

人と熱との関わりの足跡（その12）

—ボイラ製造における職人技（ボイラ屋の意気込みと心意気）—

Footprints of the Relationship between Humans and Heat (Part 12)

- Craftsmanship in Boiler Manufacturing - The Passion and Spirit of Boiler Workers -

木下 正成 (株ヒラカワ), 小澤 守 (関西大学)

Masanari KINOSHITA (Hirakawa Corporation), Mamoru OZAWA (Kansai University)

e-mail: ozawa@kansai-u.ac.jp

1. はじめに

1853年（嘉永6年）浦賀に来航したペリー艦隊の蒸気船は日本に大きな衝撃を与えた。わが国では時の政府（幕府、のちに明治政府）が率先して列強に追いつくことを目指して艦艇用を中心として蒸気機関、ボイラ、兵器、さらには造船、造船所建設などの技術の習得を行ったが、それらは海軍伝習所、長崎製鉄所（のちに長崎造船所）、のちの海軍工廠などに限定されていた。その後、殖産興業の一環として、一般産業用ボイラについて関西でもボイラ造りを推進するようになった[1]。ボイラ製造は当初は鍛冶屋の職域であった。海外から導入したボイラを参考に見よう見まねで製造を始めた。まさしく職人技であった。本稿はボイラ製造に様々な機械技術がかなりのレベルまで導入され、鋼板の接続に溶接が主として用いられるようになった1950年代までに焦点を絞って現場技術について述べるものである。

2. 中小型ボイラ造り

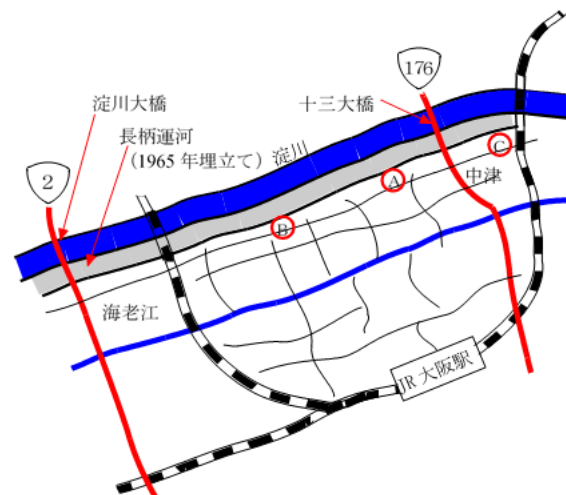
日本の物づくりの歴史を概観すると、木造では宮大工、金属加工では刀鍛冶の技術が代表的であろう。1543年頃に渡来した鉄砲を手にした刀匠が1年で国産の鉄砲を作った。まさしく職人技としか言いようがない。職人技の伝承は「教える」のではなく、見て覚える、技術を盗めと言われてきた。実質上、経験と勘と忽（コツ）であり教えるのが難しいのが実態であった。「教える」のではなく経験させることが重要であるともいえる。このことは現在でも通用するところがある。当初のボイラ製造、特に中小型のボイラではそのような色彩が強かった。

中小型ボイラ造りについては1900年代では鍛冶屋（いわゆる農鍛冶）が担っていた。彼らは、元来、大八車の外輪、馬具、クワ、カマ、スコップ等運搬用や農業用の器具の製造や修理等が主な

生業であり、ハンマー、ヤスリ、タガネや加熱用の空気源であるフイゴ（手動送風機）と火造り場を持っていた。彼らは金属を焼いたり曲げたりはお手のものであり、中小型ボイラ製造には適していたともいえる[2]。

3. 輸送（交通）事情

1900年当時の日本国内の道路はまだ狭く、砂利道で凸凹が多かった。ボイラ造りに必要な鋼材は幅も広く、また長尺であることから重量物の陸上輸送はかなり困難で、海上輸送が適していた。図1は淀川改修のために作られた堤防横の長柄運河とボイラ製造企業の創業時の配置を示している。大阪ではこの長柄運河に沿って図中の3社が1908～1918年に相次いで創業した[2]。



- A: 1908年 高尾鐵工所創業(1944年 豊中市移転)
(現: 株式会社 高尾鉄工所)
- B: 1912年 平川鐵工所創業
(現: 株式会社 ヒラカワ)
- C: 1918年 颯波鐵工所創業
(現: 株式会社 サツパボイラ)

- 1937年 吉峰工業所創業
(現: 株式会社 よしみね)
- 1938年 田熊汽罐製造株式会社創業
(現: 株式会社 タクマ)

図1 中小型ボイラ製造発祥の地（関西）

材料は船から工場へ、完成したボイラは工場から船へコロ引きの人海戦術で輸送した。敷板、コロ（丸太）等は金属では滑りやすく危険であることから高価な檜木を使用していた。なおこの長柄運河は 1960 年頃まで輸送に利用されていたようだが 1970 年前半に埋め立てられた[2].

4. 初期のリベット接続ボイラ

4.1 コルニッシュボイラ

コルニッシュボイラは図 2 に示すように外筒の内部に炉筒を 1 本取付け、本体周囲に耐火レンガを積み上げた構造である[3]. 図 3 に示すように本体中央部の炉筒内火格子（ロストル）で上下二分し、下部から燃焼用空気を吸い込み、上部に石炭を投炭し燃焼させる。高温ガスは炉筒を通過し後部で左右に分かれ上部煙道でボイラ本体外筒と熱交換し、前部で下部煙道に入りボイラ外筒と熱交換を行い、煙道部に設置されているダンパで燃焼排ガス量をコントロール（手動）し、煙突から大気中に放出させる。排ガスダンパによって煙突の通風力（ドラフト）を調整することは燃焼用空気量をそして燃焼量を調整することになる。

当時のコルニッシュ、ランカシャ、機関車型ボイラ等の運転は全くの手動運転であった。ボイラの圧力計の変化状態を確認し、圧力低下が認められればバランスウエイトで空気量を調整し、それに見合う石炭を投入する。蒸気圧が上昇すればバランスウエイトで排ガスダンパを絞って燃焼量を少なくする。また、たえず水面計の水位を確認し、必要に応じインゼクタで給水を行う。従って、一人での運転は困難で複数のオペレータで運転を行っていた。



図 2 コルニッシュボイラ
(株ヒラカワ、ボイラ歴史記念館)

4.2 ランカシャボイラ

図 4 に示すように外筒の内部に炉筒 2 本取付けることで燃焼室が 2 か所となる以外はコルニッシュ

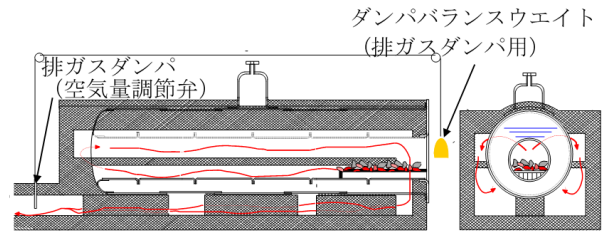


図 3 コルニッシュボイラにおける燃焼ガスの流れ

ボイラと同様でボイラ本体の周囲に耐火煉瓦を積み上げている。また燃焼用の空気量調整は煙突の通風力による誘引通風方式であり排ガスダンパで調整される。燃焼ガスに晒される炉筒と外筒には温度差があり、熱収縮率が異なって熱応力による損傷リスクがある。また炉筒は水側の圧力を受けるため、強度強化と長い炉筒の中央部でのたるみ等の抑制のために炉筒を複数のセグメントに分割し、図 4 中に示すアダムソン継手で連結されている。

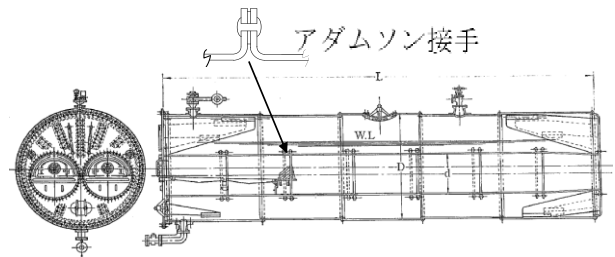


図 4 ランカシャボイラの構造とアダムソン継手



図 5 機関車型ボイラ(ケワニボイラ)
(株ヒラカワボイラ歴史記念館)

4.3 機関車型ボイラ

図 5 に示す機関車型ボイラの上部は丸形で、燃焼室を構成する側面は平面であり、煙管部分は円筒形状である。角型燃焼室部分で石炭を燃焼し、燃焼ガスは円筒部の煙管を通り煙道煙突から大気中に放散させる。燃焼についてはコルニッシュ、ランカシャボイラ同様、煙突の通風力（ドラフト）による誘引通風方式による。機関車型ボイラは胴

体や燃焼室の側面は平面部の補強にはネジステーが採用されている。ネジステーの腐食や内外の平面部の熱応力によるネジステーの損傷や割れ等を知らせることを目的にネジステーの中心部に「知らせ穴」と称する小さな穴をあけている。

以上のボイラは基本的に石炭焚きであり、これらに共通する運転停止処理を行っていた。具体的には、蒸気漏れで水位が低下する可能性があり、通常運転



図6 蒸気機関車の投炭状況



(a) 競技風景



(b) 投炭量の計量

図7 投炭状況と投炭競技
(第8回全国投炭競技大会, 1954.11,
於滋賀県立瀬田工業高校) [4]

時より水位を高めに給水を行っておく。また石炭の着火にかなり時間がかかることから翌朝の石炭に即点火できるように火格子上に火種を確保する必要がある。火格子上に石炭の残り火を灰で包み火種

を残すのが最良で、これを「埋火」という。

我が国では現在、一部の路線で観光用に運転されている図6の機関車(SL)を除いて、中小型ボイラで石炭焚き(投炭)はまず皆無であろう。石炭燃焼の効率的かつ安定的な燃焼を求めるには、ロストルの大きさにもよるが、適量の石炭投入と平均的な厚さに分散させることが必要である。投炭の技術向上などを目的として、当時、競技が行われていた(図7参照)。スコップのさばき方で決まるボイラオペレータの技術でありそれらを競う競技会であった。

5. ボイラ製造過程

5.1 野書き

以下、著者の一人(木下)が経験あるいは先輩諸氏から聞いたかつてのボイラ製造過程について順次説明する。まずボイラに用いた鋼材は一般的に3×6(サブロク, 3尺×6尺, 1尺≒33cm), 4×8(シハチ, 4尺×8尺), 5×10(ゴトウ, 5尺×10尺)などと呼ばれた大きさであった。短い線は定規と竹筆で引いたが数mの長い鋼材に直線を引くのは定規では困難であり、図8のように木工大工と同じく墨ツボが使われていた。墨ツボを使わなくなったのは自動切断機が主流になったことによる。

5.2 曲げ加工

ローラの曲げ範囲から外れる部分の曲げ加工については、図9に示すようにアテビシを数人のハンマー打ち職人が代わる代わる叩き、端曲げ加工を行う。次いで端曲げされた鋼板を図10のように3本方式の曲げローラにセットし、上側のローラで鋼板を抑えてローラを人力で回転させることで円筒形に曲げる。

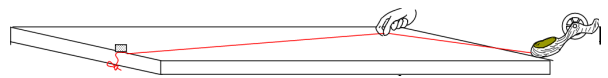


図8 墨つぼによる長い直線野書き



図9 ハンマーによる端曲げ加工

5.3 管板の曲げ加工(焼き曲げ)

鋼材を部分的に火造り(コークス)で加熱し、R

型に乗せ、その上に重しを乗せて周りを大きな木ハンマーで叩き曲げる(図 11 参照)。焼き加減と叩く速さが重要であった。火造りで焼いている時間帯はハンマー打ち職人の休憩時間でもあった。

曲げ加工は昔の刀鍛冶の技術がそのまま引き継がれていた技法と考えられる。焼き加減やどこをどのような強さで叩くかについて指示を与えるボーション(指示役)に従って、数人のハンマー打ち職人が代わる代わる叩き曲げていく。左利きのハンマー打ちは貴重な存在で、日当が幾らか優遇されていた時期もあったという。

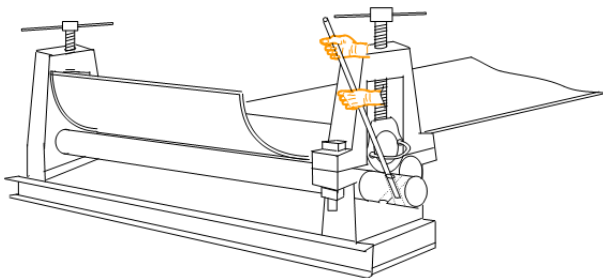


図 10 ローラによる曲げ加工

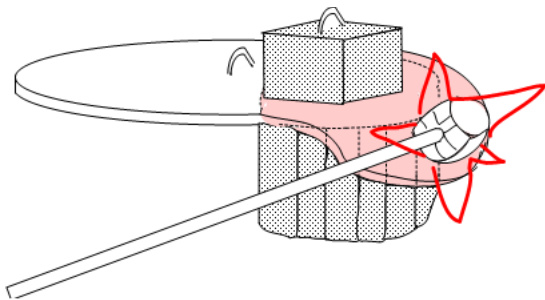
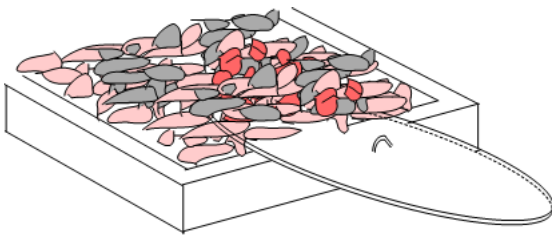


図 11 管板の曲げ加工

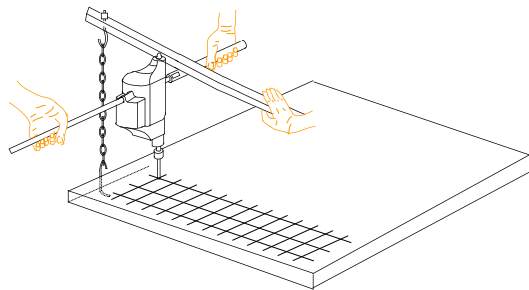


図 12 小径の穴あけ作業



図 13 管穴の実例(㈱ヒラカワ製造部による)

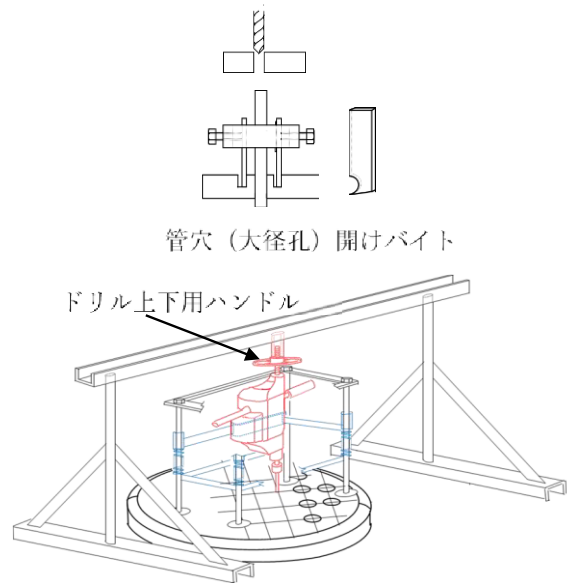


図 14 鋼板穴あけ作業

5.4 穴あけ加工

大きな鋼板はボール盤に乗せることは困難であり、リベット等の多くの小径穴あけ時には穴開け位置に罫書きポンチを打ち、大きな電気ドリルを二人で持ち梃子の応用でドリルの上をレバーで抑えて穴あけを行った(図 12)。ベテランと新人のコンビでの作業であるが新人のドリルの持ち方が悪いと「何してる!」と怒鳴られながらの作業であったと記憶している。

一方、図 13 に示す管穴などの大径穴の場合には、大型のドリルを上下させられる枠に組み込み、ドリルを抑えられるアーチの中に入れてドリル先端に切削バイトを取付けての穴あけ作業となる。まず中心を得るための小径穴を開け切削バイトが振れないようなジグを用いる(図 14)。バイトの設定で穴径が決まるので、バイトの設定寸法の合わせ方かなりの技術が要求される。

5.5 リベット(カシメ)作業

リベット打ち作業は4~5人チームで行う。リベ

ットは約 1000~1200°Cまで加熱するが温度は実測ではなく職人の目視(勘)による。焼きすぎると強度低下や溶けて使えないし、温度が低いと十分なカシメが出来なくなり接合が不可となる。

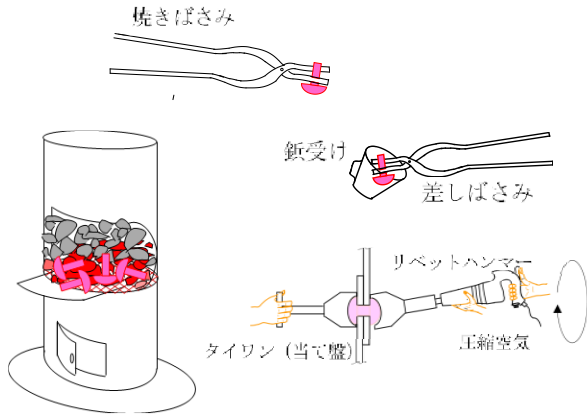


図 15 リベット作業

リベットは図 15 に示すように小型のコークス炉で焼き、適温状態で焼きばさみで投げ、銚受けで受け取り、差しばさみで穴に差し込み、当盤(タイワン)で抑えてリベットハンマーで素早く打ち込み、最後にリベットハンマーを傾けリベット先端を鋼材に密着させる。真っ赤に赤熱したリベットを投げる側、受ける側、それをかしめる側すべてに早業が求められた[5]。作業場には狭い場所もあり、火傷や足の踏み外し等に対する安全対策が本来必要であるが、当時にはそのような配慮はあまり重視されていなかったように思う。

5.6 鋼板重ね部の段差対策

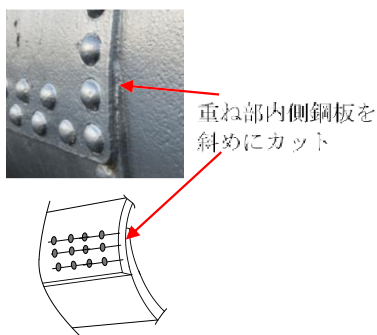


図 16 重ね合わせ部分

円筒形の繋ぎ目は板厚の関係で大きな隙間ができる。これらの隙間を作らないためには内側に入る円筒形の端を斜めにタガネとエアハンマーではつた。ハツリ部分は真っ直ぐで反対側の鋼材

と密着させる技術は大変な職人技であった。

5.7 コーキング(漏れ止め)作業

リベット接合が始まった頃のボイラでは製造後に水を入ただけで接合部から水が噴き出す状態であったという。もちろん大きな漏れは止めていたが、小さい漏れは錆等が詰まり自然に漏れは止まっていた。リベット接合部の漏れ対策には鉛、麻、紙等の挿み込み、さらには馬糞、糖をボイラ内に入れて漏れ止めを行っていた[6]。

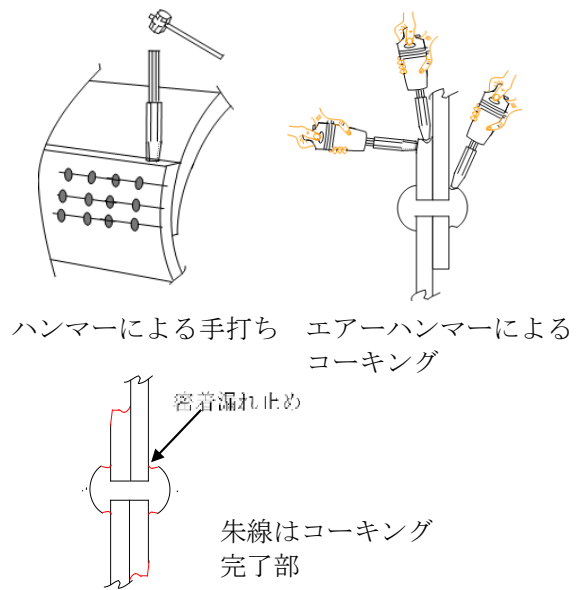


図 17 コーキング作業

コーキングとは図 17 に示すように接続部の鋼材の端を先丸や先角のタガネで叩き、鋼材の端を隣り合う鋼材の平面部に密着させて漏れを止める技法である。コーキングの歴史は不明であるが、鋼材の接合部やリベット部等の漏れ対策としてずいぶん前から実施されていた[7]。

5.8 エキスパンダ加工(コロ上げ)

管板に管を差し込み管内面から押し上げて固着させるエキスパンダ加工は 19 世紀中ごろに開発された。図 18 に示すエキスパンダを管内に差し込み回転させることで管を上げながら自身も内部へ進む自己送り機能を有した優れたものである。加工法は簡単と思われがちだが、締め付ければ良いと言うものではなく、管穴周辺の変化状況を確認しながらの締め付けが重要である。一般には拡管率で管理されているがこれで十分とは言えない。つまり管と管穴の公差や表面の仕上がり状態と締め

付け加減等は漏れの有無に大きく影響する。現在、使用圧力 12.3 MPa, 最高温度 400 °C以下で実用されている。現状でも経験に依存しているところがあり、科学的に裏付けられた作業方法の検討が必要であろう。



右回転で管を拡げながら前進, 左回転で抜ける

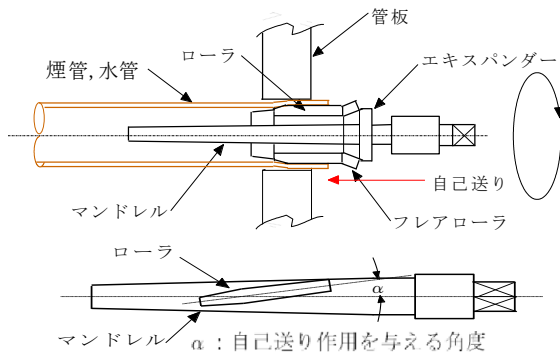


図 18 エキスパンダ作業とエキスパンダ[8]

5.9 ボイラの溶接

1890 年頃, 金属アーク溶接が開発された。我が国には 1914 年に金属アーク溶接が導入され, 1935 年頃から被覆アーク溶接棒が採用されている。当初は溶接の技術や溶接の施工技量また検査方法等も含め信頼性に欠けていた。ボイラの溶接については 1937 年に日本機械学会と日本溶接協会の両者で蒸気罐溶接規格制定委員会を設置し, 約 4 年の年月をかけて規格案を作成し, 1941 年に委員会決定した。1948 年に「汽罐及び特殊汽罐電弧 (アーク) 溶接規格」が制定された。溶接不良には, 内部欠陥 (ブローホール, スラグ巻き込み, 溶け込み不良, ピンホール) また, 材料側によるラミネーション, サルファクラック等による割れ, さらに外部欠陥 (アンダーカット, オーラップ, クラック) 等がある。

溶接の検査はテストピースの破壊 (強度) 検査と X線検査があるが, 外側は目視検査のみである。従って, 溶接の信憑性は溶接士個人の信頼性に頼らざるを得ない部分もある。現在, ボイラ溶接士資格取得者であっても 2 年ごとの資格更新に際しては, 実技試験でテストピースの溶接を行い, 曲げ試験等に合格することが求められている。

当初は被覆アーク溶接のみであったが 1933 年にアメリカで開発されたサブマージアーク溶接 (商品名ユニオンメルト) が 1950 年代に輸入された。これは厚鋼の溶接に適していたが使いこなせるまでに時間がかかった。また, 溶接ワイヤー (芯線) とフラックスは別々に供給することから先端部に大きなワイヤリールとフラックス投入用のホッパが必要であり, かなり大きな装置であった。従って, 内面は開先を取り被覆アーク溶接 (手溶接) で時間はかかるが多層盛りを行い, 外側はアークエアガウジングでハツリ, サブマージアーク溶接一層盛りとし, 短時間で終了させていた。サブマージアーク溶接の場合には溶け込みが深いために開先を小さくできる。例えば薄板 10~12 mm 程度までであれば I 型開先で溶接裏ハツリ両面溶接とし, 厚板 12 mm 以上では Y 型開先で溶接裏ハツリ両面溶接とした。

サブマージアーク溶接機は自走出来ないためにメーカーがマニピュレータ等の製作を行い, 幾らか内面の溶接が可能となったが, 溶接用ワイヤーやフラックス供給用のホッパ等が装備され装置が大きく胴内面の溶接は困難であった。しかし現場の溶接士の提案でフラックスのポッパーを無くし空気圧による供給が提案され, その技術は特許登録され, 小径胴内 (約 500 mm) のサブマージ溶接が可能となり生産性向上につながった[9-11]。

6. 炉筒煙管ボイラの開発 (平川鐵工所)

1953 年(株)平川鐵工所は図 19 に示す炉筒煙管ボイラ MP-100 を開発した。重油, ガス専焼で設計, ボイラ効率 85%以上, 重油, ガス切替専焼バーナ搭載, 誘引通風方式。ボイラ本体等の構造は複雑化してきたが周囲にレンガ積みが無くなることで

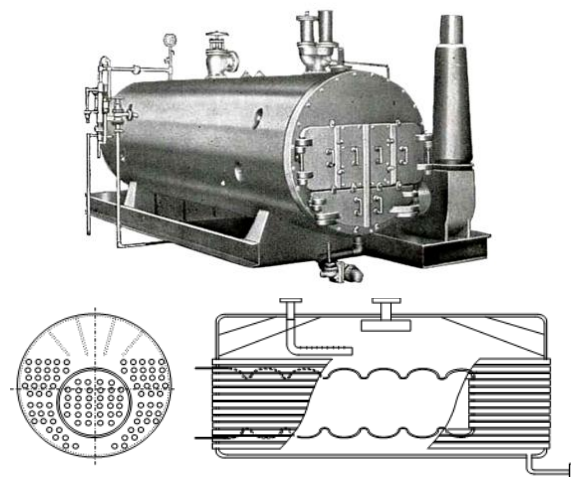


図 19 炉筒煙管ボイラ MP-100 (平川鐵工所の資料による)

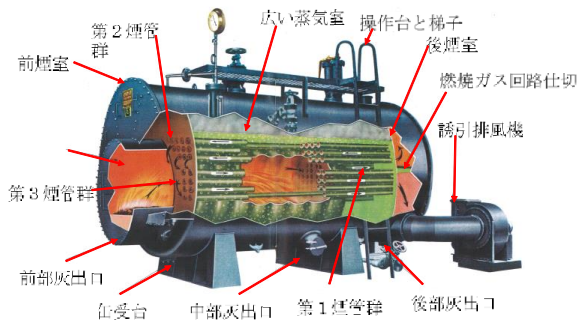


図 20 MP-300 型炉筒煙管ボイラ
(平川鐵工所の資料による)

設置費用や設置場所に経費が掛からなくなる。特に燃費(効率)の向上が大きなメリットになった。

石炭、重油、ガス焚き等が可能なボイラとして1955年に図 20 の MP-300 型が開発された。油焚き、ガス焚きについては MP-100 型同様であるが、従来の投炭方式の燃焼装置の設置や石炭の自動投入装置(移動式ストーカ)の取付けも可能であった。

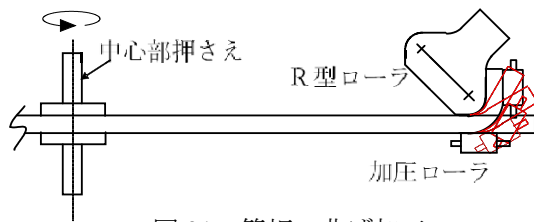


図 21 管板の曲げ加工

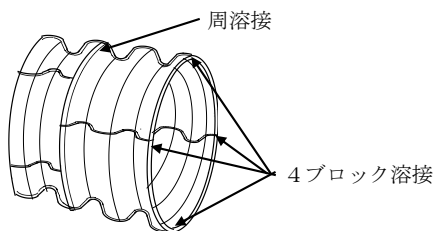


図 22 1/4 分割による波型炉筒の製作 (1/4 で 2~3 山を分割加熱水圧プレスで加重加工, 分割の 4 個を溶接繋ぎ合わせ円筒型にする, 何個も継ぎ足し一本の波型炉筒を製作)

1960 年代に入ると、それまで管板の曲げ加工に火造りで焼き、叩き曲げていたものを冷間での曲げ可能な図 21 のようなベンディングローラ(アメリカ製)を購入(1961 年)した。最初は平面そのものが大きくゆがみ商品にならなかったが数週間かけて何とか商品に使えるようにした。また波型炉筒は熱膨張収縮が容易である、外圧に強い、伝熱面積が大きくなる等のメリットで採用されているが、当初は図 22 のように 4 分割を組み合わせる製作方法を用いていた。真円度も悪く製作工数が多いにも

多くなっていた。平川鐵工所では、図 23 の熱間加工ローラを 1960 年頃購入し、作業時間の短縮と真円精度向上につながった。最初は丸くなるどころか楕円径(卵型)になり炉筒としては使い物にならなかったが、訓練の末、数週間後には丸い波型炉筒が完成し商品化が可能となった。

最後に(株)ヒラカワにおけるボイラ開発の歴史を表 1 に取りまとめた。(株)ヒラカワは 1912 年に創業し、当初はコルニッシュ、ランカシャ、機関車型ボイラなどを製造していたが、1944 年から平川独自の水管ボイラ、立型ボイラ、炉筒煙管ボイラや燃焼装置等を数年おきに開発してきた。最近ではボイラ自体の開発はやや少なくなったがこれまで開発してきたボイラや様々な機器をシステムとして組み合わせ、ゼロカーボン社会を視野に入れつつ、効率向上等に取り組んでいる。このような状況はヒラカワのみの状況というより、中小ボイラメーカ全般の傾向であり、その意味で表 1 は日本の産業状況の反映とも言えるものである。



図 23 熱間ローラによる波型炉筒製作
((株)ヒラカワの資料による)

7. おわりに

我が国におけるボイラ製造は、海外製品の導入から始まって、見よう見まねで鍛冶屋が製造していた時代を経て、様々な工作機械の導入、接合技術の発展、コンピュータ技術の導入など折々の新規技術を組み込みながら現在に至っている。そのボイラ製造の初期段階ではまさに職人の技と勘に頼った製造方法をとっていた。本稿では大阪を中心として発展してきた中小型ボイラ製造の職人技ともいべき当初の現場技術の一端を紹介した。著者の一人は約 60 年に亘ってボイラ製造現場にいたが、ここに記載した内容のうち著者が経験した以前の内容については先輩などからの伝聞に基づいたものであることをお断りしておきたい。現在の高度に発達したボイラ技術も、当初は現場の職人の創意と工夫、多くの失敗の克服の上に成り立っていることを特に若い世代の会員諸氏に少しでも理解いただけたとしたり、それは著者らの望外の喜びである。

表 1 (株)ヒラカワにおけるボイラ開発史

1912年	創立	1971年	2000型（戻り燃焼方式ガス焚）炉筒煙管ボイラ
1922年	コルニッシュボイラ	1974年	HPG型高圧（100kg/cm ² ）蒸気発生器
1922年	ランカッシャボイラ	1979年	AD型炉筒煙管ボイラ
1933年	機関車型（ケワニ）ボイラ	1981年	ADW型炉筒煙管ボイラ
1944年	平川～HK-A～B型水管式ボイラ	1982年	MINY型（小規模）炉筒煙管ボイラ
1949年	平川～立て型ボイラ	1984年	サイレントボイラ（ガス蒸気ボイラ）
1953年	100型炉筒煙管ボイラ（誘引通風燃焼方式）	1986年	MINYターボチャージャ型ボイラ
1955年	300型炉筒煙管ボイラ（誘引通風燃焼方式）	1995年	JP型（JAFI理論）水管ボイラ
1960年	500型炉筒煙管ボイラ（加圧通風燃焼方式）	1995年	JF型（JAFI理論）炉筒水管ボイラ
1961年	KLEIN型小型炉筒煙管ボイラ（4パス）	1996年	JS型（JAFI理論）貫流ボイラ
1964年	700型炉筒煙管ボイラ（加圧通風燃焼方式）	2009年	HKM型貫流ボイラ
1965年	UR型炉筒煙管ボイラ（平衡通風燃焼方式）	2011年	CG型潜熱回収ボイラ
1967年	800型（戻り燃焼方式）炉筒煙管ボイラ	2021年	FG-2000型（小規模）炉筒煙管ボイラ
1968年	WTP型水管式ボイラ		

参考文献

- [1] 日本ボイラ協会大阪支部，五十年の歩み(1997).
 [2] 日本ボイラ協会大阪支部，中小型ボイラの変遷に関する調査研究報告書 (1992).
 [3] 日本ボイラ協会滋賀支部講習会資料：ボイラの概要 (1982).
 [4] 日本ボイラ協会滋賀支部，五十年の歩み(1997).
 [5] 橋本良昭，リベット接合の歴史，東京技術士会報，Vol. 5, No. 1, 第 5 号提言する技術士集団，（一社）東京技術士会 (2021).
 [6] 船用機関学会機関史編集委員会編，船用機関史，船用ボイラにおける給水処理の発達（本資料は未刊であるが，小澤守，蒸気罐発達史，クラフティヴ電子出版 (2023)に採録）.
 [7] 江刺弘之，刹那の鍛造胴にリベット締め鏡板～リベット締めドラムから溶接構造ドラムへの技術革新の狭間で，ボイラ研究，No. 435 (2022), pp. 25-32.
 [8] エキスパンダ加工研究会，エキスパンダ加工技術総覧，丸善 (1966).
 [9] 三田常夫，アーク溶接技術発展の系統化調査，技術の系統化調査報告 第 23 集, No. 4 (2016), pp. 391-528.
 [10] 蒸気罐溶接規格制定委員会，蒸気罐溶接規格，熔接協會誌，Vol. 12, No. 11 (1942), pp. 394-412.
 [11] 村西良昌，高能率な大入熱サブマージアーク溶接法，神戸製鋼技報，Vol. 63, No. 1 (2013), pp. 27-31.