

事業概要

1. 背景・目的

- 地下深部からの地熱流体の上昇が、既存の断層に沿って起こっており、その断層の中でも面に作用する応力が臨界状態にあるものが主要な役割を担っていることが、地熱を対象にした数多くの研究で明らかになっている。
- このため、地殻応力に基づいて地熱開発を行うことが、生産井の成功率を高め、貯留層の持続性を向上させるなど、調査から運用に至る様々な段階の大きなコスト削減につながると期待されている（例えば、米国エネルギー省, GeoVision, 2017）。
- そこで、超臨界地熱を対象としたNEDO研究開発プロジェクト（フェーズⅠ、2018～2020年度）では、大深度かつ高温な岩体の地殻応力測定を実現するための新しい方法（二重解放コア変形法）の原理の検証を行い、それを具体化する技術（二重ビットコアリング）の開発に成功した。
- これを踏まえて本プロジェクト（フェーズⅡ）では、現実に即したシビアな掘削環境とコストを考慮し、同方法を信頼性・堅牢性のあるものに完成させるための研究開発を行った。

2. 実施期間

開始：2021年6月
終了：2025年3月

3. 実施内容・最終目標

本プロジェクトでは、2.5 km以上の深度で、応力記録コアを定方位で2個以上、連続的に採取でき、250℃以上の耐熱性能を有する二重コアリングツールを完成させる。また、数値シミュレーション結果に基づき、地殻応力を考慮することで調査・生産井の掘削および貯留層維持・管理に要するコストを10～20%削減できることを明らかにする。これらを達成するために下記のテーマ①～③の研究開発を実施する。

① マルチ二重ビットコアリングツールの開発

2つの方式（ワイヤーライン型および改良ロッド型）による二重ビットコアリングツールを開発してコア掘削試験を行い、性能評価と課題を抽出し、それを踏まえた改良を行ってコアのマルチ化を実現する。

② コア方位測定方法の開発

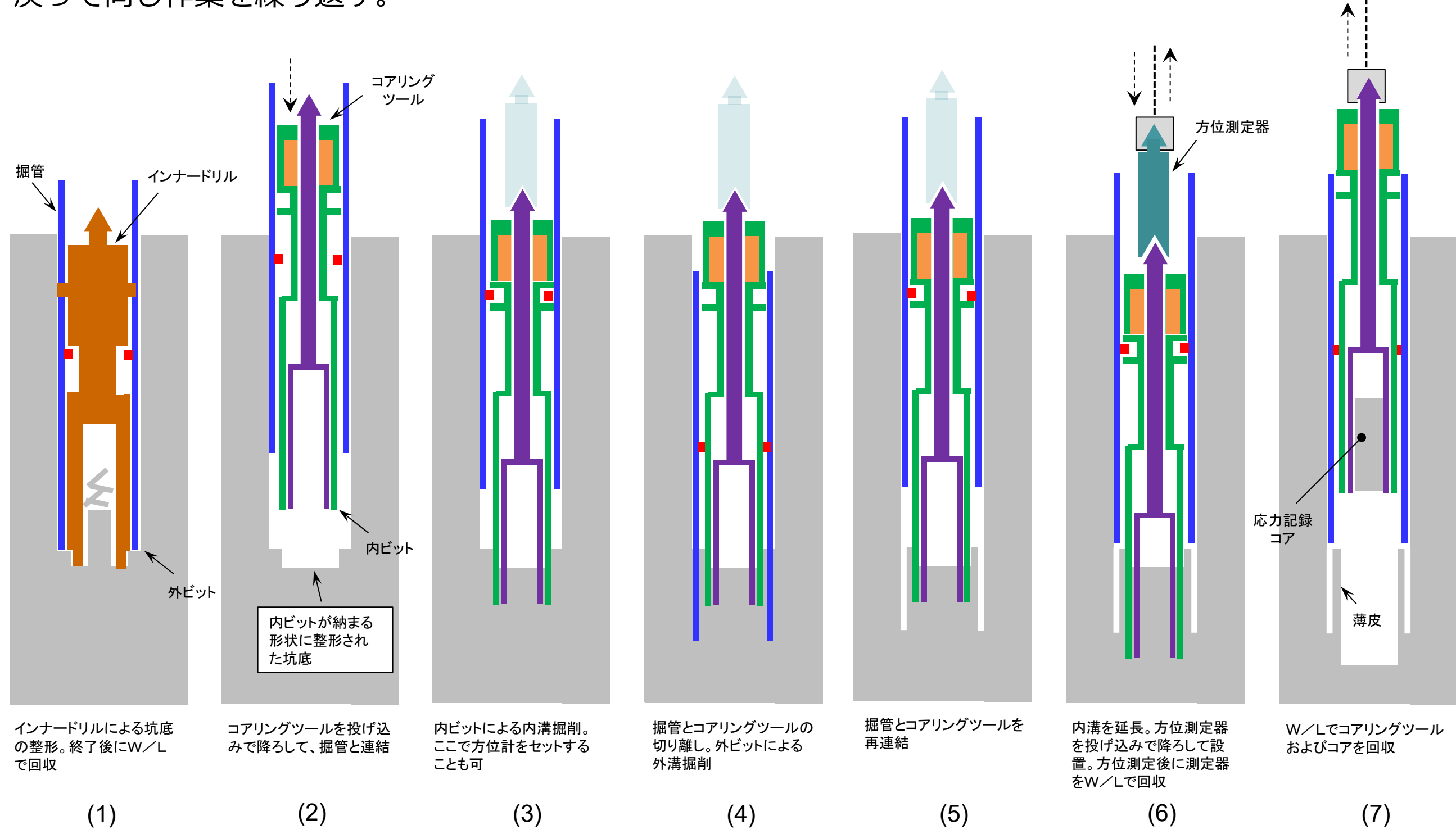
耐熱性があるメモリ記録型の方位測定器を開発する。さらに、その測定器を①の二重ビットコアリングツールと組み合わせてコアチューブの方位を測定する方法を開発する。

③ 地熱開発における地殻応力の有効性評価

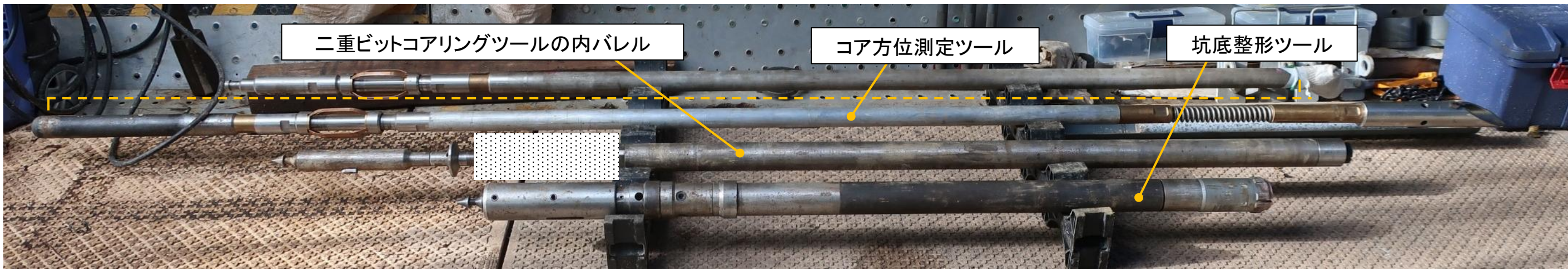
地殻応力が調査・生産井の掘削等にもたらす効果を、数値シミュレーションによって定量化する。また、断裂系の地熱貯留層を模擬する数値モデルを作成し、地熱流体の分布、効率的な生産井の配置、生産量の変化などに対する地殻応力の影響を明らかにする。

二重ビットコアリング（DBC）の実施手順

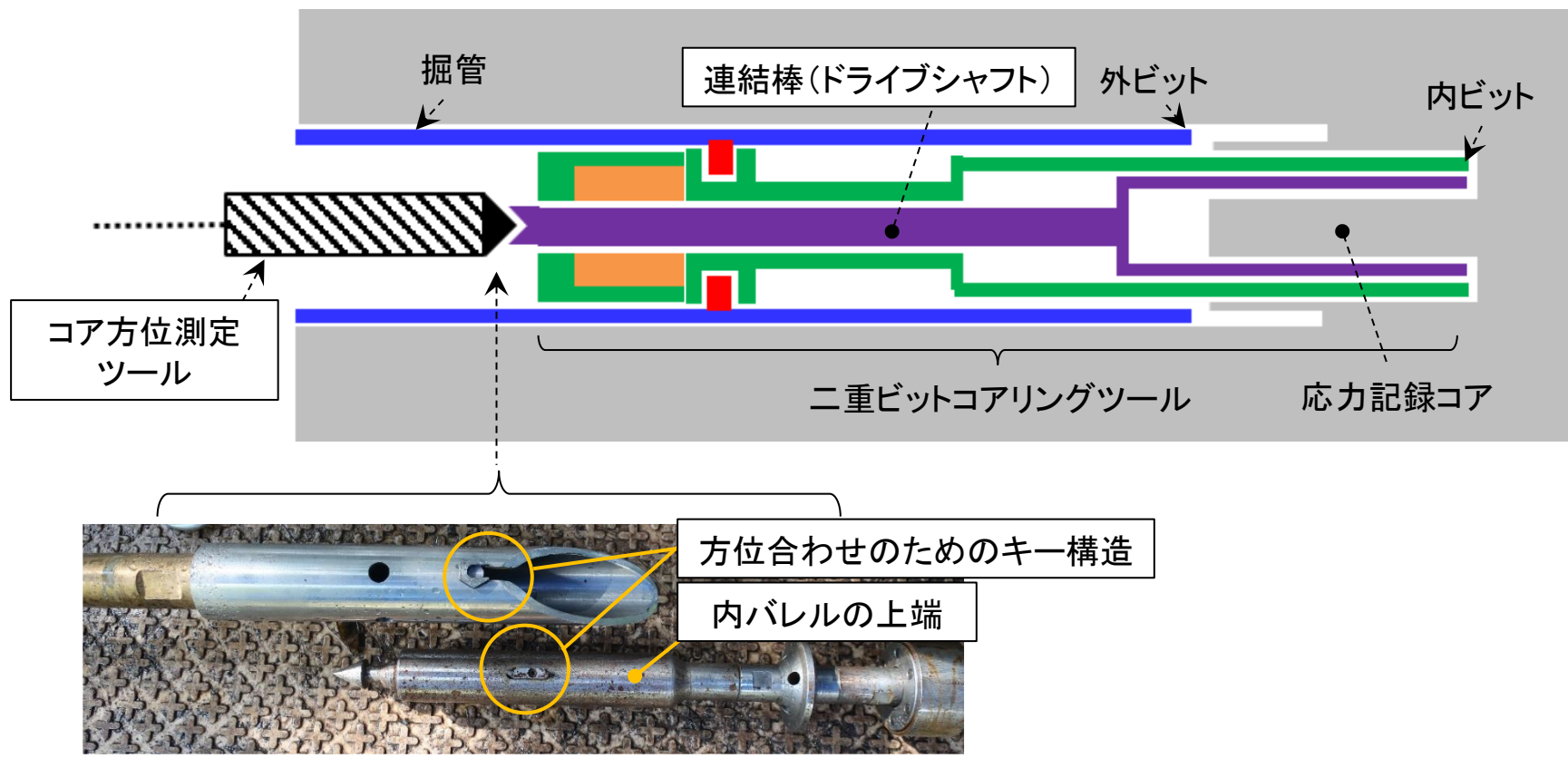
- ① DBCツールの外バレルを下端に付けた掘管を坑井内に設置した後、掘管を通してインナーコアドリルツールを坑底に降ろして外バレルとラッチ機構で連結させる。適当な距離だけ掘進して坑底整形が終わったら、オーバーショットでインナーコアドリルツールを引き揚げる。
- ② 内ビットが坑底に当たらない程度に掘管を少し引き上げてから、掘管を通してDBCツールの内バレルを坑底に降ろす。この際、自動的にJ-slotが作動して内バレルが外バレルと連結される。
- ③ 掘管を降ろして内ビットを坑底に着地させる。そして、掘管を回して内ビットで内溝を掘る。
- ④ 掘管を反転させてから少し降ろす操作でJ-slotを作動させ、外バレルと内バレルの連結を外す。掘管を降ろして外ビットを坑底に着地させる。そして、掘管を回して外ビットで外溝を掘る。
- ⑤ 掘管を正回転させながら所定の距離だけ引き上げる操作でJ-slotを作動させ、外バレルと内バレルを再び連結させる。
- ⑥ この状態で掘管を回して、ステップ(3)で掘削した内溝を延長する。その作業が終わったら、掘管を通してコア方位測定ツールをオーバーショットで内バレルの上端に接触するまで降ろす。この際、内バレルの中にあるコアチューブとつながるロッドの上端とコア方位測定ツールの下端が、自動的に連結される。この時刻にコア方位測定ツールに記録された方位から、コアチューブの方位が求められ、さらに中に格納されたコアの方位が求められる。その後、オーバーショットでコア方位測定ツールを引き揚げて回収する。
- ⑦ 掘管を少し引き上げ、内溝中心に残った円柱の根元を周囲岩盤から切り離す。その円柱部分がコアとなる。そして、コアを格納した内バレルをオーバーショットで引き揚げて回収する。必要があれば、ステップ(1)に戻って同じ作業を繰り返す。



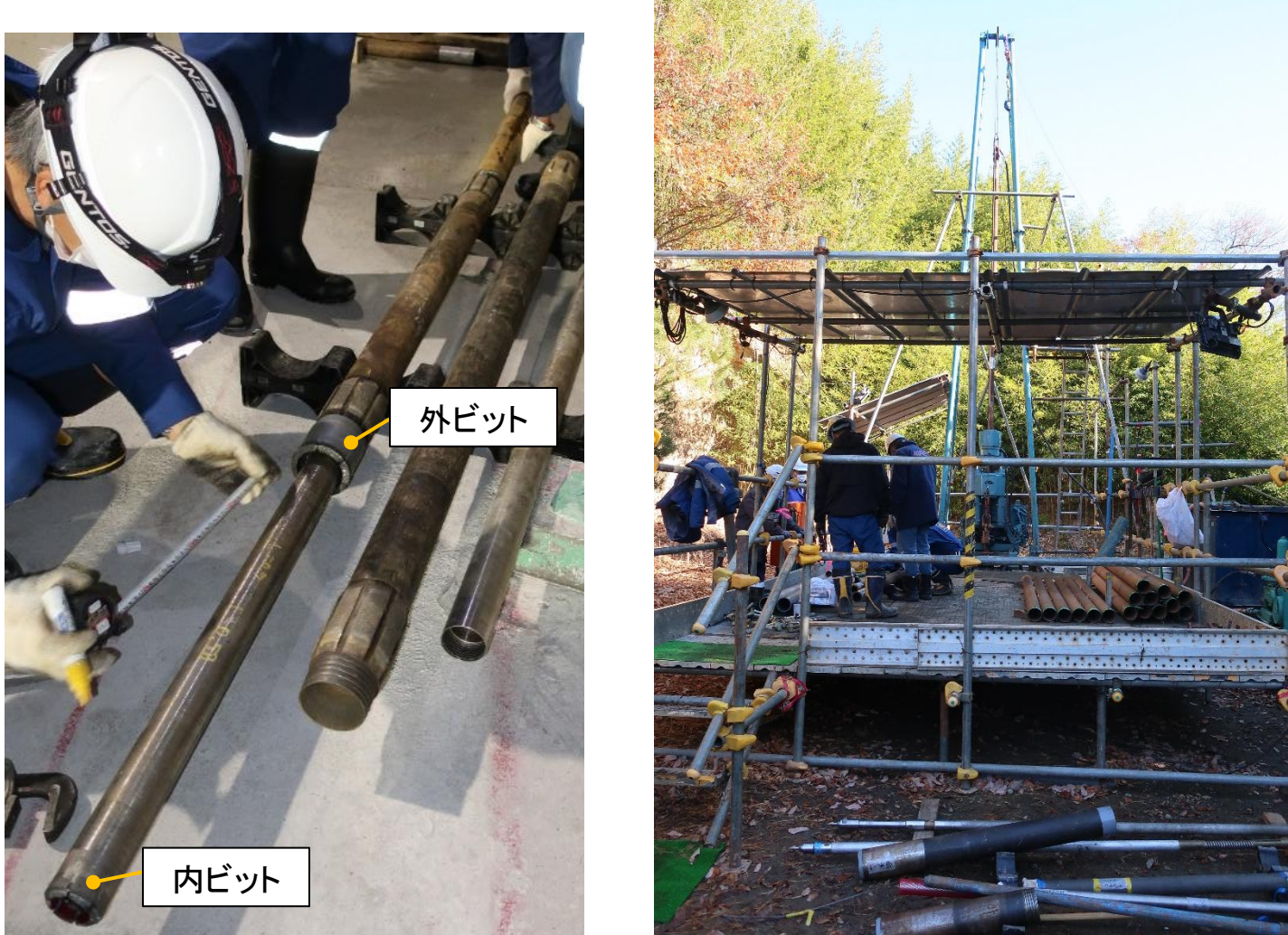
坑井内で使用するツール群（HQサイズ坑井用）



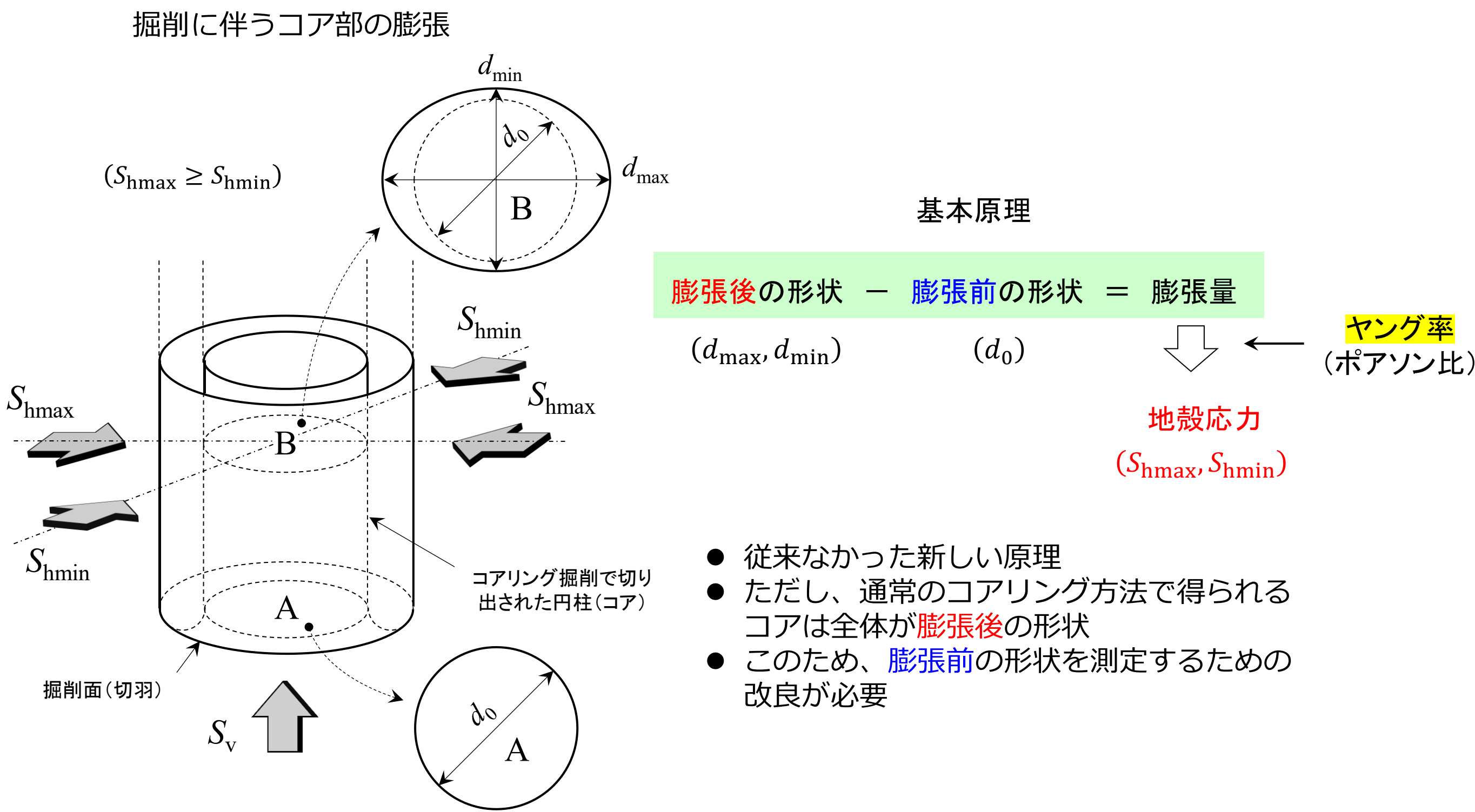
コア方位の測定要領



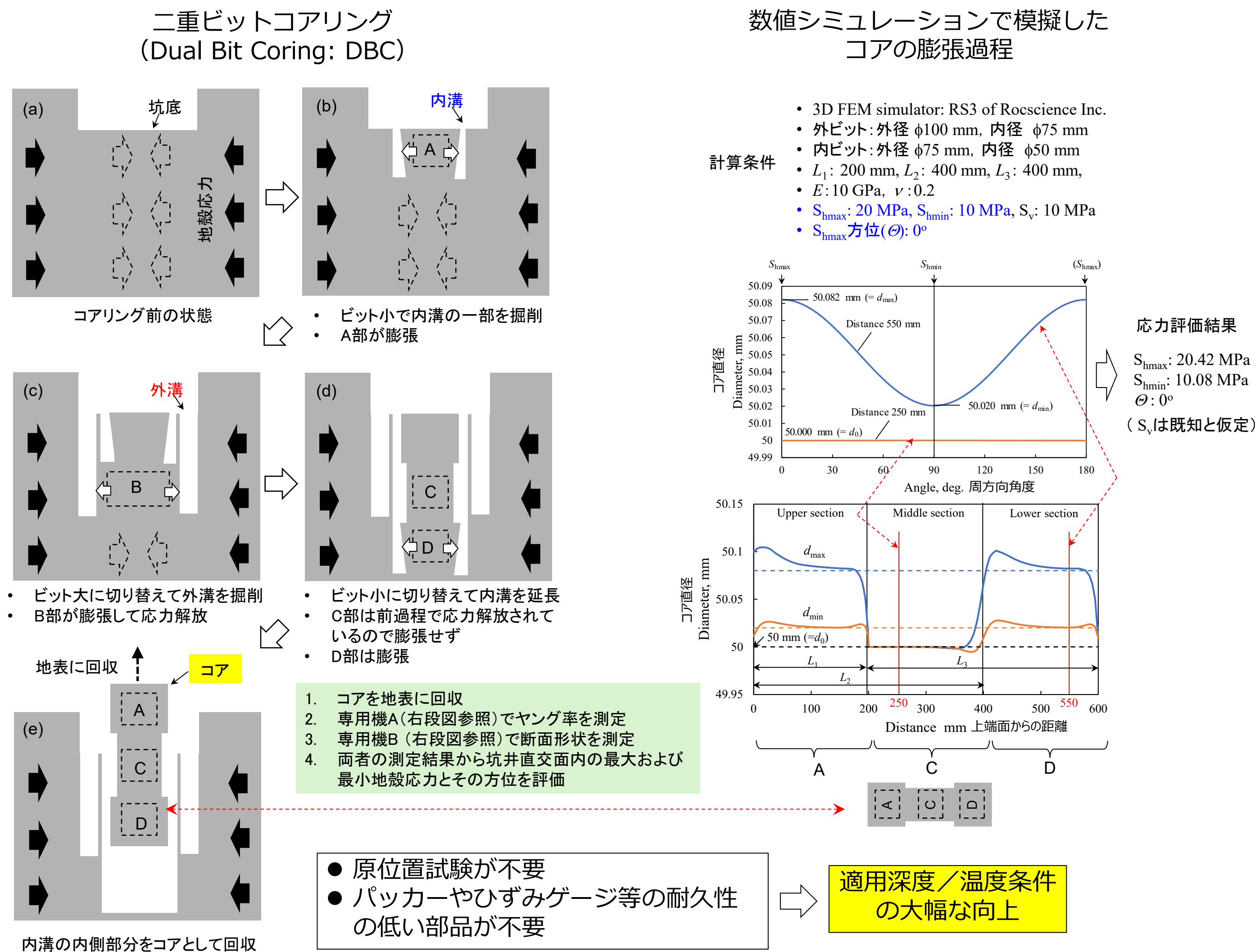
二重ビットコアリングツール 実規模試験状況の例



新しい測定原理：二重解放コア変形法



二重ビットコアリング：1つのコアに膨張後と膨張前の形状を記録する方法



可搬型コアヤング率測定器（専用機A）

- 応力評価に必要なコアのヤング率を、掘削現場で測定するための装置
- コアの表面に二軸ひずみゲージを貼り付け
- コアに周圧を直接負荷し、そのときの周圧とひずみの関係からヤング率を評価



可搬型コア直径測定器（専用機B）

- 応力評価に必要なコア直径を、掘削現場で測定するための装置
- コアの側方から照射したLED光のシャドウ画像からコア直径を測定
- コアを回転させながら測定することで、コア直径の周方向分布を取得

項目	仕様
コア直径レンジ	30～200mm
コア長レンジ	100～1000mm
分解能	0.00001mm
繰り返し精度	±0.00015mm
回転速度	可変（通常は3 or 1.5 min/回転）

まとめと今後の見通し

- 水圧破砕法および応力解放法などの地殻応力測定法が開発され、国内外で標準化もされて広く普及している。ただし、いずれも比較的浅い深度、かつ室温レベルの温度環境で用いるのが前提となっており、**地熱開発に適用することは全く不可能**である。
- これに対して本事業で提案した方法は、掘削可能な範囲であれば深度および温度によらず適用可能であり、測定に必要な機材およびスキルは従来法と同等かむしろ簡易である。
- 本事業によって提案手法を実現するための技術開発に取り組み、最終的に**深度2.5 kmおよび温度250℃以上の地層への適用を想定した測定ツールを完成**させることに成功した。
- 地熱開発における各開発段階のリスクとコストを調べた報告によれば、開発の進行と共にリスクが低下するものの逆にコストが急激に上昇し、特に掘削コストが大きく影響していることがわかっていて、したがって、**地殻応力情報の導入で掘削成功率が高くなれば、全体的大幅なコスト削減が見込まれる**。
- 本事業の成果を踏まえて、地殻応力を地熱開発に応用する具体的な取り組みが始まり、それが**ブレークスルーとなって地熱利用が大きく促進**されるものと期待される。