



入門講座

鉄鋼の日本工業規格-12

もっとも親しみのある鉄鋼製品

—ぶりき及びぶりき原板／ティンフリースチール—

The Most Familiar Steel Products

—Tinplate and Blackplate / Chromium Coated Tin Free Steel—

小島克己

Katsumi Kojima

JFEスチール(株)

スチール研究所

缶・ラミネート材料研究部 部長

1 はじめに

ぶりき(すずめっき鋼板)、ティンフリースチール(電解クロム酸処理鋼板)は、飲料缶や食品缶、18L缶などのスチール缶の材料として用いられる表面処理鋼板である。

ぶりきの歴史は古く、始まりは14世紀後半にまで遡るといふ。その後の発展過程は参考文献¹⁾に詳しいが、日本では1920年代に生産が開始された。一方、ティンフリースチールは、1950年代のすず不足を背景に、すずを用いない(ティンフリー: Tin Free) 容器用の表面処理鋼板として1960年代初頭に日本で実用化されたもので²⁾、TFS-CT (Tin Free Steel Chromium Type)、あるいはECCS (Electrolytic Chromium Coated Steel) と表現される場合もある。

スチール缶を通じて生活に深く関係しているぶりき、ティンフリースチールは、もっとも親しみのある鉄鋼製品のひとつと言えるであろう。同時に、飲料や食品の容器素材として安全・安心を消費者に提供するため、厳格な管理の下で製造されている鉄鋼製品でもある。

ぶりき及びぶりき原板、ティンフリースチールに関するJIS規格とそれらの概要を表1に示す。JIS G 3303³⁾に規定されたぶりきは、すず(錫)を原板である冷延鋼板にめっきした表面処理鋼板であり、めっきの方法により電気めっきぶりき

(SPTE)、熱せきぶりき(SPTH)に分けられる。ぶりき原板(SPB)は、その名の示すとおりぶりきの原板として用いる冷延鋼板であり、めっき前の鋼板としてそれ自体が取引されることから、ぶりきと共にJISに規定されている。また、ティンフリースチール(SPTFS)は、ぶりき原板に電解クロム酸処理を施した表面処理鋼板であり、JIS G 3315⁴⁾に規定されている。

ぶりき原板の適用板厚範囲は0.14mm~0.60mmであり、JIS G 3141⁵⁾に規定される一般の冷延鋼板の標準板厚が0.4mm~3.2mmであることに対して薄いことが特徴である。適用板厚範囲の相違に起因して、ぶりき原板と一般の冷延鋼板とは製造プロセスが異なる。

2 ぶりき原板の製造方法

ぶりき原板の製造工程は、製銑、製鋼、熱延までは一般の冷延鋼板とほぼ同様である。冷間圧延以降の工程⁶⁾を図1に示す。冷間圧延の後に行う焼鈍にはバッチ焼鈍(箱焼鈍)と連続焼鈍とがある。おおまかには、比較的軟質な材料を得る場合にはバッチ焼鈍を用い、硬質な材料の場合には連続焼鈍を用いる。1回冷間圧延のぶりき原板は、焼鈍後に降伏点伸びの解消、表面粗度の調整を目的とした約1~2%の伸長率で行われる調質圧延を施す。

一方、2回冷間圧延のぶりき原板は、ぶりき原板に独特の工程であるDR(Double Reduce)圧延を経て製造される。これは、板厚低減と硬質化を目的として、焼鈍の後に20%以上にも及ぶ比較的高い圧下率で2回目の冷間圧延を施す製造方法である。

2回冷間圧延のぶりき原板は、DR圧延で製造することによりDR材と呼ばれることもあり、これと対比した形で1回冷間圧延のぶりき原板はSR(Single Reduce)材と呼ばれる場合もある。

表1 ぶりき及びぶりき原板、ティンフリースチールに関するJIS規格とそれらの概要(JISより抜粋)

該当JIS および適用範囲	種類	種類の記号	適用厚さ(mm)	
			1回冷間圧延	2回冷間圧延
JIS G 3303 ぶりき及びぶりき原板	原板	SPB	0.15以上	0.14以上
	電気めっきぶりき	SPTE		
	熱せきぶりき	SPTH	0.60以下	0.36以下
JIS G 3315 ティンフリースチール	ティンフリースチール	SPTFS		

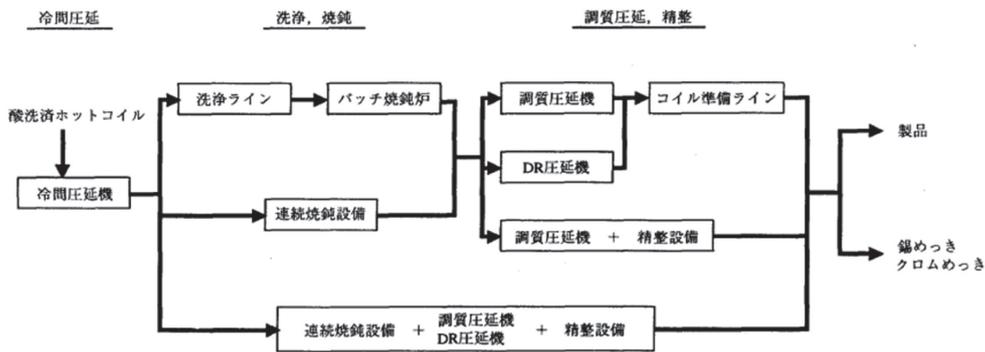


図1 容器用銅板原板の製造工程⁵⁾

表2 1回冷間圧延材の調質度 (JISより抜粋)

調質度の記号	ロックウェルスーパーフィシャル硬さ HR30T
T-1	49±5
T-2	53±5
T-2.5	55±5
T-3	57±5
T-4	61±5
T-5	65±5

表3 2回冷間圧延材の調質度 (JISより抜粋)

調質度の記号	ロックウェルスーパー フィシャル硬さ HR30T	(参考)耐力 圧延方向 N/mm ²
DR-8	73±5	550
DR-9	76±5	620
DR-9M	77±5	660
DR-10	80±5	690

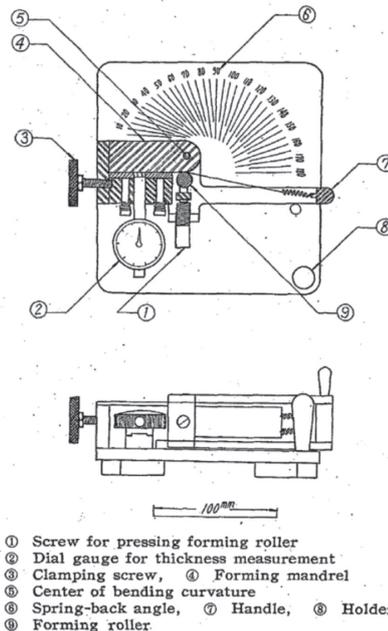


図2 スプリングバック試験機、およびスプリングバック角度と機械特性の関係¹⁰⁾

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = 3\left(\frac{\sigma_e \rho}{Et}\right) - 4\left(\frac{\sigma_e \rho}{Et}\right)^3$$

$\Delta\theta$: スプリング・バック角 (deg)
 θ : 最初の曲げ角度 (deg)
 σ_e : 降伏応力 (kg/mm²)
 ρ : 曲げ半径 (mm)
 E : ヤング率 (kg/mm²)
 t : 板厚 (mm)

2.1 調質度

ぶりき原板の機械特性を表す指標としてはロックウェルスーパーフィシャル硬さ⁷⁾のスケール30T (硬さ記号HR30T) が用いられ、JIS (およびASTM⁸⁾、ISO⁹⁾) ではその硬さで調質度を規定、分類している。

1回冷間圧延材の調質度に関するJIS規定を表2に示す。HR30Tの硬さレベル毎に、調質度 (Temper) を表すTに続き1から5の数値を付して表現する。焼鈍が連続焼鈍である場合は末尾にCA (Continuous Annealing) を付す。

2回冷間圧延材の調質度に関するJIS規定を表3に示す。HR30Tの硬さレベル毎に、2回冷間圧延材であることを表すDRに続き8から10の数値を付して表現する。JISでは参考として2回冷間圧延材の耐力を示しているが、その耐力は図2に示すスプリングバック試験機で測定するスプリングバック角度から算出式を用いて求める¹⁰⁾。

これらにおいて、時効の生じる原板の場合は200℃×20分の人工時効を施した後の測定結果が用いられる。これは、ぶりきまたはティンフリースチールが焼付け処理を伴う塗装を

施された後に実用に供されることを想定した条件である。

また、ロックウェルスーパーフィシャル硬さの測定値は板厚の影響を受けるため、JISでは板厚が0.20mm未満 (ASTMでは0.21mm以下) の場合は負荷荷重の低いスケール15T (硬さ記号HR15T) で測定を行い、換算表に基づいてHR30Tに換算した値を用いることになっている。

尚、ぶりき原板の機械的特性を硬さという単一の指標による調質度のみによって表すことは本来困難である。そこで、

特定の用途に対する機械的特性の指定にあたっては、使用者と製造者との取り決めによって、硬さ以外の指標が用いられることが多い。ちなみに、欧州規格EN (European Norm¹¹⁾)ではSR材、DR材の両者に対して引張試験による0.2%耐力と引張強度を併記する形で調質度を規定している。表4にENによる調質度の規定とそれに相当するJISの調質度を示す。

2.2 調質度の造り分け

1回冷間圧延材 (SR) 材の調質度の造り分けは、鋼種、焼鈍方法、調質圧延の伸長率などの条件によって行われる。製造方法の概要を表5に示す。

T-1からT-3の比較的軟質なぶりき原板の製造方法には、低炭素鋼をバッチ (箱) 焼鈍する方法、極低炭素鋼を連続焼鈍する方法、また、低炭素鋼の連続焼鈍において過時効処理を施す方法がある。

バッチ焼鈍法は、加熱冷却過程において固溶C、Nの析出が促進され、軟質、非時効、かつ高r値の特性を得やすい。また、固溶C、Nが少ないために局部延性に優れ、DR材の母材として用いた場合にも、例えば3ピース缶のフランジ割れがCAL材より優れる¹²⁾などの利点がある。そのため、連続焼鈍が主流となった現在でも、用途によってバッチ焼鈍材が好まれる場合がある。ただし、Si、Mnなどの表面濃化によるテンパーカラー¹³⁾、鋼中炭素の鋼板表面での析出によるカーボン汚れ^{14,15)}などの表面性状、材質の均質性に劣る場合があり、注意を要する。熱効率の良い100%水素を用いたバッチ焼鈍¹⁶⁾

では、これらの表面清浄性が改善されると共に処理時間を半減させる利点がある。

連続焼鈍法は1950年代下旬から60年代初旬にかけて国内の容器用鋼板の製造に導入された¹⁷⁾。導入当初の設備は図3¹⁸⁾に示す硬質材サイクルによりT-4以上の硬度を得るものであった。そのためT-3以下の軟質材を得るには連続焼鈍の後にバッチ焼鈍炉で300℃×30分ほどの過時効処理を行う方法が採られ、T-2、T-2.5が製造された¹⁹⁾。さらに、深絞り用冷延鋼板の製造のために過時効帯を備えた連続焼鈍炉が開発されるとその技術が容器用鋼板にも適用され^{20,21)}、80年代以降低炭素鋼でのT-2、T-3の製造が可能となった^{22,23)}。

また、プレス成形性に優れた鋼板として開発された極低炭素鋼²⁴⁾が容器用鋼板にも適用され、Nb添加極低炭素鋼を用いたT-1²⁵⁾では、連続焼鈍の特性を生かした材質均一性の確保が可能となった^{26,27)}。容器用鋼板への極低炭素鋼の適用はT-1からT-3を得る方法として確立され^{28,29)}、その後も溶接性の改善³⁰⁾などが進められている。

ぶりき原板の硬質化では、一般の冷延鋼板で用いる元素添加による固溶強化、析出強化、変態組織強化などの適用に制約があった。これは、ぶりき原板の板厚が薄く、耐食性の観点から元素の含有量に規制があるためである。そこで、こうした制約を受けない方法としてNの積極的な添加が検討され、100ppm程度のNを添加したT5材が開発された^{31,32)}。

1回冷間圧延材よりも更に硬質の調質度は2回冷間圧延 (DR) で製造される。この方法は薄肉化と高強度化を同時に行なうため、薄肉化に伴う缶強度の低下を補う用途に対しては合理的な製造方法である。一方、2回冷間圧延材は延性が低く、圧延方向と直角方向の材質差が大きいなど、製缶加工

表4 ENによる調質度の規定と相当するJISの調質度

調質度	0.2% 耐力 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	相当する JISの調質度
	公称値	目標値	
TS230	230±50	325±50	T-1
TS245	245±50	340±50	T-2
TS260	260±50	360±50	T-2.5
TS275	275±50	375±50	T-3
TS290	290±50	390±50	T-4
TS550	550±50	575±50	
TH415	415±50	435±50	T-4CA
TH435	435±50	460±50	T-5CA
TH520	520±50	540±50	
TH550	550±50	570±50	DR-8
TH580	580±50	590±50	
TH620	620±50	625±50	DR-9

* TH520, TS550, TH550, TH580, TH620は2回冷間圧延材、その他は1回冷間圧延材
バッチ焼鈍材はS、連続焼鈍材はHで示す

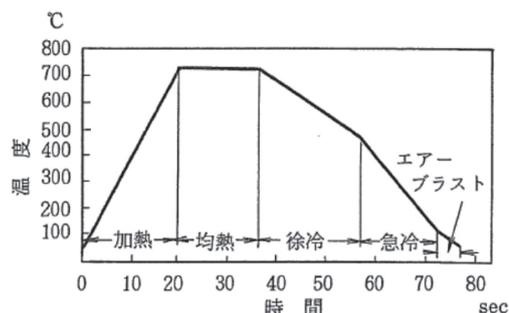


図3 焼鈍における代表的な熱サイクル¹⁸⁾

表5 1回冷間圧延材の調質度の造り分け技術の概要

鋼種	焼鈍方法	付加技術	調質度					
			T-1	T-2	T-2.5	T-3	T-4	T-5
低炭素鋼	バッチ焼鈍	—	○	○	○	○		
	連続焼鈍	過時効処理		○	○	○		
	連続焼鈍	—					○	○
極低炭素鋼	連続焼鈍	—	○	○	○	○		

表6 JISに示される原板の代表的な種類 (JISより抜粋)

種類	説明
MR	残留微量成分が少ないもので、優れた耐食性をもち、容器その他広く一般的用途に用いる。
L	Cu, Ni, Cr, Mo その他の残留微量成分が特に少ないもので、極めて優れた耐食性をもつ容器材料として用いる。
D	Alキルド鋼であって、深絞り加工及びリューダース模様の発生しやすい加工を行う用途に用いる。

表7 ASTMに示される鋼の化学成分 (ASTMより抜粋)

Element	Cast Composition, max %		
	Type D	Type L	Type MR
C	0.12	0.13	0.13
Mn	0.60	0.60	0.60
P	0.020	0.015	0.020
S	0.03	0.03	0.03
Si	0.020	0.020	0.020
Cu	0.20	0.06	0.20
Ni	0.15	0.04	0.15
Cr	0.10	0.06	0.10
Mo	0.05	0.05	0.05
Al	0.20	0.10	0.20
Other elements, each	0.02	0.02	0.02

表8 ENに示される鋼の化学成分 (ENより抜粋)

Element	% by weight (maximum unless otherwise states)	
	Type A	Type B
C	0.04-0.08	0.09-0.12
Mn	0.18-0.35	0.60
P	0.020	0.020
S	0.020	0.020
Si	0.030	0.030
Cu	0.080	0.080
Ni	0.080	0.080
Tin	0.020	0.020
As	0.020	0.020
Mo	0.020	0.020
Cr	0.080	0.080
N	0.008	0.008
Al	0.02-0.08	0.02-0.08
Others	0.020	0.020

性に劣るといふ欠点もある³³⁾。

前記のようにぶりき原板の調質度はHR30Tを指標とする硬さを用いて表されるが、様々な用途への適用においては硬さのみを制御するだけでは十分ではない³⁴⁾。それぞれの用途に対してHR30T以外の機械特性を合わせて造り込むことが必要である。

2.3 ぶりき原板の鋼種

ぶりき及びぶりき原板を規定した現状のJIS G 3303³⁾では、原板の種類を表6に示したMR、L、Dに分類している。これらはASTM⁸⁾による規定を踏襲した標記であり、ASTMにはそれぞれに対応して表7に示す化学成分が示されている。また、EN¹¹⁾では表8に示す化学成分を規定している。これらに示されるように、ぶりき原板では一般の冷延鋼板と比較して成分元素毎の規定が細かく規定され、特に表面濃化による耐食性劣化の報告^{35,36)}のあるSiの上限などが規定されており、耐食性を考慮して不純物元素が低減された低炭素鋼が用いられる。

また、ぶりき原板は食品保管に用いられることから表面性状を厳格に管理する必要があり、缶種によっては介在物を起点とした割れが問題となる³⁷⁾ため、鋼清浄性を高める様々な製綱上の対策がとられる³⁸⁾。

3 ぶりき

ぶりきはすず(錫)をぶりき原板にめっきした表面処理鋼板であり、めっきの方法により電気めっきぶりき(SPTE)、熱せきぶりき(SPTH)がある。

3.1 電気めっきぶりき (SPTE)

電気すずめっきにより製造されるぶりきである。飲料缶、食缶等の容器に用いられるぶりきは、皮膜の均一性、連続処理性などから、現在はほぼ全てが電気めっきぶりきである。JISに規定されたすずめっきの標準付着量を表9に示す。後述する熱せきぶりきと比較して、電気めっきぶりきは通電電流量の制御によって付着量を少量から制御し易く、また表裏で異なる付着量とする差厚めっきが可能である。

代表的なめっき浴にはフェロスタン浴、ハロゲン浴、MSA浴がある。めっきの後、鋼板をすずの融点直上温度まで加熱して溶融させるリフロー処理が施され、ぶりき独特の金属光沢を備えた表面が得られると同時に、めっき層と鋼板の界面に耐食性維持の一旦を担うすずと鉄の合金(FeSn₂)層が形成される。さらに、ぶりきに耐食性と塗料密着性を付与するためにクロメート処理が施される。ぶりきの層構造の概要を図4に示す。

3.2 熱せきぶりき (SPTH)

溶融すずめっきにより製造されるぶりきである。溶融した金属すずを満たした層中を、シート状に剪断しためっき原板を通過させることにより、原板表面に一定量のすずをめっきする³⁹⁾。すずの付着量は、すずが溶融状態であるうちに表裏から押し当てられるめっきロールの加圧力制御により調整される。表9に示されるように付着量は電気めっきよりも多く、表裏等厚である。

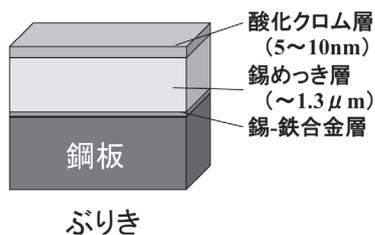


図4 ぶりきの層構造の概要

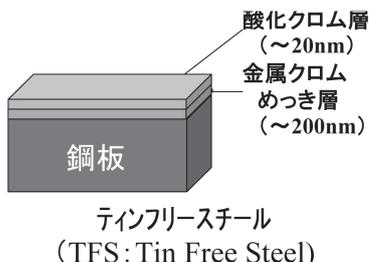


図5 ティンフリースチールの層構造の概要

4 ティンフリースチール (SPTFS)

ティンフリースチールは、ぶりき原板に電解クロム酸処理を施した表面処理鋼板であり、JIS G 3315⁴⁾に規定されている。ティンフリースチールの層構造の概要を図5に示す。電解クロム酸処理により、下層に付着量100mg/m²程度の金属クロム、その上層にクロム換算での付着量10～25mg/m²のクロム水和酸化物が形成される。TFSのめっきは、クロム酸溶液を主体とするめっき浴中で鋼板を陰極として電解することでCr⁶⁺を段階的に還元したものであり、陰極近傍でのH₂発生に伴うpHが上昇によって金属クロムの析出と同時に還元中間生成物であるCr³⁺が金属クロム上に析出するものである。

TFSは最表層のクロム水和酸化物の作用により塗料密着性、塗膜下腐食性に優れる。そのため主として接着缶に用いられてきた。初期段階ではレトルト時の塗料密着性に問題があったが、金属クロム層と水和酸化物層の均一被覆性と化学的適正化によって解決された⁴⁰⁾。

5 その他の容器用表面処理鋼板

本稿ではJISで規定されたぶりき、ティンフリースチールについてその概要を述べてきたが、これらに代表される容器用表面処理鋼板では、ぶりき、ティンフリースチールから派生した形で様々な改良が進められている。

例えば、ぶりきを用いた缶は当初半田付けによって接合されていたため、すず付着量は半田による接合に必要な付着量として5.6g/m²程度⁴¹⁾が主流であったが、後に開発された溶

表9 すずめっきの標準付着量の表示 (JISより抜粋)

	区分	表示付着量 g/m ²	旧付着量 表示記号 (参考)
電気めっき ぶりき SPTF	等厚めっき	2.8/2.8	#25
		5.6/5.6	#50
		8.4/8.4	#75
	差厚めっき	11.2/11.2	#100
		5.6/2.8	#50/25
		8.4/2.8	#75/25
熱せき ぶりき SPTH	等厚めっき	8.4/5.6	#75/50
		11.2/2.8	#100/25
		11.2/5.6	#100/50
	等厚めっき	11.2/8.4	#100/75
		12.3/12.3	#110
		14.0/14.0	#125
		15.1/15.1	#135
		16.8/16.8	#150

接缶ではより少ないすずで接合が可能となったため、現在ではJISの標準付着量を下回る1g/m²程度まで低減された極薄錫めっき鋼板 (LTS: Lightly Tin Steel) や、Niめっきを下地処理したTNS (Tin Nickel Steel) が開発され^{42,43)}、飲料缶などに多く用いられている。

また、ティンフリースチールは最表層に絶縁体であるクロム水和酸化物層を有しているため、溶接缶に用いることが困難であったが、表面形状のコントロールや、錫、ニッケルの併用などで溶接性を付与した表面処理鋼板が開発され⁴³⁾、溶接可能なティンフリースチールとして実用化されている。

一方、ぶりき、ティンフリースチールに有機樹脂フィルムを被覆したラミネート鋼板が開発され、これらを絞り加工して用いる2ピース缶⁴⁴⁾、溶接して用いる3ピース缶^{45,46)}、18L缶^{47,48)}などに利用されている。

6 おわりに

2014年度、家庭ごみの分別収集は全国の99.0%の区市で実施され、スチール缶を分別の対象にしている区市はその中の96.7%に及んでいる。結果として、2014年度のスチール缶リサイクル率は92.0%となり、経済産業省の産業構造審議会ガイドライン目標である「90%以上維持」を達成した⁴⁹⁾。こうした使用済み容器の分別収集を通じ、一般消費者のスチール缶に対する認識も以前より高まっていると思われる。

ただし、国内需要の低迷にともない容器用表面処理鋼板の生産量は低下しているのが実情である⁵⁰⁾。新興国の生産量増加などもあり、容器用表面処理鋼板における国際的な競争環境も一段と厳しくなることは明白である。

一方で、ぶりき原板は、板厚が薄いこと、成分制約があることなどの特徴から、独特の製造技術を発展させてきた分野

でもある。また、近年利用が盛んになっているラミネート鋼板は、ぶりきおよびティンフリースチールを一層の発展させる可能性を備えている。こうした技術を活かし、より広い適用用途を開拓していくことが、当該分野にとって今後の活路を開く一端となるであろう。

参考文献

- 1) 安藤卓雄：金属表面技術, 35 (1984) 2, 94.
- 2) 乾恒夫：第106・107回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編, 東京, (1985), 143.
- 3) JIS G 3303, (2008)
- 4) JIS G 3315, (2008)
- 5) JIS G 3141, (2011)
- 6) 森忠洲：鉄と鋼, 79 (1993) 6, 619.
- 7) JIS Z 2245, (2011)
- 8) ASTM A623-11
- 9) ISO 11951 : 1995
- 10) 馬場敬志, 高橋担：鉄と鋼, 49 (1963) 3, 257.
- 11) EN 10202 : 2001
- 12) M.Sodeik, K.Taffner and F.Weber : Trans.ISIJ, 28 (1988) 8, 663.
- 13) 角山浩三, 有馬与志広, 近藤道生, 古角文雄, 清水孝雄, 柳島章也, 下山雄二：鉄と鋼, 62 (1976) 11, S586.
- 14) 佐藤始夫, 須藤正俊, 田中純彦, 平岩幹夫, 岡田清：鉄と鋼, 70 (1984) 13, S1064.
- 15) 島田昌治：鉄と鋼, 70 (1984) 11, 1530.
- 16) 宮崎英明, 白水正輝：鉄と鋼, 80 (1994) 12, T169.
- 17) 平松一允：鉄と鋼, 49 (1963) 1, 63.
- 18) 田辺博一：第88・89回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編, 東京, (1983), 199.
- 19) 松藤和雄, 下村隆良：鉄と鋼, 53 (1967) 4, 447.
- 20) 小原隆史, 坂田敬, 西田稔, 久々湊英雄, 秋山知彦, 太田範男：鉄と鋼, 69 (1983) 5, S409.
- 21) 浅井徹, 山下康彦, 辻村銑吉, 菅輝夫, 伊達幸次郎, 丸岡邦明：鉄と鋼, 70 (1984) 13, S1059.
- 22) 小原隆史, 角山浩三：まてりあ, 34 (1995) 3, 296.
- 23) T.Obara, K.Sakata, K.Osawa, M.Nishida and T.Irie : Proc. Symp. on Technology of Continuously Annealed Cold-Rolled Sheet Steel. The Metallurgical Society of A.I.M.E., Warrendale, USA, (1984), 363.
- 24) 武智弘：日本金属学会会報, 30 (1991) 8, 677.
- 25) 久々湊英雄, 秋山知彦, 浮穴俊通, 太田範男, 小原隆史, 坂田敬：鉄と鋼, 69 (1983) 5, S410.
- 26) 久々湊英雄, 加藤寿勝, 西川廣, 白石昌司, 下山雄二, 藤長千香子：川崎製鉄技報, 23 (1991) 4, 308.
- 27) H.Kuguminato, T.Kato, T.Sekine, A.Tosaka, C.Fujinaga, Y.Shimoyama, H.Ohno and R.Asaho : Developments in the Annealing of Sheet steels.The Minerals, Metals & Materials Society, (1992), 397.
- 28) 小原隆史, 坂田敬, 角山浩三：鉄と鋼, 71 (1985) 5, S636.
- 29) 青木晋一, 佐藤台三, 田辺博一, 西山重喜：CAMP-ISIJ, 1 (1988), 723.
- 30) 多田雅毅, 小島克己, 岩佐浩樹, 梅本雅資, 堀田英輔：まてりあ, 49 (2010) 2, 81.
- 31) 登坂章男, 荒谷昌利, 小原隆史, 久々湊英雄, 泉山禎男：まてりあ, 36 (1997) 4, 379.
- 32) 登坂章男, 荒谷昌利, 久々湊英雄：川崎製鉄技報, 27 (1995) 3, 169.
- 33) ぶりきとティンフリースチール, アグネ, 東京, (1970), 130.
- 34) J.F.Renard and J.Gellez : 5th Int.Tinplate Conf., International Tin Research Institute, London, (1992), 1.
- 35) 盛山博一, 吉岡治, 河村宏明, 西條謹二, 乾恒夫, 筒井信行：鉄と鋼, 66 (1980) 2, A89.
- 36) 望月一雄, 番典二, 原俊一：鉄と鋼, 66 (1980) 2, A93.
- 37) 御園生一長, 藤井昭明, 福元亮一, 中島厚：鉄と鋼, 68 (1982) 1, 147.
- 38) わが国における缶用表面処理鋼板の技術史：日本鉄鋼協会, 東京, (1998), 184.
- 39) 上田勇治：金属表面技術, 16 (1965) 1, 34.
- 40) 鶴丸迪子：金属, 51 (1981) 4, 11.
- 41) ぶりきとティンフリースチール, アグネ, 東京, (1970), 183.
- 42) 藤本輝則：第138・139回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編, 東京, (1991), 243.
- 43) 黒田均：材料と環境, 51 (2002) 7, 305.
- 44) 鶴丸迪子：鉄と鋼, 90 (2004) 3, 113.
- 45) 田中泰之：Beverage Japan, (1996) 174, 100.
- 46) 堀川信晴：食品と容器, 36 (1995) 9, 532.
- 47) 鈴木威, 岩佐浩樹, 西原英喜, 渡辺豊文：まてりあ, 44 (2005) 2, 145.
- 48) 和氣亮介, 高野浩次郎, 吉原良一：鉄と鋼, 81 (1995) 10, 983.
- 49) スチール缶リサイクル協会, <http://www.steelcan.jp/>
- 50) 田屋慎一：第223・224回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編, 東京, (2015), 91.

(2015年11月24日受付)