

本資料は2000年 3月 31日付けで登録区分
変更する。

東濃地科学センター 【研究調整グループ】

試錐掘削技術に関する動向調査

動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書

1996年 2月

株式会社エヌエルシー

本文の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184
Japan

©核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1996

試錐掘削技術に関する動向調査



児玉伸一*

要 旨

地層処分研究の基礎的研究である地層科学研究の推進には深度1000m級の試錐孔が必要不可欠となる。そのためには対称とする岩盤の状況に応じて、最適な掘削技術を採用する必要がある。本調査は試錐掘削技術について国内外の技術情報を収集し報告するものである。

調査項目は下記の通りである。

- (1) 孔曲がり制御技術
 - (2) 保孔方法に関するハードウェア調査
 - (3) 水質に影響の少ない泥剤の調査
 - (4) スライム排出方法に関する工法調査
 - (5) 掘削時に於ける孔内状況把握のための装置
 - (6) 掘削中のリアルタイム坑底情報計測技術
 - (7) 掘削装置類の自動化・省力化に関する調査
 - (8) 米国DOE、ユッカマウンテンに於ける試錐掘削技術
- 以上

本報告書は、株式会社エヌエルシーが動力炉、核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号 07C0891

事業団担当部課室および担当者：技術開発課 鶴留治二

※(株)エヌエルシー

目 次

1. 総 説	1
2. 孔曲がり制御技術（先端駆動型掘削を含む）に関するハードウェア調査	3
2.1 調査課題	3
2.2 孔曲がり制御技術の現況	3
2.3 先端駆動掘削技術	16
2.4 コアの採取方法及びコア径・コア方位	20
2.5 まとめ	22
3. 保孔方法に関するハードウェア調査（1000m級の試錐孔）	23
3.1 はじめに	23
3.2 ケーシング工法	24
3.3 グラウト工法	30
3.4 まとめ	30
4. 水質に影響の少ない泥剤の調査	31
4.1 はじめに	31
4.2 現況	31
4.3 KTBプロジェクトに於ける泥水	41
4.4 まとめ	41
5. スライム排出方法に関する工法調査	42
5.1 現況	42
5.2 課題	44
6. 掘削時における孔内状況を把握するための装置に関するハードウェア調査	47
6.1 はじめに	47
6.2 現況	47

6.3	まとめ	56
7.	掘削中のリアルタイム坑底情報計測技術に関するハードウェア調査	58
7.1	はじめに	58
7.2	MWD技術	59
7.3	現況	61
7.4	まとめ	69
8.	掘削装置類の自動化、作業の省力化に関するハードウェア調査	72
8.1	はじめに	72
8.2	掘削機	72
8.3	ネジ解緊装置	82
8.4	ロッドハンドリング装置	85
8.5	まとめ	101
9.	アメリカ エネルギー省 ユッカマウンテンに於ける、試錐掘削技術について	103
9.1	はじめに	103
9.2	デュアルウォール掘削システム	103
	(付) R.ロング氏「デュアル ウォール掘削システムによる ワイヤライン・コアリングの実地経験」(翻訳・英文)	
10.	あとがき	110

1. 総 説

1. 総説

1.1 件名

試錐掘削技術に関わる動向調査

1.2 調査目的

地層処分研究の基盤的研究である地層科学研究の推進には深度1000m級の試錐孔が必要不可欠である。そのためには、対象とする岩盤の状況に応じて、最適な掘削技術を採用する必要がある。

本調査は、試錐掘削技術について国内外の最新の情報を収集し、現時点で利用可能な掘削技術を把握するとともに、今後の技術開発の動向を抽出する。

1.3 調査範囲

- (1) 国内外の試錐掘削技術に関する情報の収集・整理
- (2) 報告書の作成

1.4 調査内容

下記項目に分けて、国内外の試錐掘削技術に関する情報を収集・整理し報告書にまとめる。

- (a) 孔曲がり制御技術（先端駆動型掘削を含む）に関するハードウェア調査
- (b) 保孔方法に関するハードウェア調査（1000m級の試錐孔）
- (c) 水質に影響の少ない泥剤の調査
- (d) スライム排出方法に関する工法調査
- (e) 掘削時における孔内状況を把握するための装置に関するハードウェア調査
- (f) 掘削中のリアルタイムの坑底情報計測技術に関するハードウェア調査
- (g) 掘削装置類の自動化・省力化に関するハードウェア調査
- (h) アメリカ、エネルギー省、ユッカマウンテンに於ける、試錐掘削技術について

1.5 調査方法

- (1) 試錐掘削技術に関しては、各種文献による調査、展示会等に於ける情報収集、メーカーに対して問合わせによる情報の入手を行い報告書にまとめた。
- (2) アメリカ ユッカマウンテンプロジェクトに関しては、ネバタ州のDOE事務所訪問し、

プロジェクト担当者よりのプレゼンテーション及び掘削現場を訪問し各種説明を受けた。又本プロジェクトに関する技術レポート及びビデオを受領したので本報告書に添付するとともに、資料集に納めた。

1.6 調査期間及び調査書

平成7年9月より平成8年2月の間調査担当者は株式会社エヌエルシー児玉伸伸一当った。

2. 孔曲がり制御技術(先端駆動型掘削を含む)に関するハードウェア調査

2. 孔曲がり制御技術（先端駆動型掘削を含む）に関するハードウェア調査

2.1 調査課題

2.1.1 孔曲がりの概念

孔曲がりは、一般的に地質的要因と切削による機械的要因とにより生じるものである。特に二つの要因が複雑に組合され発生するために、その予測が困難である。

地質的要因として硬軟差のある互層、節理の発達した地層、破碎帯、断層、割れ目、空洞などの存在で孔曲がりが生じる。特にこの現象は、傾斜面がある硬・軟岩地層の境界で、顕著に観察される。

孔曲がりは、硬軟岩へのビットの切削抵抗の差が生じ、ビット刃先の切り込み深さに違いが生じてくる。ビットの傾く力がロットの曲げ剛性より大きく、又孔壁とコアバーレルのクリアランスがあれば、孔曲がりが生じる。層理面の発達した地層では、ビット方向が層理面と直角であれば、そのまま進み、傾斜しているとその層理面に直角の方向に進もうとして孔曲がりを生じようとする。

2.1.2 調査項目

掘削に於いて、孔が曲がれば、孔内抵抗が大きくなりロットの回転が出来なくなる。又ロット、コアバーレルへの曲り応力の繰り返しによる、ロット、コアバーレルの切断事故が生じる。この様に孔曲がりは、掘削の継続性を阻害する大きな要因の一つである。

孔曲がりを制御する技術は、過去より色々の技術が開発されている。近年特に開発が進んでいる先端駆動型掘削の動向と、下記項目につき、調査結果を述べる。

- ・孔曲がり防止法
- ・孔曲がり測定技術
- ・孔曲げ工法

2.2 孔曲がり制御技術の現況

2.2.1 孔曲がり防止法

ロックローラビットによる掘削に於いては、各種類のスタビライザーを組込んで、孔曲がりを防止している。ここでは、コアリングを目的とした掘削で使用する、ワイヤライン工法に於ける、孔曲がり防止法について述べる。

ここで取り上げる工法として

- ・スタビライジング工法

- ・デビエーションコントロール工法
- ・フルフォールコアバーレル工法
- ・シンカーフ ワイヤライン工法

表2.1 孔曲がり防止法

工 法 名	構 造	特 徴	対称岩質	コ ス ト
スタビライジング工法	数ヶ所のスタビライザー 組込む	組み込みが容易	中硬岩質 軟岩に 適さない	安 い
デビエーション コントロール工法	コアチューブのみで 防止する	複雑な構造だが効果が 高い	硬岩、破碎層には 問題ある	高 価
フルフォール コアバーレル工法	コアチューブの改造	シンプルだが効果が 高い	全岩質に効果がある	やや高価
シンカーフ ワイヤライン工法	切削面積の減少を図る	硬岩に最適	硬岩均一質岩	標準コアバーレルより やや高い

・スタビライジング工法

- (1) 構造 孔径とコアチューブ、ワイヤラインロットのクリアランスが多いため、孔曲がりが生じる。これを解消する手段として、コアチューブ中間部、ロットとロットの接続部に数ヶ所にスタビライザーを組込む。スタビライザーの形状はビット回転と逆のスパイラルに硬装したものである。外径はリーマ径より徐々に小さくし最終ロットに至る様に決める。HQサイズで7~8ヶ所は必要となる。
- (2) 特徴 構造は簡単であり、取り扱いも容易である。
- (3) 問題点 硬装外周部の硬度が低いため硬岩に合うと摩耗が早い。軟弱層に対しては、スタビライザーの長さが短いので効果が低い。
- (4) 掘削方向 いかなる方向でも問題はない。
- (5) サイズ HQ/NQサイズでは製品化されているその他のサイズでも対応可能
- (6) 製造会社 エヌエルシー

・デビエーションコントロール工法

- (1) 構造 孔径とコアチューブとのクリアランスを小さくすることに重点をおいた構造である。

ダイヤモンドリーマの後に孔径に近いスリーブを設け、スライムと循環水は、スリーブの手前で、リーミングシェルボディの溝の部分を通り、スリーブの後に出る様になっている。スリーブが全面で孔壁に当たる様になっている。スリーブのあとに何ヶ所かのスパイラルスタビライザーで孔壁に当り孔の曲るのを防止している。

- (2) 特徴 構造は複雑であるが、孔曲げ防止機能は高い。

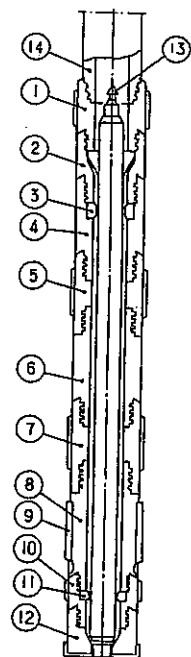
- (3) 問題点 均一硬質岩に於いては有効であるが、破碎帯に於いては、スライムが狭いウォーターウェイ部でひっかかって水圧上昇することがある。

孔壁に接する部分の摩耗が早く摩耗した状態で使用すると孔曲がりの原因となるので常に注意を払う必要がある。

- (4) 掘削方向 垂直、傾斜、水平について問題はない。国内に於いて1000mの水平掘削において成果を上げた実績もある。

- (5) サイズ NQWL HQWLは製品化されている

- (6) 製造会社 エヌエルシー



- ①クローム ロッキング カップリング
- ②アダプタ カップリング
- ③ランディング リング
- ④リア アウタチューブ
- ⑤スタビライザー
- ⑥フロント アウタチューブ
- ⑦スタビライザー
- ⑧リーミングシェルボディ
- ⑨スリーブ
- ⑩ダイヤモンドリーミングシェル
- ⑪インナチューブ スタビライザー
- ⑫ダイヤモンド ビット
- ⑬インナチューブ アッセン
- ⑭ワイヤライン ロット

図2.1 デビエーションコントロールシステム構成図

・フルフォールコアバーレル工法

- (1) 構造 孔径とコアチューブのクリアランスがあるために孔曲がりが発生するとの観点から、開発されたものです。構造としては、コアチューブの外径を出来る限り孔径に近づけ、クリアランスを少なくし、掘進中に掘進軸のずれの発生を抑制する。このことにより孔曲がり防止するわけである。コアチューブの外径を大きくすると、カッティングス及び循環水の通路面積が小さくなるために、コアチューブに溝を設けて、循環水の圧力上昇を回避している。
- (2) 特徴 構造が簡単である。標準のコアバーレルとの互換性がある。長い距離孔壁に接しているので効果が高い。どのような地層に対しても有効である。
- (3) 問題点 崩壊層に対しては多少水圧の上昇が避けられない。
- (4) 掘削方向 いずれの方向も可。
- (5) サイズ BQ、NQ、HQは製品化されている。
- (6) 製造会社 BOART LONGYEAR社
- (7) 代理店 エヌエルシー

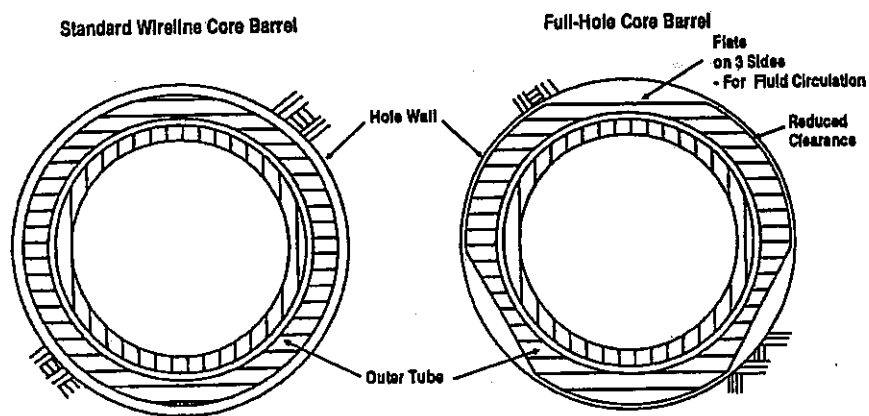


図2.2 フルフォールコアバーレル工法

・シンカーフ ワイヤライン工法

- (1) 構 造 ワイヤラインシステムに於いてビットの直進性を確保すること、切削面積を小さくする様に開発されたもの。従来のロットを使用しビットのカーフを薄くしたコアバーレルである。結果として孔曲がり防止の効果が生まれた。
- (2) 特 徴 基本的にはワイヤラインシステムである。
- (3) 問 題 点 硬質均一岩に対しては有効的である。破碎層、軟弱層に対して問題ある。
- (4) 掘削方向 孔曲がりのことを考えると垂直に有効な手段である。
- (5) サ イ ズ HQ、NQサイズ製品化
- (6) 製造会社 BOART LONGYEAR社

2.2.2 孔曲がり測定法

掘削に於いて孔が曲がらない様にする手段を講じることは、当然のことである。しかし孔が曲がっているか、常に観測することは必要なことである。小孔径に適應できる、孔曲がり測定装置について述べる。

- ・トロバリ測定機
- ・村田式測定機
- ・ベーカー ヒューズ測定機
- ・スペリーサン測定機
- ・ハンフリー測定機
- ・ワイヤライン工法による孔曲がり測定法

・トロバリ測定機

(1) 構造 タイマ、コンパス、振子が一ヶ所にコンパクトにまとめられており、自在軸で支えられている。

測定方法は、タイマをセットし、コンパスおよび振子がロックされた状態で方位、傾斜を読みとる。

(2) 特徴 各測定器中最も小型である。但し記録が残らない問題はある。

(3) 仕様 精度 方位 $\pm 0.5^\circ$

傾斜 $\pm 0.5^\circ$

本体外径 33.22mm、31.67mm

タイマー 最長 120分

(4) 製造会社 PAJARI社

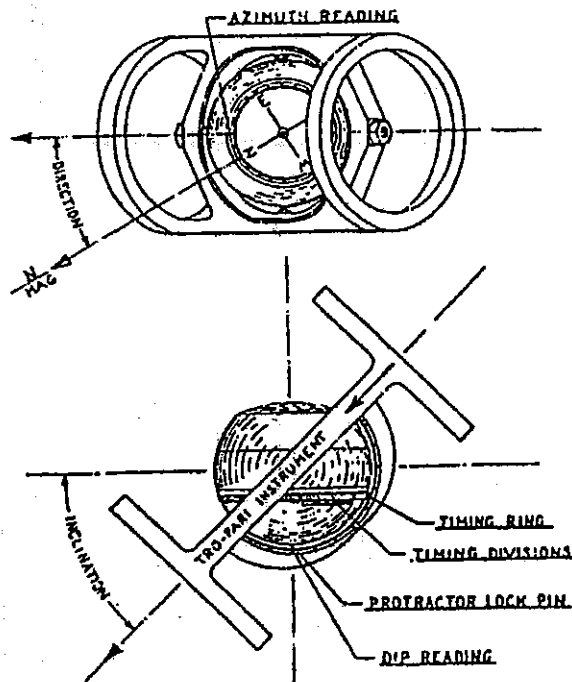


図2.3 トロバリ測定機

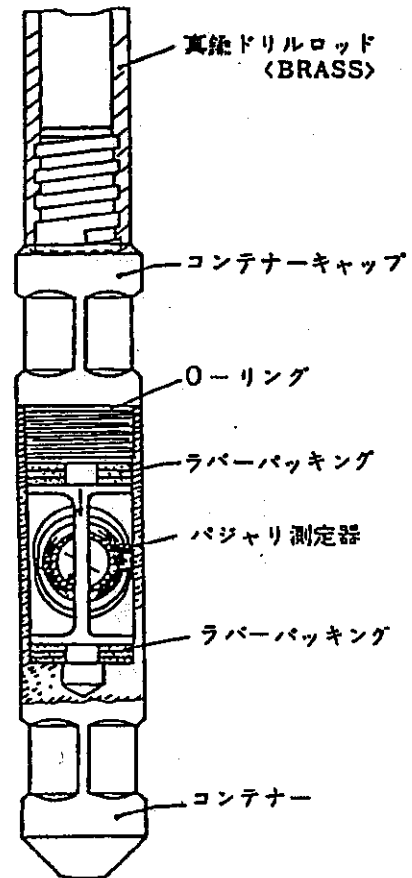


図2.4 トロバリ測定法

・村田式測定機

- (1) 構造 シングルショット、マルチショットの二種あり。傾斜角、方位測定できる。
- (2) 特徴 日本国内唯一のメーカーであり国内実績は多い。
- (3) 仕様

	シングルショット		マルチショット
型式	SR	SS	SR
本体外径	34.5mm	27mm	35.0mm
タイマー	99分		99分

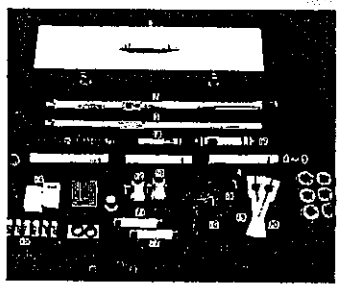
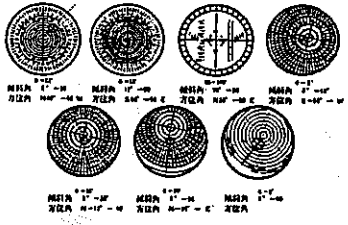
坑井記録傾斜儀 (Single Shot Surveying Instrument)

概要 坑井記録傾斜儀はボーリング孔の傾斜角度、方向及びツールフェイスを同時に写真にて撮影し、現場にて簡単に現像する事が出来る写真式の測定器です。測定部は4つの部分より構成され各機は次の通りです。

- 1 タイマー** 照準時間をコントロールするタイマーであり、エレクトロニクス使用精度±2秒、最高測定時間99分
- 2 カメラビューフ** 電源として乾電池3本を収納するカバー
- 3 カメラレンズ** フィルム、レンズ、ランプを一体化した収納部分
- 4 レンズ保護カバー** 写真の被写体となる傾斜・方向を示す部分であり、内部は全て箱の中で作動する為に記録時間も十分考慮されています。

仕様

TYPE-SR	測定器	34.5mm	1-3/8"
	本体	45mm	1-3/4"
TYPE-SS	測定器	27mm	1-1/8"
	本体	35mm	1-3/8"
適用	TYPE-SS・ヒートシールド		
	MAX OD=25%	1-3/4"	



部品番号	写真機	TYPE	部品名称
1	SR	SS	傾斜測定機本体
2	SR	SS	カメラビューフ
3	SR	SS	カメラレンズ
4	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
5	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
6	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
7	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
8	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
9	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
10	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
11	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
12	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
13	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
14	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
15	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
16	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
17	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
18	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
19	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
20	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
21	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
22	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
23	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
24	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
25	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
26	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
27	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
28	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
29	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
30	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
31	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
32	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
33	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
34	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
35	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
36	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
37	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
38	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
39	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
40	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
41	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
42	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
43	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
44	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
45	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
46	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
47	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
48	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
49	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
50	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
51	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
52	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
53	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
54	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
55	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
56	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
57	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
58	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
59	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
60	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
61	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
62	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
63	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
64	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
65	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
66	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
67	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
68	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
69	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
70	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
71	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
72	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
73	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
74	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
75	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
76	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
77	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
78	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
79	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
80	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
81	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
82	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
83	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
84	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
85	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
86	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
87	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
88	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
89	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
90	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
91	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
92	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
93	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
94	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
95	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
96	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
97	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
98	SR	SS	カメラレンズ保護カバー
99	SR	SS	カメラレンズ保護カバー

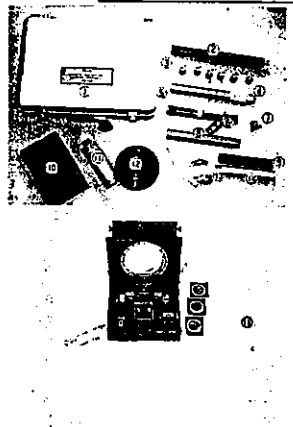
坑井記録傾斜儀 (Multiple Shot Surveying Instrument)

概要 マルチプルショットはボーリング孔の傾斜方向を連続的にロールフィルム(10mm)にて撮影する写真式の測定器です。マルチプルショットはシングルショットのコンバースユニット (SRタイプ355) を利用する事が出来ます。



仕様

外径	35mm	外径	45mm	MAXタイマー	タイマー
全長	100mm(10-100)	コンバース	0-5	0-10	15-100
重量	約2.0kg	タイマー	0-3	0-20	0-100
フィルム	10mmロールフィルム	タイマー	タイマー	タイマー	タイマー



写真機	部品名称	部品番号
1	キャリングケース	2A-2512
2	バッテリーチューブ	2A-3504
3	バッテリー	35A-413 兼2
4	可変式タイマー	2A-3503
5	マルチショットカメラ	2A-1111
6	フィルムカセット	2A-1112
7	レンズコンバースユニット	2A-3506
8	カメラカバー	2A-1113
9	コンバースユニット	3503-100
10	グークバッグ	2A-801
11	保護蓋	2A-1114
12	現像缶	2A-1115
13	レンズ	35A-415
14	10mmロールフィルム	2A-410
15	フィルムリーダー	2A-1116

図2.5 村田式測定機

・ベーカ ヒューズ測定機

(1) 構造 傾斜角と方位測定ができる。シングルショットとマルチショットの二種あり、それぞれ2種類の外径の測定機がある。

(2) 特徴 広く使用されている測定機であり、フィルムに記録が残るの便利である。

(3) 仕様

型式	シングルショット		マルチショット	
	R	E	DMS MMS	
精度 0~20° アングルユニット	±0.1° 傾斜 ±0.4° 方位	±0.1° 傾斜 ±0.4° 方位	±0.1° 傾斜 ±0.4° 方位	±0.1° 傾斜 ±0.4° 方位
測定時間	99分	99分	6時間	8時間
外径	1 3/4"	1 3/8"	1 3/4"	1 3/8"
耐圧	21,000PSI	17,000PSI	26,000PSI	22,000PSI

(2) 製造会社 BAKER HUGHES INTEQ

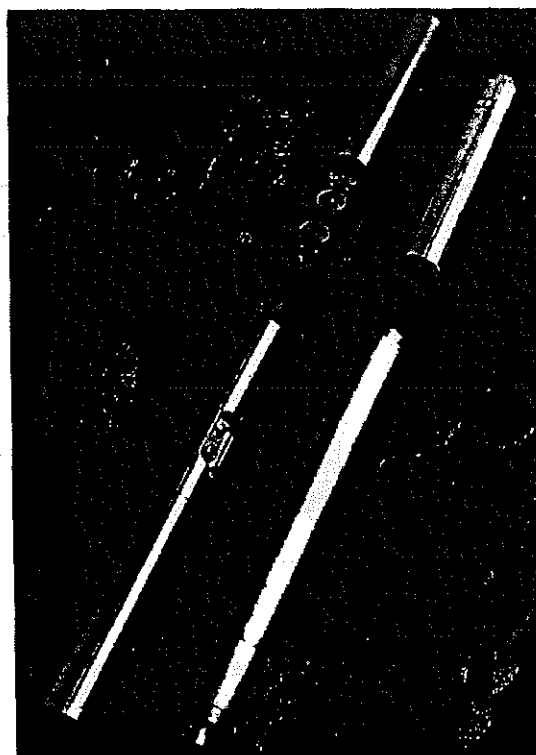
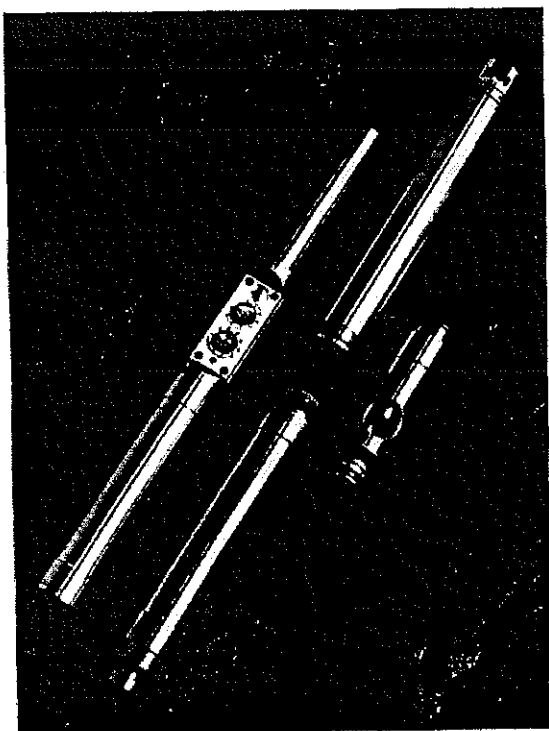


図2.6 BAKER HUGHES INTEQ シングル/マルチショット測定機

・スペリーサン測定機

- (1) 構造 傾斜角と方位の測定ができる。シングルショットとマルチショットの二種あり、それぞれ2種類の外径寸法の測定機がある。
- (2) 特徴 広く使用されている測定機である。
- (3) 仕様 外径 1 3/4" 1 3/8"
 精度 ±0.25° 傾斜角
 ±1.5° 方位
 耐圧 13,500PSI
- (4) 制作会社 SPERRY-SUN DRILLING SERVICES

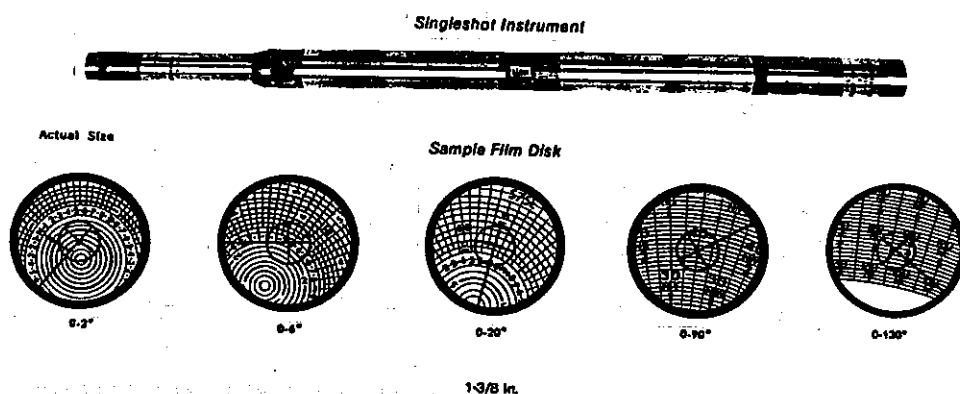


図2.7 スペリーサン シングルショット

・ハンフリー測定機

- (1) 構造 傾斜角と方位の測定機である。シングルショットとマルチショットの二種ある。
- (2) 仕様 外径 1" 1 1/4"

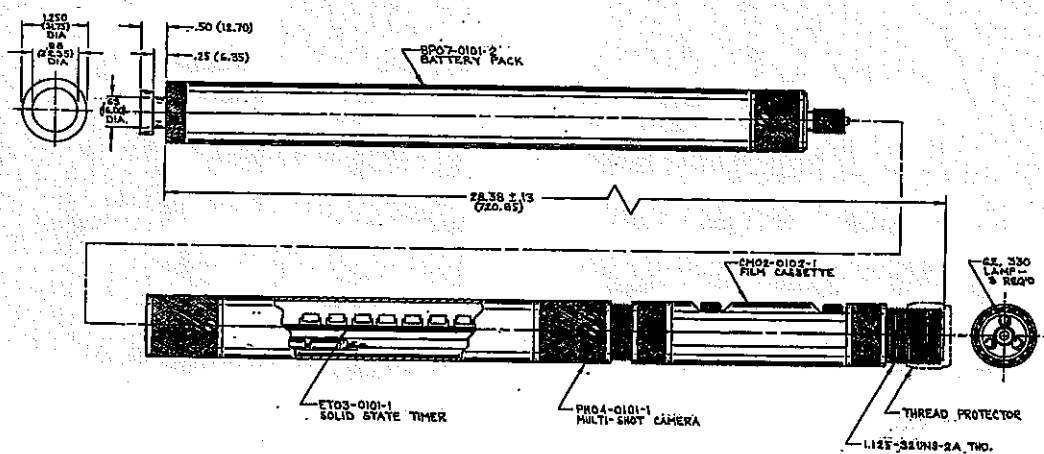


図2.8 HUMPHREY マルチショット カメラ部

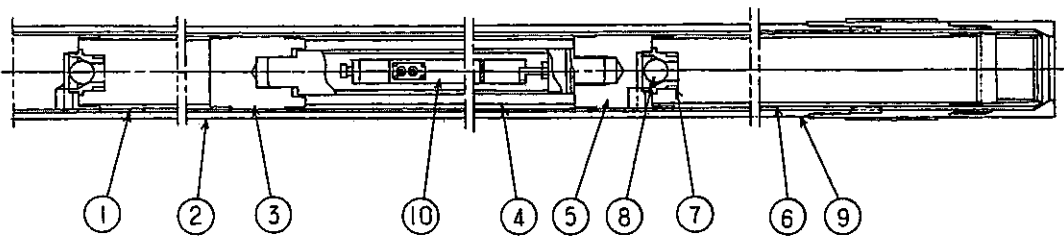
・ワイヤライン工法による孔曲がり測定法

各種測定機は、孔内に降し測定するわけで、掘削と測定は別サイクルの作業になっている。主にワイヤライン工法に於ける掘削と測定機による計測を、組合せたシステムが開発されている。システムとして次の三種類がある。

- (1) ワイヤラインにてコアリング終了し、オーバショットにてコア回収後、測定機をオーバショットにて降下させ、アウトチューブ内にて測定を行う。当然アウトチューブは非磁性体の材料にて製作されている。
- (2) 上記と同様なステップで、オーバショットにて吊り降ろされた測定機は、ビットを通過させ裸孔内にて計測する。この場合はアウトチューブは非磁性体である必要はない。
- (3) コアリングと測定を連続的に作業する工法が開発されている。測定機のタイマーの範囲内にて作業を完了させる考え方である。測定機をワイヤラインシステムのインナチューブ上部に組込みます。オーバショットにより所定の位置まで降します。コアリング作業を初めて、タイマーセット終了時間前にコアリング作業を終了し、測定を行う。測定完了後オーバショットにて、測定機を回収する。測定機とインナチューブの位置関係を固定することにより、コアのオリエンテーションを知ることにも出来る。深度が深い場合に水頭圧以外に循環水圧がかかるので測定機収納ケースの耐圧に注意する必要がある。

上記の各種計測法はエヌエルシーにて開発され使用に供されている。

1000mの清水掘削に於ける測定法としては、(1)の測定法を勧めたい。孔内保孔の不安定さから測定機の回収困難さと掘削のスピードを考えると(2)、(3)は問題が生じる危険性があると判断する。



- | | | |
|-----------------|----------------|---------------|
| ①インナチューブ アッパー | ④インナチューブセンター | ⑦チェックバルブボテイ |
| ②アウトチューブ(アッパー) | ⑤インナチューブロアキャップ | ⑧ステンレススチールボール |
| ③インナチューブセンタキャップ | ⑥インナチューブロア | ⑨アウトチューブロア |
| | | ⑩マルチショット測定機 |

図2.9 ワイヤライン工法による孔曲り測定 (ロアエンド)

2.2.3 孔曲げ工法

掘削を初期の目的の方向に掘削出来る様に、孔曲がり防止対策を実施しても、測定結果として、孔曲がりが発生していることがある。孔曲がりを修正する技術を確率することが、掘削を完遂するために必要である。孔曲げ工法として次の2種類がある。

- (1) ウェッジ工法
- (2) ダウンホールモータによる孔曲げ工法
(次節にて取り上げる)

・ウェッジ工法

- (1) 種類
 - ・ホールローウェッジ
 - ・ケーシングウェッジ
 - ・クラピソンウェッジ

- (2) 構造
 - ・ホールローウェッジ

一般的に木栓式と呼ばれるものである。木栓とウェッジを孔底に固定し、ウェッジの傾斜に沿ってビットを進ませて孔を曲げるもの

- ・ケーシングウェッジ

ケーシングの下部に、主にパイプの張り合わせ溶接にて製作したウェッジを取りつけて使用する。孔底部木栓等で固定し、ケーシング内を通して孔径より1段径の小さいビットにて、ウェッジに沿って進ませて孔を曲げるもの。

- ・クラピソンウェッジ

ウェッジを繰り返し使用出来る様になっている。ウェッジが回収されるので、孔曲げ後も同一径にて掘削ができる。

- (3) 問題点
 - ・ケーシングウェッジは孔曲げ後掘削径を小さくしなければならない。ホールローウェッジとクラピソンウェッジは孔径を維持できる。
 - ・ホールローウェッジとケーシングウェッジ使用の場合に、ウェッジ本体の回転防止のために、セメント等で固定する必要がある。このことにより孔内汚染発生の問題が生じる。
 - ・超硬岩の場合、岩の方が鉄製ウェッジより硬く、そのためリーミングビットが岩の方でなくウェッジを切削してしまい、孔曲げが出来なくなる。

・ 柔らかい地層の場合、ウェッジの固定が充分出来ないために、孔曲げが出来ない。

- (4) サ イ ズ どの様なサイズにも対応出来る。
- (5) 掘削方向 基本的にどの様な方向の掘削に適応できる。
- (6) ま と め 1000mの掘削に於いては、その特性からいって、クラピソンウェッジの技術を採用することが望ましい。

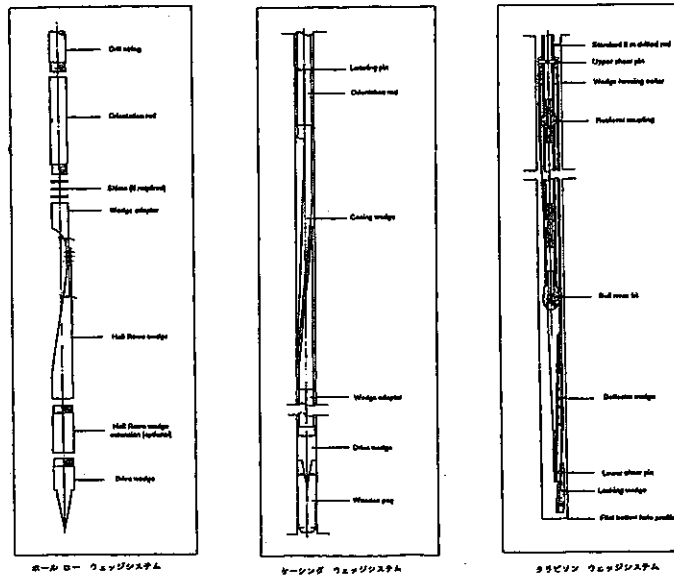


図2.10 各種ウェッジシステム

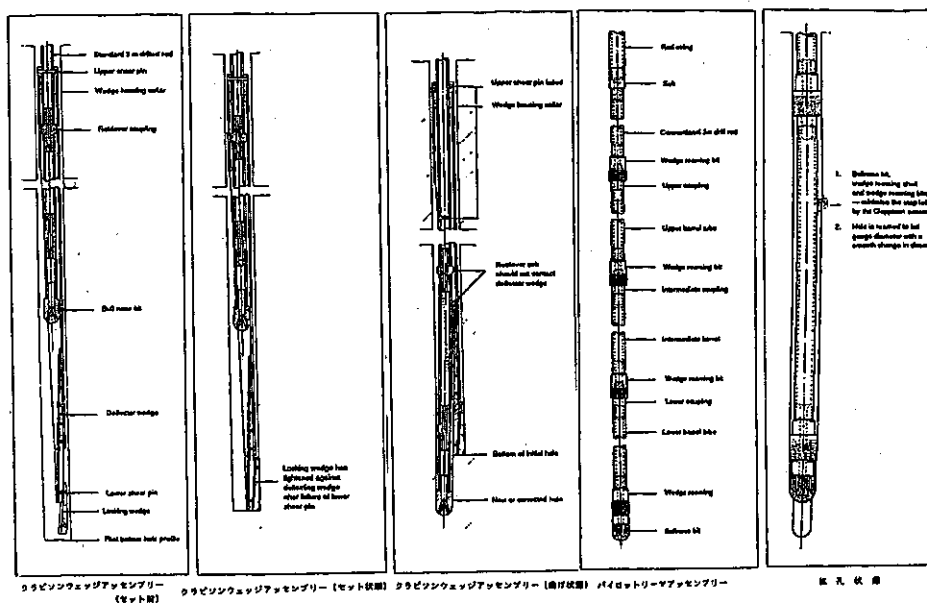


図2.11 クラピソンウェッジ使用法

2.3 先端駆動掘削技術

2.3.1 現況

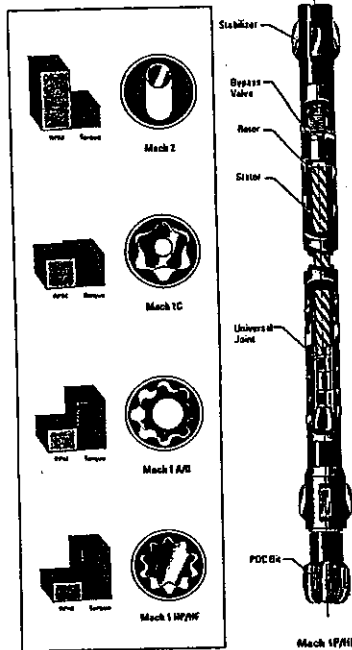
先端駆動は一般にダウンホール・モータと呼ばれている。掘削時ビットの回転を、地上の掘削機による回転から、ドリルロットを經由し、ビットに回転を伝達する方法と、循環流体の流体エネルギーを、ビット上部に組込まれたモータの回転力として、ビットに伝達する方法がある。後者をダウンホール・モータという。

ダウンホール・モータが開発された意図としては、次の様な点を上げることができる。

- (1) 深度が深くなるにつれて、ビットへの回転伝達効率が悪くなる。
- (2) ドリルロット等回転伝達系統部の疲労と摩耗を軽減したい。
- (3) ケーシングとドリルロットの接触によりケーシングの摩耗を回避したい。
- (4) 掘削機の回転トルクが大きくなるのを防ぎたい。

現在ダウンホール・モータは、20年以上前に開発されてから、種々の改良がなされており、特に孔曲げ工法の重量な位置をしめている。ダウンホール・モータは、その構造から2種類あり、タービン型モータとPDM (POSITIVE DISPLACEMENT MOTER) 型がある。二種とも循環水をポンプにて送り、タービン・ロータに回転を与え、ビットを回転するものである。硬岩掘削に於いて、ダイヤモンドビットの使用が出来るために、その期待が高い。しかしながらダウンホールモータの耐久性、特にベアリング部の耐久性に問題があるために、連続的に掘削に使用されるよりも、孔曲げ工法に使用されることが多い。しかしながら学術ボーリングに於ける超深度掘削に於けるダウンホールモータが使用されている。(KTB、コラ半島) 又ワイヤライン工法とダウンホールモータとの組合せについても研究が進んでおり、注目すべきことと思う。

Eastman Navi-Drill Motors



The Power Inside the System

A simple, rugged drilling tool, Navi-Drill provides power to turn the bit at predictable levels of torque and rotating speed. Navi-Drill motors are available for drilling hole sizes from 1 1/2" to 20" and operate efficiently and reliably in all types of drilling fluids, including air and foam.

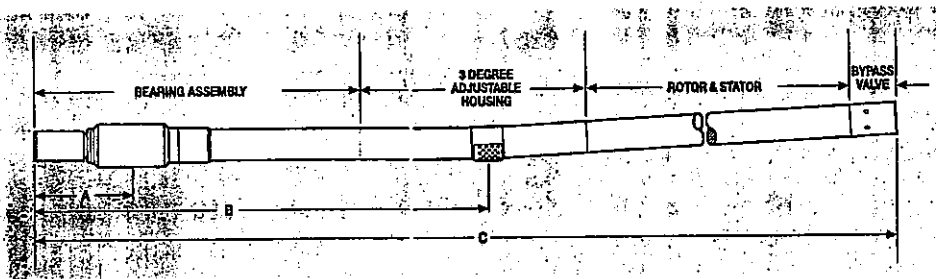
To assure ultimate quality, Baker Hughes INTEQ maintains careful control over research, engineering and manufacture of critical motor parts, including rotors, stators, housings, drive shafts and radial bearings.

Navi-Drill designs:

- Mach 2 motor, 1-3 lobe design, for medium speed and torque in straight holes, harder formations and extended reach wells
- Mach 1C, a 5-6 lobe motor, provides high torque at low speeds for directional and performance drilling with roller cone and PDC bits
- Mach 1AD, for drilling with air, foam and win
- Mach 1 MPWF, generates high torque at flow rates as high as 1200 gpm for larger sizes

TRUDRIL

SPECIFICATIONS



Patent No. 4,184,342

図2.12 各社ダウンホールモータ

表2.2 各社ダウンホールモータ仕様 (外径4 3/4以下)

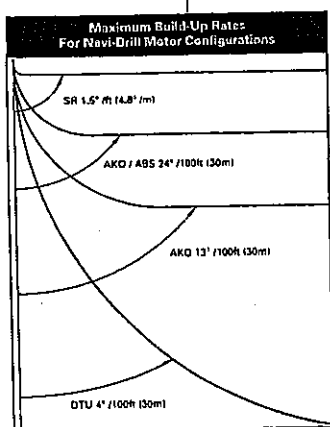
型式	外径 inch	孔径 inch	ポンプ量 GPM	回転数 RPM	最大差圧 PSI	最大トルク Ft · Lbs	最大出力 HP	効率 %	長さ Ft	重量 LBS
BAKER HUGHES INTEQ NAVI DRILL										
MACH1	3 3/4	4 1/4~5 7/8	65~185	120~340	800	890	58	67	16.1	440
MACH1	4 3/4	6~7 7/8	80~240	100~300	725	1180	67	68	18.5	710
MACH2	1 3/4	1 7/8~2 3/8	20~50	830~2100	580	30	12	71	8.9	49
MACH2	2 3/8	2 7/8~3 1/2	25~80	550~1650	870	95	30	75	13.1	180
MACH2	3 3/4	4 1/4~5 7/8	65~210	250~800	725	480	73	82	20.8	460
MACH2	4 3/4	6~7 7/8	80~265	195~650	725	740	92	83	22.6	840
MACH3	3 3/4	4 1/4~5 7/8	60~160	340~890	725	320	54	81	16.7	400
MACH3	4 3/4	6~7 7/8	80~310	280~750	725	530	76	85	17.4	680
SMITH DYNA DRILL										
F2000S	4 3/4	6 1/2~7 1/2	180~250	85~125	300	1200	29		21.3	1025
DELTA 1000	2 3/4	3~4 5/8	40~80	790~1590	940	112	33		13.0	145
DELTA 1000	3 7/8	4 3/4~6	75~175	320~745	750	455	65		22.1	530
TRUDRILL										
HIGH SPEED	2 3/8	3 1/2~4 1/2	~50	~1375	875	85			12.5	
HIGH SPEED	2 7/8	3 1/2~4 1/2	~70	~800	650	155			13.6	
HIGH SPEED	3 3/8	4 1/2~6	~100	~650	690	275			12.2	
HIGH SPEED	4 3/4	6~7 7/8	~200	~450	375	450			16.4	
LOW SPEED	2 7/8	3 1/2~4 1/2	~80	~475	500	200			9.4	
	3 3/8	4 1/2~6	~110	~365	720	550			17.1	
	4 3/4	6~7 7/8	~250	~145	360	1375			18.6	
MALLEY										
DM-100	3 1/2	3 7/8~5 7/8	50~150	175~560	450	300	32		12	300
DM-100	4 3/4	6~7 7/8	100~250	56~212	450	1300	52		20.4	1000
BECFIELD DRILLINGSERVICES										
MEDIUM	2 7/8		30~110	120~470	450	225			10.0	
MEDIUM	3 1/2		70~120	231~396	300	500			14.9	
HIGH	3 1/2		90~120	563~750	350	275			18.6	
MEDIUM	4 3/4		100~250	110~275	350	1200			16.5	
HIGH	4 3/4		100~250	320~800	400	425			18.8	
SCHOELLERBLECKMANN										
P360	1 3/4	1 7/8~2 1/2	20~35	720~1750	465	25	8		8	40
P360	2 3/8	2 7/8~3 1/4	30~55	550~1370	700	80	13		13	180
P360	2 7/8	3 1/4~	35~75	485~1200	700	135	31		13	210
P360	3 3/4	4 1/8~5 1/2	60~140	190~520	580	425	42		21	665
P360	4 3/4	5 3/4~7 7/8	100~200	140~370	410	525	37		19.5	990
SPERRY-SUN										
	1 3/4	1 7/8~2 3/4	10~20	620~1240	575	25				
	1 3/4	1 7/8~2 3/4	10~20	310~620	285	25				
	2 3/8	2 7/8~3 1/2	20~50	550~1375	875	95				
	2 3/8	2 7/8~3 1/2	20~50	274~685	440	85				
	2 3/8	2 7/8~3 1/2	20~50	160~400	380	115				
	2 7/8	2 7/8~3 1/2	20~70	300~1050	835	153				
	2 7/8	3 1/8~4 1/8	20~70	225~787	650	153				
	2 7/8	3 1/8~4 1/8	20~80	120~480	500	203				
	3 3/8	3 7/8~4 3/4	20~100	195~650	685	280				
	3 3/8	3 7/8~4 3/4	20~110	98~360	725	553				
	3 3/8	3 7/8~4 3/4	20~110	48~176	480	683				
	3 5/8	4~5 7/8	80~140	242~565	550	362				
	3 5/8	4~5 7/8	80~160	128~256	770	768				
	3 5/8	4~5 7/8	80~160	68~136	375	965				
	4 3/4	5 7/8~7 7/8	100~200	225~450	380	440				
	4 3/4	5 7/8~7 7/8	100~250	105~262	500	1192				
	4 3/4	5 7/8~7 7/8	100~250	56~140	360	1445				
NEYRFOR										
SBTURBO T2	4 3/4		~475	~1190		265	60			
TURBO T2	4 3/4		~160	~1190		265	60			
VM5000	4 3/4		~185	~590		386	43			

2.3.2 ダウンホールモータを使用した孔曲げ工法 (図2.13)

ダウンホールモータとベアリングユニット (ビット側) の中間部に、ベントサブと称する偏孔具を取り付ける。偏孔角は一般に4度以内に調節する。ダウンホールモータを孔底に降し、循環水にてビットを回転する。偏孔角によってビットの方向が変わり孔曲げを行うものである。このベントサブの形状および組合せにより、垂直孔より水平孔にまで孔曲げ出来る様に技術開発されている。ダウンホールモータの使用は、循環水の量及び水圧にて、タービン又はロータに回転を与えるものであるため、多量の循環水が必要である。この多量の循環水が、孔底から地上に戻る間に、孔壁を荒すことが、清水掘削に於ける問題となってくる。ダウンホールモータを製作として各社とも、孔曲げ用ツールを用意している。

Navi-Drill Motor Configurations

Incorporating Factman Navi Drill motors with a variety of adjustable kick-off sub, adjustable motor sections, Baker Hughes H81143 steerable systems achieve a range of build rates.



Short Radius Motor
 • BH Offset Device:
 Adjustable Kick-Off Sub,
 Adjustable Motor Sections
 • Power Section:
 Modified Navi-Drill Mech 1
 • Build Rate:
 40 to 100 ft (12-30m) radius



AKO/ABS Motor
 • BH Offset Device:
 Adjustable Kick-Off Sub and
 Adjustable Motor Etc
 • Power Section:
 Navi-Drill Mech 1
 • Build Rate:
 10' to 24' (3m to 7.3m)



AKO Steerable Motor
 • BH Offset Device:
 Rigless Adjustable Kick-Off Sub
 • Power Section:
 Navi-Drill Mech 1 or Mech 2
 • Build Rate:
 2' to 12' (0.6m to 3.7m)



DTU Steerable Motor
 • BH Offset Device:
 Double Third Joint Housing
 • Power Section:
 Navi-Drill Mech 1 or Mech 2
 • Build Rate:
 1' to 4' (0.3m to 1.2m)



図2.13 NAVI-DRILL 孔曲げ工法

2.4 コアの採取方法及びコア径・コア方位

2.4.1 コアの採取方法及びコア径

現存する掘削工法で、1000m清水掘削を考えると、ワイヤライン工法しかないと思う。ワイヤライン、コアバーレルの種類として、二重管式、三重管式、薄肉型式、重荷重型式がある。

- ・二重管式 一般的なワイヤライン装置でスイベルタイプのコアバーレルである。
- ・三重管式 インナチューブの内側に薄肉で二ツ割のチューブが入っており、コアを取り出す際にピストンでインナチューブから押し出すので破碎帯のコアを乱さないで採取できる。
- ・薄肉型式 孔径とコア径の差、ビットのカーフの断面を小さくして、掘進率の向上を図ったもの。
- ・重荷重型式 ロット、コアバーレルの強度向上を図って深度の深いワイヤライン工法に適する様にしたもの。

表2.3各社ワイヤライン寸法表

型式名	呼称	孔径	コア径	ロット			製造会社
				外径	内径	ジョイント内径	
標準	NQ-WL	75.69	47.62	69.9	60.3		NLC・トネ
	HQ-WL	98.34	63.5	88.9	77.8		NLC・トネ
	PQ-WL	112.81	84.96	114.3	103.2		NLC
三重管	NQ3WL	75.69	45.08	69.9	60.3		NLC
	HQ3WL	98.4	61.11	88.9	77.8		NLC
	PQ3WL	122.81	83.06	114.3	103.2		NLC
薄肉	NQ-TK	75.69	50.67	69.9	60.3		NLC
	HQ-TK	93.68	66.17	88.9	77.8		NLC
重荷重	NQNS	75.69	43.5	69.9	57.9	54.9	NLC
	HQNS	98.4	55.8	88.9	77.4	73.4	NLC
	CHD101	101.3	63.5	94.0	83.0	78.4	NLC
	CHD134	134.0	85.0	127.0	114.3	104.8	NLC
	NTG	75.7	41.0	70.0	60.3	54.0	トネ
	HTG	98.4	57.0	89.0	77.8	70.0	トネ
	94	101.35	60.96	94	83	78.5	クリステンセンボイレス

2.4.2 コアオリエンテーション

掘削後孔内より回収されたコアの方位を知ることは、地質の調査に於いて重要なことである。従来コアの方位を見る手段として、孔底に残されたコアの破断面を、多数の触手をもった計測具を孔底に降し、破断形状を触手のはいりに移し、地上にて破断面を確認し方位を決めていた。この方法は、作業性もたいへんであり、ロットの揚降の際に位置のずれが生じ、方位の誤差が生じてしまう欠点を持っていた。現在では、孔曲がり測定機と組合せて、コアのオリエンテーションを測定する方法がとられている。石油用のコアバーレルと組合せたものと、ワイヤライン工法と組合せものを紹介する。ワイヤライン工法用としてNQ、HQサイズのものが開発されている。両者とも、コアにキズを入れるもので、柔らかい地層及破碎帯でのオリエンテーションは難しいといえる。

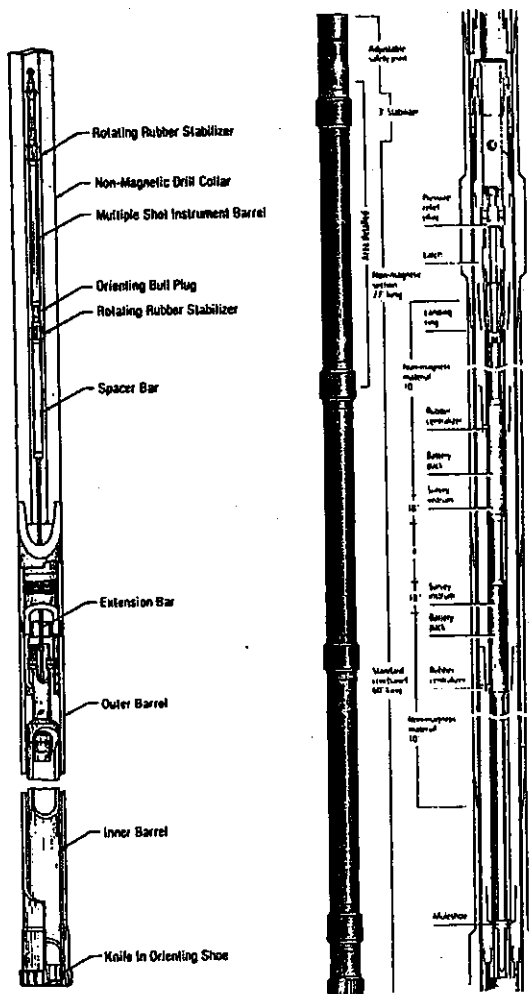


図2.14 BAKER HUGHES INTQ/
DBSのコアオリエンテーション

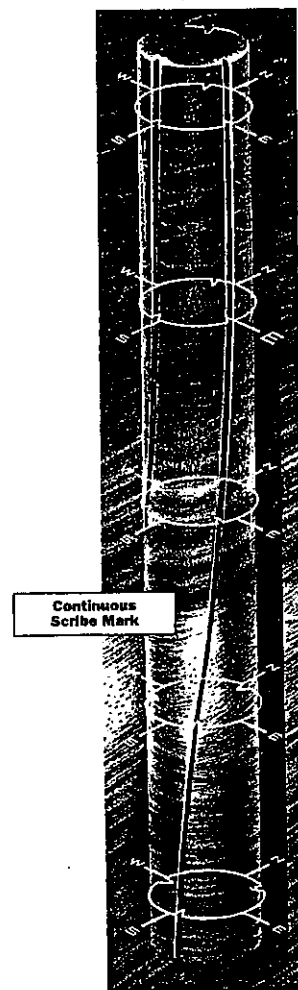


図2.15 CHRISTENSEN BOYLESの
コアオリエンテーション

2.5 まとめ

孔曲がり制御技術について、現況の技術について述べてきたが、1000m清水掘削に於いて考慮しなければならないのは、孔を曲げないで掘る技術の確率しかないわけである。

今後の技術開発を含めた、孔曲がり制御技術の方向として、次の二点を強調したい。

- (1) フルフォールワイヤライン工法の技術習得及びビット・リーマを含めた、スタビライジング機構の開発。
- (2) 将来的に向って、ダウンホールモータを使用したワイヤラインシステムの開発。このシステムは、清水循環のため十分な保孔が難しいなかにあつて、ロットを回さないで掘削できることは、大いなる利点となる。

最新の技術として開発されたものとしてVDS(Vertical Drilling System)がある。

本技術はKTBプロジェクト用に開発されたもので、ダウンホールモータとMWDシステム、孔曲がり用システムが一体化されたものをドリルパイプに接続して掘削するものである。目的とし垂直掘削を確保するために孔の状況を測定し、孔曲がりを制御しながら掘削するものである。KTBプロジェクトでは7200m迄の掘削実績がある。但しサイズの12 1/4インチであり、HQサイズの掘削に適用できるものではないが、将来主流になる技術であるので、今後の開発の動向に注視すべきである。

本VDSシステムは、BAKER HUGHES INTEQ社が開発したものである。

3. 保孔方法に関するハードウェア調査 (1000m級の試錐孔)

3. 保孔方法に関するハードウェア調査（1000m級の試錐孔）

3.1 はじめに

清水を主体とした循環水で、ワイヤライン工法を採用し、深度1000m級の掘削を安全、確実に施行する技術は現時点では確立されていない。

特に日本の地層が多岐にわたって、硬軟混った地層、崩壊性のある地層、湧水、逸水層と、確実な掘削を保證する孔の保孔が困難であることから、清水掘削の困難さがあるわけである。この保孔技術が確立されていないために、孔の崩壊が生じ、掘削の継続が出来なかったことは、多くの例から明らかである。

保孔技術の種類として

- (1) ケーシング工法
- (2) グラウト工法

の二つの工法について、現状と技術開発すべきテーマについて述べたい。

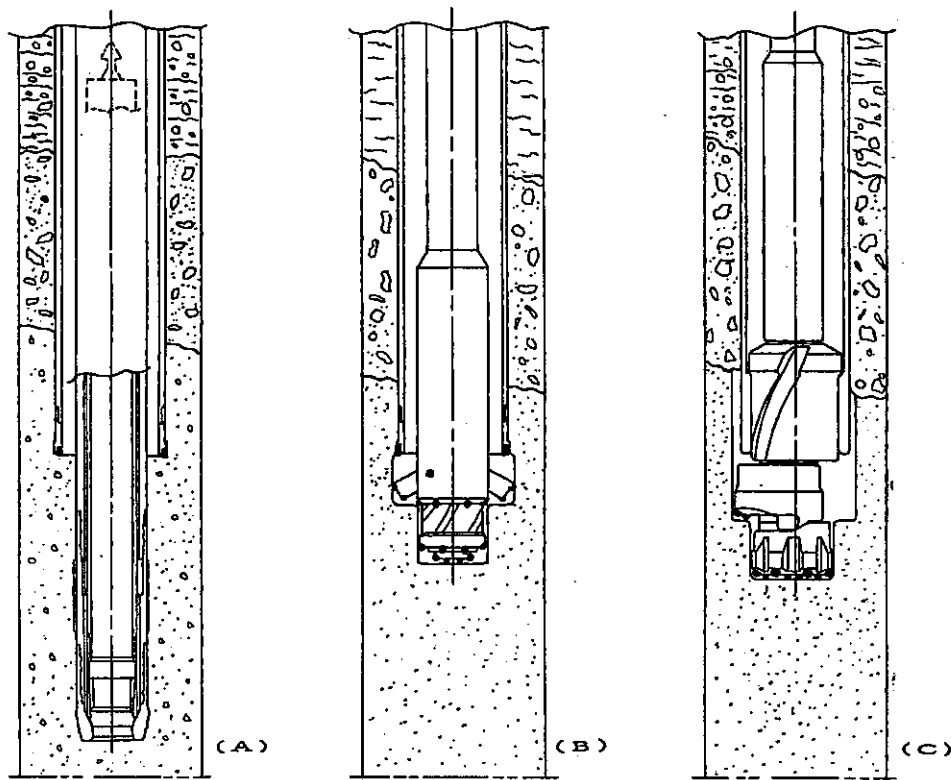
3.2 ケーシング工法

3.2.1 ケーシング工法と問題点

ケーシング工法は、目的深度まで掘削を完成させる間、地層の崩壊や押出し、湧水、逸水などを、ケーシング挿入により防止して掘削する工法である。孔壁保護つまり保孔という意味でその効果は保孔技術としては最良の方法である。しかし次のような欠点がある。

- ① ケーシング挿入ごとに孔径が小さくなり、掘削ツールをそのたびに変更しなければならない。
- ② ケーシング挿入および回収の手間を必要とし、回収不能でケーシングを孔内放棄する場合もある。
- ③ ケーシング挿入および回収の機材を必要とし、初期投資が大きい。(多重管ケーシングになった場合のケーシング管の費用は大きくなる。)
- ④ ケーシングが挿入されていると、測定が不可能となる検層が多い。

この様なことから、ケーシングの挿入は、極力少なくするよう努力することが望ましい。



(A) ケーシング工法
ワイヤーラインシステムとの組合せ
(B) ケーシングアンダーリーマ工法
(C) TUBEX/ODEX工法

図3.1 各種ケーシング工法

3.2.2 ケーシング挿入位置

第1段目（口元ケーシング）

- ・地表部の表土層や砂礫層などの、末固結層の崩壊防止のため挿入。
- ・岩盤の風化帯の崩壊防止や逸水防止のため、新鮮な岩盤に達するまで挿入する。（深度によっては、第2段ケーシングを挿入）

第2段目（中間ケーシング）

第2段目（第3段目）以降は、岩盤の崩壊、押出、湧水、逸水層などに挿入される。崩壊を起こしやすい地質は、膨潤性岩石、破碎帯、固結度の低い砂、砂礫などがある。

目的深度と地質条件ではケーシングの段数が増え、多重管ケーシングが必要となる。

掘削計画に於いて、事前に地層を予測し、ケーシングプログラムを設置することは、非常に困難な作業となろう。

3.2.3 ケーシング工法の検討

一般にケーシング挿入が必要となる地質条件のボーリング掘削では、調泥材を使用し、セメンテーションやケミカルグラウトを併用して掘削を進め、ケーシングの挿入を少なくするよう努力する。

今回の清水掘りによる1000m級深度の掘削となると、孔壁の保護はケーシングに頼らざる得ず、当然のことながら多重管ケーシング工法が必要となる。

多重管ケーシング工法の問題点として上げると、次の様になる。

- ・ケーシングプログラムを事前に組みにくい。
- ・拡孔時に清水掘削ではスライムの排出に問題がある。
- ・拡孔後のコアリングに際して仮ケーシングが必要となる。

これらの問題点を踏まえ、如何に少ないケーシングで1000mを掘削するか検討を加えた。HQワイヤラインで1000m掘削する場合、口元管を除き、1段のケーシング（HWケーシング）で掘削するにはどのようなシステム、ツールの改善が必要か検討し、HQワイヤラインとHWケーシングの二重管工法による、1000m級清水掘りの新システムについて提案したい。

二重管工法は、次の新システムの組合せで行う。

- ・ケーシング追い切り工法の新システム
- ・スライム・崩壊物排出の新システム

3.2.4 ケーシング追い切り工法の新システム

ケーシング追い切り工法の新システムとして、次の装置の導入やツールズを使用する。

- ・ケーシングローテータ（ケーシング常時回転装置）等の導入
- ・硬岩用アンダリーマ

(1) ケーシングローテータの導入（図3.2）

挿入したケーシングを延長しようとした場合、ケーシングが動かず再延長出来ないケースが多い。

原因は崩壊物、押し出しやスライムの沈殿でケーシングが抑えられるためである。

この問題を解決するために次の装置を使用する。

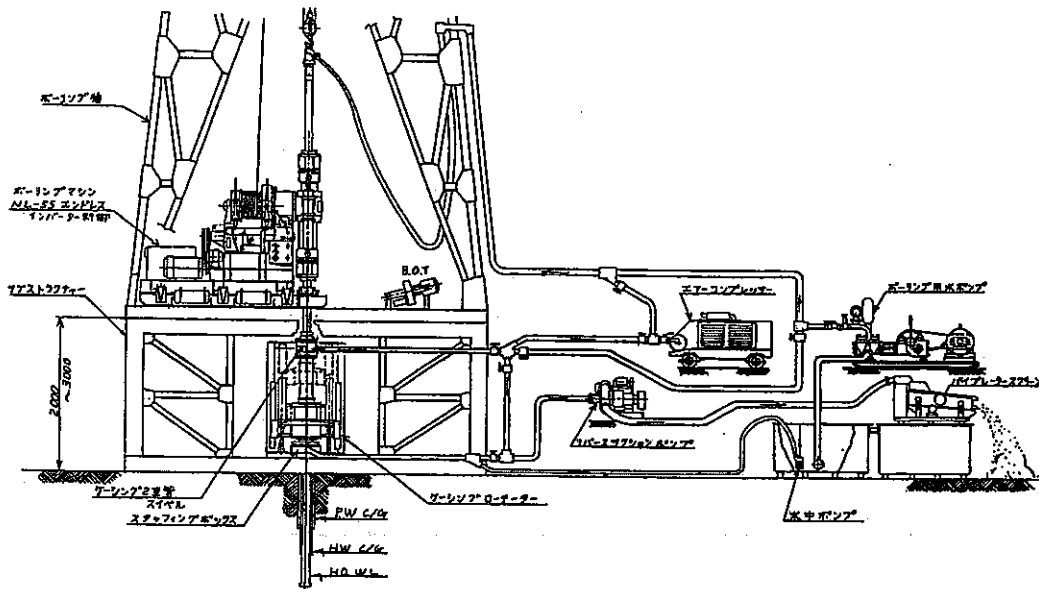


図3.2 ケーシングローテータ構成図

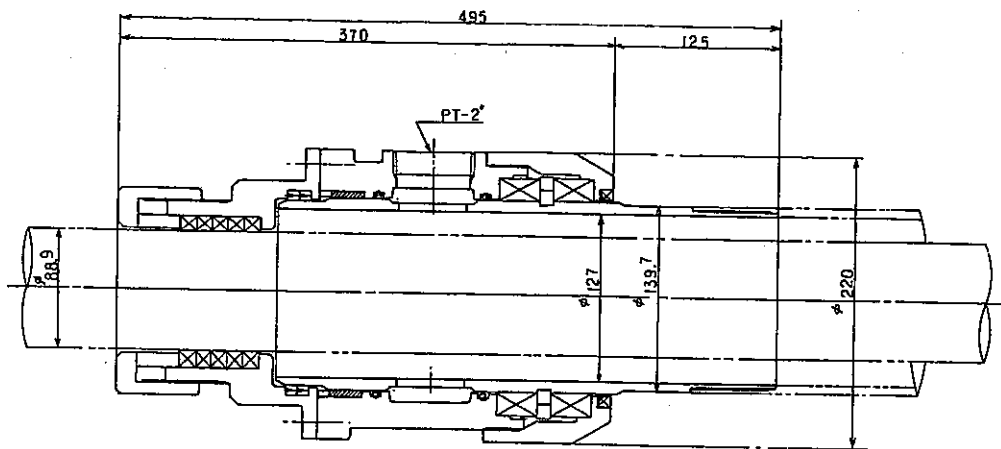


図3.3 口元装置、ケーシングスタッキングボックス

- ・ケーシングローテータ
- ・口元装置及び専用サクシヨンポンプとエアコンプレッサー
- ・サブストラクチャー

これらの装置の構造及び使用目的は次のとおり

- ・ケーシングローテータ

PW、HWケーシングを常時低速で回転させる装置

- ・口元装置及び専用サクシヨンポンプとエアコンプレッサー

口元ケーシングとHWケーシングに口元装置（ケーシングスタッフィングボックス）を取付け専用ポンプとエアコンプレッサーで清水を逆循環させスライムを排出を促進させる。（詳細は別章にて記述しております）

これらの装置を使用し、常時ケーシングを回転させ循環水を送水することにより、ケーシングの再延長を可能にする。

3.2.5 アンダリーマによる拡孔

ケーシングを再延長する場合、次の方法が行われる。

- ① ケーシングシュービットによる追い切り拡孔
- ② ケーシングを抜管して拡孔ビット、ホールオープナによる拡孔

各々の問題点は、①拡孔が確かにインプリグネイテッドビットが良くなってきているが、ビットライフに限定される。②ケーシングの抜管、挿入の手間がかかる。

これ等の対策として、硬岩用アンダリーマを使用する。

アンダリーマの使用により、ケーシングの下部の拡孔が容易になり、延長の際のケーシングの揚降は不要となる。上記したケーシング追い切り工法の新システムの開発を図ることにより、HWケーシングをより深く延長させ、抜管が容易になる。

アンダリーマについては、ダウンホールハンマーを使用し、ケーシング尻を拡孔する方式があるが、この方式では、口切りよりケーシングと一体化し掘削し、所定の深度まで掘削したら、ケーシングを孔底に残し、ハンマー部をケーシング内より回収する方式である。ケーシング追切り工法としては採用出来ない。

石油掘削に於けるアンダリーマは、基本的に推積層の軟かい層の拡孔に使用されるもので、この種のアンダリーマは数社が製作している。（図3.4）カッターにロックビット形状のものとミーリングカッター形状のものがある。両者ともボディ径が大きく又硬岩

対応のものはないので、ダイヤモンド刃先を持つアンダリーマは開発すべきアイテムである。

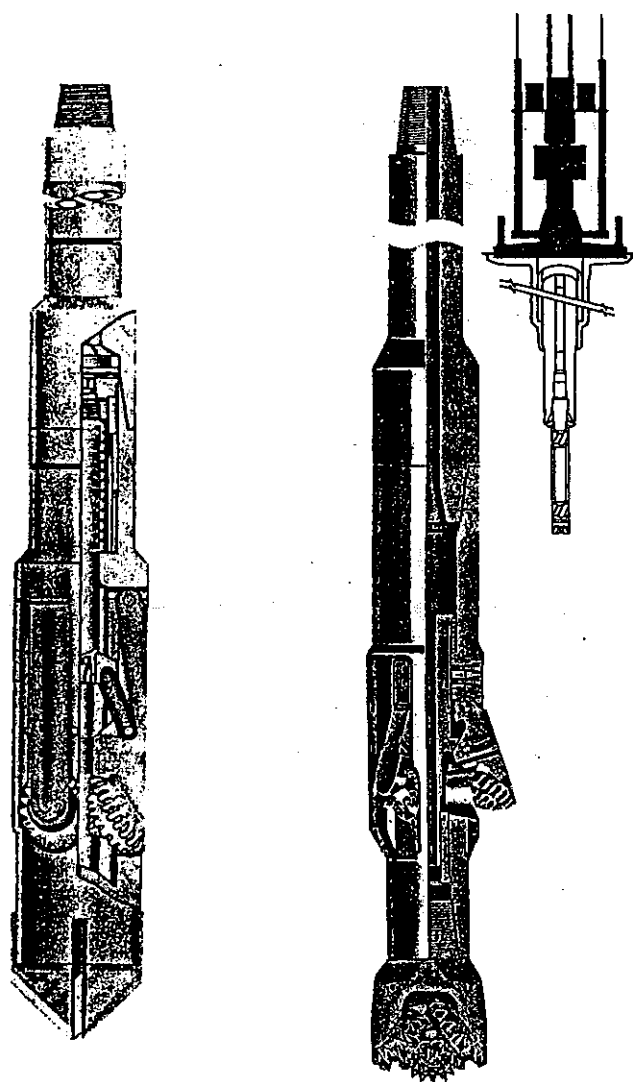


図3.4 A-Z GRANT INTERNATIONAL / SERVCO のアンダリーマ

3.2.6 部分ケーシング工法

本工法については何ら確立された技術はない。1000m以上の深度の掘削を考えた場合絶対に必要となる技術である。

ここで言う部分ケーシング工法とは、必要な部分で孔を拡孔し崩壊層、逸水層、湧水層に何らかの手段で保孔をし掘削の継続を図ろうとするものである。部分ケーシング工法の概要は次の様な仕様になるであろう。

(1)サイズ

PWケーシング、HWケーシングの替りになるものであること。

(2)形状

- ・崩壊防止を図るためにメクラ状のもので保孔する。
- ・崩壊防止を図るためにストレーナ形状をもったものを使用する。
(水の流入を妨げない)
- ・網目状のものを孔壁にセットする。

(3)システム

- ・メカニカル方式でセットする。
- ・パッカー等により拡張セットする。
- ・スプリング性を持ったパイプを縦割りにし、所定の位置まで収納状態で降し、所定の位置で拡孔し孔径に沿ってセットする。

(4)長さ

極部的（例えば1m以内）か長い区間（何十m）によって対応のしかたが異なってくる。いずれのシステムを使っても1~2mの極部的な保孔にしかないであろう。

(5)材質

鉄製にしる樹脂類、繊維製のものにしる、地下水を汚染の発生をさせないものが絶対要件となる。

(6)固定法

- ・裏込めによる
- ・使用可能なグラウト剤による
- ・メカニカル法による

本部分ケーシング工法は、基本的に前述したケーシング追い切り工法で開発するアンダ

リーマを使用し、所定の位置を拡孔し、この拡孔部をいかなる手段にて保孔するかということであり、対応は色々あるが、実用化のためには多くの時間をかけ検討を加える必要がある。しかしながら、前述した様に絶対に技術開発しなければ、清水による深部掘削は不可能である。

本部分ケーシング工法は、ケーシング工法と組合せて、状況により使い分け、併用して保孔技術として確立させるべきである。

3.3 グラウト工法

グラウト材を使用して保孔できるのであれば、清水による深部掘削は問題の少ない掘削となるわけである。地下水の汚染の回避を前提とした場合、基本的にグラウト剤の使用が不可となれば、グラウト工法を保孔技術として取り上げる意味がなくなるわけです。

しかしながら部分保孔に於いてグラウト剤をパックに収納し孔内に設備し保孔の働きをさせることも可能ではないかとも、考えられる。部分保孔とグラウトとの組合せについても検討を加える必要はある。

3.4 まとめ

清水掘削に於ける保孔技術は確立した技術はないのが現状である。

保孔技術確立のための技術課題として前述したことをまとめると、

早急に取りくむべき課題

- (1) ケーシングローテータの実用化
- (2) 口元装置を含めて循環水路系の新システム確立
- (3) 硬岩用アンダリーマの実用化

長期的に取りくむべき課題

部分ケーシング工法の実用化

保孔技術としては、ケーシング工法が主体となってくる。このことから、ケーシング工法を作業性良く応用するには、掘削機についても、PWケーシング貫通できる試錐機、あるいはトップドライブ方式の掘削機の採用が不可欠となる。今後のプロジェクトを進めるに当り、個々技術だけで常トータルの掘削システムとしてとらえて進むべきである。

4. 水質に影響の少ない泥剤の調査

4. 水質に影響の少ない泥剤の調査

4.1 はじめに

近年掘削深度が深くなり、この掘削を成功に導く大きな要因の一つは、泥水の働きに負うところが大きい。

掘削に於いては、掘り屑を地上へ送り出すために流体を循環するわけであり、初めは水だけを循環流体として使っていた。しかし水だけでは、孔内の崩壊、掘り屑の沈殿、逸水、湧水等種々の問題が発生し、掘削の継続が出来なくなることが多くなってきた。

これらの問題を解決する手段として、泥水に関する研究、つまり掘り屑の上昇速度の確保、孔壁の保護等の研究により各種の泥水が開発されたわけである。

泥水を循環流体として使用することにより得られた効果は次の通りである。

- (1) 掘り屑の排出
- (2) 孔壁の保護
- (3) 孔壁崩壊の防止
- (4) 湧水防止
- (5) ビット及びロットの潤滑及び冷却

地科学的見地から清水だけの掘削を行うと上記の泥水による効果は当然全て失われるわけであり、正常な掘削状態を維持できない状態となります。

次に地下水を汚染しない範囲でしかも泥水の特質を備えた添加物について述べる。

4.2 現況

清水に添加物を加えて、水質に影響の少ない泥剤についての調査は、その添加物の影響が地科学的に許容出来る範囲であるかが問題となる。この評価については、各成分毎の許容範囲が示されていないので、現在市販されている泥剤の中で、地下水への汚染の少ないものについて述べたい。

(1) PERFFLOW DIF

BAKER HUGHES INTEQ社の製品である。本品の開発は貯水池への汚染を最小限にするためである。孔壁からの浸透を少なくし地下水の汚染を防ごうとしたものである。本泥剤については、メーカーが推奨するものである。地科学的影響については、当方は判断基準をもたないもので、資料を添付(図4.1)するにとどめた。



Product Bulletin

PERFFLOW[®] DIF

Product Description

PERFFLOW DIF is a dry formulation of bridging, viscosifying, and filtration-control agents to be used in the preparation of a PERFFLOW DIF System.

Features and Benefits

PERFFLOW DIF is specially formulated in a one-sack blend to prepare PERFFLOW DIF fluids utilizing calcium chloride, calcium bromide, or zinc bromide brines where high-density fluids are required.

PERFFLOW DIF can also be used to formulate low-density PERFFLOW DIF fluids using potassium or sodium chloride brines.

PERFFLOW DIF is formulated to control leak-off and bridge a wide range of permeabilities from a few darcies to over 10 darcies.

The filter cake produced by PERFFLOW DIF is easily dispersed and removed by flowing the well and does not rely upon breakers or dissolution.

Application

PERFFLOW DIF is used to prepare a reservoir drill-in fluid (PERFFLOW DIF System) with either low- or high-density brines.

Recommended Treatment

One 55.0 lb sack of PERFFLOW DIF will prepare 1 barrel of finished fluid when added to 0.94 bbl of finished brine. Low-density fluids generally use 14.0 lb KCl and a biocide in addition to the above.

Mixing Procedure

Preparing a PERFFLOW DIF System using PERFFLOW DIF is best accomplished using a high-shear mixer and adding one sack of PERFFLOW DIF to 0.94 bbl of finished brine. If a high-shear device is not

available, mixing can be accomplished using rig equipment provided adequate mixing time is allowed. For detailed information on mixing, refer to the Technical Data Sheet on The PERFFLOW DIF System.

Typical Physical Properties

Appearance	white powder
Specific gravity	2.71
pH	neutral

Environmental Information

For information concerning environmental regulations applicable to Baker Hughes INTEQ products, contact the Health, Safety, and Environmental Department.

Shipping

Transportation of PERFFLOW DIF is not restricted by either international or USA regulatory agencies.

Safe Handling Recommendations

Utilize normal precautions for employee protection when handling chemical products. Use of appropriate respirator, gloves, goggles, and apron is recommended for employee comfort and protection. See Material Safety Data Sheet (MSDS) prior to use.

Packaging

PERFFLOW DIF is available in 25 kg (55 lb) multi-wall bags.

© PERFFLOW is a registered trademark of Baker Hughes INTEQ.

又世界的に知られている、BAROID社とBAKER HUGES INTEQ社の製品の資料（表4.1～表4.8）を参照下さい。

両社とも近年アメリカに於ける環境汚染のための、モニタリング用井戸掘削に対応するために、地下水への汚染の少ない泥剤の開発を進めている。

Baroid Drilling Fluids

Environmental Products and Services

Baroid realizes that environmental responsibility must be a high priority in an industry subjected to increasing government regulation and growing public awareness. Baroid has established an Environmental Services team to develop new products for environmentally-sensitive areas. This team is staffed by people with extensive training in environmental sciences. Baroid has also created a separate environmental laboratory to provide environmental characterization data and bioassay testing for all Baroid products, and to assist in the development of environmentally beneficial waste treatment and

drilled cuttings stabilization systems.

Several years ago, Baroid recognized the potential for using computer technology to assist customers in compliance with environmental regulations. Following a careful customer needs analysis and an extensive development program, Baroid introduced the company-developed ISEM™ Environmental Management software package. This personal computer-based system helps customers better understand government regulations regarding rig discharges. It also generates daily monitoring reports and complete end-of-well reporting.

Baroid Drilling Fluid Systems

Baroid Product Trade Name	Fluid Base			Performance Properties				Temperature Stability			Density Ranges	Description	
	OIL-BASED	ESTER-BASED	WATER-BASED	SHALE STABILITY	FORMATION PROTECTION	HIGH PENETRATION RATES	MINIMUMS BIT BALLING	HIGH-ANGLE FORMULATIONS	STABLE TO 350°F	STABLE TO 400°F	STABLE TO 450°F		R2-11.0 g/gg 14.0-16.0 g/gg 16.0-20.0 g/gg
BAROID 100™	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●		All-oil drilling and coring fluid, developed in response to operator request for non-damaging fluid which does not alter formation wettability characteristics. Utilizes surfactants designed to prevent emulsion blockage of formations.
BXR-2000™			●	●	●	●	●	●	●	●	●		Innovative polyalcohol/bitumen system for difficult target extended reach wells.
CAT-I®			●	●	●	●	●	●		●	●		Industry's first completely cationic water-based fluid, designed to stabilize reactive clays and shales through enhanced fluid chemistry. Industry's first cationic fluid to provide superior filtration control.
ENVIROMUL™	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●		Low toxicity, mineral oil-based invert emulsion mud. Lowers costs associated with cuttings treatment and disposal.
EZ-MUD®			●	●	●	●	●	●		●	●		PHPA polymer fluid provides maximum in borehole stability, and lubricity. Reduces problems associated with drilling in highly reactive clays.
EZ-OIL™	●		●	●	●	●	●	●		●	●		Relaxed fluid loss invert emulsion oil-based mud which is ideal for deep, high temperature and deviated wells. Formulated for higher fluid loss yet still contains only oil in the filtrate. Provides high penetration rates and lower maintenance.
INVERMUL®	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●		An invert emulsion oil-based mud which is considered by many to be the industry's performance standard for oil-based systems.
RETROFREE™	●		●	●	●	●	●	●		●	●		Provides oil mud performance in an environmentally preferred alternative. Based on advanced complex ester chemistry, contains emulsifiers which have been formulated to perform without petroleum hydrocarbons.
POLYNOX™			●	●	●	●	●	●		●	●		Innovative lime-based fluid which allows usage with more hostile downhole conditions; provides a lower-cost, temperature-stable inhibitive water system based on improved lignosulfonate products.
THERMA-DRIL™			●	●	●	●	●	●		●	●		High temperature water-based polymer system for use on wells with bottomhole temperatures greater than 350°F. Effective for geothermal and deep, sensitive formations.

™Trademark of Baroid Drilling Fluids, Inc.

®Registered Trademark of Baroid Technology, Inc.

表4.1 BAROID 泥剤一覧表 (1)

Baroid Drilling Fluids

Baroid Drilling Fluid Products

Product Name	Primary / Secondary Function	Recommended Use							Description
		Freshwater Muds	Saltwater Muds	Saturated Saltwater Muds	Dispersed Muds	Calcium Treated Muds	Non-dispersed Muds	Oil-based Muds	
AK-70®	Filtration control / Bridging agent	•	•	•	•	•	•	•	Blend of air-blown asphalt and clay
AKTAFLO®-E	Emulsifier / Water wetting	•	•	•	•	•	•	•	Oxyethylated alkyl phenol
AKTAFLO®-S	Surfactant	•	•	•	•	•	•	•	Mixed oxyethylated phenol
ALDACIDE® G	Microbiocide	•	•	•	•	•	•	•	Glutaraldehyde solution
AQUAGEL®	Viscosifier / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Treated sodium montmorillonite
AQUAGEL GOLD SEAL®	Viscosifier / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Sodium montmorillonite
BARABLOK™/BARABLOK 400	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Powdered hydrocarbon resin
BARA-DEFOAM® 1	Defoamer	•	•	•	•	•	•	•	Blend of high molecular weight alcohol and modified fatty acid derivatives
BARA-DEFOAM® HP	Defoamer	•	•	•	•	•	•	•	Polypropylene glycol-based
BARA-DEFOAM® W300	Defoamer	•	•	•	•	•	•	•	Blend of high molecular weight alcohol and modified fatty acid derivatives
BARABRINE® DEFOAM	Defoamer	•	•	•	•	•	•	•	Blend of nonionic surfactants
BARACAR® 5, 50, 150, 600, 2300	Bridging agent / Weighting agent (grades 5 & 50 only)	•	•	•	•	•	•	•	Sized-calcium carbonate
BARACAT®	Shale control	•	•	•	•	•	•	•	Cationic polymer suspension
BARACOR® 44	Hydrogen sulfide scavenger	•	•	•	•	•	•	•	Powdered zinc compound
BARACOR® 95	Alkalinity control agent	•	•	•	•	•	•	•	Liquid amine compound
BARACOR® 700	Corrosion inhibitor	•	•	•	•	•	•	•	Blend of phosphonates and alkyl phosphates
BARACOR® 1635	Corrosion inhibitor	•	•	•	•	•	•	•	Powdered sodium nitrite
BARACTIVE™	Polar activator	•	•	•	•	•	•	•	Glycerol
BARAFILM®	Corrosion inhibitor	•	•	•	•	•	•	•	Aminated fatty acid
BARAFLOC®	Flocculant	•	•	•	•	•	•	•	Partially hydrolyzed polyacrylamide
BARAFOAM®	Foaming agent	•	•	•	•	•	•	•	Sodium alpha olefin sulfate
BARAFOS®	Thinner	•	•	•	•	•	•	•	Modified sodium phosphate compound
BARA-KLEAN™	Degreaser	•	•	•	•	•	•	•	Blend of water soluble surface active agents
BARANEX®	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Modified lignin powder
BARAPAK®	Suspension agent	•	•	•	•	•	•	•	Oil soluble polymer
BARASCAV™ D	Oxygen scavenger / Thermal extender for polymers	•	•	•	•	•	•	•	Powdered sodium sulfite
BARASCAV™ L	Oxygen scavenger / Thermal extender for polymers	•	•	•	•	•	•	•	Liquid ammonium bisulfite
BARAZAN®	Viscosifier / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Powdered biopolymer (xanthum gum)
BARAZAN® L	Viscosifier	•	•	•	•	•	•	•	Biopolymer suspension (xanthum gum)
BARODENSE®	Weighting agent	•	•	•	•	•	•	•	Ground hematite
BAROFIBRE™ (coarse, regular)	Seepage loss additive	•	•	•	•	•	•	•	Fibrous cellulosic material
BAROID®	Weighting agent	•	•	•	•	•	•	•	Ground barium sulfate
BAROID® Oil Absorbent	Oil absorbent	•	•	•	•	•	•	•	Granular calcined clay
BARO-LUBE™	Lubricant	•	•	•	•	•	•	•	Blend of surfactants and lubricants
BARO-SEAL™ (fine, medium, coarse)	Lost circulation material	•	•	•	•	•	•	•	Combination of granules, flakes, and fibers
BARO-SPOT™	Spotting fluid	•	•	•	•	•	•	•	Blend of anionic surfactants
BARO-THIN®	Thinner	•	•	•	•	•	•	•	Chrome tannin compound
BARO-TROL®	Shale stabilizer	•	•	•	•	•	•	•	Sulfonated asphalt
BXR™	Borehole stabilizer / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Blend of sulfonated asphalt and a hydrocarbon resin (asphalt)
BXR™-L	Borehole stabilizer / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Suspension of sulfonated asphalt and a hydrocarbon resin (asphalt) in glycerol, polyglycols, and polypropylene glycol
CARBONOX®	Thinner / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Powdered Leonardite

™Trademark of Baroid Drilling Fluids, Inc.

®Registered Trademark of Baroid Technology, Inc.

表4.2 BAROID 泥剂一览表 (II)

Baroid Drilling Fluids

Baroid Drilling Fluid Products

Product Name	Primary / Secondary Function	Recommended Use							Description
		Freshwater Muds	Saline Muds	Saturated Saline Muds	Dispersed Muds	Calcium Treated Muds	Non-dispersed Muds	Oil-based Muds	
CAT™ 300	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Modified starch
CAT™ 300	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Potassium clay
CAT™ HI	Filtration control / Viscosifier	•	•	•	•	•	•	•	Modified cellulosic polymer
CAT™ LO	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Modified cellulosic polymer
CAT™ THIN	Deflocculant	•	•	•	•	•	•	•	Sodium polyacrylate
CC-16®	Thinner / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Powdered leonardite water pump
CELLEX® HV	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Causitized powdered leonardite
CELLEX® HV	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Sodium carboxymethylcellulose powder
CON DET®	Wetting agent	•	•	•	•	•	•	•	Low molecular weight surfactant compounds
DEXTRID®	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Water soluble anionic surfactants
DEXTRID® LT	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Modified potato starch
DEXTRID® LTE	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Modified potato starch
DRILFOAM®	Foaming agent	•	•	•	•	•	•	•	Blend of sulfated ethoxylated alcohols
DURATONE®	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Leonardite
DURATONE® HT	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Organophilic leonardite
ENVIRO-THIN™	Thinner / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Chrome-free, iron lignosulfonate
EP MUDLUBE®	Extreme pressure lubricant	•	•	•	•	•	•	•	Modified tall oil fatty acid
EZ-CORE®	Shale stabilizer	•	•	•	•	•	•	•	Partially hydrolyzed polyacrylamide/polyacrylate copolymer emulsion (PHPA)
EZ-MUD®	Shale stabilizer / Viscosifier	•	•	•	•	•	•	•	Partially hydrolyzed polyacrylamide/polyacrylate copolymer emulsion (PHPA)
EZ-MUD® BP	Shale stabilizer / Viscosifier	•	•	•	•	•	•	•	Partially hydrolyzed polyacrylamide/polyacrylate copolymer emulsion (PHPA)
EZ-MUD® NT	Emulsifier / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Polyaminated fatty acid
EX-100®	Emulsifier	•	•	•	•	•	•	•	Polyaminated fatty acid
FILTER-CHEK™	Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Modified starch
FOAM-BLASTER™	Defoamer	•	•	•	•	•	•	•	Blend of anionic surfactant and clay
GELTONE®	Viscosifier / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Organophilic clay
GELTONE® I	Viscosifier / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Organophilic clay
GELTONE® III	Viscosifier / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Polymer-treated organophilic clay
GELTONE® IV	Viscosifier / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Polymer-treated organophilic clay
HY-SEAL®	Lost circulation material	•	•	•	•	•	•	•	Shredded cellulosic fiber
INVERMUL®	Filtration control agent	•	•	•	•	•	•	•	Pregelatinized corn starch
INVERMUL® NT	Emulsifier / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Blend of oxidized tall oil and polyaminated fatty acid
INVERMUL® NT	Emulsifier	•	•	•	•	•	•	•	Oxidized tall oil
JELFLAKE®	Lost circulation material	•	•	•	•	•	•	•	Shredded cellophane
K-LUB®	Thinner / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Potassium leonardite
LIGNO-THIN™	Thinner / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Ferrocene lignosulfonate
LIGNOX®	Thinner / Filtration control	•	•	•	•	•	•	•	Copolymer of calcium lignosulfonate and acrylic acid
LOLOSS®	Viscosifier	•	•	•	•	•	•	•	Guar gum
LUBRA-BEADS® (coarse, fine)	Lubricant	•	•	•	•	•	•	•	Divert benzene and styrene copolymer beads
MICATE® (fine, medium, coarse)	Lost circulation material	•	•	•	•	•	•	•	Ground mica
NO-SULF®	Hydrogen sulfide scavenger	•	•	•	•	•	•	•	Blend of zinc compounds

™Trademark of Baroid Drilling Fluids, Inc.

®Registered Trademark of Baroid Technology, Inc.

*JELFLAKE Registered Trademark of Dow Chemical Co., Inc.

®LOLOSS Registered Trademark of Rhone-Poulenc, Inc.

表4.3 BAROID 泥剂一览表 (III)

Baroid Drilling Fluids

Baroid Drilling Fluid Products

Product Name	Primary / Secondary Function	Recommended Use							Description
		Freshwater Muds	Saline Muds	Saturated Saline Muds	Dispersed Muds	Calcium Treated Muds	Non-dispersed Muds	Oil-based Muds	
OMC®	Oil mud thinner							*	Sodium petroleum sulfonate
OMC® 2	Oil mud thinner							*	Organic fatty acid
OMC® 42	Oil mud thinner							*	Poly imide surfactant
PAC™-L	Filtration control							*	Polyanionic cellulose
PAC™-R	Filtration control / Viscosifier	*	*	*	*	*	*	*	Polyanionic cellulose
PAC™-L GOLD SEAL	Filtration control	*	*	*	*	*	*	*	Polyanionic cellulose
PAC™-R GOLD SEAL	Filtration control / Viscosifier	*	*	*	*	*	*	*	Polyanionic cellulose
PLUG-BU®	Lost circulation material	*	*	*	*	*	*	*	Processed walnut hulls
POLVAC®	Filtration control	*				*			Sodium polyacrylate
Q-BROXIN®	Thinner / Filtration control	*	*	*	*	*	*	*	Paraffin wax sulfonate
RM 63™	Rheology modifier							*	Blend of dimer and trimer fatty acids
RV310™	Viscosifier							*	Mixed ester acids
SD®	Defoamer	*	*	*	*	*	*	*	Organosilicone emulsion
STABILIZER®	Thinner							*	Organosilicone emulsion
SUSPENTONE™	Suspension agent							*	Organophilic clay
THERMA-CHEK®	Filtration control / Viscosifier	*	*	*	*	*	*	*	Vinyl amide/vinyl sulfonate copolymer
THERMA-CHEK® LV	Filtration control	*	*	*	*	*	*	*	Vinyl amide/vinyl sulfonate copolymer
THERMA-THIN®	Defloculant	*	*	*	*	*	*	*	Sodium polyacrylate
THERMA-THIN® DP	Defloculant	*	*	*	*	*	*	*	Sodium polyacrylate
THERMA-VIS™	Viscosifier							*	Synthetic magnesium silicate
TORQ-TRIM® II	Lubricant	*	*	*	*	*	*	*	Alcohol amide
TRIBULSO®	Emulsifier							*	Blend of mono- and di-ester fatty acids
WALL-NUT® (fine, medium, coarse)	Lost circulation material	*	*	*	*	*	*	*	Ground walnut hulls
X-2000®	Shale stabilizer							*	Blend of mono-, di-, tri-, and poly-ester fatty acids
X-VIS™	Oil mud yield activator							*	Dimerized fatty acids
X-TEND®	Gas/foam extender	*	*	*	*	*	*	*	Polymerizable polyamide copolymer
ZEOGEL®	Viscosifier	*	*	*	*	*	*	*	Attapulgite clay

™Trademark of Baroid Drilling Fluids, Inc.

®Registered Trademark of Baroid Technology, Inc.

*Q-BROXIN Registered Trademark of Georgia Pacific Co.

表4.4 BAROID 泥剂一览表 (IV)



1994 Product Reference Guide

Product Name	Product Description	Recommended for these systems											Product functions (P = Primary, S = Secondary)															
		Non-dispersed	Dispersed	Calcium treated	Polymer	Low solids	Saturated ret	Workover	Oil-based fluids	Synthetic	Air, mist, foam, gas	Alkalinity (pH control)	Bactericides	Calcium removers	Corrosion inhibitors	Defoamers	Emulsifiers	Flocculants	Foaming agents	Lost circulation materials	Lubricants	Pipe-fouling agents	Scale control agents	Surface active agents	Temp. stability agents	Thickeners	Viscosifiers	Weighting materials
MILPARK WEIGHT MATERIALS																												
MIL-BAR*	Barite (barytes) meeting API specifications	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*																	P
DENSIMIX*	High specific-gravity hematite	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*																	P
W.O.™ 30	Sized ground calcium carbonate (available in different grind sizes)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*																	P
MILPARK VISCOSIFIERS																												
MILGEL*	Wyoming bentonite meeting API specifications	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
MILGEL* NT	Untreated Wyoming bentonite meeting API specifications	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
SALT WATER GEL*	Attapulgitic clay meeting API specifications	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
SUPER-COL*	Extra-high-yield bentonite	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
NEW-VIS™	Organic polymer blend	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*																	P
XCD* POLYMER	Xanthan gum	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*																	P
MIL-BEN**	Bentonite—OCMA Specification DFCP4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
MILPARK DEFOCCULANTS																												
MIL-TEMP*	Sulfonated styrene, maleic anhydride co-polymer to stabilize flow properties of water-based muds	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S								P	S
NEW-THIN™	Polymeric deflocculant	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*																	P
UNI-CAL*	Chrome-modified sodium lignosulfonate	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
UNI-CAL* CF	Lignosulfonate with no chrome added	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
MIL-KEM™	Lime-based mud thinner	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
SAPP	Sodium acid pyrophosphate	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		S	S														P
TEQ-THIN™ CF	Chrome-free modified lignosulfonate	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
OILFOS*	Sodium glassy phosphate	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
MIL-THIN™*	Polymeric dispersant for freshwater-based muds	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*																	P
MILPARK FILTRATION CONTROL AGENTS																												
BIO-LOSE™	Modified polysaccharide	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*									P								
CHEMTROL™ X	Selected polymer blend for high-temperature stabilization of filtration properties	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P							S	S	
FILTREX™	Polyanionic lignin resin	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
LIGCO*	Ground leonardite	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
LIGCON*	Causticized leonardite	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
MILSTARCH*	Pregelatinized starch	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
NEW-TROL™	Sodium polyacrylate	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
PERMA-LOSE™ HT	Nonfermenting polymerized starch	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
PYRD-TROL*	Co-polymer-acrylamide-AMPS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
KEM-SEAL*	Co-polymer for high-temperature filtration control	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
MIL-PAC™	Polyanionic cellulose	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
MIL-PAC™ LV	Low-viscosity polyanionic cellulose	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									S
CMC HV*	Technical-grade sodium carboxymethylcellulose—OCMA Specification DFPC7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								S									P
CMC LV*	Technical-grade sodium carboxymethylcellulose—OCMA Specification DFPC2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									P
MILPARK CORROSION CONTROL CHEMICALS																												
MIL-GARD*	H ₂ S scavenger (basic zinc carbonate)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*									P								
MIL-GARD *R	Sulfide scavenger (soluble chelated zinc)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									
NOXYGEN™	Liquid oxygen scavenger	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									
SCALE-BAN™	Phosphonate inhibitor for drilling muds	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									
AMI-TEC™	Amine-based oil soluble inhibitor	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								P									

XCD (in XCD POLYMER) is a registered trademark of Merck & Co., Inc.
 DENSIMIX is a registered trademark of Densimix, Inc.
 OILFOS is a registered trademark of Monsanto Company.
 X-CIDE 287 is a registered trademark of Petrolika Corporation.
 DRYOCIDE is a registered trademark of Nalco Chemical Company.

* Available through Baker Hughes INTEQ International Operations.
 © Reg. U.S. Patent Office
 TM Trademark of Baker Hughes INTEQ
 SM Service mark of Baker Hughes INTEQ
 © 1993 Baker Hughes INTEQ. All rights reserved.

表4.6 BAKER HUGHES INTEQ 泥剂一览表 (1)

4.3 KTBプロジェクトに於ける泥水

ドイツKTB超深度掘削プロジェクトは地科学的調査研究のためのもので、この掘削に使用される泥水は要求される掘削技術を満足されることは勿論のこと、以下に示す地科学的要求に対して十分答え得るものでなければならない。

- (1) 化学薬品の使用数を1~2と最小限にする。
- (2) 添加剤は無機質のものとする。
- (3) 温度的に安定である。
- (4) 種々の検層に悪影響を与えない。

従って、掘削泥水は、例えば地科学的分析に悪影響を与えたり、妨害することなく、十分な流動性、潤滑性、そして坑内安定性を促進させるものでなければならない。

これらの要求に基づいて、パイロット坑掘削剤は清水ベースのDehydril-HT泥水を使用した。この泥水は本質的には水中では合成Phyllosilicateのコロイド溶液でありSi、Mg、Na、およびLiの元素を含む。パイロット坑掘削剤中、Dehydrilがヘフトライト構造をしていて陽イオン交換容量が大きいため、電解質に非常に敏感に反応することが判明した。更にチキソトロピック性泥水は小球状の泥としてドリルロットに付着し、この中に取り込まれた気泡は極的酸素腐食を引き起こすため激しい腐食を発生しはじめた。このため超深度掘削時はこれらの欠陥を最小限にするためHostadrill 3118を添加した。このポリマーは泥水のレオロジーを向上する作用にも効果的であったと報告されている。

添付資料として「ドイツKTBプロジェクトに於ける使用泥水と坑内安定性について」株式会社テルナイト 今野 淳氏のレポートを用意してあるので、地科学的調査研究のための掘削に於ける泥水について記述してあるので参考下さい。

4.4 まとめ

水質に影響の少ない泥剤については、掘削サイドと地科学的サイドとは、合い反する見地に立っている。両サイド共合意できる循環水は、清水以外ありえないわけである。今後1000m深度あるいはそれ以深の掘削を考えたとき、泥剤を使用しなければ、掘削は出来ないという前提にたつて、泥剤を使うことによる、地科学的影響についての分析を進め、何の添加分であれば、どの程度の量の使用が出来るとの判断がでないと本テーマの前進はありえないわけである。KTBのプロジェクトに見る様に、掘削泥水の基本概念をたて、その範囲の内で泥水を使用していく、この様な方式で掘削と泥水使用をうまく融合して掘削法の確立を図るべきである。

5. スライム排出方法に関する工法調査

5. スライム排出方法に関する工法調査

5.1 現況

スライムの排出は一般的には泥水を使用し、比重・粘速・流速を考慮して調泥し、送水量を決定する。近年に於ける泥剤の開発が、保孔及びスライムの排出を促進し、安全な掘削を確保出来る様になったわけである。泥剤を使用しないでスライムを安全に排出することは、基本的には不可能と言ってよいだろう。つまり清水循環のみでスライムを排出できる条件としては、均質的で良好な地質条件が確保された場合は、問題は少ないであろう。崩壊性地層、逸水層を狭む地層では、スライムの排出はきわめて困難といえる。掘屑の排出のためには、掘屑の落下速度以上の水の粘性と、流速の上昇速度を確保することが必要である。計算上からHQサイズの孔に於いては、約400ℓ/分以上の循環水が必要といわれており、通常の掘削の3倍以上の循環水が必要である。このことは、孔壁を荒すこととなり、新たな崩壊をまねくことともなる。又多量の循環水は水圧の上昇、コアの流出をまねくこととなる。

スライムをロットと孔壁の間を通すのが通常の掘削であるが、RC工法（REVERSE CIRCULATION）と呼称する、スライムをロットの中を通し、地上に送り出す方法がある。

RC工法

本工法は、基本的に地質の調査に於いてコアを回収するのではなく、スライムを回収、分析し地質状態を調べる方法である。ダウンザホールハンマーの掘進スピードの速さを応用したものである。システムとしては二重管ロットにダウンザホールハンマーを接続する。二重管ロットの中間部にエアーを通し、ハンマー部にエアーを供給する。ビットにより切削したスライムはハンマー外側を通り、二重管ロットの中心部に入り、地上に送られる。スライムは地上でサイクロンを経由し、エアーとスライムに分けられる。スライムはサイクロンの下に集まりこれを回収して地層サンプルとして使用する。この工法の特徴として

- ・圧縮空気の使用で、ロット中央部を通るスライムの上昇スピードが速いため、実掘削している深度の地層サンプルがリアルタイムに近く回収できる。
- ・圧縮空気は基本的に孔壁とロットの間を通らないので、孔壁を荒さないで、汚染の少ない地層サンプルとして、連続的に回収できる。
- ・破碎帯やケーシングの多い地層をケーシングなしで掘削できる。
- ・掘進スピードが速いので、ドリリングコストが、ダイヤモンドコアリングより安くなる。

問題点として

- ・湧水が多い場合に高圧コンプレッサーが必要となる。
- ・深度が深くなるとコンプレッサーとブースタコンプレッサーが必要となる。
- ・工法の作業性つまり二重管ロットのハンドリングからトップドライブの掘削機に限定される。
- ・二重管ロットは重量が重いために、ロットハンドリング自動化装置が必要である。
- ・多量の湧水はその処理に問題が生じる。
- ・地層サンプルは棒状コアでなく、スライム(カッティングス)又はスライス状のコアとなる。

掘削手段によりRC工法は次の3種に分けられる。

- ・ダウンザホールハンマー使用
- ・センターホール型ダウンザホールハンマー使用
- ・ローラビット使用
- ・エアコア法 特殊なコアリングビットを組合せスライス状コアサンプルを回収する。

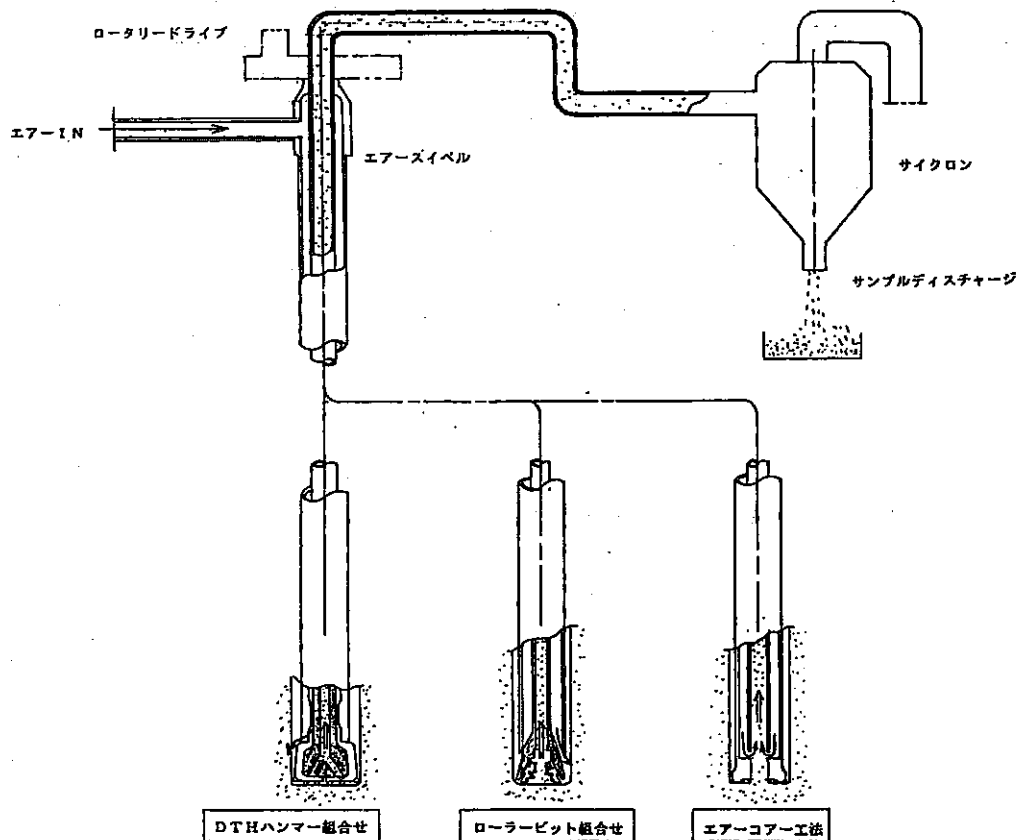


図5.1 RC工法

5.2 課題

清水循環による掘削に於いて、スライムを有効に排出技術は現時点では確立されていない。言い換えれば、清水による掘削は不可能であるとも言える。しかしながら、掘削の目的から、清水あるいは清水を主体とした循環水で掘削するという課題を解決する手段を模索する必要がある。

次に技術開発として取り組むべき、二つの解決手段について、提案したい。

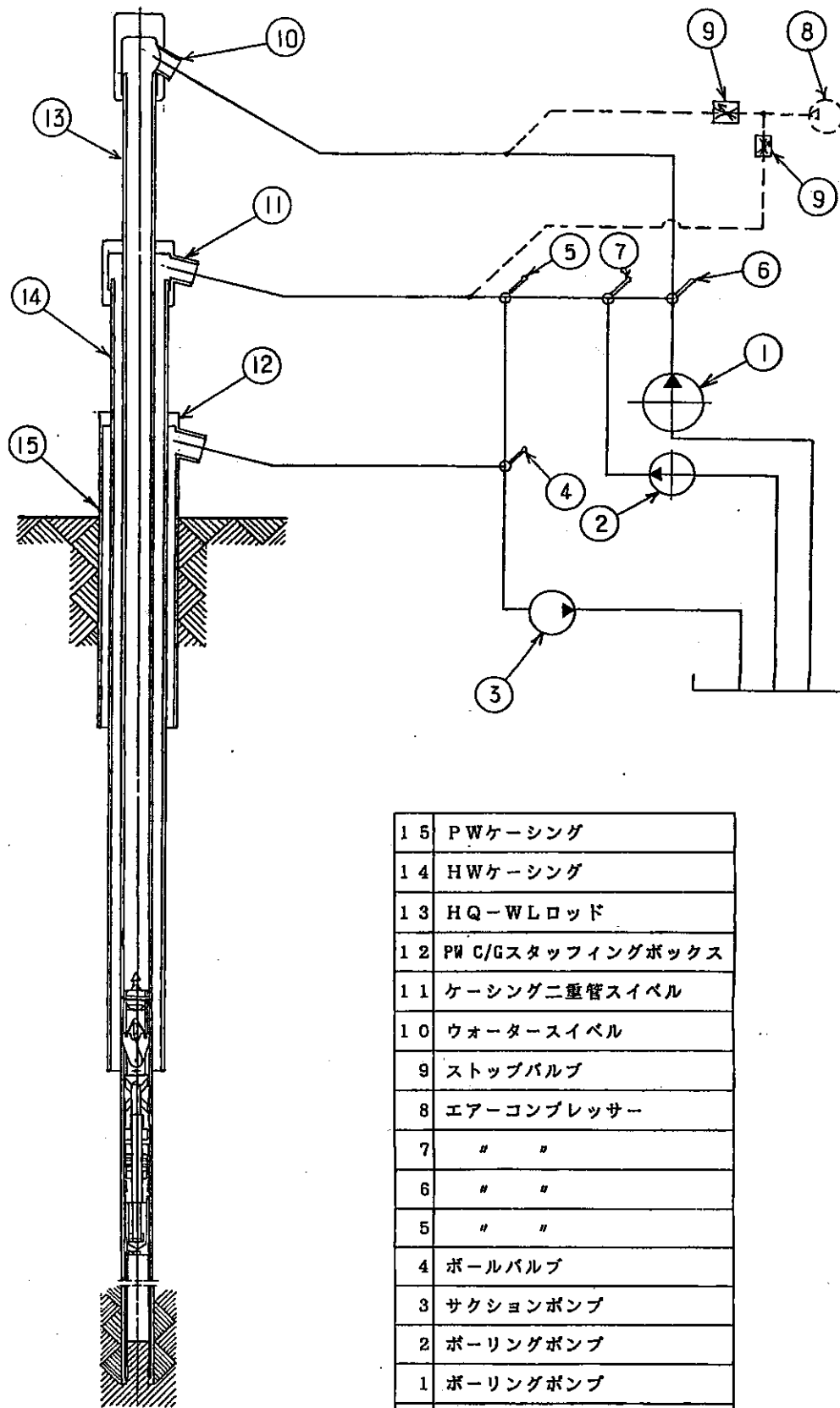
(1) 循環水経路の新システム導入 (図5.2)

本解消策の主旨は、循環水量を増すことなくスライムの上昇スピードを上げようとするものである。そのため次の二つの対策を当てる。循環水にエアを圧入する回路を設けること。バキューム圧によるサクションポンプを回路に設けること。循環水回路にエアーを注入することは、エアー掘削に於いてすでに使用されており、流速を上げる手段として有効である。掘削深度、地質条件により、水量とエアーの比率、エアー量、エアー圧をコントロールする必要がある。但し多量の湧水、崩壊の激しい地層では問題がある。循環水回路にバキュームサクションポンプを設けることは、流速の低下した循環水を吸引することにより、スライムの排出を行うものである。スライム及び崩壊物を孔内から確実に排除出来る様になれば、保孔もよくなり継続的な掘削ができるようになる。本案は現実に実掘削に於いて実証されたわけではないが、確度の高い解決法といえると思う。

(図5.2)

(2) リバース工法の応用

ユッカマウンテンプロジェクトでは、RC工法をリーミング時に採用し完全にスライムを排除している。日本に於いては、ドライゾーンでないために彼らの技術を導入出来ないが、このリバース工法の利点であるスライムをロットと孔壁の間を通さない考え方は参考にするべき技術である。技術開発の課題としては、リバース工法とワイヤライン工法の組合せ、又循環水を水あるいは水とエアーの組合せにより使用し、スライムをロットの外側に回さない様なシステムを開発する。この技術はまだ誰も手掛けていないもので、技術開発されれば非常に有効な掘削技術となりうる。この開発に当たっては、コアの径について慎重に検討を加える必要がある。つまりコア径を大きく設定するとシステム自体が大きな径の二重管ロット、又そのロットハンドリング装置の大型化、掘削機の大型化となってしまう。



15	PWケーシング
14	HWケーシング
13	HQ-WLロッド
12	PW C/Gスタッフィングボックス
11	ケーシング二重管スイベル
10	ウォータースイベル
9	ストップバルブ
8	エアコンプレッサー
7	" "
6	" "
5	" "
4	ボールバルブ
3	サクシヨンポンプ
2	ボーリングポンプ
1	ボーリングポンプ
NO	品名

図5.2 ケーシング追切り工法口元装置及び配管図

(3) スライムの分離

清水掘削に於いて、孔内を循環し戻った排水には、当然スライムが混入しておりこれを分離するために、サイクロン、スクリーンを通し、水とスライムの分離するわけであるが、ここにより分離を促進するためにデカンターの導入について考えたい。

デカンターの構造は、1種の遠心分離機である。高速回転しているボール内に入った循環水は遠心作用で円筒状になって回転します。スライムである固形物粒子は遠心効果にてボール内面に沈殿して、上澄み（水）と固形に分離されます。上澄みのみ回収しますと殆んど固形物のないものとなります。循環水の中に少しでも固形物が混入しますと環状部に於ける流速の低下となります。このことから清水掘削に於いて、デカンターを採用することは有効の手段と考えられます。石油掘削に於いても、デカンターは使用しておりますがあくまでもバライトの回収のためであって、清水に於ける使用例はないと思いますが、その構造及び特徴から有効な装置と思われれます。

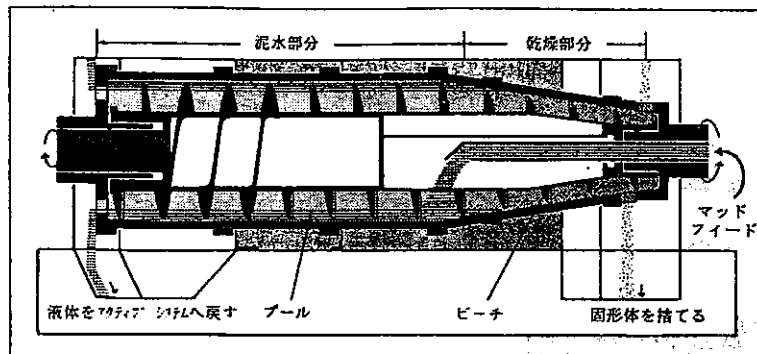


図5.3 デカンター原理図

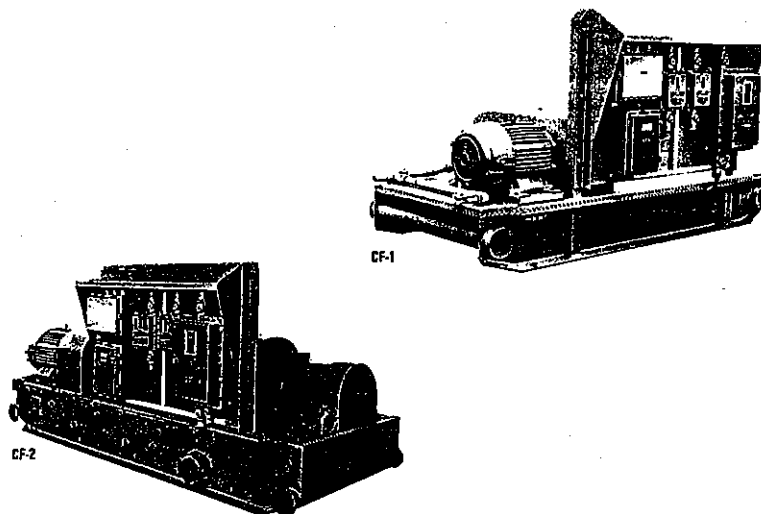


図5.4 BRANDT製デカンター

**6. 掘削時における孔内状況を把握するための
装置に関するハードウェア調査**

6. 掘削時における孔内状況を把握するための装置に関するハードウェア調査

6.1 はじめに

掘削作業に於いて、地下の地質状況、地層状況の変化について、オペレータは各種情報に基づいて、推測し判断し掘削を進行している。オペレータが得られる情報として

掘削機よりビット荷重・ビット回転数

ポンプよりポンプ圧力・ポンプ吐出量

これらの値をゲージから、あるいは原動機の回転及び変速機のシフトの位置から推測する。オペレータは、限られた情報に基づき、最適な掘削状況を得られる様に、判断し掘削機を操作している。一度孔内事故が発生しても、発生した孔内状況については何ら記録されていないために、全て事故の責任は、オペレータに帰することになってしまう。このために、オペレータは長い経験と“カン”を要求されてきた。瞬時に消えてしまう情報を記録し後日の各種の判断材料にするために、掘削データの記録したいとの要請により、ドリリングレコーダが開発され実用化されている。

6.2 現況

スピンドル型掘削機による掘削に於いては、掘削機の回転数の表示、トルク値の表示等、個々のデータの表示をする方向ではあるが、残念ながら掘削データを記録することは、特殊の目的のために設置された場合以外にはないのが現状である。

石油掘削に於いては、掘削の記録をするということが古くから行われていて、最近ではコンピュータとの組合せる様になってきている。掘削記録という分野では、頭初から独走している。M/D (MARTIN-DECKER) TOTCO社の過去から現在に至る製品について紹介したい。

(1) DRILLING RECORDERS (図6.1)

2～8ペン式レコーダで下記項目のデータを記録する。

ビット荷重・掘進率、ロータリーテーブル回転数・ロータリートルク・ポンプ吐出量
(ピストンのストローク数)・ポンプ圧・水タンクの水位・循環水の戻り量

これらのデータを入手するために、各種センサー、ゲージを各部に取りつけて計測するわけである。ペンによる印字は、インクを使用するために、インクの乾燥、インクズマリ等の問題があった。その後熱感知記録計へと移行していくわけである。

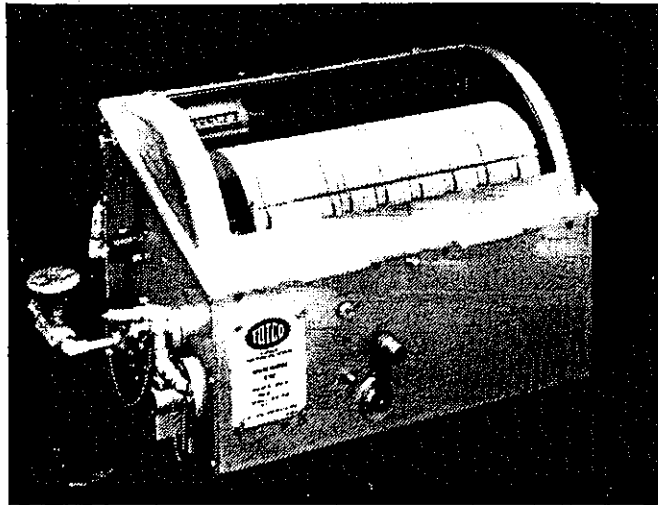


図6.1 DRILLING RECORDERS

(2) RECORD-O-GRAPH (図6.2)

基本的にDRILLING RECORDERSと同じであるが、掘削率を計測するのに機械式から、空圧制御方式に変わりより制度の高い計測値が得られる様になった。

この種の掘削情報を一覧でき記録できることをまとめてみると

- ・孔の状態が正確に把握できる。(推測による判断をしないでよい。)
- ・記録が残ることにより、掘削の状況の変化が判る。
- ・ビットの掘進スピード、ライフ等が正確にわかる。
- ・掘進率の情報から、より良い掘進率を得るための手段としてつかえる。
- ・掘削時間・ロット揚降時間・その他の作業時間と作業分析が出来、掘削費の分析及びコストダウンのための資料として有効に使用できる。

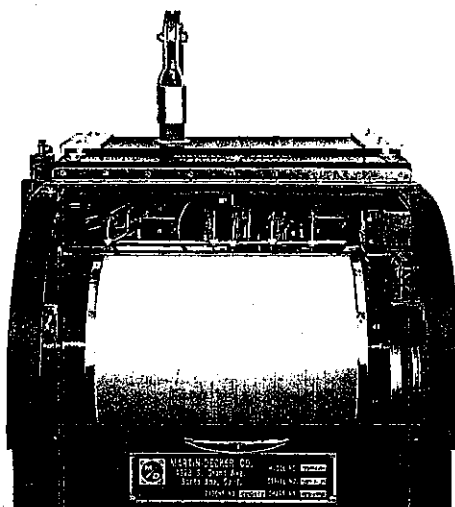


図6.2 RECORD-O-GRAPH

(3) THE SPECURUM 1000 DRILLING CONSOLE (図6.3)

各種センサーにて計測した情報をコンピュータで処理して、コンソール上に表示することができる機能をもっている。データを記録計、プリンタ又他のコンピュータと接続し情報の展開をすることができる。表示する機能は次の通り。

フック荷重、ビット荷重、循環水温度・密度、送水量（数台のポンプ稼働の場合各ポンプのストローク数）、タンクの水レベル、深度、掘進率、循環水の増減等デジタル表示、グラフ表示をする。又キーボードにて各種データの警告表示できる様にセッ
トすることができる。

上記の様な情報がコンソール上に表示されており、オペレータは瞬時に孔内状況を把握でき、的確な判断をもって掘削を進めることができる。

Martin-Decker introduces the next generation of drilling control consoles: The Spectrum Series.

MARTIN-DECKER DRILLING CONSOLE

THE SPECTRUM 1000 is an advanced data acquisition system providing the vital information you need to monitor and control drilling functions more closely and faster than ever.

The heart of the system is a powerful tandem of back-up computers handling data to provide the maximum in increased reliability, accuracy and flexibility. Each computer contains all functions plus the other a performance and other is capable of assuming control in the event of a malfunction. This backup microprocessor technology comes packaged in a modular design one-third the size of conventional rig control units.

Overall, Spectrum 1000 means you get more reliable readouts of conditions faster and in a space-saving design. And best of all, Spectrum 1000 has all the quality, dependability and service support you've come to expect and rely upon from Martin-Decker.

Saves Space, Weight, Installation Costs. Spectrum 1000's self-contained microprocessor based electronics has eliminated many components associated with older, hydraulic consoles. This translates into greatly reduced rig floor space requirements: a Spectrum 1000 configuration can measure 55" x 41" x 21" (141 cm x 104 cm x 53 cm) and weighs under 300 pounds (135 kg). Installation is easier and total rig cost is significantly reduced.

Designed to be Intrinsically Safe. The 1000's circuitry utilizes older technology so overall rig safety is greatly enhanced. The 1000 is designed for BSEE (Bureau of Safety Engineering for Electrical Equipment in Flammable Atmospheres) certification as intrinsically safe.

The safety factor also gives you greater freedom of rig design and equipment arrangement, optimizing rig space usage.

Flexibility and Speed. Microprocessors allow the 1000 to provide immediate readings of vital drilling information. And the 1000 is very adaptive to specialized needs: our service locations can add virtually any drilling function after system installation, without new hardware, by simply adding sensor points.

So, the 1000 is flexible and adaptive to meet your current and future drilling control requirements.

Easy Customization. The 1000 also can be custom packaged or configured to meet almost any rig requirements. A variety of user-defined parameters, displays and units of measure can be supplied.

Compatibility with other electronic peripheral devices such as recorders and rig or remote computers assures the 1000 will meet even the most specialized requirements.

Easy to Use. LCD displays and bar graphs are conveniently arranged in easy-to-read displays so you get vital data at a glance. The large, 3 1/2-inch LCD digits and bar graphs are highly visible even in direct sunlight.

Alarm limits flash when exceeded and are easily preset and checked by the operator via the console keypad. This keypad, labeled with printed, easy-to-follow instructions, eliminates special operator training. And you'll find Spectrum 1000 as comfortable to use as our standard consoles you've been used to.

Martin-Decker has been lowering the cost of drilling for over 50 years. Contact us and let us show you how our advanced drilling technology can keep your operations right on the numbers.

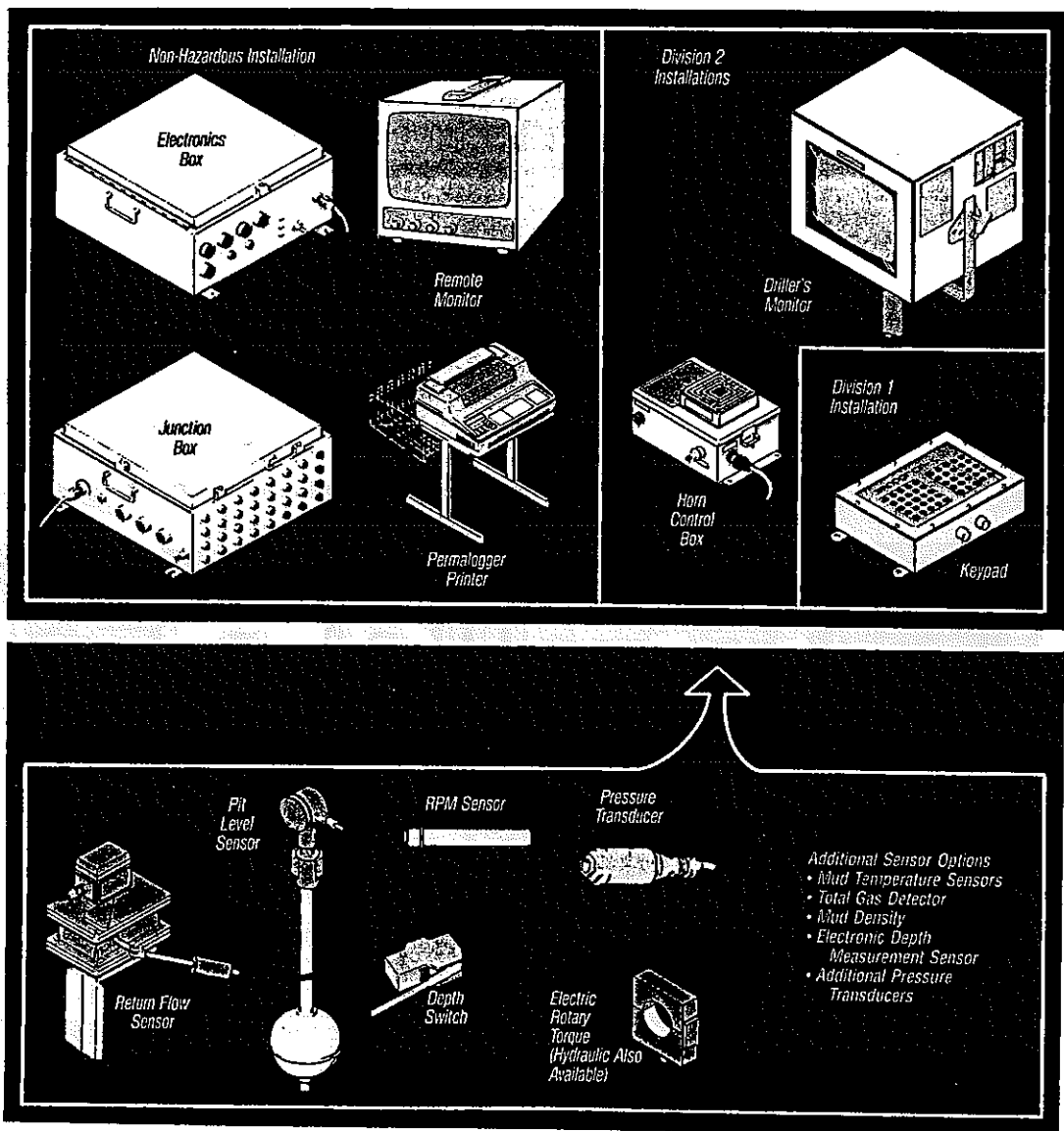
図6.3 THE SPECURUM 1000 DRILLING CONSOLE

(4) VISULOGGER SYSTEM (図6.4)

各計測された情報をコンピュータ画面上に表示出来るシステムである、表示できる情報は次の通り。

深度、掘進率、フック荷重、ビット荷重、ポンプ圧、ポンプストローク数 (3台迄)、回転数、トルク値、ポンプ吐出量、循環水の増減、戻り循環水量、ビットの使用時間等、又オプションとして循環水の入と出の温度、比重、ブロックの位置、掘削コスト等も表示することができる。

当然プリンターの接続、モニター接続により現場以外出も孔内情報をえることができる。



MAJOR COMPONENTS OF VISULOGGER SYSTEM, (TOP) AND VISULOGGER SENSORS (ABOVE).

図6.4 VISULOGGER SYSTEM

(5) VISULOGGER INTERFACE PROGRAM (図6.5)

VISULOGGERで入手した情報をPCに接続して、データのグラフ化と数値の羅列だけでなく情報がグラフ表示し、一目で数値の変化する状況を見ることができるようにしたシステムである。

(6) TOTAL SMART DRILLING (図6.6)

全ての孔内情報をグラフ化し表示する機能、Drilloff Testと呼称するビットの最適回転数と給圧を設定することができるプログラムを持つ機能、MDS (Management Drilling System) と称する掘削を管理、評価する機能を持ったシステムをTOTAL SMART DRILLINGと呼称している。

CONCEPT

TOTAL APPLICATIONS

Real Time Graphical Display
for the —

- Driller
- Tool Pusher
- Company Representatives

Drilloff Test —

Special applications graphically displayed in real time, allowing rig personnel to maximize ROP and bit life.

Control Applications —

- Traveling Block Control for Crown Block Protection
- Soft Torque
- Advance Auto Driller

WITS Interface —

Allows high level customer applications to be built upon standardized rig instrumentation.

MDS* (Management Drilling System) —

M/D TOTCO has exclusive license from Schlumberger to offer MDS* technology to the industry.

MDS hosts advanced, interactive data monitoring with a specific screen for each drilling operation.

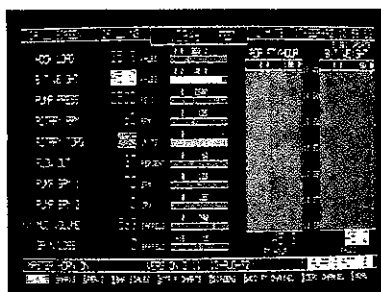
- True Depth
- Bit ROP
- Automatic Pipe Tally
- High Pressure, High Temperature

Smart Alarms

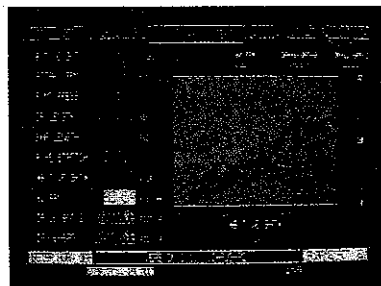
- Kick Detection
- Hydraulics Integrity
- Sticking Pipe Indication

Workstation Applications

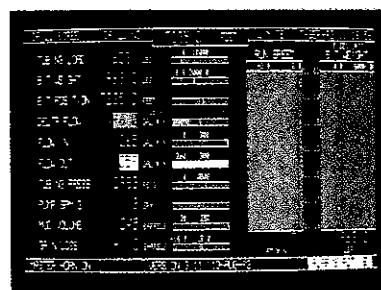
- Data Archive
- Reporting
- Litho ROP
- Offset well comparison
- Trip Planning



TOTAL combination display during drilling operations.



TOTAL drilloff display.



TOTAL coiled tubing combination display.

図6.6 TOTAL SMART DRILLING

VIP

Data archived during critical drilling periods can be easily reviewed and utilized to compare and plan for offset wells. This is a useful tool whether developing well plans for straight or highly deviated wells, where knowledge of drilling parameters such as Hook Load, Weight on Bit, Torque, etc. become extremely critical.

SAFETY FOR DATA AND OPERATIONS

If, at any time, power is discontinued to the computer, only the data obtained during the power outage will be lost. When power is regained, the program automatically begins archiving current data without any operator interface. The system can also be interfaced with an Uninterruptible Power Supply (UPS) System.

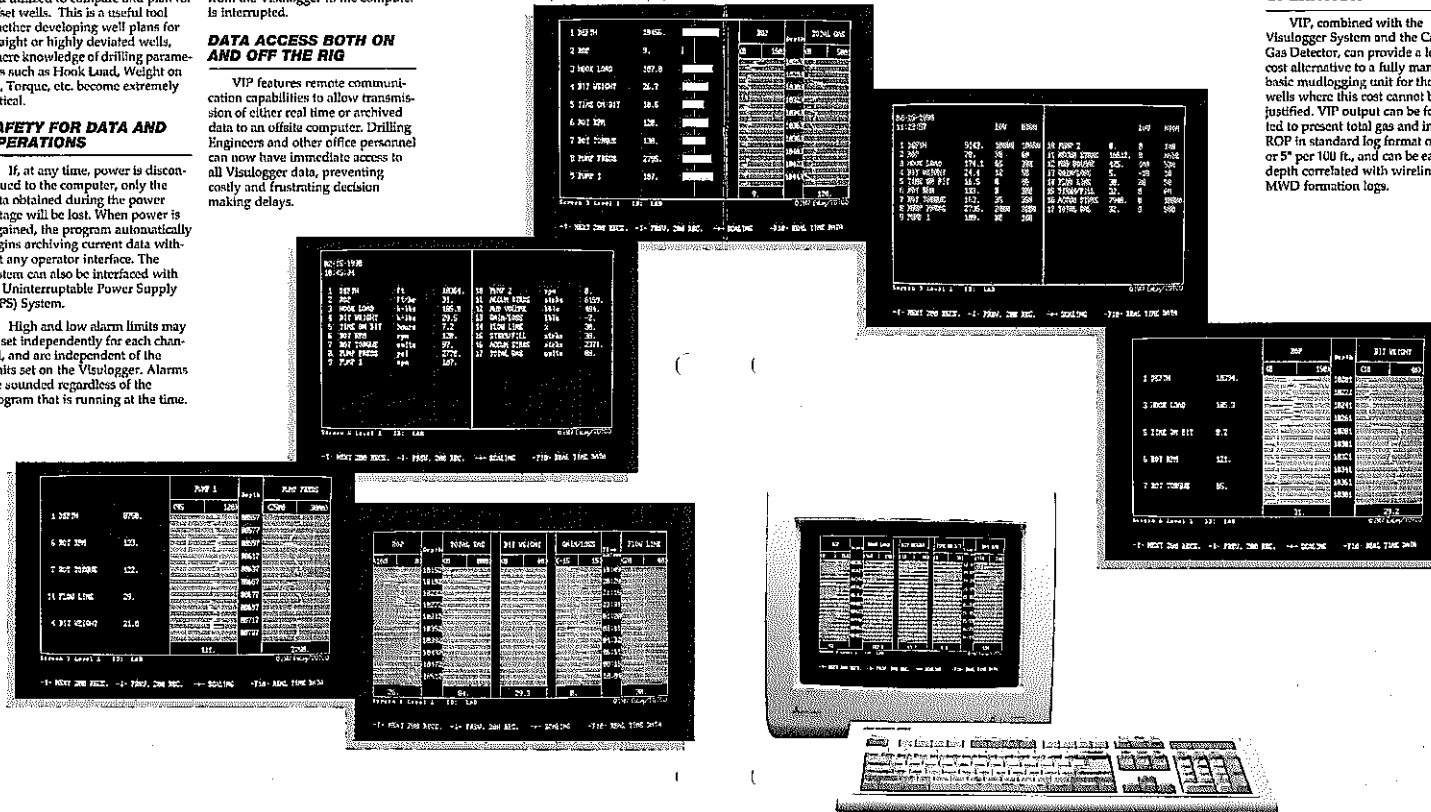
High and low alarm limits may be set independently for each channel, and are independent of the limits set on the Visulogger. Alarms are sounded regardless of the program that is running at the time.

A built-in alarm is also provided to signal the operator if the data signal from the Visulogger to the computer is interrupted.

DATA ACCESS BOTH ON AND OFF THE RIG

VIP features remote communication capabilities to allow transmission of either real time or archived data to an offsite computer. Drilling Engineers and other office personnel can now have immediate access to all Visulogger data, preventing costly and frustrating decision making delays.

Representative VIP Display Screens



TOGETHER, VIP ADDS UP TO SAVINGS FOR YOUR OPERATION

VIP, combined with the Visulogger System and the Canary Gas Detector, can provide a lower cost alternative to a fully manned basic mudlogging unit for those wells where this cost cannot be justified. VIP output can be formatted to present total gas and inverted ROP in standard log format of 1", 2" or 5" per 100 ft., and can be easily depth correlated with wireline or MWD formation logs.

M/D TOTCO社の他に下記会社が同様な掘削情報記録システムを製作している。

GEOSERVICES社 (図6.7)

TRI-FLO INTERNATIONAL社

SWACO GEOLOGRAPH社

RIGSERV社

PETRON INDUSTRIES社

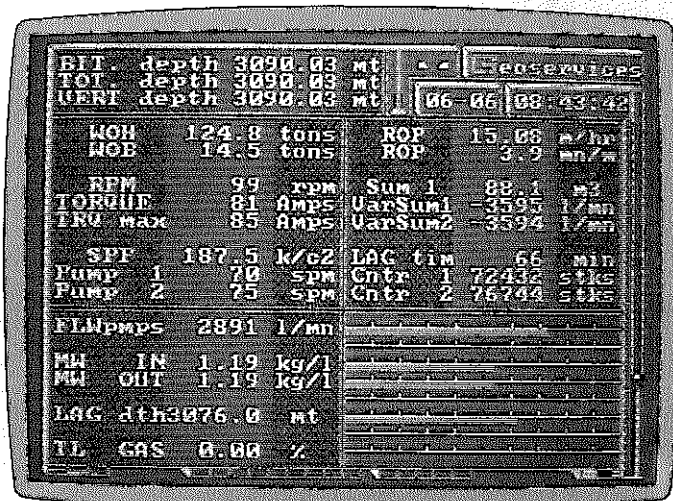
INDUSTRIAL EXPORT社

各社との多少の相違はあるが、情報を画像に表示すること、グラフ化することを主に各情報が一覧できる様になっている。

この様な情報を掘削現場にて入手するだけでなく、各種ネットワークを通じ、バックアップの技術者等が情報の共有ができ、今まで現場のオペレータにのみ掘削の責任を押しつけるのではなく、現場サイドとバックアップ技術者共同で最適の掘削法を選定できる様になったわけである。

掘削現場に於いて、オペレータは各種情報を一覧出来る様になると、最適掘進率を確保する様に、掘削機の回転数、ビット給圧及びポンプ吐出量を調整する必要がでてくるわけである。情報の変化を見ながら掘削機等を操作するために、操作系を1ヶ所に集め、遠隔操作をするシステムが必要となる。一般にDRILLER CONSOLEと呼ばれている掘削情報表示する機能と掘削機、ポンプ等を遠隔操作する機能と1ヶ所にまとめ、CABINの内に全てを配置し、各種情報と掘削機全体を監視出来る様なセットアップをする様になってきている。KTB現場と石油掘削現場のレイアウトは図6.8 図6.9

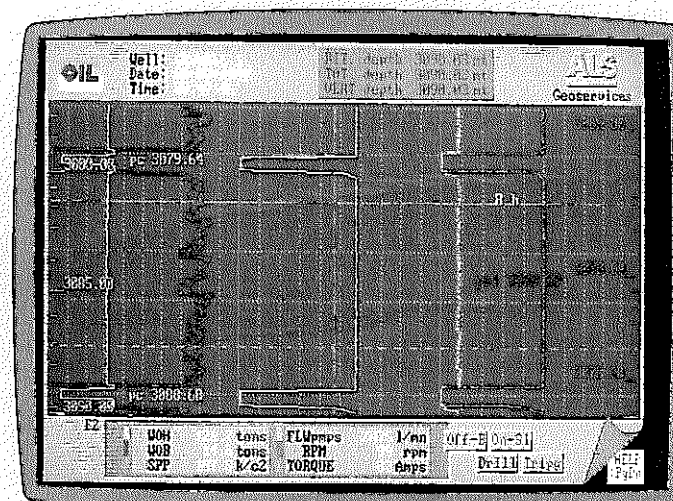
Example of an Alphanumeric Screen



Example of an alphanumeric screen during drilling operations at 3090.03 m. The data are updated every 1 sec.

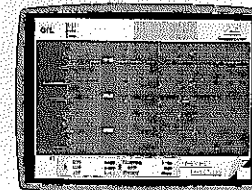


Example of a Graphic Screen



Example of a graphic screen, versus time, while drilling at the same depth as shown opposite, 3090.03 m. This screen provides a history of the previous 60 minutes drilling, showing drilled depth on the left of the screen and lagged depth on the right. The last two pipe connections are clearly visible.

Any parameter scale or any time scale can be chosen; the same parameters or any different selection of parameters can also be displayed versus depth.



6.3 まとめ

1000mの掘削に於いて、どこまでの情報を入手する手段をもつかということは、議論のあるところであろう。

掘削情報を記録することは、今後継続的にプロジェクトを推進していく上で、貴重な財産になるわけである。各地層毎のスライムの排出状況、孔の崩壊のプロセス、ジャーミング等の事故の経緯、最適掘進率を確保するための各種データの記録は貴重なものとなるのは間違いない。

又、清水による1000m掘削は決して容易なものではないことから、従来オペレータに全責任を負せていた状態から、情報の共有化を図ることにより、責任の分散及び掘削に於けるリスク回避を図ることが出来るわけである。

従来この種の情報の収集は軽んじられる傾向があったが、今後は積極的に導入する方向で向うべきである。

前述した様に情報収集、表示、記録するシステムは完成しており、現時点で新たに技術開発するテーマはないわけであり、その上でも積極的なアプローチが必要である。確かに掘削機と計測システムとのマッチングは、掘削機の構造によって異なってくるが技術的にみてそれ程困難なことではないといえる。

本システムの導入に当っては、M/D TOTCO社のものという最新のTOTAL SMART DRILLINGのシステムが良いわけであるが、ステップとして、現有の掘削機との組合せに於いてTHE SPECTRUM 1000 DRILLING CONSOLEから初めるのが良いであろう。

THE SPECTRUM 1000仕様

本体 (CONSOLE部) 寸法 4FT×2FT×41INCH

重量 300LBS

各種センサー

- ・ DRAW WORKS ENCODER
- ・ MUD PIT PROBE SENSER
- ・ FLOW SENSER
- ・ STANDPIPE PRESSURE INDICATOR
- ・ SPM (PUMP) PROXIMITY SENSER
- ・ RPTARY RPM SENSER
- ・ ROTARY TORQUE TRANSDUCER
- ・ WEGHT INDICATOR

等が必要となる。

使用深度、口径 1000mの深度

HQサイズの孔への適用は計測

に何ら関係することはない。

参考文献

山上 義夫／橋本 隣 KTB現場視察報告 超深研ニュースレター (H6、P53、P55)

7. 掘削中のリアルタイム坑底情報計測技術に関するハードウェア調査

7. 掘削中のリアルタイム坑底情報計測技術に関するハードウェア調査

7.1 はじめに

前章の掘削時に於ける孔内計測については既に記述しておりますので、本章では、リアルタイム坑底情報計測技術つまり、MWD (MEASUREMENT WHILE DRILLING) について記述する。

MWD技術とは、掘削中に坑井の方位、傾斜、地層評価、掘削情報つまりビット荷重、ビットトルク、振動に関する坑底データを計測しリアルタイムで地上へデータを伝送する技術である。MWD技術は近年のエレクトロニクスの技術進歩にあわせて急速に発展しております。従来計測のたびに掘削を中断し、計測機を坑内へ降下し計測を行っていた。この間掘削は中断し状況によっては坑内抑留事故の危険性もあったわけである。MWD技術によって、掘削中に坑底の掘削状況がリアルタイムにて情報が得られることは、掘削の安全性の確保と計測による掘削作業中断がなくなるために、総掘削時間の大巾な短縮になるわけである。石油掘削に於いては、MWD技術は積極的に利用されているが、その他の分野ではこれからという状況である。

清水に於ける1000m以上の掘進を考えると現時点では掘削システムが確立されていない状況から、MWD技術を併用した掘削システムを、今後積極的に導入について検討を加えるべきである。

残念ながら現状では、ワイヤライン工法との組合せがないこと、MWD技術は主にサービス会社が測定を請負っている状況であり、掘削側で自由に本技術を応用しにくい状況である。

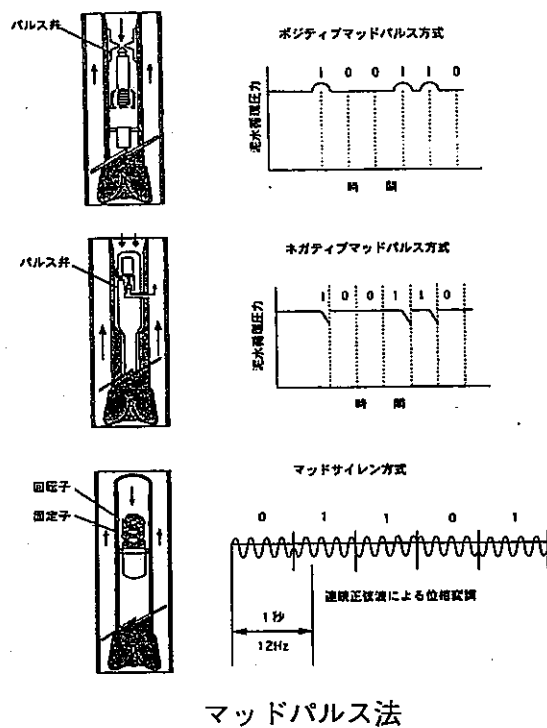
7.2 MWD技術

7.2.1 原理について (図7.1)

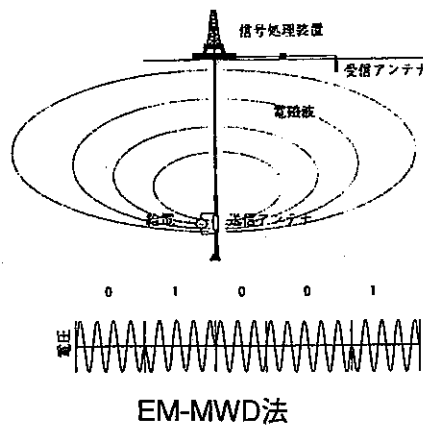
MWD技術とは、掘削中に坑井の方位、傾斜、圧力、温度等の坑井情報、ガンマ線、比抵抗、温度等地層評価情報、ビット荷重、ビットトルク、振動等掘削情報を坑底にて計測し、そのデータをリアルタイムにて伝送する技術である。

その情報を伝達する方式として次の様に分けられる。

- ・泥水圧力波方式 (マッドパルス法)
- ・電磁波方式



マッドパルス法



EM-MWD法

図7.1 MWD原理図

7.2.2 データの伝達システム

坑底で計測したデータを地上に送るには、地上から坑底まで継っているドリルパイプ、その中を泥水が送られているので、ケーブル等を設置するわけにはいかない。その為各種の伝達方式が考えられている。

(1) 泥水圧力波方式 (マッドパルス方式)

- ・ポジティブパルス方式 (POSITIVE MUD PULSE)

弁により泥水流を閉塞又は制限して、パイプ内泥水に正圧を与える方式

- ・ネガティブパルス方式 (NEGATIVE MUD PULSE)

泥水流を分岐してパイプ内から坑井内に流出させ、パイプ内泥水に、負圧を発生させる方式

- ・マッドサイレン方式 (MUD SIREN)

スロットを設けた2枚の円盤を、対向させた回転式弁により、パイプ内泥水流の閉塞と開放を繰り返し、パイプ内泥水に脈動を与える方式

(2)電磁波方式 (EM方式) (ELECTROMAGNETIC)

電磁波を伝送手段とし、送信アンテナを坑底機器に組み込み、大地を伝搬する電磁波を地上に設置した受信アンテナにより、その記号を受信する。

7.2.3 計測方式

(1) 方位・傾斜

一般に磁束計及び重力加速度計が用いられている。

(2) 地層評価

比抵抗値は16インチショートノルマルで計測される。この他ガンマ線の計測にはガイガーカウンター又地層密度中性子孔隙率の測定できるものもある。

(3) 掘削データ

坑底でのビット荷重、トルク、圧力はMWD管体に取付けられた歪みゲータにより計測される。

全て坑底で測定されるということは、掘削直後の測定であるので、地下水の浸透等に影響されない値であり、掘削データは掘削機から得られる情報と比較することにより、坑内状況を適確に把握でき、ビットに適切な回転、荷重、トルクを与えることにより、掘進率と安全性の向上につながってくる。

7.3 現況

MWDサービスを行っている各社の現況につき述べる。各社の製品名、特徴、サイズについてまとめる。

(1) BAKER HUGHES INTEQ社 (表7.1、図7.2)

・ D M W D-DIRECTIONAL DRILLING用

ハウジング外径 2"

深井戸・傾斜井～水平井用

・ NaviTrak-DIRECTIONAL DRILLING用

Short Radius～水平用

プローブ外径 1 3/4, 2"

・ NaviGamma-NaviTrakにGamma測定機を加えたもの

そ の 他 DG (DIRECTIONAL-GAMMA)

DDG (THE DRILLING DYNAMICS)

RGD (RESISTIVITY GAMMA-DIRECTIONAL)

DPR II (DUAL PROPAGATION RESISTIVITY)

TRIPLE COMBO (DPR II と NEUTRON PROSITY, DENSITY LITHOLOGY

の測定を組合せたもの)

表7.1 BAKER HUGHES INTEQの各種サービスシステム

Versatile Systems for All Applications									
Applications	Directional	DMWD	NaviTrak	NaviGamma	DG	DDG	RGD	DPR II	Triple Combo
Slimhole Drilling		■	■	■					
Short Radius			■	■					
Horizontal Wells	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Borehole Location	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Directional Control	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Relief Well Drilling	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Stratigraphic Positioning				■	■	■	■	■	■
Geosteering in Reservoir				■	■	■	■	■	■
Lithology Identification				■	■	■	■	■	■
Casing Seat				■	■	■	■	■	■
Coring Point Selection				■	■	■	■	■	■
Pore Pressure Analysis							■	■	■
Hydrocarbon Detection							■	■	■
Gas/Oil/Water Contact Formation							■	■	■
Evaluation Analysis							■	■	■
Thin Bed Definition								■	■
Shallow Gas Detection								■	■
Wireline Replacement								■	■
Core Orientation	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Depending on the level of MWD service employed, information provided by Baker Hughes INTEQ's measurement systems can be used for a variety of applications.

Drilling Services MWD

Reliable Systems for Enhancing Drilling Performance

Baker Hughes INTEQ offers Teleco MWD systems for enhancing drilling performance and allowing precise control of the wellbore. In both probe-type or collar-mounted configurations, these tools range from directional systems to more advanced tools which measure downhole drilling parameters and natural-formation gamma ray. These tools deliver reliable, real-time directional information, including hole inclination, azimuth and toolface orientation. Data quality parameters such as sensor temperature, gravitational and magnetic field intensity, and magnetic dip angle are also measured.

Baker Hughes INTEQ's complement of probe-type MWD systems includes the retrievable DMWD directional probe; the NaviTrak directional tool; and the NaviGamma featuring gamma ray detection. Each of these probe-type tools can operate in hole sizes as small as 4'.

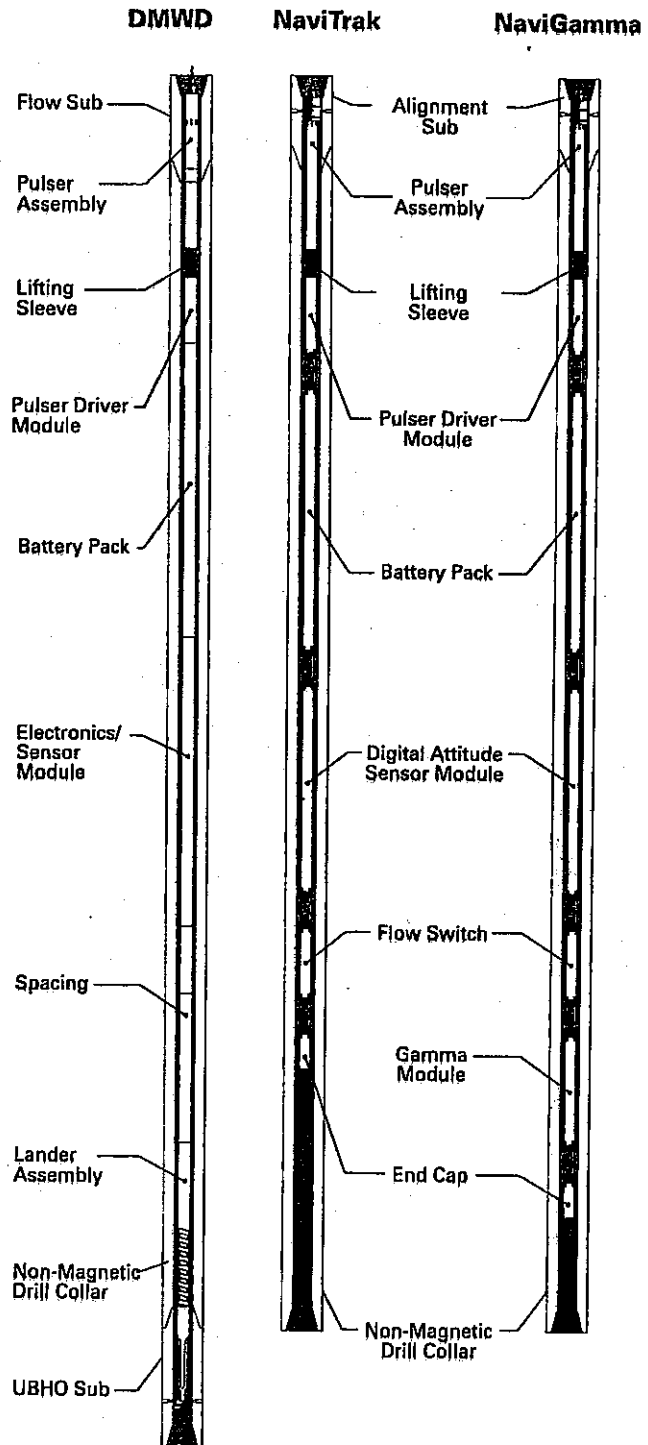


図7.2 BAKER HUGHES INTEQの各種MWD

(2) SPERRY-SUN DRILLING SERVICES社 (図7.3)

- ・ MPT-DIRECTIONAL DRILLING (ネガティブパルス方式)
- ・ DWD-DIRECTIONAL WHILE DRILLING
- ・ DGWD-DIRECTIONAL GAMMA WHILE DRILLING

DWD、DGWDは4 3/4ドリルカラー内に設置できる

(3)GEOSERVICES社 (図7.4)

- ・ EM-MWD MWD外径 4 3/4, 6 3/4, 7 3/4

(4)SCHLUMBERGER ANADRILL社

- ・ MWD-DIRECTOPNAL DRILLING
- ・ LWD- (LOGGING WHILE DRILLING)

(5)HALLIBURTON

- ・ DATA DRILL
- ・ LWD

(6) MAILEY (図7.5)

- ・ MWD ネガティブパルス方式
ドリルカラーサイズ

3 1/2, 4 3/4, 6 1/2, 7 3/4, 9 1/2

(7) QUALITY DRILLING TECHNOLOGY社 (図7.6)

- ・ QDT-MWD ドリルカラーサイズ 4 3/4

(8) COMPUTALOG社 (図7.7)

- ・ MWD ドリルカラーサイズ 4 3/4

INTRODUCTION

Accurate and Timely Information for Better Wellsite Decisions

In today's complex drilling environment, making a correct decision demands accurate and timely downhole information. Sperry-Sun's modular Measurement-While-Drilling (MWD) systems have been designed to accommodate your rapidly changing needs for downhole data with minimum impact on the drilling operation. Operated by well-trained and experienced engineers, our MWD systems provide the information you need, when you need it.

Survey/steering, gamma ray, multiple depth of investigation resistivity, bulk density, neutron porosity, photoelectric effect, vibration, pressure, and circulating temperature data are available real-time and recorded at the wellsite, and can even be transmitted directly to a computer in your office. Different combinations of these data can be used for specific applications such as trajectory control, drilling efficiency, pore pressure prediction, hazard avoidance, geosteering, or formation evaluation.

You can also take advantage of Sperry-Sun's ability to combine related technology and experience

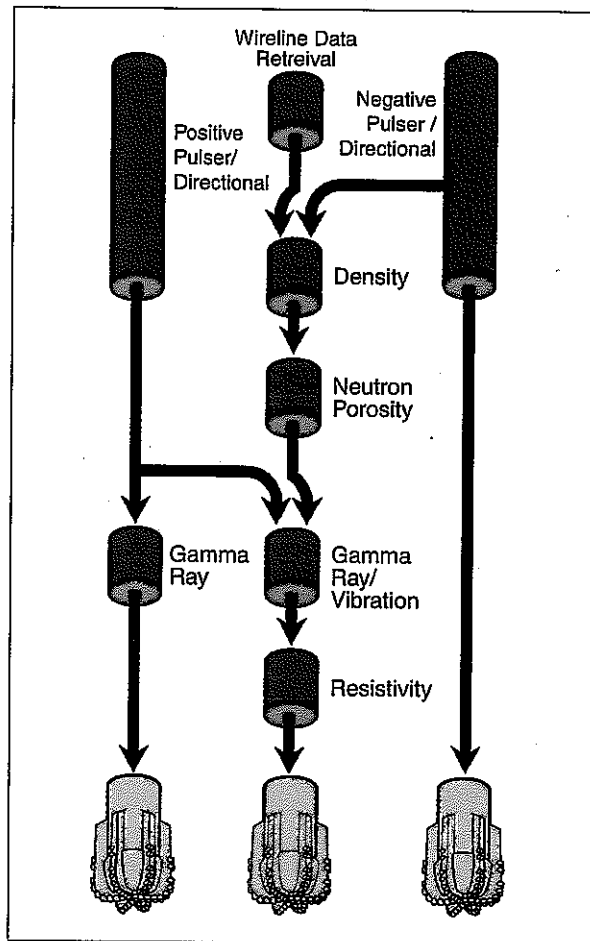
in directional drilling, surface logging, Applied Drilling Technology, drilling engineering, and fluids engineering for a more

comprehensive approach to your drilling and evaluation needs.

Combination services can often provide increased operational efficiency as well as enhanced information for critical decisions.

Modularity for Maximum BHA Design Flexibility

Our MWD systems' modular design helps you achieve maximum flexibility in your BHA



Sperry-Sun MWD systems are modular for maximum BHA versatility.

Geoservices Electromagnetic MWD

Clients in increasing numbers are taking advantage of the electromagnetic wave transmission principle in Measurement-While-Drilling (MWD). The Geoservices Electromagnetic MWD runs longer, is less restrictive to hydraulics, and works in more kinds of downhole environments than competing tools. The tool measures:

- Deviation
- Formation Natural Gamma Ray
- Formation Resistivity

FEATURES OF THE ELECTROMAGNETIC MWD

- **Increased Usability** - The tool can be used in any type of fluid medium, including holes drilled with straight air, or even in the event of total losses. The lack of a turbine or pulse valve permits passage of lost circulation material (any size material that can pass through the bit nozzles). Unrestricted fluid passage around the tool means no additional pressure loss, reducing the chance of formation damage during measurement.
- **Battery Operation** - The tool consumes little energy. Power supply is by high-temperature resistant lithium battery.
- **Increased Reliability** - The tool uses solid state electronics and sensors entirely, with no moving or mechanical parts (1500 hours MTBF during operations in the Paris Basin).
- **Two-Way Transmission** - Our tool can receive, as well as send signals. At any time the operator can request changes in the sequence or selection of transmitted data.
- **Increased Efficiency and Security** - Directional measurements require no drilling time if they are executed during a pipe connection. Between connections, only 5 seconds without motion of the drill string are enough to make an accurate directional measurement.
- **Easy Installation** - No modification to the rig or circulating system is needed to install the surface equipment.
- **Easy Operation** - All tool functions are computer-controlled from surface. A single

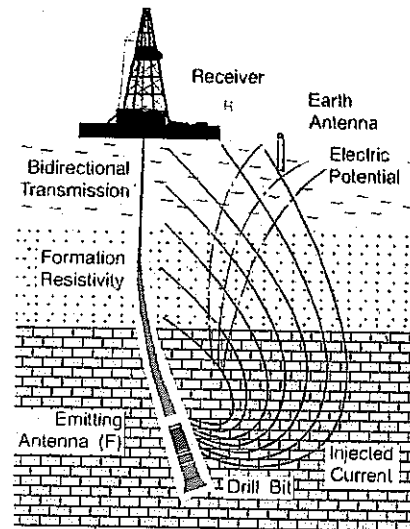
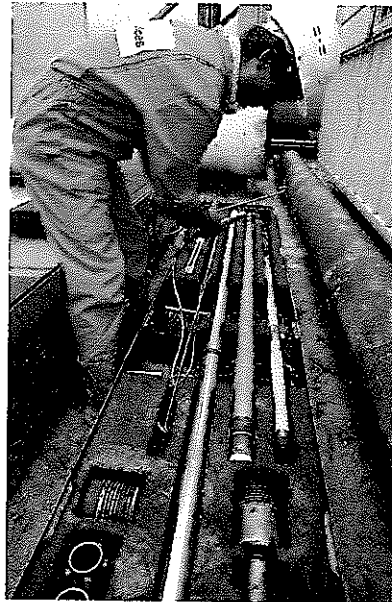
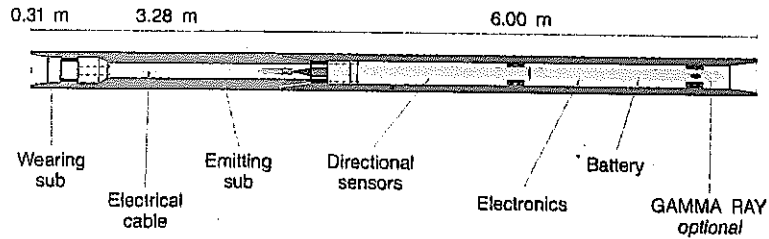
command initiates a deviation measurement.

TRANSMISSION PRINCIPLE

The Geoservices Electromagnetic MWD provides directional and formation evaluation data through a new generation of downhole telemetry while drilling. The tool

transmits data by propagating electromagnetic waves. Sensitive, non-intrusive surface equipment receives the signals for processing. This eliminates the complexity and hydraulic restrictions inherent in traditional mud-pulse MWDs. Tool operation is completely independent from mud flow; it therefore operates during all

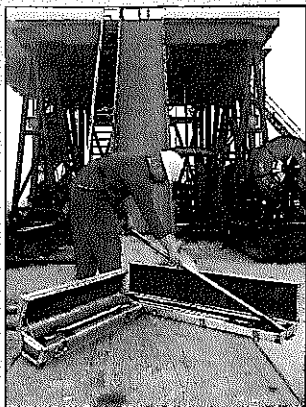
phases of drilling (even during trips, or when mud losses occur). Mud parameters have no limiting effects on tool operation. Geoservices Electromagnetic MWD is the only MWD tool which will work in holes drilled, with air, foam or mist, during total losses or when the solids content of the drilling fluid is very high.



directional



SIMPLICITY, RELIABILITY AND ACCURACY GO HAND IN HAND.



An elegantly simple approach to design reliability has brought MWD survey technology to a new level of maturity.

Full use of the available advances in downhole electronics and uncomplicated design engineering has retained full functionality while dramatically reducing the system component count. Unparalleled ease of operation and handling, coupled with low maintenance and support cost has extended the economic application of MWD services to the widest possible market.

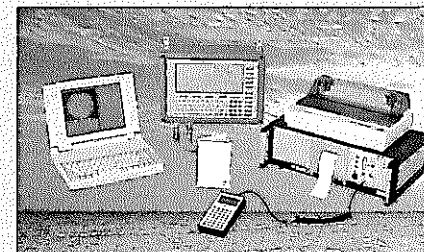
CHALLENGING CONVENTIONAL MWD ECONOMICS

In built operational flexibility, high design reliability, ease of maintenance and compact transportability dramatically reduces the capital cost of equipment dedicated to any particular service job. The no fuss simplicity reduces the number and level of training required for operational and maintenance personnel.

Survey systems that bring new economics to the industry.

FEATURES AND BENEFITS

- ▲ One tool fits all standard collar sizes from surface to T.D., and is operable over the whole flow range - reducing the number of tools held at the wellsite.
- ▲ The most compact design on the market, at 15 1/2" long, fitting into any collar size down to 4 1/4" O.D. (slick 3 1/2" O.D. with ultra-slim transmitter option) Designed for use in the increasing number of small hole horizontal and re-entry drilling applications
- ▲ Optimum signal encoding and detection, with a choice of raw or computed data transmission giving fast and reliable tool face updates and surveys, even in the most difficult conditions.
- ▲ Light and portable modular design gives rapid call off and operational support capability reducing the amount of equipment in the logistics cycle.
- ▲ Operational simplicity and ease of handling reduce the need for dedicated MWD specialists at the wellsite.



- ▲ Uncomplicated maintenance procedures make for rapid and inexpensive servicing, eliminating the need for extensive maintenance base facilities.
- ▲ Transmission system designed to accommodate additional sensor signals, allowing future upgrade with a range of formation evaluation and engineering sensors currently under development.

7.5 MAILEYのMWDシステム

SETTING THE STANDARD IN MWD TECHNOLOGY ...

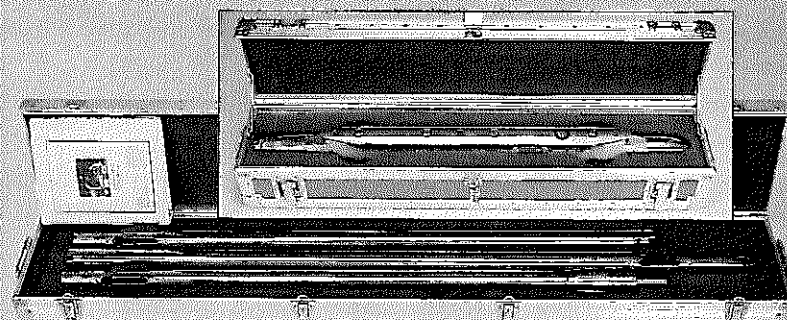
FULL RANGE DIRECTIONAL SURVEYING CAPABILITY

Designed for all directional surveying operations. Tool transmits inclination, azimuth, tool face and temperature; plus magnetic or gravity tool face in steering or rotary drilling modes.

Simple pump pressure sequence commands from the surface are used to switch the tool between:

- ▲ Static and/or dynamic transmission
- ▲ Computed or raw data transmission
- ▲ Magnetic or gravity tool face
- ▲ Smart update or standard transmission

In addition, total magnetic and gravitational field information are transmitted regularly as a further check on survey quality.



ODT
MWD

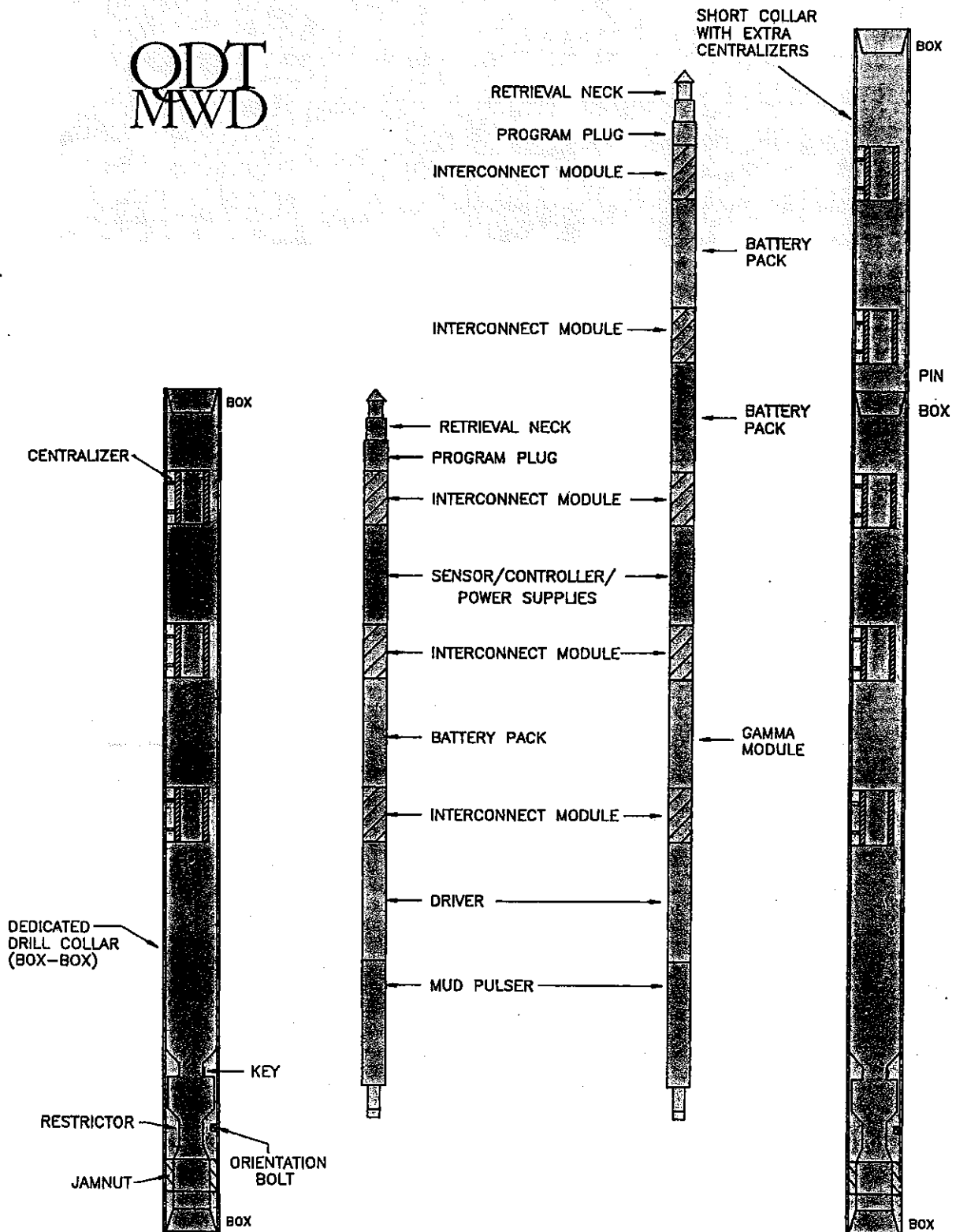


図7.6 QUALITY DRILLING TECHNOLOGYのMWDシステム

COMPUTALOG

Wellbore knowledge and solutions

MEASUREMENT WHILE DRILLING (MWD)

Computalog Drilling Services
9204 - 37th Avenue
Edmonton, Alberta, Canada T6E 5L4
Tel: 403-462-6300 Fax: 403-465-4551

Computalog Ltd.
#2000, 530 - 8th Avenue SW
Calgary, Alberta, Canada T2P 3S8
Tel: 403-265-6060 Fax: 403-298-3891

Computalog Drilling Services has been providing Measurement While Drilling (MWD) services since 1982. We have provided service to over 200 clients on over 1,000 wells. We have worked in the -50°C climate of the Canadian north and the +50°C climate of the Middle East and have performed services for land and offshore based operations around the world.

Our latest technology is comprised of a new state-of-the-art programmable electronic system with the best data accuracies available today. Our newest software, **MWD For Windows**, is a multi-tasking system designed to give the utmost in flexibility to meet the diverse needs of our customers.

Our systems are compact and portable. MWD systems are easily transported by helicopter or small craft to any destination (with the exception of the non-magnetic drill collar used to convey the instruments).

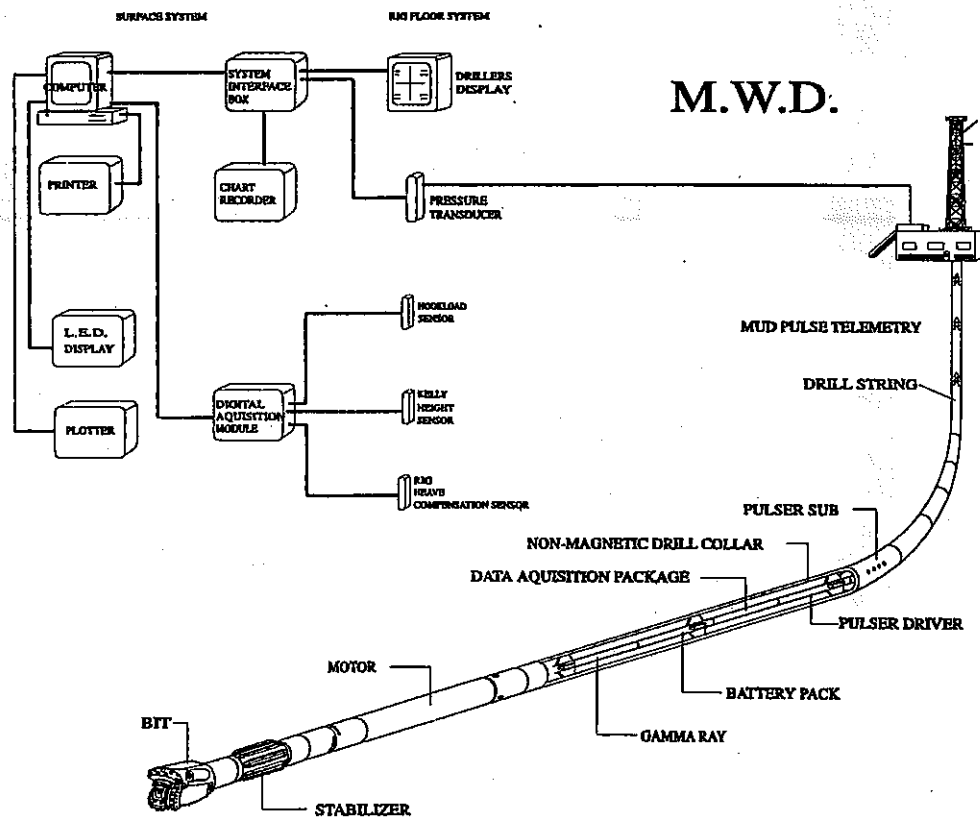


図7.7 COMPUTALOGのMWDシステム

7.4 まとめ

MWD技術は近年開発され、急速に技術開発が進んでいる分野である。KTBプロジェクトでも採用されてい様に、ダウンホールモータとの組合せにて、コントロールドリリングが可能となってくるわけである。現段階では、清水使用コアリングをワイヤラインで行う方式で行っているケースはないようである。近年日本国内に於いても、石油公団、石油技術開発センターでEM-MWDを開発しており、清水用ワイヤラインコアリング方式MWDを開発テーマとして取組む必要が生じていると思う。(図7.8, 図7.9)

すでにサイズ的にはHQサイズの孔に使用できるMWDがあり、深度的に1000mは問題ない。又使用に於ける掘削方向についてもDELECTIONAL DRILLINGと言うように垂直、傾斜、水平に対応できるモデルは完成している。

参考文献

杉山 弘訓 MWD技術の現状及び超深層ボーリングへの適用
地質ニュース 第488号 P53

2. EM-MWDシステム実用化技術(特別研究)

油・ガス井の掘削作業を効率化し安全性を向上させるために、掘削時に地表及び坑底の掘削情報をリアルタイムに入手、処理、解析する総合システムの技術開発が、大型研究「リアルタイム掘削制御技術」として昭和61年度より平成4年度までの7年間にわたり進められてきました。この大型研究では、掘削中に坑底センサーにより傾斜、地質、圧力等のデータを測定し、従来のマッドパルス(泥水圧力波)による伝送ではなく、電磁波によりそれらの坑底データをリアルタイムに地表へ伝送するEM-MWD(Electromagnetic-Measurement While Drilling)の研究開発が行われ、外径8インチのEM-MWD坑底ツール、並びに陸上掘削リグ用の地上システムを試作し、既に幾つかの検証試験を実施してきました。

「EM-MWDシステム実用化技術」では、この坑底ツールの外径を8インチから6-3/4インチにする小径化、海洋掘削リグでの運用を考慮した電磁波受信システム、高傾斜井及び水平坑井での運用を考慮した坑底ツールの最適化、システムの信頼性及び運用性の向上等、EM-MWDシステムを実用化するために必要な技術を確立することを目的としています。

2. EM-MWD System Development

The R&D project for Real-Time Drilling Technology has been conducted for 7 years to establish an integrated system that assists drilling supervisors at the rig site to control drilling operations on a real-time basis. EM-MWD (Electromagnetic-Measurement While Drilling) is the main system that measures the downhole data and transmits it to the surface by means of electromagnetic waves on real-time while drilling. In the research of the EM-MWD system, the downhole tools and the surface equipment have been developed, and several field tests have already been conducted.

The objective of this R&D Project is to enhance the EM-MWD system, including the application for horizontal wells and offshore drilling, to establish safer and more reliable operations for the drilling of oil and gas wells.

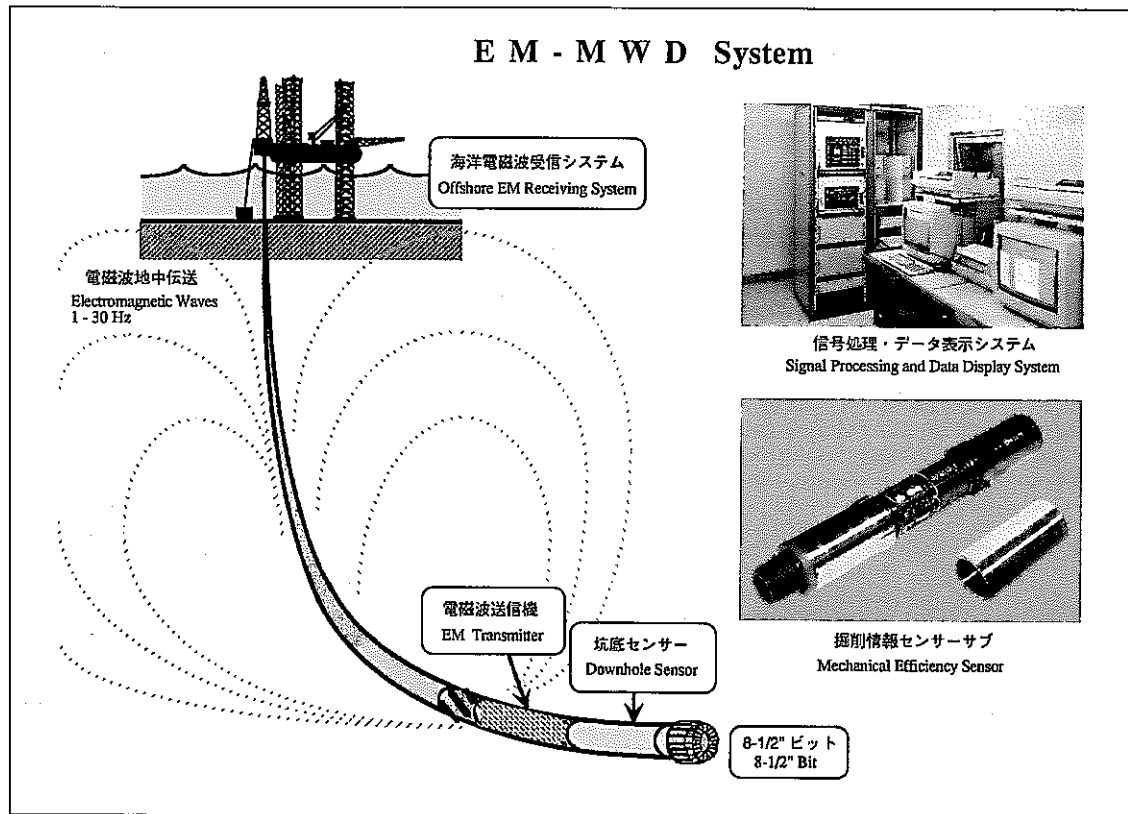
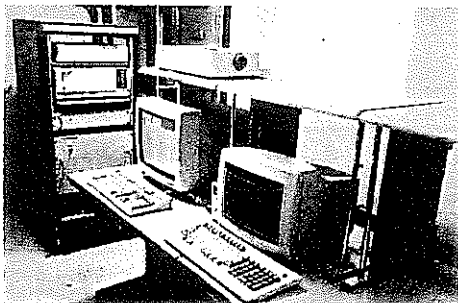
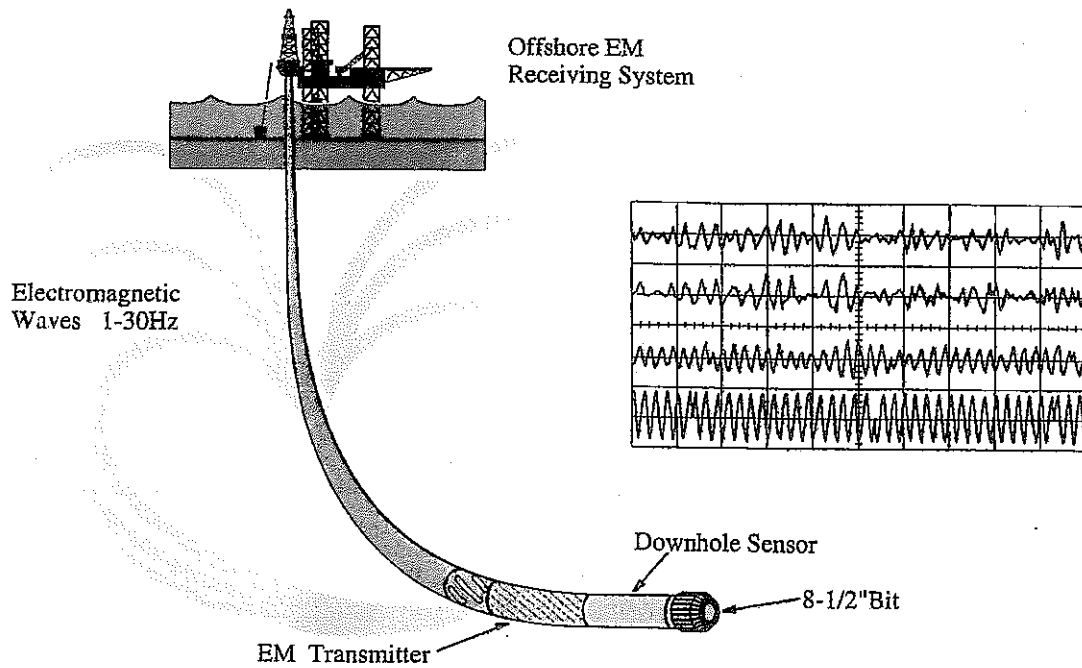


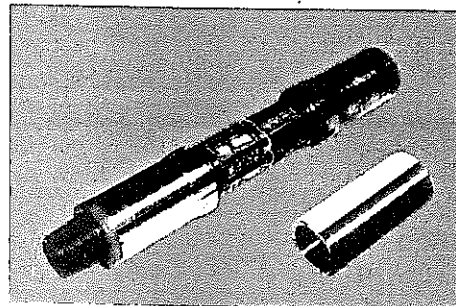
図7.8 JNOC-TRCのEM-MWDシステム (1)

EM-MWD

Electromagnetic-Measurement While Drilling



Signal Processing & Data Display System



Mechanical Efficiency Sensor

For Further Information

Petroleum Engineering Laboratory, Technology Research Center,
Japan National Oil Corporation

2-2, Hamada 1-Chome, Mihama-Ku, Chiba-Shi, Chiba-Ken 261, Japan

Phone : 81-43-276-9279

Fax : 81-43-276-4063

JNOC-TRC

**8. 掘削装置類の自動化、作業の省力化に
関するハードウェア調査**

8. 掘削装置類の自動化、作業の省力化に関するハードウェア調査

8.1. はじめに

1000mを清水にて掘削するための、掘削機及びその周辺機器の自動化及び省力化について、下記の分野に分けて述べる。

- (1) 掘削機
- (2) ネジ部解緊装置
- (3) パイプハンドリング装置

当然各分野とも掘削の工法及び掘削のプログラムによって、使用する機器が異なってくるわけであるが、ケーシングにて保孔しながらワイヤライン工法にてコアリングをするとの前提とした。

8.2 掘削機

一般に掘削機の種類として、その構造から次の三種に分けられる。

- (1) ロータリーテーブル方式
- (2) スピンドル方式
- (3) トップドライブ方式

掘削機の能力として次の条件が必要である。

- ・掘削能力 HQサイズで1000～1500m
- ・巻上能力 20トン～50トン
- 掘削工法によって異なってくるが、二重管工法等を視野に入れるとある程度の巻上げ能力が欲しい。
- ・使用ケーシングサイズ SW, PW, HWサイズ
- ・回転数 MAX, 200～500RPM
- ・トルク 1000kgf-m

(1) ロータリーテーブル方式

巻上能力的にはドロウオックスの選定だけであり問題はない。しかしワイヤライン工法に於けるビット荷重をかける手段－プルダウン装置－は一般に設置されていないが、必要となる。回転数は多くのロータリーテーブルは要求される回転は出ない。この様なことから、ロータリーテーブル方式の掘削機は不適であると判断する。

(2) スピンドル方式

多くのスピンドル方式の掘削機は、ダイヤモンドコアドリリングに適する様な回転域を持っており、ワイヤライン工法としては最適である。巻上能力も20トン前後であれば、日本国内の製造会社も製作している。(利根、鉦研工業、エヌエルシー) 又PWケーシング迄、貫通できる油圧チャックを組込んでおり、作業の省力化も図られている。ただ1つ問題となるのは、フィードストロークが500~1000mm程度で、清水掘削に於いて、回転の中断が孔の崩壊を誘発することから考えると、ストロークが短いことに問題がある。

(3) トップドライブ方式

トップドライブ方式の掘削機の構造はパワーヘッドと称して、油圧あるいは電動式のモータを設置したギヤボックスにより、ドリルパイプに回転、トルクを与えることができる。このパワーヘッドにウォータスイベルを一体化したパワースイベルを回転しながら降下させ、ドリルパイプを經由しビットに回転とトルクを与えて掘削するものである。このパワースイベルにて回転を与える構造の掘削機をトップドライブ方式掘削機と呼んでいる。

トップドライブ方式の特徴は次の通り。

- ・回転とトルクを与えるパワー（油圧あるいは電動モータ）と一体化されているために、コンパクトの構造となっている。
- ・油圧あるいは電動モータ駆動であっても無段変速構造であるため、最適ビット回転が得ることができ、回転を止めることなく変速することができる。
- ・ロングフィールド構造にしたいために、トップドライブ方式が開発された様に、長いフィードストロークがえられる。
- ・孔口周辺に回転機構部がないために、オープンスペースが確保でき、パイプ類のねじ解緊、ロットハンドリング装置を据付けることが可能となった。
- ・回転伝達機構は、パワーヘッド下部と使用するパイプのネジのジョイントをするだけですむため、スピンドル方式の様にパイプサイズに合う駒をつけかえる必要がない。このことはケーシングリーミング等を多用することになる清水掘削には、非常に便利な構造である。
- ・ロングフィールドのため6Mのコアランを回転を止めることなく掘削出来るために、コア詰り、孔の崩壊等を最小限にすることができる。

三方式を比較してみると、その特徴から明らかなように、トップドライブ方式が最も優れていることが判る。トップドライブの掘削機のセットアップ形状として

- ・トラックマウント
- ・トレーラマウント
- ・スキットマウント

があるが、日本国内での稼働場所への移動又現場での据付け時間の短縮等を考えると、トレーラマウントあるいはスキットマウント型になってくる。

海外の掘削機の導入を考えると、国内移送のために10トン車、トレーラに搭載できる様に各ブロックの長さ、巾、高さを考慮する必要がある。(図8.1)

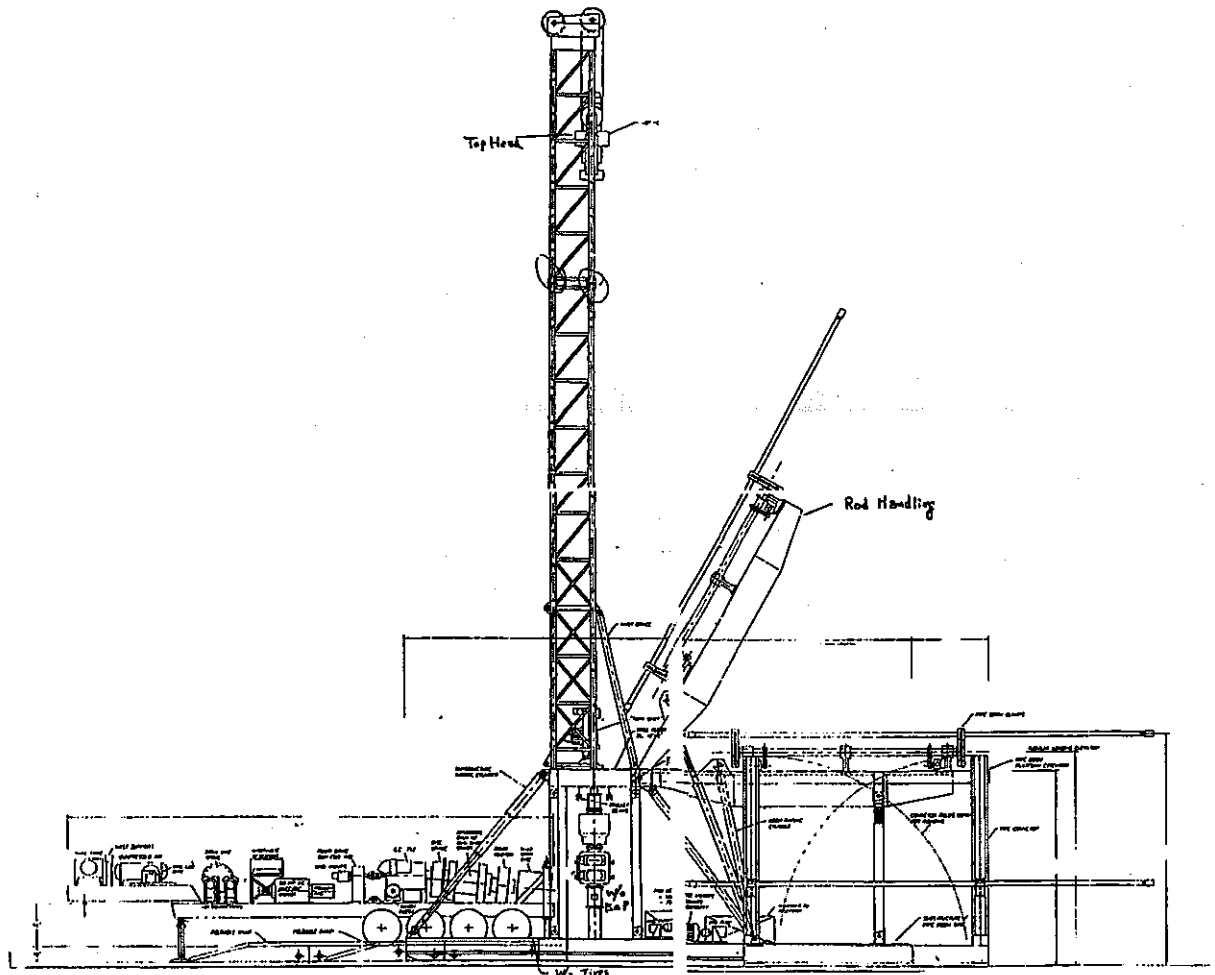


図8.1 トップドライブ掘削機全体図

・SCHRAMM社 (図8.3)

トラックマウント、トレーラマウント製造

油圧式パワースイベル

Rotadrill

OVERALL DIMENSIONS

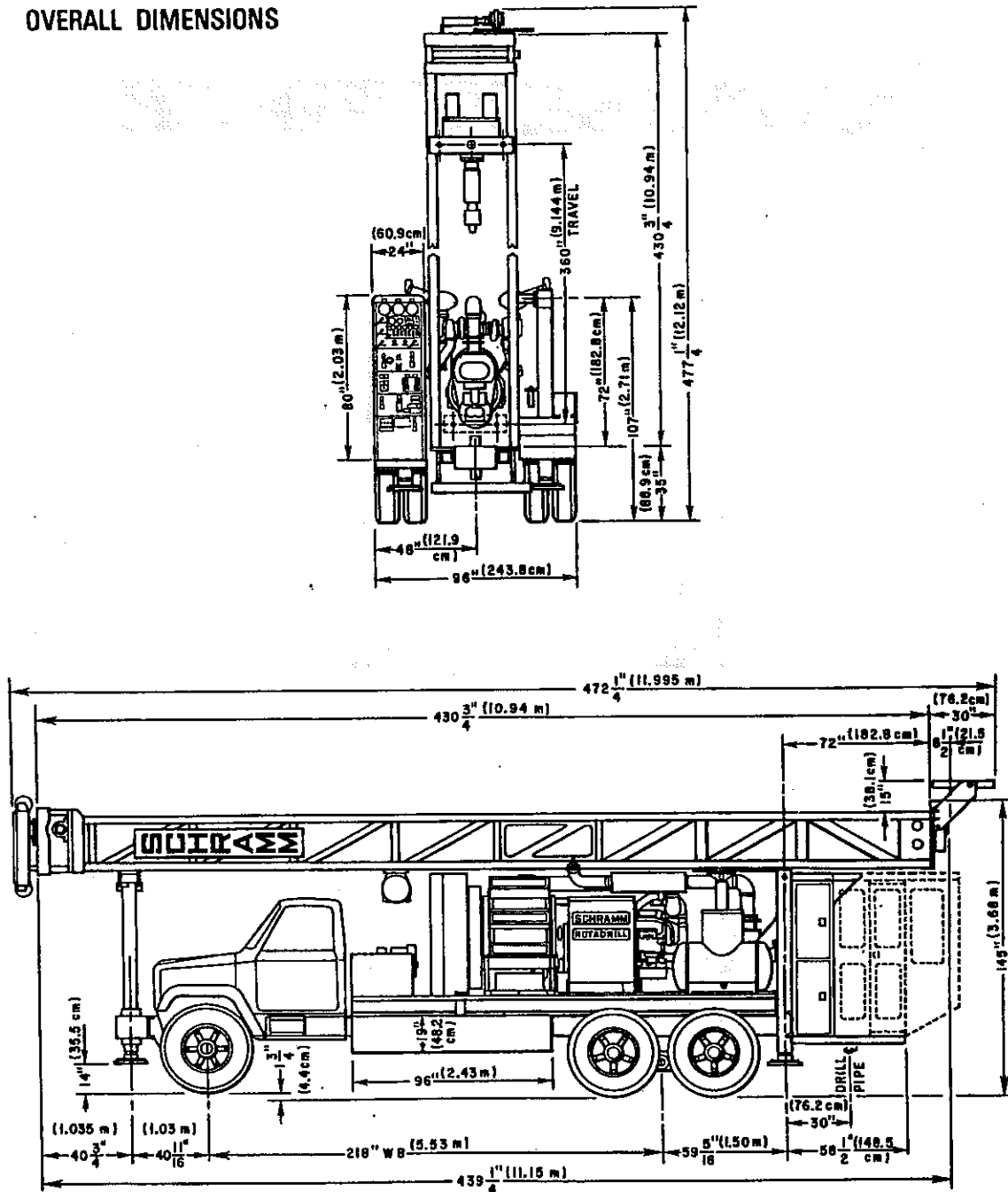


図8.3 SCHRAMM トラックマウント掘削機

・ WALKER-NEER社

トラックマウント、トレーラマウント スキットマウント製造
油圧式／電動式パワースイベル

・ BOWEN社 (図8.4)

トップドライブ部のみ製造
油圧式パワースイベル

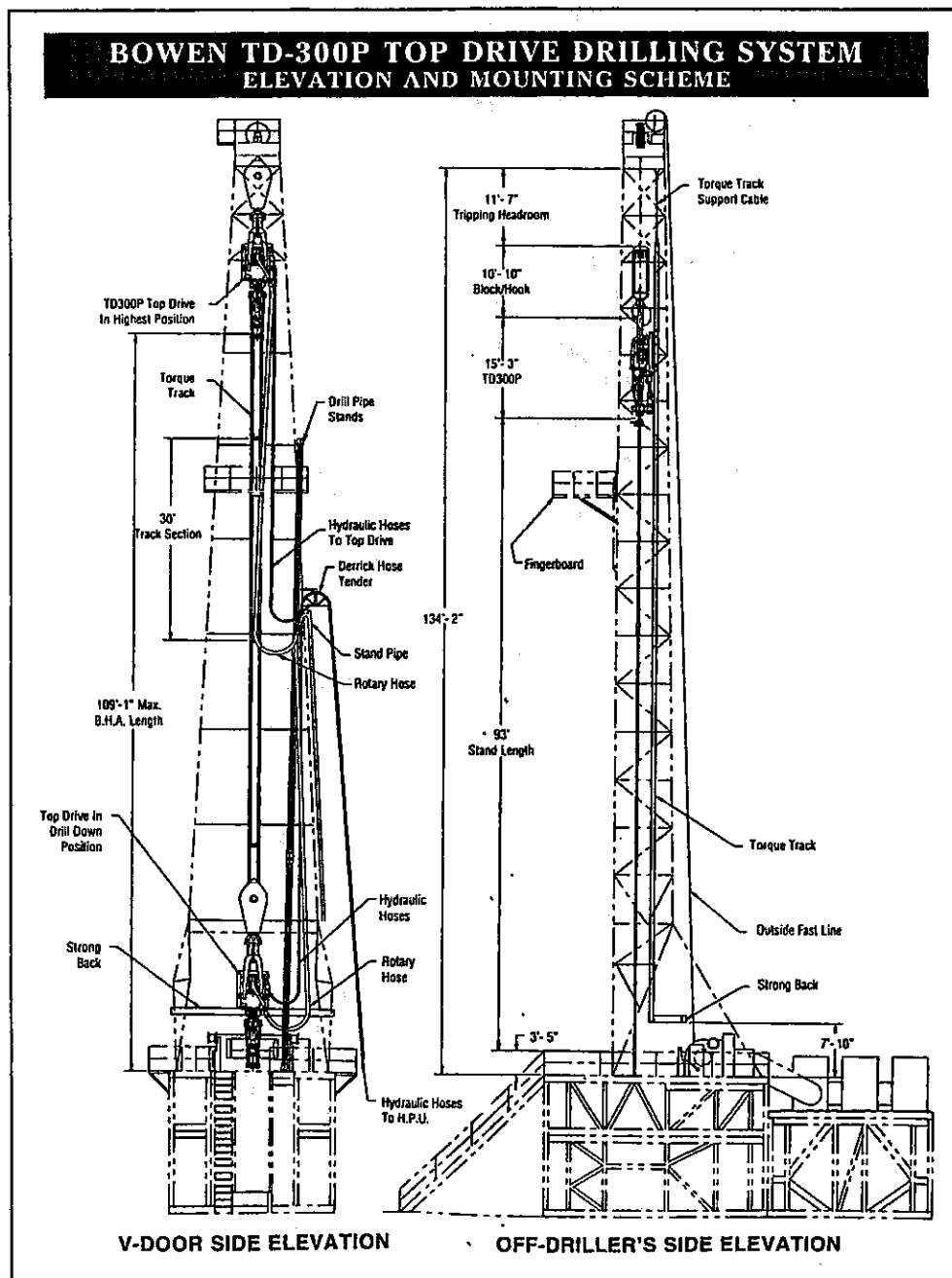


図8.4 BOWENのトップドライブシステム

・ MARITIME HYDRAULICS社 (図8.5)

トップドライブ部のみ製造

油圧式パワースイベル

Easy installation

0. PRE-INSTALLATION: EXTEND MUD PIPE
1. PLACE POWER UNIT
2. PLACE CONTROL PANEL
3. PLACE CLAMP IN CROWN
4. PLACE TORQUE TUBE
5. PLACE TORQUE SUPPORT
6. HANG IN GUIDE DOLLY
7. CONNECT THE PTD
8. HANG IN LINKS AND ELEVATOR
9. PLACE HOSE SADDLE AND HOSES
10. PUSH THE BUTTON AND TURN TO RIGHT

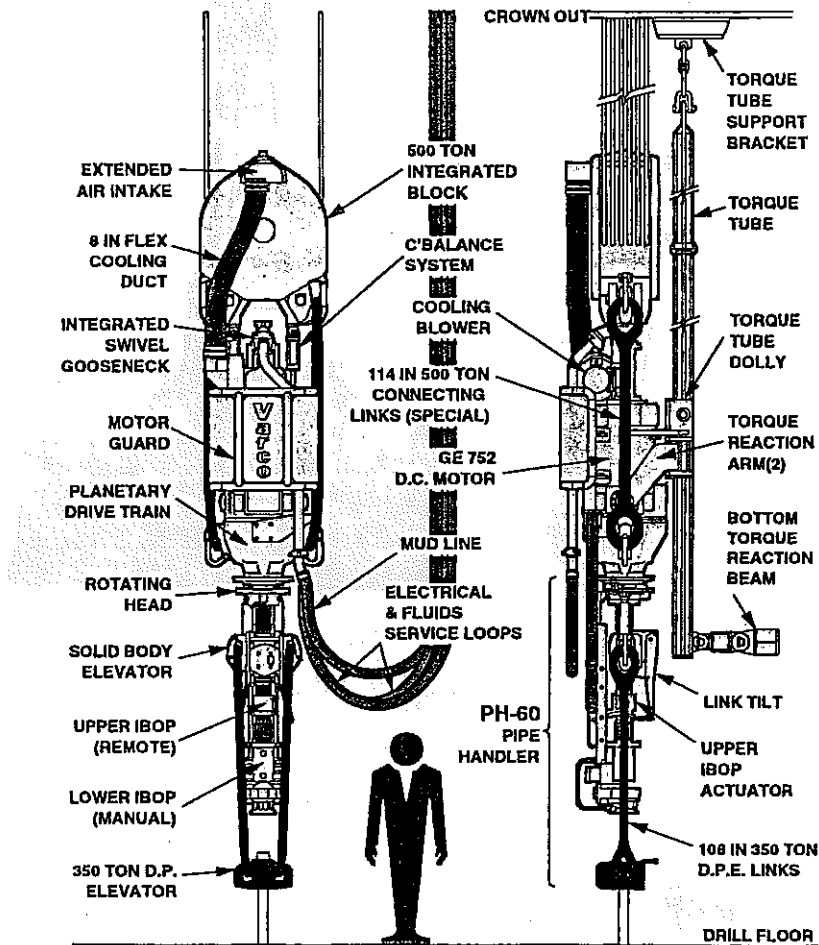
図8.5 MARITIME トップドライブシステム

・TESCO社 (図8.6)

トップドライブ部のみ製造
油圧式パワースイベル

・VARCO BJ社 (図8.7)

トップドライブ部のみ製造
電動式パワースイベル



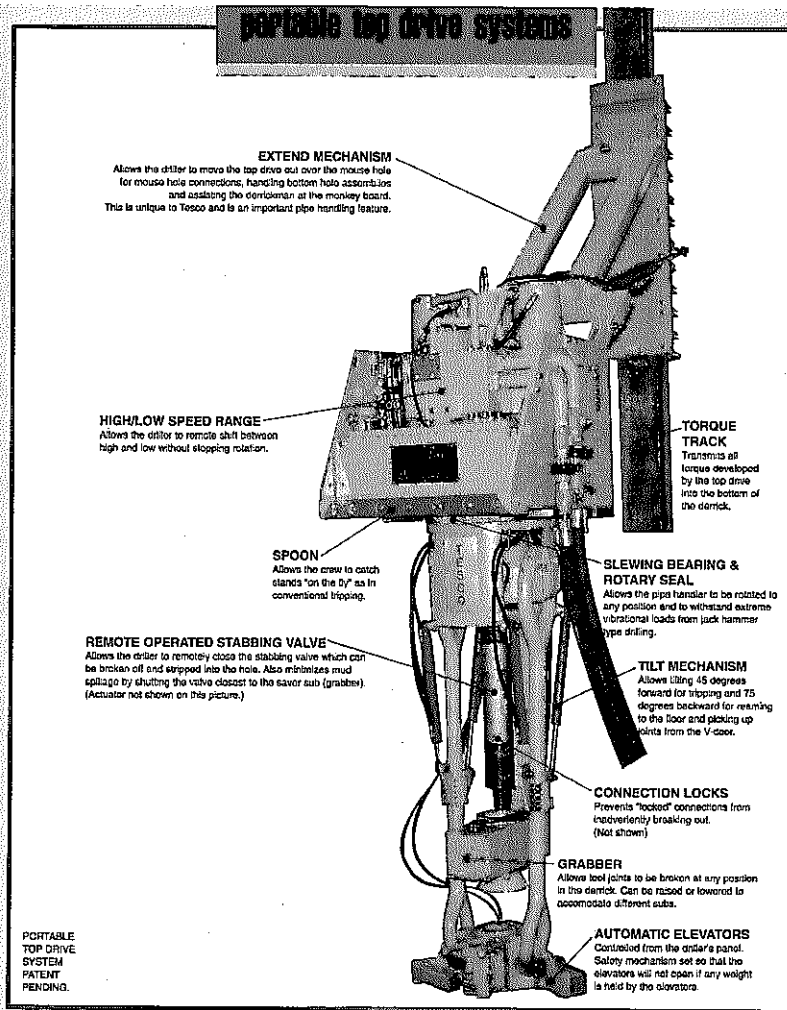
IDS-1 General Arrangement & Components

SPECIFICATIONS

Working Height	29.3 ft.
Weight (500T Block)	~43,000 lbs.
Output Torque (Continuous)	31,800 ft.-lbs.
	@ 162 RPM & 1050 AMPS
API Hoist Capacity	500T (350T Available)
Hydraulic Req.	15 GPM @ 2000 PSI
Electric Req.	750 VDC, 1050 AMPS
Local Blower Flow	2800 CFM
Blower Pressure	10 in. H ₂ O at Mtr.
Blower Motor	20 HP

Covered by U.S. Patents 4,865,135 and 4,658,915

図8.7 VARCOのトップドライブシステム



TESCO DRILLING TECHNOLOGY

portable top drive service

POWER UNIT CONFIGURATIONS
The power unit can be configured in 8' x 20' area containers, in a normal oilfield skid load, in air/hoist transportable loads or in a stacked arrangement to minimize the footprint offshore or on small locations.

TRAINED SUPERVISOR ON LOCATION
Unique to Tesco's top drive service is a supervisor with extensive drilling experience on location 24 hours a day. The Tesco top drive is "user friendly" minimizing training for the derrick men who operate it. Most derrick men are comfortable with the system after one or two shifts.

TOP DRIVE FIELD-INSTALLED IN HOURS
Conversion of conventional land rigs to top drive takes place on location in the field in a matter of hours. Tesco provides a fully integrated system (power, control, and well). (Install in the well).

QUICK TRACK INSTALLATION
The torque track system can be installed quickly without welding and adapts to most derricks. The track can be used for drilling and well servicing rigs.

TESCO DRILLING TECHNOLOGY

・ IE INDUSTRIAL EXPORT社

トラックマウント式
油圧式パワースイベル

表8.1 各社トップドライブ掘削機仕様

製造会社	形 式	搭載方式	巻上能力	回 転 数	トルク	スローク	重 量
FAILING	FS3500	スキット/トレーラ	150,000LBS		8500ft-lb		
"	STAR90K	"	100,000BS	0~300RPM	12,000ft-lb	34FT	95000LBS (スキット)
SCHRAMM	T685W	トラック	70,000LBS	0~160RPM	9000ft-lb	30FT	57,000LBS (コンプレッサ)
"	TM140	トレーラ	140,000LBS	0~137RPM	9000ft-lb	42FT	95,000LBS
BOWEN	TD-300P	パワースイベル	—	0~192RPM	29300ft-lb	—	9200
	S2.5C	"	—	0~155RPM	3950ft-lb	—	
MARITIME	PTD	"	—	0~200RPM	30,000ft-lb		11200LBS
TESCO	—	"	—	0~400RPM	45,000ft-lb	—	11000LBS
VARCO	10S-1	" (電動)	—	0~162RPM	31,000		43000LBS

8.3 ネジ解緊装置

ロット、ケーシングのネジ解緊装置として、市場に出ているものとして次のものがある。

- ・パワートング

油圧力によってパイプを保持し、回転を与えてネジの締め、弛めを行うもの、油圧のバックアップ装置のついたものもある。石油掘削ではポピュラーな製品で多くの会社が製造している。

製造会社一覧

- ・VARCO BJ社
- ・WEATHERFORD INTERNATIONAL社
- ・BOWEN TOOLS社
- ・ECKEL MANUFACTURING社
- ・OIL COUNTRY社
- ・HAWK INDUSTRIES社
- ・FRANK'S INTERNATIONAL社
- ・PENA MANUFACTURING社
- ・FARR CANADA社

又ワイヤラインツールのネジ解緊装置と油圧ホルダー、スピニング機構を持ったものとして

BOART LONGYEAR社 (図8.8) B.O.T装置がある

パワートングとバックアップレンチが1体化しかもスピニング機構が一体化したものにIRON ROUGHNECK装置がある

製造会社として

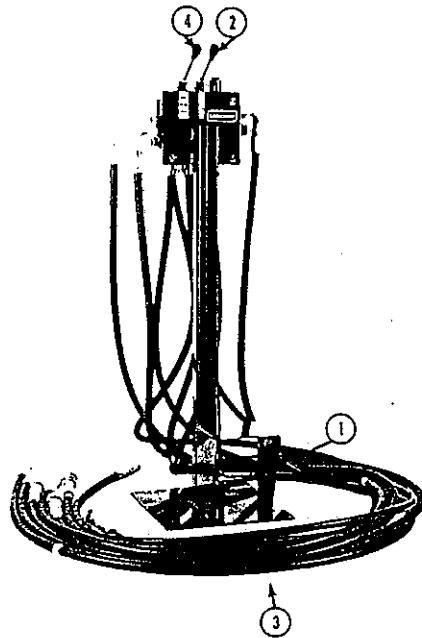
- ・VARCO BJ社 (図8.9)
- ・MARITIME HYDRAULICS社
- ・WEATHERFORD INTERNATIONAL社

The Longyear Automatic Pre-Torque and Break Out Tool

Takes over the toughest and most dangerous job facing the driller today — breaking tight rod joints and properly pre-torquing the string when re-entering the drill hole

Control stand

1. Hydraulic rod clamp control.
2. Hydraulic chuck control.
3. Hydraulic hoses to break out tool and drill hydraulic supply.
4. Make-up/break out rotation control.



Features of the tool

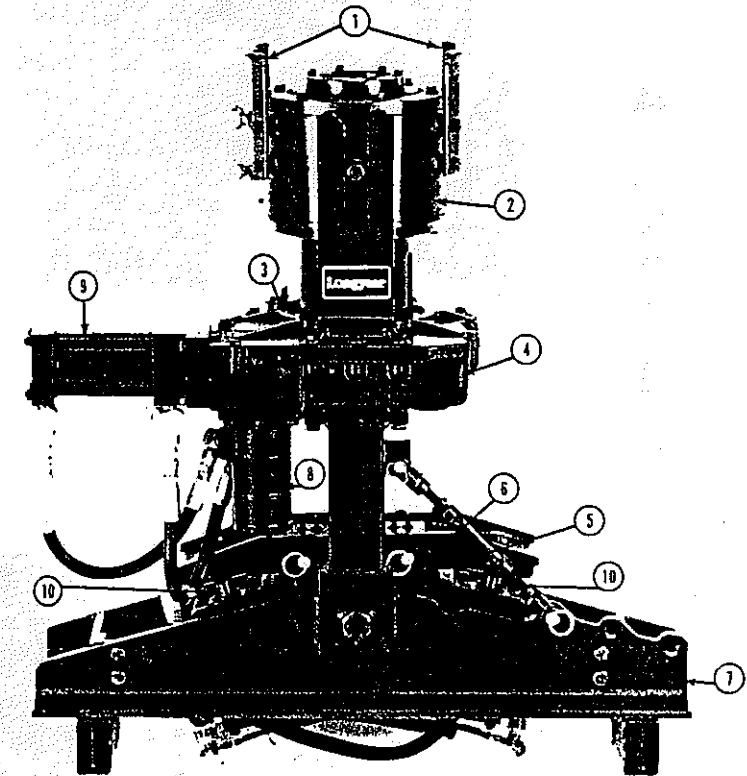
SAFETY. The tool takes over the functions of breaking tightly threaded joints, properly pre-torquing joints and holding the rod string in a hydraulic foot clamp. Therefore, virtually all accidents associated with these functions can be eliminated. By preventing the likelihood of injury, medical expenses, insurance premiums and production losses can be reduced.

PRODUCTIVITY AND CONVENIENCE. Since the tool takes away the most strenuous activity of the driller's daily tasks, the crew becomes less tired and remains more productive. It also means — particularly on deeper holes — that rod tripping can be done faster.

ROD LIFE. Most fatigue failures of rods are caused by insufficient pre-torque. Larger size Q/CQ and CHD rods require up to 2500 pounds-feet/345 kilogram-meters pre-torque, which is impossible to achieve with conventional methods. The tool provides up to 2800 pounds-feet/387 kilogram-meters of torque with the movement of a lever. It greatly reduces fatigue failures under normal circumstances. It also eliminates damage to rods caused by pipe wrenches and the associated injuries from metal slivers to the hands of drillers and helpers.

DIAMOND COSTS. By automating the back-breaking job of unthreading tight rod joints, pulling rods ceases to be the unpleasant chore which drill crews quite often leave for the next shift. By changing bits on time, more efficient use is made of diamonds. Thus, overall costs should be lower and footage drilled increases.

DRILL CREW MORALE. The Longyear Automatic Chuck has eliminated the strain associated with manually loosening and tightening chuck jaws. The Longyear Automatic Pre-Torque and Break Out Tool does away with the hard work of handling rods in and out of the hole.

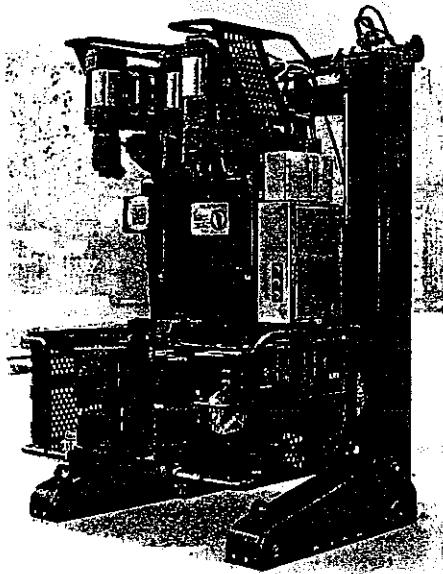


1. Handles for removing the hydraulic chuck while drilling.
2. Hydraulic chuck.
3. Access to control slot for reversing rotation.
4. Rotation gear box.
5. Pivoting foot clamp bowl with jaws.
6. Turnbuckle for adjusting vertical to angle hole position.
7. Hydraulic rod clamp frame.
8. Hydraulic motor for spinning rods in and out.
9. Hydraulic ram for breaking and pre-torquing rod joints.
10. Hydraulic cylinders for actuating rod clamp.

**IRON ROUGHNECKS™,
CASING ROUGHNECK**

With Varco's Automated Iron Roughnecks™ and Casing Roughnecks, tripping is easier than ever. We've combined a torque wrench, spinning wrench, carriage assembly, and control system into one tough unit, and put it on tracks. No more spinning chains, no manual tongs, no tong lines.

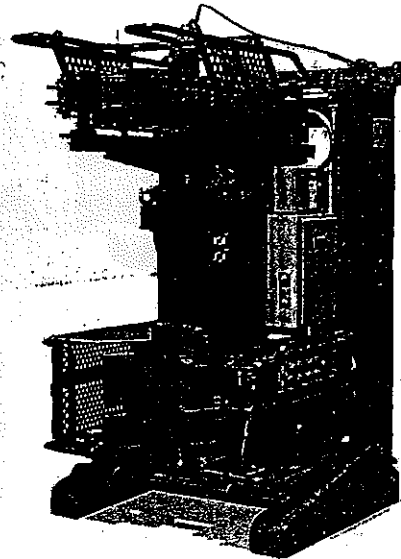
At the touch of a button, the Iron Roughneck™ automatically moves along its tracks to locate the tool joint, spins-in and makes-up, or breaks-out and spins-out the connection, and moves back to its home position. The automatic sequences may be overridden by the operator or driller at any time.



AR-3000 AUTOMATED IRON ROUGHNECK™

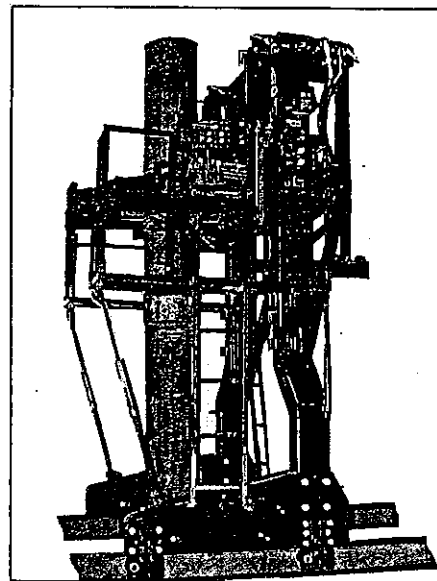
THE AR-3000 IRON ROUGHNECK™ provides up to 100,000 ft.-lbs. make-up torque and 120,000 ft.-lbs. break-out on tubulars ranging from 3-1/2" drill pipe up to 9-3/4" drill collars. Adjusts automatically to tool joint height between 31 to 64 in. off the rig floor, and can tilt up to 7° to match the angle of pipe in the mousehole.

THE AR-3000C IRON ROUGHNECK™ features interchangeable spinning wrench and casing tong carriages to trip the drill string and handle casing up to 20" O.D. When it's time to run casing, quick-disconnect the spinning wrench carriage, pick up the casing tong carriage and install it into the Iron Roughneck™. The AR-3000C is a Roughneck that does it all — beautifully.



AR-3000C AUTOMATED IRON ROUGHNECK™

THE CR-2000 CASING ROUGHNECK will tilt up to 15° so it can clamp onto casing as it's being picked up from the V-door and tail the joint to well center. At the wellbore, it will automatically align and stab the add-on joint with an integrally-mounted casing tong, handling casing from 3-5/16" to 20" O.D. It will spin-in or spin-out and make-up connections to the precise torque specified.



CR-2000 CASING ROUGHNECK

ネジ解緊の自動化・省力化は掘削作業に於いて重要な地位をしめている。適正なプリトルクでネジを締めなければ、ネジ部のオーバラップ、脱落、切断の事故に直結する。ネジの解放に時間をとられれば、特に人力で行えば、作業者の疲労とともにコストのかかる作業となってしまう。

ワイヤライン工法だけを考えれば、B.O.T.（ブレイクアウト／スピニング／油圧ホルダー装置）が適当である。現在のB.O.T.の扱えるサイズはHQサイズ迄であり、PW、HWケーシングは取り扱えない。B.O.T.のバージョンアップを考えるのも一法であるが、次に取り上げるロットハンドリング装置との組合せを考えると、IRON ROUGHNECKの採用が必要となる。

各社のPOWER TONG及びIRON ROUGHNECKの能力からみると、HQサイズ 1000 m以上の掘削ツールズ、HW、PW、SWケーシング類の取り扱いに於いては、何ら能力的な問題はない。

8.4 ロットハンドリング装置

ロットの揚降作業は、掘削作業は於いて一番作業者が肉体を酷使し、時間のかかる作業である。

特に清水による掘削は、掘削の停止時間が長ければ長い程孔内の崩壊が進むことになるわけであるから、省力だけでなく、作業時間の短縮と作業の安全性確保のためにもぜひ取り組むべき課題である。ロットハンドリングの省力化、自動化は8.3にて記述している。ネジの解緊が終った、パイプ類の孔内への挿入、つまり次のパイプの接続のための作業、孔内から揚ってきたパイプのネジが解かれたあとの収納作業の省力化・自動化である。機構から次の二つの種類に分けられる。

- ・レイダウン方式
- ・マガジン方式

(1) レイダウン方式

パイプを横に倒した状態でパイプを取り扱う方式である。

パイプ降下作業は次の順序になる

- ・横になっているパイプ1ジョイント（6M）を油圧式アームにて掴む

- ・油圧シリンダーにて垂直に立てる
- ・パワースイベルの下部のネジとパイプネジをパワースイベルの回転により嵌合する
- ・パイプ下端ネジ部とホルダーに固定されているパイプのネジと嵌合し、パワースイベルの回転を与え、パイプネジの上部、下部にプリトルクを与える
- ・ホルダーを外し、パワースイベルを下降させて、パイプ上部がホルダ部にきたらパイプをホルダーで固定し、パワースイベルとのネジを緩める。パワースイベルはマスト上部に戻り次のサイクルへのスタンバイをする

パイプ揚げ作業は上記サイクルの逆となる。この1ジョイントのサイクルタイムは約45秒かかると言われている。

1000mのパイプの揚降に約2時間程かかることになる。

1ジョイントの長さを12mにすることも出来るがジョイント部の芯合せ、及びパイプの垂直への立ち上げ時間、現場のスペースを考えると、1ジョイント6Mの方が良いと思われる。

(2) マガジン方式

深い深度の掘削に用いられている方式で、ヤグラ内のマガジンにパイプを収納する方式である。

パイプの収納方法として

X-Y軸のパイプラックに収納する方法と星型のラックに収納する方法とがある。この違いは、パイプを握んだアームを保持しているコラムがX-Y軸に沿って移動し、順序よくマガジン部にパイプを移動する方法とコラムが回転し星型形状の溝部にアームを伸してパイプを収納する方法の違いである。

このマガジン方式には次の装置が必要となる。

- ・IRON ROUGHNECK
- ・POWER SLIP
- ・ELEVATOR

降下作業を順を追ってみると

- ・パイプを掴むアームが、コラムごと移動し、パイプを掴み少し持ち上げる。
- ・IRON ROUGHNECKとコラム、アームが一体になって、孔芯の位置へ移動してくる。
- ・芯が合ったら、パワースリップに固定されているパイプネジと、移動してきたパイプのネジをIRON ROUGHNECKにて嵌合しプリトルクを与える。

- ・エレベータにてパイプ上部を掴み、パワースリップを開き、パイプを降下さる。
- ・パイプが下降したらパワースリップで落下防止をし、パワースイベルは元の位置まで上昇し、次のサイクルのスタンバイをする。

この繰り返しにてロット降下作業をする。ロット揚げ作業は逆のサイクルにて行う。マガジン方式は、作業のプロセスから判る様に殆んどが油圧機器によって動作するために、自動化されており、作業員1人にて操作することが出来る。

この方式はヤグラの高さが高い程ジョイント数が少なくすむわけであり、90FT、110FTスタンドのものが販売されている。

この方式での問題点は

- ・装置自体が大がかりであり、高価なものとなる。
- ・ドリルパイプの様にアプセットパイプにツールジョイントが付いていると、エレベータでパイプを吊る上で問題はないが、ワイヤラインロットの様に、FJ（フラッシュジョイント）式のパイプ（外径が同一径である）では、エレベータにて作業出来る様に吊り金具を付けなければならない。この作業は手作業となってしまいうだろう。

ロットハンドリング装置を製作している会社は次の通り

レイダウン方式

- ・ GEORGE E. FAILING SUPPLY社（図8.10）
- ・ WALKER-NEER社
- ・ VARCO BJ DRILLING SYSTEMS社（図8.11）
- ・ FOREMOST社（主にRC工法用）

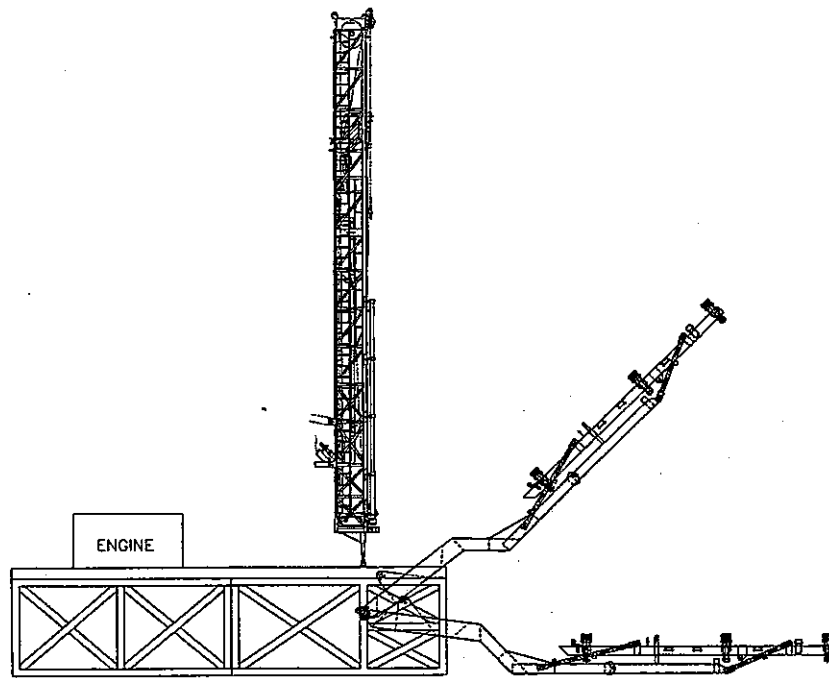


図8.10 FAILING ロットハンドリング装置

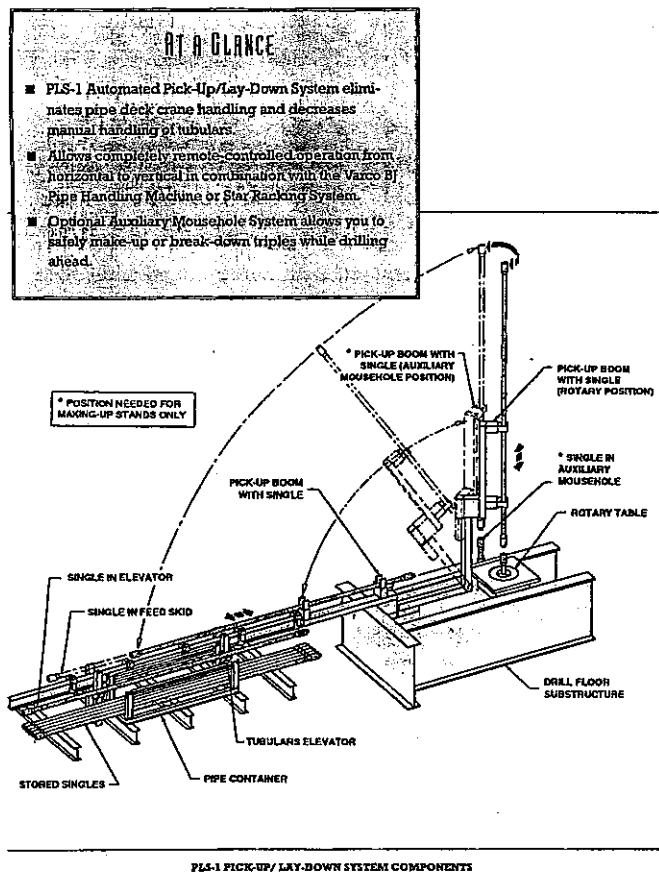


図8.11 VARCO BJ レイダウン パイプハンドリング装置

マガジン方式

VARCO BJ DRILLING SYSTEMS社 (図8.12 図8.13 図8.14 図8.15)

Varco.BJ
DRILLING SYSTEMS

PIPE RACKING SYSTEM PRS-1

The Pipe Racking System PRS-1 is a rugged and flexible semi-automatic pipe handling system based on a combination of features found on the Varco Pipe Handling Machine PHM-3i and the Varco STAR Racking System. The design is based around a single column (mast), two independent racking arms and upper and lower drive units that provide the lateral and rotational movements for the machine. The hoisting loads and machine weight are taken into the drill floor and substructure rather than the derrick. The derrick need only support modest lateral loads due to the machine movements and the weight of the upper drive tracks. All mechanization is provided via electric AC drive motors with disk brakes and require no hydraulics.

The lower jaw has the capability to operate at almost floor level. This provides the added capability to handle various tools and hardware much like a standard manipulator arm. The jaws on the upper and lower arms are capable of handling tubulars from 2-3/8 in to 9-3/4 in. o.d. with simple die changes. The PRS-1 is capable of gripping and hoisting tubulars anywhere from near the floor up to over 30 ft. providing outstanding flexibility for the system. A built-in load cell gives the operator and the control system information on the stand weight and also gives the system soft-stab capability to prevent thread damage.

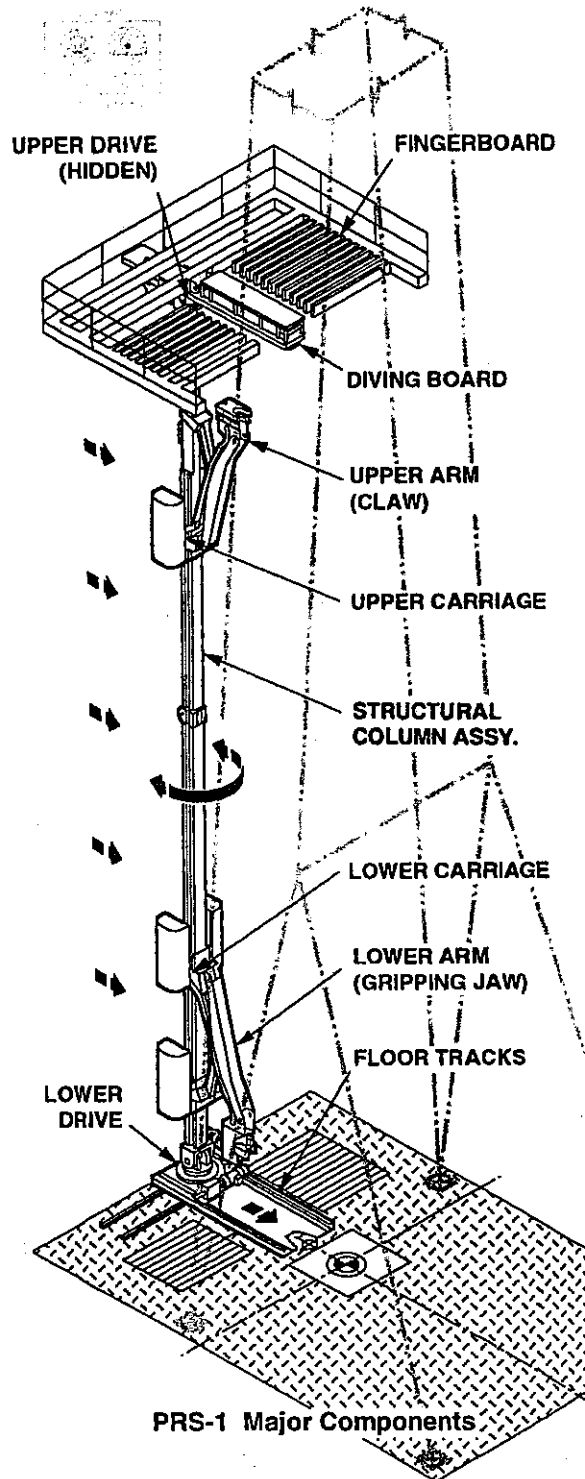


図8.12 VARCO BJ パイプハンドリング装置 (PRS-1型)

The Varco BJ Gateless Torque Wrench, TW-102 can make-up or break-out tool joints from 3-1/2 to 9-3/4 inches in diameter at any height up to 20 feet from drill floor level. This "off-bottom" capability is especially useful when using Varco BJ Pipe Handling Machine in conjunction with Top Drive Drilling Systems on floaters. The Varco BJ Spinning Wrench, SSW-50, located just above the torque wrench, can spin all sizes from 2-7/8 inch drill pipe to 9-3/4 inch drill collars.

Located on the columns are two extending arms mechanically interconnected to move toward or away from the machine with 93 foot stands of drill pipe or drill collars. The lower and upper arm jaws will automatically adjust to grip 3-1/2 to 9-3/4 inch drill pipe or drill collars and lift stands weighing up to 25,000 pounds. With an insert change, the jaws will also accept 2-7/8 inch drill pipe. The arm's support and position the drill stands from the racking area to well centerline. The entire PHM-3i assembly rotates about a fixed axis and travels toward or away from the well bore.

The modular design of the Varco Pipe Handling Machine PHM-3i facilitates factory assembly and check-out. This significantly reduces both time and cost of installation, particularly for new rigs and expensive shipyard rig-ups.

SPECIFICATIONS

TORQUE WRENCH

Gateless, Hydraulic Cylinder

Max. Torque (make-up).....	100,000 ft.-lbs.
Max. Torque (break-out).....	120,000 ft.-lbs.
Tubular's Size Range O.D.....	3-1/2 to 9-3/4 in.

SPINNING WRENCH

4 roller, 4 Motor, Gearless, Direct Drive

Stall Torque (5 in. O.D. Pipe).....	2,000 ft.-lbs.
Tubular's Size Range O.D.....	2-7/8 to 9-3/4 in.

PIPE HANDLING ASSEMBLY

Hydraulic/Electric

Max. Speeds:

Horizontal.....	1 ft./sec.
Pivoting.....	2 rev./min.
Arm Extension.....	1 in./sec.
Hoisting.....	6 in./sec.
Lifting Capacity.....	25,000 lbs.
Stand Length Range.....	90 to 110 ft

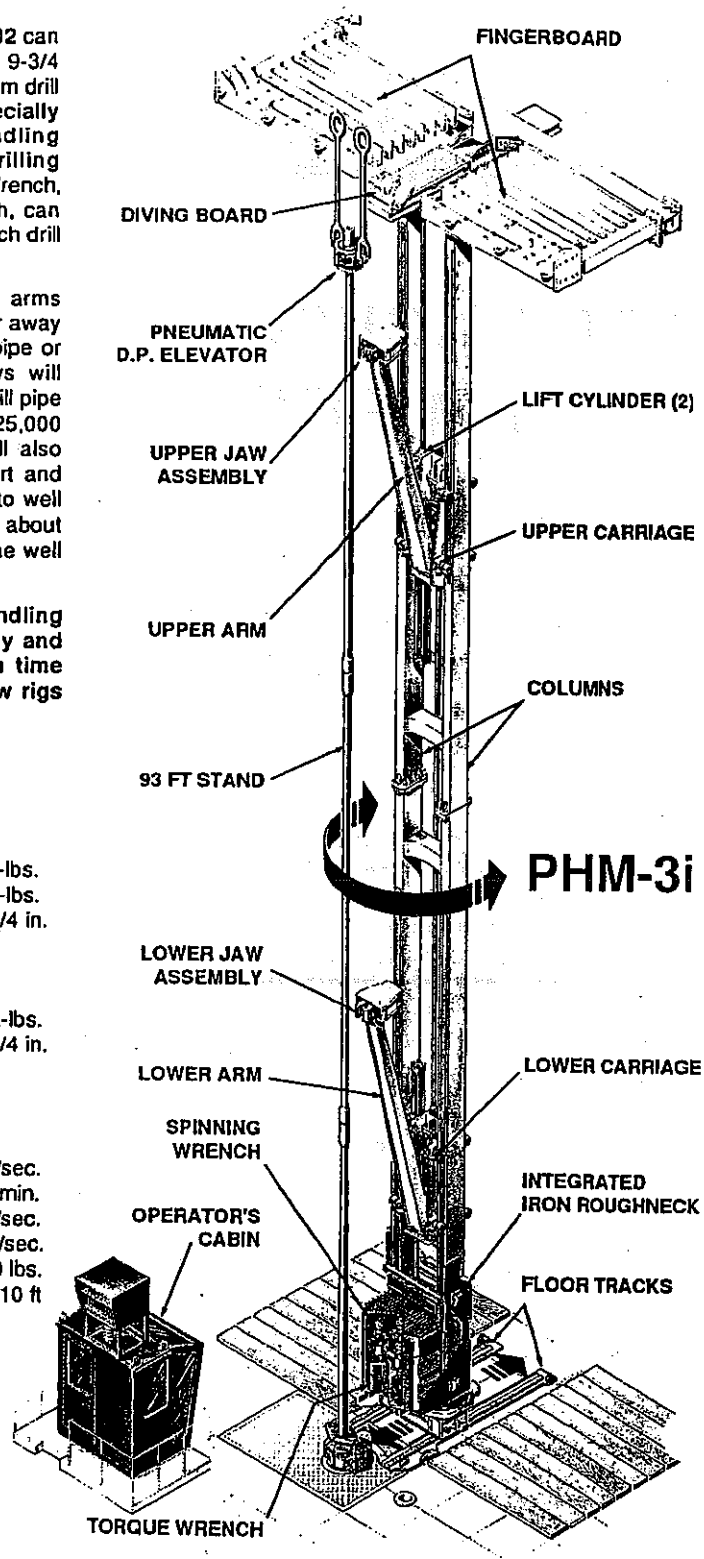


図8.13 VARCO BJ ロットハンドリング装置 (PHM-3i型)

BENEFITS:

- Reduces rig floor drilling crew.
- Greatly improves rig floor safety.
- Remotely operated racking board and elevator eliminate need for derrickman.
- All weight is transferred to the floor eliminating the need for extensive derrick modification.
- Safely trips 93-ft. stands of drill pipe and drill collars semi-automatically or manually under control of one operator.
- Light weight.
- Simple rig-up and rig-down.
- Reduces trip time when used in conjunction with a Top Drive/ Travelling Block Retract System.

SPECIFICATIONS:

Column Weight 40,000 lbs.
 Height (Typical) 90 ft.
 Min. Operating Envelope 60 in.
 Column Size 13 x 17 in.
 Fingerboard Weight (Typical) .. 11,000 lbs.

Travel:

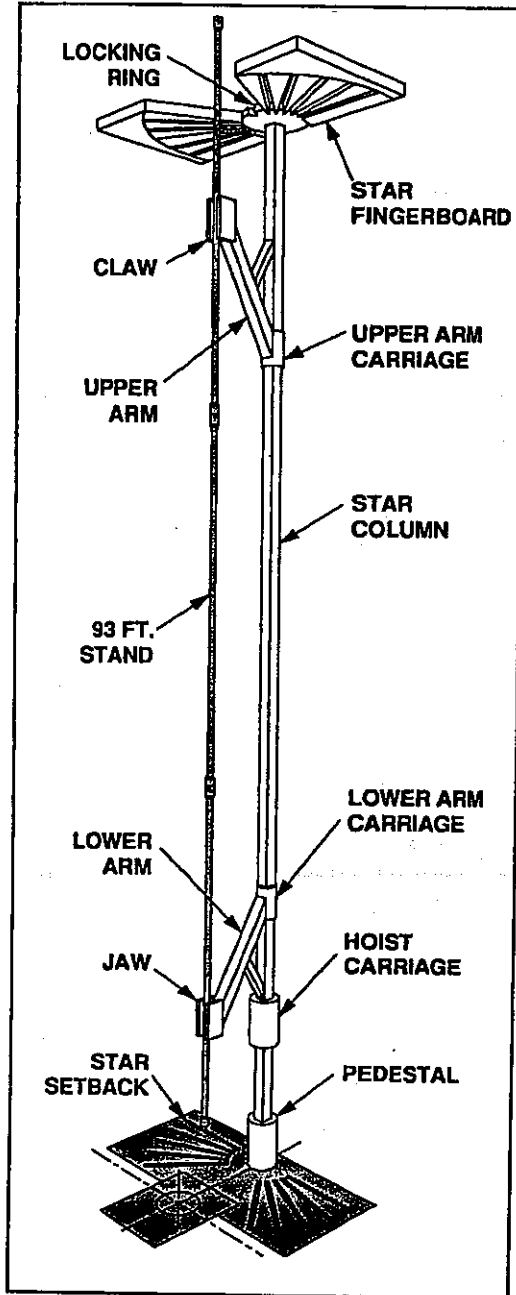
Reach 10 ft.
 Rotation 360°
 Hoist Stroke 30 ft.

Speeds:

Arm Speed - Horizontal 12 in/sec.
 Hoist Speed 3.9 in/sec.
 Slew Speed 20 deg/sec.

Capacity:

Pipe Size 3-1/2 in. to 9-1/2 in.
 Hoist Capacity 22,000 lbs.



Star Racking System Components

図8.14 VARCO BJ スター ロットパイプハンドリング装置 (1)

BENEFITS

- Reduces rig floor drilling crew.
- Greatly improves rig floor safety.
- Remotely operated racking board and elevator eliminate need for derrickman.
- All weight is transferred to the floor eliminating the need for extensive derrick modification.
- Safety trips 93-ft. stands of drill pipe and drill collars semi-automatically or manually under control of one operator.
- Light weight.
- Simple rig-up and rig-down.
- Reduces trip time when used in conjunction with a Top Drive/Traveling Block Retract System.

SPECIFICATIONS:

Column Weight.....	40,000 lbs.
Height (Typical)	90 ft.
Min. Operating Envelope.....	.72 in. dia.
Column Size.....	13 x 17 in.
Fingerboard Weight (Typical)	11,000 lbs.

Travel:

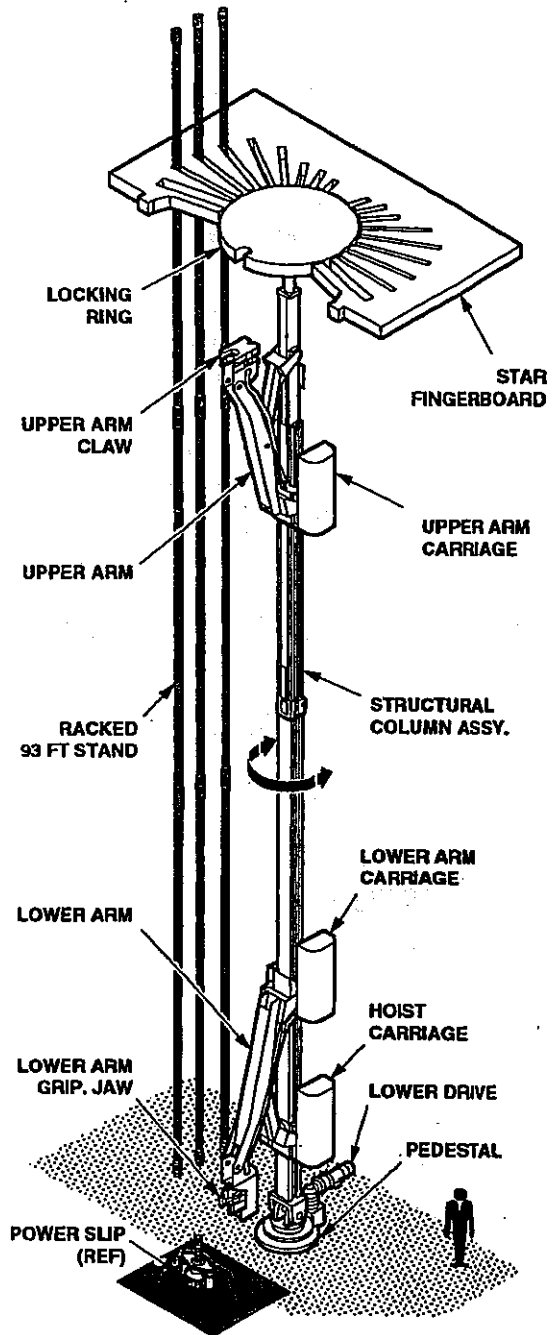
Reach	10 ft.
Rotation	350°
Hoist Stroke	30 ft.

Speeds

Arm Speed — Horizontal	12 in./sec.
Hoist Speed	3.9 in./sec.
Slew Speed	20 deg./sec.

Capacity

Pipe Size.....	3-1/2 in. to 9-1/2 in.
Hoist Capacity.....	22,000 lbs.



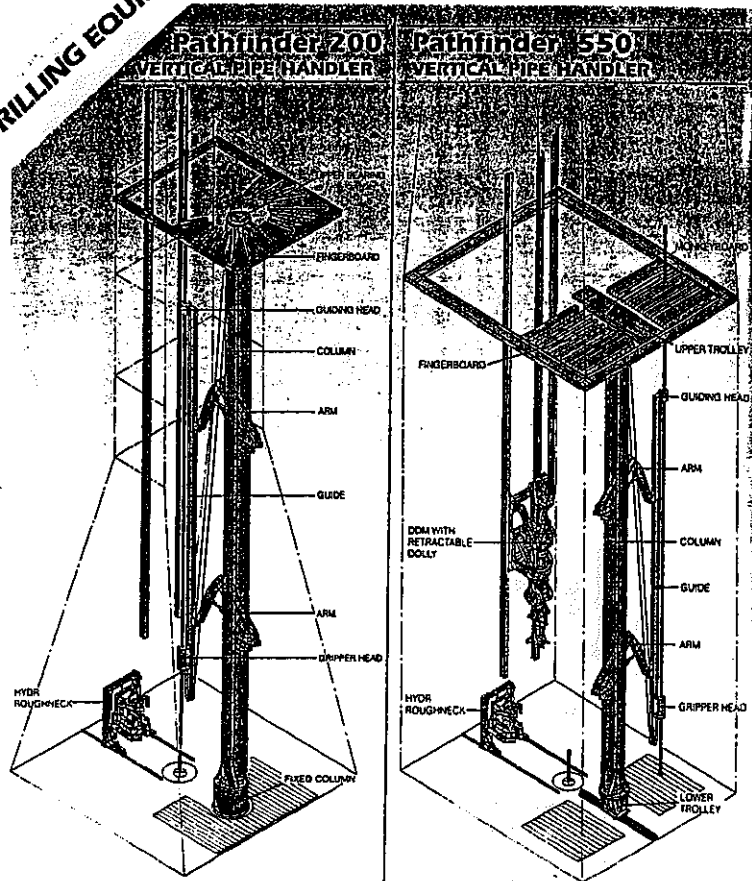
Star Racking System Components

図8.15 VALCO BJ スター ロットパイプハンドリング装置 (II)



VERTICAL PIPE HANDLING

DRILLING EQUIPMENT



VERTICAL PIPE HANDLER FIXED TYPE

One-man operated Vertical Pipe Handler, generally designed for mast applications. Moderate racking capacity (approx. 230 stands).

Lifting Capacity: 11 Tonnes.

VERTICAL PIPE HANDLER TROLLEY TYPE

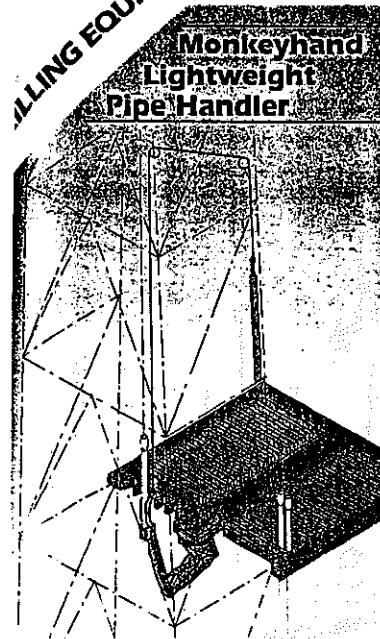
One-man operated Vertical Pipe Handler generally designed for Derrick applications. Extensive racking capacity (up to 550 stands).

Lifting Capacity: 11 Tonnes.



VERTICAL PIPE HANDLING

DRILLING EQUIPMENT



The Monkey Hand is a light weight racking arm for installation underneath the Monkey Board. The arm is of foldable design, hence requires very little space and makes it an ideal solution for mechanization of masts and narrow 30 ft. base derricks. The lifting function is done by means of a mast mounted stand-lift cylinder and a wire connected to the gripper head.

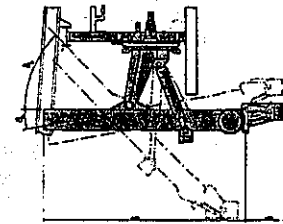
The derrick man operates the pipe handler by an electric portable controller.

A parallel drill floor mounted controller is optional to make it possible not having to climb the mast for a single connection.

Technical Specification

Tubular range	: 3 1/2 in - 6 5/8 in
Lifting Capacity	: 3,8 Tonnes (a stand 6 1/2 in D.C.)
Hydr. pressure	: 160 bar
Hydr. flow	: 160 l/min.
Weight	: 2160 kgs.

Drillfloor Manipulator Arm (DFMA)



Capacities

Max. push	3 Tonnes
Max. pull	3 Tonnes
Max. radial force at max. outreach	0.6 Tonnes
Luffing	10° up / 45° down
Racker Head opening	5° to 13 3/8°, 20°, 40°, 46°

Working Range

Max. working outreach	8.5 m
Min. working outreach	2.5 m
Stewing	210°
	Adjustable slew stop

The DFMA can also be delivered with alternative capacities.
Weight: 7.9 Tonnes Incl. Standard Racker Head.

又日本国内に於いて、ロットハンドリング装置の開発も行われている。
・ MARITIME HYDRAULICS社 (図8.16 図8.17)

図8.16 MARITIME ロットハンドリング装置 (1)



VERTICAL PIPE HANDLING

DRILLING EQUIPMENT

Synchro Pipehandling

One-man operated pipehandling system

The latest innovation in Pipe Handling is a result of the demand from the offshore industry. The use of Top Drives and Hydraulic Roughnecks on most rigs have made it possible to operate vital drilling functions by remote control. This Pipe Handling system can be operated by one man from the Driller's Cabin or from a separate Operator's Cabin.

The system is based on a standard Bridge Crane and a Lower Guiding Arm. The two handling arms can perform synchronously or independently, thus increasing flexibility. The operation is based on a closed loop control system with position feedback. All functions in the Derrick are monitored on a closed circuit TV system.

Technical data (typical):

Fingerboard capacity

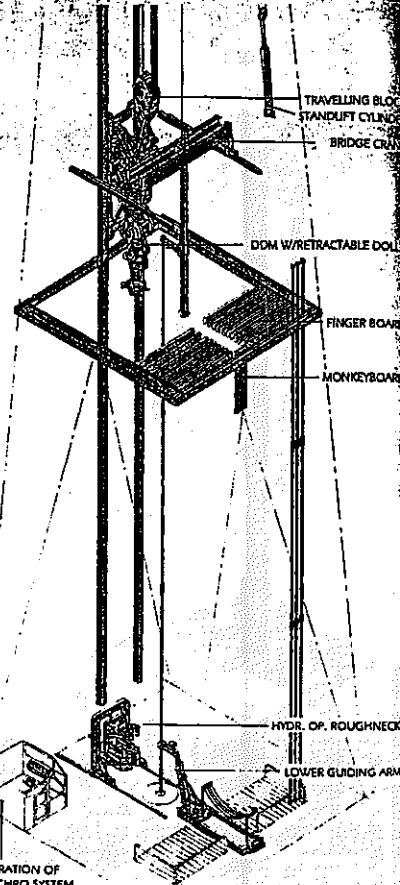
Capacity up to 550 stands of 5" drill pipe and 14 stands of up to 9 1/2" drill collar. (Tailor made Fingerboards are available to suit different pipesizes.)

Hydraulic pressure: 180 bar - 2600 psi.

Lifting capacity: 3 or 11 Tonnes.



OPERATION OF SYNCHRO SYSTEM



VERTICAL PIPE HANDLING

DRILLING EQUIPMENT

3 Arm System

Derrick mounted pipe-handling system

These systems are designed for installation on board newbuilding floaters, or for existing rigs provided that the drill floor lay-out can accept the basic Derrick arrangements (set-back 90° off V-door).

It consists of three Racking Arms, where the upper and intermediate arms are placed between the setback areas. The DFMA is suspended under the lower guide rails support at the opposite side of the two other arms. The Fingerboard Pipe stand locking is done by spears operated from the Derrickman's Cabin, or by means of individual locking devices for each stand.

All of the Racking Arms operate on the inside of the Derrick walls which enables the system to be easily installed in all well-known types of Derricks. Existing two-man operated systems can be upgraded for one-man operation.

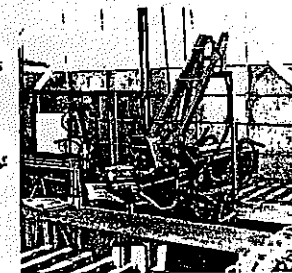
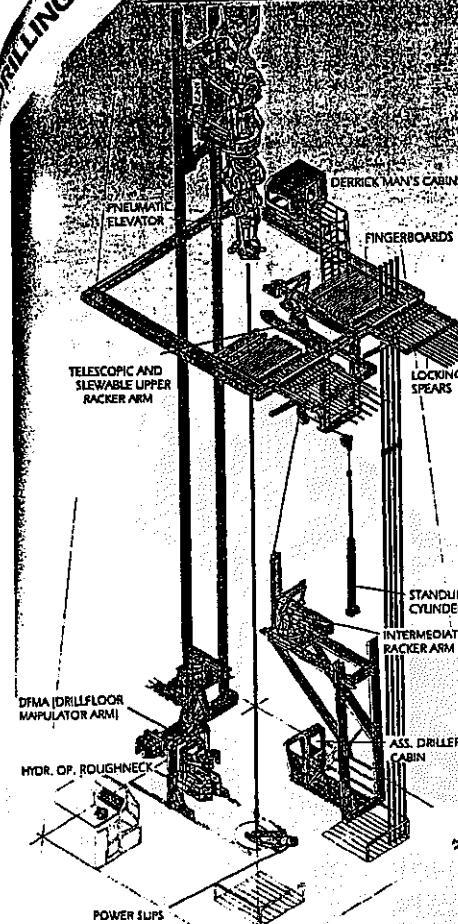
Technical data (typical):

Racking Board capacity

Capacity up to 340 stands of 5" DP (6 5/8" boards available) and 14 stands of 9 1/2" drill collar. (Tailormade Fingerboards to suit different pipesizes.)

Hydraulic pressure: 140 bar - 2000 psi.

Lifting capacity: 3 or 6 Tonnes.



MARITIME HYDRAULICS



MARITIME HYDRAULICS

(株)トネ、鉾研工業(株)、(株)エヌエルシーの三社が1部製品化している。(図8.18 図8.19)
 又KTBプロジェクトのロットハンドリング装置は図8.20～図8.23のシステムになっている。

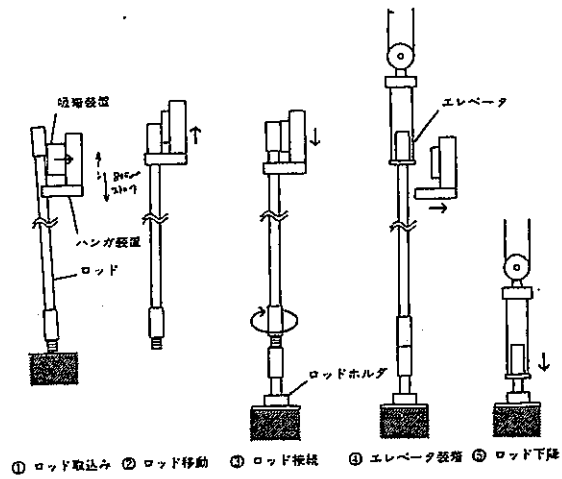
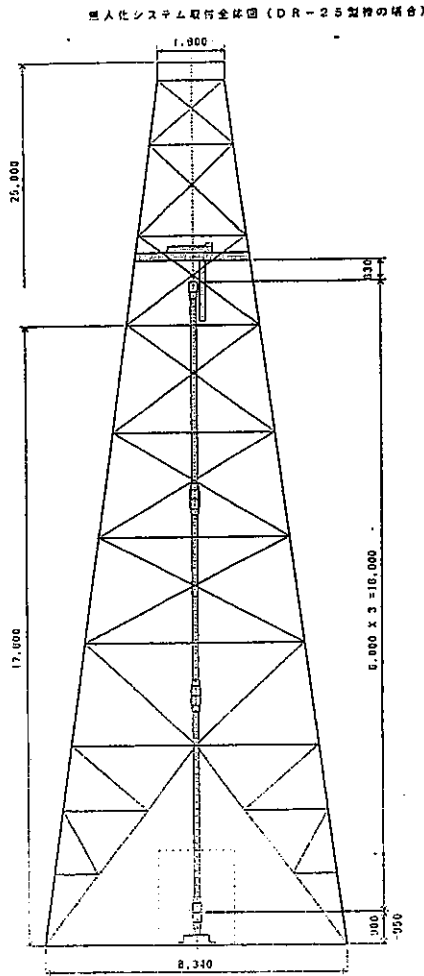


図-3 ロッド供給手順

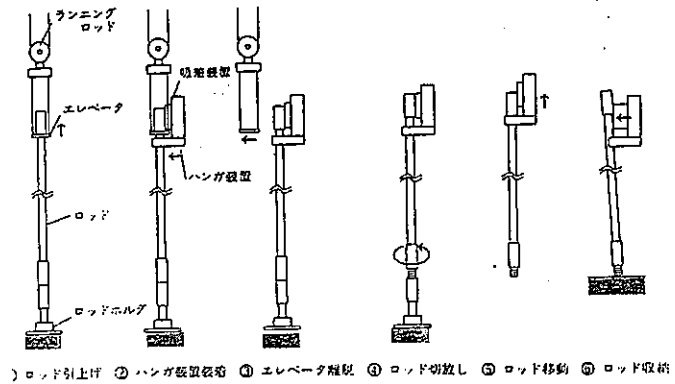


図-4 ロッド回収手順

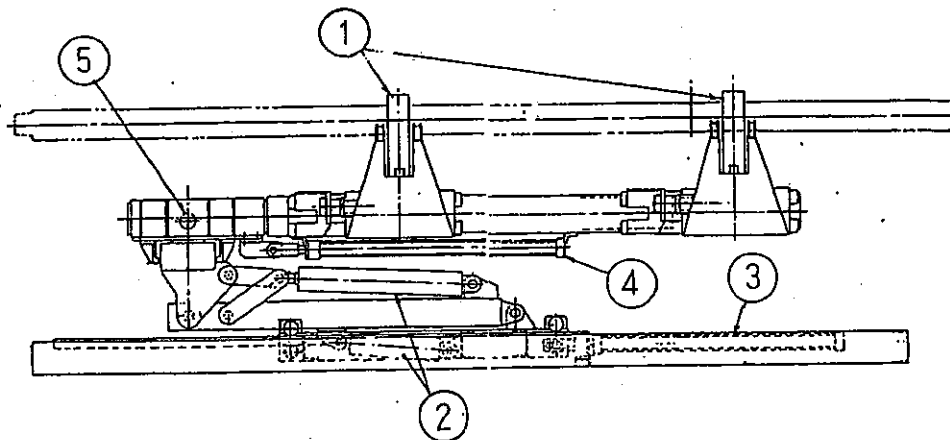
図8.18 (株)トネ ロットハンドリング装置

ロッドハンドリングシステム

(1) 仕様

ロッド径	φ140
最大ロッド重量	250kgf
レイズ角度	0~90°
前方スライド量(前後)	1000
左右スライド量	±175
ロッドスライド量(上下)	1000
電動機	7.5KW. 4P
マシン本体重量(油圧ユニット含む)	2200kg
ロッドラック重量	400kg
コントロールスタンド重量	50kg

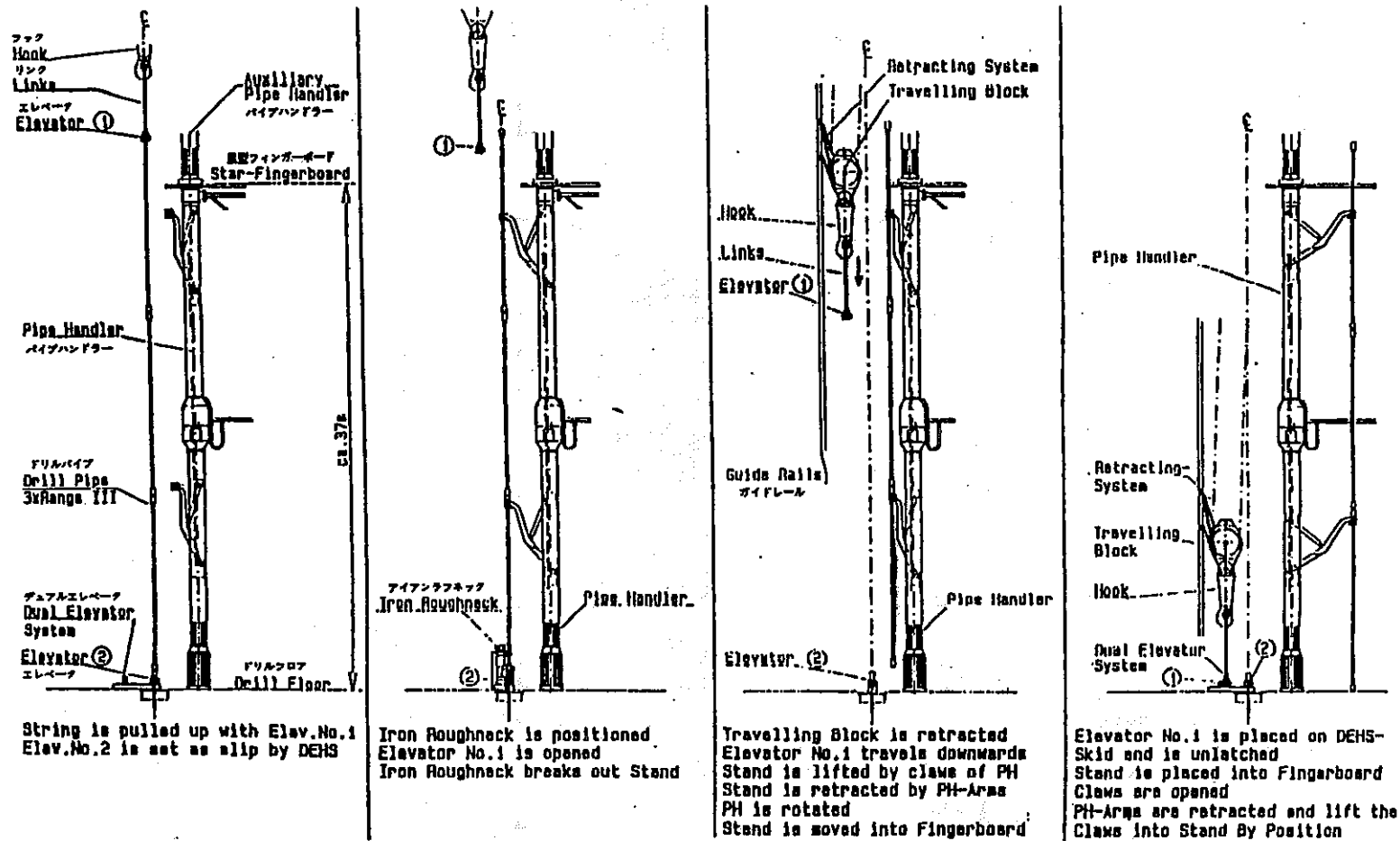
(2) 各部名称



- ① ロッドクランプ
- ② レイズリフト
- ③ ローディング
- ④ パーチカル
- ⑤ 水平

エスケープシリンダはロッドラックに付いています。

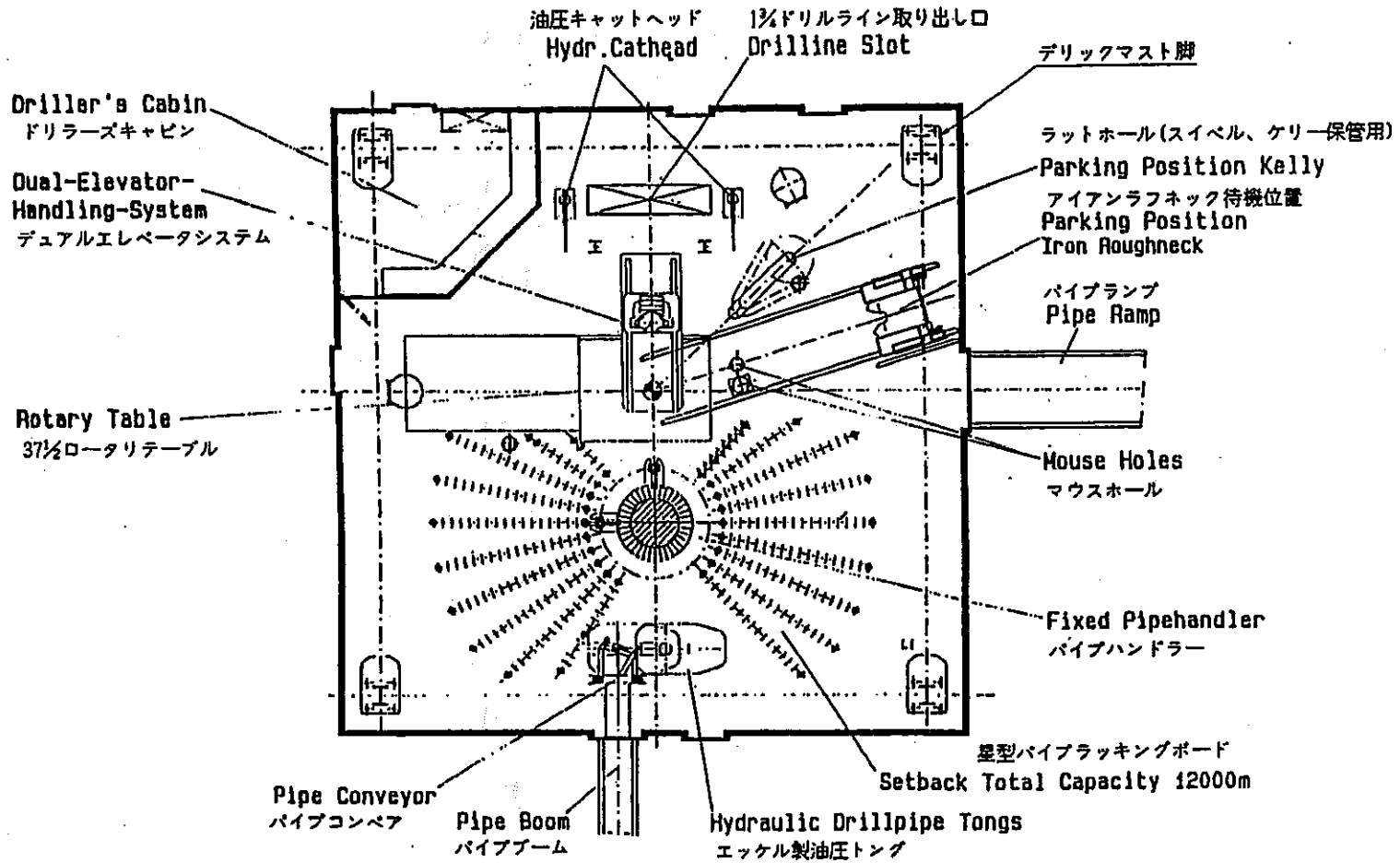
図8.19 (株)エヌエルシー ロッドハンドリング装置



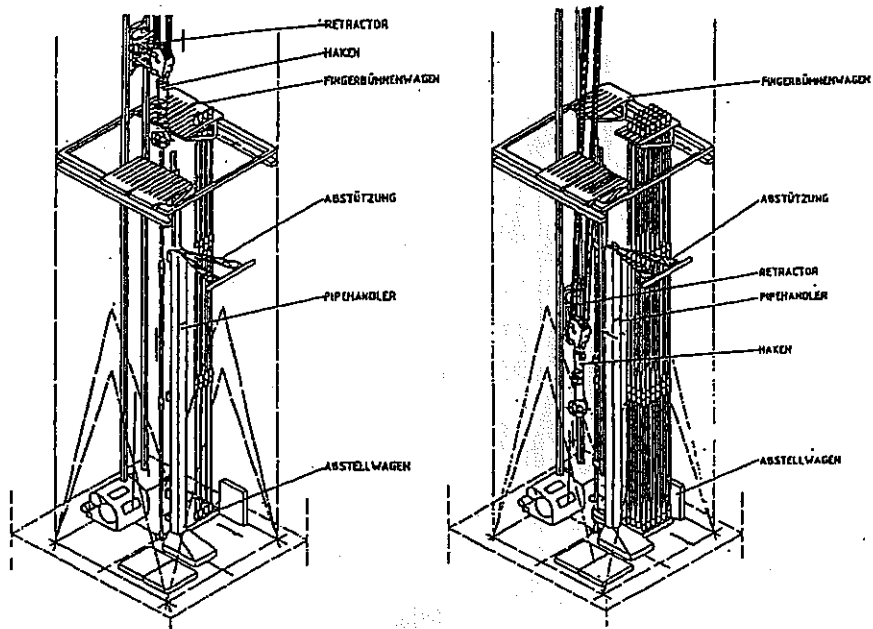
TYPICAL PIPEHANDLING CYCLES DURING TRIPPING

パイプハンドリング作業フローチャート

図8.21 KTB ロットハンドリング装置 (11)

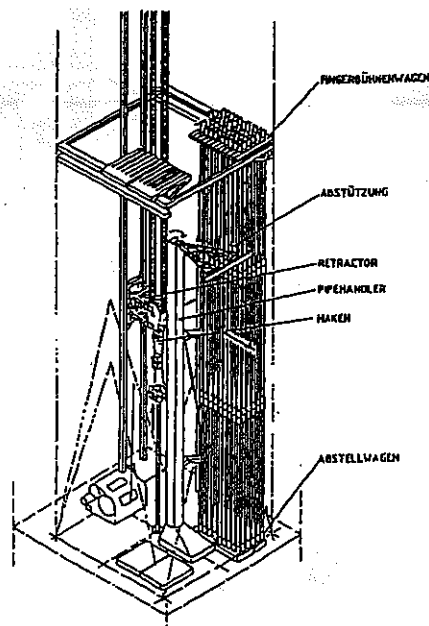


RIGFLOOR LAYOUT
リグフロアレイアウト



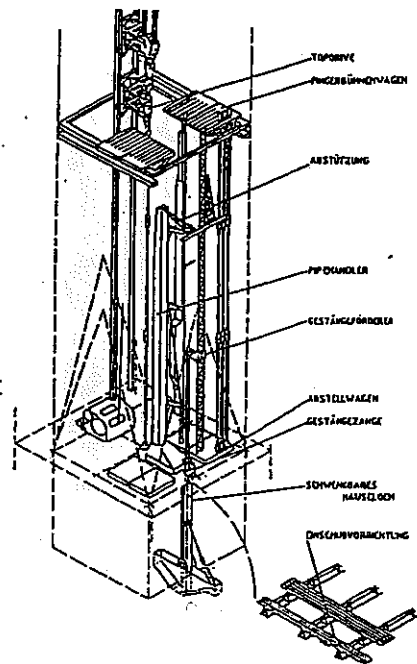
ドリルパイプの引揚げ

スタンドのねじ戻し

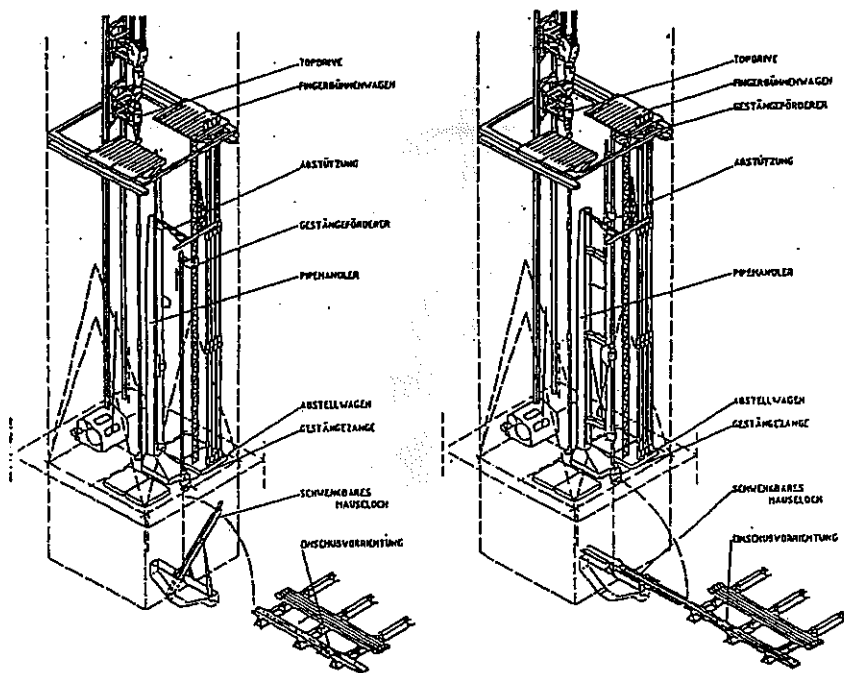


スタンドの立てかけ

図8.22 KTB ロットハンドリング装置プロセス (1)



ドリルパイプの取入れ No. 1



ドリルパイプの取入れ No. 2

ドリルパイプの取入れ No. 3

図8.23 KTB ロットハンドリング装置プロセス (II)

8.5 まとめ

掘削深度が深くなるにつれて、掘削以外の付帯作業の比率が高くなる。ここでいう付帯作業としては、ロットの揚降、ねじの解緊、ケーシング挿入、ケーシング抜管、ケーシング追切りを上げることができる。

この付帯作業中に孔の崩壊が進むことは十分予測されることであり、この付帯作業時間の短縮が孔をスムーズに掘進することに継がるわけである。又ロットの揚降作業は作業者にとって肉体的に非常に厳しい作業でありしかも人手を要する作業である。この作業の省力化、自動化は作業時間の短縮とともに、作業員の削減、危険作業の低減が図れることから、重要なテーマとして取り組むべきである。掘削機の操作の省力化、自動化については、油圧駆動のシステムにすることにより全ての操作は、レバー、押ボタンにて遠隔操作出来る様になり、全ての操作系統、坑内情報収集系統を1ヶ所に集めたDRILLER CABINに集約し、環境の整った所で全てを看視し操作する様にすべきである。

KTBプロジェクトに於いても、深度も深いこともあってロットハンドリング装置はマガジン方式で完全に自動化されており、操作室に全ての操作、看視機能が集約されている。1つの参考にするべきである。

次に1000m～1500mの清水によるコアリング掘削に適する掘削機の仕様についてまとめると次のとおりである。

機能として持つべき条件

- ・ワイヤライン工法に適すること

回転数 MAX. 300～500RPM

(無段変速機能を持つこと)

ワイヤラインホイストを備えていること

- ・ケーシング挿入、リーミング作業に適していること
- ・将来的に二重管工法に展開できる様にホイストの巻上げ能力として20～50トンあること
- ・ロット解緊装置、ロットハンドリング装置の組込みが出来ること
- ・移動のための可搬性のある様に分割できること。分解組立の容易さを持つこと
- ・掘削情報を取り出すためのセンサー等の取り付けに問題がない。

この様なことから掘削機としては次の様な仕様となる

構 造 スキットマウント方式分割型
パ ワ ー 伝 達 トップドライブ方式油圧駆動
回 転 枚 0~400RPM、トルク MAX1000kg-m
ス ト ロ ー ク 25FT
押 上 力 20~30トン (ウインチあるいはパワーヘッドのシリンダによる押上力でも
よい)
プルダウン装置 5~10トン
マ ス ト 油圧起倒式 全長 12m以内
原 動 機 ジーゼルエンジン、サイレント製 又は電動モータ
サブストラクチャ 2~3M高さ-ケーシングロータータ収納用
パイプハンドリング装置 レイダウン方式(有効6M)
操 作 DRILLER CABIN

上記の様な仕様の掘削機は現在市販されたものはないが、多少のエンジニアリングコストを
かければ製作することができる。

参考分献

DEUTAG KTB-REPORT 88-55 (翻訳) P10~P13

山上義人、橋元 傑 KTB現場視察報告 超深研ニュースレタ H6/11 P46~P47

9. アメリカ エネルギー省
ユッカマウンテンに於ける、
試錐掘削技術について

9. アメリカ エネルギー省 ユッカマウンテンに於ける、試錐掘削技術について

9.1 はじめに

アメリカ、エネルギー省が実施している地層処分研究ユッカマウンテンプロジェクトに於いて開発された、デュアルウォール掘削システムについて述べる。

本システムはワイヤライン工法の一つであって、エアを循環しコアリングとリーミングを実施している。

本システムに関して、開発を担当した下記兩名より、本システムに関するプレゼンテーション及び掘削現場にて説明を受けたので報告する。

MR. ROY C. LONG PHYSICAL SCIENTIST/DRILLING ENGINEER

MR. W. ARCHGIRDLEY GEOLOGIST/FIELD TEST COORDINATOR

又株式会社エヌエルシーと提携関係にあるBOART LONGYEAR社が本プロジェクトの頭初から開発に参画し、掘削機 (LM-300) の開発及び運営 (BOART LONGYEAR社の1部門であるLANG EXPLORATORY) に当っており、ワイヤラインシステム (CHD101WL) を提供しているため、各種情報を得ることが出来たので次に掘削システムについて述べる。

9.2 デュアルウォール掘削システム

本システムは、二重管ロットをリーミングに使用し、コアリングはワイヤライン工法で行い、全ての掘削はエアを循環して行うものである。

次に本システムに使用している機器について仕様は次の通り

(1) 掘削機 型式 LM-300

仕 様 トラックマウント型油圧式トップドライブタイプ

掘 削 能 力 9 5/8" 二重管ロットにて 3000FT

マスト最大荷重 300,000ポンド

パワーヘッド 2台の油圧モータ駆動 2速

トルク 250,000 IN,LBS

ホイスト 4速 70,000ポンド最大巻上力

全 高 84FT

全 幅 10FT

マ ス ト 長 80FT61N.

移 動 時 全 高 16FT21N.

ロットハンドリング装置 レイダウン方式

原 動 機 ディーゼルエンジン 600HP×2台

コンプレッサ アトラスコプロ製
1200CFM 350PSI 2台

ワイヤラインシステム ロングイヤーCHD101

孔 径 111.1mm (オーバーサイズ)

コ ア 径 61.0mm

ロ ッ ト 外 径 94.0mm

ロ ッ ト 内 径 83.0mm

ロ ッ ト ジ ョ イ ン ト 内 径 78.5mm

二重リーディングシステム

孔 径 311.2mm (12 1/4)

ロ ッ ト 外 径 9 5/8 (244.5mm)

ロ ッ ト 内 径 6" (152.4mm)

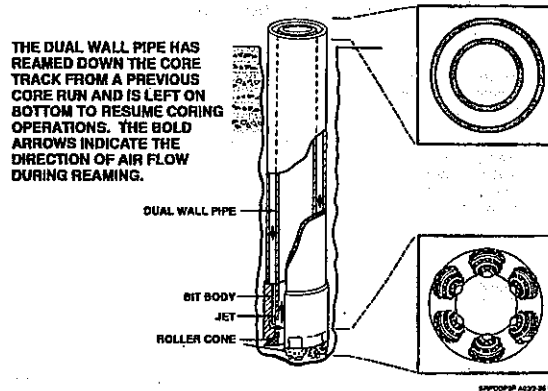
掘削システムについて、MR. LONGのレポートを翻訳したものを添付してあるので参考にして欲しい。

掘削プロセスを順を追って述べると

1. 図No1参照

二重管ロットの先端部にローラカッタービットを付け、コアリングした坑底までリーミング（拡孔）をする。リーミング終了後二重管ロットはそのままする。この二重管ロットは次のコアリングの際ケーシングの働きをする。矢印はリーミング中のエアの流れを示す。

**DUAL WALL DRILLING/CORING SYSTEM
DRAWING NO. 1**

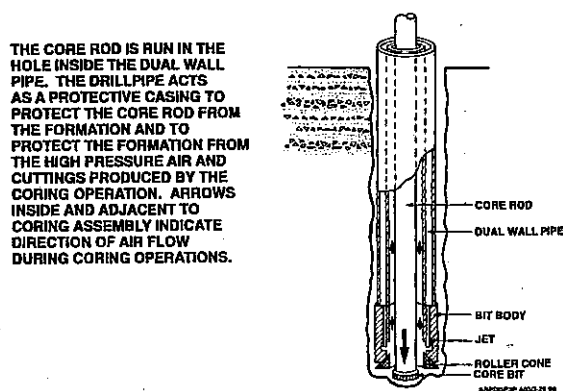


2. 図No2参照

コアリング用ロット（CHD101）を、二重管の中を通して降す。二重管ロットはコアリングの際発生する。カッティングと高圧エアから孔壁を守るケーシングの働きをする。

矢印はコアリングの際のエアの流れを示す

**DUAL WALL DRILLING/CORING SYSTEM
DRAWING NO. 2**

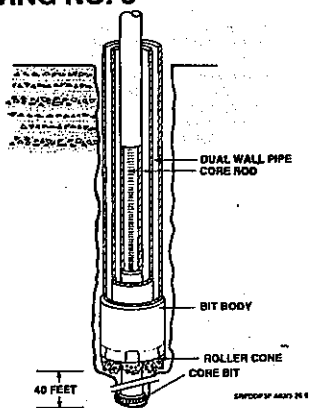


3. 図No3参照

コアリング作業を初め、二重管ロットの先端より10フィート毎のコアリングの繰り返しで40フィート先行する。コアの回収は従来のワイヤライン工法のように、40フィートのコアリングの間孔内に残した状態で行う。40フィートに限定しているのは、孔内でコアロットが曲るのを防止するためと、孔曲がりした孔にコアロットが追従することにより、二重管ロットの継ぎに影響するのを防止するためである。

**DUAL WALL DRILLING/CORING SYSTEM
DRAWING NO. 3**

CORING OPERATIONS ARE COMMENCED AND THE CORE ROD IS ADVANCED 40 FEET AHEAD OF THE DUAL WALL PIPE IN 10 FOOT INCREMENTS (10 FOOT CORES). THE CORES ARE RETRIEVED BY CONVENTIONAL WIRELINE WHILE THE CORE ROD IS LEFT IN THE HOLE FOR THE DURATION OF THE 40 FOOT CORE RUN. THE 40 FOOT LIMIT IS USED TO PREVENT THE MORE FLEXIBLE CORE ROD FROM INITIATING A DEVIATION IN THE BOREHOLE AND CAUSING THE DRILLPIPE TO FOLLOW A DEVIATED PATH RESULTING IN BINDING OF THE DUAL WALL PIPE.

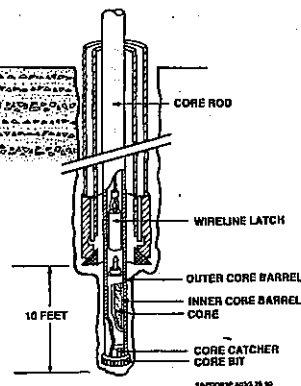


4. 図No4参照

10フィートコアライン毎に、コアロットをすこし持ち上げ、コアビットにあるコアキャッチャー（コアリフタ）でコア切断を行う。コアキャッチャーはコアがインナチューブに入ることに抵抗なく、コアが抜けられない様になっている。ワイヤラインオーバーショットをコアロットの中に降し、コア収納しているインナバーレルの上部をオーバーショットでつかみ、ロット内をワイヤケーブルにて引き上げコアを回収する。

**DUAL WALL DRILLING/CORING SYSTEM
DRAWING NO. 4**

AT THE END OF EACH 10 FOOT CORED INTERVAL THE CORE ROD IS PICKED UP SLIGHTLY AND THE CORE IS BROKEN BY THE CORE CATCHER JUST ABOVE THE CORE BIT. THE CATCHER IS A DEVICE WHICH ALLOWS THE CORE TO ENTER THE INNER BARREL BUT PREVENTS IT FROM BACKING OUT. A WIRELINE LATCH (OVERSHOT) IS THEN RUN INSIDE THE CORE ROD AND THE TOP OF THE INNER BARREL IS "CAUGHT" WITH THE WIRELINE.

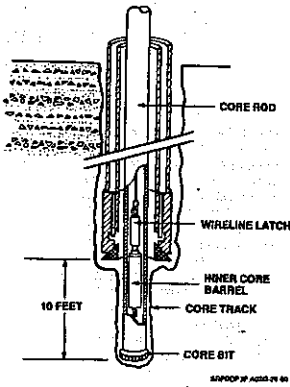


5. (図No5参照)

コアを切断し、コアが収納されているインナバーレルを孔内に降し、アウトバーレルに固定する。このサイクルを10フィート毎に繰り返し実施する。

**DUAL WALL DRILLING/CORING SYSTEM
DRAWING NO. 5**

AFTER THE CORE IS BROKEN, THE INNER BARREL (WITH CORE HELD IN BY THE CORE CATCHER) IS PULLED OUT OF THE HOLE BY WIRELINE. A NEW (EMPTY) INNER BARREL IS THEN RUN IN HOLE, LATCHED INTO THE OUTER BARREL, AND THE WIRELINE IS REMOVED. THIS SEQUENCE IS REPEATED EACH TIME THE CORE TRACK IS ADVANCED 10 FEET.

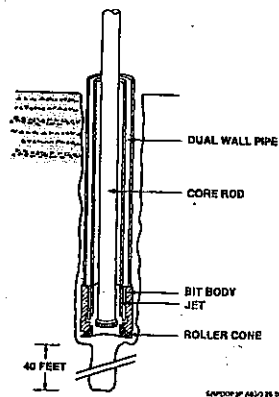


6. 図No6参照

二重管ロットでコアリングした範囲をリーミングするために40フィートのコアラインを終了したら、コアロットを孔内から引き上げる。

**DUAL WALL DRILLING/CORING SYSTEM
DRAWING NO. 6**

THE CORING STRING IS PULLED OUT OF THE HOLE AT THE END OF THE 40 FOOT CORE RUN IN PREPARATION FOR BEAMING DOWN THE CORE TRACK WITH THE DUAL WALL PIPE.

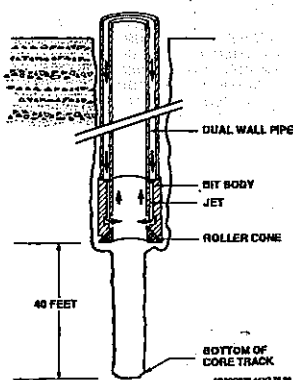


7. 図No7参照

コアリングアッセンブリーが孔内から引き上げられたら、二重管ロットを使って、コアランした抗底までリーミングします。二重管ロットの中央を通してカッティングは上昇しますので一般の掘削での様に孔壁を荒すことはありません。コアリングの際汚染された孔壁はリーミングしている間に汚染は除去されます。矢印はリーミング中のエアの流れを示している。

DUAL WALL DRILLING/CORING SYSTEM DRAWING NO. 7

ONCE THE CORING ASSEMBLY IS OUT OF THE BOREHOLE, IT IS DRILLED/REAMED WITH THE DUAL WALL DRILL STRING TO THE BOTTOM OF THE CORE TRACK. THE FORMATION IS PROTECTED FROM CONTAMINATION NORMALLY ASSOCIATED WITH DRILLING BY CIRCULATING THE CUTTINGS UP THE CENTER OF THE DUAL WALL PIPE. CONTAMINATED FORMATION CAUSED BY THE CORING OPERATION IS REMOVED WHEN THE CORE TRACK IS REAMED DOWN. THE BOLD ARROWS INDICATE THE DIRECTION OF AIR FLOW DURING REAMING.



本システムに於いて頭初の目的である、汚染されないコアの採取、及び各種地科学的計測を実施できている。

本システムに於いて発生した問題点として次のことが上げられている。

- (1) エア掘削に於ける、コアリングビットの選定
- (2) CHD101ロットの切断事故、エア掘削によって、ロットと二重管ロットとの間の油滑性が確保できないため、バイブレーションが発生し、ロットのネジ部の疲労破壊が発生する。
- (3) 二重管ロットの外径が9 5/8インチと大きく又重量が重たいために、ロットハンドリング装置を含めて、設備全体が大がかりなものとなっている。

デュアルウォール掘削システムを日本に於いて応用することを考えると、基本的にユッカマウンテン地区の様なドライゾーンでないため、地下水の対応が完全に異なるので、採用することができないのは確かである。しかしカッティングを孔壁に触れないで回収するシステム、及び保孔をしながらコアリングをするシステムについては、大いに学ぶべきことである。

本システムを開発する過程に於いて、問題点が発生したら、現場サイド及びメーカだけで解決しようとするだけでなく第三者に分析を依頼しながら問題点の解決する手法については、学びたいことである。

添付資料としてLong氏より提供された下記資料を提出します。

- ・ Yucca Mountain Projectに関するレポート各種
- ・ A DRILLING AND CORING SYSTEM FOR STUDYING UNSATURATED ZONE IN SITU CONDITIONS REPORT
- ・ THE SELECTION AND USE OF CORING AND Reaming BITS AT YUCCA MOUNTAIN - REPORT
- ・ DRY CORING AND REAMING IN YUCCA MOUNTAIN TUFFS - REPORT
- ・ LABORATORY TESTING TO DESIGN PDC BITS FOR GEOTHERMAL WELL DRILLING - REPORT
- ・ FIELD TESTING WITH SMALL AND LARGE DIAMETER PDC CORE BITS TO EVALUATE THEIR APPLICABILITY TO DRILLING OF GEOTHERMAL WELL - REPORT

デュアルウォールドリリングシステムによる ワイヤライン・コアリングの実地経験

R・ロング (R. Long)
米国エネルギー省
ユッカ マウンテン用地特性把握プロジェクト
(Yucca Mountain Site Characterization Project)
ネバダ州 ラスベガス

U・クラントン (U. Clanton)
元米国エネルギー省職員
ユッカ マウンテン用地特性把握プロジェクト
ネバダ州 ラスベガス

E・ライト (E. Wright)
レイソン・サービシズ・ネバダ
(Raytheon Services Nevada)
ネバダ州 ラスベガス

D・ワンダリー (D. Wonderly)
レイノルズ電気工業社
(Reynolds Electrical and Engineering Company)
ユッカ マウンテン用地特性把握プロジェクト
ネバダ州 ラスベガス

はじめに

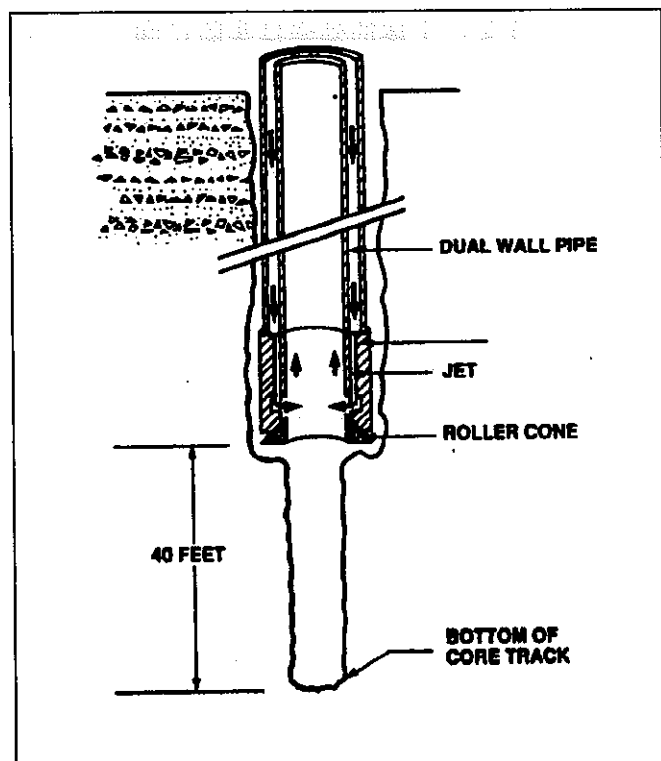
デュアルウォールドリリングシステムは、鉱業界において、深いボアホールから汚染度の比較的少ない潜在的鉱石の試料を採取するため、長年にわたり利用されている。米国エネルギー省のユッカ マウンテン用地特性把握プロジェクト事務所 (YMP) では現在、この技術の応用例 (1992年、ロング他) に沿って、火山岩層位を覆う不透水層に関する研究用の地表下試料を採取している。この不透水層には将来、高レベル核廃棄物のための米国初の地下処理施設が建設される可能性があるが、今後1万年にわたる周囲状態の考慮を必要としている現在の許可要件に従って用地の適合性を決定するには、この不透水層の「天然の」性質を綿密に理解することが不可欠である。このように詳細な科学的情報が必要となる結果、ユッカ マウンテンの用地垂直ボアホール計画における試料採取システムは、連続的にコアが採取でき、かつボアホールをできる限りあるがままの状態に近づけることが可能でなければならないが、YMPの試掘計画を通じて開発されたデュアルウォール試料採取システムは、用地特性研究に適した地質学的試料の採取に成功を収めている。

YMPは、1992年春、ネバダ州ユッカ マウンテンにおける最初の深部不透水層調査ボアホールにおいて実地の掘削作業を開始した。この直径12-1/4インチ (31cm) のボアホールUZ-16は、深度約1700FT (518m) (地下水面下40FT (12m)) まで達することが計画されている。掘削作業は、実地計画のいくつかの部分についての立ち上げのため日中のみ、週5日に限られている。ほとんど認識されていない事であるが、デュアルウォール試料採取システムによって、単一シフト作業の全体的効率は実際に向上している。すなわちこのシステムでは、デュアルウォールパイプを休止期間中ホール内に残置することができ、その場合でも、ホールの状態が作業に影響を及ぼすほど悪化する恐れはないのである。

これまでの経験が示すところでは、計画されている深さ約2600FT (792m) までの乾性で摩損的な環境における掘削およびコアリングの問題点は、対処可能なものと考えられる。この計画の主目標は現在、以下の領域に向けられている。(1) 集中的な試料採取に要する時間の短縮、(2) システム全体の耐疲労性向上、(3) 最大計画深度における非汚染的試料採取 (コアおよびボアホールとも) の成功可能性向上。

システムの詳細

図1から図6までは、デュアルウォール試料採取システムのダウンホールおよび地上における多様な構成要素について、議論を容易にするためのものである。このうち最初の2つの図面は、1992年のロング他による論文からの転載であり、ダウンホールにおけるコアリングおよび拡孔用の基本的構成要素が示されている。図1に示すように、コアは外径24.4cm、内径15.2cmのデュアルウォールドリルパイプを貫通するCHD-101（外径9.4cmのロッド）コアリング・アセンブリによって採取される。この方法により直径6cmのコアが回収され、直径11cmのコアトラックおよび直径31cmの最終的なボアホールが残る。通常の方法ではコアリング中、コアロッド内部を下降しコアロッドとデュアルウォールパイプの内管の間を通過して地上に戻る空気の循環が行われる。切削片および空気をデュアルウォールパイプ内に吸入させるための優先通路を拡孔ビットにおいて保持し、拡孔ビット周辺への吹き出しによるボアホールの汚染を防ぐために、真空状態が利用される。層群の損傷の危険性は、コア採取のためのコアトラック内

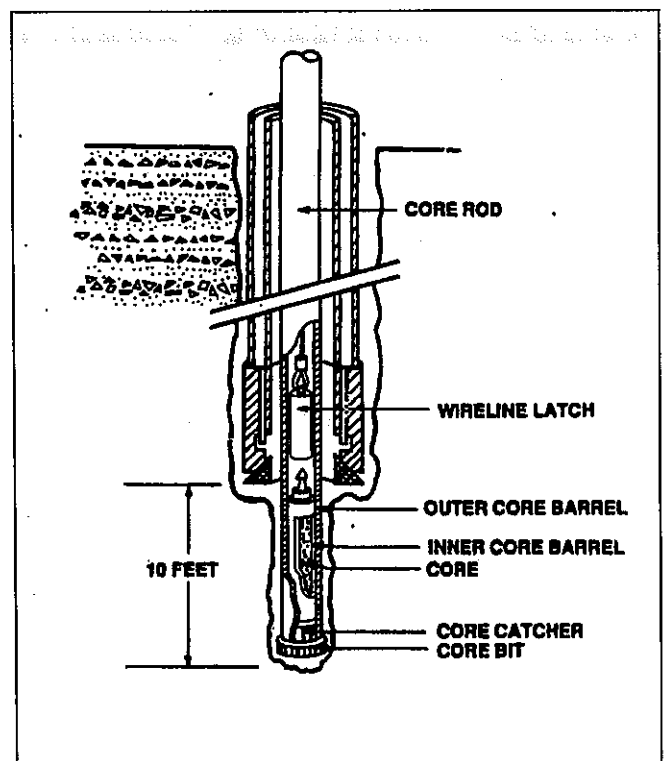


(図1) デュアルウォールシステムによるワイヤライン・コアリング

では許容される場合もあるが、きわめて大きな損傷については、拡孔サイクル中に除去すべきである。

通常10フィート毎のワイヤラインコアリングにおいて、デュアルウォールリングアセンブリより、先行40フィートまで、コアサンプルを行う。コア先行の最大間隔40フィート（12m）は、前記の試掘計画中に確立されたもので、ユッカマウンテンの作業における現時点での機能的限界と考えられる。可撓性のコアロッドは普通、40フィート（12m）以上では過度に偏向して拡孔サイクルの障害となってしまうのである。

図2には、拡孔サイクルが示されている。切削片の優先帰路をデュアルウォールパイプ内に確保するため、さらに真空状態が利用される。拡孔ビット上のカッターの清掃には、局所的な高圧空気が用いられるが、層群内への注入を最終的に回避するため、注入量以上の空気が回収される。このような制御は、コアリング中にも、少なくともコアトラック最上部の拡孔ビットに対して行われる。このデュアルウォール拡孔プロセスは、平衡エア掘削とも呼ばれ、ボアホール壁の汚染を最小限に抑える効果を持つ。



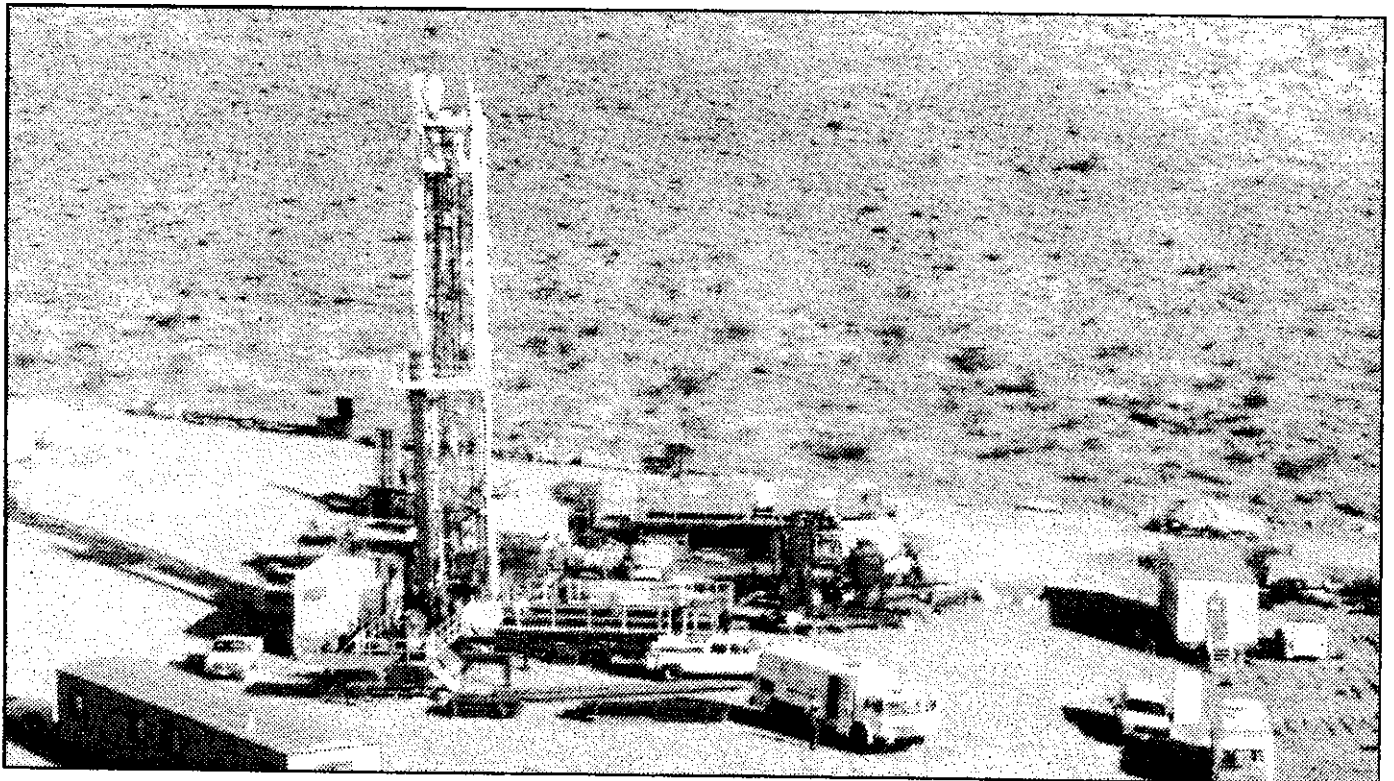
(図2) デュアルウォールシステムによる拡孔

掘孔ビットの設計に関する最近の変化は、ビットのスロート部の内径を4-1/2フィート(11.4cm)に狭めていることである。この変化により、デュアルウォールパイプの内管に使用される6インチ(15.2cm)のラインパイプ内ではCHD-101コアリング・システムが主流となっている。このデュアルウォールパイプのサイズは、当初、より大型のコアリング・アセンブリ(CHD-134)を意図したものであり、CHD-101アセンブリは、摩擦損失を低減し、掘孔ビットにおける真空状態をコアリング中常に維持するために使用されていた。上記によりコアロッドは、「大きい」ホール内の小さいパイプという、設計の想定外の環境で操作されることになるが、このような環境に起因する問題とその解決策については、後程検討を行う。

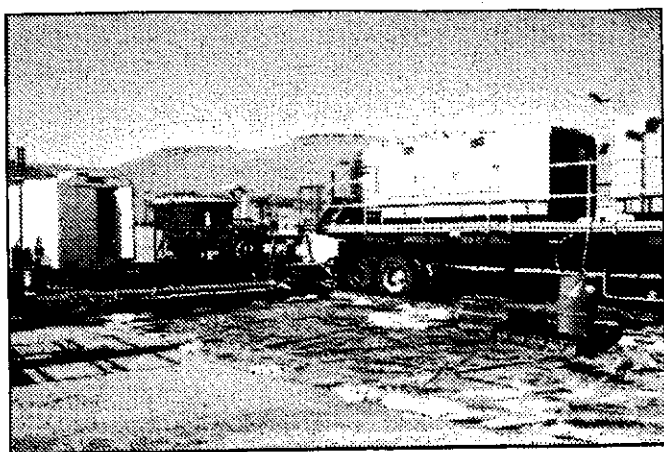
図3には、リグおよび地上設備の配置が示されている。このシステムの主要な構成要素は、ロング他による論文(1992年)で検討されたLM-300掘削リグと同種のものである。その他の大型構成要素は、おおむね四辺形に配置されている。パイプラックは、リグ支柱の前面右側にあり、リグに対して垂直、掘削サイトの最も

奥にあるエアーコンプレッサと平行である。パイプラックのすぐ右には、試料採取サイクロン、バキューム・トラック、およびメータ・ランが、おおむね掘削リグに平行な直線をなしている。空気はコンプレッサを発生して、この四辺形を反時計回りに通過し、メータ・ランにおいて最終的に濾過、排出される。

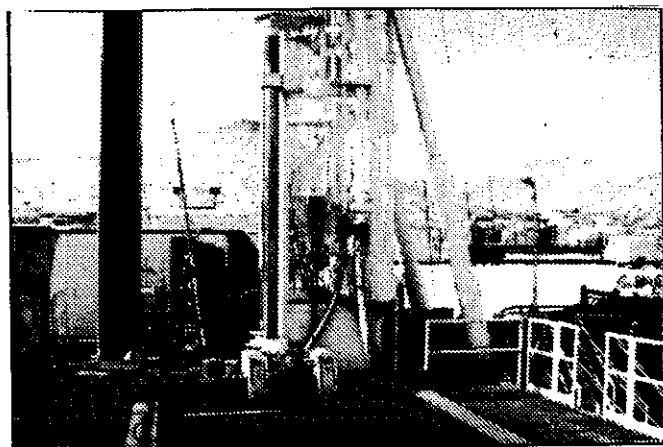
図4には、空気循環システムの給気側細部が示されている。空気は、図右側のコンプレッサから中央の空気処理・計測システムへ流れ、マニホールド内を下降する。このマニホールド内には、左側の白いトラック内の設備から六フッ化硫黄(SF₆)トレーサが0.75ないし2.5ppmの濃度で注入される。この空気の供給には、2基のAtlas Copco 1200 CFM 無給油コンプレッサが使用されているが、コンプレッサからの空気には油分が含まれていても差し支えはない。空気処理・計測システムではシステムの油はすべて除去されるが、このシステムは主として、冷却部内における空気の温度と環境条件との差が摂氏5.6度以内になると形成される自由水を除去するために設計されたものである。すなわちコアリング過程において、原位置の地球化学的



(図3) 掘削リグおよび地上設備の配置



(図4) 空気循環システムの給気側



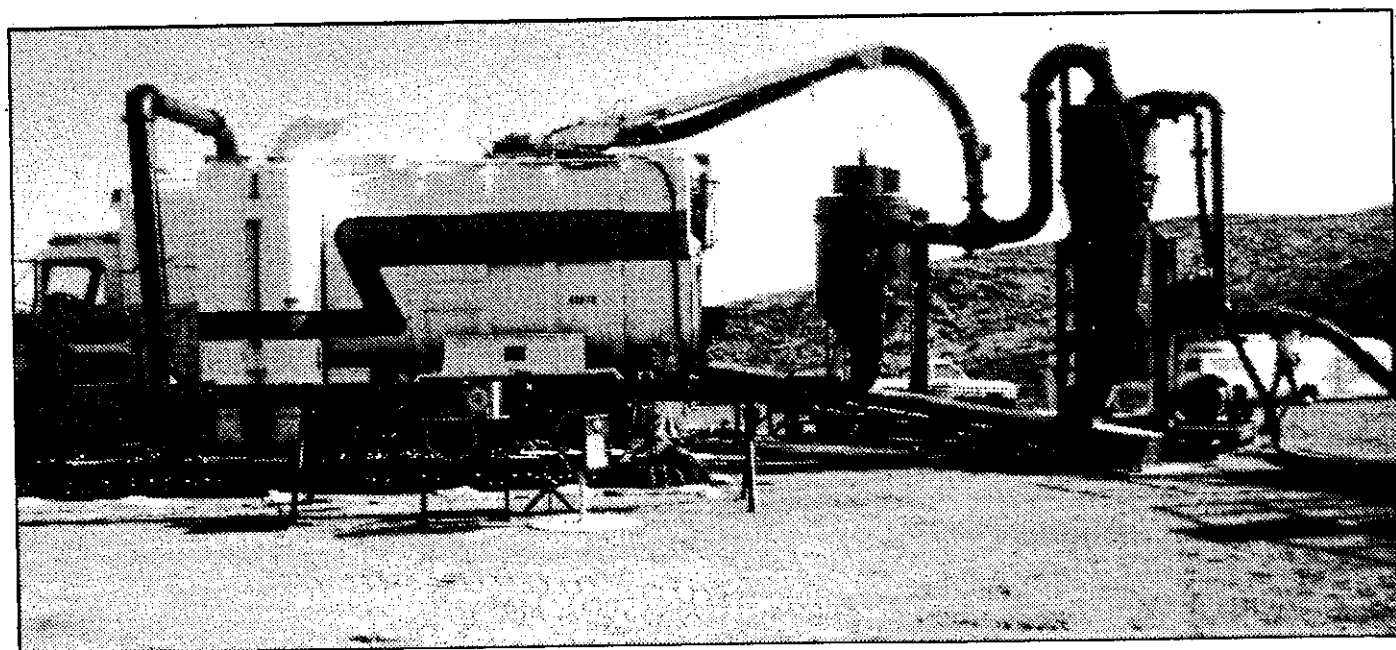
(図5) 給気管、排気管およびパイプハンドリング

状態の汚染を防ぐには、自由水を含まない相対的に低温の空気が必要なのである。

図5のリグマストの側面には、可撓性の、ワイヤープレートで被覆されたエアラインが接続されている（右側中央）。空気は硬質管を通して支柱を上昇し、トップヘッド・ドライブとコネクタ・サブとに接続しているホースまで運ばれる。前記エアライン右側の太い管は、試料採取サイクロンまで延びた排気管である。図5の下部中央には、各部分の長さ20フィート（6m）のデュアルウォールパイプを、ホールとの出し入れ位置まで吊り上げるパイプハンドリングシステムが見えている。デュアルウォールロッドの各部の重量は、およそ540kgである。パイプハンドリングシステムは、主として安全のために

設けられたものであるが、デュアルウォールパイプの移動時間を節約する重要性についても理解がなされていた。

図6は、地上の設備配置における排気・試料採取側を示している。切削片を含んだ空気は、図右側のサイクロンに入り、空気が遮断されると、大部分の切削片は試料採取用またはそれに続く処理用のサイクロンのどちらかにおいて、コンベヤ・ベルト上に落下する。初期の研究では、サイクロンの底部に回転式ゲートバルブを設置して掘削作業中も連続的に切削片を除去する可能性についての調査が行われたが、排気管の真空状態と、掘削中に産出する大型で摩擦的な切削片の双方を制御できるような回転式ゲートは得られなかった。1回の掘孔



(図6) 排気管上の切削片除去設備

サイクルの間、切削片がサイクロン底部に蓄積するのを許容しても、現在までのところ問題は生じていない。この方法でサイクロンを動作させることから生ずる効率の低下によって、ダストがバグフィルタ内で重大な付加的蓄積を起こすことはないようである。

先に述べたように、図6のトラックには、排気管用の真空状態を発生させる送風機（運転席の後ろ中央部）の他に、バグハウスフィルタおよび沈殿槽（後部）が収容されている。空気はトラックの送風機からメータ・ラン（前面に見えている）を介して排気され、垂直に放出される。このトラックは、1993年初めには、独立のバグハウスおよびより強力な送風機と取り替えられる予定である。最初の比較的浅いボアホールの掘削には、このトラックは適しているが、より深い掘削には、さらに強力な装置が必要になる。深度が増すにつれ、平衡エア方式が良好に機能するかどうかはボアホールを出入りする空気制御の精密さにかかってくるのである。自浄式バグ型のフィルタ装置は、空気浄化、計測、および環境的要件への適合にとって操作上、有効な方法であることが証明されている。

計画の主目標

地質学的試料採取の能力に関するYMPの改善計画は、3つの主要な標題に要約できる。すなわち、(1) 試料採取効率の向上、(2) 設備の耐久性向上、(3) 大深度における非汚染的試料採取システムの能力向上、である。用地垂直ボアホール計画の費用と日程を最小化し、科学的目標を達成するには、これら3つの分野すべてにおいて改善が必要である。

〈効率の向上〉

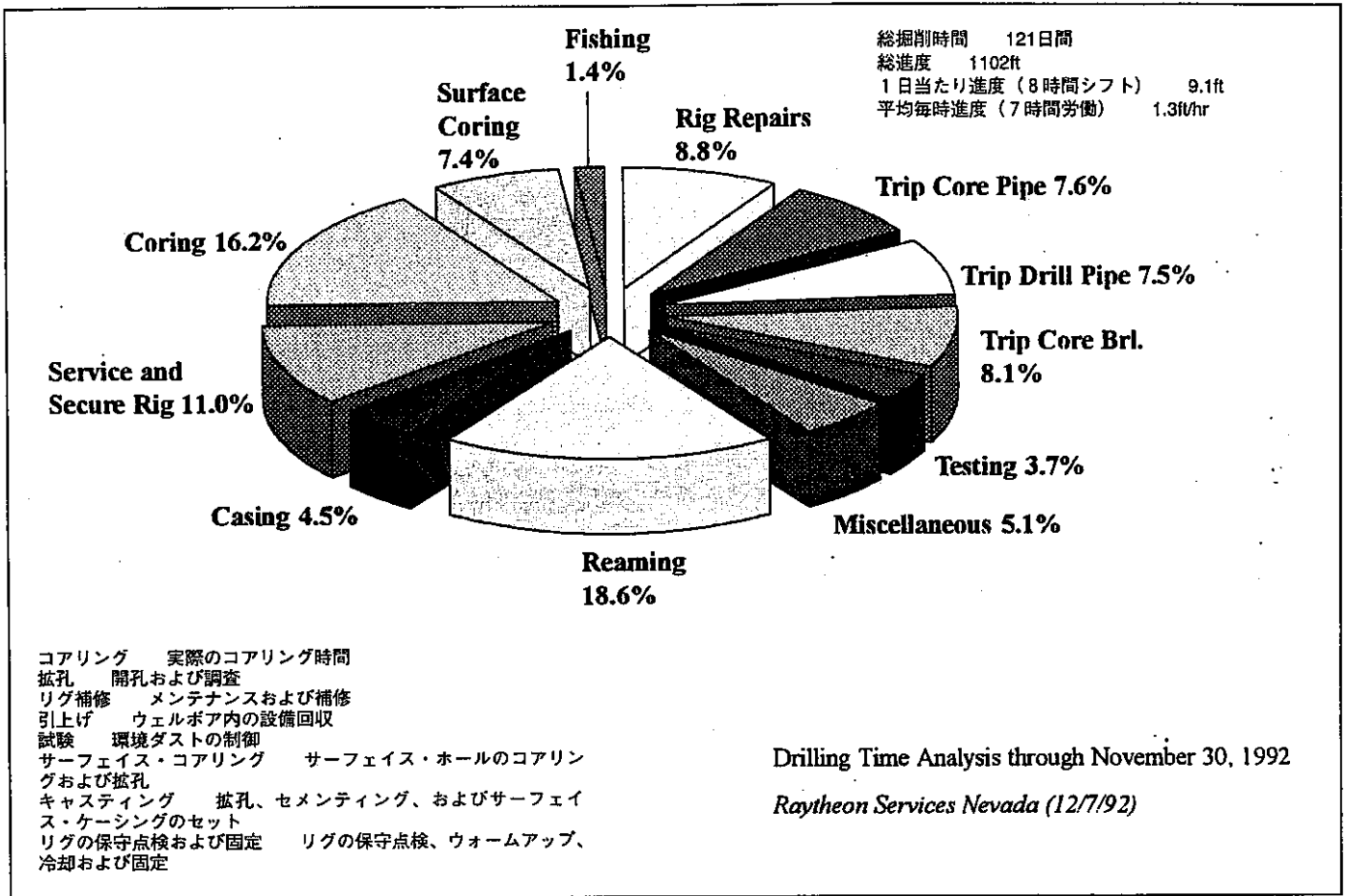
コア試料の採取に、どの掘削システムまたは専用の設備を用いるかにかかわらず、科学的掘削に関係するすべての管理者は、コアを基本にした集中的な試料採取計画の時間的要求について十分な評価を行うことが必要である。簡潔に言って、連続的なコアリング計画は時間がかかるうえに、困難な掘削条件によって遅延の

危険性が増す傾向にある。コアリングの必要に、直径12インチ(30cm)ないし14インチ(36cm)で汚染のないボアホールを掘削する必要が加わった場合、全体的な掘進速度の記録が掘削計画の最初のボアホールで達成されると期待するのは非現実的である。YMPは現在、第1に、基本原則に集中して科学的目標の達成を確実なものとする、より実際的なアプローチをとっている。そのようなアプローチの第2の段階は、進行状況を絶えず評価し直して、計画達成に要する時間を短縮するための改善を行うことである。ユッカマウンテンにおけるような特性調査計画では、コアに関する最小限の要求を計画の初期段階で確定することは困難である。このような調査は、石油産業における試掘との類似性がある。すなわち、予期しない特徴が岩盤中に発見された場合、地質の確実な理解のためには、追加的な掘削（またはこの場合コアリング）が必要である。（現在の計画日程を短縮する必要の他）ユッカマウンテンでのコアに関する要求について、その潜在的増大の効果を弱めるため、YMPは適切なコアをより迅速に採取する方法の考察、評価を重ねている。

図7には、1992年11月30日、UZ-16での作業におけるタイムアナリシスを示した。効率に関する議論は、図のカテゴリーに示す時間を短縮するための考察に集約されるであろう。主なカテゴリーについては、LM-300掘削リグ、コアビットおよび拡孔ビットの別項を設けて検討する。

(LM-300掘削リグ)

コアリング中の速度に関する前述の要求は、LM-300の構造に取り入れられている。このリグのサイズは、大部分の鉱業用リグを凌いでおり、さらに大きな引き上げ能力を持つLang Exploratory Drilling社製の新しいLM-300Eをも上回っている。このサイズは、デリック内に最低でも40フィート(12m)のコアロッドを立てるために必要なものであった。このリグの能力によって、コアロッドをホール内から迅速に引き出



(図7) UE-25 UZ-16のタイムアナリシス

すことができ、それによって、スケジュールどおりの連続的なコアリング/拡孔サイクルによる影響を低減することができる。後続のリグについては、デリックにおいて18mもしくはそれ以上のコアロッドのラック操作が可能のように、より高い支柱の使用が検討されている。

リグのメンテナンスおよび補修は、総時間のおよそ20%を占めており、この補修時間の過半は、伝導装置の交換に関するものであったが、これは例外的に発生したものと考えられるので、後続のボアホールでは、補修時間の大幅な短縮が期待される。運転開始および停止にかかる時間については、すでにある程度の短縮が行われているが、残る時間の大部分は日常的な保守点検によるものであり、短縮は不可能と考えられる。1日24時間の稼働が可能になれば、メンテナンスおよび稼働の効率はある程度(5%)向上するものと期待されている。さらに、電気を使用するすべてのリグに関して、保守点検時間の短縮が期待できる、いくつかの提案が検討

中である。

デュアルウォールパイプのためのパイプハンドリングシステムは、後続のすべてのリグにおいて必要条件となるであろう。パイプの重量が、長さ6m当り540kgになるので、効率的な横置き(laydown)システムは、このようなパイプをハンドリングする最良かつ最も安全な手段となる。効率的な横置きシステムは、期待どおりデュアルウォールシステムが深度900mでの能力を要求される場合にとりわけ必要となる。

(コアビット)

図7に示したように、コアリング、ワイヤライン・コアパレルの移動およびコアロッドの移動に関連する時間は、全稼働時間のおよそ32%を占めており、コアリング単独ではおよそ16%である。このような時間の多くの部分は、単に連続的なコアリング操作によるものであるが、コアリング時間およびワイヤライン・パレル移動時間の多くの部分は、インナーチューブ

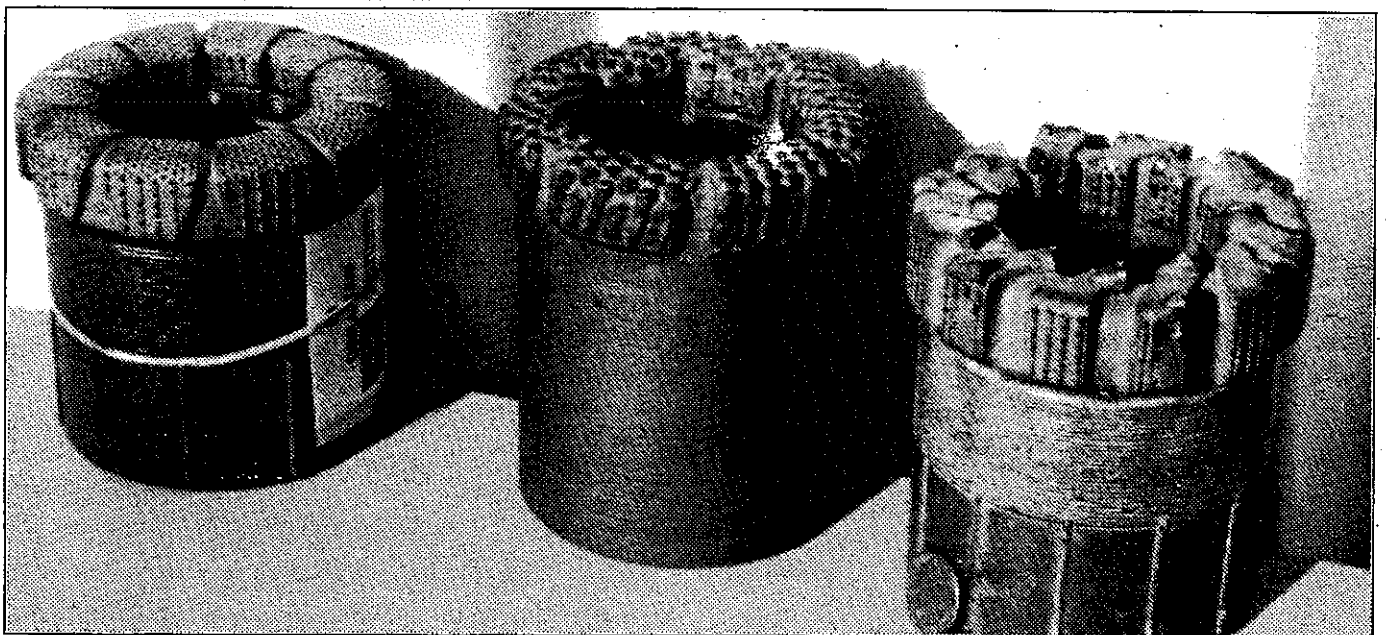
内にコア詰りが起こったために短いコアランとなったためである。ユッカ マウンテンの硬質火山岩は、重大な垂直破碎を起こすので、コアの迅速な採取にとって最も困難な領域の一つである。UZ-16では、覆瓦断層帯と呼ばれる領域の掘削が行われているが、この領域は、ユッカ マウンテンのその他の領域に比べて破碎が起きやすく、また平行で高角度の断口および1回20フィート(6m)ないし30フィート(9m)の掘削で6インチ(15cm)以下の短いコアしか回収できないほどの破碎間隔によって特徴づけられる。これらの間隔においては、詰まり防止バレルも試みられているが、成功していない。

このような短い破碎間隔によって、PDC(多結晶ダイヤモンド・カッター)コアビットの寿命も短くなっている。興味深いことに、現在までのPDCの破損はすべて、過熱ではなく衝撃による損傷から生じている。毎分200~700CFMの冷氣(通常摂氏38度以下)は、最硬質の岩盤条件でも、熱によるコアビットの重大な割れを防ぐために適切な冷却および/または孔底の清掃を行っているようである。図8には、現在までUZ-16で使用された、主要な種類のコアビットを示している。完全に乾燥した条件でのコアリングのため、回転速度が低く制限される(毎分約60回転)ことから、アグレッシブな切削

構造が望ましい。こうしたアグレッシブな切削構造による、振動やコアバレルの安定性などにおける不利益に関しては、後述の耐久性向上の項において検討する。

ビットの使用量と破碎の度合との弱い相関関係は、図8の左から右へのビットの順序によって示される。図右側のタイプのPDCビットは、ほとんど破碎がないか、あるいは凝灰岩がわずかしか溶結しておらず(すなわち軟質かつ/または脆く)、最大掘進速度が許容される間隔において使用される。破碎が増してくると(通常PDCカッターの破損増加および早期の破損により認識される)、カラット当り3ないし6石のカルボナード・コアビットが使用される。このビットは、アグレッシブなサーフェイスセットの切削構造を有しており、非晶質構造のダイヤモンドによって、衝撃破損に対し耐性を備えている。左側のカラット当り20ないし40石のカルボナード・サーフェイスセットビットは通常、破碎の多い間隔において使用される。高級ダイヤモンドもほぼ同種の切削構造に試用されたが、カルボナードよりも有意に早く摩滅した。

PDCカッターはコアをより迅速に得るための潜在的可能性を備えているので、YMPは、乾性硬質岩盤のコアリングにおけるPDCカッターの切削効率および耐久性の向上に向け



(図8) スモールストーン(20/40)サーフェイスセットビット、ラージストーン(3/6)サーフェイスセットビット、PDCビット

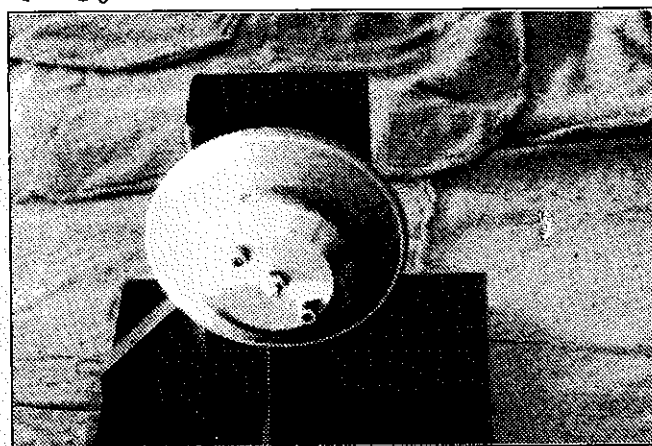
て努力を続ける予定である。コア採取が迅速に行えれば、用地特性把握計画の成功にとって重要と考えられる、以下の利益が生ずる。すなわち(1) 原位置の条件がコアリング・プロセスからの大きな影響を受けにくくなり、(2) 現在の予算と日程内で用地特性把握の必須目標を達成しやすくなる。図8におけるPDCビット上の比較的小型のカッター(直径3/8インチ(9.5mm)以下)は、切削効率および耐久性の向上のため、コアビット使用面の陥凹部(特にゲージカッター上)に取り付けられている。これにより早期の破砕によるカッターの破損が減少する一方、なおアグレッシブな切削構造が保持される。さまざまなメーカーによる同種の設計については、ユッカマウンテンでの実地試験に先立って、現在、コロラド鉱業大学(the Colorado School of Mines)地球機械工学研究所(Earth Mechanics Research Institute)において評価が行われている。この計画は、ユッカマウンテンでの乾性コアリング用PDCコアビットの開発に焦点を絞って続けられることになる。近い将来、より大きいカッター(1.3cm以下)と抗旋回特性を備えたPDCが登場することが期待される。切削構造のアグレッシブな性質が増大すると、掘進速度に大きな影響を与えることになるが、後述の耐久性の項で論じるように、アグレッシブな切削構造が引き起こす振動については、抗旋回設計によって相応に最小化しなければならないであろう。低重量(910kg以下)で、条件に合った掘進速度が得られる、耐久性の高いPDCビットが開発できれば、コアの長さは潜在的に40フィート(12m)以上も可能になると考えられている。このようなアグレッシブな構造には、コア/掘孔サイクルの回数を低減できる可能性があり、そのため重大な関心が寄せられている。こうした開発が進めば、日程の短縮に最大の影響を与えることになる。

(掘孔ビット)

コアビットに加えて、掘孔ビットの切削構造についても、前記の地球機械工学研究所に

において研究が進められている。現時点で最も有望な設計の構造は、6個のコーンをもち、ヒールパックが交互に内側および外側のゲージ双方を切削するようにこれらのコーンが交替するものであるが、カッターについてはなお、標準的なコーン3個の回転式ビットと同様の設計基準にもとづいている。これまでに最も好成績を取った切削構造は、IADCビット分類5-1-7または5-2-7のHughes Tool Company製J-22ビットと同種のものである。ごく近い将来における掘孔ビットの性能最適化は、ローラ・コーン切削構造に関する炭化タングステン・インサート(TCIs)の最適化に基礎を置いて続けられるであろう。

図9は、硬質岩盤掘削における掘孔ビットの効率を、現在ローラ・コーン構造で達成できる範囲を超えて向上させる潜在的基礎を示しているが、これは、きわめて小規模であることを除いて、トンネル・ボーリング機械(TBM)の設計にもとづいた切削構造である。このような小規模化は、最近のベアリング技術の改良によって可能となった。地球機械工学研究所は現在、この新型カッターの試験を行っており、1993年後半までには試験利用が可能な直径33.0ないし35.6cmの試作ビットが得られるものと考えている。



(図9) 実験用のディスクカッター

〈耐久性の向上〉

耐久性の向上という項目は、本論文の文脈では、疲労破壊の可能性低減または現在利用可能な掘削設備の耐用期間伸長を意味するものとして用いられている。現在、耐久性の向上が

検討されている領域は、(1) 掘削リグ、(2) コアロッド、および(3) デュアルウォールパイプ、の3つである。これらの領域が選ばれたのは、ユッカ マウンテンにおける現在の掘削環境において、予期せぬ遅延を発生させる可能性が最も高いからである。

(掘削リグ)

伝動装置の予期せぬ故障にもかかわらず、LM-300は現在まできわめて良好に作動している。LM-300は拡孔装置を制御するために十分な大きさを備えているが、それでも高いコアリング能力を示せるほど軽量である。耐久性の向上が可能な唯一の領域は、今後における掘削リグの設計であろう。後続のリグでは、油圧モータに代えて電動機が使用される見通しである。環境に対する配慮が、要求される便益および耐用年数の改善と同様、この決定における大きな要因であった。

(コアロッド)

コアロッド(コアパレルを含む)は、ダウンホールのシステムにおける最も脆弱なリンクであるが、その主要な理由は、(1) ロッドが、設計時の想定外の環境で使用されていること、および(2) 設計では想定外の、またPDCコアビットのアグレッシブな切削構造によって最大化された周期的応力をロッドが受けていること、の2点である。使用されている大きさのコアロッドは、よりアグレッシブなコアビットの「スティックスリップ」運動によって引き起こされる振動傾向をもっている。このダウンホールにおける現象の発生を抑えるには、コアビットの抗旋回設計もある程度有望であるが、システムの信頼性を確立するためには、その他の手段を講じなければならないであろう。

前述のように、CHD-101コアロッドは、直径6インチ(15.2cm)のデュアルウォールパイプ内で使用されているが、通常のコアリングでは、このロッドは直径10ないし11cmのボアホール内で使用されるものである。結果的に、

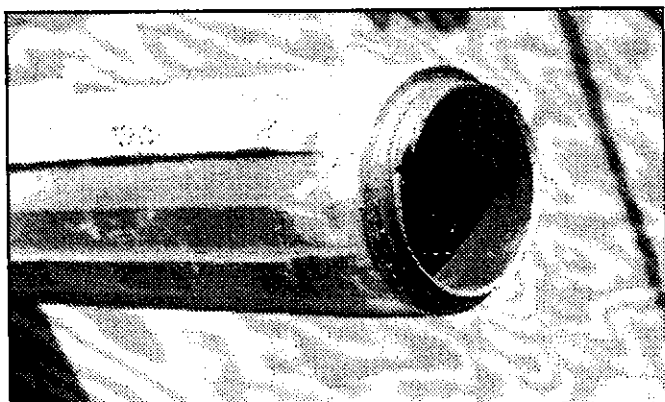
現在の平衡エアードュアルウォール試料採取プロセスでは、「大きいボアホール」内の掘削に「小さいパイプ」が使用されていることになる。鉱業界には、この種の操作に関する規格がないため、このコネクションについては、YMPと契約を結んでいる Science Applications International Corporation (SAIC) が分析を行っている。この研究は、APIが初めて鉱業用パイプに対して勧告を与えたと考えられていること、およびこの研究が将来の論文テーマになるであろうことからみて、興味深いものである。本論文に関係する、この研究の結論は次の2点である。すなわち、(1) 現在のCHD-101ロッドの抗折強度比は約1.25であり、(2) 大きいホール内の小さいパイプに関するロータリ・ショルダード・コネクションについて、APIの勧告による抗折強度比は2.25ないし2.85である。これは、現在のCHD-101コアロッドのコネクション部における抗折強度比では、API勧告の基礎となっているような振動に遭遇した場合、ピンの最後に係合したねじ山が疲労破壊しやすいことを示している。こうした状況を改善するため、比較的簡単な解決策がすでに講じられている。ASTM A 519-4130鋼のコアロッド・ストックは、Longyear社から入手可能であったが、これに機械加工を加えると、コネクション部の抗折強度率を2.4にすることができる。新しいロッドの外径は、3.701インチ(9.40cm)から3.875インチ(9.84cm)に拡大され、ピン・コネクションの引っ張り強さは約2%低減された(ピン領域では微少な低減)。またコアロッドの重量は、フィート当たりおよそ8.8ポンド(3.99kg)から14.2ポンド(6.44kg)に増やされた。

要約すれば、新しいロッドは、より剛性を高くし、耐疲労性を高め、したがって、コアビットのアグレッシブな切削構造が引き起こす振動およびトルク振動に対する制御性を高めるべきである。また新しいロッドには、コアリング中に前もって経験した偏り傾向を低減して、12mを超えるコア/拡孔サイクルの実現を支援する役割も期待されている。

CHD-101ロッドと同様の寸法をもつコアロッドのもう1つの特性は、システム内における固有調和振動数による振動のピークが、およそ366m、毎分60ないし90回転で発生することである。本シンポジウムには、CHD-101ロッドの振動特性の詳細に関する論文が提出されている。この振動傾向は乾性掘削条件のために減衰せず、パイプに対する周期的応力を大きく増大させる。最近、深度365mで起きたコアバレルの上部拡孔シェル安定装置におけるピン・コネクションの破壊については、この共振状態が破壊の一因となったものと考えられる。また深度391mで試掘中に、同じ位置にあった拡孔シェルが、基本的に同様の破壊を起こしている。図10には、疲労破壊の様子が詳細に示されており、図11には、拡孔シェルの内側加工部分が示されている。図11の拡孔シェル内側に影の線で示されている内部アップセットは、機械加工されたもので、コアリング中は内側バレルのラッチが係合して保持を行うようになっている。Longyear社との討議の後、ピン領域の利用可能な内径を1.6mm狭めることで引っ張り強さが13.6t増加することが発見されたが、この改良は将来の拡孔シェルに取り入れられることになろう。

(デュアルウォールパイプ)

デュアルウォールパイプの外側管は、直径9-5/8インチ24.4cm ()、フィート当り40ポンド(21.3kg)のK-55ケーシング製であり、YMPの掘削計画で予想される、比較的浅い場所での掘削に適した強度と比較的高い耐疲労性を備えて



(図10) 拡孔シェルの疲労破壊

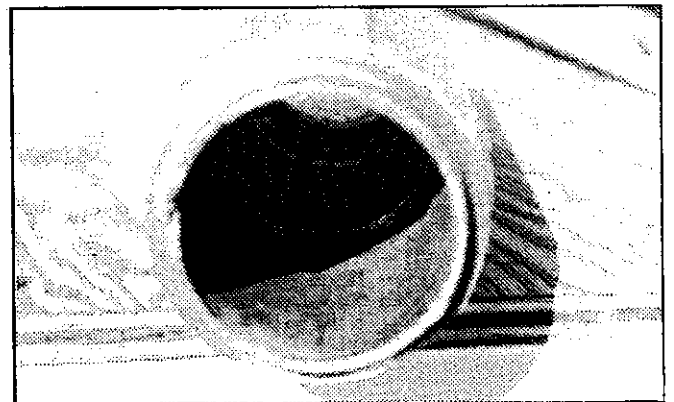
いる。この設計において唯一期待される変化は、コネクションねじの改良である。このコネクションの耐疲労性を高めるためには、YMPは、最近発表された、これらコネクションのねじ山を低くするための指針 (Tsukano, 1990年) に従うことが必要となるであろう。

<能力の向上>

先述のように、YMPの用地垂直ボアホール計画における第一の関心は、科学的目標の達成を確認することであるが、これを非汚染的試料採取に関して言い換えれば、平衡エア式の掘削が、予想される最大深度792mでも機能するという信頼性を高めることである。現在のシステムは、空気の注入・回収の監視および制御が適切に維持される限り、深度792mでも有効であると推定されている。ダウンホールの掘削条件をより良好に維持・制御するためのシステムの変更については、現在進行中のものと、計画段階のものがある。

(地上設備)

現在、大深度のダウンホール条件をより良好に制御するための改良が、地上設備における監視および制御機能の双方について進行中である。ボアホールを出入りする空気の流量を監視する必要は、Fisher Controls社のシステムによって満たされることになるが、このシステムは、ボアホールを出入りする空気の流量をコンソール上にデジタル表示するものである。また、この流量はデジタル情報として記録され、空



(図11) 機械加工によるラッチ用アップセット

気の量を時間で積分できるようになっている。このシステムは、1月末までに設置されるものと予想される。

先述のように、現在の真空システムは、さらに強力なシステムに切り替えられることになっているが、この新システムは、水銀柱で45.7cmの真空をトップヘッドドライブに作り出す一方で、19.8立方メートル毎分（標準状態下）までの空気をボアホールから吸引することができる。このシステムは、適正に使用すれば、あらゆる掘削条件において十分に機能するはずである。

(ダウンホール設備)

コアリングと拡孔を同時に行える拡孔ビットは、能力向上の究極的なものである。図7の時間分析において示したように、もし拡孔中のコアリングが実現して、コアロッドの移動がまったく不要になれば、試料採取時間全体を24%短縮できることになる。このようなビットについては、現在検討が進められており、ダウンホールの循環に関する潜在的な障害が除去可能になれば、設計・試験が行われることになろう。効果的な平衡循環システムは、非汚染的試料採取には不可欠なものである。

ダウンホールに関する能力向上の第1段階は、現存の配置を増強して、ダウンホールで問題が生ずる危険性を最小化することである。現在、改善が検討されているのは、(1) 中央が開口した拡孔ビットに適合した、ワイヤラインによる回収可能な中央部分、および(2) 深部拡孔およびコアリング中に真空システムを増強する、拡孔ビット内のベンチュリシステム、の2点である。

中央が開口した拡孔ビットに適合した、ワイヤラインによる回収可能な中央部の必要性は、先述のように、覆瓦断層帯の破壊の頻度が高い間隔を掘削中に認識されたものである。ワイヤライン上を迅速に移動する中央部が開発されれば、拡孔中にデュアルウォールパイプを塞ぐことから生ずる問題は解消するであろう。ま

た、この特徴により、デュアルウォールから現在可能な位置よりもさらに先方でのコアリングが可能となるであろう。

ベンチュリシステムについては、試掘中に試験が行われ、導入可能かつ極めて効果的なものと判断された。このシステムは掘削エアーの一部によって作動するが、このエアーは、流出後、デュアルウォールパイプの内側に圧力波を作り出して、ホール底部で真空状態を形成/増強するために用いられるものである。この現象は、エゼクターの動作と同種類のものであるが、パイプの中央は、開口していなければならず、したがってエアーはデュアルウォールの内管の周囲から注入しなければならない。1993年に計画されている試験では、新しい拡孔ビットの内径4-1/2インチ(11.4cm)のスロート部と内径6インチ(15.2cm)のデュアルウォールとの間に設けられたディフューザ側面が十分な機械的拡大を行って圧力波を安定させるかどうかを調査される。このシステムが導入可能になれば、拡孔中に用いられることになるが、それによって、拡孔ビットに適合した、ワイヤラインによる回収可能な中央部の必要性は失われることになろう。

要約および適用面の検討

これまでの経験から、鉱業用デュアルウォールおよびワイヤライン・コアリングのシステムは、原位置条件にきわめて近い不透水域での試料採取に利用可能であることが示された。困難な掘削条件から軽量のコアリング・ストリングを保護するため、もしくは層群の表面を通過する切削片の正常な循環による汚染効果から層群を保護するため、厚い肉厚を備えた掘削ストリングを使用するという着想は、正しいものと考えられる。鉱業用コアリング・ストリングを、デュアルウォールパイプ内側で、かつ困難な乾性コアリング条件において使用することによる諸問題は、細部の適用に注意を払い、適切なAPIの勧告に従うことによって解決可能であると考えられる。

このように石油産業の指針および勧告に従って鉋業用技術の応用を行う可能性が明らかにされたことは、本論文における最も重要な論証点である。A P I の勧告および設計基準は、内側ストリングの重量追加が考慮されるかぎり、デュアルウォールパイプの作用的限界を引き上げるために利用可能であると考えられる。このようなシステムは、深部の地熱掘削や過圧度の高いガス掘削などの苛酷な環境に適用しうるのであろう。ガス掘削に関して、液体を含んだ最初の切削片がデュアルウォール内側を循環した場合、重くなったキルおよび／またはホール・コンディショニング・マッドは、非常に緩慢にドリルパイプの外側へ吸い出すことができる。このようなシステムは、危険な条件下においても常態的な掘削を行える可能性を備えている。

謝辞

S A I C の Margaret Westcamp と Karl Moore には、本論文の原稿における作図・レイアウトに関して、Greg Fehr には、コアロッドの接続に関する情報提供および、A P I 勧告との比較による CHD-101 コアロッド・接続のすぐれた分析に対して特別な感謝を捧げる。また Colorado School of Mines, Petroleum Department (コロラド鉋業大学石油学部) の Dr. Bill Mitchell と Bill Eustes には、CHD-101 コアロッドの振動特性に関する情報提供に対して感謝を申し上げる。Colorado School of Mines, Earth Mechanics Research Institute の Dr. Levent Ozdemir、Jim Friant、Richard and Leslie Gertsch にはディスクカッタービットおよび YMP のビット試験計画への取り組みに関する情報提供に対して心より感謝を捧げる。

参考文献

Long, R., Wright, E., and Wonderly, D., "A Drilling and Coring System for Studying Unsaturated Zone In Situ Conditions (不透水域における原位置条件研究のための掘削・コアリングシステム)", ASME Petroleum Division, 1992 Proceedings Drilling Symposium, M.V.Rao, ed. PD-VOL. 40, 1989.

Tsukano, Y., Nishi, S., and Ueno, M., "Improvement of Drill-Collar Fatigue Property by Last-Engaged-Thread-Height Reduction of Pin (ピンの最終係合ねじ山高の低減によるドリルカラー疲労特性の改善)", SPE Drilling Engineering (Dec. 1990) 325-30: SPE 18704.

Field Experience with Wireline Coring through a Dual Wall Drilling System

R. Long
Department of Energy
Yucca Mountain Site Characterization Project
Las Vegas, Nevada

E. Wright
Raytheon Services Nevada
Las Vegas, Nevada

U. Clanton, retired,
Department of Energy
Yucca Mountain Site Characterization Project
Las Vegas, Nevada

D. Wonderly
Reynolds Electrical and Engineering Company
Yucca Mountain Site Characterization Project
Las Vegas, Nevada

Introduction

Dual Wall drilling systems have been used for many years in the mining industry to obtain relatively uncontaminated samples of potential ore bodies from deep boreholes. The Department of Energy's Yucca Mountain Site Characterization Project Office (YMP) is presently utilizing an extension of this technology (Long *et al.*, 1992) to acquire subsurface samples for study of the unsaturated zone overlaying a horizon of volcanic rock which will potentially host the nation's first underground repository for high level nuclear waste. A thorough understanding of the "undisturbed" nature of the unsaturated zone is essential for determining the suitability of the site to comply with licensing requirements which presently require consideration of conditions over a period of 10,000 years. As a result of this need for detailed scientific information, the sampling system for the site vertical borehole program at Yucca Mountain must be able to acquire continuous core and leave the borehole as close to in situ conditions as possible. The dual wall sampling system developed through YMP's Prototype Drilling Program has proven successful in acquiring geologic samples suitable for site characterization studies.

The YMP initiated field drilling operations on its first deep unsaturated zone exploratory borehole at Yucca Mountain, Nevada, in the Spring of 1992. This present 12-1/4 inch diameter borehole, UZ-16, is planned to a depth of approximately 1700 feet (40 feet below the water table). Drilling has been limited to daylight only operations, 5 days per week, because of the startup of several segments of the field program. Though little recognized, the dual wall sampling method actually increases overall efficiency for single shift operations because it allows for the dual wall pipe to be left in the hole during periods of inactivity without fear of hole conditions deteriorating to a point that operations are affected.

Experience to date indicates that difficulties associated with drilling and coring in a dry, abrasive environment to the planned depths of approximately 2600 feet appear manageable. Program initiatives are now focused in the following areas: 1) Reduction of the time required to accomplish the intensive sampling; 2) Improving overall system resistance to fatigue, and; 3) increasing capability for successful uncontaminated sampling (both core and borehole) at maximum planned depths.

System Description

Figures 1 through 6 are added to facilitate discussion of the various downhole and surface components of the dual wall sampling system. The first two figures are taken from Long *et al.*, 1992, and depict the basic downhole coring and reaming components. As shown in figure 1, core is taken with a CHD-101 (3.7 inch OD rod) coring assembly through 9-5/8 inch OD, by 6 inch ID, dual wall drill pipe. A 2.4 inch diameter core is retrieved in this manner leaving a 4-3/8 inch core track and a 12-1/4 inch finished borehole. Air is circulated in a conventional manner during coring, down the inside of the core rod and back to surface between the core rod and inner tube of the dual wall pipe. A vacuum is used to insure that a preferential path is maintained at the reaming bit for the cuttings and air to be pulled into the dual wall pipe instead of being blown around the reaming bit and contaminating the borehole. Some risk of formation damage is accepted in the core track in order to acquire core; however, the worst of the damage should be removed during the reaming cycle.

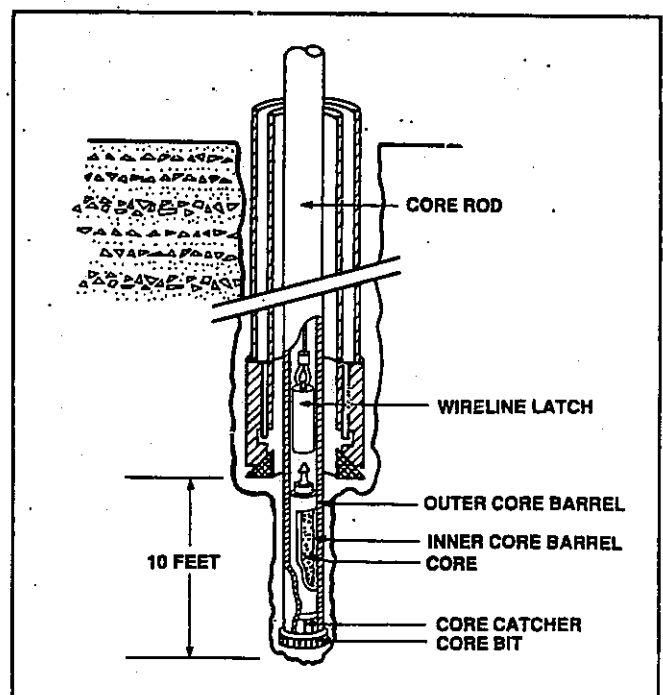


Figure 1. Wireline coring with the dual wall system.

Core samples are taken as much as 40 feet ahead of the dual wall reaming assembly in typical wireline increments of 10 feet each. The maximum core-ahead interval of 40 feet, established during the Prototype Drilling Program, appears to also be a present functional limit for operations at Yucca Mountain. The limber core rod usually begins to deviate excessively beyond 40 feet causing difficulties during the ream down cycle.

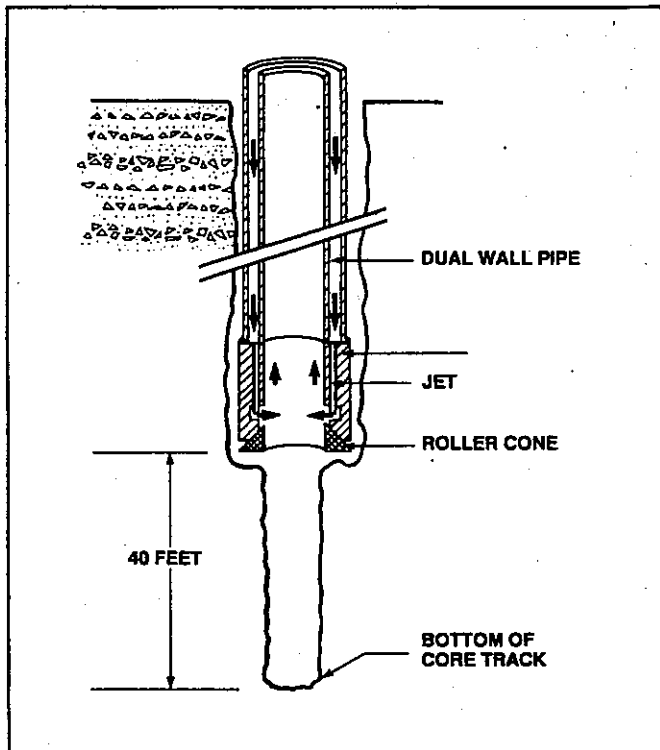


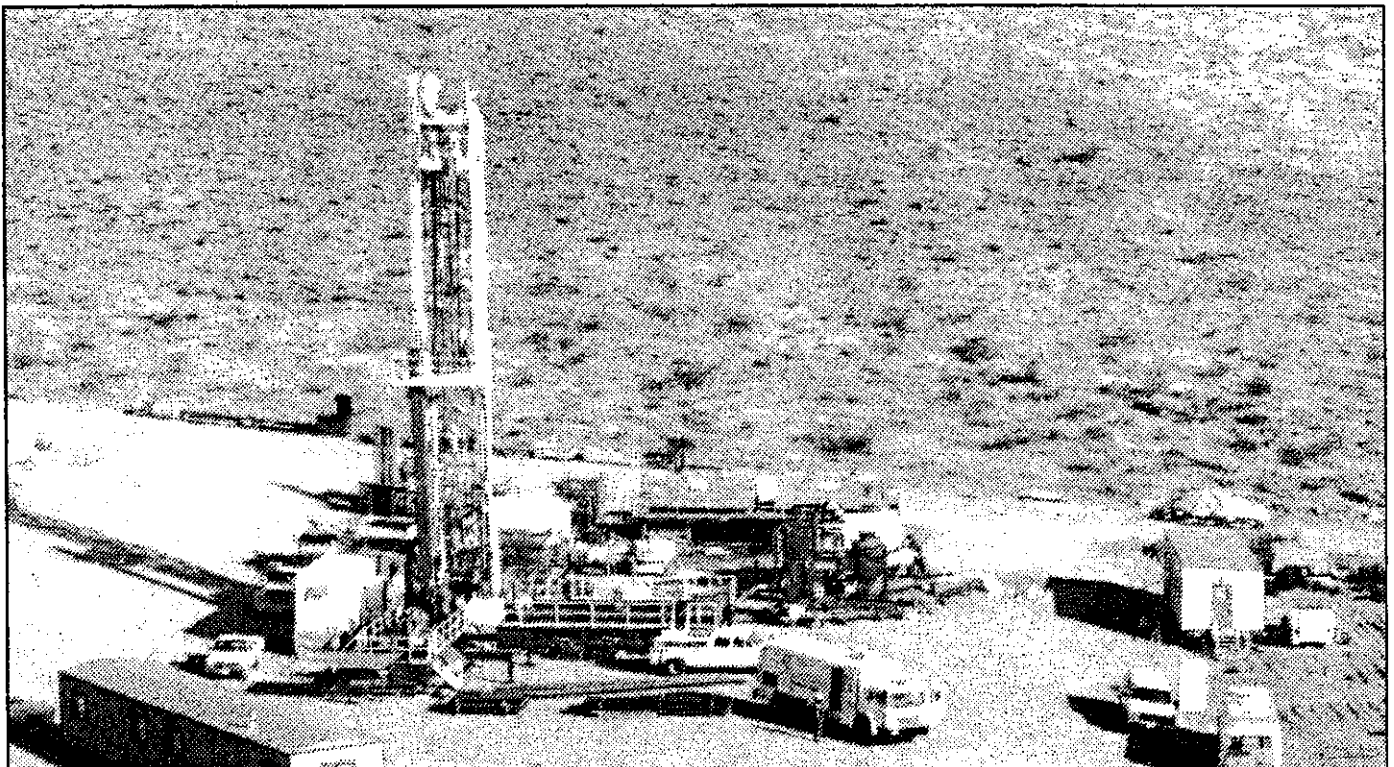
Figure 2. Reaming with the dual wall system.

Figure 2 shows the ream down cycle. Again, a vacuum is utilized to insure that a preferential return path for the cuttings remains inside the dual wall pipe. Locally high pressure air is used to clean the cutters on the reaming bit; However, net injection into the formation is avoided by insuring that more air is withdrawn than is injected. This control also applies during coring, at least at the top of the core track at the reaming bit. This process of dual wall reaming is also referred to as balanced air drilling and results in minimum contamination of the borehole wall.

Recent reaming bit designs have incorporated a modification in the throat of the bit, an ID reduction to 4-1/2 inches. This modification centralizes the CHD-101 coring system inside the 6 inch line pipe used as the inner tube of the dual wall pipe. This size of dual wall pipe was initially intended for a larger coring assembly (CHD-134). The CHD-101 assembly was used to reduce friction losses and insure a vacuum is maintained at the reaming bit at all times during coring. This results in the core rod being operated in an environment it was not designed for, a small pipe in a "large" hole. Problems caused by this environment and solutions are discussed in subsequent sections.

Figure 3 shows the layout of the rig and surface equipment. The main component of the system is the one-of-a-kind LM-300 drill rig, discussed in Long *et al* (1992). The other major components are laid out in a somewhat quadrangular fashion. The pipe rack is in the foreground and to the right of the rig mast. It is perpendicular to the rig and parallel to the air compressor package at the far end of the drill site. To the immediate right of the pipe rack are the sampling cyclone, vacuum truck and meter run which, more or less, form a line parallel to the drill rig. Air passes counterclockwise around the quadrangle from the compressors until it finally is filtered and exhausted at the meter run.

Figure 3. Layout of the drill rig and surface equipment.



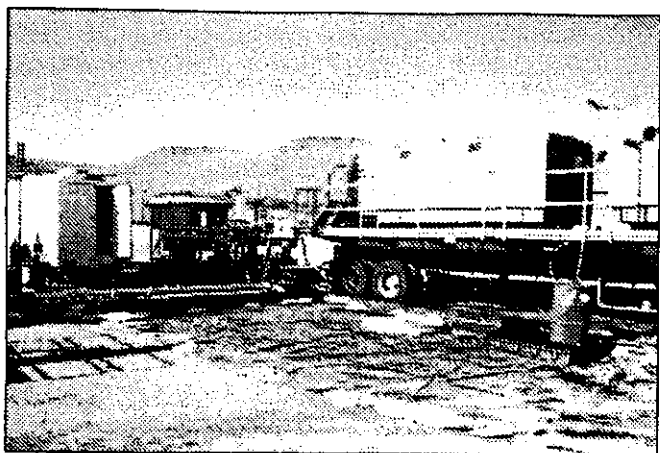


Figure 4. Inlet side of air circulation system.

Figure 4 shows the detail of the inlet side of the air circulation system. Air passes from the compressors, on the right, to the air processing and metering system, center, and down the manifold where equipment in the white truck, on the left, injects Sulfur Hexafluoride (SF_6) tracer at a concentration of 0.75 to 2.5 parts per million. Two Atlas Copco, 1200 CFM, oil-less compressors are used to supply the air, although there is no requirement for oil free air from the compressors. The air processing and metering system drops out any system oil; However, it was primarily designed to drop out free water formed when the air temperature in its cooling section is brought to within 10 degrees (Fahrenheit) of ambient conditions. Relatively cool air without free water is required to insure that in situ geochemistry is not compromised during the coring process.

The flexible, braided steel covered air line is shown connected to the side of the rig mast in figure 5 (right center). Hard line carries the air up the mast to hoses connected to the tophead drive and connector subs. The larger line to the right of the air line is the discharge line to the sampling cyclone. Also visible in this figure is the pipe handling system (lower center) which is used to lift the 20 foot long sections of dual wall pipe into

position for running in and out of the hole. Each section of dual wall rod weighs approximately 1200 pounds. The pipe handling system was added primarily for safety; However, significant savings in dual wall pipe trip time were also realized.

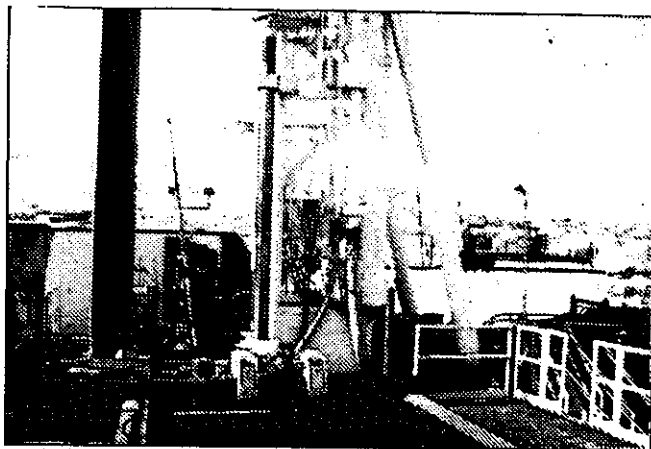


Figure 5. Inlet air line, discharge air line, and pipe handling arm.

The discharge and sampling side of the surface layout is shown in figure 6. Cuttings laden air enters the cyclone on the right. The majority of the cuttings are dropped out in the cyclone for either sampling or subsequent disposal onto the conveyor belt when the air is turned off. An earlier study investigated the possibility of installing a rotary gate valve on the bottom of the cyclone to allow continuous removal of cuttings during drilling; However, no rotary gates were found to be presently available which could handle both the vacuum on the discharge line and the large abrasive cuttings produced during reaming. Allowing the cuttings to buildup in the bottom of the cyclone during a single reaming cycle has not been a problem to date. Any reduction in efficiency caused by operating the cyclone in this manner does not appear to cause significant additional carryover of dust into the bag filters.

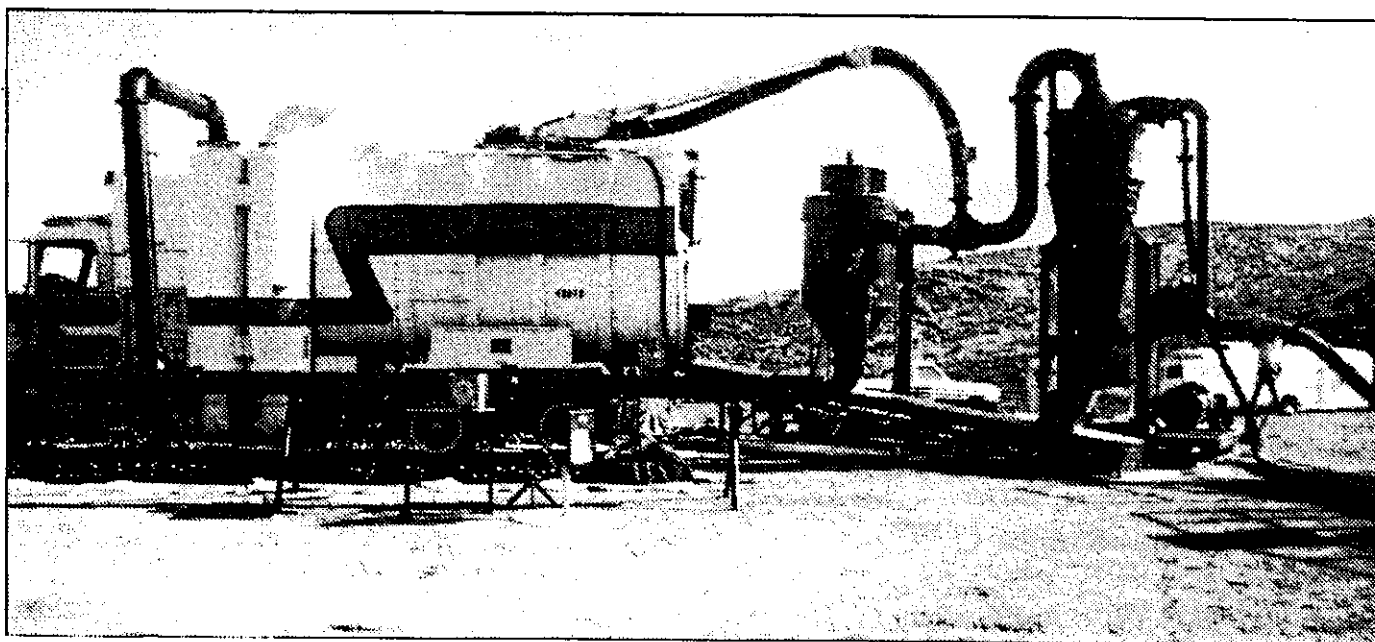


Figure 6. Cuttings removal equipment on discharge air line.

As mentioned previously, the truck in figure 6 houses both the baghouse filters and settling tank (aft section) in addition to the blower (mid section behind cab) which generates the vacuum for the discharge line. Air discharges from the truck blower through the meter run (visible in foreground) and is then discharged vertically. The truck will be replaced in early 1993 with a separate baghouse and a more powerful blower. While the truck is adequate for drilling this first relatively shallow borehole, a more powerful system will be required for drilling deeper. As depth increases, the success of the balanced air system will depend on closer control of air in and out of the borehole. The self cleaning bag type filter system has proven to be an operationally sound method for cleaning the air for metering and for satisfying environmental requirements.

Program Initiatives

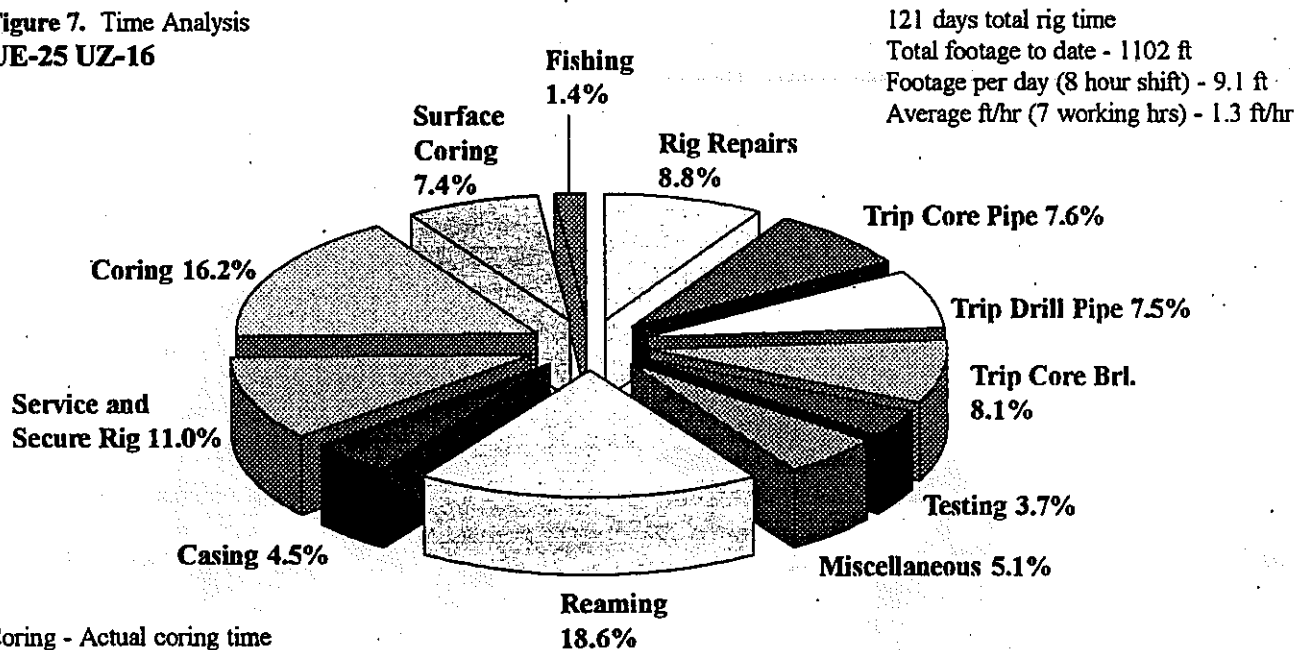
Planned improvements in the YMP's ability to acquire geologic samples can be summarized in three major headings: 1) Improving sampling efficiency; 2) Improving durability of equipment, and; 3) Improving capability of the system for uncontaminated sampling at greater depths. Improvements in all three areas will be required to insure cost and schedule of the site vertical borehole program are minimized and scientific objectives are achieved.

Improving Efficiency. Regardless of what drilling system or specialized equipment is used to acquire core, all managers involved in scientific drilling need to fully appreciate the time requirements for an intensive, core based, sampling program.

Simply stated, any continuous coring program is going to take time and increase the risk of delays caused by difficult drilling conditions. When the requirement to construct a 12 to 14 inch diameter, uncontaminated borehole is added to the coring requirement it is not reasonable to expect overall penetration rate records to be achieved on the first borehole in the drilling program. The YMP is presently pursuing the more practical approach of first concentrating on the basics and making certain that the scientific objectives are being met. The second phase of that approach is to continually evaluate the process and make improvements along the way to reduce the time required to complete the program. The minimum core requirement for a characterization program like that at Yucca Mountain is difficult to ascertain at the beginning of the program. The investigation is similar to wildcat drilling in the oil industry. If unexpected features in the rock are discovered, additional drilling (or coring in this case) are required to assure an understanding of the geology. In order to mitigate the effect of any potential increase in the requirement for core at Yucca Mountain (in addition to the need to reduce present planned schedule), the YMP is continuing to consider and evaluate methods to acquire suitable core more quickly.

Figure 7 shows the time analysis for operations at UZ-16 through November, 30, 1992. The efficiency discussion will be centered around considerations for reducing time shown in the categories noted in the figure. The major categories can be discussed under the general headings: LM-300 Drill Rig, Core Bits, and Reaming Bits.

**Figure 7. Time Analysis
UE-25 UZ-16**



121 days total rig time
Total footage to date - 1102 ft
Footage per day (8 hour shift) - 9.1 ft
Average ft/hr (7 working hrs) - 1.3 ft/hr

Coring - Actual coring time
Reaming - Opening hole and survey
Rig repair - Maintenance and repairs
Fishing - Recovering equipment in well bore
Testing - Environmental dust control
Surface coring - Coring and reaming of surface hole
Casing - Reaming, cementing and setting surface casing
Service and secure rig - Service, warm up, cool down and secure rig

Drilling Time Analysis through November 30, 1992

Raytheon Services Nevada (12/7/92)

LM-300 Drill Rig. The above mentioned requirement for speed during coring was incorporated into the construction of the LM-300. The size of the rig dwarfs most mining industry rigs, even Lang Exploratory Drilling's new LM-300E which has even greater pullback capability. The size was required to be able to stand back a minimum of 40 feet of core rod in the derrick. This capability allows the core rod to be pulled out of the hole quickly, thereby mitigating the impact of the continuous coring/reaming cycles on schedule. A higher mast is being considered for subsequent rigs in order that 60 feet, or more, of core rod can be racked in the derrick.

Rig maintenance and repair represents approximately 20% of the time. The majority of the repair time was associated with a changeout of transmissions. This is considered an unusual occurrence; repair time is expected to be much lower on subsequent boreholes. Some reductions have already been made to the time required for startup and shutdown; however, most of the remaining time is caused by routine servicing and is not considered feasible to reduce. Some increase in maintenance and operation efficiency (~5%) is expected to result when operations are able to be conducted on a 24 hour per day basis. Additionally, some proposals for all electric rigs are being considered which are expected to require less servicing time.

The pipe handling system for the Dual Wall pipe will likely be a requirement for all subsequent rigs. Because of the weight of the pipe (1200 pounds per 20 foot length), an efficient laydown system is the best and safest way to manage it. An efficient laydown system will especially be needed if, as expected, a requirement for a 3000 foot depth capability for the dual wall system is realized.

Core Bits. As shown in figure 7, the time categories associated with coring, tripping the wireline core barrel, and tripping the core rod represent approximately 32% of the total operations

time; and coring alone represents approximately 16% of total time. Much of this time is simply caused by the continuous coring operation. However, much of the coring time and wireline barrel tripping time has been associated with short core runs caused by jamming in the inner barrel. Significant vertical fracturing in the hard volcanic rock at Yucca Mountain makes it one of the most difficult areas to acquire core quickly. UZ-16 is being drilled in an area referred to as the imbricate fault zone. This area is more highly fractured than the rest of Yucca Mountain and is characterized by both parallel, high angle fractures and intervals where the rock is so broken that only short pieces of core (6 inches or less) can be recovered for as much as 20-30 feet at a time. Anti-jam barrels have been attempted in these intervals with no success.

The highly fractured intervals also result in short run life on the PDC (Polycrystalline Diamond Cutter) core bits. Interestingly, all PDC failures to date have occurred because of impact damage as opposed to excessive heating. The cool air (usually less than 100 degrees Fahrenheit), at 200-700 CFM, appears to provide adequate cooling and/or bottomhole cleaning to prevent significant heat checking of the core bits in conditions of even the hardest rock. Figure 8 shows the types of core bits predominantly run to date at UZ-16. Aggressive cutting structures are desired because of the low rotary speed limitations (around 60 RPM) associated with coring in totally dry conditions. Drawbacks associated with the use of these aggressive cutting structures, such as vibration and core barrel stability, will be discussed later under improving durability.

A loose correlation between bit usage and degree of fracturing can be made from the left to right ordering of the bits in figure 8. The PDC bits of the type on the right are used in intervals where there is little fracturing or the volcanic tuff is poorly welded (soft and/or friable), allowing for maximum penetration rates. As fracturing increases (usually noted by increased

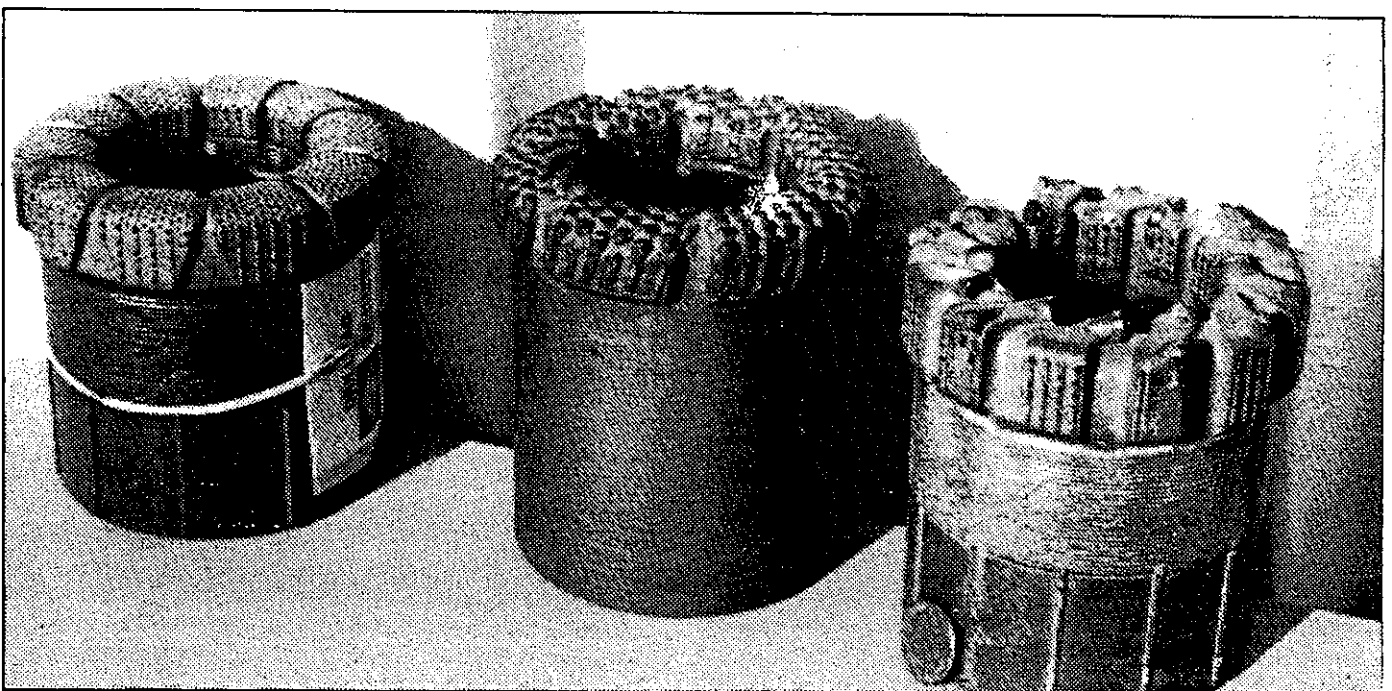


Figure 8. Small stone (20/40) surface set bit, large stone (3/6) surface set bit, PDC bit.

and early breakage of the PDC cutters) a 3-6 stone per carat Carbonado core bit is run. This bit provides an aggressive surface set cutting structure relatively resistant to impact breakage because of the amorphous structure of the diamonds. The 20-40 stones per carat Carbonado surface set bit on the left is normally run in intervals of high fracturing. Some premium diamonds were tried in approximately this same cutting structure but wore significantly more quickly than the Carbonados.

The YMP will continue to push for improvements in cutting efficiency and durability of the PDC cutting structures for dry hard rock coring because of their potential to provide core more quickly. Acquiring core quickly provides the following benefits considered essential to the success of the site characterization program: 1) Increased probability that in-situ conditions are not significantly affected by the coring process, and; 2) Increased probability of achieving essential site characterization goals within present budget and schedule. The relatively small cutters (~3/8 inch diameter) on the PDC bit in figure 8 have been recessed into the matrix of the core bit face (especially on the gauge cutters) to increase cutting efficiency and durability. This reduces early fracture failure of the cutters while still maintaining an aggressive cutting structure. Similar designs from various manufacturers are presently being evaluated at the Colorado School of Mines, Earth Mechanics Research Institute, prior to being field tested at Yucca Mountain. This program will continue as a focus for development of PDC core bits for dry coring at Yucca Mountain. In the near future, PDC's with larger (~1/2 inch) cutters and antiwhirl characteristics are expected to appear on the scene. The increase in the aggressiveness of the cutting structure should significantly affect penetration rate; however, as will be discussed in the durability section, the vibration caused by the more aggressive cutting structure will have to be adequately minimized by the antiwhirl design. It is recognized that if a durable PDC bit can be developed which will provide acceptable penetration rates at low bit weights (2000 pounds or less), core runs could potentially be longer than 40 feet. Thus, there is significant interest in these more aggressive structures because of their potential to reduce the number of core/ream cycles. This would have the greatest impact on reducing schedule.

Reaming Bits. In addition to the core bits, reaming bit cutting structures have also been studied at the Earth Mechanics Research Institute. The most promising structure to date is made from a six cone design with the cones alternating such that every other heel pack is cutting both inner and outer gauge. Cutters are still based on design criteria similar to standard tricone rotary bit designs. The most successful cutting structure to date has been similar to a Hughes Tool Company J-22 bit which represents an IADC bit classification of 5-1-7 or 5-2-7. Performance optimization for the reaming bits in the immediate future will continue to be based on optimization of tungsten carbide inserts (TCI's) on roller cone cutting structures.

Figure 9 shows the potential basis for improving reaming bit efficiency in hard rock drilling well beyond that presently available in roller cone structures. It is a cutting structure based on tunnel boring machine (TBM) designs except that it is much smaller. This size reduction was made possible because of recent improvements in bearing technology. The Earth Mechanics Research Institute is presently conducting tests on the

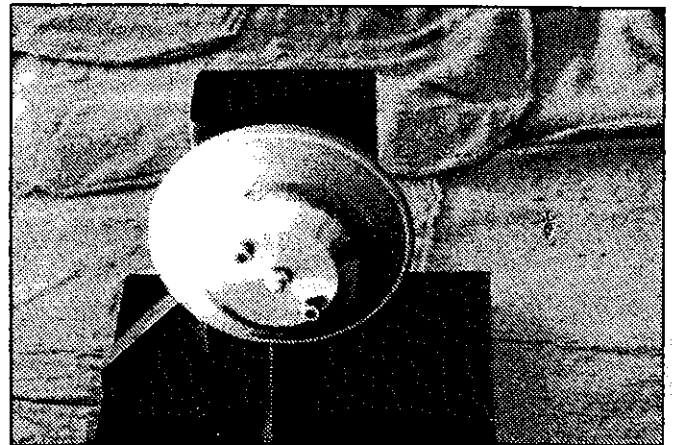


Figure 9. Experimental disc cutter.

new cutter and hopes to have a 13-14 inch diameter prototype bit available for testing by the latter part of 1993.

Improving Durability. The term, improving durability, will be used in the context for this paper to mean decreasing the probability of fatigue failure or increasing service life of presently available drilling equipment. Three areas presently being considered for improvements in durability are: 1) Drill Rig; 2) Core Rod, and; 3) Dual Wall Pipe. These areas are chosen because they have the greatest potential for causing unexpected delays in the present drilling environment at Yucca Mountain.

Drill Rig. Despite the unexpected difficulties experienced with the transmission, the LM-300 has performed exceptionally well to date. It has been large enough to handle the reaming and yet light enough to provide an excellent coring capability. The only area for potential improvement in durability will be on design of future drill rigs. On subsequent rigs, electric motors will likely replace hydraulic motors. Environmental considerations are as much a factor in this decision as improvements in required service and service life.

Core Rod. The core rod (including core barrel) is arguably the weakest link in the downhole system. The two primary reasons for this are: 1) The rod is not being used in the environment it was designed for, and; 2) The rod is undergoing cyclic stresses which it was not designed for and which are maximized by the aggressive cutting structures on the PDC core bits. The core rod of the dimensions used has a vibratory tendency which is driven by the "stick-slip" motion of the more aggressive core bits. Although antiwhirl core bit designs hold some promise for mitigating this downhole phenomenon it is relatively certain that other measures will have to be taken to achieve a reliable system.

As mentioned previously, the CHD-101 core rod is being used inside a 6 inch diameter dual wall pipe. In normal mining industry coring, this rod is used inside a borehole between 4 and 4-3/8 inches. In effect, "small pipe" is being used to drill in a "large borehole" in the present balanced air, dual wall sampling process. Because there are no standards for this type of operation in the mining industry, an analysis of the connections was performed by one of the YMP's contractors, Science

Applications International Corporation (SAIC). This study is interesting in that it is believed to be the first time that API recommendations have been applied to mining industry tubulars and the study will be the subject of a future paper. Two conclusions from the study pertinent to this paper are: 1) The bending strength ratio of the present CHD-101 rod is on the order of 1.25, and; 2) API recommends a bending strength ratio between 2.25 and 2.85 for rotary shouldered connections on small pipe in a large hole. The present bending strength ratio of the CHD-101 core rod connections indicates that it is prone to fatigue failure in the last engaged thread of the pin if vibrations typical of those on which the API recommendation is based are encountered. A relatively simple solution has already been enacted to improve conditions. Core rod stock of ASTM A 519-4130 steel was available from Longyear which, when machined, would provide a connection with a bending strength ratio of 2.4. The OD of the new rod was increased from 3.701 inches to 3.875 inches and the tensile strength of the pin connection was decreased by approximately 2 percent (slight reduction in pin area). Core rod weight was increased from approximately 8.8 to 14.2 pounds per foot.

In summary, the new rod should be stiffer, more resistant to fatigue, and, therefore, better able to handle the vibration and torque variations created by the more aggressive cutting structures of the core bits. It is hoped that the new rod will also help reduce the deviation tendency previously experienced during coring such that core/ream cycles in excess of 40 feet can be achieved.

Another characteristic of core rod with dimensions similar to the CHD-101 rod is a natural harmonic frequency of vibration in the system with a peak occurring at approximately 1200 feet and 60-90 RPM. A separate paper is being presented in this symposium on the specifics of the vibrational characteristics of the CHD-101 rod. This vibrational tendency is not damped because of the dry drilling conditions and significantly increases the cyclic stresses on the tubulars. This resonant condition is considered contributory to the recent failure of the pin connection of the top reaming shell stabilizer of the core barrel at a depth of 1196 feet. A reaming shell in the same position failed in basically the same manner during prototype drilling at 1283 feet. Figures 10 and 11 show the failed reaming shell. Figure 10 shows the fatigue failure in detail while figure 11 shows the inner machining of the reaming shell. The internal upset noted at the base of the shadow line inside the

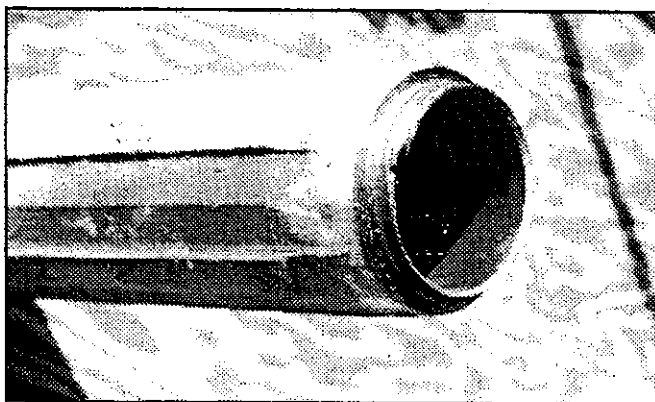


Figure 10. Reaming shell fatigue failure.

reaming shell in figure 11 is the upset machined in the shell to allow for the latches on the inner barrel to engage and hold it in place during coring. After discussion with Longyear, it was discovered that an additional 30,000 pounds of tensile strength could be obtained by reducing the available ID of the pin area 1/16 inch. This modification will be added to future reaming shells.

Dual Wall Pipe. The outer tube of the dual-wall pipe is made of 9-5/8" diameter, 47 pound/foot, K-55 casing stock. This provides a tube of adequate strength and relatively high fatigue resistance for the relatively shallow depths anticipated in YMP's drilling program. The only anticipated change in this design will be a modification of the connection threads. In order to make the connection more fatigue resistant the YMP will be requiring compliance with recently published guidelines for reduction of root thread height on these connections (Tsukano, 1990).

Improving Capability. As mentioned previously, YMP's first concern in the Site Vertical Borehole Program is to verify that the scientific objectives are being achieved. For uncontaminated sampling, this translates to developing confidence that the balanced air system will function to the maximum anticipated depth of 2600 feet. Estimates indicate that the present system should be effective at 2600 feet as long as adequate monitoring and control of injection and withdrawal air is maintained. Some system changes are in the process of being made and others are being planned to better maintain control of downhole drilling conditions.

Surface Equipment. Modifications are being made to both monitor and control functions of the surface equipment to better control downhole conditions at greater depths. The requirement to monitor air rate in and out of the borehole will be satisfied by a system from Fisher Controls which will provide a digital readout on the driller's console of air rate in and out of the borehole. This rate will also be digitally recorded in order that air volume can be integrated with time. The system is anticipated to be installed by the end of January.

As mentioned previously, the present vacuum system will be replaced with a more powerful one capable of delivering 18 inches of mercury vacuum to the tophead drive while drawing up to 700 SCFM of air out of the borehole. With proper usage, this system should be more than adequate for all drilling conditions.

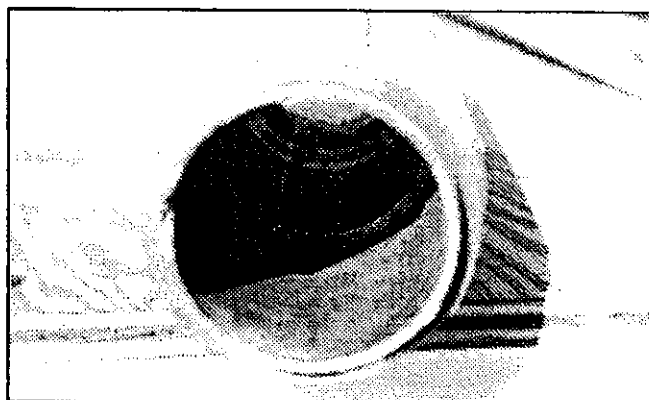


Figure 11. Machined upset for latch.

Downhole Equipment. The ultimate improvement in capability would be a reaming bit which both cores and reams at the same time. As noted in the time breakdown in figure 7, if coring was accomplished during reaming, eliminating core rod tripping altogether, a potential for a 24% reduction of overall sampling time might be realized. Such a bit is being considered and will eventually be designed and tested after potential difficulties with downhole circulation are proven to be eliminated. An effective, balanced circulation system is essential to uncontaminated sampling.

The first step toward improving downhole capability will be to augment existing configurations to minimize the risk of problems occurring downhole. Two modifications being considered at this time are: 1) A wireline retrievable center section for the open center reaming bits, and; 2) A venturi system located in the reaming bit to augment the vacuum system during deep reaming and coring.

The need for a wireline retrievable center section for the reaming bit was observed while drilling the highly fractured intervals of the imbricate fault zone, as previously discussed. If a center section could be developed which could be run quickly on wireline, problems with plugging of the dual wall pipe during reaming would be eliminated. In addition, this feature would allow coring further ahead of the dual wall than is presently possible.

A venturi system was tested during prototype drilling and initially appeared both feasible and very effective. The system operates from a portion of the drilling air which is bled off and used to develop a pressure wave inside the dual wall pipe to form/augment the vacuum at the bottom of the hole. The phenomenon is similar to the operation of an ejector; however, the center of the pipe must be open and, therefore, the air has to be injected from the circumference of the inner tube of the dual wall. Testing is planned in 1993 to investigate if the diffuser profile developed between the 4-1/2 inch ID throat of the new reaming bits to the 6 inch ID of the dual wall will provide enough mechanical expansion to stabilize the pressure wave. If this system is feasible, it would likely be used during reaming and might eliminate the need for developing a wireline retrievable center section for the reaming bits.

Summary and Applications Discussion

Experience to date indicates that mining industry dual wall and wireline coring systems can be utilized for acquiring geologic samples in the unsaturated zone very close to in situ conditions. The concept of using a heavy walled drilling string to protect a lighter coring string from difficult drilling conditions, or to protect the formation from the effects of contamination caused by normal circulation of cuttings past the formation face, appears sound. Problems associated with utilizing mining industry coring strings both inside dual wall pipe and in difficult, dry coring conditions appear solvable with attention to application detail and use of appropriate API recommendations.

Perhaps this demonstrated feasibility of extension of application of mining industry technology using oil industry guidelines and recommendations is the most significant demonstration in this paper. It would appear that API recommendations and design criteria could be used to extend the operational limits of the dual wall pipe as long as the additional weight of the inner

string was accounted for. Such a system might find application in harsh environments such as deep geothermal drilling or in highly overpressured gas drilling. For the gas drilling, if the primary cuttings carrying fluid was circulated inside the dual wall, a weighted kill and/or hole conditioning mud could be very slowly pumped down the outside of the drill pipe. Such a system would have the potential of making drilling in hazardous conditions routine.

Acknowledgment

A special thanks is extended to Margaret Westcamp and Karl Moore of SAIC for the graphics layout of this manuscript, and Greg Fehr for information provided on the core rod connections and for his excellent analysis of the CHD-101 core rod connections as compared to API guidelines. Additional appreciation is extended to Dr. Bill Mitchell and Bill Eustes of the Colorado School of Mines, Petroleum Department for their information regarding the vibratory nature of the CHD-101 core rod. And sincere thanks is further extended to Dr. Levent Ozdemir, Jim Friant, and Richard and Leslie Gertsch of the Colorado School of Mines Earth Mechanics Research Institute for information on the disc cutter bit and their continuing work in the YMP bit testing program.

References

- Long, R., Wright, E., and Wonderly, D., "A Drilling and Coring System for Studying Unsaturated Zone In Situ Conditions", ASME Petroleum Division, 1992 Proceedings Drilling Symposium, M. V. Rao, ed, PD-VOL. 40, 1989.
- Tsukano, Y., Nishi, S., Nishida, S., and Ueno, M., "Improvement of Drill-Collar Fatigue Property by Last-Engaged-Thread-Height Reduction of Pin." SPE Drilling Engineering (Dec. 1990) 325-30; SPE 18704.

10. あとがき

10. あとがき

今回の調査を通じて、最終的な結論としては、清水による1000m試錐掘削については、日本の様に地層的に不安定であり、湧水、逸水に遭遇する機会が多い地層に適用出来る工法は現在のところありません。

各章に現状の技術および技術開発すべき項目についての記述をしております。

このなかで一番重要なことは、いかにスムーズにスライムを回収し、保孔するかということで、各種新工法について提案も致しております。

今後、清水による深度試錐技術確立するためには、個々の技術導入を図るのではなく、最終目的を見通せる総合的なエンジニアリングを想定し、次のステップへと進むべきであると思う。