論文・報告

新型 PDC ビットによる地熱井の掘削 (第 2 報)*

唐 澤 廣 和**・三 澤 茂 夫***

(Received October 20, 1992; accepted March 19, 1993)

Drilling of geothermal well by new PDC bit (the 2nd report)

By

Hirokazu Karasawa and Shigeo Misawa

Abstract: The first field test by a new PDC core bit with $8\frac{15}{32}$ in. outside diameter in a geothermal well called HDR-2, drilled at Hot Dry Rock project site in Yamagata prefecture, resulted in granodiorite drilling of about 5 m as described in the 1st report. From the results of the test, it became clear that the new PDC core bit has potential to drill geothermal wells and that there is some room for improvement concerning the arrangement of PDC cutters on the bit.

Two improved type new PDC core bits and one conventional type new PDC core bit with the same design as the bit used for the first field test, were fabricated. And field tests of these bits were repeated in a geothermal well called HDR-3, which was drilled adjacent to the HDR-2 well, in order to evaluate the performance of the bits. Formation drilled is basement rock of granodiorite and its temperature is estimated to be around 250°C. Five drilling tests using the three bits mentioned above were conducted at the depths between 1,627m and 1,907m under almost the same drilling conditions as the first test.

One improved type and one conventional type bits drilled hot, abrasive and hard granodiorite of about 10 meters respectively at the penetration rate of about 0.5 m/hr. The drilled length and the penetration rate of the PDC core bits were greater than those of surface-set diamond core bits. It became obvious that the new PDC core bit can be applied to geothermal well drilling from the results of the field tests conducted in two geothermal wells. The performance of the improved type bits could not be understood correctly due to failure of cutters from a bit body etc. However, taking all results into consideration, the improved type bit was estimated to have better performance as compared to the conventional type bit.

1. はじめに

前報⁴⁾では、平成元年 9 月、山形県最上郡大蔵村肘折の高温岩体発電実験場の HDR-2 井において実施した外徑

$8\frac{15}{32}$ in. の新型 PDC コアビットによる掘削実験結果について述べた。この掘削実験により、上記ビットは地熱井の掘削に適用できる見通しを得るとともに、ビットの刃先配列などに改良の余地のあることが明らかとなった。

翌平成 2 年 10 月に、前年と同一形状のビット 1 個とビットの刃先配列などに若干の改良を加えたビット 2 個の合計 3 個のビットを製作し、同じく肘折の高温岩体発電実験場において掘削実験を実施した。本報では、これらの掘削実験結果を述べるとともに、新型 PDC コアビットの掘削性能および適正使用条件を明らかにするため、前年を含むこれら新型 PDC コアビットの掘削実験結果

* 平成 3 年 5 月 30 日第 56 回石油技術協会作井部門個人講演および地熱技術¹⁾ および '92 ETCE Drilling Technology Symposium²⁾ および J. of Energy Resources Tech.³⁾ にて一部発表

** 資源環境技術総合研究所地殻工学部

*** 元、資源環境技術総合研究所地殻工学部

および同実験場において使用されたサーフィセットダイヤモンドコアビットの掘削成績の比較を行う。

2. 実 験

2.1 掘削実験現場および地層

高温岩体発電実験場における今回の掘削実験は、前年に新型PDCコアビットによる掘削実験を行ったHDR-2井に近接して新たに掘削されたHDR-3井の深度1,627~1,907mの区間で実施した。掘削した地層は前年の実験と同様、本実験場の約1,500m以深に分布する基盤の花こう閃緑岩である。掘削箇所の地層温度はHDR-3井近傍に掘削されたSKG-2井の温度検層結果⁵⁾から250℃前後、また、地層強度はSKG-2井と同様にHDR-3井近傍に掘削されたHDR-1井のコアの物性試験結果⁶⁾から一軸圧縮強さで1,100kgf/cm²前後と推定される。

2.2 実験用ビット

図1に、掘削実験に用いた外径8¹⁵/₃₂in.、内径4in.の新型PDCコアビットを示した。写真、前方左側のビットは前年の実験に、また、他の3個は今回の実験に用いたものである。前記のごとく、今回の実験に用いた3個のビットのうち1個（前方右側）は前年の実験に用いたビットと同一形状であり、他の2個は後述の理由により、前年の実験に用いたビットの刃先配列などに若干の

図1 8¹⁵/₃₂in. φ新型PDCコアビット

改良を加えたものである。高温岩体発電実験場で用いた合計4個の新型PDCコアビットを区別するため、以後、前年の実験に用いたビットを従来型（No. 1）、今回の実験に用いた従来型（No. 1）と同一形状のビットを従来型（No. 2）、また、改良を加えたビットを改良型（No. 1、No. 2）と呼ぶ。なお、従来型（No. 1）および改良型（No. 1）のビットは資源環境技術総合研究所が、他の2個は資源環境技術総合研究所の設計で、新エネルギー・

図2 新型PDCコアビットの略図

産業技術総合開発機構が製作した。

前年の掘削実験結果より、従来型ビット(No. 1)の外径側の刃先の摩耗が内径側の刃先の摩耗に比べて大きいことが明らかになった。これはビット台金外周の3箇所と比較的大きなジャンクスロットを設けたため、外径側の刃先数が内径側の刃先数に比べて少なく、外径側の刃先にかかる負荷が内径側の刃先にかかる負荷より大きくなることに起因すると考えられる(図2(a))。改良型ビットの製作に当たっては、ビット外径側と内径側の刃先にかかる負荷ができるだけ等しくなるよう、図2(b)に示すごとく、従来型ビット(刃先数:57個)のジャンクスロット幅を小さくし、外径側の刃先数を増やす(刃先数:63個)と同時に刃先の配列を若干変更した。改良型と従来型のビットはこれらの点およびゲージ摩耗防止用天然ダイヤモンド粒の使用量に若干の相違がある点を除き、PDC 刃先材や刃先のレーキ角などは全く同一である。

2.3 掘削リグおよび坑内編成

掘削実験に用いたリグはターンテーブル型で、一般にNM-2000と呼ばれているものである(図3)。本リグの主な仕様を以下に示す。

・ドローワークス

型式:新潟鉄工 NM-2000

動力:エンジン (415 PS×2台)

・泥水ポンプ

型式:ナショナル 8-P-80 (2台)

動力:エンジン (900 PS×2台)

・掘削やぐら

高さ:38m

吊荷重:最大180tf

・サブストラクチャー

高さ:7m (4段)

坑内編成は以下のとおりである。

8¹⁵/₃₂ in. PDC コアビット×8¹⁵/₃₂ in. コアバレル×6¹/₂ in. 非磁性ドリルカラー×8¹/₂ in. スタビライザー×6¹/₂ in. ドリルカラー (2本)×8¹/₂ in. スタビライザー×6¹/₂ in. ドリルカラー (6本)×8¹/₂ in. スタビライザー×6¹/₂ in. ドリルカラー (5本)×フレックスジョイント×ドリリングジャー×6¹/₂ in. ドリルカラー (2本)×5 in. ヘビーウェイトドリルパイプ (9本)×5 in. ドリルパイプ (必要量)。

2.4 掘削実験条件

掘削実験条件は後述の相違点を除き、前年とほぼ同様で以下のように定めた。

ビット回転数:20~30rpm

ビット荷重:最大 10tf

掘削長:最大 5m

循環流体:ベントナイト泥水(比重1.01~1.08, ファンネル粘性 27~42秒)

循環流体流量:1.0~1.1m³/min

前報で述べたように、新型 PDC コアビットは最大17 tfの荷重を加えることが可能であるが、今回の実験では坑内編成上(ドリリングジャー)の都合により、最大ビット荷重をビットの許容最大荷重より低い値に設定した。また、実験1回当たりの掘削長を最大5mとしたのはコアバレルの有効長が約5.6mであることによる。

前年と今回の掘削実験における実験条件の相違点の一つは、掘進率の設定値とビット荷重の増加方法である。前年の従来型ビット(No. 1)を用いたHDR-2井における掘削実験では、室内の実験結果を基に掘進率を約1.5~2cm/minと定め、掘進率がこの値より低下すると直ちにビット荷重を増加させ、設定値を保持するようにした。しかし、実験終盤においては刃先の摩耗、特にビット外径側の刃先の摩耗が大きくなり、ビット荷重をコアバレルの許容最大荷重の12tfまで増加させても掘進率は減少する傾向を示した。ビット外径側の比較的大きな刃先摩耗の原因として、前述のごとくビット外径側の刃先数が内径側の刃先数に比べて少ないという刃先配列上の問題ばかりでなく、過大な掘進率の設定あるいはビット荷重の急激な増加に起因して刃先に許容以上の負荷が加わり、刃先に欠損を生じさせたことが考えられる。以上のことを考慮して、今回の実験では掘進率の値を約

図3 掘削リグ

表1 HDR-3 井における掘削実験の概要

No.	ビット	掘削開始深度 (m)	コアリング方法	スクライブナイフ
1	改良型 PDC (No. 1)	1627.00～	普通	——
2	改良型 PDC (No. 2)	1641.00～	定方位	PDC
3	従来型 PDC (No. 2)	1716.00～	定方位	PDC
4	サーフィセットダイヤモンド	1741.00～	定方位	WC-Co
6	従来型 PDC (No. 2) (再使用)	1755.00～	定方位	WC-Co
8	改良型 PDC (No. 2) (再使用)	1902.00～	定方位	WC-Co

1cm/minと前年の値より小さく設定するとともに、急激なビット荷重の増加を避けるよう掘進率の推移を十分確認しながら適宜、ビット荷重を増加させた。

前年と今回の掘削実験における他の相違点はコアリング方法である。前年の掘削実験は通常のコアリング(以下、普通コアリングと呼ぶ)により行った。今回のHDR-3井における掘削実験は新型PDCコアビットの掘削性能および問題点の検討の他に、原位置における方位・傾斜角が明らかなコア(定方位コア)の採取を目的としていたため、表1に示すように、改良型ビット(No. 1)以外のビットによる実験はすべて定方位コアリングにより行った。なお、HDR-3井では、新型PDCコアビットと同一径の3個のサーフィセットダイヤモンドコアビットを用いて3回の定方位コアリングが行われた。新型PDCコアビットとサーフィセットダイヤモンドコアビットの掘削成績を後に比較検討するため、表1にはこれらの中で最も優れた掘削成績を示した第4回目のコアリングの概要も記載した。

本実験場における定方位コアリングは、掘削中に、ビット直上に装着したスクライブナイフによりコア表面にスクライブマークを付けると同時に、インナーバレル直上に設置した方位・傾斜計によりスクライブナイフの位置を計測しておき、コア回収後に、スクライブマークとスクライブナイフの位置を照合し、コアの原位置における方位・傾斜角を同定するものである。

3. 実験結果

本章では、HDR-3井における新型PDCコアビットの掘削実験結果を述べるとともに、HDR-2井あるいはHDR-3井における新型PDCコアビットやサーフィセットダイヤモンドコアビットによる掘削結果の比較を行う。

これらの比較に際しては、掘削結果に及ぼす掘削深度や地層状況の相違の影響を考慮しなければならない。しかし、実際には掘削を行った深度が極端に相違しないこ

とと、回収したコアの岩相および亀裂状態に大きな相違が認められないことから、掘削深度および地層状況の相違が掘削結果に及ぼす影響は小さいと推定される。また、定方位コアリングの場合はビット荷重の一部がスクライブナイフの切削抵抗として費やされるので、それが掘削結果に及ぼす影響も考慮に入れる必要がある。今回の定方位コアリングに用いたPDCおよび超硬合金製スクライブナイフそのものの切削抵抗は把握していないが、スクライブナイフの切込み深さおよび幅はたかだか1mmと2mmで、従来実施した直線切削実験結果⁷⁾からその値はビット荷重に比べてかなり小さいと推定される。従って、上記比較に際し、掘削深度および地層状況の相違やスクライブナイフの切削抵抗が掘削結果に及ぼす影響は無視した。

3.1 改良型 PDC コアビット (No. 1)

HDR-3井における改良型ビット(No. 1)による掘削実験の目的は、HDR-2井において実験を行った従来型ビット(No. 1)と本ビットとの掘削性能を比較し、改良の効果を確認することであった。このため、できるだけ掘削条件が同一となるよう、このビットによる実験は従来型ビット(No. 1)の場合と同様に普通コアリングにより行った。

図4に、HDR-3井の深度1,627mから実験を行った改良型ビット(No. 1)の掘削実験結果を示した。実験は掘削開始後、約40分間順調に進んだが、それ以降は掘進率が急激に低下したため、比較的短時間のうちにビット荷重を最大10tfまで増加させた。しかし、掘進率に顕著な向上は認められなかった。掘削長が2.34mに達した時点で、掘進率が小さく、また、コアバレルと坑壁との間隔が小さい(今回用いたコアバレルの直径は $8\frac{1}{32}$ in. と比較的大きい)ことに起因するコアバレルの抑留が懸念されたため、実験を中止した。本ビットの平均掘進率および掘削長は0.43m/hrと2.34mで、両者の値は従来型ビット(No. 1)の実験結果に比べて約1/2であった。

図4 改良型 PDC コアビット (No. 1) による掘削実験結果

図5 実験終了後の改良型 PDC コアビット (No. 1)

実験終了後の改良型ビット (No. 1) を図5に示す。図から明らかなように、刃先の摩耗および欠損はほとんど認められず、新品に近い状態であった。一方、回収したコアの表面には、コアキャッチャーの装着不良のために生じたコアキャッチャーによるかなり深い引っ掻き溝が多数認められた。このようなビットおよび回収コアの状態より、このビットが小さい掘進率を示した原因は掘削リグの荷重計に表示されるビット荷重の大部分がコアとコアキャッチャーとの間に生ずる摩擦抵抗として費やされ、ビットに十分な荷重が加わらなかったことにあると推定される。

改良型 PDC コアビット (No. 1) の正確な掘削性能は、以上のようなコアキャッチャーの装着不良により把握できなかったため、改良の効果を本実験結果のみから

検討することはできなかった。

3.2 改良型 PDC コアビット (No. 2) および従来型 PDC コアビット (No. 2)

改良型 (No. 2) および従来型 (No. 2) のビットは各々1回 (掘削長約5m) の掘削実験を行った後も、まだ掘削が十分可能な状態であったため、さらに両ビットによる各々1回の掘削実験を行った。改良型ビット (No. 2) および従来型ビット (No. 2) による各2回の実験結果を図6および図7に示す。改良型および従来型のビットの総掘削長はそれぞれ10.0mと9.32mである。また、改良型と従来型ビットの平均掘進率はそれぞれ0.51m/hrと0.44m/hrで、改良型の方が従来型に比べて若干、大きな掘進率を示した。従来型ビットは前後半2回の実験とも終盤にコア詰りに起因すると考えられる掘進率の低下が認められた。従って、コア詰りが生じなかった場合、従来型ビットの掘進率は上記数値より大きくなると推定される。両ビットによる掘削実験ではビット荷重の増加割合が異なっていることと、コア詰りの影響を定量的に把握することが困難であることのため、正確な掘削性能の比較は行えないが、両者に性能上の大きな相違はないと思われる。これらの実験において、従来型ビットの刃先数や刃先配列を変更した改良型ビットに掘削性能の顕著な向上は認められなかった。

一方、改良型ビットは前半の実験において外径側の刃先が5個、後半の実験において外径側の刃先が9個 (合計14個) 脱落したことが各実験後に認められている。また、2回の実験後、脱落した刃先を除いて両ビットの刃先摩

耗状態を観察した結果、刃先の摩耗および欠損程度は改良型が約40%、従来型が約50%と推定され、改良型の方が従来型に比べ、摩耗や欠損が少ない傾向を示した(図8, 図9)。改良型ビットの刃先脱落数はかなり多く、また、刃先の脱落がビット外径側に偏っていることから、刃先の脱落は掘進率に大きな影響を及ぼしたと推定される。改良型ビットは比較的多くの刃先が脱落したにもかかわらず、掘削長、掘進率および刃先摩耗状態が従来型ビット

と同程度であることと、掘削長が2.34mの改良型ビット(No. 1)はほとんど摩耗していないことから、改良の効果が十分あったと判断している。なお、改良型ビット(No. 2)の刃先の脱落は、他のビットに刃先の脱落がほとんど生じていないことを勘案すれば、刃先をビット台金にろう付けする際の不備に起因すると考えられる。

当実験場においては、新型PDCコアビットと同一径のサーフィセットダイヤモンドコアビットによる基盤

図6 改良型PDCコアビット(No. 2)による掘削実験結果

図7 従来型PDCコアビット(No. 2)による掘削実験結果

図8 実験終了後の改良型 PDC コアビット (No. 2)

図9 実験終了後の従来型 PDC コアビット (No. 2)

図10 従来型 PDC コアビット (No. 1) と (No. 2) の掘削実験結果の比較

の花こう閃緑岩のコアリングが多数行われており、それらの掘削成績は掘削長で1~6m程度である。これら掘削成績の一部にはビット本来の掘削性能以外に、定方位コアリングにともなうコアバレルとスクライブナイフの不正常な作動による影響が含まれている。このため、新型 PDC コアビットとサーフィセットダイヤモンドコアビットの掘削成績の単純な比較はできないものの、両新型 PDC コアビットの掘削長はサーフィセットダイヤモンドコアビットの掘削長と比べてかなり大きく、今回の実験により新型 PDC コアビットが実際の地熱井の掘削に十分適用できることが確認された。

3.3 従来型 PDC コアビット (No. 1) と (No. 2) の実験結果の比較

図10は、従来型 PDC コアビット (No. 1) と (No.

2) の掘削実験結果を比較したものである(従来型ビット (No. 2) の結果は2回の実験のうち前半のみを示した)。図から明らかなように、ほぼ同じ長さ(約5m)を掘削するのに要する時間は、従来型ビット (No. 2) が従来型ビット (No. 1) に比べて1.5倍となっている。従来型ビット (No. 2) の掘削実験では終盤にコア詰りが生じ、その結果、掘進率が低下したと推定された。このコア詰り現象が起きなければ従来型ビット (No. 1) と (No. 2) の掘削時間の差は小さくなると考えられる。掘削の際のビット荷重は従来型ビット (No. 2) の方が従来型ビット (No. 1) に比べてかなり小さく、また、刃先の欠損および摩耗もかなり少ない状態であった。従って、今回のようなビット荷重の加え方は前年の場合に比べて多少の掘進率の低下はあるものの、ビット寿命の点

図11 改良型PDCコアビット (No. 2) とサーフィセットダイヤモンドコアビットの掘削結果の比較

で有利であることが明らかである。

3.4 改良型PDCコアビット (No. 2) とサーフィセットダイヤモンドコアビットの掘削性能の比較

図11は、改良型PDCコアビット (No. 2) による前半の掘削実験結果と、サーフィセットダイヤモンドコアビットによる第4回目の掘削結果とを比較したものである。改良型PDCコアビットが5m掘削するのに要した7.5時間まで、改良型PDCコアビットとサーフィセットダイヤモンドコアビットのビット荷重はほぼ同じである。しかし、掘進率はビット回転数が27rpmの改良型PDCコアビットの方がビット回転数が55rpmのサーフィセットダイヤモンドコアビットに比べ、かなり大きいことがわかる。平均ではサーフィセットダイヤモンドコアビットが0.36m/hrの掘進率であるのに対し、改良型PDCコアビットは一部の刃先に脱落が生じたにもかかわらずほぼ倍の0.67m/hrの掘進率を示した。

掘削長が約5mに達するまでの新型PDCコアビット (従来型 (No. 1), 従来型 (No. 2), 改良型 (No. 2)) の平均掘進率は0.56~0.82m/hrである。当実験場ではこれら新型PDCコアビットとほぼ同じ掘削長のサーフィセットダイヤモンドコアビットの掘削実績が上記のものを含めて2例あり、それらの平均掘進率は0.36m/hrと0.55m/hrである。両タイプのビットの掘削結果を比較するにはデータ数が十分とはいえないが、新

図12 回収コアの状況

型PDCコアビットはサーフィセットダイヤモンドコアビットに比べ、前記した掘削長ばかりでなく、掘進率に関しても優れた性能を有していることが推定できる。

3.5 地層状況およびビットの刃先摩耗状態

HDR-3井において、新型PDCコアビットにより採取されたコアの亀裂観察結果を図12に示した (No. 4のコアはサーフィセットダイヤモンドコアビットによる)。前年の実験でHDR-2井から採取したコアと同様、今回の実験で採用したコアにも亀裂や破砕部がかなり認められた。PDCビットは刃先が衝撃に対して脆いたため、一般に、亀裂等を含む不均質地層や硬質地層は

表2 HDR-3井における掘削実験結果のまとめ

No.	ビット	掘削深度 (m)	掘削長 (m)	時間 (hr)	掘進率 (m/hr)	コア回収率 (%)	回転数 (rpm)	荷重 (tf)	ロータリー トルク*	泥水圧 (kgf/cm ²)	備 考
1	改良型 PDC (No.1)	1627.00 ～ 1629.34	2.34	5.5	0.43	88	27	0.2～10	60～110	20～26	普通コアリング コアキャッチャー装着不良 刃先摩耗：約5%
2	改良型 PDC (No.2)	1641.00 ～ 1646.00	5.00	7.5	0.67	93	27	0.2～7	70～140	23～31	定方位コアリング (PDC) 刃先5個脱落
3	従来型 PDC (No.2)	1716.00 ～ 1721.04	5.04	9.0	0.56	89	27	0.1～8	70～150	30～33	定方位コアリング (PDC)
4	サーフィス セットダイ アモンド	1741.00 ～ 1745.74	4.74	13.17	0.36	96	33～55	0.1～10	60～120	27～66	定方位コアリング (WC-Co)
6	従来型 (No.2) (再使用)	1755.00 ～ 1759.28	4.28	12.17	0.35	96	25～30	0.2～10	80～150	18～25	定方位コアリング (WC-Co) 刃先1個脱落 刃先摩耗：約50%
8	改良型 (No.2) (再使用)	1902.00 ～ 1907.00	5.00	12.0	0.42	88	20～30	0.2～10	80～150	20～29	定方位コアリング (WC-Co) 刃先9個(合計14個)脱落 刃先摩耗：約40%
—	従来型 PDC (No.1)	1905.00 ～ 1909.90	4.90	6.0	0.82	91	27	0.6～12	—	21～28	HDR-2井 普通コアリング 刃先摩耗：約60%

* アイドラホイールによる測定値

掘削できないといわれてきた。改良型 (No. 2) および従来型 (No. 2) の各ビットの外径側に位置する刃先には、刃先配列の問題や刃先の脱落などに起因すると考えられる比較的大きな欠損あるいは摩耗が認められるものの、内径側においては良好な状態を示す刃先が多く、両ビットの刃先の欠損および摩耗状態は前年の実験の場合と同様に、特に著しいものではなかった (図8, 9)。

3.6 まとめ

表2に、HDR-3井で行った新型PDCコアビットによる掘削結果のまとめを示した。参考として、表にはHDR-3井におけるサーフィスセットダイヤモンドコアビットによる第4回目の掘削結果と、HDR-2井における従来型PDCコアビット (No. 1) による実験結果も記載した。HDR-2井およびHDR-3井における掘削実験の結果、新型PDCコアビットは市販のサーフィスセットダイヤモンドコアビットに比べ、掘進率および掘削長の点で優れた性能を有していることが確認され、地熱井の掘削に十分適用できることが明らかになった。また、従来型ビット (No. 1) の実験結果を基に、刃先数および刃先配列などを変更した改良型PDCコアビットについては、コアキャッチャーの装着不良およびろう付け不良に起因すると考えられる刃先の脱落により、その掘削性能を十分には把握できなかったが、実験結果の総合的

な検討から、改良の効果は十分あると判断された。今後、実際の地熱井において、掘進率およびビット寿命に及ぼすビット回転数や岩質の影響などについて検討する必要があるものの、今回開発した改良型ビットは地熱井掘削用PDCコアビットとして実用可能と思われる。

4. おわりに

PDCビットはビットを構成する刃先が衝撃に対して脆いため、油田や地熱地帯に賦存する硬質地層の掘削には適用できないと考えられてきた。しかし、高温岩体発電実験場に掘削された2本の地熱井において外径約8½ in. の4個の新型PDCコアビットを用い、合計6回の掘削実験を行った結果、PDCビットは地層温度が約250℃に達する亀裂を含む硬質地層の掘削にも適用できることが明らかとなった。

PDCビットに関する一連の研究により、コアビットについては地熱井などの硬質地層の掘削に適用できることを確認したが、PDCビットを坑井の掘削により広く用いるには全断面ビットの開発が必要不可欠である。小口径のPDC全断面ビットに関しては、室内および温泉井掘削現場における直径約4 in. の新型PDC全断面ビットを用いた掘削実験⁹⁾により、硬質地層の掘削に適用で

きる見通しを得た。今後、全断面ビットについてもコアビットと同様に、直径が $8\frac{1}{2}$ in. 程度のものを開発したいと考える。

謝 辞

本掘削実験に際し、新エネルギー・産業技術総合開発機構をはじめ、地熱技術開発株式会社およびエスケイエエンジニアリング株式会社の方々に多大なるご支援をいただいた。ここに厚く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 三澤茂夫・唐澤廣和, 1991: 地熱井掘削用 PDC ビットの開発. 地熱技術, **16**(3 & 4), 19-24.
- 2) Misawa, S., Karasawa, H., 1992: Field testing with small and large diameter PDC core bits to evaluate their applicability to drilling of geothermal wells, *Proc. of the ETCE Drilling Technology Symposium*, Houston, Texas, Jan. 26-29, 143-149.
- 3) Misawa, S., Karasawa, H., 1992: Development of new PDC bits for drilling of geothermal wells—part 2: field testing, *J. of Energy Resources Tech.*, **114**(4), 332-338.
- 4) 三澤茂夫・唐澤廣和, 1991: 新型 PDC ビットによる地熱井の掘削. 石技誌, **56**(6), 492-500.
- 5) 山口 勉・厨川道雄・佐藤嘉晃・及川寧己・小林秀男・松永 烈・ジョージ ジボロスキー, 1991: 高温岩体からの熱抽出実験と人工貯留層のモデル化. 日本地熱学会誌, **13**(2), 73-93.
- 6) 及川寧己・山口 勉・松永 烈・厨川道雄, 1989: 肘折高温岩体実験場 HDR-1 坑井から採取したコアの物性試験結果について. 資源, **1**(11), 498-508.
- 7) 唐澤廣和・三澤茂夫・吉田 寛, 1991: PDC ビットの性能に及ぼすレーキ角の影響. 資源・素材学会誌, **107**(12), 853-858.
- 8) 三澤茂夫・唐澤廣和, 1991: PDC 全断面ビットに関する研究. 資源, **3**(11), 487-497.

SI 単位への変換係数

25.4 mm	=1 in.
9.80665×10^4 Pa	=1 kgf/cm ²
735.5 W	=1 PS
9.80665×10^3 N	=1 tf