

ふね遺産申請添付資料

全軽合金製 15m 型巡視艇「あらかぜ」



目 次

はじめに	2
1 建造までの経緯	3
2 本艇の設計と建造	4
3 新しい溶接工法に適した耐食アルミ合金の開発	4
4 建造中と引渡後に行われた主な試験研究	5
5 就役後の状況	6
6 “あらかぜ”後の軽合金船建造状況	8
むすび	9
参考文献	10

碓崎 貞雄、小松 武邦、三好 章夫

はじめに

現在、琴平海洋博物館(海の科学館)に展示されている高速艇”あらかぜ”は、軽合金で船を造ることが考えられなかった時代の 1954(昭和 29)年 3 月 29 日に、三菱下関造船所でわが国最初の全軽合金船として建造された。海上保安庁巡視艇として、海上防災センター訓練船として合計 27 年間就役し、1982(昭和 57)年 7 月 15 日海の記念日に同所に展示公開されて現在に至っている。巡視艇”あらかぜ”の航走写真と主要目を図 1 に示す。

今や時代の要請に応え大中小の造船所によって、建造中や就航後の大きなトラブルなく、防衛省艦船、海上保安庁巡視船艇、官公庁船、旅客船、漁船など大小 3,000 隻を超える全軽合金船が建造され、船舶としての性能を競っている。トラブルなしの理由として建造中や引渡後に三菱下関造船所、神戸製鋼所長府工場、船舶用軽金属委員会とその下部専門委員会によって行われた各専門分野にわたる試験研究の成果が、”軽合金艇構造工作基準”を始めとしてすべて公開されたことにあると考えられる。

船体構造物への軽合金活用の成功は、船舶上部構造、艀装品、LNG 船などの大型深冷タンクや関連陸上設備に採用分野を広げ船舶の性能向上に大きく寄与した。この成功は鉄道車両・新幹線車両や橋梁など船舶の他の分野にも軽合金の活用を広げ社会に貢献している。ふね遺産候補として推薦する次第である。



(写真：三菱重工業㈱提供)

船資格	型	アルミニウム合金製 V 型
全長		沿海第 3 級船
最大幅	長さ	15.00 m
深さ	幅	4.20 m
常備排水量	さ	2.00 m
同上平均喫水	排水量	15.88 t
総トン数	喫水	0.596 m
主機関	トン数	28 t
定格出力	機	DH2M 型高速ディーゼル 2 基
最高速力	出力	440PS
乗員	速力	20.62 kt
	員	6 名

図 1 全軽合金製 15m 型巡視艇「あらかぜ」の主要目

“あらかぜ”の一般配置図を図2に、中央断面図を図3に示す。

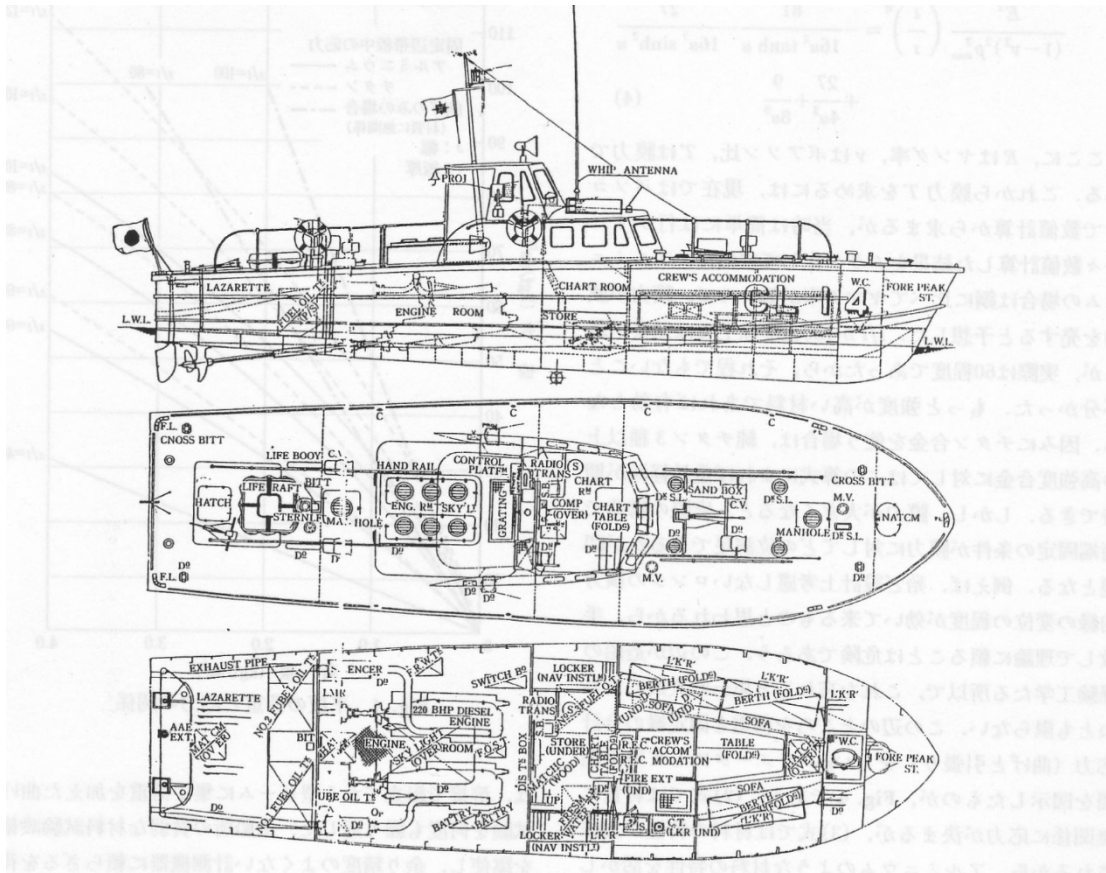


図2 「あらかぜ」の一般配置図

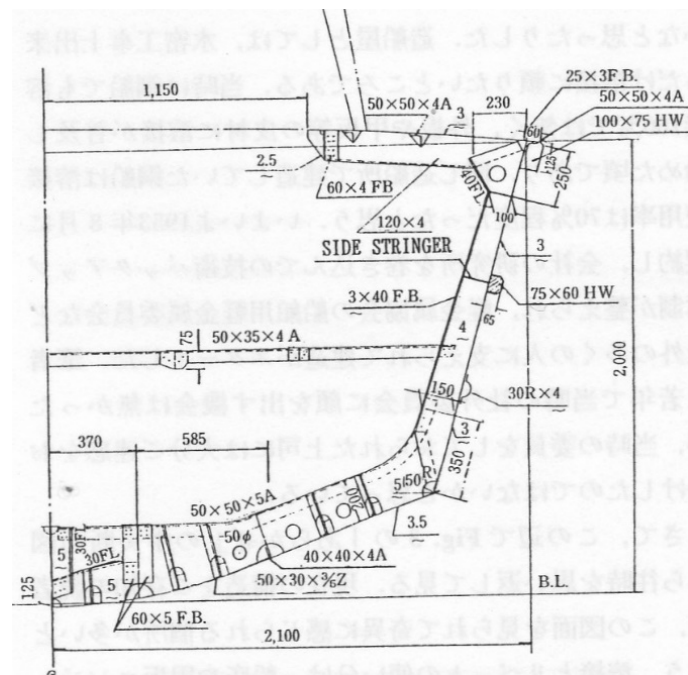


図3 「あらかぜ」の一般配置

1 建造までの経緯

第二次大戦中に航空機生産のため拡大された生産能力を生かす方法を模索していたわが国の軽金属業界に、1948(昭和 23)年頃に英国の航空機メーカーが全軽合金製魚雷艇 MTB539(全長 22.9m、満載排水量 50 トン、ディーゼルエンジン 3 基 4,050 馬力、速力 42 ノット)の建造と、米国で全軽合金製魚雷艇 PT809 級魚雷艇(全長 29.9m、満載排水量 47 トン、Packard 製ディーゼルエンジン 4 基 10,000 馬力、速力 46 ノット)の一隻を鋸構造、一隻を鋸と溶接構造、二隻を別々に溶接構造で試作中の情報が伝わってきた。当時のわが国では耐食軽合金で船を造るとは大きなニュースであった。

このニュースに着目して当時の運輸省船舶局長甘利晃一氏の主唱により、1949(昭和 24)年 8 月 12 日に運輸省、船舶試験所、海上保安庁、経済安定本部、通商産業省資源庁、工業技術院、東京大学、大阪大学、明治大学、東京工業大学、船舶規格調査会、漁船協会、軽金属協会、軽金属ロール会などの学識経験者、造船所、塗料、機器メーカーにより、軽金属協会の中に「船舶用軽金属委員会」(東大教授加藤知夫幹事長)が発足し、1948(昭和 23)年 4 月のボーキサイト輸入再開によるアルミニウムの品質向上とあいまって、耐食軽合金を船舶の構造、艀装、機関に採り入れ、載貨重量の増大、高速化など船質の向上に取り組むことになった。

このニュースに戦後初めて新造艦艇の計画をしていた防衛庁も着目した。わが国は第二次大戦で、南方の島嶼海域の戦闘、特にガダルカナルやフィリピン海域で米海軍の魚雷艇に有形無形の多大な被害を蒙ったことから、高性能魚雷艇の整備を望んでいた。防衛庁は昭和 28 年度に伝統的な木造艇(木材の吸水により速度が経年とともに低下する)、量産に適した鋼製艇(重量が大きく速度が出ない)に加えて全軽合金艇(全長 27.0m、満載排水量 83.2 トン、ディーゼルエンジン 2 基 4,000 馬力、速力 30 ノット)を各 2 隻建造することにした。

この全軽合金製魚雷艇に対処するため 1953(昭和 28)年 6 月 24 日に船舶用軽金属委員会の中に「高速艇委員会」が設置され高速艇の研究に着手すると共に、非公式に海上保安庁に魚雷艇建造に先行して耐食軽合金を使用した溶接構造による小型の巡視艇建造を要請した。

三菱下関造船所は三菱社内で小型船建造担当と云うことで瀬戸内の中小造船所と、漁船、小型客船、小型貨物船などの小型船分野で受注競争を強いられ、経営的に厳しい環境におかれていた。造船所存続のためには、他の中小造船所が容易に手を出せない、技術力で差別化できる「船種」を必要としていて、上述の全軽合金製魚雷艇の受注を希望し、海上保安庁が軽合金製巡視艇を建造する場合は受注を希望していた。

軽金属委員会の要請と三菱下関造船所の建造希望に促されて、海上保安庁は 1953(昭和 28)年 7 月に昭和 28 年度新造巡視船のうちの 1 隻を耐食軽合金によって建造することを決定した。公開入札の結果、三菱下関造船所が予想よりはるかに安い船価で落札して同年 8 月 25 日に耐食軽合金製 15m 型巡視艇「あらかぜ」の建造が決定した。入札に応じた当時の三

三菱下関造船所長は本艇の保安庁予算が木造艇の予算であるのに驚いたと述懐している。

2 新しい溶接工法に適した耐食アルミ合金の開発

当時、わが国では耐食軽合金について欧米からその情報を入手するまで全く知らなかった。1949年に設立され船舶用軽金属委員会が船用軽合金に関する総合的な調査・研究を始め、1950年にアルミの世界的大メーカーの Alcoa の合金 52S および合金 56S を船用軽合金仮規格材料とし認定すると、これらの材料が船舶の上部構造・煙突や艀装用材として盛んに利用されるようになった、ただし、船体全部を軽合金製とするのは救命艇や搭載艇の類(全長 5.0~8.5m)にとどまっていた。

神戸製鋼所はいち早くこれら軽合金の製造供給体制を整えると共に、当時米国でイナートガスアーク溶接が長足の進歩しているのをみて溶接技術の研究も始め、上述の Alcoa 由来の認定規格材は溶接の継手強度が低く、熱間加工性や耐応力腐食割れ性に問題があることを突き止め、新規の材料開発に取り組んだ。

その結果、有名な英国の耐食船用軽合金規格 NP5/6 が 1951 年に発表される前年の 12 月に、世界に先駆けて耐食性と優れた強度・靱性、それに良好な溶接性と加工性を備え、ほぼ NP5/6 規格と同一組成の Al-4.0%, Mg-0.5%, Mn-0.2% Cr 合金(耐食性高力 Al-Mg 合金、AN 系合金、後の JIS H4000)の試作成功を発表した。その後、ティグ溶接、ミグ溶接はガス溶接に比較して継手強度の低下が少ないなどの利点を確認され、従来の 5052、5062 に代わって耐食性高力 Al-Mg 合金 5083、5086 を「あらかぜ」に採用することが決定された。

3 本艇の設計と建造

軽合金と鉄では、高速艇と一般船とでは、設計と工作の方法は全くと云ってよいほど違う。当時のわが国では軽合金高速艇の部材や構造・艀装に関する規定・ガイドラインなどは皆無であった。設計・建造は船舶用軽合金委員会、海上保安庁の協力と、三菱の社を挙げて組織した軽金属艇研究委員会に集められた材料、溶接、船型、構造強度等それぞれのエキスパートによるバックアップの下で、三菱下関造船所が担当した。

高速艇が波浪中を航走すると船首船底に静止喫水の 2~30 倍に達する波浪衝撃を受けるが、その衝撃力、それに対する構造部材の応答について当時は何もわかってなかった。取り敢えず大型貨物船の受けるスラミングの論文を参考に、縦強度については飛行艇に対する構造規定を参考にするなどして設計が進められた。構造設計を担当した三菱下関造船所の担当技師は回想録の中で次のように述懐している。

物を造るには、全てのことが判ってからとは行かず、判らなくても設計をしなければならぬのは誠に辛いことであるが、技術者の宿命であることを思い知らされた。艀装設計については防食・電食に配慮しながら極力軽量化に務めた。

工作については、造船所内に先ず本艇の工作を担当する舟艇課を設け、課長および船殻、船体艤装、機関艤装の前任技師を三菱長崎造船所より転勤させるなどして陣容を強化した。外板、甲板、隔壁は厚さ 3.5mm および 3.0mm の薄いアルミ合金である。溶接は神戸製鋼所長府工場の指導の下に新しい溶接工を養成し、長尺突合せ溶接用ジグ、隅肉溶接用拘束ジグおよび組立用ジグを準備して溶接による歪防止を図った。取付工もアルミ工事専属を当てた。しかし工作は困難を極めた。客先の方の書いたものに次の記述がある。

約 7 割方組み立てられておった盤木上の軽合金船体は溶接加熱のため上下、左右、前後に変形し、その有様を誇張して言えば金網の上に乗った「焼きすめ」を思わせる様相であった。

本艇は 1954(昭和 29)年 2 月 11 日に進水し、3 月 19 日に予行運転、3 月 20 日に荒天を待って耐波試験、3 月 22 日に公式試運転が行われ、3 月 29 日に海上保安庁に引渡された。

4 建造中と引渡後に行われた主な試験研究

本艇の建造は前述の如く船舶用軽合金委員会の支援の下で進められた。建造中と引渡し後の 1981(昭和 56)年まで、官庁、大学、造船所、各専門メーカーの各委員が出席して問題点を発掘・調査・研究する会議の開催回数は合計 64 回を数えた。内訳は本会議が建造中 4 回・就航後 4 回開催、同委員会下部組織の高速艇委員会が建造中 9 回・就航後 3 回、NP5/6 系合金規格委員会が建造中 1 回、表面処理委員会が建造中 4 回・就航後 4 回、鋳物委員会が建造中 1 回、電気部品委員会が建造中 2 回・就航後 2 回、装備品委員会機関分科会が就航後 23 回、同電機分科会が就航後 1 回、電気防食委員会が就航後 4 回、工作基準委員会第 3 分科会が就航後 1 回、それに見学会が就航直後と就航 3 年経過してから各 1 回開催された。その報告書と琴平海洋博物館(海の科学館)に保存・展示されるに際して艇体から試験片を採取して神戸製鋼所と三菱下関造船所で行われた諸試験・研究の結果はすべて公表された。

以下、高速艇特有の耐波試験については少し詳しく、他は項目のみを列挙する。

4.1 耐波試験

本試験は”あらかぜ”を荒天時に波浪の中を実際に高速航行させて、波浪衝撃の大きさ、構造部材の応答を計測し、合せて波浪中の運動性、安定性に関する資料を得ようとするものである。

計測の準備および計測は三菱長崎研究所機器研究課の課長他ベテランの応援を得て行った。艇体の衝撃加速度は船首上下方向と指揮所計器盤上の水平方向を計測。船底水圧は片舷に機械式水圧計 10 個とひずみ計式水圧計 2 個を分布配置計測。ひずみ計は縦部材に対して船首より約 40%L の船底の 13 点と横部材に対して船首より約 30%L の位置で 5 点の計 18 点の計測を行った。

試験は、荒天を待って 1954 年 3 月 20 日に行われた。試験時の風向風速 NNW8~10/s、

波長 20～30m、波高 1.5～2.0m、うねりあり。速力を主機関 1/2 負荷約 15 ノット、同 3/4 負荷約 18.5 ノット、同 4/4 負荷約 20 ノットの 3 区分として、向波および追波に対して航走した。随伴する巡視船上から波高分布状態を海面のステレオ写真を撮影して計測し、運動状況を 16mm ムービーで撮影した。本試験は乗員や計測員にとっては過酷なものである。本艇の艀装員長(就役後に船長)は試験前に、

こんな弁当箱の出来損ないみたいな船には危なかしくて乗れるかとの科白を残して随伴する 270 トン巡視船に移ったが、試験終了した後は、あれだけ船体が飛び上がって叩き付けながら異常がないことを立証されたから、これなら安心して乗られるとの感想であった。

計測結果は、加速度の最大値は 3/4 負荷向波航走において船首で上下加速度 5.45g を、水圧の最大値は船首より約 30%L、チェーン付近に 1/2 負荷向波航走において予想をはるかに上回る 2.42kg/sq.mm を、縦応力の最大値は 4/4 負荷向波航走において従肋骨頂で 1.59kg/sq.mm を、横応力の最大値は 3/4 負荷向波航走においてキール付近ウェブリング頂板で 1.41kg/sq.mm をそれぞれ計測した。

本試験によって高速艇が波浪航走中に受ける外力およびそれに対応する構造部材の応力に関する試験方法の見通しが得られ、その後も下関造船所建造する海上保安庁・防衛庁(防衛省)の高速軽合金艇で行われた。これにより設計者の経験と勘による設計から脱して科学的・理論的な設計法が確立された。

その他の試験研究項目を列挙する。

4.2 船底防汚塗装の研究

4.3 有機毒物船底塗料の共同研究

4.3.1 鋼船用船底塗料の軽合金に対する影響の試験(1953～54)

4.3.2 表面処理委員会の有機毒物船底塗料の共同研究

4.3.3 第 1 次有機毒物と利用の研究

4.3.4 第 2 次有機毒物と利用の研究(1954)

4.4 船底迷走電流の測定

4.4.1 船体外板の水中電位の測定 1955 年、本艇入渠時に測定。

4.4.2 停泊中の船体と推進器間の腐食電流の測定

4.4.3 流電陽極の変更

4.5 機関部軽合金製冷却器の試作研究(1956～1963)

4.6 軽合金製排気管の研究 (1961～1962)

5 就役後の状況

“あらかぜ”は 1954(昭和 29)年 3 月 29 日に竣工すると、海上保安庁第七管区海上保安本部門司海上保安部に配属された。担当区域の西側は海の要所・難所の玄界灘である。この巖

しい海象条件の海域で同保安部随一の高性能を活かして数多くの海難救助、密漁や密入国者の取締り、海洋汚染防止の取締りなどに多くの業績を上げた。この間の 20 年間にわたる過酷な運用にもかかわらず、艇体の損傷、腐食は全く見られなかった。

1975(昭和 50)年 3 月 26 日、本艇は海上保安庁から海上防止センター(横須賀)に払下げられ海上防災訓練船業務に従事し活躍したが、機関関係各部の老朽化が如何ともしがたく 1981(昭和 56)年 2 月 26 日に解撤・スクラップのため競売。御前崎の浜田海事が落札した。

御前崎でスクラップ工事の始まる 3 日前に偶然にスクラップ化の事実が知られ、軽金属協会などの関係団体、軽金属業界、造船業界、関連メーカーが保存のために尽力し、海上保安大学校の希望により艇体右舷 Fr.6 断面(甲板下縦桁、キールソンを含む)を板付幅約 800mm(船底、甲板縦通材をふくむ)の切断片を同校資料館に、残る船体全体を琴平海洋博物館(海の科学館)の厚意により同所で保存・展示されることになり、1982(昭和 57)年 7 月 15 日海の記念日より公開されている。

図 4 に海上保安大学校資料館における展示状況を示す。



(海上保安大学校提供)

図 4 海上保安大学校資料館に展示された”あらかぜ”の船体切断片

”あらかぜ”を保存展示するにあたって海上保安大学校資料館に展示する切断片とは別に、三菱下関造船所の手で船首右舷船底外板(3.5mm 厚×200mm×700mm×3 枚および 3.5mm 厚×450mm×700mm×1 枚)、船尾左舷船側外板(3.0mm 厚×300mm×570mm×1 枚)、船尾船底スクリー直上外板(5.0mm 厚×760mm×195mm×1 枚)の試験片が採取され、神戸製鋼所長府研究室と三菱下関造船所で試験分析が行われた。

その結果はアルミ合金の母材、溶接部とも化学成分、引張りおよび曲げ特性、疲れ特性、マイクロ組織および耐応力腐食割れ性は、27 年の風雪に耐えて就航当時のままの性質を保持していることが判り、公表されるや驚きをもって迎えられた。

6 “あらかぜ”後の軽合金船建造状況

1956(昭和 31)年に防衛庁は予定通りに、木造の魚雷艇 1 号型 2 隻、“あらかぜ”の実績を織り込んだ軽合金製の魚雷艇 3 号型 2 隻、鋼製の魚雷艇 5 号型 2 隻を建造し、比較試験を行って軽合金製高速艇の優位性を確認した。1957(昭和 32)年に世界最大の魚雷艇 7 号型 2 隻を、1962(昭和 37)年にディーゼル機関搭載艇として世界最高速の魚雷艇 10 号を三菱下関造船所で建造した。この後も最高速力 67.25 ノットを記録した側壁型エアクッション実験艇”めぐろ 2”や全没水中翼型や単胴型ミサイル艇などを含めて 25 隻を建造した。

海上保安庁は 1966(昭和 41)年に 130 トン型巡視艇”びざん”(長さ 26.0m、総トン数 85 トン、速力 23.1 ノット)を三菱下関造船所で建造して全軽合金巡視艇の建造を再開し、2008(平成 20)年に第 1 船が就役した”はてるま”型巡視船(全長 89.0m、総トン数 1,300 トン、速力 30 ノット)を最大に 2021 年現在約 200 隻が建造されている。これに刺激されて漁業取締船、漁業実習船、警察警備艇、税関監視船、測量船、検疫船、救急医療船、防災船などの官公庁船も多く建造されている。

1960(昭和 35)年代に入ると“あらかぜ”の極めて良好な就航実績を背景に、民間旅客船高速化のニーズを受けて“あらかぜ”の建造中・就役後の試験研究に係わった大手造船各社はそれぞれの技術力を生かして自社開発か技術導入して、水面貫通型水中翼船(三菱下関、日立神奈川、三菱神戸、新明和、石川島播磨)、全没型水中翼船(川崎神戸、三菱下関、住友浦賀)、単胴大型高速船(三菱下関、日立神奈川)、単胴大型浅喫水大型船(日立神奈川)、双胴型船(三井玉野・千葉、日本鋼管)、半没水型双胴船(三井玉野)、水中翼付双胴船(日立神奈川)、超細長双胴船(石川島播磨)、ウェーブピアサー(川崎神戸、日立神奈川)、ホーバークラフト(三井千葉、三菱神戸)、側壁型エアクッション船(三井千葉・玉野、三菱下関・長崎)など各種船型の軽合金船を投入して激しく競合した。

1975(昭和 50)年にアルミ合金船建造経験のなかった大阪の三保造船が”第三はやぶさ”(長さ 16.2m、総トン数 31 トン、速力 29 ノット)を、鈴木造船が”フェニックス 1”(長さ 22.0m、総トン数 74.4 トン、速力 26.3 ノット)を建造。1979(昭和 54)年には備南船舶工業が韓国向けに当時世界最大級の韓一 2 号型(長さ 54.8m、総トン数 495.8 トン、速力 34.1 ノット)4 隻を建造した。”あらかぜ”の建造中・就役後の試験研究の成果と識者による適切な指導があれば、全アルミ合金船建造の経験のない造船所でも建造が可能なことを示すものである。2000(平成 12)年現在約 330 隻のアルミ合金製旅客船が就航している。

1977(昭和 52)年に香川県の藤本造船鉄工所が底引き網漁船”金毘羅丸”(総トン数 4.9 トン)を建造した。その後、高速化に対する需要や FRP 船の強度、耐久性、廃棄処分の問題から漸次アルミ合金船の増加が見られ、約 100 の造船所が関与し約 3,000 隻が建造されたものと推定される。

次ページの表 1 にその時代・時代の大型軽合金船や高速軽合金船を示す。

表1 その時代・時代の大型や最高速の軽合金船

西暦	和暦	船名	全長 m	排水量 トン	総トン数	最高速力 ノット	造船所
1954	昭29	あらかぜ	15.0		28.5	20.6	三菱下関
1956	昭31	魚雷艇3号	27.0	83.2		30.0	三菱下関
1957	昭32	魚雷艇7号	33.5	121.3		33.1	三菱下関
1962	昭37	魚雷艇10号	32.0	108.0		47.7	三菱下関
1971	昭46	魚雷艇11号	35.0	133.0		40.1	三菱下関
1979	昭54	韓一2号	54.8		495.8	34.1	備南船舶
1979	昭54	シーガル	35.9		672.0	27.1	三井千葉
1980	昭55	シーホーク2	48.5		519.9	30.6	三菱下関
1990	平2	ビアンカ	66.0		1,216.0	11.1	日立神奈川
1994	平6	めぐろ2	25.0	45.0		67.3	三菱下関
1994	平6	はやぶさ	99.7		2,282.0	35.5	川崎神戸
1997	平9	希望	74.0		2,785.0	45.2	三菱長崎 三井玉野
1998	平10	オーシャンアロー	72.0		1,674.0	31.3	IHI A相生
2005	平17	SuperLiner Ogasawara	140.0		13,923.0	42.8	三井玉野

注：“シーガル”は半没水型双胴船、“はやぶさ”はウェーブピアサー、“めぐろ2”、“希望”、“Super Liner Ogasawara”は側壁型エアクッション船、“オーシャンアロー”は超細長双胴船、その他は単動型船。

むすび

“あらかぜ”の優れた就航実績と建造中・就航後に行われた船舶用軽合金委員会の下での試験研究とその成果の公表により軽合金利用の基盤が確立され、大手造船所のみならず中小の造船所でも識者の指導があればどここの造船所でも全軽合金船の建造が可能になり、社会のニーズに応じて短時間のうちにより大型の/より高速の各種多様の小型から大型まで全軽金属船が建造された。これと並行して軽合金製上部構造や艀装品、LNG タンカーの独立タンク、陸上の関連設備にも多く使用されている。このように“あらかぜ”の建造は造船の軽合金利用・活用の基盤を確立したと云うことができる。

造船で確立・適用された材料や溶接施工法は、それまでジュラルミン・鋁構造であった鉄道車両を耐食軽合金・溶接工法に換え、新幹線、橋梁土木分野において耐食軽合金・溶接工法による道路橋が建設されるなど、造船以外の分野にも大きな貢献を果たしている。

参考文献

1. 金子幸雄：アルミニウム合金高速艇建造回想記(1)、軽金属溶接 Vol.37 No.12 1999
2. あらかぜ資料作成員会：15メートル型巡視艇”あらかぜ”、
あらかぜ資料作成委員会 1982
3. 三菱重工業(株)下関造船所：下関造船所 50 年史、同所 1964
4. 牧山幸弥：創設期からの書簡、自家出版 1986
5. 雑誌 世界の艦船編集部：軍用高速艇変遷史、世界の艦船 1981.12
6. web：NAVYPEDIA Fighting Ships of the World United States America Coastal forces
7. web：NAVYPEDIA Fighting Ships of the World, United Kingdom, Coastal forces
8. Jane’s Fighting Ships of World War II、Bracken Books 1989
9. 中名生正巳：自衛艦整備の歩み、雑誌世界の艦船 海上自衛艦全艦艇史 2004.8
10. 海上保安庁船舶技術部：船舶技術部の軌跡、海上保安庁船舶技術部 1974.6
11. 雑誌 世界の艦船編集部：海上保安庁全船艇史 2003. No.613
12. 舟艇協会：韓国向け高速船 HAN IL2 の設計について、雑誌 船舶 1979.8
13. 大津義徳：戦後舟艇のうつりかわり、雑誌 船舶 1970.7
14. 森田静泓他：船舶におけるアルミニウム使用の歴史、軽金属溶接 Vol.20 No.6 1982
15. 菅野次郎：日本と世界のアルミニウム合金船、雑誌 船の科学 1989.4
16. 座談会：アルミ船建造の思いで、軽金属溶接 Vol.29 No.5 1991
17. 雑誌 世界の艦船編集部：海上自衛隊全艦艇史 2004. No.630
18. 雑誌 世界の艦船編集部：特集・海上保安庁 2006. No.660
19. 松野清孝：わが国のアルミ船の動向と問題点、漁船第 353 号 2001.6
20. 笹部誠二：軽金属溶接誌にみる溶接・接合構造体(～1970 年前後)、
軽金属溶接 Vol.50 No.4 2012