

## アニメ「風立ちぬ」ともう一つの 超ジュラルミン —住友の研究報告書から読み解く—



### Animation “The Wind Rises (Kaze Tachinu)” and another Super-Duralumin, deciphering from old Sumitomo’s Technical Reports

吉田 英雄\*  
Hideo YOSHIDA\*

#### 1. アニメ「風立ちぬ」中の押出形材

2013年7月に公開された宮崎 駿のアニメ「風立ちぬ」には、三菱の航空機の設計陣が、「住友軽金属」と書かれた木箱に入ったアルミニウムの押出形材を取り出して眺めているシーンが出てくる。スタジオジブリ絵コンテ全集、「風立ちぬ」では「ジュラルミンの押し出し材のサンプルが姿をあらわす」とあり<sup>1)</sup>、また徳間書店のアニメージュ・コミック・スペシャル「風立ちぬ」ではせりふの中で、「軽いな、ジュラルミンの押し出し材とはぜいたくなものだ…」<sup>2)</sup>と語らせている。auの「風立ちぬ」キャンペーンサイトの「「風立ちぬ」を読み解く」でも、このアルミニウム合金はジュラルミンとされている<sup>3)</sup>。

アニメが描いていた航空機は、零戦ではなく、そこに至るまでの七試艦戦（七試艦上戦闘機、図1<sup>4)</sup>）、九試単戦（九試単座戦闘機、図2<sup>4)</sup>）である。九試単戦の成功で九六式艦上戦闘機（1936年制式採用、図3<sup>4)</sup>）、十二試艦戦を経て零式艦上戦闘機（1940年制式採用、図4）へと繋がる。1932年（昭和7年）試作発注された七試艦戦は、この映画の主人公、三

菱の堀越二郎が設計主務者として初めて手がけた金属構造を持つ単葉戦闘機であった。先進的な低翼単葉機ではあったが、主翼は全金属製ではなく金属骨格に羽布張りという中途半端な構造であった。当時まだジュラルミンの大きな押出形材が容易に入手できなかったため、主桁は重量的に有利なジュラルミンの押出形材ではなく、薄板の重ね合せでリベッ

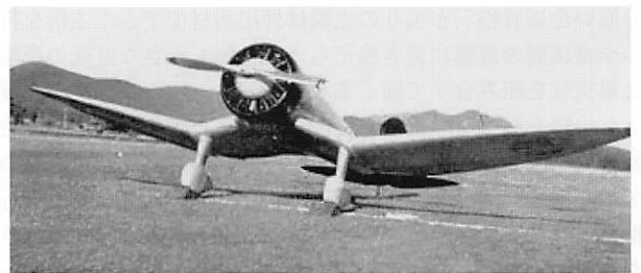


図2 九試単座戦闘機試作一号機（写真、野原 茂<sup>4)</sup>）



図1 七試艦上戦闘機（学研パブリッシング、堀越二郎と零戦より<sup>4)</sup>）

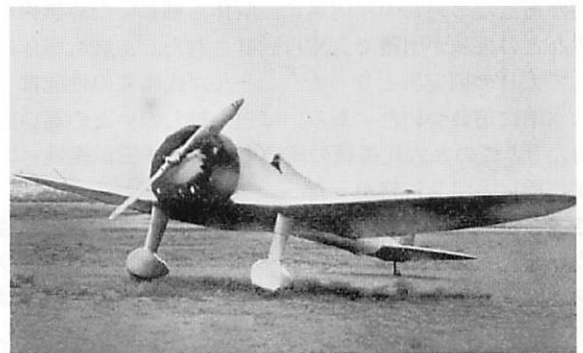


図3 九六式艦上戦闘機（写真は三菱重工業ホームページより転載）

\*株式会社UACJ技術開発研究所 顧問（名古屋駐在）（〒455-8670 愛知県名古屋市港区千年3-1-12）。Adviser, Nagoya Location Research & Development Division, UACJ Corporation (3-1-12 Chitose, Minato-ku, Nagoya-shi, Aichi 455-8670). E-mail: yoshida-hideo@uacj.co.jp  
受付日：平成25年11月13日 受理日：平成25年11月27日

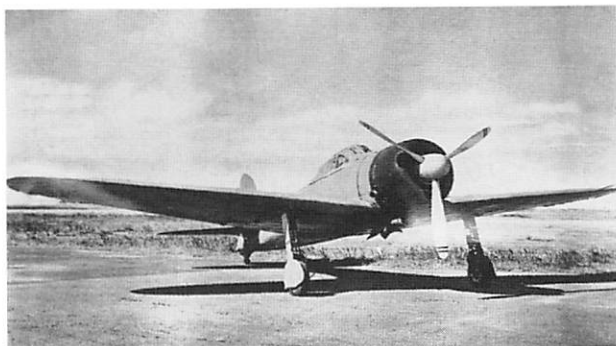


図4 零式艦上戦闘機，一号二型仕様に改造（野原 茂，「零戦の系譜図」（樞出版社より））

ト留めとなり，片持ち式主翼に十分な強度を与えようとして必要以上の厚さとなった<sup>4),5)</sup>。また大直径の主車輪を支える旧式構造の脚柱とそれを覆うスパッツも見るからに空気抵抗の大きなものとなった。堀越は、「胴体は不恰好で，どうひいき目に見ても全体がどことなく調和がとれていなかった<sup>4)</sup>」として，この試作機を「鈍重なアヒル」とか「醜いアヒルの子」と自嘲した<sup>4),5)</sup>。この試作機は分厚い主翼，太く無骨な胴体，太い主脚といった空力的に不利な構造のため，目標とされた350km/hの速度に達せず，また墜落事故も起こして失敗作となった。三菱も中島も七試ではともに不合格となったため，1934年（昭和9年）あらためて試作機が発注されたのが九試単戦である。七試の苦い失敗の反省から，堀越は当時の最新の技術をこの九試に全面的に取り入れた<sup>4)~7)</sup>。分厚い金属骨格羽布張りの主翼は押出形材でできた主桁を持つ全金属製の薄翼に置き換えられ，主脚も小さな直径の車輪と単支柱を組み合わせて細くまとめ直され，逆ガル形式の主翼とし主脚を短くして重量を軽減した。また細部に至るまで流線形化を図り，表面の空気抵抗を押さえるため沈頭鉋を初めて採用した。エンジンも軽量で大馬力を発揮する中島飛行機製「寿」五型として，最大速度450km/hを出すことができた。この九試単戦は1936年11月制式採用され，九六式艦上戦闘機となった。九六式艦戦と九試単戦は必ずしも同じではなく，主翼の逆ガルは航空母艦での着艦の際，安定性を失う危険があるため通常の楕円翼に，胴体も細長いため無線電話装置などの搭載が困難で太く再設計された。主脚も胴体に対応して太目の固定脚となった<sup>4),5)</sup>。九六式艦戦の性能は「世界の水準に追いついた。あるいは追い越した」との高い評価を得た<sup>4)</sup>。この九六式艦戦の成功で，次の十二試艦戦（零戦の試作機）の開発に繋がった。

さて，この九試単戦に用いられた押出形材は，宮崎 駿が言うジュラルミンだったのかどうかである。宮崎がジュラルミンという言葉を用いたのは，そんな厳密に考えたのではなく，単によく知られていて，通りがいいだけだったかもしれない。柳田邦男は「零式戦闘機」（文春文庫）の中で次のように書いている。堀越の言葉として，「七試のときにはなかった桁フランジ用の押出形材もできるようになったし，強度の大きい新しいジュラルミンも開発されたというから，今度は金属張りの薄翼を作れると思う。これは大事なことなので，自分で住友金属まで行って調べてくるつもりだ<sup>8)</sup>」（p. 164）と言って，実際に大阪の住友金属まで出張しているとこの

と。「堀越がいま九試単戦に使おうとしている新しいジュラルミンとは，一平方ミリ当たり45キログラムまでの張力に耐えられる，強度の大きな軽合金で，「45キロ超ジュラルミン」あるいは「SDH」と呼ばれていた。」<sup>8)</sup>（p. 166）と書かれている（注，SDHとは焼入れ後室温時効硬化させた材料のこと）。この記述が間違いなかったら，あのアニメに登場してくる押出形材はジュラルミンではなく，超ジュラルミン，一般的にはよく知られている24S（2024）合金ということになる。

ところが問題はそう簡単ではない。住友軽金属（住友金属からアルミニウムと伸銅部門が昭和34年に分離してできた）の年表には「松田は，再び24S系の工業化の研究に移り，昭和10年（1935年）4月ころ，それに成功，のちに24S系のを超ジュラルミンと呼ぶようになった<sup>9)</sup>」とある。九試計画が海軍航空本部から通知されたのは昭和9年（1934年）2月はじめで，基本設計がまとまったのは3月後半とのこと<sup>8)</sup>，設計開始からわずかに10か月後の1935年1月に1号機が完成している<sup>6)</sup>。この1号機に24S系超ジュラルミンが用いられているとしたら，少なくとも半年から一年前には工場試作なり製造技術が完成していないと実機には適用できないと考えられる。また海軍の軍用機であるので，海軍の材料規格制定も必要である。堀越はいつい何時，大阪の住友金属を訪問したのであろうか。この時，説明を受けた材料は果たして24S系超ジュラルミンなのであろうか様々な疑問が出てくる。堀越が奥宮正武と共同執筆した「零戦」（朝日ソノラマ）には「翼厚を薄くできたのは，外板をジュラルミンとし，かつ桁フランジに厚い押出形材を採用することができたからである<sup>6)</sup>」と書かれ，この押出形材が何であるのかは書かれていない。また堀越の本には超々ジュラルミンのときは大阪まで向うて，担当の五十嵐，小関両技師と会って説明を聞いていることを克明に書いている<sup>6),7)</sup>が，超ジュラルミンのときに柳田が言うような住友金属を訪問したという記述はない。あのアニメにでてきた押出形材はいつい何であったのかを，古い住友の社内研究報告書，現在，UACJの技術開発研究所に大事に保管されているが，この報告書を読み解くことによって明らかにしたい。

## 2. ジュラルミン<sup>10)</sup>

ここで，ジュラルミンと超ジュラルミンとは何であるのか，簡単におさらいをしておこう。ジュラルミンとは，1906年ドイツのウィルム（Alfred Wilm）によってAl-Cu-Mg合金において焼入れ後室温に保持すると硬くなるという時効硬化現象が発見され，これをデュレナ・メタルヴェルケ（Dürener Metallwerke）社が製品化した合金の名称で，化学組成はAl-4.2%Cu-0.5%Mg-0.6%Mnである。この合金は従来のアルミニウム合金よりも強度が高いために，早速，飛行船の骨格に採用された。ドイツのツェッペリン飛行船（Zeppelin Airship）（図5）<sup>11)</sup>は第一次世界大戦中，ロンドン空襲で爆弾投下し，ロンドン市民を恐怖に陥れた。日本におけるジュラルミンの研究開発は1916年ロンドン駐在の海軍監督官が墜落したツェッペリン飛行船の骨材（図6）を入手し，海軍が住友伸銅所に調査依頼したところから始まる。これを入手した伸銅所は，その分析結果や英国金属学会誌の文献をもとに

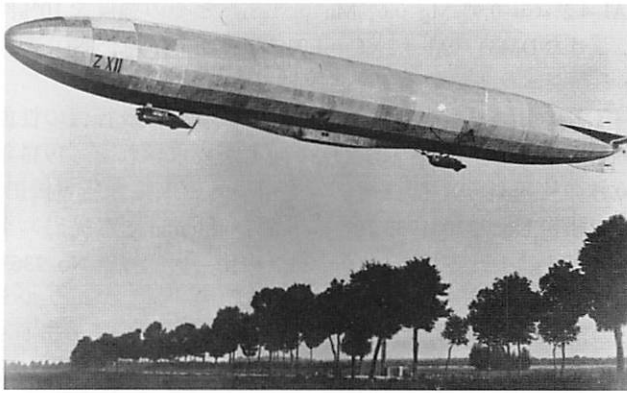


図5 ツェッペリン飛行船LZ26 (1914年12月14日初飛行), ジュラルミンを骨格に最初に用いたとされる飛行船<sup>11)</sup> (P. W. Brooks, Zeppelin: Rigid Airships, 1893-1940, Smithsonian Institution Press)



図7 ジュラルミンの波板を用いたYunkers F.13 (<http://www.idflieg.com/junkers-f13.htm>, ©2006 Andi Szekeres)



図6 ツェッペリン飛行船の骨材の残材<sup>10)</sup>



図8 中島飛行機式B-6型 (Breguet 14型) 機, 軽銀号 <http://www.ne.jp/asahi/airplane/museum/nakajima/nakajima.html>

工場における試作研究を開始した。1919年工場試作が完了し、「住友軽銀」と命名された<sup>12)~14)</sup>。

第一次世界大戦後は各国で飛行船の製造が行われ、日本では海軍が英国ビッカース社に発注したSS型軟式飛行船の第2~4船を横須賀海軍工廠において国産化することになった。SSとはSubmarine Scoutの頭文字を採ったもので、対潜水艦哨戒用であることを意味する。1921年、住友伸銅所は初めてジュラルミンの工業生産を行い、この飛行船の吊り船やそのほかの構造材料として板管棒計1トン余りを受注した。航空機の分野では、大正時代の機体は、胴体部分は木製、支柱や張り線で繋がれた上下の翼は木骨羽布張り複葉機、プロペラは木製であったが、ドイツではすでにユンカース社が、第一次世界大戦中に、1917年に単発複葉攻撃機J4の胴体や翼に波板状ジュラルミンを使用し、1919年には同じく波板状ジュラルミンを使用した全金属製旅客機F.13を開発していた(図7)。日本では、1922年4月、中島式ブレゲー型飛行機B-6型複葉機(図8)の機体構造にはじめて伸銅所製ジュラルミンを使った。この飛行機は「軽銀」と命名された。さらに1925年には川崎航空機(株)から陸軍のドルニエ試作重爆撃機(陸軍制式は八七式重爆撃機)の外板等を受注した。本機は胴体、翼とも木製骨格に羽布張りの複葉単発機で、機体前部のエンジン周辺だけ金属製となっていた。ジュラルミン

の本格的採用は1930年以降の全金属製の機体となってからである。九二式および九三式重爆撃機、九三式双軽爆撃機は、ユンカース社の機体をベースに設計されたためにユンカース式の波板構造の全金属機で波板外板によって覆われていた。

ジュラルミン製造にあたって住友は、1922年、海軍が飛行艇を建造するために英国から招聘した技術者のペーガン氏の指導と第一次世界大戦で戦勝国となった日本がドイツから賠償の一環として、ジュラルミンの製造技術をデュレナ社から学んだことが大きい。さらに、アルコア社(1928年以降はアルコア社から分離したアルキャン社に変わった)は地金販路の拡大のために住友と提携し、住友はアルコア社の協力のもとに1928年大阪桜島に溶解炉とアルミニウム板専用の圧延工場を建設することとなった。板だけでなく、管、棒、線材や押出形材のための押出機、プロペラ翅用の鍛造機も導入され、ジュラルミン製造技術も確立していった。なお、古河電工も1921年本所伸銅所においてアルミニウムおよびジュラルミンの製造研究に着手した。1924年には関東大震災で罹災した本所伸銅所から日光電気精銅所へ移転した製板設備をもって、アルミニウム板の本格的生産を開始した。ジュラルミンの研究は1926年完成の域に達し、同年6月陸軍航空本部から試作命令を受け、石川島造船所に納入された<sup>13)</sup>。ジュラルミンは米国では17Sと呼称された。17S-T4は





図9 Alclad 24S-T3を用いて製造されたDC-3輸送機  
<http://www.boeing.com/boeing/history/mdc/dc-3.page>

引張強さ43 kg/mm<sup>2</sup>、耐力28 kg/mm<sup>2</sup>、伸び22%であった。

### 3. 超ジュラルミン<sup>12)</sup>

合金開発ではさらに高強度が求められ、世界中でジュラルミンを超える超ジュラルミンの研究開発が進行した。当時の超ジュラルミンはジュラルミンの強度レベルを超える合金はどれも超ジュラルミンと呼ばれた。超ジュラルミン (Super-Duralumin) という名称を最初に用いたのは、1927年アルコア社のジェフリースが米国機械学会で高強度合金について報告したのが最初といわれている。アルコア社はまず、1928年、Siを添加した14S (Al-4.4%Cu-0.4%Mg-0.9%Si-0.8%Mn)を開発した。14Sは焼入れ焼戻し (T6調質) で引張強さ49 kg/mm<sup>2</sup>、耐力42 kg/mm<sup>2</sup>が得られたが、伸びが13%と低いので、米国では板材としてよりも鍛造品で多く用いられている。しかし英国ではT4ならびにT6の板材や押出材が広範囲に航空機材として用いられている<sup>15)</sup>。当時、けい素を多く含有した超ジュラルミンを含けい素超ジュラルミンと称していた。1931年、24S (Cu 4.5%, Mg 1.5%, Mn 0.6%) が同じくアルコア社によって開発された。ジュラルミン中のMg量を1.5%まで増加させたもので、含けい素超ジュラルミンが人工時効を必要とするのに対し、24Sは室温時効だけでジュラルミンを越える強度に達する特徴がある。これを24S型超ジュラルミンと称した。現在では超ジュラルミンというと24Sを指すことが多い。24S-T3は、代表値で引張強さ49 kg/mm<sup>2</sup>、耐力35 kg/mm<sup>2</sup>で、上述の17Sに比べ耐力が25%高い。T3調質では圧延材や押出材を焼入れ後矯正あるいは残留応力を最小限にするために数%の引張加工や冷間圧延することで強度も向上する。この合金は強度が高いためすぐに17S-T4に取って代わった。そして純アルミニウムを皮材としたクラッド材 Alclad 24S-T3は旅客機の胴体の材料としていまなお使われているが、その最初の飛行機が1936年運用開始した米国のダグラス・エアクラフト社の双発プロペラ旅客機・輸送機、DC-3 (図9) である<sup>15)</sup>。第二次世界大戦中には連合軍の軍用輸送機 (米軍用輸送機としての制式名称「C-47 スカイトレイン」、英軍用輸送機としての名称「ダコタ」として活躍し、1945年までに1万機以上が製造された。ドイツでは、前述のデュレナ社が従来の超ジュラルミン681ZB

(Al-4.2%Cu-0.9%Mg-0.6%Mn-0.5%Si) とその強度を10%向上させたDM31 (Al-4.2%Cu-1.2%Mg-1.2%Mn-0.5%Si) と称する超ジュラルミン合金を開発している。

日本においても、1931、1932年頃になると飛行機の性能向上につれて、材料の比強度の向上が要求された。1933年10月の陸軍航空本部技術部 (立川) への出張報告 (松田, 研究報告 No. 2270, 1933.10) や「超Duralumin見本提出ニ至ルマデノニ・三ノ試験」(五十嵐, 中田, 研究報告 No. 2363, 1933.12) をみると、この当時、2種類の「超」ジュラルミンの試験結果が報告されている。五十嵐 (超々ジュラルミンの発明者、五十嵐勇博士のこと。以下、五十嵐博士と記す) らの報告では第一種超ジュラルミンとして、試作合金名T241板材 (Cu: 4.47%, Mg: 0.73%, Mn: 0.67%, Si: 0.66%, Fe: 0.37%) とT225板材 (Cu: 3.89%, Mg: 0.70%, Mn: 0.62%, Si: 0.66%, Fe: 0.50%) の試験結果が、第二種超ジュラルミンとして、T222板材 (Mg: 6.06%, Zn: 3.64%, Mn: 0.49%, Si: 0.17%, Fe: 0.32%), T240板材 (Mg: 6.04%, Zn: 4.11%, Mn: 0.45%, Si: 0.16%, Fe: 0.40%) の試験結果が報告されている。前者の第一種超ジュラルミンは含けい素超ジュラルミンで、後者の第二種超ジュラルミンはAl-Mg-Zn系合金である。後者の合金系は1932年1月頃から住友でも松田孜 (つとむ) 博士らがAl-8.5%Zn-1.5%Mg-1.5%Mn合金を「超」ジュラルミンとして研究していたが、この出張時の合金は海軍技術研究所の五百旗頭 (いおきべ) 中佐の指示によるものである (「五百旗頭式超Duralumin製作に関して海軍技術研究所へ出張報告」, 五十嵐, 研究報告 No. 2167, 1933.8.7)。この五百旗頭中佐の下に、2年後超々ジュラルミンを五十嵐博士と一緒に開発することになる北原五郎技手がいた。

一方、1933年頃には米国の24S合金の情報が入ると、住友は海軍航空本部和田大佐からの「御注意」もあり、9月にアルコア製の24SRT材を注文して、12月には入手しすぐに確性調査を行っている。12月の「米国製“24SRT”板試験成績 (第1報)」(研究報告 No. 2381, 1933.12) では、成分に関して、Al-3.98%Cu-1.59%Mg-0.46%Mn-0.16%Si-0.22%Feで、「注意すべき点は、普通のジュラルミンに比し、(1) Mgの量の非常に大なること、(2) Siの量の小なること、(3) Feの量の小なること、(4) 各板の成分よく一致せること、等で、Mgは焼入状態における引張強さ、降伏点を増し、伸びをも増加する性質を有する点より特にその量を増加したるもの…」と記している。24SRT材は従来の超ジュラルミンよりも、Mg量が多く、Si量の少ないことが特徴であった。入手した材料は引張強さ48 kg/mm<sup>2</sup>、耐力40 kg/mm<sup>2</sup>、伸び16%であるが、反復屈曲回数がかかなり小さいことが指摘されている。これは焼入れ後常温圧延 (RT処理) を行うことで耐力が上昇したことによるものと考えられた。

しかしながら、1934年当時の研究報告書を見る限り、住友では、ドイツの681ZBやDM31合金と同様に焼入れ焼戻しする含けい素超ジュラルミンが研究開発の対象であり、前述の第一種超ジュラルミンをSD (Al-4.2%Cu-0.75%Mg-0.7%Mn-0.7%Si)、またSA1 (Al-1.2%Mn-0.8%Cu) を被覆した合わせ板をSDCと称して、これらの合金を社内で制定したばかりで、これらの合金の評価を専ら行っていた。制定された時期は明確でないが、SDCの名称が研究報告書で初めて使われたのが1934年9月8日の報告書からである。1934年8月31日海

軍航空廠にて、SDC研究会が開催されているが、ここでの議論も前述のSDC、45kgジュラルミン板材の特性評価と各種形状での強度試験結果についてであった（「SDC研究会概況」(8月31日海軍航空廠)、研究報告 No. 2731, 1934.9.18)。1935年2月の研究報告書（松田、研究報告 No. 2965, 1935.2）をみると、「超ジュラルミン及超ジュラルミンクラッドノ規格ハ板ニ就テハ、サキニ海、陸軍相次イテ制定發布セラレ、陸軍ニ就テハ、最近更ニ、管及棒ノ規格發布セラレ、超ジュラルミンクラッドノ規格モ亦近ク發布ノ筈デアアル。…参考トシテ米国の24S系合金ノ規格モ知ラレ居ル丈ケ収録シタ」とあり、SD、SDC規格制定の動向が書かれている。成分規格をみると、海軍と陸軍で異なり、海軍はCu: 3.5-4.5%, Mg: 0.4-1.0%, Mn: 0.4-1.0%, Si: 0.4-1.0%, Fe: 0.6%以下で、陸軍はCu: 4.0-4.5%, Mg: 1.0%以下、Mn: 1.0%以下、Si: 1.0%以下、Fe: 0.7%以下である。クラッド材の被覆合金は、海軍、陸軍ともに同じで、Mn: 1.0-2.0Mn, Mg: 0.4-1.0%, Cu: 0.25%以下、Si: 0.3%以下、Fe: 0.6%以下である。ちなみに、米国の24Sは報告書によるとCu: 3.6-4.7%, Mg: 1.25-1.75%, Mn: 0.3-0.9%である。

しかしながら、1935年5月頃からの報告書を見ると、T3およびT3C合金の試験結果が報告されるようになる。「従来、SD及SDC板二代ワッテ、コノ数ヶ月以前カラ、新配合ノT3（従来、SDヨリMg多シ）並ニ之ノ中味トスルT3C板ノ製造ガ開始セラレタ」とある（「T3及T3C板ニ就テ（第1報）」（東尾、研究報告 No. 3200, 1935.6）。T3押出材の成分はAl-4.14%Cu-1.36%Mg-0.68%Mn-0.14%Si-0.28%Feで、まさに24S合金である（武富、研究報告 No. 3202, 1935.6）。この頃から、住友は超ジュラルミンに関して、大きく舵を切る事となる。当時、松田孜研究部長のもとで副長をしていた田邊友次郎博士は7月31日付けの研究報告「所謂「超ジュラルミン」ヲ載ル」（研究報告 No. 3306, 1935.7.31）で次のように総括して今後の方向を述べている。

- (1) 超ジュラルミンには、大別して、Al-Cu-Mg系、Al-Zn系、Al-Mg系があるが、薄板の工業生産可能なものはAl-Cu-Mg系に限られている。
- (2) 現行のSD合金は焼入れ焼戻しを行うが殆ど完璧に近い。Cu、Mgをさらに増加すれば、多少韌性は犠牲となるが、より高い強度が得られる。
- (3) 米国の24Sは99.8%のような高純度地金が相当自由に使える国柄で発達したものである。大勢ならば致し方ないが、日本がこれを採用するには疑問を持つ。米国でも24Sは高価すぎて、一般材として最近SD合金そっくりの27S (Al-4.5%Cu-0.8%Mg-0.8%Si) を採用したではないか。
- (4) そうは言っても、Mg量を1.5%まで上げたことはアルコア社の努力に深甚なる敬意を表せざるを得ない。かのデュレナ社もジュラルミンのMg量の範囲を0.2-0.7%から0.2-2.0%と上げている。世界の大勢に我等は盲目であってはならぬ。将来、高級超ジュラルミンはSiフリー、Feフリーの字義通り、Al-Cu-Mg合金によって支配さるべきは確信にて疑わざる処。
- (5) 我等は、我国は、徒に24Sに心酔せず、欧州各国の事例を参照し、我国独自の立場を、今しばらくとるべきではあるまいか。99.8%地金の輸入が途絶えた暁はどうするか、深く思わざるべからず。

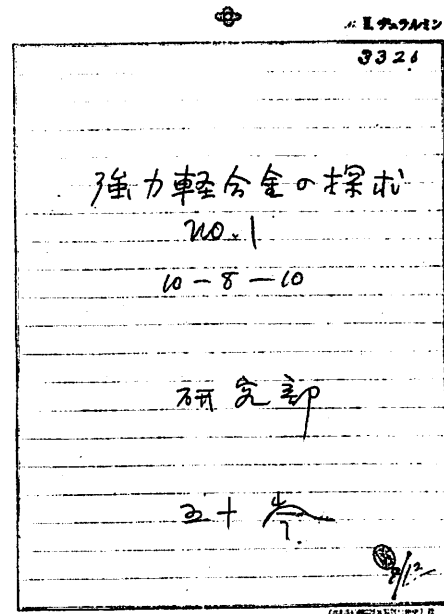


図10 超々ジュラルミンの研究（第一報）表紙<sup>12)</sup>

(6) Al-Zn系、E合金（筆者注、英国Rosenhainが開発、Al-20%Zn-2.5%Cu-0.5%Mg-0.5%Mn）、Scleron（注、ドイツVLW社が開発、Al-12%Zn-3%Cu-0.5%Mg-0.6%Mn-(0-0.1)%Li系）、Constructal 8（注、ドイツVLW社開発、Al-7%Zn-2.5%Mg-1%Mn-0.2%Si系）<sup>16)</sup> など圧延が困難として、すでに過去の遺物となっているが、再認識して合金開発すべきではないか。五十嵐君発見のAl-Zn-Li系は何とか完成させたものである。Al-Mg系も地金純度が上がると可能性はあるので、注目を忘れるべからず。

この直後に、五十嵐博士の超々ジュラルミンの研究開発開始の意思を示した8月10日付けの「超高力合金の探求 (No. 1)」(図10, 研究報告 No. 3326, 1935.8.10) がでてくる。「最近、日本電工75kg/mm<sup>2</sup>軽合金の聲が高い。はたして、それが何物であるかは本年中頃には自然とわかって来る。が、周囲の時勢は其余裕を許さない。命を受けて、ここに強力軽合金の探求をはじめ。幸なる哉、時に北原五郎君の来援あり。君は先に海軍技術研究所にありて、松山博士と共に超ジュラルミンの発見あり(力(原文ママ、注、引張強さ)54~58kg/mm<sup>2</sup>, 伸び20~12%)。五百旗頭博士と共に、所謂、技研式超ジュラルミンの発明がある。其途の先達である」<sup>12)</sup>。この報告書は海軍の要求に応じて60キロ級の超々ジュラルミンESDを開発するための宣誓書でもあった。

その後、焼入れ焼戻し型の超ジュラルミンSD合金は焼戻し後の耐食性に問題があり、また焼戻しに時間を要して生産性が劣るため焼戻しを必要としない24Sに代わる事となった<sup>17)</sup>。研究報告書からは、どの時点をもって、年表にあるように「24S系の工業化の研究に移り、昭和10年(1935年)4月ころ、それに成功した」と言えるのかわからなかったが、24S型超ジュラルミンT3はSD、その合わせ板T3CはSDCと称されるようになった。SDCの皮材はSA3 (Al-1.5%Mn-0.55%Mg)合金で、アルコアの24SCより高強度の合せ板となった<sup>13)</sup>。

押出型材については、住友は1924年頃、クルップ社製

1000トン横型水圧押出機を用いて、一辺が50mm、肉厚3mm以上のジュラルミンL型型材の製造に成功し、川西機械(株)の水圧機のプロトの小骨に使用されたのが実用化の最初と言われている。1928年安治川から桜島に新工場を移転してからも前述の一基のみで需要がなかった。当時は大凡の形状を作り圧延と抽伸で仕上げたようである。1935年、Schleomann社製2000トン横型水圧押出機(複動型)が設置された。住友の超ジュラルミンSD(24S)は、1936年、全金属製低翼単葉機の九六式艦上戦闘機に採用され、軍用機全盛時代の需要期を迎えた。その後、1940年頃、3600トン横型水圧押出機が導入され、零戦主翼桁材向けの超々ジュラルミンESD大型型材の生産に用いられた<sup>13), 14)</sup>。

#### 4. まとめ、九試単戦の超ジュラルミンとその後

UACJの技術開発研究所(名古屋センター)に保管されている研究報告書から読み解いた九試単戦に用いられた超ジュラルミンは、少なくとも24S系の超ジュラルミンではないと考えられる。1934年当時は、焼入れ焼戻し型の含けい素超ジュラルミン押出型材が九試単線の主翼桁材に用いられたものと推定される。24SはMg量が多く焼入れ焼戻し型の超ジュラルミンよりもさらに変形抵抗が高いので、量産には2000トンプレスが必要とされたのであろう。24Sが用いられたとすればこのプレスが導入された1935年後半と考えられる。1936年11月に制式採用された九六式艦戦の量産には間に合ったと思われる。この時期の海軍航空廠とやり取りした出張記録がないので詳細はわからないが、材料規格制定の問題もあり、方向転換には相当な指導があったものと推定される。田邊博士の研究報告書には、一時期ジュラルミンの研究開発に携わっていただけに研究者としてその悔しさが窺えるように思える。この悔しさがその後の60キロ級超々ジュラルミンの開発に繋がっているように筆者には思える。もちろん、上司であった田邊博士と部下であった五十嵐博士ではその想いは違うと思うが。五十嵐博士は、1935年北原とともに短期間で集中的に研究開発を行い、翌年1936年6月9日、応力腐食割れを防ぐためにクロムを添加したAl-Zn-Mg-Cu合金、60キロ級超々ジュラルミンESDを発明し、その特許を出願した。クロム添加については1939年の特許公開とともに論文発表し、1939年大阪大学から工学博士の学位が授与された。一方、このESDは1937年には鍛造、圧延、押出、鍛造、二次加工などの実用化研究がなされた<sup>18)</sup>。これらの

結果を三菱の堀越らは聞きつけ住友金属桜島に向いて五十嵐博士らの説明を聞き、海軍航空本部へESDの使用許可を申請して即刻許可され、1939年の十二試艦戦の試作第一号機主翼桁材に採用された。1940年7月、十二試艦戦は制式機として採用され、「零式艦上戦闘機一型」と名づけられた。最後に、1935年10月、住友伸銅鋼管は住友製鋼所を吸収合併し、社名を住友金属工業株式会社としたことを付け加えた。

#### 参考文献

- 1) 宮崎 駿：スタジオジブリ絵コンテ全集19、「風立ちぬ」、徳間書店、(2013)、p. 463.
- 2) 宮崎 駿：アニメージュ・コミック・スペシャル「風立ちぬ」下巻、徳間書店、(2013)、p. 156.
- 3) au「風立ちぬ」キャンペーンサイト、「風立ちぬ」を読み解く (<http://www.aulovesghibli.com/pc/beforetop/highlight/>)
- 4) 堀越二郎と零戦、歴史群像、8月号別冊、学研パブリッシング、(2013)。
- 5) 堀越二郎、零戦への道、丸、8月号別冊、潮書房光人社、(2013)。
- 6) 堀越二郎、奥宮正武：零戦、航空戦史シリーズ、朝日ソノラマ、(1982)、学研文庫、学研パブリッシング、(2013)。
- 7) 堀越二郎：零戦、その誕生と栄光の記録、カップ・ブックス、光文社、(1970)、角川文庫、角川書店、(2012)。
- 8) 柳田邦男：零式戦闘機、文春文庫、(1980)。
- 9) 住友軽金属年表、平成元年版、住友軽金属工業株式会社、(1989)。
- 10) 吉田英雄：超々ジュラルミンと零戦—超々ジュラルミン開発物語—(その1)、住友軽金属技報、53(2012)、60。
- 11) Zeppelin飛行船の骨材に用いられた材料については、軽金属学会のホームページの筆者のエッセイを参照のこと。 <http://www.jilm.or.jp/society/?mode=content&pid=207>
- 12) 吉田英雄：超々ジュラルミンと零戦—超々ジュラルミン開発物語—(その2)、住友軽金属技報、54(2013)、264。
- 13) 竹内勝治：アルミニウム合金展伸材 その誕生から半世紀—、軽金属溶接構造協会、(1986)。
- 14) 竹内勝治：技術の歩み、非売品、住友軽金属工業株式会社、(1995)。
- 15) T. T. Staley: History of Wrought-Aluminum—Alloy Development, Aluminum Alloys—Contemporary Research and Applications, Edited by A. K. Vasudevan and R. D. Doherty, Academic Press, (1989), 3.
- 16) A. von Zeerleder: The Technology of Aluminium and its Light Alloys, Nordemann Publishing Company, translated from the 2<sup>nd</sup> German edition, (1936), 19.
- 17) 田邊友次郎：現代の工業用軽合金に就て(II)、日本金属学会誌、1(1937)、107-128。
- 18) 永田公二：わが国アルミニウム産業の明るい未来を拓くために、軽金属、60(2010)、192-201, 244-250。