

自動車排出ガス規制の強化は企業の触媒技術に関する研究開発活動に影響を与えたか

—特許データを利用した定量分析—

枝村 一磨

Stringency of automobile exhaust gas regulations and R&D for catalysts technology : Empirical analysis using patent data

Kazuma Edamura
Kanagawa University

【要旨】 環境政策が企業に研究開発活動を促すという、ポーター仮説がある。本稿ではポーター仮説を検証するべく日本の自動車産業に注目し、自動車排出ガス規制が、企業による触媒技術の研究開発を促進させるか否かを、特許データを用いて分析する。分析期間は1971年から2010年までであり、分析対象は、東京証券取引所および大阪証券取引所の1部及び2部に上場し、製造業に属している企業1,337社である。これらの企業について特許情報に関するデータを整理し、分析を行う。自動車排出ガス規制のタイミングや触媒技術に関する特許件数の推移を比較し、触媒技術に関する特許を出願していない企業も考慮に入れたゼロ強調ポアソンモデルによる推計を行った結果、厳しい自動車排出ガス規制は企業の触媒技術に関する研究開発活動を促進させるものの、比較的厳しくない規制は触媒技術に関する研究開発活動を促進させていないという結果が得られた。環境規制の厳しさによって企業の触媒技術に関する研究開発活動に与える影響が異なるとする推計結果は、日本の自動車産業においてポーター仮説が当てはまる可能性を示唆している。

1. はじめに

環境規制の強化は、企業の研究開発活動を促進させるのに有効な施策となるのだろうか。環境政策の施行が企業の環境技術に関する研究開発活動を促すという仮説がある。それは、Porter and van der Linde (1995) が主張した、ポーター仮説である。彼らは、適切な環境政策の設定が、企業に新たな利潤機会を見つけさせる契機となり、その結果として研究開発が促進されると主張する。環境規制が企業の研究開発の促進に有効な施策であるか否かを明らかにすることは、今後の環境政策の手法に方向性を示すだけでなく、企業の研究開発を促進させる技術政策を考える上でも意義深い。

本稿は、環境規制が企業の研究開発を促進させるというポーター仮説を、日本の自動車産業に

おける環境規制と企業研究開発の関係から検証する。具体的には、自動車排出ガス規制が、触媒技術の研究開発を促進させるか否かについて、規制の施行状況や触媒技術に関する特許件数の推移を把握し、特許件数を企業レベル、年レベルで整理して Griliches (1984) 等で用いられている特許生産関数を推計する⁽¹⁾。

新古典派経済学では、環境規制の強化は企業にとって追加的なコストとなるため研究開発費が縮小され、研究開発活動は減退すると考えられていた。しかし Porter and van der Linde (1995) は、企業はもともと限定合理性の下でしか活動しておらず、環境規制の前では最適利潤最大化行動をとっていないと考える。そして、そのような企業に対しては、環境規制の設定が新たな利潤機会を見つけさせるショックとなり、その結果、企業は研究開発活動を活発化させて新たな利潤機会を見つけると主張した。

ポーター仮説に関する実証研究では、環境規制と研究開発の関係に対して肯定的なものが多い (Jaffe and Palmer 1997; 浜本 1997; Brunnermeier and Cohen 2003; 中野 2003; Popp 2003; Popp 2006; Arimura et al. 2007; Calel and Dechezlepretre, 2016)。また、産業ごとのデータを利用して、環境規制の厳しさの指標として汚染対策費 (Pollution Abatement Costs and Expenditure; PACE) を用いる研究が特に多い。Jaffe and Palmer (1997) は、1970年代・1980年代のアメリカの産業ごとの研究開発費と汚染対策費、特許データのパネルデータを用いて、研究開発と環境規制の関係を分析している。彼らによれば、環境規制の強化は、企業の特許出願行動に対して影響を与えているという統計的証拠はないが、研究開発支出に正の影響を与えているという。つまり、環境規制の強化は、企業の特許出願動向には効果を与えないが、研究開発費を押し上げる効果はあるという結論を得ている。浜本 (1997) は、公害対策が急激に進んだ1970年代の日本の産業ごとの研究開発費と汚染対策費のパネルデータを用いて分析を行い、環境規制が企業の研究開発活動を促進させるという可能性を示唆している。Brunnermeier and Cohen (2003) は、1983年から1992年までのアメリカの産業ごとの環境技術に関する特許データと汚染対策費及び企業への大気や水質に係る立ち入り調査の回数のデータを用いて、分析を行っている。この分析でも上述の先行研究と同様に、環境規制の強化は研究開発の促進に正の影響を与えていると結論づけている。企業レベルで分析を行っている研究として、中野 (2003) がある。中野 (2003) は、1970年代の紙パルプ産業に注目し、有価証券報告書の情報を利用して汚染対策費 (公害防止投資支出) のデータを作成して、研究開発費のデータと併せて企業レベルで分析を行っている。その分析において、環境規制が企業の研究開発活動を促進させたという結論を得ている。また、Calel and Dechezlepretre (2016) は、2000年から2009年におけるヨーロッパ23カ国の企業データを用いて、ヨーロッパ連合域内の排出権取引制度が低炭素技術の特許件数に与える影響を検証している。分析の結果、当該排出量取引制度は低炭素技術の特許件数を増加させるが、その他の技術に関する特許件数は減少させないという。実証研究において産業レベルでの分析は数多く行われてきたが、企業レベルでの分析はまだ数少ない。また、1990年代や2000年代のデータを用いた分析も少ない。環境規制が企業の研究開発活動に与えるインパクトは、経営環境によって異なるため、最近のデータを用いた企業レベルでのさらなる研究蓄積が望まれている。

(1) 本稿では、環境規制が研究開発に与える影響を分析するため、それに関する先行研究を中心としている。環境規制が国際競争力や生産性に与える影響については、Ambec et al. (2011) や Ambec (2013) が包括的にサーベイしている。

そこで本稿では、日本の特許に関する包括的なデータベースである特許情報プラットフォーム（J-PlatPat）や知的財産研究所（IIP：Institute of Intellectual Property）の特許データベース（IIP パテントデータベース）を活用して、自動車排出ガス浄化技術である触媒技術に関する特許情報を抽出し、自動車排出ガス規制と触媒技術の研究開発活動との関係を明らかにする。具体的には、1971年から2010年までの日本の特許データを用いて推計を行う。推計にあたっては、東京証券取引所（東証）、大阪証券取引所（大証）の1部・2部に上場していて、製造業に属する企業1,337社を対象に、特許データが補足可能である1971年から2010年までの40年間のデータを整理し、ゼロ強調ポアソンモデル（zero-inflated poisson model）によって推計する。

日本企業による触媒技術の特許データを整理し、自動車排出ガス規制のタイミングを比較してみると、政府の審議会で規制に関する答申がとりまとめられてから特許件数が増加し、規制が施行される時には減少傾向になっている。また、Griliches（1984）の基本モデルに依拠したゼロ強調ポアソンモデルによる推計の結果、先行研究と同様に、排出ガス規制に関する答申から施行までの期間が長く、企業による研究開発時間が長く確保されないと対応が難しいという厳しい規制が施行されると、企業の触媒技術に関する特許出願件数が増加し、研究開発活動が促進されていることが確認された。一方、排出ガス規制に関する答申から施行までの期間が短く、研究開発に時間を要しない厳しくない規制が施行された際には、特許出願件数が他の期間に較べて減少しており、企業の触媒技術に関する研究開発活動は促進されていないという結果も得られた。排出ガス規制への対応の難易によって企業の触媒技術に関する研究開発活動に与える影響が異なるとする推計結果は、日本の自動車産業においてポーター仮説を統計的に支持しており、日本における環境政策が技術政策としての役割も果たすことができる可能性を示唆している。

本稿の構成であるが、まず第2章で日本における自動車排出ガス規制とそれに対応するための技術の概要について述べる。第3章では、本稿で使用するデータについて述べる。第4章で統計分析の手法や推計結果を考察し、第5章で本稿の結語を述べることとする。

2. 自動車排出ガス規制と触媒技術

自動車排出ガス規制とは、自動車から排出される一酸化炭素（CO）や炭化水素（HC）、窒素酸化物（NO_x）、粒子状物質（PM）等の大気汚染物質の上限を定めた環境規制である。排出ガス規制は自動車検査登録制度（車検）によって担保されており、排出ガスの基準を満たさない自動車については、公道を走行することができない。欧米では車検制度がないため、日本は排出ガス規制が世界で最も厳格に運用されているといっても過言ではない。

自動車排出ガス規制は、主にガソリン自動車とディーゼル自動車向けの2種類ある⁽²⁾。現在、各自動車では重量等を基準として5車種に分かれて規制値が設定されている。すなわち、ガソリン自動車は、乗用車、軽貨物車、軽量トラック、中量トラック、重量トラックの5車種であり、ディーゼル自動車は小型乗用車、中型乗用車、軽量トラック、中量トラック、重量トラックの5

(2) ガソリン自動車、ディーゼル自動車の他に液化石油ガス自動車（LPG車）がある。ただし、日本では用途が商用のタクシーやトラック等限られており、普及率も0.37%（LPG車台数294,657台、全自動車台数79,236,095台数、2006年）であるので、本稿では普及率の高いガソリン自動車とディーゼル自動車を分析対象とする。

車種である。

自動車排出ガス規制に対応するための技術は2種類ある。排出ガス自体を抑制するエンジンに関する技術と、排出されたガスの規制対象物質を事後的に除去するための触媒技術である。特に触媒技術については、排出ガス規制が本格的に開始された1970年代後半から現在に至るまで、規制対応には必要不可欠な技術である。触媒技術は適用されるエンジンによって、その種類が異なる。ガソリン自動車の排出ガスは主にCO、HC、NO_xであるので、規制に対応するにはこの3成分を同時に低減させる三元触媒が用いられる。ディーゼル自動車の排出ガスは主にCO、HC、NO_xとPMであるが、エンジン技術においてNO_xを抑制するとPMが多く排出され、PMを抑制するとNO_xが多く排出されるというトレードオフの関係があるため、エンジン技術でNO_xを抑制し、多く排出されるPMとCO、HCを除去するために酸化触媒が用いられている。酸化触媒を用いないと、規制に対応することはできない。

本章では、ガソリン自動車の排出ガス規制とディーゼル排出ガス規制の施行と、それに関連する排出ガス浄化技術について詳説する。

2.1. ガソリン自動車への排出ガス規制と三元触媒

自動車排出ガス規制の導入（1960年代後半）

自動車排出ガス規制が開始されたのは、1966年である。それ以前は、道路運送車両法（昭和26年6月1日法律第185号）において規定されていたが、具体的な規制対象車種や基準値等は定められておらず、有害なガスを多量に発生させてはならないという旨の抽象的な記述にとどまっていた。1966年には対象車種や対象物質がより具体的に定められ、まずガソリン自動車の新型車について一酸化炭素の排出規制が実施された。翌年の1967年にはガソリン自動車の新車全般に対して、一酸化炭素の排出が規制された。ただし、この時点では使用過程車については排出規制がなされていない。1967年に「排出ガス対策点検整備要領」が定められ、自動車使用者や整備関係者に対して要領が規定する部品の状態を点検整備するという指導が行われると規定されていたものの、規制値等の法的な強制力はほとんどなかった⁽³⁾。使用過程車が排出ガス規制の対象となったのは1970年のことである。また、この時点では排出ガス規制の対象はガソリン自動車であり、ディーゼル車が規制の対象となったのは1972年であった。

1968年には自動車排出ガス規制が大気汚染防止法に含められ、道路運送車両法とともに、規制が実施されることとなった。大気汚染防止法によって排出ガス規制値を規定し、道路運送車両法によって排出ガス規制値を担保するための自動車の構造、装置を規定する、と整理され、現在まで同じ考え方で排出ガス規制が施行されている。

1960年代の日本では、主にCOへの規制が主であった。これはアメリカのCO規制に影響を受けたものである。続いて1970年代にはHCが排出ガス規制の対象とされた。ただし、COやHCとともにガソリン自動車で排出されるNO_xについては、規制の検討中であった。当時の技術水準では、HCとCOの排出抑制とNO_xの排出抑制を同時に達成することができなかった。そのような状況下において、光化学スモッグが社会問題となり、その原因としてNO_xが注目され、自動車から排出されるNO_xへの規制が急務となった。社会状況を鑑み、1970年の運輸技術審議

(3) 点検項目とされた部品は、エアクリーナー・エレメントやキャブレター等である。

会中間答申では、1973年のガソリン自動車から排出される NO_x への排出ガス規制が検討された。ただ、この時点では対応する技術は確立されておらず、NO_x への規制は検討にとどまっていた。

アメリカにおけるマスキー法と日本版マスキー法

CO や HC、NO_x を同時に浄化する技術が確立していないにもかかわらず、その3物質の排出を日本において規制する契機となったのは、1970年にアメリカ議会で議論された大気浄化法改正（マスキー法）である。マスキー法は、排出ガス中の CO、HC、NO_x を5年後または6年後に1971年モデルの10分の1とすることを義務づけ、達成できない自動車は販売を認められないという厳しい環境規制であった⁽⁴⁾。アメリカに自動車を多く輸出していた日本企業もマスキー法の影響を受けることが必至であることから、1971年に環境庁長官が中央公害対策審議会にマスキー法と同様の規制について諮問を行った。審議会での議論の末、1972年にマスキー法と同様の自動車排出ガス規制を日本でも導入するという中間答申が出された。マスキー法と同程度の排出ガス規制を達成できる技術が当時なかったにもかかわらず、審議会においてその研究開発は不可能でないと判断され、アメリカのマスキー法と同様に1975年または1976年に日本でも排出ガス規制（日本版マスキー法）を導入することが目標と設定された。

1970年の運輸技術審議会の中間答申や中央公害対策審議会の中間答申を踏まえ、日本版マスキー法の準備として1973年にガソリン自動車の排出ガス規制が施行された。日本版マスキー法を視野に入れ、規制の対象物質は CO、HC、NO_x の3つとなった。1973年規制および1974年規制は、ガソリン自動車、ディーゼル自動車の排出ガスについて初めて3物質が規制されたことを考えると、これをもって日本では本格的に自動車排出ガス規制が開始されたと言ってよいであろう。また、3つの物質を同時に規制するという本格的な自動車排出ガス規制の開始は世界で初めてであった。

1970年に各種審議会から中間答申がなされ、1973年にガソリン自動車の排出ガス規制が施行された時期に、企業は排出ガス浄化技術の研究開発を行っており、排出ガス規制への対応も視野に入っていた。実際、東洋工業株式会社（現マツダ株式会社）と本田技研工業株式会社がマスキー法の規制水準をクリアできるエンジンの開発に成功している⁽⁵⁾。環境庁はこの状況を鑑み、1974年に特に CO と HC の規制値を厳しくする1975年規制を告示した。ただし、1976年に NO_x の規制をさらに厳しくする予定であったが、1975年規制が告示される前に中央公害対策審議会大気部会自動車公害専門委員会によって当時の技術では対応することが難しいと報告されたため、1976年規制は暫定とし、期限を2年延長して1978年に必ず達成することと定められた。実際、三元触媒の開発は進んでいたものの、耐久性等の問題から実用化までにはまだ時間が掛かる状態であった（『トヨタ自動車75年史』）。

1975年から1976年にかけて NO_x の排出規制を厳しくする議論が行われており、自動車に関わる窒素酸化物低減技術検討会では日本の排出ガス浄化技術について報告を行った。その中で、1978年規制の実施は可能であると報告された。このような状況において、トヨタ自動車株式会社

（4）アメリカのマスキー法は自動車産業の強い反対で1974年に廃案となっている。アメリカにおいてマスキー法と同水準の規制を達成したのは1995年であった。

（5）東洋工業はローターリーエンジン、本田技研は CVCC エンジンを開発した。

や日産自動車株式会社ではエンジン、キャブレターの改良、エレクトロニクスの活用に加え、触媒技術を改良し、1976年に三元触媒を用いた低公害乗用車を実用化した。これを踏まえて、政府は予定通り、1977年の中央公害対策審議会の答申を経て、1978年に NOx について厳しい規制を施行した。これにより、ガソリン乗用車について日本では未規制時に較べて92%の削減をすることが義務づけられ、アメリカで議論されていたマスキー法と同等の排出ガス規制が施行されることとなった。一方、アメリカではマスキー法の実施が延期され、規制は1995年まで先延ばしにされた。ヨーロッパでも CO、HC、NOx に対して厳しい規制は当時行われていなかったため、日本版マスキー法による規制は1990年初頭まで、世界で最も厳しいものであった⁽⁶⁾。

日本版マスキー法の施行から1980年代

1977年の中央公害対策審議会答申では、1978年の日本版マスキー法に加えて、ガソリン自動車の軽量車、中量車、重量車、軽自動車の NOx 排出規制を厳しくする1979年規制の実施、自動車排出ガス規制の長期目標がとりまとめられている。この答申を受けて、1978年に1979年規制が告示された。また、答申によって設定された長期目標を受け、排出ガス規制に対して技術的に対応可能である車種から逐次規制が実施された。1979年にはガソリン軽量、中量車の NOx の排出規制を厳しくする1981年規制が告示され、1980年にはガソリン重量車及び軽貨物車の NOx 排出規制を厳しくする1982年規制が告示されている。また、1986年には中央公害対策審議会によって自動車排出ガス低減対策のあり方に関する中間答申がなされ、ガソリン軽量車や中量車、軽貨物車に関する排出ガス規制が逐次施行されることとされた。ただし、ガソリン自動車の中で最も登録台数が多いガソリン乗用車の NOx 規制値は据え置きとなっており、三元触媒の研究開発は活発には行われなかった。

ガソリン乗用車規制が改正されない時期

1989年には、中央公害対策審議会の答申がとりまとめられた。この答申によって、ガソリン自動車のさらなる NOx への規制が進められることとなった。この答申を受けて、1991年にガソリン重量車の NOx に関する1992年規制が告示された。1993年にはガソリン中量車の NOx に関する1994年規制、ガソリン重量車の NOx に関する1995年規制が告示されている。

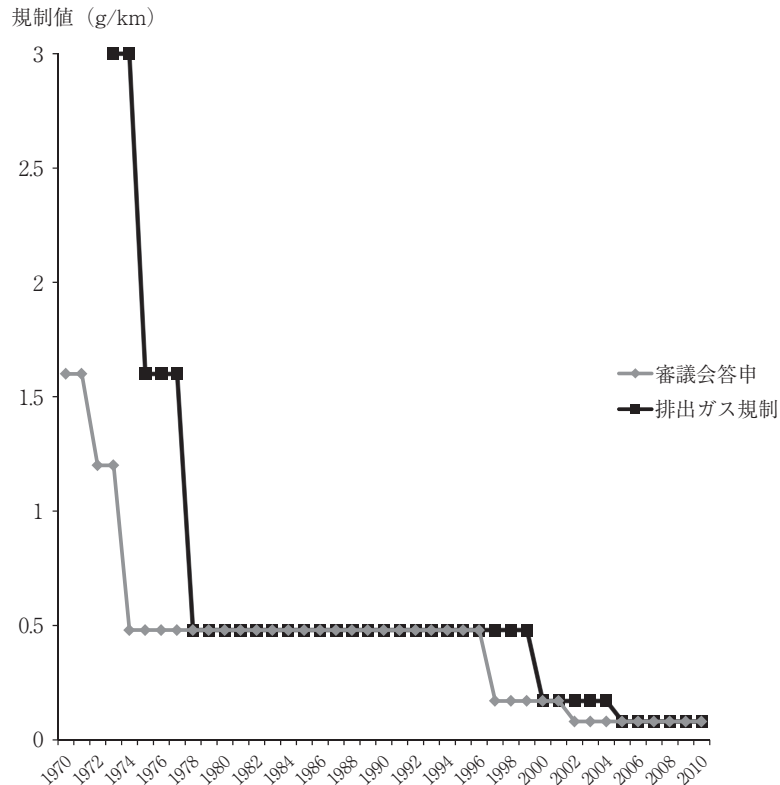
1996年には、中央環境審議会が「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について」の中間答申をとりまとめた。この中間答申によって、1989年の答申で示された目標達成後の新たな目標が示されている。すなわち、ガソリン軽貨物車や中量車、重量車の排出ガス規制の具体的目標が示された。この中間答申を受けて、1997年には上記自動車の NOx 等に関する1998年規制が告示され、実施された。

ガソリン乗用車の排出ガス規制の改正

1997年には、中央環境審議会が、「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について」の第二次答申をとりまとめ、ガソリン乗用車、軽量車、中量車、重量車、軽貨物車について2000年から2002年の間の施行が目標とされる新短期規制を示した。これを受けて1978年以来改正されてい

(6) 使用過程車については1979年から、輸入車については1981年から適用されることとなった。

図2.1 ガソリン乗用車への排出ガス NO_x 規制値の変遷



出所：筆者作成

かったガソリン乗用車の排出ガス規制の改正が検討され、1998年に上記ガソリン自動車の2000年規制、2001年規制、2002年規制が告示され、実施された。また、長期目標として、2005年を目途により厳しい規制を達成する旨も示された。

2002年には第五次答申がとりまとめられ、第二次答申で2005年の実施が目標とされたガソリン自動車に関する新長期規制が示された。また、ガソリン軽貨物車については、固有の技術的課題から2007年に実施することが示された。これを受けて、2003年に、上記自動車の排出ガスに関する2005年規制および2007年規制が告示され、実施された。

規制値の変化

以上、日本における自動車排出ガス規制について概観した。審議会で答申されたのちに告示された排出ガス規制値と、実施された排出ガス規制値の変遷を、ガソリンエンジン搭載車において登録台数が最も多いガソリン乗用車についてみたものが、図2.1である。ガソリン乗用車の規制に関して、審議会で答申された値と施行された規制値の差が1970年代から2010年までで縮小していることがわかる。また、1970年から2010年までの間に、排出ガス規制が4回改正されている。日本版マスキー法が施行された1978年から1999年まではNO_xの規制値に変化はなく、日本版マスキー法はガソリン乗用車のNO_x規制として20年以上適用されるくらい厳しいものであったと考えられる。

2.2. ディーゼル自動車への排出ガス規制と酸化触媒

自動車排出ガス規制の導入（1960年代後半）

ディーゼル自動車の排出ガス規制が開始されたのは、1972年である。それ以前は、ガソリン自動車と同様に道路運送車両法において、具体的な規制対象車種や基準値等は定められていなかった。しかしながら、1960年代、70年代にはNO_xによる光化学スモッグやPMによる大気汚染が社会問題となり、ガソリン自動車だけでなく、ディーゼル自動車の排出ガス規制の必要性が認識されるようになった。それを受けて1970年の運輸技術審議会中間答申では、ガソリン自動車への排出ガス規制の改正に加えて、ディーゼル自動車への排出ガス規制についてNO_xの排出ガス規制を1974年に開始することが検討されている。

ディーゼル自動車排出ガス規制の本格的導入

ディーゼル自動車の排出ガス規制が本格的に検討されるようになったのは、ガソリン自動車と同様に1970年にアメリカ議会で議論されたマスキー法である。マスキー法によって自動車への排出ガス規制が見直され、ディーゼル自動車の排出ガス規制も議論が進んだ。運輸技術審議会において1970年に中間答申がなされ、1974年にディーゼル自動車の排出ガス規制を設定することが定められた。これは環境庁によって予定通りに設定された。1974年にディーゼル自動車の排出ガスについて初めて規制値が設定されたことを考えると、この時期に本格的にディーゼル自動車の排出ガス規制が開始されたと言ってよい。また、ガソリン自動車と同様に、ディーゼル自動車についても本格的な排出ガス規制の開始は世界で初めてであった。ディーゼル自動車の主な排出ガス浄化技術である酸化触媒は、ディーゼル発動機等を使用する工場の煙突などの煤煙浄化技術として以前から技術が存在していたため、自動車排出ガス規制への対応にはある程度の目途が立っていた。

1977年の中央公害対策審議会答申では、ディーゼル自動車のNO_x排出に関する1979年規制の実施、自動車排出ガス規制の長期目標についてとりまとめている。これを受けて、1978年に1979年規制が告示された。また、答申によって設定された長期目標を受け、排出ガス規制に対して技術的に対応可能である車種から逐次規制が実施された。1979年にはディーゼル乗用車のNO_xに関する1981年規制が告示され、1980年にはさらなるNO_xに関する排出ガス規制である1982年規制が告示されている。さらに、1981年にディーゼル車のNO_xに関する1983年規制、1984年にはディーゼル乗用車（マニュアル車）のCO、HC、NO_xに関する1986年規制、1985年にはディーゼル乗用車（オートマ車）のCO、HC、NO_xに関する1987年規制が告示され、排出ガス規制に技術的に適応可能となり次第、告示通りに排出ガス規制が実施された。

1985年に中央公害対策審議会に対して自動車排出ガス低減対策のあり方について諮問があり、1986年に中間答申がとりまとめられた。この中間答申によって、1988年から1990年までの間にディーゼル軽量車、中量車、重量車のNO_x等に関する排出ガス規制の目標が示された。これに基づいて、1987年にディーゼル車のCO、HC、NO_xに関する1988年規制および1989年規制、1988年にディーゼル乗用車のNO_xに関する1990年規制および1992年規制が告示され、実施された。1980年代には主にNO_xに関する排出ガス規制が逐次施行され、PMの規制の改正は行われてこなかった。このため、CO、HC、PMを浄化するための酸化触媒技術に関する研究開発は停滞した。

PM の規制

1980年代までは NO_x に排出ガス規制の重点が置かれていたが、その規制が進むにつれ、健康に影響を及ぼす物質として対策が求められていた PM の規制も議論されるようになった。それを受けて中央公害対策審議会において審議が行われ、答申がとりまとめられた。この答申によって、CO や HC、NO_x の 3 物質に加えて、PM についても、ディーゼル車の排出ガス規制として規制値が設定されることとなった。車種により段階的に PM の排出ガス規制が実施されることとなり、1992年、1993年の施行が目標とされる短期規制と、1994年から1999年の間の施行が目標とされる長期規制が示された。

本答申に基づいて、ディーゼル軽量車、中量車の NO_x、PM に関する1993年規制、ディーゼル乗用車、重量車の PM に関する1994年規制が告示された。1996年には、ディーゼル小型乗用車、軽量車、中量車、重量車の NO_x と PM に関する1997年規制、1998年規制、1999年規制が告示され、それぞれ告示にしたがって予定通りに実施された。

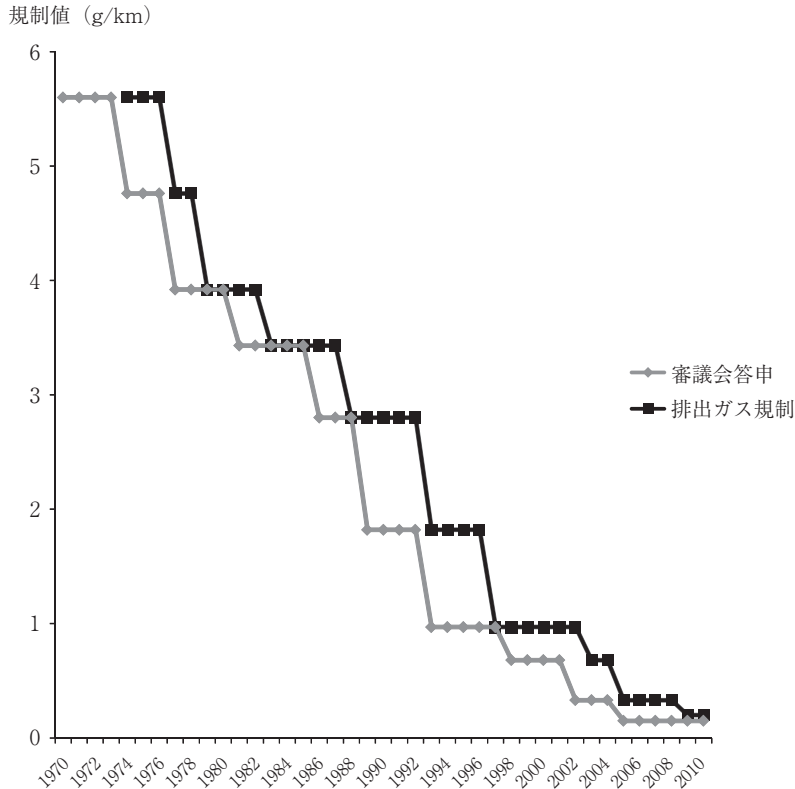
ディーゼル自動車の排出ガス規制のさらなる改正

ディーゼル自動車から排出される PM の規制値が設定された後も、引き続き CO、HC、NO_x、PM の規制は議論が続けられた。1998年には、中央環境審議会が第三次答申をとりまとめしており、ディーゼル乗用車や軽量車、中量車、重量車について2002年から2004年の間に新短期規制として規制の改正を行うことが示されている。また、新長期目標として、より厳しい規制を2007年に達成する旨も示された。これを受けて、2000年にディーゼル自動車の2002年規制、2003年規制、2004年規制が告示され、予定通り排出ガス規制は実施された。

2000年には第四次答申がとりまとめられ、第三次答申で2007年の実施が目標とされたディーゼル自動車に関する新長期規制を前倒しし、2005年に実施することが示された。2002年には第五次答申がとりまとめられ、第四次答申で実施の前倒しが示されたディーゼル自動車に関する新長期規制実施が確認された。2003年には第七次答申がとりまとめられ、第五次答申で確認された2005年実施のディーゼル自動車に関する新長期規制以降のさらなる規制（ポスト新長期規制）の必要性について検討された。2005年にとりまとめられた第八次答申においては、ディーゼル自動車のポスト新長期規制が2009年に実施されることが示され、車種によってはその目標を2010年までに達成する旨が示されている。この第八次答申にそって、2008年に2009年規制および2010年規制が告示され、それぞれの規制は告示にしたがって予定通りに実施された。

日本全国で実施される一連のディーゼル自動車の排出ガス規制とは別に、ディーゼル自動車の交通量が多い都市部において事業者を対象に特別な排出ガス規制も実施された。「自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」（平成4年法律第70号、自動車 NO_x 法）が1992年に制定され、首都圏や愛知・三重圏、大阪・兵庫圏にある大都市で NO_x の排出基準値が別途定められた。2001年には規制対象物質として PM も規制対象物質と定められるように改定され、「自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」（自動車 NO_x・PM 法）に改正された。2007年にはさらなる改正が行われ、重点対策地区の指定や周辺地域への規制も実施された。また、2003年には東京都においても PM を対象に独自のディーゼル車規制が行われ、2006年に規制値の改正が行われている。

図2.2 ディーゼル中量トラックへの排出ガス NOx 規制値の変遷



出所：筆者作成

規制値の変化

以上、日本における自動車排出ガス規制について概観した。日本国内で実施されているディーゼル自動車の排出ガス規制値の変遷について、ディーゼルエンジン搭載トラックにおいて登録台数が最も多いディーゼル中量トラックについてみたものが図2.2である。ディーゼル中量車の規制に関しては、答申、告示された規制値と施行された値の差がほぼ一定であるものの、規制が施行されるとすぐに次の規制について審議会による答申と告示がなされ、ガソリン乗用車の場合より段階的に規制の改正が行われていることがわかる。

排出ガス規制の施行課程と企業の研究開発活動

排出ガス規制は、まず審議会や検討会、委員会等において議論がなされ、具体的な規制対象車種や規制値、実施時期などが答申される。それにしたがって環境省が新たな規制を告示し、実施される。

排出ガス規制の改正が審議される審議会や検討会等では、大学等公的研究機関に属している工学や医学、法学の研究者、地方自治体の関係部局の担当者、実務家、自動車業界の関係者等が委員となり、議論が行われる。また、必要に応じて、自動車産業に属する民間企業の研究者や経営者からのヒアリングが行われ、排出ガス浄化技術に関する技術水準の現状把握を行うこともあ

る。このように、排出ガス規制の実施過程を見てみると、自動車排出ガスに関する専門家や実務家、利害関係者が、その時点での技術水準を考慮しながら企業が遵守できる水準の規制を設定していることがうかがえる。

排出ガス規制を実質的に決定する審議会において企業の関係者がヒアリングを受けたとしても、規制の答申を作成するのは委員であり、規制を実施するのは政府である。規制施行の前段階である審議会が開催されれば、今後の研究開発の進展を見越して排出ガス規制値が多かれ少なかれ厳しくなることは企業にとっても容易に予想できる。そうすると、企業は将来的に排出ガス規制が厳しくなることを想定し、それに対応するための研究開発を行うと考えられる。したがって、排出ガス規制が企業の排出ガス浄化技術の研究開発を促していると考えられる。そもそも、政府が排出ガス規制の実施を検討しないとすると、企業が追加的なコストをかけて排出ガス浄化技術の研究開発を行うインセンティブがないだろう。政府が排出ガス規制を審議会等で検討し、その時点での技術水準を把握して新規制に関する答申を発表し、政府が実施することを正式に告示することで、企業は規制実施を見越して研究開発を行い、規制が実施される頃には研究開発を終えて、その成果を製品に搭載して販売してきた。そうすると、排出ガス規制の告示から実施までの期間は、企業の研究開発に必要な期間とも考えられ、すなわち規制の厳しさともある程度比例しているとも考えられる。告示から実施までの期間が長いほど、規制が厳しい水準であり、企業の研究開発活動は活発化する可能性がある。

2.3. 欧米における自動車排出ガス規制

アメリカ

前節では日本における排出ガス規制の本格導入のきっかけとしてアメリカにおけるマスキー法を取り上げた。1970年に制定されたマスキー法は、1975年以降に製造する自動車に対して CO、HC の規制、1976年以降に製造する自動車に対して NOx の規制を行うという、世界で初めての本格的な自動車排出ガス規制である。規制値が厳しい水準であったことから、アメリカで自動車を販売する世界の自動車メーカーの経営に大きな影響を与えた。

ただし、1974年にマスキー法の規制は緩和され、実施が延期されることとなった。その後、アメリカでは自動車排出ガス規制が自動車メーカーの研究開発状況に応じて徐々に進められ、1995年に規制が当初のマスキー法の水準に達した。その後、1998年、2010年と段階的に排出ガス規制が強化されている。

ヨーロッパ

ヨーロッパにおいて統一的に自動車排出ガス規制が施行されたのは、1992年である。それまでは西ドイツ等の各国において規制が施行されていたが、自動車メーカーの研究開発状況を考慮していたため、アメリカと同様に厳しい規制ではなかった。ただ、1990年代に入り、ヨーロッパとしての自動車排出ガス規制の必要性が認識され、1992年に統一的な規制が施行されたのを皮切りに、1996年、2000年、2005年、2008年に新車への排出ガス規制が施行された。また、日本と同様に使用継続車に対しても2001年、2006年、2009年に排出ガス規制が施行された。ただし、定期的に自動車を登録しなければならない車検のような制度がヨーロッパには存在せず、規制をどのように担保するのかは議論が続いており、使用継続車に関しては規制の効果ははっきりとはしてい

ないのが現状である。

2.4. 自動車排出ガス規制への対応技術

自動車排出ガス規制に対応するための代表的な技術は、主に2種類ある。1つは排出ガス自体の発生を抑えるエンジンに関する技術、もう1つは排出ガス中の有害物質を事後的に除去する触媒技術である。前節でも述べたが、ガソリン自動車については、1970年代前半の排出ガス規制の当初において、エンジンに関する技術で排出ガス規制に対応することが可能であった⁽⁷⁾。しかし、1970年代後半の日本版マスキー法以降の排出ガス規制においては、エンジンに関する技術のみでの対応は限界があり、触媒技術を用いることで初めて対応が可能であった。また、ディーゼル自動車については、NO_xとPMのトレードオフから、エンジン技術でNO_xの排出を抑制すると、増加するPMを参加触媒で浄化しなければ、規制に対応できない。以上の技術的背景を踏まえ、本稿では自動車排出ガス規制と密接な関係を持つ技術は触媒技術であると定義する。

触媒技術として、本研究では主に三元触媒、酸化触媒に注目する⁽⁸⁾。2種類の触媒技術を考えるのは、エンジンの種類によって、適用される触媒の種類が異なっているからである。ガソリン自動車においては、CO、HC、NO_xの各成分が多く排出され、同時に浄化する必要があることから、三元触媒が必須である。一方、ディーゼル自動車においては、CO、HCの排出が比較的少なく、PMの排出が多いため、それらを浄化することができる酸化触媒が必須である。自動車排出ガス規制の対象は、主にガソリン車とディーゼル車であるので、これらの2種類の触媒技術を分析対象として取り上げる。

2.5. 本稿の仮説

本稿の目的は、環境規制の強化が企業による技術の研究開発活動を促進させるというポーター仮説が日本の自動車産業において当てはまるか否かを検証することである。そこで、自動車排出ガスが本格的に施行された1970年代から、2010年までの特許データを用いて、自動車排出ガス規制の強化が企業の触媒技術の研究開発を促進させるか否かを検証する。環境規制として自動車排出ガス規制を考え、自動車排出ガス規制と密接な関係を持つ技術として触媒技術を考える。

従来の経済学では、環境規制が課された場合、企業は研究開発活動を縮小させると考えられてきた。環境規制は、企業の製品開発や製造過程に新たなコストを負担させることとなり、利潤を縮小させ、研究開発活動の縮小につながると考えられるからである。つまり、政府が環境汚染を抑制するために施行する環境規制は、企業の研究開発活動を減退させる可能性があるため、技術政策、産業政策とは相容れない政策であると考えられてきた。

一方、環境規制が企業の研究開発活動を促進させるという考えもある。環境規制によって相対的に高価となった費用を抑制させるために、研究開発を行うことが考えられる。例えば、自動車排出ガス規制が強化されると、企業はそれに対応した自動車を販売して利潤を最大化しなければならない。企業にとって、従来の技術を用いるよりも安価に規制をクリアできる技術を開発して

(7) 前掲脚注4を参照。

(8) 他に、NO_x吸蔵還元型触媒(NSR触媒)や尿素SCR触媒等の研究開発が進んでいる。ただし、これら触媒は1990年代中頃から開発が進んだ比較的新しい技術で発展途上であり、分析に用いるデータとして後述する特許情報が少ないため、本稿の分析には含めなかった。

自動車に搭載するインセンティブが大きくなる。

本稿では、自動車排出ガス規制の強化によって、排出ガス浄化技術が相対的に高価になり、その結果としてより安価な排出ガス浄化技術の研究開発が進むと考える。ただし、規制の厳しさによって研究開発が促進される場合とそうでない場合があるだろう。すなわち、「厳しい自動車排出ガス規制が、企業による触媒技術の研究開発を促進させる」という仮説と、「厳しくない自動車排出ガス規制は、企業による触媒技術の研究開発を促進させない」という仮説を、計量経済学的に検証する。先行研究では、具体的な技術と環境規制について企業レベルの特許データを用いた分析を行っているものは筆者の知る限りほとんどない。本稿では自動車排出ガス規制と、それに対応する浄化技術として触媒技術に注目し、仮説を検証する。また、詳細な技術情報である特許データを用いて触媒技術を定義し、企業レベルに集計して分析を行う。これらの点は本稿の独自性といえる。

3. 触媒技術に関する特許出願動向

3.1. データ

本稿では、日本の三元触媒、酸化触媒技術に関する特許データを用いて仮説を検証する。分析対象は、触媒技術を1件以上出願しており、東証、大証の1部・2部に上場している製造業の企業である。また、特許データの補足可能な時期が1971年からであることを考慮し、分析期間を1971年から2010年の40年間とする。分析対象企業は上場企業1,337社であった⁽⁹⁾。

3.1.1. 特許データ

三元触媒、酸化触媒に関する技術の特許データを収集するため、まずFタームを用いて1971年から2010年に出願された各触媒技術に関する特許の出願番号を、特許情報プラットフォーム(J-PlatPat)で抽出する⁽¹⁰⁾。抽出した出願番号をもとに、Goto and Motohashi (2007)で整理されたIIPパテントデータベースから出願人や出願日の情報をマッチングし、出願人と出願日で特許データを整理する。整理されたデータから、出願人情報を元に東証、大証1部・2部上場企業が出願した特許情報のみを抽出する。

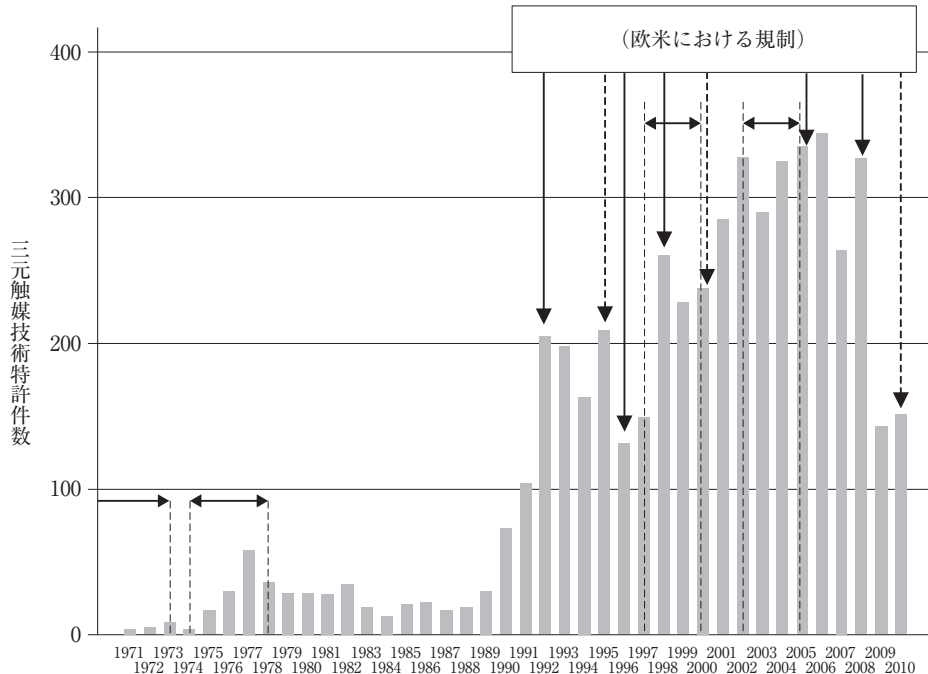
触媒技術に関する特許を出願した企業は99社、うち三元触媒に関する特許を出願した上場企業は60社、酸化触媒に関する特許を出願した上場企業は89社であった。また、上記の企業が出願した特許の件数は、三元触媒技術に関しては20,837件、酸化触媒技術に関しては17,946件であった。それぞれの触媒に関して、対応する自動車排出ガス規制に関する答申、告示と実施のタイミングとともに、特許出願件数の動向を示したのが、図3.1、図3.2である。

三元触媒の特許出願件数の推移を示した図3.1によると、1970年代において、1977年に三元触媒の特許出願件数のピークがきている。これは、1978年に施行された日本版マスキー法に対応するために三元触媒の研究開発を行い、その成果があらわれていると考えられる。1980年代は低い水準で推移しているが、1990年代は増加傾向にある。その傾向は2000年代になっても顕著になっ

(9) 東証、大証の1部・2部に上場している製造業の企業のうち、売上高の情報が欠落している企業については除いている。また、持株会社についてもサンプルから除いている。

(10) 三元触媒のFタームは3G091AB03、酸化触媒のFタームは3G091AB02である。

図3.1 三元触媒関連の特許出願件数の動向



注：左向きの矢印はガソリン乗用車に対する排出ガス規制が答申・告示された年を、右向きの矢印は当該排出ガス規制が実施された年を示している。下向きの実線矢印はヨーロッパで規制が施行された年、下向きの破線矢印はアメリカにおいて本格的に排出ガス規制が施行された年である。

出所：筆者作成

ている。これは、1990年代前半にアメリカやヨーロッパで日本と同水準の厳しい排出ガス規制が施行されたため、日本企業がそれに対応するために研究開発を行い、特許を多く出願したためと考えられる。また、2000年には中国でも排出ガス規制が開始されたことから、ますます日本企業の研究開発が進んでいる。

1970年代から2000年代で、三元触媒に関する特許出願件数について、多い企業を抜粋したのが表3.1である。1970年代から一貫して、トヨタ自動車株式会社や日産自動車株式会社等の自動車メーカーや、株式会社デンソーやカルソニックカンセイ株式会社等の自動車部品メーカーが上位を占めている。ガソリン車の排出ガス規制が施行されてから、自動車及び自動車部品メーカーが中心となって、排出ガス浄化技術である触媒技術の研究開発を実施してきたことがわかる。

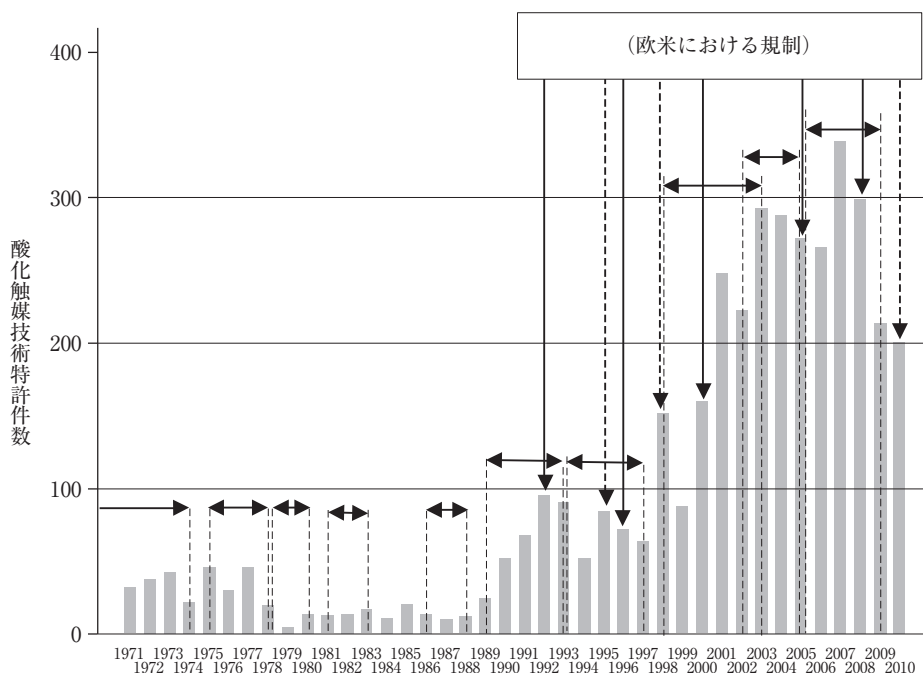
酸化触媒に関する特許出願件数の推移を示した図3.2によると、やはり規制が開始された1970年代は特許出願が比較的多く行われている。ただ、NO_x 規制が段階的に厳しくなって行った1980年代には、特許出願件数が少ない水準にある。これは、ディーゼル車の排出ガス規制対象物質であるCO、HC、NO_x、PMにおいて、特にNO_xに規制の重点が置かれたことに起因すると考えられる。ディーゼル車の排出ガスで有害な成分であるPMは規制が施行された1970年代初頭に他の物質と同様に規制対象物質とされたものの、具体的な規制値は設定されず、規制値が設定されるのは1990年代初めであった。ディーゼルエンジンはNO_xを抑制するとPMが多く排出されるというトレードオフが技術特性として存在することから、NO_xをエンジンで抑制し、多

表3.1 三元触媒に関する特許出願を行っている企業と件数

1970年代		1980年代		1990年代		2000年代	
トヨタ自動車 (株)	85	トヨタ自動車 (株)	86	トヨタ自動車 (株)	417	トヨタ自動車 (株)	1280
日産自動車 (株)	39	マツダ (株)	45	日産自動車 (株)	369	日産自動車 (株)	370
マツダ (株)	24	日産自動車 (株)	30	三菱自動車工業 (株)	189	三菱自動車工業 (株)	248
富士重工業 (株)	20	本田技研工業 (株)	30	本田技研工業 (株)	178	(株) デンソー	218
(株) デンソー	13	富士重工業 (株)	9	マツダ (株)	128	本田技研工業 (株)	195
(株) 日立製作所	5	三菱自動車工業 (株)	9	(株) デンソー	91	マツダ (株)	187
カルソニックカンセイ (株)	3	(株) ユニシアジェックス	3	(株) 日立製作所	86	(株) 日立製作所	97
ヤマハ発動機 (株)	2	スズキ (株)	3	(株) ユニシアジェックス	39	三菱電機 (株)	35
日本特殊陶業 (株)	1	(株) 日本触媒	3	三菱電機 (株)	25	ダイハツ工業 (株)	34
ダイハツ工業 (株)	1	日本ビラー工業 (株)	2	スズキ (株)	20	富士重工業 (株)	24
本田技研工業 (株)	1	(株) デンソー	2	三菱重工業 (株)	19	日本碍子 (株)	22
パナソニック (株)	1	パナソニック (株)	2	ダイハツ工業 (株)	18	ヤマハ発動機 (株)	19
昭和シェル石油 (株)	1	(株) 日立製作所	2	富士重工業 (株) 他	17	いすゞ自動車 (株)	18

出所：J-PlatPat と IIP パテントデータベースより筆者作成

図3.2 酸化触媒の関連特許出願件数の動向



注：左向きの矢印はガソリン乗用車に対する排出ガス規制が答申・告示された年を、右向きの矢印は当該排出ガス規制が実施された年を示している。下向きの実線矢印はヨーロッパで規制が施行された年、下向きの破線矢印はアメリカにおいて本格的に排出ガス規制が施行された年である。

出所：筆者作成

く排出されたPMを酸化触媒で浄化する技術を企業は採用したため、技術水準が規制対応に十分であった酸化触媒の研究開発は活発には行われてこなかったと考えられる。ただ、1989年の答申では、1993年からPMも排出ガス規制の対象となり、規制値を定めることが盛り込まれたことから、これに対応するために企業は酸化触媒の研究開発を行って、特許出願件数が増加したと考えられる。くわえて、1990年代、2000年代に入り、アメリカやヨーロッパ、中国、ロシアにお

表3.2 酸化触媒に関する特許出願を行っている企業と件数

1970年代		1980年代		1990年代		2000年代	
日産自動車（株）	92	マツダ（株）	46	トヨタ自動車（株）	248	トヨタ自動車（株）	952
トヨタ自動車（株）	61	日産自動車（株）	22	日産自動車（株）	80	日産自動車（株）	237
マツダ（株）	28	本田技研工業（株）	15	三菱自動車工業（株）	70	日野自動車（株）	221
パナソニック（株）	14	トヨタ自動車（株）	11	マツダ（株）	48	いすゞ自動車（株）	177
（株）日立製作所	10	パナソニック（株）	9	日野自動車（株）	43	（株）デンソー	146
カルソニックカンセイ（株）	8	スズキ（株）	9	スズキ（株）	39	マツダ（株）	144
ヤマハ発動機（株）	8	富士重工業（株）	4	（株）日立製作所	33	三菱自動車工業（株）	116
富士重工業（株）	8	（株）デンソー	3	本田技研工業（株）	26	本田技研工業（株）	100
三菱重工業（株）	6	三菱自動車工業（株）	3	（株）デンソー	24	日産ディーゼル工業（株）	77
（株）デンソー	6	日野自動車（株）	3	三菱電機（株）	20	（株）豊田自動織機	55
本田技研工業（株）	6	ダイハツ工業（株）	3	三菱重工業（株）	19	（株）日立製作所	40
スズキ（株）、 いすゞ自動車（株）他	5	（株）日本触媒他	3	ヤマハ発動機（株）	19	日本碍子（株）、 三菱重工業（株）	35

出所：J-PlatPat と IIP パテントデータベースより筆者作成

いてもディーゼル車への排出ガス規制が開始されたことも、日本企業が酸化触媒の研究開発を行い、特許出願件数が増加していることに影響を与えていると考えられる。

1970年代から2000年代まで、酸化触媒に関する特許を多く出願している企業を抜粋したのが、表3.2である。三元触媒に関する特許出願と同様に、一貫してトヨタ自動車株式会社や日産自動車株式会社等の自動車メーカーや、株式会社デンソーやカルソニックカンセイ株式会社等の自動車部品メーカーが特許を多く出願している。三元触媒の場合と異なるのは、1980年代からディーゼル車を生産する日野自動車株式会社が特許を多く出願している点である。また、株式会社日立製作所や三菱重工株式会社といった重工業も多く特許を出願している。これは、酸化触媒が自動車排出ガスだけでなく、煙突からの煤煙の浄化技術としても用いることが可能であることによる。

4. 統計分析

4.1. モデル

三元触媒、酸化触媒の各触媒に関する特許と、対応する自動車排出ガス規制の関係を分析するべく、Griliches（1984）等にならい、特許生産関数に基づく以下のようなモデルを考える。

$$P_{ijt} = \alpha + \beta \ln S_{it} + \sum_l \gamma_l D_l + \varepsilon_i + \varepsilon_{it} \cdots (1)$$

ただし、 P_{ijt} は、企業 i が t 年に出願した触媒 j に関する特許データである。 S_{it} は規模を示す変数で、実質化した売上高である。

Griliches（1984）等の先行研究では研究開発の規模を示す研究開発費を特許生産関数に説明変数として含めている。ただ、日本において研究開発費データを捕捉できるようになったのは、会計基準の見直しが行われた1999年であり、自動車排出ガス規制が開始された1970年代のデータを捕捉することはできない。また、1998年までの会計基準では研究開発費ではなく試験研究費が報告されていたが、1999年以降、当該事項を報告している企業は少ない。そこで本研究では、研究開発費と相関が高く、企業の研究開発規模をある程度代理できると考えられる売上高のデータを用いることとする。売上高データは、日本政策投資銀行企業財務データバンクを利用して収集

表4.1 基本統計量

	サンプル数	平均	標準偏差	最小値	最大値
三元触媒特許件数	43759	0.12	2.57	0	191
酸化触媒特許件数	43759	0.09	1.87	0	157
実質売上高（兆円）	43759	0.12	0.41	0	11.51

する。また、デフレータはJIP2012データベースの産出デフレータを用いる⁽¹¹⁾。

D_t は、排出ガス規制の厳しさを示す変数である。具体的には、告示から実施までの期間が4年間、3年間、2年間の場合に、それぞれの期間中は1をとり、他の年では0をとるダミー変数である。排出ガス規制の告示から実施までの期間は、企業が研究開発に必要とする期間とも捉えることができ、それは規制の厳しさを代理しているとも考えられる。告示から実施までの期間が2年、3年、4年間であることを鑑み、各期間についてのダミー変数を用いて、厳しい規制が触媒技術の研究開発活動を活発化させているか否かを検証する。三元触媒に関する分析の場合はガソリン常用車に対する排出ガス規制の情報を、酸化触媒に関する分析の場合はディーゼル中量トラックに対する排出ガス規制の情報をを用いる。

推計式（1）によるパネル分析を行い、次節でその推計結果を述べる。三元触媒、酸化触媒のそれぞれに関する特許件数を用いた推計結果を示す。表4.1に三元触媒、酸化触媒の特許件数と、実質売上高の基本統計量を示す。

4.2. 推計結果

三元触媒技術の特許件数を被説明変数としたモデルの推計結果が表4.2である。特許件数がカウントデータであることと、触媒技術に関する特許を出願していない企業を考慮し、ゼロ強調ポアソンモデルによる推計を行った。モデル T1は、説明変数に売上高のみを含めた最もシンプルな推計結果である。企業規模を示す売上高のパラメータは有意に正である。モデル T2～T4では、告示から規制施行までの期間に関するダミー変数を説明変数に加えている。売上高のパラメータは有意に正であることは変わらない。告示から規制施行までの期間が4年間、3年間の時に1をとるダミー変数の係数は、それぞれ有意に正である。一方、告示から規制施行までの期間が2年間の時のダミー変数の係数は、有意に負であった。

モデル T5、T6は、説明変数に告示から規制施行までの期間に関するダミー変数を同時に入れた推計結果である。売上高のパラメータは有意に正であることは変わらない。また、告示から規制施行までの期間に関するダミー変数についても、4年間、3年間の場合のパラメータは有意に正、2年間の場合のパラメータは有意に負であることは変わらない。

酸化触媒技術の特許件数を被説明変数としたモデルの推計結果が表4.3である。三元触媒の特許に関する推計と同様に、ゼロ強調ポアソンモデルによる推計を行った。推計結果は、三元触媒の特許に関する結果と、パラメータの有意水準や符号においてほとんど傾向が変わらなかった。モデル D1は、説明変数に売上高のみを含めた最もシンプルな推計結果である。企業規模を示す

(11) 実質データを計算するために、企業財務データバンクの業種コードと、JIP2012データベースの業種コードを田中・宮川（2009）を参考にして接合し、業種別、年別にデフレータを接合した。

表4.2 三元触媒の特許出願件数に関する推計結果

モデル 触媒技術	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	三元触媒					
告示から規制施行までの期間が 4年間ダミー		0.308*** (0.099)			0.451*** (0.099)	0.445*** (0.099)
告示から規制施行までの期間が 3年間ダミー			0.528*** (0.031)		0.539*** (0.031)	0.536*** (0.031)
告示から規制施行までの期間が 2年間ダミー				-0.950** (0.381)		-0.792** (0.380)
ln (売上高)	1.341*** (0.018)	1.348*** (0.018)	1.339*** (0.018)	1.336*** (0.018)	1.349*** (0.018)	1.346*** (0.018)
定数項	-26.391*** (0.390)	-26.559*** (0.395)	-26.503*** (0.390)	-26.289*** (0.391)	-26.735*** (0.395)	-26.653*** (0.396)
サンプル数	43759	43759	43759	43759	43759	43759
LogLikelihood	-4474.312	-4469.891	-4337.186	-4469.541	-4328.196	-4325.109
Chi-squared	7142.13	7150.972	7416.382	7151.67	7434.362	7440.535

注1 括弧内は標準偏差を示す。

注2 ***：1%有意、**：5%有意

表4.3 酸化触媒の特許出願件数に関する推計結果

モデル 触媒技術	D1	D2	D3	D4	D5	D6
	酸化触媒					
告示から規制施行までの期間が 4年間ダミー		-0.052 (0.033)			0.307*** (0.045)	0.224*** (0.049)
告示から規制施行までの期間が 3年間ダミー			0.500*** (0.039)		0.734*** (0.053)	0.651*** (0.056)
告示から規制施行までの期間が 2年間ダミー				-0.720*** (0.105)		-0.445*** (0.113)
ln (売上高)	0.956*** (0.017)	0.957*** (0.017)	0.967*** (0.017)	0.946*** (0.017)	0.964*** (0.017)	0.959*** (0.017)
定数項	-18.391*** (0.369)	-18.386*** (0.369)	-18.709*** (0.369)	-18.139*** (0.368)	-18.883*** (0.370)	-18.687*** (0.372)
サンプル数	43759	43759	43759	43759	43759	43759
LogLikelihood	-5381.236	-5380.035	-5306.441	-5350.98	-5282.23	-5273.559
Chi-squared	3520.984	3523.386	3670.575	3581.495	3718.997	3736.338

注1 括弧内は標準偏差を示す。

注2 ***：1%有意

売上高のパラメータは有意に正である。モデル D2～D4では、告示から規制施行までの期間に関するダミー変数を説明変数に加えている。売上高のパラメータは有意に正であることは変わらない。告示から規制施行までの期間が4年間、3年間の時に1をとるダミー変数の係数は、それぞれ有意に正である。一方、告示から規制施行までの期間が2年間の時のダミー変数の係数は、有意に負であった。モデル D5、D6は、説明変数に告示から規制施行までの期間に関するダミー変数を同時に入れた推計結果である。売上高のパラメータは有意に正であることは変わらない。また、告示から規制施行までの期間に関するダミー変数についても、4年間、3年間の場合のパラ

メータは有意に正、2年間の場合のパラメータは有意に負であることは変わらない。

4.3. 推計結果のまとめ

三元触媒技術と酸化触媒技術に関する特許生産関数の推計では、審議会による答申とりまとめ、政府による規制の告示から規制施行までの期間に関するダミー変数について、ほぼ同じような傾向のパラメータを得た。告示から規制施行までの期間が4年間、3年間であるダミー変数のパラメータは有意に正、2年間であるダミー変数のパラメータは有意に負である。これは、告示から規制施行までの期間が4年間および3年間の時、他の期間に比べて企業は三元触媒、酸化触媒に関する特許を多く出願していることを示唆している。また、告示から規制施行までの期間が2年間の時、企業が出願する三元触媒、酸化触媒に関する特許は他の期間に比べて少なくなっていることも示唆している。

告示から規制施行までの期間が長いほど、企業は研究開発に長い期間が必要ということを示唆しているとすれば、この期間が比較的長い3年間、4年間となっている排出ガス規制は、企業にとって厳しい規制ということを示唆している。これらのパラメータが有意に正であるということは、厳しい規制によって企業による触媒技術の研究開発が活発となり、特許が多く出願されていることが示唆されている。一方、この期間が比較的短い2年間となっている排出ガス規制は、企業にとって厳しい規制ではないことを意味している。このパラメータが有意に負ということから、厳しくない規制に対しては、企業は触媒技術の研究開発を抑制し、特許出願も抑制することが示唆されている。

売上高に関するパラメータでは、三元触媒、酸化触媒に関する特許生産関数の推計において、有意に正である。この結果は、企業規模が大きいと触媒技術に関する特許を多く出願していることを意味しており、特許と企業規模の間に正の相関があるとする Griliches (1984) 等の先行研究の結果と整合的である。

本研究の推計について、1点留意点がある。それは、企業のサンプル・セレクション・バイアスである。本研究では、製造業に属する全上場企業を分析対象としたが、未上場企業においても触媒技術の研究開発は盛んに行われている。例えば、企業の中央研究所や、自動車部品メーカー等は触媒技術の特許を多く出願しているが、未上場のため分析には含まれていない⁽¹²⁾。これらの企業を分析に含めることができないため、日本全体での触媒技術に関する研究開発活動を過小にみつもり、排出ガス規制に関する変数のパラメータを過小に推計しているかもしれない。

5. 結語

本稿では、日本における触媒技術の特許データを用いて、1971年から2010年に三元触媒、酸化触媒を出願した企業を含む製造業に属する上場企業1,337社を対象に、特許件数の推移を把握した上で統計分析を行った。自動車排出ガス規制のタイミングと特許件数との関係の比較や、Griliches (1984) の特許生産関数モデルに依拠したゼロ強調モデルによる推計の結果、三元触

(12) 未上場企業のために分析に含まれていない中央研究所としては、株式会社豊田中央研究所等がある。また、自動車部品メーカーとしては、キャタラー等がある。

媒、酸化触媒の各分析において、排出ガス規制の告示から施行までの期間が比較的長く、厳しい規制が施行される場合には、企業による触媒技術の研究開発活動が活発となることが統計的に示唆されている。また、告示から施行までの期間が比較的短く、厳しくない規制が施行される場合においては、企業は触媒技術の研究開発活動を抑制し、触媒の周辺技術の開発や改良を行うことで規制施行に対応していることも示唆されている。このことから、「比較的厳しい自動車排出ガス規制が、触媒技術の研究開発活動を促進させる」という本稿の仮説は、排出ガス規制が本格的に導入された1970年代から、2010年までの日本において当てはまることがわかった。また、「比較的厳しくない自動車排出ガス規制は、触媒技術の研究開発活動を促進させることはない」という本稿の仮説も、統計的に支持している。

厳しい排出ガス規制が排出ガス浄化技術の研究開発を促進させるという本稿の結果は、厳しい自動車排出ガス規制は企業にとって追加的なコストとなっており、それを節約するために研究開発が促進されるという誘発的イノベーション（induced innovation）仮説が、日本の自動車産業に当てはまっている可能性を示唆している。一方、厳しくない排出ガス規制は企業による触媒技術の研究開発活動を抑制しているという本稿の結果は、何を意味しているのだろうか。考えられるのは、厳しくない排出ガス規制には、触媒技術ではなく、触媒技術の周辺技術を開発、改良することで対応している可能性である。自動車排出ガス浄化装置において、触媒はハニカム状の担体に担持されて用いられる。厳しい排出ガス規制が施行される場合、触媒自体の研究開発を行わないと対応できない。一方、厳しくない排出ガス規制が施行される場合、担体やそのエンジンへの組込方法などの周辺技術を改良することにより、企業は規制に対応している可能性が高い。企業にとって触媒技術は数ある研究開発プロジェクトの1つであり、厳しくない環境規制によって研究開発ポートフォリオをその時点での経営環境に適応させているだけで、研究開発全体が抑制されているとは必ずしもいえない。今後、企業における研究開発ポートフォリオも考慮した分析を行うことによって、環境規制が企業の研究開発活動に与える影響をより詳細に分析することができよう。

政策的な含意として、厳しい自動車排出ガス規制は触媒技術の研究開発活動にプラスの効果、厳しくない規制は触媒技術の研究開発活動にマイナスの効果を与えるという推計結果から、環境政策は環境を保全するという環境政策と、日本の技術水準を向上させるという技術政策の役割を同時に果たす可能性を指摘できる。企業にとって達成不可能ではなく、しかしながら可能かどうかかわからない程度の厳しい環境基準を政府が設定することにより、環境は保全され、企業の環境技術に関する研究開発活動は促進される。一方、達成が比較的容易な環境基準を政府が設定しても、排出する量を少なくすればするほど追加的なコストを削減できる環境税や排出権取引等の経済的手法を組み合わせることで、環境の保全をある程度担保しつつ、環境技術に関する研究開発を促進させることができる。環境基準の設定等に代表される直接的な手法と、経済的手法の効果的な組み合わせが今後の研究によって明らかになれば、環境政策や技術政策を考える上で重要なエビデンスを得ることができるであろう。

●参考文献

Ambec, S., M. Cohen, S. Elgie, and P. Lanoie (2011) "The Porter Hypothesis at 20: Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness?" *Review of Environmental Economics and Policy* 7, 2-22.

- Arimura, T., A. Hibiki, and N. Johnstone (2007) “An Empirical Study of Environmental R&D: What Encourages Facilities to Be Environmentally-Innovative?” in *Corporate Behaviour and Environmental Policy*, UK: Edward Elgar in association with OECD.
- Brunnermeier, B. and M. Cohen (2003) “Determinants of Environmental Innovation in US Manufacturing Industries,” *Journal of Environmental Economics and Management* 45, 278–293.
- Calel, R. and A. Dechezlepretre (2016) “Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market,” *Review of Economics and Statistics* 98, 173–191.
- Goto, A. and K. Motohashi (2007) “Construction of a Japanese Patent Database and a first look at Japanese patenting activities,” *Research Policy* 36, 1431–1442.
- Griliches, Z. (1984) *R&D, Patents, and Productivity*, University of Chicago Press.
- Jaffe, A. B. and K. Palmer (1997) “Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study,” *Review of Economics and Statistics* 79, 610–619.
- Popp, D. (2003) “Pollution Control Innovations and the Clean Air Act of 1990,” *Journal of Policy Analysis and Management* 22, 641–660.
- Popp, D. (2006) “International Innovation and Diffusion of Air Pollution Control Technologies: The Effects of NOx and SO₂ Regulation in the US, Japan, and Germany,” *Journal of Environmental Economics and Management* 51, 46–71.
- Porter, M. E. and C. van der Linde (1995) “Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship,” *Journal of Economic Perspectives* 9, 97–118.
- 田中賢治・宮川努 (2009) 「大型投資は企業パフォーマンスを向上させるか」RIETI Discussion Paper Series 09-J-032.
- 中野牧子 (2003) 「環境規制は研究開発を促進するか—70年代の紙パルプ産業を事例として—」, 環境科学会誌16, 329–338.
- 浜本光紹 (1997) 「ポーター仮説をめぐる論争に関する考察と実証分析」経済論叢160, 506–524.
- 参考ホームページ
特許情報プラットフォーム <https://www.j-platpat.inpit.go.jp/>