報 文

新型雪氷浅層コアドリルの開発

高 橋 昭 好

要 旨

従来より南極をはじめとする各地の氷床・氷河で用いられてきた表層・浅層のメカニカルドリルには、様々な問題点があった。この解決のため、新たな視点から浅層ドリルを設計・製作し、1993年6月～7月に、北極圏スピッツベルゲン島の氷河にて各種の試験を行いながら掘削したところ、問題点はほぼ解消され安定した掘削が確認された。

ここでは、従来のドリルで発生した問題点の解決のための具体的設計コンセプトや、新型雪氷浅層コアドリル（以下「新型浅層コアドリル」と略す）各部の概要を述べ、本機の改良による良質のコアの掘削方法、さらに深く掘削するための装置の改良等にも言及する。

キーワード：コア掘削，浅層ドリル

Key words: ice core boring, shallow Drill

1. はじめに

1992年10月30日、国立極地研究所において、冰雪掘削経験者多数による冰雪浅層コア掘削技術検討会（以下「技術検討会」と略す）が開催された。

この会議で報告された掘削上のトラブルは数も多く、内容も多岐にわたり、雪氷掘削の困難さを如実に物語っていたが、中には終始順調に掘削し、満足な成果を上げた場合もあり、うまく掘れるか否かはドリルオペレーターの能力に大きく依存しているとの印象を受けた。しかし、このことはハード面での多くの問題をソフト面でカバーしていると言い換えることもでき、冰雪コア掘削技術の普遍的確立のためには誰でも掘れるようなドリルを一日も早く完成させることが熱望された。なお、発表者が使用したドリルは全てILTS系ドリル（Suzuki and Shiraishi, 1982; Suzuki and Shimbori, 1984; Suzuki, 1984）である。

2. 設計上のコンセプト

基本コンセプトは、

①温暖な氷河から寒冷な氷床まで幅広く対応できること

②経験の少ない人でも掘削が可能で、満足な成果が得られること

の二点である。

最初に設計するドリルは200メートル級の浅層コアドリルとし、細部の設計を行うにあたっては、技術検討会で報告された問題点の解決を第一に考え、以下に目標とする課題（設計コンセプト）とその解決方法を示す。

南極氷床用深層コアドリル（以下「深層ドリル」と略す）開発の経験（藤井他，1990年：Tanaka *et al.*, 1994）も参考にした。

①取り扱いが容易であること。

・現場での加工や調整を不要とする。

例：カッターの出し具合や振れ具合，コアキャッチャーの長さ，ケーブル樹脂による接着など。

・自動掘削コンピュータは完成しているが、取り扱いが複雑となるため使用しない。

②スタックされないこと。

・従来のサイドカッター式アンチトルクは溝からはずれるとスタックの原因になるため廃止し、新たにリーフスプリング式アンチトルクを採用する。

・カッターマウントはジャケット管より外へ出さず、ウインチ巻き上げ時にチップが堆積、圧縮されるのを防ぐ。

・発熱があるモーターや減速機は外径を小さくし、孔壁に接触させないようにして、付着する雪の融雪とその

Development of a new shallow ice core drill.

（地球工学研究所

〒461 名古屋市中区白壁 4-29

(Akiyoshi TAKAHASHI, Geo Tecs Co. Ltd., SHIRAKABE 4-29, Higashi-ku, Nagoya 461, Japan)

再凍結を防ぐ。

- ・容易にコアカットを可能とする新型コアキャッチャーを設計する。

③アンチトルクは良く利くこと。

- ・首振り型リーフスプリングアンチトルクを設計する。

④切削が確実に出来ること。

- ・小型のチップ形カッターに替えて、大型のブロックカッターとするとともに、カッターの材質、形状、加工法等を新たに検討する。
- ・カッターのぐらつきや、振れを防止するため、ビス1本での固定をやめ、複数のボルトで締付ける。
- ・切削ピッチ、切削速度、回転数、回転トルクの関係に適正化する。
- ・カッターの食い込み不足を防止するためドリルの無理な軽量化はしない。

⑤切削ピッチを容易に変えられること。

- ・あらたに交換式ヒールを採用する。

⑥チップの取り込み、輸送が確実なこと。

- ・コアバレルとジャケット管との隙間を大きくとる。
- ・ジャケット管先端に三角の切込みを設ける。
- ・バレル内への落下を良くするため、ジャケット管上部にクラストブレーカーを設ける。

⑦コアキャッチ、コアカットが確実に出来ること。

- ・容易にコアを切断出来るようなコアキャッチャーを文献を参考にして設計する。

⑧カッターの点検、整備が確実に出来ること。

- ・カッターマウントを着脱式とする。

⑨ケーブルの抗張力を低下させないこと。

- ・樹脂流し込みによる端末固定をやめ、専用ケーブルグリップを購入し、組込む。

⑩アンチトルク空転時でもケーブルが振れないこと。

- ・新たにロータリー型スリップリング(回り継ぎ手)を採用し、一体組込みを行う。

⑪チップが凍結する原因となる錆が出ないこと。

- ・ステンレス鋼、アルミニウム等の不蝕材を多用する。

⑫減速機に故障が起きないこと。

- ・従来のような既製品の組み合わせではなく、ドリルが必要とする回転数やトルクに合わせた十分強度のある専用減速機を製作する。

⑬ある程度の液中掘削が可能であること。

- ・Oリング、オイルシール等の利用により静水圧5メートル程度に耐える防水構造とする。

⑭調整・点検装置を充実させる。

- ・カッターセットゲージ、リーフスプリングアジャストゲージ、ローラー付ドリル受台、コア押し棒などを標準

準備する。

3. 新型浅層ドリルの構造

3.1 概要

本機は上方に駆動部とアンチトルク部、下方にダブルチューブ式の掘削バレルを有する標準的な構造により成り立っている(図1)。

第2章に述べた解決方法の全てが本機の構造上の特徴といえるが、中でもアンチトルク、ロータリースリップリング、減速機、カッター、ヒール、スパイラルコンベアーの厚さ、回転数等は旧ドリルと大きく異なっている。また、クラストブレーカーと後述する潤滑掘削用バレルは、現在まで報告されていない新しい試みと思われる。

図1にドリルの断面図、表1に主要部分の仕様を示す。

図1 ドリル断面図

表1 新型浅層ドリル主要部分の仕様

型式名: MD-2		全長: 3,020mm	重量: 40kg
孔径: 129mm		コア径: 94mm	1回で採れるコア長: 0.8m~1.0m
番号	名称	数	仕様, 用途, 等
1	ヘリカルロッド	1	ピアノ線, 亜鉛メッキ, ケーブルに巻きつける
2	ケーブルグリップ	1	PMI industries社製, EVERGRIP MD115-3
3	アンチトルク調節ねじ	1	リーフスプリングの支点間距離を変更する
4	首振りヒンジ	6	リーフスプリングの保持, 45°回転可能
5	上部防水シール	1	回転型オイルシール
6	スリップリング電気接点	1	5アンペア 2極
7	リーフスプリング型アンチトルク	3	バネ鋼, 焼入, 幅20mm, 長さ880mm, 厚2.5mm
8	モーター室	1	鋼管, 外径89.1mm
9	モーター	1	交流整流子モーター, 定格200V, 3.5A, 14,700rpm
10	減速機	1	遊星式, 4段, 減速比1:210
11	Oリング	1	呼びJIS-12
12	ドライブシャフト	1	
13	下部防水シール	1	回転型オイルシール
14	ワンタッチバレルジョイント	1	
15	ジャケットパイプ	1	ステンレス鋼, 外径125mm, 厚2.5mm
16	チップ落下窓	3	
17	クラストブレイカー	1	炭素鋼, 幅20mm, 長さ50mm, 厚0.8mm
18	コアバレル	1	ステンレス鋼, 外径101.6mm, 厚さ2.1mm
19	スライダルコンベヤー	3	ポリエチレンベルト 幅15mm, 厚3mm
20	カッターマウント	1	腕臂式, 外径125mm
21	カッター	3	ブロック型, SKH-51, 焼入HRC-60
22	ヒール	3	焼入, 切削ピッチ2mm, 4mm, 6mm
23	コアキャッチャー	3	ドッグレック型, 幅14mm, 長さ21mm, SKH-51焼入

図1の番号は表1及び本文の番号と対応する。

3.2 アンチトルク部

リーフスプリング⑦(図2)はプリベント式とし(Reeh, 1984), あらかじめ円弧状に曲げたものを取り付ける。直線型のものを取り付けた場合により孔壁への接触が良い。アンチトルク強度を変えるには, 上部の調節ねじ③を動かし, スプリング支点④の間隔が変えることにより行う。スプリングにトルクがかかった時, 孔壁との接触抵抗を大きくするため, 支点のヒンジ④は45°回転可能な首振り型とする(藤井ほか, 1990)。

ドリルを吊り下げるアーマードケーブル(ロチェスター社製, 外径5.7mm, 電線数4, 電気抵抗86.9Ω/km)の固定は専用器具①②を使用する。この金具はケーブルを1点で固定せず, 50cm程のケーブルとの摩擦力で保持する構造となっており, ケーブルの持つ抗張力の低下を防止するには最も優れている。

モーター室⑧は, Oリング⑪とオイルシール⑤⑬を用いて防水構造とし, 水深5m程度の液中掘削あるいは不意の出水に耐えられる仕様とする。

アンチトルクが働かずドリル本体が回転を起こしたときには, スリップリング電気接点⑥が回転を吸収しケーブルの振れを防ぐ。この部分はモーター室に収納したた

図2 アンチトルク及び駆動部

図3 モーター及び減速機

め防水構造とする必要がなくなり単純化されている。

3.3 駆動部

駆動部は, モーター, 減速機, ドライブシャフト, ワンタッチジョイントから構成される(図1, 3)。

モーター⑨は小径, 高トルク, 低回転という仕様のものが望ましいが, 現実には入手困難のためハンドグラインダー用の200ボルト型交流整流子モーターとする(Rufri *et al*, 1976; Suzuki, 1984)。ユニバーサルモーターとも言われ交直兼用の上, 入力電圧の変化で簡単に回転数を変えられる利点があるが, 定格回転数が速いという欠点も有する。

減速機⑩は汎用品では入力回転数や潤滑, ひいては耐久製に問題があると解ったので, 使用条件を満たす減速機を特別設計した。まず, 基本となる出力軸回転数, 即ちバレル回転数はILTS系ドリルの160rpm (Suzuki and Shimbori, 1984) に対しはるかに遅い70rpmを標準とする。バレル回転数が速すぎると切削に滑りを生じ, 遅すぎると時間がかかること, 及び回転トルクを強めるため, この回転数とした。

減速機は潤滑テストと発熱テスト(表2)を経て, 最終仕様を決め, 表3に示す。

ドライブシャフト⑫の先端は2本のピンが出入りするタイプのワンタッチジョイント⑭(Suzuki, 1984)となっており, ここへバレル頂部を接続する。

表2 減速機発熱テスト

経 過 時 間 分	0	5	7.5	10	12	14	16	18	20
第1段減速機表面温度 °C	25	34	36	37	37	37	37	37	37
モーター表面温度 °C	—	28	—	31	—	—	31	—	31
出力軸回転数 rpm	70	—	—	—	77	—	—	—	—
モーター入口電圧 V	75	"	"	"	"	"	"	"	"
モーター電流 A	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—
そ の 他	テスト年月日: 1993年5月18日 室温23℃								

表3 減速機の仕様

型 式	遊星式
段 数	4
減 速 比	1/210
入力回転数	14,700 rpm
出力回転数	70 rpm
最大入力トルク	120 N-cm
潤 滑	グリス
ハウジング	アルミ
寸法 (径×長)	80mm×185mm

3.4 ジャケットパイプ

ジャケットパイプ⑮とコアバレル⑬との隙間、即ちスパイラルコンベヤー⑭の厚さは、チップの取り込みや輸送に大変重要であり、理想的な場合は揚程8mを得ることが可能であろうと報告されている (Suzuki and Shimbori, 1984)。しかし、旧ドリルの様にこの隙間が小さいと、取込みも悪く、チップが圧密され易く、チップ詰りのトラブルに至ることが多い。チップ詰りが起きやすい温暖氷河での使用も考慮して、この隙間を9.2mm確保した。

材質をステンレスにしたことで錆びる心配がなくなり、肉厚を2.5mmとしたことで十分な強度が得られ変形の心配がなくなる。

チップがバレル内に落下する窓⑯に相当する部分にクラストブレイカー⑰(図4)を取付けた。

温暖氷河において、あるいは日射や気温によりドリルが暖まっているとき、切削チップはコンベヤーで輸送されている途中圧密され、クラストした板状の氷となり、バレル上部で詰りを生ずる場合が多い。このような場合、スパイラルコンベヤー⑭と搬送用リブ⑱の作用により上昇してきたクラストはクラストブレイカー⑰によって壊される。ブレイカーは弾性のある板バネで、先端はコア

図4 クラストブレイカー

バレル内に突出しているため壊されたクラストは強制的にコアバレル内に落下させられ、詰まりを生ずることなく掘削を継続することができる。

ジャケットパイプ先端には、切削チップの取込みを良くするため、高さ5cmの三角形の切込みを三箇所に設ける。ジャケットパイプ先端とカッターマウントの距離を適正にすれば切り込みは不要の見解もあるが (Suzuki, 1984)、筆者が表層ドリルを用いてテストしたところ切り込みの効果は十分認められた。温暖氷河の多いスイスにおいても有効とされている (Rufri et al., 1976)。

3.5 コアバレル

バレル用のパイプは外径101.6mm、肉厚2.1mmのステンレス管である。切削チップを搬送するスパイラルコンベヤーは3条で、幅15mm、厚8mmのポリエチレンベルトを、ILTS系ドリルと同様 (Suzuki and Shimbori, 1984) に、両面接着テープで接着後ビス止める。スロープの角度は40°である。ベルトに挟まれた凹部がチップの輸送部分であるので、摩擦を減らし、搬送能力を高めるためにテフロンフィルムを貼付する (Suzuki and Shimbori, 1984)。

3.6 カッターマウント

カッターマウントを取付けたバレル先端部を図5に示す。マウント⑳は9本のボルト㉑で固定する着脱式とする。

図5 コアバレル先端部

- ①⑨ スパイラルコンベヤー ②③ コアキャッチャー
- ②⑩ カッターマウント ②⑤ マウント用ボルト
- ②⑪ カッター ②⑥ カッター用ボルト
- ②⑫ ヒール

カッター②⑪はブロック型の3枚刃方式とし、各々3本のボルト②⑥で締付ける。これで掘削中、旧ドリルのようにカッターがぐらつくようなことは完全に防止できる。

カッターの先端の形状は掘削の成否を左右する重大な要素である(図6, 7)。特にすくい角と逃げ角の関係は微妙であり、すくい角が小さい(刃が立っている)と氷には喰い込み易くなるものの剪断抵抗が増す(藤井ほか, 1988)。逃げ角においても小さすぎると喰い込みが悪くなり滑りが生ずる。また、カッターの強度を維持するためには、刃角も一定以上確保する必要がある。カッターに関する報告は、多くは見ないが、ILTS系ドリル(Suzuki, 1984)、あるいは、デンマークのISTUK深層ドリル(Gundestrup *et al*, 1984)において研究されている。さらに、深層ドリル開発の経験を参考に、すくい角度 40° 、刃角 35° 、逃げ角 15° のカッターを基準とし、寒冷な氷床に対してはすくい角度 30° 、温暖な氷河に対してはすくい角度 45° と三種類を製作した。

ヒール②⑫(図6, 7)とは靴のヒールの同意語であり、カッターの後方に取り付けて切削ピッチを規定する重要な役割を持つ。掘削速度の変更、掘削の安定化、氷の硬さへの対応、さらには良質なコアを得るためにピッチの変更は不可欠である。ピッチ2 mm, 4 mm, 6 mmと三種類のヒールを標準装備する。

コアキャッチャー②③の基本コンセプトは、コアへの喰い込みが良く、かつ小さな力で切断が確実に行われるこ

図6 カッター及びヒール

図7 カッター及びヒール

図8 コアキャッチャー

とである。喰い込みが良くても切断されない場合は、スタックに移行しかねない。Kociの研究(Koci, 1984)を参考にし、ドッグレッグ型コアキャッチャーを設計した(図8)。

4. 掘削試験

新型浅層ドリルの性能試験を常温にて市販のブロック氷で行った後、本格的には1993年6~7月に、北極圏氷河学術調査隊(略称JAGE '93)により、北極圏スバルバード諸島、スピッツベルゲン島のオスゴルド氷河において行った。

氷河上は日射が強く、気温がプラスとなる一方、氷温はマイナスという悪条件であったが、12日間各種の試験を行いながら掘削し、243回の掘削にて深さ185.24mに達した。掘削試験で得られた結果をドリルの部分毎にまとめ以下に示す。

・ケーブルグリップ

信頼性が非常に高い。ただし取り外して再使用する場合はまきつけ部①(ヘリカルロッド)の接着がはずれるのでこの部分のみを変換する必要がある。

・アンチトルク

フィルンと氷双方に対して良好であった。滑りが生じた場合もあったが僅かに、ふくらみを大きくすることで正常となった。

・減速機

音、振動、温度上昇などいずれも良好であった。新品であるため初期には一日おきにグリス点検を行った第一段ギヤーはグリスの移動が速いが、グリスが十分行き渡れば数日毎の点検でよいと思われる。

・クラストブレーカー

チップがクラスト化しなかったため使用に至らなかった。市販氷による常温屋内テストでは、クラストブレーカーが有効に働き、91.5cmを連続掘削した。

・ロータリースリッピング

掘削ケーブル自体にある縫れによって、またアンチトルクのスリップ時に働いた。回転式ドリルには必須である。

・ジャケットパイプ

厚さ2.5mmとしたため重量増となったが、現場での取り扱いを考慮すると、この程度の強度は必要であると感じた。

・コアバレル

初日に、チップがバレル内で凍結し、掘進長が稼げないという状況が生じたが、後述するセパレーターの改造により解消した。コアバレルとジャケットパイプの隙

間を広くした結果、刃幅も広くなりチップの発生量が増えて、1回の掘削長が短くなるのではないかと懸念されたが、この隙間(スパイラルコンベヤー部)も掘削の末期にはチップの貯蔵部として役立ち、掘削長を維持することが明らかとなった。

・セパレーター

掘削初日は、発泡ウレタン性のセパレーターを最下部に挿入したが常に50~60cm程度で掘進しなくなった。

観察の結果バレル内壁にチップが凍りついてコアの進入を妨げていることがわかった。地上のプラスの気温(4℃~8℃)で暖められたバレルにチップが入り一部融解した後に再凍結することが原因であった。このような場合、スイスのRufriはドリルを孔内で十分冷却してから掘削を始めるべきであると言っている(Rufri *et al.*, 1976)。

約5分間の冷却に加えて次の2の対策を講じた。

①可動セパレーターをやめ、固定セパレーターとして、

あらかじめコアの進入スペースを確保する。

②チップの凍結を回避するためバレル内面にエチレングリコールを塗る。

これらの対策により以後順調に掘削を継続した。

・カッター

ゆるみ、滑りなどは全く生ぜず、確実に安定した掘削が得れた。ほぼ全体を通してすくい角40°の標準カッターで掘削し、実験的にすくい角30°、45°のカッターを使用した。氷温が-5℃~-8℃と高かったせいと思われる。

・ヒール

切削ピッチの変更は容易となった。ピッチ2mm、4mm、6mmと三種類のヒールを使用した。ピッチ2mmでは掘進速度がもの足らず、ピッチ6mmでは50mm/分の速度を得て速すぎると感じたためピッチ4mmヒールを主に使用した。

・コアキャッチャー

フィルン、氷を通じてコアキャッチャーは良く働き、コアカッターの失敗は皆無であった。

・コア

実測コア径は93.8mm、1掘削のコア長(厳密には掘進長)は平均で76.2cm(掘削回数243回、到達深度185.24m)、最長コアは103cmであった。掘削ピッチの調整によるコア質の変化は認められなかった。

140m深を超える頃よりコアが複数に割れて出てくるが多くなり、同時にコアとバレル内壁の間にチップが詰まり、コアが抜きづらくなった。

・その他

表4 各ヒール毎の掘削データ

ヒール番号	設計ピッチ mm	実測ピッチ mm	掘進速度 cm/分	制御盤電圧 V	電 流 A
P2	2	1.7	15	200	1.5
P4	4	3.5	35	190	1.6
P6	6	5.5	50	190	1.6

コア表面に付いたらせん状の細かい溝から実測したピッチは全体に設計ピッチよりやや小さい(表4)。

ILTS径ドリルの掘進速度は31~80cm/分と報告されており(Suzuki and Shimbori, 1984), 新型浅層ドリルにおいても6mmヒールにて50cm/分の速度を得た。しかし, これほどの速度で掘る必要もないので, ピッチ6mmのヒールは不要であろう。

掘削エネルギーに関する報告は少ないが, ILTS系ドリルについて計測されており, 61cm/分の速度において400W以下とある(Suzuki and Shimbori, 1984: 鈴木, 1985)。

新型浅層ドリルでは, 表4に示すように50cm/分の速度においてケーブルの損失も含めて304Wの消費電力であり, エネルギー効率も悪くないと思われる。ドリルに入力されるエネルギーのうち1/3が切削とチップ搬送に役立ち, 大半の2/3は機会的損失で消費されるという研究報告(藤井ほか, 1988)もあるので, 減速機やコアバレルの摩擦を軽減することに留意して製作した結果が消費電力の減少に反映したと思われる。

図9にスピッツベルゲン島オスゴールド氷河での作業時

図9 作業時間と到達深度

間の累計と到達深度を示す。

通常の順調な掘削ではBのようになり, 深くなるにつれてウインチ操作に時間がかかるため, 速度が落ちていくであろう。

Aが今回の実績であり, 現場の特徴が良く現れている。先ず, 浅深を問わずあまり速度に変化がない。これは, 今回が初めての総合試験であり, テストが重点で掘削速度は念頭になかったこと, 及びチップを凍結させないため孔内で約5分間の冷却を実施したためにウインチ操作の時間が相対的に小さくなったためである。

次に折れ曲がりがなく直線的であるのは, かなりコンスタントな掘削がされており, トラブルが少なかった事を現している。

各種のテストやコア処理のペースに関係なく掘削に専念できたとすればさらにスピードアップが可能であろう。ちなみに10時間で100m掘ったという驚異的な記録もある(Johnsen *et al.*, 1980)。

5. 今後の課題

5.1 コア質の向上

140m付近からコアが複数片に折れて出てくる現象が発生し, 以後最後まで続いた。この深度ではコア中の気泡圧力が10気圧以上と高く, コアが脆くなっており, コアバレルとの摩擦や振動により折損したものと思われる。また, 深くなるに従って, コアとバレル内壁との間に切削チップが侵入する事が多くなり摩擦を増大させたことも原因していると思われる。

しかし, 浅い部分では起こらなかったチップの侵入がなぜ深くなってから起きたか, その原因は不明である。

こうした問題の対応として, 浅層掘削においても極く少量の液封液を潤滑用に孔底に溜めた様な掘削を行えば, バレル内壁との摩擦を軽減できて, 良質のコアが採れるはずである。浅層掘削は限られた輸送力や機材で行われる場合が多く, 多量の液封液の使用は不可能としても, 潤滑材としての少量の液ならば現実的である。

しかし, 液を孔底まで注入することはフィルムの吸水性のため, ゲージングあるいはホースなど面倒な機材を必要とする。筆者は現在, 内側に液を溜めて下降し, 着底したら放出するタイプのコアバレルを開発中である(図10)。

完全な液中掘削であればコアバレルとチップ室を分離した, 改良S型バレル(Suzuki and Shimbori, 1985: Suzuki and Shimbori, 1986)が非常に有効である。

図10 潤滑掘削用バレル

5.2 200m以深の掘削

ここに述べてきた新型浅層ドリルは、200m深用として設計したが以下に示すような改良を加えれば、200m以深の中層掘削にも十分対応できると思われる。

① 1回で掘れるコア長の延長

掘削コア長が現状では水で約80cmであるものを、1mとする。これにより掘削回数を20%減らすことが出来る。コア長は長ければ長い程、掘削に要する時間を短縮できるが (Suzuki, 1984; 鈴木, 1985), コアを20cm延長するためにはバレルを約50cm延長することが必要となる。さらに、コアの取り扱いや輸送上からも、軽便性、迅速性を必要とする浅層掘削ではこの程度の長さが適当と思われる。

② ドリル以外の対応

短時間で行われることが多い浅層掘削において、より深く掘るためにはドリル以外の機器の改良も欠かせない。

ウインチの高速化はもとより、地上でのコアの抜き出し、チップ除去や掃除等に要する時間の短縮が非常に重要となってくる。

このため、現在、ドリルを横臥させることなく地上サービスが出るように、ドリルを保持しつつ回転して水平となり、作業台ともなるような回転式マストを設計中である。

6. おわりに

今回設計・製作した新型浅層ドリルは、これまでの諸問題をほぼ解消し、安定したコア掘削を約束できる完成度の高いドリルとなった。また200m以深の掘削に対しても一部の改良で対応できると思われる。

ドリルを製作する立場としては、誰が、何処で掘っても一定の成果が得られる様、さらに完成度を高めるための努力が必要である。

しかし、フィールドの条件は千差万別であり画一的な装置と技術のみでは対応できない場合も多い。このようなときは経験やノウハウ、即ちソフト面で乗り切るしかない。

その点、ヨーロッパのGRIP (Greenland Ice Core Project) やアメリカのPICO (Polar Ice Coring Office) のスタッフが持つ技術の蓄積には、目を見張るものがある。日本においても掘削に関する技術の向上やスタッフの養成が重視されつつあり、国立極地研究所や北見工業大学等において、その動きが活発化してきたことは誠に喜ばしい。

新型浅層ドリルを設計するに当たり、関係する文献を読んだが、とりわけ鈴木義男の研究は大いに参考になった。鈴木の研究は、世界的にも先駆性があり、日本におけるドリルの創始者たる先生の研究にいかにも助けられているかを痛感した。

また、今回は設計、氷河上での掘削、報告と終始ご指導いただいた国立極地研究所の藤井理行教授、製作面でお世話になった九州オリンピア工業 (株) の方々、これまで共に掘削やドリルの開発に携わって来たJAGE '93隊や、深層ドリル開発小委員会の諸氏、こういった方々のご協力を受け、本ドリルはやっと完成を見た。結びに当たり、心から感謝したい。

文 献

- 藤井理行・田中洋一・成田英器・宮原盛厚・高橋昭好, 1988: 雪氷表層のメカニカルドリルの切削特性. 南極資料, 32-3, 286-301
- 藤井理行・山本秀明・成田英器・新堀邦夫・東信彦・田中洋一・宮原盛厚・高橋昭好・渡辺興亜, 1990: 氷床深層ドリルの開発. 南極資料, 34-3, 303-345.
- Gundestrup, N. S. Johnsen, S. J. and Reeh, N., 1984:

- ISTUK a deep ice core drill system. Ice Drilling Technology, CRREL Special Report, **84-34**, 7-19
- Johnsen, S. T., Dansgaard, W., Gundestrup, N., Hansen, S. B., Nielsen, J. O. and Reeh, N., 1980: A fast light-weight core drill. Jour. Glaciol., **25-91**, 169-174.
- Koci, B. R., 1984: New horizons in drill development. Ice Drilling Technology, CRREL Spec. Rep., **84-34**, 51-54.
- Reeh, N. 1984: Antitorque leaf springs. Ice Drilling Technology, CRREL Spec. Rep., **84-34**, 69-72.
- Rufri, H., Stauffer, B. and Oeschger, H., 1976: Lightweight 50-meter core drill for firn and ice. Ice-core Drilling, University of Nebraska Press 1976, 139-153.
- Suzuki, Y. and Shiraishi, K. 1982: The drilling system used by the 21st Japanese Antarctic Research Expedition and later improvement. Mem. Nati. Inst. Polar Res., Spec. Issue, **24**, 259-273.
- Suzuki, Y., 1984: Light weight electro-mechanical drills. Ice Drilling Technology. CRREL Spec. Rep., **84-34**, 33-40.
- Suzuki, Y. and Shimbori, K., 1984: Mechanical drill systems for the 25th Japanese Antarctic Research Expedition. Mem. Nati. Inst. Polar Res., Spec. Issue, **34**, 188-196.
- 鈴木義男, 1985: 氷掘削技術の展望. 南極資料, **85**, 24-38.
- Suzuki, Y. and Shimbori, K., 1985: Ice core drills usable for wet ice. Mem. Nati. Inst. Polar Res., Spec. Issue, **39**, 214-218.
- Suzuki, Y. and Shimbori, K. 1986: Development of an ice core drill for liquid-filled holes. Mem. Nati. Inst. Polar Res., Spec. Issue, **45**, 86-92.
- Tanaka, Y., Takahashi, A., Fujii, Y., Narita, H., Shimbori, K., Azuma, N. and Watanabe, O., 1994: Development of a JARE deep ice core drill system. Ice drilling technology. Mem. Nati. Inst. Polar Res. Spec. Issue, **49**, 113-123.

(1994年10月28日受付, 1995年5月10日改稿受付, 1995年10月7日受理)