海洋油田における最適開発システム選定プログラム*

伊 原 賢**

Evaluation Program for Offshore Development System

By

Masaru IHARA

Abstract: Regarding recent development for new concepts and technology concerning offshore oil field development (especially in marginal offshore oil field), possible offshore development systems become more various, which require many experts for various subjects such as hydrodynamics, structural engineering, marine engineering, system engineering and meteorology in addition to drilling engineering and petroleum engineering when applied systems are selected among many possible ones.

The purpose of this project is to develop the assistance tool program named "EPODS" (Evaluation Program for Offshore Development System) for the decision maker of oil field developments. The program is expected to be used at various stages of the decision making such as preliminary stage before bidding for a concession, conceptual study stage after acquisition of the concession and final study stage before start of actual development design.

1. はじめに

(1) 近年、発見される海洋油ガス田の規模は多くの文献 (BAROUCH and KAUFMAN, 1975; J.P.L. RATZER, 1984など) で紹介されているようにますます小規模 (マージナル) になっている傾向があり、用いられるプラットフォームのタイプはジャケットのみならずセミサブ・タンカーの改造等その形態は多岐にわたって来ている。

これに対し、①鉱区・利権取得時、②探鉱作業中、③開発計画策定時、④エンジニアリングの評価に、幅広い候補技術からより短時間で特定条件 (自然環境条件、油田条件、操業条件等) に最も適した開発システムを選定できる技術を確立し、それを企業意志決定の一助としたいとの認識が強くなって来ている。

(2) 上記ニーズに応え、石油公団は昭和60年度よりスタートした石油開発技術センターの特別研究「小規模海洋油田開発技術」の主要研究テーマとして、このように小規模化した海洋油田の特定条件に適した開発システムの選定という複雑な思考判断のプロセスをコンピュータ・プログラム化する研究に着手した。本研究は60年度

より5ヶ年計画で実施しており、石油開発会社11社^{註1}との共同研究という形態をとっている。

2. 人工知能とデータベースシステムの接続

(1) 幅広い候補技術に関する膨大なデータを手際よく処理する手段として、この種の問題解決には人工知能の応用分野であるエキスパートシステムの適用が最も効率的であることが検討の結果明確となり、専門知識の表現機能とそれに対応した推論機構を有する人工知能ツールとして東洋情報システムの「SUPER-BRAINS」を導入した。

(2) 開発システム選定のための知識判断の基となるデータベースシステムには、将来的な拡張性を有し、メンテナンスが容易なリレーショナル型であるIBMの「DB2」を導入した。

(3) 人工知能とデータベースシステムは各々「SUPER-BRAINS」、「DB2」という別個の市販ソフトウェアを利用しており、そのままではプログラム間のインターフェースはとれない。このため、両者を接続するインターフ

* 第52回石油技術協会総会、開発・生産部門シンポジウムにて講演

** 石油公団石油開発技術センター開発技術研究室

註1：アブダビ石油㈱、出光石油開発㈱、インドネシア石油㈱、AOCエネルギー開発㈱、合同石油開発㈱、住友石油開発㈱、石油資源開発㈱、帝国石油㈱、日本鉱業㈱、新日石油開発㈱、三井石油開発㈱

図1 SUPER-BRAINS と DB2 の接続フロー

注1) TSO=Time Sharing Option

注2) LP=Linkage Program

注3) AP=Application Program

注4) APのみ実行されて、DB2にアクセスすることが可能

エースプログラムを開発した。インターフェースプログラムは LISP, FORTRAN という異種言語を結ぶ機能を有するリンケージプログラム (LP・アセンブラ言語) と呼び出すべき表の名、データの属性等を規定するアプリケーションプログラム (AP・フォートラン言語) から構成されている。プログラムの流れは、図1に示すように SUPER-BRAINS ↔ LP ↔ AP ↔ DB2 の順で相互に接続する。

3. EPODS の基本仕様

3.1 概 念

海洋油田における最適開発システム選定プログラム (Evaluation Program for Offshore Development System; 以下 EPODS と略す。) の概念図を図2に示す。

EPODS は、4つの処理部 (候補システム選定部、設備コスト算定部、掘削コスト算定部、操業コスト算定部) と各処理部をコントロールし、それらの処理結果を利用して総合評価を行う、システム評価部から成り立っている。

(1) 候補システム選定部では4.1の(2)で後述するクラスター位置決定ルーチンにより設定された坑口配置に基づき、自然環境条件、油田条件、操業条件、システム限定条件に対し、技術的に適用可能な幾つかの開発システム案を選定し、これらに要素機器の実績数を示した実績データベースを用い、適用性の大きい順に技術的な順位付けを行う。

(2) 設備コスト算定部では、(1)で選定された開発システム案の設備の仕様を決定したり、その製作費、納期、運搬・据付費および運搬・据付期間の算定を行う。

(3) 掘削コスト算定部では掘削・仕上げ費、改修費、その所要日数の算定および掘削装置の選定を行う。

(4) 操業コスト算定部では掘削・仕上げ費、改修費を

EPODS 概念図

図2 EPODS 概念図

除く操業費の算定を行う。

(5) システム評価部では(1)~(4)の処理結果を用い総合的に評価するために坑井掘削、開発設備建設といった開発工程の作成、開発計画の経済指標の算定等を行うルーチンが組み込まれている。

また、ユーザー・オリエンテッドなプログラムとするため入出力機能として、自然環境条件、油田条件等の表形式による一括入力、まとめとしての推論結果一覧表やグラフィックを利用したシステム概念図、システム概略仕様等の出力を行う、いわば本プログラムのメインルーチンの機能の役割を果たしている。

さらに、開発システムの技術的な選定のみの実行とかコスト計算をも含んだ全処理実行といった処理内容の選択を行う。

EPODS の全体処理フローを図3に示す。

3.2 構 成

EPODS の構成図を図4に示す。

各処理部では、開発システムを構成する各要素機器に関するデータベース (実績データベース、要素データベース等) が、2.の(3)で前述したインターフェースプログラムを介して人工知能ツール内で接続される。

図4 EPODS 構成図

人工知能ツール内に格納された知識ベースは問題を認知し、その解決に必要なデータベースを選択し、その結果を判断する役割を持ち、データベースシステムは人工知能の命令によりデータを検索し、計算する役割を持つ。

4. EPODS 1 (61年度版)

4.1 設計および作成

(1) EPODS の第1版である本プログラム‘EPODS 1’は図3に示す候補システム選定部(クラスター位置決定ルーチンおよび候補システム選定ルーチン)および設備コスト算定部の1部(設備仕様決定/設備製作コスト算定部)から成る。

設備コスト算定部に接続される要素データベースについては、とりあえず EPODS 1 が動くために簡素化したものとし、そのコストについては運搬・据付費等を含んだ概略値を入力してある。

(2) クラスター位置決定ルーチンでは、与えられた各坑底位置に対し、クラスター註2(クラスター井)、サテライト(サテライト井)の組み合わせにより、どのような坑口配置が可能か検討する。

現在5種類の坑口配置の中から特定油田の坑井の坑口配置が決定される。その5種類とは、

- ① 全坑井が1つのクラスターからの傾斜掘りで掘られるケース(CASE 1)
- ② 1つのクラスターおよびサテライトにより開発するケース(CASE 2)
- ③ 2つのクラスター(内1つがメインクラスターで他はサブクラスター)により開発するケース(CASE 3)
- ④ 2つのクラスターおよびサテライトにより開発するケース(CASE 4)
- ⑤ すべてサテライトとし中央のマニホールドにサテライトからの生産流体を集めたり、中央のマニホールドからサテライトに水圧入したりするケース(CASE 5)

このルーチンは BASIC で作成されている。図5にそ

の出力例を示す。

(3) 候補システム選定ルーチンでは、クラスター位置決定ルーチンの出力である坑口配置や油田の自然環境条件、操業条件等にしたがって技術的に適用可能な開発システム案について、下の①～⑤の知識を用い推論し、適用性の大きい順に技術的な順位付けを行う。

このルーチンは、人工知能を利用しており、

- ① 海洋油田開発システムを構成する要素機器に関する知識
- ② 各要素機器を組合せて開発システムを編成する知識
- ③ 各要素機器の現状の技術的適用限界に関する知識
- ④ 各要素機器の現状実績を基にその適用性を判定する知識
- ⑤ ①～④の知識を用いて推論された数千という開発システム案の内、プログラムのまとめ方やコンピュータの計算時間の上から経済評価の対象として、ジャケット、ジャッキアップ、セミサブ、タンカー、バーンという5種のプラットフォームタイプ毎に上位5つ程を選択する知識

が、事象、仮説、ルールといった形で蓄えられている。

上記④の知識は、候補システム選定部に接続されている実績データベースを検索した結果を判定する知識である。実績データベースについては4.2の(1)で後述する。

(4) 設備仕様決定/設備製作コスト算定部では、(3)の⑤の知識を用いて5種のプラットフォームタイプ毎に絞り込まれた開発システム案について各々必要なデッキ面積、デッキ上に設置する設備の内容等からプラットフォームおよびその上載設備の仕様決定、製作コスト算定を行う。このルーチンも人工知能を利用しており、

- ① 開発システムの機器構成に対応して必要な要素データベースを選定し、仕様、コスト、納期を求める知識
- ② ①の各コストを合計し、総設備コストを算出する知識
- ③ 処理結果を出力する知識

が、ルール、処理といった形で蓄えられている。

上記①の知識は、設備コスト算定部に接続されている

註2：集団井、坑口を1ヶ所に集めた坑井群

表示処理 (CASE 1) Y

- : クラスタまたはマニホールド
- : 新掘生産井
- : 既存生産井
- : フローライン
- : 傾斜堀

1. クラスタ位置
X → 5.51 Y → 5.67
平均深度 → 3055m
2. 傾斜堀可能範囲
KOP → 300m
最大傾斜角度 → 70°

表示処理 (CASE 5) Y

- : クラスタまたはマニホールド
- : 新掘生産井
- : 既存生産井
- : フローライン
- : 傾斜堀

1. クラスタ位置
X → 4.72 Y → 5.89
平均深度 → 3055m
2. 傾斜堀可能範囲
KOP → 300m
最大傾斜角度 → 70°

図5 クラスタ位置決定ルーチン出力例

要素データベースを呼び出すための知識である。要素データベースについては4.2の(2)で後述する。

4.2 データベースの作成

61年度までに作成したデータベースは大きく分けて実績データベースと要素データベースがあり、前者は候補システム選定部をサポートし、後者は設備コスト算定部をサポートする。また各データベースは各々単独のデータベースとしての利用も可能である。

(1) 実績データベースは、候補システム選定部で各要素機器の適用性判断を行う際に必要となる現状実績数をデータとしてサポートするものであり、61年度までに海底機器、ジャケット、セミサブ、ジャッキアップ、F(P) SO、バージ、ライザー、パイプラインの計8つの要素毎に各々母表、分布表、密度表を作成した。分布表は母表

を基に、例えば、海域×水深のメッシュ上に実績数を書き入れたものである。一方、密度表は、分布表を例えば水深に対し積分したもので、61年度作成した適用業務プログラムを実行することにより、母表より自動的に作成され、この表が候補システム選定部をサポートする。

実際は密度表において、横軸の海域を穏、中、厳に分け、厳海域で実績があれば中／穏海域にも適用可能であるという考え方に基づき、実績数の大小に応じて確信度^{註3}という-1~1の数字を割り振り、点数付を行っている。ここで、-1とは要素機器の適用性は全くない(絶対否定)、1は適用性は確定である(絶対的肯定)、0はそれを使っても構わないという意味である。

註3：推論に伴う不確かさの尺度(確からしさ)を言い、人間が持つ確信の度合を近似的に表せる。

データソースは公団保有資料、各種文献、雑誌調査、既存データベース等を利用している。

(2) 要素データベースは、候補システム選定部で選定された開発システム案のコスト、工期（納期）を算定する際に必要となるデータをサポートするものである。61年度はジャケット、ジャッキアップ、セミサブ、F(P)SO、パイプライン、ライザー等計18の要素毎に一時的に概略値を記したものを作成した。

要素データベース用データ収集としては、浮体上のプロセス設備、SPM^{註4}、ジャケットの1部、ジャッキアップ型 MPS^{註5}、セミサブ型 FPS^{註6}、船型 FPS、パイプラインの各要素につき、その仕様、コスト納期等を求める委託調査を実施しており、今までの作成分をこの委託調査を参考にして順次改訂していく予定である。

表 1 EPODS 1 テストラン結果

・入力条件

坑口配置 タイプ	CASE 1	CASE 5
配置	クラスター(1ヶ所)	サテライト(8ヶ所)
海域	北 海	東南アジア
水深	85m	120m
生産量	36,000 BPD	24,000 BPD
坑井数	18(クラスター上)	8(サテライト)
離岸距離	70km	120km

注) 図5参照

・出力結果のまとめ (CASE 1)

候補システム	確信度	コスト (百万円)
(坑口/掘削/処理/ IORジャケット)+(パイプライン)	0.40	21,521
(坑口/掘削/処理/IORジャッキ アップ)+(パイプライン)	0.20	17,437
(海底坑口)+(掘削/処理/ IORセミサブ)+(パイプライン)	0.33	25,798

(CASE 5)

候補システム	確信度	コスト (百万円)
(フローライン×8 海底坑口×8) +(処理/IORジャケット)+(パイ プライン)	0.37	17,552
(フローライン×8 海底坑口×8) +(処理/IORセミサブ)+(パイプ ライン)	0.35	18,515
(フローライン×8 海底坑口×8) +(処理/IOR/貯油タンカー)	0.35	16,031

注) IOR: Improved Oil Recovery

註4: Single Point Mooring, 一点係留システム

註5: Mobile Production System, 移動式生産システム

註6: Floating Production System, 浮遊式生産システム

表 2 EPODS 1 推論結果

候補システム名	JCKET-TYPE-1			
確 信 度	0.40			
コスト(百万円)	22,041.4			
納 期 (月)	18.0			
	エレメン ト 1	エレメン ト 2	エレメン ト 3	エレメン ト 4
確 信 度	0.40	0.40		
コスト(百万円)	19,115.2	2,926.2	0.00	0.00
納 期 (月)	18.0	7.5	0.00	0.00
エレメント1 坑口 掘削 処理 IOR ジャケット				
エレメント2 パイプライン				
エレメント3				
エレメント4				

4.3 EPODS 1 テストラン

EPODS 1 のテストラン結果を表1に示す。

本表は坑口配置を4.1の(2)で前述した CASE 1, CASE 5 の場合に設定して、各々北海、東南アジアの仮想油田を想定しており、北海の仮想油田の場合、海上坑口装置およびオプションとして掘削装置、水圧入またはガスリフト設備を搭載したジャケットで生産流体を処理し、パイプラインにて輸送するという開発システムがジャッキアップ、セミサブに比べ、技術的な順位は高い。一方、コスト的に最も安価なシステムはプラットフォームタイプかジャッキアップ型のものである。

また、候補にあがった開発システムの構成設備を機能（坑口、処理、貯油輸送）別にブレークダウンした、いわゆるエレメントの確信度(技術的点数)、コスト、納期を示した EPODS 1 推論結果を表2に示す。

5. 今後の展開

EPODS 1 を基に62年度版 EPODS 2 を作成していく上で検討すべき課題として、知識、データのリファインを通じてのパフォーマンスの向上およびシステム評価、掘削費算定、操業費算定、確信度の割り付け等のプログラム拡張を行う予定である。

参 考 文 献

BAROUCH and KAUFMAN, 1975: IIASA Conference on Energy Resources.

Future Small Offshore Oilfield Developments SPE 12988, 1984.

J.P.L. RATZER, Esso Expro, 1984: The Future Outlook for North Sea, *Oil and Gas Jour.*

North Sea Development SPE 12984, 1984.

Ocean Industry, Nov. 1984: UK offshore operator predict activity to the year 2000.

OGJ, 3.12. 1984: The Economics of Marginal Offshore Oil Discoveries in China, *Oil and Gas Jour.*

RINA, 1984: The North Sea—The Future Outlook.

石油公団技術部, 1985: Phase II Development North Sea Technology and Economics, 昭和59年度開発技術調査 (Goodfellow Associates Ltd.)

石油公団石油開発技術センター, 1986: 昭和60年度 石

油開発技術センター年報.

石油公団石油開発技術センター, 1987: 昭和61年度 石油開発技術センター年報.

石油公団, 石油開発会社11社, 1986: 昭和60年度 小規模海洋油田開発技術共同研究報告書, 研究課題「最適開発システム選定プログラムの研究開発」.

石油公団, 石油開発会社11社, 1987: 昭和61年度 小規模海洋油田開発技術共同研究報告書, 研究課題「最適開発システム選定プログラムの研究開発」.