講 演
 Lecture

第 1 回メタンハイドレート海洋産出試験における フローテストシステムの概要について*

寺尾 好弘**・星野 雅史**・矢部 いつか**・松澤 真樹***

(Received September 3, 2012 ; accepted November 13, 2012)

Outline of Flow Test System for 1st Offshore Methane Hydrate Production Test

Yoshihiro Terao, Masashi Hoshino, Itsuka Yabe and Maki Matsuzawa

Abstract : In phase 1 of the Japan's Methane Hydrate Exploitation Program, the method to decrease the hydro static pressure by use of a submersible pump (the depressurization method) was recognized to be essential for the production technique. In phase 2, the basic design for the down hole production test system for offshore production tests was implemented by combining the technologies for DST (drill stem test) that are usually used in conventional oil and gas offshore production test operations. In respect of the surface production test system, the basic plan related to the necessary production facilities was designed and the specification of the floating drilling vessel suitable for the necessary facilities was also investigated. Regarding the produced water treatment system, framing of the conceptual design, organizing the regulations related to discharge, and examination of the environmental assessment have been investigated.

Keywords : the down hole production test system, the surface production test system, the produced water treatment system

1. はじめに

東部南海トラフのメタンハイドレート (MH) 胚胎堆積物は浅部・軟弱・未固結の砂泥互層であり、水深 800 ~ 1,200 m の海底面下 100 ~ 300 m の深度に存在している。ガスを生産するためには MH 層を減圧し、6 ~ 10 MPa という大きなドロダウンを機械的に弱い地層に作用させる必要がある。MH 層からの産出流体は、分解範囲が浅い生産開始直後においては極少量であるとともに、MH 分解による吸熱反応のため、産出流体の温度は低くなる。

この結果、低温・低圧・低生産量の生産ガス・水が地表に到達し、緩やかに生産量が増加するという特徴があり、これに対応するフローテストシステム (坑内試験システム、試ガス処理システム、水処理設備) について、商業的に利用可能な技術と資材を基に技術検討を実施したので紹介・説明する。

2. 第 1 回海洋産出試験の目的、期間 およびロケーション

2.1 目 的

第 1 回メタンハイドレート海洋産出試験 (以下、本試験) は、生産手法として「減圧法」を適用し、それによって地層中のメタンハイドレートの分解挙動を把握し評価することを主要目的とする。そのため、フラクチャリング、熱刺激、インヒビター圧入などの坑井刺激・増進回収策の適用は考慮しない。

また、生産性の評価、分解領域の把握、地層の物性値変化、および試験条件となる貯留層の初期物性や状態確認のためのデータ取得に注力する。

2.2 期 間

2013 年 1 月 ~ 3 月にかけて実施予定。

2.3 ロケーション名およびロケーション

渥美沖鉾山 北緯 33 度 56 分 東経 137 度 19 分

3. 掘削および坑井緒言

3.1 掘 削

本試験実施の前年 (2012 年 2 月 ~ 3 月) にモニタリング井 2 坑を掘削し、コアリング、検層ログおよびモニタリング装置の設置作業を含む仕上げ作業を完了した。さらに、

* 平成 24 年 6 月 7 日、石油技術協会春季講演会開発・生産部門シンポジウム「多様化するガス開発～天然ガスを求めて」で講演 This lecture was presented at the 2012 JAPT Development and Production Technology Symposium entitled "A wide variety of gas developments" held in Akita, Japan on June 7, 2012.

** (独) 石油天然ガス・金属資源機構 Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

*** 日本海洋掘削株式会社 Japan Drilling Company

生産井においては、テスト区間を除く 17-1/2" 坑区間まで掘削・13-3/8" SG 降下を完了し、坑井サスペンドした。

本試験期間では、生産井に再度エントリーし、テスト区間を掘削してサンドコントロール機器設置後、坑内試験ストリングを降下してフローテストに移行する計画である。

3.2 坑井緒言

水深：約 1,000 m-MSL

仕上げ深度：約 1,262～1,320 m-MSL

貯留層深度：1,262-1,330 m-MSL

有効層厚：68 m

孔隙率：平均 42%

貯留層温度：12.7-14.3℃ @ 1,262-1,330 m-MSL

貯留層圧力：12.6-13.2 MPa @ 1,262-1,330 m-MSL

浸透率：MH 層固結状態 1 md 以下，MH 層未固結状態 100 md 以上

生産性：生産初期の生産量は低い。分解が進むにつれて穏やかに増加

生産ガス組成：CH₄ 99.9%，CO₂ 0.1%，C₂H₆ 極微量

生産水組成：メタンハイドレート分解水（純水）および地層水からなる

4. フローテストシステム

システムデザインの基本的な数値は、以下の表 1 フローテストシステムデザイン数値表のとおり。

4.1 坑内試験システム

坑内試験システムの設計に当たっては、以下の 4 つの条件を満たすことを前提に、上述のシステムデザインの基本的な数値を元に、「ちきゅう」の BOP に適合した SSTT のランディングストリングの設計、坑内電動ポンプ・ポンプシュラウドの設計、坑内ヒータの設計、坑内試験編成図面の作成、作業手順書の作成、リスク評価を目的とした HAZOP (Hazard and Operability) などを行った。

その結果、緊急時ライザー切り離しに対応するためのサブシーテストツリー (Subsea Test Tree: SSTT)・減圧のための坑内電動ポンプ (Electrical Submersible Pump: ESP) とケーブル対応パッカー・フローアシュアランス確保のための坑内ヒータ (Down Hole Induction Heater: IH)・生産挙動推定のための温度圧力センサおよびフローテストスト

リング中の機器装置類を制御・監視するための船上装置を組み合わせたシステムとなった。

坑内試験システムの機器装置類の概要については、図 1 坑内試験編成図面、図 2 SSTT 編成図面、図 3 パッカー編成図面および図 4 ヒータ編成図面参照。

(1) メタンハイドレート層に対して 6～10MPa の減圧をフローテスト期間中に維持可能である。

(2) 坑内試験編成内フローアシュアランスの確保ができる。

(3) メタンハイドレートの生産挙動推定のための坑内温度・圧力測定ができる。

(4) 緊急時坑井離脱への対応ができる。

これらの編成の中で課題点であった緊急時ライザー切り離しのためのサブシーテストツリーの電気ケーブル接続方法をブレイクアウエイ方式に決定、ガス排出ラインのフローエリアを大きくするためドリルパイプサイズを 6-5/8" OD へ変更、パッカー設置後の圧力シールテスト用プラグを新規設置、電動ポンプシュラウドの設計変更ならびに坑内試験編成をグラベルバック編成につなぎこむなどの検討を行い詳細設計に反映した。

この詳細設計に従い、坑内試験ストリングを構成する各要素の製造・開発を発注しその管理を行うとともに、システムとしての機能確認および環境安全性、作業安全性、確実性、効率性などを確認するための試験実施のための基本計画書を策定した。

4.2 試ガス処理システム

試ガス処理システムの設計に当たっては、低温・低圧・低生産量の生産ガス・水を効率的に分離・計量することができる、海洋における浮遊式掘削船の動揺に対して装置が安定的に運転できる、ガス排出ラインおよび水排出ラインの両方で精度の高いガス / 水計量を実現するため 2 トレインの設備とすることを前提に、上述のシステムデザインの基本的な数値を元に、緊急遮断弁 (Emergency Shut Down Valve: ESDV) の設計、海洋産出試験海域の気象・海象条件を用いた浮遊式掘削船の動揺計算を基にした縦型二相式セパレータの設計、P & ID の作成、作業手順書の作成、ガス排出ラインおよび水排出ラインのラインサイズ・運転圧力設計、危険領域設計、スラグ流計算、リスク評価を目

表 1 フローテストシステムデザイン数値表

Parameter	Train	Range		Unit	Comments
THP (Choke Line)	Water	0	207	bara	3,000 psi ESP dead-head
THT (Choke Line)	Water	3	6	℃	
THP (Test Tree)	Gas	0	10	bara	1MPa back pressure
THT (Test Tree)	Gas	3	6	℃	
GasQ (transient)	Gas	1,000	100,000*	m ³ /day	(35 Mscf/d–3.5 MMscf/d) short term
GasQ (average)	Gas	-	30,000	m ³ /day	(1.0 MMscf/d)
GasQ	Water	-	1,000	m ³ /day	(35 Mscf/d) Gas entrainment in water
WaterQ	Water	10	500	m ³ /day	(50 bwpd–3200 bwpd)
WaterQ	Gas	-	10	m ³ /day	(50 bwpd) Water carry over in gas
SandQ	Water	-	10	ppm	Particles up to 200 micron
Methanol Flow Back	Water	-	-	-	2 m ³ methanol spotted after each shut-in

図1 坑内試験編成図面

図2 SSTT 編成図面

図3 パッカー編成図面

図4 ヒータ編成図面

的としたHAZOP (Hazard and Operability), パーナーにおける騒音ならびに熱伝播設計などを行った。

その結果, 緊急遮断弁, サンドフィルター, チョークマ

ニホールド, 縦型二相式セパレータ, 流量計, タンク, パーナーおよび配管などを組み合わせたシステムとなった。

試ガス処理システムの機器装置類の概要については, 図5 試ガス処理装置配管図面, 図6 緊急遮断弁 (ESDV) 図面, 図7 水排出ライン二相式セパレータ図面, 図8 ガス排出ライン二相式セパレータ図面および図9 ガスおよび水計量メータおよび仕様参照。

緊急遮断弁と電動ポンプならびに坑内ヒータとの緊急停止動作を含む相互連動については, 作業の操作性・柔軟性・安全性を考慮し, 互いに連動しない設計とし, 互いのデータをLAN ケーブルによるネットワークで監視することにより, マニュアルにて対応することとしている。

4.3 生産水処理設備

生産水処理設備は, 低温・低塩分・メタン飽和 (貧酸素)・濁りなどの想定される生産水の特性を考慮した処理を行い, 排水基準を満たしていることを確認した後, 海洋へ放出する予定である。また, あらかじめ 500 kl/day の生産水を海洋に放出した場合の温度, 塩分, 溶存メタン, 溶存酸素および懸濁物質濃度などのシミュレーションモデルを構築して数値計算を行っている。生産水処理設備の概要については, 図10 生産水サンプリング・分析フロー図面参照。

図5 試ガス処理装置配管図面

図6 緊急遮断弁 (ESDV)図面

図8 ガス排出ライン二相式セパレータ図面

図7 水排出ライン二相式セパレータ図面

環境影響に関する、シミュレーション結果については、図11 水温変化図、図12 塩分変化図、図13 溶存メタン変化図、図14 溶存酸素変化図、図15 懸濁物質濃度変化図参照。

本年度は適切な浮遊式掘削船を想定して洋上放出することを前提に、生産水処理設備について詳細設計を行ない、海洋産出試験を通して、生産水処理設備を評価するための水質分析計画を策定している。また、生産試験中の環境影響を確認するための採水および水質分析も計画している。

5. 検討課題

坑内試験編成については、ハイドレート再生成防止・流動様式の室内実験・数値シミュレーションを行う必要がある。

フローテストシステムは非常に複雑なシステムであり、緊急離脱計画も含めた作業手順の検討を予め十分行う必要

Liquid Turbine Meter

Line Size: $\frac{3}{4}$ " & 1-1/2"

Flow Rate:

$\frac{3}{4}$ " $\Rightarrow$ 10 - 82 m³/day

1-1/2" $\Rightarrow$ 82 - 981 m³/day

Gas Turbine Meter

Line Size: 1" & 2"

Flow Rate:

1" $\Rightarrow$ 28 - 1,756 Nm³/day

2" $\Rightarrow$ 991 - 100,000 Nm³/day

Positive Displacement Meter

Line Size: 2"

Flow Rate:

2" $\Rightarrow$ 2 - 2,039 Nm³/day

図9 ガスおよび水計量メータおよび仕様

図 10 生産水サンプリング・分析フロー図面

図 11 水温変化図

図 12 塩分変化図

図 13 溶存メタン変化図

図 14 溶存酸素変化図

図 15 懸濁物質濃度変化図

がある。

生産水については海洋に排出する計画であるが、環境保全・法律遵守を十分考慮して検討する必要がある。

6. ま と め

一般的な海洋における試油・ガス作業に用いられるDST技術と組み合わせることで坑内試験編成を設計した。

浮遊式掘削船の動揺を考慮し、低温・低圧・低生産量などの特性を持った生産流体を安定的に分離・計量できる試ガス処理装置を設計した。

低温・低塩分・メタン飽和（貧酸素）濁りなどの特性を持った生産水処理ができる生産水処理設備を設計した。

謝 辞

本研究は、メタンハイドレート資源開発研究コンソーシ

アムの一環として行ったものである。発表を許可いただいた経済産業省およびMH21に謝意を表する。

引 用 文 献

日本海洋掘削株式会社, 2011: 2011年度メタンハイドレート開発促進事業に関する委託研究報告書「第1回海洋産出試験に関わる坑内試験システムのための開発及び運用」。

AWT International, 2011: 2011年度メタンハイドレート開発促進事業に関する委託研究報告書「Study of Surface Flow Test Systems」。

㈱テルナイト, 2011: 2011年度メタンハイドレート開発促進事業に関する委託研究報告書「第1回メタンハイドレート海洋産出試験における洋上廃水処理システムのエンジニアリング」。