

論文審査の結果の要旨

氏名 貴志 孝洋

本論文は、「含フッ素消火薬剤の環境影響に関する研究」と題し、石油火災に用いられるフッ素系界面活性剤含有の水性膜泡消火薬剤 (AFFF) の環境影響を明らかにするために、AFFF の環境内運命についての解析と、低環境負荷消火薬剤開発の検討を目的として行なった研究の成果をまとめたもので、6章からなる。

第1章は序論であり、フッ素系界面活性剤などフッ素化合物に関連する環境問題の現状と既往の研究および消火と環境の関わりについて解説し、その中で本論文の目的と研究方針について述べている。

第2章では、AFFF の環境水中での挙動を解析するとともに、その分解生成物からフッ素系界面活性剤の生分解機構について検討している。AFFF の環境水中での挙動を解析するため活性汚泥法 (OECD-301C) に基づいた生分解性試験を行ない、経時変化を LC-MS を用いて観察した結果、AFFF から新しい環境問題である PFOS 問題の原因物質、パーフルオロオクタンスルホン酸 (Perfluorooctane Sulfonate、PFOS) が生成することを見出した。また、その後 30 日間継続して経時変化を観察したところ、この PFOS は分解されることなく、難分解性と高い蓄積性を示すことを明らかにした。これらのことから AFFF の環境水中への暴露が PFOS 問題の原因のひとつになり得ることを述べている。更に、モデル物質を用いた実験から、フッ素系界面活性剤からの PFOS 発生機構 (生分解機構) を提案するとともに、その他の PFOS 誘導體もまた環境水中に暴露されると、同様の機構で PFOS を発生する可能性を示した。

第3章では、AFFF の大気環境への影響について検討している。固定床流通系反応装置を用いて、フッ素系界面活性剤の燃焼実験を行ない、分解ガス、生じた粉じんの分析を行った結果、燃焼によって AFFF からフッ化水素および二酸化硫黄などの環境汚染物質が発生すること、生じた粉じんには PFOS およびパーフルオロオクタン酸 (Perfluorooctane Acid、PFOA) が含まれていることを見出した。また燃焼反応温度を 400~1000℃に変化させたところ、低温では PFOS が、高温では PFOA が多く粉じんに含まれる傾向があることを見出した。更に、モデル物質単独、およびモデル物質と AFFF に含まれる炭化水素系界面活性剤共存系での燃焼実験の比較から、共存物質が PFOA の発生に寄与していることを見いだした。これらから、AFFF による火災の消火によってフッ化水素や二酸化硫黄だけではなく PFOS、PFOA も大気中に排出される可能性を示すとともに、火災時の AFFF の燃焼が PFOS 問題の原因のひとつになり得るとしている。同時に、フッ素系界面活性剤からの PFOS・PFOA 発生機構を提案し、また、その他の PFOS 誘導體の燃焼による PFOS 発生の可能性も示唆している。

第4章では AFFF の環境内運命を明らかにするため、2003 年の十勝沖地震で発災した苫小牧でのナフサタンク火災をケーススタディとして取り上げ、発生した PFOS の大気中および海洋中での移流・拡散についてシミュレーションによる検討を行なっている。ま

た環境リスクについても述べている。粉じん状の PFOS は大気中を拡散するものの、最終的には地表面に沈降し、火災現場の近隣住民が高濃度の PFOS に暴露する可能性を明らかにした。また同時に、海洋に達した PFOS は、分解されることなく海底へ蓄積することを明らかにした。しかし、火災消火時の PFOS の大気への放出は一時的なものであり、PFOS の急性毒性も高くないことから、健康リスクは高くはないとしている。また、海洋に到達した PFOS は表層水を拡散せず、沈降することから直接的な健康リスクは小さいと考えられるが、高い蓄積性を有することから環境への影響は決して低くないとしている。

第 5 章では、これまで経験的に添加されてきているフッ素系界面活性剤の消火における効果を検討し、消火機構の解明を試みるとともに、新規低環境負荷消火薬剤開発の可能性について述べている。消火におけるフッ素系界面活性剤の効果としては、主に難燃性の付与と流動性の向上が重要であり、特に流動性の向上については、フッ素系界面活性剤による表面張力の低下に基づく、マランゴニ対流による寄与が大きいことを示した。一方、消火機構については主に窒息効果と冷却効果が支配的であり、フッ素系界面活性剤から生じたフッ素ラジカルによる負触媒効果はほとんど期待できないとしている。そのため新規の低環境負荷消火薬剤として炭素数 8 のフッ素系界面活性剤ではなく、より分解されやすい、炭素数 6 のフッ素系界面活性剤を用いることを提案している。

第 6 章は総括であり、本論文の成果をまとめている。

以上、要するに本論文は、石油火災用消火薬剤として使用されている、AFFF の環境影響について検討した結果、AFFF に含まれる、フッ素系界面活性剤が、土壤中、海水中、あるいは消火中の熱分解により、PFOS, PFOA を生じる可能性があることを示すとともに、それらの発生機構、環境内運命、環境影響について明らかにし、更に、その改善方法の提案を行ったものであり、環境システム学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。