

# 今後の輸送機器用薄鋼板に 求められるメタラジー

橋本 修\*

Osamu HASHIMOTO

Metallurgy on Steel Sheets for Future Vehicles

## 1 緒言

社会動向に関して、まず最初に鉄鋼界報<sup>1)</sup>に示された「日本における生活大画像」の課題の中から、輸送機関連材料と関係の深いものを抽出検討し、「21世紀が要求するテーマ」として図1に示す。これによると①労働時間の短縮にはメンテナンスフリー化を推進させる必要があり、輸送機関連材料としては、耐久性に優れたものが要求されることになる。また②環境調和型ライフスタイルのために、省資源エネルギーが必要となり、材料のリサイクルや輸送機器の軽量化を進めなければならない。さらに③生活の安全のためには、排気ガスによる大気汚染を防止する必要があり、輸送機器の軽量化とともに排ガスの浄化あるいは、排ガスの出ない輸送機器 (ZEV) とする必要がある。ここでは地上輸送関連機器の代表である自動車を中心に図1に示した21世紀の要求テーマを満足させる薄鋼板材料として、i) 軽量化用材料、ii) 高耐久性材料、iii) 排ガス浄化用材料をとりあげ、その要求特性を満たすために製造上必要となるメタラジーについて概説する。

社会動向

対応方法

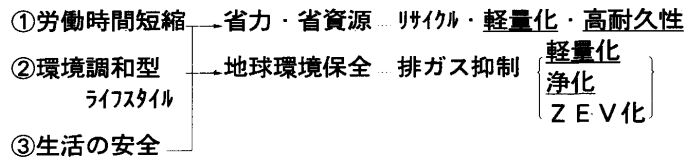


図1 21世紀が要求する主なテーマ

## 2 自動車用普通鋼板製造方法の動向と問題点

自動車を構成している鉄鋼材料のほとんどはエンジンと駆動系を除けば、薄鋼板であり、薄鋼板はその製造プロセスの違いにより、熱延鋼板と冷延 (含む表面処理) 鋼板に大別される。ここでは問題の多い冷延鋼板について記述する。鋼板の製造プロセスの前工程については、インゴット→分塊圧延プロセスをとっているメーカーは最近では著しく減少してきている。しかし、下工程の箱型焼鈍炉 (BAF) から連続焼鈍ライン (CAL) 化への変化は現時点ではまだ少ない。今後は効率的なCAL方式への移行が進んでいくも

のと思われる。ところで自動車用鋼板の高耐久性化は軽量化のための高強度化以上に進行してきており<sup>2)</sup>、電気Znめっきライン (EGL) による複合めっき鋼板の使用率も高くなっている。この製品については、めっき前の焼鈍法がBAFであってもCALであっても製品の品質レベルや処理時間の長さ等の問題を除けば、金属学上とくに大きな問題となる差異はない。ただし、連続溶融Znめっきライン (CGL) によるZnめっき鋼板については、BAFの場合CGLで再焼鈍することになるために、人手、エネルギー、納期等で無駄が多くなる。したがって、冷延ままの鋼板をいきなりCGLで焼鈍とめっきを行うプロセスが有効である。ところが、この方法で自動車用高張力鋼板を製造するのに三つの大きな問題がある。一つはCGL自体が連続焼鈍法であり、従来BAF法で製造していたのと同じ組成の素材を用いてはBAF材並の特性、とくに加工性と非時効性、を得ることができないという問題である。他の一つの問題はCGLには過時効帯がないので、まずそれを設置し、かつCAL用に適した低炭素鋼を用いたとしても、従来のCAL通板材並以上の特性をCGL法では確保しにくい点である。もう一つの問題はCGL法ではEGL法以上に鋼中の合金元素がZnめっき性 (あるいは密着性) に、影響を及ぼしやすく、高張力化のための添加元素の量や種類の選択がむずかしい点である。したがって、

平成4年11月25日第29回金属関係六学協会東北支部連合シンポジウム「21世紀を支える鉄鋼材料の新しいメタラジー」にて一部発表

平成5年6月23日受付 平成5年9月10日受理 (Received on June 23, 1993; Accepted on Sep. 10, 1993) (依頼解説)

\*川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 (現:川鉄テクノリサーチ(株)技術支援センター 主席研究員 理事) (Iron & Steel Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp., now Technical Service Center, Kawasaki Steel Techno-Research Corporation, 1 Kawasaki-cho Chuo-ku Chiba 260)

Key words: high strength steel, weight reduction, steel sheet, stainless steel, automobile, manufacturing process, characteristic.

CGLにより高張力Znめっき鋼板を製造するには、過時効帯のないCALによる高加工性鋼板の製造技術が基礎技術として重要な位置を占めることになる。

### 3 軽量化用材料

自動車車体の軽量化を達成するために必要な鋼板特性を図2にまとめて示す。軽量化手段としては一体成形化と薄肉化があげられる。

#### 3.1 一体成形化

一体成形とは、図3に示すごとく、従来小部品でプレス成形してスポット溶接により大型部品に組立てていたものを、最初から大板をプレスして大型部品を成形する方法をいう。これにより、鋼板の重ね代を削減して軽量化を図ることができる。

より大型部品を一体成形するためには、より優れた加工性を有する鋼板が必要となる。プレス成形における加工性は、一般に絞り性と張り出し性により表すことができる。そして、絞り性はr値と、張り出し性は延性(伸び, EI)とよい関係を有している。すなわち、一体成形用鋼板は高いr値と高いEI値を有している必要がある。なお、一体成形方式として、素材歩留り向上や高品質化を主目的とした異種材料一体化方式が開発されており<sup>3)</sup>、この方式による軽量化も可能である。

延性に及ぼす金属学的因子は数多く存在し、その影響については学術的にまだ十分解明されていない。一般的には図4に示すごとく、鋼を高純度化することにより高延性化することができる。ただし、つぎに示す深絞り性をも同時に満足させるためには単に高純度化のみでは不可能である。

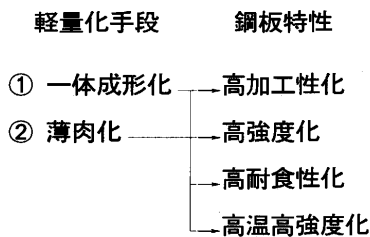


図2 車体軽量化を達成するための手段と鋼板特性

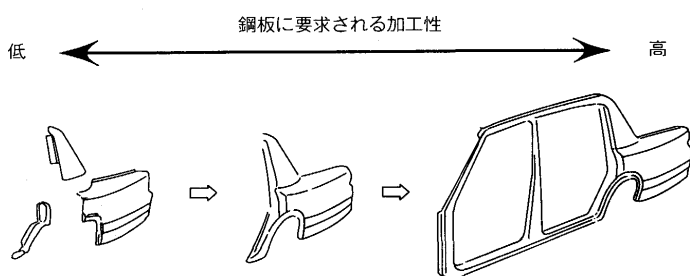


図3 自動車用部品の一体成形化の例

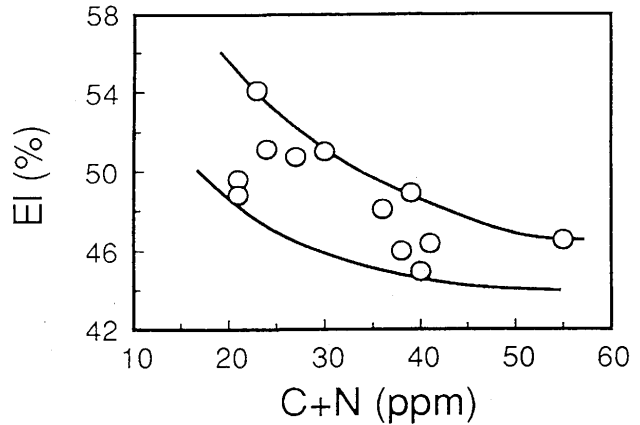


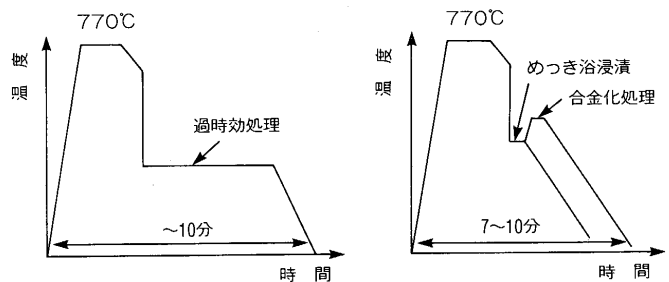
図4 不純物元素量の低減による延性の向上

絞り性に関して従来のBAF焼鈍法においては、冷間圧延後のAlキルド鋼の再結晶時期を鋼中のAlNの析出時期と同期化させることにより、高レベルの絞り性が得られていた。しかし、前述のごとく、CGLによる溶融Znめっき鋼板の需要拡大とともに、連続焼鈍法による高加工性鋼板を製造する必要性が増大してきた。図5にCGL焼鈍めっきにおける鋼板の代表的ヒートサイクルを、過時効処理付きのCALヒートサイクルの一例と比較して示す。CGLプロセスはいわゆる過時効帯のない連続焼鈍技術に属するものである。CGLにより優れた加工性を有する鋼板を製造するために、素材の鋼は従来の低炭素Alキルド鋼から極低炭素IF鋼へと変化した<sup>4)</sup>。IF鋼とはInterstitial Free Steelのことで、鋼中の固溶C, NをNb, Ti, VあるいはAl等により析出固定して、侵入型固溶原子を無くした鋼であり、過時効処理が不要である。図6にNb, Ti添加量とr値の関係を示すが<sup>5)</sup>、IF鋼化することによりr値を著しく向上させることができる。

#### 3.2 薄肉化

##### (1) 高加工性化と高強度化

鋼板の延性は板厚が厚いほど高くなるので、加工性を確保するために板厚を厚くせざるを得ない部品がある。したがって鋼板の加工性を図4や図6に示した方法でさらに向上させることができれば、板厚低減が可能となり、軽量化できる部品がある。



(a) CALヒートサイクル

(b) CGLヒートサイクル

図5 CALおよびCGLヒートサイクルの模式図

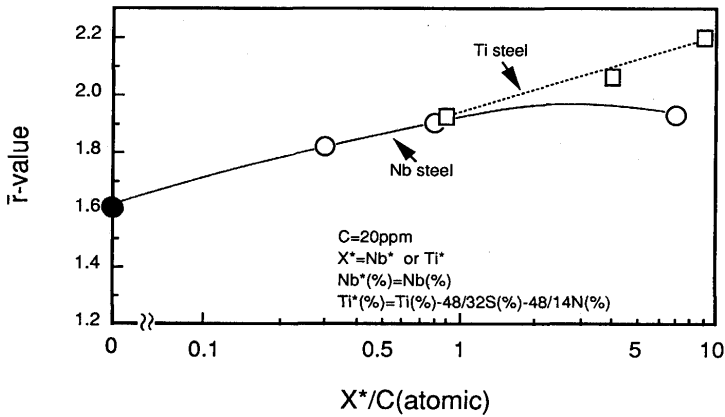


図6 IF化によるr値向上効果

さらに薄肉高強度化の今後の課題として、前述の理由により同一強度でより加工性の優れた鋼板や溶融Znめっき性の良い高加工性高強度鋼板が必要となる。とくに後者についていえば、TS $\geq$ 600MPaでしかも絞り加工性の優れたものとなると、SiやPの多量添加が必要となるが、そのためにめっき性や加工性が劣化するという問題があり、これらの性質を優れた状態で兼備させる研究開発が今後さらに必要となる。

つぎに塗装焼付硬化鋼について述べる。自動車車体はまず鋼板をプレス成形したのち、組立てて塗装され、その後焼付処理される。この焼付工程において、鋼板は約170℃まで加熱される。この点を利用して高強度化を図ることができ。この高強度化機構は、まず鋼板中に固溶状態で存在させて置いたCやN原子とプレス加工中に導入された転位とを焼付処理(170℃)により相互作用させる、いわゆる歪時効硬化である。低炭素Alキルド鋼のCALやCGL方法では、複雑な難加工性部品を十分成形しうるだけの延性や絞り性を確保することが困難である。そこで最近図7に示すようなNb添加超極低炭素IF鋼の連続焼鈍法により、目標特性を満足させる製造技術が開発された<sup>4)5)</sup>。この方法ではまず再

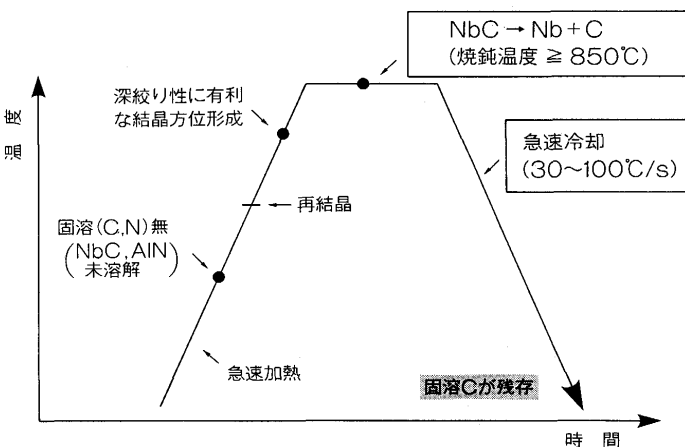
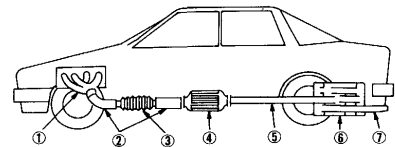


図7 過時効帯のない連続焼鈍におけるNb添加極低C鋼による高加工性とBH性付与方法

結晶完了近くまでは、固溶CはNbCの形で、固溶NはAlNの形で析出固定しておき、IF鋼として強い集積を有する{111}集合組織をまず形成させる。つぎに、鋼板温度をさらに上昇させ、 $\alpha + \gamma$ の二相温度域に保持することにより、{111}集合組織をより一層発達させる<sup>6)</sup>とともに、NbCを分解させてCを固溶状態にし、その後急冷することにより室温まで適量の固溶Cを残存させ目標とするBH (Bake-Hardening) 性を得ている。この鋼板を使用することにより、プレス前は軟質で加工し易く、車体として完成後は硬化して、対デント性などに十分な効果が発揮できることが知られている<sup>7)</sup>。

(2) 高温高強度化

図8に自動車の排気系装置の略図を示す<sup>8)</sup>。エンジンに一番近いところのエキゾーストマニホールドはステンレスパイプ化することにより薄肉化され、従来の铸铁製の、約30~50%の軽量化が可能であるとされている<sup>9)</sup>。ステンレスパイプ化により低熱容量化され、排ガスの浄化機能が早期に作用するので、排ガス規制へも対応できる大変有効な手段である。この部品材料は、加熱・冷却の繰り返し熱負荷を受けるので、オーステナイト系ステンレス鋼よりも熱膨張係数の小さいフェライト系ステンレス鋼が有利である。そこで、SUH409LやSUS430LXあるいはこれを基本成分系として高温強度向上への改善が試みられている。



①エキゾーストマニホールド	②フロントパイプ	③フレキシブルパイプ	④コンバータ	⑤センターパイプ	⑥マフラー	⑦テールパイプ
---------------	----------	------------	--------	----------	-------	---------

図8 自動車排気部品例

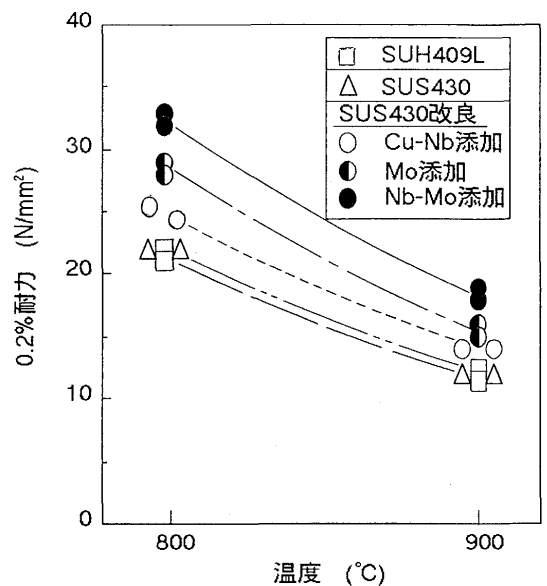


図9 各種ステンレス鋼の高温強度に及ぼす温度の影響

図9は、SUH409LやSUS430およびその改良鋼種における高温強度を示したもので、NbやMoの添加によって高温強度が向上する<sup>9)</sup>ことがわかる。高温強度の向上とともに高温疲労特性やクリープ強度も向上するとした報告もあり、その強化機構としてNbCやM<sub>6</sub>C炭化物、ラーベス相(Fe<sub>2</sub>Nb)等の微細析出効果およびNb等の固溶強化効果があげられている<sup>11)</sup>。

## 4 高耐久性材料

自動車の耐久性を向上させるべく、車体用に表面処理鋼板が多用され、車体の耐久性は向上したが<sup>3)</sup>、マフラー腐食の問題は最近まで残っていた。その上、排ガス浄化のために三元触媒が導入され、マフラー内の凝縮水組成の変化や温度の低下に伴うマフラーのさらなる腐食が顕在化してきた。さらに保証期間が延長されたこともあり、マフラー用材料は従来のAlめっき普通鋼や11~13%Crの低Cr鋼から、より耐食性の高い加工性の良いステンレス鋼へと変化しつつある。最近ではさらにステンレス鋼の種類も430J<sub>1</sub>L(19Cr-0.5Cu-0.5Nb)から、加工性、コスト、耐食性の点でより優れた436(17.5Cr-1Mo-Ti)へと変化してきている。マフラー内に生成する凝縮水はCl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>等のイオンを含むpH9.0前後の溶液である。この凝縮水の生成、濃縮、乾燥のサイクル中に材料の腐食反応が進行するもの

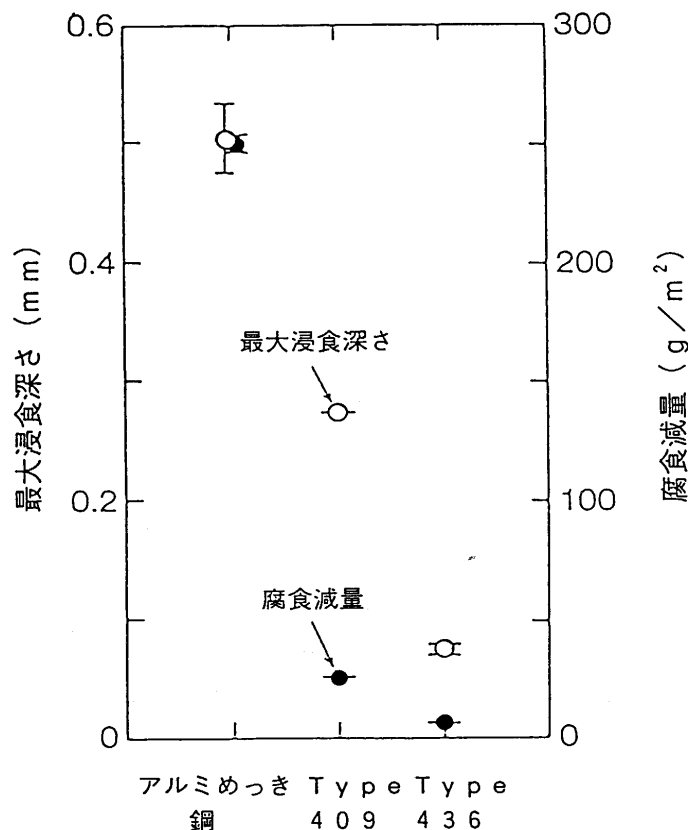


図10 凝縮水による耐食性比較

と考えられる。合成凝縮水中でのステンレス鋼の局部腐食性を電気化学的なアノード分極法により評価した結果によると、局部腐食の発生電位と局部腐食停止電位はCr、Mo添加によりともに貴に変化し、耐食性が向上するとされている<sup>12)</sup>。一例としてマフラー用材料の耐凝縮水腐食性を川鉄式試験<sup>13)</sup>(10サイクル)を用いて調査した結果を図10に示す。ここではMoを含有するタイプ436の耐食性がもっとも優れているがさらに耐食性の優れた材料としてAlめっきステンレス鋼も用いられている。ただし、これらの鋼種の市場における耐食性評価はまだ始まったばかりであり、今後さらなる検討が必要となるであろう。

## 5 排ガス浄化用材料

自動車排ガスに含まれるNO<sub>x</sub>、ハイドロカーボン、COなどの有害成分は触媒コンバーターにより無害化できる。この触媒担体には、ハニカム構造をしたセラミックが従来使用されてきた。しかしセラミックスは衝撃に弱く大型化できないなどの問題点がある。これに対して、数年前に開発された<sup>14)</sup>メタル担体触媒コンバーターは、REM(希土類元素)を添加したFe-20Cr-5Al合金の50μmの箔をハニカム状に巻き上げて作製されており、セラミックハニカムと比較して次のメリットがある。

- (i)メタルハニカムの壁の厚さはセラミックの壁厚150μm以上に対して50μmと薄くでき、排気抵抗が低くなりエンジン出力が増大する。
- (ii)排ガスの接触表面積がメタルの場合セラミックより45%も大きいため排ガス浄化効率が高くなり、コンバーターの小型軽量化が図れる。
- (iii)メタルは、振動や熱による衝撃に強く、エンジンにより近い位置に設置することができ、緩衝材も不要となり、二輪車にも適用できる。
- (iv)熱伝導率が高いため、ヒートスポットが発生しにくく、高温排ガスの二輪車に適應でき、また迅速に昇温し、触媒が早期に機能する。

以上の如くメタルハニカムは、そのメリットを十分に発揮すべく高温部分での使用が検討されている。その耐酸化性は1150℃大気中で100時間以上有することが要求されている。Fe-20Cr-5Al合金箔の耐酸化性は、表面に生成する保護性の高いAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜によって維持される。REM無添加鋼の場合1150℃で72時間の酸化により箔中のAlが消費され尽くしてしまい、その後は皮膜の保護性が維持できなくなって、箔全体が酸化物となるBreakawayと称する破壊的な酸化が起きる。さらに耐酸化性を高めるためにAlやCrの含有量を高めると非常に脆い材料となり、工業的に圧延箔が製造不可能となる。そこで、REMを添加することにより耐酸化性の向上を図っている。Fe-20Cr-5Al合金の50μm箔の耐酸化

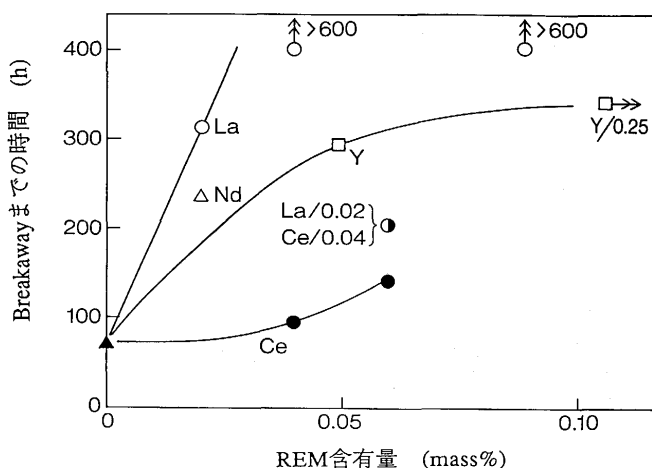


図11 20%Cr-5%Al鋼の耐酸化寿命に及ぼすREMの影響 (板厚50 $\mu$ m, 大気中1150 $^{\circ}$ C)

性に及ぼすREMの影響を図11に示す<sup>14)</sup>。耐酸化性向上効果が最も大きい元素はLaであり<sup>14)</sup>、逆に最も小さい元素はCeである。ミッシュメタルなどの形でLaと同時添加されてきたCeはLaの耐酸化性向上の効果を減少させてしまう<sup>15)</sup>。REMを添加したこの合金の50 $\mu$ m箔は、酸化によりAlが枯渇した後、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>皮膜と箔素地との界面にCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が生成する。La添加合金の場合は、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>生成後の寿命が延びることによってBreakawayまでの時間が延びる。従って、Laの添加は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の生成速度を減少させ、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の保護性を高める効果を有すると考えられる。

## 6 結言

今後の輸送関連機器に要求される①軽量化、②高耐久性および③排ガス浄化の観点から、これらに適した材料に関するメタラジーについて概説した。これら材料に要求され

る特性は、より優れた加工性を有すること、より高強度を有することおよび各種環境に対してより優れた耐酸化性あるいは耐食性を有することのほぼ3点に集約される。今後はこれら3特性を単独でなく、各特性についてより優れた状態でそれらを兼備した材料への要求が益々強くなるであろう。

## 文 献

- 1) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼界報, No.1567 (1992), p.2
- 2) 浅村 峻：鉄と鋼, 77 (1991), p.861
- 3) 池本公一, 杉浦宏明, 東 和男, 有馬幸一, 高砂俊之：塑性加工春季講演会, 5 (1990), p.441
- 4) O.Hashimoto, S.Satoh, T.Irie and N.Ohashi : Proc. of the Int. Conf. on Advances in Physical Metallurgy and Applications of Steel, (1984), p.95 [The Metals Society]
- 5) T.Irie, S.Satoh, A.Yasuda and O.Hashimoto : Development of Deep Drawable and Bake Hardenable High Strength Steel Sheet by Continuous Annealing of Extra Low-Carbon Steels with Nb or Ti, and P, Metallurgy of Continuous-Annealed Sheet Steel, ed. by B. L. Bramfitt and P. L. Mangonon, Jr., PA, (1982), p.55 [Trans. Metall. Soc. AIME, Warrendale]
- 6) 橋本 修, 佐藤 進, 田中智夫：鉄と鋼, 67 (1981), p.799
- 7) 林 豊, 岡本篤樹, 岩橋誠夫, 梅原有二：塑性と加工, 23(1982), p.1034
- 8) 富士川尚男, 高祖正忠, 宮原光雄, 時政勝行, 樋口賢次：住友金属, 41 (1989), p.215
- 9) 本間正幸：自動車技術, 43 (1989), p.55
- 10) 宮崎 淳, 宇城 工, 富樫房夫, 吉岡啓一：材料とプロセス, 4 (1991), p.886
- 11) 中村定幸, 宮桶克久, 植松美博：材料とプロセス, 4 (1991), p.1788
- 12) 佐藤栄次, 松橋 亮, 武藤 泉, 伊藤 叡, 安保秀雄：自動車技術会学術講演会前刷集, 901 (1990-5), p.225
- 13) 宇城 工, 北沢 真, 富樫房夫, 吉岡啓一：材料とプロセス, 4 (1991), p.1835
- 14) 川崎龍夫, 石井和秀, 清水 寛：自動車技術, 45 (1991), No.6
- 15) 清水 寛, 石井和秀, 蓮野貞夫, 吉岡啓一, 川崎龍夫：材料とプロセス, 4 (1991), p.1768