

メチルエチルケトンに関する調査研究

<メチルエチルケトン積載前の外航本船におけるタンク洗浄に関する調査研究>

報 告 書

令和7年3月

一般社団法人日本海事検定協会

(検査第二サービスセンター)

目次

1. はじめに	.....	3
2. 背景	.....	3
3. 研究目的	.....	3
4. 調査方法及び調査資料	.....	3
5. 調査結果	.....	3
6. 調査結果の検証	.....	11
7. 調査結果のまとめ	.....	12
8. 総括	.....	12

メチルエチルケトンに関する調査研究

＜メチルエチルケトン積載前の外航本船におけるタンク洗浄に関する調査研究＞

1. はじめに

メチルエチルケトン（以下 MEK）はケトンに分類される低沸点溶剤で、印刷インキ、樹脂加工向けを中心に接着剤、塗料などの溶剤として使われるほか、化学合成用の原料としても幅広く使用されている。

本研究は MEK を輸送する船舶における前荷とその洗浄方法の適否を調査した研究である。

2. 背景

MEK は 2023 年実績で国内生産量はおよそ 23.9 万トン、そのうち 6 割強にあたるおよそ 14.6 万トンが海外向けに輸出されており、需要が旺盛なケミカル品の一種である。当会はその輸出検査業務に携わっているが、時折外航本船のタンク清掃検査において前荷の残留が強く疑われる検査結果となるケースが報告されている。その原因がタンクの洗浄不足によるものなのか、前荷の性状特有のものであるかについては明らかでない。

3. 研究目的

本研究では本船の前荷としてどのような貨物類があるのか、またその中で MEK の品質に影響を及ぼし得る貨物の有無について調査するために、2023 年度に船積みを行った外航船舶を対象としてその前荷をリストアップし、本船が実施した洗浄方法と一般的に推奨される洗浄方法との間に乖離がないか確認する。

また、品質確認の手法として用いられるウォールウォッシュテスト(Wall Wash Test, 以下 WWT¹)が要求される厳密な品質管理において、どのような前荷がその結果に影響を与えうるか検証する。

4. 調査方法及び調査資料

2023 年度実績で MEK 積載の外航本船における前荷、および実際に行われたとされる洗浄方法は外航本船より入手した Stowage Plan 等を参考とし、また、一般的な洗浄方法例が記載された書籍『Dr. Verwey's Tank Cleaning Guide』を参考に各々の前荷推奨洗浄方法を抽出する。

5. 調査結果

前述の調査に得られた結果を表 1 に記す。貨物が商品名の場合は一般的な分類表記とした。またそれぞれの前荷を貨物群ごとに分類を行い表 2 に集計し、その分類結果を図 1 に示す。

¹ タンクの内壁等にメタノール等の溶剤を塗布し、回収した洗浄液で各種試験を実施する手法

表 1 : 前荷および洗浄方法

番号	前荷	実際の洗浄方法	Dr. Verwey 推奨洗浄方法
1	潤滑油	高温海水洗浄→洗剤循環洗浄→高温海水洗浄→ 清水洗浄→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
2	トルエン	清水フラッシング→ガスフリー→高温海水洗浄→ 高温清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
3	フェノール	清水フラッシング→ガスフリー→高温海水洗浄→ 高温清水洗浄→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→清水リンス→乾燥
4	石油系溶剤	清水フラッシング→ガスフリー→温清水洗浄→ 海水洗剤洗浄→温清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
5	MEK	海水洗浄→清水洗浄→蒸気→乾燥	排液
6	トルエン	海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
7	ジメチルホルム アミド	海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥
8	トルエン	海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
9	酢酸エチル	清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥
10	モノエタノール アミン	高温海水洗浄→高温清水洗浄→蒸気→乾燥	温清水洗浄→温海水洗浄→清水洗浄→乾燥

番号	前荷	実際の洗浄方法	Dr. Verwey 推奨洗浄方法
11	ブチル セロソルブ	高温海水洗浄→高温清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥
12	アクリル酸 ブチル	高温海水洗浄→高温清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→温清水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
13	エピクロロ ヒドリン	海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
14	アセトン	高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	清水洗浄→清水リンス→乾燥
15	フェノール	高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→清水リンス→乾燥
16	潤滑油	清水フラッシング→ガスフリー→温海水洗浄→ 海水洗剤洗浄→温清水洗浄→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
17	MEK	清水洗浄→蒸気→乾燥	排液
18	MEK	高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	排液
19	フェノール	高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→清水リンス→乾燥
20	1,4-ブタン ジオール	高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	温海水洗浄→清水リンス→乾燥

番号	前荷	実際の洗浄方法	Dr. Verwey 推奨洗浄方法
21	アリル アルコール	海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
22	酢酸エチル	温清水洗浄→清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥
23	MEK	清水洗浄→蒸気→乾燥	排液
24	キュメン	海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→乾燥
25	アクリロ ニトリル	海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥
26	トルエン	海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
27	潤滑油	高温海水洗浄→清水フラッシング→洗剤循環洗浄→ 高温海水リンス→清水リンス→蒸気→乾燥 (WWT 後に高温海水洗浄→高温海水洗浄→洗剤洗浄→ 海水洗浄→清水洗浄→蒸気→乾燥)	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
28	潤滑油	高温海水洗浄→洗剤循環洗浄→高温海水洗浄→ 清水洗浄→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
29	MEK	高温海水洗浄→高温清水洗浄→蒸気→乾燥	排液
30	クロロホルム	高温海水洗浄→高温清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥

番号	前荷	実際の洗浄方法	Dr. Verwey 推奨洗浄方法
31	水酸化カリウム	清水フラッシング→ガスフリー→清水洗浄→ 蒸気→脱イオン水スプレー→乾燥	温清水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
32	エピクロロ ヒドリン	海水洗浄→高温海水洗浄→清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
33	トルエン	海水洗浄→高温海水洗浄→清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
34	キュメン	海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→乾燥
35	トルエン	海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
36	潤滑油	高温海水洗浄→高温海水洗剤洗浄→高温海水リンス→ 清水リンス→蒸気→乾燥 (WWT 後に洗剤洗浄→清水洗浄→蒸気→乾燥)	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
37	潤滑油	高温海水洗浄→高温海水洗剤洗浄→清水洗浄→ 蒸気→清水リンス→乾燥	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
38	シクロ ヘキサノン	ガスフリー→海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
39	アセトン	清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥
40	酢酸エチル	海水洗浄→高温海水洗浄→清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥

番号	前荷	実際の洗浄方法	Dr. Verwey 推奨洗浄方法
41	石油系溶剤	海水洗浄→高温海水洗浄→洗剤洗浄→海水洗浄→ 清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
42	石油系溶剤	清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥
43	ヘキセン	海水洗浄→高温海水洗浄→洗剤洗浄→海水洗浄→ 清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→清水リンス→乾燥
44	潤滑油	海水洗浄→高温海水洗浄→洗剤洗浄→海水洗浄→ 清水洗浄→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
45	航空ガソリン	清水フラッシング→高温海水洗浄→洗剤洗浄→ 高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	海水洗浄→高温海水洗浄→温清水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
46	フタル酸 ジイソノニル	清水洗浄→海水洗浄→清水洗浄→蒸気→乾燥	微温海水洗浄→温海水洗浄→高温水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
47	エタノール	清水洗浄→蒸気→乾燥	清水洗浄→乾燥
48	イソノニル アルコール	海水洗浄→高温海水洗浄→洗剤洗浄→海水洗浄→ 清水洗浄→蒸気→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→温水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
49	モノエタノール アミン	海水洗浄→高温海水洗浄→洗剤洗浄→海水洗浄→ 清水洗浄→蒸気→乾燥	温清水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
50	MEK	海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	排液

番号	前荷	実際の洗浄方法	Dr. Verwey 推奨洗浄方法
51	潤滑油	高温海水洗浄→洗剤洗浄→高温海水リンス→ 清水フラッシング→蒸気→乾燥 (WWT 後に清水洗浄→蒸気→乾燥)	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
52	石油系溶剤	海水洗浄→高温海水洗浄→洗剤循環洗浄→海水洗浄→ 清水洗浄→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
53	アルファ オレフィン C8	海水洗浄→高温海水洗浄→高温清水洗浄→清水リンス→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
54	メタクリル酸 メチル	海水洗浄→高温海水洗浄→高温清水洗浄→清水リンス→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→温清水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
55	潤滑油	海水洗浄→高温海水洗浄→洗剤循環洗浄→ 高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→温海水洗剤洗浄→ 清水リンス→乾燥
56	ノルマル ブタノール	海水洗浄→高温海水洗浄→清水リンス→乾燥	海水洗浄→温海水洗浄→清水リンス→乾燥
57	フェノール	高温海水洗浄→清水リンス→蒸気→乾燥	高温海水洗浄→清水リンス→乾燥

表 2 : 貨物分類とその件数

分類	貨物分類と件数
潤滑油	9
芳香族化合物	8
フェノール類	4
石油系溶剤	4
含窒素化合物	4
エステル	3
グリコール類	3
アクリル酸エステル	2
塩素系化合物	3
ケトン	8
低級アルコール	3
低沸点炭化水素	1
不飽和炭化水素	2
石油製品	1
可塑剤	1
高級アルコール	1
合計	57

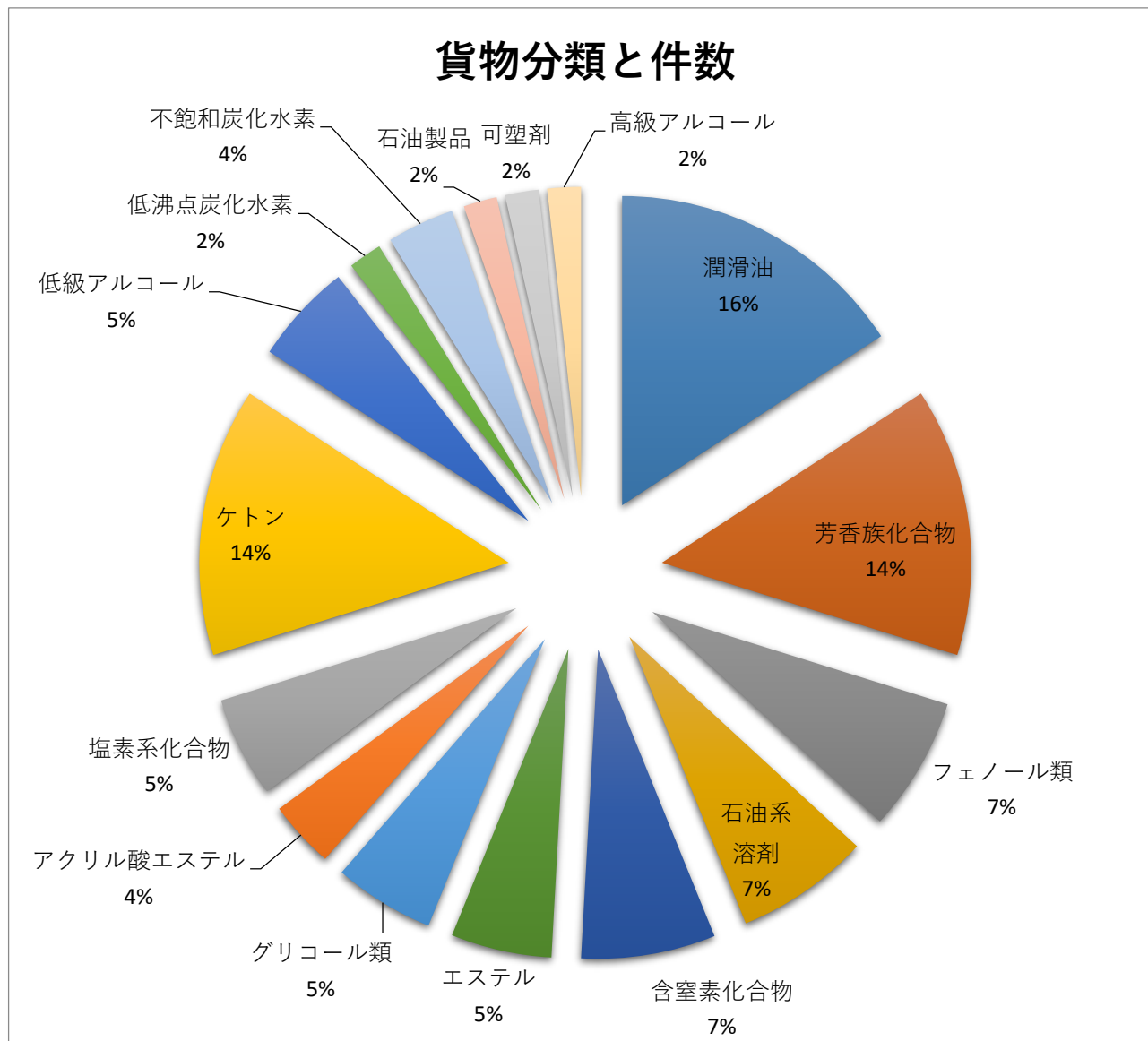


図 1 : 貨物分類ごとの割合

6. 調査結果の検証

タンク洗浄方法の検証を進めるにあたり、Dr. Verwey's Tank Cleaning Guide はあくまで洗浄に関して単に”青写真”を描いたものであり、実態としてはこれよりも念入りに練られた洗浄工程を採られるケースが多々あり、洗浄に関する船主、運航者等のノウハウや実績を否定するものではないことを前提として以下に検証結果を記す。

基本的な洗浄工程としては海水洗浄、清水洗浄、蒸気および乾燥という手順を踏んでおり、これに前荷の貨物特性を鑑み残存リスクを低減させるよう高温水や洗剤の使用が適宜追加させるという手順が一般的なものとなっている。蒸気の工程が数多くみられるのは、前荷の粘度を下げることで洗浄を容易にする目的がある。それに加え、荷送人または海外の需要家から WWT を要求されるケースがあり、洗浄に使用した海水塩分濃度を下げる目的で採られているものと考えられ、非常に理に叶った洗浄工程を採用しているものと思料する。Dr. Verwey's Tank Cleaning Guide と比較しても、温水洗浄の代わりに蒸気を採用しているものが数件あるに留まり、全体的には推奨洗浄方法よりも入念にタンク洗浄された実績であることが確認された。

前荷を分類すると最も多かったものは潤滑油であり、内訳を見ると無色透明かつ動粘度 @40°C が 10 cSt (mm²/s) 以下のものが大半を占めた。次点はトルエン、キシレンのような芳香族化合物、およびアセトンや MEK といったケトン類であった。MEK の基本スペックである色相に強く影響を及ぼすような着色貨物を含む貨物は見受けられなかったが、粘度が低めとはいえ不揮発残分に影響する非水溶性かつ高沸点成分を含んだ潤滑油の割合が多い事から、対象候補船をノミネートする際に一定の前荷選定が行われているもののスペックに影響がない貨物のみを選定可能な程ではないことが伺える。

その他、不揮発残分に影響する非水溶性の前荷としてはフタル酸ジイソノニル、イソノニルアルコール等であり、いずれも高粘性貨物である。

前荷の洗浄し易さで論じると水溶性を有し、かつ揮発性が高いケトン類は MEK 積載前の貨物として好ましい前荷と言え、トルエン・キシレンは微水溶性であるものの高温水若しくは蒸気等を使用し洗剤を使用せずにタンク洗浄を仕上げているものと思われる。一方で潤滑油に関しては該当9件のうち6件において WWT が実施されたがそのうち3件は判定分析で不合格となった(詳細データ非開示)。不合格となった分析項目は『水溶性』または『塩分』であり、前者はカーゴタンク内のバターワース洗浄不足による前荷残留、後者はバターワース洗浄後の清水リンス不足による海水中の塩分残渣がその原因と考えられる。

今回の調査対象となった外航船舶のカーゴタンクは全てステンレスタンクであったものの、完全なタンク洗浄を行なうことはステンレスタンクといえども前航貨物の種類によっては困難な場合もあるため、前航貨物はタンク中に残留し得ると考えたうえで対処が必要である。タンク洗浄方法は前荷貨物の性状、特に水溶性、揮発性、着色や匂いの有無ならびに粘性の程度により、清水洗浄で充分なのか、洗剤洗浄または蒸気洗浄が必要とされるかが決まると言ってもよい。

母数が少ないものの前荷が潤滑油の場合に限り WWT の判定分析が不合格となった事実を鑑みると、MEK のような溶解力の高い貨物は品質上の影響を受けやすいため前荷は十分に選定されるべきだが、経済上、配船上の制約等の理由で必ずしも望ましい配船が出来ないことも生じ得るのが実情と考えられる。制約を受けた配船の場合でも MEK の積載に十分なタンク洗浄および確認をするなど、その対策は事前に配慮することが関係者に望まれる点である。

7. 調査結果のまとめ

本調査結果を纏めると以下の通りとなる。

- (1) MEK 積載前の外航本船におけるタンク洗浄方法は、Dr. Verwey's Tank Cleaning Guide 記載の推奨洗浄方法と比べるとそれ以上の洗浄を施していた。
- (2) 前荷分類によると、潤滑油を除き比較的洗浄が容易である溶剤系や水溶性の貨物が多い。潤滑油のケースが全体の 16%弱となった理由は、輸送頻度および日本-東アジア間の配船上の都合による影響が大きいものと思料される。
- (3) 前荷が潤滑油のケースにおいて実施された WWT では水溶性の項目で合格とならなかったケースが散見され、例え動粘度が比較的低い潤滑油であってもその洗浄は容易くないことがあることが伺えた。
- (4) 前荷が同じ MEK でも Dr. Verwey's Tank Cleaning Guide 記載の洗浄方法では『排液』のみだが、実際の洗浄方法は『海水洗浄→清水洗浄→蒸気→乾燥』だった。積荷と前荷が同じ貨物でもケミカルタンカーで輸送する場合、微細な異物が僅かに混入する可能性があるため水での洗浄は異物残留リスクを低減できる。ただし、異物除去の観点における洗浄ならば『海水洗浄』は余計な塩分を混入させる要因となるため、海水を使用せずに最初から清水で洗浄すべきであるが、本船の清水タンク容量等により清水使用量に一定の制限があるため必ずしも望ましい洗浄を実施できるとは限らないこともある。
- (5) 一方、頻度が少ないが可塑剤(フタル酸ジイソノニル)について、実際の洗浄方法は洗剤および温水洗浄を実施しておらず、可塑剤の洗浄方法として適切ではないケースがあった。フタル酸ジイソノニルはエステルであり、最初は加水分解²を促進させないように常温水で洗浄後、洗剤および高温水での洗浄が必要である。

8. 総括

今回の調査から MEK 積載前の外航本船における前荷群の傾向、洗浄方法の適切さならびにその仕上がり状態について一定の知見を得ることができた。ただし、実際の洗浄工程の妥当性については直接情報を入手できたわけではないため、WWT の結果のみで前荷の選定をすべきか否かまで踏み込んだ検討は行えていない。更なる検証を行うためにはサンプル数の増加だけでなく、季節による洗浄水温度の変動やカーゴタンクおよびその構造物等についてどのような影響を及ぼし得るか等、詳細に調査する必要がある。

以上

² 加水分解すると非水溶性のフタル酸(白色粉末)を生成し、壁面等に固着して洗浄が困難になる。