

解 説

製缶材料からみた米国鉄鋼業の動き*

周 藤 悦 郎**

Iron and Steel Industry in the U. S. from the View Point of Can Materials

Etsuro SHUTO

1. 緒 言

筆者は昭和42年6月より43年4月までの約10カ月間、米国の製缶会社の研究所(シカゴ)でももに缶詰容器に用いられる製缶材料の研究に従事してきた。製缶材料としては最近までもつばら薄鋼板の上に錫メッキをしたブリキが用いられてきたが、数年前に日本で開発されたティン・フリー・スチール (Tin Free Steel) が、この1～2年らい米国初め世界の主要国で一部の用途に本格的にブリキに代わって使用される機運にあり、また特に米国においてはアルミニウムのこの分野へのめざましい進出がみられ、またこれらの材料革命と平行して溶接缶やプラスチック・セメント接着缶などの新しい製缶技術の開発が行なわれるなど、製缶業界もまた技術革新の大きな波のなかにある。このような動きのなかで、米国の二大製缶会社の一つの研究所において、鉄鋼材料の使用者の立場から新しい製缶材料の研究に短期間ながらも従事し、その間局所的な立場からではあるが、米国における企業の研究・開発に直接参画するという貴重な体験を得た。また間接的ながら米国鉄鋼業の動きにも若干触れることができた。ただかの地での任務が、狭い分野での研究に従事することであり、大局的見地に立つての米国鉄鋼業の調査というようなものではなかつたため、本解説も製缶材料を中心とした米国鉄鋼メーカーとユーザの動向というような点に限られることになるので、製鉄や製鋼を専門とされる読者の方々にはご不満の点もあるかと懸念する次第です。

本論にはいる前に米国における製缶用金属材料の消費量について簡単にのべてみたい。表1にみられるとおりプラスチック容器やアルミニウム缶の急速な進出にもかかわらず、ブリキを用いた缶詰のアメリカ人の食生活に占める割合はいぜんとして大きく、昭和41年に製缶に用いられたブリキは500万tをこえる(日本の場合は約100万t)という大きな量で、米国鉄鋼製品中でも重要な地位をしめている。また缶の消費構造も日本とはだいぶ違っていて、ビール缶やコカ・コーラやセブン・アップのような炭酸飲料缶は、日本ではまだそれほど普及していないが、米国では家庭の冷蔵庫を占領して、水代

わりに愛飲されており、表2にみられるように、これらは昭和41年には全缶生産量の約1/3をしめており、しかもその成長率はきわめて高い。そのうえ高い内圧(約7気圧)がかかるので、その製造には高度の技術が必要とし、そのため製缶会社の研究・開発もこの分野に重点がおかれている。

2. ティン・フリー・スチール

昭和32年ごろ、次のような内容の簡単ではあるが、関心のある者にとっては、きわめてセンセーショナルな記事が新聞紙上に見出された。「米国の二大製缶会社の一つである American Can Co. の社長によると、同社は10年後にはブリキを使わないティンレス・カン(tinless can) を売りだすよう長期計画をたて、その研究・開発をスタートしたとのことである。これは今後錫資源がますます枯渇し、錫価格が高くなる事態に備えるためである。」当時筆者の属する東洋鋼板の研究所は、このような時代の到来を予想して、ブリキに代わりうる鋼板の研究・開発を進めていたが、八幡製鉄や富士製鉄の研究陣もそれぞれ同じような目的をもつて、研究・開発に大きなエネルギーを注いでいたものと、その後公になった特許や製品から推察される。そして昭和35年から40年頃にかけて、各社ともそれぞれ製造法や品質に特色はあるが、写真1²⁾に示されるような、いずれも水和酸化クロムと金属クロムの二層からなる(以下Cr-Cr₂O₃系とよぶ)ティン・フリー・スチールの開発に成功し、市販を開始した。これらはクロム酸を主体とする浴で陰極電解処理によって作られたもので、上部の水和酸化クロム層の耐食性、被覆力、塗料密着性および下部の金属クロム層の耐食性、耐熱性の特長をいかしたものであつて、すぐれた品質特性のため、従来ブリキが用いられていた分野の一部(美術缶、王冠、乾電池ケースなど)に進出するようになった。

この間、米国におけるティン・フリー・スチールの開発動向はどうであつたろうか。昭和29年から Bethlehem Steel Co. によって製造されるようになったハイナック

* 昭和43年10月5日受付(依頼解説)

** 東洋鋼板(株) 工博

表1 米国における製缶用金属材料の年間消費量¹⁾

金 属	昭和30年	昭和35年	昭和41年
ブリキ (t)	4166000	4375000	5144000
ブリキ (面積:10 ⁶ m ²)	1960	2000	2500
錫 (t)	33800	33700	32000
アルミニウム (t)	—	5000	123000
アルミニウム(面積:10 ⁶ m ²)	—	5	121

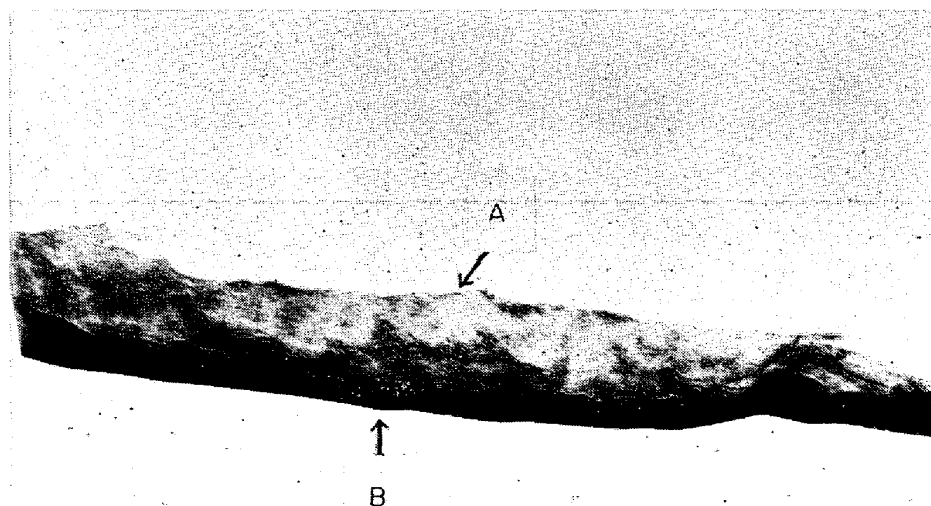
表2 米国における空缶の年間生産量¹⁾

(単位10億缶)

内 容 品	昭和31年	昭和36年	昭和41年	成長率, % (昭和36年 ~41年)
食 品	27.61	27.85	27.29	-2
愛玩動物用食品	1.91	2.13	2.74	+3
エアゾール	—	0.79	1.65	+109
ビール	7.80	8.76	13.00	+49
炭酸飲料	0.32	1.22	5.65	+365
そ の 他	5.90	4.84	4.29	-11
計	43.54	45.59	54.62	+20

鋼板³⁾がこの分野でのパイオニアであつた。当時新製品として登場した液体洗剤用の缶に対して、耐アルカリ性の点でブリキよりもすぐれているというので採用されたがまもなく軽量で中身の見えるプラスチック容器によつてとつて代わられた。耐食性や外観が、だいぶブリキに劣るので現在米国では限られた用途にしか使われていない。これはクロム酸と有機還元剤からなる溶液にストリップを浸漬後加熱乾燥することによつて、クロム酸化物皮膜を表面に形成させる方法であつて、亜鉛鉄板にも適用でき着色も容易という特長をもっている。わが国では

日本鋼管によつて技術導入されているが、独自に改良開発された技術によつて作られた国産品は米国のものよりも、すぐれた品質をもっていると報告⁴⁾されている。鋼板の上の錫にかわるものとして、まず誰もが思い浮かべるのはアルミニウムである(亜鉛は衛生面で食缶には不適當である)。アルミニウムの水溶液中での電気メッキは原理的に不可能であつて、これに代わるいくつかのメッキ法が考えられるが、それらのうち薄いメッキに対して工業的に一番可能性が大きいのは真空蒸着法である。昭和32年ごろ当時の Crown Cork and Seal Co. が National Research Corp. と共同で、初めて連続式アルミニウム真空蒸着ストリップのパイロット・ラインでの試作を行なつた。これはストリップを大気中から連続的に真空室に装入し、真空蒸着後再び大気中に出して巻きとるという画期的な方法によるものである。当時筆者はこのサンプルを入手して、王冠その他の用途に対する適性を調べたが、耐食性などの点でブリキに比べて満足できるものではなかつた。その後 Republic Steel Corp. がパイロット・ラインによる開発を続けているとのニュース⁵⁾が流れていたが、この方法に最も大きな熱意を示したのは U. S. Steel Corp.⁶⁾である。同社は昭和39年に Fairless 工場に真空蒸着ストリップの生産ラインを建設する意向があることを発表し、その設計に必要な資料を得るため Monroeville の Applied Research Laboratory のパイロット・ライン(25cm 幅)で試験を行なつてきた。電子ビームによるアルミニウムの溶解蒸発その他の新技術の発達で、本方式が工業的に可能であることを彼らに確信せしめたのであろう。また当時注目され始めた



A: 水和酸化クロム, B: 金属クロム

写真1 Cr-Cr₂O₃ 系ティン・フリー・スチール皮膜断面の電子顕微鏡透過写真
×100000 (5/6)

日本のティン・フリー・スチールに対抗する意図もあつたのでないかと想像される。たしかにアルミニウム特有の白い金属色は美しい外観をもたらす。しかし U. S. Steel Corp. はその製品のメッキ厚みを $1\sim 2\mu$ にする予定であるといっているが、このように薄いメッキでは加工によつて皮膜に亀裂が生じた個所で、地鉄との局部電池作用によつてアルミニウムが腐食されやすい欠点があり、といつて犠牲防食能も十分ではなく、そのうえ価格的にもブリキより安くなる見込みは少ないので、米国の製缶会社の関心をあまり呼んでいない⁷⁾。生産ラインは42年暮の段階ではまだ動いていないとのことである。最近 Youngstown Sheet and Tube Co. が連続真空蒸着法によるストリップのステンレス・メッキを発表⁸⁾したが、この鋼板が品質的に、コスト的に Cr-Cr₂O₃ 系鋼板に代わりうるか、または凌駕するものであるかは、もつと時間がたつてみないとわからないであろう。商業的規模でこの製品が入手できるのは数年先になるだろうといわれている⁹⁾。

前述の American Can Co. の社長の声明後約10年たつた昭和 40 年末に、ナイロン 11 をセメントとして胴部を重ね接着 (lap seam) したビール缶 (Mira Seam 缶) が発表された。これはナイロン 11 がシャープな溶融点を持ち、それ以上の温度で熱可塑性を保持し、しかも製缶時接着部を工具でたたいて急冷することによつて、瞬間的に強度が得られるという特長を活かしたものであつて、適当な塗料と組み合わせることによつて強い接着強度が得られ、ビール缶以外にも、炭酸飲料缶その他に広い用途の可能性をもっている¹⁰⁾。そして 41 年には少規模に試験の使用が始まり、翌年には有力なビール・メーカ数社が商業的に採用を始めた。これと前後して Continental Can Co. によつて、Conoweld 缶という溶接缶が発表され、今日シカゴその他の地区でこの方式によつて作られたビール缶が、少量ではあるが市販されだした。溶融溶接法によるときは、原板の酸化物系介在物と炭素が反応して、ブロー・ホールを発生して缶の漏洩の原因となることがあり、また従来のシーム溶接法や最新の超音波やプラズマ溶接法も高速製缶性や信頼性が十分でない。溶接によつて長いパイプを作つてから高速で切断する方式も、かなりの程度まで開発されたが、フランジ出し工程で金属が圧延直角方向に伸ばされるので、特に2回冷間圧延板(後述)のように冷間加工度の大きな材料では、破れが起こりやすいという欠点のため、まだ工業化に成功していない。Conoweld 方式は在来の溶接法の欠陥を解決した革新的な製缶法であつて、鍛接の原理をとり入れ、これに新規な溶接部の予備処理と溶接電源回路および後処理を組み合わせることによつて、高速で信頼性のある製缶を業界で初めて工業的に可能にした¹¹⁾。ビールやエアゾール缶その他に広い使用可能性をもっている。この種の新しい形式の缶に対して、ハンダ付性が

すぐれているというブリキの大きな特長は影をうすめ、逆に表面に錫の存在することはセメント接着性や溶接性の障害となる。そこで接着性や溶接性に主体をおいて、それにビールや炭酸飲料に要求される耐食性および経済性を考慮にいれて、ブリキ以外の種々の表面処理鋼板が試験された。前記のハйнаック鋼板やアルミニウム蒸着鋼板、日本の Cr-Cr₂O₃ 系ティン・フリー・スチールが調査の対象になつたのはもちろんであるが、その他にも新方式の缶に適當かもしれないという見込みをもつて、鉄鋼メーカーから新たに提供されたサンプル価格を下げ錫の接合性に対する害を軽減するため従来のブリキよりも錫メッキ量を少なくした低錫ブリキや、錫・鉄合金層のみが被覆された鋼板、燐酸塩化成処理鋼板、Bethlehem Steel Co. が新たに開発した主としてクロメート皮膜からなる BC-1 と呼ばれる電解処理鋼板、U. S. Steel Corp. が本用途のためとくに新たに開発し、昭和41年春より商業的規模で入手できるようになつた TCR-210 と呼ばれるクロメート・燐酸塩電解処理鋼板などが実缶試験を含めて大規模に評価されるようになった。

米国では缶ビールの回転が早いので、3カ月間の品質保証ができればよいとされている。そして缶内に微量の鉄が溶けこんでも風味に影響するので、鉄溶出量が品質保証の基準となる。しかしビールの腐食性は弱く、そのうえ缶内面には塗料が二重に塗布されるので、簡単な化学処理鋼板でも鉄溶出量の点ではほとんど心配がないことがわかつた。そして缶胴の接合性や商業的入手のしやすさの点で、最初のティンレス・ビール缶は TCR-210 で作られ市販された。このさい U. S. Steel Corp. のミスとして内外の鉄鋼メーカーから指摘される点は、その価格を黒板と同じにおいたことである。TCR-210 は電気錫メッキ・ラインの後処理タンクを使つて約300m/min の高速で製造されるといわれ、薬品代も僅少であるのでたしかにブリキよりは低コストで生産されるであろう。しかし黒板よりは工程がふえるので、その設備償却費や人件費その他を含めて黒板よりも価格を高くするのが合理的な価格政策ではあるまいか。なぜ黒板と同一価格においたのか、その詳しい経緯は筆者の知るすべもないがおそらくアルミニウムや Cr-Cr₂O₃ 系ティン・フリー・スチールとの将来の競争を見越して、余儀なくされたものと推測される。いずれにせよ TCR-210 よりも後から市場に出たが、性質ははるかにすぐれている National Steel Corp. の weirchrome などの Cr-Cr₂O₃ 系処理鋼板も一括してティン・フリー・スチールと呼ばれるようになって、その価格が黒板と同じにすえおかれて¹²⁾ティン・フリー・スチールが営業的に妙味ないものとなつたことの責任の一半は U. S. Steel Corp. の TCR-210 に対する価格政策にあつたといえよう。反面この安い価格が米国においてティン・フリー・スチールの急速な需要増加をよび起こしたことも否定できないであろう。とい

うのは、胴およびエンド(天地)全部にティン・フリー・スチールを使つたビール空缶は、従来のブリキ空缶にくらべて 1000 缶あたり 720 円安く売られておつて¹¹⁾、この価格差が缶の見えが多少悪くなるにもかかわらず(ブリキのような金色が出にくい)、ビール業者をしてティン・フリー・スチール缶に踏みきらせた最大の原因であるから。接着缶や溶接缶は、まだ使用者による評価段階にあつて、市場で見かける数はそう多くはない。しかし胴は在来のブリキ半田付で、底がティン・フリー・スチールというビールや炭酸飲料缶は 42 年春頃から、かなりたくさん出回つている。初めの間は缶底に TCR-210 が使われていた。このことは巻締部の塗料のはがれた所からの錆と、塗装面に光沢が乏しい点から容易に判別できた。そのうちに上記の欠陥は軽減されたが、かわりに直線状のスクラッチ疵が目だつ缶が現われた。Cr-Cr₂O₃ 系の weirchrome のように思われる。金属クロム層があると耐食性や金属光沢性は増すが、高速製缶工程でスクラッチが出やすい。しかしビールよりも腐食性の強い炭酸飲料に対してセメント缶を使つた場合、TCR-210 では接着部のセメントの下を逼つて腐食が進んで内容物が洩れるという危険が多い。Cr-Cr₂O₃ 系のティン・フリー・スチールではこの危険が少ないことがわかつた。したがつて米国の製缶会社はかねてから日本の Cr-Cr₂O₃ 系のティン・フリー・スチールの国産化を国内ブリキメーカーに要求していたが、その先鞭をつけたのが National Steel Corp.¹²⁾であり、次いで Bethlehem Steel Co., Youngstown Sheet and Tube Co., U. S. Steel Corp., Inland Steel Co., Steel Co. of Canada, Ltd. などが日本からの技術導入または自社開発技術によりそれぞれ製造法や品質に特色のある Cr-Cr₂O₃ 系ティン・フリー・スチールの生産を開始し、または準備中である。これらに共通の特長は高速生産性と低メッキ量である。これは生産コストをできるだけ下げるという要請にもとづいている。各国の鉄鋼メーカーが日本のティン・フリー・スチールに注目を始めた 3~4 年前の操業速度は 100m/min 前後であり、またメッキ量は全 Cr 量として 1.5~3.5mg/dm² 程度であつた。しかし National Steel Corp. はライン速度約 300~400m/min の高速化と金属 Cr 量 0.5mg/dm² (0.3μ in)、オキサイド中の Cr 量 0.05~0.1mg/dm² 規格化を短期間になしとげた。適正メッキ量はビールや炭酸飲料での大規模な実缶試験によつてきめられたようである。また水和酸化クロムをつける後処理にも独自の工夫をつけ加えたと報告¹²⁾ されている。今日では日本の各社にも 400~500m/min の高速ティン・フリー・スチール・ラインがあり、またそのメッキ量も次第に少なくなる方向にむかつている。市場の規模や構成の差(日本ではティン・フリー・スチールはまだビールに用いられていない)や、厳しいコスト意識が米国に独特のティン・フリー・スチールを発達させた

といえるが、彼らの技術開発の目標の設定や実施の仕方などについていろいろと教えられることが多い。米国では今後 5 年以内に食品や飲料缶の材料の 25% はブリキからティン・フリー・スチールに代わるだろうといわれている⁷⁾。もちろんビール以外の、腐食性のより厳しい用途の缶に対しては、現在の weirchrome と違つた皮膜構成のティン・フリー・スチールが使われる可能性がある。

3. 鉄とアルミニウムの競争

前章で述べたように、米国ではティン・フリー・スチールと黒板の価格は同じであるので(昭和 43 年 7 月現在)、鉄鋼メーカーにとってはブリキの在来の用途に、ティン・フリー・スチールを採用されることは営業的にもしる味がない。また製缶会社は安いティン・フリー・スチールを使つても、それなりに缶の価格を下げなければならないので、これも妙味があるとはいえない。それでもなおティン・フリー・スチールを採用する。いな採用せざるをえないという事情の背後には、錫資源の枯渇の見通しのほかに、鉄とアルミニウムの深刻な競争が大きく控えている。すでに第 2 次大戦を契機として、溶融浸漬法から電気メッキ法に全面的にきりかえることによる錫代の節約や、戦後の連続焼鈍法の大幅な採用による原板コストの引き下げでも不十分で、昭和 36 年以降米国では、2 回冷間圧延板が大量に使われるようになった。この直接の動機は、新たに容器分野に進出しようとしているアルミニウムとの競争である。

表 1 で、昭和 35 年と 41 年を比較すると、ブリキの重量での伸び率は 1.17 であつて、面積のその 1.25 よりも小さい。これは 2 回冷間圧延板、すなわち薄くて強い原板が使用されるようになったためである。すなわち、鋼がアルミニウムの侵入を食い止めるには、まず価格で戦わなければならない。その 1 つの方法は原板の強さを増すことによつて厚さを極限にまで減らすことであり、他の方法は高価な錫のメッキ量を減らすことである。表 1 でブリキ面積が増えているにもかかわらず、使用錫量が減つているのは、錫の減少量を塗料で補うという考えのうえにたつて、メッキ量を極力減らしてきたためである。この極限の姿がティン・フリー・スチールということになるが、それにもかかわらず表 1 にみられるとおり、アルミニウムは製缶材料の分野に高い成長率をもつて進出してきている。日本でもアルミニウムの進出は最近めだつてきて、ご承知のとおりビール缶の天部は全部プル・タブ (pull tab) つきのアルミニウム合金板に代わつている。また衝撃押し出し法によるアルミニウムのエアゾール缶や食用油缶などもだいたい見受けられるようになったが、この種の加工は鉄ではむずかしい。アルミニウムは外面錆が発生しない、成形加工が容易である。白色美麗で軽量であるという特長のため、今後ますます鉄を圧迫

表 3 米国におけるブリキとアルミニウムの価格 (昭和 42 年)¹⁾

(単位: 万円/t)

普通ブリキ (厚: 0.20 mm)	2 回冷間圧延ブリキ (厚: 0.15 mm)	2 回冷間圧延ティン・ フリー・スチール (厚: 0.15 mm)	アルミニウム・イン ゴット	アルミニウム合金板* (厚: 0.23~0.37 mm)
9.4	10.3	8.4	19.8 (7.8)**	25.4 (8.8)**

* ビール缶のプル・タブ・エンド (pull tab end) 用

** 鋼と同一体積に換算

する潜在能力をもっている。

米国でのアルミニウム板の価格は日本でのそれよりも安く、一方、鋼板の価格はこれと反対であるので、米国での両材料の競争は日本よりもはるかに深刻である。表 3¹⁾に示したように、同一体積で比較した場合、アルミニウム合金板の価格は、ブリキよりも安く、ティン・フリー・スチールすなわち黒板とほぼ等しい。強度の関係で鋼板よりも厚いアルミニウム合金板を使わなければならないので、実際はアルミニウムのほうがブリキよりもやや高くつくが、いずれにしても両者の価格が非常に接近していることは、鉄鋼メーカー側をかなり刺激している。とくにビールに対しては、アルミニウムの一貫メーカーである Reynold Metals Co. が絞り-アイアニング (draw and iron) 缶を数年前よりブリキ缶と同一価格で売っており、外観の美しさやビールのフレーバの点で好評で急速に生産が伸びている。42年にはこの缶がコーラにも使われるようになった。この成功を見て、Kaiser Aluminum and Chemical Corp. も絞り-アイアニング缶工場の建設に着手した¹³⁾。このようなアルミニウム一貫メーカーによる製缶業への進出にたいして、鉄鋼メーカーと專業製缶会社は、安い素材で低コストの製缶法の開発によつて対抗しようという点で共通の目的をもっている。わが国にはアルミニウム一貫メーカーはなく、アルミニウム精錬または加工メーカーが直接に製缶を行なうという動きは始まったばかりで、米国ほどアルミニウムの脅威が深刻でないのが、2 回冷間圧延板やティン・フリー・スチールの食品や飲料缶への採用の遅れている原因の一つと考えられる。

つぎに米国における鉄とアルミニウムの競争の例をあげてみよう。日本ではプル・タブ付きの缶エンドは、すべてアルミニウム合金板でできており、もちろん米国でもこの種の缶は非常に多いが、最近ではエンドの大部分がブリキまたはティン・フリー・スチールで、プル・タブの部分のみをアルミニウムにしたものが増えてきた。またブリキのみによるイージー・オープン・エンド (easy open end) の開発も進められている。このような動きにたいする巻き返しとして、ALCOA は従来のもよりも強度が大で、したがってより薄いゲージで使える缶用新アルミニウム合金を開発したと伝えられる¹⁴⁾。

最近のニュースによると、ヨーロッパにはプラスチックのビール容器が現われたという¹⁵⁾。アルミニウムばかりでなくプラスチックと鉄の競争も今後いつそう激しさを加えるであろう。このような材料や企業間の厳しい自由競争が新製品開発の原動力となつていることを、彼地においてしみじみと感じた。

4. 新しい製缶用鉄鋼材料

前章に述べたように、2 回冷間圧延板は強くても薄い材料という要求から生まれた。最初 U. S. Steel Corp. によつて発表されたが、まもなく各社がいつせいに製造するようになり、現在米国で使用されるブリキの 50% 近く、ティン・フリー・スチールは 100% がこれを原板としている。強度をいちだんと増すため N を添加 (約 0.01%) したもの (ビール缶のエンドに用いられる) と、通常のキャップ鋼を素材としたものの 2 種類がある。焼鈍後調質圧延のかわりに約 35% の冷間圧延を加えることによつて加工硬化を与えたものである。代表的機械的性質を表 4 に示した。大きな冷間加工をうけているので、通常の引張速度で測定された延伸率は 1% 以下と非常に小さく、脆くて缶胴のフランジ出しや巻締めのような加工に耐えないのではないかと、常識的には考えられるのであるが現実にはまったくトラブルなしに製缶されている。それは、このような冷間圧延薄鋼板の延伸率は、引張速度が増加するとともに、その対数にほぼ比例して向上するという興味深い特性があるためである。図 1 は筆者が在米中に行なつた実験の結果の一部であるが、ここで冷間圧延板と調質圧延板の圧延方向の延伸率の歪速度依存性はひじょうに違つているのがわかる。そして強冷間圧延板の延伸率は、製缶工程での加工速度 (約 10m/min) でかなり高くなつている。この研究¹⁶⁾によつて、冷間圧延板の延伸率の引張速度の対数に対する勾配が、歪速度硬化係数 (strain rate hardening coefficient) と密接な関係にあることがわかつた。

この材料はキャップのような浅絞りにも耐えるので、米国ではすでにある種のびん詰めのキャップに用いられている。

最終厚まで冷間圧延してから不完全焼鈍を行なうことによつて、適度の強さと延伸性をねらつた不完全焼鈍ブ

表4 2回冷間圧延ブリキの機械的性質¹⁾

種 類	圧延平行方向			圧延直角方向		
	降伏点 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 (50 mm) %	降伏点 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 (50 mm) %
普通ブリキ (テンパー 3)	31.5	37.0	28	31.5	37.0	26
パッチ焼鈍 (冷間圧延率35%)	54.5	55.2	1	63.0	64.3	< 1
連続焼鈍 (同 上)	64.3	65.8	1	71.3	73.4	< 1
加窒, 連続焼鈍 (同 上)	77.0	77.8	1	84.0	85.5	< 1

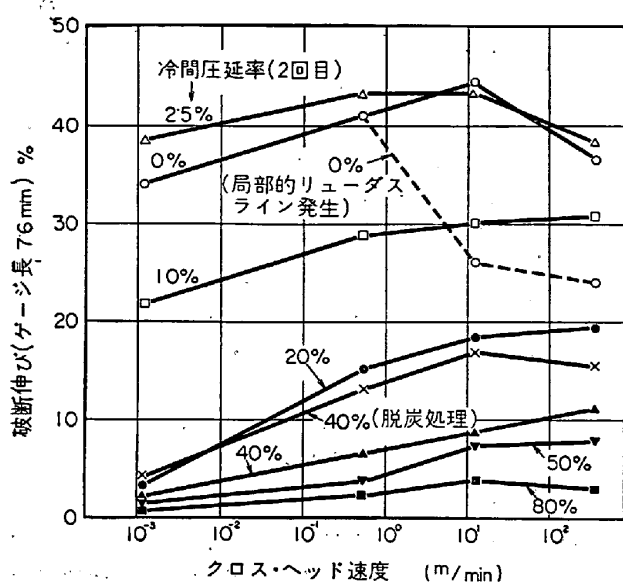


図1 2回冷間圧延板の破断伸びに及ぼす変形速度の影響 (圧延平行方向)

ブリキも一部のメーカーによつて試作されている²⁾。2回圧延板のような専用の2回目圧延機を必要としない利点があるけれども、化学成分や熱間圧延、焼鈍条件が各コイルについて一定していないと安定した品質のものが得にくい欠点があるので、まだ本格的に採用されるには至っていない。

2回冷間圧延板よりもさらに強度の大きい材料に対する要求は、低炭素マルテンサイト鋼板の開発をうながした。すでに Inland Steel Co. は生産ラインでの試作板を出しており、また最近の学術雑誌にはこれに関する研究発表もいくつか見られる^{17)~22)}。低引張速度での延伸率は2回圧延板と同等かそれ以上であるが、歪速度依存性は小さい。この材料はおもに缶のエンドに用いられることになるだろうが、C%や焼入条件のわずかな差による品質の不安定、加工に要する大きな力や加工後の大きなスプリング・バック、さらに型の寿命などの問題が残っているのでこれも将来の材料ということになるだろう。

2回冷間圧延板よりもさらに薄い材料として箔ブリキまたはティン・フリー・スチールが注目されている。U. S. Steel Corp. は昭和40年に 25~75 μ 厚の箔ブリキを発表し、Gary 工場 で 1 m 幅までの製品を生産している²³⁾。強度が高いわりに意外と加工性にすぐれているので、紙やプラスチックとの複合容器材料として興味

深く、いろいろの応用面が考えられる。ただ今のところアルミニウム箔に十分対抗できるほど価格が安くない (50 μ 厚ブリキで 21 万円/t)¹⁰⁾ので、需要はあまり大きくないようである。

箔ブリキはアルミニウム箔に対する挑戦であるが、同様な挑戦が絞り—アイアニング缶の分野でもみられる。この方式は通常の深絞りでは困難な深い缶を作ることができ、しかも仕上り面は光沢にとみ美麗であるという特長をもっている。絞り—アイアニング缶がアルミニウム—貫メーカーによつて製造されるのにならつて、一部の鉄鋼メーカーはこの方式の缶の開発に関心があるようである。すでにブリキを使用したこの方式によるエアゾール缶やビール缶が某製缶会社によつて市場に出されているが、鋼はアルミニウムにくらべてアイアニング加工が困難であるので、フレンジ破れが起こらない特殊なブリキが要求される。すなわち原板はごく清浄な深絞り級のアルミニウム・キルド鋼でなければならず、また潤滑油がのりやすいよう表面はマット仕上げであることが必要とされる²⁴⁾。

新しい材料の分類に入らないかもしれないが、近頃の興味あるニュースは、S 量が高い (約 0.03~0.04%) 原板のブリキを用いた缶は、コーラのようなある種の炭酸飲料に対して腐食抵抗が大きいという報告²⁴⁾である。この結論にしたがつて某製缶会社は炭酸飲料缶に対して高 S ブリキを指定しているとのことである。一般には有害と考えられる元素が、特殊の用途に対しては有益であることの一例であろう。しかし実缶試験で S の効果はほとんど認められなかつたという製缶会社もあるので、正しい結論は後日に待たなければならない。

またブリキには地鉄と錫層の間にごく薄い鉄—錫合金層が存在する。この合金層の発達不完全で、地鉄と錫が直接隣りあっている面積が大きいほど、グレープ・フルーツのような特殊酸性果実缶の寿命が短くなることが見出された²⁵⁾。この考え方にたつて酸性果実缶に対するブリキの適性評価のため alloy-tin-couple テスト法が提唱され、現在世界各国のブリキ・メーカーによつて採用されている。このテスト値を向上させるため種々の現場的対策が開発された。これらの開発は結果として、ブリキの錫量の節減に役立った。

5. 鉄鋼メーカーと製缶会社の技術協力

以上述べてきたように Cr-Cr₂O₃ 系ティン・フリー・スチールのような例外を除いて全般的にみれば、製缶材料および技術の分野で、研究においても開発においても米国が世界をリードしている。その原動力は激しいアルミニウムとの競争であるが、このリードを可能にしている一つの大きな因子は、鉄鋼メーカーと製缶会社の緊密な技術協力であろう。鉄鋼メーカー A 社と製缶会社 B 社の材料担当技術者が、年に数回の定期会議をもつて、それぞれの要望や技術の開発情報を交換し、また新製品について共同試験を行なうことなどはいままでのないが、米国鉄鋼協会の果たしている役割も大きい。協会のなかにメーカーおよびユーザーによつて構成されるブリキ研究委員会があつて、各社がテーマを分担し、研究成果を会で発表し、ディスカスしている。筆者のいた研究所では、当時ブリキ表面の酸化膜構造の電気化学的研究とハンダの濡れ性の研究の 2 テーマを受けもつていたが、協会から研究費が出るため、電子顕微鏡担当者は、冗談に「このプロジェクトは金になる」といって優先的に電子顕微鏡観察を行なつていた。前述の鋼中の S や合金層組織の耐食性に及ぼす影響に関する研究も、このような体制のもとで行なわれ、実用に供せられるに至つたとのことである。ブリキが缶詰になつてから起こる大きな問題に対しては、缶詰協会 (The National Canners Association) が中心になつてとりまとめを行なっている。その一例をあげると、米国ではトマト・ジュース缶内での錫の異常溶出の問題がときどき起こっている。その大きな原因としてジュース中の微量の NO₃ イオンが考えられる。NO₃ イオンは土壌中の肥料からトマト果実に吸収蓄積されるが、その量が肥料の種類や天候によつて左右され、また多量の NO₃ イオンが存在しても異常溶出が起こらない場合があるなど、問題がきわめて錯綜しているので、缶詰協会が中心となつてブリキメーカー、缶メーカーおよび大学の農学部をメンバーとする委員会によつて、大規模な研究が進められている。

6. 米国の研究所雑感

社会的背景が違えば、研究や開発の進め方も当然変わってくる。2, 3 気づいた点について触れてみたい。

Journal of Metals や Materials Today の終わりのほうのページをご覧になるとおわかりのように、「冶金屋を求む」とか「冶金屋の就職口を求む」の広告が沢山でている。そのなかには職業仲介業者を通じてのものもある。これは技術者や研究者が会社を代わるチャンスがいかに多いかを物語っている。彼らはより高い収入と地位を志向して、機会があればドライに勤務先を代わるのが常識になつていいる。筆者のいた研究所の仲間に前歴をきいてみても、U. S. Steel, National Steel, Reynolds

などの名がとび出してきて、多くの人がすでに何回か会社を代わっているのに印象づけられた。このような研究者の移動は新しい勤務先でのプロジェクトにたいして、新鮮なアイディアと方法をもたらすことであろう。またいつでも会社を代われるだけの実力養成に、彼らは日頃から怠りない。しかし働いているあいだの忠誠心の旺盛なことは、日本と変わらないように感じられた。

1000 人近くもいる大研究所になると、縦と横の連絡をよほどうまくやらないと、研究・開発体制がバラバラになつてしまう。ところが向こうでは文書による連絡が非常によく行なわれていて、そのため各部門にわたる大型プロジェクトが円滑に進行しているのに感銘を受けた。たくさんの有能なセクレタリーがいて、所内の連絡文書、会議記録、レポート、提案などのほとんどすべての文書をタイプに打つて関係者にもれなく行きわたるようにしている。そのうちの重要な文書はコンピュータによつて記憶保管される。タイプに打たれたものは、手書きのものにくらべて非常に読みやすく、また整理もしやすい。複雑な日本語は簡単にタイプに打てないので、日本で同じことをやろうとしてもむずかしい。この点では将来にわたり横文字国にたいしてハンディキャップをもつことになる。

ご承知のように米国の人件費は高い。したがつて研究開発費に含まれる人件費の割合は日本にくらべて格段に大きい。研究計画をたてるさいに、顕微鏡試験のような個々の実験に要する man-hour から人件費を算出して予算に計上するが、平均 10 ドル/man-hr が算定基準のようである。したがつてこの多額の研究費を有効に活かすため、企業の研究には、明確な目標の設定とその組織的、効率的な遂行が要請される。人件費の安い日本のほうが、自由な基礎的な研究はやりやすいのでなかろうか。

最後に対日感情について少し述べてみたい。ある日筆者の机の上に機械関係の業界新聞が置いてあるのが目に止まつた。誰かがわざと置いていつたのであろう。見ると日本特集号であつて、第一面に達筆な日本字で「日本-手強いお得意様」という大きな見出しが、小さな活字の英文を圧して目に焼きついた。この短い句は、アメリカ人の日本にたいする感情を最も端的に表現したものであろう。米国の会社のブランドのついたテレビや時計、またポラロイド・カメラにいたるまで、その部品の多くは日本製であることを彼らに教えられた。仲間の一人は「日本人によつて俺達は失業させられる」と冗談をいつていた。彼らが日本からまず連想するものとして、最近「桜、富士山、げいしや」に「東海道弾丸列車 (bullet train)」が加わるようになった。また「21 世紀には日本は米国を追いこすであろう」とのハーマン・カーン博士の予言について、何度か真剣に意見を求められた。彼らは日本の高度の経済力の成長と技術力の発展に敬意をいだ

いているが、同時に警戒心とライバル意識が強くなってきたこともいえない。日本からの鉄鋼製品その他の輸入が伸長していることにたいして、日本の生産技術の発達、合理化のほかに、米国の高賃金も関与していることがよく認識されており、一種の自己矛盾を感じているようである。

7. 結 言

以上製缶用鉄鋼材料について、米国ではティン・フリー・スチールその他の新材料が活発に研究開発され、製缶業界もこれら新製品を積極的にとりいれていることを述べた。この基盤となつていのは、ビール缶のような内圧缶の大きな需要、アルミニウムとの激しい競争、業界の技術協力、それに加えるにすぐれた研究開発組織である。国情の違うわが国には、また独特の研究・開発の進め方があり、また市場から要求される材料も異なるものがあると思うが、この小文が関心のある方々になんらかのご参考になれば、喜びの至りである。

文 献

- 1) R. M. BRICK: Materials Today, 40 (1967) 7, p. 25~28
- 2) 山本, 湯蓋, 野村: 鉄と鋼, 54 (1968) 10, p. 635
- 3) Iron Age, 179 (1957) 23, p. 106~108
- 4) 滝口周一郎: 塗装技術, (1967) 6, p. 44~52
- 5) Metal Progress, 89 (1966) 2, p. 115~118
- 6) A. N. LAUBSCHER: Amer. Soc. Metals, Technical Report, C6-8·2 (1966)
- 7) H. S. CANNON: Amer. Soc. Metals, Technical Report, C6-8·4 (1966)
- 8) B. ATTWOOD, R. G. MEYERS and E. J. SCHNEIDER: J. Metals, 20 (1968) 1, p. 24A
- 9) C. H. KNODEL: Amer. Soc. Metals, Technical Report, C6-8·5 (1966)
- 10) たとえば Steel, 162 (1968) 16, p. 101
- 11) Modern Packaging Encyclopedia, (1967) Sept. issue, p. 316
- 12) E. J. SMITH: Blast Furn. Steel Pl., 55 (1967) 9, p. 801~808
- 13) J. BEIZER: Iron Age, 201 (1968) 24, p. 59
- 14) Materials Today, 41 (1968) 4, p. 12
- 15) Packaging, 39 (1968) 460, p. 80~83
- 16) 未発表
- 17) W. H. MCFARLAND: AIME, 233 (1965) 12, p. 2028~2035
- 18) L. M. BERNICK and W. H. MCFARLAND: Amer. Soc. Metals, Technical Report, C6-8·1 (1966)
- 19) K. J. ALBUTT and S. GARBER: J. Iron Steel Inst., 204 (1966) 3, p. 278~279
- 20) K. J. ALBUTT and S. GARBER: J. Iron Steel Inst., 205 (1967) 7, p. 738~744
- 21) G. R. SPEICH and H. WARLIMONT: J. Iron Steel Inst., 206 (1968) 4, p. 385~392
- 22) R. H. ABORN: Amer. Soc. Metals, 48 (1956), p. 51~85
- 23) B. M. PERFETTI: Amer. Soc. Metals, Technical Report, C6-9·1 (1966)
- 24) M. D. MITTEMAN, J. F. COLLINS and J. A. LAWSON: Technical Meeting of American Iron and Steel Institute, Nov. 18 (1965) で発表
- 25) G. G. KAMM, A. R. WILLEY, R. E. BEESE and J. L. KRICKL: Corrosion, 17 (1961) 2, p. 106~114