

一橋大学GCOEプログラム
「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」
大河内賞ケース研究プロジェクト

**JX日鉱日石エネルギー
サルファーフリー燃料の開発と事業化**

高永才
三木朋乃

2012年7月

CASE#12-05

本ケースは、一橋大学グローバル COE プログラム「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している。なお、本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。
(プロジェクト活動の詳細については [http://www.iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/research/GCOEokochiprize\(A\).html](http://www.iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/research/GCOEokochiprize(A).html) を参照のこと)。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

Tel:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

JX 日鉱日石エネルギー株式会社
サルファーフリー燃料の開発と事業化¹

2012 年 7 月

甲南大学マネジメント創造学部 専任講師 高永才*
立教大学経営学部 助教 三木朋乃**

*〒663-8204 兵庫県西宮市高松町 8-33
koh@center.konan-u.ac.jp

**〒171-8501 東京都豊島区西池袋 3-34-1
miki@rikkyo.ac.jp

¹ 本ケースは、一橋大学グローバル COE プログラム「日本企業のイノベーション:実証的経営学の教育研究拠点」からの経費を受けて進められている。「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果の 1 つである。ケースの作成にあたっては、以下の方々から多大なご支援をいただいた。ここで改めて、心から感謝を申し上げたい。

JX 日鉱日石エネルギー株式会社 (敬称略、アルファベット順、括弧内は取材当時の職位)
畑中重人氏 (研究開発本部 中央技術研究所 燃料研究所 所長)
齋藤健一郎氏 (研究開発本部 研究開発企画部 部長兼 水素事業化グループマネージャー)
島田孝司氏 (製造技術本部 技術部 技術企画 3 グループ アシスタントマネージャー)

1. はじめに

サルファーフリー燃料²とは、自動車燃料内の硫黄（サルファー）含有量を 10ppm＝0.0010wt（質量）%以下に低減したガソリンや軽油の総称である。CO₂排出量削減を目標に、1990年代初頭より日本国内の石油会社で研究開発が進められた。

石油会社が開発を進めたのは、日本国内における CO₂排出量の 2割を輸送部門が占めるからである。ただし研究開始当初、法的規制はなく、CO₂削減に関する規制の将来的発令予測があったにすぎなかった。そのため、1990年代初頭におけるサルファーフリー燃料の研究開発は研究所内に留まっており、その内容も必要となる触媒やそれらの反応条件に関するものに限られていた。こうしたサルファーフリー燃料の研究開発が事業化へと進んだのは、1997年に京都議定書が採択された後のことである。京都議定書には、日本を含む先進国が達成すべき CO₂などの温室効果ガス削減目標値が記載されており、結果として、日本は 2010年度までに 1990年度を基準年度として 6%の排出量削減を行う必要が生じた。さらに、1990年代後半の EU やアメリカにおける自動車燃料内の硫黄含有量削減への動きは、日本における硫黄含有量数値 10ppm 以下のガソリンの開発、つまり、サルファーフリーガソリンの開発決定と事業化を加速化させた。

こうした状況の中、ガソリンのサルファーフリー燃料の効率的抽出方法を世界で最も早く開発し、普及させたのは、JX 日鉱日石エネルギー株式会社（以下、JXNOE³）である。彼らは、2004年には自動車燃料内の硫黄含有量低減プロセスである ROK-Finer を開発した。さらに 2005年1月には、JXNOE がサルファーフリー化したガソリンを国内市場にて販売している。2008年と決められていたガソリンのサルファーフリー化が 2005年に早まったことは、国際競争による影響があったことも否定できないだろう。しかし、そもそもガソリンのサルファーフリー化を達成するための技術を JXNOE が保有していなければ、規制よりも時期を繰り上げてのサルファーフリーガソリン供給は実現不可能であったと考えられる。以下では、まず JXNOE におけるサルファーフリーガソリンの基礎研究の背景とその内容について述べる。次に、サルファーフリー化を早めた社会的な背景を述べたあと、基礎研究をもとに進められた実用化のための研究について説明し、結果としてできあがった ROK-Finer による事業化プロセスをとりあげる。

² サルファーフリー燃料にはガソリンと軽油が存在するが、本研究が取り扱うのはガソリンのサルファーフリー化プロセスである。

³ JX 日鉱日石エネルギー株式会社は、2010年に新日本石油株式会社（ENEOS）と新日鉱ホールディングズ（ジャパンエナジー：JOMO）が合併し誕生した。サルファーフリー燃料の研究は、1999年に三菱石油株式会社と日本石油株式会社が合併し ENEOS が誕生する前から各社で進められていた。その中でもガソリンのサルファーフリー化の研究は 1994年より三菱石油で進められていた。

2. JXNOE によるサルファーフリーガソリン開発の背景と基礎研究

2-1. 開発の背景

ガソリン自動車における CO₂ 削減対策技術としてまず注目されたのは、ガソリン自動車における直噴リーンバーンエンジンの採用であった。直噴リーンバーンエンジンは燃費に優れており、より少ない燃料で同じ距離を走らせることが出来る。直噴リーンバーンエンジンを採用すれば、排出する温室効果ガスの絶対量が減り、京都議定書内の目標値達成に貢献することができると予想された。しかし、これは他の方式よりも空気を多く吸引するため、次の二つの問題を抱えていた。

第一に、従来の方式より空気を多く吸引するため、燃焼に必要な以上の酸素が供給される。これにより、排ガス触媒の機能が低下してしまい、結果として有害物質である窒素化合物（以下、NO_x）の排出量が増大してしまう⁴。第二に、上記の問題解決のために NO_x 吸蔵還元型触媒を用いるのだが、ガソリンの燃焼によって生じる硫黄酸化物 SO_x が NO_x よりも先に NO_x 吸蔵還元型触媒に吸着することから被毒される。そのため、被毒回復制御を用いて SO_x の除去を行うのだが、これは余分に燃料を使用させてしまう。これらの二つの理由から、直噴リーンバーンエンジンの低燃費特性は生かされず、結果として CO₂ 排出量削減への貢献度は下がってしまう。

つまり、自動車に搭載されているエンジン設備の改善だけでは、温室効果ガスの排出削減に限界があった。こうした背景から、燃料中の硫黄分を減少させた燃料がいずれ必要になることが予測できた。従来、ガソリンの硫黄分は 100ppm、軽油で 50ppm 以下 100ppm、軽油で 50ppm 以下とされていたが、自動車の燃費改善による CO₂ 削減を実現するには、サルファーフリー（10ppm 以下の）燃料が必要になると予測できたのだった。

2-2. 基礎研究における課題と解決技術

(1) 基礎研究のはじまり

サルファーフリーガソリンの基礎研究のはじまりは、JXNOE の前身の一つである新日本石油株式会社のさらに前身となる三菱石油株式会社（以下、三菱石油）での研究であった。基礎研究は、1994 年から 1996 年まで行われ、研究内容の中心はサルファーフリーガソリンの開発に必要な触媒とそれらの反応条件となっていた。研究が始まった当初は、2～3 人の研究員が三菱石油の精製技術研究グループ内でガソリンの硫黄分低減に関し研究する程度であったが、数か月後には 10 人の研究員が関わることになる。

三菱石油におけるサルファーフリーガソリン開発のための基礎研究は、ガソリンの硫黄含有量に関する規制値が定められる前に行われている。なぜ、彼らは早期に研究を開始したのだろうか。基礎研究開始当初よりこの研究に専任として携わっており、グループのり

⁴ 直噴リーンバーンエンジンは、従来のエンジンより空気を多く吸引するので排ガス酸素（O）も増える。排ガス触媒は、ある一定の酸素濃度で機能する仕組みとなっており、この濃度の規定を上回る酸素をリーンバーンエンジンに適用すると、結果として NO_x が浄化されずに排出されることになる。

一ダーであった畑中重人氏によると、1994年の研究開始は当時の研究所長の提案によるものであるという。この背景として考えられるのは、1992年にリオデジャネイロで開催された地球サミットにおける「気候変動枠組条約（地球温暖化防止条約）」⁵採択である。そこでは、大気中の温室効果ガスの濃度の安定化が条約採択の目的であるとされ、条約の締約国には日本も入っていた。こうした背景を踏まえ、三菱石油では、温室効果ガス削減のための取組の一つとしてサルファーフリーガソリン開発の基礎研究を開始したのであった。基礎研究では次にあげる課題があった。

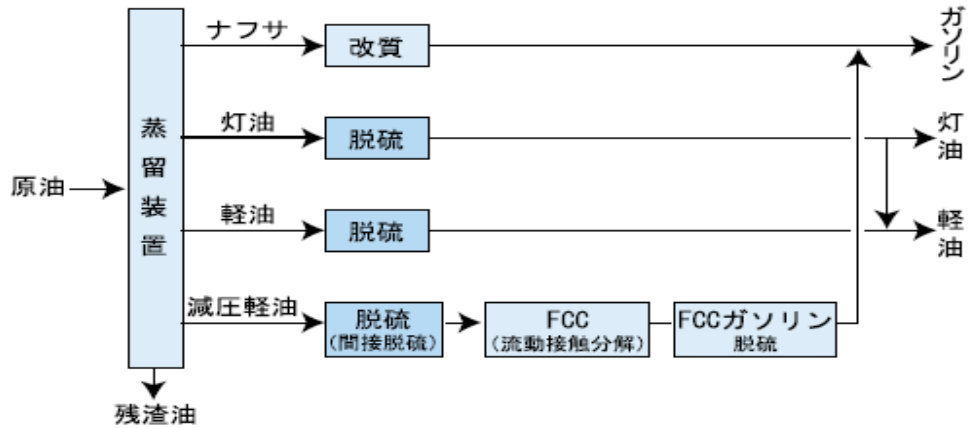
(2)基礎研究における課題と解決技術

日本では、レギュラーガソリンの原料として主に改質ガソリンおよび流動接触分解ガソリン（Fluid Catalytic Cracking: 以下、FCC ガソリン）を用いる。改質ガソリンとは原油から直接得られるナフサを改質したものである。改質ガソリンの硫黄分は1ppm以下と低い。ただ、これだけでは使用量として足りないため、FCCガソリンもレギュラーガソリンとして用いられる。これは、残査油やVGOと呼ばれる減圧軽油（重油）をFCCという装置で分解して得られるガソリン留分のことで（図1参照）、硫黄分は100ppmにも達してしまう。これは、FCCガソリンが基となる重油が炭素の繋がりから成っており、それをFCCという装置と触媒で細かな分子に分解していくと、その組成要素であるオレフィン（40%）、芳香族（20%）、パラフィン（40%）に、そもそも重油に多く含まれている硫黄分が混入するためである。日本のハイオクガソリンはFCCガソリンの構成比率が30.7%、レギュラーガソリンはFCCガソリンの構成比率が45.0%である。ハイオクガソリンには硫黄分の少ない軽質のFCCガソリンが使用されるのに対し、レギュラーガソリンには硫黄分を多く含む重質のFCCガソリンが多く使用されるため、レギュラーガソリンは30ppm程度の高い硫黄分を含むことになる⁶。ハイオクガソリンは既に10ppm以下のため問題なかったが、レギュラーガソリンの硫黄分を10ppm以下とするために、硫黄分が高いFCCガソリンの硫黄分を1/3以下に低減する（脱硫する）必要があった。

⁵ <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop.html>（環境省 HP より）。

⁶ 畑中（2002）。ハイオクガソリンやレギュラーガソリンは、FCCガソリン、リフォーマート、直留ナフサ、アルキレートなどから構成され、FCCガソリンが占める割合が最も多い。

図1 石油精製工程



(出所) 島田孝司(2005)より筆者抜粋。

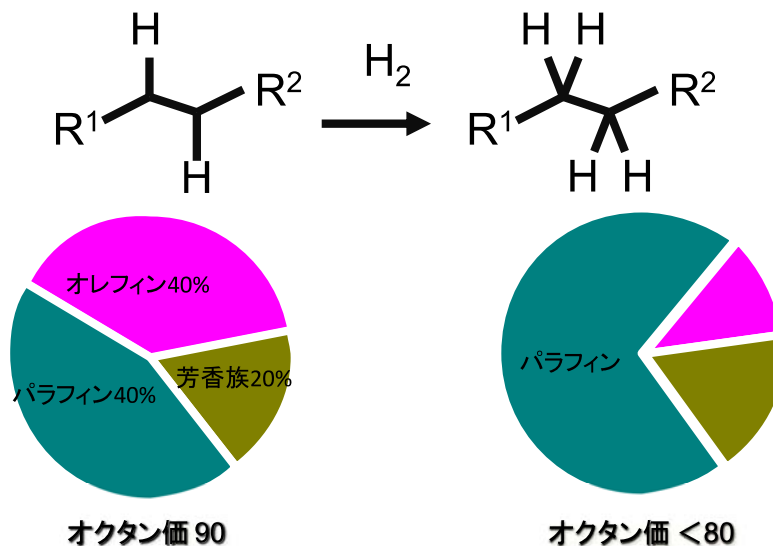
レギュラーガソリンの中でも FCC ガソリンの硫黄分低減のため考えられた方法は、水素を FCC ガソリンに加えて反応させ、硫黄を分子の中から取り除くというものであった。しかし、この方法は問題を抱えていた。それは、水素を投入すると FCC ガソリンの約 40%を占めるオレフィンの分子と水素との結合が進み（オレフィンの水素化）、構造的にパラフィンとなる分子の割合が増える点である（図2参照）。パラフィンはオクタン価⁷が 80 以下となり、エンジン内でノッキング⁸が起ってしまう可能性が高い。そのため、FCC ガソリンから硫黄を取り除くと同時に、オクタン価は FCC ガソリンのオクタン価 90 を保持する技術が必要とされた⁹。

⁷ オクタン価とはガソリンの自己着火（加圧や加熱により自ら火がつく）のし難さの指標であり、オクタン価が低ければ自己着火する可能性が高まる。日本ではリサーチ・オクタン価(Research Octane Number)という測定方法を用いる。オクタン価 90 のガソリンはレギュラーガソリン、オクタン価 96 以上のガソリンをハイオクガソリン（高オクタン価ガソリン）と呼ばれる。

⁸ ガソリンがピストン運動で圧縮され、上部のスパークプラグに接近したときに散らされた火花は点火する恐れがある。これが、上部に到達する前に自己着火してしまうとピストンが逆向きに押し返されてしまう。その結果、エンジンの回転がきぐしゃくするノッキングを起こしてしまう。高オクタン価のガソリンは、自己着火しにくく、スパークプラグの火花によって着火する。

⁹ こうした概念は、後にリサーチ・オクタン価（Research Octane Number）を下げずにキープ（保つ）し精製する、という意味合いを持つ ROK-Finer という選択的水素化脱硫装置の命名の由来となる。

図2 オレフィン水素化によるオクタン価の低下



(出所)「大河内賞ケース研究プロジェクト」講演会 畑中氏講演資料
(2011年1月28日実施)より筆者抜粋

この課題を解決する技術として JXNOE が注目したのは、次の二つの方法である。一つは、オクタン価低下を招くオレフィンの水素化を低減した選択的水素化脱硫プロセスである。もう一つは、一旦低下したオクタン価を後段のプロセスで回復させる方法であった。この中でも JXNOE が注目したのは前者であった。詳細な分析を行った結果、筒のような容器の中に米粒くらいの触媒を入れ、そこに水素と FCC ガソリンを入れると硫黄含有量が低減したガソリンを抽出できると同時に、オレフィンの水素化が進むプロセスを発見した。更に調べたところ、これらのプロセスにおいて二つの活性点¹⁰があり、オレフィンの水素化が進む点が二つあることに注目した¹¹。調査の結果、オレフィンの水素化活性点が二種類あるのは、ガソリン中のオレフィンがノルマルオレフィン約 20%、イソオレフィン約 80%で構成されているためである事が明らかになった。硫黄含有量の低減と水素化脱硫反応によるオクタン価の低減阻止を同時に成し遂げるため、ノルマルオレフィンとイソオレフィンに対し、異なる水素化活性点と触媒調製技術のコントロールを行い問題に対処した。

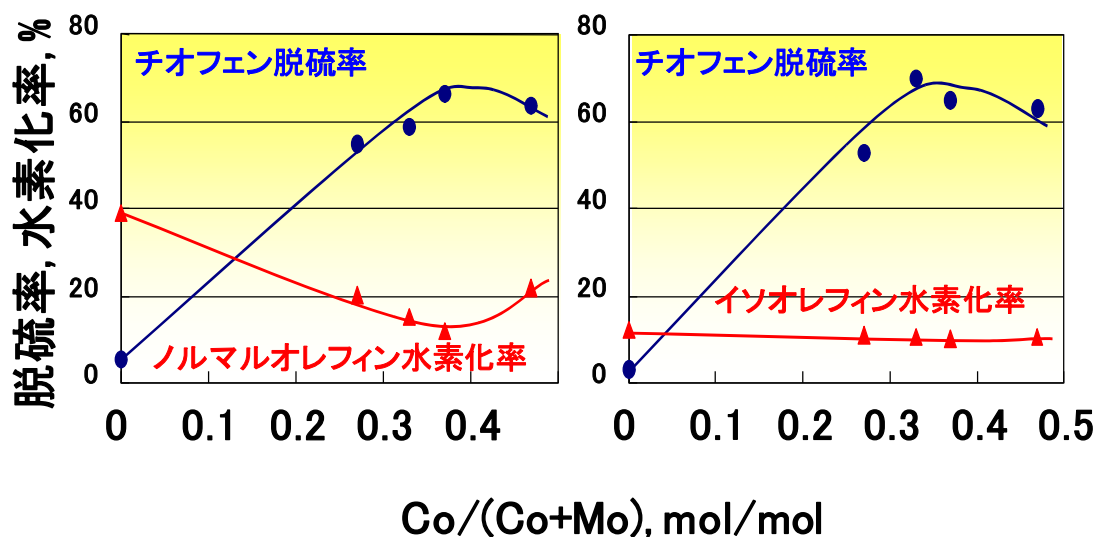
こうした課題に対処するために用いられたのは、二つの主成分から成り立つ触媒であった。触媒を構成する一つはコバルトで、もう一つはモリブデンであった。まず、検討されたのはノルマルオレフィンの水素活性点の理解とその制御技術である。そこでは、チオフェンという硫黄化合物と水素に触媒の中でもコバルトの添加量を調整しながら水素化の活

¹⁰ 硫黄が低減する点である。

¹¹ この原理は、JXNOE の畑中重人氏が発見した。

性点を明らかにする実験が進められた。その結果、明らかになったのは、ノルマルオレフィンの水素化率が最低となり、同時に脱硫率が最大となる点が存在することであった。コバルトがない状態では、脱硫の反応がほとんどなく水素化だけが進むが、コバルトの添加量を増やして行くと、オレフィン水素化率と硫黄の脱硫率が特定の点で最適化される点が存在した。しかしながら、イソオレフィンは、コバルトの添加量を調整と同様の措置を施すと脱硫の点では同じ反応を見せるが、水素化の際にはコバルトの添加量に対する依存性が認められず、コークの手前のオリゴマーができることが分かった。これを析出させるとイソオレフィンの活性点も制御できる事が分かったため、触媒表面にコークを析出させるコーキング処理対策などを行う事で問題を解決した（図3参照）。

図3 Co添加量の最適化



(出所) 「大河内賞ケース研究プロジェクト」講演会 畑中氏講演資料
(2011年1月28日実施)より筆者抜粋

こうしてJXNOEは、FCCガソリンの脱硫点、ノルマルオレフィンの水素化活性化点、イソオレフィンの水素化活性化点という三つの点に注目し、従来では難しいとされた脱硫活性の向上とオレフィン水素化の抑制との両立を実現したのだった。

FCCガソリン脱硫プロセスの基礎はできあがり、サルファーフリー燃料の基礎研究は三菱石油内で1995年に検討を終えている。この段階では研究所レベルでサルファーフリーガソリン開発の条件を検討するに留まっていた。

その後、研究は進められるも、1996年にはサルファーフリーガソリンに関する研究そのものがいったん中止となる。これは、1996年時点で日本政府が提示したガソリンの硫黄含

有量が 100ppm¹²以下であり、それに対して三菱石油は新たな装置を使わずとも硫黄分 100ppm のガソリンを開発できたためであった。

3. ROK-Finer 技術¹³を用いた事業化プロセス

畑中のサルファーフリーガソリンに関する基礎研究に再び注目が集まるのは、2002 年のことである。これは 2003 年に、日本の石油業界においてサルファーフリーガソリンを 2005 年から自主的に供給開始することが決まったためである。サルファーフリーガソリンを前倒しで供給することが決まった背景としては、欧米におけるガソリンをめぐる動向が関係していた。本項ではサルファーフリーガソリンをめぐる世界的な動きを説明した後、JXNOE におけるサルファーフリーガソリン精製のための事業化プロセスを見て行く。

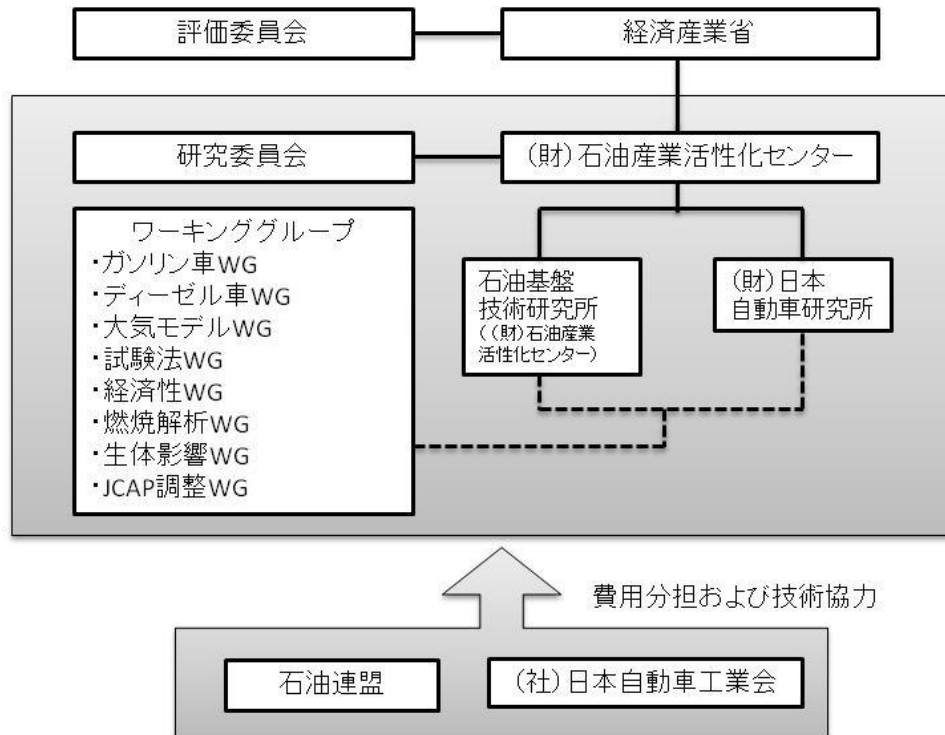
3-1. サルファーフリーガソリンをめぐる世界的な動きと日本の対応

自動車の排出ガスには、二酸化炭素（以下、CO₂）や窒素酸化物（以下、NO_x）、粒子状物質（以下、PM）が含まれる。CO₂ は地球温暖化の原因となり、NO_x や PM は大気汚染の原因となっていると言われる。ただし、大気汚染を改善するために低減の対象とすべき物質は国や地域により異なる。たとえば米国では公共交通機関が少ないため、自動車の排出ガスによる大気汚染は日本よりも深刻である。一方、欧州では CO₂ への関心の高さからディーゼル車の普及が進んでいるため、ディーゼル車による排出ガスが問題となっている。このように地域ごとの状況を勘案し、各国や地域ごとに自動車の排出ガスに関する研究は行われている。日本においても 1993 年頃から大気汚染改善のために自動車業界と石油業界の共同研究を行おうという声が高まった。その結果、通商産業省の補助金を受け、財団法人石油産業活性化センター（現一般財団法人石油エネルギー技術センター）を中核機関とし、自動車業界と石油業界の共同研究である JCAP が 1997 年に発足した。JCAP は、JCAP I（1997～2001 年度）と JCAP II（2002～2006 年度）に分かれている。JCAP I は、通商産業省の補助金 54 億円を受けた 5 年間のプログラムで、図 4 は JCAP I の体制を示したものである。

¹² 1996 年 4 月から「特定石油製品輸入暫定法（特石法）」が廃止され、石油製品の輸入に関する制約がなくなった。ガソリンを含む石油製品の品質低下の恐れから政府は、燃料油のうちガソリンや軽油、灯油に関し環境・安全面に関わる項目について法的規制である品質基準を設け規格を外れた製品の販売を禁じている。さらに、日本工業規格（JIS 規格）K2202 は、自動車業界、使用者団体及び石油業界の合意のもと自動車ガソリンに対する要求品質を定めており、1996 年に JIS 規格でガソリン硫黄分を 0.01 質量(wt)% 以下と規定している（<http://www.no.e.jx-group.co.jp/binran/part05/chapter01/section01.html> より）。

¹³ JXNOE が開発した技術を使用したガソリンの選択的水素化脱硫プロセスの名称。

図4 JCAP I の体制



出所：(財)石油エネルギー技術センターHP¹⁴をもとに筆者作成

JCAP I の目的は、将来の自動車排出ガス目標を設定し、これを達成する自動車と燃料の双方の組み合わせ技術を開発し、双方の技術のコストを評価して総合的に政策提言に資する情報をとりまとめることであった。5年間の研究成果を報告する第三回 JCAP 成果発表会（2002年2月21日、22日）では、次のように報告されている¹⁵。

「自動車技術については、CO₂ 排出量低減率の高い直噴エンジンを中心として研究が行われた。直噴エンジンの排出ガスには、硫黄が大きく影響していることが分かった。空燃比および温度制御による硫黄脱離技術が注目されたが、この技術は一方で全炭化水素（以下、THC）排出量を増加させ、触媒の劣化を引き起こすだけでなく、CO₂ 排出も増加させることが分かった。そのため、触媒や THC 低減技術、温度制御技術の更なる開発が必要であることが課題としてあげられた。一方の燃料技術については、こちらも直噴の低排出ガス化に影響を与えている硫黄分についての検討が行われた。その結果、ガソリン中の硫黄分低減により、排出ガスが低減することが分かった。同時に、硫黄分を低減させた燃料を

¹⁴ http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jcap1/jcap1_03.html#01

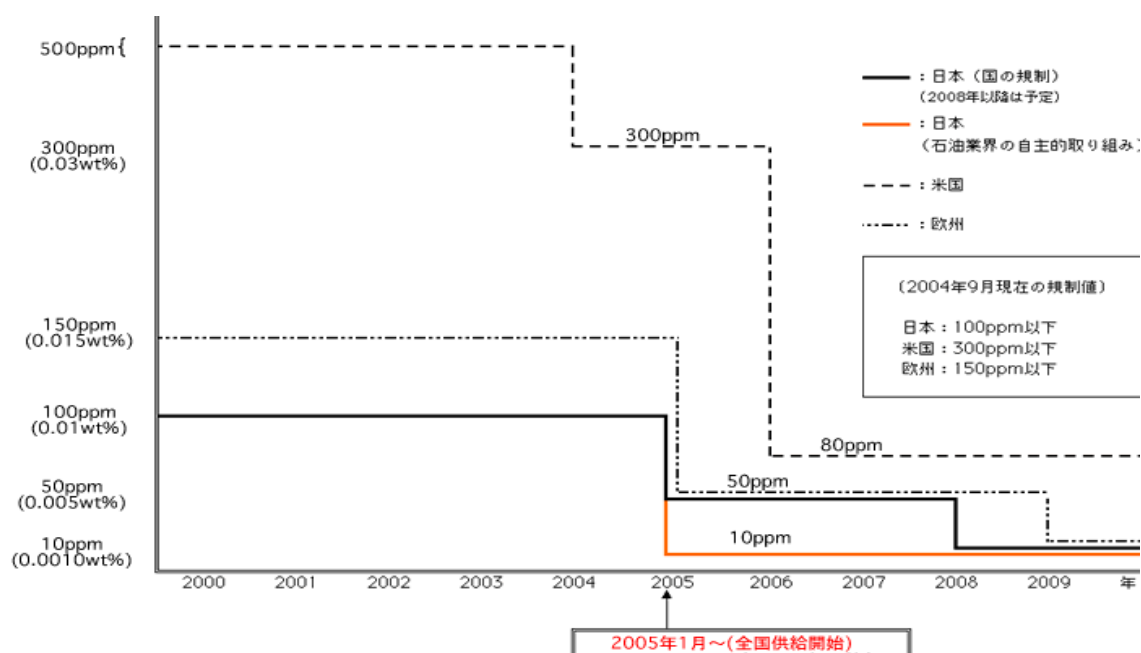
¹⁵ 報告書は、(財)石油エネルギー技術センターHP、
http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jcap1/jcap1_3rd.html を参照。

製造する過程で従来よりも CO₂ の排出量が増大するというデメリットも明らかになった。」

以上の内容より、燃料製造過程を含む車両ライフサイクルとしての CO₂ 排出量に目を向けて政策を考えていく必要があることが提言された。5 年にわたる自動車業界と石油業界の共同研究を経て、一方の業界の努力がとりわけ CO₂ 削減に寄与するというわけではなく、両業界とも CO₂ 削減に向けた開発努力をしていく必要性が示されたことが特徴である。

それにも関わらず、こうした成果発表会の 1 年後の 2003 年には、2005 年からサルファーフリー化されたガソリンを段階的に供給することで、CO₂ 低減に対応するという方針が決定される。これは、2002 年 2 月～2003 年 7 月に経済産業省に置かれた石油製品品質小委員会の議事録からうかがえる¹⁶。欧米で加速していくサルファーフリーガソリン化の動きに連動して、日本でもガソリンのサルファーフリー化によって CO₂ を削減しようとする動きが高まり、こうした決定が行われたのだった（詳細については、高・三木（2012）を参照）。ガソリンの硫黄分をめぐる規制が世界的に厳格化されていく様子は、図 5 に示される通りである。

図 5 日・米・欧のガソリン中に含まれる硫黄分の推移



出所：石油連盟 HP¹⁷

石油製品品質小委員会には、主に石油連盟、自動車工業界（自工会）が参加しているが、とりわけこうした国際情勢に敏感であったのは、石油連盟ではなく、自工会であった。日

¹⁶ 第 1、2、4、6 回の石油部会石油製品品質小委員会の議事録は、経済産業エネルギー調査会 HP を参照。
<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/commit09.htm>

¹⁷ http://www.paj.gr.jp/eco/sulphur_free/

本の自動車産業は、国際競争力もあり、常に国際競争にさらされてきたからである。海外におけるガソリンの硫黄分規制は、自動車の売り上げと直結する問題である。そのため、ガソリンの硫黄分をめぐる世界情勢についていこうとしたのは合理的であったといえる。一方、石油連盟は、長らく規制産業であったことから、あまり国際競争へは敏感ではなかった。議事録からも、一貫してサルファーフリーガソリン開発には時間とコストがかかることを主張し、自動車業界も相応の努力をするよう要請し続ける。しかしながら、結果的にはガソリンの硫黄分をめぐる国際情勢に遅れまいと、ガソリンのサルファーフリーガソリン供給開始を 2005 年へと前倒しし、CO₂低減に対応していくという方針が 2003 年 8 月に決定される。

その後、石油業界はガソリンと軽油のサルファーフリー化の早期実現に向けて、約 3,000 億円を投じて新技術の研究開発や脱硫設備の新設・改造等を推進していく¹⁸。

3-2. 事業化プロセス—ROK-Finer の完成

こうした動きを受け、JXNOE では 2003 年からサルファーフリーガソリン精製用商業プラント建設のためのプロジェクトを立ち上げた。当時、畑中は研究所の精製プロセスグループのグループ長であった。その傘下に作られたのがガソリン脱硫のプロジェクトであった。このプロジェクトは守田英太郎がリーダーで、同じグループから解析を主に担当する島田孝司氏、触媒の専門家である壺岐英氏とシミュレーション技術が専門の佐原渉氏がこのプロジェクトに携わった¹⁹。その他に、実際に商業プラントを入れる各製油所について情報を持っている者として本社からも 2 人がこのプロジェクトに携わった。畑中の基礎研究をもとに、2005 年 1 月からサルファーフリーガソリンを供給するために、スケジュールを逆算してプロジェクトは進められた。

1990 年代の畑中の基礎研究をもとに、ガソリンの脱硫装置を作るにあたって抱えた課題は以下二つであった。一つは、製油所に入ってくる原油は毎回同じ成分とは限らないため、適切な脱硫方法（プラントにおける反応条件）がその時々で異なることである。この解決方法として使われたのは、反応シミュレーションの技術であった。一般論として、毎回同じ原料を扱うプラントでは、シミュレーションは重要な技術ではない。もう一つは、成分がその時々で異なる原料の扱うプラントの場合、あらかじめ反応を解析して反応モデルを作ることである。一度、反応モデルを作れば、あとはコンピューターの計算によって適切な反応条件が設定されるため、同じ質の製品を作ることが可能になり、品質を一定に保てる。島田らは、東大とも協力をしながら反応モデルを構築し、反応シミュレーションを作り上げた。もう一つの課題は触媒であった。研究所ではいい触媒を作ることができたのだが、実証プラントで使うだけの大量の触媒を実際にメーカーに作ってもらったところ、うまく性能がでなかったのだった。2004 年 8 月の試運転を目指していたところ、2004 年 5

¹⁸ 石油連盟（2011）「石油産業 2011」、p.54。

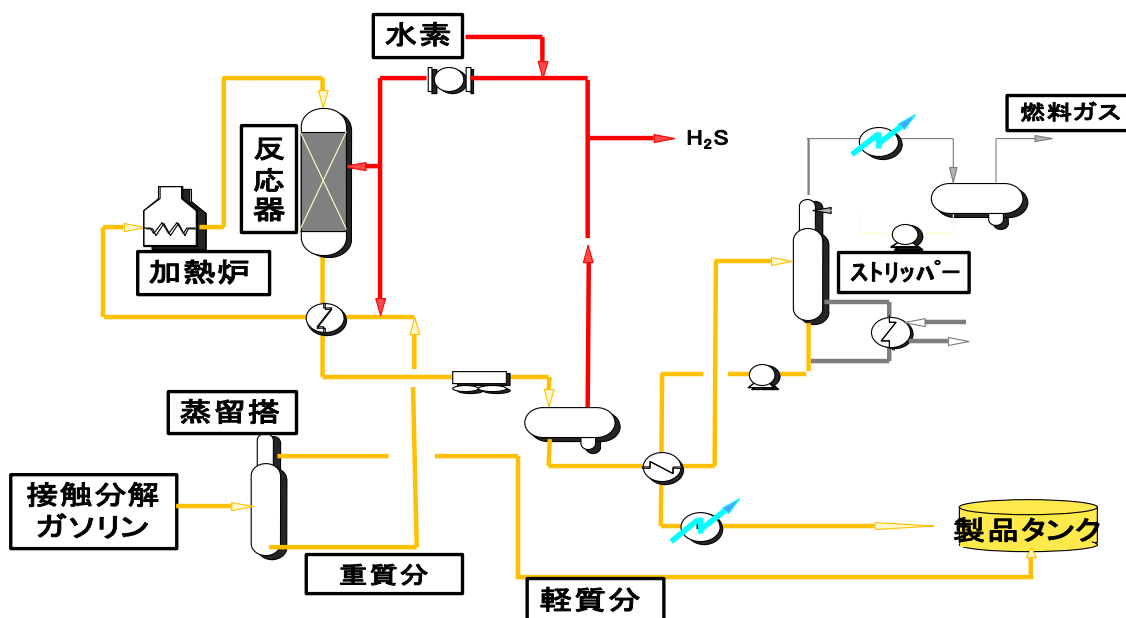
¹⁹ 壺岐氏と佐原氏は兼任でこのプロジェクトに関わった。

月、触媒の調合方法を少し変えることで、研究所でできたのと同程度の性能を出せる触媒を作ることに成功した。

しかし、2004年8月、実際にプラントを動かしてみると、その際にもまた問題が生じた。予想外の発熱が生じたのだ。この理由は、触媒反応によくあることであるが、反応のごく初期に、触媒活性が非常に高いことによりオレフィンの水素化が予想外に進み、発熱したためである。一晩経ったあとには触媒活性が安定し、発熱も収まった。

新たに開発した脱硫触媒をベースとして、原料組成解析と反応条件最適化を実施して、実際の商業用装置に用いられているのが選択的水素化脱硫プロセスの「ROK-Finer」である（プロセスフローは図6参照）。新規に開発した水素化脱硫触媒と特殊な反応条件を背景に、オレフィンの水素化反応を制御し、脱硫反応だけを進めることに成功したプロセスである。オレフィンの水素化率は新たな触媒を使用しない場合は約40%であったが、新しい触媒（コバルトとモリブデン）を用いることで以前の約20%前後に留まった。また、新たな触媒を使用することで脱硫率も最大60%以上となっている²⁰。さらに、脱硫は進むがオクタン価の低下を最小減に抑えており、従来技術では、オクタン価のロスが約15であったが、選択的脱硫化技術によってオクタン価のロスはずか1~2程度に留まっている。

図6 ROK-Finer プロセスフロー



(出所) 大河内賞ケース研究プロジェクト」講演会 畑中氏講演資料
(2011年1月28日実施) より筆者抜粋

²⁰ 世界省エネルギー等ビジネス推進協議会 HP より。
http://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies-j/pdf/oil_refinery_chemicals/P-06.pdf

この「ROK-Finer」プロセスを用いたガソリン製造装置は、JXNOEの仙台製油所、根岸製油所、水島製油所の3製油所で計3基が稼働している。この3つの製油所が選ばれたのは、もともとあった脱硫装置と重油の種類により、ROK-Finerを導入した際の効果が最も出やすい製油所であったからだった。

3-3. ROK-Finer プロセスの普及

「ROK-Finer」プロセスの特許技術は欧米メジャーにもライセンスされている。その欧米メジャーのライセンスを利用して、国内外における数多くの製油所にサルファーフリーガソリン製造用装置が作られた。なぜ、「ROK-Finer」プロセスの特許技術は広まったのだろうか。それは、「ROK-Finer」プロセスがFCCガソリンに対して高い脱硫性と低オレフィン水素化活性の両立を可能にしたことにある。通常、脱硫において、硫黄分を多少下げても大きな影響はないが、FCCガソリン脱硫においては、硫黄分を下げる事は、オクタン価を下げる事に繋がる。よって、両者を同時実現させることは困難とされていたが、それを達成したのがJXNOEのサルファールリーガソリン製造技術であった。

日本企業が開発したサルファーフリーガソリン精製の特許技術が世界的に欧米メジャーにライセンスされ、ライセンスを通して国内外に技術が普及していることは注目に値する現象である。なぜなら、日本の石油企業は、従来国内向けの事業をしてきたために、事業規模も小さく、また自社のための研究開発を行うことが一般的であった。また、研究開発にかけられる予算を考慮すると、規模が大きい欧米メジャーにおける研究開発のほうが必然的に優れていることが多く、欧米メジャーライセンスを購入するというのもしばしば行われてきた業界であったからである。

4. 事業成果と今後の展望

「ROK-Finer」プロセスは世界初のサルファーフリーガソリン精製技術として世界中に普及している。「ROK-Finer」プロセスの特許技術がこれほどまでに評価されているのは、当時、トレード・オフと考えられていたガソリンの硫黄成分の削減とそのプロセスで生じるガソリンの組成成分であるオレフィンの水素化によるパラフィン化及びその結果としてのオクタン価の低下という課題を同時に克服したためである。さらにこの技術は、硫黄分を排出するプロセスで使う余分な燃料使用量を抑え、結果としてCO₂削減にも貢献する。

ROK-Finer プロセスは、ガソリン脱硫技術として国産で唯一商業化された製造技術であり、世界的に普及していること、また地球環境保全に貢献していることなどが評価され、その後いくつかの賞を受賞している。2005年には、(社)石油学会「学会賞」、環境省・地球温暖化防止環境大臣表彰「技術開発・製品化部門」、GSCネットワーク・GSC賞「環境大臣賞」、2006年には(社)日本化学会「化学技術賞」、(社)日本エネルギー学会「学会賞(技術部門)」、2007年には(社)発明協会・全国発明表彰「内閣総理大臣賞」と(財)大河内記念会「大河内記念生産特賞」を受賞している。

但し、「ROK-Finer」の基礎技術は特許としてライセンスされているものの、事業化プロセスで確立した触媒反応予測シミュレーターのノウハウや石油精製装置は他社に販売していない。予測シミュレーターは、JXNOEのサルファーフリーガソリンの事業化に様々な正の影響を与えてきた。第一に、シミュレーターを利用することで、過剰なオクタン価低下を抑制し、オレフィン水素化に伴う水素消費量の削減が可能となった。具体的にシミュレーターは「ROK-Finer」に用いる触媒、モリブデンやコバルトを実生産装置に適用するための触媒寿命の予測とその効果的な脱硫活性発現の為に、さらには水素化脱硫反応に伴う大きな発熱をうまくコントロールする場面で用いられた。第二にシミュレーターを用いれば、いかに触媒が劣化していくかが予想することができる。シミュレーターによって、既存の様々な条件下における石油精製装置において JXNOE の触媒が使用された時の熱の上昇や触媒の寿命等が予測できるようになり、他装置への展開が容易になった。このように、シミュレーターによってサルファーフリーガソリン精製に際して従来の装置の使用が可能になり、且つコスト効率を高めた。さらに、「ROK-Finer」プロセスに用いる触媒の寿命やその活用によって予想される熱上昇率などの課題をシミュレーターで予測可能にすることで、迅速な事業化の実現に貢献したと考えられる。しかし、製油所ごとに使用する原油や反応条件は微妙に異なるためシミュレーターのノウハウは他社に販売していないのである。また、ROK-Finer やシミュレーターを含む石油精製装置そのものの販売を行っていないのは、装置販売を行うと定期的な装置メンテナンスも行う必要が生じるためである。

これまでの内容をまとめると、世界的に普及したのは基礎研究から明らかとなった特許技術のみであり、シミュレーターを含めた「ROK-Finer」プロセスを用いたガソリン脱硫装置は JXNOE 社内でのみ使用されていることが分かる。これは JXNOE にとってある意味合理的な事業展開であったと考えられる。なぜなら、サルファーフリーガソリンの選択的水素化脱硫方法は JXNOE によって世界で初めて開発されたもので、かつ JXNOE による石油精製装置の開発は初めてであったからである。石油会社は、過去に装置を造った経験のあるメーカーから買おうとするのが一般的で、初めて装置を作った JXNOE から買おうとしないことは容易に予測できる。更に、日本の石油会社は、競合企業の造った装置を買うという習慣がそもそもないため、売れる可能性はほぼなかったといつてよい。ただ、特許ライセンスのみならず装置そのものを売ることができれば、JXNOE は更に大きなビジネス機会を得ることができた可能性もあつただろう。しかし、装置の販売のみならず、そのメンテナンスもビジネスとしなければならないことを考慮すると、メンテナンスノウハウを持たない JXNOE にとって、特許ライセンスから得られる利益以上の負荷を抱える可能性もあつた。

これまで、日本企業は優れた技術を持つ一方で、それを利益の出る事業として成立させることは不得手であると言われてきた。本事例からは、基礎研究に限り特許ライセンスとして販売する事が、むしろ企業の負担を抑え、継続的利益を得られるビジネスモデルであるかもしれない事が示唆される。ガソリン脱硫技術として国産で唯一商業化された製造技

術を世界的に普及させることができた **JXNOE** は、今後どのように事業を展開していくのか、注目に値する。

参考文献

大河内賞受賞業績報告書（2008）「サルファーフリー燃料の製造技術の開発と実用化」、pp.23-42.

畑中重人（2002）「連載 新時代を迎えるガソリン自動車の環境対応(第2回) FCC ガソリンの脱硫技術」『PETROTEC』、石油学会、Oct.2002、Vol.25、No.10、pp.780-785.

畑中重人（2011）「大河内賞ケース研究プロジェクト」講演会資料（一橋大学イノベーション研究センターにて 2011 年 1 月 28 日実施）.

一般財団法人石油エネルギー技術センターHP

(http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jcap2/jcap2_02.html、
http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jcap2/jcap2_03.html、
http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jcap1/jcap1_3rd.html、
http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/jcap1/jcap1_03.html#01) .

JX 日鉱日石エネルギーHP

(<http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/part05/chapter01/section01.html>) .

環境省 HP

(<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop.html>) .

環境省（2009）「2009 年度温室効果ガス排出量」

(<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2009ghg.pdf>) .

経済産業省総合資源エネルギー調査会に対する試問

(<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g20424ej.pdf>) .

経済産業省総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会石油製品品質小委員会（2003）
「今後の燃料品質のあり方について（第二次答申）」

(<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g60323a01j.pdf>) .

経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会石油製品品質小委員会第1回議事録 (<http://www.meti.go.jp/kohosys/committee/summary/0000689/index.html>) .

経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会石油製品品質
小委員会第2回議事録

(<http://www.meti.go.jp/kohosys/committee/summary/0000742/index.html>) .

経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会石油製品品質
小委員会第4回議事録

(<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0002303/index.html>) .

経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会石油製品品質
小委員会第6回議事録

(<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0001690/index.html>) .

高永才・三木朋乃 (2012) 「環境配慮型製品の開発決定プロセスの在り方:サルファーフリー
ーガソリンの開発をめぐる個別利害関係者の立場に注目して」『商学研究』6号、pp.27-42、
日本商学研究学会.

世界省エネルギー等ビジネス推進協議会 HP

(http://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies-j/pdf/oil_refinery_chemicals/P-06.pdf)

石油連盟 (2011) 「石油産業 2011」 (http://www.paj.gr.jp/statis/data/data/2011_all.pdf) .

石油連盟 HP

(http://www.paj.gr.jp/eco/sulphur_free/) .

島田孝司(2005) 「研究最前線 環境低負荷型超低イオウ燃料製造技術開発」、Newsletter
GSCN No.23.

IIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2012

(MOT プログラムケース、大河内賞ケースのみ抜粋)

NO.	著 者	タ イ ト ル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003 年 2 月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004 年 3 月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004 年 3 月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004 年 3 月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004 年 3 月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績 V 字回復への改革」	2004 年 3 月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004 年 3 月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004 年 3 月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004 年 3 月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004 年 3 月
CASE#04-12	伊諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004 年 10 月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004 年 10 月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004 年 11 月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A)：事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B)：事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 呉淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
CASE#10-01	工藤悟志 清水洋	「東芝： 0.6 μm 帯可視光半導体レーザの開発」	2010 年 1 月
CASE#10-02	山口裕之	「東レ： 非感光ポリイミド法に基づくカラーフィルターの事業化と事業転換」	2010 年 3 月
CASE#10-03	三木朋乃 積田淳史 青島矢一	「NHK 放送技術研究所・NHK エンジニアリングサービス・日本ビクタ 株式会社： 話速変換技術を搭載したラジオ・テレビの開発」	2010 年 4 月
CASE#10-04	青島矢一 高永才 久保田達也	「日本電気： 最先端 LSI 量産を可能にした ArF レジスト材料の開発」	2010 年 5 月
CASE#10-05	青島矢一 大久保いづみ	「新日本製鐵： コークス炉炭化室診断・補修技術」	2010 年 7 月
CASE#10-06	久保田達也 青島矢一	「横河電機： 高速共焦点顕微鏡の開発と事業化プロセス」	2010 年 7 月
CASE#10-07	工藤秀雄 延岡健太郎	「パナソニック： IH 調理器の開発」	2010 年 7 月
CASE#10-08	今井裕介 岩崎慶 宰務正 鈴木裕一郎 山田将知	「株式会社高井製作所の組織改革」	2010 年 7 月
CASE#10-09	工藤悟志 清水洋	「ソニー： MOCVD 法による化合物半導体デバイスの開発と量産化」	2010 年 8 月
CASE#10-10	積田淳史 藤原雅俊	「中田製作所： 高機能造管成形機の開発と実用化」	2010 年 9 月
CASE#11-01	伊藤誠悟	「株式会社デンソー： 自動車用発電機： III 型オルタネータの開発・事業化」	2011 年 4 月
CASE#11-03	小室匡史 江藤学	「三菱電機株式会社： 人工網膜チップの開発と事業化」	2011 年 9 月

CASE#11-04	伊藤誠悟	「株式会社デンソー： 電子制御式ガソリン噴射装置(EFI)の開発・事業化」	2011年9月
CASE#12-01	奥村祐一郎 江藤学	「セイコーエプソン株式会社：3LCDプロジェクタ開発と事業化」	2012年1月
CASE#12-04	崔 裕真	「島精機製作所：ニット製品の最先端生産方式開発の技術経営史 手袋編機用半自動装置(1960年)からMACH2シリーズまで(2010年)」	2012年6月
CASE#12-05	高 永才 三木朋乃	「JX日鉱日石エネルギー株式会社： サルファーフリー燃料の開発と事業化」	2012年7月