

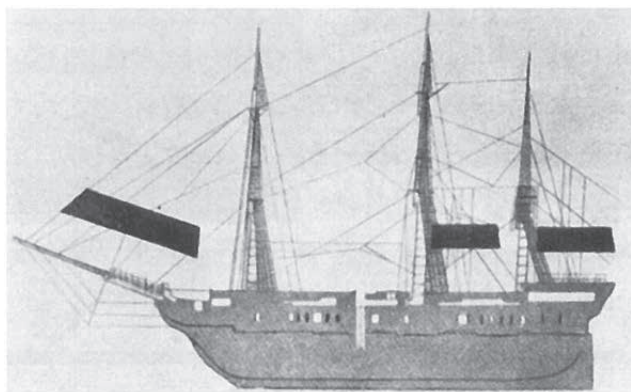
木造船から始まるIHIの材料 マルチマテリアルへの進化

木造船，鋼船から始まった IHI は、
ものづくり技術を極め多様な材料を使う会社へ進化する

IHI の材料開発の歴史は、鉄から始まり多様な材料に展開している。その間にはさまざまなドラマがあった。ここでは、材料に関係するドラマの一端を書いてみたい。また、進化する IHI の材料についても触れたい。

木造船から始まる IHI の材料

ペリーが浦賀に来航した嘉永 6 年（1853 年），幕府は造船業創設に自ら乗り出すとともに，大型船の建造に熱心であった水戸藩にも命じて IHI の前身である石川島造船所を設立し，翌年には木船である洋式大型船「旭日丸」を起工した。明治 10 年代以降，国内でも小型の鉄船が建造されるようになったが，明治 9 年（1876 年）に平野富二によって再開された石川島平野造船所が初めて造った鋼船は，明治 23 年（1890 年）完工の「上川丸」とされている。建造には輸入の軟鋼が使用されたという。さかのぼって世界を見ると，1843 年に新材料の鉄によるイギリスの商船「グレート・ブリテン号」（排水量 3 675 t）が建造された。1845 年に座礁したものの翌年には救出された。さびや損傷が少な

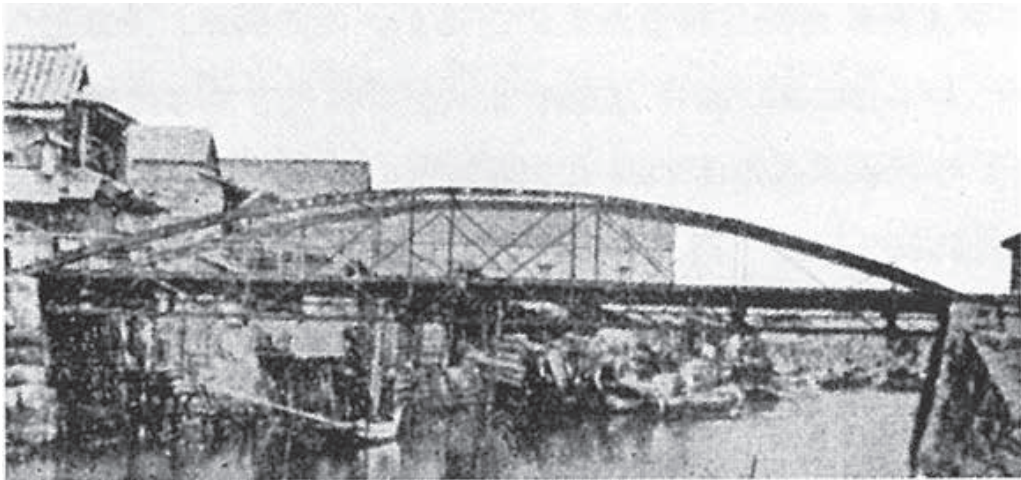


石川島造船所による 1854 年に起工された洋式大型船「旭日丸」

かったことから信頼を得て，その後鋼船の時代が進むことになった。

当時の造船所はいろいろな構造物も作っていたようである。明治 16 年（1883 年）の国内最初の民間による鉄橋である「都橋」（横浜市中区，その後建て替え）も石川島製である。また，石川島は世界初の溶接戦車を作ったことでも溶接の歴史に名を残している（昭和 6 年（1931 年））。鋼板は 6 mm 程度の厚さで今なら装甲車程度であった。戦艦「大和」（昭和 15 年（1940 年）進水）は当時の呉造船所で建造されたが，リベットとともに溶接が使用され，溶接距離は 460 km にも及ぶと言われている。溶接技術がなかったら，開戦前夜の納期と軽量化の厳しい要求が守れなかった。溶接技術は戦後のタンク，ボイラ，原子力容器の製造に活かされて現在につながっている。

戦後再建期の 1951 年，社内に技術研究所が再設置された。当時の技術研究所の材料関連の最大の出来事は，IN 鋼と名付けた高強度鋼の開発である。好景気のなかで資材の国内調達がままならなかったため，ヨーロッパから鋼材を輸入した。その造船用鋼板 2 000 枚のなかに特異な強度を示す鋼板が 2 枚だけあったそうである。その原因が窒化アルミの組織微細化効果にあることを突き止めて，溶接性と低温じん性の著しい向上を遂げた IN 鋼開発に成功した。1961 年には八幡製鉄株式会社が生産を開始し，そのほかの鉄鋼メーカーも追随した。IN 鋼は低温での優れたじん性を活かして



国内最初の民間による鉄橋である「都橋」

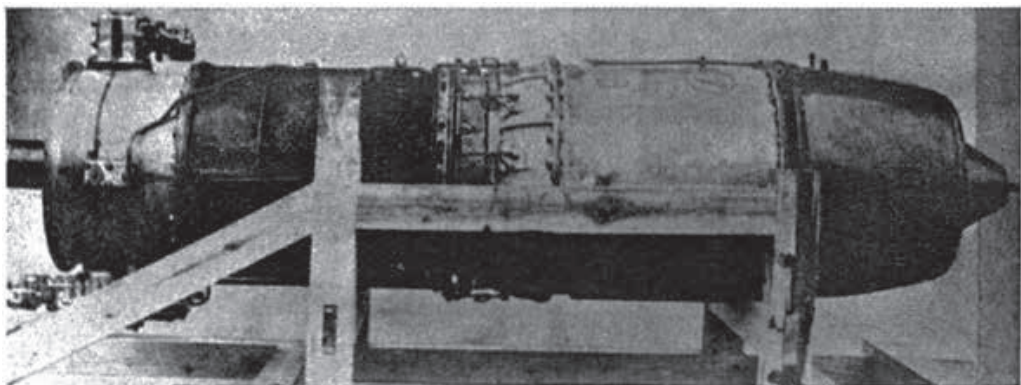
LPG 船、橋梁、球形タンクなどに幅広く使用され、一時は球形タンクの市場を独占し、1956 年には当時世界で最初の大型球形タンクを東京都世田谷区に建設している。IN 鋼と併せるように進化した溶接技術は、世界最初の積載量 20 万 t を超えるタンカー「出光丸」にも生かされ、プロジェクト X にも登場した。溶接技術はアルミニウムにも適用が広がり、1997 年に運用が開始された播磨科学公園都市（兵庫県）内の大型放射光施設「SPring-8」の真空容器には、アルミ溶接が多用されている。現在は、摩擦接合によるアルミ厚板の溶接に挑んでいる。

夢から始まったガスタービン材料

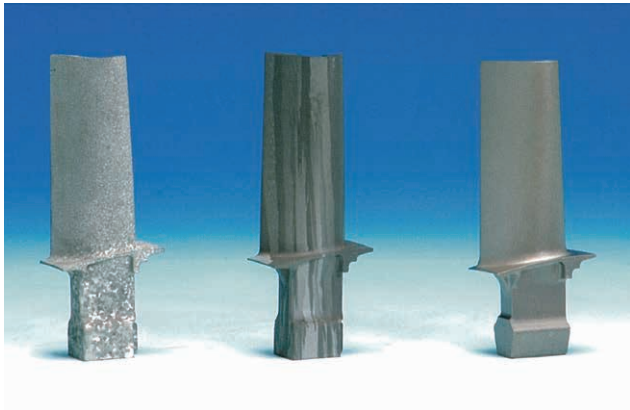
IHI そらの未来館（東京都昭島市）には黒く塗装されたネ 20 ターボジェットエンジンが展示されている。昭和 19 年（1944 年）に伊号第二九潜水艦によってはるばる喜望峰（南アフリカ共和国）を回ってもたらされ

たドイツの BMW-003A エンジンの設計図が参考にされた。当時、依頼を受けた東京石川島造船所は 5 台の試作エンジンを製造し、全社を挙げて量産工場の準備を進めたが、敗戦によって量産機が日の目を見ることはなかった。

戦後、ようやく再開された技術研究所では、夢であったガスタービンの開発に焦点をおいて耐熱材料、構造、空気力学、材料力学、燃焼、伝熱などについての研究を開始した。材料関連では、精密鍛造と耐熱材料、めっきと耐熱塗料の研究をスタートした。朝鮮戦争当時、米軍 F-86 戦闘機に搭載された J47 エンジン用部品の製造に関する技術提携を General Electric 社（GE 社：アメリカ）と結び、精密鍛造の第一歩を踏み出した。当時の田無工場（東京都田無市。現在の航空宇宙事業本部。工場は現存せず）は技術研究所に J47 タービン翼の試作を求めた（1957 年）。技術研究所では試作を繰り返し、翌年には耐久試験に合格した。1971 年にプロジェクトチーム、1973 年には田無に精密鍛造部



ネ 20 ターボジェットエンジンの当時の写真



等軸晶・一方向凝固・単結晶ブレードの一例

が設置された。1977年に石川島精密鑄造株式会社（現株式会社 IHI キャスティングス：ICC）が発足している。1983年には真空溶解による精密鑄造用合金製造のための石川島マスターメタル株式会社（現株式会社 IHI マスターメタル）が鑄造工場から独立する形で設立された。

その後 ICC では、ターボチャージャー用翼車の生産、一方向凝固（DS）精密鑄造、単結晶精密鑄造、チタン精密鑄造、チタンアルミ（TiAl、金属間化合物）の開発なども進められた。単結晶合金の組織は、結晶粒界（結晶と結晶の境）がなく、高温強度から見ると理想的な材料である。1 μm 程度の微細な組織がブレードの付け根から先端まで同じように配列している。TiAl も息の長い材料である。開発当初、金属間化合物である TiAl は茶わんなど瀬戸物同様に脆いと言われたが、1%の塑性ひずみを得るために多くの時間を費やして技術を高めた。TiAl 製の翼をコンクリートの床に投げつけて IHI の技術を GE 社にアピールしたという“チタンアルミ物語”が今も関係者に伝承されている。

さびないステンレスと原子力

IHI で、さび（腐食）の検討が本格化したのは LPG タンクに発生したき裂（応力腐食割れ（SCC））の原因究明と対策のためであった。当時開発されたばかりの高張力鋼の溶接部近くに細かいき裂が発生した。この現象は水素が結晶粒界に拡散することで生じる遅れ破壊であったが、IHI では SCC について多くの経験を積んでいた。国内では、1955年に原子力研究所が設立され、

1963年には試験研究用沸騰水型原子炉 JPDR が臨界となった。1974年、アメリカの Dresden 原子力発電所 2号炉のステンレス配管（SUS304）で SCC が始めて発見されたとされる。開発当時、ステンレス鋼で SCC が生じることはすでに知られていたが、沸騰水型原子炉では溶存酸素が少ないことから問題とはなっていなかった。溶接の熱履歴もしくは熱処理の加減で、粒界にクロムを主成分とする炭化物が生じると、その周辺でクロムが少なくなる。そこへ応力が加わると粒界に沿って割れが生じる条件が生まれる。研究が進められるに従って、SCC にはこのような溶接による熱履歴と残留応力・溶存酸素・温度で、ある条件が整う必要があることが分かってきた。当時、IHI では残留応力に注目してこの条件を避けるような熱処理 IHSI（Induction Heating Stress Improvement）を開発し、発電所の配管にその技術を適用した。この技術を開発する過程で SCC が制御できるようになった。多様なき裂を試験的に入れた配管の模擬サンプルはアメリカにも輸出され、世界の非破壊試験技術の進歩と SCC 対策の信頼性向上に貢献した。最近 IHI は加圧水型原子炉にも携わるようになった。この形式では水温が従来の 288℃から 315℃になり材料も変わる。安全を確認する試験が精力的に行われている。

10年以上使い続ける発電用ボイラ

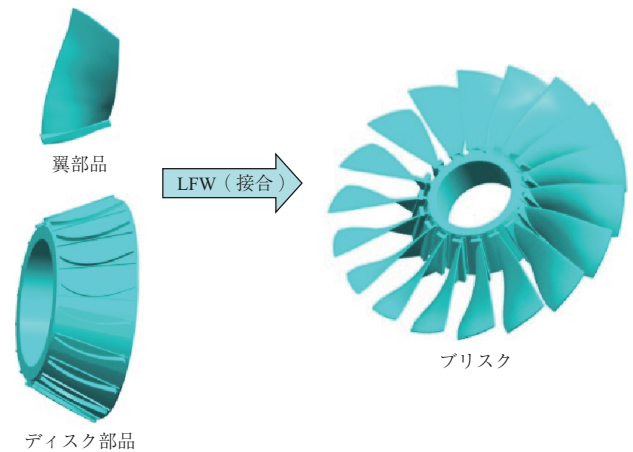
1980年代中ごろから、発電用ボイラの効率向上を目的に、耐熱温度の高い材料（改良型 9Cr-1Mo）鋼の研究がスタートした。アメリカのオークリッジ国立研究所とコンバッションエンジニアリング社（現ウエスチングハウス社）が高速増殖炉用に開発した材料であるが、IHI ではボイラへの適用を目指してチューブ、大径鋼管、鋼板の溶接や曲げ特性について技術開発を行った。石炭焚環境中の腐食性の高い高温でも 10 万時間を超えて使用されることから、疲労、クリープ、高温腐食や余寿命評価技術も重要である。また、溶接部や比較的細かい伝熱管を集合させる複雑な部位もあることから、シミュレーションと金属的な評価の両方が求められた。1993年にはこの鋼種を広範囲に適用した国内初の蒸気温度 593℃に達する石炭焚超高压高温ボイラが開発された。今、CO₂ 削減の社会的要請に応えるため蒸気温

度を 700℃に引き上げた超々臨界圧 (A-USC : Advanced Ultra Super Critical) ボイラ用材料の開発が進められている。先行する欧米に早期に追いつくように国の補助も受け、国内各メーカーと協調して進められている。独自の石炭焚超高压高温ボイラの経験が生きている。

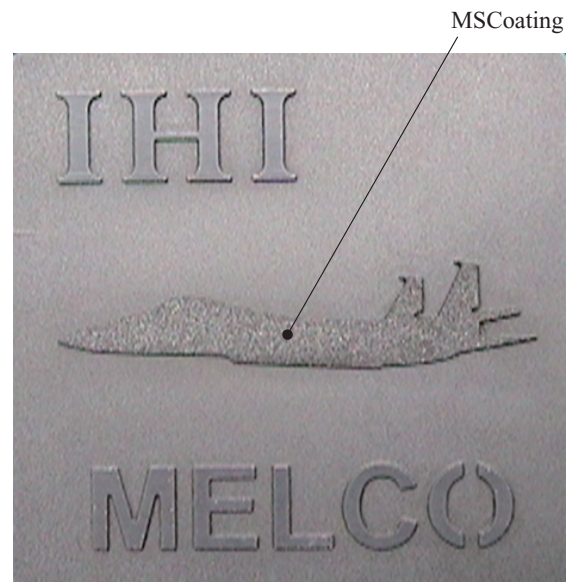
新素材からマルチマテリアルへ

技術研究所設立当時の所長であった中村素は、“上長とは大いに意見を闘わすこと”，また“研究は前人未達の壁を破ること”と宣言した。1980年代の材料系の研究部の雰囲気を出すと、設立時の気風が残っていたことにいまさらながら気付かされる。当時世の中では、耐熱材料、高温超電導材料などの研究・開発が盛んに行われ、新素材ブームの時代と呼ばれていた。IHIもこのなかで、多様な材料の開発をスタートさせた時期でもあった。

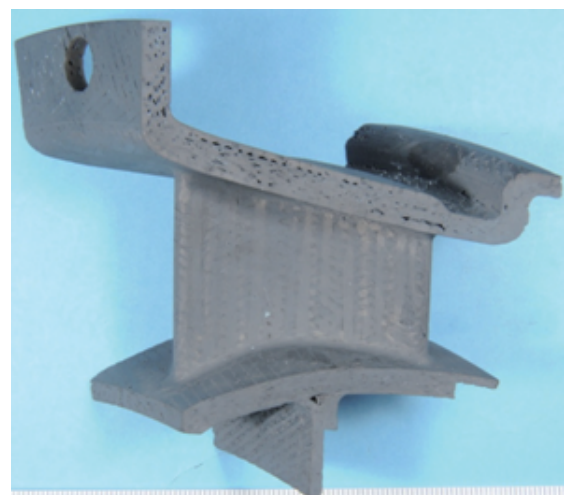
今、自動車業界などではマルチマテリアルの時代と呼ばれている。世界も小さくなり、オープンイノベーションも叫ばれている。IHIもまさしく、CO₂削減に向けマルチマテリアルな時代に突入しようとしている。ボイラ用耐熱材料、単結晶合金やチタンアルミの開発は今も続く。摩擦接合の一種である LFW (線形摩擦接合) ブリスク、独自表面処理である MSCoating、航空エンジンのファンケースに採用された CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics)、軽量耐熱部材として開発が進む CMC (Ceramic Matrix Composites)、MIM (Metal Injection Molding) なども加わって IHI の材料の世界が騒がしい。



線形摩擦接合によるジェットエンジン部品製造



MSCoating による局所コーティング



CMC 静翼の試作例