

廃水処理技術の開発と普及 - 国内企業の実証分析 -

松崎 嵩史¹・藤井 秀道²・馬奈木 俊介³・金子 慎治⁴

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:taka.matsuzaki0606@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:hidemichifujii@gmail.com

³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

⁴正会員 広島大学大学院国際協力研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山1-5-1)

E-mail:kshinji@hiroshima-u.ac.jp

新たな汚染対策技術の開発は、企業の汚染対策をより容易で安価なものにするために必要不可欠である。一方で、経済学的視点に立てば、汚染対策技術開発は非生産部門への追加コストおよび投資であり、直接収益に結びつかない。こうした企業の開発インセンティブが低い汚染対策技術が、どのように開発・普及され、我が国の工業廃水の汚染強度が緩和されてきたかを明らかにすることは、水質汚染問題が深刻な途上国に対して効果的な政策提言を行う上で重要である。本研究ではグレンジャー因果性検定モデルを適用し、我が国の廃水規制と廃水処理技術特許の取得数の因果性を分析した。分析結果より、環境規制と工業廃水処理技術の間には統計的に有意な関係性が存在し、環境規制は特許取得を促進させることが明らかとなった。

Key Words : wastewater abatement technology, environmental regulation, environmental patent, manufacturing firm

1. 背景と目的

21世紀は水の世紀と呼ばれ、水資源枯渇問題の深刻化が懸念されている¹⁾。World Health Organizationによると、2008年において世界では約8.8億人が安全な飲料水を確保できず、約26億人が衛生設備のない水環境にさらされている²⁾。気候変動に伴い水資源の偏在化が進むとされている中で³⁾、限りある水資源を有効に利用するためには、工業廃水による水質汚染を防止する必要がある。

容易で安価な水質汚染防止を達成するためには、企業による新たな汚染対策技術の開発が必要不可欠である。しかしながら、経済的視点に立てば、汚染防止技術は非生産部門への追加コストおよび投資であり、必ずしも利益に

結びつかない。つまり、企業の非生産部門における費用は最小化されるため、汚染防止技術に対する企業の開発インセンティブは製品開発などの他研究開発分野と比較すると低いと考えられる。

一般に汚染物質の削減が進むほど、汚染対策費用は増加する。一方で、企業は環境規制の遵守のため汚染対策を行う必要があるが、前述したように汚染対策費用の最小化を試みることから、企業の汚染排出強度は環境基準と大きく乖離しないと考える。つまり、企業は環境基準で定められた汚染排出基準と同程度の汚染対策行動をとると言えよう。加えて、仮に新しい廃水処理技術を開発したとしても、その技術を使わずとも環境規制に十分対処できる状況であれば、企業は積極的に新しい技術を

導入するインセンティブを持たない。逆に、新たな環境基準によって従来型の環境技術では対策が難しい場合には、新たな環境技術への需要が高まり、その需要をビジネスチャンスととらえ新たな技術の開発が促進される。よって、環境規制の制定及び改正は、新たな特許技術の開発を促すための重要な要因であることが分かる。

我が国における廃水処理関連の環境規制は1958年の水質二法にはじまり、1970年の水質汚濁防止法の制定・改正を通じて廃水処理の管理を行ってきた。表-1は、我が国の廃水汚染防止を目的とした環境規制をまとめた表である。特に工業廃水や生活排水による河川・海洋汚染が深刻化した1960年、70年代に多くの環境規制が制定・改正されていることが分かる。また1980年代では、生活排水による水質汚染防止を目的とした動きが強い。1990年以降では、生態系の保全などの環境影響も考慮した政策が数多く定められている。

表-1 我が国の廃水汚染防止を目的とした法規制

年	廃水関連の法規制
～1970	旧水質二法（水質保全法・工場排水規制法）制定（1958年） 公害対策基本法（1967年） 公害対策基本法の改正（1970年） 水質汚濁防止法の制定（1970年） 海洋汚染防止法制定（1970年）
1971～1980	水質汚濁防止法の改正（1972年） 化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（1973年） 瀬戸内海環境保全臨時措置法（1973年） 川崎市環境影響評価条例（1976年） 瀬戸内海環境保全措置法の恒久化（1978年） 水質汚濁防止法の改正（COD 総量規制の導入）（1978年） 滋賀県琵琶湖の富栄養化防止に関する条例（1979年）
1981～1990	湖沼水質保全特別措置法（1984年） 化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律の改正（1986年） 水質汚濁防止法の改正（地下水汚染防止の強化）（1989年） 水質汚濁防止法の改正（生活排水対策の強化）（1990年）
1991～2000	再生資源の利用の促進に関する法律（1991年） 環境基本法（1993年） 水源二法（水道水源特別措置法・水道原水保全事業法）（1994年） 水質汚濁防止法の改正（1996年） 環境影響評価法（1997年） 河川法の改正（1997年） 地下水における水質汚濁に係る環境基準の設定（1997年）
2001～2010	土壌汚染対策法（2002年） 自然再生促進法（2003年） 化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律の改正（2003年） 第6次水質総量規制（2007年）

図-1には、特許分類別の廃水処理技術件数の推移を示しており、特許取得件数が多い上位4つの特許と廃水処理技術特許の総数の時系列での変化を表している。

全体の傾向としては、水質汚濁防止法が施行された1970年や環境基本法が制定された1990年以降に急激に特許取得数が増加傾向にあることが分かる。その一方で、1970年代後半から1980年代前半にかけては特許取得件数が少ない。これは、石油ショックによって企業の財務

状況が逼迫し、環境汚染対策を目的とした研究開発費を確保する余力がなかったことが要因の一つとして挙げられる。

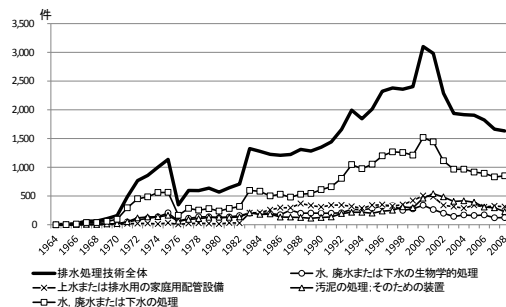


図-1 特許分類別の廃水処理技術件数の推移

また、排水処理技術に対する開発インセンティブは、その業種特性により工業廃水の汚染度や汚染対策費用が異なるため、業種によって異なること考えられる。加えて、各産業で生産可能な廃水汚染対策設備は異なるため、汚染対策設備の需要に対して、各産業の新技术開発の時期や期間にも差が生じていると推測する。図-2は廃水処理技術の特許取得件数が多い上位五つの業種について、時系列での特許取得数の推移を表した図である。図-1の廃水処理技術全体の傾向と同様に、水質汚濁防止法や環境基本法の施行後に特許取得件数を増加させているが、一方で機械製造業については1987年に、化学製品製造業については1983年に特許取得数が増加している。加えて、2000年以降においては、特許取得数が減少傾向にあるものの、窯業のみ増加傾向にあり、業種によって特許取得件数の傾向が異なっていることが分かる。

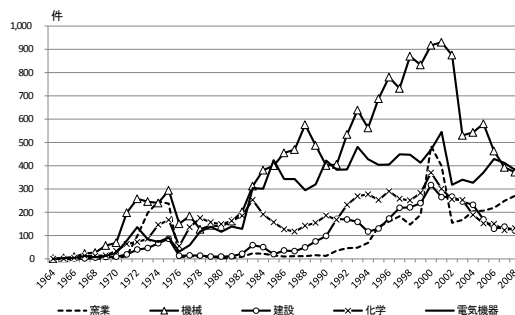


図-2 業種別の廃水処理技術件数の推移

環境規制と環境技術特許との関係性に着目した先行研究としては日米独の脱硫装置技術を分析したPopp(2006)⁴⁾、日本の大気汚染対策に着目した八木・馬奈木(2008)⁵⁾、日本の環境保全技術を対象とした藤井他(2011)⁶⁾が挙げられる。これらの研究はすべて国全体、もしくは工業セクター全体を分析対象としており、業種特

性を明示的に考慮していない。しかしながら、前述したように業種特性は環境技術の開発に大きく影響を与えると考えられるため、業種特性を考慮した因果性の分析が重要であると考ええる。

こうした企業の開発インセンティブが低い廃水汚染対策技術が、どのような契機で開発されてきたかを明らかにすることは、水質汚染問題が深刻な途上国に対して効果的な政策を提言する上で重要であると考ええる。さらには、廃水処理技術は業種特性に大きく影響を受けるため、業種別に分析を行い、比較を行うことで環境規制が各業種に与える技術開発への影響を明らかにすることが可能である。

本研究では、業種別に工業廃水処理技術の開発要因について分析を行い、国内における排水規制が企業行動に与える影響を、業種別に明らかにすることを目的とする。

2. 分析方法

本研究では、工業廃水に関連する特許取得件数を業種別に作成し、引用重み付けを行うことで特許の質を考慮した。分析には、環境規制、特許取得件数に加え、汚染緩和の指標として総務省統計局が公開している東京湾や瀬戸内海などの水質データを用いて、因果性の分析を行う。

2-1. 分析フレームワーク

前述したように、環境技術特許の需要は環境規制によって影響を受けるため、技術の開発及び普及は環境規制の強度と強く関係していると言えよう。一方で、八木・馬奈木(2008)⁹⁾で取り上げられているように、企業の環境技術が環境規制に影響を与えるという仮説も存在する。これは、企業の技術水準が低い段階で、厳しい環境規制を課すことにより、汚染対策費用が増加し結果的に国際市場における競争力の低下を招く可能性があるため、政府は企業の環境技術水準を考慮しながら環境規制の施行・改正を進めているとする考え方である。我が国の環境規制における審議会においても、企業の汚染対策費は規制強度を考える上で重要であるとされており、この仮説を裏付ける。

こうした点を踏まえて、本研究では環境規制から環境技術への影響と、環境技術水準から環境規制への影響の双方向の因果性を検証し、それぞれが互いにどのように影響しているかを明らかにする。

2-2. グレンジャー因果性検定

グレンジャー因果性検定とは、クライヴ・グレンジャーによって考案された、自己回帰モデルを用いた手法である⁷⁾。グレンジャー因果性検定の特色としては、直接的な因果関係のない要素間の因果性を検定することが可能な点である。二変数からなる多変量自己回帰モデル(vector

auto regression : VAR) : を適用することで、計算が可能である。グレンジャー因果性検定では、ある変数 Y の過去の値で説明する式(1)よりも、他の変数の過去の値を加えて説明した式(2)が統計的に優れているかどうか判断する。

$$Y_t = a_0 + a_1 Y_{t-1} + \sigma_{1t} \quad (1)$$

$$Y_t = a_0 + a_1 Y_{t-1} + a_3 X_{t-1} + \sigma_{1t} \quad (2)$$

a_0 : 定数項, σ_{1t} : かく乱項

双方向の因果性の検証を行う上で、タイムラグの影響を考慮する必要がある。グレンジャー因果性検定モデルでは、過去の変数の選択の際に、赤池情報量規準(Akaike's Information Criterion: AIC)が最小となったものを選択する。AICを参照することにより、統計的に適切なタイムラグの仮定を置くことが可能となる。

3. データ

分析に用いる特許データは、(株)野村総合研究所のNRIサイバーパテントデータベースより作成した。特許データには特許取得数を用いており、各企業別に抽出を行った。本研究では、特許の質を考慮するための重み付けを、被引用数を用いて行った。特許の重み付けには審査官引用数および特許公報記載の特許引用数を用いる。重み付け特許取得数(weighted patent count: WPC)の計算には、Trajtenberg(1990)⁹⁾を参照し、特許の被特許引用数のCiを用いて、 $WPC_i = 1 + C_i$ で計算を行った。次に企業別のデータを業種別に換算するために、同業種ごとに特許取得数の合計を計算し、各業種における廃水処理技術特許の取得数を計算した。

抽出した特許データは、特許申請年度が1964年から2008年の範囲のものである。各特許に与えられている特許分類コード(File index)を、Organization for Economic Cooperation and Development⁹⁾が公開している環境特許分類に照らし合わせることで廃水処理技術特許を分類した。分析には、廃水処理技術の総取得数と四つ特許分類に着目して推計を行う。四つの分類は、(1)水、廃水または下水の生物学的処理(以下、生物学的処理)、(2)上水または排水用の家庭用配管設備(以下、配管設備)、(3)汚泥の処理、(4)水、廃水または下水の処理(以下、処理設備)であり、これら四つの特許分類が全特許取得件数に占める割合は92%である。

次に環境規制と水質汚染のデータについて説明する。環境規制の変数は、廃水に関連した法規制の施行もしくは改正を行った回数を用いている。また、水質汚染のデータは、各企業の工業廃水データを長期で得ることが困難であることから、総務省統計局が公開している日本の長期統計系列よりデータを作成した¹⁰⁾。使用した変数は、水域全体の水質環境基準達成率であり、BODやCODの汚染

強度が反映されたデータである。

4. 分析結果

本研究の分析から得られた結果を表-2から表-5に記す。分析は、前述した四つの特許分類において、特に特許取得数が多かった窯業、機械、建設、化学、電気機器の上位五業種について行った。表-2と表-3には環境規制の変数として、各年での廃水汚染防止を目的とした環境規制が施行・改正された回数を用いている。一方で、表-4と表-5では、環境規制の変数に、1958年の旧水質二法後での、廃水汚染防止を目的とした環境規制の施行・改正の回数をを用いた結果である。表内の数値は影響の大きさを表しており、右端の括弧内の数値は、説明変数が何年間のタイムラグを用いているかを示す。タイムラグの設定はAICを参照することで、モデルの当てはまりが良いものを選択している。

表-2は、環境規制が廃水処理技術の特許取得に与える影響をまとめたものである。五つの業種において、環境規制が廃水処理技術の総数に与える影響は統計的に有意に観測されなかった。一方で、特許分類別の分析結果では、窯業、建設業、化学製品製造業において配管設備技術に対して正の影響が観測された。こうした分析結果が得られた背景には、配管設備技術の特性が挙げられる。配管整備技術は他の三つの分類と異なり、法人ではなく家庭や個人を対象とした技術も含んでおり、生活排水の汚染緩和も目的とされる。従って、住宅建設やトイレ製品の製造などを行う窯業や建設業において、これらの特許技術が積極的に開発されたと考えられる。

表-2 環境規制(各年)が廃水処理技術に与える影響

	特許総数	生物学的処理	配管設備	汚泥処理	処理設備
窯業	0.00 [2]	0.01 [2]	0.03***[2]	0.00 [2]	0.00 [2]
機械	0.00 [2]	0.00 [2]	0.01 [2]	0.00 [2]	0.00 [2]
建設	0.00 [2]	0.01 [2]	0.03***[3]	-0.01 [2]	0.00 [2]
化学	0.00 [2]	0.00 [2]	0.02***[2]	0.00 [2]	0.00 [2]
電気機器	0.00 [2]	0.00 [2]	0.00 [2]	0.00 [2]	0.00 [2]

(注)*, **, ***はそれぞれ10%, 5%, 1%有意水準を示す。

次に、表-3を考察する。表-3は、廃水処理技術が環境規制に与える影響についてまとめたものである。表-3より、配管設備技術において窯業で、また排水処理設備技術において電気機器製造業で有意に負の関係性が観測された。この結果より、窯業と電気機器製品製造業で廃水処理特許技術の取得が進むと、環境規制の施行・改正数が減少傾向になることが分かる。これは本研究の研究仮説とは逆の結果となっている。一方で、この結果は次のように解釈することが出来る。企業が新たな環境技術特許の

開発に成功することで、廃水の浄化が進み汚染の緩和が達成される。そうなれば、政府は環境規制を施行・改正する必要性が低下すると考えられる。従って、廃水処理技術の進歩は、政府が新たな環境規制の施行、もしくは法律の改正を行う回数を下げる方向に寄与する。

表-3 廃水処理技術が環境規制(各年)に与える影響

	特許総数	生物学的処理	配管設備	汚泥処理	処理設備
窯業	-20.6[2]	-2.7[2]	-5.3***[2]	-3.8[2]	-8.4[2]
機械	34.7[2]	-3.8[2]	4.8[2]	10.2[2]	25.6[2]
建設	-1.7[2]	1.3[2]	3.4[3]	-1.9[2]	1.5[2]
化学	-13.7[2]	-5.3[2]	0.7[2]	-0.2[2]	-9.0[2]
電気機器	-26.7[2]	-5.6[2]	-1.0[2]	1.1[2]	-20.3**[2]

(注)*, **, ***はそれぞれ10%, 5%, 1%有意水準を示す。

次に表-4と表-5の分析結果について考察する。二つの表では、AICによるタイムラグの選択において、ラグなしの仮説が望ましい仮説となったモデルが多数観測された。グレンジャー因果性検定を行うにはタイムラグの設定が必要であることから、本研究ではタイムラグがなしと選択されたモデルに対しては回帰分析を適用し、回帰係数を表-4と表-5に記載した。回帰分析による計算の場合には、右端の括弧を除いている。

表-4は、より環境規制の施行・改正の累積値は、統計的に有意に環境技術特許の総数を五業種すべてで増加させることが明らかとなった。一般的に規制の改正によって環境規制が緩められることはない。従って、環境規制の強化が廃水処理技術の特許開発を促進させていると言える。特に、窯業、機械製造業、化学製品製造業では、すべての特許分類で有意に正の関係性が観測されている。従って、これら三つの業種は環境規制が強化されることで幅広い分野におけるビジネスチャンスを生かし、新たな廃水処理技術の開発に成功していることが示唆される。

表-4 環境規制(累積)が廃水処理技術に与える影響

	総数	生物学的処理	配管設備	汚泥処理	処理設備
窯業	11.72***	1.18***	0.02***[2]	1.79***	5.88***
機械	39.62***	3.78**	7.23***	0.01**[2]	20.06***
建設	12.95***	-0.00[1]	0.02***[3]	0.01[3]	6.51***
化学	11.25***	0.01***[3]	0.01**[1]	1.70***	5.54***
電気機器	23.57***	-0.01[2]	4.29***	3.80***	-0.00[2]

(注)*, **, ***はそれぞれ10%, 5%, 1%有意水準を示す。

最後に、表-5の分析結果を考察する。分析結果より、廃水処理技術の特許取得総数が、環境規制の強化を促すという結果が得られた。一見、この結果は表-3と矛盾するようにも見える。しかし、表-5の窯業の特許取得数と環境規制の関係、及び電気機器と規制の関係は有意に負であり、表-3の結果と同様の傾向が観測された。従って、

これら二つの分析結果から廃水処理技術特許の全体は廃水汚染防止を目的とした規制の強化を促すが、配管設備や処理設備などの個別の事例については規制強化の必要性を低下させる方向に寄与していることが明らかとなった。

表-5 廃水処理技術が環境規制(累積)に与える影響

	特許総数	生物学的処理	配管設備	汚泥処理	処理設備
窯業	0.03***	0.18***	-8.43***[2]	0.21***	0.05***
機械	0.01***	0.03**	0.04***	9.02[2]	0.01***
建設	0.03***	-7.82**[1]	0.93[3]	-0.56[3]	0.06***
化学	0.02***	3.94[3]	-8.89**[1]	0.12***	0.04***
電気機器	0.01***	-2.42[2]	0.09***	0.13***	-39.07***[2]

(注)*, **, ***はそれぞれ10%, 5%, 1%有意水準を示す。

5. 結論

本研究では、国内製造業における工業廃水処理技術に着目し、その開発と環境規制の因果性を検証した。本研究の結論を以下にまとめる。

1. 環境規制と工業廃水処理技術の間には統計的に正で有意な関係性が存在し、環境規制は特許取得を促進させることが明らかとなった。一方で、新しい廃水処理技術特許の開発による技術進歩は、新たな環境規制の施行や改正に対して影響を与えない。
2. 環境規制の強化は、特に窯業、機械製品製造業、化学製品製造業において廃水処理技術特許の開発を促進させており、その分野は多岐に渡ることが明らかとなった。

参考文献

- 1) Rijsberman, F. (2006) Water scarcity: Fact or fiction? Agricultural Water Management, 80(1-3): 5-22.
- 2) World health organization (2011), World Health Statistics 2011, <http://www.who.int/whosis/whostat/2011/en/index.html>, (2011年9月7日アクセス).
- 3) Amell, N. W. (1999) Climate change and global water resources. Global Environmental Change, 9(1):31-49.
- 4) Popp, D. (2006) International innovation and diffusion of air pollution control technologies: the effects of NO_x and SO₂ regulation in the US, Japan, and Germany. Journal of Environmental Economics and Management, 51:46-71.
- 5) 八木 迪幸・馬奈木 俊介 (2008) 環境規制と技術イノベーション：SO_x・NO_xにおける特許分析。環境学会誌21(1).
- 6) 藤井 秀道・八木 迪幸・馬奈木 俊介・金子 慎二 (2011) 国内製造業の環境技術特許と財務パフォーマンスの因果関係性分析。環境学会誌24(2).
- 7) Granger, C.W. (1988) Some recent development in a concept of causality. Journal of Economics, 39: 199-211.
- 8) Trajtenberg, M. (1990) A penny for your quotes: Patent citations and the value of innovations. The RAND Journal of Economics 21(1), 172-187.
- 9) Organization for Economic Co-operation and Development 2009, Environmental Policy Framework Conditions, Innovation and Technology Transfer, OECD.
- 10) 総務省統計局、日本の長期統計系列、30章環境、<http://www.stat.go.jp/data/chouki/30.htm> (2011年9月7日アクセス)

DEVELOPMENT AND DIFFUSION OF WASTE WATER TREATMENT TECHNOLOGY

- EMPIRICAL STUDY FOR JAPANESE FIRMS -

Takahumi MATSUZAKI, Hidemichi FUJII, Shunsuke MANAGI and Shinji Kaneko

Development of pollution abatement technology is important for firm to prevent pollution more easily and cheaply. However, from the economical point of view, invention of pollution abatement technology is considered as investment for non-productive sector which does not contribute economical benefit directly. This study tries to clarify how pollution abatement technology is development in Japanese manufacturing firms considering the relationship with environmental regulations. We apply granger causality test for our analysis. Our main finding is tightening of environmental regulation have significant positive effect to promote improving wastewater treatment technology for Japanese manufacturing firms.