

我が国重要産業の国際競争力強化に向けた鋳造
技術の高度化の方向性等に係る基礎調査

平成 18 年 3 月

中小企業庁

委託先 みずほ情報総研株式会社

はしがき

我が国鑄造産業は、我が国基幹産業への部材の供給産業として重要な役割を担っている。鑄造産業が高品質かつ低コストの鑄物製品をユーザーに供給しているからこそ、世界で高い評価を得ている自動車、工作機械などが生み出されているといっても過言ではない。また、経済産業省の「新産業創造戦略」が目指す、「燃料電池」、「情報家電」、「ロボット」といった重要産業分野の競争力を支えているのは、鑄造をはじめとする高度な技術・技能を持つ川上の中小企業であり、これら中小企業の競争力を高めることが求められている。

従来、中小企業では、川下・下請けの取引関係（所謂系列関係）のもと、川下産業（ユーザー企業）のニーズに対応した技術開発や生産を行ってきたが、国際競争の激化と市場の成熟を背景に、取引関係のメッシュ化・オープン化、取引先の選別等が進められた結果、川上中小企業側が、今後の市場の要請を把握・確信しにくい状態となっており、意欲と能力を持ちつつも、効果的・効率的な技術開発ができない状況が生じてきている。

本事業では、こうした状況を踏まえ、川上の中小企業と川下企業との間のいわゆる「情報の非対称性」を解消し、中小企業による川下企業のニーズに応えた技術開発、川下企業による中小企業の技術を活かした製品開発の活性化等が必要であるとの認識のもと、鑄造業界、ユーザー業界の関係者、及び有識者からなる「鑄造技術指針策定検討委員会」（委員長：中江秀雄 早稲田大学理工学部教授）を設置し、我が国経済を牽引していく産業分野の競争力を高める上で必要な鑄造技術に関する技術指針案を策定した。本報告書は、その委員会活動における調査結果をとりまとめたものである。

本報告書が、些かなりとも関係各位のご参考に寄与すれば幸いである。

平成 18 年 3 月

みずほ情報総研株式会社
代表取締役社長 小原 之夫

鑄造技術指針策定検討委員会

委員名簿

(敬称略・五十音順)

委員長	中江秀雄	早稲田大学理工学部	教授
	青山康彦	株式会社日研機材製作所	代表取締役
	明石 巖	社団法人日本非鉄金属鑄物協会	会長 (株式会社明石合銅会長)
	木村博彦	社団法人日本鑄造協会	技術部会長 (株式会社木村鑄造所代表取締役)
	酒井英行	株式会社キャスト	代表取締役
	長沢聖一	東海精機株式会社	取締役社長
	西 直美	社団法人日本ダイカスト協会	技術部部長
	富貴原信	新東工業株式会社	鑄機営業部 営業担当部長
	三輪謙治	独立行政法人産業技術総合研究所	サステナブルマテリアル研究部門 総括研究員
	村井 茂	トヨタ自動車株式会社	明知工場 鑄造部長
	米谷 周	株式会社森精機製作所	マテリアル研究所 ゼネラルマネージャー

目次

1. 鑄造産業の現状と環境変化.....	1
1.1 鑄造産業の位置づけ.....	1
1.1.1 鑄造技術の特徴.....	1
1.1.2 鑄造産業の概要.....	3
1.2 鑄造産業の現状.....	7
1.2.1 減少が続く事業所数、従業者数.....	7
1.2.2 若返りが進む従業者.....	9
1.2.3 経営状況.....	11
1.2.4 改善すべき点が多い商慣行.....	14
2. 鑄造技術に対する川下産業のニーズの変化.....	20
2.1 自動車.....	20
2.2 工作機械.....	23
2.3 家電.....	24
2.4 その他.....	26
3. 鑄造技術の課題と方向性.....	27
3.1 鑄造技術の現状.....	27
3.2 最近の鑄造技術の革新と見通し.....	28
3.2.1 複雑形状・一体化.....	28
3.2.2 薄肉・軽量化.....	29
3.2.3 高品質化.....	29
3.2.4 シミュレーション.....	30
3.2.5 CAD/CAM と IT による電子情報化.....	30
3.2.6 ラピッドプロトタイピングの活用.....	30
3.2.7 機能美の追求.....	31
3.3 鑄造技術の技術革新を支える基盤の状況.....	32
3.3.1 鑄物メーカーにおける技術開発への取り組み.....	32
3.3.2 業界団体における取り組みの現状.....	33
4. 国際競争力強化に向けたアクションプラン策定について.....	35
4.1 新たな鑄造技術の開発.....	36
4.1.1 高機能化.....	36
4.1.2 軽量化.....	37
4.1.3 コスト低減.....	40

4.1.4 環境への対応	45
4.2 経営課題の解決.....	59
4.2.1 商慣行.....	59
4.2.2 人材確保・育成.....	60
4.2.3 高付加価値化とブランド化戦略.....	61
4.3 業界団体の活動強化.....	61
4.4 産学官連携.....	63

1. 鑄造産業の現状と環境変化

1.1 鑄造産業の位置づけ

1.1.1 鑄造技術の特徴

鑄造とは、砂、耐火物あるいは金属などを用いて、耐熱性に優れた砂や金属などで作られた鑄型の空洞に溶融した金属を流し込み、凝固させることで形を得る金属加工法を言い、鑄造により成形された品物を鑄物という。その技術の歴史は古く、遠く 5,000 年以前に遡るといわれる。技術的には、溶融金属を鑄込む鑄型の種類によって、砂型鑄造法、金型鑄造法、特殊鑄造法に大きく 3 種類に分けられるが、鑄造方法によって様々に分類され、その材質によって鑄物はさらに細かく分類される（表 1）。

金属加工法の中でも鑄造の最大の特徴は、液体金属を用いることであり、いかなる複雑な形状の品物でも一体で成形することができる点にある。この特徴が自動車のエンジンのような複雑な製品が鑄物で製造されている主たる理由である。また、使用する原材料も鋼屑などのリサイクル地金を使用することが多く、リサイクル性に優れた金属加工法としても位置づけられる。

表 1 各種鑄造法の鑄型による分類とその適用範囲

鑄型の種類		鑄造方法	適用材質	
			鉄系	非鉄系
砂型鑄造法	生 型	重力鑄造法		
	特殊鑄型 熱硬化性 ガス硬化性 常温自硬性	重力鑄造法 低圧鑄造法 高圧鑄造法	×	×
金型鑄造法	金属	重力鑄造法 低圧鑄造法 高圧鑄造法 層流充填加圧鑄造法		
特殊鑄造法	砂、金属、石膏、黒鉛、耐火物	精密鑄造法 遠心鑄造法 消失模型鑄造法 Vプロセス		

注： ◯：一般に用いられる △：使用例がある □：ほとんど使用されない ×：全く使用されていない
出所：財団法人素形材センター「ものづくりの原点 素形材技術」（日刊工業新聞社）

なお、溶融金属を鑄型に鑄込むという工程は、鑄物の生産工程の一部に過ぎない。表 2 に銑鉄鑄物の生産工程の例を示すが、鑄込みの前後における多岐にわたる工程は鑄物の品質や生産性を大きく左右する。このため、幅広い技術的知見を必要とする。

しかも型の内部での溶融金属（湯）の流れ、凝固といったプロセスにおける、様々な物理的・化学的变化は計測が難しい。加えて、いかなる複雑な形状の品物でも成形できるこ

とから、鋳物の形状や肉厚は多種多様であるため、どのような場合にでも通用する共通の欠陥防止策は存在しない。このような難しさから、いわゆる「暗黙知」を必要とする場面が多く、また他の金属加工技術に比べて不良率が高いという点も、鋳造の特徴として指摘できる(図1)。そして、以上のような鋳造の特徴から、従業員が技術を身につけ「一人前になる」まで長い年数を必要とする例が少ない(図2)。

表2 銑鉄鋳物の製造工程の概略

1. 鋳造方案の決定	鋳物をどのようにして、どこから溶金をどの位の速さで、何個ずつどのような方法で鋳込むかということなどを決定する。
2. 模型の製作	目的の鋳物図面に忠実に、しかも仕上げ代、寸法許容差、溶金の凝固収縮などを考慮に入れて、木材、金属、樹脂などでモデルを作る。
3. 鋳物砂の調整	鋳型を作るのに最も適した配合で、砂粒に適当な粘結剤や添加剤を加えて混練機中でよく混練する。
4. 鋳型の製作 (造型と中子製作)	模型を用い、機械や人力により、目的の形状寸法の空隙部を持つ鋳型を作る。必要に応じて主型に中子を組み合わせて鋳型を作る。
5. 溶解	地金属材料を適当に配合して、溶解炉で燃料、電力を用いて溶解し、高温の溶金を作る。
6. 鋳込み	とりべや湯汲みを用いて、適当な速さで、鋳型の湯口から溶金を注入する。鋳込み後は適当な速さで冷却する。
7. ばらしと堰折り	凝固後適当な温度で鋳物を取り出し、湯口を除去して、機械や人力で砂落しする。
8. 鋳仕上げ	鋳物表面の不必要な部分を研削したり工具で除去して仕上げる。
9. 検査と試験	鋳物の外観、寸法、組織や材質などが図面指定に忠実に作られているかを、試験・検査機械器具を用いて調べる。鋳物に欠陥や不良がないか検査する。
10. 熱処理	必要に応じて、鋳物の内応力の除去や材質向上のための焼き鈍しや熱処理を行う。

出所：財団法人中小企業情報化促進協会「技術教育読本シリーズ 銑鉄鋳物」

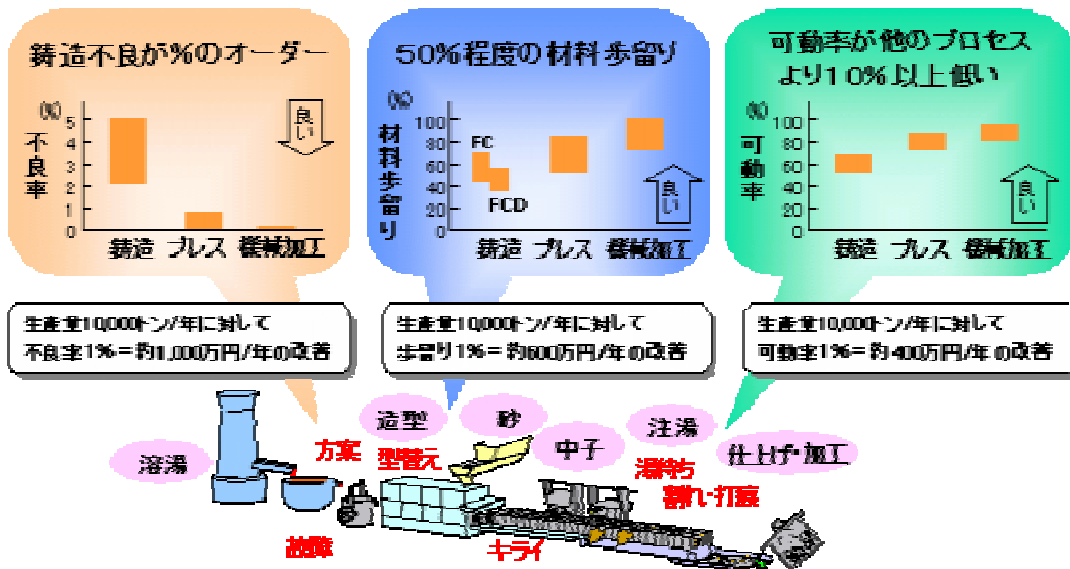


図1 鋳物メーカーが慢性的に抱えている問題(自動車部品鋳物の例)

出所：加藤 喜久雄「日本の鋳物産業の現状を踏まえたこれからの日本鋳造協会の取組みについて」(日本鋳造協会設立総会(2005/7/12)講演資料)

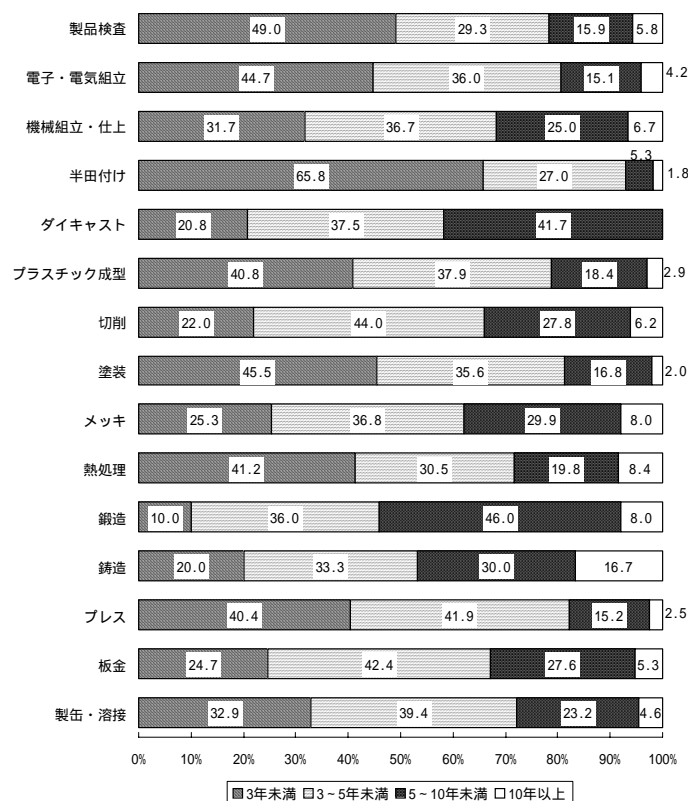


図 2 一人前になるのに要する時間

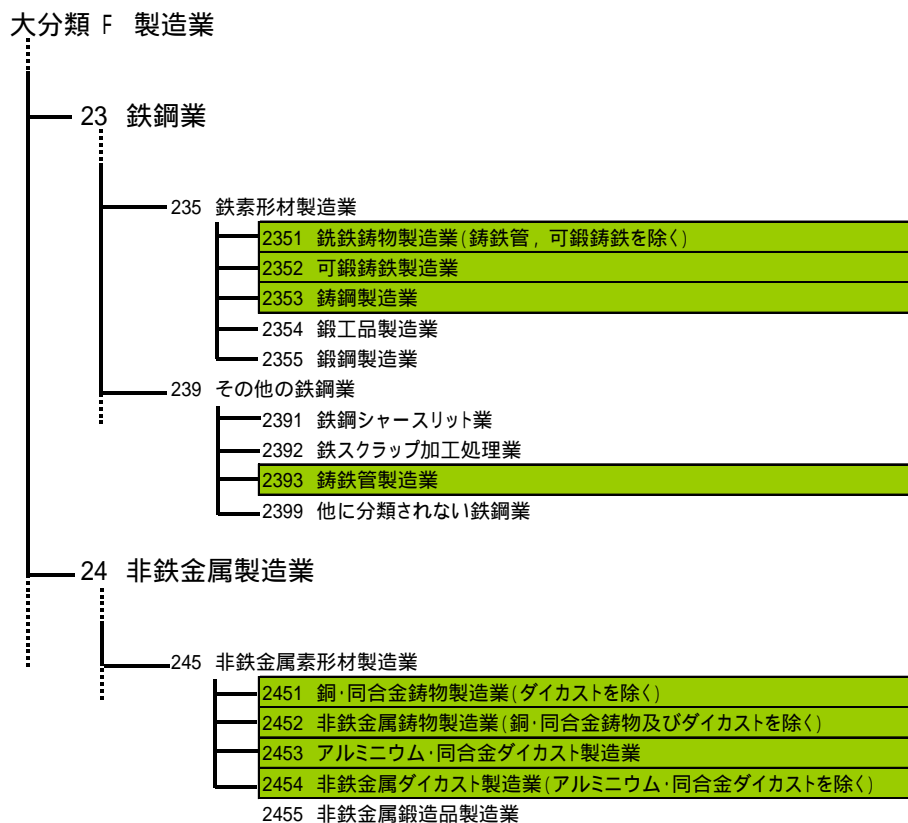
出所：「ものづくり人材育成調査研究事業報告書」平成 14 年 12 月 (株)三菱総合研究所

1.1.2 鋳造産業の概要

鋳物の製造を行う鋳造産業も、材質や鋳造法によりその分類は多様である。日本標準産業分類上では、「2351 鋳鉄鋳物製造業（鋳鉄管，可鍛鋳鉄を除く）」、「2352 可鍛鋳鉄製造業」、「2353 鋳鋼製造業」、「2393 鋳鉄管製造業」、「2451 銅・同合金鋳物製造業（ダイカストを除く）」、「2452 非鉄金属鋳物製造業（銅・同合金鋳物及びダイカストを除く）」、「2453 アルミニウム・同合金ダイカスト製造業」、「2454 非鉄金属ダイカスト製造業（アルミニウム・同合金ダイカストを除く）」の計 8 業種が鋳造産業として分類されている（表 3）。8 業種をあわせた産業の規模としては、2003 年において事業所数 2,514、従業者数約 7 万 5 千人、製造品出荷額等 1 兆 7 千億円となっている（表 4）。

また、産業構造としては鋳鉄管や鋳鋼のように比較的事業所規模が大きい業種も見られるものの、鋳造業界で最大の出荷額を占める鋳鉄鋳物製造業は 30 人以下の事業所が 7 割以上を占めるなど、総じて中小企業性が強い（表 5）。

表 3 鑄造産業の日本標準産業分類上の位置づけ



出所：日本標準産業分類

表 4 鑄造産業の規模(2003年)

産業分類	事業所数	従業者数(人)	製造品出荷額等 (百万円)
銑鉄鑄物製造業(鑄鉄管, 可鍛鑄鉄を除く)	834	25,305	564,909
可鍛鑄鉄製造業	78	4,164	111,214
鑄鋼製造業	84	6,535	133,171
鑄鉄管製造業	58	4,007	139,855
銅・同合金鑄物製造業(ダイカストを除く)	255	4,340	67,307
非鉄金属鑄物製造業(銅・同合金鑄物及びダイカストを除く)	449	8,255	167,073
アルミニウム・同合金ダイカスト製造業	554	18,603	478,598
非鉄金属ダイカスト製造業(アルミニウム・同合金ダイカストを除く)	202	4,039	53,142
計	2,514	75,248	1,715,269

出所：工業統計表

表 5 従業員規模別工場数及び構成比 (2003 年)

	銑鉄鋳物製造業	可鍛鋳鉄製造業	鋳鋼製造業	鋳鉄管製造業	銅・合金鋳物製造業(ダイカストを除く)	非鉄金属鋳物製造業(銅・合金鋳物及びダイカストを除く)	アルミニウム・合金ダイカスト製造業
計	834 (100.0)	78 (100.0)	84 (100.0)	58 (100.0)	255 (100.0)	449 (100.0)	554 (100.0)
4～9人	287 (34.4)	36 (46.2)	5 (6.0)	12 (20.7)	160 (62.7)	251 (55.9)	249 (44.9)
10～19人	216 (25.9)	17 (21.8)	1 (1.2)	5 (8.6)	48 (18.8)	104 (23.2)	118 (21.3)
20～29人	140 (16.8)	4 (5.1)	19 (22.6)	10 (17.2)	29 (11.4)	32 (7.1)	72 (13.0)
30～49人	80 (9.6)	4 (5.1)	15 (17.9)	9 (15.5)	8 (3.1)	29 (6.5)	33 (6.0)
50～99人	76 (9.1)	8 (10.3)	23 (27.4)	12 (20.7)	5 (2.0)	19 (4.2)	41 (7.4)
100～199人	24 (2.9)	2 (2.6)	16 (19.0)	5 (8.6)	3 (1.2)	10 (2.2)	29 (5.2)
200～299人	5 (0.6)	3 (3.8)	4 (4.8)	3 (5.2)	0 (0.0)	4 (0.9)	3 (0.5)
300～499人	3 (0.4)	3 (3.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.4)	0 (0.0)	7 (1.3)
500～999人	2 (0.2)	1 (1.3)	1 (1.2)	2 (3.4)	1 (0.4)	0 (0.0)	0 (0.0)
1000人以上	1 (0.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.4)

出所：経済産業省「工業統計表 産業編」

そして、鋳造産業の最大のユーザーは輸送機械であり、全需要の6割以上を占める(表6)。鋳物が用いられている部位としては、自動車を例に挙げると、シリンダーブロック、マニホールドなど機関系部品、ブレーキディスクロータ、ブレーキドラムなど制動系部品、オイルポンプカバーなど駆動系部品、そしてサスペンションメンバーなど車体系部品、と多岐にわたる。いずれも自動車の基本性能を支える重要な部位であり、鋳物なしに自動車産業は成り立たないことがわかる(図3)。また、輸送機械に次ぐ主要ユーザーである一般機械について見ると、工作機械や射出成形機の主要構造材は鋳物であり、パワーシャベルおよびブルドーザーなどの建設機械でも鋳物が多用されている。

以上のように、鋳造産業は、我が国基幹産業への部材の供給産業として重要な役割を担っている。鋳造産業が高品質かつ低コストの鋳物製品をユーザーに供給しているからこそ、世界で高い評価を得ている自動車、工作機械などが生み出されているとあってよい。

表 6 主要機械工業鋳造品需要構造 (2003 年)

(単位:千トン)

	銑鉄鋳物 (含鋳鉄管)	可鍛鋳鉄	鋳鋼品	銅合金鋳物	アルミニウム 鋳物	ダイカスト	精密鋳造品	鋳造品計
一般機械	1,040.6 (23.7)	-	113.3 (48.1)	70.3 (69.9)	10.8 (2.6)	53.1 (5.9)	2.5 (38.5)	1,290.6 (21.1)
電気機械	31.4 (0.7)	-	11.3 (4.8)	1.6 (1.6)	3.0 (0.7)	28.9 (3.2)	-	76.3 (1.2)
輸送機械	2,547.2 (58.0)	10.4 (12.8)	59.4 (25.2)	16.9 (16.8)	390.4 (94.3)	754.0 (84.3)	2.8 (43.1)	3,781.1 (61.7)
その他	773.0 (17.6)	70.8 (87.2)	51.3 (21.8)	11.8 (11.7)	9.9 (2.4)	58.1 (6.5)	1.2 (18.5)	976.0 (15.9)
生産合計	4,392.2 (100.0)	81.2 (100.0)	235.4 (100.0)	100.6 (100.0)	414.1 (100.0)	894.0 (100.0)	6.5 (100.0)	6,124.0 (100.0)

出所：経済産業省「機械統計年報」、「鉄鋼統計年報」、「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報」

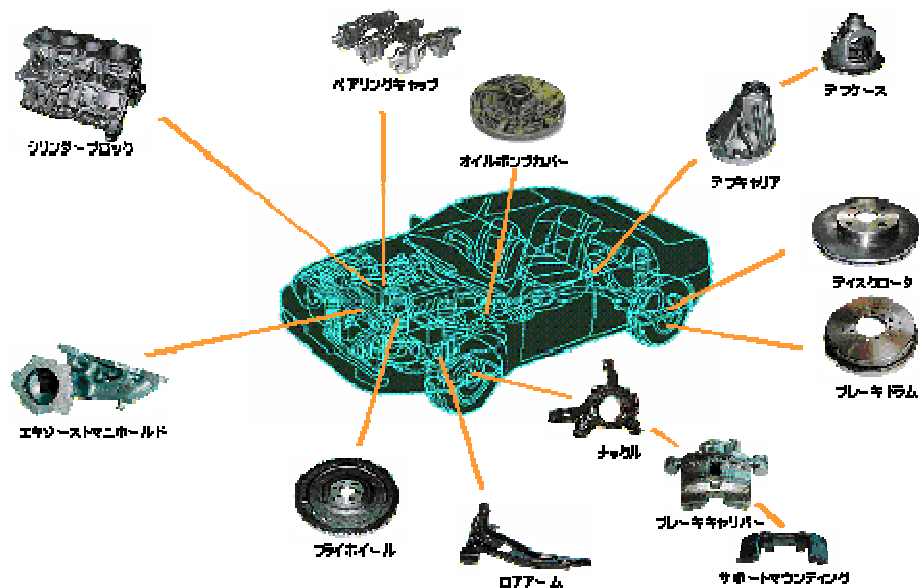


図 3 自動車で用いられている鋳物製品

出所：加藤 喜久雄「日本の鋳物産業の現状を踏まえたこれからの日本鋳造協会の取組みについて」(日本鋳造協会設立総会(2005/7/12)講演資料)

ただし、鋳物の主要ユーザーである自動車、一般機械について見ると、鋳物づくりのあり方は両者の間で大きな違いが見られる。

大量生産である自動車向け鋳物については、自動造型機や自動注湯機を生産ラインに導入するなど、ものづくりを機械に大きく依存し効率的に生産することが可能である。また、将来の需要をある程度予測することができるため、設備投資も計画的に行いやすく、設備投資によって一気に生産量を増やすことも可能である。これに対して工作機械をはじめとする一般機械向け鋳物は、完全に多品種少量生産の世界であり、生産品目が変わるたびに、全く異なる数量、形状、寸法精度の鋳物作りに対応できる柔軟性が求められる。このため経済効率的にもものづくりを機械化することが難しく、造型も「手込め造型」によって行われるなど人手に頼る要素が大きい。また、企業規模も一般的に自動車向けに比して小さく、経営体力の面でも問題点が少なくない。

このように、自動車向けと一般機械向けとでは、生産を担う鋳物メーカーの性格は大きく異なる。そして、後述する人材や供給能力の問題は、主に後者についてより色濃く見ることができる。

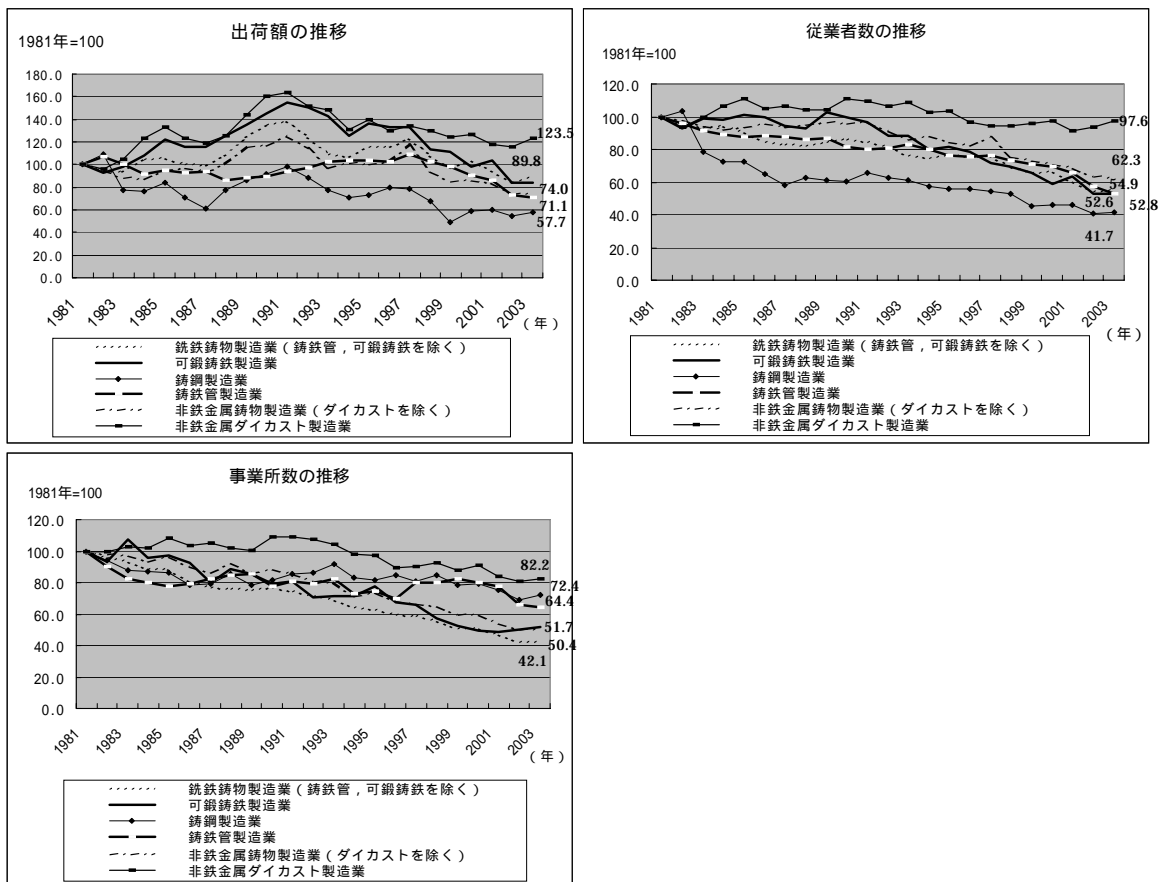
1.2 鑄造産業の現状

1.2.1 減少が続く事業所数、従業者数

経済産業省「工業統計表」をもとに、鑄造産業の出荷額の推移について 1981 年を 100 とした指数で見ると、業種によって若干パターンに違いはあるものの、出荷額はバブル景気の 91 年をピークに減少を続け、2002 年から回復の兆しを見せている。しかし、2003 年で 81 年の水準を上回っているのは非鉄金属ダイカストのみであり、他はすべて下回っている。中でも、鑄鋼は 81 年に比して約 6 割と大幅に減少している。

同じく、事業所数、従業者数について見ると、減少傾向は出荷額よりも著しい。事業所数については、6 割減の銑鉄鑄物を筆頭に、可鍛鑄鉄、非鉄鑄物が 5 割減、鑄鉄管が 4 割減、鑄鋼が 3 割減、非鉄金属ダイカストが 2 割減となっている。そして、従業者数については、非鉄金属ダイカストは例外的に 81 年の水準をほぼ保っているが、他はみな減少しており、鑄鋼が 6 割減、銑鉄鑄物、可鍛鑄鉄、鑄鉄管が 5 割減、非鉄金属鑄物が 4 割減となっている（図 4）。

図 4 出荷額、事業所数、従業者数の推移（1981年=100）



出所：経済産業省「工業統計表 産業編」

一方、生産量の推移について1981年を100とした指数で見ると、2005年における生産量は、ダイカストは約2.5倍、球状黒鉛鑄鉄は約2倍、軽合金鑄物は約1.5倍と、大幅な増加を示している。特にダイカスト、球状黒鉛鑄鉄は2002年以降の伸びが顕著である。これらの鑄物については、事業所数、従業者数が大幅に減少する中、これだけ生産量が伸びていることを考慮すると、メーカーは相当に繁忙を極めているものと思われる。

これに対し、銅合金鑄物は上下を繰り返しながらほぼ横ばいに推移しており、ねずみ鑄鉄は1981年に比して約2割、鑄鉄管、鑄鋼品は約5割、可鍛鑄鉄は約8割の減少となっている(図5)。

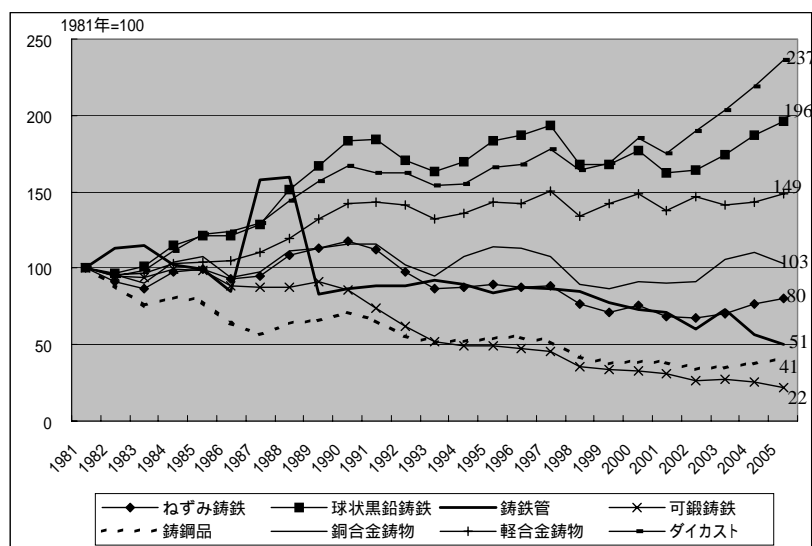


図5 鑄物の品目別生産量の推移 (1981年=100とした指数)

出所：素形材センター「素形材年鑑」

また、鑄物の中でも生産規模の大きい、銑鉄鑄物、ダイカストについて生産量の推移を需要別に見ると、両者共に2000年以降に輸送機械向けが高い伸びを示している。特にダイカストについてはバブル崩壊後もほぼ一貫して生産量を伸ばしており、83年から04年にかけて2.7倍という急成長を遂げている。これに対して電気機械向けは銑鉄鑄物、ダイカストともに90年代後半以降減少が続いている(図6)。

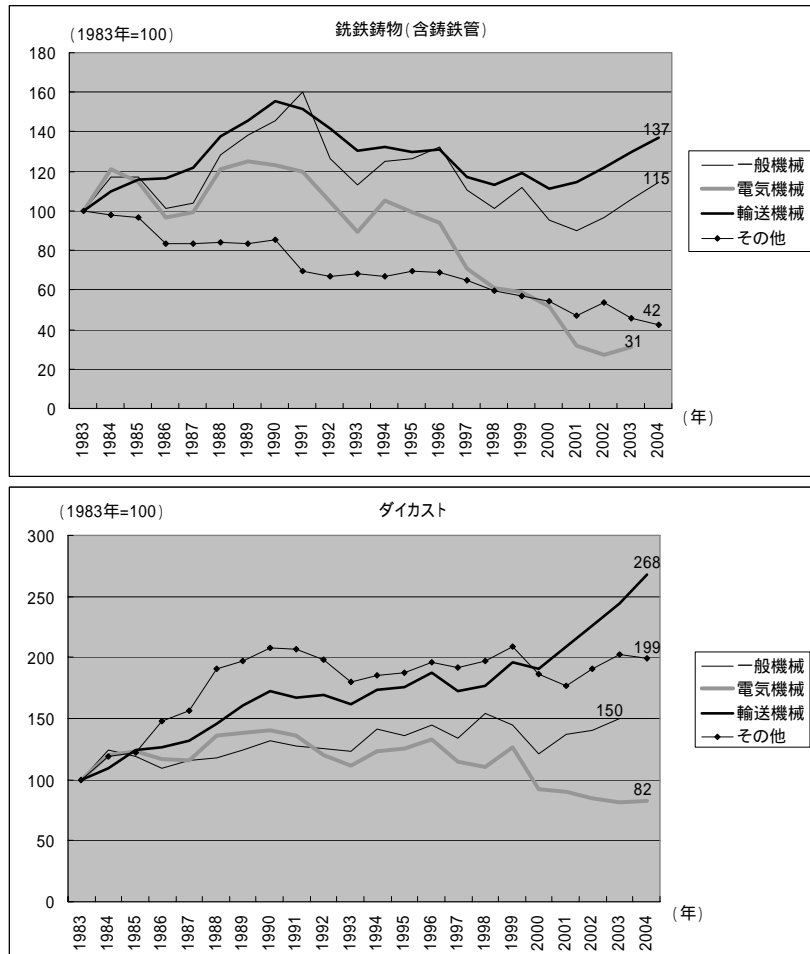


図 6 銑鉄鋳物、ダイカストの需要別生産量の推移 (1983年=100とした指数)

出所：素形材センター「素形材年鑑」

1.2.2 若返りが進む従業者

鋳造産業の従業員数は減少し続けてはいるものの、現場では若返りが進展している。厚生労働省「賃金構造等基本統計調査」をもとに「鋳物工」の年齢階層構造を見ると、現場労働者の若返りが進展していることが認められる。年齢階層構造としては、1985年においては50歳代前半が最も多かったが、2004年には20代後半から30代前半が最も多い年齢階層となっている(図7)。平均年齢の推移を見ても、1985年時点では生産労働者平均を「鋳物工」は4歳以上上回っていたが、年を経るごとに乖離は狭まり、2003年にはその差はわずか0.3歳にまで狭まっている(図8)。

しかしながら、鋳造産業の製造現場は粉塵や騒音・振動などの発生が避け難く、作業環境面で問題が少なくない(図9)ことから、依然として若い人材確保に悩む企業も少なくないことも事実である。中でも手込め造型は機械化が難しく、砂まみれになって作業することが多いため、若年者から職業として敬遠される傾向は依然として強い。

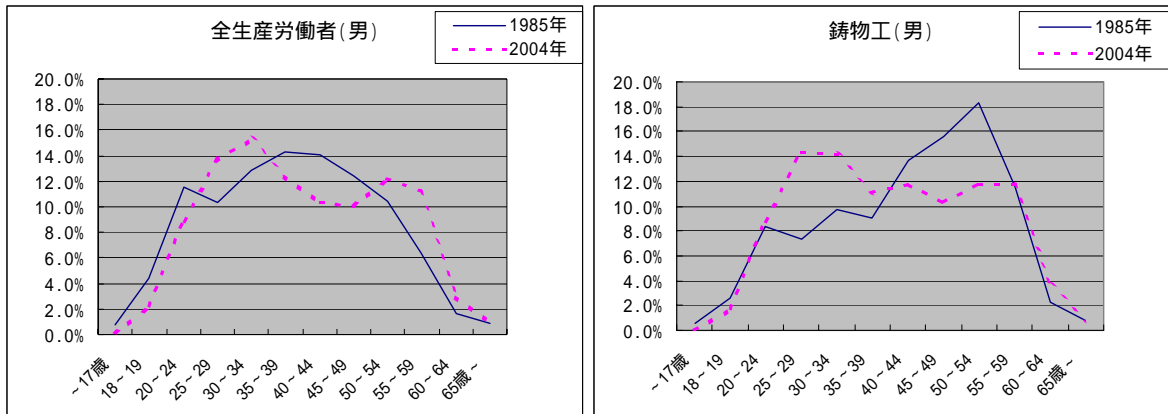


図 7 全生産労働者と鋳物工の年齢階層構造（1981年/2004年）

出所：厚生労働省「賃金構造等基本統計調査」

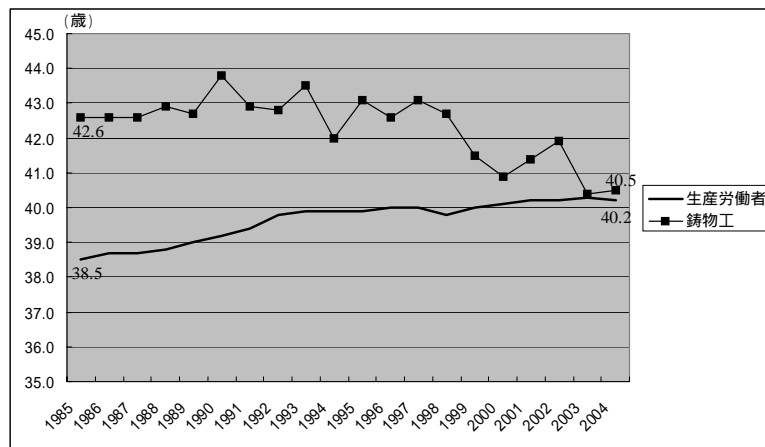


図 8 全生産労働者と鋳物工の平均年齢の推移

出所：厚生労働省「賃金構造等基本統計調査」

(注) いずれも男子のデータ

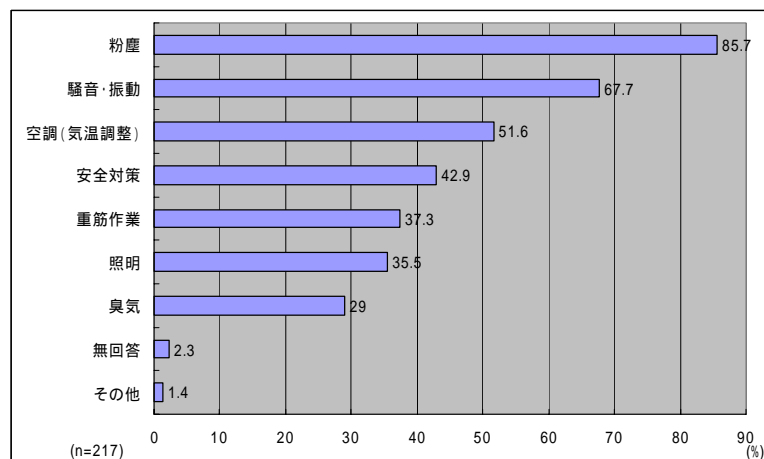


図 9 職場環境面において改善が必要と思われるもの（鉄鉄鋳物製造業）

出所：(社)日本鋳物工業会「鉄鉄鋳物製造業の雇用管理の状況及び経営者意識についてのアンケート調査」(平成7年実施)

なお、鑄造の製造現場では若返りが進展する一方、国際化も進展している。そもそも我が国の中小企業を対象とした外国人研修生制度は、川口の鑄物事業者らによる独自の中国人研修生受け入れにそのルーツがあると言われるだけに¹、鑄造産業における研修生の活用の歴史は古い。研修生の数について細かい業種別データは入手できないが、93年から制度化された技能実習生²への移行申請者数をみると、鑄造産業における申請者数は急増しており、2004年には758人に達している（図10）。

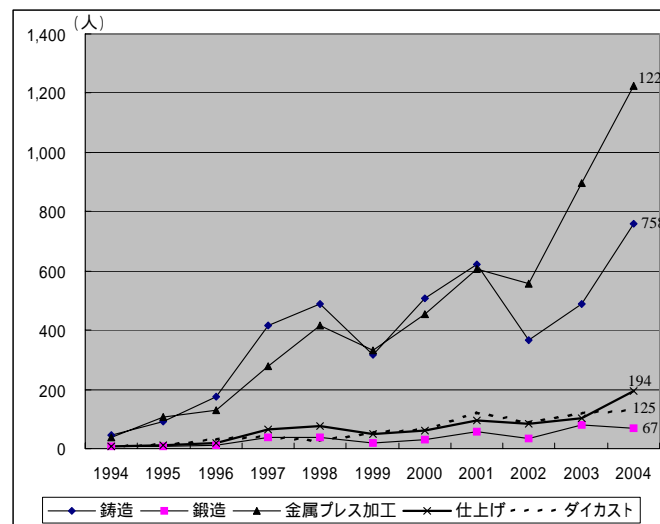


図10 職種別技能実習移行申請者の推移

出所：(財)国際研修協力機構

1.2.3 経営状況

ユーザー産業の活況に伴う受注量の増加を受けて、鑄造産業の利益率、製品単価はここ数年上向いている。TKC全国会「TKC経営指標」によると、2003年から2004年にかけて、可鍛鑄鉄は4.6%から3.7%に低下したが、銑鉄鑄物の対売上高経常利益率は2.6%から4.6%へ、ダイカストは4.9%から5.4%へ、それぞれ上昇している。

製品単価も2002年から2005年にかけて、アルミニウム合金鑄物は0.7%低下したものの、ねずみ鑄鉄は8.4%、球状黒鉛鑄鉄は3.7%、可鍛鑄鉄は6.9%、銅・銅合金鑄物は7.8%、アルミニウムダイカストは3.3%、それぞれ上昇している。2005年6月における全国中小企業団体中央会の調査結果をみても、鑄物、ダイカストについては、景況感の好転が報告されている（表7）。

¹ 佐野哲「外国人研修・技能実習制度の構造と機能」
 (<http://www.ier.hit-u.ac.jp/pie/Japanese/discussionpaper/dp2001/dp53/text.pdf>)

² 研修修了後、研修を受けた企業等と雇用契約を結んだ者。研修で修得した技術等により実践的な磨きをかけられるようにすることが目的であり、技能実習の期間は研修期間のおおむね1.5倍以内とされ、研修期間とあわせた滞在期間は3年以内とされる。

表 7 下請中小企業の最近の動向

業 界	景況感	受注量	単価	受取条件	採算	資金繰り	銀行取引	受注残
ダイカスト								
金属プレス								
メッキ								
産業用機械								
輸送用機械								
電気部品(家電)								
金型								
鋳物								
ビルメンテナンス								

(注) ...好転・増加・上昇・改善 ...前回(16年12月)
 ...横這い・不変 ...今回(17年6月)
 ...悪化・減少・下落 ...見通し(3ヶ月後)

出所：全国中小企業団体中央会「下請中小企業の最近の動向 - 主要下請業種団体へのヒアリング等調査結果 - 」平成 17 年 7 月

しかし、経常利益率、製品単価ともに、長期的なデータの推移を見ると、鋳造産業の景気回復はいまだ途上であることがわかる。

経常利益率について見ると、非鉄金属ダイカストは上昇と下降を伴いながらも傾向としては上向いているが、鋳鉄鋳物の 2004 年の利益率は 1993 年に比して約 2.6 ポイント、可鍛鋳鉄製造業は約 3.7 ポイント、それぞれ下回っている(図 11)。また、業界を代表する企業を取り上げて、鋳造産業から見た川上産業(鉄鋼) 川下産業(自動車、輸送用機器、電機、機械)で 2003 年の営業利益率を比較すると、鋳物企業は川上産業、川下産業と比べ大幅に低い水準となっている(図 12)。

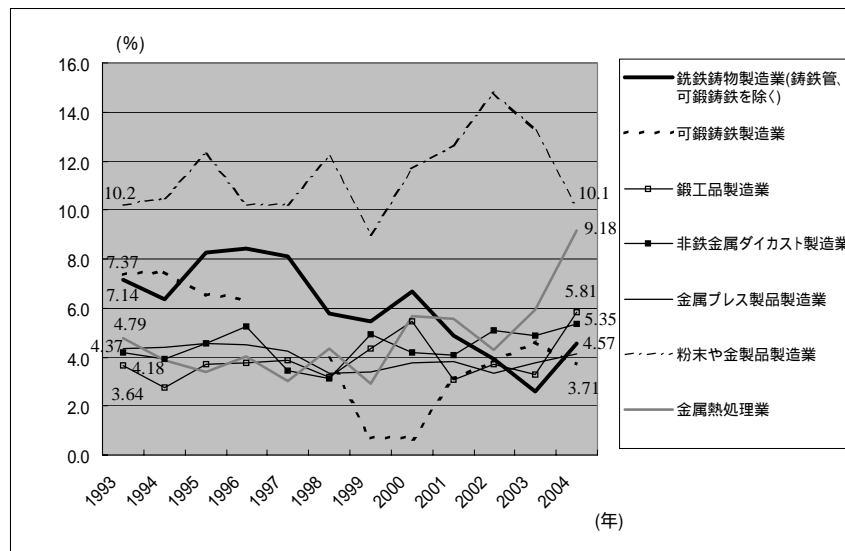


図 11 素形材産業の対売上高経常利益率の推移

出所：TKC 全国会「TKC 経営指標」

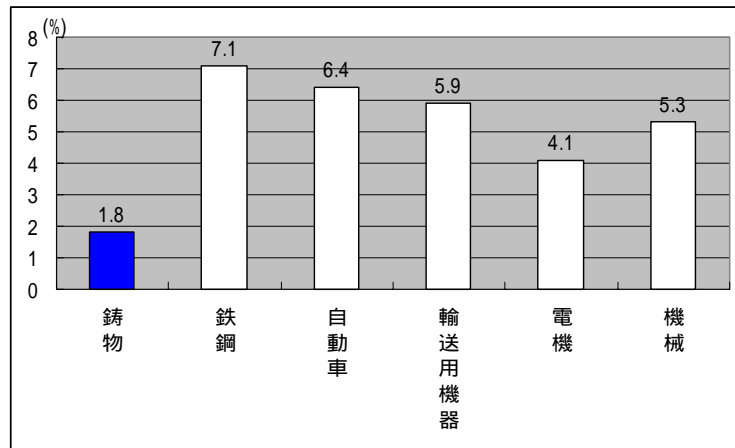


図 12 代表的な鋳物メーカー及び上流、下流産業の営業利益率（2003年度）
出所：会社四季報（上場企業）より社団法人日本鋳造協会

そして、製品単価については、可鍛鋳鉄を除いていずれも 2005 年の製品単価は 1985 年時点に比して低く、アルミニウムダイカストは 25 ポイントの大幅減、以下、アルミニウム合金鋳物 21 ポイント減、球状黒鉛鋳鉄 13 ポイント減、ねずみ鋳鉄 8 ポイント減、銅・銅合金鋳物 0.1 ポイント減となっている（図 13）。しかも、昨今では製品価格は上向いているとはいえ、原材料価格に比して、製品価格の上昇率は低いと指摘せざるを得ない（図 14、図 15）。

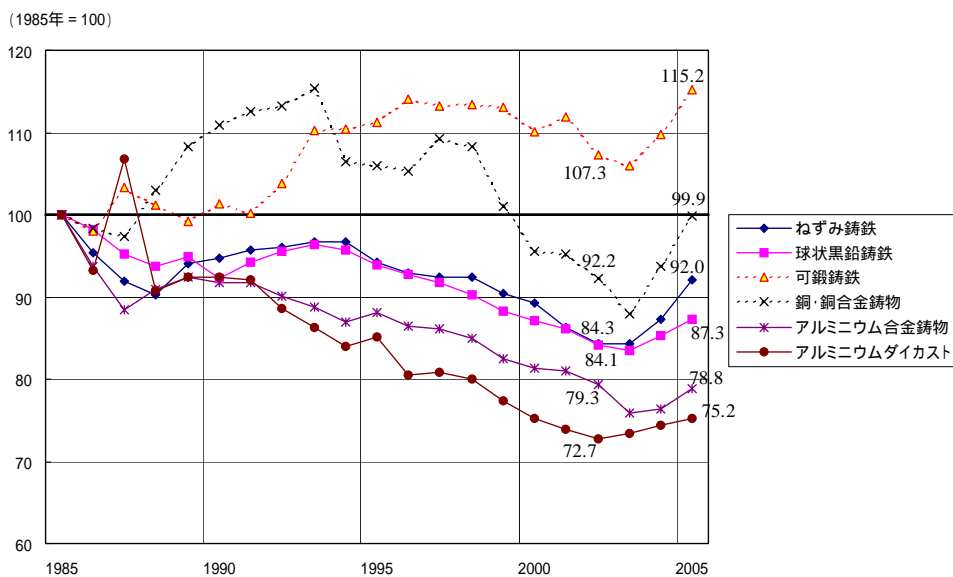
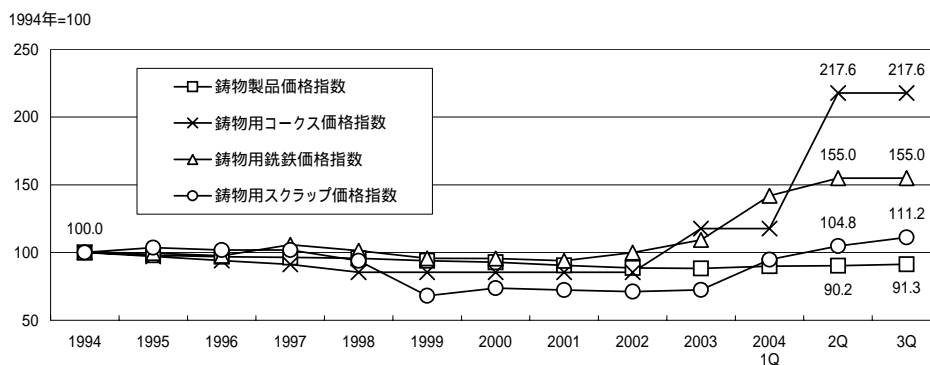


図 13 鋳造製品の価格動向（1985=100 とした指数）
出所：素形材センター「素形材年鑑」



(資料) 1. 鋳物製品価格指数: 経済産業省「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計」より作成
 2. 鋳物用コークス価格指数: 社団法人日本鋳物工業会資料より作成
 3. 鋳物用銑鉄価格指数: 鋳物用銑鉄メーカー問屋事務局調査より作成
 4. 鋳物用スクラップ価格指数: 社団法人日本鋳物工業会「鋳物ダイジェスト」銑屑スクラップ川口地区価格より作成

図 14 鋳物製品価格と鋳物原材料価格の推移 (指数 1994年=100)

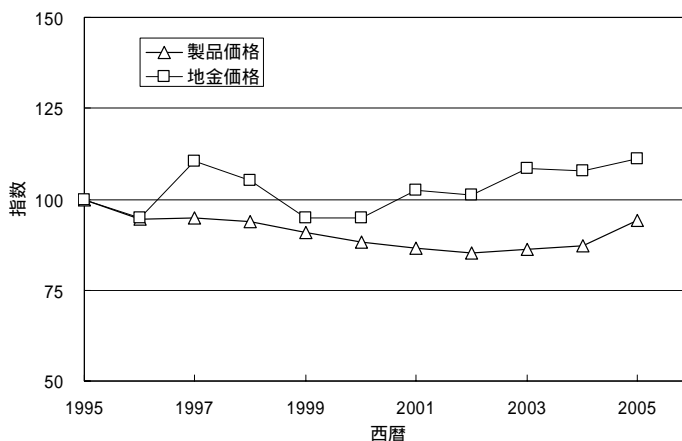


図 15 ダイカスト製品価格とアルミニウム地金価格の推移 (指数 1995年=100)
 出所: 経済産業省 「機械統計年報」

1.2.4 改善すべき点が多い商慣行

これまで見てきたように、製造現場の労働者の若返りが進展しているという明るい要素に加え、利益率、製品単価がここ数年上向していることもあり、昨今では景況感は好転している。しかしながら、利益率は本格的には回復したとは言い難く、製品単価も昨今の原材料価格の高騰にもかかわらず一部業種を除きバブル景気前の水準には達していない。

以上の状況から、多くの鋳物メーカーは採算面では厳しさが続いているものと考えられるが、状況を一層厳しくしている要因として、単価の決定方式と、型の保管という、ユーザー産業との間の旧来からの商慣行の存在が指摘できる。

(1) 単価の決定方式

鋳物の取引においては、製品の重量を基準として価格が決められることが少なくない

(図 16)。そして、こうした例は、大量生産のダイカストや自動車用鋳物よりも、手込め造型による多品種少量生産の一般機械向け鋳物の取引で多く見られる。この重量単価方式で問題なのは、技術的な方法や困難さが全く考慮されない点にある。技術開発によって鋳物を軽量・薄肉化すると重量が減った分だけ売上が減少してしまい、何のための技術開発なのか、と嘆く鋳物メーカーの意見も見られる(表 8)。

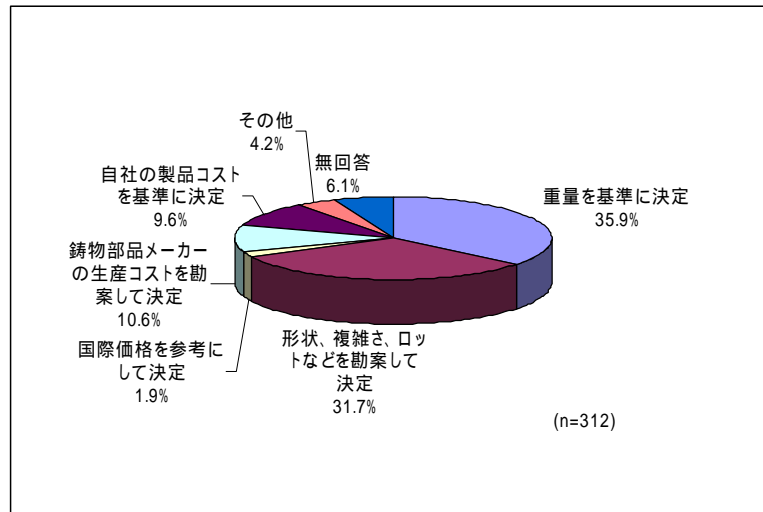


図 16 現在の鋳物部品の価格決定方式

出所：(社)日本鋳物工業会「銑鉄鋳物ユーザーから見た銑鉄鋳物製造業会に関するアンケート調査」(平成 7 年実施)

表 8 鋳物製品価格の課題(自動車部品鋳物メーカー・某社の事例)

1. 問題点
鋳物製品を技術改良(軽量・薄肉化)しても、その成果は製品価格に反映出来ず、かえって自社の生産性の減少や売上の縮小をもたらしている。

2. 自動車用足回り鋳物製品のケース

		製品重量	売価	kg単価	1枠当たり売価
		(kg/個)	(円/個)	(円/kg)	(円/枠)
部品 A	旧モデル	5.8	100	100	100
	新モデル	4.1	67	95	67
		(71%)			
部品 B	旧モデル	6.3	100	100	100
	新モデル	4.1	65	99	65
		(65%)			

【コメント】

- 鋳物製品を旧モデルより 30%近く軽量・薄肉化を実現したが、当然技術的には従来より数段と難易度は増している。
- 製品形状や大きさはほとんど同じである為に、1枠当たりの鋳物張り付け数はまったく変えられない。その為、生産性(重量)はそのまま約 30%低下してしまう。
- しかし、重量単価はほぼ同額で、軽量化した分 1個単価は低減している。技術改良(軽量・薄肉化)の結果は、かえって売上が従来より 30%近い減収になり、生産性の低下で利益率も減少となる。

出所：(財)産業研究所「鋳物用原材料問題への対応に関する調査研究」平成 17 年 4 月)

こうした価格決定方式が商慣行として存続している背景には、特に手込造型の場合、下請け性が強いことに加え、生産形態の多様性、複雑性から、製造のために消費した物量や時間を把握することが困難であることが第一に指摘される（表 9）。

そして、多様な製品について個別に原価見積を行うことはコストアップにつながるものであり、重量単価方式であっても、多品種少量生産なので工夫次第によってはトータルで利益を上げることが可能、という理由から、むしろ重量単価方式を選好する鋳物メーカーも少なくない。さらに、工作機械メーカー等も、鋳造技術を理解する調達担当者が減少している、またはそもそも調達担当者の鋳造技術に対する理解が乏しく付加価値を評価しにくい、という調達側の事情も、重量単価方式の存続の背景となっているようである（表 10）。

表 9 製造原価の算出に係る一般機械鋳物の問題

業種	製造原価の算出に係る問題等
機械加工メーカー	加工前の素材の形状と加工後の製品の形状とが明確に認識可能であるため、材料費は素材の単価と消費量の積で把握可能 加工費は加工工程の加工原単位と加工時間の積で把握可能
組立メーカー	作業対象を部品やアッセンブリーユニットといった要素に限定可能 これら要素ごとの重量や寸法を因子として作業時間が規定されるため、組立工程の組立原単位と組立作業時間との積で原価の算出可能
鋳物メーカー （機械造型）	造型機のタイプのいかに問わずピッチタイムを捉えやすい。 注湯工程までがライン化されている場合、注湯のタクトタイムが定まっており、中子の供給もこのタクトタイムに合わせる必要があるため、各工程の工数は比較的把握しやすく、原価も捉えやすい。 繰り返し生産であり、工数データの蓄積がなされている。
鋳物メーカー （手込め造型）	使用する枠サイズ、相込めの有無、使用する硬化剤や硬化方法など、工数に影響を及ぼす因子が多く、工数把握が困難。 現場の作業者の経験に依存する度合いが高いため、作業の指示も曖昧で作業の標準化がなされていない場合が多い。

出所：社団法人日本強靱鋳鉄協会「鋳鉄鋳物の価格体系に関する調査研究報告書」（昭和 62 年 3 月）

これに対し自動車部品は、造型ラインが機械化されており原価を把握しやすい、という技術的な特徴に加え、自動車メーカーが鋳物を内製する例が多く、自社内でもコストダウンに関する技術を研究して外注先の鋳物メーカーの原価を厳しくチェックしている、という事情から、重量単価方式が採用される例は工作機械向けに比べて少ない。しかしながら、実際には重量取引の商慣行も一部生き残っており、薄肉化・複雑化することで鋳造メーカーの利益減少の例もあることは、表 8 に示した通りである。

表 10 単価決定方式に係る工作機械向け鋳物メーカーと工作機械メーカーの意見

<p>【鋳物メーカー】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 単価決定方式は重量単価がほとんど。見積りに時間がかからないなど、重量単価にもメリットがある。 ・ 重量取引についてはひとつの良い方法だと考えている。大規模な量をすべて見積りして値段を決定するのはコストアップ要因でしかなく、非常に効率が悪い。 <p>【工作機械メーカー】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 鋳物の価格決定方式は重量単価である。相場を見て妥当な価格を決めている。 ・ 鋳物メーカーから出てくる見積もりは、重量単価によるもので、原価の内容が当方には全く見えない。それでも鋳物を確保して納期に間に合わせる方が重要であるので、相手を信頼してその価格で調達せざるを得ない。重量単価方式は長年の商慣行であったが、見直すべきだと考えている。 ・ 当社の技術者にとって鋳物製品を製造する知識（木型の製造法など）には限界があるため、キロ単位いくらというような重量取引に陥りがちである。通常の機械加工では「材料費」、「加工時間」等が見積りの中に明示的に反映されているが、鋳物メーカーは教えてくれないことが多い。これが重量取引につながる一因である。 ・ 当社の工作機械用鋳物は複雑な形状であるものが多く、鋳物メーカーから忌避されがちである。当社の製品が忌避されるのは、重量取引という商慣行が背景にある。当社としては、鋳物メーカー側に対し、「なるべく工数を要さない方案を検討した上で、きちんと原価計算を行って見積もりを提案せよ、その方があなた方の利益率が高くなるのではないか。」と言っているのだが、彼らは耳を貸そうともしない。

出所：各社ヒアリング調査より

(2) 木型・金型の保管コスト

冒頭に述べたように、鋳造とは鋳型の空洞に溶融した金属を流し込み、凝固させることで形を得る金属加工法であり、製造に際して鋳型の存在は不可欠なものである。そして、鋳型として最も多用されている砂型は、製品と同じ形をした木や金属などで作った模型を砂に埋め、それを取り出すことによって作られる。

この木製、金属製の模型（木型、金型）は、いわば個別の製品のために特化した工具の一種といえるが、当該製品の生産が終了してもなお、鋳物メーカーはユーザーからの要請によって長期間保管を求められることが多い。しかも、保管料が鋳物メーカーに支払われる例は少なく、保管管理コストは鋳物メーカーにとって大きな負担となっている。また、中小零細の特に都市型の鋳物工場は模型倉庫が狭く、模型は作業場にあふれており、作業場か模型置き場かわからないような状態にあり、生産性を大きく阻害している。

なお、こうした模型の保管事情は、鋳型に金型を用いるダイカストにおいて問題はより深刻である。製作コストが相対的に高い金型は、木型以上にユーザーから廃却が認められにくく、一部を除く大半のダイカストメーカーが保管コストに悩んでいる（表 11）。なお、2002 年における日本ダイカスト協会の調査によると、ダイカストメーカーで保管されている金型のうち、保管期間が 10 年～15 年に及ぶものは 19%、15～20 年は 8%、20 年以上は

7%となっており、ダイカストメーカーの負担は相当に大きいことが容易に想像される(表12)。

型保管に関するユーザー産業の意見を見ると、工作機械メーカーからは、「廃却要請があった場合は検討する」、「保管料の支払いも検討する」、という意見も見られるが、「工作機械は長期に渡ってサービス保証義務がある」、「保管料の支払いは認めがたい」との意見もあり、鋳物メーカーの要望が受け入れられる可能性は現状では低いものと考えられる(表13)。

表 11 型保管に関する鋳鉄鋳物、ダイカストメーカーの意見

【鋳物メーカー】

鋳鉄鋳物・自動車部品

- ・ ユーザーは補給品がいつ発生するかを予測できないため、型の保存期限に関して判断できないのだろう。
- ・ 製造現場は実際に型を保管しているコストがかかっているために廃棄を行いたいが、顧客と交渉しても拒否されてしまうことも多く、断念するケースが多い。

鋳鉄鋳物・一般機械

- ・ 手込めの木型は保管に面積を要し、コスト負担は大きい。しかし他社に仕事が流れることが怖いので、顧客には不要木型を返却するとは言えない。
- ・ 生産終了後の型はすべて顧客に返却している。それで他社に仕事が回ってしまっても構わないと考えている。

ダイカスト

- ・ 当社は基本的に型を買い取りにしている。廃棄等の判断ができる為メリットがある。
- ・ ダイカスト業界として保管料の要請を行った時期もあったが、認めてもらえなかった。なぜならばユーザーにとって、ダイカスト業だけ保管料を認めてしまったら、他のプレス金型や樹脂金型等まですべての業界で保管料を認めなければならず、深刻なコストアップにつながるからだろう。
- ・ 従来金型は永久保管が義務付けられていたが、5年前から顧客に申請すれば廃棄が認められるようになった。当社は砂型鋳造の部門も有しているため、いざという場合はダイカストではなく砂型で鋳造できるということから、こうした措置が認められている。ただし、それでも金型の保管コストは大きな負担となっている。
- ・ 10年間で1度も出ないような金型は、廃却をユーザーに要請しているが、なかなか承認を得ることができない。保管料金をユーザーからもらっているダイカストメーカーもあるが、これは例外的な存在である。当社に所有権がある金型であっても、勝手に廃却することはできない。ユーザーから「その金型には当社の使用権がある」と主張され、トラブルになることがあるからである。
- ・ ダイカスト用金型は、鋳物用の木型に比べてはるかに高額(数千万円から1億円以上)であるため、廃却はそう簡単には認めてもらえない。

出所：各社ヒアリング調査より

表 12 ダイカスト金型の保管状況（使用していない金型数、用途別及び期間別）

	使用していない期間計	1～5年	5～10年	10～15年	15～20年	20年以上
一般機械	4,054(12)	1,541(38)	1,220(30)	770(19)	360(9)	158(4)
電気機械	5,750(18)	1,806(31)	1,829(32)	1,000(17)	454(8)	667(12)
自動車	15,622(48)	6,468(41)	4,171(27)	2,828(18)	1,172(8)	1,000(6)
二輪車	2,708(8)	1,430(53)	609(23)	474(18)	22(1)	173(7)
その他	4,393(14)	1,542(35)	949(22)	1,032(24)	501(11)	373(9)
計	32,527(100)	12,787(39)	8,778(27)	6,104(19)	2,509(8)	2,374(7)

注 1.調査総数 150社 回答社数 64社 回答率 43%

2.保管形態 自社の資産型 33% 客先からの預かり型 67%

3.金型の保有状況 総型数 72,626

現在使用中 35,473

現在使用していない 37,153（1年以内のものを含む）

出所：2002年日本ダイカスト協会調査

表 13 型保管に関するユーザー産業の意見

【ユーザー産業】

- ・ 木型の保管については、昔からの慣習で、鋳物メーカーに保管してもらっている。流れなくなった製品の木型について、廃棄したいという要請が鋳物メーカーからあれば、当社は廃棄を検討している。1～3個しか作らないという少量品については、鋳物メーカーにはなるべく木型を使わず、発泡スチロール型を使うよう依頼している。
- ・ 型の保管は鋳物メーカーにお願いしている。保管期間は決まっていない。鋳物メーカーは保管コストが負担になっている、とのことだが、当社としてはきちんと型を管理してくれるのであれば、保管代を支払っても良い、と考えている。廃棄してもよいだろうか、とお伺いをしてくる鋳物メーカーはない。何も言ってこないのも、きちんと保管しているかということ、そんなことはない。彼らは古い木型を野ざらしにしている。そんないい加減な保管をしている鋳物メーカーにはとても保管料を支払う気はない。
- ・ 当社では調達先に木型を貸して、生産終了後も預けていることが多い。これは、工作機械業界は最低でも15～20年間という長期に渡ってサービス保証義務があるためである。保管料の支払い要望もあるが、当社としては認めがたいのが現状である。
- ・ 「生産要求が無くなってから10～15年経った部品の金型は廃棄してよい」という一定のルールがあるものの、ダラダラと続くケースも多い。

出所：各社ヒアリング調査より

2. 鑄造技術に対する川下産業のニーズの変化

鑄造技術に対する川下産業のニーズの変化で最も大きなものが、海外生産比率の増加である。下図に見るように、一般機械、電気機械、輸送機械の各産業については、少子高齢化などの要因から国内での生産は今後大きな伸びが期待できない中、海外生産比率は上昇し続けている（図 17）。このように、鑄物需要の重心が海外市場にシフトする中、我が国鑄物メーカーは海外製鑄物（特に中国）との厳しい競争に直面しており、ベンチマークとして安価な中国製鑄物の単価を要請される場面が増えているほか、ユーザーからの海外進出への要請が強まっていることが指摘されている。

このほか、鑄物の主要ユーザーである自動車、工作機械、電気機械、その他における、鑄造技術に対するニーズの変化は 2.1 以下の通りである。

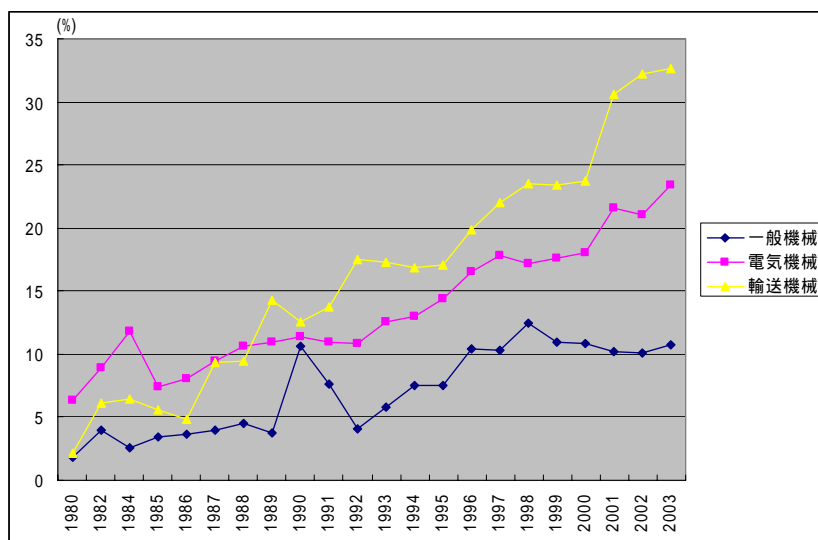


図 17 海外生産比率の推移 (売上高ベース)

出所：経済産業省「我が国企業の海外事業活動」

注：海外生産比率は 94 年を前後に算出方法が変更されており、データの連続性が断絶している。

2.1 自動車

自動車産業は環境問題、安全問題への対応から、車体の軽量化を進めている（図 18）。このため、材料の高強度化、鑄造技術改善による薄肉化、鑄鉄からアルミ、アルミからマグネ、樹脂への材料置換、構造の見直しによる部品一体化（複雑一体部品の鑄造技術、品質の確保）が進展している（図 19、図 20、表 15、表 16）。

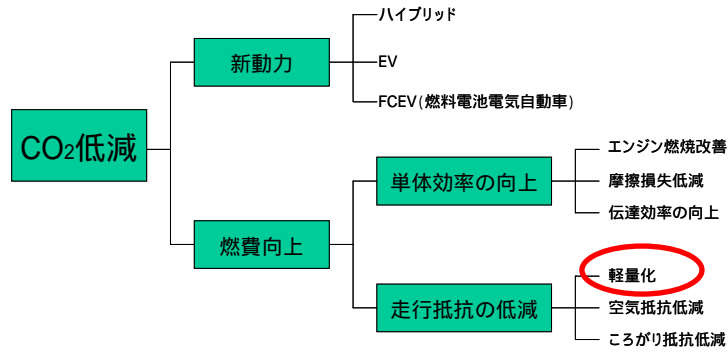


図 18 自動車走行時の CO2 低減技術

出所：鈴木正実（トヨタ自動車㈱第二材料技術部金属材料室）
「自動車を取り巻く環境と構成材料の動向」

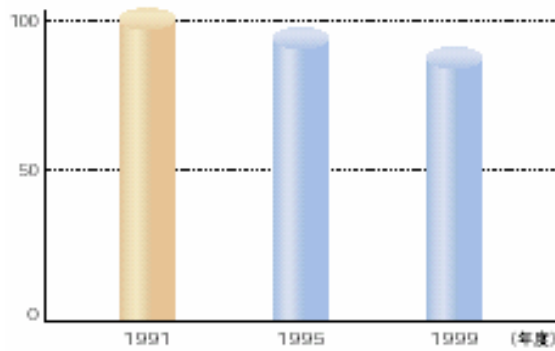


図 19 鋳鉄製エンジンブロックの排気量当たり重量（指数）
< 1991年=100 >

出所：豊田自動織機 社会環境報告書（1999年）

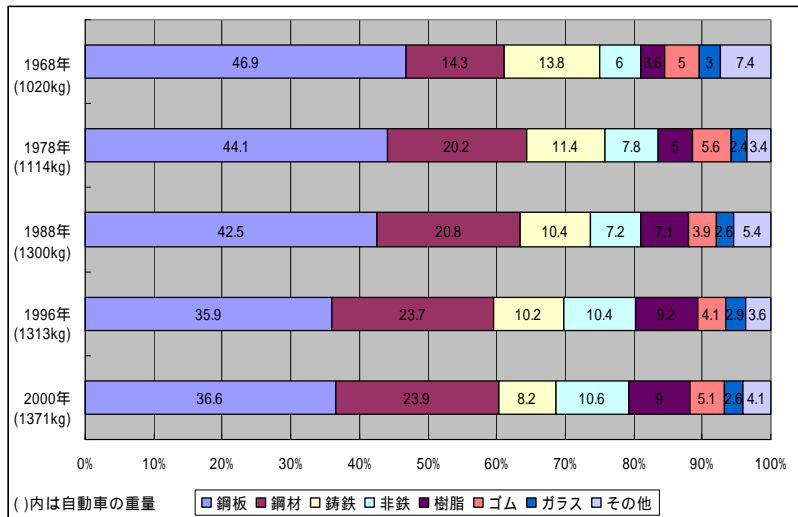


図 20 乗用車（トヨタマーク）に使われる素材重量の変遷

出所：素形材センター「ものづくりの原点 素形材技術」

表 14 自動車 1 台当たりのアルミ使用量

	(kg)		
	1990年	2000年	2010年
北米	75	117	144
欧州	51	89	122
日本	61	96	119

出所：(社)日本アルミニウム協会

表 15 自動車 1 台当たりのマグネシウム使用量

	(kg)			
	2000年	2005年	2008年	2010年
北米	3.5	4.6	4.9	5.6
欧州	2.5	4.1	5.3	6.2
アジア	0.6	1.2	1.7	2.1

出所：小原久「マグネシウムの自動車への適用」

（「素形材」2004.11 所収）

なお、鑄造技術に求められる自動車産業のニーズは軽量化にとどまらない。軽量化ニーズの高まりにより、エンジンブロックはアルミ製が主流となっているが、ピストンが直接アルミのシリンダーに触れるとアルミが磨耗してしまう。それを防ぐために、シリンダーの内側に装着される、耐磨耗性・耐焼付き性に優れた鑄物製のシリンダーライナーの重要性が高まっている。また、燃焼効率向上による排気ガスの高温化に伴い、エンジン燃焼ガスを集合させマフラー側へ導く、鑄物製のエキゾーストマニホールドにはさらなる高耐熱性が求められている。さらに、高級自動車においては特に NV（ノイズ、バイブレーション）の低減が求められており、その発生源の一つとなるブレーキディスクについては、熱伝導率向上や減衰能向上などを狙った鑄鉄ローターの開発が進んでいる。

加えて、海外での日本の自動車メーカーの現地生産台数は 1998 年以降急増しており、2003 年を境に海外生産台数が国内生産台数を上回っている（図 21）。現状では、重要保安部品等の多くは日本から現地への供給となっているものの、こうした生産のグローバル化により、ユニット（エンジン、ミッション）の現地生産化が進展しており、素形材の現地生産、現地調達、部品のグローバル調達のニーズが高まっている。この流れに対応した形で、海外で調達する鑄物については国内品質と同等またはそれ以上の品質の確保が、国内調達する鑄物については価格競争力の確保が、それぞれ一層重要な課題となっている。

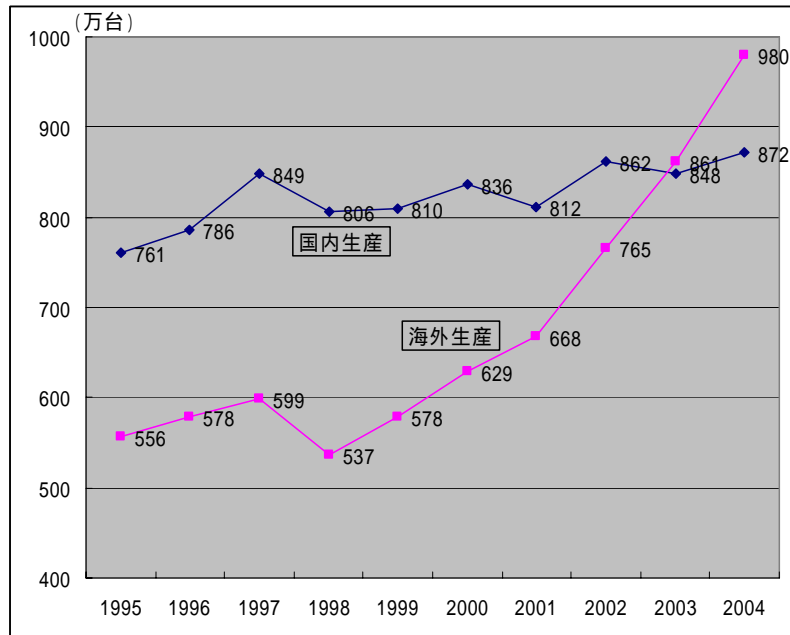


図 21 日本自動車メーカーの国内・海外生産台数推移
出所：日本自動車工業会

2.2 工作機械

マザーマシンである工作機械は、長年にわたって曲げ、せん断、ねじりの外力に耐えながら、高い精度を実現し続けることが求められる。このためその構造体には、優れた剛性、振動減衰性、耐摩耗性、温度、湿度による寸法・形状変化の少なさが要求される。コラム、ベース、ベッドなどを鋼板溶接構造で製作した工作機械も見られるが、上記の特性を有するほか、切削加工が容易であり、加えて製作コストも安い銑鉄鋳物が工作機械の構造体として多用されている。

工作機械用鋳物については、自動車部品のような軽量化に向けた技術開発に対する要求は少ない。また、代替材料としてセメントコンクリートなどの試作研究が行われたこともあるが、実用化にはまだ時間を要するものと見られており、当面は工作機械の構造体としての銑鉄鋳物の地位が揺らぐことはないものと思われる³。ただし、国内の工作機械メーカーは、高速、重切削を実現するハイエンドモデルの生産が中心となりつつあり、鋳物については表面焼入れなどの熱処理を必要とする難易度の高い製品に対するニーズが高まっている。また、構造も複雑化しており、鋳造に使用する中子も増加している⁴。

しかし、より深刻な問題として、鋳物メーカーの供給能力に対する工作機械メーカーの不安感が指摘される。前に指摘したように、工作機械向け鋳物は多品種少量生産であるた

³ 社団法人日本工作機械工業会「工作機械産業の生産能力と下請構造」平成2年

⁴ 委員会での指摘より

め、人手に頼る手込め成型による生産が中心である。しかも、自動車部品をてがける鋳物メーカーに比して中小企業が多く、バブル崩壊後の不況期に倒産、廃業、経営統廃合したケースも多く、鋳物業界全体の生産能力はかつてに比べ低下している。こうした状況の中で工作機械業界は今回の好況を迎えたため、各社の鋳物調達はタイトなものとなっており、工作機械メーカーの間では鋳物の内製化を図るほか、海外からの調達を進める動きも見られる（表 16）。

表 16 鋳物不足に関する報道記事（過去 2 年間）

企業	報道内容	出所
不二越	鋼材や部品、鋳物などの購入価格が大きく上昇し、今期は年間で20億25億円程度の減益要因になる見通し	日本経済新聞 2005/6/21
森精機	材料の鋳物・板金価格は二 四割上昇する見通し、一部を製品価格に転嫁	日本経済新聞 2005/5/17
緑々産業	「鋳物値上げに伴う原価率上昇より、鋳物業者から期日通りに入るかのほうが心配だ。多少高くても良いからきちんと確保していきたい。」	日刊工業新聞 2005/4/22
シギヤ精機	「鋳造品の調達に無理がきかなくなっている。これが生産スピードに影響を与えつつある。」	日刊工業新聞 2005/3/29
ホーコス	「新鋳物工場が完成し、近く一部稼働させる。月200トンの素材材を生産、能力は50%向上する。」	日刊工業新聞 2005/3/17
森精機	渡部製鋼所（月産能力1000トン）に資本参加。需給ひっ迫による調達難が続いている鋳物の安定調達を確保が目的。	日刊工業新聞 2005/2/28
シチズン精機	ベトナムに5億円弱を投じて鋳物工場を建設、タイと日本で鋳物加工を施す。鋳物は中国・大連と韓国からも調達を開始。	日刊工業新聞 2005/2/24
コマツ	鋼材不足で鋳物や外注部品などが納期通りに入ってこないため、鉱山用大型トラックを増産できない。	2005/1/24 日本経済新聞
森精機	伊賀事業所（三重県伊賀町）内に生産設備と焼き入れ用の熱処理施設を新設。試作品用の鋳物製造を行う。	日刊工業新聞 2004/12/2
岡本工作機械	タイ工場の鋳物生産を月産100トン増やし同800トンに増産済み。それでも不足するため同1200トンに引き上げ。	
ソディック	タイ工場での放電加工機の生産能力拡大に合わせ、中国工場の鋳物製造能力を拡充。	
ツガミ	国内のほか、中国から鋳物を調達することも決め安定確保済み。	
牧野フライス	中国から一部鋳物の調達を実施。	2004/9/27 日経産業新聞
日精樹脂工業	中国からの鋳物調達を始め、性能試験中	
ダイキン工業	今夏、鋳物など部品メーカーからの調達が遅れ、納期を守れないケースが発生。	

2.3 家電

家電業界における鋳物のニーズの多くはダイカストであり、近年では表 17 の用途で用いられている。例えばマグネシウム合金によるノートパソコンの液晶バックパネルは、肉厚が0.6mm、内部の隅部には液晶やヒンジを支えるための微細構造(リブ)を有するなど、塑性加工では成形が困難な微細加工が鋳造によって実現されている。

表 17 家電業界におけるダイカスト製品の主な用途

ダイカストの種類	家電における主な用途
アルミニウム合金	プラズマディスプレイのシャーシや、ヒートシンク、DVD プレーヤ筐体などの薄肉製品
亜鉛合金	カメラ用部品やギヤ、レバー類などの小物部品
マグネシウム合金	ノートパソコンや携帯電話、プロジェクターなどの薄肉・軽量の筐体関連

しかし、1.2.1 でも見たように、電気機械向けのダイカストの生産量は年々減少している。その背景としては、表 18 に見るように電気・通信業界が海外生産（特に中国）にシフトしており、ダイカストも現地調達が増加している、国内では、高級品の量産及び試作レベルのため少量での引き合いが増加している、樹脂品やプレス品などの低コスト品に移管している、などが指摘されている。

表 18 日本メーカーの主要エレクトロニクス製品の地域別生産比率（2004 年、台数ベース）

	カラーテレビ	録画再生機	カーオーディオ	カーナビゲーション	デジタルスチルカメラ	携帯電話	パーソナルコンピューター	PDA	HDD	DVD-ROMドライブ
日本	8.3	6.2	8.9	100.0	52.5	53.9	44.2	94.5	2.9	17.3
中国	10.3	47.6	23.9	0.0	27.8	19.3	13.7	3.1	11.6	27.4
アジア	44.7	38.3	50.7	0.0	19.7	15.3	33.5	2.4	85.5	55.4
北米	22.0	0.0	10.2	0.0	0.0	8.5	1.0	0.0	0.0	0.0
欧州	11.3	7.6	4.9	0.0	0.0	3.0	7.5	0.0	0.0	0.0
南米	3.3	0.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

出所：JEITA（社団法人電子情報技術産業協会）「主要電子機器の世界生産状況」

こうした中、家電向けのダイカストについては、ますます 開発期間及び納期の短縮、コストのグローバル化、海外の競合会社では難しい技術課題へのチャレンジ、更なる軽量化、薄肉化、などのニーズが高まっている。このため、国内ダイカストメーカー各社は、これらのニーズに対応するため、更なる薄肉化技術の開発、放熱特性に優れた合金の開発など、海外ダイカストメーカーとの技術的差別化を図るほか、一層 QCD のレベルを向上させていくことが求められている。

2.4 その他

建設機械については生産は海外需要を中心にここ数年急増しており、これまで慎重だった生産能力増強に乗り出すところが相次いでいる。鋳物の海外現地調達も進展しているが、油圧ポンプなどキーパーツに用いられる摺動特性の良いダクタイル鋳鉄については日本製に頼らざるを得ない状況にある。

航空機業界における材料開発では、日本の技術は世界的にも高い地位を占めている。航空機エンジン部品への鋳物の利用は、超合金製のタービン動翼（精密鋳造）に加え、複雑な形状をしたケース部品、静止部品あるいは機体部品にも多い。大型部品については従来板金溶接構造であったが、鋳造技術の進歩により一体成形が可能なものとなりつつある。

また、製造業の現場では、効率的な生産、高品質な生産、高精度な生産等のために、ロボットは必須のツールとなっているが、昨今では第1次産業、第3次産業においても導入が進展しつつある。ロボットは今後ますますあらゆる場面で活用されることが期待されているが、そこに用いる材料は軽量性、運動性が特性要因となり、精密性の点から剛性も要求される。さらに、サーボ機構等でその動作が制御されるため、材料には被制御性も要求される。これらを充足する機能性を付与するためには、高度な鋳造技術に対して大きな期待がかけられている。鋳物の適用によって、複雑形状部品への対応、部品点数の削減が期待されるほか、薄肉化、軽量金属化による部品の軽量化によって動作速度、位置決め精度の向上が期待される。

さらに、乗用車のブレーキ、工作機械のベッド等の分野においても、鋳鉄の振動吸収性という特色を生かすことが期待されている。

3. 鑄造技術の課題と方向性

3.1 鑄造技術の現状

我が国鑄造産業の強みと弱みについては、素形材技術戦略策定会議「素形材技術戦略」（平成12年3月）において、表19のように指摘されている。また、若干データは古いが、鑄物のユーザー産業を対象としたアンケート調査（平成7年実施）をみても、海外メーカーと比較した、我が国鑄物産業の品質、納期、サービス・ニーズ対応力は高く評価されているが、価格については海外メーカーと比して評価は低く、コスト競争力の獲得が大きな課題となっているといえる（図22）。

鑄造産業は、まずは不良率・材料歩留り・可動率の改善に向けた、品質の作りこみを進めると共に、技術革新の成果を取り入れながら、川下産業のニーズの変化に積極的に対応していくことが望まれる。また今後、我が国鑄造産業が国際競争力を強化させていくためには、さらなる高機能化、軽量化、コスト低減、環境への対応、に向けた技術開発が必要である。

表 19 鑄造産業の強みと弱み

強み	<ul style="list-style-type: none">・ ユーザーである自動車、工作機械、家電等、機械産業の高い国際競争力・ 高品質鑄造品の製造・提供・ 高いモラルと技術・技能を有する良質な人材の存在・ 高い生産管理能力による堪能木・ ユーザーの計画変更への柔軟な生産対応・ 学会や業界の盛んな研究開発、技術改善活動・ TQM や TPM による活発な小集団現場改善活動・ 技能労働者等の経験、技能に裏打ちされた高い加工能力・ 高い関連周辺技術の存在・ 製鉄産業を中心とした良質な原材料・副資材の安定供給
弱み	<ul style="list-style-type: none">・ コスト競争力が弱い（高い人件費・エネルギー費）・ 質の高い技術者・技能者が不足・ 大学等での鑄造分野研究者と講座の減少・ システム的技術開発力が弱い・ 独自技術開発力が弱い・ 海外展開能力が弱い、英語力が弱い・ 鑄造メーカーと設備メーカーの協力体制が弱い・ 国際的視点での経営力が弱い

出所：素形材技術戦略策定会議「素形材技術戦略」（平成12年3月）

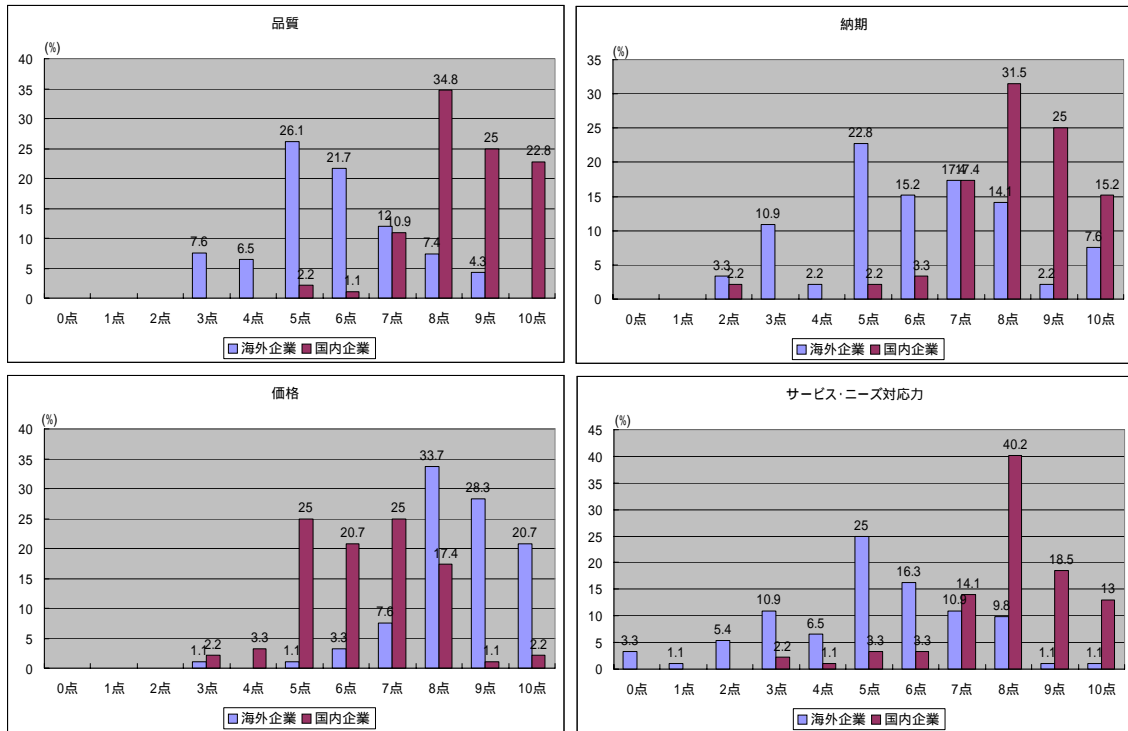


図 22 鋳物企業に対するユーザーの評価（国内企業 vs 海外企業）

出所：(社)日本鋳物工業会「銑鉄鋳物ユーザーから見た銑鉄鋳物製造業会に関するアンケート調査」
(平成7年実施)

3.2 最近の鋳造技術の革新と見通し

ITの急速な発展やユーザーからのコストダウン、納期短縮の強い要望などから、鋳造分野においては以下の技術革新が進展している。

- 複雑形状・一体化
- 薄肉・軽量化
- 高品質化
- シミュレーション
- CAD/CAMとITによる電子情報化
- ラピッドプロトタイピングの活用
- 機能美の追求

3.2.1 複雑形状・一体化

冒頭にも述べたように、鋳造の最大の特徴は、液体金属を用いることであり、いかなる複雑な形状の品物でも一体で成形することができる点にある。この優れた工法を最大限生

かした高度な鑄造法が開発実用化されたことにより、複雑形状で高機能な鑄物が作られている。

自動車部品についてみると、エンジンのシリンダーブロックが例として挙げられる。最近では乗用車用エンジンのほとんどのシリンダーブロックがアルミニウムダイカスト法により生産されている。この場合、シリンダーライナー部には鑄鉄製スリーブが鑄ぐるまれていることが多いが、一部には、セラミックス繊維で複合化したものや、高シリコン材を用いることでライナー表面に微細なシリコン粒を晶出させ、耐摩耗性を確保しているものなどもある。

3.2.2 薄肉・軽量化

世界の全エネルギーの約4分の1は自動車関連で消費されている。中でも運転時に消費されるエネルギーは膨大であり、これを低減することは社会的・政治的要請である。そこで、自動車メーカーは低燃費エンジンを開発する方向で、軽量化に取り組んでいる。一般的に車両重量が1%軽量化されると燃費は1%向上すると言われている。自動車用鑄物部品においても上記の課題を解決するために、鉄鋼から比重の小さいアルミニウムへの転換が進行している。

また、現行材料の高強度化や製造法のブレークスルーによる薄肉化を進めるため、最新のITツールを駆使した最適設計技術を適用し、薄肉で軽量の鑄物部品の開発・実用化が行われている。

3.2.3 高品質化

機械設計者の立場から見ると、現在においても、鑄物には各種の欠陥がつきもので、したがって、設計上必要な各種の機械的特性（強度、伸び）などの下限値をどこに設計すべきか、という問題点が指摘される。鑄鉄鑄物については、特に黒鉛球状化などの組織制御や欠陥制御技術の発達により、設計者の信頼を勝ち得た。したがって、自動車の足回り等の重要強度保安部品への適用がなされてきた。

この数年間の動向としては、アルミニウム合金ダイカストに対する機械的特性の信頼性が高まるにつれ、筐体もの（ケース類）から、耐圧部品、強度部品へと用途が拡大しつつある。鉄鋼材料や鑄鉄鑄物の発展時に経験したように、アルミニウム合金ダイカストについても、ひけ巣、介在物、あるいは破断チル（初期凝固層）の生成といった特有の欠陥や、熱処理時の残留応力などをいかに制御するか、が最近のトピックである。

3.2.4 シミュレーション

鑄造シミュレーションにより、実際の鑄造時に発生するかもしれない問題点をコンピュータ上で知ることが出来るため、鑄造方案の事前検討や不良対策に積極的に利用されている。特に、ひけ巣欠陥の発生予測を目的とした凝固シミュレーションと、湯道系鑄造方案の最適化を目的とした湯流れシミュレーションが普及している。

凝固シミュレーション技術は 1980 年代の初めに日本において実用化された。単純な伝熱解析を主体としたものであったが、廉価なパソコンや EWS を用いた CAE システムとして開発・販売されたため広く普及した。現在ではひけ巣欠陥予測法として様々な方法が提案されているが、世界中の鑄造 CAE システムで採用されているのが日本で開発された NI-YAMA クライテリオンである。最近では、凝固収縮流を計算で予測し、ひけ巣位置を予測する方法も取り入れられている。

1990 年代に入ると、溶湯の充填過程をシミュレーションするための湯流れシミュレーション技術が普及するようになった。特に不良の多くが不適切な湯流れにより発生することが知られているダイカストへの適用が積極的になされてきた。しかし、どのような湯流れであれば欠陥が発生しないのかについては未だに不明な点が多く、計算結果をどのように利用し不良対策に役立てるかは利用者の技量に大きく依存している。

3.2.5 CAD/CAM と IT による電子情報化

発泡ポリスチレンを用いた製品模型作りは、従来より消失模型鑄造法などにおいて行われてきた。発泡ポリスチレン模型には、製作の容易さや低コストなど、従来の木材を使った模型製作には無い多くのメリットがある。このため、近年では木型法の模型にも用いられるなど、利用の幅が広がってきている。

消失模型鑄造法では、プレス金型鑄物や工作機械鑄物などを扱うことが多い。このような製品の模型は複雑な形状を持つことが多く、従来では熟練作業者の手作りによるものが主流であった。これが近年では IT の発達により、鑄造用 CAD/CAM を利用した NC 加工機による製作が主流になりつつある。また、CAD による製品設計を行うことにより、模型製作までの全ての工程を一貫して PC 上で行うことが出来るため、従来の模型製作においては必須であった製品図面さえもなくすることが可能である。このほかのメリットとしては、製品の寸法検査や機械加工の自動化に模型データを再利用できるといったことが挙げられる。

3.2.6 ラピッドプロトタイピングの活用

一般的な鑄造法ではまず木型あるいは金型を製作し、これに基づいて砂型を作成する。

しかし近年、ラピッドプロトタイピング（以下 RP）技術（正確には CAD・CAM 技術）の発展は目覚しく、この発展が鋳造技術にも大きな影響を及ぼしている。たとえば、木型を用いることなく砂型を図面から直接制作する試みがなされ、試作品の製造に使用されている。これら技術の基本は、プリンターの原理（レーザーとインクジェット）に立脚している。しかしこの方法の適用は樹脂をコーティングした鋳物砂に限定される。もちろん、これらのプロセスは樹脂型などの製作も可能であり、その型を用いたロストワックス法類似の精密鋳造技術も進展している。さらには、鋳型を直接切削加工する手法の検討も進んでいる。

これに対して、砂粒にインクジェット方式で接着剤を塗布・成形する方式がある。この方法を用いると砂の種類に関わらず、鋳型を作ることができ、新しい RP 法としての発展が期待されている。これらの方式で鋳型を製作すると、通常のように鋳型から模型を取り出す必要が無くなり、本来、鋳型に由来する抜け勾配を考える必要が無くなる。この点に関しては先の樹脂型も同様である。

3.2.7 機能美の追求

鋳物で機能美とは不思議な言い回しかも知れない。しかし、家の玄関の鋳物門扉や橋の欄干、街路灯、景観歩道防御柵などに鋳物が多用されつつある。特に、ヨーロッパにはこの例が多い。人類の生活が豊かになるにつれ、心の安らぎを求めて機能美の追求が促進している。この工業製品への典型的な例にオートバイのフレームがあり、高級オートバイでの採用が加速している。

3.3 鑄造技術の技術革新を支える基盤の状況

鑄造技術の技術革新を促進させていく上では、鑄物メーカーにおける技術開発はもとより、業界団体の機能強化、大学等における基礎研究と技術者教育が基盤として重要である。しかしながら、これらを取り巻く環境は厳しい。

3.3.1 鑄物メーカーにおける技術開発への取り組み

経営資源が限られた中小鑄物メーカーにとって、技術開発への取り組みは昔から弱かった部分であり、材料メーカーや鑄造機械メーカーにその多くを依存するほか、優秀な熟練技能で補ってきた。しかし、熟練技能については、ベテラン従業員の多くが定年を迎えようとしており、いわゆる 2007 年問題が深刻な影響を及ぼすことが危惧される。

また、かつて中小鑄物メーカーにとって良き相談相手であった公設試験場でも、鑄物関連の設備、人員は大幅に減少している。かつて川口には、埼玉県鑄物機械工業試験場が存在したが、現在では埼玉県産業技術総合センターとして統一され、鑄造に従事する研究者はわずかに一人である。また、鑄物研究に定評のあった名古屋工業試験所は産業技術総合研究所となり、鑄造分野の研究者は大幅に減少している。

そもそも、経営上の課題が多い現状では、設備投資負担が大きい技術開発への取り組みは容易でないのが実情であり、個別企業での取り組みには限界がある。平成 6 年度の調査によると、鋳鉄鑄物業界で技術開発を行っていると回答した企業は 3 割弱に過ぎず、しかも開発投資は平均で 598 万円 / 年と少なく、最大の課題として「技術者の不足」が挙げられている（表 20）。やや古いデータではあるが、おそらく状況は現在でもさほど変わっていないものと思われる。

表 20 鋳鉄鋳物メーカーの技術開発の状況

技術開発を 行っている	27.8
行っていない	72.2
n=396	

技術開発の体制	
自社技術による開発	66.7
ユーザーとの共同開発	32.4
材料メーカーとの共同開発	17.6
その他	21.3
n=108	

技術開発の重点	
不良低減等の品質向上関連技術	47.2
消費者ニーズに直結した新製品	46.3
省力化・省人化等の関連技術	32.4
新素材の技術開発	24.1
資源リサイクルのための技術	13.0
省エネ・公害防止関連技術	11.1
その他	2.8
n=108	

企業人規模別の技術開発平均投資額

従業員規模(人)	1～9	10～19	20～49	50～99	100～199	200～	計
平均投資額(万円/年)	-	400	607	781	2,287	4,489	598

n=110

出所：全国鋳鉄鋳物工業組合連合会「鋳鉄鋳物製造業の経営戦略化ビジョン」(平成6年11月)

技術開発資金の調達	
自己資金のみ	64.2
自己資金+民間金融機関からの借り入れ	13.8
自己資金+地方自治体の補助金	11.0
自己資金+政府系金融機関	8.3
自己資金+国の補助金+地方自治体補助金	7.3
自己資金+国の補助金	4.6
その他	2.8
n=109	

技術開発を行う上での問題点

技術者の不足	70.0
強力な開発リーダー不在	37.3
技術開発設備の不備	32.3
技術開発資金の調達	31.0
自社技術蓄積の不備	30.4
指導機関不足	13.9
技術情報入手難	10.6
市場情報入手難	10.6
n=303	

3.3.2 業界団体における取り組みの現状

上に述べたように、鋳造技術の開発を進めていく上では個別企業での取り組みには限界がある。会員間の連携と相互研鑽、大学等、ユーザー・他業界との連携を活発化させていくことが望まれ、そのための業界団体からの強力な支援が求められる。

鋳物産業の業界団体である、社団法人日本鋳造協会、社団法人日本ダイカスト協会、社団法人日本非鉄金属鋳物協会では、会員企業を中心とする技術委員会を設置して各種鋳造技術に係る研究を行うほか、技術講演会・工場見学会を実施し、主に会報を通じて会員企業に対して情報発信が行われている。そして、技術委員会での各種研究テーマについては、必要に応じて鋳造工学会との連携が図られている(表 21)。

今後の取り組みとしては、情報発信の強化(会員データベースの充実、インターネットの活用)、データの共有化(標準化テキストのコンテンツ充実)、人材育成(教育機関との連携強化など)、関連団体との連携強化(日本鋳造工学会)などが挙げられている。中でも日本鋳造工学会との連携強化については、実業分野の技術開発は業界団体、基礎分野は学会に委託することで、業界団体の負担を軽減して会員向けサービスを充実するほか、会員と学会に所属するユーザー産業など他業界との交流が進展することが期待されている(表 22)。

ただし、いずれの業界団体も会員企業減で事業予算・事務局人員が縮小、新規事業を実施する体制が不十分な状況にあり、これらの取り組みの実現は困難な状況にある。

表 21 技術開発に係る鋳物産業の業界団体での取り組みの現状

	日本鋳造協会	日本ダイカスト協会	日本非鉄金属鋳物協会
現状	<ul style="list-style-type: none"> 鉄系鋳物のプロセス、鋳型、設備、環境、廃棄物、安全衛生について、専門委員会を設置して技術情報を交換 会報を通じて最新の技術情報を発信 基礎的な分野は日本鋳造工学会に依頼又は共同開発により対応 	<ul style="list-style-type: none"> アルミニウム、亜鉛、マグネシウムについて、技術委員会を設置、基礎的な研究・調査や材料特性データなどを収集 委員会に大学や公設研など学識者も参加 最先端研究・技術開発テーマには取り組まず 会報を通じて最新の技術情報を発信 ユーザとの技術的交流はなし 	<ul style="list-style-type: none"> 銅合金、軽合金について技術委員会を設置 銅合金は鉛フリー銅合金の開発に組み、軽合金は研究 テーマについて検討中 銅、軽合金のシミュレーションについて研究会活動もあり 会報を通じて最新の技術情報を発信 ユーザとの技術的交流はなし

出所：各団体作成資料

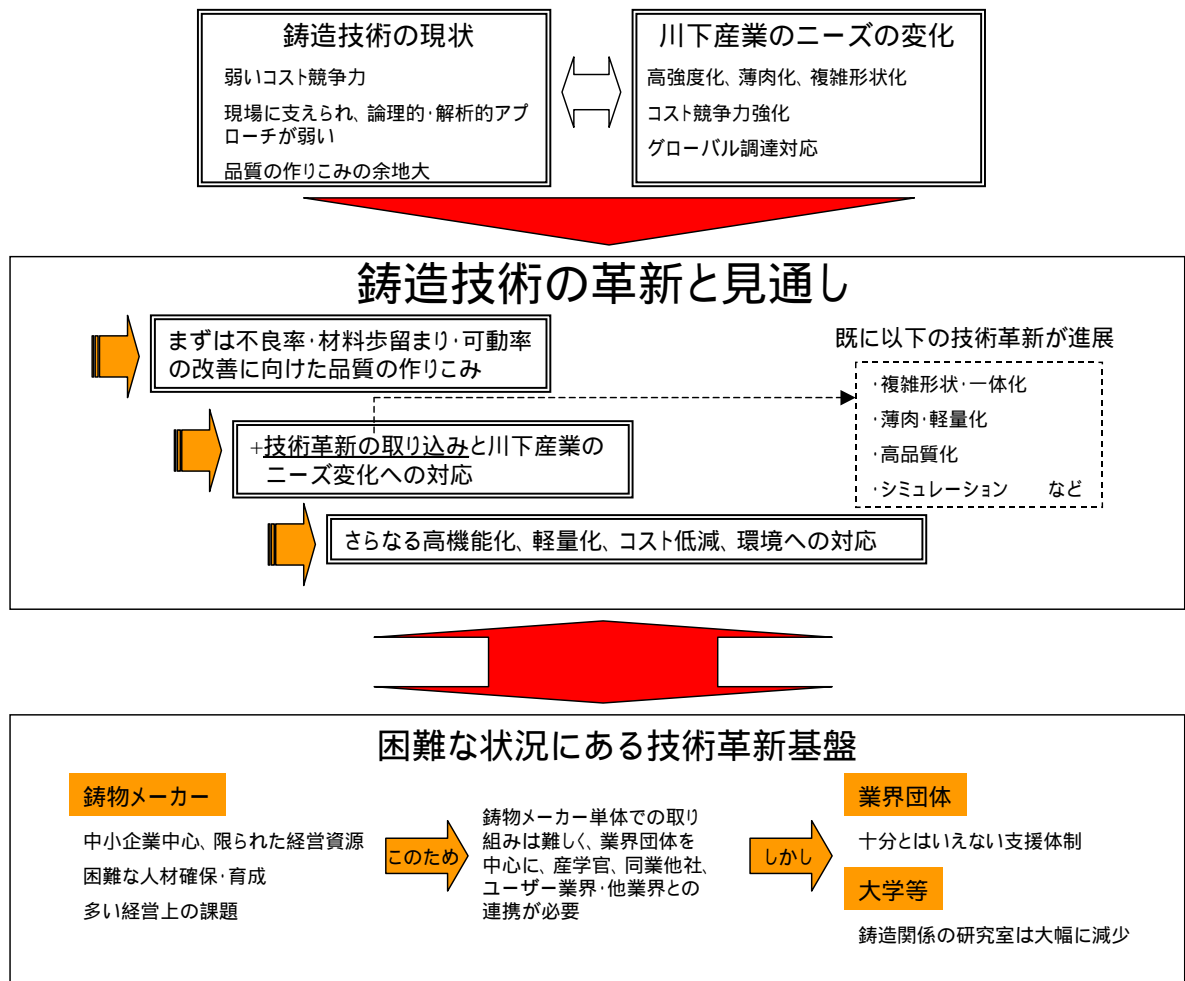
表 22 今後の鋳物産業の業界団体での取り組み

	日本鋳造協会	日本ダイカスト協会	日本非鉄金属鋳物協会
情報発信	<ul style="list-style-type: none"> 川上・川下間のネットワークの構築に役立てるため、会員情報データベースに非鉄関係のデータを追加し充実化 	<ul style="list-style-type: none"> 会報に加え、インターネットを通じたより迅速な情報伝達 	<ul style="list-style-type: none"> 会報に加え、インターネットを通じたより迅速な情報伝達
データの共有化	<ul style="list-style-type: none"> 歩留まり向上、不良率低減のための改善技術・データの相互公開を通じたデータの共有化・標準化活動を推進 	<ul style="list-style-type: none"> 既存のテキスト「ダイカストの標準」シリーズに生産性向上、不良率低減、環境改善に係る情報追加 	<ul style="list-style-type: none"> 既存のテキスト「銅合金鋳物の標準」シリーズに、鉛フリー銅合金鋳物、軽合金鋳物の作業標準化を追加
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> 中核人材育成プロジェクトに積極的に関与 各地の教育機関（高校・大学）との連携強化 ベテラン社員のノウハウ等の若手への伝承 	<ul style="list-style-type: none"> 若手ダイカスト技術者の交流会の活動強化 大学・高専等の教材用DVDの作成 	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション研究会、工場見学会の充実化
関連団体との連携	<ul style="list-style-type: none"> 日本鋳造工学会との連携強化（実業分野は団体担当、基礎分野は工学会担当） 	<ul style="list-style-type: none"> 日本鋳造工学会との連携強化（実業分野は団体担当、基礎分野は工学会担当） 	<ul style="list-style-type: none"> 日本鋳造工学会との連携強化（実業分野は団体担当、基礎分野は工学会担当） 中核人材育成プログラムへの参加 関連団体幹部や技術者同士の定期的な連絡会
その他	<ul style="list-style-type: none"> IT勉強会を全国各地で開催 付加価値の高いリサイクル製品の開発促進 工場環境改善、作業環境改善の促進 海外の主要な業界団体との交流強化 中小鋳物企業のグローバル展開支援 		<ul style="list-style-type: none"> 懇談会を通じた会員の相互連携強化

出所：各団体作成資料

4. 国際競争力強化に向けたアクションプラン策定について

これまで見てきた、鑄造産業の現状と環境変化、鑄造技術に対する川下産業のニーズの変化、及び鑄造技術の課題と方向性をまとめると、下図の通りである。



鑄造産業の国際競争力強化のためには、まず(1)新たな鑄造技術開発、が必要であり、併せて鑄造産業の経営力向上に向けた(2)経営課題の解決、に向けた取り組みが不可欠である。

なお、上記の2点の取り組みについては、中小企業主体の鑄物メーカーが単独で行うことは難しい。会員間の連携と相互研鑽に加え、材料メーカー、鑄造機械メーカーなどの他業界、さらにはユーザーも加えた川上・川下企業間のネットワーク構築によって、たとえば、ユーザーの鑄造技術に対する理解が深まり、ユーザー、鑄造メーカー双方にとってメリットの大きい製品開発につながることも期待できる。

このネットワーク構築を促進していく上で、先導役、仲介役として業界団体が果たすべ

き役割は大きい。しかし、会員企業が減少する中、業界団体の支援体制は十分とは言えないのが実情である。(3) **業界団体の機能強化**が求められる。

加えて、鑄造メーカーと大学等研究機関との連携を進めていくことが求められる((4) **産学官連携の強化**)。そのためには、前出の業界団体の機能強化のみならず、大幅に縮小している大学等における鑄造技術関連研究を強化することが必要である。

以上、(1) **新たな鑄造技術開発**、(2) **経営課題の解決**、(3) **業界団体の機能強化**、(4) **産学官連携の強化**、の4点を鑄造産業の国際競争力強化に向けたアクションプランの目標とし、以下、その詳細な内容と具体策を述べる。

4.1 新たな鑄造技術の開発

4.1.1 高機能化

鑄物が備えている機能を一層高めることについては、自動車、工作機械などユーザー産業から強く期待されている。

まず自動車では、停止時にブレーキから発生する金属音を抑えるため、ブレーキ材には高い減衰特性とブレーキ特性を兼ね備えた鑄鉄が使用されているが、最近ではますますこれらの特性を高めた鑄鉄の開発が求められている。工作機械でも、高速加工と加工精度に対するニーズが高まる中、鑄鉄の減衰特性、高剛性、高靱性が重要となっており、これらの特性を高めることが要求されている。また、スライド面の磨耗は加工精度の低下につながるため、硬い面が要求され、焼入れ性が要求されている。

また、低熱膨張鑄鉄の開発に対するニーズも強まっている。これまでも低熱膨張金属としては、例えばインバーやスーパインバー合金が著名であり、セラミックス材料にもこれらの特性を備えたものが少なくない。しかし、近年の半導体産業に進展に伴い、例えば半導体露光装置のステッパーでは、低熱膨張性の鑄鉄が多用され、その進展の一端を担っている。前述の従来材に比べて成形性に優れ、安価であり、これらの特殊鑄鉄が多用されている。また、半導体の原材料であるシリコンウエハーの研磨装置にはシリコンと熱膨張係数が同一の鑄鉄が、そしてパラボラアンテナ成形用の金型などにも低熱膨張鑄鉄が多用され、面の曲がり防止している。

さらに、医療分野では動きの自由度の高いロボットの開発が望まれているが、このロボットの部材には生体適合性の高いチタン合金の使用が最適とされている。このロボット用部材のチタン合金を、大量生産とネットシェイプ性に優れる精密鑄造技術を活用して生産する技術の確立が期待されており、現在研究開発が進められているところである。

4.1.2 軽量化

鋳物の軽量化に係る課題については、複雑形状部品の一体成形、薄肉化、アルミニウム・マグネシウム化、ダイカスト技術の向上、新材料開発等が挙げられる。各項目における具体的な開発内容を以下に述べる。

(1) 複雑形状部品の一体成形

多数の部品からなる製品を一体成形することにより、接合部や連結に際しての余分な部材を削減することが可能となる。特に、溶接等の接合方法により部品をつなぎ合わせた場合には、部品以外の量が相当なものになる。そのため、一体成形ができれば軽量化に大きく貢献できる。例えば、自動車のインスツルメンタルパネルは形状が複雑であり、現在は鉄鋼材料の30～40点からなる部品を溶接により接合して、一つの製品ができあがっている。このため、製品重量が重く、また、多数の部品の集合体であることより、一つの製品を製造するのに手間とコストが係っている。

これをアルミニウム合金等の軽量金属のダイカストで製造することにより、部品点数を1～2個に減らすことが可能となる。また、一つの製品として一体成形することにより、接合部が減らせる、あるいはなくせるため、形状もシンプル化できる。これにより、製品製造の時間及びコストが著しく低減できる。強度については、はり等を鋳造方案で設計しておくことにより、十分に保証することが可能である。実際に現在、高級乗用車においては、アルミニウム合金よりもさらに軽量であるマグネシウム合金を用いて、ダイカストによりインスツルメンタルパネルの一体成形がなされ始めている。

このように複雑形状部品は、従来溶接等で造り込まれているが、強度を十分に保証できる設計を行った上で、一体成形、他の構成部品との溶接等の接合が可能な分割成形、あるいは鋳ぐるみ成形等が可能な鋳造プロセスを開発することにより可能となる。

特に、軽量金属においてはダイカストプロセスやセミソリッドプロセスの一層の技術開発が、生産性、鋳造性の観点からも重要である。

一方、ダイカストが難しいとされる鋳鉄系材料においては、鋳造技術の高度化により、プロセスでのつくりこみを可能にする必要がある。このためには、主鋳型・中子鋳型等の成形精度向上やこれら鋳型の組み合わせ精度向上などの鋳型成形技術、湯流れ性等に影響する鋳造方案技術や溶湯処理技術の高度化が必要である。

(2) 薄肉化

鋳鉄系材料においては薄肉化すると、溶湯が凝固する時の冷却速度が速くなり一般的にはチル化し易くなる。また、湯流れ性も悪くなるため、充填不良や鋳造欠陥が発

生しやすくなる。そのため、鑄型の熱的条件を制御できる技術や鑄造方案技術の開発が必要となる。一方、薄肉化すると構造体としての強度が低下するため、材料自体の高強度化が必要となる。

従来の普通鑄鉄(FC)についてはあまり開発要素が少ないと考えられるが、球状黒鉛鑄鉄(FCD)や黒鉛形状のアスペクト比を小さくしたバーミキュラー鑄鉄(CV)は、黒鉛形状制御や合金化により、更なる特性の飛躍的向上が望める。このためには、薄肉・高強度化と鑄造性を両立させ、安定して製造するための信頼性の高い鑄造技術開発が必要である。また、鑄型内の雰囲気減圧して鑄造するVプロセスはすでに量産技術として実用化されているが、薄肉鑄物の製造には有効な技術であり更なる技術向上が期待される。また、その技術のロードマップとして新たな真空鑄造プロセスや加圧鑄造プロセス等の研究開発が大いに期待される。

アルミニウム合金やマグネシウム合金等の軽量金属については、ダイカストプロセスとセミソリッドプロセスが薄肉化には必須である。これらについては、アルミニウム・マグネシウム化のところで述べる。

(3) アルミニウム・マグネシウム化

製品の軽量化をただちに実行するには、使用する材料を軽量金属に置き換えることが手っ取り早い。しかし、これらの材料は、鉄系材料に比べて剛性率や強度が低いいため、同程度の強度を得るために、厚肉化する必要が生じる。また、厚肉化することは重量やかさの増加につながる。

このため、アルミニウム合金やマグネシウム合金等の軽量金属を使用するにあたっては、その組織を微細化することにより強度を向上させたり、固液共存状態で成形加工することにより、液体状態に固体が分散した状態で加工し、固体成分に加工を加えることで、固体に対して鍛造効果を生じさせ、強度を向上させる可能性がある。前者のプロセスはダイカストプロセスに代表され、後者のプロセスはセミソリッドプロセスに代表される。

セミソリッドプロセスについては、固液共存状態で成形加工を行うため、鑄造欠陥発生の主原因である、液体と固体における溶解度差で放出するガスによるブローホールやピンホール等のガス欠陥、及び液体から固体への相変態に伴う凝固収縮による引け欠陥を著しく低減でき、高品質な製品の製造に貢献できる。また、金型に加圧成形されるため、ダイカストと同様、急冷効果が得られ、組織微細化による高強度化も期待される。

この他、特に軽量金属では、組織微細化による高強度化が必要である。組織微細化には急冷凝固による方法が最も一般的であるが、得られる製品の肉厚に大きな制限を受ける。このため、ダイカストプロセスやセミソリッドプロセスでの急冷に留まって

いる。

厚肉鋳物の組織を微細化するには、溶湯に微細化剤を添加して、遅い凝固速度でも組織微細化できる方法があり、アルミニウム合金への Ti・B 合金の添加やその他の微細化剤の添加が行われている。しかし、この方法では、金属中にセラミックス状の微細化剤が含まれてしまい、材料のリサイクル性が悪くなること等の問題を生じる。

この他の組織微細化方法として、凝固時に振動を与えることが有効である。このプロセスは何ら添加物もなく、また、急冷も必要ない。単に、凝固中の金属材料に振動を付与することにより、晶出してくる結晶を小さく分断し、最終的な凝固組織を微細化するものである。振動の付与の仕方には、超音波、機械的振動、電磁振動など種々のプロセスがあるものの、実用化の点では未詳の点が多い。特に、マグネシウム合金による製品化においては、不動体相の形成が見込まれるアルミニウム合金に対して耐食性等が劣ることから、表面処理による耐食性向上技術や、部品化するための接合技術等の一体的な開発も重要である。しかし、金属材料の種類、製品形状、鋳型等の制約を受けない点、また、広範な応用展開性の観点から、早急なる実用化のための技術開発が必要である。

(4) ダイカスト技術の向上

アルミニウム合金やマグネシウム合金等の軽量金属は、一般に溶湯金属を高速高压で金型に鋳造するダイカストプロセスにより製品が造られている。ダイカストプロセスの利点は、生産性が高く、量産品に対してはコスト低減効果が期待される。また、金型に急速に注入されて凝固するため、急冷組織となり、組織が微細化し、強度の増加が期待される。欠点は、高速で金型に注入されるため、溶湯金属が攪乱流や噴霧状になって金型内に充填され、金型キャビティ内の空気や離型剤・潤滑剤からの分解ガスを巻き込む。これにより、製品内にブローホールやポロシティと言った鋳造欠陥を多数含むこととなり、強度や伸び等の特性のばらつく原因になる。これらの欠点をなくすことにより、ダイカスト製品の品質は飛躍的に信頼性の高いものとなる。

そのため、空気やガスの巻き込みを防止する工法として、現在、金型内の充填速度を遅くした低速充填ダイカスト、キャビティ内の雰囲気ガスを減らした減圧あるいは真空・高真空ダイカスト、酸素で置換してダイカストするプロセス等が開発されている。これらキャビティ内雰囲気の制御技術の他にも、金型温度制御技術、溶湯清浄化技術、潤滑・離型剤技術等の技術開発が進められているが、技術的に未解明の分野が多々ある。よって、今後、製品品質を高め信頼性を向上させるためのダイカスト技術の開発がアルミニウム合金やマグネシウム合金等の軽量金属においては最も重要である。また、高品質な製品を得るプロセスとして上述したセミソリッドプロセスがある。これも、金型への加圧成形する点で、ダイカストプロセスの延長として捕らえること

ができる。

(5) 新材料開発

近年、省資源、省エネルギー、地球環境保全の観点から、産業・社会活動のすべてにおいて各種構成部材の軽量化が強く望まれている。軽量化にあたっての鋳物の早急の課題は、以上述べてきたように複雑形状部品の一体化、薄肉化、軽量合金の強度部材への適用のための技術開発である。

しかし、近い将来の宇宙開発、航空機、自動車、ロボット、家電、IT等の新しい産業からは、より超軽量で強度・機能特性に優れた新材料の開発が求められる。そのため、鋳造分野においても、従来、鋳造品の欠陥と考えられていた気泡を積極的に活用した種々の発泡金属の創製に関する研究が行われており、今後の鋳造技術の新たな展開として大いに期待される。

4.1.3 コスト低減

今後、鋳造業界が進めるコスト低減の方法としては、大きく分けて、(1) 既存の生産活動の改善、(2) 新たな鋳造法の構築、(3) ITの利用、(4) 省エネ技術、の4点が考えられる。

(1) 既存の生産活動の改善によるコスト低減

a 見つけづらい改善項目

既存の生産活動の改善によるコスト改善は、生産現場のなかで恒常的に行われている。しかしながら、現場でのコスト削減は長年に亘って続けられてきたため、今日では改善項目が見つけづらくなってしまっている。

非鉄のアルミ鋳物に関しては、「手込め造型」から「低圧鋳造法」に、「低圧鋳造法」から「ダイカスト鋳造法」へ、鋳造法の転換が効率的に行われたために、より多品種への転換適応が行われ、コストの低減が進んできた。また、溶解炉も効率の良いバーナーを使用した炉が開発され、旧炉の代替えが始まった。

鉄系の量産鋳物は、生型砂による生産性の良さにより、低コストでの生産形態が定着したが、歩留まりや不良率の悪さが欠点となっており、この点での改善が必要である。ヨーロッパの状況を見ると、西欧に集中していた量産鋳物造りが、東欧やトルコに急激に移転されている。年産5~10万トンクラスの鋳造企業が、トルコや東欧に続出している。これらの企業の顧客は西欧のメーカーであるので、グローバルな競争が起こり、国際的な水平分業が進展している。ヨーロッパだけの変化ではなく、東アジア地区でも、量産鋳物については同様な水平展開が起こるであろう。その為、国内の量産鋳造企業は従来の技術体系を破壊するか、技術体系の枠をはみ出した改善が必要である。前述のように、生型の自動

造型機による製造は生産性が良いが、鑄型強度が低いため不良率と歩留まりが悪い。その為、従来技術の考え方ではこの問題を打開できず、新たな理論と考え方の開発が急務である。このことは、後に後述することとする。

非量産鑄物の分野については、鑄物業界の中でも特に生産活動の改善によるコスト低減の効果が見出しにくく、業界としての閉塞感を指摘する意見も見られる。非量産の鑄物造りは、過去「焼き型」からノーベークの「自硬性鑄型」に進み、その後無機から有機自硬性鑄型に展開し、生産性・コスト・品質共に、顕著な改善が見られた。後に、塗型の「ぶっ掛け」技術が普及し、作業の簡易化と生産性向上、コスト低減が進んだ。そこで、既存の生産体系におけるコストダウンがひと段落することとなり、その後の目覚しい進展は途絶えてしまっている。

b 非量産鑄物のコスト低減に向けて 企業ドメインの**明確化**取り方

非量産の鑄物造りは、工場内の運搬作業のコストに占める比率が高く、運搬の合理化が出来るとコスト低減が可能となる。その為、作業効率の良いレイアウトの新工場が出来ると、生産性は倍近くにも増し、コスト競争力が向上する。しかし、新工場建設は投資額が高額であることや、分割投資が困難な問題がある。

このため、新たな工場建設が進まないという相反した問題が生ずることとなる。その為にも各々の鑄造企業が成長し、新たな工場建設の出来る体力を蓄積することが必要である。新たな工場の中で運搬作業を合理化するためには、小物鑄造の量産工場に学び、量産品のラインの考え方による非量産生産レイアウトの検討と展開が必要である。また、投資額を下げるためには、各企業において鑄造品への特化が必要で、特定のサイズの特定の鑄造品は当社の得意とするところであるとの、ドメインの取り方が重要になる。

一例としては、ヨーロッパにおいて風力発電用鑄造品のみを商品とし、年産5万トンを製造する企業がある。このように、各々の企業がドメインを明確に決めることにより、コアコンピタンスに経営資源を集中できるようになり、その領域での強さを構築することが可能となる。このような動きは、投資額を抑えた中でその仕事への重点投資ができ、この重点投資により生産性が向上し、かつ技術をコアコンピタンスに集中できる利点がある。また、明確な目的のための技術者養成が可能となり、企業の差別化が進むことになる。併せてコストダウンが進むことは言うまでもない。

c 非量産鑄物のコスト低減に向けて 消失模型鑄造法の可能性

鑄物造りの新たな動きの一例として、有機自硬性鑄型を使用した手込みの消失模型鑄造法が、適応の幅を広げつつある。この鑄造法の欠点は模型の燃えカスによる鑄造欠陥と、一個の鑄物を製作するのに一個の模型を必要とする点である。消失模型鑄造法による量産鑄物においては、常に模型を造り続けなければならない。このため、一個の鑄物に常に一

個の模型コストが加わることになる。よって、消失模型鑄造法による量産品は、従来の木型法の量産品にはかなわなかった。

しかし、最近、品質も向上し CAD・CAM を使用することにより、模型をデータベースで扱えるようになった。すなわち、模型造りがデータ処理による NC 加工により、製作できるようになった。このため、消失模型鑄造法は量産にも適応できるように進歩してきた。消失模型鑄造法は発泡スチレンの模型を鑄型の中に埋め込むのみで、木型法と異なり抜き取らないため、造形の生産性が向上する。消失模型鑄造法は、このような意味で新たな可能性を示している。

d 非量産鑄物のコスト低減に向けて パワーアシスト技術への**応用注目**

日本において鑄物工場は古くから男の職場であり、現在でも力仕事が多いのが現状である。量産鑄物工場においては、堰折り機やバリ取り機、自動注湯機などの開発により力仕事から多少開放されるようになって来ているとは言え、まだまだ不十分である。そして非量産鑄物においては、人力に頼る部分が多く、腰痛や白蟻病など多くの問題を抱えている。

こうした中、近年、制御工学やロボット工学を応用したパワーアシスト技術が脚光を浴びている。これらの技術を応用して、より少ない力で、より安全に作業ができるようになることが、安全上、ひいてはコスト低減上重要な課題である。特に、就労年齢の上昇が考えられる今後については重要な課題である。

(2) 新たな鑄造法の構築によるコスト低減

鑄造は液相から固相への相転移技術であるため、複雑形状の加工には最適であり、自由度が取れる利点がある。しかしながら、相転移を利用した加工技術であるだけに変化の要素が多く、品質の再現性・鑄造の精度・不良率等に難点がある。そのため、新たな鑄造技術の出現が待望されている。

高温な液相から加工が始まる技術であるため、セミソリッド鑄造法を始めとする低温加工技術が問題解決の一項目であると考えられる。液相加工の特性を引き出すための鑄型技術は特に重要であり、新たな技術の創世が望まれる。砂の骨材としては、物理特性に優れかつ形状の良い人工砂による鑄型造りが始まった。今後、コストとその効果をより明確にすることにより、普及が進むと思われる。

前項でも述べたように、量産鑄物は生型の自動造型が主流であるが、新たな鑄型構成を考える時期になりつつある。鑄鉄の非量産鑄物は有機の自硬性鑄型に頼っているが、鑄鋼品は酸硬化の硫黄(S)の欠陥が無いアルカリフェノール樹脂に変わりつつある。しかしながら、アルカリフェノール樹脂の鑄型は「なりよ性」が大きく、引け欠陥を増大させる問題がある。S 欠陥が無く、「なりよ性」がより少ない鑄型バインダーの開発が望まれている。

精密鑄造はセラミック鑄型を用いることにより、高温状態のままバックアップ無しで注湯するが、より大型の鑄造品へ対応するには、セラミック鑄型の強度アップとコストダウンが必要である。

歩留まり向上と品質向上を目指した「プレス鑄造法」は新たな概念の鑄造法であるが、加工の自由度が制約される。よって、この問題が解決すれば、適応範囲が拡大し、広く普及するものと考えられる。

(3) IT 技術の利用によるコスト低減

a-業界として急務のITの有効利用

近年急速に発展した「IT」と「ものづくり技術」の出会いは、「ものづくり」を劇的に変革させる可能性があるものであることが見えてきた。ITはあくまでも「ものづくり」の補完技術である。

このITは適応の可能性が非常に広く、使い方によってはプラスにもマイナスにも、瞬時に変わってしまう、捉えどころの無さが特徴である。このことは、ITを何の目的でどのように使用するのかという明確な意図が、必要であることを意味している。

既に様々な分野で生産・技術・事務・情報管理の補助技術として、ITが利用されている。これをうまく活用すれば鑄造業界には大いなる変革の可能性があるが、これに失敗すると、一層取り残された産業に落ち込む可能性がある。その為、ITの有効利用は業界として急務であり、ここから新たな展開を意図して仕組んでいくことが、技術閉塞感のある鑄造業界の変革には重要な切り口となる。

b-a 3次元ソリッドデータの活用

近年3次元ソリッドデータによるCAD・CAMは、技術的に活用できるレベルまで発達した。ITの活用により、過去には図面での情報伝達が主体であったものが、データベースによる伝達へと変わった。現在では、このデータベースを鑄造の初工程である模型作りに利用し始めた。ラビット・プロトタイピング法や消失模型造りはこの技術が有効に使用できるため、大変な合理化によるコストダウンと製作時間の短縮を実現した。技術の大綱は出来上がったので、この技術を如何にコストリーに使用するのか、また多くの企業に普及できるのかが課題である。

現在では、この3次元ソリッドデータによる製品情報の伝達が定着し始め、この技術の幅広い利用が鑄造業者のみならず、顧客の生産工程でも有効に使われ始めた。しかしながら、今後このデータ作成をどの業界が担当するのかにより、ビジネスの広がりには差が出ると思われる。主導権を持ちデータ作りをすれば、業界の影響度は大きくなり、受身でデータを受領し仕事をこなすのならば、新たな展開は狭められる。このときの主導権をとるキーポイントは、コスト・データの品質・製作スピードの3本柱であることは言うまでも

ない。

e-b 生産管理における IT の活用

生産管理における IT の活用のポイントは、生産の工程管理による原価・納期管理・事前メンテナンスの展開を支える設備維持情報にある。

製品の原価を知ることにより、企業の努力の方向が明確になる。原価はその企業の活動状況により時々刻々変動するため、常に適正な原価を把握できるような維持管理が重要となる。顧客の信頼を得るためには、納期管理が品質に続いて重要な項目である。約束納期が守れるか否かが、受注価格にも重要な影響をあたえる。

生産量の増加にともなって、生産品の納期変更はより複雑になり、労力がかかる仕事となるが、IT の利用によりこの労苦から開放され、前向きに納期調整できるようになる。設備状況のデータ化はもれの無い TPM を推進するのに有効であり、修理費や補給部品費の管理が進み、安全面の向上のみならず、コストの削減にも貢献できる。

d-c 情報管理における IT の活用

情報管理における IT の活用は、生産技術情報の蓄積・検索技術の進展により、技術のより正確な蓄積を可能とする。この活用によって、適切な鑄造法案の決定が可能となり、不良の削減、納期の厳守、品質の向上が進むことになる。

このことは、コストの削減にもつながり、多くの効果を発揮する。また、別な面での活用は、事業継承者や若手技術者の育成において多大な効果を発揮する。鑄造技術は、多分野の技術の集合体であるため、他の産業と異なり、新たな技術者や経営者の養成には長期に亘る努力と忍耐が必要である。知識のレベルが向上するまでは、養成中の人は闇の中をさまようこととなる。あるレベルに到達したとき、突然世界が開け技術の全体像が把握でき、技術の本質が理解できる。このような性格を持つ技術なので、従来の教育システムでは、若手の養成が困難である。その困難さを打開する方法として、鑄造技術を集積したシステムの運用が出来れば、短期間で養成効果を得ることが出来る。

加えて、この技術集積の推進を若手の経営者・技術者が行くと、その推進を行っている者が急速に育つと同時に、鑄造に対する自信が得られて、本人の鑄造に対する愛着を得ることが出来る。このように展開できれば、鑄造業のおおきな問題は解決できる。この可能性が大いにあるために、このシステムの開発と普及が重要である。

事務管理における IT の活用は労務管理・財務管理・外注管理・営業管理など、すでに多く活用されているため、各企業のニーズにより使用を展開できる状況にあるので、あえてここで取り上げなくとも良いものと思われる。

(4) 省エネ技術によるコスト削減

省エネ技術は、非鉄と鉄で対応が異なる。非鉄のうち、アルミは溶解温度が低いために、燃焼加熱による溶解が主流である。そのため、最近では燃焼効率の良い、バーナーが普及し始めた。この高効率バーナーによる溶解炉の操業実績の例では、従来のバーナーとの比較において、エネルギーコストが半分以上になるという報告もある。また、アルミの鑄造領域ではセミソリッド技術の有効性が報告されており、品質の向上とコスト低減の可能性が論じられている。

鉄系の溶解は、現在はキュボラ溶解と誘導炉溶解が主流だが、すでに技術は進み、改良の余地は少ないといえる。しかし、材料の不純物問題や材料への水や油の付着問題などがあり、誘導炉の溶解は困難に直面している。現在、この問題解決が重要な課題となっている。

このように、鑄造業はエネルギーを多量に消費する産業だが、新たな省エネルギー対策には明るい光が見えない。加えて、作業環境の過酷な状況を考慮すると、作業環境改善のための集塵システムや空調システムの導入が急がれる。その為に、ますますエネルギーを必要とする産業になると考えられる。よって、この作業環境改善のための新たな省エネ活動が必要となろう。

(5) 終わりに

以上のように4項目に亘り鑄造業のコスト削減の可能性を考察したが、その中で、どうしても対応・展開を急がれるものは「ITの活用」であろう。この補完技術を使い切ることが、今の情報化社会の特徴である。技術の先行きへの閉塞感を感じる環境下において、ITの活用という明確な切り口が提示されていることはとても幸運なことである。

まずは、この項目からチャレンジし、成果を確認しながら前進していくべきである。この切り口で技術が体系付けられ、品質が向上し、生産性が伸びていけば、コストは結果として下がる。ITの活用が出来れば、次はそれを利用して日本にネットワークを構築することが重要である。

4.1.4 環境への対応

温暖化問題や熱帯林の減少、砂漠化、酸性雨、海洋汚染など、いわゆる地球的規模の環境問題が国際的な課題となっている。こうした中、CO₂排出量の削減をはじめ持続的発展の可能な社会の実現に向けた環境保全の取り組みは、今日における企業の重要な責務となっている。

こうした状況の下、資源、エネルギーを多用する鑄造産業は、環境対策に向けて一層の改善努力が求められている。このため、多くの鑄物メーカーで、溶解、造型、加工などの

各製造段階における省資源・省エネ化および工場廃棄物のリサイクルに向けた取り組みが進められている。もともと鑄造産業はリサイクル地金を多用することから、溶解工程で発生するCO₂は鉄鋼業などと比較して少なく、塑性加工品を鑄造品にすることで、製造時に発生するCO₂量を大幅に低減できることが期待される。

ただし、近年では鋼板として高張力鋼板が多用されていることなどから、鑄鉄にとって品質に悪影響を与える有害な不純物元素がスクラップ材に多く混入している例が多い。同様に、アルミニウム二次合金、銅合金鑄物についても、ダイカスト、鑄造品に悪影響を及ぼす不純物元素の蓄積の可能性が指摘されている。銅合金鑄物については、使用する銅スクラップに含まれる不純物元素の増加が懸念されている。給水装置として多用されている銅合金鑄物については、飲料水への鉛の溶出に対する規制が強まっていることから、使用する銅スクラップに含まれる鉛をはじめとする不純物元素の増加が懸念されている。さらに、鑄物生産の鑄型として多用されている砂型に使用されている鑄物砂についても、環境保全とコストダウンのために一層のリサイクル性が追及されるとともに、鑄物の複雑化・薄肉化に対応しうる高性能な人口砂の開発が望まれている。

なお、給水装置として多用されている銅合金鑄物については、飲料水への鉛の溶出に対する規制が強まっていることから、鉛を除去する対策を行うことは前提である。

このため、以下では鉄、アルミニウム、銅のスクラップからの不純物元素等の除去技術、及び人口砂の開発を含む新たな砂型造型技術の開発について論じることとする。

(1) 鑄鉄溶湯からの不純物元素（トランプエレメント）の除去・無害化技術

a 鉄スクラップの動向

鉄は現在でも、人類にとって文明の維持継続に欠かせない材料である。しかし、永久的と思われてきたこの鉄の再生（リサイクル性）に、近年説得力のある疑問が提言されつつある。その提言とは、トランプエレメント（循環性元素）の問題である。すなわち、鉄スクラップの57.7%を消費する電炉における、銅（Cu）、クロム（Cr）、ニッケル（Ni）、錫（Sn）などの、除去不可能な元素の問題である。粗鋼に占める電炉鋼の割合は、今後益々増加すると思われるため、これらのトランプエレメントの増加は粗鋼にとって、非常に深刻な問題となりつつある。

鑄鉄は、鉄スクラップ総需要5,160万トンのうち、618万トン（12%）を使用している。電炉で問題となるトランプエレメント（Cu、Cr、Ni、Snなど）は、鑄鉄においては強度を上昇させるために添加する元素である。よって、電炉との共存のなかで、鉄のリサイクル問題を解決できる可能性が高い。

図23に、東京新断プレスの高値における価格動向を示す。鉄スクラップの価格は、2002年まで25年間に渡り下がり続けていたことが分かる。この、鉄スクラップの価格の低下が、

鑄造業界にとっては救いの神であったことは言うまでもない。しかしながら、2003年から2005年にかけて、中国の需要等におされて急激な価格上昇が起こっている。

鉄スクラップのトランプエレメント問題の回避、鉄源の世界的タイト感と価格の上昇、鉄スクラップ輸出の増加など、これらの世界環境下において、鉄スクラップをいかに有効に利用するかという命題は、鑄造業界において最も重要な課題であり、かつ国家戦略的問題でもある。特に、鉄スクラップの中でも上級スクラップに属する自動車の板金プレスを、どのようにうまく使い切ることが日本の鑄造業の生死を握る重要な鍵となる。これらの上級スクラップが価格や品質問題から輸出に回るようなことがあれば、日本の鑄造業は海外との競争において品質の面で生き残れなくなる。この事が、しいては鉄スクラップのトランプエレメント問題の回避を不可能とってしまう可能性を有している。

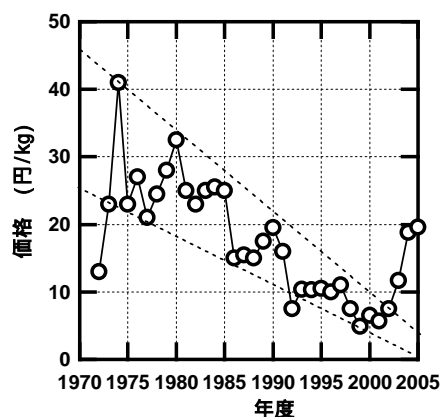


図 23 東京新断プレスの高値における価格動向

b 板金プレス屑の問題点

トランプエレメントの増加の背景には、高炉メーカーによる表面処理鋼板、高張力鋼板の生産量の増加がある。

1975年から2000年近くまで自動車用鋼板は、融雪剤による塩害対策のための亜鉛メッキ、ガソリタンクに使用される鉛 - 錫合金のターンメッキ、耐熱性が要求される排気系部品に用いられるアルミニウムメッキなど、表面処理を施した鋼板への転換が進んできた。また、自動車用鋼板以外の溶解材料においても、加工性を良くするために鋼材や銅に鉛などが添加されることが多かった。図 24に見るように、1987年頃には表面処理鋼板が50%を越えるようになったことが分かる。しかし表面処理鋼板に主に使われる亜鉛メッキには、鉛 (Pb) が含まれていることが多く、鑄鉄の大物製品では鉛が強度低下の原因となる。鋼材や銅に含まれる鉛についても同様である。また、亜鉛 (Zn) は鑄鉄の溶解炉の炉材に浸透して、湯漏れ警報を引き起こす原因となる。

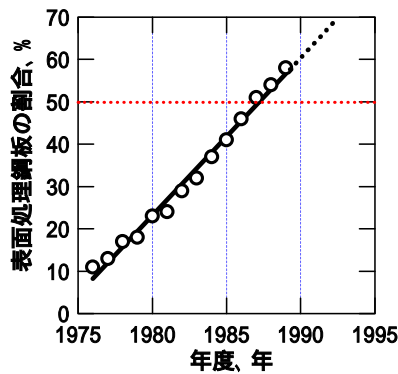


図 24 新日鉄における亜鉛メッキ鋼板の動向

さらに、1980 年以後から鋼板メーカーは、高張力鋼板の開発と生産に主力を移してきた。1995 年以降は、ハイテン材の最大の問題であった成型性についても徐々にではあるが問題解決が進んだため、第 2 段階の増加を示して今日に至っている。2005 年時点では、国内生産自動車のハイテン材使用比率は 50%を上回っている（図 25）。ハイテン材には、種々の微量元素が添加されており、その中でも特に硼素（B）が高強度球状黒鉛鋳鉄では硬度が下がる原因となる。

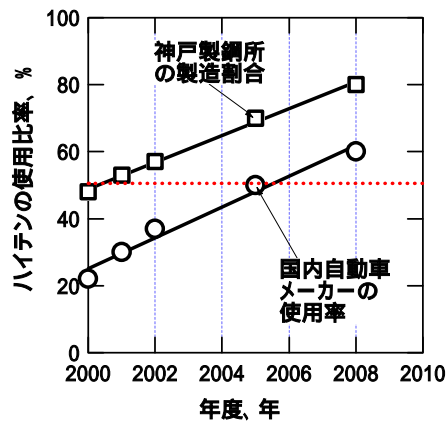


図 25 神戸製鋼が予測するハイテン材の使用比率予測

表面処理鋼板の時も、また高張力鋼板時もそうであるが、概ねその鋼板の生産量が 50%を越え始めると問題が表面化することが多い。よって、鋳鉄のトランプ元素である Pb、Zn、B、Mn 問題は、差し迫った問題であるといえる。前にも述べたが、電炉のトランプ元素（Cu、Cr、Ni、Sn など）は、鋳鉄ではトランプ元素ではない。逆に鋳鉄のトランプ元素（Pb、Zn、B、Mn）は、電炉ではトランプ元素ではない。よって、鋳鉄のトランプ元素を除去する技術を開発することは、鉄スクラップ全体のリサイクル性を高めることにつながる物と考えられる。また、日本の鋳造業界において

も、トランプ元素の問題は品質問題と深く関係しており、海外との競争において避けては通れない問題である。

c 不純物元素（トランプ元素）の除去→無害化の方法

不純物元素をの除去する方法、不純物元素が存在していても品質への悪影響を及ぼさなくする→無害化の方法を学問的に考えると、以下の3項目に集約される。

蒸発による除去もしくは無害化（亜鉛・鉛など沸点の低い物質）

熱力学的・化学反的除去もしくは無害化（ボロン・Mnなど酸化物をつくる物質）

相反する働きをする元素による無害化

これらの除去技術とは別に、不純物元素を無害化する方法も考えられる。岩手大学工学部では、片状黒鉛鋳鉄のMnとレアース(RE)の比を調整することにより、ハイテンなどの高Mn材が使用できる技術を開発している。また、ボロンについては、そのメカニズムが十分解明されておらず、ボロンを無害化する元素の開発が期待される。

いずれにしても、このような方法で不純物の除去は可能であるが、炉前で、もっと短時間に、もっと効率よく除去できる技術の開発が望まれる。また、ノロの処理の問題も重要な課題である。具体的には、パブリング・減圧・攪拌機能を有したキュボラの脱硫処理装置のような物により、不純物を短時間で除去し、かつノロと溶湯を簡単に分離する技術を開発することが望まれる。

(2) アルミニウム合金の不純物除去技術

a 背景

アルミニウム及びアルミニウム合金は軽量の構造用部材として鋳物やダイカストでは、自動車・二輪用を始めてとして、家電・OA機器、機械用の部品として用いられている。これらの製品には、新地金、二次合金地金及び社内リターン材が使用されている。特にアルミニウム合金に含まれる不純物元素量が特性に大きく影響する圧延、鍛造用部品は新地金の使用割合が高く、鋳造、特にダイカストでは二次合金地金の使用比率が高い。

図26に過去10年間のアルミニウム製品の総需要とアルミニウム二次合金需要の推移を示す⁵。アルミニウム合金製品の総生産量は過去10年間おおよそ400万トンで推移しているが、2001年度から緩やかに増加している。また、2次合金地金の生産量は、同様に150万トン程度で推移しているが、2001年度から微増傾向にある。2004年でのアルミニウム合金の製品生産量は435.4万トンであり、その中で2次合金地金は167.5万トンで39%を占める。2005年度は40%と見込まれている。

図27は2次合金地金に占める鋳物、ダイカスト、圧延材の割合を示す¹⁾。2次合金地金

⁵日本アルミニウム合金協会調べ(2006.3)

の需要は伸びているが、2004年度の鋳物とダイカストは123万トンで、全体の74%であり、
 鋳造品の製造に占めるリサイクルの2次合金地金の使用比率が高いことを示しており、今
 後の生産量の拡大に伴い、この割合はさらに増加する傾向にある。また、図26と併せて見
 ると、圧延材や鍛造材の2次合金地金の使用比率が低く、新地金の使用比率が極端に高い
 ことが理解できる。

図28は鋳物とダイカストの生産量とそれぞれの使用する2次合金地金量を示す。統計
 基準が年(製品)と年度(2次合金地金)と多少ずれている。過去10年間、アルミニウム合金
 鋳物の生産量は約40万トンで、ほぼ一定であるが、ダイカストは2001年から急増してお
 り、2005年は102万トンと推定されている。2004年でのそれぞれの2次合金比率は、鋳物
 で78%、ダイカストで98%であり、ダイカストのリサイクル2次合金の使用比率が極端に
 高い値となっている。

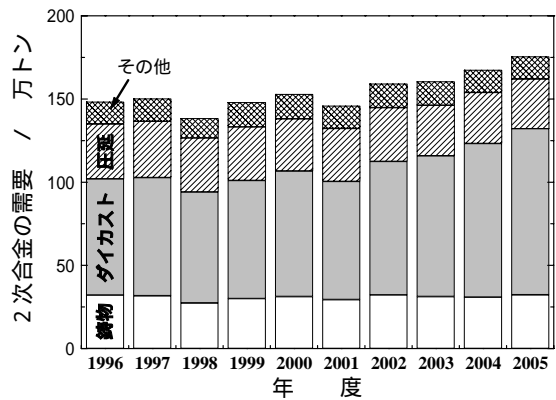
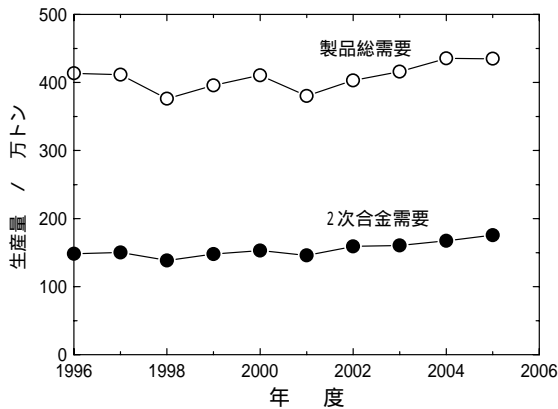


図26 アルミニウム合金製品と2次合金地金の
 需要の推移

図27 2次合金の業種別の需要

* 製品総需要: 日本アルミニウム協会。2002年1月以降、アルミニウム関連需要統計が廃止され
 たため、「その他」は推定。2005年度は実績からの推定値(日本アルミニウム合金協会)

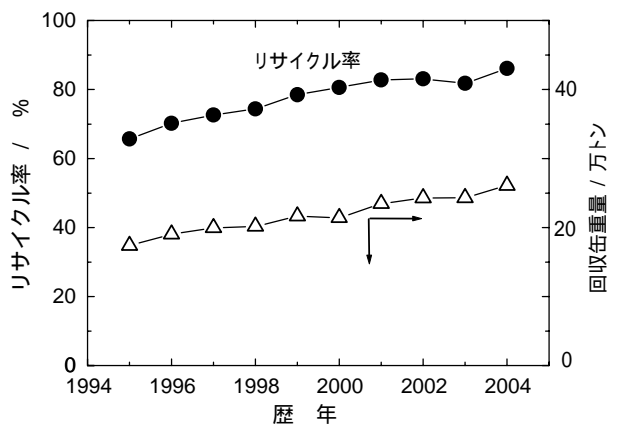
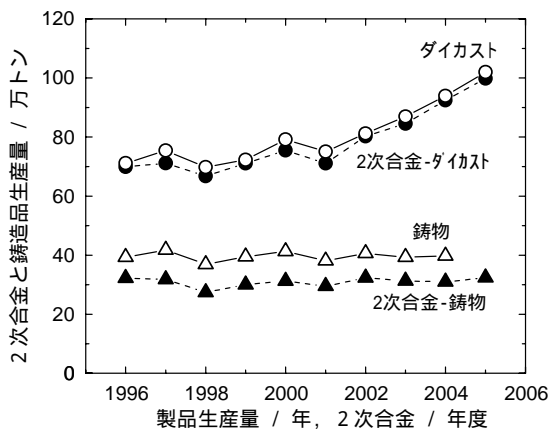


図28 鋳造品の生産量と2次合金使用量の推移

図29 アルミニウム缶のリサイクル率の推移

⁶ ダイカスト, No.123 (2006), 日本ダイカスト協会

b 鋳物・ダイカスト用アルミニウム合金への不純物の混入

アルミニウム合金の新地金の不純物は、従来に比べ、原料の選鉱法や製錬法の確立、化学分析法の精度向上によって鋳造用材料として使用するほとんどの場合、不純物元素は問題にならない。製錬や溶解過程で含有する可能性があるものとして、大気や水分との反応によって混入する水素、酸化物(酸化皮膜と塊状酸化物)及び窒化物がある。これらの不純物は、鋳造する際の再溶解の際での脱ガスや処理や徐滓処理(介在物除去)によって除去が可能である。

脱ガス処理や徐滓処理には、従来はこれらの不純物の除去効果が大きい塩化物やフッ化物系のフラックスが使用されていた。しかし、1990年代の後半にダイオキシン等の有機塩素系化合物による環境問題がクローズアップされ、人体や生態系に与える影響が大きいため、その使用は抑えられている。

不純物が特に問題となるのは、リサイクルによる2次合金地金の製造工程と、スクラップや社内リターン材を使用して溶解・鋳造する場合である。津村⁷はアルミニウム二次合金地金中の不純物を表23のように分類した。

これらの不純物の種類としては、30年前とほとんど変わっていないが、最近のリサイクルの進展に伴い、表23の分類Aでは、Liの混入が問題として生じている。この中では、特に分類Bの素材環境が変化している。アルミニウム缶のリサイクル率は2004年⁸で86.1%にまで増加している(図29)が、回収した全てが飲料缶等には再利用されず、約半分⁹は鋳物・ダイカスト用二次合金として再生されている。不純物では、例えば、缶の再溶解の際に、缶表面に印刷した塗膜に含まれるチタンが再溶解の際に混入し、溶湯中のチタン量増加の原因となる。

⁷津村善重: アルミニウム合金, 金属通信社, (1976), 271

⁸アルミ缶リサイクル協会-ウェブサイト, <http://www.alumi-can.or.jp/>

⁹例えば, 大西忠一: 軽金属, 46(1996), 525

表 23 アルミニウム二次合金地金中の不純物とその分類¹⁰

分類	混入経路	不純物の種類
A	アルミニウム屑 (合金屑、新地金、ベースメタルを含む)	Li, Cu, Si, Mg, Zn, Fe, Mn, Ni, Ti, その他 JIS 規格に規定される元素, Bi, Pb(A2011), Sn(軸受用アルミニウム合金鋳物)
B	アルミニウム屑に付着, 又は混入した異物(軸受合金, 埋込ボルト, 亜鉛合金, マグネシウム合金, 錫箔等)	Cu, Sn, Zn(砲金, 真鍮), Fe(鉄ボルト), Mg, Sn, Pb, Sb, Cd, Ni, C, H ₂ (有機物)
C	合金配合元素 (特に金属珪素)	Fe, Ca, Ti, Mn, P, C, S, Ag, スラグ
D	溶解工程 (大気, 溶解炉, 工具, フラックス)	H ₂ , C, N(AlN), O(Al ₂ O ₃), Fe, Si(鉄鍋, 工具, 耐火材料) Na, K, Ca, Ba(フラックス)

c 不純物の除去技術

アルミニウム合金からの不純物除去技術については、これまであまり研究がされておらず、系統的なリサイクル研究としては、平成5年度から平成7年度に実施されたプロジェクト研究「アルミニウム高度リサイクル技術の研究開発」がある¹¹。このプロジェクトはスクラップを原料とし、高純度アルミニウムあるいは高純度アルミニウム合金素材への精製プロセスを目標としているため、ここで提案されたプロセスは設備費や精製処理コストがかなり高価なものとなっている。

不純物元素の許容レベルが圧延、鍛造材よりも遙かに低い通常の鋳物やダイカストでは、鋳造プロセスの競争力を持たせるため、より安価で効果的、かつ大量処理を行うことを目標にしなければならない。ただし、これらのプロセスを効果的に行うためには、前処理としてのスクラップなどの材料の選別があり、選別の良否が精製効率に大きな影響を及ぼす。

¹⁰ 津村, 前出

¹¹ 村田富士夫: 軽金属, 46(1996), 551

表 24 不純物の除去技術

除去技術	内容
気相製錬法	特に蒸気圧の高い Mg, Zn, Li 等の元素の他, Na, Ca, K, P, Sb, 環境負荷の大きい Cd, Hg, Pb 等が対象。Al, Si 等の主元素との蒸気圧差を利用する手法。
偏析法	溶湯が凝固する際、純度の高い Al が初晶として晶出するため、不純物の多い残融液を排出させ、高純度化を図る手法。Al と共晶を生成する Ni, Cu, Zn, Mg 等の元素が対象。
金属間化合物生成法	不純物元素との化学的親和力の高い元素を溶湯に添加し、金属間化合物として晶出させ、分離する技術。
フラックス処理法	塩化物やフッ化物を主体としたフラックスを溶湯中で攪拌することで、塩素またはフッ素との化学的親和力の強い元素との化合物を生成させ、除去する方法。
フィルター法	汚染した溶湯をフィルターを通過させることで溶湯に懸濁する粒子状あるいは皮膜状介在物を捕集する方法。炉床にボール状の熔融塩を敷き詰め、その上を溶湯を通過させることで吸着効果を上げる方法も。
複合化部材の機械的分離法	粉碎屑の磁力分別による鉄の除去など。

d おわりに

アルミニウムの再生塊の製造エネルギーは新塊製造に比べ、4.9%¹²と、かなりリサイクル効果が大いといわれているが、回収、輸送、分別などのトータルエネルギーで考えると、ほぼ同程度であるといわれている。しかし、リサイクル材を利用することは、長期的に見た資源保護と環境破壊の防止に繋がり、これらの点から積極的に推進していかねばならない課題である。

アルミニウム合金鋳物とダイカストはリサイクル材の二次合金材料の使用比率が高いため、環境負荷低減に対しては他のプロセスよりも非常に有効なプロセスである。今後のリサイクルの進展に伴い、従来では問題にならなかった不純物元素が混入する可能性が大きく、これが製品の特性を支配する。少量あるいは微量であっても多種の不純物元素を含む場合、特性に及ぼす不純物元素の相互作用などは、組合せが多いこともあり、まだ十分には検討されていない。除去すべき不純物の対象が変わることが除去プロセスに影響するため、今後、大きなテーマとなるものと考えらる。

また、アルミニウム合金スクラップからの不純物の除去技術は最小のエネルギー消費で、低コストで行うことが前提となるため、まだ、改善の余地が大きく、前処理工程を含み、様々なプロセスの組合せを試み、積極的にプロセスの開発を推進していかねばならない。

¹²例えば、大西忠一：軽金属, 46(1996), 525

(3) 銅合金鋳物のリサイクル

a 有害物質排出規制とその対策

水道水を供給する給水装置、例えば給水栓、止水栓(バルブ)、継手、量水器(水道メータ)等には、鋳造材として青銅鋳物 6 種 CAC406 (BC6) や、鍛造材として C3604、C3771 などの銅合金材料が用いられており、耐食性や生産性、及び経済性が優れることから永年使用されてきた。これらの銅合金材料には、切削性、鋳造性、さらには耐圧性等を向上させるため、数%程度の鉛を含有しているが、この鉛が水道水中に微量ではあるが溶出し、飲用することで人体に蓄積し、健康への影響が懸念されている。WHO(世界保健機構)の飲料水水質ガイドラインによれば、「鉛の許容濃度は水道水中において 0.01mg/L 以下が望ましい」とあり、このガイドラインに従って世界各国の水質基準が見直されている。

日本においても、ガイドラインに従う形で鉛の水質基準値が平成 15 年度からそれまでの 5 分の 1 に強化された。この措置に伴い、給水器具には従来の CAC406 材の利用が不可能になり、代替の材料開発が行われた¹³。現在までに鉛の代替元素としてビスマス、ビスマスおよびセレンを利用した青銅系鋳物材料、シリコンを利用した黄銅系鋳物材料が開発され利用が進み、JIS 改正に伴い規格化がなされている(CAC804、CAC901、CAC902 合金)。

使用済み自動車からの有害物質排出を規制するための ELV 指令によれば、2003 年 7 月より代替物が存在しない部品を除き、自動車の製造過程で水銀、鉛、カドミウム、六価クロム 4 種類の有毒金属を使用することを禁止している。また、電気・電子機器への有害物質の使用制限のための RoHS 指令では、2006 年 7 月から、対象製品に対して鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニール、ポリ臭化ジフェニルエーテルの 6 種類の物質の使用が制限される。非鉄金属鋳物に対して影響する物質は主に各種機械部品に含有していた鉛であり、対象部品については鉛フリー化を進める必要がある。カドミウムについては従来より非鉄金属鋳物では非含有であったものの、鋳造企業に非含有証明が要求されるなどの影響がある。

b 鋳造企業を取り巻く環境変化

1) 原材料への微量元素の混入

材料の多様化により、鋳造時の主要原料であるスクラップ、リサイクル材に混入される不純物元素の種類や量も増加の傾向がみられる。銅合金インゴットメーカーによれば、従来材である CAC406 合金のリサイクル材に鉛フリー材から混入する鉛代替元素ビスマス、RoHS 指令で規制されているカドミウム、はんだの鉛フリー化に関連して混入が予想され

¹³素形材技術フォーラム 青銅鋳物を使用した水道用バルブ・コック等の鉛浸出対策と現状：素形材センター(2002)、鉛フリー銅合金鋳物および表面処理による水道水中への鉛溶出低減：素形材, 44(2003) 7

る銀、りん青銅に混入するベリリウム、チタン等の不純物元素について混入を気にして調査しており、現に鉛フリーはんだからの銀については、量が増加している、とのことである。その他にもリードフレームの打抜材に添加されている元素が鑄造の際に不純物として影響することが懸念されている。鑄造企業においても、これらの不純物に対する監視、混入による影響を調査していく必要に迫られている。

2) 企業内における不純物混入：分類・返り材・汚染状況の管理

給水栓器具の鉛フリー化が進む一方で、上水以外の水道関係器具や工業用途の器具など、給水栓以外の器具については鉛溶出規制の対象外であり、多くは従来材である CAC406 材を用いて鑄造・加工されている。そのため、多くの鑄造企業では鉛フリー材の鑄造と鉛含有 CAC406 材の鑄造が同一の設備で行っている。そのため、返り材・加工屑について鉛フリー材・鉛含有材を分離して管理するだけでなく、溶解炉、砂などについても鉛汚染状況を把握して鉛フリー材の生産管理へフィードバックすることが必要である¹⁴。このように企業内で不純物を積極的に分析管理していくことがこれまで以上に求められている。

3) 高度分析技術への対応

欧州 ELV 指令、RoHS 指令への対応に際して、関係する部品について、従来以上に高精度な分析技術が必要な六価クロム、鉛、水銀、カドミウムの非含有証明（分析表）が鑄造企業に要求されるケースが増加している。

このように、環境基準に対応して、かつ、非鉄金属鑄物鑄造を従来通りのリサイクル基盤の上に行ってゆくためには、分析技術の高度化による不純物元素に対する管理強化が必要となっており、企業努力を強いる状況になっている。

c 環境対応・リサイクル基盤を保持するための研究開発

上記の状況に対応して非鉄金属鑄物のリサイクルを継続しながら環境対応製品を提供してゆくために、鑄造業界団体・関係機関に対して個々の企業努力のみでは不可能な以下の基盤技術の開発が求められている。

1) 鉛フリー軸受材料の開発

鉛はその潤滑性、耐焼付性から軸受材料に主要元素として添加されている。欧州 ELV 指令、RoHS 指令への対応を進める上で軸受材料の鉛フリー化は緊要な課題として挙げられる。さらに銅合金鑄物全体の鉛フリー化を進めることにより、リサイクルコストの低減が期待される。

¹⁴ 鉛フリ - 銅合金による実際の操業事例：日本鑄造工学会，第 143 回概要集（2003）（96）（産総研 岡根利光）

2) 加速鉛溶出試験方法の開発

水栓用器具については、溶出試験に時間がかかる現状では水栓器具メーカーが認証を得るためにバルブ・コックなどの完成品の段階で鉛の溶出試験を行っているのみである。また、鑄物砂等から汚染される鉛は表面に偏析して存在する場合も多く、溶出量はバルクの組成分析からは予想できない場合もあり、部品として提供する鑄造企業には溶出基準超過による返品のリスクが常に存在する。そのため、鑄造企業が自社内で短時間に鑄造部品からの鉛溶出を評価可能な加速鉛溶出試験方法の確立が望まれている。

3) 高精度分析のための標準試料作製

上記のように欧州 ELV 指令、RoHS 指令への対応を進める上で、鉛、カドミウム等の非含有証明（分析表）が鑄造企業に要求されている。また鑄物のリサイクル基盤を確保してゆくためにも、より高精度の分析技術の導入が必要になっている。例えば鉛フリー銅合金（0.25%Pb 以下）の正確な分析値を把握するためには不純物の含有量の種類と量が比較的多い鑄物用に調製された標準試料が不可欠である。しかしながら、非鉄金属鑄物の機器分析用各元素の認定された標準試料が無いのが現状であり、そのため同一試料においても、分析機器（検量線）によって、データが異なるという不具合が生じている。現状では市場が小さすぎる、若しくは非常に高価になるため、分析関連企業による分析用標準試料の製造・販売を見込まず、業界団体・関係機関で連携して開発を進める必要がある。

(4) 新しい砂型造型技術に係る技術開発

鉄鋼鑄物の生産に用いられている鑄型の殆どは、その生産性の高さから砂型が採用されている。

砂型を造型するための鑄物砂は砂、粘結材、添加剤から構成される。砂として一般に使用されるケイ砂は自然界から発掘される。ケイ砂は回収、再生処理時の負荷応力で研磨されたり、破碎されたりするため、システム外に出され減耗するため補給が必要であり、この分は資源を地球に（自然界に）求めることが続いている。また、細かく微粉状になった砂は一部セメント原料などに（費用持ち出しで）使用されるものの、未だに廃棄物として投棄処分されている現状がある。持続的社會を構築するためには避けては通れない課題である。

a 人工砂を軸とした砂型造型技術に係る開発

近年、日本で人工的に造られたムライト系やアルミナ系の人工砂が開発され市場で広がりを見せつつある。この砂は、真球に近い形状のため表面積が小さく（粘結材のロスがな

く) 少ない粘結材量で所用の強度を発現できる。また、常温・高温において高い強度を有しており殆ど破砕せず摩耗もし難い性質を有している。リサイクル性に優れるため再利用率を上げることが可能である。また、成型された鑄型は高い強度を有すると共に変態もなく熱膨張率が低い為、ケイ砂の場合に見られるような注湯時変態による大きな熱膨張を示す事も無い。したがって、鑄造時の鑄型の移動が起きづらく安定しているため、鑄物の寸法精度の向上、引け巣の対策や砂型の膨張に起因するすくわれなどの欠陥対策に繋がる事が期待される。更に、寸法精度が高い鑄型の実現、粘結剤が少ない事および適正な粒度分布を選択することで高い通気度(鑄型内の空気や発生ガスが鑄型内を通過しやすさ)の鑄型を実現でき、複雑・薄肉の軽量化鑄物の生産を作りやすい環境を創る事ができる。

今後、持続的社會を構築すると共に高機能化、軽量化、コスト低減を更に進め、国際競争力を強化していくため砂型造型技術に求められる要点は 環境負荷を低減するための省資源の追究、 究極の複雑・薄肉軽量化鑄物の安定生産、 高品質の維持向上の3点に集約される。

ケイ砂に代わり真球に近いジャパブランドの人工砂を軸とした砂型の造型技術に係る技術開発の進展により、前述の3つの要点を一挙に解決することが期待できる。

これらを具現化する技術開発として次の4点の開発が求められる。

1) 真球人工砂の製造技術の開発

これまでに数種類の人工砂が開発され紹介されているが、完全リサイクル、粘結剤の極小化、多種プロセスのニーズに対応するために粒形、粒度分布、表面品質の更なる改善、安定化技術の開発および価格の低減技術の開発が求められる。

2) 新しい造型法(流し込み、新しい粘結剤、瞬間硬化法)の開発

複雑形状の鑄物を作るための鑄型・中子造型では、軽量化のニーズから一体化された複雑な鑄型・中子を高い充填性と共に均一な充填が必要であり新しい粘結剤、瞬間硬化法の開発も求められる。また、砂充填シミュレーションなども活用し既存の造型法をブレークスルーする造型法が開発が期待される。

3) 歩留まり100%の砂回収・再生技術の開発

人工砂は破砕し難く、磨耗もし難い。この砂を、できる限りロスなく、品質の変動もなく回収・再生する技術の開発が求められる。砂再生技術においては、今までに多くの技術革新が行われてきたが、今後は前述の技術開発を前進するためにも、人工砂を(微細粒子から粗い粒子までの砂を対象として)効率よく低価格で回収・再生する方法の開発が望まれる。

4) 複雑・薄肉軽量鋳物の安定生産のため高い寸法精度、高い強度かつ高い通気度を有する鋳型の開発

真球人工砂の粒度分布の設計、粘結剤ほか添加物の最適設計を新たに開発し、2)項の造型方法の成果も導入し所望のシステムサンド（循環砂）と鋳型・中子を開発することが求められる。

そのためには、人工砂を造るメーカー、粘結剤メーカー、設備メーカーおよび鋳物メーカー更にユーザーが一体となって最適なプロセスおよびシステムを完成させるように連携して取り組むことが求められる。全体が良い連関を形成することにより究極の砂型造型技術が完成すると期待される。

中小企業のように事業規模の小さなところでは、新たな砂再生設備、造型設備などの導入は難しいと考えられる。共用で使用可能な設備として工程を分担し合うインフラの仕組みの構築も求められる。

b 特殊砂の代替技術の開発

ジルコン砂およびクロマイト砂といった特殊砂は資源の枯渇、供給不安定、価格の高騰、リサイクル性の悪さなどの問題を抱えている。大物鋳物を生産する場合には焼着対策や膨張欠陥対策などの目的でジルコン砂やクロマイト砂が活用されているが、システムサンドからの分離が難しく回収再利用ができない問題がある。耐熱性の高い人工砂をうまく活用することで焼着対策や膨張欠陥対策を実施すると共にリサイクルも含めて価格の低減が図れる可能性がある。

精密鋳造鋳型には、スラリーフィラーやスタッコ材として微細粒化されたジルコン砂（ジルコンフラワー）が主に用いられているが、材料の入手難や高価格の問題がある。また、再生活用は困難で殆どやられていない。人工砂の粒度分布、粒形を適正に管理することでこれらの問題を解決できる可能性があり、この分野での活用技術、砂再生技術の開発が求められる。

c RP 技術の高度化技術の開発

RP（ラピッドプロトタイピング）技術は、試作用の鋳型・中子造型法として、試作開発を短納期で対応するコストパフォーマンスの良い方法として活用されている。今後も、開発拠点を日本に残すためにも更なる技術の向上を図ることが求められる。

軽量化ニーズに対応するため部品の一体化が進み、これに対応するため複雑な中子を造型することが今後は求められる。数点の中子を別々に造型し、これらを組み合わせによって一体化する方法もあるが、生産性や品質の安定性で問題がある。砂の流動性を上げ充填性を上げることによって現状の方法をベースに複雑な中子を一体造型することも開発必要であるが、対応が困難な形状も想定される。

現在、試作用鋳型・中子の造型技術として活用されている RP 技術は、レーザービーム法やインクジェット技術を応用した方法が紹介されているが、技術の革新が目覚ましい。造型速度の高速化技術の開発と低価格の設備開発が実現されるようになれば、複雑形状の鋳型・中子を一体で精度良く量産する RP を進化した造型法が実現される可能性がある。新しい造型技術としてこのようなプロセスイノベーションも求められる。

また、RP 技術と高度に管理され生産された新しい人工砂と新しい粘結剤の開発により微細な複雑な鋳型の造型も可能となり大変微細な複雑な鋳物を造る新しい事業分野の創生が期待される。

d その他

鋳型には、鋳造後鋳物製品との分離が容易にできることが求められる。今後軽量化ニーズから複雑な鋳物の生産が多くなると考えられるが、特に中空部を形成する中子の除去は困難になってくると考えられる。銑鉄鋳物のみならずアルミ鋳物も含めて鋳造後の中子の除去が容易となることも考慮した新しい粘結剤の開発が求められる。

新しい砂型造型技術により造型された鋳型は今までとは違う物理的性質や機械的性質を示す事になる。新しい砂型造型技術を使用し実効をあげるためには、当然ながら、これに適した新たな方案技術・CAE 技術の開発も同時進行で開発を進めることが求められる。

4.2 経営課題の解決

前に述べたように、価格決定方式と型の保管という商慣行の問題は、鋳造メーカーにとって大きな経営課題となっている。そして、昨今では現場に若い人材が増えているとはいえ、依然として鋳造メーカーにとって人材確保・育成は大きな課題である。加えて、海外製、とりわけ中国製鋳物との厳しい競争に直面しており、従来のコストダウン要請では考えられないほどの大幅な単価切り下げ要求が公然と行われるなど、鋳造メーカーをめぐる取引環境は大きく変化している。以下ではこれらの解決に向けた方策を述べる。

4.2.1 商慣行

重量取引慣行については、手込め造型（工数が把握しづらい、作業者の経験に依存する部分が多い）での生産が中心の工作機械向け鋳物で多く事例を見ることが出来る。見積りに要するコストなどから、むしろ鋳物メーカーも重量取引を選好する例も少なくない。しかし、ベンチマークとして中国製鋳物の単価を要請される可能性があり、技能・技術が適正に評価されるための方策が求められる。型保管については、木型、金型は鋳造メーカーがほとんど無料で保管、しかも保管期間は長期間に及び、鋳造メーカーが廃却を交渉し

てもなかなか認められない、というものである。この点については、大量生産の自動車部品、多品種少量生産の工作機械部品、共通の問題となっている。

これらの適切とは言えない商慣行の背景には、大企業中心のユーザー産業と、中小企業中心の鋳物産業、という力関係が大きく影響していることは否定できない。そして、こうした構造的な問題については、鋳物メーカーが個別に解決することは容易ではない。業界団体がユーザー産業に対して、型の保管については期限・費用のルールを提案するなど、積極的に働きかけていくことが重要である。

しかしその一方で、鋳物メーカーとしても改めるべきことも少なくない。

商慣行見直しのためには、(1)開発段階からVA/VE提案を行う中で、付加価値の「見える化」を図った上での原価計算の実施、(2)型保管によって大きな付加価値を鋳物メーカーが提供していることの「見える化」、など、鋳造メーカーが提供している付加価値を定量的にユーザーに示すための努力が望まれている。開発段階からVA/VE提案を行うには、製品がエンドユーザーでどのような使われ方をするのか研究することが必要であり、鋳物メーカーによる型保管の付加価値をアピールするには、当然のことながら適切な保管体制の整備が必要である。

しかしながら、鋳物メーカーは概して製品がどのような機能部品になっていくのに関心が低く、また型保管についても屋外に放置するなどユーザーにとって容認しがたい杜撰な方法を取っている例も多い。さらに、ユーザーから見ると、鋳物メーカーに品質管理が出来ているところは少なく、「巣や不具合が混じって当たり前」という発想が根強い、との指摘も見られる¹⁵。商慣行の見直しを進めていく上では、鋳物メーカー側のこうした「古い体質」について改め、ユーザーニーズに敏感となりマーケティング能力を強化するとともに、ITの活用などによる品質管理の徹底、不良率の低減を進めていくことが求められる。

4.2.2 人材確保・育成

熟練技能の継承と新技術の開発を進めていく上で、人材確保と育成は重要な課題である。

人材確保を難しいものにしてしている大きな要因は、粉塵や暑熱、重筋労働といった厳しい作業環境である。特に非量産工場では人力に頼る部分が多く、腰痛や白蟻病など多くの問題を抱えている。工場のクリーン化を推進し、作業環境を改善することは、人材確保だけでなく生産性の向上にもつながるものであり、鋳造メーカー各社の積極的な取り組みが望まれる。また、就労年齢の上昇が考えられる中、重筋労働の解決に向けて、制御工学やロボット工学を応用したパワーアシスト技術の導入についても検討を進めていくことも今後の課題となろう。

人材育成については、大学等との連携を前提とした製造中核人材育成プロジェクトが進

¹⁵ 全国銑鉄鋳物工業組合連合会「銑鉄鋳物製造業の経営戦略ビジョン」(平成16年2月)

められているところである。鑄造メーカーが本プロジェクトの活用を活発化させていくことにより、鑄造産業全体で自立化した事業としていくことが望まれる。

さらに、人材育成へのITの活用が期待されている。鑄造技術は他分野の技術の集合体であることから、現行ではその習得に長期にわたる努力と忍耐を必要とする。しかし、鑄造に係る技術やノウハウをデジタル化し社内の人材育成システムに活用することができれば、若手の人材育成の期間を大幅に短縮できるだけでなく、彼らの鑄造に対する自信と愛着を増すことが可能となる。ITについては生産・技術・事務・情報管理の補助技術として、鑄物メーカーでも導入されつつあるが、今後は人材育成面での活用が重要となるものと思われる。

4.2.3 高付加価値化とブランド化戦略

中国では労務費、電力は日本より安価であるが、鑄物生産に必要な原材料、副資材は変わらない。中国から鑄物を調達しても上述のメリットを輸送費や通関費用等が相殺して、価格的な利点が得られないことは、これまで多くの人々が経験してきた。したがって、ユーザーにどのように供給責任を果たしていくべきかを、考えることが大切である。

要はユーザーが必要とする鑄物を一番近い生産拠点から供給してゆくことであり、その拠点が日本であれば日本が、中国であれば中国が務めることになる。今後、ユーザーの海外展開をにらみながら、必要に応じて海外展開にも積極的に対応することにより、成長市場での利益を確保する、といった経営戦略を講じていくことも求められよう。

その一方で、日本で生産すべき鑄物は何かを常に意識すべきである。ユーザー産業の海外生産が進展しているとはいえ、たとえば工作機械のように国内生産に今後とも重心を置き続けることが予想される製品は少なくない。鑄造メーカーとしては、こうした業界の信頼に十分応えていくため、品質、コスト、納期に優れた鑄物製品を、環境に配慮した工場で生産していくことに加え、高い付加価値をアピールするなど日本製鑄物のブランド化戦略を講じていくことが求められよう。

また、環境、リサイクル、医療、福祉といった様々な分野で日本経済の発展をリードする新たな産業の登場が期待されている。この新市場の中で、鑄物需要がどれだけ期待できるかは明確ではないが、鑄物の備えている様々な特性をアピールし、新たな需要創成につなげていく取り組みが求められる。

4.3 業界団体の活動強化

4.1～4.2の取り組みは、鑄造メーカーが個別で実施することは難しく、業界団体が支援していくことが不可欠である。

前にも述べたように、ユーザーニーズが高度化・複雑化する中、鑄造業界はますますユーザー産業の技術ニーズに対する理解を深めると共に、生産のグローバル展開などユーザー産業の動向についていち早く情報を入手することが求められる。中小企業の多い鑄造業が、このようなユーザーの様々なニーズに応える新製品や製法、新材質の開発等、ものづくり基盤技術の高度化を図ることは一企業では不可能である。

重量単価・~~→~~木型保管等の取引慣行などについても、ユーザーとの共存共栄を目標とし、ユーザーと強力なタッグを組めるベストパートナーとして連携を強化し、商慣行の見直しをはじめとする経営課題の解決に向けてユーザー産業との協議を深めていくためには、個々の鑄造業が一体となった取り組みが必須である。

また、鑄造現場の中核人材育成事業については、岩手大学堀江教授を中心となったプロジェクトでは専門職大学院が設置され平成18年4月に開講する。また、近畿大学木口教授が中心となっているナショナルプロジェクトは、平成17年度から開始したところであるが、早いところでは19年度から実際に教育拠点を設け人材育成が始まろうとしている。このように自立化は目前に迫っており、将来の自立した絵姿（人材育成拠点のあり方）、これを達成するための計画の策定、関係者の合意形成など業界団体が人材育成の主体となって早急に取り組むことが必要である。

このほか業界団体には、情報発信の強化、データの共有化、鑄造工学会や関連団体との連携強化など様々な活動が求められている。

このように、業界団体に求められる取り組みは、会員の鑄造技術の向上にとどまらないが、いずれの業界団体も会員企業減で、事業予算・事務局人員が縮小し、新規事業を実施する体制の構築が困難な状況にある。

今後、業界団体の活動を強化していく上では、我が国鑄造業界としての将来のあるべき姿を明確に描き、これを達成するための計画の策定、既存事業の評価、見直しを含めた全体事業のプライオリティ付けなどを行い、業界団体自身が会員に対して活動への理解と積極的な参加を求めていくが必要である。

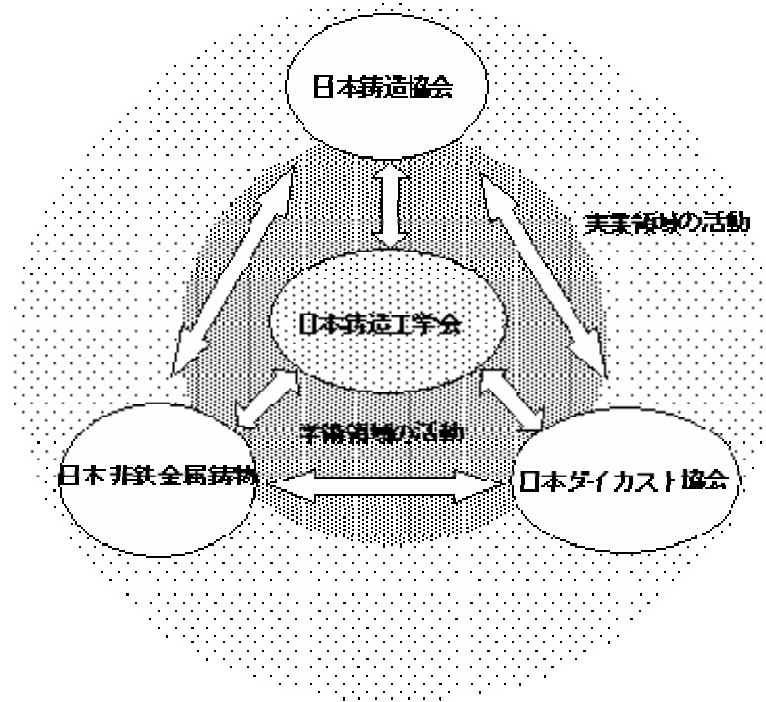


図 30 関連団体との連携イメージ

4.4 産学官連携

鑄造という技術は、技術的に未解決の問題が多い。それでも生産が滞りなく行えるのは、経験に負うところが大きいからで、たとえば、鑄物不良改善のため真の原因を追及し恒久的な対策を立てようとする、理論的・科学的根拠が必要であり、鑄造メーカーとともに大学等の研究機関の役割は重要である。

事例として、鉄系 6 団体（当時の日本強靱鑄鉄協会を中心）で構成する鑄造技術共同開発推進委員会の取組みが挙げられるが、平成 14 年度「多種少量・中量生産に対応できる鑄造工程システム化の研究開発」、平成 15 年度「押湯なし球状黒鉛鑄鉄鑄物製造技術開発」では、産学官の連携により大きな成果を得ることができている。また、岩手大学を中心とした東北地域の意欲的な取組みがあげられる。東北地域は「南部鉄器」に代表されるように古くから鉄文化の地域であるが、平成 17 年度から「ものづくり革新」（地域コンソーシアム）をテーマに、大型の産学官連携事業がスタートした。

このように鑄造技術の開発を進めていく上では、個別企業での取り組みには限界があり、会員間の連携、相互研鑽とともに、大学等研究機関、ユーザー、他の関連業界との連携、政府による支援を活発化させていくことが必要である。

また、人材育成についても、技術開発と同様に産学官連携による取り組みが不可欠である。

昨今、鋳物メーカーあるいは研究機関においては研究者、技術者不足の感が否めない。バブル不況後の失われた10年の間に、中小の鋳物業においては生産のみならず人的な痛手も被り、技術レベルの低下が懸念される。こうした中、これまでに挙げた国家プロジェクトの製造現場の中核人材育成事業が開始されたが、このプロジェクトの成否は、鋳造業界の自立化に向けた自主的な取り組みと学による強力なバックアップによるところが大きい。

また、日本鋳造工学会では、平成15年に、鋳造業を含む会員の多くの賛同と寄付によって「若手研究者基金による支援制度」を設け、若手鋳造研究者の育成・支援に力を入れている。

今後とも鋳造業の基盤技術の高度化を図るためには、ユーザー、関連業界との連携を含めて、鋳造業の自主的な取り組みと大学等研究機関の知見の提供による支援、行政による資金的支援等による産学官連携の強化が強く望まれる。