

歴史の散歩道(57)

我が国における蒸気動力技術の展開③



明治中期から昭和初期までの技術発展過程

A Short History of Steam Power Technology in Japan Vol. 3
The Evolution of Marine Engines from the Mid-Meiji Era
to the Early Showa Period

小 澤 守*
Mamoru Ozawa

1. 艦艇用主機関の進展

明治5年(1872年)に海軍省が設置され、国産技術の進展を図りながら、一方で艦船の購入によって早急に海軍力を増強していった。購入先の多くは英国であり、またわずかではあるが佛国、米国からも購入した。その一部を表1に示す。機関は幕末から明治初期に至るまで横置機関が中心であったが、明治中期以降直立3段膨張3筭機関から主流は3段膨張4筭機関になる。明治末期から大正期に入るとタービン機関が導入されてきた。ボイラに関しては幕末期の角缶から圧力と蒸気温度の上昇に伴って円缶(丸ボイラ)、即ちScotchボイラが導入され、平面炉筒から波形炉筒(Fox, Morison, Purvesなど)、さらにThornycroft,

Yarrow, Belleville, Niclausseなどの水管ボイラが搭載されるようになった。Belleville缶やNiclausseボイラは一時期用いられたが水循環が芳しくなく、国内ではYarrowボイラが重要視されるようになった。後に海軍制式となるイ号艦本ボイラ、続くロ号艦本ボイラなどはこのYarrowボイラの変形ともいえる。燃料として当初は石炭のみが使用されていたが、大正期に入ると石炭、重油の混焼が進むようになる。

多く建造された水雷艇は排水量が総じて小さく、ボイラもコンパクトである必要があったためか、当初は汽車ボイラが多く用いられていた。その水雷艇に我が国で最初に水管ボイラが採用されたのは、1892年(明治25年)に佛国Normand社において製造され、小野浜造船所で組立てら

表1 海外建造艦艇

艦船名	竣工年 西暦	竣工年 M.	製造所	船体,船種	排水量	主機の制式	馬力	ボイラ形式
扶桑	1878	M.11	英国Samuda Brothers	鉄船, 甲鉄, 二等戦艦	3,777	横置2段膨張Trunk機関2, 双螺旋, 触面復水器	3,650	高円缶8
浪速	1886	M.19	英国Armstrong	木造, 二等巡洋艦	3,709	横置2段膨張2筭直接合式2, 双螺旋	7,500	低円缶(片面3, 両面3)
高千穂	1886	M.19	英国Armstrong	鋼船, 二等巡洋艦	3,709	横置2段膨張2筭直接合式2, 双螺旋	7,604	低円缶(片面3, 両面3)
厳島	1891	M.24	佛国Forges et Chantiers de la Mediterrane	鋼船, 二等巡洋艦	4,278	横置3段膨張3筭機関2双螺旋	5,400	低円缶6, Fox波形炉筒
千代田	1891	M.24	英国Thomson(Glasgow)	鋼船, 三等巡洋艦	2,439	直立3段膨張3筭機関2, 双螺旋	5,678	汽車缶6
第15号水雷艇	1892	M.25	佛国Normand	二等水雷艇, 小野浜造船所で組立	53	直立3段膨張3筭機関1基, 単螺旋	657	du Temple水管ボイラ1
吉野	1893	M.26	英国Armstrong	鋼船, 二等巡洋艦	4,160	直立3段膨張4筭機関2, 双螺旋, 触面式青銅円筒形4	15,500	鋼製高円缶片面12, Purves炉筒
高砂	1898	M.31	英国Armstrong	鋼船, 二等巡洋艦	4,160	直立3段膨張4筭機関2	1,550	片面式円缶4, 両面式4, Morison炉筒
笠置	1898	M.31	米国William Cramp & Sons Shipbuilding	鋼船, 二等巡洋艦	4,900	直立3段膨張4筭機関2	15,500	片面円缶12, Morison炉筒
叢雲	1898	M.31	英国Thornycroft	駆逐艦	275	直立3段膨張4筭機関2	5,400	Thornycroft水管缶3
雷	1899	M.32	英国Yarrow	駆逐艦	305	直立3段膨張4筭機関2	6,000	Yarrow水管缶4
三笠	1902	M.35	英国Vickers	鋼船, 一等戦艦	15,140	直立3段膨張3筭機関2	15,000	Belleville水管缶25
吾妻	1902	M.35	佛国Societe des Chantiers de la Loire	鋼船, 一等巡洋艦	9,326	直立3段膨張4筭機関2	16,000	Belleville水管缶24
鹿島	1906	M.39	英国Armstrong	鋼船, 一等戦艦	16,400	直立3段膨張4筭機関2	15,600	Niclausse水缶20
金剛	1913	T.2	英国Vickers	巡洋戦艦	27,500	複式改良型Parsonsタービン2	64,000	Yarrow混焼缶36

注：本稿中の各種データは参考文献¹⁻¹⁵⁾の諸表に基づいて作成。主機の制式およびボイラ形式の欄中の数字は設置数。

*関西大学名誉教授

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

れた第15号水雷艇で、主機は直立3段膨張3笛機関1基、単螺旋で、du Temple水管ボイラであった。

表2に国内建造（主機については輸入も含む）艦艇の一部を例示する。国内艦艇建造の中心は当初横須賀造船所、明治36年（1903年）の海軍の組織変更に伴って横須賀海軍工廠、さらには同時期の呉海軍工廠であった。後には佐世保、舞鶴の工廠、民間造船所としては三菱長崎造船所、神戸川崎造船所が多く艦船を建造することになる。主機を見ると表1のデータと同様当初は横置2段膨張から横置3段膨張機関へと発展し、輸入艦艇よりは若干遅れるが直立3段膨張3笛機関、そして3段膨張4笛機関へと変わる。明治末期には横須賀、呉で当初は輸入のCurtis, Parsonsタービン機関が搭載されるようになる。海軍技術本部ではCurtis（1906年技術提携）、Parsons（1911年）タービンのライセンスを取得し、後にこれらライセンスに抵触しないように、またZoellyやRateauタービンをも参考に、技

本式（後に艦本式）タービンを作り上げた¹⁶⁾。民間の造船所では、三菱長崎はParsonsタービン（1904年製作権取得）、神戸川崎造船所ではCurtisタービン（1907年製作技術提携）、のちにはBrown-Curtisタービン（1911年技術提携）の製造権を獲得し、各工廠とともに艦艇を建造していった。国産最初のタービン船は「河内」で、川崎造船所製のCurtisタービンを搭載した。

ボイラは基本的には輸入艦艇と同様な経緯をたどるが、なかでも「橋立」に搭載された宮原式水管ボイラは海外のボイラと性能上遜色なく、メンテナンスも容易と判断されたことから、海軍制式として採用された。表中では当初低円缶が搭載されていた「橋立」の換装時に宮原式水管ボイラに変更されている。その後、海軍ではYarrowボイラに倣って開発したイ号艦本式、水ドラムを半円から円形断面へと変更したロ号艦本ボイラが主流となっていた。燃料も明治末期には石炭・重油混焼となり、大正10年（1921年）

表2 国内建造艦艇

艦船名	竣工年 西暦	竣工年	製造所	船体、船種	排水量	主機の制式	馬力	ボイラ形式
清輝	1876	M.9	横須賀造船所	木造、二等砲艦	897	横置還働2段膨張3笛直接合機関1, 触面復水器	720	片面高円缶2
迅鯨	1881	M.14	横須賀造船所	木造、御召艦	1,464	斜置単段2笛式外車機関1, 触面復水器	1,400	片面円缶4
高雄	1883	M.16	横須賀造船所	海防艦, 木造鉄骨鉄皮艦	1,750	横置2段膨張2笛直接合機関2, 双螺旋	2,300	鋼製低円缶5
橋立	1894	M.27	横須賀造船所	鋼船, 二等海防艦	4,278	横置3段膨張3笛機関2, 双螺旋	4,573	低円缶6, Fox炉筒, 後にPurvesに変更
千早	1901	M.34	横須賀造船所	鋼船, 通報艦	1,238	直立3段膨張3笛機関2, 表面復水器	6,016	Norman水管缶4
橋立	1902	M.36	横須賀造船所	換装	4,278	横置3段膨張3笛機関2, 双螺旋		宮原式水管缶8
音羽	1904	M.37	横須賀海軍工廠	鋼船, 三等巡洋艦	3,000	直立3段膨張4笛機関2	8,477	艦本式イ号水管ボイラ10
對馬	1904	M.37	呉海軍工廠	海防艦	3,366	直立3段膨張4笛機関2	8,227	佛国製Niclausse水管缶16
筑波	1907	M.40	呉海軍工廠	鋼船, 一等巡洋艦	13,750	直立3段膨張4笛機関2	23,260	宮原式水管20
伊吹	1909	M.42	呉海軍工廠	一等巡洋艦	14,600	Fore River製Curtis単式直結タービン2	24,000	宮原式混焼両面10, 片面8
安藝	1911	M.44	呉海軍工廠	戦艦	19,800	Fore River製Curtis単式直結タービン2	25,000	宮原式混焼両面11, 片面4
河内	1912	M.45	横須賀海軍工廠	戦艦	20,800	川崎造船所製Curtis直結タービン2	30,399	宮原式水管混焼, 片面8缶, 両面8缶
比叡	1914	T.3	横須賀海軍工廠	巡洋戦艦	26,330	Parsonsタービン2	64,000	イ号艦本式混焼36
榛名	1915	T.4	神戸川崎造船所	巡洋戦艦	26,330	川崎Brown-Curtisタービン2	64,000	ロ号艦本式混焼36
球磨	1920	T.9	佐世保海軍工廠	二等巡洋艦	5,500	三菱技本式高圧衝動型・三菱Parsons式低圧反動型オールギヤードタービン4	91,229	ロ号艦本式混焼2, 重油専焼10
陸奥	1921	T.10	横須賀海軍工廠	戦艦	33,800	技本式タービン4	82,000	ロ号艦本式重油専焼16, 混焼6
鬼怒	1922	T.11	神戸川崎造船所	二等巡洋艦	5,570	川崎Brown-Curtisタービン4	95,410	ロ号艦本式重油専焼10, 混焼2
夕張	1923	T.12	佐世保海軍工廠	二等巡洋艦	3,141	三菱Parsons式ギヤードタービン3	61,336	ロ号艦本式重油専焼8
古鷹	1926	T.15	三菱長崎造船所	一等巡洋艦	8,586	三菱Parsons式タービン4	95,000	ロ号艦本式重油専焼10, 混焼2
衣笠	1927	S.2	神戸川崎造船所	一等巡洋艦	8,586	川崎Brown-Curtisタービン4	102,000	ロ号艦本式重油専焼10, 混焼2
三隈	1935	S.10	三菱長崎造船所	一等巡洋艦	11,169	艦本式タービン4	152,000	ロ号艦本式重油専焼空気予热器付10
大和	1941	S.16	呉海軍工廠	戦艦	68,200	艦本式タービン2	150,000	ロ号艦本式A重油専焼12
飛鷹	1942	S.17	神戸川崎造船所	空母	27,500	川崎式2段膨張タービン2	56,250	川崎La Mont缶重油専焼6
武蔵	1942	S.17	三菱長崎造船所	戦艦	68,200	艦本式タービン2	150,000	ロ号艦本式A重油専焼12

頃には重油専焼となっている。従来水管ボイラは自然循環形式であったが、1942年に川崎造船所で建造された空母「飛鷹」には重油専焼の川崎製 La Mont 強制循環ボイラが搭載された。

図1は艦艇主機の単機出力の変遷で、プロットされているデータは海外の代表値と今回収集した国内艦船279艦のデータである。我が国の艦船主機の出力は初期には海外の艦船よりも低いが、タービンが主機に採用されるようになる頃にはほとんど海外のものと一致している。艦艇も商船も1900年代初頭までは往復動機関が中心であったが、Parsons タービンやCurtis タービンが出現し、艦艇主機として応用されるや否や往復動にとって代わっている。つまり単機で10,000 kWを超えるようになると往復動の好適範囲（機関重量当たりの出力や燃料消費率など）を超えてしまい、主機はタービンに変遷したのである。なおこの議論はタービン機関からディーゼル機関への変遷にも当てはまり、その詳細については石谷¹⁷⁾や武田の所論^{18, 19)}を参照されたい。

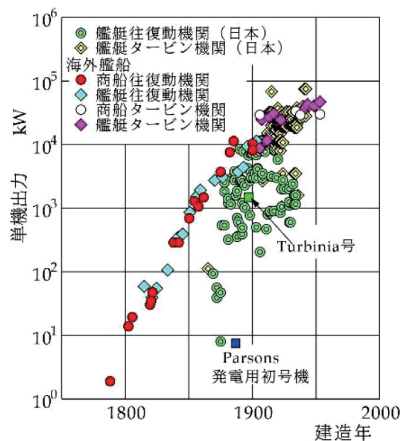


図1 船用機関の単機出力の変遷^{1-15, 17)}

2. 商船用主機関の進展

産業の発展は物流、特に海外、国内の物流なくしては成り立たない。明治初期に日本の周辺、海外との交易を支配していたのは米国の太平洋郵便汽船会社であった。明治6年（1873年）に設立された三菱商会が徐々にその実力をあげ、国内の運輸業を着実に拡大していった。その後、政府が三菱商会に対して外国航路に進出するように指示し、船舶や資金面で多大な援助を行った。この三菱に対抗するように各地に汽船会社が設立され、合同して国内では三菱と競争し、海外に対しては米国の太平洋郵便汽船会社に対抗することになる。これが共同運輸会社である。三菱と苛烈な競争をするようになったが、政府の勸奨もあり、郵便汽船三菱会社との合併が行われ、日本郵船が明治18年（1885年）に誕生した。一方、瀬戸内海を中心として勃興してい

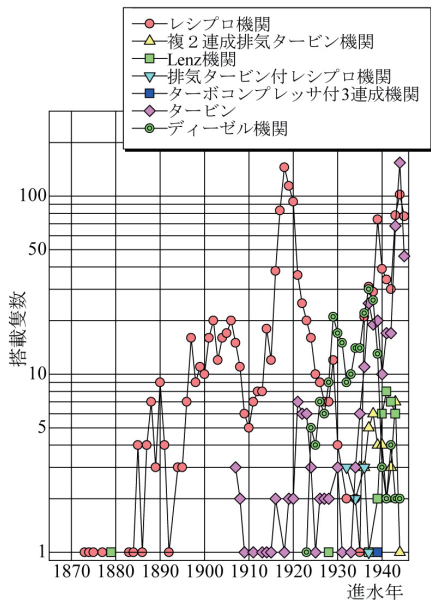
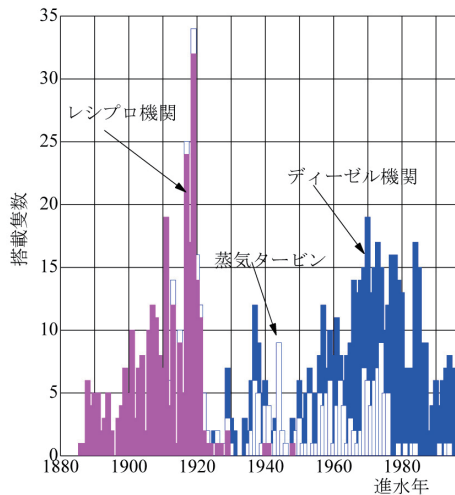
た小船主が合同して関西汽船同盟会社を組織したが、経営悪化のために解散のやむなきに至ったところ、大阪の富豪たちが資金を出し合い、替わって大阪商船会社が設立された。ただし保有商船そのものが貧弱であったことから、政府も健全な競争をさせる意図から資金援助して老朽船を排除し、新造船購入促進を図った。このような我が国の経済発展に伴う国内、海外との物流を支える船会社が商船の外国からの購入と国内建造を促進する原動力となった²⁰⁾。なお誌面の都合により個別データの表は省略するが、蒸気圧、温度などのデータには商船データも含まれている。

3. 過渡期の主機関

往復動機関は4段膨張4笛機関が出現するまでに至ったが、構造の複雑さ等の理由により多くは利用されなかった。その後タービン機関への遷移期には、往復動機関の排気からタービンによって動力回収を図るもの、2段膨張機関2機のクランクの位相をずらして設置したLenz機関、Götaverken排気タービン圧縮機付3段膨張機関、Lenz機関とBauer-Wach排気タービン組合せ機関、浦賀式排気タービン組合せ機関などが主機として用いられた。これらについては上野、矢崎²¹⁾の著書を参照されたい。一方艦艇ではそのような過渡的な対応は認められず、往復動からタービンへ比較的スムーズに移行した。商船では燃費つまりは機関効率上昇を旨とし、艦艇では重量当たり出力上昇を旨とする船舶の用途の違いによるのだろう。

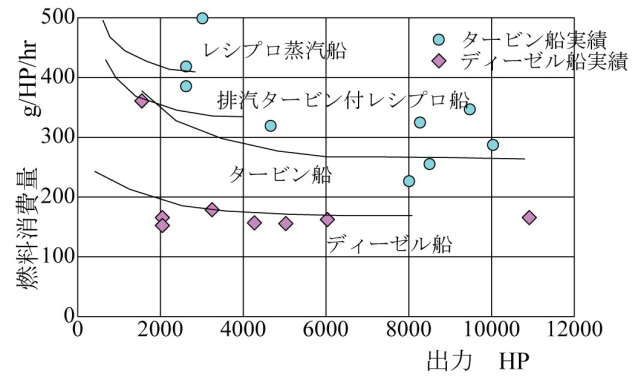
4. 主機関推移の全体像

図2は代表的な船用機関の搭載隻数の推移をプロットしたものである。往復動機関は当初急激に増加し、1910年代終盤には年間150隻近くまで増加する。タービン船は1907年頃に出現し1930年代以降に往復動機関の衰退に入れ替わって急速に増加する。1930年前後には先に過渡的と述べた往復動機関と排気タービンの組み合わせ機関が三菱長崎造船所、三菱神戸造船所、浦賀船渠などから出現している。ディーゼル機関が出現するのは1928年で、それ以降着実に増加している。図3は川崎造船所のデータであり、当初往復動機関が非常な勢いで増加。1910年頃にはタービン船も建造されるが主力は往復動機関であった。ところが1920年代に入ると往復動機関は急速に衰退し、替わってタービン機関、またほぼ同じころにディーゼル機関も推進主機として出現している。1980年頃まではタービンとディーゼルが拮抗しているが、それ以降はLNG船を除いて、ほとんどの船舶がディーゼル機関を主機とするようになっている。なお船用蒸気タービン、船用ディーゼルの発達については文献²²⁻²⁵⁾を参照されたい。

図2 艦船搭載主機（データは文献¹⁴⁾による）図3 川崎造船所建造の主機
（データは文献⁸⁻¹⁰⁾による）

1938年頃の米国貨物船の燃料消費量については文献¹⁸⁾に往復動機関、排気タービン付往復動機関、タービン機関、ディーゼル機関について実績値も含めて示されている。参考のために図4に採録しておく。

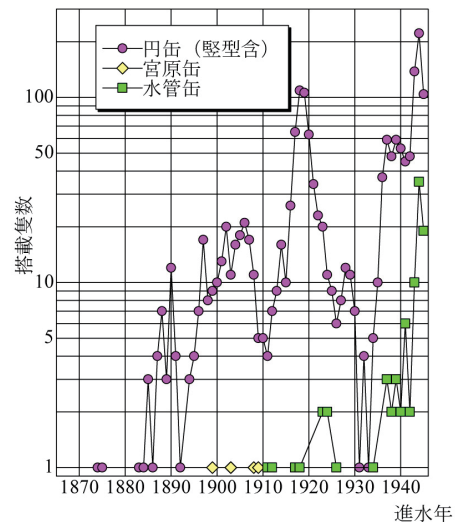
船舶の大型化に伴って機関出力も当然上昇する。1830～1910年頃には単機出力において陸用機関を船用が上回る時期があったが、船用では大型化にも限界があり、その後の電力システムの拡大とともに発電用蒸気タービンの出力が船用を大きく上回ることになる²⁶⁾。往復動機関は容積型であり、シリンダ径、回転数におのずと限界があり、速度型であるタービンに出力において凌駕されるのは当然ともいえる。ただタービンには当然ボイラが必要であり、ボイラも含めた重量当たり出力、さらには燃料消費量（熱効率）その他の要因も含めて総合的にみるとディーゼル機関にメリットがあるのだろう。

図4 船用機関（貨物船）の燃料消費量
（データは文献¹⁸⁾による）

4. 船用蒸気ボイラの変遷

図5は円缶（堅型を含む）、水管ボイラの搭載艦船隻数の推移を示している。宮原式水管ボイラは元来水管ボイラに含めて議論すべきであるが、わが国において開発されたことからあえて分離して示している。円缶は海軍艦艇においては明治の終盤で水管ボイラにとって代わられているが、船舶の圧倒的多数を占める商船分野では水管ボイラへの展開が遅れ、1940年頃でも多数の船舶で円缶が搭載されていた。なお宮原式ボイラはYarrowボイラなどに比べて構造の複雑さがあり、図6に示すようにその存在は知られていたが、海外の艦艇にはほとんど用いられていない²⁷⁾。結果としてイ号、ロ号の艦本ボイラの出現とともに徐々に入れ替わっていった。海軍艦艇で見ると、英国では円缶、Yarrowに続いてAdmiralty（英国制式ボイラ）が圧倒的に多く、わが国では艦本式ボイラが非常に多い。

図7中には海外建造（すなわち輸入）、国内建造の艦艇、海外、国内建造の商船、多少データの重複があるが民間の造船所の代表として比較の数値データが多く公表されている三菱長崎造船所と神戸川崎造船所の建造の主機の蒸気圧力を示している。商船、艦艇の圧力の推移は同様で、立ち

図5 艦船搭載ボイラ（データは文献¹⁴⁾による）

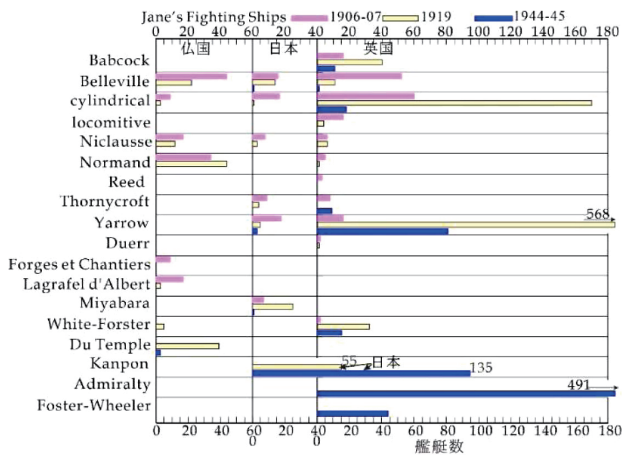


図6 Jane's Fighting Ships²⁷⁾に掲載の英仏日の艦艇搭載のボイラ

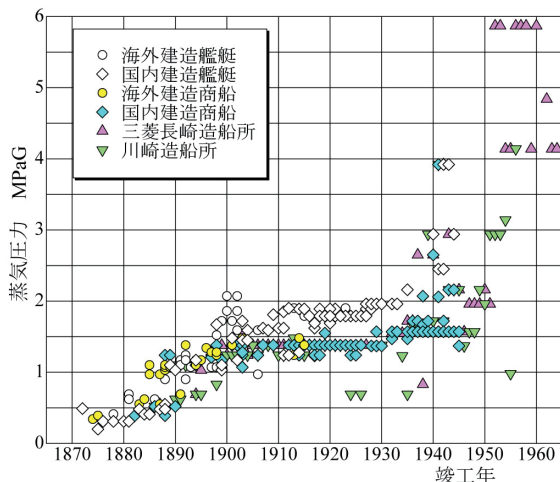


図7 蒸気圧力の推移 (データは文献¹⁻¹⁵⁾による)

上がりは輸入艦船が少し早く1900年から1935年頃の間には艦艇、商船いずれもほぼ一定のもので、その後急速に上昇し、1960年頃には6 MPaにまでなっている。蒸気圧力一定期間には艦艇のほうが、商船よりも若干高い。急速な圧力上昇も艦艇の方が若干高いように見えるがそれも第二次世界大戦までである。

図8に示す蒸気温度の推移を見ると1910年頃まではボイラ出口で飽和温度であるが、それ以降には過熱蒸気が多く用いられるようになっていく。高压化、高出力化は必然的に水管ボイラへの移行を伴うが、商船において本格的に水管ボイラが利用され始めたのは昭和に入ってからである。円缶に水管を取付け、水循環促進を図ったボイラとしたHauden-Johnsonボイラなどは特徴があるが遷移期のボイラと位置づけられる。やはり艦艇と同様に水管ボイラとしてはYarrow型水管ボイラが用いられている。また三菱の3胴水管ボイラ、あるいは第二次世界大戦期の船舶不足を補うために艦本ボイラをベースにした戦時標準型3胴水管ボイラも用いられた。

ここで艦艇、商船に用いられた代表的なボイラおよび機関を示しておく。図9に示したのは円缶 (スコッチボイ

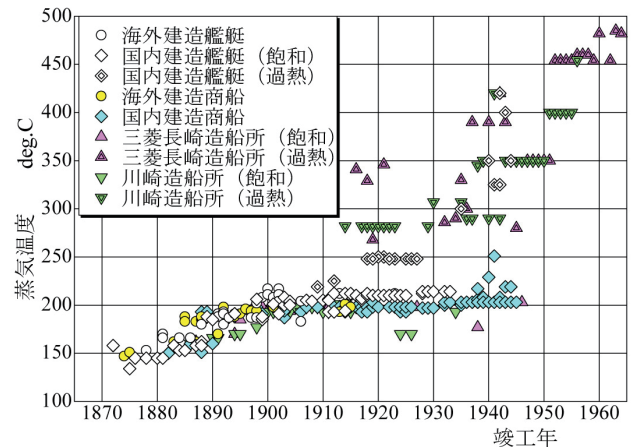


図8 蒸気温度の推移 (データは文献¹⁻¹⁵⁾による)

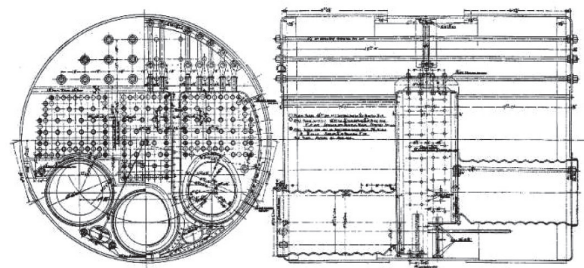


図9 日光丸の円缶 (Morison 波形炉筒)¹⁾

ラ)の両面焚いもので、炉筒には波型炉筒の一つであるMorison炉筒が用いられている。波形にすることによって伝熱面積の増加と膨張収縮に対する対応能力向上が見込まれた。図10には同じ船舶の当時を代表する3段膨張3筒機関を示す。熱出力、熱効率の上昇には過熱蒸気を用いることが重要で、Schmidt式過熱器や江崎式過熱器が用いられた。なお円缶への通風は初期にはボイラ容量が小さいこともあり、煙突によるドラフトで通風する自然通風であったが、1890年頃からは強圧通風 (強制通風) が主流になった。

先に述べたイ号艦本ボイラを改良したものが図11のロ号艦本ボイラである。以後、ハ号、ホ号まで開発された。当初、船用ボイラは多くは自然循環であったが、強制循環としては川崎造船所が製造ライセンスを取ったLa Montボイラが代表的である。

以上、明治以来の我が国の艦艇を含む船用技術、特に蒸気動力の展開を中心として述べた。我が国の造船量は一時世界世界の約半分を占めるまでに成長したが、その多くが明治期の西欧からの技術移転を起点としたものであり、わが国のこのような基盤技術のあり方については今一度振り返るのも重要であろう。その意味でもここで取り上げた各種の資料並びに松本²⁹⁾や薬師寺³⁰⁾の著作は貴重な手掛かりを与えてくれるように思う。

なお本稿では誌面の都合から多くの特徴あるボイラや往復動、タービンなどの主機関を示すことが残念ながらでき

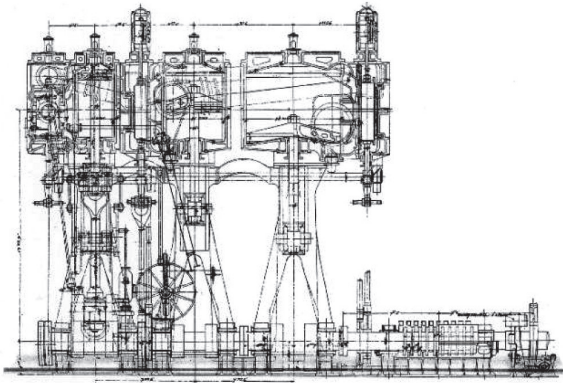


図10 日光丸の主機（3段膨張3筒機関）¹⁾

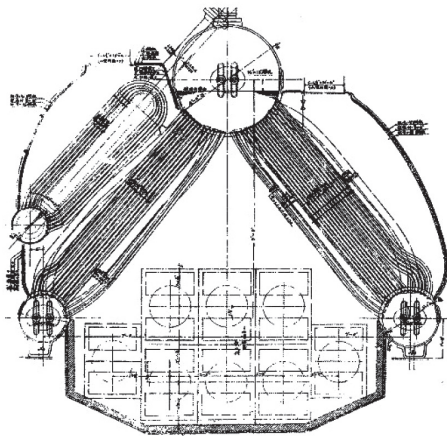


図11 ロ号艦本ボイラ（過熱器付）¹⁵⁾

ていない。文献^{4, 15)}や拙書²⁶⁾など、あるいはまた川崎重工で取りまとめられた資料³¹⁾など、機会があれば参照いただきたい。

参考文献

- 1) 造船協会編；日本近世造船史（明治時代），弘道館（1911）。
- 2) 造船協会編；日本近世造船史（大正時代）（1935）。
- 3) 日本造船学会編；昭和造船史，第1巻（1977），第2巻（1973），原書房。
- 4) 日本船用機関史編集委員会；帝国海軍機関史，上，下，原書房（1975）。
- 5) 三菱造船株式会社長崎造船所職工課編；三菱長崎造船所史（1928）。
- 6) 三菱造船株式会社；創業百年の長崎造船所，（1957）。
- 7) 神戸造船所五十年史編纂委員会編；新三菱神戸造船所五十年史（1957）。
- 8) 川崎造船所；川崎造船所四十年史，（1936）。

- 9) 川崎重工業株式会社；川崎重工業株式会社社史，（1959）。
- 10) 川崎重工業株式会社；川崎重工業株式会社百年史，（1997）。
- 11) 浦賀船渠株式会社；浦賀船渠六十年史，（1957）。
- 12) 日本船用機関史編集委員会編；日本船用機関史（蒸気往復機関編）（未刊行）。
- 13) 日本船用機関史編集委員会編；日本船用機関史（ボイラ編）（未刊行）。
- 14) 日本船用機関学会船用機関調査研究委員会編；本邦建造船要目表（1868～1945），海文堂（1976）。
- 15) ワット誕生二百年記念会編；日本蒸汽工業発達史（1938）。
- 16) 赤川浩爾；旧海軍蒸気タービン変遷発達の歴史的視点序論および武田の分析，日本マリンエンジニアリング学会誌，41-1（2006），pp.47-52。
- 17) 石谷清幹；ボイラ要論，コロナ社（1961），POD版，森北出版（2026）。
- 18) 武田康生；ディーゼル船かタービン船か，船の化学，4-7（1951），pp.42-50, 60（本論文中図1の原典はT. Z. K., 米國船用機関の趨勢，造船協會雜纂，抄録，Vol. 201（1938），pp. 810-813. Fig. 1の原典はInternational Conference of Naval Architects and Marine Engineers, London（1938）及びShipbuilding and Shipping Record, Vol. 51（1938）によるものと思われる）。
- 19) 武田康生；船用往復動機械の重量特性，船舶，24-12（1963），pp.635-640。
- 20) 石谷清幹，幸田功，堀田秀夫，長坂政二；商船用主機をめぐる明治前半期諸状況，日本船用機関学会誌，20-3（1985），pp.213-220。
- 21) 上野喜一郎，矢崎信之；最近の船舶，岩波書店（1942）。
- 22) 日本船用機関史編集委員会；日本の船用蒸気タービン発達史（1945年まで），日本船用機関学会誌，28-1（1993），pp.4-18。
- 23) 日本船用機関史編集委員会；日本船用タービン年表1904～1945（明治37年～昭和20年），日本船用機関学会誌，18-6（1983），pp.484-497。
- 24) 日本船用機関史編集委員会；船用ディーゼル機関の年表，日本船用機関学会誌，3-7（1968），pp.586-595。
- 25) 渋谷文庫調査委員会；『渋谷文庫』－旧海軍技術資料と我が国造機技術の発達（2001）。
- 26) 小澤守；蒸汽罐発達史，クラフティヴ電子出版（2023），p. 130，及びS. Ishigai ed., Steam Power Engineering, Cambridge University Press, New York（1999），pp. 23-25。
- 27) Fred T. Jane ed.; Fighting Ships 1906-07, Jane's Fighting Ships 1919, Jane's Fighting Ships 1944-45。
- 28) Rankin Kennedy; The Book of Modern Engines, Vol. 1, Caxton Pub., London（1912）。
- 29) 松本三和夫；船の科学技術革命と産業社会，同分館（1994）。
- 30) 葉師寺泰蔵；テクノヘゲモニー，中央新書（1989）。
- 31) 川崎重工株式会社；川崎重工蒸汽タービン発達史（戦前篇）（1942）。