

米国製造業の汚染対策費用と化学物質排出対策

藤井 秀道¹・馬奈木 俊介²

¹非会員 東北大学大学院環境科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

E-mail:hidemichifujii@gmail.com

²非会員 東北大学大学院環境科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

E-mail:s.managi@gmail.com

本研究では、1991年から2007年にかけて、米国製造業による毒性化学物質排出量の削減がどのように達成されているかを明らかにする。分析結果より、化学製品製造業では、汚染防止、末端処理、外部処理の3つの要因が改善することで化学物質排出量の削減が達成されている。一方で、金属製品製造業と一般機械・電機機器製品製造業では、外部処理の要因によって化学物質排出量が削減されていることが明らかとなった。この背景には、環境ビジネスの市場が拡大し、レア金属のリサイクル工場などが増えた点が挙げられる。また、プラスチック・ゴム製品製造業では、汚染防止により化学物質排出量が削減されており、この結果から製品のデザインや製造工程の改善、利用する化学物質原材料の削減などを通じて、化学物質排出量の削減を達成したと考える。

Key Words : *toxic chemical substances management, pollution abatement cost and expenditure, cleaner production, end-of-pipe, U.S. manufacturing sector*

1. 背景

米国製造業では1990年以降、毒性化学物質排出量の大幅な削減を達成した(図-1)。この背景には、1990年に改正されたClean Air Act法の実施や、33/50プログラム¹の策定により製造業企業が積極的に化学物質排出対策に取り組んだ点が挙げられる。33/50 program により、1988年から1995年にかけて自主的取り組みが進んでおり、1988年基準で1992年には40%、1995年には55%と目標を上回る有害化学物質排出量の削減を達成した。33/50 programの終了後には多数のプログラム評価研究が行われており、その多くは33/50 programによって企業は経済効率性を圧迫することなく、効果的に化学物質の削減を達成したと述べている。(Zatz and Harbour(1999)¹; Khanna and Damon(1999)²; Gamper-Rabindran(2006)³; Vidovic and Khanna(2007)⁴; Sam et al.(2009)⁵)。

振り返れば、米国の化学物質管理に関する法令規制は1976年のToxic Substances Control Act(有害物質規制法)にはじまり、様々な環境政策が実施されてきた(表-1)。環境政策として画期的なTRI(Toxic Release Inventory; 有害物質排出目録)制度は、その法律名「緊急計画・地域社会知る権利法」(EPCRA; Emergency Planning and Community

Right to Know Act)が示すように、個人の知る権利に基づいて正当化され制定されている。TRI制度では、各事業所は化学物質の排出量に加えて、貯蔵されている場所と化学物質の量を州政府および地方政府に報告することを義務付けており、報告されたデータは環境保護庁と州政府により公表されている。こうした包括的な化学物質管理に関する情報開示制度は、TRI制度が初めてであり、個人の権利の意識(知る権利、環境汚染による被害を受けない個人の権利)に関わる点で先進的であると言える。

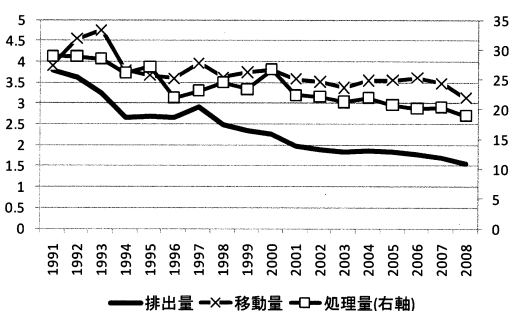


図-1 米国製造業の化学物質の排出量・移動量・処理量²の推移 (10億ポンド)

¹ Toxic Release Inventory (TRI)の中から17種を対象物質とし、その排出量を企業の自主的取り組みによって、1988年基準で、1992年までに33%、1995年までに50%の削減を目指すプログラム。

² 本研究ではTRI制度から得られる各データを次のように記す。Total Releaseを排出量、Total Waste Managementを処理量、Total Transfers Off-site for Further Waste Managementを移動量とした。

表-1 米国の化学物質に関する規制・制度

年	環境規制・制度
-1985	-Clean Water Act (1948) (CWA was revised in 1972,1977,1987) -Clean Air Act (1955) (CAA was revised in 1970,1977,1990) -Toxic Substances Control Act (1976)
1985-1989	-Emergency Planning and Community Right-to-Know Act (EPCRA) was enacted (1986) -TRI started (1986)
1990-1994	-EPA establishes the 33/50 Program (1991) -Expansion of the chemical list raised the number of chemicals and chemical categories reported to TRI from 336 to over 600 (1994)
1995-1999	-Facility/industry expansion ³ (1997)
2000-2004	-EPA held an on-line public dialogue on options for reducing the burden on the regulated industry associated with the Toxics Release Inventory (TRI) program(2003)
2005-2009	- EPA revised the TRI reporting requirements to reduce burden and promote recycling and treatment as alternatives to disposal and other releases (2006)

TRI制度は報告義務に関する制度であり、33/50 programは自主的取り組みによる排出削減プログラムである。従って、これら二つの政策には、企業へ毒性化学物質の排出量削減の義務を負わせる直接的な効力はない。しかしながら、ステークホルダーがTRI制度を通じて企業の環境保全対策取り組みを評価し、株価や製品売上に影響を与える可能性があるため、企業は毒性化学物質の管理を強化するインセンティブを持つ(Hamilton, 1995⁶; Konar and Kohen, 1997⁷)。加えて、毒性化学物質を大量に扱う企業では、事故が起きた際の環境汚染が深刻であり、その保証金は莫大となる(Capelle-Blancard and Laguna, 2010)⁸。従って、環境汚染に関するリスクマネジメントとして、毒性化学物質管理を強化するというインセンティブも同時に指摘できる。

ここで、企業の化学物質の排出対策について説明する。今日、工業化を達成している国々の多くは、経済発展や工業化の過渡期において、水質汚染や大気汚染などの公害問題を経験しており、これらの環境問題に対してはもっぱらエンドオブパイプ型の対策を講じてきた(Cango, 2005)⁹。エンドオブパイプ型の対策とは、煙突や配水管などの出口にフィルターなどを設置し、有害化学物質を取り除く対処療法的な環境対策であり、代表的な対策としては排煙脱硫装置や廃水処理装置がある。一方で、エンドオブパイプ型の短所としては2次汚染の発生(例：廃水

処理によって汚泥廃棄物の発生)が起こりうる点や、設備設置費用とランニングコストが必要となる。

こうしたエンドオブパイプ型対策に対して、製造工程を効率化することによって原材料投入量を節約し、有害化学物質排出量の削減を達成する手法としてクリーナープロダクション型対策がある。クリーナープロダクションの代表的な手法としては、製品設計を効率化することで必要な原材料投入量を節約するエコデザインや、資源リサイクル、生産過程で使用する薬品をより環境負荷の小さいものに代替する方法がある。クリーナープロダクション型対策にはエンドオブパイプ型対策と同様に初期投資が必要となるが、汚染物質除去のためのフィルターや吸収剤などが不要なためランニングコストが安価である。さらに生産工程の簡略化・効率化を行うため原材料や労働力が節約出来ることから、製造コストの削減が期待できる(Baas, 1995)¹⁰。しかしながらクリーナープロダクション型対策によってすべての汚染物質を削減することは不可能であり、削減可能な汚染物質にも限界があるため、環境基準や自社目標を達成するためにはエンドオブパイプ型対策を併用する必要がある(Frondel, 2005)¹¹。従って、重要な点は2つの対策を講じるバランスである。1992年の地球サミットで採択されたアジェンダ21でクリーナープロダクションの推進が明記されており、今日では様々なプロジェクトを通じて技術情報の整備と普及が各国で取り組まれている。

2. 目的

前章で述べたように、環境汚染対策には様々なアプローチがあり、さらにその費用や効果は業種によって異なっていると考えられる。表-2は米国国勢調査局が2008年に発表した、2005年度の米国企業の環境汚染対策費用(Pollution abatement cost and expenditures: PACE)の業種別データであり、業種別に出荷額、総対策費用、総対策費用を出荷額で除した割合を載せている。表-2の割合を見ると、繊維、紙製品、化学、非鉄、鉄鋼業などの基礎素材型産業では費用負担割合が大きく、一方で機械、電化製品、輸送機械などの加工組立型産業では割合が低いことが分かる。また、費用の内訳を見ると、基礎素材型ではエンドオブパイプ的な対策を表す「末端処理」が占める割合が高いが、加工組立型では「リサイクル」や「埋立処分」にかかる費用負担が大きい傾向にある。

しかしながら、業種によって原材料投入として利用する化学物質の使用量や種類は異なり、製造工程においても、化学物質を排出しやすい業種とそうでない業種が混在している。従って、業種によって化学物質排出量の削減をどのように達成しているかは、業種特性が大きく関与していると言える。そこで本研究では、米国環境保護庁(EPA)が公表しているTRIから業種別の化学物質排出

³ TRI制度で対象となる化学物質の種類拡大、公表されるデータ範囲の拡大

量のデータを用いることで、米国製造業による化学物質排出量の削減が汚染防止型、末端処理型、外部処理、生産量変化のどの要因によって達成されているかを明らかにすることを目的とする。

3. データと分析モデル

(1) データ

分析対象期間は1991年から2007年の17年間であり、分析対象業種には化学物質排出量が多い化学製品製造業、金属製品業、ゴム・プラスチック製品製造業(以下、ゴム・プラ)、一般機械・電機機器製造業の4業種とした。分析に利用したデータ変数は、業種別の売上高と汚染対策費用、毒性化学物質の排出量、移動量、処理量である。売上高は米国財務省のBureau of Economic Analysis¹²⁾から取得した。毒性化学物質は米国EPAのホームページで公表されているTRIのデータを利用した¹³⁾。

(2) 分析モデル

本研究では、売上(Y)と毒性化学物質の排出量(E)、処理量、移動量を用いて、毒性化学物質排出量変化を次の4つの指標で説明を試みる。一つ目は汚染防止であり、毒性化学物質の発生量(排出量+処理量+移動量: G)を売上で除した指標である。汚染防止は、売上当たりの発生量を抑制することで下降することから、生産主体が製造工程や商品設計を見直すことで、より発生量を低減させる取り組みの代理指標として解釈することが可能となる。

二つ目の指標は、末端処理である。この指標は、毒性化学物質の排出量と移動量の和(工場外排出: O)を、発生量で除した指標である。末端処理は、自社工場内部での末端処理量が増加すると下降し、工場外排出が増加すると上昇することから、発生量に占める末端処理型対策による削減効果の代理指標として解釈出来る。

三つ目の指標は、外部処理であり、排出量を工場外排出で除した値である。外部処理は、移動量の増加に伴い下降することから、生産主体がどれだけ発生量の処分を外部処理に委託しているかを反映する指標として解釈することが出来る。

四つ目は生産量変化であり、前年に比べてどれだけ生産量を変化させているかを示す指標である。しかしながら、各産業の製品生産量を把握することは困難であるため、本研究では2000年価格に基準化した売上高によって推計する。一般に、毒性化学物質の発生量は原材料として用いる化学物質投入量に依存するため、生産規模に影響を受ける。従って、生産規模の変化が排出量変化へ与える影響度の指標として生産量変化を解釈する。

ここで、排出量Eは(1)式のように分解することが出来る。

$$E = (E/O) \times (O/G) \times (G/Y) \times Y \quad (1)$$

この(1)式に、Logarithmic mean Divisia index (LMDI)を適用し、排出量の変化の要因分解を行う。Ang(2005)¹⁴⁾では、LMDIはラスパイレス型やフィッシャー型の指数と比較して、要因分解の分析に適しており、残差が発生しないPerfect Decompositionを行うことが可能であると述べている。

表-2 2005年度の米国の業種別環境汚染対策費の比較

	[1]出荷額 (Million U.S.\$)	[2]総対策費用 (Million U.S.\$)	費用負担割合 ([1]/[2])	総費用の内訳			
				末端 処理	汚染 防止	リサイクル	埋立 処分
製造業全体	4,735,384	20,678	0.44%	52%	17%	8%	22%
食品	534,878	1,573	0.29%	55%	11%	7%	28%
繊維	41,149	221	0.54%	63%	7%	9%	21%
紙製品	162,848	1,796	1.10%	60%	11%	7%	23%
石油	476,075	3,746	0.79%	51%	35%	7%	8%
化学	604,501	5,217	0.86%	53%	16%	8%	24%
ゴム・プラ	200,489	503	0.25%	43%	16%	10%	32%
非鉄金属	114,321	696	0.61%	57%	18%	7%	18%
鉄鋼	201,836	2,291	1.14%	54%	12%	10%	24%
一般機械	302,204	316	0.10%	34%	16%	11%	39%
電気機器	373,932	624	0.17%	54%	9%	10%	27%
輸送用機器	687,288	1,319	0.19%	45%	13%	12%	30%

(出典) 米国国勢調査局,2008『Pollution abatement costs and expenditures 2005』¹⁵⁾を著者和訳

(1)式に LMDI を適用すると式(2)のように要因分解することが可能である。

$$\begin{aligned}\Delta E &= E^t - E^{t-1} \\ &= \frac{E^t - E^{t-1}}{\ln E^t - \ln E^{t-1}} \times \ln \left(\frac{E^t / O^t}{E^{t-1} / O^{t-1}} \right) \\ &\quad + \frac{E^t - E^{t-1}}{\ln E^t - \ln E^{t-1}} \times \ln \left(\frac{O^t / G^t}{O^{t-1} / G^{t-1}} \right) \\ &\quad + \frac{E^t - E^{t-1}}{\ln E^t - \ln E^{t-1}} \times \ln \left(\frac{G^t / Y^t}{G^{t-1} / Y^{t-1}} \right) \\ &\quad + \frac{E^t - E^{t-1}}{\ln E^t - \ln E^{t-1}} \times \ln \left(\frac{Y^t}{Y^{t-1}} \right)\end{aligned}\quad (2)$$

従って、毒性化学物質排出量の変化は、外部処理の変化(右辺第一項)、末端処理の変化(右辺第二項)、汚染防止の変化(右辺第三項)、生産量変化(右辺第四項)の四つの要因に分解することが可能である。

4. 分析結果

(1) 排出量変化の時間推移

毒性化学物質の排出量変化と、LMDIによる要因分析の結果を表-3及び図-2から図-5に示す。正の値は排出量の増加を、負の値は排出量の削減を意味する。

表-3は、分析対象期間における毒性化学物質排出量の変化と、変化の要因を示した表である。表-3より、分析対象の4業種すべてで60%以上の排出量を削減しており、特に電機機器製品製造業では83%という高い削減率を達成している。

次に、各要因について考察すると、化学製品製造業では、生産量変化以外の3つの要因が排出量削減に貢献していることが分かる。一方で、化学製品製造業以外の三業種では末端処理の数値が正であることから、排出削減効果が希薄化しているという結果になった。これは、汚染防止による毒性化学物質の発生量の低減や、環境ビジネス市場の拡大による外部処理の効率化などにより、自社工場におけるエンドオブパイプ的な排出対策の効果が、相対的に低くなったことが背景として考えられる。

表-3 1991年-2007年の全化学物質の変化量と変化率

	排出量変化	外部処理	末端処理	汚染防止	生産量変化
化学	-125.52	-47.79	-48.45	-69.43	40.15
製品	-73%	-28%	-28%	-40%	23%
ゴム・	-11.80	-3.31	0.65	-13.23	4.10
プラ	-70%	-20%	4%	-78%	24%
金属	-10.19	-10.34	1.84	-5.77	4.07
製品	-64%	-65%	12%	-36%	26%
電機	-3.91	-3.97	0.84	-1.68	0.90
機器	-83%	-85%	18%	-36%	19%

(注) 上段が変化量(億ポンド)、下段が変化率(%)を示す。

次に各業種別の排出量変化の要因を、各年度別に考察する。図-2から図-5の線グラフは排出量変化の割合を表し、積み上げ棒グラフは各指標の変化率を示している。積み上げ棒グラフの合計値が排出量変化の値に一致する。

図-2より、化学製品製造業では、1993年から1994年にかけて、汚染防止と末端処理による排出量削減への寄与度が大きく、化学製品製造業はこの期間で30%の排出量削減を達成している。加えて、外部処理による排出削減効果は、程度は小さいものの、コンスタントに排出量削減に貢献していることが分かる。2001年以降に排出量変化率が0近傍を推移しているのは、生産量の増加に伴い毒性化学物質発生量が上昇したためであると考えられる。

次に図-3から、ゴム・プラスチック製品製造業では、汚染防止による寄与率が高いことから、製品のデザインや製造工程の改善、利用する化学物質原材料の削減などを通じて、化学物質排出量の削減を達成したと考える。一方で、1995年から1998年にかけては末端処理の値が正で推移しているが、これは同時期に汚染防止による毒性化学物質の発生量削減を大幅に達成していることが理由として挙げられる。これは、一般に末端処理によって収集される化学物質量は、その発生量に依存するためである。1995年から1998年は、末端処理の効果の希薄化と汚染防止の貢献度が相殺されていることが分かる。2000年以降では、汚染防止に加えて、末端処理や外部処理など複数の要因が重なり合うことで、高い排出量削減率を達成している。

図-4より、金属製品製造業では、主に汚染防止と外部処理によって毒性化学物質排出量が削減されていることが明らかとなった。ここで、対象となる化学物質を確認すると、汚染防止ではトルエンやベンゼンなどの溶剤として用いる揮発性化学物質が多いが、外部処理で排出量が削減されている化学物質はクロムや鉛などの金属化合物が大部分を占める。この背景には、環境保全ビジネスの市場が拡大し、金属化合物、特にレアメタルのリサイクル工場などが増えた点が挙げられる。

図-5の一般機械・電気機器製品製造業の分析結果では、汚染防止と外部処理による削減効果への貢献が大きい。一方で、生産量の増加や末端処理量による削減効果の低下により排出量削減幅が相殺されている構造である。1991年から1994年にかけては、汚染防止と外部処理による削減効果が大きく、排出量の削減率も15%以上を達成している。こうした結果が得られた背景に、次の二点が挙げられる。一つ目は、製造過程で生じるプラスチックや金属屑の再利用を行う工場などのインフラが充実した点。二点目は、加工組立型産業では、化学物質は主に塗装用や接着用に用いられるケースが多く、こうした用途の化学物質は毒性の低いものに代替することで、企業から排出される有害化学物質の毒性を下げる 것이可能となるため、TRI対象外の化学物質への代替が進んでいる可能性が指摘できる。

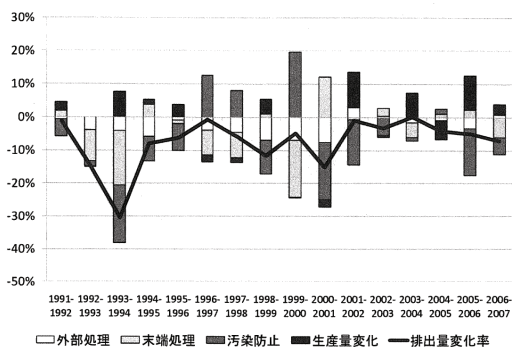


図-2 化学製品製造業の分析結果

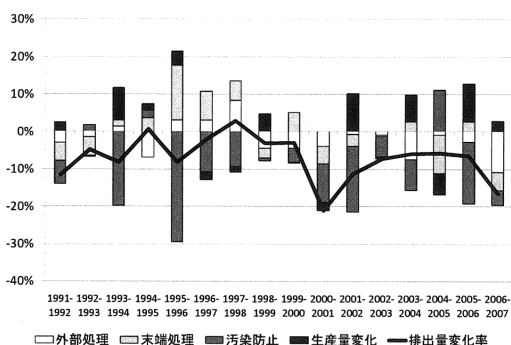


図-3 ゴム・プラスチック製品製造業の分析結果

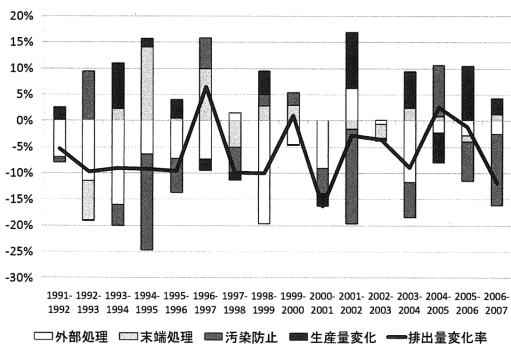


図-4 金属製品製造業の分析結果

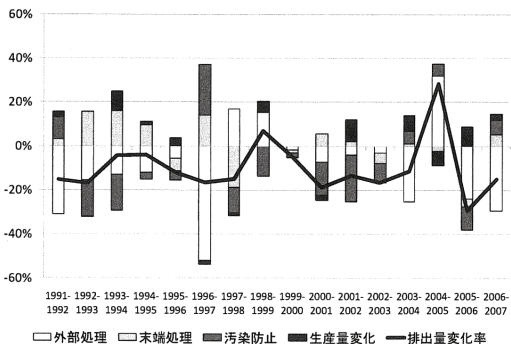


図-5 一般機械・電気機器製品製造業の分析結果

5. 結論

本研究では、米国製造業による化学物質排出量の削減が汚染防止型、末端処理型、外部処理、生産量変化のどの要因によって達成されているかに着目し、分析を行った。本研究の結論を下記に記す。

1. 化学製品製造業では、汚染防止型、末端処理型、外部処理の3つの要因が改善により化学物質排出量の削減が達成されている。
2. 一方で、金属製品製造業及び機械・電機機器製品製造業では、外部処理の要因によって化学物質排出量が削減されていることが明らかとなった。この背景には、環境ビジネスの市場が拡大し、レアメタルのリサイクル工場などが増えた点が挙げられる。
3. また、プラスチック・ゴム製品製造業では、汚染防止型により化学物質排出量が削減されており、この結果から製品のデザインや製造工程の改善、利用する化学物質原材料の削減などを通じて、化学物質排出量の削減を達成したと考える。

謝辞：本研究は、文部科学省の科学研究費補助金基盤研究B、特別研究員奨励費及び環境省の環境経済政策研究の援助のもとに行われた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Zatz, M. and Harbour S.: The United States Environmental Protection Agency's 33/50 Program: the anatomy of a successful voluntary pollution reduction program, *Journal of Cleaner Production*, Vol.7, pp.17-26, 1999.
- 2) Khanna, M. and Damon, L.A.: EPA's Voluntary 33/50 Program: Impact on Toxic Releases and Economic Performance of Firms, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.37, pp. 1-25, 1999.
- 3) Gamper-Rabindran, S.: Did the EPA's voluntary industrial toxics program reduce emissions? A GIS analysis of distributional impacts and by-media analysis of substitution, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.52, pp. 391-410, 2006.
- 4) Vidovic, M. and Khanna, N.: Can voluntary pollution prevention programs fulfill their promises? Further evidence from the EPA's 33/50 Program, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.53, pp.180-195, 2007.
- 5) Sam, A.G., Khanna, M. and Innes, R.: Voluntary Pollution Reduction Programs, Environmental Management, and Environmental Performance: An Empirical Study, *Land Economics*, Vol.85, No.4, pp.692-711, 2009.
- 6) Hamilton, J.T.: Pollution as News: Media and Stock market Reactions to the Toxic Release Inventory Data, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.28, pp. 98-113, 1995.

- 7) Konar, S. and Cohen M.A.: Information as Regulation: The Effect of Community Right to Know Laws on Toxic Emissions, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.32, pp.109-124, 1997.
- 8) Gunther C.B. and Marie-Aude L.: How does the stock market respond to chemical disasters, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.59, pp.192-205, 2010
- 9) Cagno, E., Trucco, P. and Tardini, L.: Cleaner production and profitability: analysis of 134 industrial pollution prevention (P2) project reports, *Journal of Cleaner Production*, Vol.13, pp.593-605, 2005.
- 10) Baas, L.W.: Cleaner production: Beyond projects, *Journal of Cleaner Production*, Vol.3, No.1-2, pp. 55-59, 1995.
- 11) Frondel, M., Horbach, J. and Rennings, K.: End-of-Pipe or Cleaner Production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries. *Business Strategy and the Environment*, Vol.16, pp. 571-584, 2007.
- 12) Bureau of Economic Analysis, Regional Economic Accounts, <http://www.bea.gov/regional/gsp/>. (2010年8月10日アクセス)
- 13) U.S. Environmental Protection Agency, Toxics Release Inventory (TRI) Program, <http://www.epa.gov/tri/tridata/index.htm> . (2010年8月10日アクセス).
- 14) Ang B. W.: Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?, *Energy Policy*, Vol.32, pp.1131-1139, 2004,
- 15) U.S. Environmental Protection Agency, National Center for Environmental Economics, Pollution Abatement Costs and Expenditures: 2005 Survey, <http://yosemite.epa.gov/eep/eed/nsf/pages/pace2005.html> (2010年8月10日アクセス).

TOXIC CHEMICAL SUBSTANCES MANAGEMENT AND POLLUTION ABATEMENT COST AND EXPENDITURE IN U.S. MANUFACTURING SECTOR

Hidemichi FUJII and Shunsuke MANAGI

This study focus on the toxic chemical substances management in U.S. manufacturing sector from 1991 to 2007. We apply Logarithmic Mean Divisia Index to decompose toxic chemical substances emission change into four factors, which are Pollution Prevention, End-of-Pipe treatment, Transfer for further management, and Production change. We find that chemical manufacturing sector reduced toxic chemical substances emission amount by pollution prevention, End-of-Pipe treatment, and Transfer for further management. On the other hand, transfer for further management contributed to reduce toxic chemical substances emission in fabricated metal and computer and electric machine industry. This is because environmental business market was expanded from 1990' s and infrastructure for recycling metal and other waste became more efficient. Plastic and rubber industry reduce toxic chemical substances emission by pollution prevention. It means plastic and rubber industry successes to develop product design and production process more environmentally.