

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

新東工業
エアレーション造型法の開発と実用化

藤原雅俊

2012 年 11 月

CASE#12-12

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://hitotsubashiir.blogspot.jp/2012/08/gcoe.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

新東工業株式会社

「エアレーション造型法の開発と実用化」¹

2012年11月

京都産業大学経営学部准教授 藤原雅俊*

* 〒603-8555 京都市北区上賀茂本山

fujiwaramasatoshi54@hotmail.com

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、以下の皆様から多大なご協力を頂いた。記して心より感謝したい。

新東工業株式会社（敬称略、五十音順、括弧内は取材当時の職位）

大矢英彦（鋳造事業本部鋳機技術グループ造型機チーム技術員；2012年8月8日14:00～15:00 豊川製作所）／金藤公一（参与鋳造事業本部；2012年3月8日11:00～13:30 豊川製作所）／川合悦蔵（専務取締役；2012年2月17日11:00～12:20 豊川製作所）／小宮山貴之（鋳造事業本部鋳機技術グループ造型機チーム技術員；2012年8月8日14:00～15:00 豊川製作所）／坂口功一（鋳造事業本部鋳機技術グループ造型機チーム技術員；2012年8月8日14:00～15:00 豊川製作所）／波多野豊（鋳造事業部鋳機営業グループ主任担当員；2012年8月8日12:45～15:00 豊川製作所）／平田実（鋳造事業本部鋳機技術グループグループマネージャー；2012年1月13日15:00～17:30 国立；2012年2月17日11:00～15:50 豊川製作所；2012年3月8日11:00～13:30 豊川製作所／鋳造事業部副事業部長兼鋳機技術グループマネージャー；2012年8月8日11:00～15:30 豊川製作所）／森下利和（常務執行役員鋳造事業部長兼鋳機営業グループマネージャー；2012年8月8日12:10～13:00 豊川製作所）

1. 産業の根幹

鑄造機械は産業の根幹をなす。日本産業を長く支えてきた自動車とその主要部品、あるいは建設機械、工作機械の基幹部品、その他諸々の素形材を製造する上で、鑄造機械は必要不可欠であり、その絶え間ない改良、改善、そして革新が日本経済史の節々で重要な役割を果たしてきた。もちろん日本経済史だけにとどまらない。鑄造の歴史をひもとけば、その源流はゆうに数千年をさかのぼる。連綿と続く歴史が、生産活動の基盤としての重要性を物語っている。華やかに時代を飾るハイテク産業は筆者を含め多くの論者の目を惹き付けるけれども、その足腰を支える鑄造機械産業は忘れてはならない重要産業である。

この鑄造機械産業で世界を代表する一社が、新東工業である。名古屋に本社を構える同社は、1934年に久保田製作所として設立された後、1960年に新東工業へと社名を変更し、2012年まで約80年の歴史を刻んできた企業である。鑄造機械事業を中核として成長してきた同社は、「エアレーション造型法の開発と実用化」で新たな鑄型製造法を確立し、2011年3月4日、第57回大河内記念生産賞を単独受賞した。

同社による開発成果は、大きく4点挙げられる。第一に、小型化である。それまでの鑄造機械は非常に大型であった。これに対して、彼らが開発した新たなエアレーション造型機は、機械自体を従来機の8分の1程度にまで小型化した。小型化により、まず顧客工場内の省スペース化に寄与した。次いで、小型化による部品点数の大幅削減と重量削減は、機械の価格面でも顧客に大きなメリットを与えた。それは同社の差別化戦略に貢献したのである。小型化に際して複数の工程を集約させたことで生産速度も向上したため、顧客企業は、鑄型をより低コストで製造できるようになった。

第二に、鑄型精度の向上である。新東工業は、鑄型の細部隅々にまで砂を詰めることに成功し、それによってより肉厚の薄い鑄物を製造できる鑄型を提供することに成功した。従来は、細かな形状をした鑄型を作ろうとすると、どうしても細部にまで砂が行き届かず、それゆえに、鑄型にバラツキが発生し、その強度が弱く、それから作られる鑄物は精度が悪かった。しかし新東工業は、独特な充填方法を確立してこれを大きく改善したのである。その充填方法を、エアレーション造型法という。砂の充填過程においては、高い空気圧力による吹込みではなく、より低圧なエアレーションによる方が砂の充填効率が高いことを見出し、それに基づいてエアレーション充填技術を確立したため、同社がそう名付けたのである。

第三に、作業環境の改善である。鑄造に関連する業界は、3K職場（きつい・きたない・きけん）と長く呼ばれてきた業界でもある。その大きな一つの理由は、鑄型や鑄物などの製造工程で発生する粉塵にあった。鑄型を造り出す作業工程で不要となった砂が

「こぼれ砂」として工場内に舞い、作業環境を劣悪にしていたのである。これに対し、エアレーション造型機は、一連の鋳型製造過程を造型機の中で一体化させることに成功したため、工場内に粉塵が舞う問題を著しく解決してくれた。加えて、機械への内部化は作業中の騒音も減らすこととなった。すなわち、新東工業は、砂・音という作業環境を悪くする2つの要因を封じ込めることに成功したのである。

そして第四に、電力生産性の向上である。同社が「エアレーション造型法の開発と実用化」で大河内賞を受賞した際、この点は前の3点に比べてさほど強調されていない。同社が受賞を果たした2011年3月4日は、東日本大震災発生1週間前のことであった。しかし、震災を経て今日の視点で振り返ってみれば、使用電力量の減少はひとつの重要成果として指摘しておくべきだろう。事実、新たな造型機を開発した新東工業は、その油圧動力を従来機に比べて約80%近く削減することに成功しているのである。具体的には指摘されていないけれども、エア消費量の減少もまた使用電力量を減らすことに寄与しているであろう。使用電力量が多く夜間電力でやり繰りをするような鋳造業界にとって、電力生産性の向上はその重要性を著しく増している。

本稿は、新東工業がいったいどのようにしてこのエアレーション造型法を確立し、実用化してきたのかを記録したものである。

2. 概要

2-1. 鋳造機械業界の概要

鋳造とは、溶かした金属やプラスチックなどを鋳型に注ぎ込んで鋳物を作り出す過程のことを指す。鋳物の出来映えを支える一つの重要な鍵が、鋳型である。鋳型がゆがんでしまっていて適切でなければ、望んだ通りの鋳物が鋳造されないからである。

鋳型の作り方には様々あり、珪砂などの砂粒子に水や粘結剤、添加剤などを混ぜて作る鋳物砂を固めて作る鋳型のことを砂型という。この砂型を作る上で最も広く頼られているのが、生砂造型（生型：green sand mold）である。これは、珪砂に3%程度の水分およびベントナイト等を混ぜたものを、乾燥させないで用いるタイプの造型方法である。鋳型を作り上げるまでの工程が少ないために能率がよく、経費も少なく済むため、小物、中物鋳物用として広く使われている²。

この生砂造型機は、水平割りと垂直割りという二種類に大きく分けられる。水平割りとは鋳型を水平方向に切って二分し、上下に分けて作り上げる製造方法である。その利

²湯本・前田・昆野（1980）p. 29。

点は、柔軟な鑄造方案が可能となるということである。一方で、垂直割りとは鑄型を垂直方向に切って二分し、左右に分けて作り上げる製造方法である。その利点は大量生産しやすい、というところにある。

生砂造型機の市場は、水平割り型と垂直割り型に二分されるが、このうち垂直割りセグメントで強いのがデンマークに本社を構えるディサ（DISA）であり、水平割りセグメントで強いのが新東工業である。新東工業は、グループ会社を含めて、水平割りセグメントの世界市場で首位に位置している。互いのセグメントは比較的きれいに分かれており、ディサと新東工業が相手のセグメントを侵犯しあうことはあまり多くないとされる。

造型機の業界では、顧客が革新的製品を採用しづらいという特徴がある。それは、24時間フル稼働している顧客企業の生産ラインに向けて、新型機を納めなければいけないからである。少しでも不具合を起せば、そこで生産ラインが止まってしまう。ゆえに、顧客は新型機の導入にどうしても及び腰になる。造型機を事業とする企業の側からすれば、いかにして顧客を説得し、新型機を現場の生産ラインに適応させていくのか、という点が非常に重要な戦略課題となる。そのため、新型機を開発しただけでは不十分であり、新型機を客先に納めた後のケアもまた重要な取り組み活動となるのである。その意味で、新型機の開発で大河内賞を受賞した同社の事例は、いっそう興味深い。

本稿で扱う新東工業の鑄造事業は、同社の出自事業であり、今日においても企業売上高の約30%をほぼ一貫して担う主力事業である。2000年以降、営業利益面での貢献は顕著である。具体的に記せば、企業全体の営業利益に占める鑄造事業の営業利益の割合は、14.5%（2004年3月期）から34.7%（2007年3月期）、そして51.3%（2012年3月期）まで高まっている。ただし鑄造事業にも紆余曲折がなかったわけではない。むしろ、ここ20年の推移を見ると、上下に大きく揺れ動いてきたと言える。続いて、事業の業績概要を振り返っていこう。

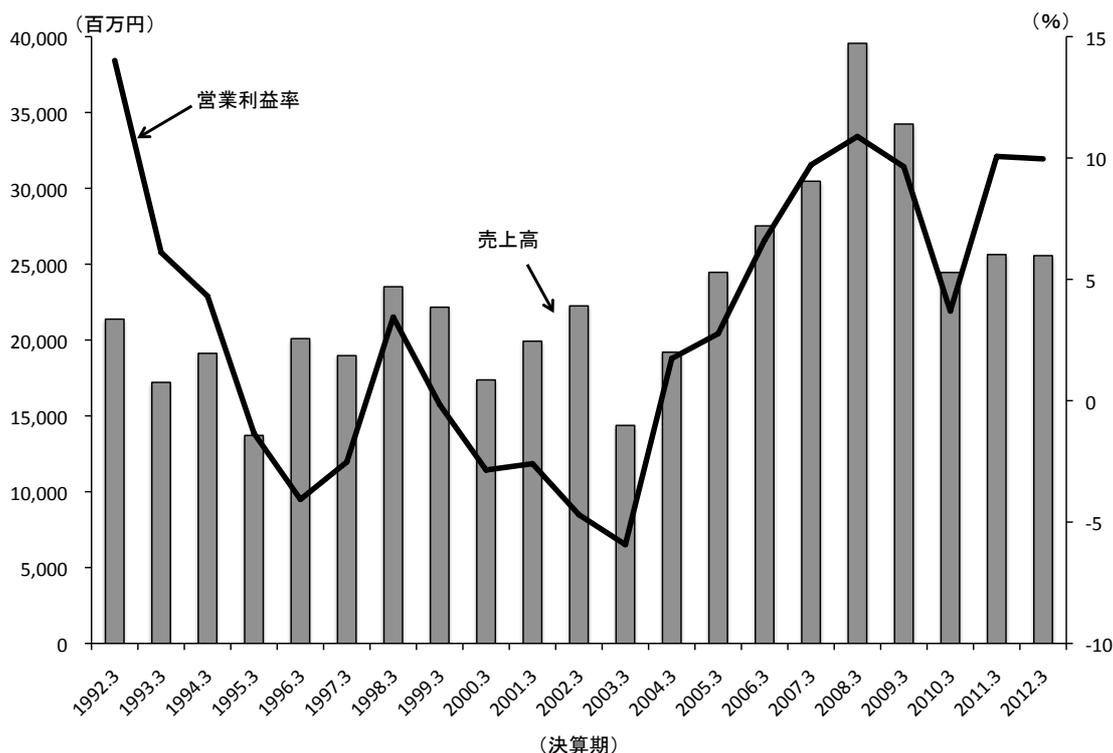
2-2. 事業の業績概要

図1は、新東工業の鑄造事業の売上高と営業利益率の推移を示した図である。この図を俯瞰すると、同事業は、1990年代半ばから2000年初頭にかけて非常に苦しい時期を過ごした後、2000年代半ばに入ってから復活し、その後は高収益事業として同社に貢献していく姿が読み取れる。

1990年代半ばにおいては、バブル崩壊の打撃を受けた企業の投資意欲が減退し、造型機など鑄造機械業界は販売不振に陥っていた。同時に円高も進行したため、非常に苦しい事業展開を余儀なくされていた。同年代における営業利益率の落ち込みは、その苦

しみを如実に示している。同事業の営業利益率は、14.0%を記録した1992年3月期から、-1.3%（1995年3月期）、-4.0%（1996年3月期）へと一気に落ち込んでいる。

図1 鑄造事業の業績推移



出所：新東工業『有価証券報告書』各年度版

2000年代に目を移しても、同社の鑄造事業は構造的な赤字傾向にしばらく苦しみ、2003年3月期には-5.9%もの営業利益率を記録している。しかしその後、新東工業は鑄造事業の利益率を10%台へと押し上げ、今日に至っている。見事な業績回復と言えよう。この同事業が復活を遂げるまでの時期は、本稿が扱う新型造型機が市場に投入された時期とちょうど重なっている。

同社が開発した新型造型機は、大きく次の4つに分けられる。枠付造型機「ACE」、抜枠造型機(2ステーション)「FCMX」、抜枠造型機(シングル・ステーション)「FBOX」、そして抜枠造型機(小型シングルステーション)「FDNX」である。これら造型機の近年における動向をより詳しく見たものが、表1である。表1は、2007年から2011年

にかけて、各造型機が国内外でどのように展開しているのかを示した表である。総合実績を計算すると、2007年 21 台、2008年 22 台となり、好調である様子がわかる。しかし、2008年 9月に起きたリーマン・ショックを契機に企業が投資を控えた影響で、2009年実績は 9 台のみにとどまってしまっている。ただこれは同社のみを襲ったものではなく、業界全体での冷え込みである。その後、「FCMX」が著しく伸張している。

なお、「FDNX」は 2010 年に開発を終えたばかりの新製品であり、該当期間における実績はない。ただ「FDNX」の受注実績について見ると、国内で 6 台の受注、海外で 13 台の受注となっているということである（新東工業、2011）。では続いて、同社がこれら新型造型機を開発し始める背景を、前史として記していこう。

表 1 機種別生産実績（台）

	ACE		FCMX		FBOX	
	国内向け	海外向け	国内向け	海外向け	国内向け	海外向け
2007年	6	3	4	7	1	0
2008年	5	4	2	3	4	4
2009年	0	2	1	4	1	1
2010年	0	4	2	13	2	1
2011年	1	9	0	21	0	0

出所：新東工業株式会社（2011）p. 62。および取材（2012年 8月 8日）に基づいて作成。

2-3. 前史

多くの製造業で生産活動が著しく活発化した高度経済成長期は、その根幹をなす鑄造機械事業を後押しする追い風を吹かせた時期であった。この時期、日本の自動車産業は、およそ 76 万台（1960 年）から 708 万台（1973 年）へと、その生産量を 9 倍以上も拡大させた³。モータリゼーションである。この追い風を受けて、1960 年に 200 万 t 弱にすぎなかった銑鉄鑄物業の国内総生産量は、高度経済成長期が終わる 1973 年までに 500 万 t 近くへ高まったのである。

この頃、つまり 1960 年代から 70 年代にかけて、新東工業の鑄造機械事業は、アメ

³詳細な推移は、小野（1995）が報告している。

リカ製の造型機を技術導入し、日本向けに設計変更して製作し販売するといったものであった。ただし、アメリカ製の造型機には問題点もあった。機械が非常に巨大でエネルギーを著しく消費していたのである。新たな技術改良は、新東工業にとって長年の懸案でもあった。

やがて好景気に沸いた1980年代を終えて1990年代に入りバブル経済が崩壊すると、新東工業の鑄造機械事業は著しい不振に陥ってしまう。鑄造関係の業界は、企業の設備投資意欲に大きく揺さぶられる業界であったうえに、90年代半ばに入って急激な円高が進行したため性能比価格で海外企業が優位に立ったからである。事実、図1を再び見ると、同事業が最高利益率を実現したのは、1992年3月期の14.0%である。それからわずか3年後の1995年3月期に-1.3%、1996年3月期に-4.0%へと落ち込み、赤字転落してしまったのである。1973年に入社し、造型機を始めとする鑄造機械事業に長く携わり、1997年から技術部長を務めていた川合悦蔵は、次のように振り返る。

そのときに経営的に議論されていたのは、この事業を本当に続けておって大丈夫かと、そういうところまで議論もございまして。これは新東工業のもとの柱ですから「何とかせないかな」ということで、従来と同じ考え方では全く駄目だと、画期的なものが何とかできないかと色々と考えておったわけです。そういうことから、従来の工程、プロセスを革新的に変えろと。モノの考え方を変えるということで、いくつかの角度から検討して、できるものから始めると⁴。

閉塞感を打ち破るべく新東工業が目指したのは、コスト半減である。ここでいうコストとは顧客側で発生するコストであり、新東工業にとってみれば造型機の売価にあたる。その価格は概ね機械の重量で決まるため、売価を下げようと思えば、販売する造型機を小さくして軽くする必要があった。半値に下げるには、単純計算で半分の小型化が必要となる。開発キーワードは、小型化にあった。川合は、そのための方策をいくつか練り上げては、目を付けた開発者達に自らの想いやアイデアを語りかけていた。

川合の語りかけを受けた開発者の一人が、当時ドイツに赴任していた平田実（1982年入社）であった。川合は、出張でドイツに訪れた際に、開発の可能性を平田にも語っていた。川合は当時を次のように語る。

⁴関係者インタビュー（2012年2月17日；川合悦蔵）。

当時彼（平田）がドイツのグループ会社におりました。日本ではあまりに設備が売れないから、私がドイツに出張したときに「こういう構想で、こう考えているけれども、これができるか」と問うたわけです。彼は優秀な技術者ですから、「たぶんこれはうまくいくだろう」という想定をしていました。

実は布石がありましてね。1960年代70年代に、ある程度、将来的なものを見た構想はあったのです。2、3台、それ（エアレーション造型法）に近いものを試したことがあります。実は国内で3台くらい納めました。70年代。ところが納入してみたらクレームばかり、鑄型ができない。初期の立ち上げの段階は良いのですけれども、使っているうちに不具合がいっぱい出てきて。私なんかクレーム処理で飛び回っていました。とうとうギブアップしまして、80年前後に3台とも結局取り払った。大失敗。大失敗だけれども、ただ教訓が一つありまして。技術の分野というのは、今でも非常に新しい分野というものは無いということです。だいたい過去のものを見れば、失敗から対応していけば、新しい技術をそこに付け加えれば、立派に成り立つと⁵。

過去の失敗を元にして将来の新型機を構想した川合は、平田にその構想を語り、開発プロジェクト化に向けた準備を整えていった。川合は、「このプロジェクトが成功しないとどうしようもない」と思う反面、必ず成功するだろうという確信があったという。「ずっと色々と過去の経験があって、確信があるわけです。あらゆる経験はさせてもらっていますので。そこから出てくる直感と今の技術を組み合わせれば、必ずモノになるなど⁶」という思いを抱いていたのである。

3. 開発着手から基礎技術確立まで

3-1. 開発コンセプト：「サイズ半減以下、コスト半減」

1998年5月、ドイツから帰国した平田に対し、川合は「コスト半減」を実現すべく、造型機の小型化プロジェクト始動に向けた検証を指示した。このプロジェクトでは、従来のプロセスを革新することで、性能の面で圧倒的差別化をはかると同時に、機体サイズは従来の半分以下、コストも半分以下が必須条件と据えられた。バブル期に販売していたような重厚長大な設備では、コスト面で競合他社に太刀打ちできないからである。指示を受けた平田は開発機の基礎設計を進め、そこで用いる各要素技術の実験と検証は

⁵関係者インタビュー（2012年2月17日；川合悦蔵）。なお、1970年代に試されたこの失敗機は、ブロー型の造型機である。

⁶関係者インタビュー（2012年2月17日；川合悦蔵）

波多野豊（1990年入社）が担った。

このとき、1998年6月から取締役技術部長として経営層にいた川合と、現場の平田や波多野とをつないだのが、鑄造機械に関わる複数の開発プロジェクトを統括していた金藤公一であった。金藤は、1972年に入社して研究所に配属となった後、流気科学を応用した新たな生型造型機の開発プロジェクトに参画し、1979年に発売された新型機（静圧造型機という。「APS」）を生み出すのに貢献した技術者であった。この新型機は、10年ほどで約80台を販売するなど、主力製品となった。その後、金藤は、主要開発者として1989年にその新型機（「APK」）を開発、1993年には平田とともに新たな抜粋造型機FBOを開発して発売し始めるなど、同事業の競争力に大きく貢献していた⁷。そして金藤は、1997年から複数の開発プロジェクトを俯瞰的に統括するリーダーとして指揮を振るっていたのである。

平田と波多野は金藤に相談を重ねながら、開発の実現可能性を何度も検証し、開発計画書を記しては、社長を始めとする役員たちが居並ぶ会議でその内容説明を繰り返した。鑄造機械事業は新東工業の出自事業であるから、閉塞感打破に向けた取り組みは、経営陣からの手厚い支持を受けるものであった。鑄造機械事業を何としても建て直すという想いは一様に強く、それだけに厳しい要求を開発陣は一身に受け止めることとなった。

彼らによる基礎テストおよび検証が実を結び、プロジェクトの始動が承認を得られたのは、1998年の暮れのことであった。このプロジェクトの立ち上がり方は、従来のそれとは少し異なるものであったと平田は語る。

鑄造はやっぱりメインですし、これは大きなプロジェクトだったものですから、事業部の中で（立ち上がったプロジェクト）というよりは、直接もうトップから。当然事業部でも話しはしていますけれども、「とにかくこれはやりきる」というプロジェクトだったと考えております。（ドイツから）帰ってきたときにも「こういうプロジェクトをやるんだよ」という話になっていましたしね。会社的にも「もうやらないと」という⁸。

翌1999年1月、新たな造型機の開発に向けたプロジェクトが正式に始まった。その目標は、「サイズ半減、コスト半減」を実現した新型機を開発し、翌2000年5月に開催される鑄造工学会で発表するというものであった。従来にない高い目標を、向こう1年半もないうちに実現するという、目標の高さという意味でも開発期間の短さという意

⁷平田は、FBOの開発に関わった後、1993年からドイツに赴任した。

⁸関係者インタビュー（2012年2月17日；平田実）

味でも、新東工業にとって前例のない挑戦的な目標である。金藤は、「サイズ半減、コスト半減」という開発目標について、次のように振り返る。

90年代の終わりの頃はバブルが弾けて、世の中の設備投資がほとんどないような状態だったのですね。海外についても円高で苦戦する状況でした。造型機の性能そのものが競合メーカーに劣るとは考えていなかったですけれども、お客様に提供するにはコストが見合わないと買って頂くということにつながらないので。周りの状況を変えるには(ということ)、会社が打ち出した「コスト二分の一」という私にしてみれば非常に大胆な目標設定が出てきたのですね。今までのレベルの改良のレベルでは、つまり20%というコストダウンでは、お客さんが飛びついてくれない(ということです)。(中略)今までのうちの目標からすれば、極端な目標ですね⁹。

このプロジェクトでは、平田が開発リーダーを担い、開発側からは要素技術の実験を担っていた波多野が専任で、技術側からは橋詰政治が兼任でそれぞれ参加した。開発側では、金藤、平田、波多野という3人が、以後10年近くに渡ってともに活動を重ねる中核的な開発メンバーとなる。

鑄造機械事業で長く主力技術者として活躍してきた川合も金藤も、このプロジェクトを非常に強く後押しした。川合は取締役技術・開発部門統括兼鑄機事業部長(1999年4月～)として経営層で技術全般をトップとして指揮する立場にあり、金藤は、経営層の川合と現場の平田たちをつなぐ役割を担った。平田達は、日常的には金藤へ開発報告を重ねながらプロジェクトを進めた。

製品価格を下げるには、製品のサイズを小さくすれば良い。ではいかにしてサイズを半減させるか。この開発プロジェクトを進めるにあたって川合や金藤、平田達が描いた開発案のポイントは、大きく2つあった。そのひとつが工程数を減らすことであり、もうひとつが生砂の充填手段としてエアレーションを採用することであった。そのそれぞれについて、以下記していこう。

3-2. 常識の反転：こぼれ砂とスクィーズ・フット

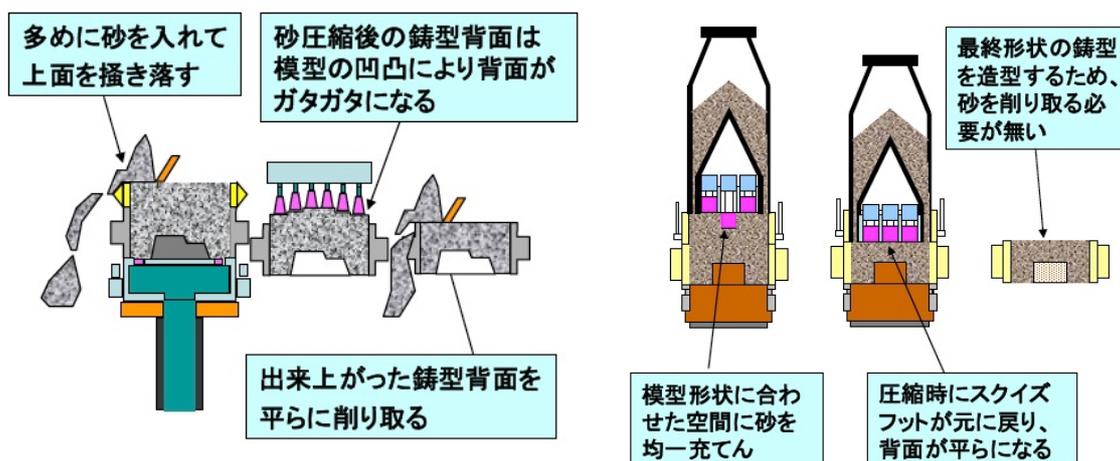
従来の造型機の工程数は、7工程であった。まず平田達は、この7工程を主要工程と副次的工程の2つに分けて解決に臨んだ。主要工程は残さざるを得ないかもしれないけ

⁹関係者インタビュー(2012年3月8日;金藤公一)

れども、副次的な工程ならばどうにか省けるのではないか、という発想である。すると、従来7つあった工程のうち3工程が副次的工程として浮かび上がった。

その3工程とは、図2左にあるように、鑄型の上に多めに砂をかぶせ、上面を掻き落とし、砂を圧縮し、出来上がった鑄型の背面を平らに削り取る、といった作業であった。この一連の作業工程は、物理的な移動を伴う。これが造型機を大型化させる大きな原因となっていた。さらにこの作業工程では時間もかかる上に、掻き落された砂が作業場に舞い上がって作業環境を劣悪なものにしてしまっていた。しかしそれは造型機の業界にとってひとつの「常識」であり、その「常識」が機械を大型化させていたのである。

図2 工程数の削減



出所：講演会資料（2012年1月13日）

これら3つの工程を、どう省くのか。この問いに対して開発陣は、工程の一体化というアイデアを抱いた。ここでいうところの一体化は、作業工程の集約化と内部化とに分けられる。まず集約化について記すと、物理的な移動を伴っていた上記一連の作業工程を束ねて一カ所で行えるようにすれば、工程間の物理的移動がもたらしていた造型機の大規模化を避けることができる。これが集約化である。次いで内部化について記すと、一カ所に集約化した作業を機械のなかに閉じ込めて内部化してしまえば、砂を掻き出すことで生じていた「こぼれ砂」の問題を回避して作業環境も著しく改善できる。これが内部化である。これら2つを実現して工程を一体化すれば、機械の小型軽量化と作業環境の改善がかなう。いわば一石二鳥のアイデアであった。

しかし、大きな問題があった。上から多めに砂を被せて上面を掻き出し、圧縮し、鋳型背面に残った砂を掻き出す作業を一カ所でいったいどうやって済ませることが出来るのか。仮に集約化できたとして機械内部で一連の作業を進めるとき、工程ごとに掻き出される大量の「こぼれ砂」は内部的にどう処理すれば良いのか。従来の作業内容をただ単に束ねただけでは、作業の集約化は無理である。作業を集約化できなければそもそも機械への内部化などは到底実現できない。

この課題を解決するひとつの糸口となったのが、「そもそもこぼれ砂を出さない」という発想であった。上から多めに砂を被せなければ掻き出す必要はない。圧縮作業を経た後の鋳型背面に砂が盛り上がらなければ、掻き出す必要はない。いずれも素人目線とも言える単純な発想だが、これまでの業界の歴史から見れば、反常識的な発想であった。その業界の人間であるほど勇気の要る発想である。では、その反常識的発想をどうやって実現すれば良いのか。それが実現できないからこそ、一連の作業工程が「常識」として業界に長く鎮座していたのである。

この問題を綺麗に解いたアイデアが、スクィーズ・フットの動きにあった。スクィーズ・フットとは、砂圧縮時に圧縮率を均一にするための可動部位のことである。図2左右それぞれの中心に位置している。

従来の作業工程では、圧縮時に下からかかる圧力を調整するため、砂がスクィーズ・フットを上側に押し上げていた。上部のスクィーズ・フットをこのように稼働させずに堅い板で押さえつけたままのようにしてしまうと、圧縮時における砂の圧縮率が均一にならず、結果として鋳型がうまくつくれないからである。そのため従来機においては、圧縮時にスクィーズ・フットを凸凹に動かして圧力を調整し、その後、上側にせり出して凸凹になった鋳型背面を平らに削り取っていたのである。

これに対し平田達は、あらかじめスクィーズ・フットを凸凹に動かしておき、圧縮時にそれが戻るようにすることで鋳型背面を平らにするアイデアを考えた。圧縮時に鋳型にかかる圧力を均一にするという目的からすれば、横一列に並べたスクィーズ・フットを圧縮時に凸凹に動かして調整しようが、圧縮時にかかる圧力を読み取った上でスクィーズ・フットをあらかじめ凸凹に並べて圧縮後に横一列に揃うようにしておこうが、同じことであった。

スクィーズ・フットを横一列に並べて凸凹に動かすか、あらかじめ凸凹にして横一列になるように設計するか。「横一列→凸凹」なのか「凸凹→横一列」なのかというだけの違いである。言葉にすれば単純だが、プロジェクトが抱えた問題を綺麗に解く、非常に大きな逆転の発想であった。圧縮した後にスクィーズ・フットが横一列に並ぶように設計できれば、鋳型背面に残った砂を掻き出す問題を解消できるからである。

一連のアイデアを具現化した新型機が、図2右に示されているものである。図2左にあったように工程間での移動を伴うことなく、ひとつの機械の中で複数工程をまとめて済ませてしまう抜本的なアイデアであった。図2右には3つの工程が描かれているけれども、これはひとつの機械の中でほとんど物理的な移動を伴わずに完結することである。こうして鑄型形状に合わせて砂を充填し、機械の中で調整して背面を平らになるように砂を圧縮しておくことで、できあがりの形状を、従来機で多くの段階を経て作り上げてきたものと同じものにしたのである。これにより、「こぼれ砂」の問題は、著しく解消されることとなった。

次なる課題は、機械内部でどのようにして砂を均一に充填するか、というものであった。砂の均一な充填方法の確立は、業界の中でこれまでも大きな解決課題ではあった。新東工業が抱えた課題は、その充填方法を機械内部でどのように実現するかということにあった。

3-3. 低圧エアレーション

生砂の充填方法として開発陣が頼った方法は、エアレーションであった。空気を流しながら砂を流動化させて攪拌させて充填させることで、鑄型形状に合わせて隅々までピツタリと砂がうまく行き渡るようにするやり方である。平田は次のように語る。

1997年までの時点ではエアレーションは全然使っていなかったのですが、1998年になってから「エアレーションもやれないかな」と（発想しました）。コンビネーションしていこうとしたらどうしても複合化していくしかないのです、そのなかでエアレーションという話が出てきたのですね¹⁰。

エアレーションという考え方そのものは、古くからある充填方法であり、特段珍しいものではない。しかし、水や石炭粉を山砂に混ぜ、乾燥させないで造型していく生砂造型は、必ずしもエアレーションとの相性が良いとは言えなかった。湿って粘着性のある生砂を隅々まで行き渡らせるエアレーション方法をいかにして確立するのか。これが課題であった。

この解決過程は、文字通り試行錯誤の繰り返しそのものであった。空気の圧力、流入する角度、温度や湿度管理。そしてそれらと機械そのもの、あるいは空気を流し込むノズル形状との相性。実に多様なパラメーターをひとつひとつ丁寧に解きほぐしながら、

¹⁰関係者インタビュー（2012年3月8日；平田実）

最適なエアレーション・パターンを蓄積してデータベース化し、多様に変化する環境のなかでも生砂を均一に充填できるだけの体制を少しずつ整えていった。

少しずつ丁寧に、とは記したが、平田たちに与えられた開発期間は1年半もなかった。2000年5月の日本鑄造工学会までという限られた期間の中で、試行錯誤のように時間消費的な活動を速やかに進めるには、夜を徹して開発を重ねる必要があった。

何度も繰り返した試行錯誤のなかで、またもこれまでの常識とは異なる発見があった。従来、生砂を綺麗に隅々まで充填させるには、より高压の空気を送り込めば良い、と考えられていた。強い風が生砂をよりいっそう攪拌させ、凹凸のある鑄型のより細かいところ、より深いところにまで行き届くという発想である。強い空気で生砂を細部まで押し込む、といったイメージともいえる。ブローイングと呼ばれる充填方法は、基本的にそうした常識に基づいていた。

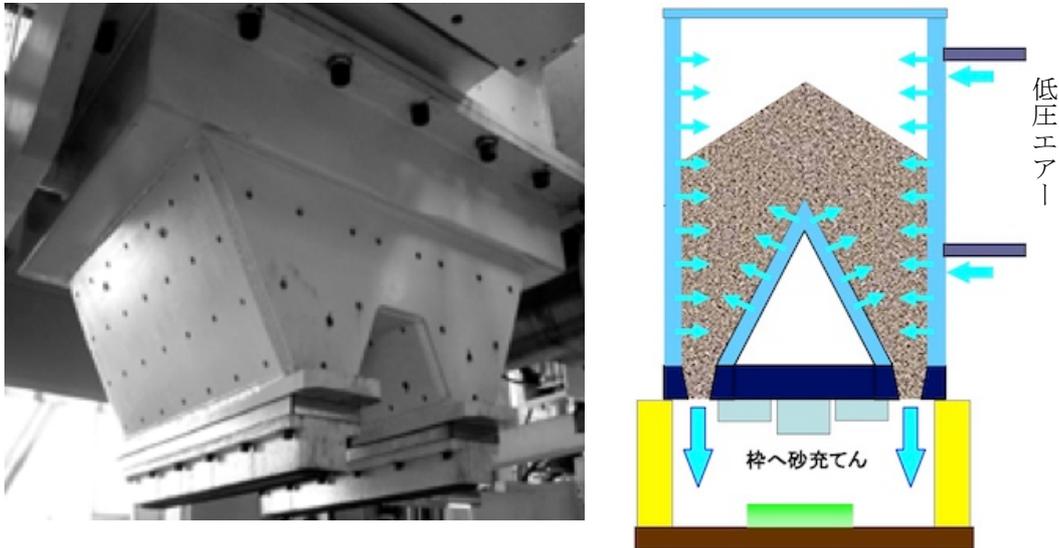
しかし興味深いことに、川合は、30年前に行っていたブローイングの基礎テストの中で、エア圧力を下げ、砂とエアを混合して水のように流動化した方が、砂が均一に充填されるのではないかという実例を、既に予測していた。反常識の芽は30年前に伸び始めていたのである。そして時を隔て、試行錯誤を繰り返していた平田たちもまた、実は低压な空気を送り込む方が充填効率は高まるということに確信を抱いたのであった。何度も実験を繰り返すなかで、その傾向ははっきりと浮かび上がった。ただし、とりわけその初期において、このアイデアはすぐに受け入れられるようなものではなかったと川合は言う。

(空気の) 圧力をいくら上げてもうまくいかない。(砂が) 中に入っていない。では、逆に(圧力を) 落としてみたらどうかと。落としてみたら鑄型の出来が良い、圧力上げたら逆に入らない、ということが起きましてね。下げてもみたら、そこそこいくようになりました。そこで、圧力を落とした方が絶対に良いという仮定でやってみた。周りの人というのは、そんなものでは砂はうまく入っていないという固定観念があったわけですがけれども。誰に話してもそんなことを言っておった。彼(平田)は忠実に受け止めてくれた¹¹⁾。

この過程を経て開発されたエアレーション・タンクとその構造を示したのが図3である。図3左にある穴から低压エアが吹き込む仕組みである。そうして生砂を攪拌させながら、図3右にあるように、枠の中へと砂が充填されていくのである。

¹¹⁾関係者インタビュー (2012年2月17日；川合悦蔵)

図3 エアレーション・タンク（左）とその構造（右）



出所：平田（2007）p. 4 および講演会資料（2012年1月13日）。

こうして一体化というアイデアと低圧エアレーションによる生砂充填の組み合わせに一定の手応えを得た平田たちは、試作機の基礎設計を進めた。そして1999年6月、毎月開かれていた開発会議で、その基礎設計が認められ、試作機を作ることが認められた。プロジェクトが正式に始動した同年1月から、わずか5ヶ月後のことであった。試作機の詳細設計に入ったプロジェクトには、制御や油圧系などを担当するメンバーがさらに加えられ、総勢10名での開発体制へと展開した。

開発期限は、2000年5月である。1年を切っていた。プロジェクト・メンバーたちの時間は、いっそう濃密なものになった。「徹夜をするときはみんなで徹夜する」という強い仲間意識の体制でプロジェクトは進行した¹²。およそ3,000時間にわたる格闘の末、試作機ができあがったのは年の瀬が迫った12月であった。

次は試作機の改善である。いったん仕上げた試作機を細部にわたって点検し、不具合や不備を調整、修正していった。具体的に一例を記すと、最初の試作機には、生砂を充填させるためのノズルが4本搭載されていた。しかし、生砂の充填と圧縮のバランスは未だ途上であって、うまくとれていなかった。それを見た川合はノズルを2本に減らす

¹²関係者インタビュー（2012年2月17日；平田実）

ことを開発メンバー達に助言し、試作機の改善を支援した。こうした一連のアイデアを実現し、より精度の高い試作機ができたのは2000年3月のことであった。 casting学会2ヶ月前のことである。

4. 製品化

4-1. 開発成果

一体化によって、工程数は、半減して4工程（プリセット→エアレーション→スクリーズ→レベリングドロウ）となった。これら4工程の流れは、図4に記す通りである。

完成した試作機について特筆すべきは、図4の一連の流れを見ると分かるように、造型機そのものが上下に動くように設計されていたことである。従来、そもそも造型機が極めて大型であったこともあり、機械自体が上下に動くということなど、全く想定されもしなかったことである。奇抜とも言えるこの独特な設計に、造型機を動かす現場の作業員達は一様に驚きと戸惑いを示した。従来とは全く異なる、見慣れぬ新型機だからである。ただし、作業員が担う作業内容そのものを大きく変更させるようなものではなかったことから、彼らの驚きや戸惑いは、物珍しさでもって新型機が迎えられたということだけで済み、新型機導入の抵抗運動に展開することはなかった。

彼らが成し遂げた開発の成果は、大きく4つ挙げられる。

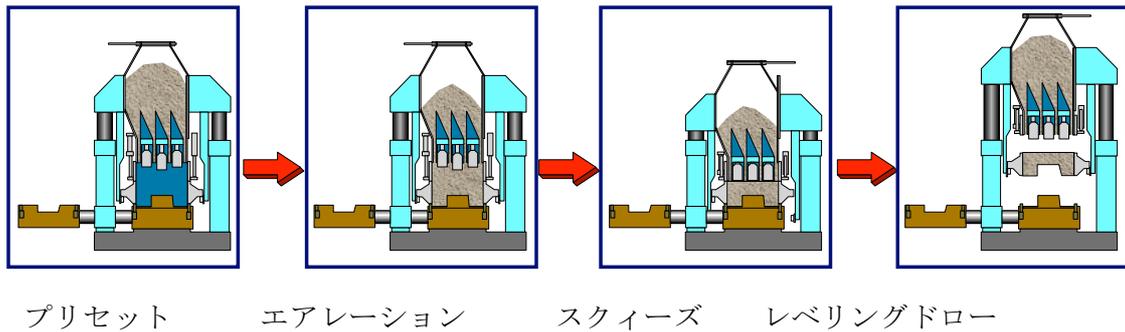
第一に、小型化である。工程数の削減は、容積比にして8分の1にまで造型機を小型化しただけでなく（図5参照）、必要な部品点数を4分の1から5分の1程度にまで減らしてくれた。その分、製品単価を半減させることが可能となった。次いで、工程数が削減されたことで、製品の生産速度も上がり、単位時間あたりの生産数量が増えた。生産速度は、従来の1.5倍に向上したという。生産の高速化は、顧客側で生じる単位費用を下げるうえで重要な点である。

第二に、鑄型の精度向上である。使用空気圧力を3分の1にまで減らした低圧エアレーションは、生砂を隅々まで充填してくれたために鑄型の精度が増したのであった。その本領は、直径の大きな模型ポケットへの生砂充填よりも、小さな模型ポケットへの充填時に発揮された。たとえば、直径10mm程度の小さな穴への充填密度で見比べよう。重力落下で充填させた場合の充填密度は470kg/m³、0.3MPaのブローイングで充填させた場合が710kg/m³であるのに対し、エアレーション（0.1MPa）で充填させると、950kg/m³の充填密度を記録しているのである¹³。しかも、この直径10mmの模型ポケ

¹³講演会資料（2012年1月13日）。

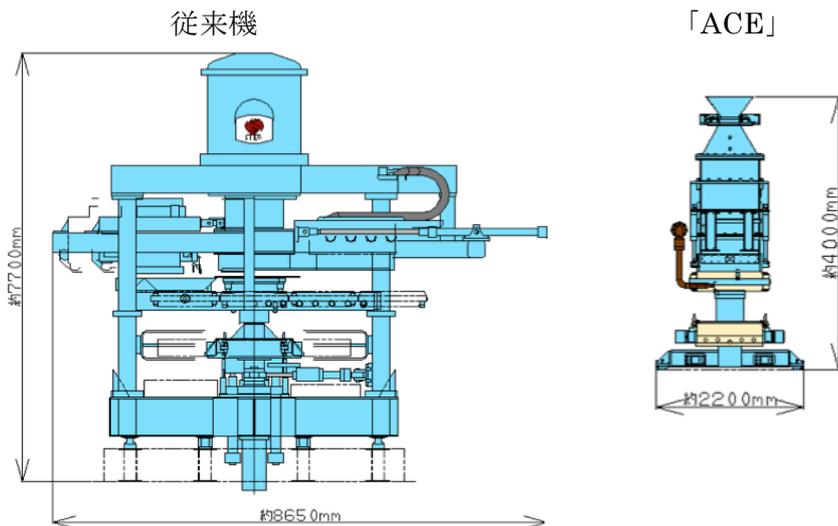
ットへの充填効率は、0.15MPa でのエアレーション時 (890kg/m³) よりも、0.1MPa でのエアレーション時の方が高かった¹⁴。つまり、小径ポケットに対しては、低圧エアレーション時の方が、充填効率が高かったのである。

図4 造型過程



(出所) 新東工業 HP 内、「ACE」シリーズ紹介パンフレット

図5 従来機と「ACE」の容積比較



出所：講演会資料（2012年1月13日）

¹⁴直径が大きい模型ポケットに対する充填効率は、0.15MPa 時の方が 0.1MPa 時よりも高い。検証に関する詳細は、平田・牧野・波多野（2001）を参照のこと。

こうして充填効率が高まり、生砂が隅々まで充填されたことで、鋳物の寸法ばらつきを今までのような広い幅で考える必要がなくなった。寸法ばらつきの小さい鋳物が製造できるようになったのである。ということは、つまり、より薄い肉厚で鋳物を造ることが可能となったということでもあった。肉厚の薄い鋳物が造れるようになれば、その分だけ使用する原材料が減ることになるため、顧客にとっては費用削減効果にもなった。

第三に、作業環境の改善である。工程が機械内部に収まったことから、砂の使用量が20%減ったうえに、「こぼれ砂」の問題がかなり解決された¹⁵。生砂と模型との間に塗布する離型剤の散布作業が機械内部の密閉状態で行えるようになったため、離型剤が工場内に飛散することもなくなり、その塗布作業もかなり楽になった。機械への内部化はさらに、作業時の騒音をも減らした。よって、作業環境はかなり改善したのである。

そして第四に、電力生産性の向上である。先述したように新型機の上下動には自然重力が活用されたため、造型機を作動させる油圧動力も下がることとなった。これによって、使用電力量が著しく低減することとなったのである¹⁶。

4-2. 枠付造型機「ACE」の登場

2000年5月、新東工業は日本鋳造工学会で枠付造型機「ACE」を発表した。実はこのとき、新東工業は既に実機を成約済みであった。通常であれば、展示を受けて、関心を抱いた顧客企業と取引交渉を行うのが流れである。それから比べれば、展示時に既に実機を成約しているという状態は、同社の歴史の中で珍しいことであった。

初号機の納入先は、長野県の株式会社コヤマである。自動車部品企業であるコヤマは新東工業と長く取引関係にあり、互いに信頼関係が深まっていた。さらに、「ACE」が持つ造型性能はコヤマの主力製品との相性が良く、たしかにコヤマとしても利点はあった。しかし「ACE」は、上述した通り、外観からして従来機と大きく異なるものであ

¹⁵平田・波多野・大野（2005）によれば、後に開発された「ACE-4」を従来機と比べると、こぼれ砂は97kg/枠から14kg/枠まで激減している（従来造型機×2台を、「ACE-4」×2台に更新し、4000時間/年稼働させた場合）。

¹⁶具体的に、従来機（APK-5）と「ACE-5」の性能を比べると、以下の通りとなる。まず生産の高速化について単独造型時間でみると、従来機（APK-5）は片枠の造型に12秒かかっていたのに対し、新型機（ACE-5）は9.5秒へと約20%高速化している。低圧エアレーションは、エア消費量を、8(Normal)m³/comp.moldから5(Normal)m³/comp.moldへと37%削減させた。comp.moldとはコンプリート・モールドのことで、上下鋳型の造型を行う工程のことを指す。工程の一体化によって「こぼれ砂」の問題を著しく解消したため、砂使用量は360kgから300kgへと17%減った。さらに、自然重力を活用したため、油圧動力は、従来機の97.5kWから22kWへと削減することに成功した。77%の削減である（川合・平田・牧野（2004）p. 1032）。

「ACE」が実現した一連の省エネ効果、電力生産性の向上は後に高く評価され、平成14年度優秀省エネルギー機器の経済産業大臣賞を受賞している。「ACE」に始まる一連のエアレーション造型機は、経済産業省の省エネルギー機器税制優遇措置を受けられる指定機器となっている。

るから、それだけでも採用に躊躇するところである。よって、コヤマとしても、その購入には重い決断を要したであろう。一種の英断である。初号機がコヤマに納入されたのは、2000年8月のことである。

新東工業にとってみれば、日本鑄造工学会での展示から間もなくの納入は、非常にありがたいことであった。展示会から間を置いてしまえば、新型機の熱が冷めてしまうからである。もちろん、他の潜在顧客企業や競合他社が固唾をのんで見つめるなかでの初納入であるから、失敗させるわけにはいかなかった。平田たち開発メンバーにとってみれば、むしろこれからのフィールド・テストが本番でもあった。

鑄造機械の性能は、その理論性能値もさることながら、多様な作業環境下での持続的信頼性が何よりの鍵となる。大量生産工程の重要部分を担う鑄造機械が故障してしまえば、それだけでラインはストップしてしまい、顧客に大きな損失を与えることになってしまうからである。平田や波多野など開発陣は、週末にはコヤマを訪れてその稼働状況を常に確認し、不具合があれば即座に対応して修理する万全の体制を築いた。

新東工業でも出荷前に十分な実験と検証を重ねて、その信頼を確保していた。とはいえ、顧客企業が製造工程で実際に大量生産に使うとなると話はまた別であった。たとえば同社が直面したフィルターの目詰まりという課題について、金藤と平田はそれぞれ次のように語る。

金藤：(空気を流し込む) 1mm の穴に砂が入り込んでじっとしていると、外から供給したい空気が出なくなりますね。そうすると砂の移動がスムーズに行かなくて、という問題が発生しました。我々のところで検証すると言っても、一日にせいぜい 10 回とか、連続的にやっても 20 回もやれば良いところですけども、お客さんのところで動く回数は、一直で 800 回とか造型されるのですよね。一ヶ月かかってやるよりももっと多い回数を 1 日で繰り返されるわけですよ。我々が見てきた状態がぐっと早送りでやられますので、3ヶ月目くらいに不具合が発覚しました。

平田：結局、社内ですることは不可能ですね。そういう意味で、本当の耐久テストがフィールド・テストになります。社内でも 10 万回ガタガタガタガタ、24 時間動かし続けますけれども、環境的に非常に良い環境、空気もきれいです。全然負荷が違う。そこで 10 万回動かしても、全然壊れることはないですね。それが実際に現地に行くと壊れてしまうことがあるわけです。

開発プロジェクト立ち上げから商品化というか、展示会で発表するタイミ

ングが1年半くらいですけれども、その後のフォローが機械の完成度によってだいぶ違ってきます。ただ経験としては、最低一年はフォローの期間ですね。フォローをしている間に、機械が改善されていくものですから、1号機については納入させて頂いて、1年後にはかなり変わってきます¹⁷。

鑄造機械の摩耗問題や耐久性確保は、常に彼らの頭を悩ませた。長時間の稼働に耐えるだけの耐摩耗性や耐久性をいかに確保するか。これは納入した後も引き続いて課題となり、平田たちは、ことあるごとに部品を交換したり絶え間なく改良を続けたりした。とくに、納品して半年の間は、週のほぼ半分の時間を客先で過ごした。こうした実地での検証と改良を1年ほど重ねた後の2001年5月、新東工業は2号機を石川島芝浦機械に納入する。2号機の稼働状況も良いようだという情報は、業界でじわじわと伝わり、やがて多くの企業が新東工業の「ACE」を求めて発注するようになった。

「ACE」を市場に投入する際、金藤には一抹の不安があった。それは、造型機本体そのものが上下に動くという点である。しかし振り返ってみると、それは大きな問題とはならなかった。その理由について、金藤は次のように分析する。

私自身は、機械本体が上下することに対する拒否感を心配していました。今までの機械はジッとしているわけです。そのなかでモノが動いている。今回の機械は消費エネルギーを半減させるという目標を実現するために、自重での動作を取り入れたのですね。もしそこで拒否反応が出たら、打つ手が実はまるつきり変わってきますからね。

大きさがコンパクトにできていたから、動いても恐怖感があまりなかったということだろうと思いますね。もっと大きいものが音を立てて動くとなると「こんな怖いものを」ということになると思うのですよ。その辺は、全体がコンパクトにできて、静かにスムーズに動くということが、本体が動くことが受け入れられた要因だったと思います¹⁸。

新東工業が開発した「ACE」にはまた、顧客現場で生み出される造型データを同社が収集して解析するシステムが組み込まれた。自社製品に ICT (Information and Communication Technology) を組み込んで、各現場における操作情報を吸収したり、トラブル情報を随時把握したりすることは、近年の多くの企業が進めている点である。

¹⁷関係者インタビュー (2012年3月8日; 金藤公一・平田実)

¹⁸関係者インタビュー (2012年3月8日; 金藤公一)

写真1 「ACE」



出所：新東工業

新東工業もまた同様に造型機に ICT を組み込んで顧客情報をうまく入手しながら、造型機自体の性能といった本質サービスのみならず、長期継続的な補修サービスや相談サービスといった補助的サービスを確立しようと試みているのである。その意義を、新東工業は次のように記している。

従来の枠付き造型機では、現物確認によるメンテナンスや機械調整が行われ多くの熟練作業者を必要としたが、本機ではアクチュエータの動きやバルブの作動、油圧・空圧圧力をモニタする解析システムを導入したことにより、メンテナンス工数を低減するとともに、機械稼働データをお客様とメーカーが共有することでトラブルへの早期対応、ダウンタイムの短縮が実現する。また、デジタルデータとして造型機の動作状況の記録から、各機器の経時的な動作状況の変化や調整過程も把握でき、サイクルタイム解析機能により正常動作を想定した計画値と実績値の比較から、遅延動作工程の把握も可能になっている¹⁹。

¹⁹平田・波多野・大野（2005） p. 653。

この取り組みは始まったばかりであり、まだ大きな商業的成果は生み出していない。ただし、今後のさらなる国際展開を考えた場合、世界各地に散らばる客先を速やかに訪れてトラブルを解決するという事は現実的に非常に難しい。ICTを組み込んで、海外の生産現場で発生したトラブルを日本側でも同時に認識することができれば、不具合の遠隔的解決がより速やかにできるはずである。こうして製品機能という本質サービスに上乘せするように、遠隔的な補修対応という補助的サービスを確立することで、より重層的な競争優位構築を果たすことが可能になるのだろう。

4-3. 多ブランド化：2ステーション抜粋造型機「FCMX」の登場

枠付造型機「ACE」で手応えを得た平田たちは、エアレーション造型法の多ブランド化を次なる目標として開発を展開させた。川合や金藤もまた「エアレーションブランドを世界に広める」という意気込みで、その開発を支持した。造型機には、機械が相対的に大きな枠付造型機と、小型な抜粋造型機とがある。そこで開発陣は、枠付き造型機で確立したエアレーション造型法を抜粋造型機にも応用することに狙いを定めた。

エアレーション造型法に基づく抜粋造型機の開発が始まったのは、「ACE」の事業展開が軌道に乗った後の、2003年3月からである。開発リーダーは、続けて平田が担った。波多野もまたこのプロジェクトに参画していた。このプロジェクトにはさらに、大矢英彦（1997年入社）、坂口功一（1998年入社）、小宮山貴之（1989年入社）など若手機械設計者たちも新たに参画し、合計6名でのプロジェクトとなった。

開発期限は1年、翌2004年の鑄造工学会までと決められた。毎年開催されている鑄造工学会の全国大会は、四年に一度、鑄造工学会展示会を併設して名古屋で開かれる。そこでの展示会は、名古屋に本社を構える新東工業にとって、絶対に外せない非常に重要な場であった。「ACE」のときも同じであった。そこで今回もまた、この学会の展示会で新型機を展示するという目標を据えたのである。

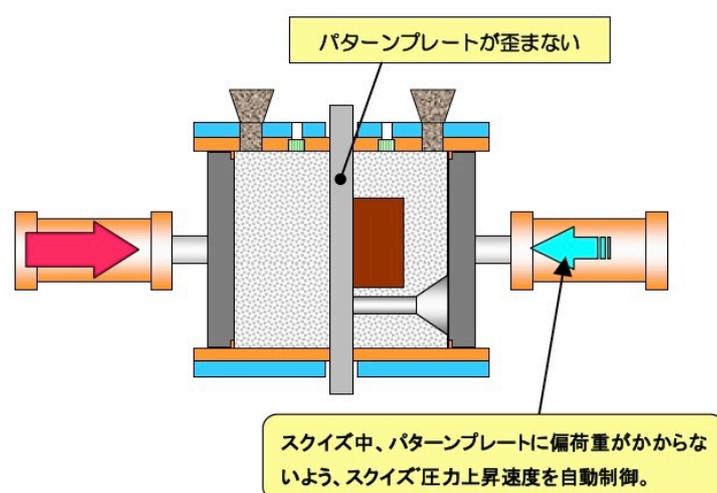
そこで彼らが開発に乗り出したのは、2ステーションの抜粋造型機である。2ステーションとは、同時進行する工程を2つ設け、その2つのステーションで同時並行的に作業を行うことで、鑄型の生産速度を高めるタイプの抜粋造型機のことである。このときの問題は、パターンを垂直にすることにあった。パターンを垂直にしてエアレーション砂充填を行う造型機を開発しようとする、パターンが水平のままブローイング砂充填を行う従来機と比較して、どうしても鑄型を生産する工程が増えてしまうからである。作業工程が増えれば、当然、鑄型の生産速度が落ちるため顧客価値は下がる。そのため開発陣は、エアレーション造型法を用いながらも、従来機の鑄型生産速度である200m/h（molds per hour）を維持するための検討を進めた。

その解決策は大きく2つであった。ひとつめは、アクチュエータの動きを速めることである。従来は、砂圧縮をするまでの工程（水平移動・垂直移動・砂圧縮）は、それぞれ順次作動していた。しかしそれでは1工程ごとに作業を待たなければならず時間がかかる。そこで、それぞれの部位がぶつかり合わないよう、うまく工夫しながら同時に作動させるようにしたことである。同時に作動させれば、3つの工程を経る時間を圧縮し、それによる生産活動の高速化が狙えるからである。

ふたつめが、スキューズの圧力バランスを整える制御技術の確立である。図6に示している通り、茶色で描かれた模型の周りに砂を充填した後、左右から圧力がかけられて砂が圧縮される。このバランスをスキューズ・バランスと呼ぶ。真ん中には、パターン・プレートと呼ばれる板が挟まっている。右と左から圧力をかけるため、圧力のかけ方を間違えるとこのパターン・プレートが歪んでしまって形が崩れ、正確な鑄型ができなくなってしまう。いかにしてパターン・プレートを歪めずに圧力をかけるかが課題だった。

従来は、右と左からかける圧力は均等であることが望ましいと考えられていた。しかし圧力を均等にしてもパターン・プレートが歪んでしまうことが少なくなかった。そこで開発陣が検証を重ねていくと、実は逆であることがわかってきた。つまり、右と左からかける圧力には模型形状に見合った差があった方が望ましい、ということが明らかになってきたのである。アンバランスのバランスである。

図6 スキューズ・バランス



出所：講演会資料（2012年1月13日）

写真2 2ステーション抜粋造型機「FCMX」



出所：新東工業豊川製作所工場見学（2012年2月17日）

これら2つの技術的な柱を確立して開発されたのが、2ステーション抜粋造型機「FCMX」である。その鑄型生産速度は、従来の2ステーション抜粋造型機と同じ200m/h（molds per hour）を維持することに成功したのであった。その1号機が納入されたのは、2005年1月のことである²⁰。

従来、機械が相対的に大きな枠付造型機は大企業が主たる顧客であったのに対し、抜粋造型機は相対的により小さな造型機であったこともあり、中小企業が主たる顧客であった。ただ、エアレーション造型法の確立によって鑄型精度が向上すると、大企業もまたこの抜粋造型機に注目するようになった。その市場動向をみた新東工業は、抜粋造型機の大きさを少し大きくして、従来よりも大きな鑄型を造型できるようにし、大企業からの需要に応える体制を整えていった。その結果、近年では、大企業による採用も進んでいるという。

²⁰新東工業（2006）p. 4。

5. 新たな展開

5-1. さらなる多ブランド化：シングル・ステーション抜粋造型機への展開

エアレーション造型法を抜粋造型機の領域に持ち込むことに成功した開発陣は、次に抜粋造型機の中でもシングル・ステーションと呼ばれるタイプの製品にも展開することを目指した。2006年12月のことである。

シングル・ステーションとは、1セットの鋳枠で鋳型を造る機械のことである。2ステーションの場合は、2つのステーションで同時並行的に作業を行えるのに対し、シングル・ステーションの場合は1セットの鋳枠で作業を進めるため、鋳型の生産速度は2ステーションよりも遅い。

このシングル・ステーションの抜粋造型機への展開はまた、トップ指示でもあった。このときトップからは再び「コスト半減」という目標が据えられた。枠付造型機「ACE」でコストを半減できたのだから今回もまた半減を、という理屈であった。

この開発目標に対し、再び開発リーダーを務めた平田が波多野達と共に目指したのは、高速化によるコストダウンであった。単純に考えて、生産速度を2倍にすれば、単位時間あたりの生産数量を2倍に増やすことができる。そうなれば、造型機を使う顧客にとってみればコストを半減したようなものである。造型機の単価そのものを半減させた「ACE」開発とは異なり、製品製造費用の半減による「コスト半減」を今回は目指したのである。今回の開発キーワードは、高速化にあった。

高速化に際して開発陣は、「FCMX」で確立した、スクィーズ・バランスを整える制御技術とアクチュエータの制御技術とを、シングル・ステーションでの抜粋造型機の開発へと転用した。もちろん、その技術がそっくりそのまま通用して何もなくて良かったという訳ではない。「FCMX」で確立したこれら2つの技術を土台として活用し、技術転用先となったシングル・ステーション抜粋造型機の開発を進めたのである。これは非常に重要であった。図7に示されるような、技術転用と製品展開の流れについて、平田は次のように説明する。

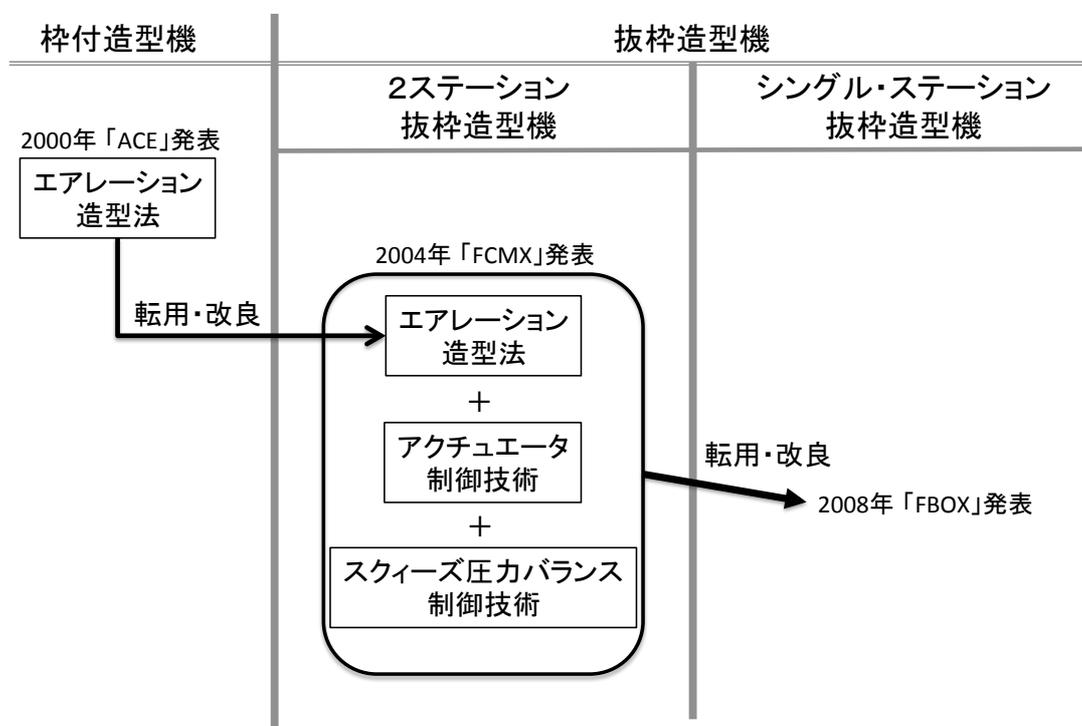
「FCMX」で開発したアクチュエータの動きの高速化、あるいは滑らかさを実現する技術を「FBOX」にさらに展開していった、転用していったのですね。まあ、プラスアルファも当然ありますけれども。その技術を入れたことによって、シングル・ステーションで今度はコストを下げるために造型速度を2倍近くに上げることができた。生産量、アウトプットですね。要素技術としては高速化の技術を取り入れたのですね。

ずっと、ひも付きなのですよ。エアレーションの技術を開発してそれが次

に転用され、そのなかで開発された技術を次に転用して、という。どんどんどんどん。いったん開発されたら、次はもうそれが標準になるのですね²¹。

エアレーション造型法を用いたシングル・ステーション抜粋造型機は、かくして高速化を遂げ、2008年に「FBOX」として発表、市場に投入された。その鋳型生産速度は、従来のシングル・ステーション抜粋造型機が実現していた120m/hから、2ステーション抜粋造型機と同じ200m/hにまで高まっていた。

図7 技術転用と製品展開の流れ



出所：筆者作成。

新東工業がこのようにエアレーション造型法を確立して実用化した2000年代は、中国やインドといった新興国が急成長を示した時期でもあった。この時機を見た新東工業は、鋳造機械の販売を担う営業側からの声も受け、これら新興成長国へ事業展開することを本格的に企図し始めた。具体的にはインド市場を対象にして、仕様を落として小

²¹関係者インタビュー（2012年8月8日；平田実）。

型・低価格化した製品を売り出すことの重要性が浮かび上がった。小型化するのはコンテナに収まる大きさにするためである。

写真3 シングル・ステーション抜粋造型機「FBOX」と「FDNX」



出所：新東工業豊川製作所工場見学（2012年2月17日）

そこで2009年、新東工業は、小型シングル・ステーションの抜粋造型機の開発を始める。「ACE」、「FCMX」、「FBOX」という過去3度の造型機開発でリーダーを務めてきた平田に代わり、今回の開発リーダーは波多野豊が務めた。波多野は、低価格化を実現するために部品点数やアクチュエータの削減といった検討を進めた。

さらに、造型機を小型化するために、生砂を上から下へ充填させるのではなく、横から充填させる仕組みを作った。エアレーション・タンクを上部に据えてしまうとどうしても造型機が縦長となり、コンテナに収まりきらなくなってしまう。そこでエアレーション・タンクを横に据え付け、ちょうどコンテナに収納可能な大きさにとどめようという狙いであった。こうして2010年に開発されたのが、小型シングル・ステーション抜粋造型機「FDNX」である。写真3は、「FBOX」と「FDNX」を比較した写真である。

5-2. おわりに

鑄造機械の世界における開発では、既に世の中にある知識や技術をいかにして新たに組み合わせるのが鍵になると言われることがある。事実、エアで砂入れする方法やスクィーズ・フットで加圧する方法は既にあった技術であり、それをいかにして組み合わせ活用するかが重要な意味を持っていた。その際、エア圧力が低い方が砂が流動化し、充填効率が高まることおよびスクィーズ・フットを最初から出した状態で模型に合わせるといった逆転の発想が、今回の開発の決め手となり、何よりも発想の転換にあったと言える。

より具体的に、新東工業がエアレーション造型法を確立するうえで非常に重要だったことは、常識の反転である。具体的に記すと、第一に、上から砂を多めに入れて掻き出し、スクィーズ後、鑄型背面にせり出した砂を掻き出すという常識があった。これが「こぼれ砂」を発生させていた。彼らはこれを反転させて「そもそも砂を掻き出さない」仕組みを考えた。次いで第二に、スクィーズ・フットを横一列に並んだ状態で始めて砂圧縮時に凸凹に変えていくという常識があった。これを彼らは、スクィーズ・フットをあらかじめ凸凹にしておき、砂圧縮時に横一列になるように設計した。「横一列→凸凹」から「凸凹→横一列」への常識の反転である。

常識の反転内容そのものは、記してしまえば、実にあっさりしたものである。常識の内容が持つ肯定形を否定形に、否定形を肯定形に裏返したり、あるいは順序を入れ替えたりすれば、それで反転である。しかし、それが難しい。その難しさは、発想自体の難しさと、発想の実現の難しさの2つに分けられる。

まず、常識を反転させる発想を抱くことが難しい。その難しさには、大きく3つの理由があるように考えられる。一つ目の理由は、その常識が一定の合理性のもとに産み落とされているからである。事後的に振り返ってみれば変えられたはずの常識的作業も、積極的な理由であれ、消極的な理由であれ、その当時としては一定の合理性があったからこそそれまで人々に受け入れられ、共有されたのである。それゆえ、つい「意味のあるもの」として肯定的に評価し続けてしまいがちになる。二つ目の理由は、常識は疑う余地のない前提として捉えられ、その前提に立って人々の思考が発射しがちになるからである。常識が前提となって見過ごされるようになるため、その根底を覆す考えに思い至りにくくなるのである。三つ目の理由は、反常識的発想を持つこと自体に勇気がいるようになるからである。反常識的発想はおうおうにして素人じみた発想となる。業界に詳しい人間の眼にはバカな発想に映り、業界のことを知らない人扱いされてしまう。ゆえに、ついつい常識を疑う発想をすることを恐れてしまう。反常識的発想を持つこと自体に勇気がいるようになるのである。心理的な難しさである。

かくして常識は、一定の合理性に支えられるなかで産み落とされた後に、長い時間をかけて人々に共有され、より強固な信念へと発展していく。「そんなバカな」とも思える単純な素人じみた考えを持つことは、その発想の生まれにくさだけでなく、発想を持つ勇気が求められるようにもなり、業界に長くとどまるほどに難しくなる。

常識を反転できたとしても、その実現は決して容易ではない。既に記した通り、常識はある一定の合理性のもとに成り立っている。そのため、その常識を反転させる仕組みを実現することは実に難しいはずである。それは、時に泥臭い試行錯誤を絶え間なく繰り返すなかで造り上げるものであり、王道はないようにも思える。だからこそ、その途上で頓挫する企業が多いのかもしれない。反転した常識をきちんとものにするべく、試行錯誤を基盤とする具現力が求められる。本稿の場合、一連の試行錯誤の活動を突き動かしたのは、ひとつには経済的な事情であった。同社の事業不振をどうにか脱却するための支援や命令などがプロジェクト・チームを突き動かしたのだろう。

新東工業の取り組みは、まさに常識の反転と試行錯誤の繰り返しであった。彼らは、新型造型機納入後においてでさえも顧客先に常に足を運び、粘り強く補修・修理に勤しんだ。この愚直なほどに徹底した現場力は、同社により強固で深い知識を蓄積させ、その足腰を鍛えさせているはずである。平田は、次のように書き記している。

私の開発する機械は、自動車産業等で多く使われ、24時間フル生産で数時間の機械停止も許されない過酷な環境で使用されます。したがって、実績のない新しい技術は、大きなメリットと共に機械故障という大きなリスクも伴います。なかなか革新的技術を採用しにくいのもこのためです。

しかし、これを恐れていては進歩があり得ません。これまでの非常識が新しい常識になる。これが発明だと思います。非常識を常識にするには、機械納入後の努力があって初めて達成できることだと思います。

私の発明への取り組みは、新しい技術を開発したら、それが認められて常識となるまで、粘り強く努力し、技術の完成度を高めていく。これが産業機械開発者の発明に対する取り組み姿勢であると信じています²²。

鑄造機械は産業の根幹をなす。同社鑄造事業の今後の展開は、企業成長という観点からだけでなく、各種産業の発展基盤という観点からも非常に興味深い。

²²平田 (2008) p. 25。

謝辞

今回の調査にご同行下さった宮原諄二先生(イノベーション・ファクター研究会代表)および藤井由紀子さんに記して感謝したい。

<参考文献>

- 富貴原信・平田実・寺部斗紀也・波多野豊(2008)「水平割抜枠造型機 FCMX の開発」『铸造ジャーナル』第4巻第6号、pp. 2005-2009。
- 平田実(2007)「エアレーション方式抜枠造型機の開発」『素形材』第48巻、10号、pp. 1-6。
<http://sokeizai.or.jp/japanese/publish/200706/200710hirata.pdf>
- 平田実(2008)「How to 発明: エアレーションおよびプリセットスクイズ方式を用いた枠付生型造型機の開発」『The Invention』第105巻第3号、pp. 23-25。
- 平田実・波多野豊・大野剛(2005)「エアレーション砂入れとプリセットスクイズによる枠付生型造型機の開発」『铸造工学』第77巻第9号、pp. 648-653。
- 平田実・牧野泰育・波多野豊(2001)「エアレーションによる生型砂の充てん」『铸造工学』第73巻第7号、pp. 436-440。
- 川合悦蔵・平田実・牧野泰育(2005)「自動車産業における砂型鋳物の鋳造設備最新動向」『铸造工学』第76巻第12号、pp. 1031-1036。
- 日本鋳造機械工業会(2006)『鋳造機械産業ビジョン報告書』。
- 小野学(1995)「戦後の日本の自動車産業の発展」『経済学研究』45(1)、pp. 68-76。
[http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/31994/1/45\(1\)_P68-76.pdf](http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/31994/1/45(1)_P68-76.pdf)
- 新東工業株式会社(2002)『エアレーション・プリセットスクイズ方式枠付生型造型機(静圧造型機 ACE)』日本機械工業連合会平成14年度優秀省エネルギー機器表彰一覧資料。
http://www.jmf.or.jp/japanese/commendations/energy/pdf/h14/14_01.pdf
- 新東工業株式会社(2006)『エアレーション方式水平割抜枠造型機(FCMX)』日本機械工業連合会平成18年度日本機械工業連合会会長賞一覧資料。
http://www.jmf.or.jp/japanese/commendations/energy/pdf/h18/18_08.pdf
- 新東工業株式会社(2011)「エアレーション造型法の開発と実用化」『大河内賞受賞業績報告書第57回(平成22年度)』pp. 45-63。
- 湯本誠治・前田俊明・昆野忠康(1980)『基本機械工作(I): 鋳造・溶接・塑性加工』日刊工業新聞社。

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・シリコーン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコーン接着剤の開発」	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	尹諒重 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 吳淑儀	「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	「木村鋳造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鋳造システムの開発」	2009 年 7 月
CASE#10-01	工藤悟志 清水洋	「東芝： 0.6 μ m 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・日本ビクター 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 幸務正 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7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
CASE#12-10	伊藤誠悟	「株式会社デンソー・トヨタ紡織株式会社： 成形体オイルフィルタの開発・事業化」	2012年10月
CASE#12-11	中馬宏之	「世界の半導体微細計測を支える測長用SEM(走査電子顕微鏡)： “日立”を体現する独自性と普遍」	2012年10月
CASE#12-12	藤原雅俊	「新東工業株式会社：エアレーション造型法の開発と実用化」	2012年11月