

PROMORE 社 高分解能地層・坑井内圧力・温度モニタリングシステム 新型 ERD 圧力・温度センサー “Version C” (耐熱 300℃) のご紹介

地熱技術開発株式会社

弊社は、平成 14 年度より海外における EOR、貯留層管理、フラクチャリング等のモニタリング実績を多数有するカナダ PROMORE 社 (CoreLab グループ) の ERD™センサーを用いた高分解能貯留層圧力・温度モニタリングシステムを導入しております。同センサーは従来のクォーツゲージタイプの圧力センサーに比べ、分解能及び温度依存性の面に優れており、従来機器に比べ信頼性が格段に向上しています。この度、同社から新型の ERD 圧力・温度センサー “Version C” ならびにデータロガー “MOREVision” が新たにリリースされましたので、以下に概要をご紹介します。

▶ 新型 ERD 圧力・温度センサー “Version C” の特徴

新型 ERD 圧力・温度センサー “Version C” は以下の特徴を有しています。

- ・ 坑内センサー及びケーブル耐熱温度 300℃ (従来 250℃)
- ・ 圧力計測精度 ±0.03% F.S. (従来 0.09% F.S.)
- ・ センサードリフト ±1psi/年 (従来 3psi/年)
- ・ 信号強度の向上：信号伝送可能距離 9150m (従来 7600m)
- ・ 1 芯コンダクターケーブルによる計測が可能
- ・ センサー外径 1.0” (従来 1.1”)
- ・ 耐振動耐衝撃性能の向上
- ・ センサー生存率 97%

表 1 ERD™センサー “Version C” 仕様

| | |
|----------|---|
| 圧力センサー範囲 | 0~1500, 3000, 5000, 10000, 15000, 20000, 22000psi |
| 分解能 | 0.00005%フルスケール |
| 精度 | +/-0.03%フルスケール |
| ドリフト | 1psi以下/year |
| 温度センサー範囲 | -30~+300℃ |
| 分解能 | 0.0055℃ |
| 精度 | +/-0.5℃ |

センサーは、同社が独自に開発したシリコン発振素子を用いた ERD (electrically resonating diaphragm) 方式を採用しています。ERD 圧力センサーは、高分解能 (0.00005%フルスケール) で、温度変化に対して極めて安定性の高いセンサーで、坑内圧力センサー (チュービングコンベイ方式 MORE¹、ケーシングコンベイ方式 MORE²、サスペンション方式 MORE³) としても、地上圧力センサーとしても適用可能です。また、センサーは、坑内装置に故障の原因となる電子装置やバッテリーを持たないため、センサーの生存率 (97%) が優れております。

▶ MOREVision データ収録システム

MOREVision データ収録システムの主な特徴を以下に示します。

- ・ リアルタイム表示
- ・ 最大メモリ 128Mbytes
- ・ ERD センサー Version C 及び A, B 対応
- ・ 複数センサーを同時計測 (多チャンネル対応)
- ・ ロガーのアレイ接続可能
- ・ AC/DC/ソーラーパネル対応
- ・ 筐体サイズ小型化: 20x20x15cm
- ・ Subsea Wellhead 設置対応化 (IWIS⁴)
- ・ 各種規格対応 (CSA²/FCC³/SCC⁴/OSHA⁵/IEC⁶)
- ・ 各種ポート対応: RS232/485
- ・ 別途オプション：携帯電話等による無線データ通信



図 1 MOREVision 及び “Version C” ERD™センサー

¹ Intelligent Well Interface Standardization

² Canadian Standard Association

³ Federal Communications Commission

⁴ The Standard Council of Canada

⁵ Occupational Safety and Health Administration

⁶ International Electrotechnical Commission

➤ PROMORE 社のモニタリングシステム

・チュービングコンベイ方式：MORE^Tシステム (Tubing Conveyed)

MORE^Tセンサーはプロダクションチュービング間に接続されるYブロックに固定され(図2), 坑内伝送ケーブルはプロダクションチュービングの外側にカラープロテクターとステンレスバンドで固定されます。坑内伝送ケーブルは地上の袖バルブ等から引き出しシールパックオフ(耐圧仕様:3,000psi~15,000psi)されます。坑内圧力はプロダクションチュービングの内側及び外側を計測することが可能です。センサーは複数深度でアレイ的に設置が可能です。本システムは生産最適化, ポンプ制御, 坑井試験, 水圧破碎等の坑井刺激, EOR 及び長期貯留層観測等に適用可能です。なお, 同様のセンサーを坑内に吊り下げる方式(MORE^S)も対応可能です(図5)。

・ケーシングコンベイ方式：MORE^Cシステム (Casing Conveyed), MORE^{CEX}システム (Casing Conveyed Explosive)

MORE^Cはケーシングマンドレル内のセンサーにより坑内圧力・温度を観測します。センサーはケーシング外側に設置され, 坑内伝送ケーブルはケーシングセントラライザー, ステンレスバンドでケーシング外側に固定しながら降下設置します。セメンチング, ポンプ最適化, 坑井刺激中等の坑内圧力・温度データの計測及び長期貯留層観測等にすることが可能です(図3)。本ツールは複数のゾーンにおいて, ケーシングの外側圧力, 内側圧力, あるいは外側と内側の圧力を同時に測定することが可能です。また, MORE^{CEX}は, ケーシング外側にパーフォレーションチャージと圧力・温度センサーを設置し, ケーシングセメント終了後, パーフォレーションによりセメントを破り地層圧力を測定することが可能です(図4)。

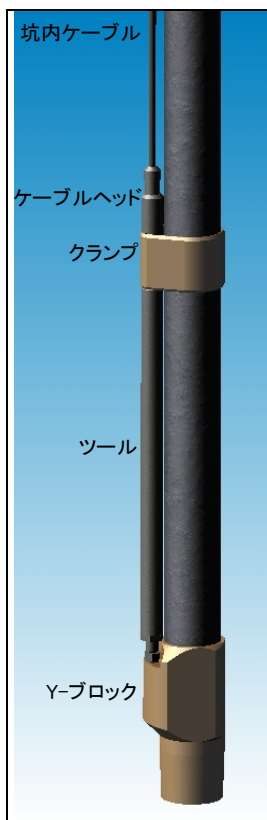


図2 MORE^T坑内ツール



図3 MORE^C設置事例

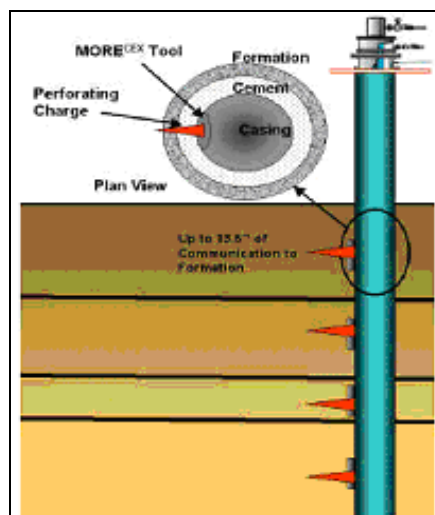


図4 MORE^{CEX}概念

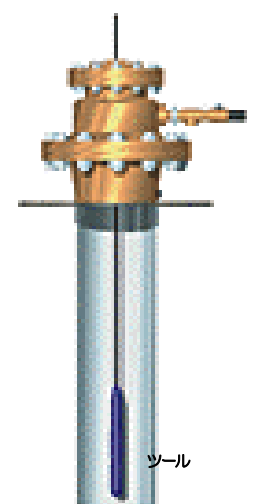


図5 MORE^S概念

➤ 国内実績

表2 国内実績一覧

| 坑井 (坑井種類) | 方式 (圧カレンジ) | 設置深度 | 坑口パックオフ (圧カレンジ) | 設置年月 | 備考 |
|----------------------|-------------------------|-------|--------------------|----------|------------------------------|
| 観測井 (岩野原 CCS) | MORE-CEX (3,000 psi) | 1091m | PGS (3,000 psi) | 2003年3月 | 観測継続中 |
| CO2 圧入井 (岩野原 CCS) | MORE-T (5,000 psi) | 1072m | PGS (3,000 psi) | 2003年5月 | 観測継続中 |
| CO2 圧入井 (夕張 ECBM) | MORE-T (5,000 psi) | 880m | PGS (3,000 psi) | 2003年11月 | プロジェクト終了, 回収済み (2007年10月) |
| 生産井 (夕張 ECBM) | MORE-T (3,000 psi) | 880m | PGS (3,000 psi) | 2006年4月 | プロジェクト終了, 回収済み (2007年10月) |
| A (石油・ガス) | MORE-T (15,000 psi) | 1570m | HPWH (10,000 psi) | 2008年2月 | 観測継続中 |
| B (石油・ガス) | MORE-T (3,000 psi) | 1040m | PGS (3,000 psi) | 2008年2月 | 観測継続中 |
| C (石油・ガス) | MORE-T (3,000 psi) | 1005m | PGS (3,000 psi) | 2008年4月 | 観測継続中 |
| D (石油・ガス) | MORE-T (3,000 psi) | 1110m | PGS (3,000 psi) | 2008年5月 | 坑井都合により回収 (2009年4月) |
| E (石油・ガス) | MORE-T (3,000 psi) | 830m | PGS (3,000 psi) | 2008年11月 | 観測継続中 |
| F (石油・ガス) | MORE-T (5,000 psi) | 1100m | PGS (3,000 psi) | 2009年4月 | 観測継続中 |
| G (石油・ガス) | MORE-T (15,000 psi) | 3800m | HPWH (5,000 psi) | 2009年7月 | 坑井都合により回収 (2009年8月) |
| H (地熱) | MORE-S (1,500 psi) | 1300m | Bowen (3,000 psi) | 2010年4月 | 2011年2月に回収後 他坑井で適宜運用 |
| I (地熱) | MORE-S (3,000 psi) | 280m | Bowen (3,000 psi) | 2012年2月 | 観測継続中 |
| J (地熱) | MORE-S (3,000 psi) | 300m | Bowen (3,000 psi) | 2013年2月 | 観測継続中 |
| CO2 圧入井 (苫小牧 CCS) | MORE-T (10,000 psi) | 4498m | HPWH (10,000 psi) | 2015年2月 | 観測継続中 |
| CO2 圧入井 (苫小牧 CCS) | MORE-T (5,000 psi) | 2061m | HPWH (10,000 psi) | 2015年6月 | 観測継続中 |
| 設置実績 信頼性 (サバイバル率) | | | | | 100% |

➤ 海外実績

表3 MORE^f海外実績

| チューピングコンベイ方式 (MORE-T) | | |
|-----------------------|-----------|--------------|
| センサー数 | 総センサー数 | 2,036 |
| | 観測日数 | 3,292,133 |
| | 観測年数 (平均) | 9,020 (4.43) |
| センサー設置深度 (m) | 最大深度 | 6,674 |
| | 平均深度 | 1,655 |
| 坑内温度 (deg.C) | 最高温度 | 236 |
| | 平均温度 | 72 |
| 坑内圧力 (MPa) | 最高圧力 | 137.9 |
| | 平均圧力 | 19.1 |
| 信頼性 (設計範囲内) | 損傷数 | 42 |
| | サバイバル率 | 97.9% |
| 信頼性 (設計範囲外) | 損傷数 | 57 |
| | サバイバル率 | 97.2% |

表4 MORE^c海外実績

| ケーシングコンベイ方式 (MORE-C) | | |
|----------------------|-----------|--------------|
| センサー数 | 総センサー数 | 815 |
| | 観測日数 | 1,799,659 |
| | 観測年数 (平均) | 4,931 (6.05) |
| センサー設置深度 (m) | 最大深度 | 4,254 |
| | 平均深度 | 948 |
| 坑内温度 (deg.C) | 最高温度 | 254 |
| | 平均温度 | 59 |
| 坑内圧力 (MPa) | 最高圧力 | 117.2 |
| | 平均圧力 | 21.8 |
| 信頼性 (設計範囲内) | 損傷数 | 26 |
| | サバイバル率 | 96.8% |
| 信頼性 (設計範囲外) | 損傷数 | 12 |
| | サバイバル率 | 98.5% |

表5 MORE^s海外実績

| 吊り下げ方式 (MORE-S) | | |
|-----------------|-----------|------------|
| センサー数 | 総センサー数 | 108 |
| | 観測日数 | 235,135 |
| | 観測年数 (平均) | 644 (5.96) |
| センサー設置深度 (m) | 最大深度 | 2,223 |
| | 平均深度 | 527 |
| 坑内温度 (deg.C) | 最高温度 | 296 |
| | 平均温度 | 67 |
| 坑内圧力 (MPa) | 最高圧力 | 20.0 |
| | 平均圧力 | 5.1 |
| 信頼性 (設計範囲内) | 損傷数 | 0 |
| | サバイバル率 | 100% |
| 信頼性 (設計範囲外) | 損傷数 | 0 |
| | サバイバル率 | 100% |

表6 高温環境 (200°C以上) での実績

| 高温環境 (200°C以上) での実績 | | |
|---------------------|-----------|--------------|
| センサー数 | 総センサー数 | 495 |
| | 観測日数 | 435,698 |
| | 観測年数 (平均) | 1,194 (2.41) |
| センサー設置深度 (m) | 最大深度 | 2,565 |
| | 平均深度 | 530 |
| 坑内温度 (deg.C) | 最高温度 | 296 |
| | 平均温度 | 228 |
| 坑内圧力 (MPa) | 最高圧力 | 21.0 |
| | 平均圧力 | 7.41 |
| 信頼性 (設計範囲内) | 損傷数 | 27 |
| | サバイバル率 | 95% |
| 信頼性 (設計範囲外) | 損傷数 | 18 |
| | サバイバル率 | 96% |

※最長稼働実績：1994年設置のセンサーが現在稼働中 (約18年稼働中)

※水圧破碎時の坑内圧力温度観測 75回含む ※Offshore 設置実績：約100本のセンサー設置