

令和 3 年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業
(石油・天然ガス開発に係る保安動向調査)

報告書

令和 4 年 3 月

一般財団法人エンジニアリング協会

緒 言

2020 年～2021 年の世界の関心は、コロナ感染と脱炭素に向けられていたといっても過言ではない（2022 年に入ってからウクライナも加わるが）。地球温暖化対策として打ち出された脱炭素はエネルギー問題と直結しているが、コロナ感染とも密接に関係している。2020 年にコロナ感染が拡大した時には、人々の行動が抑制されて使用するエネルギーも減少したために、史上初めて油価がマイナスになる事態が発生した。これに脱炭素の流れも加わって原油開発に対する投資も制限され、原油生産能力は低下してきている。一方、2021 年後半には、オミクロン株による重症化率が低いことが明らかになってきたためと思うが、各国の経済活動が再開され、原油生産が需要に追いつかず原油価格が高騰している。さらには欧州での再生可能エネルギー供給の不調やロシアのウクライナへの侵攻がこれに拍車をかけ、現時点で油価はバレル 100 ドルを超えている。

脱炭素社会の確立に向けてエネルギー構成は大きく変化しようとしており、化石エネルギーの代表である石油・天然ガスの使用が減少していくことに疑いはない。しかしながら、全てのエネルギーを再生可能エネルギーや原子力で賄うことは不可能であり、現在の油価の高騰は、石油・天然ガスがエネルギー供給には不可欠であることの証左である。特にエネルギーの遷移期間においては、化石燃料を利用したブルー水素の製造など、石油・天然ガスは依然として重要な役割を果たすものと予測されている。また、発電所等での二酸化炭素の排出を削減する二酸化炭素回収・貯留（CCS : Carbon dioxide Capture and Storage）と併用して化石エネルギーを使用することも検討されている。

こうした状況下において、我が国では、2021 年 10 月に「第 6 次エネルギー基本計画」が閣議決定され、エネルギーの安定供給に向けて自主開発原油の比率を上げること、エネルギー変換に向けて鉱物資源を確保すること、脱炭素に向けて CCS を促進することなども盛り込まれている。このように国産の石油・天然ガスは極めて重要なエネルギー資源と位置付けられるが、残念ながら我が国においては、陸域の油ガス田は極めて限定的であり、メタンハイドレート等の非在来型資源や微生物起源の天然ガスを含め、海域における石油・天然ガスの発見・開発に大きな期待がかけられている。その証左として、2018 年 5 月に「第 3 期海洋基本計画」が閣議決定され、今後 10 年以内に民間企業が参画して商業化を視野に入れたプロジェクトが開始されるような検討もなされている。また、2019 年 2 月には、経済産業省の「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」が改定され、我が国周辺海域の探査実績の少ない海域における国主導での石油・天然ガスの基礎物理探査等の促進が謳われ、新たに三次元物理探査船「たんさ」も導入されて、これまで以上に高度な技術を駆使した海洋石油・天然ガスの探鉱が始められている。さらには、我が国近海を対象とした、石油・天然ガスの基礎試錐・産出試験、メタンハイドレートの調査、等も活発に継続されている。また、石油・天然ガスの探鉱・開発のみならず、鉱物資源の開発や CCS の実施においても、海洋への期待は拡大している。

経済産業省では、我が国近海における石油・天然ガス開発の促進を視野に入れ、2013 年度から 3 年間をかけ、「大水深の海洋における石油・天然ガス開発を対象とした保安対策及び環境対策に対する動向」を調査した。さらには、2018 年度から昨年度までの 3 年

間に、「石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（海洋における石油・天然ガス開発に係る保安調査）」を実施し、浅海域を含む海洋における石油・天然ガス開発に関する国外の保安及び鉱害防止等に関する規制動向について調査を実施した。

本年度は、上記の調査結果も踏まえつつ、近年の急激な地球環境の変化や技術進歩に鑑み、「石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（石油・天然ガス開発に係る保安動向調査）」を実施し、2つの視点から石油・天然ガス開発先進国における規制や技術の動向を調査した。1つ目は、気候変動に伴って激甚化しつつある自然災害への対応である。近年我が国においては、これまでにない程の集中豪雨や台風等による自然災害が発生しているが、石油・天然ガス開発施設への被害も例外ではない。海外においても同様に甚大な災害が多数発生しているが、本年度は米国を対象に、特にハリケーンによる石油・天然ガス関連施設の被害の状況とそれに対応した法規制や自主規制の強化について調査した。2つ目は、AIやIoT技術に代表されるデジタル技術の石油・天然ガス開発における保安技術への導入状況である。これは1つ目の調査課題である災害激甚化への対応とも関連が深く、AIやIoT技術を導入した自動化や省力化等による保安技術の向上は様々な分野で試みられている。また、施設の老朽化やベテラン保安員の減少が顕著になっている現状を考えると、AI・IoT技術の導入は喫緊の課題である。ただし、他の産業と異なり、石油・天然ガス開発には、（見えない）地下を対象とした操業、海洋を含む遠隔地での操業、可燃性流体の生産等の特殊性があるため、この特殊性を十分に考慮して本調査を進めた。

現在我が国の海洋石油・天然ガス開発に対しては、鉱業法、鉱山保安法、海洋汚染防止法等が適用されているが、今後海洋石油・天然ガス開発が活発化した場合には、国際法あるいは国際的な動向も視野に入れた法整備が必要となるかもしれない。また、海洋においては、石油・天然ガス開発のみならず、鉱物資源開発やCCS等の事業が本格化することも予想される。本調査の結果が、我が国の石油・天然ガス開発を含む海洋開発における保安対策に対する指針策定に資するのみならず、将来の法整備に際して参照に値するものとなれば幸甚である。

最後に、本事業にご協力いただいた委員各位に、心から感謝の意を表する。

2022年3月

令和3年度石油・天然ガス開発に係る保安動向調査委員会

委員長 早稲田大学 栗原 正典

令和3年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業

(石油・天然ガス開発に係る保安動向調査)

報告書

目 次

1. 事業の目的	1
2. 事業内容	3
2.1 事業内容	3
2.2 事業実施方法	3
2.3 実施計画	4
2.4 実施体制	4
3. 自然災害に関する保安対策動向（米国）	6
3.1 ハリケーンによる自然災害	6
3.1.1 ハリケーンの歴史：発生・経路	6
3.1.2 ハリケーンによる石油・ガス開発の影響・被害：事例	8
3.2 保安体制：役割、権限	16
3.2.1 緊急時対応に係る国家的枠組み	16
3.2.2 石油ガスセクターにおける保安体制及び情報の流れ	19
3.3 保安対策の強化	24
3.3.1 関連法規の強化	24
3.3.2 石油業界団体におけるガイドラインの整備	32
4. AI・IoT等新技術導入動向	45
4.1 デジタル技術と石油ガス開発業界	45
4.1.1 IoT	45
4.1.2 Artificial Intelligence (AI)	46
4.1.3 Big Data と Data 解析	47

4.1.4 AI・IoT 技術利用の利点	47
4.1.5 相互の関連例	49
4.2 石油会社の AI・IoT 技術の導入例	50
4.3 石油ガス業界で利用されている AI・IoT 技術の分類	55
4.3.1 石油ガス業界で利用されている AI・IoT 技術の分類	55
4.3.2 Connected Worker (Information and Communication Technology) 技術	57
4.3.3 Robotics（ロボット技術）	64
4.3.4 AUV	71
4.4 国内適用時の課題	75
4.4.1 鉱山における防爆規定	75
4.4.2 国内における一般的な防爆規定	76
4.4.3 国際規格	80
4.4.4 海外製品の国内での使用について	81
4.4.5 鉱山保安法と一般防爆規定の差異について	82
4.5 まとめと今後の課題	84
5. まとめ	86
5.1 調査結果のまとめ	86
5.1.1 自然災害に関する保安対策動向	86
5.1.2 新技術導入動向	88
5.2 今後の課題	89
5.2.1 自然災害に関する保安対策動向	89
5.2.2 新技術導入動向	90

略語／用語説明

AI	Artificial Intelligence：人工知能
APD	Application for Permit to Drill：掘削許可申請（米国）
API	American Petroleum Institute：米国石油協会
AR	Augmented Reality：拡張現実
AUV	Autonomous Underwater Vehicle：自律型無人潜水機
BOEM	Bureau of Ocean Energy Management：DOI 海洋エネルギー管理局（米国）
BSEE	Bureau of Safety and Environmental Enforcement：DOI 安全・環境執行局（米国）
CFR	Code of Federal Regulations：連邦規則集（米国）
DHS	Department of Homeland Security：国土安全保障省（米国）
DOE	Department of Energy：エネルギー省（米国）
DOI	Department of the Interior：内務省（米国）
EIA	Energy Information Administration：DOE エネルギー情報局（米国）
EPA	Environmental Protection Agency：環境保護庁（米国）
ESF	Emergency Support Functions：緊急支援活動
FEMA	Federal Emergency Management Agency：緊急事態管理庁（米国）
FOV	Field of View：視野角
FPS	Floating Production System：浮遊式生産システム
GOM	Gulf of Mexico：メキシコ湾
HEAT	Hurricane Evaluation and Assessment Team：API ハリケーン評価アセスメントチーム
IoT	Internet of Things：モノのインターネット
LRFD	Load and Resistance Factor Design：荷重抵抗係数法
MMS	Minerals Management Service：DOI 鉱物資源管理局，現 BOEM, BSEE, ONRR（天然資源歳入局）（米国）
MODU	Mobile Offshore Drilling Unit：移動式海洋掘削ユニット
NTL	Notice to Lessees and Operators：鉱区保有者への通告（米国）
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration：海洋大気庁（米国）
NRF	National Response Framework：連邦対応枠組み（米国）
OCS	Outer Continental Shelf：連邦管轄大陸棚（米国）

OIP	Office of Infrastructure Protectionn : DHS インフラ保護局 (米国)
PPD	Presidential Policy Directive : 大統領政策指令 (米国)
ROV	Remotely operated vehicle : 無人潜水機
SIM	Structural Integrity Management : 構造健全性管理
USCG	United States Coast Guard : 沿岸警備隊 (米国)
VR	Virtual Reality : 仮想現実

1. 事業の目的

我が国は、平成30年5月15日に閣議決定された第3期海洋基本計画及び平成31年2月15日に経済産業省から公表された海洋エネルギー・鉱物資源開発計画に示されているように、排他的経済水域における海洋エネルギー・鉱物資源の着実な開発を推進していく方針であり、石油・天然ガス開発に関しても我が国周辺海域の探査実績の少ない海域において賦存状況を把握するため、国主導での基礎物理探査及び三次元物理探査を実施し、併せて、民間企業による効率的・効果的な探査を実現し、詳細な地質情報の把握を図ることが盛り込まれている。

一方、我が国の石油・天然ガス鉱山では、近年、これまでにない程の集中豪雨や台風等の自然災害による設備等への甚大な被害が想定される中、一部で、設備の老朽化やベテラン保安要員の確保等の課題が顕著となっている。

海外においても、自然災害に関しては、我が国同様に甚大な災害が多数発生しており、石油関連施設でも猛威を振るう台風等の激甚化する自然災害へ対応できるよう、基準の改訂やマニュアル等の整備、AI・IoT等のデジタル技術を用いた対策等が進められ、また、設備の老朽化や保安要員の確保に関しても、保安技術へのAI・IoT等を活用したデジタル技術の導入が進められている。

国内においては、産業保安分野へのAI・IoT等の活用に関して、スマート保安官民協議会において高压ガス保安分野、ガス保安分野、電気保安分野等におけるAI・IoT等の導入が検討されているが、これら主として工場保安が中心の分野等と比較して、石油・天然ガス開発においては、自然相手の地下資源開発であることから、以下の点で大きく異なっている。このため、独自のアプローチが必要であり、海外では、米国石油協会規格（API）等の規格で製造された設備装置が多く使用されている。

- ・施設設備の立地場所に選択の余地がなく、一般的に沖合遠隔地域・大水深域、砂漠地域、離島、密林地域、極地等で実施されるため、過酷な自然環境に晒される。
- ・沖合等遠隔地ではアクセスに制約があり施設設備の保守が困難な場合が多く、メンテナンスレスであることや高い信頼性、強靱性が求められる。
- ・可燃性ガスの取り扱いが主となるため防爆性が必須となる。
- ・製造工場のように管理された一定の条件下での定常的な操業は出来ず、地下の状況により対処が変化するため一律の自動化が困難である。
- ・特に台風等の影響は大きくその都度状況に応じた対処が必要となる。
- ・石油坑井等が制御不能となった場合には、環境に対して甚大な被害が発生する。

また、想定される石油・天然ガス開発におけるAI・IoT等を活用したデジタル技術の導入事例及び効果は、以下のとおり。

- ・IoTによるリアルタイムの異常検知：異常事象の察知・早期発見によって危害鉱害の発生・拡大を防止。
- ・モニタリングシステムへのAIの活用：異常が発生・検知される以前に予知して危害鉱害の防止を図る。
- ・AI・IoT等の活用による設備保全：老朽化した設備の増加と経験を積んだ保守要員の

減少への対処として、遠隔地の専門家の意見を現場に適用可能とする。

- ・ロボット技術の活用：保守要員の作業を代替することで危害防止に直接貢献。

本調査においては、激甚化する自然災害に対する海外での規制動向等を把握し、それを踏まえ我が国での規制等について検討する他、海外での激甚化する自然災害への対応を含め、石油・天然ガスに関する AI・IoT 等を活用したデジタル技術による保安対策の最新動向を調査し、国内事業者の取組み状況等も踏まえた導入上の課題を調査し、我が国における中小事業者を含めた保安の向上及び災害の低減に繋がる技術の普及、規制等の検討に資することを目的とする。

2. 事業内容

2.1 事業内容

(1) 自然災害に関する保安対策の動向調査

海外で石油・天然ガス開発を多数実施している国において、激甚化する自然災害へ対応するために実施されている対策、保安規制の変更、気象海象条件の見直し等のガイドラインの更新など最新の動向を調査し、我が国の保安規制に導入する場合の課題を抽出する。

(2) 最新技術の導入に関する保安対策の動向調査

上記開発先進国において、保安対策へ導入されている、または開発され実用化の段階にある、AI・IoT等を活用したデジタルオイルフィールドにおけるデジタル技術の最新動向を調査し、国内事業者の取組み状況を踏まえて、鉱山保安法その他の保安上の関係法令等の規制措置への適合性等、我が国において導入する場合の課題について整理する。

2.2 事業実施方法

(1) 自然災害に関する保安対策の動向調査

海外で石油・天然ガス開発を多数実施している国（開発先進国：米国、欧州、豪州）における激甚化する自然災害へ対応するために実施されている対策、保安規制の変更、気象海象条件の見直し等のガイドラインの更新など最新の動向について、文献調査を実施した。

(2) 最新技術の導入に関する保安対策の動向調査

海外で石油・天然ガス開発を多数実施している国（開発先進国：米国、欧州、豪州）における保安対策へ導入されている、または開発され実用化の段階にある、AI・IoT等を活用したデジタル技術の最新動向について、文献調査を実施した。

(3) 委員会の設置

本調査及び取りまとめに当たっては、本調査分野に関して高度な知見を有する学識経験者及び関係団体から成る委員会を設置、運営し（委員長1名、委員3名、開催回数3回）、当該委員会による検討評価を踏まえて実施した。

委員については、既往の経済産業省受託調査事業における委員会構成員に準じ表 2.2 1 に示す有識者とした。

表 2.2-1 令和3年度石油・天然ガス開発に係る保安調査委員会

	氏名	所属・役職
委員長	栗原 正典	早稲田大学理工学術院 創造理工学部環境資源工学科 教授
委員	大鷲 昇一	天然ガス鉱業会 技術部長
	長縄 成実	秋田大学大学院国際資源学研究科 教授
	堀越 健次	日鉄エンジニアリング株式会社 海洋事業部 技術部 ゼネラルマネジャー

(五十音順)

2.3 実施計画

表 2.3-1 に作業内容及びスケジュールを示す。

表 2.3-1 作業内容及びスケジュール

項目	令和3年度					
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. 海外の動向調査	受託(10/18) ▽				報告書案ドラフト ▽	報告書提出 ▽(3/16)
(1)自然災害に関する保安対策						
(2)最新技術の導入に関する保安対策						
(1),(2)保安対策の課題整理						
(3)委員会	委員委嘱 手続	第1回 10/26 調査計画案 審議	第2回 12/22 中間報告			第3回 3/10 報告書案 審議
2.調査報告書の作成						

2.4 実施体制

本事業の実施体制を図 2.4-1 に示す。

調査を円滑に進めるため、事務局と客員研究員によって、調査項目の(1)自然災害に

関する保安対策の動向、(2) 最新技術の導入に関する保安対策の動向、(3) 保安対策上の課題の整理のそれぞれに担当を決めて実施した。

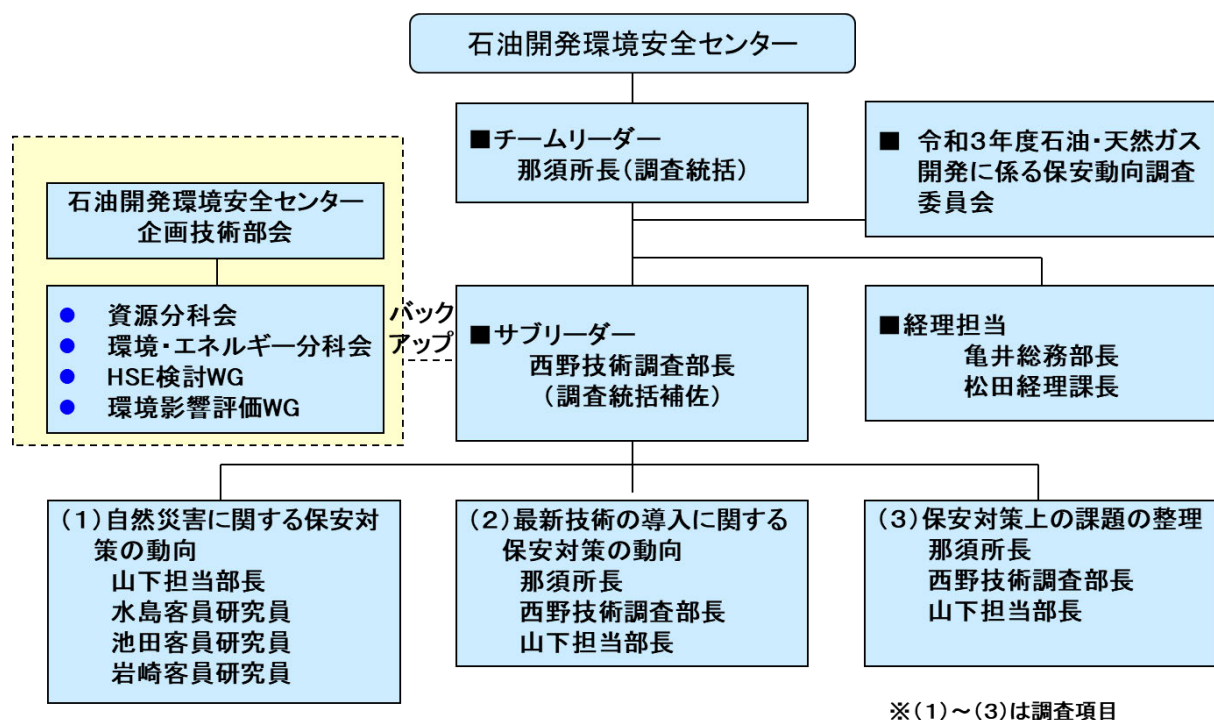


図 2.4-1 実施体制

3. 自然災害に関する保安対策動向（米国）

3.1 ハリケーンによる自然災害

一般的に熱帯低気圧（Tropical Cyclone）は、熱帯から亜熱帯の海水面で発生し、多数の積乱雲が渦状の構造をもつ低気圧をさし、防雨風雨を伴い、米国では平均最大風速が 64 ノット（119km/h）以上に発達したものが「ハリケーン」と呼ばれている。気象観測が始まって以来、図 3.1-1 に示すように、米国の南部から東海岸にかけて、フロリダ半島、ミシシッピ・デルタ地帯を含む沿岸部に重大ハリケーン（Major Hurricane）が多数発生し上陸している。



図 3.1-1 北大西洋（1851-2013 年）及び北東太平洋（1949-2013 年）における熱帯低気圧の進路（黄色：重大ハリケーン、赤：その他の熱帯低気圧）（出典：NOAA）

3.1.1 ハリケーンの歴史：発生・経路

ハリケーンの発生数を図 3.1-2 に、ハリケーンの発生場所及び進路を図 3.1-3 に、米国におけるハリケーンの区分を表 3.1-1 に示す。

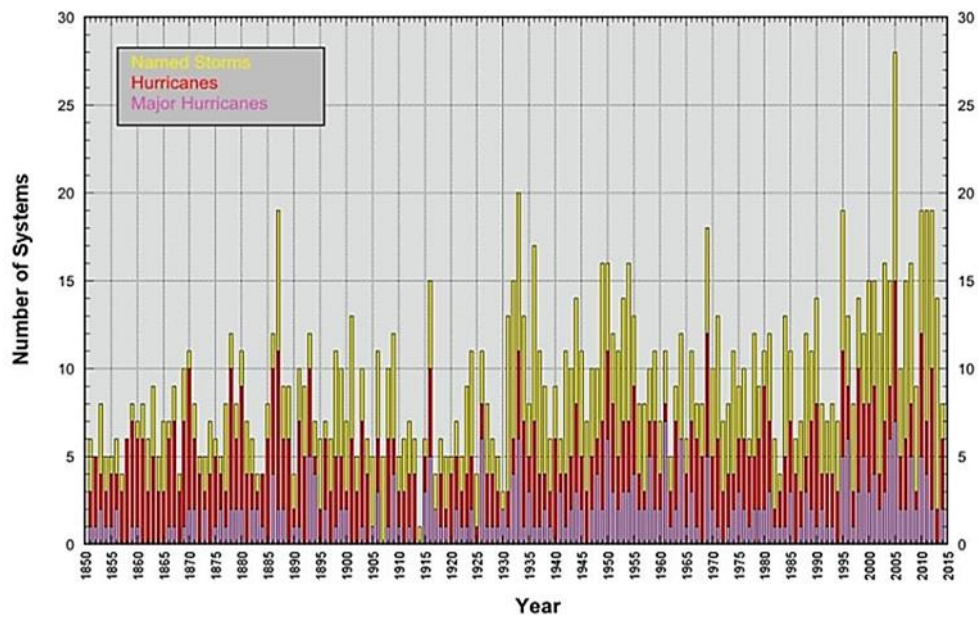


図 3.1-2 大西洋海域における 亜熱帯低気圧の発生数 (1850-2014 年)
(紫：重大ハリケーン、赤：ハリケーン、黄：熱帯低気圧) (出典：NOAA)

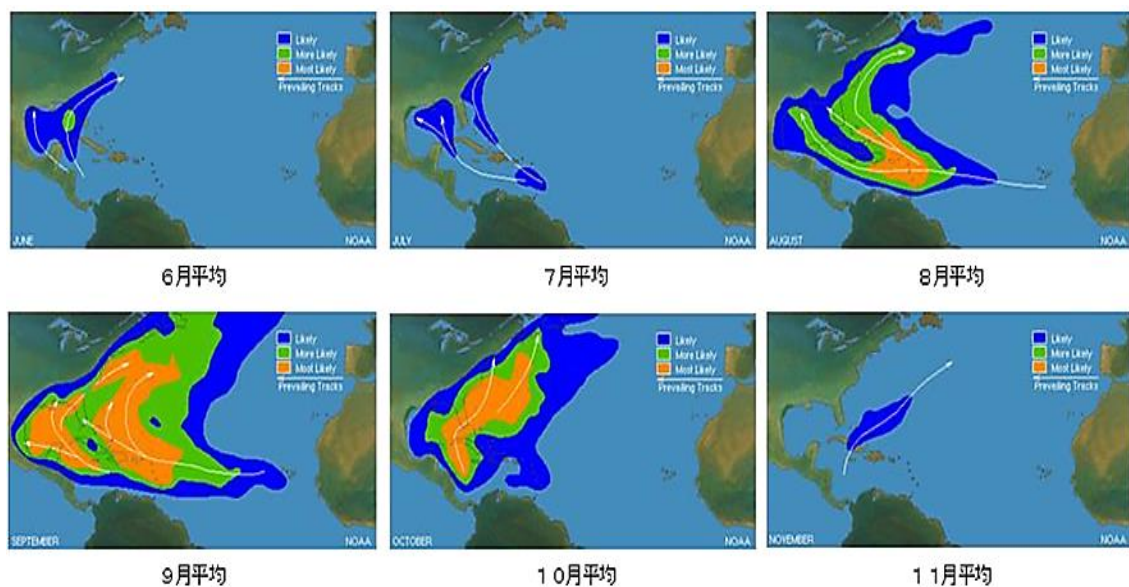


図 3.1-3 大西洋海域におけるハリケーンの発生場所と進路に関する月毎の傾向
(着色箇所：発生予想地域 青→緑→橙の順に可能性が高まる) (出典：NOAA)

表 3.1-1 ハリケーンの区分

区分		最大風速		(参考) 気象庁区分
		Mph (マイル/時) ※1 分間平均	m/S (メートル/秒) ※1 分間平均	m/S (メートル/秒) ※10 分間平均
熱帯低気圧	熱帯低気圧	< 38	< 17	熱帯低気圧
	熱帯暴風雨	39~73	18~32	台風 17~33
	ハリケーン	カテゴリー 1	74~95	強い台風 33~44
		カテゴリー 2	96~110	非常に強い台風 44~54
		カテゴリー 3	111~129	
		カテゴリー 4	130~156	猛烈な台風 >54
		カテゴリー 5	> 157	

3.1.2 ハリケーンによる石油・ガス開発の影響・被害：事例

米国南東部の大西洋に面するメキシコ湾沿岸は 1900 年代初頭から油田開発が行われ、1930 年代後半から徐々に海岸域、沖合へと範囲が徐々に拡大した。そして、2000 年代に入り、開発技術の発達に伴い、水深 2,500m を超える大水深海域の開発がすすめられ、浮遊式及び半潜水型プラットフォームなどを含む多くの掘削設備、生産設備が設置、無数のパイプラインが敷設され、図 3.1-4 に示すように同国有数の石油・天然ガスの開発地域となっている。

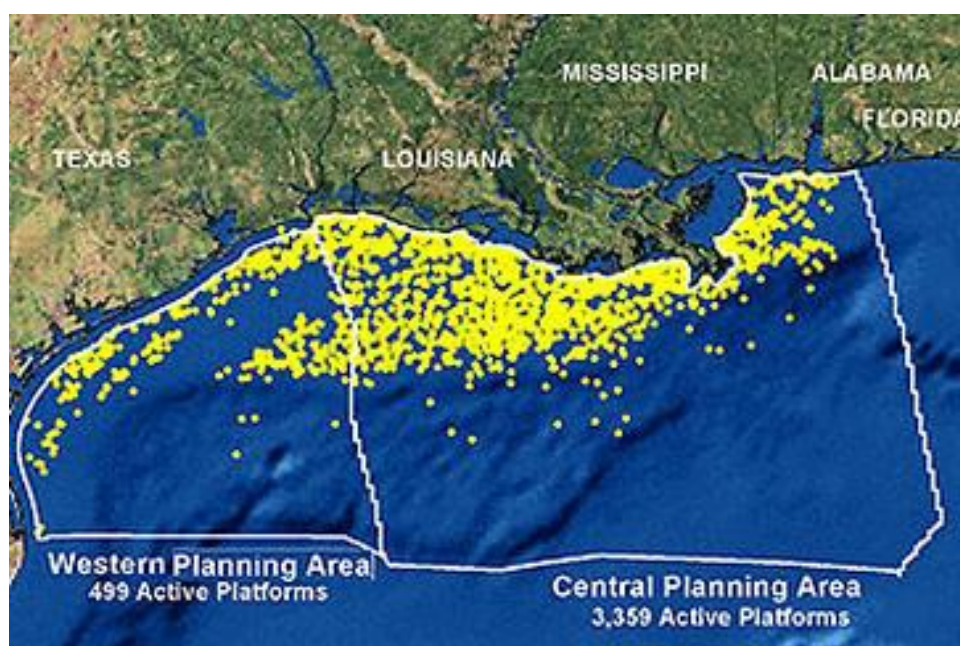


図 3.1-4 メキシコ湾沿岸の石油天然ガス開発施設（出典：Wikimedia）

同海域は前項にて述べたように、季節的な熱帯低気圧、ハリケーンの進路に位置し、こ

れらに伴う過酷な暴風雨、波浪等による洋上生産設備、開発・操業活動、さらに陸域の関連施設、エネルギー供給を含む社会インフラへの影響、障害が頻繁に発生している。このような状況の下、関連行政機関をはじめ、業界団体及び石油・ガス開発企業は、年々過酷化する気象状況に対処した開発、生産設備の強靱化、さらに従業員の安全管理に係る対応計画の強化に向けた対策を継続的に進めている。

過去 2000 年代までに発生した同海域における重大ハリケーンを表 3.1-2 に、また 2021 年現在の甚大な被害額をもたらしたハリケーンを表 3.1-3、そして石油ガス開発、生産設備、操業に大きな影響、被害の事例として、2004 年に襲来したハリケーン・アイバン（Hurricane Ivan）及び 2021 年のハリケーン・アイダ（Hurricane Ida）の概要を以下に示す。

表 3.1-2 重大ハリケーン（2000 年代トップ 10）（出典：National Hurricane Center）

Elsewhere in the United States					
Most severe landfalling Atlantic hurricanes in the United States Based on size and intensity for total points on the Hurricane Severity Index ^[57]					
Rank	Hurricane	Year	Intensity	Size	Total
1	Carla	1961	17	25	42
2	Betsy	1965	15	25	40
3	Camille	1969	22	14	36
	Opal	1995	11	25	36
	Katrina	2005	13	23	36
6	Audrey	1957	17	16	33
	Wilma	2005	12	21	33
8	Ivan	2004	12	20	32
9	Ike	2008	10	20	30
10	Andrew	1992	16	11	27

*Intensity (1~25): 風速と物体にかかる力の指数関数的な関係を使用して割り当てられた指数

*Size (1~25): 風速 39mph 以上、58mph 以上、74mph 以上、100mph 以上の強風域の総面積の指数

*Intensity + Side 指数の合計

表 3.1-3 重大ハリケーン（被害額トップ 10）（出典：National Hurricane Center）

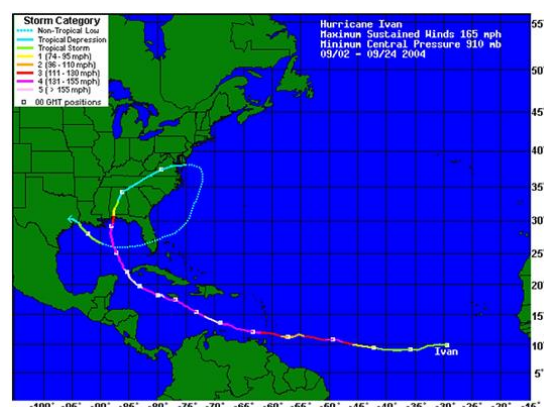
Costliest U.S. Atlantic hurricanes			
Rank	Hurricane	Season	Damage
1	Katrina	2005	\$125 billion
	Harvey	2017	
3	Maria	2017	\$90 billion
4	Sandy	2012	\$65 billion
	Ida	2021	
6	Irma	2017	\$52.1 billion
7	Ike	2008	\$30 billion
8	Andrew	1992	\$27 billion
9	Michael	2018	\$25 billion
10	Florence	2018	\$24.2 billion

(1) 【事例 1】ハリケーン・アイバン (Hurricane Ivan) (出典：Offshore Hurricane Readiness and Recovery Conference June 2005/Minerals Management Service (MMS))

1) 概要

ハリケーン・アイバン (Hurricane Ivan) は、2004 年 9 月に発生したカテゴリー 5 の同年代の観測史の中でも最大級の勢力を持ったハリケーンである。以下にアイバンの進路及び概要を示す。

発生	2004 年 9 月 4 日
消滅	2004 年 9 月 24 日
最大風速	1 分平均：165mph (75m/秒)
最低気圧	910mbar (hPa)
死者	92 名（間接的死者 32 名）
被害(国内)	\$200 億



アイバンは発生から進路を西にとり、南米沿岸、カリブ海諸国そしてメキシコ湾、米国南東部をめぐり、進路沿いの島しょ国、沿岸地域に暴風雨、竜巻などによる大きな被害を与え、さらにメキシコ湾では多くの石油生産施設に大きな被害を与えた。石油生産施設への影響の概要は以下のとおり。（出典：MMS）

2) 被害状況

施設	被害	件数
掘削リグ (MODU)	・ 漂流	5
プラットフォーム リグ	・ 傾斜 (傾き) ・ 行方不明	1 1
プラットフォーム	・ 破壊 ・ 重破損	7 31
パイプライン	・ 破損 (報告件数) ・ 破損 (サイズ: 16 インチ以上) ・ 破損 (土砂崩れ)	169 12 21



図 3.1-5 被災原油生産・掘削プラットフォーム

破損事例 1) Dominion-Main Pass 281-A



図 3.1-6 原油生産プラットフォーム破損箇所

破損事例 2) Chevron Petronius

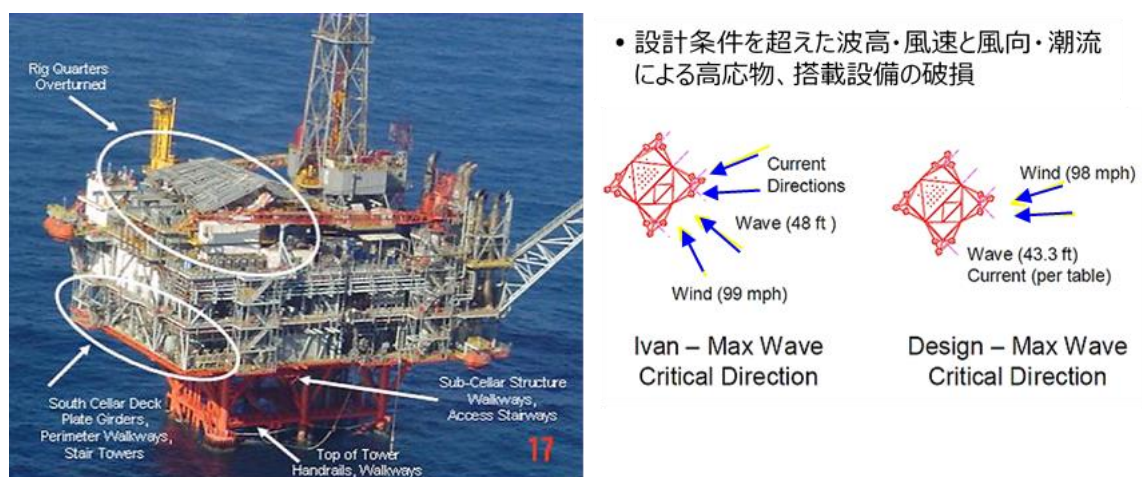


図 3.1-7 原油生産プラットフォーム破損例

破損事例 3) Total Virgo VK823



図 3.1-8 原油生産プラットフォーム搭載設備傷害（ケーブルトレイ・パッケージ発電機）

破損事例 4) 海底地滑り（Mudslides）による海底坑井の埋没、パイプラインの破損による油流出

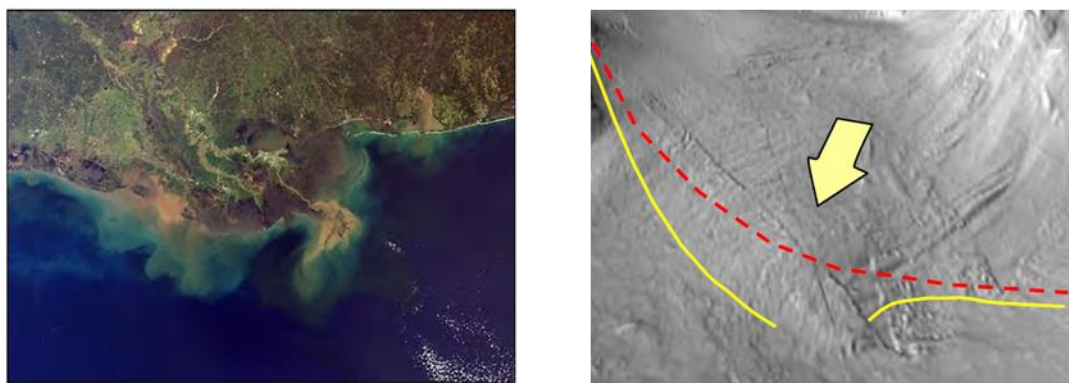


図 3.1-9 ハリケーン・アイバンによる沿岸、海底の地滑り

3) GOM 原油ガス生産活動への影響

合計日量生産ロス（2005 年 1 月 3 日集計）

- ✓ 原油：148,228 BOPD (通常 GOM 日量生産量の約 8.72%)
- ✓ ガス：593.69 MMCFD (通常 GOM 日量生産量の約 4.83%)

合計累積生産ロス（2005 年 1 月 3 日集計）

- ✓ 原油：38,357,900BBL (通常 GOM 年間生産量の約 6.34%)
- ✓ ガス：151,736 MMCF (通常 GOM 年間生産量の約 3.41%)

4) 被災後の検討項目・対策

(a) 石油ガス産業

- ✓ ハリケーンによるビジネス（生産・供給）への甚大な影響は、生産施設及びいくつかの関連インフラの障害による機能停止に起因
- ✓ ハリケーンの規模に対する GOM での生産施設の信頼性とパフォーマンスを改善するために、さらなる検討事項が特定

(b) 激甚化する海象条件への対応

- ✓ 浅瀬の海象状況の詳細観測
- ✓ 100 年及びより長期間の回帰年の波高を再評価
- ✓ プラットフォームの損傷と波浪追算を評価
- ✓ 深海流のさらなる検証

(c) 海洋構造物

- ✓ 洋上構造物の損傷に対するさらなる対策の協議の継続
- ✓ プラットフォーム及びデッキ上の機器の固定に関するガイドラインの必要性
- ✓ プラットフォーム設計のエアギャップ基準の検討及び評価
- ✓ 土砂崩れが発生しやすい地域の特定に関するガイダンスの再確認

(d) 掘削作業

- ✓ ハリケーンシーズンにおける掘削リグの安全性、信頼性基準の確立の検討

- ✓ 掘削リグの構造と係留に関するハリケーンの風・波の負荷に対処するための API RP4F の強化

(e) パイプライン

- ✓ ハリケーン的环境下におけるパイプラインの安全性に関する要因を検討（地盤工学的な問題（土砂崩れ、沈泥、海底マッピング）を含む）
- ✓ 調査結果に基づき、業界が推奨するプラクティスの更新

5) 規制当局対応

Minerals Management Service (MMS)：関連法規の強化として Notices to Lessees (NTL) No. 2005G06 交付（2005 年 5 月 26 日）

- ✓ ハリケーン・熱帯低気圧による事業への影響（洋上施設の被害、人員の避難・減産等の統計）の報告義務

(2) 【事例 2】 ハリケーン・アイダ（Hurricane Ida）

1) 概要

ハリケーン・アイダ（Hurricane Ida）は、2021 年 8 月に発生したカテゴリー4 に分類され、被災地の総被害額としては 2005 年のハリケーン・カテリーナに次ぐ歴代 2 番目に記録されている。以下にアイダの進路及び概要を示す。

発生	2021 年 8 月 26 日
消滅	2021 年 9 月 4 日
最大風速	1 分平均：150mph (67m/秒)
最低気圧	920mbar (hPa)
死者	115 名（間接的死者 32 名）
被害(国内)	\$652.5 億



2) 影響・被害状況

アイダの接近に伴い、メキシコ湾岸地域に拠点を置く石油施設の約 90%が従業員の避難、そして 8 月 29 日のアイダ上陸後、石油各社はメキシコ湾岸の原油生産量のおよそ 95%に当たる日量 174 万バレルの生産及び石油ターミナルの操業を一時停止した。

メキシコ湾沖合の原油生産は米国の原油供給量の約 17%を占めており、主要原油ターミナル閉鎖により原油出荷の 10-15%、石油精製能力の約半数に影響を与え、累積で 1,750 万バレルの石油生産が失われて、アイダの影響により米産油量は 2,000 万-3,000 万バレル減少する可能性が予測された。

なお、アイダによる石油生産施設への直接的な影響、被害として以下が報告された。

- ✓ Shell のプラットフォーム WD-143、構造物に損傷、修復再稼働は 2022 年初頭（図 3.1-10 左）
- ✓ ルイジアナ州沖の海上で、パイプラインの破損が原因とみられる石油の流出（破損原油パイプライン：1960 年代に廃棄された浅海域の原油パイプライン、油流出量は不明，図 3.1-10 右）

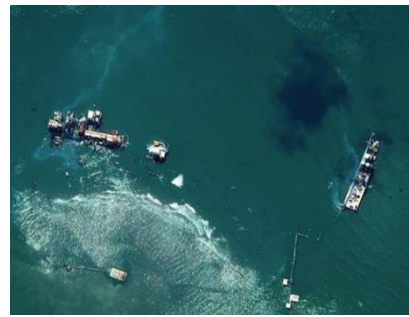


図 3.1-10 左：プラットフォーム WD-143（出典：Shell）、
右：パイプライン原油流出（出典：CNN）

- ✓ 主要原油、天然ガスパイプラインシステム、正規の手順に従い操業停止
- ✓ ルイジアナ州沿岸の主要原油ターミナル（Louisiana Offshore Oil Port：LOOP）の閉鎖
- ✓ ルイジアナ州の 9 製油所の自主的な生産縮小あるいは停止による約 2.3 百万 BPD の減産（13%）
- ✓ ルイジアナ海域及び沿岸の石油関連施設で 350 件以上の石油・化学物質の流出が報告（図 3.1-11）
- ✓ 地域の 8 送電網の障害、送電停止、約 110 万世帯の停電、さらに都市ガスの供給停止



図 3.1-11 生産プラットフォーム・洪水地域の陸上原油プラント油流出
（出典：nola.com）

3) 安全環境執行局 (BSEE) ハリケーン・アイダ 報告書 (2021 年 9 月 23 日)

BSEE はハリケーン・アイダによる石油・ガス開発、生産活動への対応及び影響について各オペレーターからの関連情報を集計し報告書を発表した。主な内容は以下のとおり。

- ✓ ハリケーン接近に伴い、各生産プラットフォームにおける標準生産停止手順の実施
- ✓ メキシコ湾の石油生産量の約 16.18%、ガス生産の約 24.27%が閉鎖 (BSEE 推定)
- ✓ メキシコ湾内の有人プラットフォーム (560 基) からの人員の総退避 : 31 基 (5.54%)
- ✓ 掘削リグ (MODU) からの人員の総退避 : なし
- ✓ 掘削リグ (MODU) 本体のサイトからの移動 : 1 基 (他の MODU は Dynamic Positioning system を搭載し、現位置を保持)

BSEE は 2021 年 8 月 31 日、各生産関連施設のハリケーンによる損傷状況の検査と報告義務についての新たな通達 (Notices to Lessees: NTL 2021-Go2 Inspection and Reporting for Hurricane Ida) を交付し、関連企業からの情報提供を指示している。

検査の対象には着底式の固定生産プラットフォームとその他の構造物、浮体式生産施設、掘削リグ (MODU) 及び海底パイプラインが含まれ、検査項目、手法、試験、評価基準等は関連法規、基準等の準拠が求められている。

3.2 保安体制 : 役割、権限

3.2.1 緊急時対応に係る国家的枠組み

(1) 概要

現在の米国における災害対応・危機管理に係る対応の枠組みは、2011 年 3 月に出された大統領政策令-8 (Presidential Policy Directive/PPD-8) に基づいている。同大統領令は、テロ行為、サイバー攻撃、パンデミック、壊滅的な自然災害など、国家の安全保障に最大のリスクをもたらす脅威に対して組織的に備えることで、米国のセキュリティとレジリエンスを強化することを目的としている。この大統領令のもと、国家準備ゴール (National Preparedness Goal) と国家準備システム (National Preparedness System) が策定された。具体的には、表 3.2-1 に示すように国家準備ゴールとして 5 つのミッション (予防、防護、軽減、対応、復旧) が設定され、これを実現するための連邦準備システムが構築されている。

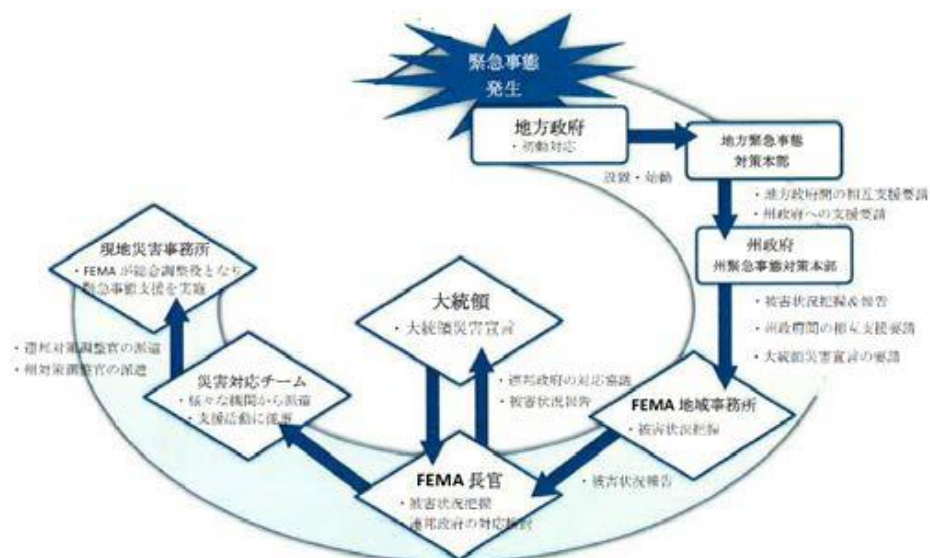
表 3.2-1 国家準備システムの体系

ミッション	国家計画枠組み
回避（Prevention）	National Prevention Framework 国家予防枠組み-2016 年 6 月
防御（Protection）	National Protection Framework 国家防衛枠組み-2016 年 6 月
軽減（Mitigation）	National Mitigation Framework 国家軽減枠組み-2016 年 6 月
対応（Response）	National Response Framework 国家対応急応枠組み 2016 年 6 月
復旧（Recovery）	National Disaster Recovery Framework 国家災害復旧枠組み-2016 年 6 月

出典： <https://www.fema.gov/emergency-managers/national-preparedness/frameworks>

(2) 対応機関（地方行政機関－州政府－連邦政府の関係）

米国における緊急事態への対応は、図 3.2-1 に示すように、まず郡（County）や市町村（Municipality）などの地方政府が被害の軽減や人命救助などの対策を行う。しかし災害の規模が大きく、被災した地方行政機関だけでは対応が困難と判断されると、州の緊急事態対応計画が発動され、州政府による緊急対応・復旧活動が行われる。さらに大規模な災害で州政府の対応の能力を超える場合は、州知事の要請に基づき、連邦政府として大統領の権限による非常事態宣言が発動され、国家対応枠組み（National Response Framework: NRF）に基づいた連邦政府の資源・財源等の提供がなされる。



出典：内閣府・各国の危機管理組織の概要

図 3.2-1 緊急事態時における地方行政機関－州政府－連邦政府の関係

(3) 連邦緊急事態管理庁（FEMA）

国家対応枠組み（NRF）の総合調整を行う組織として、連邦緊急事態管理庁（FEMA）が設置されている。米国では 1970 年代は 100 以上の連邦機関が災害、危険、緊急事態に関係し、しかも同時並行的に進む事業と政策が州・地方政府において数多く存在すること等のため緊急事態機能の集約化が求められ、1979 年：カーター大統領により合理的な災害対応をする機関として、連邦政府の 6 機関を統合して米国連邦緊急事態管理庁（FEMA）が独立機関として設立された。その後、2001 年の同時多発テロや 2005 年のハリケーン・カテリーナ、2013 年のハリケーン・サンディ等の後の見直し、再編等を経て、現在の組織となった。

平時における FEMA の組織は、保護・準備部、応急対応・緩和部、米国消防局、活動支援組織からなっており、さらに全米を 10 ブロックに分け、ブロックごとに地域事務所を設置している。

大規模災害・事故が発生した際に、州知事からの要請に基づき大統領が大規模災害宣言または緊急事態宣言が発令され、連邦政府と地方政府の活動及び資源を調整するために連邦調整官が任命され、FEMA を中心とした連邦援助が開始される。

(4) 国家対応枠組み（National Response Framework (NRF)）の概要

NRF はあらゆる種類の災害や緊急事態に連邦政府が対応するための指針であり、国家インシデント管理システム（National Incident Management System）で示されている拡張性、柔軟性、適応性という概念に基づいて構築されており、主要な役割や責務についての調整を行うものである。具体的には、以下のような関連機関の管轄区分、市民、NGO 及び企業を支援するよう構成されている。

- コミュニティ全体の計画策定
- 継続計画の統合
- 企業、サプライチェーン、インフラ部門間で発生する連鎖的な障害に対する対応能力の構築
- コミュニティのライフラインの安定化とサービス復旧のための協力体制

NRF では、以下のように 15 種類の緊急支援活動（Emergency Support Functions: ESFs）に対して標準化された対応手順を定めている。本調査の対象である石油・天然ガス生産施設における保安対策は、ESF # 12・エネルギーにまとめられている。

- ESF #1: 輸送 (Transportation)
- ESF #2: 通信 (Communications)
- ESF #3: 土木・建設 (Public Works and Engineering)
- ESF #4: 消防 (Firefighting)
- ESF #5: 情報と計画 (Information and Planning)
- ESF #6: 被災者支援 (Mass Care, Emergency Assistance, Temporary Housing, and Human Services)
- ESF #7: 物流 (Logistics)
- ESF #8: 公衆衛生と医療 (Public Health and Medical Services)
- ESF #9: 捜索救助 (Search and Rescue)
- ESF #10: 石油及び危険物質対応 (Oil and Hazardous Materials Response)
- ESF #11: 農業及び天然資源 (Agriculture and Natural Resources Annex)
- **ESF #12: エネルギー (Energy)**
- ESF #13: 公共安全 (Public Safety and Security)
- ESF #14: セクター・地域をまたぐ課題 (Cross-Sector Business and Infrastructure)
- ESF #15: 対外関係 (External Affairs)

3.2.2 石油ガスセクターにおける保安体制及び情報の流れ

(1) ESF#12– Energy の概要

緊急時にあつては、損傷したエネルギー関連システムやコンポーネントの評価、修理、復旧を進め、専門家の派遣を行うとしている。さらに災害によるエネルギー供給に係る予測も行っているとされている。

緊急支援活動 (ESF) のコーディネーター及び主管はエネルギー省 (Department of Energy : DOE) とされており、同省の主な責務は下記のとおりである。

- エネルギー対策及び普及に係る問題及び政策決定のフォーカルポイント
- エネルギーシステムの損傷状況の評価と、修復作業の監視
- エネルギー供給、需要及びマーケットへの影響に係る情報の収集、評価、提供状況及び事後

その他、サポート官庁として、以下のような省庁が挙げられている。

• 農務省 • 商務省 • 国防総省 • 国土安全保障省 • 内務省 • 司法省	• 労働省 • 国務省 • 運輸省 • 環境庁 • 原子力規制委員会
---	--

(2) 緊急時の連携体制

図 3.2-2 及び図 3.2-3 に緊急時における、石油天然ガスセクターの上流から下流に至るまでの関係機関の役割を示す。石油、ガスの上流部門については、以下のように定められている。

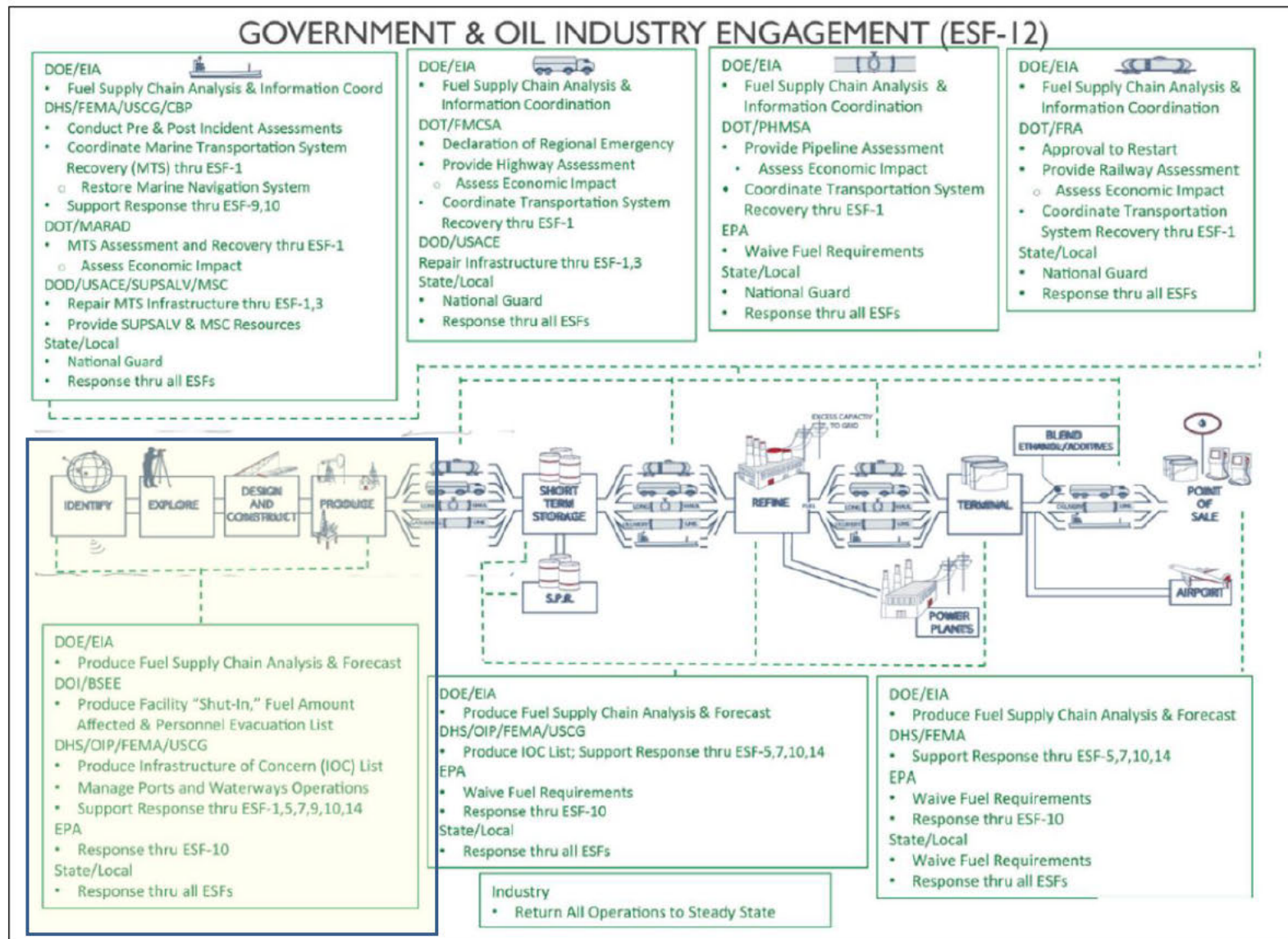
(a)(b)上流石油・天然ガス関連施設（共通）

- DOE/EIA：燃料供給分析と予測の実施
- DOI/BSEE：施設遮断、影響を受ける燃料の量、人員退避リスト作成
- DHS/OIP/FEMA/USCG：被害想定インフラリスト作成

港湾及び水路運航管理

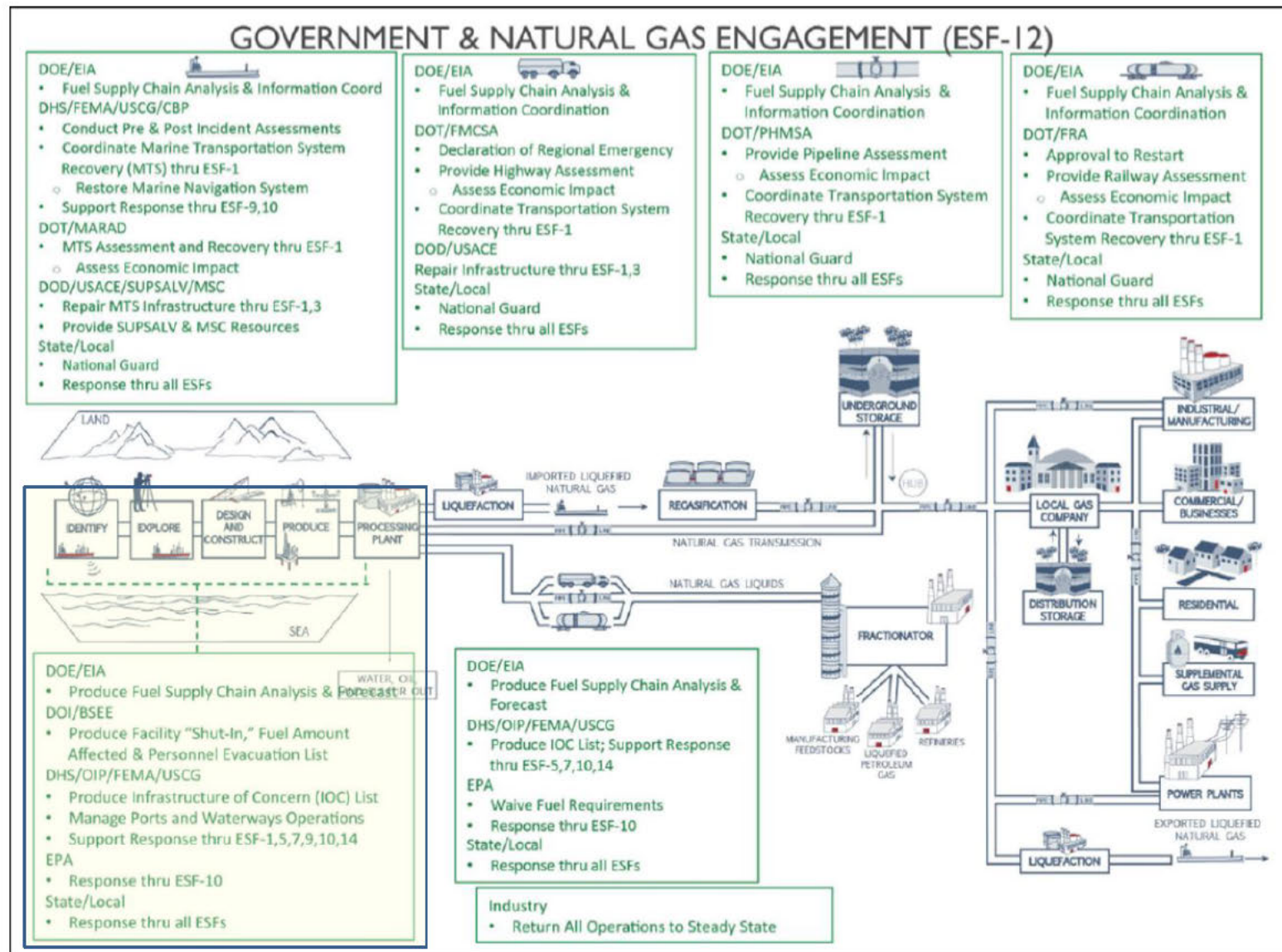
ESF-1,5,7,9,10,14 による支援対応

- EPA：ESF-10 による対応
- 州及び地方行政府：すべての ESF による対応



出典：p.18, API, Oil and Natural Gas Industry Preparedness Handbook, Version 2.0, June 2021

図 3.2-2 緊急時における関連機関の連携体制 (a) 石油関連施設



出典：p.19, API, Oil and Natural Gas Industry Preparedness Handbook, Version 2.0, June 2021

図 3.2-3 緊急時における関連機関の連携体制 (b) ガス関連施設

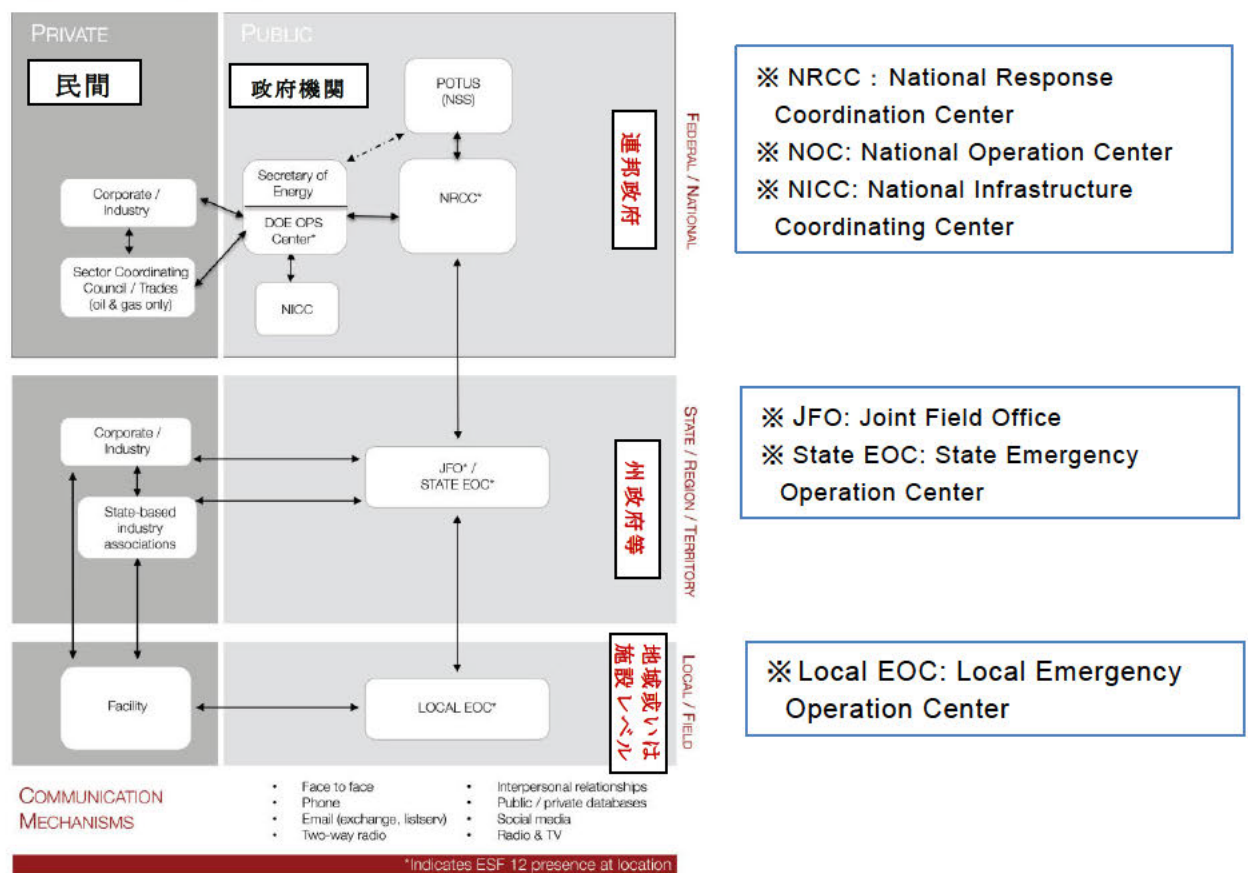
(3) 業界団体（API）の役割

米国の石油関連事業者の業界団体である API では、国家対応枠組み（National Response Framework (NRF)）に対する協力と業界の役割を以下のように定めている。

- 国家的重要性を持つインシデント時発生時には、政府だけでなく民間企業も果たすべき役割があると認識している。
- 住民の安全を確保し、重要なサービスを適時に提供するためには、資源と情報を最も効率的に提供することが重要である。
- 連邦対応枠組、インシデント・コマンドシステム、そして最近発表された大統領指令 8「国家準備」（PPD 8）は、災害時にすべての関係者が利用すべき枠組みとプロセスを提供しており、インシデント発生時に、これらの枠組のなかで効果的にコミュニケーションを取り、業務を遂行することが重要と考える。

図 3.2-4 にインシデント発生時の連邦政府の対応の枠組みにおける業界の役割を示す。ハリケーンやその他の大きな嵐がしばしば操業に影響を与えるメキシコ湾岸諸国では、このプロセスが効果的に機能することが確認されている。

ESF 12 OIL AND GAS INFORMATION FLOW:
INDUSTRY PERSPECTIVE



出典：p.18 API, Oil and Natural Gas Industry Preparedness Handbook, Version 2.0, June 2021

図 3.2-4 緊急時の政府機関と民間事業者の連携体制

【参考】米国の海洋石油開発の管理体制

2010 年のマコンド事故後の再編

① BOEM: Bureau of Ocean Energy Management

海洋資源の調査及び開発を管理

② BSEE: Bureau of Safety and Environmental Enforcement

様々な規則の策定と執行を通して、安全の促進、環境保全及び海洋資源の保全を図る。

③ ONRR: Office of Natural Resources Revenue

エネルギー及び鉱物資源リースによって得られた歳入の徴収、説明、分析、監査、配分等

BSEE において策定される規則

- BSEE は、その責任と使命を果たすため、安全性の促進、環境保護、資源保護を目的とした海洋石油・ガス開発操業に関する規制を公布する。
- BSEE の規制プログラムには、規制*1 の策定と実施、これらの規制に関するガイダンス*2 の発行及び規制に使用する可能性のある業界標準と国際標準の評価が含まれる。

*1 Regulations: CFR - Code of Federal Regulations

*2 Guidance: NTL – Notice to Lessees and Operators （規則に係る正式な解説書）

3.3 保安対策の強化

3.3.1 関連法規の強化

BSEE（Bureau of Safety and Environmental Enforcement）は、米国の海洋石油開発において、安全の促進、環境保全及び海洋資源の保全を図るために、様々な規則の策定と執行実施している。また BSEE はオフショアの石油・ガス事業者や活動を監督しており、ハリケーンや熱帯性暴風雨、悪天候への備えや、そうした気象現象がアウター・コンチネンタル・シェルフの地域を通過した場合の報告義務などを課している。これらの要求事項は以下の連邦法（CFR: Code of Federal Regulation）や通達（NTL: Notice to Lessees and Operators and Pipeline Right-of-way Holders）にて記載されている。

30 CFR 250.192	Reports and Statistics Submissions related to Hurricane
30 CFR 250.417	Use of a Mobile Offshore Unit (MODU)
30 CFR 250.715	MODU GPS System Requirements
30 CFR 250.720	Well securing requirements
30 CFR 250.901	Industry Standards for Platforms
30 CFR 250.919	In-service Inspection Requirements

NTL 2007-G26	Design of New OCS Platforms and Related Structures for Hurricane Conditions
NTL 2008-G09	Guidelines for Moored Drilling Rig Fitness Requirements for Hurricane Season
NTL 2009-G10	Guidelines for Jack-up Drilling Rig Fitness Requirements for Hurricane Season
NTL 2009-G13	Guidelines for Tie-Downs on OCS Production Platforms for Upcoming Hurricane Seasons
NTL 2009-G30	Post-Hurricane Inspection and Reporting
NTL 2015-G02	Hurricane and Tropical Storm Effects Reports

(1) CFR

上記のうち CFR について以下にまとめた。

1) 30 CFR 250.192 Reports and Statistics Submissions related to Hurricane（改訂日：2012 年 7 月 1 日）

ハリケーン、熱帯低気圧、地震などの自然現象が発生した場合、地域監督官に避難統計（避難した施設やリグ、生産停止量など）を提出することを規定している。また設備が損傷した場合には損傷報告を提出することも規定している。

2) 30 CFR 250.417 Use of a Mobile Offshore Unit (MODU)（改訂日：2011 年 7 月 1 日）

移動式海洋掘削ユニット（MODU）の利用に際して BSEE へ提出する情報が規定されており、その中にはハリケーンシーズンに必要なエアギャップを含めたユニットの耐環境条件と運用条件が含まれている。

3) 30 CFR 250.715 MODU GPS System Requirements（改訂日：2020 年 7 月 1 日）

MODU への 2 基の GPS 搭載を規定しており、ハリケーンシーズン前及びハリケーンシーズン中も BSEE に対して GPS データを提供するように規定している。

4) 30 CFR 250.720 Well securing requirements（改訂日：2019 年 7 月 1 日）

坑井を保護するタイミングについて規定しており、その一つにハリケーンや熱帯性暴風雨の接近を規定している。

5) 30 CFR 250.901 Industry Standards for Platforms (改訂日：2012 年 7 月 1 日)

OCS で操業するプラットフォームに適用する規格を多数規定している。その中でハリケーン条件に言及しているガイダンスとして以下を規定している。

- ✓ API 2INT-DG「ハリケーン状況における海洋構造物の設計についての暫定ガイダンス」(2007 年)
- ✓ API 2INT-EX「ハリケーン状況における既存海洋構造物の評価についての暫定ガイダンス」(2007 年)
- ✓ API 2INT-MET「メキシコ湾のハリケーン条件についての暫定ガイドライン」(2007 年)

6) 30 CFR 250.919 In-service Inspection Requirements (改訂日：2013 年 7 月 1 日)

操業中の検査要件を規定している。その中にはハリケーンや地震、熱帯性暴風雨によって影響をうけた構造物の破損に関する報告を規定している。

(2) NTL

NTL (Notice to Lessees and Operators and Pipeline Right-of-way Holders) はすでに存在している法規制や要求事項に関しての説明や詳細を記したもので、BSEE によって発行される。ハリケーンに関連した NTL を以下にまとめた。

1) NTL 2007-G26「ハリケーンを想定した新しい OCS プラットフォームと関連構造物の設計」(発行：2007 年 10 月 1 日)

2004 年と 2005 年に発生したハリケーン「アイバン」「カトリーナ」「リタ」によって OCS における石油・ガス操業施設への大きな影響を受け、API は 2007 年 5 月に API RP 2A-WSD, Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design の 2.3.4 で記載されているメキシコ湾でのハリケーン気象条件を置き換えるために、API Bulletin 2INT-MET, Interim Guidance on Hurricane Conditions in the Gulf of Mexico を発行した。またこの更新されたハリケーン気象条件を使用する方法のガイダンスとして、API Bulletin 2INT-DG, Interim Guidance for Design of Offshore Structures for Hurricane Conditions を同時に発行した。

本 NTL では、これらの気象条件の適用や、異なる条件を適用する際の申請方法について解説している。また 30 CFR 250 で引用されているプラットフォームの設計に関する API 文書の遵守を支援するために、以下の API についての適用方法を解説している。

- ✓ API RP 2A-WSD , Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design
- ✓ API Bulletin 2TD, Guidelines for Tie-downs on Offshore Production Facilities for Hurricane

Season

- ✓ API RP2T, Planning, Designing, and Constructing Tension Leg Platforms
- ✓ API RP 2FPS, Planning, Designing, and Constructing Floating Production Systems
- ✓ API RP 2SK, Design and Analysis of Station keeping Systems for Floating Structures
- ✓ API RP 2RD, Design of Risers for Floating Production Systems (FPSs) and Tension-Leg Platforms (TLPs)

2) NTL 2008-G09「ハリケーンシーズンにおける係留型掘削装置の適合性要件に関するガイドライン」(発行：2008年6月1日)

メキシコ湾で係留型掘削リグを利用する際に提出すべき情報についてのガイダンスが示されている。

ハリケーンシーズン中に掘削許可申請書 (APD) を提出する際には、API RP 2SK の Appendix K の勧告に従うことを推奨している。

掘削許可申請書に、以下の情報を含めることとしている。

1. 現場に移動する前にリグと係留システムの最適な位置を確立できるように、リグのコントラクターに適切なサイト固有のデータ (潜在的な設置の危険性、周辺の地表及び海底のインフラ) を提供した、または提供する予定であることを証明する声明。
2. 風、波、潮流、高潮、潮汐を含む現場固有の気象データ (API RP 2SK, Appendix K のセクション 11 に概説されている基準を使用するか、API Bulletin 2INT-MET で入手可能) を、リグを現場に移動させる前にリグのコントラクターに提供した、または提供する予定であることを文書化し、現場でのリグの適切な係留を促進するためのステートメント。サイト固有のデータの代わりに、API RP 2SK, Appendix K の表 11.1 に示されている一般的なデータを使用することができる。
3. 係留システムで使用されているアンカーの種類 (API RP 2SK, Appendix K のセクション 8 を参照) と、API RP 2SK, Appendix K のセクション 8.1 に基づいて計算された保持容量の詳細及びパイプライン、固定施設の係留ライン、他のリグの係留ライン、海中機器 (テンプレート、PLET、海中タイインなど)、その他のインフラを含む半径 15 マイル以内の海中インフラの説明を含む係留図。
4. 最後に完了した係留検査の結果を文書化したリグのコントラクターからの情報。API RP 2SK, Appendix K のセクション 2.6 に記載されているように、API RP 2I, In-service Inspection of Mooring Hardware for Floating Structures, 3rd Edition の Appendix B に記載されている手順とスケジュールに従って、係留部品の検査を実施すること。
5. API RP 2SK, Appendix K の 6.3 項に記載されているリスクアセスメントで、少な

くとも以下のデータ要素を含むもの。 MODU 名、リグの位置（緯度／経度）、オンロケーション開始日及び終了日、最大アンカー半径、アンカーの種類、係留システムコンポーネントのリスト、使用した海洋基準及び 10 年、25 年、50 年、100 年再現期間の関連する 1 分間の風速、API の安全係数における再現期間、限界状態曲線。

6. 特定されたリスクを軽減したり、係留されているリグのハリケーンシーズンへの適合要件を変更したりする可能性のある追加情報。

3) NTL 2009-G10「ハリケーンシーズンに向けたジャッキアップ掘削リグの適合性に関するガイドライン」（発行：2009 年 6 月 1 日）

メキシコ湾でジャッキアップ掘削リグを利用する際に提出すべき情報についてのガイダンスが示されている。

ハリケーンシーズン中に掘削許可申請書（APD）を提出する際には、API RP 95J, Gulf of Mexico Jackup Operations for Hurricane Season の勧告に従うことを推奨している。

掘削許可申請書には以下に関する最低限の情報を含めることとしている。

1. 記入済みのジャッキアップ掘削ユニットのアセスメントチェックシート（チェックシート）。
2. ハリケーン荷重による沈下の可能性を最小限に抑えるため、リグのコントラクターが想定しているプリローディング手順と保持時間。
3. 次のハリケーンシーズンに向けたジャッキアップリグの適合性に関する要件を緩和または変更するような追加情報。

4) NTL 2009-G13「ハリケーンシーズンに向けた OCS 生産用プラットフォームの設備固定に関するガイドライン」（発行：2009 年 5 月 20 日）

メキシコ湾でのプラットフォームでハリケーンシーズンに利用する設備の固定についてのガイダンスが示されている。

ハリケーンシーズンにおける生産プラットフォームの設備固定については API Bulletin 2TD の推奨事項に従うこととしている。

5) NTL 2009-G30「ハリケーン後の施設の検査と報告」（発行：2009 年 9 月 1 日）

メキシコ湾における石油・ガス生産に関する以下の設備がハリケーンにあった後に実施する検査、生産再開、報告、修理などについて説明している。

- ✓ 固定式プラットフォーム

- ✓ 浮体式構造物
- ✓ 係留式モバイル掘削ユニット
- ✓ パイプライン
- ✓ 安全設備の検査

それぞれの設備については以下の項目について示している。

(a) 固定式プラットフォーム

以下の検査の実施

(i) レベル I 検査

一般的な目視検査

(ii) レベル II 検査（水面下）

- ✓ API RP 2A-WSD セクション 14 で定義された過酷な事故荷重を経験したもの
- ✓ プラットフォームの当初の設計または最新の評価基準を超える事象を経験した場合
- ✓ レベル I 調査の結果、レベル II 調査が必要であることが示されている場合

(iii) レベル III 検査（水面下）

- ✓ 構造部材に波浪による座屈や降伏が発生した場合
- ✓ レベル II 調査の結果、レベル III 調査が必要とされたもの

(iv) レベル IV 検査

- ✓ レベル III 調査で重大な構造的損傷が検出された場合
- ✓ 目視検査だけでは損傷の程度を判断できない場合

以上の検査の他、生産再開に関する確認事項や通知・報告及び修理計画の提出などについて規定している。

(b) 浮体式構造物

水面上の目視検査及び水中の検査についてのガイダンス、人員の搭載についての USCG の承認、生産再開の条件、通知・報告及び修理計画の提出などについて規定している。

(c) 係留式モバイル掘削ユニット

掘削ユニットの係留システムの検査内容に関するガイダンス、検査結果の報告について規定している。

(d) パイプライン

海底パイプラインにおける、接続部及びクロッシングの検査、ライザーの検査、カテナリーライザーの検査、漂流物による影響の検査などのガイドラインと、検査結果の報告と修理手順の承認について規定している。

(e) 安全設備の検査

安全設備の検査がハリケーンによって実施出来ない場合の検査中断の許可と生産再開前に必要な安全システムの確認について規定している。

6) NTL 2015-G02 「ハリケーン及び熱帯性暴風雨の影響に関する報告」(発行：2015 年 7 月 27 日)

ハリケーン及び熱帯性暴風雨による影響を電子メールや BSEE の GOMR が開発した eWell システムで電子的に提出するためのガイドラインが示されている。

電子メールでの報告には、

- ✓ 避難と生産縮小に関する報告
- ✓ 設備停止の報告
- ✓ 設備のダメージに関する方向
- ✓ 環境中に油を排出した場合の汚染に関する報告
- ✓ 生産再開の報告

などを報告する旨の指示が記載されている。

さらに eWell システムの「ハリケーンレポート」を利用することにより、上記内容を電子的に報告することが出来ると示されている。

7) ハリケーン後の検査と報告

上記のガイドラインの他に、ハリケーンが起こったあとの検査と報告について大きな被害をもたらしたハリケーンごとに以下のガイドラインが発効されている。

NTL 2002-G11	Hurricane and Tropical Storm Evacuation and Production Curtailment Statistics
NTL 2006-G01	Royalty Relief for Gulf of Mexico OCS Oil and Gas Leases with Facilities Damaged by Hurricane Katrina or Hurricane Rita
NTL 2007-G16	Hurricane and Tropical Storm Effects Report
NTL 2012-G02	Damage Caused by Hurricane Isaac
NTL 2017-G01	Inspection and Reporting for Hurricane Harvey

NTL 2017-G02	Inspection and Reporting for Hurricane Nate
NTL 2019-G06	Inspection and Reporting for Hurricane Barry
NTL 2020-G01	Inspection and Reporting for Hurricane Laura
NTL 2020-G03	Inspection and Reporting for Hurricane Sally
NTL 2020-G04	Inspection and Reporting for Hurricane Delta
NTL 2020-G05	Inspection and Reporting for Hurricane Zeta
NTL 2021-G02	Inspection and Reporting for Hurricane Ida

これらは大きな被害をもたらしたハリケーン毎に発行されており、施設の検査や修理についての指示などが記載されている。例として最新の NTL 2021-G02 の記載内容を以下に示す。

ナンバー：NTL 2021-G02

タイトル：Inspection and Reporting for Hurricane Ida

日付：2021 年 8 月 31 日

内容：30 CFR 250.106(b)及び(c)に従って発行されており、ハリケーン Ida の影響を受ける地域を特定して、OCS 施設への既知及び潜在的な損害のために必要な検査、計画、報告について説明している。

影響のあるエリアを下図 3.3-1 の赤い部分で特定。

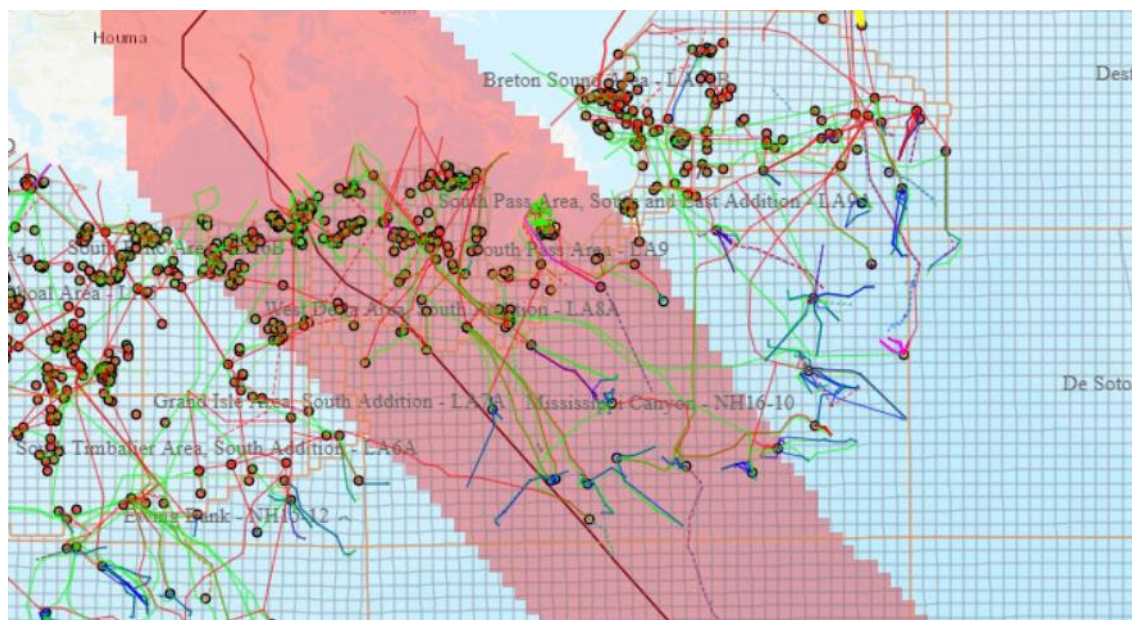


図 3.3-1 ハリケーン Ida の影響地域

また以下の内容について、指示や要請が示されている。

- ✓ 固定式プラットフォームやパイプラインについて、必要な検査の実施を指示し、速やかな修理の完了を要請している。
- ✓ 施設の損傷によって安全装置の試験や検査を実施できない場合には、検査の延長を認める。

3.3.2 石油業界団体におけるガイドラインの整備

米国の石油業界団体である API では、過去の大型のハリケーンや暴風雨より石油・天然ガス関連施設が受けた被害から学んだ教訓をもとに、海洋構造物の設計、操業、保守管理に係る規則やガイドラインの整備、更新を継続的に行っている。

石油・天然ガス上流部門では、2004 年のアイバン及び 2005 年のカテリーナという大型ハリケーンの相次ぐ襲来を契機に、風、波、潮流等の海象データの改訂と設計条件の見直しが進められ、関連ガイドラインの再整備がすすめられた。以下に概要をまとめる。

(1) API におけるガイドライン整備の経緯

1) 2006 年

API ハリケーン評価アセスメントチーム (HEAT) が API RP2A の 21 版におけるハリケーン海象条件の更新作業を実施した際、こういった新しい海象条件を独立した文書として発行し、すべての海洋構造物関連規格から参照できるようにする目的で、RP 2MET が検討された。

2) 2007 年

上記の経緯から以下の暫定ガイダンスが発行された。

- ✓ API 2INT-DG 「ハリケーン状況における海洋構造物の設計についての暫定ガイダンス」(2007 年)
- ✓ API 2INT-EX 「ハリケーン状況における既存海洋構造物の評価についての暫定ガイダンス」(2007 年)
- ✓ API 2INT-MET 「メキシコ湾のハリケーン条件についての暫定ガイドライン」(2007 年)

3) 2014 年

上記の暫定ガイダンス (2INT-MET、2INT-DG、2INT-EX) の内容を取り入れ、API 2SIM、2MET、2EQ、2GEO を開発し、以下の規格が発行された。

- ✓ RP 2A-WSD, 22nd Edition, Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design
- ✓ RP 2MET, 1st Edition, Derivation of Metocean Design and Operating Conditions (2nd edition, 2019)
- ✓ RP 2GEO, 1st Edition, Geotechnical and Foundation Design Considerations
- ✓ RP 2EQ, 1st Edition, Seismic Design Procedures and Criteria for Offshore Structures
- ✓ RP 2SIM, 1st Edition, Structural Integrity Management of Fixed Offshore Structures

また、ISO 規格との整合性を図るために、2A-LRFD の改定が行われた。

- ✓ RP 2A-LRFD, “Planning, Designing, and Construction Fixed Offshore Platforms –Load and Resistance Factor Design“

4) 2019 年

海洋の浮体式構造物に関する健全性管理プログラムを推進するために、以下の規格が発行された。

- ✓ RP 2MIM, Mooring Integrity Management, addresses the mooring components that secure a facility to the seafloor
- ✓ RP 2RIM, Integrity Management of Risers from Floating Production Systems
- ✓ RP 2FSIM, Floating Systems Integrity Management

(2) 調査対象ガイドライン

以上のようなガイドライン整備状況に鑑み、以下の主要なガイドラインについて、概要及びハリケーン対応に係る主要変更点をまとめる。

一般

1) API RP 2MET, “Derivation of Metocean Design and Operating Conditions”

石油産業で利用される全てのオフショア構造物の設計・建設・運転のための気象海象条件に関するガイドライン

固定式

2) API RP 2A-LRFD, “Planning, Designing, and Construction Fixed Offshore Platforms –Load and

Resistance Factor Design“

オフショアにおける炭化水素資源の掘削・開発・生産・貯蔵に使用される新設の固定式オフショアプラットフォームの設計・建設及び既存プラットフォームの移設に関するガイドライン – 荷重抵抗係数設計法

3) API RP 2A-WSD, “Planning, Designing, and Construction Fixed Offshore Platforms -Working Stress Design“

オフショアにおける炭化水素資源の掘削・開発・生産・貯蔵に使用される新設の固定式オフショアプラットフォームの設計・建設及び既存プラットフォームの移設に関するガイドライン - 許容応力度設計

本規格は CFR250.901 にて必要に応じて適合すべき規格の一つとして取り上げられており、新設の固定式オフショアプラットフォームの設計・建設において遵守する規格となっている。

4) API RP 2SIM, "Structural Integrity Management of Fixed Offshore Structures“

オフショアにおける炭化水素資源の掘削・開発・生産・貯蔵に使用される既設のオフショア構造物の健全性管理に関するガイドライン

浮遊式

5) API RP 2MIM, "Mooring Integrity Management“

オフショアにおける炭化水素資源の掘削・開発・生産・貯蔵に使用される浮遊式生産設備（FPS）の係留の健全性管理に関するガイドライン

(3) 関連ガイドラインにおけるハリケーン関連記載事項と更新

1) API RP 2MET, “Derivation of Metocean Design and Operating Conditions”

(a) 概要

石油産業で使用される全てのオフショア構造物の設計・建設・運転のための気象海象条件に関するガイドラインである。2014 年に第 1 版、2021 年に第 2 版が発行された。

(b) 目次

1. スコープ（Scope）
2. 参照規格（Normative References）
3. 用語と定義（Terms and Definitions）
4. シンボル及び略号（Symbols and Abbreviated Terms）
5. 関連する海象パラメータの決定（Determining the Relevant Metocean Parameters）
6. 水深、潮流及び高潮（Water Depth, Tides, and Storm Surges）

7. 風 (Wind)
 8. 波 (Waves)
 9. 流れ (Currents)
 10. 他の環境ファクター (Other Environmental Factors)
 11. 海象データの収集 (Collection of Metocean Data)
 12. 付属書に関する情報 (Information Concerning the Annexes)
- 付属書 A 追加情報とガイダンス (Additional Information and Guidance)
- 付属書 B 北西ヨーロッパ (Northwest Europe)
- 付属書 C アフリカ西海岸 (West Coast of Africa)
- 付属書 D カナダ沖合 (Offshore Canada)
- 付属書 E サハリン／オホーツク海 (Sakhalin/Sea of Okhotsk)
- 付属書 F カスピ海 (Caspian Sea)
- 付属書 G 東南アジア海域 (Southern East Asian Sea)
- 付属書 H アメリカ メキシコ湾 (US Gulf of Mexico)
- 付属書 I アメリカ カリフォルニア海岸 (US Coast of California)
- 付属書 J アメリカ 他の海域 (Other US Waters)
- 付属書 K 逸脱の識別と説明 (Identification and Explanation of Deviations)

(c) ハリケーンに関連する記載内容及び変更点

API RP 2MET は、ISO 19901-1 “Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures — Part 1: Metocean design and operating considerations” (石油・石油化学及び天然ガス産業用材料及び装置 — 海洋構造物の特定要件 — 第 1 部：海象を考慮した設計及び運用に関する考慮事項) の内容を取り込み、2014 年に第 1 版が発行された。2015 年に ISO 19901-1 の第 2 版が発行され、API RP 2MET と ISO 19901-1 をより密接に連携させるため、RP 2MET 第 2 版では主に以下の点が変更されている。

- ✓ 米国の地域別付属書を付属書 H (メキシコ湾)、付属書 I (カリフォルニア)、付属書 J (その他の米国水域) として追加。メキシコ湾の付属書は、RP 2MET 第 1 版の内容をベースにしており、ハリケーン時のハザード曲線が更新されているが、それ以外はほぼ同じ内容。その他の米国の付属書の内容は、RP 2MET の第 1 版から変更されていない。
- ✓ 情報付属書「A.7 風」を更新し、異なる暴風雨のタイプ (温帯低気圧、熱帯低気圧、スコール) に対する突風のプロファイルを含めるとともに、温帯低気圧と熱帯低気圧に対する個別の風のスペクトル計算式を提供。
- ✓ ISO-19901-1 の第 2 版と RP 2MET の第 2 版との相違点を簡潔にまとめた付属書 K を追加。

第 2 版の改訂では、表 3.3-1 に示すように波高に関する値が増加していることがわかる。

表 3.3-1 メキシコ湾西側波高など（26°N～31°N，92°W～98°W，水深 120m 以上）

	再現期間（年）				
	10	15	25	50	100
有義波高（m）＊	9.0	10.6	11.8	13.2	14.4
第 1 版比	8.4% up	14.0% up	11.3% up	7.3% up	2.9% up
最大波高（m）＊	16.0	18.6	20.9	23.3	25.4
第 1 版比	8.8% up	12.0% up	11.8% up	7.4% up	2.8% up
最大水位（m）＊	10.3	12.0	13.5	15.0	16.3
第 1 版比	8.4% up	12.1% up	11.6% up	7.1% up	2.5% up

＊：API RP 2MET 2nd Edition, Table H.2 より

（出典：一般財団法人エンジニアリング協会、「令和 2 年度石油ガス供給等に係る保安対策調査等委託費報告書」表 3.1-16 より）

2) API RP 2A-LRFD, “Planning, Designing, and Construction Fixed Offshore Platforms –Load and Resistance Factor Design“

(a) 概要

本規格は、石油・天然ガスセクターで使用するケーソン、ジャケット、モノタワー、タワー等の固定式スチール海洋構造物及び底部基礎構造やその他関連する海洋構造物を対象として、以下のような要求事項を定めている。

- ✓ 新規構造物の設計、製作、輸送及び据え付け、並びに将来の撤去
- ✓ 新規構造物及び既存構造物の供用期間中検査と健全性管理
- ✓ 既存構造物の評価
- ✓ 異なる場所で再利用するための構造物評価

1993 年に発行後、ISO 規格との整合性を図り 2014 年に第 2 版が策定された。

(b) 目次

1. スコープ（Scope）
2. 参照規格（Normative References）
3. 用語・定義・略称（Terms, Definitions, Symbols, and Abbreviated Terms）
4. 固定式海洋スチール構造物の種類（Types of Fixed Steel Offshore Structure）
5. 計画（Planning）
6. 全体的な考察（Overall Considerations）
7. 一般的設計要求事項（General Design Requirements）
8. 使用前状況における荷重／動作（Loads/Actions for Pre-service Situations）
9. 現場状況における荷重／動作（Loads/Actions for In-place Situations）
10. 偶発的な状況（Accidental Situations）

11. 耐震設計上の留意点 (Seismic Design Considerations)
12. 構造モデリングと解析 (Structural Modeling and Analysis)
13. 管状部材の強度 (Strength of Tubular Members)
14. 継手の強度 (Strength of Tubular Joints)
15. その他構造部材の強度と疲労耐久性 (Strength and Fatigue Resistance of Other Structural Components)
16. 疲労 (Fatigue)
17. 基礎設計 (Foundation Design)
18. 腐食防止 (Corrosion Control)
19. 材料 (Materials)
20. 溶接、加工及び溶接部の検査 (Welding, Fabrication, and Weld Inspection)
21. 品質管理、品質保証、文書化 (Quality Control, Quality Assurance, and Documentation)
22. 搬出、搬入、据付 (Loadout, Transportation, and Installation)
23. 構造物の再利用 (Structure Reuse)

(c) ハリケーンに関連する記載内容及び変更点

API では 1993 年に Load and Resistance Factor Design (LRFD) 方式を用いた固定式海洋プラットフォームの設計基準として API RP 2A-LRFD 第 1 版を発行した。その後、ISO が海洋構造物の LRFD 方式による設計基準として ISO19902 を策定したことを受けて、国際規格として整合・統一を図るために 2014 年に API RP 2A-LRFD 第 2 版として改訂発行した。

メキシコ湾での極限海象条件 (Extreme metocean parameters) については、API 2MET の規定を参照することとしている (6.3 環境に関する考慮事項)。

また既設の構造物に対する評価をする場合には API RP 2SIM の評価要求に従うことが記載されている。

3) API RP 2A-WSD, “Planning, Designing, and Construction Fixed Offshore Platforms -Working Stress Design“

(a) 概要

本規格は、海域における石油・天然ガスの掘削・開発・生産・貯蔵に使用される固定式海洋プラットフォームの設計・建設、既存プラットフォームの再利用 (移設) に関する、WSD 方式に基づいたガイドラインである。21 版が 2000 年、22 版が 2014 年に発行された。22 版では 21 版以前と大きく構成が異なっており、旧版に記載されていた項目のいくつかは他の規格 (RP 2MET や RP 2SIM など) に移行している。

(b) 目次

1. スコープ (Scope)

2. 参照規格 (Normative References)
3. 用語・定義・略語等 (Terms, Definitions, Acronyms, and Abbreviations)
4. 計画 (Planning)
5. 設計基準及び手順 (Design Criteria and Procedures)
6. 構造用鋼材の設計 (Structural Steel Design)
7. 継手の強度 (Strength of Tubular Joints)
8. 疲労 (Fatigue)
9. 基礎設計 (Foundation Design)
10. その他構造部品及びシステム (Other Structural Components and Systems)
11. 材料 (Material)
12. 図面及び仕様書 (Drawings and Specifications)
13. 溶接 (Welding)
14. 組立 (Fabrication)
15. 据付 (Installation)
16. 検査 (Inspection)
17. 偶発荷重 (Accidental Loading)
18. 再利用 (Reuse)
19. 小型構造物 (Minimum and Special Structures)

付属書 A : 21 版と 22 版の図表対応

付属書 B : 解説

(c) ハリケーンに関連する記載内容及び変更点

設計上考慮するパラメータとして波・潮位・潮流・風などを挙げており、これらのパラメータに影響を与える事象として、ハリケーンを含む暴風雨が含まれている。

各パラメータの設計への反映方法（設計荷重の計算方法など）は本規格 5 章以降で紹介されているが、パラメータ自体の設定方法については 2MET を参照している。

なお既設の構造物については一般に最新の規格を満たしていないことが考えられるため、API RP 2SIM に従って評価して管理することを記載している。

またプラットフォームの曝露カテゴリー（リスクに晒される度合いを表し、リスクが大きいものから小さい順に L-1、L-2、L3 に分けられる）とプラットフォームの構成に応じて、

- ✓ 通常設計基準：50～100 年間の期待値の暴風波
- ✓ 堅牢性極限耐力解析：500～1000 年期待値の暴風波

の適用を示しており、堅牢性レベルの解析は、API RP 2SIM の極限耐力解析手順に規定されている。

4) API RP 2SIM, "Structural Integrity Management of Fixed Offshore Structures

(a) 概要

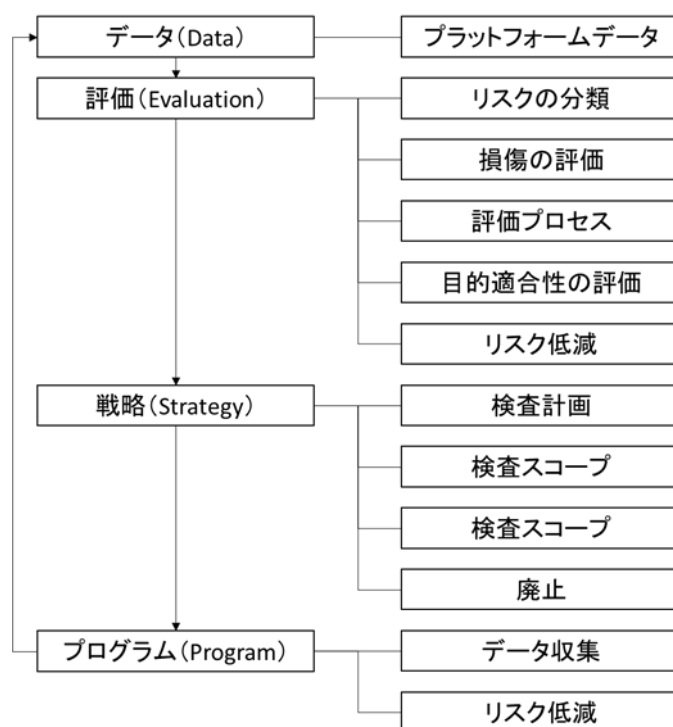
本規格は、固定式海洋プラットフォームの構造健全性管理（**Structural Integrity Management: SIM**）プロセスを実施・提供する際のガイダンスを示したものである。初版は 2014 年で、2021 年末時点で改訂はされていない。

(b) 目次

1. スコープ（Scope）
 2. 参照規格（Normative References）
 3. 用語・定義・略語等（Terms, Definitions, Acronyms, and Abbreviations）
 4. 構造健全性管理（SIM）の概要（Structural Integrity Management Overview）
 5. SIM プロセス（Structural Integrity Management Process）
 6. 調査（Surveys）
 7. 損傷評価（Damage Evaluation）
 8. 構造評価プロセス（Structural Assessment Process）
 9. 海象的負荷の評価（Assessment for Metocean Loading）
 10. 疲労に関する負荷の評価（Assessment for Fatigue Loading）
 11. 地震による負荷の評価（Assessment for Seismic Loading）
 12. 氷による負荷の評価（Assessment for Ice Loading）
 13. リスク低減（Risk Reduction）
 14. プラットフォーム廃止（Platform Decommissioning）
- 付属書 A SIM に関する解説

(c) 本規格の要旨

SIM は、構造物がそのライフサイクルを通して目的に適合していることを示すための、疲労・損傷・荷重変化・偶発的な過荷重による影響の管理手法である。図 3.3-2 に示すとおり、**SIM** プロセスの中にはデータ収集・評価・戦略立案・プログラム策定といったプロセスが含まれる。



(出典：API RP 2SIM 1st Edition, Figure 1 より作成)

図 3.3-2 構造健全性管理プロセスの概要

この規格で示された方法論自体は、世界中のあらゆる固定式海洋構造物に適用することができる。しかし基準（具体的には再現期間）に関しては、米国メキシコ湾及び西海岸のプラットフォームの目的適合性評価にのみ適用できるとしている。

(d) ハリケーンに関する記載内容

9章「海象的負荷の評価」では、リスク評価の基準として想定すべき海象・気象（ハリケーン等）の再現期間が示されている。その数値は、リスク評価の手法や、表 3.3-2 に示すプラットフォームの曝露カテゴリー（有人か無人か、故障した場合の影響はどの程度かといった状況により、リスクが大きい順に L-1 から L-3 に分類）、設計時に参照した 2A-WSD の版によって異なる（たとえば表 3.3-3）。この表によれば、版が新しければ再現期間が長く、つまり想定すべき気象・海象条件が厳しくなっている。このことについて本文では、「業界での経験（Industry experience）によって 20 版より以前の版での基準の低減が可能となっている」と述べられている。

なお、その再現期間におけるパラメータ（風速・波高等）の数値は 2MET、そのパラメータによって生じる負荷の計算は 2A-WSD を参照している。

表 3.3-2 曝露カテゴリー

人命保護カテゴリー	故障した場合の影響		
	C-1（大）	C-2（中）	C-3（小）
S-1（有人設備・未避難）	L-1	L-1	L-1
S-2（有人設備・避難済）	L-1	L-2	L-2
S-3（無人設備）	L-1	L-2	L-3

出典：API RP 2SIM 1st Edition, Table 1 より作成

表 3.3-3 Design Level Method におけるメキシコ湾のプラットフォームの評価基準

曝露カテゴリー	API 2A-WSD の版		
	19 版以前	20 版・21 版	22 版以降
L-1（リスク大）	50 年	100 年	100 年
L-2（リスク中）	15 年	50 年	50 年
L-3（リスク小）	10 年	25 年	25 年

出典：API RP 2SIM 1st Edition, Table 5 より作成

5) API RP 2MIM, “Mooring Integrity Management”

(a) 概要

本規格は 2019 年に API の海洋浮体構造物の規格として新たに追加された規格で、係留システムの健全性管理についてのガイドラインである。本規格と同時に海洋浮体構造物の健全性管理ガイドラインとして、API RP 2FSIM（浮体システム）及び API RP 2RIM（ライザーシステム）が発行されている。

(b) 目次

1. スコープ（Scope）
2. 参照規格（Normative Reference）
3. 用語、定義、略号（Terms, Definitions, and Abbreviations）
4. 係留健全性管理プロセス（Mooring Integrity Management Process）
5. 検査及びモニタリング（Inspection and Monitoring）
6. 評価プロセス（Assessment Process）
7. 評価方法（Assessment Methods）
8. リスク低減（Risk Reduction）

付属書 A 解説-追加情報とガイダンス（Commentary – Additional Information and Guidance）

付属書 B 係留健全性管理システムの目的（Mooring Integrity Management System Objectives）

付属書 C 故障の原因（Causes of Failure）

付属書 D 事故対応計画 (Incident Response Planning)

付属書 E 検査手法及び目的 (Inspection Methods and Objectives)

(c) 本規格の要旨

本規格は海洋浮体構造の係留システムのシステム健全性を維持するためのプロセスである「健全性管理」を開発、実施、提供する際のガイダンスである。その対象とするシステムは以下の図 3.3-3 に”Mooring”として緑で示した部分（アンカーから浮体ユニットへの接続部まで）である。

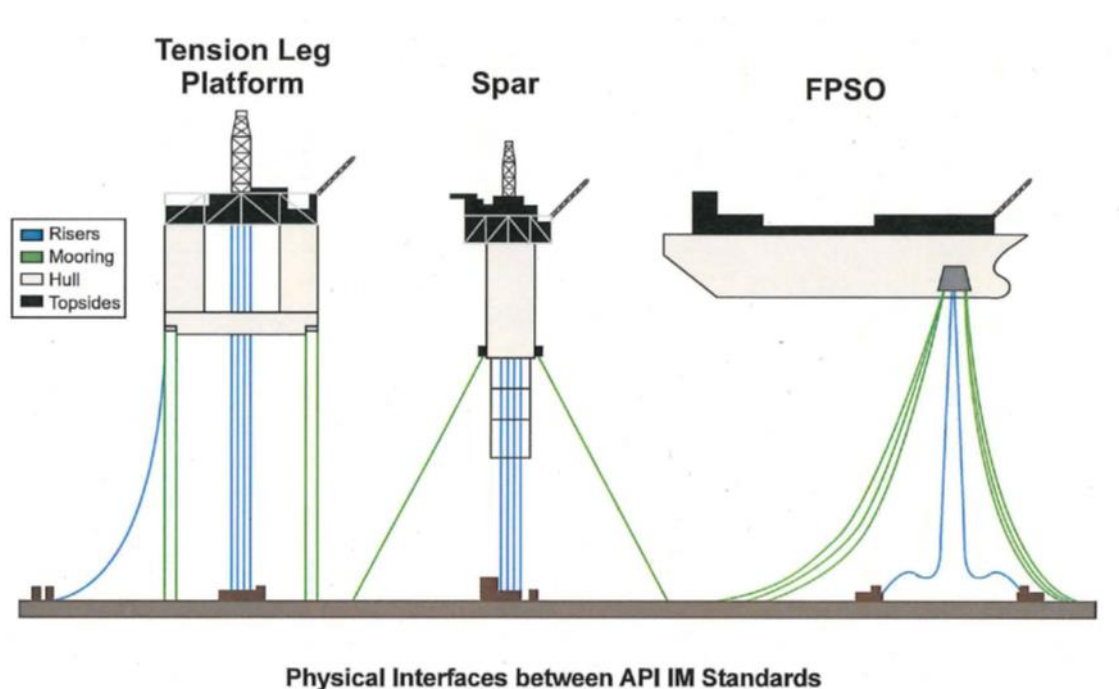


図 3.3-3 RP 2MIM の対象である係留システム（緑で示す）

（出典：API RP 2MIM First Edition, “Introduction”）

係留システムの健全性管理とは、係留システムの寿命全体にわたりそのサービスに対する適合性を確保するプロセスのことであり、以下の図 3.3-4 に示す様なフローチャートで示される。

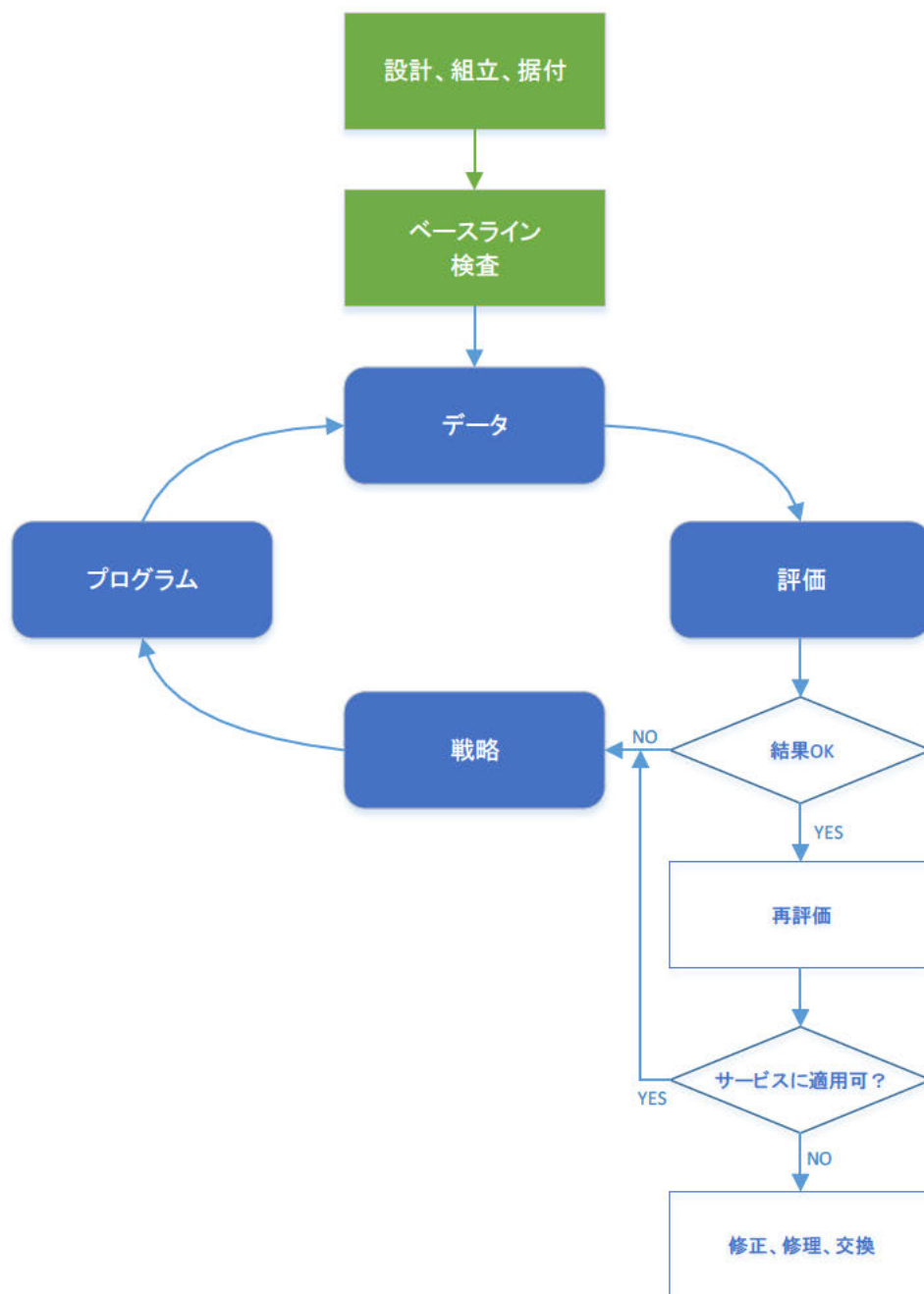


図 3.3-4 健全性管理プロセス（出典：API RP 2MIM の Fig. 1 に基づき作成）

また図 3.3-4 に示されている、健全性管理プロセスの構成要素である「データ」、「評価」、「戦略」、「プログラム」は、それぞれ以下の内容を意味している。

データ	IM データやその他の関連記録の収集、保管、検索のためのシステムを管理
評価	機械的な健全性とサービスへの適合性の評価、改善策の策定
戦略	運用中検査の全体的な検査理念、戦略、基準
プログラム	検査活動とオフショア作業のための詳細な作業範囲

(d) ハリケーンに関する記載内容

以上のように、本規格は近年勢力が甚大化しているハリケーンなどの自然災害の影響を受けて発行されたものではないが、第5章「検査とモニタリング」中にて、ハリケーンを含む自然災害を受けた後の検査の実施を義務づけている。

4. AI・IoT 等新技術導入動向

4.1 デジタル技術と石油ガス開発業界

Industry4.0 と称される第四次産業革命は、近代的なスマート技術を利用し伝統的な製造方法やプロセスに自動化への適用や新たな価値を付加するものである。この実現は近年のセンサー技術、Cloud 等の大容量データのハンドリング技術、Networking 及び通信技術、Robot、3D Printing 技術等の新しい技術の著しい発展が支えている

石油ガス業界でも、デジタル化や自動化により、自社の製品やサービスをより効率的、持続可能な、競争性のある製品とプロセスに変換、もしくは創造しようとしている。Digitalization の最も基本的な点は Data より価値を創造することで、石油ガス業界上流においては 1%の効率改善で巨大な利益を上げうる結果が得られる。

DNV-GL が 2020 年に実施した調査「Oil and Gas Industry Outlook2020」で、石油会社は 2020 年に Digitalization に費やす費用を、そのまま維持する、または増やすとの回答を得ている。データに裏付けされた洞察（Data Driven Insight）を伴うデジタル技術は、Operation を変革し、効率を上げ、機敏さを増し、探鉱活動における Value Chain のどの段階でも必要な戦略的な意思決定を可能にしている。

「Big Data to Smart Data」、「Lower for longer」を合言葉に、より最適化、効率化を進める方法を模索し、今までに蓄積してきた膨大かつ役立つ Data Set に新たに供給される New Data を加え、それを進化した Algorithm によって処理し、価値の創造を実現している。

こういったことにより操業費用の節約、機器の故障の予測、油ガスの生産性の向上、効率的な資産管理を実現することを目的とし AI 技術の導入に舵を切っている。

AI と IoT は石油ガス業界における油ガス生産者と機器や製品製造者に、坑井や Field の生産性を高めることが出来る競争力を与えている。AI は、伝統的な Human Centered Business Process から PC (AI) Solution への移行というように Competition Rule も変更しつつある。

メジャー石油会社は IoT と AI を使用し、遠隔オペレーションを可能にし、作業員の安全性を高め、Virtual Training や Maintenance オペレーションへの適用を推し進めている。彼らは、効率化を向上させたことによる費用削減効果には言及していなくても潜在的な安全性への Advantage を持って AI 技術と自動化の研究と開発の面で一歩先に進んでいる。

Data Science Driven Technology のキーポイントは Big Data を Smart Data に替えるという点である。これは Cloud 上に Data を提供するのみでなく、解析により新たな Insight を加え必要な情報を取得するといったものである。

4.1.1 IoT

石油ガス業界における The Internet of Things (IoT) は物体の Network を Internet につな

ぐことである。対象となるのは **Wearable device**、機器、車両、建物の電気設備、その他電子機器、センサー、**Network 機器**、**Software** を組み入れた全てのものである。

IoT の適用によりより良い **Field Communication**、**Maintenance Cost** の削減、**Field Infrastructure** のデジタル化、リアルタイム **Monitoring**、自動化、電力量削減、資産の **Security**、より良い **Safety** が得られ、結果としてより高い生産性を生み出している。

4. 1. 2 Artificial Intelligence (AI)

Artificial Intelligence (AI、人工知能)は、例えば車の自動運転、**Apple** 社の **Siri** や **Amazon** の **Alexa** 人語 **Speech**、**Chess** などの対戦ゲームでの勝負を含む、機械が学習し問題解決を図るための非常に広範囲の技術改良と **Application** をカバーする用語である。探査から連続監視、計画立案と予測、安全性の向上といったように石油ガス業界における **AI** と自動化技術の適用対象は多い。例えば海洋の厳しい環境におけるリグや生産施設といった危険が大きい環境で作業員に代わって自動化 **Robot**、自動監視を使用することは利益になるものがある。

AI は探鉱、生産の初期段階からの **Life Cycle** に自動化及び最適化に使用されている。これらは生産性を高め、操業費用を削減し、リスクを減少させることに帰依している。掘削位置と **Target** を精確に把握する能力はあらゆる **Drilling Activity** において **Return on Investment (ROI)**を最大化させることに繋がっている。油ガス開発は大きな裾野が必要となる活動分野である。これらは探鉱、生産、中流、精製、そして関連するサービスと機器を含む。探鉱では **AI** にて **Operator** は **Reservoir** 状況を理解し、地質学的リスクを最小化できる。**Operator** はより良い探鉱活動や生産の意思決定に活用でき、また権益買収戦略に活用できる。**AI** は坑井デザイン、掘削仕上げ作業の遂行に役立っている。**AI** は回収値を最大化するための坑井毎の **Spacing**、配置を最適化し、**ROI** を最大化させることに役立つものである。また **Subsurface** のリスクを減少させ、回収を最適化し費用を最小化させるような坑井デザインにも使用される。毎日、月ごと、坑井の **Lifecycle** 全般にわたり生産予測を精確に立て、生産活動を成功裏に完了するために使用される。**Machine Learning** は坑井の寿命全般における生産を最大化させるために圧力、**Flow Rate**、その他もろもろの事を最適化させるのに役立つ。更には、生産量が低下する前に **Operator** に坑井 **Issue** の発生を予測させる異常予知が可能となる。

AI は堅固な変革と **Competition Rule** を変える **Trigger** となっている。伝統的な人間中心の (**human centered**) ビジネスプロセスの代わりに **AI** を利用して価値を創造する方向に転換してきている。膨大かつ役立つ **Dataset** と新たに供給される新しい **Data** を使用する進化した **Algorithm** により新たな価値が創造されることに繋がっている。油ガス業界では **AI** や他のデジタル技術利用の主目的は効率の改善である。地質学的 **Assessment**、掘削、**Reservoir Engineering**、生産最適化などの様々な **Upstream** における活動が **AI** 採用でなされている。これらはプロセスの加速化やリスク排除がメインである。

石油ガス業界における **AI** 適用の主たるものは **Machine Learning** と **Data Science** である。**Machine Learning** は石油ガス発見と開発において石油会社が膨大なリアルタイムでの情報と膨大な **Data Set** から役立つ **Data Set** を抽出することに利用されている。

4.1.3 Big Data と Data 解析

Big Data のコンセプトは、Volume が増え、Variety に富み、Data 速度が増したものと定義づけられている。石油ガス業界では、三次元震探、掘削データ、生産データ、生産施設の監視データ（圧力、Flow Rate、温度、等）等、膨大な量のデータを産み出し、扱ってきた。こういったデータを作り、集め、保存する能力は常に増えて行っている。しかしながら膨大なデータが蓄積されることにより管理と分析に問題が生じている。そういったデータの解析は、他の業界におけるものと同様に、石油ガス業界においても、探鉱及び生産活動の効率化と安全性の向上に向け、直近 5 年間で注視され改革されてきた分野である。

現在、こういった Big Data をいかにして活用するかの研究開発事例は数多く報告されているが、実際に採用されて使用されている例はわずかである。研究プロジェクトは探鉱、掘削、油層エンジニアリング、生産エンジニアリングに亘り幅広く実施されている。

4.1.4 AI・IoT 技術利用の利点

今までにも述べてきたが、AI・IoT 技術利用の主な利点を以下に記載する。

(1) Subsurface Well Data Analysis and Management

石油ガス坑井の監理には以下の様な様々な項目の習熟した知見が必要となる。

- ・油層工学
- ・地質学
- ・生産工学
- ・石油物理学
- ・操業
- ・震探解釈

これらの項目に AI・IoT 技術を適用することで、保有する権益や坑井の Performance を深く理解することができ、Operation 効率の向上のためのツールの開発に役立つものである。石油ガス業界では膨大な量のデータを産み出し、扱ってきた。しかしながら膨大なデータの管理と分析には限界があり、必要なデータが埋もれていることも多い。Super Computer にて AI と Advanced Algorithm を利用した Data Mining には大きな効果が期待されている。例えば Chevron は AI を利用した Software を使用し、過去の坑井の Performance データを解析している。

また企業買収のための資産評価や買収プロセスの決定に当たり、AI や Machine Learning を使用できる。

(2) Planning の効率化

AI・IoT 技術を適用して資産のデジタル化が実現可能となる。これは Digital Twin 技術と称される。これは地質モデル等の地下情報や地上設備等の両者に適用できる。デジタル化

された地下情報は Digital Oil Field として掘削位置の選定、掘削プロセスや生産プロセス Simulation の実施に役立つ。また、デジタル化された施設は施設設計時の生産フロー Simulation や Process Safety 実施にも役立つ。

また 3D Printer 技術によるミニ Model 作りによる設計時の Simulation 強化が可能である。

(3) Downtime を減少 (Uptime の増加)

AI・IoT 技術の基本的な使用方法の一つとして、いくつもの現場に設置されている多数の機器の Real Time Data と Historical Data を繋ぎ合わせて、Machine Learning を使用することにより、精度の高い Digital Model を作成することが可能となる。AI・IoT では次に Data Analytics により機器の破損可能性を高確率で予測する。これにより機器の修理を計画された Maintenance Schedule Window 内で実施し、Smoother Operation と予測出来ない Downtime を減少または無くすることができる。

(4) サービス及び Maintenance 費用の削減

AI・IoT 技術は、機器を任意に発生する Maintenance または使用時間目安による Maintenance ではなく、実際の機器の運転状況に合わせた Maintenance に対応することが出来る。これは機器の寿命を延ばし、生産効率を高めることに繋がる。

(5) Device Optimization

AI・IoT 技術は進化した Data 解析手法を利用した現場の個々の機器の Digital Model を作成することで、現場の機器のうち最適だと考えられる Operation Performance を特徴付けられる。この特徴付けと、機器の運転 Parameter 設定、Calibration、サービスタイミング、形状を含む他の要素を稼働中の機器に適用できる。この Device Optimization Process により生産性効率の改善を図ることが可能である。

(6) 自動化による Operation Cost 削減

現場機器監視の自動化は、Real Time Processing に必要なデータを取得し、同時に計器盤に表示することで、機器の設置場所に人員の介在を待つことなしに、Control Center または Back Office での即時の対応を可能とする。

また探鉱、掘削、生産に係るシステムをデジタル化することにより監視と遠隔操作を可能にし、Operation Cost の削減につなげることができる。

特に高コストの Task を自動化することで、究極的には機器の運転をほぼ Zero Downtime といった最適に近い形で運用できることも期待可能となる。

(7) より良い Field Communication (Connected Worker 技術) による業務効率化

Smart Glass や Augmented Reality (AR)を利用した Connected Worker 技術により、自動監

視されていない機器であっても作業員が常に機器の最新データを提供することが可能となる。入手できるデータ量が増えることにより、より細かい観察が可能となる。機器の運転状態の変化、不具合発生のタイミングの予測も、Machine Learning と併用させれば実現となる。また、同時に作業員に必要な情報の提供が可能となる。例えば Field Technician が遠隔で Troubleshooting を実施し、その結果をリアルタイムで現場に提供できることから維持管理費用の削減が実現可能である。Technician が現地に向かい調査、分析、報告を完了する日数は平均で 10 日間要すると言われ、この間の日数と Technician が現地に向かうための旅費等も節約することができる。

(8) HSE の向上

Health, Safety and Environment (HSE) は石油会社において日々の操業を成功裏に完了させるための最も重要な要素である。石油関連施設で働く作業員は通常から毒性や腐食性の強い環境、手作業の作業、隔離された作業場所、高温環境といった健康に影響を与える過酷な環境での作業を強いられている。

自動化により作業員の介在の機会が減らせ、すなわち安全性の向上につながる。

また、災害発生時の莫大なデータが得られれば将来の災害の発生を防ぐことにつながる。AI や Machine Learning により災害発生時のデータにアクセスし年月をかけて学習することで災害の再発防止することが可能である。AI・IoT 技術は Proactive 及び Preventive 両面から Decision Making に役立つ。

また、例えば Smart Glass や Smart Safety Helmet と RFID (Radio Frequency Identifier) タグとにより現場作業員と事務所が接続できる。

RFID タグは作業員の位置を追跡し立ち入り制限区域と指定区域に入ったことをリアルタイムに教えることのできるツールである。これはその作業場毎の規則や時間ごとの要求事項に合わせてカスタマイズできる。またこれにより作業員の位置を指定し、他作業員に規則や警告を伝えることも可能となる。

Digital Twin のような Digital Oilfield Technology や遠隔監視技術の発展は業界を無人化に近づけ、それは最終的には安全性の向上にも繋がる。

4.1.5 相互の関連例

AI・IoT 技術はそれぞれ単独で使用されるものではなく、相互に深く関連したものである。

例えば、自動化された生産施設では AI・IoT 技術の機能のうちの、接続（通信）・処理、監視、予測、自動化、最適化の 5 つの機能が関連している。それらは以下の様に機能している。

(1) 接続（通信）・処理

- Data 収集と Network、Cloud Base の Database 及び Application への伝達し、結びつけることが可能となる。

- ・データを **Filtering** し、目的に沿って優先順位付けと前処理ができる。
- ・それぞれの **Buisness Rule** に合わせて **Asset** に対する **Action** を結びつける

(2) 監視

- ・ **Asset** よりの膨大な量の **Real-Time data** をその場と遠隔とどちらでも監視する **Logic** を提供できる。
- ・複雑な **Event** の検知を **Real Time** で監視できる
- ・異常状態時に止める **Rule** を適用できる。

(3) 予測

- ・頻繁に **failure** に繋がるきっかけや複雑な **Action** の重ね合わせによる状況を確定できる
- ・**Failure** を起こさないための予防措置を会社のシステムと統合できる
- ・最適なタイミングでの **Preventive Maintenance** 実施をスケジューリング出来ることから予測しない **Downtime** の発生を取り除くことができる。

(4) 自動化

- ・**Machine Learning** の適用により機器の効率最適化が図れ、**Failure Cost** の低減が可能となる
- ・機器の不具合を検知する **Predictive Modeling** が可能

(5) 機器の運転 Performance 最適化

- ・**Digital Asset Monitoring** により高 **Performance** 機器の **Operational Parameter** を **Benchmarking**
- ・**Best Performing Equipment** の **Operation Parameter** を参考に **Performance Optimization** が可能
- ・**Prescriptive Remediation** により **asset** の改善能力を **less** から **Optimal** にできる

4.2 石油会社の AI・IoT 技術の導入例

石油会社及び関連サービス会社における AI・IoT 技術の導入例を以下に示す。

(Remote Drilling Operation, Monitoring)

Chevron は 2019 年 8 月より **Edge Computing** 能力と **Data Analytics** 能力の挺入れを行い、中西部の **Operation** で 3 百万 Ft (約 1 百万 m) 以上の掘削経験を得て、現在では 100%の遠隔掘削を実施している。同社はまた、**AI base Algorithm** を使用した **Predictive Analytics** により遠隔地の坑井の監視と、異常の早期発見と対応に役立てている。

(Digital Twin、AR/VR)

Chevron はまた、Expert が事務所もしくは他の Location で作業をしていても Real Time で監視や修理、改良に現場作業員に協力できるような CAD タイプの Digital Twin の Augmented Reality (AR、拡張現実) 機器を作業員向けに使用している。Microsoft 社の HoloLens Glass と MS Virtual Assist を Skype や Teams と組み合わせて、実際の機器周辺で 3D Virtual 空間を利用しながら実際の機器周辺で共同作業を可能にするものである。

(Digital Twin)

Total、Aker、BP、Shell、Equinor 等も Digital Twin を開発している。

Equinor は Johan Sverdrup プラットフォーム全体を Digital Twin 化した。また、同社は Digital Twin コンセプトを Challenging な掘削が必要となる Managed Pressure Drilling に適用している。

BP は保有する全ての生産設備の Virtual Copy を作成するために APEX Simulation と監視システムを使用している。実際のデータとモデルを併用することで、異常が毎時検知され、それによる Flow Rate、圧力や他の要因への Impact が Engineer により Simulate され、安全な操業を実現することができる。これは北海地域で Pilot Test が実施され、世界中にて展開されている。Trinidad Tobago の例では、同社は Maintenance のために陸上施設の Pipeline を閉めたが、Flow をどう迂回させ、どの速度で送るかの方法と手順を Simulation することにより、3 日間の Maintenance 期間の間の生産量を確保することができたと判断している。

(Machine Learning)

Machine Learning は、自動的にデータから学習し、Predictive Work Flow を作るために Knowledge Discovery、パターン認識、Data 発掘を利用した AI の演算性能の一つである。ML は Seismic Interpretation にも使用されている。

- Shell は自社の所有する Seismic Imaging and Interpretation Software である GeoSigns Platform を GOM の Demio Field に使用して 10 百万 BB 1 規模の油を発見したと発表した。
- BP を中心とした Atlantis Phase3 開発で画期的な Seismic Imaging and Reservoir Characterization により新たに 400 百万 bbl 規模の埋蔵を確認した。

(Preventive Maintenance)

- 2019 年初期に北海にて Norway 国石油会社である AkerBP の無人プラットフォームで Well Pump の故障による生産低下が発生した。同社は Pump の作動状況を監視する AI プログラムを設置しており生産停止になる前に不具合の発生を検知し、修理した。Aker BP は Texas 州 Austin の Spark Cognition 社の技術を採用している。

(Big Data Analysis)

- ExxonMobile は昨年 West Texas Basin における生産操業の最適化に向けた AI プログラムを開発するため Microsoft 社と協力を始めた。AI は Exxon 社の製油施設の監視に使用されている数百万のセンサーより送られてくるデータの解釈に必要とされている。同社は 5 兆以上のデータポイントからなる Data Base を保有している。
- フランスの Total SA は所有権益のより良い開発に向け震探データの解釈のため Google 社

と協力関係を構築している。Total はまた RD 予算の 30%になる\$200 百万以上の費用を AI 技術にかける予定にしている。Google との協力を通じ、西アフリカ Guinea 湾での地下情報の 3D イメージよりの解釈に採用する AI プログラムをテスト中である。

- Silicon Valley に本拠を置く C3.ai 社は石油ガス業界に AI 技術を導入するための契約を Baker Hughes 社と締結した。C3.ai 社は AI・IoT、Big Data、予測解析や様々な関連技術を Platform 及び Software で提供する IT 企業である。C3.ai 社は米国国防省、3M、Global Bank、Shell などの石油会社、フランスの Utility 会社である Engie を顧客とする IT 企業である。Baker Hughes は 2018 年後半より同社と石油ガス業界における専門知識を結びつけることを開始している。2019 年からは Microsoft 社も協力体制に加わっている。

C3.ai 社の最大の顧客は Shell であり AI を使用した Predictive Maintenance 技術は Australia Queensland ガスの LNG Operation や海洋リグに使用されている。

適用例は同じであっても Data や Failure Model は異なるため、個々の石油会社がそれぞれ独自の Machine Learning Model を構築しなければならない。

(Robotics)

- ExxonMobil は、Massachusetts Institute of Technology (MIT) の協力を得て海洋探鉱のため、自然由来の oil seep を検知することのできる Self-Leaning Submersible Robot の開発に取り組んでいる。2017 年に Total は現在作業員が実施している Inspection を日夜を問わず実施することのできる能力を持ち、誤作動や Leak 等の機器の異常を検知できる自動 Robot Design の Competition の勝者を発表した。Shell は彼らの Online 顧客に向け、Online で Chat でき顧客の入力データに沿って数千の Data Sheet より数百の候補を表示させ正しい商品を推薦できる Virtual Assistant システムを開発した。

(Big Data Analysis)

- Fracturing 作業時の Fracture Propagation モデルの Hadoop1 Platform を用いた膨大な Micro Seismic Data Set での解析した例
- Chevron 社が San Joaquin Valley の重質油開発において実施した 14,200 坑の Big Data を用いた SAGD 法と Cyclic Steam 法の最適化した例
- 一年間で 1,649 坑井から得られた 200million ものログデータを利用し、Overheat や Start-up の失敗等の Emergency 状況を見極め、Electric Submersible Pump (ESP) の Performance を最適化した例
- GE Baker Hughes の関連会社である GE Digital は、Big Data 解析の先駆者である。GE Digital は Predix Digital Platform を開発しているが、これは物理的な Asset を代理する Digital Twin を作る時に役立つものである。Machine Learning Algorithm は、例えば Process Facility の機器やパーツの Performance データ、環境データ、気象データなどを計測する多くのセンサーから送られる膨大な量のデータを処理する。計算 Algorithm では、これらと理想状態との乖離を調べるために、DataBase より抽出された理想的な Performance Data と比較するものである。もし乖離が確認された場合、この Application は技術者に警報を発する

ことで、Preventive maintenance や部品の交換作業を促すものである。

(AI Enabled Drilling Program)

例えば Royal Dutch Shell は C3 IoT と Microsoft の Azure を Predictive Maintenance と AI 連携した Application に広げている。Shell の技術者は新しい坑井を精確に掘削する AI 連携機器の成果を確認している。これは坑井の生産性の向上と Bit 交換の回数を減らすものである。

NOV の M/D Totco は AutoDriller に適用できる連続学習できるシステムを市場に紹介した。処理された何千時間もの掘削データから学習することで達成するものである。本システムはまた、人間の対応の遅れをカバーするものである。

(Field Operation Optimization)

ExxonMobile は世界中に分散している資産の監視と最適化という挑戦に取り組んでいる。同社は Permian Basin の現在の操業 Operation と将来の掘削可能性に関する新しい洞察を得るため Microsoft Azure と Microsoft Dynamics365 を使用している。その後、その知見を Permian Basin 以外にも拡大する計画にしている。

SaudiAramco は Honeywell と一緒に IoT 技術の導入に動いている。両社は予測解析と Cloud 技術を leveraging することで SaudiAramco の Operation の Reliability の向上と冗長性の改善をしようとしている。

(Predictive Maintenance)

Chevron は Microsoft と設置した機器の健全性の予測のため 2024 年までに設置されたセンサーよりのデータを収集する計画を持っている。Chevron は昨年いくつかの HeatExchanger にセンサーを設置し温度と Oil Flow データを収集する小規模の実験を実施しており、今後新たな Data Set を使用し、Chevron の Data Scientist が次に何時 HeatExchanger のサービスが必要になるかを予測できるようにしようとしている。

(Realtime Monitoring)

Siemens Energy は Houston に本拠を持つ ProFlex Technology 社と Midstream Pipeline Owner のための漏洩検知サービス提供のための協力契約を締結した。

複雑な処理 algorithm により漏洩時に発生する圧力信号を検知し、漏洩個所を精確に教えるものである。

(Machine Learning)

- TGB 社は解析と Machine Learning の専門家である Earth Science Analytics 社と Data Driven Geoscience に関する協力契約を結んだ。彼らは TGB の Ocean Bottom Node Survey (OBN) に AI 解析を通じて創造される派生型 (derivative) data set を開発する作業を実施している。このプロジェクトは 1,500km² 以上の large scale で濃度の高い Data 取得をする AI Geoscience の最初の適用例である。主目的は特に Infrastructure-led exploration において AI を通じて強化された Exploration insight を提供できる新しい派生型 Seismic Product を開

発することにある。

(Big Data Analysis)

- Wintershall Dea 社は exploration process のサポート用に AI Search Engine を適用している。IBM と共同で開発した The Exploration Advisory Tools は認識 (cognitive) Search 技術を使用し Wintershall Dea 社の Exploration Team により速いアクセスを提供することで昨年 Pilot Test に成功した。AI powered Tool はレポートや Presentation を含む未整理 (unstructured) の data より、"Keyword" Search とは異なり、Geologist が思考するように地層、油層、他のコンセプトに関連しデータを抽出し情報を取得するものである。これにより同様の Data Search に比較し膨大な時間を節約することに成功した。

(Automated Drilling)

- Halliburton 社は iStar Intelligent Drilling and Logging Platform を市場に紹介した。これは包括的な測定 Platform で掘削とロギング Operation をより強く Control するための複数の Services より成っている。この Platform の Digital Architecture は自動化、Machine Learning、油層評価のための Artificial Intelligence、より速い掘削と consistent な坑井 Delivery をサポートするものである。同社は新しい Platform はより Bit に近い位置でより深い地層情報を得る High Definition な測定をするものであると紹介している。これは Real time にて Reservoir Fluids の量とタイプを視観的に提供し、埋蔵量計算と坑井配置を最適化するものである。

(Predictive Maintenance)

- Asystom 社と Archer 社は、Asystom 社の Predictive Maintenance 技術を Drilling Facility 向けに使用するための技術協力を実施している。同社の Predictive Maintenance Solution は予測のために複数のセンサーを使つての Machine Learning を組み合わせたものとなっている。両社は世界中の Drilling Facility の資産管理をより良くするための開発を計画している。Archer によると Asystom の技術は容易に導入出来、市場の要求に沿うものであると言及している。

(Big Data Analysis)

- ABS は SBM Offshore の AI-powered Intelligent Agent Mooring Line Integrity Tools の新しい Qualification 技術を発行した。これは Offshore System に統合される技術の最初のものである。本 Tools は風速、FPSO の Heading、GPS 情報、などを収集し、統合し Machine Learning Approach を利用し資産の Owner にその Mooring System の Integrity を Feedback するものである。

(Predictive Maintenance)

- AI 技術は、機器の異常の自動検知と区分けといったように新しい Real Time の Offshore Inspection Solution の開発に適用されている。
- Wood 社と National Energy Resources Australia (NERA) は 12 か月以上かけて、特に Subsea

Oil and Gas Infrastructure のような重要な機器の検査のために **Augmented Machine Vision Solution (AMVS)**を共同開発した。**AMVS** は検査においてヒューマンエラーや無意識の見逃しといった微妙な判断がどれかを知ることができる画期的なものであると評価されている。また、技術者を現場に送り何時間もかけて検査する代わりに、**AMVS** の **AI Engine** によりこれを代替し実行することにより潜在的な欠陥やひびなどを探しその後の検査や修理の保証となるものであると評価している。

(Machine Learning, Real Time Monitoring)

- **Shell** は同社と **Baker Hughes** の **Bently Nevada** により開発された **VitalyX** を紹介した。**VitalyX** は **Shell Remote Sense** の潤滑油解析専門技術と **Bently Nevada** の 60 年以上にわたる **Condition Monitoring** と **Protection** の経験値を組み合わせたもので、遠隔でモニタリングし初期の段階で警告を発出するものである。

(Robotics)

- **Saipem** 社は同社の **Subsea Construction** と **Inspection** 能力を広げるための **AI** を採用した **Hydrone-R Underwater Intervention Drone(UID)**を最近紹介している。**Hydrone-R** は **Offshore Energy** 市場において遠隔、**Low-carbon**、より安全な **Operation** をサポートするため同社の **Subsea Robotics Innovation Program** の中で開発されたものである。この **Vehicle** は、**Subsea Docking Station** により海面下でバッテリーの再充電や **Mission Data** の **Loading/Unloading** を所有者または顧客のどちらでも提供でき、中断されることなく最大 12 か月留まり続けることができる能力を持つ。**Resident Mode** では **Hydrone-R** は陸上基地よりの遠隔で管理や **Operation** が実施できる。また、**Autonomous Mode** においては、半径 10 km 範囲のエリアを自動で動く。それ以上の範囲では更に **Subsea Docking Base** を追加することで稼働可能である。

4.3 石油ガス業界で利用されている AI・IoT 技術の分類

4.3.1 石油ガス業界で利用されている AI・IoT 技術の分類

石油ガス業界で利用されている **AI・IoT** 技術は広範囲で **Variety** に富み、かつ相互に関わっているものが多いので単純に分けることが難しいものもあるが、大まかに以下の様に分類することができる。

(1) Subsurface Management

Geological Assessment

Production Optimization

(2) Data Management

Data Mining

Data Acquisition

Data Processing

(3) Digital Twin

Digital Oilfield

Digital Platform/ Digital Fleet/Rig

Digital Oil

3D Imaging

(4) Machine Learning

(5) Monitoring

Remote Monitoring

Real Time Monitoring

(6) Networking

(7) Predictive Maintenance/Preventive Maintenance

(8) Connect Worker/ Information and Communication Technology (ICT)

Smart Glass/Smart Helmet

Augmented Reality/ Virtual Reality

(9) Advanced Sensor

Optical Imaging

(10) Automation

Rig Automation

Unmanned Platform

(11) Robotics

Ground Robotics

Drone

AUV/ROV

(12) Asset Management

Fleet Management

Inventory Management

Asset Tracking

(13) 3D Printing

(14) Administrative

Reporting/ Back Office Process Optimization

Optimized Procurement

Logistics Network Optimization

Block Chain

上記の項目には要素技術と適用とが混在してリストアップされており、今後整理の仕方を工夫し、分かり易い形で纏めていくものとする。

調査については要素技術を中心に調査を進めていくものとするが、Subsurface に関するもの、Administrative に関するもの、また汎用性が少ないと考えられる Rig Automation については優先順位を下げ、それ以外のものから調査を進めるものとした。

次節より個別の技術について記述する。

4.3.2 Connected Worker (Information and Communication Technology) 技術

(1) Smart Glass

1) 概要

Smart Glass は、2010 年代から市場に紹介され、石油ガス業界のみならず、製造工場、Warehouse、等特に Logistics が関わる現場で広く浸透し、有意義に活用されている。

Smart Glass は、Monocular（単眼）Wearable Device で、テキストメッセージ、例えばかかってきた電話の名前、Navigation などの情報を、ユーザーに提供するものである。Smart Glass には 2D の情報を表示できる、頭に装着する Head Mount Display (HMD または Head Up Display(HUD)) を装備したものもある。AR Head Set はこれが更に進化したもので Virtual に 3D Information を提供するものである。一方 Monocular Smart Glass は比較的軽量で、それゆえ長時間の装着も耐えられるものである。

Smart Glass は以下のようなケースで利用されている。

- Remote Expert Assistance
- Warehousing（倉庫管理）
- 修理・Maintenance 時の Assistance
- 組み立て時の Assistance
- 訓練

Smart Glass 利用の利点は以下のとおりである。

- 情報へのアクセス強化
- 場所を問わず協力可能であること
- 作業員の安全の向上
- Hand Free Operation が可能となること
- コスト削減につながる

Smart Glass のコントロールにはいくつか方法があるが、それぞれ一長一短ある。また一つ以上の機能を持たせているものもある。

① Touch Pad もしくは Buttons

Touch Pad の使用は広く採用されている。長所は、速く、直観できること。短所は Hand Free にはならないことである。

② Voice

Voice Control もまた一般的である。User は音声指令で Application 起動、Navigation、写真・動画撮影等が可能である。

③ Controller 使用

Controller はより Control Option を提供可能である。この利点は Smart Glass 用に開発された Software と Smart Glass を使用することで最適状態で使用が可能である。短所は操作時には両手が使用できないことで出来る Task に制約があることである。

④ Smart Phone

Smart Phone も Smart Glass と組み合わせての使用が可能である。この長所は様々な Instruction が Smart Phone 経由で入手可能であることである。一方短所は Smart Phone を常に携帯する必要があることである。

現在、IT 大手企業である Facebook、Google や Epson、東芝、Bosch、RealWear、Linde、IRISTICK、Vuzix など市場には様々な Smart Glass が紹介されている。Apple も 2023 年に Apple Glass を紹介する計画を持っている。

市場にあるもののいくつかを紹介する。

2) Epson Moverio (日)

Epson は 2011 年より Moverio シリーズ Smart Glass を市場に紹介している。現在 7 種類のものを紹介しており、2021 年に MOVERIO BT-40 を紹介。これは Controller によるコントロールで Smart Phone、Tablet、PC に接続可能である。



図 4.3-1 Epson Moverio BT-40 Smart Glass Head Set (出典：Epson 製品紹介 HP)



図 4.3-2 Epson Moverio BT-40 Smart Glass Controller（出典：Epson 製品紹介 HP）



図 4.3-3 Epson Moverio BT-40 Smart Glass 使用時のイメージ（出典：Epson 製品紹介 HP）

Moverio BT-40 の主な仕様を以下に示す。

表 4.3-1 Moverio BT-40 の主な仕様

項目	仕様
Screen	1920p x 1080p
FOV	34°
Control	PC
Number of Screen	2
Weight	170g

FOV : Field of View（視野角）

3) Google Glass（米）

Google も 2014 年に Google Glass を市場に紹介している。最新版として 2019 年に Enterprise Edition2 を出している。

Google Glass は Touch Pad Control と Voice Control の両方が可能である。石油ガス業界では Schlumberger 社が同社の業務に Google Glass を導入していると紹介している。



図 4.3-4 Google Glass（出典：Wikipedia）

Google Glass Enterprise Edition2 の主な仕様を以下に示す。

表 4.3-2 Google Glass Enterprise Edition2 の主な仕様

項目	仕様
CPU	Qualcomm Snapdragon XR1
Ram	3GB
Screen	640p x 360p
Battery	2~3hrs.
Camera	8MP、1080p 30fps
Control	TouchPad、Voice
Number of Screen	1
Weight	46g without Frame

4) RealWear（米）

Real Wear は 2015 年に設立された会社で、現在市場に 2 種類の Smart Glass を紹介している。

その内、2019 年に紹介された HMT-1Z1 は石油ガス開発業界での使用が可能なようにに開発されたもので、防爆規格である ATEX Zone1、CSA C1/D1 基準に適合したものである。

RealWear HMT-1Z1 の主な仕様を以下に示す。

表 4.3-3 RealWear HMT-1Z1 の主な仕様

項目	仕様
CPU	Qualcomm Snapdragon 625
Ram	2GB
Screen	854p x 480p
Battery	5~6hrs.
FOV	20°
Control	Voice
Number of Screen	1
Weight	430g

米国の多国籍 IT 企業である Honeywell は RealWear の Smart Glass を組み込んだシステムを Connected Helmet として石油ガス開発業界向けに提供している。

(2) Smart Helmet (Smart Hard Hat)

Smart Helmet はむしろ作業員の安全に重点を置いたものとなっているため別項とした。Smart Helmet は怪我のリスクを減らし作業員の安全を向上させるために設計されている。これは作業員の変則的な行動を認識するために頭の動きや脳の動きを追跡することのできるものである。Smart Helmet に組み込まれたセンサーによりデータを取得し、リアルタイムでコンピュータによる事故のリスクを判定するものである。作業員がある特定機器の Switch を切断したり、手順を怠ったり、コンピュータ解析によるリスクレベルが規定値を超えた場合に管理システムに警報が送られる。

Smart Helmet は、石油ガス業界だけでなく、不動産業界、建設業界、製造業界、化学工場、Industrial Warehouse 等様々な業界で使用されている。

これは、各業界において以下の点が問題と認識されていたことに対応して開発されたものである。

- ・作業員の精確な追跡が困難なこと
- ・作業員周辺のガス等の濃度測定ができないこと
- ・個々の作業員が SOS を発する機能が無いこと
- ・作業員の行動の正確さが不明なこと
- ・機器の操作者の記録が無いこと
- ・作業員の体調が分からないこと
- ・機器の紛失物の記録が無いこと

Smart Helmet は様々な面で従業員と管理者とを結びつける。

Smart Helmet には周囲の環境と作業員の体調等を測定するセンサーが組み込まれている。これは以下のものを含んでいる。

- Smoke Detector
- Temperature Sensor
- Barometer
- SOS Panic Button
- Gyro Scope
- Humidity Sensor
- Body Temperature Sensor
- GPS
- Displacement Sensor
- Proximity Sensor

万が一作業員の行動ないしは体調が **Safe Limit** を超えた場合、**Trigger** が発せられ管理者に通知が伝わるものとなっている。

進化した **Smart Helmet** には **Smart Glass** 以上のデータ処理 Unit、通信装置、他の機能が組み込まれているものもある。

(3) AR/VR

AR/VR 技術の組み込みは **Smart Glass** 技術における情報提供機能を更に進化させたものと言える。**Oil & Gas Industry** における AR、VR 技術の使用例を以下にあげる。

1) Field Service と Asset Maintenance

GE Oil & Gas 社 Report によると予期しない **Downtime** による石油ガス会社の損失は \$49 百万に上る。この損失は合理化されていない会社の場合、簡単に倍増する。そのため、設備の状態、**Performance** と健全性を定期的に監視・検査し、掘削仕上げ、生産操業を途切れることなく効率的に実施することが必須である。

Smartphone を利用した **AR Base** の **Application** は、磁場や温度など機器の運転の主要パラメータの逸脱など機器の異常を **Track** することに利用できる。これらにより機器や機器の運転データへのアクセスが簡単ではない機器を監理している **Field Technician** でも **Preventive Maintenance** をすることができるようになる。AR を利用した **Rig** やセンサー監視システムは、複雑なプロセスを可視化し、問題を早く解決することでスムーズ **Operation** を可能にするものである。

2) Field Personnel Training

AR/VR **Application** は、**Handbook** やマニュアルを使用せずに、新人をその会社の **Standard Procedure** に慣れさせ、訓練させることに使用される。

ExxonMobil は、異常事態や緊急事態にその人がどのように反射的に反応するかをテスト

するための現実的なシナリオを再現した immersive VR-based training platform を採用している。

実際の生きたデータと Predictive Maintenance を繋ぎ合わせることで現状の機器の状況が可視化される。こういった適用例は、どんな複雑な装置に対する訓練、操業、修理、維持管理にとっても非常に役立つものである。AR Solution により、AR を使用した Device と問題を可視化して解決することで、全ての従業員が効率的に技術的欠点について言及することができる。Safety Training を目的とした VR Training シミュレーションの Immersive Nature は、より速くそしてより良い意思決定をすることに役立つものである。



図 4.3-5 Exxon Mobil の AR/VR 技術を採用した Training 風景（出典：Exxon Mobil HP）

3) Rescue Operation in Adverse Events

現場作業員が重機器を運転し、危険物を取り扱う機会が多い石油ガス業界では現場の安全が最優先である。Rescue Team に対しても、VR を使用した異常事態や災害発生を再現したシナリオで Simulation が出来る。この種の Simulation では Rescue Specialist は現地での行動、より適した準備に精通出来、対応速度を改善でき、間違いのない安全を確保することが可能となる。

また、AR や VR を利用した Application により資産の監理と維持がより実践的に遂行可能である。

さらには AR を利用することで Field Technician が遠隔で Troubleshooting を実施し、その結果を Real Time で現場に提供できることから維持管理費用の削減が実現可能である。Technician が現地に向かい調査、分析、報告を完了する日数は平均で 10 日間要すると言わ

れ、この間の日数と Technician が現地に向かうための旅費等も節約することができる。

しかしながら AR/VR 技術の出現により、Expert が現場作業員に対していくつもの Visual Step を経る Troubleshooting の Process を指示できるかといったその性能といかに使用できるかにかかっている。

GE が提供している Smart Helmet は遠隔地にいる Expert Technician が顧客側の作動不良を起こしている機器にアクセスすることで、時間と費用の節約が可能である。

AR/VR Wearable は現場作業員の精度、効率、意思決定を増進させる。こういった Wearable は通常業務の Digital Checklist、修理作業時の Voice Note、予定されている作業や Pending されている業務の通知や Reminder、を提供することが可能で、Engineer の生産性を向上させるものとなる。

AR/VR Application は、Real Time に必要な情報を提供し Oilfield における安全性と効率性を大きく改善させるものである。

4.3.3 Robotics（ロボット技術）

(1) 概要

1980 年代より石油ガス業界では Digital 技術が採用されてきているが、それらは専ら油層や生産性へのより深い理解、Marginal Field の開発の効率化、安全の改善に係るものが主な焦点であった。1988 年 7 月の北海 Piper Alpha プラットフォームで発生した 167 名の生命と 14,000ton の石油プラットフォームが失われた事故も契機となり、Robot を活用し Rig やプラットフォームを自動化することで、人的被害の Risk を減らすことを目的として、Robot 技術が適用され始めた。特に掘削リグにおける Robot 技術の採用は幅広く、現在では多くの Manufacturer が掘削リグ用に Automated Pipe Handler や Tripping System、Robotic Roughneck、Automated Drilling Control System を開発し、掘削リグに提供している。

また、Offshore Operation は、厳しい自然環境に耐える必要があること、常に危険と隣り合わせの環境であること、そういった中で作業する人員の安全を確保する必要があること、等多くの理由によりコスト高になる。従って、人間の存在を減らすことが可能となった場合、著しい費用の削減が期待できる。Robot 技術はこれを可能にするものである。

Robotics Tomorrow 誌によれば、年間の Robot 関連技術を扱う業界の収益は 2028 年まで年間 15~20%上昇するものと予想されている。Key Driver は Flexibility と Innovation である。

石油ガス業界での Robotics の主な適用例を以下に示す。

- | | |
|----------------|---|
| ・ 上流（探鉱、開発） | Automated drilling、Pipe Handling、Seismic survey 等 |
| ・ 中流（処理、輸送、貯蔵） | Inspection、Maintenance 等 |
| ・ 下流（精製、販売） | Material Handling、Automated Refueling 等 |

Automated Drilling は Human Interface 無しに掘削業務を実施するものである。

Robot は定期的な検査が必要となる老朽化施設の状態を定期的に追跡し、万が一、損傷、腐食、Leakage が確認された場合に Inspection Robot により修理がなされる。AUV も施設の健全性の監理、修理、維持に利用されている。

Robot は、危険な作業環境下において人員を危険に晒す機会を減らすこと、排出削減のため、など多くの機会に適用される。

ここでは監視用ロボットとして開発現場で利用されたものをいくつか紹介する。

(2) Spot

Spot は Boston Dynamics 社が開発し、製造・販売している四足歩行の Robot である。これは石油ガス業界だけではなく様々な業界で使用されている。自動化されたセンシング機能を持つ、機動性のある移動 Robot である。Spot は 2020 年に一般向けに販売開始されている。

遠隔操作アプリを使って遠隔でロボット操作をすることが可能で、プログラムによって自律的に Mission を遂行可能である。14kg までの機器を搭載可能で、オプションのアーム型装置を胴体に取り付けることによりバルブ類を掴んで回すことも可能で、自分でドアノブを開いて室内に出入りすることも出来る。

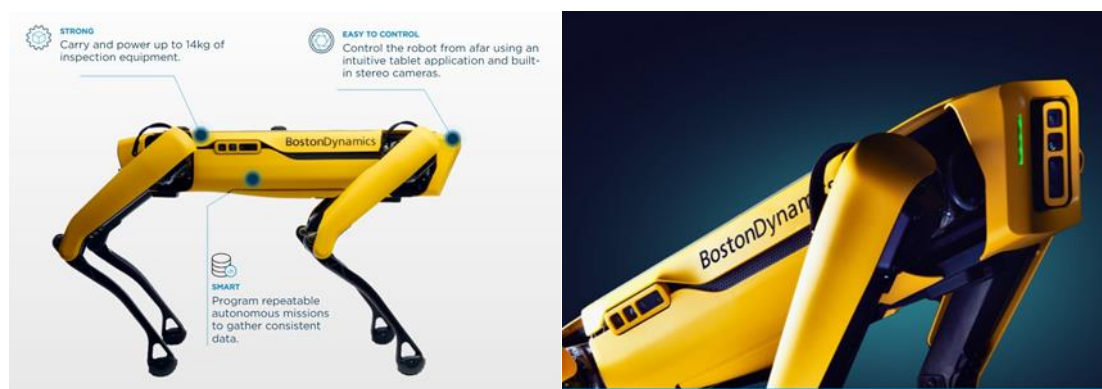


図 4.3-6 Boston Dynamics 社 Spot（全体とカメラ部拡大）
（出典：Boston Dynamics 社 HP）

Spot の主な仕様を表 4.3-4 に示す。

表 4.3-4 Spot の主な仕様

項目	仕様
寸法	111cm×50cm×84cm
重量	31.7kg（バッテリー含む）
バッテリー容量	605Wh、フル充電時間 180 分
動作性	最大速度：1.6m/s 最大登板角度：±30° 最大 Step 高：300mm
地形判定能力	水平方向視野角：360° 範囲：4m 照明：>2Lux
動作温度	－20℃～45℃
接続	2.4GHz WiFi
搭載能力	14kg 迄の機器の搭載可能

2020 年 10 月から 12 月の 3 ヶ月間かけて、BP は米国 GOM の Mad dog プラットフォームでプラットフォーム設備の異常の検知を作業員に替わってできるかどうか知るために Spot を試験した。BP は Mad dog での試運転後、Robot に人間が見ることのできない Multispectrum や Hyper Spectrum Imaging 機能を付加することを計画している



図 4.3-7 Maddog プラットフォーム使用時の Spot（出典：Offshore Engineer 誌）

また、同じタイミングで AkerBP は、210 km離れた陸上基地からの遠隔操作で、その機動性、作動性、通信能力を試験するために Skarv FPSO で Spot を試験している。

ここで試験された Spot は設備の不具合を調査するために精度の高い Acoustic Sensor を持ったものである。この試験は Offshore 施設の Non-Classified 区域で実施されている。

Spot はまた Woodside の陸上施設でも試用されている。

国内企業では鹿島建設が導入してトンネル工事現場等で使用している。

(3) Taurob Inspector

Total は 2012 年の Elgin/Flanklin P/F の Gas Leak 事故を受け、海洋プラットフォームに対応した Robot システムの導入を進めてきた。Robot の実施する Task は Internal Inspection から Griit-Blasting、X 線検査、修理にまで至るものとしている。

2020 年 8 月 Total は最初の ATEX 規格に適合した Robot による Offshore Autonomous Mission が遂行されたと発表した。Taurob Inspector が K5 Central Complex Offshore Gas Production Facility の Condensate Recovery Area で使用された。この Robot の Task は自動運転 Mission と外部腐食と塗装の検査などであった。

2014 年から 2017 年にかけて実施された Total 社の ARGOS (Autonomous Robots for Gas and Oil Site) Challenge は最初の ATEX 基準を満たす Robot の開発を目的としていた。2018 年以後、これは OGTC が支援していた Offshore Ground Robotics Industrial Pilot プロジェクトの一つとして Taurob Argos を Winner として選定し、Tracked Vehicle 型でビデオ、音声、赤外線、リモートガス検知等の機能を持つ Traurob Inspector を開発した。

2020 年 8 月に Taurob Inspector はオランダの K5 施設で一週間の試験運転が実施し、そこで見つかった課題を改良した後、3 週間の試験を実施している。Robot は Camera、Lidar、Inertial measurement Unit を備えている。Taurob の最新のものはガス検知機能を備えている。

2020 年 11 月に二つの Taurob Robot が Shetland Gas Plant で試験されている。

次の Step として 2022 年の第二四半期には Manipulator 付きのタイプの開発を目指している。



図 4.3-8 Taurob Inspector 全景（右は Offshore プラットフォームでの試験時のもの）
(出典： Taurob Inspector Catalogue)



図 4.3-9 Taurob Inspector（出典：Taurob Inspector Catalogue）

Taurob Inspector の主な仕様を表 4.3-5 に示す。

表 4.3-5 Taurob Inspector の主な仕様

項目	仕様
寸法	100cm×58cm×75cm 最大高：177 cm（床～カメラ迄）
重量	90kg
バッテリー容量	2 時間（交換可）
動作性	最大速度：2.5km/h（0.7m/s） 最大登板角度：±45°
能力	360°Camera 3D LIDAR UHD Camera , Thermal Camera 等
動作温度	－20℃～60℃
接続	4G/LTE または Wifi
その他	ATEX 認証 CE Label

(4) ANYmalC

Malaysia の Petronas は Offshore 施設での HSE リスクの減少、操業費用の削減、Data 取得と貯蔵能力の改善、自動 Reporting を目的として Robot の試験を実施している。

同社は 2020 年 9 月に Swiss のチューリッヒ工科大学と ANYBotix とが開発した ANYmal

C 四足歩行 Robot を Malaysia 沖合 200km に位置する Dulang B Facility で試用した。Visual Inspection、Thermal Imaging、Audio Recording、Battery Charging 等の通常の検査能力に加え、Locomotion 運動性と Autonomous Navigation 能力がテストされた。この時点では Robot は ATEX 規格の審査に通っていなかったことから、プラットフォームは 3 階建ての炭化水素の無い Water Injection Module のみでの使用に限られたもので小さく、36 段の狭い傾斜 45 度を持つ階段があるが、Pre-Programmed Navigation によって実施したものである。

階段の上り下りには問題はなかった。

Offshore Facility へのこれらの適用には、ATEX バッテリーの開発、Manipulator 機能の追加が必要であると結論付けている。

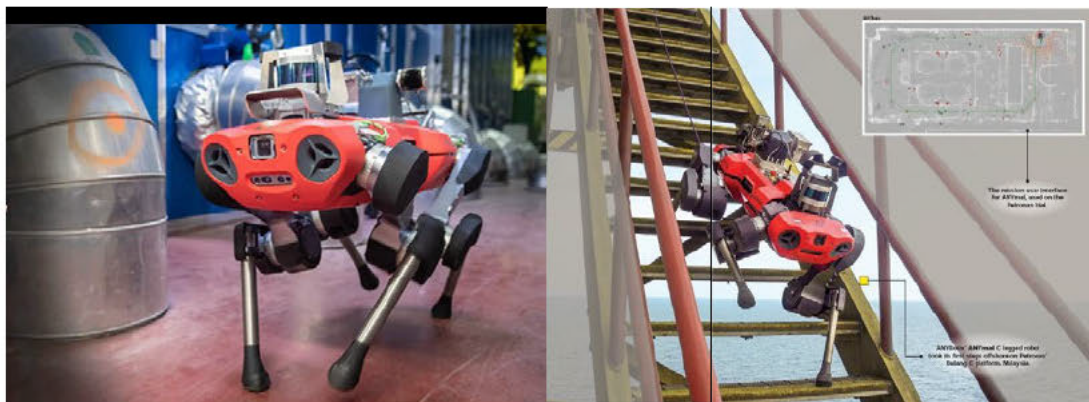


図 4.3-10 ANYmalC 全景（右は Petronas Dulang C プラットフォームで試用時のもの）
（出典：ANYBotics HP 及び Offshore Engineer 誌）

ANYmalC の主な仕様を表 4.3-6 に示す。

表 4.3-6 ANYmalC の主な仕様

項目	仕様
寸法	105cm×52cm×83cm
重量	50kg
バッテリー容量	2~4 時間 Docking Station で自動的に充電
動作性	最大速度： 1.0m/s 最大登板角度： 20°（階段は 45°可） 段差： 35cm 障害物： 20cm 乗り越え可 通路幅： 60cm ギャップ： 25cm 潜り抜け： 50cm
能力	360°LiDAR、GPS、全面広角カメラ ペイロード： 10kg
動作温度	0°C～40°C
接続	Wifi

(5) その他

この他にも多くの企業が Inspection Robot を紹介し、サービスを提供している。また個別の Task に特化したものは無数にある。以下に個別の Inspection Robot の使用例を以下にあげる。

- ・ 2017 年に OC Robotic（英）の Snake-Arm Robot が Chevron の Alba プラットフォームで使用されたのに続き、2018 年にはオランダの Offshore Wind Converter Station でも使用された。
- ・ 2017 年より Equinor は Surface Dynamics 社の Portable Robotic Surface System である SystemT を試用し、Ballast Tank や他の Tank の Sand Blasting や Hydro Blasting を実施している。
- ・ 英国の Quantum Leap Tecnology も同様の機能を持つ Robot の開発を実施している。

他にも進行中の Project は多々ある。例えば、Oil and Gas Technology Center（OGTC）は、Air Drone サービス会社である Air Control Entech と三種類の Drone を開発中である。

一つは風速が強い中でも飛行可能なもの、一つは Laser Scanning 機能を持つもの、もう一つは Ultrasonic 非破壊検査機能をもつものである。

Robot 技術はまた Underwater Pipeline Repair にも使用されている。

ノルウェーの Kongsberg Ferrotec は、海底 Pipeline の検査と修理のため Self Propelled Robot System である Nautilus を開発した。Kongsberg Ferrotec は 2014 年に Kongsberg の海底 Hub 強化の一つとして設立された会社である。

これは、Close Inspection、In-Situ Composite、3D Printing 技術を利用した補修が可能なものである。Target は海底 Pipeline と海底ケーブルを対象としている。Additive Material（AM）コンセプトによる補修は DNV も認可しているものである。Robot は外径 8”-16” 重量 4ton、3m×3m×3m の寸法の Pipeline の対応が可能である。



図 4.3-11 Kongsberg Ferrotec 社 Nautilus（出典：Offshore Engineer 誌）

4.3.4 AUV

AUV を使用した海底 Pipeline の検査は 2010 年代より報告がある。

- ・ 2013 年に新しい Approach としての AUV による PL Inspection の論文が Chevron により発表された。
- ・ Total 社は 2015 年頃より Oceaneering 社と共同で AUV 使用の Inspection System 研究開発を実施した（開発 Target:2020 年 Pilot 試験、2022 年本格導入）
- ・ 2017 年 Chevron North Sea Ltd も AUV による海底 PL Inspection を実施。
- ・ 2017 年西アフリカにて AUV による海底 PL Inspection を実施した。これは AUV Pipeline Inspection の Record Setting とのこと。
- ・ 2018 年 10 月に AUV を使用した海底 PL の Inspection を Equinor が実施した。
- ・ 2017 年 Chevron North Sea Ltd も AUV による海底 PL Inspection の報告をしている。

AUV による海底パイプライン検査の利点は以下にある。

① コスト低減

AUV を使用したパイプライン検査は ROV を使用したそれよりもはるかに速く遂行可能である。

② HSE 改善

より少人数での実施が可能であり、Operation に携わる人員数を減らせること。同時に Hydrocarbon Leak Detection 機能等による効果も大きい。

③ より効率的な検査が実施可能

ROV に必要なすべてのセンサー類を搭載することが可能である。

近年の開発例としては、川崎重工が Robot Arm 付 AUV（SPICE）を開発しており、2021 年 5 月に Modus Subsea Service Ltd 社（英）より最初の受注を受けている。川崎重工はあくまで AUV の製造者であり、それを使用したサービス自体は展開していない。

Spice による海底パイプライン検査のイメージを図 4.3-12 に、基本性能を表 4.3-7 に示す。

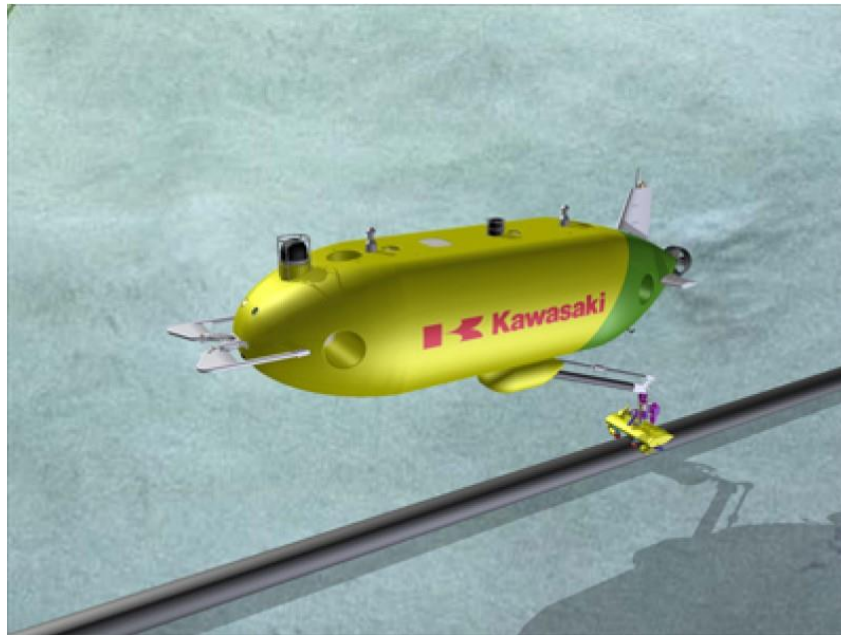


図 4.3-12 Spice による海底パイプライン検査イメージ（出典：Kawasaki UK Ltd HP）

表 4.3-7 Kawasaki SPICE 基本仕様

基 本 仕 様	
長さ	約 5.6m
幅	約 1.4m
高さ	約 1.1m
重さ	約 2,500kg（空中重量）
最大水深	3,000m
最大速度	4knots
Propulsion Equipment	Main:1、Side Thruster:2、Vertical Thruster:2
Navigation Equipment	Inertial Navigation System、Sonar
Safety Equipment	Balast Release Equipment、イリジウムビーコン

また、AUV を震探作業に使用した例として、2021 年 12 月に Blue Ocean Seismic Service（英）が、図 4.3-13 及び図 4.3-14 に示すような AUV を使用した Seismic Data 取得システムを市場に紹介している(Offshore Engineer 誌)。



図 4.3-13 Blue Ocean Seismic Service Seismic Node

(出典：Offshore Engineer 誌)

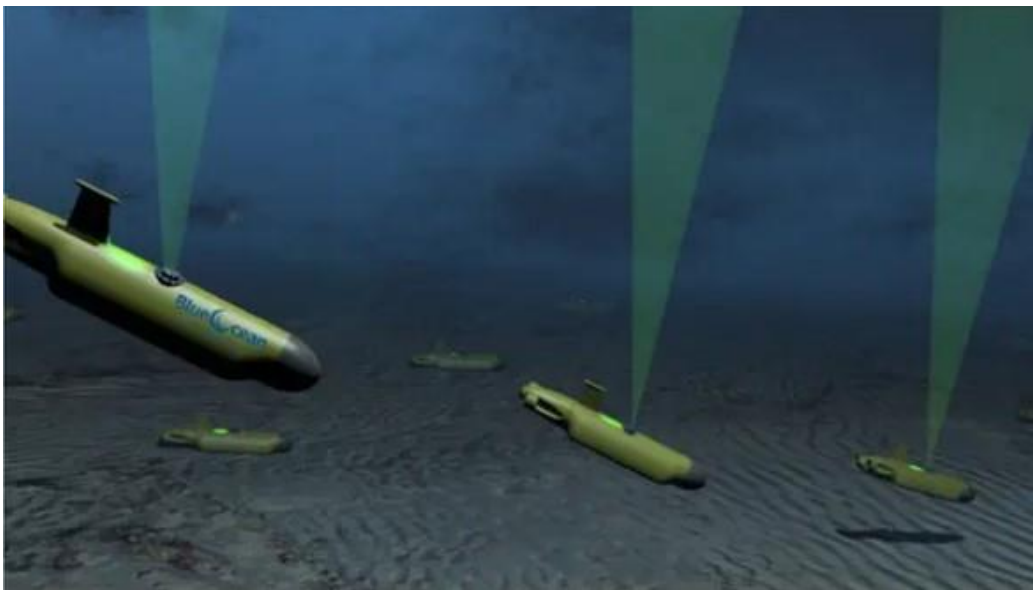


図 4.3-14 Seismic Survey 実施時のイメージ

(出典：Offshore Engineer 誌)

2022 年 2 月 Offshore 誌は、注目すべき Offshore Industry で開発された自動化を強化し、進化したセンサーを搭載し、海中に居続けることのできる次世代の AUV を紹介した。それらを表 4.3-8 に示す。また、図 4.3-15～図 4.3-16 に示す。

表 4.3-8 Offshore 誌の選定した注目すべき次世代 AUV

製造者	AUV 名
Saipem	Flat Fish
Kongsberg Maritime	HUGIN Endurance AUV
Blue Ocean Seismic Service	Seismic Service Node
Oceaneering	Freedom
SAAB Seaeye	Sabertooth AUV
Kawasaki	SPICE



図 4.3-15 左：Saipem Flat Fish 右：Kongsberg HUGIN Endurance

(出典：左；Offshore Engineer 誌、右；Kongsberg Maritime HP)

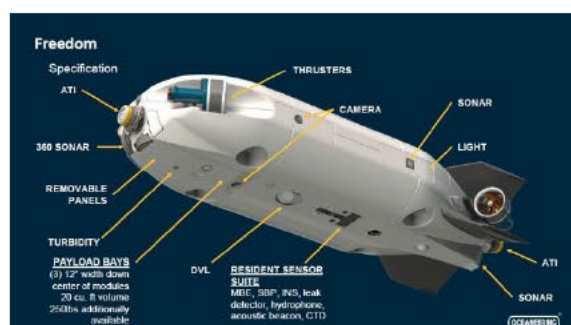


図 4.3-16 左：Oceaneering Freedom（下側） 右：SAAB Sabertooth

(出典：左；Oceaneering HP、右；SAAB HP)

また、石油ガス業界以外での AUV 開発も進んでおり、英国の National Oceanography Center は南極域の調査向けに Long Range AUV 開発中である。これは 3 ヶ月稼働、水深 6000m 級と紹介されている。

AUV/ROV の運用に関して Class NK（船級協会）が ROV/AUV についてのガイドラインを発行した。国交省もこれを基にしたガイドラインを作っている。これらの内容について今後詳細に見て行く必要がある。

4.4 国内適用時の課題

今まで述べてきた AI・IoT 技術を国内の石油ガス鉱山に導入する場合の課題について考える。AI・IoT 技術は基本的に電子機器、電気製品が主となっていることから、まず第一に頭に浮かぶものは電気製品に対する防爆規定である。

4.4.1 鉱山における防爆規定

鉱山における防爆規定については鉱山保安法 第 5 条（鉱業権者の義務）第 1 項に記載がある。それによると

- 鉱業権者は、次に掲げる事項について、経済産業省令の定めるところにより、鉱山における人に対する危害の防止のため必要な措置を講じなければならない。
- 落盤、崩壊、出水、ガスの突出、ガス又は炭塵の爆発、自然発火及び坑内火災と記載されている。

また、これに従い鉱山保安法施行規則 第 15 条第 1 項に記載がある。

鉱山保安法施行規則 第 15 条（火気の取扱い） 第 1 項

- 法第 5 条第 1 項の規定に基づき、坑外における火気の取扱いについて鉱業権者が講ずべき措置は、次に掲げるものとする。
 - 一 火気使用禁止区域の設定、可燃性物質の管理その他の火災を防止するための措置を講じること。

さらに、鉱業権者が講ずべき措置事例（平成 16 年 11 月 19 日制定、平成 24 年 6 月 1 日改定）として、第 13 章 坑外における火気の取扱い に以下のように記載されている。

- 第 13 章 坑外における火気の取扱い

鉱業権者が講ずべき措置事例（電気施設）

（2）石油鉱山における坑井の坑口、石油貯蔵タンク、ガソリンプラント、スタビライザープラント、ガスホルダー、高圧ガス処理プラント、高圧ガス製造施設及び高圧ガス貯蔵所その他の引火による火災若しくは爆発の危険がある施設又はその施設の付近に電気施設を設けるときの措置

次の（1）又は（2）のいずれかを実施。

（1）当該施設又はその施設から 8m 以内の電気施設については、次のとおり、

- ・電動機及び発電機は防爆型とする。
- ・開閉器、点滅器及び起動器は、防爆型とする。
- ・照明は、防爆型の電灯とする。
- ・上記により難い場合は、次のいずれかの措置を講ずる。
 - ①電気施設の設置高さ以上の高さを有するガス遮断壁等のガス進入防止設備を設ける。
 - ②建屋内を大気圧より常時高く加圧し、かつ、圧力が一定期間、設定より下がった時に、通電を停止する機能を有するシステムを設ける。

③建屋内の十分な換気を行うため排気ファンを設け、かつ、ガス検知器等により異常が認められた時に、遠隔操作で通ガスを遮断できる設備を設ける。

(2)「ユーザーのための工場防爆電気設備ガイド(ガス防爆1994)」(独立行政法人産業安全研究所)に従い、危険場所の種別に応じた防爆構造の電気機器及び電気配線とする。

上記の(1)は危険距離がはっきりと明示されているのが大きな特徴である。但し、これには適用できる防爆機器の種類までは言及していない。

一方(2)「ユーザーのための工場防爆電気設備ガイド(ガス防爆1994)」(独立行政法人産業安全研究所)は基本的に国際電気規格の考え方に沿ったものである。これについて後述する。

4.4.2 国内における一般的な防爆規定

国内では1950年頃より石油精製、石油化学などの工場が建設されるようになり、労働省産業安全研究所が中心となり防爆指針を作成した。この時点での指針はあくまで推奨基準であった。その後、1969年に労働省が防爆電気機器の「構造規格」が定められた。1988年には外国製防爆機器の受け入れを目的として「技術的基準」を制定した。

現在の国内における防爆機器の構造と施行に関する規制は、以下の労働安全衛生法に関連する規則である。

- ・労働安全衛生法 第42条(譲渡等の制限等)
- ・労働安全衛生法 第44条の2(型式検定)
- ・労働安全衛生規則 第261条(通風等による爆発又は火災の防止)
- ・労働安全衛生規則 第280条(爆発の危険のある場所での使用する電気機械器具)
- ・機械等検定規則(労働省令第45号)
- ・電気機械器具防爆構造規格(労働省令告示第16条)

その他、関連のある規則は防爆電気工事に関する通産省の規則である。

- ・電気設備に関する技術基準を定める省令 第69条

現在の日本では構造規格と技術基準の二本立ての規則があり、製造者がどちらかを選択することができることとなっている。構造規格は「電気機械器具防爆構造規格」の略語で、これには防爆電気機器として要求される構造、試験及び表示などの骨子が定められており、技術的な指針としてこれを補完するため、検定基準として防爆指針(工場電気設備防爆指針「ガス蒸気防爆2006」等)が活用されている。

電気設備の防爆対策の考え方については、国内のものも国際規格における原理原則と変わらない。厚生労働省は平成22年8月に国際規格に基づいて製造された防爆構造機械器具が構造規格に適合するものと同等以上の防爆性能を持つことを確認するための基準として、「工場電気設備防爆指針(国際規格に整合した技術指針2008)」を作成した。

(1) 一般的な防爆規定概要

爆発・火災は可燃物が着火源によって着火して発生する。着火源には、火災、機械的摩擦、衝撃、高温表面、電気火花、電磁波など各種のものがあ、可燃物には、個体（粉塵）、液体（蒸気）、気体（ガス）の形態のものがある。爆発・火災は可燃物と着火源が共存するときに発生することから、

- 着火源と可燃物との共存を避ける
- 着火源が着火作用（能力）を有しないようにする
- 可燃物の可燃特性を消滅させる（可燃物の濃度を爆発限界以下にする、等）

によって、爆発・火災の防止が実現できる。

防爆構造機器は、万一、可燃物の放出・漏洩が生じたとしても、爆発・火災が発生しないような対策を講じたものである。

(2) 防爆機器選定の流れについて

防爆電気機器の設置に当たっては、一般に以下の流れで検討する。

1) 施設場所の諸条件の検討

設置場所の諸条件（立地条件（標高、気候風土、大気汚染の程度）、環境条件（気圧、気温、湿度、腐食性ガスの存在の有無、水気の有無・程度、じん埃の程度、必要機器の保護等級、外部よりの熱源の影響、必要に応じ接地抵抗）、周囲温度、建屋構造・配置、設備又は機械類の機能・運転条件などを検討する。

2) 可燃性ガスまたは液体の危険特性の確認

対象とする可燃性ガスまたは可燃性液体については、引火点、爆発限界、相対密度、発火温度、最大安全隙間、最小点火電力などの危険特性を確認し、危険場所の分類をするための資料とする。

3) 危険場所の分類

防爆設備を設置しようとしている場所について、可燃性ガスまたは可燃性液体の危険特性と大気中への拡散条件を併せて検討し、危険場所の区域の分類と範囲を決定する。

4) 防爆電気説の配置の決定

電気設備は可能な限り、非危険場所に配置する。またはそれが不可能な場合は危険場所の中でも爆発の危険性が少なく、かつ保守管理のしやすい場所に配置する。

5) 電気設備決定

設置する場所に存在する可燃性ガスまたは可燃性液体の危険特性及び危険場所の種別に適応したものを選定する。

(3) 防爆構造の種類

防爆構造は防爆機器の防爆の考え方により以下に区分される。

- ・ 耐圧防爆構造
- ・ 内圧防爆構造
- ・ 油入防爆構造
- ・ 安全増防爆構造
- ・ 本質安全防爆構造
- ・ 特殊防爆構造
- ・ その他の防爆構造

(粉体充てん防爆構造、樹脂充てん防爆構造、2種場所用簡易防爆構造)

それぞれの特徴について以下に記述する。

1) 耐圧防爆構造

容器が、その内部に侵入した爆発性雰囲気の内圧爆発に対して、損傷を受けることなく耐え、かつ、容器を坑井する全ての接合部または構造上の開口部を通して外部の対象とするガスまたは蒸気の爆発的雰囲気へと引火を生じることのない電気機器の防爆構造。

2) 内圧防爆構造

容器内の保護ガスの圧力を外部の雰囲気の圧力を超えるある値に保持すること、または容器内のガスまたは蒸気の濃度を爆発下限界より十分低いレベルに希釈することによって、防爆性能を確保する電気機器の防爆構造。

3) 油入防爆構造

電気機器及び電気機器の部分が油の上または容器の外部に存在する爆発性雰囲気に転嫁することのないような方法で、これらを油に浸す防爆構造。

4) 安全増防爆構造

正常な使用中にはアークまたは火花を発生することのない電気機器に適用する防爆構造であって、過度な温度の可能性並びに異常なアーク及び火花の発生の可能性に対して安全性を増加する手段が講じられた電気機器の防爆構造。

5) 本質安全防爆構造

正常状態及び仮定した故障状態において、電気回路に発生するアークまたは火花及び熱がガスまたは蒸気に点火するおそれがないようにした電気機器の防爆構造。

6) 特殊防爆構造

上述してきた防爆構造によらずに、可燃性ガス・蒸気に対して防爆性能（着火防止性能）を有することが、適切な試験等により確認された防爆構造。

その他として非点火防爆構造、樹脂充てん防爆構造等もあるが、ここでは省略する。

表 4.4-1 に一般的な防爆規定におけるどの区域でその防爆構造が選択可能かについて示す。但し、これは全ての構造を網羅したものではない。また、ここでは構造の記号についての説明は省略する。

表 4.4-1 電気機器の防爆構造の選定原則（型式と使用区域）

防爆電気機器の防爆構造の種類と記号		使用に適する危険場所の種別		
準拠規格	防爆構造の種類と記号	特別危険箇所 (0 種場所)	第一類危険箇所 (1 種場所)	第二類危険箇所 (2 種場所)
構造規格	本質安全防爆 ia	○	○	○
	本質安全防爆 ib	×	○	○
	耐压防爆 d	×	○	○
	内圧防爆 p	×	○	○
	安全増防爆 e	×	×	○
	油入防爆 o	×	△	○
	特殊防爆 s	-	-	-
技術基準	本質安全防爆 ia	○	○	○
	本質安全防爆 ib	×	○	○
	耐压防爆 d	×	○	○
	内圧防爆 p	×	△	○
	安全増防爆 e	×	○	○
	油入防爆 o	×	○	○
	特殊防爆 s	-	-	

（出典：ユーザーのための工場防爆電気設備ガイドを参考にして作成）

注：表中の記号の意味は以下のとおり

○；適する

△；避けたい（保護回路の動作方法により適さないものがある）

×；適さない

-；適用される防爆原理で適否を判断する

4.4.3 国際規格

電気及び電子技術分野の国際規格の作成を行う国際標準化機関に各国の代表的標準化機関から構成されている国際電気標準会議（International Electric Commission (IEC)）がある。このもとに運用されている国際的な認証システムのひとつに IECEx システムがあり、これは IEC 防爆機器規格適合試験制度と呼ばれていて、防爆機器に関する国際的な相互認証制度である。2019 年 9 月 27 日現在、世界 35 カ国が参加しており、日本も 2005 年に 25 番目の国として加盟している。

IEC 規格は欧州が中心となって取り纏めていた経緯もあり、EN 規格とほぼ同様に、他国はそれをそれぞれ自国の規格に取り込み合わせる形となっている。

各国の防爆規格を表 4.4-2 に示す。

表 4.4-2 各国の防爆規制・規格

国・地域	関連法規	適用規格	主な認証機関	備考
国際	-	IEC 60079	IECE x 各国に 62 機関	IECE x システムによる認証制度
欧州	ATEX114 Directive	EN 規格	PTB 他	IEC 規格同等
米国	OSHA	ANSI/NFPA NEC 500/505	UL FM approvals	Division System に加え、Zone System (IEC 規格) を導入
日本	労働安全衛生法他	防爆指針 (JIS)	産業安全技術協会 (TIIS) CML CSA/UKDEKRA Certification BV	構造規格+IEC 規格準拠

(出典：ユーザーのための工場防爆電気設備ガイドを参考にして作成)

国際的な防爆規格である IECEx のほか、防爆規格は国によっても認証制度が存在していて、有名なところではアメリカの防爆規格である UL 規格 (UL-429/1002) とヨーロッパ (EU 諸国) の防爆規格である ATEX などがある。

国際規格の防爆の考え方は基本的に前述したものとほぼ同様である。危険区域の区分は、Zone System を使用している。米国は従来の Division System に加え、Zone System も導入している。

なお、ガス量の考え方は API のものを参考にしてしている。

表 4.4-3 に国際規格における電気機器の防爆構造の種類と使用区域について示す。但し、これは全ての構造を網羅したものではない。また、ここでは構造の記号についての説明は省略する。

表 4.4-3 電気機器の防爆構造の選定原則（型式と使用区域）

防爆電気機器の防爆構造の種類と記号		使用に適する危険場所の種別		
規格	防爆構造の種類と記号	Zone 0	Zone 1	Zone2
IEC 60079-0 (2011 ed.6)	本質安全防爆 ia	○	○	○
	本質安全防爆 ib	×	○	○
	本質安全防爆 ic	×	×	○
	耐圧防爆 d	×	○	○
	内圧防爆 px, py	×	○	○
	内圧防爆 pz	×	×	○
	安全増防爆 e	×	○	○
	油入防爆 o	×	○	○

（出典：ユーザーのための工場防爆電気設備ガイドを参考にして作成）

なお、先に述べたように米国については従来の Division System と Zone System を並行しているので危険区域の区分には別途留意する必要がある。

4.4.4 海外製品の国内での使用について

海外製品の国内での使用に関しては、仮に国際規格の認証を受けている製品であっても、国内で使用する場合には、別途国内での認証を受ける必要があるため、その点注意が必要となる。

労働安全衛生法では、政令で定めるもの（この場合、防爆エリアで使用する電気用品）を製造、又は輸入した者は、厚生労働大臣又は厚生労働大臣が認定した者が行う当該機械等の型式についての検定を受けなければならないと定めている。

また、国際規格等に基づいて製造され、技術的基準に適合する防爆構造電気機械器具については、電気機械器具防爆構造規格第5条の「国際規格等に基づき製造されたものであって、規格に適合する電気機械器具と同等以上の防爆性能を有することが試験等により確認されたもの」とされ、労働安全衛生法 第五章 機械等並びに危険物及び有害物に関する規制の第四十四条の二 厚生労働大臣の登録を受けた者（以下「登録個別検定機関」という。）が行う当該機械等の型式についての検定を受けなければならない、とされている。

外国での防爆認定は自己宣言も可能とされているものもあり、国内で使用する場合は国内の基準に合っているか、登録個別検定機関で確認が必要である。

国内での登録機関は、2018年1月23日付、厚生労働省より労働安全衛生法第54条の2において準用する労働安全衛生法第46条第1項の規定により、IECExを取得済の機器が対象となる【外国登録型式検定】が認められ、これにより以下4つの機関が【型式検定合格証】を発行できるようになっている。

- ・ 公益社団法人 産業安全技術協会
- ・ CML 社（本社イギリス）
- ・ CSA UK 社（本社カナダ）
- ・ DEKRA 社（本社オランダ）

一方、平成 27 年に ATEX 認証品については日本での型式検定を受けなくとも使用できるよう措置願うとの業界団体よりの要請に対し、厚生労働省は防爆機器の安全性を担保しつつ、輸入者の負担を軽減し、利便を図るため以下のように回答している。

- ・ 「指定外国検査機関」制度により、一部の実機の検査を省略した簡易迅速な検定を受けることができること
- ・ 平成 27 年 6 月以降は、外国の検定機関も登録型式検定機関として登録を受けることができることとなる予定であり、当該外国機関が実施する型式検定に合格した場合には、輸入時に改めて検定を受ける必要がなくなること

4.4.5 鉱山保安法と一般防爆規定の差異について

一般的な防爆規定の考え方の基本は「通常運転時」を **Default** として設計することとしている点にあることと、換気条件が防爆機器のタイプと防爆区域の決定に大きく影響することに特徴がある。一方、従来の石油鉱山における鉱山保安法の考え方はこれとは異なり、危険区域と安全距離をはっきりと決めていて、異常時に対処するものであると言える。これらは前提条件が全く異なっていることに注意をすべきである。電気機器は一旦設置した後大幅に入れ替えることは難しく、機器の選定は慎重に行うべきで、こういった特徴の違いを十分に理解する必要がある。

1) 電気機器に関する API 規格

石油ガス業界で世界的に採用されている規格は API のものであり、電気機器に関するものは以下のとおりである。

- ・ RP14F Design, Installation, and Maintenance of Electrical Systems for Fixed and Floating Offshore Petroleum Facilities for Unclassified and Class I, Division 1 and Division 2 Locations
- ・ RP14FZ Design, Installation, and Maintenance of Electrical Systems for Fixed and Floating Offshore Petroleum Facilities for Unclassified and Class I, Zone0, Zone1, and Zone2 Locations
- ・ RP14G Recommended Practice for Fire Prevention and Control on Fixed Open-type Offshore Production Platforms
- ・ RP500 Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2

- ・ RP505 Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I Zone0, Zone1, and Zone2

今後これらについても、内容を詳細に精査して、整理していく必要があると考える。

2) その他 検討が必要と考えられる要素

防爆以外に関係すると考えられる以下の事項についても今後調査を実施する必要がある。

- ・ 通信に関するもの
- ・ Drone 使用に関するもの
- ・ AUV/ROV 使用に関するもの

4.5 まとめと今後の課題

今年度調査の結果を以下に纏める。

(1) 石油ガス業界におけるデジタル技術導入の背景

石油ガス業界では、メジャーをはじめとし各石油会社は操業費用の節約、機器故障の予測、油ガス生産性の向上、効率的な資産管理の実現を目的とし、「Big Data to Smart Data」「Lower for Longer」を合言葉により最適化、効率化を進める方法を模索し、積極的 AI・IoT 技術を導入し、デジタル化を進めていることが分かった。

(2) デジタル技術導入の利点

デジタル化の利点は以下のとおりである。

- ① 地下データの解析と監理の効率化 (Subsurface Well Data Analysis and Management)
- ② 計画の最適化 (Planning Optimization)
- ③ Downtime 減少 (Downtime Reduction)
- ④ サービス、Maintenance 費用の削減
- ⑤ 機器 Operation Performance 最適化
- ⑥ 自動化による Operation 費用削減
- ⑦ より良い Field Communication による業務効率化
- ⑧ HSE 向上

(3) 導入されているデジタル技術の分類

石油ガス業界が導入されているデジタル技術の事例と、導入されている技術を 14 項目に分類し、把握することができた。

今回、Connected Worker 技術、Robot 監視技術、AUV についてはより深い調査を実施した。今後、次回調査時において、前述した以外の項目につき、優先順位を付けて、詳細に調査を実施し、技術の分類について分かり易く整理したい。

(4) 国内導入時の課題

国内導入時の課題として、電子機器、電気製品であることから、電気機器の防爆に関する規定について調査を実施した。

一般的な防爆規定の考え方の基本は「通常運転時」を Default として設計することとしている点にあることと、換気条件が防爆機器のタイプと防爆区域の決定に大きく影響することに特徴がある。一方、従来の石油鉱山における鉱山保安法の考え方はこれとは異なり、危険区域と距離をはっきりと決めていてむしろ異常時に対処するものであると言え、これらは前提条件が全く異なっていることに注意をするべきである。電気機器は一旦設置した後大幅に入れ替えることは難しいことから、機器の選定は慎重に実施するべきで、こういった違いを十分に理解する必要がある。

防爆に関しては、今後 API 規格にある防爆関連の考え方も精査し、整理する。

また、防爆以外に関係すると考えられる以下の事項についても今後調査を実施する必要がある。

- ・通信に関するもの
- ・Drone 使用に関するもの
- ・AUV/ROV 使用に関するもの

5. まとめ

5.1 調査結果のまとめ

5.1.1 自然災害に関する保安対策動向

(1) 米国の動向

1) 重大ハリケーンの襲来、甚大な被害の発生

米国南西部に位置するメキシコ湾及び沿岸地域は季節的なハリケーンの発生・進路に当たり、年々過酷化する重大ハリケーンの襲来による同地域の石油・天然ガス開発設備、生産施設への被害の防止と共に、生産活動、エネルギー供給への影響、障害に対処した開発、生産設備、関連インフラの強靱化、さらに従業員の安全管理に係る対応計画の強化に向けた対策が継続的に進められている。

2) 所管行政機関と重大ハリケーン対応指針

米国政府は 2011 年発行の大統領政策令にて自然災害を含む国家の安全保障に最大のリスク、脅威に対する備えとして連邦準備ゴール（National Preparedness Goal）「予防、防御、軽減、対応、復旧」を定め、その実現のための関連省庁からなる枠組み、管理システムを構築している。そして災害関連の所轄機関である連邦緊急事態管理庁（FEMA）は的確なハリケーン予測の充実を含む対応計画指針を定めている。

また、エネルギー保障を所轄するエネルギー省（DOE）はハリケーンを含む自然災害への石油ガス業界の対応策として、老朽化した既存の生産施設及び供給インフラの強靱化と被害からの回復の重要性を挙げ、緊急時への備えと災害からの事業継続計画の強化を示している。

3) 行政機関によるハリケーン対応指針、通達の発行

米国内務省（DOI）傘下の安全環境執行局（BSEE）海洋の石油・ガス事業者や活動を監督しており、石油・ガス生産施設の設計と運用に関する規制とガイダンス及びハリケーン通過時の石油・ガス生産施設等の対策及び影響、被害等の報告義務を定め、各事業者に対し通達（Notices to Lessees: NTL）を発行している。

4) 業界による自主的な安全対策の強化

米国の業界団体である API はハリケーン海象条件の変遷動向に基づく海洋構造物等の関連規格、ガイドラインの整備、更新を進めている。そして、近年の重大ハリケーンによる関連海洋生産施設等への被害状況から、海洋構造物の設計基準となる気象、海象条件の再

現期間（回帰年数）、また着底式に加え新たに浮体構造物の構造、さらに係留システムの健全性に関する新たなガイドラインを発行している。

5) 気象、ハリケーンの情報収集、公開

国立海洋大気庁（NOAA）は国立ハリケーンセンターを設置し、年間を通して米国全土及び海洋の気象、海象と共にハリケーンの進路予測、強度などの情報を発信し、併せて対象地域社会のハリケーンへの備え、ハリケーンの通過後の復旧に関するガイドラインを発行している。

6) 各企業による事前の緊急対応計画の整理、実施

ハリケーンの進路に立地する生産施設（企業）では、事前にハリケーンの接近時のリスクを想定し、ハリケーン情報の収集、気象、海象モニタリングとリスク評価に基づく段階的な生産調整と生産停止手順を定め、状況に応じた人員の退避を含む緊急対応計画（HURREVAC）を策定し、人員の安全の確保が図られている。なお、ハリケーン対応計画には平時における机上の訓練、プールにおける模擬救急演習が含まれる。

(2) 日本の防災基本計画

我が国の激甚化が懸念される風水害などの自然災害を含む防災基本計画が、災害対策基本法（昭和 36 年法律第 223 号）の規定に基づき内閣府により作成され、その後改定を重ね、令和 3 年 5 月 25 日、防災基本計画の修正版が公布された。

石油・天然ガス開発事業に関連する当防災基本計画の主な項目は以下のとおりである。

（出典：内閣府 防災基本計画）

1) 災害予防、応急対策、災害復旧・復興という災害のあらゆる局面に応じ、国及び地方公共団体等の権限と責任を明確化し、官民（事業者）の関係主体が連携して対策を講じる。

・ 災害予防・事前対策→災害応急対策→災害復旧・復興対策

2) 災害をめぐる社会構造の変化に対応する。

3) 石油・ガスを含むエネルギー開発事業（危険物質等災害対策）の風水害対策（重大台風、水害等）への対応策として以下を挙げている。

- ・ 危険物等関係施設の安全性の確保
- ・ 危険物等の大量流出に対する応急対策
- ・ 救助・救急、医療及び消火活動
- ・ 危険物等災害及び防災に関する研究等の推進

- ・ 発災直後の情報の収集・連絡及び活動体制の確立
- ・ 施設・設備等の応急復旧活動

4) 企業は防災力向上の推進を図る。

5.1.2 新技術導入動向

(1) 石油ガス業界におけるデジタル技術導入の背景

石油ガス業界では、メジャーをはじめとし各石油会社は操業費用の節約、機器故障の予測、油ガス生産性の向上、効率的な資産管理の実現を目的とし、「Big Data to Smart Data」「Lower for Longer」を合言葉により最適化、効率化を進める方法を模索し、積極的 AI・IoT 技術を導入し、デジタル化を進めていることが分かった。

(2) デジタル技術導入の利点

デジタル化の利点は以下のとおりである。

- ① 地下データの解析と監理の効率化 (Subsurface Well Data Analysis and Management)
- ② 計画の最適化 (Planning Optimization)
- ③ Downtime 減少 (Downtime Reduction)
- ④ サービス、Maintenance 費用の削減
- ⑤ 機器 Operation Performance 最適化
- ⑥ 自動化による Operation 費用削減
- ⑦ より良い Field Communication による業務効率化
- ⑧ HSE 向上

(3) 導入されているデジタル技術の分類

石油ガス業界が導入されているデジタル技術の事例と、導入されている技術を 14 項目に分類し、把握することができた。

今回、Connected Worker 技術、Robot 監視技術、AUV についてはより深い調査を実施した。今後、次回調査時において、前述した以外の項目につき、優先順位を付けて、詳細に調査を実施し、技術の分類について分かり易く整理したい。

(4) 国内導入時の課題

国内導入時の課題として、電子機器、電気製品であることから、電気機器の防爆に関する規定について調査を実施した。

一般的な防爆規定の考え方の基本は「通常運転時」を Default として設計することとしている点にあることと、換気条件が防爆機器のタイプと防爆区域の決定に大きく影響することに特徴がある。一方、従来の石油鉱山における鉱山保安法の考え方はこれとは異なり、危険区域と距離をはっきりと決めていてむしろ異常時に対処するものであると言え、これらは前提条件が全く異なっていることに注意をするべきである。電気機器は一旦設置した後には大幅に入れ替えることは難しいことから、機器の選定は慎重に実施するべきで、こう

いった特徴を十分に理解する必要がある。

防爆に関しては、今後 API 規格にある防爆関連の考え方を精査し、整理する必要がある。

また、防爆以外に関係すると考えられる以下の事項についても今後調査を実施する必要がある。

- ・通信に関するもの
- ・Drone 使用に関するもの
- ・AUV/ROV 使用に関するもの

5.2 今後の課題

5.2.1 自然災害に関する保安対策動向

我が国周辺海域における海洋石油・天然ガスの探鉱の推進と共に、近年我が国近海を対象としたメタンハイドレートの調査の継続、さらに今後、海洋における二酸化炭素（CO₂）の地下貯留（CCS）の適地調査等を目的とした探査、そしてこれらの事業の実施に伴う海洋施設の設置、操業が期待される。

我が国の海洋石油・天然ガス開発には鉱業法、鉱山保安法、海洋汚染防止法等が適用されているが、今後これらの海洋エネルギー資源開発の推進に際し、近年、激甚化が予想される気象状況による災害（風水害）に対応した上記防災基本計画及び国内関連法規をはじめ、国際法あるいは米国等の国際的な動向も視野に入れた法整備の要点として以下があげられている。

- ・想定される自然災害への備えとして行政機関、事業者を含む対応管理体制（枠組み）の構築
- ・海洋エネルギー資源開発に係る風水害を含む潜在的な自然災害に対する安全及び環境影響のリスク評価制度の確立
- ・海洋エネルギー開発事業に動員される探査、坑井掘削施設及び設置される生産施設等の設計基準の制定（気象、海象条件の回帰年数等）
- ・想定される激甚気象、海象条件への緊急対応計画の策定（段階的な操業管理、人員退避等を含む）
- ・気象、海象関連情報の共有及び緊急時の行政機関、事業者間の連絡体制の確立
- ・緊急事態終了後の施設の障害、環境影響の評価、報告手順
- ・操業活動の復旧、事業継続計画の強化
- ・官民連携による関連インフラの強靱化

なお、国際的な関連事例として、季節的な重大サイクロンの発生・通過海域を持つオーストラリア、また厳しい気象、海象条件の海域を含む北海に位置する英国における自然災害への対応管理動向も米国同様に参照すべき対象国と考えられる。本調査に引き続き、これら両国の調査を通してさらなる国際的な動向についての情報取得が期待される。

5.2.2 新技術導入動向

(1) デジタル技術の調査

リストアップした技術の残りの項目につき、優先順位付けをし、次年度以後に詳細に調査を実施する。

また、これらの整理の仕方についても工夫をして分かり易いものにしていく。

(2) 国内導入時の課題

防爆規定のさらなる調査、整理が必要である。また、防爆規定以外については、以下の項目の調査が必要と考えられる。

- ・ 通信に関するもの
- ・ Drone 使用に関するもの
- ・ AUV/ROV 使用に関するもの

二次利用未承諾リスト

令和3年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（石油・天然ガス開発に係る保安動向調査） 報告書

令和3年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業

一般財団法人エンジニアリング協会

頁	図表番号	タイトル
6	図 3.1 1	北大西洋（1851-2013年）及び北東太平洋（1949-2013年）における熱帯低気圧の進路
7	図 3.1 2	大西洋海域における 亜熱帯低気圧の発生数（1850-2014年）
7	図 3.1 3	大西洋海域におけるハリケーンの発生場所と進路に関する月毎の傾向
8	表 3.1 1	ハリケーンの区分
8	図 3.1 4	メキシコ湾沿岸の石油天然ガス開発施設
9	表 3.1 2	重大ハリケーン（2000年代トップ10）
10	表 3.1 3	重大ハリケーン（被害額トップ10）
11	図 3.1 5	被災原油生産・掘削プラットフォーム
11	図 3.1 6	原油生産プラットフォーム破損箇所
12	図 3.1 7	原油生産プラットフォーム破損例
12	図 3.1 8	原油生産プラットフォーム搭載設備傷害（ケーブルトレイ・パッケージ発電機）
12	図 3.1 9	ハリケーン・アイバンによる沿岸、海底の地滑り
15	図 3.1 10	左：プラットフォームWD-143 右：パイプライン原油流出
15	図 3.1 11	生産プラットフォーム・洪水地域の陸上原油プラント油流出
17	表3.2-1	国家準備システムの体系
21	図 3.2 2	緊急時における関連機関の連携体制 (a) 石油関連施設
22	図 3.2 3	緊急時における関連機関の連携体制 (b) ガス関連施設
23	図 3.2 4	緊急時の政府機関と民間事業者の連携体制
31	図 3.3 1	ハリケーンIdaの影響地域
40	図 3.3 2	構造健全性管理プロセスの概要
41	表 3.3 2	曝露カテゴリー

(様式2)

41	表 3.3 3	Design Level Methodにおけるメキシコ湾のプラットフォームの評価基準
42	図 3.3 3	RP 2MIMの対象である係留システム
58	図 4.3 1	Epson Moverio BT-40 Smart Glass Head Set
59	図 4.3 2	Epson Moverio BT-40 Smart Glass Controller
59	図 4.3 3	Epson Moverio BT-40 Smart Glass 使用時のイメージ
59	表 4.3 1	Moverio BT-40の主な仕様
60	図 4.3 4	Google Glass
60	表 4.3 2	Google GlassEnterprise Edition2の主な仕様
61	表 4.3 3	RealWear HMT-1Z1の主な仕様
63	図 4.3 5	Exxon MobilのAR/VR技術を採用したTraining風景
65	図 4.3 6	Boston Dynamics社Spot (全体とカメラ部拡大)
66	表 4.3 4	Spotの主な仕様
66	図 4.3 7	Maddog プラットフォーム使用時のSpot
67	図 4.3 8	Taurob Inspector全景 (右はOffshore プラットフォームでの試験時のもの)
68	図 4.3 9	Taurob Inspector
68	表 4.3 5	Taurob Inspectorの主な仕様
69	図 4.3 10	ANYmalC 全景 (右はPetronas Dulang C プラットフォームで試用時のもの)
69	表 4.3 6	ANYmalCの主な仕様
70	図 4.3 11	Kongsberg Ferrotec社 Nautilus
72	図 4.3 12	Spiceによる海底パイプライン検査イメージ
72	表 4.3 7	Kawasaki SPICE 基本仕様
73	図 4.3 13	Blue Ocean Seismic Service Seismic Node
73	図 4.3 14	Seismic Survey実施時のイメージ
74	図 4.3 15	左 : Saipem Flat Fish 右 : Kongberg HUGIN Endurance
74	図 4.3 16	左 : Oceaneering Freedom (下側) 右 : SAAB Sabertooth