報 告

地質・生産データを用いた JHN 陸豊 13-1 油田 第 6 次・7 次掘削 キャンペーン成果と知見*

－生産後期油田における油増産の取り組み例として－

吉田 宏生**・茂木 慎吾**・中川 和則***・山足 友浩**

(Received September 10, 2007 ; accepted November 9, 2007)

**Result and knowledge of the 6th and 7th drilling campaigns based on the integrated geological and
 reservoir studies in Lufeng 13-1 Oil Field in South China Sea**
 – As an example of efforts for enhancement of production in late stage of the oil field –

Kosei Yoshida, Shingo Mogi, Kazunori Nakagawa and Tomohiro Yamaashi

Abstract : Lufeng 13-1 Oil Field operated by JHN Oil Operating Company (JHN) is located in South China Sea. For enhancement of oil production rate, the 6th and 7th drilling campaigns were carried out from 2004 to 2006 on the basis of the geological and reservoir study. Ten horizontal wells were drilled in total on these campaigns. The wells on the 6th drilling campaign show rapid decrease of oil production rate with rapid increase of water cut after production start (categorized as Type 1). On the other hand, most of the wells on the 7th drilling campaign perform gradual decrease of oil production rate with gradual increase of water cut (categorized as Type 2) or stable oil production rate with much lower and stable water cut (categorized as Type 3). These types seem to be controlled by geological factors; permeability of the oil reservoir, presence of the low permeable zone such as mudstone or muddy sandstone just below the oil reservoir etc. The wells of Type 2 and Type 3 contribute to enhance oil production rate of the oil field significantly. The present oil production rate on the 7th drilling campaign accounts for nearly 50% of the total oil production rate in the oil field.

Two important knowledge concerning control factors of water cut and oil production rate in late development stage of the oil field are derived from the result of the 6th and 7th drilling campaigns.

- (1) Careful considerations of the presence of the low permeable zone acting as “barrier” or “filter” below the reservoir are needed as well as the oil reservoir quality in the target section
- (2) Precise skills of reservoir navigation are required to secure enough oil reservoir section contributing in stable oil production as planned.

Key words : water cut, oil production rate, low permeable zone, water coning, barrier, filter, reservoir navigation, late stage

* 平成 19 年 6 月 6 日, 平成 19 年度石油技術協会春季講演会
 開発・生産部門シンポジウム「油ガス層評価のためのデー
 タの最大活用」で講演 This paper was presented at the 2007
 JAPT Development and Production Technology Symposium
 entitled “Full utilization of various data for better reservoir
 evaluation” held in Yoyogi, Tokyo, Japan, June 6, 2007.

** 石油資源開発㈱探鉱本部 Japan Petroleum Exploration Co.,
 Ltd., Exploration Division

*** 石油資源開発㈱開発本部 Japan Petroleum Exploration Co.,
 Ltd., Development Division

1. はじめに

陸豊 (ルーフェン, LF と略称) 13-1 油田は, 香港から東南東の沖合約 250 km の南シナ海に位置する油田である (図 1)。本油田は, 1986 年, JHN 石油作業公司 (新南海石油開発㈱, 新華南石油開発㈱, 日鉱珠江口石油開発 ㈱) の共同操業会社) によって発見された。本油田は生産開始から 13 年あまりがたち, 既存生産井からの生産量減退が進行し, 平均水含有量は総生産流体中の

図1 LF13-1 油田位置図

94%と極めて高い状態に到達していることから、「生産後期油田」と言える。しかしながら、水平井の追加掘削等によって、現在も油の回収率を着実に増やしながら生産を続けている油田である。

1993年の第1次掘削キャンペーン以降、本油田ではこれまでに7回の掘削キャンペーンが実施され、合計35坑の開発井（うちサイドトラック8坑）が掘削された。第1次掘削キャンペーンでは傾斜井であったが、第2次掘削キャンペーン以降は水平井になった。1996年には本油田の生産ピークを迎え、油の日産量は25,000 bbl強を超えた。その後の油生産量の減退を補うために、1998年～2004年にかけて、第3次～5次掘削キャンペーンが断続的に実施された。さらに回収率を上げるため、第6次（2004年11月～2005年1月）および第7次（2005年11月～2006年9月）掘削キャンペーンが実施され、「生産後期油田」とはいえ、大幅に油を増産することができた。2007年5月末日時点の油の日産量は約11,000 bbl強

（合計27坑の生産井）である（図2）。生産井1坑あたりの油の日産量は平均400 bbl程度である。生産開始から現在まで約6,400万 bblの油が生産されており、回収率はすでに当初想定の2倍以上に到達している。

筆者らは、上述の第6次および第7次掘削キャンペーンにおいて、地質・油層スタディ、計画立案、掘削オペレーションおよびポストウェルスタディに携わった。本稿ではまず、生産後期の段階にある本油田開発の難しさ、ポイント、着眼点について述べる。そしてそれぞれのキャンペーン成果と比較検討結果について言及する。さらに地質・油層の観点から、増産によって得られた知見についてまとめる。また水平井掘削時の地質ナビゲーション技術についても、LWD（logging while drilling）データなどを用いて簡単に紹介する。

2. LF13-1 油田開発の難しさとキーポイント

本油田は、第三系中新統珠海層（Zhuhai Formation）の2500 m 砂岩油層（2500 m 層と略称）および2370 m 砂岩油層からなる。本稿では、第6次および第7次掘削キャンペーンの主要対象層である2500 m 層の話題に絞る。2500 m 層は、上位から下位に向けて26のサブレイヤー（SL-1～26）に区分される。2500 m 層のオリジナルの端面は単一であり、初期の油コラムは50 m あまりである。本層の貯留岩性状が不均質なこと、および既存開発井位置が偏在することから、油の生産に伴い、端面は極めて不均一に上昇している。図3で示されるように、現在構造縁辺部よりも構造中心部（特に開発井が位置している周辺）がスウィープされ、端面がより高いレベルまで上昇している現象が認められる。またスウェプトゾーン下位の泥岩層直下のレイヤーにも、油の取り残

図2 LF13-1 油田第1次～7次掘削キャンペーンにおける油の日産量の変化

図3 第6次・7次掘削キャンペーンの代表的な水平井ロケーション図および模式断面図

しが存在する。本油田ではこれまでに35坑の生産井が掘削されているが、本油層部における岩相の側方変化が激しいことから、地質モデルや油層シミュレーションによる油の残存領域やオイルコラムを正確に推定するのは難しい。また、本油田はボトムウォータータイプの水押しであることに加え、油層中部～下部にダルシーオーダーの高浸透性砂岩ゾーンが発達することから、油の生産に伴い、生産井へのウォーターコーニングが起きやすい。以上の諸点から、本砂岩油層開発に際してのキーポイントは、以下の2つが挙げられる。

- ① 水平井掘削後に急激な水含有量の上昇を起こさず、長期間にわたり油の安定生産（高い油含有量）を維持させることのできる「砂岩油層のスウィートスポット」を、地質・油層工学の両観点から、いかに的確に推定するか。
- ② 推定されたスウィートスポット内において、油の生産に寄与する貯留層の水平掘削長を稼ぐために、いかにして地質情報を正確に水平井掘削ナビゲーションに反映させるか。

①に関しては、これまでの地質・油層スタディから、仕上げ層の貯留岩性状および同層直下の低浸透率ゾーン（バリアーあるいはフィルター）の存在がポイントの1つになることは、定性的ながら考えられていた。第3章および4章では、第6次および7次掘削キャンペーン成果の比較を交えて説明する。②については第5章で述

べる。

3. 第6次および第7次掘削キャンペーンについて

3.1 成果概要

第6次および第7次掘削キャンペーンでは、それぞれ2坑（サイドトラック1坑含む）および8坑（サイドトラック5坑含む）の合計10坑の水平井が掘削された。第6次掘削キャンペーンでは、当初本油田西部に発達が期待される2500m層最上部（サブレイヤー1～5）の高浸透率砂岩が仕上げ対象層であった。しかし、水平井に先行して掘削されるパイロット坑によって、同地域仕上げ

図4 第6次・7次掘削キャンペーン坑井の油総生産量と水含有量変化図

図5 2500 m 油層上部のサブレイヤー区分と岩相変化 (例)

対象層部に良好な貯留岩性を持つ油層の発達のないことが判明したため、主要水平仕上げ層は、2坑ともサブレイヤー8（ダルシーオーダーの高浸透率細粒～中粒砂岩油層）に変更された。掘削の結果、2坑井とも主にサブレイヤー8から油を産出した。しかしながら、生産開始後から水含有量の急上昇が認められた（図4）。この結果、2007年5月の現時点において、第6次キャンペーンの坑井から生産される油の日産量は、油田全体生産量（生産井は合計27坑）の約6%程度に留まっている。

一方、第7次掘削キャンペーンでは、2500 m 層のサブレイヤー5（低～中程度の浸透率を有する極細粒～細粒砂岩層）が主要仕上げ対象層となった。掘削の結果、ほぼ予定通りに仕上げられ、いずれの坑井も油を産出した。本キャンペーンのロケーション選定に際しては、仕上げ層の貯留岩性評価スタディに加え、同層直下の低浸透率ゾーン（バリアーあるいはフィルター）の存在（図5）に着目した地質・油層スタディを実施した。特にサブレイヤー5直下の低浸透率ゾーン（サブレイヤー6, 7の泥質層）の存在が重要と考え、同サブレイヤーの泥質岩層厚マップ、垂直浸透率マップ、ネットグロスマップ、残存飽和率マップなどを用いて、低浸透率ゾーンの正確な分布、介在状況の把握をこの地質・油層スタディで試み、ロケーション選定に反映させた。その結果、同キャンペーンでは、サブレイヤー5を仕上げたほとんどの坑井で、急激な水含有量の急上昇は認められなかった。中でも6坑めに掘削された水平井（坑井C）は、生産開始約9か月後の2007年5月末日においても、本油田における1坑あたり平均日産油量の3倍以上のレートで安

定生産（水含有量は10～15%）を維持し、極めて良好な生産井となっている。既存生産井からの生産量減退が急速に進行する生産後期油田の中にあつて、2007年5月末時点で、第7次キャンペーンの坑井から生産される油の日産量は、油田全体生産量（生産井は合計27坑）の約5割弱を充当する成果となった（図2）。

上述のように、いずれの掘削キャンペーンも成功裏に終わったが、生産開始後の生産パフォーマンスにおいては、両キャンペーン間で大きな差が生じる結果となった（図4）。この差が生じた主な要因として、仕上げ対象層自体の貯留岩性状と同時に、仕上げ層直下の低浸透率ゾーン（サブレイヤー6, 7の泥質層）の存在（図5）が、大きく関与していることが改めて認識された。以下に、両キャンペーンの地質状況および生産パフォーマンスの差について、各キャンペーンの代表井を用いて詳述する。

3.2 代表井の地質状況と生産パフォーマンス

(1) 第6次キャンペーン 坑井A

図6は、坑井Aの坑跡に沿う地質断面図である。坑井AのLWD検層データおよび近隣坑井のワイヤーライン検層のガンマレイと浸透率のデータを一緒に示す。本井は本油田構造の西翼部に新掘井として掘削された。本井の水平仕上げ区間（サブレイヤー8）は、ダルシーオーダーの浸透率を有する高浸透率細粒～中粒砂岩である。同仕上げ区間の上位のサブレイヤー6, 7は泥質層を挟む低浸透率極細粒～細粒砂岩からなる。一方、下位のサブレイヤー9以深はほとんどが泥質層を挟まないダルシーオーダーの高浸透率細粒～中粒砂岩である。本井のパイロット坑および周辺の既存坑井データ解釈結果が

図6 坑井Aの坑跡に沿った地質断面図

図7 坑井Aにおける油の日産量, 水含有率の変化

図9 坑井Bにおける油の日産量, 水含有率の変化

図8 坑井Bの坑跡に沿った地質断面図

ら、本水平井掘削時の近隣の端面は、本水平井から数m程度下まで上昇していると解釈された。

図7は坑井Aの仕上げ後の生産パフォーマンスを示している。横軸は生産開始からの時間、縦軸は油の日産量と水含有率である。本井の生産開始直後の水含有率は0%, 油の日産量は2,000 bbl程度であった。しかしながら、油の生産に伴い水含有率の急激な上昇が認められ、約1か月後には水含有率は90%を超え、逆に油の日産量は数百 bblに減退した。その後はおおむね安定し、生産開始してから2年3か月経過した時点では、水含有率は96~98%程度、油の日産量は200~300 bbl程度を維持している。なお本井は生産開始直後、急激な水含有

図 10 坑井 C の坑跡に沿った地質断面図

量の上昇と油の減退が認められたことから、総流量を増やし油の生産量を維持していくため、ESP (electrical submersible pump) が使用された。

(2) 第7次キャンペーン 坑井 B

図8は、坑井Bの坑跡に沿う地質断面図である。パイロット坑のLWD検層データも一緒に示す。本井は本油田のほぼ構造頂部付近に新掘井として掘削された。本井の水平仕上げ区間(サブレイヤー5)は、数百mdからダルシーオーダーの中～高浸透率細粒～中粒砂岩である。下位のサブレイヤー6, 7は、比較的薄い数枚の泥質層(数十cm～1m弱)を挟む、低浸透率極細粒～細粒砂岩からなる。さらに下位のサブレイヤー8, 9などは泥質層をほとんど挟まないダルシーオーダーの高浸透率細粒～中粒砂岩からなる。本井のパイロット坑および周辺の既存坑井データ解釈結果から、本井掘削時には、近隣の端水面は本水平井から11m程度下のサブレイヤー8まで上昇していると解釈された。

図9は坑井Bの仕上げ後の生産パフォーマンスを示している(軸は図7に同じ)。生産開始直後の水含有量は0%, 油の日産量は2,000 bbl程度であった。1.5か月程度、水含有量は0%を維持し、油生産量も1,500 bbl程度であった。その後も水含有率の上昇はゆっくりであり、油の安定生産が得られたことから、自噴で生産が続けられた。生産開始の1年2か月間で、水含有量は55%程度までゆっくり上昇し、油の日産量も500 bblまでゆっくり減少した。その後、油の増産を目的として

図 11 坑井 C における油の日産量、水含有率の変化

ESPを導入することとなった。ESP開始後、水含有量は65%程度に上昇したものの、その後は安定し、油の日産量は1,000 bbl弱を維持しており、ESPによる流体の汲み上げ量増加後も、急激な水含有量の上昇が認められない。これは本井の特徴の1つに挙げられる。

(3) 第7次キャンペーン 坑井 C

図10は、坑井Cの坑跡にほぼ沿う地質断面図である。坑井Cパイロット坑のLWD検層データも一緒に示す。本井は本油田構造の南西部において、構造頂部から南西翼部に掘削されたサイドトラック井である。本水平井は100～数百ダルシー程度の低～中浸透率極細粒～細粒砂岩からなるサブレイヤー2, 3, 4, 5に掘削された。下位のサブレイヤー6, 7は、水平井のキックオフポイント付近では、比較的厚い2m程度の泥質層を挟む低浸透率極細粒～細粒砂岩からなる。水平井のTD付近に向けて、泥質層は比較的薄くなる。さらに下位のサブレイ

ヤー8, 9などは、泥質層をほとんど挟まないダルシーオーダーの高浸透率細粒～中粒砂岩からなる。周辺の既存坑井データ解釈結果から、本井周辺の端水面は、サブレイヤー7直下付近まで上昇していると解釈された。

図11は坑井Cの仕上げ後の生産パフォーマンスを示している(軸は図7に同じ)。本井の油層部は、坑井Aや坑井Bに比較すると浸透率が低いことから、油の生産量を維持するため生産開始時からESPが導入された。本井の生産開始直後の水含有量は数%, 油の日産量は1,500 bbl程度であった。その後、水含有量の上昇はなく、生産開始後9か月間たった時点でも、水含有量は5～15%程度であり、油の日産量も1,200～1,300 bblを維持している。構造頂部付近で10 m以上の油コラムが確認された坑井Bよりも、生産パフォーマンスは良好であり、第7次掘削キャンペーンで最も優秀な生産井となった。

3.3 代表井の地質状況と生産パフォーマンスの考察

(1) 坑井 A

坑井Aの水平仕上げ区間およびその下位は、低浸透率の泥質層をほとんど挟まないダルシーオーダーの高浸透率砂岩層からなることから、生産開始直後から、仕上げ区間のいずれかでウォーターコーニングが起きたと推察される。顕著なウォーターコーニングを防ぐバリアーの存在がないことによって、水含有量の急激な上昇を招き、相対的に油の日産量は急激に減退したと考えられる。

(2) 坑井 B

坑井Bの水平仕上げ区間直下の、サブレイヤー6, 7に存在する数枚の低浸透率泥質層が、生産開始後の顕著なウォーターコーニングを和らげるフィルターの役割を果たしていると推察される。それによって水含有量の急激な上昇は起きず、油の日産量の急激な減退は起きなかった。また、本水平井が構造頂部付近に掘削され、仕上げ層が中～高浸透率の砂岩層であったことが、1年2か月あまりESPを使わず、油を安定生産できた一助になっていると考えられる。

(3) 坑井 C

坑井Cのキックオフポイント付近では、掘削上の制限から水平坑位置が下がり、ウォーターコーニングのリスクは否定できない状況にあった。しかしながら、同地域に発達するサブレイヤー6, 7の比較的連続性の良い泥質層が、生産開始後の顕著なウォーターコーニングを防ぐバリアーの役割を果たしていると考えられる。それ以外の水平区間では、薄いながらも直下に発達するサブレイヤー6, 7の泥質層が、ウォーターコーニングを和らげるフィルターの役目をしていてと推察される。また、本水平井の仕上げ層が低～中浸透率砂岩層であることが顕著なウォーターコーニングを防ぎ、かつこのような油

層を水平坑で十分長い区間仕上げることによって、低浸透率のハンディキャップが相殺され、持続性の高い生産パフォーマンスを維持できる要因となっているものと考えられる。

3.4 油層シミュレーションによる検証

図12は、第7次掘削キャンペーン後、その結果により修正された油層シミュレーションモデルに基づいて推定された、2500 m層の砂岩率断面図と油飽和率(数年単位の年次展開)である。2500 m層の中部～下部油層で既存生産井が位置する地域を中心に、顕著な油飽和率の減少、つまりウォーターコーニングの進行が認められる。しかしながら、サブレイヤー6, 7の泥質層を含むその上位層(サブレイヤー1～5)では、幾つかの坑井で仕上げられているにもかかわらず、油飽和率の減少は相対的に進行が遅い。これは、サブレイヤー1～5の浸透性が相対的に低いことに加え、サブレイヤー6, 7が少なからず急激なウォーターコーニングの進行を防ぐバリアー(和らげるフィルター)となっていることが見て取れる。

4. 地質・油層工学的見地に基づく考察のまとめ

(1) 第6次および第7次掘削キャンペーンの掘削結果から、坑井は以下の3つのタイプに区分される(図13)。

タイプ1(坑井A): 急激な水含有量の上昇, 急激な油量の減少

タイプ2(坑井B): ゆっくり水含有量上昇, ゆっくり油量減少

タイプ3(坑井C): 極めてゆっくり水含有量上昇, 極めてゆっくり油量減少

(2) 水平井の場合、生産パフォーマンスを大きくコントロールする要因の1つとして、仕上げ層直下の低浸透率ゾーン(泥質層)の存在がある。水平井直下の低浸透率ゾーンが、時にはウォーターコーニングを和らげるフィルターとなり、時にはそれを防ぐバリアーの役目を果たしていると考えられる。本油田の2500 m層のサブレイヤー6, 7の低浸透率ゾーンは、その役目を担っている例の1つである。

(3) 生産パフォーマンスを大きくコントロールするもう1つの要因として、仕上げ層の貯留岩性状が挙げられる。水平坑がダルシーオーダーの高浸透率砂岩層であれば、よりウォーターコーニングが起きやすく、低～中程度の浸透率砂岩層であれば、それを遅らせることができる。ただし、低浸透率砂岩層の場合、水平坑でより長い区間を仕上げる必要がある。

(4) 仕上げ層が高浸透率砂岩からなり、その直下に低

図 12 2500 m 層の砂岩率断面図と油飽和率 (数年単位の年次展開)

図 13 3つの坑井タイプによる地質状況と生産パフォーマンスの差 (説明概念図)

浸透率ゾーンがほとんどない～全く発達していない地域では、坑井 A に代表されるようなタイプ 1 の生産パフォーマンスを示す。仕上げ層が高浸透率砂岩であっても、直下に比較的薄い低浸透率ゾーンが数枚存在する地域では、おそらく泥質層は断続的に発達していることから、フィルターとして機能するであろう。その結果、坑井 B に代表されるようなタイプ 2 の生産パフォーマンスを示す。仕上げ層が低～中程度の浸透率砂岩であり、少なくとも直下に低浸透率ゾーンが存在する地域では、おそらく泥質層はフィルターあるいはバリヤーとして機

能するであろう。その結果、坑井 C に代表されるようなタイプ 3 の生産パフォーマンスを示す。

5. 水平掘りの地質ナビゲーション

本油田では、地質・油層スタディに基づいて計画されたロケーションにおいて、油の生産に寄与する油層の掘削長をいかに稼ぐことができるかが、もう 1 つの重要なポイントである。ここでは、油の生産に寄与する貯留層の水平掘削長を稼ぐために、地質情報を正確に水平井掘削ナビゲーションに反映させる技術について簡単に述

図 14 坑井 C のコンポジットログ

図 15 坑井 C のリアルタイム・ログ (地層イメージ含む)

べる。

当該掘削キャンペーンにおいては、スライド掘進(ドリルストリングを回転させず、ダウンホールモーターの駆動力で掘進する方法)を行わずに坑跡コントロールが可能な、ロータリーステアラブルツール (RST)、および LWD ツール (いずれも Baker Hughes Inteq 社製) を使用し、リアルタイムで各種データを監視しながら

適宜坑跡をコントロールして、坑井のナビゲーションを行った。RST を用いることの長所は、ビットにベント角を付ける必要がないため、非常に安定した坑内状況が実現可能であり、大偏距水平坑掘削のリスクが低減されること、また、LWD ツールが常に回転しているため、方位指向性を持ったデータも欠損なく連続的に取得可能なことである。特に後者については、ガンマ線検層を用

いた地層イメージの取得が可能であり、地層傾斜等の情報もリアルタイムで取得可能なことから、坑井ナビゲーションを行うにあたって強力なサポートツールとなる。

図 10 に例示した坑井 C は、裸坑でサブレイヤー 5 を仕上げていた既存井の 8-1/2" 坑をプラグバックし、9-5/8" CSG シューから新規のマルチターゲット（サブレイヤー 1～3 と 5）へ向け、サイドトラックを行ったものである。新規ターゲットの一部は既存井の上位に位置するため、サイドトラック開始直後のビルドアップ掘進作業にあたっては、できる限り速やかに坑跡を上方へと向け、下位から上位の地層へ向かって、サブレイヤー境界のマーカーを認定しながらナビゲーションを行う必要がある。図 14 はこの区間を拡大したものである。坑井 C の例では、リアルタイムデータを駆使しつつ坑跡をコントロールし、117 m にわたって良好な油層（サブレイヤー 2）をとらえることができた。また、図 15 は、この区間の地層イメージを含むリアルタイムログである。Zone A はサイドトラック開始直後のビルドアップ区間（坑芯傾斜 90° 未満）、Zone B は油層をとらえるべく上方へ向かって掘進している区間（坑芯傾斜 90° 以上）、Zone C は油層をとらえ、傾斜を元へ戻しつつ油層内を掘進し続けた区間である。地層イメージを見ると、マーカー境界が Zone A では上に凸、Zone B では下に凸、Zone C では再び上へ凸となる様子が明瞭に認められる。

LF13-1 油田はすでに生産後期を迎え、ターゲットとなる油層は従来に比べ格段に開発の難易度が増している。例えば、サブレイヤー 1～3 といった新規開発層はおしなべて層厚が薄い（数 m オーダー）。また、サブレイヤー 5 のような比較的厚い油層であっても、早期のウォーターコーニングを避けるべく、できる限り油層の最上部に坑井を配置する必要がある。このような条件下での坑井ナビゲーションは、わずかな地質状況の変化であっても、坑井コントロールに与える影響は非常に大きくなり、対処に苦慮することが多い。しかしながら、上述のように最新のツールによって得られる詳細な地質情報を基に、以後の地質状況を素早く予測し、目的の油層をとらえるべく繊細かつ大胆に坑芯方位・傾斜の調整を行うのが、まさに開発後期油田における水平井掘削の地質ナビゲーションの醍醐味と言えよう。

6. 最 後 に

LF13-1 油田は、生産開始から 13 年余りがたち、既存生産井からの生産量減退は進行し、平均水含有量は 94% と極めて高い生産後期にある。このような状況の中、特に第 7 次キャンペーンの坑井から生産される油の日産量は、油田全体生産量の約 5 割弱を充当するという、大幅な増産成果を上げることができた。本キャンペーンの一連の作業に携わることのできた石油技術者の一員として、この上ない経験を得ることができた。地質・油層評価スタディにおいては、油の生産性（水含有量）をコントロールする大きな要因の 1 つと考える油層内の低浸透率ゾーンの発達に改めて着目し、油田全域でスタディを実施した結果、その重要性が実証された。また、水平井を正確に地質ナビゲーションするための技術進歩は、油の増産への大きな貢献であったと言えよう。また地質・油層スタディや水平井掘削時、それらに従事した現場や事務所の技術エンジニア同士の密なコミュニケーションが、本キャンペーンで増産成果を挙げることができた大きな要因の 1 つであることは言うまでもない。

謝 辞

本稿の公表を許可された新南海石油(株)新華南石油開発(株)日鉦珠江口石油開発(株)および CCLS (CNOOC China Limited-Shenzhen) に深く感謝の意を表す。JHN 石油作業会社の猪岡春喜氏には、本稿作成にあたり、便宜を図っていただき感謝する。石油資源開発(株)福本暁氏および鳥越隆弘氏、新華南石油開発(株)土井学氏、日鉦珠江口石油開発(株)塩澤有史氏および藤原勝憲氏には、本稿に目を通し有益な意見をいただき、心から感謝する。また 2 名の査読者から有益なコメントをいただき、本文は改善された。心よりお礼申し上げます。

SI 単位換算係数

bbl × 1.589874	E - 01 = m ³
inch × 2.54*	E - 02 = m
darcy × 9.86923	E - 13 = m ²
md × 9.86923	E - 16 = m ²

* は正確な値