

鉄鋳物の技術系統化調査

Historical Development of Iron Castings' Technologies

1

中江 秀雄 Hideo Nakae

■ 要旨

鋳物は人類が 5000 年以上前から作ってきた、鍛造品と並ぶ古く歴史ある金属製品であり、金属加工法でもある。この技法は我が国に於いても 2000 年以上の歴史があり、銅鐸や奈良の大仏がこれに相当する。しかし、一般にはその実態が十分に理解されているとは思われない。鋳物は鍋釜に始まり、脆く・弱い金属というのが一般的な日本人の理解であろうが、実際には鋳物生産量の 60~70% は自動車産業で使われている。

鋳物は、鋳鉄、鋳鋼からアルミニウムや銅合金、チタンなど、殆ど全ての金属で製造されるが、本稿では鉄鋳物（鋳鉄と鋳鋼）を中心に、幕末から現在に至る 160 年ほどの近代化の歴史を取りまとめた。このように、鉄鋳物を中心に記述したので、鋳型は砂型に限定した。したがって、ダイカストや精密鋳造などには殆ど触れていない。

1853 年にペリーが来日し、これが切っ掛けで江戸幕府は開国に至り、明治維新を迎えたことは良く知られている。この主原因は大砲の威力の差であった。この間、我が国では徳川幕府や薩長・長崎・佐賀を中心に、欧米からの技術導入が盛んに行われ、これが我が国の近代化に大きく貢献したと筆者は感じている。江戸末期に建設された長崎造船所や横浜製鉄所の規模は町工場ではなく、かなりの規模であり、鋳造工場を備えていた。そこで、まずは江戸幕府によって建設されたこれらの工場と鋳鉄製の大型の大砲の製造から筆を興し、明治から大正、昭和、平成へと鉄鋳物の変遷に筆を進めた。

しかし、江戸時代と今日では鉄に対する用語に大きな相違があるので、そのままの記述では理解が得られ難い。そこでまずは、江戸時代の鉄とその製法、特徴を現在の鉄の用語との対比で記述することから始めた。江戸時代には国産の和鉄と、輸入品の洋鉄があり、それらの特徴と鋳物への使用時の問題点を明らかにした。それは、和鉄では良質の鋳鉄製大砲の製造ができず、幕末からは木炭高炉を、明治にはコークス高炉の導入となり、良質の鋳鉄が得られるようになった。これが原因で鋳鉄製の大型の大砲が完成したのは明治中頃であった。そして、明治の終わりには鋳鋼の技術が向上し、大砲は鋳鋼製となった。

このような技術の変遷を、原材料の鉄源、溶解炉、鋳型などに分類し、時代の流れと個々の技術の変遷を記述した。特に、鋳鉄では我が国古来の溶解炉である甑から反射炉やキューポラへの変遷について、技術課題面から検討を加えた。また、鋳鋼では酸性転炉から塩基性転炉、そして反射炉から平炉、そしてアーク炉への変遷を鋳鋼の品質向上の観点から記述した。

鋳鉄鋳物は我が国では古くから作られていたが、原料鉄の問題で白鋳鉄しか得られなかった。その後、コークス高炉の出現でねずみ鋳鉄ができるようになった。時を経て、明治の後期には鮎川義介による戸畑鋳物の設立で可鍛鋳鉄ができるようになる。さらに、昭和 20 年代の球状黒鉛鋳鉄とミーハナイト鋳鉄の技術導入で我が国の鋳鉄技術は大きく進歩し、昭和 40 年頃には技術レベルは世界水準に達した。しかし、我が国発の独自の材料を生むには至っていない。これは、欧米で完成された技術が数十年遅れで我が国に導入されたことによるのであろう。尤も、量産技術・信頼性向上などの点では世界の最先端を行くようになった。これに対し、鋳鋼ではクボタの G コラムや日立金属の耐熱ターボ部品など、世界に冠たる製品を世に出している。これは、我が国鉄鋼業の進歩と関連するのであろう。

一方で、砂型は当初は日本古来の技術に依存していたものが、昭和 40 年頃から世界に誇れる我が国独自の造型手法が開発された。これには、真空を利用した V プロセスや人工砂の開発がある。この主因は、我が国で有機物が鋳物砂の粘結材として使用され始めた時期が、欧米に大きな遅れをとっていなかったこと、廃砂など産業廃棄物の低減など、環境問題に対する我が国の取り組みが強力であったことが挙げられる。

鋳造分野ではシミュレーションの技術が開発され、これが大きく進歩し、現在では世界の鋳物工場で実用に供される段階に達した。その根源は我が国の新山英輔にある。その証拠には、NIIYAMA-criterion と呼ばれる判断基準が鋳造欠陥発生の評価に世界で用いられている点にある。しかし、残念なことには、この分野の最先端のソフットは海外勢が占めているのが現状である。

鋳造は歴史ある加工法である。しかし、歴史が古いことから最近の進歩が遅い、或いは検討に値する課題が残されていない、と考えるのは誤りである。コンピューターや、CAD、CAM の進歩は鋳造にも新しい可能性があることを示している。これら技術の活用で鋳造業の更なる発展が期待されている。

■ Abstract

Castings is one of the most historical metal products in the same way as forgings and casting is a kind of the metal forming processes represent the culmination of a long history of humanities over 5,000 years along with metal forging. Likewise, such techniques have been used in Japan for more than 2,000 years, as is evidenced by the nation's ritual dotaku bronze bells and the big Buddha statue of Nara. However, the quality of castings is apparently not very well recognized for Japanese people, they generally tend to imagine for castings, the first of which were pots and kettles, as brittle and weak, metal despite the fact that some 60% to 70% of castings products are used in the motor vehicle industry.

Castings can be made with practically any kind of metal — encompassing everything from cast iron, and cast steel to aluminum, copper and titanium alloys. However, this manuscript focused on the history of ferrous casting modernization process in terms of cast iron and cast steel, while looking at the closing days of the Tokugawa shogunate to the present day, a span of almost 160 years. Also, the focus here on cast iron and cast steel meant that the discussion was limited in terms of casting molds to that of the sand casting method. As such, very little mention is made for die casting, precision casting or other such production methods.

It is well known that Matthew Perry's arrival in Japan back in 1853 prompted the Edo Shogunate to open Japan to the outside world, thereby hastening what is known as the Meiji Restoration. This course of events was largely sparked by a realization in Japan of the disparity in firepower between the cannons of the two nations. The active introduction of technology from the US and Europe into Japan, chiefly to the Tokugawa Shogunate as well as the Satsuma and Choshu, Nagasaki and Saga clans, played a seemingly large role in fueling Japan's modernization. Unlike the small family operations typical up until that point, The Nagasaki Shipyard and Yokohama Ironworks built toward the end of Japan's Edo era were fairly large, while forgeries also began to emerge. The author begins by bringing up examples of such factories that were built by the Edo Shogunate and delving into the manufacture of cast-iron cannons, before going on to describe transitions in the realm of iron casting starting from Japan's Meiji period and on through the Taisho, Showa and Heisei eras.

However, what we regard as iron today is vastly different technical terms from what people viewed as constituting iron back in the Edo era, a fact that makes it difficult to move ahead with the topic without further explanation on this point. With that, the author set off describing prevalent iron smelting methods and characteristics of the material in the Edo period, and contrasted steel-related terminology of those days to that which is used today. The author noted that during the Edo era iron was classified either as Japanese iron (watetsu) or as iron imported from the West (yotetsu), and went on to detail characteristics of each while pointing out problems that would crop up when using such materials to make cast iron objects. Whereas decent cast iron cannons initially could not be produced using Japanese iron, the introduction of charcoal blast furnaces toward the end of the Edo period and then coke-fired blast furnaces in the Meiji era resulted in Japan's capacity to produce high-grade pig iron. That led to the emergence of the nation's first cast iron cannons in the middle of the Meiji era. Subsequently, cannons in Japan would come to be made of cast steel toward the end of the Meiji period thanks to ensuing improvements in cast steel production techniques.

The author described technological developments in terms of changes such as in iron raw materials, smelting furnaces and casting molds, thereby detailing respective technological shifts as time progressed. The author also delved into pertinent technical issues, particularly in regard to Japan's transition from traditional small-sized cupola furnaces used in the nation since ancient times to the later adoption of reverberatory furnaces and larger cupola furnaces used in cast iron production. Meanwhile, the author looked at cast steel from the perspective of quality gains as production methods shifted from acid Bessemer converters to basic converters, and even later from reverberatory furnaces to open-hearth furnaces, and finally arc furnaces.

Although iron castings had long been produced in Japan, it was possible to make only white cast iron due to shortcomings of iron raw materials. Later, the advent of coke-fired blast furnaces would enable Japanese manufacturers to produce gray cast iron due to the high silicon contents. As time progressed, the nation would gain the capacity to produce malleable cast iron when Yoshisuke Aikawa established Tobata Casting Company in the latter half of the Meiji period. Subsequently during the post-1945 era, Japan took a big progress in the area of cast iron production with the introduction of processes to manufacture spheroidal graphite cast iron and Meehanite metal, and by around 1965 the nation could boast world-class levels of manufacturing technology. Nevertheless, this did not lead to Japan coming up with new types of materials of its own, most likely because Japan tended to adopt respective technologies several decades after they had been perfected in the Europe and North America. Later, however, Japan would go on to become a world leader in terms of, for instance, its mass production technologies and its ability to afford greater reliability, thereby enabling the nation to introduce unparalleled products to the world such as the G-column line from Kubota Metal Corporation and super-heat-resistant cast steel exhaust manifolds produced by Hitachi Metals. These successes indeed helped underpin the development of Japan's steel industry.

Whereas Japan's steel industry initially relied on the nation's age-old sand mold production techniques, from around 1965 it would go on to develop its own world-renowned casting mold methods. Such technological advances include the V-process method of vacuum molding, and molding methods using artificial sand. These successes can be attributed largely to the fact that Japan was not all that far behind Europe and North America

when the nation's manufacturers began using organic materials as caking additive in casting sand, and also thanks to potent initiatives to address national environmental concerns including moves to curb usage of waste sand and other forms of industrial waste.

The development of the simulation technologies for casting production, spearheaded by Japanese Eisuke Niiyama, has brought about great advances in the area of metal casting, which have since come to be adopted in foundries around the globe. Attesting to Niiyama's impact on the industry, today manufacturers worldwide apply evaluation standards to assess casting defects referred to as the "Niiyama-criterion." However, Japan unfortunately has not fared as well in the leading-edge non-technical aspects of the field now dominated by competitors overseas.

In conclusion, the casting process has been around for ages. Nevertheless, one would be mistaken to assume that recent progress in the industry has been slow based on the notion that casting methods go back a long way, and likewise it would be wrong to conclude that no remaining avenues are left to explore in this realm. For instance, advances in computer applications related to casting and relevant CAD and CAM technologies suggests the emergence of new possibilities. Indeed, the foundry industry is poised for further development amid prospects for leveraging these innovative approaches.

目 次

要 旨

1. はじめに	5
2. 鋳物の歴史と用途	
2.1 鋳物の分類と 5000 年前から現代まで	8
2.2 幕末から明治へ	9
2.3 鋳物の用途と特徴	13
3. 原料地金の変遷	
3.1 江戸時代後期の鉄	16
3.1.1 タタラ、たたらと高炉	16
3.1.2 和鉄の分類	18
3.1.3 輸入鉄	19
a. 荷下鉄（銑鉄）	19
b. 南蛮鉄（鋼）	19
3.2 鋳鉄	21
3.2.1 幕末から明治	21
3.2.2 大正・昭和（終戦まで）	23
3.2.3 終戦から現在まで	24
3.3 鋳鋼	25
4. 溶解炉の変遷	
4.1 鋳鉄	28
4.2 鋳鋼	30

5. 材質の変遷

5.1 鋳鉄	36
5.1.1 片状黒鉛鋳鉄	38
5.1.2 可鍛鋳鉄	41
5.1.3 球状黒鉛鋳鉄	43
5.2 鋳鋼	45
6. 鋳型と模型、鋳物の設計技術の変遷	
6.1 鋳物砂の種類と造型法	49
6.2 鋳型造型法の特許	52
6.3 日本発の造型法と鋳物砂	52
6.4 鋳物の模型と設計技術（CAE と鋳造方案）	55
6.4.1 フルモールド法	55
6.4.2 鋳造シミュレーション（鋳造 CAE）	55
7. 製品の変遷	
7.1 幕末から明治にかけての鋳鉄製大砲	58
7.2 鋳鉄鋳物	63
7.3 鋳鋼	66
8. 技術の流れ総括	70
9. あとがきと謝辞	76
専門用語の解説	77
鉄鋳物の登録遺産候補一覧	80

著者紹介

中江 秀雄 Hideo Nakae

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和16年 9月	東京両国生まれ
昭和39年 3月	早稲田大学理工学部金属工学科卒業
昭和45年10月	工学博士（早稲田大学）
昭和46年 1月	日立製作所機械研究所入社
昭和58年 4月	早稲田大学理工学部金属工学科教授
昭和59年 4月	早稲田大学鋳物研究所研究員
平成14年 5月	日本鋳造工学会会長
平成24年 3月	早稲田大学定年退職
平成24年 4月	早稲田大学名誉教授
平成24年 4月	国立科学博物館 産業技術史資料情報センター 主任調査員

1 はじめに

人類が初めて鋳物を作ったのは今から 5000 年前と言われている。歴史的にいうと、石器時代の次の青銅器時代は青銅鋳物の時代であり、これが鋳物の始まりである¹⁾。これに対して鍛造の始まりは 5500 年前といわれ、金属材料を溶かす必要がない分だけその始まりは早い、とされてきた。しかし、当初の鍛造は自然金や隕石が対象であった。これでは、確かに鍛造の始まりは鋳物よりも早い、その製品は極めて限定されていた、と言っても過言ではない。少し大きな日常に用いる鍛造品を考えると、その素材は鋳造で作らざるを得ない。つまり、鋳造の始まりが鍛造の普及に役立ったと言える。

我が国の古代の鋳物の歴史を中国、韓国との対比で、江戸時代よりも古い時代に限定して、鋳造技術を中心に、石野の著書から借用して表 1.1 に示す²⁾。この表からも、青銅器や鉄器などの鋳造技術は中国から韓国へ、そして我が国に伝わってきたことがわかる。この中で、中国大陸はメソポタミアに次いで古い鋳造の歴史を有しており、その古さはエジプトと同程度と考えられている。特に、中国の青銅器は世界的に著名である。

世界で最も有名な古い鋳物の一つに中国の青銅器がある。一方、我が国では重さ 250 トンもある奈良の大仏が著名であるが、それより先には銅鐸やコインなどがある。しかし、重さ 250 トン、高さ 15 メートルもある巨大な大仏が、今から 1250 年も前に作られていた²⁾ ことを誰が想像できるであろうか。

一方で、イギリスの産業革命は技術史上避けて通れない大変革である。しかし、産業革命時代の当初に作られた大型の機械は鋳造品であった、という不思議に感じられるかもしれない。しかし、鋳物製の大型機械、例えば鍛造機械ができて初めて大型のプレス機ができ、鍛造品の製造が可能になった。そして、幕末から明治にかけての大転換期にも、大砲やエンジンの鋳造のため、薩摩藩や佐賀藩と同様に、幕府もいくつかの新しい鋳造工場を作っている。これが現在の三菱重工業や IHI の起源となっている^{3, 4)}。その詳細は次章で記述する。

一般の読者は、鋳物は弱くて脆いものと思込まれている節がある。しかし、後述するように、鋳物の生産量の 60~70% は自動車に使われており、極めて重要な工業材料である。この点に関してごく最近、久保田は図 1.1 のような統計データを示したので⁵⁾、ここ

に掲載した。鋳物の生産量と自動車の生産台数の相関が極めて強いことがわかる。最近、我が国の自動車産業は海外展開を積極的に進めており、その結果として国内での自動車の生産台数は減少傾向にあり、鋳物も同様であることがわかる。

鋳造や鍛造技術は、人類が失敗の積み重ねでその作り方を確立してきた。この最大の変曲点が産業革命で、その後の急激な発展につながった。しかし、産業革命後の歴史でさえ、半導体や磁性材料の歴史に比べて著しく長い。歴史が長いということはデータの蓄積がその分だけ多いことを意味し、1 年あたりの成果で比較すると、全体に占める最近 1 年の技術進歩割合は小さくなる。これは歴史ある鋳造や鍛造など、先進産業の宿命であろう。しかるに、近年のコンピューターや CAD・CAM の発展は鋳造技術にも新風を吹き込んでおり、鋳造も第二の発展期に到達した、と言える。

このような観点から、幕末から現代までの鋳造技術の発展の歴史を、鋳鉄と鋳鋼に限定して探ってみた。これらの初期の歴史は企業の社史^{3, 4)} や明治時代の技術書^{6, 7)} によった。その詳細は 2 章以下に記述した。本報告書では、2 章：鋳物の歴史、3 章：原料地金の変遷、4 章：溶解炉の変遷、5 章：材質の変遷、6 章：鋳型と模型、7 章：製品の変遷、8 章：技術の流れの総括、などで構成されている。

この技術史を執筆するにあたっていろいろと調査したが、この種のものは出版されていないことが判明した。そこで、筆者の力の限り参考資料を集め、読み解いたが、いかんせん時間的な制約で十分に記述できたとは言いがたい。筆者の力不足を感じるとともに、余りにこの分野の奥が深いことを実感させられた。そこで、いずれ機会をみてこの続編を執筆したいと考えている。

また、この報告書を記述するに際して、多少不鮮明でもできる限り原本のコピーを用いることとした。これによって、昔の原本の感触を読者に掴んでいただきたと考えた次第である。したがって、図表の多少の不鮮明はお許しいただきたい。さらに、昔の書物の引用の際には、できる限り元の本で使っていた漢字、例えば鐵や鑄を用いた。

表 1.1 日本・中国・韓国の鋳物の歴史比較²⁾

中国大陸	朝鮮半島	西 暦	日 本	鋳 造 関 係 事 項	
	縄文土器				
夏	新石器	2000			
商 (殷)		1500	縄 文	青銅器の鋳造、河南 省より工房跡発見 (中国)	
西周	無文土器	1000			
春秋	青銅器	500		鉄製農具普及、鎌の 鉄鋳型出土 (中国)	
戦国	初期鉄器	B.C. 0		このころ金属製品大 陸より渡来	このころ鋳物はじめてつくられる。(銅製の 利器、鋤、鐮など)
西漢		A.D. 0			
東 漢		100	弥 生		銅鐸の石型出土 (大阪、兵庫など)
		200		鋳銅鏡渡来 (魏志倭人伝)	
三国 (魏・呉・蜀)	新羅	300			
西 晉	高句麗	400			鏡の鋳造さかん (鏡作部発祥)
東 晉	百濟	500	古 墳	仏教公伝、百濟から 鋳造技術者渡来	蠟型による仏教法具の鋳造
南北朝		600	飛 鳥		飛鳥大仏 (606年) 完成
唐	統一新羅	700	古 奈良	大宝律令公布 (最初 の鋳業法規施行)	このころ常陸・近江などで製鉄行なわれる
		800	代 貞観	鉾山採掘活発になる	奈良大仏 (749年) 仏体の鋳造おわる
五代		900			河内丹南がしだいに鋳物業の中心となる このころから鉄の鍋釜、農耕具の生産活発
遼・北宋		1000	平 安	このころ、模倣から 脱却し、独自の鋳造 技術確立さる	川口の鋳物発祥 (伝)
金・南宋	高麗	1100	藤原	河内丹南の鋳物師に禁裏御用御鋳物師の 称号たまわる (伝)	河内丹南の鋳物師に禁裏御用御鋳物師の 称号たまわる (伝)
元		1200	鎌 倉	平重衡東大寺を焼く (大仏損傷す)	茶湯釜などの鉄鋳物普及す
		1300	中 鎌倉		鎌倉大仏 (1252年) 鋳造開始
明		1400	南北朝		このころ、関東・愛知を中心に鉄仏の鋳 造さかん
		1500	世 室町	種子島に鉄砲伝来	鋳物師職座法の掟発布 (伝)
	朝鮮王朝	1600	近 安土桃山	出雲地方で「鉄穴流 し」はじまる	京都三条釜座、鋳物業の中心的存在となる。
		1700		鎖国令	
清		1800	世 江戸		
		1900	近 代	各国の開国要求強まる 洋式高炉の建設進む 官営八幡製鉄所稼動	近代技術の導入はじまる (反射が溶解— 大砲鋳造など) 造船を中心に近代化進む (長崎製鉄所な どでキュボラ稼動)

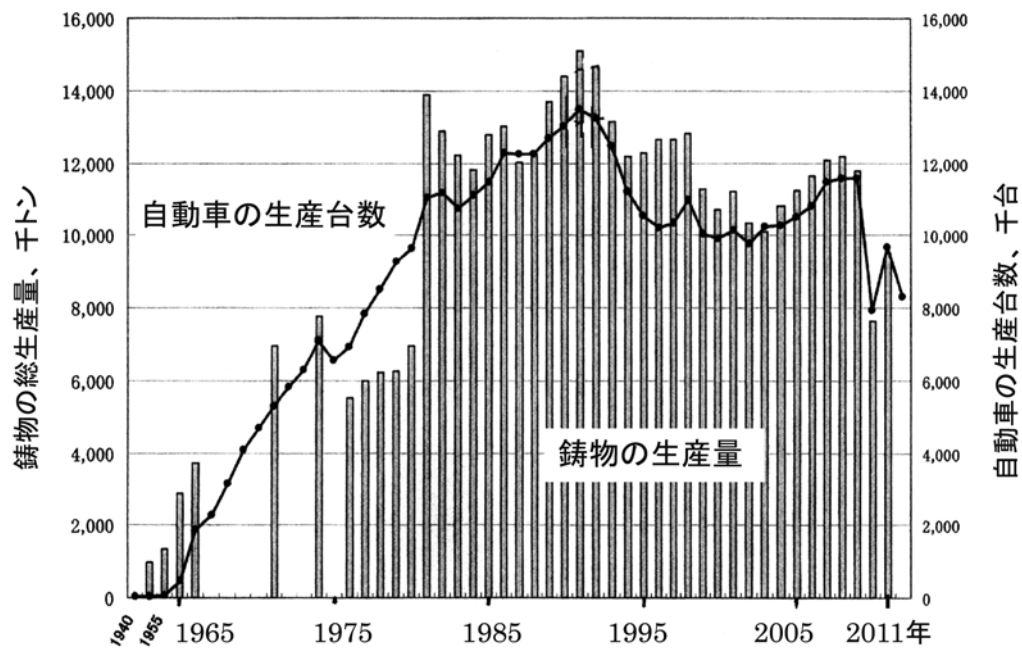


図 1.1 我が国の鋳物の生産量と自動車生産台数の推移⁵⁾

引用・参考文献

- 1) 石野 亨：「鋳物 5 千年の歴史」日本鋳物工業新聞社（1994, 3）
- 2) 石野 亨：「鋳物の文化史」小峰書店（2004, 2）p6
- 3) 三菱造船：「創業百年の長崎造船所」昭和 32 年（1957）
- 4) IHI：「石川島重工業株式会社 108 年史」昭和 36 年（1961）
- 5) 久保田 保：「温故知新」鋳造工学 84（2012）p640-646
- 6) 斎藤大吉：「金属合金及其加工法 中巻」丸善 明治 45 年（1912, 5）
- 7) 陸軍砲工學校：「明治四十年 工藝學教程 工藝通論」

2 | 鋳物の歴史と用途

2.1 鋳物の分類と 5000 年前から現代まで

鋳造技術はその歴史が非常に長く、今から 5000 年前、すなわち紀元前 3000 年頃に始まったとされている^{1, 2)}。焚火や木炭の燃焼で溶解でき、通常の粘土製の坩堝で耐火度が十分な金属が青銅であり、金であった。そこで、初期は青銅を中心に鋳造が始まり、その後、鋳鉄、鋼、アルミニウムへと進化してきた。鋳鉄鋳物の歴史は今から 2500 年前で、紀元前 500 年頃、中国で始まったと考えられている³⁾。そして、鋳鋼が製造されたのは僅かに 200 年前に過ぎない。これは溶解温度の差によるものである。しかし、アルミニウム鋳物は僅か 100 年程度の歴史しかない。これは、原料のボーキサイトからアルミを得るのが電気に依存したことが原因で、電気が普及したのちにアルミニウムの時代が到来したことによる。

青銅鋳物の斧は柄がすげられることで石器の斧などに比べて格段に使い易く、これが石器時代から青銅器時代へと移った原因の 1 つであろう。この主原因は中子による柄の取り付け孔の製法にあると感じている(図 2.1)。そして、嘉永 6 年(1853 年)の黒船の到来により徳川幕府は西洋の大砲の威力を知らされ、日本が開国に至った経緯は鋳物を語るうえで無視できない事実であろう⁴⁾。

我が国の鋳物を語る上では奈良の大仏は避けて通れない。これは銅合金鋳物ではあるが、あえてここに記載する。その重量は 250 トンといわれており、世界

最大の鋳造仏である(図 2.2)^{5, 6)}。この大仏は 745 年から大仏の塑像作りを開始し、その鋳造は 747 年から 749 年で、下から上に向かって 8 段に分けて鋳造されている。そして、補鋳・鋳凌が完了したのが 755 年で、771 年に大仏殿が完成している⁶⁾。このように大きな物が蒸気機関などの動力を用いることなく、人力だけでできる点も鋳物の面白さである。

この様に、鋳物は青銅器から始まり、鋼の鋳物(鋳鋼)へと発展してきた。現在の日本では、2011 年度にはダイカストを含めると、非鉄(主にアルミニウム)鋳物の生産金額が、我が国鋳物全体の 50% 以上に達している⁷⁾。したがって、鋳物を語るにはダイカストに代表されるアルミニウム鋳物は避けては通れない。しかし、これら全ての範囲を記述すると、余りにも広い分野にまたがり、与えられた紙面を大幅に超えてしまうことになる。そこで本稿では鉄の鋳物、すな



図 2.1 5000 年前の青銅製斧の鋳物(トルコ)

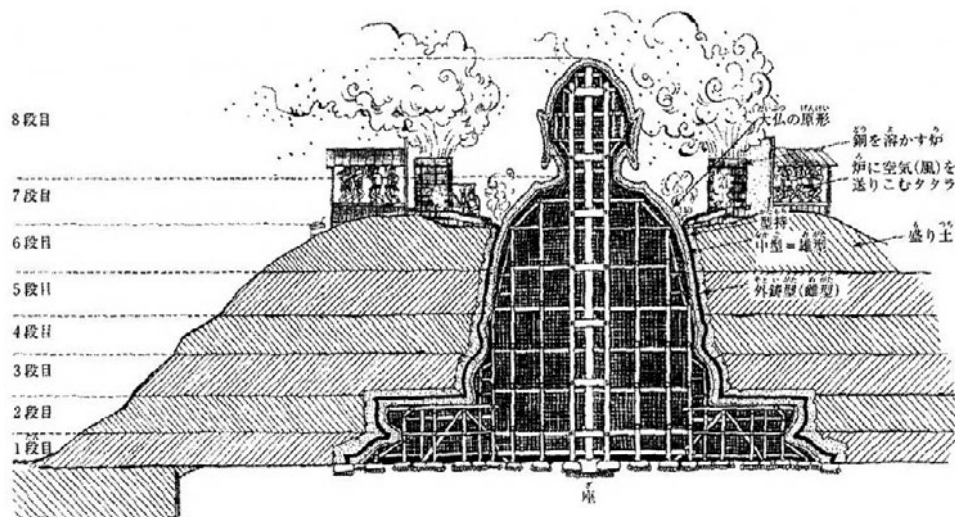


図 2.2 奈良の大仏とその作り方⁵⁾

わち、鑄鉄と鑄鋼に限定し、それも主として砂型鑄物に限定した。そこで、精密鑄造も除外した。これに関しては石野⁸⁾の分類に準じて、鑄鉄と鑄鋼の技術史を中心に、幕末から明治以降に絞って記述することとした。

鑄鉄はねずみ鑄鉄（片状黒鉛鑄鉄）と、可鍛鑄鉄、球状黒鉛鑄鉄などに分類される⁹⁾。ねずみ鑄鉄は白鑄鉄に対する用語である。白鑄鉄（白鉄ともいう）とは、鑄鉄が凝固する際に、鑄鉄中の珪素分が少ないことで黒鉛を晶出できず、炭素は鉄との炭化物を作る。すると、その破面は真っ白で、これから白鑄鉄と称した。これに対して、十分な珪素が含まれていると黒鉛を晶出する。この破面はねずみ色をしていることから、ねずみ鑄鉄（鼠鑄鉄）と呼ばれ、現在でもこの呼び方が通用している。したがって、広義のねずみ鑄鉄には多くの鑄鉄が含まれるが、現在では片状黒鉛鑄鉄を指す。

石川¹⁰⁾によると、昭和10年当時、片状黒鉛鑄鉄は普通鑄鉄と高級鑄鉄として分類され、更に高級鑄鉄は特殊鑄鉄甲、乙、丙にその強さで分類されていた（表5.3参照）。その最も強い丙で、引張り強さは23kg/mm²以上とされている。しかし、ドイツのPiwowarskyの著書を翻訳した「高級鑄鐵」¹¹⁾では、引張り強さで38.5kg/mm²の片状黒鉛鑄鉄が紹介されている。ここに技術力の差を見ることができる。片状黒鉛鑄鉄が日本標準規格化されたのは1947年で、JIS 金属 5501 であるが、昭和6年（1931年）出版の高級鑄鐵管では引張り強さは25kg/mm²が規定されている¹²⁾。また、球状黒鉛鑄鉄が発見される以前は可鍛鑄鉄が最も強い鑄鉄であり、古くは欧米で多用され、我が国でJIS化されたのは1952年でJIS G5701になる¹³⁾。

球状黒鉛鑄鉄は1947年に英国で発明されたが、我が国で最初に出版された鑄物便覧⁹⁾では1948年に発明されたとなっている。我が国最初の球状黒鉛鑄鉄の本は文部省球状黒鉛鑄鉄研究班の本で、新しい鑄鉄に位置づけられている¹⁴⁾。そしてJISが制定されたのは1961年である。

谷山¹⁵⁾によると、鑄鋼（鋼鑄物）は、炭素鋼鑄鋼4種とMn鑄鋼、Ni鑄鋼、Cr鑄鋼と不銹鋼鑄鋼、Ni-Cr鑄鋼などに分類されており、さらに、特殊鑄鋼はその付録I¹⁵⁾に詳細に記述されている。また、滝川の回顧録¹⁶⁾には大正5年のアメリカ留学から、それ以降の日本の鑄鋼の歴史が小松製作所を中心に記述されており興味深い。

明治42年に発刊された「金属合金及其加工法」は、上、中、下の3巻からなり、中巻は全てが鑄物であ

り¹⁷⁾、当時の金属加工法に占める鑄物の重要度がうかがい知れる。中巻の構成は、鑄型、溶解（鍋爐、坩堝爐、反射爐、キューボラ、取鍋などで）、材質、仕上げ、工場設備などである。因みに、上巻は金属と合金で、下巻は塑性加工、接合、工具、工具機械、被覆で構成されている。

我が国、近代の鑄物史を扱った著書は少ない。しかし、我が国の鑄造企業各社の社史¹⁸⁻²¹⁾に明治以降の鑄物の歴史を見ることができる。また、明治四十年工藝學教程など²²⁻²⁵⁾に明治時代の詳細を見ることができる。さらに、大橋の書²⁶⁾には明治時代の製鉄の詳細が記述されており、貴重な本といえることができる。

2.2 幕末から明治へ

江戸幕府は長崎のオランダ商館からペリー来日の情報や西洋情勢を事前に聞かされており、東南アジアの実情、例えばアヘン戦争の情報ももたらされていた。そこで天保12年（1841）には高島秋帆を中心に徳丸が原（現在の東京・高島平）で西洋砲術の軍事演習を行い、葦山の反射炉の建設を行っている。少し詳細に述べると、1850年佐賀藩鍋島直正が日本初の実証反射炉を建設、洋式大砲の鑄造を始めている。佐賀藩からの技術支援を受けて1853年に江川英敏（通称は江川太郎左衛門）が伊豆葦山に反射炉を設置。1857年には水戸藩徳川斉昭が反射炉を2基完成（水戸藩営大砲鑄造所）。このように、江戸幕府は黒船の来襲を予知し、準備を進めていた。しかし、十分ではなかった。この辺の事情は「ペリー提督の機密報告書」など^{27, 28)}を参照いただきたい。

幕末から明治にかけて鑄物の歴史は大砲と軍艦の歴史といっても過言ではない。嘉永6年（1853）の黒船の来襲で衝撃を受けた幕府は海防の必要性を悟り、自ら浦賀に造船所を設立するとともに、水戸藩に命じて嘉永6年（1853）に石川島造船所（現在のIHI）を深川に開設させた²⁹⁾。徳川幕府は石川島造船所を拡充することを決め、元治2年（1865）に横浜製鉄所が完成した。慶応元年（これは元治2年でもある）に建設中の横浜製鉄所の写真を図2.3に示す³⁰⁾。かなりの規模の工場であり、米国から輸入した工作機械を据付け、工場は完成したとある³⁰⁾。そして、この工場の機械設備は表2.1に示すように、本格的なものであった³¹⁾。またこれより、この工場には鑄造工場が併設されていたことがわかる。

さらに、徳川幕府は幕末に長崎に製鉄所を設置した。この辺の事情は「日本鑄造50年史」¹⁸⁾に詳しく

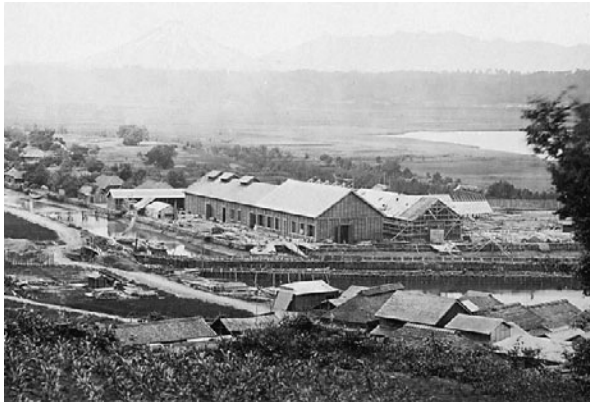


図 2.3 横浜製鉄所工事中の写真（慶応元年）³⁰⁾
（横浜開港資料館）

表 2.1 横浜製鉄所の設備³¹⁾

（鍊鉄工場）	
・ 3/4t 蒸気ハンマー	1
・ 金床	12
・ 1t ラジアルクレーン	2
・ 調帯伝導送風機	1
（製缶工場）	
・ 3/4t 可搬ポンチング&シアリング機	1
・ ベンディングローラー（調帯伝導）	1
・ " （手動）	1
・ ラジアル盤（ラジアルボール盤と思はれる）	2
・ 金床	4
（模型工場）	
・ 木工用旋盤	2
（鑄物工場）	
・ 3t キュボラ	1
・ 5t ラジアルクレーン	1
（旋盤工場）	
・ 大型旋盤（20 フィート）	2
・ 旋盤（8～14 フィート）	5
・ 正面旋盤	1
・ 平削盤大小	2
・ ドリル盤大小	2
・ シェーピング盤	2
・ スロットティング盤	1
・ ネジ切盤	2

記述されているので、これを引用して記述する。安政 2 年（1855）には長崎に海軍伝習所と艦船造修工場を創設する計画を立てた。この艦船造修工場は長崎溶鉄所（正しくは鋳鉄所）と名付けられた。その建設から操業に至るまでの状況は三菱造船（現 三菱重工業株式会社）が昭和 32 年（1957）に発行した「創業百年の長崎造船所」³²⁾ に詳しく述べられている。鋳鉄所は万延元年（1860）に上棟式を行い、長崎製鉄所として改称された、とある³³⁾。当時の工場は鍛冶場、工作場、鋳鉄場（鑄物工場）の 3 工場からなり、原動

力 25 馬力、溶鉄炉 12 基、工作機 20 台を備えていた。かなりの大きさの工場である。しかし、事業はあまり振わず、明治維新までに数隻の船舶を建造したに過ぎなかった。そして、明治 4 年（1871）に工部省の管轄となり、明治 17 年に三菱会社長崎造船所となる。これにはオランダの強力な援助があった。

文久 2 年（1862）ころの飽ノ浦長崎鋳鉄所の写真を図 2.4 に示す。この建物の背後に鋳鉄場があったとされている。そして、万延元年（1860）の長崎製鉄所の写真を図 2.5 に示す。この写真はオランダ WILTON-FIJENOORD 造船 100 年史にも集録されている、と記されている。これら写真の年号は長崎造船所 150 年史でこのように訂正されたので、その年度を採用した³³⁾。



図 2.4 文久 2 年（1862）ころの飽ノ浦長崎鋳鉄所³²⁾

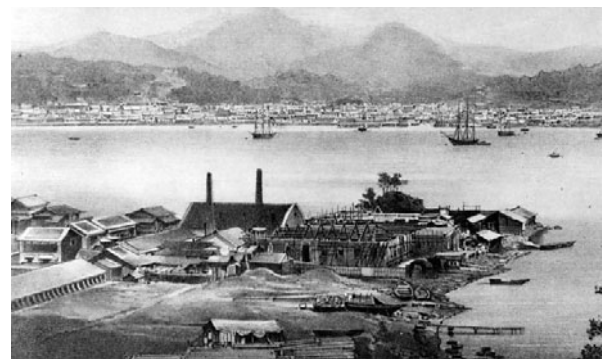


図 2.5 万延元年（1860）の長崎製鉄所³²⁾

先に大砲と軍艦の必要性を記述した。そこで明治時代の我が国での軍艦の建造と輸入の状況を表 2.2¹⁸⁾ に示す。このように、軍艦は明治の後半までは輸入が主で、特に大型艦の大半は日露戦争までは輸入によって賄われていた。

江戸時代末期には島津斉彬は嘉永 4 年（1851）、藩主に就任するや藩の富国強兵に努め、洋式造船、反射炉・溶鋳炉の建設、地雷・水雷・ガラス・ガス灯の製造などの事業を興した。安政 4 年（1857）にこの一連の工場群は集成館と命名された。その規模は東洋一と

表 2.2 明治時代の軍艦建造の推移¹⁸⁾

期 間	輸 入	自 製
明治元年～28年	14隻 — 4 万 t	17隻 — 2.5 万 t
29年～38年	19隻 — 24.4 万 t	8 隻 — 1.88 万 t
39年～44年	3 隻 — 2.88 万 t	17隻 — 23.95 万 t

され、最盛期には 1200 人が働いていた、とされている³⁴⁾。反射炉があるので、勿論、鋳物を作っていた。

久保田鉄工は明治 23 年（1890）鋳物メーカーとして創業を開始、1893 年には水道用鋳鉄管の製造を開始している³⁵⁾。

明治 43 年（1910）鮎川義介が、日立金属の前身である戸畑鋳物を設立し³⁶⁾、これが日産自動車のルーツとなる。1903 年、東京帝国大学の機械科を卒業した鮎川義介は、一職工として芝浦製作所（現在の東芝）の現場で作業し、鋳物の重要性を認識した。そこで 1905 年に単身米国に渡り、鋳造工場で工具として働き、鋳造技術の体得に努めた。1 年半で鋳造技術を会得できたと感じ、鋳物づくり起業準備のため帰国し、明治 43 年（1910）に図 2.6 に示す戸畑鋳物（日立金属の前身）を創立し、我が国で初めて黒心可鍛鋳鉄の製造を開始した。初めから本格的な工場である。



図 2.6 設立当時の戸畑鋳物工場の全景
（日立金属九州工場提供）

この辺の事情は松尾の書³⁷⁾に詳しく記述されている。戸畑鋳物の木型工場はその一部が現在の鋳物記念館（日立金属九州工場内）として保存されている。鮎川義介はアメリカでの経験を手帳に書き留め、これに基づいて戸畑鋳物を設立した。この手帳は鋳物記念館に展示されている。この木型工場の建設には高価なアメリカ・カーネギー社の鋼材が使用されており（図 2.7）、明治時代の我が国の鉄鋼業の実力が伺いしれて、

面白い。この記念館には工場の操業開始時に反射爐の初湯（最初の溶解で、初めて取出した鋳鉄）で鋳込んだ鮎川家の家紋入りの火鉢（図 2.8）も展示されている。



図 2.7 当時の木型工場（現・鋳物記念館）の鉄骨



図 2.8 戸畑鋳物が初湯で作った火鉢

日立鉱山を母体として久原財閥が誕生し、日立鉱山の発電所の管理と、工場で使用する電気・機械部品の修理製造部門として日立製作所の前身が誕生した。明治 43 年（1910）に 1267 坪の最初の建物を建造し、国産初の 5 馬力誘導電動機（モーター）を完成させたことに始まる³⁸⁾。この工場には 80 坪の鋳物工場と 64 坪の木型工場が作られていた。そして、明治 44 年 5 月に拡張工事が完成し、599 坪の大型鋳物用の工場と、194 坪の小型鋳物用の工場を建設している。明治 45 年 10 月には久原工業株式会社・日立製作所として分離・独立した³⁸⁾。したがって、日立製作所も鋳造に端を発している。

同じく明治 43 年に日本石油付属新潟鉄工は独立・分離し、株式会社新潟鉄工となった^{20, 21)}。このような経緯から、新潟鉄工はディーゼル機関の製造を目的に設立され、大正 8 年（1919）に国産初のディーゼル機関の製造に成功している。そして同社は、現在では

新潟原動機と社名を変更している。しかし、新潟鉄工の70年史²¹⁾にある明治31年(1898)の「工場縦覧案内書」には、工場は鍛冶、旋盤、鑄造、木型、仕上、製鑄、仕上、木工、塗工、挽立の九部で職工数は凡そ300人とある。これより、明治43年の独立・分離以前に鑄物を作っていたことが判明した。

池貝製作所は明治22年(1889)、池貝正太郎が東京芝に池貝工場を設立し、国産旋盤第1号を完成させ、明治39年(1906)に池貝鉄工所を設立した^{39)、40)}。そして、明治45年3月に第5工場を完成させた。これには63坪の鑄物工場と15坪の鍛冶工場が作られた。そして、明治45年11月に144坪の鑄物工場を新設し、これを発動機部門として分立させた。これが大正2年(1913)には池貝鉄工所となり、大正3年に400坪の三田工場を作り、ここには大型鑄物の工場も作られている。そして、昭和10年(1935)に鑄造の専門工場、池貝鑄造所を川口に設立した⁴⁰⁾。

日本鑄鋼所(住友鑄鋼場の前身で、現在の住友金属工業)は明治32年(1899)に設立された⁴¹⁾。この設立は、明治30年にドイツへ製鉄法取得のため派遣された八幡製鉄所の技手、山崎久太郎と羽室庸之助が、鑄鋼の重要性に着目し、大胆にも鑄鋼技術の研究に従事したことが切っ掛けとなった。帰国後に農務省大臣

あてに鑄鋼に従事させるよう嘆願したがいれられず、休職を命じられた。この時、平賀義美博士に支援され、日本鑄鋼所の設立になった、と記されている⁴¹⁾。この工場が伝法工場で、当初は職員8名、工員24名で3.5トンの小型シーメンス式平炉(図2.9)で明治33年に操業を開始し、翌年、住友鑄鋼場となった。その後、明治40年(1907)に島屋工場(図2.10)に移転した。この工場は以前の伝法工場の約3倍の規模であった。

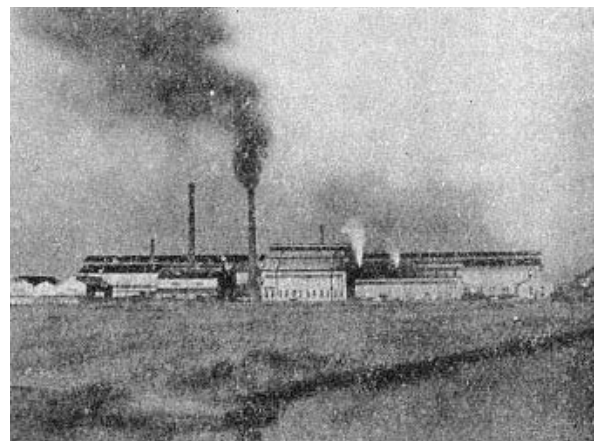


図 2.10 島屋鑄鋼工場の全景(明治40年頃)⁴¹⁾

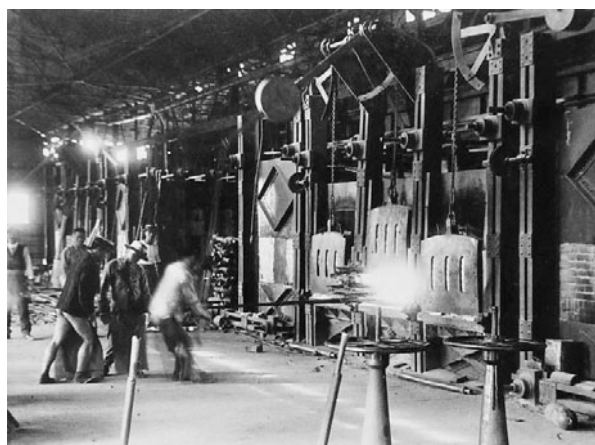


図 2.9 民間最初の平炉(伝法工場)⁴¹⁾

日本製鋼所は明治40年(1907)に北海道炭礦汽船株式会社(北炭)と英国 Armstrong Whitworth 社、英国 Vickers 社の共同出資により北海道室蘭町に設立されたが⁴²⁾、実際には明治42年に操業を開始している。図中の右上の写真は明治42年から給水を行った水源池である⁴³⁾。この工場には50トン高炉、1000キロワットの発電所3基、200キロワットの発電所1基と、4000トンプレス機が設置されている(図2.11)。そして鑄造工場には、鋼の溶解炉として、シーメンス式の平炉が50トン炉2基、25トン炉4基、5トン炉2基が設置された。この内、25トン炉1基は塩基性炉となせり、とある。いずれにしても全体では最大製鋼能力430トンとなっている⁴²⁾。鑄鉄の溶解炉は6トン



図 2.11 創業当時の日本製鋼所室蘭工場^{42)、43)}

キューボラ4基で、銅合金の溶解用としてはルツボ炉がある。正に驚くべき規模であった。そして、明治45年には100トンの炭素鋼塊を造っている。技術者としては多くの英国人が働いており、その給料なども詳細に記述されていて、これより、彼らに如何に高給を支払っていたかがわかり、誠に興味深い。

小松製作所は、大正7年(1917)石川県能美郡国府村(現・小松市)で銅山を経営していた竹内鉦業(吉田茂の実兄である竹内明太郎により創業)が自家用機械生産のため小松町に小松鉄工所として誕生させた⁴⁴⁾。

さらに、大正15年11月(1926)には、豊田佐吉の発明になる「自動織機」を製造するため、愛知県刈谷町(現・刈谷市)に豊田(とよだ)自動織機製作所(現・株式会社豊田自動織機)が設立⁴⁵⁾された。この会社の前身は明治44年に設立された豊田自動織布工場であり、大正7年に設立された豊田紡織である。しかし、この時代には铸造工場は有していない。それが、豊田自動織機製作所の設立時には、織機本体は大部分が铸件であることから、铸造工場を設立していたことが判明した(図2.12)⁴⁵⁾。この図より、組立て工場に先だって铸件工場が作られたことがわかる。この製作所を基にトヨタ自動車工業が昭和12年8月(1937)に誕生した。

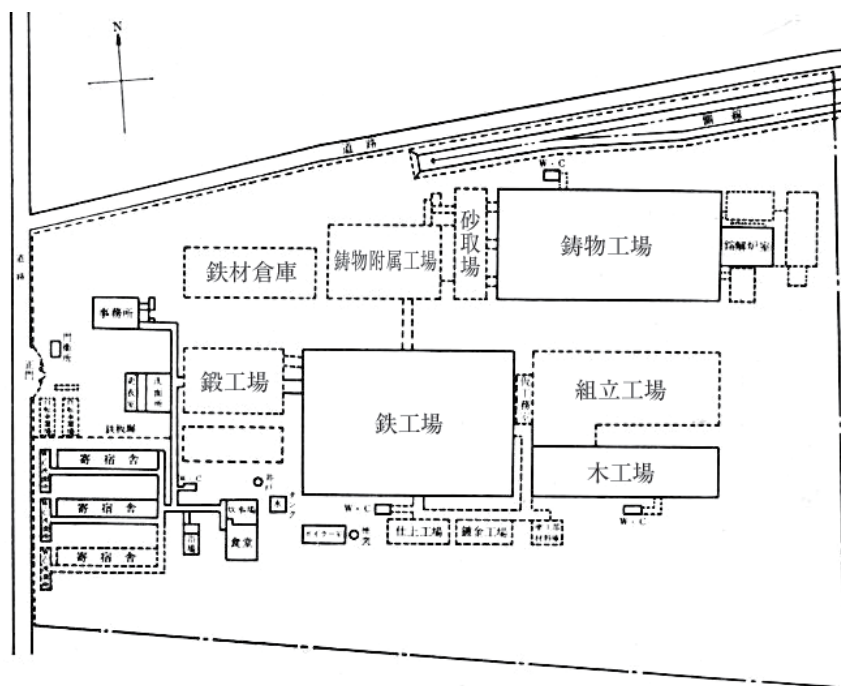
この様に見てくると、江戸時代の末期に、徳川家が長崎や江戸深川に軍事目的としての工場を作ったこと

が、その後の我が国の近代産業の発展の基礎を築いたことがわかる。また、当時は铸造は大砲のみならず、機械装置の製造にも極めて重要であり、かつハイテク技術であったかも理解できよう。

2.3 铸件の用途と特徴

古くは、铸件といえば鍋・釜が連想されるように、落とせば割れるような脆い金属製品との印象が強い。しかし、現在の铸件は铸铁やアルミニウムで、その60~70%は自動車に使われている。そして、工作機械を始めとした産業機械やガス管、水道管にも使われている。特殊な例では、ジェットエンジンのタービン・ブレードや発電用ガスタービンのブレード、風力発電の頭部やベッド、大型船のスクリューも铸件である。小さなものでは指輪と入れ歯が铸件である。最近では、航空機部品やロボットの部品にも使用されている。铸铁铸件の用途の詳細に関しては「新版 铸铁の材質」⁴⁶⁾や「ユーザーのための铸造品ハンドブック」⁴⁷⁾を参照いただきたい。

図2.13に自動車部品として铸铁铸件を示したが、これらの代表的な铸件はシリンダーブロックであろう。铸造は複雑形状品を、中子を用いて一体で製造できる特徴を有している。その代表例として乗用車の铸铁製シリンダーブロックとその中子を図2.14に示す⁵⁾。上段は中子群で、下段左がこれを組み立てたも



注) 実線は大正15年末創立直後の工場、点線は昭和2年9月末現在

図2.12 創業時の豊田自動織機製作所⁴⁵⁾



図 2.13 自動車部品として鋳鉄鋳物

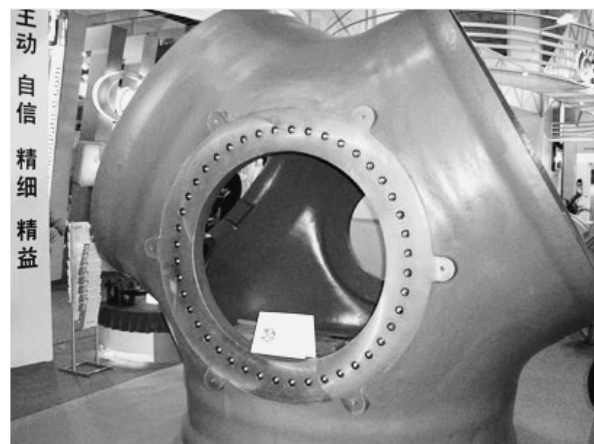


図 2.15 中国製の風力発電用頭部の鋳物

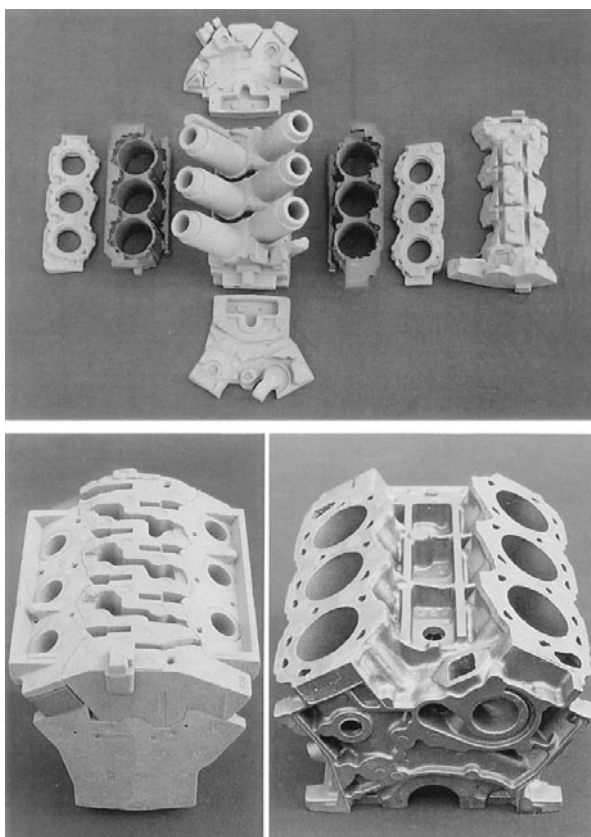


図 2.14 鋳鉄製シリンダーブロックとその中子⁵⁾

ので、組立中子という。上段中央部の 6 本の筒は鋳物製品（下段右）のシリンダーの孔を開けるための中子で、その両脇にある少し黒っぽい鋳型は水冷の水を流す流路を造る中子で、凝固終了後には製品から完全に取り除かれ、水の流路を形成する。

このような複雑な形状の物が一体でできるところに鋳物の面白さがある。これを切削などの外の加工法で作れば、自動車一台分の価格になるであろうことは想像に難くない。したがって、シリンダーブロックが鋳造以外の加工法で作られることは考え難い。

最近では、直径 2 メートル程度の巨大な風力発電の頭部（図 2.15）や基礎部も鋳鉄で作られており、鋳造が新しい分野を開拓した、といえる。さらに、この部品の先端に長さ 20 メートルほどの FRP 製の 3 本の羽がついて風力発電機は構成されている。

この辺の最近の鋳造分野の動向は「鋳造分野のロードマップの概要」⁴⁸⁾ に詳しく記載されており、これを参照いただきたい。

引用・参考文献

- 1) 石野 亨：「鋳物の文化史」小峰書店（2004, 2）
- 2) 石野 亨：「鋳物 5 千年の足跡」日本鋳物工業新聞社（1994, 3）
- 3) 任 善之、劉 志民：「中国古代鋳鉄の発展」日本鉄鋼協会、「鉄の歴史－その技術と文化」フォーラム（2006, 8, 26）
- 4) 加山延太郎：「鋳物のおはなし」日本規格協会（1985, 3）p60
- 5) 中江秀雄：「新版 鋳造工学」産業図書（2008, 4）p2-12
- 6) 石野 亨、井口文秀、稲川弘明：「奈良の大仏をつくる」小峰書店（1983, 4）
- 7) 中谷兼武：「大きな転換期にある鋳造業界」鋳造ジャーナル（2012, 1）p4
- 8) 石野 亨：「鋳物の技術史」日本鋳造工学会編（1997, 3）p229
- 9) 日本鋳物協会編：「鋳物便覧」（1952, 1）p17, p338-343
- 10) 石川登喜治：「鑄造法」（1936, 7）共立社 p149-158
- 11) 川口寅之輔、藤井健也共譯：「高級鑄鐵」コロナ社（1941, 2）p372
- 12) 栗本鉄工所：「鑄鐵管」単式印刷株式会社（1935,

- 12) p6
- 13) 斎藤大吉、澤村 宏、森田志郎：「金属材料及其加工法 鑄鐵篇」丸善（1953, 5）p490-492
- 14) 文部省球状黒鉛鑄鉄研究班著、飯高一郎監修：「球状黒鉛鑄鉄の研究」日刊工業新聞社（1952, 7）
- 15) 谷山 巖：「銅鑄物」三省堂（1939, 5）p188-193, p217-267
- 16) 滝川廉雄：「鑄鋼の生涯五十五年の回顧」昭和工業写真印刷所（1975, 8）
- 17) 斎藤大吉：「金属合金及其加工法 中巻」丸善 明治45年（1912, 5）p1-271
- 18) 日本鑄造株式会社：「日本鑄造 50 年史」昭和45年（1970, 9）
- 19) アイシン高岳株式会社：「ともに歩んだ40年：アイシン高岳史」（2000, 12）
- 20) ㈱新潟鉄工所：「新潟鉄工所 100 年史」（1996, 3）
- 21) ㈱新潟鉄工所：「新潟鉄工所七十年史」（1968）p11
- 22) 陸軍砲工學校：「明治四十年 工藝學教程 工藝通論」
- 23) 陸軍砲工學校：「明治四十年 工藝學教程 兵器製造」
- 24) 陸軍砲工學校：「大正十三年 工藝學教程 軍事工藝 第三版上巻」
- 25) 久保在久篇：大阪砲兵工廠資料集「大阪工廠ニ於ケル製鉄技術変遷史」日本経済評論社（1987）p127-235
- 26) 大橋周治：「幕末明治製鉄論」アグネ（1991, 2）
- 27) 今津浩一：「ペリー提督の機密報告書」（有）ハイドェンス（2007, 10）
- 28) 原田 喬：「銑鉄の溶解と大砲鑄造」幕末・明治期の製鉄遺跡と考古学、季刊考古学 雄山閣 109 号（2009, 11）p63-68
- 29) IHI：「石川島重工業株式会社 108 年史」昭和36年（1961）
- 30) 横浜開港資料館：「ベアト幕末写真集 1」（2006）
- 31) 元綱数道：「横浜製鉄所について」平成13年（2001）3月
- 32) 三菱造船：「創業百年の長崎造船所」昭和32年（1957）
- 33) 三菱重工：「長崎造船所 150 年史」平成20年（2008）
- 34) 田村省三ら：「島津斉彬の挑戦－集成館事業－」春苑堂出版 平成14年（2002）p68-82
- 35) クボタ：「クボタ 100 年」（1990）
- 36) 日立金属：「日立金属史 工場編」（1980）
- 37) 松尾宗次：「北九州に生きた人々 ものづくりの心を未来へ」財団法人 北九州都市協会 平成18年（2006）p3-34
- 38) 日立製作所：「日立製作所史」日立製作所社史編纂委員会（1960）
- 39) ダイヤモンド社編：「池貝鉄工 80 年史」昭和44年（1969）p51
- 40) 池貝鉄工所：「池貝鉄工所五十年史」池貝鉄工所編（1941, 12）
- 41) 住友金属工業：「住友金属工業六十年小史」昭和32年（1957）
- 42) 日本製鋼所：「日本製鋼所社史資料 上巻－創業より50年間の歩み」昭和43年（1968）
- 43) 日本製鋼所：「日本製鋼所百年史」（2008, 3）
- 44) 小松製作所：「小松製作所五十年の歩み：略史」昭和46年（1971）
- 45) 豊田自動織機製作所社史編集委員会：「四十年史」昭和42年（1967）p93-102
- 46) 中江秀雄監修：「新版 鑄鉄の材質」日本鑄造工学会（2012, 5）
- 47) 日本鑄物協会編：「ユーザーのための 鑄造品ハンドブック」丸善（1992）
- 48) 中江秀雄：「鑄造技術分野ロードマップの概要」素形材 50（2009）p62-67

3 | 原料地金の変遷

3.1 江戸時代後期の鉄

3.1.1 タタラ、たたらと高炉

タタラ（鉶）は我が国古来の製鉄炉である。倭国一は「たたら吹製鉄法」と記している¹⁾が、ここでは文章中でわかり易いように、読みやすさを考慮し、あえてタタラで記述することとした。タタラは往古より明治初年に至るまで、我が国での鉄鋼類のすべてを供給したのみならず、製鉄原料として砂鉄のみを使用し、世界における製鉄技術上、独特の地位にある技術である、と俵は記述している¹⁾。

窪田²⁾によれば、「タタラ製鉄」と呼ばれるものは江戸中期以降に進歩したもので、タタラの操業は大きく分けると鉶押しと鉶押しに分けられる。鉶押しは鋼の製造を、鉶押しは鉶鉄の製造を目的とした操業である。図3.1³⁾では溶融した鉶鉄を炉から取り出している様

子が描かれているので鉶押しである。鉶押しと鉶押しの手法は古くから分離していたものではなく、江戸以前のタタラは殆どが鉶押し系のものであって、鉶押の技術が確立し、これらの区別がはっきりしたのは極めて近代（17世紀の終わりのころから18世紀）になってからのことであろう、と窪田は記述している²⁾。図中には炉の両端に送風装置（踏鞴）が描かれている。これもたたらであり、これからは送風機をたたらで表記する。詳細は11章の用語解説を参照いただきたい。

タタラの1回の操業は3～4日で、鉶押の操業が終わると炉を壊し、中から鉶を取り出す⁴⁾。タタラの製品には鉶と鉶鉄があることはすでに記述した。鉶とは鉶押法によりできた鉄塊で、鋼に鉄滓が絡んだ状態のもので、通常は重さ1トンから1.5トンである。図3.2に和光記念館の鉶とその断面モデル²⁾を示す。鉶の上質の部分は頃鋼（ここでは上鋼、後の玉鋼）と呼ばれる。鉶押しでは操業の途中で炉内から熔けた鉶鉄を流

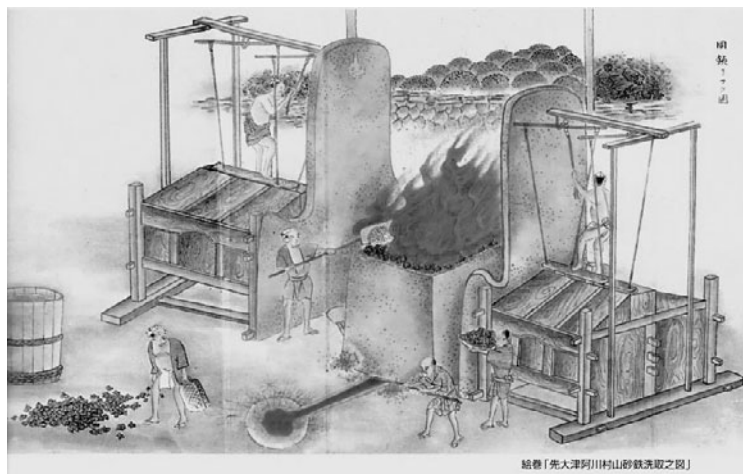


図 3.1 タタラ（鉶押し）の操業図³⁾（東京大学所蔵）

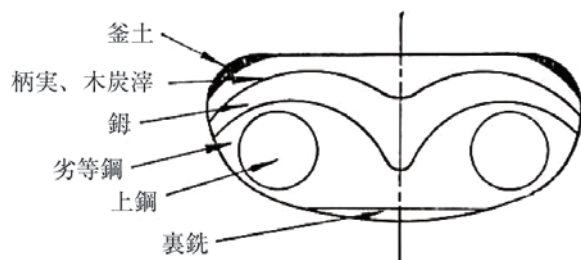
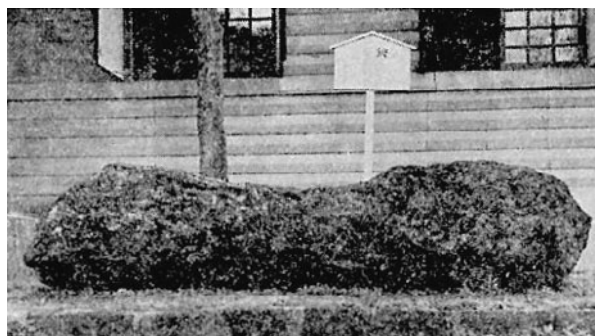


図 3.2 和鋼記念館の鉶と其のモデル断面図²⁾

島根県仁多郡横田町、叢雲タタラの鉶。重量約 3.5 トン。

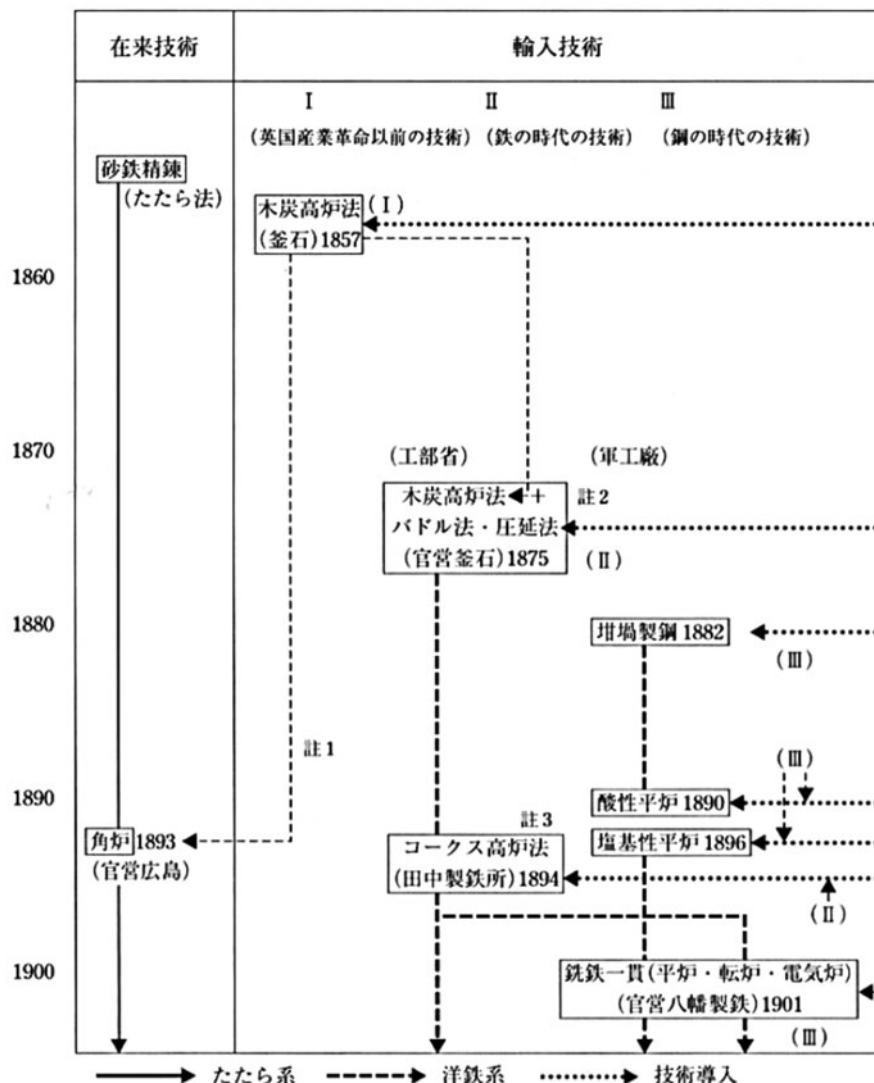
しだし、これを製品とした。

3.2.1 項で後述するように、タタラで得られた銑鉄（和銑）はケイ素含有量が少なく、ねずみ銑鉄の製造には適さなかった。その結果として、鑄造した大砲は白銑鉄となり、砲弾の発射に絶えなかった。この詳細は3.2節で記述する。この欠点を補うべく、江戸時代の後期から輸入銑鉄（高炉銑）が用いられた。

そこで、まずは幕末から明治に掛けての製鉄技術の変遷を図3.3に示す⁴⁾。これより、高炉は木炭高炉からコークス高炉に変化してゆく経緯が読み取れる。如何に良質の銑鉄（高ケイ素含有量）が求められたかがわかる。また、ここには和鋼（鋳）に関する記述は省

かれているが、和銑と釜石高炉銑鉄の生産量の詳細を表3.1に示す⁴⁾。これより、釜石高炉銑鉄の生産量が和銑を凌駕したのは1894年頃であることがわかる。これは図3.3のコークス高炉法の登場に一致する。すなわち、木炭をコークスに代えることで炉内の温度が上昇し、銑鉄中のケイ素含有量が増加した結果と、考えることができる。

また、この図からは製鋼炉は軍工廠には比較的早くから導入されていたこともわかる。そして、銑鋼一貫操業（コークス高炉・転炉・平炉・電気炉）が開始したのは1901年の官営八幡製鉄所の完成によってであった⁴⁾。



註1) 角鉄は砂鉄製錬の改良法で、鉄鋳製錬の高炉法を技術的に取り入れながら、実際はたたら法に近かった。

2) 鉄の時代の技術を取り入れながら、木炭高炉法を使った。そしてバドル法は殆ど使われなかった。

3) ヨーロッパのコークス高炉法が日本に取り入れられたのは、発明後200年も経ってからであった。一方製鋼法は、コークス高炉法より以前に軍工廠で実用化されていた。

図3.3 幕末から明治の製鉄技術近代化の過程⁴⁾

表 3.1 全国鉄類生産に占める中国地方と釜石製鉄所の比較⁴⁾

年 次	全 国 生 産 量	中国地方 生 産 量	釜石鉄 生 産 量	備 考
1874	4,882			(明治7年)
1875	3,438			官営広島鉄山再発足
1876	6,448			
1877	8,217			
1878	10,163			
1879	13,031	11,203		
1880	16,185	13,247	1,345	官営釜石鉄山製鉄作業開始
1881	16,125	12,948	1,930	
1882	12,163	10,911	452	
1883	14,835	14,366		釜石官業廃止
1884	11,861	11,668		小花冬吉広島鉄山改良着手
1885	6,770	6,533		
1886	13,759	12,811		
1887	15,413	13,921	1,492	釜石鉾山田中製鉄所設立
1888	18,836	16,849	1,987	小花、広島鉄山改良見込書
1889	21,163	16,734	3,025	
1890	22,414	17,466	3,864	大坂砲兵工廠、釜石鉄の優秀性を立証
1891	18,493	12,866	5,490	
1892	19,850	12,937	6,913	
1893	19,073	10,990	8,083	
1894	24,594	11,859	12,735	釜石高炉鉄、中国地方の全鉄類を越す
1895	26,543	10,766	12,982	
1896	28,142	10,759	15,417	
1897	27,991	10,658	16,098	官営八幡建設工事開始
1898	23,611	9,286	13,578	
1899	23,067	8,914	12,859	
1900	24,842	8,821	13,682	(明治33年)

3.1.2 和鉄の分類

タタラで得られた銑鉄はその一部は鋼の製造に用いられたが、大部分は鑄物の原料鉄であった。得られた鑄鉄は殆どすべてが白鉄であった。これより、原料砂鉄の名を冠して赤目白鉄とか真砂白鉄、また俗に生鉄とも呼ばれた。銑鉄の原料が砂鉄の場合には生鉄、岩鉄鉾の場合は柔鉄と呼んでおり、上州鉄、小坂鉄、南部鉄などという呼び方もあり、生産地名を付けて「鉄」と称した²⁾。

また、大きな鋸をタタラから引き出し水中に投込み、これを大鋸で壊して塊としたものを水入鋼、水鋼という。これを小割にして滓を取り除き、良質のものを総称して造鋼といい、これを頃鋼（後の玉鋼）、砂味、歩鋸、鋸細、造粉などに分類した⁵⁾。さらに、造鋼は折地鋼鉄とか本製鋼鉄、鉾鉄と呼ばれることもあった。鉾は鋤ではなく荒鉄と読むべきと記載されている。

これらの和鋼の用途は日本刀を始めとする刃物や火縄銃が中心であったが、玉鋼、砂味や歩鋸以下の品質のものは大鍛冶場に廻して包丁鉄（鍛鉄）製造用の材料として使用された。大鍛冶場には本場と左下場の2つの作業場があり、原料が鋸の場合には本場だけで

あったが、銑鉄の場合には左下場と本場の工程を経て鋼にしており、この技術をおろがねほう卸し鉄法という。この工程で作られた幅10センチ、長さ60センチ、厚さ1センチ前後の短冊形に折り重ね鍛造したものが包丁鉄である。包丁鉄は切子鉄とも呼ばれ、通常は小割鉄と言われていた。また、長割、平割、千割などとも呼ばれ、これらはまた、鉾地、斧地、釘地などとも呼んできた。包丁鉄は明治の統計では鍛鉄として計上されている。

所莊吉⁶⁾によると、鉄砲の製作に用いられた鉄は鋼（鍛鉄）と包丁鉄が主で、堺の鉄砲鍛冶は伯耆産の伯州鉄を用いたと記述されているのみで、原料鉄に関する詳細な記述はない。

これらの代表的な和鉄の化学組成を表3.2⁵⁾に示す。和鋼の特徴は不純物元素が少ないことで、このことが日本刀や火縄銃を製作するのに適している。すなわち、鍛接し易いといわれている²⁾。しかも、タタラの炉内の温度は近代の高炉に比べて低く、ケイ素（Si）の還元が不十分で、ケイ素含有量が少ないのが特徴でもある。

表 3.2 代表的な和鉄の化学組成⁵⁾

a) 和鋼の成分, %

産 地	C	Si	Mn	P	S	Cu
伯耆 砥波 炉	1.33	0.04	Tr	0.014	0.006	Tr
出雲 菅谷 炉	1.30	0.05	0.04	0.015	Tr	—
〃 横原 炉	1.15	0.023	Tr	0.018	Tr	Tr

b) 和銃の成分, %

産 地	C	Si	Mn	P	S	Cu
出雲 菅谷 炉	3.91	0.03	0.033	0.005	0.009	—
伯耆 砥波 炉	3.61	0.03	0.01	0.033	0.01	—
伯耆 鉄山	2.94	0.21	0.016	0.005	0.017	—

c) 和鉄（庖丁鉄）の成分, %

産 地	C	Si	Mn	P	S	Cu
伯耆（近 藤）	0.12	0.25	Tr	0.101	0.003	Tr
出雲（田 部）	0.15	0.110	Tr	0.031	Tr	Tr
〃（絲 原）	0.07	0.169	0.08	0.045	0.006	—

3.1.3 輸入鉄

a. 荷下鉄（銃鉄）

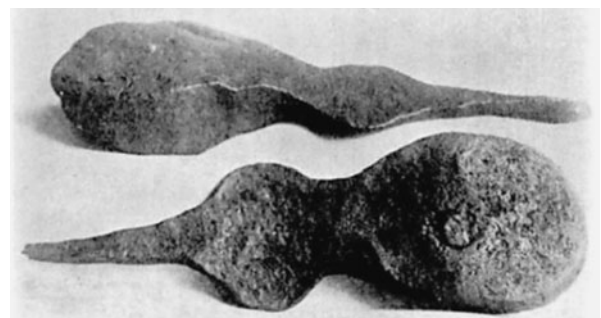
江戸時代末期に我が国は諸外国の来襲に備えて大砲を鑄造した。その多くは青銅製であったが、青銅は高価で、その資源も少ないことから鑄鉄で作ることが試みられた。佐賀藩が鑄鉄製の大型の大砲の鑄造に成功したことになっており、その理由として外国から輸入した荷下鉄（バラスト、ballast）の使用が挙げられている^{7, 8)}。すなわち、表 3.2 に示したように和鉄はケイ素含有量が少なく、黒鉛化が不十分で白鑄鉄に凝固し、脆く、砲弾の発射に耐えなかった。そこで、高炉で製造された荷下鉄の使用が成功の原因説が有力となっている。

バラストとは、本来、船の安定性を図るため船底に積み込んだ石や砂利であるが、石や砂利の代わりに銃鉄を積み込んだ場合には、これを荷下鉄といった。佐賀藩ではこの荷下鉄を購入し、これを溶解してねずみ鑄鉄の大砲の製造に成功したとされている⁷⁾。この場合にはバラストは黒鉛化したねずみ銃鉄でなければならない。この点に関して、1770 年に沈没した船が 1969 年に引き上げられ、鑄鉄製の大型の大砲と荷下鉄（銃鉄）が見つかった⁹⁾。この船はかの有名なキャプテン・クックの船で、グレートバリアリーフを航行中に暗礁に衝突し、座礁・沈没した。その鑄鉄製の大型の大砲とバラストの詳細な調査が行われている。この大砲

はねずみ鑄鉄で、化学組成は 3.5%C-0.5%Si-1.1%Mn-0.03%S-0.6%P-0.04%Ti と分析している。これに対してバラストは白銃で 3.01%C-0.01%Si-0.25%Mn-0.03%S-1.17%P-0.005%Ti-0.02%Cu-0.007%V であった。これは何を意味するものであろうか。筆者は、通常はバラストとしては安価な白銃が用いられていた、と理解した。高価なねずみ銃鉄をバラストに用いる必然性は全くない。すると、佐賀藩はねずみ銃鉄のバラストを特注した、と解釈すべきであろう。佐賀藩ではこの高価なねずみ銃^{10, 11)}を特注したのではなかろうか。

b. 南蛮鉄（鋼）

南蛮鉄とは図 3.4 に示すように、ひょうたん型をしており¹²⁾、その重量は 330 グラム程度で、0.92～1.96%C-0.01～0.04%Mn-0.002～0.005%S-0.106～0.123%P に、滓が 1% 程度含まれていたと俵¹²⁾は分析してい

図 3.4 南蛮鉄の外観¹²⁾

る。これは比較的、高炭素含有量の鋼で、幾分燐が多い。

南蛮鉄に関して窪田¹³⁾は、江戸時代に南蛮鉄が好んで用いられたが、その品質は疑問である、と記述している。当時は銑または鋳の小塊を槌打ちして鉄滓を搾出除去して鍊鉄を造る卸し鉄法が普及していたので、溶解し易い（鍛造の容易な、の誤りと思われる）南蛮鉄を銑や鋳に混ぜて使用し、あたかも南蛮鉄だけで作ったかのように装っていた、と記述している。面白い話である。

俵は南蛮鉄を用いて日本刀が作られたこと、南蛮鉄は出羽鉄よりも堅く銑のようであるとか、和鉄に代えて使用するの難しい、と記述している¹²⁾。いずれの資料も、南蛮鉄は必ずしも良質の鋼ではなかった、と言っている。しかし、火縄銑に関しては南蛮鉄を用いたとの記録がある。これによれば、日本の鉄は脆くて鉄砲を造ることができないので、多くはシャムの鉄を購入しており、暹羅鉄、福建鉄を密輸入した、と記されている¹⁴⁾。これも南蛮鉄の別の呼び名である¹⁵⁾。

これら鉄鋼材料の推移を総合的な立場から検討してみる。この資料によれば、明治25年頃からタタラ銑が高炉銑に置き換えられてゆくが、輸入銑は明治35年までは急増し、国内銑を上回っていると報告されている。そこで、表3.3を大橋の書¹⁶⁾より引用した。一方で鋼は、この統計が取られた明治7年には既に輸入材が国内材を上回っている。これに対して、国産の溶鋼は明治34年に初めて統計に現われる¹⁶⁾が、明治7年には輸入鋼材が和鉄（国産の鍊鉄）を上回ってい

る。如何に急激に技術の進歩が行われたかをうかがい知ることができ、興味深い。また、ここでいう鍊鉄とは溶解した鋼に対する用語で、タタラや卸し鉄法で作られた鋼で、半凝固状態でこねて作ったことから鍊鉄の呼び名がある（表3.4参照）。

銑鉄を鋼に変える画期的なプロセスにパドル炉（Puddling furnace）がある¹⁶⁾。この炉は図3.5に示すように反射炉に精鍊室を設けた構造である。図中の左端に反射炉の煙突が見える。煙突の手前が精鍊室で、中央の小さい穴から炉内で熔融させた銑鉄に鉄鉾石などを投入し、鉄棒でこねる。この操作で熔融した銑鉄を脱炭させ、半溶融鋼を製造する方法である。これも鍊鉄である。この時代には鋼を溶かせる炉は存在していない。我が国でも明治初期にパドル炉が中小坂と釜石製鉄所に設置されたが、わずかに操業しただけで廃棄されたい、と記述されている¹⁶⁾。



図3.5 世界で唯一残るパドル炉¹⁶⁾

表3.3 明治時代の鉄鋼材料の国産鉄と輸入鉄の推移¹⁶⁾

明治 西歴	銑 鉄				鋼 ・ 鋼 材			
	たたら銑	高炉銑	計	輸 入	鍊 鉄 和 鋼	溶 鋼	計	輸 入
7 年 1874	2,847	—	2,847	1,296	2,035	—	2,035	11,422
10 " 1877	3,543	不 詳	3,543	2,184	4,674	—	4,674	14,035
15 " 1882	5,532	3,543	9,075	5,373	6,524	—	6,524	27,459
20 " 1887	11,530	1,492	12,992	6,535	4,833	—	4,833	59,976
25 " 1892	9,645	6,913	16,558	15,322	2,452	—	2,452	39,723
27 " 1894	9,273	12,735	22,008	36,649	2,102	—	2,102	92,396
34 " 1901	10,450	38,697	49,147	43,160	4,355	1,678	6,033	186,042
35 " 1902	8,879	36,987	45,866	29,346	11,247	19,786	31,033	192,413

注：明治7、10年は「大日本帝国年鑑」、15年は「現代日本産業発達史・鉄鋼業」の巻末統計推定値、20年以降は同23、24ページ統計表による。輸入は「外国貿易年表」

3.2 鋳鉄

3.2.1 幕末から明治

先に2.1章で鋳物の歴史は5000年と記述した。これは、正確には青銅鋳物であって、鋳鉄は青銅よりも溶融温度が高いので、2500年程度と言われている¹⁷⁾、その歴史は中国が古い。

鋳物は、その工場で原材料の金属（地金）を溶かして（溶解）、この溶融金属を鋳型に鋳込んで（鋳造）製造する。これには部品の形状を鋳物に置き換える作業と、それに伴う鋳型の設計（鋳造方案と言う）が関与する。そして得られた材料特性（材質）などの技術で構成される、極めて幅広い技術分野から構成されている。あまりにも構成する分野が広すぎるので、ここでは鉄鋳物の材質を中心に、主に明治以降の材料の変遷を記述することとした。

鉄の原料問題から取り組む。鎌倉・室町時代に製鉄技術が発達し、日本刀は奈良時代に入って需要が増大し、室町時代には明国への大量輸出がなされた。一方、火縄銃は1543年に種子島に伝えられ、その直後から量産されたと言われている¹⁸⁾。この時代の鉄は主にタタラで製造されたものが用いられてきた。これを玉鋼や和鉄と称する。これに対してヨーロッパからの輸入鉄「南蛮鉄」が桃山時代から江戸時代への過渡期にもたらされたと言われている¹⁸⁾。南蛮鉄は刀鍛冶や鉄砲鍛冶が用いたもので、鋳造には関係ない。

黒船の来襲（嘉永6年：1853年）に衝撃を受けた幕府は、安政2年（1855年）に長崎に海軍伝習所と艦船造修工場（長崎鍛冶所）を建設した。この辺の事情は三菱重工の社史に詳しい¹⁹⁾。幕末から明治時代までは、佐賀藩が反射炉を用いて鋳鉄製の火砲の製造に成功しており、その原因を輸入高炉鋳鉄に求める意見と、この成功の原因は輸入した火砲であるとの説など、未だに決着がついていない²⁰⁾。いずれにしても、この頃から鋳鉄が輸入されていたことは確かである。その主原因は、タタラ製鉄では炉内の温度が低く、ケイ酸の還元が不十分でケイ素含有量が少なく、黒鉛を晶出させることができなかったとする見解で一致している。この改善を目指して我が国でも高炉の建設が行われるに至った。安政4年（1857年）に大島高任が釜石に洋式高炉を作り、我が国での高炉鋳鉄の時代が始まった。ことほど左様に、タタラ鋳鉄は鋳鉄製の火砲の製造に不向きであった。この点に関しては中岡らの報告²¹⁾に詳細に記述されており、明治23年になってようやく釜石鋳で良質の火砲が鋳造でき、ヨーロッパ鋳

と同等になったとされている。

ちなみに、1779年に建設されたイギリスの世界遺産であるアイアンブリッジ支柱部の化学組成は3.25%C-1.48%Si-1.05%Mn-0.54%P-0.037%Sとされており、ねずみ鋳鉄（黒鉛が晶出）であることが確認されている²²⁾。このケイ素含有量は1.48%と高く、これが高炉鋳鉄を使用した証拠である。我が国ではタタラ鋳鉄を用いており、黒鉛の晶出が難しかったことがわかる。

タタラ鋳鉄に関しては俄国一の書²³⁾に詳細に記述されており、この書の復刻版が最近出版されたことは、この分野の研究者にとって誠に喜ばしい。

明治時代の鋳造の本「金属合金及其加工法 中巻」²⁴⁾では鋳鉄を分類し、ねずみ鋳（釜石鋳）、白鋳、英国ヘマタイト鋳、ノーサンプトン鋳、ヒックマン鋳などの化学組成と破面の写真を添えて示されている。詳細は表3.5と図3.9で記述する。また、ここには鋳鉄鋳物の肉厚による最適C、Si、Mn量や各種鋳鉄の配合割合なども示されている。しかし、ここには鋳鉄溶解における鋼スクラップの使用に関する記述は全くない。鑄鋼では平炉、ベッセマー轉爐（転炉）や坩堝爐が紹介されており、鑄鋼の溶解では各種鋳鉄と鋼屑を原料としてC、Si、Mnの酸化による歩留まりの低下率も記述されている。

明治時代に我が国で製造された鋳鉄は海鼠状の形状で、産地の名を鋳出したものあり（図3.6）²⁵⁾、或いは鋳出し文字がないものは俗に海鼠と呼ぶ、とあるが、これらの名称の説明文はない。しかし、鑄造用鋳鉄を鑄鐵と称するが、これは1：鑄造容易なること、2：相当に強靱なること、3：刃具（工具）を以て削載（切削）し得ること、と記されている。そして、その大きさはおよそその大きさは80cm×10cm程度

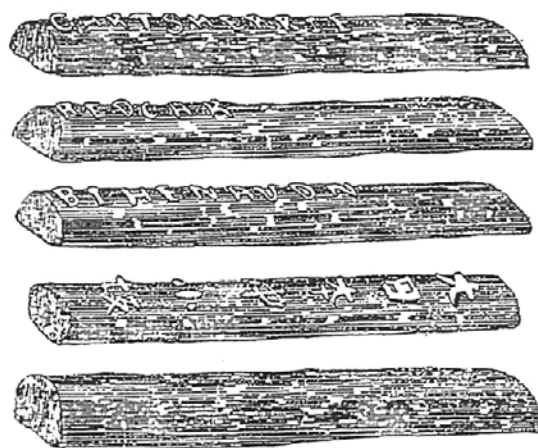


図 3.6 明治時代に使用された鋳鉄の形状²⁵⁾

Figure 1 shows two long, narrow, dark, textured objects, likely ancient artifacts, shown horizontally. A ruler is visible at the bottom for scale.

いる。鍊鉄とは 3.1.3 項で記述したように、熔解した鋼に対する用語である。鋼は炭素含有量は 1.5% 以下と記されている。また、この本では鑄鉄はいわゆる片状黒鉛鑄鉄と可鍛鑄鉄に分類されている。しかし、鑄鉄の製造に関して鋼を用いたとの記述はない。

工藝學教程 軍事工藝²⁶⁾によると、明治時代の鉄の分類は表3.4のように表されている。ここで銑（鑄鐵）は銑鉄を表し、炭素含有量は2.6%以上と記されている。ここでは可鍛鉄（鋼）は鍛鋼と鍊鉄に分類されて

[illegible]

表 3.5 明治時代に使用された銑鉄の種類とその化学組成²⁴⁾[illegible]

面に現れる黒鉛の多少にのみに準拠すべきものに非ず」とある。しかも、この著書では同時に図 3.9 のように銑鉄の破面の写真をこのページだけは上質紙を用いて印刷されている。これは上記の文章とは必ずしも一致しないが、破面の明暗と粗さにも言及しており、如何にして良質の銑鉄を識別するかに苦心していたことが推察できる。ここでは 1 號、2 號、3 號……というように分類され、號数の小さいほどケイ素含有量が

多く、目の粗いものとなっていたので、号数によってもその判別はできた、とされている。

3.2.2 大正・昭和（終戦まで）

加山¹⁹⁾によると、大正年代の第一次大戦直後（1918年頃）は自動車用エンジンのシリンダーブロックが当時の鑄物技術ではどうしてもうまくゆかず、多くの国産銑鉄、輸入銑鉄を試した。この中で燐の高い英国

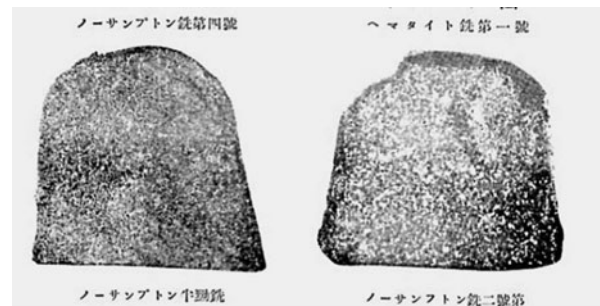
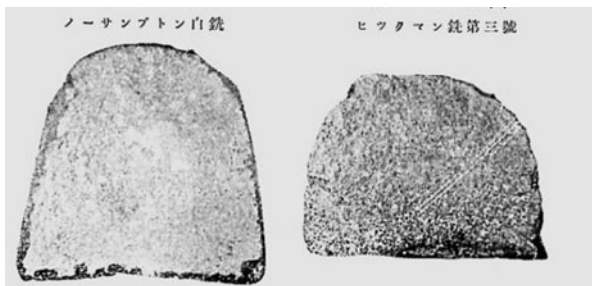


図 3.9 明治時代に輸入された銑鉄の破面²⁴⁾

レッドガー、ガードセリーは比較的良好であった。しかし、それでも不十分で南米コロンビア産のマエアリー銑でやっと満足なものできた、としている。しかし、銑鉄だけの溶解では強度の点で不十分であったとしており、この時代までは銑鉄だけを主鉄原料として鑄鉄が溶解されていたことがわかる。大正 15 年において普通鑄鉄の最高引張強さは 16kg/mm^2 程度で、高級鑄鉄と言われたものでも 20kg/mm^2 をわずかに超えた程度であった。

昭和 7 年（1932 年）発行の鑄造作業標準²⁷⁾では鑄鐵配合上の注意として、「鑄鐵は同一化學成分にても産地即ち、しょう鑛石並に其高爐操業法に依りて品質甚だしく異なるを以て各産地に就き十分吟味調査し置くべきなり。」とある。この文章の後に各種銑鉄の特性が記述されている。また、この 4 章には溶解爐の選擇と操業法が記述されており、鑄物砂の配合法と鑄型に関しても 82 ページを費やして詳細に記述されており、当時の技術を知る上で興味深い。

石川登喜治の「鑄造法」²⁸⁾では、1930 年代には高級鑄鐵の溶解に鋼屑が 10% 程度用いられていたことが示されている。これらの一例を表 3.6 に示す。この配合表より、当時のキュボラ溶解で高級鑄鐵の製造に 10～15% 程度の鋼屑が用いられていたことがわかる。ここで地金の配合率は、銑鉄、古鑄鐵と鋼屑で 100% の配合となっている。そして、ケイ素含有量は 0.9～1.2% となっており、さらに、マンガンの重要性が理解されていたことがわかる。ここで、古鑄鐵とは鑄物の屑や古い鑄物を指し、これもリサイクルの一環である。しかし、現在の鑄鉄と比較するとケイ素含有量は極めて少なく、この元素が高価であったことを裏付ける。すなわち、表 3.4 の硅素鉄や硅素銑の製造には高炉での高温還元が不可欠で、これには多量のコークスを必要とし、その分、価格が高価になったのであろう。

ここで、鋼屑が用いられるようになったと記述したのは、それ以前は鑄鉄の溶解には主として銑鉄が用いられ、鋼屑は用いられてこなかった。この時代の

溶解は主に甌（和式のキュボラで、後述の図 4.1 で示す）やキュボラで、鋼を大量に使用するには高温溶解が不可欠で、これには第二次大戦後のミーハナイト鑄鉄の技術導入を待たなければならなかった。詳細は 4 章溶解炉の項で記述する。このように、高級鑄鉄の製造には鋼の使用が不可欠なことから、高級鑄鉄はセミスチール（semi-steel）とも呼ばれた²⁹⁾が、この配合では溶融金属は低炭素にならざるを得ず、溶融温度が高く、鑄物が作り難かったので、普及には至らなかった²⁹⁾。高級鑄鉄の先鞭は新潟鉄工所の松浦で、基地組織のパーライト安定化のためにマンガン量を高め、1.5～2.0% Mn とすることで引張強さ $32\sim40\text{kg/mm}^2$ を得ている³⁰⁾。

3.2.3 終戦から現在まで

1922 年に開発されたミーハナイトメタルは、約 30 年後の 1951 年に我が国に技術導入された²⁹⁾。この技術は接種と鋼材の配合率の増大であった。また、徹底した管理方式に刺激され、我が国の鑄鉄鑄物の品質は大幅に向上した。我が国で鋼屑の利用が拡大したのは 1960 年代後半で、電気炉の普及と一致する（図 3.10）³¹⁾。詳細は溶解炉の章で記述するが、キュボラでは大量の鋼屑を鑄鉄溶解に用いることができず、電気炉（おもに誘導炉）の普及により、銑鉄と鋼屑の配合割合の自由度が増し、現在では鋼屑主体の溶解が行われ、鑄鉄産業はリサイクル産業としての特色も有するようになった³²⁾。図 3.10 でその他と記述したものは、鑄造業特有の用語で、鑄物を製造する際に発生する副産物の湯口、湯道、押湯、不良品などを再度溶解して鑄物にする。これらの材料をその他と記述してある。したがって、鋼屑とその他は共にリサイクル鉄であり、新しい鉄源は銑鉄だけで、現在ではその割合は 15% 程度であり、残りの 85% はリサイクル鉄になる。

1960 年代後半に誘導電気炉による溶解は鋼屑の大量配合をもたらした。しかし、鋼屑を大量に使用すると、当然のこととして加炭（炭素含有量を増大させる

表 3.6 デーゼル発動機ライナーやコンプレッサーの高級鑄物の成分と地金の配合例²⁸⁾
例-1 例-2

所要成分	配合品名	配合量	所要成分	配合品名	配合量
C 2.8~3.0%	本邦3號 (ハイマンガ)	60	C 2.8~3.0%	本邦3號 Si 1.8~2.0%	50
Si 1.2	同種古鑄鐵	30	Si 0.9~1.2	同種古鑄鐵	36
Mn 0.9	鋼屑	10	Mn 1.2~0.9	鋼屑	14
P 0.15 以下		100	P 0.15 以下		100
S 0.05 以下	滿俺鐵 78%	+10kg /Ton	S 0.05 以下	滿俺鐵 78%	+20kg /Ton

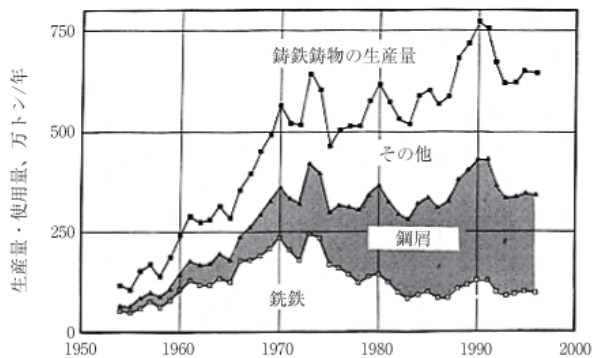


図 3.10 铸铁鑄物の原材料地金配合率の推移³¹⁾

操作) が不可欠となった。これによって加炭材による問題が発生した³³⁾。加炭材に含まれる窒素の問題である。その後、自動車産業の発達は鉛、亜鉛の問題を引き起こした。鉛は鉛削削や、ガソリンタンクの鉛裏張り材であり、亜鉛は亜鉛メッキ鋼板の普及が原因であった³¹⁾。鉛による問題は、その後の法規制により鉛の使用が強く制限され、この問題は自然消滅した。

1990年代になると、自動車の省エネルギー問題の解決のため、自動車の軽量化に用いる高張力鋼板屑の使用をもたらした。この鋼板屑が铸铁に使用されると、合金化されたボロンにより高強度球状黒鉛铸铁の製造ができなくなるという新たな問題が発生した^{34)、35)}。同様に、鋼材中のマンガン含有量が増大し、こちらは高延性球状黒鉛铸铁の製造に問題を生じている。

铸铁製造の主原料が鋼屑になったことによりこれらの問題が生じ、その対策は現在でも進行中である。鑄

造業がリサイクル産業になったことで、新しい問題が生じる羽目となったのともいえる。これからも同様の新しい問題が生じるであろうことは間違いない。如何にしてこれらの問題を解決できるかが今後の大きな問題になろう。

3.3 鑄鋼

鑄鋼は铸铁に比べて溶解温度が高く、その実用化は極めて遅く、1812年とされている³⁶⁾。青銅鑄物の歴史が5000年、铸铁は2500年であるのに対して、鑄鋼の歴史は僅か200年である。如何に高温を得るのが難しかったかが理解できる。

我が国における洋式製鋼法は明治15年の東京海軍造兵廠においてクルップ式坩堝爐が、また明治23年の横須賀造兵廠における重油噴射佛國式平炉が最も古いとされている³⁷⁾。しかし、ここには原料地金に関する記述はない。したがって、ここでは明治、大正、昭和に分類することはやめ、単純に時代を追って記述することとした。この辺の事情は諏訪の論文³⁷⁾を参照されたい。

大橋の著書²⁰⁾によると、明治時代には国産の鉄地金のほかに高品位な輸入鉄源が用いられ、輸入品の方が国産品よりも価格が安いことが示されている。このような状況で国産の鉄源の改良に必至の努力を続けた、とされている。この点に関しては官営製鉄所計画案の変遷が示されており、輸入鉄の削減が叫ばれてい

表 3.7 官営製鉄所計画案の変遷³⁸⁾ (単位：トン)

年次	計 画 案	生産形態	生産品種と規模			目 的	原 料 調 達 源
			鉄 鉄	鋼	錬 鉄		
明治21年	(1)広島鉄山改造案(小花)	中央錬鉄所		2,000	10,000	輸入錬鉄50%自給	国内砂鉄鉄
明治24年	(2)製鉄所設立計画予算(小花冬吉案)	中央製鋼工場		18,000	2,200	軍需及民需鋼材の一部自給	国内5鉄山の国営によるが、鉄鉄は不足分輸入
	(3)鉄業調(野呂景義案)	製 鋼 工 場		37,000	3,000	主として兵器素材、民需用レール、板等	輸入鉄鉄、一部国内鉄
	(4)海軍製鋼所案(第2議会提出・否決)	製 鋼 工 場		28,000内、るつぽ鋼500	2,000	軍 用 6,000 民 需 22,000	
同29年	(5)官営八幡当初計画(第9議会提出・通過)	鉄鋼一貫(鉄鉄一部購入)	80,000	鋼材60,000	鋼材の内4,500(るつぽ鋼)500	軍需確保及一般需要50%自給	国内鉾石・石炭・一部国内鉄鉄
同31年	(6)同改訂計画第12議会提出	鉄 鋼 一 貫(完全)	120,000	鋼材90,000		一般用鋼材の供給	国内鉄鉾石・石炭

出所：「商工政策史17巻鉄鋼業」の収録ページを示す。(1) 58～59, (2) 61～66, (3) 66～69, (4) 70～71, (5) 三枝・飯田「近代日本製鉄技術史」165ページ, (6) 同214～217ページ、ゴチックは主生産品を示す

表 3.8 温度による色の変化²⁶⁾

温度、℃	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500 以上
烙色	暗紅	起櫻紅	櫻紅	淡櫻紅	橙黄	淡黄	白	鍛造白	爛白

た（表 3.7）。ここでは、明治 20 年代から鑄鋼の溶解に銑鉄の使用が計画されており、脱炭の技術が向上したことがうかがえる³⁸⁾。

大正時代に入ると鑄鋼の破面の粗さに関する記述があり²⁶⁾、粒状の破面は炭素量の増加で細粒となり、クロムやタングステンの添加で極めて微細となる、と記述されている。これより、当時からこれら元素の添加がおこなわれていたことがわかる。また、温度による色の変化が表 3.8²⁶⁾ のように示されており、興味深い。これらは鍛着の目安になると記述されている。

久保在久³⁹⁾によると、「大阪砲兵工廠では明治 45 年 1 月 6 日をもって鑄鉄製の火砲の製造を中止し、鋼製砲身を用いるに至り」と記述されている。これは鑄鋼の溶解がうまくできるようになり、火砲は鑄鉄から鑄鋼への転換されたことを示している。この点に関しては大正 13 年の工藝學教程²⁶⁾では、鑄鋼のことは僅か数行が記述されているにすぎず、鋼の鑄造では大半がインゴットの製造を論じている。

石川⁴⁰⁾によると、明治 20 年代の鑄鋼は失敗の連続で、鑄鋼の専門の民間工場が設立されたのは明治 32 年の日本製鋼所であるが、製品が安定せず、明治 34 年に住友に委託され、住友鑄鋼場として住友の経営になった、と記述されている。この内容は上記の久保の記述³⁹⁾を裏付けている。

（株）電気製鋼所（現在の大同製鋼）が電気炉鑄鋼を始めたのは大正 6 年（1917）のことである¹⁹⁾。同社が試作した 1.5 トンのエル式アーク炉があり、大正 8 年（1919）には新しい鑄鋼工場を立ち上げ、5 トン炉を増設した。これにより多くの鑄鋼品を製造した¹⁹⁾、とある。

轉爐（転炉）では安定した鑄鋼ができず苦勞したが、大正 10 年に廣工廠に 6 トンのアーク電気爐が輸入され、夢のようなよい鑄鋼が生産できるようになった、と石川は記述している²⁸⁾。昭和時代になって精錬法が進歩し、薄肉鑄鋼が安定して製造できるようになったのである⁴⁰⁾。

引用・参考文献

- 1) 俵 国一：「復刻・解説版 古来の砂鉄精錬法・たたら吹製鉄法」館 充監修、慶友社（2007, 6）
- 2) 窪田蔵朗：「鉄の考古学」雄山閣（1973, 5）p272,

283

- 3) （財）JFE21 世紀財団：「たたら 日本古来の製鉄」（2004）
- 4) 渡辺ともみ：「たたら製鉄の近代史」吉川弘文館（2006, 3）p125, 134
- 5) 窪田蔵朗：「鉄の考古学」雄山閣（1973, 5）p281
- 6) 所 莊吉：「火縄銃」雄山閣（1964, 12）p122
- 7) 佐々木 稔：「幕末・明治期の製鉄遺跡と考古学関連諸科学」季刊 考古学 109 号（2009, 11）p14
- 8) 峯田元治、中江秀雄：「江戸後期の鑄鉄製大砲」季刊 考古学 109 号（2009, 11）p69
- 9) L.E.Samuels：「The Metallography of Cast Iron Relics from Bark Endeavour」METALLOGRAPHY 13（1980）p345
- 10) 野原建一：「鉄の流通と価格変動」季刊 考古学 109 号（2009, 11）p73
- 11) 鳥谷智文：「明治初期の鉄山経営と輸入鉄増加および諸品価格騰貴の影響」季刊 考古学 109 号（2009, 11）p77
- 12) 俵 国一：「日本刀の科学的研究」丸善（1953, 7）p49, 429
- 13) 窪田蔵朗：「鉄から読む 日本の歴史」講談社学術文庫（2003, 3）p155
- 14) 佐々木 稔編：「火縄銃の伝来と技術」吉川弘文館（2003, 4）p165, 192
- 15) 太田弘毅：「倭寇：商業・軍事史的研究」春風社（2007, 4）p426
- 16) 大橋周治：「幕末明治製鉄論」アグネ（1991, 2）p397, 439, 519-520
- 17) 任 善之、劉 志民：「中国古代鑄鉄の発展」日本鉄鋼協会、鉄の歴史－その技術と文化フォーラム（2006, 8, 26）
- 18) 窪田蔵朗：「鉄から読む日本歴史」講談社学術文庫（2003, 3）p141-149
- 19) 加山延太郎：「日本鑄造 50 年史」日本鑄造株式会社（1970, 9）p229-264
- 20) 大橋周治編・著：「幕末明治製鉄論」アグネ（1991, 2）p56-61
- 21) 中岡哲郎、三宅宏司：「大阪砲兵工廠における釜石銑の再製錬」技術と文明 4 巻 2 号（1987）p21-42

- 22) 石野 亨：「鑄物の技術史」日本鑄造工学会（1993, 3） p218-236
- 23) 俵 国一：復刻・解説版「古来の砂鉄製鍊法・タタラ吹製鉄法」館 充監修 慶友社（2007, 6） p128, 149
- 24) 斎藤大吉：「金属合金及其加工法 中巻」丸善 明治 43 年（1910） p120-130
- 25) 陸軍砲工學校：「明治四十年 工藝學教程 工藝通論」（1907）
- 26) 陸軍砲工學校：「大正十三年 工藝學教程 軍事工藝 第三版上巻」（1924）
- 27) 海軍艦政本部編纂：「鑄造作業標準」日本鑄物協会発行 昭和 7 年（1932） p13, 52-104, 105
- 28) 石川登喜治：「鑄造法」共立社（1936, 7） p162
- 29) 石野 亨：「日本鑄造 50 年史」日本鑄造株式会社 昭和 45 年（1970, 9）
- 30) 斎藤大吉ほか：「金属材料及其加工法 鑄鉄篇」丸善 昭和 28 年（1955） p261-270
- 31) 大森次治、川崎道夫、中江秀雄：「4. 電気炉溶解の基礎（高周波・低周波炉）」鑄物 65（1993） p263-268
- 32) 中江秀雄：「地球資源・環境問題と鑄造業」素形材（2003, 3） p8-15
- 33) 中江秀雄、管野利猛、川崎道夫：「鑄鉄の原材料としての鋼くずの動向」鑄物 68（1996） p348-353
- 34) 伊豆井省三、古宮尚美、堀江 皓、小綿利憲、高橋稔彦：「球状黒鉛鑄鉄の組織に及ぼす微量ほう素の影響」鑄物 66（1994） p745-750
- 35) 五十嵐芳夫ほか：「パーライト基地球状黒鉛鑄鉄のほう素によるフェライト化機構」鑄造工学 82（2010） p16-22
- 36) C.A.Sanders and D.C.Gould:「History Cast in Metal」American Foundrymen's Society（1976） p448
- 37) 諏訪常次郎：「本邦鋼鑄物の発達」鉄と鋼 21（1935） p462-467
- 38) 大橋周治編・著：「幕末明治製鉄論」アグネ（1991, 2） p414-434
- 39) 久保在久篇：大阪砲兵工廠資料集「大阪工廠ニ於ケル製鉄技術変遷史」日本経済評論社（1987） p127-235
- 40) 石川登喜治：早稲田大学鑄物研究所「創立 15 周年記念講演集」昭和 29 年（1954） p5-8

4 | 溶解炉の変遷

4.1 鑄鉄

江戸時代の製鉄には主にタタラが用いられ、江戸末期になって高炉の建設が始まった¹⁾。これらの炉は共に鉄鉱石から銑鉄を得るための精錬炉である。これに対して、江戸時代の主要な鑄鉄溶解炉は甌こしき（昔のキュポラ）であった。幕末になって鑄鉄製大砲の製造には一度に大量の熔けた鑄鐵が必要となり、反射炉に次いで平炉が導入された²⁾。そこで、まずは反射炉と平炉の区別から記述する。

反射炉（Reverberatory furnace）は、金属熔解炉の一種で、葦山や萩に反射炉がある。西洋では18世紀から19世紀にかけて鉄の溶解に使われ、この技術が我が国にもたらされた。熱を発生させる燃焼室と熔解を行う炉床が別室になっている。燃焼室で発生した熱で炉の天井や壁を温め、その輻射熱を炉床にある金属に集中させ、熔解を行う炉である。時にはパドル炉としても用いられた。詳細は5章で記述する。

平炉（Open hearth furnace）とは、蓄熱室を有する一種の反射炉で、主に鋼の溶解に用いられた。2つ以上の蓄熱室を有し、これらを交互に用い、炉内に送る空気を連続的に暖め、炉内の温度上昇をもたらした。この蓄熱室の使用で鋼の溶解を可能にしたことから、蓄熱炉とも呼ばれる。原料には銑鉄と鉄スクラップを用い、酸化剤として鉄鉱石を用い、熔けた鉄中の炭素を酸化・除去させ鋼とした。特に、塩基性平炉では脱リンが容易であり、良質な鋼を得ることができたことから、長期間にわたって製鋼炉や鋼の溶解炉の主流であったが、転炉や電気炉の発展により、現在では鋼の溶解には全く使われていない。

1856年にシーメンス兄弟により平炉の構造が発明され、マルタン父子により製鋼法が確立したことから、平炉による製鋼法はシーメンス・マルタン法とも呼ばれている。製鋼法としては、シーメンス兄弟は銑鉄（銑鉄・鉱石法）を、マルタン父子は銑鉄に多量の鋼屑を加えたものを原料として用いているだけであり、相違はほとんどない。多くの著書では、明治時代に外国から技術導入された一種の反射炉を平炉と記述したが、平炉は後述の図4.12に示すように、送風空気を加熱する蓄熱爐を備えたものである。したがって、鋼の溶解を主目的とした反射炉を平炉と定義することもできる。

先に記述したように、江戸時代後期に、製鉄の分野ではタタラに変え高炉の建設が始まった。この際の高炉は大砲の製造に適したケイ素（Si）含有量の高い銑鉄を得るのが目的であった。この銑鉄を用いることで、凝固時に黒鉛の晶出を可能にする。

図4.1に明治時代の甌の操業風景の絵を示す³⁾。ここでは、炉の左側に送風装置であるたたらがあり、多くの作業者がたたらを踏んでいる。炉の右前では炉内から熔けた鑄鐵を出湯し、更に右側では鑄込みが行われている様子が描かれている。そして、図4.2は明治後期の川口の鑄物工場の写真で、右端の煙突のようなものが甌であり、甌に原材料を投入する職人がその左後ろ側にいるのがわかる³⁾。この写真にはたたらは写っておらず、この時代には送風機の動力はモータに変わっていたことがわかる。



図 4.1 明治初期の甌の操業³⁾

明治12年ごろの甌で鑄造する川口鑄物（神奈川県立歴史博物館所蔵）

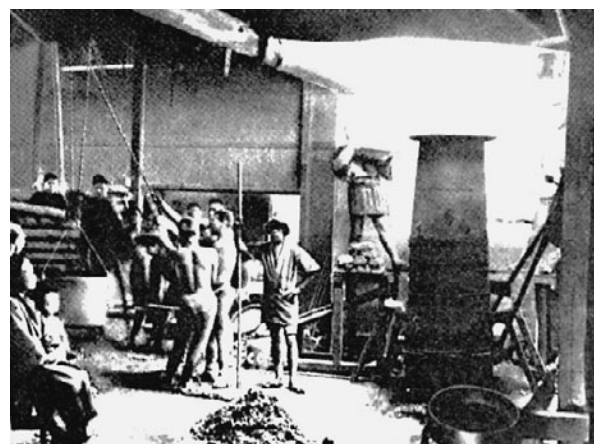


図 4.2 明治39年頃の川口の鑄物工場と甌炉³⁾

現存する江戸時代の反射炉の遺跡は伊豆の葦山と山口県の萩に存在するが、鑄鉄製の大砲の鑄造に成功し

たのは、先に記述したように佐賀藩の反射炉と言われている²⁾。しかし、この炉は現存しない。江戸時代の後期から明治の初期は、まさに欧米からの技術導入が盛んに行なわれた時期でもあり、詳細は明治時代の書からうかがい知ることができる。明治時代の鑄鉄溶解炉に関しては齋藤の著書⁴⁾が、大正時代に関しては鑄造作業標準⁵⁾が詳しく、これらの資料に基づいて記述する。

図4.3に齋藤⁴⁾により紹介されたドイツの可傾式坩堝爐を示す。この著書では、各種金属の溶解に必要な骸炭(コークス)量も示されている。ちなみに、青銅100kgを熔解するのに骸炭は35kg、鑄鐵で100kg、鋼で150kgと記されている。また、ここで使用されている坩堝に関しては表4.1のように示されており、国産品はわずかに九州製鐵所のものが紹介されているに過ぎず、多くは輸入品が使われていたことがわかる。

齋藤は反射爐に関しても多くのページを割り当て、鑄鐵熔解用の反射炉として図4.4を紹介している⁴⁾。反射爐熔解では、鑄鐵中のMnの損耗は50%、Siは33%と記述されている。また、アイルランド式熔銑爐

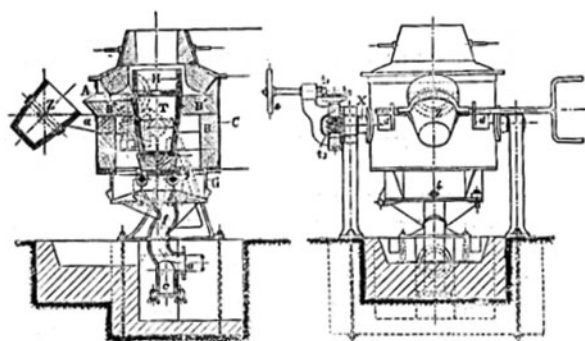


図4.3 ドイツ製の可傾式坩堝爐⁴⁾

(キューボラ)を図4.5のように紹介している⁴⁾。この爐は固定前爐式で、現在では余り使用されていない型の炉である。ここでは、西洋の高級なコークスを用いれば、熔解に要するコークスは7%程度と記されており、現在の技術と比較しても非常に少ない。これは熔解温度が低かったことを示すのであろう。脱硫の必要性やコークスの灰分量に応じて石灰石の添加が推奨されており、熔解に伴うSiやMnの損耗と、硫黄の吸収に関しても記載されている。しかし、地金の配合に関する記述はない。

表4.1 明治時代に使用された各種坩堝⁴⁾

製造場	粘土	黒鉛	骸炭粉	燒粘土	石炭(三耗長)	坩堝
合衆鋼の主なる工場 (ナルクル氏の説)	七五(クリンゲン)	一〇〇(錫蘭産)	一〇	一〇	一〇	一〇
獨逸バウザエ工場	五〇(スワイル)	一〇〇(全上)	一〇	一〇	一〇	一〇
全國王立鋸鋼場	八〇(リッザ)	一〇	一〇	一〇	一〇	一〇
全國製石鉄黒鉛坩堝	二二	一〇	一〇	一〇	一〇	一〇
全國製石鉄黒鉛坩堝	六〇(ミッシュ)	一〇	一〇	一〇	一〇	一〇
全國製石鉄黒鉛坩堝	四七・四	五二・六(錫蘭産)	一〇	一〇	一〇	一〇
英國モルガン會社	二〇(スワイル)	一〇	一〇	一〇	一〇	一〇
全國バーミンガム産	四〇(全上)	一〇	一〇	一〇	一〇	一〇
製鋼用坩堝 (ブローメ氏の説)	三六	一〇	一〇	一〇	一〇	一〇
九州製鐵所(製鋼用)	四五・〇	一〇	一〇	一〇	一〇	一〇
全上(全上)	五〇・五	一〇	一〇	一〇	一〇	一〇
全上(合金用)	四五・〇	一〇	一〇	一〇	一〇	一〇

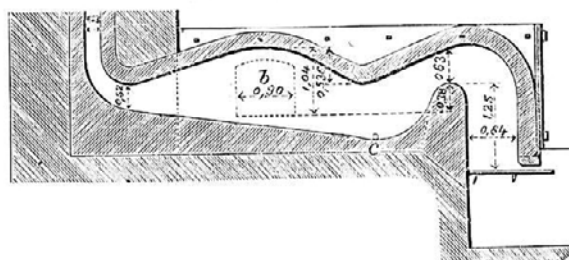


図4.4 鑄鐵熔解用反射爐⁴⁾

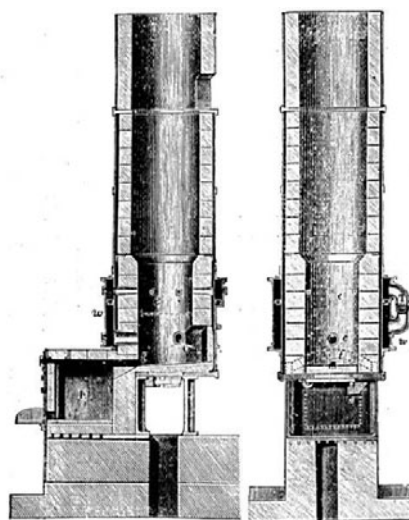


図4.5 アイルランド式熔銑爐(キューボラ)⁴⁾

鑄造作業標準⁵⁾によると、大正から昭和初期ではタービン車室（タービンケーシング、製品重量で上部1.93t、下部2.9t）を鑄造するに際してのキュボラ熔解での地金の配合は表4.2のように示されている。そして、これに用いるキュボラの緒元を表4.3のように示している。ここでも、鐵鋸屑（鋼板屑）の配合割合は僅かに5%であり、鋼板屑の使用が難しかったことがわかる。因みに、この製品の化学組成は3.0-3.2%C、1.5-1.7%Si、0.4-0.8%Mn、P<0.2%、S<0.08%となっている。特に、硫黄の含有量は最大限を0.08%以下にすべし、と記述されている。キュボラ熔解では、4.5tキュボラ（1時間に4.5トンが溶解できる炉）でコークス比12%としており、このように低い硫黄量を達成するのは難しかったことが推察される。

表 4.2 タービン車室の地金配合例⁵⁾
(タービンケーシング)

品 名	成 分 (%)					配合割合
	全炭素	珪素	錳	硫黄	銅	
釜石三號鉄	3.11	2.21	0.48	0.065	0.014	15
本邦産三號鉄 湯野鉄(d)	3.76	1.92	1.15	0.151	0.041	10
電気爐鉄	2.2	2.0	0.87	0.04	0.007	25
鐵鋸屑			0.50	0.05	0.05	5
古材(湯口、上 h等)	3.2	1.7	0.6	0.1	0.08	45
計 算 成 分	2.82	1.78	0.669	0.08	0.046	

表 4.3 タービン車室鑄造用キュボラの緒元⁵⁾

容量(通稱)	5Ton
1時間の溶解量	4,500 kg
羽口面の直径	121 mm
羽口の数	1段、6個
前 床	有り
送 風 器	ルーツブロー 1分間 6,500 立方呎、32 馬力
使用風壓	10乃至12 オンス
1kg溶解當りの爐切斷面積	80 mm ²
毎回投入量	500 kg
焦炭使用量	ベッドコークス 750 kg、地金の 12%
石灰使用量	地金の 4%

鑄鉄の溶解炉は大正時代になると明治以前の甌から洋式のキュボラに変化した。この種の炉が昭和40年代(1960年代後半)までは鑄鉄溶解炉の主流であった。しかし、公害問題や安価な鋼屑の大量使用を目的に低周波誘導電気炉が普及した。これには硫黄分の少ない溶融鉄を好む球状黒鉛鑄鉄の普及も一役買っている。

一方、キュボラ溶解では燃料のコークスからの加硫が問題となり、球状黒鉛鑄鉄の製造を目的に炉前脱硫や塩基性キュボラが採用されるようになった。しか

し、最近では公害規制の強化から、キュボラ溶解はこれらの対策に費用を掛けられる大手の鑄物工場に限られてきた。また、低周波誘導電気炉では溶解の開始に大きな塊（これをスターティングブロックと称する）や、残湯（全量を出湯せずに、3分の1程度を炉内に残すこと）が必要で、溶解効率が劣る。そこで、低周波誘導炉から中周波誘導炉へ、そして高周波誘導炉へと変化してきた。

また、エネルギーの多様化や使用する原材料の変化から回転炉やアーク炉、ガス炉も一部では用いられるようになった。これらの状況を図4.6に示す⁶⁾。図中に網掛けで示した炉、すなわち酸性キュボラと誘導炉が主流であったが、現在では排ガスの浄化装置が必要となりキュボラは減少傾向にある。

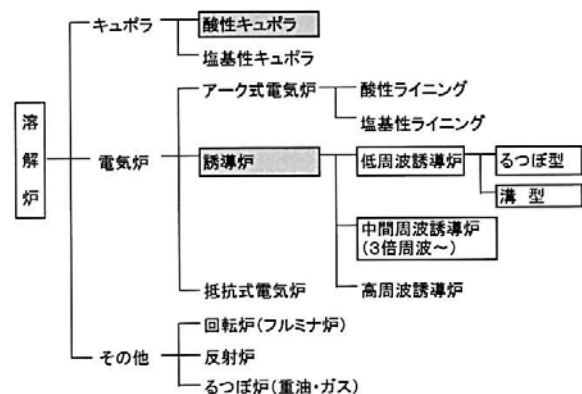
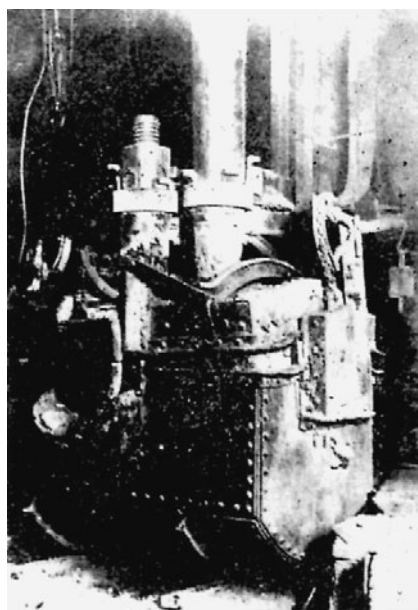


表 4.4 明治時代の軍による製鋼法導入の変遷⁷⁾

〔海軍〕	造兵廠（東京築地）〔幕府の石川島造船所より工作機械、薩摩集成館より造兵機械を継承〕
	○明治十五年（一八八二）、るつぽ製鋼に成功。
	横須賀工廠〔幕府横須賀製鉄所の機器継承〕
	○明治二十三年（一八九〇）、酸性平炉（容量三五〇kg）設置。
	呉工廠〔明治二十三年呉に兵器製鉄所を新設〕
	○明治二十五年（一八九二）、酸性平炉（容量三トシ）設置。
	○明治二十八年（一八九五年）、酸性平炉（容量三トシ）設置
	○明治三十年（一八九七）に一基増設、三十一年一基（容量一三トシ）増設。
	〔陸軍〕
	大阪砲兵工廠〔幕府長崎製鉄所の機器継承〕
〔陸軍〕	○明治二十二年（一八八九）るつぽ製鋼を開始。
	○明治二十三年（一八九〇）酸性平炉（容量二五〇kg）設置、二十四年九月、容量六〇〇kgに改造。
	○明治二十九年（一八九六）塩基性平炉（容量四トシ）設置。
	東京砲兵工廠〔幕府関口大砲製造所、諸藩の造兵機器を継承〕
	○明治二十九年（一八九六）塩基性平炉（容量二トシ）設置。

と報告¹⁾している。この炉が我が国最初のアーク炉である。谷山⁹⁾は、我が国の鑄鋼を含む鋼の生産量の推移を表4.5のように示している⁹⁾。これにより、当時の溶解炉の使用状況と生産量がわかる。ここでいう電気炉とはアーク爐を指す。これより、平爐鋼と電気爐鋼は増加しているが、転爐鋼の減少が著しく、坩堝鋼は少量ながら一定の生産量であることがわかる。また、大半が平爐鋼である。これらを総合すると、昭和初期には我が国で200万トンの鋼が生産されていたこともわかる。

図 4.7 電気製鋼所の1.5トンアーク炉¹⁾

に、石川は呉海軍工廠の造機中将であった。

先に3.3節で紹介したように、加山は電気製鋼所（現：大同特殊鋼）が大正6年（1917）に図4.7に示した1.5トンアーク炉を試作し、実用に結びつけた、

表 4.5 我が国の鋼と鑄鋼生産量の推移の製造爐による統計 単位：吨（トン）⁹⁾

年 度		平 爐 鋼		轉 爐 鋼		坩 堝 鋼		電 氣 爐 鋼		合 計	
		鋼 塊	鑄 鋼	鋼 塊	鑄 鋼	鋼 塊	鑄 鋼	鋼 塊	鑄 鋼	鋼 塊	鑄 鋼
大正12年	1923	847,725		103,474		1,517		6,292		959,006	
13	1924	1,018,630		67,821		797		11,986		1,099,691	
14	1925	1,218,580		74,923		1,204		15,406		1,300,203	
昭和元年	1926	1,400,632		84,677		2,747		18,159		1,506,215	
2	1927	1,569,552		87,938		1,175		26,517		1,685,242	
3	1928	1,833,391		3,340		1,503		37,746		1,635,980	
4	1929	2,223,198		1,210		1,778		52,654		2,293,840	
5	1930	2,207,012	18,349	—	35	1,710	1	39,017	23,123	2,247,739	41,598
6	1931	1,816,791	12,029	—	—	1,535	—	31,352	23,413	1,849,682	33,443
7	1932	2,336,501	18,805	940	—	2,296	—	41,862	27,873	2,351,599	46,683
8	1933	3,027,014	23,333	—	—	2,191	1	98,827	40,731	3,123,032	70,063
9	1934	3,634,343	29,267	—	—	1,120	—	147,270	59,520	3,754,733	88,787

齋藤⁴⁾は英国シェフィールド市の熔鋼用坩堝爐の操業の様子を図4.8のように紹介している。ここでは坩堝を取り出して熔融した鋼を鑄型に鑄造している様子が描かれている。また、小型の転爐に関しては欧米で広く用いられているものが図4.9のように紹介されている。当時は如何に欧米の技術を導入、模倣していたかがわかる。

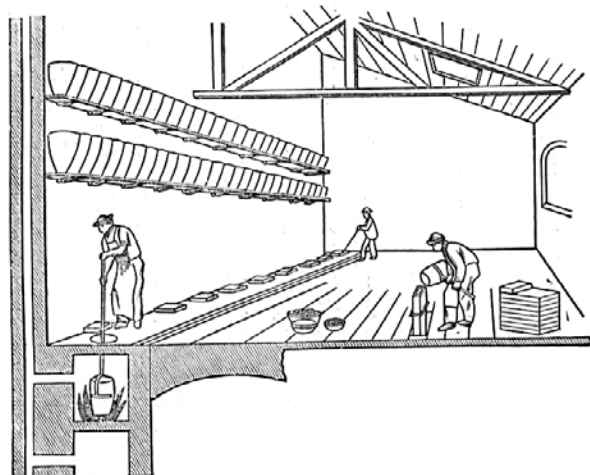


図 4.8 英国シェフィールド市で用いられた鋼用坩堝爐⁴⁾

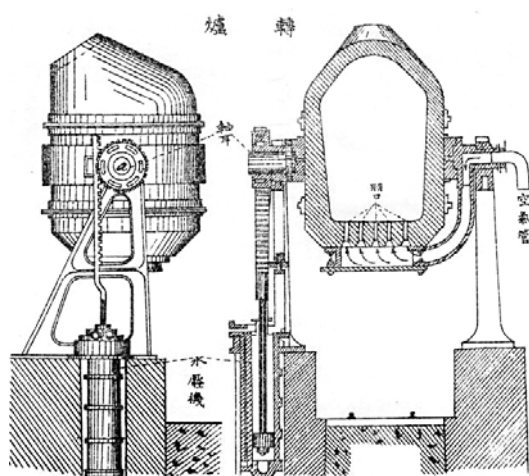


図 4.9 小ベッセマー轉爐⁴⁾

転爐の操業状況の判断には鑄造作業標準¹⁰⁾に図4.10と、図4.11¹⁰⁾のように描かれている。この本は正に、多くの鑄造作業標準を記述しており、大正時代の技術を知る上での貴重な書物といえる。転爐の操業状態はこのような炉からの放出ガスの形態で判断し、操業していたことがわかる。正に、経験と勘による操業であったことがわかる。

図4.12¹¹⁾は瓦斯を燃料とする平爐である。この平爐は、特に鋼の溶解のため(炉内の温度を高めるため)に下部に4対のシーメンス式蓄熱室を有している。図



図 4.10 転爐操業時の炎¹⁰⁾

図 4.11 轉爐操業時の炎による爐況¹⁰⁾

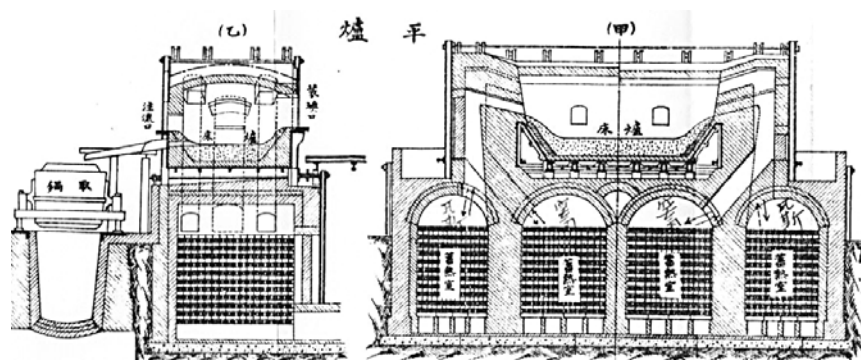


図 4.12 シーメンス・マルチン平爐¹¹⁾

中では上部中央部の床爐と書かれた部分が溶解室で、そして下部の蓄熱室が送風やガスの温度を上げるための熱風炉である。また、この書¹¹⁾では酸性爐と塩基性炉の特徴にも言及している。この点に関しては上に記した通りである。明治の著書^{4, 12)}には蓄熱室の詳細(側面図)は示されておらず、この間の技術の進展をこれらの書に見ることができ、興味深い。

齊藤の著書⁴⁾にはアーク電気爐に関する記述はないが、工藝學教程^{11, 12)}にはアーク炉としてエル式爐(図4.13)とグレンワール式爐(図4.14)が掲載されている。これらのアーク炉は明治から大正、昭和初期までの鑄鋼の主要な溶解炉であった。アーク炉では誘導炉のような電気を流すコイルがなく、耐火物層が厚い。したがって、塩基性スラグを用いた精錬に適している。すなわち、脱硫、脱リンに適した炉であり、現在でも鑄鋼の溶解に多用されている。

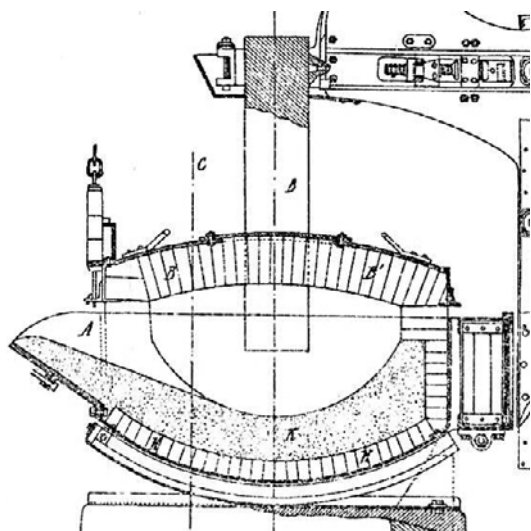


図 4.13 エル式アーク電気爐¹¹⁾

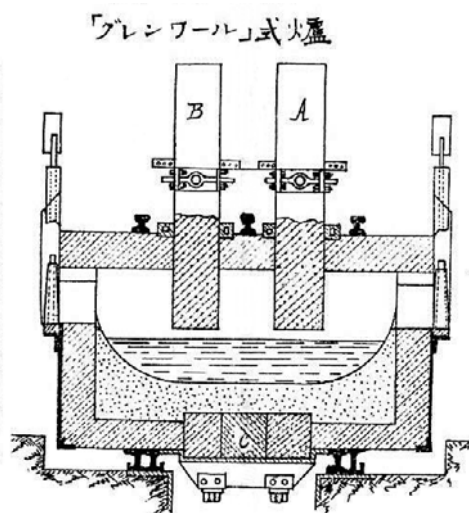


図 4.14 グレンワール式アーク電気爐¹¹⁾

諏訪によれば、日本鉄鋼協会の20周年を記念して鑄鋼の20年間の発展の経緯の原稿の執筆を依頼され、その論文がある¹³⁾。諏訪によると、明治15年に東京築地海軍造兵廠において坩堝爐によって鑄鋼を製造したのが我が国の鑄鋼の始まりであり、明治23年に大阪砲兵工廠と横須賀海軍工廠で鑄鋼が生産されたとある。そして明治25年に呉海軍工廠にて佛国式重油爐で、明治28年には呉海軍工廠、明治29年には東京砲兵工廠でシーメンス式平爐の操業が開始された。このように最初の10数年間は官営のみで、民営は明治32年に住友製鋼所の前身、日本鑄鋼所でシーメンス式平爐が稼働した、とある。なお、明治29年には月島製鋼所が坩堝爐で開業したが、数年して閉鎖した、とも記されている。そして、大正から昭和にかけての鑄鋼工場の設立を表4.6のように示している。これより、大正時代には多くの工場が設立されたと同時に、閉鎖に至った工場も少なくないことがわかる。如何に鑄鋼分野の競争が激しかったかが推定できる。

表 4.6 大正から昭和初期の鑄鋼工場の設立と爐¹³⁾

大正 4 年	日本特殊鋼合資会社	電気爐
	藤田鑄業株式会社廣田工場	電気爐 (後鋼材に轉換)
	浦賀船渠株式会社	小轉爐 (後電気爐)
〃 5 年	大島製鋼所	平 爐
	幸袋製作所	小轉爐 (後電気爐)
〃 6 年	大同電気製鋼所	電気爐
	三木鑄鋼株式会社	小轉爐 (後電気爐)
	金子鑄鋼所	〃 (〃)
〃 7 年	小松製作所	電気爐
	唐津製鋼所	小轉爐 (閉鎖)
	日東製鋼所	平 爐 (閉鎖)
	釜石鑄山	平 爐
	富士製鋼株式会社	平 爐 (後鋼材に轉換)
〃 8 年	米子製鋼所	電気爐
	神戸棧橋株式会社王子電爐工場	電気爐 (閉鎖)
	日立製作所下松工場	小轉爐 (後電気爐)
	岩淵製鋼所	(閉鎖)
大正 9 年	戸畑鑄物株式会社戸畑工場	電気爐
	三井三池製作所	〃
	東京特殊鑄鋼株式会社	坩堝爐
〃 10 年	日立製作所助川工場	電気爐
〃 12 年	関西電気鑄鋼所	電気爐
〃 13 年	関東鑄鋼所	小轉爐
	共立電気鑄鋼所	電気爐
昭和 3 年	日本鑄造株式会社	〃
	日本製鋼所廣島工場	〃
	東邦電気製鋼所	〃
	武藤電気製鋼所	〃
	砂町鑄鋼所	小轉爐 (後電気爐)
〃 4 年	戸畑鑄物東京工場	電気爐
	大阪製鋼所	〃
〃 5 年	須藤鐵工所	オイルバーナー式小轉爐
	大阪電気鑄鋼所	電気爐 (閉鎖)
〃 6 年	大阪鑄鋼所	〃

さらに、諏訪¹³⁾は昭和初期の爐の種類による鑄鋼の生産量の推移を表4.7のようにまとめている。これより、昭和初期には転爐と坩堝爐による鑄鋼の製造は終わりを告げたこと、生産爐の主流は電気炉（アーク爐）へと移った様子がわかる。谷山の著書⁹⁾ではエルー爐（弧光式爐）とともに誘導電気炉も図4.15のように紹介されている。当時としては最先端の技術が誘導電気炉であったのであろう。しかし、当時も現在もエルー爐が鑄鋼の世界で最も広く用いられている。昭和9年（1934年）の商工省による鑄鋼生産量の調査では、昭和初期の鑄鋼の溶解炉の変遷は表4.7の通りで、昭和4年以降は転爐と坩堝爐による溶解は急激に減少し、平爐と電気爐（アーク爐）に移行したことがわかったとしている¹³⁾。しかし、実際は年産1000t程度は転爐と坩堝爐で生産されていたのではなかろうかと、記述している。いずれにしても、この時期に電気爐（アーク爐）が急激に普及したことは間違いない。

誘導式電気炉が普及したのは昭和10年（1935年）代になってからである。中山¹⁴⁾によれば、高周波電気炉は始め特殊鋼の製造を目的に、昭和6年（1931）に東芝がアメリカの技術を用いて製造を開始したのが始まりとされている。また、同年に住友製鋼所が100kWの炉（炉の溶解量では100kg程度）を導入し、半工業的に使用を開始している。さらに、中山は昭和初期の誘導電気炉の導入状況をまとめ、表4.8を示し

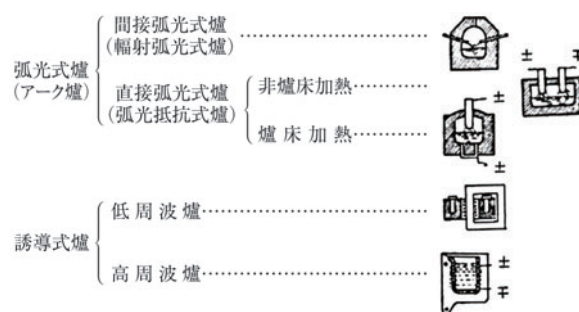


図 4.15 各種電気爐の構造⁹⁾

ている。これより、昭和13年頃から19年にかけて誘導電気炉が急増していることがわかる。これを生産能力で判断すると、昭和12年から19年では約4倍になっているが、第二次大戦への準備のためであったのであろうか。

鑄鋼の溶解炉は現時点でもアーク炉が主流で、小型の炉に限定して高周波誘導炉が用いられている。そして、これまでに記述したように、平炉は完全に姿を消してしまった。これは熱効率の問題である。また、アーク炉ではスラグを用いた精錬が可能であるのに対して、高周波誘導炉では耐火物が薄く、スラグによる精錬には向かないので、良質の原材料が不可欠などの問題があり、その鑄鋼への普及を妨げている。

表 4.7 昭和初期の鑄鋼の生産量と爐¹³⁾、トン

	平爐	轉爐	電気爐	坩堝	合計
昭和元年	26,633	6,900	10,011	38	43,572
2年	26,561	4,075	14,968	11	45,615
3年	28,657	3,222	18,704	6	50,589
4年	26,451	1,142	25,471	—	53,064
5年	18,439	35	23,123	1	41,598
6年	12,029	—	21,413	1	33,443
7年	18,805	—	27,878	—	46,683
8年	29,333	—	38,773	1	68,107

表 4.8 誘導式電気炉の年次別建設数およびその能力¹⁴⁾ トン

年次	昭和12年	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年
増設数		5	12	12	11	5	8	12	1
全基数	27	32	44	56	67	72	80	92	81
建設容量	17.31	11.6	5.75	9.05	5.95	5.8	8.1	10.8	10
増設分の製鋼能力		17,400	8,625	18,575	8,931	8,700	12,150	16,200	1,500
能力累計	25,964	43,364	51,989	65,564	74,495	83,195	95,345	111,545	113,045

引用・参考文献

- 1) 加山延太郎：「日本鑄造 50 年史」日本鑄造株式会社 昭和 45 年（1970）p226-227
- 2) 佐々木 稔：「幕末・明治期の製鉄遺跡と考古関連諸科学」季刊考古学 109（2009, 11）p14-17
- 3) 川口鑄物工業協同組合：『川口鑄物の歴史』（2005, 12）
- 4) 齋藤大吉：「金属合金及其加工法 中巻」丸善 明治 43 年（1910）7 月 p61-111, 181-187
- 5) 海軍艦政本部編纂：「鑄造作業標準」アルス 昭和 7 年（1932 年）p154-156
- 6) 鈴木敏光：「鑄鉄の溶解と材質」鑄造中核人材育成 鑄造カレッジテキスト、鑄鉄専門科目 日本鑄造協会（2012, 3）p24-38
- 7) 大橋周治 編著：「幕末明治製鉄論」アグネ（1991, 2）p415
- 8) 石川登喜治：「鑄造学 下巻」誠文堂 昭和 26 年（1951 年）p1-29
- 9) 谷山 巖：「鋼鑄物」三省堂 昭和 14 年（1939 年）p1-128
- 10) 海軍艦政本部編纂：「鑄造作業標準」アルス 昭和 7 年（1932 年）p83-85
- 11) 陸軍砲工學校：「大正十三年 工藝學教程 軍事工藝 第三版上巻」
- 12) 陸軍砲工學校：「明治四十三年 工藝學教程 軍事工藝 第三版上巻」
- 13) 諏訪常次郎：「本邦鋼鑄物の発達」鉄と鋼 21（1935）p462-467
- 14) 中山忠男：「日本鑄造 50 年史」日本鑄造株式会社 昭和 45 年（1970 年）p277, 281, 282

5 | 材質の変遷

5.1 鑄鉄

鑄鉄の機械的性質は黒鉛の形状に大きく依存する。たとえば図 5.1 に示すように、黒鉛の形状は ISO 規格で分類されている。ここで、Ⅵを球状黒鉛、Ⅰを片状黒鉛という。Ⅴは可鍛鑄鉄に合致する。しかし、実際にはさらに複雑で、球状黒鉛鑄鉄にもⅢからⅤの黒鉛が混在することが多い。一方、片状黒鉛はさらに複雑で、図 5.2 のように詳細に A 型から E 型までの 5 種類に分類されている。そして、ISO では更に、黒鉛の大きさまでも規定している。これらの詳細は専門書¹⁾を参照いただきたい。

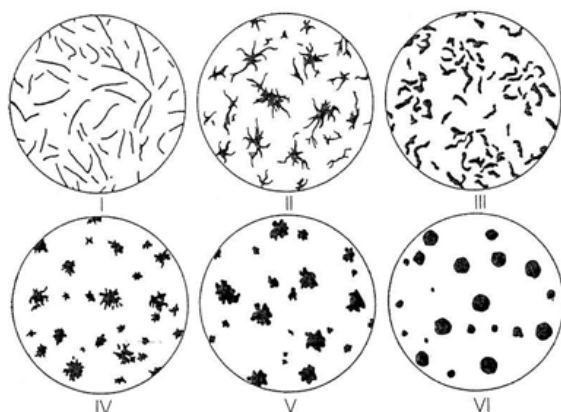


図 5.1 鑄鉄の黒鉛形態の ISO による分類
(Ⅰ：片状黒鉛、Ⅵ：球状黒鉛)

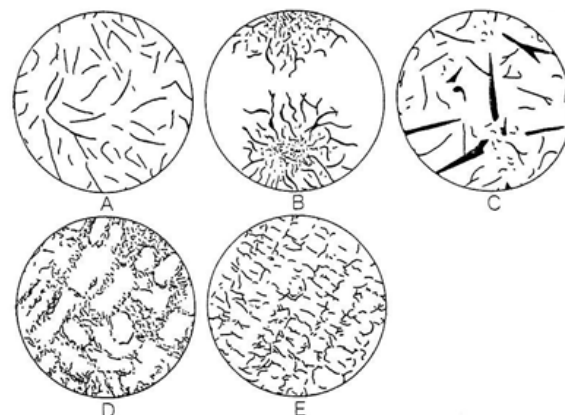


図 5.2 片状黒鉛の ISO による分類

我が国における鑄鉄の強さの歴史を石野²⁾は、1860 年から 1970 年までの鑄鉄の引張強さの遷移で図 5.3 のように紹介している。ここで示されている、普通鑄鉄、強靱鑄鉄と合金鑄鉄は全て片状黒鉛鑄鉄を細分化したものであり、片状黒鉛鑄鉄（あるいは、ねずみ鑄鉄）として分類するのが正しい。本来、ここで言うねずみ鑄鉄（鼠鑄鉄）とは白鑄鉄に対して用いられてきた用語であるが、ここには白鑄鉄の生産量は示されておらず、非常に少ないので、これからの鑄鉄の分類からは白鑄鉄は除外した。先に記述したように、鑄鉄中のケイ素量が少ないと、凝固時に黒鉛を晶出せず、炭素は鉄との炭化物 (Fe_3C 、これをセメンタイトという) を作る。この鑄鉄の破面は真っ白であることから、これを白鑄鉄（銑鉄に対しては白銑という）

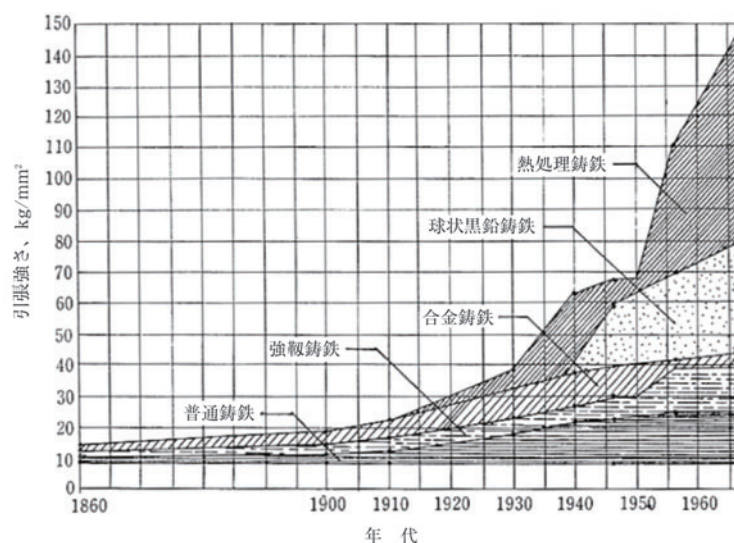


図 5.3 我が国における鑄鉄強靱化の歩み²⁾

さらに、この図には誤りがある。球状黒鉛鑄鉄の発明は1947年にイギリスでCe添加法が、1948年に

明治時代の鑄鉄の強度に関する記述は極めて少ない。その中で、齋藤⁴⁾は表5.1のように報告している。ここで、鑄鐵（片状黒鉛鑄鉄）の引張強さは18.9kgf/mm²、可鍛鑄鉄では引張強さ32.2kgf/mm²、伸びは3.0%としている。さらに、この報告ではIron Age 1908年を引用し、国産の材料と欧米の材料の強度との対比で示してある。如何に欧米での技術を模倣していたかが理解できる。また、ここで鍊鐵とあるのは表3.4で示したのもで、熔解して作った鋼（鋳鋼）に対する用語で、半凝固法（パドル法）で作られた鋼（鍊鐵）を指す。したがって、鋼内部に多くの非金属介在物を内蔵しており、その機械的性質は鋳鋼と比べて劣る。

表 5.2 明治 44 年の片状黒鉛鑄鉄製大砲⁵⁾[illegible]

5.1.1 片状黒鉛鑄鉄

一方、大阪砲兵工廠資料集上巻では明治44年の片状黒鉛鑄鉄の大砲製造データが表5.2のように報告されている⁵⁾。ここではグレゴリー銃を用い、片状黒鉛鑄鉄で引張強さで18.4~25.8kgf/mm²を得ており、先の表5.1⁴⁾ともよく一致している。また、表5.2の最下段（成績欄）には合格と記されており、当時の規格に合格していたこともわかる。さらにここでは、各試料の化学組成も示されており、これらの化学組成は現在と比べてマンガン含有量が高いのがよくわかる。大阪砲兵工廠資料集 上巻⁵⁾は「昭和2年（1927年）1月25日起稿」とあり、明治時代の記録を1987年に篇集したものである。ここには、これらの記録は明治26年8月に始まっており、明治40年末より明治41年3月までの鑄鉄砲は欠陥の発生が多く、その80%が不良品と記されている。明治44年以降は良品を生ずるに至るとあり、この良品のデータが表5.2である。

明治時代の片状黒鉛鑄鉄と可鍛鑄物（鑄鐵）の凡

その機械的性質に関しては表5.1に記述した通りである。しかし、片状黒鉛鑄鉄の強さの歴史を正確に記述するのは難しい。この点に関して石川^{6, 7)}は、表5.3のように海軍規格で示している。これによると、片状黒鉛鑄鉄の規格は4種あり、当時の規格では23kgf/mm²が最も強い鑄鉄の規格であったことがわかる。これと同時に、表5.2下段の成績合格は、ここで得られた鑄鉄材料がこの規格に合格したものと推定できる。また、これらの化学組成は3.2%C、1.6%Si、0.2%P、0.05%Sとしている。硫黄の含有量が低く、キュボラ溶解ではこの値の達成は非常に難しいので、何の溶解炉を用いたかは今後の調査項目である。

更に、石川の新しい著書⁷⁾では材質を普通品と高級鑄鐵に分類し、鑄物の肉厚との関連で表5.4のように記述されている。ここでは、普通品の燐含有量が0.4~0.8%と異常に高いことが目につくが、高級鑄鐵では0.2%以下と記載されており、更に、ピストンリングでは機種によって燐含有量を変化させている。

表 5.3 片状黒鉛鑄鉄の海軍舊規格^{6, 7)}

種 別	抗 張 試 験 抗張力kg/mm ²	横 折 試 験 荷重 kg	撓 量 mm	硬 度 ブリネル
普通鑄鐵	14 以 上	900 以 上	一	
特殊鑄鐵甲	16 "	1100 "	2.4 以 上	
同 上 乙	19 "	1200 "	2.8 "	
同 上 丙	23 "	1300 "	3.0 "	180~230

表 5.4 各種鑄鐵標準成分⁷⁾

	用 途	T. C.	Si	Mn	P	S	備 考
普通品	薄物 t<20mm	3.5以下	2.0~2.4	0.5~0.7	0.4~0.8	<0.03	構造的に良好、抗張力14~20kg位、厚物は組織均一ならず
	厚物 t>20mm	〃	1.4~1.8	0.5~0.8	〃	〃	
	t = 15~60	3.0~3.3	1.5~2.4	0.2~0.3	0.5~0.6	〃	抗張力16~24kg、位組織緻密
高級鑄鐵	臺 板 類	3.0~3.2	1.5~1.8	0.6~0.8	0.1~0.2	〃	組織均一強靱
	蒸氣筒類水壓物	〃	1.5~1.7	0.5~0.7	<0.15	〃	
	内火機械及薄物發動筒類	2.8~3.0	1.2~1.5	0.8~1.0	〃	<0.03	
	シリンダーライナ類 t>10mm	〃	0.8~1.3	0.3~1.3	〃	〃	
	特 殊 氣 筒 類	2.8以下	2.0以上	1.0~1.2	<0.3	<0.08	

ピストンリング成分

用 途	T. C.	Si	Mn	P	S	備 考
小 型 用	2.8~3.2	1.4~1.7	0.5~0.7	0.5~0.6	0.05以下	乾燥型急冷
大 型 用	3.0	1.0~1.2	0.5~0.9	0.15以下	〃	同 徐冷
徑130mm以下（米國）	3.7	2.8	0.6~0.7	0.5	0.08以下	生型一本取
徑130mm以上（〃）	3.6	2.0	0.6~0.7	0.5	〃	同上
ディーゼル機用	2.9~3.1	1.0	0.6~0.7	0.15以下	〃	

表 5.5 合金（片状黒鉛）鑄鐵の強度⁷⁾

品 種	化 学 成 分								強 度		
	T. C.	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	抗 張 力 Kg/mm ²	伸%	ブリネル 硬 度
Ni 合 金	2.78	2.15	0.76	0.15	0.03	0.8			34.00		
同 上	2.61	1.98				0.89			41.27		241
Ni-Mo 合 金	2.78	1.91				2.46		0.55	42.19		286
Ni "	2.98	1.66	1.17	0.16	0.07	1.02			35.02		277
Ni-Cr "	3.16	1.28	1.15			0.91	0.53		34.5		218
Ni-Cr "	2.77	1.79	1.21			1.52	0.37		33.2		243
Ni-Cr-Mn "	2.95	1.93	0.53	0.115	0.047	1.49	0.03	0.7	39.0		262
"	2.81	2.57	0.51	0.155	0.047	1.91	0.13	0.9	46.41		297
	3.00	1.8	0.8	0.03	0.01	1.60	0.4	0.2	46.5		285
"	2.49	2.35	0.87	0.112	0.062	1.56	0.28	1.0	44.8		251
フォード製曲軸	1.35 ~1.6	0.85 ~1.1	0.6 ~0.85	>0.10	0.006		0.4~0.5	Cu 1.5~2	75~75.4	3.0~2.0	269

石川はさらに、合金鑄鐵に関しても表 5.5 のように記述している⁷⁾。ここでは引張強さが 45kgf/mm² を超えるものが紹介されており興味深い。しかし、これらの材料の比較材として最後の行にフォード車の曲軸（クランクシャフト）が紹介されている。これは引張強さが 75kgf/mm² で、鑄鋼品かパーライト可鍛鑄鐵ではなかろうか。何故にこの材料を比較材としたのか理解できず、実に不思議な記述である。

これまでの記述には JES 規格も JIS 規格も示されていない。すなわち、国としての規格が制定されていなかった時代の話である。日本国としての規格は、我が国では JIS に先だって JES^{*}が制定されている。鑄鉄品（片状黒鉛鑄鉄）の最初の JES は表 5.6 の通りである⁷⁾。ここでは最強の片状黒鉛鑄鉄として 23kgf/mm² が規定されたことがわかる。

^{*}：大正 10 年（1921 年）の勅令第 164 号に基づき、同年には工業品規格統一調査会が設置された。この調査会は、1941 年までに 520 件の日本標準規格（旧 JES : Japanese Engineering Standards）を制定した。昭和 21 年（1946 年）の勅令第 98 号によって、同年 2 月に工業品統一調査会が廢

止され、そのかわりに工業標準調査会が設けられ、旧 JES、臨 JES のかわりに 2,102 件の日本規格（新 JES）が 1947 年制定された。旧 JES、臨 JES は文語体で書かれていたが、新 JES は口語体で書かれた。

日本工業規格（JIS : Japanese Industrial Standards）は、工業標準化法に基づき、日本工業標準調査会の答申を受けて、主務大臣が制定した工業標準であり、日本の国家標準の一つである。JIS または JIS 規格と通称されている。工業標準化法は、1949 年 6 月 1 日に制定され、7 月 1 日から施行された。これに伴い工業標準調査会は廢止され、日本工業標準調査会が設けられた。その後、JES では片状黒鉛鑄鉄は 5 種類に分類され、表 5.7⁸⁾ に示すように最高強度は 27kgf/mm² となった。この規格はそのまま新しく制定された JIS に引き継がれている。

そして 1956 年の鼠（ねずみ）鑄鉄品の JIS は表 5.8 に示したように 35kgf/mm² の強靱鑄鉄が規格化され⁹⁾、この値は現在の規格と大差ない状況に達した。この規格では抗折試験が規格に含まれていたが、現在ではこれは JIS 規格から削除され、硬さは注文者の要

表 5.6 鑄鐵品（片状黒鉛鑄鉄）の規格 JES^{*} 134 号⁷⁾

種 別	磷 %	硫黄 %	種 別	抗張力 kg/mm ²
第 一 種	—	—	第 一 種	10以上
第 二 種	—	—	第 二 種	14以上
第三種	一 號	—	第 三 種	19以上
	二 號	0.40	第 四 種	23以上
第四種	一 號	0.30		
	二 號	0.20		

表 5.7 鋳鉄品（片状黒鉛鋳鉄）の JES 金属 5501⁸⁾

種 別	記 号	化学成分%		抗張試験	抗 折 試 験		圧縮試験	硬度試験
		P	S	抗 張 力 kg/mm ²	荷 重	撓 み mm	抗 圧 力 kg/mm ²	硬 度 (ブリネル)
鋳鉄品 1 種	FC10	—	—	>10	> 800	—	—	—
鋳鉄品 2 種	FC15	—	—	>15	>1100	> 2.0	>63	—
鋳鉄品 3 種	FC19	< 0.40	< 0.10	>19	>1350	> 2.5	—	—
鋳鉄品 4 種	FC23	< 0.40	< 0.10	>23	>1600	> 3.0	—	180~240
鋳鉄品 5 種	FC27	< 0.40	< 0.10	>27	>1700	> 3.0	—	190~240

表 5.8 鼠鋳鉄品（片状黒鉛鋳鉄）規格 JIS5501-1956⁹⁾

種 類	記号	鋳鉄品の主要 肉厚 (mm)		供試材 の鋳放 し直径 (mm)	引張試験	抗 折 試 験		硬 さ 試 験
					引張強さ (kg/mm ²)	最大荷重 (kg)	撓 み (mm)	ブリネル (HBR)
鼠 鋳 鉄品 1 種	FC 10	4 以上	50 以下	30	10以上	700以上	3.5 以上	201 以上
鼠 鋳 鉄品 2 種	FC 15	4 以上	8 以下	13	19以上	130以上	2.0 以上	241 以下
		8 をこえ	15 以下	20	17以上	400以上	2.5 以上	223 以下
		15 をこえ	30 以下	30	15以上	800以上	4.0 以上	212 以下
		30 をこえ	50 以下	45	13以上	1700以上	6.0 以上	201 以下
鼠 鋳 鉄品 3 種	FC 20	4 以上	8 以下	13	24以上	200以上	2.0 以上	255 以下
		8 をこえ	15 以下	20	22以上	450以上	3.0 以上	235 以下
		15 をこえ	30 以下	30	20以上	900以上	4.5 以上	223 以下
		30 をこえ	50 以下	45	17以上	2000以上	6.5 以上	217 以下
鼠 鋳 鉄品 4 種	FC 25	4 以上	8 以下	13	28以上	220以上	2.0 以上	269 以下
		8 をこえ	15 以下	20	26以上	500以上	3.0 以上	248 以下
		15 をこえ	30 以下	30	25以上	1000以上	5.0 以上	241 以下
		30 をこえ	50 以下	45	22以上	2300以上	7.0 以上	229 以下
鼠 鋳 鉄品 5 種	FC 30	8 以上	15 以下	20	31以上	550以上	3.5 以上	269 以下
		15 をこえ	30 以下	30	30以上	1100以上	5.5 以上	262 以下
		30 をこえ	50 以下	45	27以上	2600以上	7.5 以上	243 以下
鼠 鋳 鉄品 6 種	FC 35	15 以上	30 以下	30	35以上	1200以上	5.5 以上	277 以下
		30 をこえ	50 以下	45	32以上	2900以上	7.5 以上	269 以下

求がある場合に適用する、に変更されている。鋳物ではその肉厚により強さが変化する現象が知られており、これを肉厚感受性という。表 5.8 では鋳物の肉厚を 4mm~50mm までを規定しているのがわかる。

しかしながら、現在の JIS では表 5.9 は本体付き試験片の規格であるが、実体強度用供試材では試験片鋳物の肉厚は 2.5mm から 300mm まで大きく拡大され、その引張強さが鋳物の肉厚に応じて規定されている。これは、片状黒鉛鋳鉄が大型品への適用がなされることに適したものである。このように規格の変遷を見ると、引張強さでは明治の初めころは 23kgf/mm²であったものが JES 規格では 27kgf/mm²へと、

そして 1956 年の JIS 規格で 35kgf/mm²へ、ごく最近の JIS では肉厚では 300mm までもが規格に取り入れられてきたのがわかる。これが技術の進歩である。

片状黒鉛鋳鉄の技術導入で忘れることができないものにミーハナイトがある。新潟鐵工所は昭和 26 年 (1951) に斎藤彌平工場長を鋳鉄技術の調査にアメリカに出張させた。その折、ミーハナイト社技術の優秀さに触れ、新潟鐵工ではこれを翌年にジャパンミーハナイト社より技術導入した¹⁰⁾。このジャパンミーハナイト社を中心に我が国に鋳鉄技術が広まり、現在に至っている。ミーハナイト社の技術は片状黒鉛鋳鉄に止まらず、球状黒鉛鋳鉄も含まれている。1958 年に

表 5.9 JIS G 5501-1995
本体（実際の鋳物）付き供試材の機械的性質

種類の記号	鋳鉄品の肉厚 mm	引張強さ N/mm ²
FC100	—	—
FC150	20以上 40未満	120以上
	40以上 80未満	110以上
	80以上150未満	100以上
	150以上300未満	90以上
FC200	20以上 40未満	170以上
	40以上 80未満	150以上
	80以上150未満	140以上
	150以上300未満	130以上
FC250	20以上 40未満	210以上
	40以上 80未満	190以上
	80以上150未満	170以上
	150以上300未満	160以上
FC300	20以上 40未満	250以上
	40以上 80未満	220以上
	80以上150未満	210以上
	150以上300未満	190以上
FC350	20以上 40未満	290以上
	40以上 80未満	260以上
	80以上150未満	230以上
	150以上300未満	210以上



図 5.4 1958 年、ミーハナイト社 Anspach 氏の来日
(新潟鉄工所)

ミーハナイト社の技術者、J. M. Anspach 氏が来日した時の、新潟鉄工の新潟工場での写真を図 5.4 に示す。Anspach 氏の左側に座っているのが斎藤彌平氏である。

この技術導入は接種や鋳鉄の高温溶解、鋼屑の大量配合などの技術をもたらし、その後の我が国鋳鉄業界の技術発展に大きな足跡を残した。このミーハナイトを中心とする技術集団は今日でも稼働している。

5.1.2 可鍛鋳鉄

先に表 5.1 で明治時代の可鍛鋳鉄の強さを 32.2kgf/mm²、伸びを 3% と記述した。この表では当時の欧米

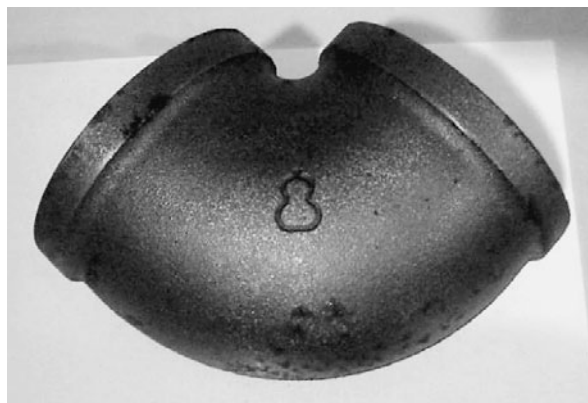


図 5.5 大正初期の可鍛鋳鉄継手
(日立金属 鋳物記念館)

での可鍛鋳鉄との対比で示されており、我が国の実情が推定でき、興味深い。可鍛鋳物の歴史は古く、1630 年頃の英国の David Ramsey が最初とされている⁸⁾。白心可鍛鋳鉄は 1772 年にフランスで、黒心可鍛鋳鉄は 1826 年にアメリカで発見された¹¹⁾。しかし、先に示した表 5.2 は片状黒鉛鋳鉄製の大砲の製造を目的としたもので、当然ながら可鍛鋳鉄の記述はない。

1903 年、東京大学の機械科を卒業した鮎川義介は明治 43 年 (1910) に図 2.6 に示した戸畑鑄物 (日立金属の前身) を創立し、我が国で初めて黒心可鍛鋳鉄の製造を開始した。この工場は初めから本格的なものである。この辺の事情は松尾の書¹²⁾ に詳しく記述されている。戸畑鑄物の木型工場が移設され、現在の鋳物記念館になっている。ここには大正初期の可鍛鋳鉄製の継手 (図 5.5) も展示されている。

業績好調を続けた戸畑鑄物は大正 10 年 (1921) にチルドロールの生産に、大正 14 年 (1925) には (株) 安来製鋼所を合併し、鋳鋼・特殊鋼の分野に進出した¹¹⁾。表 5.10 に当時の黒心可鍛鋳鉄の化学組成を示す。現在とそんな色のない化学組成であるが、残念ながらこの書には強度に関する記述はない。

可鍛鋳鉄鋳物の JES 規格は表 5.11、表 5.12 のように規格化されており、現在の JIS 規格に類似している。現在の JIS 規格は、これらの規格に FCMB35 を加えただけで、殆どこれと同じで、表 5.13 のように制定された。これらの数値は昭和 27 年に JIS G 5701 として制定されている¹³⁾。

現在では、これらの規格に高強度可鍛鋳鉄であるパーライト可鍛鋳鉄品 (JIS G 5704) を加えて、黒心可鍛鋳鉄品 JIS G 5702、白心可鍛鋳鉄品 JIS G 5703 へと規格が展開している。

表 5.10 戸畑鑄物の黒心可鍛鑄鉄の化学組成¹¹⁾

年 月 日	C %	Si %	Mn %	P %	S %
明 45・5・1	2.67	0.52	0.34	0.107	0.038
明 45・6・22	3.20	0.75	0.63	0.118	0.038
	3.44	0.62	0.41	0.100	0.037
大 2・8・2	3.11	0.77	0.49	0.084	0.015
	3.03	0.69	0.33	0.094	0.020

表 5.11 黒心可鍛鑄鐵品標準規格 JES 金属 5701¹³⁾

種 別	記 号	抗 張 試 験		屈 曲 試 験	
		抗 張 力 kg/mm ²	伸 %	屈 曲 角 度	内 側 半 径 mm
黒心可鍛品 1 種	FCMB 28	>28	>5	90°	40
同 上 2 種	FCMB 32	>32	>8	120°	40

種 別	C	Si	Mn	P	S	摘 要
・ 黒 心 可鍛品 1 種	2.00 3.20	0.60 1.50	<0.60	<0.300	<0.200	1. 形状・寸法及重量につき製造の容易なるもの 2. 静荷重を受ける場合に使用するもの 3. 荷重の限度を超えても大なる危険を伴わない場合に使用するもの
同 上 2 種	1.70 2.80	0.70 2.00	<0.6	<0.200	<0.100	1. 形状・寸法及重量につき製造の困難なるもの 2. 反復応力又は衝撃荷重を受ける場合に用いるもの 3. 構成材料の重量を可及的軽減して所要の強度を持たせる必要ある場所に使用するもの

表 5.12 白心可鍛鑄鐵品標準規格 JES 金属 5702¹³⁾

種 別	記 号	抗 張 試 験		屈 曲 試 験	
		抗 張 力 kg/mm ²	伸 %	屈 曲 角 度	内 側 半 径 mm
白心可鍛品 1 種	FCMW 30	>30	>2	>20°	40
〃 2 種	〃 35	>35	>4	>40°	40
種 別	化 学 成 分 %				
	P	S			
白心可鍛品 1 種	<0.40	<0.40			
〃 2 種	<0.20	<0.30			

表 5.13 可鍛鑄鉄品 (JIS G 5701)¹³⁾

種 類	記 号	引 張 試 験		曲 ゲ 試 験	
		引張強サ kg/mm ²	伸 ビ %	曲ゲ角度	内側半径 mm
黒心可鍛品第 1 種	FCMB28	28 以上	5 以上	90° 以上	40
黒心可鍛品第 2 種	FCMB32	32 //	8 //	120° //	40
黒心可鍛品第 3 種	FCMB35	35 //	10 //	150° //	40
白心可鍛品第 1 種	FCMW34	34 //	5 //	120° //	40
白心可鍛品第 2 種	FCMW36	36 //	8 //	150° //	40

5.1.3 球状黒鉛鑄鉄

球状黒鉛鑄鉄の定義から記述する。ここでは黒鉛の丸さ(黒鉛球状化率)から始める。先に図 5.1 に示したように、鑄鉄の黒鉛には多くの形がある。図 5.1 で全黒鉛粒数に対する V と VI の黒鉛粒数の割合を黒鉛球状化率と定めている。球状黒鉛鑄鉄では黒鉛は丸くなければならない。それでは黒鉛の丸さはどのように量るのであろうか。それが前記の黒鉛球状化率である。

黒鉛球状化率と鑄鉄の機械的性質の関連を図 5.6 に示す。この図からわかるように、機械的性質は黒鉛形状(黒鉛球状化率)に大きく依存する。そこで、現在では黒鉛球状化率 80% 以上の鑄鉄を球状黒鉛鑄鉄と定義している。

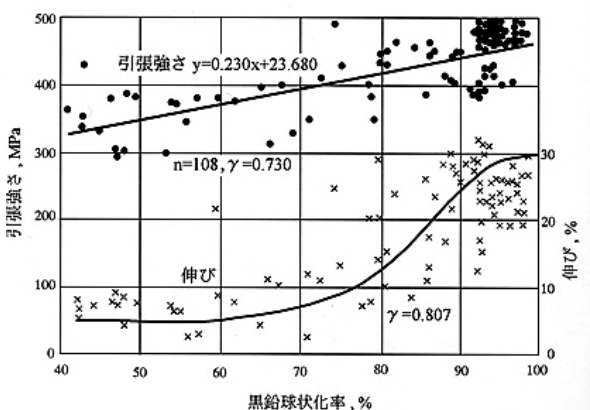


図 5.6 鑄鉄の機械的性質と黒鉛球状化率の関係

先に、球状黒鉛鑄鉄の発明は 1947 年にイギリスで、1948 年にはアメリカで³⁾であり、我が国に技術導入されたのは 1950 年代であったと記述した。球状黒鉛鑄鉄の発明は 1947 年にはイギリスで Ce 添加法が、1948 年にはアメリカで Mg 添加法が³⁾が別々に行われた。我が国にこの技術が導入されたのは 1950 年代である、とも先に記述した。工業的にはアメリカの

Mg 添加法が先行し、我が国では日本ダクタイル鑄鉄協会を設立し、これが窓口となってアメリカ・インコ社の技術が昭和 27 年(1952)に導入された¹⁴⁾。これが我が国における球状黒鉛鑄鉄の工業的な生産の開始である。その後、この協会は現在まで存続し、我が国の球状黒鉛鑄鉄の技術的進歩の一翼を担っている。これは、球状黒鉛鑄鉄の発明から僅か数年の遅れでアメリカからの技術導入に至っている。当時の研究者・開発者がアメリカからの新しい情報の獲得に熱心であったことがうかがえる

それが、昭和 28 年(1953)に発刊された「金属材料及加工法鑄鉄篇」¹⁵⁾には球状黒鉛鑄鉄の詳細が記載されている。この内容は現在の視点からもみても極めて充実しており、技術導入の直後にこのような短時間で、これだけの内容をまとめたことは脅威に値する。この書では球状黒鉛鑄鉄の機械的性質は表 5.14 のように示されている。しかし、ここでは JIS 規格は示されておらず、規格としてはアメリカ規格が記載されている。当時は我が国に技術導入されたばかりで、JIS が制定されていなかったことを示している。また先に記述したように、「鑄鉄の材質」¹⁶⁾にも同じように、球状黒鉛鑄鉄に関する記述はない。

球状黒鉛鑄鉄の導入に関しては、当時、我が国は国を挙げて研究組織を作り、開発を強力に押し進めた。その第一報が飯高による研究報告書¹⁷⁾である。この報告書は昭和 27 年(1952)に発刊されており、国として研究開発に取り組んだことがわかる。これは、球状黒鉛鑄物は当時の最先端技術であった証拠と筆者は考えている。その後、我が国では、我が国独自技術として草川らにより Ca 処理による黒鉛の球状化法が発明されている¹⁸⁾。この様に、球状黒鉛鑄鉄は欧米での発明の直後に、我が国に技術導入されており、その早さは可鍛鑄鉄や片状黒鉛鑄鉄に比べて著しい。したがって、新しい発見の余地が残されており、この様な

表 5.14 球状黒鉛鑄鉄と各種鑄鉄、鉄鋼材との特性の比較¹⁵⁾

	灰鑄鉄	高級鑄鉄	可鍛鑄鉄	球状黒鉛鑄鉄		鋳鋼 (焼鈍)	構造用鋼 St. 52	黒鉛鋼 1.5%C
				鑄造の儘	焼鈍			
黒鉛の形状	片状	細き片状	結節状	球状	球状	なし	なし	点状
抗張力 kg/mm ²	22	30~45	37~60	50~70	40~55	38~60	52~64	85
降伏点 kg/mm ²	なし	なし	19~31	40~60	35~45	18~28	34	67
降伏比 %	〃	〃	55	80	85	47	58	79
伸	〃	〃	2~10	1~6	8~20	8~20	18~22	6
ブリネル硬度	180	225	110~150	220~280	140~180	140~170	140~170	255
弾性係数 kg/mm ²	7500	12500	17000	16500	—	21000	21000	19700
抗圧力 kg/mm ²	90~100	100~140	35~60	85~125	—	35~55	38~60	85
圧縮降伏点 kg/mm ²	—	—	19~31	—	40~60	18~28	34	67
曲げ衝撃値m-kJ/cm ²	<0.5	0.5~1.5	5~17	3.5	5.5	4~20	5~20	—
曲げ疲労強度kg/mm ²	5~10	10~15	14~20	25~30	15~20	13~15	30~32	—
曲げ疲労強度 抗張力	—	0.3~0.6	0.5	0.4	0.4	0.3~0.5	0.5	—

発明に繋がった、と考える。

我が国での高強度鑄鉄に関して取りまとめた最初の本、「強靱鑄鉄」⁹⁾は日本強靱鑄鉄協会の出版である。ここには表 5.15 のように球状黒鉛鑄鉄に関する仮規格が示されており、これは日本工業規格 (JIS) の基礎をなすものと信ぜられる、と記述されている。このような表現からも、この本のレベルの高さと技術者の気概が感じられ、興味深い。さらにまた、この様に当時は鑄造業界団体である、日本強靱鑄鉄協会や日本鑄物工業会が力を有しており、これら重要な書物がこれら協会により出版されたことは記憶に留めるべきであろう。

我が国や先進国では、現在は球状黒鉛鑄鉄の生産量は鑄鉄鑄物の 50% 近くに達しており、今後はさらなる

発展が期待されている。逆に表現すると、球状黒鉛鑄鉄の無い鑄鉄鑄物は考えられない、と言えよう。球状黒鉛鑄鉄は鋼の強さと、片状黒鉛鑄鉄の鑄造性を兼ね備えた鑄造材であり、この材料なしでは鑄鉄鑄物を語るができないであろう。

現在では、球状黒鉛鑄鉄に関する JIS 規格は数多く規定されている。しかし基本的には、表 5.15 の規格が殆どがそのままの形で継承されており、この表の表記法に従えば DCI-80、すなわち FCD 800-2 が追加されたに過ぎない⁹⁾。

これまでに記述してきたように、鑄鉄の分類 (規格) は、表 5.16 のように黒鉛形状に基づいて制定されてきた¹⁾。しかし、近年はこれに基地組織による分類も JIS に採用され、表 5.17 のような関係にある。過去の

表 5.15 ダクタイル鑄鉄品 (球状黒鉛鑄鉄) の仮規格⁹⁾

種 類	記 号	引張強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び %	ブリネル 硬さ H _B	状 態
ダクタイル鑄鉄品						
第 1 種	DCI-40	40以上	28以上	12以上	120—190	焼 鈍
第 2 種	DCI-45	45以上	30以上	5以上	140—240	焼鈍または焼放し
第 3 種	DCI-55	55以上	38以上	2以上	170—290	焼放し
第 4 種	DCI-60	60以上				焼放し
第 5 種	DCI-70	70以上				熱処理または焼放し

備考：硬さは参考値である。

表 5.16 黒鉛形態による分類と JIS 規格¹⁾

黒鉛の形態	鑄鉄の種類と JIS 規格
片状黒鉛	片状黒鉛鑄鉄 (FC), 共晶黒鉛鑄鉄 (図 2.5 の D 型)
半虫状黒鉛	C/V 鑄鉄: 図 2.4 形態Ⅲ~Ⅴ
球状黒鉛	球状黒鉛鑄鉄 (FCD)
塊状黒鉛	黒心可鍛鑄鉄 (FCMB), パーライト可鍛鑄鉄 (FCMP)
無黒鉛	白心可鍛鑄鉄 (FCMW)
セメンタイト	白鑄鉄

表 5.17 鑄鉄の基地組織による分類と JIS 規格¹⁾

基地組織	名称	JIS 規格
フェライト / パーライト	普通鑄鉄	FC, FCD
オーステナイト	オーステナイト鑄鉄	FCA, FCDA
ベーナイト	オーステンバ鑄鉄	FCAD
マルテンサイト	マルテンサイト鑄鉄	規格はない

鋳物の研究者が余りに黒鉛形態に囚われすぎた、と筆者は感じている。球状黒鉛鋳鉄や片状黒鉛鋳鉄のJISに関しては、或いは世界の規格との対比に関しては別の資料¹⁹⁾を参照されたい。

5.2 鋳鋼

鋳鋼が何時ごろから製造されたかは先に記述した。谷山²⁰⁾は大正末期から昭和にかけての鋳鋼と鋼の生産量の推移に関しては先に表4.5のように示した。この表では鋳鋼と鋼の生産量が分けて記述されたのは昭和5年(1930)であった。それも多くは電気炉であり、次いで平炉で、転炉や坩堝炉での生産は極めて少なかったことがわかる。

しかしここでは、鋳鋼の生産統計に関して再び谷山のデータを用いて鋳鋼の生産量を表5.18に示す²⁰⁾。ここでは%表示になっているが、鋼全体を合計するとほぼ100%であるが、100%にならないものも多い。これに鋳鋼を加えると全てが100%を越えてしまう。また、この結果は先の表4.5とも一致せず、鋳鋼の生産量を鋼に対する割合は数%、と考えるのが妥当のようである。

齋藤の著書⁴⁾では鋳鋼の造り方は詳細に記述されているが、その機械的性質に関する記述は少ない。その中で、鋳鋼製品などの機械的性質を表5.19のように紹介している。ここで右端の欄は鋳鋼品で0.5~1.3%C炭素鋼鋳鋼で引張強さ45~70kgf/mm²で、伸びは4~6%、とされている。中央部はマルチン炉による鋼で0.1~0.6%C炭素鋼鋳鋼(中央部)で引張強

さ40~60kgf/mm²と紹介されている。左端にはエッフェル塔の台座の化学組成なども紹介しており、興味深い。因みに、エッフェル塔は溶鋼ではなく、錬鉄による最後の大型構造物とされている²¹⁾。

石川⁶⁾は当時の鋳鋼品の組成と引張強さに関する日本標準規格6號を表5.20のように示している。ここでは燐と硫黄の含有量は炉の耐火物の種類(酸性爐か鹽性爐)によりその含有量は表のように異なっており、興味深い。しかし、ここでは第四種では引張強さは示されておらず、強さは第一種、第二種及び第三種に限り之を行うものとする、と記述されている。この点に関しては谷山²⁰⁾もほぼ同様な表を示しているが、化学組成で硫黄含有量を0.05%以下と規定している。

その後の石川の著書²²⁾では鋳鋼品規格改正案を表5.21のように紹介しているが、これらの値は新しいJIS規格(表5.22)²²⁾には採用されていない。すなわち、表5.20では4種類に分けて提案されたが、表5.21では3種類に留まっている。現在の炭素鋼鋳鋼のJIS規格ではSC 360, SC 410, SC 450, SC 480の4種類が規格化されている。

我が国では鋳鋼の専門書は極めて少ない^{20, 23, 24)}。これらの中で三ヶ島の著書²³⁾は現在でも参考になる、名著といえよう。昭和26年(1951)以降に我が国では鋳鋼に関する著書は出版されていない。嘆くべき事態である。しかし幸いなことには、近年、日本鋳造工学会より鋳鋼の連載講座シリーズ²⁵⁾が発行されている。詳細はこれを参照されたい。

鋼は鋳鉄に比べて、その種類が非常に多い。特に合金鋼の種類が多い。鋳鋼の場合も同様で、近年の鋳鋼

表 5.18 本邦鋼生産高(商工省鑛山局) %²⁰⁾

年 度		平爐		轉爐	電氣爐	坩堝爐	其 他	鑄鋼品
大正 6年	1917	98.0		0.44	1.48	0.05	4.56	
	9	99.2		0.52	0.21	0.08	5.22	
	10	91.3	7.8	0.62	0.29	0.01	5.72	
	11	83.8	10.4	0.49	0.31	0.02	4.38	
	12	88.4	10.8	0.65	0.15	—	3.65	
	13	92.7	6.1	1.09	0.07	—	2.70	
	14	92.9	5.8	1.19	0.09	—	3.28	
	昭和元年	1926	92.9	5.6	1.21	0.18	—	3.10
2	1927	93.1	1.7	1.57	0.08	—	2.60	
3	1928	97.8	0.5	1.98	0.08	—	2.83	
4	1929	97.5	—	2.30	0.07	—	1.90	
5	1930	97.5	—	2.72	0.07	—	2.04	
6	1931	97.0	—	2.80	0.08	—	1.78	
7	1932	97.0	—	2.90	0.10	—	1.99	
8	1933	96.0	—	4.30	0.08	—	2.19	
9	1934	96.6	—	5.60	0.03	—	2.19	

表 5.19 明治時代の鑄鋼の化学組成と機械的性質⁴⁾

比較材		マルチン炉による鋼		鑄鋼品の特長	
佛國巴里エーテル塔の臺	炭素 〇・二二	物理的性質 抗張力 四〇—五〇延(平方)	伸長 三〇—二五%	小機械部分(二五〇延以上)	炭素 〇・五〇
大砲の外輪	〇・三〇	面積縮少 六〇—四〇%		車輪水壓筒等	〇・八〇
穿孔機	〇・三八			鑄石製轉機ノタイヤ	〇・二〇
獨乙製鑄物	〇・四〇			鐘	一・三〇
大なる尙車	〇・五〇			抗張力	四五—七〇延(二平方)
				伸長	四—六%
					〇・二〇
					〇・二五
					〇・三〇
					〇・三五
					〇・八〇
					〇・七〇
					〇・六〇
					〇・二乃至〇・二二%
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇
					〇・五〇
					〇・六〇
					〇・七〇
					〇・八〇
					〇・九〇
					〇・一〇
					〇・二〇
					〇・三〇
					〇・四〇

表 5.22 鋳鋼品の規格 JIS 金属 5101²²⁾

種 別	記 号	化 学 成 分 (%)				引 張 試 験		曲 げ 試 験	
		酸性炉に依る場合		塩基性炉に依る場合		抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	曲げ角度	内側半径 (mm)
		P	S	P	S				
1 種	SC 41	<0.065	<0.050	<0.055	<0.060	41~55	>20	120	25
2 種	SC 45	<0.065	<0.060	<0.055	<0.060	45~57	>15	90	25
3 種	SC 47	<0.065	<0.030	<0.055	<0.030	47~61	>12	60	25

引張試験 第4号試片，直径 14 mm，標点距離 50 mm，平行部の長さ約 60 mm

曲げ試験 幅 25 mm，厚さ 19 mm の試験片，常温で表示の内側半径で上表規格の角度だけ屈曲するも裂傷を生じないこと。

表 5.23 炭素鋼鋳鋼品の規格 (JIS G 5101-1991)

種類の記号	化 学 成 分 (%)			降伏点または耐力 [MPa]	引 張 試 験		
	C	P	S		引張強さ [MPa]	伸び (%)	絞り (%)
SC 360	0.20 以下	0.040 以下	0.040 以下	175 以上	360 以上	23 以上	35 以上
SC 410	0.30 以下	0.040 以下	0.040 以下	205 以上	410 以上	21 以上	35 以上
SC 450	0.35 以下	0.040 以下	0.040 以下	225 以上	450 以上	19 以上	30 以上
SC 480	0.40 以下	0.040 以下	0.040 以下	245 以上	480 以上	17 以上	25 以上

特に必要がある場合，規定されていない元素については，受渡当事者間の協定による。
遠心力鋳鋼管には，上表の記号の末尾に，これを表す記号-CF を付ける。

表 5.24 溶接構造用鋳鋼品（炭素鋼鋳鋼）の規格 (JIS G 5102-1991)

種 類 の 記 号	化 学 成 分 (%)									炭素当量 (%)	降伏点 または耐力 [MPa]	引張強さ [MPa]	伸 び (%)	シャルピー吸収エネルギー(J)	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V					衝撃試験温度 [°C]	4号試験片 3個の平均値
SCW 410	0.22 以下	0.80 以下	1.50 以下	0.010 以下	0.010 以下	-	-	-	-	0.40 以下	235 以上	410 以上	21 以上	0	27 以上
SCW 450	0.22 以下	0.80 以下	1.50 以下	0.010 以下	0.010 以下	-	-	-	-	0.43 以下	255 以上	450 以上	20 以上	0	27 以上
SCW 480	0.22 以下	0.80 以下	1.50 以下	0.010 以下	0.010 以下	0.50 以下	0.50 以下	-	-	0.45 以下	275 以上	480 以上	20 以上	0	27 以上
SCW 550	0.22 以下	0.80 以下	1.50 以下	0.010 以下	0.010 以下	2.50 以下	0.50 以下	0.30 以下	0.20 以下	0.48 以下	355 以上	550 以上	18 以上	0	27 以上
SCW 620	0.22 以下	0.80 以下	1.50 以下	0.010 以下	0.010 以下	2.50 以下	0.50 以下	0.30 以下	0.20 以下	0.50 以下	430 以上	620 以上	17 以上	0	27 以上

Ni, Cr, Mo および V を規定していない種類は，炭素当量の規定値内でこれを含有することができる。

$$\text{炭素当量 (\%)} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{V}}{14}$$

引用・参考文献

- 1) 中江秀雄：「新版 鋳造工学」産業図書 (2008) p22-26
- 2) 石野 亨：「日本鋳造 50 年史」日本鋳造株式会社 (1970, 9) p314
- 3) 鄭 想勲、中江秀雄：「球状黒鉛鋳鉄の発明から今日まで」鋳造工学 79 (2007) p605-615
- 4) 齋藤大吉：「金属合金及其加工法 中巻」丸善 明治 43 年 (1910) p178, 190-193
- 5) 久保在久篇：「大阪砲兵工廠資料集 上巻」日本経済評論社 (1987) p234, 235
大阪工場ニ於ケル製鉄技術変遷史 127 昭和 2
- 6) 石川登喜治：「鑄造法」共立社 昭和 11 年 (1936) 7 月 p149, 191, 192
- 7) 石川登喜治：「鋳造学 [上巻]」誠文堂新光社 昭和 23 年 (1948) p154, 155, 183-185
- 8) 齋藤大吉、澤村 宏、森田志郎：「金属材料及加工法 鑄鐵篇」昭和 22 年 (1947) p101, 297
- 9) 日本強靱鋳鉄協会 編：「強靱鋳鉄」日刊工業新聞社 昭和 36 年 (1961) p179-281
- 10) 新潟鐵工所：「新潟鐵工所七十年史」(1968) p613
- 11) 加山延太郎：「日本鋳造 50 年史」日本鋳造株式会社 (1970, 9) p246, 259

年 (1927) 1 月 25 日起稿

- 12) 松尾宗次：「北九州に生きた人々 ものづくりの心を未来へ」財団法人 北九州都市協会 平成18年（2006）p3-34
- 13) 齋藤大吉、澤村 宏、森田志郎：「金属材料及加工法 鑄鐵篇」昭和22年（1947）p340-343, 490-492
- 14) 日本ダクティル鑄鐵協会：「協会設立50周年記念事業 CD-ROM」（2004, 6）
- 15) 齋藤大吉、澤村 宏、森田志郎：「金属材料及加工法 鑄鐵篇」昭和28年（1953）p415-484
- 16) 加山延太郎 編：「鑄鐵の材質」日本鑄物工業会 コロナ社 昭和37年（1962）
- 17) 飯高一郎監修：「球状黒鉛鑄鐵の研究」文部省球状黒鉛鑄鐵研究班篇 日刊工業新聞社 昭和27年（1952）
- 18) 草川隆次、松本 弘、葛西豊治：日本特許 昭34-9562
- 19) 中江秀雄 監修：「新版 鑄鐵の材質」日本鑄造工学会（2012）p218-22
- 20) 谷山 巖：「鋼鑄物」三省堂 昭和14年（1931）p4
- 21) 下村泰人：「20世紀鉄工技術史のトピックス」日本鉄鋼連盟（1995, 2）p14
- 22) 石川登喜治：「鑄造学〔下巻〕」誠文堂新光社 昭和26年（1951）p3-5
- 23) 三ヶ島秀雄：「鑄鋼」丸善 昭和29年（1954）p441
- 24) 木下禾大：「鑄鋼熔解の理論と實際」アグネ出版社 昭和28年（1953）
- 25) 日本鑄造工学会：「鑄鋼の溶解技術シリーズ」鑄造工学 67（1995, 5）～68（1996, 4）

6 | 鑄型と模型、鑄物の設計技術の変遷

6.1 鑄物砂の種類と造型法

鑄物を造るには溶融金属と、それを入れる（鑄込みという）容器、すなわち鑄型が必要である。この鑄型には古くから砂型が用いられてきた。近年では、ダイカストに代表されるアルミニウム鑄物を中心に金型鑄造が大きく普及してきた。しかしここでは、鑄鉄と鑄鋼はその殆んどが砂型で製造されており、金型は除外し、主に砂型を中心に話をすすめる。

江戸末期から明治時代にかけて、砂型の造型作業については日本古来の手法も継承されたが、従来の技術では工業製品を製造するには不十分であった。そこで洋式の造型技術が導入された¹⁾。1つはフランス流で、真土型によるものであった。この技術は横須賀工廠に植え付けられ、関東一円に広まった。いま一つは長崎造船所に伝わったイギリス流で、これが佐世保、呉と舞鶴の海軍工廠から関西地方に広がった。これは、粘土分の少ない釜砂を突き固めて造型し、乾燥させて乾燥型とするものである。ここで、釜砂とは川砂に粘土を10%程度混ぜた砂で、粘り気が少ないから突き固める必要があった、と記述されている¹⁾。

大正時代には砂、粘土、各種の添加物と水分を混練機でよく混練し、造型に適する状態にして供給するようになった。いわゆる、人工砂である。このような鑄物砂の人工的な調整は、次第に重要視されるようになった。一方、天然鑄物砂（すなわち山砂のこと、表6.1参照）だけを用いる生型造型も薄肉、小型鑄物に対して使われていた。生型とは、先の乾燥型との対比で用いられる用語で、主に粘土と砂で造型し、乾燥することなく、造型した状態で用いられる砂型を言う。

それでは何故に、かくも古めかしい生型が現在でも鑄鉄鑄物の製造の主流にとどまっているのであろうか。何んとも古めかしい砂型が、である。その原因は何であろうか。この点は鑄鉄鑄物の本質に迫ることになろう。そこで昔の砂型から話を始める。

齋藤の著書²⁾では、明治時代の砂型は、生砂（Green sand、生型）、乾砂（Dry sand、乾燥型）、真土（Loam、真土型）に分類されており、これに鑄型に塗型すると書かれている。塗型とは砂型などに特殊な耐火物製の塗料（Black）を塗布することを指す。江戸時代までは乾燥型や真土型が主流であり、遅れて生型が導入された。齋藤によると、生砂では用いる珪砂の珪酸分含

有量は75～85%を可とするが、鑄物の種類（鑄鐵や鋼）によっては焼き付き防止のため塗型を施す、と記述されている。これに対して乾砂は、鑄鋼或は大型の鑄鐵鑄物に用いる、とある。真土に関しては、乾砂よりは耐火度に劣るが生型よりは固く、且つ変形抵抗が大きいので、乾砂では造型できないもの、例えば引き型などに用いられる、と記されている。ここで、塗料の混練機としては図6.1のボールミルを用いる、とある。ボールミルの詳細が断面図を含めて記載されており、当時はこの装置が余り知られていなかったことを示す事例であろう。生型の混練には図6.2の混砂機などを用いる、とある。この形式は現在でもほぼ同様である。当時は、これらの装置を表す技術用語（日本語）がなく、やむを得ずこのような当て字を用い、読み方は英語にしたがったことがわかり、興味深い。

石川³⁾による鑄物砂の分類では、砂子（砂粒子）

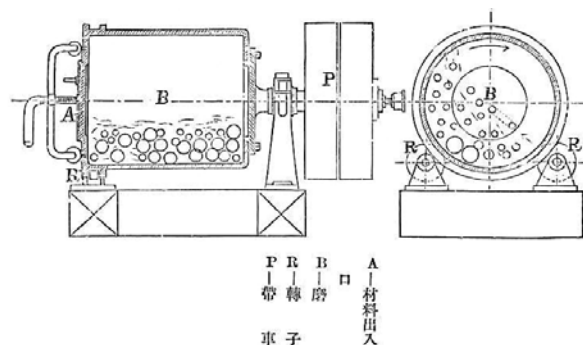


図 6.1 塗料の球磨（Ball Mill、混 Mill、混砂機）²⁾

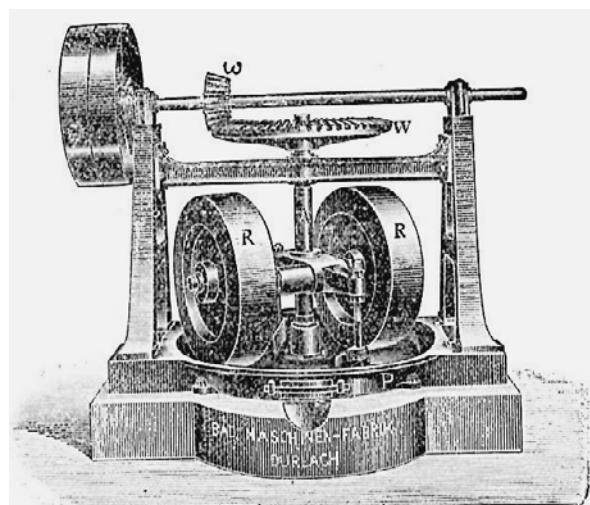


図 6.2 砂の混練機：縁磨（Edge Mill、混砂機）²⁾

と山砂に区別し、砂子は川砂類と珪砂類に分けている。更に、川砂類は川砂、濱砂と海砂に、珪砂類は人造珪砂（銀砂）と天然珪砂（銀砂）に分けている。人造珪砂とは高珪酸質（約95%以上の無水珪酸）の岩石、或いは石英を砕いて砂粒としたものである。

天然珪砂とは、天然に産出する純度の高い石英の砂粒で、岐阜県土岐郡、愛知県東春日井郡、朝鮮黄海道に産するものが有名である、としている。

そして、山砂は俗に鑄物砂、或いは鑄物土とも称するもので、鑄物砂に最も近い状態に於いて天然に産出し、良質のものはそのまま鑄物砂として使用でき、良質でなくとも少し配合物を加えれば鑄物砂として使用できるものをいう、とある。そして、山砂の種類を表6.1のように、産地名で示している。これより、山砂は種類により、含まれる粘土分などが大きく異なることがわかる。

さらに石川³⁾は、砂粒の形状に関しても図6.3を用いて記述している。ここで、アメリカでは3種類に砂粒子の形状分類がなされているが、我が国の地質学者や砂の研究者武智馨氏は5種類に分類している。石川は5種類が妥当と考え、この分類を用いたとある。この時代にはこれらの技術用語は確立されておらず、米

語を直訳して、砂子の形状を想像し得る語字を充てたために、このような漢字で記述することになったとあり、その苦心がしのばれる。

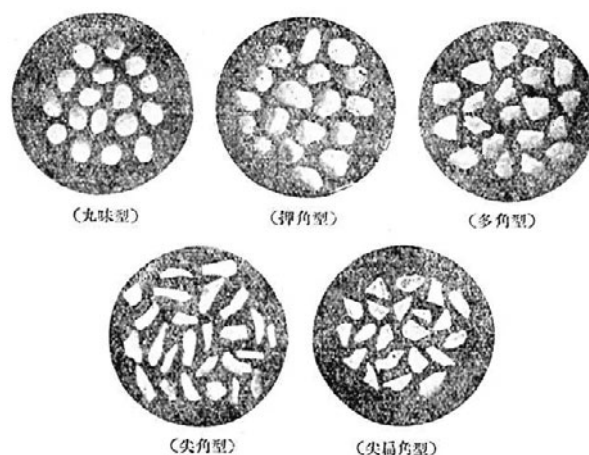


図 6.3 砂粒子の形状³⁾

生砂型に関しても石川³⁾は表6.2のように記述しており、古砂（主に山砂）の配合率を50%以上としている。ここで、山砂の配合率が95%と高い場合には古砂の配合は不要としている。当時は既に、古砂の重

表 6.1 山砂の種類とその特性³⁾

産地	試料数	粒度係数	粘土分%	耐火度℃
住吉	10	2.2—19.1	2.3—18.4	1407—1575
南河内	37	2.8—18.9	0.8—21.1	1245—1474
長田	12	8.6—17.8	9.4—22.6	1360—1514
明石	5	3.3—8.5	4.6—22.6	1467—1508
淡路	8	3.0—12.9	5.3—12.9	1237—1460
川口	5	7.5—10.7	8.5—17.4	1208—1353
神奈川	7	7.6—12.5	3.0—13.6	1272—1360
加賀	4	8.5—12.1	11.6—23.2	1481—1494
桑名	1	10.06	18.01	1474
平戸	5	5.6—7.1	7.3—12.2	1368—1392
セー	4	13.1—16.0	11.3—15.2	1253—1296
其他	16	5.3—18.4	4.2—19.0	1247—1541
總括	113	2.2—19.1	0.8—23.2	1235—1575

表 6.2 生砂型の配合例³⁾

古砂 (主=山砂)	山砂	石炭粉	粘土	珪砂	川砂(小)
50	30	—	—	—	20
50	50	—	—	—	—
—	95	5	—	—	—
70	20	10	—	—	—
85	—	15	—	—	—
—	93	4	3	—	—
60	—	—	3	37	—

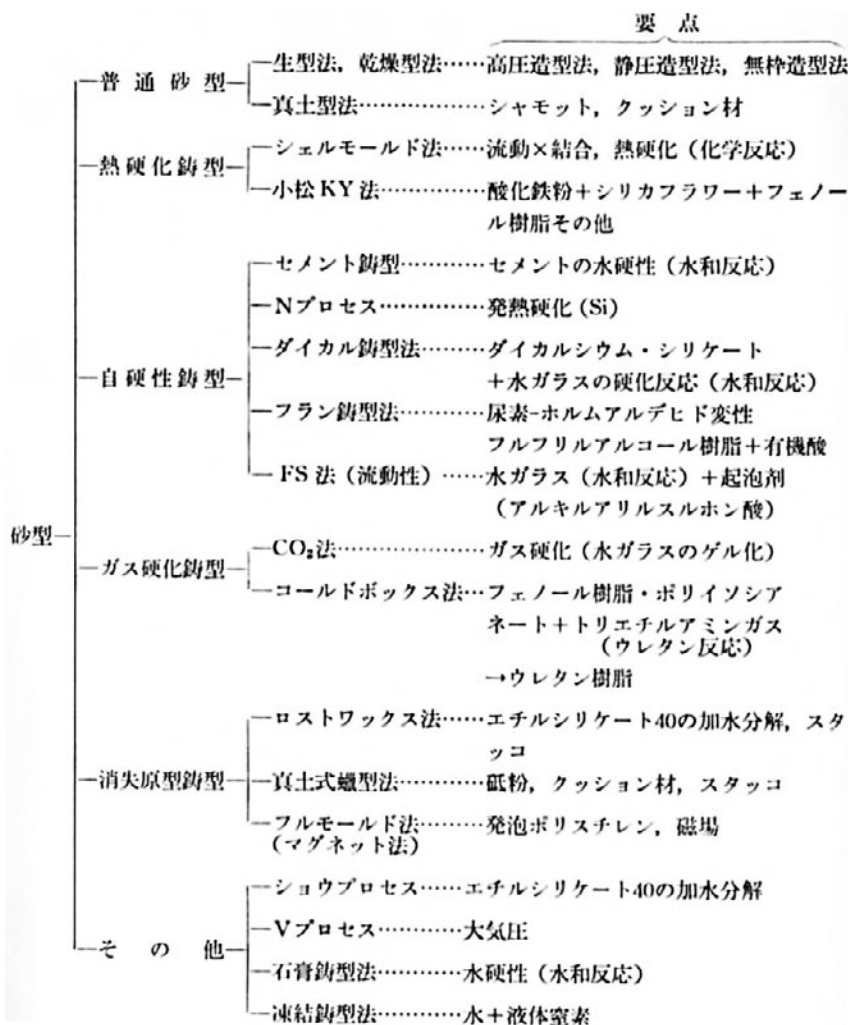
表 6.3 乾燥用鑄物砂及び塗型配合实例⁴⁾

用途 \ 材料	川砂	コーク ス粉	粘土	銀砂	黒鉛	木炭粉	糖蜜
外型及中子 { 大物	70	20	10	—	—	—	—
{ 中物	60	30	10	—	—	—	—
{ 小物	50	40	10	—	—	—	—
小物耐熱用中子	44	40	少量	15	—	—	—
塗 型	—	55	8	—	18	15	4

要性を理解していたことになり、興味深い。筆者は、生型が現在でも造型の主流を占める原因は生産性の高さ、砂の循環使用が可能な点にあると考える。

乾燥型に関しても石川⁴⁾は表6.3を示し、通気性、成形性、強度等を考慮し、この配合割合は実地経験により決定すべきである、と記述している。そして、この砂は肌砂として使用するとある。その厚さは小物で25mm、中物で30mm、そして大物では35～50mmまでである、と記載している。また、ここでは塗型の実例（材料の配合割合）も示している。

鹿取⁵⁾による砂型の分類を表6.4に示す。鹿取の書は美術鑄物の専門書である。そこで、この表には昔の鑄造型法である眞土や乾砂(乾燥型)が併せて記載されており、現在の鑄型との対比が容易にできるので、あえてここに掲載した。この書は少し古いが、現在を代表する砂型(有機物や無機物を粘結材とする新し鑄型)も大半は記載されており、引用に値すると考えた次第である。そして、これらの昔からの鑄型をも知るには最適の本といえる。ここには山砂は記載されていないが、山砂は一種の生型法とみなせばよい。

表 6.4 砂型の分類⁵⁾

6.2 鋳造型法の特許

鋳型の特許に関しては特許庁の詳細な調査が行われており、その一部を表 6.5 に示す⁶⁾。この表から、我が国における鋳型の大きな流れを読み取ることができる。すなわち、明治以前の鋳型は殆どが無機粘結材であったが、1930 年代には油砂型が、1940 年代以降は有機物が加わり、多種多様なものが出来上がったことがわかる。その口火を切ったのがシェルモールド法である。この詳細は後述する。この表 6.5 と表 6.4 を参

考に、我が国独自の鋳造型プロセスの展開と、その概念を次章で記述する。

6.3 日本発の造型法と鋳物砂

先にも記述したように、鋳鉄や鋳鋼の材質に関する我が国独自の技術は少ない。あえて言えば、外国で開発・完成された技術を習得し、量産と品質向上のための改良型技術開発が中心であった、と言うべきであろう。すなわち、我が国独自の鋳造技術の歴史は長い、幕末から戦後までは西欧技術の導入に依存した、

表 6.5 特許による鋳造型法の技術開発の経緯⁶⁾

年代	熱硬化鋳型	常温硬化型鋳型	ガス硬化鋳型	精密構造鋳型	その他鋳型
1930	油砂型：量産中子		(1898：ガス鋳型の原形出現(英)) (水ガラス+CO ₂)		
1940		フランノベーク型(米)			
1950	53 油砂型改良 (エアセット法=コールド セット法) 51 シェルモールド法 (独) (砂にフェノール樹脂を コーティング)	52 CO ₂ 鋳形実用化(イギリス) 54 水ガラス、CO ₂ 法、日本に 導入 57 Nプロセス(水ガラス+シリ コン) 日立が開発 58 酸硬化/フランノベーク 法開発 酸硬化/フェノールノベーク 法開発 フランノベーク型、日本に 導入	52 ガス鋳型実用化(外) 54 ガス鋳型を日本に導入	50 ショウプロセス(英) 57 ショウプロセスをリケンが導 入	58 シュロイヤ ー 鋳型 (消失模型鋳造法) Hプロセス(英) (スタックモールド)
1960	60 フランホットボック ス 62 フェノールホット ボックス法 (温態砂、粘結剤： フェノール樹脂)	リノキユア法、アッシュランド 開発 オイル/ウレタンノベーク法 ダイカル法(水ガラス+2(CaO・ SiO ₂)) リノキユア法、保土ヶ谷 化学が導入 ボールサンドプロセス	(ガス鋳型の全盛期) 中頃：有機粘結剤使用のガス硬 化法 64 フラン樹脂ガス硬化法 (アッシュランド) 68 アッシュランドプロセス (=アミンコールドボックス法) コールドボックス法を保土ヶ谷 化学が技術導入	60 ユニキャスト (米) グリーンウッド開 発	60 フルモールド 法 (ウィットモーザ)
1970	71 シェルモールド法、 特許期限満了 78 ウォームボックス法 (鋳型150～170℃)	71 PEPSET(フェノールウレ タン自硬性)、保土ヶ谷化学 が販売 73 保土ヶ谷化学がアッシュラ ンドから水ガラス+有機酸エ ステル法導入 74 T社(名古屋)フランク ローズドシステム導入 (アルミナ燐酸塩/ノベーク) 74 久保田：フラン樹脂自硬性 鋳型開発 78 ポリオールウレタン/ノ ベーク法発表	74 米国デルタ社“デルタコー ルドボックス法”開発 77 ハードックス法(フラン SO ₂ ・コールドボックス法) (仏)花王クウェーカー社が技 術導入		71 Vプロセス
1980		80 エステル硬化型フェノール 樹脂プロセス(アルファセッ ト) 83 新東工業、吸圧造型法を開 発 84 フェノール/エステル/ノ ベーク法発表	82 ベータセット法(英)ボー デン社発表 (粘結剤：アルカリ・レゾール樹 脂、硬化ガス：ギ酸メチル) 83 FRCコールドボックス法 (アッシュランド)(エボキシ/ SO ₂) 85 VRH法(JACT開発) 87 群衆ボーデン社が同法販売 (実施例急増) 89 エコロテック(=有機粘結 剤、CO ₂)(英)フォセコ社		迅速模型造型法 (RP法)構想現る
1990		91～93 減圧造型法開発 92 SVプロセス(造型装置) ? ボールサンドプロセス			RP法商品化

と言っても過言ではない。別な見方をすれば、我が国は改良か量産の点では勝れているが、基本的な技術は欧米で既に開発されており、独自開発の余地は少なかった、と言うべきであろう。しかし、有機物粘結材が開発されたところから、我が国独自の数多くの鑄型の製造法が確立されるようになった。これには、真空を利用した鑄造型法や人工砂の開発がなされた。

これらの新技術の中で表 6.4 や表 6.5 では、N プロセス⁷⁾、小松 KY 法 (KY プロセス、が一般的な呼び名)⁸⁾、V プロセス⁹⁾ や凍結鑄型法¹⁰⁾ などが紹介されている。これらの手法は昭和 30 年代以降になって開発された、我が国独自の鑄造型法である。これに加えて最近では、良質の天然砂資源が枯渇し、排砂に対する規制が強化されたことなどが背景にあって、球形の人工砂が我が国で開発された¹¹⁾。これらの分野では世界に対する日本の役割は大きい。そこで、以下にこれらの事項について関連特許を中心として、主要な解説を交えて記述する。特に、V プロセスや人工砂は世界で広く認知され、普及しつつあり、今後の展開が楽しみな技術である。

先に表 6.4 に示したように、砂型の造り方には数多くの方法がある。これには古来からの生型、乾燥型や真土型に加えて、有機物が粘結材として使用されるようになり、実に多くの手法が開発された。これらを粘結材で分類すると、古来からの鑄型は主として無機物 (粘土、セメントや水ガラスなど) を粘結材とする手法である。これに対して、昭和に入ってからではシェル型に代表される有機物粘結材の時代に入った、と言っても過言ではない。先ずは我が国で開発された鑄型から記述する。

N プロセスは、日立製作所の西山が発明した造型プロセス^{12), 13)} で、水ガラス (ケイ酸ナトリウム) とケイ素 (正確にはフェロシリコンの粉末) を反応させて、鑄型を硬化させる、一種の自硬性鑄型である。この発明は西山らによってなされ、西山の頭文字を用いて N プロセスと名付けられた。20 年ほど前までは多用されたプロセスである。その詳細は西山らの報告⁷⁾ に詳しい。

KY プロセスは小松製作所の後藤による発明¹⁴⁾ で、熱硬化性鑄型の製造に関する特許である。このプロセスはシェルモールド法の改良特許で、加熱された金型に熱によってゲル化する紛体塗型剤をスプレーし、硬化させ、その上にシェル砂を充てんすることにより、鑄肌の平滑度を上げる手法である¹⁴⁾。

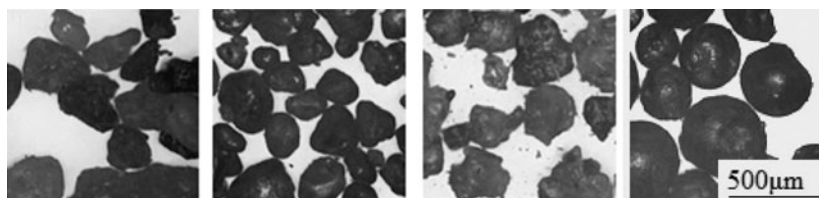
V プロセスは昭和 46 年 (1971) に長野工業試験所と (株) アキタで開発された全く新しい概念の造型

プロセスで^{15), 16)}、この詳細は土方の報告に詳しい⁹⁾。このプロセスは、真空パックした紛体食品が硬化している現象を鑄型の製造に利用したものである。通気性のある模型を用い、この上に樹脂のフィルムを真空を利用して張る。その上に乾燥した砂を充填し、これを樹脂のフィルムで囲み、鑄型内を真空にすることで硬化させる。したがって、高価な粘結材は全く不要で、真空を破ることだけで鑄型は崩壊する。真空 (正確には減圧であるが) を用いることで vacuum の V を取って、V プロセスと名付けられた。このプロセスは 1977 年に大河内記念技術賞を受賞している⁹⁾。

水を粘結材にする手法、すなわち生砂型を凍結させて硬化させる、いわゆる凍結鑄型の考え方は古くからあったが、試案の状態に止まり実用化には至らなかった。これは水分を凍らせて粘結材とし、鑄型の強度を出すことで、水以外の粘結材が不要であるという特徴を備えている。これまでの造型プロセスで用いられてきた有機物や無機物の粘結材を全く必要とせず、環境に優しいプロセスである。このプロセスの工業化を可能にしたのが、低温空気を鑄型内に流通させて凍結させる菅野らの発明^{17), 18)} である。この手法により凍結鑄型法は実用化の段階になってきた。

以上は砂型の製造 (造型) 法に関する特許であるが、最近、人工的に造られた球形の砂、人工砂の特許が成立し、実用化が進行している^{11), 19)}。砂を人工的に造ることが考案されたが、先ずはその必然性から記述する。人工砂とは、天然の砂の欠点である砂粒の不規則な形を球状にしたもので、人工的に球状の鑄物砂として製造されたものである¹⁹⁾。この発明は、アルミナとシリカの微細粒子、あるいは粘土またはカオリンと水酸化アルミニウムなどの微細粒子で泥漿を作り、これをスプレードライヤーにより造粒・乾燥し、それを焼成するというものである。形が球状で耐火度に優れた砂の製造が可能になった。砂粒を球状にすることで、鑄型粘結材の添加量が少なくて済み、鑄造により砂粒の破碎が生じ難く、微粉を発生し難い、などの点で優れている。これらの性質から産業廃棄物の発生が少ないなどの特徴を有しており、近年、急速にその用途を拡大している。砂粒の形状を比較するため、3 種類の天然の鑄物砂と人工砂の形状を図 6.4 に示す。ここでは、人工砂は球に近く、珪砂 - 2 が次ぐことがわかる。珪砂 - 3 は最悪の形状である。人工砂は、先に図 6.3 で石川が提案した結果³⁾ を、発明に結びつけた点で、高く評価されている。

従来は、鑄物砂は山砂から川砂、海砂へと採取場所が移るにつれて、角が取れて丸い形状になった物を選



珪砂 -1

珪砂 -2

珪砂 -3

人工砂（ムライト）

図 6.4 各種鑄物砂の拡大写真

んで用いた。鑄物砂よりも珪酸分の純度の低い砂はコンクリートの材料として、純度が高いものはガラスの原料として用いられる。さらに、形状がよく、高純度の珪砂を求めて鑄物砂に使われてきた。純度が高いほど耐熱性が高く、特に鑄鋼などでは焼付き欠陥（鑄物に砂が焼付き、その除去に多くの手間を要す）の発生防止に効果的であった。しかし、人工砂の多くは珪砂ではなく、より耐熱性の高い耐火物を中心に行われてきた。その結果、産業廃棄物量の低減、作業環境の大幅な改善、そして焼付き欠陥の防止などの効果をもたらした。

次に欧米から導入した鑄型技術に関して記述する。シェルモールド鑄型に関して、加山は1950年頃に我が国に技術導入され、鑄物業界に新風を吹き込んだ有機物を粘結材とする第一号の鑄型、と評価している²⁰⁾。この鑄型は第二次大戦の折にドイツで開発され、精密な鑄物を安価に製造する目的に開発されたことは著名である。その詳細は鹿島らの著書²¹⁾を参考にされたい。この総論²¹⁾には、第二次大戦後のドイツにおけるアメリカの介入が詳細に記述されている。これによると、アメリカを中心とする連合国技術調査団がマイクロフィルムからシェル型の情報を入手した経緯が詳細に記されており、一読に値する。また、この本では、シェル型は当時、大量の手榴弾の製造に使われていたことがわかる。しかも、現在でも多用されている、息の長い、優秀な有機粘結鑄型と言える。この技術導入は、昭和31年（1956）に日本シェルモールド協会の設立に始まった。この協会の名称は変更されたが、特許が切れた現在でも細々と存続している。

シェルモールド鑄型に関する興味深い特許がある。これは予め鑄物の形状より少し大きい金型を準備し、模型と金型との隙間にシェル砂を吹き込んで鑄型を作る技術で、これは背面金型シェルモールド法、あるいはバック・メタル法、ダイス付きシェルモールド法などと呼ばれている²²⁾。背面に金型を用いることでシェル砂の使用量が著しく削減され、かつ背面の金型で補強されているので、見かけ上、鑄型の強度が増し、引けが著しく減少する。これには田中の解説²²⁾があ

り、特許は山本により出願²³⁾された。応用特許であるが、その効果は絶大である。この一例としてクランクシャフト製造の押し湯方案を図6.5に示す。背面金型法（左）では押し湯無しでクランクシャフトが鑄造できていることがわかる。

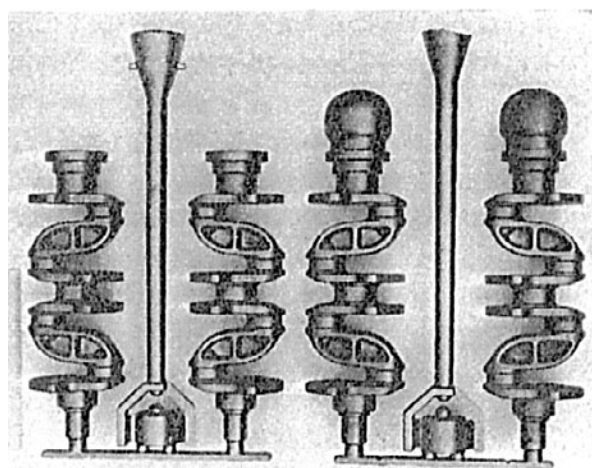


図 6.5 背面金型法（左）と従来法（右）による鑄造クランクシャフト²²⁾

我が国での最も古い有機粘結材は油であろう。すなわち、油砂型である²⁴⁾。昭和13年（1938）の石川らの論文²⁵⁾では、油砂型は広く用いられているが、その詳細は明らかではない、と記述されている。また、大西の論文²⁶⁾では魚油による油砂型の中子への適用を検討している。当時普及し始めた生型の機械込め鑄型に油中子を使用すると、生型の水分が中子へ吸収され、これが問題になった。この解決のための研究と記されている。しかし、これらの論文には参考文献は付記されておらず、明治の著書²⁾には油砂の記述はない。しかし、先に表6.5で示した技術開発の特許の経緯によると、油砂型は1930年代から用いられていたことがわかる。いずれにしても、幅広く用いられていた油砂型は戦後の新しい有機粘結材の導入により、その異臭の強さが敬遠されて消滅し、現在では殆ど使われていない。

無機物粘結材はこれらが熱で焼き固められ、鑄物を

造った後で鑄型の崩壊性が悪いという欠点を有している。これに対して有機物粘結材は鑄造後、しばらくの間は有機物が炭化することで強度を維持するが、時間の経過とともに有機物が燃焼し、鑄型強度が著しく低下する。これにより鑄型の崩壊性が向上する。鑄物の鑄込みから凝固終了までは適当な強度を有し、凝固後には極めて弱くなるという、鑄型粘結材としての理想的な性質を有している。しかし、無機粘結材と比較すると匂いがきついか、鑄造時に大量のガス発生を伴う、などの欠点もある。

これらの造型法は、粘結材を含む砂を突き固めて造型・固化させる手法である。これに対して、一定の時間を経過すると自然と硬化する自硬性鑄型、熱を加えることで硬化する熱硬化鑄型や炭酸ガスなどのガスを吹き込むことで硬化するガス硬化鑄型、などもある。さらに、真空を用いるVプロセスや凍結を用いる凍結鑄型も開発され、鑄型の分類法が難しくなってきた。

6.4 鑄物の模型と設計技術（CAEと鑄造方案）

砂型を造るのに用いる模型には一般に木型や金型が用いられるが、これらはいずれにしても砂型から抜き出さなければならない。これらの造型法は、鑄型を硬化させた後に模型（木型、金型や蠟型）を鑄型から抜き出して模型と反対形状の空間を造り、ここに溶融した金属を流し込んで鑄物を作る、いわば空間鑄型（cavity mold）法である。一般的に、この場合には砂型から模型を除去するために、模型に勾配（これを抜け勾配という）をつけなければならない。あるいは、模型を複数に分割することで、分割された模型を個々に取り出す、分割模型法もある。いずれにしても、複雑な手法を用いない限り、模型の抜け勾配は不可避である。抜け勾配の設計は機械部品の設計図から鑄物図に直すのに不可欠、とされてきた。

6.4.1 フルモールド法^{27, 28)}

これに対して、近年は発泡スチロールを模型とし、これを鑄型内に残したまま、ここに鑄込むフルモールド法（full mold process）^{27, 28)}がある。この方法はもともとアメリカで開発され、ドイツで改良されたが、現在では我が国で大きく花開いている。発泡スチロールはその95%以上が空気であり、鑄型から取り出すことなく、鑄型内に残したままの状態で鑄込むことができる。すると、発泡スチロールは溶融金属によって気化・燃焼され、一種の空間となるためである。この方法は大型鑄物を中心に、発泡スチロールを切削加工して形をつくるフルモールド法と、金型内で発泡スチロールを発泡させ、形を付与し、これを模型とするロストフォーム法（或いは、消失模型法）とに区別して呼ぶのが一般的である。

フルモールドの分野では我が国に世界的なメーカ、木村鑄造所がある²⁸⁾。木村鑄造所は、当初は手作りであった発泡スチロール模型の製作をCAD・CAMを活用した切削加工法とした。これを武器に、大型鑄物の製造を得意とし、2006年に日経ものづくり大賞を、2007年に大河内記念生産賞を受賞している。フルモールド法の特許は、表6.5で示したように、基本特許は海外である。しかし、鑄物の良質の肌が得難いフルモールド法の欠点を木村はノウハウと特許²⁹⁾でカバーしてきた。また、フルモールド法の普及にはCAD技術が大きな役割を果たしており、ここでもコンピュータの発達が役立ったことが理解²⁸⁾できる。

6.4.2 鑄造シミュレーション（鑄造CAE）³⁰⁻³²⁾

凝固計算を用いて鑄物のひけ巣発生を予測する試みは新山によって世界で初めて行われ^{31, 32)}、現在では実用の段階に達した³³⁾。表6.6に示すように、世界中で多くのソフトが開発・使用されている。これを鑄造シミュレーションと呼ぶ。新山はこの辺の事情を『温

表 6.6 市販されている各種鑄造 CAE ソフトの例³³⁾

	ソフト名	開発国	解析方法	開発会社、大学等
鑄造専用CAE	ADSTEFAN	日	差分法	東北大、日立
	JSCAST	日	差分法	阪大、コマツ
	TopCAST	日	差分法	トヨタ、TCS
	METALFILL	日	有限要素法	ユニシス系
	MAGMA	独	差分法	マグマ社、アーヘン大
	FLOW3D	米	差分法	フローサイエンス社
	ProCAST	米	有限要素法	UES社
	CAPCAST	米	有限要素法	EKK社
	PAMCAST	仏	差分法	ESI、ベシネー社
	AnyCasting	韓	差分法	AnyCasting社

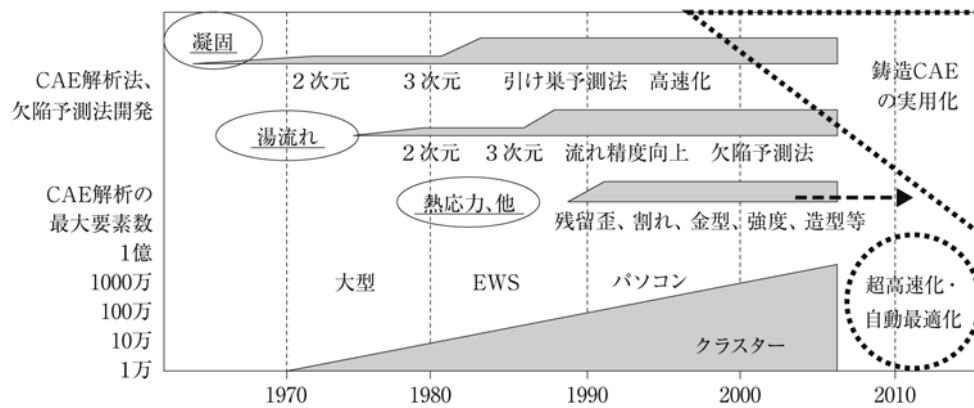


図 6.6 鑄造 CAE の動向³³⁾

故知新』と『研究の賞味期限』³⁰⁾に詳しく記述しており、最近の鑄物技術者にはぜひとも目を通して欲しい情報である。特に後者では、当時（1980年頃）では計算に140分かかったものが、2007年には0.2秒でできるようになった、と記述している。パソコンの発達がこの技術の実用化を強力に後押しをしたことは想像に難くない。

このシミュレーション技術は新山の開発であると記述したが、ひけ巣発生の判定に新山の尺度（NIYAMA criterion）と呼ばれる $G/\sqrt{R}$ ³¹⁾ が世界中のシミュレーションソフトに使用されていることから、この発明の重要性を窺うことができる。ここで G は温度勾配、 R は冷却速度である。

大塚³³⁾はこの辺の事情を整理し、1970年代から2010年までの鑄造シミュレーション技術の進歩を図6.6のようにまとめている。これより、鑄造シミュレーション技術は凝固解析に始まり、2次元から3次元へ、そして高速化に進んできたことがわかる。また、当初は凝固時間の推定が目的であったものが、引け巣の予測につながった。更には、湯流れ（欠陥予測）や熱応力（変形）解析もほぼ同様の道を進んでおり、最近ではこれらを総合して、鑄造CAEとして実用化の域に到達してきたことがわかる。

引用・参考文献

- 1) 加山延太郎：「日本鑄造50年史」日本鑄造株式会社 昭和45年（1970, 9）p266-291
- 2) 斎藤大吉：「金属合金及其加工法 中巻」丸善 明治45年（1912, 5）p2-10
- 3) 石川登喜治：「鑄造法」共立出版 昭和11年（1936）p94-128
- 4) 石川登喜治：「喜寿記念 石川登喜治博士 論文集」早稲田大学鑄物研究所 昭和33年（1958）

p312

- 5) 鹿取一男：「美術鑄物の手法」アグネ（1983, 6）p3
- 6) http://www.jpo.go.jp/shiryous/s_sonota/map/kagaku08/4/4-1.htm（2012, 10, 2）
- 7) 西山太喜夫、園 清見：「Nプロセスに関する逸話」JACT NEWS（1990, 8, 20）p11338-11341
- 8) 大橋貞文ら：「小松KY法の適用例」JACT NEWS（1975）p1581-1585
- 9) 土方鑑夫：「Vプロセスの現状」JACT NEWS（1977, 6, 20）p2974-2979
- 10) 福田善伸：「凍結鑄型鑄造法の開発」精密工学会誌 76（2010）p378-381
- 11) 成田英紀ら：「低膨張球状人工砂「エコ玉」を用いたフラン鑄型の性能改善と実機適用」鑄造ジャーナル 3（2007, 1, 20）p1035-1041
- 12) 西山太喜夫ら：特許第433570（特公昭39-13352）
- 13) 西山太喜夫ら：特許第483747（特公昭41-6443）
- 14) 後藤道秀：特許第1975021930（出願1973, 6, 29）
- 15) 本藤昌雄：特許第0964092（出願1972, 7, 13）
- 16) 本藤昌雄：特許第0857365（出願1972, 12, 11）
- 17) 菅野利猛ら：特許第3425527（出願1994, 5, 29）
- 18) 菅野利猛ら：特許第2937749（出願1994, 5, 29）
- 19) 平田雄候：特許 昭61-63333（出願1984, 9, 5）
- 20) 加山延太郎：「鑄物のお話」日本規格協会（1985, 3）p109-114
- 21) 鹿島次郎、小林一典：「シェル型鑄造」日刊工業新聞社 昭和37年（1962）p1-7
- 22) 田中利明：「背面金型シェルモールド法」鑄物 45（1973）p535-541
- 23) 山本岩男：特許第253828（出願1957, 5, 27）
- 24) 石川登喜治：「喜寿記念 石川登喜治博士 論文集」早稲田大学鑄物研究所 昭和33（1958）

- p245-253
- 25) 石川登喜治、加山延太郎ほか：「油砂の研究」 鋳物 10 (1928, 7) p407
 - 26) 大西信三郎：「油中子に魚油の応用」 鋳物 5 (1932) p497-516
 - 27) 北澤幸廣：「消失模型鋳造用模型の製法」 鋳造工学 74 (2002) p464-470
 - 28) 菅野利猛：「フルモールド用模型製作技術の変化と製品例」 鋳造工学 76 (2004) p671-678
 - 29) 菅野利猛、福田葉椰：「消失模型鋳造用塗型剤」 特許第 4125854 (2000, 6 出願)
 - 30) www.adstefan.com/info/colum.html- (2012, 7, 20)
 - 31) E.Niiyama et al: 「A Method of Shrinkage Prediction and Its Application to Steel Casting Practice」 49th International Foundry Cong. (1982)
 - 32) 新山英輔ら：「鋳鋼の製造におけるヒケス巣予測とその応用」 鋳物 54 (1982) p507
 - 33) 大塚幸男：「鋳造 CAE の実用化動向と今後の課題」 鋳造工学 78 (2006) p609-614

7 製品の変遷

7.1 幕末から明治にかけての鑄鉄製大砲

先に2.2章で、江戸幕府は1853年の黒船の来航で開国に至った、と記述した。実際には大砲の威力差で手も足も出ず、開国に至らざるを得なかったのである。先にも記したように、ペリー来日の情報は長崎のオランダ領事館から前もって幕府に提供され、幕府はその準備を進めていたことが知られている¹⁾。その証拠として表7.1²⁾を示す。ここには、1841年に徳丸ヶ原（現在の東京・高島平）での西洋銃陣実演、1850年の佐賀藩での反射炉操業開始などが示されている。これらはいずれもペリーの来日以前である。徳川幕府はこのような準備をしたにもかかわらず、国力と大砲の威力の差を見せつけられ、開国せざるを得なかった。準備が間に合わなかったのである。

そこで、まずは江戸時代の鑄鉄製大砲の製造技術か

ら記述する。勿論、この時代の大砲は殆どが青銅製であった。当時は、大砲と言えば大半が青銅砲であったが、青銅が高価なこと、金属資源に乏しいことなどの理由から鑄鉄製大砲の鑄造が国策として押し進められた^{3, 4)}。

表7.1には1844年に武州川口村（現在の川口市）の鑄物師が四百匁筒を製造した、とある。幸いにして筆者はこの大筒（大砲）を調査する機会を得、この大砲がねずみ鑄鉄であることを確認した^{3, 5)}。大砲鑄造の鑄物師は増田安次郎で、彼により大中小の3門が鑄造されたが、大は盗難にあい、現存するのは中小の2門である。この中は永瀬家に保存され、小は茂原市立美術館・郷土資料館に保存・展示されている（図7.1）³⁾。この写真より、大砲の表面には鑄出し文字で天保15年（1844）が読み取れ、裏面には増田安次郎の銘がある。筆者は永瀬家の中型大砲底部の厚い錆を入手し、組織観察を行ったところ、白鑄鉄ではなく、

表 7.1 幕末の製鉄関連略年表²⁾

西暦（和暦）	事項	西暦（和暦）	事項
1825（文政8）年	〔異国船打払令〕	1858（安政5）年	〔日米修好通商条約調印〕
1835（天保6）年	高島秋帆モルチール砲鑄造		佐賀藩オランダ船電流丸を購入
1840（天保11）年	<阿片戦争おこる>		函館古武井高炉操業開始
1841（天保12）年	江戸徳丸ヶ原で西洋銃陣実演		長州萩の反射炉完成
1843（天保14）年	欧州でクルップ鑄鋼砲製作	1859（安政6）年	佐賀藩の反射炉で電流丸の「荷下鉄」を使い150ポンド砲の鑄造に成功
1844（天保15）年	武州川口村の鑄物師が四百匁筒製作		仙台領で佐比内高炉が稼働
1847（弘化4）年	〔幕府、関東沿岸の防備強化〕	1860（万延1）年	〔桜田門外の変〕
1849（嘉永2）年	ヒューゲニン『鉄墳全書・鑄造編』翻訳成る	1861（文久1）年	<南北戦争始まる>
	南部大橋久砂子沢鉄山で磁鉄鉱使用たたら試験	1862（文久2）年	水戸藩那珂湊の反射炉操業再開
1850（嘉永3）年	<太平天国の乱>	1863（文久3）年	〔薩英戦争〕
	佐賀藩第一反射炉操業開始	1864（元治1）年	天狗党内戦で那珂湊の反射炉破壊
1851（嘉永4）年	現長野県佐久町の茂来山鉄山で磁鉄鉱使用たたらが操業を開始	1867（慶応3）年	〔大政奉還〕
1853（嘉永6）年	江戸湾沿岸のお台場築造に着手	1868（明治1）年	明治政府、幕府の製鉄・兵器工場を継承
	薩摩藩第一反射炉完成	1871（明治4）年	中小坂で洋式高炉を築造
	現福島県富岡町上手岡鉄山で磁鉄鉱使用たたらが操業を開始	1875（明治8）年	官営釜石製鉄所着工
1854（安政1）年	薩摩藩高炉操業開始	1878（明治11）年	中小坂製鉄所官行
1855（安政2）年	幕府天領の伊豆菰山で第一反射炉操業開始	1882（明治15）年	中小坂製鉄所の官行廃止（翌々年民間に払い下げ）、同年海軍造兵所（東京築地）でるつば製鋼に成功
1856（安政3）年	水戸藩那珂湊反射炉操業開始	1885（明治18）年	釜石製鉄所民間に払い下げ
	現群馬県下仁田町の小坂鉄山の鉄鉄を溶解試験。同鉄山を調査（磁鉄鉱使用たたらが操業中か）	1893（明治26）年	広島鉄山落合作業所に砂鉄製鍊用の角炉を築造して鉄滓吹き試験
1857（安政4）年	<セボイの乱>	1894（明治27）年	釜石でコークス高炉法に成功
	南部釜石大橋一番高炉で工業化に成功	1901（明治34）年	八幡製鉄所操業開始

*大橋周治『幕末明治製鉄論』から抜粋し、「鉄鉱石によるたたら」の記事を付け加えた。
網かけした事項は、大橋書発行後に新たな関連遺物の分析が行われたことを示す。



図 7.1 天保 15 年（1844）製造の鑄鉄製の火砲³⁾
（全長 1380mm、口径 50.5mm）

ねずみ鑄鉄（片状黒鉛鑄鉄）であることを確認している³⁾。残念ながら本体試料の入手はできず、化学組成の分析はできていない。

これに関連して、幕末から明治にかけての反射炉と高炉の建設状況と大砲の関係を表 7.2⁴⁾ に示す。幕末に反射炉の建設を急いだ理由は、大型大砲の鑄造にある。すなわち、鑄込みに際しては一度に大量の溶けた鑄鉄が要望されたからで、旧来の甕ではこの目的を達成できなかった。反射炉では大量溶解の条件は満足したものの、白鑄鉄しか得られず、現実には失敗の連続で、砲弾の発射に耐えなかった、とされている。砲弾を発射すると大砲が壊れたのである。当時は、多くの

箇所で鑄鉄製大砲の製造が試みられたが、佐賀藩だけが黒鉛がねずみ生成した鑄鉄（片状黒鉛鑄鉄）の製造に成功したとされている。この原因は以下の様に推察されている。

理由の 1 つは電流丸の荷下鉄（輸入銑鉄）使用にある、と言われている（表 7.1、右上 5 行目）。その根本的な原因は 3.2.1 項で記述したように、国産のタタラで製造された銑鉄ではケイ素含有量が少なく、白鑄鉄しか得られなかった点にある。そこで、ケイ素含有量を増加させ得る高炉の建設となった。しかし、高炉の操業も必ずしもうまくゆかず、国産の銑鉄で大砲の鑄造に成功するのは明治 20 年頃である⁶⁾（表 5.2 参照）。

中岡ら⁷⁾ は釜石銑の品質に言及し、明治 25 年頃までは使用に耐えず、明治 30 年代後半になって実用の段階に到達した、と記述している。この結果は表 5.2 の記述に一致する。因みに、この時代の釜石銑の化学組成は表 7.3 のように示されている⁷⁾。明治 30 年代に入って銑鉄中のケイ素含有量が安定したのがわかる。この表からも、当時の炉建設の興味が反射炉から高炉に移った状況が理解できる。

筆者は図 7.1 の鑄鉄砲とは別に、和歌山県の安乗神社の鑄鉄製大砲も調査する機会を得た^{8, 9)}。この大砲は鳥羽藩が文久 3 年（1863）に海防の目的で稲垣充

表 7.2 幕末の反射炉、高炉と鑄鉄製大砲の製造⁴⁾

経営	領 地	工場の場所	最初の炉の着工年月	同操業開始年月	炉 数	鉄製砲製作数（門）	
幕府ないし藩経営	佐 賀	佐賀・榮地	1850（嘉永3）年7月	1851（嘉永4）年12月	4 （2炉合体2双）	約200	
		同・多布施	1853（嘉永6）年9月	1854（安政元）年3月	4 （2炉合体2双）		
	薩 摩	鹿兒島・集成館	1852（嘉永5）年秋	1853（嘉永6）年夏	△ 2	△不 詳	
	幕府天領	伊豆・韭山	1854（安政元）年2月	1855（安政2）年2月	4 （2炉合体2双）	2?	
	水 戸	那 珂 湊	1854（安政元）年8月	1856（安政3）年2月	2	20以下	
	長 州	萩	不 詳	安政5年とされるが不詳	不 詳	な し	
	○幕 府	江戸・滝野川	1865（慶応元）年	1867（慶応2）年2月 （推定）	不 詳	不 詳	
民間経営	○鳥原藩 （豊前飛地領）	安心院・佐田	1855（安政2）年4月	1855（安政2）年月不詳	△ 1 炉	30以上	
	鳥 取	六 尾	1857（安政4）年4月	1857（安政4）年9月	△ 2	53以上	
	岡 山	大 多 羅	1864（元治元）年8月	△1865（慶応元）年1月	1	数 門	
	○福 岡	博多・土居町	不 詳	試験操業のみ	不 詳	な し	
高炉製鉄	藩経営	薩 摩	鹿兒島・集成館	1852（嘉永5）年秋	1854（安政元）年7月	1 基	試験操業
		箱 館 （幕府奉行所）	尻岸内・古武井	1856（安政3）年5月	1857（安政4）年以降	1 基	操業成功せず
	民間経営	南 部	釜石地区	1857（安政4）年5月	1857（安政4）年12月	10 基	工業化に成功
		仙 台	東 磐 井	1863（文久3）年5月	1863（文久3）年	△ 4 基	同 上

（注） 1) 旧著「幕末明治製鉄史」第 1 表を補訂。 2) ○印は追加，△は補正。 3) 南部釜石の高炉基数は明治 2 年築造 2 基を加えれば 12 基。 4) 仙台領の 4 基は岡田廣吉「仙台領の高炉製鉄」（仙台郷土研究会「仙台郷土研究」1979 年 12 号）による。

表 7.3 釜石鉄の化学組成の製造年次による変化⁷⁾ (%)

年 代 区 分		C	Si	Mn	P	S
幕末～明治初	A-1	3.80	0.52	0.09	0.135	0.085
	A-2	4.03	0.42	0.05	0.114	0.018
	A-3	3.99	0.23	0.08	0.073	0.022
	A-4	4.42	0.63	0.12	0.081	0.030
明治20年頃	B-1	1.85	4.58	0.21	0.09	0.05
明治28年頃	C-1	2.52	4.49	0.286	0.082	0.062
	C-2	3.39	1.09	0.122	0.095	0.234
明治31年	C-3	3.05	3.30	0.34	0.192	0.03
明治30年代半ば以降	D-1	4.47	2.82	0.40	0.13	0.03
	D-2	3.28	1.96	0.33	0.13	0.06
	D-3	3.20	2.18	0.35	0.13	0.02
	D-4	2.93	1.41	0.39	0.12	0.05
	D-5	3.57	3.85	0.54	0.16	—
	D-6	3.46	2.66	0.53	0.15	0.027
	D-7	3.46	1.39	0.35	0.12	tr
	D-8	3.18	1.10	0.37	0.10	0.02

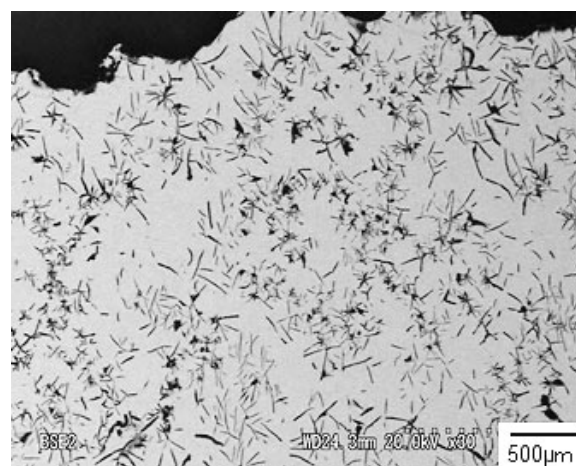
備考：Aは大島型高炉によるもの、B以下は田中製鉄所製。A以外は鼠色1号、同2号銃の値。
trは痕跡。

方に命じて作らせたもの⁸⁾で、全長1692mm、外径380mm、口径92mmの大型砲である。この表面には稲垣家の抱^{だきみよう}荷の紋が鋳出して作られ、砲尾部にはネジが切られている（図7.2右）。これも川口の鋳物師、増田安次郎が作ったのではないかと、斉藤⁸⁾も川口市¹⁰⁾も、推察している。この大砲が片状黒鉛鋳鉄であることは斉藤も確認しているが、斉藤は鋳鉄を専門としていないことから、彼の組織写真は不鮮明であった。そこで、筆者もその試料を入手し、黒鉛組織を詳細に検討し、星形の黒鉛が出ていること（図7.3）を確認した。また、化学組成は4.48%C、0.13%Si、Mn<0.001%、0.117%P、0.034%S、0.005%Tiである⁹⁾。この組成はケイ素含有量が著しく少ないが、炭素含有量は非常に多く、過共晶組成になっている。過共晶組成になっていることが黒鉛の晶出を容易にしたものと考えられる。この星形の黒鉛は過共晶鋳鉄に特有の形態である。



本体

砲尾雌ネジ部

図 7.2 安乗神社の鋳鉄製大砲⁹⁾図 7.3 安乗神社の大砲の黒鉛組織⁹⁾

江戸時代の加賀藩での大砲鋳造の様子を図7.4¹¹⁾に示す。この図からは溶解が鋳鉄か青銅かは判別できないが、これまでの記述から鋳鉄の溶解は難しいので、多分、青銅であろう。この図では2基の甌炉、右端のたたら（送風機）、下半分の鋳込み、右下部の鋳型の製作などの様子が見える。この甌は人間の大きさから考えて1～2トン炉（1時間に1～2トンを溶かせる炉）であろう。炉前にはピットが掘ってあり、大砲の鋳型を立てて、炉から出る湯（鋳造用語で、溶けた金属を指す）を直接上注ぎで鋳込んでいることもわかる。しかし、このような小型の炉では大きな大砲の鋳造は不可能であった。そこで、一度に大量の溶解が可能な反射炉の建設となった。

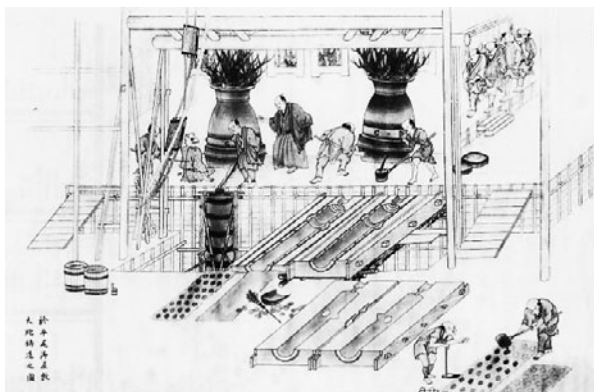


図 7.4 加賀藩での大砲鋳造の図¹¹⁾

江戸時代の大砲鋳造時の鋳型の製作を図 7.5 に示す¹²⁾。この湯口方案は段堰であったこともわかる。この図は図 7.4 とよく似ているが、右中央部に不思議な作業をしている職人がいる。彼は、中子砂型の端部にネジを切っており、完成後はこれを左下のように鋳型（これをに主型という）に設置し、雌ネジを切った大砲の中子（後部内面）を設置している様子が描かれている。このような操作で図 7.2 に示したような砲尾部の雌ネジが切られている。

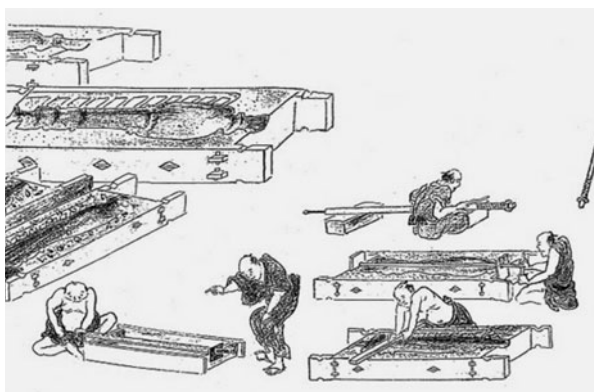


図 7.5 大砲造型の図¹²⁾（国立国会図書館蔵）

ここで、図 7.4、7.5 とともに原図は色づけされており、木枠を用いて造型したことがわかる。したがってこの砂型は焼き型や乾燥型ではなく、生型であろう。しかし、図 7.5 の左中央の鋳型には炎のような赤い小さい塊が沢山描かれており、これが何を意味するのかは不明である。図 7.6 は鋳込みの図であるが、職人が湯汲みで鋳造しており、このような作業では大きな大砲の鋳造はできない。また、図 7.7 は大砲の内面仕上げの図¹²⁾であるが、人力だけでこれだけのものに孔が開けられたのであろうか。因みに、加賀藩の資料¹¹⁾では大砲の孔空けには水車を用いているし、前田¹³⁾も同様な疑問を呈し、佐賀藩では水車で孔開けに成功し

た、と記述している。いずれにしても、大砲の孔は同じ径で、真っ直ぐに開いていなければ砲弾は遠くに飛ばず、大砲の意味がない。これは、当時としては実に難しい技術で、孔開けには非常に苦勞したであろうことが容易に推察できる。



図 7.6 大砲の鋳造（鋳込み）の図¹²⁾（国立国会図書館蔵）

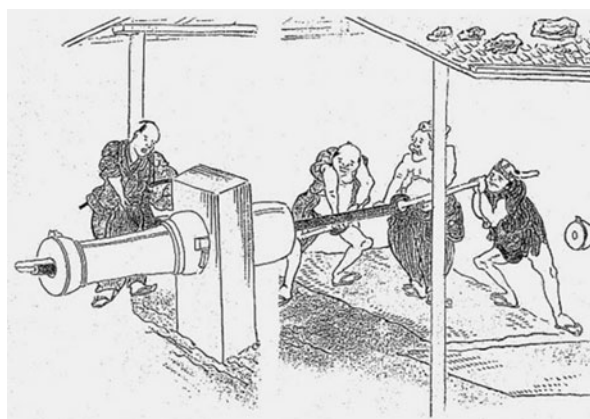


図 7.7 大砲内面仕上げの図¹²⁾（国立国会図書館蔵）

明治の著書¹⁴⁾には図 7.8 のような立て鋳込み方案が、2つの断面図を付記して示されている。ここでは、金杵を用いて砂付きを薄くし、中央部に中子を設置し、押上げ方案で2本の堰を左右に設けている。この中子の設置法と立て鋳込みは図 7.4、7.5 と同様である。右下には鋳型の断面図が2つ示され、堰を鋳型の接線方向切るよう指示しており、熔融金属を回転させて鋳型内に導入することの必要性が示されており、中々、興味深い。すなわち、高度のノウハウが示されている。この図が江戸時代の造型法と全く異なるのは、金杵の使用と押上げ方案である。図中の *ch* は型杵とあり、後述のように金杵である。そして、*N* は心型とあり現在では中子と呼ばれるものである。

この図と関連する資料に寺西の論文¹⁵⁾がある。寺

西は『砲工学校 兵要工芸学教程 第3版 火砲の製造 明治29年版』を引用して図7.9の大砲の鑄型（金枠）の外観と、図7.10の大砲の鑄造中子の芯金（水冷）と中子を示している。この図7.9は図7.8とほぼ一致

しており、図7.8の心型（N）は水冷中子であったことを推察させる。図7.8¹⁴⁾は陸軍将校のための本であり、あえて水冷中子の記述が省かれたのではなかろうか。

しかし、図7.9の鑄造方案では図7.8に示されている立て鑄込みの堰の取付け法が示されていない。すなわち、図7.9の割り面では図7.8に示されている立て湯口と堰を付けることは不可能で、これも将校らの教育には不要で、これらのノウハウが省略されたのではなかろうか。鑄造工場での職人や技術者と、将校の教育の本質論が区別され、かつ、ノウハウの流出を防いだのではなかろうか。

図7.10には中子水冷部心金の構造が詳細に描かれている。図7.8をよく見ると、芯棒A（芯型N）は示されているが、水冷構造とは見て取れない。図7.10のような複雑な水冷芯金は現在でも見ることは殆どない。それでは何故、このような複雑な水冷中子を用いたのであろうか。これは片状黒鉛鑄鉄の特性に依存している。片状黒鉛鑄鉄は一般的に製品の厚みが増すと、その強度は低下する。これを肉厚感受性と言い、現在のJISにも取入れられている。例えば表5.8がこれに相当する。したがって、大砲を内部から冷やすことで、鑄物の冷却速度を増大させ、強度の向上を図ったのであろう。

水冷中子の使用は、黒鉛の出ない白鑄鉄の生成を助

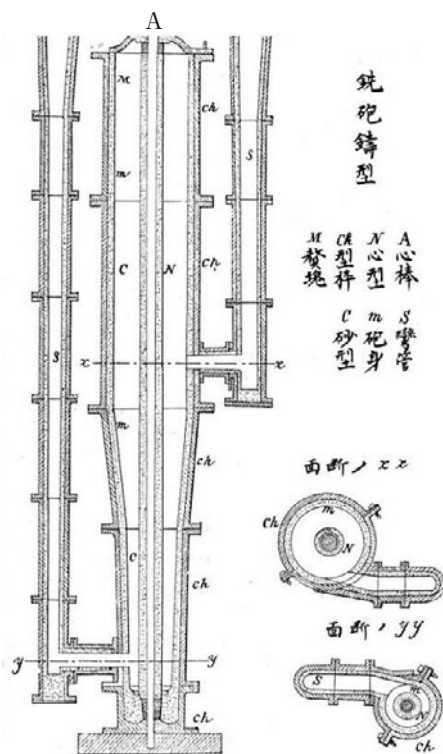


図7.8 明治時代の鑄鉄製大砲の鑄造方案¹⁴⁾

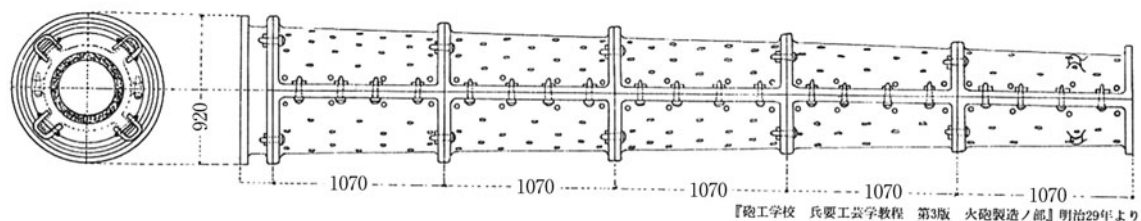


図7.9 大砲の鑄型（金枠）の外観¹⁵⁾

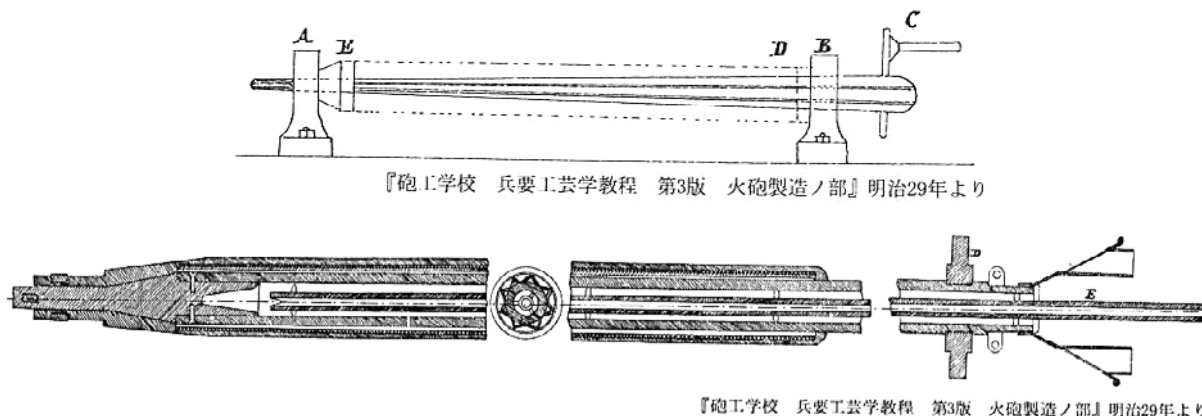


図7.10 大砲の鑄造中子の水冷芯金（上）と中子（下）¹⁵⁾

長する。そこで、水冷中子の使用はねずみ鑄鉄の製造技術が確立されたことが前提である。この辺にも明治時代に於ける鑄造技術の進歩が見て取れる。また、水冷治具の上の砂付き（砂型の厚さ）は極めて薄い。これは、砂付き（砂型）の厚さが安定してできるようになったことの証拠であろう。

7.2 鑄鉄鑄物

図 7.11 に示した旋盤は明治初年、島津藩の鉄工所で製造（鑄造）された我が国最古のものとも考えられる。これは明治 43 年に鮎川が戸畑鑄物を創設するにあたり島津家の好意によって提供され、主力機械として活躍したとの言い伝えのある旋盤で、日立金属の鑄物記念館に展示されている¹⁶⁾。そして、図 7.12 に工藝学教程¹⁴⁾に掲載されている旋盤とは非常によく似ている。この旋盤は江戸末期には西欧で使用されていたものであろう。この点に関して、島津斉彬の挑戦¹⁷⁾では元治元年（1864）に旋盤などを造ったらしいとの記述があり、明治 9 年に製造された鹿児島海軍製作所製の旋盤が示されている。この旋盤は、非常に高度な旋盤で、と記述されている。すると、図 7.11 の旋盤は集成館にも残されていない、価値あるものと言えそうである。



図 7.11 明治元年の島津の旋盤（日立金属鑄物記念館）

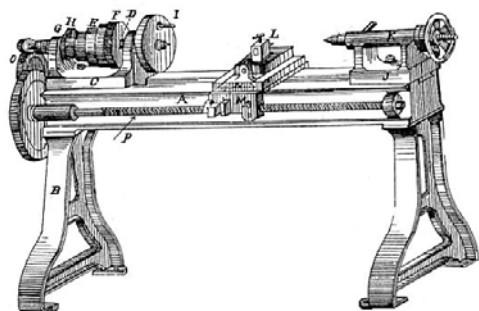


図 7.12 工藝学教程の旋盤¹⁴⁾

この旋盤に関しては三菱造船の社史¹⁸⁾に、『文久 3 年（1863）年末から元治元年（1864）2 月までの間にアームストロング螺旋道砲の鑄造、あるいは薩摩集成館に納めた旋盤、平削盤などの工作機械の製作に従事した。』との記述がある。正に、戸畑鑄物での記録と島津の記録¹⁷⁾とも一致しており、図 7.11 の旋盤は長崎製作所で作られた可能性が非常に高い。これが正しいければ、我が国の旋盤の歴史を変えることにもなり、更なる検討が必要になった。

図 7.13 に、現在は重要文化財に指定されている女子学習院の鑄鉄製正門を示す。川口市の資料¹⁰⁾によると、女子学習院の鑄鉄製正門は、明治 10 年 7 月 1 日の朝夜新聞に、『錦町の華族学校（現在の学習院）の表門は鉄造りで立派に出来上がり、定めし外国で誂えたものかと聞けば、大違い。武州川口で製造。凡そ鉄細工の類は川口でできぬものなしと云う。この話をロシアのミニストルが聞き、公使館の表門をヨーロッパに注文することを止めて、川口に頼むことになったという』とされている。先の鑄鉄製の大砲と並んで、この門は川口市自慢の鑄造品である。



図 7.13 女子学習院の正門（明治 10 年）

図 7.14 に中小坂製錬所で明治 10 年に鑄造された火鉢を示す。これは直径約 600mm、高さ 270mm で、肉厚が 8 mm 程度の品物で、非常に良くできた鑄鉄製の火鉢である。これは、明治 10 年に東京上野で開か



図 7.14 中小坂製錬所製の鑄鉄火鉢

れた第1回内国勸業博覧会に出品されたものである。
じょうしゅうかんらごおりかなくぼしよさんをもってこれをちゅうぞうす
 この側面には、上州甘楽郡金窪以所産鑄造之
 明治十年一月の鑄出し文字が明確に刻まれている¹⁹⁾。
 当時の中小坂製錬所の鑄造工場の技術の高さが理解
 できる作品である。

図7.15に大正時代の可鍛鑄鉄製の継手を示す¹⁶⁾。
 日立金属の戸畑工場は大正初期には年間200万個の
 可鍛鑄鉄製継手を生産していた。それらの製品には
 「ひょうたん印」が用いられたことが知られている¹⁶⁾。
 この写真では中央上部に「ひょうたん印」が確認で
 きる。継手は現在でもほとんどが可鍛鑄鉄で作られて
 いるが、余り目につかない製品である。しかし、万が一
 の事故では大変なことになるので、創業者の鮎川は鑄
 物の肌がひょうたんのようにならざるを得ない、また、豊臣秀吉
 の千成瓢箪にあやかり、この印を付した、といわれて
 いる²⁰⁾。



図7.15 ひょうたん印の可鍛鑄鉄製継手
 (日立金属鑄物記念館)

日立金属は乗用車のクランクシャフトの球状黒鉛鑄鉄
 鉄化を図った(図7.16)²¹⁾。この製品は従来は鍛造で
 作られていた。しかし、鑄造化により鍛造品では不可
 能であった中空化ができ軽量化が図れる、鍛造品より
 も寸法精度がよく加工代が少ない、鑄造化することで
 油孔は鋼のパイプを鑄込むことで孔開け加工が不要に
 なる、など多くの利点があり実用化に至った。その主
 因は、球状黒鉛鑄鉄の発展に伴い、鋼に匹敵する強度
 が鑄鉄でも得られるようになったことである。最も、
 この分野でも欧米が先行しており、フォードやGM
 が先行していたが、1970年ころには我が国も欧米の
 技術にほぼ追いついたといえる²¹⁾。

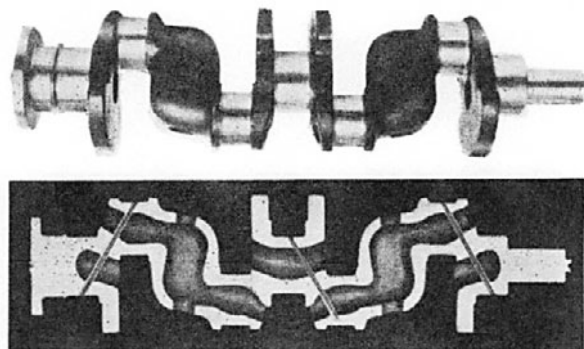


図7.16 球状黒鉛鑄鉄製のクランクシャフト²¹⁾

クボタは遠心鑄造による球状黒鉛鑄鉄管の製造で著
 名である。遠心鑄造とは、鑄造機の上で高速回転す
 る、離型材と断熱材でライニングされた円筒形金型
 の中に溶けた金属を注入し、凝固させる製造法である。
 この製造法を応用して、大都市の地下鉄工事が盛ん
 になった昭和37年に、工事現場の路面を覆い、大型車
 両の通行に耐える球状黒鉛鑄鉄製の覆工板を開発した
 (図7.17)²²⁾。これをダクデッキと名付け、リース販
 売方式で大需要を呼び起こしたが、地下鉄工事の工
 法がシールド工法に移行するに伴い、昭和43年には生
 産を停止した。

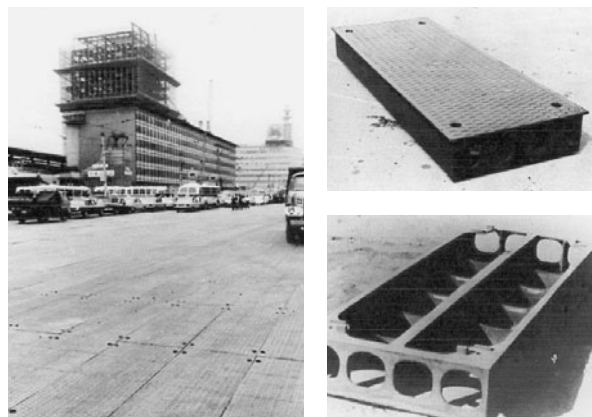


図7.17 ダクデッキ東京駅八重洲地下街工事(クボタ)²²⁾

一方、シールド工法では地質条件の悪いトンネル工
 事に利用する大型の鑄造品を昭和39年(1964)に開
 発した(図7.18)²²⁾。これは、地下鉄工事に使用され
 たトンネルセグメント(上)とトンネルの全景(下)
 である。

このセグメントは先に記述したVプロセスで生産
 され、幅1.5mで長さ3m程度的大型構造物で、構造
 と球状黒鉛鑄鉄の強さで目的を達成した²²⁾。これに
 より球状黒鉛鑄鉄の新しい用途が開発された。しか
 し、大都市圏地下鉄の整備・拡充が進み、需要が大幅
 に減少ことに加えて、原材料の高騰などでコンクリー



図 7.18 地下鉄工事に使用されたトンネルセグメント、(上) とトンネルの全景、(下) 昭和 40 年 (クボタ)²²⁾

トメーカーとの価格競争が熾烈になった、などの理由で生産は 2009 年に中止されてしまった²²⁾。

先に図 2.14 で鋳鉄製のシリンダーブロックとその中子に関して記述した。しかし、現在では乗用車のシリンダーブロックは殆どがアルミニウムダイカスト化された。これは、乗用車の軽量化とダイカスト技術の進歩によるところが大きい。しかし、トラックやバスなどの大型車では依然として鋳鉄製のシリンダーブロックが用いられている。この主因は、アルミニウムダイカスト品では耐熱性が不十分な点にある。したがって、これに鋳鉄製のライナーが複合化され、耐熱性の向上は鋳鉄製ライナーが受け持っている。この様子を図 7.19 に示す²³⁾。



図 7.19 アルミニウムダイカスト製シリンダーブロックと鋳鉄製ライナー²³⁾

この場合には、ダイカストと鋳鉄製ライナーの接合性が問題になる。接合が悪いと強度不足とライナー内の熱を逃がすのが不十分になり、車の性能が劣化する。接合性の改善の目的で色々な加工法が用いられてきたが、近年、鋳鉄製ライナーの外表面部に図 7.20 に示したような微細なキノコ状の突起を形成させる手法が開発され、多くの乗用車で使用されている²³⁾。

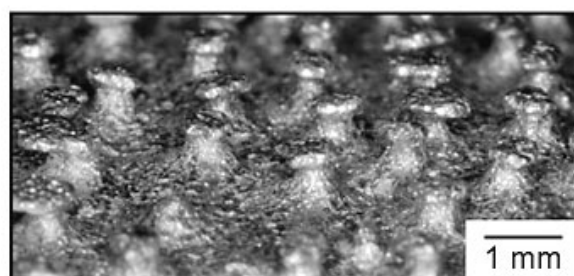
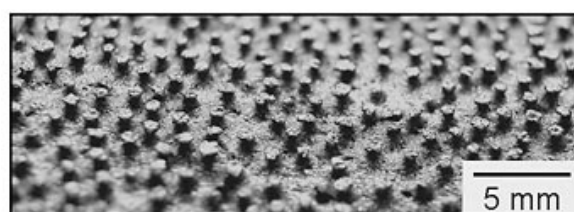


図 7.20 表面微小突起付き鋳鉄製ライナー²³⁾ (TPR 工業)

これは、この微細突起をアルミニウムで鋳包み、接合性を機械的に保障しようとしたものである。6.4 節で記述したように、通常の鋳型を作るには模型を鋳型から抜かなければならない。しかし、この微小突起の抜け勾配は逆であり、従来の発想を変えて実現した製品である。

6.4.1 項で触れたフルモールド法に関しても少し記述する。この方法は木型の代わりに発泡スチロールを用いる方法であることは既に記述した。図 7.21 にフルモールド法の模型と製品の一例を示す²⁴⁾。左側は切削加工で発泡スチロールから削り出した模型で、これには CAD・CAM の技術が生かされている。右側はこれを砂型に埋め込んで鋳造した鋳物である。この鋳物は 12.3 トンあり、通常の方法でこの鋳物で作るには多数の中子が必要とするが、この場合には模型と鋳物の形状はほぼ同じであり、中子が不要になることもこのプロセスの特徴の一つである。

鋳鉄は自動車のみならず、大型船用エンジンにも使用されてきた。その一例として、南極観測船宗谷のディーゼル機関を図 7.22 に示す²⁵⁾。このエンジンは 8 気筒、2400 馬力で、昭和 31 年 (1966) に宗谷に搭載された。宗谷はこの機関を 2 機搭載していた。当時の新潟鐵工所が総力を挙げて製作した機関と記載され

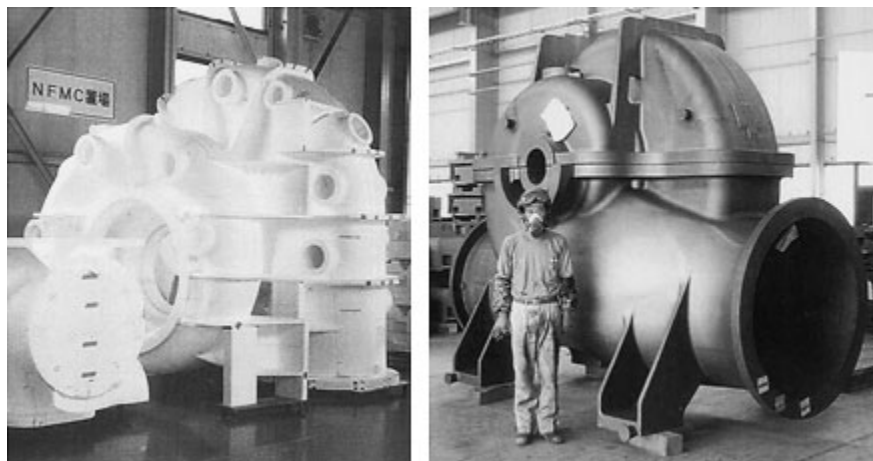


図 7.21 フルモールド法による大型うず巻ポンプ 12.3t
左：発泡スチロール模型、右：製品²⁴⁾ (木村鋳造所)

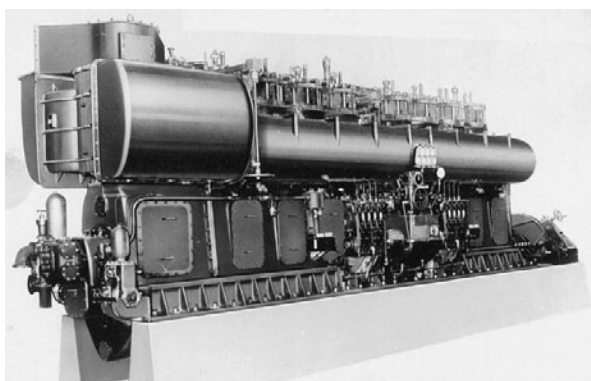


図 7.22 南極観測船宗谷のディーゼル機関
(新潟鐵工所)

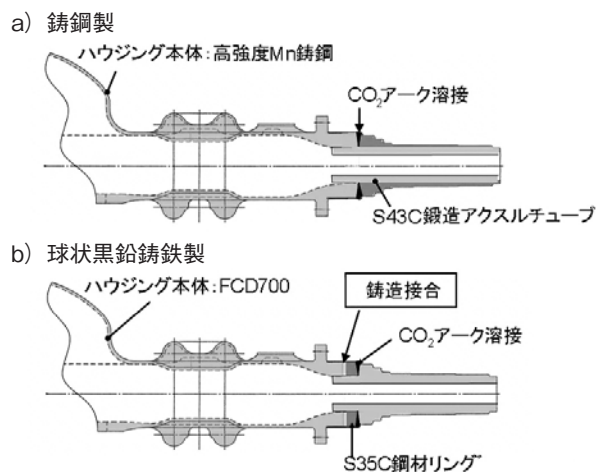


図 7.23 アクスルハウジングの製造法²³⁾

ている。

先に乗用車のエンジンは鋳鉄からアルミニウムに移行したと記述したが、大型車、例えばトラックやバスのエンジンは依然として鋳鉄のままである。勿論、宗谷の機関も鋳鉄製である。

日野自動車は鋳鋼製のアクスルハウジング（タイヤを取り付ける治具）を球状黒鉛鋳鉄で置き換えた²⁶⁾。具体的には、アクスルハウジングの全長が長く、鋳物製造装置が大きくなりすぎるので、図 7.23 a) の様に、鋳鋼製のハウジング本体に S43C 製の鍛造アクスルチューブを溶接で繋げて使用していた。すなわち、鋼と鋼の溶接構造物であった。このハウジング本体を FCD700 の球状黒鉛鋳鉄で作り、これに S35C の鋼材リングを鋳造時に接合し（図 7.23 b）、このリングに S43C 製の鍛造アクスルチューブを溶接する手法を開発した²⁶⁾。したがって、この場合にも部分的には鋼と鋼の溶接構造物である。この鋳造接合部と溶接部の詳細を図 7.24 にマクロ組織写真で示す。この技術は大河内賞を受賞している。



図 7.24 アクスルハウジングの接合部の詳細²³⁾
(福島製鋼)

7.3 鋳鋼

7.1 節では鋳鉄製の大砲に関して詳細に記述した。そこでは、青銅製から鋳鉄製に変えるのが如何に大変であったかという点を中心に、原材料問題から記述した。その後、大砲は明治の後半には鋳鋼となり、さらに鍛造品へとその製法は変化した。しかし、ここでは鋳鋼製の大砲の記述は割愛し、機械部品を中心に記述する。

谷山²⁷⁾によると、昭和初期(1930)の鋳鋼の用途は建築材、機械・造船、橋梁、高圧力容器、歯車、航空機などと示されている。この状況は現在でも大きな変化はない。あえて言えば発電機分野での用途が増大している。先にも記したように、鍛造は単純形状のシャフトのような物を除いて、大型品を作るのに向いていない。しかし、鋳鋼は鋳鉄よりもはるかに強靱であり、かつ、大型部品を作るのに向いている。例えば、図7.25は昭和39年(1964)に製造された製品重量369トンの圧延機用ロールスタンドである²⁸⁾。図の左下に作業員が写っており、その大きさがわかる。

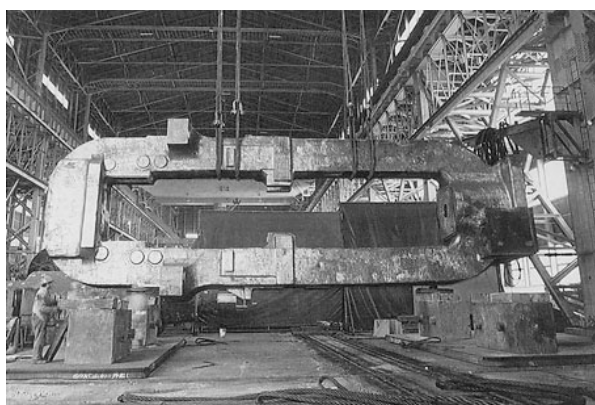


図 7.25 圧延機用ロールスタンド(日本製鋼所)²⁸⁾

図7.26は昭和38年製の出力規模世界最大級の、外径6.6メートル、重量140トンのステンレス鋳鋼製の水力発電用フランシスランナーである。これはアメリカからの受注品で、13基製造している²⁹⁾。これは、水力発電所で上から流れ落ちてくる水でこのランナーを回し、その力で発電する部品である²⁹⁾。一般的に鋳鉄では大量のCrを合金化させると黒鉛を生成させるのが難しくなり、Crの大量使用は黒鉛を出さない白鋳鉄に限定される。ところが、鋳鋼は本質的には合金鋼であり、この様なステンレス鋳物の製造も全く問題がない。勿論、小型の鋳物でも問題はないが、鋳鉄に比べて溶解温度が高い分だけ湯流れが悪くなり、小型の部品を作るのは難しくなる。

クボタは遠心力を利用した鋳物の作り方、遠心鋳造が得意である。その代表的な鋳物に球状黒鉛鋳鉄製の鋳鉄管がある²²⁾。また、先に図7.20で示した鋳鉄製ライナーはTPR工業で遠心鋳造で作られている。この遠心鋳造を使った製品にクボタのGコラムがある(図7.27)。このGコラムは新大阪駅に使用され、昭和44年(1969)に大河内記念生産特賞を受賞した²²⁾。



図 7.26 水力発電用フランシスランナー²⁹⁾(日本製鋼所)
13Cr-3.8Ni 鋳鋼、重量 140 トン



図 7.27 新幹線新大阪駅に使用された
Gコラム(クボタ)²²⁾

Gコラムとは、鋳造機の上で高速回転する円筒形金型の中に注入された溶鋼を、遠心力の作用で金型内面に伸展・圧着させ、凝固させる遠心鋳造法で作られた溶接構造用鋳鋼管である。この製造法の特長は、注入する溶けた鋼の量で管の肉厚が自由に変えられる点にある。塑性加工で鋼管を作る場合には、肉の厚いものには不向きである。

日立金属は乗用車の燃費向上を目的に1986年から耐熱鋳鋼製エキゾーストマニホールドの開発を行い、1989年から市販した(図7.28)³⁰⁾。これまではエキ



図 7.28 耐熱鋳鋼製エキゾーストマニホールド
(日立金属)

ゾーストマニホールドは合金鋳鉄で製造されていたが、燃費の向上にはエンジン内の燃焼温度の上昇が不可欠であり、鋳鉄では耐熱性に限界があった。そこで登場したのがこのエキゾーストマニホールドである。この製品は1989年と1993年に日刊工業新聞社の10大新製品賞を受賞し、現在では同社の九州工場がこの専用工場になるに至った^{30、31)}。

この製品は更なる発展を遂げている。それは、これまではターボチャージャーとエキゾーストマニホールドは別個に生産され、これらを一体化して使用してきた(図2.13)。それを、これらを耐熱鋳鋼で一体化することで、接合面の加工をなくし、さらには、接合面での食い違いも無くすることができ、高級乗用車で搭載されるに至っている(図7.29)。これは複雑形状品の一体化の好例であり、鋳物は今後は更に複雑形状化の方向に向かうものと考えられる。

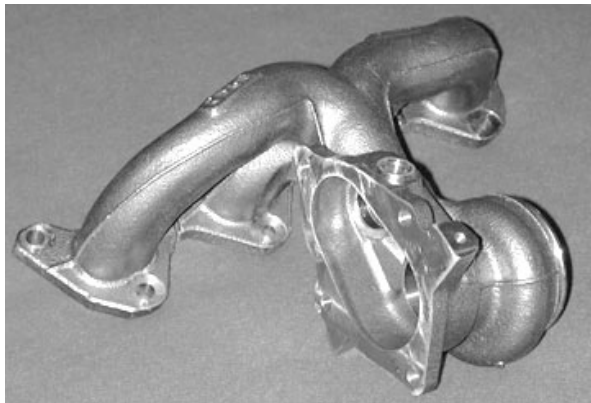


図 7.29 耐熱鋳鋼製ターボチャージャーとマニホールドの一体化(日立金属)

2011年3月11日の東日本大震災により我が国のエネルギー政策は大幅に変更せざるを得なくなった。原子力発電所の破壊は自然エネルギーの大切さの考え方を呼び起こしたが、風力や太陽光といった自然エネルギーによる発電では需要と供給に時間的不一致が生じる。これと同時にガスタービンによる火力発電が大幅に見直されてきた。ガスタービン発電機は機動性に富み、必要な時間帯に発電するのに適した性能を有している。

図7.30に火力発電用蒸気タービンの組立て時の写真を示す²³⁾。ここでタービンプレードを支えている部位は車室下半分と呼ばれ、図7.31に示す大型の耐熱鋳鋼品である。これには車室上半分の鋳鋼もある。図7.31の本体上の微小突起は断熱材を止めるための治具になっている。

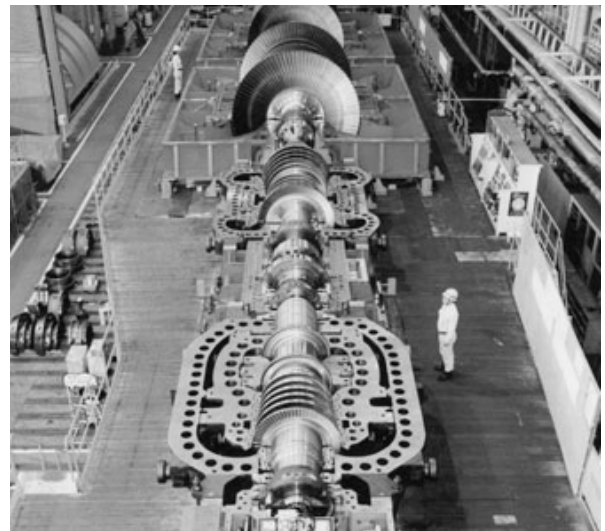


図 7.30 火力発電用蒸気タービン²³⁾
(日立製作所・日本製鋼所)



図 7.31 車室下半分 Cr-Mo-V 鋳鋼²³⁾
(日本製鋼所) 重量 47 トン

火力発電の最重要部品である第一段のタービンプレードも鍛造品であったが、現在では精密鋳造品となっているが、ここでは記述を省略した。これと同様に、ジェットエンジンのタービンプレードも鋳造品である。これらのブレードは単結晶品で、最先端の鋳造品であるが、ここではこの程度の紹介に止める。いずれ、精密鋳造の技術史が書かれた折には、その詳細が明かされるであろう。いずれにしても、この様に見てくると、火力、水力、風力発電には多くの鋳造品が使われているのがわかる。これも、複雑形状の大型品の製造には鋳造技術が不可欠なことの一つの証明である、と考えている。

引用・参考文献

- 1) 今津浩一:「ペリー提督と開国条約」ハイデンス(2011, 10) p65-74

- 2) 佐々木 稔：「幕末・明治期の製鉄遺跡と考古学関連諸科学」季刊考古学 No.109 (2009, 11) p14-17
- 3) 峯田元治、中江秀雄：「江戸後期の鑄鉄製大砲」季刊考古学 No.109 (2009, 11) p69-72
- 4) 原田 喬：「銃鉄の溶解と大砲鑄造」季刊考古学 No.109 (2009, 11) p63-65
- 5) 峯田元治：「釜屋、永瀬家所蔵の大筒（増田安治郎 作）銃砲史研究 No.301 (1999, 3) p1-15
- 6) 久保在久：「大阪砲兵工廠資料集 上」日本経済評論社 (1987) p219-221
- 7) 中岡哲郎、三宅宏次：「大阪砲兵工廠における釜石銃の再精練」技術と文明 4巻2号 (1987) p21-43
- 8) 斉藤利生：「安乗崎の鑄鉄砲」銃砲史研究 第168号 (1985, 4) p48-57
- 9) 中江秀雄ら：「安乗神社の鑄鉄大砲」銃砲史研究 第374号 (2012, 12) p25-30
- 10) 川口鑄物工業組合：「まだ100年、これから100年 新生への鼓動」(2005) p30, 39
- 11) 小西雅徳：「加賀藩下屋敷における西洋調練・大砲製造について」銃砲史研究 第366, 367号 (2010, 11) p30-48
- 12) 源 保重：「大筒鑄之図」弘化4年 (1867) 国立図書館蔵
- 13) 前田清志：玉川大学工学部紀要28号 (1993) p37-44
- 14) 陸軍砲工學校：「明治四十年 工藝學教程 工藝通論」、「三 湯口ノ整理」p72, 73, 91
- 15) 寺西英之：「近代日本鉄鋼技術と装籬法」海防史料研究 第5年1号 明治陸海軍技術史考 卷ノ二 -明治陸軍火砲1- (2005) p12
- 16) 日立金属九州工場：「100年の歴史を刻む鑄物工業の原点」素形材 52 (2011) p42
- 17) 田村省三ら：「島津斉彬の挑戦 -集成館事業-」平成14年 (2002) p156, 168
- 18) 三菱造船株式会社：「創業百年の長崎造船所」昭和32年 (1957) p122
- 19) 下仁田町中小坂鉄山研究会：「第2回 中小坂鉄山シンポジウム 報告書」(2006, 3) p46-48
- 20) 松尾宗次：「北九州に生きた人々、ものづくりの心を未来へ」(財)北九州都市協会 (2008) p1-18
- 21) 小池義夫ら：「鑄造クランクシャフトについて」日立評論 金属特集号第5集 (1960, 5) p75-80
- 22) 株クボタ：「クボタ100年」(1990, 10)
- 23) 中江秀雄：鑄造工学 産業図書 (2008) p4-5, 159
- 24) 中江秀雄：「ものづくりの原点 素形材技術」日刊工業新聞社 (2005)
- 25) 新潟鐵工所：「新潟鐵工所七十年史」(1968) p398
- 26) 佐藤一広ら：「鑄ぐるみ接合法による球状黒鉛鑄鉄ハウジングの開発」76 (2004) p855
- 27) 谷山 巖：「鋼鑄物」三省堂 昭和14年 (1939) p189
- 28) 中江秀雄：鑄造工学 産業図書 (1995) p3
- 29) 日本製鋼所：「日本製鋼所百年史」(2008, 3)
- 30) 日立金属：日立金属史 (1980)
- 31) 日立金属：日立金属史 工場編 (1980)

8 | 技術の流れ総括

8.1 総括

鑄鉄と鑄鋼の技術的な流れを江戸時代末期から語るには、先ずはその原材料である鋼と銑鉄の歴史を語る必要があるであろう。そこで、表 8.1¹⁾ に 1865 年からの日本を含む世界主要各国の鋼生産量（上段）と、該当年度の世界の生産量に対する各国の割合（下段、%）を示した。この表の最上段は世界の全粗鋼生産量が千トン単位で示してある。例えば、1865 年にはイギリスの粗鋼生産量は 22 万 5 千トンで、世界に占めるイギリスの割合は 57% であった。この時代の日本の生産量は 1000 トン以下で、この統計には現れてこない。それが、イギリスの生産量は 1945 年には 1201 万トンで、世界に占める割合は 10% に低下し、逆にアメリカは 7230 万トンで 61%、日本は 1200 万トンで 2% になっている。しかし 2% という数値は誤りで、この生産量から見る限り日本の割合は 10% でなければならない。

イギリスとドイツの粗鋼の生産量が逆転したのは 1890 年頃で、アメリカが世界最大の粗鋼生産国になったのもこの頃である。日本が主要な粗鋼生産国として世界に顔を出すのは 1965 年頃であった。この表からわかることは、日本は鋼の生産量では西欧に遅れること 50 年で立ち上がり、100 年後には世界の主要生産国になったことである。また、この時代の粗鋼の生産

は殆どが高炉による銑鉄が原料であり、この値はそのまま銑鉄の生産量と読み替えても良いであろう。その後、世界の鉄鋼生産量は 1980 年から 2000 年までは 8 億トンから 10 億トンではほぼ安定していた。

しかし、この表で欠けていて、1990 年以降で、その動向を注意しなければならない国、それはロシアと中国である²⁾。最近の鉄鋼と鉄鑄物の生産量を語るにはこの 2 つの国を除外することはできない。1991 年のソ連邦崩壊はロシアの鉄鋼生産量を 1 億 7000 万トンから 5 千万トンに激減させ、その後は 7 千万トン程度まで復活している（図 8.1）³⁾。これに対して中国は、2000 年以降は世界最大の鉄鋼生産国となり、2011 年度には 6 億 8 千万トンの鉄を生産している。中国以外の国の鉄鋼生産量の変化は極めて少ないが、中国だけが異常な伸びを示しているのがわかる。鉄鑄物に関しても同様（図 8.2）である⁴⁾。この図からも中国の異常さがわかる。例えば、2008 年のリーマンショックでは世界の鑄物生産量は減少したが、中国だけは増加を続けていた。

しかし、本稿の対象は鑄物であり、ここではこの程度の紹介に止める。

我が国の鋼生産方式の変遷を製鋼法別に割合（%）で表したのが図 8.3 である¹⁾。1880 年代には殆どの鋼はベッセマー転炉（酸性転炉）で生産されていたが、1920 年代には塩基性転炉（トーマス法）に置き換えられた。塩基性転炉の使用により、脱硫・脱リンが可

表 8.1 世界の主要国の粗鋼生産量の推移¹⁾、単位 1000 トンとその割合%

●主要国の粗鋼生産の推移															単位1,000 t %	
世界 合計	392	1,900	6,300	16,900	45,200	66,200	91,200	99,400	118,300	270,400	459,700	596,400	647,300	717,800	719,000	
イギリス	225	719	1,917	3,312	5,905	8,687	7,504	10,017	12,014	20,008	27,440	28,314	19,780	11,278	15,686	
	57	38	30	20	13	13	8	10	10	7	6	5	3	2	2	
ドイツ	100	371	1,202	3,941	10,067	13,258	12,195	16,419	300	21,335	36,821	45,041	40,415	43,838	40,497	
	26	20	19	23	22	20	13	17	*	8	8	8	6	6	6	
アメリカ	19	396	1,739	6,213	20,345	32,667	46,122	34,640	72,304	106,173	119,262	119,310	105,818	101,457	80,068	
	5	21	28	37	45	49	51	35	61	39	26	20	16	14	11	
ソビエト	4	13	193	880	2,544	4,116	1,873	12,520	18,500	45,271	91,000	115,886	141,325	147,931	154,500	
	*	1	3	5	6	6	2	13	16	17	20	19	22	21	21	
日本	*	1	1	2	107	514	1,300	4,704	11,963	9,408	41,161	93,322	102,313	111,395	105,279	
	*	*	*	*	*	1	1	5	2	3	9	16	16	16	15	
年次	1865	1875	1885	1895	1905	1915	1925	1935	1945	1955	1965	1970	1975	1980	1985	
本書の区分	I 技術受容の時代				II 自主技術形成の時代				III 技術復興と躍進の時代				IV 総合技術の時代			

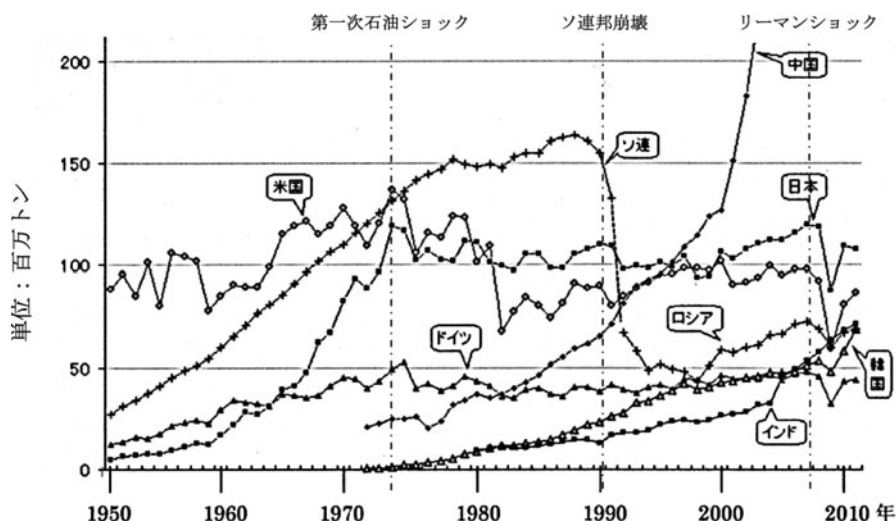


図 8.1 主要諸国の粗鋼生産量の推移³⁾

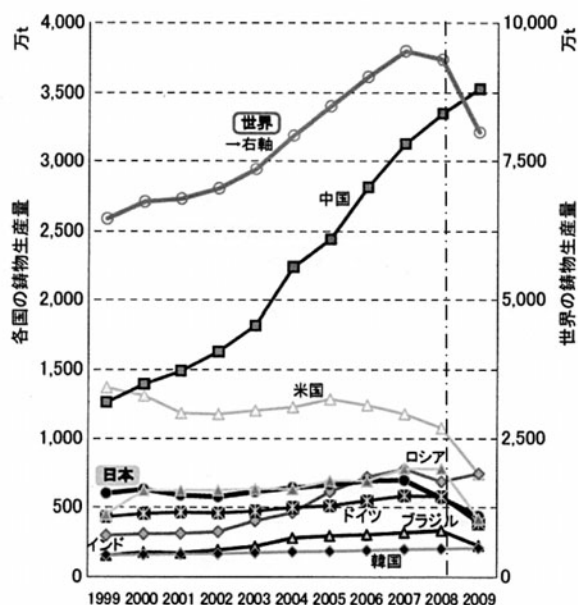


図 8.2 主要諸国の鉄鑄の生産量の推移⁴⁾

能になり、鋼の品質は大幅に向上した。そして、鋼の生産炉の主流は1900年頃より平炉に移ったが、上吹酸素転炉法の進歩により、1960年代からは再び転炉が主流となり、アーク炉（電炉法）の普及があり、現在に至っている。

一方で、1950年頃からは電気炉（アーク炉）による製鋼法が増加し始めた。これは、鋼屑を主原料とする製鋼法であり、我が国に於ける鋼スクラップ（鋼屑）の発生量の増大時期と一致している⁵⁾。もっとも、我が国は当時スクラップの輸入が主であった。この鋼屑発生量の増大は先進国の特徴でもあり、誘導電気炉の普及と相まって、鑄鉄溶解における鋼屑の大量使用に

つながってきた。もともと、キュボラ溶解では鋼屑の配合量が鑄鉄の組成を支配するので、その配合量には制限があったが、電気炉では鋼屑100%の溶解も可能になった。

我が国の鑄鉄材質が大幅に向上したのには、1950年の球状黒鉛鑄鉄の技術導入と、片状黒鉛鑄鉄では1952年のミーハナイトの技術導入の影響^{5, 6)}が極めて大きい。自動車生産量の増大がシリンダーブロック等の高強度鑄鉄の製造技術の開発と採用時期がほぼ一致しており、自動車産業の隆盛と相まって鑄造技術の大幅な向上をもたらした（図1.1）。

以上の結果を踏まえて、7章までの文章を取りまとめ、表8.2に我が国に於ける鑄鉄・鑄鋼技術の系統化図を示す。ここでは、江戸から明治、大正、昭和、平成の時代区分を明確にするため西暦と合わせて年号を表記した。また、技術の流れを、社会環境、原料地金、溶解炉、鑄型、鑄鉄と鑄鋼に分類した。これにより、各技術開発の時代背景を明らかにした。さらに、鑄鉄はねずみ鑄鉄（片状黒鉛鑄鉄）と、可鍛鑄鉄、球状黒鉛鑄鉄に細分類して表記した。これらの記載に関しては主に企業各社の社史^{7, 9)}を参考にし、大きな流れの全体像を把握するよう努めた。

ここで示したように、江戸時代末期の異国船撃払い令から始まった大型の鑄鉄製大砲製造は反射炉の導入となった。これは、一度に大量の溶けた鑄鉄が必要になったためである。しかし、タタラ鉄（和鉄）ではケイ素含有量が低く、反射炉だけでは原料鉄の品質問題でねずみ鑄鉄が製造できず、高炉の導入に至った。しかし、木炭高炉では不十分で、コークス高炉の導入で炉内の温度が上がり、ケイ素含有量の高い鉄

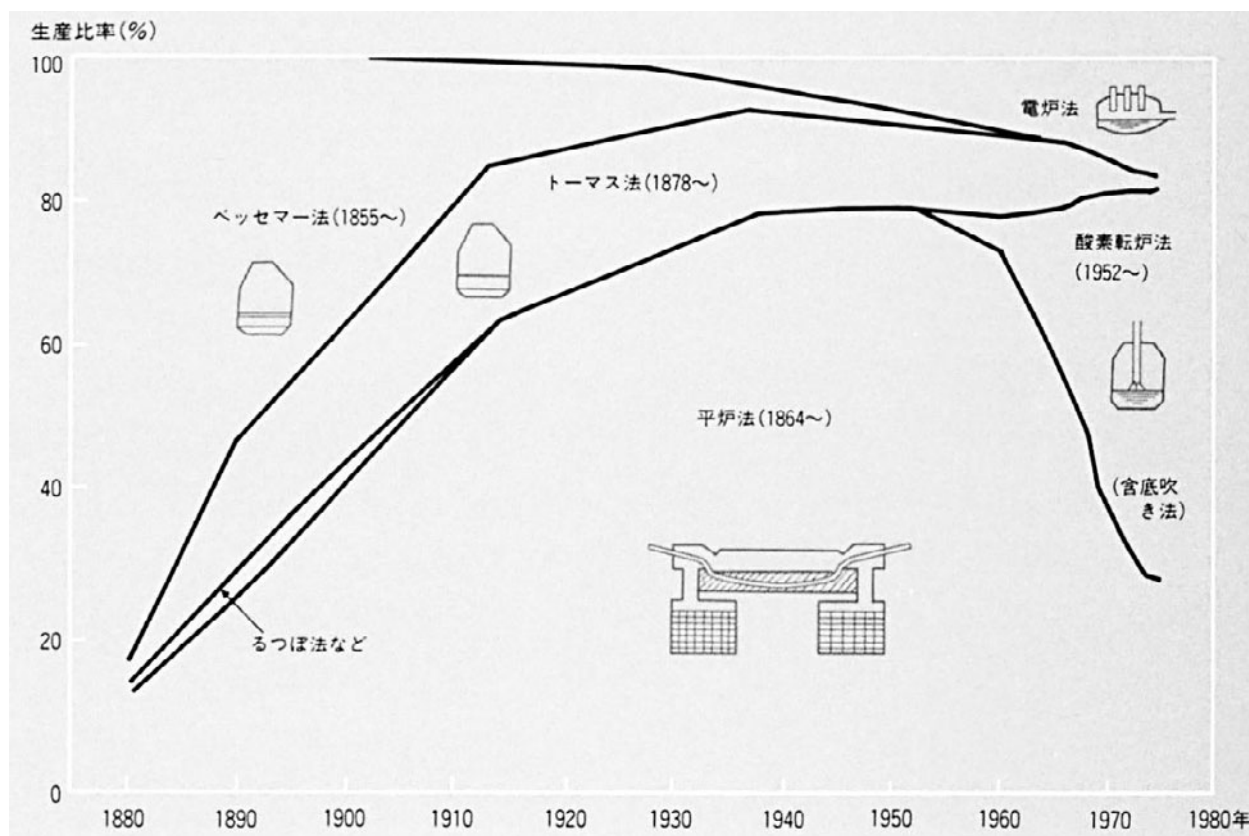


図 8.3 我が国の製鋼法別の生産比率の推移¹⁾

が得られるようになった。そして、この技術は明治の中ごろに一応の完成をみた。これによって船用エンジンや鑄鉄製の火砲が国産鉄で造れるようになった。しかし技術の進歩は速く、明治の終わりころには鑄鋼の技術も進歩し、火砲は鑄鉄製から鑄鋼製となった。これら製品の国産化の必要性が我が国鑄造業の発展の起爆剤になったことが理解できよう。これには、幕末の鑄造工場の建設が我が国産業の近代化に大きく役立ったことを忘れてはならない。

火砲は、もともと青銅製であったものを、青銅資源の不足と高価格なことから鑄鉄製となり、明治の後半には鑄鋼製となり、昭和に入った頃から鍛造品化されている。ここに、製造技術の展開と進歩を見ることができる。火砲の製造が鑄鉄から鑄鋼に変わったのは、反射炉から平炉、電気炉へと溶解炉が進歩したことによる。ここには、原材料の問題、溶解炉の問題そして鑄造から鍛造へといった、外の加工法への移行など、多くの情報が含まれている。これらの推移の原因を表 8.2 から考えることは、今後の鑄造技術の進展方向を探る際の有力な情報である。これこそが、『賢人は歴史に学び、愚者は経験に学ぶ』ではなかろうか。

鎖国の徳川時代に外国船が多数来日したことで、幕府は異国船討払い令を出したが、ペリーの来日が鎖国

に止めを刺した、というべきであろう。このような状況が、結果として幕末の鑄造工場や製鉄所の建設に繋がったといえる。

欧米に遅れること 50 年で始まった我が国の鉄鋼産業は 1970 年代には世界の最先進国になり、鑄造もその頃に世界に追いつき、現在では世界をリードする状況に至った。このような第二次大戦後の鑄造技術の発展は、球状黒鉛鑄鉄^{6, 10)} やミーハナイト鑄鉄^{6, 7, 11)} の技術導入が発火点になった、と筆者は感じている。その原因は、第二次大戦前は欧米技術の導入ができず、技術の鎖国状態にあったことによるのであろう。それが敗戦直後の Mg 処理による球状黒鉛鑄鉄の技術導入は、欧米の発明に遅れること僅か数年であった¹⁰⁾。これが我が国独自の Ca 処理による球状黒鉛鑄鉄の製造法開発につながった、と感じている。一方、片状黒鉛鑄鉄の主要技術であったミーハナイトの導入はアメリカに遅れること 30 年であった¹¹⁾。アメリカでほぼ完成した技術が導入されたのである。戦後の貧しい時代に日本の技術者はアメリカに出かけ、彼らの優れた技術を見学・選択・導入し、短時間でこれらの技術を習得した。当時の技術者・研究者の努力には驚くべきものがあつた。しかし、特記すべきは、鑄鉄・鑄鋼の分野では日本発の独自技術は少なく、ほとんど

が改良発明か、量産技術に止まっている。

それでは、鑄型には日本発の発明が数多くあるのは何によるものであろうか。有機物粘結材の技術導入は欧米での発明から大きく遅れることなく我が国に導入されたので¹¹⁾、改良すべき点が多く残されていたこと、当時の日本の技術が先進国に追い付いていたこと、などの理由で日本発の発明が多いのであろう。

8.2 今後の展望

鑄物はその生産量の60~70%が自動車産業で使われている。自動車産業の海外進出が我が国の鑄鉄鑄物生産量の減少に繋がったことは確かである。一方で、近年の中国の発展は目覚ましく、鑄鉄分野では2000年に、鉄鋼分野では1997年に世界のトップに躍り出た。人件費の安さが主原因ではあるが、当分はこの傾向が続くと見なければならないであろう。これに対して、我が国の鑄造業も鉄鋼業も高付加価値化を志向している。両者ともに現状の技術力は中国を大きく引き離しているが、何時までこの地位を保てるか、それには何をすべきかを明確にしなければならない。それには、大学の工学部での実務教育の充実が不可欠である。現状では、工学部の実験離れと同時にシミュレーション教育が進行しすぎている。我が国の技術者の特徴が手を汚す点にあったことは疑う余地がない。この利点が失われてきた、と強く感じている。

乗用車のシリンダーブロックのような超量産品を除くと、我が国で作るべき鑄物は何であろうか。量産鑄物は立ち上がり時に多少の不良が多少発生しても、それを克服できればその後には大きな問題はない。また、最新の製造装置を導入すればできるものは生産国を選ばない。すなわち、人件費の高い日本で作る必然性はない。

これからの我が国の将来は超先進国化で、これにより個人の嗜好がますます多様化することであろう。自分だけしか持っていない製品に価値を求める社会が形作られるのではなかろうか。極端な例を挙げれば、ピカソの絵やロダンの彫刻がこれに相当する。そのような高級乗用車や、高品質・小ロット生産に適した加工機や加工システムが求められるであろう。

すると、小ロット・複雑形状鑄物の高品質で安価な製造法の開発が望まれる。単品ものの製造は失敗が許されないので高い技術力が不可欠である。これには、RP (rapid prototyping、通常は迅速造型法と訳されているが、ここではあえて迅速試作造型法と訳す) から小ロット生産を意識したRM (rapid manufacturing、

迅速鑄造型法) の開発が不可欠であろう。現状のRPは試作に限定されているが、これを小ロット品の生産に適するシステム化することである。この手法はフルモールド法では既に実用化されているが、それには切削加工で発泡スチロール模型を作らなければならない。本質的にはこの模型は無駄であり、図面から直接鑄型を作る手法のRMが望ましい。また、これには製品図面から鑄物図に直すソフトと、鑄造方案の自動作成ソフト、そして背面金型シェルモールド法のような凝固時には強固で、鑄物ができた後では脆弱な鑄型の開発などが必要になろう。

或いは、フルモールド法と砂型法のハイブリッド化などが必要になろう。これにより、砂型から模型を抜き出すのが困難な、より複雑形状鑄物の製造を可能にする。それには、金型で発泡させた発泡スチロール模型を用いるロストフォーム法が適しているのであろう。このような手法の開発で、より複雑な鑄物を中子の使用を少なく製造できれば、鑄物の用途の拡大に繋がろう。

また、これからの社会でマイクロマシンの普及を促進させるには、微小部品の安価な製造法が求められている。これらの微小部品を作るには、切削加工では刃物の大きさに制限があり、その複雑形状も限定される。そこで、筆者はマイクロ鑄造の必要性を説いてきた。これに関しては野口らの一連の報告があり、この中で安倍¹²⁾は蟻そのものを模型にして蟻の鑄物を作っている(図8.4)。このような微小部品を鑄造で作れることを示した。しかし、この製法では工業部品はできないと考え、筆者らはインクジェットプリンターの原理を応用した鑄型の製作法を提案¹³⁾してきた。外の加工法ではできない微細部品を鑄物で作る、世界に先駆けてマイクロマシンを我が国固有の産業にする、こんな夢を考えている。

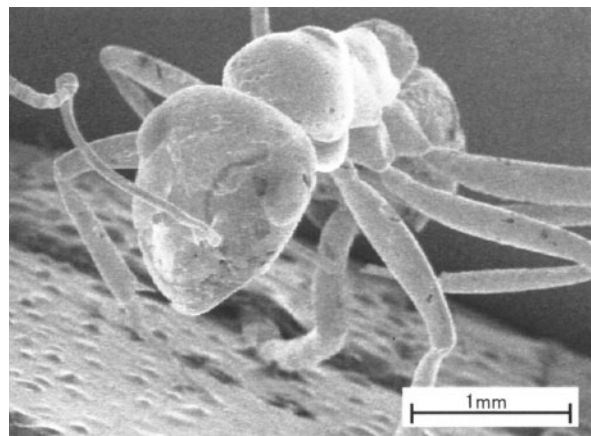


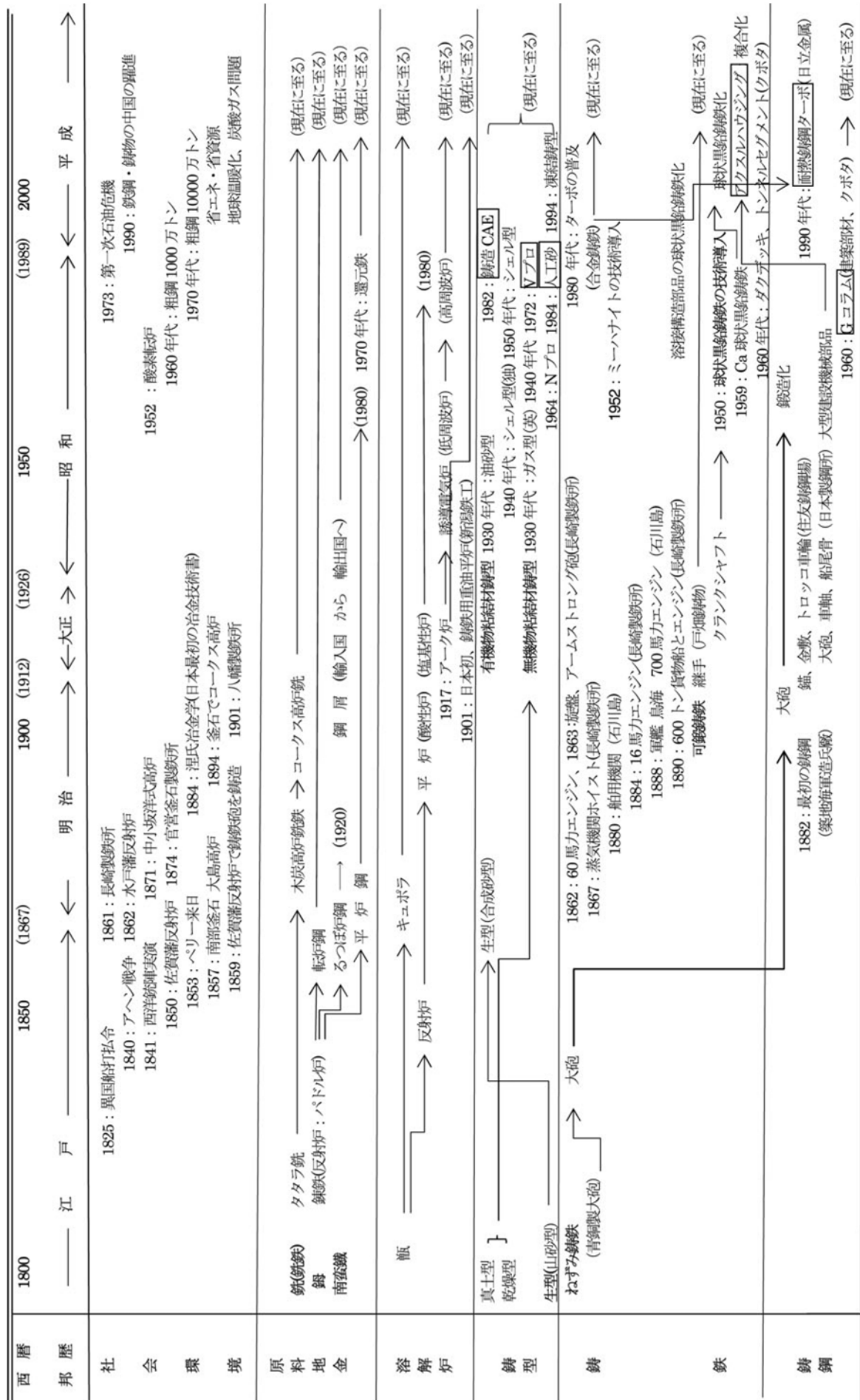
図 8.4 蟻の鑄物¹²⁾

これまでの量産先進国から真の技術先進国化しなければ、これからの我が国の鑄造業を含む製造業は衰退し、国民の所得低下を認めなければならないであろう。これらかどの方向に進むべきかの検討には、表 8.2 の系統化図を有効に活用いただきたい。単に、過去の進歩を学ぶだけではなく、技術変遷の必然性や、今後の進むべき方向の決定にも参照されることを期待している。

引用・参考文献

- 1) 飯田賢一：「日本の技術 100 年、製鉄 金属」筑摩書房（1988）p15, 16
- 2) 中江秀雄：「中国 恐るべし」素形材 48（2007, 12）p41-44
- 3) www2.ttcn.ne.jp/honkawa/5500.html（2012, 11, 10）
- 4) 笹谷純子：素形材 52（2011, 4）p2-5
- 5) 中江秀雄ほか：「鑄鉄の原材料としての銅屑の動向」鑄造工学 68（1996）p348-353
- 6) 日本強靱鑄鉄協会編：「強靱鑄鉄」日刊工業新聞社（1961）
- 7) 新潟鐵工所：「新潟鐵工所七十年史」（1968）p613
- 8) 三菱造船：「創業百年の長崎造船所」（1957）
- 9) 元網数道：「横浜製鉄所について」（2001）
- 10) 飯高一郎監修：文部省球状黒鉛鑄鐵研究班篇「球状黒鉛鑄鐵の研究」日刊工業新聞社（1952）
- 11) 斎藤彌平：「鑄鉄工学」（1965）p8
- 12) 安倍新一、野口裕之、村川正夫：「マイクロ鑄造に関する研究（第 2 報）：電気泳動による鑄型の製作」精密工学会誌論文集 70（2004）p1407-1411
- 13) 永壽伴寛、加賀龍治、中江秀雄：「インクジェット法を用いた微小鑄型の作成と鑄造」鑄造工学会 160 回講演大会（2012, 5）p87

表 8.2 我が国に於ける鑄鉄・鑄鋼技術の系統化図 世界初：□



9 | あとがきと謝辞

鋳物は5000年以上の長い歴史ある金属製品の一種であるが、今回はその内、僅か160年程の歴史を辿ったにすぎない。この仕事を引き受けた段階では、これほどの大仕事になろうとは想像だにしていなかった。小職は2012年3月に大学を定年退職したので、在職中に大学で教鞭を執りながらできる限り資料集めを心がけ、自分としてはそれなりの準備をして取組んだつもりであった。しかし、甘かった。100年以上前の資料を集めるのは大変で、それには時間を要し、100年の歴史の重みを思い知らされた。

さらに、執筆を進めるにつれて新しい資料が次々と見つかり、その入手、更にまた新しい資料の発見・入手の繰り返しで、最初に書いた原稿の手直しに明け暮れた。ここでは簡単に資料と記述したが、江戸時代のもは国立図書館を中心に、幕末以降の資料は企業の社史と、明治時代の軍関係の教科書と斎藤大吉の著書「金属合金及其加工法 中巻」などを主に参考にさせていただいた。

幕末から明治に掛けて設立された工場には、幕府による三菱重工や水戸藩によるIHI、久原財閥による日立製作所、そして鮎川義介による戸畑鋳物などがある。戸畑鋳物は日立金属、そして日産自動車へと発展した。また、豊田佐吉による豊田自動織機からはトヨタ自動車が生産している。そして、小松もクボタも鋳物工場が源で現在に至っている。

大正時代以降から戦前までの資料も入手は困難を極めた。まず、これらの資料は電子データが完備しておらず、1つの資料から芋づる式に探し出すのが常であった。資料を見つけ出した後はそのコピーや原本の入手である。これも一筋縄では行かなかった。電子データがないということは、資料の所有者を訪ねてそのコピーを依頼しなければならない。また、コピーするのは、その時に必要と感じた部分だけである。しかし、資料を個人的に入手・自宅に保管した場合には、好きな時にじっくり読むことができ、目的とした箇所以外にも重要な情報を見つけ出せることが少なくなかった。じっくりと原本と取り組むことの必要性を痛切に感じた次第である。小職は50年近くを鋳物に携

わってきたので、最近の50年に関しては記憶もあり、比較的容易に資料が入手できた。この場合には逆に、どの資料を引用すべきかの判断に時間を費やした。

更に、今回取り上げなかった我が国を代表する財閥に三井と住友がある。三井は松坂での酒・味噌の商いをへて三井物産や三越を越し、さらに炭鉱を経て今日に至っている。この歴史には極最近までは鋳造との深い関連が見いだせなかった。また、住友は銅精錬で始まり、後に住友電工や住友金属などを設立しているが、鉄鋳物は住友金属（現在の新日鐵住金）になってからであった。したがって、この2つの財閥の歴史は鉄鋳物との関連が薄く、本報告では深くは言及していない。

この様な次第で、三菱重工（三菱史料館、長崎造船所史料館を含む）、日立金属（鋳物記念館を含む）、クボタ、IHI、新潟原動機、住友金属、日本製鋼所、日本鋳造、池貝鉄工などの各社には、社史の提供から引用の承諾まで大変にお世話になった。特に、日立金属には九州工場、鋳物記念館の見学など、新潟原動機には新潟工場の見学を含めて、多くの資料の提供を頂き、そして日本鋳造とクボタには社史の提供からそれに伴う詳細な写真の提供など、大変にお世話になった。さらにまた、下仁田町中小坂鉄山研究会の方々には資料の入手、写真撮影などで大変にお世話になった。これらの方々に厚く御礼を申し上げたい。

これらの方々の絶大なご支援がなければ、この報告書の内容はずっと軽薄なものになっていたと感じている。しかし、やっと入手できた資料、例えば「大阪砲兵工廠資料集」や「明治29年の兵要工藝学教程」などは本文に活かす時間がなく、調査資料として入手した段階で時間切れを迎えてしまった。このような次第で、小職の力不足と時間の制限、そして新しい資料の次々の発見などにより、まだまだ加筆の余地を残している。

終わりにあたって、本報告により、我が国産業の近代化に鋳造業が如何に寄与したかの理解が得られることを期待して、筆をおく。

専門用語の解説

鉄と鋼

鉄に関する用語は現在と明治時代、江戸時代では大きく異なっており、その正確な記述は難しい。この相違が理解を妨げている。そこでまずは、現代の専門用語で解説する。鉄は大きく分けて鋼と鑄鉄（銑鉄）に分類される。これらはいずれも鉄と炭素の合金であり、含まれる炭素量が2%以下のものを鋼、それ以上のものを鑄鉄としている。そして、炭素量が極少なく、炭素以外の不純物量が少ないものを純鉄と称する。

先に、鋼は鉄と炭素の合金であると記述した。正確にはこれを炭素鋼という。更に、炭素鋼は含まれる炭素量によって、0.8%以下のものを亜共析鋼、それ以上のものを過共析鋼、0.8%のものを共析鋼という。これに対して、炭素以外の主要な合金元素、例えばクロムやモリブデンなどが数%以上含まれるものを合金鋼や特殊鋼という。例えば、クロム・モリブデン鋼という。この合金鋼にはステンレス鋼や耐熱鋼なども含まれる。

これに対して鑄鉄は炭素量が4.3%以下のものを亜共晶鑄鉄、それ以上のものを過共晶鑄鉄という。この場合にも鋼と同様に合金鑄鉄がある。また、炭素が黒鉛として晶出したものをねずみ鑄鉄、炭素が鉄と化合したものを白鑄鉄という。白鑄鉄とは、その破面が真っ白なことによる。そこで、破面がねずみ色のものをねずみ鑄鉄という。現在では、ねずみ鑄鉄は片状黒鉛鑄鉄を指し、鑄鉄と同様の成分で溶銑炉から出たものを銑鉄（鑄物の原材料）と呼ぶ。更に、黒鉛の形が片状のものを片状黒鉛鑄鉄（ねずみ鑄鉄ということもある）、黒鉛が球状になったものを球状黒鉛鑄鉄、白鑄鉄を熱処理し、黒鉛化を図ったものを可鍛鑄鉄という。

明治時代の鉄（鐵）の分類は先に表3.4で示した。ここでは鋼を可鍛鉄と呼んでいる。鍛造できる鐵の意味である。当時は、鑄鉄や銑鉄（鑄鉄）と言っている。さらに、可鍛鉄は鎔鋼（溶解して得た鉄、の意味）と鍊鉄に分けられている。鋼は熔融温度が高いので、昔はこれを溶かすことができず、完全には溶解されていない状態で得た鋼を鍊鉄で示した。銑鉄から炭素を除去したり、或いは後述のタタラで作られたものも、鍊鉄の名が付けられた。古くは鋳やパドル鋼もこの範疇に入れている。また、銑（銑鉄）或いは鑄鉄は黒鉛の晶出の如何で、灰銑（ねずみ鑄鉄）と白銑（白

鑄鉄）に分けている。ことほど左様に、時代によってその呼び方が大きく異なっている。更に古くは、鋼を鋳、銑鉄を銑と称する。また、国産を和鉄と称して輸入鉄と区別して用いた。詳細は3.1.2章と3.1.3章を参照いただきたい。

タタラ（鋳）とたたら（踏鞴）とこしき（甑）、ふいご（鞴）

タタラは鉄銑石の還元炉で、現在の高炉に相当する。すなわち、鉄銑石（タタラの場合には砂鉄）を鉄に還元する精錬炉である。これに対してたたらは一種のふいご（鞴）で、送風機を表す。鞴には手鞴と足踏み鞴があり、たたらは足踏み鞴を指し、手鞴は多く鍛冶屋が用いた手で風を送る小型の送風機を指す。図3.1で、中央にある炉がタタラで、その両端にある人力による足踏み送風機がたたらである。本稿ではこれらの区別を明確にするため、カタカナとひらがなで使い分けた。

たたらを踏んでいる時に強く踏みすぎて、よろめいた勢いで数歩ほど歩み進んでしまうことをたたらを踏むという。ちなみに、かわりばんこあるいは地団駄を踏むという言葉もこれに由来する。また、たたらを踏むという言葉は現在の歌舞伎の中にも残っている。古代の製鉄民の言葉が二千年の時を経て歌舞伎の中に残っていることは興味深い。

これに対してこしきは小型円筒形の鑄鉄溶解炉で、キューボラと機能的には同等であるが、炉体を湯だまり、胴、朝顔などに分割できるものをいう。時にはこれを積み甑ともいう。また、キューボラが普及する以前の溶鉄炉が甑と呼称されていたが、これは後述のせいりと形が似ていた事に由来する。

こしきは我が国古来からの呼び名でもあり、酒造りの際、米を蒸すせいろをこしきといい、積み重ねる姿が似ているので鑄鉄の溶解炉もこしきと呼ばれてきた。本来は、こしきは古代中国を発祥とする米などを蒸すための土器で、3世紀から4世紀にかけて朝鮮半島を経て、日本に伝来したと見られている。したがって、こしきも古くは人力で風を送っており、この送風装置もたたらである。

反射炉と平炉

先にも記述したが、反射炉は金属溶解炉の一種である。西洋では18世紀から19世紀にかけて鉄の溶解に

使われ、この技術が我が国にもたらされた。反射炉は熱を発生させる燃焼室と溶解を行う炉床が別室になっている。燃焼室で発生した熱で炉の天井や壁を温め、その輻射熱を炉床にある金属に集中させ、金属の溶解を行う炉である。こしきに比べて一度に大量の青銅や鑄鉄を溶解できるため、青銅や鑄鉄大砲の鑄造を目的に導入された。

これに対して平炉は、主に鋼の溶解に使用された反射炉の一種で、炉内温度を高めるために、炉に送る空気やガスの温度を上昇（加熱）させる熱交換器（蓄熱室）を備えている炉を平炉と称した。図 4.4 と図 4.12 参照。

アーク炉（弧光爐）と誘導炉（誘導電気炉）

アークは日本語で弧光と書き、放電現象である。放電とは電極間にかかる電位差によって、電極間に存在する気体に絶縁破壊が生じ電子が放出され、電流が流れる現象である。その形態により、雷のような火花放電やコロナ放電、グロー放電、アーク放電に分類される。グロー放電から更に電流を増加させるとアーク放電になる。グロー放電は高い電圧で小さな電流しか流れず、気体分子の温度も低い放電であるのに対し、アーク放電は低い電圧で大きな電流が流れ、気体分子の温度も高い放電である。大きな電流が流れることから金属の溶解や溶接などに用いられている。

図 4.15 を参照いただきたい。被溶解物を加熱、溶解するための熱源として電極間、あるいは電極と被溶解物との間にアーク（通常は数千℃）を発生させ、その熱で溶解する炉をアーク炉という。ここで前者を間接アーク炉、後者を直接アーク炉という。

電磁誘導とは磁束が変動する環境下に存在する導電体に電位差（電圧）が生じる現象である。また、このとき発生した電流を誘導電流という。誘導電気炉とは、耐火物で覆われたコイルの内側に導電体を置き、コイルに交流電流を流したときに、電磁誘導作用によって被溶解物（導電体）に流れる電流によって抵抗加熱・溶解する炉を指す。誘導電気炉は、使用する交流の周波数によって低周波炉、中周波炉、高周波炉に区別される。しかし、ここでいう高周波とは 500Hz から 3000Hz 程度で、電気分野での高周波とは大きく異なる。ちなみに、低周波炉とは商用周波数（50Hz あるいは 60Hz）を用いる炉を指し、この中間の周波数を用いる炉を中周波炉という。中周波には、商用周波数の 3 倍を用いることが多く、これを 3 倍周波数炉ということもある。

低周波は被加熱物が大きくないと有効に作用しない

ので、低周波炉では最初の溶解にスターティング・ブロックと称する大きな鉄の塊、再溶解時には炉内に 1/3 程度の溶湯を残して溶解する。この残湯は、冷材溶解のスターティング・ブロックに相当する。このように、低周波炉は作業性が悪いので、現在ではほとんどの場合に高周波炉が用いられている。

鑄物砂、砂型と中子

現在でも鑄鉄鑄型としては主に砂型が用いられ、アルミニウムは金型が用いられることが多い。使い分けは金属の熔融温度によっている。その詳細は 6.1 章に記述したので、ここでは省略する。しかし、何故に今日でも砂型が多用されるのかの理由を中心に記述する。大正時代までは殆ど全ての鑄物は砂型で作られていた。それが、近年はアルミニウムでは金型が主流になった。

鑄物に用いられる砂、鑄物砂は適度に耐火度（耐熱性）があって、形状が丸みを帯び（図 6.3）、粒度 28～100 メッシュのものが用いられている。この粒度は凡そ、直径で 0.18mm～0.58mm になる。通常は、これより大きすぎても小さすぎても鑄物砂としては用いられない。

その理由は以下の通りである。砂型を含む全ての鑄型に湯（鑄物用語で溶けた金属を指す）を注ぐと、湯の温度が高いため大量のガスが発生する。このガスを鑄型空間（あるいは砂型の砂粒子の隙間）から逃がさなければならない。したがって、鑄型には通気性が大切である。一方で、砂粒子（砂型の隙間）が大きすぎると、この隙間に湯が入ってしまうので、良質の鑄物を作ることができない。このような理由で、砂型に用いられる砂の大きさが決まる。鑄型空間からガスは逃がさなければならないが、湯は逃がしてはいけない。これが鑄型である。

鑄込んでいる途中で砂型が壊れることがある。すると、全ての湯が外に流れ出してしまう。これは、砂型の中で、表面の湯が凝固するから湯が砂の隙間に入れないのではなく、砂型は湯に対して一種の防水加工状態にあり、湯が砂の隙間に入りえないことを示している。これは、最近のレインコートでは、体から発散する水蒸気は外に逃がすが、外からの雨水は通さない状況によく似ている。それが、何かの影響で砂型が湯に濡れると、砂の隙間に湯が侵入し、砂が鑄物に付着してしまう。これを焼付き欠陥という。

鑄物の最大の特徴は中子を用いることができる点にある、と筆者は考えている。その中子に関しては図 2.1 や図 2.14 で示した。このような中子が使用でき

ることでシリンダーブロックのような複雑な形状が作れる。中子は鑄型（これを主型^{おもがた}という）に納める（図 2.14 や図 7.8）。勿論、中子からも大量のガスが出るので、これを中子の隙間から外に逃がさなければならず、中子の通気性は主型よりも重要である。

酸性転炉（平炉）と塩基性転炉（平炉）

酸性和塩基性の定義は酸・アルカリの定義とは少し異なる。酸性酸化物とは、水と反応して酸を生じるか、塩基と反応して塩を生じる非金属元素または酸化数の大きな金属元素の酸化物である。酸性酸化物の代表的なものには以下のものがあり、これらの化学反応は以下の通りである。

SiO_2 ：水とは反応しないが、塩基と反応してケイ酸塩を生じる。

CrO_3 ：水と反応してクロム酸および二クロム酸を生じ、塩基と反応してクロム酸塩を生じる。

P_2O_5 ：水と反応してリン酸および二クロム酸を生じ、塩基と反応してクロム酸塩を生じる。

酸性炉とは SiO_2 を主要耐火物（これをライニングという）とする炉で、酸性転炉、酸性平炉などがこれに相当する。安価で使用しやすい炉であるが、後述の

塩基性スラグは用いることができない。鉄鋼の精錬では酸性スラグを用いると脱硫、脱リンは殆どできない。脱硫、脱リンの目的には塩基性スラグを使用するが、この場合には塩基性炉であることが必要である。

塩基性酸化物とは水と反応して塩基を生じるか、酸と反応して塩を生じる金属元素の酸化物である。塩基性酸化物の代表的なものには以下のようなものがあり、これらの化学反応は以下の通りである。

CaO ：水と反応させると水酸化カルシウムを生じ、塩酸と反応させると塩化カルシウムを作る。

Na_2O ：水と反応させると水酸化ナトリウムが生じ、塩酸と反応させると塩化ナトリウムを作る。

MgO ：水と反応させると水酸化マグネシウムを作り、塩酸と反応させると塩化マグネシウムを生じる。

塩基性炉とは塩基性耐火物を主要耐火物とする炉で、前述のように塩基性スラグによる精錬が可能で、脱硫、脱リンの目的で使用される。酸性耐火物の転炉がベッセマー転炉で、塩基性耐火物の転炉をトーマス転炉という。

鉄鋳物の登録遺産候補一覧

番号	名称・材質	資料形態	所在地	製作者	製作年	選定理由
1	鋳鉄製 大砲 (片状黒鉛鋳鉄)	展示中	茂原市立美術館	増田安治郎	1844年 鋳出し銘あり	我が国最古のねずみ鋳鉄製の大砲。これまでは佐賀藩で製造された鋳鉄砲が我が国最古のものとされてきたが、それよりも早く、川口で製造された片状黒鉛鋳鉄製の大砲。本文中の図 7.1。
2	アメリカ時代の日記手帳	展示中	日立金属 鋳物記念館	鮎川義介	1907年	鋳物の重要性に気付いた鮎川は単身、アメリカにわたりアメリカの鋳物工場で修業した。修業中に鋳造技術に関して日記に記録を止め、それを基に帰国後、日立金属の前身、戸畑鋳物を節設立した。
3	鋳造シミュレーション	計算ソフト	日立製作所 日立研究所	新山英輔	1982年	世界で初めての鋳造凝固シミュレーションで、現在でも日立製作所から市販されている。世界で初めての鋳造凝固シミュレーションで鋳造欠陥発生の基準に新山の尺度 (NIYAMA criterion) が用いられていることから、世界で認められたシミュレーションであることがわかる。
4	中小坂製錬所 海鼠 (銑鉄)	展示中	下仁田町歴史民俗資料館	中小坂製錬所	1879年頃 (推定)	大日本の文字があり、中小坂製錬所が官営に移管された後に、高炉から得られた海鼠 (銑鉄)。本文中の図 3.7。
5	中小坂製錬所 鋳鉄製の火鉢 (片状黒鉛鋳鉄)	展示中	下仁田町歴史民俗資料館	中小坂製錬所	1877年 鋳出し銘あり	中小坂製錬所開所当時に鋳物工場で製造された鋳鉄製の火鉢。本文中の図 7.14。
6	戸畑鋳物 継手 (可鍛鋳鉄)	展示中	日立金属 鋳物記念館	戸畑鋳物	1912年頃	日立金属の前身、戸畑鋳物の主要製品であった継手で、表に瓢箪印が見て取れる。本文中の図 7.15。
7	クボタ G コラム (鋳鋼)	現 存	新大阪駅	クボタ	1962年	遠心鋳造で製造した鋳鋼製のパイプで、肉厚が任意に調整でき、鋼のパイプでは強度が不足する場所に用いられる。本文中の図 7.27。
8	クボタ トンネルセグメント (球状黒鉛鋳鉄)	現 存	東京営団地下鉄 新御茶ノ水駅	クボタ	1966年	地下鉄工事の現場でシールド工法が用いられる様になった。その際、特に土壌が悪い個所に、強度を付与する目的で使用された。本文中の図 7.18。
9	日立金属 耐熱鋳鋼製 エキゾースト マニホールド	展示中	日立金属 鋳物記念館	日立金属	1989年	乗用車のエネルギー効率の向上に合金鋳鉄製のターボチャージャーが用いられてきた。これには合金鋳鉄製のエキゾーストマニホールドが使われてきた。しかし、更なる効率向上にはエンジンの燃焼温度の向上が不可欠となり、鋳鉄では耐熱性が不足し、耐熱鋳鋼製のエキゾーストマニホールドが造られた。本文中の図 7.28。
10	島津の旋盤 (片状黒鉛鋳鉄)	展示中	日立金属 鋳物記念館	島津の薩摩集成館製と言われている(?)。	1869年頃 (推定)	鮎川義介が戸畑鋳物を設立した際に、島津家の好意で供与された旋盤で、戸畑鋳物で使用されていた旋盤である。我が国最古の旋盤の可能性があり、ここに掲げた。本文中の図 7.11。