

論文審査の結果の要旨

氏名 倪 悦勇

本論文は5章から成る。第1章では、緒言として二律背反型環境問題の特徴、解決に関する問題点について論じた。難燃剤の添加量問題を典型的な二律背反型環境問題として取り上げ、既往研究で明らかになっている知見を整理した。難燃剤は我々の生活に不可欠の化学物質である。ヨーロッパを中心とした臭素系難燃剤の規制により、今後リン酸エステルが主要な難燃剤として使われることが予測されている。リン酸エステル難燃剤最適添加量の評価は、健康リスクおよび火災リスクを同時に考えて行わなければならない。本研究は二律背反型のリスクを定量評価し、全体リスクの最小値を求めることにより、リン酸エステル難燃剤最適添加量問題を系統的に検討すること、またこのような二律背反型環境問題への取り組みの方向性を社会に提案することを目的としている。

第2章では、リン酸エステル難燃剤の健康リスク評価について述べている。既存のリン酸エステル難燃剤放散量測定法はコストが高く、感度が低いため測定現場での応用が難しいなどの欠点がある。本研究では簡便で、精度が高く、安価なリン酸エステル難燃剤放散量測定法として、Passive Flux Sampler法を確立した。回収率、再現性などの実用性と信頼性を、実験により確認した。本章は開発したリン酸エステル難燃剤放散量測定法を用いて室内材料や製品のリン酸エステル難燃剤の放散量を実測し、EU標準モデルルームのデータを用いて、曝露量評価を行い、得た曝露量および量-反応関係データを用いて患者数を計算し、支払い意思額（Willingness to Pay、以下WTP）データを用いて、リスクを金銭換算する健康リスク評価案を提案した。

第3章では、リン酸エステル難燃剤の使用により火災リスク低減評価について述べている。本章は難燃剤添加による死亡リスク、負傷リスク、財産損

失の低減に着目し、火災リスクの評価案を提案した。難燃効果の指標は自己消炎時間を使用し、量－反応関係は英国の火災統計データを用いて算出した。WTP および平均財産損失の統計データを用いてリスクを金銭換算する評価案である。

第 4 章では、評価方法の適用について述べている。既往研究から建材特に密度が低い壁材料は室内リン酸エステルを主な発生源だと考えられるため、本章は壁紙を応用例として、第 2、3 章に述べたリスク評価方法を用いて、健康および火災リスクを評価し、壁紙への TCP 最適添加量を算出した。難燃剤添加量別の壁紙サンプルからの TCP 放散量を測定した結果、添加量と放散量の間には正の相関関係が見られた。TCP 添加量 5% の壁紙サンプルを用いて、TCP 放散量の温度依存性を測定した結果、放散量の自然対数と絶対温度の逆数の間に正相関関係が見られ、高温で放散量が増加することを実験的に明らかにした。NOAEL (36mg/kg/day) から不確定係数 1000 を用いて算出した耐用一日摂取量 (TDI) を基準に曝露量評価したところ、壁紙への TCP 添加量が 20% 以下の場合、個人曝露濃度は TDI を超えないことを明らかにした。壁紙に TCP を添加することによる火災リスクの低減と健康リスクの増加を比較し、最小リスクを求め、誤差を評価した上、最適添加量は $12.5 \pm 2.5\%$ であると算出し、本研究で開発した最適添加量評価法の実用性を証明した。

第 5 章は本論文の結言である。以上で述べてきたように、本研究は全体リスクの最小値を求めることにより、リン酸エステル難燃剤の健康リスクおよび火災リスクの定量評価法、最適添加量評価法を開発した。本研究は二律背反型環境問題へのリスク最小化手法の適用研究であり、二律背反型環境問題の解決に貢献することが期待される。既存の研究例が稀少なこのような問題に対して、新たな知見を得ていることから、博士 (環境学) の学位を授与できると認める。