講 演
 Lecture

海洋掘削リグの進化と今後の展望*

前 田 啓 彰**

(Received July 6, 2017 ; accepted August 10, 2017)

The technological history of offshore drilling rigs and the outlook of the future

Hiroaki Maeda

Abstract : There are three types of offshore drilling rigs: Drillship, Semi-submersible, Jack-up rig.

As the generation of rig progressed, the operating water depth had deepened and consequently the ability of drilling equipment, redundancy and on-board capacity, had been enhanced.

The technological evolution of drilling rig made the hull and drilling equipment greater in size, which enabled deeper operation and that also led to considerable improvement in performance of major drilling equipment.

Looking back the progress of element technology in the past, we'll look into the latest specifications as of now and predict the rig of the future.

Keywords : deepwater, deepwater rig, Semi-submersible rig, Drillship, design, Jack-up rig, development

1. はじめに

海洋掘削リグには大きく分けて、ドリルシップ、セミサブブリグ、ジャッキアップブリグと 3 種類のタイプがあるが、世代の進化とともに稼働水深が大きくなり、それに伴って掘削機器の能力・冗長性の強化、搭載能力の大型化などが進んできた。建造年別でリグ数の推移を見ると、原油価格に伴って変動するという相関関係がある (図 1)。1973 年頃から始まった原油価格の上昇に合わせ、リグ建造の第一次ブームがあった。また 2000 年以降、さらなる原油価格の高騰に伴い、かつてないリグ建造ラッシュを経てリグ数も増え続けてきた。一方、ここ数年は、原油価格下落に伴い古いタイプのリグはその寿命を迎え、次第にマーケットから退出しつつある。IHS-Petrodata によると 2017 年 5 月現在、ドリルシップ 119 基、セミサブブリグ 163 基、ジャッキアップブリグ 540 基の合計 822 基が存在する。

2. 海洋掘削リグの歴史

2.1 海洋掘削事始め

19 世紀末、海外では米国カリフォルニア州サンタバー

バラのサマーランドで、海岸に栈橋をかけて、陸上で使っていた櫓を立てて掘削したのが海洋掘削のはじまりとされる。日本国内では、同時期に新潟県出雲崎海岸の尼瀬で 30 ~ 50 m ほど沖合いに向かって栈橋をかけ、掘削が開始された。1920 年代には物理探査の結果、テキサス州やルイジアナ州のメキシコ湾岸に多数の岩塩ドームが確認されたこともあり、多数の石油企業がこの地域に誕生した。その後、1930 年頃までは米国を中心に海洋での掘削が行われたが、栈橋や波止場の岸壁などの上からの掘削が主流であった。

2.2 Gilliasso (1933 年)

1930 年代に入ると世界で初めてとなる移動式掘削装置が誕生する。1933 年に湖沼用着底型掘削リグとしてペンシルバニア州の造船所にて完成し、“Gilliasso”と命名された (図 2)。本リグ Gilliasso は船底にタンクを備え、掘削時にはタンクに水を張ることで着底して掘削を実施し、移動時にはタンクの水を抜いて浮遊するという方法が取られた。本リグの完成は確かに時代の大きな一歩であったが、海象条件の厳しいところでの移動式掘削リグの実用化にはまだ時間を要した。

2.3 着底型掘削リグからジャッキアップブリグへ

海洋での移動式掘削リグは、1949 年に Brenton Rig 20 が最初となる (図 3)。型式は Gilliasso と同じく着底型掘削リグであった。その後 1963 年まで海洋での着底型掘削リグは大型化し、水深も 45 ft (13.7 m) までは稼働可能になった。しかし、着底型掘削リグは船底のポンツーンと作業デッ

* 平成 29 年 6 月 14 日、平成 29 年度石油技術協会春季講演会作井部門シンポジウム「時代の流れと作井技術の変遷ー作井技術の過去、現在、そして将来の見通し」にて講演 This paper was presented at the 2017 JAPT Drilling Symposium entitled “Evolution of drilling technologies over time - Drilling technologies in the past, present and future vision” held in Tokyo, Japan, June 14, 2017.

** 日本海洋掘削株式会社プロジェクトエンジニアリング部 Project Engineering Department, Japan Drilling Co., Ltd.

図1 建造年別リグ推移と原油価格の推移

図2 Gilliasso

原典：Texaco (Chevron)
出所：Pioneering Offshore: The Early Years

図4 Rig No.51

原典：Transocean
出所：Pioneering Offshore: The Early Years

図3 Brenton Rig 20

原典：Offshore Data Service
出所：Pioneering Offshore: The Early Years

キとの間隔が固定されており、作業時と曳航時の復原力が不十分であった。このような状況の下、当時の設計者たちは水深が深いところにも着底でき、しかもデッキの高さを変えることができる掘削リグの開発に尽力した。1954年、世界初となる甲板昇降型掘削リグ（以下ジャッキアップリグ）Rig No.51が完成した（図4）。長さ48.8mのLegが12本も搭載されており、エアージャッキで昇降した。しかしながら、Leg本数が12本もあることで、作業性および移動性には課題を抱えていた。

2.4 Zapata Scorpion (1956年)

1950年代、土木の重機や鉱山機器の会社の社長であったRobert LeTourneau氏が現在の3本脚のジャッキアップリグのデザインを初めて開発した。特徴は、全天候型のプラットフォームであり、浮上させて迅速に移動させることができ、またトラス構造のレグを搭載していることで

あった。当時は大きな反響を呼んだデザインであったが、約 300 万ドルの船価に加え実績のないデザインを採用する会社はどこにもなかった。LeTourneau 氏は、Zapata Offshore 社に本デザインを提案する。Zapata Offshore 社の社長は、その後アメリカ合衆国第 41 代大統領となる George H.W.Bush 氏であった。Bush 氏はその後のインタビューで LeTourneau 氏のことをこう評している。「彼はこんな提案を持って Zapata へやって来た。彼が自腹でリグを建造する。Zapata が 40 万ドルを前払いして完工し、もしうまくいかなかったら払い戻す。でもうまくいったら、さらに 55 万ドルの増資と、Zapata の普通株 3 万 8 千株をいただくと。これだけの自信を持っている男なら、一か八か賭けてみてほしいと思った。」

Zapata Offshore 社は LeTourneau 社のデザインの採用を決定し、1956 年に完成した。“Zapata Scorpion”と命名され、メキシコ湾での稼働を開始した（図 5）。同年 1 マイル間のロケーションムーブで 8.5 時間という世界記録を樹立する。今までにないロケーションムーブの早さは、5～7 feet (1.5～2.1 m) という浅いペネトレーションでも安定して稼働できることが要因であった。Zapata Scorpion が優秀な作業性と移動性を示せたことで、LeTourneau 社のデザインは現在のジャッキアップリグの原型となるとともに、世界の主流デザインとなっていく。

2.5 白竜号（1958 年）

日本国内においても、1958 年には、LeTourneau 社のデザインを採用して、石油資源開発株式会社が石川島播磨重工業に発注した白竜号が秋田の海岸で建造された（図 6）。当時、LeTourneau のデザインでは 8 号基目となるリグであった。完成から 11 年間、主に秋田・山形・新潟県の沖合いで稼働し、51 坑の坑井を掘削した。1968 年、日本海

図 5 Zapata Scorpion

原典：Malcolm Sharples
出所：Pioneering Offshore: The Early Years

図 6 白竜号

出所：日本海洋掘削株式会社

洋掘削株式会社（以下、JDC）に売却され、第一白竜と船名を変えた本船は、インドネシア海域、エジプトスエズ湾で稼働し、掘削リグの寿命は長くて 20 年と言われていた中、当時としては 28 年間という異例の長寿を保った。

2.6 浮遊式リグ誕生の背景

移動式掘削リグの登場により、海洋での掘削は移動性も作業性も向上したが、当時の技術では水深 60 m くらいまでの稼働が限界であった。当時のオペレータ各社は海洋での油層の広がりを水深 600 ft (182.9 m) くらいのエリアまでであると自信を持っており、探鉱・開発意欲は高まっていた。特に、メキシコ湾とともに海洋掘削が盛んであったカリフォルニア海域は、平坦な大陸棚部分が少なく、急激に水深が深くなることから着定式掘削リグで稼働できる海域も限られた。また太平洋からの波とうねりがプラットフォームの設置を困難とし、世界的にも風光明媚なところで知られていたために、何をするにも環境規制を考慮しなければならなかった。技術的にも、また高まる環境規制へ対応することも含め、課題が多い海域であった。

2.7 CUSS Group の誕生と実験船 Submarex (1953 年)

そのような条件の下では、移動式で水深の深い海域でも稼働可能な掘削リグ、すなわち浮遊式の掘削リグが待望された。中古船を改造し、陸上用の掘削設備を搭載して掘削を試みることは行われていたが、本格的な研究開発は 1948 年に CUSS Group が結成されてからであった。Continental, Union, Shell, Superior Oil の 4 社の頭文字をとった CUSS Group が協同で浮遊式リグの掘削技術について研究・開発を開始した。当時から目標とされたものは、BOP を海底面に設置しライザーパイプを用いて泥水を循環し、海象条件が悪くなった際には係留索や BOP をディスコネクトし、またリエントリーも可能にするという、現在にもつながる技術の開発であった。1953 年、米国海軍の中古船を改造して実験船とし、“Submarex”と命名され、デリックとサブストラクチャは船体中央部左舷に張り出して設置された。水深 30～400 ft (9.1～121.9 m) でのコア採取に

図 7 CUSS 1

原典：GlobalSantaFe Corp.
出所：Pioneering Offshore: The Early Years

大活躍した。

2.8 CUSS 1 (1956 年)

CUSS Group は Submarex に引き続き、同じく米国海軍の中古船を改造し、CUSS 1 というドリルシップを完成させた (図 7)。本船の特徴としては、上記 CUSS Group が目標とした技術を採用した他、初めて船体中央部に掘削用の開口部“ムーンプール”が設けられた。船体動揺に対しても安定して掘削作業が可能のように、デリックにガイドレールやトラベリングブロック、オートマチックパイプハンドリングなどが採用された。水深 350 ft (106.7 m) までのエリアで大いに活躍し、現在の浮遊式リグの祖を築いたと言える。

2.9 半潜水型掘削リグ “Blue Water No.1”

CUSS-1 以降もさまざまなドリルシップが開発され、進化を続け現在の大型ドリルシップにつながっていく。だが、当初は船体の全長も 100 m 以下であり、荒天時には船体動揺が大きく、掘削作業が停滞することが多かった。そのため、波浪中の動揺性能に優れたリグの開発が望まれた。当時は Shell 社が中心となり、その後半潜水型掘削リグ (以下、セミサブリグ) と呼ばれるようになる型式の掘削リグを開発した。初代セミサブリグは “Blue Ocean No.1” であり、図 8 の写真を参照されたいが、同リグはすでに当時か

図 8 Blue Ocean No.1

原典：Bruce Collipp
出所：Pioneering Offshore: The Early Years

ら現在のセミサブリグにつながる形をしており、荒天時にも安定した動揺性能を示したと記録にある。当時はライバル各社も強い関心を持ち、リグ上空から写真や動画を撮影したと記録されている。海象条件が穏やかな日に搭乗したクルーは、浮遊していることに気づけなかったという逸話もあり、セミサブリグの特性である動揺性能の優秀性を示していたと言える。

その後、ジャッキアップリグ、ドリルシップ、セミサブリグはそれぞれの型式ごとに進化を続けてきた。表 1 にそれぞれの型式の第 1 号基と 2016 年にデリバリーされた最新型の比較を試みた。船体も大型化し、稼働エリアも拡大している。掘削リグの進化は初代モデルからさまざまな要素技術が発達したために、現在の稼働水深や掘削深度を実現することができたとも言える。その変遷は、リグのジェネレーションで確認することができる。

3. 浮遊式リグのジェネレーション

ドリルシップやセミサブリグは、そのリグが建造された時期や仕様によってジェネレーション別に分類され、掘削リグの進歩はジェネレーションの変遷にも表れている。表 2、3 はドリルシップとセミサブリグのジェネレーションを示したものである。リグのジェネレーションについて統一的な定義があるわけではないが、米 BOEM (Bureau of Ocean Energy Management) や、世界最大の掘削コントラクターである Transocean 社はおおむね表 2、3 のように分

表 1 第 1 号基と最新型リグの比較

リグ型式	ジャッキアップリグ		ドリルシップ		セミサブリグ	
リグ名	Zapata Scorpion	Maersk Invincible	CUSS-1	Deepwater Conqueror	Blue Water No.1	Ocean Greatwhite
建造年	1956	2016	1956	2016	1961	2016
稼働水深	32 m	152.4 m	106.7 m	3,600 m	90 m	3,000 m
全長	45.7m	104.8 m	79.2 m	238 m	73.3 m	122.5 m
全幅	24.4 m	88.6 m	26.8 m	42 m	61.5m	77.7 m

表2 ドリルシップのジェネレーション変遷

Generation	1st & 2nd	3rd	4th	5th	6th	7th
Year	～ 1970s	Early 1980s	Late 1980s to 1997	1997 to 2004	2005 to 2010	2010 ～
Water Depth	< 3,000ft	< 5,000ft	< 10,000ft	10,000ft	12,000ft	Over 12,000ft
VDL	> 10,000 ston	10,000 ston	> 10,000 ston	< 20,000 ston	> 20,000 ston	> 20,000 ston
Station Keeping	Chain Mooring	Chain/Wire Combination Mooring	Chain/Wire Combination Mooring	DPS Min class II	DPS, Min class II	DPS, Class III
Hook Load	< 700 ston	< 700 ston	< 1,000 ston	< 1,000 ston	< 1,250 ston	> 1,250 ston
Topdrive	No	Retrofit	Common	Common	Common	Common
Load Path	Single	Single	Single	Single or Dual	Dual	Dual
Pipe Handling	Manual	Manual	Automated	Automated Single/Dual	Automated Dual	Automated Dual
BOP	10,000 psi	10,000 psi	15,000 psi,	15,000 psi, 5-Rams	15,000 psi, 6-Rams	15,000 psi, 7- Rams
BOP Control	Hydraulic	Hydraulic	MUX	MUX	MUX	MUX
Mud Pump	2 × 1,600 hp	2 × 1,600 hp	3 × 1,600 hp	4 × 2,200 hp	4 × 2,200 hp	Min 4 × 2,200 hp

表3 セミサブリグのジェネレーションの変遷

Generation	1st & 2nd	3rd	4th	5th	6th	7th
Year	Mid 1970s	Early 1980s	Late 1980s to Early 1990s	Late 1990s to Early 2000s	Late 2000s to 2010	2010-
Water Depth	1,000 ft	3,000 ft	5,000 ft	7,500 to 10,000 ft	Over 10,000 ft	Over 12,000 ft
VDL	3,000 ston	4,000 ston	5,000 ston	7,000ston	8,500ston	9,000ston
Station Keeping	Chain Mooring	Chain/Wire Combination Mooring	Chain/Wire Combination Mooring	DPS	DPS, Self-propelled	DPS, Self-propelled
Hook Load	500 ston	650 ston	750 ston	1,000 ston	1,250 ston	> 1,250 ston
Topdrive	No	Retrofit	Common	Common	Common	Common
Load Path	Single	Single	Single	Single or Dual	Dual	Dual
Pipe Handling	Manual	Manual	Automated	Automated	Automated	Automated
BOP	10,000 psi	10,000 psi	15000 psi,	15,000 psi, 6-Rams	15,000 psi, 6-Rams	15-20,000 psi, 7-8 Rams
BOP Control	Hydraulic	Hydraulic	MUX	MUX	MUX	MUX
Mud Pump	2 × 1,600 hp	2 × 1,600 hp	3 × 1,600 hp	4 × 2,200 hp	4 × 2,200 hp	Min 4 × 2,200 hp

類している。ジェネレーションの進化とともに稼働水深が大きくなり、それに伴って掘削機器の能力・冗長性の強化、搭載能力の大型化などが進んでいることが分かる。

4. ジャッキアップリグの進化

ジャッキアップリグについては、ジェネレーションという分類ではなく、Mat Cantilever/Slot, Standard, Premium, High Specification という4つのタイプに分類される。このタイプ分けについても統一的な定義はないが、1958年に建造された白竜号から HAKURYU-11 まで JDC のジャッキアップリグを、また High Specification には 2016 年にデリバリーされた Maersk 社の Maersk Invincible を例に取りその分類を試みた(表4)。日本で最初のリグである白竜号の建造から約60年を経て、リグ船体の大型化、それに伴う搭載能力の大容量化、掘削機器の能力強化が進んでいることが確認できる。白竜号は建造後、アップグレード工事を施し、稼働水深の延伸や搭載機器の大型化はされているものの、その建造当時の仕様と HAKURYU-11 や Maersk Invincible と比較すると格段の技術的進歩を遂げており、

最大稼働水深、最大掘削深度も大きく伸びていることが分かる。

5. 掘削リグの進化に寄与した要素技術

掘削リグは、機器の不具合によるダウンタイムを最小化した連続稼働を実現するため、機器を複数台装備するなどの冗長化の他、機器整備要員の増強や整備しやすく安全性を高める機器配置設計などが求められてきた。

掘削リグの進化は船体や掘削機器が大型化しただけではなく、さまざまな要素技術の進歩があった。主要な技術の進化を見ていきたい。

5.1 パワースイベル（トップドライブ）

1970年代に登場したパワースイベルは、作井の歴史の中においても大きな技術革新であった。常時泥水循環、ドリルストリングの回転、上げ下げが可能という、作井技術者にとっては夢のような機器であった。導入当初はトラブルが相次ぎ、米国で初めて導入された際には相次ぐトラブルのため使用し続けることが断念された。しかし、第六白竜の JDC クルーは、搭載された Bowen 社の ES-7 に発生

表 4 ジャッキアップリグ タイプ別の比較

リグ名	白竜号 (建造時)	第七白竜 (建造時) 現 SAGADRIL-2	HAKURYU-11	Maersk Invincible
タイプ	Slot	Standard	Premium	High Specification
建造年月	1958 年 10 月	1981 年 3 月	2013 年 5 月	2016 年 11 月
全長 / 全幅 / ハル深	61 m / 46 m / 6.1 m	59 m / 56 m / 6.5 m	75 m / 66.4 m / 7.7 m	102.5 m / 88.8 m / 12 m
Variable Deck Load (Drilling)	1,300 tons	2,200 tons	3,350 tons	Approx. 11,000 tons including hook load
最大稼働水深	20 m	76 m	129.5 m	150 m
最大掘削深度	1,524 m	6,000 m	10,668 m	12,000 m
最大搭載人員数	57 名	91 名	150 名	180 名
デリック	840 kips	1,333 kips	2,000 kips	2,100 kips
ドローワークス	米国 UNI 社 U15	NATIONAL- 新潟 1320-UE	NOV / ADS-10Q 4,600HP	NOV SSGD 5,750 HP
マッドポンプ	大原 OH-500 × 2 台	12-P-160 × 2 台	14-P-220 × 3 台	14-P-220 × 4 台

図 9 第六白竜に設置された Bowen 社のパワースイベル
出所：日本海洋掘削株式会社

表 5 初代パワースイベルと最新型トップドライブの比較

	Bowen ES-7	TDS-1500
開発年	1970 年代	2014
重 量	18,500 lbs	132,000 lbs
Torque	30,000 ft-lbs	105,000 ft-lbs
Load Rating	500 tons	1,500 tons
Pressure Rating	4,000 psi	20,000 psi

する種々のトラブルを克服し、世界で初めて効果的な使用方法の確立に成功した（図 9）。その卓越したパワースイベルの効果を見学するために、欧米諸国のコントラクターのエンジニアが第六白竜に乗船した記録も多数残されており、当時の注目度がうかがい知れる。

その後瞬く間に世界中のリグに搭載され、現在ではトップドライブとして NOV 社、Cameron 社、MHWirth 社などが製作を手掛けているが、Bowen 社の ES-7 と 2014 年に開発された NOV 社の最新モデルを比較すると（表 5）、その容量や寸法の進化が見て取れる。トップドライブの出現

はその後の傾斜掘りの技術進歩にも大きく貢献し、掘削作業そのものの時間短縮も実現した。

5.2 BOP Control System

浮遊式掘削リグの BOP のコントロールは、陸上坑井やジャッキアップリグでも使用されているハイドロリック方式からスタートした。しかしながら、稼働水深が 600 m を越えてくると課題が頻出してきた。水圧によりコントロールホースがつぶされる、コントロールホースと作動液の摩擦が増加する、深海の水温が低く作動液が固くなる、などの問題である。これらの課題を克服するために、Multiplex Control（以下、MUX Control）と呼ばれる方式が採用される。本方式は、ハイドロリック方式では水深とともに増加する信号伝達時間を水深に関係なくほぼゼロにすることを可能にする。逆に問題点は、コストが高いことやシステムの十分なメンテナンスが必要となることである。本方式の開発により、大水深域においても BOP の迅速な作動が可能となった。また MUX Control の進化により、リグが位置保持機能を喪失した際、操作 1 つでライザーパイプのエマージェンシーディスコネクトが可能となり、またリグと BOP 間の通信が途絶えた際には自動的にディスコネクトできるようになるなど、さまざまなセーフティバックアップ機能を保持できるようになった。

5.3 Heave-Compensation System

浮遊式の海洋掘削リグは風や波浪による動揺が避けられない。この動揺は大きく分けると、横方向の揺れ（ローリング）、縦方向の揺れ（ピッチング）、上下動（ヒービング）の 3 つになる。横・縦方向の動揺については、BOP 装置上部のフレックスジョイントおよびドリルパイプ自体の弾性変形によってある程度吸収可能であるが、船体のヒービングは、掘削作業や BOP 降下作業、ケーシング降下作業などに大きな影響を与える。この船体のヒービングを緩衝し、作業を円滑に行うために、浮体式のドリルシップやセミサブリグにはヒーブコンペンセータが搭載されている。

これは浮遊式リグの初期の頃、例えば第二白竜には搭載されておらず、ドリルストリング編成内に組み込まれたバ

図 10 クラウンマウントコンペンセータ
出所：ETESCO Takatsugu J

ンパーサブで船体のヒービングを緩衝していた。1970 年代初頭になるとヒープコンペンセータが採用されるようになる。JDC では 1974 年完成の第三白竜からドリルストリングコンペンセータ（以下、DSC）がトラベリングブロックの下に取り付けられ、油圧と空気圧による緩衝作用を利用して船体のヒービングを吸収した。その後第三白竜は、波長の長い太平洋でも極めて高い稼働率を示すこととなる。

その後リグの大水深化、大型化に伴い、より重量の重いストリングに対処するため、デリックのトップにコンペンセートする機能を持ったクラウンマウントコンペンセータ（以下、CMC）が登場し、大水深対応リグに搭載されていた（図 10）。インライン型の DSC と比較して大容量のハンドリングが可能となり、アクティブコントロールにより荷重変動が 5～10% だったものが 5% 以内に向上した。また Open Hole Drilling の際に、ドリルストリングやケー

図 11 シリンダーリグ
出所：MHWirth 社

シングを坑井に挿入する作業や、BOP のウェルヘッド上への設置を安定して行うことが可能となった。

1990 年代になるとドローワークスにコンペンセート機能を搭載した Active Heave Drawworks（以下、AHD）が登場する。船体のヒービングを相殺する方向にドローワークスのドラムを回転させることによりヒープコンペンセータの役割を果たしている。CMC の場合、容量が大きくなれば必然的に重量も大きくトップヘビーになり、船体の重心も上がってしまう。またデリックトップに位置することから、メンテナンスのためのアクセスにも課題がある。現在でも CMC は新造リグに搭載されているが、AHD を採用するリグも増加傾向にある。

ヒープコンペンセータ機能を装備したリグとして、シリンダータイプのリグも 1990 年に登場する（図 11）。ドローワークスでブロックを上げ下げするのではなく、大型のシリンダーによりドリルストリングを上下する。シリンダーはドリルフロアより下に位置し、ヒープコンペンセータ機能もあり CMC も不要なため船体の重心を低くできるメリットがある。ドローワークスのワイヤの Slip & Cut の手間も省け、また油圧駆動のため HPU は大型になるが冗長性に優れ、メンテナンス性もよいとされ、実績として 20 基程の大水深リグが採用している。

5.4 造船所の建造能力

掘削リグの進歩は掘削機器の進歩だけではない。その搭載を可能とした大型の掘削リグがあり、その掘削リグを建造できるだけの造船所の設備や人材があるからこそ誕生したとも言える。1970 年代に始まった掘削リグの第 1 次建造ブームの際には、1980 年代を中心に日本が掘削リグを含む大規模海洋構造物の建造で世界をリードし、100 基以上の掘削リグが建造された。その後、為替環境の変化や石油価格の低迷に伴う採算の悪化により多くの造船会社が大規模海洋構造物の建造から撤退した。2000 年代に入ってから第 2 次掘削リグ建造ブームを迎えたが、日本国内の造船所は大型化する掘削リグのプロジェクトには対応できなくなっており、代わって台頭したのが、韓国やシンガポール、中国の造船所であった。各国とも大型の海洋プロジェクトや掘削リグの建造に対応するべく設備の増強に力を入れてきた。特に韓国での実績が多いドリルシップの建造においては、一般商船の建造と同様に、装備された大型クレーンが超大型ブロックをドック内に搬入し、ドック内で一挙に接合することにより工期を短縮する工法が取られている。造船所が大型化する掘削リグの建造に対応可能となったことが、掘削リグの進化にも大きく寄与してきたと考えられる。

6. 未来リグ

6.1 「無人化」と「特化型」

未来のリグを考える上で、「無人化」と「特化型」の 2 つのキーワードを用意した。遠い未来を予測する場合と、現在の市場環境から現実的なところを考える。

まず遠い未来を見た場合には、リグは自動運転、すなわ

ち「無人化」というステージを目指すと考え。もちろん複雑な事象が絡み合う海洋掘削リグの運転は、操船や掘削作業も含め「無人化」は簡単なものではないが、方向としては搭乗人員をできるだけ削減する方向に進むと予測する。

もう1つは「特化型」リグの需要増である。大きな流れの中で未来を見た場合にはリグは一段と進化していくと考えられるが、当面のマーケット状況を見ると、オペレータやコントラクターが最新鋭の大型リグを新造することは考えられず、コストでシェール開発や陸上掘削に打ち勝っていくには掘削するロケーションやドリリングプログラムに合ったリグを改造か新造をして動員するというのがこれからの流れと予測する。

6.2 自動運転

まず「無人化」に向かうという流れの中で、導入される技術として考えられるのは掘削リグの自動運転である。自動車の自動運転は技術的に可能なレベルとなり、各所に取り付けられた多くのセンサーからもたらされるデータを基に自動で運転がなされている。掘削リグも同様に、坑内であればデータはこれまで泥水の中を通すパルスによって伝達されていたが、ドリルパイプの中にワイヤーケーブルを通すことにより大容量のデータがリグと坑内で送受信可能となった。Managed Pressure Drilling も坑内の圧力をコントロールする上で自動運転に寄与する技術だと思われる。また坑内だけでなく、リグの各所に取り付けられたセンサーからも種々の情報が集積されることで、坑内およびリグの情報を一元化し、自動で掘削が可能となる。ドリリングプログラムを最初に入力すれば、後は自動で坑井掘削が可能となることも夢ではない。実用化に向けてメーカーも実験的な試みを本格化させている。

6.3 予知保全

一方、メンテナンスについては、経験者の勘などに頼らず機器の保全ができる「予知保全」に向かおうとしている。現在のリグでのメンテナンスの取り組み状況を見ると、故障の都度修理や部品を交換する「事後対応」か、利用経験や実績に基づき部品ごとに耐用年数を定め、定期的に点検や修繕をする Time Base / Calendar Base と呼ばれる「時間基準保全」が行われている。後者の課題としては設定された期間中に故障を起こしてしまうと事後対応になってしまうこと、また状態が良くても期日が来れば交換しなければならぬという無駄が発生することであった。

この問題に対して、センサー技術や情報技術の進歩により、「状態基準保全」と呼ばれる保全方法の導入が始まっている。主に運転中の機器の異常の兆候を読み取ることで、計画的に処置をするという保全方法である。機器に取り付けたセンサーからのデータが、実績や分析に基づき設定されたしきい値を超えた際に部品を取り替えることで、継続して使用可能な部品を取り替えることが不要になり、コスト面でのメリットが生まれる。

さらに、将来の予測も加えた保全方法が「予知保全」である。現状把握だけではなく、人の経験や勘では対応しきれない複雑な事象も解析可能であり、センサーからの膨大

なデータをシステムが集積して、分析し、現状把握した上で、将来起こり得る事象を予測し、推奨されるアクションを我々に提示する。こうした「状態基準保全」や「予知保全」は、クルーによる定期検査や常時見て回ることの縮減を可能とする。

6.4 特化型

大きな流れの中で未来を見た場合にはリグは一段と進化していくと考えられるが、当面のマーケット状況を踏まえ近い将来を考えた際には、多機能な設備を備えたリグではなく、稼働するロケーションやドリリングプログラムにあったリグということになり、できるだけその掘削要求に特化しコストを抑えたリグの需要が増えると予測し、「特化型」を未来リグの1つとした。

特に最近では、掘削契約の締結から操業開始までの期間が短期間となる傾向にある中で、顧客要求に合わせるため、迅速に改造工事を実施して操業に向かうという機動性が求められる。

JDC の例だが、今夏 HAKURYU-5 がサハリンで稼働することになり、40 年以上の船齢を重ねたリグでも迅速にサハリン向けに改造工事を施し、稼働地に向かえたという機動性は、常日頃の整備を怠らず、Ready to go, Ready to drill という状態を維持してきたクルーとそれを支える本社技術陣の意識の高さ・技術力の高さが生かされたものであった。

新しいことだけが未来ではなく、現状のリグを顧客要求に合わせて操業するという「特化型」が当面のトレンドに

図 12 新セミサブ開発研究

出所：ジャパン マリンユナイテッド社

なると考える。

6.5 新セミサブ研究・開発

掘削リグの未来を見てきたが、JDCが現在まで培ってきたセミサブリグ操業のノウハウを継承するために準備をしているプロジェクトを最後に紹介する。JDCは2012年から2015年まで、造船所であるジャパンマリンユナイテッド株式会社と株式会社IHI社の3社で、新セミサブリグの共同開発を実施した。また本研究開発は、国土交通省の「海洋資源開発技術開発支援事業」の支援対象事業として採択されている。

本セミサブは「無人化」という未来まで見ているものではないが、マーケットにおいて求められる、掘削技術の進歩や規制動向に対応した最新掘削装置のための「プラットフォーム」となる。セミサブリグのデザインは搭載能力・復原性能・全体強度・全体配置・安全性などのバランスを取るのが難しく、デザインスパイラルを回しながら最適解にアプローチすることが求められる。そのため設計の段階では、大型の船体とデッキスペースを準備し、顧客要求に合わせてデザインをカスタマイズさせるという「特化型」のコンセプトを準備している。技術動向を監視しつつ、近い将来石油価格が回復した時点で市場の期待に応えられるよう、さらなるコスト低減を含め検討を継続中である(図12)。

7. ま と め

栈橋から始まった海洋掘削は、現在まで多くの困難と課題に直面してきた。その課題克服のために発展してきた要素技術があり、またその技術をリグ上という過酷な現場で、実用化に至るまで奮闘し挑戦を繰り返すことで、さらなる沖合、大水深、大深度というフロンティアを開拓してきた先覚者たちがいた。石油開発業界を取り巻く環境が厳しい中ではあるが、先覚者たちが作り上げてきた歴史の延長線上にいたいことを誇りに思い、より安全で効率よく作業ができる掘削リグを追求し、岸からは遠く離れた海洋での操業で培ってきた技術を次の世代にも継承していくことこそ我々の使命と感じ、結語としたい。

SI 単位換算係数

ft	×	3.048*	E - 01	= m
psi	×	6.894757	E + 03	= Pa
kips	×	4.5454	E + 02	= kg
US short ton	×	9.071847	E + 02	= kg

参 考 文 献

- 新田純朗・大門勝悦・谷口典孝, 1981: パワースイベルの実績について, 石技誌, **46**(5), 327-333.
- 河内紀雄, 1983: 海洋掘削装置発展の歴史, 石技誌, **48**(5), 378-384.
- 日本海洋掘削株式会社, 1983: 和して拓く - JDC15年の歩み.
- 林 廣一, 1988: 第一白竜の海洋掘削における歴史的意義の考察, 石技誌, **53**(4), 274-282.
- 古谷 昭人, 1995: 大水深掘削の技術課題と展望, 石技誌, **60**(5), 340-348.
- 横倉浩三, 野中 朗, 高田光芳, 1998: 大水深掘削リグの最新動向 大水深用掘削装置の技術革新およびDPSのクラスと信頼性の向上ならびに大水深掘削リグの最新建造事例, 石技誌, **63**(5), 376-387.
- 石黒 裕康, 2003: 2003年大水深掘削リグの最新動向 大水深石油開発ブーム, その後の動向, 石技誌, **68**(5), 389-396.
- Drilling Contractor, 2005: Rowan Companies marks 50th anniversary of landmark LeTourneau jackup.
- F.Jay Schempf, 2007: *Pioneering Offshore: The Early Years*, Offshore Energy Center.
- Mark J. Kaiser, Brian Snyder, Allan G. Pulsipher, 2013: Bureau of Ocean Energy Management, Offshore Drilling Industry and Rig Construction Market in the Gulf of Mexico.
- Transocean, 2013: What is a "7th Generation" Ultra-deep-water Drillship?, <http://www.aade.org/app/download/7236992560/AADE+DETG+10-17-2013+Andrew+Rennie++Transocean.pdf> (cited 2014/12/8).