

臭素系難燃剤が屋内環境に及ぼすリスクとヒトが享受するベネフィット

Comparing the benefit and risk caused by the use of DecaBDE as TV flame retardant

○井上 知也 (横浜国立大学環境情報学府, 学生会員)・益永 茂樹 (横浜国立大学環境情報研究院, 非会員)
 ・中井 里史 (横浜国立大学環境情報研究院)・大谷 英雄 (横浜国立大学環境情報研究院, 非会員)

Tomoya INOUE, Shigeki MASUNAGA, Satoshi NAKAI, Hideo OHTANI
 (Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University)

Abstract In this study, we focused on risk trade-off between health risk and fire risk of DecaBDE, a known brominated flame retardant, used in television sets, and tried to quantify these risks for comparison. We conducted a cost benefit analysis considering human health impacts of DecaBDE use on indoor environment and both economic and health damage by TV fires. The results suggested that net benefits of DecaBDE use were positive under two most realistic scenarios.

Keywords : Brominated Flame Retardants, DecaBDE, Cost Benefit Analysis, Risk Trade-off

1. はじめに

90年代初頭のEUでは、火災安全性よりも環境安全性を重視した樹脂製造業者が、TV 筐体に難燃剤 Decabromodiphenyl ether (DecaBDE) を使用しなくなったために TV 火災件数を増大させるという事例が報告されている¹⁾。それに対して日本では、テレビ火災は33件/年(H16-19年平均)²⁾であり、製品火災の中でも頻度が多い方ではなく、多くのTV火災が未然回避されていると考えられる。我々は難燃剤を用いて火災回避することで、潜在的に、大きなベネフィットを享受しているのである。

屋内環境での使用に伴い、日本においてもハウスダスト中のDecaBDE検出例がこれまで数多く発表されてきたが³⁾、2008年、中西らはDecaBDEの詳細リスク評価を行い、リスクは懸念されるレベルにないと結論付けた⁴⁾。また、EUのリスク評価でも同様の結論が示された⁵⁾。しかし、DecaBDEを使用した際のベネフィットとリスクを比較した研究はない。

そこで本解析では日本で潜在的に回避されているTV火災数を推定し、DecaBDEが屋内環境でヒト健康に及ぼすリスクとの定量比較を行った。難燃剤入りとなしの製品を選択できるとした場合、回避できるリスクは火災、受けるリスクは室内空気・ダスト汚染による健康リスクとなる(環境経由の曝露は製品選択によって回避できない)。よって本解析は難燃剤含有製品の購入選択におけるコストベネフィット分析である。

2. 評価方法

まず、1990年当時の日本製TVはすべてDecaBDEが付加された“難燃TV”だったと仮定した(ヒト健康影響を大きく見積もる)。ベネフィットは難燃TVと非難燃TVの火災率データから推定した。また、

コスト(=リスク)はDecaBDEのコストとヒト健康影響を考慮した。そして、分布を持つパラメータを結果に反映させるため、モンテカルロシミュレーションを導入して計算を行った。

3. コストベネフィット解析(CBA)

3.1 解析シナリオ

TVのライフサイクル(製造、使用(曝露、火災)、廃棄)を10年として評価した。また、難燃化を施したTVの市場への広がりとは定常状態を設定した。

3.2 ヒト健康影響の考慮

Washingtonモデル⁶⁾(Table 1)を用いてリスクの定量化を試みた。なお、Washingtonモデルを用いてヒト健康影響を非常に過大に見積もった。日本への外挿には(1)式を用いた。また、DecaBDEの摂取状況の屋内環境の寄与を考慮するために屋内空気の吸入摂取、ハウスダストの経口摂取割合をそれぞれ全体曝露量の15%、17%と設定した⁴⁾。

$$Effect_{JP} = Effect_{WA} \times \frac{Deca_{TV}}{Deca_{E\&E}} \times \frac{Deca_{E\&E}}{Deca_{ALL}} \times \frac{TV_{JP}}{TV_{WA}} \dots (1)$$

($Effect_{JP}$, $Effect_{WA}$: 日本, ワシントン州のヒト健康影響, $Deca_{ALL}$, $Deca_{E\&E}$, $Deca_{TV}$: 米国(ワシントン州と同様と想定)におけるDecaBDEの全使用量, E&E中用量, TV筐体中用量, TV_{JP} , TV_{WA} : 日本, ワシントン州のTV保有台数)

Table 1 Extrapolating the human health risks estimated in Washington state model into Japan

Washingtonモデルによる計算	ヒト健康影響	人数	定量指標	年価値換算	コスト換算値(2005年値)
	がんによる疾患	5	US\$ ₂₀₀₄ 26,976	1.034	US\$139,466
	がんによる死亡	4	¥ ₂₀₀₅ 350,000,000	1.000	¥1,400,000,000
	甲状腺機能低下に伴う治療	2,400	US\$ ₂₀₀₄ 7,940	1.034	US\$19,703,904
	無症候性甲状腺機能低下症	30	US\$ ₂₀₀₄ 7,940	1.034	US\$246,299
	IQへの影響	210	US\$ ₂₀₀₀ 14,500	1.134	US\$3,453,030
	電子機器代替の遅延 [-]			0.87	
	疾患の遅延 [-]			0.91	
WV-JPへ外挿	US\$ ₂₀₀₅ →¥ ₂₀₀₅	130 ¥ ₂₀₀₅ / US\$ ₂₀₀₅ (一人当たり購買力平価ベース GDP 比)			
	$Deca_{TV}/Deca_{E\&E}$	0.80 ⁷⁾ (±10%の二様分布を仮定)			
	$Deca_{E\&E}/Deca_{ALL}$	0.97-0.98の二様分布 ⁸⁾			
	TV_{WA} (1990年)	中央値: 26.8 (million TV) ⁹⁾ (±10%の二様分布を仮定)			
	TV_{JA} (1990年)	1.98 (台/世帯) ^{**} × 4.067 × 10 ⁷ (世帯) ^{***} = 8.05 × 10 ⁷ (台)			

* 世帯当たりTV保有率は米国各州同じと仮定し、2008年U.S. Census Bureau⁹⁾から推定した
 ** 内閣府「消費動向調査」 *** 総務省「世帯数統計データ」 注) 網掛けは分布をもつデータ

4. 想定シナリオとパラメータ

本解析で想定した5つのシナリオと複数のパラメータをそれぞれ Table 2, Table 3 に示した。一年あたりのコスト (C), ベネフィット (B) の現在価値は、下記算出式を組み合わせることで導出した。

<コストの算出式>

$$C = \text{DecaBDEの消費コスト} \times \text{TV保有台数} / 10$$

<ベネフィットの算出式>

(a) ヒト健康影響を考慮する場合

$$B_{(a)} = (\text{犠牲者} \times \text{VSL} + \text{負傷者} \times \text{火災負傷者治療コスト}) / 10 - \text{ヒト健康影響コスト}_{\text{from Table 3 計算結果}}$$

(b) (a)に住宅火災のコストを考慮する場合

$$B_{(b)} = B_{(a)} + (\text{回避された住宅火災率} \times \text{TV保有台数} \times \text{住宅の値段}) / 10$$

(c) (a)に小規模火災のコストを考慮する場合

$$B_{(c)} = B_{(a)} + (\text{回避されたTV火災率} \times \text{TV保有台数} \times \text{火事の平均コスト}) / 10$$

5. 解析結果と考察

10万回試行のモンテカルロシミュレーションの結果、5つのシナリオ全てにおいて、正味のベネフィット

Table 2 Scenarios for our CBA calculations

シナリオ	割引率の考慮	ヒト健康影響の考慮	住宅火災コストの考慮
1	なし	あり	なし
2	あり	あり	なし
3	あり	なし	あり
4	あり	あり	あり
5	あり	あり	間接的 (保険)

Table 3 Parameters for calculation, and its distributions

パラメータ	本解析使用データ (すべて2005年値を想定)	採用理由
DecaBDEのコスト	¥260~390 / TV の一様分布	参考文献 10)
確率的生命価値 (VSL)	5%tile, 50%tile, 95%tile がそれぞれ ¥210, 350, 510 million のワイブル分布	参考文献 11) にワイブル分布を適用
ヒト健康損失コスト	Table 1 を参照	—
火災負傷者治療の平均コスト	中央値: ¥27 million, 95%tile: ¥36 million の正規分布	参考文献 12)13)14) を基に推定
割引率 (Discount rate)	0.03~0.10 が分布の95%範囲に含まれる対数正規分布 [0.03, 0.10]	参考文献 15)
TVの寿命	10年	様々な文献より仮定
回避犠牲者率	0.696 人/年/million TV	参考文献 16)
回避負傷者率	8.70 人/年/million TV	参考文献 16)
回避された住宅火災率	11 / million TV/年	参考文献 16)
住宅1棟あたりの平均値段	中央値: ¥35 million, 5%tile: ¥10 million の対数正規分布	参考文献 17)
回避されたTV火災率	107 / million TV/年	参考文献 16)
火事1件あたりの平均コスト	中央値: ¥0.975 million ; 感度を見るために、10%の範囲をもつ一様分布	参考文献 16)

参考文献 ¹⁾ Stevens, G.C. et al. (1999) DTI report: URN 98/1026. ²⁾ Fire and disaster management agency, Research results of products fire. ³⁾ Takigami, H. (2009) Chemosphere, 76(2), 270-277. ⁴⁾ Junko Nakanishi, et al. (2008) AIST risk assessment document series No.23. ⁵⁾ ECB (2002) European Union risk assessment report: Bis (pentabromophenyl ether). ⁶⁾ Washington State Departments of Ecology and Health (2006) Washington State PBDE Chemical Action Plan: Final Plan. ⁷⁾ Chairman, APC E&E Work Group (2002) Presentation at EFC/EPA Region IX BFR Roundtable ⁸⁾ American chemistry council's brominated flame retardant industry panel for VCCEP (2003) Report of the peer consultation meeting on Decabromodiphenylether. ⁹⁾ U.S. Census Bureau (2008) Statistical abstract of the U.S.. ¹⁰⁾ 富士経済 (2005) 2005年 樹脂添加剤・コンパウンドのアジア市場の現状と将来展望(上巻) (樹脂添加剤編). ¹¹⁾ Tsuge, T. et al. (2005) J Risk Uncertain, 31(1), 73-95. ¹²⁾ Still, J. et al. (2000) J Burn Care & Rehabilitation, Sep/Oct, 403-405. ¹³⁾ DEFRA (2002) Contact ref: 16/13/33. ¹⁴⁾ Saffle, J.R. (1995) J Burn Care Rehabil, 16(3 Pt 1), 219-232. ¹⁵⁾ 内閣府(2007) 交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究. ¹⁶⁾ Simonson, M. et al. (2006) SP report 2006: 28. ¹⁷⁾ 住宅・不動産情報ポータルサイト「HOME'S」調査報告 (2009) <http://www.next-group.jp/press/pdf/20090528.pdf>.

ト分布は負の値を示すことはなかった (Fig.1). よって、過大なヒト健康影響を考慮したとしても“難燃性を付与することにより得られるベネフィット (火災犠牲者, 負傷者, 財産損失回避)”の方が“コスト (屋内環境中DecaBDEのヒト健康影響)”よりも大きいことが以下のように示された; ①日本人口を1.3億人人とすると年間我々は約580円/人の火災抑制のベネフィットを得ており (シナリオ3の中央値), ②ヒト健康影響はそのベネフィットを (大きく見積もったとしても) 約80円/人下げる程度であり (シナリオ3 ⇔4), ③住宅火災のコストが結果に大きな影響を及ぼしていた (シナリオ3, 4⇔他).

6. 結論

BFRs, 特にDecaBDEには環境リスクと火災リスクのトレードオフがあるとされ、これまで、様々なところで議論されてきたが、定量的な評価にまで踏み込んだものはなかった。

本解析では、リスクを出来る限り大きく (Washingtonモデル (生涯死亡リスクには 10^{-5} 以上を想定), 定常状態の設定), それに対しベネフィットは過小に見積もって計算を行った (火災発生後の現場周辺の環境汚染や消火コストを未考慮). このような制約に基づいたとしても、1990年代、実際に日本でTV筐体に付加されていたDecaBDEにより、我々は一年あたり約650~750億円以上の社会的ベネフィットを享受していたことが示唆された (シナリオ3, 4の中央値).

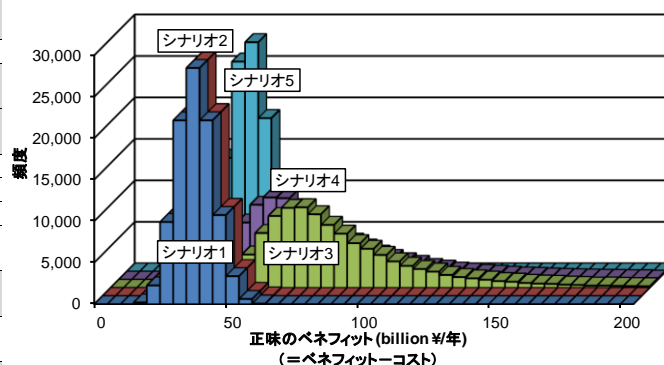


Fig. 1 Distribution of annual net benefits