、ユーザーは現在のシミュレーション内の煙の質量光学濃度を設定できます。

```
CO YIELD COEFFICIENTS      <a_co> <b_co> <c_co> <d_co>
```

CO YIELD COEFFICIENTS (CO収率係数) により、ユーザーは燃焼の性質に基づいたCOの収率係数を指定できます。



**CO2 YIELD COEFFICIENTS** <a\_co2> <b\_co2> <c\_co2> <d\_co2>

**CO2 YIELD COEFFICIENTS**(CO2収率係数)により、ユーザーは燃焼の性質に基づいたCO2の収率係数を指定できます。

**O2 CONSUMED COEFFICIENTS** <a\_o2> <b\_o2> <c\_o2> <d\_o2>

**O2 YIELD COEFFICIENTS**(O2収率係数)により、ユーザーは燃焼の性質に基づいたO2の消費係数を指定できます。

**STOIC MASS RATIO AIR FUEL** <stoic\_mass\_ratio\_air\_fuel>

**STOIC MASS RATIO AIR FUEL**(空気と燃料の化学量論質量比)により、ユーザーは空気と燃料の化学量論質量比を指定できます。これは、シミュレーションシナリオが燃焼を使用していない場合、つまり、毒性種が炎の熱放出率から算出されない場合のみ必要です。

**STOIC MASS RATIO H2O CO2** <stoic\_mass\_ratio\_h2o\_co2>

**STOIC MASS RATIO H2O CO2**(H2OとCO2の化学量論質量比)により、ユーザーはH2O(水蒸気)とCO2の化学量論質量比を指定できます。これは、シミュレーションシナリオが燃焼を使用していない場合、つまり、毒性種が炎の熱放出率から算出されない場合のみ必要です。

**EFFECTIVE HEAT OF COMBUSTION** <effective\_heat\_of\_combustion>

**EFFECTIVE HEAT OF COMBUSTION**(燃焼の有効熱)により、ユーザーは熱放出炎が表す燃料のタイプに対する燃焼値の有効熱を設定できます。これは、シミュレーションシナリオが燃焼を使用していない場合、つまり、毒性種が炎の熱放出率から算出されない場合のみ必要です。

**AMBIENT OXYGEN MASS FRACTION** <ambient\_oxygen\_mass\_fraction>

**AMBIENT OXYGEN MASS FRACTION**(周囲酸素質量比)により、ユーザーは周囲の状況の酸素の質量比を設定できます。これは、シミュレーションシナリオが燃焼を使用していない場合、つまり、毒性種が炎の熱放出率から算出されない場合のみ必要です。

**NORM YIELD CO** <norm\_yield\_co>

**NORM YIELD CO**はHCNの毒性計算に使用する規格化されたCOガス種を指定します。燃料としてナイロンのデフォルト値は1.49です。

**NORM YIELD HCN** <norm\_yield\_hcn>

**NORM YIELD HCN**はHCNの毒性計算に使用する規格化されたHCNガス種を指定します。燃料としてナイロンのデフォルト値は0.24です。燃料に窒素を含まないとき、この値は0.0に設定され、生成されるHCNはなしとなります。

STOIC O2 FUEL MR    <stoic\_o2\_fuel\_mr>

STOIC O2 FUEL MR (Fuel Mass Ratioの化学量論O2)により、ユーザーは毒性モデルでのHCN計算のこの値を設定することが可能です。燃料としてナイロンのデフォルト値は2.62です。

## 6.2.16 初期値(INITIAL VALUES)

### INITIAL VALUES

シミュレーションを開始するとき、それぞれの解決される変数の初期値を設定するには2通りの方法があります。実行がこのケース指定ファイルのRUN PROBLEM(問題の実行)セクションにあるRESTART(再起動)として定義される場合、それらの初期値は続行するシミュレーションの一部として再起動データベースから読み込まれます。または、このセクションを用いて任意の既知の変数の初期値を設定します。ここまたは別の場所で設定されない変数は、シミュレーションの開始時に、すべてのノードでデフォルトが0.0の値に設定されます。

<variable\_name>        <initial\_value> (変数名、初期値)

このシンタックスは、変数がすべてのセルに関して一定であることがわかっている場合に、変数の初期値を設定するために利用できます。任意の標準または追加変数をこれらのコマンドにおいて用いることができます。

```
<variable_name>
  VALUE            <initial_set_value>
  COEFFICIENT     <initial_set_coefficient>
  POWER   <initial_set_power>
  DIRECTION       { X, Y, Z }
END
```

ユーザーが任意の変数関するデフォルト以外の初期値を設定したい場合は、変数名を定義サブセクションから始めます。その次に、別の行で、値(VALUE)、デフォルトは0.0、係数(COEFFICIENT)、デフォルトは0.0、力(POWER)、デフォルトは0.0、および方向(DIRECTION)、デフォルトは X方向(Y および Z方向の可能性もあり)の数値を設定します。すると、以下の方程式によって指定される初期値がノードに与えられます。

$$\text{value}_{\text{node}} = \text{VALUE} + \text{COEFFICIENT} * \text{CENTRE}(\text{DIRECTION})^{\text{POWER}}$$

ここで、CENTRE( DIRECTION )は、選択されたDIRECTION(方向)におけるノードの座標です。

変数名は大文字とし、追加変数の名前場合は、EXTRA VARIABLES(追加変数)セクションで名前を設定したときと同様にします。また、ケース指定ファイルパーサが正確に認識できるように、表示どおり(字間のシングルスペースも含めて)正確に入力しなければなりません。ケース指定ファイルのそのほかのセクションも、これらの変数名をキーワードとして用います。

```
USE REGION <low_x> <low_y> <low_z> <high_x> <high_y> <high_z>
      Initialisation commands as above. (上記と同様の初期化コマンド)
END
```

また、上記の概念とコマンドを用いて、幾何学的な範囲内の変数の初期値を定義することも可能です。この場合、初期化コマンドのセットは、USE REGION(範囲を使用する)サブセクションにおいて一括されます。この範囲は、低位のx-、y-、z-および高位のx-、y-、z-座標を区切る6つの浮動小数点(floating point)の数字によって定義されます。これらの範囲は定義の順番で解釈および適用されるため、後でなされた範囲の定義(および囲まれた初期化コマンド)は、早くなされた範囲定義を上書きします。同様に、範囲ベースのコマンドの後で定義されたグローバル(領域全体)初期化コマンドは、範囲ベースのコマンドを上書きするように適用されます。したがって、定義の順序は、望む効果を表すように慎重に選択します。

```
USE REGION MATERIAL(範囲の材料を使用する) <material_number> (材料ナンバー)
      Initialisation commands as above. (上記と同様の初期化コマンド)
END
```

また、範囲定義の代替形式もあります。これは範囲を定義するために特定の材料を用いるものです。これは、特定の材料を用いるセルのみが提供されたコマンドによる定義に従って初期化されることを意味します。

```
RECALCULATE
      <variable_name>
END
```

RECALCULATE(再計算)サブセクションでは、再起動したシミュレーションが(再起動ファイルから読み込まれた)特定の変数の初期値を新たに計算した値を用いて上書きできます。これは、慎重に扱わなければならないエキスパートコントロールオプションです。

## 6.2.17 初期値(INITIAL VALUES)の例

以下のセクション使用例は、U-VELOCITY(速度U)が領域全体を通じて1.0の一定の初期値をとる設定を示すものです。V-VELOCITY(速度V)は、領域全体を通じて定数値0.2をとります。TEMPERATURE(温度)の初期値は、係数300.0を用いる距離xと線形関係にあります。(0.0, 0.0, 0.0)から(0.1, 0.2, 0.1)までの範囲内のセルの小さいブロックは、ENTHALPY(エンタルピー)の初期値が1000.0に設定されます。また、材料番号2を用いるすべてのセルは、TEMPERATURE(温度)の初期値が350に設定されます。このような初期化は、以下のケース指定コマンドによって設定されます。ここで言及されていませんが、使用されるそのほかの変数は、すべて上述のように0.0に初期化されます。

```
INITIAL VALUES
      U-VELOCITY          1.0
      V-VELOCITY          0.2
      TEMPERATURE
            VALUE          0.0
            COEFFICIENT    300.0
            POWER          1.0
            DIRECTION      X
      END
```

```

USE REGION          0.0 0.0 0.0 0.1 0.2 0.1
      ENTHALPY      1000.0
END
USE REGION          MATERIAL      2
      TEMPERATURE  350.0
END
END

```

## 6.2.18 材料プロパティ(MATERIAL PROPERTIES)

### MATERIAL PROPERTIES

ソリューション領域における材料のプロパティは、このセクションで設定する必要があります。

#### NUMBER OF MATERIALS <number\_of\_materials> (材料ナンバー)

このセクションで設定される最初の量は、ソリューション領域における材料の数値です。この値を設定しない場合は、デフォルト値が1になります。

#### CONTROLLED MATERIAL CHANGES (材料変更の制御)

```

{ CRITICAL CHANGE, NON CRITICAL CHANGE }
[ NOT ] ALLOW MULTIPLE USES
[ NOT ] USE OBJECT REFERENCES
CHANGE MATERIAL    <m_o_index> <mat_num> ...
                  AT <change_time>
CHANGE MATERIAL    <m_o_index> <mat_num> ...
                  USING MONITOR [ NUMBER ] <monitor_num>
CHANGE MATERIAL    <m_o_index> <mat_num> ...
                  USING MONITOR NAME <monitor_name>
END

```

領域で用いる材料の番号が定義されたら、ユーザーは制御された材料ナンバーの変更を定義できます。これらは、所定のシミュレーション時間において、あるいは特定のデータモニターにより初期化可能な変更にて、一定の「オブジェクト」の挙動を変更するために、**過渡(TRANSIENT)**シミュレーションで用いられます。データモニターは別で定義され、コントロールされる変更を開始するために検出する必要があるアクティブ(非アクティブ)条件を定義する規定の臨界値とフィールドソリューション値を比較します。これらの変更は、総当たり法によって実行されます。この方法は、現在の材料「範囲」に関する適切な材料No. <mat\_num>を、<m\_o\_index>によって検索される材料オブジェクトの一部である全セルに単に割り当てるものです。これは前回使用した方法から材料変更への重要な修正であり、そこではある材料No.からもう一つのNo.への交換が行われます。新規の方法は非常に柔軟な方法であり、可逆的変化が可能であり、また材料No.が既に使用済みのNo.であったとしても、セルはそのオリジナルとなる親オブジェクトの知識をそのままにすることができます。SMARTFIREは、この名前を材料パッチの重要な定義要素として扱い、材料番号を形状ファイルにおいて材料基準と組み合わせる単なる基準索引として扱います。シミュレーション時間にコントロールされる変化は、<change\_time>(変更時間)の時間値を用います。

必要なセルのみが材料を変更するように注意が必要です。これは、ユーザーが、同一の名前およびタイプの材料パッチを2つ以上定義しなければならないことを意味することがあります。この値に達するか経

過した場合、現在、材料オブジェクトのパッチ検索番号<m\_o\_index>を参照する全てのセルは、その後、材料番号<mat\_num>における材料パッチ定義を用います。逆に、データモニターにコントロールされる変更は、データモニター（検索No.またはモニタ名から選択）に、変更を適用すべきかどうかを決定するように問い合わせます。

「ALLOW MULTIPLE USES(複数の使用を許可)」は続いてコントロールされた変更は、変更が正しくなるたびに毎回適用されます。逆に有効な複数の使用がない場合は、コントロールされたそれぞれの変更は1回限り適用され、1回用いられると非アクティブになります。

「USE OBJECT REFERENCES(オブジェクトリファレンスを使用)」により、続くコントロール変更コマンドは、パッチNo.の代わりに、最初の識別索引をオブジェクト参照として解釈します（前のバージョンと同様です）。これはデフォルトの動作モードです。逆に、オブジェクトリファレンスを使用しないと、各コントロール変更は、オブジェクトリファレンスというよりは、パッチ識別子と解釈される最初の識別引数を持ちます。これはソフトウェアが識別索引を使用したこれまでの方法で、特定オブジェクトではないグローバルパッチの変更を可能にすると同様、過去の互換性を与えるために提供されます。

CRITICAL CHANGE(重要な変化)とNON CRITICAL CHANGE(重要でない変化)キーワードは、後に続く変化コマンドが、シミュレーションを中断しそうかどうか、したがって、CRITICAL CHANGE HANDLER(重要な変化装置)によって提供される、管理された時間ステップ操作が必要かどうかを示します。

#### [NOT] ALLOW MULTIPLE USES

キーワード「ALLOW MULTIPLE USES(複数の使用を許可)」はコントロール材料変更評価装置がその他のオブジェクトの起動に変更する可能性のある条件の監視を続けることを示します。NOTを前に付けると、評価装置は一度のみ使用されます。

#### MATERIAL NUMBER(材料番号) <material\_number>

材料ナンバーが確認されたら、それぞれの材料のプロパティを順番に記述できます。MATERIAL NUMBER(材料ナンバー)のキーワードは、サブセクションを開始します。その中で、<material\_number>で示された材料のプロパティを設定します。プロパティを設定するためのいくつかの方法があります。それらを以下に説明します。デフォルトでは、プロパティはAIRと呼ばれるバンドルにおいて設定されます。プロパティが1回より多く定義されると、当該プロパティに関しては最後の定義のみが適用されます。

#### DESCRIPTION <description\_of\_material>

DESCRIPTION(説明)のキーワードにより、材料の説明が設定されます。現在、この説明文は破棄されていますが、将来的にSMARTFIREのケース指定ファイルおよびユーザーインターフェースにおける改良された材料認識のために用いることが構想されています。

#### MATERIAL NAME <material\_name>

このキーワードにより、材料名が設定されます。MATERIAL NAME(材料名)は、複数の材料パッチに



において定義された類似の材料を識別するために用います。SMARTFIREは、類似しているが同一でない2つの材料名を識別できないことがあるため、同じタイプの2つ以上のパッチを定義するときには十分な注意が必要です。2つ以上の材料パッチが同じ<material\_name>(材料名)を用いるときは、一定の<material\_name>の最後の材料パッチ定義のみが格納されます。この後者の材料定義は、既存の定義に到達するために用いられる<material\_number>(材料ナンバー)にかかわらず、この実際の材料を基準とするすべてのセルに適用されます。

**NATURAL STATE { SOLID(固体), LIQUID(液体), GAS(気体) }**

**NATURAL STATE(自然状態)**コマンドにより、現在のシミュレーションに関して定義されたそれぞれの材料のもっとも一般的な状態を識別できます。この情報は、ソリューション領域内の障害物の正確な処理のために重要です。材料の自然状態に値が与えられていない場合、コードはこの材料に関して定義されたプロパティにもとづいて最適な推測をおこないます。現在、あらゆる材料のフェーズ変更の可能性はないことが想定されています。

**CONSTANT**      <property\_name> <property\_value>  
**TABLE DEFINED**      <property\_name> <property\_table\_file\_name>

**CONSTANT(一定)**プロパティラインにより、任意の材料プロパティに一定の値<property\_value>を設定できます。**TABLE DEFINED(表定義)**プロパティラインにより、ユーザーはプロパティの温度依存作用を定義する、いくつかの温度とプロパティ値の組を持つデータ表を指定できます。CFD Engineは、提供されたデータ表から、プロパティ値を決定するために最新セル温度を使用します。この方法で設定できるプロパティは、**CONDUCTIVITY(伝導性)**、**SPECIFIC HEAT(比熱)**、**DENSITY(濃度)**、**LAMINAR VISCOSITY(層状粘度)**、または、単なる**VISCOSITY(粘度)**です。プロパティ名は大文字で入力し、プロパティを識別するために、パーサに適用できるところに空白を入れなければなりません。

この行により、定数値<property\_value>に対する材料プロパティのいずれかの設定が可能になります。この方法で設定できるプロパティは、**伝導率(CONDUCTIVITY)**、**比熱(SPECIFIC HEAT)**、**密度(DENSITY)**、**層状粘度(LAMINAR VISCOSITY)**、あるいは単純に**粘度(VISCOSITY)**です。パーサがプロパティを認識できるように、プロパティ名は大文字で入力し、適宜字間のシングルスペースを含めます。

**POLYNOMIAL DEFINED**      <property\_name>  
                  **TEMPERATURE RANGE**   <range\_low\_temp> <range\_high\_temp>  
                  **POLYNOMIAL COEFFICIENTS**   <a>   <b>   <c>   <d>  
**END**

「**POLYNOMIAL DEFINED(定義した多項式)**」のプロパティラインにより、選択した材料プロパティの設定を      規定した気温内の局所温度に基づく区分的多項式での定義することが可能になります。プロパティ値は下記の式より算出可能です。:

<new\_property\_value> = <a> T3 + <b> T2 + <c> T + <d>

ここで<a>から<d>は定義された多項式係数(規定した温度範囲の)で、Tは更新中のセル内の温度となります(単位: Kelvin)。温度の範囲と多項式係数のラインは2つ一組で、表示と同様の並び(多項式係数の後に温度範囲)になるはずで、最大で5つの別の温度範囲の多項式があります。予測不可能な結果



を避けるため、オーバーラップした温度範囲の使用は避けた方がいいでしょう。

#### DENSITY IDEAL GAS LAW

MOLECULAR WEIGHT <molecular\_weight>

理想気体法則 (ideal gas law) を用いて密度 (density) を計算できます。

密度計算のために理想気体法則が適用されるとき、**非ブシネスク・フラグ**をアクティブにします。なぜなら、**ブシネスク**近似は、圧縮性ガスの計算と互換性がないからです。

#### DENSITY IDEAL GAS LAW (密度理想気体)

COMBUSTION MOLECULAR WEIGHTS (燃焼分子量) (fmw) (omw) (dmw)

COMBUSTION EQUATION (燃焼方程式) (pf) (po) (so) (sh) (sc) (hr) (ce)

ここで、短縮された識別子は、以下の値を意味します。

(fmw) = <fuel\_molecular\_weight> (燃料の分子量)

(omw) = <oxidant\_molecular\_weight> (酸化性物質の分子量) 酸化性物質の分子量

(dmw) = <dilutant\_molecular\_weight> (希釈物の分子量)

(pf) = <pure\_fuel\_fraction> (純粋燃料留分)

(po) = <pure\_oxidant\_fraction> (純粋酸化性物質留分)

(so) = <stoichiometric\_o2> (正規組成\_o2)

(sh) = <stoichiometric\_h2o> (正規組成\_h2o)

(sc) = <stoichiometric\_co2> (正規組成\_co2)

(hr) = <heat\_of\_reaction> (反応熱)

(ce) = <combustion\_efficiency> (燃焼効率)

燃焼を使用しているときは、理想気体法則 (ideal gas law) を用いて密度を計算しなければなりません。また燃焼がその内部で発生する「流体」である材料も、発生するすべての燃焼に関する燃焼方程式を定義します。**COMBUSTION MOLECULAR WEIGHTS (燃焼分子量)**は、燃料の分子量 ( $\text{CH}_4$ -メタンなど)、酸化性物質 (一般的に  $\text{O}_2$ )、および希釈物 (一般的に純粋な  $\text{N}_2$ 、窒素として指定) を指定します。**COMBUSTION EQUATION (燃焼方程式)**は、適用される実際の燃焼方程式を定義します。これは、単純化された燃焼化学の方式で、単純な化学反応方程式の形式をとります。標準空気におけるメタンの燃焼の例として、方程式は以下ようになります。



燃焼方程式の一般的な形式は以下の形式で書かれます。



ここで、 $n_F$  = 燃料のモル、 $n_O$  = 酸化性物質のモル、 $n_C$  = 二酸化炭素のモル、 $n_H$  = 水のモル、F = 燃料、 $\text{O}_2$  = 酸素、 $\text{CO}_2$  = 二酸化炭素、および  $\text{H}_2\text{O}$  = 水です。

または、(ケース指定燃焼方程式の設定のための値を提供する) 正規組成形式においては、以下のようになります。



燃焼方程式のすべての値は、(定義に従って)反応熱および燃焼効率とともに入力する必要があります。燃焼効率は、一般に0.8とされ、ユーザーが気体バーナーの特性をより適切に指定できるように提供されます。<pure\_fuel\_fraction>(純粋燃料留分)によってユーザーは燃料質量ソースの燃料吸気口である燃料の留分を指定できます。また<pure\_oxidant\_fraction>(純粋酸化性物質留分)によって、標準空气中(あるいは、空気の吸気口が使用されている場合はその吸気口)に存在している酸素の留分を指定できます。

COMBUSTION SPECIFIC HEATS <fuel\_s\_h> <ox\_s\_h> <prod\_s\_h> <dil\_s\_h>

COMBUSTION SPECIFIC HEATS(燃焼比熱)により、ユーザーは燃焼ガスに対して一定の比熱を設定できます。これらは、(燃焼モデルを使用する際に)存在するガスの質量比に基づいた、より代表的な集団ガス比熱を与えるために使用されます。比熱は、純粋燃料、オキシダント、生成物(通常、COとCO2の混合物)、希釈物質(ほとんどはN2)のそれぞれに対するものです。

COMBUSTION OXIDANT LIMIT <oxidant\_limit>

<oxidant\_limit>は、オキシダントの限界を指定します(それ以降、燃焼は起こらない)。これは、火災の中核部でのオキシダントの利用可能性が、周囲の燃焼によるオキシダントの使用によって制限されている、換気が悪い部屋に対し、わずかにより現実に近い燃焼作用を与えることができます。

LATENT HEAT <latent\_heat\_value>

LATENT HEAT(潜熱)のキーワードにより、材料の線熱を指定できます。この値は、SMARTFIREの現在のバージョンでは使用されません。

THERMAL EXPANSION <thermal\_expansion\_coefficient>

THERMAL EXPANSION(熱膨張)のキーワードにより、材料の熱膨張係数(thermal expansion coefficient)を指定できます。

DISCONTINUITY HANDLING { SLIP(滑らか), NO SLIP(滑らかでない) }

DISCONTINUITY HANDLING(不連続性の処理)のキーワードにより、ユーザーは気体または液体材料が固体の表面とどのような相互作用をおこなうかを選択できます。このキーワードは、そのほかすべての固体との相互作用に関する同様の処理を引き起こすため、気体または液体材料に関してのみ追加されます。

SURFACE EMISSIVITY <surface\_emissivity\_value>

SURFACE EMISSIVITY(表面放射率)のキーワードにより、ユーザーは固体材料が熱放射の相互作用に関してどのように振舞うかを指定できます。表面放射率の値は、当該の材料定義を用いるすべての固体オブジェクトに適用されます。

**USE ABSORPTIVE MATERIAL      FOR <gas\_species\_absorbed>**

**USE ABSORPTIVE MATERIAL**(吸収物質の使用)キーワードにより、物質は、選択されたガス種に対し吸収表面として働くことができます。現在、HCLまたは任意のガス種のみが吸収可能です。

**ABSORPTION COEFFICIENTS      <b1> <b2> <b3> <b4> <b5> <b6> <b7>**

**ABSORPTION COEFFICIENTS**(吸収係数)は、ガス種HCLがどのように材料表面に吸収されるかを示すパラメータを指定します。材料表面は、物理的固体(障害物のような)または単に吸収すると設定される材料タイプを持つ、薄いプレートや領域表面となります。

<gas\_species\_name>                      DEPOSITION AREA MODIFIER <area\_modifier>  
 <gas\_species\_name>                      DEPOSITION METHOD <deposition\_method>  
 <gas\_species\_name>                      MAX                      DEPOSITION                      TEMPERATURE  
 <max\_deposition\_temp>  
 <gas\_species\_name>                      PARTITION COEFFICIENT <partition\_coeff>

任意のガス種モデルの表面沈着作用は、選択された<deposition\_method>に従って、様々な方法で設定されます。第1の方法は、単に乾性沈着速度を使用します。これはつまり、ガス分子が表面に落ち続け、次々に層を作るということです。平衡は認められず、分子は表面温度が臨界最高沈着表面温度よりも下である限り、付着し続けます。第2の方法は、平衡定数、沈着速度、種の拡散から計算された、最小沈着速度を使用します。沈着範囲変更要素は、表面が沈着結果に与える影響をはかる、増倍率です。これは、有効沈着範囲が、単純な平面図範囲よりも約100倍大きくなる得る、でこぼこ、多孔性、または繊維/織りの表面(カーペットなど)に有用です。

**USE BURNABLE MATERIAL**

**USE BURNABLE MATERIAL**(可燃性材料の利用)キーワードは、現在の材料が可燃性材料として扱われることを示します。これはつまり、材料によって、炎が表面に広がり、そして火炎拡散が形状に従って、熱や燃料(及び多分他の火災による生成物)の放出を促進するということを意味しています。材料の各化粧タイルは別個のソースと考えられ、熱(または燃料)は、隣接セルに放出されます。炎は表面から表面へ、外面を広がりますが、発火基準が満たされれば、材料の離れた部分も発火します。つまり、炎が可燃性表面を広がるには、4つのメカニズム1)臨界表面温度、2)表面に隣接する臨界炎(ガス)温度、3)燃えている化粧タイルもしくはその近辺からの直接拡大、4)臨界放射熱流束 があります。

**IGNITION TEMPERATURE                      <ignition\_temperature>**

**IGNITION TEMPERATURE**(発火温度)は、材料が発火すると考えられる表面温度を(Kで)指定します。非常に高い値を設定すると、表面温度による発火が不可能になります。

**FLAME IGNITION TEMPERATURE                      <flame\_ignition\_temperature>**

**FLAME IGNITION TEMPERATURE**(火炎着火温度)は、表面が発火する原因と考えられる、表面に隣接したガス温度(K)です。非常に高い値を設定すると、隣接する炎による発火が不可能になります。

**IGNITION TIME BY FLAME                      <time\_for\_flame\_ignition>**

**IGNITION TIME BY FLAME**(炎による発火時間)は、ガス温度が火炎着火時間を越えた後、表面が

発火するまでの遅延時間(秒)です。

**IGNITION HEAT FLUX**                      <ignition\_heat\_flux>

**IGNITION HEAT FLUX**(発火熱流束)は、表面が発火する原因となる、臨界熱流束(W/m<sup>2</sup>)です。

**IGNITION TIME BY HEAT FLUX**                      <time\_for\_heat\_flux\_ignition>

**IGNITION TIME BY HEAT FLUX**(熱流束による発火時間)は、熱放射フラックスが発火熱流束を越えた後、表面が発火するまでの遅延時間(秒)です。非常に高い値を設定すると、放射熱フラックスによる発火が不可能になります。

{ NOT USING FLAME SPREAD, USING FLAME SPREAD }

**USING FLAME SPREAD**(火炎拡散を使用)キーワードは、材料表面の隣接面からの、接触による火炎拡散を作動させます。**NOT USING FLAME SPREAD**(火炎拡散を使用しない)は、火炎拡散を不可能にします。

**FLAME UPWARD ANGLE** <flame\_upward\_angle>

**FLAME UPWARD ANGLE**(火炎上向き角度)は、上方向の火炎拡散(左右や下方向への火炎拡散とは逆)によって制御されると考えられる角度(垂直下方向は0度)です。つまり、火炎拡散角度が、指定された角度よりも大きくなった場合、炎は上方向の火炎拡散速度で広がります。

**FLAME DOWNWARD ANGLE**                      <flame\_downward\_angle>

**FLAME DOWNWARD ANGLE**(火炎下向き角度)は、下方向の火炎拡散(左右や上方向への火炎拡散とは逆)によって制御されると考えられる角度(垂直下方向は0度)です。つまり、火炎拡散角度が、指定された角度よりも小さくなった場合、炎は下方向の火炎拡散速度で広がります。

**FLAME SPREAD UPWARD RATE**                      <flame\_spread\_upward\_rate>

**FLAME SPREAD UPWARD RATE**(上方向火炎拡散速度)は、炎が上方向に広がる速度(m/秒)です。これは、火炎の上方向角度で定義された、上方向の火炎拡散にのみ適用されます。

**FLAME SPREAD LATERAL RATE**                      <flame\_spread\_lateral\_rate>

**FLAME SPREAD LATERAL RATE**(横方向火炎拡散速度)は、炎が横方向(または物質に水平)に広がる速度(m/秒)です。これは、上方向と下方向の角度の間のすべての角度と定義される、横方向の火炎拡散にのみ適用されます。

**FLAME SPREAD DOWNWARD RATE**                      <flame\_spread\_downward\_rate>

**FLAME SPREAD DOWNWARD RATE**(下方向火炎拡散速度)は、炎が下方向に広がる速度(m/秒)です。これは、火炎の下方向角度で定義された、下方向の火炎拡散にのみ適用されます。

BURN COEFFICIENTS	<burn a>	<burn b>	<burn c>	<burn d>
-------------------	----------	----------	----------	----------

```
USE TABLE HRR <hrr_table_file_name>
USE TABLE HEAT RELEASE RATE <hrr_table_file_name>
```

```
USE TABLE MASS LOSS RATE          <mass loss rate table file name>
```

```
USE TABLE SMOKE RELEASE RATE      <smoke release rate table file name>
```

```
USE TABLE HCL RELEASE RATE      <hcl release rate table file name>
```

### 6.2.19 材料プロパティ(MATERIAL PROPERTIES)の例

6-134



**MATERIAL PROPERTIES**

NUMBER OF PROPERTIES	2
DEFINE MATERIAL NUMBER	2
MATERIAL NAME	Ideal-Air
NATURAL STATE	GAS
SPECIFIC HEAT CONSTANT	980.0
DENSITY IDEAL GAS LAW	
MOLECULAR WEIGHT	16
DISCONTINUITY HANDLING	NO SLIP

END

END

**6.2.20 補助方程式(AUXILIARY EQUATIONS)****AUXILIARY EQUATIONS**

SMARTFIREには、ケース指定ファイルによって入力できるいくつかの補助方程式を計算する機能があります。現在のところ、この機能はかなり単純なものです。なぜなら、単純な数値の演算子、すなわち「+」、「-」、「\*」、「/」のみを用いて、既知の変数、一時変数、および定数を組合せることに限られるからです。SMARTFIREの現行バージョンは、99以下の一時変数を提供します。これらは「T1」から「T99」までの名前が付いており、それぞれの方程式においてやはり99以下の中間段階を考慮します。方程式の行の構造は以下のとおりです。

<VAR>= <ITEM#1> <OPERATOR> <ITEM#2>

これはきわめて単純な式のフォーマットですが、かなり複雑な式を構築するための中間的な一時変数とともに用いることができます。すべての式の評価は、それぞれのアルゴリズムスイープの開始時に向かって実施されます。

NUMBER OF EQUATIONS (式番号)<number\_of\_equations>

補助方程式自体が定義される前に、補助方程式の番号を定義しなければなりません。これは、式を保持するためのストレージの割り当てがなされるために必要です。

```
DEFINE EQUATION NUMBER <equation_number>
    <variable_item> = <item#1> <operator> <item#2>
END
```

DEFINE EQUATION NUMBER(式番号の定義)のセクションにより、99以下の部分的な数式からそれぞれの方程式を構築できます。それぞれの数式は、<item(項目)#1>と<item#2>の間の<operator>(演算子)の操作の実行結果である代入量とともに、代入形式に従います。<variable\_item>(変数項目)は、変数リストからとられた認識される変数名、ユーザー定義の追加的な変数名、または「T1」から「T99」までの一時変数の1つである可能性があります。<item#1>および<item#2>の数式要素は、認識される変数、ユーザー定義の追加変数、以前に用いた一変数、または明示的な定数値の可能性があります。<operator>は、加算(+)、減算(-)、積算(\*)、および乗算(/)のいずれかの可能性があります。現在実行される検査は、完璧には満たないものであるため、これらのケース指定環境において、当該挙動は未定義であることから、数式ステップが未設定の一時変数や未設定の変数を参照しないことを保証するのは



ユーザーの責任です。

### 6.2.21 補助方程式(AUXILIARY EQUATIONS)の例

このセクションの例を以下に示します。最初に、このセクションでは、式番号は1に設定されます。実際の(仮定の例での)解析される方程式を以下に示します。

**ABSORPTION\_COEFF(吸収係数) = 1800.0 \* PM \* (YS / PS) \* TEMPERATURE(温度)**

ここで、PMは混合物の密度、YSは煙濃度、およびPSは煤煙の密度(2000.0)です。

この方程式は一時的な中間体を伴う式として以下のように分解できます。

```
T1 = 1800.0 * DENSITY(密度)
T2 = SMOKE(煙) / 2000.0
T3 = T2 * TEMPERATURE(温度)
ABSORPTION_COEFF (吸収係数)= T1 * T3
```

この特定のケースで、新規のABSORPTION\_COEFF(吸収係数)は、通常計算される値のかわりに、流れアルゴリズムの全体にわたって用いられます。上記の方程式は、以下のコマンドによって定義されます。

```
AUXILIARY EQUATIONS
  NUMBER OF EQUATIONS          1
  DEFINE EQUATION NUMBER      1
      T1                      =    1800.0 * DENSITY
      T2                      =    SMOKE   / 2000.0
      T3                      =    T2      * TEMPERATURE
      ABSORPTION_COEFF        =    T1      * T3
  END
END
```

### 6.2.22 境界条件(BOUNDARY CONDITIONS)

#### BOUNDARY CONDITIONS

すべての境界条件は、このセクション内で設定する必要があります。ここで用いられる数は、形状指定ファイルにおける境界パッチインジケータの数と一致しなければなりません。ケース指定ファイルは、ノードパッチ、面パッチ、およびボリュームパッチを定義するセクションを含んでいます。*SMARTFIRE*ユーザーガイドのSUPPORT FILE FORMATS(サポートファイルフォーマット)セクションには、パッチインジケータの用法に関してさらに詳しく記載されています。ノードパッチは、*SMARTFIRE*で現在使用されていません。

最初に、パッチの数を設定します。その後、個別のパッチを定義できます。デフォルトでは、面パッチは、すべての変数に関してシンメトリ条件を想定していますが、エンタルピーの場合には断熱条件を適用します。面パッチの定義において2つの条件が1つの定義されたプロパティ値と関連づけられている場合、後者の条件は前者の条件を上書きします。

### 6.2.22.1 ポイントパッチ境界条件 (Point Patch Boundary Conditions)

NUMBER OF POINT PATCHES (ポイントパッチの数) <number\_of\_patches>

ポイントパッチ自体が定義される前に、ポイントパッチの数を定義しなければなりません。入力する値は、ケース指定と形状要件の不整合性をチェックするために用いられます。

DEFINE POINT PATCH NUMBER <number\_of\_patch>

このキーワードにより、ポイントパッチナンバー<number\_of\_patch>に関連するすべての境界条件が設定されるセクションが開きます。パッチのタイプと操作を定義するには、以下のキーワードを用いることがあります。メッシュ適合が考慮されていないため、ポイントパッチは本コードのこのバージョンにおいて一般的にユーザーが利用できないことに注意が必要です。ただし、ポイントパッチのシンタックスは、完全性のために含まれています。

DIRECTION { X, Y, Z }

DIRECTION(方向)のキーワードは、特定のポイントパッチに関する方向制限を定義するために用います。

FIXED COORDINATE (固定座標)

FREE COORDINATE (自由座標)

COEFFICIENTS (係数) <coeff#1> <coeff#2> <coeff#3> <coeff#4>

これらのキーワードは、ポイントパッチの挙動を定義するために用います。ポイントパッチのタイプは、現在、メッシュ適合に関する開発の途上にあり、用いられたシンタックスは研究の継続に応じて変更の必要が生じることがあります。

### 6.2.22.2 面パッチ境界条件 (Face Patch Boundary Conditions)

NUMBER OF FACE PATCHES<number\_of\_patches> (面パッチの数値)

面パッチ自体が定義される前に、パッチの数値を定義しなければなりません。入力する値は、ケース指定と形状要件の不整合性をチェックするために用いられます。

DEFINE FACE PATCH NUMBER(ポイントパッチナンバーを定義する) <number\_of\_patch>

このキーワードにより、パッチナンバー<number\_of\_patch>に関連するすべての境界条件が設定されるセクションが開きます。可能な境界タイプの記述を以下に示します。境界条件のタイプは4つのカテゴリーに区分されます。1番目のカテゴリーは、流れおよび乱流に関連する解決される変数、圧力(PRESSURE)、速度U(U-VELOCITY)、速度V(V-VELOCITY)、速度W(W-VELOCITY)、運動エネルギー(KINETIC ENERGY)および消散率(DISSIPATION RATE)の境界条件の設定に関するものです。2番目のカテゴリーでは、エンタルピー(ENTHALPY)に関する境界条件を定義できます。2番目のカテゴリーでは、放射処理の条件を設定します。4番目のカテゴリーでは、追加変数の境界条件を指定します。

**ADDITIONAL FACE STORAGE**      <num\_of\_items>

SMARTFIREのリサーチバージョンを使用している場合、表面に、追加データの作成が必要になります。このコマンドにより、ユーザーは(この境界パッチを使用して)表面に追加データが必要であることを、手動で指摘できます。

**MATERIAL INDEX (材料索引)**<material\_index>

新規の熱処理条件は、<material\_index>(材料索引)を用いて、伝導または乱流熱パッチ使用時の境界面パッチを通過する熱伝達を決定します。

**PATCH THICKNESS** <thickness\_value>

新規の熱処理条件は、既定の<thickness\_value>(厚さの値)を用いて、伝導または乱流熱パッチ使用時の境界面パッチを通過する熱伝達を決定します。

**WALL EMISSIVITY(壁放射率)**<emissivity\_value>

6フラックスおよび多重光線放射モデルは、<emissivity\_value>(放射率の値)を用いて、この面パッチと流れ領域における付近のセル間の放射相互作用を計算します。

**USE FACE TIME**

**USE PATCH TIME**

**SET PATCH START TIME** <start\_time>

ある境界条件に対してパッチがいつ開始したのかを知ることが必要です(例えば、境界パッチが前記の質量解放曲線でガスを解放する場合)。時々パッチの挙動は、各面タイル(境界条件を利用)が独自の開始時刻を持つように、更なる再定義を必要とします。例えば、これは燃焼面上の炎拡大に対する場合です。「USE PATCH TIME(パッチ時刻利用)」はパッチが開始時刻(「SET PATCH START TIME(パッチ開始時刻設定)」コマンドで指定可能)を維持することを示し、あるいは「USE FACE TIME(表面時刻利用)」は(パッチを用いる)表面が独自の開始時刻を維持すべきことを示します。

**USE REMOVEABLE PATCH**

**FAILURE TEMPERATURE**              <fail\_temperature>

これらのキーワードは、所定の機能停止温度により、個々の化粧タイルが機能しなくなる(および除去される)のを可能にする、実験コードを有効にします。化粧タイルの除去は、深刻な安定問題の原因となるということに注意しなければなりません。したがって、任意のタイル除去がシミュレーションを中断しないよう、小さい時間ステップを使用することを推奨します。

**PATCH NORMAL**              <norm\_x> <norm\_y> <norm\_z>

PATCH NORMAL(法線の修正)コマンドは、可燃表面に対する表面法線の方法を指定するために使用されます。

## 6.2.22.3 流れタイプ面境界条件 (Flow Type Face Boundary Conditions)

```
[INNER] INLET(吸気口)
    CALCULATE TURBULENCE <inlet_dx> <inlet_dy> <inlet_dz> <variable_name>
        <boundary_value>
    TABLE DEFINED <variable_name> <table_file_name>
END
```

吸気口 (INLET) 境界条件において、質量がソリューション領域に進入しているか、あるいはおそらくそこから出ていっていると想定されます。流れおよび乱流に関連する変数の値は、圧力 (PRESSURE) を除いて、そのような境界においてわかっています。このセクションでは、速度 U、速度 V、速度 W、運動エネルギーおよび消散率の境界値が設定されます。燃焼 (COMBUSTION) が有効にされているときは、パッチも燃料 (FUEL) および/または混合物留分 (MIXTURE FRACTION) を指定されるために用いられることがあります。吸気口 (INLET) で値を与えられていない上記に列挙した変数はすべて、デフォルト値の 0.0 が与えられます。TABLE DEFINED (表定義) キーワードは、変数の値が、(時間と値の) 名前の付いた表ファイルで指定されるということを示します。INNER INLET (内部入口) は、指定された U-、V-、W-VELOCITY (速度) を使用して運動量を設定し、その他すべてのプロパティが通過することのできる、わずかに異なるタイプの入口を指定します。運動量成分と入口の位置は、入口流量が領域の内側に向かうか外側に向かうかを決定する (例えば、領域の low-x 表面にある負の U-VELOCITY 入口は外に出るが、high-x 表面にある同じ入口は内側に向かう) という点に注意しなければなりません。CALCULATE TURBULENCE (乱流の計算) キーワードは、パッチが運動エネルギー (Kinetic Energy) と散逸率 (Dissipation Rate) を計算するために、入口エリアと速度を使用するようにします。

```
{ POINT, PV, LINKED } INLET
    NEGATIVE DIRECTION
    PV DIRECTION { X, Y, Z }
    LINKED OUTPUT NORMAL VELOCITY <norm_velocity_value>
    LINKED INPUT MASS <linked_input_mass>
    LINKED OUTPUT MASS <linked_output_mass>
    LINKED PATCH NUMBER <linked_patch_num>
    USE POINT INLET DIRECTION <pvx> <pvx> <pvz>
    TURBULENCE PASS THROUGH
END
```

現在は、代替の一式の INLET 境界条件が研究且つ開発されています。これらの新規の INLET 境界条件は点広がり INLET パッチ、圧力/速度定義の INLET パッチ、Linked INLET パッチを含むより複雑な流れのシナリオを作成時に、より柔軟性を提供できます。Linked INLET パッチは、領域内で物理的には分離されていますが (または別の方向でポイントされていたとしても)、2つの INLET パッチ間で「内密の」流量カップリングを提供して、「出力」INLET パッチに運び込まれる全プロパティは、次に「入力」INLET に到達するようにします。これらの研究機能はまだ調査中で、現段階では一般的使用は推奨されません。

```
OUTLET BLOCK(吸気口)
[ NO ] INWARD MOMENTUM
    PRESSURE (圧力値) <pressure_value>
    TABLE DEFINED PRESSURE <pressure_table_file_name>
END
```

排気口 (OUTLET) は、圧力のレベルが定義される境界のパッチです。運動量方程式において、圧力の変化は実際の圧力値よりもむしろ重要です。大気圧は約  $10^5$  Pa です。それは圧力のわずかな変化を引

き起こすことがあります、その変化は、数値の最大誤差に埋没させられないほど重要なことがあります。したがって、CFDにおいては、**排気口 (OUTLET)**の圧力を実際の外部圧力との差違として定義することが通常の方法です。必要な場合、排気口圧力と実際の外部圧力の差は、ケース指定の**GENERAL INFORMATION (一般情報)**セクションにおいて定義できます。単純にOUTLETのキーワードを用いると、排気口において0.0の圧力が設定されます。OUTLET条件の2番目の形式では、異なる**圧力値** <pressure\_value>を排気口で用いることができます。この境界タイプにおいて、境界上のそのほかすべての流れおよび乱流変数は、境界付近の要素と同じと想定されます。PRESSURE (圧力)もTABLE DEFINED (表定義)コマンドを使用し、時間に対する圧力データを持つ表ファイルのファイル名を提供して設定されます。INWARD MOMENTUM (内側への運動量)キーワードは、完全に圧力0の出口が運動量を生み事ができるということを示します。NO INWARD MOMENTUM (内側への運動量なし)が使用される場合、流れは運動量0で入ります。

### SYMMETRY (シンメトリ)

SYMMETRY (シンメトリ)境界条件では、速度コンポーネント以外のすべての変数は、拡散がゼロであると想定されます。CFDエンジンにおいて、シンメトリ境界における変数の値は、境界付近のノードと同じになります。SYMMETRY (シンメトリ)は、境界の1セクションに適用されます。その境界を通じた質量のソース(または低下)はありません。また、境界に平行した速度のコンポーネントに適用される留分はありません。この条件は、境界に垂直の速度コンポーネントが境界上で0.0の値をもつことを強制します。境界上で、そのほかすべての流れおよび乱流の変数は、付近の境界ノードにおける値であると想定されます。これは、境界条件のデフォルトの流れタイプです。

### WALL

```
<variable_name> <boundary_value>
TABLE DEFINED <variable_name> <table_file_name>
```

END

WALL (壁)の境界条件は、既知の速度がある一方、質量ソースがない境界の一部に適用されます。壁境界条件に設定できる変数は、3つの速度コンポーネント、すなわち**速度U**、**速度V**、および**速度W**です。壁の速度は、境界に平行な方向になります。そうしなければ、収束の問題が生じます。壁上で、壁に平行な速度コンポーネントは0.0であると想定されます。壁付近の分布形態は、解決されつつある問題のタイプに依存します。層状問題に関しては、壁と壁付近のノードの間に平行な速度コンポーネントの線形増大があると想定されます。乱流問題の場合、壁付近では対数分布が想定されます。この場合、壁付近の要素における**運動エネルギー (KINETIC ENERGY)**および**消散率 (DISSIPATION RATE)**の値は、以下の式を用いて計算されます。

$$k = \frac{sV^2}{\sqrt{C_\mu}}$$

$$\epsilon = \frac{0.1643}{\kappa} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{y}$$

ここで、kは、カルマン定数の0.435、 $C_\mu$ は0.09と同等、sは壁の表面摩擦係数、Vは流速、およびyは壁付近のノードから壁までの垂直な距離です。TABLE DEFINED (表定義)キーワードは、(時間に依存した)表ファイルから取り出された値で変数が設定されるということを示します。



**FIXED WALL(据え付けの壁)**

この境界条件は、前述の壁条件と同じで、すべての速度コンポーネントが0.0に設定されます。

**OPENING(開口部)**

**OPENING(開口部)**条件により、流れおよび熱伝達に関して2つの範囲をリンクさせることができます。このパッチタイプは、1対1の面連結をもたない範囲どうしを結合させる方法を定義する形状ファイルの取り扱いの延長に関連づけられています。一般的に、この機能は、複数の範囲の形状定義に複雑性が伴うため、自動メッシュ生成機能によって用いられるのみです。

**6.2.22.4 熱タイプ面境界条件(Heat Type Face Boundary Conditions)****DIRICHLET FIXED VALUE(ディリクレの固定値)<fixed\_temperature> (固定温度)**

温度とそれに伴う熱エネルギー(エンタルピー)の値がわかっているときに、熱境界条件を指定するために**DIRICHLET(ディリクレ)**の条件が適用されます。シミュレーションが乱流の場合、境界全体にわたる熱伝達の計算のために、壁レイヤの近似値が用いられます。代わりに、**TABLE DEFINED(表定義)**を使用する代替形式は、指定表ファイルを読み込み、現在のシミュレーション時間に基づいた境界条件を適用します。

**NEUMANN FIXED FLUX(ノイマンの固定フラックス)<fixed\_flux> (固定フラックス)**  
**NEUMANN TABLE DEFINED ENTHALPY <enthalpy\_file\_name>**

**ノイマン境界条件**は、境界面全体にわたるエンタルピーのフラックスを以下のように指定します。

$$\frac{\partial h}{\partial n} = \langle \text{fixed\_flux} \rangle \quad (\text{固定フラックス})$$

**TABLE DEFINED(表定義)**キーワードを使用する代替形式は、時間に対するエンタルピー値の表ファイルにエンタルピー値が与えられ、その値は現在のシミュレーション時間での検索に基づいた表から得られるということを示します。

```
{ CONVECTIVE(対流), CONDUCTIVE(伝導), TURBULENT(乱流) }
  FLUX COEFFICIENT (フラックス係数)      <heat_transfer_coeff>
  AMBIENT TEMPERATURE (周囲温度)         <ambient_temp>
END
```

**CONVECTIVE(対流)**条件は、以下の形式の境界条件を定義します。

$$\frac{\partial h}{\partial n} = \langle \text{heat\_transfer\_coeff} \rangle (\langle \text{ambient\_temp} \rangle - T)$$

ここで、Tは境界コントロールボリューム付近の温度です。熱**FLUX COEFFICIENT(フラックス係数)**および**AMBIENT TEMPERATURE(周囲温度)**のデフォルト値は、いずれも0.0です。**CONDUCTIVE**



(伝導)条件は、CONVECTIVE(対流)境界条件に類似しています。ただし、壁を通過する熱フラックスを計算するために直接熱伝達係数を用いない点が異なります。そのかわり、これは修正反復式を用いて壁面の温度を推定し、それに従って、所定の熱伝達係数ならびに壁の材料プロパティ(および壁圧)にもとづいて新たな熱フラックスを計算します。TURBULENT(乱流)条件も、CONDUCTIVE(伝導)境界条件に類似しています。ただし、これは壁を通過する熱フラックスを計算するために直接熱伝達係数を用いない点が異なります。そのかわり、これは修正反復式を用いて壁面の温度を推定し、それに従って、所定の熱伝達係数(壁係数を用いて計算)ならびに壁の材料プロパティ(および壁圧)にもとづいて新たな熱フラックスを計算します。TURBULENT(乱流)の壁レイヤ熱境界条件の場合、壁面温度の推定値には、壁付近の乱流を考慮します。CONDUCTIVE(伝導性)とTURBULENT(乱流)両方の境界条件では、壁の初期温度を定義するINITIAL TEMPERATURE(初期温度)の指定も可能です。

#### ADIABATIC(断熱)

ADIABATIC(断熱)境界は、熱エネルギーの交換がない境界条件です。この境界条件は、SYMMETRY(シンメトリ)の流れ境界条件と熱の点で同等です。これは、デフォルトの熱境界条件です。

#### OPENING(開口部)

OPENING(開口部)条件は、Flow Type(流れタイプ)境界条件のセクションで説明したように、2つの範囲を連結します。

### 6.2.22.5 放射タイプ面境界条件(Radiation Type Face Boundary Conditions)

SMARTFIREの最新バージョンでは、ソフトウェアがそれぞれの表面を適切に処理するため、ユーザーが放射タイプ境界条件を選択する必要はないことに注意します。ユーザーは放射タイプ(Radiation Type)境界条件選択する必要がありません。

#### FIXED TEMPERATURE RADIATION BOUNDARY(固定温度放射境界)

FIXED TEMPERATURE RADIATION BOUNDARY(固定温度放射境界)は、熱ディリクレ境界温度を放射に関する壁温度として用います。

#### SYMMETRY RADIATION BOUNDARY(シンメトリ放射境界)

SYMMETRY RADIATION BOUNDARY(シンメトリ放射境界)は、放射に関する流れシンメトリ境界と類似しています。

#### SOLID RADIATION BOUNDARY(固体放射境界)

SOLID RADIATION BOUNDARY(固体放射境界)は、放射放出に関する壁温度として、最寄りのセル温度の値を用います。

#### FREE RADIATION BOUNDARY(自由放射境界)

**FREE RADIATION BOUNDARY (自由放射境界)**は、放射境界温度として周囲温度を用います。またこれは、主要な放射源から遠く離れていると想定される流れの**排気口 (OUTLET)**境界のような状況で用いられます。

#### **AUTOMATIC RADIATION BOUNDARY (自動放射境界)**

**AUTOMATIC RADIATION BOUNDARY (自動放射境界)**は、自動的にシミュレーションのタイプならびに現在のパッチに関する流れおよび熱境界条件にもとづいて放射境界条件の実用的な選択肢を割り当てます。

**PARAMETRIC RADIATION BOUNDARY (パラメトリック放射境界)** `<radiation_at_boundary>`  
`<emissivity>`

**パラメトリック放射境界 (PARAMETRIC RADIATION BOUNDARY)**は、放射に関するパラメトリックスタイルを適用します。`<radiation_at_boundary>`(境界における放射)は、用いられている特定の放射モデルの放射の(正しい単位における)実用的な値でなければなりません。`<emissivity>`(放射率)の値は、境界放射率として適用されます。

### 6.2.22.6 追加変数タイプ面境界条件 (Extra Variable Type Face Boundary Conditions)

```
<extra_solved_variable_name> FIXED VALUE <fixed_value>
<extra_solved_variable_name> FIXED FLUX <fixed_flux>
<extra_solved_variable_name> LINEAR FLUX <coefficient> <value>
<extra_solved_variable_name> SYMMETRY
```

追加変数に関して利用可能な境界条件には、4つのタイプがあります。これらのコマンドは、境界条件が適用される追加変数名から始まります。その次に、**固定値 (FIXED VALUE)**、**固定フラックス (FIXED FLUX)**、**線形フラックス (LINEAR FLUX)**、および**シンメトリ (SYMMETRY)**から境界条件のタイプが選択されます。最後に、特定の境界条件タイプが必要とする値によって行が終わります。境界条件の実装は以下のとおりです。**TABLE DEFINED**(表定義)境界条件は、変数が検索表から決定されるということを除いては、固定値と類似しています。境界条件の実装は以下のとおりです。

**固定値 (FIXED VALUE) 境界条件:**

$$\theta = \langle fixed\_value \rangle$$

**固定フラックス (FIXED FLUX) 境界条件:**

$$\frac{\partial \theta}{\partial n} = \langle fixed\_flux \rangle$$

**線形フラックス (LINEAR FLUX) 境界条件:**

$$\frac{\partial \theta}{\partial n} = \langle coefficient \rangle (\text{係数}) \langle value \rangle (\text{値}) - \theta$$

これらの境界条件の挙動は、熱タイプ (Heat Type) 境界条件に関してみられる挙動に類似しています。

追加変数に関するデフォルト条件は**シンメトリ (SYMMETRY)**です。

### 6.2.22.7 ボリュームソース境界条件 (Volume Source Boundary Conditions)

**NUMBER OF VOLUME PATCHES (ボリュームパッチの数値) <number\_of\_patches>**

ボリュームソースパッチ自体が定義される前に、それらのパッチの数値を定義しなければなりません。入力する値は、ケース指定と形状要件の不整合性をチェックするために用いられます。

**DEFINE VOLUME PATCH NUMBER (ボリュームパッチの数値を定義する) <patch\_index>**

このキーワードにより、ボリュームパッチナンバー<patch\_index>に関連するすべてのボリュームソース条件が設定されるセクションが開きます。任意の解決される変数(追加変数を含める)を用いて、その変数のボリュームソースを指定できます。

現在のところ、ボリュームソースパッチを設定する方法は2通りあります。1番目の方法は、方程式の係数を設定すること、2番目の方法は、単純な値タイプのソース(時間の経過または反復によって増加することがあります)を設定することです。望ましい方法は、前者の方程式の方法です。このほうが柔軟性が大きいからです。方程式の形式をもちいるときは、ユーザーは**制限時間 (TIME LIMITS)**を指定することもできます。これは、ソース方程式の用法を要求するものです。

[ { ABSOLUTE, RELATIVE } ] **TIME LIMITS** <start\_time> <end\_time>

**TIME LIMITS (制限時間)**のキーワードにより、**TIME EQUATION (時間方程式)**が一時的に過渡シミュレーションにおいてコントロールされます。<start\_time> (**開始時間**)は、ボリュームソースが最初に起動されるシミュレーション時間を示します。<end\_time> (**終了時間**)は、ボリュームソースが変化する最後の時間を示します。実際、<end\_time> (**終了時間**)以降のすべての時間は、<end\_time>を時間のパラメータ値として用いる**時間方程式 (TIME EQUATION)**において算定されたボリュームソースを用います。これは、火災シミュレーションのボリュームソースを制限するもっとも有効な形式です。必要な場合は、代替的な処理方法を採用できます。挙動をさらに修正するために、**ABSOLUTE (絶対)**または**RELATIVE (相対)**のキーワードを**TIME LIMITS (制限時間)**のキーワードの前に置くことがあります。実際、定義された標準の制限時間は、定義において「絶対 (absolute)」シミュレーション時間を用います。**RELATIVE (相対)**のキーワードは、未知の時間に開始し、既知の期間にわたって継続するボリュームソースにのみ用います。特定のソリューション状態に達したときに、データモニターボリュームソースパッチをアクティブ化可能なため、この機能は必要です。そのような場合、ボリュームソース出力に既知の開始および終了時間をさらに配置することは実用的ではありません。なぜならこれらは事前に決定できないからです。したがって、**RELATIVE (相対)**のキーワードは、以下のように用います。

**RELATIVE TIME LIMITS**            0.0        <duration>

ただし、<start\_time>がゼロでなく、また終了制限時間が与えられている場合、継続時間 (duration) は単純に、<end\_time>から<start\_time>を差し引くことによって計算されています。**STARTED AT TIME (開始時間)**は時々、再開ファイルで見られます。これは、ボリュームソースの出力が開始する時間で、現在のシミュレーション時間がどのくらい放出曲線に沿うかを決定する必要があります。

{ CONTINUE, TERMINATE } AT END TIME

CONTINUE AT END TIME(終了時間で継続)またはTERMINATE AT END TIME(終了時間で終了)キーワードは、終了時間になったときに、ボリュームソースがどのように反応するかを示します。通常の反応は、終了時間になった際、ボリュームソースは同じ速度で出力しながら、終了時間を越えて継続します。TERMINATE(終了)では、終了時間に放出を止めます。

TIME EQUATION <solved\_variable\_name> <modifier> <a> <b> <c> <d> <e>

TIME EQUATION(時間方程式)は、係数値を用いて、解決される変数<solved\_variable\_name>に関するボリュームソースに関する方程式を明示するものです。方程式の形式は、時間(t)におけるパラメータ方程式として、以下のように表されます。

$$\text{SOURCE} = a + (b \cdot t) + (c \cdot t^2) + (d \cdot \exp(e \cdot t))$$

この方程式は、指数項を伴う二次方程式の形をとります。ソース項は、係数値<a>、<b>、<c>、<d>、および<e>によってコントロールされます。デフォルトでは、部分的な指定が意味のある挙動をもつように、すべての係数は0.0に設定されます。たとえば、<a>の値のみが与えられた場合、方程式は、単純な固定値ソースに縮小されます。必要な場合は、ボリュームソースが効果をもたらし始める時間、および(終了時間での操作の設定にしたがって)その変化が停止する時間を変更するために、TIME LIMITS(制限時間)のキーワードを用います。<modifier>(変更子)は、ソースがSOURCE PER UNIT VOLUME(単位ボリュームあたりのソース)かTOTAL SOURCE(合計ソース)かを示唆します。

TABLE FILE <solved\_variable\_name> <modifier> <table\_file\_name>

TABLE FILE(表火災)のキーワードにより、時間の経過に伴うボリュームソースの定義に関するデータファイルが指定されます。ファイル<table\_file\_name>(表ファイル名)のフォーマットは、単純に、以下のとおりです。

<number_of_data_pairs_#n>	
<time_index_#1>	<source_value_#1>
<time_index_#2>	<source_value_#2>
•	•
<time_index_#n>	<source_value_#n>

時間索引(time index)は秒単位で指定されます。またソースの値(source value)は、それらの時間における単位あたりのソース率です。たとえば、時間ステップあたり1.0秒のシミュレーションの最初の60秒間に20kW から1MWに増加する1.0 m<sup>3</sup>の火災ボリュームソースに関するエンタルピーの表ソースは、以下のように完全に指定されます。

2	
1.0	2.0E04
60.0	1.0E06

所定のシミュレーション時間のソース値を戻す問合せ単位は、時間索引ポイント間で線形補間を用います。また最終的なソースデータ値は、シミュレーション時間が指定されたデータ分布範囲を上回ったときも持続します。特別なファイル名の拡張子は期待されず、用いられませんが、「.dat」がおそらくもっとも適切であることが推奨されます。<modifier> (変更子) は、ソースが実際にSOURCE PER UNIT VOLUME (単位ボリウムあたりのソース) かTOTAL SOURCE (合計ソース) かを示唆します。

```
FIXED FLUX <solved_variable_name> <modifier> <flux_rate>
FIXED VALUE <solved_variable_name> <modifier> <fixed_value>
COVAL <solved_variable_name> <modifier> <coefficient> <value>
```

ボリウムパッチ処理の代替形式は、以下のキーワード、すなわちFIXED FLUX (固定フラックス)、FIXED VALUE (固定値)、あるいはCOVALによって引き起こすことができます。これらの項は、追加的な変数に対する面パッチに用いられるものと類似しています。計算中にSMARTFIREが正しく処理できるように、<modifier> (変更子) の項によってソース項が体積か合計かを指定します。

上記のボリウムソースのパッチ処理方式は、初心者ユーザーには推奨されません。ケース指定環境は、これらのレガシーコマンドに頼ることなく、時間方程式および表火災を用いて、ボリウムソース指定の十分な機能を提供します。

#### 6.2.22.8 ファン(ボリウム)ソース境界条件(Fan (Volume) Source Boundary Conditions)

ファンは、ボリウムソースパッチの特別な方式を用いて指定されます。ファンは、以下のシンタックスを用いてケース指定ファイルにおいて設定されます。

```
FAN AREA <fan_area>
PIECEWISE TABLE FILE <velocity_component_name> <fan_data_file_name>
[ PIECEWISE MULTIPLYING FACTOR <piecewise_mult_factor> ]
[ NEGATIVE DIRECTION ]
```

FAN AREA (ファン面積) は、ファンの横断面積<fan\_area>を指定します。この値は、ファンの指定のために必要です。この値は、ファンオブジェクトが立方体ボリウムとして定義された場合でも、円形形状のファンのさらに精密な表現をもたらすために用いることができます。PIECEWISE TABLE FILE (区分的な表火災) コマンドは、<fan\_data\_file\_name> (ファンデータファイル名) において区分的な多項式が提供されることを指定します。そのフォーマットは、指定された<velocity\_component\_name> (速度コンポーネント名) の運動量方程式に関して以下に示します。<velocity\_component\_name> (速度コンポーネント名) は、ファンが送風している座標方向に応じて、速度U、速度V、あるいは速度Wの変数の1つとなります。オプションのNEGATIVE DIRECTION (負の方向) コマンドは、ファンの送風方向を反転させるために必要なことがあります。

ファンの特性は、シンプルなテキスト形式のデータファイルにおいて区分多項式の記述を用いて設定されます。ファンデータファイルは、以下のフォーマットを持ちます。

6	
-1000.0	600.0
0.0	600.0
10.0	500.0



20.0	300.0
30.0	0.0
1000.0	0.0

最初の数値は、データ項目ペアの数値を指定する整数です。その後、左の列に速度、右の列に圧力降下のデータ項目が続きます。ユーザーは、ファンのパフォーマンスの極点における値、すなわち最初と最後のデータペアも定義する必要があります。これらの極点におけるファンの挙動は一般的に知られていませんが、これらの値の判断はユーザーにゆだねられています。上記の例では、測定範囲の最後における圧力差が極点における値を表しています。速度値は単調に増加する必要があります。

#### 6.2.22.9 パッチコントロールコマンド(Patch Control Commands)

```

CONTROLLED PATCH CHANGES
[ NON ] CRITICAL CHANGE
[ NOT ] ALLOW MULTIPLE USES
[ NOT ] USE OBJECT REFERENCES
CHANGE { X, Y, Z } POINT PATCH      <p_o_indx> <p_p_num> ...
                                     AT <change_time>
CHANGE FACE PATCH                    <f_o_indx> <f_p_num> ...
                                     AT <change_time>
CHANGE VOLUME PATCH                  <v_o_indx> <v_p_num> ...
                                     AT <change_time>
CHANGE { X, Y, Z } POINT PATCH      <p_o_indx> <p_p_num> ...
                                     USING MONITOR [NUMBER] <#m_num>
CHANGE FACE PATCH                    <f_o_indx> <f_p_num> ...
                                     USING MONITOR [NUMBER] <#m_num>
CHANGE VOLUME PATCH                  <v_o_indx> <v_p_num> ...
                                     USING MONITOR [NUMBER] <#m_num>
CHANGE { X, Y, Z } POINT PATCH      <p_o_indx> <p_p_num> ...
                                     USING MONITOR NAME <#m_name>
CHANGE FACE PATCH                    <f_o_indx> <f_p_num> ...
                                     USING MONITOR NAME <#m_name>
CHANGE VOLUME PATCH                  <v_o_indx> <v_p_num> ...
                                     USING MONITOR NAME <#m_name>
END

```

使用する面およびボリュームパッチの数値が定義されたら、ユーザーは任意の数のコントロールパッチ変更を定義できます。これらは、所定のシミュレーション時間において、あるいは特定のデータモニターを用いて一定の境界条件パッチの挙動を変更するために用います。これらの変更は、総当たり法によって実行されます。それは単純に、選択したオブジェクト索引のための新規のパッチ索引に交換するものです。これは重要な変更であり、コントロール変更が最初に行われた方法です。元々、最初の値は変更すべきパッチ番号を表す整数でした。新しいシステムは、最初の検索が現在のオブジェクトの識別検索になってから、より大きな柔軟性を持つようになっています。オブジェクト検索は変更がないために、完全に可逆性があるものとなっており、この新しいシステムの利点となっています。そのため選択したオブジェクトの検索は多くの他のコントロール変更コマンドにより変更が可能です。必要なパッチの数値のみが変更されるように十分注意します。これは、パッチの交換が、必要な変更以外に全体的な影響を及ぼさないように、2つ以上のボリューム、面、またはポイントパッチをユーザーが定義しなければならないことを意味することがあります。シミュレーション時間によってコントロールされるモードは、変化が適用されるか否か、またそれはいつかを決定するために、AT<change\_time>(変更時間)の時間を用います。事前に設定した時間に到達またはその時間を経過したら、選択したオブジェクトの検索を用いたすべての



オブジェクトは、規定のパッチ索引を用いるように切り替わります。データモニター操作モードは、特定の**モニター使用**のデータモニターを用いて、変更を適用できるか否かを判断します。データモニターは個々のインデックスNo.や名称(設定されている場合)から選択可能です。たとえば、オブジェクト索引<f\_o\_indx>の一部である面は現在、面のパッチ定義<7>を用いているかもしれませんが、変更後は、パッチ定義<f\_p\_num>を用います。同様に、ボリウムパッチに関しては、ボリウムオブジェクト索引<v\_o\_indx>に属するすべてのセルは、その後、<v\_p\_num>番に関して定義されたボリウムパッチを用います。コントロール変更が1回適用されると、シミュレーションの残りの部分に関しては、その変更はアクティブでなくなります。パッチ番号を0に変更すると、パッチは無効(適応される定義なし)となります。これはボリウムパッチや内部面での適用となります。しかし外部/境界面での面パッチを0に設定すると、境界のセクションを定義なしとする可能性があるため推奨されません。コントロールされた変更コマンドは1つの大きなサブセクションにグループ化されるか、または特定の境界条件定義に関連するコマンドの別のブロックが現れるように分けられます。

「**ALLOW MULTIPLE USES(複数使用の許可)**」により、起動条件がアクティブであれば、いつでもその後のコントロール変更を続けて使用できます。また、「**NOT ALLOW MULTIPLE USES(複数の使用を許可しない)**」を選択し、コントロール変更が1回適用されると、シミュレーションの残りの部分に関しては、その変更はアクティブでなくなります。

「**USE OBJECT REFERENCES(オブジェクトリファレンスを使用)**」により、続くコントロール変更コマンドは、パッチNo.の代わりに、最初の識別索引をオブジェクト参照として解釈します(前のバージョンと同様です)。これはデフォルトの動作モードです。逆に、オブジェクト参照を使用しないと、各コントロール変更は、オブジェクトリファレンスというよりは、パッチ識別子と解釈される最初の識別引数を持ちます。これはソフトウェアが識別索引を使用したこれまでの方法で、特定オブジェクトではないグローバルパッチの変更を可能にすると同様、過去の互換性を与えるために提供されます。

**CRITICAL CHANGE(重要な変化)**と**NON CRITICAL CHANGE(重要でない変化)**キーワードは、後に続く変化コマンドが、シミュレーションを中断しそうかどうか、したがって、**CRITICAL CHANGE HANDLER(重要な変化装置)**によって提供される、管理された時間ステップ操作が必要かどうかを示します。

### 6.2.23 境界条件(BOUNDARY CONDITIONS)の例

下の例は、面パッチおよびボリウムパッチに関係する境界条件のさまざまな設定を示すものです。最初のボリウムパッチは、時間方程式により指定された、時間( $t=2.0s$ (秒))において初期値0.0で開始し、 $t=10.0s$ の時間に最終値 $8.0e4$ に達する**エンタルピー(ENTHALPY)**のソースです。これは、係数の初期値および「 $t$ 」の係数値を設定するために時間方程式の最初の2つの係数のみを使用しています。2番目のボリウムパッチは、負の $z$ -方向に送風しているファンであり、「fan\_curve.dat」というファイル名をもつファン特性定義データファイルを持ちます。モニター1で重要な条件の検出を使用してファンオブジェクト(オブジェクト検索5)を非アクティブにする重要なコントロール変更もまたあります。

```

BOUNDARY CONDITIONS
  NUMBER OF FACE PATCHES          3
  DEFINE FACE PATCH NUMBER        1
    INLET
      U-VELOCITY                   10.0
      KINETIC ENERGY              0.01
      DISSIPATION RATE             1.0
    END
    DIRICHLET FIXED VALUE          1.0
  END
  DEFINE FACE PATCH NUMBER        2
    STATIONARY WALL
  END
  DEFINE FACE PATCH NUMBER        3
    OUTLET PRESSURE                0.0
  END
  NUMBER OF VOLUME PATCHES        2
  DEFINE VOLUME PATCH NUMBER      1
    TIME LIMITS                   2.0   10.0
    TIME EQUATION   ENTHALPY      TOTAL SOURCE  0.0   1.0e4
  END
  DEFINE VOLUME PATCH NUMBER      2
    FAN AREA                      0.5
    PIECEWISE TABLE FILE   W-VELOCITY  fan_curve.dat
    NEGATIVE DIRECTION
  END
  CONTROLLED PATCH CHANGES
    CRITICAL CHANGE
    CHANGE VOLUME PATCH          5      0      USING MONITOR      1
  END
END

```

## 6.2.24 弛緩(RELAXATION)

### RELAXATION

弛緩(RELAXATION)セクションでは、それぞれの解決される量および、関連する場合は、そのほかの算定量に関するさまざまな弛緩パラメータの値が設定されます。デフォルトでは、いずれの変数にも弛緩は適用されません。このセクションには、線形弛緩、ソルバー弛緩、および擬似時間ステップ弛緩に関する3つのサブセクションがあります。

```

LINEAR RELAXATION
  <variable_name>          <linear_relaxation_value>
END

```

最新の反復値が算定された後、線形弛緩(Linear relaxation)が適用されます。これは、システム内のすべてのノードに関する以下のアルゴリズムを用いて適用されます。

$$\theta_{\text{new}} = \theta_{\text{last}} + R/\theta \left( \theta_{\text{new}} - \theta_{\text{last}} \right)$$

ここで、 $R/\theta$  は、特定の変数に関して入力された<linear\_relaxation\_value>(線形弛緩の値)です。

0.0と 1.0の間の値はソリューションを過小弛緩(under-relax)(遅延)させ、変数に適用される変更を減速

させる効果をもたらします。1.0を上回る値は、ソリューシオンを過剰弛緩 (over-relaxing) (加速) させる効果をもたらします。過小弛緩は、ソリューシオンプロセスを安定化させる傾向があります。一方、過剰弛緩はソリューシオンを不安定化させる可能性があります。したがって、過剰弛緩を用いるときは、十分な注意が必要です。シミュレーションの開始時には、適切な程度の収束が変数残差によって示唆されるまで、変数はかなり過小弛緩である必要があります。また、形状および流れモデルまたはそのいずれかがさらに複雑化するにつれて、変数のかなりの過小弛緩が必要になることがある点にも注意が必要です。残念ながら現在のところ、特定のシミュレーションケースに関する適切な弛緩パラメータを求めるのは、かなりの部分を試行錯誤に頼らざるをえません。

#### SOLVER RELAXATION

```
<solved_variable_name> <solver_relaxation_value>
END
```

ソルバー弛緩 (Solver relaxation) は、線形弛緩に類似していますが、選択された変数が解決される間、反復的に実行される点が異なります。ソルバー弛緩を利用すると、ソルバーの反復回数が減少することがあります。過剰弛緩を用いる場合、連続的な過剰弛緩法に関して提案された値とともに、1.6の値が推奨されます。通常は、この弛緩方式はソリューシオンを過剰弛緩させるために用い、線形弛緩は過小弛緩のために用います。この弛緩方式は、あまり頻繁に用いられません。

#### FALSE TIME STEP

```
<solved_variable_name> <>false_time_relaxation_value>
END
```

擬似時間ステップ (False time step relaxation) は、変数が解決される前に実行され、システムマトリクスを実際に変更します。ここでも、同じ変数に対して擬似時間ステップ弛緩をそのほかの弛緩方式と同時に用いることは回避することが一般的に推奨されます。擬似時間ステップ弛緩は特に、不安定な定常状態 (非過渡) シミュレーションにおいて有効です。なぜなら、一定の過渡的な挙動をもたらすことによってソリューシオンを安定化させる効果を及ぼすからです。以下のアルゴリズムは、選択された変数に関して、擬似時間ステップ弛緩の各項を計算し、システムマトリクス対角線およびシステムソース項に追加する方法を示すものです。

$$k = \frac{\rho V}{Rf_{\phi}}$$

$$A_p = A_p + k$$

$$b = b + k \Phi_{last}$$

ここで、 $Rf_{\phi}$  は上記で入力された <false\_time\_relaxation\_value> (擬似時間ステップ弛緩値)、 $A_p$  は  $\Phi$  システムマトリクス対角線項、および  $b$  は  $\Phi$  ソース項です。 $Rf_{\phi}$  の値を選択する通常の方法は、ソリューシオン領域における一般的なセル内の流体残留時間を計算することです。この値に1より大きい数を乗じて、さらに弱い弛緩をもたらすことができます。あるいは、1より小さい正の数を乗じて、さらに強い弛緩をもたらすことができます。さらに強い弛緩は、問題における安定性を高めますが、ソリューシオンの収束に近づくためにさらに多数の反復を必要とします。さらに弱い弛緩の使用は、反応がより急速に得られる反

面、安定化の問題が発生することがあることを意味します。

擬似時間ステップ弛緩に用いる値の処理方法は、線形弛緩やソルバー弛緩とは異なります。正の擬似時間ステップの値は、ソリューションを過小弛緩させる効果を及ぼします。擬似時間ステップ弛緩の負およびゼロの値は、示唆された変数に関する当該の弛緩を効果的に無効にします。残差、すなわち現行のソリューションにおける誤差の大きさが人為的に引き下げられるため、強力な弛緩をもちいるときは慎重におこなう必要があります。これにより、収束に達したという擬似の確信が生じることがあります。

上記のそれぞれのサブセクションにおいて、弛緩の値は、変数名を指定し、その後に必要な弛緩値を入力することによって設定されます。各サブセクションは、複数のエントリーが可能なため、END(終了)のキーワードで終了させる必要があります。

ソルバー弛緩(SOLVER RELAXATION)は、この章の最初に列挙したすべての解決される変数に適用できます。擬似時間ステップ(FALSE TIME STEP)は、圧力(PRESSURE)を除く同じ変数に適用可能です。ただし、ユーザーが擬似時間ステップを圧力に与えようとした場合、エラーが生じません。線形弛緩(LINEAR RELAXATION)は、解決される変数および算定される変数に適用できます。

#### 6.2.25 弛緩(RELAXATION)の例

例として、流れシミュレーションが、すべての速度コンポーネントに関して0.1の擬似時間ステップ弛緩、および圧力(Pressure)に関して0.6の線形弛緩を必要としていると仮定します。これを設定するセクションは、以下の行によって完全に設定されます。

```
RELAXATION
  LINEAR RELAXATION
    PRESSURE      0.6
  END
  FALSE TIME STEP
    U-VELOCITY    0.1
    V-VELOCITY    0.1
    W-VELOCITY    0.1
  END
END
```

#### 6.2.26 制限範囲に固定(CLAMP TO LIMIT)

```
CLAMP TO LIMITS
  <variable_name>      <low_limit> <high_limit>
END
```

CLAMP TO LIMITS(制限範囲に固定)セクションでは、解決、または計算された変数(ポリウムを除く)に、任意の制限範囲を適用可能です。初期設定では、下限は-1.0e20に設定され、上限は1.0e20に設定されています。特定の変数に異なる制限範囲を適用すると、すべての値と変数を、所定の制限範囲内に留める効果があります。

## 6.2.27 ソルバーコントロール(SOLVER CONTROL)

### SOLVER CONTROL

このセクションでは、ソルバーの利用に関連する値が設定されます。ソルバーコントロールを設定できる変数は、現行のシミュレーションにおいて用いられているサブモデルおよびEXTRA VARIABLES(追加的な変数)セクションで定義された追加変数に依存します。力学的グループが用いられる場合、グループメンバーシップの構成およびグループのソルバーコントロールは、このセクションで設定されます。

### SOLVER TYPE

<solved\_variable\_name> <solver\_name>

END

SOLVER TYPE(ソルバータイプ)サブセクションでは、それぞれの変数に関して使用されるソルバーのタイプのオプションを選択できます。現在利用可能なソルバーの選択肢は以下のとおりです。

**SOR** : 逐次過緩和法 (Successive Over Relaxation)  
**JOR** : ヤコビ法 (Jacobi Over Relaxation)  
**CGM** : 共役勾配法 (CG法) (Conjugate Gradient Method)  
**WHOLE FIELD**: ホールフィールドマトリクスソルバー (WHOLE FIELD matrix solver)  
**RESIDUAL SOR** : SOR(逐次過緩和法)の残差バージョン  
**RESIDUAL JOR** : JOR(ヤコビ法)の残差バージョン  
**LINE SOR** : SOR(逐次過緩和法)の擬似各行バージョン(Pseudo Line-by-line SOR)  
**TDMA** : 非構造メッシュに対する三重対角行列アルゴリズム  
 (Tri Diagonal Matrix Algorithm for unstructured mesh)  
**BICG** : BI共役勾配 (Conjugate Gradient)  
**CGM** : 共役勾配法 (Conjugate Gradient Method solver)  
**MULTI GRID** : 代数的マルチグリッド法 (圧力のみ)  
**PCG MULTI GRID** : 前提条件化された共役勾配代数的マルチグリッド法 (Preconditioned Conjugate Gradient Algebraic Multi-Grid solver) (圧力のための研究法)

解決される変数に必要なソルバーを選択するには、<solved\_variable\_name>(解決される変数の名前)識別子を上記リストのソルバーのキーワードによって置き換えます。デフォルトでは、JORを用いる速度コンポーネント以外のすべての変数に対してSORが適用されます。グループソルバーには十分な注意が必要です。一定の変数(圧力(PRESSURE)など)は、ソリューションの実行中に分離されることを好まないためです。グループソルバーを使用する場合、外部グループ反復を増加し、内部グループ反復を減少することによって状況を是正する可能性が高いです。

### USE [ UNI, BI ] DIRECTIONAL SOLVERS

USE UNI DIRECTIONAL SOLVERS(UNI方向ソルバーを使用)は、(関連ソルバーに対して)すべてのソリューション範囲は、セル番号1からセルの数まで広がらなければならないことを示しています。逆に言えば、USE BI UNI DIRECTIONAL SOLVERS(BI方向ソルバーを使用)は、その他すべての範囲が、セルを通る後方進行を使用して代替範囲で進むことを意味します。ある変数(及びある問題セットアップ)に対し、ソリューションの広がりにおいてbi-方向ソリューションはより効果的で、収束を得るために必要な内部繰り返しの数を減らすことができます。



```

SOLVER ITERATIONS
  <solved_variable_name> <number_of_iters> [ { USE ALL, BREAK } ]
END

```

SOLVER ITERATIONS(ソルバー反復)の数値は、すべての解決される変数に関して設定できます。デフォルトでは、すべてのソルバーが最大2回の反復を用いる速度方程式を除いて、最大20回の反復を実行します。ソルバーが実行する最小反復回数は、つねに1です。SOLVER ITERATIONS(ソルバー反復)において、最大ソルバー反復を変更するには、変数名および必要な反復回数を指定します。グループソルバーの場合は、さまざまなグループがさまざまなソリューション戦略を適用できるように、それぞれ固有の内部反復制限を維持する必要があることに注意します。オプションのUSE ALL(すべてを使用する)およびBREAK(中断)のキーワードを用いて、設定されたすべての反復を使用したり、収束の試験をおこなって早期に中断したりできます。

```

SOLVER INNER ITERATIONS
  <solved_variable_name> <number_of_iterations>
END

```

すべての解決される変数に関してSOLVER INNER ITERATIONS(ソルバー内部反復)の数値を設定できます。ただし、この値は、残差(RESIDUAL)SORまたは残差(RESIDUAL)JORソルバーが用いられているときにのみ適用されます。すべての変数に関するデフォルトの値は1です。

```

OUTER ITERATIONS <number_of_sweeps>

```

OUTER ITERATIONS(外部反復)の数値は、デフォルト値が100となっていますが、これを変更するには、外部反復スイープの積分値を設定します。RUN PROBLEM(問題の実行)セクションの再起動データベースおよびRESTART(再起動)オプションにより、特定のシミュレーションのソリューション継続が可能のため、この値はそれほど高く設定する必要はありません。再起動状況において、OUTER ITERATIONS(外部反復)の数値は、これからさらに実行される回数とします。

```

FLOW ITERATIONS <number_of_flow_iterations>

```

流れアルゴリズムは流れセクションを繰り返すための追加ループを持っています(デフォルト値は1回の反復に設定)。FLOW ITERATIONS(流れ反復)のキーワードにより、このセクションは、そのほかの桂算段階に移行するまでに必要な反復をおこないます。

```

GLOBAL TOLERANCE <tolerance_value>

```

GLOBAL TOLERANCE(グローバル許容値)のキーワードにより、収束基準を指定できます。グローバル許容値の値(global tolerance value)を用いて、アルゴリズムスイープの最後に問題全体が収束したか否かを判断します。問題全体の収束基準は、最大変数残差が許容値よりも小さいことです。変数残差は、特定の変数の現在および最後の反復値の差に関する算定残差です。

```

DEFAULT TOLERANCE <tolerance_value>

```



**DEFAULT TOLERANCE (デフォルトの許容値)**のキーワードは、それぞれの変数が解決されているときの収束を試験する場合に用いる許容値を指定します。ソルバーにおいて、それぞれの反復に関する算定残差値が許容値と比較されます。(注意: 残差の計算は、このガイドの次の節で説明されます)。許容値が残差より大きい場合、反復回数を完全に実行することを強制されていないときは、ソルバーは終了します。この許容値のデフォルト値は1.0E-03です。いくつかのシミュレーションはきわめて細かい許容値に収束しないこと、またしたがって微小な許容値を選択することはコンピュータ資源の浪費にしかならないことに注意が必要です。これは特に、収束の問題が多く生じる結合流および熱伝達の問題に関して該当します。また許容値は、解決される変数の残差が許容値と一致したため、ソルバー計算の早期終了を試験するためにもソルバー内で用いられます。複雑な形状および/または結合流や熱伝達のモデルを伴う問題において、1.0E-08という小さい許容値への収束を期待するのはある意味、非現実的です。1.0E-06の許容値への収束の達成は、適切に「正しい」ソリューションを示唆するものです。

```
TOLERANCE VALUES
    DEFAULT          <default tolerance value>
    <variable_name>  <specific tolerance value>
END
```

変数に関して変数を基準とする収束コントロールが必要なとき、**TOLERANCE VALUES (許容値)**サブセクションを用いて、それぞれの変数の収束許容値を個別に指定できます。未設定の変数が意味のある値を適用できるように、最初の項目として、**DEFAULT (デフォルト)**値を提供する必要があります。

```
NUMBER OF DYNAMIC GROUPS    <number_of_dynamic_groups>
NUMBER OF STATIC GROUPS    <number_of_static_groups>
```

**NUMBER OF DYNAMIC GROUPS (力学的グループの数値)**のキーワードは、*SMARTFIRE*に、CFDコード内で用いる力学的グループメンバーシップのグループの数を伝えます。これは、定常グループの数値、すなわち**NUMBER OF STATIC GROUPS**と同じ値のこともあれば異なることもあります。これらの値は、グループソルバーを用いるケースに関して適切なメモリを割当てするために必要です。

```
GROUP MEMBERSHIP CONDITIONS
    GROUP NUMBER          <group number>
    GROUP TITLE           <text to associate with group>
    <variable_name>      { ABS, FULL } <min_value> <max_value>
    END
END
```

**GROUP MEMBERSHIP CONDITIONS (グループメンバーシップ条件)**サブセクションにより、ユーザーはセルをグループ集合にマッピングおよび再マッピングするための力学的グループメンバーシップ基準を選択できます。それぞれのグループは、定義されている特定のグループに対する識別子としてのグループナンバーにもとづいて、独自のセルメンバーシップ条件を有しています。それぞれのグループにおいて、既知の変数の分布範囲にもとづいて最大6つのメンバーシップ条件が可能です。**GROUP TITLE (グループタイトル)**により、*SMARTFIRE*ユーザーインターフェースにおいて識別するために、グループに関連づけられるなんらかの意味のあるテキストを設定できます。特定の**GROUP NUMBER (グループナンバー)**のために指定されたそれぞれの条件は、その条件が用いる<variable\_name> (変数名)で始まります。**ABS (絶対)**または**FULL (完全)**のキーワードは、絶対変数値を選択に用いるか、あるいは完全な数値分布範囲を用いるかを示唆します。<min\_value> (最小値)および<max\_value> (最大値)は、0.0から1.0までの値がとられ、正規化された選択変数の分布範囲を示します。定義されたそれぞれのグ

ループは、0.0から1.0までのすべての値を完全にカバーする相互に排他的な分布範囲をもちます。条件間に矛盾が生じた場合、後の条件およびグループ定義がつねに優位になります。それぞれのグループ定義のサブセクションは、END(終了)のキーワードで終了させます。またサブセクション全体も、END(終了)によって終了させます。いずれかのGROUP (グループ)ソルバーがアクティブかつ任意の選択条件が定義されている場合、力学的グループの選択は自動的にアクティブ化されます。

```
SOLVER GROUP ITERATIONS
    <variable_name> <number_of_group_iterations>
END
```

SOLVER GROUP ITERATIONS(ソルバーグループ反復)サブセクションは、ソルバー内部反復セクションに類似していますが、反復制限がグループソルバーにのみ適用される点が異なります。反復の値は、次に解決変数に移行する前にすべてのグループがループされる回数を指定します。これらの反復は、係数マトリクスの再計算をおこなう頻度を指示します。それに対してソルバーグループコントロールでは、特定のグループおよび変数に関して特定の係数マトリクスが解決される回数を反復によって指示します。

```
SOLVER GROUP CONTROL
    <variable_name> <group number>
        ITERATIONS <number_of_inner_group_iterations>
        TOLERANCE <tolerance_for_group>
        RELAXATION <relaxation_for_group>
END
```

SOLVER GROUP CONTROL(ソルバーグループコントロール)サブセクションでは、それぞれの変数が指定されたグループソリューション戦略をもつことができます。後に続く設定がいずれのソルバーおよびグループに適用されるかを示すために、<variable\_name>(変数名)および<group\_number>(グループナンバー)を指定する必要があります。現在、ITERATIONS(反復)の数、収束のTOLERANCE(許容値)および、RELAXATION(弛緩)パラメータを設定するためのオプションがあります。これらのコントロールを使用するときには十分な注意が必要です。これは実験的なオプションであり、どのような変更が実用的であったり推奨されるものであったりするかと示唆する専門知識がほとんどありません。

## 6.2.28 ソルバーコントロール(SOLVER CONTROL)の例

このセクションの例として考察する流れシミュレーションでは、グローバル許容値が1.0E-03に設定された合計150回の外部反復スイープに関して、30回の反復を用いるWHOLE FIELDソルバーが圧力(Pressure)に適用される一方、速度Uコンポーネントのみが1回の反復の標準(JOR)ソルバーを用います。また、力学的に割当てられたエンタルピーのグループソルバーもあります。以下の行は、このセクションに関するこのような設定をおこなうものです。

```

SOLVER CONTROL
  SOLVER TYPE
    PRESSURE          WHOLE FIELD
    ENTHALPY          GROUP SOR
  END
  NUMBER OF GROUPS          2
  GROUP MEMBERSHIP CONDITIONS
    GROUP NUMBER          1
    GROUP TITLE Low enthalpy group
    ENTHALPY          FULL          0.0    0.5
  END
    GROUP NUMBER          2
    GROUP TITLE High enthalpy group
    ENTHALPY          FULL          0.5    1.0
  END
  END
  SOLVER GROUP ITERATIONS
    ENTHALPY          10
  END
  SOLVER GROUP CONTROL
    ENTHALPY          1
    ITERATIONS          1
    TOLERANCE          1.0e-2
    RELAXATION          0.3
    ENTHALPY          2
    ITERATIONS          3
    TOLERANCE          1.0e-4
    RELAXATION          0.1
  END
  SOLVER ITERATIONS
    PRESSURE          30
    U-VELOCITY          1
  END
  OUTER ITERATIONS          150
  GLOBAL TOLERANCE          1.0E-3
END

```

## 6.2.29 残差方法 (RESIDUAL METHODS)

### RESIDUAL METHODS

RESIDUAL METHODS (残差法) のキーワードは、残差の計算に用いる方法を詳細化するセクションを開始します。デフォルトでは、速度コンポーネント (Velocity components)、運動エネルギー (Kinetic Energy)、消散率 (Dissipation Rate) が L-無限ノルム (L-Infinity Norms) の絶対値を用いて残差の値を計算します。一方、そのほかすべての変数は、L-2 ノルムを用います。これらのデフォルトを変更するには、変数名をこのセクションに含み、その後 ABSOLUTE (絶対) または RELATIVE (相対) のキーワードを続けます。その後、L1、L2、または LI のキーワードを続けます。これらすべてのキーワードは、以下のように同じ行内に入力します。

```

<variable_name>  ABSOLUTE   { L1,  L2,  LI }
<variable_name>  RELATIVE   { L1,  L2,  LI }
<variable_name>  REFERENCE   { L1,  L2,  LI } <reference_value>
<variable_name>  SCALED NORM

```

ABSOLUTE norms (絶対ノルム) は、変数残差を計算するための実際の差の値を用いますが、RELATIVE norms (相対ノルム) は、正規化された差を用います。基準 (REFERENCE) ノルムは、相対ノルムと同じ形式をもちますが、正規化のためにユーザーが指定した基準値をもちます。L1 ノルムは、一般的にすべてのノードにおけるすべての差の合計です。L2 ノルムは、差の二乗の合計の平方根です。ま

たLIは、最大差を効果的に計算します。さまざまな残渣計算法は、特定の変数の収束に関するさまざまな測定をもたらします。

SCALED NORM(スケールドノルム)は、適宜、境界条件、初期条件、および材料プロパティにもとづいて、特定の変数の適切な基準値の計算を試みるものです。これはつねに十分成功するとは限らず、スケールドノルムとはいえないノルムを引き起こすことがあります。残差の計算に用いる公式は、基本的に、上記のREFERENCE NORM(基準ノルム)の場合と同じですが、基準値はシステムの初期化中に計算されます。

ユーザーは、可能なときはつねにREFERENCE L2 NORM(基準L2ノルム)を適用することが推奨されます。これは残差の報告により一貫性の高い感覚をもたらすからです。

### 6.2.30 残差方法(RESIDUAL METHODS)の例

以下の例は、さまざまな変数に関するさまざまな残差法を設定するものです。

#### RESIDUAL METHODS

PRESSURE (圧力)	REFERENCE L2 NORM	10.0
ENTHALPY (エンタルピー)	REFERENCE L2 NORM	1.0e6
KINETIC ENERGY (運動エネルギー)	SCALED NORM	
DISSIPATION RATE (消散率)	ABSOLUTE L2	
TEMPERATURE (温度)	RELATIVE LI	

END

### 6.2.31 出力コントロール(OUTPUT CONTROL)

#### OUTPUT CONTROL

OUTPUT CONTROL(出力コントロール)キーワードは、情報表示や出力ファイル作成を制御するセクションを開きます。操作のバッチモードに問い合わせたり、データ出力の制限に関係したりするコマンドもあります。これらの要素は、グラフィカルユーザーインターフェースの使用時には問題になりません。

#### PRINTOUT FREQUENCY <frequency>

スポット値情報の出力や残りの印刷の頻度は制御されます。初期設定では、これらの値は外部繰り返しが終わるたびに印刷されます。キーワードPRINTOUT FREQUENCY(印刷頻度)の後には必要な頻度が続き、印刷の頻度を変更するのに使用されます。

**[ NO ] USE CSV FORMAT**

キーワード「**USE CSV FORMAT**(CSVフォーマットを使用)」は、SMARTFIREは可能な時はComma Separated Variable(CSV)フォーマットを使用するべきということを意味します。このキーワードが通常影響するファイルは、フィールド間の通常のデリミターがスペースとなるテーブルやモニターファイルです。CSVフォーマットは、表計算(その他の)パッケージに直接読み込み可能であり、カンマ区切りのカラムを正しく読み込むことができるため、特に役立つフォーマットです。CSVを使用すると、ファイル名拡張子もまたそれに応じて「csv」に変更されます。

**SILENT**

**SILENT**(サイレント)キーワードは、印刷をしないことを意味します。

**SUCCINCT(圧縮)**

このキーワードは、*SMARTFIRE*に、ユーザーインターフェースの最終(ログ)ウィンドウに最小限の情報を印刷するよう命じます。コードが最初にユーザーヘケース詳細選択のすべてを反復する必要がないので、これは初期化プロセスを速めます。

**MONITOR CELL NUMBER <cell\_number> [ NAME<monitor\_name> ]**

これは、シミュレーション進行として表示される可能性のあるモニタリング値に対するセル位置です。希望するセル番号が後に続く**MONITOR CELL NUMBER**(モニターセル番号)を使用して、モニター値の位置を制御できます。選択されない場合は、モニターセルはセル1を選択されます。選択されたセルは、その値によって、中間解の妥当性を示します。このように、モニターは、ほとんど変化が観測されない、または境界条件が支配するような、角や境界に対してではなく、主要流の中にあるべきです。モニターに**NAME**(名前)をつけることもできます。この名前は、モニターセルデータが保存またはファイルにエクスポートされる場合に使用されます。

**MONITOR LOCATION <x\_coord> <y\_coord> <z\_coord> [ NAME <monitor\_name> ]**

キーワード**MONITOR LOCATION**(モニター位置)により、ユーザーはスポット値の(x,y,z)座標を指定できます。その後、*SMARTFIRE*は、入力された座標に最も近いセル中心を計算し、これをモニター位置として使用します。モニターに**NAME**(名前)をつけることもできます。この名前は、モニターセルデータが保存またはファイルにエクスポートされる場合に使用されます。Monitor Nameに接頭語の「fed(またはFED)」を付けると、モニターは毒性のある、且つ危険な燃焼放出物の有効暴露量率の計算も行います。これらの値はFED値の進行期間を表すテーブルファイルへの出力されます。Monitor Cell(モニターセル)もまたFEDプローブとして使用すると、ユーザーは呼吸速度、再起不能量、痛みや再起不能に関する放射熱閾値を表すパラメータの選択が行えます。

**FED MONITOR PARAMETERS <fed\_RMV> <fed\_PID> <fed\_DR\_pain> <fed\_DR\_incap>**

**FED MONITOR PARAMETERS**(FEDモニターパラメータ)によりユーザーはFED値の計算のコント



ロールパラメータに関連する閾値や性別の設定が行えます。これにより、そのポイントに配置可能な特定の人口で更に代表的となりえます。FEDモニター配置は、異なる人にそれぞれ保存場所が設定されるように、それぞれ異なるパラメータを持ちます。

最初のパラメータ<fed\_RMV>は分時呼吸量であり、人の呼吸の速さを表します（1分あたり）。この値は火災の有毒種の吸引に大きな影響を与え、静止状態または運動状態、且つプローブが表す性別により変化します。男女のRMVの一般的な範囲は下記の通りです。：

男性 – 速足: 47.5 – 52.5; 歩行: 23.75 – 26.25; 静止: 8.075 – 8.925.

女性 – 速足: 42.25 – 47.25, 歩行: 21.38 – 23.63, 静止: 7.268 – 8.033.

<fed\_PID>パラメータはPersonal Incapacitation Dose（個人再起不能量）（%）です。この値は閾値でFED値がこの値で再起不能を引き起こします。PIDの一般的な範囲は、男女とも25から35です。

<fed\_DR\_pain>と<fed\_DR\_incap>のパラメータにより、ユーザーはそれぞれPain（痛み）とIncapacitation（再起不能）を引き起こすRadiative Heat Dose（放射熱量）の指定が行えます。この値の単位は $(s(kW/m^2)^{(4/3)})$ です。Radiative Heat（放射熱）の痛みの閾値は控えめに見積もっても80で、再起不能を引き起こす閾値は一般的に1000です。

#### **CFD PROCESS STEPS <num\_steps>**

このキーワードは、ユーザーインターフェースが変化のために再びチェックされる前に、プロセスを制御しているCFDの周りのどれくらいのループが実行されるかを示します。しかし、初期設定では単一ステップで、より多くの時間を短縮できるプロセスステップの数を増やします。

**OUTPUT ITERATION NUMBERS <start\_iter> { TO <end\_iter>, ONWARDS }**

印刷と保存を、反復の特定範囲または特定の反復の開始と、無期限継続の間に制御できます。

**OUTPUT SIMULATION TIMES <start\_time> { TO <end\_time>, ONWARDS }**

一時的実行のシミュレーション時間の特定範囲または特定のシミュレーション時間の開始と、無期限継続の間に制御できます。



### 6.2.31.1 (制御された変更に関する)データモニタリング(Data Monitoring (for Controlled Changes))

```

DATA MONITORS
  DEFINE MONITOR
  DEFINE POINT MONITOR
  DEFINE VOLUME MONITOR
  DEFINE MONITOR LIST MONITOR
  DEFINE CELL LIST MONITOR
    MONITOR NAME      <monitor_name>
    MONITOR CONDITION
      <var_name> <cell_num>    GREATER THAN <test_value>
    MONITOR CONDITION
      <var_name> <cell_num>    LESS THAN    <test_value>
    MONITOR CONDITION
      <var_name> <x> <y> <z>    GREATER THAN <test_value>
    MONITOR CONDITION
      <var_name> <x> <y> <z>    LESS THAN    <test_value>
    MONITOR CONDITION
      <var_name> <x_lo> <y_lo> <z_lo>      ...
      <x_hi> <y_hi> <z_hi>      ...
      GREATER THAN <test_value>
    MONITOR CONDITION
      <var_name> <x_lo> <y_lo> <z_lo>      ...
      <x_hi> <y_hi> <z_hi>      ...
      THAN <test_value>
    DELAY ACTIVATION TIME <delay_time>
    FIRST ACTIVATION TIME <activation_time>
    COMBINE USING          { AND, OR }
    SPECIFY MONITORS
      MONITOR NAME      <child_monitor_name>
      MONITOR INDEX      <child_monitor_index>
    END
    SELECT { AVERAGE, SUMMED, MINIMUM, MAXIMUM }
    CONDITION BLOCK
      USE VARIABLE          <var_name>
      CELL LOCATION          <x> <y> <z>
      CELL NUMBER          <cell_number>
      { GREATER THAN, LESS THAN }
      TEST VALUE          <test_value>
      SELECT { AVERAGE, SUMMED, MINIMUM, MAXIMUM }
      USE REGION <x_lo> <y_lo> <z_lo> <x_hi> <y_hi> <z_hi>
    END
    SPECIFY CELLS
      CELL LOCATION          <x> <y> <z>
      CELL NUMBER          <cell_number>
    END
  END
END

```

DATA MONITORS(データモニター)サブセクションでは、いくつかのデータモニターを定義できます。これらは事前に設定され、様々な条件の「監視」を行います。これは(位置またはセルナンバーによって指定された)特定のセルにおける値で、多くのセルまたはセルのボリュームからの関連値にあり、または多くの子データモニターからの結果です。モニター評価からの返送は虚偽の結果または正しい結果のいずれかです。評価にはAND比較(すべての条件は、条件の組み合わせからの真の結果でなければなりま

せん)またはOR比較(真の条件はいずれも条件の組み合わせからの真の結果となる)のいずれかを使用します。現在個々の条件における評価試験のみが、指定されたセルの変数値が既定値を上回る(GREATER THAN)か下回る(LESS THAN)かの比較となります。それぞれのデータモニターは、任意の数のMONITOR CONDITION(モニター条件)のステートメントをもつことができます。データモニターが複数のセルから構成されているとき(例:ボリュームモニターまたはセルリストモニタ)、これら複数の値を組み合わせる方法もまた必要となります。現在このオプションは選択したセルで値のVERAGE(平均)、SUMMED(合計)、MINIMUM(最小)またはMAXIMUM(最大)を使用します。

代わりの設定フォーマットはCONDITION BLOCK(条件ブロック)を使用します。これは基本的に同様の情報とコマンドを持ちますが、行単位で簡単なフォーマットにて表されます。

これらのデータモニターは、現行のソリューションステータスがシミュレーションにおいて変化を引き起こすことができるさらなる柔軟性をユーザーに提供するために装備されました。以下にその例を示します。

- 付近のセルが一定の圧力に達したときの窓の「破壊」(制御されたパッチが面パッチに変化)。
- 表面上のセルが発火温度に達したときの、熱源となる「オブジェクト」の2次発火(制御されたパッチがボリュームパッチに変化)。
- 推移期間を通じてソリューションが安定性を維持するように、時間ステップサイズをこれらのデータモニターにもとづいて変更できる(制御された時間ステップの変化)。

```
SELECTIVE LOG           { INDIVIDUAL, BY VARIABLE, BY MONITOR }
SELECTIVE MONITOR POINT LOG
    [ NOT ] ALL
    <variable_name>
END
```

データモニターからファイルへのデータ出力をアクティブにすることもできます。データ出力には多くの様々なモードがあり、SELECTIVE MONITOR POINT LOG(選択モニターポイントログ)サブセクションを使用して、データ出力を選択された変数に制限することも可能です。出力モードはSELECTIVE LOG(選択ログ)コマンドで設定され、INDIVIDUAL(個別)(各変数と各モニターに1つのログファイル)、BY VARIABLE(変数による)(すべてのデータモニターを含む変数ごとに1つのログ)、BY MONITOR(モニターによる)(すべての変数を含むモニターごとに1つのログ)のいずれかを使用します。

「DELAY ACTIVATION TIME(遅延起動時間)」コマンドは、起動が許可されると、起動条件の検出が、変更前、規定の待ち時間の後に行われることを意味します。

「FIRST ACTIVATION TIME(最初の起動時間)」コマンドは再起動に使用され、モニターが起動されることを表示します。これは、遅延期間に保存した再起動の保存がある遅延起動を、モニターが持つ場合に必要となります。シナリオを確実に再起動させる唯一の方法は、モニタ条件に、既に起動済みであることを、再起動前に知らせることです。

単純な例として、以下の単一の条件データモニターを考察します。これは、位置[0.2, 0.5, 0.8]における温度が380.0Kを超えたときにアクティブになります。

```

DATA MONITORS(データモニター)
  DEFINE MONITOR
    MONITOR CONDITION(モニター条件)
      TEMPERATURE(温度) 0.2 0.5 0.8 GREATER THAN 380.0
    END
  END
END

```

### 6.2.31.2 出力ファイルオプション(Output File Options)

#### CREATE DEBUG FILE

CREATE DEBUG FILE(デバッグファイルを作成する)のキーワードは、デバッグ(バグ修正)情報をデバッグ「.dbg」拡張子をもつファイルに強制的に変換します。デバッグ機能のコントロールは、後のDEBUG CONTROL(デバッグのコントロール)セクションで説明します。デバッグファイルの作成を制限するときおよび不要なデバッグファイルを削除するときは、一般的にそれらのファイルがきわめて大きいため、十分な注意が必要です。

#### CREATE LOG FILE

CREATE LOG FILE(ログファイルを作成する)のキーワードは、通常の画面からのプリントアウトを「.log」拡張子をもつログファイルに方向付けます。

#### CREATE TABLE FILE

CREATE TABLE FILE(表ファイルを作成する)のキーワードは、画面に送られたすべての反復値の表ファイルを表形式の「.run」ファイルとして作成します。これはそのほか多数のグラフ作成ソフトや表作成ソフトで読み込むことができます。

#### CREATE ZONE FILE

CREATE ZONE FILE(ゾーンファイルの作成)キーワードは、ゾーンデータを他のパッケージにエクスポートするための表形式ファイルを作成します。ゾーンは、範囲全体に代表的な反応を与えるために、(多くのセルからの)フィールドデータが平均される範囲です。ゾーンは下と上の層が使用されるように、高さによってさらに分割されます。これは、シミュレーション条件下にある、歩いているまたは這っている人々の状態の評価に特に重要です。出力は、「\_zone.dat」ファイルを作成します。このファイルについては、SMARTFIREからEXODUSへのエクスポートドキュメントに詳しく説明してあります。

```
{ CREATE VAR FILE(変数ファイルを作成する), NO VAR FILE(変数ファイルなし) }
```

CREATE VAR FILE(変数ファイルを作成する)は、それぞれのノードおよび変数の結果を、変数「.var」ファイルのテキスト読み取り可能なフォーマットに強制的に書き出します。変数ファイルは、変数名別に複数のセクションに分割され、単に示唆されたすべての変数値をノードの順番に列挙するものです。このフォーマットは、行ごとに6個の数値を含んでいます。

```
{ CREATE PHI FILE(PHIファイルを作成する), NO PHI FILE(PHIファイルなし) }
FLOWVIS PHI FORMAT
```

CREATE PHI FILE(PHIファイルを作成する)のキーワードは、*PHOENICS*タイプの結果である「.PHI」ファイルが作成されることを示すために、構造化された、デカルト座標のメッシュとともにのみ用います。FLOWVIS PHI FORMAT(FLOWVIS PHI形式)のキーワードは、サードパーティ製のポストプロセッシングツールが「.PHI」ファイル内の速度ベクトルを正確に読み込めるように提供されています。

```
{ CREATE MAYAVI FILE, NO MAYAVI FILE }
EXPORT MAYAVI FILE
MAYAVI DATA FORMAT { CELL DATA, POINT DATA }
EXPORT NAME <mayavi_export_file_name>
```

CREATE MAYAVI FILE(MayaViファイルの作成)は、「.vtk」ファイルを使用して、結果保存ができます。これらのファイルは、すべてのフィールドデータを含んでいます。「.wrl」ファイルも、形状を含んで保存されます。EXPORT MAYAVI FILE(MayaViファイルのエクスポート)は、MayaVi VTKファイルヘデータの追加エクスポートができます。MayaViファイルは、2つの空間的基準のうち1つを使用して保存されることも可能です。CELL DATA(セルデータ)を使用したMAYAVI DATA FORMAT(MayaViデータフォーマット)は、セル中心での結果を出力し、一方POINT DATA(ポイントデータ)は、出力前に交点での結果を計算します。EXPORT NAME(エクスポート名)コマンドは、保存にエクスポート名が与えられることを可能にします。

```
{ CREATE TECPLOT FILE, NO TECPLOT FILE }
```

CREATE TECPLOT FILE(TecPlotファイルの作成)は、TecPlotフォーマットでの結果保存を可能にします。

```
{ CREATE ENSIGHT CASE, NO ENSIGHT CASE }
ENSIGHT CASE FORMAT { 6, GOLD }
```

CREATE ENSIGHT CASE(Ensigntケースの作成)は、Ensigntケースとして結果保存を可能にします。Ensignt 6とEnsignt Goldフォーマット間で、保存形式を変更することもできます。

```
{CREATE RESTART FILES(再起動ファイルの作成)、NO RESTART FILES(再起動ファイルなし)}
```

CREATE RESTART FILES(再起動ファイルの作成)のキーワードは、SMARTFIREに、シミュレーションの終了時に必要な再起動ファイルを(再起動データベースの入力とは逆に)作成するように命令します。これらのファイルを用いて、後日、ケースをシミュレーションの終了時から再開できます。ユーザーは、再起動ファイルを保存するために、ウィンドウを閉じる[X]ボタンではなく、[終了(Exit)]ボタンを用いてSMARTFIREシステムを終了します。このイベントにおいて、コントロール設定およびすべての変更は、ケース指定ファイルで定義されたものに限られることに注意が必要です。ユーザーインターフェースを用いてもたらされたか、または既定のコントロールパッチおよびデータモニターによって引き起こされた変更は消失することがあります。作成される3つのファイルは、「.sme」、「.vts」および「.smg」ファイルです。それぞれの基準名は「casename\_end\_sim」です。

```
{ USE BINARY RESTART FILE(バイナリ再起動ファイルを使用する), USE ASCII RESTART FILE
(ASCII再起動ファイルを使用する) }
```

SMARTFIREが再起動ファイルを保存するデフォルトのモードは、バイナリモードです。一般に、バイナリ再起動ファイルは、コンピュータプラットフォーム間で移植できません。このデータは、代わりにASCIIファイル(移植可能)を使用できるように、USE ASCII RESTART FILE(ASCII再起動ファイルを使用する)を用いて変更できます。コードはこれから読み込むファイルのタイプを事前に検出するため、ASCIIとバイナリのいずれかの再起動ファイルを読み込みのためにもつことに問題はありません。まったく同一のデータを格納しているにもかかわらず、ASCIIファイルは、バイナリ形式にフォーマットされたファイルよりもはるかに大きくなります(2から6倍)。

```
CREATE RESTART EVERY{TIME STEP, <number_of_sweeps> } (時間ステップまたはスイープ回数ごとに再起動ファイルを作成する)
```

自動的に保存されるもっとも重要なファイルは再起動ファイルです。2通りの操作モードがあります。最初のモードは、過渡シミュレーションにおけるそれぞれの時間ステップの終了時に、完全な再起動ダンプを保存します。2番目のモードでは、定常状態シミュレーションの実行中、再起動ダンプが保存される前に、所定の数のスイープを進行させることができます。これらの機能を用いるときは、十分な注意が必要です。なぜなら、再起動ファイルは、再起動のために保存しなければならない大量の情報によって利用可能なディスク容量を急速に占有する可能性があるからです。

```
CREATE STEADY RESTART [ EVERY <num_ iterations> ] (それぞれの反復ごとに、定常再起動ファイルを作成する)
```

```
CREATE TRANSIENT RESTART [ EVERY <num_time_steps> ] (それぞれの時間ステップごとに、過渡的な再起動ファイルを作成する)
```

```
CREATE TRANSIENT RESTART TIMES <sim_time>
```

これらのキーワードにより、シミュレーションの実行中に再起動ファイルが定期的に保存されます。STEADY(定常)バージョンは、単一の時間ステップ実行中あるいは定常状態シミュレーション(非過渡)の実行中における保存を設定します。逆に、TRANSIENT(過渡)バージョンは、時間ステップごと、または複数の時間ステップを基準とする保存を設定します。これらの保存により作成されるファイルは、それぞれ「S\_index.VTS」および「T\_index.VTS」です。ここで、indexは現行の反復または現行の時間ステップナンバーになります。保存も、規則的なシミュレーション時間間隔で保存できます。

```
CREATE STEADY RESULTS [ EVERY <num_ iterations> ] (それぞれの反復ごとに、定常状態の結果を作成する)
```

```
CREATE TRANSIENT RESULTS [ EVERY <num_time_steps> ] (それぞれの時間ステップごとに、過渡的な結果を作成する)
```

```
CREATE TRANSIENT RESULTS TIMES <sim_time>
```

これらのキーワードにより、シミュレーションの実行中に結果ファイルが定期的に保存されます。STEADY(定常)バージョンは、単一の時間ステップあるいは定常状態シミュレーション(非過渡)の実行中における保存を設定します。逆に、TRANSIENT(過渡)バージョンは、時間ステップごと、または複数の時間ステップを基準とする保存を設定します。これらの保存により作成されるファイルは、それぞれ「S\_index.VAR」および「S\_index.PHI」、ならびに「T\_index.VAR」、「T\_index.PHI」です。ここで、indexは現行の反復または現行の時間ステップナンバーになります。保存も、規則的なシミュレーション時間間隔



で行えます。

```
CREATE STEADY GRAPHS      [ EVERY <num_iterations> ] (それぞれの反復ごとに、定
常状態のグラフを作成する)
CREATE TRANSIENT GRAPHS   [ EVERY <num_time_steps> ] (それぞれの時間ステップご
とに、過渡的なグラフを作成する)
CREATE TRANSIENT GRAPHS TIMES <sim_time>
```

これらのキーワードにより、シミュレーションの実行中にグラフプロットファイルが定期的に保存されます。STEADY(定常)バージョンは、単一の時間ステップあるいは定常状態シミュレーション(非過渡)の実行中における保存を設定します。逆に、TRANSIENT(過渡)バージョンは、時間ステップごと、または複数の時間ステップを基準とする保存を設定します。これらの保存により作成されるファイルは、それぞれ「Sid\_index.GPD」および「Tid\_index.GPD」です。ここで、idはグラフ固有の識別番号、indexは現行の反復または現行の時間ステップナンバーになります。保存も、規則的なシミュレーション時間間隔で行えます。

```
CREATE STEADY VISUALS     [ EVERY <num_iterations> ] (それぞれの反復ごとに、定
常状態のビジュアルを作成する)
CREATE TRANSIENT VISUALS  [ EVERY <num_time_steps> ] (それぞれの時間ステップご
とに、過渡的なビジュアルを作成する)
CREATE TRANSIENT VISUALS TIMES <sim_time>
```

これらのキーワードにより、シミュレーションの実行中に画像キャプチャが定期的に保存されます。STEADY(定常)バージョンは、単一の時間ステップあるいは定常状態シミュレーション(非過渡)の実行中における保存を設定します。逆に、TRANSIENT(過渡)バージョンは、時間ステップごと、または複数の時間ステップを基準とする保存を設定します。これらの保存により作成されるファイル名は、それぞれSV index.typeおよびTV index.typeです。ここで、indexは現行の反復または現行の時間ステップナンバー、typeはJPG または BMPの保存フォーマットになります。「V」はデータ可視化を保存したファイルを意味し、「G」は、グループウィンドウディスプレイを用いた場合にそれを保存したファイルを意味します。保存も、規則的なシミュレーション時間間隔で行えます。

```
CREATE STEADY EXPORT      [ EVERY <num_iterations> ]
CREATE TRANSIENT EXPORT   [ EVERY <num_time_steps> ]
CREATE TRANSIENT EXPORT   TIMES <sim_time>
```

これらのキーワードは、シミュレーションの実行中に、結果ファイルが定期的に保存されます。STEADY(定常)バージョンは、単一の時間ステップあるいは定常状態シミュレーション(非過渡)の実行中における保存を設定します。逆に、TRANSIENT(過渡)バージョンは、時間ステップごと、または複数の時間ステップを基準とする保存を設定します。これらの保存により作成されるファイルの名前は、確実にどのエクスポートオプションが可能かに依存します。初期設定では、エクスポートはMayaVi VTKファイルの現行追加バージョンを持っています。保存も、規則的なシミュレーション時間間隔で行えます。

```
DEFINE RESULT REGION      <region_number_id>
  TITLE <region_title>
  REGION <x_low> <y_low> <z_low> <x_high> <y_high> <z_high>
END
```

DEFINE RESULT REGION(結果範囲を定義する)サブセクションでは、範囲を定義し、データ出力を



表形式に制限できます。結果範囲(result REGION)が定義されたら、SMARTFIREは、その範囲に囲まれたそれぞれのセルに関するすべてのデータをそれらのセルの位置およびセルナンバーとともに出力します。このような出力は、大きなケースに関して大きな範囲を選択した場合、きわめて大規模になることがあります。

```
SELECTIVE OUTPUT
  ALL
  [NOT] <variable_name>
END
```

SELECTIVE OUTPUT(選択的出力)のキーワードにより、結果ファイルを一定の選択された変数に限定するサブセクションが開始します。デフォルトでは、すべて(all)の変数がアクティブ化されます。<variable\_name>(変数名)のキーワードを用いて、指定された変数をアクティブ化できます。このコマンドの前に「NOT」変更子が置かれた場合は、後に続く変数が非アクティブ化されます。

```
EXPORT VARIABLES
  ALL
  [NOT] <variable_name>
END
```

結果のエクスポートが可能な場合、出力を選択された変数に制限することも可能です。セクションの構文は、上記で説明したSELECTIVE OUTPUT(選択的出力)に非常によく似ています。これらの制御は、すべてのエクスポート保存に対して出力を制限します。

```
DEFINE RESULT REGION
  TITLE          <result_region_title>
  REGION          <low_x> <low_y> <low_z> <high_x> <high_y> <high_z>
END
```

DEFINE RESULT REGION(結果範囲定義)サブセクションにより、ユーザーは、結果データをエクスポートできる範囲を作成できます。各範囲は、どのセルが範囲限界内に中心を持っているかを評価し、各セルは、セル番号、座標、セル内の数的シミュレーション状態(フィールドデータ)のログを出力します。TITLE(タイトル)キーワードにより、ユーザーはタイトルを結果範囲と結びつけることができます。実際の範囲境界は、REGION(範囲)コマンドで、<low\_x> <low\_y> <low\_z> と<high\_x> <high\_y> <high\_z>値を使用して、高低の座標で定義されます。

```
ADDITIONAL OUTPUTS
  OUTPUT FACES
    FOR ALL SURFACES
    FOR ALL SOLID SURFACES
    FOR FACE PATCH NUMBER      <face_patch_number>
    FOR FACE OBJECT INDEX      <face_object_id>
    USE REGION    <low_x>  <low_y>  <low_z>  <high_x>  <high_y>
<high_z>
    FACES NORMAL TO    <norm_x> <norm_y> <norm_z>
    OUTPUT NAME        <output_file_name>
  END
END
```

ADDITIONAL OUTPUTS(追加出力)サブセクションにより、ユーザーはデータ出力が提供される必要のある面を選択できます。どの面が結果出力を持つかを確実に示すための、様々な選択コマンドがあり

ます。OUTPUT NAME(出力名)は、出力ファイルがどのように名づけられるべきかを示します。

```
TRANSIENT SAVES USING { TIMES, STEPS }
SAVE TIME SECOND DIGITS <num_sec_digits>
SAVE TIME FRACTION DIGITS      <num_frac_digits>
```

過渡保存を実行する場合、時間を使用した保存や、時間ステップ番号を使用した保存を使うことができます。保存に時間が使用された場合、シミュレーション時間の重要な部分がファイル名をオーバーフローしないよう、(ファイル名の構造に)出力形式を指定することがさらに可能です。例えば、最小時間ステップサイズが0.01秒で、100秒の合計シミュレーション時間を持つ場合、オーバーフローを避けるために、3つの秒桁と、2つの少数桁が必要になります。

### 6.2.31.3 グラフプロットの定義(Graph Plot Definitions)

```
DEFINE GRAPH NUMBER <plot_number_id>
  TITLE <plot_title>
  PATH <x_low> <y_low> <z_low> <x_high> <y_high> <z_high>
  { X COORD, Y COORD, Z COORD, <variable_name> }
  { X COORD, Y COORD, Z COORD, <variable_name> }
END
```

DEFINE GRAPH NUMBER(グラフナンバーを定義する)サブセクションにより、任意の(現在は最大50)の折れ線グラフを設定できます。SMARTFIREがユーザーインターフェースを伴わずにバッチモードで実行されている場合、グラフの「プロット」は、グラフデータを表ファイルに保存することにより構成されます。ユーザーインターフェースがアクティブの場合、それぞれのグラフは単一の自動スケールウィンドウ上にプロットされます。TITLE(タイトル)および<plot\_number\_id>(プロットナンバーid)が表示され、それぞれのグラフの識別が促進されます。PATH(パス)は、領域内にある線の定義です。コードは、線が交差するセルのトラックを決定し、これをグラフプロットのデータのソースとして用います。パスは軸の1つと平行になるのが理想的ですが、対角線も可能です。対角線にはいくつかのステップが関わるがあるので、使用することは推奨されません。PATH(パス)のキーワードの後のコマンドは、グラフのx軸およびグラフのy軸のそれぞれに関して使用する項目です。使用されるシンタックスは、完全に無制限です。なぜならユーザーは、X COORD(座標)の値、Y COORD(座標)の値、Z COORD(座標)の値、あるいはグラフのいずれかの軸上の<variable\_name>(変数名)の値のどれか1つをプロットすることを選択できるからです。以下の例は、このシンタックスをわかりやすくするものです。

```
DEFINE GRAPH NUMBER      1
  TITLE  My y=height, x=temp vertical path through a fire
  PATH   0.8   0.0   2.1  0.8   2.2   2.1
  TEMPERATURE                                     :x axis
  Y COORD                                     :y axis
END
```

#### 6.2.31.4 ゾーン出力の定義(ZONE OUTPUT Definitions)

```

ZONE OUTPUT
  DEFINE ZONE <zone_index>
    TITLE <zone_title>
    ZONE <low_x> <low_y> <low_z> <high_x> <high_y> <high_z>
    UPPER LAYER HEIGHT RANGE <low_y> <high_y>
    UPPER LAYER ZONE <lx> <ly> <lz> <hx> <hy> <hz>
    LOWER LAYER HEIGHT RANGE <low_y> <high_y>
    LOWER LAYER ZONE <lx> <ly> <lz> <hx> <hy> <hz>
    USE FUNCTION INDEX <function_index>
  END
END

```

ゾーン出力サブセクションでは、ユーザは多くの出力ゾーンを指定できます。この機能は、サードパーティのシミュレーション製品にデータをエクスポートするのに使用されます。その製品は、CFDシミュレーションのようにひとつのセルごとのデータというより、ゾーン範囲に再定義されたデータを必要とします。

タイトルから、ゾーンタイトルの指定ができます。

ゾーンキーワードは、親ゾーンのあらゆる座標を表示します。

上下のレイヤーゾーンは、2通りの方法で設定できます。もし、これらサブゾーンが、親ゾーンと同じベースエリアを持つ場合、下レイヤーのサブゾーンの上部高さ範囲を設定するだけでよいです。逆に言えば、上または下レイヤーゾーンが、親ゾーンと同じ、ベースエリアを持たない場合は、サブゾーンコマンドでは、完全な座標を指定できます。上下サブゾーンの重複は認められます。それどころか、全く意味がないかもしれませんが、サブゾーンが親ゾーンの外側にあることさえあります。ゾーン内で平均プロパティの計算を行うためには、サブゾーンは、少なくとも1つセルを含む必要があります。サブゾーンの範囲を指定する場合は、特に注意が必要です。そうすれば、多くのセルはゾーン内に存在することになります。

USE FUNCTION INDEX(使用関数インデックス)コマンドは、ゾーン評価が、予め定義された関数定義を使用するという意味です。複数の使用関数インデックスコマンドは各ゾーンで使用でき、各関数は多くのゾーンによって使用されます。OUTPUT CONTROL(出力制御)セクションにおける関連の関数全ての定義は、ユーザの責任において行ってください。

### 6.2.31.5 出力関数定義(OUTPUT FUNCTION Definitions)

```

FUNCTION OUTPUT
  DEFINE OUTPUT FUNCTION
    VOLUME FUNCTION
      { X, Y, Z } PLANE FUNCTION
      PLANE COORDINATE <plane_position>
      FUNCTION REGION <lx> <ly> <lz> <hx> <hy> <hz>
      USE { NET, POSITIVE, NEGATIVE } FLUX
      AVERAGE VOLUMISED
      AVERAGE NUMBER ONLY
      SUMMATION NUMBER ONLY
      VARIABLE SUMMATION
      SUMMATION NUM AND DEN
      RADIATION SUMMATION
      SIMPLE VARIABLE <variable_name>
      FUNCTION VARIABLE <pos_index> { <variable_name>, UNUSED }
      NUMERATOR CONSTANT <numerator>
      DENOMINATOR CONSTANT <denominator>
      NUMERATOR PARAMETER <num_parameter>
      DENOMINATOR PARAMETER <den_parameter>
      ADDED CONSTANT <const_value>
      AS OUTPUT NAME <output_name>
    END
  END
END

```

FUNCTION OUTPUT(機能出力)サブセクションでは、評価関数を定義します。それは、ソフトウェアの出力の計算に使用されます。これらの関数は、2つのことに役立ちます。それらは変数の特定の組合せ結果や、特定のサブ領域ドメインの計算指定に使用できます。または、サードパーティ製ソフトウェアとリンクした領域出力により、テンプレート機能として使用することも可能です。

関数定義の全てのコマンドが使用されるというわけではない点に注意が必要です。(未使用と設定されている変数が証明したように)、そして、手動構成を使用する場合、正しくデータ保存の構成を行うために、コマンドスクリプトファイルの編集が必要です。実際の関数定義は、以下の形をとります。

$$\text{fun\_result} = \frac{(\text{n\_const} * \text{fun\_var1} * \text{fun\_var3} * \text{fun\_var5} * \text{n\_param})}{(\text{d\_const} * \text{fun\_var2} * \text{fun\_var4} * \text{fun\_var6} * \text{d\_param})} + \text{const}$$

DEFINE OUTPUT FUNCTION(出力定義関数)コマンドは、新しい関数定義があとに続くという意味です。各関数定義は暗黙にインデックスがあります。最初に定義されたものが、インデックス1、次に定義されたものが、インデックス2、というようにインデックスは続いていきます。インデックスは、出力領域定義例のように、参照されることがあります。

VOLUME FUNCTION(ボリウム関数)コマンドは、関数は、セルのボリウムで評価されるという意味です。これは、領域出力用のサブボリウムを計算するための通常モードです。選択肢は、X、Yまたは関数領域がx-、y-またはz-平面を示す**Z平面関数**を持つことです。PLANE FUNCTION(平面関数)の形態は、PLANE COORDINATE(平面座標)コマンドを使用して、対象となる面の実際の位置を指定します。

FUNCTION REGION(関数領域)は、出力関数のために評価されたセルを含む領域を指定します。領域出力にとって、関数領域は、ダミーの領域です。この関数を使用している出力領域から、それらの幾何

学的定義してからは、実際には使用されません。

**USE NET FLUX**(使用正味の流束)コマンドは流束に基づく計算に使用され、関数が結果として生じる、プラスの流束に与えるプラスとマイナスの流束を追加するという意味です。言い換えると、**USE NEGATIVE FLUX** (マイナスの流束)または**USE POSITIVE FLUX** (プラスの流束)は、ただプラス、あるいはマイナス(それぞれ)を使用します。

関数に使用できる計算モードが数多くあります。**AVERAGE VOLUMISED** (平均VOLUMISED)コマンドは、関数がセルを含んでいるボリュームに配慮して計算された平均値を使用するという意味です。**AVERAGE NUMBER ONLY**(平均数)はただセル値を平均するだけです。セルの量は無視されます。**SUMMATION NUMBER ONLY**(合計番号)は、ただ上下レイヤー領域に含むセル値を全て合計するだけです。多重項関数定義を使用する場合、**VARIABLE SUMMATION** (変数合計)モードは、それぞれ変数を合計します。**SUMMATION NUM**(合計番号)と**DEN**モードは、分母計算の後の分子計算として多重項関数定義を取り扱い、それから分割を実行します。この最新の計算モードは、特に**EXODUS** 百万分の一(ppm)または百分率濃度に対する化学種の**SMARTFIRE**質量分率の再縮尺に役立ちます。**RADIATION SUMMATION** (放射線合計)モードは、出力領域の中央で、目立ったボリュームに対する放射線の影響を合計します。レガシー処理においては、ボリュームは、それぞれ、立っている人や這っている人の表面エリアを表しました。合計の特性は、活性化した正確な放射線モデルによったものです。複数の光線放射線モデルで、人-ボリュームを通過する放射能流束を合計可能でした。それは人-ボリュームの表面の場合と同じでしょう。新しい処理は、(領域の底部の)領域の中央の点に対して、逆方向の光線合計(上半球)を実行します。一般的に、交互に行われる計算戦略により非常に正確であり、対象となる領域の外側においてのみ、熱源と高温に対して敏感です。

**FUNCTION VARIABLE**(関数変数)線が、評価関数において、どのスロット(あるいは位置)に、どの変数部分を使用するかを考慮します。複数構成要素の計算において使用される6つの変数があります。変数1、3、5は分子項目です。つまり、分子が形成するために増加するものです。変数2、4、6は分母項目です。つまり、分母が形成するために増加するものです。もし変数が未使用と定義されたならば、どんな計算に用いられません。**SMARTFIRE**が認識する名前は、火災モデリングのシナリオと、動作している物理的モデルの性質によります。主に、単純発熱率、火災モデリングのシナリオは以下の変数名を認識します。「圧力」、「U-速度」、「V-速度」、「W-速度」、「密度」、「ボリューム」、「温度」、「エンタルピー」

**分子定数**は、分子スケール要因を入力することを可能にします。

**分母定数**は、分母スケール要因を入力することを可能にします。

**NUMERATOR PARAMETER**(分子パラメータ)インデックスは、他の幾何学的量を関数評価させることができます。これらは、通常、典型的な領域出力計算には必要ありません。

**DENOMINATOR PARAMETER**(分母パラメータ)インデックスは、他の幾何学的量を関数評価させることができます。これらは、通常、典型的な領域出力計算には必要ありません。

**ADDED CONSTANT**(追加)値は、ユーザが関数評価から定数を追加(マイナス値で差し引く)することを可能にします。これは、たとえば、 $^{\circ}\text{C}$ でエクスポートされてものを除き、ケルビンで計算された温度のリスケーリング処理に役立ちます。



AS OUTPUT NAME(AS出力名)コマンドで、関数出力に、EXODUSが認識できる名前を付けることができます。例えば、SMARTFIREは「TEMPERATURE」という名前を使用しますが、EXODUSは、入力ファイルとリンクしたデータの中に「TEMP」という名前があることを期待しています。

#### 6.2.31.6 放射モニターの定義(RADIATION MONITOR Definitions)

SAVE TO RADIATION MONITOR FILE

```
DEFINE RADIATION MONITOR <rad_monitor_index>
  TITLE <rad_monitor_title>
  POINT <x_coord> <y_coord> <z_coord>
  NORMAL <normal_x> <normal_y> <normal_z>
  ALL SIX DIRECTIONS
  ALL DIRECTIONS
END
```

DEFINE RADIATION MONITOR(定義放射線モニター)ブロックは、ユーザが多くの放射線モニターポイントを指定できます。これらは(対象となる点に対して)逆方向の放射性光線計算を使用します。温度の放射線成分より、かなり正確に計算できそうです。特定のポイントに到達した温度の放射線に決定するというより、熱い領域から放射性をロスした分だけ決定したほうが、本当は適切です。TITLE (タイトル)コマンドは、ユーザが、タイトルと放射線モニターを関連づけることができます。

POINT (ポイント)コマンドは、対象となるポイントを示します。これは、ポイントを含む最も近いセルになるでしょう。ユーザの責任において、ドメインセルのうちの1つの中に、ポイントがあることを確認します。

NORMAL (通常)コマンドは、ユーザは対象方向を指定できます。デフォルトでは、放射線計算は、領域から対象ポイントに戻って、計算を決定します。通常コマンドは、領域はどの方向の中にあるか定義します。

ALL SIX DIRECTIONS (全6方向)コマンドでは、ポイントの放射線は、それぞれの座標方向(両方+veと-ve)で順番に評価します。

ALL DIRECTIONS (全6方向)キーワードは、全方向からの放射線流束を計算する、という意味です。

#### 6.2.32 一般情報(GENERAL INFORMATION)

GENERAL INFORMATION

GENERAL INFORMATION(一般情報)のキーワードにより、コードが要求する追加的な一般設定情報を含むセクションを開始します。一般的に、この情報はそのほかのセクションのいずれにも必然的に該当しないものです。これには、重力定数、基準密度、基準圧力、差分計算スキームなどの量の設定が含まれます。このセクションにおけるほとんどの項目は、シンタックスを完成するために数値またはオプションキーワードを必要とします。

RANDOM NUMBER SEED <random\_number\_seed>



粒子追跡モデルを使用している場合、システムはランダムノズルからどのように粒子が放出されるかを定義するために、乱数を使用します。結果の再生を可能にするために、**RANDOM NUMBER SEED**(乱数シード)が追加され、特定のシミュレーション(およびログファイル)に使用されるシードが、他のシミュレーションにも適用できるようになりました。乱数シードの設定は、常に必要で賢明であるわけではありません。初期モードは、現在の時間から乱数シードを設定します。

#### DIFFERENCING SCHEME

<variable\_name> <difference\_scheme>

END

解決された各変数に使用される差分法のタイプは、**DIFFERENCING SCHEME**(差分法)サブセクションで設定されます。各変数は、割り当てられた差分法を持つことができ、そのオプションは、**UPWIND**(風上)、**POWER LAW**(指数法則)、**HYBRID**(混合)、**EXPONENTIAL**(指数)、**SMART**、**MUSCL**、**SKEW SMART**(スキュースマート)、**SKEW MUSCL**(スキューMUSCL)です。初期値は**HYBRID**(混合)です。これは、使用される対流近似を制御します。単一の差分法(すべての変数の)設定のレガシーモードはまだ対応しています。**SMART**と**MUSCL**タイプの差分法は、いわゆる高次差分法です。なぜなら、係数マトリックスを構築する場合、それらはすぐ隣のセルを考慮に入れるからです。これは、実行に小さな影響を与えられます。

**PRESSURE AT ZERO COORDINATE** <pressure\_at\_zero\_coordinate>

一般的に、ソリューション領域における圧力は、大気圧の値をもちます。SI単位において、これは約  $1.0E+05$  パスカルの基準値を圧力に与えます。実際の圧力値を使用すると、ソリューション領域における圧力の小さい変化が数値的不精密に埋没する可能性があります。ソリューション手続きにおいて、圧力変化、いわゆる「圧力勾配」は、圧力値自体よりも最終的な回答に実際に影響を及ぼします。したがってすべての排気口およびゼロの高度座標においてゼロの圧力を仮定することは一般的な慣習です。理想気体法則において、密度方程式は、実際の圧力値の適用を必要とします。**PRESSURE AT ZERO COORDINATE**(ゼロ座標における圧力)のキーワードを用いることによって設定される値は、理想気体法則において用いる圧力値を求めるために、算定圧力に加算されます。デフォルト値は海拔ゼロ地点における大気圧の  $1.01325e+05$  Paです。この値は、気体密度を計算するために理想気体法則を用いるケースに関して正確に設定する必要があります。

**GRAVITY** <gravity\_constant>

**GRAVITY constant**(重力定数)のデフォルト値は  $-9.81$  に設定されています。標準的なSI 重力定数である  $9.81 \text{ ms}^{-2}$  は、負の値として入力する必要があります。なぜなら、Y-座標方向は垂直の上向きですが、重力の加速度は下向きだからです。浮力を伴う流れシミュレーションは、正確な操作のためにこの値を設定することを必要とします。

**GRAVITY X COMPONENT** <x\_gravity\_constant>  
**GRAVITY Y COMPONENT** <y\_gravity\_constant>  
**GRAVITY Z COMPONENT** <z\_gravity\_constant>

デフォルトの[Y]方向の重力が定義された領域を基準として正しい方向を示さない場合は、重力のベクトルコンポーネント方式を入力し、単に負のY方向だけでなくさらに複雑な方向の重力を設定します。

**KE SOURCE LINEARISATION METHOD { 1, 2, 3 }**

KE SOURCE LINEARISATION METHOD (KEソース線形化法)のデフォルト値は、方法1に設定されています。オプションとして、2あるいは3の値をとることもできます。これらの方法は、さまざまな乱流ボリュウムソース法を有効にします。選択方法は、収束ソリューションに影響を及ぼしませんが、収束率に影響を及ぼします。方法2は方法1より安定していますが、収束速度を低下させます。これは、乱流の生成と消散がほぼ等しい壁付近の効果を扱うように公式化されています。方法3は、上記の方法が制御されない乱流レベルを引き起こす可能性があります、閉じ込められた流れを扱う場合に特に有用です。これらの方法に関する方程式は、付録に記載されています。

**{ BOUSSINESQ, NOT BOUSSINESQ }** (ブシネスク、非ブシネスク)

デフォルトおよび現在の推奨は、Boussinesq (ブシネスク) 法によって浮力を取り扱うことです。これは、NOT BOUSSINESQ (非ブシネスク) のキーワードを追加する代替取扱い方法 (現在は名前がありません) によって置き換えることができます。(ブシネスクおよび非ブシネスク浮力 (Buoyancy) アルゴリズムに関する技術参考資料を参照してください)。

**PRESSURE REFERENCE POINT <cell\_number>** (セルナンバー)  
**REFERENCE PRESSURE <reference\_pressure\_value>** (基準圧力値)

PRESSURE REFERENCE POINT (圧力基準点) のキーワードにより、セルノードの選択が可能になります。セルノードは、つねにその圧力をREFERENCE PRESSURE (基準圧力) に設定します。これは、OUTLET (排気口) の境界条件がなく、いずれの地点においても圧力値を固定する方法がない場合に特に有用です。デフォルトでは、基準点はないため、REFERENCE PRESSURE (基準圧力) は0.0の値です。

**REFERENCE DENSITY <reference\_density\_value>**

REFERENCE DENSITY (基準密度) のデフォルトは0.0です。この値は浮力 (Buoyancy) の計算で用いられ、流れシステム内の平均密度に設定します。(ブシネスク浮力アルゴリズムの詳細に関する技術参考資料を参照してください)。

**AMBIENT TEMPERATURE <ambient\_temperature\_value>**

AMBIENT TEMPERATURE (周囲温度) のデフォルトは0.0です。この値は、結合流および熱の問題に関する浮力のブシネスク計算で用いられます。一般的に、この値はシミュレーション領域の外側の周囲温度に設定することが望ましいです。(ブシネスク浮力アルゴリズムの詳細に関する技術参考資料を参照してください)。

**{ USE CELL RESIDUALS, NOT USE CELL RESIDUALS }** (セル残差を用いる、セル残差を用いない)  
**{ NOT MINIMAL STORAGE, MINIMAL STORAGE }** (非最小ストレージ、最小ストレージ)

上記のキーワードは、追加ストレージおよびセルベースの残差の保存を有効または無効にします。この

ストレージは、大きなケースにとってかなり重要になる可能性があり、この最適化はメモリの使用を最小限に抑えるために提供されます。デフォルトでは、*SMARTFIRE*は、それぞれのコントロールボリュームに関するすべての変数の残差を保存します(またしたがってそれらの残差のグラフおよび可視化をプロットできます)。USE CELL RESIDUALS(セル残差を用いる)およびNOT MINIMAL STORAGE(非最小ストレージ)のコマンドは、同じ効力をもち、セル内部での残差のストレージの計算を有効にします。

**EDDY BREAKUP CONSTANT** <eddy\_breakup\_constant>

**EDDY BREAKUP CONSTANT**(渦崩壊定数)のキーワードにより、**EDDY MIXING CONTROLLED**(渦混合制御型)モデルの使用時に**COMBUSTION**(燃焼)モデルに関して使用する渦崩壊定数を指定できます。デフォルト値は4.0です。

**SMOKE TO FUEL RATIO** <smoke\_to\_fuel\_ratio>

**SMOKE TO FUEL RATIO**(煙と燃料の比率)により、煙と燃焼のモデルを同時に用いるときに煙が生成される比率を指定できます。コードは燃焼率にもとづいて煙の生成を計算します。

**SMOKE DENSITY** <smoke\_density>

**SMOKE DENSITY**(煙密度)により、煙モデルの使用時に煙濃度を設定できます。この値の単位はkg/m<sup>3</sup>とします。一般的な値は1800.0 kg/m<sup>3</sup>で、実験的文献でよく見られる値です。

**SMOKE ABSORPTION CONSTANT** <smoke\_absorption\_constant>

**SMOKE ABSORPTION CONSTANT**(煙吸収定数)により、煙の濃度が放射の吸収係数にどのような影響を及ぼすかを指定できます。この値は、シミュレーションに煙および放射モデリングが関係しているときのみ必要になります。

**SMOKE SPECIFIC EXTINCTION COEFFICIENT** <smoke\_spec\_extinction\_coeff>

煙の性質は、**SMOKE SPECIFIC EXTINCTION COEFFICIENT**(煙性質減衰係数)を使用して指定できます。これは、煙がどのくらい早く光を弱め、煙粒子の色とサイズに依存するかを示します。単位はm<sup>-1</sup>です。

**SOOT DIAMETER** <soot\_group\_number> <soot\_diameter>

キーワード「**SOOT DIAMETER**(煤直径)」により、(最大)3つの煤グループのそれぞれで煤粒子の平均直径をユーザーは指定することができます。煤グループ番号は1、2、3(3つの各グループ)で、煤の直径はm単位で指定されます。一般的な煤の直径と相対的比率(材料を作成する様々な燃料または煙)はTechnical Reference GuideのCase Specification Environmentにおけるユーザーガイドで見ることができます。

**SOOT PROPORTION** <soot\_group\_number> <soot\_proportion>

キーワード「**SOOT PROPORTION**(煤比率)」により(最大)3つの煤グループのそれぞれで異なるサイズの煤の相対存在量をユーザーは指定することができます。煤グループ番号は1、2、3(3つの各グループ)

で、煤の比率は0.0から1.0の間で指定されます(3つ全ての煤比率の合計は1.0まで追加されます。)。一般的な煤の直径と相対的比率(材料を作成する様々な燃料または煙)はTechnical Reference GuideのCase Specification Environmentにおけるユーザーガイドで見ることができます。

**FLOW ALGORITHM { SIMPLE, SIMPLEST, SIMPLEC }**

**FLOW ALGORITHM(流れアルゴリズム)**により、流れモデリングの実行中に用いられる流れアルゴリズムを選択できます。デフォルトのアルゴリズムはSIMPLEです。

**SPECIES MOLECULAR WEIGHT <variable\_name> <molecular\_weight>**  
**SPECIES DIFFUSION COEFFICIENT <variable\_name> <diffusion\_coefficient>**

追加ガス種が定義され、これらが領域内でガスの集団分子質量に影響を与えることができる場合、純粋種の分子質量はSPECIES MOLECULAR WEIGHT(種分子質量)コマンドを使用して設定できます。拡散係数を指定するためのSPECIES DIFFUSION COEFFICIENT(種拡散係数)コマンドもあります。

**AMBIENT HUMIDITY MASS FRACTION <ambient\_h2o\_mass\_fract>**

HCL放出・吸収モデルに使用される周囲湿度の質量分率を設定します。

**MASS RATIO FUEL TO HCL <fuel\_to\_hcl\_mass\_ratio>**

HCLモデリングの、燃料とHCLの質量比を設定します。

**MASS RATIO H2O TO HCL <h2o\_to\_hcl\_mass\_ratio>**

HCLモデリングの、H2OとHCLの質量比を設定します。

**WATER VAPOUR DENSITY UPPER LIMIT <water\_vapour\_max\_density>**

水蒸気濃度の上限を設定します。

**MAXIMUM TEMPERATURE FOR DEPOSITION <max\_deposition\_temperature>**

表面沈着が起こる最高温度を指定します。

### 6.2.33 デバッグの制御(DEBUG CONTROL)

**DEBUG CONTROL**

DEBUG CONTROL(デバッグの制御)のキーワードにより、*SMARTFIRE*によって生成されるデバッグ(バグ修正)情報の量を指定するセクションが開始します。デフォルトでは、デバッグ情報の生成や表示はされません。一般的に、解決される変数に関するデバッグ情報は、正規化されていない、および正規化されたシステムマトリクス、解決される変数、およびそれらの残差値を含みます。膨大な量のデバッグ情報が作成される可能性がある点に注意が必要です。したがって、デバッグをおこなう必要がある項目への出力を制限するよう配慮します。

前述したように、デバッグ情報は、デバッグファイルに変換できます。これは、**PRINTOUT CONTROL** (プリントアウトコントロール)のセクションのオプションによってコントロールされます。後に続くキーワードは、*SMARTFIRE*において利用可能な場合はデバッグ情報の生成を有効にし、コントロールします。選択されたデバッグオプションを無効にするには、変数のコントロールフラグの前に**NOT**を置きます。これは、**ALL(すべて)**のキーワードを用いてデバッグを制限しているときに有効です。

ユーザーは、デバッグの使用がおもに専門家のCFDユーザーおよび研究者のために提供されることを意識する必要があります。初心者ユーザーはデバッグのコマンドを用いてはなりません。

#### 6.2.33.1 一般的なデバッグのコマンド

<variable_name>(変数名)	: 追加変数を含むあらゆる変数
PROPERTIES(プロパティ)	: 比熱、粘度、密度、および伝導率
CONVECTIONS(対流)	: 「Rhie-Chow」法により近似値を求めた面对流
PRESSURE GRADIENTS(圧力こう配)	
VELOCITY CORRECTIONS(速度修正)	
GEOMETRY(形状)	: 形状情報(体積、面積など)
TURBULENT VISCOSITY(乱流の粘度)	
TURBULENT GENERATION(乱流の生成)	
MEMORY MANAGER(メモリマネージャ)	: メモリ「割当て」情報
TRACE(トレース)	: サブルーチントレースモニター

**ALL(すべて)**

**ALL(すべて)**のキーワードによってこれらすべての情報に関するデバッグをプリントできます。デバッグは、トピック内部におけるオールオアナッシングのスイッチです。したがって、すべての反復、すべてのセルや面などに関する情報がプリントされます。

**DEBUG CELL NUMBERS** <first\_cell> TO <last\_cell> (<最初のセル>から<最後のセル>まで)

**DEBUG CELL NUMBERS(セルナンバーのバグを修正する)**オプションは、セルのデバッグ情報を、示されたセル索引の範囲内にあるセルのみに限定するために用います。これは、すべてのデバッグ項目に関して利用可能なわけではありませんが、デバッグ情報の生成を大幅に制限できます。デフォルトでは、デバッグはすべてのセルを対象としています。

**DEBUG ITERATION NUMBERS(反復数のバグを修正する)** <first\_iter> { TO <last\_iter>, ONWARDS } (<最初の反復>から{<最後の反復>まで、継続})

一定範囲の反復数のバグを修正するオプションは、バグ修正を関心のあるスイープのみに限定するために提供されました。デフォルトでは、デバッグはすべての反復を対象としています。

**DEBUG TIME STEP NUMBERS(時間ステップ数のバグを修正する)** <first\_ts> { TO <last\_ts>, ONWARDS } (<最初の時間ステップ>から{ <最後の時間ステップ>まで、継続})

一定範囲の時間ステップのバグを修正するオプションは、過渡シミュレーションのために提供されました。これにより、時間ステップ数へのデバッグ出力が示された範囲内に限定されます。デフォルトでは、デバ



ッグはすべての時間ステップを対象としています。

### 6.2.33.2 開発者用デバッグコマンド(Developer Debugging Commands)

以下のコマンドは、*SMARTFIRE*の開発者用のみに提供されるものですが、完全性のためにここに挙げます。

#### CHECK SETUP (設定のチェック)

すべての追加的試験を有効にし、初期化が正確に実行されたことを確認します。

#### CHECK VARIABLES (変数のチェック)

変数の割当てをチェックして、ストレージ要件および索引が割当てられたときに、割当ての重複や脱落が発生していないことを確認します。

#### CHECK MEMORY (メモリのチェック)

試験を追加して、初期化中にメモリ割り当てに失敗しなかったことを確認します。

### 6.2.34 デバッグの制御(DEBUG CONTROL)の例

例として、セルナンバー100から200まで、最初の5回の反復、および時間ステップナンバー50から後の圧力(Pressure)、エンタルピー(Enthalpy)および速度U(U-velocity)に関するデバッグの設定について考察します。このような設定のデバッグセクションは以下のように表されます。

```

DEBUG CONTROL
  PRESSURE
  ENTHALPY
  U-VELOCITY
  DEBUG CELL NUMBERS      100      TO      200
  DEBUG ITERATION NUMBERS 1        TO      5
  DEBUG TIME STEP NUMBERS 50      ONWARDS
END

```

デバッグ情報はきわめて迅速に生成されて膨大な量に及ぶため、有効性を得るには、生成されるデバッグ情報を都合のよいときに閲覧できるファイルに出力します。デバッグ情報の転送は、**PRINTOUT CONTROL (プリントアウトコントロール)**のセクションにおいて**CREATE DEBUG FILE (デバッグファイルの作成)**のキーワードを含めることによって容易に設定できます。



## 7 参考文献

1. Galea, E.R., On the field modelling approach to the simulation of enclosure fires (閉囲空間内における火災のシミュレーションに関するフィールドモデリング手法), *Journal of Fire Protection Engineering*, vol 1 (1), 1989, pp 11-22.
2. Taylor, S., Galea, E.R., Patel, M.K., Petridis, M., Knight, B., and Ewer, J., “**SMARTFIRE**: An Intelligent Fire Field Model. (高度情報化火災フィールドモデル)”, *Proc Interflam '96*, Cambridge, England, pp671 -681, 1996.
3. Taylor, S., Galea, E.R., Patel, M.K., Petridis, M., Knight, B., and Ewer, J., “**SMARTFIRE**: An Integrated CFD Code and Expert System for Fire Field Modelling. (火災フィールドモデリングに関する統合CFDコードおよびエキスパートシステム)”, *Proc 5th IAFSS Symp on Fire Safety Science.*, Ed: Y. Hasemi, pp 1297 - 1304, 1997.
4. Taylor, S., Galea, E.R., Patel, M.K., Petridis, M., Knight, B., and Ewer, J., “**SMARTFIRE**: An Intelligent CFD Based Fire Model (高度情報化されたCFDベースの火災モデル).”, CMS Press, Report 98/IM/30, ISBN 1899991301, 1998.
5. Ewer, J., Knight, B., and Cowell, D., “Case Study: An incremental approach to re-engineering a legacy FORTRAN Computational Fluid Dynamics code in C++ (事例研究: C++においてレガシーFORTRAN計算流体力学コードの再設計をおこなう増分手法)”, *Advances in Engineering Software* vol 22, 1995, pp 153-168.
6. Pantakar, S.V., “Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. (数値的な熱伝達および流体の流れ)”, Intertext Books, McGraw Hill, New York, 1980.
7. Spalding D.B, A General Purpose computer Program For Multi-Dimensional One-and Two- Phase Flow (複数次元の1および2位相の流れに関する汎用計算機プログラム), *Mathematics and Computers in Simulations (シミュレーションの数学とコンピュータ)*, North Holland (IMACS), Vol XXIII, 1981, 267.
8. FLOW3D Release 2.3.3 Reference Guide (FLOW3D 2.3.3版 参考ガイド), CFD Dept AEA Harwell UK, Feb 1991.
9. Kumar S, Gupta, A.K and Cox G, Effects of Thermal Radiation on the Fluid Dynamics of Compartment Fires (区画火災の流体力学に関する熱放射の影響), *Fire Safety Science (火災安全科学)* - Proc of the Third Intl Symp, 1991, pp 345-354.
10. Lewis, M.J., Moss, M.B., and Rubini, P.A., “CFD Modelling of Combustion and Heat Transfer in Compartment Fires. (区画火災における燃焼および熱伝達のCFDモデリング)”, *Proc 5th IAFSS Symp on Fire Safety Science.*, Ed: Y. Hasemi, pp 463 - 474, 1997.
11. Jia, F., Galea, E.R., Patel, M.K., and Hoffmann, N., “Combustion Model of Turbulent Diffusion Flames. (乱流拡散火災の燃焼モデル)”, CMS paper No. 95/IM/09, ISBN 1 899991085, CMS Press London, 1995.
12. Mangnussen, B.F., and Hjertager, B.H., “On Mathematical Modelling of Turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. (煤煙形成および燃焼に重点をおいた乱流燃焼の数学モデリング)”, 16th Symp (Int) on Combustion, Combustion Institute, p 719, 1976.
13. Jia, F., Galea, E.R., and Patel, M.K., “The Prediction of Fire Propagation in Enclosure Fires. (閉囲空間内における火災の火災伝搬予測)”, *Proc 5th IAFSS Symp on Fire Safety Science.*, Ed: Y. Hasemi, pp 439 - 450, 1997.

14. Steckler, K.D, Quintere, J.G, and Rinkinen, W. J, “Flow Induced by Fire in a Compartment (区画の火災に誘発された流れ)”, NSBIR 822520, National Bureau of Standards, Washington, September 1982.
15. Kerrison, L., Mawhinney, N., Galea, E.R., Hoffmann, N., Patel, M.K., “A comparison of two fire field models with experimental room fire data (室内火災実験データによる2つの火災フィールドモデルの比較)”, Fire Safety Science -Proc of the Fourth Inter Symp, Ottawa, Canada, 13-17 July 1994, pp 161-172.
16. Kerrison, L, Galea E R, Hoffmann, N, Patel, M. K, A Comparison of a FLOW2D Based Fire Field Model with Experimental Room Fire Data (室内火災実験データによるFLOW2Dベースの火災フィールドモデルの比較), *Fire Safety Journal*, vol 23, 1994, pp 387-411.
17. Mawhinney, R.N., Galea, E.R., Hoffmann, N., and Patel, M.K., “A critical comparison of a PHOENICS based fire field model with experimental compartment fire data. (区画火災実験データによるPHOENICSベースの火災フィールドモデルの批評的比較)”, *J.Fire Prot.Engr.* 6(4), pp 137 - 152, 1994.
18. Hadjisophocleous, G.V., and Cacambouras, M., “Computer Modelling of Compartment Fires. (区画火災のコンピュータモデリング)” *Journal of Fire Protection Engineering*, Vol.5., No 2, 1993, pp 39 - 52.
19. Jia, F., Galea, E.R., and Patel, M.K., “The Numerical Simulation of the Noncharring Pyrolysis Process and Fire Development with a Compartment. (区画によるNoncharring熱分解仮定および火災発達の数値シミュレーション)”, CMS Press, Report 98/IM/33, ISBN 1899991336, 1998.
20. Hoffman, N. and Markatos, N.C., “Thermal radiation effects on fires in enclosures (熱放射が閉空間内における火災に及ぼす影響)”, *Appl. Math. Modelling*, [1988] vol.12, pp 129 - 140.
21. Viskanta, R., Menguc, M.P., “Radiation Heat Transfer in Combustion Systems (燃焼システムにおける放射熱伝達)”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 13(2), 1987, pp 97 - 160.
22. Drysdale, D., “An Introduction to Fire Dynamics (火災力学入門)”, [1986], Wiley International Publications.
23. Holeman, J.P., “Heat Transfer (熱伝達)”, [1981], McGraw Hill, New York.
24. Hubbard, G.L, and Tien, C.L., “Infrared Mean Absorption Coefficients of Luminous Flames (発光性火災の赤外線平均吸収係数)”, *Journal of Heat Transfer*, vol. 100, p 235, May 1978.
25. “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (防火工学に関するSFPEハンドブック)”, NFPA, Quincy, M.A., Beyler, C.L. (Ed), 1988.
26. Wang, Z., Jia, F., and Galea, E. R., “Applying the local equivalence ratio concept to field modes”, *Proceedings Interflam 2001*, Edinburgh, UK, pp1141-1146.
27. Wang, Z., Jia, F., and Galea, E. R., “Predicting toxic gas concentrations resulting from enclosure fires using local equivalence ratio concept linked to fire field models”, DOI: 10.1002/fam.924, 2006.
28. Tewarson, A., “Generation of heat and chemical compounds in fires”, in ‘the SFPE handbook of fire protection engineering’, 2nd edition, published by the National Fire Protection Association, Quincy, MA, 3.53-3.124, 1995.
29. Mulholland G. W., “Smoke production and properties”, in ‘the SFPE handbook of fire protection engineering’, 2nd edition, 2nd edition, published by the National Fire Protection Association, Quincy, MA,

2.217-2.227, 1995.

30. Wang, Z., Jia, F., Galea, E.R. and Ewer, J., “Predicting hydrogen chloride concentrations in fire enclosures using a deposition model linked to fire field models”, 10th International Interflam, 2004, volume 1, pp. 665-670.
31. Wang, Z., Jia, F., Galea, E.R., Patel M.K. and Ewer J, “Predicting HCl concentrations in fire enclosures using a HCl decay model coupled to a CFD based fire field model”, Accepted by Fire and Materials, 2006.
32. Galloway F. M. and Hirschler M.M., “A model for the spontaneous removal of airborne hydrogen chloride by common surface”, Fire Safety Journal, Vol. 14, 1989, pp. 251-268.
33. Jones W. W., Forney G. P., Peacock R.D. and Reneke P. A., “A Technical Reference for CFAST: An Engineering Tool for Estimating Fire and Smoke Transport”, National Institute of Standards and Technology, Technical Note 1431, 2000.
34. Wang Z., Jia F., and Galea E.R., “Predicting concentrations of Hydrogen Cyanide in full scale enclosure fires”, Proceedings of the 12th International Fire Science & Engineering Conference, Interflam 2010, 5-7th July 2010, University of Nottingham, UK, Volume 2, pp. 1769-1774. ISBN 978 0 9541216-6-2, 2010.
35. Wang Z., Jia F., and Galea E.R., “A generalized relationship between the normalized yield of carbon monoxide and hydrogen cyanide”, Fire and Materials, Vol, 35, pp 577-591, 2011, DOI:10.1002/fam.1076.