

1. はじめに

近年、天然ガスを輸送する設備として欠かせないガスパイプラインは、天然ガスの利用増加にともない、設備やその運用が多様化かつ複雑化する傾向にある。

JFE エンジニアリングでは、このようなガスパイプラインの大規模ネットワーク化や運用の複雑化に対し、最適な建設計画の作成や安全かつ効率的な運転を支援する、高速解析シミュレータを中核としたガスパイプライン非定常流送シミュレーションシステム GAIA を開発し¹⁾、エンジニアリングおよび稼働中のパイプラインに適用して効果を上げている。

一方、非定常流送解析の重要な適用先の例として、工事時のガスパーズ解析、稼働中のパイプラインにオフスベックガスが混入した場合のトラッキング解析などがある。このような解析を行う場合、系内に複数の異なる組成を持ったガス（以下、異種ガス）が混在するため、基礎式としてモル数保存式を考慮した特殊なシミュレータが必要となる。

このたび、異種ガスのトラッキングが可能な高速非定常流送シミュレータ「開発コードネーム C 」を開発し、

GAIA の一機能としてラインアップしたので報告する。

2.

3. 基礎式 / 構成方程式

まず質量保存則，運動量保存則から基礎式として，密度・流速を主要変数とした(1)式，および(2)式を得る。本報では簡単のため全線温度一定とし，エネルギー式を考慮しないものとする。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho v \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho v^2 \right) = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho v \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho v^2 \right) = - \rho g \sin \phi - \frac{4f' \rho v^2}{D} \dots\dots (2)$$

ここで，

$$W = 0.5f \left| \frac{v}{D} \right|, \quad f' = 4f'$$

ρ は密度， v は流速， p は圧力， t は時間， x は距離， W は管摩擦抵抗による加速度， ϕ は流路勾配， g は重力加速度， f は D - の管摩擦係数， D は流路内径， f' は F の管摩擦係数である。

また，バルブやコンプレッサなどの付帯機器を取り扱う際には，(2)式

O tの式：

$$\sqrt{1/f} \quad 12.989(1 \quad \sqrt{D}/4.781) \dots\dots\dots(17)$$

4. 数値解法

(1)式および(2)式を解く数値解法として、独自に開発した陰的手法であるRE I Eスキーム¹⁾およびスキームを採用した。RE I Eスキームは中規模系までを、スキームは大規模 / 超大規模系を対象としている。本章では、スキームについて述べる。

(3)式に関しては、(1)式、(2)式を解決した後、陰的CIP法³⁾で解決するものとした。にフロー図を示す。陰的CIP法は、移流方程式の時間発展問題に対し、高精度な物理量のプロファイル保存を実現するとともに、任意の時間刻みに対し無条件安定であることを特徴としている。ただし、パイプラインの非定常流送解析に特有な分岐合流部については、オリジナルの陰的CIP法の枠内では取り扱えないため、独自の計算モデルを用意している。

スキームでは、空間方向の離散化にスタッガー

ドメッシュを採用している。

空間方向の離散化イメージを . に示す。パイプを離散化した上で、ヴォリューム要素に密度、圧力を、ヴォリューム間をつなぐパス要素に流速、ガス比重を定義する。

時間方向の離散化には、後退二次差分を用いている。(1)式、(2)式を離散化した式をそれぞれ(18)式、(19)式に示す。簡単のため、時間刻み、距離刻み、管径が一定である場合として記述している。

11865794 03027 23.703 614.303 621.903 403 603 7037 569.4190279 660. 569.57

この収束計算は一時間刻み進行することに行われる。

スキームでは流速更新量 Δ を消去し、密度のみの反復的に縮退化させることで高速化を図っている。

(21)式で表される線型方程式中に現れる行列は、対象と



オフベックガスが下流に伝播していく状況がわかる。

F .6は、ある分岐合流部近傍の比重変化のトレンドを表したものである。この分岐合流部では、時間の進行とともに流量、流れ方向が大きく変わる。流れの変動とともにオフベックガスが到達したり、揺れ戻されたりする状況がわかる。

以上の解析を、パーソナルコンピュータ（P t 4 2.93 GH ）上で約 100 の解析時間で行うことができた。

6. おわりに

ガスパイプラインネットワークの異種ガストラッキングシミュレータC を開発し、シミュレーションシステム GAIA の新機能としてラインアップした。本シミュレータにより、全長数千キロメートルにもおよぶパイプラインネットワークにおいても、高速にトラッキング解析が行えることを確認した。

複雑化するガス運用に対し、非常流送解析技術の重要性が日々高まってきている。本シミュレータを内蔵する

GAIA により、ガスの安定供給にこれまで以上に貢献していきたいと考えている。

一例として、ある仮想的なガスパイプラインネットワークにおいて、運用中にオフベックガスが混入し、時間にもなって伝播していく状況を解析した。解析結果を および に示す。

計算に用いたモデルは高圧 / 中圧ラインを含む、全長 2 000 以上、需要ポイントと分岐合流部の総数が数千ヶ所の仮想的な超大規模系である。

通常、比重 0.63 のガスで運用されるべきところを、供給基地から比重 0.67 のオフベックガスが混入したというシナリオの下で、時間刻み 180 、距離刻みは基本的に約 1 000 、約 5 000 のメッシュ数に設定し、48 分のトラッキング解析を実施した。

F .5は、モデル中の 8 ヶ所の地点における比重変化のトレンドを表したものであり、P t A から H に向かう方向に下流側となっている。時間の進行につれ、

参考文献

- 1) 佐藤律夫, 山根総一郎ほか. ガスパイプライン運転支援システム. NKK 技報, .170, 2000, .41 47.
- 2) A.E. t . t w .A G A t . 1965.
- 3) I , ; , .I t CIP t .C t P . C . .92, 1995, .21 26.
- 4) t, H. BICG AB, t t t B CG t t - t t . IAM J. . t t C t . .13, .2, 1992, .631 644.