

第112回セーフティネットワークジャパン定例会

機械とソフトの違いによる安全文化の違い

～自動車開発に32年たずさわってきて～

しくみデザインLab.

代表 齊藤 智明

saito@shikumi.design



オンライン名刺
(eight)

1. はじめに
2. 自動車会社での経験
3. 機能安全と本質安全
4. 自動運転技術

- 制御工学科出身
- 計測・制御エンジニア（元SICE委員）
- 日本信頼性学会 理事

- 1988年 東京工業大学工学部制御工学科卒
- 1990年 東京工業大学大学院 画像処理研究 修士卒

- 1990年 マツダ株式会社入社
- 1990年～1995年 横浜技術研究所 電子制御領域
- 1995年～2010年 本社技術研究所 電子制御システム領域
- 2010年～2015年 パワートレイン開発本部 電気駆動システム領域

- 2016年～'17年6月 テュフラインランドジャパン（電子ミラーの認証ビジネスの立ち上げ）
- 2017年7月～ 株式会社 ISIDエンジニアリング MBD関連の技術コンサルタント
- 2022年1月～ 株式会社 電通国際情報サービス DX関連の技術コンサルタント

■マツダ時代 (1990~2015年)

SKYACTIV本格化

1990年
9月1日

1995年
7月20日

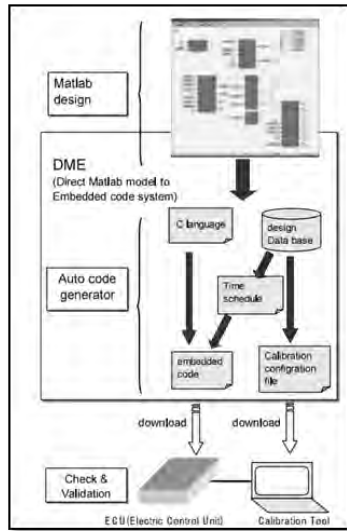
2005年
4月1日

2009年頃
2010年
10月1日

2015年
12月31日

▲
横浜技術研究所に配属

電子制御システム開発
のためにMBDの開発に着手



'91~'03年

▲
本社技術研究所に異動

MBDの効果を示すため
クリーンディーゼルエンジンの
電子制御開発を担当



'95~'08年
System-A,B,C,D

▲
代替燃料プロジェクトに異動

MBD開発を量産に展開するため、
水素自動車の電子制御開発リーダーを担当



'04~'06
国内リース向け 水素自動車



'06~'08
国内リース向け 水素ハイブリッド車



'09~'10
ルウェーリース向け 水素自動車

▲
電気駆動プロジェクトに異動

短期でマツダの電動化戦略の立案および
要素技術開発するため (MBD開発を最大限活用)



'10~'13
レンジエクステンダー用
ロータリーエンジン発電機



'10~'15
次世代SKYACTIV用
ハイブリッドシステム

写真の出典：マツダホームページ <https://www.mazda.co.jp>

▲
退職

■テュフラインランドジャパン時代 (2016~2017年)

① 認証ビジネスの立ち上げ (車載用電子ミラー) UN-R46



電子ミラー

- ディスプレイ
- カメラ

② コンサルティング (電子制御関連の規格解釈)

- UN-R79 (自動操舵、自動駐車)
- UN-R131 (自動ブレーキ)
- ISO26262 (自動車機能安全)

写真の出典 : レクサス ES300h

https://lexus.jp/models/es/features/other_safety/

③ 認証業務 (車載用高電圧バッテリー) UN ECE R100



④ 資格トレーニング (xEV、電子制御)

- BGI-8686 (電気自動車用高電圧システム技術資格)
- ISO26262 (自動車機能安全技術者資格)

isiD



株式会社 電通国際情報サービス

製造ソリューション事業部製造技術統括本部
エンジニアリングユニット

エンジニアリング技術開発部 1グループ

齊藤 智明

Tomoaki Saito

プロフィール

前職は、自動車メーカーで26年間、先行部門で新規電子制御システムのアーキテクチャー開発と要素技術開発、モデルベース開発の立ち上げと社内展開、技術戦略企画などを経験。その後、外資系認証機関で電動化関連の法規認証を担当し、isiDの関連会社でMBDに関するコンサルティングを経験。2022年1月にisiDに入社。

2022年1月にisiDに転籍後は、自動車業界のソフトウェアファーストに向けた開発プロセスの変革、既存の業務プロセスの改革に関する相談を数多く受けており、オンライン上を飛び回っている。

自動車メーカーで91年から制御のモデルベース開発を牽引した経験や、電子制御システム開発にまつわる長年の泥臭い実務経験（回路設計、CAN通信設計、ソフト設計、実機検証&評価など）を強みに、お客様の現場の悩みにしっかりと寄り添う。さらに、解決策を提案と同時に率先して試行してみせることができるのが一般的なコンサルとの違い。

※ソフトウェアファースト #MBD #PoC #業務プロセス改革

主なプロジェクト実績

Chief Consultant

- 国内自動車メーカー様 | 電子制御システムにおける品質問題の未然防止活動支援 (PoCのための要件整理+プロトタイプ開発+検証)
- 国内自動車メーカー様 | ソフトウェアファーストに向けた開発基盤の変革活動支援 (既存業務とのギャップ分析と対応策の提案)
- 国内自動車メーカー様 | 商品開発のDX化に向けての風土改革支援 (講師)

講演/執筆/受賞

- 2022年1月 | デジタルものづくり教育研究センター主催 DDSSワークショップ 基調講演
- 2022年1月 | 計測制御学会主催 第34回自律分散システム・シンポジウム発表
- 2022年5月 | 日本信頼性学会 2021年度優秀記事コラム賞 受賞
- 2022年6月~9月 | 広島大学大学院先進理工学系科学研究科 客員教授
- 2022年7月~ | 日本信頼性学会 編集委員 23年6月から理事

保有資格

- 計測制御自動学会認定、計測制御エンジニア (Measurement and Control Engineer)
- HOIRIBA MIRA JARI認定、機能安全技術者 (Function Safety Engineer)
- 国家資格、工事担任者 (総合通信) (Analog and Digital Installation Technician)
- 日本遠方養生学協会認定、遠方養生指導士アドバンス
- 特許出願件数251件 (前職時代)

1. はじめに

■危機感を持っています

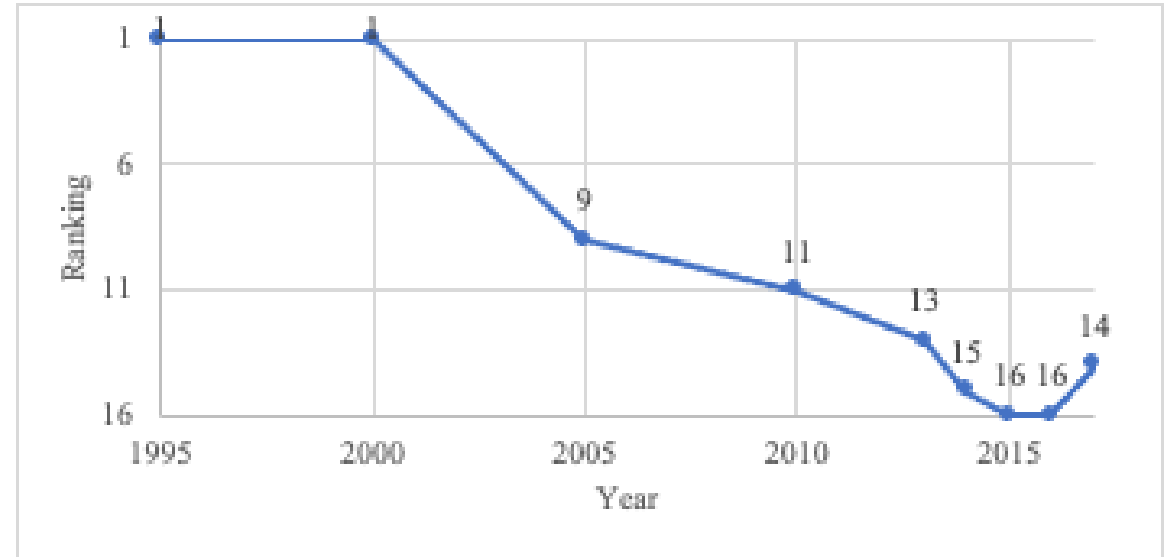
➤日本の生産性の低さ

主要先進7カ国で最下位
OECD加盟国36カ国中21位



1位のアメリカと日本の比較@全体

製造業の労働生産性水準上位16カ国の中で、
1位から転落



労働生産性の国際比較@製造業

出典：公益財団法人日本生産性本部「労働生産性の国際比較」2019年版

1. はじめに

■危機感を持っています

➤日本の生産性の低さ

日本の製造業の強さの一つ

良いものを安く提供する力→原価低減

$$\text{原価} = \frac{\text{部品費} + \text{労務費} + \text{経費}}{\text{生産台数}}$$

$$\text{労務費} = \text{時間単価} \times \text{労働時間} \times \text{労働者数}$$

国際比較での指標

付加価値を効率的に上げる力

$$\begin{aligned} &\text{付加価値生産性（1時間あたり）} \\ &= \frac{\text{付加価値額}}{\text{労働者数} \times \text{労働時間}} \end{aligned}$$



1. はじめに

■危機感を持っています

➤海外企業の続伸

ダイソン

「誰もが感じるように、きちんと機能しない製品に対して不満を感じます。デザインエンジニアとして、その不満を解決する方法に取り組みます。発明と改善がダイソンのすべてです。」

James Dyson

James Dyson
Inventor of cyclonic vacuum technology



出典：ダイソンのHP

ダイソンの強み

デザイン、機能の付加価値

テスラ

テスラ時価総額 2.2兆円、トヨタ超え自動車首位に
@2020年7月1日 日本経済新聞

独り勝ちのテスラ株 時価総額で日本の
自動車メーカー上場9社合計を抜く
@2020年9月7日 ニューズウィーク日本版

テスラの強み

社会的な価値 + 原価低減（ギガファクトリー）

■危機感を持っています

➤エンジニアの疲弊

日本企業が陥っている“三大疾病” @共感経営

- ① オーバー・アナリシス（分析過剰）
- ② オーバー・プランニング（計画過剰）
- ③ オーバー・コンプライアンス（法令遵守過剰）

共感経営：発行 日経BP、著者 野中郁次郎、勝見明

2. 自動車会社での経験

2-1. 入社当時

■自動車制御用の半導体設計部署に配属

- ① 自動運転の部署か工場自動化の部署でほとんどの時間を過ごす
- ② エンジン用の電子制御ユニットの調査にはまった
- ③ フェールセーフに関係する機能について欧州と国内で比較した

欧州は、日本よりも働く人にやさしいと感じた

2-2. 最初の電子制御システム開発

■オール機械式だったディーゼルエンジンの電子制御システム開発を担当

➤最初は、やりたくなかった

① 欧州ではディーゼルエンジンが主流と知って心変わり

② モデルベース開発の良い例になると思った

③ エレキバイワイヤーが必須のシステムだった

設計根拠を残す習慣のきっかけ

■電子化の仕事を次々と担当した（1998年ごろから）

- ① 電動ターボ
- ② 電動VVT
- ③ 電動VVL
- ④ 電動ブースター
- ⑤ トロイダルCVT
- ⑥ 電動4WD
- ⑦ 水素自動車の電動化

1995年から公道走行開始



出典：名車文化研究所
<https://meisha.co.jp/?p=11890>

電子化+デュアルフューエル化

2006年からリース販売



出典：マツダニュースリリース
<https://newsroom.mazda.com/ja/publicity/release/2006/200602/060215.html>

■ 電動車の仕事を次々と担当した (2006年ごろから)

- ① シリーズハイブリッド
- ② 電気自動車
- ③ マイルドハイブリッドシステム
- ④ レンジエクステンダーユニット

デミオEVに搭載してジャーナリスト向けの
試乗会を実施@2013年



出典：マツダ技報告
https://www.mazda.com/contentassets/ca8528da3716443289911272a04795d1/files/2015_no034.pdf



MX-30 PHEVに搭載を発表@2023年4月

2-5. 振り返ってみて

■若いころは、社内で応援してくれる人はごく僅か、ほとんどの人から反対された

➤言われて困ったこと

- ① そのやり方は前例があるのか？
- ② その部品は実績があるのか？
- ③ 他社はやっているのか？

応援してくれる人
機械系エンジニア以外

反対する人
機械系エンジニア

➤言われて嫌だったこと

- ① ソフトウェアは無料だが、部品はコストがかかる
- ② あとは、ソフトウェアで頑張ってくれ

2-5. 振り返ってみて

■信頼性へのアプローチが異なるから？

ハードウェア部品（電気モータ等も含む）



制御・ソフトウェア

構成する部品の信頼性を着実に向上させて、全体の信頼性を向上させる

①設計、開発段階で間違い、バグ等を無くすことで、市場不具合を起こさないように対策する

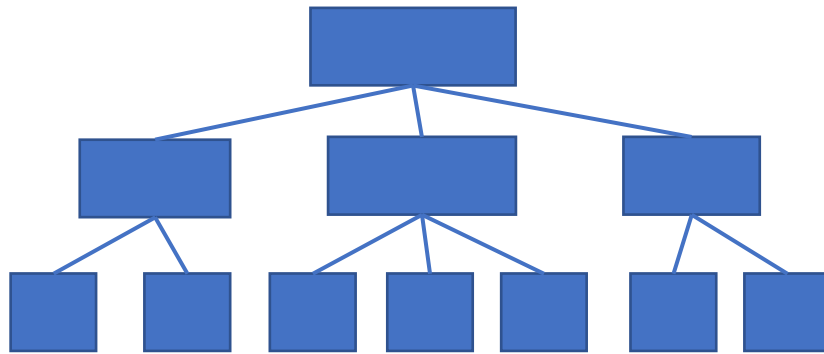
なぜ？

プログラムは時間とともに劣化したり、故障したりしない
市場で起きる不具合は、市場に出す前に仕込まれている

②ハードウェア部品は壊れることを前提に、不具合を発生しないように制御、ソフトウェアで対策する

なぜ？

電子部品、特に半導体や電池は耐用寿命を延ばすとコスト高になってしまう



2-5. 振り返ってみて

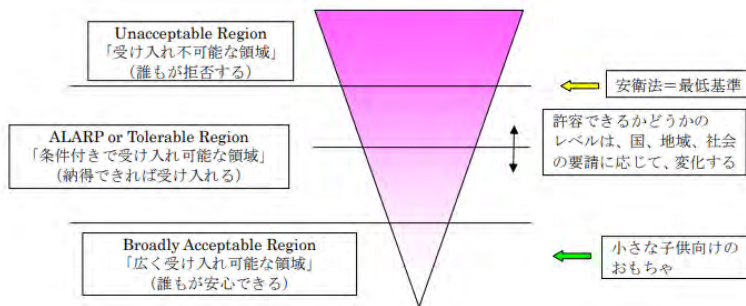
■安全へのアプローチが異なるから？

ハードウェア部品 (電気モータ等も含む)



制御・ソフトウェア

リスク低減の考え方



出典：ISO12100:JIS B 9700

- ・本質安全の原則 ⇒危険源を除去する、又は人に危害を与えない程度にする
- ・隔離の原則 ⇒人と機械の危険源が接近・接触出来ないようにする
- ・停止の原則 ⇒一般的に機械は止まっていれば危険でなくなる

リスク低減の考え方は同じ

だが、前提が異なる

前提：

そもそも危険で単体では扱えない部品を制御、ソフトウェアで安全な状態に保っている

水素自動車の水素タンクや水素供給部品



単体では、輸送できなかつたり、車両に搭載できない

リチウムイオン電池

制御、ソフトウェアが動作することによって輸送や搭載を許可されている

2-5. 振り返ってみて

■対象が異なるから？

➤やり方は似ているが

ハードウェア部品（電気モータ等も含む）



制御・ソフトウェア

- ① 開発段階：市場での信頼性を高めるため、開発段階でさまざまな環境試験を行うことで、ハードウェアの耐久性に関するデータを集め、問題があれば分析し、原因を特定し、改善する。環境試験と改善を繰り返すことで、目標となる信頼性を確保する。
- ② 市場段階：市場導入と並行して、社内で使用し、定期的に部品を分析することで、耐久性に関するデータを集め、改善を行う。市場で不具合が発生したときに回収した部品を分析することで、耐久性に関するデータを集め、改善する。

物への対応
結果が物に残る

- ① 開発段階：記述方法の標準化、開発者のレベルアップなどの開発品質の向上と、開発したソフトウェアの試験が主となる。
- ② 市場段階：市場で起きた問題のうち、ソフトウェアに起因する部分を特定、分析し、ソフトウェア開発のどの段階に原因があるかを分析する。そして、再発防止のためのプロセス改善、ルール改善等を行う。

開発プロセスへの対応
結果はプロセスとして残す

3. 機能安全と本質安全

3-1. リチウムイオン電池

■リチウムイオン電池の事故

➤電気設備系の火災件数の割合が増加している

東京消防庁管内の統計

表1 電気火災の状況（最近5年間）

年別	全火災件数	電気火災件数	全火災に対する割合 (%)	火災件数								損害状況				
				建物					航空機	車両	船舶	その他	焼損床面積 (㎡)	焼損表面積 (㎡)	死者 (人)	負傷者 (人)
				小計	全焼	半焼	部分焼	ぼや								
29年	4,204	1,152	27.4	1,019	22	17	118	861	-	1	-	133	4,447	1,819	13	171
30年	3,972	1,205	30.3	1,043	14	28	113	888	-	-	-	162	3,933	1,549	11	164
元年	4,085	1,283	31.4	1,143	15	21	103	1,003	-	-	-	140	5,173	1,663	13	159
2年	3,693	1,163	31.5	1,057	13	15	102	927	-	-	-	106	2,767	1,646	14	159
3年	3,935	1,401	35.6	1,276	16	32	111	1,117	-	-	-	125	4,898	2,770	18	182

注1 全火災件数は、治外法権火災及び管外からの延焼火災を除いています。

2 電気火災件数には、「放火（疑い含む）」、「火遊び」、「無意識放火」、「車両本体からの火災」を除いています。

3 令和3年中の数値は令和4年5月1日現在の速報値です。

出典：東京消防庁

<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/camp/2022/202207/camp3.html#me>

3-1. リチウムイオン電池

■リチウムイオン電池の事故

➤リチウムイオン電池関連の火災件数が増加している

東京消防庁管内の統計

表2 リチウムイオン電池関連火災状況（最近5年間）

年別	火災件数								損害状況			
	合計	建物					車両	その他	焼損床面積 (㎡)	焼損表面積 (㎡)	死者	負傷者
		小計	全焼	半焼	部分焼	ぼや						
29年	56	47	-	-	5	42	7	2	32	41	-	4
30年	82	69	-	1	4	64	6	7	74	40	-	10
元年	102	95	1	1	11	82	2	5	400	257	-	12
2年	105	94	-	2	11	81	5	6	200	195	-	22
3年	141	124	5	5	16	98	6	11	860	289	-	30
対前年比	37	31	5	3	5	18	1	5	660	94	-	8
5年平均	97	86	1	2	9	73	5	6	313	164	-	16

注 令和3年中の数値は令和4年5月1日現在の速報値です。

出典：東京消防庁

<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/camp/2022/202207/camp3.html#me>

3-1. リチウムイオン電池

■リチウムイオン電池の事故

- ノートパソコン以外の火災件数が増加している

東京消防庁管内の統計

表3 製品用途別火災状況（最近5年間）

年別	合計	モバイルバッテリー	携帯電話機	電動工具	玩具	掃除機	電動アシスト自転車	ノートパソコン	ポータブル電源	その他
合計	485	103	67	28	37	19	21	39	9	162
29年	56	11	8	-	4	-	2	9	1	21
30年	82	26	10	4	2	5	2	6	-	27
元年	102	23	11	3	12	2	7	12	-	32
2年	104	20	20	7	6	2	3	6	2	38
3年	141	23	18	14	13	10	7	6	6	44

注1 令和3年中の数値は令和4年5月1日現在の速報値です。

2 製品用途別項目は、令和3年中の件数を基準にしています。

出典：東京消防庁

<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/camp/2022/202207/camp3.html#me>

■安全上の特徴

➤原理上、よく燃える



出典：Amazon



関連する特徴

- ① 有機溶剤を使用している
- ② 過充電するとショートして発熱
- ③ 強い衝撃を受けるとショートして発熱

■事故例

過去の事故発生状況について(事故事例)

大量のリチウムイオン電池の貯蔵や取扱いを行うにもかかわらず、消防法令に基づく安全対策を講じていなかったために、極めて大きな事故が発生した事故の例

極めて大きな火災が発生した事故 (平成7年、福島県郡山市)

約7千㎡が焼損
負傷者2名発生
鎮火に要した時間:約7時間



倉庫部分の焼損状況

※充電後のリチウムイオン電池を4段式の棚に常温状態で大量に保管する倉庫部分において、リチウムイオン電池から火災が発生し、電池約300万本が次々と燃えていった。

消火活動は困難を極め、2名の負傷者を出すとともに、約7時間後に鎮火したが、焼損面積は約7千㎡であった。

施設外の広範囲に被害が及んだ事故 (平成9年、大阪府守口市)

半径175mの範囲の住宅等に被害発生
出火建物1230㎡が全焼するとともに隣接建物486㎡も半焼
負傷者2名発生
鎮火に要した時間:約8時間



火災で吹き飛んだ屋根



焼損した施設の状況



半径175mの範囲の住宅等に被害発生

※充電後のリチウムイオン電池を13段積みで大量に保管する倉庫部分においてリチウムイオン電池から火災が発生し、電池約122万本が次々と燃えていった。

この火災により175mの範囲の住宅等にも被害が及んだ。また、消火活動は困難を極め、2名の負傷者を出すとともに、約8時間後に鎮火したが、出火建物1230㎡が全焼するとともに、隣接建物も半焼(486㎡焼損)した。

出典：総務省消防庁：過去の事故発生状況について

https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/kento080_08_1-7.pdf

3-1. リチウムイオン電池

■自動車用はエネルギー量が多い

バッテリー	航続距離 (WLTC/JC08モード)
24kWh	2010年 (200km@JC08) 2012年 (228km@JC08)
30kWh	2015年 (280km@JC08)
40kWh	2017年 322km@WLTCモード (400km@JC08モード)
62kWh	2019年 458km@WLTCモード (570km@JC08モード)

出典：日産自動車HP 技術ライブラリー
https://www.nissan-global.com/JP/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/LI_ION_EV/

テスラのモデルS：100kwh

例えば、5台のリーフが並んでいたとすると

$$62\text{kwh} \times 5 = 310\text{kwh}$$

$$310\text{kwh} \approx 1.116 \times 10^9\text{J}$$

TNT火薬 約1トン分

3-1. リチウムイオン電池

■車載リチウムイオン電池の制御

➤私のイメージ



3-1. リチウムイオン電池

■もっと安全な電池を使って欲しい

➤全個体電池？

全固体電池もいよいよ投入 トヨタが次世代電気自動車の新技術を発表

2023.06.13

自動車ニュース

webCG 編集部

ツイート

シェア

BI ブックマーク



トヨタの今後のクルマづくりについて語る中嶋裕樹 トヨタ自動車副社長・チーフテクノロジーオフィサー。

トヨタ自動車は2023年6月13日、同社の技術戦略と今後のクルマづくりの方向性についてあらためて説明するとともに、次世代のBEV（バッテリー式電気自動車）開発における最新の取り組みについて発表した。

◆関連記事:トヨタが燃料電池事業に本腰 2030年に10万台分を外部に供給

有機溶剤を使わない
全個体リチウムイオン電池

- ・フッ化物電池
 - ・亜鉛負極電池
- なども期待されている

出典：webCG

<https://www.webcg.net/articles/-/48412>

3-1. リチウムイオン電池

■もっと安全な電池を使って欲しい

➤既にある安全な電池は？

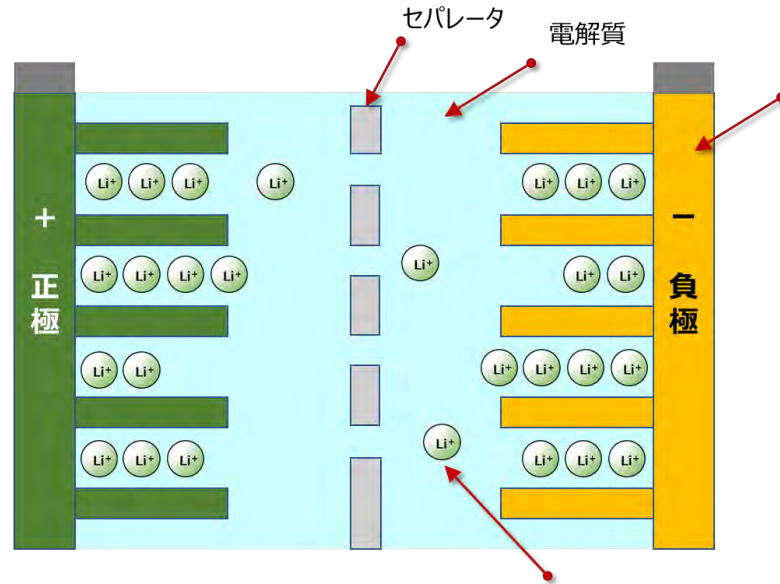
チタン酸リチウム電池



出典：東芝HP

<https://www.global.toshiba/jp/products-solutions/battery/scib.html>

基本的にリチウムイオン電池と同じだが、安全性を高めている



炭素：リチウムイオン電池

チタン酸リチウム：SCiB電池

SCiB：リチウムが析出する現象が起こらない



3-1. リチウムイオン電池

- チタン酸リチウム電池は、国内の電気自動車では普及していない
 - 中国ではバス用に既に普及していた@2016年



出典：格力钛新能源HP
<http://www.zhyle.com/index.html>

3-2. シーサイドラインの事故

■事故について

- 無人運転の車両が、車止めに衝突して、6人が骨折などの重傷を負った

約4年前の事故

シーサイドライン25メートル逆走し衝突、15人重軽傷 横浜・新杉田駅

2019.6.1 21:18 | 社会 | 事故・火災 シーサイドライン逆走事故



1日午後8時15分ごろ、横浜市磯子区の新交通システム「シーサイドライン」新杉田駅で、無人運転の車両が逆走し、車止めに衝突した。神奈川県警磯子署によると、15人がけがをして病院に搬送され、うち6人が骨折などの重傷。いずれも命に別条はない。

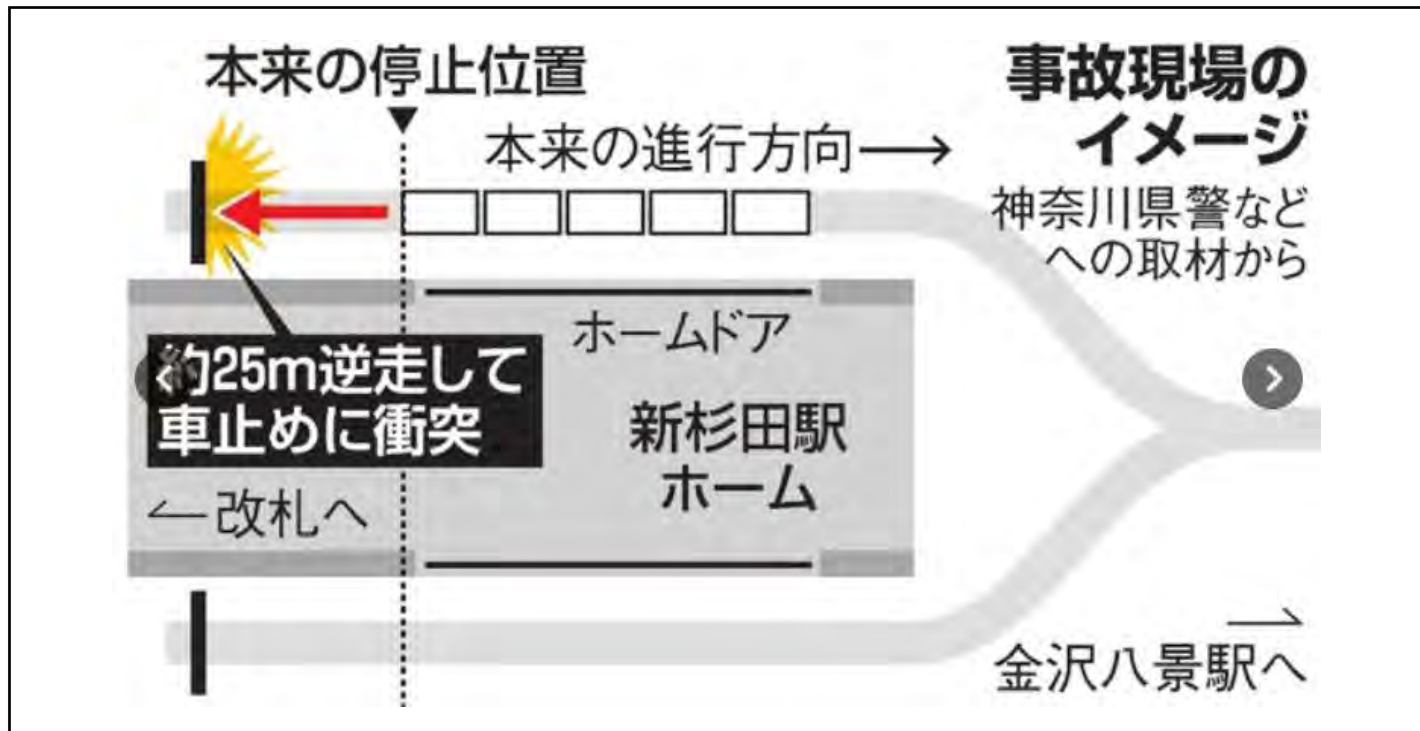
新交通システムでの車両逆走は異例。運輸安全委員会は鉄道事故調査官を現地に派遣した。県警は業務上過失致傷容疑を視野に捜査する。

産経新聞 <https://www.sankei.com/affairs/news/190601/afr1906010016-n1.html> 注：現在は削除されている

3-2. シーサイドラインの事故

■事故の状況

- シーサイドラインは、運転士が居ない無人運転をしている
- 終点の新杉田駅で、折り返し運転をするはずの車両が、停車後 そのままの方向に発車して、車止めに衝突して止まった



出典：朝日新聞デジタル

https://www.asahi.com/articles/photo/AS20190602000049.html?iref=pc_photo_gallery_3

3-2. シーサイドラインの事故

■世間の反応

➤ あたかも最先端の自動運転がNGのような論調



シーサイドライン・ブルーライン事故、さらに強固な安全施策を

マイナビニュース - 2019/06/12

横浜市内を走るシーサイドラインで6月1日に逆走事故が発生。6月6日には、横浜市営地下鉄ブルーラインで脱線事故が発生した。一方は車両内 ... 今後はダンパーを調整または交換し、想定衝突速度を上げる必要もあるだろう。それでも今回 ...



SankeiBiz

無人運転事故 システム過信せずに再点検を

読売新聞 - 6 時間前

安全とされる無人自動運転の新交通システムであってはならない逆走事故が起きた。システムを過信せず、... 運営会社の想定に甘さがあったと批判されても仕方がない。断線したのは、100 ... 各事業者は、今回のシーサイドラインの事故を他山の石として、自らのシステムに穴がないかどうか、点検すべきだ。運転士らが将来、...



レイルラボ

「自動運転」逆走 技術過信はなかったか

中日新聞 - 2019/06/03

横浜市の湾岸沿い十一キロ（新杉田－金沢八景間）を走る「金沢シーサイドライン」は、一九八九年から運行を開始し、九四年に無人化した。自動列車運転 ... 運営会社「横浜シーサイドライン」の三上章彦社長は「逆走は想定外だった」とする。

シーサイドライン逆走事故と同じシステム 山手線でも導入を検討

livedoor - 2019/06/02

1日（2019年6月）午後8時15分ごろ、横浜市の新交通システム「シーサイドライン」始発駅の新杉田駅で、無人運転の車両が逆走した事故はなぜ起きたのか。5両編成の車両は、本来の進行方向とは反対に25メートル走り、車止めにぶつかっ ...

3-2. シーサイドラインの事故

■世間の反応

➤表面的？



突然崩れた「安全神話」 シーサイドライン逆走事故の波紋は全国へ...

アエラドット 朝日新聞出版 - 2019/06/11

横浜市のシーサイドラインで無人運転の列車が逆走した事故に不安が高まっている。... 横浜市南部を走る無人運行の新交通システム「シーサイドライン」で1日、前代未聞の逆走事故が発生したことを受け、無人運行を可能にする自動列車...



「シーサイドライン」逆走事故、電気系統の断線確認。運行会社が欠...

ハフポスト日本版 - 2019/06/06

「シーサイドライン」逆走事故、電気系統の断線確認。運行会社が欠陥認める。「こうした事態を想定して安全に停止させるシステムがなかった」。逆走事故に至った経緯（推定）。朝日新聞社 逆走事故に至った経緯（推定）。逆走事故、電気系統の...

シーサイドライン衝突 逆走防止装置に不備か

東京新聞 - 2019/06/06

すべて表示



運行会社「逆走の想定なかった」自動停止の仕組みなし シーサイドラ...

毎日新聞 - 2019/06/02

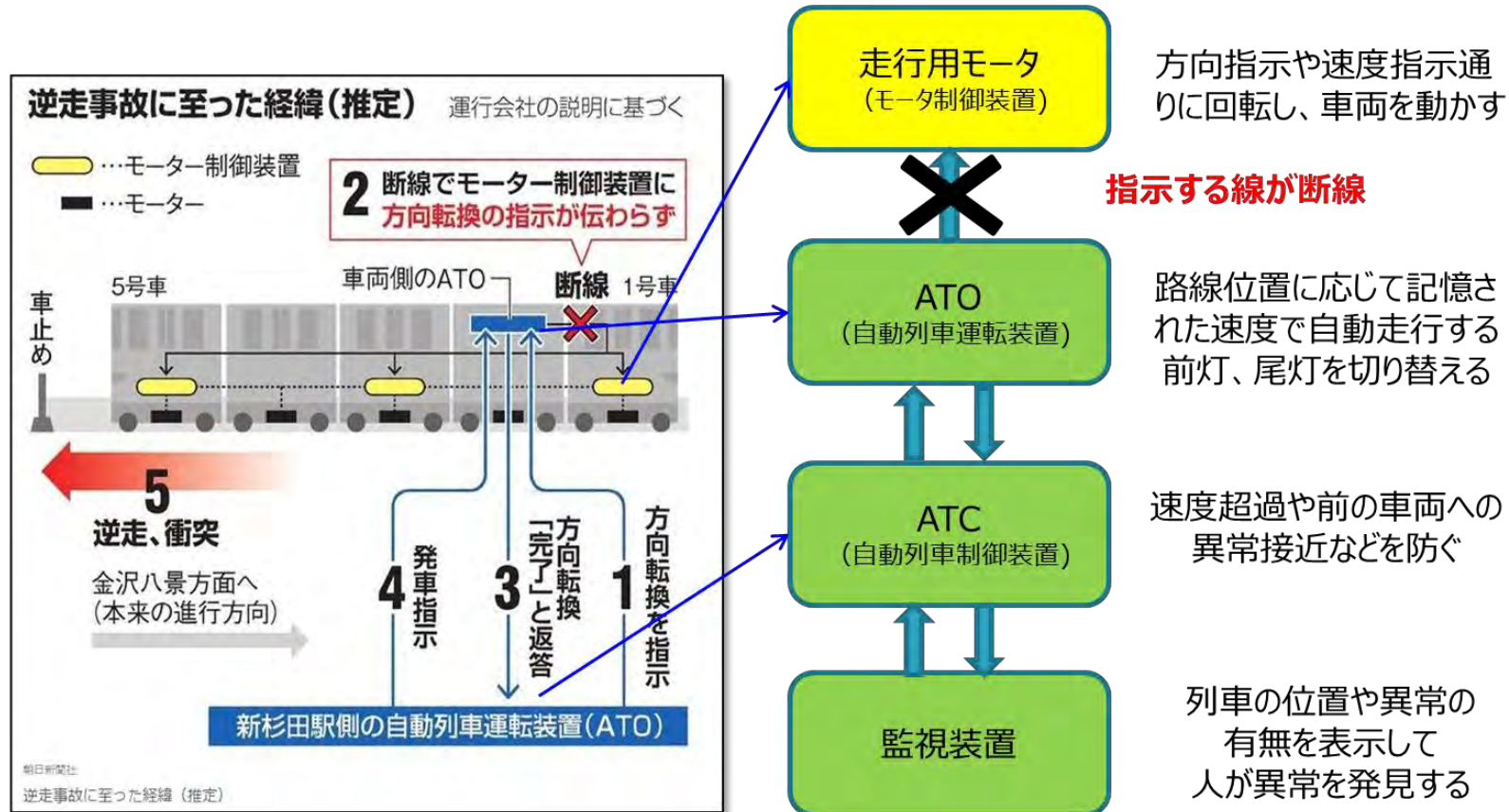
横浜市磯子区の新交通システム「シーサイドライン」の新杉田駅で1日、車両が逆走して14人が重軽傷を負った事故で、出発直前の自動列車運転装置（ATO）の交信記録に異常がなかったことが、運行会社「横浜シーサイドライン」への取材で...

30年間無事故だったから安全？

3-2. シーサイドラインの事故

■要因推測@2019/6/13時点

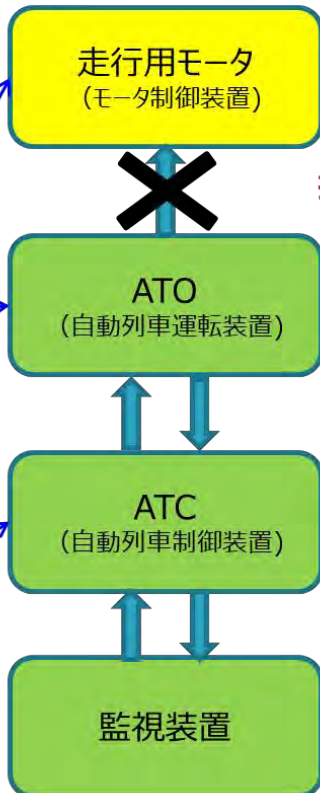
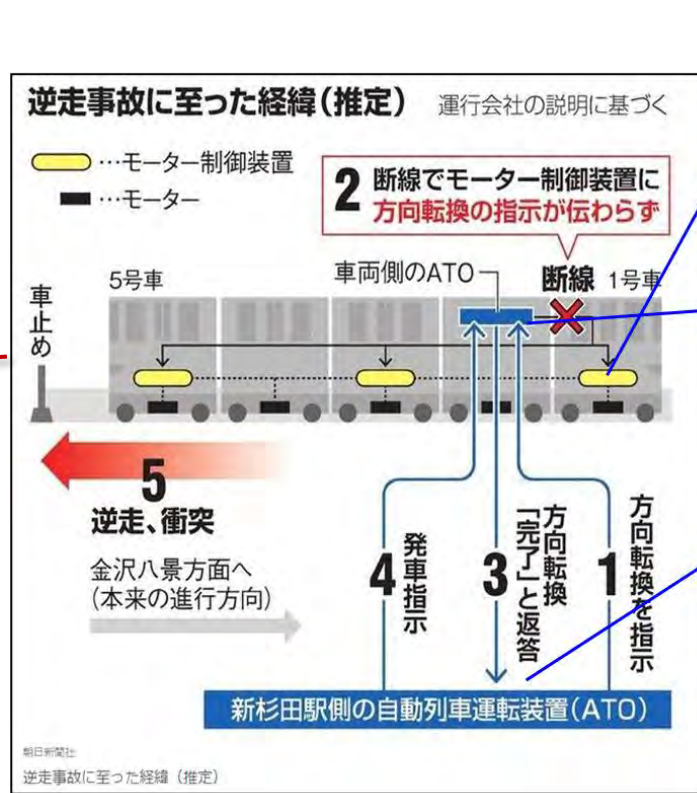
➤ 自動運転装置が逆走させたのではなく、正しい方向に切り替えることができなかった



■当時の論調

➤ システムを過信せずに

逆走しても止まるように



方向指示や速度指示通りに回転し、車両を動かす

指示する線が断線

路線位置に応じて記憶された速度で自動走行する
前灯、尾灯を切り替える

速度超過や前の車両への異常接近などを防ぐ

列車の位置や異常の有無を表示して
人が異常を発見する

もっと点検を!

自動停止を!

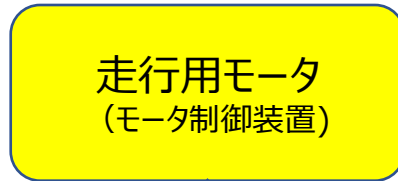
もっと監視を!

3-2. シーサイドラインの事故

■1987年に大学のシステム工学の授業で学んだこと

➤ 基本を大切に：物は壊れる可能性がある。人はミスする可能性がある

- ・指示がきちんと伝わって、指示通りに動いているか？
- ・もし、そうでなければ異常なのでモータを停止させ、異常を周りに知らせる



- 欠陥 1 : モータの回転方向をATOが確認していない
- 欠陥 2 : ATOからモータへ指示する信号線の断線故障を検知していない
- 欠陥 3 : 本来の機能が全て正常かどうかを確認せずに、
強大なパワーを出力させている

- 対策 1 : モータの回転方向を常にATOが確認し、指示通りでないときは、モータを停止させ、警告を出す
- 対策 2 : ATOからモータへ指示する信号線の断線故障を検知し、断線した時は、モータを停止させ、警告を出す

■参考資料

▶ 運輸安全委員会の再発防止策@2021年2月

出典：(株)横浜シーサイドライン金沢シーサイドライン鉄道人身障害事故
調査報告 説明資料 令和3年2月
<https://www.mlit.go.jp/jtsb/railway/p-pdf/RA2021-1-1-p.pdf>

JTSB 必要と考えられる再発防止策 <報告書P.53~55>

○断線の防止 <調査報告P32>

- ・車両メーカーは、配線作業において、電線等の配置や固定方法等を検討し、電線等と車両部材との間に十分な離隔をとる必要がある。
- ・電線等と車両部材が接触するおそれのある箇所には適切に保護材を取り付けるよう、配線作業の要領書や図面などにより、作業員へ個別箇所の注意喚起を行うことが重要である。
- ・完成後に配線状態の十分な検査が難しくなる箇所については、製造途中においても検査を実施する必要がある。

○逆走の防止策

- ・地上へ送信する車両の進行方向状態の情報は、車両のモーター制御装置に入力される指令線の状態を用いる必要がある。
- ・モーター制御装置は、上りまたは下りの進行方向が設定されている場合のみモーターを駆動するものとし、進行方向が不定の場合には、力行信号を受信しても力行しない仕様とする必要がある。
- ・無人の自動運転システムであることから、列車が設定されている進行方向と逆方向に走行した場合だけでなく、進行方向がない状態でも車輪の転動を検知したときには直ちに停止させる必要がある。

24

故障を前提とした対策が必要

JTSB 必要と考えられる再発防止策 <報告書P.53~55>

○車両設計

近年ますます複雑化が進む車両の設計において、鉄軌道における運転士又は前頭に緊急停止操作を行う係員が乗務しない列車の自動運転システム等の設計及び製造並びに改造にあたっては、システムインテグレーションを実施する設計体制を構築した上で、危険な事象につながる条件を設計前に欠落なく抽出・評価し、その対策を安全要件事項として反映することが重要であり、製造や運用を含めたライフサイクル全体を対象とした安全管理が必要である。その中で、鉄軌道事業者及び車両メーカー等は、より慎重に設計前に設計体制等の確認や調整、安全要件の抽出のフェーズを設け、それぞれを十分に実施し、設計後等に安全性の検証を十分に行うべきものと考えられる。

25

システム全体の設計体制
安全のためのプロセスが必要

■参考資料

▶ 運輸安全委員会の勧告@2021年2月

出典：(株)横浜シーサイドライン金沢シーサイドライン鉄道人身障害事故
調査報告 説明資料 令和3年2月
<https://www.mlit.go.jp/jtsb/railway/p-pdf/RA2021-1-1-p.pdf>

JTSB 勧告 <報告書P.58~59>
Japan Transport Safety Board

本件事故の直接の原因は、列車の前後進回路が断線したことにより、モーターの駆動方向が線路終端側の上り方向に向いたまま、走行が開始されたことによるものであるが、このような障害発生時における危険な事象を排除できなかった背景には、**車両の設計・製造プロセスにおいて、「設計体制等の確認や調整」、「安全要件の抽出」、「安全性の検証」が十分に実施されていなかったことが考えられる。**

近年ますます複雑化が進む車両の設計において、鉄軌道における運転士又は前頭に緊急停止操作を行う係員が乗務しない列車の自動運転システム等の設計及び製造並びに改造にあたっては、**システムインテグレーションを実施する設計体制を構築**にした上で、危険な事象につながる条件を設計前に欠落なく抽出・評価し、その対策を安全要件事項として反映することが重要であり、製造や運用を含めたライフサイクル全体を対象とした安全管理が必要である。その中で、鉄軌道事業者及び車両メーカー等は、より慎重に**設計前に設計体制等の確認や調整、安全要件の抽出のフェーズを設け、それぞれを十分に実施し、設計後等に安全性の検証を十分に行うべきもの**と考えられる。

このことから、当委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、鉄道事故防止及び鉄道事故が発生した場合における被害の軽減のため、運輸安全委員会設置法第26条第1項の規定に基づき、国土交通大臣に対して、下記の施策を講じるよう勧告する。

28

JTSB 勧告 <報告書P.58~59>
Japan Transport Safety Board

記

国土交通省鉄道局は、全国の鉄軌道事業者及び鉄道車両の設計・製造に関わるメーカーに対して、以下の事項の指導を徹底すべきである。

- (1) 運転士が乗務しない列車の自動運転をするためのシステムの製造及び改造の設計にあたっては、設計・製造プロセスを参考に、**「設計体制等の確認や調整」、「安全要件の抽出」、「安全性の検証」の各フェーズを設け、それぞれを十分に実施する。**
- (2) 「設計体制等の確認や調整」のフェーズでは、**システムインテグレーションを実施する設計体制を構築**し、その中で会社間の役割や責任分担、各装置に対し各会社が標準としている仕様あるいは一般的と認識している仕様などを確認し調整する。
- (3) 「安全要件の抽出」のフェーズでは、発生が想定される異常状態に対して、網羅的な安全性の確認がなされるよう、システムの特성에応じて、**体系的な安全性解析**などを実施し、安全確保に必要な要求事項等を整理する。
- (4) 「安全性の検証」のフェーズでは、上記(3)で抽出した安全要件などについて、システム全体が十分に安全性を確保しているかなど、**設計の結果を検証**する。

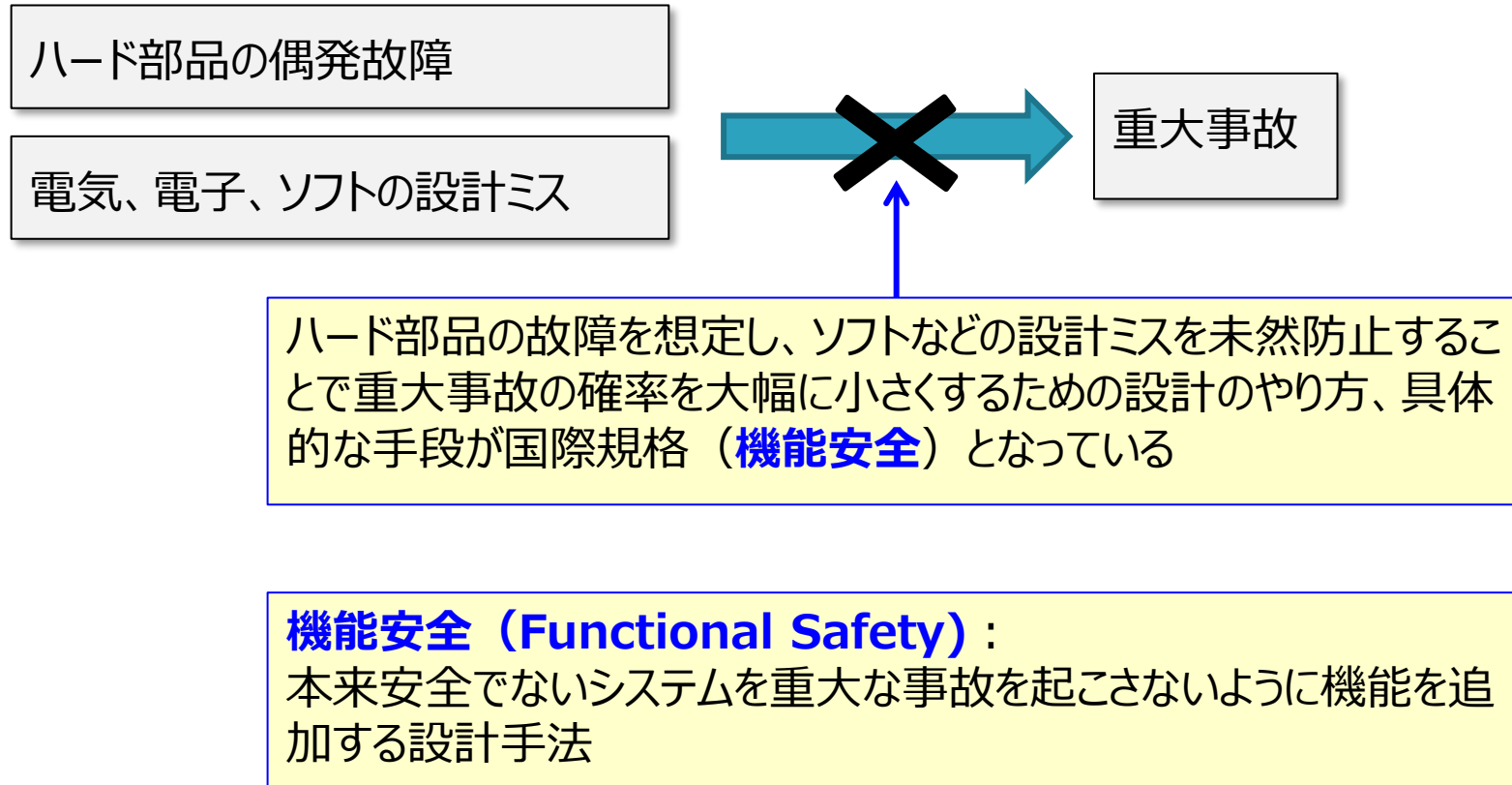
29

機能安全規格やるべきことと同じ

3-2.シーサイドラインの事故

■自動車業界から見たとき

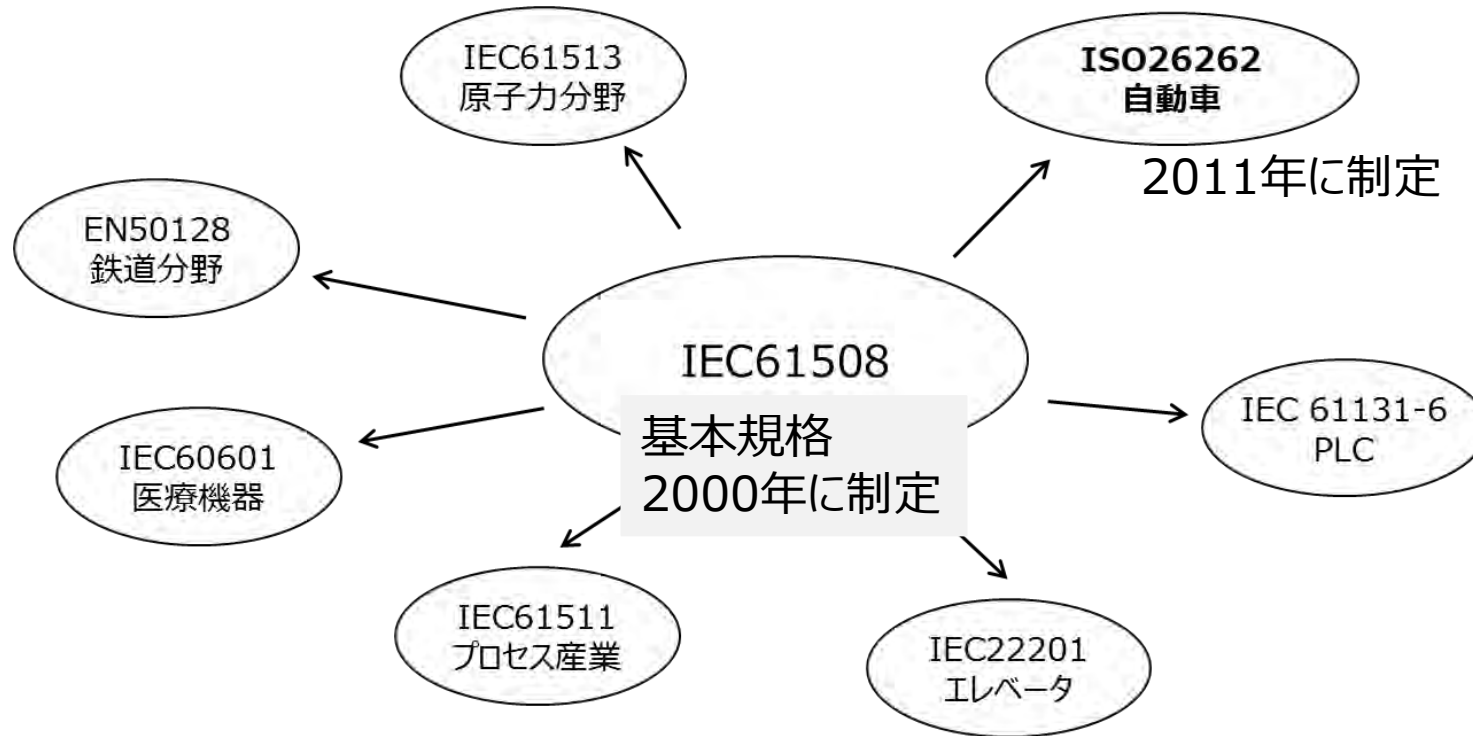
- 自動車分野の機能安全規格 (ISO26262)



3-2.シーサイドラインの事故

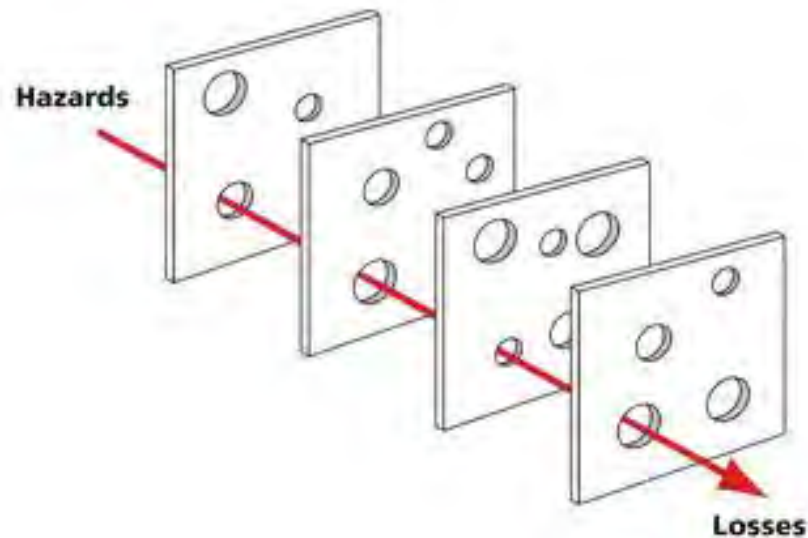
■補足

- 人や環境を危険な状態にさらさないように、監視機能や防御機能を追加すること
- 制定された背景
 - ▶ 製品の複雑さ、特にソフトウェアの領域の拡大によって、未然防止する必要性が高まった



■アポロ13号

➤ スイスチーズモデルの事例？



出典：Wikipedia
<https://ja.wikipedia.org/wiki/スイスチーズモデル>

「風が吹けば桶屋が儲かる」的な話？

1本のネジの外し忘れが世紀の大事故に…

1970年の今日（4月17日）、アメリカの有人宇宙船「アポロ13号」が、さまざまな事故を乗り越え地球に帰還しました。

アポロ13号は11号、12号に続く人類史上3度目の月面着陸を目的とした宇宙船で、船長には宇宙旅行を3度経験したジム・ラヴェル（Jim Lovell、1928-）が起用されました。

4月11日の13時13分に地球を離れたアポロ13号は、地球から距離32万kmに達したところで、機械船内の酸素タンクが爆発するという致命的な事故に見舞われます。爆発の影響で宇宙船は予定軌道を大幅にそれ、酸素の半分以上を失ってしまいました。

この事故の原因となったのは、サーモスタットの故障と、酸素タンクを船に取り付ける際に作業員がネジを1本外し忘れたことでした。

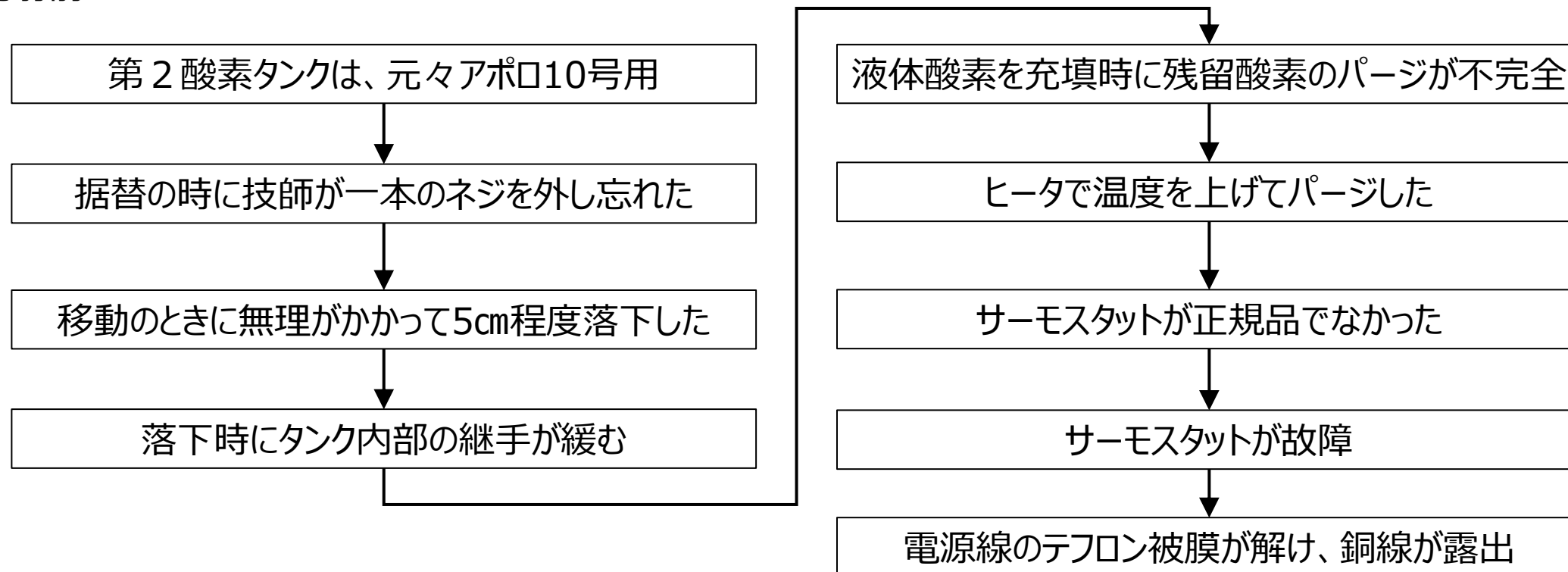
出典：1本のネジの外し忘れが世紀の大事故に…アポロ13号が地球に生還した日
<https://gendai.media/articles/-/81037>

■失敗の事例として

➤ 失敗学会の失敗事例を読んだ

失敗事例> アポロ13号、失敗学会
<https://www.shippai.org/fkd/cf/CA0000645.html>

発射前



■失敗の事例として

➤ 失敗学会の失敗事例を読んだ

失敗事例> アポロ13号、失敗学会
<https://www.shippai.org/fkd/cf/CA0000645.html>

1970年4月11日13時13分に打ち上げ

「風が吹けば桶屋が儲かる」を超える

発射後の4月13日 21時ごろから

酸素タンクの残量メータの本当の量が読み取れない

水素タンク関係の警告ランプがついた

警告ランプがつくと、後からの不具合がわからなくなる

酸素タンク状況確認のためファンを廻す決断をした

ファンを廻した結果、裸の銅線間でアーク放電発生

アークが酸素を熱し、タンクの圧力が上昇

タンクのドーム状のキャップが飛ぶ

タンクの外殻と内殻の間の断熱材が発火

タンクから噴出した酸素に着火

支援船の第4隔室全体が破壊された

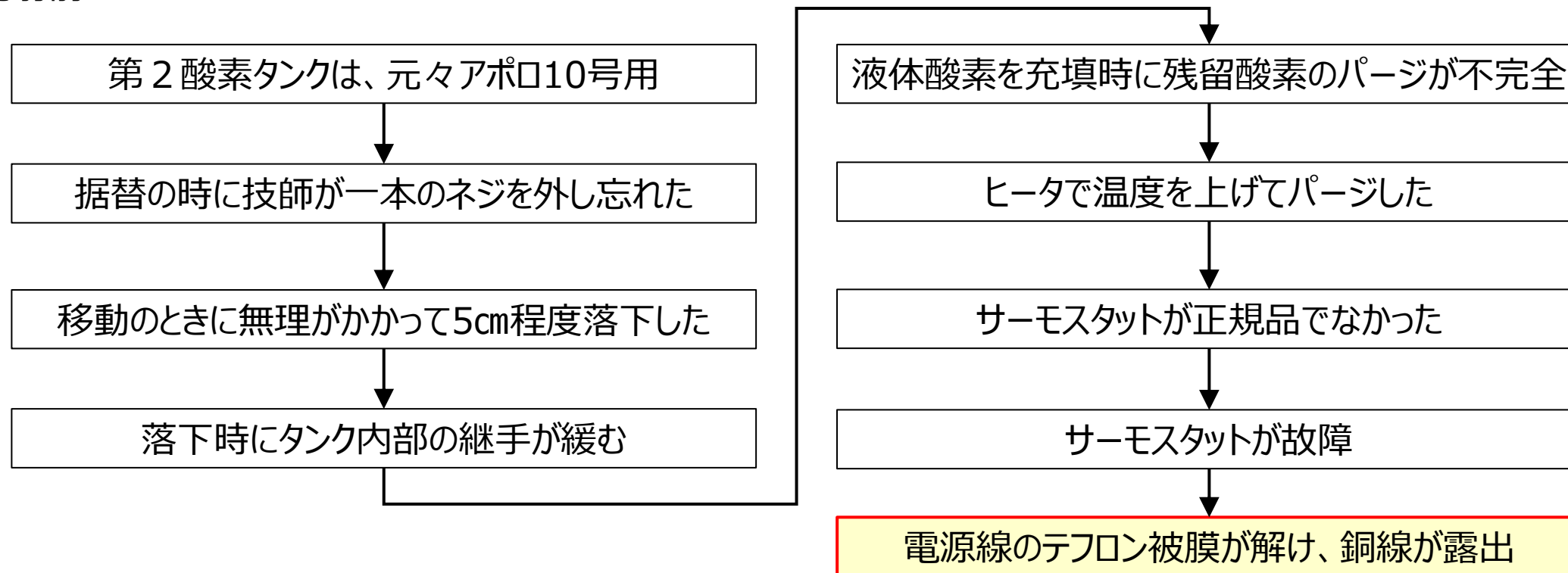
支援船内部や他の危機も損傷

状況を把握するのに1時間かった

■失敗しないために

➤ 発射前に確認をしっかりとっておけば

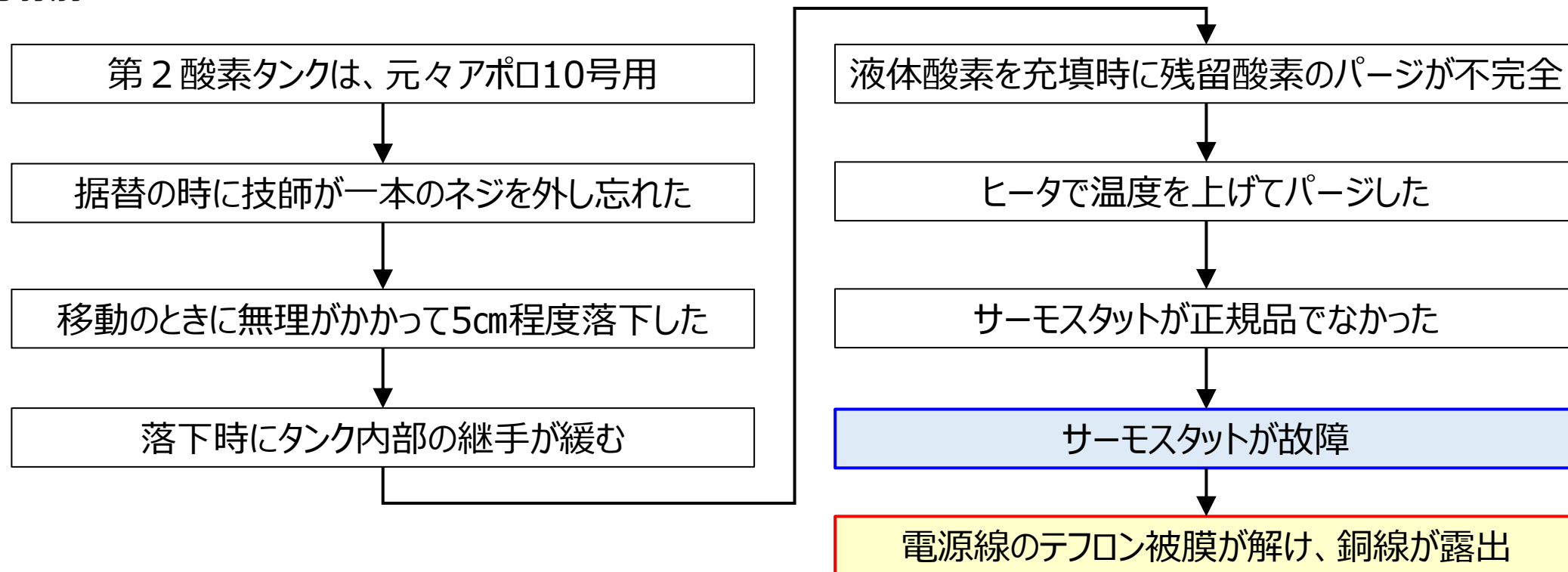
発射前



■ヒューマンエラーを防ぐために

➤故障に気付く仕組みを入れておけば

発射前



■失敗に気付くために

➤ 部品は故障することを前提に警告システムを作っていたら（たぶん、当時は重量制限で却下された？）

「風が吹けば桶屋が儲かる」を超える

発射後の4月13日 21時ごろから

酸素タンクの残量メータの本当の量が読み取れない

水素タンク関係の警告ランプがついた

警告ランプがつくと、後からの不具合がわからなくなる

酸素タンク状況確認のためファンを廻す決断をした

ファンを廻した結果、裸の銅線間でアーク放電発生

アークが酸素を熱し、タンクの圧力が上昇

タンクのドーム状のキャップが飛ぶ

タンクの外殻と内殻の間の断熱材が発火

タンクから噴出した酸素に着火

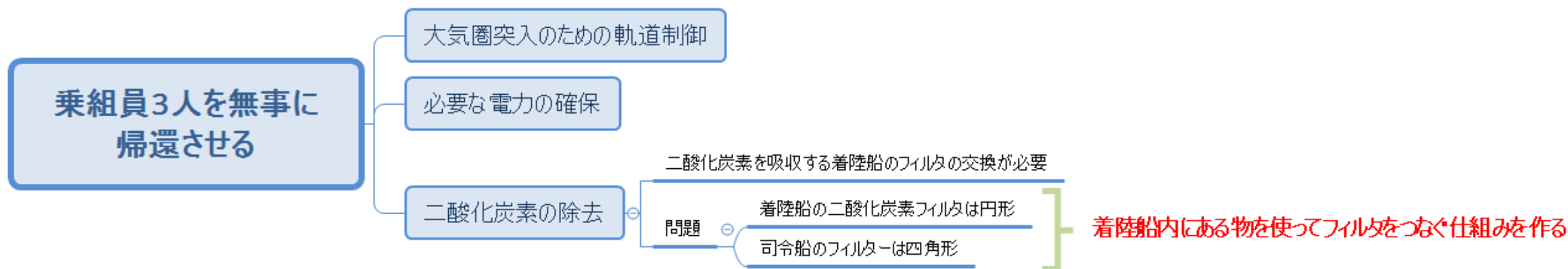
支援船の第4隔室全体が破壊された

支援船内部や他の危機も損傷

状況を把握するのに1時間かった

■成功の事例として

➤ 酸素の大半が漏れ出し、発電できなくなった中で、全員が無事に帰還できた



映画「アポロ13号」を見て、感動したこと

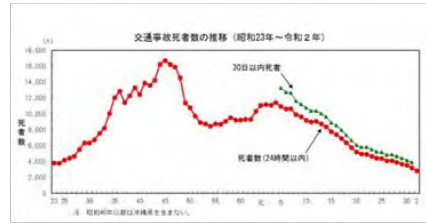
船内に在るものを地上の管制室で完全に再現して、紙やテープやトイレトペーパーの芯などでフィルタを接続できることを確認して、乗組員に教えた結果、船内で実現できたシーン

目的を持って、物を目的のために組み合わせるという行動

4. 自動運転技術

2,636

2021年 交通事故死者数 (日本) ↓



62

Waymo(Google) 自動運転 (L4)
衝突事故件数 (1位)
2021年 米NHTSA公表データ



中国



米国

1,350,000

2021年 交通事故死者数 (世界) ↑
アフリカ, インド, 東南アジア, ..



57.5

2019年
高齢者交通事故
死者数割合(日本) % ; 世界 1位

16/11/12(東京)83歳
(産経ニュースより)



16/11/10(栃木)84歳
(産経ニュースより)

273

Tesla 自動運転 (L2) 衝突事故件数 (1位)
2021年 米NHTSA公表データ



米国

中国



67.5

2019年 歩行者+自転車+2輪車 (交通弱者) 事故死者数割合 (日本) %



4-1. 自動運転技術

■新しい技術へのパッシング？

トヨタの自動運転車、実力はホンダ以下？パラ選手村事故で疑惑が

M&A Online

📅 2022-01-26 ※この記事は公開から1年以上経っています。



東京オリンピック・パラリンピックの選手村で運用された「eパレット」(同社ホームページより) [🔗](#)

出典：M&AOnline

https://maonline.jp/articles/toyota_lost_to_honda_in_selfdriving_car220124

トヨタの自動運転技術は高くない

トヨタの自動運転技術については、これまでも出遅れが指摘されてきた...

4-2. 自動運転の種類

■一般的な分類

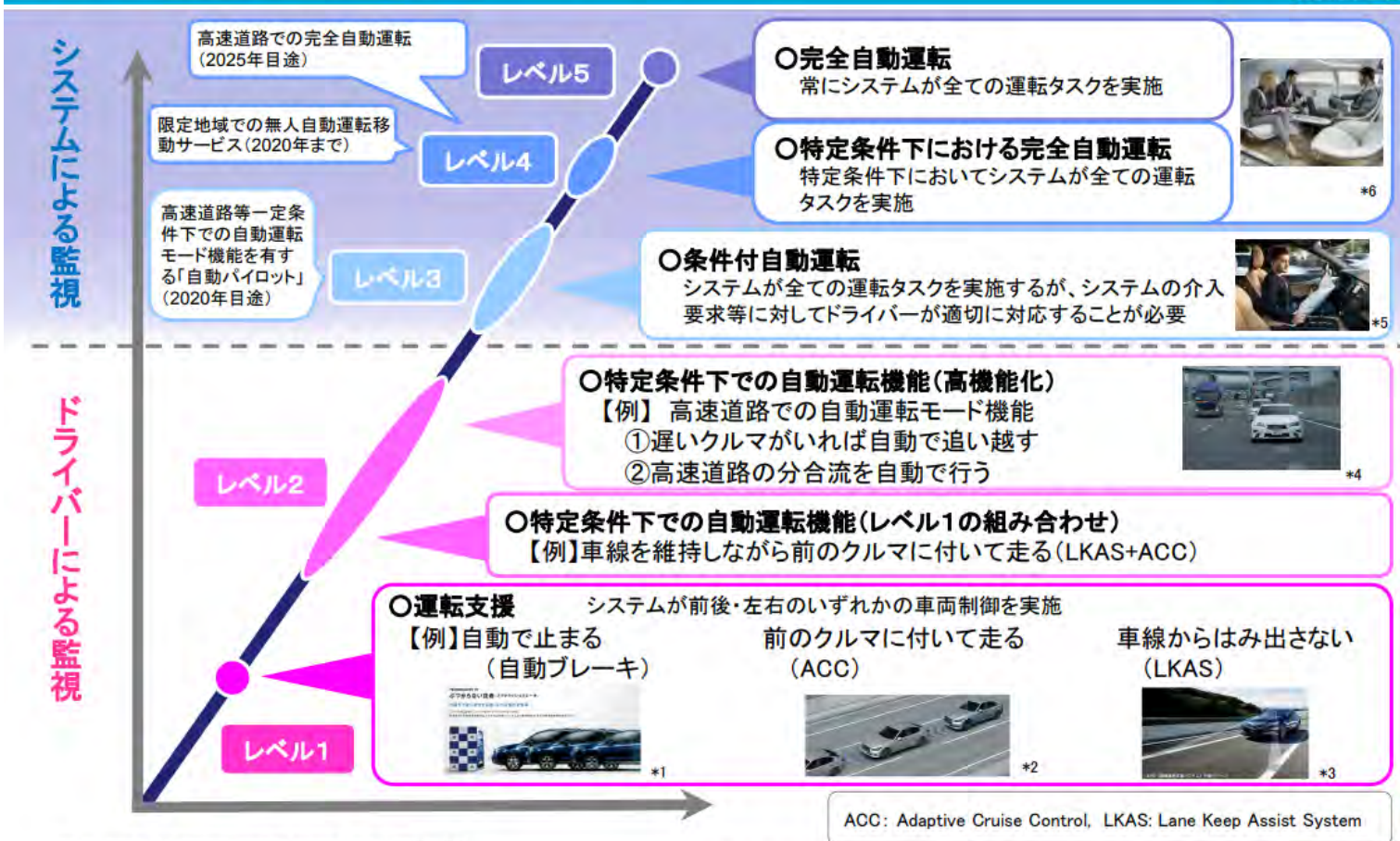
自動運転レベル	概要	実用化時期
レベル1 運転支援	車両システムがアクセル, ハンドル, ブレーキの操作のいずれかをアシストする.	市販済み
レベル2 部分的運転自動化	車両システムがアクセル, ハンドル, ブレーキのうち複数の操作をアシストする.	市販済み
レベル3 条件付運転自動化	車両システムが限定エリアで全ての運転操作を行う. ただし, 緊急時はドライバーが対応.	渋滞路走行で実用化
レベル4 高度運転自動化	車両システムが限定エリアで運転操作を行う. ドライバーは操作に関与しない.	2023年4月、条件付きで実用化予定
レベル5 完全運転自動化	車両システムが全てのエリアで全ての運転操作を行う. ドライバーは操作に関与しない.	未定

■レベル2

➤テスラはレベル2

自動運転のレベル分けについて

国土交通省
【別添3】



官民ITS構想・ロードマップ2017等を基に作成

*1 (株)SUBARUホームページ *2 日産自動車(株)ホームページ *3 本田技研工業(株)ホームページ
*4 トヨタ自動車(株)ホームページ *5 Volvo Car Corp.ホームページ *6 CNET JAPANホームページ

出典：経産省

<https://www.mlit.go.jp/common/001226541.pdf>

■レベル3

➤ホンダはレベル3

ニュース

ホンダ、レベル3自動運転「Honda SENSING Elite」搭載の新型「レジェンド」 価格は1100万円

編集部：谷川 潔 2021年3月4日 15:30

ツイート リスト シェア B! はてブ note LinkedIn

2021年3月5日 発売
1100万円

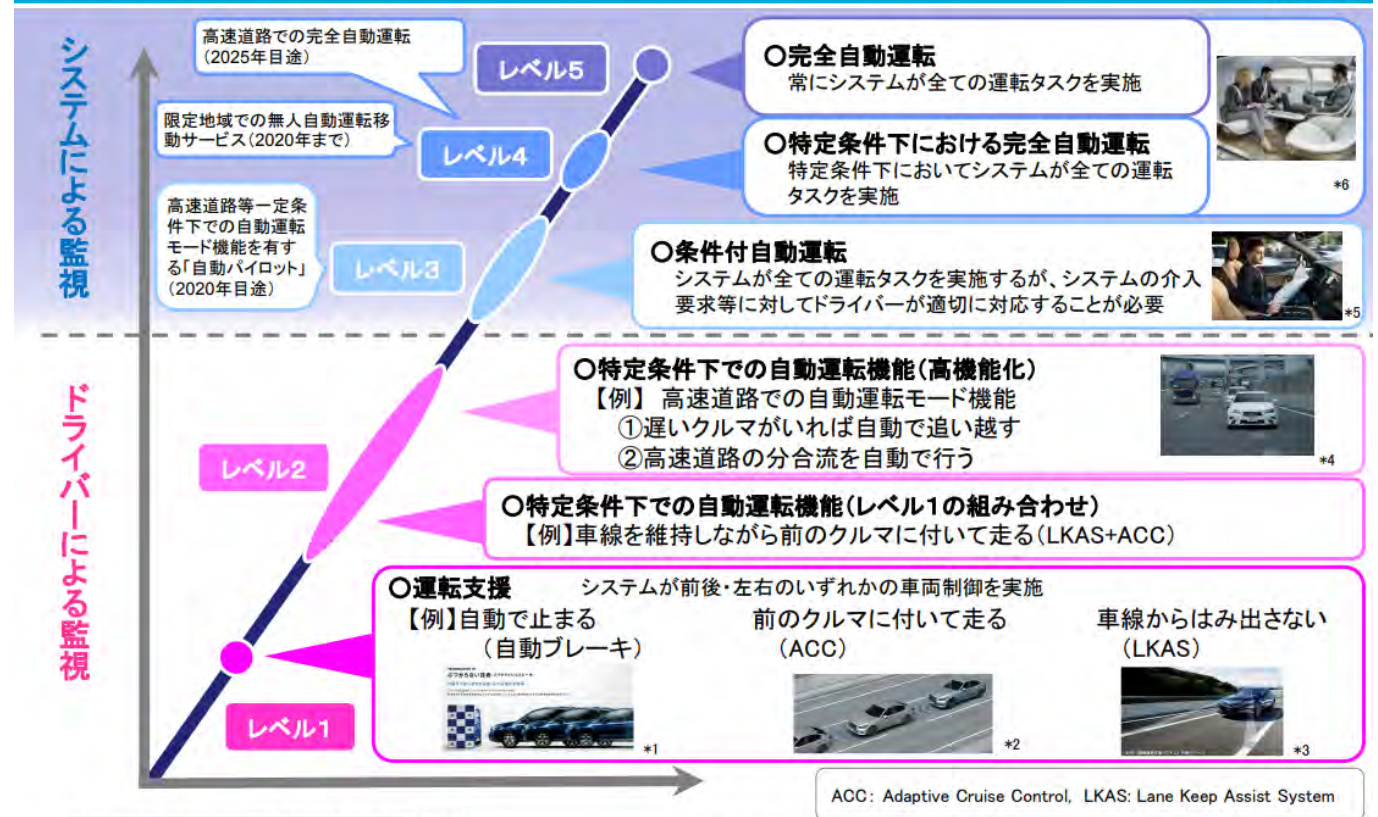


新型レジェンド Hybrid EX・Honda SENSING Elite

レベル3自動運転を実現した新型レジェンド

出典：CarWatch
<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1309878.html>

自動運転のレベル分けについて



官民ITS構想・ロードマップ2017等を基に作成

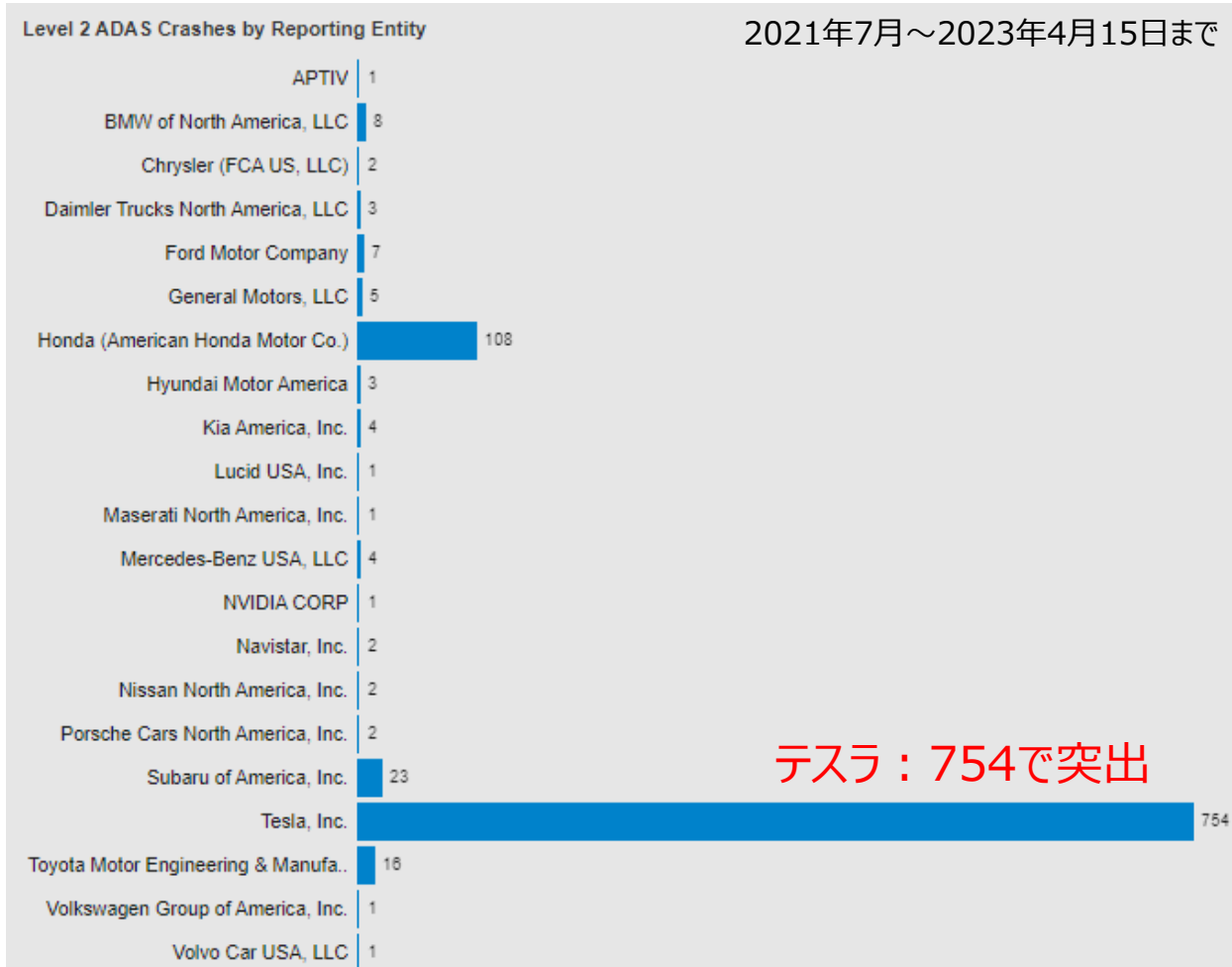
*1 (株)SUBARUホームページ *2 日産自動車(株)ホームページ *3 本田技研工業(株)ホームページ
 *4 トヨタ自動車(株)ホームページ *5 Volvo Car Corp.ホームページ *6 CNET JAPANホームページ

出典：経産省
<https://www.mlit.go.jp/common/001226541.pdf>

4-2. 自動運転の種類

■レベル2

➤アメリカのNHTSAの公表しているADAS（レベル2）車の事故数



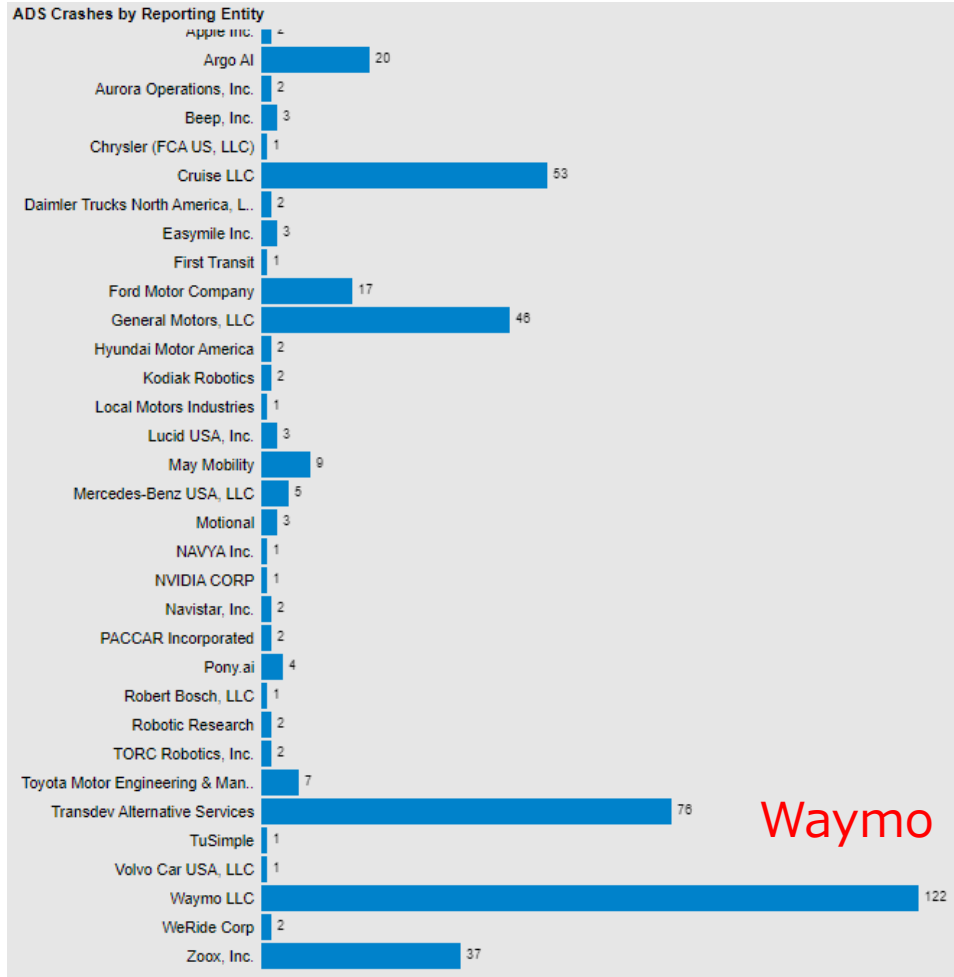
テスラ：754で突出

出典：NHTSA
<https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/standing-general-order-crash-reporting>

4-2. 自動運転の種類

■レベル3

➤アメリカのNHTSAの公表しているADS（レベル3以上）車の事故数



2021年7月～2023年4月15日まで

Waymo : 122

出典 : NHTSA

<https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/standing-general-order-crash-reporting>

4-3. 社会的ニーズ

■相次ぐ高齢者ドライバーによる事故

➤このままで良いのだろうか？



J R 逗子駅前のロータリーで歩道に乗り上げた乗用車 = 31日午前10時半ごろ

31日午前9時25分ごろ、神奈川県逗子市のJ R 逗子駅前のロータリーで、80代男性が運転する乗用車が歩道に乗り上げ、バス待ちをしていた60代の男性をはねた。

出典：神奈川新聞 | 2022年1月31日(月) 11:22
<https://www.kanaloco.jp/news/social/case/article-819227.html>

■過疎化が激しい

➤タクシー運転手も高齢化

転出超過数

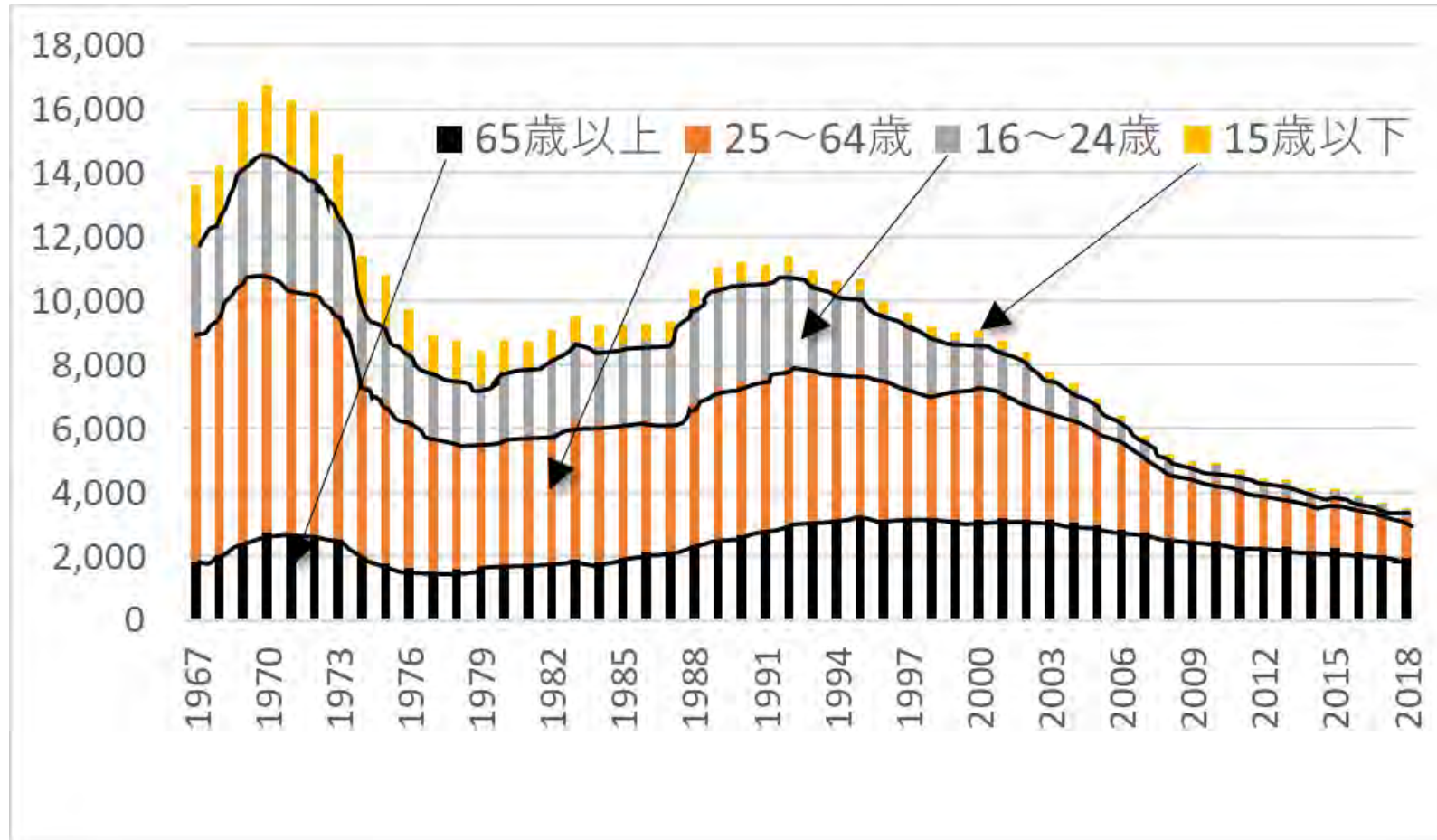
- 第1位 広島県 7159人
- 第2位 福島県 6116人
- 第3位 長崎県 5899人

2021年の中国5県の転出入			
	転入者数	転出者数	転出超過数
鳥取	8895人 (3.6%)	9931人 (3.6%)	1036人 (36人)
島根	10770 (▲0.2)	11908 (▲1.0)	1138 (▲94)
岡山	29224 (▲1.6)	32419 (0.9)	3195 (765)
広島	45392 (▲0.8)	52551 (3.0)	7159 (1889)
山口	22187 (▲1.5)	25254 (▲2.6)	3067 (▲352)

(注) カッコ内は転入者数・転出者数は前年比、単位%。転出超過数は前年差、単位人

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC2866P0Y2A120C2000000/>

■交通事故死亡者数の推移



国内

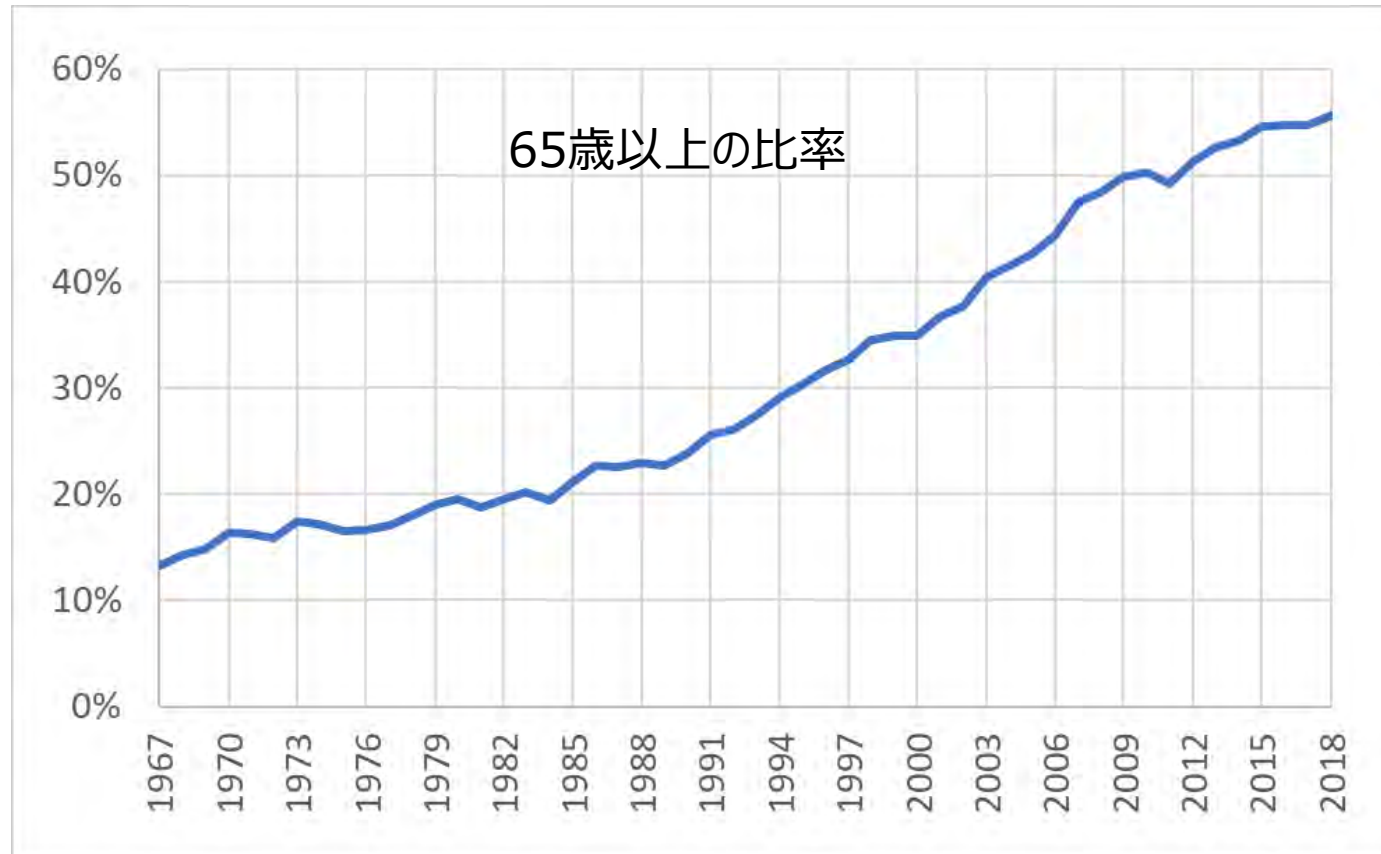
注1：警察庁資料による

注2：1971年以前は、沖縄県を含まない。

4-3. 社会的ニーズ

■交通事故死亡者数の推移

➤高齢者の割合が増加している

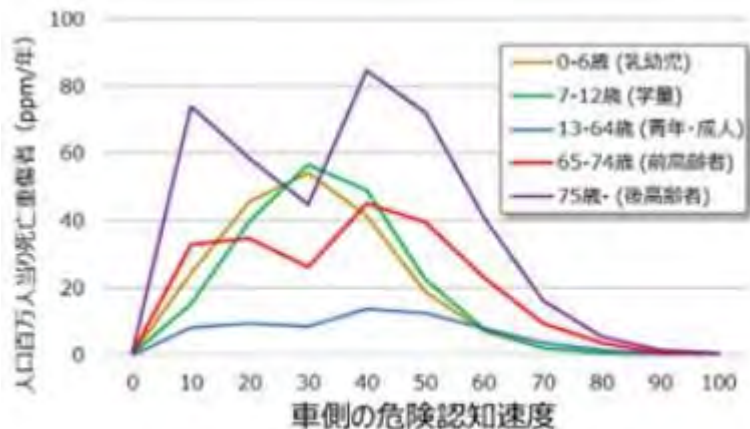


国内

注1：警察庁資料による

注2：1971年以前は、沖縄県を含まない。

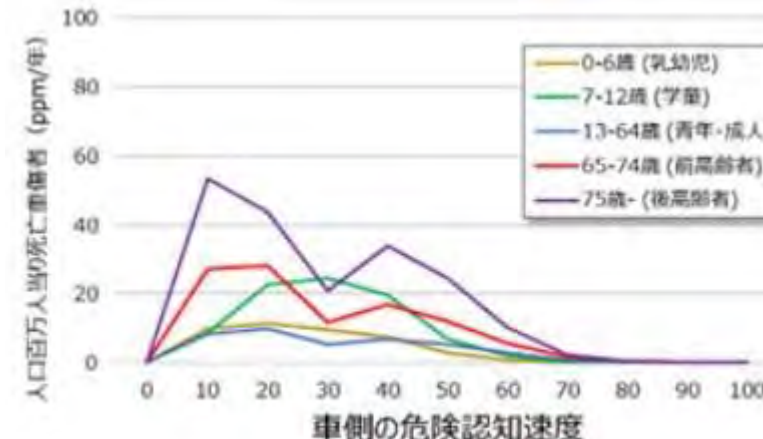
■低速域における歩行者死亡事故が相対的に増えている



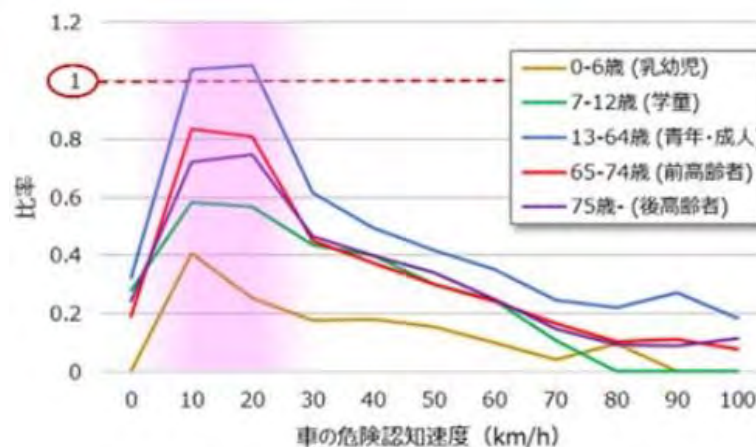
1991～2000年



人口100万人当たりの
死亡重傷者数は減少している。



2011～2020年



時速、20km/h以上は大きく減少している

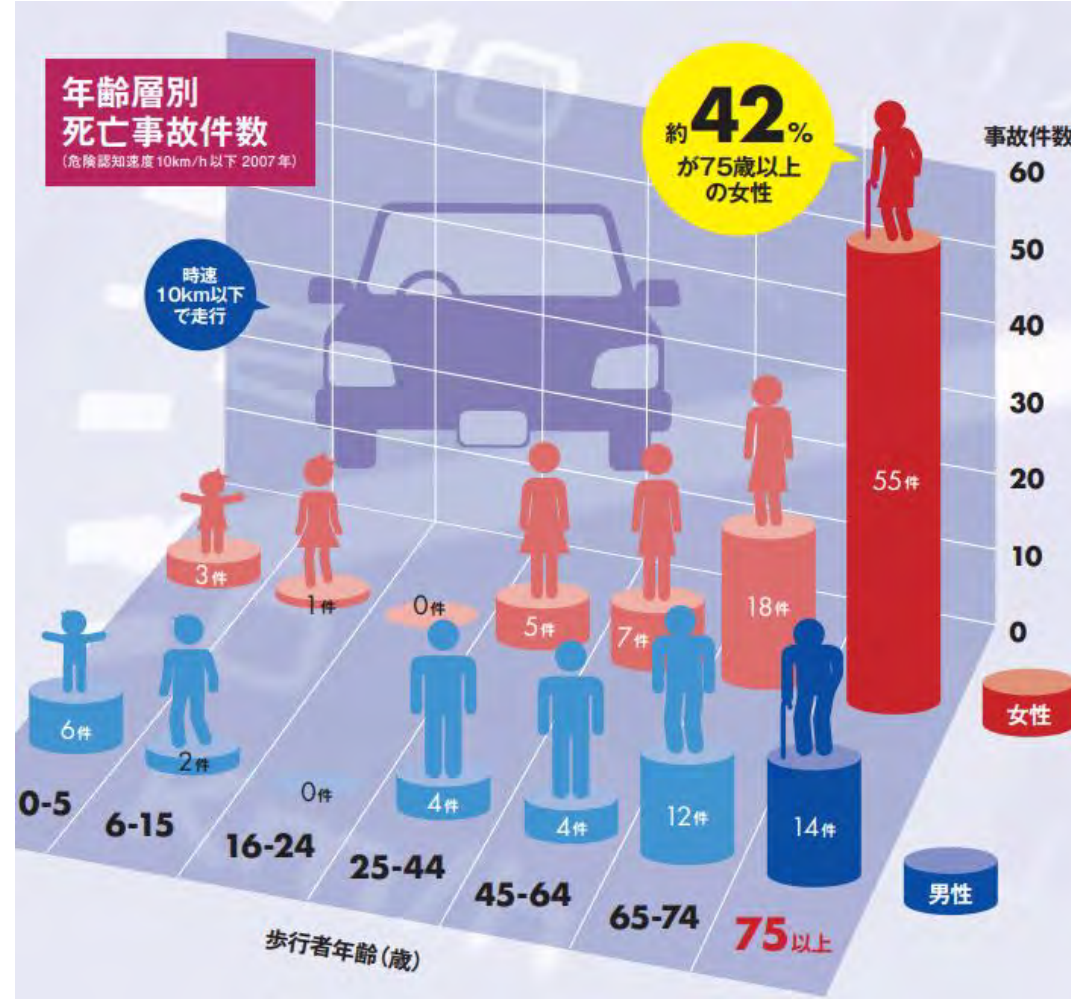
20km/h以下は、
13-64歳（青年・成人）では、増加している

出典：低速域における歩行者事故の特徴

https://www.itarda.or.jp/presentation/25/show_lecture_file.pdf?lecture_id=144&type=file_jp

4-3. 社会的ニーズ

■低速域（10km/h）以下だと



出典：低速域における歩行者事故の特徴—なぜ、低速でも死亡事故になるのか？—

<https://www.itarda.or.jp/contents/459/info79.pdf>

4-3. 社会的ニーズ

■低速域の特徴

- 子供がダメージを受けやすい



出典：低速域における歩行者事故の特徴

https://www.itarda.or.jp/presentation/25/show_lecture_file.pdf?lecture_id=144&type=file_jp

4-3. 社会的ニーズ

■子供の事故の原因

➤気付かれにくい

A：幼児の発進時事故

【原因】

- ・ **背が低い** ⇒ 運転席から見えにくい
- ・ **発進時** ⇒ 低速事故となる



B：小学一年生の事故

【原因】

- ・ **入学** で行動圏が広がる ⇒ 事故頻度が急増
- ・ **登下校中** ⇒ 通学路の低速事故が多い



図 15 子供の低速事故(文献 3, 4, 5)

出典：低速域における歩行者事故の特徴

https://www.itarda.or.jp/presentation/25/show_lecture_file.pdf?lecture_id=144&type=file_jp

参考文献

- 3) (公財) 交通事故総合分析センター「イタルダ インフォメーション No.141」, 2022年6月.
- 4) (公財) 交通事故総合分析センター「イタルダ インフォメーション No.116」, 2016年6月.
- 5) (公財) 交通事故総合分析センター「イタルダ インフォメーション No.121」, 2017年3月.

■事故例

49歳の女性が運転

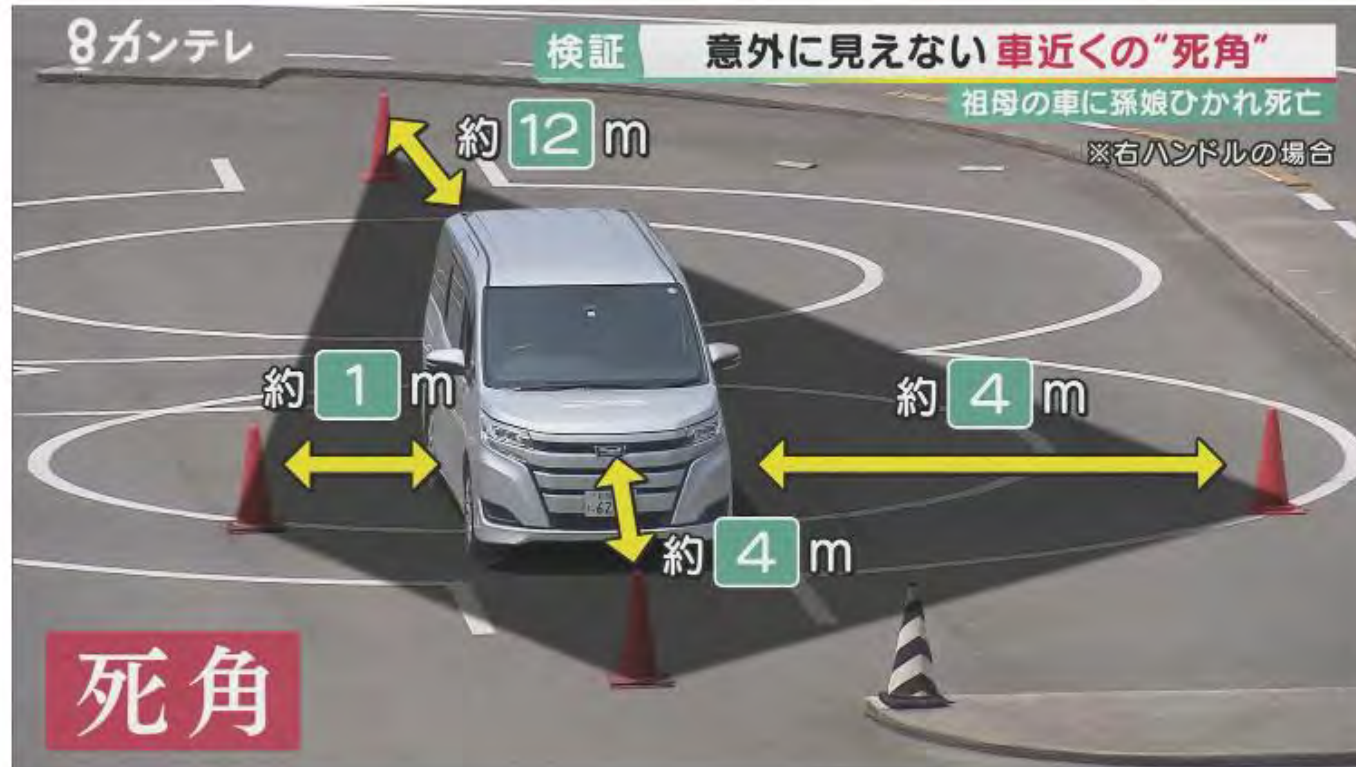


出典：文春オンライン、死亡した女児は「死角」にいた 祖母運転のクルマにひかれ…「背の低い子どもは立っていても見えない」
<https://bunshun.jp/articles/-/56494>

4-3. 社会的ニーズ

■ 女児の身長と死角

➤ 運転席からだと、発見は困難



出典：文春オンライン、死亡した女児は「死角」にいた 祖母運転のクルマにひかれ…「背の低い子どもは立っていても見えない」
<https://bunshun.jp/articles/-/56494>

4-4. どうすれば良いか

■疑問

➤レベル1から段階を踏んでいくべきなのか？



出典：第9回自動車機能安全カンファレンス2021
<https://academy.impress.co.jp/event/afsc202112/>

4-4. どうすれば良いか

■逆から考える

➤レベル5から考えても良いのでは？



人間の運転だと**合理的に予見される**人身事故を防止する



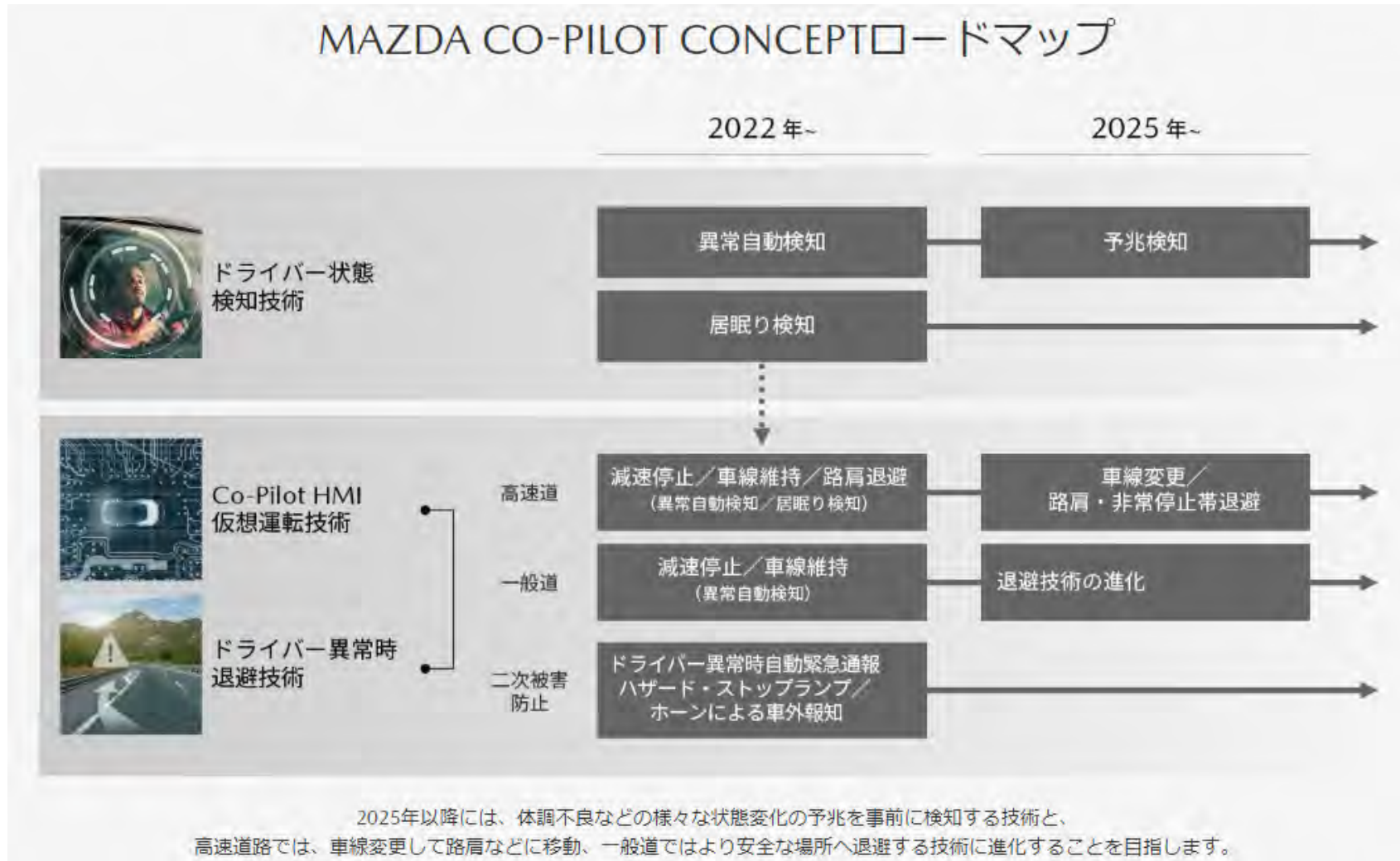
- 運転中の突然死
- 死角がある場所での運転

出典：第9回自動車機能安全カンファレンス2021
<https://academy.impress.co.jp/event/afsc202112/>

■マツダが進めている自動運転技術

出典：MAZDA CO-PILOT CONCEPT

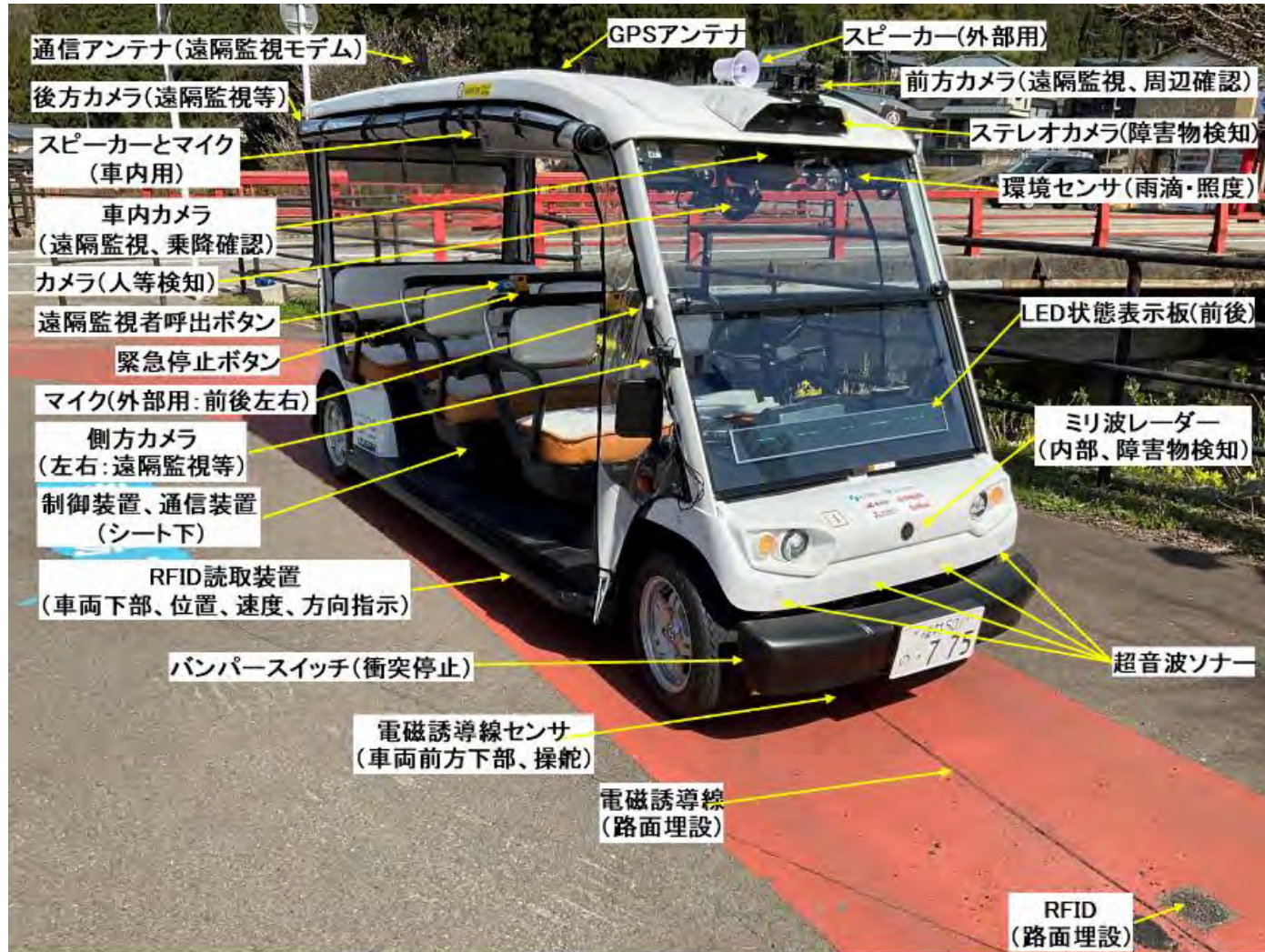
https://www.mazda.com/ja/innovation/technology/co_pilot/



4-4. どうすれば良いか

■レベル4の自動運転車

出典：経済産業省：国内初！自動運転によるレベル4での運航許可を取得しました
<https://www.meti.go.jp/press/2023/05/20230512002/20230512002.html>



前後左右を検知
= 死角ゼロ

4-4. どうすれば良いか

■レベル4：運行設計領域（ODD）での低速自動運転システム（ISO22737）

➤ 道路条件、天候条件、照明条件等を定義（制限）した上で設計、検証する

2021年度 空港制限区域内における自動運転実証実験の取り組み予定 国土交通省
2021年9月時点の情報

レベル4相当の安全チェックリストで車両性能を確認

成田空港

日本航空(株) 2021年12月 実施予定

車両：TractEasy (TLD)
技術：車両自律型 (GPS, LiDAR等)
ルート：第2旅客ターミナル本館南ソーティング
～サテライトターミナルソーティング
目的：緊急時の停止動作・再始動、障害物検知
時の挙動、遠隔操作等に関する実証



羽田空港

全日本空輸(株) 2022年2月 実施予定

車両：K9RA (BYD)
技術：車両自律型
(カメラ、ジャイロ、GPS等)
ルート：第2ターミナルオープンスポット
～バス乗降場
目的：オープンスポットにおける自動走行実証



2021年度内 実施予定

(株)ティアフォー (他3社共同)

車両：GSM8改造車両 (タジマモーター)
技術：車両自律型 (LiDAR、高精度三次元
地図、GNSS、カメラ、IMU、5G (ローカル・キャリア網))
ルート：第2ターミナル～第3ターミナル
目的：空港制限エリア内における自動走行実証
遠隔監視に係る5G環境等の有効性・通信品質の検証



『総務省R3年度事業「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」に連動して実施』
(代表機関 東日本電信電話(株))

手荷物搬送:2021年12月
貨物搬送 :2022年 2月 実施予定

車両：3TE25 (豊田自動織機)
技術：車両自律型
(カメラ、ジャイロ、GPS等)
ルート：第2ターミナル～南ソーティング場
第2ターミナル～東貨物上屋
目的：T字合流、車線変更、遠隔操作
等に関する実証



安全チェックリストのレベルは検討中

中部国際空港

(株)NTTドコモ (他5社共同) 2021年度内 実施予定

車両：ポンチョ (日野自動車)
技術：車両自律型 (GPS, LiDAR等)
ルート：第1旅客ターミナル
～第2旅客ターミナル
目的：空港制限エリアと公道の同時
運行での自動走行実証



レベル3相当の安全チェックリストで車両性能を確認

AiRO(株) (協力会社：日本航空(株)) 2021年度内 実施予定

車両：CarriRo Tractor (ZMP)
技術：車両自律型 (GPS, LiDAR等)
ルート：東貨物地区～西貨物地区
目的：様々な条件下での障害物検知・
回避、交差点右左折、車線変更に関
する実証



※レベル4相当の安全チェックリストでは、自動運転継続が困難な場合（ODD逸脱時、システム異常時、通信断絶時、事故や災害発生時等）の安全性や、遠隔操作に関するチェック項目を追加

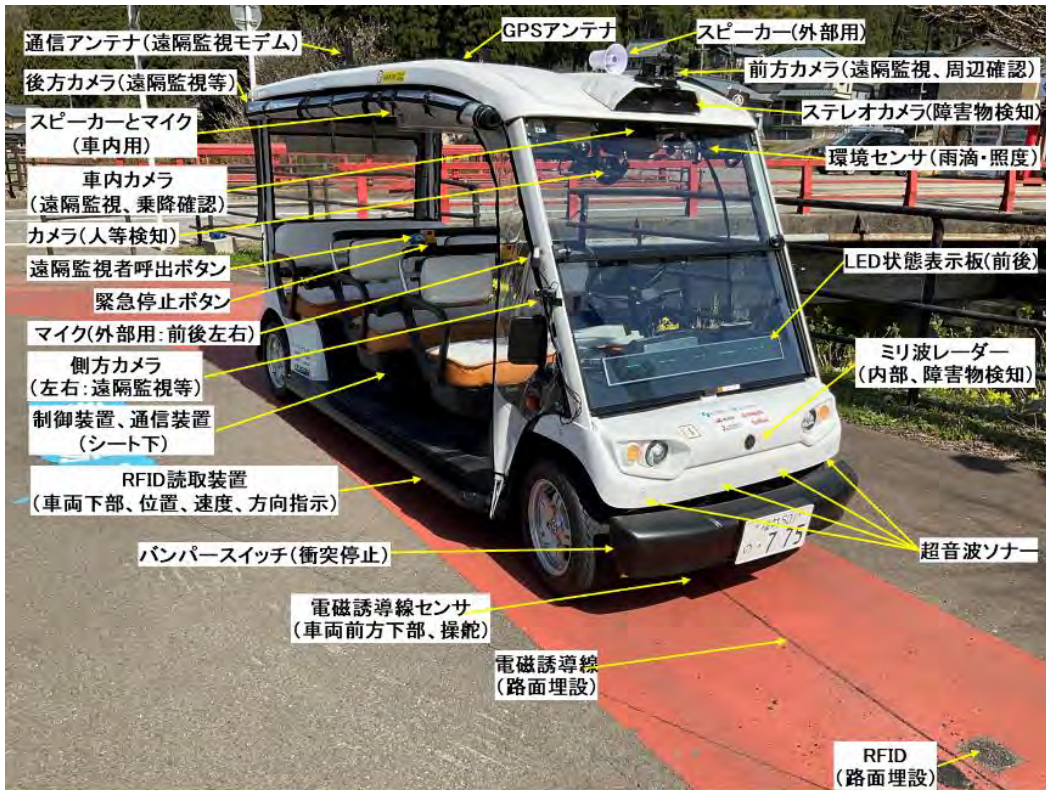
※ODD = Operational Design Domain (運行設計領域等)
自動運転システムが正常に作動する前提となる設計上の走行環境に係る特有の条件のこと

出典：経産省、第9回 空港制限区域内における自動走行の実現に向けた検討委員会資料
<https://www.mlit.go.jp/common/001425246.pdf>

4-4. どうすれば良いか

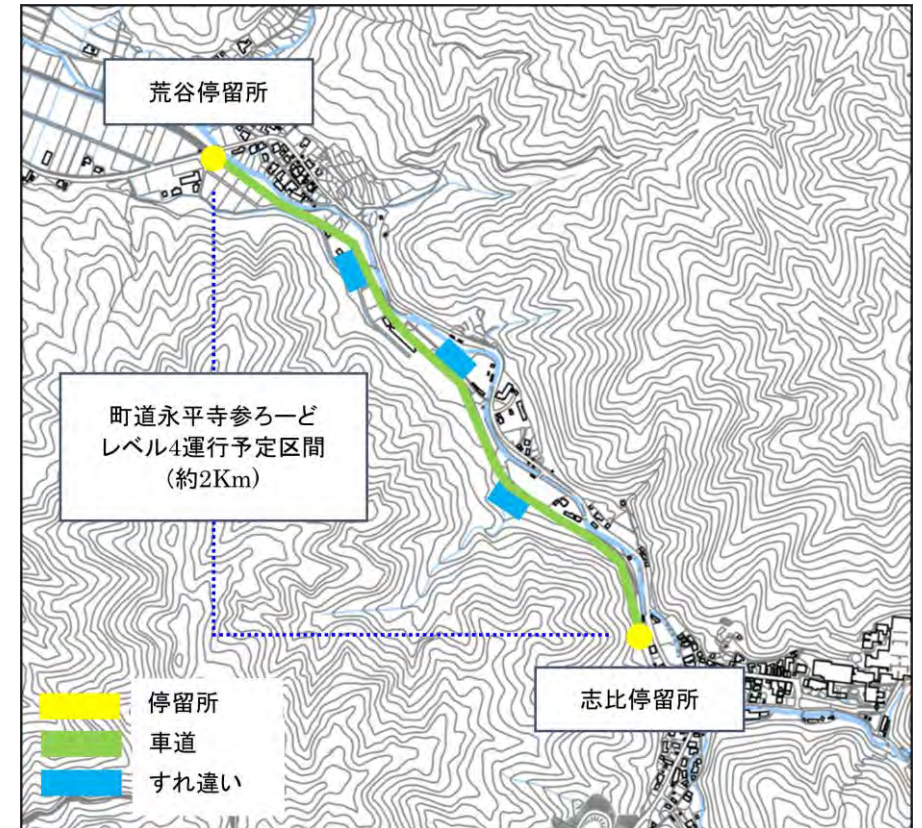
■レベル4でも十分では？

➤ 社会問題の解決の先鞭になる



出典：経済産業省：国内初！自動運転によるレベル4での運航許可を取得しました
<https://www.meti.go.jp/press/2023/05/20230512002/20230512002.html>

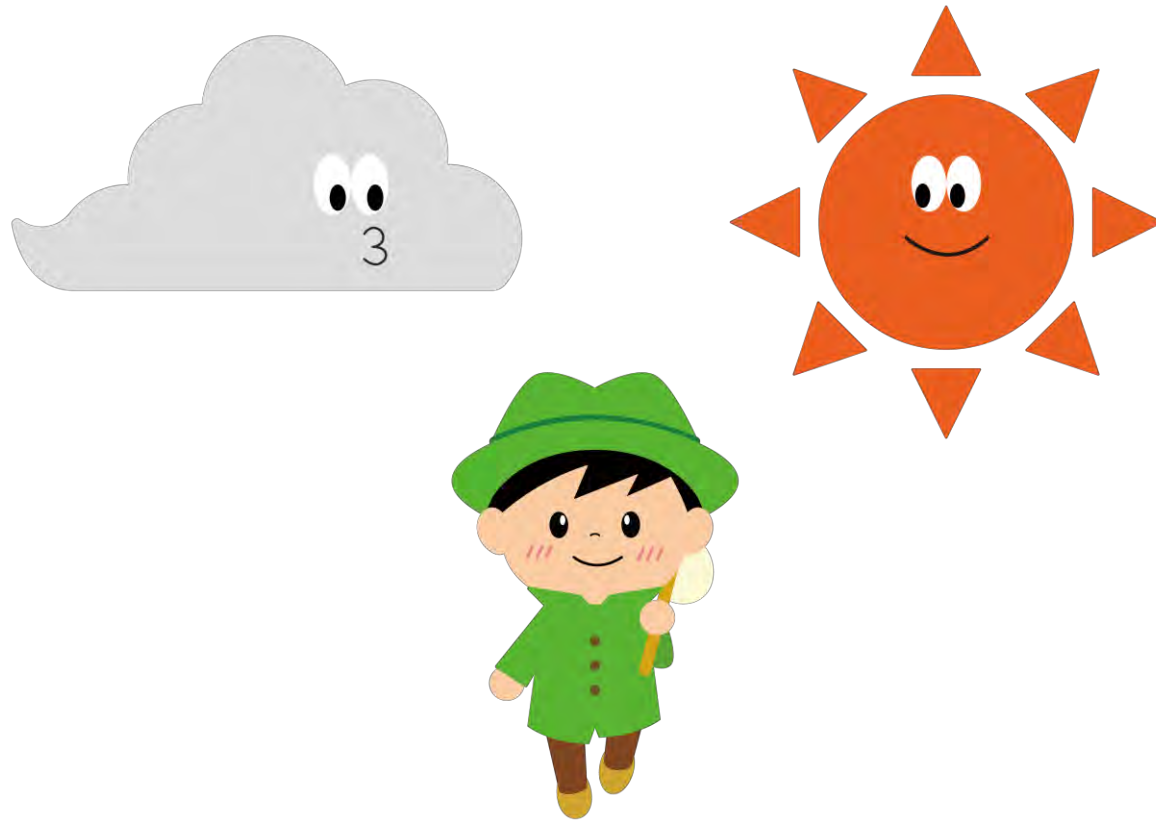
福井県永平寺町



4-4. どうすれば良いか

■完全な自動運転よりも、人が足りない部分を補う自動運転

- 今の自動運転でできないことを指摘するより、人が困っていることは何か？を先に考える



ご清聴ありがとうございました



saito@shikumi.design



オンライン名刺
(eight)