

連載講座

VIII. 鑄物工場のオートメーションと
プロセス・マネジメント

長坂悦敬*



長坂悦敬

Serial Lectu

J.JFS, Vol. 81 No. 11 (2009) pp. 561~569

Automation and Process Management in Foundry

Yoshiyuki Nagasaka*

キーワード：鑄造工場，BPM，データ分析，トレーサビリティ，マネジメント

1. まえがき

大量消費の市場が不確実な市場に変化し、重厚長大から軽薄短小へ、少品種大量生産時代から変種変量生産時代に移行したと言われて久しい。供給が需要を上回り、インターネットを介して顧客が直接取引を行う現在、多くの企業では顧客個人への感性をも意識したマーケティング、開発、生産体制の革新が進められている。グローバル競争、IT革新が進む一方で、地球環境への配慮も不可欠である。ものづくりに関する多国籍企業では、自国内で生産すべきものと現地生産すべきものの比率と内容が変化し、それは国内中小企業の形態にも大きな影響を与えている。将来にわたり、企業が持続的に発展するためには、環境変化に迅速に対応できる力が必要であり、日本では、改正労働者派遣法¹⁾、少子化、技術・技能伝承問題等をふまえ、生産革新が推進できる人材育成の重要性も増している。さらに、製造業では、付加価値製品を生産するための技術開発が必要である。

製造業を消費者へ渡る最終製品を生産する川下産業とその川下産業に部品等を供給する川上産業に分類してみると、川下産業（機械・電機工業等）に素形材部品を提供する川上産業の素形材部品製造業（鑄造、鍛造、プレス、粉末冶金、熱処理、メッキなど）はとくに中小企業の比率が高くなっている。しかし、これら素形材産業の市場は国内で約5兆円（2006年度）にものぼり、「中小企業ものづくり基盤技術高度化法」（2006年度制定）でうたわれているとおり、近年は日本の製造業を支える川上産業としての重要な位置付けが再認識されている。品質、コスト、納期、環境への対応力をきっちり確保し、信頼を得る企業になることが第一に重要であり、そのためにはオートメーション技術の開発とマネジメント力の強化が不可欠である。

以上のような背景・問題意識から、本稿では、川下産業でとくに重要な鑄造業を取り上げ、まず鑄造業を取り巻く経営環境変化について整理、考察する。さらに、鑄造工場の課題を列挙し、とくにオートメーションの意義について考察する。その結果として、品質トレーサビリティの重要性をとりあげ、その実現のためのマネジメント手法としてデータ・マネジメントを包含したプロセス・マネジメントを提案する。

2. 鑄造工場のオートメーション

2.1 経営環境の変化とオートメーション

21世紀の製造業をとりまく環境の変化は激しい。適切な鑄造工場管理のためには、これらの環境変化をとらえ、柔軟かつ迅速に適応していく必要がある。とくに鑄造企業との関連において注目すべき経営環境の変化について文献より整理すると以下ようになった。

① グローバル・コンペティションとアジル・コンペティション
子会社を数カ国にもち、かつ、その経営管理者が多国籍であるいわゆる多国籍企業が増えている²⁾。これにともない、部品供給企業もグローバル競争への対応が必須になってきた。

一方、生産設備投資や生産計画に対して、少品種大量生産時代では生産能力や設備稼働率を考慮したが、変種変量生産時代では需要変動への対応を第一に考えなければならない。従来、在庫は財産であったが、現在ではリスクであるという認識が浸透している。アジリティは、このような環境変化への迅速な対応力を意味し、次世代生産環境で備えるべき重要な要素になっている。ここで、4つの尺度、つまり、時間、コスト、ロバストネス（強韌性）、スコープ（視野）に対してバランスを保ちつつ俊敏な対応が持続されなければならないという指摘がある³⁾。アジリティを

平成21年1月30日 原稿受理

* 甲南大学 Konan University

*本解説のオリジナル記事

Y. Nagasaka : Automation and Process Management in Foundry, Int. J. of Automation Technology, Vol. 2, No. 4 (2008), [266-275]

確保するためには、エンジニアリングチェーンでの企画・設計や、サプライチェーンでの資材調達など、さまざまなコラボレーションが必要となる。このようなコラボレーションにおいて重要になるのが、企業と企業、顧客と企業の間での意思疎通であり、ものづくりを行うための情報の流通（共有、伝達、交換を含む）である。

② 二極化

改革に対する意識が明確で、環境変化に迅速に対応できる企業は資本力が増し、優秀な人材の確保も進む。一方、変化を望まない企業は停滞し、人材も不足していく。この差は従来に比べ今後ますます大きく開いていく⁴⁾。いわゆる、“勝ち組”と“負け組”という企業業績の二極化である。また、正社員と派遣社員・パート社員という雇用形態の二極化も進んでいる。モチベーションの向上策、とくに製造品質への影響を含めて、業績評価システムの見直し、公平な利益配分を進めていく必要がある。

③ 少子高齢化、技能伝承、人材育成問題

日本では、団塊の世代の引退にともなう技術伝承問題への対応を迫られている。また、少子化が進む中、労働力の確保がますます難しくなっている。従業員満足度を考慮した工場管理は、優秀な人材を確保し、最終的に企業価値を高めることになる。人材育成プログラムは、各社の特徴にフィットとした効率的なものを開発する必要があるが、ものづくりの“心”、“こだわり”をどのように伝承していくか、工夫が必要である⁵⁾。

④ 水平分業、アウトソーシング、アライアンス、M & A

現在およびこれからは、一企業内での取り組みだけでは経営環境変化への対応に限界がある。様々なアライアンス（複数の企業間の様々な連携・共同行動）を具現化する必要がある⁶⁾。アライアンスは、長期継続的な取引を行っているが、系列のように資産の所有関係に基づく中核企業と排他的な関係ではなく、パワー関係が存在するにしても、各エージェントは複数の取引相手を持っている組織であると定義されている。アライアンスはフォーマルな契約によって、関係づけられていることもあるが、通常、長期継続的な関係に基づく暗黙の契約によって関係づけられている。M & A (Mergers and Acquisitions, 企業の合併及び買収)もさかんに行われる時代になった。日々のものづくりの努力と長期的視野に立ちながらも変化に即応できる経営戦略が不可欠である。

⑤ コスト競争激化と市場要求品質のレベルアップ

海外調達品、競合他社とのコスト競争は激化している。価格競争に備えるためには、きちんとした原価計算、原価管理が不可欠である。変動費と固定費の比率に注目し、コスト削減への改善を愚直に進めていく現場力の醸成が必要である。当然のことながら、コストのみならず品質も重要である。「鑄物に巣はあるもの」という発想が問題であり、寸法バラツキも問題である。材質が均質でないし、巣の位置、大きさや組織制御ができていない⁷⁾。検査を徹底して、不良品を出荷しないようにする体制が必

要である。川下産業から見れば、鑄物メーカーに品質管理のできているところが少ないと考えられている。品質保証力をあげることはとても重要である。

⑥ 製品ライフサイクル短縮化、多様性増加、小ロット、JIT対応

製品のライフが短くなり、試作から量産までの間に如何に品質を安定し、コスト削減を達成できるかどうかが問題である。従来のように、画一的な製品を大量に生産し、量産効果から利益を出していくというやり方は通用しない。多様性 (diversity) は現在のキーワードであり、多種変量小ロット生産でも利益がでる現場体質をどのように構築するかが課題である。

プッシュ方式ではなく、プル方式の生産になり、ジャスト・イン・タイム生産システム (Just In Time: JIT) で多頻度出荷、物流を可能にしなければならない⁸⁾。プッシュ方式は、最終製品の需要量を予測し、その生産に必要な構成部品や部品の所用量を計算して生産指示を行う方式であり、需要量の予測がはずれると在庫または欠品が増えることになる。プル方式は、需要が起こってから生産を始め、後工程が引き取った分だけを生産して補充していく方式で、如何に迅速にムダなく工程間の連携を行うかが鍵となる。

⑦ 環境問題への対応

2006年2月16日京都議定書が発効された。京都議定書は、世界130以上の国々が、一緒になって地球温暖化対策を進めていくための国際的な枠組みを定めたものである⁹⁾。日本の環境省では、2010年度には、上場企業の約50%及び従業員500人以上の非上場企業の約30%が、環境会計を実施するようになることを目標として掲げている¹⁰⁾。これと並行して、国際的な活動であるISO14000（環境管理についての評価）の認証取得活動が各企業で盛んに行われている。欧州市場などに直接、間接に関わる製品のメーカーが取引先から取得を要請されるケースが多いことがISO14000導入の直接的動機になっていた時代から脱皮し、各企業が循環社会へ適用するために環境マネジメント・システムを生産環境の重要な要素として導入していくことは必須になるであろう。すなわち、製造業の企業活動は、製品製造を通じた付加価値の向上のみによる利益の追求のみならず、環境調和性を利益の源泉とするように企業戦略の転換が求められている。環境負荷軽減を重視し、環境汚染防止にも大きな力を注ぐ必要があり、産業廃棄物、作業環境、騒音、ダスト、噴煙など工場周辺への影響について考慮、対応しながら、「リサイクルし易い素材材」を目指したい。

これらの環境変化に適応して鑄造企業が持続的に発展するためには、技術開発とマネジメントの両方の視点が大切である。とくに工場の投資、オートメーション化を考えると、その目的と効果をしっかりと定める必要がある。つまり、①、⑥に対してアジール生産 (Agile manufacturing)、コアコンピタンス（核となる固有技術）をもつ複数の企業が連携して、多様な顧客のニーズに応えるために高品質の

製品を迅速に開発し、一定量を生産する多品種少量生産方式)や多様性への対応力を増すために多品種少量で需要変動に対応できるシステムづくりが必要になるであろうし、②、③の少子化や技術伝承問題については、製造ノウハウの形式知化や省力化のオートメーションシステムが望まれる。さらに、④に対してアライアンスを前提にした企業間での情報共有、管理指標を明確にしたシステムづくり、⑤、⑥、⑦のコストダウン、品質保証、環境対応というトレードオフ関係にある目標達成のためオートメーション化というテーマが浮き彫りになる。これらを同時に解決することは容易ではない。各社でロードマップを作成し、優先すべきテーマを選択し、効果を把握しながら鑄造企業の持続的発展を実現していかなければならない。

2.2 鑄造工場の課題とオートメーション

2.1にある経営環境変化を鑑み、2004年には、全国銑鉄鑄物工業組合連合会が「銑鉄鑄物製造業の経営戦略化ビジョン」を策定¹¹⁾、さらに2006年に(財)産業研究所が「鑄物産業を取り巻く経営環境変化への対応に関する調査研究」を実施¹²⁾、同時に、経済産業省製造産業局素形材産業室が「素形材産業ビジョン」を発表するに至っている⁷⁾。これらは、鑄造業における課題を整理し、ビジョンを明示して、業界のレベルアップをはかる活動である。第一には、川下産業の信頼が得られる鑄物づくりと経営管理体制の強化を行う必要がある。経済産業省は、素形材産業ビジョン策定委員会を設置し、2006年5月25日素形材産業ビジョンを発表した。そこでは、自己の現在の姿、将来のあるべき姿及びそれに向けて必要なステップを産業の内外に示しつつ、自己改革を進めるべきであると指摘している⁷⁾。

それらの活動に参画し、実際に複数の鑄物ユーザーを訪問、鑄造工場に対する様々な要望を直接ヒアリングすることで、鑄造企業とユーザー企業のギャップが浮き彫りになった。複数の工作機械メーカーで、「従来から鑄造工場はものづくりのみに注力しすぎ、最終製品の使われ方からの視点で顧客に積極的に提案したり、マーケティングする力が不足している」という指摘があった。具体的には、「部品点数の削減はひとつのコスト削減方策として重要であり、鑄物で一体化していきたい」というような要望にどのように応えられるかが問題である。他の複数のユーザーからは、「試作時、薄くして強度を上げるなどVE提案をしてほしい」という要望があった。VE(Value Engineering)とは、製品やサービスの「価値」を、それが果たすべき「機能」とそのためにかける「コスト」との関係で把握し、標準化された手順によって「価値」の向上をはかる手法である。また、「取り代が大きすぎる」という問題や、「寸法バラッキ、内部欠陥という品質問題」は深刻であるという。「責任保証という考え方が何故ないのか」という指摘である。「材質が均質でないし、巣の位置、大きさや組織制御ができていないとは思えない」という厳しいユーザーの声もあった。

これらは、鑄造業界の経営体力の欠如によって引き起

されているという見識者の指摘がある⁷⁾。具体的には技術開発力が十分ではない、人材の確保が十分できないことがマーケティング力不足や生産技術のレベル向上が実現できないことに結びついているという。これに対して、業界団体、組合などが中心となり、様々な業界プロジェクトとして取り組むべきであるという意見は多い⁷⁾。

2005年、経済産業省「産学連携製造中核人材育成情報等提供事業」において、近畿大学大学院「鑄造中核人材育成ナショナルセンター」が中心となって「鑄造現場の中核人材(鑄造エリート)育成プロジェクト」が始まった。2008年には、日本鑄造協会において、この成果を受けて、「技術と経営力を持つ次世代鑄造人材の育成」を図ることを目的に、「鑄造カレッジ(鑄造中核人材育成)」を開校している。これらの取組を通じて育成された人材が、既に述べたような様々な環境変化へ対応していくことで、鑄造業界が発展することが期待されている。

しかし、文献調査結果、鑄造業界ビジョン策定活動を鑑み、以下の理由により、今、鑄造工場で性急に取組むべき課題は品質問題であると考えられる。

鑄造工場は、一般に、原材料の計量、溶解、接種、中子製作、造型、注湯、解砕、鑄仕上、熱処理、検査、梱包、出荷という一連の工程からなる。これに対し、自動計量装置、溶解制御、自動造型、自動注湯機、解砕から冷却自動ライン、鑄仕上ロボット、自動検査装置など数々の自動機の開発、導入が進められている。各工程を自動化する意義は、製造プロセスの安定化、効率化、苦役作業からの解放などである。しかし、現実的に自動化のための設備投資は、費用対効果がかなくなったものであることが必要である。一品物、小ロット品に対応するためにはやはり人に頼らなければならない工程が多い。

鑄造プロセスのオートメーション化によって工程能力を格段に引き上げるための取組や品質管理の徹底が望まれるが、投資効果が十分に得られないことや、湯流れ現象や凝固現象という複雑系物理現象の制御は容易ではないという技術的な問題があり、品質問題は鑄造プロセスには避けられない問題として考えられてきた。

実際、鑄物ユーザーへのヒアリング調査結果からは、(1)欠陥、内部品質(金属組織、実体強度)など制御技術が弱い、(2)最終品質保証力が弱い、(3)VE提案後(新しい取り組み)、品質安定までの時間がかかる、(4)不具合がおこったときの対応力が不十分(不良原因究明、恒久対策立案に時間がかかり、内容も不十分)であるという品質問題に関する指摘が多い¹¹⁾。

とくにここ数年は、自動車業界でのリコールが増加し、サプライヤーが関与している部品の欠陥に起因するものも多発していることから¹³⁾、以前にまして品質に対する要求が厳しくなっている。これからは、サプライヤーとして部品生産を続けていくためには、調達・生産・販売の各グローバル化が進む環境下で、部品について川下に至るまでの品質保証が不可欠となっている。一方、国内部品メーカー

も系列を超えたグローバル展開が必要になっており、トレーサビリティを確保した品質保証は各製造業で重要な戦略的技術と位置づけられている。

高品質化と低コスト化を同時に実現することは典型的な二律背反事象解決への挑戦である。低コスト化のために、段取り替え時間の短縮、徹底したTPM活動による設備故障の撲滅、中間在庫をもたないモノの流れの実現、JITの対応できる生産計画と工程管理等々、オートメーション技術がなければ実現が困難である。しかし、ここでは、オートメーション技術を駆使し、工程能力を高めてバラツキを押さえ、究極の品質向上をはかるという取組よりも、検査を徹底して、不良品を出荷しないようする。また、万が一不良が出たときに、ロットを押さえ、原因追及がすぐに行えるトレーサビリティ・ソリューションを整備することが先決であるという考え方を強調したい¹¹⁾。自動化設備の投入で鑄物を製造する場合でも、人手で製造する場合でも、工程品質データの計測をすることが重要である。これは品質トレーサビリティの確保と品質改善のためのデータ・マネジメント(後述)に直結する。

これは、品質コストに関する基本的な考え方を整理し、鑄造工場の戦略を構築することであるともいえる。品質コストの収集および分類には一般にPAFアプローチ PAFアプローチ(Prevention-Appraisal-Failure approach, 予防・評価・失敗アプローチ)が用いられる¹⁴⁾。これによれば、品質コストは予防コスト、評価コスト、内部失敗コスト、外部失敗コストの各コストに区分され認識される。すなわち、PAFアプローチは一種の投資である予防コストと評価コストを算定し、その結果として発生する失敗コストを測定して、品質と原価を管理しようとするものであり、トレードオフの関係にある「予防コスト+評価コスト」と「失敗コスト」の和を最小にする経済的に最適な品質の原価を見極めることが必要である。また、当初から高品質の生産を実現して顧客満足度を確保するという戦略をとる場合におい

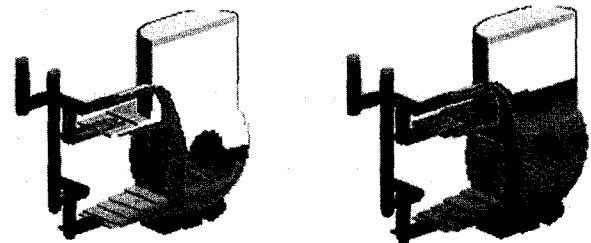


図2 ECMを可能にする鑄造CAE(湯流れシミュレーション)の例(クオリカ(株)より提供)

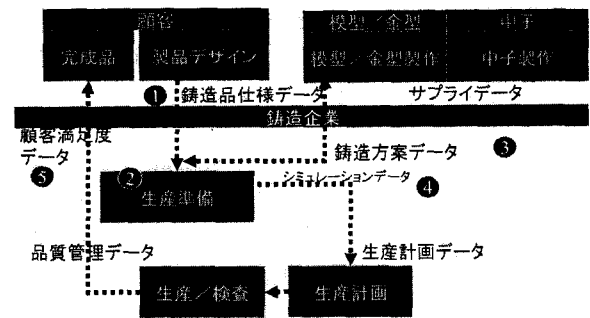


図3 鑄造企業でのデータの流れ

ても、経済的最適品質水準をもとにどのレベルまで品質コストを費やすのか検討し、最終的な製品目標原価が設定されなければならない。経済的最適品質水準を引き上げるためには予防コストと評価コストを引き下げることが効果的である。予防コスト、評価コスト、失敗コスト低減のために、オートメーション技術を活かすアプローチが欠かせない。

鑄造企業は、部品供給のサプライヤーの立場で、図1に示すように様々なECM(エンジニアリングチェーン・マネジメント)およびSCM(サプライチェーン・マネジメント)でのコラボレーションに参画している。ECMでは、品質コストのうち、予防コストを費やし、例えば、図2の鑄造CAE(湯流れ・凝固シミュレーション)等で、企画・設計段階で、鑄造品の形状を検討したり、欠陥の出そうな部位を予測し、強度設計の安全率を見直すことにより、鑄物の製造プロセスを考慮した製品設計を実現する取組が有効である。これらが結局、顧客との関係強化(CRM)につながる。CRM(customer relationship management)は、商品やサービスを提供する企業が顧客との間に、長期的・継続的な「親密な信頼関係」(リレーションシップ)を構築し、その価値と効果を最大化する経営手法である。また、開発、設計段階でのアプローチについてもトレースできる仕組みが必要である。これは、製造間接業務のオートメーション化ともいえる。

図3には、一般的な鑄造企業でのデータの流れを示す。SCMでは、たとえば、徹底したオートメーションと匠、技能・熟練技術の組み合わせ、AGV(Automatic and Automated Guided Vehicle)および歩行ロボットの活用、デジタルデータやセンサー付き工具および部品箱の活用に

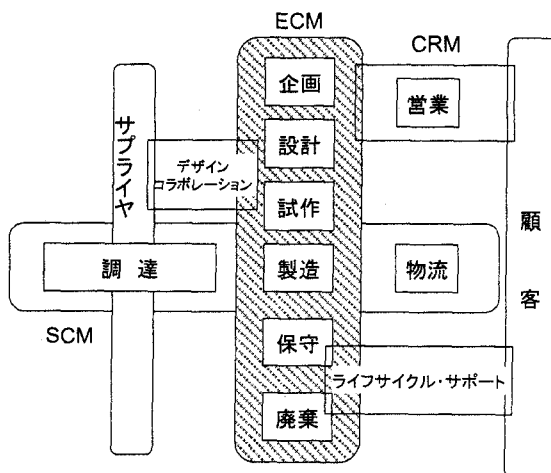


図1 ECM(Engineering Chain Management), SCM(Supply Chain Management)とCRM(Customer Relationship Management)¹⁶⁾

よる作業者のストレスにならない方法での作業ミスの低減・作業ペースの維持、ICタグの活用なども進められている。ここで、部門間プロセス、SCM、ECMでの企業間データトレースのためのオートメーションも重要である。

3. 品質管理としてのトレーサビリティとデータ・マネジメント

以上の問題意識から本研究では、鑄造工場における品質問題を解決するためのアプローチとして、以下に述べるトレーサビリティ・システム、データ・マネジメント、プロセス・マネジメントの融合を提案する。これは、2006年、経済産業省 中小企業基盤整備機構による「戦略的基盤技術高度化支援事業」の一貫として進められている「鑄造トレーサビリティ・ソリューションによる品質保証システム研究開発」プロジェクトで具現化された。

3.1 トレーサビリティ・システム

鑄造工場において、徹底して欠陥を含む製品を出荷しないための品質保証技術を確立することは重要であり、その視点でのオートメーションの意義は大きい。最終製品品質だけでなく、製造データと品質データをトレースし、品質問題の解決からプロセスの改善に結びつくためにオートメーション技術の適用が望まれていることを再度強調したい。

大手企業では、一部、シリンダーブロックなどを個別識別するトレーサビリティ・システムが稼働しつつあるものの、鑄造工程の生産プロセス管理と直結した個体管理による品質管理というトレーサビリティ・ソリューションを実現している鑄造工場はまだ少ない。鑄物の不具合では、材料、方案、工程、人的ミス等の様々な要因が複雑な因果関係を作っているため、真の要因を特定し的確に解決することは容易ではない。品質保証のために、仮説から原因を推定するのではなく、仮説を検証できるだけのデータの確保が必要になる。つまり、生産条件、生産状態と個体管理を直結させたトレーサビリティ・システムが必要である。

さらに、川上産業と川下産業を結ぶエンジニアリングチェーンにおいて、企業間にまたがり、製造プロセスに関する情報のトレーサビリティを確保、不具合に即座に対処して、品質レベルを飛躍的に向上させるシステムも必要である。このような情報の共有化のためのデータモデルを使用した鑄造分野専用の生産資源管理システムはオートメーション設備とともに重要な意味をもつ。鑄造方案、生産準備、調達、製造品質、在庫・原価に関わる情報がデータモデルで一元管理され、中小企業の基礎競争力を格段に向上させるための鑄造分野専用の生産資源管理システムが必要である。

また、自動車等製品のライフサイクルが短縮化する中で、鑄造品の品質安定化もコスト作り込みも迅速に実現することが求められている。このため、源流段階で機能とコストの両面から製品価値の向上を図るためのVEの重要性が増している。とくに設計時、さらには製品企画段階でのVE

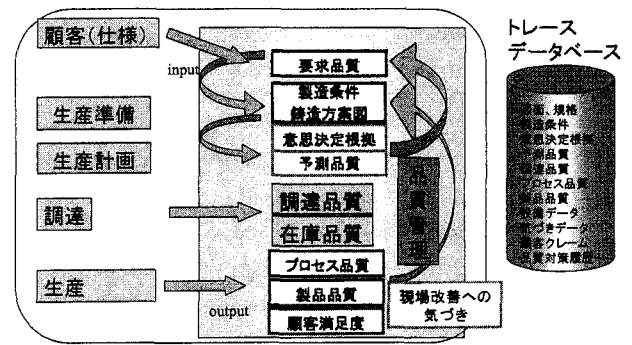


図4 鑄造品質に関するトレースデータ

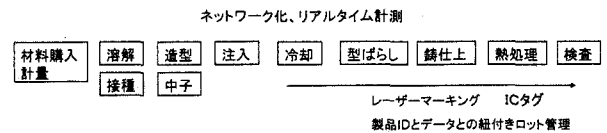


図5 鑄造工場の品質トレーサビリティ・システム

をすばやく量産移行するためにも品質トレーサビリティ・システムが重要な役割を担う。すなわち、新製品開発では鑄造条件と部品情報を紐付けできるトレーサビリティ・システムの構築が一層重要であるといえる。製造データの自動計測、集約化技術の開発として、部品と鑄造条件、検査情報が紐付けできるハードウェアとソフトウェアの組み合わせが求められる。図4にはトレースすべきデータ、図5にはトレースすべき工程とトレーサビリティ・システム概要を示す。

鑄造品質は多様な条件に左右され、生産ラインでの調整で対応している場合が多い。図4、図5のシステムでは、安定した鑄造条件を設定するために、鑄造プロセスをトレースし、鑄造工程に関する要素（計測可能なデータ）と製品の品質結果を紐付けしてデータベース化したうえで、条件設定のための分析に利用する。鑄造の特性も考慮して、型ごとにプロセス、鑄造条件、鑄物品質との紐付けを明確にする。

3.2 データ・マネジメント

最終製品品質を検査し、不良があれば出荷しないというシステムづくりだけでは意味がない。製造データと品質データを網羅的に計測し、不具合分析が即座に実施できて、改善に結びつく仕組みが必要である。つまり、製造品質問題の解決からプロセスの改善に結びつく生産コスト削減や品質向上などの結果レベルを飛躍的に向上させる仕組みづくりが望まれる。ここでは、そのための方法論として、プロセス・マネジメントを提唱する。プロセス・マネジメント実現のためには、プロセスの中でどのパラメータを測定し、コントロールするとどのように経営効果があらわれるか、製造プロセスと財務との因果関係分析に基づいて、各社固有のKPI（キーパフォーマンス・インディケーター）を明確にしなければならない。KPIの抽出技法が重要である。さらに、蓄積されたデジタルデータを利用し（ノウハウを形式知化できても再利用できなければ陳腐化されてしま

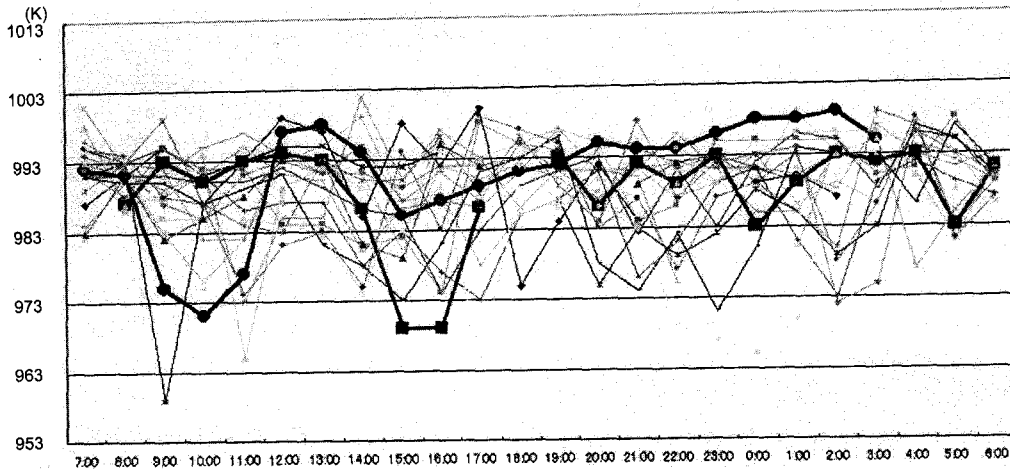


図6 溶湯温度測定データの一例

表1 複数因子と品質区分データ

NO	複数因子			品質区分
	温度 ランク	作業性 ランク	複雑性 ランク	
1	3	8	4	OK
2	8	2	6	NG
3	6	7	6	OK
4	8	6	4	OK
5	7	3	5	NG
6	4	7	3	OK
7	6	3	6	NG
8	7	5	8	NG

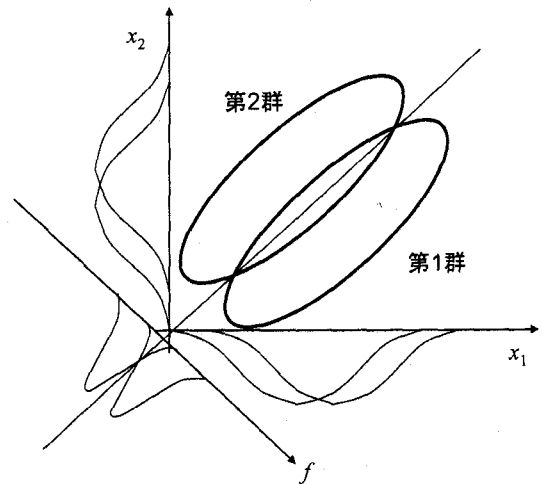


図7 判別分析の概要(2つの群に分けた例)

表2 表1の複数因子による不良判別(判別分析の結果)

$$\text{判別値} = ax + by + cz + d$$

温度ランク係数 a	1.102489773
作業性ランク係数 b	1.726565214
複雑性ランク係数 c	-1.276639328
定数 d	-8.899041011

NO	温度ランクx	作業性ランクy	複雑性ランクz	品質区分	判別値
1	3	8	4	OK	3.11439361
3	6	7	6	OK	2.14201906
4	8	6	4	OK	5.17371205
6	4	7	3	OK	3.7669575
2	8	2	6	NG	-4.2858275
5	7	3	5	NG	-2.3851127
7	6	3	6	NG	-4.7642418
8	7	5	8	NG	-2.7619003

う), 設計プロセスや意思決定根拠と品質の因果関係を整理し, 膨大なデータからベストプラクティスを抽出できるツール(データマイニング, 自己組織化マッピング)の開発も必要である。

本研究で実際に開発した品質トレーサビリティ・システムを鑄造工場に適用し, 溶湯温度を計測した一例を図6に示す。溶湯温度に相当のゆらぎがあることがわかる。このように, まず客観的事実を明確に「見える化」することが重要である。次に, どのような場合に不良が発生する可能性があるのか, 複数因子のゆらぎの閾値の組合せを分析することになる。これにより, 品質確保のための製造条件を導くことが可能になる。

表1は, 複数因子と品質との関係を示すサンプルである。温度, 作業性, 形状複雑性のランクのどのような組み合わせで不良が発生するかが特定できれば, それらの組み合わせが起らないように製造することで不良を避けることができる。この解を得るためには判別分析を適用した。すなわち, 図7に示すように, 判別分析では, 従属変数を構成

するカテゴリーを判別するために「群分け」を行う。群分けとは独立変数を利用して, 複数あるカテゴリーを2分する1本の直線を導き出す。この直線を表す関数を「判別関数」とよぶ。カテゴリーが2つの場合には, 1本の直線を引けばよい。カテゴリーが3つある場合には, 2本の直線

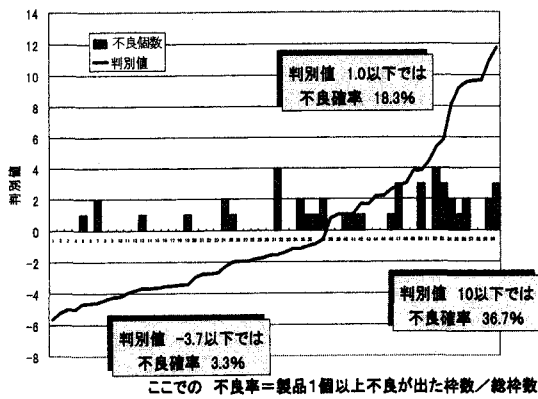


図8 品質バラツキのあるデータにおける判別分析例

を引く必要がある。表2に、表1の複数因子による不良判別（判別分析の結果）を示す。この場合は、判別値がマイナスになる場合に、不良になることがわかる。実際には、この線引き作業で完全に群分けができるわけではなく、一方の群と他方の群をできるだけうまく区別できるところを探して、そこに線を引くことになる。

実際の鑄造工場のデータで分析した例を図8に示す。判別値によって完全に不良の有無を説明できないにいたっていないが、不良がでる確率と判別値との相関は高いことがわかる。つまり、判別値10.0以下では不良確率36.7%、判別値1.0以下では不良確率18.3%、判別値-3.7以下では不良確率3.3%と、この場合は、判別値が大きくなると不良が多くなることを示している。

4. ビジネス・プロセス・マネジメント

プロセスとは、「顧客価値の創出に向けて、相互依存的な多様な活動群により構成され、プロセスのインプットとアウトプットが明確に識別できるもので、管理対象のレベルにより階層性をもつものである」と考えられている¹⁷⁾。「管理連鎖」を実現するマネジメント・プロセスと「価値連鎖」を実現するビジネス・プロセスを対象とし、それらプロセス間の最適なバランスを図ることがビジネス・プロセス・マネジメント（BPM, business process management）である¹⁸⁾。

また、プロセス・マネジメントは、ビジネス・プロセスを継続的に改善する仕組みであり、そのためには、企業内で進行中のビジネス・プロセスの経過をモニタリング/分析/評価するBPMツールが必要になる¹⁹⁾。Business Activity Monitoring (BAM) といわれる仕組み（これはデータ・マネジメントツールのひとつ）である。製造業における次世代生産環境ではこのBPMツールを実装することになり、オートメーションによるデータ計測、その統計的分析によってビジネス・プロセスの評価を実施するとともにビジネス・プロセス改善を促すことができる。

戦略を中核に据えるBSC（バランス・スコアカード）²⁰⁾に対して、BPMではプロセスを重視する。ここで、図9に示すように、BPMをBSCのフレームワークに当て

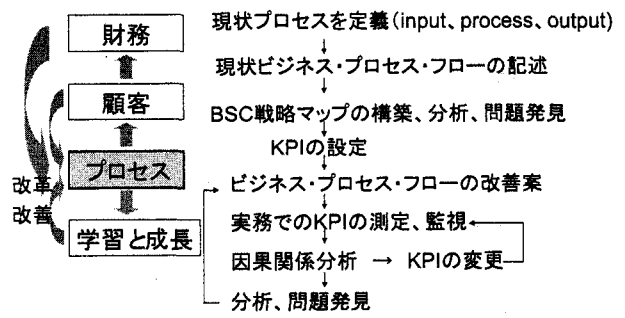


図9 BPMの概要

はめて、いわばプロセス重視型のBSCを考えれば、BPMの位置づけがより明確になるであろう。すなわち、BSCでの因果関係分析からKPI（Key Performance Indicator, 主要業績評価指標）の修正、変更、ならびに、ビジネス・プロセスの変更さらには戦略マップを継続的に実施する。仮説の修正、環境変化の影響を随時、直接取り込むことが可能になる。

BPMとデータ・マネジメントは、結果的にBSC(Balanced Scorecard)の枠組みでの業績管理にマッピングすることが可能である。BSCは、組織のビジョンと戦略を4つの視点、「財務の視点」、「顧客の視点」、「社内ビジネス・プロセスの視点」および「学習と成長の視点」における目標と業績評価指標に置き換えるものであるが、BPMでのデータ・マネジメントからBSCにおけるKPIを抽出し、管理することで、事実の計測、管理、業績評価、戦略マッピングが結びつく。すなわち、3.2で述べたデータ・マネジメントをBPMのフレームワークに組み込み、プロセスの状態を計測しつつ、KPIの他への影響を分析することで、改善をはかるという手法に帰結する。トレーサビリティの確保だけでなく、事実に基づいてプロセスの改善をうながすことが期待できることから本手法が鑄造工場に有効であると考えられる。

実際に、本手法を適用し、カテゴリカル回帰分析によってBSCの4つの視点（学習と成長、プロセス、顧客、財務）の各項目で満足度の高いものの因果関係について整理すると図10のような結果が得られた。図10は、学習と成長の視点の「社員の改革に対する意識向上」、「パラダイム・風土がよい方向」、「従業員満足度の向上」という3項目の満足度とプロセス視点の「サイクルタイムの向上」の間には、重相関係数=0.656で正の相関が認められ、「パラダイム・風土がよい方向」の寄与率は0.617と高いことを示している。つまり、「パラダイム・風土がよい方向」に向かった企業は、「サイクルタイムの向上」が認められる傾向があるということになる。また、これら3つの学習と成長の視点の項目とプロセスの視点の「在庫量の低減」とはごく弱い相関が認められる程度である。社内ビジネス・プロセスの視点と顧客の視点には因果関係があり、「納期遵守度の向上」、「間接部門の生産性の向上」が実現されれば、「顧客満足度の向上」が達成されることがわかる。さらに、「納

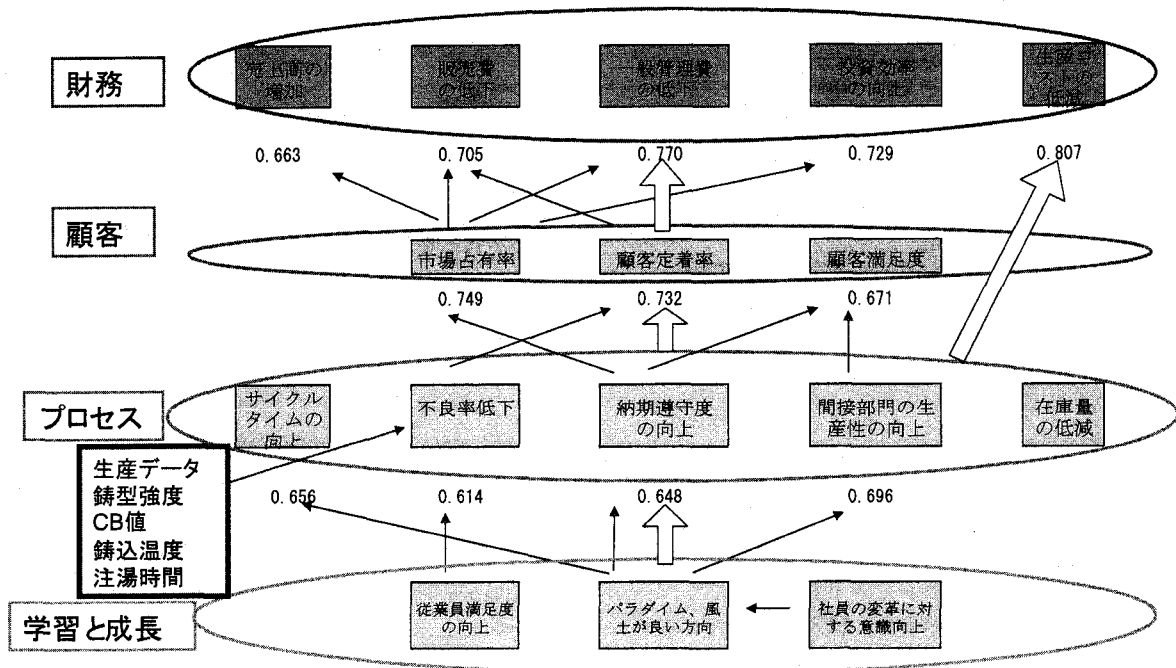


図10 BSCにおけるKPIの因果関係マップ (例)

期遵守度の向上」は「市場占有率の向上」に影響し、「不良率低下」は「顧客定着率の向上」に影響することがわかる。

また、顧客と財務の視点間にも強い相関が認められ、「市場占有率の向上」が「売上高の増加」、「投資効率の向上」、「販売費の低下」、「一般管理費の低下」に影響（「販売費の低下」にはあわせて「顧客定着率」も影響する）することがわかる。ただし、「生産コストの低減」は顧客の視点における各項目との因果関係が弱く、社内ビジネス・プロセスの視点における各項目（とりわけ、「間接部門の生産性の向上」）との関係が強いことも示されている。

このようなBPMを鑄造工場に導入することができれば、付加価値/コストをより高めながら、顧客パワーとのバランスを維持し、市場変化に迅速に対応できる生産環境の実現につながるものと期待できる。

5. まとめ

鑄造工場に関する経営環境変化と課題について考察し、地球規模での環境問題に配慮しながら、グローバル競争において、市場変化に迅速かつ柔軟に対応できるエンジニアリングチェーンとサプライチェーンを最適化できる品質トレーサビリティ・ソリューションが必要であることを確認した。具体的には、トレーサビリティ・システム、データ・マネジメントシステムを組み入れたBPMは、鑄造工場において有効なマネジメント手法として注目すべきであることを示した。鑄造工場において、プロセスを重視し、オートメーション技術を適用、自動的に計測された事実に基づいてプロセス改善を継続させる仕組みづくりが急がれる。

謝辞

本研究の一部の成果は、経済産業省 中小企業基盤整備機構、「戦略的基盤技術高度化支援事業」,「鑄造トレーサビリティによる品質保証システムの開発」プロジェクトによるものである。適切な示唆をいただいたプロジェクトメンバー各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 厚生労働省, 改正労働者派遣法の概要, (2005), <http://www.mhlw.go.jp/general/seido/anteikyoku/kaisei/dl/haken.pdf>, (2006.2.8)
- 2) 上埜進編「日本の多国籍企業の管理会計実務—郵便質問票調査からの知見—」, 税務経理協会, (2007.6)
- 3) DeVor, R., Graves, R. and Mills, J. J. (1997). "Agile Manufacturing Research: Accomplishments and Opportunities", IIE Transactions, 29, 813-823
- 4) 濱地官人, 渡辺千何, "労働市場の二極化と成長軌道の変容の共進的ダイナミズム", 研究・技術計画学会第21回大会要旨集, 1C08, (2006)
- 5) 関西IE協会, SIGMA (戦略的統合生産システム) 研究会第18期報告書, (2007)
- 6) 経済産業省平成18年度技術経営人材育成プログラム導入促進事業, "アライアンス・ベースド技術経営論の研究" 研究報告書, (2006)
- 7) 経済産業省製造産業局素形材産業室, 「素形材産業ビジョン」, (2006)
- 8) 山口克彦 (2006), "明日の日本のものづくり技術を提案する", 日本機械学会誌, Vol. 109, No. 1046, p. 8

- 9) 全国地球温暖化防止活動推進センター, (2005), <http://www.jccca.org/kyotopro/#1>, (2006. 2. 8)
- 10) 環境省, (2005), <http://www.env.go.jp/earth/3r/campaign/campaign.html>, (2006. 2. 8)
- 11) 全国鋳鉄鑄物工業組合連合会, 「鋳鉄鑄物製造業の経営戦略化ビジョン」, (2004. 2)
- 12) (財) 産業研究所, 「鑄物産業を取り巻く経営環境変化への対応に関する調査研究」, (2006)
- 13) 吉田栄介, “高品質と低コストのジレンマ:自動車リコール原因分析による考察”, 三田商学研究, 第49巻7号, (2007. 2)
- 14) 小田康治, 「品質コスト概念の再検討と品質原価計算の現代的意義」, 日本管理会計学会2001年度全国大会研究報告要旨集, 2001, pp. 83-86
- 15) 長坂悦敬, “開発, 設計におけるコストマネジメント—企業実際調査からの一考察—”, 甲南経営研究, 第43巻, 第1号 (2002. 6), pp. 83-116
- 16) 寺門義孝, 調敏行, 吉川忠克 (2006.2) “BtoB e-Engineeringへの展望”, 電子商取引推進協議会, E-com Journal No.6, http://www.ecom.or.jp/ecit/ecomjournal/no6/groups8_j06.htm (2006.2.8)
- 17) 李健泳・小菅正伸・長坂悦敬編, (2006), 戦略的プロセス・マネジメント—理論と実践— (日本管理会計学会・企業調査研究プロジェクトシリーズNo. 4), 税務経理協会
- 18) 門田安弘, 李健泳, (2005), “プロセス・マネジメントの概念枠組みと管理会計”, 企業会計, 57 (5), pp. 18-25.
- 19) Scheer and August-Wilhelm, (2000), ARIS. Business Process Modeling, SPRINGER, BERLIN
- 20) Kaplan, R. S. and Norton, D. P., (1992), The Balanced Scorecard-Measures That Drive Performance, Harvard Business Review, Jan-Feb, pp. 71-79.