

NEDO プロジェクト

「化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発」

# 排出シナリオ文書 工業用洗浄剤

2010 年 12 月

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 独立行政法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門

## 排出シナリオ文書について

本文書は、独立行政法人産業技術総合研究所が、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構より受託した「化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発」プロジェクトの一環として作成されました。

「化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発」では、様々な理由により行われている化学物質の代替に伴うリスクのトレードオフに焦点を当てています。物質代替は、代替される元物質（被代替物質）のリスクを低減する上で有効ですが、安易に代替物質を選択・使用することは、当初の被代替物質のリスクに替わって代替物質のリスクが発生し、リスク削減効果が相殺されたり、逆にリスクが増大したりするリスクのトレードオフの可能性があります。このため、被代替物質のリスクに加えて、代替物質のリスクも評価し、物質代替前後のリスクの増減を確認することが、リスクベースの化学物質管理を行う上で重要です。

一般的に、リスク評価に必要な暴露と有害性の情報が比較的多い物質からそうした情報が少ない物質に代替されることが多いため、少ない情報から暴露を定量的に推定しうる手法を、リスクトレードオフ解析手法の開発の一環として、開発しています。

排出シナリオ文書とは、化学物質の各環境媒体等への排出を定量化するため、排出源、製造工程、移行経路および使用の状況を示した文書です。本文書は、工業洗浄剤として用いられる化学物質が、別の物質に代替される際に、十分な実測データがない条件においても、環境排出量を推計するために必要な手法と、各種パラメータデータを提供することを目的として作成されました。

各方面で、利用していただくことを期待します。

2010 年 12 月

化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ  
解析手法の開発 プロジェクトリーダー  
独立行政法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門  
主幹研究員 吉田 喜久雄

## 排出シナリオ文書 - 工業用洗淨剤 - 作成体制

### 調査

梶原 秀夫 (独) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門

高井 淳 (独) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門

竹下 宗一 (株) 三菱化学テクノロジー

勝又 晴雄 (株) 三菱化学テクノロジー

### 文責

梶原 秀夫 (独) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門

# 目次

1．序論 .....	3
1.1 背景 .....	3
1.2 本 ESD での対象範囲 .....	3
1.3 日本における代替の動向 .....	4
1.3.1 業界団体・代替物質別事例数一覧 .....	4
1.3.2 代替前の塩素系洗浄剤 .....	6
1.3.3 代替事例数の多い業界 .....	6
1.3.4 代替後の洗浄剤 .....	8
1.3.5 水系洗浄剤への代替 .....	9
1.3.6 炭化水素系洗浄剤への代替 .....	10
1.3.7 準水系洗浄剤への代替 .....	11
1.3.8 まとめ .....	12
2．洗浄剤と洗浄装置の種類と特徴 .....	13
2.1 洗浄剤の分類 .....	13
2.2 洗浄剤の組成と特徴 .....	14
2.2.1 塩素系洗浄剤 .....	14
2.2.2 ハロゲン系洗浄剤 .....	15
2.2.3 炭化水素系洗浄剤 .....	16
2.2.4 水系洗浄剤 .....	18
2.2.5 準水系洗浄剤 .....	23
2.3 洗浄剤として使用される物質と物性について .....	28
2.4 洗浄装置の種類と特性 .....	32
2.4.1 洗浄方法による分類 .....	32
2.4.2 システム構造などの特徴による分類の例 .....	34
2.4.3 使用する洗浄剤による分類の例 .....	34
2.5 周辺装置の種類と特性 .....	35
2.5.1 乾燥装置 .....	35
2.5.2 排ガス処理装置 .....	36
2.5.3 排水処理装置 .....	36
2.5.4 回収・再生システム .....	38
2.5.5 その他の洗浄周辺装置 .....	39
2.6 対象汚れと洗浄剤との関係 .....	39
3 使用量・排出量推定式の構築 .....	45
3.1 洗浄剤代替に適用可能な排出量推定式 .....	45
3.2 塩素系・ハロゲン系洗浄剤使用プロセス .....	47

3.3 炭化水素系洗浄剤使用プロセス.....	50
3.3.1 開放型装置 .....	50
3.3.2 密閉型装置 .....	52
3.4 水系洗浄剤使用プロセス.....	53
3.5 準水系洗浄剤使用プロセス .....	55
4. 排出量推計式に用いる各パラメータの代表値と妥当性検証 .....	58
4.1 塩素系洗浄剤の排出量推計式の検証.....	58
4.1.1 排出量について .....	58
4.1.2 排出係数についての検証 .....	62
4.1.3 排出抑制対策による効果（排出抑制係数）の見積もり .....	64
4.2 炭化水素系洗浄剤の排出量推計式の検証.....	65
4.3 水系洗浄剤の排出量推計式の検証 .....	66
4.4 準水系洗浄剤の排出量推計式の検証.....	67
Appendix .....	70
1. 工業用洗浄剤の使用量について .....	70
2. 排出係数について .....	70
2.1 塩素系洗浄剤の排出係数 .....	70
2.2 炭化水素系洗浄剤の排出係数.....	71
2.3 水系洗浄剤の排出係数.....	73
2.4 その他の洗浄剤の排出係数 .....	76
2.5 排出係数のまとめ.....	76
参考文献 .....	77

# 1．序論

## 1．1 背景

本排出シナリオ文書(Emission Scenario Documents ,以下 ESD)の作成は NEDO プロジェクト「化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発(2007～2011 年度)」(以下, RTA プロジェクト)の一環として行われた。ここでリスクトレードオフとは,ある特定の用途で使われる化学物質が有害性などの理由で他の物質に代替される際に,当初のリスクに替わり別のリスクが発生し,リスク削減効果が相殺されることを指す。

RTA プロジェクトでは,物質代替に伴うリスクトレードオフを解析すること,および,リスクトレードオフ解析を可能とする手法を開発することを目的としている。リスクトレードオフ解析を可能にするためには,物質の代替が行われる際に,排出量,暴露量,有害性などの情報が十分に得られない中で,それらの情報を「推定」する手法が必要となる。

本 ESD は,工業洗浄剤として用いられる物質が,別の物質に代替される際に,十分な実測データがない条件においても,環境排出量を推計するために必要な手法と,各種パラメータデータを提供することを目的とする。そのため,本 ESD は洗浄剤の代替の動向を分析した上で,現実にかかる可能性の高い代替シナリオの情報,すなわち被代替物質と代替物質の組み合わせ,物質代替による洗浄装置や運転状況の変化,代替にともなうコストなどの情報についても重点を置いている。

OECD が公開している ESD の中に「工業用洗浄剤」に該当するものは存在しない。本 ESD で対象とする洗浄剤は,機械・金属系業種における金属部品等の洗浄に使用されるものであり,これと内容的に関連する OECD の ESD としては,「シリーズ 12 金属表面仕上(Metal finishing)」があるが,メッキなどの表面処理プロセスを主たる対象としており,洗浄プロセスは主対象ではない。さらに,2002 年から英国を中心とした「工業用界面活性剤(Industrial Surfactants)」の ESD 開発作業が続いているが,作成は完了していない。また,対象分野も,産業・団体洗浄(繊維加工,洗濯,食器洗浄など)用,建設用,エマルジョン重合の 3 分野(いずれも水系)であり,本 ESD での対象とは異なっている。本 ESD は,対象業種・用途の枠組みも新規であり,洗浄剤の代替を想定している点も新規である。

## 1．2 本 ESD での対象範囲

本 ESD は工業用洗浄剤代替によるリスクトレードオフ解析に資するという目的を持っている。そこで対象とする業種は,鉄鋼業,非鉄金属製造業,金属製品製造業,一般機械器具製造業,電気機械器具製造業,輸送用機械器具製造業,精密機械器具製造業の 7 業種(以下,機械・金属系 7 業種とする)であり,用途は金属部品等(電気・電子部品,プリント基板・表面実装部品,精密加工部品,自動車用部品,金属加工部品)の洗浄とした。これらの 7 業種での洗浄プロセスでは,主に金属で構成された部品・製品から,切削・プレス・加工などに用いた油系の汚れを落とす(脱脂洗浄)という共通の特徴を持っており,洗浄対象物,汚れの種類という観点で共通点が多い。また,これら業種では塩素系洗浄剤

から代替洗浄剤（水系，炭化水素系など）への代替が進行中であるため，これら 7 業種をひとつの群として取り上げることとした．繊維工業，ゴムプラスチック工業，クリーニング業は洗浄剤使用量が多いが，被洗浄物（形状，材質，大きさ，汚れ成分），洗浄装置が大幅に異なると考えられるため，本 ESD では対象とはしなかった．また，工業用以外にも家庭での洗浄剤（界面活性剤を含む水系洗浄剤）の使用量が非常に多いが，やはり被洗浄物，洗浄装置という観点で共通点が見られないため，今回の対象範囲には含めなかった．

以上のような対象範囲を考えた場合に，そこで用いられる洗浄剤を分類する方法として，塩素系，ハロゲン系（臭素系，フッ素系），炭化水素系，水系，準水系，の 5 種類に分類するのは一般的である．これら 5 種の洗浄剤を取り上げることによって本 ESD でとりあげる業種・用途で使用する洗浄剤はおおよそカバーされと考えられる．各洗浄剤の詳細については 2 章において述べる．

### 1.3 日本における代替の動向

塩素系洗浄剤として使用される代表的な物質であるトリクロロエチレン（以下 TCE），ジクロロメタン（以下 DCM），テトラクロロエチレン（以下 PCE）（以下これらを総称して塩素系 3 物質とする）について，有害大気汚染物質自主管理計画の実施報告書（経済産業省 2002，2003，2004）に記載された業界ごとの有害大気汚染物質削減事例より，排出削減対策および洗浄剤代替について事例数を集計した．

#### 1.3.1 業界団体・代替物質別事例数一覧

表 1.1 は業界団体毎に塩素系洗浄剤 3 物質から代替された物質ごとの事例数である．ここで対象とする業界団体は，洗浄・溶剤としての使用を考え，製造段階に関係する化学工業関連団体以外とした．

表 1.1 塩素系洗浄剤等の物質代替 業界団体・代替物質別の事例数一覧

業界団体等	代替後 代替前	ハロゲン系				炭化水素系				水系				準水系				その他・不明				合計			
		TCE	DCM	PCE	小計	TCE	DCM	PCE	小計	TCE	DCM	PCE	小計	TCE	DCM	PCE	小計	TCE	DCM	PCE	小計	TCE	DCM	PCE	計
自動車工業会					0				0		1		1				0				0	0	1	0	1
日本アルミニウム協会					0	1	2	2	5	1	3		4		1		1		1		1	2	7	2	11
日本印刷産業連合会					0				0				0				0		1		1	0	1	0	1
日本航空宇宙工業会	1				1		1		1				0		1		1		1		1	1	3	0	4
日本産業機械工業会	1			1	2		1		1				0				0		3	4	7	1	4	5	10
日本自動車部品工業会			1		1	4	3		7	2	8		10				0				0	6	12	0	18
日本鉄鋼連盟					0				0	1			1		3	3	6				0	1	3	3	7
日本電線工業会			2		2	1	2		3	1	1		2				0				0	2	5	0	7
日本電機工業会等 4 団体	1	4			5	1	5		6	2	1		3	8	3	3	14		4		4	12	17	3	32
硝子繊維協会					0				0				0				0		2		2	0	2	0	2
全国楽器協会					0	1			1				0				0				0	1	0	0	1
全国鍍金工業組合連合会					0				0	14	5		19				0				0	14	5	0	19
線材製品協会					0				0	1	1	3	5				0		1		1	1	2	3	6
日本金属熱処理工業会					0	15	3	3	21	4	5	2	11				0				0	19	8	5	32
日本靴工業会					0				0				0				0		1		1	0	1	0	1
日本毛整理協会・日本繊維染色連合会				1	1				0				0				0				0	0	0	1	1
日本光学硝子工業会			1		1		1		1			1	1				0				0	0	2	1	3
日本ゴム履物協会					0				0				0				0		2		2	0	2	0	2
日本伸銅協会					0	3	2		5	1	2		3				0				0	4	4	0	8
計		3	8	2	13	26	20	5	51	27	27	6	60	8	8	6	22	0	16	4	20	64	79	23	166

TCE：トリクロロエチレン，DCM：ジクロロメタン，PCE：テトラクロロエチレン



### 1.3.2 代替前の塩素系洗浄剤

図 1.1 は、表 1.1 に示した総数 166 の代替事例において代替前に使用されていた塩素系洗浄剤の内訳である。DCM が最も多く、次いで TCE、PCE の順である。

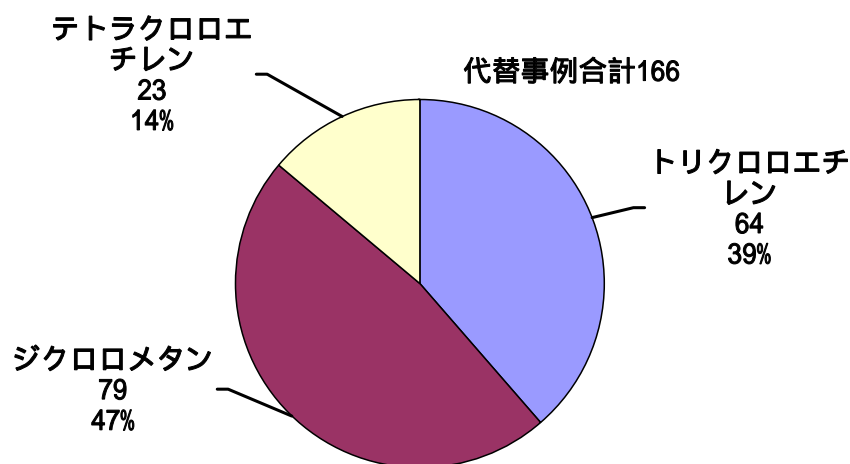


図 1.1 代替前に使用されていた塩素系洗浄剤の内訳

### 1.3.3 代替事例数の多い業界

図 1.2 に業界団体毎の代替事例数を示す。日本電機工業会等 4 団体および金属熱処理工業会が 32 事例と最も多く、次いで全国鍍金工業組合連合会の 19 事例、日本自動車部品工業会の 18 事例であり、これら 4 団体で代替事例総数の 6 割を占める。

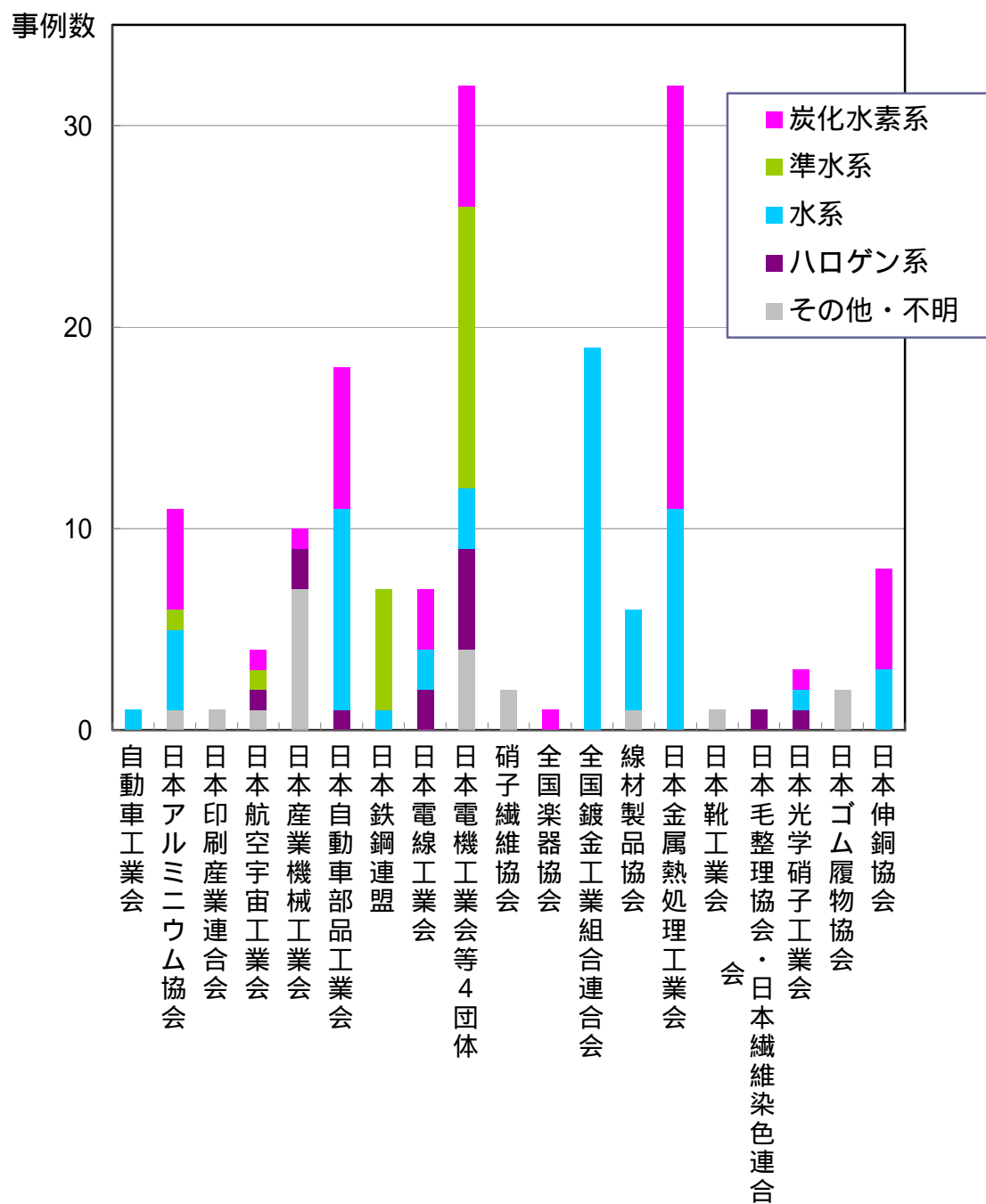


図 1.2 業界団体毎の代替事例数

### 1.3.4 代替後の洗浄剤

図 1.3 に代替後の物質の事例数を示す。

代替事例として最も多いのは水系洗浄剤への代替で 60 件、次いで多いのは炭化水素系への代替で 51 件、次いで準水系の 22 件であり、これら 3 者で全事例の 8 割を占めている。

水系、炭化水素系、準水系への代替事例についても、塩素系洗浄剤 3 物質から偏りなく代替が行われていた。

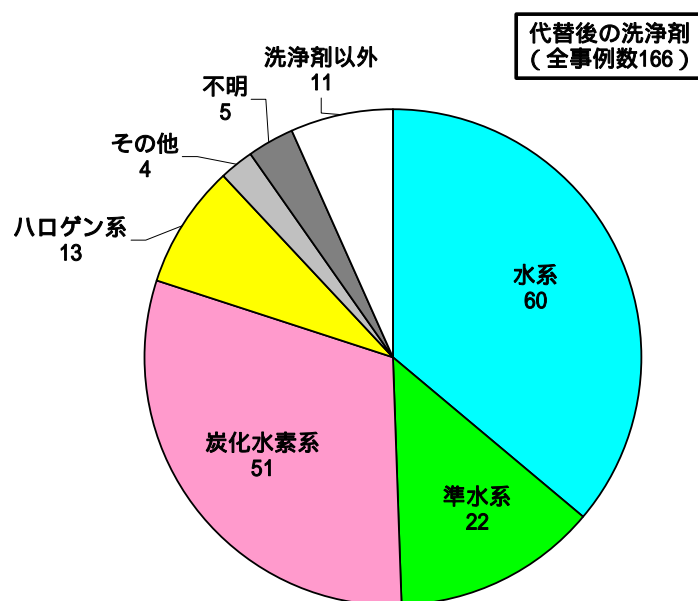


図 1.3 代替後の洗浄剤の内訳

### 1.3.5 水系洗浄剤への代替

図 1.4 に水系洗浄剤に代替される前に使用されていた洗浄剤の内訳を示す。TCE、DCM が多くともに各 27 事例、この両者で水系洗浄剤への代替事例の 9 割を占める（60 件中 54 件）。

図 1.5 に水系洗浄剤に代替を行った業種について事例数を示す。全国鍍金工業組合連合会における事例数は 19 件と、水系洗浄剤への代替事例総数 60 件に対し約 3 分の 1 を占めており、日本鍍金工業組合連合会は水系洗浄剤への代替を代表する業界団体と考えられる。日本鍍金工業組合連合会では報告された事例のすべてが水系洗浄剤への代替であり、TCE からの代替が約 74% を占めていた。

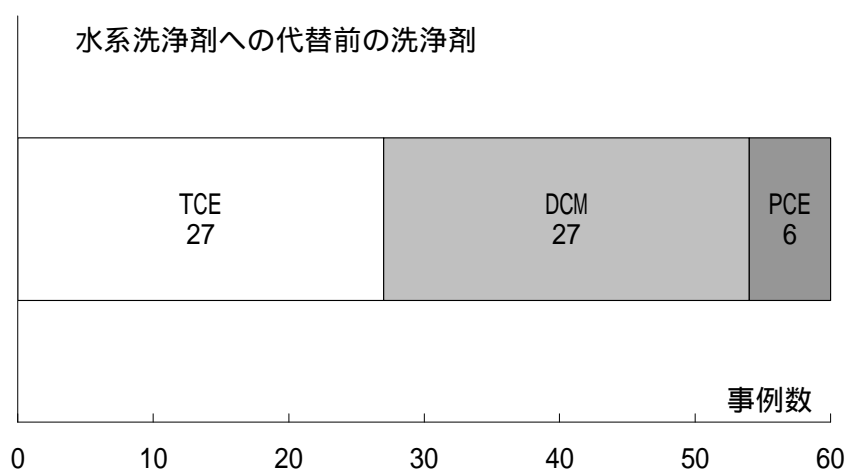


図 1.4 水系に代替された洗浄剤

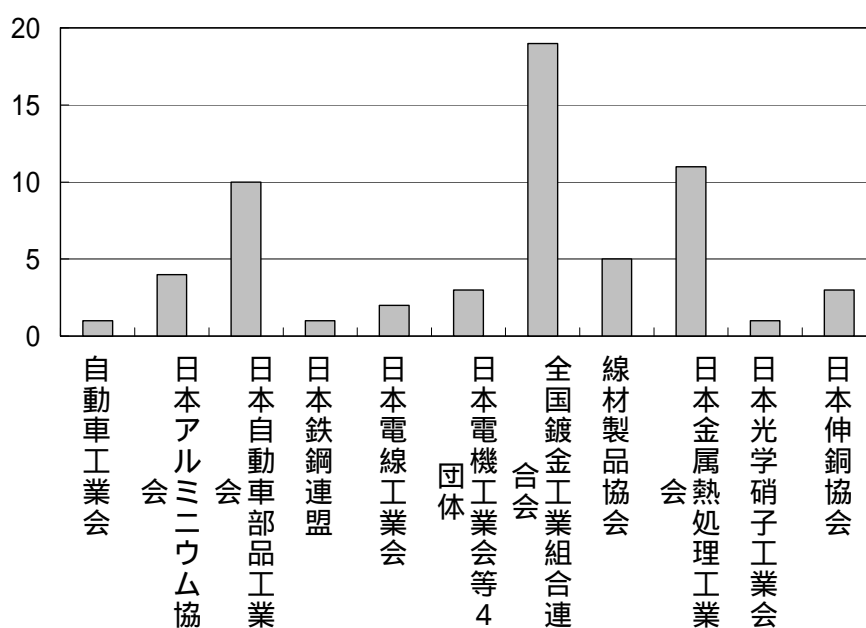


図 1.5 水系洗浄剤への業種毎の代替事例

### 1.3.6 炭化水素系洗浄剤への代替

図 1.6 に炭化水素系に代替される前に使用されていた洗浄剤の内訳を示す。代替前の洗浄剤は TCE が 26 事例，DCM が 20 事例であり，両者の合計で炭化水素系洗浄剤への代替事例の 9 割を占めている（51 件中 46 件）。

図 1.7 に炭化水素系洗浄剤に代替を行った業種について事例数を示す。熱処理関連（日本金属熱処理工業会）による事例が 21 件あり，炭化水素系洗浄剤への代替事例の 4 割を占める。日本金属熱処理工業会において，炭化水素系洗浄剤へ代替される以前は，TCE が使用されていた事例が約 7 割を占めており，TCE から炭化水素系洗浄剤へ代替が多いことがわかる。

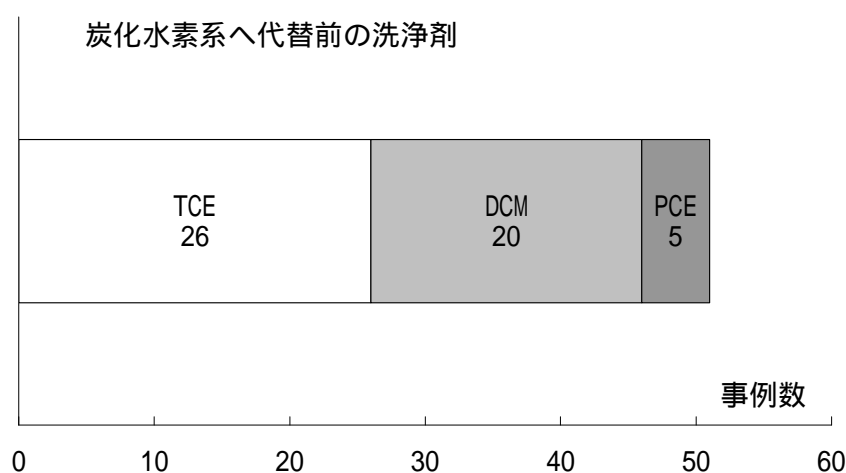


図 1.6 炭化水素系に代替された洗浄剤

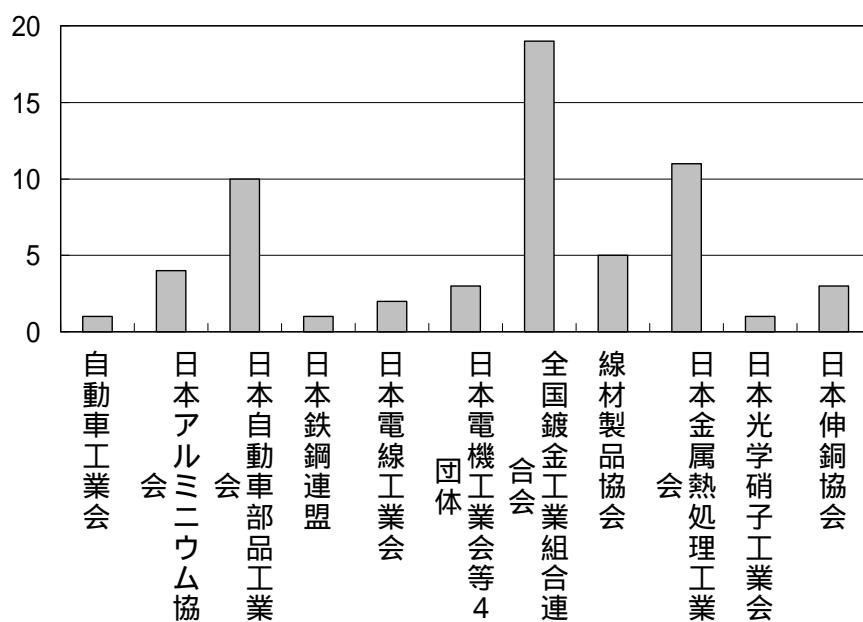


図 1.7 炭化水素系洗浄剤への業種毎代替事例数

### 1.3.7 準水系洗浄剤への代替

図 1.8 に準水系に代替される前に使用されていた洗浄剤の内訳を示す。代替前の洗浄剤は TCE が 8 事例、DCM が 8 事例、PCE が 6 事例と同程度の比率となっている。

図 1.9 に準水系洗浄剤に代替を行った業種について事例数を示す。日本電気工業会等 4 団体が、全事例数の 6 割強を占めていることがわかる。

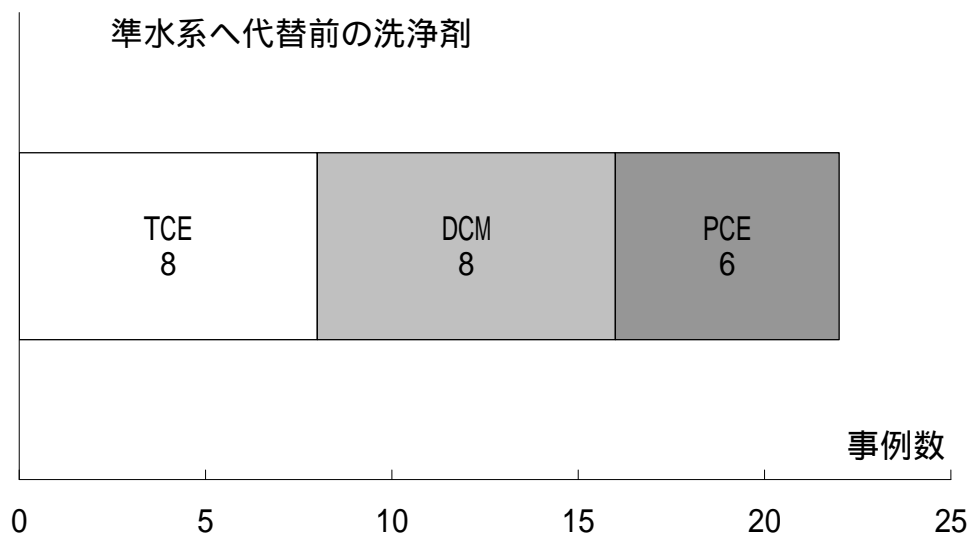


図 1.8 準水系に代替された洗浄剤

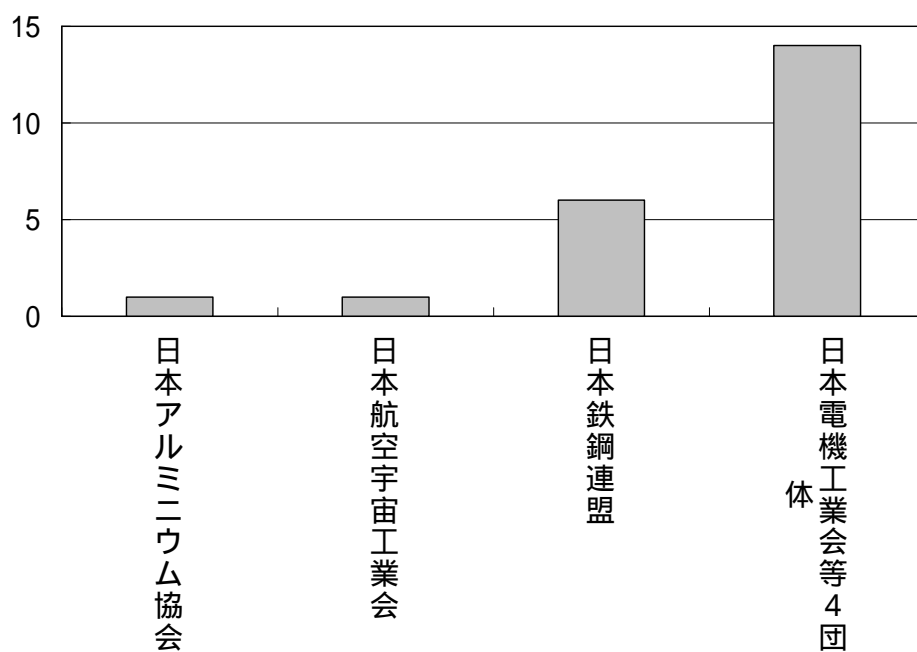


図 1.9 準水系洗浄剤への業種毎代替事例数

### 1.3.8 まとめ

塩素系 3 物質の代替事例を整理し代表的な洗浄剤代替を考察した。

20 の業界団体から、2001 年度から 2003 年度分として報告された事例の中から、塩素系物質に関連する 166 件の代替事例を参照した。

代替前の塩素系洗浄剤の内訳は、DCM（79 件）、TCE（64 件）、PCE（23 件）の順に事例が多い。洗浄剤代替の多い業界としては、電機工業会等 4 団体(32 件)、金属熱処理工業会（32 件）、鍍金工業組合連合会(19 件)などが挙げられる。

代替後の洗浄剤としては水系（60 件）、炭化水素系(51 件)、準水系（22 件）が多く、これら 3 者で全ての代替事例の 8 割を占める。

水系洗浄剤への代替事例が最も多い業界は鍍金工業組合連合会（19 件）、炭化水素系への代替事例が最も多い業界は金属熱処理工業会（21 件）、準水系への代替事例が最も多い業界は電機工業会等 4 団体（14 件）と、業界によって代替洗浄剤の種類に偏りがあることがわかった。これら業界によって代替洗浄剤に偏りが生じる理由としては、鍍金工業においては工程内に水を多く使用するため、排水処理装置を社内に保有している企業が多いこともあり、水系洗浄剤への代替に取り組みやすいこと、金属処理系においては錆びやすい素材が多く水系や準水系への代替は困難なため炭化水素系への代替が多いこと、電機工業においては幅広い素材を取り扱うために準水系が向いていること、などの理由が考えられる。

## 2．洗浄剤と洗浄装置の種類と特徴

### 2．1 洗浄剤の分類

工業用洗浄剤は表 2.1 に示すような分類が行われる．分類基準のうち大きな括りでは水系，準水系，非水系の 3 分類とされるが，本 ESD では非水系に含まれる範囲が広く使用・排出を考慮する上で類型化した取り扱いが難しいため，非水系を細分化し，グループ分類中で主な性状・組成であるものを対象とした．

表 2.1 洗浄剤の分類

分類（種類）			性状，組成		本 ESD で取り扱う分類
非水系	不燃性	塩素系	塩化メチレン（ジクロロメタン） トリクロロエチレン テトラクロロエチレン		塩素系
		フッ素系	HFE 系 HFC 系 HCFC 系 PFC 系		ハロゲン系 1)
		臭素系	n-プロピルプロマイド(1-ブロモ プロパン)		
	可燃性	炭化水素系	n-パラフィン系 イソパラフィン系 ナフテン系 芳香族系		炭化水素系
		アルコール系	イソプロピルアルコール(IPA) メタノール，エタノール，その他，		
		その他	シリコーン系 テルペン		
	水系	アルカリ系		無機アルカリ系 有機アルカリ系	
中性系					
酸性系		無機酸系 有機酸系			
準水系			非可燃物型	グリコールエー テル系 n-メチルピロリ ドン（NMP）系	準水系
			可燃物型	テルペン系 炭化水素系 シリコン系	

<sup>1)</sup> 塩素系以外のハロゲン系を本 ESD ではハロゲン系と分類する．

出典：日本産業洗浄協議会（以下，産洗協）(2009)，産洗協（1999a），産洗協（2001），みずほ情報総研（2009）を参考に作成．



## 2.2 洗浄剤の組成と特徴

表 2.1 の右列に示した工業用洗浄剤のグループ別に，組成・成分，特徴について整理した．

特徴については，一般的な特性，乾燥性や浸透性などの洗浄性能，環境性能（環境影響，リサイクル性），法規制，対象汚れ，適用される対象物や工程等に着目した，

また，水系と準水系および炭化水素系洗浄剤について，組成が混合物で物質も明らかではない場合があるため，洗浄剤の種類ごとの物性を知る手掛かりとして，製品別の特性の示された工業用洗浄剤リスト（産洗協，1999a）に記載された性状や使用条件（温度や洗浄時間の推奨値等）を解析し示した．

### 2.2.1 塩素系洗浄剤

塩素系洗浄剤の細分と特徴について表 2.2 に示す．現在使用される塩素系洗浄剤は DCM，TCE，PCE の 3 種があり，不燃性，KB（カウリブタノール）値<sup>1</sup>が大きく溶解力が強い，粘度・表面張力が小さく浸透力が大きい，蒸気密度が大きく蒸気洗浄が可能，廃液の蒸留再利用が可能である等の特徴を持ち，従来から脱脂洗浄用途に使用されている．

表 2.2 塩素系洗浄剤の細分と特徴

性状	特徴	対象汚 れ	適用対 象物	使用分 野等
塩化メチレン(ジクロロメタン)	・古くから洗浄剤として使用された ・低コスト ・不燃性 ・低温での洗浄力が強い	・機械， 加工油 等	・機械・ 電機電 子部品 等	・工程前 後の脱 脂洗浄
トリクロロエチレン	・蒸気洗浄可能 ・洗浄力強い（有機物質をよく溶解） ・浸透力が大きい ・速乾性に優れる			
テトラクロロエチレン	・廃液は蒸留回収・再利用可能 ・毒性に関する知見が多い．PRTR 第一種指定化学物質とされるほか，各種法規制の対象となっている			

出典：産洗協(2009)，産洗協(1999)，産洗協調査（2001），みずほ情報総研(2009)

<sup>1</sup> 有機溶剤の溶解能力を表す指標

## 2.2.2 ハロゲン系洗浄剤

塩素系洗浄剤の使用量が非常に多いため，本 ESD では塩素系以外のハロゲン系洗浄剤（フッ素系，臭素系）を「ハロゲン系洗浄剤」と分類する．ハロゲン系洗浄剤の特徴について，表 2.3 に示す．

フッ素系においては使用される物質により細分化される．不燃性，乾燥性等に優れる．フッ素系の特徴としてオゾン層破壊係数または地球温暖化係数を持つことである（表 2.3）．

臭素系では用いられる物質として n-プロピルブロマイド（1-ブロモプロパン）がある．この物質は塩素系と同様に KB 値が大きく溶解力が強く，粘度・表面張力が小さく浸透力が強い特徴がある．臭素系の洗浄剤では多くの場合，洗浄剤メーカーにより廃液が回収されリサイクルされるシステムとなっている．また，毒性については現状で不明な点があり今後のデータ取得と評価が必要と考えられる．

表 2.3 ハロゲン系洗浄剤の細分と特徴

性状		特徴		対象汚れ	適用対象物	使用分野等
フッ素系	HFE 系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高価</li> <li>・リサイクル性に優れる</li> <li>・不燃性である</li> <li>・乾燥性良好</li> <li>・毒性が不明（試験が完了）な物質がある</li> <li>・蒸気洗浄が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱脂力は比較的小さい</li> <li>・リンスないし精密洗浄用途が多い</li> <li>・他種の洗浄剤による洗浄後にコ・ソルベントとして使用される場合がある</li> <li>・オゾン層破壊係数ゼロ</li> <li>・温暖化係数が小さい</li> </ul>	加工油，ほこりなど	機械，金属部品等	脱脂洗浄，仕上げ
	HFC 系					
	HCFC 系		<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱脂力が大きい</li> <li>・沸点が低く揮発しやすい（ロスが多い傾向）</li> <li>・オゾン層破壊能および温暖化能が比較的大きい</li> </ul>			
	PFC 系		<ul style="list-style-type: none"> <li>・脱脂力は小さく，リンス剤や乾燥剤として使用される</li> <li>・オゾン層破壊係数ゼロ</li> <li>・温暖化係数が大きい</li> </ul>			
臭素系	n-プロピルブロマイド（1-ブロモプロパン）		<ul style="list-style-type: none"> <li>・DCM，TCE，PCE と用法が類似している</li> </ul>			

出典：産洗協(2003)，産洗協（1999a），産洗協調査(2001)，みずほ情報総研(2009)


### 2.2.3 炭化水素系洗浄剤

炭化水素系洗浄剤は（ノルマル，イソ）パラフィン系，ナフテン系，芳香族系に大別される．

特性として，引火性があるため消防法により貯蔵・取扱い数量に応じた規制を受け，洗浄装置も防爆構造を考慮したものが必要とされる．炭化水素系洗浄剤の溶解パラメータは鉱物系加工油のそれと近似しており，化学的に中性に近いため多くの金属に影響を与えずに，非鉄金属を含む金属製品の脱脂洗浄に用いられることが多い．付着した対象汚れとの沸点差が大きい蒸留によりリサイクル利用が可能である．一般的に添加剤は含有しないが対象汚れによっては界面活性剤等を含む製品がある．

炭化水素系洗浄剤の種類と主な特徴を表 2.4 に示す．

表 2.4 炭化水素系洗浄剤の細分と特徴

性状	物質の例	特徴	溶解度	対象汚れ	適用対象物	使用分野等
n-パラフィン系	n-デカン	・通常添加剤無しで使用されるが，一部に界面活性剤，添加剤等が使用される ・鉱物系加工油の溶解パラメータに近い ・溶解力高く浸透性に優れる ・蒸留によるリサイクル可能 ・金属に対して影響少ない ・引火性があり，消防法の規制を受ける	低い  高い	・加工用機械油（プレス油，切削油，防錆油など）	・プレス鋼板，自動車・機械部品，電機電子部品	・金属加工後の脱脂洗浄
イソパラフィン系	イソヘキサン，イソオクタン，イソドデカン			・加工用機械油（プレス油，切削油，防錆油など）	・自動車，精密機器，一般機械，電機電子機器等の金属・樹脂部品（プリント基板，自動車バンパーなど）	・工程前後の脱脂洗浄
ナフテン系	シクロパラフィン			・各種機械油，ワックス，フラックス等	・金属部品類（樹脂部品では侵食試験が必要）	・加工後の脱脂洗浄 ・ワックス，フラックス除去
芳香族系	1,3,5-トリメチルベンゼン，1,2,4-トリメチルベンゼン					

出典：産洗協(2009)，産洗協(1999)，産洗協調査（2001），みずほ情報総研(2009)

炭化水素系洗浄剤の特性を推定するために，工業用洗浄剤のリスト（産洗協(1999a)）に記載された非水系洗浄剤製品 135 品目のうち，含有成分情報から炭化水素系の有機溶剤を他系と併用せずに単独で使用している製品 51 品目を炭化水素系と考え抽出し，（1）性状（比重，引火点，界面活性剤）と（2）使用条件（使用時の洗浄剤温度）について解析した．

## ( 1 ) 炭化水素系製品の性状

### ( ) 比重

炭化水素系洗浄剤 52 製品の比重について、それぞれの数値範囲に対応する製品数を表 2.5 に示す。比重が 0.7 以上 0.9 未満である製品が約 95% を占める。この点は、炭化水素系の洗浄剤において、洗浄剤と対象汚れ（加工油等）が同程度の比重であるため、使用限界の判定を比重の変化によって行うことは難しいとのヒアリング結果を裏付ける。

表 2.5 炭化水素系製品の比重

比重	～0.7	0.7-0.8	0.8-0.9	0.9-1.0	1.0-1.1	1.1～	無記載	合計
製品数	1	34	15	1	0	0	1	52
比率	1.9%	65.4%	28.8%	1.9%	0.0%	0.0%	1.9%	100.0%

### ( ) 引火点

表 2.6 に炭化水素系洗浄剤製品の引火点を示す。引火点が 70 未満の製品が約 60% である。引火点が低い製品が多い原因として、引火点が低い程洗浄性能も良く、乾燥速度も速いことが考えられる。

表 2.6 炭化水素系製品の引火点

引火点℃	～21	21-40	40-55	55-70	70-85	85～	無記載	合計
製品数	2	4	20	5	11	9	1	52
比率	3.8%	7.7%	38.5%	9.6%	21.2%	17.3%	1.9%	100.0%

### ( ) 界面活性剤の使用

炭化水素系洗浄剤 52 製品中で界面活性剤が添加されるのは 1 製品のみであり、添加剤なしの単一成分で使用されることが多いという特徴を裏付ける。

## ( 2 ) 使用温度

炭化水素系洗浄剤の使用温度を表 2.7 に示す。洗浄剤製品リスト（産洗協(1999a)）では使用温度が複数記載されたものが 26 製品あるため表 2.7 に示す製品数は延べ数を集計した。全体の 9 割以上が 60 以下の使用温度であるが、これは防爆を考慮しているためと思われる。

表 2.7 炭化水素系製品の使用温度

温度℃	～25	25-40	40-60	60-80	80～	合計
製品数	24	31	20	5	1	81
比率	29.6%	38.3%	24.7%	6.2%	1.2%	100.0%

## 2.2.4 水系洗浄剤

水系洗浄剤は水を溶媒としており，汚れに対する作用は主に次の2点と考えられる．

- 1) 汚れ（油性）と水の界面張力低下および汚れと被洗浄物間に浸透することによる汚れの水中への分散・乳化・可溶化などの界面活性効果
- 2) 汚れ（粒子）表面にマイナスの表面電荷を持たせ粒子間の静電斥力を発生させることによる，水中への汚れ粒子の分散と被洗浄物表面への再付着防止作用．

表 2.8 に水系洗浄剤の種類と特徴を示す．性状によってアルカリ系，中性系，酸性系の3種類に大別される．アルカリ系の洗浄剤はアルカリの機能として，ビルダー作用（界面活性剤の効果を高める作用）を主とするものと，汚れを分解して落とす作用を主とするものがある．

中性系の洗浄剤は界面活性剤を主成分とする．各種の金属に対し腐食性が少なく，中性領域では複数の界面活性剤を対象汚れに合わせて比較的自由に配合が行えるため油性汚れの洗浄にも優れた特性を持つ．

酸性系の洗浄剤は，設備配管の錆やカルシウムイオン由来のスケールを，酸による化学反応で分解・溶解して除去するために用いられる場合が多い．また，リン酸塩による処理では金属表面に保護被膜を形成する目的でも使用される．

その他水系洗浄剤の成分として，金属イオンを捕捉・除去するためのキレート剤，消泡剤，防錆剤などが製品によって含まれる．

これらの成分となる物質の水への配合比は製品により異なり，原液として供給される水系洗浄剤製品は洗浄現場で希釈されて使用される場合が多い．

表 2.8 水系洗浄剤の細分と特徴

性状		主成分（物質の例）	その他の配合成分（物質の例）	一般的な特徴	特徴	対象汚れ	適用対象物	使用分野等
アルカリ系	無機アルカリ系	・無機塩（水酸化ナトリウム，水酸化カリウム，珪酸ナトリウム，炭酸ナトリウム，リン酸ナトリウムなど） ・水		・安価 ・不燃性 ・毒性が少ない ・樹脂類に影響が少ない ・排水処理装置が必要	・アルカリ性水溶液による汚れ粒子の分散効果を利用 ・金属を腐食しやすい	切削油，圧延油，加工油，研磨粉，切削粉	鋼板，伸線，金属部品，ガラス	・鍍金，金属塗装の前処理 ・金属加工部品の洗浄
	有機アルカリ系	・有機塩（アルカノールアミン） ・水	・界面活性剤 ・有機キレート剤（ポリリン酸） ・溶剤 ・防錆剤	・再生利用できない ・細部への浸透力が弱い ・乾燥が遅い ・工程が長くなる	・界面活性剤の併用することでアルカリのビルダー効果が得られる ・金属塩類の残渣が無い ・金属を腐食しやすい			

中性系		<ul style="list-style-type: none"> <li>・界面活性剤（非イオン性，アニオン，両性）</li> <li>・水</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ビルダー（炭酸ナトリウム，珪酸ナトリウム）</li> <li>・キレート剤（ポリリン酸塩，ポリカルボン酸塩）</li> <li>・水性溶剤（グリコールエーテル，アルコール）</li> <li>・消泡剤（シリコンオイル，鉱物油）</li> <li>・防錆剤（有機酸塩，ベンゾトリアゾール）</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・界面活性剤の乳化，分散，可溶化作用により洗浄</li> <li>・金属の腐食が少ない</li> </ul>	加工油，ビッチ，液晶，ワックス	精密部品，アルミ部品，液晶パネル，光学レンズ	
酸性系	無機酸系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無機酸（硫酸，塩酸，リン酸，硝酸など）</li> <li>・水</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・界面活性剤</li> <li>・防食剤</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・化学反応による分解・溶解で洗浄</li> <li>・金属を腐食しやすい</li> </ul>	錆，カルシウムイオン	鋼板，伸線配管，熱交換器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スケール除去，洗浄</li> <li>・鍍金，化成処理，塗装前洗浄</li> </ul>
	有機酸系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有機酸（クエン酸，グリコール酸，スルファミン酸など）</li> <li>・水</li> </ul>						

出典：産洗協(2009)，産洗協(1999a)，産洗協調査（2001），みずほ情報総研(2009)

市販される水系洗浄剤製品の特徴を把握するために，産洗協(1999a)に記載の水系洗浄剤 32 社（各 1～14 製品）分合計 172 製品を解析した．記載された値は市販される製品の銘柄数を母数としたものであり販売量や生産量の比率を反映したものではないことに注意が必要であるが，洗浄剤の傾向を知る手掛かりになると考えられる．

解析項目として，（１）製品の種類，（２）含有成分（界面活性剤，有機溶剤，ビルダー，水分含有率）の傾向，（３）使用時の濃度と温度（推奨値）について取り上げた．

## （１）水系洗浄剤製品の種類（系統）について

図 2.1 に市販される水系洗浄剤の種類として，酸性，アルカリ性，中性の構成比を示す．判断基準は産洗協(1999a)に記載される情報中の pH 値であり，pH6 以下を酸性，pH6 を超え 8 未満のものを中性，pH8 以上のものをアルカリ性とした．この分類では 172 品目中約 2/3 がアルカリ性で，酸性のものは 1%程度と少ない．

水系洗浄剤の種類

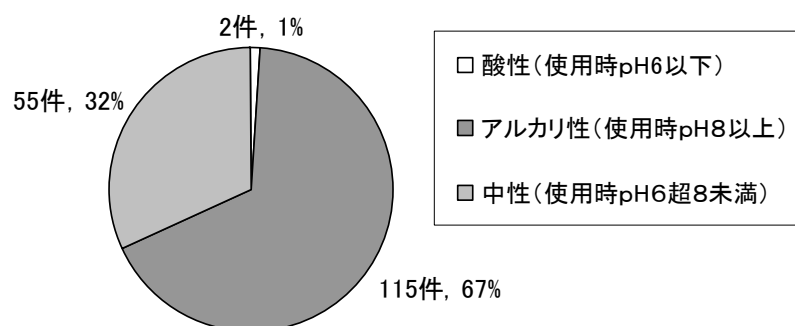


図 2.1 水系洗浄剤の種類（系統）について

## （２）水系洗浄剤に含まれる成分

### （ ）界面活性剤

表 2.9 に界面活性剤（種別毎）を含む製品数を示す．界面活性剤を含有しないのは全製品の 5% 弱である．また，全 172 製品の 89% がノニオン系の界面活性剤を含んでいる．

表 2.9 界面活性剤が製品に含有される件数（種類別）

界面活性剤成分	件数	製品数に対する比率
アニオン系を含む	64	37.2%
ノニオン系を含む	153	89.0%
カチオン系を含む	3	1.7%
両性を含む	6	3.5%
含有せず	8	4.7%
回答無し	4	2.3%
総事例件数	238	138.4%

### （ ）有機溶剤

表 2.10 に有機溶剤成分（種類別）を含有する水系洗浄剤製品数と比率を示す．全製品のなかで約 6 割が有機溶剤を含まない．有機溶剤が含まれる場合はグリコール/グリコールエーテル系が多く，全製品 172 品目中の 3 割弱の製品で含有される．

表 2.10 有機溶剤が製品に含有される件数（種類別）

有機溶剤成分	件数	製品数に対する比率
炭化水素系を含む	1	0.6%
アルコール系を含む	9	5.2%
グリコール/グリコールエーテル系を含む	48	27.9%
テルペン系を含む	0	0.0%
その他	4	2.3%
有機溶剤を含有せず	106	61.6%
回答無し	6	3.5%
総事例件数	174	101.2%

### （ ）ビルダー

界面活性剤の作用を向上させる成分は総称してビルダーと呼ばれる。表 2.11 にビルダー（種類別）を含有する水系洗浄剤製品数と比率を示す。ビルダーを含まない製品が全製品および回答のないものが約 3 割程度存在するが、残りの 7 割の製品は何らかのビルダーを含んでいる。

表 2.11 ビルダーが製品に含有される件数（種類別）

成分	件数	総事例件数に対する比率
有機ビルダーを含む	68	39.5%
無機ビルダーを含む	84	48.8%
ビルダーを含まない	42	24.4%
回答無し	6	3.5%
総事例件数	200	116.3%

### （ ）製品の水分含有率

図 2.2 に製品中に含まれる水分の含有率（階級）を示す。製品中水分が 50% から 90% であるものが最も多く、水分含有率がこの範囲の製品は全製品の 6 割を占める。

水分含有量 (n=172)

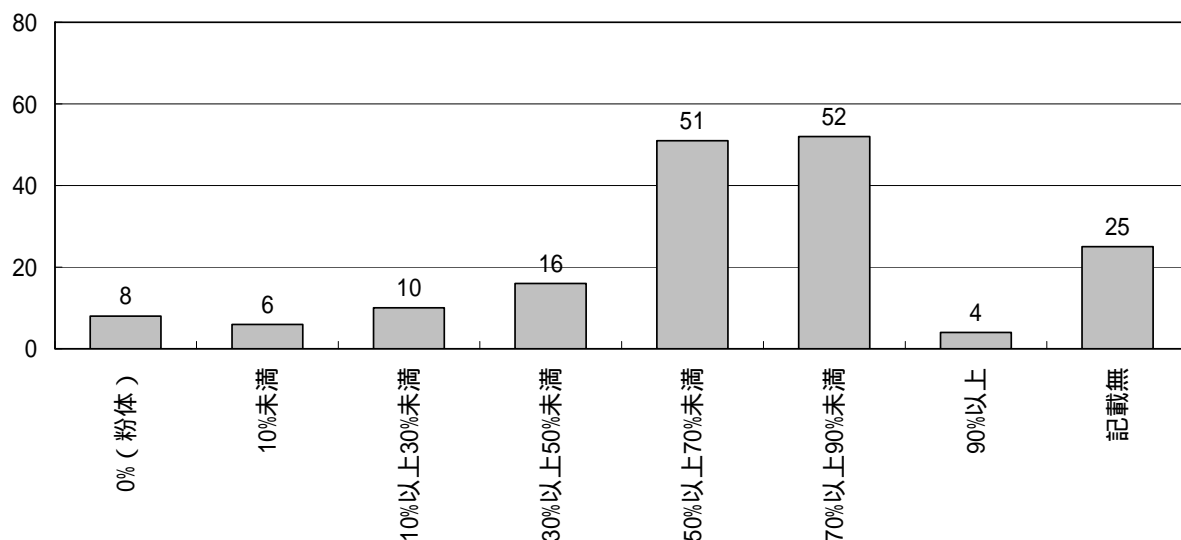


図 2.2 水系洗浄剤の水分含有量階級ごとの製品数



### ( 3 ) 水系洗浄剤の使用条件

#### ( ) 洗浄液中洗浄剤濃度

洗浄剤は希釈して使用される場合が多い．洗浄に用いる洗浄液中に含有される洗浄剤の濃度階級毎の製品数を図 2.3 に示す．階級の中央値を代表濃度として，全ての製品の算術平均は 14.2%，幾何平均は 6.7%であった．

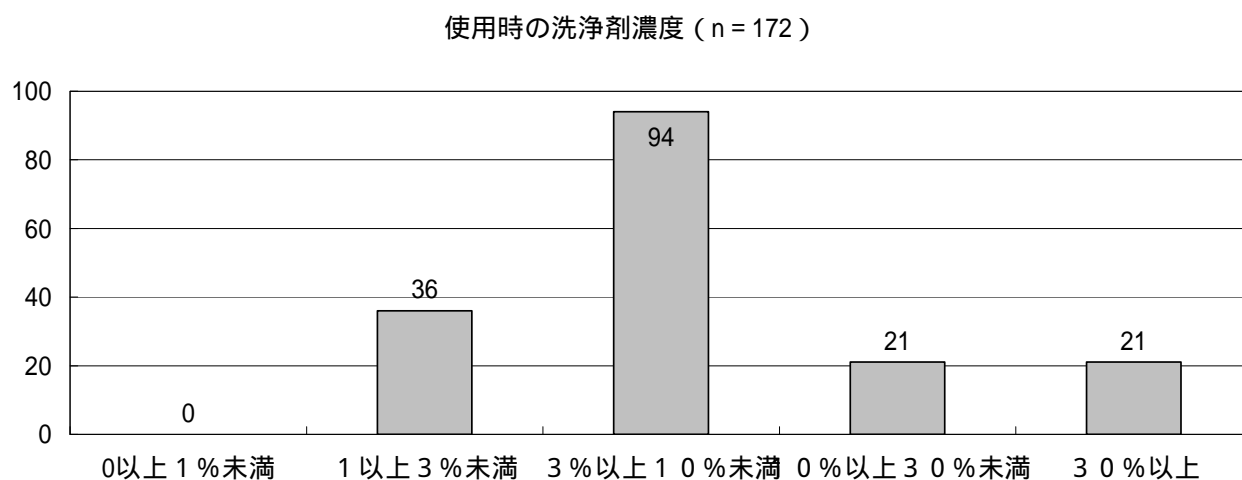


図 2.3 使用時の洗浄剤濃度階級毎の製品数

#### ( ) 洗浄液温度

使用温度に関して，資料中での記載方法が製品によって異なる（幅を持った値として記載されるが階級として表示されるものではない）．ここでは記載のないまたは温度随意である製品を除外した 166 製品について求めた使用温度は算術平均値 53.5 ，幾何平均値 51.9 ，最大 80 ，最小 25 であった．個々の製品で，幅を持った温度が記載される場合は上限と下限の平均値を，上限または下限いずれかのみ記載された場合は記載値を当該製品の使用温度と仮定した．

## 2.2.5 準水系洗浄剤

準水系洗浄剤の種類と特徴を表 2.12 に示す。準水系洗浄剤の組成は製品により多様であるが、「可燃物型」と「非可燃物型」とに大別される。可燃物型は水溶性の溶剤や界面活性剤などの配合により水洗を可能にした溶剤型洗浄剤であり、洗浄剤(非水系)で洗浄し、水ですすぎを行う工程が想定される。非可燃物型は水と相溶性の溶剤に少量の水を配合して非可燃物とした洗浄剤であり、界面活性剤を配合しない場合は水リンスを省いた工程が可能となる。

産洗協(1999a)、産洗協(2004)等の文献および洗浄剤メーカー等へのヒアリング結果によれば準水系洗浄剤で使用される溶剤はグリコールエーテル系が最も一般的と考えられる。

表 2.12 準水系洗浄剤の細分と特徴

性状		主成分（物質の例）	その他の配合成分	特徴	対象汚れ	適用対象物
非可燃物型 （洗浄剤に少量の水を含む）	グリコールエーテル系	グリコールエーテル系溶剤 「モノアルキルとジアルキル」, 「エチレングリコール系エーテルとプロピレングリコール系エーテル」に分類される(ジエチレングリコールモノアルキルエーテル等)	界面活性剤, 水	・極性汚れにも溶解力が優れる	フラックス, ワックス, ソルダレジスト, マーキングインキ, 導電性誘導体, 抵抗ペースト 一般的な油等, 重油	電気電子部品, 金属加工部品
	n-メチルピロリドン（NMP）系	n-メチルピロリドン	水,ビルダー	・引火点なし ・水と相溶性を有する有機溶剤である	切削油, 加工油, 指紋, 樹脂	金属加工部品
可燃物型 （洗浄を非水系,すすぎを水で行う）	テルペン系	テルペン（d-リモネン）	界面活性剤	・常温で洗浄効果優れる ・生分解性あり	ロジン系フラックス	電気電子部品
	炭化水素系	パラフィン系溶剤 イソパラフィン系溶剤 ナフテン系溶剤 芳香族系溶剤	界面活性剤, 水	・溶解力、浸透性高い ・引火性あり ・有機溶剤の溶解力で洗浄 ・除去対象汚れに応じた溶解力の物質を選択	鉍物油, グリース, ワックス, 離型剤	金属加工部品
	シリコーン系	低分子量シリコーン（揮発性シロキサンなど）	水	・速乾性がある		レンズ等光学部品, 金属, セラミックス, プラスチック

出典：産洗協(2009)、産洗協(1999)、産洗協調査(2001)、みずほ情報総研(2009)

準水系洗淨剤の代表的な性状を推定するために、工業用洗淨剤のリスト(産洗協(1999a))に記載された準水系洗淨剤製品 80 製品について、(1)成分(溶剤、界面活性剤、ビルダー、水分含有率)の傾向と、(2)使用条件(使用時の洗淨剤濃度、温度)の解析を行った。

## (1) 準水系洗淨剤に含まれる成分について

### ( ) 溶剤

図 2.4 に準水系洗淨剤に使用される溶剤を示す。80 品目中で溶剤を含有しないのは 5 製品で、残りは何らかの溶剤が含有される(2 成分の溶剤を含有する製品が 12 品目あった)。溶剤の種類で最も多いのはグリコール/同エーテル系で溶剤を使用した製品の 7 割を占め、準水系洗淨剤ではグリコールエーテル系が最も一般的であるというヒアリング結果と一致する。

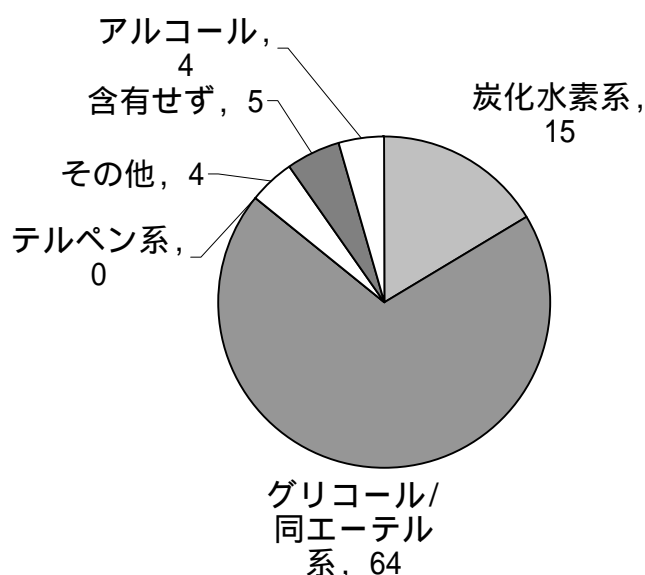


図 2.4 準水系洗淨剤に使用される溶剤の系統別件数

### ( ) 界面活性剤

表 2.13 に界面活性剤の使用数を示す。界面活性剤が使用されない件数は全 82 件のおよそ 50%を占める。製品の 95%が界面活性剤を含む水系洗淨剤とは異なり、準水系洗淨剤において界面活性剤は主剤ではなく対象汚れに応じて商品ごとに補助的に使用される成分と推測される。

表 2.13 界面活性剤が準水系洗浄剤商品に使用される件数

界面活性剤の種類	使用数
アニオン系	3
ノニオン系	30
含有せず	43
回答なし	6
合計	82

2 種使用の製品が 2 件ある

### ( ) ビルダー

図 2.5 に準水系洗浄剤製品でのビルダーの使用数を示す。ビルダーを含まない製品が 80 製品中 69 製品と 86%を占め、界面活性剤を含む製品の中でもビルダーはほとんど使われていない。

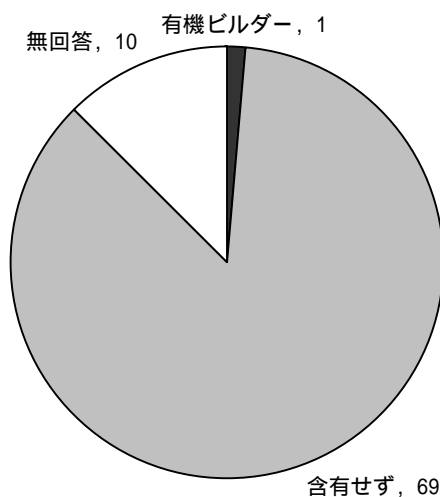


図 2.5 ビルダーが製品に含有される件数

### ( ) 水分含有率

図 2.6 に製品中に含まれる水分の含有率（階級）を示す。80 製品中のおよそ 8 割の製品中水分が 1%以上 30%未満であり、産洗協(2004)の「少量の水（通常 5～20%）を配合」という記述を裏付ける。

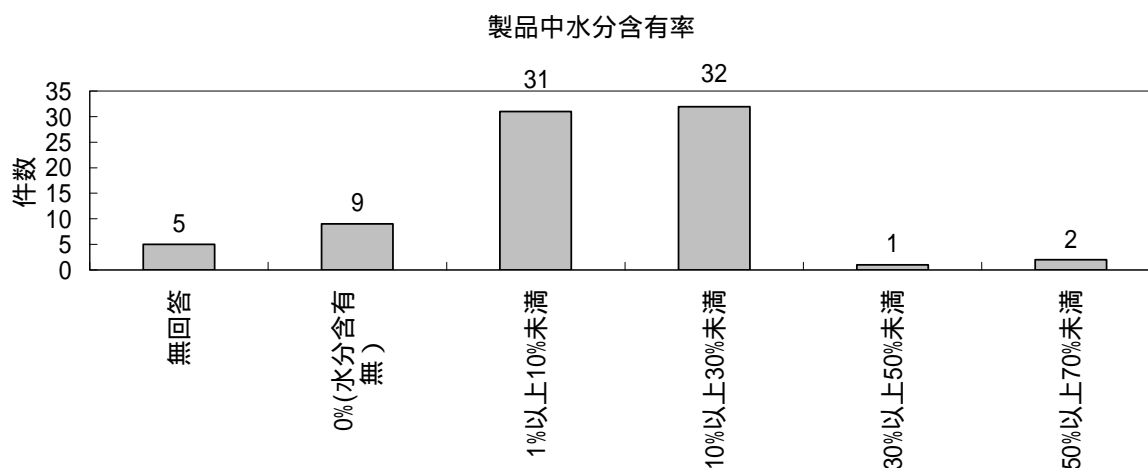


図 2.6 準水系洗浄剤の水分含有量階級ごとの製品数

## ( 2 ) 使用条件

### ( ) 洗浄液中洗浄剤濃度

洗浄に用いる洗浄液中に含有される洗浄剤の濃度階級毎の製品数を図 2.7 に示す .100% (原液) で使用される製品が 71 件と全体の 89% を占め , 産洗協(1999a)の「洗浄液を原液で使用する人が多い」という記述と一致する .

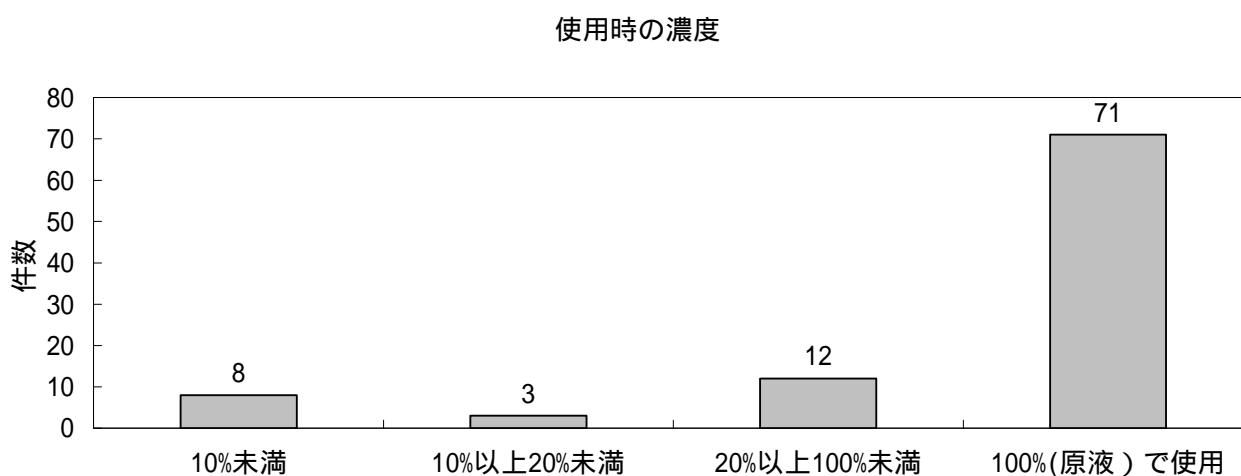


図 2.7 使用時の洗浄剤濃度階級毎の製品数

### ( ) 洗浄液温度

使用温度に関して , 資料中では温度階級として表示されている . 各階級毎の件数を図 2.8 に示す .80 製品のうち未回答はなく , 27 製品では 2 以上の温度階級が示されているため , 総件数は 118 件であった . 温度階級 40 ~ 60 とされる件数が 52 件と全件数の 44% を占めており , 多い傾向にある .

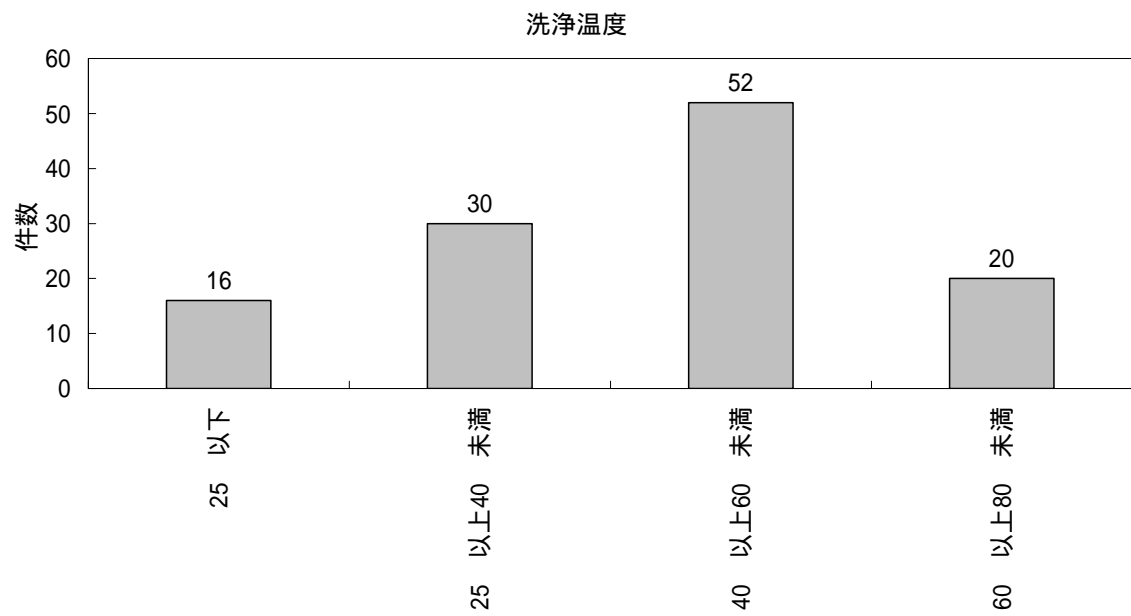


図 2.8 使用時の洗浄剤温度階級毎の件数

## 2.3 洗浄剤として使用される物質と物性について

洗浄剤の特徴は使用されている物質によって特徴づけられ、飽和蒸気圧などの物性は排出推計における重要な要素となる。個々の製品で主成分として使用される物質名が一般的に入手可能な資料では明らかにされない場合には、本 ESD では実製品に含まれる物質に対し近似的に適用するパラメータを得るため、市販される製品情報に示される沸点等を参考にして物質を仮定してその物性値を用いることとした。

各種の工業用洗浄剤グループ別に仮定した物質について、沸点、密度、常温近辺(25℃)での飽和蒸気圧を表 2.14 に示す。炭化水素系については、物質名が不明である場合において構造式に含まれる炭素(C)の数ごとに 1 物質を仮定した。水系については、本 ESD 2.2.4(2) から主成分と考えられる界面活性剤のうち、ヒアリングによる情報から工業用洗浄剤に含まれる主流と考えられるポリ(オキシエチレン)＝アルキルエーテル(C=12～15)(AE)を仮定した。準水系物質については本 ESD 2.2.5(1) からグリコールエーテル系の溶剤が主成分と考えられ、ヒアリングから確認された主流となるジエチレングリコール系の中で具体的な物質として J-tokkyo ウェブサイト(1999)にフラックスおよびクリームはんだを溶解するために従来から用いられる溶剤として記載のあった物質を仮定した。フッ素系(ハロゲン系)については Appendix に示すように使用量の多い物質を仮定した。

表 2.14 各種の洗浄剤に使用されると考えられる化学物質と物性

洗浄剤の種類		物質名の例	分子式	分子量	沸点℃	密度(g/cm <sup>3</sup> ) 25℃	飽和蒸気圧 (Pa) 25℃
炭化水素系	ナフテン系	シクロオクタン	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	112.2	151	0.830	721.1 <sup>*5)</sup>
		n-プロピルシクロヘキサン	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	126.2	157	0.790	558.6
		n-ブチルシクロヘキサン	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	140.3	181	0.796	175.2
		1-シクロペンチルヘキサン	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>	154.3	203	0.793	48.1 <sup>*5)</sup>
		1-シクロペンチルヘプタン	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	168.3	224	0.806	14.6 <sup>*5)</sup>
	パラフィン系	n-ノナン	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128.3	151	0.715	593.3 <sup>*5)</sup>
		n-デカン	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142.3	174	0.728	190.1
		n-ウンデカン	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	156.3	196	0.737	54.9
		n-ドデカン	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170.3	216	0.745	18.1
		n-トリデカン	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	184.4	235	0.754	7.4
	イソパラフィン系	イソオクタン(2,2,4-トリメチルペンタン)	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.2	99	0.690	6576.8
		イソノナン(2-メチルオクタン)	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128.3	143	0.710	830.1
		イソデカン(2-メチルノナン)	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142.3	167	0.723	251.3
	芳香族系	1,3,5-トリメチルベンゼン	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120.2	165	0.861	330.4
塩素系		ジクロロメタン	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84.9	40	1.318	57728.4
		トリクロロエチレン	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	131.4	87	1.458	9828.5
		テトラクロロエチレン	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	165.8	121	1.613	2471.8
準水系		ジエチレングリコールモノメチルエーテル	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	120.1	194	1.017	24.0
		ジエチレングリコールモノブチルエーテル	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O <sub>3</sub>	162.2	231	0.952	2.9
ハロゲン系	臭素系	1-ブロモプロパン	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> Br	123.0	71	1.345	18505.1
	ハロゲン系	HCFC-141b(1,1-ジクロロ-1-フルオロエタン) <sup>*1)</sup>	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> F	116.9	32	1.25 <sup>*3)</sup>	79993.2
水系	界面活性剤	ポリ(オキシエチレン) = アルキルエーテル (C=12~15) <sup>*2)</sup>	C <sub>m</sub> +2nH <sub>2</sub> +2m +4nO+1+n	626.9	-273	1.02 <sup>*4)</sup>	— <sup>*6)</sup>

出典：Yaws(1997) 但し\*1), \*2)を除く

\*1) HSDB (米国国立医学図書) データベース <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search> より\*2) NITE ホームページ <http://www.safe.nite.go.jp/management/search/Fundamental?127> より

\*3) 10 における密度

\*4) C<sub>12</sub>(AE)x の比重(20 )

\*5) 適用範囲外の温度であるが Yaws(2007)の Antoine 係数を用いて仮に算出した値

\*6) 常温で固体または液体と考えられる



図 2.9 に物質ごとの 25℃における飽和蒸気圧(Pa)を示す．図には常温で気化しない界面活性剤(水系)は記載しなかった．塩素系とハロゲン系が気化しやすく，準水系が気化し難い傾向が示される．

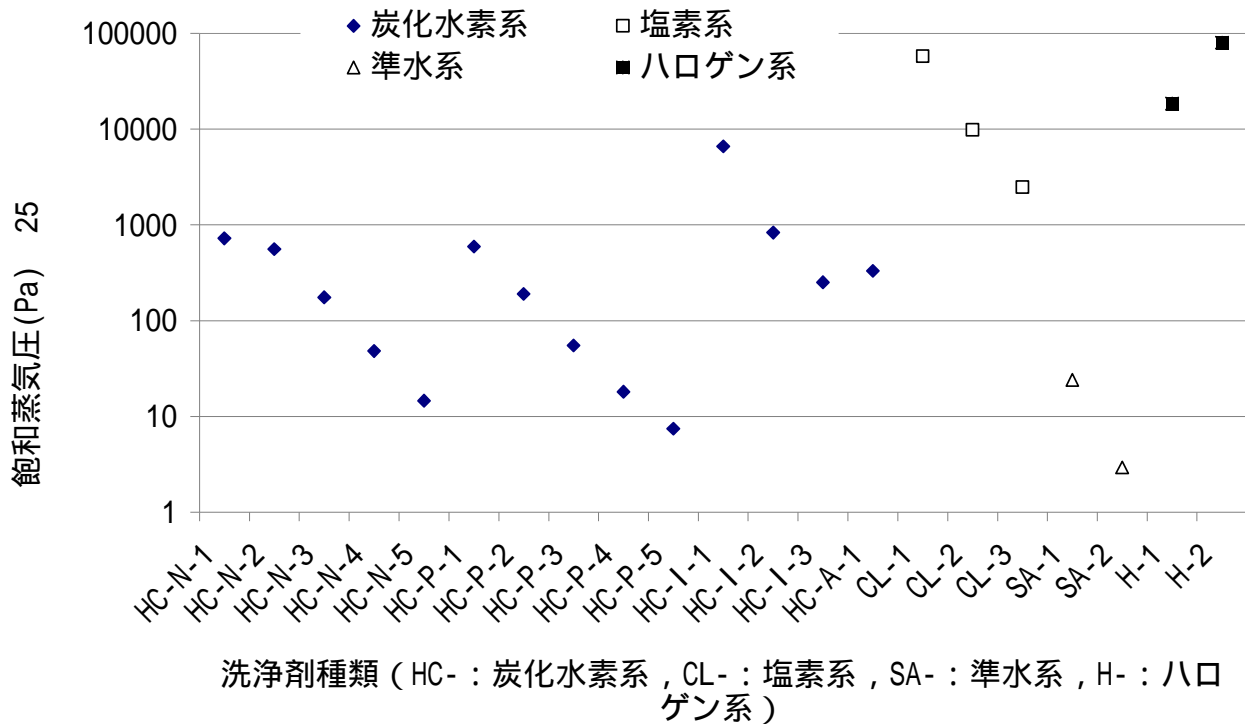


図 2.9 各種の洗剤として使用される物質の飽和蒸気圧 ( 25℃ ) の例

表 2.14 に示した物質の一部について、飽和蒸気圧曲線を図 2.10 に示す。

これらの蒸気圧曲線は、ある温度下において洗浄剤成分が液面から気化して大気中へ排出されると仮定した場合の排出量算出に利用可能である。

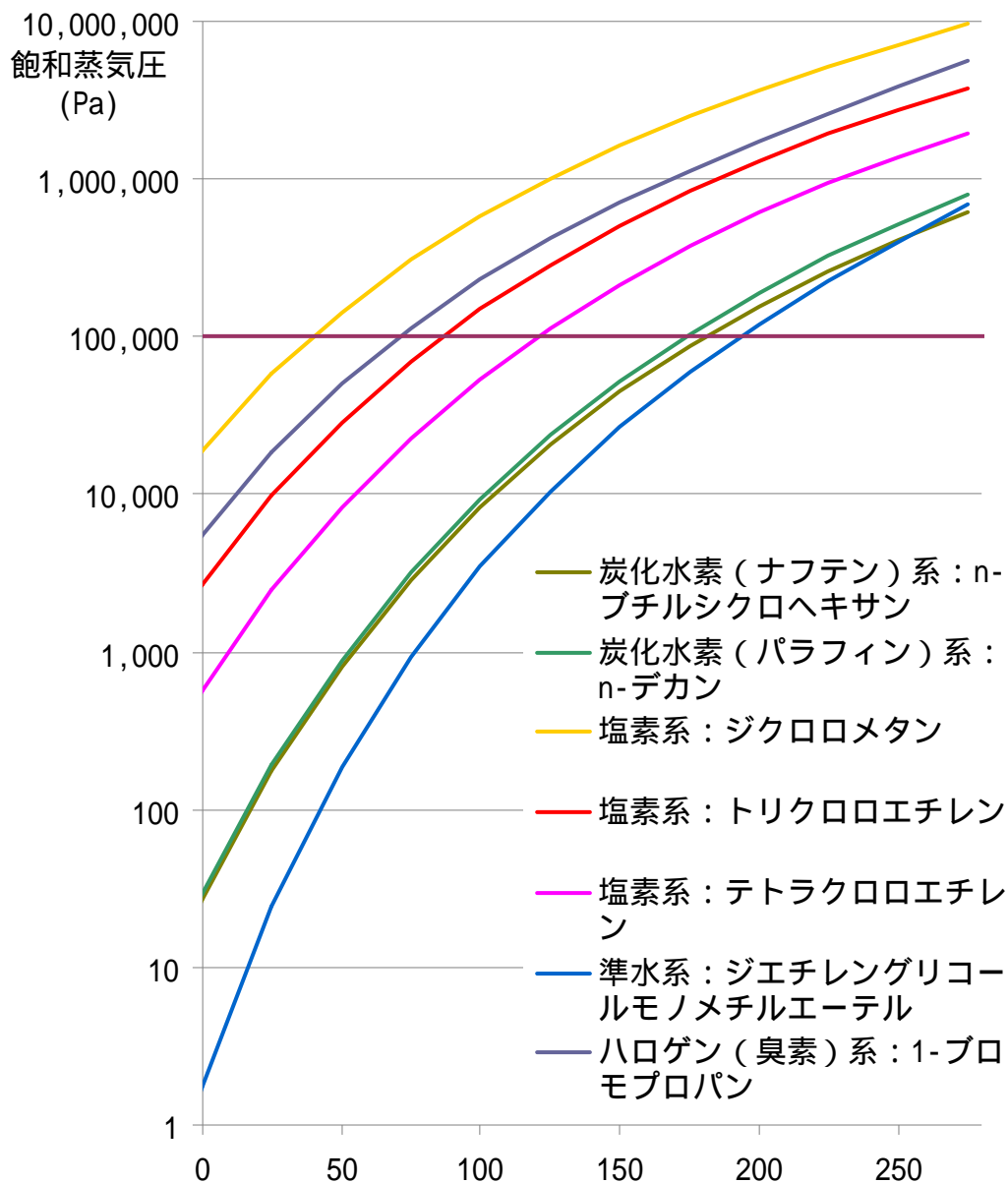


図 2.10 各種洗浄剤に使用される物質の飽和蒸気圧曲線

注) ここで飽和蒸気圧は Antoine 式 ( $\log_{10} P = A + B/T + C \log_{10} T + D T + E T^2$ )

A, B, C, D, E: アントワン係数, P: 飽和蒸気圧 (mmHg), T: 温度 (K),  
 に対し, Yaws(1997)に示されるアントワン係数 A ~ E を適用して求めた。図では蒸気圧の  
 単位を mmHg から Pa に変換した上で示した。

## 2.4 洗浄装置の種類と特性

洗浄装置を使用する洗浄には、洗浄液を使用して行う湿式洗浄と、粒子・気体や光を用いる乾式洗浄に大別される。本 ESD では湿式洗浄を対象として記述をおこなった。

洗浄装置を区分する手法はさまざまであり、全ての洗浄装置を類型化し体系的に分類することは困難と考えられる。本節では、(1) 湿式の洗浄装置の洗浄・すすぎ・乾燥の3つの基本工程洗浄方法のうち特に洗浄に着目した洗浄方法による分類、(2) 全体的な洗浄のプロセスを含んだシステムとしての特徴による分類、(3) 使用する洗浄剤による分類方法により、それぞれの分類手法による洗浄装置名を例示し種類別の特徴を記述した。

### 2.4.1 洗浄方法による分類

産洗協(1999a)では、湿式の洗浄装置に採り入れられる洗浄方法(機構)の基礎となる洗浄に寄与する要素として表 2.15 に示す項目が挙げられている。

表 2.15 洗浄に寄与する要素

化学的	溶解性	水，溶剤
	界面活性	界面活性剤
	化学反応性	酸，アルカリ
物理的	熱	洗浄要素の反応促進，汚れの物理変化，被洗浄物の物理変化
	超音波	超音波エネルギー（数千気圧の衝撃波），キャビテーション，加速度，直進流による汚れの強力剥離，分散
	加圧	噴射エネルギーによる汚れの剥離を促進（シャワー・スプレー・ジェット）
	攪拌( 揺動・回転 )	被洗浄物表面と新鮮な洗浄液の接触を促進するための攪拌，均一化による洗浄効果の向上，被洗浄物表面より汚れの剥離を機械的に促進 剥離した汚れを洗浄液中に分散・保持し，洗浄面への再付着を防止する
	減圧	減圧した液を細部に浸透させ，汚れを膨張させて除去
	研磨	手，機械，ブラスト法などによる研磨で汚れを剥離
	摩擦力	ブラシ等でこすることで，汚れの剥離を促進

産洗協(1999a)より一部改変して引用

洗浄装置を、表 2.15 中の物理的要素によって分類した場合の装置概要と特徴を表 2.16 に示す。洗浄手法として、被洗浄物を洗浄液の入った洗浄槽に漬け込んで行う浸漬洗浄と、被洗浄物に洗浄液を吹き付ける手法などにより被洗浄物を液体に漬け込まずに行う非浸漬洗浄とに大別される。

表 2.16 洗浄装置に取り入れられる洗浄方法(装置)の分類

洗浄方法（装置）		概要	主に対応する洗浄剤	特徴	
浸漬洗浄	被洗浄物を洗浄液の入った洗浄槽に入れる	超音波洗浄	洗浄槽中で超音波を発生させる．	ほぼ全ての洗浄剤	比較的小型の被洗浄物に対応．複雑形状，狭い隙間，溝などの洗浄が可能．
		噴流洗浄	洗浄槽中で洗浄液をポンプにより噴流とする．	水系，準水系，炭化水素系	複雑形状の場合凹部の洗浄性に難がある． 洗浄剤によっては泡が発生する．
		揺動（回転）洗浄	被洗浄物を上下・左右に揺動，またはバスケットに入れ回転させることで洗浄液と激しく接触させる．	ほぼ全ての洗浄剤	揺動機構部分が必要となる．
		機械式振動攪拌	洗浄槽中に吊り下げた振動板を上下振動させる．	ほぼ全ての洗浄剤	除去された油分は安定したエマルジョンになりやすく，油水分離がしにくくなる．
		バブリング洗浄	洗浄液中に分散噴出させることで，発生する多数の気泡が上昇する動きで洗浄液を攪拌する．	準水系，一部の水系	最も簡単な攪拌機構だが攪拌効果はあまり大きくない．
		減圧（真空）洗浄	密閉した洗浄槽内を減圧し一定の真空度を保ちながら行う洗浄．	炭化水素系，準水系，一部の水系	洗浄液がよく浸透するため精密洗浄が可能． 同一装置内で真空乾燥が可能．
非浸漬洗浄	被洗浄物に洗浄液を掛ける	ジェット（スプレー，シャワー）洗浄	液体を被洗浄物に噴射し衝撃力により汚れを落とす．	水系，一部の準水系（シャワー式では一部のフッ素および塩素系）	広い面積を少量の洗浄液で洗浄できる．
		蒸気洗浄（ベーパー洗浄）	溶剤（洗浄剤）蒸気を満たした雰囲気中に被洗浄物を設置して行う洗浄．	水系及び準水系以外の洗浄剤．	引火性溶剤では減圧下で行うなど防爆対策が必要 複雑形状の被洗浄物にも適する．

[出典：産洗協(1999b)，産洗協(2004)を参考に作成]

表 2.16 で示したのは単一の洗浄方法を仮定して示す特徴であり，実際に用いられる洗浄装置では，落とされる汚れの性質，被洗浄物の材質・形状等の条件，要求される洗浄度，洗浄液の特性などに応じて洗浄手法は単独または組み合わせて応用される場合が多い．

## 2．4．2 システム構造などの特徴による分類の例

洗浄装置を，洗浄槽の形式や被洗浄物の搬送方法その他の洗浄システム上の特徴から分類される場合もあり，数多くの呼び名が用いられる．ここでは代表的なものの記述に留める．

### ・密閉型洗浄装置

湿式洗浄において，特に低沸点溶剤を使用する場合など，洗浄液蒸発分を洗浄装置外に出さないような洗浄システムの呼称．装置外部への排出を防ぐ機構として，冷却コイル，洗浄槽上部の蓋，洗浄液と外部が直接触れないようにするためのバッファ空間，および洗浄剤蒸発分を回収する機構などを備えた洗浄システムの総称で，開放型洗浄装置の対義語となる．

### ・コ・ソルベント洗浄装置

洗浄剤として汚れ除去性能の高いもの，すすぎ剤として乾燥性の良いもの 2 種類の洗浄剤を使用する洗浄システムの呼称．

### ・バッチ式洗浄装置

洗浄，すすぎ，乾燥を 1 つの槽で行う洗浄装置．槽中に粗洗浄液，仕上げ洗浄液などが給排され洗浄が行われる．スペース面で制約のある場合などに用いられる．

他にも，脱気洗浄装置，ダイレクトパス洗浄装置，スチーム洗浄装置，超臨界洗浄方式，電解洗浄装置，ノンリンス洗浄装置などがあるが，詳細は略する．

## 2．4．3 使用する洗浄剤による分類の例

以下に示すのは，使用する洗浄剤から呼称される洗浄装置の分類である．本 ESD で分類した洗浄剤の種類と重なる部分もあるが，ここで記述するのは一般的に行われる洗浄装置の分類の紹介と整理を目的としている．

### ・溶剤洗浄装置

水系，準水系，アルコール系以外の非水系の洗浄剤のうち，主として溶解機能で汚れを除去する洗浄装置の総称．可燃性溶剤（炭化水素系，シリコーン系，テルペン系など）および不燃性溶剤（塩素系，フッ素系，臭素系など）を使用するものに大別され，洗浄剤の

種類により洗浄機構の組み合わせ，防爆機構等の必須機能が異なり，実際に使用される装置の種類は多様性がある．

- ・アルコール洗浄装置

エタノール，メタノール，イソプロピルアルコール（IPA）等のアルコール類を用いて洗浄を行う装置の総称．ケトン類，エステル類も用法としては同類である．洗浄（浸漬・超音波洗浄）・リンス・仕上げリンス・乾燥が代表的工程．引火点が低いので，水との混合性のあるものについては水との混合溶剤として用い危険性を低減する場合がある．

- ・水系洗浄装置

洗浄剤（アルカリ性，中性，酸性）を水により希釈して使用し，湿潤浸透作用，乳化分散，可溶化，鹸化などの機能で汚れ成分を除去する工程を含み，すすぎ工程で水を使用する洗浄システムを指す．洗浄・すすぎ・乾燥および付帯設備の要素で構成され，排水処理設備や純水リサイクル装置などが備えられる．洗浄の機構として，スプレー洗浄（被洗浄物の移動法により類別化），超音波洗浄，減圧超音波洗浄などが利用される．

- ・準水系洗浄装置

洗浄剤を原液で使用し，主として溶解洗浄機能で汚れを除去し，一般的には水でリンスをする洗浄システム．洗浄剤の主成分と濃度により装置の構成もさまざまである．洗浄槽の洗浄液の濃度管理のため水分計，洗浄剤や汚れ成分の濃度計，電気伝導度計が使われる．リンス廃液は蒸留再生装置，純水再生装置やリンス水浄化装置などが用いられ排水されずに用いられる．

## 2.5 周辺装置の種類と特性

本項では，直接的に汚れ落としを行わないが，洗浄システムの一部と考えられる機構・装置のなかで，洗浄剤の使用・排出に関係が深いと考えられるものについて記述した．

### 2.5.1 乾燥装置

- ・温風乾燥

加熱した空気を送風機により被洗浄物に吹き付けることで，付着した洗浄液の温度を上昇させ気化分散により乾燥を行う装置であり，広範囲に使用されている．風温と乾燥速度は概ね比例関係にある．

- ・減圧（真空）乾燥

乾燥槽を真空（減圧）環境とすることにより，被洗浄物に付着した洗浄液は沸点が低下することで急激に気化し，乾燥槽内を減圧するためのポンプに吸引・排出される．残りの洗浄液は気化し続け被洗浄物を乾燥させることが可能となる．被洗浄物全体が真空（減圧）下に置かれるため，袋穴や複雑形状等の乾燥にも適している．

- ・ 蒸気乾燥(ペーパー乾燥)

洗浄剤蒸気雰囲気内に温度の低い被洗浄物を置くことにより，洗浄剤蒸気は被洗浄物表面で液化し，汚れとともに流れ落ちることで仕上げ洗浄の効果が得られる．その後さらに被洗浄物の表面温度が洗浄剤蒸気温度に等しくなり，洗浄剤蒸気が被洗浄物表面で液化しない状態までに留めることにより，被洗浄物を乾燥させる．

これらのほか，間接加熱式乾燥，エアブロー乾燥，スピン乾燥，水置換乾燥，輻射熱乾燥等の手法があるが詳細は略す．これらの乾燥方法は被洗浄物や使用する洗浄剤により使い分けがなされる．乾燥装置は単体で用いられる場合もあるが，複数の手法を組み合わせたり，洗浄装置に組み入れ洗浄システムとして一体化して用いられる場合も多い．

## 2.5.2 排ガス処理装置

洗浄装置からの排気に含まれる洗浄剤成分，水分，空気中の塵埃，被洗浄物から落とされた汚れ成分などを，環境への影響や火災等の安全性の確保のため，事業所外へ排出する前に除去する装置を排ガス処理装置と呼ぶ．ここでは排ガス処理装置として代表的なものについて概要を示す．

- ・ 燃焼装置

排ガス中の可燃性の有機物を対象として，濃度が燃焼範囲にある場合は排ガスをボイラー等燃焼装置に導き燃焼させることが可能とされ，多くの場合補助燃料（LPG 等）が用いられる．

- ・ 吸収装置

洗浄装置からの排ガスに含まれる対象成分に対して吸収性のある液体（吸収液）を捕集媒体として，排ガスを吸収液中に接触・溶解させることで除去し，ミストセパレータなどを用いた気液分離により対象物質を除いたガスのみを大気に排出する装置である．

- ・ 活性炭吸着装置

活性炭を吸着材とした充てん層に，被吸着物質を含む排ガスを流し吸着させる装置である．活性炭は他の吸着材に比較して極性が小さく，水，アルコール等の極性物質より飽和炭化水素など無極性物質の吸着に優れる．特に炭素数の大きな炭化水素を吸着しやすい．

## 2.5.3 排水処理装置

主として水溶性の洗浄剤を使用する洗浄装置からの排水に含まれる汚濁物質（洗浄剤成分，被洗浄物から落とされた汚れ成分等）を，下水道，公共用水域へ排出する前に除去する装置・設備を排水処理装置という．なお，排水は廃水と表記される場合もあるが，本 ESD では「排水」の表記とした．代表的な排水処理装置と装置区分および対象成分別の除去率と分解率を表 2.17 に示す．

排水処理装置の区分として自然沈殿，凝集沈殿，微生物分解，膜ろ過，活性炭吸着等の手法が挙げられるが，このうち自然沈殿方式は溶解した無機化合物および有機化合物に対

して除去率，分解率とも 0 とされているため，ここでは自然沈殿以外の方式について概要を記述する．

表 2.17 排水処理装置の区分別除去率と分解率

排水処理装置の除去率と 分解率 (%)		対象化学物質区分							
		懸濁無機化合物 <sup>b)</sup>		懸濁有機化合物 <sup>b)</sup>		溶解無機化合物 <sup>c)</sup>		溶解有機化合物 <sup>c)</sup>	
処理装置区分		除去率	分解率	除去率	分解率	除去率	分解率	除去率	分解率
自然沈殿 装置	代表値	40	0	20	0	0	0	0	0
	最小～最大	40～50	-	20～50	-	-	-	-	-
	最小～最大 をとる要因	懸濁物質の粒度				-	-	-	-
凝集沈殿 装置	代表値	80	0	70	0	0	0	0	0
	最小～最大	66～95	-	90～95	-	0～10	-	0～10	-
	最小～最大 をとる要因	懸濁物質の粒度				凝集剤の種類			
微生物分 解装置 (好気 性) <sup>a)</sup>	代表値	70	0	70	30	0	0	60	40
	最小～最大	70～80	0	70～80	30	-	-	60～95	40～70
	最小～最大 をとる要因	汚泥への吸着性				-	-	物質の分解性	
膜ろ過装 置	代表値	100	0	100	0	0	0	0	0
	最小～最大	-	-	-	-	70～98	0	90～95	0
	最小～最大 をとる要因	-	-	-	-	逆浸透膜 (RO) の場合			
活性炭吸 着装置	代表値	10	0	10	0	20	0	80	0
	最小～最大	0～10	0	0～10	0	0～20	0	80～90	0
	最小～最大 をとる要因	物質の吸着性							

a) 活性汚泥法、浸漬ろ床法、接触酸化法、回転円盤法等の好気性微生物による処理装置でのやや難分解性の物質についての値。

b) 懸濁(無機化合物、有機化合物)とは、排水中で対象物質が粒子状のもののこと。

c) 溶解性(無機化合物、有機化合物)とは、排水に対象物質が溶解した状態のもののこと。

[ 出典：経済産業省・環境省 (2004) ]



- ・凝集沈殿装置

凝集沈殿法は水処理において最も広く用いられ、凝集および沈殿の操作を一つの装置で行う分離操作の一つであり、対象とされる懸濁系は有限時間で沈降分離できない粒径 $0.001 \sim 1 \mu\text{m}$ 程度のコロイド分散系とされている。

- ・微生物分解装置（好気性）

生物処理法と呼ばれることもあり、好気性の微生物を利用して排水中の有機物を生物分解によって除去する手法である。有機性工業废水处理で最も普及しているのは、微生物を均一に浮遊させた有機物と接触させて処理を行う活性汚泥法とされる。

- ・膜ろ過装置

表 2.17 に示される逆浸透膜は、水を通し溶質をほとんど透過しない性質の膜であり、これを用いて対象物質が溶解している液から水だけを取り出す装置が膜ろ過装置である。膜ろ過では駆動力として圧力差が用いられる。

- ・活性炭吸着装置

活性炭は一般に他の手法（凝集沈殿、ろ過、生物処理）で除去できない微量な有機物等を除去するために用いられる。活性炭表面は疎水性が強いため、疎水性が強く分子量が大きい物質の方が吸着されやすく、親水性が強く分子量が小さい物質ほど吸着されにくい傾向があるとされる。

## 2.5.4 回収・再生システム

この節では、洗浄工程内に適用される回収・再生システムの形態・類型等について例示した。

- ・すすぎ水（洗浄剤を含む）再利用システム

水系洗浄剤など、水ですすぎを行う洗浄に適用される。洗浄剤から汚れ（油）成分を除き洗浄液の寿命を延ばし液交換頻度を少なくすることを目的とした油水分離システムと、すすぎ排水について膜処理により汚れ（油）、洗浄剤、すすぎ水に分離して洗浄剤およびすすぎ水に再利用するシステムにより構成される。

- ・溶剤ガス処理回収装置

洗浄槽周辺の局所排気、乾燥工程等から発生する対象成分を環境中に排出させない処理を行うことにより、捕集した対象成分を再利用可能な品質で回収する機能を持つ。主な方式として次に示す「活性炭吸着方式」および「加圧深冷方式」がある。

- ・蒸留再生装置

炭化水素系洗浄剤を利用した洗浄やすすぎ工程では，洗浄剤の蒸留再生装置が組み合わせて用いられる例がある．減圧蒸留装置が代表的で，蒸留釜内に汚れ成分を含んだ洗浄剤を導入し沸点差を利用して洗浄剤の蒸留を行う．「減圧ポット式」や「減圧薄膜式」などの方式がある．

## 2.5.5 その他の洗浄周辺装置

洗浄剤の対象成分の排出・処理・回収と関連した装置を例示する．ここで示す装置を介して前述の処理装置や回収再生装置に導入されたり，処理・回収・再生等のシステムの一部としてこれらの装置が組み込まれる場合も多い．

- ・局所排気装置

揮発性の高い洗浄剤等を使用する工程で，作業環境改善のため発生源近傍に吸引口を設け局所的に排気を行う装置．吸引はフードから排風機により吸引される．フードには囲い型，ブース型，レシーバー型，外付け型等の種類がある．

- ・油水分離装置

液中の油分を浮上分離やろ過などによって除くことにより，洗浄液やリンス水中の油分濃度を一定以下とすることで，洗浄品質の安定と洗浄・リンス液の寿命を延ばす効果が期待される．対象として主に水系および準水系洗浄で用いられる．

## 2.6 対象汚れと洗浄剤との関係

被洗浄物に付着して洗浄により除去される物質を「汚れ」と総称する．汚れは洗浄プロセスを決定付ける要素の一つとなる．汚れの種類は多様であるが，有機汚れと無機汚れに大別した分類の例を表 2.18 に示す．

細分類として，例えば油脂系が水性と鉱物油系とに分類される場合もある．また，被洗浄物によっては付着している汚れが単一ではなく複数種類の場合もあり，それに応じた洗浄手法が求められる．

汚れの付着の目安となる量的な指標として，単位被洗浄物（重量や表面積）あたりの汚れ量（容積や質量）が考慮される．

表 2.18 洗浄対象汚れの例

有機汚れ (有機化合物)	油脂系（鉱物系および水溶性）：切削油，加工油，圧延油，プレス油，防錆油，熱処理用油，グリス・潤滑油等 その他（固形の有機物など）：フラックス（ロジン系，アミン），ワックス，接着剤，液晶，樹脂，離型剤，繊維屑，イオン性汚れ等
無機汚れ (金属，無機化合物)	無機固体：加工屑，磨耗粉，切削粉，研磨剤，ダスト等 酸化膜，表面層形成膜等

産洗協(1999a)，産洗協(1999b)，産洗協(2004)，産洗協(2006)を参考に作成

ここで，5種類の洗浄剤種類別にどのような汚れに対して使用される傾向があるのかを把握するために，既存の調査結果を用いて工業用洗浄剤の対象汚れ別出荷量（または販売量，購入量）を図示した．用いた出典データを表 2.19 に示す．汚れの種類の分類は表 2.18 の各調査で共通しており鉱物系加工油，水溶性加工油，フラックス<sup>2</sup>，研磨剤，グリス・潤滑油，離型剤，防錆油・剤，油汚れ・しみ，粉塵・不純物，ピッチ・ワックス，その他の11種の汚れに区分されている．

表 2.19 3種のアンケート中の対象汚れ別洗浄剤に関わる項目の比較

資料	対象年度	調査対象者	回答数	項目	回答された洗浄剤の合計量
産洗協調査 (2001a)	1999	洗浄剤および洗浄装置メーカー	79 社	販売量	140072 トン
JICOP(2005)	2003	産業洗浄装置・洗浄剤メーカー	20 社	販売量	29369 トン
		産業洗浄装置・洗浄剤ユーザー	150 事業所	購入量	2867 トン
みずほ情報総研(2009)	2007	洗浄剤メーカーおよび販売業者	78 件	出荷量	135608 トン

これらの資料中のアンケート結果をもとにしたグラフを洗浄剤種類別に図 2.11～16 に示す．各対象汚れごとのパーセンテージは，各調査における各洗浄剤の出荷（または販売，購入）合計量を 100%としたときの，当該汚れ向けの販売（または出荷，購入）量の割合を示したものである．なお，ハロゲン系洗浄剤についてはフッ素系と臭素系とで対象汚れとの関係が異なるため，両者を分けて結果を示した．

<sup>2</sup> フラックスとははんだ付けの際，酸化被膜の除去・再酸化からの表面保護等のため用いられる，ロジン（松ヤニ）及びその化合物を主な原料としたペーストまたは液体のこと．

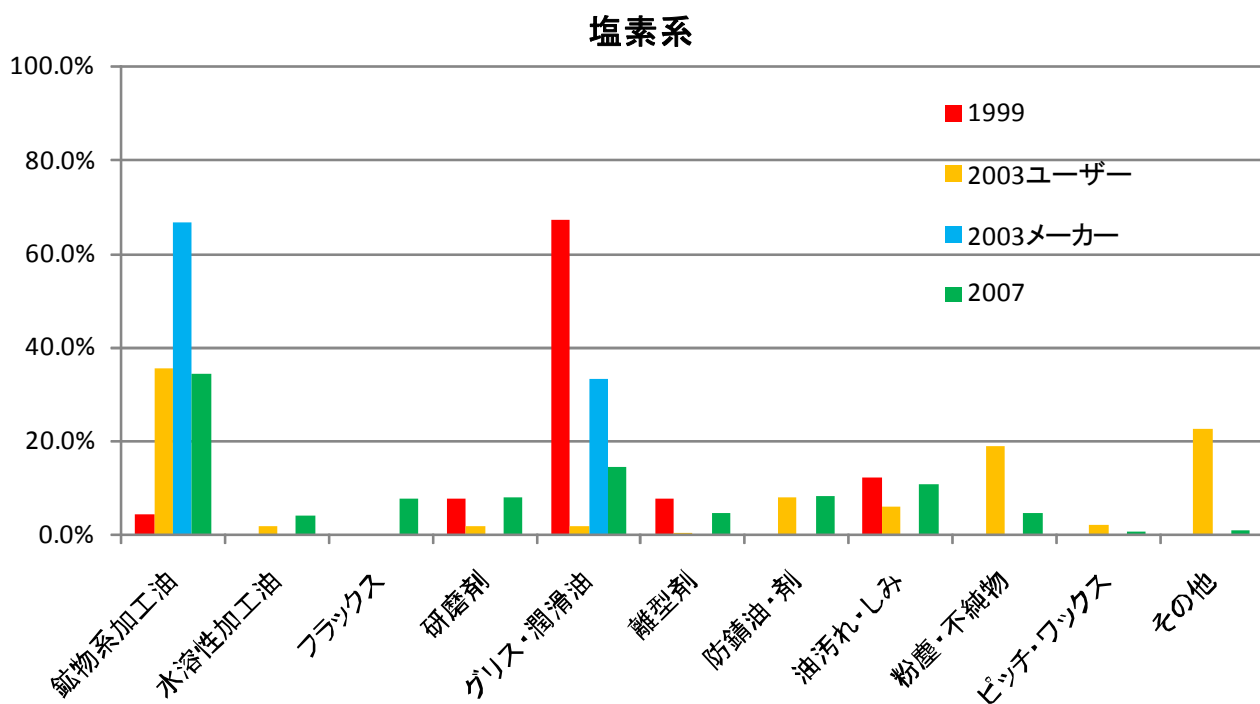


図 2.11 塩素系洗浄剤の対象汚れ別販売（出荷，購入）量割合

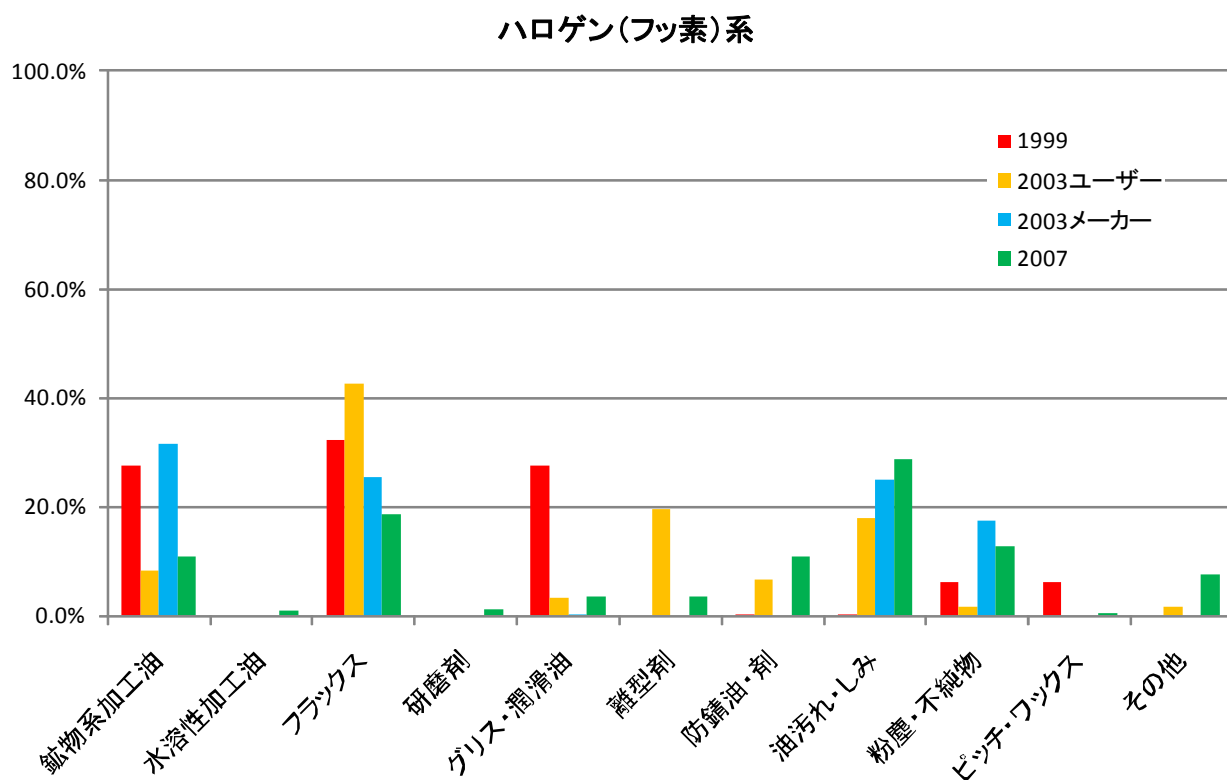


図 2.12 ハロゲン系（フッ素系）洗浄剤の対象汚れ別販売（出荷，購入）量割合

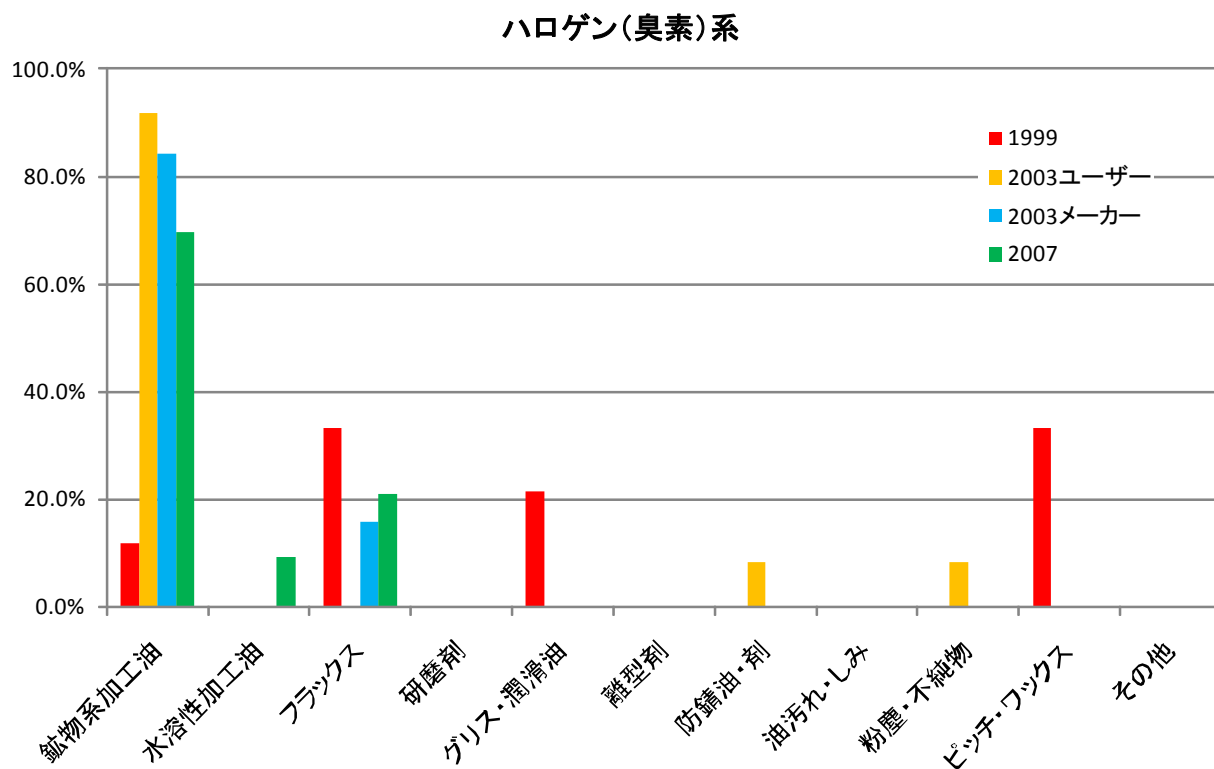


図 2.13 ハロゲン系（臭素系）洗浄剤の対象汚れ別販売（出荷，購入）量割合

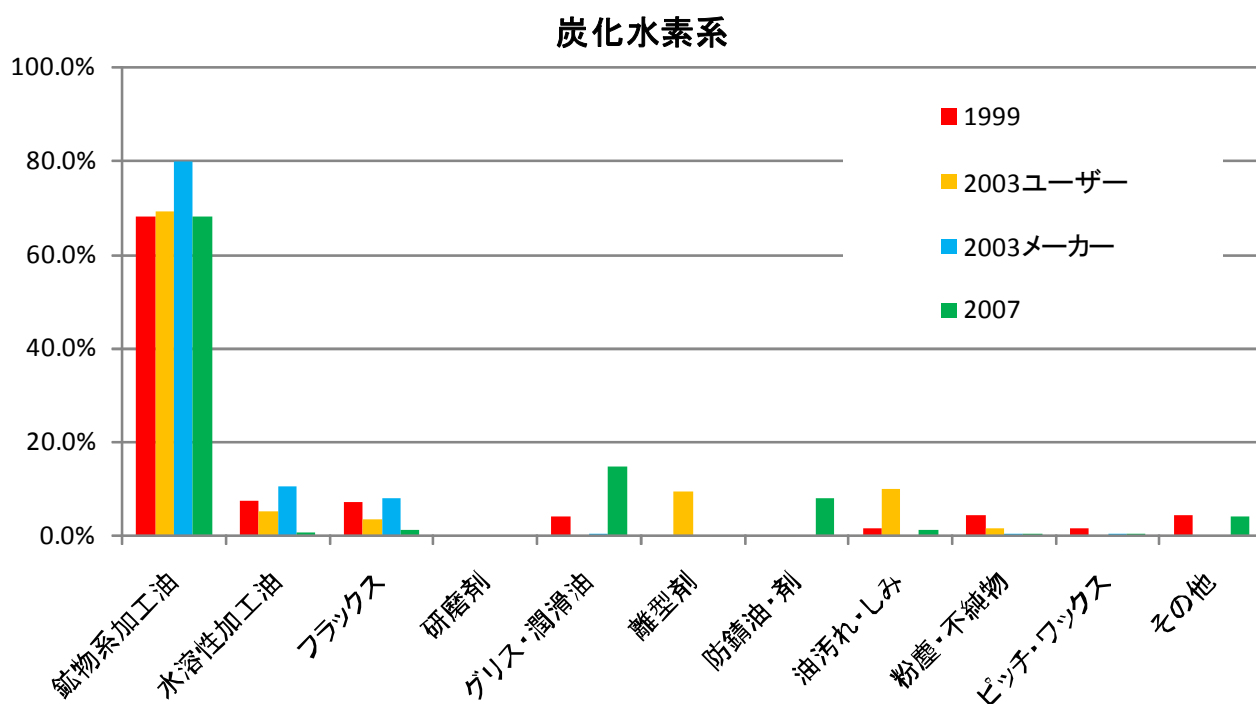


図 2.14 炭化水素系洗浄剤の対象汚れ別販売（出荷，購入）量割合

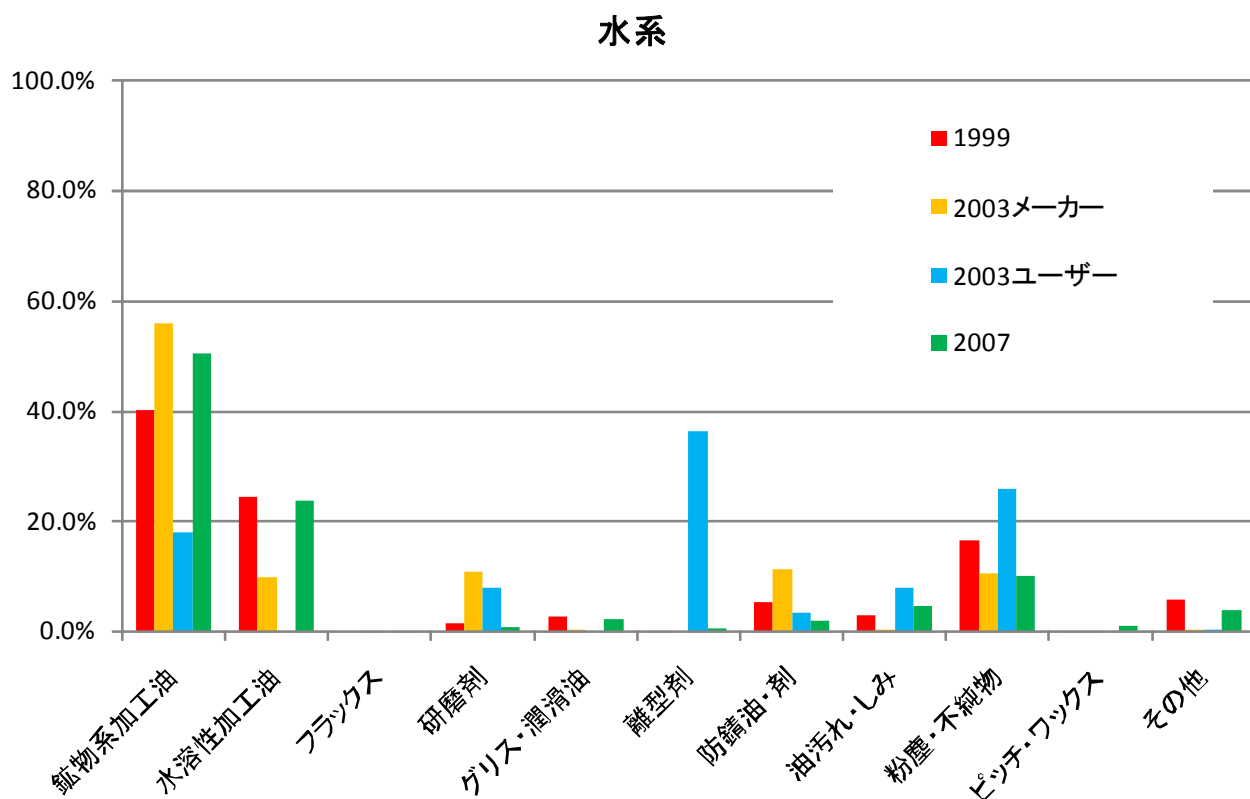


図 2.15 水系洗浄剤の対象汚れ別販売（出荷，購入）量割合

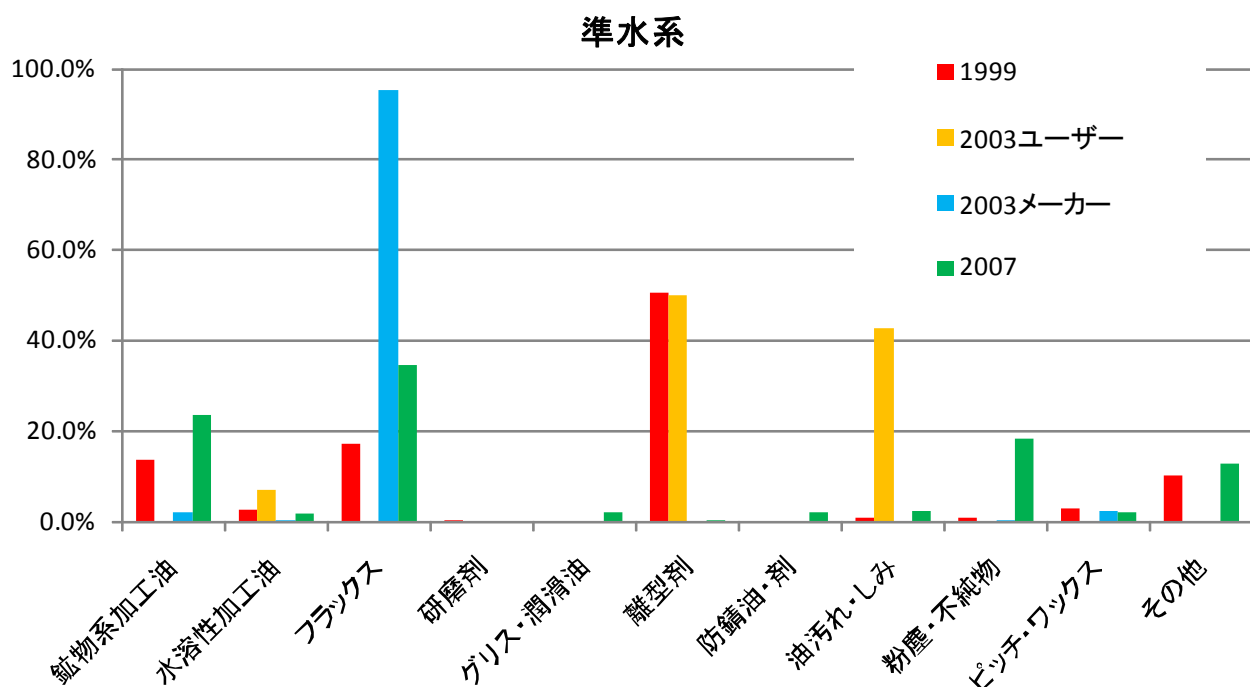


図 2.16 準水系洗浄剤の対象汚れ別販売（出荷，購入）量割合

図 2.11～16 を見ると，水系洗浄剤は鉱物系加工油のほか，水溶性加工油に用いられる傾向がある．準水系洗浄剤はフラックスと離型剤汚れに多く用いられる点で特徴的である．炭化水素系では多くが主に鉱物油系の汚れに用いられている特徴がある．塩素系洗浄剤で

は、鉍物系加工油のほか重度の汚れと考えられるグリス・潤滑油の汚れ向けである点が特徴的である。ハロゲン系の洗浄剤でも多くが鉍物系加工油に用いられるが、フラックスやグリスなどにも多く用いられる。

汚れ別では、鉍物系加工油については、すべての洗浄剤において使用量が多いことがわかる。有機汚れと考えられるフラックス、グリス・潤滑油、離型剤については特定の洗浄剤が用いられる傾向がある。無機汚れと考えられる研磨剤、粉塵・不純物については、粉塵・不純物汚れで水系の適用がみられる以外は特定の洗浄剤が用いられる傾向はない。

洗浄剤と対象汚れとの関係を表 2.20 にまとめた。関係を示す指標は、各調査における各洗浄剤の販売(出荷,購入)合計量に対する各対象汚れへの使用量の比率の平均値として、  
, , , - (表 2.20 欄外参照)で示した。

表 2.20 各種の洗浄剤別に対応する汚れの傾向

	塩素系	ハロゲン(フッ素)系	ハロゲン(臭素)系	炭化水素系	水系	準水系
鉍物系加工油						
水溶性加工油		-				
フラックス					-	
研磨剤		-	-	-		-
グリス・潤滑油						
離型剤			-			
防錆油・防錆剤						-
油汚れ・しみ			-			
粉塵・不純物						
ピッチ・ワックス					-	

記号；各調査における各洗浄剤の販売(出荷,購入)合計量に対する各対象汚れへの使用量の比率が

- ： 50%以上
- ： 20%以上 50%未満
- ： 0.5%以上 20%未満
- ： 0.5%未満

## 3 使用量・排出量推定式の構築

### 3.1 洗浄剤代替に適用可能な排出量推定式

洗浄プロセスを図 3.1 のように「使用された洗浄剤は洗浄廃液となるか環境に排出される」と単純化することにより、洗浄剤代替後の洗浄剤の環境排出量は式 3.1 で算出できる。ここで排出係数とは洗浄剤の使用量に対する環境排出量の比である。また、簡単のために洗浄剤の組成は単一である（対象成分のみで構成されている）ことを仮定している。

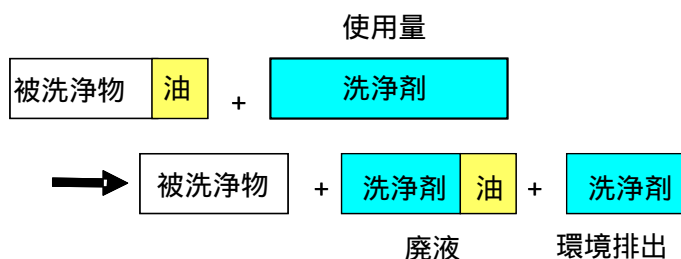


図 3.1 洗浄プロセスに対して仮定した単純化

$$ELEM_{emission\_2} = \frac{EF_{-2}}{1 - EF_{-2}} \cdot \frac{1 - R_{oil\_2}}{R_{oil\_2}} \cdot \frac{R_{oil\_1}}{1 - R_{oil\_1}} \cdot \frac{1 - EF_{-1}}{EF_{-1}} \cdot ELEM_{emission\_1} \quad \dots 3.1$$

算出に用いる入力変数は以下の表のとおりである。

表 3.1 洗浄剤代替後の環境排出量を求めるための入力変数

変数	記号	単位
被代替洗浄剤の排出係数	EF <sub>-1</sub>	-
代替後の洗浄剤の排出係数	EF <sub>-2</sub>	-
被代替洗浄剤廃液中油含有率	R <sub>oil_1</sub>	-
代替洗浄剤廃液中油含有率	R <sub>oil_2</sub>	-
被代替洗浄剤の環境排出量	ELEM <sub>emission_1</sub>	kg/h

算出される量は以下の表のとおりである。

表 3.2 算出される代替後の環境排出量

変数	記号	
代替洗浄剤の環境排出量	ELEM <sub>emission_2</sub>	kg/h



式 3.1 は，洗浄で落とされる油量が代替の前後で等しいという関係を表す以下の式 3.2 から導出される．

$$ELEM_{emission\_1} \cdot \frac{1-EF_{-1}}{EF_{-1}} \cdot \frac{R_{oil\_1}}{1-R_{oil\_1}} = ELEM_{emission\_2} \cdot \frac{1-EF_{-2}}{EF_{-2}} \cdot \frac{R_{oil\_2}}{1-R_{oil\_2}} \quad \dots 3.2$$

式 3.1 を用いて代替洗浄剤の環境排出量を求めるためには，表 3.1 に示した排出係数，廃液中油含有率というパラメータの値が必要である．ところが排出係数と廃液中油含有率は互いに独立でない変数であり，また排出係数は他の種々の洗浄特性によっても変動する値である．既存の洗浄に関する報告書にも，排出係数や廃液中油含有率についての情報は，散在するが，それらのパラメータの情報は個々の洗浄事例に依存しているため，「洗浄剤代替」にともなう排出量推計に用いるにはふさわしくない．

なぜなら洗浄剤を代替する場合には「被洗浄物が一定」という条件が必要であるからである．洗浄の特性を表す種々のパラメータを表 3.3 のように分類した場合（菊池・平尾，2008），「洗浄要求」に関するパラメータ，すなわち「どのような（材質，大きさ，重量，汚れ）被洗浄物を洗浄するのか」は，洗浄剤代替などの排出抑制対策によって変化してはいけないことがわかる．一方で「洗浄プロセス」に関するパラメータ，すなわち「どのような方法（洗浄剤，装置，操作）で洗浄するか」は変化させてよいことになる．

本 ESD では，洗浄要求パラメータ（例えば図 3.3 で黄色で示したパラメータ）が固定した場合に排出量の変化を算出可能な排出量推定式を提示した．

表 3.3 洗浄要求パラメータと洗浄プロセスパラメータ

パラメータの分類		項目	内容
洗浄特性パラメータ	「洗浄要求」に関するパラメータ	洗浄時点	前処理，後処理
		洗浄精度	精密，一般，粗
		洗浄処理量	重量，容積
		被洗浄物	材質，形状，安定度，汚れ
	「洗浄プロセス」に関するパラメータ	洗浄剤	洗浄剤種類
		洗浄装置	搬送タイプ，システム，ヒーティング方式，回収機等
		洗浄操作	稼働時間，稼働率，処理量，オペレータ等

出典：菊池，平尾(2008)

次節以降において，各細目洗浄剤を用いた洗浄プロセスについて，典型的な洗浄工程フローを示し，洗浄剤の使用量，排出量，排出係数を各洗浄特性パラメータで表す数式を提示する．

### 3.2 塩素系・ハロゲン系洗浄剤使用プロセス

想定した工程フロー図を図 3.2 に示す。

被洗浄物はまず浸漬洗浄槽に浸され油分が除去され、その後洗浄槽よりも洗浄液が清浄なリンス槽に移されさらに洗浄される。最後に蒸気洗浄槽の上部で洗浄液蒸気に触れ、洗浄液蒸気が被洗浄物表面で液化することによる洗浄（蒸気洗浄）が行われる。一方、リンス槽へは洗浄液の新液（あるいは回収装置により回収された洗浄液）が供給され、オーバーフローしたものが洗浄槽に流入し、洗浄槽からオーバーフローした洗浄液は蒸気洗浄槽に供給される。よって洗浄液の清浄さはリンス槽、浸漬洗浄槽、蒸気洗浄槽の順に高い。蒸気洗浄槽では洗浄液の加熱が行われる。洗浄装置の上部には冷却水が流れる冷却管が配置され、洗浄液蒸気を冷却し液体に戻す作用をしている。洗浄槽開口部から洗浄装置外部に蒸発によって流出した洗浄液蒸気は、排ガス処理回収装置によってその一部が回収され再利用される。蒸気洗浄槽内の洗浄液中の油含有率が一定の割合まで増加すると、洗浄液は産廃処理に移行する。

図 3.2 では実際の装置の主要部分を簡略化・概念化している。モデル化を行うためにいくつかの単純化を行った。

- ・仮定 1: 使用された洗浄剤は全て大気排出するか洗浄廃液として産廃処理される。
- ・仮定 2: 排ガス処理回収装置で回収された洗浄剤は全て再利用される（処理回収装置からの廃棄物への移動量はゼロとする。）
- ・仮定 3: 水域への排出は非常に小さいとして考慮しない。
- ・仮定 4: 油分分離装置は利用しない。
- ・仮定 5: 洗浄槽内洗浄液は汚れ含有率が一定値に達すると新液に交換されるが単純化のために、廃棄が定常連続的に起きるとした。

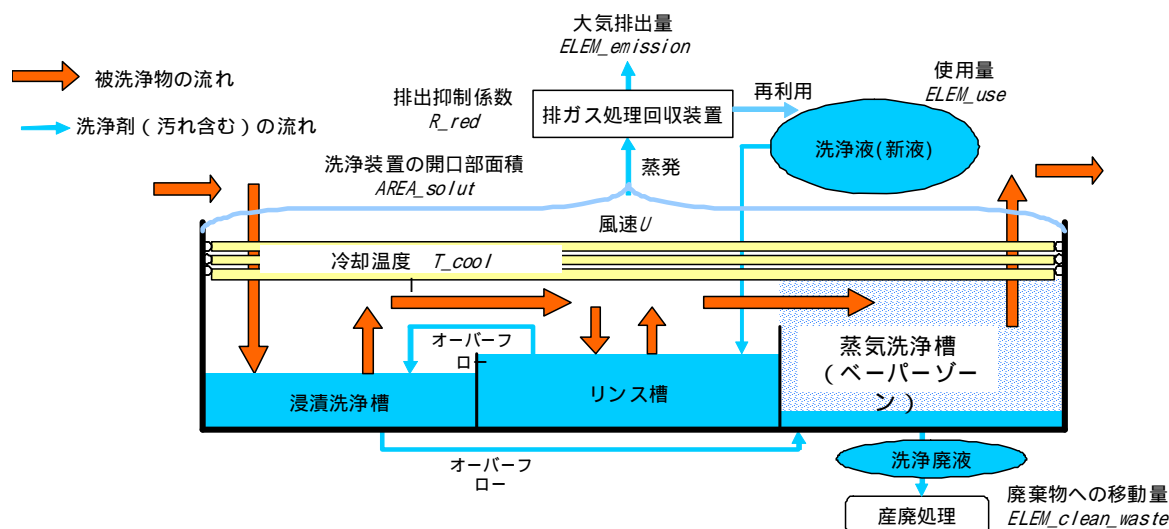
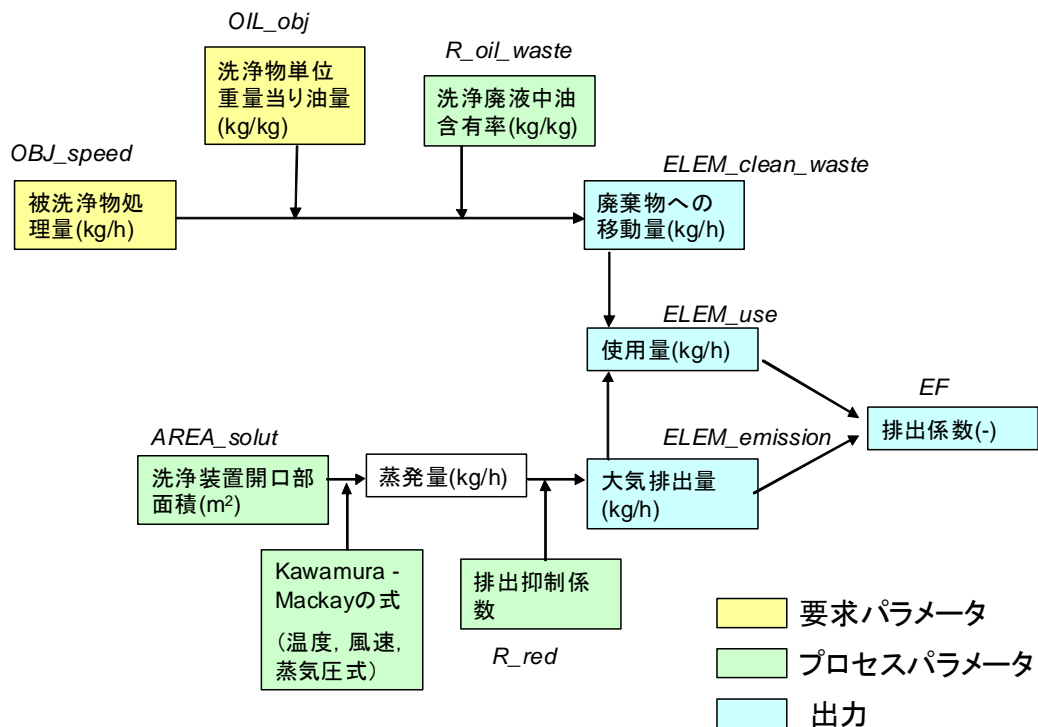


図 3.2 塩素系・ハロゲン系洗浄剤を用いた場合の想定工程図

[出典：産洗協(2001a, 2002), 環境省(2007a)]

図 3.2 に示した各パラメータ間の数式上の関係を図 3.3 に示す。



仮定 1～仮定 5 のもとでは ,使用量は大気排出量と廃液含有量の和であり, 排出係数は洗浄剤使用量に対する大気排出量の比であるため, 使用量と排出係数はそれぞれ次の 2 式で算出できる。

$$ELEM\_use = ELEM\_emission + ELEM\_clean\_waste \quad \dots 3.3$$

$$EF = ELEM\_emission / ELEM\_use$$

$$= ELEM\_emission / (ELEM\_emission + ELEM\_clean\_waste) \quad \dots 3.4$$

ここで, ELEM は対象成分の量を表す. 各記号の説明は表 3.4 に示した。

表 3.4 塩素系洗浄剤の排出量推定式等で使用する記号

記号	意味	単位
$ELEM\_use$	対象成分の使用量	kg/h
$ELEM\_emission$	対象成分の大気排出量	kg/h
$ELEM\_clean\_waste$	対象成分の廃棄物への移動量	kg/h
$EF$	排出係数(使用量に対する排出量の比)	–
$AREA\_solut$	洗浄装置開口部面積(洗浄液が空気に触れる面積)	m <sup>2</sup>
Mw	分子量	kg/kmol
$P_v$	対象成分の冷却水温度での飽和蒸気圧	Pa

$T_{cool}$	冷却温度	K
$R_{gas}$	気体定数	J/K/kmol
$R_{red}$	排出抑制係数(回収装置や装置形状などによる)	—
$Km$	物質移動係数	m/s
$U$	洗浄液面上部の制御風速	m/s
$Z$	風速方向の洗浄液面長さ	m
$Sc$	シュミット数	—
$OBJ\_speed$	被洗浄物処理量	kg/h
$OIL\_obj$	被洗浄物単位重量当り油量	kg/kg
$R_{oil\_waste}$	洗浄廃液中油含有率	kg/kg
$R_{elem\_solut}$	洗浄液中対象成分含有率	kg/kg

### 【大気排出量推計式】

本 ESD では，図 3.2 のような塩素系洗浄システムでは被洗浄物に付着した洗浄液は蒸気洗浄部分（図 3.2 での網点部分）で蒸発するため，被洗浄物による洗浄剤の持ち出し量はゼロであり，大気排出分は洗浄槽全体の開口部からの蒸発によって説明できると仮定した．洗浄液の単位時間あたりの蒸発量は，以下の Kawamura と Mackay による式 3.5，式 3.6(Kawamura et.al., 1987; National Ocean Service, 2003)で算出できる．

$$ELEM\_emission = AREA\_solut \times Km \times \{(Mw \times P_v) / (R_{gas} \times T_{cool})\} \times (1 - R_{red}) \quad \dots 3.5$$

$$Km = 0.0048 \times U \times Z^{-1/9} \times Sc^{2/3} \dots\dots\dots 3.6$$

ここで，排出量は洗浄槽開口部面積( $AREA\_solut$ )と物質移動係数( $Km$ )に比例し，排ガス処理回収装置や洗浄装置形状などによる排出抑制の効果を受けるとした．各記号の説明は表 3.4 に示す．

Kawamura-Mackay の式は本来，屋外環境における溶剤だまり(pool)からの溶剤成分の蒸発量を推計するための数式であるが，本 ESD では，洗浄槽上部に配置された冷却管によって気体の温度が冷却温度( $T_{cool}$ )まで冷却され気体から液体への凝縮が起こることから（図 3.2 参照），洗浄槽開口部に冷却温度  $T_{cool}$  の液面が「あたかも」存在すると仮定し，その液面から蒸発が起きるとすることにより，Kawamura-Mackay 式を用いて洗浄槽からの蒸発量を推定できると考えた．中央環境審議会の下部委員会である「揮発性有機化合物(VOC)排出抑制対策検討会洗浄小委員会」の報告書(環境省,2005a)においても，Kawamura-Mackay 式を用いて洗浄装置からの蒸発量の推定を行っている．

なお，3.6 式について Kawamura et. al.(1987)では，風速を  $U^{7/9}$  という形で地上 10m の風速を地上風速に補正しているが，本 ESD では風速として機器内の制御風速を用いるため風速の補正は行っていない．

### 【洗浄廃液含有量推計式】

洗浄廃液として廃棄（産廃処理）される対象成分量（ELEM\_clean\_waste）は以下の式で推定する。

$$ELEM\_clean\_waste = OBJ\_speed \times OIL\_obj \times ((1 - R\_oil\_waste) / R\_oil\_waste) \times R\_elem\_solut \dots\dots\dots 3.7$$

式 3.7 は被洗浄物によって洗浄液に持ち込まれる油（汚れ）量がある一定の比率（R\_oil\_waste）になったときに、洗浄廃液として廃棄されることを表している。

## 3.3 炭化水素系洗浄剤使用プロセス

炭化水素系洗浄プロセスからの排出量は、用いる洗浄装置を開放型装置と密閉型装置に分類して推定した。

### 3.3.1 開放型装置

想定した工程図を図 3.4 に示す。被洗浄物が浸漬洗浄槽，リンス槽の順に移動するところまでは塩素系洗浄剤使用プロセスと同様である。炭化水素系洗浄剤は蒸発しにくいため被洗浄物に付着して持ち出された洗浄剤は乾燥装置内で温風などを使って強制的に乾燥される。よって，塩素系洗浄剤使用プロセスと異なり蒸気洗浄過程はなく冷却管の配置もない。洗浄液の新液（あるいは回収装置により回収された洗浄液）はリンス槽へ供給され，リンス槽からオーバーフローしたものが浸漬洗浄槽に供給される。浸漬洗浄槽からオーバーフローした洗浄液は蒸留再生器によって蒸留されリンス槽へ供給される。蒸留再生器内の洗浄液中の油含有率が一定の割合まで増加すると，洗浄液は産廃処理に移行する。なおリンス槽は複数設置されることもあるが，ここでは一つのリンス槽を想定した。槽数は数式に影響しない。

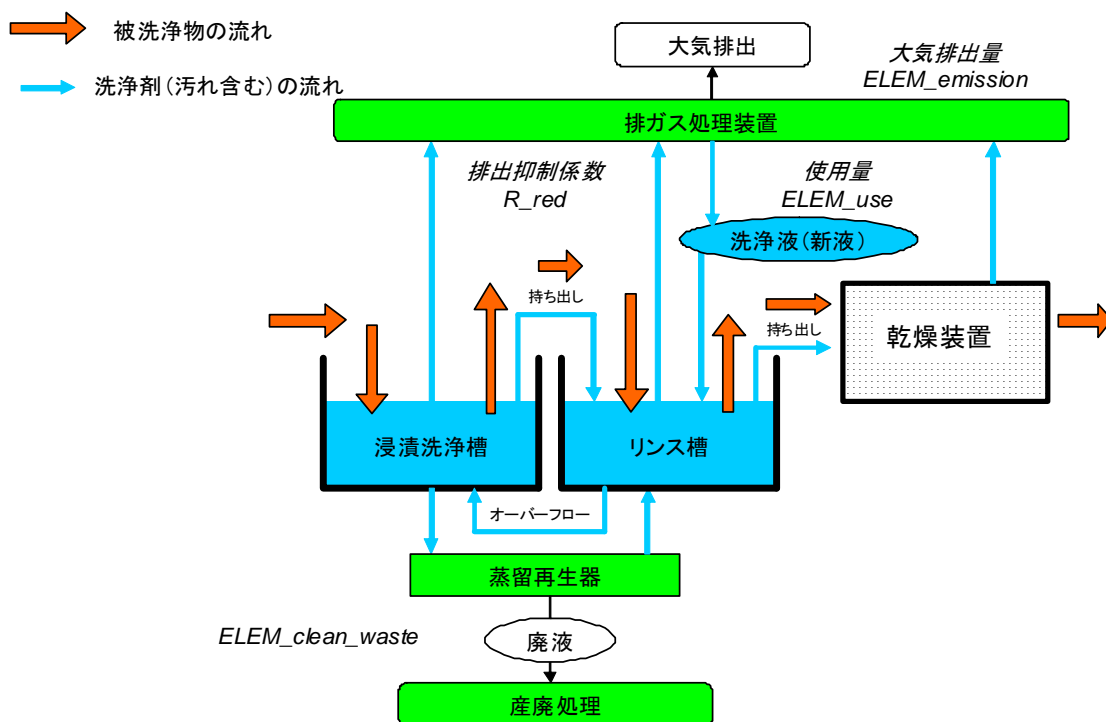


図 3.4 炭化水素系洗浄剤を用いた場合の想定工程図(開放型)

#### 【大気排出量推計式】

塩素系の場合と同じく洗浄液面からの蒸発が起きるが、一方で塩素系の場合とは異なり蒸気洗浄過程がないため、被洗浄物によって持ち出された洗浄液が乾燥工程によって全量蒸発すると仮定した。大気排出量は以下の式で表した。

ELEM\_emission

$$= \left[ \frac{AREA_{solut} \times Km \times \{(Mw \times P_v) / (R_{gas} \times T_{solut})\} + DRAG_{unitweight} \times OBJ_{speed} \times \rho_{solut} \times R_{elem_{solut}}}{1 - R_{red}} \right] \dots \dots \dots 3.8$$

ここで、右辺第1項下線部が洗浄槽からの蒸発に相当し、塩素系の場合の式 3.5 に相当する<sup>3</sup>。洗浄装置開口部面積 ( $AREA_{solut}$ ) は浸漬洗浄槽、リンス槽の合計である。また、温度の項は冷却水温度 ( $T_{cool}$ ) ではなく洗浄液温度 ( $T_{solut}$ ) を用いる。これは、冷却管の設置を想定していないからである。式 3.8 の右辺第1項の後半部については、 $DRAG_{unitweight}$  は単位重量の被洗浄物によって持ち出される洗浄液容量を表し、 $OBJ_{speed}$  は被洗浄物処理量を表しているため、洗浄液の持ち出し量に相当する。物質移動係数 ( $Km$ ) については塩素系と同じく式 3.6 を用いて算出する。数式中の記号の説明は表 3.5 に示す。

<sup>3</sup> 炭化水素系開放型の場合は塩素系プロセスのようにベーパーゾーン内での蒸気洗浄を行わないため Kawamura-Mackay の式を適用することは無理がある可能性もあるが、持ち出し後の蒸発量に比べて、開口部からの蒸発量はかなり小さいことも考慮して Kawamura-Mackay の式を適用することとした。

表 3.5 炭化水素系洗浄剤の排出量推定式等で使用する変数(塩素系と同じものは省略)

記号	意味	単位
$T_{solut}$	洗浄液温度	K
$DRAG_{unitweight}$	被洗浄物による洗浄液持出し量	L/kg
$\rho_{solut}$	洗浄液の比重	kg/L
$SOLUT_{generate}$	洗浄液蒸気発生量	kg/h
$P_v$	凝縮器での洗浄液蒸気圧	Pa
$P_{atom}$	大気圧	Pa
$T_{cool}$	凝縮(回収)器での冷却温度	K

### 3.3.2 密閉型装置

想定した工程図を図3.5に示す。被洗浄物の洗浄と乾燥が一つの洗浄槽の中で行われる。大気圧下で洗浄槽の蓋が開かれ被洗浄物が洗浄槽内に投入される。次に減圧機構(真空ポンプ)によって洗浄槽内は減圧状態にされ、洗浄液が減圧蒸気発生機構から蒸気として洗浄槽内に導入され洗浄が行われる。減圧機構(真空ポンプ)によって洗浄・乾燥槽内が減圧にされ、被洗浄物に付着した洗浄液は蒸発する。洗浄・乾燥槽から流出した洗浄液蒸気は凝縮(回収)器で冷却されることにより液化し回収され、減圧蒸気発生機構に戻される。減圧蒸気発生機構内の洗浄液中の油含有率が一定の割合まで増加すると、洗浄液は産廃処理に移行する。

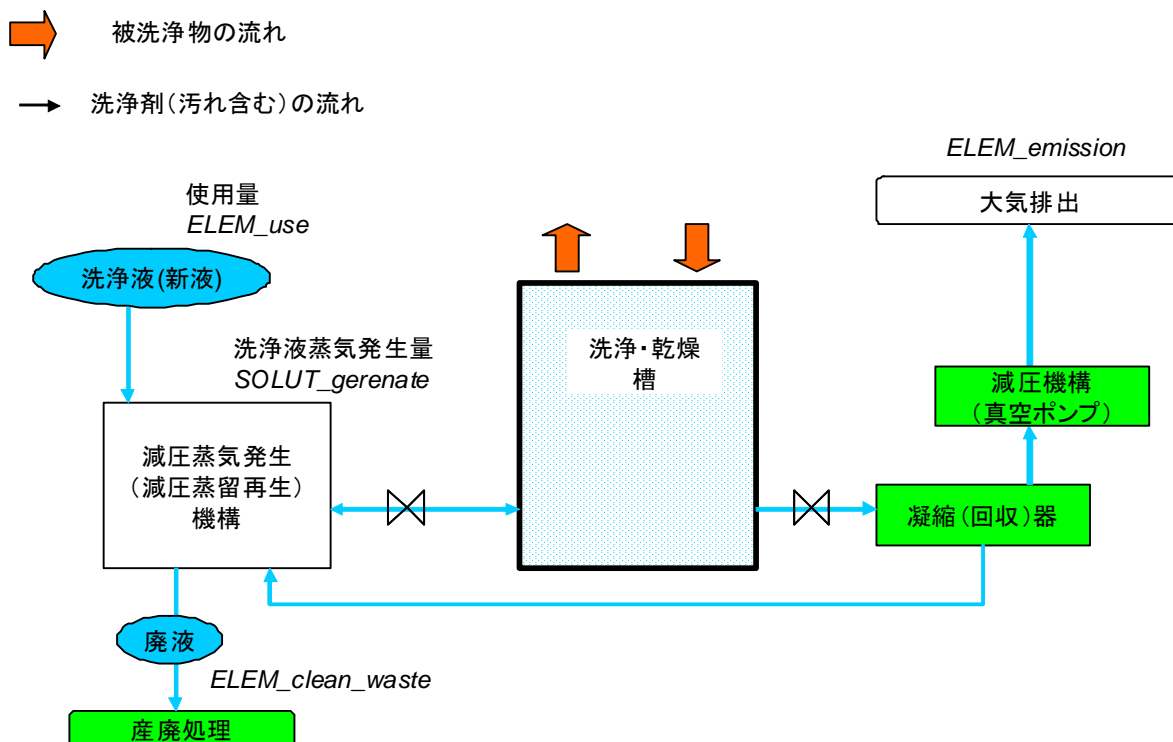


図 3.5 炭化水素系洗浄剤（密閉型）を用いた場合の想定工程図

密閉型装置における大気排出量についてはJICOP(2005)における記述を参考にして次のように記述した。

$$ELEM\_emission = SOLUT\_generate \times R\_elem\_solut \times (P\_v / P\_atom) \cdots \cdots 3.9$$

ここで  $SOLUT\_generate$  は、減圧蒸気発生機構において単位時間に蒸気として発生する洗浄液の量であり、 $P\_v$  は凝縮器での冷却温度( $T_{cool}$ )における対象成分の飽和蒸気圧 (Pa)、 $P\_atom$  は大気圧(Pa)である。右辺の( $P\_v / P\_atom$ )は、蒸気として発生した量のうち凝縮器において大気圧との比の分だけ装置の外に排出されることを意味している<sup>4</sup>。数式中の記号の説明は表 3.5 に示す。

炭化水素系洗浄剤を使用するプロセスにおいても、洗浄剤使用量、排出係数、洗浄廃液含有量を表す数式は、塩素系洗浄剤の場合の式 3.3、式 3.4、式 3.7 のそれぞれと同様である。

### 3.4 水系洗浄剤使用プロセス

想定した工程フローを図 3.6 に示す。被洗浄物が浸漬洗浄槽、リンス槽を経て乾燥装置で乾燥されるという流れは炭化水素系開放型と同様である。なおリンス槽は複数設置されることが多く、ここでは第 2 リンス槽まで記述したが槽数は数式には影響しない。純水が 2 次リンス槽(3 槽以上の場合は最終リンス槽)に供給され、オーバーフローした洗浄液は 1 次リンス槽(3 槽以上の場合は一つ前のリンス槽)に供給される。このことにより、リンス槽の中では最終リンス槽が最も清浄(純水に近い)であり、1 次リンス槽が最も洗浄液濃度、油分などが多く含まれることとなる。1 次リンス槽からオーバーフローした洗浄液はリンス排水として排水処理装置にて処理される。排水処理を行わずにリンス排水がそのまま産廃処理に移行するケース、またはリンス排水がそのまま公共用水域(または下水道)に移行するケースについては図 3.6 において点線で示した。洗浄槽内洗浄液は汚れ含有率が一定値に達すると新液に交換される。

また、図 3.6 は水系洗浄剤の使用現場でのヒアリング結果を参考にして、実際の装置の主要部分を簡略化・概念化したものであり以下のような仮定をおいている。

- ・ 洗浄槽内の液容積と濃度は水分の蒸発と洗浄液の持ち出しによって変動するが、適宜それを補うような形で洗浄剤と水が補給されることによって一定(定常状態)に保たれる。
- ・ 油分は洗浄槽で完全に被洗浄物から脱離し洗浄槽内に蓄積する。(油分はリンス槽へ持ち出されない)
- ・ 油水分離装置による油分の除去過程は寄与が小さいとして無視する。

---

<sup>4</sup>乾燥工程では装置内は減圧状態(ヒアリングでは 100mmHg ~ 10mmHg 程度)になっているため、大気圧と飽和蒸気圧との比( $P\_v / P\_atom$ )ではなく、装置内圧力と飽和蒸気圧との比をとるべきではないか、という問題が課題として残っている。仮に、装置内圧力(減圧)と飽和蒸気圧との比を式 3.9 に用いた場合は、大気排出量( $ELEM\_emission$ )は現状の数式で推定される値よりも大きく推定される。



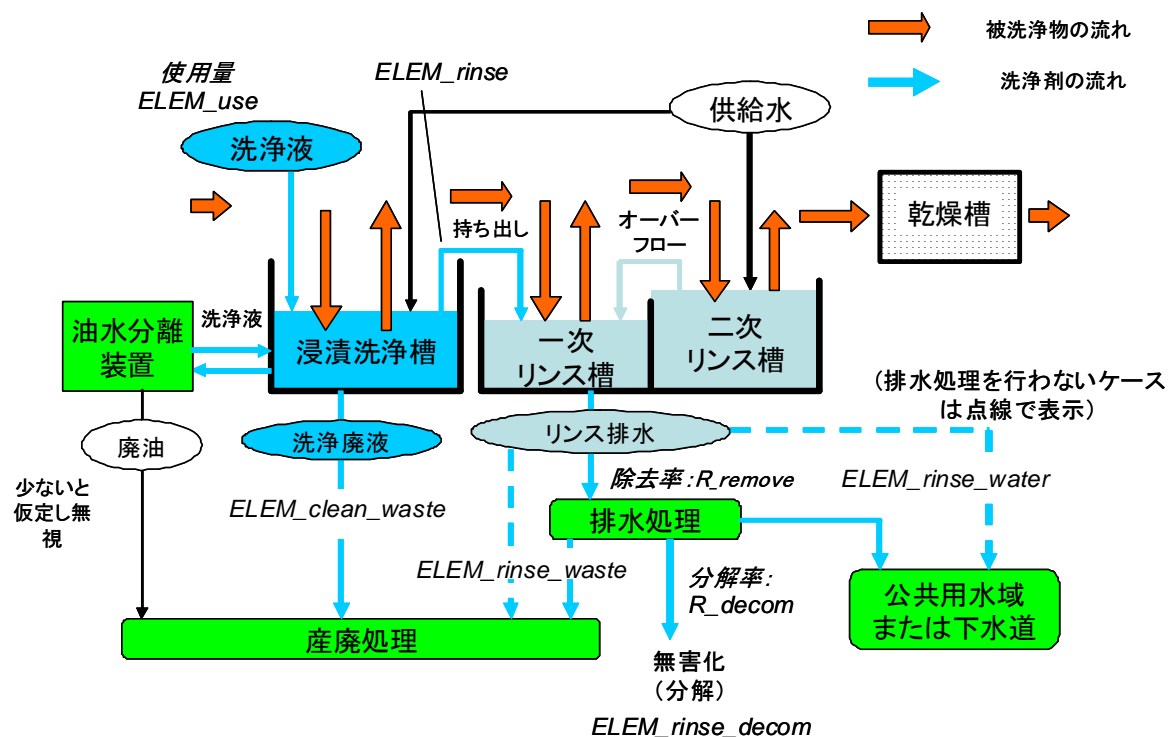


図 3.6 水系洗浄剤を用いた場合の想定工程図

対象成分の使用量，排出量および廃棄量の間には以下の関係があるとした．

$$ELEM\_use = ELEM\_clean\_waste + ELEM\_rinse \quad \cdots 3.10$$

ここで  $ELEM\_rinse$  は単位時間にリンス排水として排水処理される量である．式 3.10 は使用された洗浄剤成分は洗浄廃液に含有されて廃棄されるか，リンス排水として処理されるかのいずれかであることを示している．記号の説明は表 3.6 に示した．

表 3.6 水系洗浄剤の排出量推定式等で使用する変数(塩素系，炭化水素系と共通のものは省略)

記号	意味	単位
$ELEM\_rinse$	リンス排水として排水処理される対象成分量	kg/h
$R\_remove$	対象成分の排水処理による除去率	—
$R\_decom$	対象成分の排水処理による分解率	—
$ELEM\_rinse\_waste$	対象成分の廃棄物への移動量	kg/h
$ELEM\_rinse\_water$	対象成分の公共用水域・下水道への排出量	kg/h
$ELEM\_rinse\_decom$	対象成分の分解量	kg/h

### 【リンス排水処理量推計式】

単位時間にリンス排水として排水処理される対象成分量(*ELEM\_rinse*)は、洗浄槽からリンス槽へ持ち出される量に等しいため以下の式で算出した。

$$ELEM\_rinse = DRAG\_unitweight \times OBJ\_speed \times \rho\_solut \times R\_elem\_solut \dots\dots\dots 3.11$$

### 【排水処理による分解率・除去率】

リンス排水に含まれた対象成分は、事業所敷地内の排水処理設備で処理され除去または分解されたとした。除去されなかった対象成分が公共用水域または下水道へ放出され、除去分から分解分を差し引いた量が廃棄物（汚泥等）となり、分解分は他の物質に変化すると仮定した。すなわち、対象成分は排水処理後に 1)廃棄物として移動(主に活性汚泥を想定)、2)公共用水域または下水道へ排出、3)分解され他の物質に変化、のいずれかのプロセスを辿ることになる。

$$ELEM\_rinse\_waste = ELEM\_rinse \times (R\_remove - R\_decom) \dots\dots\dots 3.12$$

$$ELEM\_rinse\_water = ELEM\_rinse \times (1 - R\_remove) \dots\dots\dots 3.13$$

$$ELEM\_rinse\_decom = ELEM\_rinse \times R\_decom \dots\dots\dots 3.14$$

上記のプロセスにおける「1)から 3)のいずれかの運命を辿る」という仮定は「PRTR 排出量等算出マニュアル（第 3 版）」（経済産業省，環境省，2004）の記述に従った。公共用水域・下水道への排出量は、式 3.13 に式 3.11 を代入して得た次式で推計した。ここで公共用水域へ排出されるか、下水道へ排出されるかの選択は事業所の立地条件に関わると考えられるため、本 ESD での判断対象から除いた。

$$ELEM\_rinse\_water = DRAG\_unitweight \times OBJ\_speed \times \rho\_solut \times R\_elem\_solut \times (1 - R\_remove) \dots\dots 3.15$$

洗浄廃液含有量を表す式は塩素系洗浄剤の場合の式 3.7 と同様である。水域への排出係数は排出量（式 3.15）を使用量（式 3.10）で除すことで得られる。

## 3.5 準水系洗浄剤使用プロセス

想定した工程フローを図 3.7 に示す。被洗浄物が浸漬洗浄槽、リンス槽を経て乾燥装置で乾燥されるという流れ、および純水の供給とオーバーフローについては水系洗浄剤使用プロセスと同様である。水系洗浄剤使用プロセスとの違いは、浸漬洗浄槽から洗浄剤に含まれる溶剤成分が蒸発により大気に排出すること、およびリンス排水が全て廃棄物として

産廃処分されるという２点である．準水系洗浄剤に含まれる溶剤成分を排出量算出の対象成分とした<sup>5</sup>．

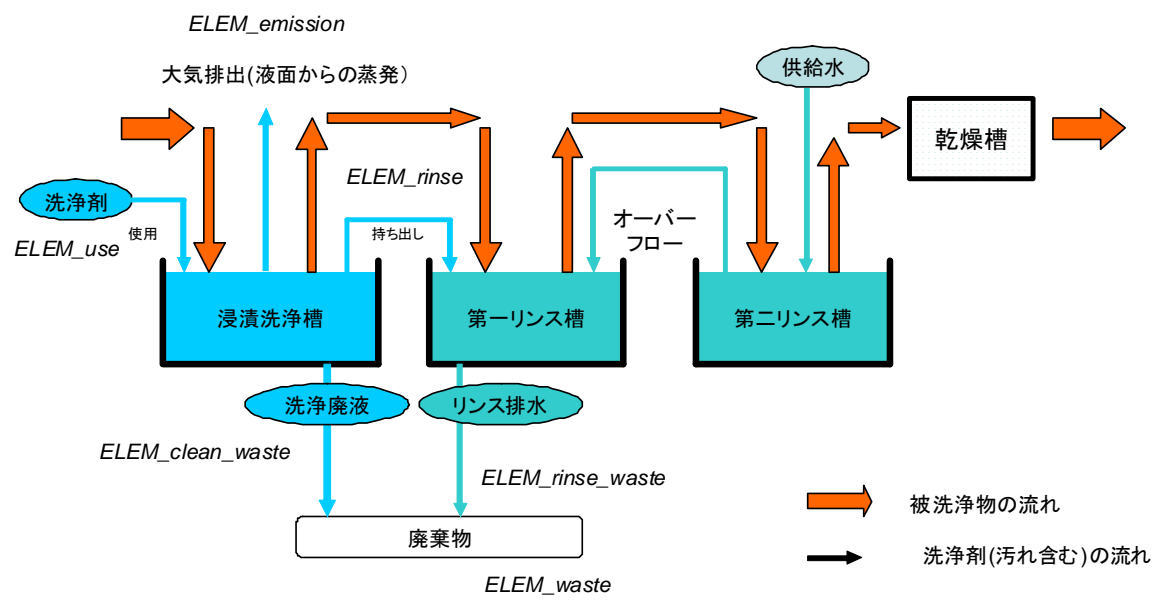


図 3.7 準水系洗浄剤を用いた場合の想定工程図

洗浄剤成分の使用量と排出量，廃棄量の間には以下の関係があるとした．

$ELEM\_use = ELEM\_emission + ELEM\_waste \dots\dots\dots 3.16$

【大気排出量推計式】

大気排出量は以下の式で算出した．

$ELEM\_emission = AREA\_clean \times Km \times \{(Mw \times Pv) / (R\_gas \times T\_solut)\} \dots\dots 3.17$

ここで物質移動係数 ( Km ) は既出の式 3.6 で算出される．準水系洗浄剤を用いる洗浄プロセスではリンス槽の洗浄液組成は大部分が水であるため，開口部面積としては浸漬洗浄槽の面積 ( AREA\_clean ) を用いた．数式中の記号の説明は表 3.7 に示す．

表 3.7 準水系洗浄剤の排出量推定式等で使用する変数 (既出のものは省略)

記号	意味	単位
AREA_clean	浸漬洗浄槽の開口部面積	m <sup>2</sup>
ELEM_waste	対象成分の廃棄物移動量	kg/h

<sup>5</sup> 界面活性剤などの不揮発性成分は準水系プロセスでは排水として産廃処分に移行し排出が起こらないため対象成分とはしなかった．

対象成分の廃棄物移動量( $ELEM\_waste$ )は以下の式で表される．

$$ELEM\_waste = ELEM\_clean\_waste + ELEM\_rinse \cdots 3.18$$

洗浄廃液に含まれる対象成分量 ( $ELEM\_clean\_waste$ ) は既出の式 3.7 で算出され，リンス排水に含まれる対象成分量 ( $ELEM\_rinse$ ) は既出の式 3.11 で算出される．また，大気排出係数は排出量 (式 3.17) を使用量 (式 3.16) で除すことで得られる．

## 4．排出量推計式に用いる各パラメータの代表値と妥当性検証

本章では，既存の洗浄事例データから抽出された各洗浄特性パラメータを用いて排出量推計式の妥当性を検証する．既存の洗浄事例データは被洗浄物や装置，運転方法が各洗浄現場によって非常に多様であり，洗浄特性パラメータを一つの値で代表させるのは困難なため，代表値とともに分布を持たせた形でデータ抽出し検証に用いた．また本 ESD では，各洗浄特性パラメータ間の関係は重要ではあるものの，考察に足るだけの十分な情報が得られないため考察対象とはしなかった．

### 4．1 塩素系洗浄剤の排出量推計式の検証

#### 4．1．1 排出量について

本節では Kawamura-Mackay 式 (3 章，式 3.5，3.6) によって洗浄装置からの洗浄剤の単位時間あたり排出量を算出することの妥当性の検証を行った．式 3.5 および式 3.6 に代入した各パラメータ値を表 4.1 に示す．冷却水温度( $T_{cool}$ )と風速( $U$ )については，代表値以外に確率密度分布を与え，モンテカルロシミュレーションにより，単位時間あたり排出量を計算した．その結果を表 4.2 に示す．

表 4.1 排出量算出式に代入したパラメータ値

記号	意味	対象成分		根拠
		TCE	DCM	
$AREA_{solut}$	洗浄槽開口部面積[m <sup>2</sup> ]	1		1m x 1m の洗浄槽を想定
Mw	対象成分の分子量 [g/mol]	131.39	84.93	物性値
$T_{cool}$	冷却水温度 [K]	298.15 (293.15 ~ 303.15)	283.15 (278.15 ~ 288.15)	分布は代表値を最尤値とし括弧内の数値を最小・最大値とする三角分布とした．最小・最大値の設定根拠は環境省(2007)
$P_v$	対象成分の温度 $T_{cool}$ での飽和蒸気圧(Pa)	9901.9 (7808.6 ~ 12442.2)	30775.9 (24460.5 ~ 58091.2)	物性値 <sup>1)</sup>
$R_{red}$	排出抑制係数[-]	1		排出抑制装置や対策はなしと想定
$Z$	風速方向のプールの長さ [m]	1	1	1m x 1m の洗浄槽を想定

$U$	風速 [m/s]	0.4 (0.1 ~ 1)	0.4 (0.1 ~ 1)	代表値は囲い式フードの 制御風速 .分布は括弧内の 数値を最小・最大値とし代 表値を最尤値とする三角 分布とした .
$Sc$	シュミット数	1.69	1.36	National Ocean Service (2003)

1) 飽和蒸気圧( $P_v$ )は冷却水温度( $T_{cool}$ )の関数として Antoine 式によって算出したものを用いた .

表 4.2 排出量算出式によって算出された蒸発量

記号	意味	対象成分		備考
		TCE	DCM	
$ELEM\_emission$	対象成分の大気排出量 [kg/h/m <sup>2</sup> ] ( 同上の 2.5 パーセンタイル ~ 97.5 パーセンタイル値 )	2.56 ( 1.1 ~ 5.9 )	6.26 (2.8 ~ 14.2)	

推定結果を過去の洗浄事例データ ( 表 4.3 ) から求めた開口部面積あたりの排出量 (kg/h/m<sup>2</sup>)と比較した結果を図 4.1 に示す . 表 4.3 で排出量は単位時間あたり使用量に排出係数として塩素系洗浄剤の既往洗浄事例データの平均値として 0.8 ( Appendix, 表 A.2 参照 ) を一律に乗じて求めた .

図 4.1 において , 推定された排出量の範囲 (2.5 パーセンタイル ~ 97.5 パーセンタイル) に洗浄事例データにおける洗浄剤排出量の算術平均値 , 幾何平均値は収まっている . 排出速度推定式で再現できなかった個別排出量のばらつきは , 洗浄現場毎に異なる被洗浄物や運転方法のディテールに依存するものと思われる . 本 ESD での排出量推定式の目標とするのは , そのような現場毎に異なる値よりはむしろ , 平均的な排出量を推定することである . よって , 排出量の平均的な値を推定可能であったため排出量推定式の妥当性はほぼ検証されたと考える .

またこのことから , 3 章で仮定した「洗浄槽開口部に温度  $T_{cool}$  に冷却された液面が存在する」とした近似は , 被洗浄物や洗浄操作の多様さによる排出量のばらつきは再現できないものの , 平均的な値を求める手段としては妥当なものであったと考える .

洗浄事例 16 事例中 8 事例が 95%推定範囲内に入っており , 下側に外れる ( 排出量が推定値より小さい ) ものが 6 事例 , 上側に外れる ( 排出量が推定値よりも大きい ) ものが 2 事例であった . 推定範囲に収まらなかった 8 事例のうち 6 事例は「囲い型」または「密閉型」の装置であった . 囲い型装置の事例では , 排出量が推定値を大きく下回ったものが多いことから , 排出量推定式による推定は開放型装置に対して有効であり , 囲い型装置については何らかの排出抑制係数を設定すべきであると思われる .

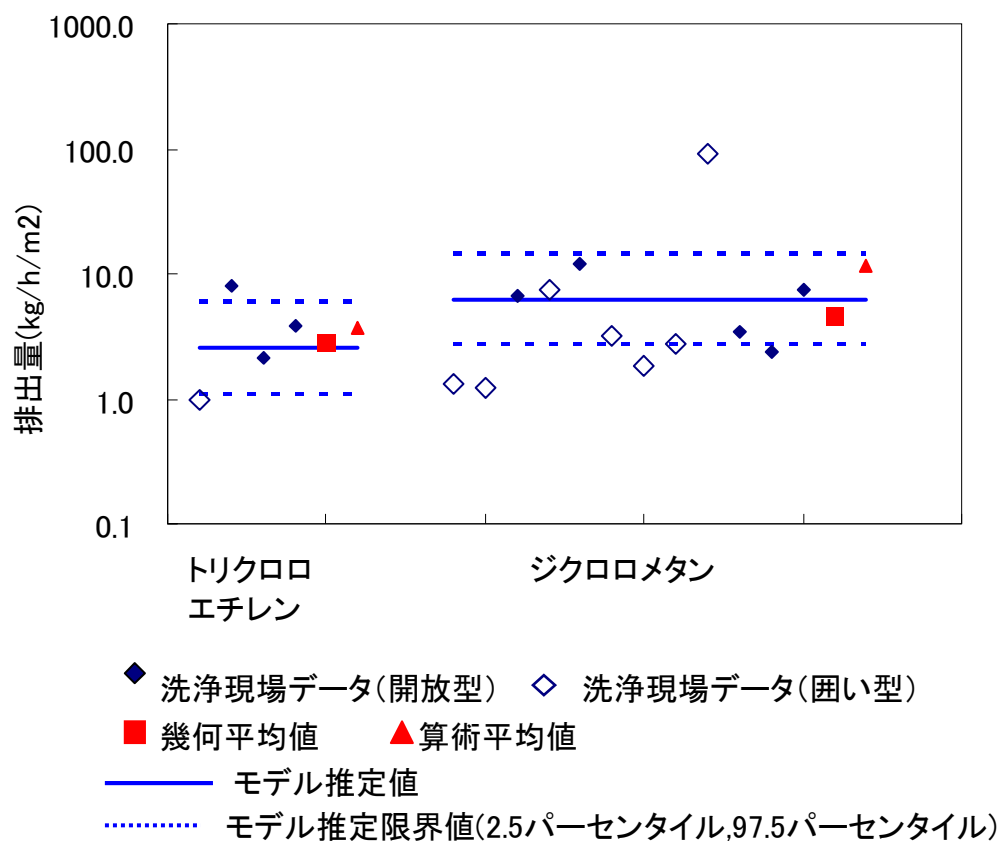


図 4.1 排出量推計結果（範囲）と洗浄現場事例データとの比較

表 4.3 塩素系洗浄剤の排出量推定式検証に用いた洗浄事例データ

No.	使用 洗浄 剤 <sup>1)</sup>	洗浄槽開口部			装置稼働 時間		洗浄剤使用量			開口部単位面積あたり 使用量・排出量		装置種別 <sup>4)</sup>	出典
		W (m)	L (m)	面積 (m <sup>2</sup> )	h/日	日/月	値	単位	稼働 1 時 間あた り <sup>2)</sup> (kg/h)	使用量 (kg/h/m <sup>2</sup> )	排出量 <sup>3)</sup> (kg/h/m <sup>2</sup> )		
1	TCE	4.5	1	4.5	8	20	875	kg/月	5.5	1.2	1.0	囲い式 2 槽自動	[1]
2	TCE	不明	不明	0.96	不明	不明	19,000	kg/年	9.5	9.9	7.9	開放型	[2]
3	TCE	不明	不明	1.5	不明	不明	8,120	kg/年	4.1	2.7	2.2	開放型	[2]
4	TCE	不明	不明	2.7	不明	不明	26,100	kg/年	13.1	4.8	3.9	開放型	[2]
5	DCM	1.9	1.5	2.85	24	22	25,000	kg/月	4.7	1.7	1.3	囲い式単槽自動	[1]
6	DCM	2.6	0.9	2.34	12	22	960	kg/月	3.6	1.6	1.2	囲い式 3 槽自動	[3]
7	DCM	0.8	1.2	0.96	10	25	2,000	kg/月	8.0	8.3	6.7	フープ式	[1]
8	DCM	1	1	1	8	20	1,500	kg/月	9.4	9.4	7.5	囲い式疑似 2 槽	[3]
9	DCM	1.15	0.5	0.575	8	22	1,500	kg/月	8.5	14.8	11.9	開放型手動 2 槽	[3]
10	DCM	0.95	2	1.9	15	20	2,300	kg/月	7.7	4.0	3.2	囲い式手動 3 槽	[3]
11	DCM	0.9	0.65	0.585	10	22	300	kg/月	1.4	2.3	1.9	囲い式手動 1 槽	[3]
12	DCM	不明	不明	9.1	不明	不明	62,000	kg/年	31.0	3.4	2.7	密閉型	[2]
13	DCM	不明	不明	0.69	不明	不明	155,250	kg/年	77.6	112.5	90.0	密閉型	[2]
14	DCM	不明	不明	1.6	不明	不明	13,675	kg/年	6.8	4.3	3.4	開放型	[2]
15	DCM	不明	不明	3	不明	不明	17,850	kg/年	8.9	3.0	2.4	開放型	[2]
16	DCM	不明	不明	0.8	不明	不明	14,750	kg/年	7.4	9.2	7.4	開放型	[2]

1)TCE:TCE, DCM:DCM, 2)装置稼働 1 時間あたり使用量を算出するにあたって, 装置稼働時間が不明のデータについては 1 年 2000 時間稼働(1 日 8 時間, 1 月 25 日稼働に相当)を仮定した, 3)排出量は一律に使用量の 0.8 倍(排出係数: 0.8)を仮定した。

出典は[1]環境省(2007<sup>a</sup>), [2]みずほ情報総研(2005),[3]旭リサーチセンター(2006),



## 4.1.2 排出係数についての検証

本節では排出係数について、既存文献値と本 ESD での排出量等推定式で導出した値を比較することで排出量推定式の検証を行う。

各洗浄特性パラメータの代表値を表 4.3 および表 4.4 に示した代表値のように設定したうえで、TCE、DCM の使用量、排出量、廃液含有量、排出係数を算出した。なお AREA\_solut（洗浄槽開口部面積）については表 4.4 の値を用いた。算出結果を表 4.5 に示す。

表 4.4 検証に用いた洗浄特性パラメータ値

記号	意味	単位	代表値 (最小～最大)	出典・備考
OBJ_speed	洗浄物処理速度	kg/h	1500 (3.1～20333)	[1],[2],[3], n=24, 代表値は幾何平均値
OIL_obj	洗浄物単位重量あたり油量	kg/kg	$1.6 \times 10^{-4}$ ( $1 \times 10^{-5}$ ～0.087)	[1],[2],[3],[4], n=23, 代表値は幾何平均値
R_oil_waste	洗浄廃液中油含有率	-	0.17 (0.07～0.5)	[2],[3],[4], n=20, 代表値は幾何平均値
AREA_solut	洗浄槽開口部面積（塩素系）	m <sup>2</sup>	1.59 (0.575～9.1)	[1],[5],[6],[7] n=16, 代表値は幾何平均値

[1]旭リサーチセンター(2006), [2]菊地・平尾(2008), [3]洗浄剤ユーザーヒアリング, [4]Kikuchi&Hirao(2008), [5]環境省(2007a), [6]モリカワ(2008), [7]みずほ情報総研(2005)

表 4.5 洗浄特性パラメータとして代表値を用いたときに推計される排出係数

	TCE	DCM
大気排出量 [kg/h]	4.07	9.95
廃液含有量[kg/h]	1.17	1.17
使用量 [kg/h]	5.24	11.1
排出係数[-]	0.78	0.89

算出された排出係数は付属資料として Appendix の表 A.2 で示した塩素系洗浄剤の業種別の使用量で重み付けた排出係数（TCE：0.80，DCM：0.77）と比較的近い値となり，本 ESD での排出量推計手法は，洗浄現場の現実とかけ離れた手法でないことがわかった。

次に，各パラメータの変動が排出量，使用量，排出係数に与える影響について確認する。変動させるパラメータ以外は表 4.3 および表 4.4 に示した値（AREA\_solut（洗浄槽開口部面積）については表 4.4 の値）を用いた。対象物質は TCE とした。

被洗浄物単位重量あたり油量(OIL\_obj)および廃液中油含有率(R\_oil\_waste)を変化させた場合の排出量，使用量，排出係数の変動について図 4.2 に示した。

図 4.2 の左図において，被洗浄物単位重量あたり油量(OIL\_obj)が  $1.0 \times 10^{-6}$ (kg/kg) から 0.1 (kg/kg) まで変化したとき，大気排出量(ELEM\_emission)は一定値であるが，洗浄剤使用

量が変化するため，排出係数はほぼ 1 からほぼ 0 まで大きく変化し，デフォルト値である  $1.6 \times 10^{-4}(\text{kg/kg})$  のときに排出係数が 0.78 を示す様子がわかる．

図 4.2 の右図では，廃液中油含有率( $R_{oil\_waste}$ ) が 0.05 から 0.95 まで変化したとき，洗浄剤使用量は徐々に減少し大気排出量と同じ値に収束していく．廃液中油含有率として通常取り得る範囲 (0.07 ~ 0.5，表 4.4 参照) のときの排出係数の範囲は，付属資料の表 A.2 に示した既存洗浄事例データにおける範囲である 0.5 ~ 0.9 におおよそ重なっていることがわかる．

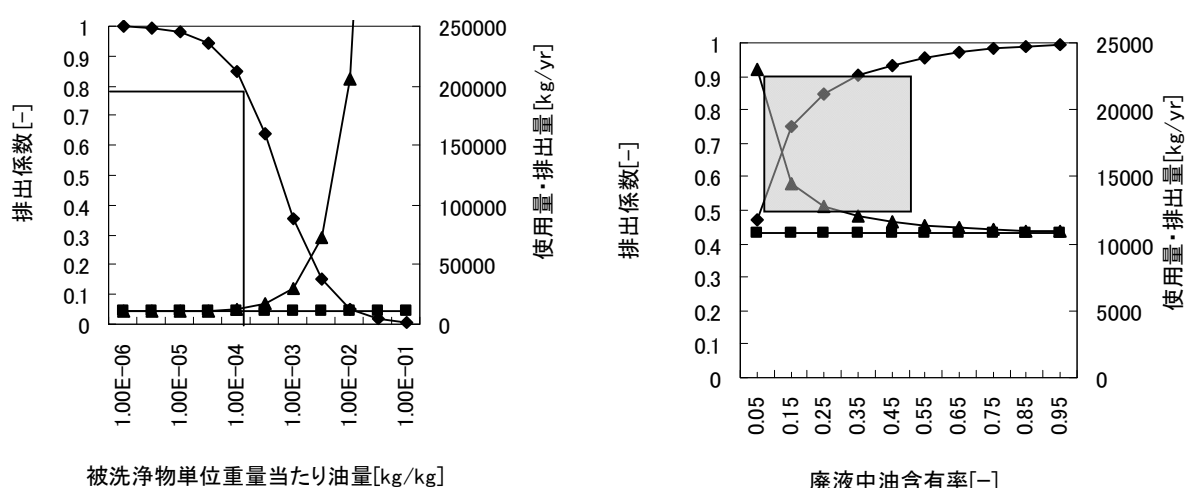


図 4.2 洗浄物単位重量あたり油量および廃液廃棄時油含有率と排出係数との関係  
( $\diamond$  : 大気排出係数,  $\triangle$  : 大気排出量(kg/年)  $\square$  : 洗浄剤使用量(kg/年)，物質：TCE)

冷却温度( $T_{cool}$ )および制御風速( $U$ )を変化させた場合の排出量，使用量，排出係数の変動について図 4.3 に示した．

図 4.3 の左図において，冷却温度( $T_{cool}$ )として通常取り得る値 (293.15K (20 ) ~ 303.15K (30 )) の場合の排出係数の変動範囲は，洗浄事例データにおける排出係数(0.5 ~ 0.9)の範囲内であることがわかる．また図 4.3 の右図において，風速( $U$ )として通常用いられる値として 0.1 ~ 1.0m/s の場合の排出係数の変動範囲はやはり洗浄事例データにおける排出係数(0.5 ~ 0.9)の範囲内であることがわかる．

このように，排出係数の推計値と既存洗浄事例データを比較の結果からも，排出量推定式の妥当性が検証された．

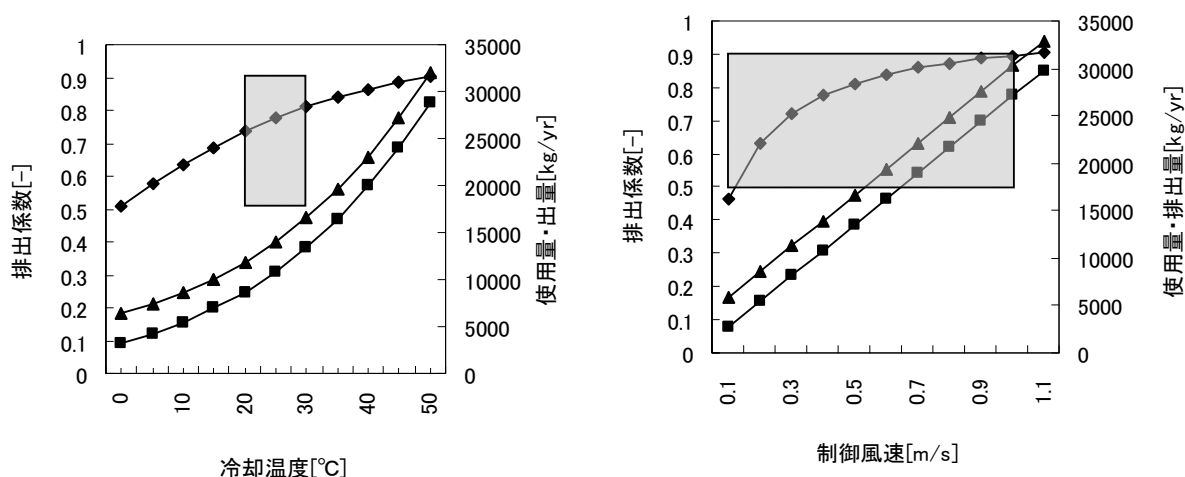


図 4.3 冷却温度および風速と排出係数の関係

( $\blacklozenge$  : 大気排出係数,  $\blacktriangle$  : 大気排出量(kg/年)  $\blacksquare$  : 洗浄剤使用量(kg/年) , 物質 : TCE )

#### 4 . 1 . 3 排出抑制対策による効果（排出抑制係数）の見積もり

既往の洗浄事例データに見られる各種の排出抑制対策による洗浄剤使用量または排出量変化データを用いて、対策別の排出抑制係数を推計したものを表 4 に示す。回収装置の設置や囲い型排気装置の設置は排出抑制係数が高く、逆に蓋の設置などは同係数が低いことがわかる。ただし、サンプル数が少ないため定量的な信頼性は低い。

表 4.6 洗浄事例データから導いた排出抑制係数

排出抑制対策種類	事例数	排出抑制係数 <sup>1)</sup>	
		平均値	標準偏差
圧縮深凝縮回収装置の設置	11	0.76	0.14
活性炭による回収装置の設置	4	0.49	0.31
その他の回収装置の設置	4	0.72	0.14
局所排気ダクトの改造	1	0.10	-
囲い型排気装置の設置	1	0.80	-
自動開閉蓋の設置	1	0.11	-
液切りの徹底	1	0.10	-
蓋の励行	2	0.23	-

1) 対策前後の使用量データしかわからない場合（排出量データが存在しない場合）は対策前の排出係数として 0.9 を仮定して算出した値。

[洗浄事例データの出典：環境省(2007a) , 旭リサーチセンター(2006) , 環境省(2005b), モリカワ(2008), 菊地・平尾(2008), 洗浄剤ユーザーヒアリング, Kikuchi&Hirao(2008), NEDO(2003), みずほ情報総研(2005)]

## 4.2 炭化水素系洗浄剤の排出量推計式の検証

炭化水素系洗浄剤使用プロセスの排出量推計式については、炭化水素系の洗浄事例データが具体的に記述されている文献（JICOP(2005)、表 A.5、表 A.6 参照）のデータを用い、不足するデータは塩素系洗浄剤の事例データを用いて、妥当性の検証を行った。

表 4.7 は開放型装置、密閉型装置の排出量推定式それぞれに対し入力値として使用した各パラメータ値とその出典・根拠である。ここで、対象成分は洗浄剤ユーザー・メーカーへのヒアリングから炭化水素系洗浄剤の最も代表的な成分と考えられる n-デカンとした。排出量等の推計結果を表 4.8（開放型装置）と表 4.9（密閉型装置）に示す。

表 4.7 炭化水素系の排出量推計式に代入した洗浄特性パラメータと根拠

装置種別 (開放型/ 密閉型)	記号	内容	条件1	条件2	根拠
共通	$OBJ\_speed$	被洗浄物処理速度[kg/h]	120	100	JICOP(2005)
共通	$OIL\_obj$	被洗浄物単位重量当り油量[kg/kg]	0.0034	0.0028	同上
共通	$DRAG\_unitweight$	被洗浄物単位重量当り持出し量[L/kg]	0.0068	0.0159	同上
共通	$Mw(chem)$	対象物質の分子量[g/mol]	142.3	142.3	物性値
共通	$\rho\_solut$	洗浄液の比重[kg/L]	0.7	0.7	物性値
共通	$R_{oil\_waste}$	洗浄廃液中油含有率[kg/kg]	0.4356	0.4356	JICOP(2005)
共通	$R_{elem\_solut}$	洗浄剤中の対象成分含有率[kg/kg]	1	1	単一成分を想定
共通	$R_{recov}$	排ガス処理等による排出抑制係数[-]	0	0	排出抑制装置なし
開放型	$Area\_solut$	風速方向の液面面積[m <sup>2</sup> ]	1.59	1.59	表4.4参照
開放型	$Z$	風速方向の液面長[m]	1	1	1m×1.59mの開口部を想定
開放型	$U$	風速[m/s]	0.4	0.4	表4.1参照
開放型	$T\_solut$	洗浄液温度[K]	313.15	313.15	使用温度のデータ (表2.7)より40℃を 想定
開放型	$P_v$	洗浄液温度での飽和蒸気圧[Pa]	493	493	物性値 <sup>1)</sup>
開放型	$Sc$	シュミット数[-]	1.75	1.75	National Ocean Service (2003)
密閉型	$SOLUT\_generate$	洗浄液蒸気発生量[kg/h]	37.5	37.5	JICOP(2005)
密閉型	$T\_cool$	凝縮(回収)器での冷却温度[k]	293.15	293.15	JICOP(2005)
密閉型	$P_v$	凝縮器での飽和蒸気圧[Pa]	135	135	物性値 <sup>1)</sup>

1) 温度( $T\_solut$  または  $T\_cool$ )の関数として Antoine 式によって算出したものを用いた。

表 4.8 排出量推計式で算出された結果（開放型）

記号	意味	条件1	条件2
<i>ELEM_emission</i>	対象成分の大気排出量[kg/h]	0.78	1.32
<i>ELEM_waste</i>	対象成分の廃液含有量[kg/h]	0.53	0.36
<i>ELEM_use</i>	対象成分の使用量[kg/h]	1.31	1.68
<i>EF</i>	排出係数	0.59	0.78

表 4.9 排出量推計式で算出された結果（密閉型）

記号	意味	条件1	条件2
<i>ELEM_emission</i>	対象成分の大気排出量[kg/h]	0.037	0.037
<i>ELEM_waste</i>	対象成分の廃液含有量[kg/h]	0.531	0.363
<i>ELEM_use</i>	対象成分の使用量[kg/h]	0.568	0.399
<i>EF</i>	排出係数	0.064	0.091

開放型装置については、推計式で算出された排出係数は条件 1，条件 2 についてそれぞれ 0.59，0.78（表 4.8）である。一方、付属資料での既存文献（JICOP，2005）における排出係数は 0.53 と 0.76（表 A.5）であり近い値を示した。本 ESD で算出された排出係数の方が大きいのは、排出量推定式では「持ち出し量」以外に洗浄槽からの蒸発を考慮しているためである。

密閉型装置については、推計式で算出された排出係数は条件 1，条件 2 についてそれぞれ 0.064，0.091（表 4.9）である。一方、付属資料での既存文献（JICOP，2005）における排出係数は 0.061 と 0.087（表 A.5）であり近い値を示した。本 ESD で算出された排出係数の方が若干大きいのは、想定している比重の違いである。

現時点では洗浄事例データがここで挙げた 2 例以外は入手できなかったため、排出量推計式を使っても、既往文献での排出係数と近い値が得られること以上の検証は行えなかった。

### 4.3 水系洗浄剤の排出量推計式の検証

水系洗浄剤使用プロセスの排出量推計式については、表 4.10 に示す洗浄特性パラメータの代表値を入力値として用い、算出される排出係数を付属資料の表 A.9 に示した企業の CSR データによる AE の排出係数と比較することにより妥当性の検証を行った。排水処理に関するパラメータについては洗浄現場ヒアリングで得た情報から活性炭吸着と微生物処理を直列で行うと仮定した。

排出量等の算出結果を表 4.11 に示す。排出係数は 0.027 と算出され、企業の CSR データから算出した AE の排出係数である 0.03（表 A.9）とよい一致を示した。よって、本 ESD で示した排出量等の推計式は洗浄現場での実態をよく表していると考えられる。

表 4.10 水系洗浄剤の排出量推計式に代入した洗浄特性パラメータと根拠

記号	内容	代表値	根拠
<i>OBJ_speed</i>	被洗浄物処理速度[kg/h]	1500	表4.4参照
<i>OIL_obj</i>	被洗浄物単位重量当り油量[kg/kg]	1.60E-04	表4.4参照
<i>R_oil_waste</i>	洗浄廃液中油含有率[kg/kg]	0.007	産洗協(2002) <sup>1)</sup>
<i>ρ_solut</i>	洗浄液の比重[kg/L]	1	図2.2参照 <sup>2)</sup>
<i>DRAG_unitweight</i>	被洗浄物単位重量当り持出し量[L/kg]	0.0114	JICOP(2005) <sup>3)</sup>
<i>R_elem_solut</i>	洗浄液中の対象成分含有率[kg/kg]	0.005	2章参照 <sup>4)</sup>
<i>R_remove</i>	除去率[-]	0.92	経済産業省・環境省 (2004) <sup>5)</sup>
<i>R_decom</i>	無害化率[-]	0.4	経済産業省・環境省 (2004) <sup>6)</sup>

1)油性汚れに対する値, 2)水分含有量が多いため水の比重と同じと仮定, 3)炭化水素系洗浄剤の事例(表 4.7)の平均値, 4)洗浄剤中の対象成分割合を 0.1(図 2.2 参照), 使用時の洗浄剤濃度を 10%(図 2.3 参照)と仮定. 5)活性炭処理(除去率:0.8)と微生物処理(除去率:0.6)を直列で使用すると仮定. 6)活性炭処理(無害化率:0)と微生物処理(無害化率:0.4)を直列で使用すると仮定.

表 4.11 推計式で算出された結果

記号	内容	値
<i>ELEM_rinse_water</i>	対象成分の水域・下水道への排出量[kg/h]	0.0068
<i>ELEM_use</i>	対象成分の使用量[kg/h]	0.255
<i>ELEM_rinse_waste</i>	対象成分の廃棄物への移動量[kg/h]	0.21
<i>ELEM_rinse_decom</i>	対象成分の分解量[kg/h]	0.034
<i>EF</i>	水域への排出係数[-]	0.027

## 4.4 準水系洗浄剤の排出量推計式の検証

準水系洗浄剤使用プロセスの排出量推計式の検証にあたって, 表 4.12 に示した洗浄特性パラメータの代表値を入力データとして用い, 推計された排出係数を付属資料に示した既存文献値と比較することで行った. 対象成分としては準水系洗浄剤のグリコールエーテル系で主成分として多用されるジエチレングリコールモノアルキルエーテルのうち, アルキル基が異なる 2 物質である, ジエチレングリコールモノメチルエーテル( $C_5H_{12}O_3$ )とジエチレングリコールモノブチルエーテル( $C_8H_{18}O_3$ )を想定した. 洗浄剤の使用方法に関するデータは準水系のものをういたが, 被洗浄物や装置に関するデータは事例数の多い塩素系の事例データ(表 4.4)に準じ, 持ち出し量については炭化水素系の事例データ(表 4.7)に準じた.

排出量等の算出結果を表 4.13 に示す。算出された排出係数は 2 つの対象成分に対しそれぞれ、0.64%と 0.15%であった。Appendix 2.4 に示す既存文献での排出係数は 0.4%であるから、算出結果は文献値とオーダーとしてはよい一致を示していることがわかる。文献値は対象成分が明記されていないこと、また排出係数は 1%以下でかなり小さい値であるため正確な推計は難しいことを考え合わせると、対本 ESD で示した排出量等推計式の妥当性があり、洗浄現場に適用することも可能と思われる。

表 4.12 準水系洗浄剤の排出量推計式に代入した洗浄特性パラメータと根拠

記号	内容	対象成分		根拠
		ジエチレングリコールモノメチルエーテル	ジエチレングリコールモノブチルエーテル	
<i>OBJ_speed</i>	被洗浄物処理速度[kg/h]	1500	1500	表 4.4 参照
<i>OIL_obj</i>	被洗浄物単位重量当り油量[kg/kg]	$1.6 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-4}$	表 4.4 参照
<i>Area_solut</i>	液面面積[m <sup>2</sup> ]	1.59	1.59	表 4.4 参照
<i>Z</i>	風速方向の液面長[m]	1	1	1m×1.59m の開口部を想定
<i>Mw</i>	対象成分の分子量[kg/kmol]	120.1	162.2	物性値
<i>R_oil_waste</i>	洗浄廃液中油含有率[kg/kg]	0.05	0.05	産洗協(2002)
<i>R_elem_solut</i>	洗浄液中の対象成分含有率[kg/kg]	0.9	0.9	図 2.6, 図 2.7 参照
<i>T_solut</i>	洗浄液温度[K]	333.15	333.15	図 2.8 参照
<i>P_v</i>	洗浄液温度での飽和蒸気圧[Pa]	368.2	67.2	物性値 <sup>1)</sup>
<i>U</i>	風速[m/s]	0.4	0.4	表 4.1 参照
<i>Sc</i>	シュミット数[-]	1.61	1.88	National Ocean Service (2003)
<i>R_recov</i>	排出抑制係数[-]	0	0	排出抑制装置なし
<i>ρ_solut</i>	洗浄液の比重[kg/L]	1.02	0.95	物性値
<i>DRAG_unitweight</i>	被洗浄物単位重量当り持出し量[L/kg]	0.0114	0.0114	表 4.7 参照 <sup>2)</sup>

1) 洗浄液温度(*T\_solut*)の関数として Antoine 式によって算出したものを用いた。2) JICOP(2005)における 2 事例の平均値。

表 4.13 推計式で算出された結果

記号	内容	対象成分	
		ジエチレングリコール モノメチルエーテル	ジエチレングリコール モノブチルエーテル
<i>ELEM_emission</i>	対象成分の大气排出量[kg/h]	0.13	0.028
<i>ELEM_waste</i>	対象成分の廃棄物移動量[kg/h]	19.8	18.7
<i>ELEM_use</i>	対象成分の使用量[kg/h]	20.0	18.8
<i>EF</i>	排出係数[-]	0.0064	0.0015



# Appendix

本章では、種々の既存文献に記述された工業用洗浄剤の細目別・業種別の国内使用量と排出係数についての推計方法とその結果を紹介し、一部は本文書で独自に算出した排出係数についても示す。使用量、排出係数の対象年度は基本的には、2007年度としたが、情報が得られない場合は他年度のものも含まれている。

## 1. 工業用洗浄剤の使用量について

表 A.1 に工業用洗浄剤の使用量を示す。洗浄剤 5 細目の総使用量は約 10 万トン/年で、最も多くを占めるのは塩素系で洗浄剤全体の 36%、次いで水系の 32%、炭化水素系の 23% となっている。

表 A.1 工業用洗浄剤使用量(2007 年度値, 単位: t/年)

物質グループ	物質名	鉄鋼業	非鉄金属製造業	金属製品製造業	一般機械器具製造業	電気機械器具製造業	輸送用機械器具製造業	精密機械器具製造業	計
塩素系	ジクロロメタン	9	1,835	10,041	1,893	3,187	56	1,835	18,856
	トリクロロエチレン	1,334	958	3,183	1,996	3,183	2,373	2,145	15,172
	テトラクロロエチレン	505	194	557	287	379	285	194	2,401
	小計	1,848	2,987	13,781	4,176	6,749	2,714	4,174	36,429
炭化水素系	n-パラフィン系	216	1,326	1,402	950	1,378	1,313	1,417	8,002
	イソパラフィン系	7	3	1,668	433	822	1,468	832	5,233
	ナフテン系	509	691	2,705	1,541	771	3,768	8	9,993
	その他の炭化水素系溶剤	0	0	57	78	96	74	129	434
	小計	732	2,020	5,832	3,002	3,067	6,623	2,386	23,662
準水系	グリコールエーテル系混合剤	0	0	71	1	2,414	82	651	3,219
	n-メチルピロリドン(NMP)系混合剤	0	0	0	0	7	0	3	10
	テルペン系混合剤	0	0	0	0	0	1	0	1
	炭化水素系混合剤	9	9	19	0	19	0	0	56
	その他の準水系	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計	9	9	90	1	2,440	83	654	3,286
水系	アルカリ系	12,961	278	1,379	1,723	2,606	4,752	1,264	24,963
	中性系	22	144	1,059	1,124	2,273	1,636	915	7,173
	酸系	62	127	76	12	21	30	44	372
	その他の水系	0	0	1	0	12	0	0	13
	小計	13,045	549	2,515	2,859	4,912	6,418	2,223	32,521
ハロゲン系	HFC 系 (フッ素系)	8	8	0	8	153	37	332	546
	HFE 系 (フッ素系)	8	8	0	8	164	83	160	431
	HCFC-225 系 (フッ素系)	30	12	118	59	177	59	236	691
	HCFC-141b 系 (フッ素系)	52	0	603	323	343	0	343	1,664
	n-プロピルブロマイド系 (臭素系)	0	0	67	0	534	332	862	1,795
	その他のハロゲン系	0	0	0	0	0	0	0	0
	小計	98	28	788	398	1,371	511	1,933	5,127
合計		15,732	5,593	23,006	10,436	18,539	16,349	11,370	101,025

[出典：塩素系については経済産業省・環境省(2009)、その他については経済産業省(2009)]

## 2. 排出係数について

### 2.1 塩素系洗浄剤の排出係数

本節では塩素系洗浄剤の業種別、物質別の排出係数について、有害大気自主管理報告書(経済産業省 2002,2003,2005)で報告されている 18 業会団体(約 600 社)における塩素系洗浄剤 3 物質の使用量と排出量データに基づいて推計を行った。

表 A.2 に実施年度別・物質別・業種別に算出した塩素系洗浄剤の排出係数を示す。

表 A.2 本 ESD で推計した塩素系洗浄剤の年度・物質・業種別の排出係数

物質	業種	年度別排出係数				平均 排出係数	物質別 年度および 業種平均 排出係数
		1999	2001	2002	2003		
ジクロロ メタン	鉄鋼業	0.88	0.83	0.86	0.83	0.85	0.77
	非鉄金属製造業	0.89	0.83	0.85	0.90	0.86	
	金属製品製造業	0.91	0.83	0.78	0.77	0.82	
	一般機械器具製造業	-	0.73	0.74	0.76	0.74	
	電気機械器具製造業	-	0.67	0.62	0.58	0.62	
	輸送用機械器具製造業	0.77	0.88	0.84	0.89	0.84	
	精密機械器具製造業	-	0.90	0.92	-	0.91	
	上記の全業種	0.86	0.78	0.74	0.73		
トリクロ ロエチレ ン	鉄鋼業	0.75	0.72	0.80	0.78	0.76	0.80
	非鉄金属製造業	0.50	0.51	0.55	0.70	0.56	
	金属製品製造業	0.92	0.83	0.82	0.83	0.85	
	一般機械器具製造業	-	0.75	0.71	0.67	0.72	
	電気機械器具製造業	-	0.46	0.54	0.39	0.47	
	輸送用機械器具製造業	0.49	0.75	0.65	0.54	0.62	
	精密機械器具製造業	-	-	-	-	-	
	上記の全業種	0.87	0.78	0.78	0.78		
テトラク ロロエチ レン	鉄鋼業	0.92	0.96	0.95	0.95	0.94	0.70
	非鉄金属製造業	0.84	0.63	0.82	0.88	0.79	
	金属製品製造業	0.67	0.63	0.65	0.71	0.66	
	一般機械器具製造業	-	0.49	0.60	0.54	0.54	
	電気機械器具製造業	-	0.82	0.90	0.71	0.82	
	輸送用機械器具製造業	0.80	0.24	0.24	0.29	0.46	
	精密機械器具製造業	-	-	-	-	-	
	上記の全業種	0.80	0.62	0.72	0.69		

( 平均排出量は事業所数により加重平均された値であり単純平均値とは異なる )

## 2 . 2 炭化水素系洗浄剤の排出係数

炭化水素系洗浄剤の使用に係る大気排出係数の算出方法と結果について既存文献における方法を以下に簡潔に示す .

VOC インベントリ(環境省 , 2008)では , 表 A.3 に示す通り洗浄方式別大気排出係数を基にして , 洗浄方式別の国内設置台数構成比により加重平均を行うことで大気排出係数が 0.32 と算出されている .

表 A.3 炭化水素系洗浄剤の排出係数の設定に使用されたデータ

項目	洗浄方式	
	減圧蒸気洗浄方式	温風乾燥方式
洗浄装置 1 台当たり石油系洗浄剤 使用量 ( L/h/台 )	0.6553 ( a )	1.814 ( d )
国内における 設置台数比率	78% ( b )	22% ( e )
大気排出係数 ( 洗浄方式別 )	0.074 ( c )	0.65 ( f )
炭化水素系溶剤の使用に係る 大気排出係数	0.32	

注 : 炭化水素系溶剤の使用に係る大気排出率(EF)の算出式

$$EF = ( (a) \times (b) \times (c) + (d) \times (e) \times (f) ) / ( (a) \times (b) + (d) \times (e) )$$

[出典 : VOC インベントリ ( 環境省 , 2008 ) より作成]

表 A.3 に示される洗浄方式別の洗浄装置 1 台当たり石油系洗浄剤使用量(a),(d)および大気排出率(c) , (f)のデータの出典を表 A.4 に示す .

表 A.4 炭化水素系洗浄剤の排出量の推計パラメータ

	減圧蒸気洗浄方式	温風乾燥方式
洗浄装置 1 台当たりの炭化水素系洗浄剤使用量(L/hr)	0.6553 (a)	1.814 (d)
上記の比率	0.265	0.735
国内での設置台数比率の推計(*1)	0.9	0.1
国内での炭化水素系洗浄剤全使用量に占める割合	0.76	0.24
VOC 排出係数 t	0.061–0.087 (平均 0.074: c)	0.53–0.76 (平均 0.65: f)

\*1 : 2003 年度産業洗浄装置利用の調査データより抽出された炭化水素系洗浄剤を用いる 31 件の洗浄装置使用事例 , およびヒアリングによる

[ 出典 : 旭リサーチセンター ( 2006 ) ]

国内での炭化水素系洗浄剤全使用量に占める割合

表 A.4 中の洗浄方式別の装置 1 台当たり洗浄剤使用量データは JICOP(2005)の中で表 A.5 のように算出された値である .

表 A.5 洗浄(乾燥)方式の違いによる洗浄剤使用量、大気排出量、大気排出係数

洗浄(乾燥)システム方式	減圧蒸気洗浄システム ( 真空乾燥 )		温風乾燥	
実験条件	条件 1	条件 2	条件 1	条件 2
大気排出量(L/hr) と 設定根拠	0.0468	0.0468	0.817	1.594
	真空ポンプから排出される排出量		洗浄液持出量が全て大気中に排出 と仮定	
各条件別洗浄剤使用量 (L/hr)	0.770	0.541	1.540	2.088
	0.6553 (a)		1.814 (d)	
各条件別大気排出係数	0.061	0.087	0.53	0.76
	0.074 (c)		0.65 (f)	

[ JICOP ( 2005 ) より作成 ]

JICOP ( 2005 ) では , 表 A.5 の値を算出するために , 実際の被洗浄物と洗浄装置を用いて , 表 A.6 に示すような実験を行った結果を用いている .

表 A.6 炭化水素系洗浄剤の排出量推計に用いられた実験データ

		条件 1	条件 2
被洗浄物		リベット (材質: アルミ)	プレス部品 (材質: SUS304)
洗浄重量		12kg/バスケット (処理量 120kg/hr, 10 バスケット/hr)	10kg/バスケット (処理量 100kg/hr, 10 バスケット/hr)
加工油持込量		41g/バスケット (実測値 410g/hr, 0.482L/hr, 比重 0.85)	28g/バスケット (実測値 280g/hr, 0.392L/hr, 比重 0.85)
洗浄液持出量		60g/バスケット (実測値 600g/hr : 0.817L/hr)	117g/バスケット (実測値 1170g/hr : 1.594L/hr)
洗浄液		炭化水素系洗浄剤 A (第 4 類第 2 石油類, 沸点 174 , 比重 0.734, 蒸気圧 (20 ) 0.95mmHg)	
減圧蒸留再生器排出時加工油の許容濃度		40%	
冷却器温度		20	
蒸気発生量		37.5L/hr	
大気へ の放出	放出量(L/hr)	0.0468	
	算出式	$37.5\text{L/hr} \times 0.95\text{mmHg}/760\text{mmHg} = 0.0468\text{L/hr}$	
	蒸気発生量 × 蒸気圧 (20 )		
	洗浄剤消費量に対する比率	6.1%	8.7%
廃液と しての 排出	排出量(L/hr)	0.723	0.494
	洗浄剤消費量に対する比率	93.9%	91.3%
	算出式	$(0.482 / 40\%) \cdot 0.482 = 0.723(\text{L/hr})$ $(0.329 / 40\%) \cdot 0.329 = 0.494(\text{L/hr})$	
	算出式	$(\text{加工油持込量} \div \text{減圧蒸留再生器排出時加工油許容濃度}) \cdot \text{加工油持込量}$	
洗浄液 の消費	消費量(L/hr)	0.770	0.541
	算出式	$0.0468 + 0.723 = 0.770(\text{L/hr})$ $0.0468 + 0.494 = 0.541(\text{L/hr})$ 大気放出量 + 廃液としての排出量	

[ 出典 : JICOP (2005) より作成 ]

## 2 . 3 水系洗浄剤の排出係数

### ( 1 ) PRTR 届出外すそ切り以下で用いられる排出係数

表 A.7 に示すのは, PRTR 届出外推計 (経済産業省・環境省, 2008) において, 工業用洗浄剤等を排出源とする排出量推計に用いられた 6 種類の界面活性剤の排出係数である。表 A.7 で推計された排出係数は, 本 ESD で対象としている 7 業種だけでなく, 化学製品製造関連の業種を除く全業種 (以下, 化学製品製造以外全業種) が対象とされ, さらに, 界面活性剤の用途として繊維処理剤のように洗浄剤以外の用途分も含まれていることにも注意が必要である。

表 A.7 洗浄剤等に用いられる界面活性剤の平均排出係数

対象物質名	データ数	平均排出率	年間取扱量(kg/年)	年間排出量(kg/年)
LAS	141	0.27	78934	21452
AO	32	0.58	1567	914
DAC	-	-	-	-
AE	220	0.18	177466	31269
OPE	101	0.24	17018	4029
NPE	257	0.12	229073	26456

[ 経済産業省・環境省(2008)より作成 ]

### ( 2 ) PRTR 届出データに基づく排出係数

表 A.8 に示される排出係数は, 本 ESD で対象とする 7 業種よりも多くの業種が対象とされているため, 対象業種による排出係数の違いが問題と考えられる。対象業種による排出係数の差を把握するため, 工業用洗浄剤に使用される界面活性剤として代表的な物質と

考えられる「AE」を対象に PRTR 届出データを用いて排出係数の算出を行った。平成 18(2006)年度分の PRTR 届出データ(2008)<sup>6</sup>を用い、化学製品製造以外全業種と本 ESD で対象とする 7 業種について、排出量と移動量の和を使用量と仮定し、排出量と使用量の比として求めた排出係数を表 A.8 に示す。

表 A.8 に示した PRTR 届出データに基づく本 ESD での対象 7 業種の排出係数(0.10)は、化学製品製造以外全業種の排出係数(0.27)の約 37%程度の値であり、界面活性剤の排出係数は業種による差が大きいと考えられる。このように界面活性剤の排出係数は業種による差が大きいため、表 A.7 に示された排出係数は対象 7 業種に適用する場合、過大であると思われる。

一方、表 A.7 と表 A.8 では同一業種を対象にしているにもかかわらず、表 A.8 に示す排出係数(0.27)は、表 A.7 に示す排出係数(0.18)よりも約 1.5 倍大きい。これは、表 A.8 の推計方法では、排水処理による分解量の考慮が行われていないため排出係数が過大になった可能性が考えられる。

業種による影響と、分解量の影響の両方を考慮した推計を行うために次項では CSR 報告書等を用いた排出係数の算出を行った。

表 A.8 PRTR 届出データに基づく排出係数(対象物質:AE)

対象業種	化学製品製造以外の全業種	本 ESD での対象業種
排出量(kg/年)	186601	20907
移動量(kg/年)	509645	184266
排出係数	0.27	0.10
届出数	230	64

[ 出典:2006 年度分の PRTR 届出データ(2008 年開示) ]

### (3) CSR 報告書等に基づく排出係数

前節の PRTR 届出データを用いた解析では、排水処理による界面活性剤の分解除去を考慮していないため排出係数が過大に推計される可能性がある。そこで、本節では、除去率について考慮した排出係数を推計するため、除去量、排出量および使用量データの含まれた資料として、公表されている CSR(Corporate Social Responsibility)報告書等に記された AE のデータを用いた解析を試みた。

収集した 23 事業所の CSR 報告書等を元にした排出係数の推計結果を表 A.9 に示す。水域への排出係数(水域排出量の取扱量に対する比率)は 0.03 であり、PRTR 届出外すそ切り以下で算出され用いられた 0.18、対象 7 業種について PRTR 届出データを用いて算出した 0.10 と比較しても小さい。また、除去処理量が取扱量に占める比率は 0.14 程度と排出量に比べて大きいことから、界面活性剤は排水処理によって分解除去される分が無視できないことがわかる。

<sup>6</sup> 化学物質排出把握管理促進法第 11 条に基づき開示されたファイル記録事項(個別事業所の PRTR データ)のうち 2008 年に開示された 2006 年度分のデータ

表 A.9 CSR 報告書に基づく排出係数推計（対象物質：AE）

項目	取扱量	大気排出量	水域排出量	下水・廃棄物 移動量	除去処理量	その他
kg/年	201340	170	6041	151470	28023	3938
取扱量に対する比率	-	0.001	0.030	0.752	0.139	0.020

〔出典：23 事業所（輸送用機器製造業 19 事業所，電気機械器具製造業 4 事業所）の CSR 報告書など，主として 2006 年度値〕

表 A.9 に示す係数の分布を確認するため，各個別事例に取扱量に対する排出・移動・除去量の分布を図 A.1 に示す．どの項目もばらつきが大きい，特に除去処理に関して個々の事業所による違いが大きいことが確認される．

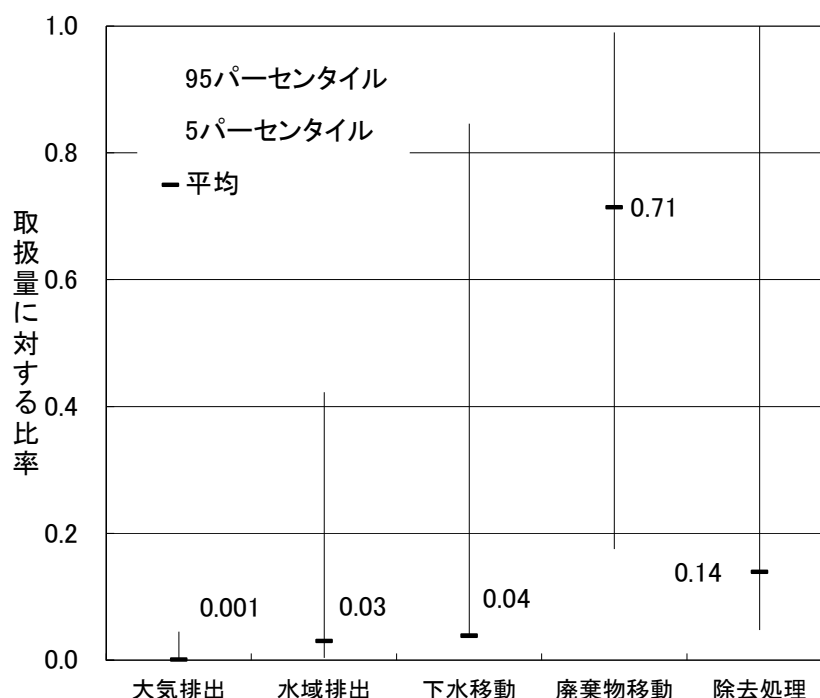


図 A.1 AE の排出量および移動，除去量の取扱量に対する比率

〔出典：CSR 報告書等(23 事業所)〕

利用可能であった CSR 報告書等は輸送機器製造業のものが多く，本 ESD で対象とする 7 業種のうち把握できなかった業種（特に界面活性剤使用量の 3 割強を占める鉄鋼業が含まれないことに注意を要する）があった．しかし，PRTR では考慮されない除去率を考慮した排出係数が得られることから，本 ESD では界面活性剤の排出係数として CSR 報告書等のデータに基づく排出係数(0.03)が適当であると判断した．解析対象とした物質は AE であるが，使用形態が同一という仮定で他物質についても同じ排出係数を設定することができると思われる．

今後の課題として、対象とする各業種に関する事例を収集することにより、対象とする業種別の排出係数を算出することが望ましいと考える。

## 2.4 その他の洗浄剤の排出係数

準水系洗浄剤の排出係数については VOC インベントリ(環境省, 2008)において 0.004 (0.4%)という値が示されており、その根拠は、日本産業洗浄協議会へのヒアリングとされている。準水系の排出係数に関して現時点で得られる情報は少ないため、本 ESD ではこの数値を代表的な値とすることとした。

ハロゲン系洗浄剤の排出係数について、VOC インベントリ(環境省, 2008)において既存の調査結果から、フッ素系では 0.84、その他(本 ESD では臭素系が該当)は 0.75 とされている。

## 2.5 排出係数のまとめ

本 ESD で対象とした 5 細目の工業用洗浄剤の排出係数について、これまで述べた値を表 A.10 にまとめて示す。

表 A.10 洗浄剤細目別、業種別排出係数

業種 物質		鉄鋼業	非鉄金属 製造業	金属製品 製造業	一般機械 器具製造 業	電気機械 器具製造 業	輸送用機 械器具製 造業	精密機 械器具 製造業	平均 <sup>*1</sup>
塩素系	DCM	0.85	0.86	0.82	0.74	0.62	0.84	0.91	0.77
	TCE	0.76	0.56	0.85	0.72	0.47	0.62	0.80 <sup>*2</sup>	0.80
	PCE	0.94	0.79	0.66	0.54	0.82	0.46	0.70 <sup>*2</sup>	0.70
炭化水素系		0.32							
準水系		0.004							
水系		0.03							
ハロゲ ン系	フッ素系	0.84							
	臭素系	0.75							

\*1: 企業数で重み付けた平均値

\*2: 精密機械器具製造業の TCE および TCE(塩素系)の排出係数は、データがないため他の 6 業種の平均値を用いた。

## 参考文献

旭リサーチセンター（2006）平成 17 年度 揮発性有機化合物（VOC）排出抑制に係る自主的取組推進マニュアル原案作成（洗浄関係）委員会 報告書 平成 18 年 3 月（株）旭リサーチセンター

環境省(2005a) 揮発性有機化合物（VOC）排出抑制対策検討会洗浄小委員会報告書 平成 17 年 2 月 揮発性有機化合物（VOC）排出抑制対策検討会洗浄小委員会

環境省(2005b) PRTR 対象化学物質の排出削減に向けた対策事例集 平成 17 年 8 月 環境省 環境保健部環境安全科

環境省(2007a) VOC 排出抑制 産業洗浄における自主的取組マニュアル 環境省・日本産業洗浄協議会・（株）旭リサーチセンター 2007 年 3 月

環境省（2007b）

平成 18 年度 揮発性有機化合物（VOC）インベントリについて（報告）別冊 揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリ（平成 12 年度及び平成 17 年度排出量）平成 19 年 3 月 環境省 水・大気環境局大気環境課

環境省（2008）

揮発性有機化合物（VOC）インベントリについて（報告）別冊 揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリ（平成 18 年度排出量）平成 20 年 3 月 環境省 水・大気環境局大気環境課

菊池康紀，平尾雅彦(2008) 金属部品の洗浄プロセスにおける工場特有の機能と制約を考慮したライフサイクルアセスメント．日本 LCA 学会誌．4(2)：149-160．

経済産業省(2002) 産業構造審議会 化学・バイオ部会リスク管理小委員会 第 5 回有害大気汚染物質対策 WG（2002 年 10 月 22 日） 資料 4「実施報告書」

経済産業省(2003) 産業構造審議会 化学・バイオ部会リスク管理小委員会 第 7 回有害大気汚染物質対策 WG（2003 年 11 月 06 日） 資料 3「実施報告書」

経済産業省(2005) 産業構造審議会 化学・バイオ部会リスク管理小委員会 第 8 回有害大気汚染物質対策 WG（2005 年 5 月 12 日） 資料 4「平成 15 年度実施報告書」

経済産業省，環境省（2004） PRTR 排出量算出マニュアル第 3 版 平成 16 年 1 月 経済産業省製造産業局化学物質管理課，環境省環境保健部環境安全課



経済産業省，環境省（2008） 平成 18 年度 PRTR 届出外排出量推計手法の詳細 1 .  
対象業種を営むすそ切り以下事業者からの排出量 . 排出源別排出量推計方法 （ 4 ）  
工業用洗浄剤等

経済産業省，環境省（2009） 平成 19 年度 PRTR 届出外排出量推計手法の詳細 1 .  
対象業種を営むすそ切り以下事業者からの排出量 . 排出源別排出量推計方法 （ 4 ）  
工業用洗浄剤等

産業環境管理協会（2007） 新・公害防止の技術と法規 大気編 2007 年 2 月 社団  
法人産業環境管理協会

産洗協(1999a) 工業用洗浄剤ハンドブック 日本産業洗浄協議会編 1999 年 3 月 化学  
工業日報社

産洗協(1999b) よくわかる洗浄の全て 日本産業洗浄協議会編著 1999 年 9 月 日刊工  
業新聞社

産洗協（2001a）工業用洗浄剤に関する調査報告書 平成 13 年 9 月 日本産業洗浄協議会

産洗協（2001b）よくわかる洗浄の PRTR 対策 排出量，移動量の算出マニュアル 日本  
産業洗浄協議会編著 日刊工業新聞社

産洗協（2002）中小企業総合事業団 平成 12 年度「化学物質出量等算出マニュアル」 -  
平成 14 年 3 月改版 - 化学工業以外の工業編 産業洗浄工業(作成 日本産業洗浄協議会)

産洗協（2003） わかりやすい界面活性剤 日本産業洗浄協議会編 2003 年 9 月 工業  
調査会

産洗協(2004) 洗浄剤・洗浄装置活用ノート 日本産業洗浄協議会編 2004 年 10 月 工  
業調査会

産洗協(2006) トコトンやさしい洗浄の本 日本産業洗浄協議会洗浄技術委員会編 2006  
年 9 月 日刊工業新聞社

産洗協(2009) 産業洗浄協議会ホームページ 「産業洗浄」で使用している各種洗浄剤の  
特徴 <http://www.jicc.org/contents/term1.htm> （2009/05 アクセス）

みずほ情報総研(2005) 平成 16 年度経済産業省委託調査報告書 産業洗浄工程における揮発性有機化合物(VOC)排出抑制に関する調査 ,検証 調査報告書 平成 17 年 3 月 みずほ情報総研株式会社

みずほ情報総研(2009) 平成 20 年度経済産業省委託調査報告書 平成 20 年度化学物質安全確保・国際規制対策推進等(工業用洗浄剤の実態調査) 調査報告書 平成 21 年 3 月 みずほ情報総研株式会社

モリカワ(2008) 環境機器部門 VOC 回収装置対策事例 (株)モリカワ Web 情報  
[http://www.morikawa-ltd.co.jp/environment/voc\\_ex.html](http://www.morikawa-ltd.co.jp/environment/voc_ex.html) (2008/07 アクセス)

JICOP(2005) 環境リスクの低い産業洗浄装置等に関する調査研究報告書 平成 17 年 3 月 財団法人 機械振興協会経済研究所 委託先 有限責任中間法人 オゾン層・気候保護産業協議会(JICOP)

J-tokkyo (1999) ウェブサイト  
<http://www.j-tokkyo.com/1999/B23K/JP11320179.shtml> (2009/02 アクセス)

Kawamura P I, Mackay D (1987). The evaporation of volatile liquids. Journal of Hazardous Materials, 15: 343-364.

Kikuchi Y, Hirao M (2008). Practical method of assessing local and global impacts for risk-based decision making: a case study of metal degreasing processes. Environmental Science and Technology 42 : 4527-4533.

National Ocean Service (2003). Instruction of Evaporation Calculator  
<http://www2.arnes.si/~gljsentvid10/doc.html> (2010/03 アクセス)

NEDO(2003) エネルギー使用合理化に係る化学物質リスク削減のための最適適用可能技術 (EVABAT) 体系の確立に関する調査報告書 平成 15 年 2 月 新エネルギー・産業技術総合開発機構

Yaws(1997) Handbook of Chemical Compound Data for Process Safety Carl L.Yaws Gulf Publishing Company Houston,Texas 1997.