

戦後日本における鉄鋼製造技術の技術革新－自動車用薄鋼板の技術革新－ Technological Innovations of Iron and Steel in post-war Japan -Innovations in production of high performance steel sheets for autobody-

黒田光太郎*
KURODA Kotaro

自動車用薄鋼板、プレス成形、深絞り加工性、結晶集合組織、高強度鋼、合金化溶融亜鉛めっき鋼板
Steel sheet for automotive carbody, Press forming, Deep drawing, Crystallographic texture,
High-strength steel, Galvanized steel

要旨

フォードシステムとともに全鋼製車体の採用が自動車量産の鍵であった。全鋼製車体の生産における重要な技術はプレス成形である。その技術革新は、戦後日本において、自動車会社、鉄鋼会社、研究機関からなる共同研究組織「薄鋼板成形技術研究会」が牽引した。低炭素鋼板の再結晶集合組織形成に関する知見は、その後の深絞り用薄鋼板開発の指針として役立っていく。チタン添加鋼などの高強度鋼板が開発され、現在では IF 鋼板、DP 鋼板、TRIP 鋼板などとともに溶融亜鉛めっき鋼板が自動車用鋼板の主流となっている。

戦後の混乱期における自動車の生産

第二次世界大戦後、自動車生産はGHQの管理下におかれた。1945年9月に1500台のトラック生産が許可され、47年に1500cc以下の乗用車の生産が月産300台認められ、49年には生産制限が解除されたが、1952年6月においても、生産台数は1368台で、そのうち乗用車は150台に過ぎなかった。この時期の車体部品のプレス技術は戦前の自動車部品あるいは航空機部品の製造経験を引きつぎ、プレスには戦前からの機械が使われ、車体のプレス技術は全く未成熟であった。国産の鋼板は黒い酸化皮膜のついた熱延板が主で、冷延板はわずかに作られていたにすぎない。

1952年に国会で、わが国における自動車産業の可否が論じられている。7月26日参議院運輸委員会で梁瀬長太郎は、「私の大きな考えは、国産車は大体においてトラックとディーゼルのバスと…(中略)…アメリカのように乗用車を作るということはプレス技術もいよいよでありますけれども、アメリカのミシガン湖の北側の成るスチールでなければよくて値の安いスチールは得られないというような細かいところまで行つておる。そういうような状態ですから、この点、はよく考えて算盤の合うトラック、バスでも精を出して作つて頂いて、乗用車には手をお染め

にならんほうが経済上却つてよくもあり、国家全体としても又徳用である。」と乗用車国産に強い否定的な意見を述べている¹⁾。

一方、トヨタの石田退三社長と通商産業省の佐枝新一通商機械局長は自動車産業の育成を訴えている。通産省は、自動車産業の総合的性格が重化学工業の牽引車になりうるとの判断から、国民車構想を推進した。だが、通産省重工業局自動車課長であった柿坪清吾が述懐するように「当時の自動車部品がどんなに遅れていたか・・・私の脳裏に今でも残っている例を上げると薄鋼板がある。(中略)トヨペットの天井板を打抜くためには二枚溶接しなければ足りない・・・純国産車の天井板が米国でプレスされた輸入品であるという情けない状態」であった²⁾。このように戦後日本の自動車生産技術とそれを支える鉄鋼技術は惨憺たる有様であった。

鉄鋼技術の戦後復興と発展

第二次世界大戦に敗れ壊滅の状況に陥った日本鉄鋼業の復興に大きな役割を果たしたのは、外務省特別調査委員会の報告『日本経済再建の基本問題』と日本鉄鋼協会「鉄鋼対策技術委員会」の報告である。

*名古屋大学大学院工学研究科 教授

* Nagoya University, Professor, Dr.Eng.

前者は、有澤廣巳東京帝国大学教授を代表に、幹事の犬来佐武郎によって纏められた。この報告書では、敗戦後経済状況を「鉄鋼・石炭・セメントなど基礎的生産資材不足により縮小再生産に陥って」といって認識し、生産に関する技術を振興することによって日本経済の将来を発展的創造的に建設する必要が強調されている。

後者は、鉄鋼協会会長の三島徳七東京帝国大学教授のもと、湯川正夫日本製鐵技術部長が中心となって産学官の鉄鋼研究者・技術者たちが短期間に、鉄鋼技術復興の具体的指針を提示したものである³⁾。この報告書の重要な提言は、資源に乏しい日本に適した鉄鋼生産方式として銑鋼一貫法の採用と鉄鋼品質高級化のための技術開発であった。品質高級化への努力の諸成果の中で、自動車用薄鋼板の研究開発は最も重要なものであった。良質の鋼板は米国からの輸入に頼りながらも、1954年にはリムド鋼の連続冷間圧延とアルミキルド鋼板の国産化が始まった。55年には広幅鋼板の製造が始まり、57年にはLD転炉による製鋼が開始している。図1には戦後日本における鉄鋼生産高と乗用車生産高とを

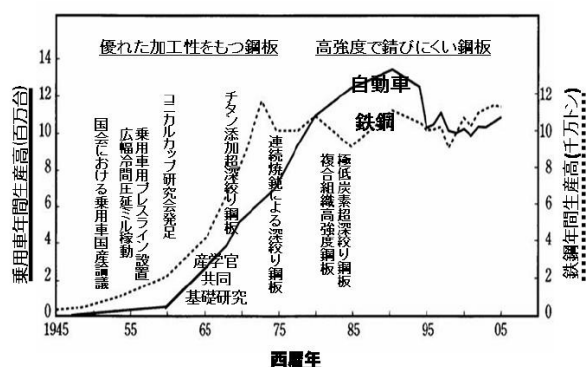


図1 戦後日本の鉄鋼生産と乗用車生産の推移

比較して示す。また、関連する主要な技術革新も記入している。

戦後日本の鉄鋼生産は、1953年に操業開始した川崎製鉄千葉を嚆矢として、太平洋側臨海部における一貫製鉄所の建設が相次ぎ(50年から72年に12製鉄所が誕生)、大型高炉、ホットストリップミル、純酸素転炉など最新鋭の設備が続々建設されたため、高度成長期に著しい伸長を遂げ、1973年には、人口規模で2倍以上の米国と肩を並べる1.2億トン水準に達した。

1974年の第1次オイルショックは鉄鋼需要の低下と原料コストの上昇から日本の鉄鋼業に大きな

影響を与えた。その後の「軽薄短小」化傾向もあって鉄鋼需要は伸び悩み、GDPが成長したにもかかわらず国内生産量は1億トンを前後する水準で推移した。高炉各社は量的拡大に頼らない生産性の向上と需要家ニーズに対応した高級鋼の開発を進めた。要員削減や過剰設備の処理などとともに、連続鑄造に代表される工程の連続化や副生ガス利用などの省エネルギーを進めた。

1980年代中頃の円高不況における設備の休・廃止とその後のバブル景気における需要の高まりなどを経て、生産規模は増減を繰り返してきたが、近年のアジアの成長による鉄鋼輸出量の拡大により、内需の長期低迷にも関わらず生産規模はやや上昇傾向に転じてきている。2007年度には過去最高の1.215億トンの粗鋼生産量に達した。

現在進んでいる国際的鉄鋼業界の再編成の中で日本は自動車用高級鋼板の製造技術において優位性を確保している。この優位性は、プレス加工技術と薄鋼板製造に関する知識も乏しい状態から、産学官の技術者・研究者が基礎研究を重視し、併せて製鋼・圧延プロセスを一貫させた技術開発を通して達成できた成果である。

薄鋼板基礎研究の進展

自動車の大量生産には、フォードのベルトコンベア方式が大きく貢献した。それとともに全鋼製車体の採用が量産の鍵であった。全鋼製車体の生産における重要な技術はプレス成形である。その進歩のためには、材料、成形技術、成形性評価の有機的な結合が必要であり、わが国では自動車会社、鉄鋼会社、研究機関からなる共同研究組織が活動を開始している。

深絞り加工に好ましい鋼板は、板幅方向に縮みやすい性質をもつことが求められる。さらに成形過程で板厚が薄くなる傾向が大きいと破断に至りやすい。このような理由で、一軸引張り試験における板厚歪と板幅歪との比(r値)が深絞り加工性の良い指標としてアメリカの技術者によって提案された。一方日本では、簡易に深絞り性を評価できる試験法であるCCV(conical cup value)法が東京大学の福井伸二によって考案され、福井は「コニカルカップテスト研究会」という同人会的集まりを1957年に作っている⁴⁾。この研究会では、福井の弟子である理

化学研究所の吉田清太が中心となってCCV試験法のJIS標準化を目指した。自動車会社と鉄鋼会社の研究者・技術者たちの媒介を務め、研究会は1960年に「薄鋼板のプレス成形と試験法研究会」と名称を変更し、1964年には「薄鋼板成形技術研究会」と名称を変えて現在に至っている。

1950～60年代において深絞り加工性の優れた鋼板はアルミキルド鋼板であったが、その優れた特性の成因や結晶塑性学的理解は不十分であった。日本鉄鋼協会や日本金属学会の場を通して究明が進められ、その後の超深絞り鋼板の開発や連続焼鈍による深絞り鋼板製造法が開発につながっていく。

こうした基礎研究⁵⁾の中で、低炭素鋼板の再結晶集合組織形成に関する知見は、その後の深絞り用薄鋼板開発の指針として役立っていく。とくに当時最高の特性をもったアルミキルド鋼板において、炭素化合物析出物の影響を精査した研究開発から、チタン添加鋼が見出された⁶⁾。チタン添加鋼では、鉄中の炭素や窒素とチタンが結合して、ひずみ時効を防止するとともに、急速加熱においても、深絞り成形に有利な方位が発達する特異性が認められ、連続焼鈍法による自動車用鋼板製造を可能にした。

自動車用鋼板の更なる展開

自動車に対する社会的要請は、近年とくに地球環境問題の認識が深まる中で、低燃費化対策や排ガス対策、リサイクル対策、安全対策が主要な技術テーマとなっている。このため重量増加を抑制し強度向上をさせることが可能な高強度鋼板が求められる。低燃費化の最も有効な対策のひとつは軽量化である。多くの部材において軽量化材料への転換が進んでおり、鉄鋼材料による自動車軽量化に関するプロジェクトも推進されている。

添加されたチタンやニオブは鋼中の炭素や窒素と結合して実質的に侵入型元素が不在であるIF鋼(interstitial free steel)となる。このIF鋼は日本で開発された⁷⁾。IF鋼は高r値、低降伏点、非時効性を有し、深絞り性にも優れている。このようなIF鋼は、真空脱ガス技術の進歩やチタンやニオブの微量添加方法の改良による低コスト化の実現によって、冷延軟鋼板として多量に使用されるようになった。IF鋼をベースにシリコン、マンガン、リンなどの固溶元素で高強度化した高強度冷延鋼板も開

発されている。これらの鋼に対して、熱間圧延での低温大圧下と急冷によるフェライトの細粒化、高圧下冷間圧延、高温焼鈍を組み合わせて、高い成形性を持つ鋼板が開発された。このような高成形性鋼板は複数部品の一体成形などを通じて金型費用や接合工程省略による生産コストなどの低減に貢献している。

より高い高強度部材にはDP(Dual Phase)鋼板⁸⁾、TRIP(Transformation Induced Plasticity)鋼板⁹⁾なども使用されている。DP鋼は組織強化型の高張力鋼のひとつで、軟かいフェライト相と硬いマルテンサイト相からなるマイクロ組織を有している。フェライト相の存在により低降伏比でかつ大きな伸びを持ち、これまでの高張力鋼では達成できなかった加工性の厳しい用途に利用が進んでいる。

TRIP鋼は変態誘起塑性性を利用した極めて伸びの大きな鋼である。ベイナイトあるいはフェライト-ベイナイト母相中に、変形によりマルテンサイトに変態するオーステナイトを数%から30%前後残留させている。このオーステナイトが加工時にマルテンサイトに変態し、その部分の強度が高まり相対的に低強度である周囲に変形が伝播することで、高い加工性が得られている。TRIP鋼は良好な加工性のみならず、自動車衝突時の衝撃吸収性が大きい特長がある。

1970年代に自動車車体の腐食が米国で社会問題化して以来、表面処理鋼板の開発が進んだ。当初は合金系電気亜鉛めっき鋼板(Zn-Ni、Zn-Fe)が多く用いられた。1980年代後半になると耐食性をさらに高めるために、Zn-Ni合金電気めっき鋼板に有機薄膜被覆を施した複合鋼板や合金化溶融亜鉛めっき鋼板(GA鋼板)¹⁰⁾が使用されるようになった。GA鋼板は加工性、溶接性、耐食性に優れ、塗装性および溶接性にも優れている。GA鋼板は亜鉛浴に鋼板を浸漬した後、熱処理によって鋼板の表面に付着したZnを基板のFeと反応させてFe-Znの金属間化合物を均一に生成させることによって、所望の優れた特性を得ている。Fe-Zn金属間化合物を瞬時に生成させるため、めっき浴中における初期のFe-Zn反応の制御が重要な技術課題となる。通常、Fe-Zn金属間化合物の生成を制御するために、ZnよりFeとの親和力が強いAlをZn浴に微量添加することが行われている。

GA鋼板の中でも特にプレス成形性に優れた高潤滑性GA鋼板の需要が高まり、GA鋼板の表面に電気

めっき、リン酸塩、金属塩等の固形潤滑皮膜を付着させた鋼板などが使用されている。

最近では、GA 鋼板自体の表面をナノ・スケールレベルで改質・制御した潤滑特性に優れた GA 鋼板の製造技術が開発され、亜鉛めっきの表面を改質してナノレベルの厚さの表面改質層を形成し、プレス金型との凝着を抑制することで、優れたプレス成形性が実現されている。

注

本稿は、これまで報告してきた松尾宗次、黒田光太郎：第2回国際シンポジウム発表論文(pp. 23-24)および黒田光太郎、松尾宗次：第3回国際シンポジウム発表論文(pp. 57-60)における論考の敷衍を目指したものである。

参考文献

1) 参議院運輸委員会議事録、第36号(1952年7月26日)

- 2) 柿坪精吾：「小型・軽自動車三十年野歩み」、全国軽自動車協会連合会、1979年。
- 3) 日本鉄鋼協会会誌「鉄と鋼」、32(1946)、No. 4-6、pp. 1-14.
- 4) 吉田清太：塑性と加工、11(1970)、No. 109、81.
- 5) 鉄鋼基礎共同研究会・再結晶部会報告書：「鉄鋼薄板の再結晶及び集合組織」2分冊、日本鉄鋼協会、1975.
- 6) 清水峯男、河原田実、柴田政明：特許公報、特公昭 42-12348、1967.
- 7) 阿部光延：『薄鋼板製造技術』、日本鉄鋼協会、2000、p. 132.
- 8) B. I. Edelson and W. M. Baldwin, Jr, Trans. ASM. 55(1962)、230.
- 9) V. F. Zackay, E. R. Parker, D. Fahr and R. Bush, Trans. ASM. 60(1967)、252.
- 10) JIS G3302, JIS G3317, JIS G3321

(2008年9月30日原稿受理、2008年11月15日採用決定)