

鑄鋼と日本海軍潜水艦主機用気筒の鑄造方案

坂上 茂樹

Issued	2021-10
Type	Technical Report
Textversion	Author
Rights	© 坂上茂樹. All rights reserved.

鑄鋼と日本海軍潜水艦主機用気筒の鑄造方案

Cast-Steel and Casting Methods of Cylinders for Submarine Engines of Japanese Navy

坂上茂樹

はじめに

1. Cast Steel とは
2. 鋼の溶解
3. 鑄鋼品の製作
4. 鑄鋼製気筒の製作
5. 鑄鉄製ライナの製作
6. 日本海軍における鑄物の焼鈍規格と不良発生データ
むすびにかえて

はじめに

陸軍統制いすゞ予燃焼室の開発者、伊藤正男(1911~2002)は「鑄物を制するものはエンジンを制し、エンジンを制するものは車両を制す」と揮毫し、高熱重筋労働に励む鑄物作業員たちを激励した。言うまでもなく、エンジンを制するものは車両のみならず船舶や航空機をも制することになる¹。

本稿は拙稿「戦時日本の中速・大形高速ディーゼル——艦本式、横須賀工廠機関実験部式、新潟鐵工所、三菱神戸造船所——」(大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載)を補完しようとする試みであり、日本海軍における艦本式ディーゼル機関成立以前における潜水艦主機用鑄鋼製気筒体の製造方案についてのイメージを幾分なりとも具体化させて行くための一階梯である。

従前、この方面に係わる体系的情報は乏しく、それも機械加工に力点が置かれがちであった。本稿も鑄造工程に関する限られた、しかも誤記、誤植の目立つ資料からの再構成の企てに過ぎない。なお、以下においては鑄鋼製気筒体と関連する鑄鉄製気筒ライナの鑄造に係わる技術情報についても補足的に取り上げられている²。

1. Cast Steel とは

¹ 拙著『伊藤正男——トップエンジニアと仲間たち——』日本経済評論社、1998年、参照。日本の軍事技術体系を特徴付けたアンダーパワー問題のごくごく一端については拙著『船用蒸気タービン百年の航跡——現代技術史の基本構造と日本技術のアイデンティティー——』ユニオンプレス、2002年、拙稿「三菱航空発動機技術史 第I~第III部(訂正補足版)」参照。

² 機械加工中心の発動機工作法紹介として東 彌三・三枝 定・永井 博・三木吉平『発動機工作法』共立社、内燃機関工学講座、第7巻、1936年、があり、「陸・舶・車輛用発動機」篇は神戸製鋼所技師長 永井によって執筆されている。

戦後のわが国においては cast steel, steel casting の何れについても「鑄鋼」なる訳語が当てられていた。しかし、今日では cast steel なる用語は「鑄鋼」と訳され、材料としての鋼鑄物の意味に用いられており、これに対して steel casting は「鑄鋼品」と訳され、具体的な成品せいひん、ここでは鋼(炭素含有率 0.04~1.7%)を材料とする鑄造粗形材を総称する語となっている³。

ところが、歴史的に観れば cast steel とは坩堝るつぽで調製される高品位の鋼を意味し、それゆえ坩堝鋼とも呼ばれ、かつ、それは工具鋼とも同義であった。20 世紀初頭には坩堝鋼を意味する鑄鋼の原義も廃れ、cast steel は cast iron の対概念として、ヨリ炭素含有率の低い Fe 系鑄物の類型を指し、steel casting と互換性を有する術語として用いられるようになっていた⁴。

当時、鑄鋼品としての steel casting には明確に鋼を材料とし、鍛造も圧延もされていないが特定の形状を付与された鑄塊インゴットを除く鑄物製品なる定義が与えられていた。それでも、同時代には近代ピアノを創製したアメリカの Steinway & Sons におけるように、銑鉄に鉄屑を混ぜて吹かれた、ある程度の靱性を有し機械加工にかかる鉄鑄物を Steel Casting と称するような用語法も出現した。その正体は鑄鋼ではなく鑄鉄であったが、この種の鑄鉄はセミ・スチール、強靱鑄鉄等々の歴史的呼称法を冠された末に、ねずみ鑄鉄、ないし普通鑄鉄と称されるに至っている⁵。

さて、一口に鑄鋼ないし炭素鑄鋼などと言っても、その機械的性質には改善が重ねられていたから、“鑄鋼”と呼ばれていた材料は時代によってまったく似て非なる内実を有していた。ちなみに、その引張強度と弾性限については 20 世紀の最初の 25 年間に約 50%、耐衝撃値に関してはこれをさらに上回る向上が記録されていた⁶。

1929 年時点においてアメリカ陸海軍兵器部門の規格に定められていた様々な用途向けの鑄鋼の最小引張強度は 60000~85000lbs./in.²(42.1~59.7kg/mm²)、降伏点は 28000~53000lbs./in.²(19.7~37.2kg/mm²)、標点距離 2in.での伸びは 17~22%、断面収縮率 20~30%であった。S.A.E.においては炭素鋼鑄鋼の成分規格として C : 0.30~0.40%(0.35%が望ましい)、Mn : 0.50~0.80%(0.70%が望ましい)、Si : 0.10~0.30%、P : <0.05%、S : <0.05%が定められており、A.S.T.M.規格においては鑄鋼が soft, medium, hard に 3 区分されていたが、強度ならびに成分規格は総じてアメリカ陸海軍や S.A.E.の規格と大同小異であった⁷。

後述される通り、鋼は銑鉄よりも高い鑄込み温度を必要とし、湯流れも悪いため、鑄鋼は

³ 文部省『学術用語集 機械工学編』日本機械学会、1955 年、文部省『学術用語集 機械工学編(増補版)』日本機械学会、1985 年、参照。

⁴ cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol. II, pp.34~35, Vol. IV, p.82.

⁵ 拙稿「近代ピアノ技術史における進歩と劣化の 200 年 : Vintage Steinway の世界」(大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載)、参照。

⁶ cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol. II. p.30.

⁷ cf., *ditto.*, pp.30~31.

鋳鉄や銅合金鋳物より生産性の低い、言い換えれば高価な材料となる。それでも、鋳鋼は鋳鉄やその 2 次製品である可鍛鋳鉄を上回る強度を持つ材料として当時は兵器のみならず船用主・補機(蒸気機関)においてはその気筒や蒸気室(弁室)蓋、ピストン、クロスヘッド(ガイドとスリッパ)、軸受冠、偏心内輪・外輪、揺腕、推力軸受箱・カラー、台板、ハウジング類などに、ボイラにおいても管寄せ、多岐管、ドラム鏡板、乾燥管、マンホールおよびハンドホール蓋など、さらには錨、錨吊り^{アンカーダグアウト}、錨鎖管、錨台、係船柱、引綱柱、船首柱、船尾柱、船尾管、軸ブラケット、マンホール蓋やその他船殻部品、発電機や電動機部品、砲座などにも汎用されていた⁸。

Rudolf Diesel(独: 1858~1913)が 19 世紀最末期、彼の発明になるエンジンの開発に際し、その第 1~第 2 実験系列において鋳鋼製の気筒頭一体上部気筒や気筒頭を採用したのも、かような時代背景あつてのことである⁹。

鋳鉄は 600℃程度以上に繰返し加熱されると成長(growth)と呼ばれる経年膨張現象を発現させる。これは一般にセメントタイト(Fe_3C)に含まれる炭素の黒鉛化や Fe および Si の膨張が主因と唱えられている¹⁰。

しかしながら、これより遥かに低い温度で作動した日本海軍の艦艇主機タービンの車室^{ケーシング}においても亀裂や変形の発生を見ている。このため、日本海軍艦艇主機の主力をなす艦本式タービンの車室材料は世界の大勢に倣い、次第に鋳鉄から鋳鋼へと置換えられて行った。もっとも、その先とも表現されるべき溶接構造の導入について、日本海軍の造機技術は世界の時流に乗り遅れてしまったのではあるが……¹¹。

今日、一方において機械鋳物の多くは鋼板溶接構造に置換えられており、他方においては高強度の鉄鋳物として生産性の高いダクタイル鋳鉄が汎用されるに至っている。とは言え、複雑な形状を有し大きな力を受ける大物機械部品の製造に係わる材料技術の一つとして本稿で取上げられる炭素鋳鋼はもとより、高い付加価値を有する合金鋳鋼は鍛造、圧延、溶接といった競合する工作技術を向うに回しつつ、なおその価値を失わずにいる。

2. 鋼の溶解

1) 坩堝法

鉄・炭素平衡状態図に示されるように炭素含有率が鉄より低い鋼は鉄よりも融点が高く、その溶解には相対的に高い温度を必要とする。溶鉄の温度は 1350℃程度であるが、鋳鋼用

⁸ cf., *ditto.*, p.32. 可鍛鋳鉄については谷山 巖『鐵及び鋼鑄物』修教社書院, 1935 年, 568~586 頁, 参照。執筆当時の谷山は川崎造船所製鋼工場熔鋼課長。可鍛鋳鉄については拙稿「自動車部品企業の技術形成」(中岡哲郎編『技術形成の国際比較』筑摩書房, 1990 年, 第 8 章)にて若干, 論じておいた。

⁹ Rudolf Diesel/拙訳『ディーゼルエンジンはいかにして生み出されたか』山海堂, 1993 年, 33, 40 頁, 参照。

¹⁰ 日本材料学会編『機械材料とその試験法』1975 年, 215 頁, 参照。

¹¹ 前掲拙著『船用蒸気タービン百年の航跡』225, 235~236 頁, 参照。

炭素鋼の溶融温度は 1500°C 近くであり、鑄込み時の溶鋼温度もこれを上回るようにしてやる必要がある。このため鋼の溶解には何よりも高温の炉が不可欠となる。もとより、鋼は高炉やキューポラのような炭素リッチな還元性の炉では溶解不可能である。

鋼精錬の嚆矢となった坩堝製鋼法は 1740 年、Benjamin Huntsman(英：1704~76)によって発明された。坩堝には粘土とコークス粉を主成分として焼成された粘土坩堝と黒鉛に粘土を加えて焼成された黒鉛坩堝とがあり、製鋼工場では 3 回程度しか持たぬ前者よりも 5~6 回使える後者の方がもっぱら用いられた。坩堝のサイズは各種の植木鉢程度、最大でも一抱え、装入量も数十 kg どまりであった¹²。

坩堝炉は熱源によりコークス炉、ガス炉、重油炉とに大別された。重油炉は重油のバーナ燃烧によったが、燃料費に難点があった。コークス坩堝炉(図 1 左)においては火格子の上に坩堝が載せられ、坩堝の全周囲はコークスによって充填されて自然ないし強制通風により高温燃烧が行われた。Friedrich Krupp(独：1787~1826)が興した鑄鋼工場は当初、この方式によって運営されていた。

ちなみに、高級美術陶器の一種である樂焼は黒樂窯と呼ばれる古式の木炭坩堝炉で今もなお 1 碗ずつ焼成され、燃料としては備長炭が用いられている。坩堝は内窯(さや)と呼ばれており、焼成の雰囲気は準・還元性であるそうながら、内窯は木炭粉を混ぜた粘土坩堝なのであろう。通風はふいごに依る強制通風である¹³。

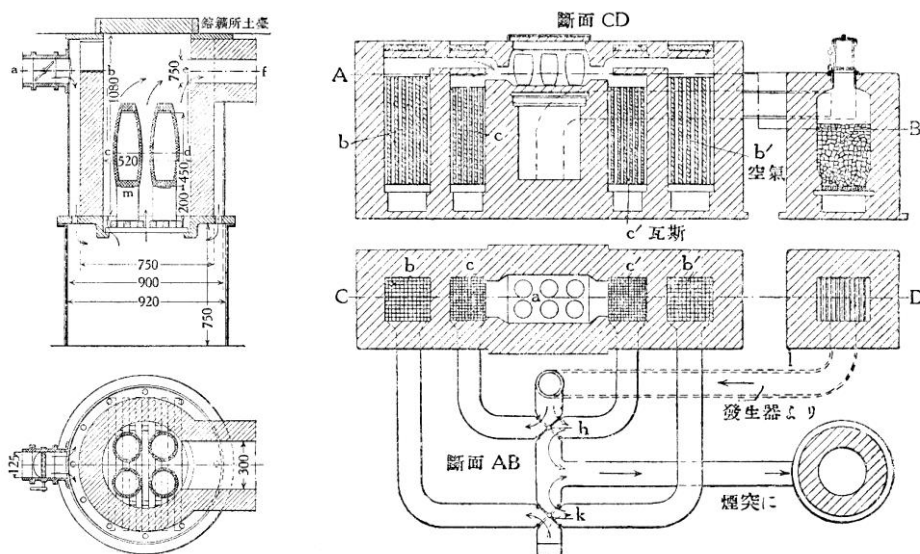
図 1 コークス坩堝炉とガス坩堝炉

¹² 坩堝製鋼法については *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol. II.*

N.Y., 1929, pp.269~274, Vol.VI, pp.66~67, 谷山『鐵及び鋼鑄物』102~109 頁, 参照。

黒鉛は炭素の同素体で、空気中では 500~600°C で発火するが融点は 3700~4000°C と高い。黒鉛坩堝の使途は後述されるような理由により'50 年代までには製鋼ないし鑄鋼用から銅合金、軽合金の溶解へとシフトし、さらには貴金属の溶解のみへと限局されて現代に至っている。栗原利政「黒鉛ルツボ」産業教育協会『図説 日本産業体系 4 化学品 薬品 窯業品』1960 年, 319~322 頁(日本坩堝 大阪工場の技術紹介), 現在の日本坩堝(株)の HP, 参照。海軍艦政本部『鑄造作業標準』94~102 頁, 石川登喜治『鑄造法』實用金屬材料講座加工編, 共立社, 1937 年, 53~56 頁は坩堝について非鉄合金溶解炉としてのみ紹介している。石川は日本鑄物協會々長・海軍造機中将として『鑄造作業標準』の巻頭に「發刊の辭」を寄せている。『鑄造法』執筆当時の石川の肩書は海軍造機中将, 工学博士とある。

¹³ さかい利晶の杜『企画展 千年の宇宙』2020 年, 参照。



谷山『鐵及び鋼鑄物』102頁，第20圖，103頁，第21圖。

ガス坩堝炉(図1右)は1862(187?)年，Carl Wilhelm Siemens(独→英：1823~83)によって発明された。その蓄熱・再生原理は巧妙かつシンプルで，片翼にガスと空気を通し，坩堝の近傍でこれを混合・燃焼せしめ，排気を他の片翼に導いて内部の耐火レンガ群に排熱を十分吸収せしめた後に両翼を入替えれば空気とガスとは予熱されてから燃焼場へと導かれる。これを繰返して行けば蓄熱・再生は次第に高温下で進行されるようになり，燃焼場の雰囲気温度は急速に高められて高位安定保持される。

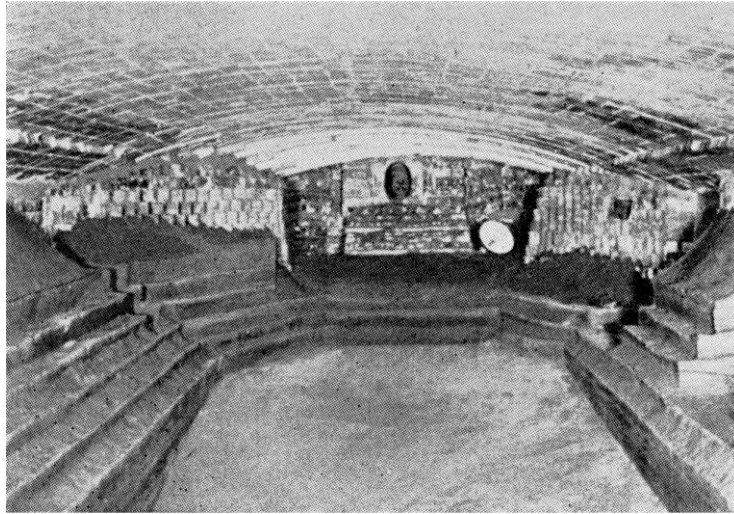
後に Krupp Furnace として知られるようになったガス溶解炉は坩堝を側面のドアから取り出す方式の蓄熱・再生炉となっていた。側面を開放可能にしておけば溶鋼の表面を外部から容易に確認できる利点があった。

2) 平炉および電気炉法

坩堝製鋼炉の操業は燃料費，人件費が高むほか黒鉛坩堝自体も高価につき，得られる鋼の性質こそ優良であったが，応分，高品質な原料を要する上，1回の出鋼量もごく僅少であった。したがって，坩堝鋼は非常に高価についた。このため，20世紀に入るとワンチャージの出鋼量数十~百数十トという遥かに大きな炉容を有する平炉(図2)や特に高い品位が求められる鋼については電気炉の発達もあり，坩堝製鋼法は一気に衰退した¹⁴。

¹⁴ 平炉製鋼法については *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol.IV. N.Y., 1929, pp.506~508, Vol.VI, 68, 谷山『鐵及び鋼鑄物』121~170頁，電気製鋼法については *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol.III. N.Y., 1929, pp.240~256, Vol.VI, pp.68~69, 海軍艦政本部『鑄造作業標準』64~81頁，谷山『鐵及び鋼鑄物』171~230頁，石川『鑄造法』59~60頁，野上熊二『一般鑄造法——鑄鋼——』岩波講座機械工学 IV 機械工作，1942年，5~8頁，参照。野上は電気製鋼研究會々長をも務めた大阪鐵工所技師。鑄鋼用小形転炉については *Machinery's Encyclopedia with 1929*

図2 塩基性平炉の炉内



高井 治「耐火れんが」産業教育協会『図説 日本産業体系 4 化学品 薬品 窯業品』308 頁, より.

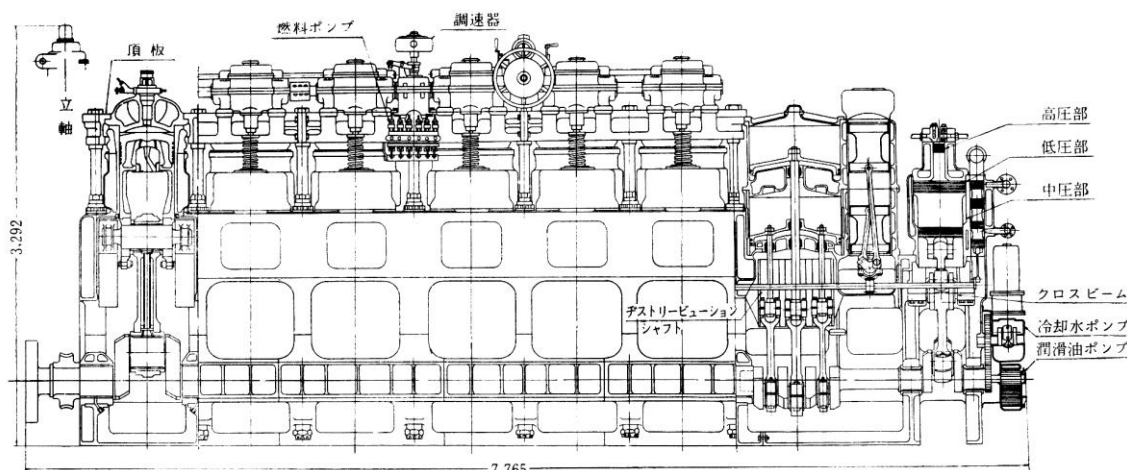
平炉の決定版であるシーメンス・マルタン平炉は 1856 年, シーメンスによって発明され, '65 年, Martin によって改良された. その蓄熱・再生による高温保持原理はシーメンス式ガス坩堝炉のそれと全く同一であった. フリードリヒの息子, Alfred(1812~87)が鑄鋼の製造規模を飛躍的に拡大させられた背景にはこのシーメンス・マルタン平炉が主力としてあった. アルフレッドは同時代に開発されていたベッセマー転炉法をも採用しているが, 酸性転炉鋼といえども品質的には平炉鋼に劣ったため, こと高品位鋼が必要とされる製品については平炉, 後にはこれに加えて電気炉鋼たるべきことが指定されていた.

日本海軍における潜水艦用ディーゼル機関の嚆矢は 1917 年に第 15 潜水艦に装備された Schneider et Cie.(仏)製“朱式”1100SHP であった. 1920 年には Fiat(伊)製“フ式”2 サイクル・ディーゼル機関(6-440×450mm, 1300SHP/360rpm.)が投入された(図 3). 気筒蓋の亀裂発生を機に海軍における鑄鋼の溶解が電気炉に切替えられたのは 1921 年頃であったと伝えられているから, この種の気筒蓋亀裂事故はかような潜水艦主機において発生していたようである. なお, 日本海軍の潜水艦主機, 平炉や電気炉そのもの, 平炉鋼と電気炉鋼, そして鑄鋼用小形転炉については旧稿にて一通り説明しておいたから, ここで繰返すまでもなからう¹⁵.

図3 “フ式”1300馬力機関

Supplement. Vol.I, p.352, Vol.VI, pp.67~68(ただし, Robert 式への言及なし), 『鑄造作業標準』81~87 頁, 『鐵及び鋼鑄物』117~119 頁, 参照.

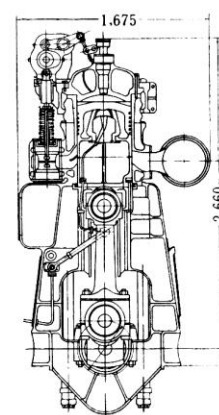
¹⁵ 頭書の拙稿および「20 世紀前半アメリカの鉄道輪軸について」(大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載) 参照.



フィアット型ディーゼル機関組立図

フィアット型ディーゼル機関要目

型	式	シリンダー 数×直径×行程 (mm) (mm)	定格出力 (HP)
呼 称	様 式		
フィアット型	SA2C	6×440×450	1,300



川崎重工業(株)『川崎重工業株式会社社史』1959年、383頁、より。

3. 鋳鋼品の製作

1) 木型の製作

pattern 即ち木型ないし模型は鋳物の原形をなす。金属——多くの場合、軽合金、活字合金、砲金——や石膏が模型の材料となる場合もあったが、金属製模型の使用はよほどの量産品か長期反復使用品、あるいは鋳物の表面に鮮明な文字や記号を鋳出さねばならぬ場合に限られるから鋳造用模型のほとんどは木材を集成して造られて来た¹⁶。

木材は不均質で異方性に富む材料であるだけに、樹種の選定と木取りや乾燥、材の組合せ法の適否は木型の品質を決定する諸要因となる。木型に多用された木材は松、杉、桧といった針葉樹で材としては軟材ソフトウッドに属し、大雑把に言えばこの順に木型材料としての品位は高くなる。また、小さく精密な木型には朴、桜、桂、楓、梨、マホガニー、チークなども用いられたが、南洋材は国内ではごく稀にしか用いられていなかった¹⁷。

¹⁶ 金属製模型については海軍艦政本部『鑄造作業標準』5頁、石川『鑄造法』29頁、参照。石膏については後述。

¹⁷ 木型用木材については谷山『鐵及び鋼鑄物』351~357頁、石川『鑄造法』13~18頁、参

木型の製作に当っては変形を防ぐため、単一材は用いず、多くの部材を柄、木ネジ、釘、ニカワなどで結合・集成する。もちろん、ニカワの中では比較的、耐水性に富むモノのみが使用され得た。

鑄枠の中に木型を据え、その回りに砂を込めることによって砂型(鑄型、主型)が造られる。造型後、木型を引き抜く際に砂型を傷つけぬよう、木型の表面は滑らかに仕上げられている必要がある。このため、木工作業の仕上がり後、表面に蜜蝋やシェラック、ニスなどを塗布し、その平滑度が高められる。塗料に顔料を添加し鑄鉄用、鑄鋼用、真鍮鑄物用などに色分けする所作も広く行われた¹⁸。

木型を砂に込めて砂型を造型し、木型を撤去した空間に溶湯を注いで冷却凝固させてから粗形材を取出すのが鑄造の基本である。このように、木型はその転写物たる砂型を製作するための道具であるから、搗き固められた砂の中からの引抜きが可能となるように木型は成品の形状に応じて複数に分割されていなければならない。かつ、木型の各部に対しては引抜きが容易な形状を付与しておくことが不可欠となる。さらに、木型の分割法は砂型の分割法とも密接に関係する。

他方、金属は冷却凝固時に収縮する。経験的に縮み代は鑄鉄では 0.8~1.1%、鑄鋼では 1.2~1.6%とされた。これは材料特性ではなく鑄込み温度の差に起因する現象である。この意味からも、木型は単に設計図を原寸で 3 次元化した立体としてではなく、金属の収縮を見込んで成品粗形材より多少大きめに製作されねばならない(延尺、伸尺[のびしゃく])¹⁹。

鑄造粗形材に機械加工で落して正しい仕上り寸法を得るための余裕として幾許かの仕上げ代(削り代)を確保しておくことは必要悪であり、大物には当然ながら大きな仕上げ代が計上されねばならない。鑄鋼品は鑄鉄よりも収縮率が大きく、各部の収縮に起因する全体としての変形(ひずみ)量も大であるだけに、大きな仕上げ代を必要とする。しかし、安易に過剰な余肉を見込み、鑄造後、機械加工によって大量の駄肉を除去して仕上り寸法を得さえすれば良しとする態度は技術的に上等とは言えぬアプローチである²⁰。

もつとも、粗形材の変形を織込み、かつその変形量自体が可及的に小となるような形状を

照。なお、日本海軍における木材乾燥技術の一端については拙稿「海軍航空本部『飛行機機體工作標準』に観る機体用木材とその乾燥技術」(大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載)にて詳しく紹介しておいた。

¹⁸ 木型の製作については海軍艦政本部『鑄造作業標準』6~8 頁、谷山『鐵及び鋼鑄物』358~367 頁、石川『鑄造法』27~35 頁、参照。 *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol.VI. pp.69~70* には模型の製作から造型までの工程が要領よく記述されている。

¹⁹ 縮み代については谷山『鐵及び鋼鑄物』357 頁、第 304 表、石川『鑄造法』22 頁、参照。ちなみに、線膨張係数自体は鑄鉄も鋼もほぼ等しく、鑄鉄の中には鋼より大きなそれを示すものさえある。馬場秋次郎編『機械工学必携』第 7 版、三省堂、1986 年、806 頁、表 1-3、参照。

²⁰ 仕上げ代については海軍艦政本部編纂『鑄造作業標準』日本鑄物協會、1932 年、3~4 頁、谷山『鐵及び鋼鑄物』358 頁、石川『鑄造法』24 頁、参照。

これに付与するためには本来、鑄造技術者だけではなく、製品設計、即ち開発技術者の協力が不可欠とされる場所である。

2) 鑄物砂と砂型の造型

砂は多くの場合、花崗岩などの風化によって生じたもので、その耐火性を規定する珪砂(銀砂: SiO₂含有率 85%以上)を主成分としている。これに Al₂O₃ が混じれば粘土が形成され、その粘結性が増すので鑄物砂として好適となる。この時、粘結剤として用いられるのは通常、若干の水である。Na や K は融点が低く、鑄物の表面に砂をべつつかせるので有害であるから川砂や海砂は洗浄後でなければ鑄物砂としては不適である。山砂は洗浄なしで用いられ得るが、天然砂は通常、異物を除去したりサンドミルで粒度をそろえたり調合したりしてから使用される。

鑄鋼用の鑄物砂は鑄鉄用のそれよりも高い温度に耐えねばならないから高い焼結点、軟化点が求められる。そこでは粘結材としての粘土の含有率は抑えられ、粘結剤としての水分も控えられねばならない。また、溶鋼を砂型に鑄込めば高温により可燃性ガスを発生する化学反応が惹起されるため、鑄鋼用鑄物砂には耐火性、粘結性のみならず高い通気度が求められる。一般的に、砂の粒度が大であるほど通気度は高くなる(表 1)²¹。

表 1 鑄鉄用鑄物砂と鑄鋼用鑄物砂に求められる諸性質

	通気度(A.F.A.)	焼結点 °C	軟化点 °C
鑄鉄生型用砂	30	1070	1450
鑄鉄乾燥型大物用	250	1080	1550
鑄鉄乾燥型中物用	100	1060	1500
鑄鉄乾燥型小物用	50	1060	1450

	通気度	焼結点 °C	軟化点 °C
鑄鋼乾燥型用砂大物用	1500	1180	1690
“ “ “ 中物用	1000	1180	1680
“ “ “ 小物用	600	1180	1680

石川『鑄造法』111頁, 113頁, より。

A.F.A.は American Foundrymen's Association 法²²。

それでいて溶鋼が冷めぬよう鑄込み速度も高くせねばならぬから鑄鋼用砂型はその強度も大とする必要がある。しかも、上述の通り、鑄鋼は鑄込み温度が高いためその縮み代が大

²¹ 通気度の試験法について略述することは避けるが、数値は単位時間内にある断面積と厚さに成形された砂の層を通過する空気量 cc に比例する。日本鑄物協會『鑄物便覧』丸善、1952年、66、385~388頁、参照。

²² 谷山『鐵及び鋼鑄物』382~383頁、参照。

大きく、鑄鋼用砂型には可縮性まで要求される。強度と可縮性とは砂の構造からすれば本来、相反する性質であるから妥協点を見出すことが困難であり、崩落しやすい上型や高温の湯に囲まれる中子(後述)には補強材としての心金(軟鋼製針金。時に鑄鉄製基板付きや鑄鉄品)が用いられることを常套とする²³。

それやこれやで表 2 に総括されている通り、型場(造型ショップ)だけの、運搬その他雑工事を含む生産性を観ても、鑄鋼は鑄鉄や銅合金鑄物に比して労働生産性が極めて低く、1人当り工場床面積で表された資本装備率は大きく、総じて資本集約的と形容され得る生産技術から生み出される機械材料となっていた。

表 2 鑄物の型場における 1 人当り年産高(t)と床面積(坪)

材 質	1人當年 産額(A)	1人當 坪数(B)	A/B
鑄 鐵 品	13t	5.8	2.25 t
銅 合 金	10t	3.0	3.33 t
鑄 鋼	5t	7.5	0.67 t

石川『鑄造法』36頁，第8表。

鑄物の外形を規定する砂型，即ち鑄型ないし主型の造型は型枠(鑄枠)の中に木型を安置し，その周囲を砂で満たして固める所作を指すが，経済性を勘案して木型に接する 30mm 程度の厚さにだけ上記のごとき高機能な砂を用いることが多い。これを肌砂と呼び，その外側に安価な押え土，さらにその周囲を普通の床砂で充填し，人力や機械力を以て搗き固める。押え土と床砂とを兼ね合わせたモノが裏砂(込め砂，馬鹿砂)として用いられる場合もある²⁴。

こうして出来上がった主型や中子，湯口系をそのまま用いて鑄込みを行う場合，この型は生型と呼ばれる。航空発動機用軽合金鑄物には乾燥による変形を嫌って均一な砂で造られる生型が常用された。しかし，後には油を粘結剤とする油砂を 200℃強の低温で焼いた乾燥型(焼き型)や油中子を用いる所作が一般的となる。

これに対して，鑄鋼はもとより高品質の鑄鉄品の鑄込みには上の方法によって成形された主型や中子を乾燥炉や中子炉内で 400℃前後に加熱乾燥させ，粘結剤としての水分を飛ばした乾燥型が専用される²⁵。

²³ 鑄物砂については海軍艦政本部『鑄造作業標準』105~111頁，谷山『鐵及び鋼鑄物』367~399頁，石川『鑄造法』94~114頁，野上『一般鑄造法——鑄鋼——』21~22頁，参照。心金一般については『鑄造作業標準』120~121頁，『鐵及び鋼鑄物』433頁，『鑄造法』126~127頁，参照。

造型法については *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol.IV* pp.411~422，海軍艦政本部『鑄造作業標準』112~136頁，谷山『鐵及び鋼鑄物』404~431頁，石川『鑄造法』68~73，115~128頁，参照。

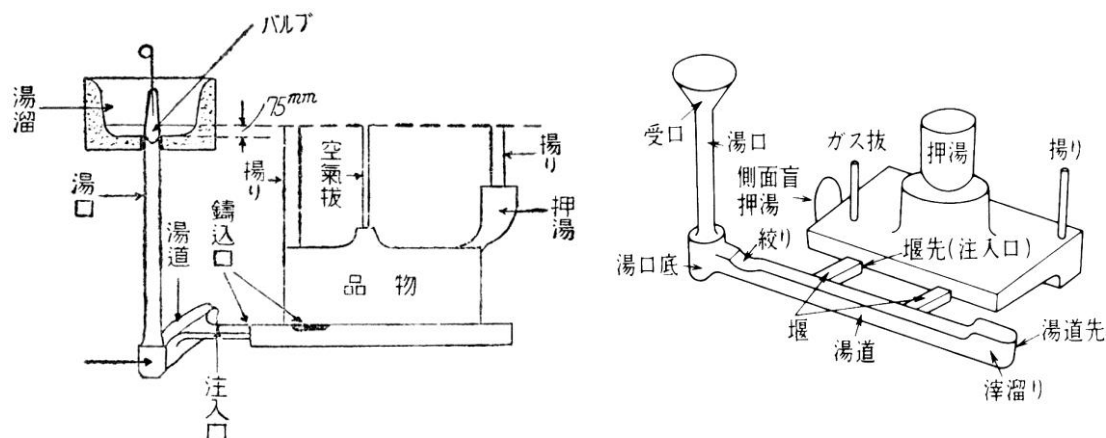
²⁴ 造型機を用いた生型の高圧造型なら生産性にも型強度的にも優れ，砂の反復使用も容易であるが，よほどの量産規模でなければ引合わぬ上，砂の使い分けもできない。

²⁵ 鑄型乾燥については海軍艦政本部『鑄造作業標準』124~126頁，谷山『鐵及び鋼鑄物』

木型が引き抜かれた砂型の内面には表面を平滑にし、型バラシを容易にするために一種の離型剤が処方され、型は塗型^{とがた}となる。鑄鋼用砂型には SiO₂ の粉末を糖蜜ないし粘土水で、時にニカワで混練した液体、特殊な場合にはコールタールを混ぜたモノやボーキサイト粉その他耐火物粉末を糖蜜で混練した液が塗布される²⁶。

鑄型には溶湯を受容れ完成粗形材となるべき空間だけでなく、その内部に溶湯を導くための通路や「ガス(空気)抜き」、溶湯の充填を確認するための「揚り」などがそれぞれ複数、設定されねばならない。これらを合せて湯口系と総称する。図 4 左における上部水平破線より下は件の 2 ないし 3 層構造を有する砂の中であり、湯口ほかはその内部に穿たれた空間である。そして、全体は型枠によって囲まれている。

図 4 湯口系の概念



左：石川『鑄造法』129頁，第94圖²⁷。

右：日本鑄物協会編『図解 鑄物用語辞典』日刊工業新聞社，1988年，258頁，より²⁸。

湯溜り(堰鉢)は取鍋から注がれた溶湯をバルブ(湯止め棒)で一旦せき止め、スラグなどの不純物を浮かせて純良な湯のみを湯口に送るためのシカケである。豎の溶湯流路を意味す

440~452頁，石川『鑄造法』60~65頁，野上『一般鑄造法——鑄鋼——』24~25頁，参照。

なお、鑄鋼品のみならず軽合金や鉄鑄物の鑄造に深く係わる技術となる油砂の使用は主型ではなく油中子を端緒として1920年代に始まっていた。cf., *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol. II pp.209~210. 『鑄造作業標準』では110~111, 120, 170~171頁に油中子についての言及が見られ、『鑄造法』110頁においては「これが充分研究されると誠に便利のもの」とのコメント付きで簡単に紹介されている。

²⁶ 谷山『鐵及び鋼鑄物』440頁，石川『鑄造法』114頁，参照。

²⁷ 左下の矢印に付されるべきは「湯口底」であろうが，本図を引用した日本鑄物協会『鑄物便覧』1952年版，149頁，第5・4図では単に「湯道」と記入されている。

²⁸ 盲押湯とはその上面が型表面に露出しない押湯。熔融状態が長続きするため，効果的である。

る湯口の先には湯口底とともに絞りが設けられ、流れの安定化が図られる。水平流路を湯道と呼ぶ。注入口ないし堰は通常、複数設けられ、鑄込口を堰先と呼ぶこともある。湯道の先端に流れの衝撃を緩和しスラグなどを捕捉するための空所である湯道先が設けられることもある²⁹。

押湯は溶湯が空間内をすきまなく充填した後、冷却に連れてその体積が収縮して行くのを補うためのリザーブをなすと同時に、溶湯に追加の圧力を印加するための重石となる。その所要容積を導く経験式も存在しはしたが、押湯の配置や容積は実地経験を通じて割り出されることを常とした。

鑄物の内部に中空部を生成するためには中子(心型, 中型)が用いられる。中子は主型と同様に成形されるが、その表面積のほとんどが高温の湯で囲まれるため化学反応によるガスを発生させやすく、しかも主型とは違って有効なガス抜きを設定し難い。そこで、中子自体の通気性を増すため中子砂にはオガ屑や寸涉(葉, 紙, 繊維類)が混ぜられる。これらの有機物は型乾燥の過程で燃焼し、ガス道となるべき空間を残す。心金にも同じ目的で蠟糸が巻き付けられる。

さらに、ガスが溶湯の側に出ぬよう中心部をガス抜きとして作用させるため、鑄鋼用中子の芯部にはコークスや石炭殻が充填される。砂型内部に中子を正しくセットするため、中子に設けられた張出し部を幅木と称するが、幅木の芯部もまたガス通路としての機能を担わされており、そこに鑄鉄管が埋め込まれることもある³⁰。

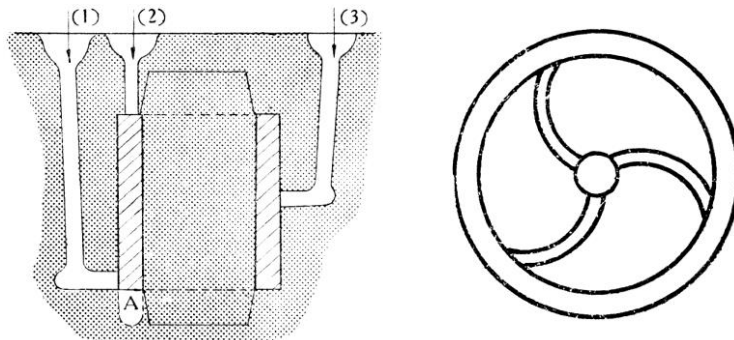
図 5 左の模式図のように、比較的背の高い鑄物を豎位置で吹く場合、湯道は段堰と称して上下 2 段に設定されることが普通である。厚肉円筒と思しき鑄物の中心部に立っているのが中子であり、その上下に幅木が見えている。

かかる砂型において湯口を(2)のごとく設定すると湯流れは A 部に激突して型を損傷し、砂食い(砂が成品に噛み込まれる現象)発生を怖れなしとしない。このため、(1)のように湯口を立て、湯口底を確保する。(3)は型の内部空間が余すところなく充填されるように設けられた補助的な湯口である。

図 5 湯口の配置と接線状の分岐湯道

²⁹ 用語の一部は日本鑄物協会編『図解 鑄物用語辞典』に拠る。

³⁰ 管材の埋設について、海軍艦政本部『鑄造作業標準』123 頁には「鑄管等を埋めて其連絡を計るべきなり」とある。中子一般については *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol. II, pp.208~213*, 谷山『鐵及び鋼鑄物』431~436 頁, 石川『鑄造法』118~120, 125~127 頁, 参照。その浮上りを防ぐため、幅木のほかに型持と称する金具で中子が補強支持されることもあった。『鑄造法』119~120 頁, 参照。



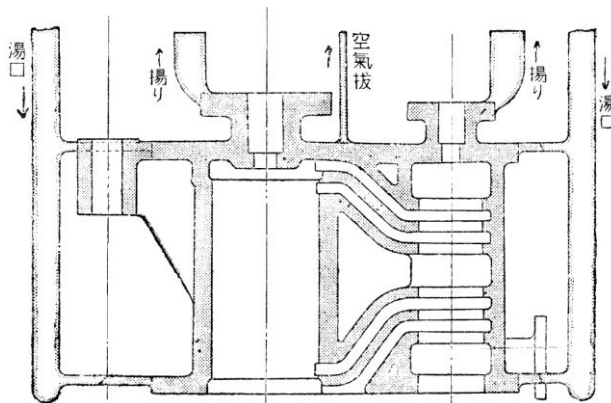
谷山『鐵及び鋼鑄物』425頁，第266圖，第267圖。

図5 右は円筒状の大きなワークを吹く時に常用される接線状の分岐湯道の平面見取り図で，中心の円が湯口である。

湯口方案，即ち湯口系の計画および段取りは鑄物の良否や生産性を左右する重要事項であり，かつ，極めて経験的な技術の集積である．ここを切り詰めれば鑄鋼品の製造コストを安直に低減させることができる．しかしながら，成品粗形材の品質には必ず劣化が招来される．戦時下のわが国において，正しい鑄造方案の標準化が急務とされた所以である³¹。

図6 は代表的な直動式蒸気ポンプであるウォーシントン・ポンプ気筒の湯口方案の要部を示す．これは鑄鉄粗形材であるが，中央付近に立つ空気抜は小なりといえども蒸気ポート付近にガスが滞留し，鑄物に欠陥が生ずるのを防ぐ重要な機能を担っている。

図6 ウォーシントン・ポンプ気筒の湯口方案要部

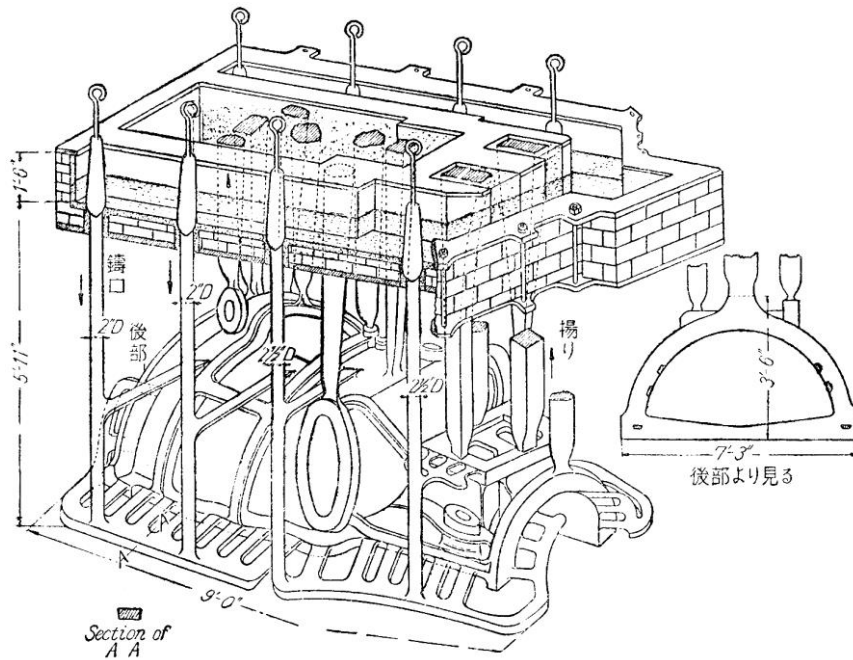


石川『鑄造法』141頁，第112圖。

図7 は船用蒸気タービン高圧気筒^{ケーシング}の車室上半部を鑄造するに当っての湯口方案を示す．ワークの稜線上から立上っているのは揚り兼ガス抜きである．湯溜りの形状は独特である．この粗形材も時代的に観れば鑄鉄であったろうが，やがて鑄鋼化されることになる。

³¹ 野上『一般鑄造法——鑄鋼——』9~10頁，参照。

図7 船用蒸気タービン高圧気筒車室鑄造における湯口方案



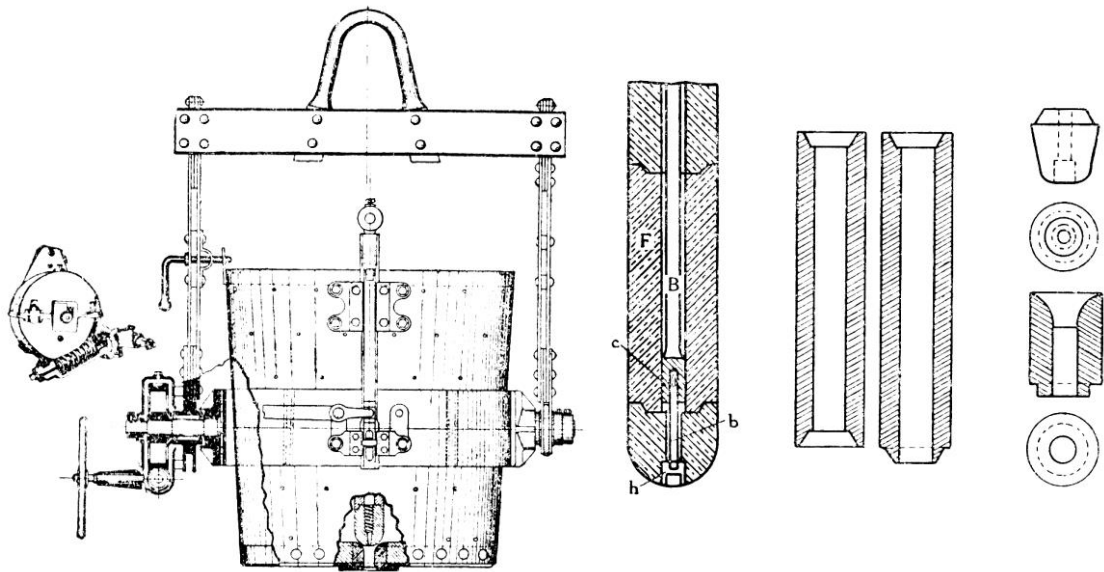
同上書，143頁，第119圖³²。

3) 鑄鋼用の取鍋

溶鋼の表面酸化を防ぐための被膜をなす表面鋳滓が失われぬよう，そして鋳滓のワークへの流入を阻止するため，鑄鋼の鑄込みにおいては取鍋からの傾注は行われず，底に一種の弁である油止棒(図8右の左)を有する鑄鋼用取鍋(同左)が用いられる．Fは煉瓦管，hは栓頭煉瓦で，その取付ボルトbの座ぐり穴や煉瓦の継目には耐火物が充填され，心鉄BとFとのすきまには砂が堅く充填される．cはボルトの心鉄Bからの脱落を防ぐためのコッタである．

図8 鑄鋼用取鍋と湯止棒(左の中央，右の左)，栓頭煉瓦(右の右上)，湯口煉瓦(右の右下)

³² 石川『鑄造法』132頁，第95圖も参照。



谷山『鐵及び鋼鑄物』455頁，第314圖，456頁，第316，317圖。

溶解炉から溶鋼を受け取る前に取鍋は加熱された。日本海軍の標準によれば，取鍋はコークスにより最低，600℃以上に加熱されるべき旨，定められていた³³。

4) 鑄込み

鑄込みにおける要件の最たるものはその温度である。溶湯の鑄込み温度は後述されるような鑄造欠陥防止の観点から管理されねばならない。即ち，冷却を緩徐化・均等化し，亀裂や引け巣，ガスによる気泡の発生を抑え，結晶粒度の粗大化を避けるには鑄込み温度は可能な限り低く設定されるべきである。しかし，それが低きに過ぎれば流動不良による巣を生じ，スラッグの浮上りも悪くなって内部欠陥や鑄肌の不良が惹起される³⁴。

1932年頃の日本海軍において標準として掲げられていた鑄込み時間および鑄込み温度は表3の通りであった。鑄込み温度は低過ぎるにしか観えない。その一因は測定技術が稚拙であったことにもあろうが，その要因はともかく，1450℃では鋼がやっと溶解する程度の温度である。

表3 日本海軍における鑄込み時間および鑄込み温度標準

鑄込み重量	鑄込みに要する時間	材 質	鑄込み温度 °C
≤100kg	5~10秒	鑄 鋼	1450

³³ 海軍艦政本部『鑄造作業標準』130頁，参照。

³⁴ 鑄込みについては *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol.VI. p.70, 谷山『鐵及び鋼鑄物』453~473頁，，石川『鑄造法』129~147頁，野上『一般鑄造法——鑄鋼——』の全体，参照。

≦1000kg	10~20 秒	鑄 鉄	1300
≦4000kg	25~35 秒	青 銅 鑄 物	1180
≧4000kg	35~60 秒	マンガン青銅	980
堰の断面積 / 湯桿の断面積 *	2.5~3.5	シルジン青銅	980
鑄 型 の 温 度	40~60℃	軽 合 金	680

海軍艦政本部『鑄造作業標準』130~131 頁，より³⁵。

湯桿は堰の古称ゆえ原表記は意味をなさぬ。^{堰の断面積 / 湯道の断面積}の謂いであろう。

表 4 は谷山が自ら「酸性平爐，鹽基性平爐及び鹽基性電氣爐にて製造した炭素 0.2%を含む普通鋼の出鋼及び鑄造温度等を測定した結果」である。普通鋼の鑄造温度は当然ながら海軍艦政本部『鑄造作業標準』に掲げられていた 1450℃よりずっと高く，1510℃あたりが最適と示されている。多数の小さな型に注入する際には大きな型に注入する時よりも若干高い鑄込み温度となるような温度管理がなされねばならない。そして，炉からの出鋼温度は取鍋での温度降下 90~100℃を見込んで応分，高めに設定される必要があった。

表 4 0.2%炭素鋼の出鋼ならびに鑄込み温度

爐 の 種 類	出 鋼 温 度 (°C)	出 鋼 か ら 鑄 造 始 め迄		鑄 造 温 度 (°C)			鑄 造 時 間	ノ ズ ル の 径 (mm)	鑄 型 の 数
		落 差 (°C)	時 間	始	10分後	終			
酸 性 10 吨 平 爐	1,608	82	3分0秒	1,520	1,510	1,496	21分0秒	40	40
	1,606	88	3 0	1,518	1,510	1,500	18 0	50	35
	1,606	90	3 5	1,516	1,504	1,497	15 0	60	30
	1,607	92	3 20	1,515	1,501	1,496	13 0	60	28
鹽 基 性 25 吨 平 爐	1,618	109	6 0	1,509	1,504	1,500	18 0	50×2	2
	1,625	100	6 30	1,525	1,515	1,500	28 0	50	47
	1,611	106	8 0	1,505	—	1,499	10 0	60×2	1
鹽 基 性 3 噸 電 氣 爐	1,614	102	5 0	1,512	—	1,508	5 0	50	12
	1,616	93	3 0	1,523	—	1,505	12 0	40	25
	1,611	101	6 0	1,510	—	1,500	5 0	50	12

谷山『鐵及び鋼鑄物』461 頁，第 362 表。

また，谷山によれば，炭素含有率を異にする各種普通鋼における出鋼および鑄込み温度は表 5 の通りであった。

表 5 炭素含有率別の出鋼および鑄込み温度

³⁵ 日本鑄物協會『鑄物便覽』1952 年版，160 頁，第 5・3 表，第 5・4 表の値はほぼ，これに等しい。

炭素量(%)	出鋼温度(°C)	鑄造温度(°C)
0.1 内外	1,610 乃至 1,630	1,510 乃至 1,530
0.2 "	1,600 " 1,620	1,500 " 1,520
0.3 "	1,590 " 1,610	1,490 " 1,510
0.4 "	1,580 " 1,600	1,480 " 1,500
0.5 "	1,570 " 1,590	1,470 " 1,490

谷山『鐵及び鋼鑄物』461頁，第363表。

鑄込み温度の測定にはいくつかの方途が実用されていた。最も正確な測定法は高温計パイロメータの使用である。この内、Serer's cone(ゼーゲル三角錐)は物質の溶解・変形を利用する炉内温度測定法であり、融点を異にする三角錐を並べ、それらの変化を観察して温度を測定するもので、主として炉内温度測定に用いられた。Le Chatelier's pyrometer は熱電対を用いる高温計である。Optical pyrometer は高温物体の表面温度を遠隔測定する機器の総称で、溶湯温度の測定にはこれが用いられた。Leeds and Northlop 式や Wanner 式は高温物体からの放射光とタングステン電球の光とを同調させた際の電流値から高温物体の温度を推定する測定器であった。Radiation pyrometer は凹面鏡で輻射熱を熱電対に集め、その起電力から高温物体の温度を推定する装置であった³⁶。

また、製造現場ではこれらとはまったく異なる手法が活用されていた。杓を用いる方法では口径 75φ、高さ 50mm の円錐状の杓に溶鋼を汲み、表面の鉍滓を取り除いてから再び不純物の皮膜を生ずるまでの時間によってその温度が推定された。これは清浄度の高い酸性炉にのみ適用可能な推定法であった。時間がかかるほど溶鋼温度は高いことになる。また、直径 120φ、深さ 60mm の半球状の杓を用い、掬ってから 10 秒程度静置した後、溶鋼を捨て、杓に付着した鋼の厚さからその温度を推定する方法も採られていた。僅かに鋼が付着する程度であれば、出鋼温度は 1610°C 程度と推定された。電気炉においては鋼棒の端を 60° 程度の角度で湯槽に突込み、5 秒間、弧状に前後 5 回静かに動かし、棒の先が僅かに溶ければ 1610°C 程度、先が溶け去れば約 1620°C と判定された。さらなる高温の測定には動かす回数を減らす対応がなされ、4 回動かして少し溶解すれば約 1630°C、まったく溶け去れば約 1640°C と推定された。

もともと、谷山によれば、「然し、熟練な技術者は熔銑はもとより熔鋼にても其の湯面を見て温度を判定し、而して適当な時に鑄造してゐる。實際此の肉眼的測定が最も確實な様に思はれる」という熟練技能依存状況が作業現場においては演じられていた³⁷。

³⁶ 谷山『鐵及び鋼鑄物』617~621頁，参照。なお、灰の融点を求めるのにゼーゲル三角錐様のモノを作り、その熱変形を観測する測定法があった。これについては拙稿「本邦自動車用代用燃料技術史の基本構造」(大阪市立大学学術機関リポジトリ登録)，参照。

³⁷ 谷山『鐵及び鋼鑄物』461~462頁，参照。

4) 鑄造欠陥とその防止・対処法

鑄造には溶湯が隅々まで行き渡らなかつたり、材質が不均一となっていたり、型の損傷を反映したりすることによる欠陥が伴いがちである。とりわけ、未燃焼ガスの型内部での滞留は予期せぬ爆発事故を招来しがちであるがゆえに、鑄込みとともにガス抜きから立ち上がって来る可燃性ガスには速やかに点火がなされねばならない。

粗形材の欠陥の態様はその表面に現れているもの、比較的浅いところに在って機械加工により露見するもの、鑄物の深部にあって破壊が生じない限りその姿を現さないものなど多種多様である。鑄込み温度が高く、かつ溶湯の粘度が高い鑄鋼においては鑄鉄に比して様々な欠陥が招来されがちである³⁸。

溶湯には空気中のガスを吸収し、凝固時にこれを放出する性質がある。しかし、凝固のタイミングによっては凝固した鑄物表面に妨げられてガスが放出されず、気泡として内部に残留することになる。これを気孔、“吹かれ”などと呼ぶ。その発生を抑えるには溶鋼の脱酸、鑄込みの静穏化、押湯やガス抜きの最適化、砂型の乾燥度向上と通気性確保などが不可欠となる。

溶湯の凝固・収縮は湯口、押湯、揚りの湯面低下を伴うが、鑄物の表面にまで及んだそれは引け巢ないし巢と称される。また、鑄物の内部に閉塞されたそれが特に鬆と呼ばれることもあった。鋼は鑄鉄に比して、それも C 含有率が低いほど巢の類を発生させる傾向を顕現させるから、湯口や押湯、揚りなどの湯面レベルは十分に高く設定しておかれる必要がある。

以上のような在姿で、あるいは切削によって発覚する目視可能な欠陥とは別に、鑄物には設計由来の肉厚不均等や形状特性に伴う冷却・収縮速度の差に起因する内部応力が作用しがちであり、これがごく短い時間経過の後に亀裂や変形となって現れる場合がある³⁹。

その対策としては、あらかじめ肉厚の急変が排除されるように品物の設計形状を工夫しておくこと、鑄込みに当って大量ないし多数の押湯を配すること、厚肉部に熱を奪うための冷し金を配すること、鑄物にリブを入れておくこと、などが挙げられる。冷し金には溶湯の内部に突き出されたそれ(鑄ぐるみ冷し金、アンコ)と溶湯の表面に触れるそれ(外的冷し金、当て金)とがある。冷し金表面の錆は溶湯に触れてガスを発するため、鑄落しの後、Al 被覆を施されたそれは改良冷し金と称された⁴⁰。

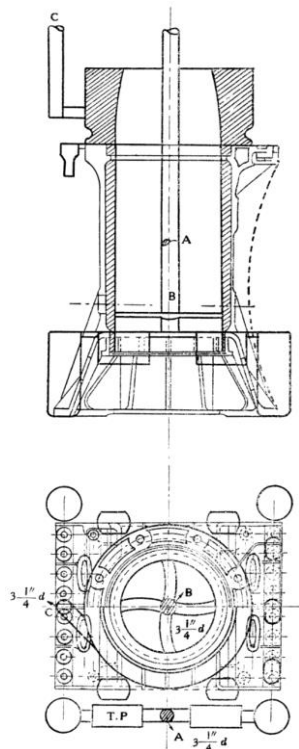
³⁸ 鑄造欠陥については *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement. Vol.VI. pp.72~73*, 谷山『鐵及び鋼鑄物』463~473 頁, 参照。

³⁹ 谷山『鐵及び鋼鑄物』465~466 頁, 石川『鑄造法』24~26 頁, 野上『一般鑄造法——鑄鋼——』18~19 頁, 参照。谷山は車輪スポーク部の収縮速度がリム部のそれより大きいことに起因する応力発生回避策としてスポーク部を湾曲させ、リムおよびハブとの接合部にフレットを付す案について述べているが、本格的な鉄道輪心におけるその適用例について筆者は寡聞にして承知していない。谷山が掲げる機関車動輪々心の鑄造状況に関する図(428 頁, 第 275 圖)にも左様なアイデアは体现されていない。鐵道省~国鉄の機関車用輪心^{ホイール}における経年変形の実態については拙稿「本邦鉄道車両用タイヤ技術史」(『ツールエンジニア』誌に掲載後, 大阪市立大学学術機関リポジトリ掲載予定)図 4-21 のあたりをご参照頂きたい。

⁴⁰ 冷し金については海軍艦政本部『鑄造作業標準』121~122 頁, 谷山『鐵及び鋼鑄物』

リブの付与例を示す図 9 は「鋼鑄物中に相当困難なものとしてされてあるディーゼル機関用シリンダーの鑄型の製作に関する」もので、川崎造船所にゆかりの画像らしい。Aは補助湯口で最下段に開口している。Bはメイン湯口で、その高さの決定が鑄造の成否を分かつ。A、B はいずれも接線状分岐湯道である。ハッチングされた処は型バラシ後に切断ないし切削除去される部分であり、最上部の厚肉円筒部は押湯である。注湯は初めAから、続いてBから実施され、最後に湯口Cから押湯が行われる⁴¹。

図 9 ディーゼル機関用気筒の鑄型製作要領



谷山 巖『鐵及び鋼鑄物』468頁，第330圖。

T.Pは tail print(落し幅木)の謂いか？⁴²

図 9 縦断面の右側に描かれている大きく湾曲した破線はフランジ下およびスカート拡大部に生じがちな亀裂を防止するため、「上から下まで全體に」設置される長いリブであり、これも鑄造完了後、除去される。「某工場に於て始め此のリブを節約して其の局部だけにつけたら、其の先端の所に亀裂を生じて(ことごと)く失敗に歸した例がある」とのことである。

なお、押湯は下部にも付されることがある。図 10 はその要領を示す例で、はじめは下段

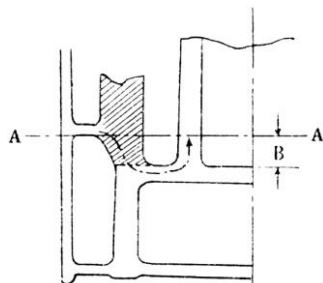
466~467 頁，参照。

⁴¹ 本図がいかなるディーゼル機関に係わるものであるのかについての詮索は後刻，行うことにする。

⁴² 落し幅木とは木型の引抜きを可能にするため型分割面まで伸ばした幅木。

の第1堰からA-Aまで充湯が進行し、次いで中段の第2堰から注湯が継続する配置となっている。斜線部が押湯である(盲押湯であるか否かについては不明)。

図10 段堰と下部への押湯配置例



野上『一般鑄造法——鑄鋼——』23頁，第10圖。

溶鋼が急速に凝固する際にPやSiの含有率が高いと樹枝状組織と呼ばれるFeの結晶化が進みやすく、SとCuも若干ながらそのような効果を発揮する。樹枝状組織の発達には材料の機械的性質を劣化させる。樹枝状組織の生成が疑われる鑄鋼品はこの組織を消去するため1100~1300℃にて3~4時間、焼鈍される⁴³。

溶鋼の冷却が極端に緩徐である場合にはその外周部にある深さまで柱状組織と呼ばれるFeの結晶構造が現れがちである。この表面組織を体現する鑄鋼品の角は亀裂を生じやすい。鑄鋼品の角にはあらかじめ丸みを付与しておくべきであるが、柱状結晶組織生成の疑いのある鑄鋼品についても焼鈍が施される。ただし、柱状組織の深さが仕上げ代の範囲内であれば問題は生じない。

溶湯にはC、Si、Mn、P、SといったFeよりも低い凝固点を有する成分が含まれる。それらのFeが凝固する際には未だ熔融状態にある不純物の内、C、S、Pの化合物にはより高温である内部へと追いやられ、分離凝集する傾向がある。これを不純物の偏析と称し、Cが偏析した部分は硬度の増したハードスポットとなって切削にかかりづらくなる。硫化物の帯状偏析はゴーストラインと呼ばれ、材料を著しく脆化させる。とりわけ、ゴーストラインがワーク段付き部の入り隅に位置した場合は致命的欠陥となる。戦艦長門の主機製作時、当時のわが国としては先進的であった翼車一体型車軸の自由鍛造粗形材の一つを呉工廠で切削中、コーナーゴーストのためワークが自重に耐えられず折損、落下した一件は今も語り草となっている⁴⁴。

鋼は凝固点が高いから偏析の影響は鑄鉄よりも鋼塊や鑄鋼において著しい。偏析の防止には精錬過程においてはPとSの排除と高温化、脱酸の徹底が有効となる。脱酸してやれ

⁴³ 鑄鋼の焼鈍については *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol.VI. pp.70~71, 海軍艦政本部『鑄造作業標準』137~139頁, 谷山『鐵及び鋼鑄物』519~520頁, 石川『鑄造法』187~188頁, 野上『一般鑄造法——鑄鋼——』25~27頁, 参照。

⁴⁴ 拙著『船用蒸気タービン百年の航跡』ユニオンプレス, 2002年, 140, 156頁, 参照。

ば溶湯内部でのガスの生成は抑えられ、湯が沈静化するため不純物は浮上りやすくなる。造塊の際なら不純物は上部の収縮孔付近に集まるから、この部分を押湯として充分大きくしておき、造塊後、切除すればよい。

鑄造に際しては取鍋での脱酸、溶湯温度を不都合のない限りにおいて降下させること、急速な注湯ならびに冷却、あるいは大容量の押湯を設け、その近傍において溶融状態を長引かせつつ押湯内へと不純物を導いて偏析させるといった方途が有効である⁴⁵。

粗形材の薄肉化は冷却速度向上には望ましいが、薄肉化そのものは急速注湯には不利な要素であり、仕損じの原因ともなりやすい。型を厚くすることや溶鋼と同一成分の冷し金の挿入は冷却速度向上に役立つ。

なお、鑄物の最小肉厚について石川は：

鑄物の肉厚は特別のものは極く薄きものも出来るが、普通物としては餘り困難なく出来る寸法を設計者が豫め知つて置く必要がある。

と述べ、「製造の困難でない最小肉厚の標準として適當の」数値例を掲げている(表6)。

表6 鑄物の最小肉厚標準(mm)

材質別	形状別 大小別	簡單のもの			普通のもの			複雑のもの		
		小型	中型	大型	小型	中型	大型	小型	中型	大型
鑄鋼		5	6	8	6	8	9	6	8	10
普通鑄鐵		4	6	7	5	6	8	5	8	10
特種鑄鐵		4	6	8	5	7	9	5	8	10
青銅		3	5	7	3	6	8	5	6	8
輕合金		2	5	8	2	5	8	4	6	8

石川『鑄造法』26頁、第7表。

何十年経っても石川の箴言が余り活かされていない局面に遭遇することがあるのは残念と言うしかない。

6) 鑄鋼品の完成

鑄込み後、型バラシまでの放置(冷却)時間については海軍艦政本部『鑄造作業標準』に表7のような数字が掲げられている。

⁴⁵ 海軍艦政本部『鑄造作業標準』114頁に「特に大なる押湯を付け【る】べき場合に押湯の部分の鑄型用材料に多量の木炭其他保温劑を混じて熱傳導を小ならしむるか或は凝固し終る迄ズンベを行へば押湯を著しく小さくすることを得」とある。「ズンベ」とは保温材を巻き付ける所作のようである。理屈はその通りであるが実施例については掲げられていない。なお、日本鑄物協會『鑄物便覽』1952年版は149~150頁あたりに関しても『鑄造作業標準』の引写しで、「ズンベ」もそのまま登場しているが、これについての解説を欠くこともまたタネ本と同じである。

表 7 鑄込みから型バラシまでの放置時間

鑄物の大きさ	型内に放置する時間
小物(100Kg 以内)の場合	3 乃至 10 時間
中物の場合(1,000Kg 以内)	24 時間
大物の場合(1,000Kg 以上)	48 時間

海軍艦政本部『鑄造作業標準』131 頁，より．

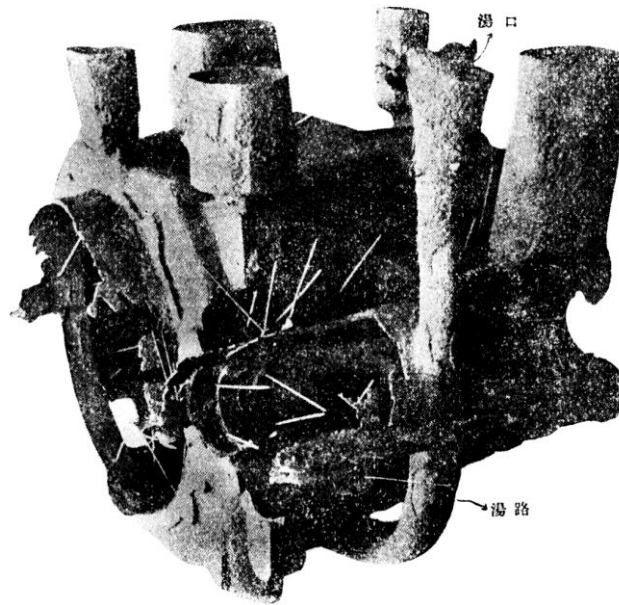
冷却凝固から放置時間の経過後，型バラシ，砂落とし，ハツリ，湯口や押湯，湯道，ガス抜きなどのガス切断が行われ，微細な表面疵を発見するための酸洗い(酸漬：希硫酸，希塩酸，稀にフッ化水素酸)と中和処理，洗浄が施される．吹かれや巣などの欠陥の内，表面に現れたモノを繕うために溶接補修が施される場合もあった(鑄掛^{いかけ}：ガスないし電気溶接)．

炭素含有率の高い鑄鉄を溶接しようとするすると黒鉛が硬く脆いセメントタイト Fe_3C を形成して溶接部に亀裂が入りやすくなる．また，黒鉛の燃焼により発生した CO_2 が気泡となって熔融部に封じ込められれば巣となる．それゆえ，鑄鉄の溶接々合部には均質緻密な金属組織を得難い．これに対して，炭素含有率の低い鑄鋼は表面欠陥を出しやすい反面，その性質が炭素鋼一般と同様であるだけにその溶接補修は極めて容易である⁴⁶．

型バラシの後に砂の中から姿を現すのは前掲図 7 から最上部の湯溜りを撤去したモノに数多の鑄バリが所狭しとまとわりついた物体である．図 11 は電動機枠のそれを実写したモノで，湯口，湯道，押湯，型の合せ面からはみ出した鑄バリなどの状況が示されている．

図 11 型バラシ後に姿を現した電動機枠の鑄造粗形材

⁴⁶ 鑄鋼品の酸洗いについては，海軍艦政本部『鑄造作業標準』139~141 頁，谷山『鐵及び鋼鑄物』495~496 頁，石川『鑄造法』184~185 頁，野上『一般鑄造法——鑄鋼——』27 頁，鑄鋼の溶接補修については *Machinery's Encyclopedia with 1929 Supplement*. Vol. VI. p.72, 谷山 496~519 頁，石川 185 頁，齋藤哲夫・村松隆一『電気・瓦斯溶接の常識と實習法』啓業社，1939 年，221 頁，野上 18, 27 頁，参照．



谷山『鐵及び鋼鑄物』431頁，第281圖。

数多，突き出している棒状のモノは砂型の補強材として粘土水を潤滑剤に用いながら内側(ワーク側)より打込まれた針金で，古くは「型持せ」ないし「釘」，現在は「吊り棒」と呼ばれているものようである．鑄物砂は当時でもある程度，再生，リサイクルされていたことと想われる．肌砂を用いていた以上，それはなされるべきコトであつたらう．

完成粗形材となった鑄鋼品は必要に応じて上記の処理や焼鈍を済ませた後，機械加工へと回された．合金鑄鋼品においては適宜，その機械的性質を改善するための熱処理が施された⁴⁷．

もつとも，Ni や Cr は湯流れを悪くし扱いを難しくするため，当時から復興期までのわが国において実用されていた合金鑄鋼は表 8 に掲げられている海軍規格のような低合金鋼に分類される材料のみで，高合金鋼に属する特殊鑄鋼は製造されていなかった．

表 8 日本海軍規格 特殊合金鑄鋼の化学成分

⁴⁷ 合金鋼鑄物とその熱処理については谷山『鐵及び鋼鑄物』328~338頁，石川『鑄造法』65~67頁，参照．

鋼種	高満俺鋼	ニッケル鋼	ニッケルクローム鋼	ニッケル満俺鋼
成分	範囲 (%)	平均 (%)	範囲 (%)	範囲 (%)
炭素	0.8—1.3	0.95	適量	同左
珪素	0.8以下	0.5	0.15—0.40	同左
満俺	10—15	14.0	0.4—0.7	同左
燐	0.06以下	0.05以下	0.05以下	同左
硫黄	0.05以下	0.02以下	0.05以下	同左
ニッケル			2.5—3.5	1.5—2.5
クローム				1.25—1.75
				0.5—1.25

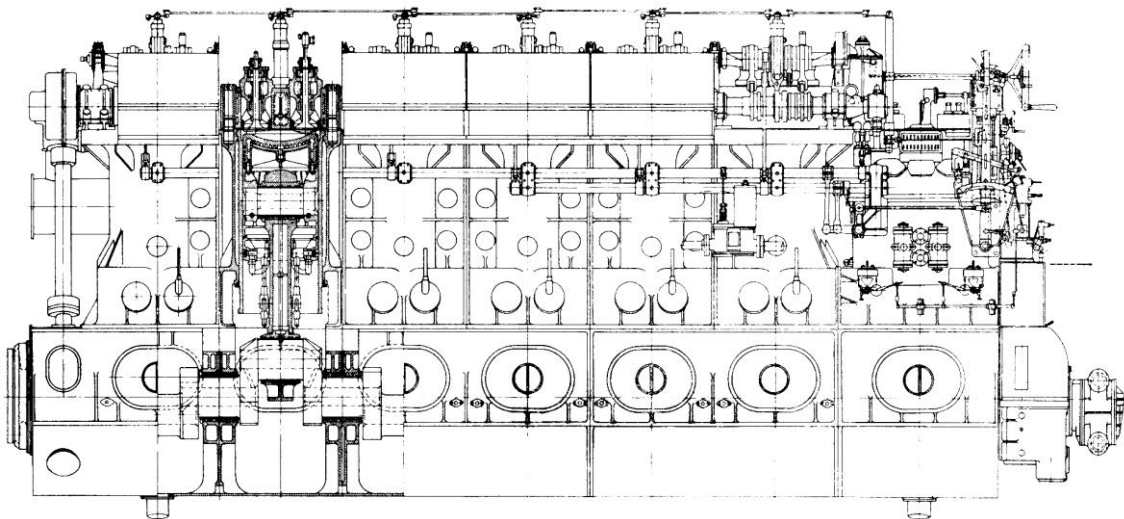
海軍艦政本部『鑄造作業標準』17頁，より。

4. 鑄鋼製気筒の製作

1) “マン型” 發動筒

日本海軍は大形商船に装備される類の大形低速ディーゼル機関には手を染めなかった。日本海軍が経験したディーゼルは2および4サイクル中速機関と4サイクル大形～小形高速機関のみである。ここに謂う“マン型”とは一時代を画したMAN(独)の反転掃気型2サイクル大形低速機関ではなく、第一次世界大戦期に開発されたその潜水艦主機用空気噴射式4サイクル単動中速ディーゼル機関を指すと考えてよい。

図12 “ラ式” 1號 1200馬力



川崎重工業(株)『川崎重工業株式会社社史』1959年，385頁，より。

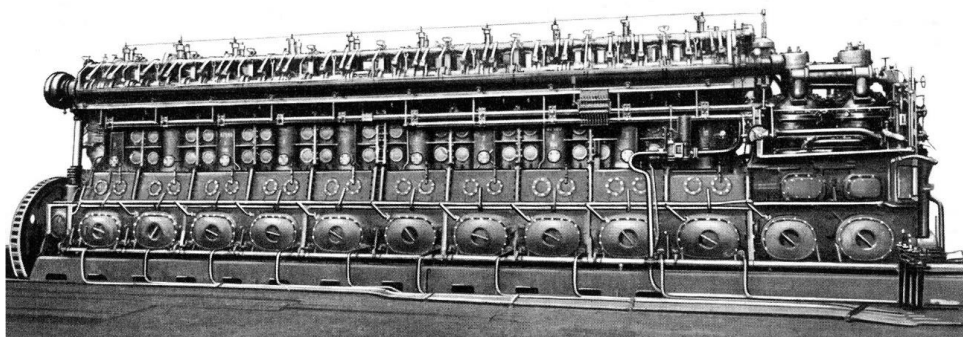
この内，“ラ式”1號(図12)は6-450×420mm，1200SHP/450rpm.のスペックを有していた。“ラ式”なる日本独特の呼称は1923年1月，敗戦国ドイツからMANの技術を導入す

る際、川崎造船所が戦後の国際情勢を顧慮してスイスの Maschinenfabrik Rauschenbach A.G.との契約との体裁を繕った事蹟に因んでおり、図面や資料は実際に同社経由で提供された。また、MAN の手持ち機関のサンプル輸入に際しては三菱商事ベルリン支店長がこれをラ社からの購入品と偽り禁輸措置回避を成功させた。“ラ式 1 号”機関の製造権は 1924 年、川崎から海軍と三菱神戸造船所とに分権されているから、谷山の前掲図 9 と以下に記述する MAN 型の図とが基本的に同一物……ラ式 1 号……に係わるモノであった可能性はある。

しかし、あくまでも後掲図 14 の記入寸法が隠蔽のために歪曲された数値でなければ、のハナシではあるが、本稿の記述との係わりにおいてサイズのより高い可能性を有する候補は“ラ式 1 号”より一回り大きい“ラ式 2 号”(10-530×530mm, 3000BHP/390rpm.)であると考えられる。

こちらは大战中の 1917 年に完成し、46 基建造されたものの潜水艦への装備には間に合わず、戦後、機関車等陸用へと転じ、その 1 つが我国へと密かにサンプル輸入され、かつ、摸作された機関である。“ラ式”1 および 2 号機関について良質な図面を目にし得ていないのは誠に残念であるが、図 13 は 2 号の外観で、その躯体は 5 気筒+5 気筒+空気圧縮機気筒 2 の 3 個イチの基本構成を有していたように見える。

図 13 “ラ式 2 号”内燃機械



Friedrich Sass, *Geschichte des Deutschen Verbrennungsmotorenbaues von 1860 bis 1918*. Berlin, 1962, S.536、Bild 279.

本機関そのものについての議論は旧稿に譲り、早速、その気筒体の鋳造方案に眼を向けて行くでしょう。本機関の気筒体は当然のように各気筒独立ながら、その外観は架構上面への取付けフランジを底部に有する円筒のごとき素直な形状をなしてはおらず、図 9 に観たようなスカート部を持つ角柱のような相貌を呈していた。その鋳造の厄介さが偲ばれるところである。

木型材料としては緻密で硬く摩耗しにくい台湾、阿里山の桧材ないし同等品が選ばれ、歪みを生じにくいよう十分な自然乾燥に処された。柁目板を数枚積層させ、完成後の歪みを予

防したことは定石通りであり、接着に用いるニカワとしては冷水に対する溶解性が相対的に少なく吸湿性の小さなものが供された。取り外しを行う部分には丸頭の本ネジが用いられ、必要に応じて金具類が活用された。木型に関して最も特徴的な点は防湿塗料の処方であった。それは一種の Al 塗装であり、特許、廣式 Al 防湿塗装法が実施されていた⁴⁸。

特許明細書に拠れば、この特許の請求範囲は：

「ラック」ノ「アルコール」溶液ニ「アルミニウム」粉末ヲ混入セル塗料ヲ下地トシ更ニ上塗トシテ「ラック」ノ「アルコール」溶液ヲ刷子ヲ同一方向ニ擦過シツツ塗布スルコトヲ特徴トスル「アルミニウム」塗料ノ防湿塗装法

とある。

「ラック」とはラック貝殻虫が分泌する天然樹脂ラックを主原料とするニスでシェラックニスの謂いであろう。これはアルコール類にしか溶解しない。また、明細書には「粉末」のほかに「微箔」なる表記も観られる。

この「廣式塗装法」はアルコール 100cm³にラック 20~25g を溶かした液に Al 粉末ないし鱗片状の Al 「微箔」 25g 混和したものを一定方向へのブラシ運びで 1 回塗布し、約 15 分後、アルコール 100cm³、ラック 20g の溶液を同一ブラシ方向で数回擦過しつつ上塗りして Al 片を塗膜上で薄くウロコ状に展開・重畳せしめ、軽薄にして防湿性に富む複合塗膜を形成させる塗装法であった。これはごく普通のメタリック塗装ではなく、方向の揃った Al 箔片層の耐水性に依拠する特殊塗装法で、鑄造用の木型や石膏型、木製飛行機部材の防湿塗装用に開発された技術である⁴⁹。

造型に際しては肌砂および中子砂として耐火性が高く通気度に優れた砂が用いられた。とりわけ水ジャケット中子が溶鋼に侵されれば完成後の砂落しが困難となり、ひいては重

⁴⁸ 特許第 82985 号 1939 年 2 月 16 日、出願、5 月 31 日公告(第 2039 号)、8 月 26 日、特許。発明者は廣島県賀茂郡廣村 17811 番地ノ 2、武智 馨、特許権者は海軍大臣。「廣式塗装法」の名は海軍艦政本部『鑄造作業標準』7~8、151、164 頁に見える。このほか、石川『鑄造法』19~20、34~35 頁、参照。

⁴⁹ 石膏は強度に劣るものの成形しやすく凝固の際しての収縮もほとんどないので微妙な局面を有する砂型を造る場合や金属製の模型を鑄造する際の材料としても好適であるが、吸湿して劣化しやすいため防湿塗料の塗布が必須となる模型材料である。海軍艦政本部『鑄造作業標準』5 頁、石川『鑄造法』29 頁、参照。

なお、その発明から 30 年後、鉄道車両の分野においてタイヤを焼嵌めするホイールのリム外周面用に同工異曲の特殊 Al 塗装が開発されている。焼嵌め嵌合面に空隙を生じ熱伝導を阻害するリム外周面の肌荒れはブレーキ熱によるタイヤ弛緩の一大要因であった。急勾配線区を抱える盛岡工場の“田代氏”はタイヤ嵌合面にリーフィング・タイプのアルミペースト 80%(重量比)、接着剤となるウルシオールクリヤ 20%(同)の混合物にシンナーを 40%加えて希釈した液を塗布し、アルミフレークが表面張力により塗膜表面に浮き出て平行配列した後に焼嵌めを行う方式を開発した。運用してみれば嵌合面の内外温度差は小となり、弛緩は起きず、取替え時に発錆も観察されなかった。Al 鱗片の熱伝導性を活用したこの特殊塗料は速乾性、耐熱性、防錆性、熱伝導性に優れ、接合面からの空気層駆逐にも著効を発揮した。追従例が現れたのか否かについては不明であるが、ほどなく鉄道車両用車輪は一体式が優勢となっている。前掲拙稿「本邦鉄道車両用タイヤ技術史」参照。

大損傷を惹起しかねぬため、中子砂の品質確保は重大な関心事となっていた。肌砂および中子砂の配合は表 9 に示される通りであった。

表 9 肌砂および中子砂の配合

用途	品名	配合量	備考
肌砂及一般中子砂	銀砂(大粒) 木節粘土 砂糖蜜	210 kg 外型用 20% 中子用 13% 4合	塗料を長時間保存せんとする時は本表の如く鹽化アンモニウムを添加す。
ジャケット用中子砂	5號珪砂 岐津産 KIBバインダー 砂糖蜜	40 1 (容量比) 少量	
塗料	珪石粉末 砂糖蜜 鹽化アンモニウム	140 kg 10合 5-1.0%	

海軍艦政本部『鑄造作業標準』167頁, より.

KIB バインダーは油中子成形用粘結剤の一種らしいが, 不詳.

砂の混練と粒度確保には容量 200 kg の「ローラーミル」が使用されるとある。これは T 型軸の水平両端部に遊転支持された 2 個の重いローラが中央縦軸の回転により丸い臼の中を自公転せしめられるサンド・ミルの一種を指すらしい。混練時間は肌砂および中子砂の場合、30~40 分、特に大きな粒度が求められる水ジャケット用中子砂においては 10 分であった。

気筒体材料たる溶鋼の化学成分は当時の日本海軍規格に謂う高級鑄鋼 1 号のそれに準ずるモノであった。高級とは言い条、その中身は普通鑄鋼であるから、号数が異なってもそれほど大きな成分格差があったワケではない(表 10)。

表 10 日本海軍規格 高級鑄鋼 1~3 号の化学成分

成分	一 號		二 號		三 號	
	範 圍 (%)	標準 (%)	範 圍 (%)	標準 (%)	範 圍 (%)	標準 (%)
炭 素	0.20-0.26	0.23	0.24-0.30	0.27	0.27-0.33	0.30
珪 素	0.15-0.25	0.20	同 左	0.23	同 左	0.25
満 俺	0.5-0.8	0.65	同 左	同左	同 左	同左
燐	0.008-0.015	0.01	0.008-0.03	0.02	同 左	0.025
硫 黄	0.008-0.015	0.01	0.008-0.03	0.02	同 左	0.025
ニ ッ ケ ル	0.25 以下		同 左		同 左	
ク ロ ー ム	0.15 以下		同 左		同 左	
銅	0.2 以下		同 左		同 左	
其 他 不 純 物	痕 跡		同 左		同 左	

海軍艦政本部『鑄造作業標準』16頁, より.

この化学成分を実現するための材料配合は表 11 に示される通りで, 成分調節は「差物材」の多寡によっていたことがわかる.

表 11 電気炉における鑄鋼 1~3 号用材料配合と差物材(成分調整用添加材)

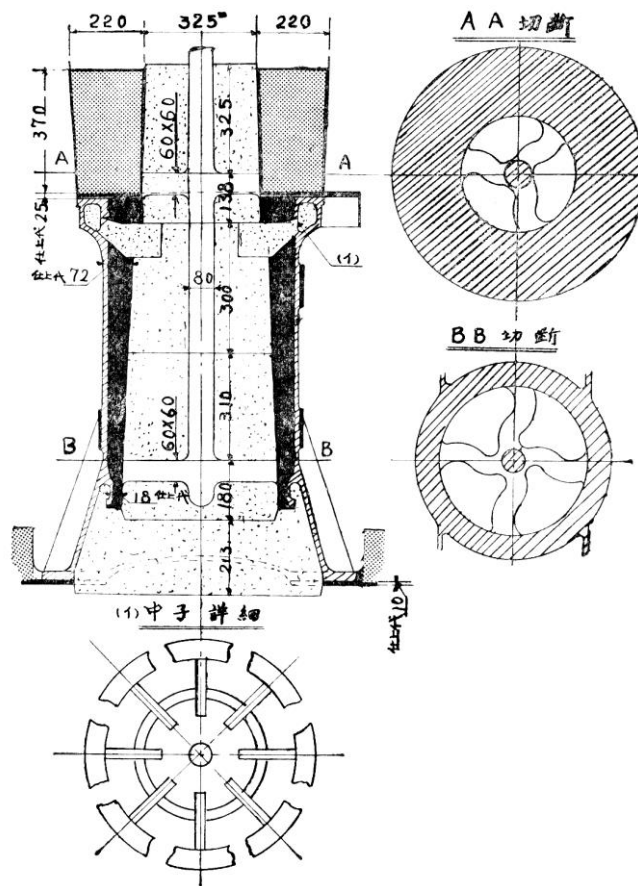
	品 名	%	備 考
配 合 率	鋼 抜 屑 地 金 類	50	普通のスチール・スクラップ類
	ポンチ屑, 旋盤屑類	10	形状極めて小なるもの
	返 し 屑 鉄 類	40	湯口, 揚り, 押湯など割合大塊のもの
差 物 材	マンガン鉄 (Mn 80%)	-	トン当り 4~7kg
	ケイ素鉄 (Si 25%)	-	トン当り 8~16kg
	スウェーデン銑 (C 4%)	-	トン当り 0~20kg

海軍艦政本部『鑄造作業標準』17 頁, より.

その鑄造方案の詳細については限られた画像情報から幾分かでも具体的なイメージを構築して行くしかない. 先ず以て, 鑄型は垂直に, 機関作動状態と同様に立てられた. 鑄枠, したがって砂型は 4 段重ねとされ, 図 14 に観る通り, 中子も気筒胴部中子とスカート部のそれを合せて 4 段構成となっていた. 型合せを行う際には鑄型内の塵埃を完全に排除し, 鑄型合せ面には丁寧に密着物を処方すること, 鑄枠の締付け具合に注意することが求められていた⁵⁰.

図 14 MAN 型發動筒の鑄造方案(クランク軸方向より)

⁵⁰ 以下については海軍艦政本部『鑄造作業標準』167~173 頁, 参照.



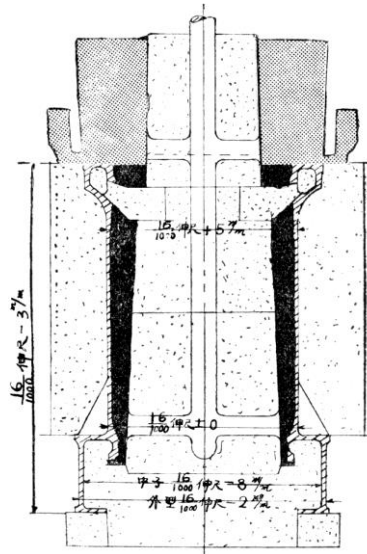
海軍艦政本部『鑄造作業標準』168頁，第54圖。

スカート裾の裾，左右に出ているツノは材質検査用試験片。

80φの湯口は胴中子の中央を縦に貫通し，堰は上下2段の段堰となっており，それぞれが接線状3および4本の分岐湯道を従えていた。巨大な押湯が最上部に設けられており，上段の補助湯道は上部押湯の中に開口せしめられていた。冷し金は使用されていなかった。上端デッキ部右端の形状が異なるためか，図9に特徴的であったような縦の長いリブは存在せず，黒く塗りつぶされている厚肉部のみがワークの変形を抑えるための余肉となっていた。もちろん，この部分は機械加工において除去される。本来の仕上げ代としては処々に25mmが確保されていた。

図15にはMAN型發動筒の鑄造における伸尺が示されている。肉厚の部分は半径方向の収縮が著しいため， $16/1000$ の伸尺に加え，+5mmの修正量を加えられている。スカート部の中子には $16/1000$ の伸尺に-8mmの，同部外型(主型)においては $16/1000$ の伸尺に-2mmの修正量が計上されている。高さ方向には $16/1000$ の伸尺に-3mmの修正が施されていた。これらは鑄型の乾燥による変形と鑄込み時の熱膨張とを反映する経験的数値であった。

図15 MAN型發動筒の鑄造における伸尺(クランク軸直角方向より)

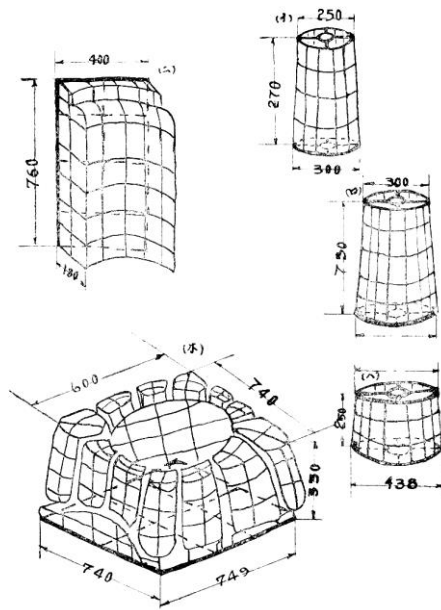


海軍艦政本部『鑄造作業標準』170頁，第57圖。
 押湯の基部，左右に出ているツノは材質検査用試験片。

MAN型發動筒の鑄造における中子心金の構成状況は図16に示される。ただし，右上の中子心金など寸法からすればプロポーションが甚だしく歪曲されている。また，寸法そのものがデタラメなのか変更の結果か，それらは上の縦断面図2葉とは符合していない。注記されているように太線は鑄鉄製19mm[□]の枠である。針金は3.3φ。その長さは300mmまでとし，継ぎ足しのための重なり部は型の可縮性を担保するため細い針金を巻付けて柔結合された。心金と外部との間隔は約0.5in.とし，この心金によって通気度2000以上の肌砂の1in.層は安定的に支持され，その背後には石炭殻や藁を混ぜた裏砂が詰められた⁵¹。

図16 MAN型發動筒の鑄造における中子心金の構成

⁵¹ 海軍艦政本部『鑄造作業標準』170頁の原表記は「使用肌砂の厚さも1inを標準とし其内部には石炭燃焼滓並に藁等を充填したり」となっており，裏砂の類は用いられなかったように，あるいは肌砂層そのものの内部に通気孔を設けようとしたかのごとくにも読めるが，いずれも採らない。

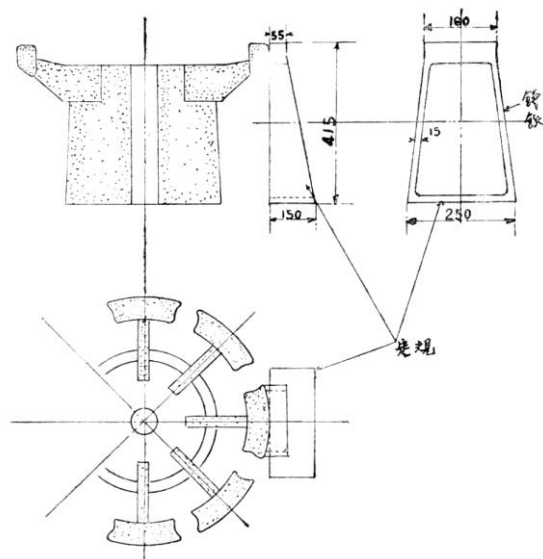


图中細線は 3.3mm の鉄線にして太線は $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$ の鋳鐵の心金なり。

海軍艦政本部『鑄造作業標準』172 頁，第 59 圖。

MAN 型發動筒の鑄造における難所は気筒蓋接合面の直下に位置する冷却水ギャラリ中子のガス抜き性確保にあった。この中子は油中子で、その内部には石炭ガラが充填されており、ガス抜き性に優れる中央胴中子と接合されていた。その位置決め精度は両者の接合状態において専用の定規を当てることによって確保された。(図 17)。

図 17 冷却水ギャラリ用油中子，中央胴中子と定規



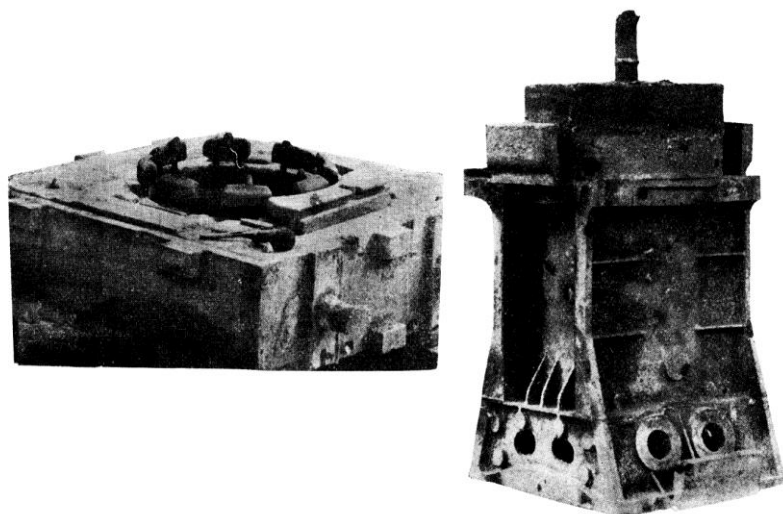
海軍艦政本部『鑄造作業標準』171 頁，第 58 圖。

鑄型はコークス乾燥炉内に立てて2晩(48時間?)、乾燥された。1回(日?)目は低温で徐々に250℃まで加熱し、次にやや高温で乾燥を続けた。鑄型表面に亀裂を生じた時は修正し、木炭ないしガス火などによって十分乾燥させた。油中子については粘結剤として亜麻仁油を用いる時は280~300℃にて40分、KIB バインダー(上述の通り不詳)を用いる時は200℃にて40分、乾燥させられた。

鑄込みに関しては鑄込み温度を湯回りが完全である範囲で可及的に低くすること、鑄込みはバルブ式鑄込み法を採用し鉍滓の混入を防ぐとともに絶えず相当の圧力を保ちつつ静かに鑄込み、適当な温度となり次第バルブを外すこと、湯溜りの底面高さは押湯上面と同じか若干高くすること、温度、速度ないし鑄込み時間、ガス抜きなどについては全て記録にとどめることが指示されていた。

鑄込み時間は30秒、鑄込み後は型の収縮を害さぬよう鑄枠締付け金物のみを外す、とある。型バラシまでの放冷時間については表7に観た通りである。この気筒体鑄物の鑄込み重量は2500kgもあったが(図18)、押湯が切断された状態での発送重量は1540kg、機械加工済みの成品重量はわずか600kgに過ぎなかった。

図18 MAN型發動筒の鑄型と型バラシ、ハツリ後の鑄鋼粗形材



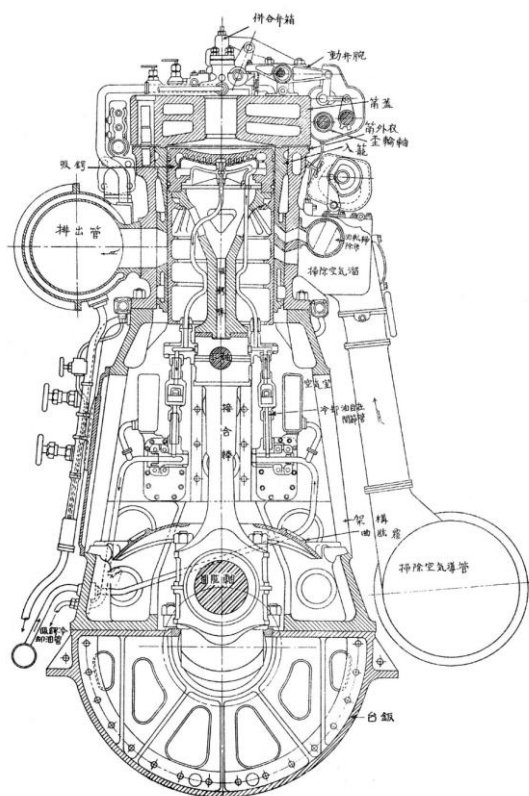
海軍艦政本部『鑄造作業標準』169頁、第55、56圖。

成品粗形材は表面疵の発見のため酸漬処理を施され、必要に応じて鑄掛が施された後、900~950℃にて5~10時間、焼鈍された。焼鈍後、改めて鑄掛が実施されねばならぬ場合には処理後、再度、750~800℃、2~3時間、低温焼鈍に付された。この内、高温焼鈍の温度は後の日本海軍規格よりかなり高めであった。日本海軍における鑄鋼品焼鈍規格については別途、後述する。

2) “ズ式” 發動筒

日本海軍の潜水艦用大形主機としては4サイクル単動の“ラ式2號”と並んで1925年のズ式3號機械，“ズ式3號”(8-540×570mm, 3400BHP/300rpm.)ないし“「ズ」式3,000馬力”なる横断掃気型2サイクル単動中速ディーゼル機関が存在した。その呼称に謂う3000馬力は連続定格出力3000BHPにちなむようである。両ガイド式クロスヘッドを持つ本機は“ズ式2號”と同一掃気方式ながら増寸された8気筒機関となっており，気筒も頭部一体式から次第に優勢となって行く分離気筒蓋付き構造へと変更されていた(図19)⁵²。

図19 “ズ式3號”機械横断面



海軍兵學校『昭和十一年十月 機関術教科書(内火機械) 附図(學生用)』第五十一圖(乙)。

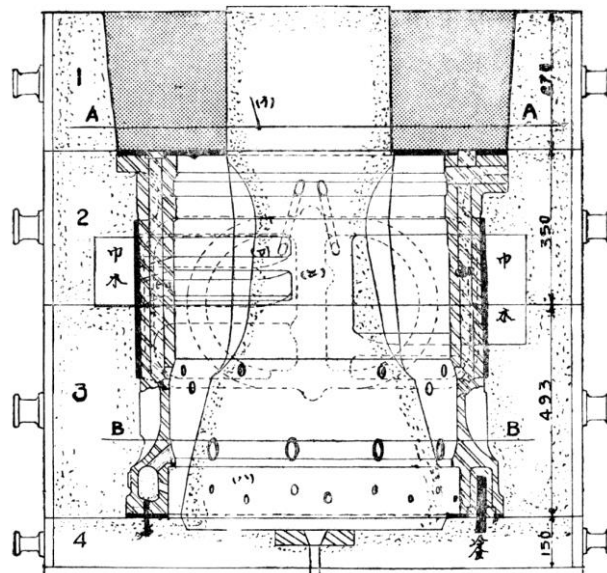
本機関の気筒は各気筒独立で，おおむねその上下端に気筒頭および架構との結合用フランジを持つ円筒の体をなしており，その限りにおいては前項のMAN式よりもシンプルであった。しかし，回転弁式掃気管制による横断掃気の2サイクルであるため両サイドにポートや水ジャケットを配する点ではMAN式より遥かに複雑な鋳物となっていた。

残された僅かな画像情報からその鋳造方案の委細について具体的にイメージすることはMAN式にも増して困難であるが，鋳造に係わる基本的な事項はMAN式發動筒の場合と同

⁵² 頭部一体式気筒ないし気筒ライナ構造の盛衰については拙稿「日本陸海軍小形舟艇エンジン閑話」(『LEMA』誌 No.539[2020年4月]掲載の後，大阪市立大学学術機関リポジトリ登載)，参照。

じであったから繰返しは控えたい。先ず、鋳込みは MAN 式とは対照的に倒立状態で、つまり気筒頭取付けフランジを下にして実施された。鋳枠および砂型 4 段の積層状況と成品粗形材の形状ならびに機械加工仕上り品の対応関係を示す図 20 からこれを見て行こう⁵³。

図 20 “ズ式 3 號” 機械發動筒の鋳造方案(1) (クランク軸方向より、左側が掃気ポート)



海軍艦政本部『鑄造作業標準』173 頁，第 60 圖。

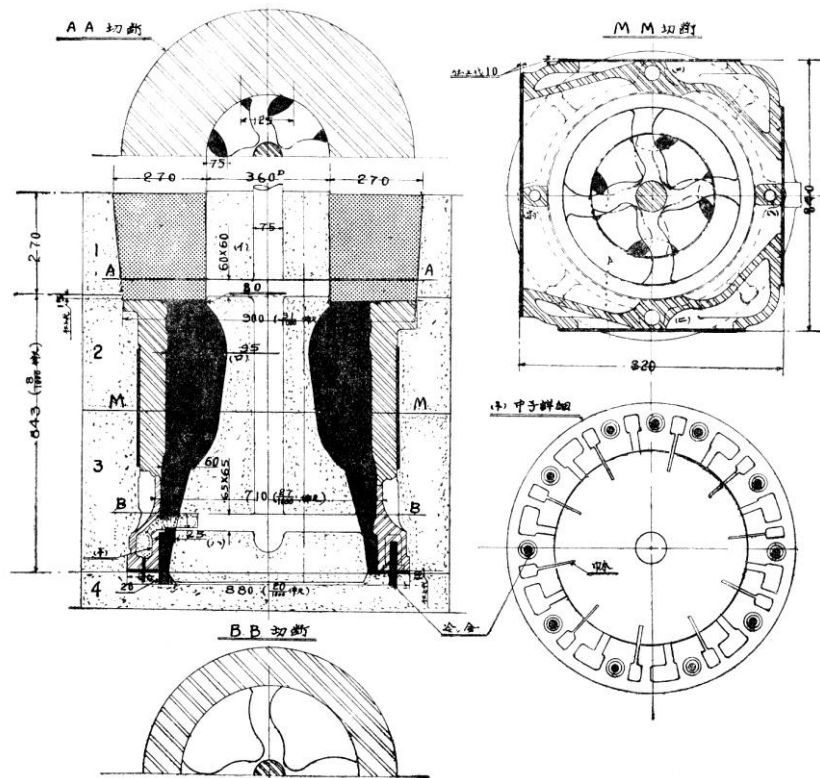
鋳物は溶湯に作用する重力のため、下部の方がより緻密な組織となるから、成品粗形材の仕上げ面は下にして鋳込む方が有利である。品質的により高い要求水準を突き付けられる気筒蓋取付け部を下に置く所作は鋳物の基本からすれば合理的な、とりわけ湯回りの悪そうなスカートを持たぬワークには最も適した鋳造方案であった。

型および中子の積層法、段堰、接線湯道などは MAN 式におけるそれと大同小異であったようであるが、図 20 と図 21 とでさえ湯口の取り方や堰の高さに相違が観られ、試行錯誤の跡が窺われるところである。中央に豎湯口を設ける図 21 の方案が MAN 式のそれにより近くなっていることは自明であり、正規の技術導入を行っておれば、このあたりの迷走は回避できていたはずであるが、かかる階梯も工作技術錬成の観点からすればあながち無駄であったとは言い切れまい。

次に、図 20 および図 21 の MM 断面に示される通り、この気筒体の軸方向 90° 間隔の 4 か所に設けられた柱形の部分には湿式ライナとの間に構成される水ジャケットならびに気筒蓋取付けフランジ部に造り込まれるセグメント化された水ギャラリへの冷却水通路となるべき 4 本の豎孔が穿孔された。このため、当該部に引けを生じぬよう、押湯の直下には 4 つの巨大な余肉が付され、それらはまたこの粗形材全体の变形抑止のためのリブとしても機能していた。図 21 の黒塗り部がそれである。

⁵³ 以下については海軍艦政本部『鑄造作業標準』173~177 頁，参照。

図 21 “ズ式 3 號” 機械發動筒の気筒体鑄造方案(2) (クランク軸方向より. 左側が掃気ポート)



海軍艦政本部『鑄造作業標準』174 頁, 第 61 圖.

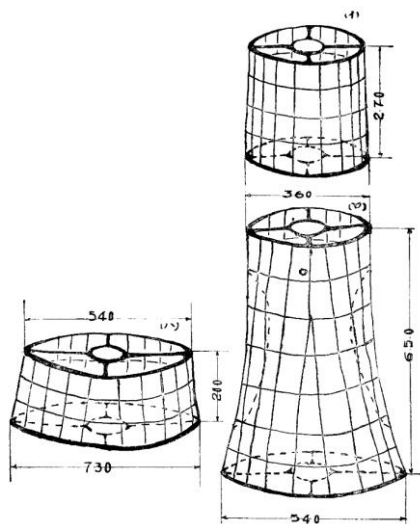
なお, MAN 式發動筒よりも厚肉鑄物であるため“ズ式 3 號”機械發動筒粗形材の半径方向収縮率は大きく, 押湯に近い上部での伸尺は $31/1000$, 中間部では $27/1000$, 下部では $20/1000$ と設定されていた. これに対して, 軸方向の伸尺は $8/1000$ であった. 「R なるリブに於ては其縮具合特に甚しく規定寸法 38mm に對し實に 45mm の寸法に成型す」とある. R に関する当該記述が図 21 の左側黒塗りリブ下端, 気筒蓋接合面からの突出し部とその寸法に係わるモノであるのか否かについては残念ながら不明とせざるを得ない. かような突起が暫時にせよ残されたとすれば, それは爾後の機械加工の初期段階における位置決め用にであつたらう. 仕上げ代は 10 ないし 15mm, 当該突起部のみが例外的に 20mm であつたように読み取れる.

また, 縦断面図ではその反対側に描かれている気筒蓋取付けボルトの雌ネジが切られるボス部分, 総計 11 箇所には Al 塗装された 20φ の鉄丸棒が冷し金として配されていた. 当該部のような一部鑄ぐるみ, 一部型中に挿入の冷し金として 20φ を超える鉄棒を用いると亀裂発生誘引になった. この記述に続いて「但冷金を使用せず中湯を使用して好結果を収めたること多し(176 頁, 強調引用者)」とあるが意味不明である. 中子の誤記か?

気筒体鑄造における中子心金の構成は図 22 に示されている通りである. 中子の構成は当

初の 2 段構成(右図)から 3 段構成(左下にベース)へと変更されていたように見受けられる。

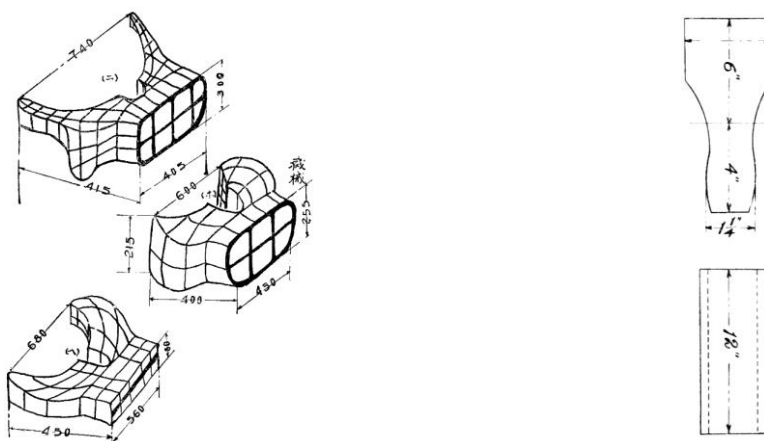
図 22 “ズ式 3 號” 機械發動筒の鑄造における中子心金の構成



海軍艦政本部『鑄造作業標準』175 頁, 第 62 圖.

ポート中子の心金は図 23 に示されている。上が掃気ポートに、中と下とは排気ポートに係わる中子のそれと考えられるが不詳である。

図 23 “ズ式 3 號機械” 気筒ポート中子心金 図 24 同気筒鑄造における“試験棒”



海軍艦政本部『鑄造作業標準』176 頁, 第 63 圖. 同書, 176 頁, 第 64 圖.

図 24 は“ズ式 3 號” 機械發動筒の鑄造において別途, “試験棒” が作成される場合のその形状および寸法を示す。

“ズ式 3 號” 機械發動筒の鑄込み時間は 31.5 秒, 鑄物の鑄込み重量は 2700 kg, 発送重

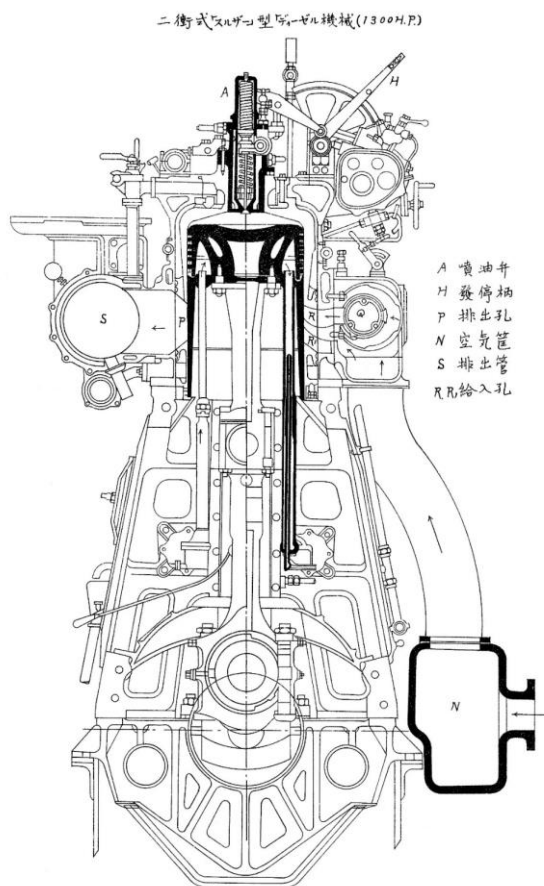
量 1830 kg, 機械加工済みの成品重量は 990 kg であった。 鋳込み後の処理は MAN 式發動筒の場合と同じであった。

5. 鋳鉄製ライナの製作

『鑄造作業標準』においては鉄鑄物である入籠の鑄造に関して“ズ式發動筒入籠”のそれが紹介されているので取上げておく。 入籠とは気筒ライナの謂いである⁵⁴。

もっとも、ここでの“ズ式”は上の發動筒鑄造に観た“ズ式 3 號發動機”ではなく、これより一回り小さい、しかし同じくクロスヘッド式機関であった“ズ式 2 號發動機”(6-450×440mm, 1450SHP/340rpm.)を指す。“ズ式 2 號發動機”は回転弁“Q”による掃気管制式の横断掃気型 2 サイクル単動機関であったが、その最たる特徴は頭部一体“とっくり型”気筒体と同工のライナとにあった(図 25)。

図 25 “ズ式 2 號發動機” 横断面



海軍兵學校『昭和十一年十月 機關術教科書(内火機械) 附図(學生用)』第四十八圖ノ二。

ライナ鑄造用木型の材料に関する要求項目や台湾産脛の常用，廣式防湿塗料の使用につ

⁵⁴ 以下については主として海軍艦政本部『鑄造作業標準』178~186 頁，参照。

いては先に観た気筒体の場合と同じであった。木型はライナを気筒軸を含む平面で掃気ポート側(図 25 右側)と排気ポート側(同左側)とに 2 分する格好で製作された。それぞれの内部には変形防止のため、円周方向に 4 箇所、リブが設けられ、軸に沿って中央には 1 本の縦通材が添えられていた。排気ポートは木型自身に造り込まれ、掃気ポートはその中子を別途、中子取り(中子造型器)によって製作し、その幅木を木型が受け、中子を支えるように造作された。

ライナ鑄造用の中子砂および中子と主型それぞれの表面に用いられる肌砂の配合は表 12 に示される通りであった。中子には特に高い通気度と強度が求められていた。

表 12 ライナ鑄造用の中子砂および中子と主型に用いられる肌砂の配合

用途		中子砂	第68圖(A)中子砂 及外型肌砂
品名	川砂	45.0%	60.0%
	骸炭	40.0 "	30.0 "
	粘土	若干	10.0 "
	銀砂	15.0%	

海軍艦政本部『鑄造作業標準』180 頁、より。

第 68 圖は後掲、図 27. (A)はライナ中央中子である。

主型の造型は木型を水平に置いた横込めによって行われた。300 以上の通気度を有する肌砂は厚さ約 50mm に使用された。とっくりの首と首下部に連なる凹凸面は回し型を動員せぬ限り成形できない。裏砂としては古砂が使用され、その内部には通気性確保のため石炭殻などが充填された。また、型込め時には通気性向上のため鉄針が処々に刺された⁵⁵。

この造型は接合面を機械仕上げした鑄枠と定盤を以て行われ、鑄枠合せおよび鑄枠と木型との位置決めにはロックピンが用いられたため、左右の砂型群はいずれも高い精度で製作された。よって、それらには各群から任意の 1 個を取り出しても正確な型合せが可能な互換性が担保されていた。

中央中子の造型は鑄鉄製円筒が心金として使用され、心金には縄を巻付けて通気性が担保された。記述に明晰さを欠くが、その外径の仕上げは一種の回し型によったようである。また、その他の中子には針金や鑄鉄製の心金が用いられた。

主型および中子の乾燥はコークス乾燥炉を以て 2 晩行われた。乾燥温度は 250~300℃で、第 1 段階では主型と中子は別個のままにして徐々に温度を上げて行き、第 2 段階では中央中子④以外の中子を主型に組込み、④とともに高温乾燥に付された。乾燥前、鑄型の表面に

⁵⁵ 『鑄造作業標準』158 頁、参照。ここに謂う通気度 300 以上という極めて低い数値は in.表記によるそれで、cm 表記では 762 以上とならねばならぬ、と解せぬこともなかろうが、単純に 3000 の誤りと考えた方が無難なようである。

は粘土水を引き、その強度を高める措置が講じられ、乾燥後には黒味塗料(黒鉛やコークス粉ないし木炭粉と粘土水との混合物)を塗布した上に黒鉛水(黒鉛, 粘土水, 糖蜜の混合物)を上塗りして塗型として完成せしめられた。㊤は鑄込み当日に組込まれた。

構造複雑にしてその製造が比較的困難とされる種類の鑄鉄品の材料に係わる日本海軍の古い化学成分規格は表 13 に示される通りであった。

表 13 日本海軍における比較的製造困難な鑄鉄品に係わる古い成分規格

用途	成分 標準					標準成分 (%)				
	全炭素	珪素	マンガン	燐	硫黄	全炭素	珪素	マンガン	燐	硫黄
タービンケーシング、仕切板類	3.0—3.2	1.7 —1.5	0.7 —0.4	0.2 以下	0.08 以下	3.1	1.6	0.6	0.2 以下	0.06 以下
減速車室	"	"	"	"	"	3.2	1.7	0.7	0.2 以下	0.08 以下
(唧筒氣筒類は之に準ず)										
内火式機械入籠蓋等	2.8—3.2	1.0 —1.2	0.8 —1.1	0.07 —0.13	0.03 以下	3.1	1.1	1.0	0.10 以下	0.04 以下
吸鏢衛帶環	3.0—3.2	1.1 —1.3	0.8 —1.0	0.10 —0.20	0.03 以下	3.1	1.2	0.8	0.13 以下	0.04 以下
壓搾唧筒	3.0—3.2	1.7 —1.3	0.7 —0.3	0.2 以下	0.08 以下	3.1	1.6	0.7	0.2 以下	0.06 以下
薄物並に生型用鑄鐵	3.2—3.4	1.7 —2.0	0.4 —0.2	0.3 —0.2	0.08 以下	3.3	1.8	0.3	0.3 以下	0.08 以下

海軍艦政本部『鑄造作業標準』12頁, より。

もつとも、『鑄造作業標準』にはライナ材の化学成分としてこれとは若干異なる全炭素 2.9~3.2%, ケイ素 1.1~1.2%, マンガン 0.8~1.1%, リン 0.15%以下, 硫黄 0.05%以下という幾分, 緩和された数値も掲げられている。微量元素の内, Mn は材質を緻密化し, 黒鉛を「渦状化」し, 抗張力, 靱性, 硬度を高めるとともに耐熱性を増すための元素として位置付けられていた。Ni や Cr は材質改善に効果があるものの溶解および鑄造の困難さを増す要素として忌避されていた。ちなみに, 溶銑炉としては一般的なキュポラが用いられていた⁵⁶。

上のような化学成分を得るための材料配合は表 14 に例示される通りであった。

表 14 上の化学成分を得るための材料配合例

⁵⁶ 『鑄造作業標準』178~179頁, 参照。同時代の5トンのキュポラの操業データについては同書154~155頁, 参照。

品名	化学的成分(%)					配合百分率
	全炭素	珪素	満俺	燐	硫黄	
兼二浦特殊鉄	3.20	1.10	1.00	0.025	0.01	15
釜石三號鉄	3.11	2.21	0.48	0.005	0.014	10
“ B	2.7	2.3	0.38	0.03	0.02	10
“ D	2.3	1.1	1.0	0.0	0.02	10
“ F	2.4	0.9	0.9	0.04	0.015	10
古材(特殊材料)	3.1	1.2	0.9	0.07	0.05	40
鉄鋼屑			0.5	0.05		5
スビートル	1.83	0.37	2.01	0.03	0.04	1 Ton 付き 2)kg
計算成分	2.77	1.30	1.21	0.06	0.03	

海軍艦政本部『鑄造作業標準』179頁, より.

また, 以上とは別に, 日本海軍における気筒ライナ用鑄鉄の材料配合例については表 15 のようなデータが残されている.

表 15 日本海軍で採用されていた気筒ライナ材料の配合例(旧規格)

(c) デーゼル機関發動筒入範エヤコンプレッサ等厚さ 10mm 以下

(d) (c) の用途に同じ, 但し厚さ 15mm 以上

(c) 例			(d) 例		
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	同種古鑄鉄	30	Si 0.9~1.2	同種古鑄鉄	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	満俺鉄 78% ^{+10kg/Ton}		S 0.05以下	満俺鉄 78% ^{+20kg/Ton}	

石川『鑄造法』157頁, より.

表 15 の材料を以て鑄造されたライナの材料試験成績は表 16 に示される通りである.

表 16 気筒ライナ材料(旧規格)の試験成績

強 度 試 験				分 析 試 験				
抗張力 kg/mm ²	抗折力 kg	撓 量	硬 度 B.H	T.C	Si	Mn	P	S
32	1700	3.8	217	3.10	1.17	0.92	0.112	0.061
26	1780	4.4	208	3.08	1.21	0.84	0.125	0.052
24.8	1600	4.0	207	3.11	1.169	0.80	0.200	0.07
27.8	1610	3.8	217	3.16	1.23	1.16	0.125	0.052
27.0	1600	4.2	205	3.11	1.15	0.87	0.11	0.056
26.5	1700	4.5	217	3.17	1.07	0.937	0.088	0.052
31	1700	4.6	215	3.08	1.00	0.84	0.093	0.063
30	1710	4.7	216	3.00	1.01	1.16	0.037	0.009
31.4	1800	5.5	206	3.10	1.2	0.998	0.114	0.070
33.4	1940	4.8	229	3.23	1.197	0.74	0.065	0.052

舊規格に依る

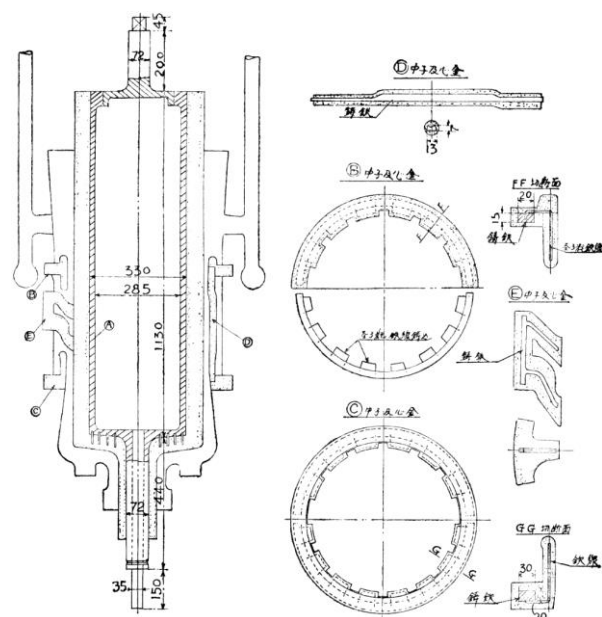
備考 規格(舊) T.C 3.2%以下, Si 1.6%以下, P 0.2以下, S 0.05以下, 抗張力19kg/mm²以上, 折力 1200kg, 撓量 2.8mm 硬度 180~230, 試験片, 抗張力試験片 径 25mm に鑄造し, 径 15.4mm に仕上げ抗折試験片 35mm角, 長 330mm に鑄造し 30角に仕上げ 300mm スパンにて中央に負荷す。規格(改正) P 0.2%以下, S 0.07 以下, 抗張力 23kg/mm² 以上, 抗張力 1600kg 以上, 撓量 3mm 以上, 抗張試験片 径 30mm に鑄造し 径 20mm, 標點間 25mm に仕上げ抗折試験片 径 37mm, 長 350mm に鑄造し 径 30mm に仕上げ 300mm スパンにて中央に負荷す。硬度はブリネル 10mm 球にて 3000kg 負荷にて試験す。

石川『鑄造法』158頁, 第29表.

T.C は全炭素. 抗折力は曲げ強さ.

図 26 に“ズ式 2 號發動機”の“とっくり型”気筒ライナの鑄造方案について尋ねれば, 鑄型は気筒軸を立てた倒立姿勢に据えられた. 鑄型を支える地面には石炭ガラを敷き詰めて鑄枠の底からの良好なガス抜けが確保された.

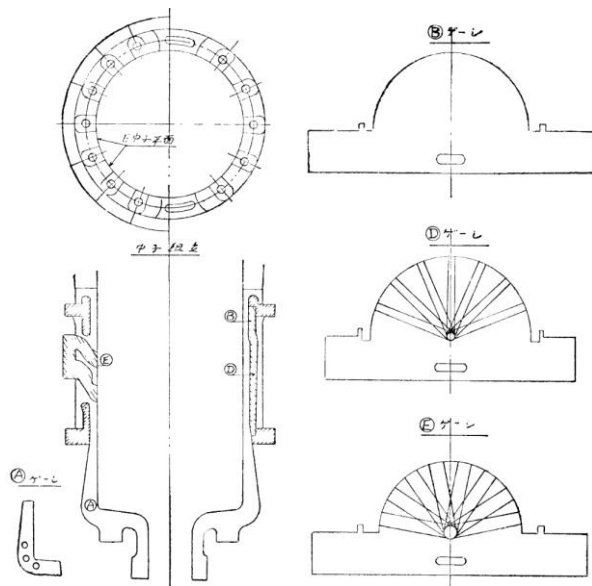
図 26 “ズ式 2 號發動機”の“とっくり型”気筒ライナの鑄造方案



海軍艦政本部『鑄造作業標準』184 頁，第 68 圖。

各種中子の位置決め精度はそれぞれに対応する中子ゲージによって担保された(図 28)。

図 28 “ズ式 2 號發動機”の“とっくり型”気筒ライナ鑄造用ゲージ



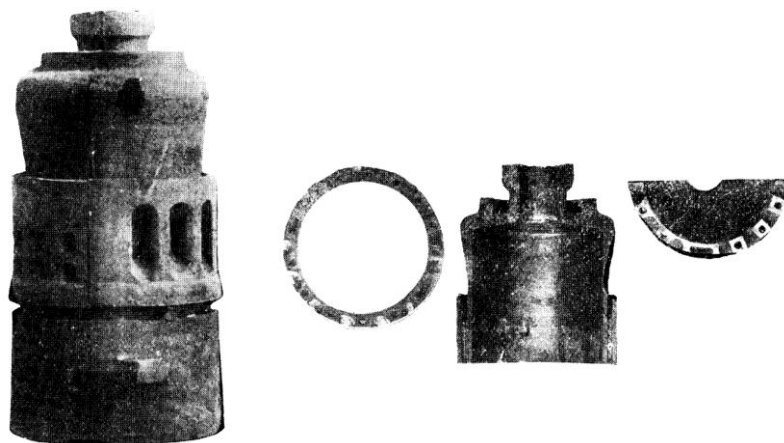
海軍艦政本部『鑄造作業標準』185 頁，第 69 圖。

試験片は押湯の下部から採取されたほか，中子③の下方約 50mm のところから盲押湯のような恰好で気筒軸に沿って立ち上げて調製された。後者の形状，寸法および本数は抗張試験棒が 25mm²，長さ 330mm で左右 2 本ずつ，横折試験棒が 30mm²，長さ 360mm，左

右 2 本ずつであった。

かようにして鑄造された“ズ式 2 號”機械の“とっくり型”気筒ライナの鑄放し品とその部分切断面は図 29 に示されている。この粗形材の鑄込み温度は 1300°C, 鑄込み時間は 14~15 秒, 鑄込み重量は 1000kg, 押湯切断後の鑄放し重量 485kg, 成品計画重量は 206kg であった。焼鈍は石炭炉によって行われ, 焼鈍温度は 500~550°C, 加熱時間 6 時間以上とし, 炉中にて徐冷された。日本海軍における鑄鉄品の焼鈍規格についても別途, 後述する。

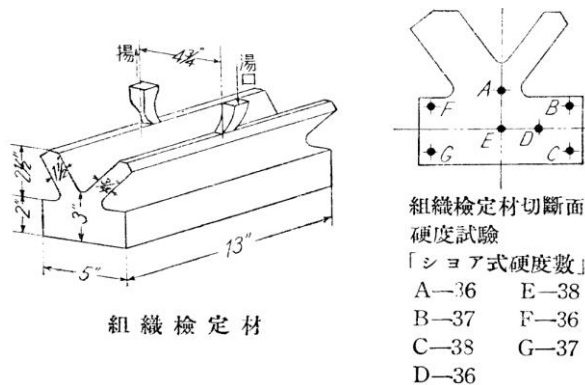
図 29 “ズ式 2 號發動機”の“とっくり型”気筒ライナ(鑄放し品と部分切断面)



海軍艦政本部『鑄造作業標準』180 頁, 第 65, 66 圖.

なお, 銑鉄の材料変更が実施される際には 80 番コークス坩堝炉にて溶解し, 図 30 のごとく K 字型試験片が鑄造され, 切断の上, 組織の均等性や各部硬度(ブリネルおよびショア)を測定した後, 成績良好であればキュポラにて溶銑を製し, 再び同じ試験を実施してその採用可否の決定に至った。

図 30 K 字型組織検定材とその切断面硬度測定値の例

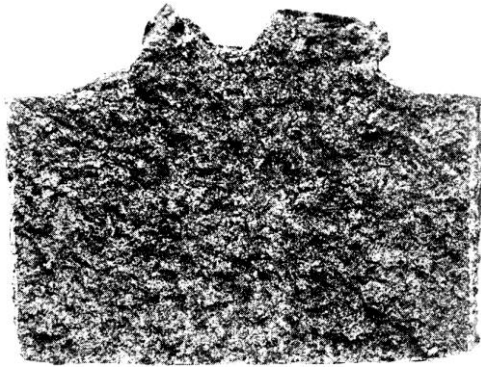


石川『鑄造法』191 頁, 第 133, 134 圖⁵⁷.

⁵⁷ 海軍艦政本部『鑄造作業標準』58 頁にはこれとは若干異なるメートル寸法で表示

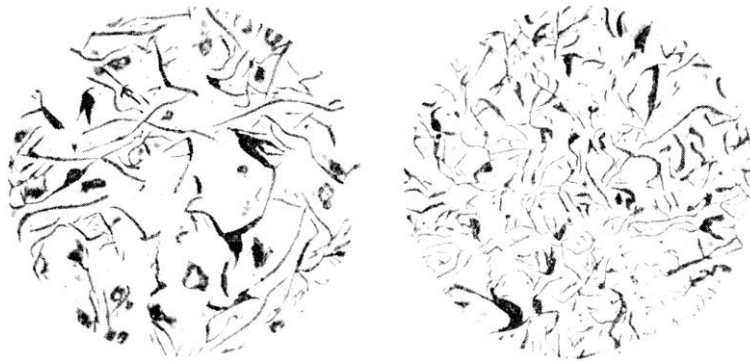
図 31 はキュポラ操業により作成された試験片の破断面であり，図 32 は試験片各部の表面を研磨腐蝕したものの顕微鏡写真である．

図 31 K 字型組織検定材の破断面



海軍艦政本部『鑄造作業標準』185 頁，第 70 圖⁵⁸．

図 32 K 字型組織検定材端部(左)と中央部(右)の組織顕微鏡写真



海軍艦政本部『鑄造作業標準』186 頁，第 71，72 圖．

ちなみに，金属顕微鏡としては Bausch & Lomb(米)の製品が，腐蝕液には硝酸アルコール，ピクリン酸，ピクリン酸ソーダなどが用いられていた．

6. 日本海軍における鑄物の焼鈍規格と不良発生データ

鑄鉄製ライナ粗形材は完成後，焼鈍に付された．鑄鉄と鑄鋼とでは完成後に行われる焼鈍の目的が異なり，前者においては冷却の不均等に由来する残留鑄造応力の除去が，後者においては鑄掛による応力の除去あるいは内部組織の改善が主眼となる．ちなみに，石川自身の

された K 字型試験材の断面図が掲げられている．

⁵⁸ 石川『鑄造法』にも巻末グラヴィア No.2 として 75mm 厚 K 型試験材破断面の写真あり．

実験に拠れば、鑄鉄をⅢの形状、それも中央縦棒を 50φ、両側を 25φの丸棒に吹いた試験片における 600℃焼鈍時間と残留応力との関係は表 17 の通りで、その化学成分にもよるが、組織を軟化させる怖れのない 600℃に加熱した 6 時間程度の焼鈍でこの鑄鉄試験片の残留応力は 0.5kg/mm²程度に軽減されることが判明していた。

表 17 “Ⅲ”型鑄鉄試験片の残留応力と 600℃焼鈍時間との関係

化 学 成 分							残 留 内 應 力		焼鈍時間
T.C	G.C	C.C	Si	Mn	P	S	焼鈍前 kg/mm ²	600℃焼鈍後 kg/mm ²	
3.09	2.22	0.77	1.93	1.00	0.15	0.075	2.951	0.476	6時 5分
2.95	2.15	0.85	1.72	0.53	0.22	0.85	3.790	0.423	6. 15
2.90	2.00	0.90	1.30	0.61	0.2	0.09	4.635	0.598	4. 15

石川『鑄造法』186頁，第40表。

T.C を全炭素，G.C を遊離炭素(黒鉛)，C.C を化合炭素とすれば 1, 2 行目，計算合わず。

完成品鑄鉄ならびに鑄鋼粗形材の焼鈍に係わる日本海軍の規定になる規格として艦本機普報第 45 號に大凡，次のような内容が定められていた。

機關車用鑄鋼品及鑄鐵品焼鈍法規格⁵⁹

1. 普通鑄鋼品(C 0.2~0.3%)及び次記の鑄鐵品の組織改善ま又は鑄造に依る永久内應力除去の目的を以て焼鈍をなす場合には本規格に據るものとする。
 - (イ) 内燃機用，發動筭，筭蓋，吸鏢，吸鏢衛帶環，吸入瓣筭
 - (ロ) 空氣壓搾筭，同蓋，吸鏢及び衛帶環
 - (ハ) タルビン車室，減速車室及び減速齒車センター，蒸氣筭，吸鏢，滑瓣及び滑瓣筭
 - (ニ) 使用中の變形を恐れる重要なる治具類並にゲージ類
2. 鑄鋼品及び鑄鐵品は之を焼鈍する前に充分砂落しをなし其の前後に適當の酸漬を行う可し。但鑄鐵品にありては不審と認めらるる箇所に関り局部的酸洗滌を行ふに止むることを得。
3. 鑄鋼品及び鑄鐵品は大型厚物と小型薄物とに區分し，別個に焼鈍を行ふべし。但し止むを得ずして大型厚物と小型薄物とを同時に焼鈍する場合は特に爐内の溫度の分布，火焰の状態等を考慮し相當の處置を施し均一に加熱すべし。
4. 同一鑄鋼品及び鑄鐵品と雖も其の厚さに著しき差異のあるものに對しては均一に

⁵⁹ 海軍艦政本部『鑄造作業標準』137~138頁，石川『鑄造法』187~188頁，より。機關車と謂うのであるから元々は鐵道省の規格で，海軍はこれを採用したのであろうか？ ちなみに，鐵道省の蒸氣機關車において鑄鋼が専用された主要部位として輪心，軸箱，軸箱守，罐台，釣合梁受，台枠上心皿，台車揺枕，自動連結器部品などが挙げられる。機關車工學會『最新 機關車名稱辭典』新訂増補第六版，交友社，1940年，313~315頁，「機關車部分品別使用材料」，参照。

加熱される様に特に考慮をなす可し。

5. 加熱温度，時間及び方法等は特に指定なきときは次表(表 18)に據るべし。

表 18 機關車用鑄鋼品及び鑄鐵品焼鈍法規格

品名	焼鈍法	加熱の方法	加熱温度及び時間	冷却の方法
鑄鋼品		徐々に且均一に加熱し6時間以上にて850°Cに上昇すべし	850°Cに2時間以上(小型薄物)乃至4時間以上(大型厚物)保持すべし	徐々に冷却し36時間以上にて200°Cに達せしめ爐より取り出すべし
鑄鐵品		徐々に且均一に加熱し4時間以上にて530°Cに上昇すべし	530°Cに3時間以上(小型薄物)乃至6時間以上(大型厚物)保持すべし	同上

石川『鑄造法』188頁，より。海軍艦政本部『鑄造作業標準』139頁もほぼ同じ。

附記

- (1) 温度の計測は爐内温度を代表し得る箇所に於て計測するものとす。
- (2) 鑄鋼品及び鑄鐵品にして鑄掛け後焼鈍する場合は本規格に準ず。
- (3) 鑄鋼品の加熱温度は830乃至870°C，鑄鐵品の加熱温度は500乃至550°Cを理想とす。爐内温度と鑄物温度との差を豫知する目的を以て鑄鋼品及び鑄鐵品の厚さに等しき物の中心迄穿孔し其中心と爐内との温度と時間との關係を計測し置き之に依り多少温度の修正を爲すべし。蓋し爐内温度は鑄鋼品に對し900°C，鑄鐵品に對しては600°C以上上昇せしむることは成るべく避くるものとす。
- (4) 民間會社に在りて本規格に據り海軍註文品を焼鈍する爲に使用せんとする焼鈍爐あるときは，其の構造爐内温度の部分布並に前項記載の實績を海軍工作廳又は海軍監督官に提出し右焼鈍爐使用の許可を受け置くを要す。

なお，海軍艦政本部『鑄造作業標準』141頁に拠れば，鑄掛箇所が小さい場合は局所的加熱，保温・徐冷で差し支えなく，また，再鑄掛を施す場合にも焼鈍は行わず，保温・徐冷に努めるのみとし，大きな鑄掛が施された場合には表記とほぼ同じ焼鈍を施すこと，鑄鐵品に對する鑄掛は「殆んど許可されず」，「極く輕微の巢入りにて鑄掛けせるものは500°C^{ママ}度に4時間加熱し18時間にて200°Cに降下する程度に焼鈍す」とある⁶⁰。

石川はこの海軍規格の概要を紹介した後：

以上の外鑄鋼品の焼鈍法は近來種々異なりたる方法が行はれる。例へば第1回の焼鈍にて高温度より急冷し組織を緻密にし，第2回の焼鈍にて組織の安定をなすが如き方法が強度靱性を優良ならしめると云はれ，特殊品は此方法が採用されている。然し此等の方法は鑄鋼品の成分と相對的に充分考究を要する問題である。

と追記している。

⁶⁰ 海軍艦政本部『鑄造作業標準』141頁，参照。

戦時下、日本學述振興會が国内の主要な官立・私立工場 40 余りにおける鑄物の不良率(重量比)について調査したところ鑄鉄は 2~15%，鑄鋼では 2~9%，銅合金 4~14%であったが、航空發動機がらみと思しき Al 合金においては 10~35%，Mg 合金では実に 15~45%に達していた⁶¹。

また、日本海軍関係の「高級機關」製造に際し、仕損じを 10%以上、発生させたケースについて石川が製造拠点 7 か所につき軽合金を除く鑄物の種類別に調査・集計した結果は表 19 に総括されている。

表 19 日本海軍「高級機關」製造に際して発生した鑄物不良の内訳

不良種類 材質		鑄巢	水壓 不良	寸法 不良	鑄型 不良	材料 不良	砂疵	工廢	龜裂	湯廻 不良	鑄込 不良	合計
		件 數	件 數	件 數	件 數	件 數	件 數	件 數	件 數	件 數	件 數	
鑄 鐵	件 數	64	20	16	16	13	5	13	6	6	5	164
	百分比	39	12	9.7	9.7	8	3.2	8	3.6	3.6	3.2	100
銅合金	件 數	215	196	61	34	20	32	38	13	15	9	633
	百分比	34	31	9.7	5.4	3.2	5.1	6	2.1	2.4	1.4	100
鑄 鋼	件 數	104	29	25	18	23	19	1	25	8	18	255
	百分比	41	11.3	10.8	7	9	7.2	0.4	9.5	3	7	100
總 計	件 數	383	245	103	68	56	56	52	44	29	16	1.052
	百分比	36.5	23	9.8	6.4	5.4	5.4	5	4.2	2.8	1.5	100

備考 1. 本表は高級機關製造に於て10%以上の廢品を出したるもの、1ヶ年間の合計件數(製造工場7ヶ所の合計)

2. 工廢とは鑄造工事以外にて廢品となりたるもの

石川『鑄造法』196頁，第41表。

巢は最大の不良因子で、当然ながら此処に含まれぬ弱小民間工場などでは遙かに大量の巢入り鑄物廢材が生み出されていたと考えられる。その惨状は「鑄物の中に巢があるのでなく、巢の中に鑄物があるのだ」と揶揄されるほどであった⁶²。

むすびにかえて

内燃機関は燃焼最高温度こそ蒸気原動機に比して高いが、燃焼が間欠的であるだけに、作動中における燃焼室構成部材の最高温度は低く抑えられる。当該部位に安価な材料である鑄鉄、さらには軽合金が汎用される理由はここにある。本稿にて紹介した中速ディーゼル機関の気筒体なども経験が集積されておれば鑄鋼のごとき扱いにくい材料に頼ることなく、素直に鑄鉄で吹かれていたはずである。つまり、艦本式 2 サイクル複動中速ディーゼルなどというケレンに永らく拘泥したばかりに、やがて大いなる辛酸を嘗めさせられることになる海軍造機部内燃機関部隊は材料選択面に関する限り、その前段をなす単動ディーゼル時代この方、初歩的なミスを犯し続けたとの総括に落着く。

⁶¹ 野上『一般鑄造法——鑄鋼——』11頁，参照。

⁶² 引用は野上『一般鑄造法——鑄鋼——』11頁，より。