

## 論文の内容の要旨

論文題目 フルオロカーボン類による環境影響の定量的評価および国際間環境対策制度の研究

氏名 花岡 達也

本研究は、フルオロカーボン類の環境負荷に注目し、オゾン層保護策および温暖化抑制策として、フルオロカーボン類の排出量削減対策に関する定量的な評価をおこなうことを目的としている。特に、京都議定書とモントリオール議定書の枠組みから抜け落ちている CFCs および HCFCs の回収・破壊処理対策に注目し、対策の導入による環境負荷低減効果、費用対効果および回収・破壊処理プロジェクトの収益性などの分析をおこない、国内対策の評価だけでなく国際間技術協力の枠組みにも注目し、それらを総合的に評価することを目的としている。また、世界におけるフルオロカーボン類の消費量のインベントリーを作成することで、現在までの環境への影響量を明らかにし、それらに対するリスク評価の分析方法について考察する。

初めに、現在までのフルオロカーボン類に関する問題の背景をみると、次のようにまとめられる。まず、1928年に Midgley によって CFC-11 および CFC-12 が初めて合成され、それ以来、低毒性、不燃性、化学的および熱的安定性、適度な揮発性と溶解性などの優れた特性により、理想の物質として冷媒、断熱材、発泡剤、洗浄剤およびエアゾールなど様々な用途に使用されてきた。特に、CFCs が理想的な特性を持つ作動流体として世界的に普及し、環境への支障もなく大気に放出できるという認識の下で、世界において多くの量が消費され続けてきた。しかし、1974年に Molina らにより CFCs によるオゾン層の破壊が指摘された以降、国際的な協力が進められ、1987年に採択されたモントリオール議定書によって、オゾン層破壊物質に対する生産量・消費量の削減スケジュールが定められるようになった。そして、1992年のコペンハーゲン改定（第4回締約国会合）により、先進国においては1995年末をもって CFCs の生産の全廃が定められた。

ただし、先進国において、1995年以前に生産された既設の CFC 使用機器は現在も稼働しており、製品や設備中に大量に蓄積した CFCs は、それらの廃棄時に大気に排出されることが指摘されている。また、途上国においては、2010年まで CFCs の生産が許可され、現在も使用され続けているため、国際的に今後も多くの CFCs が途上国から排出されると予測されている。一方で、HCFCs に関しては、先進国においては2020年、途上国では2040年まで生産可能であるため、現在、CFCs の代替物質として世界で最も多く消費され続けており、このまま大気に排出され続けられれば、オゾン層破壊係数(Ozone Depletion Potential: 以下 ODP と略記)が CFCs の10%以下であるとはいえ、オゾン層破壊への影響は無視できない。さらに、これらの CFCs や HCFCs については、地球温暖化係数(Global Warming Potential : 以下、GWP と略称)が CO<sub>2</sub> よりも約 100~11700 倍と大きい点も見逃すことはできない。したがって、オゾン層破壊物質であり、温室効果ガスでもある CFCs および HCFCs を大気へ排出することは、環境破壊をさらに促進させることを意味し、回収および破壊処理などの適正な対策を導入することが国際的に急務な課題となっている。

しかし、モントリオール議定書による CFCs および HCFCs に対する規制は、生産量および消費量の削減に限られており、排出量に関する国際的な規制は定められていない。そのため、現在では、先進国および途上国ともに、回収・破壊処理に関する対策は、各国ごとに委ねられている状態にある。また、経済的な支援に関する枠組みについてみると、1990年のロンドン改正（第2回締約国会合）によってモントリオール多国間基金 (Multilateral Fund) が創設されたが、この基金は Article5 付属国に対して、モントリオール議定書で定められた生産量・消費量削減スケジュールを遵守するためのプロジェクトにのみ適用され、したがって、同議定書の対象外である回収・破壊処理技術などの排出量抑制策への援助は、適用外とされている。さらに、京都議定書においては、6ガス (CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、HFCs、PFCs、SF<sub>6</sub>) のみが排出量の削減対象に指定され、CFCs や HCFCs などのその他の温室効果

ガスは排出量の削減対象には定められなかったため、現在、CFCs や HCFCs の CO<sub>2</sub> 換算排出量は全く注目されず、京都メカニズムの枠組みも適用できないため、先進国における回収・破壊処理対策だけでなく、途上国に対する回収・破壊処理技術援助へのインセンティブも全く働いていない。したがって、CFCs や HCFCs などの排出量抑制策に関しては、世界ではほとんど取り組まれていないのが現状となっている。

以上より、モントリオール議定書では「生産量・消費量」を、京都議定書では「排出量」を規制しているため、オゾン層破壊物質でもあり温室効果ガスでもある CFCs および HCFCs などに対して、「排出量」の規制が国際法の枠組みから抜け落ちた形となってしまっている。したがって、機器中に充填された CFCs および HCFCs に対して、回収および破壊処理などの適正な対策を導入することが国際的に重要な課題となっている。

そこで、本研究では、フルオロカーボン類に対する回収・破壊処理の重要性を明らかにするために、まず、世界におけるそれらの消費量を整理し、将来の排出量のポテンシャルを分析した。特に、日本、EU、および先進国諸国 (AFEAS 加盟国) におけるフルオロカーボン類の用途別および種類別の詳細な出荷量のデータをもとにして、GWP および ODP の指標を用いて、それらの消費による地球温暖化およびオゾン層破壊への影響量を考察した。また、UNEP によって報告されている世界における総消費量のデータの問題点を明らかにし、先進国諸国における詳細なデータを用いて UNEP のデータを修正し、世界における CFCs および HCFCs の消費量のインベントリを作成した。これによって、先進国諸国だけでなく、途上国における消費量も明らかにされ、現在までに多くの CFCs および HCFCs が消費されてきたことがわかった。そして、GWP および ODP の指標を用いて、それらの消費による地球温暖化およびオゾン層破壊への影響量を示すことによって、今後は、途上国に対する対策が必要不可欠となることを指摘した。

次に、上記で明らかにされた現在までの消費量に注目し、まず、国内政策に対する評価をおこなった。現在、京都議定書の遵守を目的としたフルオロカーボン類の回収・破壊処理に関する定量的な評価をした研究は少ない。特に、CFCs や HCFCs については、京都議定書の対象外であるためそれらの排出量は全く注目されず、地球温暖化への影響量について考察した研究は全くおこなわれていない。そこで、本研究では、国内におけるフルオロカーボン類の回収・破壊処理対策に注目し、それらの導入によるオゾン層保護および地球温暖化抑制への効果を定量的に評価した。特に、「特定家庭用機器再商品化法」[2001] (以下、家電リサイクル法と略称) および「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律」[2002] (以下、フロン回収破壊法と略称) に注目し、法に指定されている対象機器を評価対象に選び、対象機器中に用いられている冷媒充填量、使用冷媒の種類およびその代替状況を調査し、詳細な前提条件の設定のもとで将来の排出量を予測した。そして、法の導入による回収・破壊処理対策の効果を分析し、環境負荷低減効果および費用対効果を明らかにした。その結果、1996 年付近に排出量が最大となることがわかり、評価対象冷媒の排出量を GWP を用いて CO<sub>2</sub> 換算すると、1990 年の日本の 1 次エネルギー消費による CO<sub>2</sub> 排出量 (=1052.7×10<sup>6</sup> [t-CO<sub>2</sub>]) と比較した場合、1996 年の排出量は 1990 年の CO<sub>2</sub> 排出量の 7.9% に相当することがわかった。また、1996 年付近をピークにその後は徐々に減少するが、2010 年付近以降は 1990 年の CO<sub>2</sub> 排出量の約 3% 程度に相当する量が毎年排出され続けることがわかった。たとえば、2010 年における対象機器からの CO<sub>2</sub> 換算総排出量の予測値は 28.2×10<sup>6</sup> [t-CO<sub>2</sub> eq] であり、これは 1990 年の日本の CO<sub>2</sub> 排出量に対して 2.7% に相当し、さらに、これらの排出に対する回収・破壊処理対策の費用対効果を分析した結果、ルームエアコンやカーエアコンなどは約 1000~3000 [円/t-CO<sub>2</sub> eq] 程度となることがわかった。以上より、一般的な省エネ対策や新エネルギー技術の導入などによる温暖化抑制策は長期的な取り組みが必要であるのに対して、フルオロカーボン類の回収は、短期・中期的に大きな効果が得られるだけでなく、費用対効果の面からみても優位であり、冷媒の回収は温暖化抑制対策として高い効果が得られることがいえた。

ところで、現在、途上国では CFCs および HCFCs の消費量が多く、また、回収・破壊処理対策が全く実施されていないため、消費されたものは全て大気へ排出されている。したがって、途上国に対する回収・破壊処理対策への技術的および経済的な支援が必要とされている。特に、日本ではすでに回収技術および破壊処理技術が十分に確立し、その効果が本研究によって十分に証明されたため、日本が国際社会に果たす役割は大きい。

そこで、本研究では、日本における回収・破壊処理技術を途上国に援助した場合の環境負荷低減効果について評価し、その枠組みのあり方について考察した。ただし、現在では、途上国に対する排出量削減対策技術に関する援助の枠組みは一切定められていないため、まず、現在の国際条約の問題点を明らかにし、既存の枠組みから考えられる新たな国際間技術協力の枠組みを提案した。次に、途上国におけるフルオロカーボン類の使用状況を整理し、プロジェクトの対象規模およびその条件をまとめた。そして、現在の途上国諸国における消費量を考慮して、回収技術および破壊処理技術の援助の対象国として中国（上海）を選び、そのケース・スタディーを通じて技術援助プロジェクトの実現性を評価した。特に、本研究で提案した「ハロカーボン・ファンド」「ODS-CDM」および「環境 ODA」などの新たな枠組みに沿って、回収・破壊処理技術の導入による環境負荷低減効果、費用対効果、および内部収益率（IRR）法を用いたプロジェクトの経済性評価をおこなうことにより、プロジェクトの実現性や適切な経済的支援のあり方、そして国際間協力による回収・破壊処理対策の有効性を考察した。

その結果、破壊処理施設を現地に新規に建設する場合、現状の補助金では 15%程度の IRR を達成するのが困難であるのに対して、現状の CER 価格による収益では十分に 15%程度の IRR が達成可能であることがわかった。したがって、新設する場合は、温暖化抑制策として京都議定書の枠組みを利用した ODS-CDM によって対応する方が有効であるといえる。一方で、現地の既存の焼却施設を利用し、それにフロン導入設備のみを増設する場合は、補助金によって十分に 15%程度の IRR が達成可能であるのに対して、逆に、現状の CER 価格では過剰な収益が見込まれるため、CDM としては不適切とみなされて認証されない可能性が高いことがわかった。したがって、現地の既存の施設を利用する場合は、オゾン層保護策としてモントリオール議定書の枠組みを利用したハロカーボン・ファンドによって対応する方が有効であるといえる。ただし、フルオロカーボン類は品種によって GWP 値や ODP 値が異なるので、回収される冷媒がどの品種のものであるかによってその CO<sub>2</sub>換算量や ODP 換算量が異なってくるため、いずれの枠組みにおいても、得られる収益の総量に変化し、その変化量が IRR に大きく影響を与えることに注意する必要がある。特に、将来において、回収される冷媒の種類は CFCs よりも HCFCs の割合が増加するため、したがって、重量ベースで同量の冷媒が回収できたとしても、その CO<sub>2</sub>換算量や ODP 換算量が減少するため、15%程度の IRR を達成するためには、現状よりも高い CER 価格または多くの補助金が必要となり、将来的には、CER 収益または補助金以外の対策も必要になることがわかった。また、本研究では対象国として中国を選んだが、途上国におけるケース・スタディーのひとつにすぎないため、今後さらにデータの信頼性を向上させ、様々な途上国に対しても適応できるような分析をおこなっていく必要がある。

以上より、回収・破壊処理対策は技術的に実現可能であり、経済的な援助の枠組み次第によって、日本国内だけでなく、途上国においても十分に効果があることが本研究によって明らかにされた。今後は、モントリオール議定書および京都議定書の枠組みの中で、CFCs や HCFCs に対する排出量削減策に対する援助が現実に認められ、実際のプロジェクトとして回収・破壊処理対策が導入されることが期待されている。そのためには、回収・破壊処理技術向上だけでなく、さらにデータを整備し、適した政策の枠組みを提案できるような研究が必要とされている。