

HALLIBURTON 社 高分解能地層・坑井内圧力・温度モニタリングシステム

DataSphere®ERD™ 圧力・温度センサー (最高耐熱 315°C) のご紹介

地熱技術開発株式会社

弊社は、2002 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で多数実績を有する ERD™ Downhole Gauge System 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。なお、現在は DataSphere® ERD™ Downhole Gauge System として Halliburton 社が機器製造し、弊社は国内代理店として機器を提供しております。

➤ DataSphere®ERD™ Downhole Gauge System の特徴

DataSphere®ERD™ Downhole Gauge System は以下の特徴を有しています。

- ・ 坑内センサー耐熱温度 315°C 及びケーブル耐熱温度 300°C (従来 250°C)
- ・ 圧力計測精度最大 ±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%

センサーは、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 (0.0001% 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, ケーシングコンベイ方式, ワイヤーラインコンベイ方式) 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。

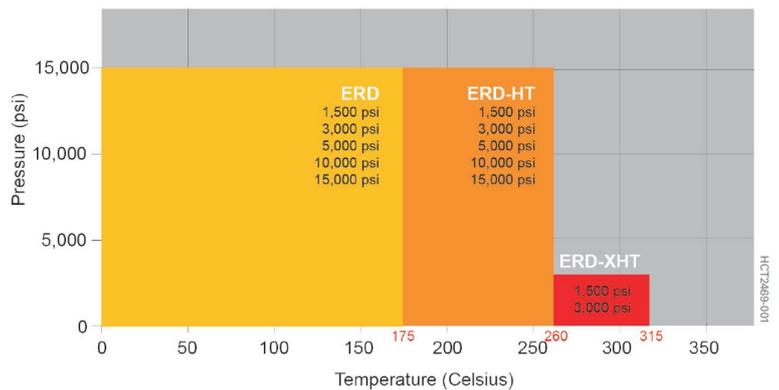


図 1 ERD™ センサーの圧力温度適用範囲

表 1 ERD™ センサー仕様

	ERD	ERD-HT 200	ERD-HT 260	ERD-XHT
圧力レンジ (psi)	Atmospheric - 15,000	Atmospheric - 20,000	Atmospheric - 20,000	Atmospheric - 3,000
圧力精度 (%FS) (psi)	0.03 (4.5)	0.08 (16)	0.08 (16)	0.04 (1.2)
圧力分解能 (psi/sec)	0.015	0.020	0.020	0.0030
最高動作温度 (°C)	175	200	260	315
温度精度 (°C)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
温度分解能 (°C/sec)	0.01	0.01	0.01	0.01
耐振動性能	+/- 35g at 10 - 70 Hz and 500 G's	+/- 35g at 10 - 70 Hz and 500 G's	+/- 35g at 10 - 70 Hz and 500 G's	+/- 35g at 10 - 70 Hz and 500 G's

➤ **ERD™Reader データ収録システム**

ERD Reader 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32GBytes
- ・複数センサーを同時計測(最大 16 センサー対応)
- ・AC/DC/ソーラーパネル対応
- ・動作環境温度：-40~85°C
- ・筐体サイズ小型化:W11.6 x H13.5 x L16cm
- ・筐体重量：約 2kg
- ・防水防爆規格対応 (CSA/ATEX)
- ・各種ポート対応:Wi-Fi/Ethernet/RS485/4-20mA
- ・別途オプション：携帯電話等による無線データ通信



図2 ERD™ Reader データ収録システム

➤ **各種モニタリングシステム**

・チュービングコンベイ方式

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 3), 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式に設置が可能です。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ワイヤーラインコンベイ方式も対応可能です(図 5, 6)。

・ケーシングコンベイ方式

本方式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適用することが可能です(図 4)。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。





図3 チュービングコンベイ方式坑内ツール

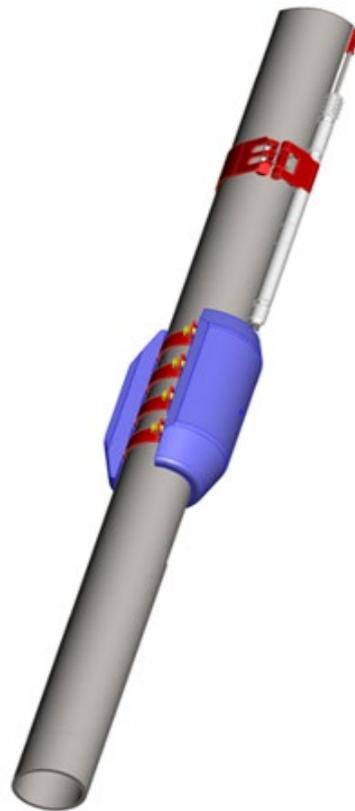


図4 ケーシングコンベイ方式坑内ツール

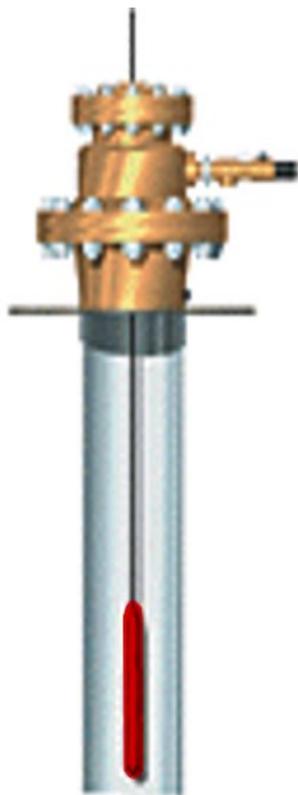


図5 ワイヤラインコンベイ方式



図6 坑内センサー外観図

➤ 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)	ケーシング コンベイ (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)	チュービング コンベイ (5,000 psi)	1072m	PGS (3,000 psi)	2003年5月	観測継続中
CO2 圧入井 (夕張 ECBM)	チュービング コンベイ (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)	チュービング コンベイ (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)	チュービング コンベイ (15,000 psi)	1570m	HPWH (10,000 psi)	2008年2月	観測継続中
B (石油・ガス)	チュービング コンベイ (3,000 psi)	1040m	PGS (3,000 psi)	2008年2月	観測継続中
C (石油・ガス)	チュービング コンベイ (3,000 psi)	1005m	PGS (3,000 psi)	2008年4月	観測継続中
D (石油・ガス)	チュービング コンベイ (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)	チュービング コンベイ (3,000 psi)	830m	PGS (3,000 psi)	2008年11月	観測継続中
F (石油・ガス)	チュービング コンベイ (5,000 psi)	1100m	PGS (3,000 psi)	2009年4月	観測継続中
G (石油・ガス)	チュービング コンベイ (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)	ワイヤーライン コンベイ (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)	ワイヤーライン コンベイ (3,000 psi)	280m	Bowen (3,000 psi)	2012年2月	観測終了後, 2014年回収
J (地熱)	ワイヤーライン コンベイ (3,000 psi)	300m	Bowen (3,000 psi)	2013年2月	観測終了後, 2014年回収
K (地熱)	ワイヤーライン コンベイ (3,000 psi)	1380m	Bowen (3,000 psi)	2013年12月	観測継続中
L (地熱)	ワイヤーライン コンベイ (3,000 psi)	98m	Bowen (3,000 psi)	2013年12月	観測継続中
M (地熱)	ワイヤーライン コンベイ (3,000 psi)	2035m	Bowen (3,000 psi)	2015年2月	観測継続中
CO2 圧入井 (苫小牧 CCS)	チュービング コンベイ (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)	チュービング コンベイ (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 27年間の海外実績 (チュービングコンベイ方式, ケーシングコンベイ方式, ワイヤーラインコンベイ方式)

HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Tubing Conveyed Gauge (Since 1994)			HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Casing Conveyed Gauge - Reservoir Pressure (Since 1994)			HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Casing Conveyed Gauge - Annulus Pressure (Since 1994)			HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Suspended Gauge (Since 1994)		
SENSORS	Total Wells	1,322	SENSORS	Total Wells	250	SENSORS	Total Wells	81	SENSORS	Total Wells	99
	Total Systems	1,605		Total Systems	273		Total Systems	81		Total Systems	113
	Total Gauges	1,718		Total Gauges	770		Total Gauges	82		Total Gauges	113
	Total Sensors	3,875		Total Sensors	1,611		Total Sensors	219		Total Sensors	232
	Operating Days	12,112,043		Operating Days	7,663,097		Operating Days	1,647,333		Operating Days	676,909
	Operating Years	33,184		Operating Years	20,995		Operating Years	4,513		Operating Years	1,855
SENSOR DEPTH (feet MD / feet TVD)	Maximum	21,897 / 19,337	SENSOR DEPTH (feet MD / feet TVD)	Maximum	13,957 / 12,628	SENSOR DEPTH (feet MD / feet TVD)	Maximum	10,250 / 10,015	SENSOR DEPTH (feet MD / feet TVD)	Maximum	6,676 / 6,358
	Average	5,949 / 5,475		Average	2,488 / 2,438		Average	4,735 / 4,580		Average	1,826 / 1,672
BOTTOMHOLE TEMPERATURE (Fahrenheit)	Maximum	661	BOTTOMHOLE TEMPERATURE (Fahrenheit)	Maximum	548	BOTTOMHOLE TEMPERATURE (Fahrenheit)	Maximum	490	BOTTOMHOLE TEMPERATURE (Fahrenheit)	Maximum	600
	Average	214		Average	108		Average	169		Average	130
BOTTOMHOLE PRESSURE (psig)	Maximum	22,185	BOTTOMHOLE PRESSURE (psig)	Maximum	8,400	BOTTOMHOLE PRESSURE (psig)	Maximum	17,000	BOTTOMHOLE PRESSURE (psig)	Maximum	3,377
	Average	3,848		Average	1,484		Average	5,341		Average	608
PERFORMANCE	Failures	193	PERFORMANCE	Failures	50	PERFORMANCE	Failures	18	PERFORMANCE	Failures	6
	Successes	3,682		Successes	1,561		Successes	201		Successes	226
	Reliability	95.0%		Reliability	96.9%		Reliability	91.8%		Reliability	97.4%
Last Update: 12/31/2023			Last Update: 12/31/2023			Last Update: 12/31/2023			Last Update: 12/31/2023		

表4 直近10年間の海外実績 (チュービングコンベイ方式, ケーシングコンベイ方式, ワイヤーラインコンベイ方式)

HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Tubing Conveyed Gauge (Last 10 Years)			HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Casing Conveyed Gauge - Reservoir Pressure (Last 10 Years)			HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Casing Conveyed Gauge - Annulus Pressure (Last 10 Years)			HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Suspended Gauge (Last 10 Years)		
PERFORMANCE	Total Sensors	1,475	PERFORMANCE	Total Sensors	937	PERFORMANCE	Total Sensors	26	PERFORMANCE	Total Sensors	105
	Successes	1,425		Successes	925		Successes	24		Successes	103
	Reliability	96.6%		Reliability	98.7%		Reliability	92.3%		Reliability	98.1%
Last Update: 12/31/2023			Last Update: 12/31/2023			Last Update: 12/31/2023			Last Update: 12/31/2023		

表5 直近5年間の海外実績 (チュービングコンベイ方式, ケーシングコンベイ方式, ワイヤーラインコンベイ方式)

HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Tubing Conveyed Gauge (Last 5 Years)			HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Casing Conveyed Gauge - Reservoir Pressure (Last 5 Years)			HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Casing Conveyed Gauge - Annulus Pressure (Last 5 Years)			HALLIBURTON DataSphere® ERD™ Sensor Track Record Suspended Gauge (Last 5 Years)		
PERFORMANCE	Total Sensors	738	PERFORMANCE	Total Sensors	227	PERFORMANCE	Total Sensors	15	PERFORMANCE	Total Sensors	61
	Successes	713		Successes	225		Successes	15		Successes	61
	Reliability	96.6%		Reliability	99.1%		Reliability	100.0%		Reliability	100.0%
Last Update: 12/31/2023			Last Update: 12/31/2023			Last Update: 12/31/2023			Last Update: 12/31/2023		