

中部の

エネルギーを 築いた人々

福沢桃介生誕150年記念^⑫

日本初のアルミニウム製錬工場をつくった **竹島安太郎**

—その3:アルミ国産製造の失敗にも諦めなかった研究の道—

アルミニウムが発見されて、わずか200年間余りでアルミニウム地金年産量が約6,000万トンを越え、鉄鋼材料に次ぐ重要金属になっている。日本では、竹島安太郎が札幌電灯会社内でアルミニウム製錬の研究を1900年に開始した。竹島が発明した粘土中のアルミナ成分を抽出するソーダ石灰焙焼法と、融解剤に氷晶石を使って電気分解させる熔融塩電解還元法によってアルミニウム製錬が試みられた。

今月号では、2018年12月号と2019年2月号の最終編として、竹島によるアルミニウム製造の実証試験と操業時の状況ならびに工業化誕生までを紹介する。



1906年頃の竹島安太郎
〔出典：アルミニウムNo.491、
1971刊〕

日本初のアルミニウム製錬会社設立に向かって

日露戦争後の不況に入った1913(大正2)年は、アルミニウム地金輸入量が前年の987ト年から318トまでに急減し、さらに翌1914年7月、第一次世界大戦が始まると、戦時禁輸品としてイギリスからのアルミニウム地金輸入が途絶え、アメリカから488トの輸入のみになり、その後の価格も高騰した(1ト当たりの地金輸入金額1912年605円、1913年703円、1914年801円、1915年870円、1916年2,707円、1917年3,370円)。

竹島安太郎(1870～1926)は、アルミニウム地金の輸入が止まり、市価の高騰を予見し、アルミニウム製錬の事業化に動き出した。その製造技術は、竹島が発明した白粘土からアルミナをつくる改良ソーダ石灰焙焼法(特許第21440号、1912年1月12日取得)と、アルミナから電解析出する熔融塩電解還元法(特許第14139号、1908年4月28日取得)を使うものであった。1915(大正4)年春、田中隆三(当時：衆議院議員、元：農商務省鉱山局長、藤田組小坂鉱山所長、文部大臣、

1864～1940)は、軍需用品や航空機部品の軽量化にアルミニウム材料が必要になることから『軽銀製造は国家的事業にて、軍需製造に欠くべからず、今にして自給策を講じ置かざるべからざれば会社の事業は必ず成功せしむ』と事業目的に掲げて会社設立を呼びかけた。設立発起人には、肝付兼行(元：海軍省水路部長、海軍中將、貴族院議員、大阪市長、1853～1922)、中野武栄(田園都市会社社長、四国水力発電会社取締役、東京商業会議所会頭、関西鉄道会社社長、1848～1918)らの東京、大阪、名古屋の実業家が参加した。

竹島は、1915年5月、寒川恒貞(名古屋電灯・顧問技師)を訪ねて、名古屋電灯との共同事業を打診した際に、福沢桃介社長から1kW年額40円の破格な電気料金を告げられた。ところが愛知県東春日井郡瀬戸町付近の白粘土のアルミナ含有量が思ったより少ないために設立の機運が消えた。その後、全国各地の粘土を取寄せて(株)芝浦製作所(現：(株)東芝)による成分試験で、アルミナ含有率37～60%

の良質な粘土が東春日井郡高蔵寺付近にあることを確認した。肝付発起会委員長と竹島技師が名古屋にアルミニウム製錬工場を置くとして1915年9月に名古屋電灯を訪れ、寒川技師が東春日井郡瀬戸町内の白粘土調査に同行した。

事業化には、アルミナの抽出処理と、アルミニウムの電解処理設備に多額の資金を必要とした。田中は、**藤田平太郎**(藤田組社長、1869~1940)に事業化資金の出資を依頼した。藤田は、竹島の特許技術を藤田組研究科長の辻元謙之助(大阪亜鉛鋅業㈱技師長、藤田組小坂鋅山技士)に詳細に調査させた。調査した辻元は、採算面で若干不安があるが、技術的な問題はないと結論した。藤田は、田中の要請でもあり、日本で唯一のアルミニウム製錬事業になることから辻元の個人名義で出資を決断した。設立資金は、1915年12月までに藤田組1,000株、大倉喜八郎の大倉組3,200株を始めとして、東京、横浜、名古屋の実業家から47,000株の申込みになった。翌1916(大正5)年1月に田中、鎌田芳太郎(東京市会議員、弁護士)、加納兼吉(東洋紡績㈱取締役、服部俊一の婿)発起会委員が名古屋を訪れて工場用地視察および名古屋電灯と500kWの受電契約を結んだ。

1916年3月1日に東京商業会議所で創立総会を開催し、**日本軽銀製造株式会社**(資本金100万円、株数2万株、内払込金25万円)が設立された。役員は、社長肝付兼行、専務取締役田中隆三、常務取締役加納兼吉、取締役に園田實徳(小樽電灯社長)、富坂興八(綿糸業・富坂合名会社)、武山勘七(名古屋電気鉄道監査役)、石塚彦助(東洋ゴム取締役)、監査役に鎌田芳太郎、橋本太吉(橋本アルミニウム製作所)、田中喬樹(鉄道車輛製造所支配人)が就任した。さらに技師長竹島安太郎、技術顧問辻元謙之助とした。本社は東京市麹町区有楽町1丁目1番地に置いて、工場は愛知県西春日井郡六郷村木ヶ崎(現：名古屋市中区矢田3丁目)に**愛知工場**(敷地4,500坪)の建設を決めた。アルミナ製造には、竹島の改良ソーダ石灰焙焼法(特許第21440号、1912年1月12日取得)を20万円(現金10万円と株券)で買収し、アルミナ年産400ㄲと金



(a) 愛知工場周辺の1920年地形図



(b) 県道15号線矢田駅前から旧愛知工場(手前の住宅地)と旧信産製糸場(奥の尾張精機)の景観

属アルミニウム年産200ㄲの目標で、副生産物のソーダ石灰でガラス製造も計画した。

竹島技師長は、東春日井郡内の白粘土を亜炭燃料で焙焼し、廃ガスの炭酸ガスよりアルミナを安価に製造し、名古屋電灯からの受電で電解還元する計画を立てた。愛知工場は、木造14棟、800余坪の工場建物で1916年4月に着手し、竹島が設計した機械設備、電解槽などを芝浦製作所に発注した。操業開始は1916年8月を予定し、陸軍省と海軍省が製品全部を買上げる契約で、月産22ㄲのアルミニウム地金とその一部で圧延板に加工することになっていた。

ところが、イギリスから輸入を予定していたアルミナを溶かす融解剤の氷晶石および電解用炭素電極が戦時禁輸品になって入荷が1916年7月に突然止まり、製造開始の時期が遅れることになった。竹島は、岐阜県美濃の蛍石を代用品にする研究と、横浜の実業家近

藤賢二の日本カーボン㈱(1915年設立)に炭素電極の製造を依頼した。その後、工場設備のすべてが完成して1916年10月10日に製造試験に着手した。

日本軽銀製造は、第1回定時株主総会(11月30日開催)で本格的な生産体制に入るために第2回株式分割払込徴収(10万円、第1回は25万円)の承認を得た。加納常務取締役が一身上の都合で退任し、田中専務取締役が工場の管理担当に就任した。

アルミナの生産は、1916年12月から製造を開始し、年末までに約1トンの貯蔵ができた。ところが、1917(大正6)年1月に入って電解装置(芝浦製作所製)に不具合が見つかり、電解作業が調整に手間取って停止し、試験運転に入る見込みが同年2月に延びた。同年2月に入ると電力供給の延期問題と電解装置の電力費用がが多大になることが判明して、名古屋電灯との交渉や、融解剤の蛍石の製造研究に手間取って、2月末になって操業開始した。

一方、名古屋出身の発明家恩田宮五郎(東京帝大助教授、古河鋳業会社技師、名古屋市中区八百屋町1丁目3-18番地)は、粘土と硫酸アンモニウムの混和材を湿潤させ、強硫酸水溶液中で煮沸させるのみで簡単にアンモニウム明ばん($\text{Al}(\text{NH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$)結晶を抽出する湿式明ばん製造法(特許第29555号、1917年6月取得)を発明した。この明ばん製造法は、竹島の改良ソーダ石灰焙焼法で使われた焙焼工程を省き、短時間で安価に不純物を取除くことができた。また、すで

に発明した三層式溶融塩電解還元法(特許第23490号、1912年2月14日取得)との併用で、純度99%以上の金属アルミニウムの析出に成功させていた。

恩田は、日本軽銀製造との共同事業を提案・交渉したがまとまらず、1916年7月、独自でアルミニウム製造試験工場を設置する目的で、名古屋港の4号埋立地(名古屋市港区築地町55)の払下げ願いを愛知県知事へ提出した。1922(大正11)年8月恩田ら5人の出資で名古屋明礬製造(資本金10万円)を設立し、築地4号地に有實商会工場を建設して、粘土から明ばん石や硫酸アルミニウムの製造を開始した。その後、日本沃度(森重和(もりのぶてる、東信電気(株)取締役、昭和電工(株)社長、1884~1941)は、長野県大町の電解工場ですうアルミナ原料の一部確保するために名古屋明礬製造に出資して、1934(昭和9)年7月9日、名古屋明礬(株)に改称した。翌1935年8月には昭和鋳業(株)名古屋明礬工場に移籍させた。1941(昭和16)年5月王子製紙(株)名古屋化学工場に譲渡・売却した。



職工数120名の名古屋明礬会社(右上)と愛知航空機の水上機試験基地格納庫(右前)、大日本人造肥料会社名古屋工場(正面)の名古屋港四号地全景
[出典：大日本人造肥料(株)50年史、1936刊]

日本軽銀製造におけるアルミニウム製錬の試験操業

日本軽銀製造(株)愛知工場における1917(大正6)年3月の操業時の状況を農商務省鋁山局技師吉村萬治が報告している。(日本鋁業会誌、第386号、1917年4月刊)。

愛知工場は、1916(大正5)年11月に電気工作物施設認可を受け、翌1917年2月9日に本格稼働した。名古屋電灯からの供給電力は、萩野変電所から最大電力585kW、最大電圧3,450Vで受電し、総原動力187馬力、

11台の電動機を運転した。電気主任技師は小泉喜久治であった。工場建物は、木造22棟、総建築面積944坪であった。

〔アルミナ抽出作業工程〕は、愛知県東春日井郡長久手村産の白粘土($40 \sim 45\% \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $2\% \text{FeO}$ 、 $53\% \text{SiO}_2$)に、石灰($\text{SiO}_2 : \text{CaO} = 1 : 2$)と炭酸ソーダ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{NaCO}_2 = 1 : 2$)を配合した。白粘土の購入価格は、東春日井郡の陸軍本地ヶ原演習場から6m³、1円で1917

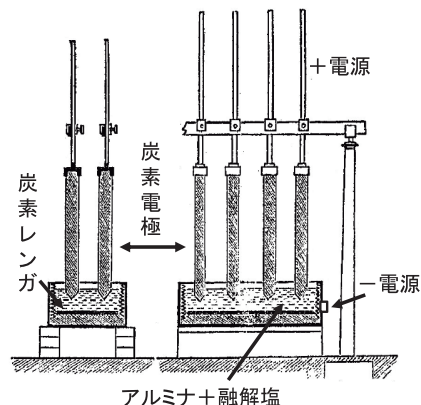
年2月に採掘許可を受けた。配合原料は、粉碎機(能力：20ト/日、20馬力)で粗粉碎した後にチューブミル粉碎機(能力：20ト/日、40馬力)で100メツシユに微粉碎した。この微粉末は、加水しながら混練機(25馬力)で練り、レンガ塊状に成形して自然乾燥させた。

配合原料塊は、焙焼炉(4基の能力：アルミナ1ト処理)で、亜炭を燃料に1,000℃、24時間加熱して、アルミン酸ソーダ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O}$)とケイ酸カルシウム(Ca_2SiO_4)の焙焼物とした。この焙焼物をエッジランナーミル圧搾機で粉碎し、希薄炭酸ソーダと蒸気で加温しながら抽出攪拌機(浸出球)にて約30分間攪拌すると、アルミン酸ソーダ水溶液と、沈殿物のケイ酸カルシウム(ガラス原料に利用)に分離できる。アルミン酸ソーダ水溶液は、ろ過器を通して不純物のケイ酸カルシウム成分を完全に除去し、約60℃の析出槽(結晶槽)にて炭酸ガス(CO_2)で加水分解させて水酸化アルミニウム結晶($\text{Al}_2(\text{OH})_6$)と炭酸ソーダ溶液を得る。さらに水酸化アルミニウム結晶沈殿物は、炭酸ソーダ成分を除去するために水で洗浄した後、遠心分離器にて回収する。その後、焙焼炉で1,000℃以上に高温焼成させて、電解用アルミナ(Al_2O_3)を製造していた。なお、炭酸ガスは、石灰窯で石灰石の焼成時に発生するので回収して加水分解に使い、残留物の石灰(CaO)は白粘土と配合して原料に使う。また、炭酸ソーダ溶液は、蒸気室の蒸気で煮詰めて、析出槽で再利用した。

〔電解作業工程〕で使用する熔融塩電解還元炉は、定格電流110V、5,000Aのエル式箱型電気炉(18基、寸法：約1.8×0.9×0.45m)を電解槽としている。陽極炭素棒(2列×4本、寸法：直径0.15×長さ1.52m、日本カー

ボン製)は、電解槽上部から吊下げて1本当たり600～650Aを通電できる。金属アルミニウム地金の製造能力は、0.5ト/日、純度95～96%であった。

電解作業は、陽極炭素棒と炉底間に電流を流してアークを発生させながら、竹島が開発した蛍石(CaF_2)から合成したフッ化物(氷晶石)の融解剤と電解用アルミナ粉を順次に加えて、融解させて電解液とした。電解時の適正な印加電圧は8～10Vで、この状況を両極間に接続した電球の明るさによって判断した。また、金属アルミニウムの析出が順調であれば電解液表面のフッ化物が固まって外皮ができ、不調な場合にはフッ化物が燃焼しだすことから操業状態を判断していた。電解槽内に沈降した熔融状態の金属アルミニウムは、炉底の排出孔より23日間毎に取出す。その後、金属アルミニウム塊は、大阪亜鉛鋅業㈱西島工場(1917年9月竣工した亜鉛電解の最新鋭工場)に運搬し、鑄造場のるつぼ炉で溶解したものを鑄型へ流し込んで最終製品の鍋や釜、その他製品に加工して販売された。



想定される愛知工場設置のエル式溶解塩電気炉
〔出典：工業電気化学・下巻 1909刊〕

国産製造計画の中止と本格的な工業化生産の成功

(1) 工業化に向けて試験研究の継続

日本軽銀製造㈱のアルミニウム製造は、1917(大正6)年3月末までに純度95～96%の金属アルミニウムをわずか1ト生産したのみである。愛知工場の電解作業は、日本カーボン㈱の炭素電極を生産する機械設備の故障

によって納品が止まり、作業を始めて1ヶ月半ばかりで休止し、復旧の見通しも不明になっていた。さらにアルミニウム製造における技術的問題が浮上し、事業続行に影響を及ぼし始めていた。この問題点は、① アルミナ製造工程における炭酸ソーダの回収率が

55%と低く、購入価格が戦前の1㍑、70円から330円の高額になり、② 蛍石から造った融解剤のフッ化物中の不純物が除去できず、人造黒鉛電極がイギリスの戦時禁輸出品になって日本カーボン製天然黒鉛電極(灰分3%)を使ったことで高純度の金属アルミニウム(純度99%以上)が製造できず、③ 職工の未熟練や、休止中の電気料金の支払い、および運営資金欠乏が挙げられる。これら理由から1917年5月27日の臨時株主総会において、愛知工場の操業中止と、竹島技師長を含めて全職工40人の解雇を決定した。新たに田中隆三社長、林明常務取締役(西島工場長)が就任し、藤田組にアルミニウム製造の改良研究を依頼することになった。

日本軽銀製造は、1917年10月に藤田組(現：DOWAホールディングス)系列の大阪亜鉛鋅業(株)によって管理され、林明がアルミナ製造を愛知工場(職工数26人)で、藤森龍磨(西島工場主任技師)が西島工場内に2基の電解電気炉を設置して改良試験・研究の継続を決めた。藤森は、1918(大正7)年1月以降、5回の電解試験で純度97%の金属アルミニウム774kgを製造した。5回目の電解試験では、純度97.8%を達成し、0.4mm厚の圧延板に加工できるまでになった。

藤森の電解試験成功により日本軽銀製造は、1918年11月11日、長野県・大町に信州工場(北安曇野郡大町仁科町3171、信濃大町駅前県営金付近)の建設に着手した。大阪亜鉛鋅業では、藤田組の系列下の明治水力電気(株)(1918年設立、資本金350万円、後の東信電気(株))の水力発電(高瀬川発電所、出力3,000kW、運用開始1922年12月)を使って、亜鉛の電解精錬を行う計画であった。この亜鉛精錬事業と並行して信州工場にアルミニウム電解試験場の設置を決めた。諏訪工場には、直流発電機(3,000A、50V)と電解炉6基(寸法：1.2×0.6×0.4m)で月産2㍑の電解能力を持つ電解試験場が1919(大正8)年5月11日に竣工した。ところが、大阪亜鉛鋅業は第一次世界大戦の終結によって亜鉛、アルミニウムなど金属価格の暴落で、すでに1919年3月操業休止していた。日本軽銀製造は、大阪亜鉛鋅業からの試験研究費の援助が止まり、

1920(大正9)年1月閉鎖されてしまった。

一方、政府は1920年12月、軍用航空機資材などの研究開発と工業化の促進に軍需工業研究奨励金制度を公布した。日本軽銀製造は、交付金9万円でアルミナおよび電解還元に関する工業化試験研究を信州工場に1922(大正11)年2月に再開した。この試験研究では、東京工業試験所山崎甚五郎の硫酸ソーダ法で98.9%アルミナを製造し、1925(大正14)年7月の試験研究の終了までに約10㍑の金属アルミニウムを製造した。また、日本カーボンが開発した人造黒鉛炭素電極(0.6%灰分、電極寸法：約17.8cm角×長さ25.4cm、交付金19,000円)で、純度99.04%の金属アルミニウム製造に成功した。信州工場は、試験研究の目的を達成して1925年7月に再度閉鎖された。

その後、商工省は1926(大正15)年5月に国産アルミニウム製錬工場設立を見極めるために「アルミニウム工業促進協議会」を発足させ、日本軽銀製造や三菱鋅業が亜硫酸石灰法、三井鋅山の硫酸法による目論見書を作成した。しかし、いずれの方法もアルミナ製造価格が高額になり、政府の補助金も得られないことから1927(昭和2)年2月工場設立計画を断念した。日本軽銀製造は、1927年3月から発生した昭和金融恐慌の混乱から見込みが立たず1928(昭和3)年10月休業に入り(大阪亜鉛鋅業はこの時点で解散)、1930(昭和5)年6月解散した。

(2) 国産アルミニウムの誕生

1931(昭和6)年9月の満州事変勃発とイギリスの金本位制停止による円為替の暴落、翌1932年3月国際連盟脱退によって、再び軍需品の国産化が重視されるようになった。

日本で最初にアルミニウムの工業的製造を達成したのは森島昶である。森は、1927(昭和2)年1月の第6回アルミニウム工業促進協議会において東信電気(株)の余剰電力で長野県大町に電解工場を誘致する意見陳述している。1930(昭和5)年からは、理化学研究所の乾式アルミナ製造法や火山灰土の亜硫酸溶液処理法によるアルミナ製造実験を開始した。さらに、浅田平蔵が開発した明ばん石によるアルミナと硫酸カリウム製造法の試験工場を

1932(昭和7)年4月に設置し、実証実験を進めた。しかし、原料の入手先の問題や不況による化学肥料価格の暴落で新規投資ができず、研究は低迷した。

日本軽銀製造工場長として活躍した藤森龍磨(当時：中越電気工業[㈱]常務)を1933(昭和8)年2月迎えて、日本沃度[㈱]大町工場(北安曇郡大町大新田6851、南大町駅付近)で1934(昭和9)年1月11日朝鮮・木浦の声山鉱山の明ばん石を原料とする国産アルミニウムの電解析出に成功し、地金5kgができた。

同年末までに588^ト生産して、那須アルミニウム会社、池田アルミニウム会社に販売した。その後のアルミニウム生産量は、1935年2,522^ト、1936年3,336^ト、1937年5,960^ト、1938年7,767^ト、1943年には21,364^トになった。また、横浜・子安埋立地の日本沃度[㈱]横浜工場では、長田幸太が開発したアンモニア・ソーダ法によって明ばん石からアルミナと硫酸カリウムを1933年11月生産開始した。

研究を続ける竹島安太郎

竹島安太郎は、1917(大正6)年5月末、日本軽銀製造を退職したが、楽観的な性格が幸いし、粘土中のケイ酸や鉄分を効率的に除去させる高純度アルミナ製造法の研究を進めた。アメリカ特許庁に1917年10月23日出願した(USP特許No.1277503、1918年9月3日取得)。この特許は、愛知県産の白粘土、硫酸ソーダ、石炭粉末を半溶融状にして密閉容器内で冷却後、水浸漬してアルミン酸ナトリウム溶液を抽出する。この水溶液に炭酸ガスを吹込み、アルミナ結晶と炭酸ソーダ溶液を回収して再利用する方法を考案した。

竹島は、石炭商西澤芳三(西澤商店、浪花炭鉱[㈱]、日本橋区川瀬石町18番地)から研究資金援助を受けて、東京・日暮里に試験工場を1918(大正7)年1月に設置した。試験工場を高純度アルミナ製造法の研究を1919(大正8)年7月まで行った。竹島と西澤の連名で日本でもアメリカ特許と同一内容で出願している(特許第33707号、1918年7月25日出願、1919年1月23日取得)。さらに2人は、白粘土を3~5時間回転焼窯で赤熱焼成した後、水または炭酸ソーダ溶液に浸漬させてアルミン酸ナトリウム溶液を抽出する方法で、処理時間短縮とアルミナおよび炭酸ソーダを経済的に回収する方法を発明した(特許第34121号、1919年1月17日出願、同年4月11日取得)。

その後、中国東北部の大連で鉱石類を販売する貿易商大羽豊治(大連造船所、日本貿易

商会、大日本興農[㈱]1921年設立)の協力を得て、1919(大正8)年、大日本アルミニウム[㈱]創立事務所を大連に開設して再びアルミニウム製錬の工業化に動いた。製造計画は、満州の粘土、石灰石、硫酸ソーダから撫順炭鉱産の硫酸アンモニウムで処理するアルミナ製造工場を満州に置き、日本国内には金属アルミニウムを製造する電解工場を設置する案で、各電力会社との料金交渉に奔走した。しかし、1920(大正9)年4月からの第一次世界大戦後の株価暴落や銀行取付が続出した戦後恐慌に突入し、会社設立を竹島は断念した。

その後も、竹島は研究を重ねて、バイヤー法を改良して、アルミナを抽出した残液のアルミン酸ソーダ水溶液を消石灰、硫酸で加水分解して、硫酸アルミニウムと硫酸カルシウムを得る廃液再生処理法を発明している(特許第63068号、1924年4月23日出願、1925年3月31日取得)。

さらに、竹島は合成酒の研究でも、でん粉を糖化した糖液に清酒粕と蛋白分解物を加えて発酵させる半発酵法を西澤と2人で発明した(特許第65450号、1922年12月23日出願、1925年9月7日取得)。

いつも研究意欲に燃える竹島安太郎であったが、東京・小石川区大塚窪町で1926(大正15)年9月12日生涯を閉じる。享年56歳の若さであった。

(青山 正治)