



騒音・振動制御用制振材料

© 1984 ISIJ

—金属材料を中心に—

佐々木 雄 貞*・遠 藤 紘*

Vibration-damping Materials

—With Emphasis on Metallic Materials—

Takesada SASAKI and Hiroshi ENDO

1. はじめに

環境公害としての騒音問題以外にも、機械などの低騒音化はそれだけでセールスポイントとなり、特に国際商品、たとえば、自動車、電気機械などの輸出競争力にも影響を与える。また、機械などの振動防止は低騒音化をもたらずばかりでなく、破壊に至る寿命を延ばしたり、工作機械での切削加工精度の向上や精密測定器の分解能向上といった面でも役立つはずである。

このように、騒音・振動に対する制御技術の確立は波及効果の大きい重要技術の一つと考えられ、これに対する機能材料としてできるだけ軽量で、かつ性能の高い制振材料の出現が要望されている。一方、騒音・振動制御技術としては吸音、遮音、剛性強化や振動絶縁といった各種対策も考えられ、減音・振動減衰効果が同等の場合には、コスト、信頼性、生産性といった点からより確実な選択がされることになるので開発上注意を要する。

近年、省エネルギー対策として機械の軽薄短小化が推進されているが、騒音・振動制御の点からすれば不利な面も多い。したがって、振動減衰による騒音低減のほか、完成品としての軽量化、コンパクト化あるいは工程簡素化などを狙うる制振性能の高い構造材料の開発要望が特に強い。

以上の背景から、構造部材として使用できる制振材料について、理論的な面というより工業材料としての視点から代表的な製品特性を述べ、新材料開発や実用化の参考に供したいと思う。

2. 騒音制御技術の動向と制振材料

騒音・振動制御用材料を機能的に分類すると、空気伝搬音防止の吸音材料と遮音材料、騒音の原因となる振動防止の制振材料と振動絶縁材料に整理される(表1)。これらの内、制振材料とは振動エネルギーを吸収して熱に変え散逸させる能力が大きいものを指し、固体音や固

体振動が問題となる場合に音源や振動源に使用して共振振幅、振動速度を減衰させる材料である。

現在の高度化された騒音制御技術の中にあつて注目されているのがエンクロージャ方式と制振材料適用の方式である。前者は、エンジン等の騒音源を吸音材料と遮音材料で遮蔽するので、冷却系の大形化、設置場所の確保、重量増などをきたし軽量化やコンパクト化といった技術動向に逆行するのに対し、後者は、発音部品を制振材料に交換するだけで減音効果が得られるなどメリットも大きい。なお、振動防止の原則は質量増、剛性強化、共振回避と振動減衰しかないだけに、軽薄短小の時代にあつて制振材料の重要性は高まる一方である。

制振材料が機能材料として定着化し得る要件を表2に、制振材料の種類と振動減衰機構および性能発揮の熱

表1 騒音・振動制御材料の分類

	騒音	振動(固体音)
エネルギー吸収 エネルギー反射	吸音材料 遮音材料	制振材料 振動絶縁材料

表2 制振材料の工業材料定着化のための要件

項目	材料開発側	材料利用側
基本性能 (制振性能)	損失係数、剛性の向上 ほかに実効温度範囲の拡大、 温度依存性・周波数依存性・ ひずみ振幅依存性の減少、複 合系での性能ピーク温度の最 適化と接着性向上	振動・騒音低減効果の評価 ほかに制振性能目標値の設定、 周波数分析、寄与率評価、振 動モード測定、加振条件・拘 束条件の影響は握、剛性強化 対策(リブ、ビード、溶接の 有無・位置)
加工・作業 性とコスト	機械加工性向上と安定供給 具体例:熱処理の不要化、切 削性、剪断・曲げ性、プレス 成形性、溶接性(接合性)、 化成処理性、塗装耐食性、複 合系での樹脂の塑性流動性低 減と接着性向上 工業可有権、低コスト連続製 造技術、リサイクル性	加工・作業性とコストの検 討 具体例:外觀形状と加工精度 プレス条件、溶接条件、熱処 理条件、作業時の無害性、対 費用効果比、共通使用性、副 次的効果、リサイクル性
信頼性 (性能寿命)	耐環境適合性の向上 具体例:耐老化性、耐熱・耐 寒性、サーマルショック性、 耐薬品性等、残留応力・附加 応力・外部磁場の影響、疲労 強度特性等、火災燃焼時の無 毒性	製品保証の確立 具体例:品質管理体制、検査 法、修理法、寿命

昭和 58 年 9 月 27 日受付 (Received Sep. 27, 1983) (依頼解説)

* 新日本製鉄(株)第二技術研究所 (R & D Laboratories-II, Nippon Steel Corp., 5-10-1 Fuchinobe Sagamihara 229)

表 3 制振材料の種類と振動減衰機構

名称	分類	実例 (組成%)	熱処理	振動減衰機構
合金系 ¹⁾ (制振合金)	複合型	鋳鉄 (3~3.5C, 2~2.5Si) Al-Zn (22Al-78Zn)	鋳放しまたはフェライト化焼鈍 250°C 水冷 150°C 水冷	鉄 (フェライト相) と黒鉛 (グラファイト) 界面での粘性流動 (または塑性流動) など
	強磁性型	高純度 Fe, 高純度 Ni, 12Cr 鋼 サイレントロイ (12Cr-2Al-86Fe) ジェントロイ (12Cr-2Al-3Mo-83Fe) NIVCO-10 (75.5Co-22Ni-2Ti-0.25Al)	900°C 炉冷 1000°C 炉冷 " "	磁区壁の非可逆移動にともなう磁気・機械的ヒステリシス
	転位型	高純度 Mg KIXI (Mg-0.6Zr) Mg-MgNi (Mg-5.8~19Ni)	鋳放し " "	転位が不純物原子による固着点から離脱するために生じるヒステリシス
	双晶型	ソノストン (54Mn-37Cu-4Al-3Fe-2Ni) インクラミュート I (40~48Mn-1.4~2.25Al- -残部 Cu) インクラミュート II (同上に 1.5~2.5Sn 添加) プロテウス (13~21Zn-2~8Al-残部 Cu) ニチノール (41 at% Ti-51 at% Ni) Cu-Al-Ni (13~14Al-4Ni-残部 Cu)	850°C 水冷 + 450°C 水冷 750°C 水冷 + 400°C 600~850°C 水冷 600~1000°C 水冷 750°C 水冷	熱弾性マルテンサイトにおける変態双晶境界, または母相とマルテンサイト相との境界の移動に関連するヒステリシス
結晶粒界腐食法 ²⁾	SUS 304 (18Cr-8Ni) の硫酸-硫酸銅水溶液による粒界腐食	(溶体化処理)→620°C→加工→ 腐食処理→洗浄	粒界腐食により生じたすきままでの粒界部分の摩擦減衰	
複合系	非拘束型	鋼板製品にダンピングシート (アスファルト-ゴム質-無機充填材) 接着	150°C で熱融着	ダンピングシートの伸び変形による粘弾性ヒステリシス
	拘束型	複合型制振鋼板 (鋼板間に粘弾性樹脂をサンドイッチ)	不必要	中間層にある樹脂のざり変形による粘弾性ヒステリシス

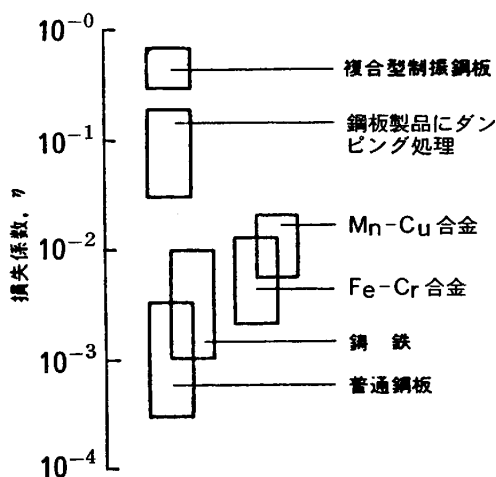
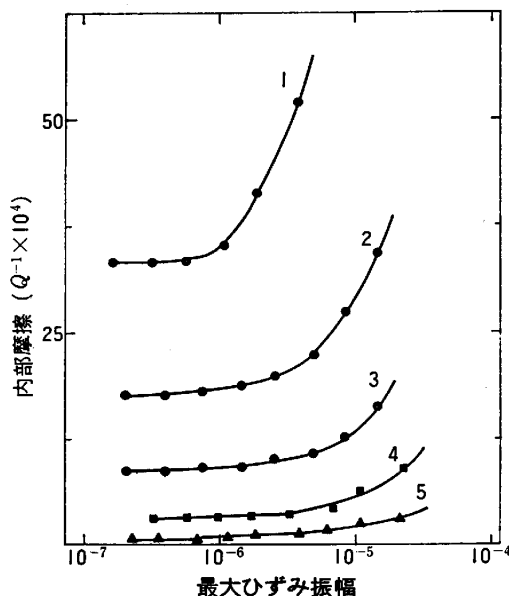


図 1 室温における各種材料の制振性能

処理条件を表 3 に示す。なお、新材料開発は、表 3 に示す機構を利用しながら、いかにして工業材料に仕上げていくかの知恵ということになる。

図 1 に代表的材料の室温での制振性能レベルを示す。性能表示量として内部摩擦と同意の損失係数 (Loss factor) η を使用しているが、これは振動減衰法、共振法や機械インピーダンス法³⁾により (ダンピングシートは複合状態で) 測定したものである。通常、 $\eta > 0.05$ のものを制振材料と称するが、これは構造部材として使用の多い鋼板自身の η は $10^{-3} \sim 10^{-4}$ にもかわらず、完成品の鋼板部品の η は 0.01 程度になることおよび対象部品の振動低下量 (dB) は η_0, η' を制振材料使用前後の損失係数とすると $\log_{10} \eta' / \eta_0$ に比例することなど



1: 片状黒鉛鋳鉄 (JIS FC10 級), 2: 片状黒鉛鋳鉄 (JIS FC15 級), 3: 片状黒鉛鋳鉄 (JIS FC25 級), 4: 球状黒鉛鋳鉄 (JIS FCD 45 級), 5: 低炭素鋼 (JIS S15C 級)

図 2 鋳鉄および低炭素鋼の内部摩擦のひずみ振幅依存性⁴⁾

による。

3. 合金系制振材料の特性

3.1 複合型制振合金⁴⁾

鋳鉄は低コスト、良好な鋳造性ともあいまつて、機械などの振動防止に古くから使用されている。図 2 に示すように、制振性能は高ひずみ領域でひずみ振幅依存性を

示す、片状黒鉛鑄鉄の方が性能が良いという特徴がある。片状黒鉛鑄鉄では、共晶成分付近で性能の急上昇があり、残留応力の関連で鑄放し状態の方が性能はよい。

なお、鑄鉄の制振性能を大きくするとヤング率が低下し、剛性が小さくなるという欠点がある (例: Zr 系鑄鉄のヤング率は $5000 \sim 6000 \text{ kgf/mm}^2$)⁴⁾。

3.2 強磁性型制振合金⁵⁾

Fe-Cr 合金は機械加工性にすぐれかつキュリー点以下で制振性能の温度依存性はほとんど認められないものの、僅少の加工でも性能が劣化し熱処理を必要とする難点がある。その他、制振性能はひずみ振幅依存性が大き

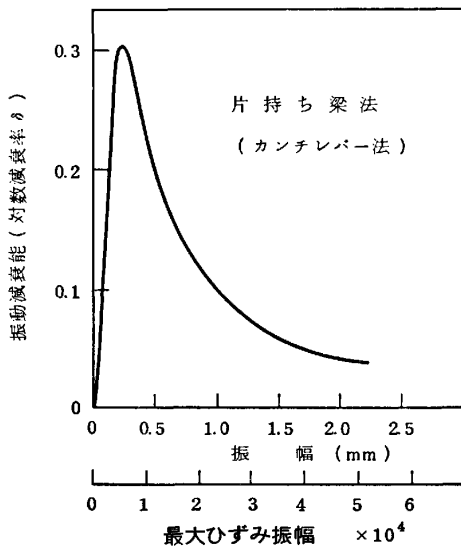


図 3 Fe-Cr-Al 合金の制振性能のひずみ振幅依存性⁵⁾

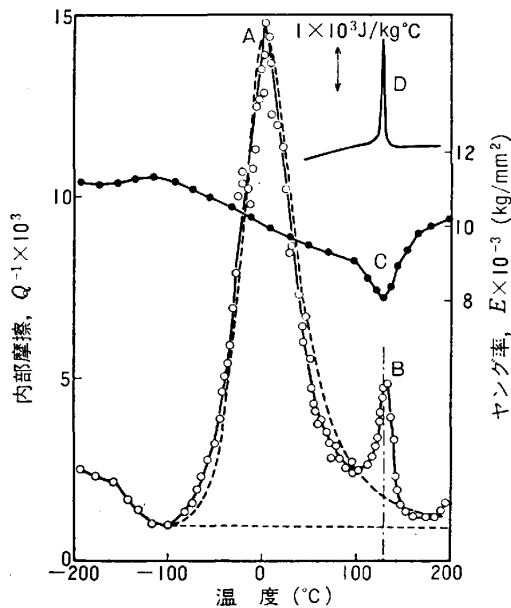


図 4 88%Mn-Cu 合金の内部摩擦ピーク (A および B)、ヤング率の変化 (C) および比熱の変化 (D)¹⁾

く (図 3, 損失係数=対数減衰率/ π), 磁場依存性 (40 Oe 以上で性能急減), 静的応力依存性 (約 2 kgf/mm^2 以上で性能劣化) も大きいので, これらを考慮した機械設計が必要である。

また、一般軟鋼の Si や Al キルド鋼をベースに改良を加えたものもあるが⁶⁾, 上述と類似の特徴を示す。

3.3 双晶型制振合金^{1)7)~8)}

Mn-Cu 合金のソノストン、インクラミュートが有名であるが、使用温度の制約 (図 4), 経時変化および塑性加工による性能劣化の問題がある⁷⁾⁸⁾。最近では、形状記憶効果および擬弾性が熱弾性型マルテンサイト変態とその逆変態に密接に関係することから、形状記憶合金としての研究・開発の方が盛んである (例: ニチノール⁹⁾)。

3.4 結晶粒界腐食による SUS 304²⁾

市販のステンレス鋼 SUS 304 (18Cr-8Ni) を溶体処理 (通常は省略)→鋭敏化熱処理→加工→腐食処理→洗浄の工程で処理するものである。Cr 炭化物相を析出させる 620°C の鋭敏化熱処理と硫酸-硫酸銅水溶液による $0.1 \sim 0.5 \text{ h}$ の腐食処理によりステンレス鋼表面層の結晶粒界にすきまを生じさせるもので、板、棒、管など素材形状による制約は少ないものの、処理槽の関係で大形品、長尺品への適用はむずかしくなる。

図 5 に制振性能と処理層深さ、ひずみ振幅との関係を示すが、実用的処理層深さは体積率 20% 程度と考えられるので、厚肉品への応用は不相当と考えられる。なお、使用温度が上昇するにつれ酸化皮膜の増大などにより制振性能は低下していく傾向にある。

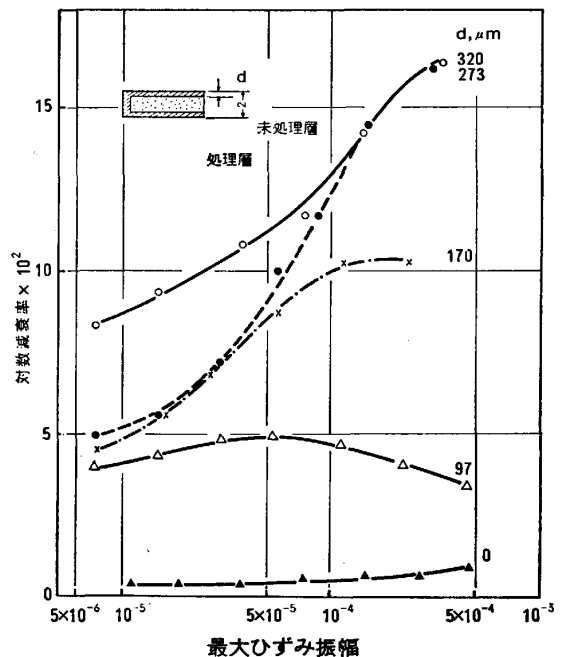


図 5 対数減衰率に対する処理層深さとひずみ振幅の影響²⁾

以上に述べた製品特性および表3から明らかなように、合金系制振材料は制振性能のひずみ振幅依存性の大きいことと性能発揮のため熱処理を必要とすることが一般的特徴であり、これが汎用的構造材料として使用上の障害となつている。また、熱処理の必要性は使用温度を限定することとなり、制振性能発揮の実効温度範囲は鋳鉄で 150°C 以下、Fe-Cr 合金で 380°C 以下、Mn-Cu 合金で 60°C 以下および粒界腐食による SUS 304 鋼で 150°C 以下である。

4. 複合系制振材料の特性

複合系制振材料は、金属の剛性と高分子の粘弾性挙動などを利用したものである。制振性能は、高分子のガラス状態からゴム状態への遷移温度域が関連するので、温度依存性、周波数依存性が大きくなりやすい。

4.1 ダンピングシート接着(ダンピング処理)¹⁰⁾

現在自動車工業などで広範囲に使用されているが(アンダフロアほか)、実効ある制振性能を確保するにはダンピングシート厚さを鋼板厚の数倍以上にする必要がある。これによる重量増が 4.5~9 kg/m² に及ぶ、しかも 40°C 以上で効果がなくなるとか熱熔融接着型なので水平姿勢以外の施工が困難・繁雑といった問題点をかかえている。

また、超合金にほうろう掛けをし、同一機構により 600°C 付近の高温で制振性能を發揮している例もある¹¹⁾。

4.2 複合型制振鋼板^{3)12)~17)}

2枚の鋼板の間に概略 0.02~0.5 mm 厚の熱可塑性樹脂をサンドイッチした構造で安定して高レベルの制振性能が得られるばかりでなく(実効温度範囲は 140°C 以下)、重量増加も 0.5 kg/m² 以下で機械などの軽量化技術に対しても有利な構造材料であり、各方面での実用化研究が盛んである。

図6, 7に制振鋼板の制振性能と温度, 周波数との関係を示す。常温用とは室温での使用を, 高温用とは自動

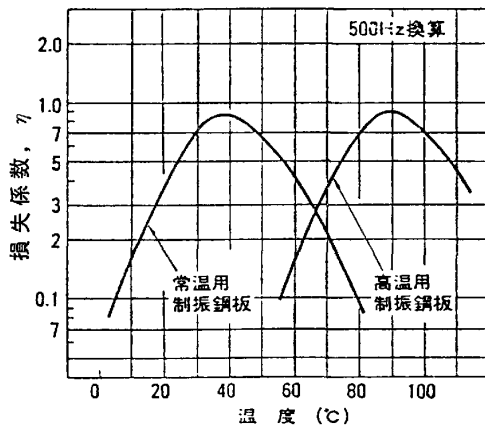


図6 制振鋼板の温度依存性 (板厚: 0.6/0.06/0.6 mm)

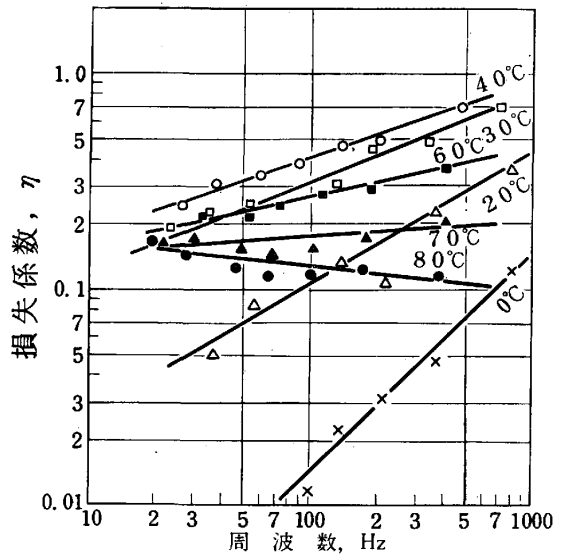


図7 常温用制振鋼板の周波数依存性 (板厚: 0.8/0.06/0.8 mm)

車エンジン回り部品の使用を想定したものであり、高温用を小型トラックエンジンのオイルパンに適用し減音効果を得た実例も報告されている¹⁸⁾。

成形性, 溶接性などの加工性能はサンドイッチ構造の素材のため普通鋼板と同等以上という訳にはいかない面もある。しかし, プレス成形に対しては樹脂層が薄く, 樹脂の塑性流動性が小で接着強度の大きい制振鋼板を選択することにより, また, 抵抗溶接に対しては短絡補助回路の電流管理により普通鋼板に近い加工が可能である。

性能寿命に関連して使用樹脂の耐熱性を懸念視する傾向があるが, 高温用で 140°C×1000 h, 常温用で 100°C×1000 h の大気中連続加熱後でも制振性能変化は認められない製品も開発されているし, 短時間加熱なら 200°C の静電塗装工程にも耐えられる。

なお, 複合材料の加工, 性能寿命に関連して, 普通鋼板とは異なる, たとえば, 温度制御プレス加工技術の開発や寿命予測のための加速促進試験法の綿密なる検討も必要であろうと考えられる。

4.3 騒音対策用複合2重管¹⁹⁾

複合2重管は, 高周波抵抗溶接方式による内・外鋼管と空隙および 0.2 mm 厚のガラスクロスで構成される中間層を有する構造で, 摩擦減衰を利用した消音効果のほか, 600°C 以上の加熱履歴, 耐久性などを配慮して開発したものであり, 自動車等の排気放射音の消音効果ばかりでなく, 機械加工性, 外観などにもすぐれている騒音防止用鋼管である。

図8に, トラックの排気放射音をシュミレートした内部(ランダム)加振法による鋼管騒音の測定例を示す。複合2重管は単管に比べ 10~15 dB, 2枚の鋼板を重ねて製造した2層管より 5~8 dB の消音効果を示している。

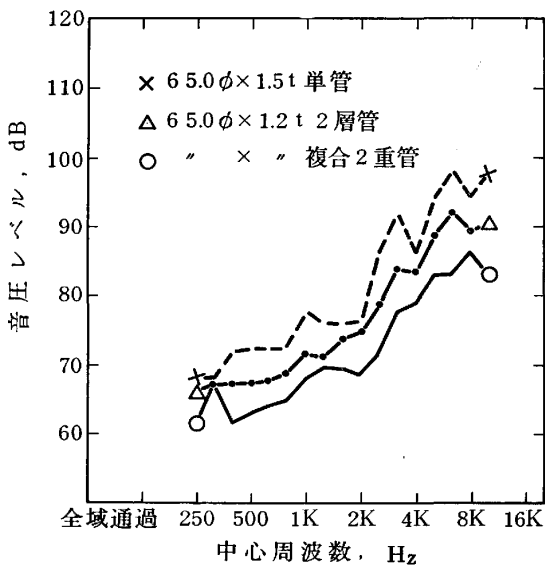


図 8 内部加振法による鋼管騒音の周波数分析

5. おわりに

構造部材用の各種制振材料について、工業材料としての視点から製品特性を概説した。

制振材料は軍事面を除き歴史の浅い材料であること、騒音・振動の特性や要求性能が千差万別なこともあり、現状では制振材料が十分活用されているとはいえない。機能材料としての定着化および新材料開発のためにも、材料開発側、材料利用側および各種周辺技術、たとえば、レーザホログラフィによる振動モード解析、コンピュータ利用による振動解析技術などのよりいつその協力が必要であろうと考える。

騒音・振動制御上不利な面の多い軽薄短小の時代には、軽量かつ性能のすぐれた制振材料の重要性は高温

使用のものを含めて、今後ますます強まるものと考えられる。

文 献

- 1) 杉本孝一: 鉄と鋼, 60 (1974), p. 2203 ほか
- 2) 森本庄吾, 中江秀雄, 尾崎敏範, 島口 崇: 材料科学, 15 (1978), p. 259
- 3) 佐々木雄貞, 遠藤 紘, 本田忠史, 座間芳正: 鉄と鋼, 64 (1978), p. 1226 ほか
- 4) 植田昭二, 小野 修二, 弘本 晃: 材料科学, 15 (1978), p. 245
- 5) 天野景隆: 日本機械学会第442回講習会教材(機械材料委員会編)(1977年1月), p. 79
- 6) 高橋政司, 岡本篤樹, 飯田久雄: 住友金属, 30 (1978), p. 235
- 7) 檜 洩 徹: 金属, 42 (1972), p. 105
- 8) 竹田頼正, 弘本 晃, 福田正勝: 金属材料, 15 (1975) 11, p. 12
- 9) 清水謙一, 大塚和弘, C.M.WAYMAN: 工業材料, 31 (1983) 1, p. 18
- 10) 新田隆行: 自動車技術, 36 (1982), p. 1287
- 11) A. D. NASHIF: Ceramic Bulletin, 53 (1974), p. 846
- 12) E. J. STEFANIDES: Design News, 28 (1973) 7, p. 82
- 13) J. PROFIT: Sheet Metal Ind., 51 (1974), p. 44
- 14) (社)鋼材倶楽部 新製品紹介委員会: 日本鋼構造協会誌, 11 (1975) 111, p. 36
- 15) 池内俊隆, 真田政信, 田辺修吾, 小林栄治, 宮本孝夫, 中瀬 薫: 日本鋼管技報, 91 (1981), p. 65
- 16) 堺 健二, 藤原治生, 佐々木遊亀: 自動車技術, 36 (1982), p. 1281 ほか
- 17) アンチホン社(スウェーデン)カタログ
- 18) 宮下直也, 岡村 宏: 三菱重工技報, 19(1982), p. 35
- 19) 佐々木雄貞, 遠藤 紘, 座間芳正, 白石正彦: 日本金属学会会報, 21 (1982), p. 459 ほか