

災害総合シミュレーションシステム用のサブシステム開発

Advanced Algorithm & Systems

目次

1. はじめに.....	1
2. 燃焼解析特化シミュレータ.....	3
3. 爆発解析特化シミュレータ.....	4
4. 計算高速化のための並列化.....	5
5. AEOLUS コードの概要.....	6

1. はじめに

災害総合シミュレーションシステムの開発では、個別に開発された各種シミュレータと時空間GIS を容易に統合可能とするために、各シミュレータとGIS との結合法の開発が重要となる。

図1にリスクマネジメントの構成を模式的に示す。リスク分析ツールとして、各分野のシミュレータをサブシステムとして使用することが想定されるが、最適化された結合法を介してGIS に統合できれば、すべてを新規開発する必要はなく、既存シミュレータを一部改良してシステムに組み込むことが可能であると考えられる。ここでは、弊社開発の流体解析コードAEOLUS の燃焼・爆発シミュレータへの適用を考えた。

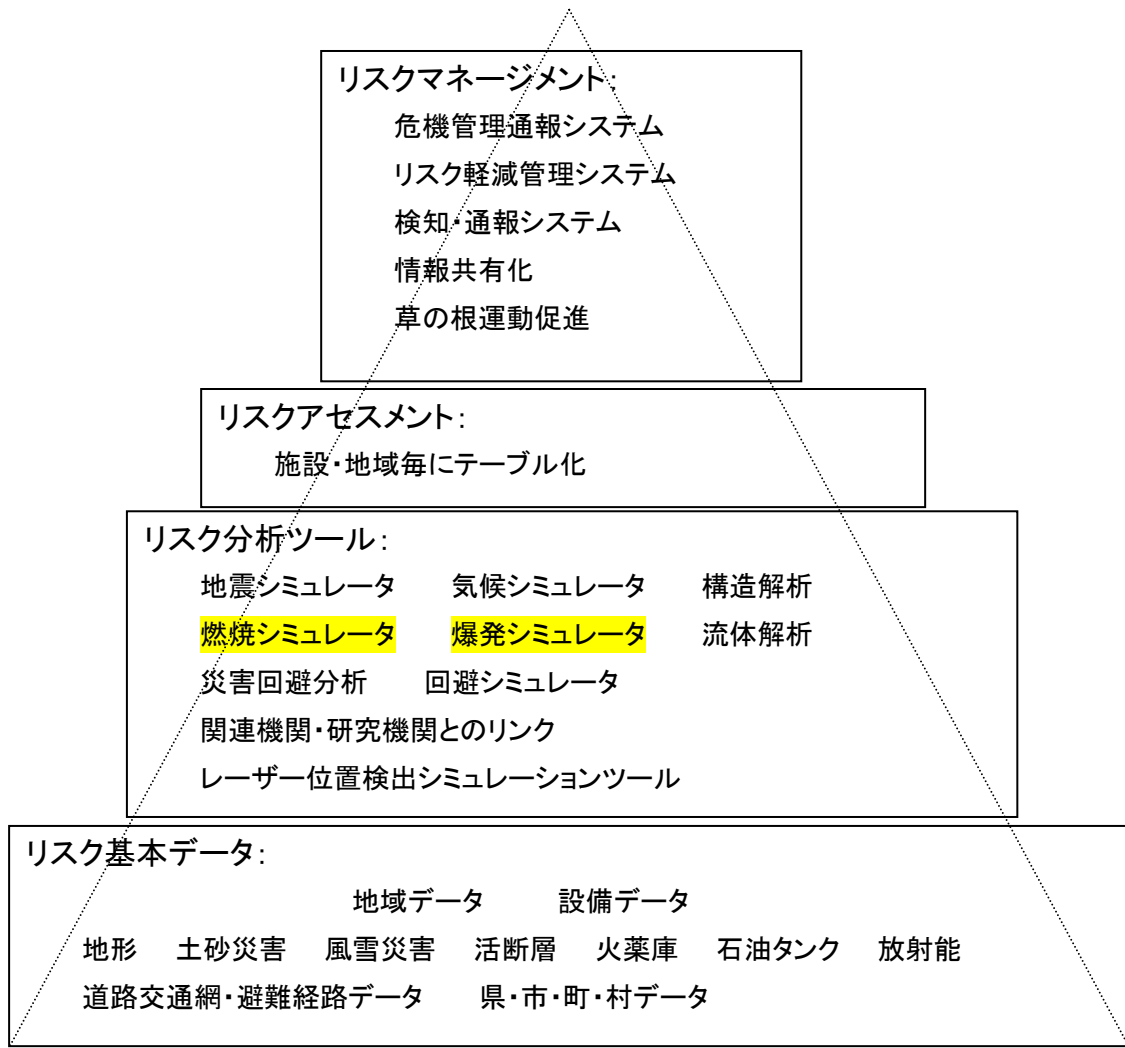


図1 リスクマネジメント構成のイメージ

2. 燃焼解析特化シミュレータ

AEOLUS+燃焼解析モジュールによる、NO_x 生成反応を視野に入れた乱流拡散火炎の非定常燃焼シミュレーションに適応の特化型ソルバー。従来の時間平均モデルを使用した燃焼解析ソルバーと比較して、NO_x や燃料安定性を検討するための、より詳細な解析が可能である。標準の AEOLUS コードに以下の解析モジュールを組み込む。

①ステップ解法

反応の時間硬直性を避けるため、各項（移流項、生成項、拡散項、圧力項）で独立の計算時間ステップが選択可能な解法を適用。

②反応モデル

NO_x を含む多段反応モデルに将来拡張可能なモデルとして、中間生成物 CO を考慮した 2 段反応式を採用。反応速度定数はアレニウス式を使用。

③LES 乱流モデル

計算精度と実用的な計算コストとの兼ね合いから LES モデルを採用。計算格子の分割数を大きくすることで、DNS（直接数値シミュレーション）に近付けることが可能。

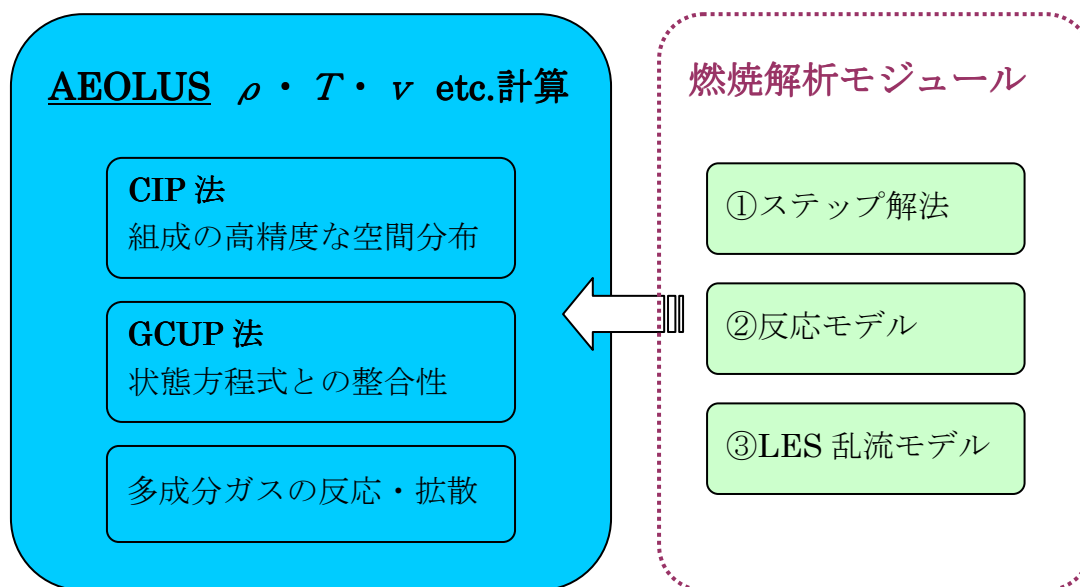


図2 燃焼解析特化シミュレータ

3. 爆発解析特化シミュレータ

AEOLUS+爆発解析モジュールによる、爆発シミュレーションに適応の特化型ソルバー。標準の AEOLUS コードに以下の解析モジュールを組み込む。

①衝撃波の解析

爆発解析のような高速流のシミュレーションでは、圧縮性による衝撃波や爆風の影響を予測することが重要である。

【実績】AEOLUS コードを使用した「宇宙往還機大気圏の突入計算」を通して、極超音速流（マッハ数 15 程度）における衝撃波の解析を実施した。

②多相流の解析

火薬、空気、土壌等を同時に計算するためには、多成分ガスや多相流を取り扱う機能が必要である。

【実績】AEOLUS コードに対して「レーザー溶接・アーク溶接解析」を目的とした機能追加を実施中である。主な追加点は以下の通りである。

- ・理想気体以外（水、金属等）の状態方程式の組み込み
- ・固気液界面の形状予測のための密度関数の導入
- ・固相を同時計算するための粘弾性モデルの組み込み

③爆発現象の解析

火薬の爆発によるエネルギー源はソース項として付加する方法も考えられるが、同時計算的に火薬の燃焼過程のシミュレーションを行うことも可能である。

【実績】AEOLUS コードを使用した「ガス燃焼解析計算」を通して、多段反応モデルによる乱流拡散火炎の非定常解析を実施した（上記2. 参照）。

④連成問題の解析

爆発による土壌や建屋等への影響を予測する計算手法としては、上記②の粘弾性モデルによる流体コードのみの解析と、流体コードと構造コードとの連成解析が考えられる。

【実績】以下に連成解析に関する実績を示す。

- ・既存コードを使用した構造・流体の連成解析を実施した。
- ・既存コードを使用した構造・電磁場の連成解析を実施した。
- ・構造コードと電磁場コード間の連成解析用インターフェイス開発を実施した。

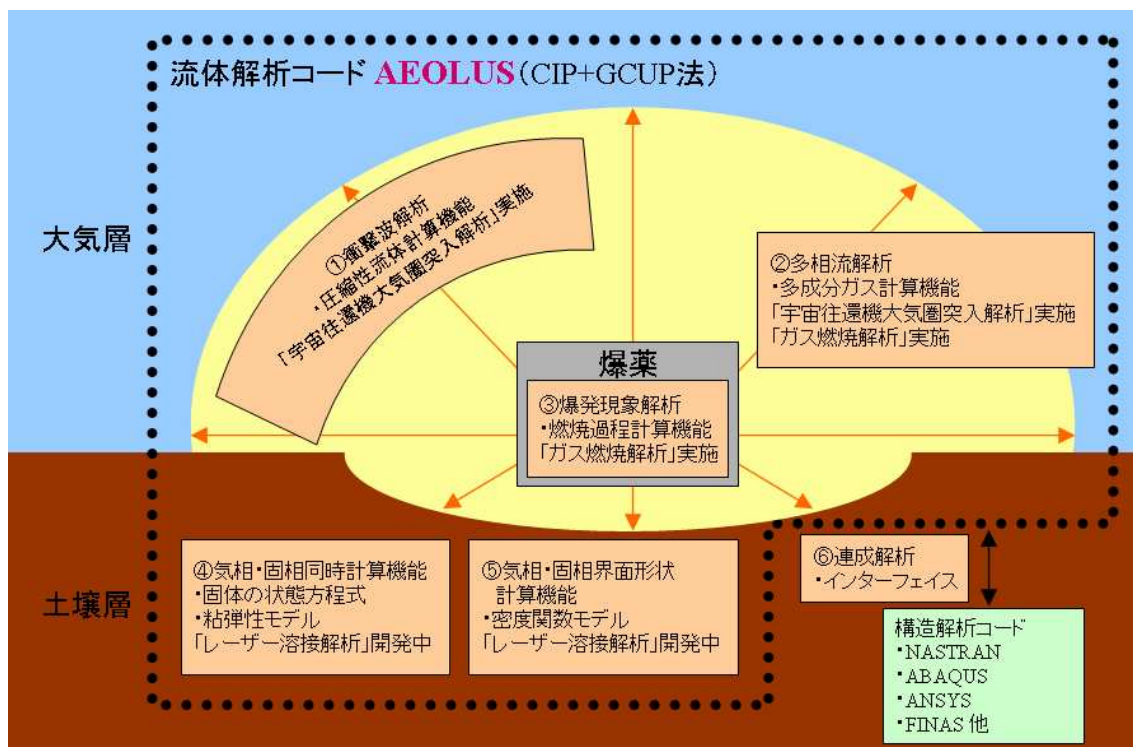


図3 爆発解析特化シミュレータ

4. 計算高速化のための並列化

リアルタイムシミュレーションを行うためには計算の高速化が不可欠となる。ここでは、MPI ライブラリ等を使用した並列化プログラムの実績を挙げる。

【開発環境】スーパーコンピュータ

- ・地殻変動プログラムの openMP を用いての並列化
- ・海流プログラム（並列化コード）の出力のシングル化
- ・航空機関連流体ソルバーのマルチブロック計算での並列化
- ・空力計算プログラムの Loadbalance 調整
- ・構造解析プログラム、流体解析プログラム開発

【開発環境】PC クラスタ等

- ・電子状態・挙動解析コードの並列処理化による高速化
- ・Phase Field 法による Micro Structure シミュレーションの並列化
- ・乱流プロモータ解析（サーマルストライピング）
- ・T 字配管衝突流解析（サーマルストライピング）
- ・原子炉容器伝熱解析（定常熱伝導解析）
- ・遺伝的アルゴリズムの基本性能の確認（組み合わせ最適化問題）

5. AEOLUS コードの概要

AEOLUS —流体特性対応特化型 数値流体解析ソルバー—

解法：CIP+GCUP 法

*CIP 法：物理量の数値拡散を抑える。

⇒反応性ガスの組成分布を精度良く導出できる。

*GCUP¹法：圧力方程式を状態方程式と整合的に解く。

⇒物理量が急激に変化する状況でも安定して解ける。

機能：高精度 Runge-Kutta 法を使用した多成分ガスの反応・拡散計算

考慮ガス成分：窒素・酸素などの空気を構成する分子の解離反応

2次元計算

—物理現象に応じたスキームの組み込み可能—

実績例：宇宙往還機大気圏の突入計算、ガス燃焼解析計算

AEOLUS の得意領域：下表のB,C,D

	単相・単純	多相・複雑
低速流	A <ul style="list-style-type: none"> ・非圧縮性乱流 ・熱対流 ・物質拡散 	C <ul style="list-style-type: none"> ・気液2相流 ・燃焼解析 ・MHD、磁性流体、ERF 等の機能性流体现象 ・粉体流（極性流体モデル）
高速流	B <ul style="list-style-type: none"> ・圧縮性乱流 ・高速飛翔体 ・高速鉄道 	D <ul style="list-style-type: none"> ・レーザー加工・溶接 ・爆縮（レーザー核融合） ・ジェットエンジン ・爆発・爆轟 ・プラズマ

¹ CUP法の改良版。CUP法により、圧縮・非圧縮を統一的に解くことが可能。