

AUVの安全運用ガイドライン

令和3年3月

国土交通省海事局

目次

はじめに	1
1. 概要	2
1.1 目的	2
1.2 対象	2
1.3 用語	2
1.4 定義	3
1.4.1 海洋無人機	3
1.4.2 AUV の種類	4
2. 機能要件など	6
2.1 AUV の構成と説明	6
2.1.1 自律制御システム	6
2.1.2 緊急対応システム	6
2.1.3 航行システム	6
2.1.4 電源システム	6
2.1.5 通信システム	6
2.1.6 操縦制御システム	6
2.1.7 観測システム	7
2.2 機能・設備要件	8
2.2.1 自律制御システム	8
2.2.2 緊急対応システム	8
2.2.3 航行システム	8
2.2.4 通信システム	8
2.2.5 電源システム	9
2.2.6 操縦制御システム	9
2.2.7 観測システム	9
2.2.8 その他	9
3. 運用上の指針	12
3.1 事前準備	12
3.1.1 潜航計画	12

3.1.2 許可申請など	13
3.1.3 チェックリスト	13
3.2 陸上点検（事前確認事項）	15
3.2.1 AUV 本体・パイロードの事前動作確認・調整.....	15
3.2.2 通信機器の確認.....	15
3.2.3 船舶への積み込み方法	15
3.2.4 輸送方法	15
3.3 船上点検（離岸前）	16
3.3.1 GNSS の座標系確認・精度確認.....	16
3.3.2 音響測位装置の動作確認	16
3.3.3 投入・揚収装置の動作確認.....	16
3.4 船上点検（潜航前確認事項）	17
3.4.1 潜航計画の確認.....	17
3.4.2 音速度プロファイル	17
3.4.3 ウェイポイントの確認、時刻合わせ、各機器動作確認.....	17
3.4.4 動作確認	17
3.5 投入時	19
3.5.1 海上衝突予防法に基づく表示.....	19
3.5.2 投入に関する留意点	19
3.5.3 LARS を利用する場合	19
3.5.4 母船のクレーンを利用する場合	20
3.5.5 港湾内や岸壁から投入する場合	20
3.5.6 周辺状況の確認.....	21
3.5.7 コミュニケーション.....	22
3.5.8 投入位置	22
3.6 潜航中	23
3.6.1 通信・機器状況確認.....	23
3.6.2 データモニタリング	23
3.7 非常事態	24
3.7.1 非常事態の判断.....	24
3.7.2 緊急浮上の方法.....	24

3.7.3 緊急浮上後の AUV	24
3.7.4 緊急浮上させない場合	24
3.7.5 海上衝突予防法に基づく表示	25
3.7.6 回収海域の安全確保	25
3.7.7 揚収に関する留意点	25
3.7.8 LARS を用いる場合	25
3.7.9 LARS を用いない場合	26
3.8 損害保険手配	27
3.8.1 物保険	27
3.8.2 賠償責任	27
4. 関係法令	28
4.1 領海内での工事・作業の場合	28
4.2 輸出規則に関連するもの	29
4.2.1 国内関係規則	29
4.2.2 包括許可制度	30
参考資料：Bow-tie 図	31

はじめに

無人機の能力が最も活かされる場は、人間が行きたくても、直接行くことが極めて難しい場所である。それは、空であったり、宇宙であったり、海であったり、時に、人間が立ち入ることが過酷な環境の場であったりする。近年、無人機としてマルチコプター型で空を飛ぶ空中ドローンが様々な場面で急速に普及・活躍し、大衆化しつつあるが、この空中ドローンの多くは、無人機ではあるが遠隔操縦されている。またこれに呼応するように、水中ドローンと通称されている無人機も、多くは遠隔操縦を必要とする。

これに対して、ここで扱う AUV とは **Autonomous Underwater Vehicle** の略で、機器本体が自律的に状況を判断して水中を航行できる無人機、平たく言えば、人が操縦せずに全自動で水中を動ける無人ロボットである。つまり、通称のドローンの概念よりも技術的には一歩も二歩も進んだ無人機である。

このような自律的な無人機は、外的な先行情報が不足し通信環境が整っていない宇宙空間や海洋空間や人智の及ばない過酷な環境場において、その能動的な活動能力が大いに発揮されることが期待される。中でも地球上のフロンティア領域ともいえる海洋空間においては、人命のリスクを最小限に抑えて活動できる AUV の活躍は、海洋開発産業の基盤となる安全の確保だけでなく、漁業や養殖といった水産業への活用、海洋環境の調査、さらには将来的には海洋観光産業などの創出につながることも期待される。

さて、本ガイドラインは基幹的な海洋開発産業の一つあるいは一つとなっていく海洋石油ガス開発・生産施設および洋上風力発電施設において不可欠な検査に、AUV を用いることを想定し、その検査を安全に実施するためのガイドラインである。使用される AUV は外洋で十分に運用できる能力を持っていることを前提としており、使用目的は「商用」であり、研究・開発目的では無い。そのため、小型の AUV や研究開発段階の AUV 等を用いる場合や河川・湖沼での運用については、本ガイドラインの記載事項、特に機能面については要求水準が安全側となる場合もあることに留意頂きたい。

なお、「AUV を用いて検査を実施ができた」は、「AUV が無事に帰還」し「正しい計測結果が取得」できることである。すなわち、何かしらの「データ」が取れたとしても、緯度経度や水深などの精度の高い 3 次元的位置情報とセットで揃わなければ、その「データ」は検査に資するものにならない。また、データの計測には成功しても、データ回収に失敗すれば、それは検査が実施できたとは言えない。こうした、検査として不完結になる「計測データの不具合や不完備」も「事故」の概念に含め、AUV そのものが損傷する事故とともに、リスクとして考慮している。

国土交通省は、平成 30～令和 2 年度事業として、3 ヶ年度にわたる検討を経て、ここにガイドラインをとりまとめた。

内容について審議していただいた「AUV の運用ガイドラインに係る検討委員会（主査：横浜国立大学・村井基彦准教授）」の委員およびワーキンググループ委員各位には、この場を借りて感謝を申し上げます。

このガイドラインが、AUV の健全な普及に寄与することを願うものである。

1. 概要

1.1 目的

本ガイドラインは AUV による海洋石油ガス開発・生産施設および洋上風力発電施設の検査を安全に実施するための事項をまとめ、我が国における AUV の実用化に向けた動きを加速していくことを目的としている。なお、本ガイドラインは現在（2021 年 3 月）における技術水準や要求水準に基づき、基本的な考え方を示したものであり、今後の技術の進展や国際基準の動向等を踏まえ、適宜見直すこととする。

1.2 対象

本ガイドラインは AUV を対象としているが、ASV や ROV（untethered ROV を含む）等に対して本ガイドラインを部分的に準用することを妨げない。

1.3 用語

AUV : Autonomous Underwater Vehicle

BMS : Battery Management System

DVL : Doppler Velocity Log

GNSS : Global Navigation Satellite System（GPS や GLONASS、準天頂衛星システムなどの総称）

LARS : Launch And Recovery System

MBES : Multi Beam Echo Sounder

UMV : Unmanned Maritime Vehicle

UUV : Unmanned Underwater Vehicle

USV : Unmanned Surface Vehicle

ROV : Remotely Operated Vehicle

SBP : Sub Bottom Profiler

SSBL : Super Short Base Line

SSS : Side Scan Sonar

PPE : Personal Protective Equipment

USBL : Ultra Short Base Line

XCTD : eXpendable Conductivity Thermograph Depth

XBT : eXpendable Bathy Thermograph

1.4 定義

1.4.1 海洋無人機



図 1.4.1 海洋無人機の種類

海洋無人機 (Unmanned Maritime Vehicle : UMV) は図 1.4.1 に示すとおり、水中を潜航できる「無人潜水機 (Unmanned Underwater Vehicle : UUV)」と水面上を航行する「無人水上機 (Unmanned Surface Vehicle : USV)」にまず大別される。

水中を潜航可能な「無人潜水機」は①母船に曳航される曳航型 (Tow Fish)、②母船もしくは基地局から操作する「遠隔操作型」、③遠隔操作を必要としない「自律型」に分けられる。遠隔操作型は一般的に「ROV (Remotely Operated Vehicle)」と呼ばれている。一般的にはアンビリカルケーブルを洋上の母船と接続し、給電および通信をアンビリカルケーブルにおいて実施する。

また、自律型は「AUV (Autonomous Underwater Vehicle)」と呼ばれている。「自律」が示しているとおり、AUV 自身が状況に応じて決められた潜航ルートからの逸脱や緊急浮上などの判断を行うことができる能力を持っている。

なお、Lloyd's Register では、自律性のレベルを表 1.4.1 に定義している。

表 1.4.1 Lloyd's Register による自律レベルの定義

自律性のレベル		概要
AL.0	Manual	全てマニュアル（自律要素なし）。
AL.1	Onboard decision support	全てマニュアル。Decision Support Tool 搭載。搭載システムにデータ収録。
AL.2	On & off-board decision support	全てマニュアル。Decision Support Tool 搭載。搭載/非搭載システムにデータ収録。
AL.3	'Active' human in the loop	判断/動作はオペレータ監視下で実行。搭載/非搭載システムにデータ収録。
AL.4	Human on the loop, Operator/Supervisory	判断/動作はオペレータ監視下で自動的に実行される。重要な決定に関してはオペレータによる Over-ride での実行も可能。
AL.5	Fully autonomous (rarely supervised)	判断はシステムにより自動的に実行。ほとんどオペレータの操作を必要としない。
AL.6	Fully autonomous (unsupervised)	判断はシステムにより完全に自動的に実行。オペレータの監視は一切不要。

(参照 LR Code for Unmanned Marine Systems 4.1.2 Autonomy Levels (AL))

無人水上機 (USV) についても UUV と同様に遠隔型 (ROSV) と自律型 (ASV) に分けられる。ASV は水面上を航行し、AUV と母船もしくは陸上基地局との通信の中継局として用いられることが一般的である。そのため、AUV を追尾しながら航行することが求められる。なお、貨物 (危険物) や人員を搭載することは想定されていない。

また、近年では uROV (untethered ROV) と呼ばれる無人機の開発も行われている。これは有線ではなく音響通信などの無線で操作する ROV である。遠隔操作、という意味において ROV として区分している。

1.4.2 AUV の種類

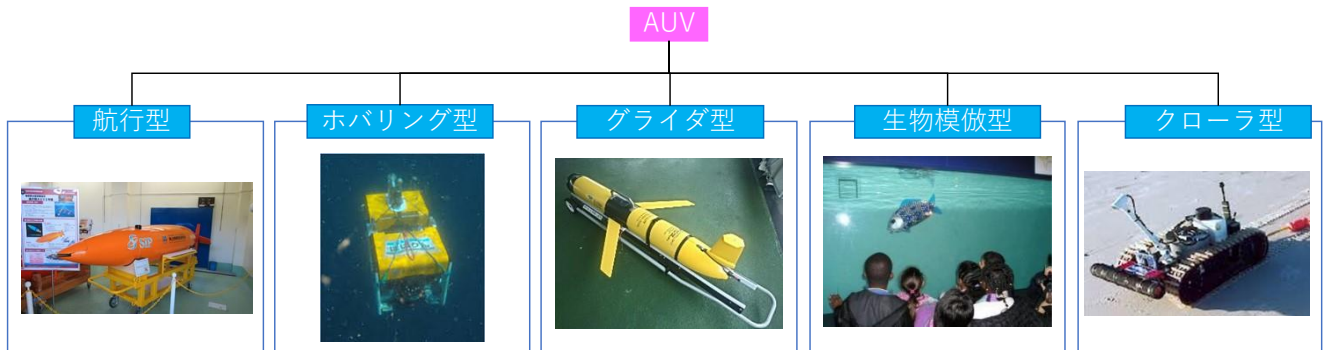


図 1.4.2 AUV の種類

AUV は形状などから図 1.4.2 に示す 5 種類に分類される。それぞれの主な特徴を以下にまとめる。

(1) 航行型

多くは流線型の形状であり、消費電力を抑えた高速移動により、長距離航行できるように工夫されている。

主な用途：広範囲の海底地形探査やパイプライン検査等

(2) ホバリング型

航行型よりもスラスト数を多く持ち、定点保持やその場回頭、低速移動時など、より自由度の高い運動特性を持つ。

主な用途：特定箇所の重点的な調査

(3) グライダー型

スラストを持たず、重心位置を変更することにより上昇・下降などを行う。無音であること、消費電力が少ないことが特筆点。航行型よりも長期・広域展開が可能。

主な用途：長期海洋環境調査や海中の生物調査

(4) 生物模倣型

生物を模したプロペラ以外の推進力で移動。

(5) クローラ型

車輪やキャタピラを有し、海底に着底して移動ができる。外力に対して必要な反力を海底との摩擦抵抗で得ることが可能。

海洋の調査・研究において一般的に用いられているのは航行型、ホバリング型およびグライダー型であるが、本ガイドラインでは、海洋石油・ガス開発・生産施設および洋上風力発電施設の検査を、航行型もしくはホバリング型の AUV を用いて実施する場合を想定している。

2. 機能要件など

2.1 AUV の構成と説明

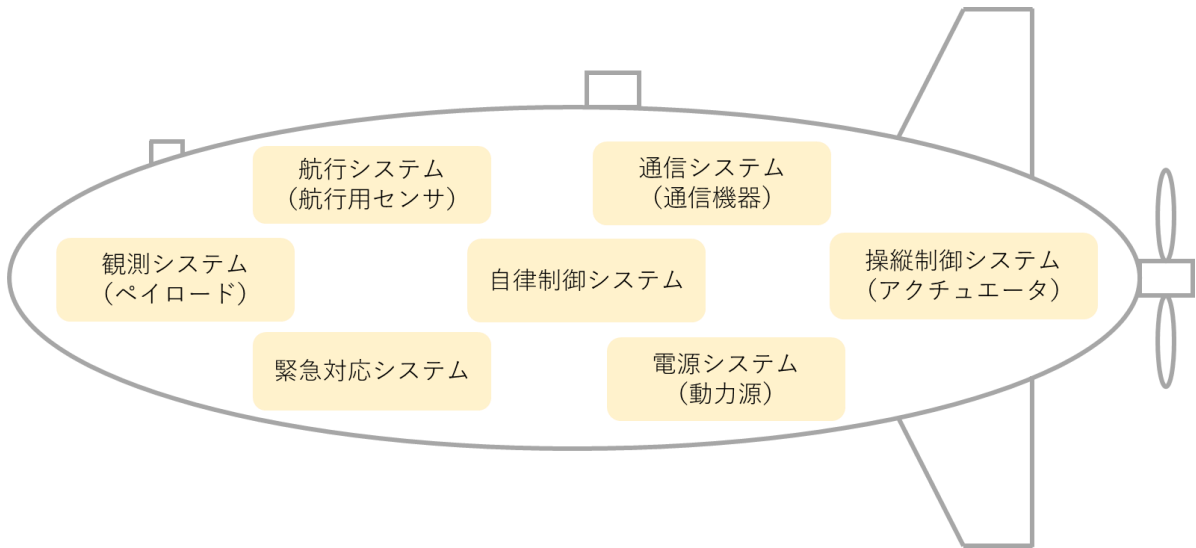


図 2.1.1 AUV の構成

AUV は図 2.1.1 に示すように、主に 7 つの要素（システム）から構成されている。以下に、各要素（システム）の機能や機器の一例を示す。

2.1.1 自律制御システム

状態監視、ウェイポイント航行制御、測線航行制御、一定高度制御、一定深度制御、前方障害物回避、遠隔制御、上昇・下降制御

2.1.2 緊急対応システム

フラッシュャ、ドロップウエイト

2.1.3 航行システム

高度計、速度計（DVL）、慣性航法装置、深度計、音速計、前方探知ソナー、音響測位装置、GNSS

DVL : Doppler Velocity Log

GNSS : Global Navigation Satellite System（GPS や GLONASS、準天頂衛星システムなどの総称）

2.1.4 電源システム

主電池、配電盤、BMS による電圧、電流、積算消費電力の監視

BMS : Battery Management System

2.1.5 通信システム

Wi-Fi 通信、イリジウム衛星通信、VHF 通信、水中音響通信、水中光通信

2.1.6 操縦制御システム

舵、翼、推進機（スラスター）、推進機用電動機のドライバユニット制御、状態・情報管理

2.1.7 観測システム

AUV に搭載される観測装置（SBP, MBES, SSS, ビデオカメラなど）の状態・情報管理

SBP : Sub Bottom Profiler

MBES : Multi Beam Echo Sounder

SSS : Side Scan Sonar

2.2 機能・設備要件

AUV は以下の機能を具備することが望ましい。

2.2.1 自律制御システム

- ・ 全てのシステムは、自律制御システムの時刻に同期させること。
- ・ あらかじめ設定されたウェイポイントや測線に従って、航行・下降・潜航（計測/観測）・上昇を実行できること。
- ・ 基地局からの外部信号（特定コマンド）により、浮上もしくは所定の位置に移動できる等の遠隔制御ができること。

2.2.2 緊急対応システム

緊急対応システムは、AUV の電源を喪失した場合など、AUV が緊急事態であることを判断し、緊急浮上などの対応に移行するためのシステムであり、AUV 喪失のリスクを低減するために重要である。

- ・ AUV 自身の安全のために障害物への衝突を回避できること（2.2.8 (4) 参照）。なお、潜航海域の主権を有する国の国内法規及び国際規則による衝突防止のためのさらなる措置が要求されることがある。
- ・ 主電源が故障した場合や浮上時刻を超えても AUV が浮上しない場合等、自律的にミッションを中断し、緊急浮上することを推奨する。緊急浮上する場合には、以下の要件を備えることを推奨する。
 1. ドロップウエイトの放出などにより緊急浮上する。
 2. 浮上後速やかに AUV の位置を Wi-Fi や衛星通信等の無線信号によって送信する。
なお、Wi-Fi の通信可能範囲は比較的狭いため、緊急浮上時は衛星通信等の通信可能範囲が広い通信機器を使用することにより AUV の位置把握が容易になる。
 3. フラッシュなどの発光灯を点灯し、目視により位置を把握しやすくする。
 4. 上記信号送信および発光灯の点灯は、最低 24 時間は継続する。
点灯時間は AUV を発見・回収するまでに要する時間を考慮した設定とすること。なお、時間が短くなるにつれて、AUV を発見・回収できなくなるリスクが高くなるため、24 時間程度の余裕を持つべきである。

2.2.3 航行システム

- ・ AUV の状態、少なくともヘディング、ロール、ピッチ、深度を計測できること。
- ・ 海底面付近を潜航する場合など、海底地形への接触がリスクとして想定される場合は高度の計測を推奨する。
- ・ 慣性航法により潜航しつつ、適宜、DVL や母船及び/または事前に潜航海域に設置された音響測位システムによって AUV の位置の推定誤差の修正を行うこと。

2.2.4 通信システム

- ・ 水中および水面上において、基地局からのコマンド（ミッション指示、中断など）を受信できること。
- ・ 潜航中は、AUV は下記のような重要なパラメータを音響通信などによって基地局に送信でき

ること。

1. AUV の物理的状態 (3次元位置・姿勢・速度・高度など)
 2. ミッションの状態 (クリアしたウェイポイントの数など)
 3. 電源残量、電圧、電流
 4. 内部機器の動作状況 (絶縁低下、温度異常、浸水等の有無を含む)
- ・ 水面上では、GNSS 又は同等のシステムにより AUV の位置を特定し、定期的に基地局と AUV 間の無線通信による AUV の位置情報の送信が可能であること。
 - ・ 予定海域外での浮上に備えて、AUV にはイリジウム等の衛星通信システムを搭載しておくことを推奨する。

2.2.5 電源システム

- ・ 電池残容量の連続的な検出や、耐圧容器や各ブロック単位等で電圧・電流等の監視が行えること。
- ・ リチウム電池の場合は充放電時の安全のため、各ブロック単位に保護回路を備えていること。
- ・ 水中コネクタ等、耐圧容器の外に出る配線は、ヒューズ等の短絡に対する保護を行うこと。
- ・ 特に高圧電源を用いる場合においては、水中に入れることを考慮した漏電/感電対策を実施すること。

なお、ノイズの発生源となり得るアクチュエータ等の系統とペイロードやセンサ用の電源を切り分けることにより、安定した通信や計測が可能となる。

2.2.6 操縦制御システム

- ・ 自律制御システムからの指令により、水中における3次元航行を可能にすること。
- ・ 投入・揚収時に必要に応じてスラストが回転しないように制御できること。

なお、観測の目的によって優先すべき操縦制御が変わる。例えば、地形計測では AUV の姿勢や速度を一定に保つことが重要となる。また、海底面からの「高度を一定」にする場合や、水面からの「深度を一定」にする場合もある。そのため、優先すべき操縦制御について、後述の潜航計画において十分に検討を行う必要がある。

2.2.7 観測システム

- ・ AUV の全てのシステムに対して、悪影響を与えないこと。
- ・ ペイロードや固定治具がスラストに絡まない位置に強固に取り付けること。
- ・ 投入・揚収時に折損などの事故が起きないような取り付け方法とすること。
- ・ ミッションの目的に応じて追加や載せ替え可能であること (ただし、全体の重量バランスを取ること)。

なお、観測結果をリアルタイムに基地局に送信することにより、目的に見合った結果が得られていない場合に、ただちに潜航を中断することにより、スケジュールの遅れや追加費用を最小限にできる。なお、現時点で観測結果のリアルタイム送信は一般的ではない。

2.2.8 その他

(1) 構造など

- ・ AUV 表面には喪失後に第三者に拾得された場合に備えて、連絡先などを記載すること。

- ・ AUV の表面は、水面上において視認性の高い色（黄色、黄緑色、オレンジ色、赤色など）を推奨する。
- ・ AUV は、吊り下げ時に発生する動的・静的荷重および衝撃等の負荷に耐えられる構造であること（なお ABS(American Bureau of Shipping)では「投入時や揚収時に用いるフック等は 0.75G の動的加速度および静的荷重も考慮すること」と規定されている）。

出典) RULES FOR BUILDING AND CLASSING UNDERWATER VEHICLES, SYSTEMS AND HYPERBARIC FACILITIES: SECTION 17 Autonomous Underwater Vehicles (AUV)9 External Structures, 9.9 Lifting Lugs/Attachments

(2) 安定性

- ・ 海水密度の変化など、周囲環境や作動状況の変化に対応できる十分な浮力および安定性を有すること。
- ・ 効率的な航行・潜航のため、航行・潜航時の積載条件において安定した水平姿勢であること。
- ・ 浮上時、無線通信用のアンテナが水面上に露出すること。
- ・ 浸水時においても、ドロップウエイトの切り離し等により、浮上できる制御を行えること。

(3) 投入・揚収システム

AUV の投入・揚収は専用システム（LARS : Launch And Recovery System）を用いて実施することにより、AUV の損傷や作業員の転落（落水）といったリスクを小さくすることができるため、導入することを推奨する。

投入・揚収システムの例を図 2.2.1 に示す。

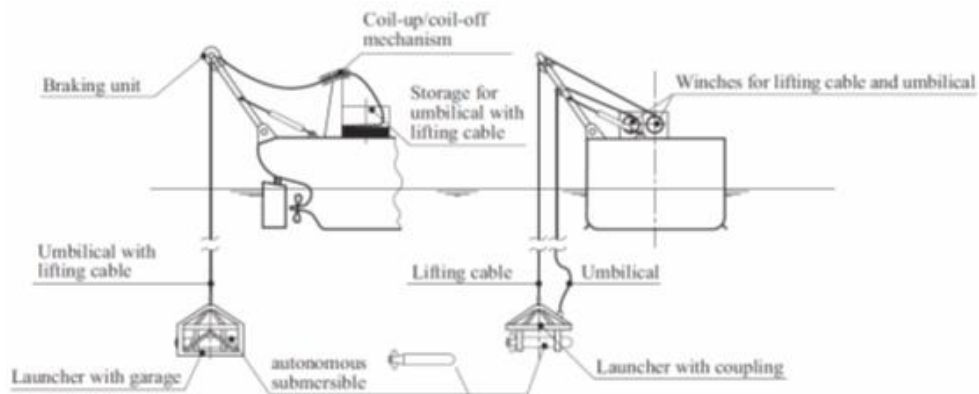


図 2.2.1 投入・揚収システムの例
（出典：DNVGL, Kongsberg）

(4) 衝突防止システム

検査対象施設や構造物、海底面に AUV が万一衝突・接触した場合、検査対象が損傷する恐れがあるほか、AUV の故障や浸水により AUV を喪失する恐れもある。そのため、衝突防止システムを導入し可能な限り衝突を避けることを推奨する。

本システムは AUV が障害物を認識後、回避できることが前提であるため、AUV の運動性能を踏まえた探知能力を有することが必要である。

障害物の回避方向は状況に応じて、より安全側へ回避する必要がある。なお、回避方向は上方が一般的であるが、構造物の下面を検査している場合や海氷下を航行している場合など、上方に回避することにより、より状況を悪化させることが想定される場合があることに留意する必要がある。

(5) 船上機器

- ・ 母船に設置する機器（通信機器やコンピュータなどの制御機器）は停電時や過電流に備えて、UPS などを用いること。

3. 運用上の指針

3.1 事前準備

潜航目的・計測項目に合わせて潜航計画・チェックリストの策定を行うとともに、潜航海域に則した所管組織や海上保安庁等への許可申請などを行う必要がある。

3.1.1 潜航計画

潜航計画は、AUV を潜航させる海域やその目的・計測項目に合わせて準備する必要がある。また、母船の運航計画も含める必要がある。

計画立案にあたっては、調査側の主要メンバ（調査責任者、AUV 運用責任者）と船側の主要メンバ（船長、機関長、航海士、甲板長等）で、事前にミーティングを行い、目的や調査方法、AUV の特性、母船の特性、その海域での特徴的な条件等を共有し、潜航毎の人員配置を含めた作業手順書を作成する。

具体的には、以下の内容などについて取りまとめておく。

(1) 調査・観測計画

潜航海域や深度、高度、海底地形、時間（投入・揚収タイミング）、速度、観測内容をまとめた潜航計画を立てること。

少なくとも以下の気象海象条件や海域の特徴を踏まえる必要がある。

- ・ 天候（海上気象）
なお、潜航海域が広域な場合は、複数箇所の週間予報を取得して参照すること。
- ・ 海域の物理的特徴（水深、水温、海潮流、塩分濃度など）
- ・ 海域の社会的特徴（領海内か外か、船舶の交通量、漁具の設置状況、海底ケーブルの有無、遊漁船の有無等）

また、潜航時間や観測内容については、潮流が強い場合や AUV 本体の外部に取り付けたセンサ類による抵抗増加等も想定し、

- ・ 使用できる電力量（緊急時対応含む）を踏まえた計画であること
 - ・ 緊急浮上システムおよび浮上後の通信用の電力を確保した計画であること
- にも留意する必要がある。

なお、用いる地図データや座標系によって、位置や距離に差異が出るため、使用している測地系を確認する必要がある。

(2) 作業中止基準

投入および揚収作業など、各作業を中止すべき海象・気象条件を設定すること。また、波高や風速の上限のみならず、作業時間を加味した「天候の継続時間」も設定すべきである。特に揚収作業においては、天候悪化が見込まれる場合、揚収時刻を早める等の対応が必要となる場合がある。

(3) 緊急時の対応方法

3.7 非常事態に後述するように、緊急時における対応方法についても事前に検討し、対応方針をまとめておくことが必要である。

(4) 工具・予備品

AUV の故障・損傷などに備えて準備すべき物品や保険（3.8 損害保険手配 参照）などについても、検討を行う必要がある。

- ・ AUV 搭載機器・船上機器のスペア等の予備品（特にドロップウエイト）
- ・ 工具・保護具および消耗品類
- ・ 保険（潜航中のみならず回航中・陸上輸送中、第三者損害なども考慮すべき）

(5) 母船

使用する母船の状況を踏まえた準備を行うことが重要である。少なくとも以下の項目については事前に確認を行うとともに、準備をする必要がある。

- ・ 使用する船舶（乾舷高さ、着揚収方法、フックサイズ、振り出し距離・高さ、Safe Working Load、ワークボートの有無、ダイバー・スイマーの有無、船員の AUV への習熟度など）
- ・ 船舶への音響通信（SSBL（Super Short Base Line）、USBL（Ultra Short Base Line））等、機器の取り付け方法（エンジンノイズ等を考慮）
- ・ 船上で使用できる電圧・電力・コネクタ形状
- ・ 船上の作業・保管スペース（デッキ広さ、風雨や波浪、日光への暴露状況）や使用できる機器
- ・ 母船上での AUV の保管・固縛方法
- ・ 船体の指揮命令系統や監視（watch）体制（交代のタイミング）などについても、計画に沿った体制となるように調整すること。

3.1.2 許可申請など

潜航海域によって手続きが異なることから、所管組織・海上保安庁、港長などへの許可申請、および漁業者など水面・海域利用者との調整など、必要事項を確認の上、必要な手続きを行う。

許認可申請については、「4. 関係法令」を参照のこと。

3.1.3 チェックリスト

AUV の整備や潜航前後の作動確認など、検査すべき項目を定めたチェックリストを準備しておき、リストに沿って確認することが必要である。

チェックリストの一例を以下に示す。保有もしくは使用する AUV により確認すべき項目は変わるため、目的に合ったチェックリストを策定すべきである。また、チェックリストの確認は2名以上が行うことが、確認漏れなどのリスクを最小化するために重要である。

表 チェックリスト例

項目	確認事項	チェック		備考
		A	B	
事前準備				
潜航計画	調査内容・方法・使用観測機器・ウェイポイント等 対象海域・調査に即したスケジュール 作業中止基準（投入時・揚収時など） 緊急時の対応方法 工具・予備品・PPE等の備品リスト			
許認可・通報	潜航海域に即した手続き			
損害保険手配	物保険・賠償責任保険等の手配			
輸送方法	輸送方法と梱包方法			
母船	岸壁から母船への積込装置・治具等 積み込み後のAUVの固縛方法 電圧・電源容量・コネクタの整合性 投入・揚収に使用する機器			
投入手順	投入手順および投入時の留意点 周辺状況（水面・他船）の確認・監視体制			
潜航中	通信・機器状況確認の方法および体制 非常事態の判断基準			
非常事態対応指針	緊急浮上の方法			
揚収手順	揚収手順および揚収時の留意点 周辺状況（水面・他船）の確認・監視体制 （その他、適宜追加・修正のこと）			
陸上点検（事前確認事項）				
AUV本体・ベイロッドの事前動作確認・調整	バッテリーの充電・容量 フラッシュの動作 通信機器の使用周波数帯 音響測位装置・音響モデム、使用するベイロッド等の動作 ソフトウェアの動作 圧力容器などのリークテスト （その他、適宜追加・修正のこと）			
船上点検（離岸前）				
母船への搭載物確認	工具・予備品等			
AUV本体・ベイロッドの動作確認・調整	AUV動作 GNSSの座標系・精度 音響測位装置の動作 コネクタ緩み 時刻同期 投入・揚収装置動作 （その他、適宜追加・修正のこと）			
船上点検（潜航前確認事項）				
音響測位装置	音速度プロファイル			
AUV本体・ベイロッドの動作確認・調整	潜航計画（ウェイポイント等） GNSSの座標系 センサキャリブレーションデータのアップデート 時刻同期 AUV動作（フラッシュ・ビーコン・ベイロッド等含む） ドロップウエイト切り離し動作 通信 （その他、適宜追加・修正のこと）			
投入時				
母船	形象物等の表示 緯度経度・船首方位			
作業中止基準	海気象条件			
コミュニケーション	ブリッジとのコミュニケーションおよびブリッジから状況把握			
作業員	PPEの装備			
周辺状況の確認	他船状況や海面状況			
AUV動作確認	機器作動			
投入装置	投入装置動作			
投入	手順通りに投入 （その他、適宜追加・修正のこと）			
潜航中				
AUVの状態	位置・姿勢・速度・スラスト回転数など			
ミッション状態	ウェイポイント通過数など			
電源	残量、電圧値、電流値など			
搭載機器の状態	絶縁低下、温度異常、浸水の有無など			
作業中止基準	海気象条件			
非常事態の判断	異常状態の有無 （その他、適宜追加・修正のこと）			
揚収時				
母船	形象物等の表示			
作業中止基準	海気象条件			
コミュニケーション	ブリッジとのコミュニケーションおよびブリッジから状況把握			
作業員	PPEの装備			
周辺状況の確認	他船状況や海面状況			
揚収装置	揚収装置動作			
AUV浮上確認	機器作動・停止確認			
揚収	手順通りに揚収 （その他、適宜追加・修正のこと）			

3.2 陸上点検（事前確認事項）

陸上（保管庫）において、潜航目的・計測項目に合わせた AUV 本体およびペイロードの搭載・動作確認を行う。

3.2.1 AUV 本体・ペイロードの事前動作確認・調整

AUV 本体およびペイロードについて、現地到着後に不具合が発見された場合は、その対応が困難となることや、作業スケジュールに遅れが生じる事が考えられる。このため、輸送前に動作確認・調整を実施しておくことが望ましい。

- ・ AUV 本体の動作確認（スラスト等）を行うこと。
- ・ スタンドアローン機器について、動作確認を行うこと（フラッシュャ、イリジウム、水中ピング等）。
- ・ 母船に搭載する SSBL や USBL 等の音響測位装置、音響モデム等について動作確認を行うこと。
- ・ AUV 本体およびペイロードの制御用ソフトウェアが最適化されていること。
市販機器の制御ソフトウェアについては、インターネット経由で最新版ソフトウェアのダウンロードが必要である場合があるため、ネットワーク環境が十分な状況での事前動作確認が重要である。
- ・ 圧力容器などのリークテスト
圧力容器を開放して調整作業を行った場合、再密閉後にリークテストを実施し、密閉状態を確認すること。

3.2.2 通信機器の確認

- ・ 使用する電波帯で干渉が起きないように周波数帯など確認を行っておくこと。複数の AUV を同時運用する際には特に注意が必要である。
- ・ 使用国での基準に適合していることを確認しておく必要がある。

3.2.3 船舶への積み込み方法

クレーン等、岸壁側の制約を確認しておくこと。

3.2.4 輸送方法

輸送中に AUV 本体や機器類の損傷を防ぐような梱包・固定方法であることや輸送方法などを確認しておくこと。

3.3 船上点検（離岸前）

船上での点検は保管場所からの輸送後もしくは艀装後に実施するものであり、輸送中に生じた故障などを把握し、対策を取るために実施するものである。従い、離岸前に実施することが望ましい。

また、動作確認と合わせて、予備品などの数量についても確認を行うことが望ましく、事前準備したチェックリスト等に従い、確認を行うべきである。

専用船・同一メンバでの調査でない場合、離岸前もしくは平水域において、船上にて作業手順書にしたがった人員配置で投入・揚収手順確認を行う事を推奨する。

保管場所からの輸送、並びに船上への荷揚げや荷ほどもきなど、慎重を期して作業を行うことは当然であるが、振動などによる損傷や輸送忘れ、さらには荷揚げ忘れなどが起きる可能性がある。

これらに対処するためには、離岸前に AUV 本体およびペイロードの動作確認を行うとともに、予備品の数量確認など、チェックリストに沿って確認を行うべきである。

特に、コネクタなど、輸送時の振動によって緩んでいる可能性もあるため、状態を確認することを推奨する。

3.3.1 GNSS の座標系確認・精度確認

潜航する海域と使用している座標系によっては、緯度・経度の換算係数等を変更しておく必要がある。

そこで、動作確認も含めて GNSS の精度確認を行い、陸上基準点から母船アンテナまでの GNSS の計測精度を保障する必要がある。

3.3.2 音響測位装置の動作確認

母船に音響測位装置と音響通信装置を搭載する場合、AUV を着水させ、母船に搭載した音響測位装置および音響通信装置も着水させ、測位試験および通信試験を実施すること。

3.3.3 投入・揚収装置の動作確認

AUV を投入・揚収するための LARS やクレーン等の装置についても、離岸前に動作確認を行うこと。

3.4 船上点検（潜航前確認事項）

AUV を投入する前の最終確認を事前に作成したチェックリストに従って実施すること。

また、音速度プロファイルを作成するために水温・塩分濃度計測などを実施することが望ましい。なお、水深が深い場合は測位誤差が大きくなるため、水音速度プロファイルの作成は必須事項である。

3.4.1 潜航計画の確認

運用直前においては、海象条件、作業中止基準及び工程等、潜航計画の確認および必要に応じた見直しを行い、情報を共有することが様々なリスクを低減させる上で重要である。

3.4.2 音速度プロファイル

水温および塩分濃度によって海中の音速は変化し、それによって音波は曲がる。そのため、潜航前に音速度プロファイル（各深度における音速度）を計測し、補正しておく必要がある。

水温・塩分濃度計測は XCTD（eXpendable Conductivity Thermograph Depth）を用いることが一般的である。XCTD はクレーンを用いず、人の手で舷側から海中へ投入することが可能である。

この作業におけるハザードは「作業員の海中落下」や「作業員の負傷」が考えられ、その予防策としては「天候不良時に作業を行わないこと」および「作業中止基準・作業手順を遵守すること」がある。

事前に作業中止基準を設定するとともに、作業手順や注意点をマニュアル化し、作業前に天気予報などを活用し、作業中止基準を超えることが予想される場合は、作業を行わないことが、事故を未然に防ぐために必要である。

また、事故が生じた際に、被害を軽減するためにヘルメットなどの防護具、および船外落下時に備えたライフジャケットなどを必要に応じて装備する必要がある。

一方、XCTD の故障により水温・塩分濃度計測が出来ない場合、XBT（eXpendable Bathy Thermograph）を用いて水温計測のみを用いた音速度プロファイルで対応する。少なくとも水温計測が行えないと AUV の潜航などオペレーション全体に影響を及ぼす事となる。そのため、機器故障に備えて、予備の計測機器を準備しておくべきである。

3.4.3 ウェイポイントの確認、時刻合わせ、各機器動作確認

- ・ 潜航前に再度、ウェイポイントや機器類のキャリブレーションデータ等の入力値の確認を行うことが重要である。入力間違いは頻繁に起きるヒューマンエラーであり、入力者と確認者を分けるなどダブルチェックを行うべきである。
- ・ GNSS の座標系の確認も合わせて実施すべきである。
- ・ 時刻同期についても十分に確認を行う必要がある。時刻同期が為されていない場合、航行に支障が生じる可能性があるほか、計測・観測結果についても、信頼性が乏しくなる。
- ・ 慣性航法装置の取付誤差（機体開放毎に必要）を計測するためのパッチテストの実施をすべきである。

3.4.4 動作確認

- ・ スラスタや各種機器、浮上後に使用するフラッシュャやビーコン、通信機器の動作確認を行う必

要がある。

- ・ 緊急時に備えた動作確認(衛星通信やドロップウエイト切り離し)は必ず行うことにより、AUV喪失のリスクを低減させることができる。

3.5 投入時

投入および揚収は AUV 運用において最も事故の多い作業の一つであるため、海気象や船体動揺に伴う作業中止基準をあらかじめ設定し、作業はあらかじめ十分に訓練を行った者が行う等、人的事故が発生しないようにする必要がある。

専用の投入・揚収装置（LARS: Launch And Recovery System）を用い、投入手順書に従って実施することが望ましく、船上クレーンを用いる場合においても投入手順書を整え、事故が発生しないようにする必要がある。

また、他船へ作業中であることを知らせる形象物等を表示する必要がある。

3.5.1 海上衝突予防法に基づく表示

投入中の母船は特定の緯度経度に船位する必要があるため、他船の進路を避けることが困難な場合は、「操縦性能制限船」となる。従い、海上衝突予防法に基づき、作業に従事中は灯火又は形象物の表示を行う必要がある。なお、ダイバー作業を有する場合は国際信号書に定める A 旗の表示が必要である。

3.5.2 投入に関する留意点

- ・ 事前確認については、マニュアル・チェックリスト化し、確認漏れの無いようにダブルチェックを行うべきである。
- ・ 船上での作業中止基準（海気象および船体動揺）を設定し、作業員の安全を確保すること。
- ・ AUV との通信（Wi-Fi）、ビーコンやフラッシュといった AUV の位置を把握するための機器の電源が入っていることを確認すること。
- ・ 母船の緯度経度・および船首方位を確認すること。
- ・ 投入装置の作動確認を行うこと。

3.5.3 LARS を利用する場合

LARS はより安全に AUV を投入するための装置であるが、LARS を用いて投入を行う場合においても留意すべき点がある。

(1) 投入手順書

- ・ 投入手順書を整備し、遵守すること。
- ・ 投入手順の間違いは、AUV を安全に投入することが出来ないことのみならず、AUV を破損させる可能性がある。
- ・ 海気象条件や母船の船体動揺量等が作業中止基準内に収まっているか、確認を行うこと。
AUV が波に叩かれて破損する可能性や、LARS と AUV とが接触し、損傷する可能性がある。
また母船の動揺が大きい場合においても同様である。

(2) 二重化

- ・ LARS におけるリリースについては安全対策のため二重化し、誤操作によるリリースを防ぐ必要がある。

(3) 作業員

- ・ 十分な訓練を行っていることが誤操作を防ぐために必要である。

- ・ 転落に備えてヘルメットや救命胴衣などの PPE (Personal Protective Equipment) を着用すること。

3.5.4 母船のクレーンを利用する場合

LARS ではなく、母船のクレーンを利用して AUV を投入する場合には、LARS よりも慎重に投入作業を行う必要がある。

(1) 投入手順書

- ・ 投入手順書を整備し、遵守すること。
- ・ AUV 投入に LARS を用いず、クレーンにより投入を行う場合、特に切り離しが上手くいかない場合がある。これは「切り離せない」場合と、切り離すタイミング以前に「切り離してしまう」場合の両リスクがある。
- ・ 切り離せない場合は、無理な切り離しを行わず、一度船上に AUV を戻し、不具合箇所の確認を行い、対処した後に再度投入すべきである。
- ・ 海象の荒い場合では、切り離し前に AUV が波に叩かれることによりドロップウエイトを放出してしまうなどの事故が想定されるため、天候変化に留意して投入作業を行う必要がある。また、投入時の衝撃によりフェアリングが外れるなどの事態も想定されることから、十分に確認を行う必要がある。
- ・ 船体動揺に伴う吊り荷 (AUV) の水平方向の振れ回りを抑えるための「振れ止め」が必要である。
- ・ 吊り荷 (AUV) も上下動するためにフック部には変動荷重が加わることとなる。フックや取り付け部の損傷に繋がることから、海気象条件および船体動揺条件も確認する必要がある。

(2) 二重化

- ・ 前述の切り離すタイミング以前に切り離しが生じた場合、甲板への落下や高位置から水面に落下する等、AUV が損傷する恐れがあるために、切り離し機構を二重化することが望ましい。フック部についても変動荷重によりフックが外れないようにすることも考慮すべきである。

(3) 作業員

- ・ LARS 同様にクレーン操作員は十分な訓練を行っていることと、クレーン操作の資格を有することが誤操作を防ぐために必要である。
- ・ 吊り荷 (AUV) の下に入らないこと、および吊り荷の通過するルートを確認すること。ルート上に障害物などがあると、AUV の損傷および作業員のけが (転倒など) に繋がる。
- ・ 特に、母船の船体動揺が大きい場合や振れ止めに関わる作業員は船外への落下に対して十分に留意するとともに、防護具やライフジャケット等を装備しておく必要がある。
- ・ 天候の変化に関しては十分に留意し、投入作業を中断し、AUV を回収する判断も重要である。そのためにも投入時の作業中止基準および手順の検討を事前に行っておく必要がある。

3.5.5 港湾内や岸壁から投入する場合

(1) 岸壁などへの接触

- ・ 岸壁上に設置されたクレーンから投入する場合には、AUV が岸壁や消波ブロックなどにあた

り損傷することが考えられる。この事故を防ぐためには、沖側からボートなどでタグラインを取り、AUV が岸壁に近づかないようにする対策が望ましい。また、岸壁に保護材を取り付けることも考えられる。

(2) 漂流物の影響

- ・ 外洋と比較し、港湾内や岸壁付近は釣り糸やゴミ等の漂流物が多い。そのため、特にスラストへ漂流物が絡まり、AUV に損傷を与える可能性が高いことに留意する必要がある。
- ・ スラスト周りを漂流物が絡まりにくい形状する、ネットで覆う等の工夫を行うことが望ましい。

(3) 海上交通の影響

- ・ 港湾内などで AUV を航行させる必要がある場合は事前に港長の許可を得ていることおよび漁業組合等に周知することが重要である。
- ・ 漁船やプレジャーボートなどの小型船舶の交通量が多く、AUV との接触が懸念される。フラッシュ等により視認性を高め、さらにレーダに映りやすくするリフレクタを取り付けるなど、AUV の位置を周囲に知らせる工夫が必要である。また、小型船舶などで曳航することや交通量の多い時間帯を避けるといった運用面での工夫を行うことで、衝突・接触の可能性を下げることができる。

3.5.6 周辺状況の確認

(1) 他船の監視

- ・ 設定海域（AUV 投入海域）の利用にあたり、事前に海域利用者に対して、作業の周知又は協力要請を行うことが望ましい。
- ・ 母船付近にオペレーションとは関係の無い船舶が存在する又は他船の航行に影響を与える場合は、作業を一旦中断し、前記事象が過ぎた後、作業を開始する。これは投入後の AUV との衝突を避けるために必要である。また、他船への警報を行うことが有効な手段である。

(2) 水面の監視

- ・ 水面に浮遊する漁具（刺し網など）が AUV に絡まる可能性もある。特に夜間や靄（もや）などによる視界不良、および海象条件が悪い場合などは漁具の発見が困難となるため、慎重な水面監視が必要である。
- ・ そのため、他船の監視も含めてブリッジにおいて、十分な監視を行えるように監視用の作業員を配置すると共にチェックリスト等を整備しておく必要がある。

(3) 水面下の監視

- ・ 海域によっては水面付近に漁具が設置されている可能性もある。事前に海図などにより定置網の位置などを把握するとともに、魚群探知機などにより投入前に水面下の漁具などの障害物が無いことを確認しておく必要がある。
- ・ もし投入海域に漁具が確認された場合に備え、潜航計画に柔軟性を持たせておくことが望ましい。

3.5.7 コミュニケーション

- ・ AUV 投入後、AUV に誤作動が生じた場合、母船の下への潜り込みや、プロペラに巻き込まれる等による事故が考えられる。そのため、AUV の投入に合わせた操船が重要となるため、操船員（ブリッジ）との作業員との連絡を密にする必要がある。
- ・ ブリッジにおいて、モニタなどにより投入の様子を確認できるようにすること。

3.5.8 投入位置

- ・ AUV 投入時の衝撃によってドロップウエイトが落下する、もしくは船上から物が落下する恐れがあるため、海底施設などの直上付近では AUV の投入を行わないことが重要である。

3.6 潜航中

投入後、潜航中においては、AUV の位置・速度などが潜航計画通りに推移していることを確認する。
また、潜航計画から逸れた場合や緊急浮上に入った場合にその原因を把握し、対処する必要があるため、船上において状況をモニタリングできるようにしておく必要がある。

3.6.1 通信・機器状況確認

潜航中の AUV の状況を把握する方法は、基本的に音響通信しか手段が無いため、通信状況を把握することは最も重要である。

確認すべき事項としては

- ・ 通信状況
- ・ 航行用センサやペイロードなどの搭載機器の起動・動作状況などである

3.6.2 データモニタリング

潜航中にモニタリングすべき事項は

- ・ AUV の物理的状态 (3次元位置 (緯度、経度、深度、可能であれば高度)・姿勢 (ロール角、ピッチ角、船首方位)・速度 (可能であれば対地速度) スラスト回転数など)
- ・ ミッションの状態 (クリアしたウェイポイントの数など)
- ・ 電源残量、電圧、電流
- ・ 搭載・内部機器の動作状況 (絶縁低下、温度異常、浸水等の有無を含む)などである。

なお、計測値や画像等、観測・計測結果を潜航中に確認できることが望ましい。観測・計測データを確認することで、もし計測精度が不十分な場合や取得すべき画像・映像が取得出来ていないと判断されれば、AUV の回収・ペイロードの調整などの迅速な対応が可能となる。

3.7 非常事態

AUV の電源残量が規定値以下となった場合や母船との通信が一定時間途絶えた場合等には、AUV を緊急浮上させ、回収することが一般的である。ただし、AUV 上方に構造物等がある場合は、着底させて救助を待つ方法も考えられる。

3.7.1 非常事態の判断

AUV が非常事態になっていることの判断基準を、事前の潜航計画を策定する際に決めておく必要がある。

一例として、

- ・ 判断基準機器が異常を示している場合
- ・ 電源残量が規定値以下となった場合
- ・ 通信装置に異常をきたし、基地局（母船や ASV、海底設備など）からの応答を一定時間受け取れない場合
- ・ 基地局との通信範囲外となり、基地局（母船や ASV、海底設備など）からの応答を一定時間受け取れない場合

などが考えられる。

これらの非常事態に陥った場合、調査を中断し、浮上するよう AUV をプログラムしておくことが望ましい。また、基地局においても、天候が急激に悪化した場合等に備え、音響コマンド等により AUV を浮上できるようにしておくべきである。

以下、非常事態と判断させた場合の浮上をすべて「緊急浮上」と位置づけている。

3.7.2 緊急浮上の方法

緊急浮上ではドロップウエイトを切り離し、スラストなどを用いずに浮上させる場合がある。その際、ドロップウエイトが AUV 直下にある海底設置設備を直撃し、損傷させる恐れがある。そのため、そのようなリスクのある海域での調査・航行にあつては、ドロップウエイトを分割し、損傷するリスクを下げる工夫をすべきである。

3.7.3 緊急浮上後の AUV

緊急浮上後の AUV はフラッシュを点灯し、ビーコンおよび Wi-Fi や衛星通信により自身の位置情報を基地局へ送信し、救助を待つ。点灯および通信は、最低 24 時間は継続させる必要がある。

3.7.4 緊急浮上させない場合

AUV 上方に構造物などがある場合、緊急浮上により AUV が構造物に接触し、AUV が損傷する恐れがある。氷海域の場合では開氷域以外に浮上した場合は氷に閉じ込められる可能性がある。また、海象条件が厳しく、AUV の洋上での回収が困難であると判断される場合では、浮上後の AUV をロストする可能性がある。

このように緊急浮上を行うことにより、より状況が悪化することが想定される場合は、海底に着底させて救助を待つ方法も選択肢となる。なお、水深が深い場合や、救助用の ROV を新たに要請する必要がある場合等、救助費用が大きすぎる場合では、たとえリスクがあっても浮上させるという選択肢も考えられる。

揚収時

揚収作業は投入作業よりも、AUV の損傷などの事故が多い作業である。特に AUV と揚収装置の接続作業や回収作業は慎重に行う必要があるため、作業手順書に従うとともに、作業中止基準や作業員の安全確保に十分配慮する必要がある。

また、他船へ作業中であることを知らせる形象物等を表示する必要があり、他船が浮上予定・回収海域に侵入しないように監視および周知をする必要がある。

3.7.5 海上衝突予防法に基づく表示

揚収中の母船は特定の緯度経度に船位する必要があるため、他船の進路を避けることが困難な場合は、「操縦性能制限船」となる。従い、海上衝突予防法に基づき、作業に従事中は灯火又は形象物の表示を行う必要がある。なおダイバー作業を有する場合は国際信号書に定める A 旗の表示が必要である。

3.7.6 回収海域の安全確保

特に事前に設定した浮上・回収海域とは異なり、マニュアルで浮上指令する場合、ウェイポイントの通過確認やデータ計測などの確認、浮上予想海域の安全確認が必要である。

3.7.7 揚収に関する留意点

- ・ 事前確認については、マニュアル・チェックリスト化し、確認漏れの無いようにダブルチェックを行うべきである。
- ・ 船上での作業中止基準（海気象および船体動揺）を設定し、作業員の安全を確保すること。
- ・ AUV との通信（Wi-Fi）、ビーコンやフラッシュといった AUV の位置を把握するための機器の電源が入っていることを確認すること。
- ・ 揚収装置の作動確認を行うこと。
- ・ 操船者と作業員とのコミュニケーションを密にすること。

3.7.8 LARS を用いる場合

LARS を用いた揚収作業は、AUV から切り離されたポップアップブイ等を回収し、LARS のウインチロープと接続するため、エアガンや作業船などを使用することが想定される。

(1) 揚収手順書

- ・ 揚収手順書を整備し、遵守すること。揚収手順の間違ひは、AUV を安全に揚収することが出来ないことのみならず、AUV を破損させる可能性がある。
- ・ 海気象条件も揚収可能な範囲に入っていることを確認する必要がある。海気象条件が厳しい場合、船上での作業が困難となることや、エアガンにより、ロープを狙った位置に着水させられないなど、安全面・作業面でのリスクが大きくなる。

(2) 作業員

- ・ LARS 操作を行う作業員は十分な訓練を行っていることが誤操作を防ぐために必要である。
- ・ 転落に備えてヘルメットや救命胴衣などの PPE を着用すること。

(3) 揚収時に考慮すべき事項

- ・ LARS 操作員、エアガン操作員、甲板員、船長（ブリッジ）の連絡を密とすること。

- ・ 母船と AUV の位置関係を適切にすること。
- ・ LARS 故障時においては、ダイバー、ヘルメットダイバー（スイマー）、ボートや小型船舶を使用し、揚収を支援することや、Wet Tow にて、沿岸まで曳航することも考えられるため、適切な運用方法を事前に検討しておく必要がある。

3.7.9 LARS を用いない場合

(1) 揚収手順書

- ・ 揚収手順書を整備し、遵守すること。
- ・ 浮上した AUV を回収機器に接続するため、ワイヤやロープなどをダイバーやスイマーもしくはボートにより AUV に接続する作業を行うことが想定されるため、海気象の運用条件を必ず遵守する必要がある。
- ・ 船体動揺に伴い、吊り荷（AUV）も上下動するためにフック部には変動荷重が加わることとなる。フックや取り付け部の損傷に繋がることから、海気象条件および船体動揺条件も確認する必要がある。

(2) 吊り具との接触・損傷

- ・ AUV に取り付けられたワイヤやロープ、または吊り具などが AUV に衝突し、損傷する可能性がある。作業が許可されている海気象条件においても、十分に留意し、揚収することが必要である。
- ・ 特に突起物（アンテナなど）や外部に取り付けているペイロードなどに留意する必要がある。

(3) 作業員

- ・ クレーン操作員は十分な訓練を行っていることと、クレーン操作の資格を有することが誤操作を防ぐために必要である。
- ・ 吊り荷（AUV）の下に入らないこと、および吊り荷の通過するルートを確認すること。ルート上に障害物などがあると、AUV の損傷および作業員のけが（転倒など）に繋がる。
- ・ 海象が荒い場合は母船の船体動揺も大きいため、作業員の船外落下を防止するとともに、転倒や吊り荷との衝突などに備えて防護具を装備しておく必要がある。
- ・ 天候の変化に関しては十分に留意し、天候悪化が見込まれる場合は揚収作業を早めるなど判断も重要である。そのためにも揚収時の作業中止基準および手順の検討を事前に十分に行っておく必要がある。
- ・ ダイバーやスイマーを用いる場合、特に海象が荒い場合には、母船との接触に十分注意する必要がある。

3.8 損害保険手配

AUV を巡るリスクのうち、保険でリスクヘッジが出来る可能性があるのは、(1) AUV そのものの損傷、(2) 適用法令上または請負契約上、AUV の所有者および運航者が負う賠償責任の2つであり、必要に応じて損害保険の手配を検討する必要がある。

なお、請負契約上の保険条項の中で、手配すべき保険について、具体的に規定されるケースも想定される。

3.8.1 物保険

AUV そのものの損傷については、財物に対する保険（いわゆる「物保険」）を手配することで、物的損傷に対するリスクヘッジを行うこととなる。ただし、海中で稼働中に行方不明になった時の保険上の取り扱いについては保険会社と事前に協議しておくべきである。

また、輸送中や船上における区間についても手配しておくべきである。

3.8.2 賠償責任

適用法令上または請負契約上、AUV の所有者および運航者が負う賠償責任については、適用法令の下で負う可能性のある賠償責任リスクを正しく把握するとともに、請負契約における責任条項の規定も把握したうえで、賠償責任保険を手配することとなる。

特に周辺にパイプライン等高額の財物が存在する領域での稼働が想定される状況であることから、AUV 側の契約上の責任制限について請負金額を上限として定める（"Limitation of Liability"）ことや、オフショアにおける請負契約上の責任分担の慣行である「自損自弁（Knock-for-Knock）」に基づく責任分担とする等、過度な契約上の責任を負わないよう留意する必要がある。

4. 関係法令

ここでは、AUV の利用にあたり必要となる関係法令をまとめる。

4.1 領海内での工事・作業の場合

領海、大陸棚及び排他的経済水域の特定の区域において工事、作業を実施する場合には、各種許可申請や届け出が必要である。

なお、AUV や ROV を用いた作業の場合、現時点では母船を必要とすることが想定されるため、「AUV には適用されないが、母船には適用される」ことも踏まえて適用法令を取りまとめている。そのため、AUV のみの場合には適用されない法令も含まれていることに留意いただきたい。表 4.1.1 に関連することが想定される法令の一覧を示す。

表 4.1.1 国内で使用する場合の関連法令

法令	規制行為/規制内容/遵守事項	必要な手続き	申請/届出先
海上交通安全法	東京湾、伊勢湾及び瀬戸内海（※）における工事又は作業 ※港湾区域等を除く。	許可申請又は届出	海上保安庁
海上衝突予防法	船舶の遵守すべき航法、表示すべき灯火及び形象物並びに行うべき信号に関する事項	申請事項無	—
小型船舶安全規則	水中作業に従事する小型の操縦性能制限船に関し、備え付けなければならない航海用具を定めている。	申請事項無	—
港湾法	港湾区域の工事等	許可申請	港湾管理者
港則法	①特定港内又は特定港の境界附近における工事又は作業 ②特定港以外の港内又は特定港以外の港の境界附近における工事又は作業	許可申請	①港長 ②海上保安（監）部長又は海上保安署長
水路業務法	・海上保安庁以外の者が、公的費用にて実施する水路測量 ・船舶は水路測量又は海象観測時に標識を揚げる必要がある。	許可申請	海上保安庁
鉱業法	領海、大陸棚及び排他的経済水域における鉱物の探査	許可申請	経済産業省
漁港漁場整備法	漁場の区域内の水域における工事、水面の占用	許可申請	漁港管理者
漁業法	領海、大陸棚及び排他的経済水域における制限等のある水産動植物の採捕	許可申請	農林水産省
水産資源保護法	保護水面（内水面含む）の区域内における工事	許可申請	知事/農林水産省
河川法	河川区域内における土地の形状変更、工作物の新築・改築・除去等の行為、土地の占用	許可申請	河川管理者
電波法	無線局の開設（必要に応じて）	許可申請	総務省

※母船は一般の船舶として扱われる

4.2 輸出規則に関連するもの

4.2.1 国内関係規則

輸出規制の国内関係規則は、表 4.2.1 に示す通りである。規制対象となる貨物の輸出や技術の提供は経済産業大臣の許可制となっている。外国為替及び外国貿易法（外為法）で基本的な枠組みを上位で規定し、第 48 条では貨物を、また、第 25 条では技術・仲介貿易取引の上位を定めている。そして、政令、省令、告知や通達の下位へ展開して詳細を定めている。

表 4.2.1 輸出規制の国内関係規則

分類	関係法令名称（略称）	概要
法律	外国為替及び外国貿易法（外為法）（昭和 24 年法律第 228 号）	基本的な枠組みを記載
政令	輸出貿易管理令（輸出令）（昭和 24 年政令第 378 号）	モノの輸出を規定
	外国為替令（外為令）（昭和 55 年政令第 260 号）	技術の提供を規定
省令	輸出貿易管理令別表第一及び外国為替令別表の規定に基づき貨物又は技術を定める省令（貨物等省令）（平成 3 年通商産業省令第 49 号）	輸出令・外為令に基づき貨物又は技術の詳細を定める。キャッチオール品目含む
	輸出貿易管理規則（輸出規制）（昭和 24 年通商産業省令第 64 号）	手続き等を定める
	貿易関係貿易外取引等に関する省令（貿易外省令）（平成 10 年通商産業省令第 8 号）	
告知、通達	外国ユーザーリストの公表について	キャッチオール規制関連、運用等詳細

4.2.2 包括許可制度

外為法等で許可が必要なリスト規制品を輸出等する場合、本来は個々の契約や輸出等に関して個別に経済産業省の安全保障面からの審査を経て許可を受ける必要がある。しかしながら、輸出者自身がこうした審査機能を自主管理の下で担える場合には、個別許可の申請を行うことなく、一定の範囲について包括的に許可を受けることで、輸出等を行うことが可能となる制度である。このうち、特別一般包括許可の取得の流れを図 4.2.1 に示す。また、自己管理チェックリスト (CL) の一部を図 4.2.2 に示す。

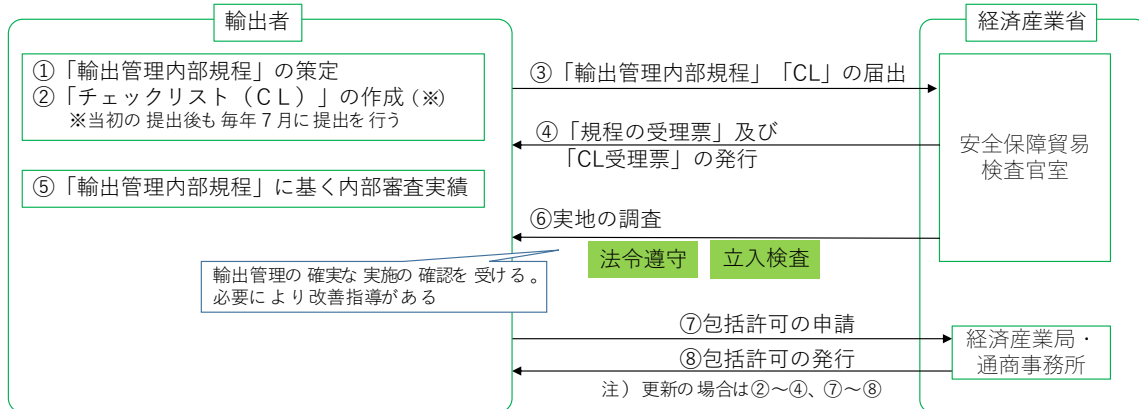


図 4.2.1 特別一般包括許可の取得の流れ (新規、更新)

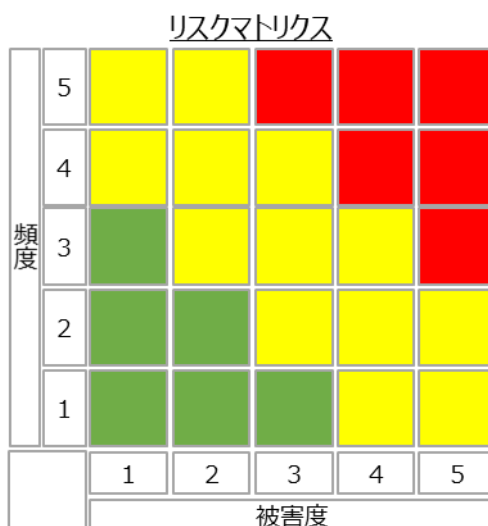
自己管理チェックリスト			
(記入要領)			
1. A欄には輸出管理内部規程の整備状況を記入すること。①～③、④又は⑤を選択する項目ではいずれかの選択状況を、輸出管理内部規程の有無を選択する項目では有・無のいずれかを選択した上で、輸出管理内部規程で定めがある場合には備考欄又はA欄に「輸出管理内部規程の名称」及び該当する「輸出管理内部規程の条項」を記入すること。なお、A欄に(記入不要)と記された項目については、B欄の外記入すること。			
2. B欄は、輸出管理内部規程の有無にかかわらず、実際の取組状況を記入すること。(ア)～(ウ)、(エ)又は(オ)を選択する項目では該当する選択状況(一部は複数回答可)を選択した上で、備考欄又はB欄の余白に実際の取組状況について簡潔明瞭に記入すること。また、有無を選択する項目では有・無のいずれかを選択した上で、B欄の余白に実際の取組状況について簡潔明瞭に記入すること。必要に応じ、具体的な取組状況を詳細に記載した別紙(様式自由)を添付すること。			
3. B欄には、直近の事業年度1年間の事業を対象に記入すること。ただし、その後、自己管理チェックリストの提出までの間に取組の改善・変更等、特記すべき事項があれば備考欄にその旨を簡潔明瞭に記入すること。			
4. 適当な選択がない場合や、「(一部)定めていない」、「(必ずしも)実行していない」等を選択した場合には、各設問の備考欄に具体的な取組状況を簡潔明瞭に記入すること。必要に応じ、具体的な取組状況を詳細に記載した別紙(様式自由)を添付すること。			
5. ここでいう「輸出管理内部規程」には、輸出管理内部規程に基づく(細則、マニュアル、フローチャート等を含む)。			
			輸出者等名 記入年月日
評価項目	A欄 輸出管理内部規程上の取扱い	B欄 実際の取組	備考
輸出管理体制			
1-1	①輸出管理内部規程上で定めている ②輸出管理内部規程以外の規程等で定めている ③輸出管理内部規程上では定めていない	(ア)輸出管理内部規程どおり組織を代表する者が就任している (イ)輸出管理内部規程とは異なる(又は輸出管理内部規程がない)が組織を代表する者が就任している (ウ)上記以外の者が就任している (エ)不在である	輸出管理内部規程の名称及び条項を記入すること。 輸出管理内部規程の名称、 輸出管理内部規程の条項、
1-2	①輸出管理内部規程上で定めており明確である ②輸出管理内部規程以外の規程等で定めており明確である ③輸出管理内部規程上の定めがない	A欄に①又は②と記入した場合: (ア)輸出管理内部規程どおり運用している (イ)輸出管理内部規程どおり運用していない A欄に③と記入した場合: (ウ)運用上、業務分担又は責任範囲が明確になっている (エ)運用上も不明確である	輸出管理内部規程の名称及び条項を記入すること。 輸出管理内部規程の名称、 輸出管理内部規程の条項、
外為法を始めとする輸出関連法規の	※「有」を選択した場合には、輸出管理内部規程の名称及び条項を以下に記入すること(有無を選択する欄は、以下、各設問とも同様。)	※「有」を選択した場合には、取組状況を以下に簡潔明瞭に記入すること(有無を選択する欄は、以下、各設問とも同様。)	

図 4.2.2 自己管理チェックリスト (CL) の一部抜粋

参考資料：Bow-tie 図

AUV を用いて石油・ガス開発用施設もしくは洋上風力発電施設の検査を行うことを仮定した場合のリスクの洗い出しを HAZID 会議において実施し、そのリスク低減策を検討した結果を Bow-tie 図として示している。

なお、リスクマトリックスおよび頻度・被害度の評価軸は以下の図・表の通りである。



頻度		年間頻度(f)
1	生じない	$f < 1/10,000$
2	同産業または類似産業界で起きた事がある	$1/10,000 < f < 1/1,000$
3	多くのオペレータが経験したことがある	$1/1,000 < f < 1/100$
4	毎年オペレータが複数回経験する	$1/100 < f < 1/10$
5	毎年アセット毎に複数回発生する	$1/10 < f$

被害度	人	環境	アセット、稼働停止期間
1	怪我無し、軽微な負傷	影響なし、軽微な影響	損害無しまたは軽微な損害、数時間以下
2	負傷、数日の休業	小規模な影響	小規模な損害、1日以下
3	重症、長期休業	ある地域に限定な影響、緊急時対応を要する	局所的な損害、10日以下
4	1名死亡、永久廃疾(労働能力の喪失)	大規模な影響、大規模な緊急時対応を要する	大規模な損害、60日以下
5	複数名死亡	広範囲に渡る極大な影響	広範囲に渡る損害、60日以上

HAZID では、対象アセットに AUV を使用した調査に伴うハザードを体系的に特定するため、AUV の投入・揚収作業や調査に応じて対象アセット・アクティビティを、ノードに分割し、リスクの洗い出しを実施し、その抽出リスクに対し、緩和・低減策を検討し、Bow-tie 図として纏めた。以下に、ノード ID、ノード名、対象アクティビティ、対象アセット、調査目的、調査時に使用する AUV や作業・調査内容または前提条件等をノード毎に記載する。

表 石油・ガス開発関係のノード

ノードID	ノード名	対象アクティビティ
1-1	AUV 投入作業	母船から AUV を投入する作業
1-2	AUV 揚収作業	母船へ AUV を揚収する作業
1-3	AUV 運用	AUV 運用に当たっての留意事項
1-4	フローラインの検査	フィールドにおけるフローラインを検査する作業
1-5	SPS (Subsea Production System) の検査	フィールドにおける SPS(Manifold, Pump など)を検査する作業
1-6	FSHR (Free Standing Hybrid Riser) の外観検査	FSHR の位置検査及び外観検査をする作業
1-7	その他	船上作業、その他

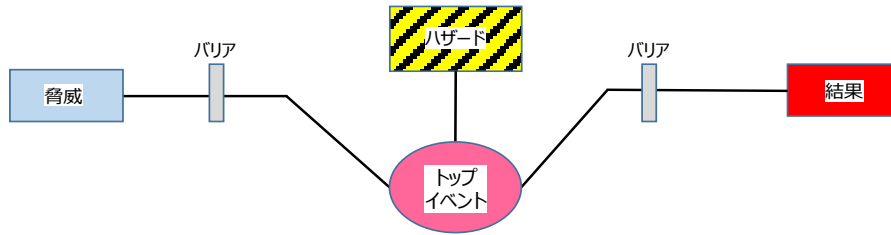
表 洋上風力発電関係のノード

ノードID	ノード名	対象アクティビティ
2-1	AUV 投入作業	母船から AUV を投入する作業
2-2	AUV 揚収作業	母船へ AUV を揚収する作業
2-3	ドッキング作業 (レジデンス型)	AUV をドッキングステーションにつなげて、充電とデータ送信作業
2-4	海底ケーブルの検査	フィールドに敷設されている海底ケーブルの検査作業
2-5	ライザーケーブルの検査	フィールドに敷設されているライザーケーブルの検査作業
2-6	浮体式基礎の検査	浮体式の浮体 (基礎) の検査作業
2-7	係留装置の検査	係留チェーンの検査作業
2-8	着床式基礎 (モノパイル型) の検査	モノパイル式の検査作業
2-9	着床式基礎 (ジャケット型) の検査	ジャケット式基礎の検査作業
2-10	その他	船上作業、その他

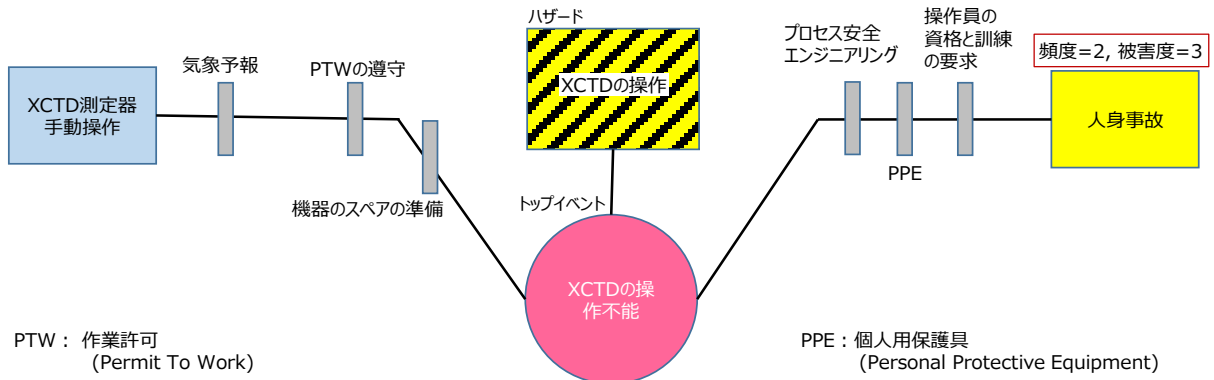
(1) 石油・ガス開発の Bow-Tie 図

Bow-tie図（石油・ガス開発）

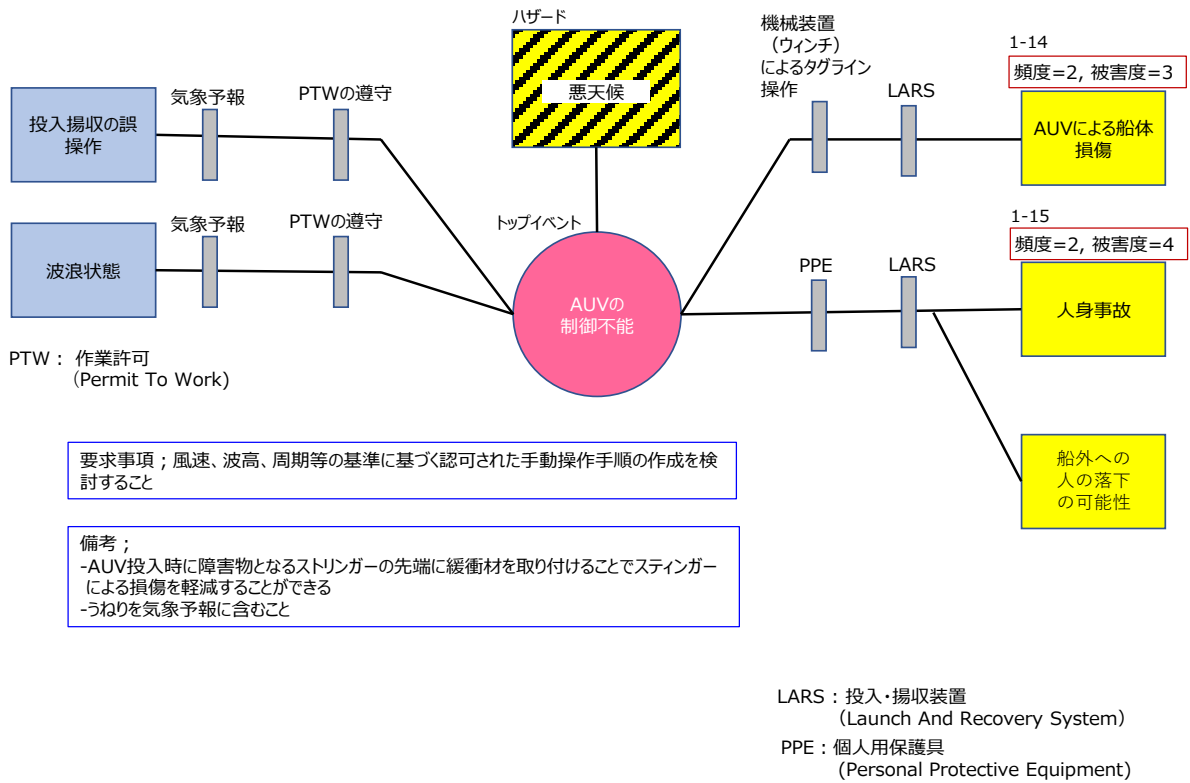
抽出されたTop Event毎にBow-tie図として整理



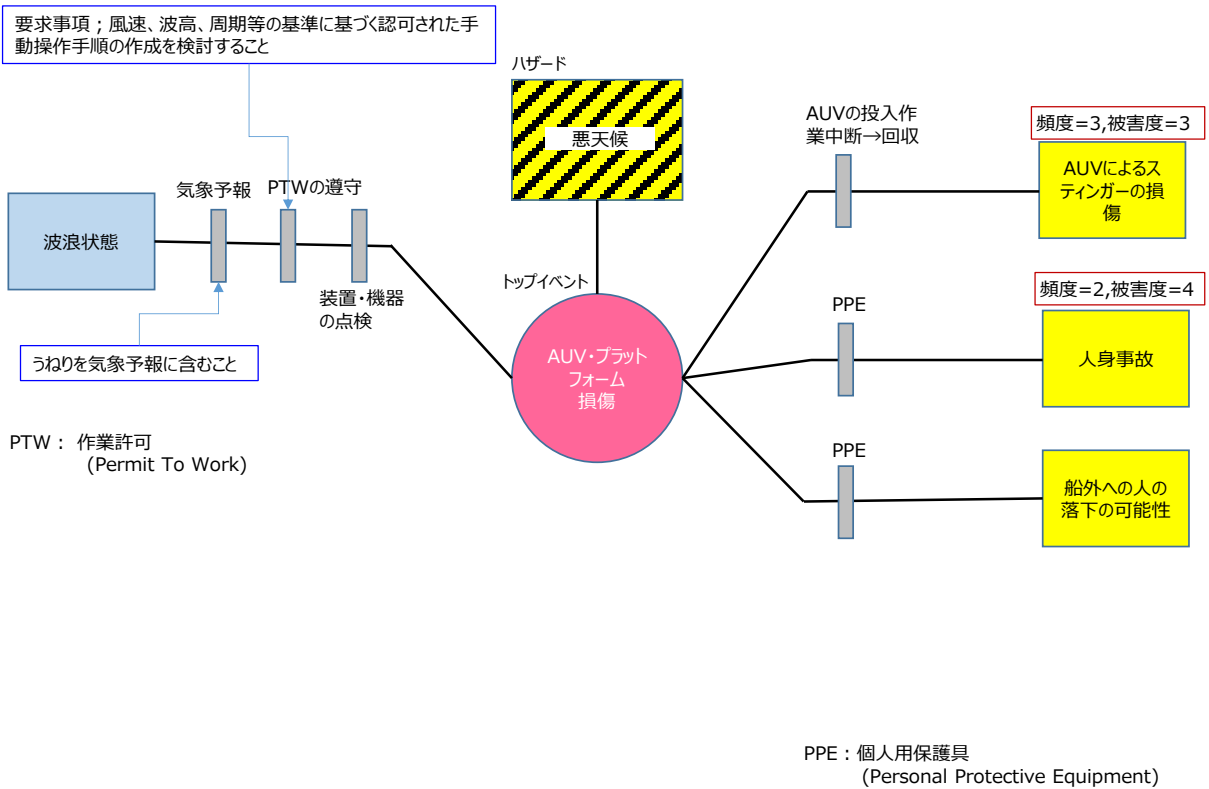
1-1 AUV投入作業（XCTD測定器）



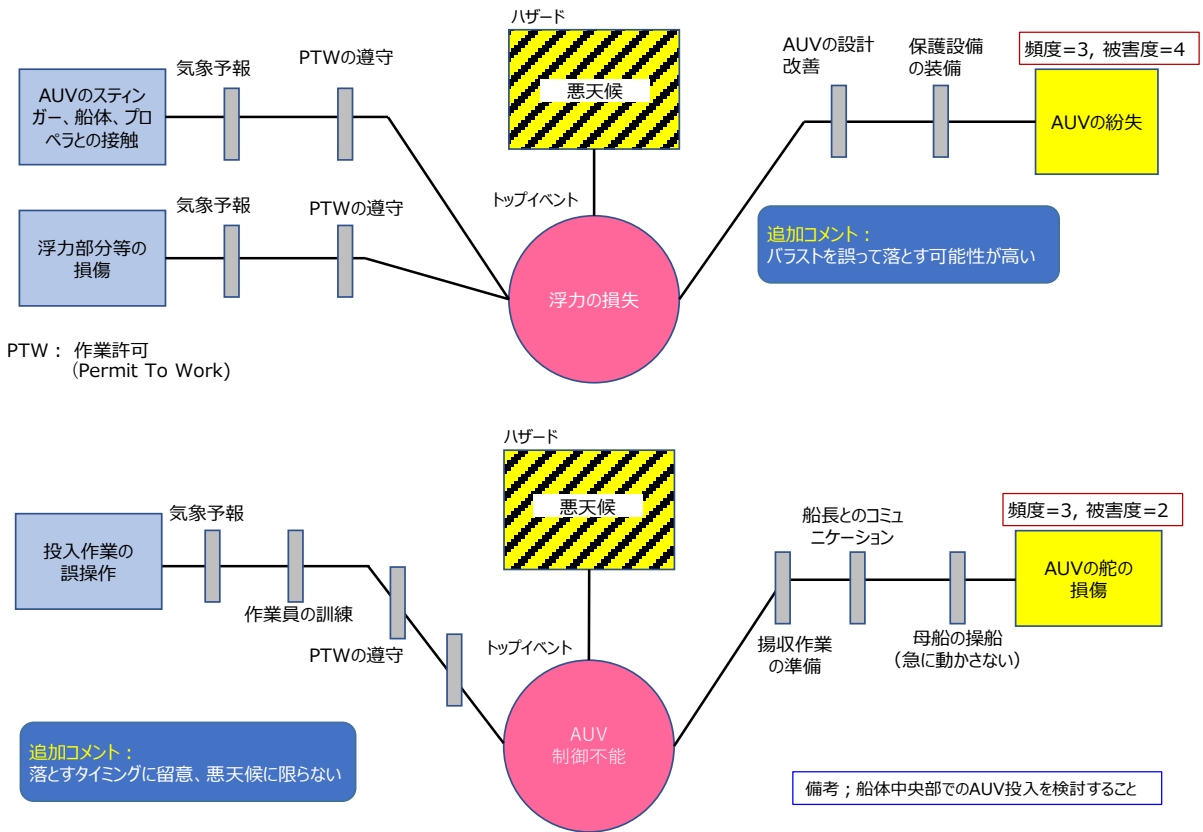
1-1 AUV投入作業



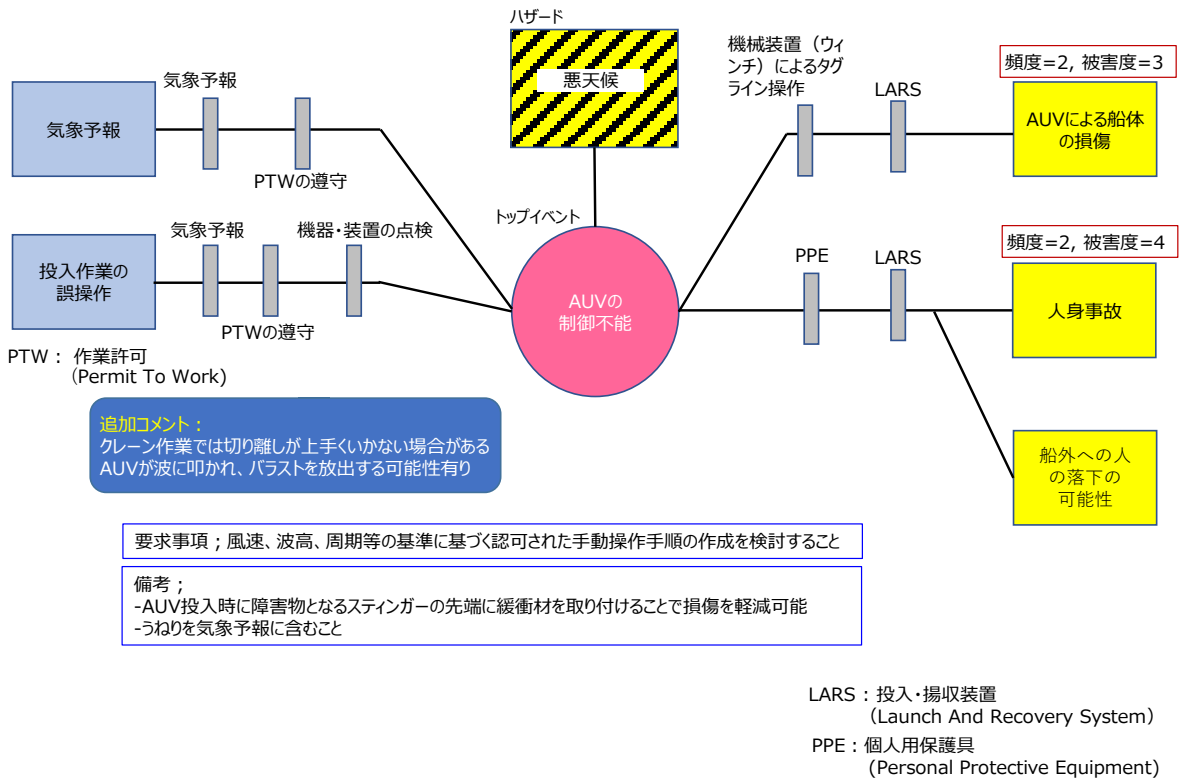
1-1 AUV投入作業 (LARS投入の場合)



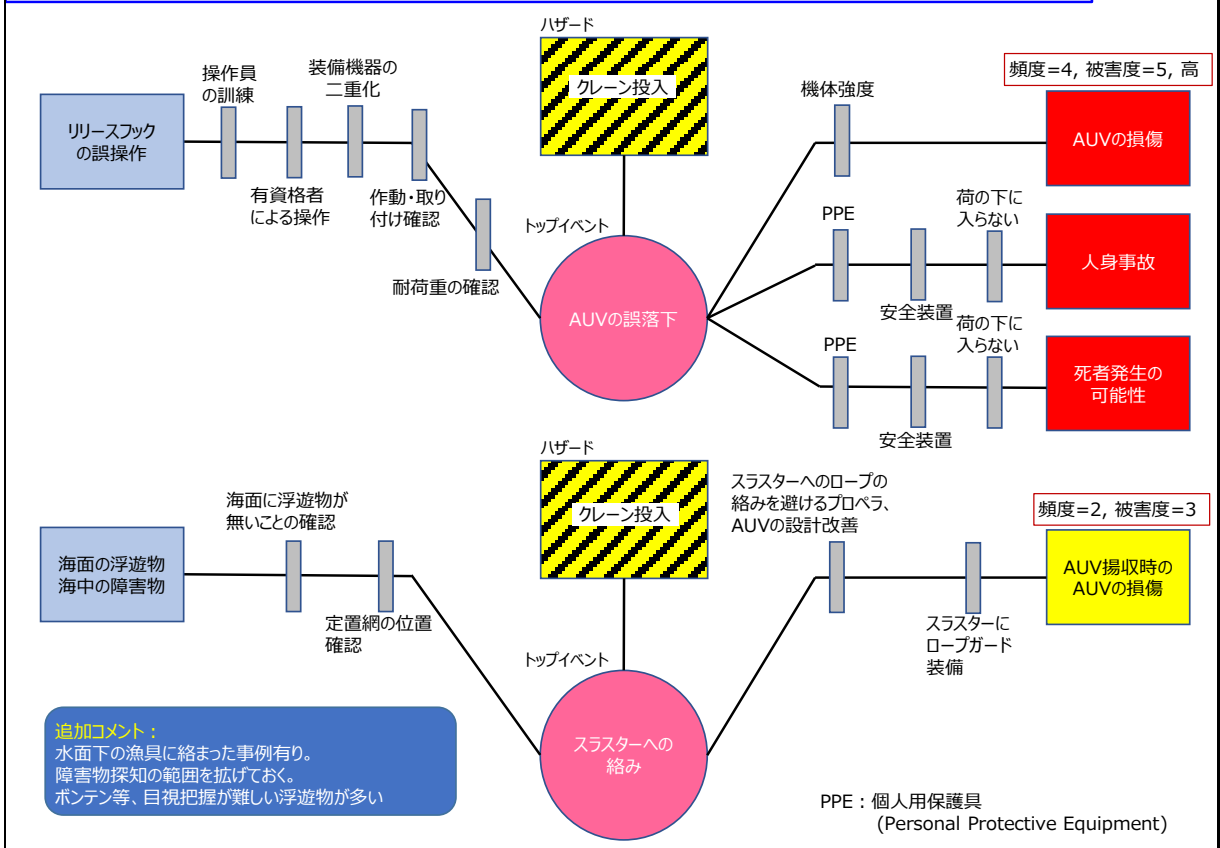
1-1 AUV投入作業（LARS投入の場合）



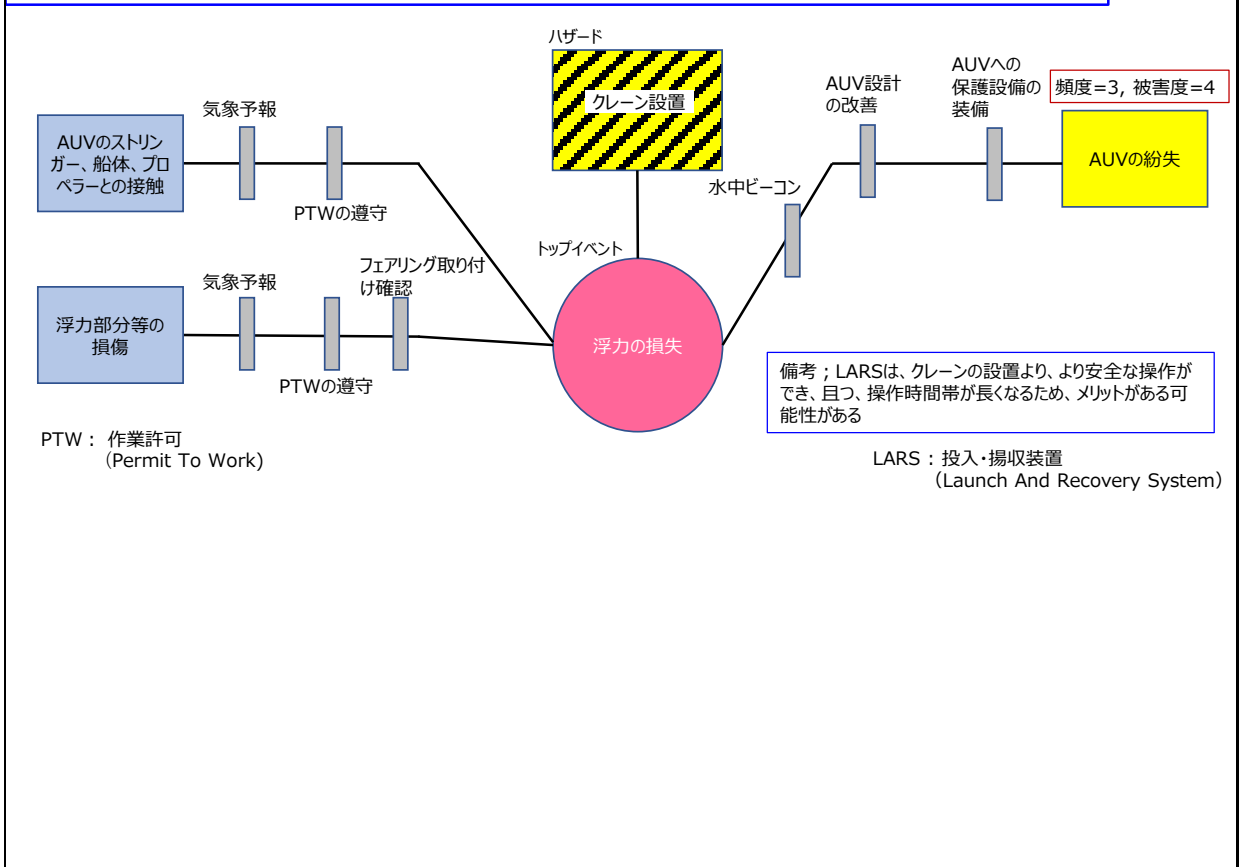
1-1 AUV投入作業（クレーン投入の場合）



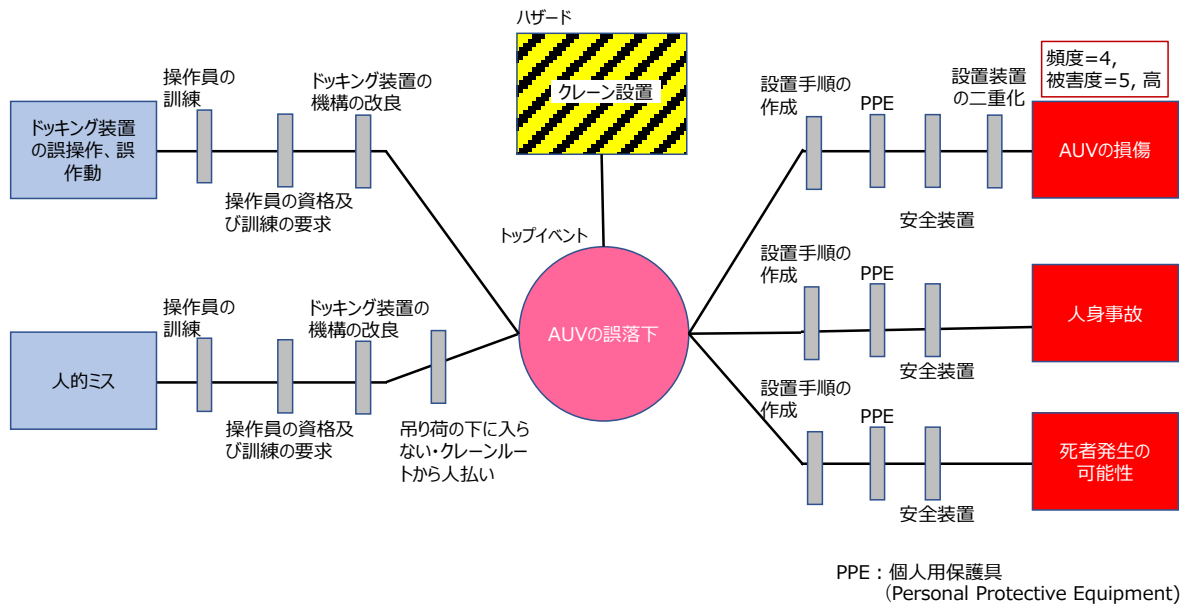
1-1 AUV投入作業（クレーン投入の場合）



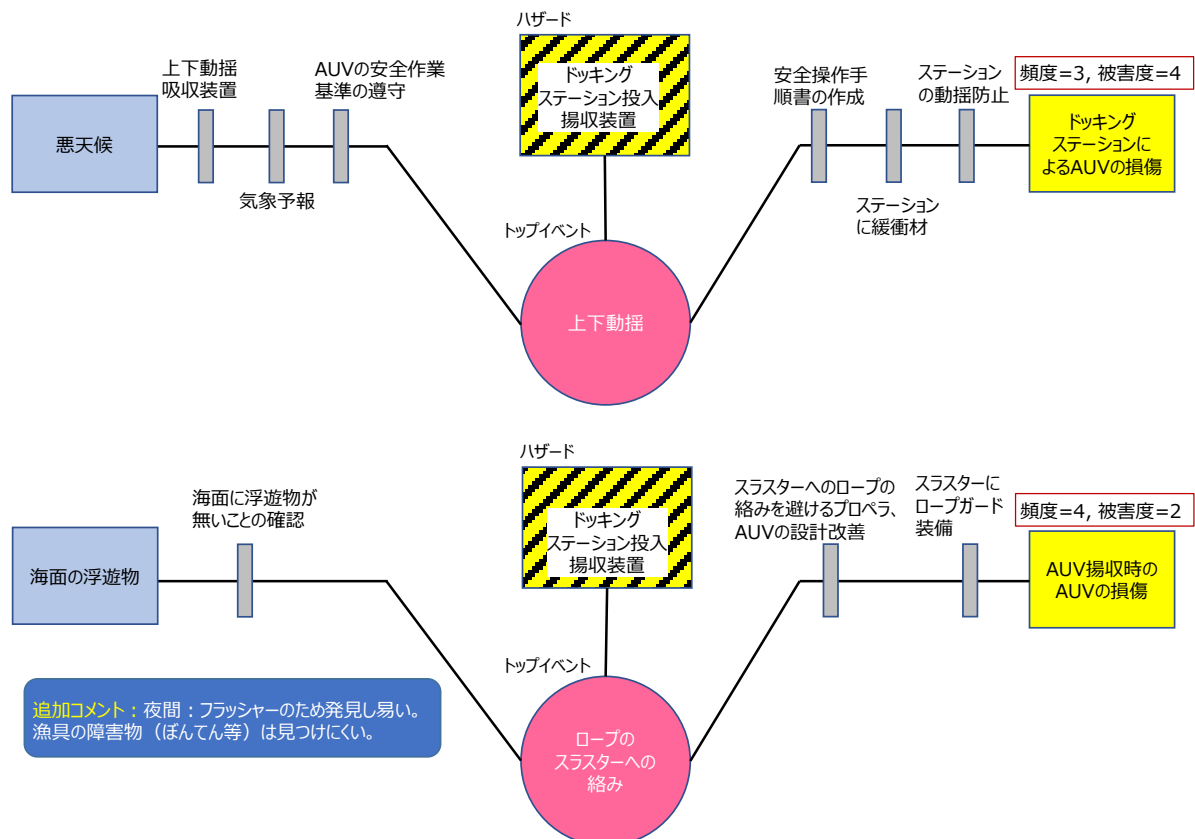
1-1 AUV投入作業（クレーン投入の場合）



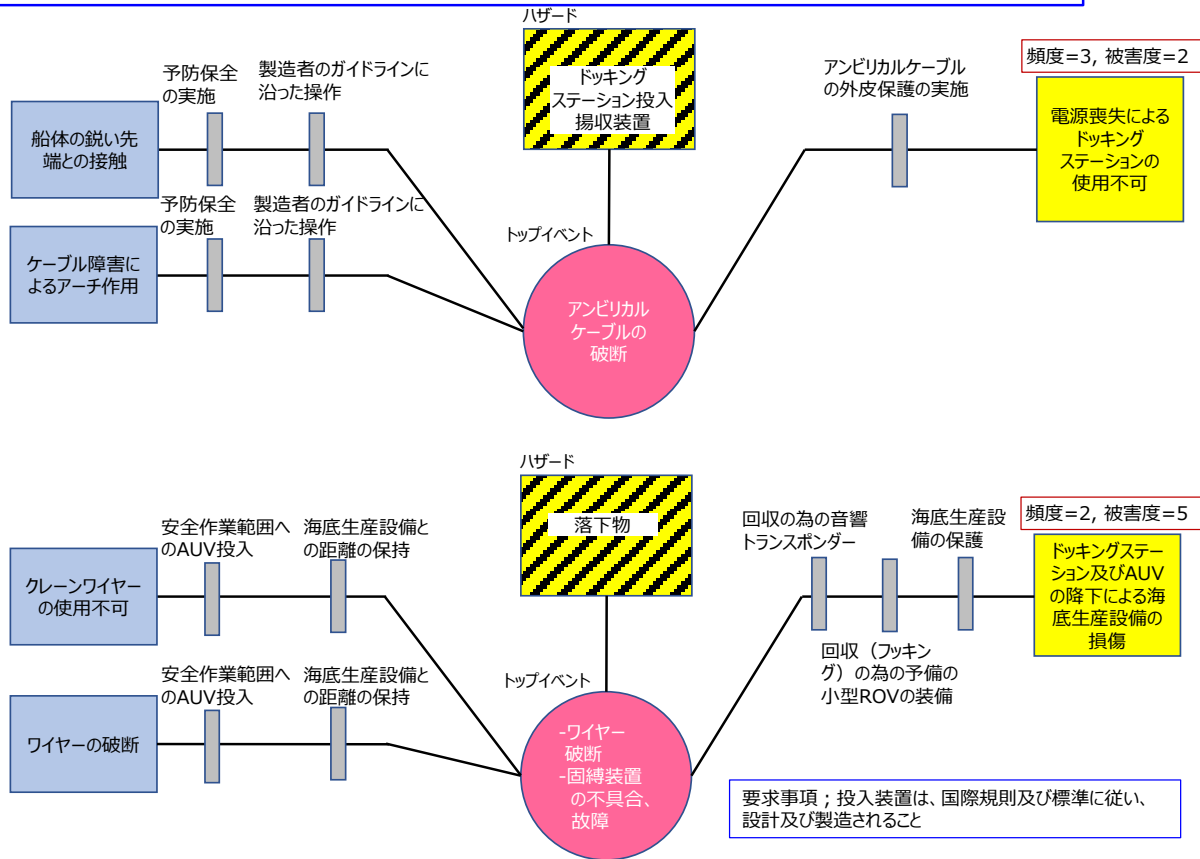
1-1 AUV投入作業（クレーン投入の場合）



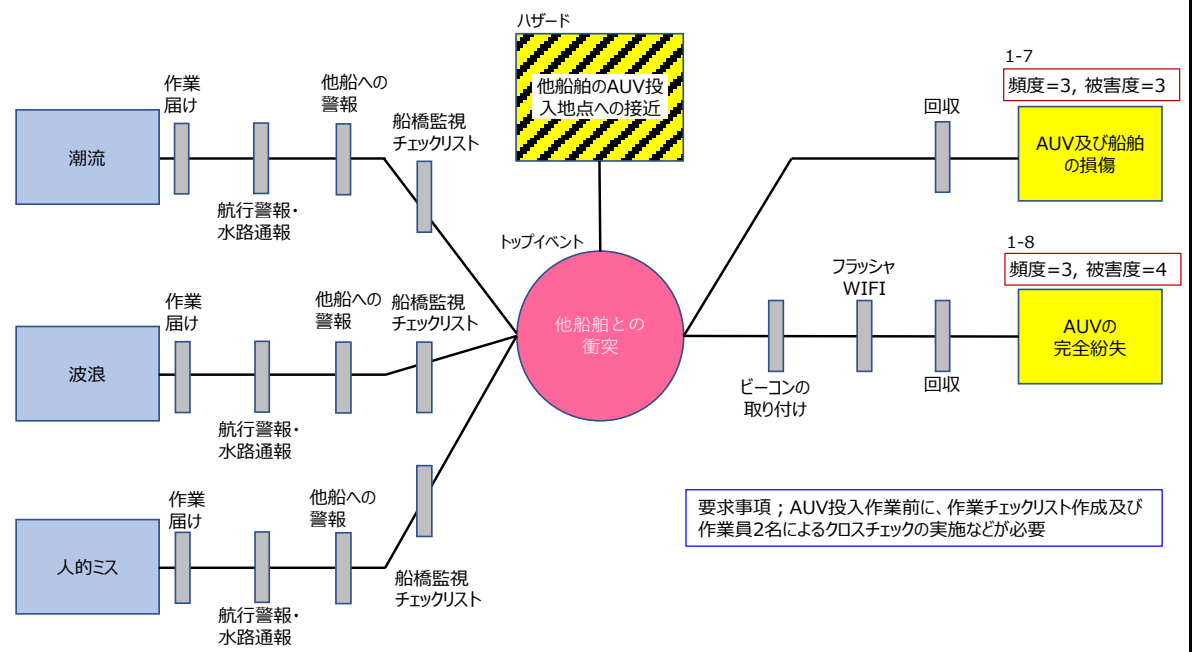
1-1 AUV投入作業（ドッキングステーションの場合）



1-1 AUV投入作業（ドッキングステーションの場合）



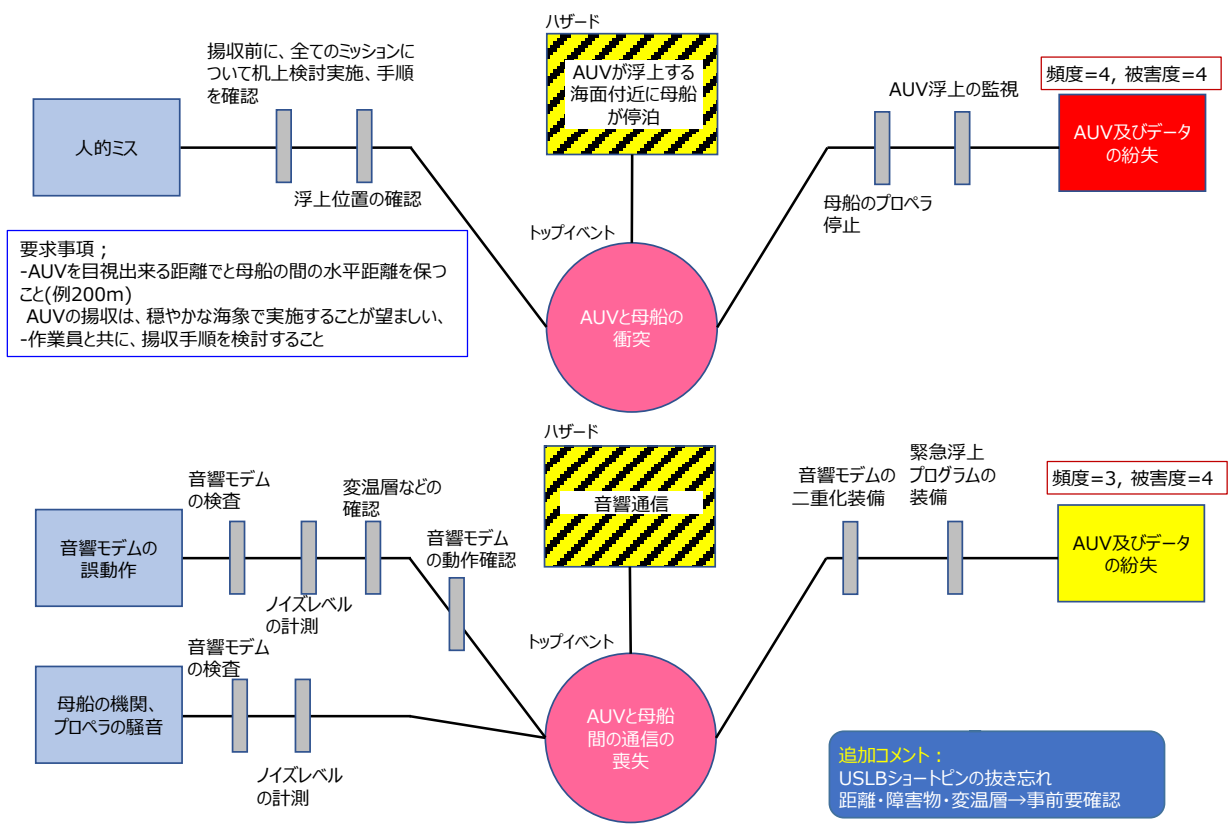
1-1 AUV投入作業（投入後の潜航前確認）



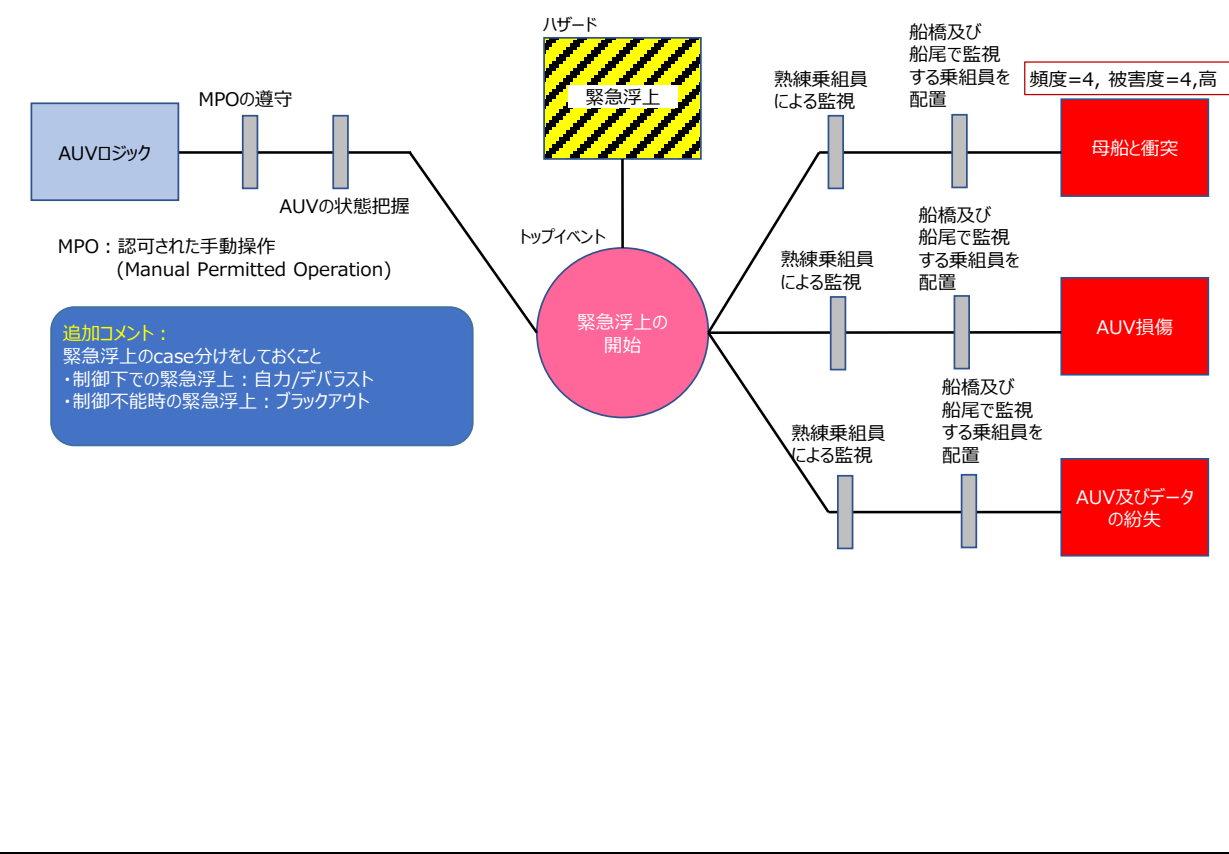
追加コメント:
近くに怪しい船がいた場合は投入作業を中断する。

PPE: 個人用保護具
(Personal Protective Equipment)

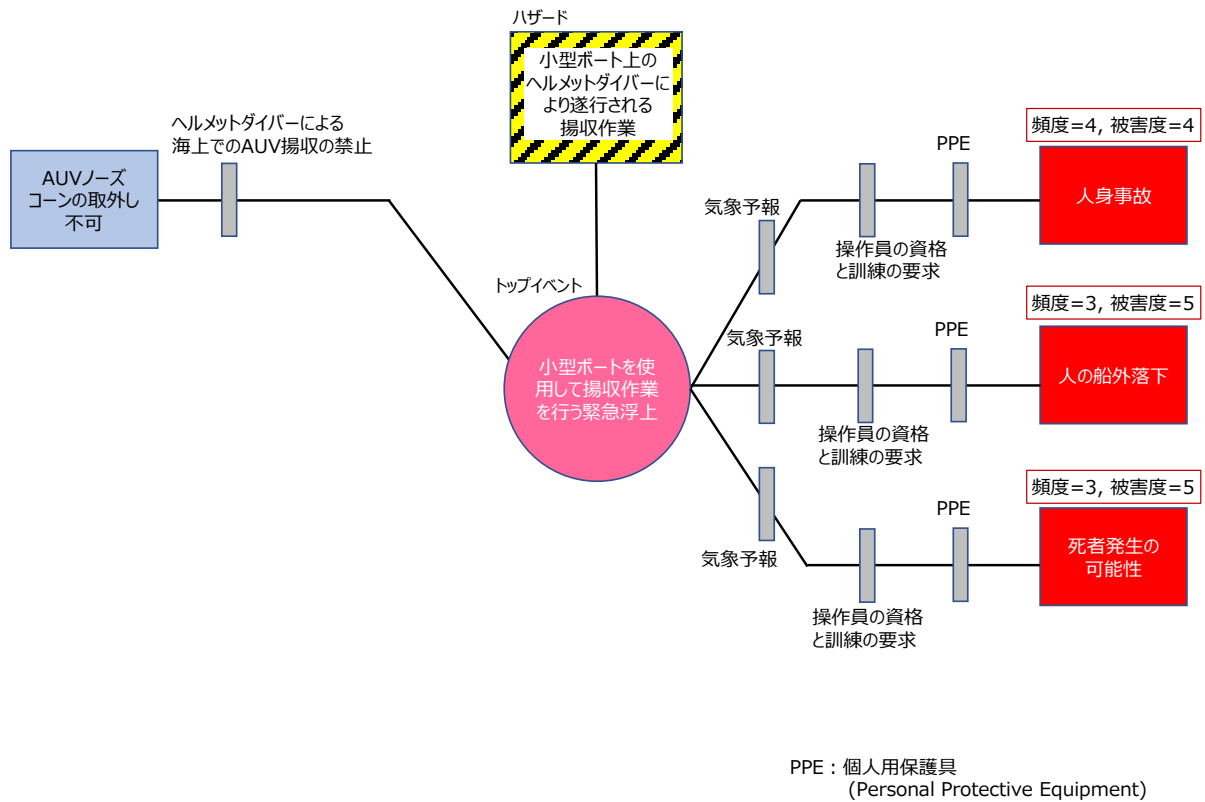
1-2 AUV揚収作業



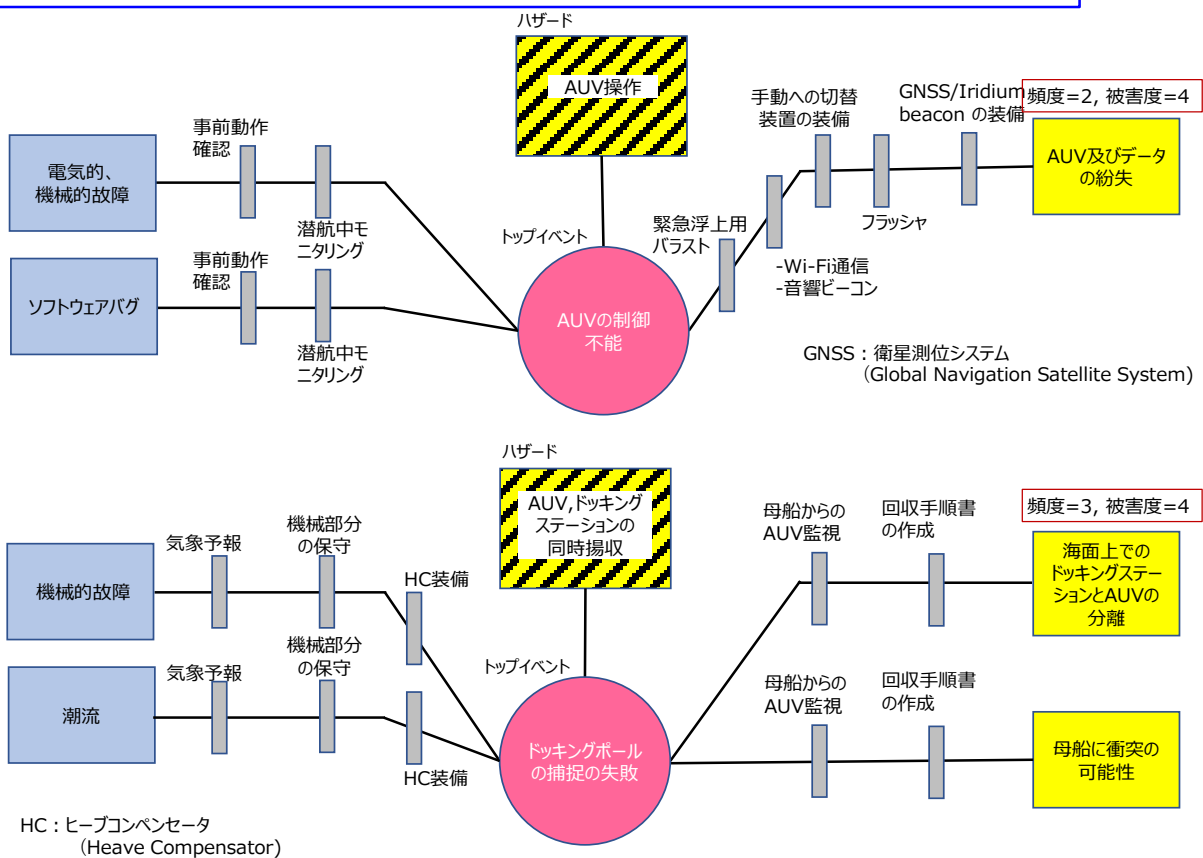
1-2 AUV揚収作業



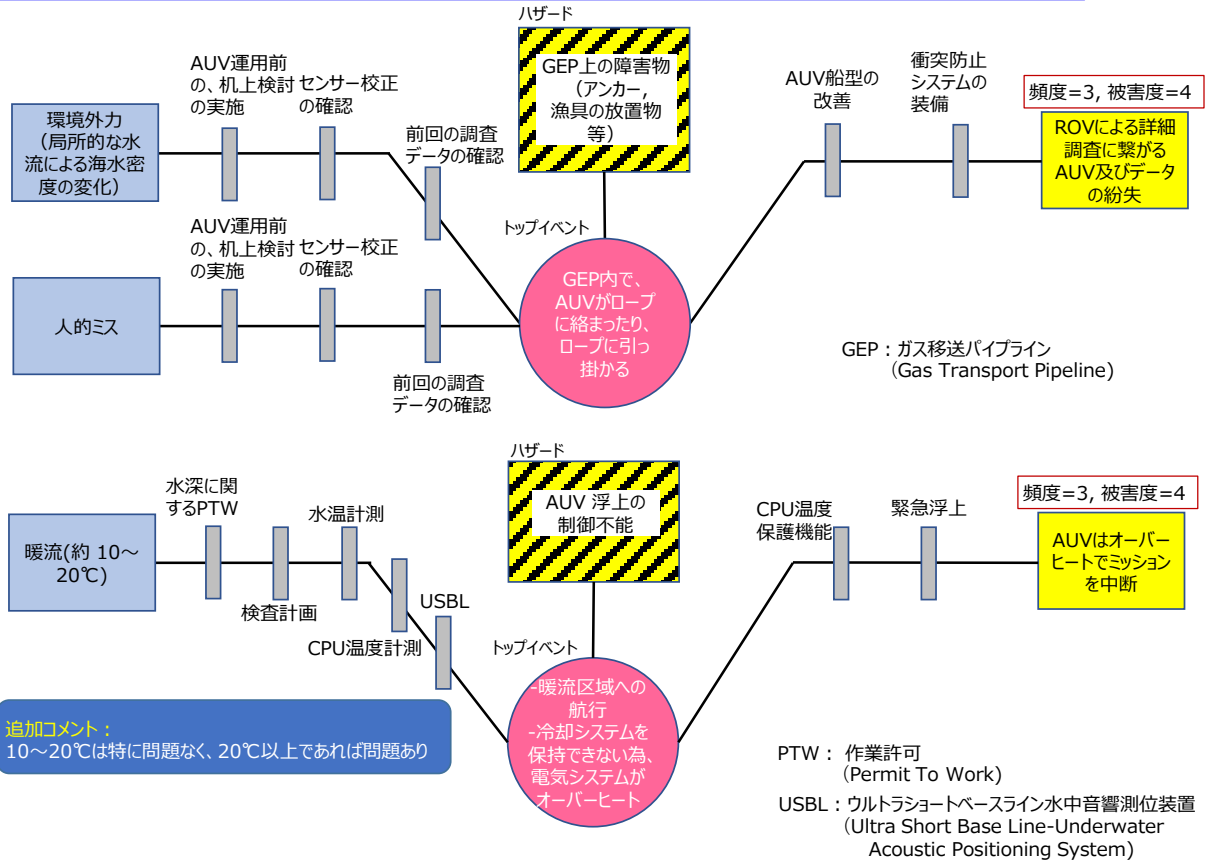
1-2 AUV揚収作業



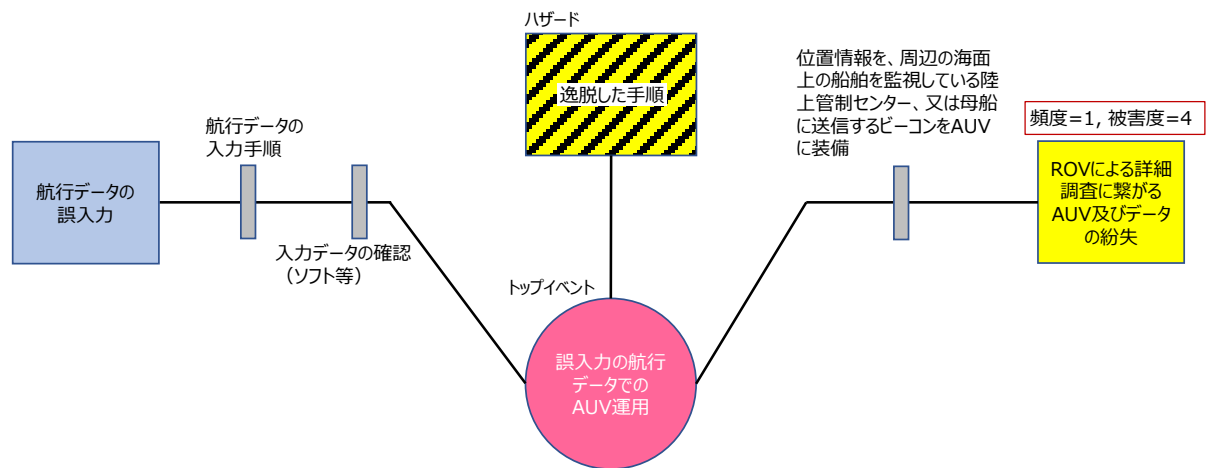
1-2 AUV揚収作業



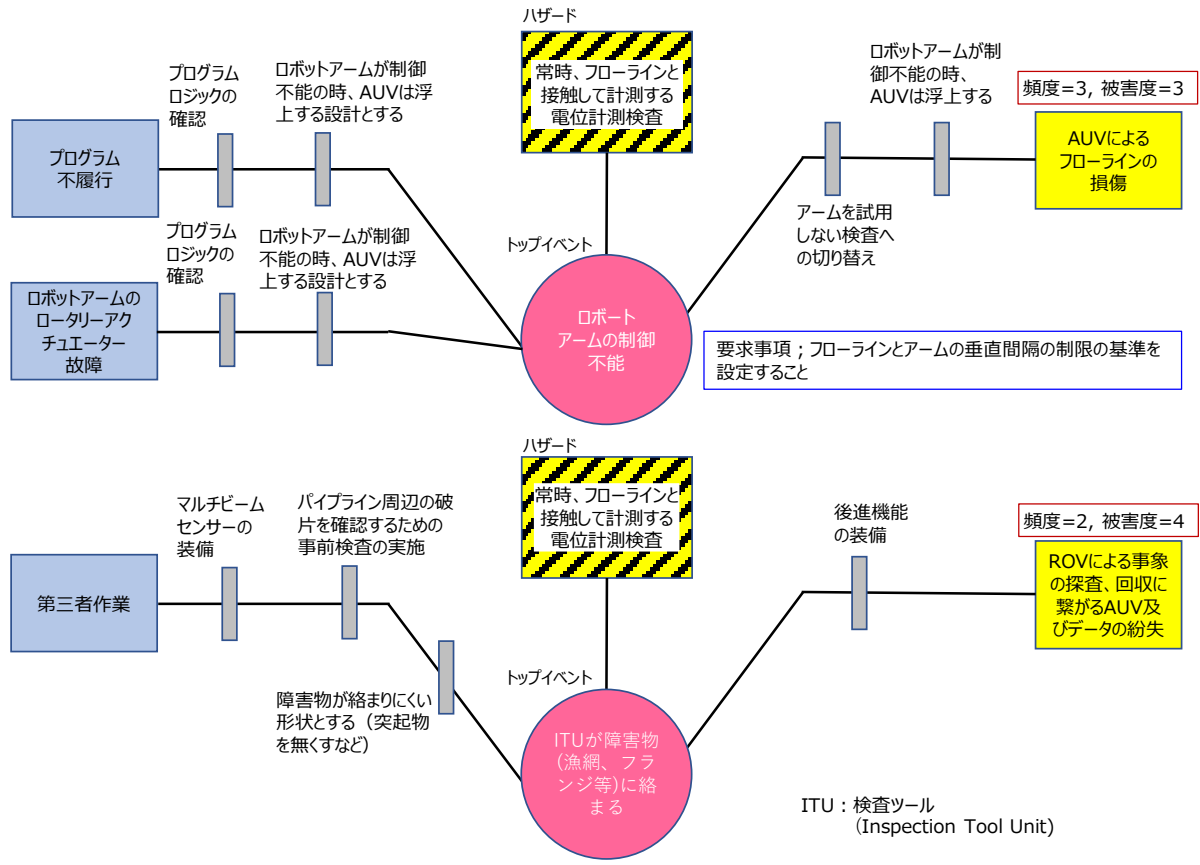
1-3 浅海域でのAUV運用



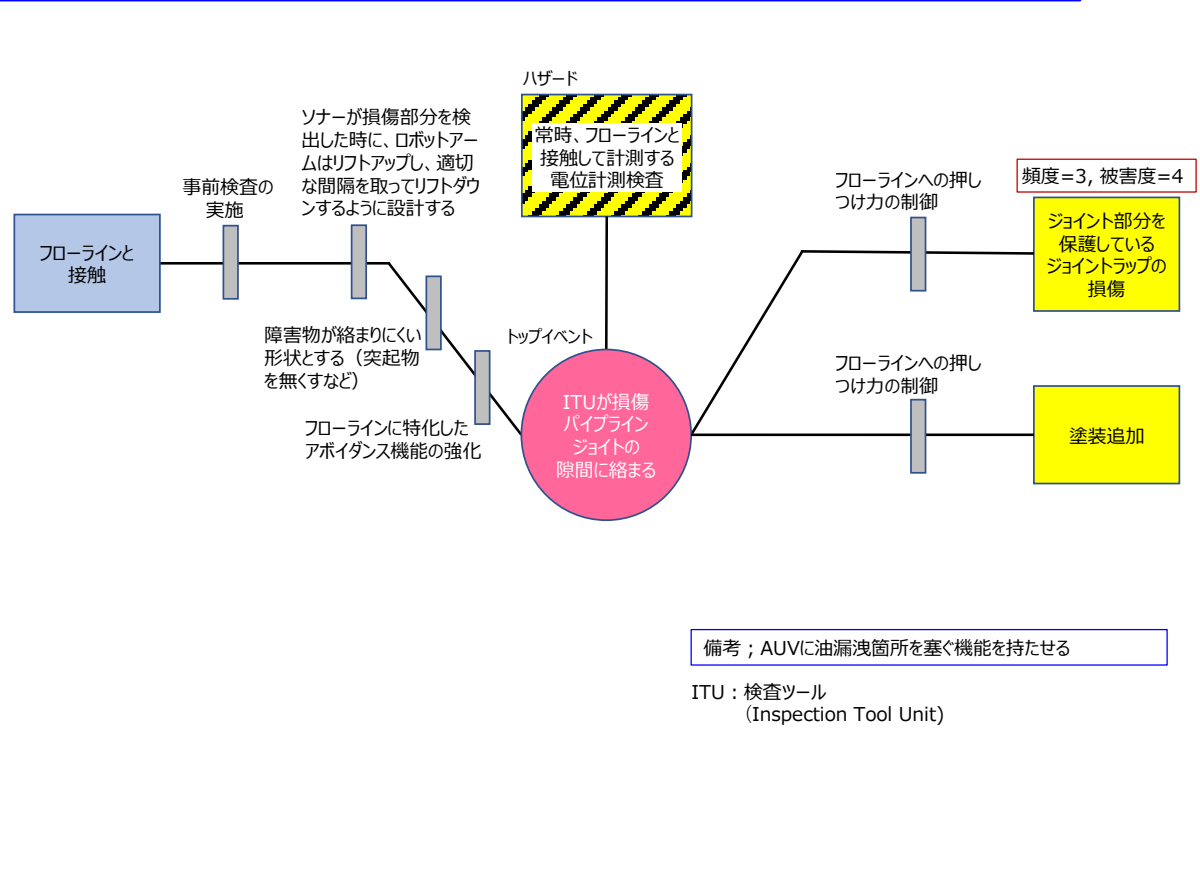
1-3 AUV運用



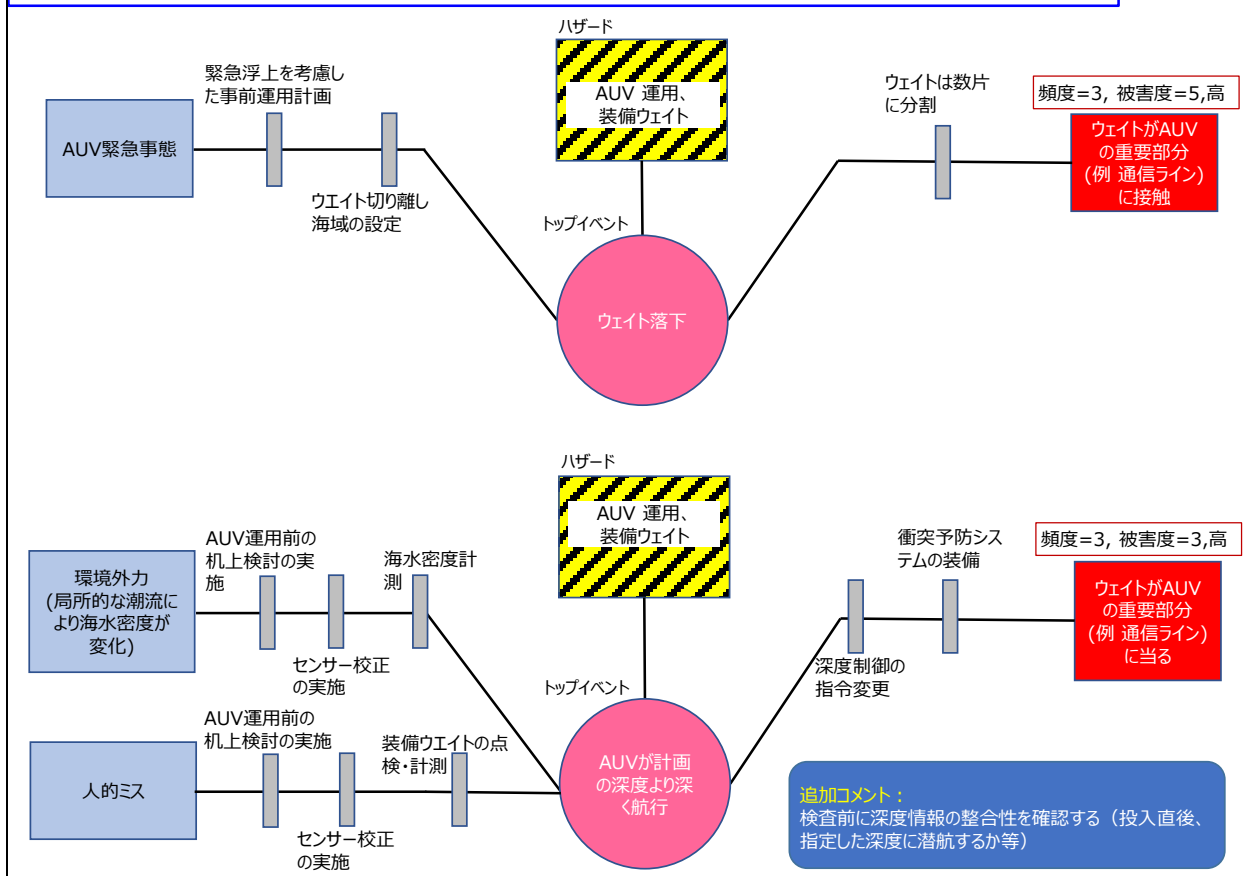
1-4 電気防食(CP)検査



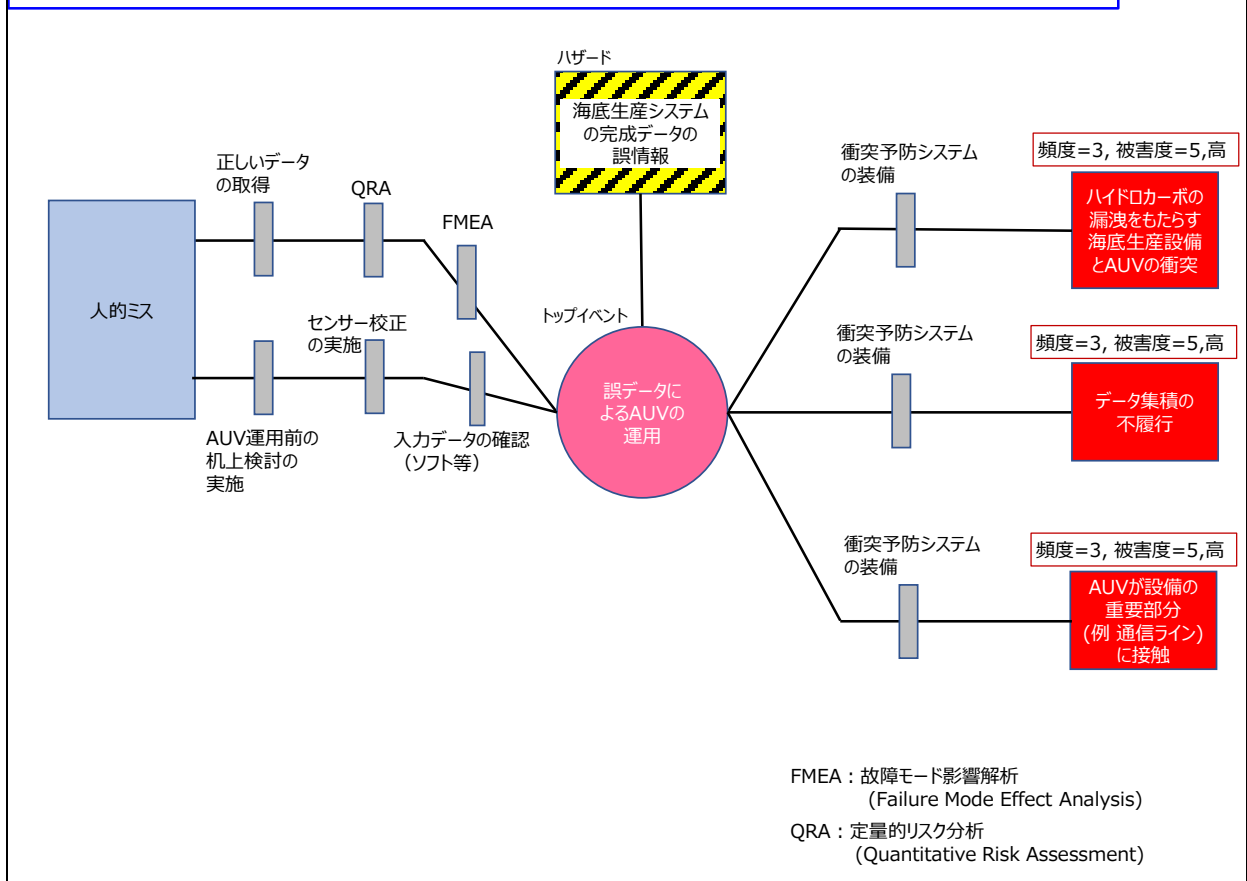
1-4 電気防食(CP)検査



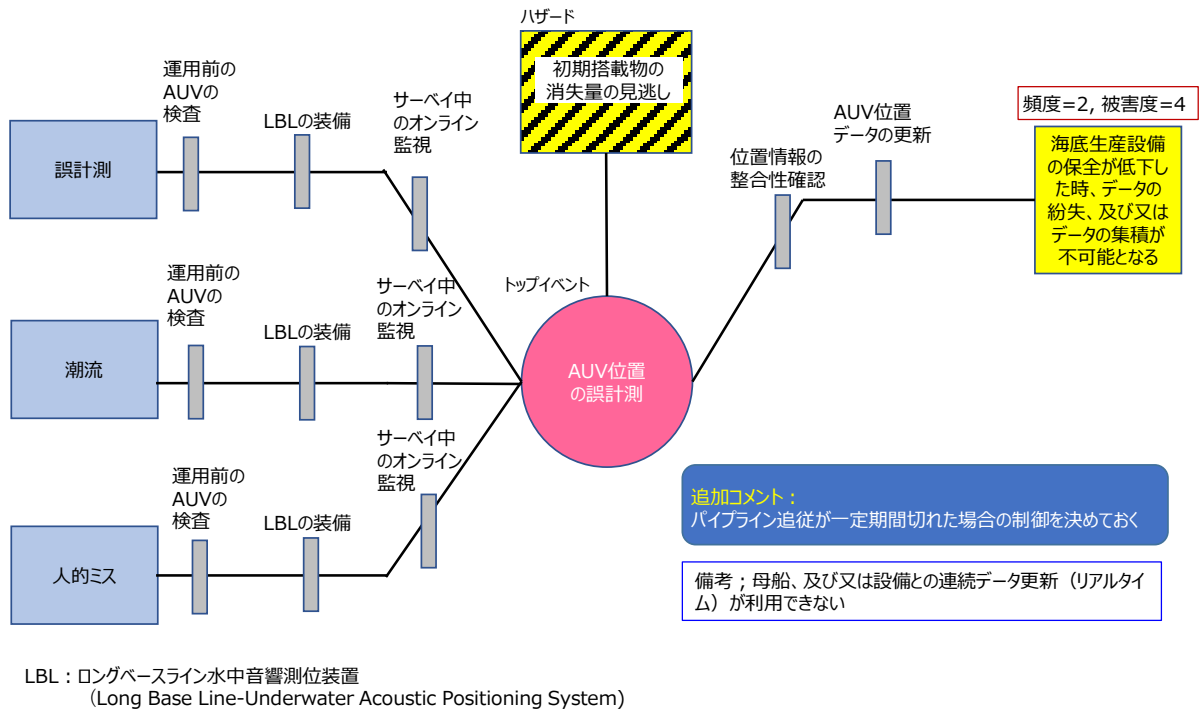
1-5 SPSの検査（位置検査及び外観検査）



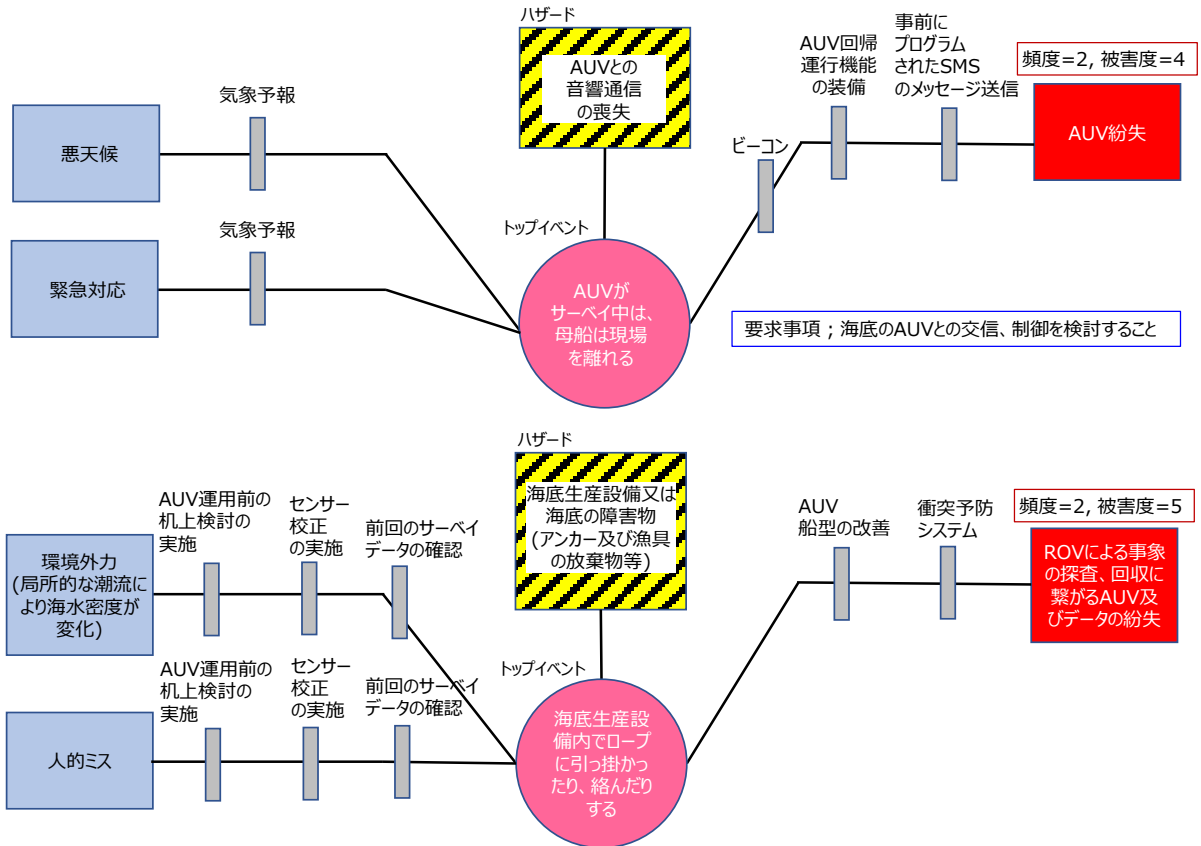
1-5 SPSの検査（位置検査及び外観検査）



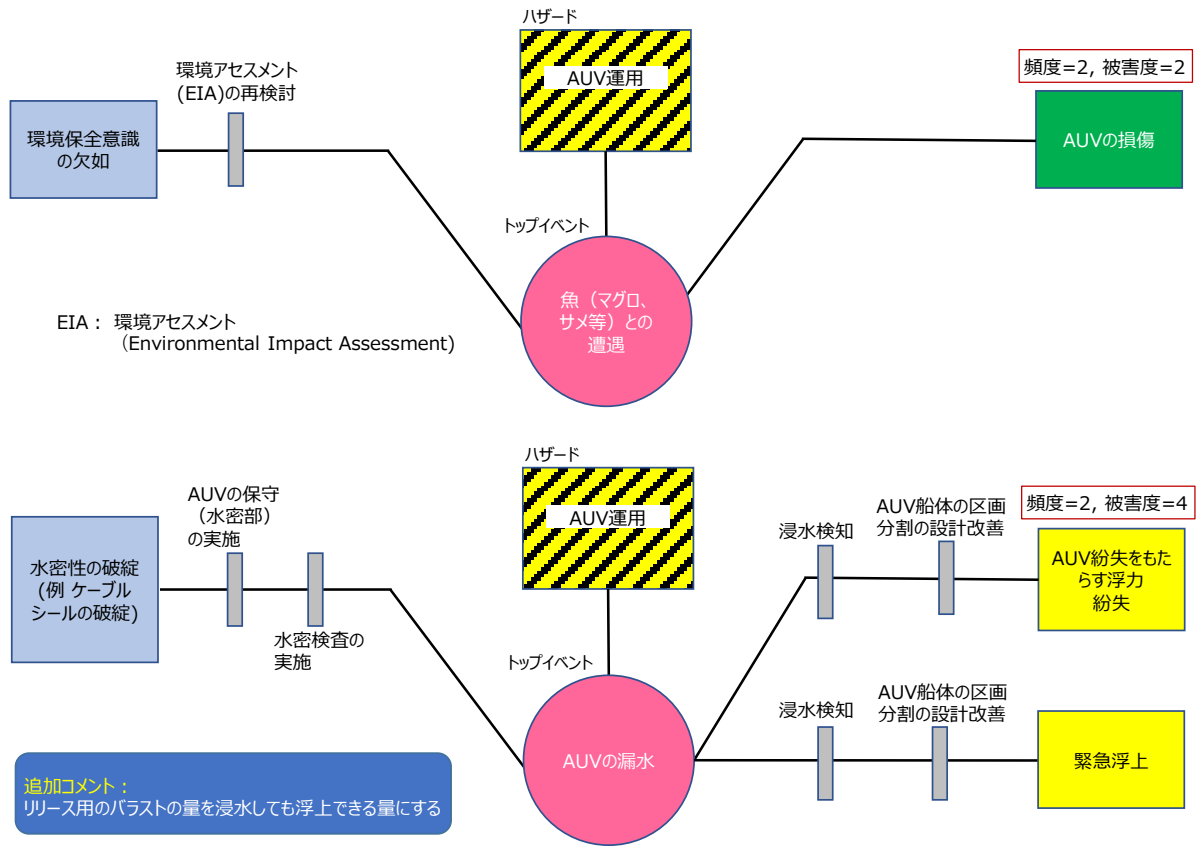
1-5 SPSの検査（位置検査及び外観検査）



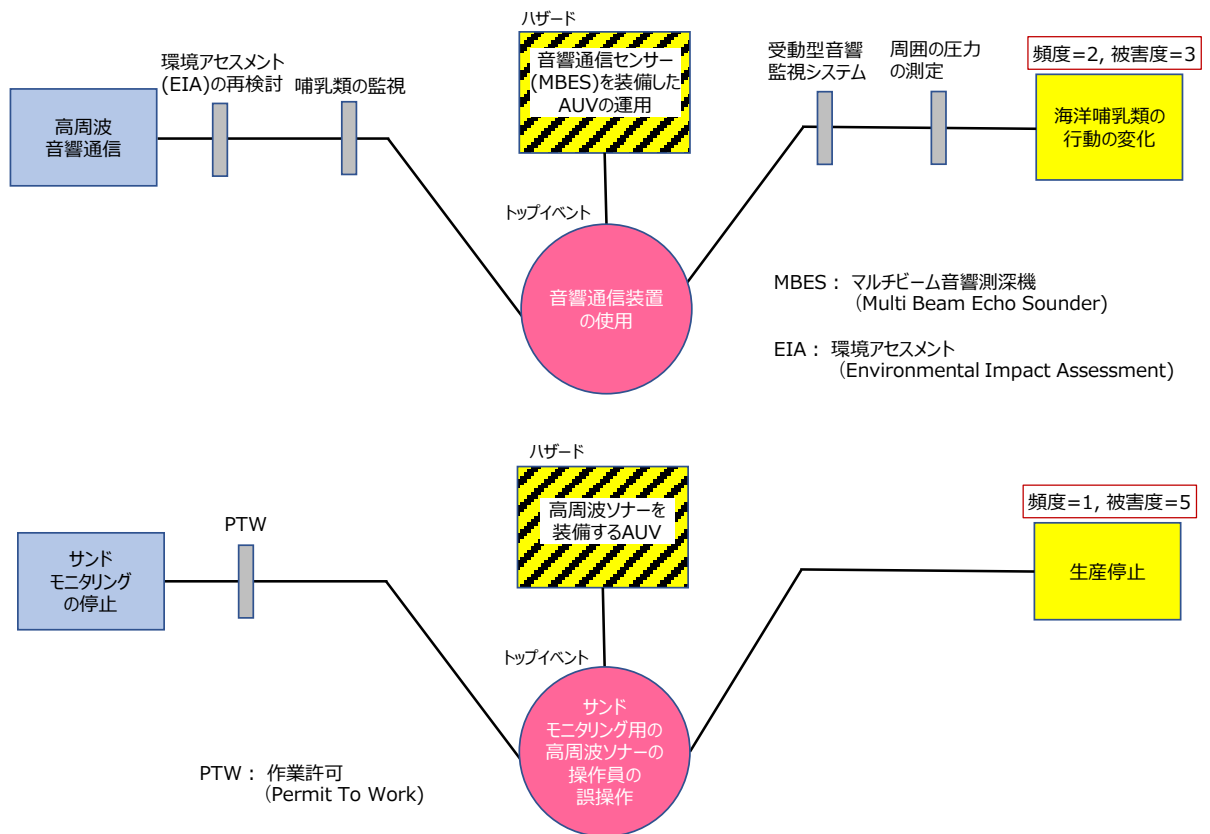
1-5 SPSの検査（位置検査及び外観検査）



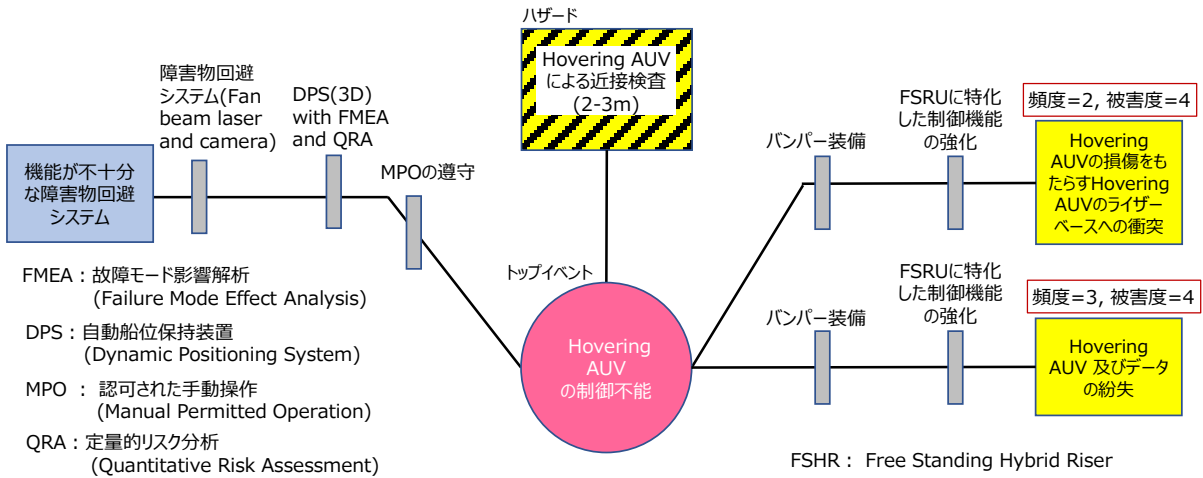
1-5 SPSの検査（位置検査及び外観検査）



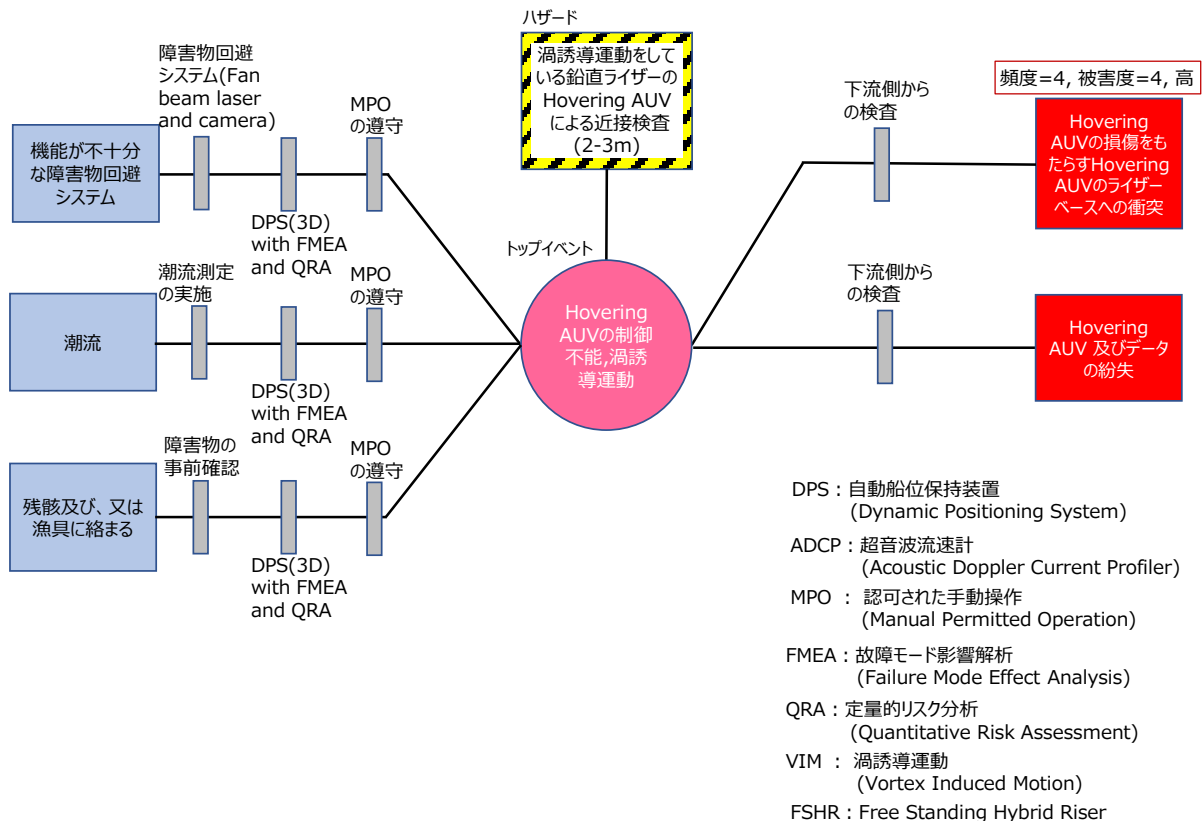
1-5 SPSの検査（位置検査及び外観検査）



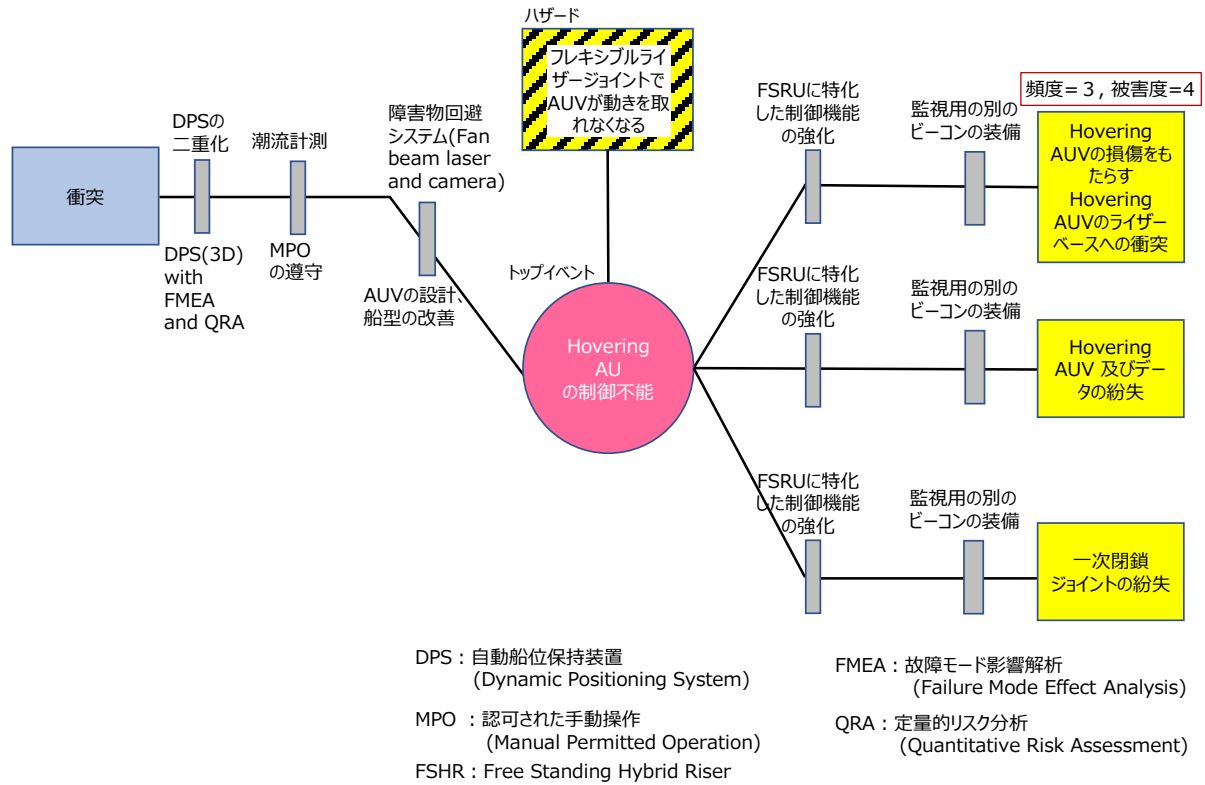
1-6 FSHRの外観検査(対象: Riser base, Buoyancy can)



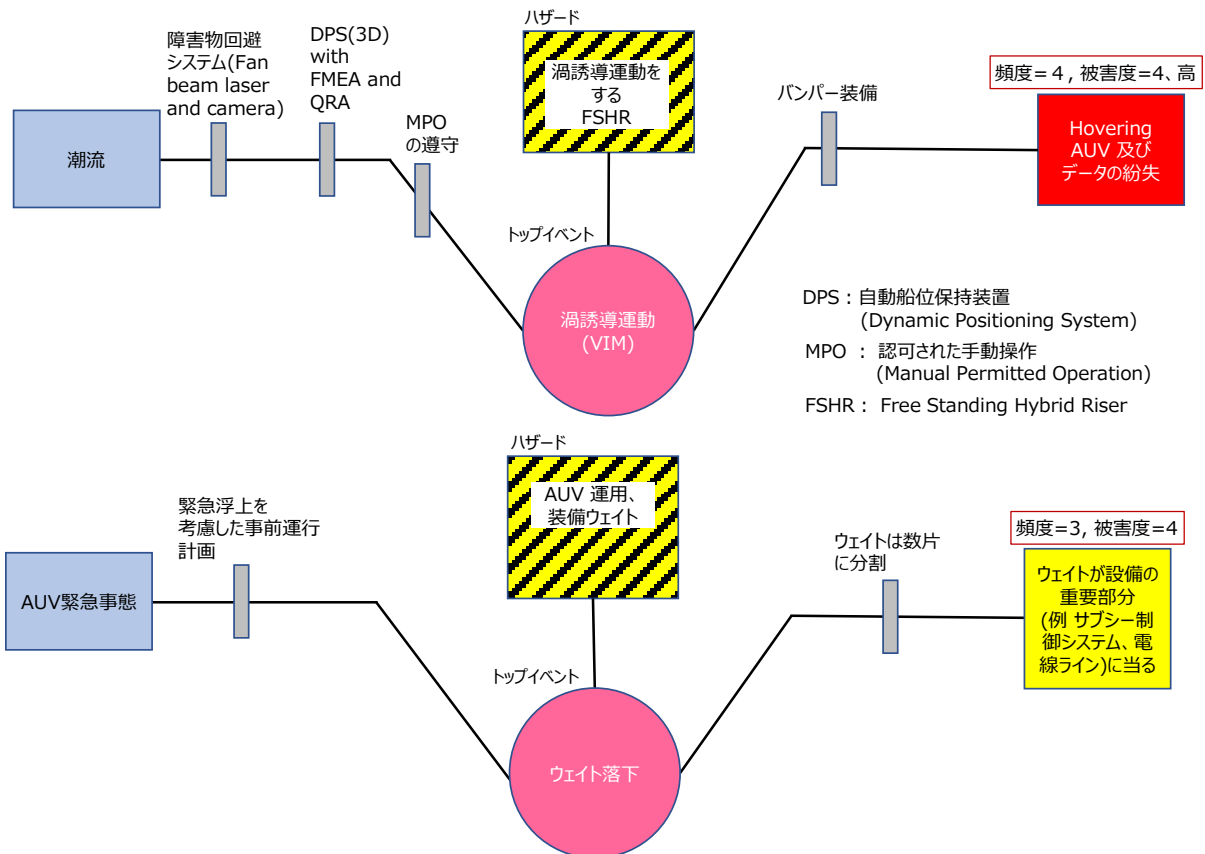
1-6 FSHRの外観検査(対象: Vertical riser)



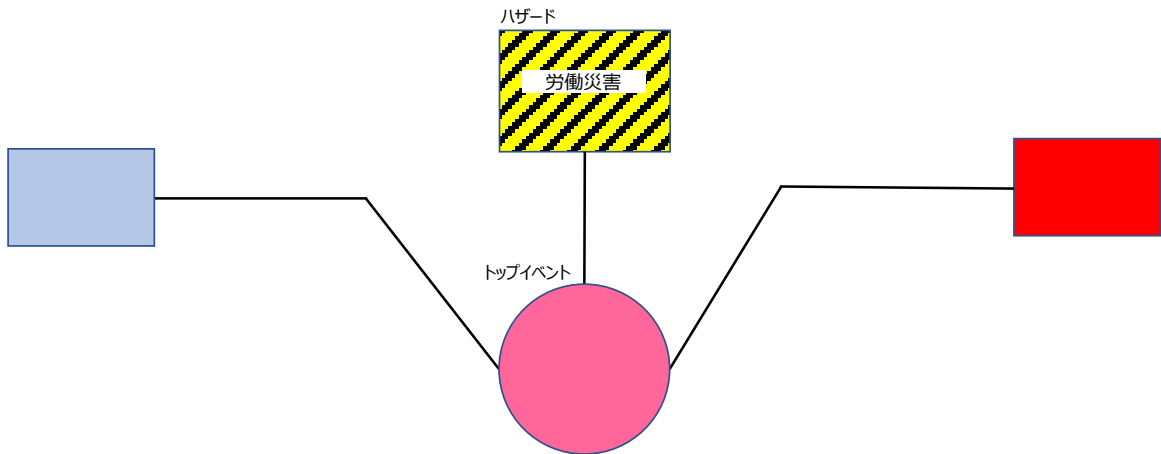
1-6 FSHRの外観検査(対象: Chain, chain connector)



1-6 FSHRの外観検査(対象: FSHR)

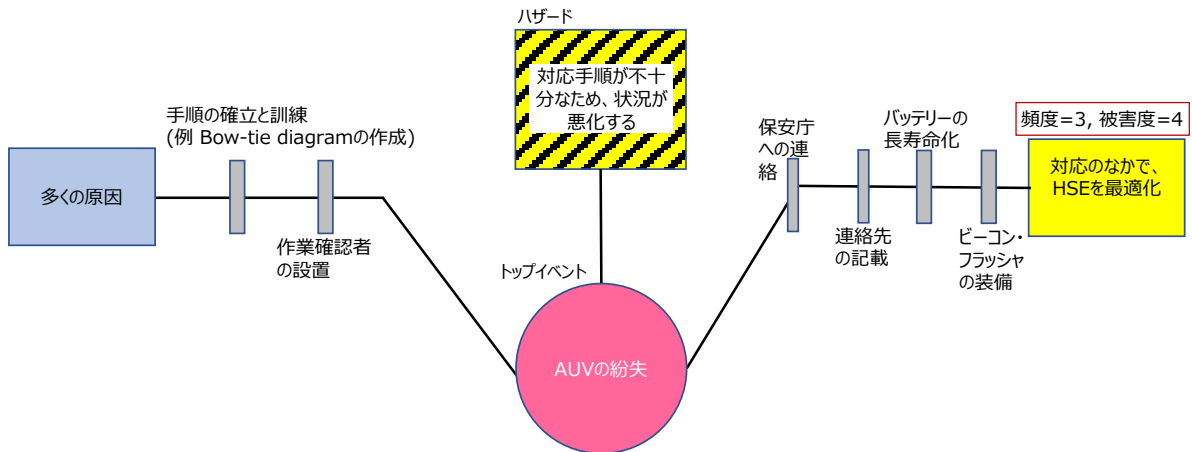


1-7 船上作業（全般）



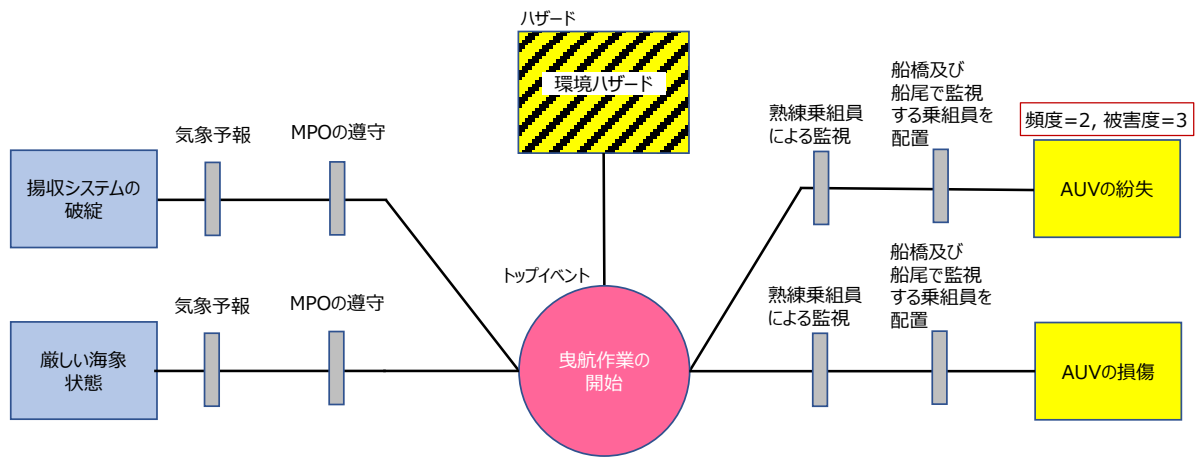
備考；
IMCA（International Marine Contractors Association）及び IOGP（International Association of Oil & Gas Producers） guidelineに従うこと。

1-7 紛失したAUVの搜索



備考；
下記ABS ruleを参照すること
UNDERWATER VEHICLES, SYSTEMS AND HYPERBARIC FACILITIES Section 17
Autonomous Underwater Vehicles (AUV)

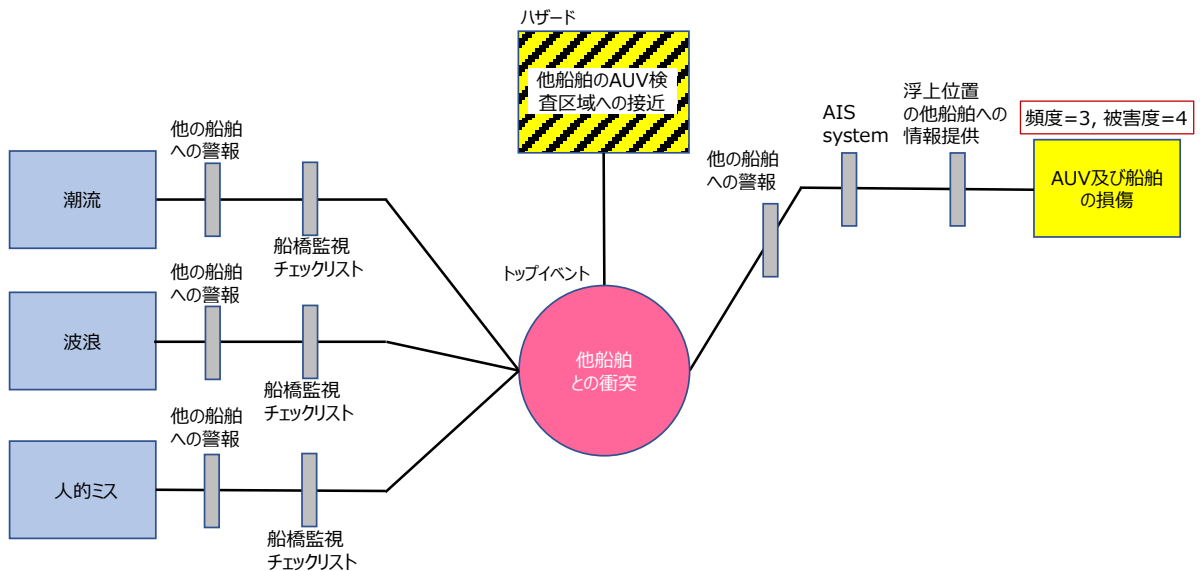
1-7 AUVの回避区域への曳航



要求事項； AUVの回収が不可能な場合の、曳航操作手順書を作成のこと

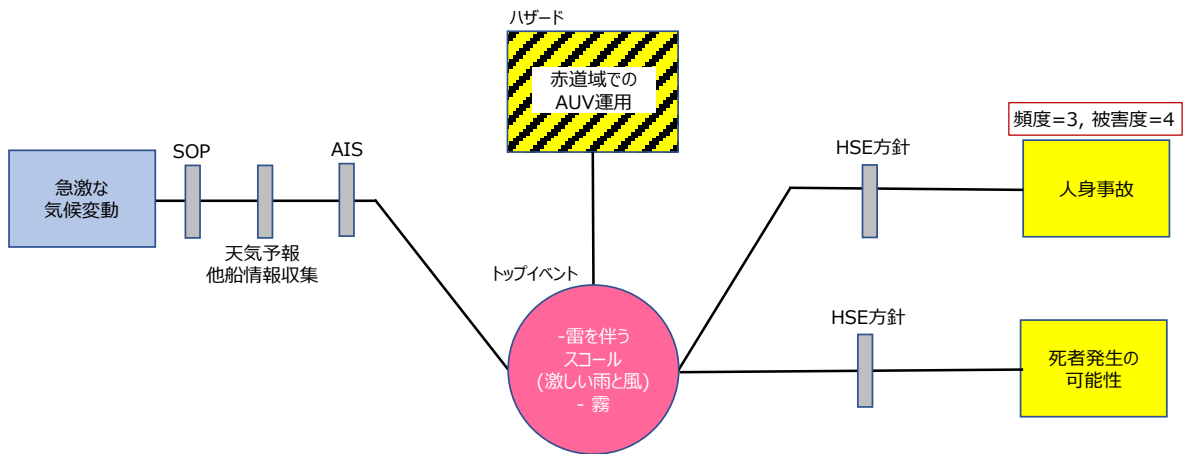
MPO：認可された手動操作
(Manual Permitted Operation)

1-7 AUV 運用中の他の船舶からの監視



AIS：船舶自動識別装置
(Automatic Identification System)

1-7 赤道近接海域でのAUV運用



SOP : 基本運用マニュアル
(Standard Operating Procedures)

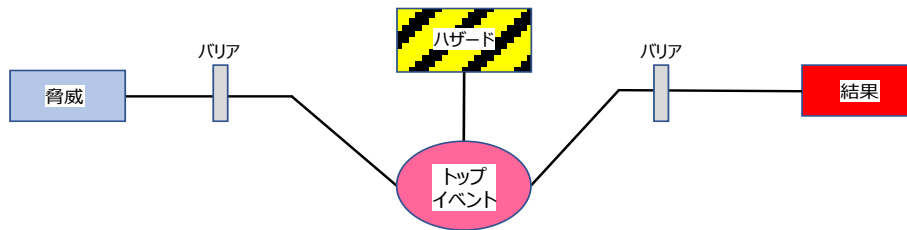
AIS : 船舶自動識別装置
(Automatic Identification System)

HSE : 健康・安全・環境
(Health, Safety and Environment)

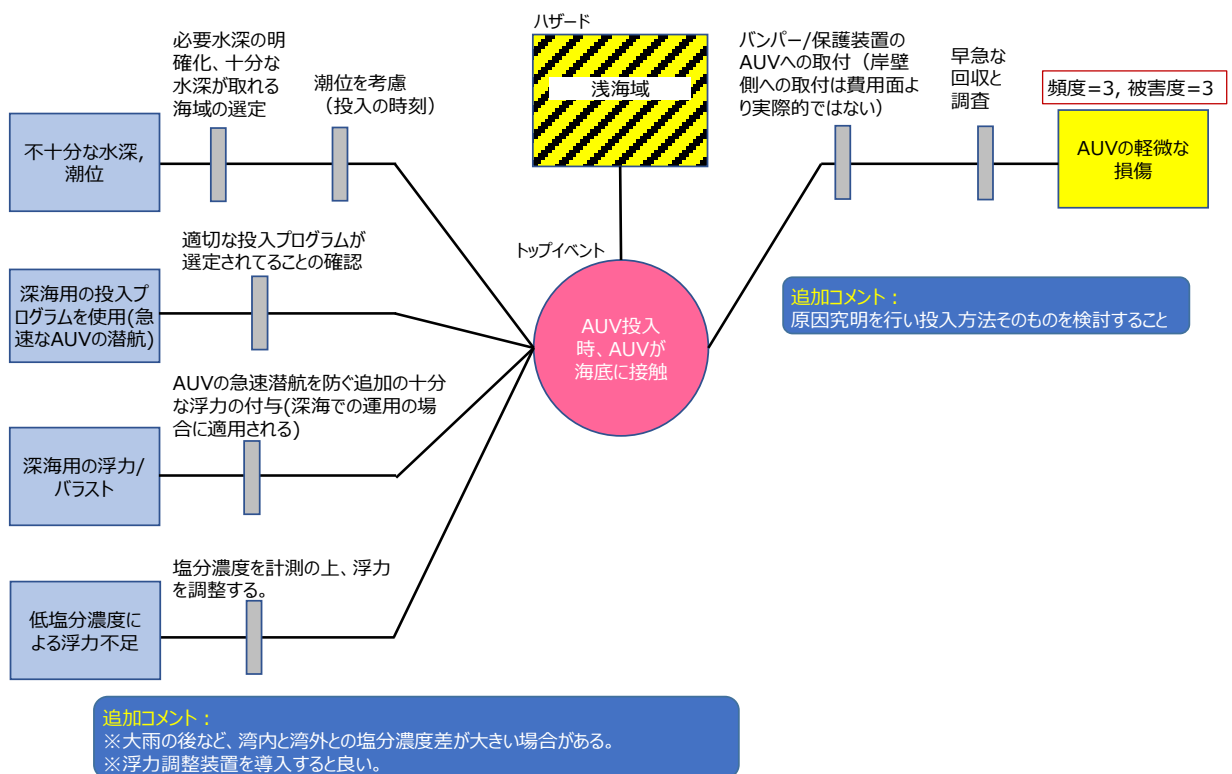
(2) 洋上風力発電の Bow-Tie 図

Bow-tie図（洋上風力発電）

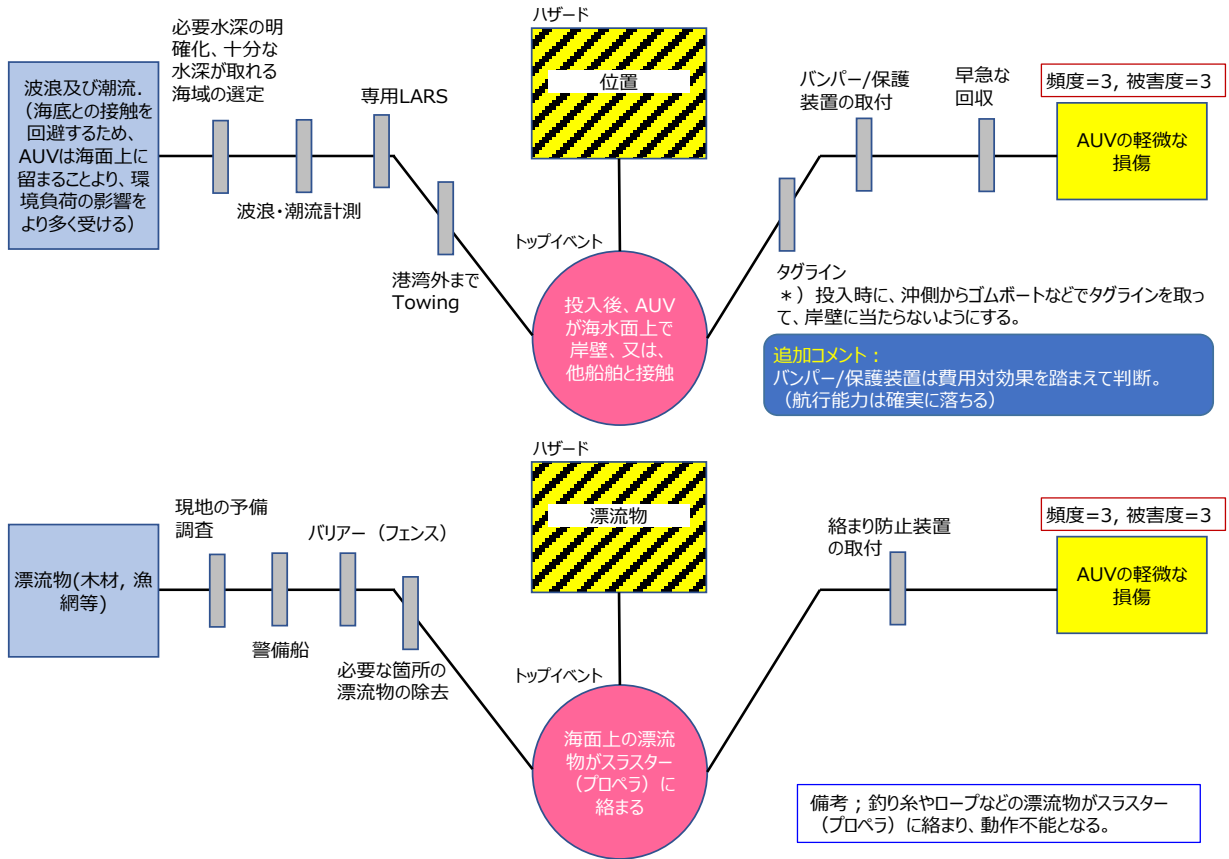
抽出されたTop Event毎にBow-tie図として整理



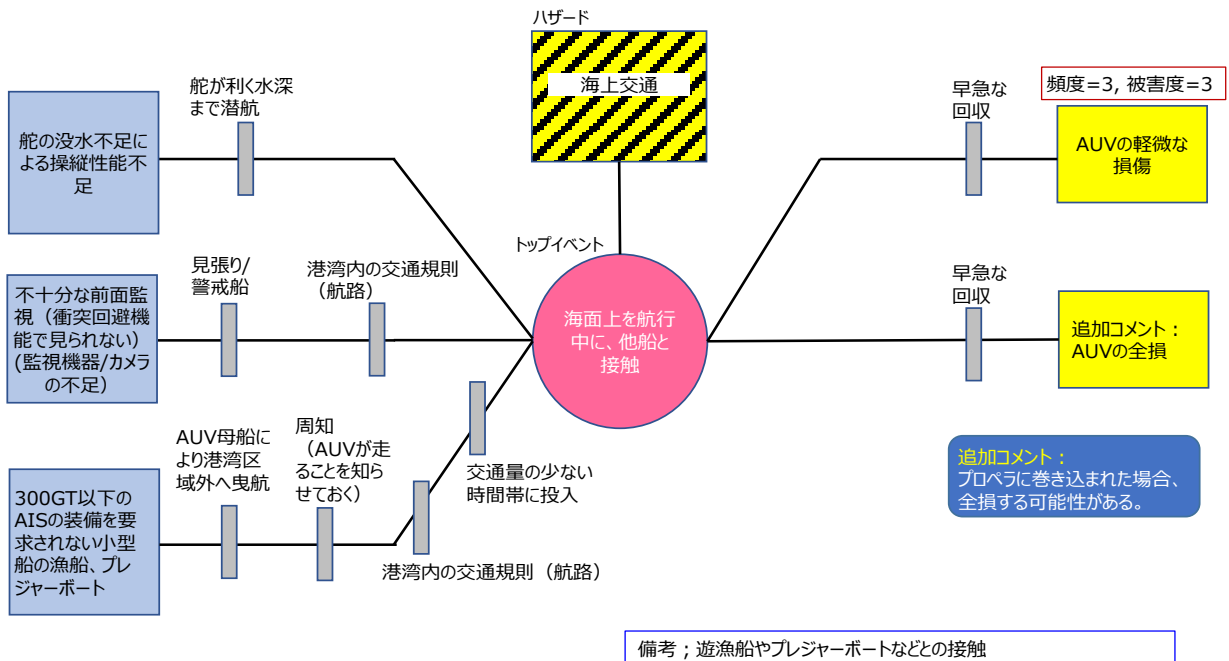
2-1 AUV投入作業（岸壁/港湾区域からの投入・揚収）



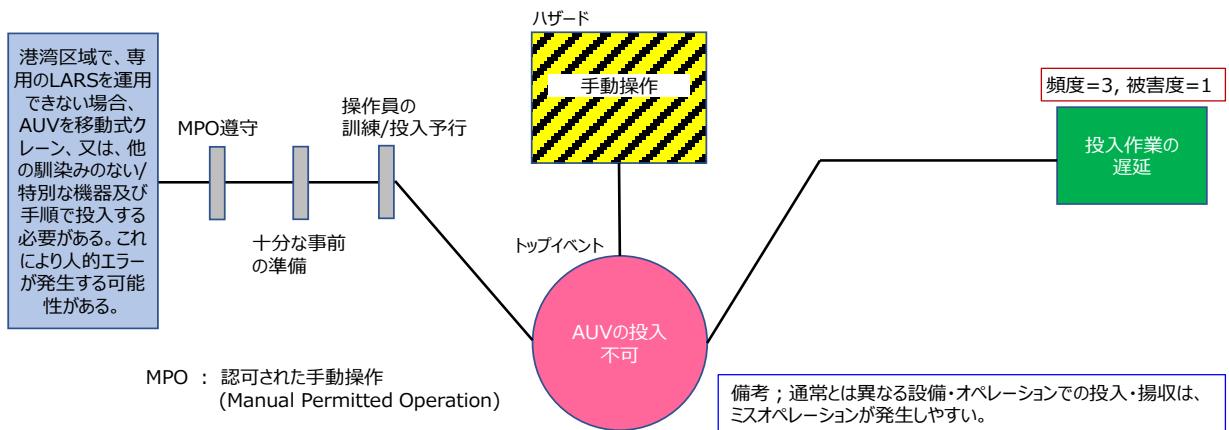
2-1 AUV投入作業（岸壁/港湾区域からの投入・揚収）



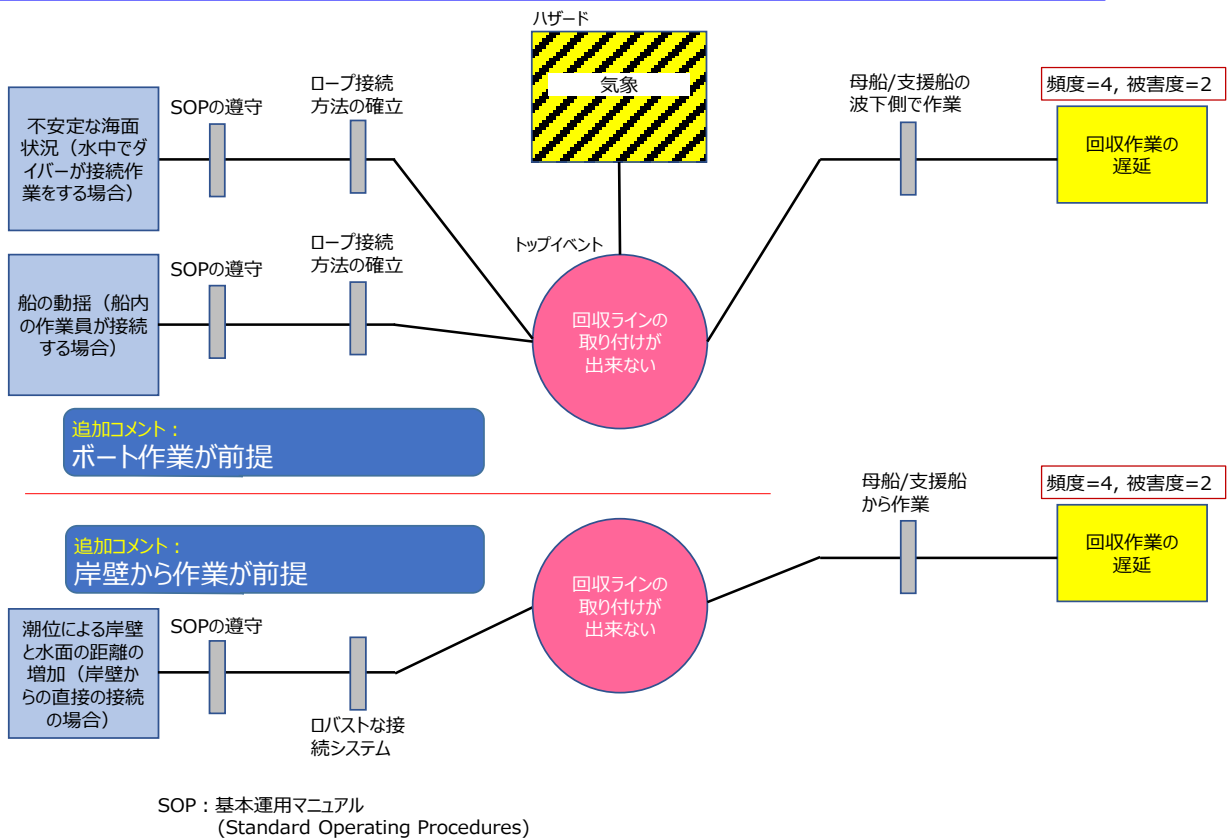
2-1 AUV投入作業（岸壁/港湾区域からの投入・揚収）



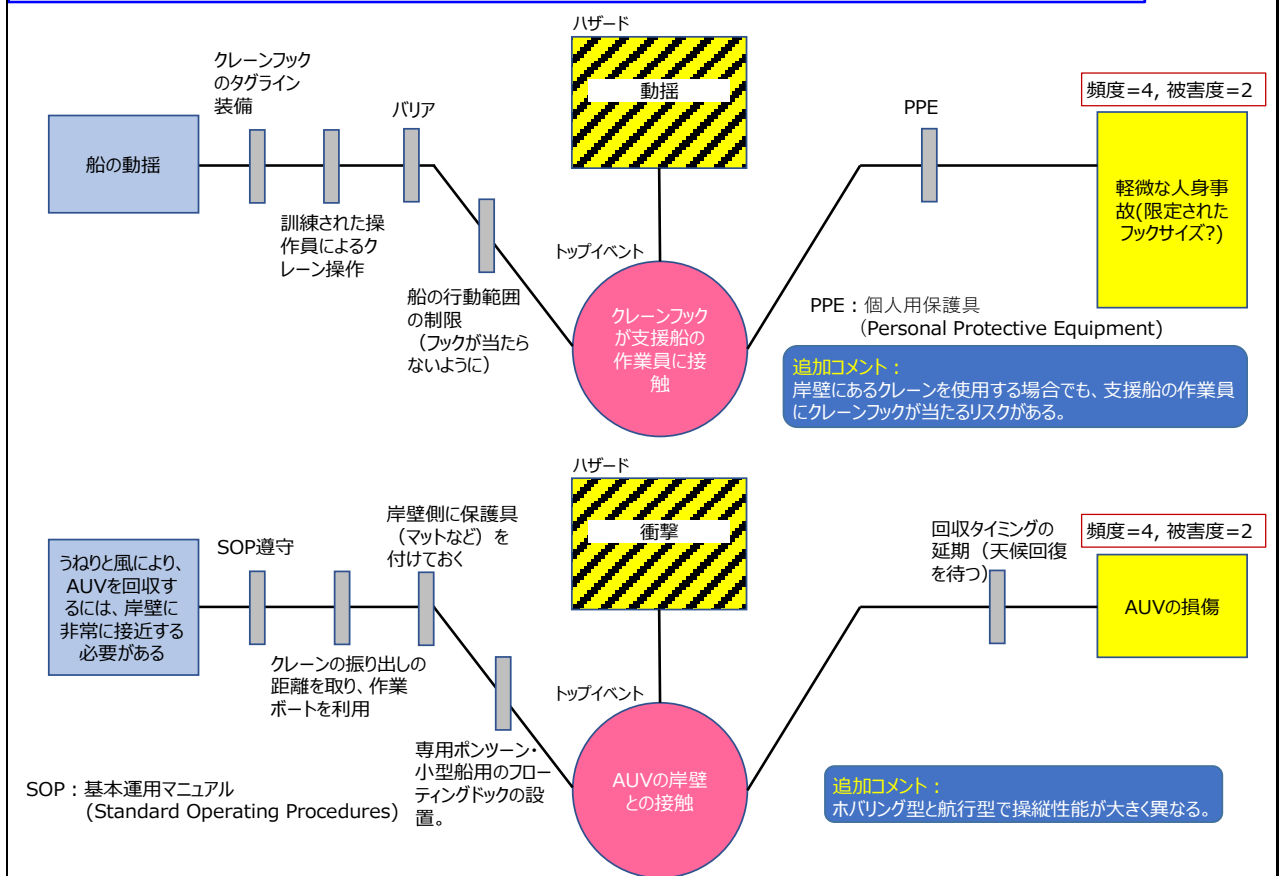
2-1 AUV投入作業（岸壁/港湾区域からの投入・揚収）



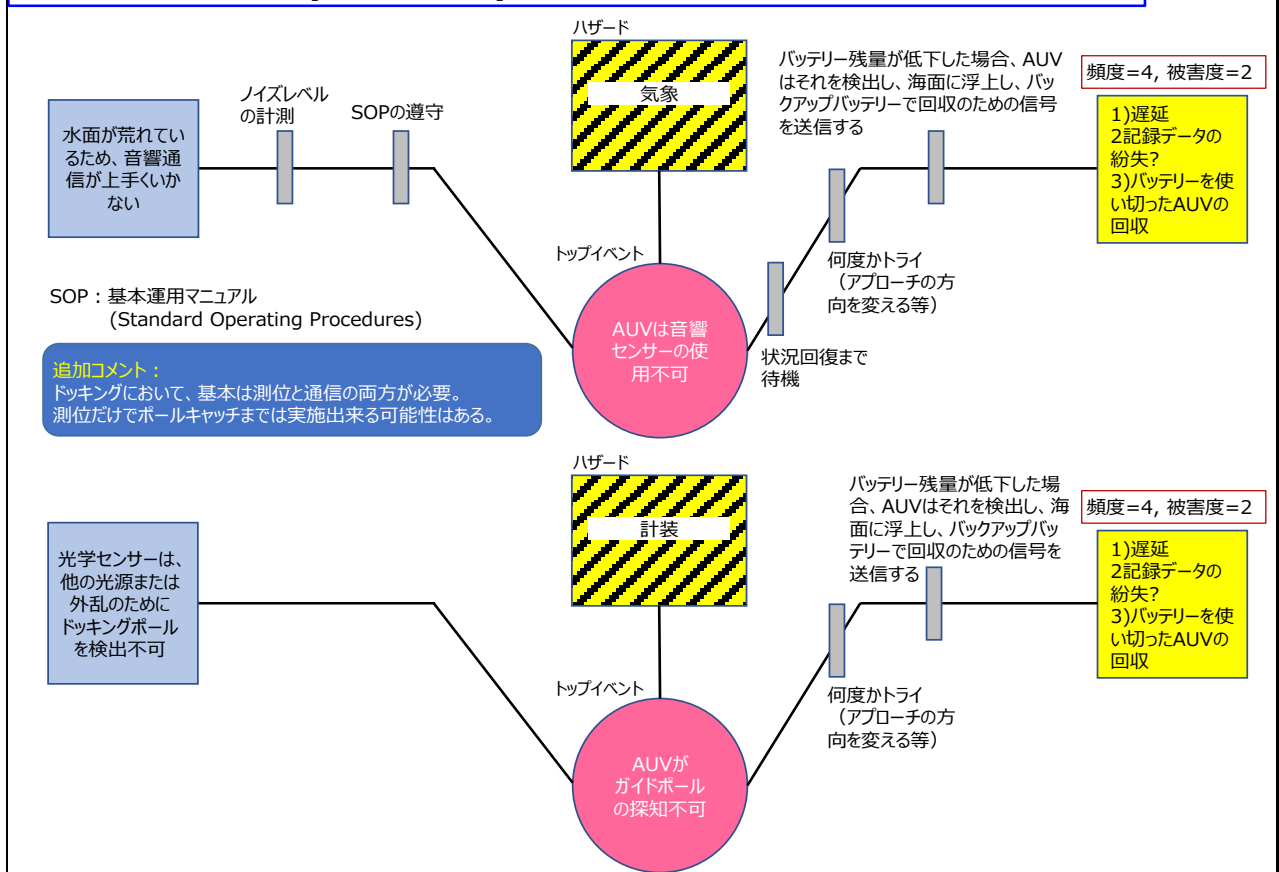
2-2 AUV投入作業（岸壁/港湾区域での揚収）



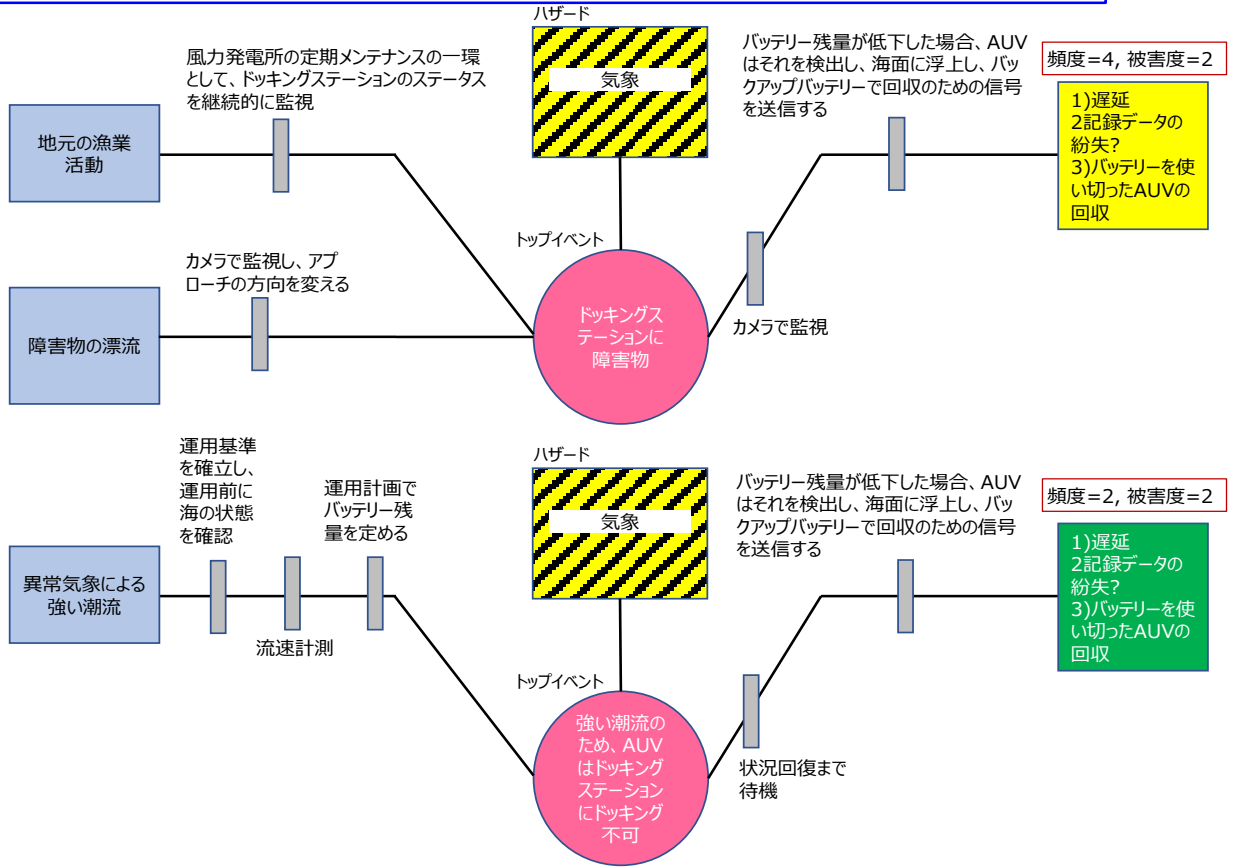
2-2 AUV投入作業（岸壁/港湾区域での揚収）



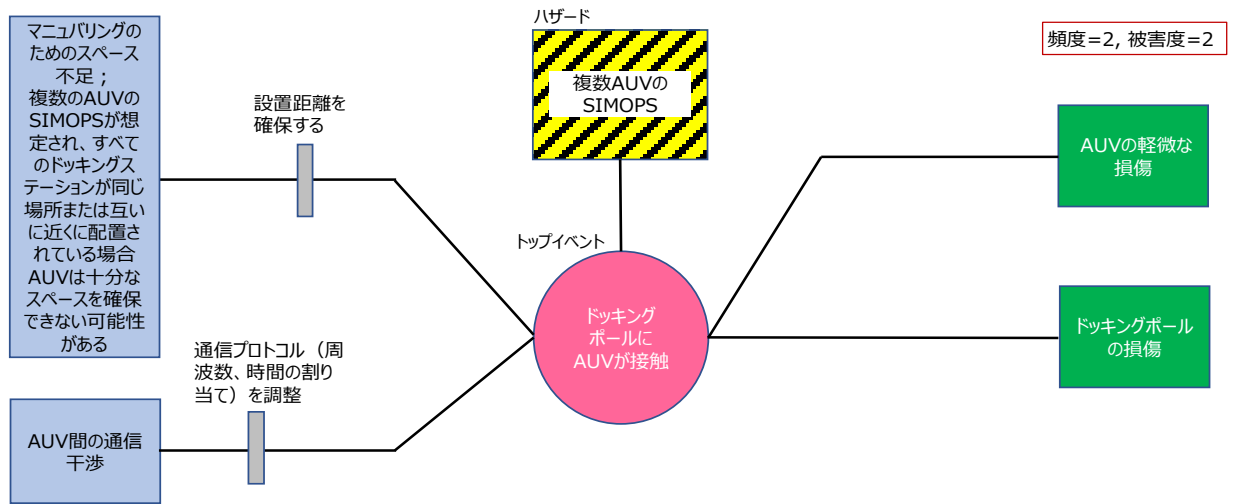
2-3 ドッキング操作(レジデント型)



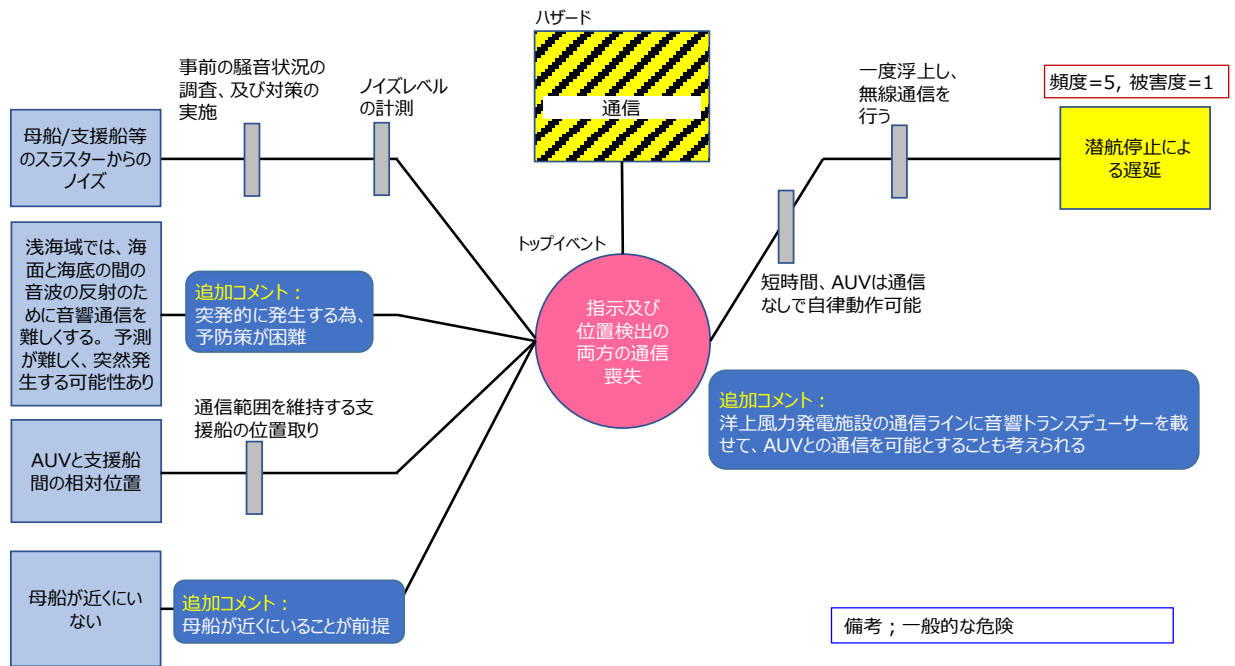
2-3 ドッキング操作(レジデント型)



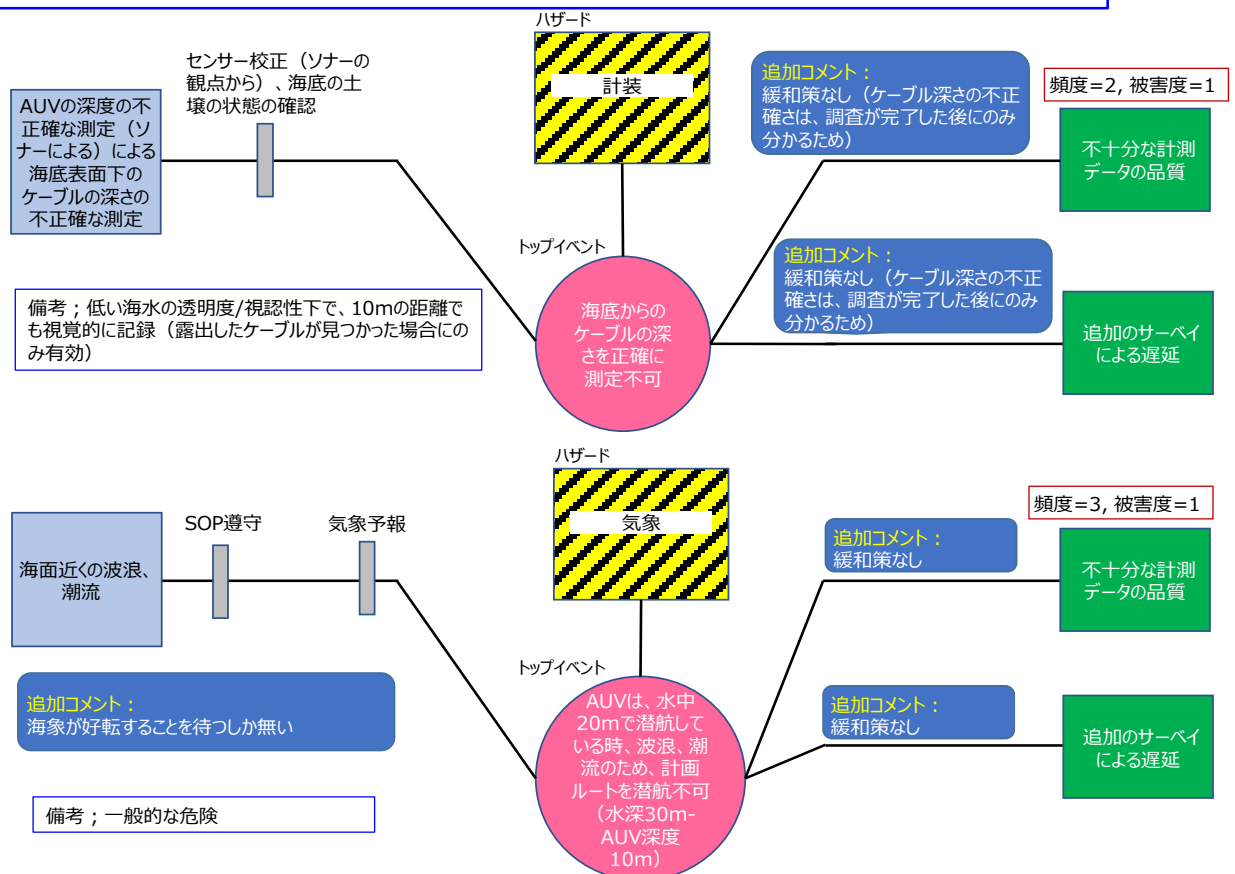
2-3 ドッキング操作(レジデント型)



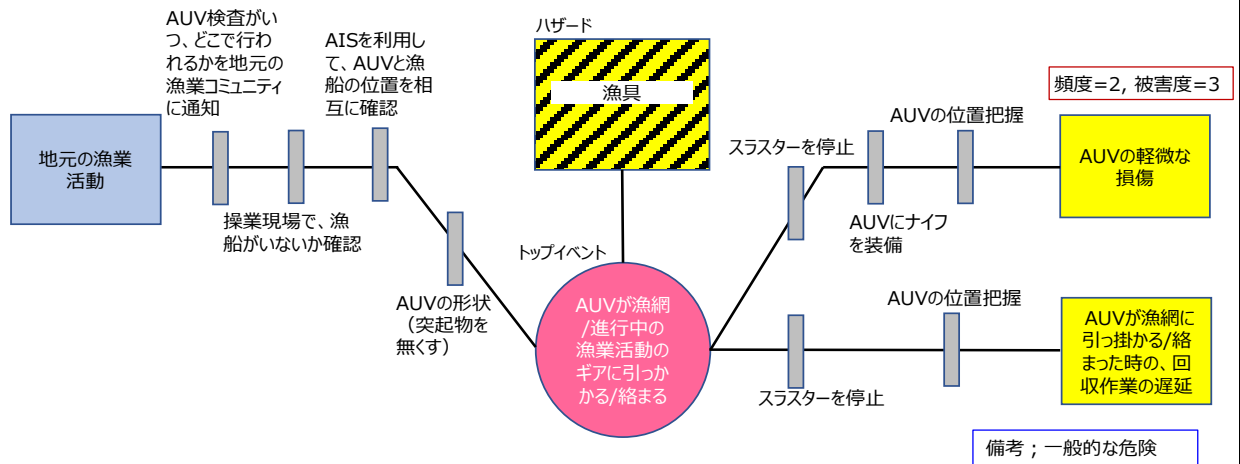
2-4 海底ケーブルの検査



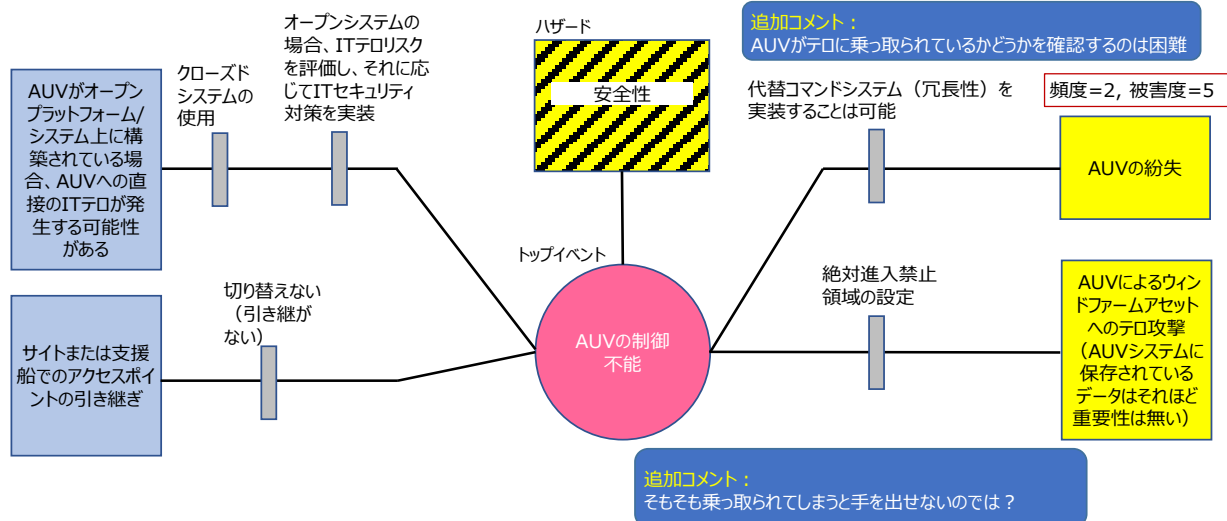
2-4 海底ケーブルの検査



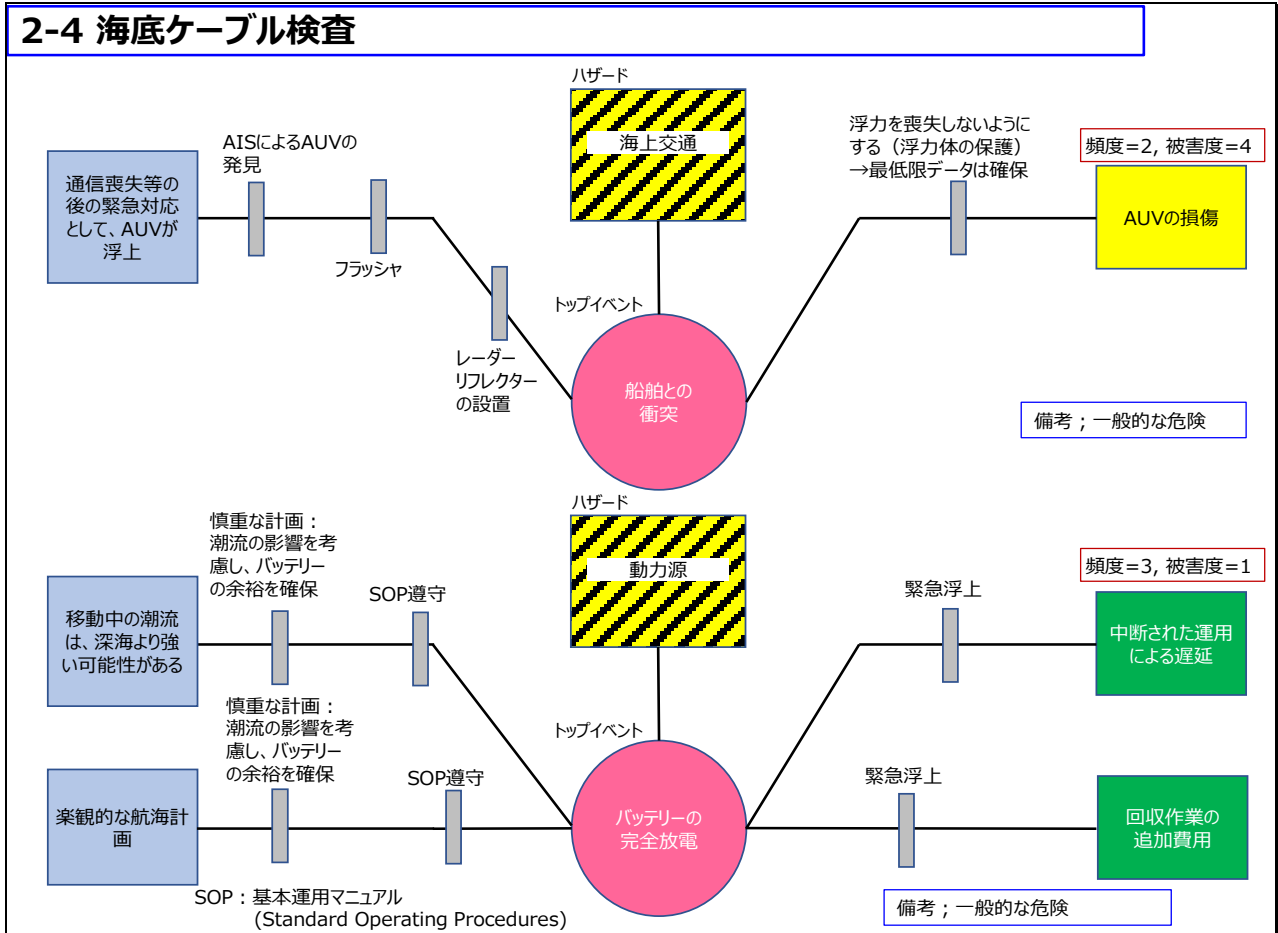
2-4 海底ケーブル検査



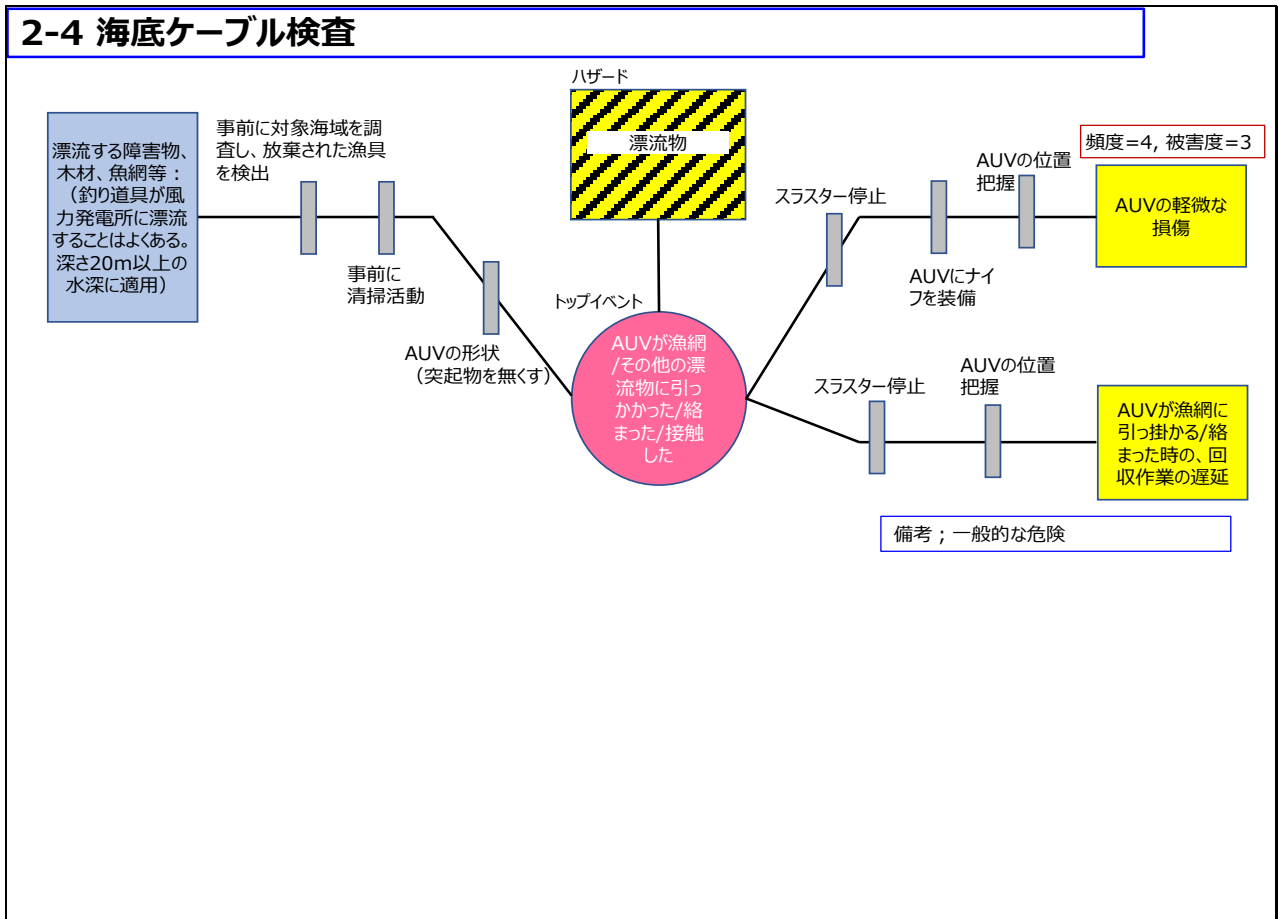
2-4 海底ケーブル検査



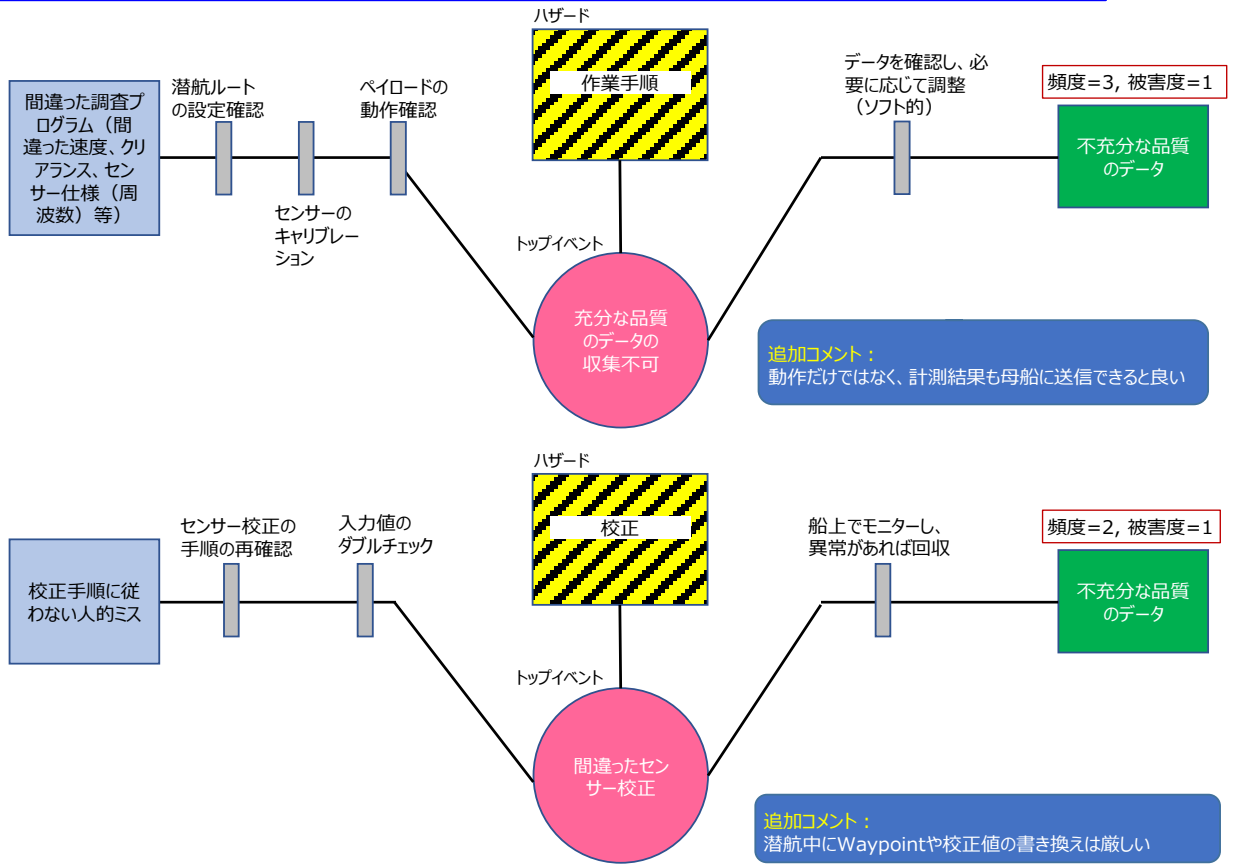
2-4 海底ケーブル検査



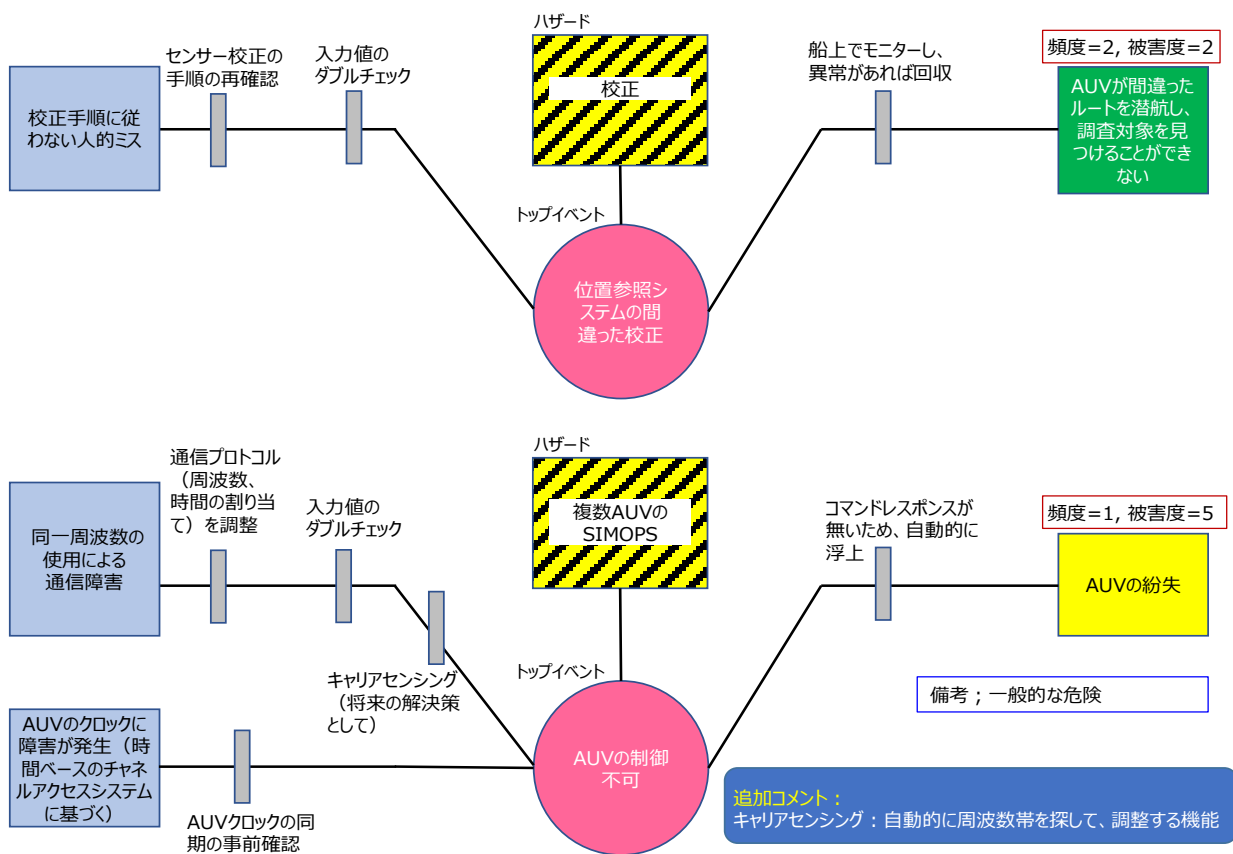
2-4 海底ケーブル検査



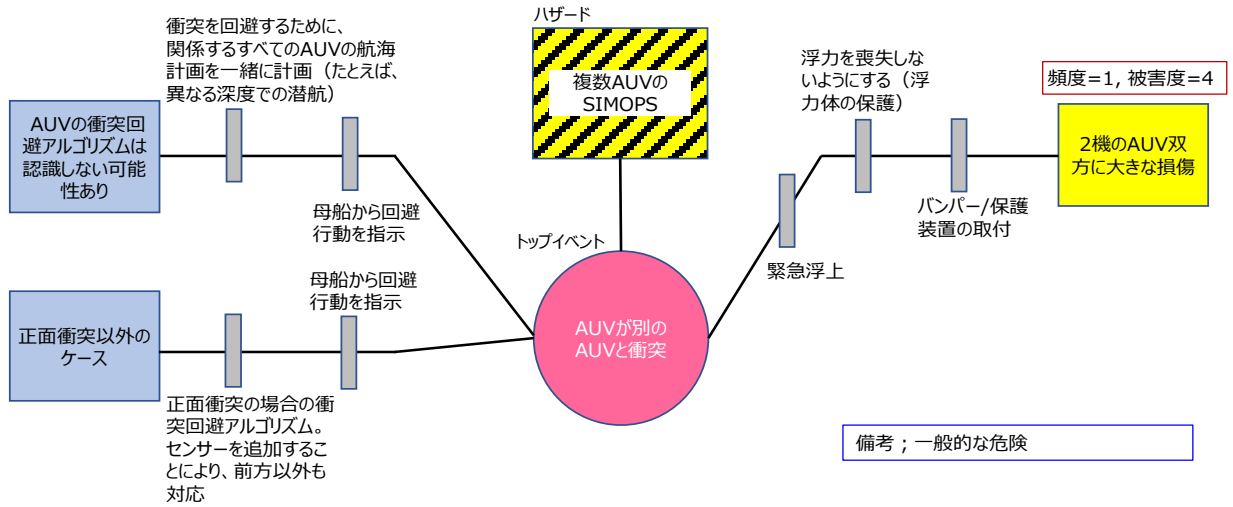
2-4 海底ケーブル検査



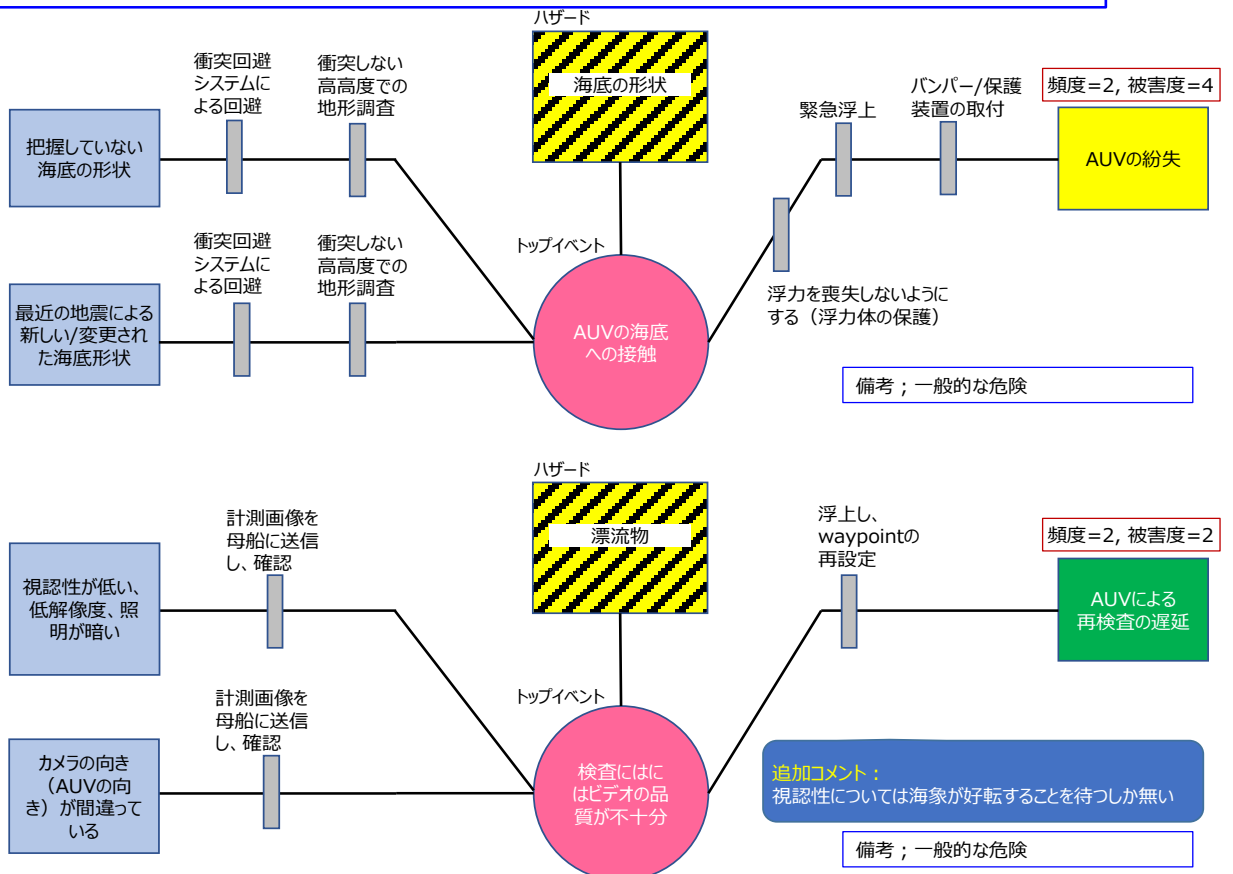
2-4 海底ケーブル検査



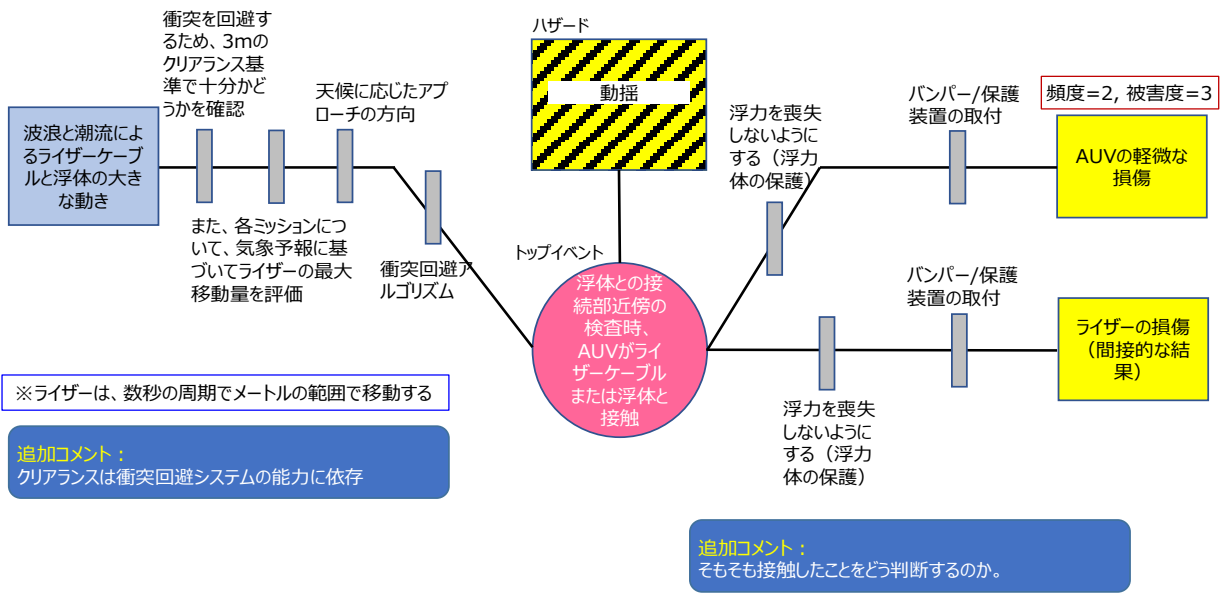
2-4 海底ケーブル検査



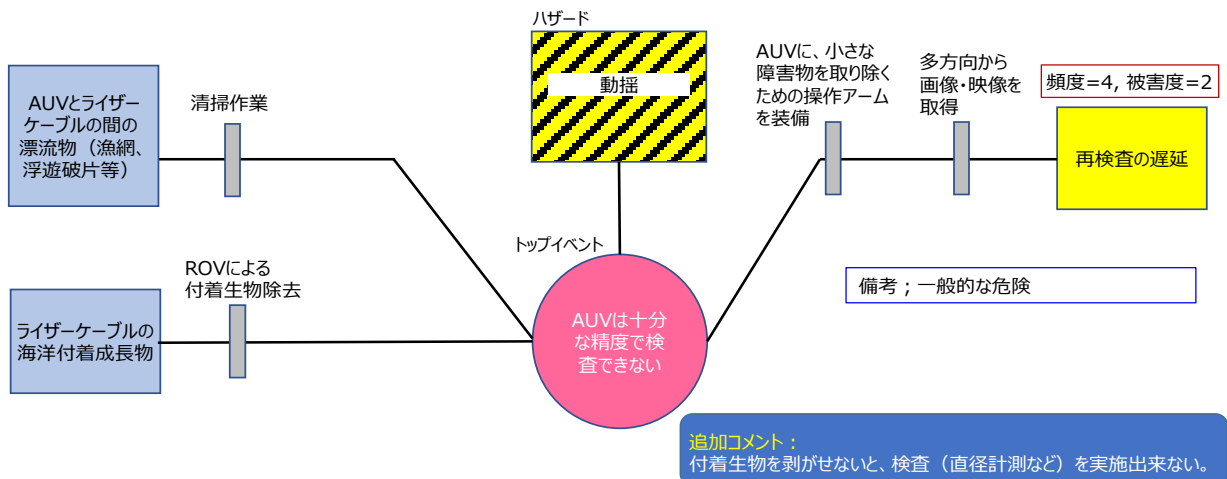
2-4 海底ケーブル検査



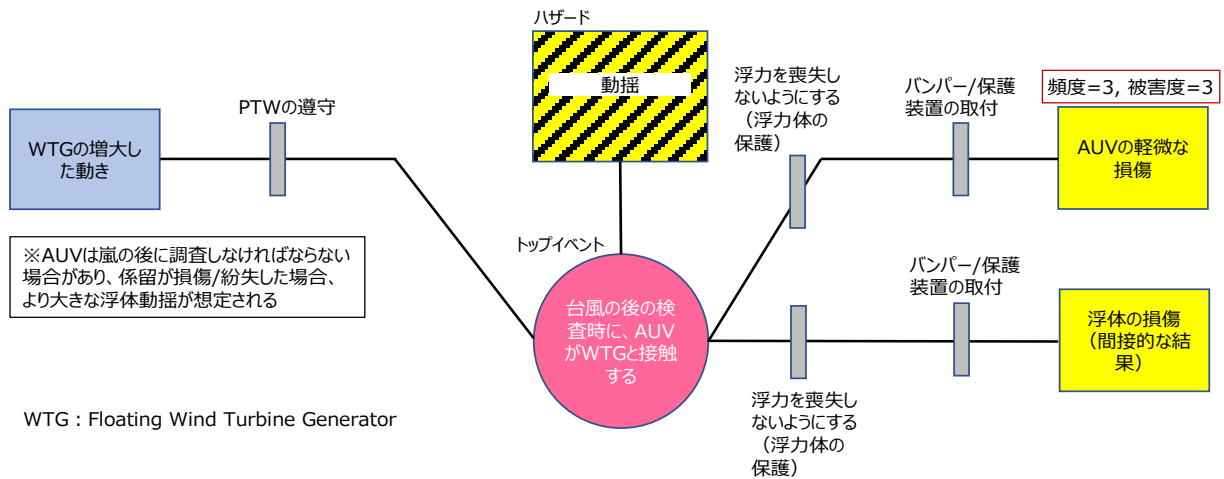
2-5 ライザーケーブル検査



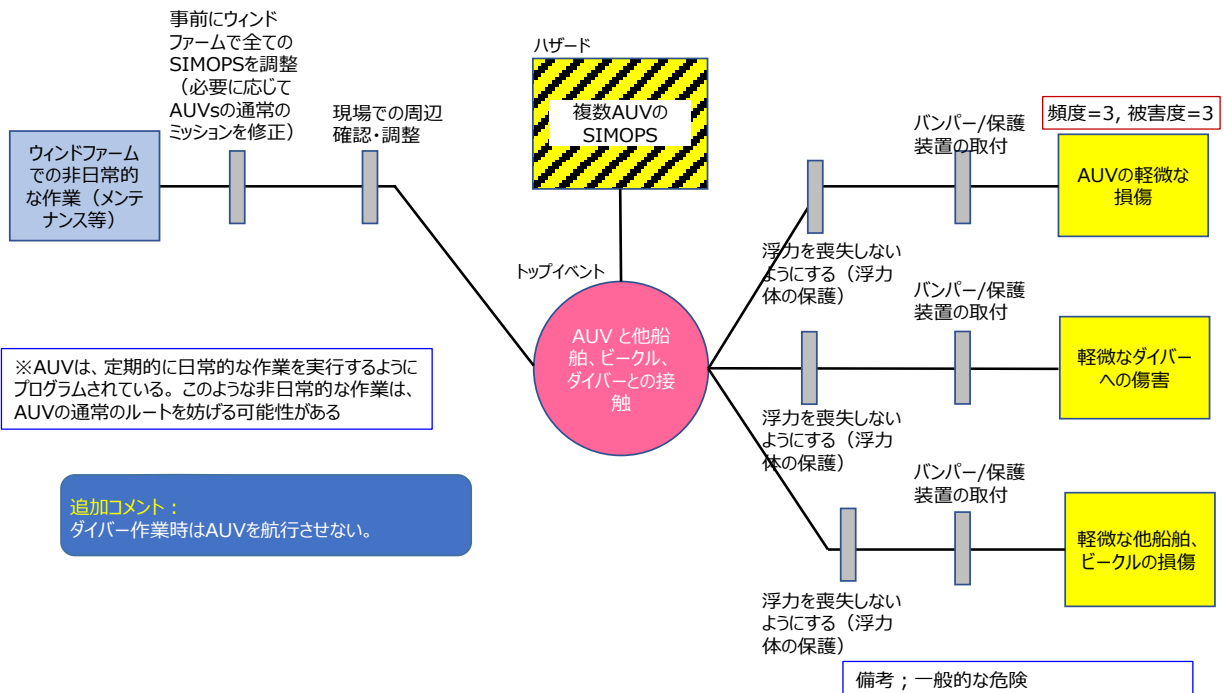
2-5 ライザーケーブル検査



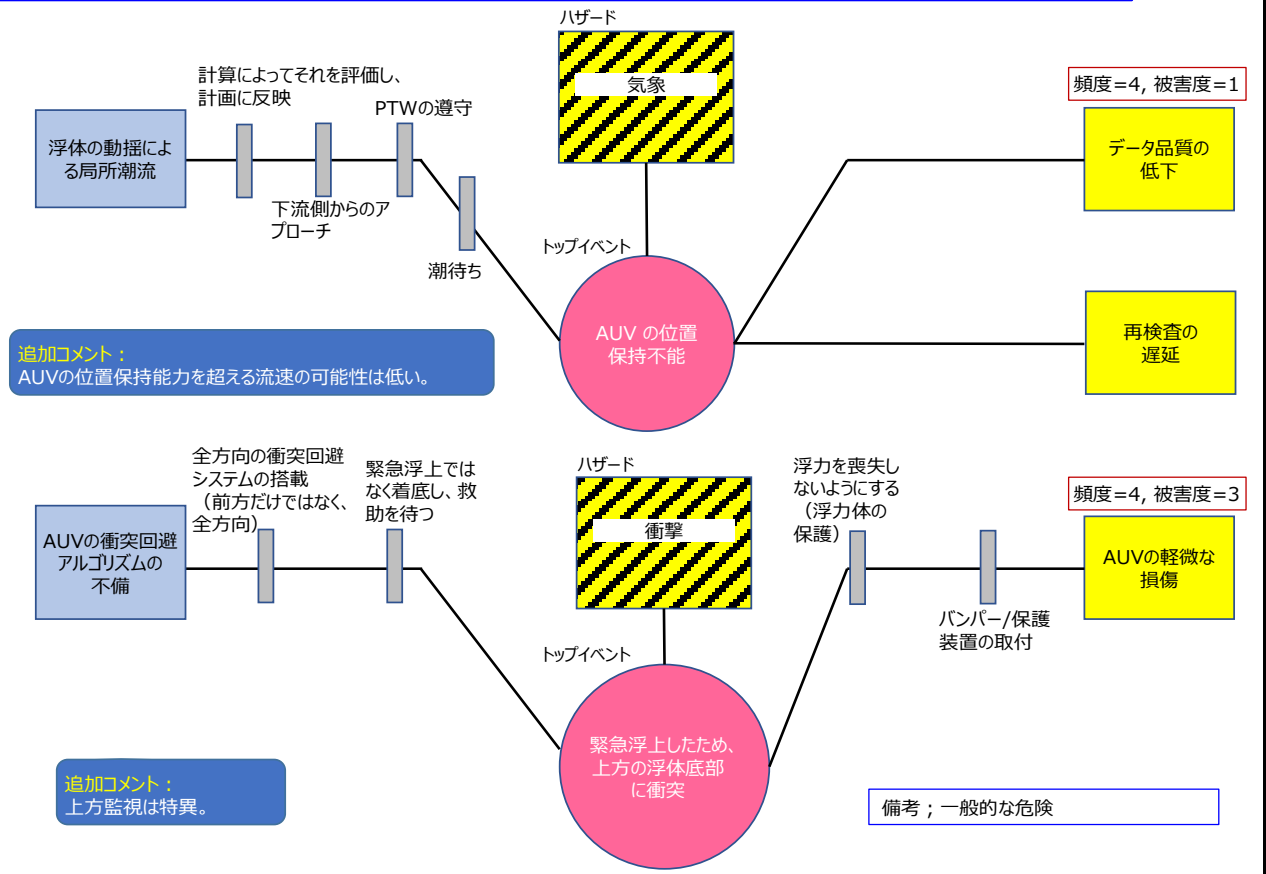
2-6 浮体式基礎の検査



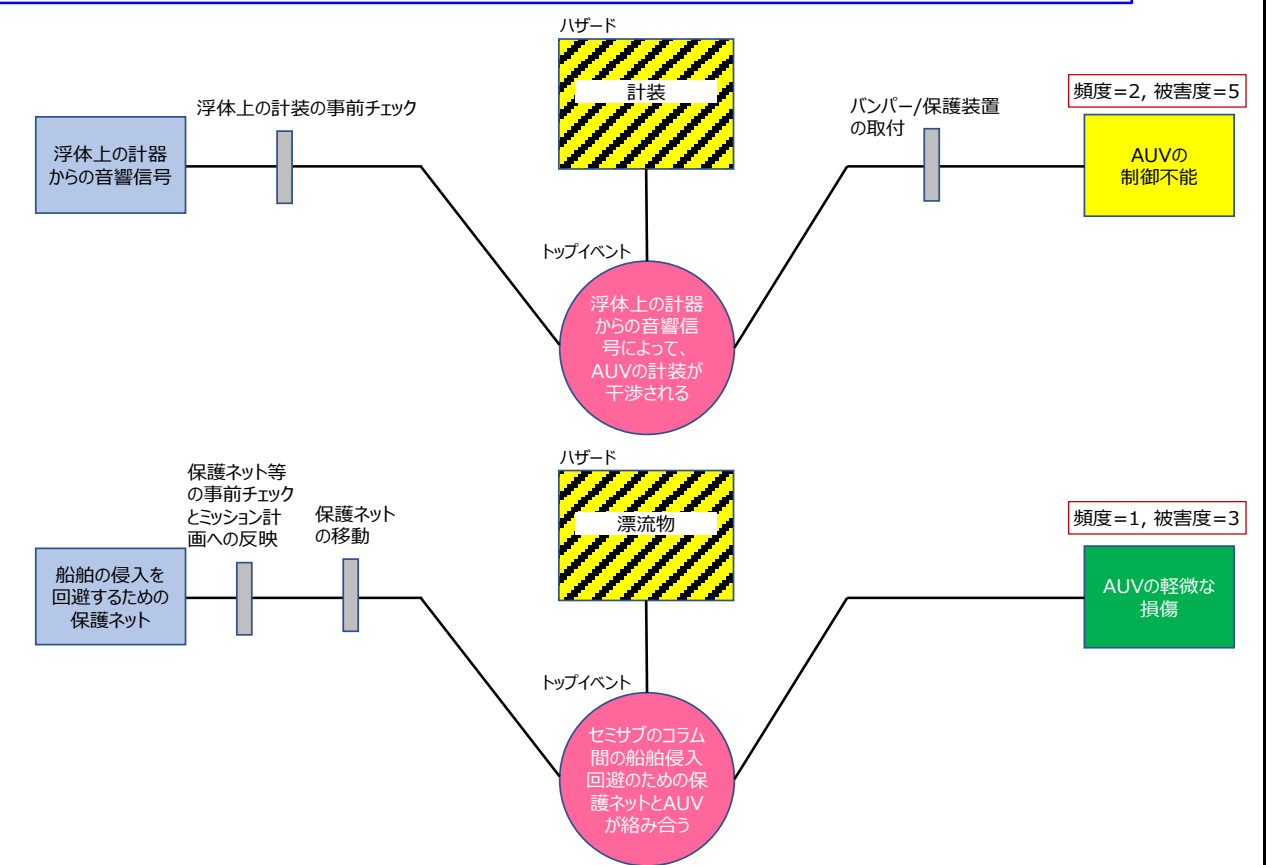
2-6 浮体式基礎の検査



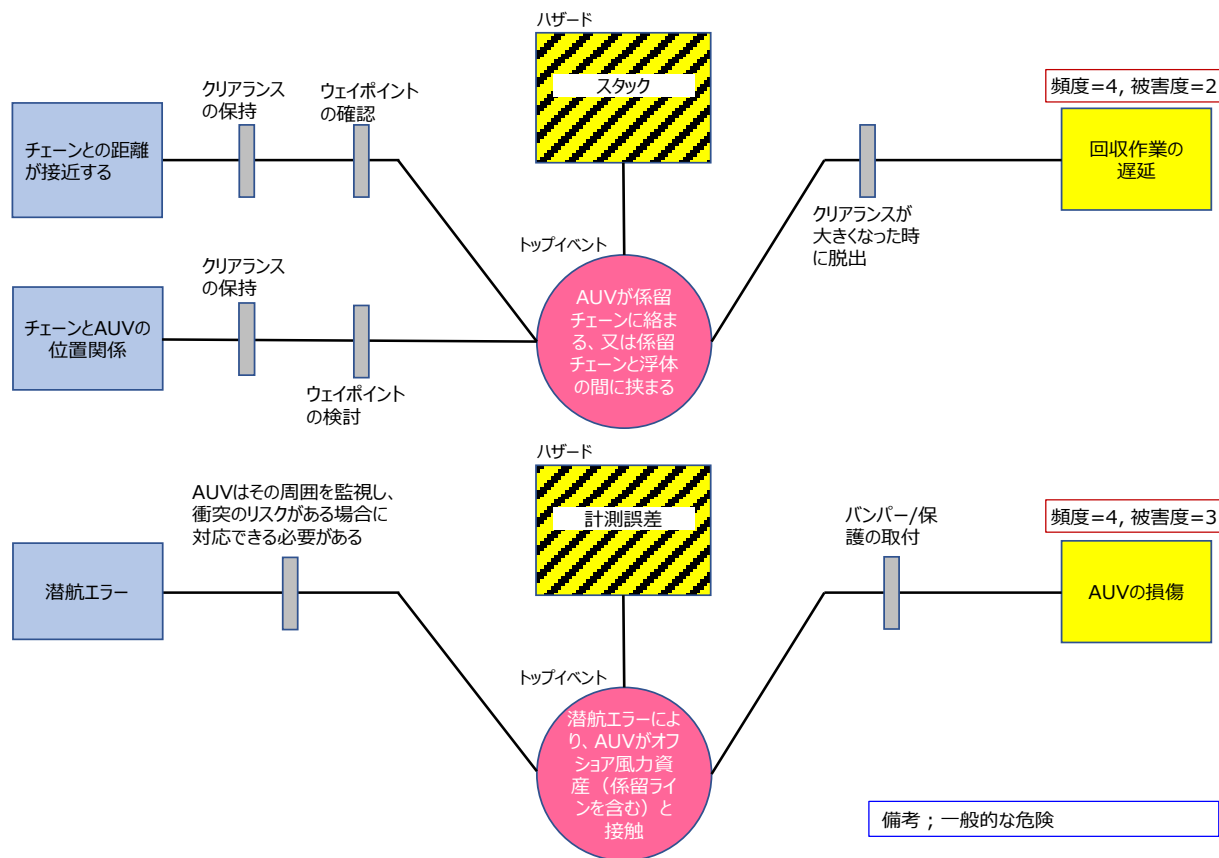
2-6 浮体式基礎の検査



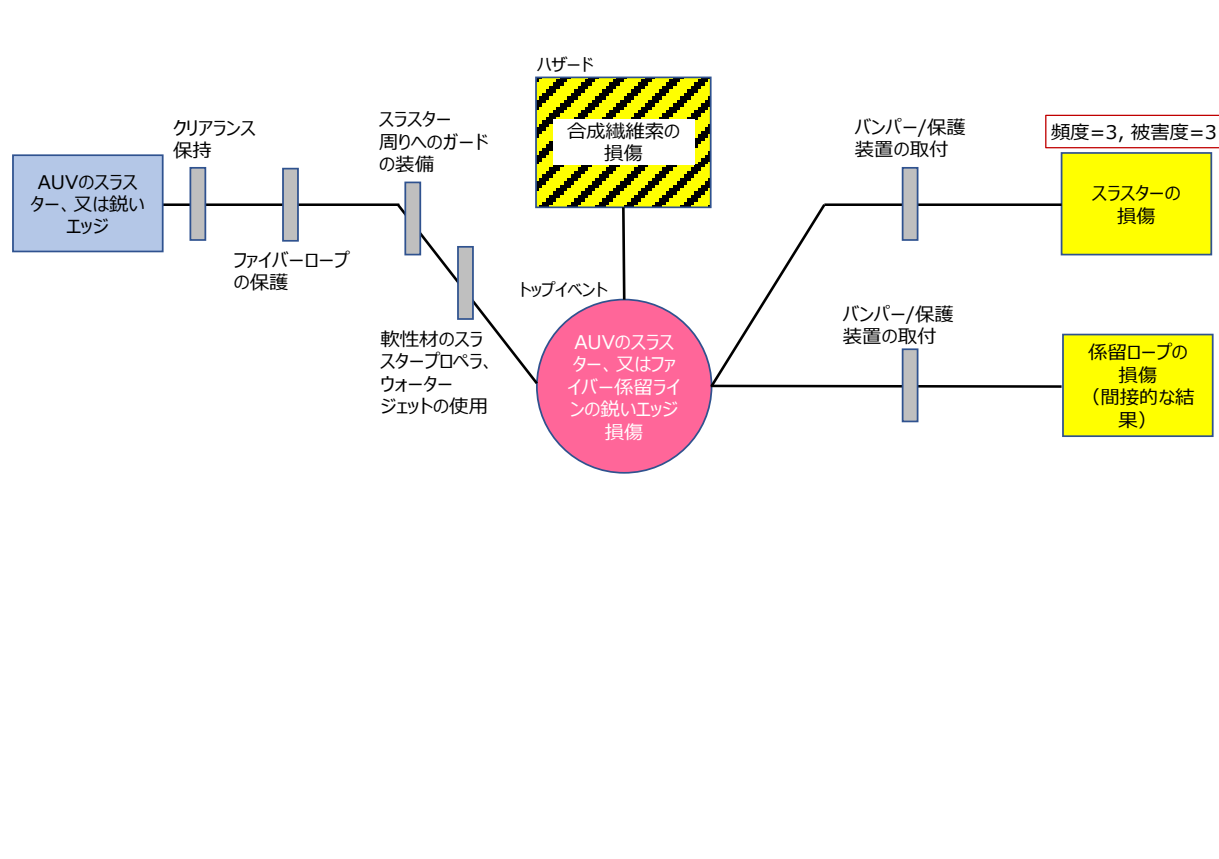
2-6 浮体式基礎の検査



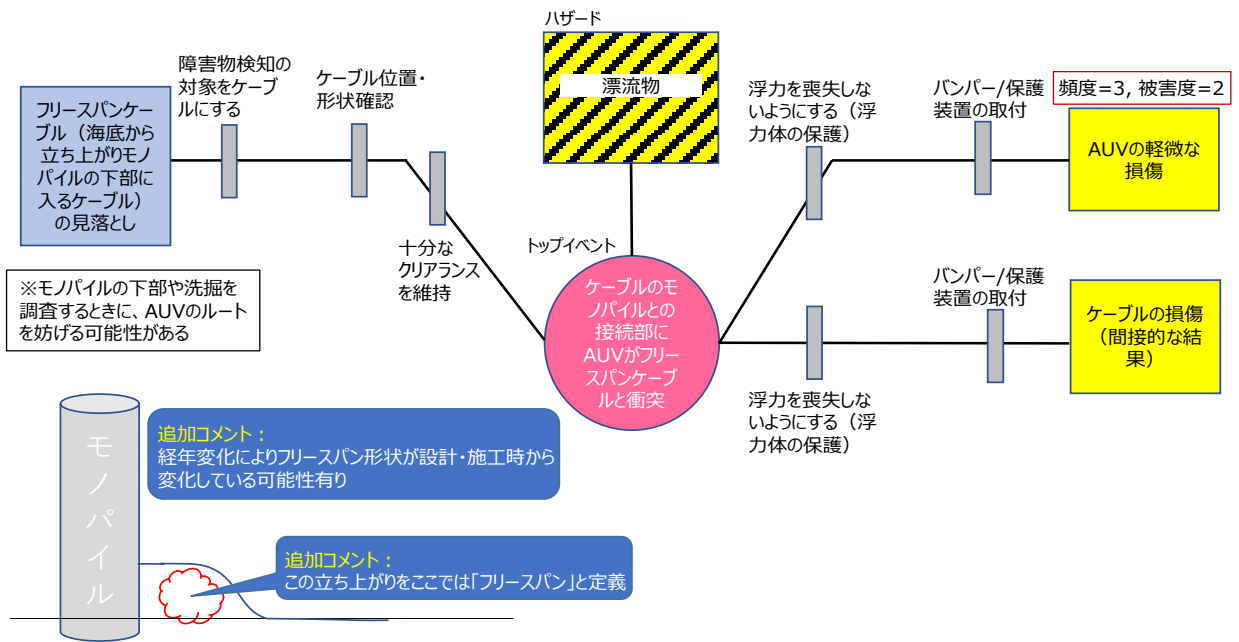
2-7 係留装置の検査



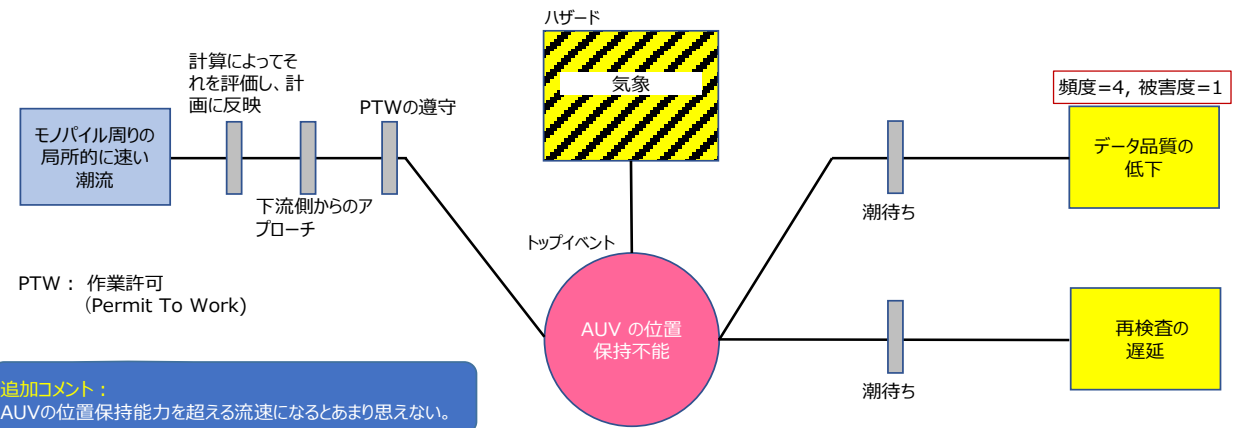
2-7 係留装置の検査



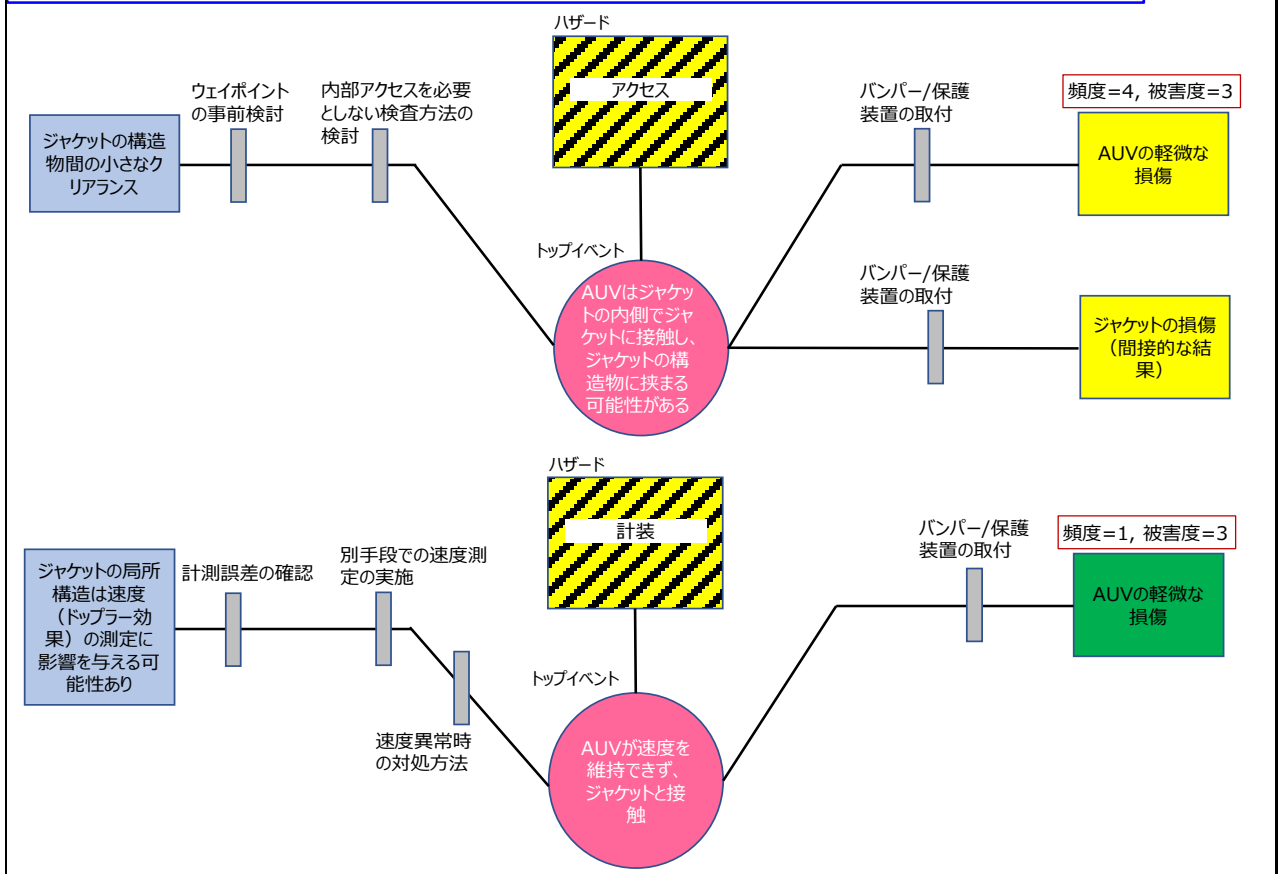
2-8 着床式基礎（モノパイル型）の検査



2-8 着床式基礎（モノパイル型）の検査



2-9 着床式基礎（ジャケット型）の検査



2-9 着床式基礎（ジャケット型）の検査

