令和6年度

地熱井掘削監督者養成講座

ー 検層技術と坑井評価技術 ー

株式会社 物理計測コンサルタント
営業部　波多　哲（はださとる）

はじめに

- 地熱発電開発における「物理検層」や「坑井評価」の技術は重要
- 「地熱井掘削監督者」に対して検層技術や坑井評価技術が紹介されることは少ない
- その概要や意味合い、実施にかかるリスク等を広く浅く紹介

Contents

検層？

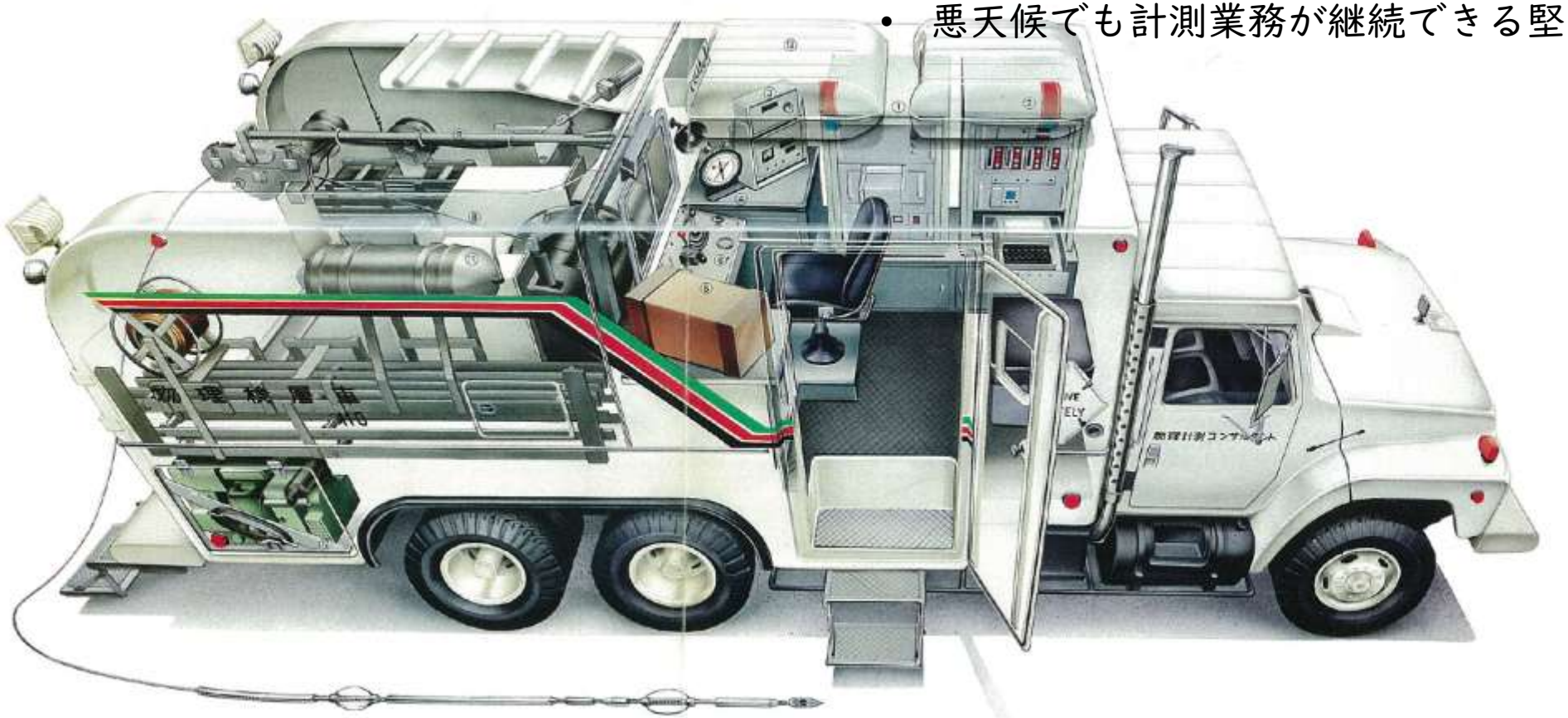
掘削リグ
シーブ
検層ツール
物理検層車
ワイヤーライン
ケーブル
DEPTH
M
GR (GAPI)
0.
150.
SP (MV)
-160.
40.
CALI (IN)
6.
16.
ILD (OHMM)
1.
1000.
ILM (OHMM)
1.
1000.
SFLU (OHMM)
1.
1000.
MSFL (OHMM)
1.
1000.
NPHI (FRAC)
0.45
-0.15
RHOB (G/CC)
1.95
2.95
780
765
770
775

検層？

ワイヤーライン検層車

検層車要求性能

- 地質調査用検層ツールを確実に揚降させる能力
- 検層ツールの深度を計測する能力
- ケーブルにかかる荷重をモニタリングする能力
- 検層ツールで取得した地質情報をリアルタイムに処理出力させる能力
- 掘削現場まで精密機器を安全に運搬・移動させる能力
- 悪天候でも計測業務が継続できる堅牢な測定室



ワイヤーライン検層車

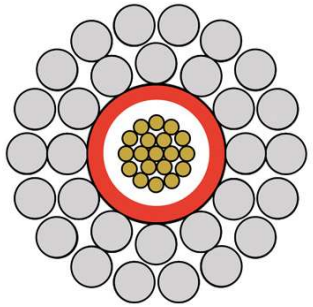
大型検層車（7,000m級）

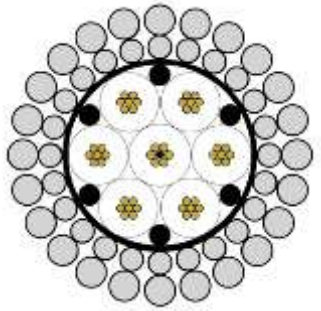
中型検層車（4,000m級）

スキッドユニット （10,000m級）

小型検層車（1000m級）

検層車（アーマードケーブル）





Outer Armor

Inner Armor

Electrical Cable(7C)

PROPERTIES

Cable Diameter	0.322" +0.005" - 0.002"	(8.18mm +0.13mm -0.05mm)
Minimum Sheave Diameter	18"	(46 cm)
Cable Stretch Coefficient	1.2 ft/Kft/Klbs	(1.35 m/Km/5KN)

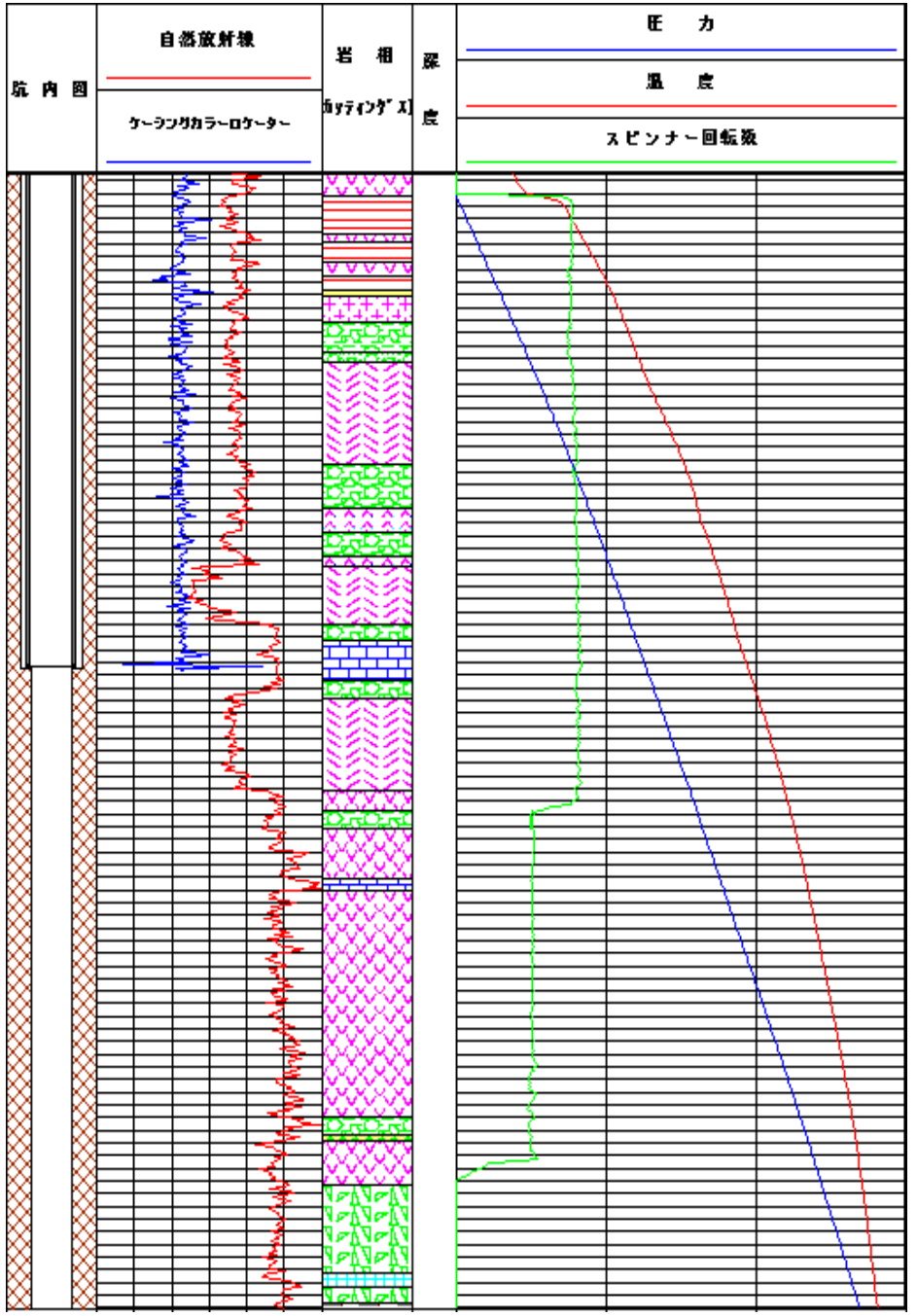
MECHANICAL

Cable Breaking Strength			
Ends Fixed	12,000 lbs	(53.4 KN)	Nominal
Maximum Suggested Working Tension	6,000 lbs	(26.7 KN)	

Cable Type	Core Description								Cable Weight	
	Temperature Rating °F °C			Plastic Type	Insulation Thickness	Copper Construction	Res Typical	Cap. Typical	O.D. Each	in Air	in H_2O
	1 hr. Max Temp	8 hr. Max Temp	Cont. Max Temp		in mm	in mm	Ω/Kft Ω/Km	pf/ft pf/m	in mm	lbs/Kft Kg/Km	
1N32WG	600 316	550 288	500 260	ECA	0.0421 1.067	19x0.0142 19x0.361	3.2 10.5	46 151	0.155 3.937	195 290	161 240

検層ツールの例

- PTS検層機（Pressure/Temperature/Spinner）
- 圧力センサー：歪ゲージ
- 温度センサー：白金センサー（Pt1000 クラスA）
- スピンナー回転数：インペラー （3, 5, 10pitch 他）
- ガンマ線センサー：NaIシンチレーター
- ＣＣＬ（ケーシング・カラー・ロケーター）
- 耐熱：350℃（４時間）、300℃（６時間）
- 測定速度：10～15 m/min



検層が実施される過酷環境

- 高温（260℃以上）
- 圧力（地層圧、水頭圧、坑口圧）
- 腐食性流体
- 傾斜やドッグレッグ
- 摩擦や張力、衝撃

過酷環境に耐えうる検層機材の用意
メンテナンス（準備・整備）





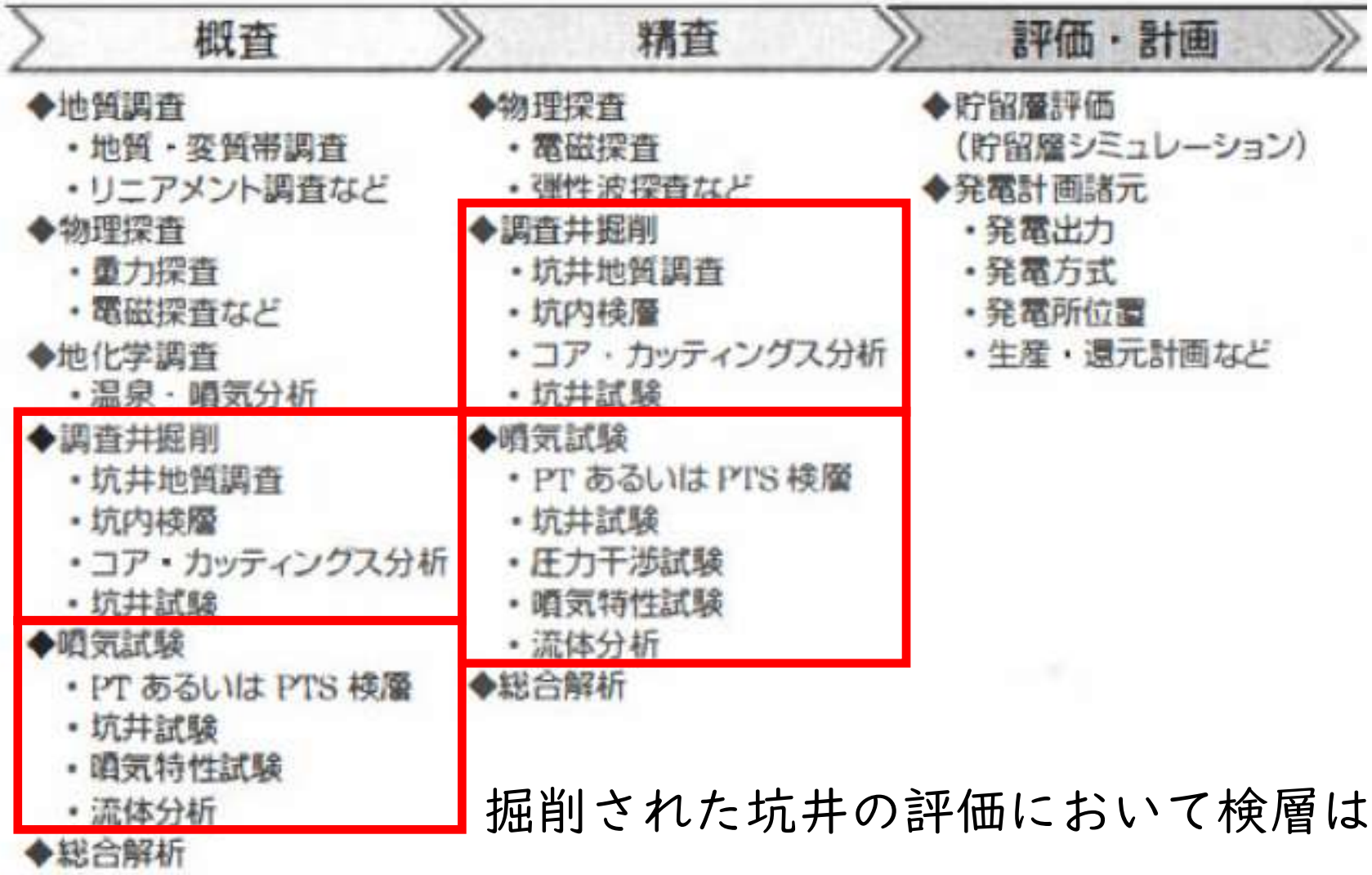

Contents

地熱発電開発フロー

概査	精査	評価・計画	許認可手続	建設	発電所運転
◆地質調査 ・地質・変質帯調査 ・リニアメント調査など ◆物理探査 ・重力探査 ・電磁探査など ◆地化学調査 ・温泉・噴気分析 ◆調査井掘削 ・坑井地質調査 ・坑内検層 ・コア・カッティングス分析 ・坑井試験 ◆噴気試験 ・PT あるいは PTS 検層 ・坑井試験 ・噴気特性試験 ・流体分析 ◆総合解析	◆物理探査 ・電磁探査 ・弾性波探査など ◆調査井掘削 ・坑井地質調査 ・坑内検層 ・コア・カッティングス分析 ・坑井試験 ◆噴気試験 ・PT あるいは PTS 検層 ・坑井試験 ・圧力干渉試験 ・噴気特性試験 ・流体分析 ◆総合解析	◆貯留層評価 （貯留層シミュレーション） ◆発電計画諸元 ・発電出力 ・発電方式 ・発電所位置 ・生産・還元計画など	◆環境影響評価 ◆国有林野貸付 ◆保安林解除・作業許可 ◆自然公園法 ◆土地取得など	◆進入路・敷地造成工事 ◆建屋建築工事 ◆生産・還元設備工事 ◆発電設備工事 ◆生産井・還元井掘削 ◆送電線敷設 ◆試運転	◆発電設備運転管理 ◆生産・還元設備運転管理 ◆坑井・貯留層管理 ◆モニタリング ◆補充井掘削

出典）中西(2014) 地熱エネルギーハンドブック

地熱発電開発フロー（概査/精査/評価・計画）

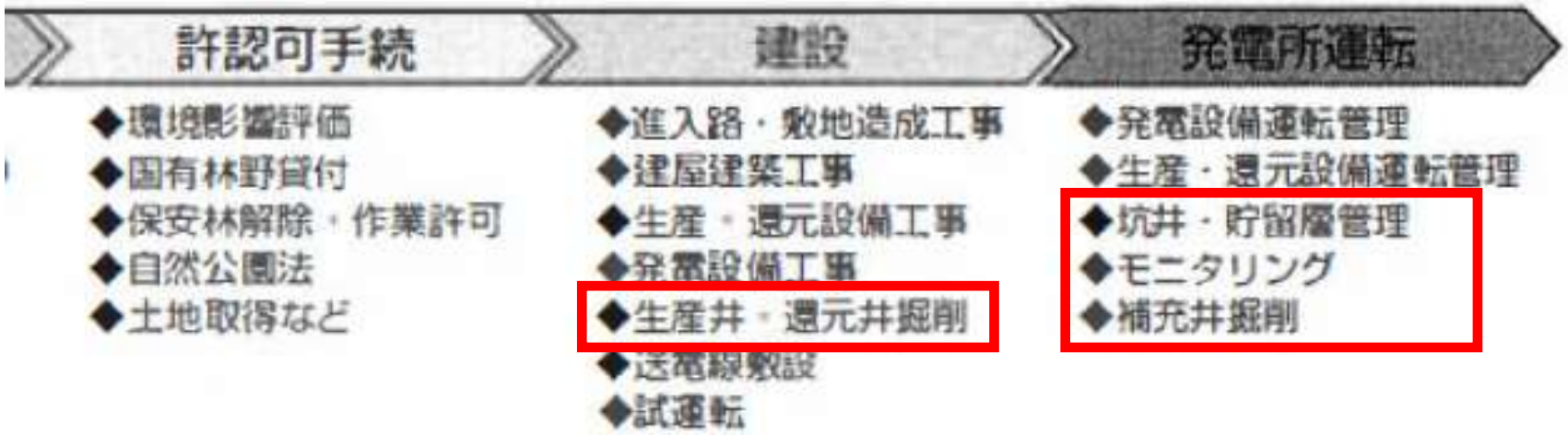


掘削された坑井の評価において検層は必ず実施される

出典）中西(2014) 地熱エネルギーハンドブックに加筆

GSC 物理計測コンサルタント JAPEX
Geophysical Surveying Co.,LTD 石油資源開発株式会社グループ

地熱発電開発フロー（許認可手続き/建設/発電所運転）



坑井の維持保全、改修や廃坑作業においても検層は実施される

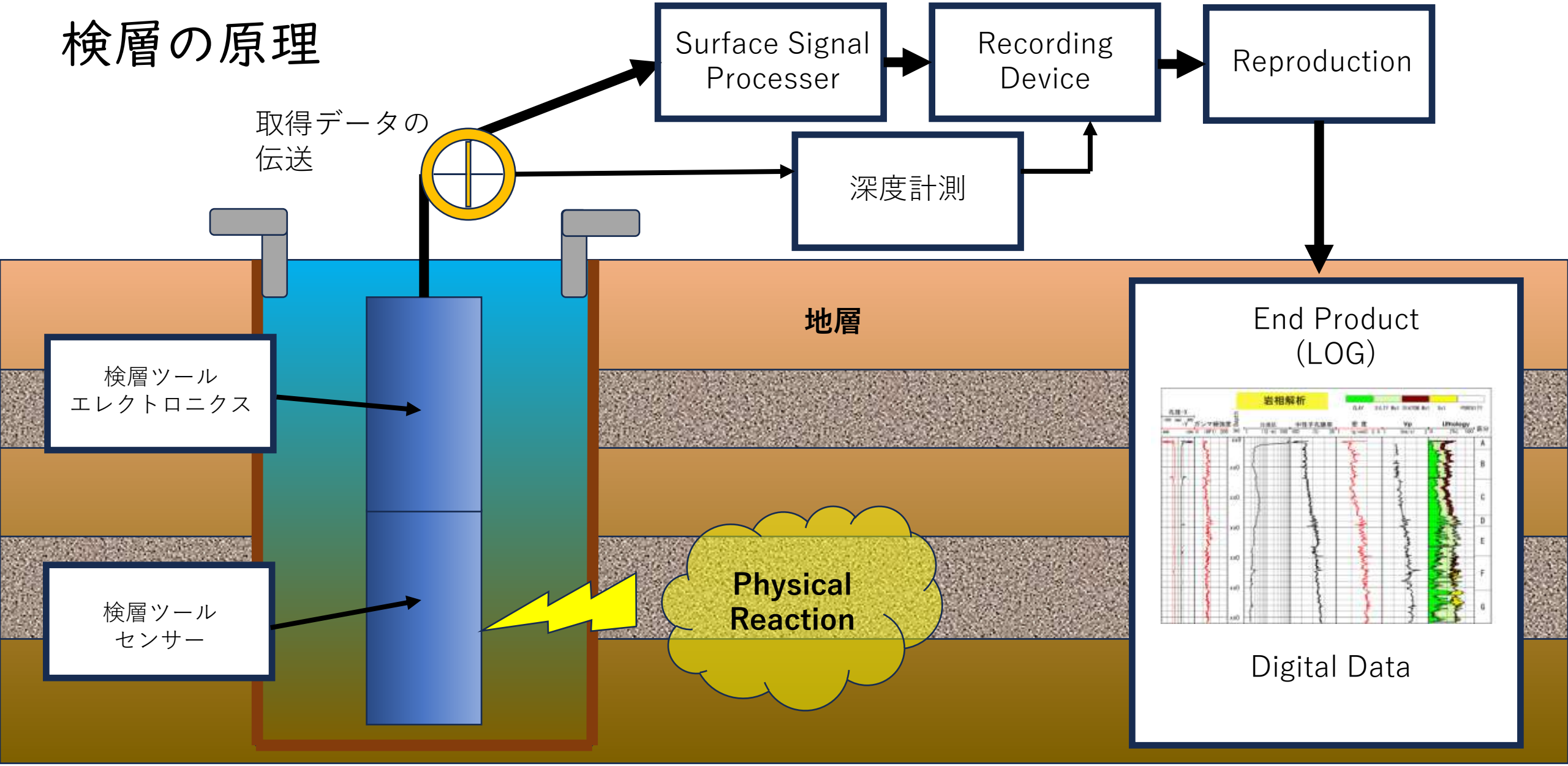
出典）中西(2014) 地熱エネルギーハンドブックに加筆

検層の目的

- 地熱貯留層の温度・圧力を調べる。
- 掘削した坑井の地層・岩相の物理特性（比抵抗・密度・弾性波速度など）を調べる。
- 掘削もしくは改修（浚渫）した坑井の断裂・フラクチャーの位置・浸透率等の特性を調べる。
- 使用中の生産井・還元井・モニタリング井の経年的な温度・圧力・フラクチャ（流入出点）の変化を調べる。
- 坑井の健全性（スケール付着、ケーシングセメンチング、ケーシング損傷の有無）を調べる。

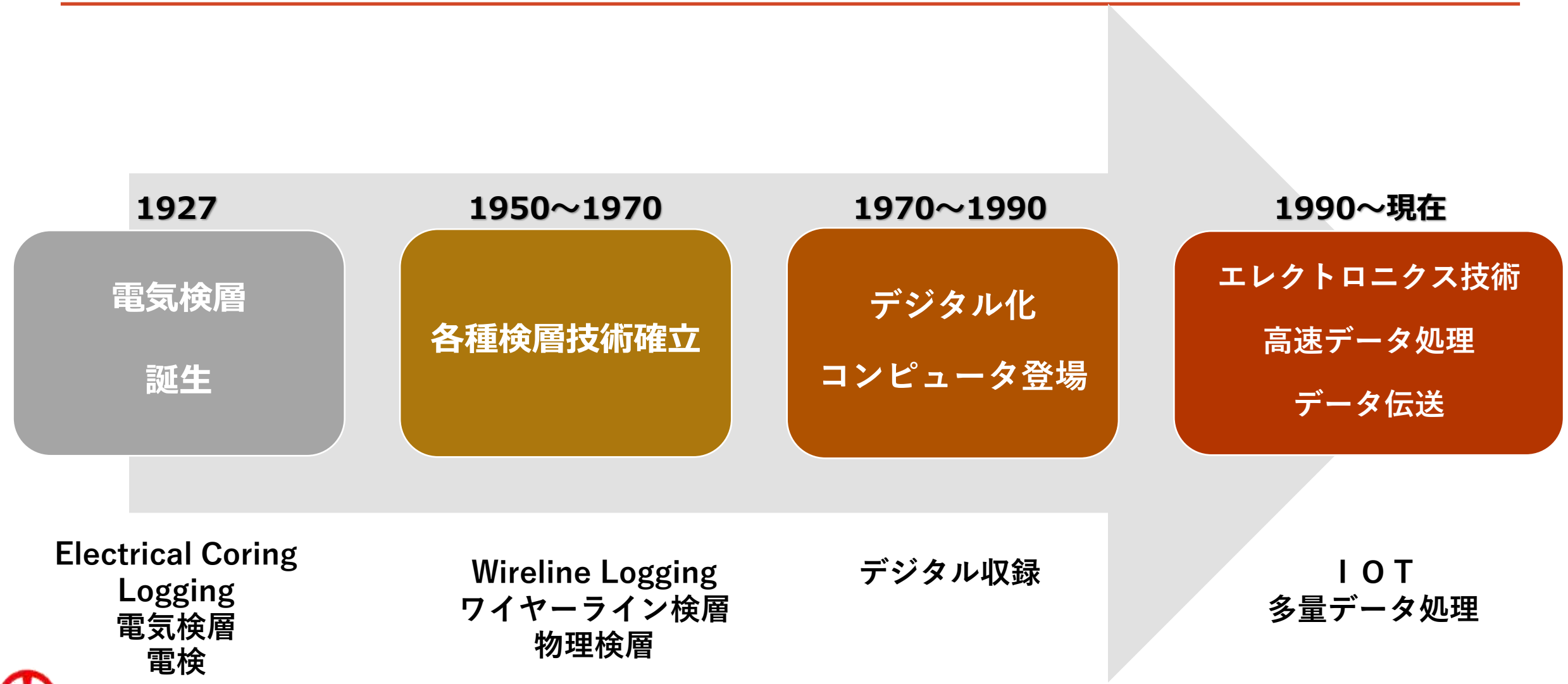
出典）梶原(2023) JOGMEC地熱資源開発研修

検層の原理

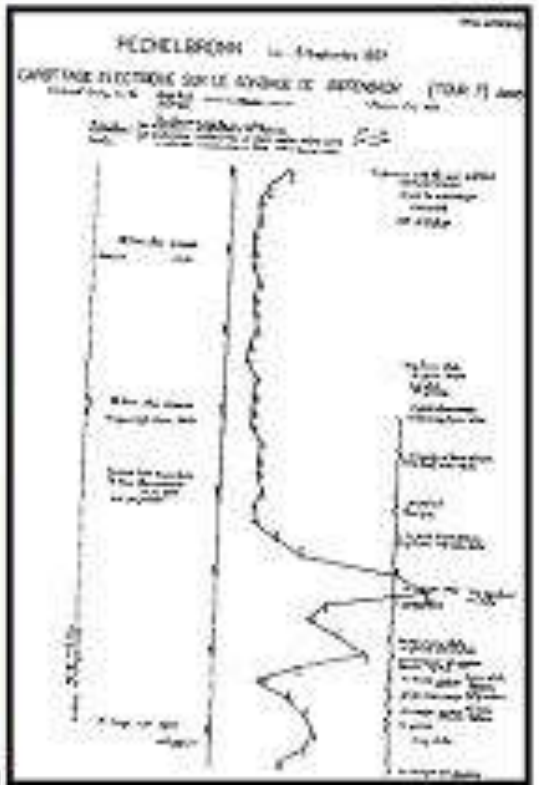

Surface Signal Processer
Recording Device
Reproduction
取得データの伝送
深度計測
地層
検層ツール エレクトロニクス
検層ツール センサー
Physical Reaction
End Product (LOG)
岩相解析
Digital Data

Contents

検層関連 呼称の変遷


1927
電気検層
誕生
1950～1970
各種検層技術確立
1970～1990
デジタル化
コンピュータ登場
1990～現在
エレクトロニクス技術
高速データ処理
データ伝送
Electrical Coring
Logging
電気検層
電検
Wireline Logging
ワイヤーライン検層
物理検層
デジタル収録
ＩＯＴ
多量データ処理

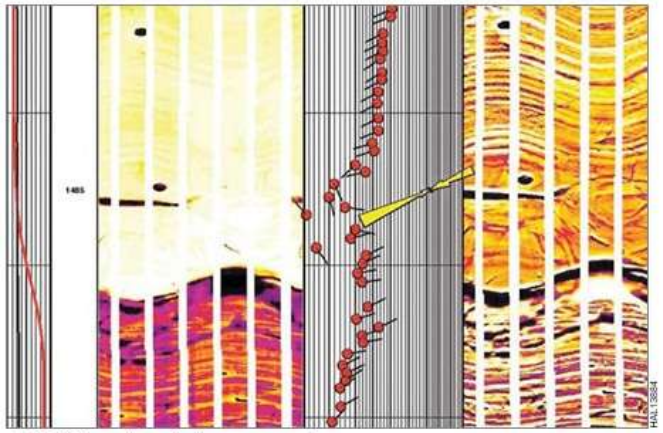
検層の歴史（黎明期）



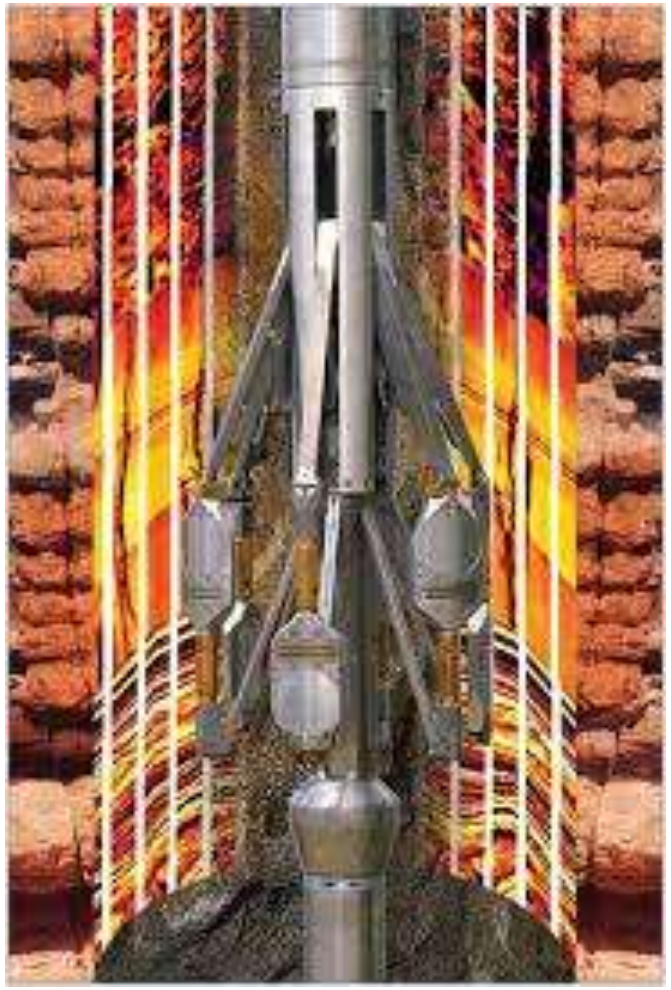
https://greasebook.com/blog/this-week-oil-gas-history-september-4/marcel-and-conrad-schlumberger/

https://www.facebook.com/TAMUPetroleumEngineering/posts/petroleum-fact-of-the-weekon-this-week-back-in-1927-conrad-and-marcel-schlumberg/1015623170249812 4/

検層の歴史（現在）



An XRMI formation evaluation answer product.
The first image track shows the static-equalized image, and the second image track exhibits the texture-enhanced high-resolution image. The central dip-track shows the results of an automated dip-picking application. The sharp change in the dip azimuths from west to east is due to "slump faulting." The base of the channel sand is also a scoured surface.



出典）Halliburtonホームページ

検層関連 呼称の変遷

- **Electrical Coring** ⇒ Log (Logging)
- Electrical Logging (電気検層/電検)

⇓

測定種目の充実（比抵抗、弾性波、放射線など）

⇓

- Wireline Logging （ワイヤーライン検層/物理検層）

⇓

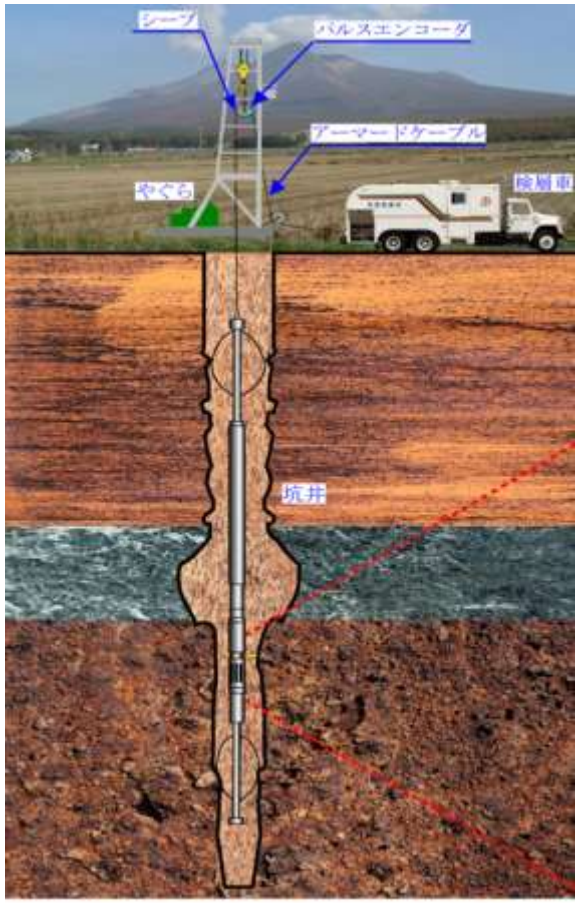
坑内作業の多様化（火薬作業、サンプリングなど）

⇓

- Wireline Service （**ワイヤーラインサービス**）

Contents

検層の種類（検層ツールの降下方法）



- **重力による自由落下（傾斜36度以下）**
  - **ワイヤーライン　（電線入りのアーマードケーブル）**
  - スリックライン　（ピアノ線　バッテリー駆動メモリーゲージ）
  - キャピラリーチューブ　（圧力モニタリングや光ファイバセンシング）

- 重力による自由落下（傾斜36度超）
  - 摩擦軽減ツールを加えた降下編成

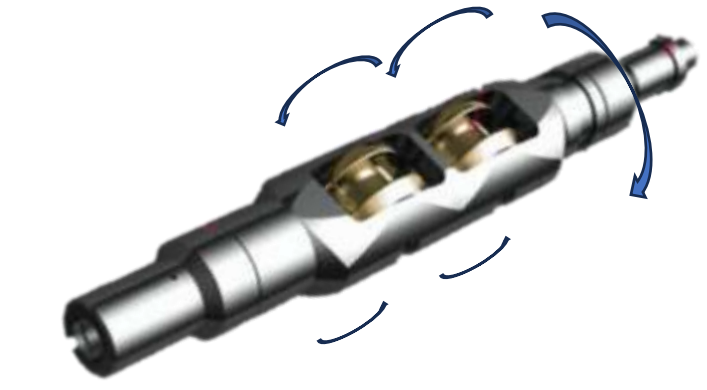
- 掘管やコイルチュービングによる押し込み（水平坑井）
  - Tough Logging/TLC　（掘管やCT先端に検層ツール取付）
  - LWD:Logging while Drilling　（掘削編成中に検層機）

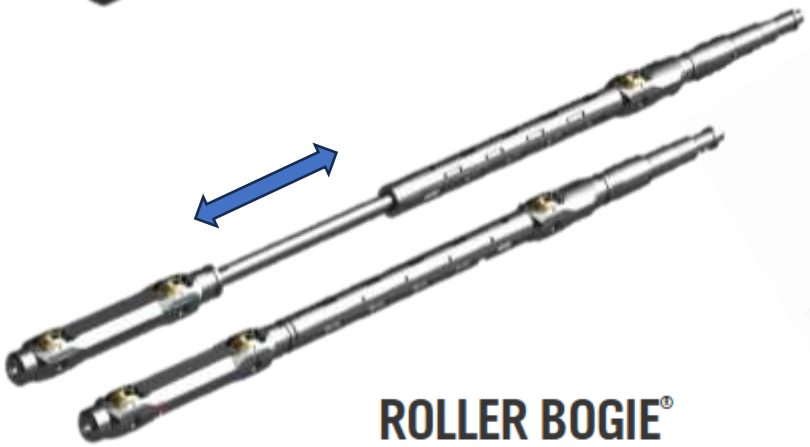
- 坑口加圧（水平坑井）
  - ポンプダウン（検層ツールに受圧部を設け、加圧で押し込む。逸泥必須）

- 自走式トラクターツール（水平坑井）

検層の種類（検層ツールの降下方法）

- 高傾斜作業用　降下補助ツール



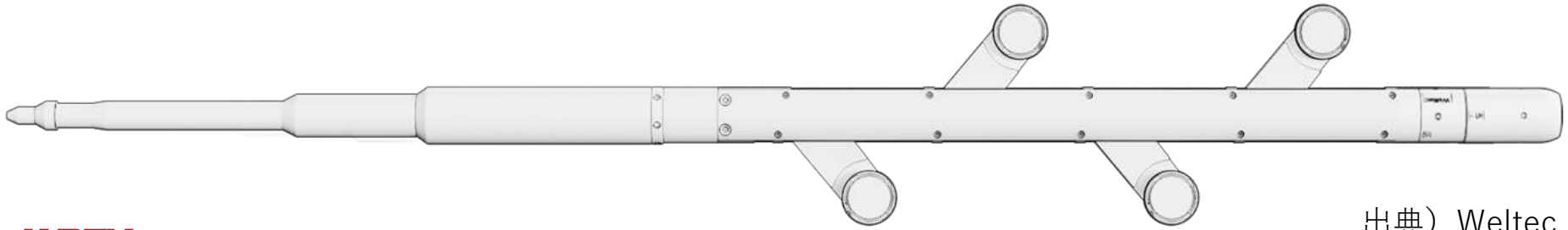


最大 80°まで
降下実績あり

出典）Wireline engineeringホームページ /Hunting PLCホームページ

検層の種類（検層ツールの降下方法）

- 水平坑での作業で使用されるワイヤーラインとラクター



出典）Weltec ホームページ

Contents

地熱井掘削で実施される検層種目（掘削後の坑井試験）

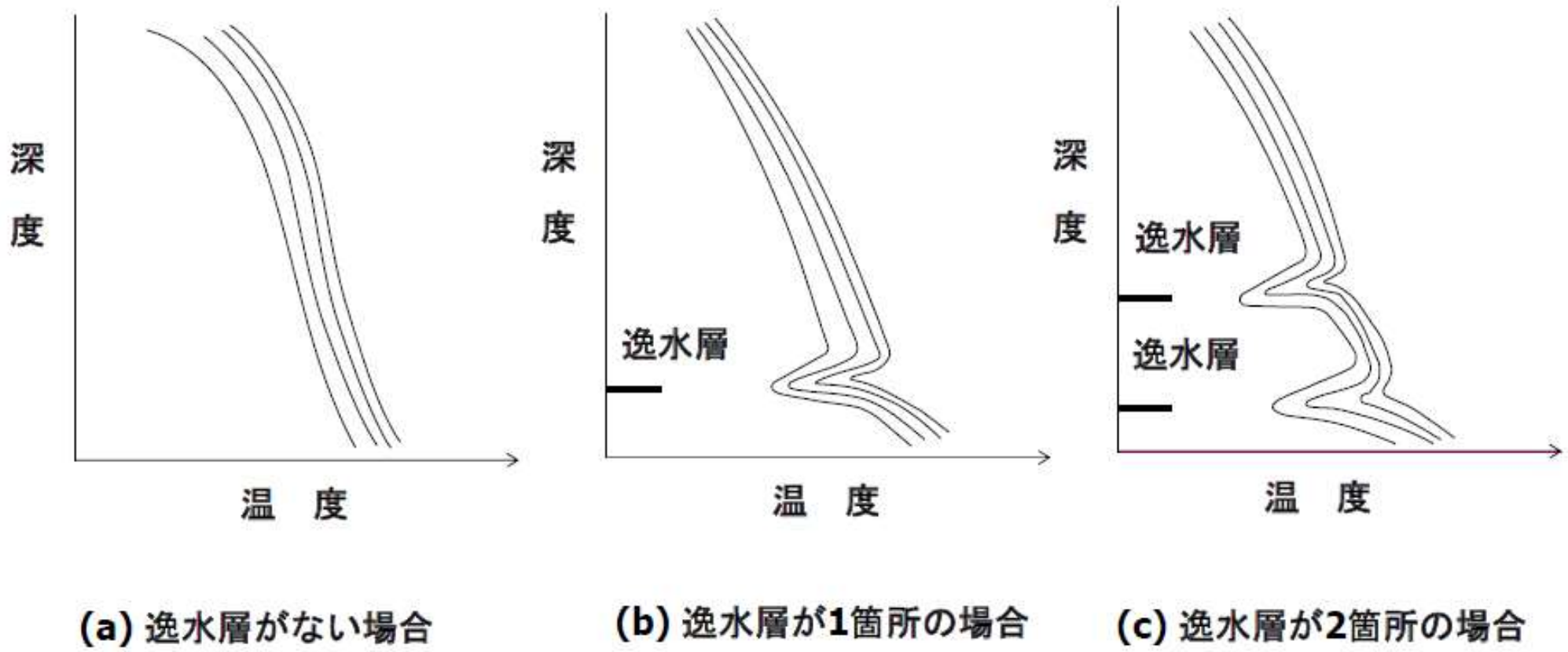
実施時期	調査（検層）種目	備考	調査目的
掘削後の坑井試験			
17-1/2”坑掘削終了直後	**温度検層（自然γ線検層）** **電気（比抵抗）検層**	圧力・自然γ線同時測定可能 ノルマル電気/自然電位	坑内温度把握・貯留層深度特定・水位確認等 地層対比
12-1/4”坑掘削終了直後	**温度検層（自然γ線検層）** **電気（比抵抗）検層** **坑壁画像検層**	圧力・自然γ線同時測定可能 ノルマル電気/自然電位 比抵抗式（XRMI）	坑内温度把握・貯留層深度特定・水位確認等 地層対比 フラクチャー深度特定
8-1/2”坑掘削終了直後	**温度検層（自然γ線検層）** **電気（比抵抗）検層** **坑壁画像検層**	圧力・自然γ線同時測定可能 ノルマル電気/自然電位 超音波式（BHTV）	坑内温度把握・貯留層深度特定・水位確認等 地層対比 フラクチャー深度特定
7“ケーシング挿入直後	**PTS検層** **注水試験** **温度回復試験**	静止時（スタティック） 注水中（2流量・3流量） 圧力遷移測定 St=48 h /72h/120h	貯留層深度・温度圧力・坑内流動把握 透水性評価 平衡温度予測

地熱井掘削で実施される検層種目（噴出試験）

実施時期	調査（検層）種目	備考	調査目的
噴気予測			
噴気試験前	**PT検層**	静止時（スタティック）	貯留層能力の評価 モニタリング
噴気試験後	**PTS検層** **ビルドアップ試験**	噴気中（2流量・3流量）または 噴気停止後 圧力遷移測定	貯留層能力の評価
発電所建設			
発電所運転開始後 （生産井/還元井）	**PT検層** **PTS検層** **注水試験** **ビルドアップ試験**	静止時・噴気中（生産井） ・還元中（還元井） 圧力遷移測定	生産井の噴出能力 貯留層の特性評価

温度検層（温度回復試験）結果からわかること

逸水層と温度回復の関係（１）

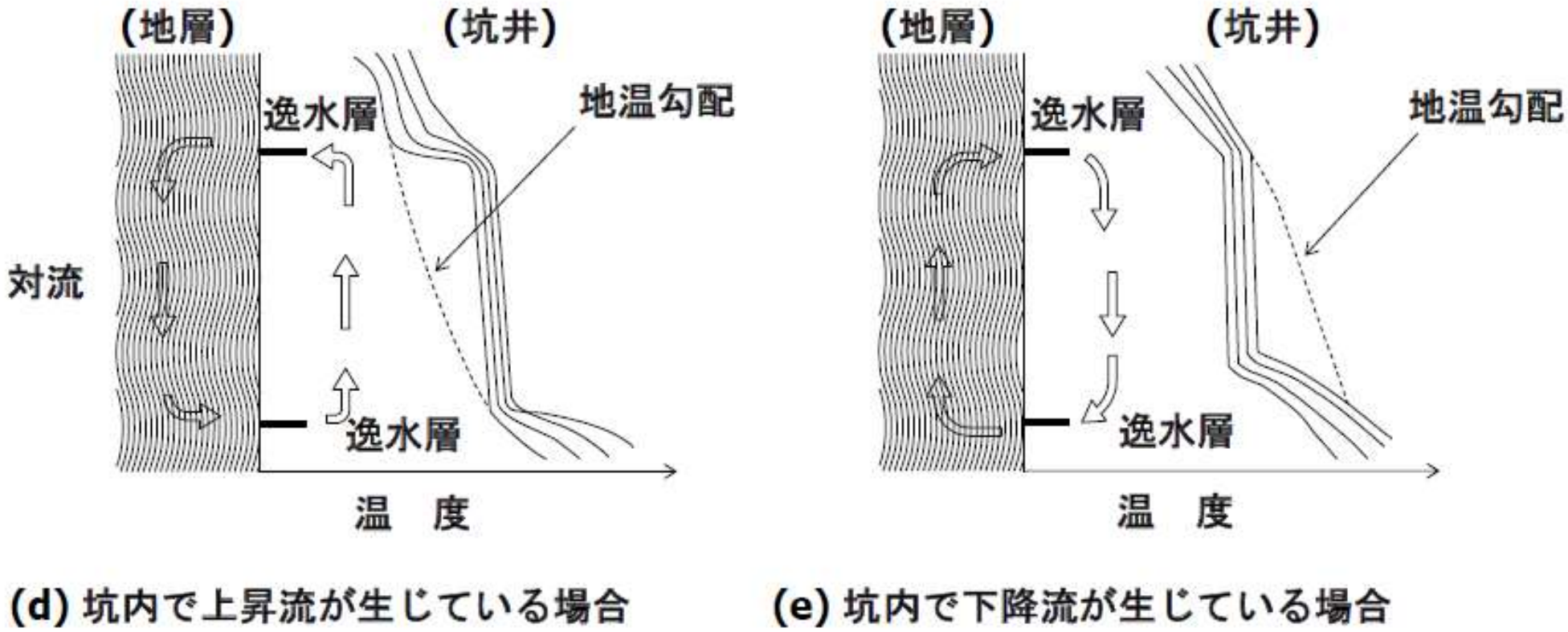


出典）坑井試験マニュアル（1993), NEDO

GSC 物理計測コンサルタント JAPEX
Geophysical Surveying Co.,LTD 石油資源開発株式会社グループ

温度検層（温度回復試験）結果からわかること

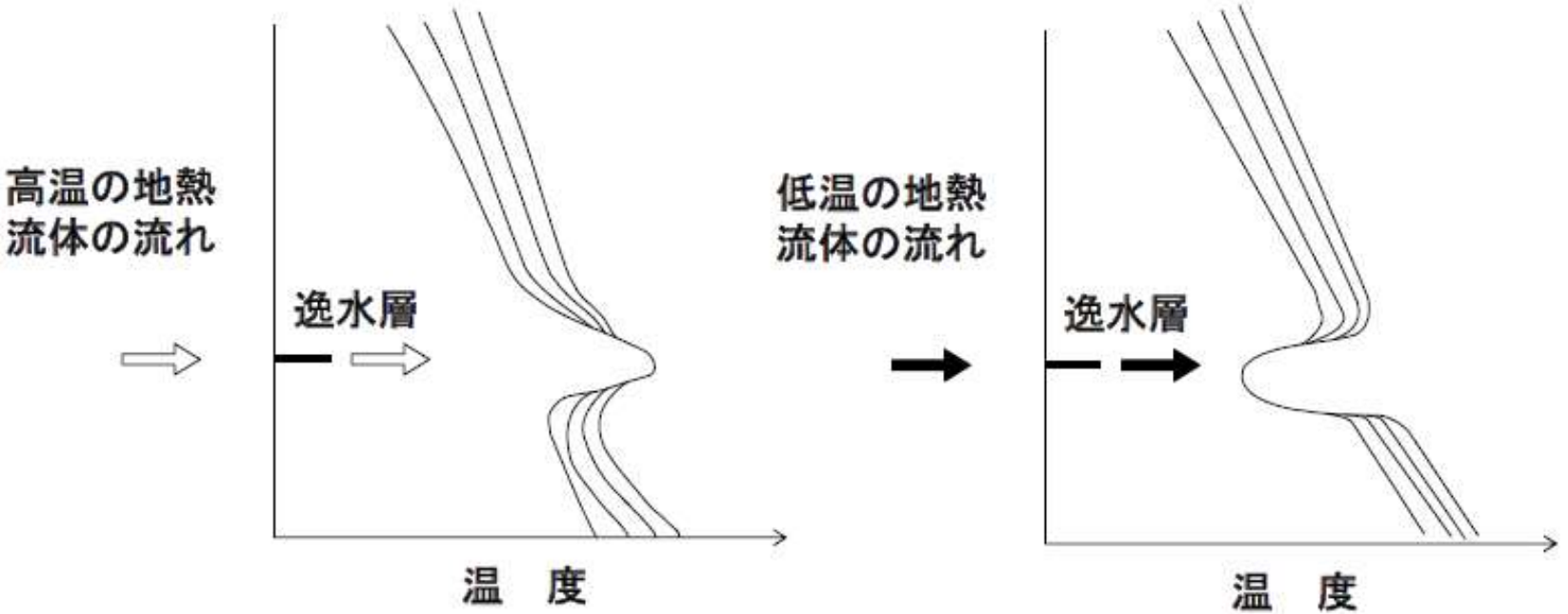
逸水層と温度回復の関係（２）



出典）坑井試験マニュアル（1993), NEDO

温度検層（温度回復試験）結果からわかること

逸水層と温度回復の関係（２）

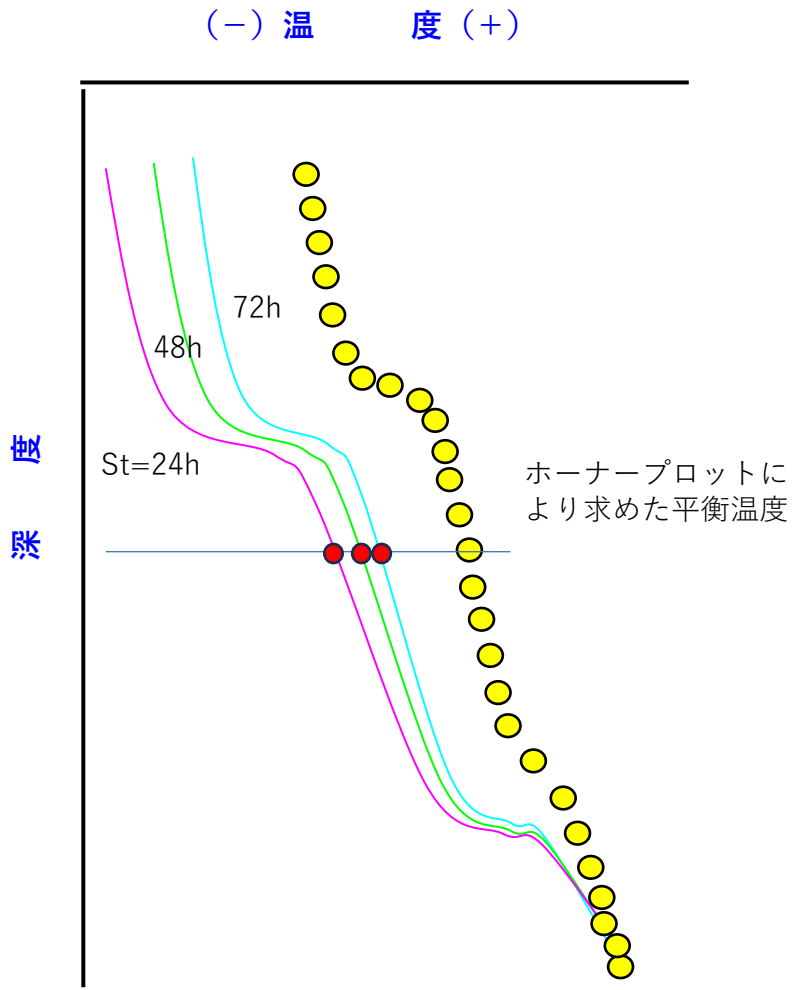


(f) 高温の地熱流体の流れに遭遇している場合

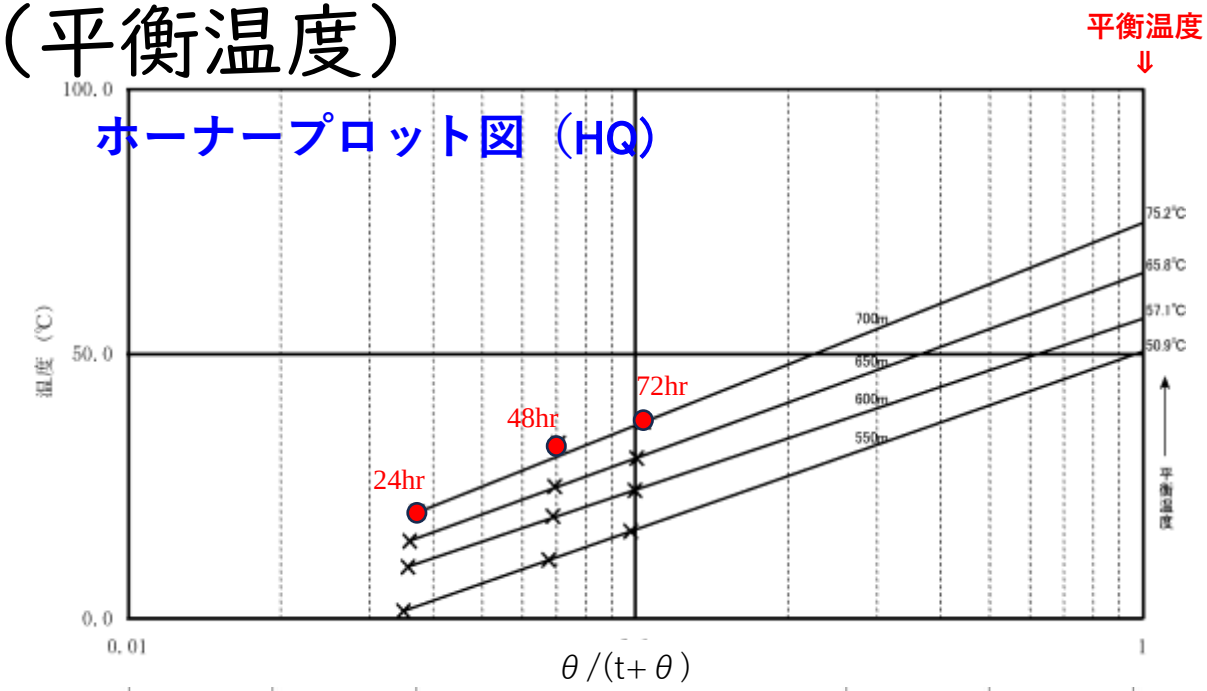
(g) 低温の地熱流体の流れに遭遇している場合

出典）坑井試験マニュアル（1993), NEDO

温度回復試験からわかること（平衡温度）

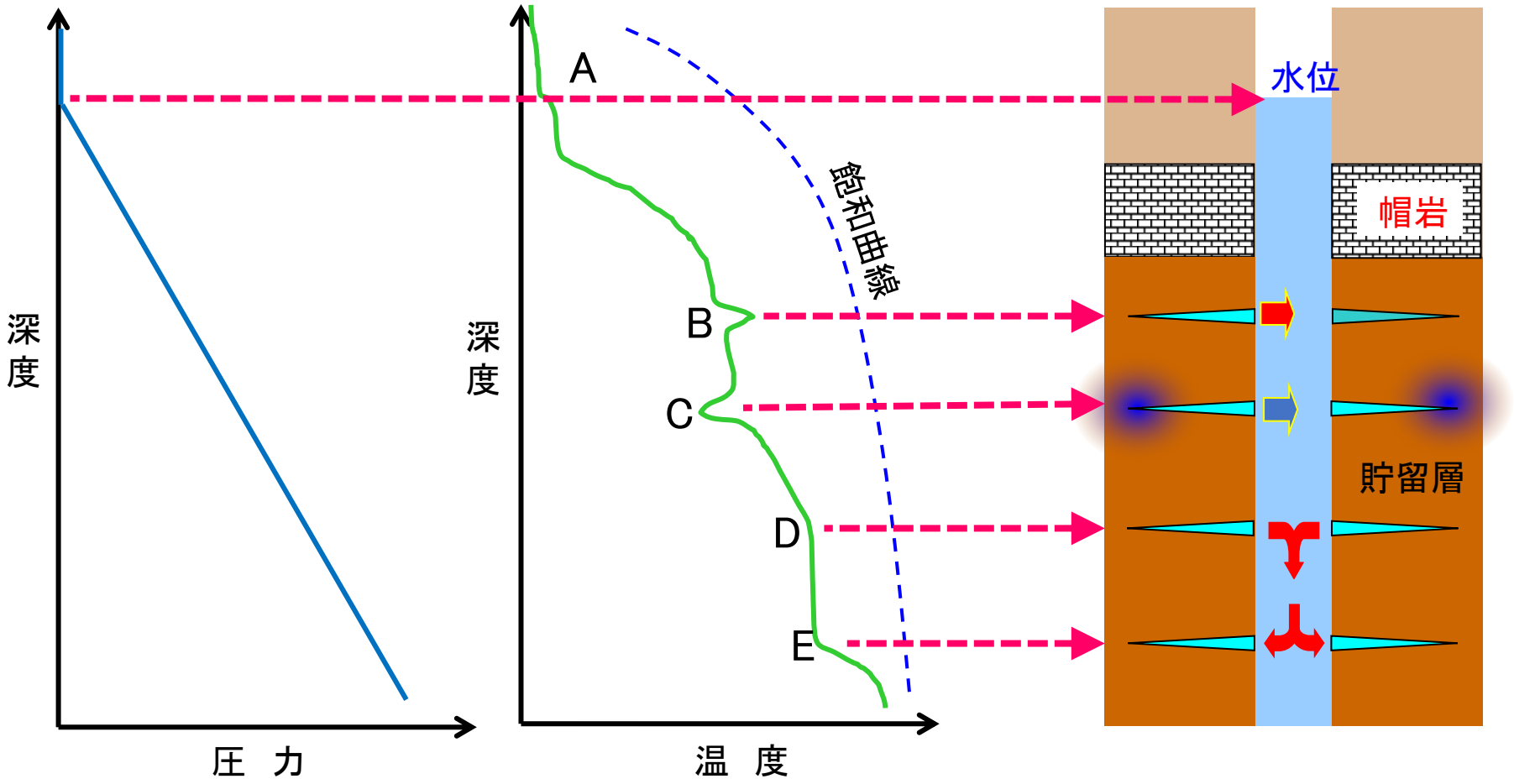


θ ：清水循環停止後から温度測定開始までの時間
t ：掘削がその深度を通過してから清水循環停止までの時間

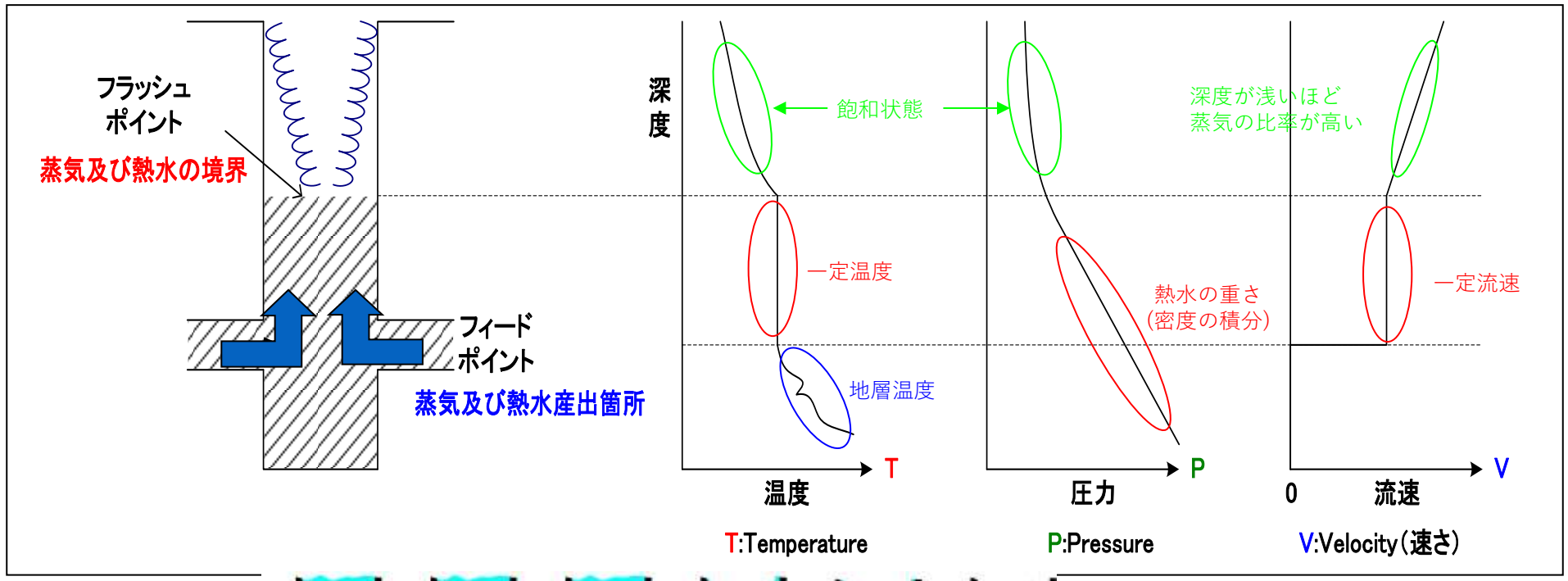


8-1/2”坑では、24hrの温度測定値が解析上で不適当で使えない場合がある（１回目は36hr以上を推奨している）。

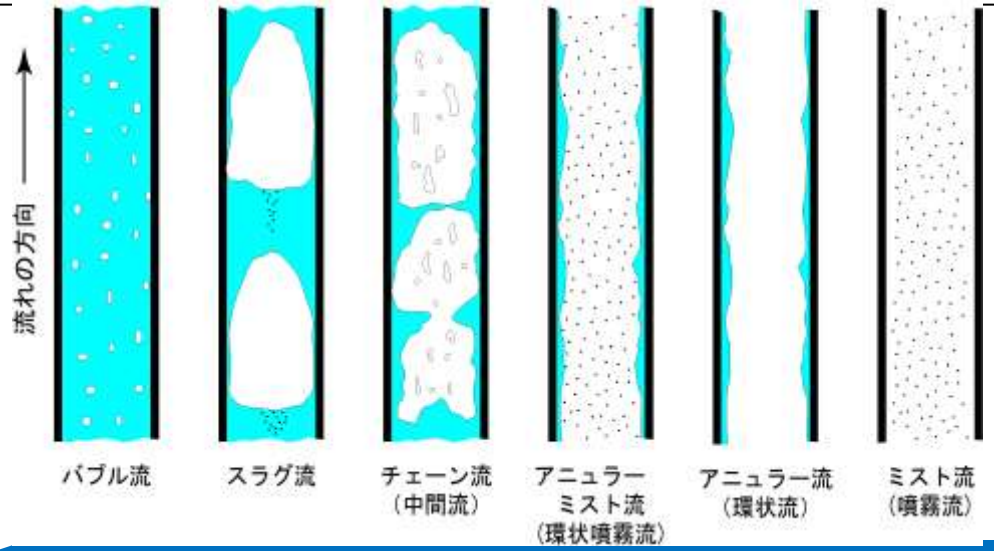
PT検層概念図（静止時）



PTS検層概念図（噴気中）



気液二相流の流動形態



電気検層

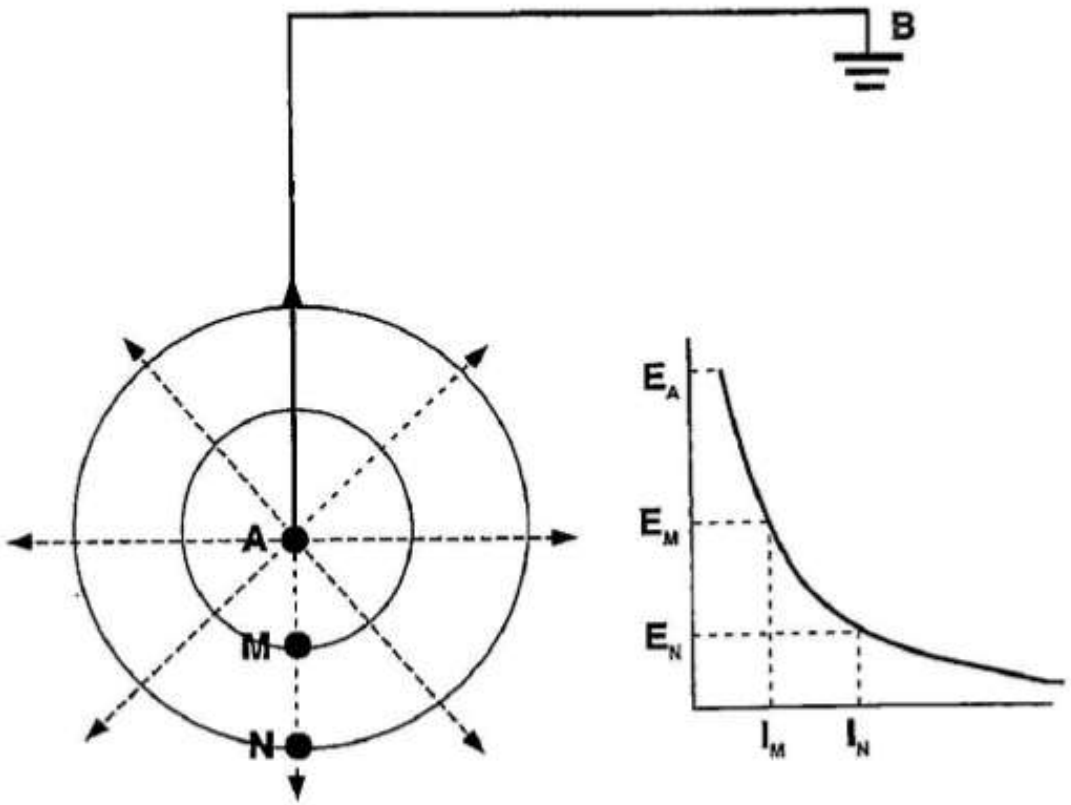


図 13. 24　均質な電導性媒質中の点電流源による電位分布

比抵抗Rの均質媒体中にある点電流源AからIM及びIN離れた場M,Nにおける電位はリターン電極Bが無限遠と仮定すると、

$$E_M = \frac{iR}{4\pi}\frac{1}{l_M}$$

$$E_N = \frac{iR}{4\pi}\frac{1}{l_N}$$

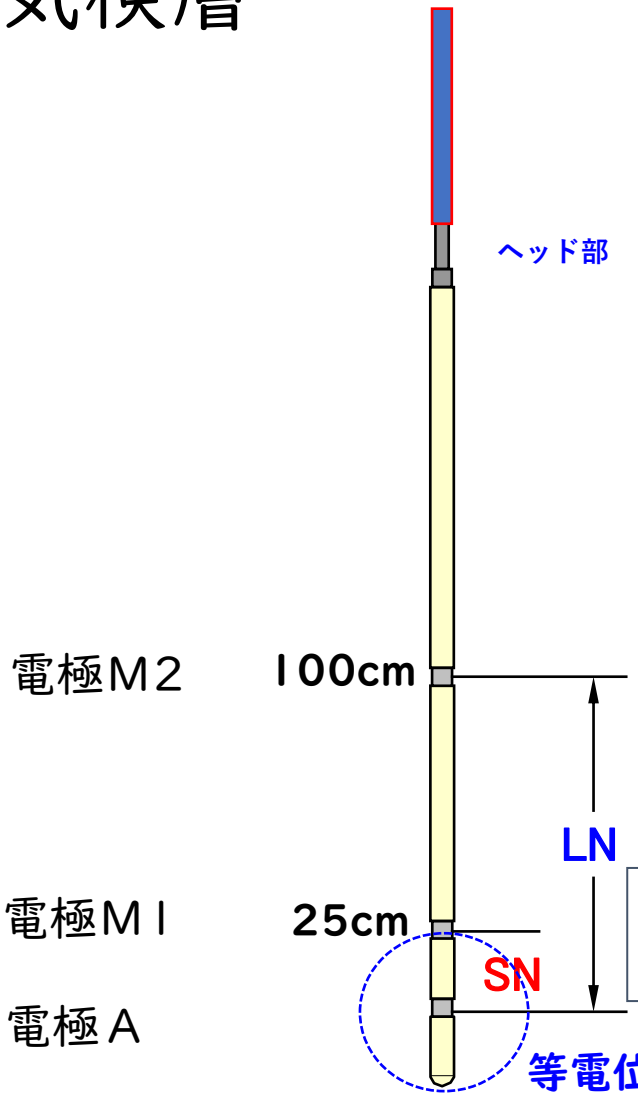
であり、比抵抗Rは

$$R = 4\pi\frac{E_M - E_N}{i\left(\frac{1}{l_M} - \frac{1}{l_N}\right)} = K\frac{E_M - E_N}{i}$$

である。電極Nを十分離れた遠地点に配置する方法をノルマル検層という。

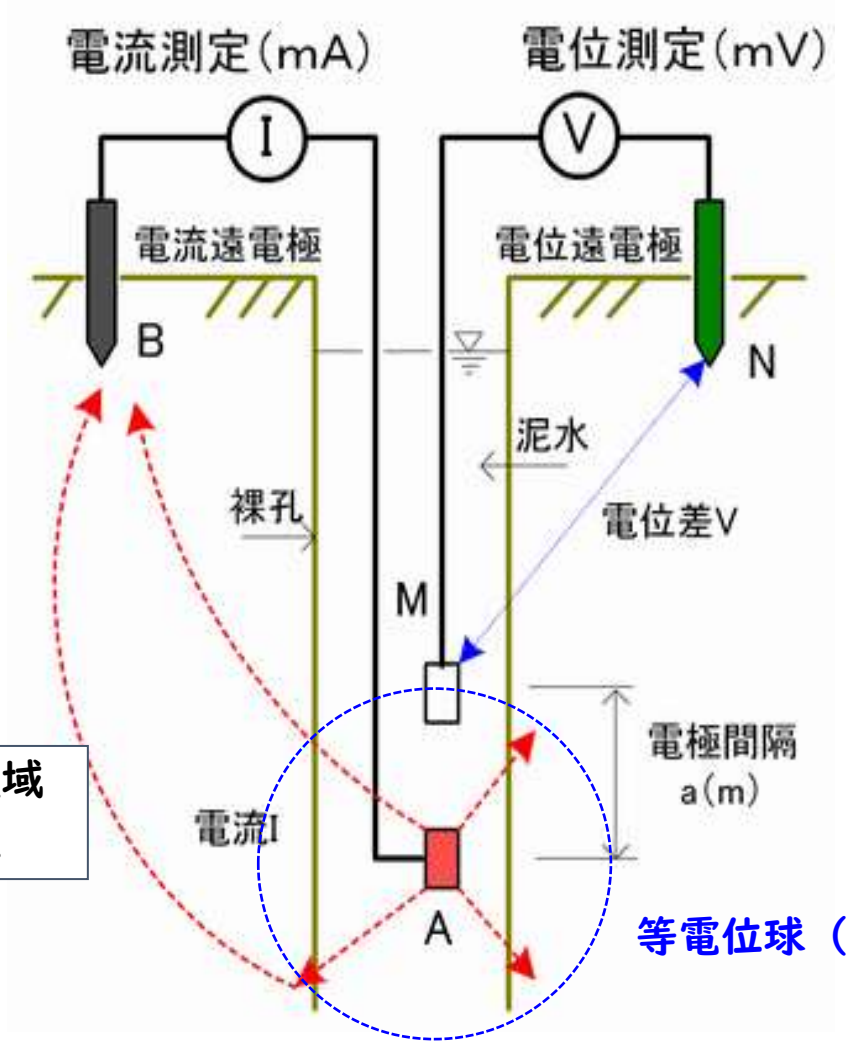
出典）物理探査学会(2016)　物理探査ハンドブック増補改訂版第13章物理検層

電気検層



・2種類の探査領域
・2種類の測定値

実際の測定ツール



※A-B間に電流を流す　→　M-N間で電位差を測定

自然電位(SP)検層

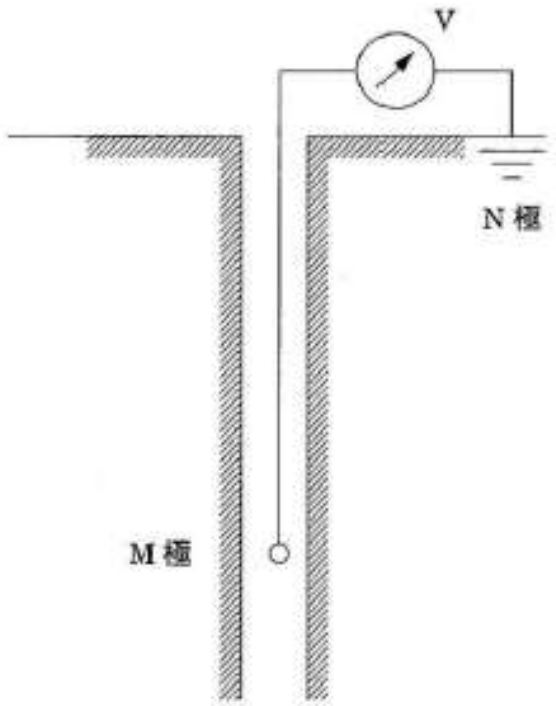


図 2·2·67　自然電位検層の電極配置

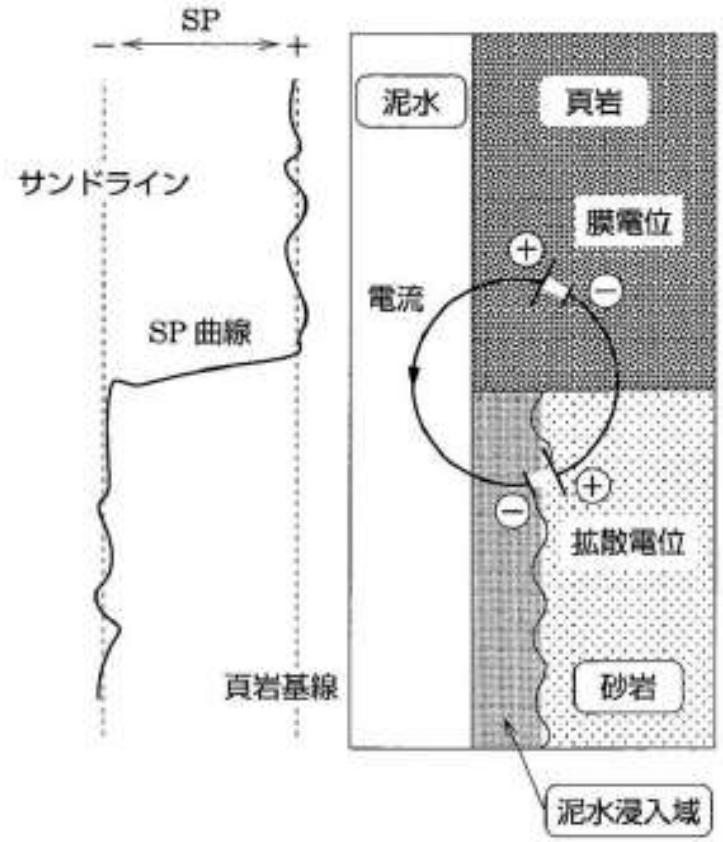


図 2·2·68　膜電位と拡散電位

1．電気化学的電位

高浸透性の地層において、掘削泥水と塩分濃度の異なる地層水との間のイオンの選択的移動によって生じる電位。

油井検層など坑内流体がスタティックな状態で測定する場合には、これに起因した自然電位のみ現れる。

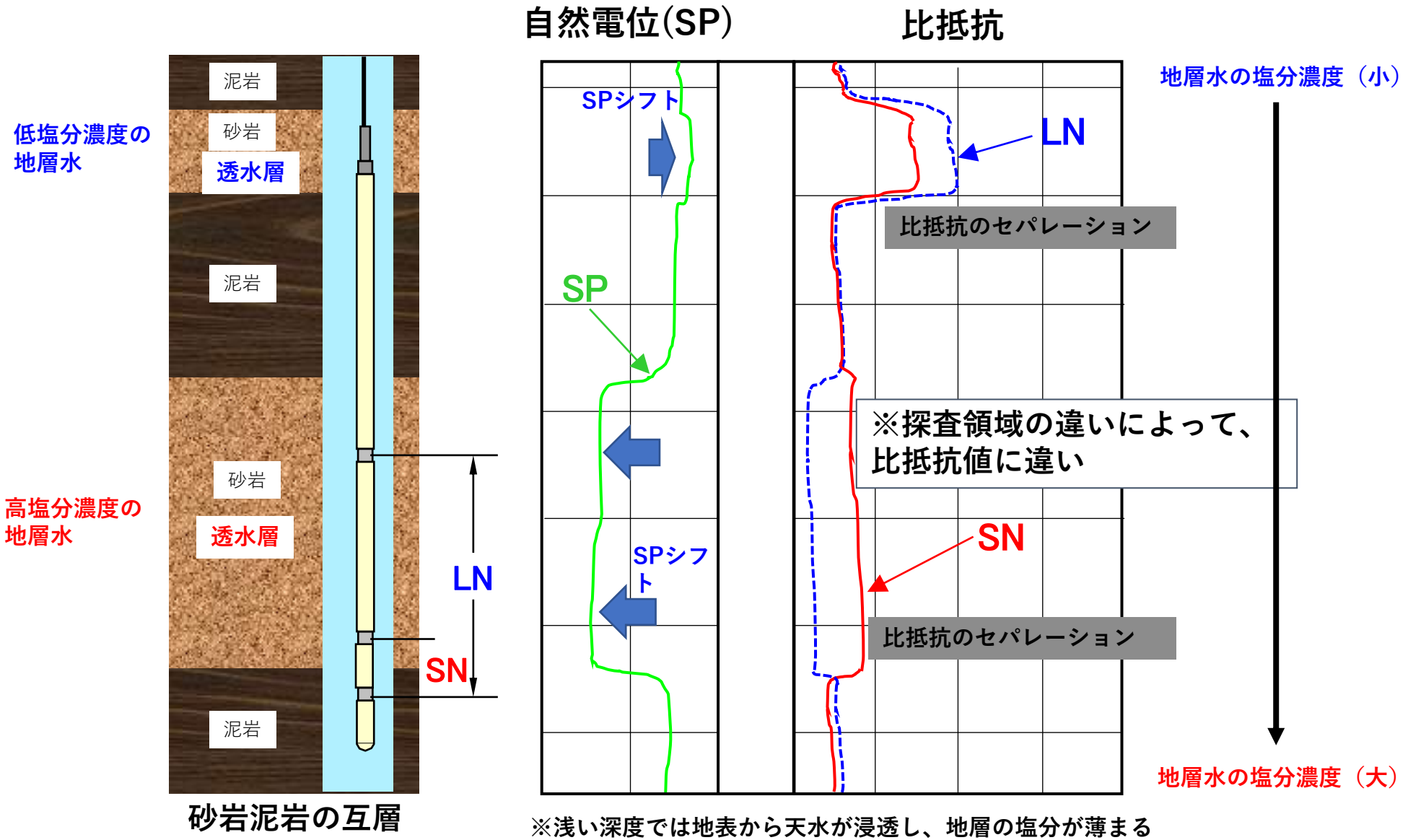
2．流動電位

開口亀裂や高浸透性の地層への掘削泥水の逸泥、あるいは開口亀裂や高浸透性の地層からの地層水の坑内への流入（溢泥）などの流体のダイナミックな流動に伴ってイオンの選択的移動が起こる場合に生ずる電位。

地熱井など検層中でも坑内流体や坑井周辺の地層流体のダイナミックな流動がある状態で測定する場合には、これに起因した自然電位が現れる場合がある。

出典）地熱エネルギーハンドブック　オーム社/㈱物理計測コンサルタント　熊谷ら

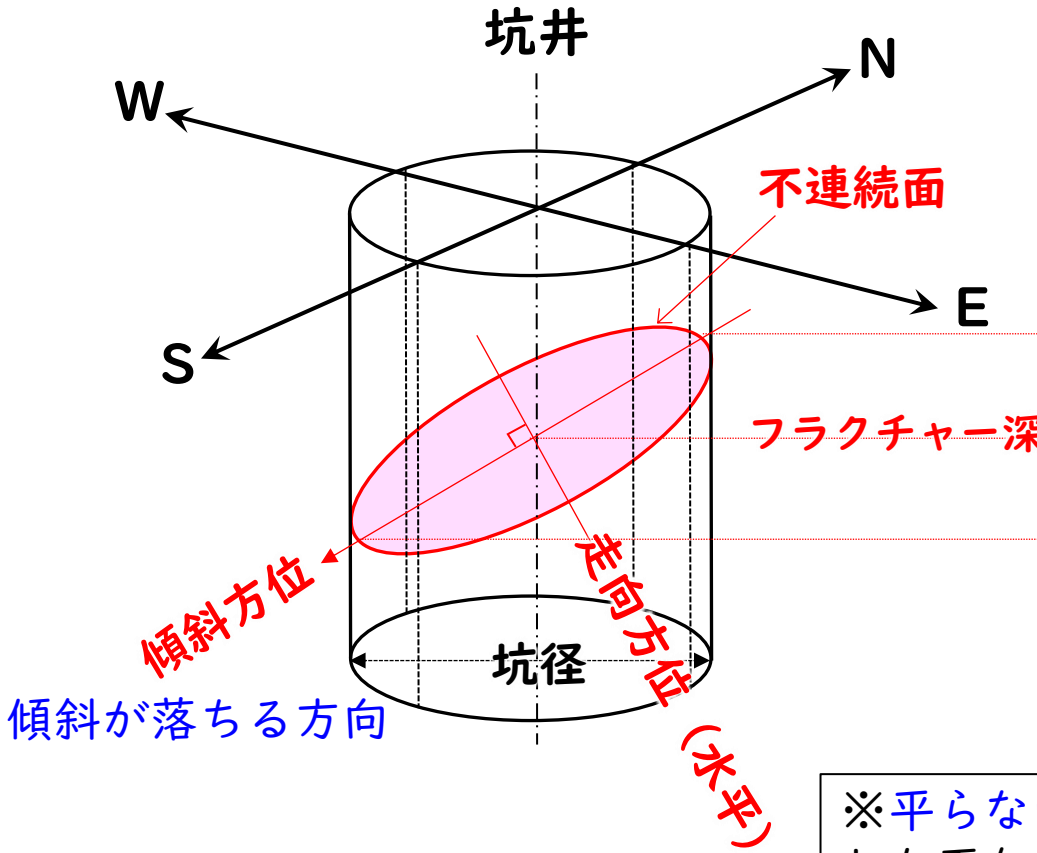
電気検層（比抵抗/自然電位）

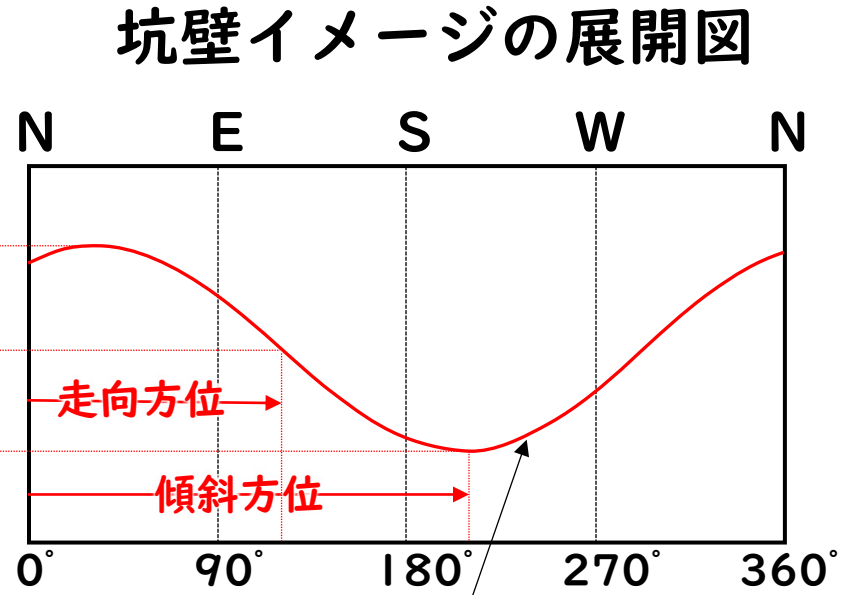


砂岩泥岩の互層

※浅い深度では地表から天水が浸透し、地層の塩分が薄まる

坑壁画像検層（フラクチャーの検出）

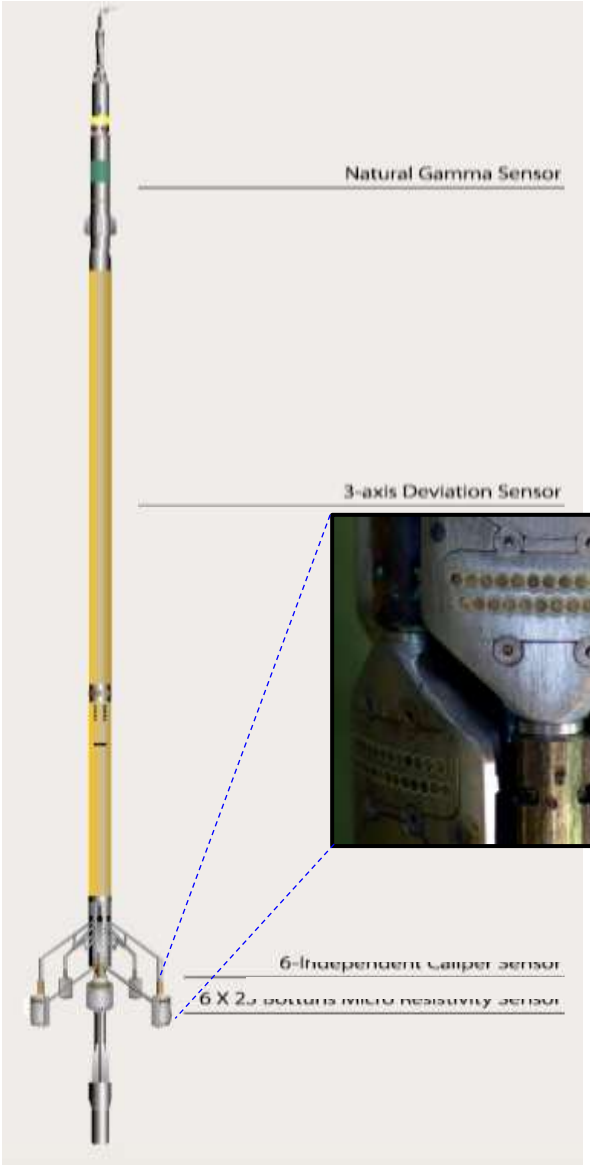




※平らな面であればきれいなサインカーブに載るが、湾曲した面ならばサインカーブから外れた歪んだカーブになる

・フラクチャーの高さと坑径（キャリパー）により、傾斜角を計算している
・ツールには方位傾斜計が装備され、坑井の方位傾斜も考慮して計算される
・見掛けの傾斜→真の傾斜に変換（計算）できる

坑壁画像検層（比抵抗式）

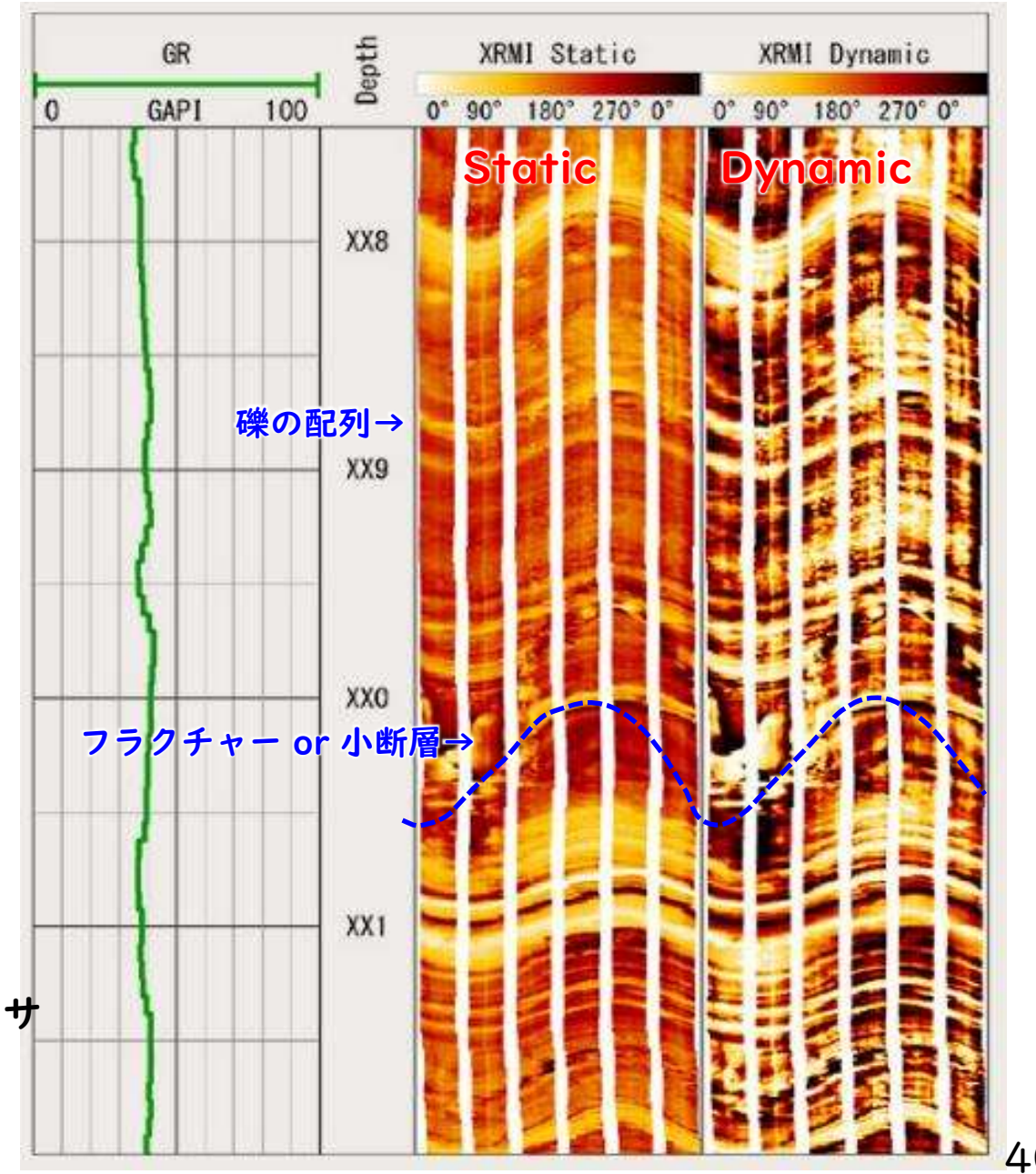


自然ガンマ線センサ

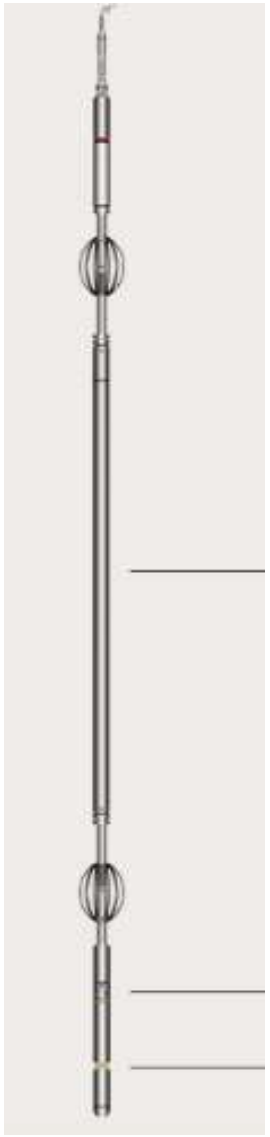
３軸方位傾斜センサ

6脚独立式キャリパー

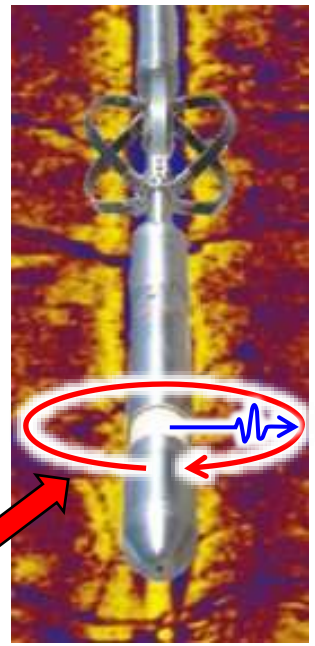
マイクロ比抵抗ボタンセンサ
（25ボタン×6脚）

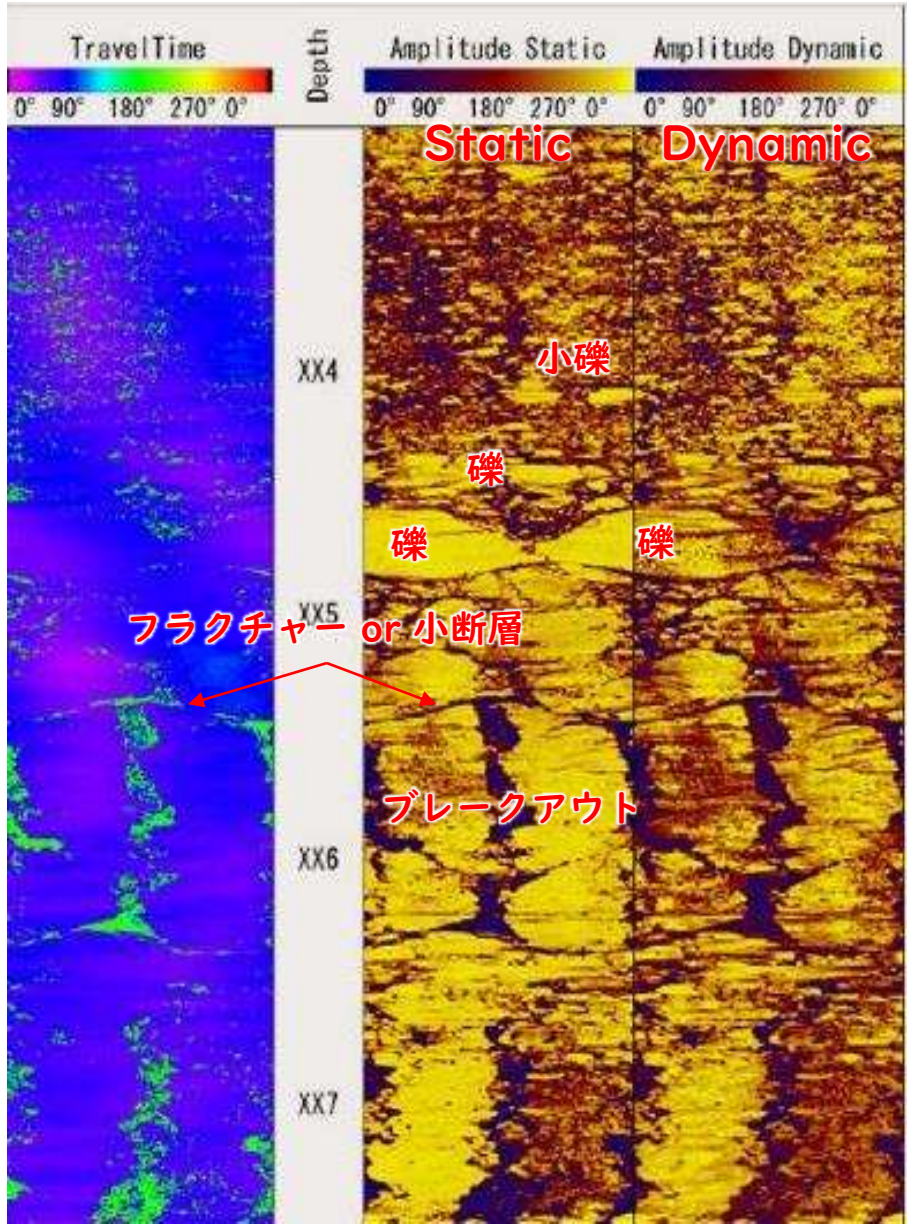


坑壁画像検層（超音波式）

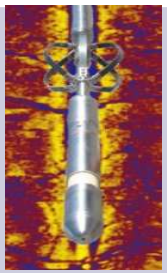


・ABI-85（φ85mm/300℃）
・ABI-43（φ43mm/160℃）
※ABI＝Acoustic Borehole Imager





坑壁画像検層のバリエーション

ツール				
検層種別	**小坑径用BHTV**	**小坑径用BHTV　（高温用）**	**BHTV　（高温用）**	**XRMI**
測定項目	超音波　（反射強度、反射到達時間）			導電率（比抵抗）
ツール径	43 mm（1-11/16″）		92 mm (3-5/8″)	127 mm (5″)
対応坑径	3″ ～ 泥水環境・坑内状況による	3″ ～ 泥水環境・坑内状況による	5-7/8″ ～ 8-1/2″(泥水・坑内状況による)	5-7/8″ ～ 21″
運用温度	125 ℃	160 ℃	300 ℃ (10hr)	150 ℃
水平方向サンプリング	1.25°(288点MAX)	1.0°(360点MAX)	1.25°(288点MAX)	0.2 inch / 80 %（6-1/4″）
垂直方向サンプリング	0.5 cm (測定速度2.5m/min時)			2.5 mm
泥水・坑径制限	△			◎
フラクチャー	◎			○
層理面検知、岩相判別	△			◎
応力方位	○			△～○
ｹｰｼﾝｸﾞ調査	○　（減肉調査 5mm以上）	○　（減肉調査 3mm以上）	○	×
測定速度	2.5～6.0 m/min (深度方向・水平方向サンプリング数により異なる)			10 m/min
その他測定項目	自然γ線/坑内温度/方位傾斜	自然γ線/坑内温度/方位傾斜	自然γ線/坑内温度/方位傾斜	自然γ線/方位傾斜

42

地熱坑井の検層解析（これが検層の目的）

- 電気検層　⇒　解析比抵抗（泥水、坑径補正）、層区分、透水層の判定
- 温度回復試験　⇒　最終平衡温度の算出（本来の地層温度の推定）
- 注水試験・フォールオフ（圧力遷移試験）⇒　井戸内の透水係数（生産能力判定）
- スピンナー検層解析　⇒　井戸内の流出入箇所（フィードポイント）を決定
- 坑壁画像検層　⇒　開口性き裂の方位と傾斜、地層傾斜系、縦き裂など（生産に寄与する開口性き裂の抽出、地質構造、最大主応力方向）

地熱分野での解析の目的　→　地熱井の生産能力を評価

PTSツール（圧力、温度、スピンナ）

坑壁画像検層によるフラクチャー検知のアドバンテージ

1. コア未取得区間でもコアに近い岩相情報を取得することが可能
2. コア欠損区間があっても、イメージ検層では欠損なく解析可能（特に亀裂が発達する所、複雑に交差する所、高角亀裂深度区間のコア回収率は一般的に悪い）
3. コアだけではコア掘り時に生じた人工的な亀裂と天然の亀裂の区別がつきにくい
4. 統計的に解析することによって、その地域の亀裂発達方向や応力などの解析が可能となる（どの方向の亀裂が生産に寄与するかなど）
5. 地層の走向傾斜を知ることが可能なので、地下構造把握のために重要（次の掘削計画立案にとって極めて重要な情報を与える）

Contents

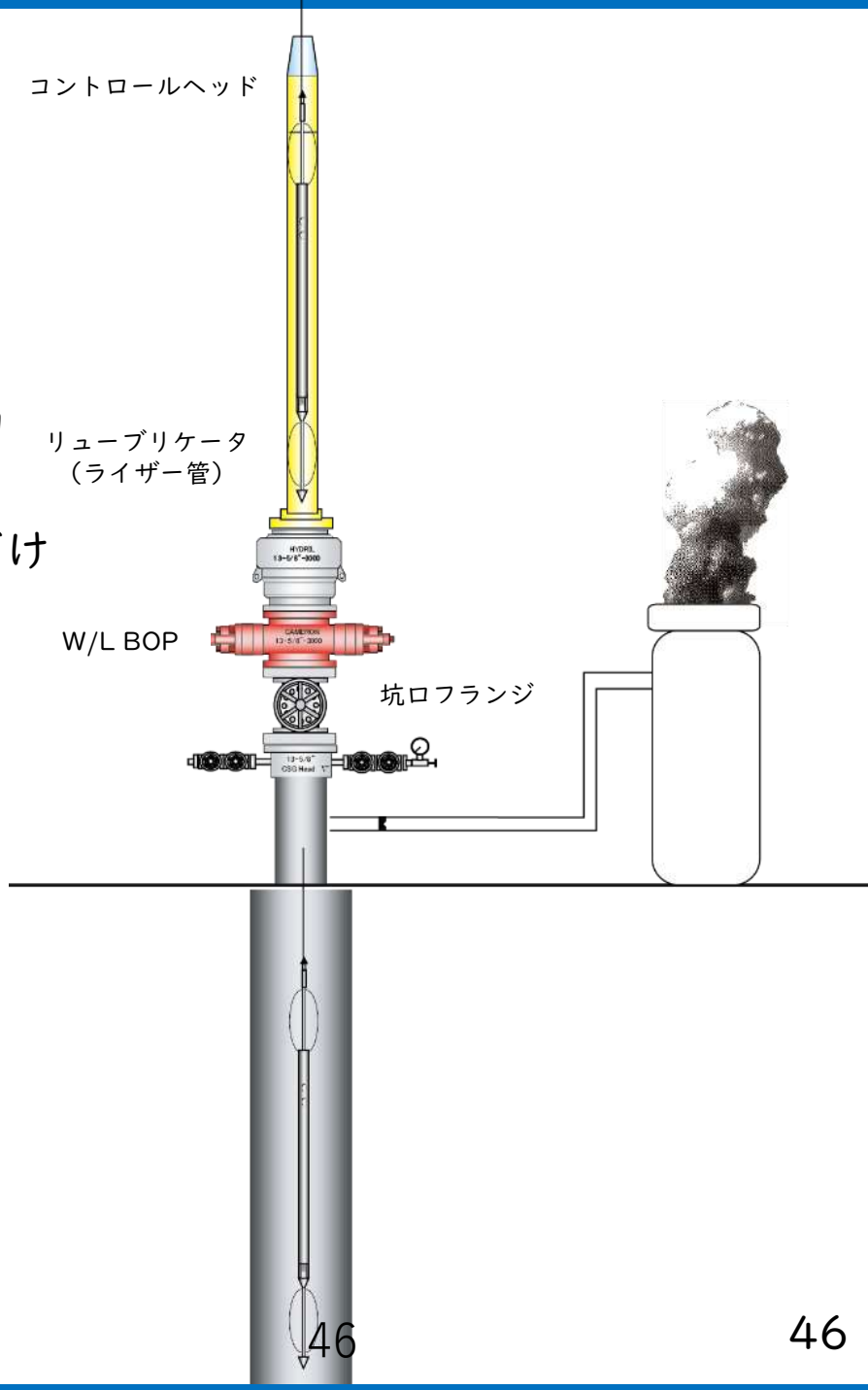
検層作業時の坑口圧力対策

- 暴噴防止装置により、測定ツールを坑内挿入あるいは回収を行う
  - 暴噴する可能性が大きい (貯留層圧＞泥水圧など)
  - 生産中（噴気中）
  - 坑口圧が大きい

  暴噴時、坑内流体の飛散防止が目的

  生産条件や坑内への影響をできるだけ無くした坑内状態での計測が目的
- コントロールヘッド（リューブリケーター）

  アーマードケーブル周囲をグリスでシールし、流体の噴出・漏洩を防止
- W/L BOP（Blow Out Preventer）



- アーマードケーブルでは完全な坑口のシールは困難
- グリスの飛散

46

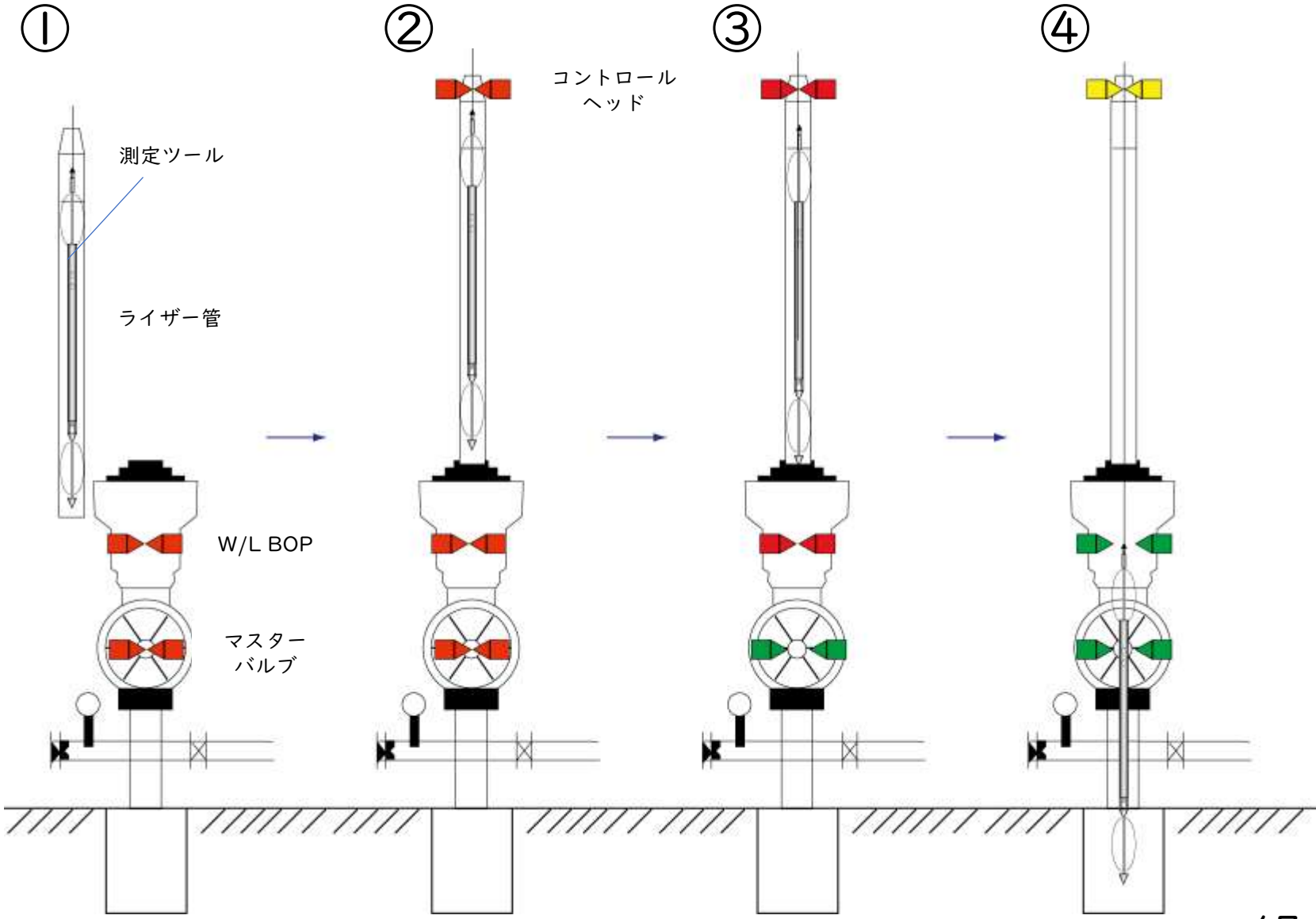
暴噴防止装置を介した検層作業工程

① W/L BOPを坑口フランジに取付る。測定ツールをライザー管内に収納する

② 測定ツールの収納されたライザー管をW/L BOP（閉）に接続する。

③ 坑口マスターバルブを開放する。W/L BOP（閉）

④ グリス循環によりコントロールヘッド部でケーブルをシールした状態で、W/L BOP開⇒測定ツール降下可能に

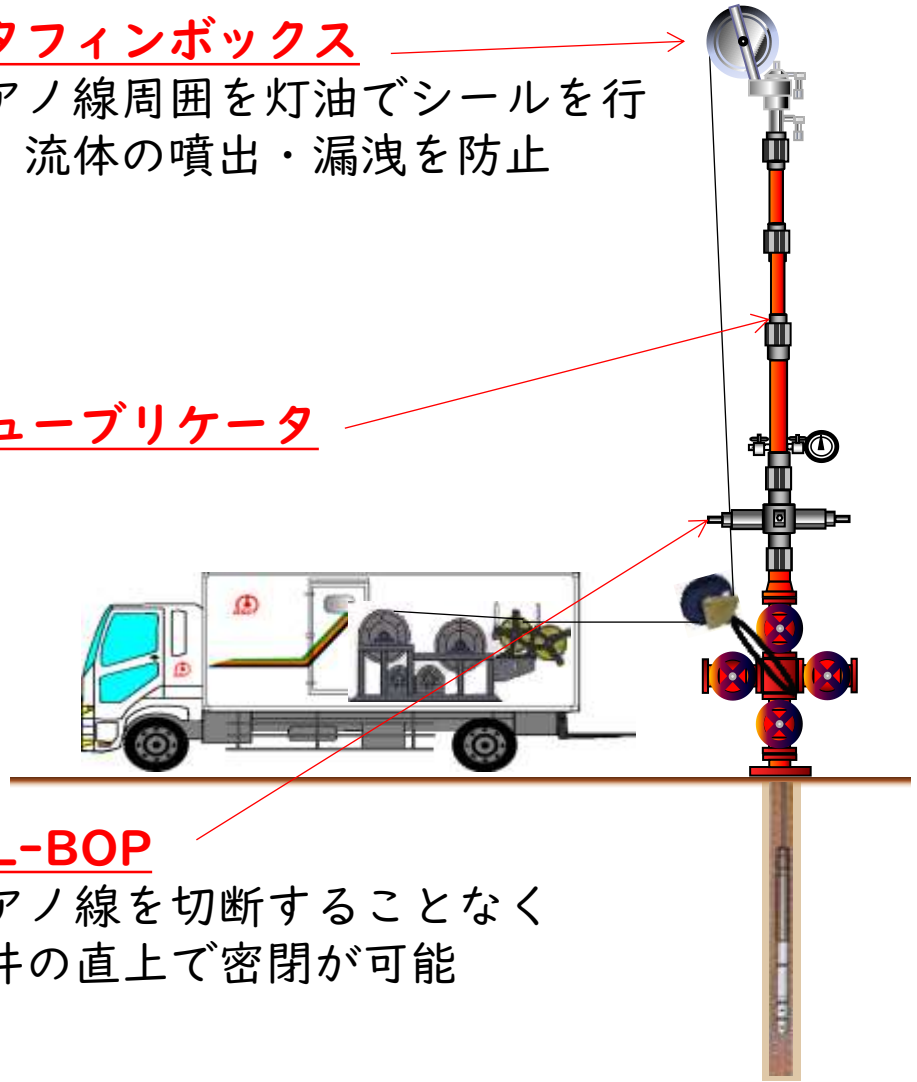


坑口圧力環境下での検層（スリックラインサービス）

スタフィンボックス
ピアノ線周囲を灯油でシールを行い、流体の噴出・漏洩を防止

リューブリケータ

S/L-BOP
ピアノ線を切断することなく坑井の直上で密閉が可能



- ピアノ線の高シール性
- 高温対応（300℃以上での検層作業）
  WL：315℃（260℃超 W/Lケーブル絶縁不良頻発）
  ＳＬ：400℃（電気的配慮不要）
- 腐食性ガス環境対応スリックライン（安価）
- 高傾斜井・複雑なケーシングプログラム対応
  石油・ガス井（坑井傾斜実績：77.5°）
  地熱井 （坑井傾斜実績：69°）

- 測定料金・時間を圧縮
  WL：４名＋WL検層車＋ユニック
  ＳＬ：２～３名＋SL測定車（機材量、準備時間が短い）
- ケーブルの伸びが激しい（自然γ線による深度管理が重要）
- ツール回収後に、初めてデータ確認可能
  （リアルタイムのデータ確認は不可）

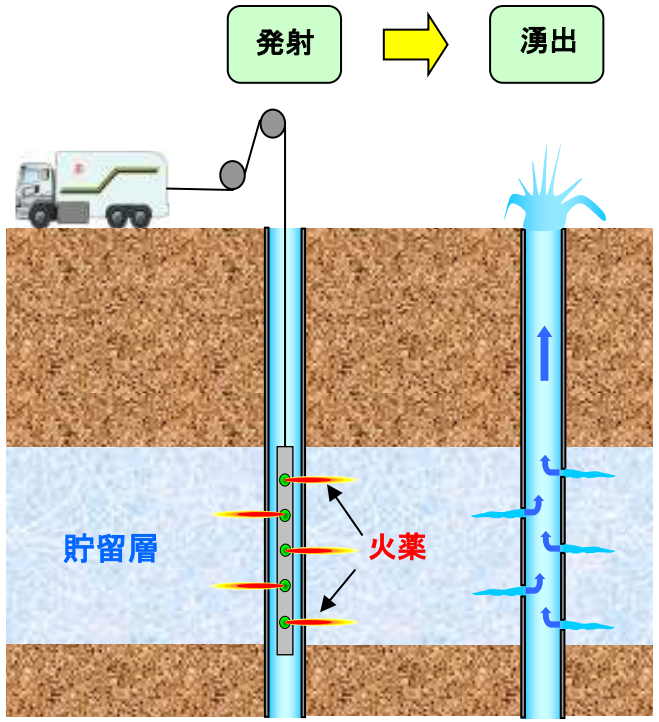
Contents

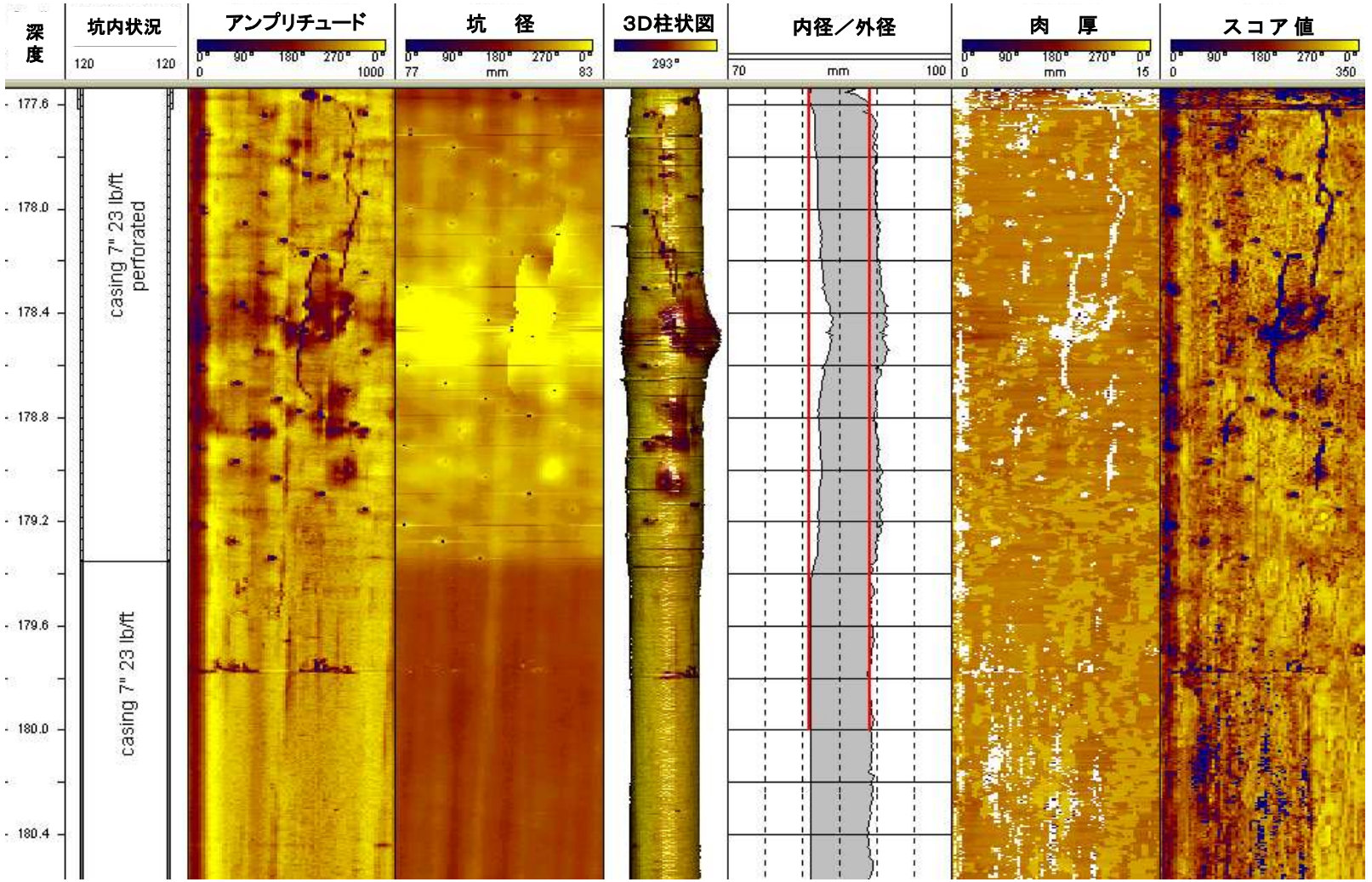
検層の分類（裸坑検層/ケーストホール検層）

- Open hole 検層（裸坑検層）
  - 裸坑区間で実施される検層
  - 長時間の裸坑の維持は困難（時間経過とともに、埋没抑留リスク増）
  - 電気検層や比抵抗式坑壁画像検層等、地層に電流を流す検層種目は裸坑でのみ実施可能
  - 自然γ線で複数ラン検層の深度管理

- Cased hole 検層（ケーストホール検層）
  - ケーシング挿入後に管内で実施される検層
  - 温度回復試験や注水試験等、長期間の検層作業ではケーシング挿入後実施（抑留リスク軽減）
  - ケーシングの健全性、スケール発達状況、セメンチングの有効性、弾性波探査等
  - CCL：Casing Collar Locaterでケーシングカラーの位置把握。深度管理。
  - 自然γ線で裸坑検層結果との深度対比可能
  - パーフォレーションやパイプ切断、抑留解消作業等の火薬作業も含めることがある

坑壁画像検層ツールを用いた坑井健全性確認（減肉調査）

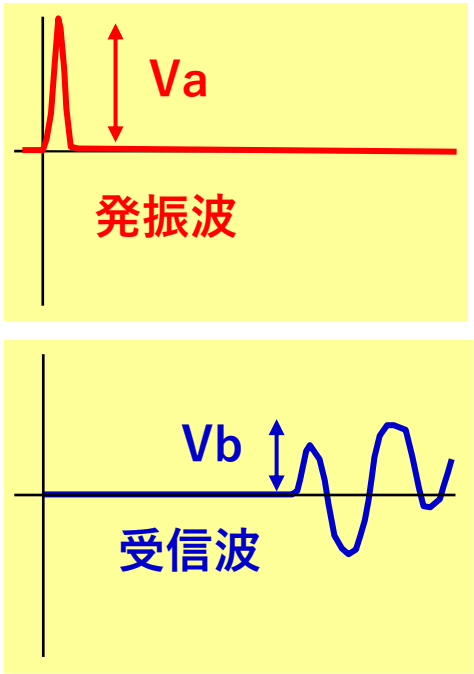


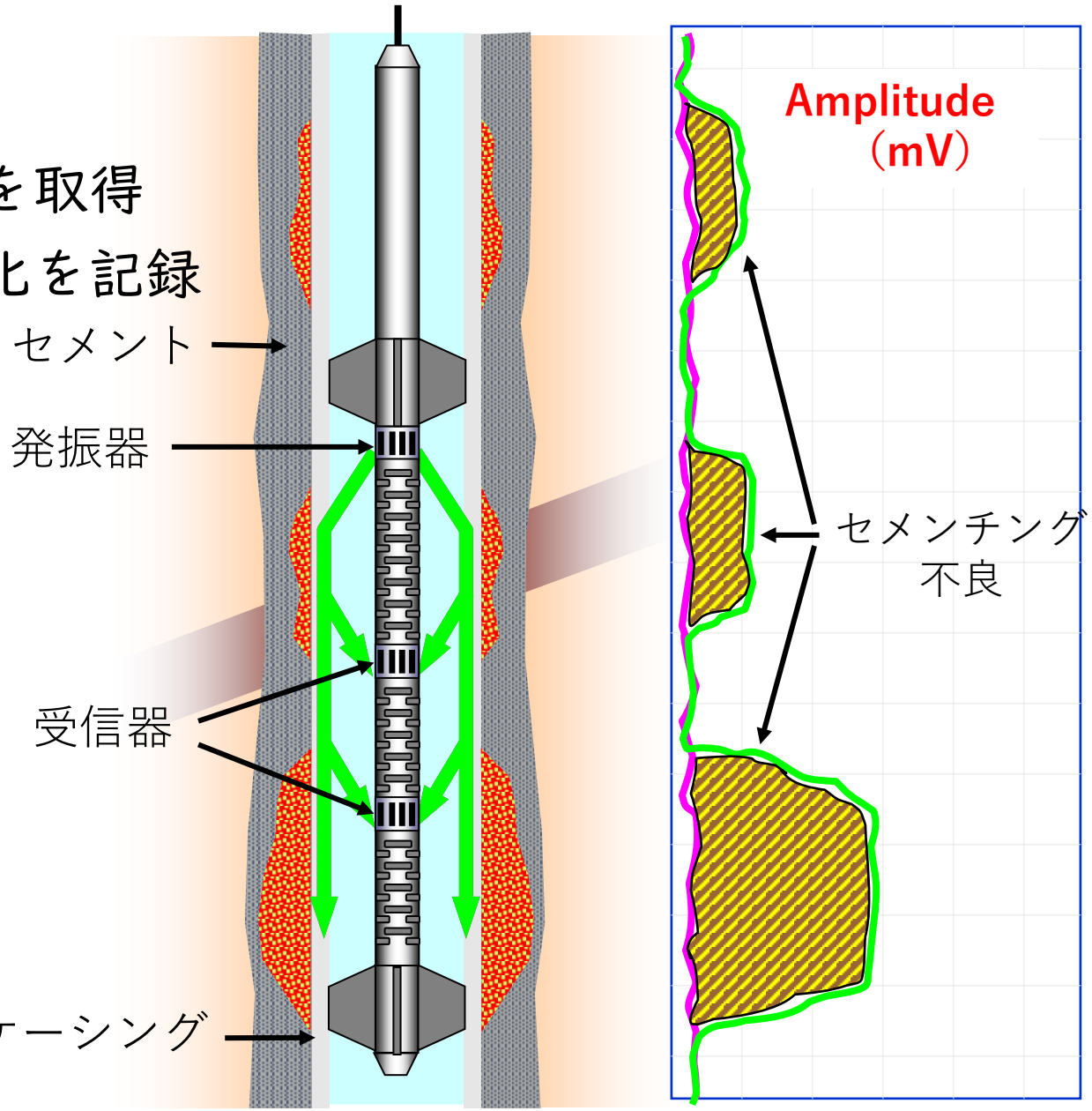


坑壁画像検層ツール（超音波式）火工品による穿孔作業後のケーシング減肉調査例

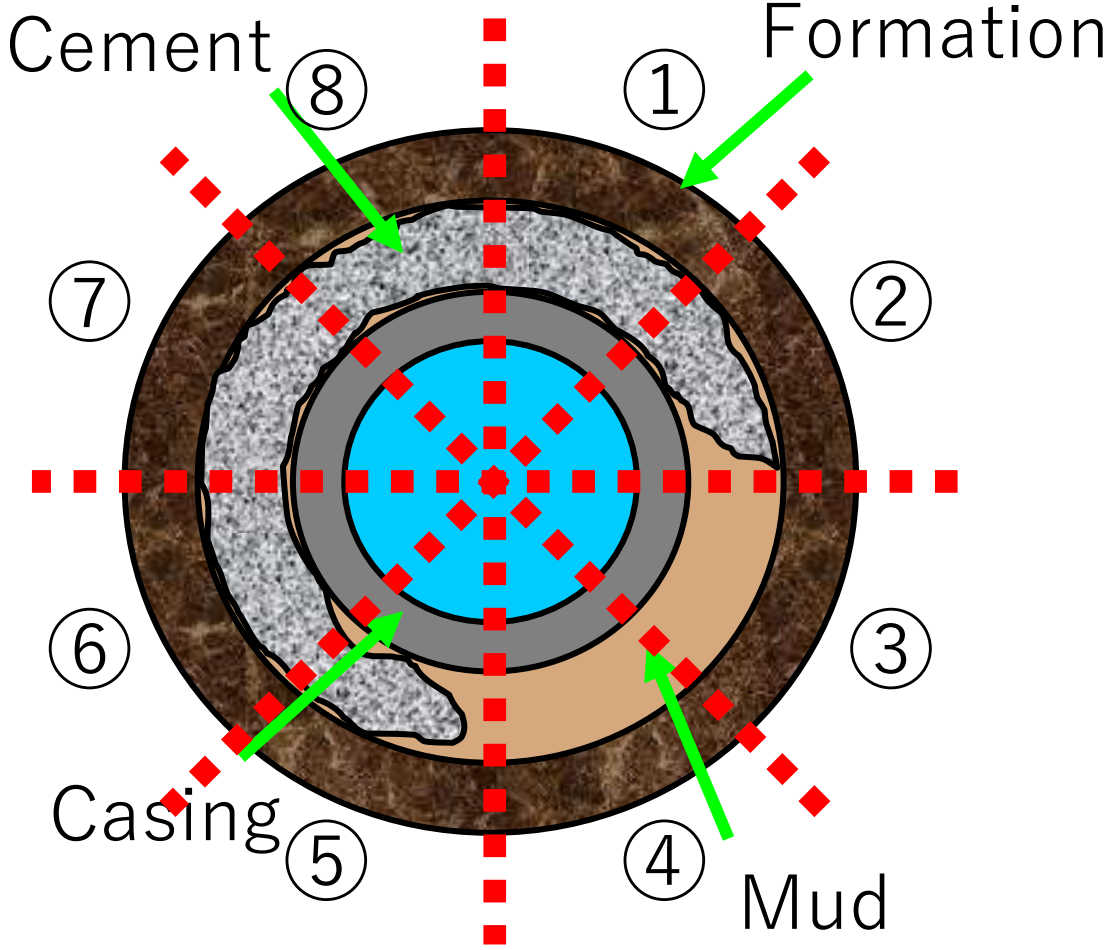
セメントボンドログCBL検層

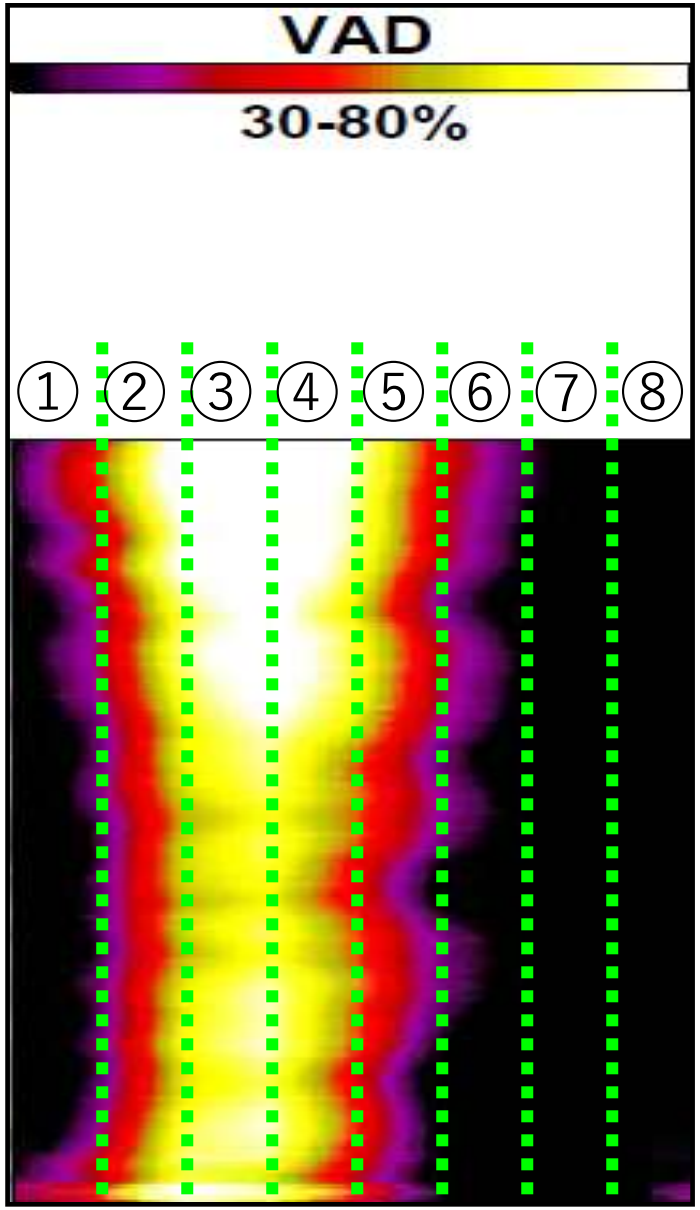
- 音波を管壁に発し、反射波強度と走時を取得
- セメント膠着度による反射波強度の変化を記録





セメントボンドログ検層のセメントマップ





地熱坑井の現況を把握するための検層（キャリパー検層）

- 坑内でキャリパーアームを開き、巻き上げながら坑径変化を連続計測（上げ測定のみ）
- 坑内状況（拡大、せり出し）を把握（裸坑）
- セメントボリュームの計算（裸坑）
- ケーシング内部のスケールの発達具合を把握（定期的に実施）
- 他検層の坑径補正データ

ICT-IDT-GR 編成図

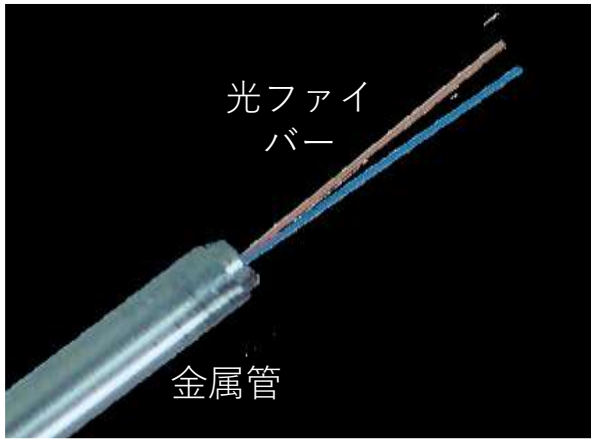
Sensor	Offset(m)	Schematic	Description	Len(m)	OD	WT(kg)
			Cable Head	0.82	3-5/8"	15
			GTET	2.6	3-5/8"	75
GR	7.1	9.78 / 8.96				
			IDT	2.31	3-5/8"	68
			ICT	3.91	3-5/8"	149
Caliper	1.1					
			Bull Nose	0.14	3-5/8"	5

Total length : 9.78m
Total Weight : 312.0kg
MAX O.D : 3-5/8"
(Centralizer O.D : 15")

光ファイバーセンサセンシング

- 光ファイバー自体が温度センサや歪センサ（地震計）となる
- 光ファイバー長手方向の連続した温度分布/弾性波を計測

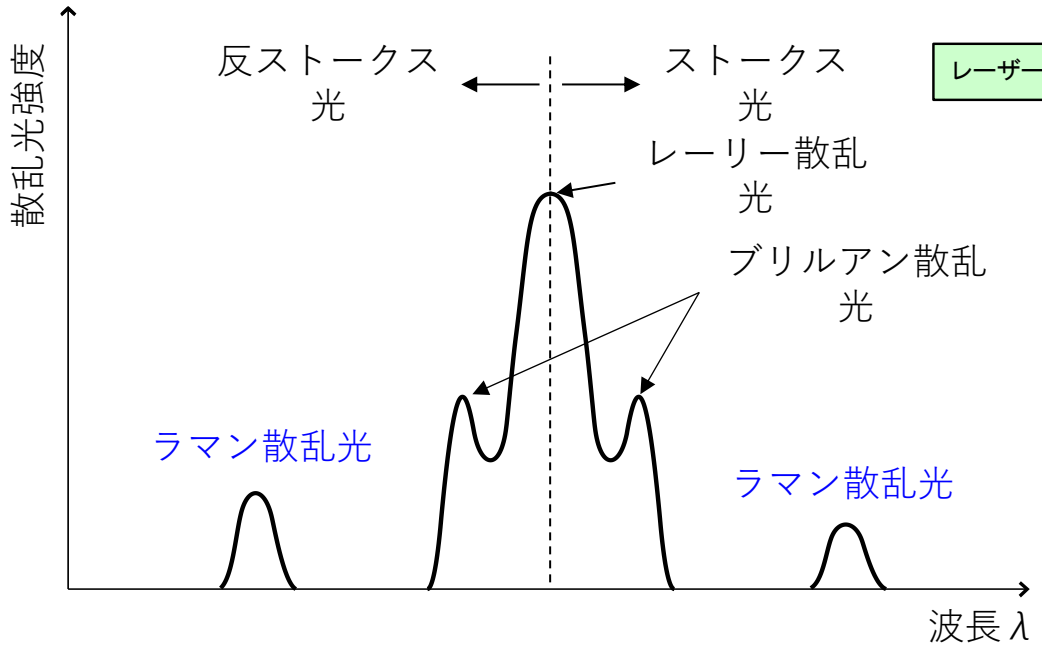
Distributed **T**emperature **S**ensing	地熱井の温度回復試験や貯留層モニタリングに利用
Distributed **A**coustic **S**ensing	地熱貯留層の構造把握（DAS-VSP）

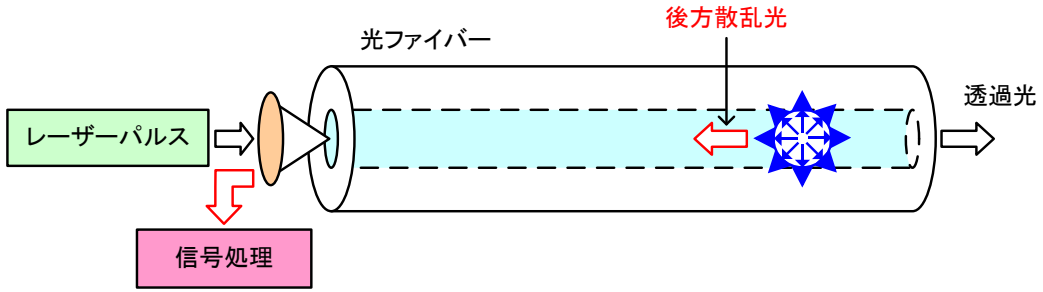


光ファイバはキャピラリーチューブ（金属管）に内挿

光ファイバセンシングの原理

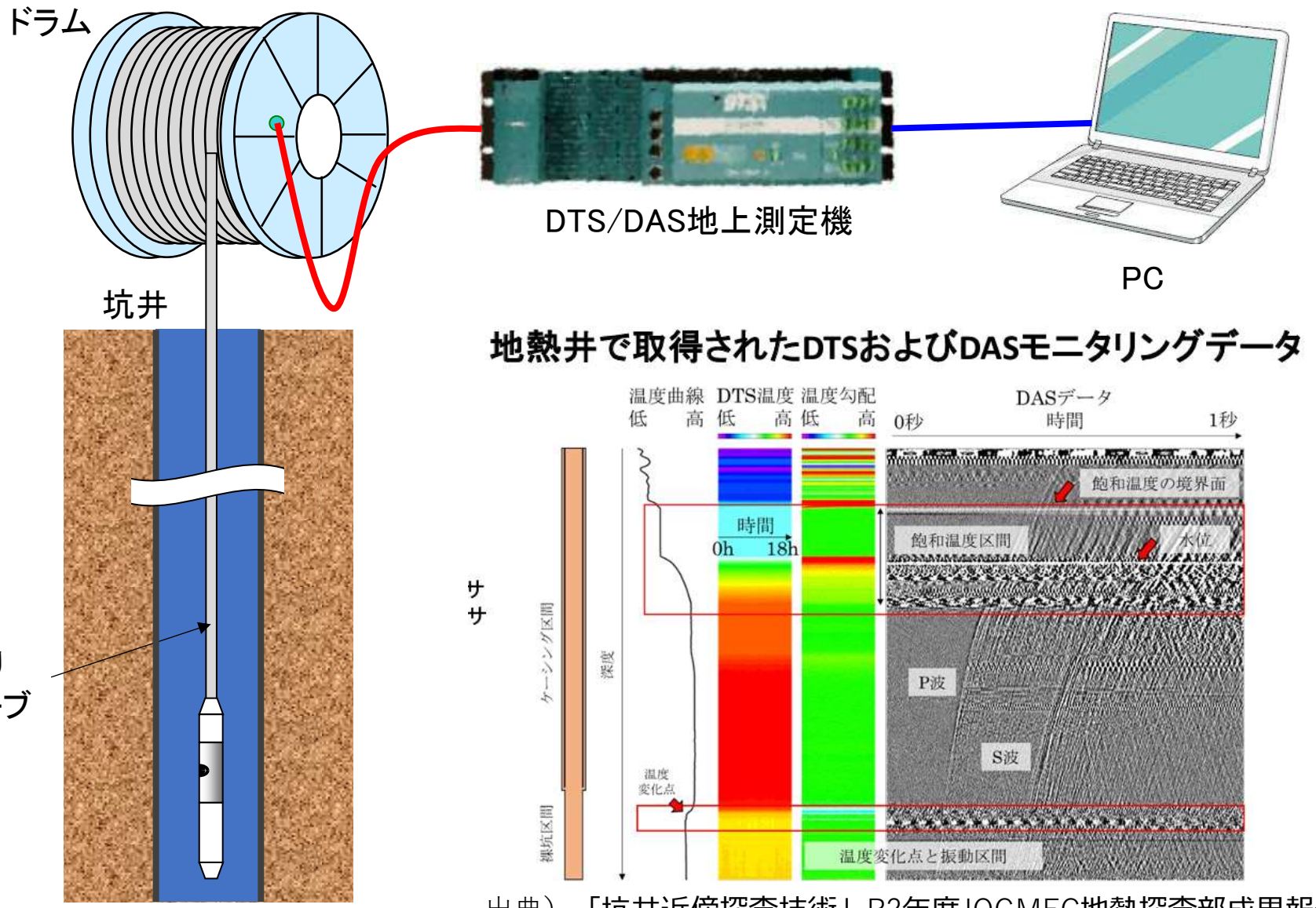
- 光ファイバーの一端（地上）からレーザーパルスを入射
- 光ファイバー内で後方散乱光が発生
- 散乱光強度や周波数シフトの温度依存性/歪依存性を利用





入射～散乱光が戻ってくる時間
||
光ファイバーの距離

DTS/DASの概要

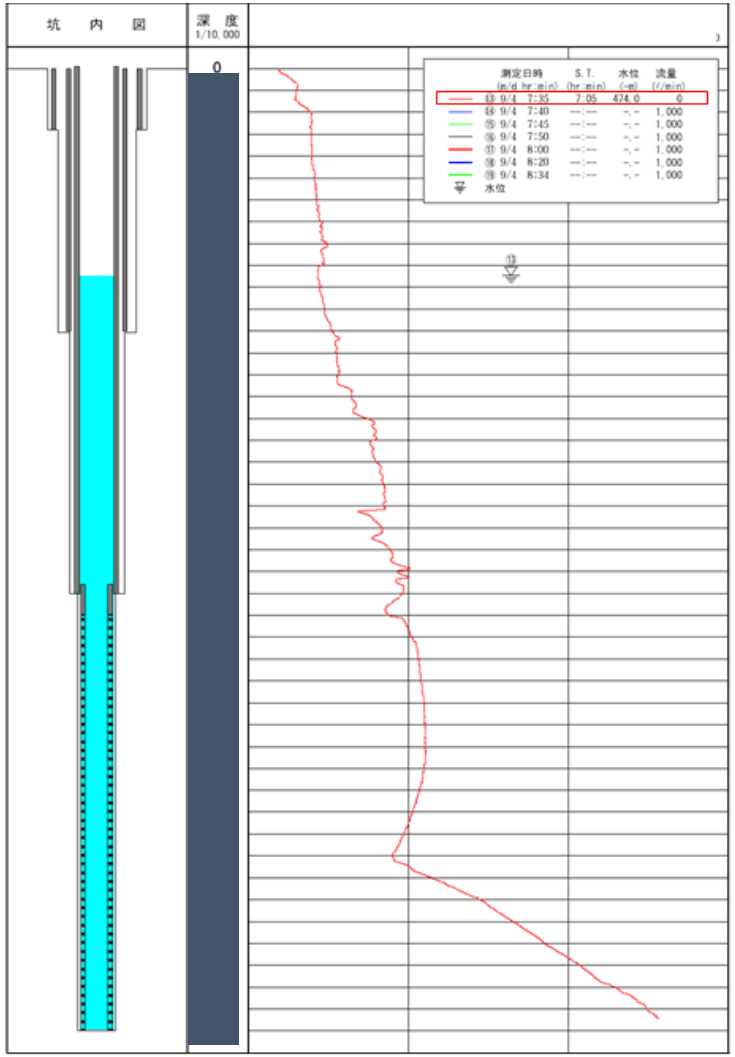


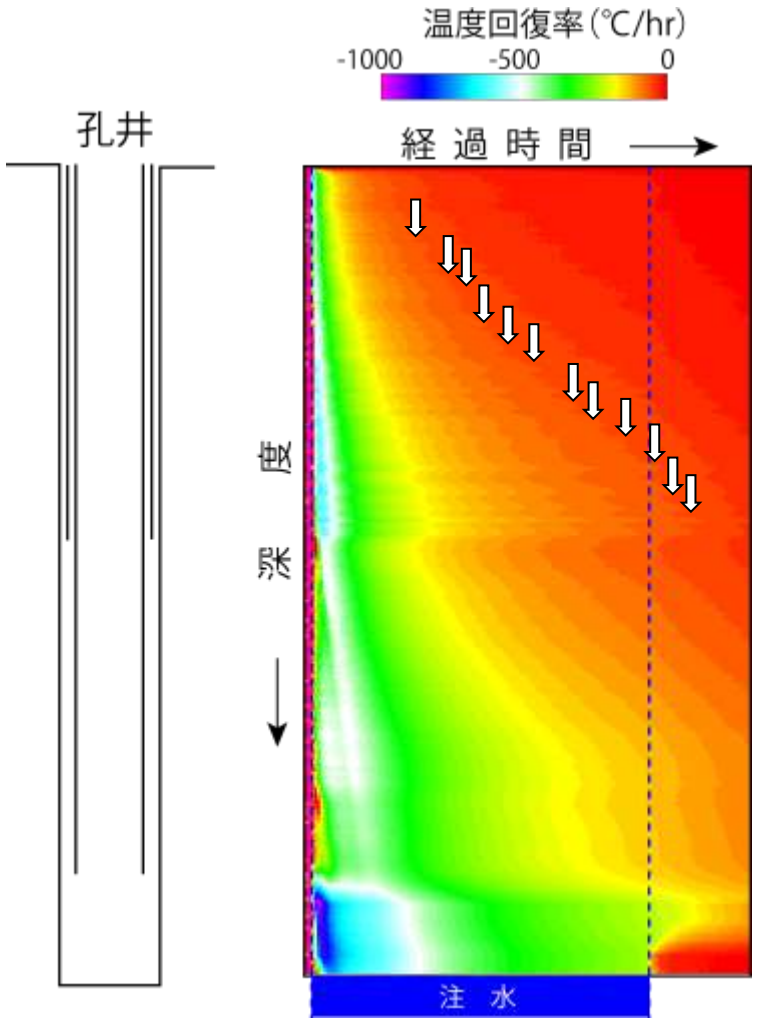
地熱井で取得されたDTSおよびDASモニタリングデータ

出典）「坑井近傍探査技術」R2年度JOGMEC地熱探査部成果報告会資料から

GSC 物理計測コンサルタント JAPEX
Geophysical Surveying Co.,LTD 石油資源開発株式会社グループ

DTSによる温度回復試験



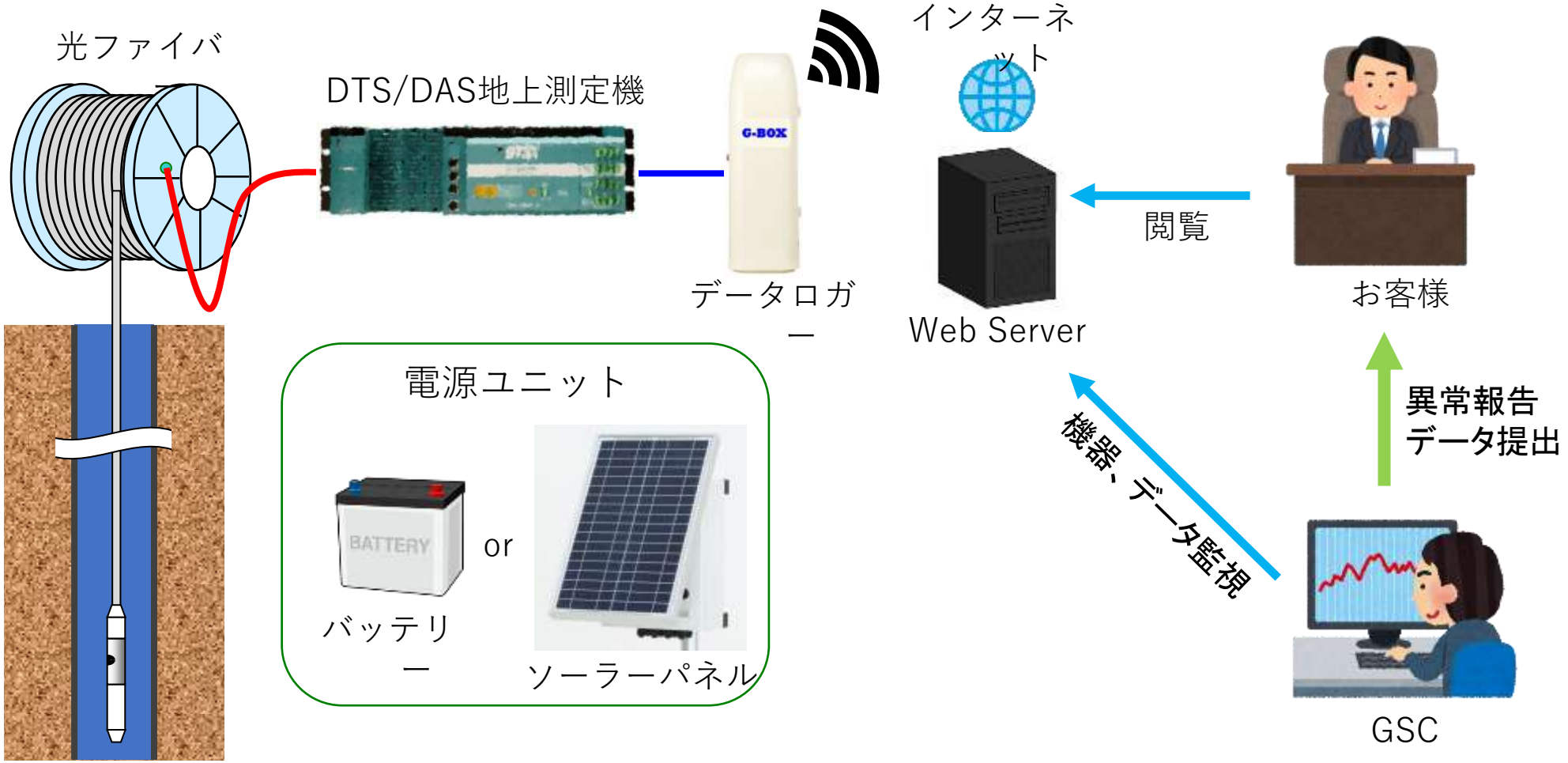


ケーシング背面の小さなフィードポイントも検知

58

光ファイバーセンシングの地熱井への適用

IoTを利用した観測データの長期モニタリング



Contents

掘削監督者のための検層チェックポイント

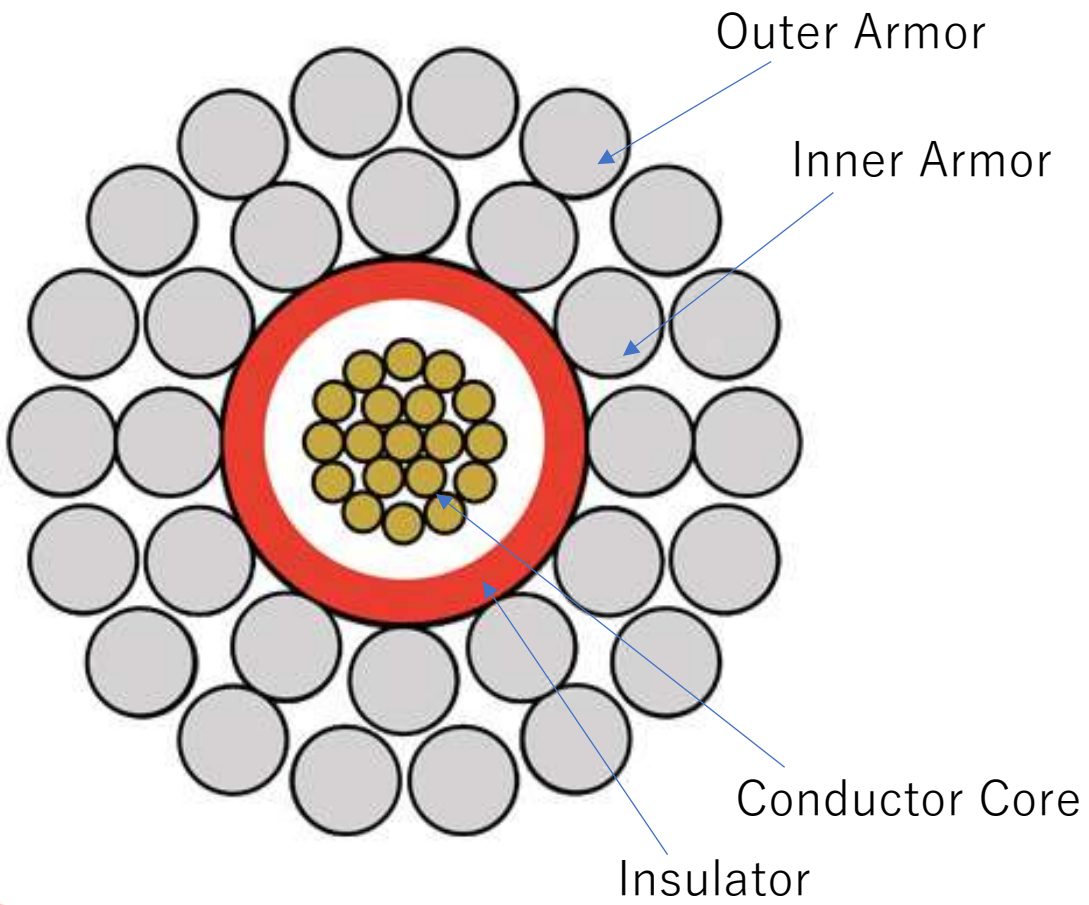
- **検層車の適切な設置**　井戸芯が見通せる場所の敷地確保にご協力をお願いします。
- **抑留時の対応準備**　事前のツールスケッチ、ウィークポイントの設定や回収方法の確認。
- **検層ツール仕様/編成が適切か**　温度/圧力仕様、アクセサリーの配置やサイズ等、坑井に最適か？傾斜に適用するか？
- **坑内の状況は検層に適切か**　高比重泥水や非導電性流体など、一部の検層に適さない条件があります。検層前に確認・調泥をお願いします。
- **検層ツールの校正や検層結果の深度補正/再現性は適切か**　事前に検層ツールの適切な校正が行われているか？複数ランで適切な深度補正がされているか？データの再現性はあるか？
- **検層実施時期の調整**　サービス会社は全国各地で掘削中の検層案件を多く抱えています。日程の調整にはご配慮をお願いします。

Contents

地熱坑井における検層トラブル

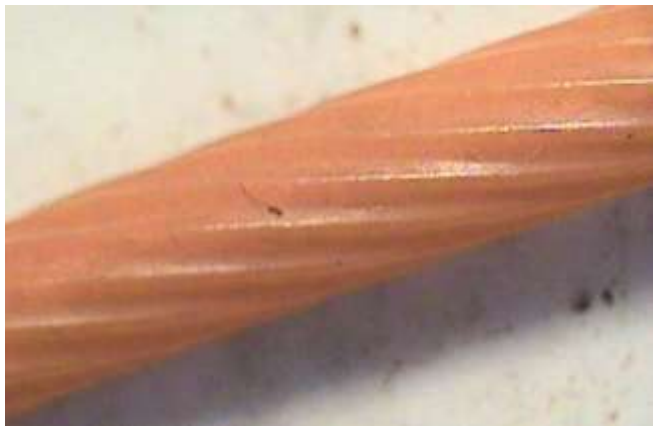
- 検層中の暴噴
  ⇒　暴噴防止装置の適切な使用
- 高温による電子部品・機器の故障（検層ツール）
  ⇒　バックアップ体制の準備、メンテナンス要員の派遣
- 高温による絶縁体の特性劣化（アーマードケーブル）
  ⇒　予防保全（高温暴露部の切断）
- 高温による機械的損傷（シール、アーマードケーブル外装）
  ⇒　予防保全（O-ringの交換、不具合部の切断）、点検
- 高傾斜・ドッグレッグによる検層ツールの降下不能
  ⇒　適切な編成提案・事前検討・坑内さらい
- 検層中の坑内状況悪化に伴う検層ツールの抑留・坑内遺留
  ⇒　事前のツールスケッチ、回収方法の事前検討と準備
- 腐食性流体・ガスによるケーブル破断
  ⇒　耐腐食材料の使用、点検による異常察知

高温下で発生するケーブルトラブル



高温下でのInsulator材料の軟化

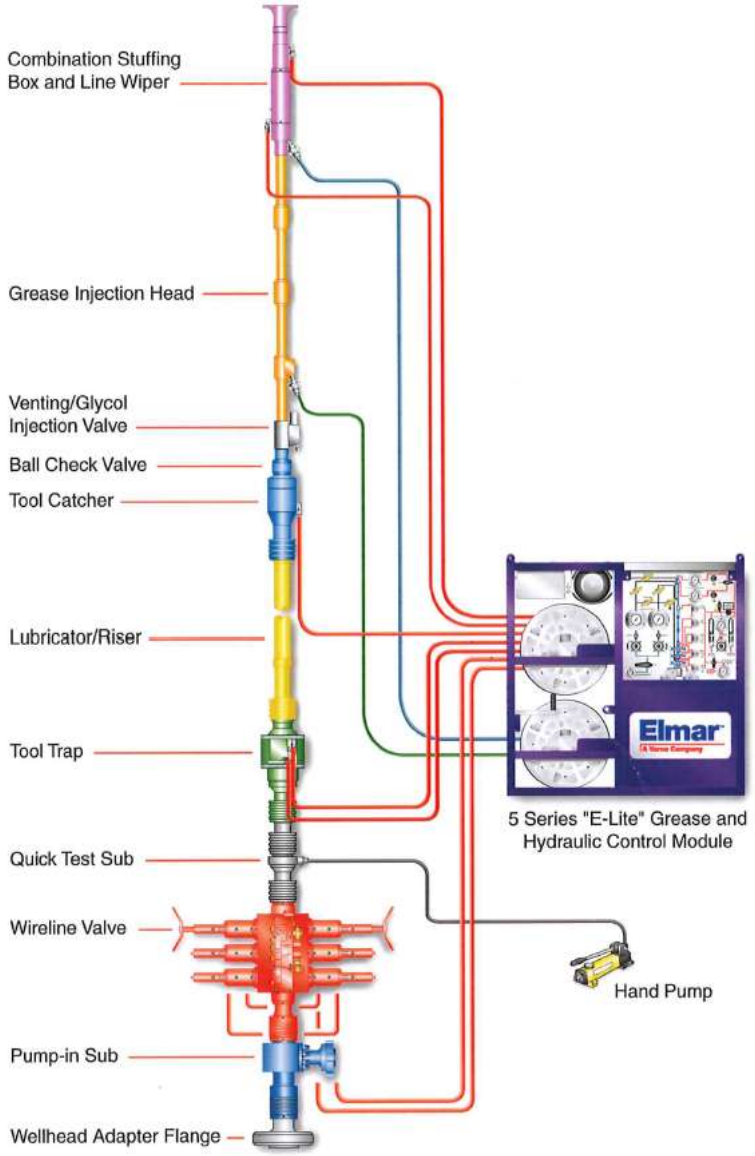
坑内ツールによる引張荷重



Insulatorの減肉
↓
電気絶縁耐力の低下
内容物容積の変化

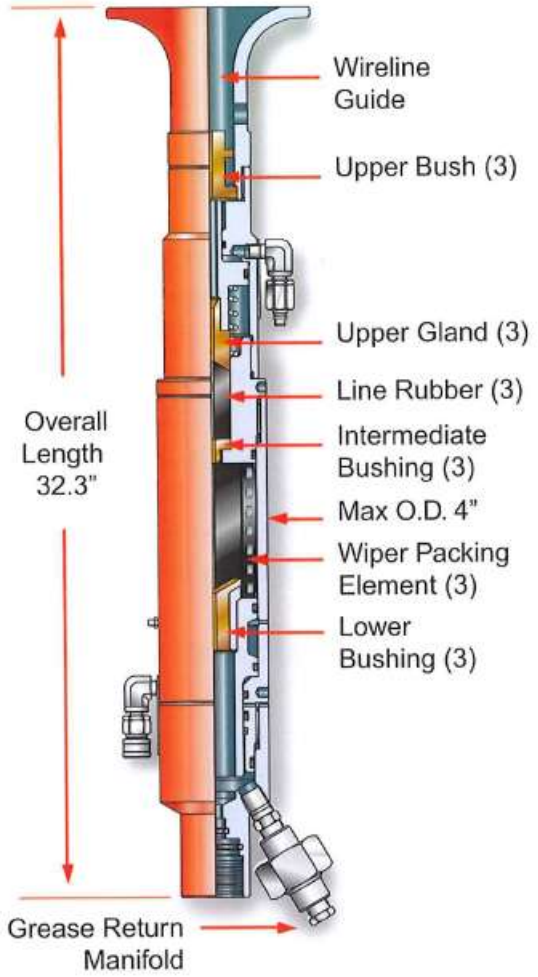
内容物容積の変化
引張荷重
↓
Outer Armorの浮き

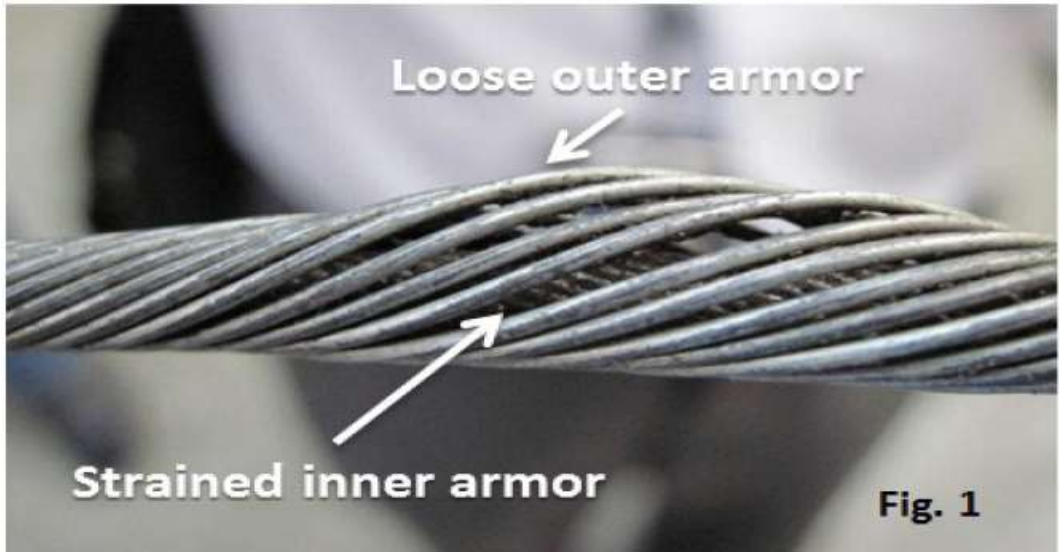
噴気中、坑口圧力の高い坑井でのワイヤーライン検層作業



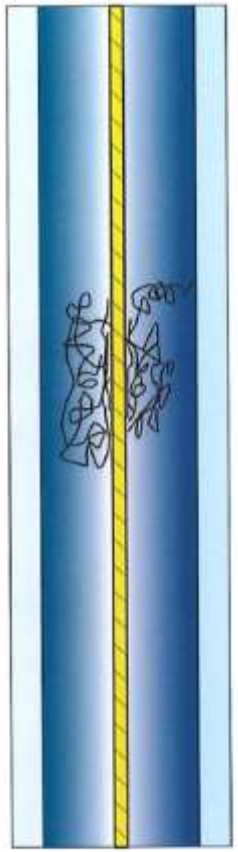
出典）NOV/Elmar カタログより

地熱井でのアーマードケーブルにまつわる苦い経験





Birdcage



Broken Armour Wire

坑口装置で鳥かご状態になったアーマードケーブル

Contents

まとめ

- 検層には、特殊な機器を使います。様々な環境に対応させるため準備のバックアップ機材の用意など、保守にはコストと労力が必要
- 1920年代から使われている検層技術は日々発展を続けている。
- 地熱発電開発には要所要所で検層による坑井評価と噴出能力評価が必要
- 地熱坑井掘削直後には、温度/電気/坑壁画像検層やPTS検層や注水試験等を実施。
- 暴噴のリスクがある地熱井の検層では暴噴防止装置を使用。スリックラインを使った検層では、簡便に暴噴対策可能。
- ワイヤーラインサービスは坑井健全性評価のための検層もある。
- 光ファイバセンシングは電子部品が無く、今後地熱で活用期待。
- 地熱坑井での検層作業は、過酷な環境に起因するリスク有。準備必要。

長時間のご視聴ありがとうございました。

引用文献

- 物理探査学会(2016)物理探査ハンドブック増補改訂版第13章物理検層
- 地熱エネルギーハンドブック、オーム社(2014)
- NEDO(1993)坑井試験マニュアル
- Halliburton/Wireline engineering/Hunting/Weltec WEB資料
- NOV/Elmar WEB資料
- 株式会社物理計測コンサルタント　社内資料