

December 2024

ClassNK

電気自動車安全輸送ガイドライン (第 2.0 版)

[日本語/Japanese]



ClassNK

はじめに

近年、船舶による電気自動車の輸送機会が増加傾向にある。国際エネルギー機関(IEA)によりまとめられた、電気自動車の2021年末時点の登録台数は、図1に示すとおり、指数関数的に増加していることが分かる。同機関がまとめた電気自動車の登録台数の将来予測も、図2に示すとおり、指数関数的に増加する見込みである。

電気自動車の輸送機会の増加に伴い、電気自動車の海上に於ける安全輸送のための規則の策定の動きがある。国際海事機関(IMO)において、2022年4月に開催された海上安全委員会(MSC)では、電気自動車を含む代替燃料自動車の安全輸送について2024年から2027年を目途に協議されることが決定されている。

一般的に、IMOにおける新たな規制の制定には長い時間が必要であるが、電気自動車の海上に於ける輸送機会の増大から、その安全対策については待ったなしの状態である。

そこで、IMO安全規定に先立って、英国海事沿岸警備局(MCA)よりRo-Ro客船に電気自動車を積載する際の指針であるMGN653(M)が、欧州海上安全庁(EMSA)より電気自動車を含む代替燃料自動車の輸送の指針であるAFVs Guidanceが既に公表されている。但し、これらの指針等が世界的に統一された形で運用されるまでには相当の時間が必要となる見込みである。

このため、上記の安全規制の動きに加えて、自動車運搬船の船主及び運航管理会社等にとっては、電気自動車の安全対策について、自主的且つ先進的に取り組む動きがある。

これらの状況を踏まえ、弊会では電気自動車火災の特徴及び電気自動車火災に対する追加の火災安全策を記載した本ガイドラインを発行するに至った。

具体的には、自動車運搬船の船及び管理会社等が電気自動車の海上輸送に対する火災安全対策を自主的且つ先行して構築するために有用な情報及び枠組みを提供し、電気自動車の海上輸送の安全性強化の一助となること等を目的としたガイドラインを開発した。

第1章から第3章には船級協会として提供する技術サービスの枠組みを記述している。これにより、自動車運搬船の船主や運航管理会社の先進的な安全対策について客観的な評価が行えるよう、本ガイドラインに基づいて火災安全対策が実施された自動車運搬船に、その旨を船級符号に付記できるようにした。自動車運搬船の船主や運航管理会社の先進的な安全対策について客観的な評価が行えるよう、本ガイドラインに基づいて火災安全対策が実施された自動車運搬船に、その旨を船級符号に付記できるようにした。

第4章では火災対策を構築する上で必要な知識を共有することを目途として、電気自動車火災の特徴と注意点について解説している。また、第5章では前章の電気自動車火災の特徴を踏まえ、火災に対する対応指針を対策の一例を交えながら解説している。

なお、本会で検討したより具体的な対策は時宜を得て提供した方が業界にとってより有用であるとの考えから、「電気自動車火災対策検討リスト」としてホームページ上に掲載する事としている。当火災対策リストにはその対策のメリットだけでなく、デメリットや課題も合わせて紹介する事としており火災対策をこれから検討する方々にとって参考になると考えている。また、デメリットや課題を紹介する事で新技術を開発する糧になると期待している。

また本ガイドライン及び火災対策リストが電気自動車の海上に於ける安全運送のための一助となれば幸甚である。

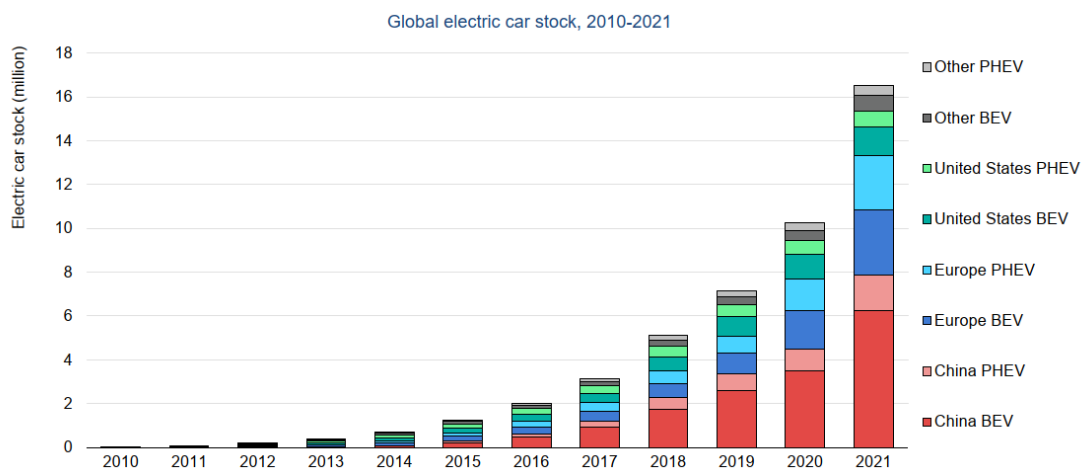


図 1：電気自動車登録台数（2021 年末時点）

（出典：Global EV Outlook 2022）

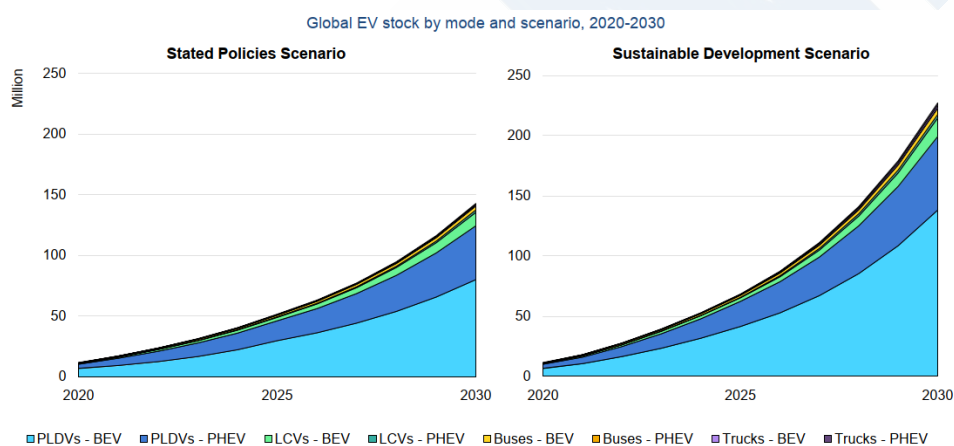


図 2：電気自動車の登録台数の将来予測

（出典：Global EV Outlook 2022）

改訂履歴

No.	日付	区分	改訂内容
1	2023.8	新規	新規作成
2	2024.12	改正	脱出に関する調査・検討結果を反映

電気自動車安全輸送ガイドライン

目次

1 章	総則	1
1.1	適用	1
1.2	船級符号への付記	1
1.3	付記の削除	1
1.4	船級符号	1
2 章	提出図面及び書類	3
2.1	提出図面及び書類	3
3 章	検査	4
3.1	一般	4
3.2	初回検査	5
3.3	定期的検査	5
3.4	臨時検査	5
4 章	電気自動車火災の特徴	6
4.1	一般	6
4.2	電気自動車の特徴	7
5 章	追加の火災安全措置	10
5.1	一般	10
5.2	電気自動車火災への対応指針	10
5.3	船級符号への付記	17

1 章 総則

1.1 適用

本ガイドラインは、日本海事協会（以下、「本会」という。）に登録する船舶であって、電気自動車の運送のための追加の火災安全措置が講じられた船舶であり、かつ、その旨を船級符号に付記することについて、申込みがあったものに適用する。

1.2 船級符号への付記

-1. 該当する追加の火災安全措置を備える船舶について、本ガイドラインの定めるところにより、船級符号に「*Additional Fire-fighting Measures for Vehicle Carrier(XX)(EV)*」（略号 *AFVC-(XX)(EV)*）を付記する。“XX”には、該当する追加の火災安全措置が記載される。

（例えば、5.2.2 に定める追加の火災安全措置が講じられた船舶にあつては、船級符号に「*Additional Fire-fighting Measures for Vehicle Carrier(Fire Detection)(EV)*」（略号 *AFVC(FD)(EV)*）を付記する。）

-2. 該当する追加の火災安全措置を複数講じる船舶について、本ガイドラインの定めるところにより、前-1.の船級符号の“XX”に該当する追加の火災安全措置が追記される。

（例えば、以下の 5.2.2 及び 5.2.3 に定める追加の火災安全措置を複数講じる船舶にあつては、船級符号に“*AFVC(FD,PS)(EV)*”を付記する。）

1.3 付記の削除

本ガイドラインに従った追加の火災安全措置が適切に維持されていない場合は、関連する付記を削除する。なお、本ガイドラインに規定する要件は任意な要件であり、船級登録維持のための必須の要件とはしない。

1.4 船級符号

本ガイドラインに規定する船級符号の付記は、表 1.1 に規定する。追加の火災安全措置が講じられた船舶には、その旨を船級符号に付記することができる。

表 1.1 追加の火災安全措置の船級符号の付記 - 自動車運搬船

付記	規定	船級符号	参考
<i>AFVC</i> <i>(FD)(EV)</i>	5.2.2	<u>A</u> dditional <u>F</u> ire-fighting measures for <u>V</u> ehicle <u>C</u> arrier (<u>F</u> ire <u>D</u> etection)(EV)	5.2.2 及び 5.2.3 に定める要件 に適合した船 舶にあつては、 船 級 符 号 に <i>AFVC(FD,PS)</i> <i>(EV)</i> を付記す る。
<i>AFVC</i> <i>(PS)(EV)</i>	5.2.3	<u>A</u> dditional <u>F</u> ire-fighting measures for <u>V</u> ehicle <u>C</u> arrier (<u>P</u> revention of <u>S</u> econdary fire)(EV)	
<i>AFVC</i> <i>(PFS)(EV)</i>	5.2.4	<u>A</u> dditional <u>F</u> ire-fighting measures for <u>V</u> ehicle <u>C</u> arrier (<u>P</u> revention of <u>F</u> ire <u>S</u> pread)(EV)	
<i>AFVC</i> <i>(FF)(EV)</i>	5.2.5, 5.2.6, 5.2.7, 5.2.8, 5.2.11	<u>A</u> dditional <u>F</u> ire-fighting measures for <u>V</u> ehicle <u>C</u> arrier (<u>F</u> ire- <u>F</u> ighting)(EV)	
<i>AFVC</i> <i>(EFF)(EV)</i>	5.2.9	<u>A</u> dditional <u>F</u> ire-fighting measures for <u>V</u> ehicle <u>C</u> arrier (<u>E</u> nhanced <u>F</u> ixed <u>F</u> ire-extinguishing system)(EV)	
<i>AMEVC(E</i> <i>V)</i>	5.2.12	<u>A</u> dditional <u>M</u> easure for <u>E</u> scaping from <u>V</u> ehicle <u>C</u> arrier (EV)	

2 章 提出図面及び書類

2.1 提出図面及び書類

- 1. 初回検査時には、鋼船規則で要求される図面及び書類に加えて、船級符号の付記に従って、表 2.1 に示す図面及び書類を提出しなければならない。なお、以下の情報が船級登録検査の際に提出される図面及び書類に含まれている場合には、別途提出する必要はない。
- 2. 本会が必要と認める場合、追加の書類の提出を要求することがある。
- 3. なお、3.2 に定める初回検査を実施する際には、それぞれの追加の対策に対して、試験法案を提出すること。

表 2.1 提出図面及び書類 - 自動車運搬船

規定番号	付記	提出図面及び書類
5.2.2	<i>AFVC</i> <i>(FD)(EV)</i>	(1) 電気自動車火災対策書-火災探知能力向上に関するコンセプトを記載した図書 (2) 火災探知能力向上を示す図書、計算書、シミュレーション結果等 (3) 装置の概要図（機器が適合している規格の証明書含む） (4) その他、本会が必要とする図書
5.2.3	<i>AFVC</i> <i>(PS)(EV)</i>	(1) 電気自動車火災対策書-火災の防止に関するコンセプトを記載した図書 (2) 火災防止効果を示す図書、計算書等、シミュレーション結果など (3) 装置の概要図（機器が適合している規格の証明書含む） (4) その他、本会が必要とする図書
5.2.4	<i>AFVC</i> <i>(PFS)(EV)</i>	(1) 電気自動車火災対策書-延焼防止に関するコンセプトを記載した図書 (2) 延焼防止効果を示す図書 (3) 装置の概要図（機器が適合している規格の証明書含む） (4) その他、本会が必要とする図書
5.2.5, 5.2.6, 5.2.7, 5.2.8, 5.2.11	<i>AFVC</i> <i>(FF)(EV)</i>	(1) 電気自動車火災対策書-消火活動に関するコンセプトを記載した図書 (2) 消火活動の効果を示す図書 (3) 装置の概要図（機器が適合している規格の証明書含む） (4) その他、本会が必要とする図書
5.2.9	<i>AFVC</i> <i>(EFF)(EV)</i>	(1) 固定式消火装置の図書及び仕様書 (2) 固定式消火装置の作動信頼性向上のための要因分析及びリスク評価結果 (3) 固定式消火装置の作動信頼性向上の対策書 (4) その他、本会が必要とする図書
5.2.12	<i>AMEVC</i> <i>(EV)</i>	(1) 安全に脱出するためのコンセプトを記載した図書 (2) 貨物艙火災時に安全に脱出するためのリスク解析結果など

		(3) 装置やシステムの概要図 (4) その他、本会が必要とする図書
--	--	---------------------------------------

3 章 検 査

3.1 一般

3.1.1 検査の種類

検査の種類は次の通りとする。

- (1) 初回検査
- (2) 定期的検査
- (3) 臨時検査

3.1.2 検査の実施及び時期

検査の実施時期は次の(1)から(3)の規定による。

- (1) 初回検査は、初回の検査について、申込みがあったときに行う。
- (2) 定期的検査は、船級登録上の年次検査、中間検査及び定期検査の時期（例えば、鋼船規則 B 編 1.1.3-1.(1)から(3)に規定される時期）に行う。
- (3) 臨時検査は、初回検査及び定期的検査の時期以外であって次のいずれかに該当するとき、これを行う。
 - (a) 当該船舶の追加の火災安全措施を変更又は更新するとき
 - (b) 当該船舶の追加の火災安全措施に影響を及ぼす改造を行うとき
 - (c) 船舶所有者から検査の申込みがあったとき
 - (d) その他検査を行う必要があるとき

3.1.3 定期的検査の時期の繰り上げ及び延期

定期的検査の時期の繰り上げ及び延期については、船級登録上の定期的検査の時期の繰り上げ及び延期に関する規定（例えば、鋼船規則 B 編 1.1.4 又は 1.1.5 の規定）による。

3.1.4 係船中の船舶

係船中の船舶にあっては、3.1.1(2)に規定する定期的検査は行わない。

3.1.5 検査の準備その他

- 1. 本ガイドラインによる検査を受けようとするときは、検査申込者の責任において検査を受けたい希望地の本会検査員にその旨を通知すること。この通知は、検査を適切な時期に行うことができるよう、前広に行うこと。
- 2. 検査申込者は、受けようとする検査の種類に応じ、本ガイドラインに規定されている検査項目及び本ガイドラインの規定に基づき必要に応じて検査員が指示する検査項目について、十分な検査が行えるように必要な準備を行うこと。
- 3. 検査申込者は、検査を受けるとき、検査事項を承知しており検査の準備を監督する者を検査に立会わせ、検査に際して検査員が必要とする援助を与えること。
- 4. 検査に際して必要な準備がされていないとき、立会人がいないとき又は危険性がある

と検査員が判断したときは、検査を停止することがある。

-5. 検査の結果、修理をする必要があると認めたときは、検査員はその旨を検査申込者に通知する。検査申込者は、この通知を受けた場合には、必要な修理を行った上で検査員の確認を受けること。

3.2 初回検査

3.2.1 一般

初回検査では、追加の対策、装置等に関する事項について調査及び検査を行い、それらが本ガイドラインの該当する規定に適合していることを確認する。

3.2.2 検査項目

初回検査においては、以下の項目について確認する。

- (1) 該当する追加の火災安全措置が適切に備えられていること。
- (2) 該当する追加の火災安全措置が適切に作動すること。
- (3) 該当する書類、手順書、記録簿等が船上に備えられていること。
- (4) 船舶の製造中登録検査以外の時期に初回検査を受けようとする場合にあっては、該当する設備、装置、書類、手順書、記録簿等が適切に維持及び更新されていること。また、記録簿等にあっては、必要な記録が行われていること。

3.3 定期的検査

3.3.1 一般

定期的検査では、追加の火災安全措置に関する事項について検査を行い、それらが本ガイドラインの該当する規定への適合が維持されていることを確認する。

3.3.2 検査項目

定期的検査においては、以下の項目について確認する。

- (1) 該当する追加の火災安全措置のための設備等の現状が良好であること。
- (2) 該当する書類、手順書等が適切に維持されていること。
- (3) 該当する記録簿等が適切に維持され、必要な記録が行われていること。

3.4 臨時検査

3.4.1 一般

船舶の追加の火災探知及び消火設備等の変更又は更新を行う場合は、臨時検査において確認を受けること。臨時検査では、当該設備等が本ガイドラインの該当する規定に適合していることを確認する。

4 章 電気自動車火災の特徴

4.1 一般

4.1.1 目的

本章では、電気自動車の安全輸送のために留意すべき事項について述べる。

4.1.2 用語

本ガイドラインで使用している用語を以下に記載する。

用語	用語の説明
電気自動車	電気をエネルギー源とし、電動機で走行する自動車のこと。二次電池のみで駆動する電気自動車(BEV)のみならず、二次電池を搭載し、ガソリンでも駆動するハイブリッド車(HEV)やプラグインハイブリッド車(PHEV)についても電気自動車に含む。但し、本ガイドラインでは燃料電池とモーターを搭載した燃料電池自動車(FCV)は電気自動車には含めない。
二次電池	放電のみでなく充電も行える可逆的な反応が行える電池
バッテリーセル	正極、負極、電解液、セパレーター、外装材、PTC素子などからなる電気を蓄えることができる二次電池の最小単位のこと
バッテリーモジュール	バッテリーセルを複数個組み合わせて一つのパッケージとしたもの
バッテリーパック	バッテリーモジュールを複数個筐体内に搭載されたバッテリー
電解液	イオン性物質を水などの極性溶媒に溶解させて作った、電気伝導性を有する溶液
熱暴走	バッテリーセル内で何かしらのトリガーにより内部短絡が起きた場合、発熱を招く化学反応が起こり、その発熱が更なる発熱を伴う化学反応を引き起こすことを繰り返すことで温度の制御ができなくなること
脱出限界濃度	30分以内に脱出不能な状態や回復不能な健康障害に陥る危険を回避できる空気中の化学物質の限界濃度
消火 / 消炎	燃焼を止めること / 目に見える火が消えること
鎮火	燃焼を止め、これ以上燃焼が継続せず、消火活動を必要としない状態になったこと
バーニングアウト	燃える材料がなくなり燃え尽きてしまうこと。本ガイドラインではバッテリーの電解液が蒸発し尽くし、発熱を伴う化学反応がこれ以上おきなくなった状態

用語	用語の説明
フラッシュオーバー	室内への火災による熱で可燃物が熱分解し、可燃性ガスが発生して室内に充満した場合や天井の内容などに使われている可燃性材料が輻射熱などにより熱分解され一気に火勢が拡大する現象
バックドラフト	酸素不足で不完全燃焼の建物などの中に、何等かの原因で不用意に新鮮な空気が流入する事で一気に火勢が拡大する現象
オーバーホール	火災の本体を消火した後、隠れている火や残っている火を探し、消火する作業のこと

4.2 電気自動車の特徴

4.2.1 電気自動車

電気自動車とは二次電池に蓄えられた電気エネルギーをモーターに供給して駆動する自動車のことである。一般的には二次電池としてリチウムイオン電池が用いられている。

4.2.2 駆動用バッテリー

リチウムイオン電池は他の種類の二次電池と比べ体積エネルギー密度や重量エネルギー密度が高く、メモリー効果や自己放電率が低く低劣化であることから駆動用バッテリーにはリチウムイオン電池が用いられていることが多い。正極にはコバルト(NMC)系やリン酸鉄(LFP)系等、負極には炭素系金属、電解液には有機溶媒が用いられている。電気自動車に搭載されているリチウムイオン電池パックは一般的に車両下部に搭載されている。電池パック内にはラミネート型、角型又は円筒形のバッテリーセルが複数個組み込まれたバッテリーモジュールが複数個並べられている。

4.2.3 電気自動車の安全性

高電圧の駆動用バッテリーを搭載している電気自動車は、次の(1)及び(2)のような安全対策が講じられている。

(1) 感電に対する対策：

感電に対する対策としては車の乗員が衝突時において高電圧電池や高電圧部品に直接触れないように車両内部や衝突変形がおきかないような位置に配置し、かつ強固な筐体によって保護し、衝突検知システムによって高電圧回路を遮断するような仕組みになっている。

(2) 熱暴走の防止と外部への拡大防止：

熱暴走を発生させないためにバッテリーマネジメントシステムにより電流、電圧、温度を監視及び制御し、異常が検知された際、高電圧回路を遮断する安全機能が備えられている。

4.2.4 電気自動車の火災の特徴

ガソリン車の火災は電気系統の短絡やその他熱源によりエンジンルームや車両後部等の車室外の可燃性物質から出火することが多いと言われている。火災発生の流れとしては、まず小火の状態から白煙が生じ、少しずつ火勢が拡大して、外側の樹脂部品に延焼する。次いで窓ガラスが熱で破損し、空気の供給を伴って車室内に火炎が伝播する。これは電気自動車でも同じである。

電気自動車火災で注意しなければならないことは、大容量の二次電池が備えられているという点である。製造不良などによる熱暴走へ至る要因の一つの内部短絡は、バッテリーマネジメントシステムが正常に作動していても防ぐことができないことがある。また、電気自動車輸送中はバッテリーマネジメントシステムが停止している可能性があることにも留意する必要がある。電気自動車火災では二次電池が火元である可能性があるということ、もしくは二次電池が火元でなかったとしても、火勢が二次電池に延焼している可能性を完全には否定できないということに留意する必要がある。従って、火災を起こしている火元が何かを確認することが重要である。

二次電池は化学エネルギーを電気エネルギーに変換するものである。リチウムイオン電池内のセパレーターが火災や内部短絡の熱により熔融すると、さらなる短絡を生じて熱暴走に至り、酸素を必要としない発熱を伴う化学反応を引き起こす。そして可燃性ガスが発生し、発火源があれば引火し、その熱により車体へ引火する可能性がある。さらに毒性ガスが発生する可能性もあり、それに暴露されれば乗組員の健康に影響を与えるリスクが考えられる。

特に注意すべき点を、次の(1)から(3)に示す。

(1) 車体：

電気自動車の車体は、バッテリー容量増加に伴う駆動用バッテリーの高重量化を考慮して軽量化されており、従来のガソリン車より複合樹脂等の軽い材料が多用される傾向がある。それらは燃えやすく、バッテリーから発生する可燃性ガスへの引火に加えてこれら複合樹脂への引火に対しても留意をする必要がある。

(2) バッテリーの熱暴走：

バッテリーは火災等によって生じる外部からの熱影響を受けない状態でも熱暴走を起こす危険性がある。これは、外部衝撃やバッテリーセル内の異物混入などによる内部短絡が発熱を伴う化学反応を起こし、連鎖的に化学反応が進むことにより最終的にバッテリー温度は1000℃を超える熱暴走を起こすことによるものである。また、外部からの入熱によって熱暴走が起きることもある。熱暴走を起こしたバッテリーは、電極間の電位差が無くなり化学反応が収まるまで発熱を続け、その間に可燃性蒸気を噴出し続けるため鎮火は困難であり、また消火したとしても再発火のリスクがある。つまり、完全に鎮火をするまでには長い時間がかかることに留意しなければならない。さらに電気自動車のバッテリーは、航続距離を延ばすために活物質や電解液の改良による高密度化が進められている。高密度化した大容量のバッテリーは、より大きなエネルギーを蓄えているため、ひとたび不安全な状態に陥ると、より多くの熱が発生し、危険な状態になる。

(3) 可燃性ガス及び毒性ガス：

バッテリー内部の電解液には様々な物質が含まれるが、主に炭酸エステルで構成され、熱暴走の発熱で電解液が沸騰すると可燃性の白いガスとなってバッテリーから吹き出る。この白いガスの一部が発火点以上の温度に到達したり、着火源に接したりすると発火し、バッテリー火災が発生する。熱暴走の過程での化学反応によって、水素やメタンなどの可燃性ガス及びフッ化水素(HF)などの毒性ガスの発生や正極からの酸素の遊離などが引き起こされる。なお、フッ化水素は人体に有毒であり、脱出限界濃度(Immediately Dangerous to Life or Health)の値は30ppmである。

4.2.5 感電

電気自動車の駆動用バッテリーの電圧は直流300Vから400Vと高電圧であるため、電気自動車火災は電気火災の一種と認識するべきである。電気は抵抗が低い方に流れやすく、

内部短絡を起こしている箇所に流れ易いと考えられるため、内部短絡を既に起こしているバッテリーへの射水による感電リスクは低いと考えられる。しかし、電気自動車火災では数十個から数百個のバッテリーセル全てが内部短絡を起こしているとは断定し難いため、健全なバッテリーセルへの射水による感電リスクも考えなければならない。

5 章 追加の火災安全措施

5.1 一般

-1. 本章では、電気自動車火災対応のために早期発見から鎮火までの一助となる設備の紹介とその利用方法について述べる。当該設備とその利用方法は一般的な内容であるため本船へ採用する際には、設備の使用の制約や注意事項を十分に理解することが重要である。さらに、使用の制約などは他の措置等で補完するなど、その対策を講じることが必要である。

-2. 本ガイドラインに定める船級符号の付記を希望する船舶にあつては、火災安全措施が鋼船規則 R 編の要件に加えて、本章を考慮した追加の有効な火災安全措施を採用しなければならない。

-3. 本章を考慮した追加の火災安全措施のうち、鋼船規則に規定があるものについては、鋼船規則の該当する規定に適合したものでなければならない。それ以外の鋼船規則に規定がない或いは鋼船規則により難しい場合には、本会が適当と認めるものとして差支えない。

（備考）本会にて調査した電気自動車火災対策のための設備及びその利用方法について、効果とそのメリット、課題や留意すべき事項を「電気自動車火災対策検討リスト」に纏めた。（本会ホームページ：ホーム > 業務サービス > 電気自動車海上輸送時の安全対策）調査範囲は限られたものであるため、同一の設備においても他の製造者では異なる性能や特性を有している製品があると考えられる。このリストに記載されていることは参考情報であり、またリストに記載されていない設備もある。

5.2 電気自動車火災への対応指針

5.2.1 一般

船内でガソリン車と電気自動車を混載している場合、どちらの火災であるか判別することは困難である。しかしながら、ガソリン車と電気自動車では、火災の挙動が異なることから、その対処方法を変える必要がある。そのため、火災の発生している車両が電気自動車であるか否かを早期に見極める必要がある。

5.2.2 早期発見

-1. バッテリーの熱暴走では連鎖的に化学反応が進むため、バッテリー自体を鎮火させることは難しく、鎮火には長い時間を要する。そのため、バッテリーが発火する前に異常のある車両を他の健全な車両から隔離すること、また、火災初期段階で消火活動を行うことが望まれる。したがって、早期に船員が異常なバッテリーに消火活動を行うためには、バッテリーの熱暴走を事前に検知して船員へ通知することが重要である。

-2. 電気自動車の駆動用バッテリーは急に発火するのではなく、前述の通り、バッテリーが発火する前にバッテリーの異常発熱及び可燃性ガス又は毒性ガスの発生等、バッテリーが異常な状態に陥ることが分かっている。熱暴走に至る各発熱反応の概念図を図 5.1 に示す。また、18650 型リチウムイオン電池の例として、図 5.2 に熱暴走に至るまでの温度の変化及び反応時間についての目安を示す。

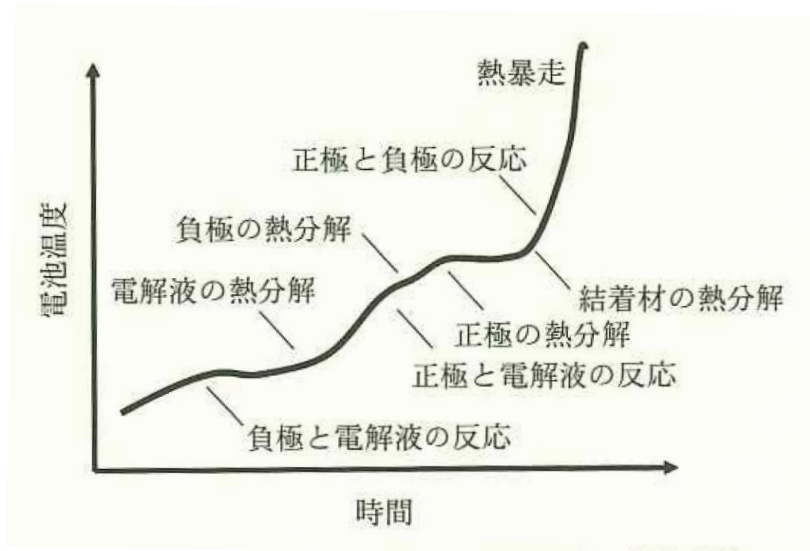


図 5.1 熱暴走に至るまでに起こる発熱反応
(出典：火災便覧 第4版 日本火災学会編 P.647)

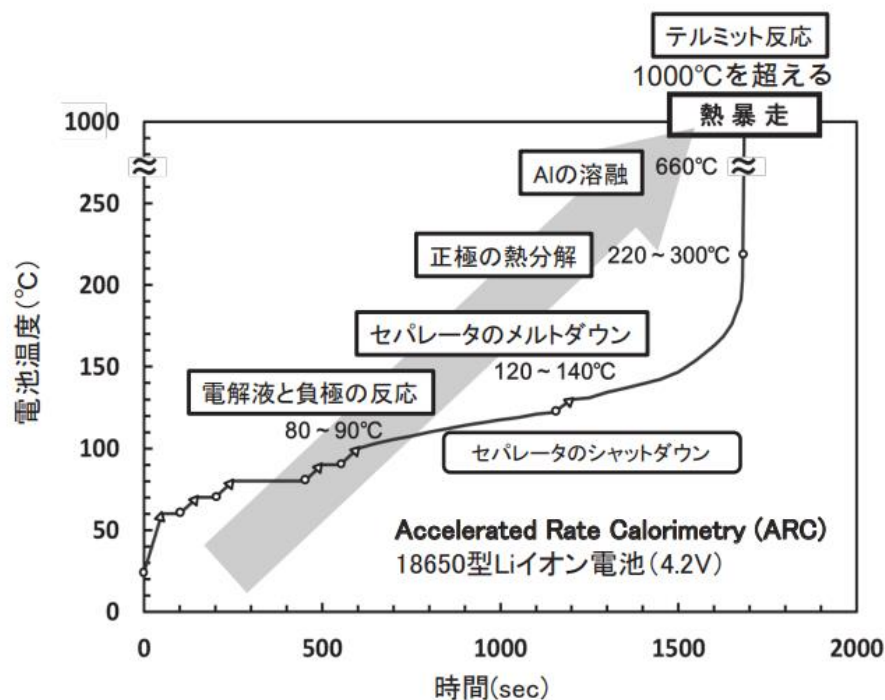


図 5.2 熱暴走に至るまでの温度及び時間の一例

出典：一般社団法人表面技術協会 表面技術 第70巻6号 小特集 製品の品質と安全性を支える信頼性評価試験

「リチウムイオン電池の熱暴走メカニズムと高安全性技術」P.301-307 より

-3. そこで、バッテリーが発火する前に車両積載区域内に放出される可燃性ガスや毒性ガス等を検知することでバッテリーの異常を識別することができると、熱暴走の初期の段階で消火活動を開始することが可能となる。バッテリー火災への対処は持運び式消火器を用いた初期消火対応のみでは鎮火が難しいため、早期発見によりいち早く本格消火を行うことが重要である。

-4. 自動車運搬船では積み荷である自動車が非常に密に積載されている。そのため煙探知

器のみでは火災車両の特定には時間が掛かることが予想される。火災発生車両を迅速に特定し適切な対処を行うことが火災拡大防止につながる。例えば、次の(1)から(4)に示すような対策を講じることが重要である。

(1) ガス検知器：

リチウムイオンバッテリーから発生するガス種としては、メタン、エタン、プロパンなどの HC 系ガス、水素ガスや一酸化炭素などが知られている。それらガスを検知するためのガス検知器を車両積載区域や通風ダクト等に設置しバッテリーの異常を事前に検知するという方法が考えられる。

(2) 煙探知器：

上昇した煙が煙探知器に到達する事で警報を発するものである。煙の流れが甲板裏の梁や桁により妨げられることや、ラッシングホールからの煙が上層の車両積載区域に流れることにより煙探知器に煙が到達する時間が遅れ、発報が遅れる要因となる。その為、煙の流動性や船体構造を考慮して、迅速に煙を探知することができる有効な煙探知器を配置することが有効と考えられる。

(3) 熱探知器及び炎探知器：

熱探知器は火災時の熱を受け警報を発するもので、炎探知器は炎から出る赤外線を検知して警報を発するものである。どちらも火災時の炎により警報を発するため、火災車両の位置を特定することが可能である。その結果早期に火災車両にアクセスでき、初期消火活動を行うことができる。

(4) CCTV（監視カメラ）：

異常を起こしたリチウムイオン電池から発生する可燃性ガスは白色であり CCTV でも十分に確認できる。また、火災車両から発生する黒煙についても CCTV で確認可能である。このことより、車両積載区域が見渡せる範囲で CCTV を設置すれば、異常な車両や火災車両の特定までの時間が短縮できる。

5.2.3 二次災害の防止

電気自動車の駆動用バッテリーが熱暴走を起こす過程で発生する可燃性ガスに着火することにより、その熱で車両積載区域内の他の場所で火災が発生する可能性が考えられる。それを防止するためには、爆発性雰囲気形成を排除することや、爆発性雰囲気が形成されたとしても着火しないようにすることが重要である。次の(1)及び(2)に示すような対策を講じることが重要である。

(1) 4.2.4(3)の記載の通り、バッテリーからメタンや水素などの可燃性ガスが発生するため、

空気と混ざることによって車両積載区域内において爆発性雰囲気を形成する。熱暴走により発生する可燃性ガスに引火するような爆発性雰囲気を車両積載区域内で形成させないためには、車両積載区域内で空気が滞留しないように換気し、爆発下限界未満に維持することが極めて重要である。

(2) 車両積載区域内で爆発性雰囲気を形成した場合、車両積載区域内から発火源を排除することで、発火源に起因する爆発などの二次災害を防ぐことができる。そこで、車両積載区域内において、防爆型電気機器を採用することが有効な対策の一つとして考えられる。車両積載区域内に防爆型電気機器を備える場合には、バッテリーから発生する可燃性ガスの内、水素ガスやメタンガスは空気より軽い為、可燃性ガスの種類、密度及び特性を考慮して、車両積載区域に設置される電気設備は適切に配置され、適切な防爆型電気機器を選定する必要がある。

5.2.4 延焼防止

バッテリー火災は火炎が視認できなくなったとしても、バッテリー自体の熱暴走、つまり発熱反応は継続している。バッテリー内の化学反応が終了するまで熱暴走は続くため、車両積載区域内で電気自動車火災が発生した場合、周囲の車両に延焼しないよう次の(1)から(3)のような対策を講じることが重要である。

(1) 水噴霧装置：

水噴霧装置は水を消火媒体とするもので、水は蒸発潜熱（液体から気体への状態変化に必要な熱量）が大きく、さらに比熱も高いことから冷却効果に優れ、海洋を航行する船舶にとって十分な量を確保することができる優れた消火剤である。火災車両に直接水を噴霧するだけでなく、周囲の車両にも水を噴霧することで水膜により輻射熱を遮断できるため、延焼防止効果に優れる。

(2) ウォーターカーテン：

ウォーターカーテンは、固定式のノズルや持ち運び式のウォーターカーテンホースから噴霧された水膜により火災車両を隔離することで非火災車両への輻射熱を遮断し、火災拡大を防ぐ延焼防止対策の一つである。ウォーターカーテンは、固定式のものと、持ち運び式のものがある。持ち運び式のウォーターカーテンホースは設置場所に自由度が高いものの甲板上に置くために、自動車の配置によっては設置が難しいことがあるので、予め設置場所を確保するといった工夫が必要となる。

(3) ファイヤーブランケット：

ファイヤーブランケットは、火災車両を包み込むことで密閉空間を作りだし、酸素の供給を遮断して消火できる。しかしながら、ラッシングホール（デッキの穴）やラッシングベルトがある車両積載区域では、火災車両を隙間なく包み込むことが容易にできないため、酸素の供給遮断効果は大きくは期待できない。一方で、優れた遮熱効果から火災車両の周囲の車両に掛けることにより、延焼防止効果が期待できる。車両が密に積載されている状況でファイヤーブランケットを使用するためには事前に計画を立てておく必要がある。

5.2.5 消火手順

-1. バッテリーの火災の鎮火には長い時間を要するため、電気自動車の火災対応において内部短絡を起こしたバッテリーの発熱反応を安全に終わらせることが極めて重要である。バッテリーから発生している火炎を単に消すだけではなく、バッテリーの発熱反応(熱暴走)自体を終わらせるというバーニングアウトの考え方（燃え尽すまで火勢を制御）を基本とすべきである。そのために、バッテリーを冷却することは、可燃性ガスや可燃物に着火しない安全なレベルまでバッテリー自体の温度を下げながら、緩やかに化学反応を終わらせるという点で理にかなった考え方である。

-2. バッテリーは一般に車両下部に搭載され、車両間隔の狭い積載場所で火災車両に容易にアクセスできるものではない。そのため、まずは車両又はバッテリーの消炎が必要である。消火ホースを用いた射水等による消炎後、バッテリーの冷却作業に入り熱暴走を抑える必要がある。

-3. 船内の消火ノズルや水噴霧放射器により冷却する方法、貫通型ノズルを用いてバッテリーパック内部や車室内へ注水する方法、もしくはバッテリー冷却のための専用の消火装置を使用する方法が考えられる。但し、貫通型ノズルを用いてバッテリーパック内部へ注水する際には、健全なバッテリーセルを貫通することによる感電にも注意しなければならない。

-4. 化学反応の終わっていないバッテリーは冷却を止めると化学反応によりバッテリー温度が再び上昇することが分かっている。そのため、バッテリーの冷却が完了しているか

否かについては、赤外線カメラで温度上昇がないことを確認することやバッテリーに射水しその水が蒸発しないことを確認するなどの方法が考えられる。

5.2.6 消火活動

-1. 消火活動において安全を確保するために、少なくとも2人1組で火災に立ち向かうことが基本である。万が一、1人に何かがあってももう1人により何らかの対処ができる可能性があり、1人では見過ごすような危険な状況も2人であれば見過ごすことを低減でき、危険を回避できる可能性が高くなる。

-2. 火災が発生するとその周囲は煙により視界不良になる。そのため、火元の特定は困難となり、効果的な消火活動が継続できなくなる可能性が高い。また、そのような状況では消防員は状況判断を誤り、消防員自身が危険な状態に陥ることも考慮すべきである。そのため、消防員の安全を守ることと火元の特定が消火作業において最も重要である。これらを解決する方法の一つとして、火災場所で通風を制御することが考えられる（通風コントロールの詳細は5.2.7項を参照）。一方向に通風することで排煙を効果的に行うことは、危険なガスを希釈し船外に排出することで消防員の安全が確保でき、さらに視界を良好にすることで火元が特定し易くなることから効果的な消火活動が安全に継続できるため、換気は非常に重要な要素の一つであると考えられる。ただし、火災が大規模で火災区画の酸素濃度が低くなっている状態で換気をするのはかえって火災を助長することになることにも注意する必要がある。そのため、火災発生場所や火災の状態に応じた換気について検討し、これに応じた消火活動計画を構築する必要がある。

-3. バッテリーの冷却には長時間を要することから、消防員が装着する自蔵式呼吸具の使用時間について考慮する必要がある。一方で、船舶に搭載されている呼吸具は一般に20分から30分程度しか使用できない。故に消防員が自蔵式呼吸具を装着していなくても消火活動を行える環境を作ることは重要である。これを達成するための手段の一つとして換気により煙を一方向に押しやることは効果的である。長時間の消火活動を実現するためには、事前の計画立案が必要であり、効果的に実施する為に日々の訓練も重要である。このように長時間の消火活動を行うためには、自蔵式呼吸具の空気シリンダの浪費を抑え、さらに十分な数の予備シリンダ及び再充填装置の備え付けは有効な対策であると考えられる。

-4. 消火水は、船舶の復原性を損なう可能性がある。消火水を適切に管理し、車両積載区域への水の滞留を抑えるよう努める必要がある。必要な量だけの消火用水を使用することが大切である。噴霧は、直射よりも冷却性能を発揮させ、水量を節約できるため効果的である。消火水を射水すると同時に、排水作業を開始することが重要である。船の安定性を損なわない為の基本は、消火水を船外に出すか、ポンプで汲み上げることができる船内の可能な限り低い位置に水を移動させることである。火災の影響により発生した溶けたプラスチック材や燃えかすなどがスカッパを塞いでしまうことがあるため、消火活動中は排水用のスカッパなどに詰りがいかをよく監視する必要がある。また、固定式ポンプ、エダクターなどの排水装置を使用することも事前に計画しておくことが大切である。

5.2.7 通風制御

-1. 火災時は火災封じ込めのために、通風を遮断すべきであるという考え方がある。酸欠状態を作り出すことで消炎が期待できるような閉囲空間であれば、通風を遮断することにはある一定の効果があると考えられる。その一方で、自動車運搬船の車両積載区域のような大容積の空間では車両数台の火災で区画全体がすぐに酸欠状態になる可能性は低く、通風を遮断することによりかえって区画内に煙を充満させ危険な状態を作り出すことになる。消火活動においては通風を遮断すべき時とそうでは無い時を判断することが重要である。

自動車運搬船の火災で火元車両の特定や車両積載区域内での消防員の活動を考慮すると、通風による視界確保と消防員の安全確保という目的において通風は効果的である。

-2. 自動車運搬船の車両積載区域は排気/給気型の通風装置により換気することが可能である。火災時には車両から大量の煙が発生するため、消防員が消火活動を行う際に排煙作業を行うべきである。排煙作業の目的は次の**(1)**から**(3)**の理由が考えられている。

(1) 消防員の視界を改善し、火元の確認や逃げ遅れた者を発見し易くすること

(2) 高温の可燃性ガスや有毒ガスを排出し、それらの危険性を低減すること

(3) フラッシュオーバーやバックドラフトの発生の可能性を軽減すること

-3. このように火災時において排煙作業を行うことは極めて重要なことである。しかしながら、自動車運搬船の車両積載区域内では、通風装置の配置や開口の向きによっては空気が滞留する箇所が存在すると考えられる。そのため、実船で通風状態を検証し、車両積載区域内の空気の循環状況について把握しておくことが重要である。空気の循環が滞り易い場所には追加の対策を講じることで換気状態を改善できる可能性がある。次の**(1)**及び**(2)**に掲げるような追加の換気対策を講じることで艙内の換気状態を改善するためのプランを事前に構築しておく必要がある。

(1) 陽圧換気：区画内を正圧にして区画内の煙を効率よく排出する

(2) 持運び式ファンによる強制換気：持運び式ファンで空気が淀んでいる箇所に強制的に空気を送りこんで換気する

5.2.8 固定式消火装置

-1. 火災を検知した際には初期消火が重要である一方、火災の規模によっては固定式消火装置を迅速に起動することも有効な対策となり得る。この場合、警報発報から起動ボタンを押すまでの目標時間をあらかじめ決めておくことが重要となる。電気自動車は消火後もバッテリーの熱暴走により再着火する可能性もあるため、消火装置の再起動が必要になる場合がある一方、状態監視装置がないと車両積載区域内の火災の状況が分からない。再起動のタイミングを確認するためには船員が車両積載区域に入る必要があるため、遠隔で車両積載区域内の状態を把握する必要がある。

-2. 車両積載区域には次の**(1)**から**(3)**の3種類の固定式消火装置の搭載が認められている。バッテリーが熱暴走を起こし車両火災を起こした場合、固定式消火装置を起動することにより何ができて何ができないかを理解しておく必要がある。例えばバッテリーが熱暴走を起こしている場合、バッテリーを冷却できなければ熱暴走の化学反応は続き可燃性ガスは発生し続けることに留意する必要がある。

(1) 高膨張泡消火装置：

高膨張泡による冷却効果と窒息効果で消火を行う消火装置である。泡は熱や衝撃により潰れてしまう事と熱暴走が長時間続くことを考慮すると電気自動車火災に対応するためには車両積載区域への泡の再投入を行う必要がある。車両積載区域内では泡の積み上がり状況をモニタリングする手段がないため、泡のレベル計を設けるなどの対策を講じることが有効な対策と考えられる。また、鎮火のための消火活動を行うために区画内に再度進入する可能性があるが、高膨張泡で満たされた空間であれば消火栓からの射水により泡を壊しながら区画内に進入することが可能である。

(2) 炭酸ガス消火装置：

窒息効果により消火を行う消火装置である。車両火災が起きている場合、窒息効果により消火は可能であるが、バッテリーの熱暴走は酸素を必要としない反応であるため、車両積載区域が不活性状態であっても発熱反応は続くことに留意しなければならない。保護される区画の気密性が脆弱な箇所から炭酸ガスが漏洩すると、区画内の酸素

濃度が上昇し再着火の可能性がある。酸素濃度計を区画内に設置し、着火しない酸素濃度以上になる前に炭酸ガスの再投入を検討する、もしくは放出区画の気密性を確保するために開口部の閉鎖を確実に行うことなどが有効な対策と考えられる。また、区画内に再突入する必要性が生じた場合であっても、区画内に炭酸ガスが充満している状況であれば船員が窒息する危険性があるため、炭酸ガス消火装置を再投入することにより火災を鎮火できるような対策を講じておく必要がある。

(3) 水系消火装置：

消火水をノズルから散水し、冷却して消炎する消火装置である。熱暴走を起こしているバッテリーを冷却するには冷却効果に優れている水を使用することが有効な対策の一つである。電気自動車の駆動用バッテリーは車両下部に設置されていることが多いため上部から散水しても駆動用バッテリーに直接散水はできない可能性があることに留意しなければならないが、火災車両の回りの車両に噴霧することができるため延焼防止効果は優れているといえる。天井の高い車両を積載した場合は散水エリアを阻害することになり有効に散水できない可能性もあるため、ノズル配置は計画段階で注意する必要がある。

-3. 消火効果を補完し合うため異なる消火装置を組み合わせるという考え方もある。例えば炭酸ガス消火装置にあつては水系消火装置で冷却効果を補うという考え方である。但し、異なる消火装置を組み合わせる場合は、その消火装置の効果を阻害するようなことがないかを注意して計画する必要がある。例えば、高膨張泡消火装置の泡は水の衝撃によって消えてしまうため、泡で満たされた空間に誤って水系消火装置を作動させてしまえば泡の効果を阻害してしまう結果となる。個々の消火装置の特性、効果、弱点を理解し、効果的に運用ができるよう事前検討が必要となる。

5.2.9 固定式消火装置の作動信頼性の向上

火災時に固定式消火装置が損傷や故障が無く起動できるよう固定式消火装置の作動信頼性を向上させる設計は有効な対策の一つである。火災発生時に確実に作動させることができれば鎮火に至る確率が向上する。固定式消火装置の作動信頼性の向上を検討するためには、まずその装置の仕様や仕組みを理解する必要がある。装置全体においてどの要素を変更し、その変更によってどの程度の作動信頼性が向上するのかを十分に検討する必要がある。例えば、固定式消火装置の作動失敗のシナリオについて、要因分析、リスク分析、頻度解析等を実施した上で、改善すべき事項を絞り込み、設計することが重要である。

5.2.10 その他

-1. 電気自動車火災を防ぐためには、そもそも火災リスクの高い車両を積載しないことも一つの対策と考えられる。例えば、貨物受け入れ基準において一定の基準以下の電気自動車の受け入れを拒否することが考えられる。電気自動車が普及し、バッテリーを客観的に評価できるような手法が将来構築されれば、荷役前にバッテリーの状態を示すデータを確認することで火災リスクの高い電気自動車の積載を制限するといったことも可能となる。電気自動車が普及し、バッテリーを客観的に評価できるような手法が構築されれば、これらの指標を取り入れるということも対策の一つと考えられる。

-2. 電気自動車の積載場所を制限することで火災対策を強化すべき区域を限定することや、ガソリン車と電気自動車では火災対応が異なることから電気自動車と判るようにラベリングをするといったことも対策の一つである。

5.2.11 消火戦術の構築

本章で記述したような項目について個船毎や積載貨物毎に関係者間で協議して、有効な消火戦術を構築しておくことが必要である。特に消火装置の使用手法や注意点、延焼防止対策の使用のタイミングやその使用手順、換気方法など火災発生時の実施要領を事前に準備することが重要である。また、船内の状況を考慮した上で、そのような消火手順が安全に実施可能であるか否かもを含めて十分に検討をすることが重要である。例えば、付録 1 に示すようなフローチャートを用意しておくことが望ましい。

5.2.12 安全に脱出するための設備

これまで述べた火災安全措置を講じていたとしても、火災の状態や規模は予測できないものであるため、最悪の場合、船舶からの脱出を余儀なくされる可能性がある。そのような場合であっても船舶に取り残される事なく救命艇や救命筏で船舶から安全に脱出できなければならない。本会では貨物艙内で火災が発生したシナリオを想定し、業界関係者の協力を得てリスクアセスメントを行い、脱出時にどのようなリスクが潜んでいるのかを洗い出し、その対策を検討した。

自動車運搬船の救命艇や救命筏は上甲板に設置されており、貨物艙の上に居住区があることから、上甲板を通じて脱出する必要がある。上甲板は貨物艙内の火災の影響を受けるため、貨物艙内の火災が上甲板を通じた脱出に支障をきたすケースが多いと考えられる。更に、船舶の下層デッキや機関室からの脱出は、貨物艙と隣接している階段室やエスケープトランクを使用していることから貨物艙内で発生している火災時の影響を受けやすいことに留意する必要がある。

(備考) 本会にて実施した安全に脱出をするために有効な対策を講じるための事前のリスクアセスメントを「自動車運搬船からの安全に脱出するためのリスク評価」に纏めた。
(本会ホームページ：ホーム > 業務サービス > 電気自動車海上輸送時の安全対策)
参考として纏めたものであり、このリスク評価で記載した対策を要求するものではない。

5.3 船級符号への付記

5.3.1 一般

船級符号への付記のために必要な図面や図書は、表 2.1 を参照すること。

5.3.2 火災検知 AFVC(FD)(EV)の要件

5.2.2 に記載する電気自動車火災対応指針を参照し、早期に電気自動車の異常や火災、火災車両の特定に寄与する有効な対策を講じること。その効果や有効性を事前に検討し、それらを検証する必要がある。

5.3.3 二次災害の防止 AFVC(PS)(EV)の要件

5.2.3 に記載する電気自動車火災対応指針を参照し、電気自動車の異常発生や火災発生の防止、さらに電気自動車の異常や火災発生に対する二次火災防止に対し有効な対策を講じること。その効果や有用性については事前に検討し確認をする必要がある。

5.3.4 延焼防止 AFVC (PFS)(EV)の要件

5.2.4 に記載する電気自動車火災対応指針を参照し、電気自動車の火災発生後に延焼防止に有効な対策を講じること。その効果や有用性については事前に検討し確認をする必要がある。

5.3.5 消火 AFVC (FF)(EV)の要件

5.2.5, 5.2.6, 5.2.7, 5.2.8, 5.2.11 に記載する電気自動車火災対応指針を参照し、電気自動車の火災発生後に有効な消火対策を講じること。その効果や有用性については事前に検討し確認をする必要がある。

5.3.6 固定式消火装置作動信頼性向上 AFVC(EFF)(EV)の要件

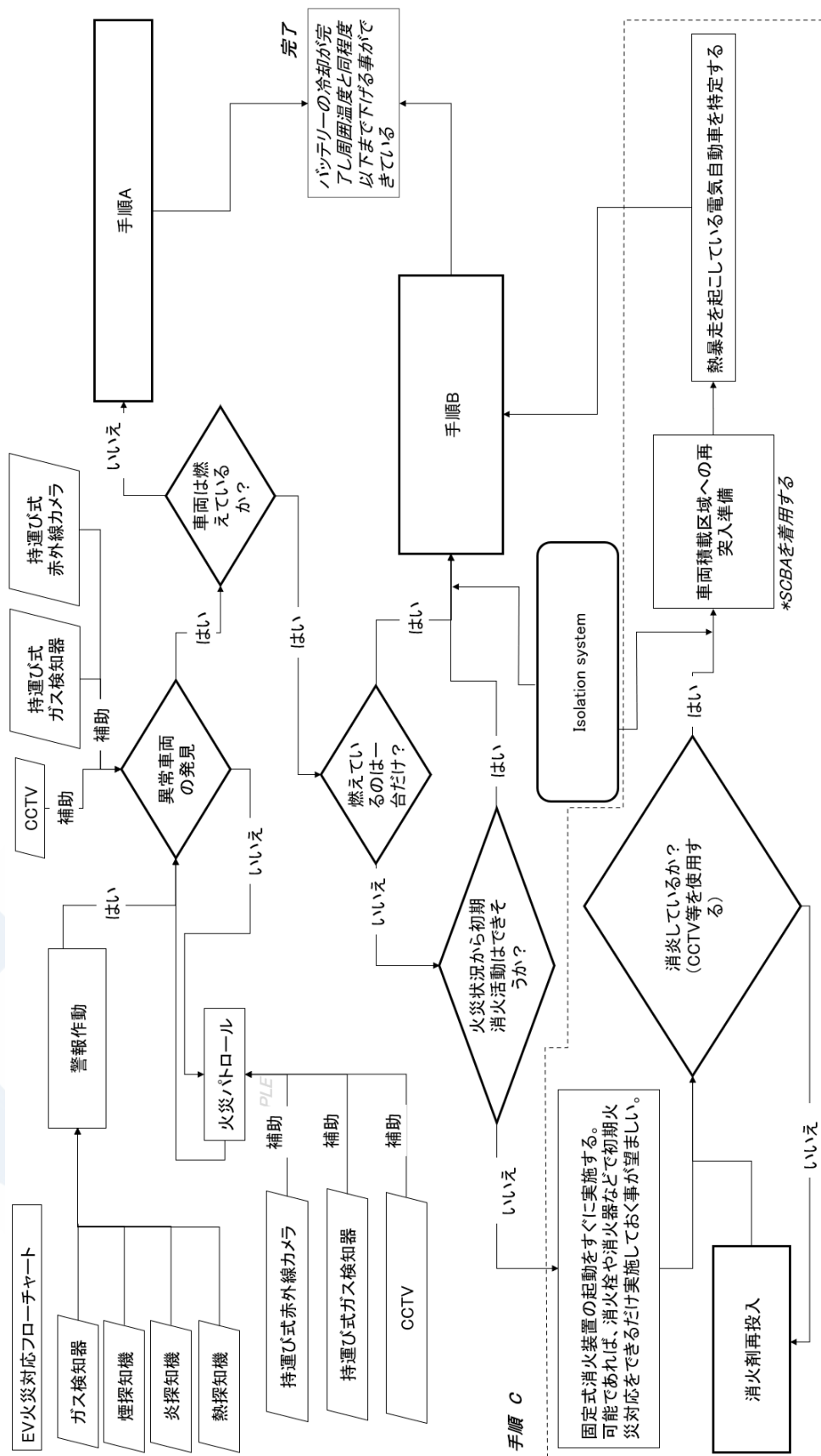
5.2.9 に記載する電気自動車火災対応指針を参照し、固定式消火装置の作動信頼性の向上に有効な対策を講じること。その対策の妥当性については事前に検討し確認をする必要がある。

5.3.7 安全に脱出するための要件 AMEVC (EV)の要件

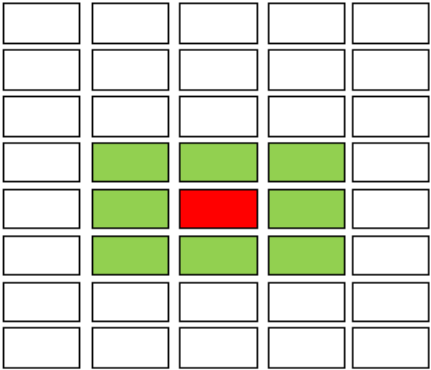
5.2.12 に記載する電気自動車火災対応指針を参照し、貨物艙内で火災が発生している場合においても安全に脱出するのに有効な対策を講じること。その対策の妥当性については事前に検討し確認をする必要がある。

付録 1

消火戦術フローチャートの例



手順A



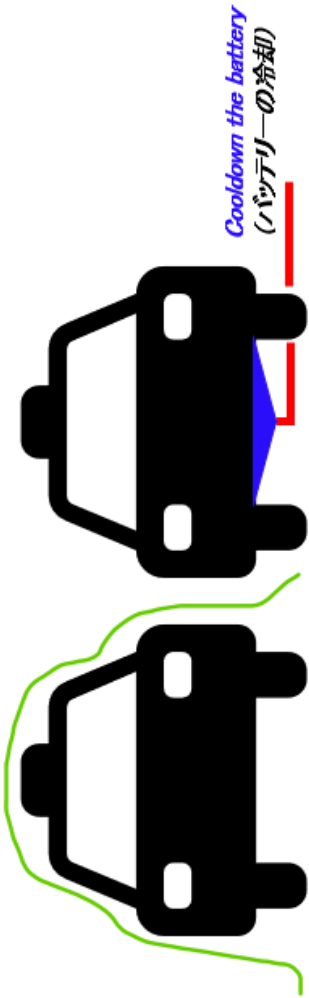
Abnormal car
(異常車両)



Covered with fire blanket
(Fire blanketを掛けた車両)



SAMPLE



Cooldown the battery
(バッテリーの冷却)

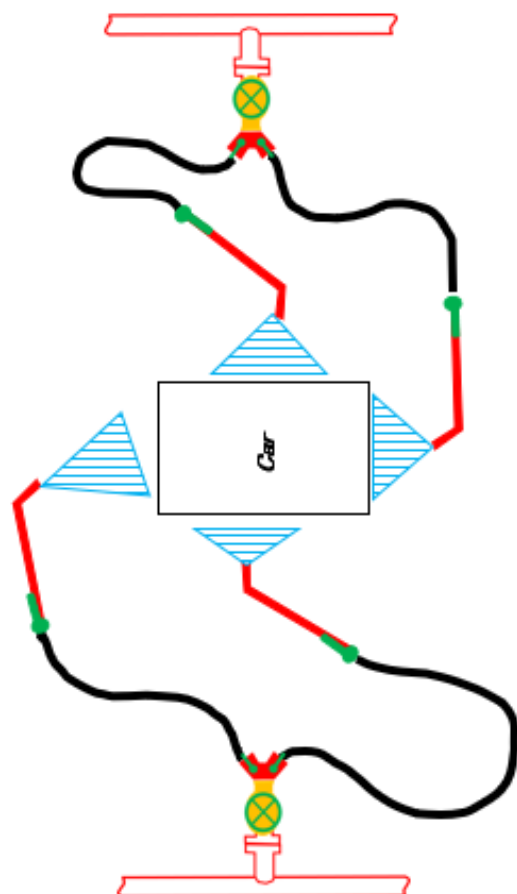
異常車両の隔離

- 異常車両のラジングベルトを取る(可能であれば)
- 異常車両以外の車両にファイヤーブランケットを被せる
- 車両積載区域の通風装置を起動(発生ガスの希釈)
- 水噴霧アブリケーターを用いてバッテリーを冷却する

異常車両にFire blanketをかいた理由

異常車両から可燃性ガスが発生している可能性が高いため、Fire blanketをかいて密閉空間を作ってしまう事で可燃性ガスの爆発範囲に入る可能性がある。つまり発火してしまえばバッテリー異常のみの車両にはFire blanketをかいた方がよい

手順B

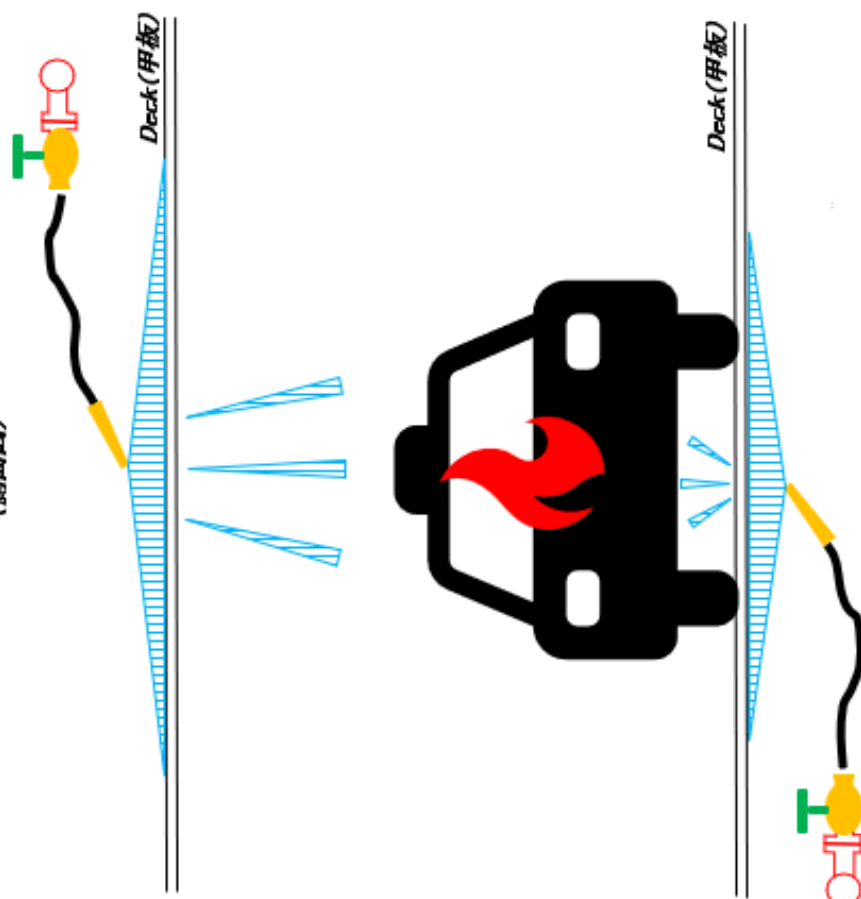
PLAN
(平面図)Dual hose adapter
(双口ホース接続金具)

火災状況を確認し、初期火災対応を実施する。
以下を準備する。

- ① Dual hose adapterを準備する。
- ② 水噴霧アダプターを準備する
- ③ 消火ホースを準備する

<放水>

注) ラッシングホルのある甲板では、ラッシングホルを介して火災車両にも噴霧する

SECTION
(側面図)

手順C



- Burning car involving battery fire
(バッテリー火災を伴う火災車両)
- Burning car related to general combustible material
(一般火災のみの火災車両)
- Car whose fire can be extinguished by fixed fire-fighting system
(固定式消火装置で消炎できた車両)

本書の内容に関するご質問は、下記へお願いいたします。

本ガイドラインの記載内容に関するお問い合わせ：

一般財団法人 日本海事協会 材料艀装部

Tel : 03-5226-2020(代表)

E-mail : eqd@classnk.or.jp