



制御ユニットの過酷な環境条件の
シミュレーション

Intelligent Drilling

地表から何千メートルもの深さにある鉱物油や天然ガス貯留層では、最高温度が 200 °C、最大圧力 1,500 bar という過酷な条件が伴います。このような環境にあっても、使用する電子制御装置には高い堅牢性と信頼性が求められます。そのため、Schlumberger 社では dSPACE の MicroLabBox を使用して開発時に過酷な条件をシミュレートしています。

より深く、より幅広く、そしてより速く。これが、新しい鉱物油田や天然ガス田の開発時に行う掘削作業に求められる要件です。なぜなら、容易に到達できる石油やガスの貯留層の開発は既に行われているため、掘削時の地質条件はより複雑化しており、このため高度な掘削技術に対する需要がますます高まっています。石油およびガス業界における世界有数の探索および生産サービス企業の1つである Schlumberger 社は、革新的な掘削技術を使用して、これまで到達できなかった貯留層にまで開発の手を伸ばしています。同社では、研究開発への投資を集中的に行うことにより、使用する掘削機器の効率性と信頼性を向上させています。

目的地までの迂回路

これまでの数十年間における回転操舵システムや掘削同時監視システムなど、掘削技術の進歩により、従来の垂直掘削手法だけでなく、傾斜掘削

や水平掘削の利用が増加しています。後者の2つはより複雑な技術ではありますが、これらを使用することにより、掘削場所を柔軟に選択することで産出量を増大させることができます。つまり、通常は到達するのが困難な貯留層の開発が可能になります。したがって、複数の坑井やさまざまな貯留層を開発できる生産施設が1つあれば事足りるようになるため、特に海洋掘削(図1)ではコストを大幅に削減することができます。ただし、明らかな岩盤層や土層があり、ドリルで掘り進めることができない場合、急な傾斜に沿って掘削を行うと、誘導式水平ドリル(HDD)に故障の危険が生じます。ドリルが層に侵入する角度が低い場合、掘削孔を掘ることは困難であり、孔曲がりや操舵ずれが起きる可能性があります。これは、方向が変化したら必ずドリルストリングを停止させる必要があるということを意味します。それに対し、「インテリジェント掘削システム」では、複数の調整式バイアスユニットをドリルヘッド(操舵アクチュエータパッド)付

近に設置しており(図2)、高度な制御エレクトロニクスを通じて、要求された掘削方向へ調整することができます。

地中深くからの情報

さらに、これらの掘削システムには、掘削中に周辺の岩や液体に関するさまざまな種類の情報を収集するLWD(Logging While Drilling)モジュールを搭載することができます。以前は、掘削中に測定できるのは圧力や温度などのデータのみでした(MWD: Measurement While Drilling)。Schlumberger社では、既存の掘削技術の向上を図るため、dSPACEツールベースのテスト環境を導入しました。これにより、掘削時の環境と同じ熱、圧力、および作動流体の条件下でドリルヘッドの操舵アクチュエータパッドを駆動させることができる制御アルゴリズムをラボで開発し、最適化できるようになりました。Schlumberger社の電動制御部門のMustafa K. Guven博士は、「このテストプラットフォームを使用すると、エンジニア

>>

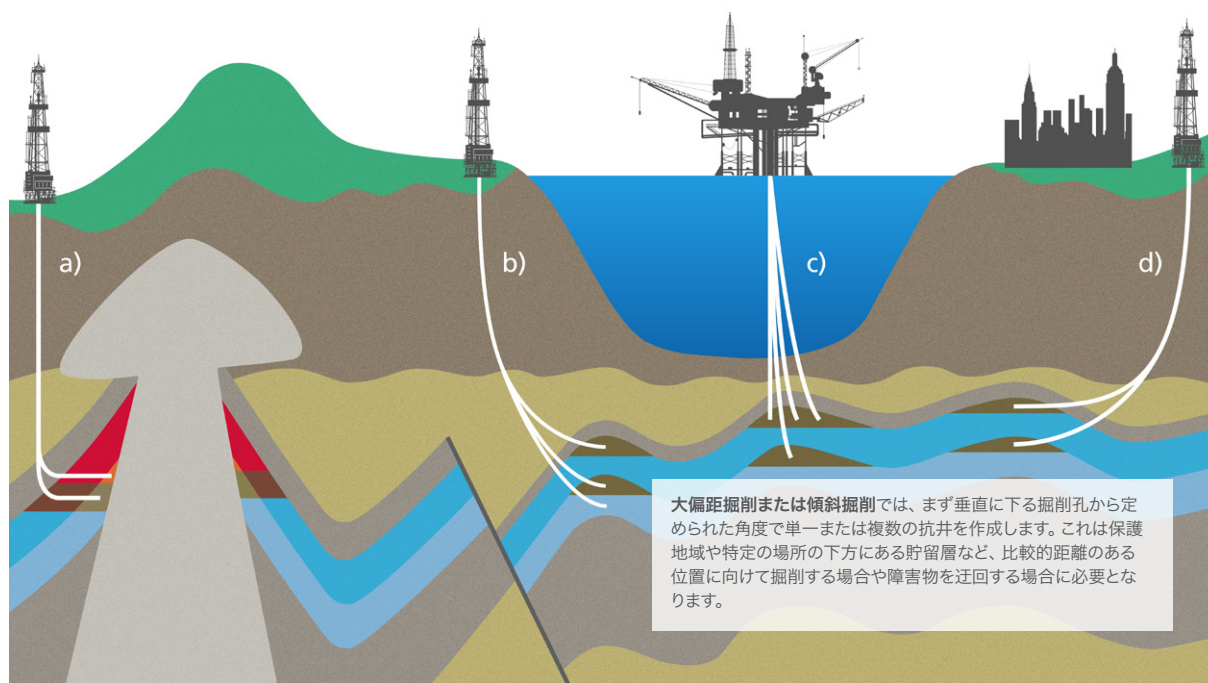


図1：傾斜井の例(赤：天然ガス、茶：鉱物油)：
地質上の障害物を迂回する場合(a)、生産施設の直下でない貯留層から生産する場合(a、b、d)、単一の掘削孔を経由して複数の貯留層から生産する場合(a、b、c、d)、単一の生産施設で複数の坑井を使用する場合(c)



が情報をリアルタイムで取得できるため、連続した掘削路や区域ごとの生産テストに関する重要な判断を下すことができます」と述べています。

環境 - 圧力、熱、および振動

Guyen 博士は、「石油およびガス貯留層に到達するうえでの最大の課題の1つは、貯留層内の過酷な環境条件です」とも述べています。熱、圧力、振動のほか、地質的な応力によっても高価な電子機器の耐久性に影響を及ぼします。インテリジェント掘削システムでは、ドリルヘッド付近に取り付けられた複数のデータ取得モジュールによってドリルの位置や場所のデータがリアルタイムに地表に転送されます。これにより、掘削チームは貯留層に向けて正確に掘削を行うことが可能となります。このためにはデータ取得モジュールや電子制御ユニット (ECU) の信頼性が極

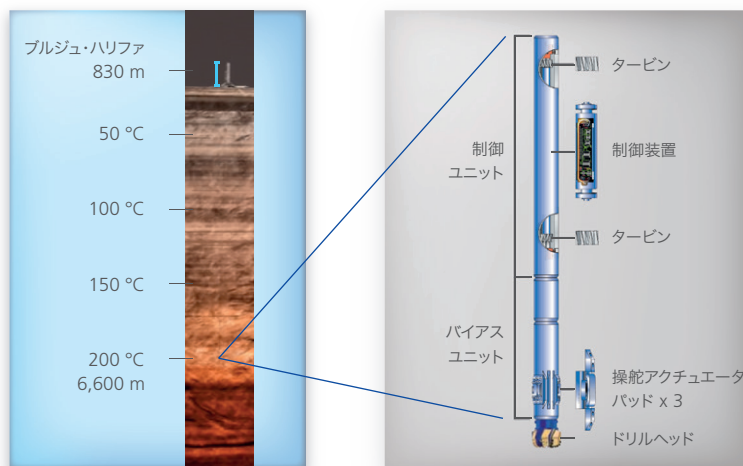
めて重要となります。掘削プロセス中に制御ユニットやセンサが故障した場合、ドリルストリングを掘削孔から引き抜くには多大なコストと時間が掛かります。また、それを行わないとデータが不正確になり、貯留層に確実に到達することができません。つまり、数百万ドルに及ぶ追加コストが発生するか、掘削計画が完全に失敗するか、ということになります。

貯留層環境でのテスト

Schlumberger 社では、故障モード影響分析 (FMEA)、信頼性認定テスト (RQT)、コンピュータシミュレーションなどのエンジニアリング手法を活用することで、途方もないコストと時間のロスが生じるリスクを削減しています。これらの手法では、システム、コンポーネント、およびプロトタイプの保守に求められる要件を予測することができます。Schlumberger 社

では現在、ラボ用のプロトタイプドライブである D3S を開発中です (図 3)。D3S は DEMENT Development Drive System (DEMENT 開発ドライブシステム) の略称です。DEMENT は Down-hole Electric Machine Technology (掘削孔電動テクノロジー) を意味します。このドライブシステムは、個々のコンポーネントや複雑なシステムの開発やテストをサポートするためのものです。D3S は最先端の電子ハードウェアを備えた柔軟性の高いドライブシステムであり、ラビッドコントロールプロトタイプング (RCP) のためのツールとして dSPACE MicroLabBox を搭載しています。Guyen 博士は、「このシステムが提供するプラットフォームを活用すると、コントローラソフトウェアのテストや最適化を行ったり、パラメータをリアルタイムに設定したりすることができます」と説明しています。

図 2: ドリルヘッド付近の制御装置および操舵アクチュエータパッドの位置



傾斜掘削における dSPACE との協力

課題:

到達が難しい過酷な条件を持つ環境では、運転中に保守を行う必要のない堅牢かつ信頼性に優れた装置が必要

ソリューション:

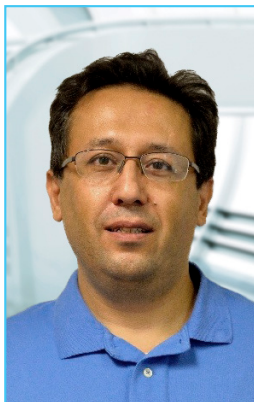
制御ユニット開発用のテストプラットフォームを構築することにより、ラボにおいて掘削プロセス中での貯留層の条件をシミュレート

利点:

コストのかかる分解を行ったり、さまざまなリスクを取ることなく、制御ユニットを開発しテストすることが可能

効率性の高いテストプラットフォームの構築

Schlumberger 社では、効率性の高いテストプラットフォームを構築することにより、複数の目標を同時に達成しています。このプラットフォームでは、鉱物油や天然ガス貯留層の環境下におけるモーターの性能や挙動 (特にトルク、回転速度、効率性などのパラメータ) を決定すると同時に、モータードライブセンサのテストおよび評価を行い、モデルベースの制御ユニットを開発するためのアルゴリズムを生成することができます。これにより、エンジニアは電機駆動部品が利用可能となる前、ツール開発の早期の段階で確実に妥当性確認を行えるようになる、と Guyen 博士は述べています。MicroLabBox は (アクチュエータやセンサなどの) 周辺機器間の通信を制御するメインの I/O インターフェースとしての役割を果たすだけでなく、コントローラソフトウェアを実行する中央演算処理ユニットでもあります。また、入出力の実現 (実装) をモデルベースで行う場合には dSPACE Real-Time Interface (RTI) を使用し、ランタイム中にリアルタイムアプリケーションにアクセスする場合には dSPACE ControlDesk を使用します。



「地下数キロメートルまで掘削を行う場合、失敗すればその度に損失は数百万ドルに及ぶため、すべてのコンポーネントの信頼性が非常に重要です。dSPACE MicroLabBox を使用すると、開発中のコントローラのテストや妥当性確認において、しばしば過酷になる現実的な条件を極めて詳細にエミュレートすることができます。」

Mustafa K. Guven 博士、Schlumberger 社 (米国テキサス州、シュガーランド) の主席エンジニア。
Electrical Machinery and Controls (3MT) プロジェクトの一環として、機械および発電機テスト用の新しいツールの開発と関連制御アルゴリズムの開発を担当。

テスト時の障害への対処

D3S ドライブシステムを導入する以前は、Schlumberger 社には新しい電気機械式ドライブシステムをテストするための標準プラットフォームはありませんでした。また、個々のタスクを調整するための明確な最適化プロセスもなく、新しいコンセプトや追加システムの評価と妥当性確認に利用できる制御エレクトロニクスもごく一部しか存在していませんでした。Schlumberger 社

は、MicroLabBox を搭載した D3S を導入したことにより、これらの課題の多くに適切に対応できるようになりました。D3S はまだ開発段階にありますが、このシステムの開発が完了した際には、電気機械式ドライブシステムを使用するあらゆるプロジェクトで活用していく予定です。■

Schlumberger 社のご厚意により寄稿

図3：通信システムを中心として MicroLabBox を搭載した D3S のシステム構成。空間的な位置にはデジタル信号（インクリメンタルエンコーダ、ホールセンサ、トルクトランスデューサ、およびレゾルバ）を使用し、温度、電圧、および電流にはアナログ信号を使用します。

