応 用 報 告

化 學 工 業 に お け る ア ル ミ ニ ウ ム

小 林 藤 次 郎*

ALUMINIUM IN CHEMICAL INDUSTRY

TOJIRO KOBAYASHI*

1. ま え が き

アルミニウムとその合金が、今日世界各国において化学工業や食品工業の諸設備、機器、部品等に広範囲にわたつて使用されていることはすでによく知られた事柄であるが、わが国でも昨年（1954年）に全需要73,409吨の約0.9%（693吨）がこの方面に使用されている。

このようにアルミニウムが、わが国の化学工業方面に利用されて来た今日までの歴史を發生的に調べることは興味のあることで、なかなか困難な仕事である。それはなにをもつてそのこう矢とするか簡単には証明出来ないからである。後で述べるようにわが国では、日本アルミニウム製造所（現在の日本アルミニウム工業株式会社）で昭和の初め頃から少しづつこの方面の製品を造り、昭和8年以降に種々の化学用製品を相当沢山製造したが、同様の記録が国内の外にあるかも知れないし、無いという確認もできないので、本文では化学工業用品の材料にアルミニウムを使用した初期の実例を日本アルミニウム製造所において取扱つたものを通して説明する。

化学薬品に対するアルミニウムの腐食やその耐食性についての諸外国の研究は1913年（大正3年）以降の諸雑誌に活発な発表がみられることからアルミニウムをこの方面に利用する企図が行なわれようとしていたことが類推される。日本のその頃にはまだ、文献も認められない。しかし1930年頃には第1表¹⁾に示した記録にあるようにすでに化学工業用として相当量のアルミニウムが実際に使用されていたことがわかる。この頃の米国と独国の記録を第2表²⁾と第3表³⁾に示したがやはり相当量が使われ、この頃ではもう実用化への軌道に乗っている観がある。

しかし今日のようにアルミニウムの製錬、材料あるいは加工会社が持つているアルミニウムに関する化学工業方面への具体的知識や豊富な経験は昭和の初期にはほとんど持つていなかったと思われる。したがってアルミニ

ウムの加工会社が、例えば硝酸タンクのような設備を受託するのに積極的に耐食性や軽量化からその実用性を需

第1表 1930年代における日本のアルミニウム用途別消費量

単位=%

年 次	1930 (昭.5)	1931 (昭.6)	1934 (昭.9)	1935 (昭.10)
食 器 用	50.0	55.0	56.3	56.3
電 線	26.6	14.0	3.6	—
軍 用	10.0	12.0	20.0	20.0
諸 工 業 用 (主として化学工業)*	9.0	11.0	13.0	12.0
その他 製 鋼	—	8.0	3.2	5.6△
ハ ク	4.4	—	2.3	2.5△
粉	—	—	2.1	2.8△
雑	—	—	—	0.8
合 計 %	100	100	100	100
総 重 量 (吨)	8,684	10,242	11,000	12,487

註 * 主として化学工業用とあるも内容不詳
△ 輸出品が含まれている

第2表 米国における用途別消費量(1930)

用 途 名	比率(%)
自動車・航空機その他	38
電 線	16
食 器	14
製 鋼 用	8
建 築	4
一 般 鑄 造 用	2
化 学 工 業	1
そ の 他	4
合 計	100
総 重 量 (吨)	95,000

第3表 ドイツにおける用途別消費量(1931)

用 途 名	比率(%)
食 器	21.0
ハ ク	21.0
粉	11.0
運 電 化 製 食 船 航 空 機 維 工 業 用 業 舶 機 業 築 他	10.0
輸 線	9.0
鋼 工	4.0
品 工	3.2
機 業	3.0
空 機	2.7
維 工	1.2
業 業	1.0
築 他	1.0
合 計	11.9
合 計	100
総 重 量 (吨)	24,000

* 日本アルミニウム工業株式会社 技術課長
* Nippon Aluminium Mfg. Co., Ltd.

要家に強調したことは考えられない。筆者の調べた範囲では当時この種のアルミニウム製品の製造はすべて需要家（化学工業側）からの指示によつて行われている。すなわち材質を指定した図面が与えられるか、既設の装置のスケッチによつて会社はその指示通り行つていたようで、ただはつきり言えることはこの種の加工に必要な酸素—アセチレンによるガス溶接がこの頃現場でも日常茶飯事として立派に行われていたことである。アルミニウムのガス溶接に必要なフラックスは昭和の初めから輸入されていた。フランス製のハラキリ粉がそれで、非常に優秀な性能をもっており当社でも始めこれを使用し、昭和10年前後にはこれに似たものを社内で製造している。しかしここで不思議と思われることは需要家が何故アルミニウムを率先して指定したかということで、これは次の理由で容易に諒解できた。例えば硝酸は昭和12年の国内生産量が約10万觔で、これはその5年前の昭和7年の生産量の約倍である。⁴⁾すなわちこの頃は旧来のチリ硝石からの製造法が空中窒素固定法による、いわゆる合成法に代わり、その結果として生産が日増しに活発化していた時代だから、外国から導入した生産設備の新設、改廃あるいは増築などに購入時附随していた図面や現物のスケッチ等を基礎として当社に注文を出した。そして純度の不明な材種は会社や京都大学で分析していた。この頃の材質はほとんど軟質材が使われていたようで補強を鋼材で行うことにすれば軟質材でリベット締めと、溶接技術があれば、一応図示の通りものが出来たわけだが、納入後の経過をメーカーとして随分心配したことだろうと想像される。しかしそれが需要家に満足な成果を与え次の注文を引受けるようになると、前の経験が役に立ち自信もできて遂に継続することによつて次第に経験を積み重ねて来た。これが当時の実情だと思われる。異種金属との接触腐食のようなことは考えも及ばず裸のまま接触していたとしても当時の常識では別に見識でなかつたであろう。当時使用したアルミニウム地金の純度は99.8%以上のもので、米国のアルコアや英国のノーザンアルミニウム会社から輸入し、これを板に圧延した。大型のものには4'×8'の板を溶接している。タンク類の多くはこうした板を溶接して造つている。

さて今日広く行われている腐食試験は腐食液中に試料を浸漬し、その重量減や機械的性質、特に引張強さと伸びの減少を測定する方法で1926年（昭和元年）F. N. Spellerにより提出されたものだが⁵⁾、侵食が均一ないわゆる均食の場合は重量減と強度減が平行するという実験的事実にもとづいたものである。

例えばボーメ42°の硝酸に対する或る純度のアルミニウムの重量減を実験的に確かめ、これから計算した平均侵食度が1カ年0.015%とし、この硝酸を入れるドラム

の板厚が強度計算から4.2%を必要とするならば、このドラムに5カ年間の使用寿命を与えるに必要な最初の板厚を $4.2+0.015 \times 5=4.275\%$ と計算し、少くとも板厚を4.3%とすることによつて純硝酸を5カ年間安全に取扱うことが出来るとしている。同様な計算はアルミニウムの各種容器に対しても行われ、もし侵食の形式が孔食性の場合は1カ年間の孔食の最大深さを知ることによつて同じように算出することが出来る。

今日アルミニウムが化学工業や食品化学工業に多く利用される理由として次の諸点があげられるが、この場合その機械的性質よりも耐食性が優先的に考慮されねばならない。

1) 化学作用に抵抗する（耐食性）アルミニウムやその合金の耐食性はこの材料の表面が常に保有しているアルミニウム酸化物の薄い膜によつて与えられる。しかしこの酸化膜は比較的容易に機械的擦過により破壊されるが、直ちに再生し、これが多くの化学薬品の侵食に対して母材を保護するといわれる。したがつてこの酸化膜を侵すような化学薬品には全然耐食性を示さない。濃硝酸にアルミニウムが耐食的であるというのもしよせんは酸化生成物の被膜によるためとしている。アルマイトその他人為的 surface 被膜を与える種々の方法が実用されているのも主としてその耐食性をより十分にするためである。

2) 反応によつて生じたアルミニウム化合物が製品の外観を損じないし、それが無毒で、しかも酸化しない特性と生理学的に不活発であるため食品化学方面の器具や容器の材料に好んで使用されることになるのも当然である。

3) 熱の伝導度は20°Cでアルミニウムは0.52 (cal/cm²/cm/°C/sec) 軟鋼は0.12、銅が0.93だから、軟鋼の4～5倍あり、銅の約 $\frac{1}{2}$ で、ステンレスのように耐食性が極めて良好でも熱の伝導度が0.03では熱交換器などの熱の授受を目的とするものの材料には不適當である。

この点アルミニウムは熱の伝導、熱の分配又は正確な温度調節の目的に、その耐食性と共に適した材料といわれている。

4) 高い反射率がある。アルミニウムはその表面の状況によるが、白色光線の75～85%の反射率を示し、特にアルミニウムハクは熱の絶縁物として広く使われている。

5) 軽量である。アルミニウムが鋼材やステンレスあるいはニッケル等の貴金属の約 $\frac{1}{3}$ の比重であることは良く知られているが、これが化学工業面においても各種設備の重量軽減となり、器具や装置の取扱いを容易にし、また化学製品の運搬等の場合その容器（風袋）の軽量化に役立つために軽視できない。

6) 設計、構造が簡易化される。アルミニウムの特性

といわれる各種の複雑な断面をもつ押出形材が利用できるから鋼材を使用する場合に較べて、遙かに設計が楽で構造が簡易化できる。

7) 加工が容易である。板金加工としての折曲ゲ、フランジ出し、圧搾や熔接、ロウ接などができるので、あらゆる形状に加工され、しかもバフ研磨、ブラシ目、サンドブラストをはじめ化学的あるいは電気化学的に表面処理が容易に行われ、いろいろの表面状態を与えることができるのもこの方面の需要が多い原因の一つである。もちろん今日では良好な塗料が造られ、強い塗膜をもつた塗装もできる。

8) 廃材が高価である。鋼材とちがいアルミニウム製の装置や器具の廃品はその純度に応じて高価に取り引きされるので、新規購入時の若干のコスト高もこれによつて割安になる。

9) ステンレススチールに較べて材料費が相当低廉となるので、現在ではステンレスに代つてアルミニウムが広範囲に化学工業面に進出している。

化学薬品に対するアルミニウムやその合金の一般的挙動については次のようなことがいわれる。まず表面の酸化膜が侵されない限り腐食に対して懸念なく、pH 5~8程度の溶液ではあまり問題とならない。そして酸性とかアルカリ性というよりもその中に存在するイオンの種類によつて耐食性が左右される。ハロゲン族は硝酸塩や硫酸塩より侵食的で、また重金属の銅、鉛、コバルト、ニッケル等はアルミニウムに対して耐食的に有害である。有機物についても不適当なものも幾つかある。温度の影響は他の金属と同様温度上昇にともない侵食的で、アルミニウム側からみれば耐食性が低下することになる。またアルミニウムの純度や合金の添加元素にも大きくその耐食性が左右されることはもちろんである。各化学薬品についての適否は後の各論に挙げる。

参 考 文 献

- 1) 田辺、現代工業用アルミニウム合金の展望 アルミニウム総覧(昭.12)p.229 金物時代社
- 2) Andre Hug, Die Wirtschaftliche Bedeutung des Aluminium 1934
- 3) Alcoa 社調査
- 4) 矢野、白崎 日本国勢図会 昭.16, p.352 国勢社
- 5) F. N. Speller Corrosion 1926, p.203 McGraw-Hill

2. 戦 前 の 製 品

当社は明治34年以来アルミニウム製器物の製造をもつぱら行つていたが、アルミニウムを利用する範囲が次第に広まるに伴い、板金物といわれる種々の工業用品の製造を始めた。しかしこのような仕事は昭和年代に入つて

から昭和14~15年の戦時への切替えとその後の終戦の始末で当時の図面や記録を全部失つているため、真相は当時これ等の製作に従事し、今なお健在な人々の記憶による外ない。しかもその記憶がはつきりせず、こうであつたろう、という程度のもので多いので本項では出来るだけはつきりしたものだけをまとめた。幸い数枚の写真が残つているので、それを紹介するが、重要な諸点の欠けていることは止むを得ない。それに現在でもそうであるが、当時も化学工業や化繊関係では製作に必要なこと以外一切を秘密にし、製作する側でも良く心得て不要な質問をしないため、極端な場合は何に使うかわからないものがしばしばあつたとのことである。ここでは当時の製品を一応並べるに止め、具体的なことは後に述べる戦後の製品について挙げる。

最も古いものでは、昭和2年塩野義製薬会社に納入したアスピリンの板状結晶を作るための輸送管、貯蔵槽、脱水装置等を純度99.5%のアルミニウムで作つたが、その形態やその後の状況については何の記録もない。この年塗料会社の註文でワニスを加熱する釜を純度99.0%、板厚6%板で直径3尺、高さ4.5尺のものを作つている。また昭和6年に日本酒(菊正)の醸造用貯蔵槽として、直径7尺、高さ7尺のタンクを純度99.5%、厚さ4%のアルミニウム板を熔接で造つているが、これはその後失敗に終つたとのことである。後で述べるが、この種のものに何等表面処理をしないアルミニウムを使用すると十数日後に水酸化アルミニウムの沈澱が発生し、嗜好品としての酒の外観を損じるから実用できない。アルミニウムがアルコールに侵されないということから日本酒に利用したわけだが、酒の中の防腐剤にアルミニウムが侵されることを確かめなかつた失敗であつた。今日ではこの種のものに使用するアルミニウムには化学処理や電気化学処理による表面処理によつて、防食できることが明かにされている。

硝酸工業—昭和8年から12年にわたつてここに挙げたものやその他各種容量のものを製造した。**Photo. 1**は住友化学(新居浜)に納入(昭和9年)した容量10トンの濃硝酸用タンクで純度99.8%、板厚は4%である。同じもの6基を造つている。この年にはまた**Photo. 2**のように鉄板に純度99.8%のアルミニウム板をライニングした直径3,500%、高さ3,500%の容量30トンの濃硝酸タンクを造つた。外側の鉄板(1/4%厚)と内側のアルミニウム(4%厚)との締結はその是非は別として**Fig. 1**のように鉄鉋で締め、鉋尻の露出部分はアルミニウムの帯でカバーし、その両縁をライニングのアルミニウムに熔接して、鉄鉋をかくしているという方法がとられている。タンク内面にビードのように巻いてある条帯がそれである。もちろん当時のこととて、接触腐食については何等

Photo. 1 10 kg 硝酸タンク

Photo. 2 30kg 硝酸タンク、鉄板にアルミニウムがライニングしてある

考慮が払われてない。この翌年 **Photo. 3** に示した 100 トン濃硝酸タンクを同じ純度で板厚 6% をやはり鉄板にライニングして造った。これは $\phi 5,000 \times 5,100\%$ の大きさで、当時としては形態の非常に大きいものとして相当話題をまいた。このような大型では、当時の工場建屋内はもちろん、建屋外でも行えないため輸送も考慮して舟運に便利な現在の日立造船、当時の大阪鉄工所桜島工場の敷地を借りて組立てた。また **Photo. 4** のような船積用の濃硝酸タンヤや、**Photo. 5** の硝酸製造用オートクレーブを 99.8%、板厚 10~12% のアルミニウム板から製造（昭和 11 年）している。とにかくこの頃は大型物といえほとんど硝酸用のものであつた。

このように硝酸に対するアルミニウムは、今から約 20 年以前から実用されていて、戦後の新用途ではない。これを裏付けするアルミニウムの耐食性については、1917

Fig. 1 Al板と鉄板の締結

年に R. Seligman と P. Williams の研究があり、昭和 5 年にはまた 1923 年の W. Calcott と J. Whetzel の実験結果と、硝酸タンクに使用した実例が、Edward 等によつて Chemical Engineering Series の “The Aluminium Industry” (1930, McGraw-Hill) に掲載、紹介された。

Alcoa の “Aluminium is the Chemical Industry” (1935) や小久保博士の “アルミニウムの性質とその用途、等” の著書も少し遅れて発行され、同じく濃硝酸に対する実用性を紹介されている。ただこのようなことが、現場技術者や営業面にどの程度利用されていたかは明かでない。

ビール工業—昭和 10 年キリンビールに **Photo. 6** のような酵母を貯える容器（ヘイヘイワンネ）を納入している。板の純度は 99.5%、板厚 3% のアルミニウム板から底部と上部をそれぞれ別に造り、これを胴まわりで熔接し 1 体としてこの形状に叩出してある。回転軸が入る鋼製の

ソケットは本体にアルミニウム鋸で取付けられ、内面に出た鋸尻は本体に熔接してこの部分を滑かに仕上げている。フチ巻きは心に 1 吋のガス管を包んで補強し、台枠は鋼材でアルミニウムペイントを塗つてある。この種のもは洗滌時に雑菌が残らぬようにするため、内表面は極めて嚴重な滑らかさを要求された。僅かの傷があつてもいけないということで、ビールに限らず牛乳やその他豆腐類に至るまで、この種の容器を造る時には表面傷はもちろん、洗滌が楽にできるよう設計することが必要とされた。

熱交換器—昭和 12 年某化成会社向に **Photo. 7** のような熱交換器を製造した。純度 99.8% で、チューブプレート（の厚さ 50% 以外詳しいことは不明だが、傍に立つ大人の身長からその大きさが推定できる。また染色用コンデンサーとして **Photo. 8** のようなものを造っているが、

(左) **Photo. 3** 100kg 硝酸タンク ($\phi 5,800 \times 5,800\%$)

(上) **Photo. 4** 船積用硝酸タンク

Photo. 5 硝酸用オートクレープ

Photo. 6 ビール用酵母容器 (ヘイヘイワンネ)

詳細は明かでない。この種の凝縮器、冷却器は縦横種々の型式のものを数多く造っていた。

バルブ類一当時は板金製品のみでなく、アルミニウム

の鋳物製品も化学工業向けに種々造った。ここに示した

Photo. 9 はアンモニアガスや硝酸用として99.8%の純アルミニウムで鋳造した仕切弁であるが、この外種々のバ

Photo. 7 アルミ製熱交換器

Photo. 8 染色用アルミニウム製コンデンサーの蛇管

Photo. 9 アルミニウム鋳物の仕切弁

ルブを造った。弁座の接触部やスライド面が同じアルミニウムで焼付く欠点は、後日この部分をステンレスに置き代えて優秀なものにしたという苦勞が伝えられている。またシルミン製のストップバルブを多量に生産しているが、このようなバルブ類を最も多量に生産したのは昭和11年3月から12年8月頃であつた。

その他一以上の外 Photo. 10 の魚油製精用加圧釜を純度 99.5 %、厚さ 12 % の板で造り（昭和 8 年）、また

Photo. 10 魚油製精用加圧釜

Photo. 11 硫安用ロータリー

Photo. 11 のような内部にスクリー・コンベヤのある硫安用ロータリー設備を純度99.8%の板から組立てた。

この外に各種各様の板金製品がある。その中から化学工業や食品工業に関係あるものの名称を一括して次に挙げる。

各種硝酸タンク—硝酸用ドラムカン (150 l) —ホルマリン容器—醋酸酸化機用冷却器—各種熱交換器—各種蒸溜用冷却器—濾過器—オゾン発生器—硬化油タンク—油釜—回転式二重釜—ラテックスタンク—ミルクキャリヤ (10, 20, 25 l) —秤量タンク (2, 000 l) —火薬箱—エヤタンク等

ただここで気のつくことは、これ等の板金製品はいずれも純アルミニウムで、合金は鋳物以外に使用していないことである。これが戦前におけるこの種のものの特長であつたといえよう。

いずれにしてもこのようなものの生産は昭和14年を境にして翌年にはほとんど姿を没し、会社は航空機部品の生産に移行してしまつた。したがつて戦後この種の生産を開始するまでの約10年間は完全なブランクの時代を経過する。

(未完)