

Advance/FrontFlow/FOCUSの爆轟解析と 流体構造連成解析を含む新機能のご紹介

技術第4部 富塚 孝之

技術第2部 田中 洋一

爆発統合解析のためのAdvance/FrontFlow/FOCUS ご紹介セミナー
2014年5月12日（月）
アドバンスソフト株式会社

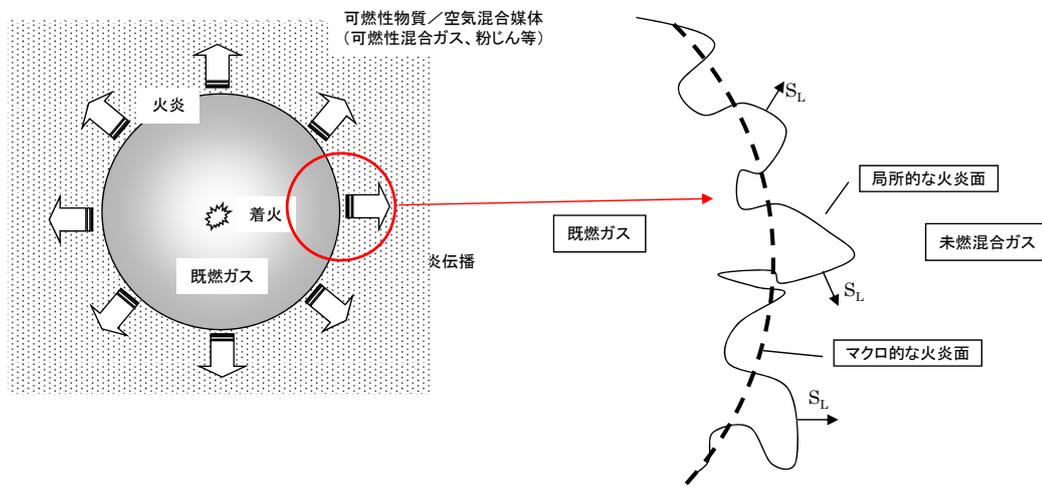
発表内容

- FOCUSにおける爆発(燃焼)現象に対する解析機能
- FOCUSを用いた流体-構造連成解析機能

爆発(燃焼)現象に対する解析機能

解析対象

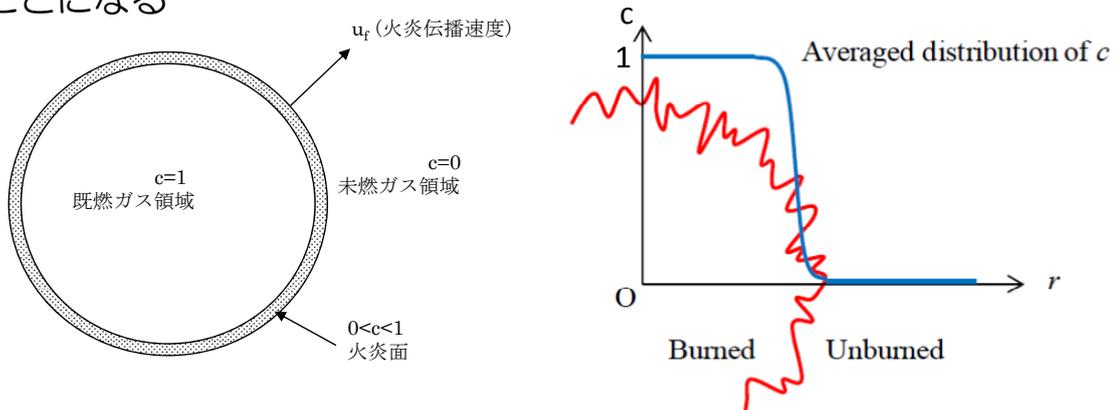
- 可燃性ガスの予混合燃焼



火炎面は伝播と共に乱れ始め、火炎面積が増大→燃焼速度の増大

火炎伝播モデル

- 反応進行度モデル
- Zimontらによる反応進行度モデルは反応進行度 c を導入することにより火炎面の存在確率密度を考え、 c の輸送方程式を解くものである
- c は0で未燃、1で既燃状態であり火炎面は $0 < c < 1$ の領域に存在することになる



反応進行度モデル概念図

火炎伝播モデル／乱流燃焼モデル

- 反応進行度モデル
 - 反応進行度の輸送方程式

$$\frac{\partial(\rho c)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho c u_j)}{\partial x_j} = \dot{\rho}_B$$

$$\dot{\rho}_B = \rho S_T |\nabla c| \quad 0 \leq c < 1$$

$$\dot{\rho}_B = 0 \quad c \geq 1$$

u : 流速
 ρ : 未燃ガス密度
 S_T : 乱流燃焼速度

反応進行度モデルにおける生成項に乱流燃焼速度を導入

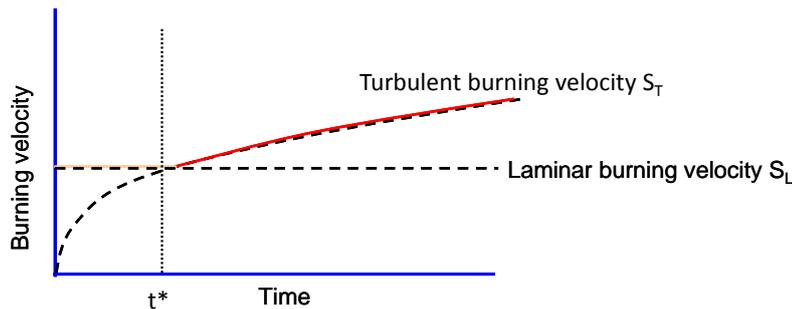
乱流燃焼モデル

- フラクタル火炎伝ばモデル

- フラクタル理論と実験データに基づいて火炎の加速をモデル化

$$\rho S = \rho S_T \nabla c \quad \left\{ \begin{array}{ll} S_T = S_L & : t < t^* \\ S_T = \frac{3}{2} c_g \left(\frac{\rho_u}{\rho_b} \right)^2 \frac{S_L^2}{\sqrt{K}} t^{1/2} & : t \geq t^* \end{array} \right.$$

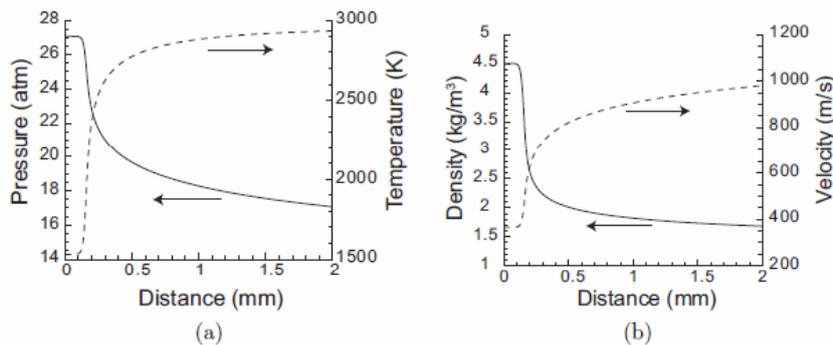
S_L : 層流燃焼速度
 S_T : 乱流燃焼速度
 ρ_u : 未燃ガス密度
 ρ_b : 既燃ガス密度
 c_g : モデル定数



※Tomizuka T, Kuwana K, Shimizu K, Mogi T, Dobashi R, Koshi M. Estimation of turbulent flame speed during DME/air premixed gaseous explosions. J Loss Prevent Proc Ind 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2011.09.004>.

爆轟シミュレーション

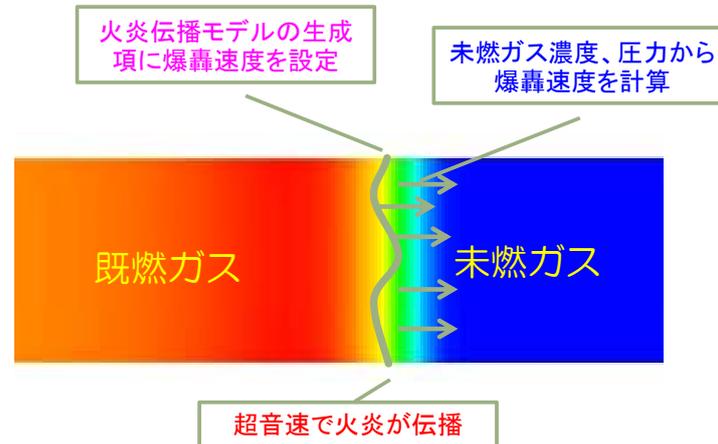
- Zel'dovich (1940), von Neumann (1942), Doering (1943)によって、平面デトネーションの定常一次元構造をモデル化
- 伝播速度を予測するための現実的な手段



ZNDモデルによる水素-空気デトネーションの一次元構造計算例

爆轟シミュレーション

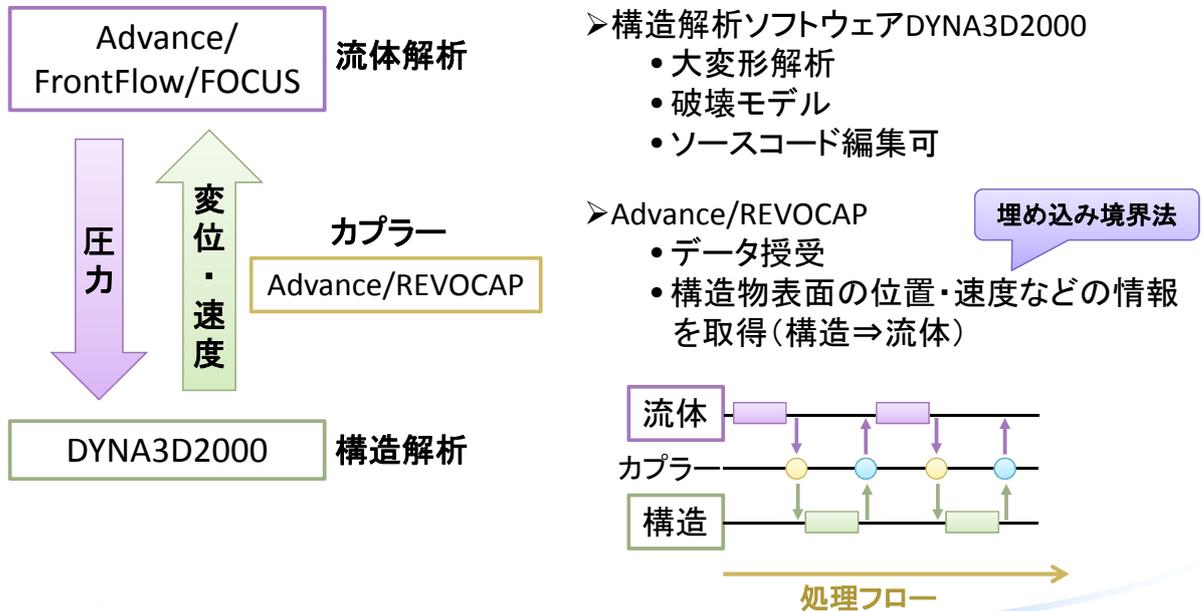
- 未燃ガスの状態(濃度、圧力)からZNDモデルで爆轟速度を計算
- 火炎伝播モデルの生成項(s_T)に爆轟速度を設定
- 火炎が爆轟速度で伝播



流体-構造連成解析機能

流体-構造連成解析機能

Advance/FrontFlow/FOCUS ⇔ DYNA3D2000による連成解析



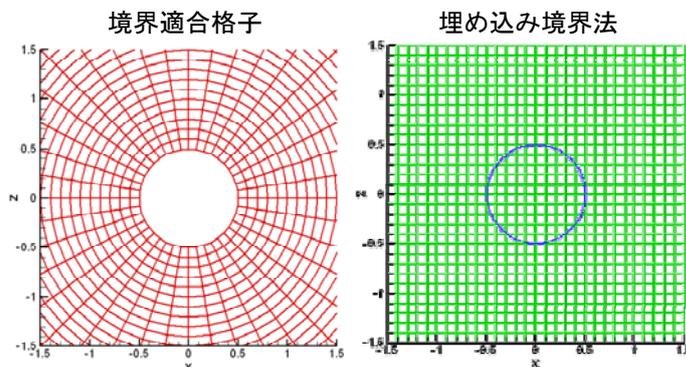
埋め込み境界法 (Immersed Boundary法)

- 複雑な形状に対する格子生成の困難をスキップ
 - 格子生成時間の大幅短縮
- 大変形と移動を伴う形状の扱いが可能

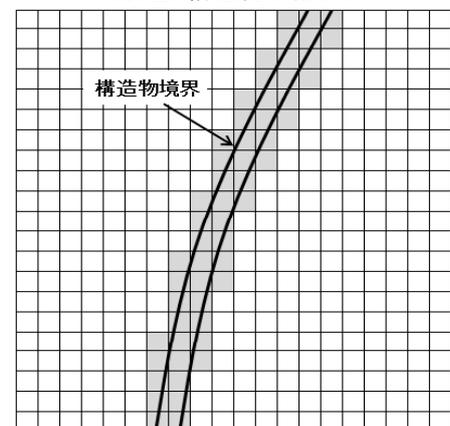
FOCUS
直交格子法 & 埋め込み境界法

埋め込み境界法での境界壁のイメージ
(灰色: 構造物の格子)

物体境界の認識の違い



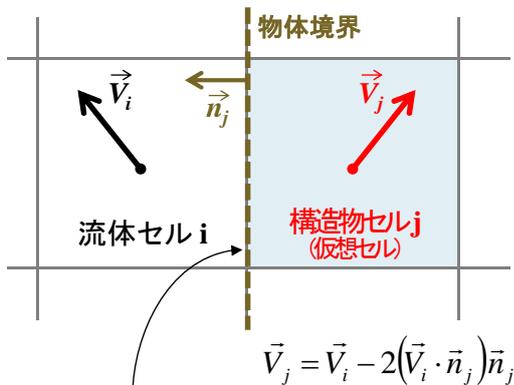
- 境界適合格子の場合は物体に沿う格子を用いる
- 埋め込み境界法では物体境界が流体計算の格子へ埋め込められる



REVOCAP
構造物の格子を判定

埋め込み境界法における物体境界の設定

セル境界と物体境界が一致する場合

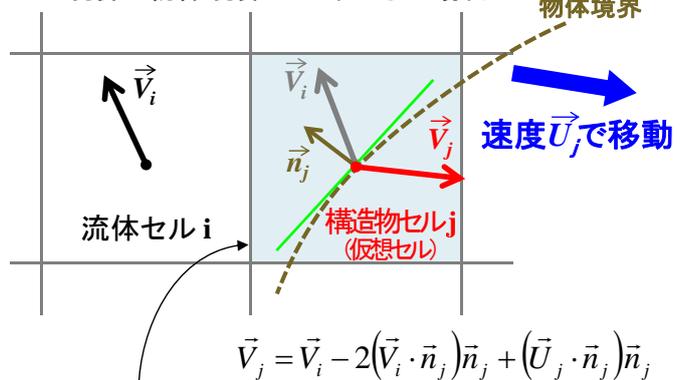


数値流束: $F = f(Q_i, Q_j)$

解ベクトル Q_i, Q_j
速度ベクトル、密度、エネルギー、圧力
 \vec{V}_i, \vec{V}_j

埋め込み境界法

セル境界と物体境界が一致しない場合



数値流束: $F = f(Q_i, Q_j)$

物体の移動速度

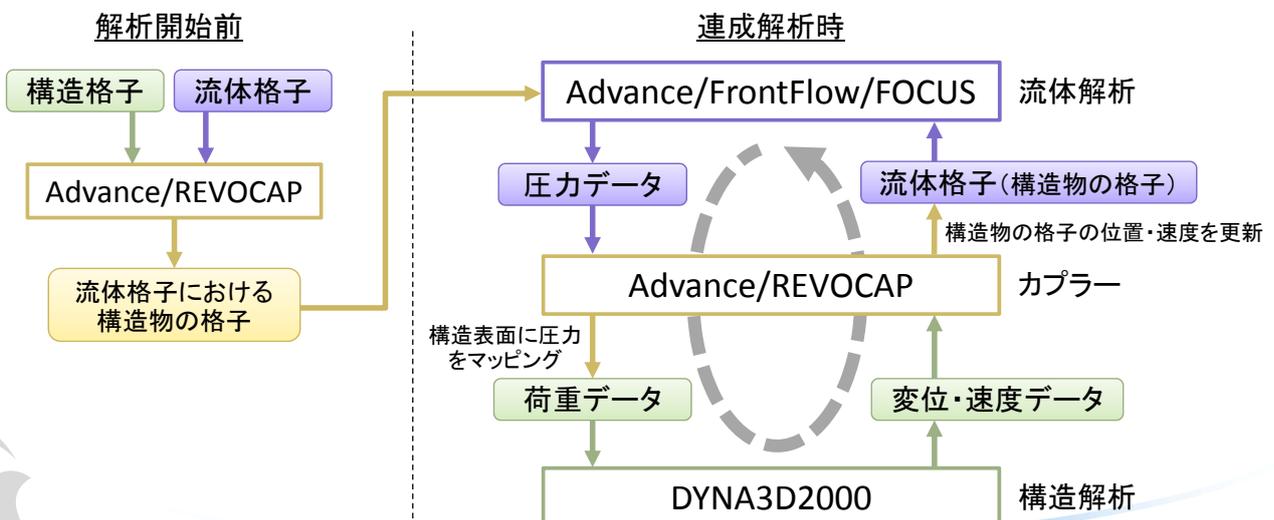
数値流束を介して、物体境界の形状を計算に取り入れる

越智 章生、他 日本航空宇宙学会論文集 Vol. 59 No. 684 pp. 7-15 (2011).

REVOCAP
構造物セルにおける法線ベクトル・移動速度

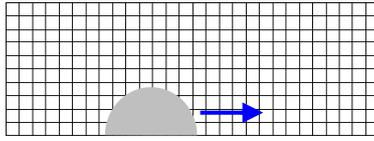
流体-構造連成解析の流れ

- 解析開始前に構造格子、流体格子の位置情報をREVOCAPが読み込み、流体格子における構造物の格子を抽出する。
- 流体解析を行い、構造表面の圧力をREVOCAPが荷重に変換し、DYNA3D2000に与えて構造解析を行う。
- 変形した構造物の情報から、流体格子における構造物の格子の位置・速度を更新する。

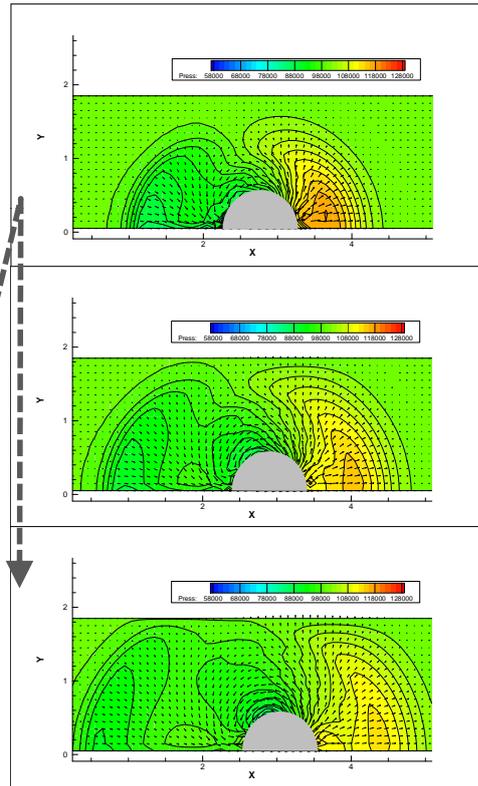
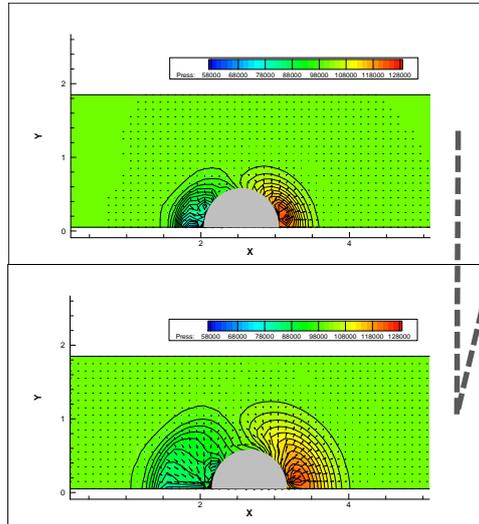


例. 移動する半円柱周りの流れ

半円柱(灰色部分)の移動速度: 100m/s



圧力分布(圧力等高線)



まとめ

- 爆発(燃烧)解析機能
 - 火炎伝播モデル
 - 乱流燃烧速度モデル
 - 爆轟評価モデル

- 流体-構造連成解析機能
 - FOCUS-DYNA3D2000による連成解析機能
 - 連成解析における埋め込み境界法