最近の自動車塗装における VOC 規制と対応技術動向

山 辺 秀 敏*

1. はじめに

塗装が地球環境に与える影響として、塗料中の有機溶剤の放出・排出による大気汚染、酸性雨、光化学スモッグなどのほかに、ブースの温湿度調整、焼付けなどに使用される石油・ガス・電力エネルギー消費による温暖化が挙げられる。かつてドイツでは「森林が枯れる」という見出しでマスコミが国内の酸性雨による深刻な被害を取り上げたのをきっかけに一般レベルでの環境汚染に対する関心が高まった。その結果、酸性雨の主要な発生源の一つである自動車塗装工程から放出される有機溶剤の低減について、政府、自動車業界は真剣に取り組むことになった。今日、欧米の自動車業界において環境への対応は、もっとも重要な技術的課題の一つである。

自動車塗装の目的は保護と美観であり、塗装は自動車購入時の重要な要素である。その要求性能をみたし、かつ環境に対応した塗装技術は自動車メーカーだけでなく、塗料メーカー、装置メーカーが三位一体となって初めて確立されるものである。

本稿では自動車塗装工程から発生する溶剤規制と自動車、塗料、装置各メーカーの取り組みについて解説する。

2. VOC 規制の現状

1950 年代、ロサンゼルス光化学スモッグによる被害が深刻な社会問題になって以来、欧州でも酸性雨を中心とする大気汚染による森林、歴史的建造物への被害状況が報告されている。酸性雨の原因の一つとして指摘されているのが VOC (Volatile Organic Compound) と呼ばれる揮発性有機化合物である。塗装工程で溶剤系塗料が使用されると、その溶剤成分は VOC として大気中に放出され、窒素酸化物とともに太陽光の紫外線により強い酸化力をもった光化学オキシダントとなり、光化学スモッグの原因となるとともに酸性雨の原因になる。

現在日本国内における VOC 削減対策は、おもに洗浄用シンナーの回収率アップ、ハイソリッド塗料の塗着効率向上およびその色替えロス低減により行われている。その結果、(社)日本自動車

工業会(自工会)での業界目標である 2000 年末 95 年比 30%削減、および 2004 年末 60 g/m² をほぼ全自動車メーカーが達成すると予想されている。

一方、欧州ではかなり以前から、自動車塗装工程から排出される VOC について規制が行われている¹⁾。その実態を表-1 に示す。EU 全体としては SMP (Solvent Management Plan) により 1998 年までに既存設備を含めて 90 g/m²、2003 年までに 60 g/m² に規制、最終的には 45 g/m² を目指している。英国では EPA (Environmental Protection Act) により 2000 年までに既存設備、新設を含めて 60 g/m² の規制が行われている。欧州の中で、最大の自動車生産国であるドイツは独自に TA-Luft (Technische Anleitung Reinhaltung der Luft: 大気の清浄維持に関する技術指針) と呼ばれる規制を制定し、既存設備については 1995 年までに 45 g/m²、2000 年までに 35 g/m²、1995 年以降の新設については 35 g/m² という、非常にきびしい規制が行われている。

参考までに米国における VOC 規制の状況を表-2 に示す。米国では CAA (Clean Air Act) において VOC 規定が明示されており、また溶剤の種類についても CAAA (Clean Air Act Amendments) において HAPs (Hazardous Air Pollutants) 規制により 189 品目の有機化合物の使用が制限されている。HAPs 規制は 2005 年 5 月から施行予定であり、キシレン、トルエンをはじめメチルアルコール、イソプロピルアルコール、ブタノールなど主要な塗料希釈溶剤が対象となり、その代替が求められている。

CAA において新設の場合に適用される BACT (Best Available Control Technology) では VOC は 42 g/m² になり、欧州における最終規制目標値にほぼ一致している。

3. VOC 規制に対する各自動車メーカーの対応状況

3.1 水性化、パウダー化の動き

以上に示す欧州のきびしい VOC 規制をクリアするために、

〔氏名〕 やまべ ひでとし
〔現職〕 元 拓殖大学先端工学研究センター
客員教授
現 住友金属鉱山株式会社 技術本部
技術担当部長
〔趣味〕 ドライブ、犬の散歩
〔経歴〕 1978 年早稲田大学大学院理工学研究
所修了、1989 年独シュツットガ
ルト大学大学院博士課程修了
(PhD)、日新製鋼株式会社、ABB
(Asea Brown Boveri)、Durr を経
て 2003 年 9 月より現職

平成 15.8.25 受理

Recent Regulation of VOC Emission from Automotive Finishing
Industry and Technical Trend of Countermeasures
Hidetoshi YAMABE

*拓殖大学先端工学研究センター

東京都八王子市館町 815-1 (〒193-0985)

(現在 住友金属鉱山株式会社技術本部

東京都港区新橋 5-11-3 新橋住友ビル (〒105-8716))

Table 1 VOC Regulations (Europe)

Country	Regulation (Enforced year)	Objected facility	Year	VOC g/m ²
EU	SMP* ¹ (1993)	conventional	1998	90
			2003	60
			final	45
Germany	TA-Luft* ² (1998)	conventional	1995	45
			2000	35
		new	1995	35
UK	EPA* ³ (1990)	conventional	2000	60
		new	1996	60

*1) SMP : Solvent Management Plan

*2) TA-Luft : Technische Anleitung Reinhaltung der Luft

*3) EPA : Environmental Protection Act

Table 2 VOC Regulations (USA)

Regulation		Objected facility	VOC g/m ²
CAA (Clear Air Act-1990)	RACT* ¹)	conventional	50
	BACT* ²)	new	42
	LAER* ³)	new (ozon not regulated)	35

*1) RACT : Reasonably Available Control Technology

*2) BACT : Best Available Control Technology

*3) LAER : Lowest Achievable Emission Rate

Table 3 Paint Type and VOC

Paint	Type	Solvent Content	Paint consumption	VOC
ED	conventional	2.5%	10.2 kg	3.6 g/m ²
	low VOC	0.6	10.2	0.9
Primer	conventional	45.0	2.4	15.4
	high solid	33.0	2.0	12.9
	waterborne	13.0	3.0	5.6
	powder	0	1.9	0
Base coat	conventional	80.0	3.7	42.2
	high solid	67.0	2.5	23.9
	waterborne	12.0	3.4	5.8
Clear coat	conventional	55.0	2.2	17.3
	high solid	38.0	1.7	9.2
	super HS	10.0	1.5	2.1
	powder	0	1.2	0

Surface area ED : 70 m²/unit

欧州の各自動車メーカーは従来の溶剤型塗料から水性塗料、パウダー塗料への切り替えを実施している^{2,4)}。表-3に各塗料タイプとVOCの関係を示す⁵⁾。このように欧州の現状規制値60 g/m²をクリアするには溶剤型ハイソリッドでも達成可能であるが、最終目標をクリアするにはハイソリッド化の他に中塗りまたはベースコートの脱溶剤化は不可欠になる。またドイツTA-Luft並みの規制35 g/m²をクリアするためには中塗り、ベースコートの脱溶剤化は不可欠になる。このためドイツでは今や既存塗装設備を含め、中塗り、ベースコートの水性化、クリアーの2Kハイソリッド化は標準的なプロセスになっている。表-4、表-5に欧米における代表的自動車メーカーのVOC対策の実態を示す。

ここで特徴的なのは、欧州では水性中塗り、水性ベースコートが主流であるのに対して米国ではパウダー中塗りの採用が多数見られる点である。

欧州ではベースコートまでの水性化はほぼ完了し、今後はクリアーコートのパウダースラリー化、パウダー化、水性2液化の3方向が検討され、VOC排出量の更なる低減が行われている。表-5に示すとおり、BMWはパウダー、ダイムラー・クライスラーはパウダースラリー、アウディは水性2液の方向を目指している。塗料の循環・再利用という観点(理論的塗着効率100%)からは将来はパウダーまたはパウダースラリー(次世代タイプ)が中心になると見られている。

Table 4 Countermeasure against VOC

Country	Regulation	Primer	Base coat	Clear coat
Germany	DC BMW	WB	WB	HS or PS
		WB	WB	P
UK		WB	WB	HS
USA	RACT	HS	HS	HS or SHS
	BACT	HS	WB	MS or HS
	LAER	WB or P	WB	P
	LEPC	P	WB	P or PS
Japan		WB	WB	HS or SHS

WB : Waterborne MS : Medium solid HS : High solid

SHS : Super high solid P : Powder PS : Powder slurry

Table 5 Trend of car-body painting technology

(Table 5 は本誌の 1 ページ目にカラー写真を掲載しています)

水性中塗り，水性ベースコートは既存設備の改造により VOC を低減する有効な手段であるが，これまで国内での適用例は必ずしも多くなかった。その原因は，塗装外観が温度・湿度の影響を受けやすいため肌荒れやタレが発生しやすく厳密なブースの温度・湿度管理が要求され，高温多湿な日本には技術的・経済的に不向きであったことにある。またプレヒートも大きな課題である。しかし，これらの課題は塗料組成，塗装技術，空調技術の改善が進み，今日実用レベルに達している。今後数年間で国内自動車塗装ラインの水性化比率は確実に高まると予想されている。国内では初めて水性中塗り，水性ベースコートを本格的に導入したホンダ鈴鹿新塗装ラインではすでに VOC 20 g/m² を達成している。ベースコートにおいては，米国でハイソリッド塗料が多く使用されているが，VOC 低減効果と高意匠性の両立が可能な水性塗料は有利である。

ダイムラー・クライスラーの Rastatt 工場でメルセデスベンツ A クラスに採用されている水性ウェット・オン・ウェットプロセスはエネルギーコスト低減において，非常に意味がある。ここで

は電着焼付け後，中塗り兼用ベースコートとクリアーは同時に焼き付けられている。

3.2 パウダー化の最近の動向

VOC ゼロへの最後の決め手はパウダーであると考えられている。表-6 に欧米の自動車パウダー塗装の現状を示す。とくに北米において中塗りパウダー化の動きが顕著である。北米における中塗りパウダー化が欧州で普及しない理由に，その塗装仕上りが挙げられる。元来パウダー中塗りにはトラック用に耐チップング性重視で採用され，欧州の高級車塗装には平滑さの点で受け入れられ難いのがその理由である。しかし，最近，フランスの PSA は多色パウダー中塗りを採用し，大衆車向けではあるがパウダー化の動きも見られるようになっている。

パウダークリアーでは 1997 年から BMW が Dingolfing 工場でその採用を開始，今後予定されている Leipzig 工場，Regensburg 工場，Spartanburg (米国) の新設クリアーラインは全てパウダー化が決定している。また，パウダー塗装には以前からガンタイプのアトマイザーが使用されていたが，塗着効率・膜厚均

Table 6 Powder coating reference for automotive industry

Company	Assembly Plant	Vehicle	Paint Layer	Launch Date	Supplier Equipm.	Supplier Appl.	Type of Applicators	No of Applicators
General Motors	US/Shreveport	Pick up trucks	Primer	1992	George Koch Sons	Nordson	Gun	27 Guns
General Motors	US/Linden	Pick up trucks	Primer	1993	Gallego Kaiser	Nordson	Gun	27 Guns
General Motors	US/Moraine	Pick up and van	Primer	1993	Duerr	Nordson	(Gun), Bell (1998)	(27 Guns)
Daimler Chrysler	US/Sterling Heights	Car Bodies	Primer	1994	Duerr	Nordson	Gun	26 Guns & 18 Bells
Scania	S/Oskarshamn	Truck	Primer	1995	ABB	Sames	Gun	10 Guns
Daimler Chrysler	US/St. Louis South	Minivan	Primer	1995	ABB	Nordson	Gun	
Daimler Chrysler	US/Windsor	Minivan	Primer	1995	Haden	Sames	Bell	
General Motors	US/Baltimore	Van	Primer	1995	Haden	Nordson	Gun	27 Guns
Daimler Chrysler	US/Jefferson North	Van	Primer	1996		ABB/Sames	Gun	
Daimler Chrysler	A/Graz	Minivan	Primer	1996	Eisenmann	Sames	Bells	14 Bells
LEPC	US/Wixom	Variable/Test Fac.	Clear Coat	1996	ABB/Nordson	ITW Gema	(Gun), Bell (1998)	(27 Guns), 13 Bells
Volvo	S/Udevalla	Car Bodies	Clear Coat	1996		Nordson	Gun	10 Guns
Daimler Chrysler	US/Dodge City	Pick up	Primer	1996		ABB/Sames	Gun	
Daimler Chrysler	US/Newark	Sport Utility	Primer	1997		ABB/Sames	Gun	
Daimler Chrysler	US/St. Louis North	Pick up	Primer	1997	ABB/Nordson	ABB/Sames	Gun	
Daimler Chrysler	US/Belvidere	Car Bodies	Primer	1997		ABB/Sames	Bell	
MCC	F/Hambach	Car Bodies	Top Coat	1997	Eisenmann	Wagner	(Gun), Bell (1998)	(4 Guns), 2 Bells
BMW	D/Dingolfing	Car Bodies	Clear Coat	1997	Duerr/Eisenmann	Gema	Gun	22 per line (2)
General Motors	US/Oklahoma	Car Bodies	Primer	2002	Duerr	Duerr	Bell	
PSA	F/Muehlhausen	Car Bodies	Primer	2003	Duerr/Haden	Duerr	Bell	
BMW	D/Leipzig	Car Bodies	Clear Coat	2004	Duerr	Duerr	Bell	
BMW	D/Regensburg	Car Bodies	Clear Coat	2004	Duerr	Duerr	Bell

Fig. 1 Powder bells at BMW Dingolfing (2002.08)
(Fig. 1 は本誌の 1 ページ目にカラー写真を掲載しています)

Fig. 2 Comparison of film thickness distribution on front hood
(Fig. 2 は本誌の 1 ページ目にカラー写真を掲載しています)

一性の更なる改善の観点からベルタイプのアトマイザーが使用され始めている。すでに BMW の Dingolfing 工場ではガンからベルへの置き換えが始まり、22 本のパウダーガンを一挙に 11 本のベルに削減することに成功している (図-1)。自動車ボディ塗装では平面部が多いため、塗装機 1 台当たり塗出量の大きいベルタイプのアトマイザーはメリットがある。また、図-2 に示すとおり、平坦面の膜厚均一性もベルタイプの方が高く、自動車ボディ塗装に適していることがわかる⁶⁾。

パウダースラリーはパウダーを水に分散したスラリー状の塗料で、ダイムラー・クライスラーの Rastatt 工場でメルセデスベンツ A クラスのクリアーに初めて採用され今日にいたっている。その間、品質の改善が塗料メーカーによって精力的に行われ、平滑度と耐スクラッチ性、耐薬品性が向上した“第 2 世代パウダースラリー”が実テスト的に投入され始めている。本パウダースラリーはその塗料組成故、従来の水性塗料とは異なる流動性を示すため、塗装機サイドからは更なる微粒化向上対策が必要になる。

従来のパウダースラリーはパウダーと異なり、水性塗装の一種である。したがって焼付け時のワキ発生を抑えるため、最大膜厚は 50 μm 以下に設定されている。しかしスラリー中のパウダー自身の粒径が比較的大きく、塗膜に十分な平滑性を与えるためには膜厚をさらに増やす必要があり、その点限界があった。1997 年の Rastatt 工場でのパウダースラリー導入以来、ダイムラー・クライスラー社でその技術の水平展開が行われなかったのはそこに大きな理由がある。第 2 世代パウダースラリーはその課題の解決が期待されている。

一方、プロセス的には循環・再利用可能なパウダースラリー塗装システムの開発が残された課題となっている。現在、パウダースラリー自身の再利用は可能であるが、回収プロセス中での泡の発生が大きく、その問題の解決が不可欠である。

水性 2 液クリアーは、塗料性能的には溶剤系 2 液クリアーと同じレベルに達している。現在ネックになっているのは硬化剤であるイソシアネートの水性ポリオール樹脂への混合である。混合が良いほど硬化後の塗膜物性が優れることから、高圧混合装置 (ジェットストリームディスパー) が必要であり、スペース的に不利である⁷⁾。塗料 (樹脂)、装置の両サイドからの改善により、そのコンパクト化が進められている。国内でも自動車メーカーの中に採用検討の動きがある。

4. 今後の VOC 規制の動向

TA-Luft を例にとると、それは普遍的なものではなく、技術水準・環境状態に連動する“能動的 (Dynamic) 規制であることが解る¹⁾：

- 損害防止ではなく積極的な予防
- 現状の維持 (保全) ではなく積極的な処置
- 個々の要因潰しではなく総合的監視
- VOC の拡散・希釈対策ではなくその要因そのものへの処置
- 硬直化しない能動的規制
- 現状技術の容認ではなく技術の将来展望による規制
- 経済状況 (好況・不況) に依存しない状況に応じた柔軟な規制

現在 TA-Luft では新設ラインについては 35 g/m² という規制が行われているが、今後の脱溶剤型塗料の開発次第によってはさらにきびしい VOC 規制が行われることも十分予測される。

規制の強化とともに、塗料材料の見直しだけでなく塗装工程 (プロセス) そのものの見直しも必要になってくる。たとえば塗料原単位を低減させるため、メタリックベース第 2 ステージへの高塗着効率塗装機 (メタベル) の設置、さらには中塗り省略形塗装システム (LCCC : Low Cost Conversion Coating) の実用化が欧州でも精力的に行われている⁸⁾。

5. 終わりに

以上 VOC を中心にした欧米の自動車塗装における規制と技術動向をまとめてみた。その結果感じることは、脱溶剤系塗装は自動車塗装において大きな潮流になっていることである。一方、水性、パウダーともに国内では経済性の点でまだ克服すべき課題は多く残されている。経済性を維持しながら VOC などの環境問題を解決することは技術立国であるわが国の使命であるともいえる。わが国最大の基幹産業である自動車、その塗装というごく限られた分野においても地球環境保護のため、塗料、塗装技術者の使命は大きい。

文 献

- 1) D. Ondratschek : Tachenbuch fuer Lackierbetrieb, Vincentz Verlag (1997)
- 2) 山辺秀敏, グンター・ベルナー : 色材, **71** (12), 794 (1998)
- 3) H. Yamabe, G. Boerner : Preprint Coating for Asia 99, (1999)
- 4) H. Yamabe : Surface Coating International Part 1, 85, 68, (2002)
- 5) 住友靖夫 : 平成 8 年度色材協会中部支部講演会予稿集
- 6) BMW 社技術資料
- 7) 桐原修 : 平成 13 年度第 1 回講演会“新世代の水性塗料・塗装技術”講演予稿集 P 8, 日本塗装技術協会
- 8) DuPont Herberts 社技術資料