

海洋開発システムの実証実験段階の基本設計における
リスクアセスメント手法に関する研究

Research on risk assessment method for FEED of ocean development system
at demonstration experiment phase

学籍番号 47146656 山崎 佑輔
指導教員 尾崎 雅彦 教授

(平成 28 年 2 月 2 日発表予定)

Keywords: 海洋開発システム, HSE, リスクアセスメント, HAZID, シャトルシップ方式 CCS

Keywords: Ocean Development System, HSE, Risk Assessment, HAZID, Ship-based offshore CCS

1. 序論

1.1 研究背景

各国では他国の政策に影響されない安定的な資源供給源を持つため、領海・排他的経済水域 (EEZ)・大陸棚において、エネルギー・鉱物資源の探査・開発の取り組みが進められている[1]。具体例として、メタンハイドレート開発事業、洋上風力発電事業、海洋鉱物資源開発事業、エネルギーの低炭素化を目的とした CO2 回収・貯留 (Carbon dioxide Capture and Storage: CCS) 事業等がある。これらの事業は、研究段階を経て、続々と実証実験段階に移行している。一方で、メキシコ湾の Deep Water Horizon 号等の事故をうけて、安全な事業推進を目的とした環境・労働安全衛生 (Health, Safety and Environment: HSE) 全般にわたるリスクをコントロールする HSE マネジメントシステムの構築、およびその中核をなすリスクアセスメントが重要視されている[2]。

1.2 本研究の必要性・目的

プロジェクトのライフサイクルに対して関与する人や確定項目と仕様変更許容幅の関係は Fig.1 のように表される。フィージビリティスタディ (FS) と事前基本設計 (pre-FEED) などの段階では、関与する人や確定項目量は少ない分、仕様変更許容幅が大きい。一方で、詳細設計以降では、関与する人や確定項目量が増えるため仕様変更は困難となる。つまり、FS と pre-FEED において実施されるリスクアセスメントは、プロジェクトの具体化が進む前に、基本的なコンセプトや方向性が正しいかを確認する重要な役割を持ち、適切に実行される必要がある。

本研究では「海洋開発システムの実証実験段階の FS と pre-FEED における技術分野」(以下、本研究対象とする) に対するリスクアセスメントを取り扱う。リスクアセスメントを施す上で過去事例や経験が重要な情報源となるが、本研究対象には新規性のある技術が含まれるため、得られる情報は限られる。しかしながら、粗摘みながらも重大ハザードおよび事故項目を漏れなく抽出する事 (以下、網羅性とする) が、本研究対象に対するリスクアセスメントにおいて求められる。本研究対象に対するリスクアセスメント手法は確立されておらず、基本的に専門家や関係者のブレインストーミングによるリスク抽出 (石油開発事業者へのヒアリング、[3]より) が実施されるため、特に本研究対象においては、個人差が生じ易く、また評価作業が膨大となる事と考えられる。本研究目的は、過去の知見に依存できない状況で、網羅性を担保し、効率的にリスク抽出を実現するリスクアセスメント手法の構築が求められている中、それらの諸問題に適応したリスクアセスメント手法の提案および提案手法の実用性評価、改善を行なうことである。手法の実用性については、提案手法を用いてシャトルシップ方式 CCS プロジェクトを題材にケーススタディを実行後、関係者によりケーススタディ結果を基に評価を仰ぐ。なお、ケーススタディでは、提案手法のうち従来手法と類似部分を除いた工程である HAZID を実行し、同時に手法の改善も行なう。

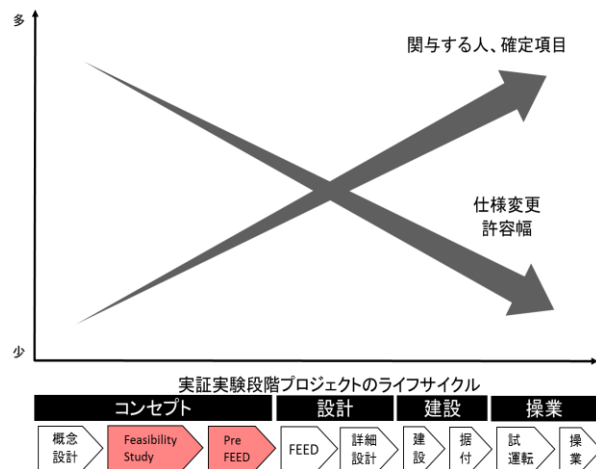


Fig. 1 Lifecycle vs tolerance and source

2. リスクアセスメント手法の提案

2.1 手法の要件

網羅性を担保し、効率的にリスク抽出が可能であることが手法の要件である。網羅性に関しては、項目と定量的評価（発生頻度と結果の重大性）を適切に評価することで担保される。効率に関しては、複数の専門家による評価機会に要する時間を極力削減することで向上を図る。

2.2 手法の基本計画

手法の要件を満たすためには、ハザード（危険源）を特定する工程である HAZID (HAZard Identification) 実施のための原案を少人数にて作成後、網羅性を担保する複数の専門家や有識者による評価機会を最低限に留めて評価を行う方法が望ましいと考える。そのためには、個人差を軽減すべく特に HAZID の原案作成工程がシステムチックであることが求められる。そして、網羅性を補完するため複数人での評価機会を、適切なタイミングにのみ設けることが効率の観点から望ましい。以上を踏まえた、本研究対象に対するリスクアセスメントの従来手法および提案手法のフローチャートを Fig.2、Fig.3 に示す。両手法とも対象および評価対象明確化、HAZID、リスク分析、リスク評価から構成される。両手法の大きな違いは、HAZID にある。

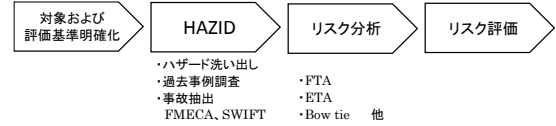


Fig.2 Flowchart of conventional method

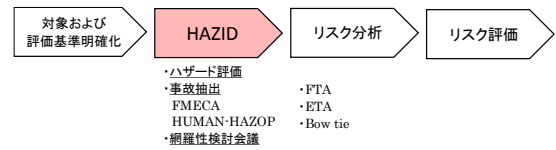


Fig.3 Flowchart of proposal method

提案手法では事故発生と発展過程を Fig.4 のように表した。海洋開発システムの全ての事故は、装置の不具合と人間（作業員）の不安全行動に起因するものと分類でき、装置起因事故はハザードと装置影響と故障モード、人間起因事故はハザードと人間影響とヒューマンエラーの組み合わせにより生じる。以上を踏まえて、それぞれの項目を網羅するリストを作成した。そのリストを組み合わせマトリックス化することで、ボトムアップかつシステムチックな評価が可能になる。さらに膨大なマトリックスに対して、各リストのスクリーニングおよび集約を繰り返すことで効率を担保する。また、網羅性を担保するため適切なタイミングで専門家による評価機会を設ける。なお、事故の発展に関しては、従来手法に基づいて被害抑制機能の動作成功、失敗を考慮した Event Tree で表す[4] [5] [6] [7]。

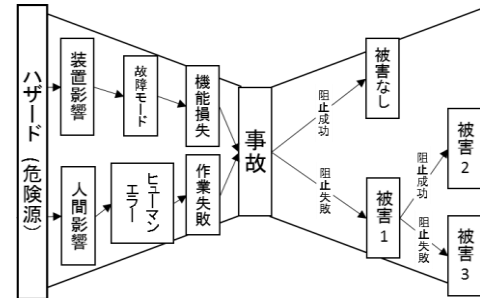


Fig. 4 The process of accident occurrence and escalation

2.3 手法の特徴

提案手法は、粗摘みながらも重大ハザードおよび事故項目を漏れなく抽出する事に重点を置いているため、装置や作業は重要項目を抜粋して評価を行う。また、リストをマトリックス化したことによる原案作成時の個人差を軽減した仕組みに加え、適切なタイミングで専門家による評価機会を設けることで網羅性を補完しつつ効率よく実行可能である。従来手法との具体的な違いを Table.1 に示す。

Table.1 Difference between conventional method and proposal method

	従来手法	提案手法
HAZID	ブレンストームリング方式	システムチック方式 (事故原因リストをマトリックス化した評価)
	事故発生および発展過程が不明確	事故発生および発展過程が明確
	ハザードの洗い出し作業が必要かつ網羅的とは限らない	事故原因リストによりハザードの洗い出し作業が不要かつ網羅的
	手法ごとに評価項目の定義が必要	装置機能損失モデル、作業失敗モデルにより手法ごとに評価項目の設定不要
	データベースに対応しているとは限らない	装置機能損失モデルは OREDA データベースに対応しているため、装置故障データ使用可能
	従来の FMCEA、HUMAN-HAZOP に関して、分岐を伴った事故抽出困難	FMCEA、HUMAN-HAZOP に関して、分岐を伴った事故抽出可能
	従来の FMCEA、HUMAN-HAZOP に関して、トップダウン抽出	FMCEA、HUMAN-HAZOP に関して、事故原因を起点にボトムアップ抽出
	事故抽出に関して、過去事例調査作業必要かつ網羅的とは限らない	事故抽出に関して、事故抽出ガイドワードにより過去事例調査作業軽減かつ網羅的に抽出可能
	幾度かの複数人での評価機会	基本的に少人数で実行可能なため必要最低限の複数人での評価機会
	装置起因事故、人間起因事故分類しているとは限らない	装置起因事故、人間起因事故の両方を抽出可能

3. ケーススタディ (シャトルシップ方式 CCS プロジェクト)

3.1 ケーススタディ概要

本ケーススタディは、現在 pre-FEED 段階にあるシャトルシップ方式 CCS プロジェクトにおける船上直接圧入システムの作業工程 (1)、(2) を対象に、知見や経験の少ない筆者が提案手法を用いて HAZID を行い、重大ハザードおよび事故の原案を作成した。システムの概要図を Fig.5 に、作業工程を Fig.6 に示す[8]。また、本ケーススタディ後に行なわれる網羅性を検討する網羅性検討会議にて、HAZID 原案結果だけでなく手法の実用性についても評価を仰いだ。なお、リスク分析とリスク評価に関しては、従来手法と比較して違いがほとんどないため省略した。

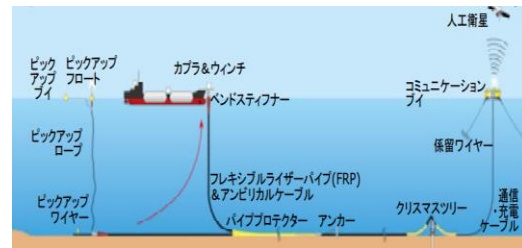


Fig. 5 CO2 direct injection operation of ship-based offshore CCS

3.2 ケーススタディ結果

本ケーススタディで抽出した総事故シナリオ数を発生頻度と結果の深刻度をそれぞれ 5 段階に分類したリスクマトリックス上に記載した。装置起因事故に関しては Fig.7、人間起因事故に関しては Fig.8 に示す。重大と判断した装置起因事故例として、「配管や FRP に混入した水分と液化 CO2 が反応し、ハイドレートが生成し閉塞する」、人間起因事故として「FRP 引揚げ作業失敗による FRP の持ち上げ座屈」といったシナリオが抽出された。これらのシナリオのうち実際のプロジェクトで、問題となっているものも含まれている。

船上直接圧入システム工程

- (1) プイをピックアップ
- (2) FRP※引き揚げ・嵌合
- (3) CO2圧入開始
- (4) CO2定常圧入
- (5) CO2圧入停止
- (6) FRP ※離脱
- (7) 船不在

※FRP: フレキシブルライザーパイプ

Fig. 6 Operation process of CO2 direct injection operation

影響	頻度				
	1回 /10 ³ 年以上	1回 /10 ² -10 ³ 年	1回 /1-10 ² 年	1回 /1-10 ¹ 年	1回以上 /10 ⁰ 年
アセット	1	2	3	4	5
環境	1	7	15	0	0
人的	1	7	15	0	0
若干の作業遅延	1	7	15	0	0
数時間以上の作業遅延	2	27	102	118	4
1日以上の作業遅延	3	27	80	47	10
1週間以上の作業遅延	4	2	24	27	1
1ヶ月以上の作業遅延	5	118	30	6	0

Fig. 7 The number of incident scenario identified by FMECA

影響	頻度				
	1回 /10 ³ 年以上	1回 /10 ² -10 ³ 年	1回 /1-10 ² 年	1回 /1-10 ¹ 年	1回以上 /10 ⁰ 年
アセット	1	2	3	4	5
環境	1	0	1	0	12
人的	1	0	1	0	12
若干の作業遅延	1	0	1	0	12
数時間以上の作業遅延	2	0	6	2	5
1日以上の作業遅延	3	2	2	21	0
1週間以上の作業遅延	4	0	0	7	2
1ヶ月以上の作業遅延	5	6	8	11	0

Fig. 8 The number of incident scenario identified by HUMAN-HAZOP

4. 手法の実用性評価

4.1 網羅性検討会議における評価

網羅性検討会議で挙げた提案手法の HAZID 原案結果に関する意見の例を基に、提案手法の改善点、実用性について考察した。

(意見 1) 会議資料に記載してある事故が起こる原因をまとめすぎて、シナリオが曖昧になり評価困難
考察 会議資料に関して、効率を重視し記載を簡略化したことで、事故に関する情報が不足し因果関係が不明確になったことが原因と考えられる。

改善策 簡略化せず事故詳細を記載したものを評価材料として使用することが望ましい。

(意見 2) 発生頻度・結果の深刻度の評価が適切でない項目がある

考察 過去データが存在する場合を除き、発生頻度・結果の深刻度といった定量的評価は知見や経験に深く依存するものだと考えられる。事実、経験の少ない筆者が抽出した事故に偏りが生じていた。確信がない項目に関しては過大に見積もる、もしくは 3 名程度により評価を行い、意見が対立した項目について再度詳細評価をする方法が考えられる。

(意見3) リスクマトリックス作成方法の妥当性に疑問

考察 提案手法では、発生頻度と結果の深刻度の各指標の分割に関して、各項目の上限値と下限値を決め、それらの値から3～6段階に分割し、対角線上に受容可能領域を設定するといった一般的な方法で行なっている。しかし、この方法だと分割数によって受容可能領域が変化してしまう、また結果の深刻度をアセット、環境、人的それぞれ独立とみなし基準設定するために結果の深刻度の関係の調和が取り辛いといった問題がある。今後の検討事項である。

網羅性検討会議による手法の実用性評価の総括として、HAZID原案の項目の漏れに関する意見があまりなかったことから、提案手法の網羅性は概ね確保されていると考えられる。一方で、定量的評価やリスクマトリックス作成方法に関して課題が残る。

4.2 実行者としての見解

項目の網羅性に関して、リストを順次更新することで向上すると考えられる。また、効率に関して、提案手法で概ね網羅性を確保したHAZIDの原案を作成したことで、論点を絞った評価会議が可能になり、本来評価にかかっていたと推測される時間を短縮できたと考えられる。そして、手法全体に要する時間に関して、本ケーススタディでは連動性がなかったためアウトプット作成や訂正等があった場合、作業に時間を要した。そこで、手法全体を通して連動性のあるツールの導入することで、手法全体に要する時間の削減余地は見込めると考えられる。

5. 結論

本研究では、海洋開発システムの実証実験段階のFSとpre-FEEDにおける技術分野を対象としたリスクアセスメントに関して、従来手法では全体を通してブレンストーミング方式のため網羅性と効率に関して課題があるという背景の下、網羅性と効率を補完した新たな手法の提案、ケーススタディを通して提案手法の実用性の評価および改善を行った。

(1) 新たなリスクアセスメント手法の提案

先述の網羅性と効率に関する諸問題に適応した提案手法は、粗摘みながらも重大ハザードおよび事故項目を漏れなく抽出する事に重点を置いているため、装置や作業は重要項目を抜粋して評価を行う。また、HAZIDの原案作成工程がシステマチックであることに加え、適切なタイミングでの専門家による評価機会を組み合わせで網羅性を補完しつつ効率よく実行可能である。

(2) 提案手法の実用性の評価

提案手法の実用性評価は、提案手法を用いて対象プロジェクト関係者の関与なしに行なったHAZID原案結果を基に、対象プロジェクト関係者の評価を仰ぐことで行った。実用性評価の結果として、HAZID原案の項目の漏れに関する意見があまりなかったことから、提案手法の網羅性は概ね確保されていると考えられる。一方で、定量的評価結果に関しては適切でないということが確認できた。また、効率に関して、提案手法で概ね網羅性を確保したHAZIDの原案を作成したことにより、論点を絞った評価会議が可能になった。

(3) 提案手法の改善

網羅性評価会議における評価資料は効率を重視してシナリオを簡略したが、因果関係が曖昧になり評価困難であった。そこで、リスト間の関係を明記した資料を用いることで適切な評価が可能になると考えられる。定量的評価に関して、確信がない項目は過大に見積もる、もしくは3名程度で評価を行い、意見が対立した項目について再度詳細評価をする方法により、改善の余地があると考えられる。

以上のように改善策を講じることで、提案手法は本研究対象に対しては網羅性を担保し、効率的にリスク抽出が可能な実用的手法になると考えられる。

参考文献

- [1] http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shigen_nenryo/pdf/003_03_00.pdf
- [2] 米澤哲夫, 石油・天然ガスレビュー 45(2)(2011), 41-55.
- [3] 国際石油開発帝石株式会社 HSE ユニット, 私信.
- [4] Vinnem Jan Erik, Offshore Risk Assessment Principles Modelling and Applications of QRA Studies 2nd Edition, (Springer, London, 2007) 75.
- [5] ISO, ISO17776 Petroleum and natural gas industries — Offshore production installations — Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment (ISO, Switzerland, 2000)
- [6] Det Norske Veritas: Marine Risk Assessment, the Health and Safety Executive (2001).
- [7] 藤久保 昌彦, 中條 俊樹, 鈴木 英之 et.al.: 大規模海上浮体施設の構造信頼性および設計基準研究委員会 最終報告書, 日本船舶海洋工学会(2009)
- [8] <https://www.env.go.jp/earth/ccs/h26mat04-01.pdf>