資 料

JHN 陸豊 13-1 油田開発プロジェクトについて*

小林 功**・加来仙一朗***

(Received July 15, 1994; accepted September 19, 1994)

Development project for JHN Lufeng 13-1 Oil Field

Isao Kobayashi and Senichiro Kaku

1. はじめに

1984年11月, 中国海洋石油総公司是, 中国珠江口沖合い地を対象として「第2次国際入札」を開始した。1985年6月, 石油資源開発(株), 華南石油開発(株), 日本鉱業(株)の3社は珠口沖 16/06 鉱区へ応札し, 交渉の結果, 総公司との間で同鉱区に関する石油契約に調印し, 1986年1月1日同契約は発効した。日本側3社は連合で本プロジェクトの現地作業のために共同操業会社「JHN Oil Operating Company」(JHNC)を設立し, 探鉱作業を開始し, 探鉱第1段階で陸豊(ルーフェン, LFと略称)13-1, LF 13-2 構造で出油を見た。

探鉱第2段階では, LF 13-1 構造の評価を行い, 各種の技術的および経済的検討の結果を踏まえ, 次の基本方針を策定した。

- (1) 生産から貯油, 出荷までを一貫して行え, 経済的にも優れた浮遊式生産・貯油・出荷施設(FPSOU)を中心とした生産設備とする。
- (2) FPSOU 上で生産処理を行うこととし, プラットフォーム上の生産設備・機器は最小限に抑える。
- (3) プラットフォーム, 海底パイプライン, FPSOU, 一点繫留装置(SPM)から構成されるシステムとし, プラットフォーム上の主要設備は掘削関連設備とする。
- (4) プラットフォームは新規設計製作, FPSOU は中古タンカーの改造とする。

* 平成 6 年 6 月 10 日, 平成 6 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「海洋生産システム」にて講演

** 石油資源開発(株) 作井部

*** 石油資源開発(株) 生産部

これらの方針に従って入札を実施したが, 応札金額が大幅に予算を上回っていたため, 当時売りに出されていたシェル社所有の全搭載型プラットフォーム(名称: JULIUS)を購入し, 改造して使用することとした。その結果, 設備としては全搭載型プラットフォーム, 海底パイプライン・一点繫留装置(SPM)および, 浮遊式貯油・出荷施設(FSOU)となっている。

2. 立地条件と設計条件

2.1 油田位置

LF 13-1 油田は香港の東南東 250 km の海上に位置し, プラットフォームの中心は下記の位置にある(図 1)。

E: 116°09'25.126"

N: 21°35'15.989"

2.2 気象・海象条件

LF 13-1 油田の気象・海象条件を下記に示す。なお, 参考として, 購入した JULIUS プラットフォームの設計条件を併記する。

	LF 13-1	JULIUS
(1) 設計水深	146.5m	145.0m
(2) 気象・海象再限期待値	100年	175年
・最高波高	24m	18.3m
・潮流速	2.5knt	1.8knt
・風速(2sec)	100knt	73knt
(3) 気温		
・最高	36.1°C	23.9°C
・最低	7.2°C	7.8°C
(4) 地震	API Zone 1	API Zone 4

2.3 流体性状と処理条件

- (1) 原油性状
API比重 30.5°

図1 LF 13-1 油田位置図

流動点	38℃
曇り点	55℃
パラフィンワックス分	25 wt %
硫黄分	0.092 wt %
(2) ガス油比	8 SCF/BBL
(3) 処理条件	
生産量 原油	Max. 23,000 BPD
水	Max. 42,000 BPD
製品原油中の水分	0.5%
排水中の油分	50 mg/l 以下

3. LF 13-1 油田施設の概要

3.1 JULIUS プラットフォームの転用

LF 13-1 プラットフォームは、計画当初は新規設計・製作物を使用することでスタートし、基本設計が完了し、入札まで進んだが、施工方法、入札条件などの諸条件から、プロジェクトの存続すら問題となるほど高い応札金額が提示された。そのような状況の中で、シェル社所有の JULIUS なるプラットフォームが購入者を待っている旨の情報を得た。

JULIUS プラットフォームは1985年ロサンゼルス沖に設置されるべく韓国の現代重工業(株)によって製作されたが、住民運動などの事情から据付けることができないまま、製作完了後7年間にわたって韓国ウルサン工場

に保管された状態となっていた。

ジャケットなどの構造物を本来の目的地以外に使用することは、設計条件に大きな差がなければそれほど困難ではないが、生産処理設備について他地域に転用することは非常に希なケースであると言える。しかし、JULIUS の場合、程度の差はあるものの原油が wax 分を多く含み、高流動点を持っていることが LF 13-1 と共通しており、これに対する設備が準備されていたこと、および設計処理量は JULIUS の方が多かったことで、2 カ月半の検討の結果、設備改造および増強を施すことで転用可能との結論を得た。

なお、当初計画されていた浮遊式生産・貯油・出荷設備 (FPSOU) は全搭載型プラットフォームを転用することになったため、浮遊式貯油・出荷設備 (FSOU) に改められたが、中古タンカーを改造する点には変更はなかった。

3.2 プラットフォームの概要

LF 13-1 プラットフォームは、掘削システム、生産処理システムおよびユーティリティシステムを有する以下の 12 基の主モジュール構造物とこれらを支持するジャケット構造物からなっている。JULIUS プラットフォームからの改造および上載設備の内容は 4 章「プラットフォームの改造」で詳しく述べるが、下記の (10)~(12) のモジュールは JULIUS ではそれぞれ 2 式ずつあり、

図2 LF 13-1 プラットフォームモジュール構成図

* MODULE SUPPORT EXTENSION FRAME は示されていない

LF 13-1 ではこのうち 1 式を設置し、使用することになった。モジュール構造については図 2 のスケッチを参照されたい。

- (1) Module support extension frame
- (2) Module support frame
- (3) Well head module
- (4) Production module
- (5) Compressor module
- (6) Utility module
- (7) Power module
- (8) Engine module
- (9) Living quarters & helideck
- (10) Drilling substructure & skid base
- (11) Mud pump module
- (12) Mud storage module

3.3 ジャケット構造の概要

- 8 脚 16 (全スカート・パイル)
- ジャケット重量 : 14,000 tons
- ジャケットサイズ : 上部 61.0m×30.5m
底部 73.5m×91.4m
全長 155.4m

◦ 防食システム : アルミアノード

◦ スカートパイル : 16 本

- 72" 幅×2" 厚または 2.25" 厚×115.8m 長
(各パイルとも 20m 延長)

ジャケットは 16 本のスカートパイルのみで支持され、レグ内を貫通する杭形式ではなかった。一部のレグ上部は掘削用清水タンクとし、ほかはロンチング時の浮力ブイとして使用した。

3.4 パイプライン・浮遊式貯油出荷設備 (FSOU) の概要

FSOU はプラットフォームの北西 2km に位置し、6 インチのパイプライン、ライザーシステム、一点繫留ブイでプラットフォームと接続されている。

パイプラインは原油の高流動点を考慮し、保温が施された。また、生産停止時にパイプラインをディーゼルで置換したり、生産再開時にパイプラインの昇温を目的としてプラットフォームと加熱したディーゼルのやりとりをするための設備が設置された。

FSOU は、125,000 DWT の中古タンカーを改造、補修したもので繫留システムとしてボトムタレットシステムが追加増設された。

(1) パイプライン (フレキシブル・タイプ)

- 1) 耐 用 年 数 : 15年
- 2) パイプライン総延長 : 2,066 m
- 3) サ イ ズ : I.D. 15.24 cm
O.D. 29.16 cm
保温厚 3.30 cm
- 4) 最高使用圧力 : 10,204 kpa
- 5) 運 転 温 度 :
入口(プラットフォーム側) 82°C
出口 (FSOU 側) 65°C

(2) FSOU 主要設備

- 1) 繋留用ディスクネクタブ式ボトムタレット
- 2) LACT システム
- 3) 貯油タンク 880,000 BBL
- 4) 出荷用タンカー繋留設備
(40,000-100,000 DWT)
- 5) 原油保温設備
- 6) パイプライン置換用ディーゼルタンク (100 kL)
- 7) 居住区, ヘリデッキ, その他

4. プラットフォームの改造

プラットフォームは他油田で使用すべく製作された物であり, 設計条件の違いから構造・上載設備ともに種々の改造が必要となった。構造については, 据付け後の改造は技術的にも, 経済的にも非常に困難であることから, プラットフォームが保管されていた韓国現代重工業(株)ヤードで実施した。一方上載設備については, 据付工事に必要となる構造を除いて, すべて現地での据付完了後に洋上で実施した。

4.1 ジャケット構造物の改造

ジャケットの主な改造は, 設計波高が6m 高くなったことによる応力の増加に対する補強工事が主体となった。

- (1) ジャケット中層部から底部の水平材, 斜材に 24" のコンダクターパイプを半割にして溶接補強した。
- (2) ブレース材を追加した。
- (3) 底部付近, 特にスカートパイルガイドの取り付け部周辺の水平材, 斜材についてパンチングシャー, 挫屈・疲労に対する補強として, リングプレートを溶接した。
- (4) 底部のコーナー部の水平材補強部材は, 構造材が錯綜しており, リングプレートの取り付けができないため, 部材両端に小口径のバルブを取り付け, 水を注入し, 昇圧して対処した。
- (5) 転倒モーメントが増大したことで, 当初付けられ

ていたマッドマットの必要接地面積が足りなくなったことから, これを撤去し, 約2倍の面積の物と交換した。

- (6) 不要なライザーなど受圧面積を増す部材を撤去した。
- (7) 使用するクレンバージが設計当初想定した物と異なり, パイルの吊り上げ可能高さが変わったため, パイルガイドの位置を変更した。
- (8) その他, 据付け工事のために必要となる足場, 吊りワイヤー, ジャケットを沈降するための注水用マニホールド, パイル挿入時のモニタリング用カメラガイドなどを取り付けた。

これら改造工事はすべて空中作業であり, 作業足場, 簡易エレベータ取り付けなど, 仮設工事に多大の労力が費やされた。

4.2 スカートパイル改造

杭根入れ長が10m 深くなったことで, 追加分を杭の低応力部に接続するための加工が必要となった。また, 杭先端部には, パイプガイド両端部に取り付けられたラバー製ダイヤフラム (浮力維持用) をスムーズに貫通するための槍状プレートを着装した。パイル輸送はクレンバージの能力を考慮して, 2分割して輸送することとした。

4.3 上載設備の改造

4.3.1 JULIUS プラットフォーム既存設備の概要

JULIUS プラットフォームの既存生産設備について簡略化したスケッチを図3に示す。

油・ガス・水の分離および原油処理設備としては, 3系列のテストセパレーター, 2系列2段のプロダクションセパレーター, これらのセパレーターの上流で原油を加熱するための熱交換器, 移油・パイプライン送油用の原油ポンプがある。プラットフォーム上で分離された原油は, パイプラインで約16マイル離れた陸上基地へ送られる。原油中の水分をさらに落とすための電気式トリーターは陸上の基地に設置される予定であった。

JULIUS プラットフォームの対象となった原油もかなり流動点が高く高粘度であるため, 生産処理のために原油の加熱が必要であり, この加熱に加圧した温水を使用し, 熱交換器で原油をあたためている。熱源としては, タービン発電機の排熱を利用している。原油および油分を含む廃水を扱う配管, 機器には保温が施され, 配管にはヒートトレース (電気ヒーターケーブル) が行われていた。

分離されたガスは, 昇圧され油層に圧入されたり, タービン発電機の燃料として使用されるほか, 原油や油分の多い廃水を扱うタンク・ベッセル類のブランクットガス

図3 JULIUS プラットフォーム生産設備概念図

として使用され、余剰分はフレアに送られる。廃水処理設備には、CPI セパレーター、フローテーションユニットが採用され、処理された水はポンプで圧入井に圧入されるかサンプケーソン経由で海中に放流される。

クローズドドレインや廃水設備で分離・収集された油は、ダーティーオイルシステムの中の廃油用のタンクに集められポンプで生産設備に回収される。

ユーティリティー設備のうち電力については、ディーゼル／ガスを燃料とする 3,600kW のタービン発電機 5 基、ディーゼルエンジンの 1,000kW 非常用発電機 1 基、掘削用の 1,000kW ディーゼルエンジン発電機 2 基がある。このほか海水システム、飲料水や掘削用水の清水システム、圧縮空気システム、ディーゼル燃料システム、冷却水システム、消化設備などが搭載されている。なお、JULIUS の場合、ディーゼルは陸上よりパイプラインで輸送されることになっていた。

運転の制御は原則としてローカルで、運転監視は SCADA による中央監視、緊急急断については PLC を使用した集中管理となっていた。

4.3.2 生産施設の改造方針

JULIUS プラットフォームを改造するに当たって、以下のことを考慮し、既設の設備をできるだけ利用し、改造を最小限に抑える方針がとられた。

- (1) 種々の理由から、上載設備の改造は海上で行うこととした。

- (2) 海象条件が厳しいため、できるだけ荷重を増やすことは避ける。
- (3) 生産開始までのスケジュールが非常にタイトであり、これに加えてプラットフォーム上に滞在できる工事人員数に限りがあるため、改造の作業量をできるだけ減らす。
- (4) 開発予算上の問題（コストをできるだけ低減させる）。

具体的な例として、以下のようなことが挙げられる。

- ・既存の機器・配管は LF 13-1 の処理条件を満たせるようであれば最適サイズ・機能でなくともそのまま使用する。
- ・旧式・老朽化は新規設置・取り替えの理由としない。状態が非常に悪く、修理の方が時間と費用がかかる場合は新規設置・取り替えを行う。
- ・不要となるガスコンプレッサーや、使用しない発電機など撤去作業が大掛かりになり、時間と費用がかかるものは撤去しない。
- ・改造により不要になる配管が大量に発生する。設備を分かりやすくするには撤去の方が良いが、運転上支障のあるものを除いて、撤去しない。
- ・オペレーションで対応できるものは、多少の不便があっても改造を加えない。
- ・原油処理に電気式トリーターを採用することになったが、新規購入・設置は行わず、既設のセパレーター

を改造する。

- LF 13-1 用に必要な生産設備の構成が JULIUS と異なったため、既設のセパレーターを様々な用途に転用した。この結果、既設のベッセル数だけでは生産セパレーターを2系列持つことができなくなった。これに対して、故障／点検の際は生産を停止するか、あるいは油水分離をせずに FSOU へ送り、FSOU にて静置分離することとした。

4.3.3 改造要因と改造内容

(1) 原油の曇り点・流動点が高いことによる改造

- ヒートトレースの増強

ベッセルは原油を扱うものであっても従来ヒートトレースが施されていなかった。これにトレースを行った。

- 熱媒システム、原油加温装置の増強

LF 13-1 では JULIUS に比べ電気負荷が少なくなったことから、熱媒（加圧熱水）システムの熱源としてタービンエンジンの排熱だけでは不十分な状況となったため、電気ヒータ（2,000kW）を新たに設置した。また、電気式トリーターの処理のため、トリーターの上流に熱交換器を1基追加した。ただし、この熱交換器は JULIUS 用の陸上施設に準備されていた既製品である。

- ホットディーゼル、熱油（水）循環

生産設備の立ち上げ時に坑井流体を導入する前に設備内の機器を加温しておくことや、一時的な生産停止の際に設備をホットスタンバイの状態としておくためにディーゼル、温水、あるいは設備内に保持している原油を循環できるよう配管を改造した。

- パイプライン・チュービングの保温

パイプラインは保温付きフレキシブルパイプを採用し、チュービングは二重構造の断熱チュービングを深度 800～900m から上部に使用した。これらは新規設置である。

- パイプラインディーゼル置換、坑井スクイバックシステム

LF 13-1 原油の曇り点は 55℃、流動点は 38℃ と高く、生産停止が起きた場合、パイプラインやチュービングの閉塞を起こすことになる。この対策として、生産停止後パイプラインやチュービング内の原油が固化する前にディーゼルで置換する方式を採用することとした。それぞれの置換に使用されるポンプは、パイプラインはパイプライン送油用ポンプ、チュービングは既設の坑廃水圧入ポンプを使用することとした。ディーゼル置換までの許容時間は余裕をみて2時間と設定された。また、このような置換に供す

るディーゼルの貯槽として、パイプライン置換用には新規に 100kl のタンクが建造され、スクイバック用には既設のセパレータの内1基が転用された。

(2) 低ガス油比に起因する改造

- 窒素ガス発生装置の追加

圧力容器の運転圧力をコントロールするためには原油から分離される量のガスでは足りないこと、廃水処理設備用のブランケットガスの供給源がないことから窒素ガス製造装置を準備した。

- 燃料タンクの追加

発電機のタービンにディーゼルの専焼として利用することになり、既設の燃料タンク容量では不足と思われたため（特に掘削作業が行われている時）、250kl のタンクを1基追加することとした。

(3) 原油性状に起因する改造

- 電気式トリーターの設置

原油試験の結果から LF 13-1 原油はエマルジョンを生成しやすい傾向にあり、この対策として既設のセパレーターを電気式原油トリーターに改造した。

- 原油ポンプの取り替え

運転温度における原油の粘度が JULIUS の場合よりも低いため、既存のスクリュポンプでは必要吐出圧を得られず、ポンプを交換した。ただしモーターは既設を使用した。

(4) 不要設備の撤去

JULIUS を転用する際に、次のような理由からいくつかのモジュールあるいは機器が撤去された。

- 海象条件が厳しいため、できる限り上載重量を減少させる必要があった。

- 設備改造にあたって新規に搭載する機器があり、そのためのスペースをあける必要があった。

- LF 13-1 用の設備として必要のない機器／モジュールがあり、これについて買い手が見つかった。

以上のような理由により、撤去された機器／モジュールは、掘削モジュール2式のうち、1式分、ガス処理設備のうちアミン装置、グリコール装置である。掘削モジュールの撤去の跡地には、ディーゼル置換用のタンク、および燃料タンクが設置された。また、ガス処理装置の跡地には先に述べた追加の熱交換器が設置された。

(5) その他

- 必要吐出圧力の増加（温水循環ポンプ）
 - ーポンプの取り替えを行った。
- パイプラインサイズの違い
 - ーピグランチャーの取り替えを行った。
- PLC／SCADA のソフト改造

図4 LF 13-1 プラットフォーム生産設備フロー図

E-101: Production preheater, E-201: Diesel oil heater, C-102: Production separator, C-101: Squeeze back tank, G-101A, B/G-201: Treater feed pumps, G-102A, B/G-202: Separator drain pumps, E-164: Treater feed Preheater, C-202: Electrostatic crude oil treater, C-201: Crude oil surge tank, G-131A, B/G-132A, B: Crude oil transfer pumps, D-582: Diesel fuel tank, D-581: Diesel service tank, C-131: Pig launcher.

E-301/E-302: Test separator preheaters, C-301/C-302: Test separators, G-311A, B: Dirty oil recycle pumps, D-311/D-312: Dirty oil storage tanks, D-141A, B: Produced water CPI, G-142A, B: Flotation overflow pumps, D-143: Flotation units, G-143A, B: Flotation underflow pumps, D-144: Produced water surge tank, G-144A, B: Jet water pumps, C-147: Production drains receiver, G-147A, B: Production drains pumps.

・機器の撤去・新設、モジュールの減少による構造への影響

- 一新設機器のために構造を補強した。
- 一掘削モジュールの跡地に新設ディーゼルタンク用のサポートフレーム、フロアを新設した。

改造後の生産設備の概要を図4に示す。

5. FSOU の改造

船齢15年のタンカーを転用することで、船体はもちろん、推進装置、配管系、ボイラーなどの修理、タンカー船首タンクを改造し、繫留用ディスコネクタブル式ボトムタレットを設置した。また、LACTを中心に出荷用フローティングホース、水処理装置および新規配管を設置した。

6. プラットフォーム据付け工事

1992年2月1日から開始されたジャケット改造工事は、10日遅れの6月19日にサイトに到着後、MII（マクダー

モットインターナショナル）社によって開始され45日遅れの9月25日に完了した。

据付工事の遅れの最大の原因は、台風による荒天待機が30日も発生したことに加えて、工事開始時のジャケットロッチングから、着底までの間に前述した潮流と「ソリトン」による予期せぬ潮流の変化が20～30分間隔で発生し、浮遊状態のジャケット位置をコントロールすることができなくなり、ジャケットレグ、水平材が半潜水式クレーンバージ（2,500S. tons）の脚に衝突して損傷、またスカートパイル打設開始当初、データからは予想できなかった海底面付近の非常に堅い層を打ち抜く際、突然層が抜けパイルが急激に沈降し、ガイド取り付け部のジャケット水平材を損傷、クランプをセットしセメンチングにて補修するなど、予定外の工事が発生したことが挙げられる。

上部構造の据付は、クレーンのブーム長の制約から、設置場所に応じてシフトし、それでも届かない場所はジャッキを使用する設計となっていた。

8月3日から開始されたモジュール搭載においても台風による荒天待機によって計画どおりの作業進捗が妨げられた。

1992年と1993年の2年間にわたる工事期間で兩年とも、6月末に最初の台風が接近し、その年初の待機となっており、同年最後の台風は、1992年が9月末、1993年は10月末となっている。

7. フックアップ・改造工事

7.1 工事の経過

1992年9月末のプラットフォーム据付が完了後、10月20日に上載施設のフックアップ工事を以下のスケジュールで実施した。

- (1) 1992年10月1日－1992年11月20日：第1次フックアップ工事

本工事は、搭載されたままとなっている居住区およびユーティリティ(用役)施設のスタート・アップを目的としたもので、工事開始当初はアコモデーション・ベッセルを使用した。20m/secを超す季節風の中で船酔いのためダウンする者が続出し、これを断念した。一時はトイレもない所で、簡単な料理のみといった状態の中での作業が2週間も続いた。

- (2) 1992年11月21日－1993年3月7日：第2次フックアップ工事

掘削設備の立ち上げを目的として実施した。1カ月遅れて掘削を開始した(当初予定は2月1日開始)。

- (3) 1993年3月19日－1993年10月22日：第3次フックアップ工事

掘削と並行して生産設備の改造を含む、フックアップ工事を実施した。

- (4) 1993年10月8日：生産開始

主要生産設備の完了後、生産を開始した。

7.2 フックアップ・改造における問題点

フックアップ工事における問題点は以下のとおりであった。

- (1) 購入時の調査では見つけられなかった機器・配管・バルブ類の劣化・欠陥、基礎鋼材・主軸などの変形などがテストをするまで発見できず、材料手配が後手になった。
- (2) 必要な技術者・資機材の入手に時間がかかる地理的条件にあった。
- (3) JULIUS がすべて米国での使用のために設計・製作されており、すべてが国際的なメーカーの製品ではないこと、かつ設計から10年経っており、機器ベ

ンダーすら存在しなくなっていたり、人員派遣依頼にも時間がかかるなど時間の読みが非常に困難であった。

- (4) 計装・電子機器が使用不可となっている物が多かった。
- (5) 据付工事終了後、予算的な問題でL/Qの立ち上げ前にクレーンバジが撤退したこと、掘削作業と重複して工事が実施されたことで、工事作業員の居住区確保が困難となった。
- (6) 生産開始予定日までの工期上、エンジニアリングと工事が並行して進む形にせざるを得なかったことから、資機材の必要量の全体を工事業者との契約前に知ることができず、ターン・キーベースでの発注ができなかった。

8. パイプライン敷設工事

1993年5月8日にFSOU側のSPM設置から開始し、低気圧接近によって2日の待機が発生した以外は、天候には恵まれた。8本のアンカーライン設置の際、地盤支持力が想定した値より小さく、アンカーの傾斜角設定のため、技術者を呼び寄せなければならなかった。パイプライン敷設は、FSOU側から始め、最後にプラットフォームのライザー管内を引き上げ、6月22日に敷設は完了したが、耐圧テスト時にパイプラインに施された保温のために、管内流体の温度が海水温とつりあって、管内圧力が安定するまでに時間がかかり、後日の再実施となった。

9. ま と め

LF13-1プロジェクトを振り返って、今後類似のプロジェクトがあった場合留意する点を列記する。

- (1) 購入時の調査
 - ・購入品目確認の方法
 - ・保管状態と稼働テストの方法
- (2) エンジニアリング期間と工期の問題
- (3) 改造工事計画と実施場所
- (4) 輸送船団の選択と経済性
- (5) サイトの事前調査(設計用)と工事前調査(工事着工前)のあり方
- (6) 波高・潮流・風データの現地調査期間(蓄積データ数の問題)
- (7) 台風などによる荒天待機の考え方
- (8) 会社作業と業者工事の進め方
- (9) 海外業者との契約と入札図書