

流れを分離

石油ガス分離装置の性能向上を実現する混相流シミュレーション

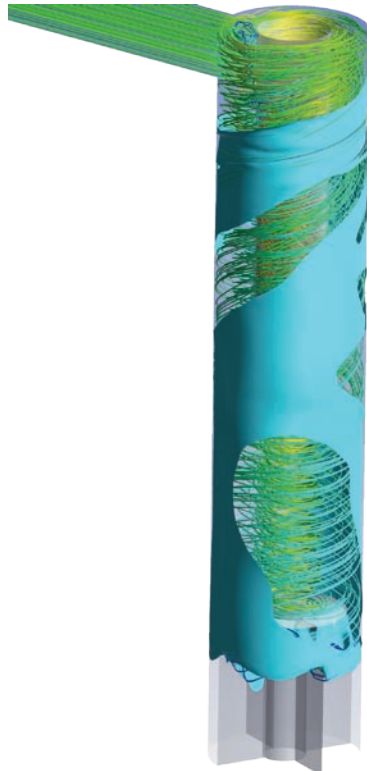
David Stanbridge (英国 ノリッジ, Swift Technology Group, マネージングディレクター)

石油・ガス業界では、複数の石油ガス分離装置を使用して、生産流体を石油成分、ガス成分、水成分（その他に汚染物質）に分離しています。海洋施設では、これらの分離装置がプロセスの様々な段階で使われており、最初の分離装置（通常、第1段分離装置と呼ばれる）によって初期流れがガス流、石油流、水流に分離されてから、これらの流れが個別に処理されるようになっています。しかし、分離装置の分離性能に問題があると、生産全体に支障が生じ、場合によっては、プラットフォームが分離を適切に行えず、設計容量の50%程度しか生産できないことがあります。

数値流体力学（CFD）を広く利用している石油・ガス業界では、分離装置の性能問題を様々な方法で解決しています。最もよく使われているのは、気相と液相を別々に解析する分離型単相シミュレーションですが、可動プラットフォームに固定される分離装置の液体スロッシング挙動を解析する場合には、VOFモデルが利用されています。一般に、このスロッシング解析は、重力と3つの慣性力（コリオリ力、オイラー力、遠心力）を適用できるユーザー定義関数を併用して行います。なお、従来の分離装置の容器には流体が入り出できないようになっていました。

混相流シミュレーションのメリット

流量が既存の分離装置の設計容量を超える新しい小型分離装置を設計しているエンジニアの多くは、分離型単相シミュレーションとスロッシング挙動のVOFシミュレーションの精度に疑問を感じています。しかし現在では、処理能力の高いコンピュータと機能が向上したANSYS FLUENTが登場しており、混相流シミュレーションを様々な用途に使用することができます。また、ソフトウェアが改善され、混相流モデルと乱流モデルにおいて第一相と第二相を処理することが可能となり、解析時間の短縮も図れるようになりました。分離型単相シミュレーションとVOFシミュレーションの限界を打破したこの混相流シミュレーションでは、相間相互作用を詳細に解析し、リアル



注入流からバルク液体を取り除くように設計した縦置き型のサイクロン容器をシミュレーションしているところ。第一気相のパスラインは、液体の濃度が25%を超えている場所を示している。

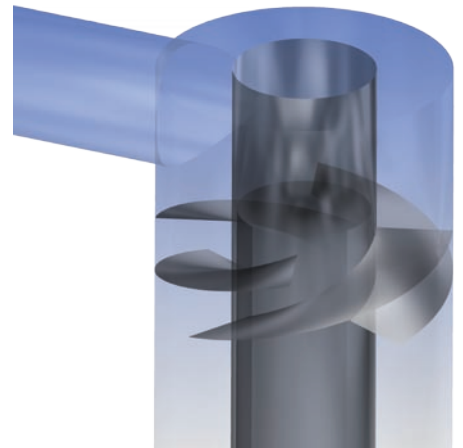
な結果を得ることもできます。このシミュレーションを活用して2種類の分離装置の研究に取り組んでいるのがSwift Technology Group社です。同社は、航空機、海洋、自動車、石油・ガス、再生可能エネルギーの各業界で利用されているエンドツーエンド製品の開発を手掛ける技術指向の企業です。

分離を適切に行うには、液滴分離が決め手になります。この液滴分離に最もよく利用されている装置に、重力を推進力として使用する縦置きまたは横置き容器がありますが、小型化が進んだ分離装置の多くには、流れの回転や一般的な接線方向の入口のほか、精巧な渦流要素によって重力の数倍の加速を生み出すサイクロン容器が使われています。このサイクロン容器は、効率的な分離を省スペースで実現する可能性を秘めているものの、調べなければならないこと

も山ほどあります。これまで、サイクロン式分離装置に関しては、包括的なプロトタイプリングと試験を実施し、完成品に様々な不具合が生じないことを時間と費用をかけて確認する必要がありました。たとえば、Swift Technology Group社の研究グループが最近実施したサイクロン式分離装置の研究開発プログラムでは、7回の設計変更が必要になり、各設計変更サイクルに約8週間の期間と約45,000ポンド（約73,000ドル）のコストがかかっています。しかし、CFDを使用すれば、各変更点を2週間でモデリングでき、しかも1回の試験だけで済むため、トータルで300,000ポンド（約485,000ドル）以上を節約することができます。ただし、すべてのケースでシミュレーションの精度を定量化することは困難です。

分離装置のシミュレーション

サイクロン式分離装置の分離性能の解析には、混合混相流モデルがよく使用されます。たとえば、荷重が低密度および適度な密度の場合や、微粒子荷重が低から中程度の場合、ストークス数が1未満の場合に適用できるこの単純なモデルは、海洋投棄前に最終的な油滴を水から分離する重要な機能を備えたハイドロサイクロン式分離装置の解析にも利用することができます。また、バルク相や再飛散した液滴を取り除けるように設計された一般的な分離装置で見られる複雑な流れを表現したい場合には包括的



サイクロン内部の渦流要素

なオイラー混相流モデルが、第一相、第二相を問わずサイクロン流れを効率的に解析したい場合にはレイノルズ応力乱流モデルが威力を発揮します。

分離装置の解析に際しては、上流配管系の影響という重要な問題を見逃してしまうことがよくあります。実際、この配管系は分離装置の容器内の流体分布に大きな影響を及ぼします。例に示したシミュレーション（横置きおよび縦置き型の重力式分離装置とサイクロン式分離装置）では、この上流配管系の影響も表現しています。

縦置き型のサイクロン容器と分離装置のシミュレーション結果を厳密に検証することは容易ではありません。そこで、実験室とパイロットテスト装置で流れ場と分離性能の両方を正確に把握しているかをシミュレーションで確認する作業が行われています (References 参照)。Swift Technology Group 社では、こうしたモデリング戦略だけでなく、数年かけて実施してきた包括的な試験の結果も利用して、流れの重要な側面をすべて正確に解析し、主要な性能特性を確認していますが、結局のところ、シミュレーション結果に基づいて、様々な容器の内部部品に変更を加えています。

横置き型の三相分離装置は、注入流をガス流、石油流、水流に分離する重要な機能を備えています。一般にガス流が第一相、石油流と水流が第二相であり、これらの液相が、ガス相に同伴される液滴を形成してから、分離装置につながっている管壁に膜を生成することになります。この分離装置の第1部品としては、ガス相と液相を粗く分離する重要な機能を持つ入口装置があります。この装置によって分離されたガス相は容器の上部に沿って移動していきませんが、液相は分離装置の底に向かって下降し、最終的に、容器の底から順に、水、石油（水相とガス相間の層を形成）、ガスが溜まることとなります。



多くの場合、容器の有効断面に沿ってこれらの液相流を均一に分散させて、軸流速度を最小限に抑えると同時に分離性能を最大限に高めるには、横置き容器の長さ方向に多孔板を取り付けます。このシミュレーションを行う場合には、頻繁に変化する流動状況を表現するために上記のオイラーモデルを使用する必要があります。

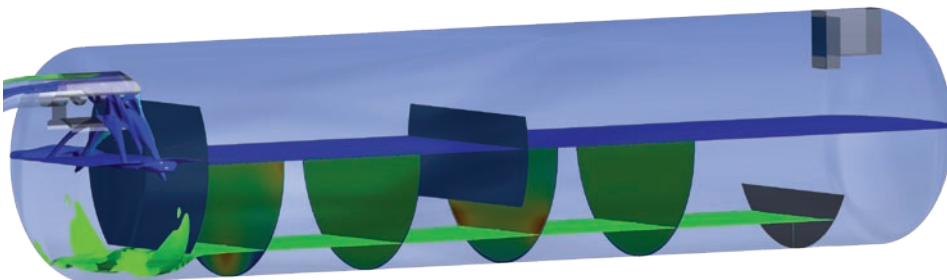
なお、羽根型入口装置を備えた縦置き型の分離装置では、この分離装置の容器につながっている入口管にガスと液体が流れる仕組みになっていますが、この入口管の経路が原因で大量の流体が容器の片側に集まってしまうことがあります。このため、十分に分離できなくなり、大量の液体が容器のガス出口にキャリーオーバーすることがあります。

結論を言うと、石油・ガス業界向けの分離装置の様々な組み合わせと設計変更点を高い精度でモデリングするには、ANSYS FLUENT を使用するしかありません。■

一般的な横置き型分離装置の全体構成を示したものの、青色の層はガス相と石油相間の界面、緑色の層は石油と水間の界面、青色の垂直領域は部分直径の多孔板を表す。容器の長さ方向には、石油相と水相の両方の速度分布を示す4つのコンターが見える。

Reference

Slack, M.D.; Prasad, R.O.; Bakker, A.; Boysan, F. Advances in Cyclone Modelling Using Unstructured Grids. Trans. I. Chem. E., 2000, 78(A), pp. 1098-1104.
 Cokljat, D.; Slack, M.; Vasquez, S. Reynolds-Stress Model for Eulerian Multiphase. 4th Symposium on Turbulence, Heat and Mass Transfer, 2003, Antalya, Turkey, pp. 8.
 Slack, M.D. Best Practice Advice for AC3-03 Cyclone Separator, Thematic Network for Quality and Trust in the Industrial Application of CFD (qnet-cfd). Thematic area 3, 2003, Barcelona, pp. 5.
<http://www.qnet-cfd.net>



入口配管、羽根型入口装置、多孔板を備えた横置き型の三相分離装置の混相流シミュレーションを行っているところ。流体の下層が水で、その上に石油相があり、容器上部のガス相には入口装置が見える。この容器の底部にピンク色で表示されている領域は、水相に同伴する砂が最初に沈殿する場所を表している。



羽根型入口装置を備えた縦置き型の分離装置を解析したところ、入口管が原因で大量の液体が容器の片側に集まってしまう、十分に分離できなくなることが分かった。