

中部の

エネルギーを 築いた人々

福沢桃介生誕150年記念⑨

日本初のアルミニウム製錬工場をつくらせた **竹島安太郎**

—その1:世紀のアルミ製錬法誕生とアルミ生活用品を作った高木鶴松—

アルミニウムは、軽くて強い材料として自動車、航空機、建築物などから缶容器や家庭用調理器具まで多用途に渡って利用されている。イギリスの電気化学者ハンフリー・デービーは、1807年に未知のアルミニウム元素の存在を発見し、アルミウム(Alumium)と呼んだ。しかし、鉱物中に含まれる酸化アルミニウム(アルミナ)は、酸素との親和力が強く金属アルミニウムとして取出すことは困難であった。世界の研究者は、強力な電力を生み出す直流発電機の発明と電気化学的方法の開発によってアルミニウムの製錬法を確立した。竹島安太郎は、白粘土を原料に日本初のアルミニウム製錬を1916年に発明した。今月号では、アルミニウム製錬の電気化学工業の発展と高木鶴松の家庭生活品の製造および竹島安太郎の研究者としての足跡をたどる。



1906年頃の竹島安太郎
〔出典：アルミニウムNo.491、
1971刊〕

薬店舗主に見込まれ薬剤師への道

竹島安太郎(1870~1926)は、北前船交易で栄えた三国湊の福井県坂井郡坂井港台町65番地(現：坂井市三国町南本町2丁目)で質両替商を営む竹島安平の長男として1870(明治3)年9月15日生まれる。その後、父が賭け碁に興じて家業を倒産させたので一家をあげて東京に移ることになる。さらに、竹島の一家は札幌に転居し、竹島安太郎が本間薬店舗の見習い店員として働く機会を得て、アルミニウム製錬の研究に熱中することになる。

ところで薬店舗主の本間儀兵衛(1866~不明)は、函館の薬種店で働いていたが、暖簾分けを前提に札幌支店の開業準備に1887(明治20)年3月赴任し、同年6月札幌市南1条西2丁目11番地に支配人に就任した。本間は、同年12月札幌支店を譲り受け「薬舗・本間儀兵衛」として独立していた。薬店舗主

の本間は、1888(明治21)年より店員に物理や化学の知識を毎夜2時間程教え、札幌農学校の本科生から英語を習わせていた。この頃の竹島の働きぶりは、「いたってのろく、商売が下手な店員であったが、書物での勉強好きと記憶力の良さは抜群であった」と本間は評価している。薬店舗は、病院に世界の医療機械や薬品の販売、感冒薬や脚気特効薬の製造販売で繁盛した。この頃、薬品の取り締まりや医薬品販売業に関する日本最初の薬律と呼ぶ法律(薬品営業並薬品取扱規則)を1889(明治22)年3月に政府が定め、翌年3月から施行されることになっていた。

竹島は、本間から薬剤師になるよう勧められ、私立札幌薬学校で薬剤師になる勉強を始めた。私立札幌薬学校は、1889年5月に創立した北海道で最初の薬剤師を養成する学校

で、陸軍屯田兵本部の薬剤官であった勝山忠雄が校長を兼務した修業年限2年の夜間学校であった(1905年札幌薬学校に改称、廃校年不明)。本間は、薬剤師試験では学科試験の他に分析術、薬品鑑定、薬物製煉、調剤術の实地試験があることから、1890(明治23)年竹島を東京に出して実技の講習を受けさせた。竹島の实技講習時の滞在先は、本間が昆布採取で廃棄される切れ端や仮根(かこん)から、ヨウ素を抽出して殺菌、消毒薬のヨードチンキを製造していた東京・本所区であろう。竹島は、同年10月の第二回東京薬剤師試験を受けて合格し、薬剤師の資格を取得した。本間のヨードチンキ製造所は、北海道の労賃に較べて高額で採算がとれないので1891(明治24)年秋に他人へ譲渡した。

一方、本間薬店舗は、1892(明治25)年5月の札幌市街地の大火による延焼で数千円の被害を受けた。このため友人の勧めで竹島は、北海道開拓使から移管された北海道庁の公立室蘭病院(現：市立室蘭総合病院)薬局長として勤務し、依頼されれば室蘭港に出入りする外国船の通訳もして、札幌に住む祖母、両親、妻、子弟の11人を養った。



竹島安太郎が働いた本間儀兵衛の薬店舗
〔出典：札幌区実地明細絵図、1893.2刊〕

その後、公立札幌病院(現：市立札幌病院)薬局長に就任し、札幌市立英語学校で夜間授業の講師をした。1899(明治32)年には北海道庁警察部や裁判所からの嘱託も引受け、年収が100円以上になる名士になっていた。1900(明治33)年に北海道庁衛生試験所の薬品監視員及び衛生技師の職に就いた。この頃から竹島には、時間と金銭の余裕ができるようになったので、以前から興味を持っていた薬学や工業化学の研究を始めた。研究実験には、電力を必要とすることから自宅(札幌市南2条6丁目)近くの北海道電灯(株)の発電所内の一室を借りて試験設備を置いて、火薬現原料、合成酒や日本初のアルミニウム製錬の研究を開始した。

金属アルミニウムの発見と工業的生産法の歴史

(1) アルミニウムの発見

現在のアルミニウムの工業的製造法は、長石、氷晶石、ボーキサイトなど原料鉱物に含まれる酸化アルミニウム(Al_2O_3 、アルミナ)から電気分解によって非常に強く結合した酸素を分離させるために1kg当たり約15.7kWhもの過大な消費電力を必要とする。このためにアルミニウム製錬が確立するは、電力を利用する電気化学工業が生まれた19世紀以後になる。

イギリスの電気化学者ハンフリー・デービー(1778~1829)は、ボルタ電池を使った電気分解で様々な鉱物中からアルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素であるナトリウム、カリウムやマグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、バリウムの6元素を発見している。デービーの電気分解の研究において1807年に水素気流中で融解した明ばん石の

電気分解に失敗した際、未知の酸化物質の存在を発見した。この未知物質をアルミアム(Alumium)と命名したのが語源となり、後にフランスの化学者サント・クレール・ドビーユがアルミニウム(aluminium)と名付けている。

ところで世界で初めてアルミニウムの抽出・分離に成功したのは、デンマークの物理・化学者ハンス・クリスティアン・エルステッド(1777~1851)である。彼は、明ばん石と木炭をるつぼ中で灼熱し、塩素ガスとの化学反応で生成した塩化アルミニウムガスをカリウムアマルガムに凝縮させ、その後水銀を気化させる化学還元法によって残渣から極めてわずかなスズに似た金属粒を1825年に発見した。これが世界最初の金属アルミニウムの出現になる。しかし、ドイツの化学者フリードリヒ・ヴェーラー(1800~1882)が金属アルミニウム生成の再現実験を行うが抽出

できなかった。やがて1827年にアマルガムを使わずに無水塩化アルミニウムをカリウムで化学還元させて灰白色のアルミニウム粉末をつくれるまでになったが、金属アルミニウムを得るまでに至らなかった。1845年ヴェーラーは、還元剤をカリウムからナトリウムに変更して、その添加量と反応時間を変化させて実験を繰り返し、高純度のアルミニウム粉末をつくり出した。これを融解してやっと小粒の金属アルミニウムの単離に成功した。この金属アルミニウムの性質は、軽く、展延性があり、空気に安定で、低い温度で容易に溶解できることを発表した。ヴェーラーの発表は、たちまち世界の化学者に注目されることになり、金属アルミニウムの工業的生産法の研究が始められた。

1846年フランスの化学者サント・クレール・ドビーユ(1818~1881)は、ヴェーラーの方法を改善して二塩化アルミニウムをナトリウムで還元する化学還元法で一円硬貨ほどの大きさの金属アルミニウムをつくることに成功する。その後、ドイツの化学者ロベルト・ブンゼン(1811~1899)は、改良ボルタ電池を使って陽極電極を白金から安価な炭素に変えた電気分解の研究を行い、1852年に塩化マグネシウムから純粋な金属マグネシウムを抽出・分離に電気分解法(電解還元法)で成功していた。そこで、1854年に塩化アルミニウムを塩化ナトリウムで還元するアルミニウムの電解還元法を考案した。この時にドビーユは、ブンゼンの方法を応用して、1854年3月パリ科学アカデミーで、るつぼ中で塩化アルミニウムと塩化ナトリウムとを185℃程で融解し、電気分解によって陰極(白金板)からアルミニウムを析出させる溶融塩電解還元法による工業製法に成功したことを発表する。これがアルミニウムの工業的生産法の端緒になる。しかし、電気分解によって陽極(黒鉛棒)から塩素ガスが発生し、再び陰極(白金板)に析出したアルミニウムも塩素との化合物になってしまうために多量の金属アルミニウム製造までに至らなかった。その後も多くの研究者によって種々な研究が行われたが、いずれの方法も失敗している。しかし、この溶融塩電解還元法の開発によって金銀よ

りも高額で貴重であったアルミニウムの生産コストは、ポンドあたり1852年には545ドルしたもの、1854年に272ドル、1856年には34ドルにまで下がった。1855年ドビーユは、第1回パリ万国博覧会で棒状アルミニウムの小塊を展示した。この新しい金属に魅了されたナポレオン三世から資金援助を得て、1856年パリ郊外のグラシエールに世界初のアルミニウム製造工場を建設させて20kgのアルミニウムをつくるまでになった。

(2) 大電力を発生させる直流発電機の発明

一方、電気分解に使う電力は、これまでの起電力1~2V程の化学反応による電池から、蒸気機関により発電機を駆動させ、長時間持続的に大きな電力を発生させる発電設備が利用できるようになる。

発電機は、1832年フランスのヒポライト・ピクシー(1808~1835)が手まわし式永久磁石型交流発電機を発明したことに始まる。この頃は電池の直流が主体であり、1866年にドイツのヴェルナー・フォン・ジーメンス(1816~1892)が、永久磁石の代わりに電磁石で強力な磁界をつくり、整流子を使って直流を流す自励式自動直流発電機を発明したことで、大電力発電が可能となった。さらに1870年ベルギーのゼノブ・テオフィル・グラム(1826~1901)は、環状鉄心に絶縁銅線を巻線して、隣り合った端子同士を結線することで複数の連続コイルの環状電機子とし、それぞれの巻線の結合点を整流子に接続して電流波形を重ねることで滑らかな直流が発生するグラム式直流発電機を発明した。このグラム式直流発電機は、構造が簡単で、強力な磁気が電磁石で得られ、コイル巻数を増やすことで必要とする高い電圧(約200V)を発生させることができた。たちまちにこの発電機は世界的に普及し、大電力を使う電気分解による金属製錬や金属溶解、電気化学工業で使われるまでになった。

(3) アルミニウムの工業生産法の確立

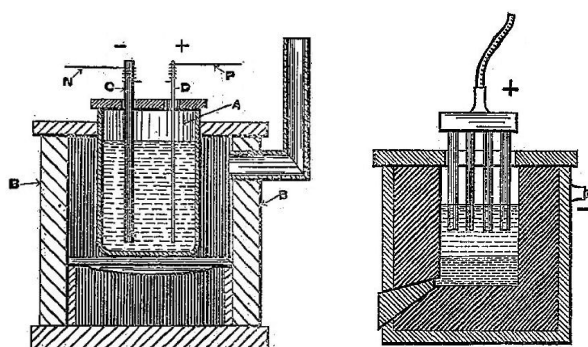
アルミニウムの製造に使われたドビーユらの溶融塩電解還元法では、主原料のアルミナ(Al_2O_3)の融点(約2,050℃)が高いので炭素電極での還元が困難であり、アルミニウム塩化物類を溶融して電気分解させて金属アル

ミニウムを抽出・分離していた。しかし、電気分解の際に発生する塩素ガスによって金属アルミニウムの回収歩留まりが悪く、鉄やけい素の不純物が含まれる欠点があった。このため多くの研究者によって塩化物の原材料に代わる電気分解の研究が続けられた。

1886年になって金属アルミニウムを最も経済的に電気分解による工業的製造方法をアメリカのチャールズ・マーティン・ホール（1863～1914）と、フランスのポール・エルー（1863～1913）がそれぞれ独自に開発した。この2人が開発したアルミニウム製錬法を「ホール・エルー法」と呼んでいる。

問題解決策としてホールは、原料鉱石のボーキサイト（主成分のアルミナを50%程度含む鉱石）と融解剤の氷晶石（ Na_3AlF_6 ）とをつぼ中で混合融解して電気分解を行う電解還元法を開発した。アルミナは、氷晶石と混合することで約900～1,000℃まで融点が下がるので、るつぼ炉で容易に溶解できることに着目した。この融解液中で炭素電極に電流を流して電気分解を行う方法であった。このとき陽極の炭素電極自体が還元剤の働きをしてアルミナ中の酸素を一酸化炭素として放出させ、陰極の炭素電極で電解分離した金属アルミニウムを困難もなく得ることができる（図中(a)：ホールのるつぼ電解炉）。

一方、エルーは、上部から吊した数本の炭素棒を陽極として、鉄製容器の内壁に炭素レンガを積んだ電解槽を陰極電極にして電気分解を行う電解還元法になる。この電解作業の開始時には、陽極の炭素電極と電解槽底に置いた銅棒とを接触させて通電後に、引き離すと炭素電極と銅棒の電極間にアークが発生し、



(a) ホールのるつぼ電解炉 (b) エルーのアーク電解炉
ホールおよびエルーが考案したアルミニウム電解還元炉
〔出典：電気化学、1908刊〕

銅棒が溶けた熱でボーキサイトと氷晶石を溶解させることができる。そのまま通電を続けながら電気分解を続ければ熔融液体のアルミナは、高熱になった炭素電極（陽極）の炭素でアルミナ中の酸素を放出させ、電解槽底（陰極）に金属アルミニウム塊が溜まることになる。（図(b)：エルーのアーク電解炉）

この炭素電極を使ったボーキサイトの電解還元法で、エルーがフランスとイギリスで1888年に、ホールがアメリカで1889年にそれぞれ特許取得した。金属アルミニウムの生産コストは、1886年にポンドあたり7.85ドルまで下落した。

さらに1888年オーストリアの化学者カール・ヨーゼフ・バイヤー（1847～1904）は、水酸化ナトリウム溶液でボーキサイト中に含まれる不純物のケイ素、鉄を取除き、アルミナのみを溶かし出して、高純度アルミナをつくる画期的な湿式抽出法を發明した。このバイヤー法により安価に高純度のアルミナが入手でき、ホール・エルー法によって高融点のアルミナを炭素電極で電解還元が容易になり、純度99.7～99.98%の金属アルミニウムが工業的に大量製造法でできるまでになった。

日本でのアルミニウム加工と製品化

(1) アルミニウムを日本に導入する

日本でのアルミニウムに関する最初の記事は、開成所教授の洋学者柳河春三（1832～1870）による日本初の月刊誌『西洋雑誌』（巻1、1867年10月、江戸開物社発行）の初号

になる。記事は、オランダの学術雑誌を翻訳した「新銀并るアリユミニウムと名くる金属の説」の見出しで、金属アルミニウムの性質、用途およびドビーユが發明した塩化アルミニウムをカリウム、ナトリウムで還元する化学

還元法が紹介されている。また、加藤宗甫(実名:加藤宗吉、翻訳者)がオランダの学術書(ギラルジン著、一般化学)を翻訳した『化学入門』後編8巻下(1869~1873年、一貫堂発行)は、日本で理科教科書として使われ、金属各論でアルミニウムを「亜律紐密母」と名付けて、その特性および製造法を掲載している。

一方、日本人として始めてアルミニウムの製品を見たのは、1867(慶応3)年1月にナポレオン三世の要請で徳川幕府将軍徳川慶喜の名代として派遣された第2回パリ万国博覧会使節団の徳川昭武、渋沢栄一とされている(日本軽金属20年史)。しかし、渋沢栄一の『航西日記』には、1867年6月18日午後博覧会見学、その後日も見学および褒賞会に出席しているがアルミニウムに関する記載事項は確認できない。博覧会では、ナポレオン三世がアルミニウムに繊細な彫金細工と宮廷の様子をシルクの扇面に描かせた豪華な扇を出品させていたが、使節団の目に留まらなかったようである。また、ナポレオン三世は、非常に高価で貴重品であった白銀に輝くアルミニウムで宮廷用のスプーンやフォーク、儀式用兜、甲冑を造らせていた。なお、日本人で現物の金属アルミニウムを入手したのは山川健次郎(日本人として初の物理学教授、東京帝国大学総長)が、アメリカ留学中(1871~1875)にアルミニウムの小片の線と小塊を得ている。この貴重なアルミニウム片を長岡半太郎(物理学者、東京帝国大学教授)が、物理実験用の天秤分銅の材料として1882(明治15)年の東京帝国大学在学中に使ったと、述べている。

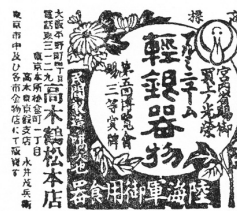
実用材料としての利用は、1892(明治25)年陸軍大阪砲兵工廠の太田徳三郎(1849~1904)が砲胴用アルミニウム青銅合金を試作するためにアルミニウムを添加元素として使ったのが最初になる。また、本格的な実用製品としては、大阪砲兵工廠が輸入したアルミニウム地金1kgをるつぼ炉で溶解し、圧延したアルミニウム板から軍隊用の革帯、剣吊の尾錠金具を1894(明治27)年2月製作したことに始まる。アルミニウムは軽くて丈夫であることを知るようになる。陸軍では、

1896(明治29)年末にドイツより飯ごう、水筒の製作に圧搾プレス機、旋盤を輸入し、翌1897(明治30)年から軍隊用飯ごうを大阪砲兵工廠で、水筒を東京砲兵工廠で本格的に生産開始した。さらに1898(明治31)年頃から大阪砲兵工廠では、火薬入れ容器、食皿、コップ類の軍需品の他に、火薬入れ容器の蓋を利用してすき焼き鍋、食皿の両端に手を取付けた両手丸鍋や弁当箱、牛乳沸かし器、コップなどの試作を行うようになった。

民間でアルミニウム加工を初めた企業は、大阪市安治川上通で銅、真鍮類の板、棒、電線を製造した住友銅場(創業1897年4月、現:株UACJ銅管)になる。1898(明治31)年大阪砲兵工廠からの依頼で、陸軍支給のアルミニウム塊からロール圧延機を使ってアルミニウム板の製造を開始している。

(2) 飛躍的に普及する家庭用品と高木鶴松

1900(明治33)年になると大阪砲兵工廠で製造したアルミニウム製の飯ごう、食皿、すき焼き鍋、両手丸鍋、弁当箱などは、太田徳三郎(砲兵工廠督理)の意見でその一部を一般家庭用品として大阪市東区平野町の金物商松尾徳蔵や京都の大沢商會が仲介して一般家庭用に販売された。測量師高木鶴松(1867~1910)は、このアルミニウム製品を旧友の松尾徳蔵から知って、妻の内職として始めた金物小売・高木鶴松商店に列べて売ったのが1900(明治33)年6月になる。1901(明治34)年砲兵工廠工員小谷春次郎、吉村亀吉、大前伴吉の三人は、通りがけに自分たちが造った商品を店頭で見たことがきっかけになり、砲兵工廠を退職して高木と共同でアルミニウム製品を造って売ることになった。しかし高木は、工場の設立資金がないので旧友の



高木鶴松と1903年9月の新聞広告
[出典:アルミニウム五十五の歩み、
日本アルミニウム工業(株)、1957刊]

野田吉兵衛、その知人石原久之助(2人は大阪時計製造会社の役員)および砲兵工廠退職の三人で共同組合組織のアルミニウム器物製造工場を1901(明治34)年10月創立した。その名称を「高木アルミニウム製造所」とした。工場は、大阪府西成郡豊崎村長柄の休業中の大阪時計製造会社の一部と手回し小型ロールや手回し絞りプレス機(センブリポン)を借りて、両手丸鍋やすき焼き用五寸丸鍋などの作りやすいものから始めた。この長柄工場が日本で最初の家庭用アルミニウム製品の製造工場になる。高木は、この長柄工場の製品を自身の高木鶴松商店で一手に販売するとともに、大阪市北区木幡町の実家に個人資金で木場町工場を置いた。木場町工場には、旋盤、手回しプレス、深絞り用小型エリクセンプレスなどの機械を設備して、丸鍋、丸弁当箱、お玉、小さじ、やかんなどの民生品から軍需用水筒、コップ、飯ごうなども受託製作した。新聞広告(図中の)には、ツルマル印の商標と1903(明治36)年3月大阪で開催された第5回内国勧業博覧会に出品して1等賞牌を受けたことを宣伝文句に入れて、大々的に販売を行っていた。また、高木は、軍や官省でアルミニウムのことを「礬素(ばんそ)」と呼んでいたものを市民にも分かりやすいように『軽くて銀の様に美しいから軽銀にしよう』と言って、「軽銀」と命名もした。この間に日本のアルミニウム製品製造会社は、1903年に那須鐵之助の那須アルミニウム器具製造所(東京)と、池田澤蔵の池田アルミニウム器具製造所(大阪)が創業し、1904(明治37)年に高木文平の二重瓶消火器俵がアルミニウム加工を開始し、北条大定が湯沸、仏具の鑄造を始めている。1905(明治38)年には、橋本太吉の橋本アルミニウム製作所(東京)、大阪にはアルミニウム鑄物で鍋釜を製造する高田市松の高田アルミニウム製作所(後の俵高田アルミニウム製作所)、千葉實三郎の千葉アルミニウム鑄造所(大阪・鶴橋)、さらに帝国軽銀鑄造所(堺)が次々と創業した。

高木は、1906(明治39)年2月工場を大阪府西成郡鷺州村浦江に移転して、これまでの

年次	輸入量 (英噸)	金額 (円)	年次	輸入量 (英噸)	金額 (円)
1900(明33)	94	106,011	1910(明43)	459	303,354
1901(明34)	37	36,703	1911(明44)	429	278,643
1902(明35)	96	84,151	1912(大元)	971	596,975
1903(明36)	107	143,430	1913(大2)	313	223,706
1904(明37)	389	539,870	1914(大3)	480	390,972
1905(明38)	145	121,071	1915(大4)	480	424,257
1906(明39)	196	277,500	1916(大5)	743	2,043,760
1907(明40)	826	1,278,328	1917(大6)	787	2,694,803
1908(明41)	430	389,481	1918(大7)	870	1,678,001
1909(明42)	384	253,669	1919(大8)	1,483	2,517,001

*1英噸=1016kg

〔大蔵省調査〕

アルミニウム地金の輸入量と金額

〔出典：日本アルミニウム総覧・年鑑、1937刊〕

手作業から5馬力石油発動機を動力源にして16インチ大型圧延機3台で月産3トンのアルミニウム板製造と絞り加工用のイギリス製ドロローイングプレス機を導入した。これによって浦江工場は、アルミニウム地金の溶解から圧延、ガスバーナを使った焼金型での絞りプレス加工、研磨まで一貫作業ができる近代的工場になった。同時に日本初の民間アルミニウム器物製造工場として飛躍する願いから社名を「日本アルミニウム製造所」に改称した。日本アルミニウム製造所製のスプーン、お玉杓子、鍋、皿など220余種の台所用品は、全国への出張販売方式を採用してたちまち普及した。

高木鶴松は、1910(明治43)年4月糖尿病と腹膜炎の併発で44歳で急逝している。先年来からアルミニウム製錬を夢に描いていた高木は、1909(明治42)年末からアルミニウム製錬の計画を立てていた。1910年2月原料鉱石が見つかったと知らせを受けて何をあいても北海道に赴いた帰途の船中で風邪を引いて発症した。この北海道訪問は、国産粘土からアルミニウムの製造法を発明した竹島安太郎から指導を受けるためではなかろうか。

2019年2月号では、福沢桃介によって、長良川水力発電所(出力4200kW)および木曾川水力発電所(出力7500kW)が完成された発電所の余剰電力解消策として産業誘致と、竹島安太郎の日本軽銀製造における国産アルミニウム製錬の取り組みについて紹介する。

(青山 正治)