

2. 自動運航船のリスク評価の方法と考え方

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 海洋リスク評価系

伊藤博子

本日の内容

1. なぜ自動運航船でリスク評価が必要か ～説明道具としてのリスク～
2. 何を評価するか
3. どう評価するか
 - 工程概観
 - 準備
 - 解析と評価、対策と再評価
4. 結果の取りまとめと活用
 - 認証・機能要件・次工程の詳細解析へ

→ MEGURI2040 (ステージ1/ステージ2) の安全性評価事業で整備してきた考え方をもとに、将来的な自動運航船の運航を想定して、安全性に関して必要な評価の観点と進め方を概観する

1. なぜ自動運航船でリスク評価が求められてきたか

- 自動運航船の実プロジェクトで顕在化した**認識のズレ**
 - 漠然とした無人イメージによる期待と不安
 - 全てを任せるのではなく、運航支援から徐々にという具体像



- 対象および対象の安全に関する認識を見える化し、社会的・制度的に使用可能な安全の**説明道具**が必要
→ そのひとつが、「**リスク評価**」

何をどう使うと

どんな被害
が想定され

どうやって安全
を回復するか

1. なぜ自動運航船でリスク評価が必要か

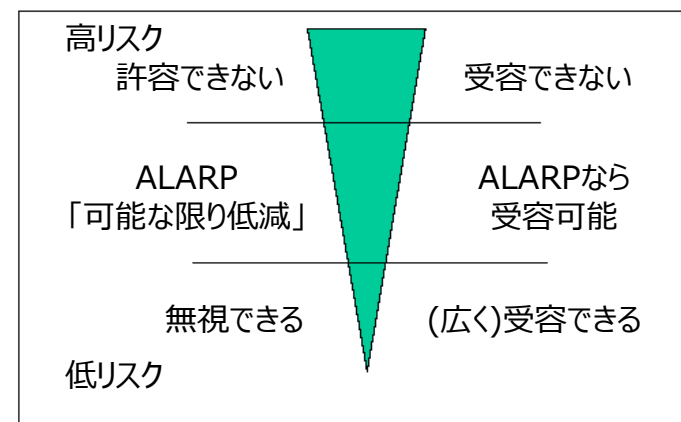
安全の説明道具としての「リスク」

- 安全は一般に、「許容できないリスクから解放されていること」(Guide 51)として扱われる（「リスクがないこと」ではない）
- リスクとは？ → 失いたくないものが、どのくらい失われそうか
 - 「失いたくないもの」の対象 (Guide 51; FSA Guidelines)
 - 人命・健康
 - 環境
 - 財産
 - 「どのくらい」の測り方：被害の規模と頻度の組で表されることが多い
 - リスク = 被害の規模 × 頻度 (Guide 51; FSA Guidelines)

1. なぜ自動運航船でリスク評価が必要か

安全の説明道具としての「リスク」

- 評価で得られたリスクは「許容範囲」か？
 - リスクは受容基準と比較して判断される (ISO 12100; FSA Guidelines)
 - IMOでは、リスクを職業人や公衆の受け入れレベルなどと比較して受容性を判断し、追加対策を正当化するアプローチを採用
 - 3つの領域を設定 (ALARP¹原則)
 - ◆ 許容できない領域
 - ◆ ALARP領域
 - ◆ 広く受容できる領域
- 従来船との比較により安全性を説明
 - ◆ 同等安全性



ALARP原則 (FSA Guidelinesより抜粋、仮訳)

- 「広く受容できる」でなければ、どうすれば良いか？
 - 受容できない: 追加対策により、リスク低減
 - ALARP: 追加対策を検討する

2. 何を評価するか

- 安全に関する**認識のズレ**
 - 自動運航船と従来船の**相違点**から生じる
 - 船舶全体が別物になるわけではない（多くの場合）
 - ほとんどの部分は現状と同じ：既往の安全対策で対応
- 相違点：自動化システムの導入と使用（例：自動運航システム(ANS¹)）
 - **機能**の追加：認知・判断・行動 = ANSで実行できる
 - **運航方法**の変更：ANSの使用・監視・中止 = 新たな役割
 - **使用条件**の新規作成：使用・中止・引継の条件、手順

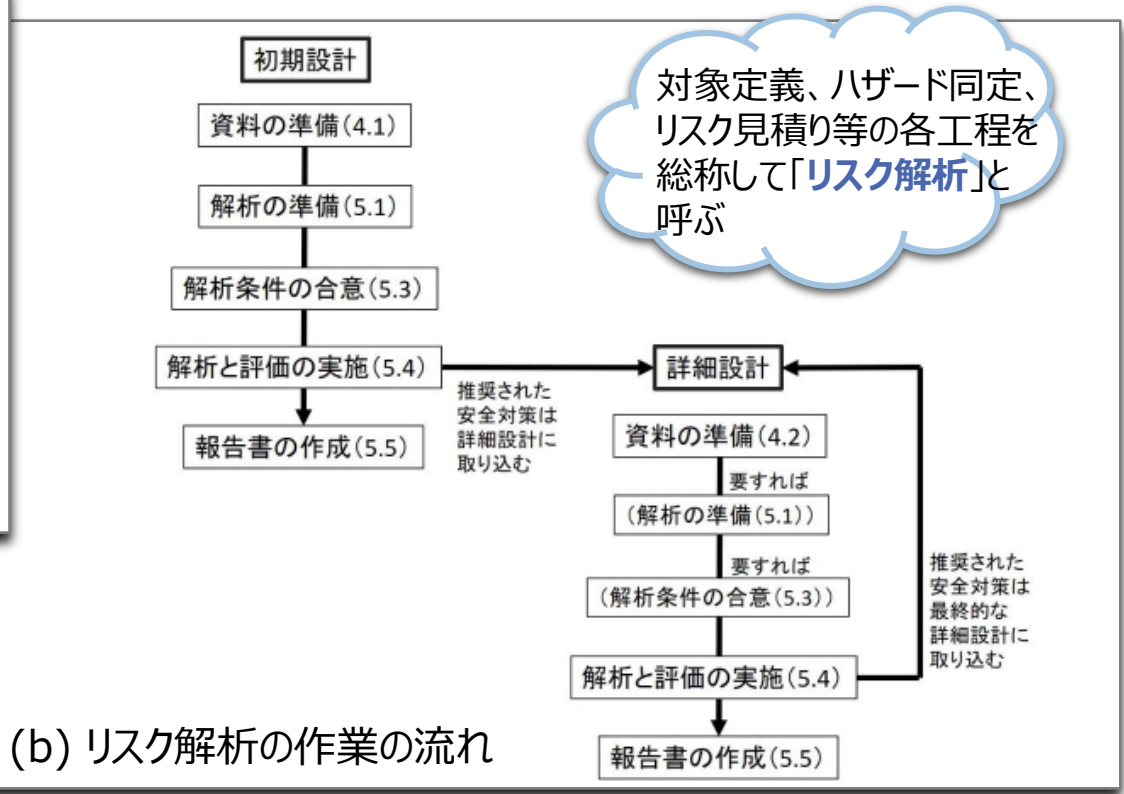
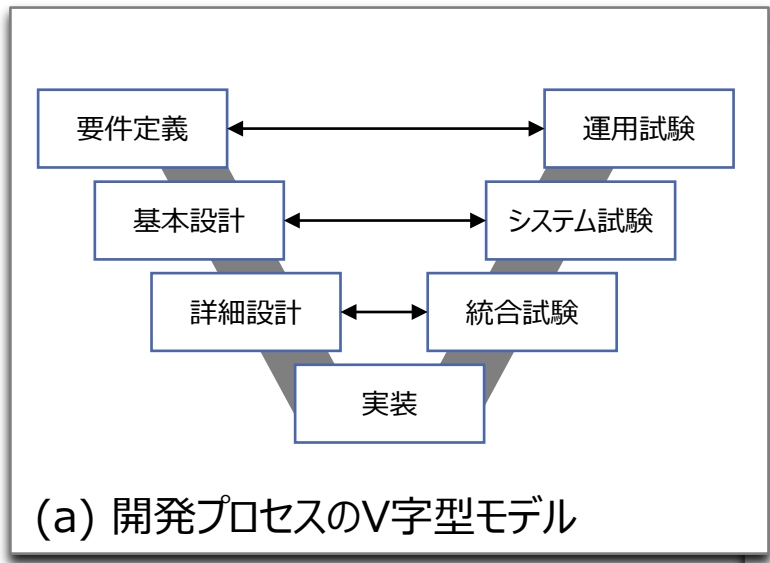
人とシステムの役割
分担が変わる

- 相違点により、**新たなリスク、変化するリスク**：安全性が変わる

↑
自動運航船のリスク評価では、これらを扱う

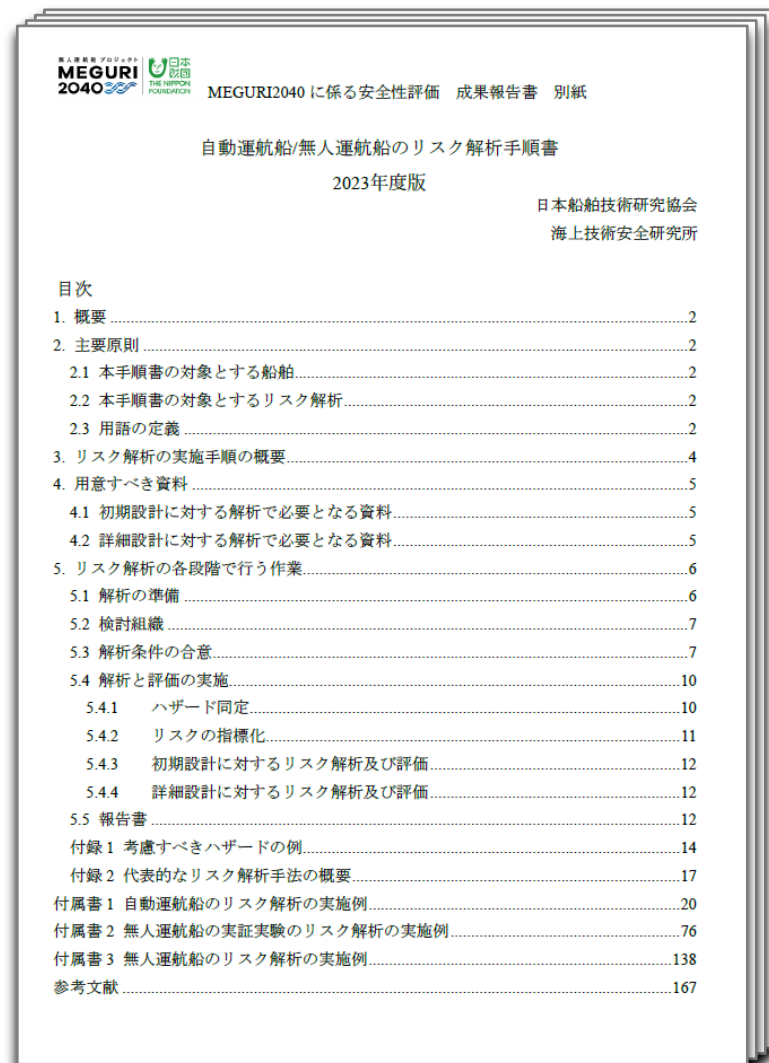
3. どう評価するか: 工程概観

- 安全性評価は、設計、建造の流れと並行して進める
 - 設計段階に合わせて、要求、機能、役割分担が具体化される
 - 設計段階に合わせて、リスク評価のための作業を実施、更新する



自動運航船のリスク解析手順書

- **実施方法のポイント**をまとめた資料
 - 設計～構築の段階に応じた進め方
 - 解析条件
 - 検討組織や意思疎通プロセス
 - 解析・評価の実施方法
 - 作成する資料の例示: ステージ1の実船の経験を踏まえ、公開可能な解析事例として2船型×3操船タイプの6モデル船を設定
 - 自動運航船
 - 無人運航船の実証実験
 - 無人運航船



3. どう評価するか

解析の準備: 評価対象の定義

- 従来船との相違点となる機能、運航方法、使用条件を具体化する
 - 同じ機能であっても、目的によって運航方法や使用条件が異なる
 - 実現したい運航を決め、必要な機能と役割分担を明瞭化する

ゴール → 機能 → 役割分担 → 想定シナリオ → リスクの評価 (対策)

ゴール (目的) によって異なる運航方法の例

船員が承認した経路に従い自動運航することで、操舵関連の作業を減らしたい

自動運航船
(船員承認あり)

無人運航船を商用導入する前に機能や安全対策の確認を行いたい

無人運航船の実証実験

港外航行時に、船員が各経路を承認せずに自動運航することで、見張り操舵関連の作業を減らしたい

無人運航船
(港外航行のみ自動)

3. どう評価するか

解析の準備: 評価対象の定義 (運用概念の具体化)

- 「実現したい運航」を具体化、明文化する (運用概念 (ConOps¹))
 - どのような時にどう使うか
 - 要素間の連携
 - ODD外の対応

(a) 運用概念 (ConOps¹) の記載例

- 自動運航の方法
本機能を搭載した船舶の自動運航は、想定使用範囲内の航路において、船上の船員から作業を引き継ぎ、船員による動作確認の下、機能を動作させることで行う。想定使用範囲内の航路内の自動運航を完了し、船員へ作業の引渡しを完了するところまでを自動運航の範囲とする。なお、航路の中途において運航設計領域の外に出た場合は、想定使用範囲内であっても船員に作業を引き渡すことで自動運航を終了する。
- 当該機能のモニタリング手段
本機能が収集したセンサ情報、統合されたセンサ情報、作成された操船計画、運航設計領域内における本船の位置づけは、全て船内の専用モニタリング装置によって、船員に対して常時提供される。
- 自動運航中に運航設計領域から外れた場合の対応手順
運航設計領域から外れたことは、本機能によって検知され船内警報により船員に通知される。船員は決められた手順で、操船モードを自律操船モードから手動操船モードへ切替えることで、操船権は船員に引き継がれる。

自動運航船
(船員承認あり)

無人運航船の実証実験

無人運航船
(港外航行のみ自動)

	自動運航船 (船員承認あり)	無人運航船の実証実験	無人運航船 (港外航行のみ自動)
適用範囲	港外・港内・離着岸	実験用に選択した海域	港外
自動運航機能	<ul style="list-style-type: none"> ● 航海計画を目標として運航 ● 他船・漂流物・気象海象に応じて操船計画を作成、制御 		
人の関与	<ul style="list-style-type: none"> ● 船員が操船計画を承認する 	<ul style="list-style-type: none"> ● シャドー要員が常時監視、動作確認、異常時にオーバーライド 	<ul style="list-style-type: none"> ● 出域時に船員が昇橋、周囲状況把握、モード切替、手動操船

¹ConOps: Concept of Operations (MASSコード, MSC 111/WP.9 Annex1; Itoh & Matsuoka (2024): Exploring ConOps Prototypes for Initial Risk Assessment of Autonomous Ship Operations, PSAM17&ASRAM2024)
出典: (a) MEGURI2040に係る安全性評価成果報告書別紙 自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書
2023年度版 付録2 Table 1.4より一部抜粋

3. どう評価するか

解析の準備: 評価対象の定義 (条件設定と役割分担の例)

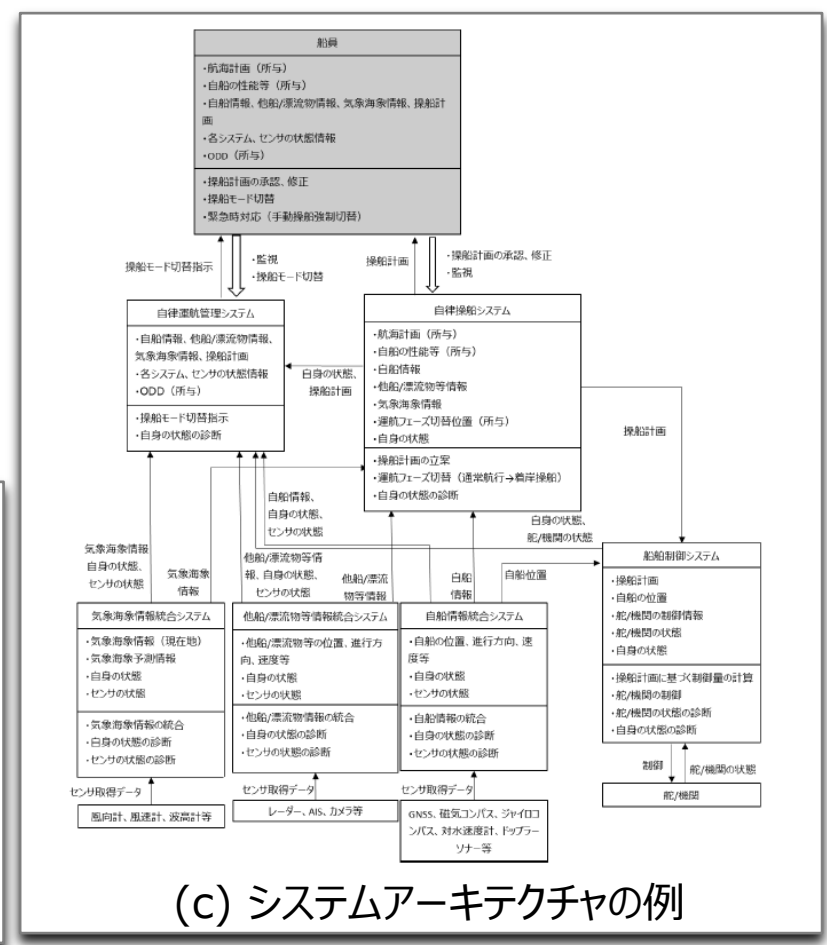
- ConOps実現に必要な機能、運航方法、使用条件を整理する

(a) 自動化システムと人間の役割分担表の例

Task	自律操船システム	自船情報統合システム	他船/漂流物等情報統合システム	気象海象情報統合システム	船舶制御システム	自律運航管理システム	船員
運航フェーズ切替	①切替						②監視
自船の情報取得		①情報取得/統合					②監視
他船/漂流物等の			①情報取得				②監視

(b) 自動化システムの運航設計領域(ODD¹)表の例

海域条件	
航行区域	指定された航路
離着浅する港内水域	港内での方向転換に必要な占用水域があること:: 3L の占用水域
離着浅する栈橋水域	離着岸に必要な占用水域があること:: 0.5L の占用水域
輻輳度	低い輻輳状態:: 3nm レンジ内に 8隻まで
AIS 非搭載船及び障害物	システムが感知できない AIS 非搭載船や障害物等が無いこと:: 500m 以内に大きさ 1m 以下の危険な障害物が無い



(c) システムアーキテクチャの例

3. どう評価するか

解析条件の合意：ステークホルダ間で事前に

- 被害の対象の選定：人命・環境・財産の全部/一部
- 頻度、深刻度、リスクの指標、許容/ALARP領域の下限クライテリア
- リスク低減対策後に再評価するか
- 検討組織の構成（対象に関する専門家を中心に）

(a) 頻度の指標の定義例

FI	頻度	定義	F (per ship year)
7	頻繁	1隻において月に1度発生	10
5	時々	10隻において年に1度発生	0.1
3	稀な	1,000隻において年に1度発生	10 ⁻³
1	非常に稀な	全世界 5,000隻あったとして生涯中に1度発生	10 ⁻⁵

(b) 深刻度の指標の定義例

SI	深刻度	人間への影響	船体への影響	S (死者数換算)
1	小さな影響	単一負傷者又は複数の軽傷者	局所機器の損傷	0.01
2	大きな影響	複数の負傷者又は重傷者	重大で無い損傷	0.1
3	深刻な影響	単一の死者又は複数の重傷者	重大な損傷	1
4	破滅的影響	複数の死者	全損	10

FI	頻度	深刻度 (SI)				
		1 小さな影響	2 大きな影響	3 深刻な影響	4 破滅的影響	
7	頻繁	8	9	10	11	リスク低減が必要
6		7	8	9	10	
5	時々	6	7	8	9	
4		5	6	7	8	
3	稀な	4	5	6	7	リスク低減の検討が必要
2		3	4	5	6	
1	非常に稀な	2	3	4	5	
対応不要						

(c) クライテリアの設定例

出典：(a), (b) MEGURI2040に係る安全性評価成果報告書別紙 自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書 2023年度版 表5.1, 5.2 (IMO FSA guidelineにもとづく)

(c) MEGURI2040に係る安全性評価成果報告書別紙 自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書 2023年度版 図5.1

3. どう評価するか

解析と評価の実施: 何が起こりえるかを洗い出す

- ハザードを同定する¹
 - 場面を設定する
 - ハザード (危険源) を挙げる
 - 原因・結果を確認する
 - 既存の対策を確認する
- リスクの指標化
 - 被害の頻度と深刻度を特定する
- 許容範囲かどうかを判断する

自動運航船の解析と評価の例

場面
離着岸

ハザード

緊急時対応 (手動操船強制切替) の誤り

原因

- 操船モード切替機能の故障
- 船員が切替方法に習熟していない
- 他タスクによる注意散漫、時間的切迫

結果

- 岸壁、他船/物標、浅瀬に異常接近
- (単) 衝突、座礁、転覆・沈没

既存の対策

- 操船モード切替方法のマニュアル整備
- 船員の事前訓練

指標

SI = 大きな影響 → 2

FI = 1隻年あたり1回 → 6

RI = 8

許容範囲か

RI = 8 → リスク低減が必要

¹SWIFT, FMEA, STPA, SMB-HAZIDなどで実施可能
出典: ClassNK 自動運航、自律運航に関するガイドライン Ver.2.1,
2025
MEGURI2040に係る安全性評価成果報告書別紙 自動運航船/
無人運航船のリスク解析手順書 2023年度版

3. どう評価するか

解析と評価の実施：追加対策と再評価

- 判断結果
 - 「許容できない」領域の場合、追加対策（バリア）を立案
 - 対策後のリスクを再評価
 - バリアの種類・数を踏まえ
- 従来船との同等安全性
 - FIを主指標として比較する

自動運航船の解析と評価の例

追加対策

- 船員の事前訓練方法の確立

指標（再評価）

SI=大きな影響→2

FI=10隻年あたり1回→5

RI=7

許容範囲か

RI=7 → リスク低減を検討

Sheet ID: 2

Phase: 離着岸

(a) HAZIDワークシートの例

MEGURI2040での論点

- 個別シナリオの頻度を条件付きで見積る
- 人的過誤率は作業内容と表示方法で設定
- バリア効果の過大評価を避ける

ID	Hazard	Causes	Consequences	Existing Safeguards	Index (before)			Recommendation	Index (after)			Comments
					SI	FI	RI		追加対策	SI	FI	
	ハザード	原因	結果	既存の安全対策	SI	FI	RI	追加対策	SI	FI	RI	コメント
船員												
73	緊急時対応（手動操船強制切替）の誤り	C73.1 操船モード切替機能の故障 C73.2 船員が切替方法に習熟していない C73.3 他タスクによる注意散漫、時間的切迫	E73.1 岸壁、他船/物標、浅瀬に異常接近 E73.2 (単)衝突座礁、転覆・沈没	・操船モード切替方法のマニュアル整備 ・船員の事前訓練	2	6	8	船員の事前訓練方法の確立	2	5	7	※下記は更なる安全性向上に向けた推奨事項・船員のワークロード管理（発生しうるタスクの量に応じた船員数の確保、自動化の導入などによるリソースの補充）

出典：(a) MEGURI2040に係る安全性評価成果報告書別紙 自動運航船/無人運航船のリスク解析手順書 2023年度版
付録2 Table 1.8 より一部抜粋、再構成

4. 結果の文書化と活用: 社会実装のための説明手段として

報告書の主な内容

対象の定義

- システムの定義
- 前提条件
- 運用概念

解析結果

- ハザード、原因、結果
- 既存の対策
- SI/FI/RI指標と評価
- 追加の対策
- 対策後の再評価

重要な機能

機能要件へ (例: MASSコードにおける
ゴールベースの機能要件の原案創出)

制度議論に向けた情報基盤として

重要な防御策

- 重要な機能とその防御策の関係
- 見積り法整理による頻度の見積りの妥当性と透明性
- さらなる確認事項の抽出 (シミュレーション評価など次の安全性評価工程へ)

認証に向けた説明資料として

まとめ

- 自動運航船の安全性評価
 - 安全性評価の一部として、リスク評価を体系的に実施するための解析手順と考え方を、MEGURI2040で整備してきた
 - リスク評価は、単に「安全/危険」を決めるのではなく、「被害に至る条件、役割分担、シナリオ、対策（バリア）」を体系的に抽出・整理する方法
 - 得られた評価結果は、シミュレーション評価などの後工程に引き継がれるとともに、認証や機能要件の根拠資料としても活用される
 - 整備したリスク解析手順は、社会実装や制度整備に向けた、説明可能な安全性評価の基盤となる