難燃材料の規制動向と開発の方向性

大 越 雅 之

The Trend and Development of Flameretardant Material

Masayuki OKOSHI (Department of Toyama Prefectural University, 5180 Kurokawa, Imizu-shi, Toyama 939-0398, Japan) okoshi@pu-toyama.ac.jp

In the world each country's regulations and labels provide glimpses not only of safety but also of establishing strategic trade barriers for each country's products. This report shows the current status of flame retardant regulations, countermeasures and the future of flame retardant materials.

(Received on December 17, 2019)

Key Words : Flameretardant Material , Regulation, Label

1. は じ め に

近代難燃化の歴史は、1786年フランスの劇場火災に端を発し、繊維の難燃化から開始された。18世紀にゲーリュサックが劇場の緞帳の難燃化に取り組み、硫酸アンモニウム処理を発見。20世紀に米国空軍が酸化アンチモンと塩素化パラフィンの組み合わせを発見し、ナイロン繊維に応用した。このナイロンの難燃化が、現在最も難燃効果の高い「臭素系難燃剤と酸化アンチモンの併用」の起源となる¹⁾。しかし、近年、化学物質の安全性という観点から、特定臭素2種類がRoHS (Restriction of Hazardous Substances) 指令6物質の1物質となり、使用が控えられてきた²⁾。「化学物質としての難燃剤」は、一時期EUでハロゲン系の使用が控えられた時期があったが、家電の発火事故及びコスト増加から見直しが進んだ。このような化学物質規制一辺倒の考え方に対し、災害を考慮した「リスクトレードオフ」という概念が出現し始めたのが現状である³⁾。

1.1 難燃化の効能

家財や装置など燃えにくくすることにより、着火してしまった「財」そのものの延焼を遅延させるとともに、他財への「もらい火」を防止し、避難する時間を稼ぐ効能がある。例えば、プラスチックに熱が加わると、溶けて燃えること

で延焼面積を拡大させながら火災が広がる。その対策として、プラスチックを難燃化することにより、延焼面積の拡大を低減させ、火災を抑制させることが可能となる。具体的な事故例として、2015年6月30日東海道新幹線「のぞみ」及び7月31日「さんふらわあ だいせつ」の火災事故など、いつどこで火災に遭遇するか不明である。避難時間を稼ぐための予防措置として、難燃化は必要不可欠な技術の1つである。

2. 難燃剤種類と効果

難燃剤一覧を表1、2に示す。大別すると3種類となる。

①ハロゲン系；臭素系を中心とした臭素化芳香族化合物が主となる。酸化アンチモンとともに用いられる。

②リン系；リン酸エステルを中心とした縮合系が多いが、ゴムの場合は、赤燐やポリリン酸アンモニウムが用いら

大越 雅之；山口大学 客員教授、富山県立大学 招聘研究員、富士ゼロックス(株) シニアマネージャー。2003年、京都工芸繊維大学 先端ファイブ科学 後期博士過程 修了。1994年－1999年、昭和電線電纜(株) 研究員。1999年－2003年、(株)関西新技術研究所 シニア研究員。2003より現職。専門は、難燃性、高分子化学、難燃材料研究会 会長。

表1 臭素系及びリン系難燃剤一覧

臭素系	PBDE系	PBDE
	TBBA系	TBBA, TBBAエボキシ, TBBA-PC, TBBA-DBP
	多環芳香族系	ビス (ペンタブロモフェニール) エタン, 1, 2ビス (2,4,6トリプロモフェノキシ) エタン, 2,4,6トリス (2,4,6トリプロモフェノキシ) 1,3,5トリアジン2, 6or2,4ジプロモフェノール, ホモポリマー
	臭素化PS系	臭素化PS, ポリ臭素化PS
	フタル酸系	エチレンビステトラプロモフタルイミド
	環状脂肪族系	HBCD
	その他臭素系	HBB, ペンタブロモベンジールアクリレート
	塩素系	塩バラ, デクロラン, クロレンド酸, 無水クロレンド酸
	現用難燃系 (相乗効果)	三酸化Sb + 臭素系, 塩素系難燃剤, 硼酸亜鉛, 硫化亜鉛, 錫酸亜鉛, 酸化Mo
リン系	芳香属リン酸エステル	TPP, CDP, TCP, TXP, トリス (t-ブチル化フェニール) フォスフェート, トリス (i-プロピル化フェニール) フォスフェート, 2-エチルヘキシルジフェニールフォスフェート
	芳香属縮合型リン酸エステル	BDP, RDP, 1, 3フェニレン, ビス (ジフェニールフォスフェート)
	含ハロゲンリン酸エステル	トリス (ジクロロプロピール) フォスフェート, トリスクロ (β-クロロプロピール), トリスクロエチールフォスフェート, 2,2'-ビス (ジクロロメチール) トリメチレン, ビス (2-クロロエチール) フォスフェート
	Intumescent系	リン酸アンモニウム (APP)
	赤燐	各種コートタイプ,
	その他	リン酸エステルアミド等

表2 無機系, その他難燃剤一覧

無機系	水和金属化合物系	水酸化アルミニウム, 水酸化マグネシウム
	無機酸化物その他助剤系	アンチモン化合物, 硼酸亜鉛, 錫酸亜鉛, Mo化合物, ZrO ₂ , 硫化亜鉛, ゼオライト, 酸化チタン
	ナノフィラー系	MMT, ナノ水和金属化合物, シリカ, カーボンナノチューブ
	低有害性ガス, 低発煙性ガス化用	微粒子炭酸Ca, 炭酸金属塩, 水和金属化合物, 銅酸化物, 酸化鉄, フェロセン, 有機金属化合物
その他	シリコン化合物	
	ヒンダードアミン化合物	
	窒素化合物	メラミンシアニユレート, トリアジン化合物, グアニジン化合物
	有機金属化合物	エチレンジアミン4酢酸銅, パーフルオロブタンスルホン酸カルシウム
	黒鉛	膨張性黒鉛

表3 難燃機構と難燃剤種類の分類

	ハロゲン		ノンハロゲン		
	ハロゲン + アンチモン	ハロゲンのみ	リン系	金属水酸化物	その他 (例, シリコン)
気相 (吸熱or不活性物質)	○	×	×	○	×
固相 (チャー)	×	×	○	×	○
ラジカルトラップ	◎	○	△	×	×
効果 (例, PPに25Phr添加時)	V-0	V-2	V-2	HB	HB

*○：効果あり, △：少々効果あり, ×：効果なし

れる。

③無機系：金属酸化物（水酸化アルミニウム, 水酸化マグネシウム）が中心となり, ゴム, オレフィンには多量添加配合が用いられる。

それらの効果一覧を表3に示す。UL-94とは, UL規格に準拠したプラスチック材料の燃焼試験である。その中で, 一般的なのはV試験（垂直接炎）であり, レベルの高い順からV-0>V-1>V-2>HB（HBのみ水平燃焼試験）と等級付けされている。

・ハロゲン単独でもV-2止まり

ハロゲンと酸化アンチモンの組み合わせは, 最も効果の高い難燃剤として, 幅広い産業で使用されている。しかし, 酸化アンチモン抜きでは, ハロゲンもその効果が

半減する。例えば, PPにハロゲンのみ25質量部添加した場合は, V-2レベルだが, 酸化アンチモンと併用することで同じ添加量25質量部で, V-0レベル達成が可能となる。

・単独作用機構のみでは難燃化は困難

V-0レベルの難燃性を獲得しているのは, 気相とラジカルトラップで双方の難燃機構を兼ね備えたハロゲンと酸化アンチモンの併用系のみである。その他の系は, 単独, もしくはやや併用効果があるものに対しては, V-2レベルの難燃性であった。例えば, ラジカルトラップ機構のハロゲンのみをPPに25質量部添加することでV-2レベル, 固相とややラジカルトラップ効果があると考えられるリン酸エステルでもV-2レベルであった。よって, 単

独作用機構のみでは高難燃化は困難であることがわかる。

現在のところ難燃剤で難燃効率が高いものはハロゲンと酸化アンチモンの併用系である。しかし、ハロゲンは特定臭素化合物の使用制限があり、特には事務機器についてはブルーエンジェルマーク (BA) にて外装カバーに臭素系難燃剤を含有した難燃樹脂材料の使用制限がある。さらに酸化アンチモンは、化学品の危険有害性 (ハザード) ごとに分類基準及びラベルや安全データシートの内容を調和させ、世界的に統一されたルールとして提供するGHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) で発がん性の懸念が指摘されている⁴⁾。GHSは化学品の危険有害性を世界的に統一された一定の基準に従って分類し、絵表示等を用いてわかりやすく表示し、その結果をラベルやSDS (Safety Data Sheet: 安全データシート) に反映させ、災害防止及び人の健康や環境の保護に役立てようとするものである。

3. 規 制 の 現 状

EUから1990年代の半ば以降、RoHSやWEEE (waste electrical and electronic equipment) 指令に代表されるEU指令や、環境ラベルの認証機関であるブルーエンジェルマークやノルディックスワンが、難燃樹脂材料に関して、使用禁止や厳しい使用制限を設定した。その中でもEUで注目すべき規制は下記3つである。

- ・CLP規則 (Regulation on Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures)
- ・REACH規則 (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of CHemicals)
- ・EU RoHS指令 (DIRECTIVE 2011/65/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment)

3.1 規制

3.1.1 CLP規則

CLP規則は、GHSをベースとしたEUにおける化学品の分類であり、表示、包装に関する規則である。高いレベルでの健康及び環境の保護を確実なものとするとともに、物質と混合物そしてある種の物品 (アーティクル、成形品) の自由な物流を確実なものとすることを目的に2009年1月20日に施行された。欧州レベルで合意された分類を「調和された分類」といい、Reach規則と深い関係がある。難燃剤取り扱い事例としては、BDP ((1-methylethylidene) di-4,1-phenylene tetraphenyl diphosphate) が2011年2月にUK当局がCLH (harmonised classification and labelling) 届出書をECHA (The European Chemicals Agency) に提

出し、CLP第6次改正案 (ATP-6) として議論され、2014年6月に「no classification」として官報公示された。

3.1.2 REACH規則

人の健康と環境を高い次元で保護し、EU域内市場が効率的に機能するよう促し、EU化学産業の競争力を高めることを目的としている。その流れは、①登録、②評価を経て、Whiteなら規制なし、Blackなら③認可、もしくは制限となる。

①登録：事業者が情報収集と登録のための評価

②評価：当局による登録情報の評価

評価の際、CoRAP (the Community Rolling Action Plan) とRMOA (Risk Management Options Analysis) があり、RMOAの方が早めに決まる。例えば、フタル酸エステル混合物 (1,2-benzenedicarboxylic acid, di-C6-10-alkyl esters; 1,2-benzenedicarboxylic acid, mixed decyl and hexyl and octyl diesters with $\geq 0.3\%$ of dihexyl phthalate) は、RMOA 2014年12月に収載され、2015年6月に認可対象候補物質に指定された。その高懸念物質をSVHC (Substances of Very High Concern) という。

③認可、制限：人や生物に非常に高い懸念がある物質の位置づけ

認可は、原則、製造・輸入・使用禁止とし、認可申請書を提出して許可された用途に限り使用可能となる。制限は、対象物質に対して規制となる。

難燃剤としての近年の事例としては、CoRAPとRMOAでは、下記物質が挙げられている。TCEP (tris (2-chloroethyl) phosphate), TCPP (tris (2-chloro-1-methylethyl) phosphate), TDCP (tris [2-chloro-1- (chloromethyl) ethyl] phosphate), TPP (Triphenyl phosphate), RDP (resorcinol bis (diphenylphosphate)) などである。

3.1.3 EU RoHS

電子・電気機器における特定有害物質の使用制限についてのEUによる指令であるが、指令であって規則ではないので、罰則規定はない。また、EUのみでなく、中国、韓国、トルコなどそれぞれの国でのRoHSがある。既存の使用制限物質は6物質であり、鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニル (PBB)、ポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE) などである。その最大許容濃度は、カドミウムのみ0.01 wt%、その他は0.1 wt%である。2019年からの追加の使用制限物質は、フタル酸エステル類4物質 DEHP (Bis(2-ethylhexyl) phthalate), BBP (Butyl benzyl phthalate), DBP (Dibutyl phthalate), DIBP (Diisobutyl phthalate) であり、許容濃度は0.1 wt%である。また、現状検討に挙げられた物質としては、Pack-15使用制限物質 (RoHS指令 Annex II) として、難燃剤では三酸化アンチモン、TBBPA (Tetrabromobisphenol A)、中鎖塩素化パラフィンの3種類である。

4. エコラベル

EUエコラベルは、4種類EU Ecolabel (EU Ecoflower), Nordic Swan, Blue Angel (BA), TCO (The Swedish Confederation of Professional Employees)である。私見だが、この中で注意を要するのは、ドイツのBlue Angelであり、複写機等の電子電機製品の外装カバーに臭素系難燃剤と三酸化アンチモンの不使用を推奨している。例えば事務機器の場合は、BAの施行以前には、アクリロニトリルブタジエンコポリマー (ABS) に臭素系難燃剤と酸化アンチモンの併用系難燃樹脂材料を使用していたが、BAの施行後にはマトリックスポリマーを難燃性の高いポリカーボネート (PC) ベースに変更し、マトリックスポリマーの難燃性を嵩上げし、さらにリン酸エステルを多量配合することで、V-0レベルのPC/ABSを使用しているのが現状である。ただ価格としては、臭素系ABSの方がPC/ABSより安価であり、その負担は製品価格に反映され、消費者が負担している。その他のラベルは、ビジネス上大きなインパクトはないが、注意は必要と思われる。EU全体としては、EU Ecoflowerによりラベル統一をしようと会議は重ねているが、大きな進展はない。

5. その他規制動向

5.1 Circular Economy

資源の希少性が産業競争力の低下につながることを防ぎ、新しい雇用機会を生み、製造と消費のありかたに革新を生み出すことを目的に、2015年12月に欧州委員会が採択した。具体的な動きとしては、2030年までにEU域内で使用される全てのプラスチック製の容器や包装材をリユース、またはリサイクル可能なものにし、使い捨てプラスチック製品を削減したいとの目標設定。その中でSVHC (substances of very high concern; 高懸念物質) 含有プラスチックのリサイクル性に対する議論が挙がっている。

5.2 米国での規制

トランプ政権による環境予算の半減により、環境規制は後退気味である。しかしながら、各州やNGOでの動きがあり、注意を要する。例えば、米国の環境NGO「Clean Production Action (CPA)」が開発した危険有害性評価手法のGreenScreenがあり、Hewlett-Packard社、または米国EPAがこの手法の一部をdecaBDE (デカブロモジフェニルエーテル) 代替プロジェクトに採用している。また、カリフォルニア州法AB-2998では、臭素系及びリン系難燃剤を用いない方向性も示されている。また、米国発信のEPEAT (電気製品環境評価) 制度が発令され、連邦政府機関では購入の95%がEPEAT登録製品であることが大統領令で求められている。必須項目とオプション項目に分かれており、オプション項目の中にリサイクル樹脂やバイオマス樹脂を使

用することが掲載されており、電子機器部品ではそれらの難燃化が必要な場合がある⁵⁾。

6. リスクトレードオフ

従来の化学物質安全のみを主眼としたリスクではなく、「多くの化学物質にはリスクがあるが、それ以外にも多くのリスクがある」という考え方であり、そのリスク評価・管理手法の1つとして、「リスクトレードオフ解析手法開発」がある。例えば、実際の火災統計データを基に難燃剤としてリン酸エステルを利用した場合の損害リスク低減 (死亡者、財産消失等を含む) は、14,000百万ドルに対し、全てのリン酸エステルが発がん性を持つと仮定したリスク増加は5,300百万ドル (死亡者、患者負担等を含む) である。よって、14,000百万ドル>5,300百万ドルであり、火災リスク低減が化学物質リスク増加よりも大きくなり、難燃剤使用によるメリットが勝る⁶⁾。ただし、この解析は開始されたばかりでデータ量の少なさ、分布の取り扱い等の検討課題がある。

7. 難燃樹脂の課題と将来

難燃材料に関する産業構造と技術の2つの側面から考察したことを下記に示す。

7.1 産業構造としての課題

難燃材料課題は、多くの日本の化学産業課題と同一である。難燃剤のリソースである臭素やリンは、輸入、もしくは現地生産となり外部リソースに依存している。臭素は、海水からも取得可能だが、塩湖からの採取が最も効率的である。しかしながら塩湖の所在は限られる。また、臭素と併用されるアンチモンも採取場所が限定され、かつ採取国による関税リスクが伴う。一方、リンも採取場所が限定され、かつ難燃剤用途よりも肥料という巨大、かつ戦略的市場が存在し、輸入制限がある。そこで、各メーカーは外部リソース依存による生産課題を克服するため、現地生産にシフトしているが、現地統制による関税、生産量制限及び技術流出などの課題がある。これら状況を解決するための手段の1つとして、難燃剤のみらいを世界動向と合わせて考えた。将来において、市場確保のためには、大きな構造転換が必要になると考えられる。それには従来の考え方の延長上ではなく、切り口の異なった概念にシフトが必要と思われる。例えば、既に先端的企業が取り組んでいる「モノ→コト」の概念がある。それは、簡潔に述べると「如何にして高付加価値を構築するか？」にある。その考え骨子は、従来通りの「モノを作る工程」と「コトで済ます空間」の融合が最も付加価値が高く、その実施が求められている。難燃材料の場合は、「モノ」そのものであるが、これを「コト」に融合できないか可能性を探索する必要がある。なぜなら、「コト」は「モノ」よりもより広範囲な使い方ができ

る。例えば、3Dプリンターは、「コト」である図面を基に、「モノ」であるアーティクルを作ることができる。その場合、最も価値があるのは図面であり、アーティクルではない。つまり、3Dプリンターは、「モノ」と「コト」を融合させる手段であり、その「コト」に最も付加価値がある。では、難燃材料の場合は、どのような融合があるのだろうか？ 難燃材料の「モノ」とは、難燃剤及び難燃化した材料であるとする、「コト」は、規格、難燃剤設計、製造ノウハウ等にあたる。これらの融合は、防災、防火サービスにあるのではないかと考えている。そのサービスとは、従来のコストパフォーマンス、技術情報提供及び安全情報提供ではなく、新サービスの必要がある。それは、技術におけるメカニズムに基づいた難燃剤設計指針、それに伴うリソースを含めた安全指針、それによりブランド化された品質と価格価値提供にあると考えている。例えば、従来の難燃剤の提供情報は、難燃剤Aを樹脂BにC%添加することでUL-94規格V-0獲得可能であるということであった。新サービスとは、最終製品への提供情報であり、例えば、その製品の製造工程での物性（流動性、金型転写性等）、製品付帯特性（環境安全性、外観等）、その難燃部材を用いた防火製品提供情報である。材料メーカーが最終製品提案してもよいという考え方だ。つまり、より川下産業への情報提供となる。単なる材料供給先にならぬよう技術情報等の付加価値を構築し、ブランド化された価値提供を通じ、国際社会における日本の難燃材料の優位性を確立する。

7.2 技術課題

日本の優位性確立のための1つの手段として、技術がある。日本の難燃化技術は世界レベルにおいて最も進んだ国の1つである。その中の技術的特徴を生かすことにより、より高度なサービス提供が可能と思われる。例として、樹脂メーカーは、セットメーカーに対して樹脂の成形性、安全性及び製品設計に踏み込んだ情報提供を実施してきている。それは、金型シミュレーションから、タップの立て方に至るまで、実に素晴らしいサービスであり、このようなサービスを是非「VITAMIN」（ヴェトナム、インドネシア、タイ、トルコ、アルゼンチン、南アフリカ、メキシコ、イラン、イラク、ナイジェリア）などの新興国を中心に実施頂き、日本ブランドの構築を早期に確立し、「刈取り」をして頂きたい。既に「刈取り」を実施している会社も多いが、その「刈取り」は、新興国に向けての当面の施策であり、将来に高付加価値構築のための技術障壁確立とは別建てで実施する必要がある。その前にわれわれの長所とはなにか？ 現状日本における難燃材料での技術的優位性を確認したい。そこには、高難燃性、低発煙性及び安全性があり、詳細を下記に示す。

7.2.1 高難燃性

日本では、高難燃性獲得のための技術追及のため、さま

ざまな検討がされてきた。特にノンハロゲン分野を中心に、水酸化マグシウムや水酸化アルミニウムの配合量を減量し、低コストと高機械的特性獲得を目的としたエコーブル用途⁷⁾、鉛リフロー性と高難燃性の両立を目指した半導体用途、輻射熱による高難燃性獲得を目的とした壁紙、難燃木材、難燃ボードなどの建材用途⁸⁾、耐熱性と高難燃性獲得を目的としたリン系難燃剤メーカーの縮合リン酸エステルの化学構造からのアプローチ⁹⁾、ナノ難燃剤検討¹⁰⁾など枚挙にいとまがない。

7.2.2 低発煙性

日本では、電線ケーブル分野における低発煙化にいち早くから着手し、商品化している。低発煙化は、火災における避難時の視野獲得及び発生ガス抑制に大きな効果がある⁷⁾。これらの技術を密閉空間である車両や船舶、そこに配置される機器に対して、拡大利用することで火災時の視野獲得と発生ガス抑制により、多くの人命が救済されと考える。実際の火災では、炎そのものの死亡者よりも、煙による視野不良や吸引ガスで亡くなる方が7割である¹⁾。普及課題として、安全とコストの両立があるが、材料と設計からの双方のアプローチ、効率的な空間設計によりトータルコストを抑制する必要がある。

7.2.3 環境安全性

日本ほど各国の安全基準を網羅している国はないのではないか？ それは、輸出のため、EU、米などのそれぞれの国の規格・ラベル及び各国間条約などを順守する必要があるからだ。次から次へと押し寄せる規制に対し、技術でクリアにしていく姿勢をつらぬいてきた。例えば、一部の縮合リン酸エステルでは、安全懸念のある不純物を低減し、高純度の品質を達成している。また、食品安全レベルと同等なリン系難燃剤を開発し、製品化するなど環境障壁に対して、技術で対抗してきた歴史がある。それらの開発設計及び製造技術を世界に向けて発信し、利益の最大化を目指す必要がある。

7.2.4 技術を生かすための課題

上記技術的知見を生かし、将来の日本としての市場及び技術優位性構築のためには、さらなる高付加価値化が必要となる。上記事項の組み合わせや深化が必要となる。これが高付加価値構築のための「将来投資」となる。経営効率としては劣るが、効率はさきほどの「刈取り」でまかない、効果は「将来投資」で獲得すればよいと考える。つまり、「モノコト」でいうところの「コト」を「刈取り」と「将来投資」という技術サービスで獲得する。それは、時間差で効率と効果の双方を獲得しようというものだ。企業にとっては、当たり前の戦略だが実施するのは生やさしいことではない。特に「将来投資」については、その規模や内容についてどのように実施するか課題が多い。特にその内容については、そのために下記の施策が必要となると考えてい

表4 難燃材料技術の期待される産業領域

		産業領域	
			具体例
4大技術 インパクト	IT	・ビッグデータ解析＜動画、センサー＞ ・SNS ・スマートシティ	・サーバ ・次世代ネットワーク電線 ・スマート機器
	健康関連技術	・遺伝子、細胞技術による疾病管理 ・シリコンベース診断技術 ・人間強化技術＜Human Augmentation＞	・介護用ベット／ソファ等家具 ・医療機器
	資源関連技術	・精密農業、遺伝子組み換え作物、水管理技術 ・バイオベースエネルギー、太陽エネルギー	・省エネルギーによる車両の樹脂化（CFRP→CFRTP） 航空宇宙、船舶、自動車、リニア等 ・電池周辺（カバー、基盤、電解液等） ・建材：不燃材料（木材、樹脂）
	自動化・生産技術革新	・ロボット技術 ・3Dプリント ・リモート・自動運転技術	・3Dプリンタ筐体等周辺 ・介護用ロボット ・軍事産業

る。効果を追求するには、急がば回れであり、根本的な難燃材料設計が必要となる。それと技術のみでなく、戦略的な高付加価値構築も並行し実施せねばならない。

・利益最大化の施策（ラベル、規格及び規制）

我が国は、電気、電子、車を世界に向けて生産している国であり、かつ消費大国でありながら、日本発の規格及び規制で世界標準であるものは少ない。規格及び規制は、ある面では貿易障壁となり自国利益の最大化を図る1つの手段でもある。例えば、日本では、カーボン繊維生産は世界の7割を占め、その応用製品の1つに飛行機がある。そのカーボン繊維を用いた航空機用機材の燃焼性については、FAA（アメリカ航空宇宙局）が主導しており、それが世界標準と認識されつつある。原料生産国のみで終止するのではなく、材料という特性を知るがうえで、規格を構築すべきと考える。今後、産業のアジアシフトはさらに促進する可能性があり、単なる原料や技術輸出にならぬよう、ラベル、規格及び規制を構築できる体制を整え、日本として利益の最大化を目指すべきと考える。

8. ま と め

各国規制やラベルは、安全性のみならず各国製品の戦略的貿易障壁構築という面も垣間見られる。日本は世界に先駆けて有害な化学物質による環境汚染を防止することを目的に1973年に化審法を制定した歴史がある¹¹⁾。日本としての技術革新と戦略的仕掛けが必要であり、「安全、安心」の確立のための高付加価値障壁を構築すべき時期に来ている。しかしながら、私自信が残念ながら将来象については洗練された考えでなく、シンプルに表現できていない。今

後も概念を抽出し、企業の皆さまに有用な情報を提供したい。人の命や財産を守る日本の難燃材料の発展を皆さまとともに歩んでいきたい。最後に、将来難燃材料の期待される分野を示す。米国総務省の4大メジャーインパクトから今後難燃材料の需要増加の期待される分野である（表4）。国内の難燃材料を取り巻く仕組みとしては、日本難燃剤協会（FRCJ）、臭素科学・環境フォーラム（BSEF）、難燃材料研究会（FRTECH）の3つがある。FRTECHは、技術を中心とし、国際学会、国内シンポジウム、教育講座を開講しており、URL（<http://www.fr-tech.jp/>）より参照願う。

References

- 1) *History of Polymeric Composites, A history of Halogenated Flame Retardants*, VNU Science Press, 1987
- 2) <https://www.chemical-substance.com/rohs/aboutrohs.html>, accessed 2019/12/02
- 3) <https://unit.aist.go.jp/riss/crm/mainmenu/4.html>, accessed 2019/12/02
- 4) https://www.nite.go.jp/chem/chrip/chrip_search/cmpInfDsp?cid=C004-660-28A&slScNm=CI_03_012&bcPtn=3, accessed 2019/12/02
- 5) <http://www.jaish.gr.jp/anzen/gmsds/1309-64-4.html> accessed 2011/07/20
- 6) Ni リン酸エステル難燃剤最適添加量に関する研究、二律背反型環境問題へのリスク最小化手法の適応、学位論文（東京大学）、2006; pp1-101
- 7) 大越雅之;西沢仁;伊藤政治;会田二三夫 *マテリアルライフ* **1999**, *11*, 26
- 8) <http://www5e.biglobe.ne.jp/~TC-net/FRTECH/OSIRASE/bunkakai.html>, accessed 2016/05/20
- 9) 山中ら *プラスチックエージ* **2007**, *52*, 134
- 10) M.Okoshi *Fire material* **2004**, *28*, 423
- 11) <http://www-cycle.nies.go.jp/magazine/syakai/20070618.htm>, accessed 2019/12/15

*

*

*

*

*