

## 自動車用鋼板の開発と将来

## Development and Future of Automobile Steel Sheets

秋 末 治<sup>\*(1)</sup> 羽 田 隆 司<sup>\*(2)</sup>  
Osamu AKISUE Takashi HADA

## 抄 録

深絞り用冷間圧延鋼板、高強度鋼板、表面処理鋼板を中心にして、自動車用鋼板開発40年の歴史を振り返ると共に、今後の自動車用鋼板の開発方向を展望した。今後の自動車を取り巻く環境を、国際化と競争、安全性の確保、車のリサイクル、地球環境の保全ととらえると、今こそ自動車用鋼板の開発方向に検討を加え、新しい自動車用鋼板の製造体系を再構築していかねばならない時であると言えるであろう。自動車用鋼板の製造体系を再構築していく視点として、適正な機能と価格のバランスを保つことと、国際的には汎用性のある鋼板に統合、再整理していくことが必要である。又、自動車用鋼板にリサイクル性を持たせようとする、鋼板の成分系と製造条件を根本的に見直すことから始めなければならない。このためには、自動車産業と鉄鋼業とが、最終目標に向けて共同で検討を推進していくことが是非とも必要である。

## Abstract

The history of development of steel sheets for automobiles was traced back through forty years with regard to mainly deep-drawing cold-rolled steel sheets, high strength steel sheets, and surface treated steel sheets, and a future direction of development of the automobile steel sheets was surveyed. When taking into consideration the future surroundings around the automobile such as its internationalization and competition, security of extra safety, its recycling, and preservation of the earth environment, it is the time now that the development direction of the automobile steel sheets must be reviewed thoroughly and hereafter continuously reconstructed a new manufacturing system for new automobile steel sheets. As a viewpoint for which, it is necessary to balance appropriate functions of a steel sheet with its costs, and to integrate and rearrange the steel sheets for an internationally wide use. With regard to imparting a recycling capability to the automobile steel sheets, it should fundamentally reconsider the steel composition systems and steel manufacturing conditions from the starting point. To achieve this, both iron and steel industry and automobile industry must harmoniously cooperate by all means to push a joint study for the final goal.

## は じ め に

日本における自動車用鋼板開発の40年の歴史を振り返ると、それ常に自動車産業と鉄鋼業との協調発展の歩みであったといえる。鋼業にとっては、その時代々々の社会的背景を反映させながら、自動車産業から要請される高性能で高品位な鋼板の開発と、大量安生産に取り組んできた40年であった。そして、自動車産業と鉄鋼との関係において特筆すべきことは、開発した鋼板を自動車に問なく適用するために各種の共同研究会などがもたれて、その両者の積極的な活動を通じて多くの成果をあげる努力が払われてきたとである。

今後の自動車用鋼板の開発は、自動車の衝突安全性の確保と、燃規制への対応や、自動車のリサイクル問題の解決などを念頭におながら進められることになる。自動車用の素材としての鋼板の重性は従来と何ら変わらないが、今後の社会的要請に合致する鉄鋼

材料の新しい特性を引き出していくことが必要である。以下に自動車用鋼板開発の歴史を顧みつつ、今後の展望を述べてみたい。

## 2. 主要鉄鋼製造技術の変遷

自動車と鉄鋼の生産量及び主要鉄鋼製造技術の推移を図1に示す。戦後の経済再建と復興期の自動車産業においては、乗用車の技術導入と国産化が進められた。鉄鋼業では、圧延設備と薄板製造技術の導入が行われ、低炭素アルミキルド鋼による深絞り用鋼板の製造ができるようになった。

1950年代の後半から1960年代の前半になると、自動車産業は量産態勢の確立を図り、設備の近代化による生産の合理化を追求するようになってきた。一方、鉄鋼業では、新日本製鐵の名古屋製鐵所や君津製鐵所の例に見られるように新鋭製鉄所の建設が始まり、自動車の量産態勢を支援する鉄鋼製造設備の充実が図られた。鉄鋼の技術面では、純酸素転炉、真空脱ガス炉、オープンコイル焼鈍炉、ス

<sup>1)</sup> 技術開発本部 フェロー 理博

<sup>\*(2)</sup> 技術開発本部 参与 工博 (現 大同鋼板㈱ 常務取締役)

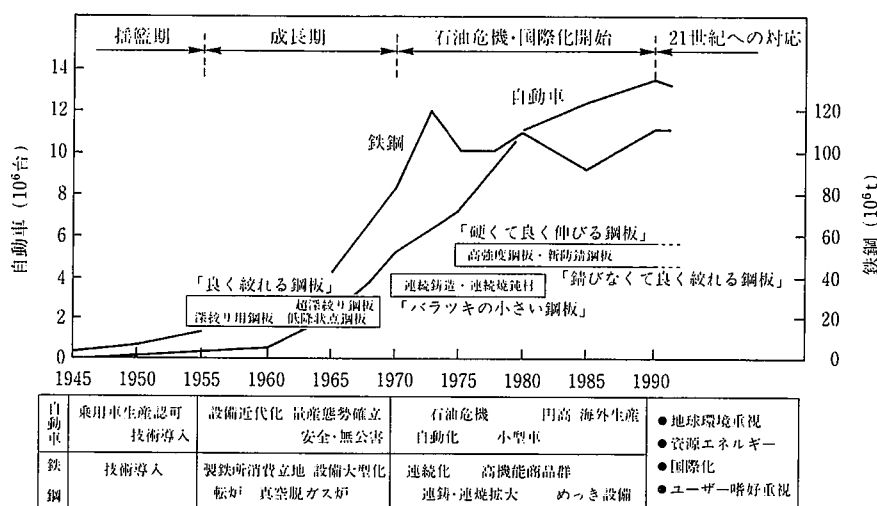


図 1 主要鉄鋼製造技術の変遷

ラ用連続鋳造機など、その後の鉄鋼技術の中心となる重要な設備がこの時期に多数設置され稼働を開始した。鉄鋼業ではこれらの設備を駆使して、深絞り用鋼板、低降伏点鋼板、超深絞り用鋼板など、高性能で高品質な鋼板を次々に開発して高度化するニーズに対応してきた。

次は1970年ころからの石油危機の発生と国際化の開始時期である。石油危機は自動車産業にも大きな衝撃を与えたが、それを克服するための生産技術の革新が一段と進み、日本は世界一の自動車生産国になった。鉄鋼業ではニーズの多様化の時代を迎え新商品の開発に努めた。鉄鋼製造技術として、高品位鋼の連続鋳造、6段圧延機による形状制御、連続焼鈍、広幅電気めっき製造などの技術が開発され、これらを用いて量産鋼板、高強度鋼板、防錆鋼板などが開発、製造されるようになった。

1985年以降の現在は、安定成長期の到来による需要構造の定着化、国際的な競争と提携、海外生産の展開の時代であり、更に、地球規模の環境保全の時代であるといえる。21世紀に向けての多くの課題がある中で、今後の自動車用鋼板の姿を深絞り用冷延圧延（以下、冷延と記す）鋼板、高強度鋼板、表面処理鋼板を例にして以下に考えてみたい。

### 3. 深絞り用冷延鋼板と超深絞り用冷延鋼板

まず、深絞り用冷延鋼板について述べる。低炭素アルミキルド鋼による深絞り用(DDQ: deep drawing quality)鋼板の製造は1950年代の後半に国産化され、その後自動車に多量に使用されてきた。この鋼板の深絞り性は、箱焼鈍中に析出する窒化アルミ( $\text{AlN}$ )が深絞り性にとって好ましい再結晶集合組織を発達させることによって得られる。又、この鋼板は箱焼鈍の均熱後徐冷されるので非時効性鋼板となる。

この鋼板は従来の連続焼鈍法では製造できなかった。しかし、均熱焼鈍後急冷し、その後再加熱してから、過時効処理を行う新しい連続焼鈍の熱サイクルを採用することによって、その製造<sup>1,2,3)</sup>は可能になった。その連続焼鈍の熱サイクルを図2に示し、表1に鋼板の化学成分と機械的性質の例を示す。図3に一次冷却終点温度と時効指数(AI: aging index)及び焼付け硬化(BH: bake-hardening)量との関係を示す。この連続焼鈍法によると、一次冷却終点温度を選択す

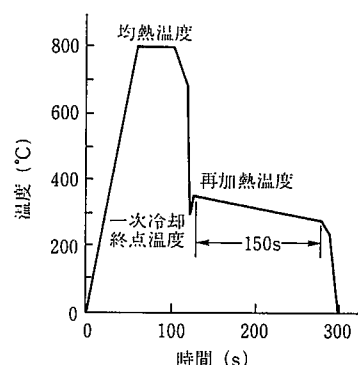


図 2 非時効性アルミキルド鋼板製造用の連続焼鈍熱サイクル

表 1 連続焼鈍によるアルミキルド深絞り用冷延鋼板の化学成分と機械的性質

| 化 学 成 分 (質量%) |      |       |       |        |        |      | 機 械 的 性 質 |           |             |            |
|---------------|------|-------|-------|--------|--------|------|-----------|-----------|-------------|------------|
| C             | Mn   | P     | S     | Sol Al | N      | r 値  | 全伸び (%)   | 降伏点 (MPa) | 引張り強度 (MPa) | 時効指数 (MPa) |
| 0.018         | 0.15 | 0.012 | 0.013 | 0.074  | 0.0020 | 1.73 | 46        | 167       | 310.7       | 26         |

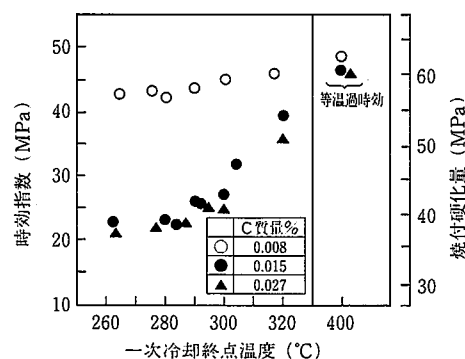


図 3 アルミキルド深絞り用冷延鋼板の時効指数（相当する焼付け硬化量）に及ぼす炭素量及び連続焼鈍の一次冷却終点温度の影響

ることによって非時効性鋼板 ( $\text{AI} \leq 30 \text{ MPa}$ ) を製造することもできるし、BH鋼板を製造することもできる。

低炭素アルミキルド鋼を用いたこの深絞り用鋼板では、約0.02質

量%の炭素を含有しているため溶接強度や疲労強度を高くすることができ、又、BH特性を保有させることもできるので自動車の軽量化用材料として有用である。更に、Ti等の特殊元素を使用していないので、自動車のリサイクルを推進する上でも有用な材料といえる。このような将来ニーズに合致する機能を持つ材料を製造技術と使用技術の両面から、更に発展させていくことが、今後の自動車用鋼板開発の一つの方向となるであろう。

次に、超深絞り用冷延鋼板について述べる。真空脱ガス技術の進歩によって極低炭素鋼板が容易に得られるようになってきた。図4に鋼中炭素量の時代推移を示す。この極低炭素鋼にTiやNbを添加することと、連続焼鈍の高温焼鈍を活用することにより、超深絞り用鋼板(EDDQ: extra deep drawing quality)の製造が可能になった。この鋼板は図5にも示すように、約2.0の $\bar{r}$ 値を持つ極めて深絞り特性の優れた鋼板である。最近では、真空脱ガス処理技術の進歩によって、約20質量ppmの炭素を含有する極低炭素鋼板が得られるようになり、 $\bar{r}$ 値が約2.5と極めて高い超成形性鋼板(Super EDDQ: super extra deep drawing quality)と言われる鋼板<sup>4,5)</sup>も製造されるようになってきた。

鋼板の深絞り性は鋼の高純度化とともに向上してきたが、更に深絞り性を向上させることが今後できるであろうか。図5中に研究開発目標として記載してあるような $\bar{r}$ 値が3.0以上で全伸びが60%以上の鋼板の製造は可能なのだろうか。現在行っている研究内容を以下に紹介する。

鋼板の $\bar{r}$ 値を最も高くする再結晶集合組織方位は板面と平行に{111}面を発達させることである。そこで高純度な電析析出(電析)

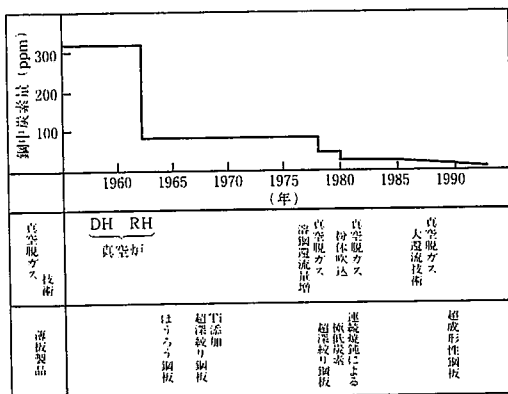


図4 極低炭素化技術と鋼中炭素量の推移

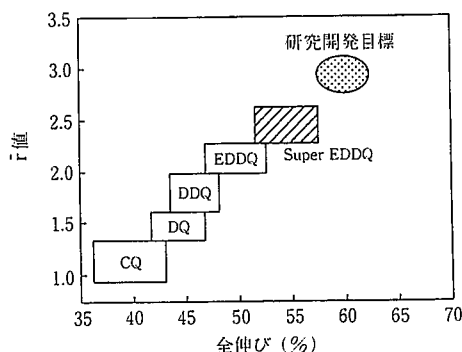


図5 冷延鋼板のグレード(CQ:一般加工用, DQ:絞り用, DDQ:深絞り用, EDDQ:超深絞り用, Super EDDQ:超成形性)と機械的性質

鉄を用いて{111}<110>方位の極めて発達した鉄板を試作<sup>6)</sup>した。その{100}極点図を図6に示す。又、表2にはその電析鉄の化学成分と機械的性質を示す。この電析鉄では2.8の $\bar{r}$ 値と57%の全伸びが得られている。従って、図5に示す $\bar{r}$ 値と伸びの研究開発目標<sup>7)</sup>も、あながち実現性のない目標値であるとはいえない。鋼の高純度化技術は今後も一層進歩して、2000年には炭素量が4質量ppm程度の超極低炭素鋼板<sup>8)</sup>が工業的に得られるであろうとの予測もある。このような究極の深絞り加工性を備えた鋼板も、今後の自動車用鋼板の一角を占めることは、間違いのないところであろう。

#### 4. 高強度鋼板

自動車用の高強度鋼板の開発に着手し始めたのは1970年ころである。それは安全自動車用の高強度鋼板であった。その高強度鋼板の使用目的は、衝突エネルギーの吸収であったので鋼板の高い加工性は必要でなかった。従って、TiやNb系の析出強化鋼板とSi, Mn系の固溶体強化鋼板で対応をしていた。

その後、第一次石油危機の発生した1973年以降になると、車体の軽量化を目的として、高強度鋼板の車体への適用を推進することが必要となってきた。今度は、適用対象部品が成形の難しいパネルや足廻り部品であるために、成形性の優れた高強度鋼板を開発していく必要があった。この課題を解決するのに、当時ちょうど開発されたばかりの連続焼鈍技術が活用され、 $\bar{r}$ 値と降伏比のバランスの良いりん添加アルミキルド高強度鋼板、焼付け硬化性能をもつBH高強度鋼板、 $\bar{r}$ 値の高いIF(interstitial free)高強度鋼板などが開発されたのである。これらのパネル用高強度鋼板の機械的性質の特徴を図7に示す。その後これらの鋼板は、1978年の第二次石油危機を契機として量産自動車に使用され始めた。一方、メンバー類や足廻り用の鋼板として、引張り強さが500MPaから600MPa級の複合組織鋼板が開発された。これはフェライトとマルテンサイトからなるもので、降伏点が低く、伸びの大きな高加工性鋼板である。又、形

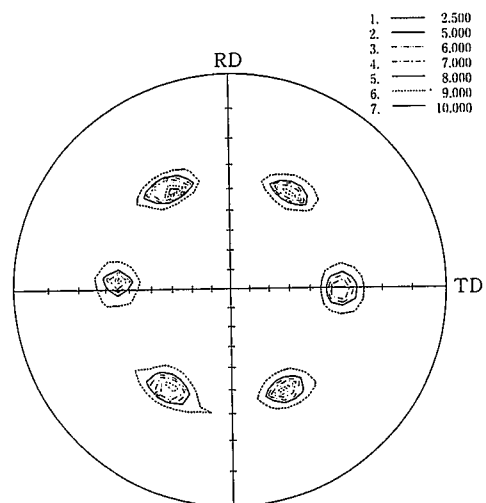


図6 電析純鉄板の再結晶集合組織,{100}極点図

表2 電析純鉄板の化学成分と機械的性質

| 化学成分 (質量 ppm) |    |    |   |   |    |   |    |     | 機 械 的 性 質      |                |                |
|---------------|----|----|---|---|----|---|----|-----|----------------|----------------|----------------|
| C             | Mn | Si | P | S | Al | N | O  |     | r 値            |                |                |
|               |    |    |   |   |    |   |    |     | r <sub>L</sub> | r <sub>c</sub> | r <sub>D</sub> |
| 8             | 1  | 1  | 1 | 6 | 2  | 2 | 10 | 2.8 | 2.7            | 2.9            | 2.8            |
|               |    |    |   |   |    |   |    |     | 全伸び (%)        |                |                |
|               |    |    |   |   |    |   |    |     | 57             |                |                |
|               |    |    |   |   |    |   |    |     | 降伏点 (MPa)      |                |                |
|               |    |    |   |   |    |   |    |     | 127            |                |                |
|               |    |    |   |   |    |   |    |     | 引張り強度 (MPa)    |                |                |
|               |    |    |   |   |    |   |    |     | 245            |                |                |

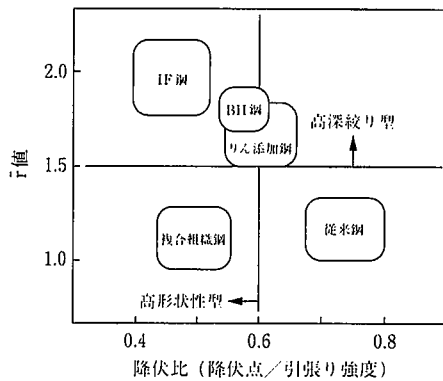


図7 パネル用高強度鋼板の機械的性質の特徴

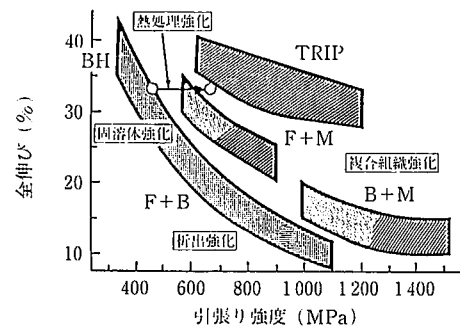


図9 自動車用高強度鋼板における強化機構と強度・全伸びバランスとの関係（F：フェライト、B：ベイナイト、M：マルテンサイト、BH：bake hardening、焼付硬化、TRIP：transformation induced plasticity、変態誘起塑性）

状の複雑なサスペンション部品には、炭化物や硫化物の形態を制御して、バーリング加工性を高めた熱延高強度鋼板が使用されるようになった。

更に最近では、超軽量車用高強度鋼板<sup>9)</sup>として、変態誘起塑性を活用した高残留オーステナイト鋼板<sup>10)</sup>や、大きな熱処理強化能を用いた銅添加鋼板<sup>11)</sup>などの開発が進められている。いずれの鋼板も、600MPa級以上の強度で、400MPa級の加工性を有していることが特徴である。図8に高残留オーステナイト鋼板の強度と伸びの関係を示す。又、ドア・インパクト・ビーム用として1200MPa級の鋼板も開発されその実用化が広がりつつある。

以上述べたように、自動車の用途に合わせて各種の高強度鋼板を開発してきた。図9に強化機構の分類と強度・全伸びのバランスとの関係を示す。今後の自動車には、地球環境保全や安全性の確保の観点から、従来以上に高強度鋼板を使用するようになるであろう。各種の高強度鋼板の中で今後の発展を期待したいのが、強度と加工性が共に高い高残留オーステナイト鋼板である。今後この鋼板の使用部品は徐々に増えていくであろう。

自動車を取り巻く今後の重要な視点の一つとして、自動車のリサイクル性の問題がある。従来の高強度鋼板には各種の強化元素を使用してきた。それらの強化元素を鋼板のリサイクル性の観点で再評価して、リサイクル性の高い高強度鋼板の製造体系を今後構築していくことが必要である。この場合には、鋼板の製造技術と加工使用技術を鉄鋼業と自動車産業が一体となりながら、検討を推進していくことが是非とも必要である。

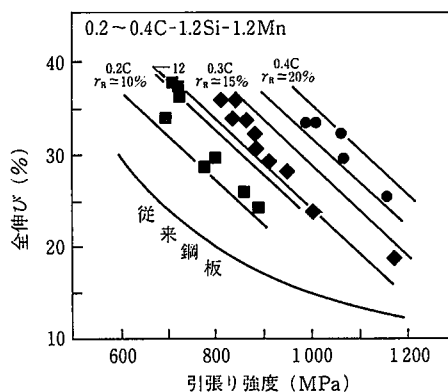


図8 残留オーステナイト鋼板の引張り強度と全伸びバランスに及ぼす残留オーステナイト量の影響

## 5. 表面処理鋼板

自動車に使用される表面処理鋼板には車体用防錆鋼板、排気系統などに使用されるアルミめっき鋼板、及び燃料タンクに使用されるターンシートなどがある。ここでは、多くの技術的な内容を有し、かつ数量的にも大きな伸びを示してきた車体用防錆鋼板を取り上げ、その変遷と多様化の技術的背景及び今後の課題について述べる。

我が国における自動車の生産台数と車体用防錆鋼板の出荷量推移を図10に示す。防錆鋼板の要求は、寒冷地域における融雪塩の大量使用による鋼板腐食の防止と、2度にわたる石油危機によって、引き起こされた車体軽量化の必要性によって、ますます強くなっていった。防錆能強化の必要性和国内の自動車生産台数の伸びによって、1980年代の前半から、品種の多様化を伴いつつ防錆鋼板の生産量は、順調な伸びを示してきた。しかし、1991年からは深刻な構造不況の影響をうけて防錆鋼板の需要が大幅に減少し、その生産量も減少せざるを得ない状況になってきた。

我が国における車体用防錆鋼板の変遷を図11に示す<sup>12)</sup>。国内における防錆鋼板は片面研削合金化溶融亜鉛めっき（以下、合金化亜鉛溶融めっきはGAと略称する）の使用に始まる。この系列の鋼板は、車体外面の防錆を強化するために、両面めっきの2層Zn-Fe合金電気めっき鋼板に代わる。そして、更に、耐孔あき腐食性能を向上させるために厚めっきが可能な2層GAへと発展する。一方、米国で開発された塗装系鋼板であるジंकロメタルは、耐食性、加工性、溶接性を向上させるための改善が逐次図られ、Zn-Ni合金電気めっき

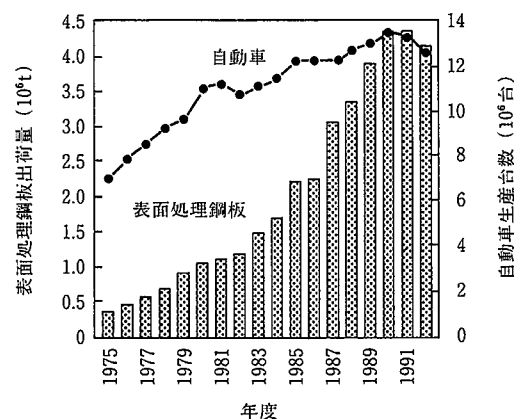


図10 自動車生産台数と表面処理鋼板出荷量

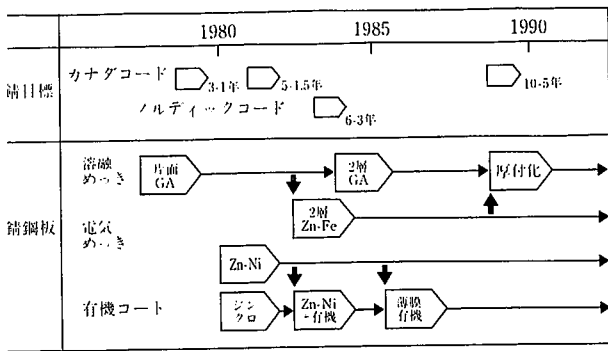


図 11 防錆鋼板の推移

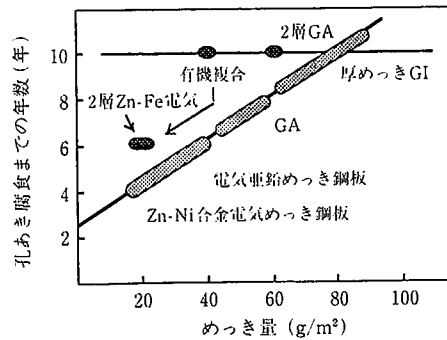


図 12 各種鋼板の耐孔あき性能と開発の方向

上に、極く薄く有機皮膜処理を施した薄膜有機複合鋼板へと発展した。いずれも自動車メーカーと鉄鋼業が協力しつつ開発してきたので、新日本製鐵も大きな貢献を果たしてきた。

選択される車体用防錆鋼板の種類は自動車メーカーの防錆思想によって大きく変わる。現在、上記の2層GA鋼板と薄膜有機複合鋼が存在するのはこのためである。いずれの鋼板も、現在の防錆目である耐穴あき10年、耐表面錆5年を十分満たしていると言われている。図12に各種防錆鋼板の耐穴あき性能の一例を示す。性能はつき種によらず厚みに依存するが、2層化あるいは有機皮膜の存によって性能は向上する。

防錆鋼板の開発にとっては防錆性能の他、溶接性、塗装性などの用特性と、表面きずや塗装仕上がりなどの品質特性を向上させるとも重要であるが、防錆技術と母材鋼板との関係に十分な配慮をしながら開発を進めることが重要である。すなわち、表面処理を電めっきで行うか、溶融めっきで行うかによって、使用される超成性鋼板や高強度鋼板などの鋼種が異なる場合があるからである。れまでも需要家の要求を十分に満たすように、鋼板の選択と表面理との関係に総合的な技術検討が常に加えられてきた。

日本の自動車業界独自の要求を満たしながら発展してきた防錆鋼も、1980年代後半の日系トランスプラントによる車の海外生産化、その国際的なはん用性が問われ始めた。又、日本の自動車産業鉄鋼業においてその再構築が進められている昨今、防錆鋼板の多性に対して疑問が持たれるようになってきた。今後はこれらのとを考慮に入れながら、表面処理鋼板の開発に取り組んでいくが必要である。

## おわりに

深絞り用鋼板、高強度鋼板、表面処理鋼板、自動車用鋼板開発40の歴史を振り返ると共に、今後の自動車用鋼板開発の方向を展望した。今後の自動車を取り巻く環境を、国際化と競合、安全性の確

保、車のリサイクル性、地球環境の保全ととらえると、今こそ自動車用鋼板の開発方向に検討を加え、新しい自動車用鋼板の製造体系を再構築していかなければならない時と言えるであろう。自動車用鋼板の製造体系を再構築していく視点として、適正な機能と価格のバランスを保ちつつ、国際的なはん用性のある本来に必要な鋼板に統合をしていくことが必要である。又、自動車用鋼板にリサイクル性を持たせようとする、鋼板の成分系と製造条件を根本的に見直すことから始めなければならない。このためには、自動車産業と鉄鋼業とが最終目標に向けて、共同で検討を推進していくことが是非とも必要である。

## 参考文献

- 1) Ushioda, K., Akisue, O., Koyama, K., Hayashida, K.: Developments in the Annealing of Sheet Steels. MMMS, 261 (1992)
- 2) 林田輝樹, 織田昌彦, 山田輝昭, 佐野裕司, 河合謙二, 佐藤泰生, 大瀧康長: 材料とプロセス. 5(6), 834 (1992)
- 3) 酒井 司, 佐藤泰生, 大瀧康長, 織田昌彦, 山田輝昭, 林田輝樹: 材料とプロセス. 5(6), 835 (1992)
- 4) Akisue, O., Yamada, T., Takechi, H.: Int. J. of Vehicle Design. B79 (1986)
- 5) Itami, A., Koyama, K., Ishii, Y., Katayama, T., Ujihara, S.: SAE Technical Paper Series. 930783
- 6) 潮田浩作, 吉永直樹, 秋末 治, 安彦謙次: 日本金属学会秋期大会講演概要. 104 (1992)
- 7) 秋末 治: 日本金属学会会報, までりあ. 33(1), 51 (1994)
- 8) 省部 実: 第143・144回西山記念技術講座. 日本鉄鋼協会, 1 (1992)
- 9) 秋末 治, 白田松男: 新日鉄技報. (347), 11 (1992)
- 10) Matsumura, O., Sakuma, Y., Takechi, H.: Trans. Iron Steel Inst. Jpn. 27, 570 (1990)
- 11) Kishida, K., Oda, M., Ikenaga, N., Takita, M., Akisue, O.: SAE Technical Paper Series. 900735
- 12) Hada, T.: Proc. Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH). Tokyo, Iron Steel Inst. Jpn., 111 (1989)