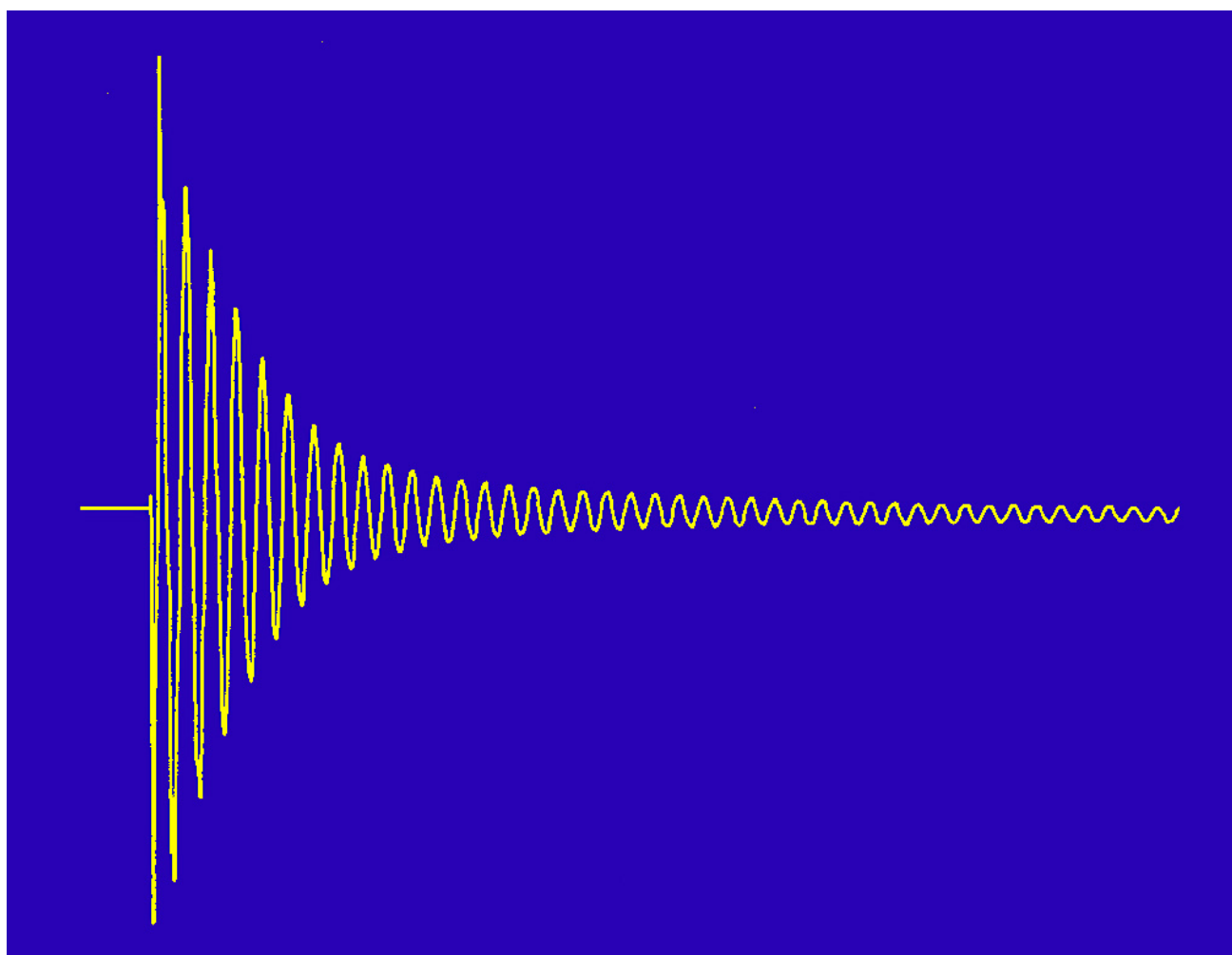


制振・耐熱・電磁

鉄アルミニウム合金「ALFE

(Fe-8Al)」



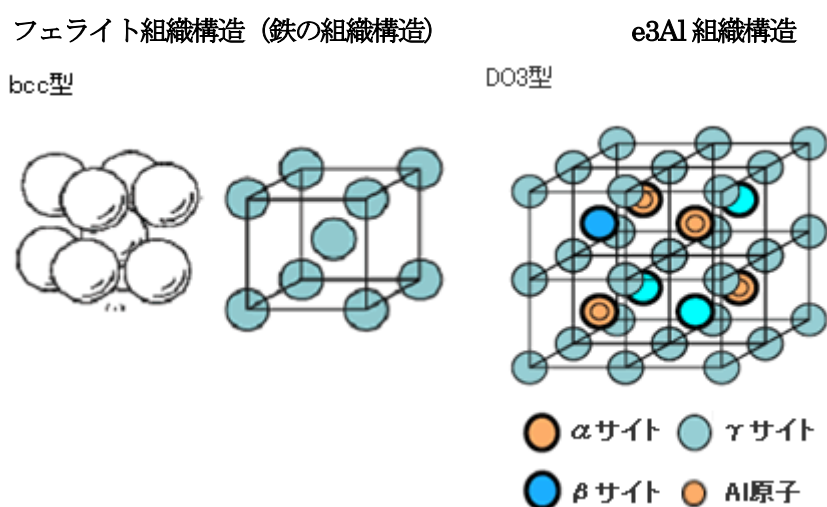
Ver.0413

I ALFEとは

1. ALFEの制振メカニズム

一定の成分比の鉄アルミ合金に、加工(応力)と熱処理(焼屯)を加えることにより、合金の電子レベルの領域で「短範囲規則性」が得られます。この「短範囲規則性」には、振動エネルギーを吸収する機能があり、制振メカニズムの源泉となっています。

(ALFEの構造図)



2. ALFEの位置付け

ALFE (Fe-Al系合金)は、高い制振性能と構造材として使用可能な強度をあわせ持つ唯一の素材です。また、比較的安価で量産化が可能な材料でもあります。

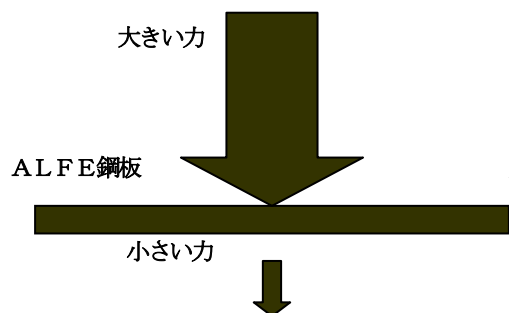
従来の制振材料	ALFEの優位性
<p>ゴム・木・プラスチック</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・ 強度が弱い ・ 熱に弱い ・ 制振制御が困難 <p>サンドイッチ鋼板(複合板)</p>  <ul style="list-style-type: none"> ・ 強度が弱い ・ 熱に弱い 	<p style="text-align: center;">振動を伝えない</p> <p style="text-align: center;">降伏点が高く擬弾性材料として期待</p> <p style="text-align: center;">電磁材料としての可能性</p> <p>優れた制振性能: 構造用炭素鋼の7~15倍</p> <p>耐熱性: 300°Cの温度まで制振性が低下しない</p> <p>強度: 鉄鋼材料と同程度</p> <p>加工性: 鉄鋼材料と同程度(板、棒、平状加工が可能)</p> <p>溶接性: レーザー溶接に優れる</p> <p>比重: 鉄より軽量(7.0)</p> <p>硬度: 高い(ハイテン化可能)</p> <p>耐久性: 耐食性、耐熱性に優れる。</p>
→	→

その他の合金材料

- ・ 厚みが必要、重い
- ・ 錆びる
- ・ 高価、量産不可

3. ALFEの主な特性

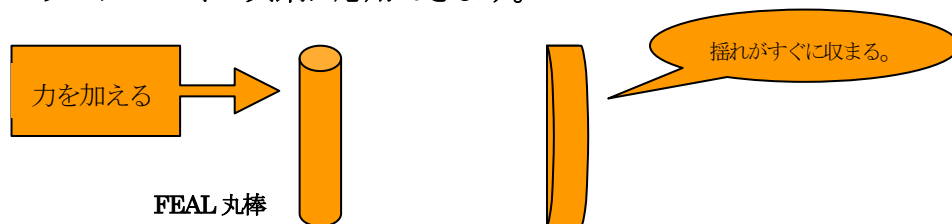
○ 「力を吸収する」



ALFE製の鋼板に力を負荷すると、その力は鋼板自体に吸収されます。この特徴は車のサスペンション、防振効果の求められる精密機器や機械のスペーサー、マウント類に応用できます。

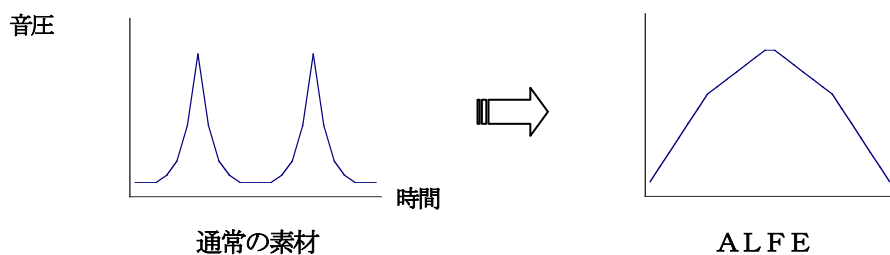
○ 「揺れがすぐに小さくなりおさまる」

ALFE製丸棒を振動させても、揺れはすぐにおさまります。ボーリングバーや工具鋼に応用できます。



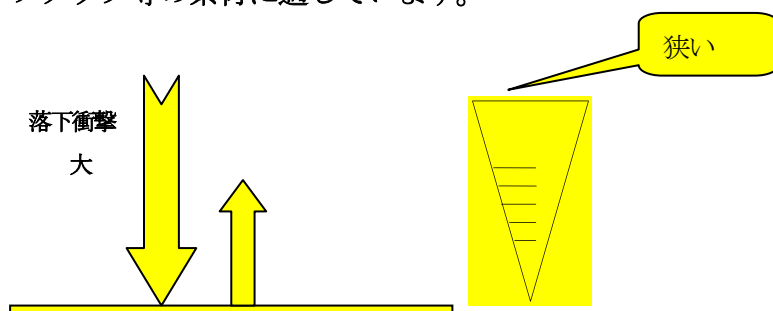
○ 「音質がやわらかくなる」

ALFEを伝わる音はやわらかくなる特性があります。スピーカー素材や楽器、オートバイのマフラーに応用できます。



○ 「反発が少なくブレにくい」

ALFEにボールを落とすと跳ね返りが少なく方向性もブレません。ゴルフクラブ等の素材に適しています。



跳ね返り

小

ALFE 鋼板

跳ね返り角度

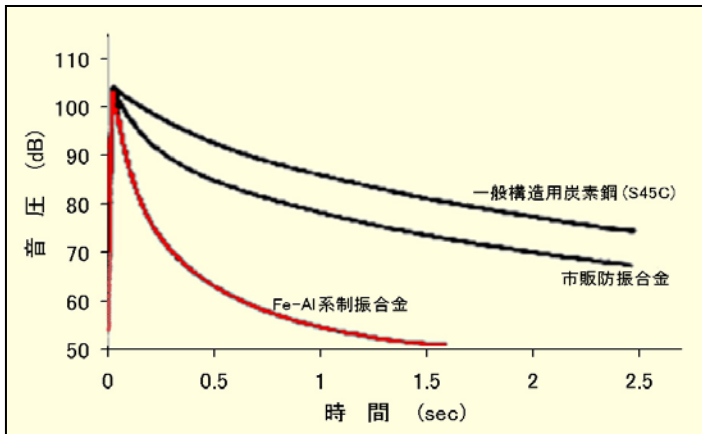
II ALFEの制振性能

1. 減衰性能

音圧は時間の経過とともに徐々に低くなります。すなわち音が消えます。ALFE (Fe-Al 系合金) は、音圧の低下が、他の素材と比較して早くなっています。

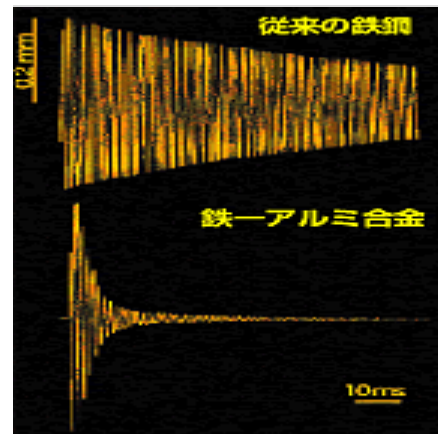
(図表2：音圧と時間)

各種素材に鉄球を落下させ、音圧と時間の関係を調べた。ALFEの減衰性の高さが示された。



(図表3：音の響き)

横軸は振幅、縦軸は時間を示す。普通鋼と比較して格段に優れた減衰性ある。

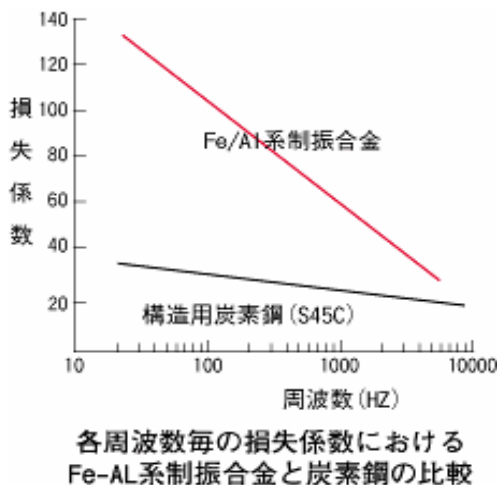


2. 振制特性

ALFEは、鉄系制振合金では最も制振性能が高く**最大損失係数は0.07**を発現します。制振性能は、特に低い周波数帯及び歪振幅の小さい振動に特に有効です。

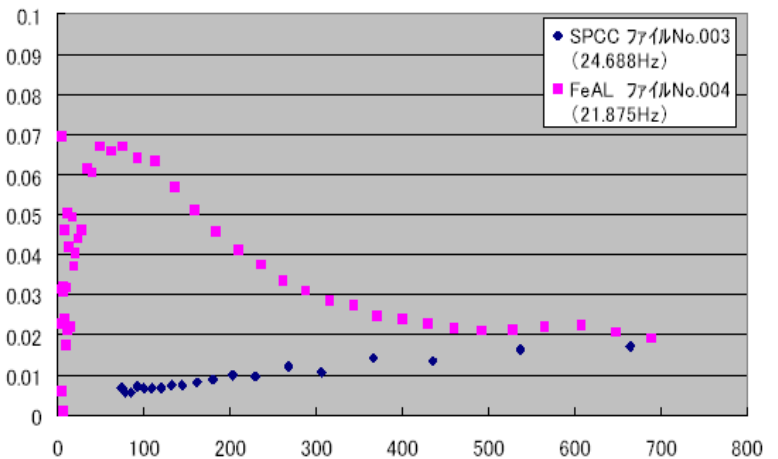
(図表4：周波数と制振性能)

低い周波数ほど効果は高くなります。



(図表5：歪振幅と制振性能)

歪振幅の小さい振動ほど高い性能を示します。塑性変形が生じない範囲で効果があります。



損失計数と振幅歪みの関係 (縦軸は損失計数、横軸は振幅歪 10⁻⁶)

3. 制振性能試験

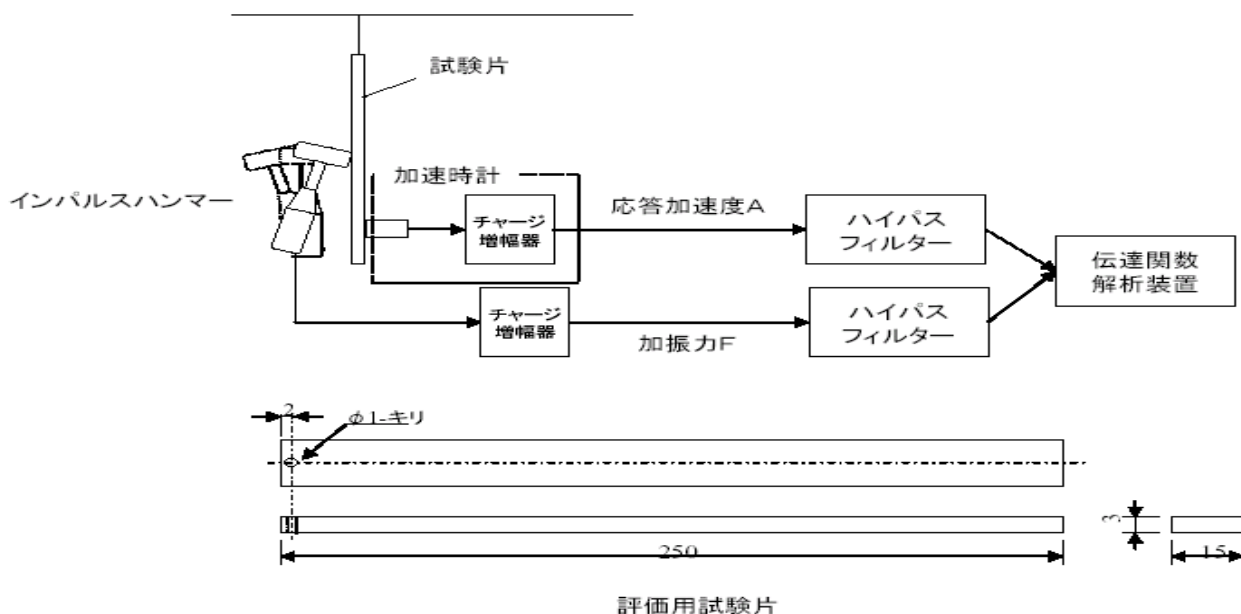
○ 制振機能に関する特徴

- ・ 剛性が高く、歪振幅の小さい領域で制振効果が大きい。
- ・ 温度の高い領域（実測300℃）でも制振性能が劣化しない。

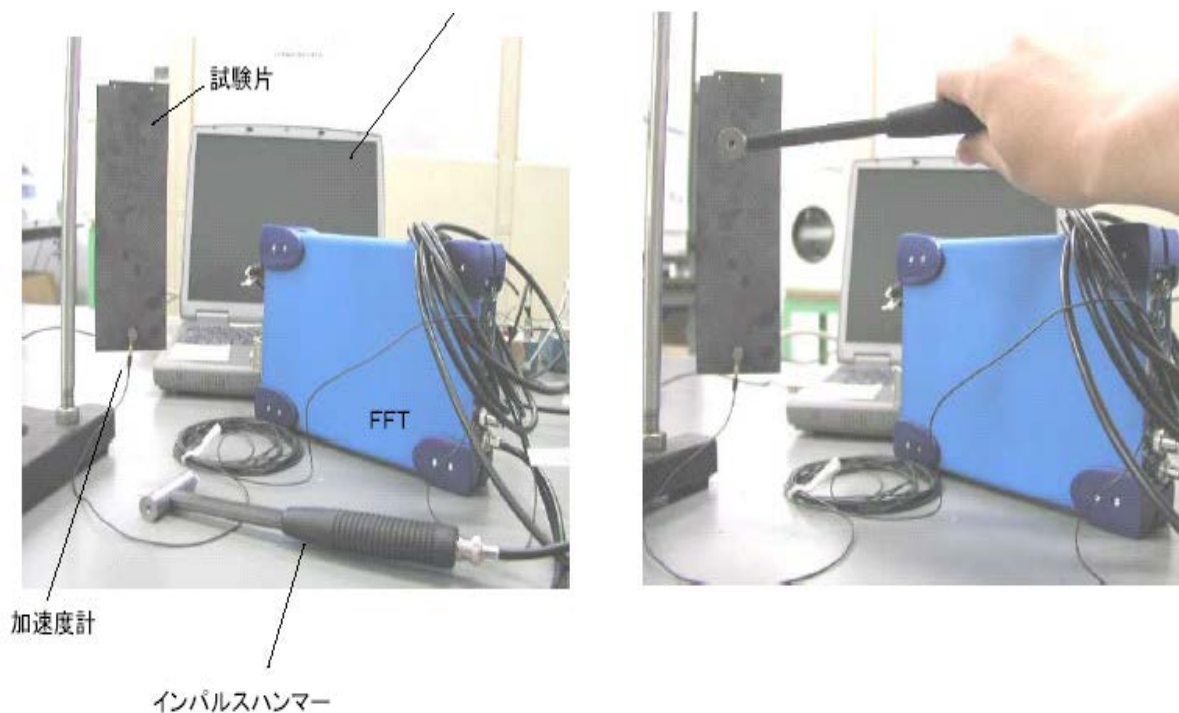
○ 評価方法

基本的に測定は「JIS G 0602 制振鋼板の振動減衰特性試験方法」にしたがって行うハンマリング法で測定する。

(図表6：ハンマリング法図解)



データ記録用PC



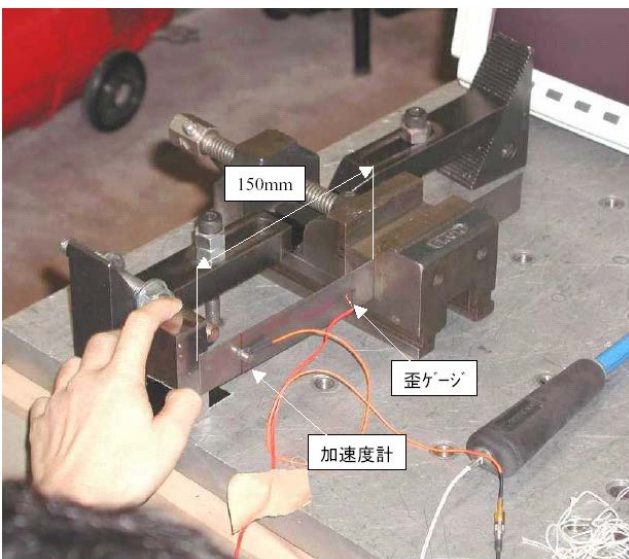
片持ち梁の減衰法による損失係数測定試験

1. 目的

FeAL材とSP材の損失係数を計測し、FeAL材の振動に対する位置づけ及び優位性について立証する為の試験を目的とする。今回使用する設備がHGT仕様と異なるため、FeAL材単体とSP材単体の1次共振の減衰計測から損失係数を算出し各材料を比較する。中央加振法以外での損失係数測定方法の測定技術見聞を目的とする。

2. 試験方法・試験装置

- 試験方法 →片持ち梁法
- 試験片の保持方式 →片端固定
- 試験片の加振方法 →試験片端を指ではじく
- 損失係数算出法 →減衰法
- 試験装置 (図表6参照)



3. 試験手順

振動減衰能の測定は、横振動法を用いた。

図1に示す様に一端より130mmの位置に歪ゲージを接着し、これを歪計に接続。試料の一端を万力で固定して自由長150mmの片持ち梁として、自由振動を発生させ上記歪ゲージから検出した梁としてこれに自由振動を発生させ、上記歪ゲージから検出した歪減衰曲線を求めた。

また、加速度計も取り付け加速度からの減衰曲線も求めた。加速度計の取り付け位置は2次モードの影響を極力抑えるため、2次モードで節となる位置(0.774L)に取り付けた。

- * 自由振動は初期変位15mmから指で試料をはじいた。
- * 室温21℃ 湿度53%
- * 試験片寸法 : 0.8×30××300

4. 損失係数測定方法

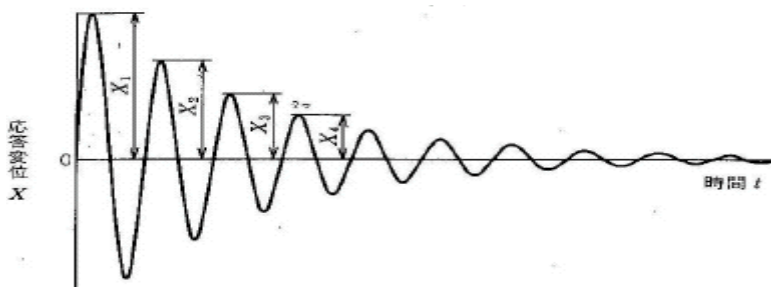
損失係数(η)の算出は、まず、図2に示す減衰自由振動波形から応答変位の極大値 X_1 、 X_2 、 \dots 、 X_n を読み取り、式(1)より対数減衰率(δ)を求める。

$$\delta = 1/n - 1 \times \text{Log}(x_1/x_n) \quad \text{式(1)}$$

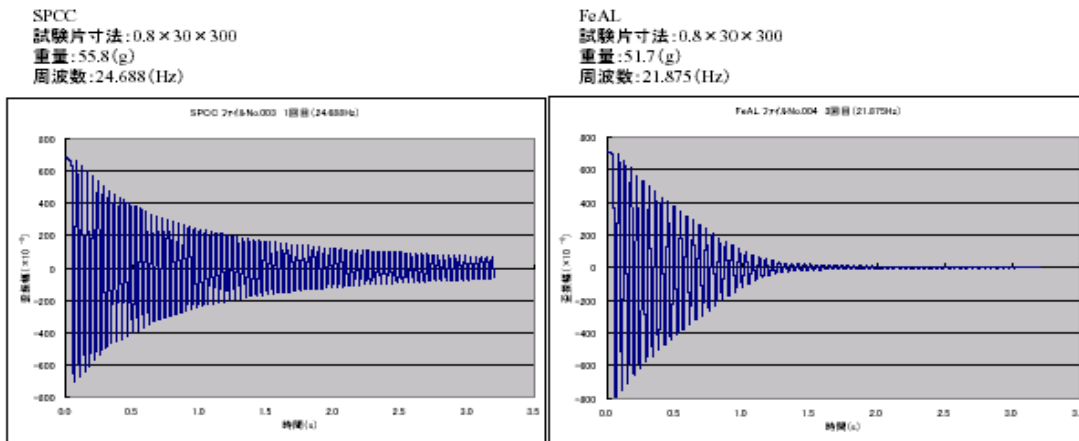
求めた対数減衰率(δ)を式(2)より損失係数(η)を求める。

$$\text{損失係数}(\eta) = \delta / \pi \quad \text{式(2)}$$

(図表7 : 減衰自由振動波形)



(図表 8 : 減衰曲線)

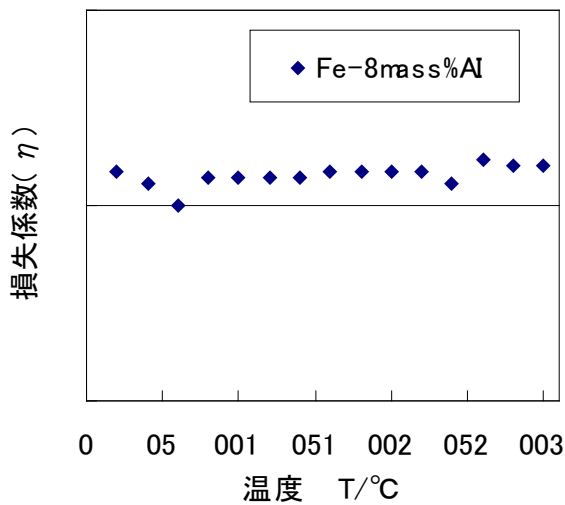


4. 温度特性

ALFEは、高温でも高い制振性能を保持します。摂氏300℃までは制振性能は劣化しません。部材としては約1000℃の耐熱性を有します。

(図表 9 : 温度と制振性能)

試験データは300℃までの制振性能を実証しています。



Ⅲ ALFEの電磁・保温性能

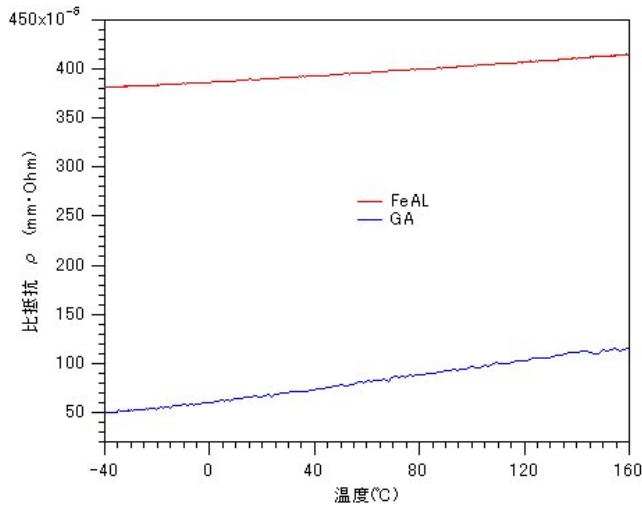
1. 電気抵抗

電気抵抗値は、鉄、溶融亜鉛メッキ鋼板の約4倍程度高い。(次図参照) また、温度変化による変化率が小さい。

○鉄アルミの電気抵抗値: $390 \times 10^{-6} \text{ mm} \cdot \text{ohm}$

○鉄の電気抵抗値: $97.1 \times 10^{-6} \text{ mm} \cdot \text{ohm}$

(図表 10 : 温度と電気抵抗)



2. 熱拡散率

熱が逃げにくい特徴があります。熱拡散率は $0.05067 \text{ cm}^2/\text{s}$

(レーザーフラッシュ法により測定 [測定温度 : 22.4°C 、試料厚 : 0.9663mm])

(参考値 Ti : $0.06505 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、SK : $0.1161 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、SUS304 : $0.03808 \text{ cm}^2/\text{s}$)

3. 電磁特性

下記の電磁特性を示します。

- ・透磁率、飽和磁束密度は適度に高い
- ・保持力は非常に低い
- ・電気抵抗値、磁気歪みは非常に大きい
- ・鉄損が少ない

(多材との電磁特性比較)

	最大透磁率 μ m	保持力 A/m	飽和磁束密度 T	抵抗値 $\mu \Omega \text{ cm}$	磁歪 $\Lambda (10^{-9})$
ALFE(Fe-8%AL)	5,500	23	1.3		50~
普通鋼(S10C)	1,380	数百	2.2	16	5
方向性電磁鋼板 Fe-3%Si	~70,000	10	2.0	50	-
電磁ステンレス Fe-18Cr	4,000	80	1.2	60	-
パーマロイ Fe-79Ni-4%Mo	200,000	4	0.8	55	-

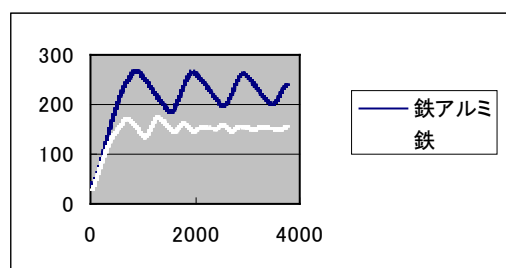
4. 電磁性と保温性の応用

電磁調理器による加熱実験では、普通鋼と比較して約25%以上の節電効果と高い保温性が確認されております。

○電磁調理器による加熱テスト

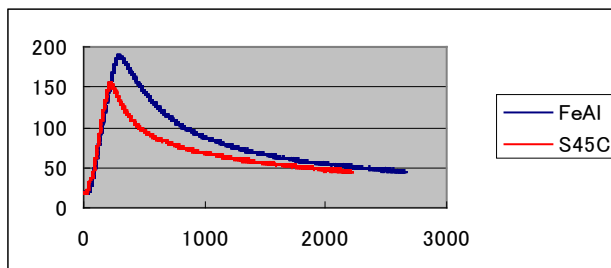
- ・加熱比較テスト①：M社製電磁調理器で200℃に温度設定しサンプルを加熱。
サーモスタット稼働による温度変化を計測
- ・加熱比較テスト②：M社製電磁調理器で140℃に温度設定しサンプルを加熱。
ピークにて自動断電。その後の温度変化を計測
- ・サンプル：
普通鋼 S45C 4.5 mm×215 mm×250 mm
ALFE FeAl 4.5 mm×215 mm×250 mm

(図表11：電磁調理器による加熱比較テスト①)



図表：縦軸は温度(°C)、横軸は時間(sec)

(図表12：電磁調理器による加熱比較テスト②)



図表：縦軸は温度(°C)、横軸は時間(sec)

最高到達温度：ALFE (189°C)、普通鋼 (154°C)

冷却時間 (最高～50°C)：ALFE (1,857sec)、普通鋼 (1,540sec)

IV 耐熱材としての特性

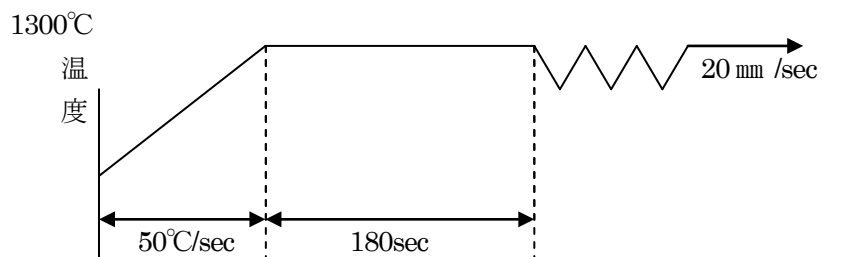
制振材料としての耐熱温度は約300℃ですが、自己修復機能のある耐熱性に優れた酸化被膜をつけることにより、構造材としては800℃程度まで使用できます。高温でも表面へのスケールの付着も少なく熱膨張率も低いことから、安価な耐熱材として使用できます。

(図表13：ALFEの加熱試験仕様)

○試験条件

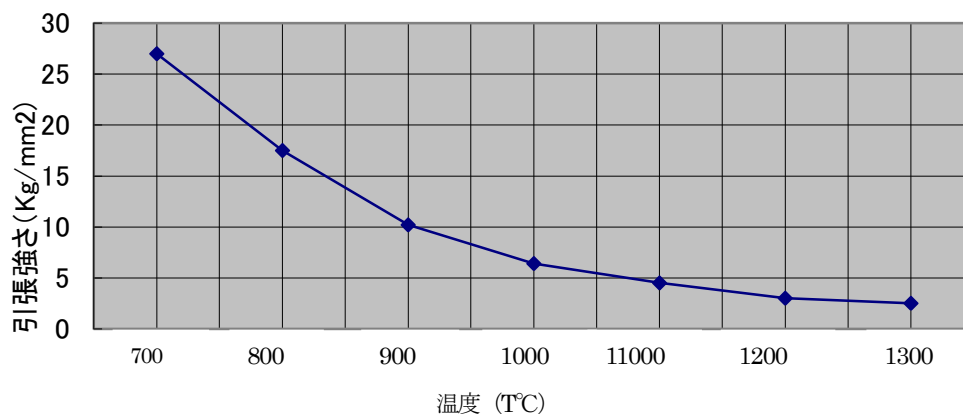
昇温速度：50°C/sec、引張速度：20mm/sec

○昇温パターン



○試験結果

(図表 1 4 : A L F E の加熱による引張強さの変化)



(図表 1 5 : 耐熱性に必要な膜構造の比較)

種類	酸化被膜	特 徴
鉄アルミ合金	al ₂ o ₃	al ₂ o ₃ 被膜は、cr ₂ o ₃ 被膜より酸素を通しにくく高クロム鋼より高い耐食性を示す。更に加工性は軟鋼並で使いやすい。
炭素鋼	fe ₂ o ₃	この膜では酸素が簡単に膜を透過し、素材の Fe と反応するため酸化の進行が早い。
ステンレス	fe ₂ o ₃ , cr ₂ o ₃	cr ₂ o ₃ 膜は酸素を透過しにくいですが Cr 量が少ないとわずかに透過する。そのため、過酷な条件では素材の Fe と反応し酸化が進行してしまう。
高クロム鋼	cr ₂ o ₃	Cr 量が多いと、cr ₂ o ₃ 膜は良好となり、高温でも酸素を膜で防御し優れた耐食性を示す。しかし、加工性が悪く非常に高価である。

V ALFEの物性と強度

1. 化学成分

アルミを8%程度含有した鉄アルミ合金です。

ニッケル、クロムは製造炉の残存成分であり、性能上特に必要な成分ではありません。

(図表16:ALFEの成分表)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
~0.01%	~0.20%	~0.20%	~0.03%	~0.005%	~0.2%	~0.2%	7.5~8.5%

2. 物性

軽くて熱を逃がしにくい特性があります。電気抵抗は普通鋼の約7倍あります。

(図表17:ALFEの物性一覧)

	物性値	特 性
比重	6.85	(参考値) 鉄 : 7.85 鉄より約13%軽い
比熱	0.143cal/g°C	
熱拡散率	0.0603cm ² /S	(参考値) チタン : 0.06505 SUS304 : 0.03808
熱伝導率	0.059cal/cm s °C	熱が伝わりにくく逃げにくい
熱膨張率	$\alpha = 11.0 \times 10^{-6}$ (50~300°C)	熱膨張が小さい
電気抵抗	380 × 10 ⁻⁶ (-40°C) ~420 × 10 ⁻⁶ mm.ohm (160°C)	電気抵抗値は高く、温度変化による変化率が小さい
磁性	強磁性	

3. 強度

基礎強度が500MPaあり、軟鉄の270Mpa程度に比べ大幅に優れています。加工を与えて集合組織を形成させた後、温度を加えて再結晶化を進めると組織を微細化でき、強度と伸びの優れたものがつくれます。更に加工度を上げて創ると目標の高張力(780MPa_伸び40%)が得られます。

(図表18:ALFEの強度実測値例)

引張り強度	50kg/mm ² ~ 熱処理方法で強度は変化します。
強さ(MPa)	基礎強度は500MPa
伸び(%)	20~45%
硬さ	HRB90前後・・・200V 鋼板状態・・・HV200~300
ヤング率 (kgf/n m ²)	19,000 鋼鉄より若干低い程度

4. 摩擦係数

SUS304と同等の摩擦係数を示し、十分な摩擦強度を有します。

(図表19:摩擦係数の比較表)

	ALFE	SUS304	S45焼なまし材	フェライト地黒鉛鋳鉄	片状黒鉛鋳鉄
摩擦係数	0.62	0.60	0.50	0.20	0.15

5. 疲労強さ

応力振幅 10k g/mm² 10⁷回 (100 万回) で破断しません。

VI ALFEの加工性

1. 加工性

造管、曲げ、プレス等通常の金属加工に対応します。プレス加工性は温度を上げると更に良化します。加工により、ALFEの金属組織が大きく変形する場合には、制振性能に影響を及ぼす場合がありますが再熱処理により再生されます。

(図表20：ALFEの加工性能一覧)

加工区分	加工性評価	備 考
機械加工	◎	
曲げ加工	○	板厚 0.3 mm以下の薄板は◎
直角曲げ	△	
プレス性能	○	温間プレスは◎

2. 溶接性

熱がこもりやすいため、TIG溶接やスポット溶接には技術を要します。レーザー溶接が適しています。

3. 耐熱性

耐熱性は約1000℃、構造材としては約600℃、制振機能は約300℃まで有効です。

4. 耐食性

SST 試験 (35℃, 5%NaCl 噴霧, 250C) や、JASO 試験 (SST→乾燥→湿潤 [3C/day], 60C) における耐食性能は良好です。

5. その他の特性

メッキ、塗装性は良好です。

(図表21：ALFEの特性一覧)

区 分	性能評価	備 考
溶接性	△	レーザー溶接は良好。
casting性	○	
耐熱性	◎	制振機能は約 300℃まで有効
耐食性	○	酸化膜有りは◎ 酸化膜無しは SUS430 相当
メッキ性	◎	
塗装性	◎	

VII ALFEの製品形状と実用化例

1. ALFEの製品形状

○製品形状

丸棒、板材の製造が可能です。表記以外の形状についてはお問合せ下さい。

(図表22：インテリアルの基本的製品仕様)

形状	厚み・径	サイズ	備考
丸棒/線材	0.3φ～30φ	コイル・BAR	
SHEET (板材)	0.2mm～	幅～300mm程度	
箔	40μ～	幅～150mm程度	

2. 実用化

○今後期待される使用例

(制振部材)

- ・音響部材 (スピーカー等)
- ・工作機部材
- ・モーター部材
- ・ベアリング部材
- ・ゴルフクラブ部材

(耐熱部材)

- ・燃料電池用部材 (セパレータおよびセパレータの制振用)
- ・排気系部材 (耐熱メッシュ等)
- ・温度測定器保護管

(電磁部材)

- ・電磁バルブ、電磁弁部材
- ・モーター、トランス用コア材
- ・磁気シールド部材
- ・IH加熱部材
- ・溶射材料

VIII 鉄アルミ合金研究の技術的背景

1. Fe-Al 制振合金の技術的背景

- 鉄 - アルミ合金は古くからアルミ含有量が 13.9% (Fe-25at%Al)を中心に「規則 - 不規則変態が起こり」工業的に電磁材料として利用されている。「アルミ含有量の低いところでは規則化が起こっていない」と言われていた。この領域でも短範囲での規則性を有することを明らかにした。

*Yamauchi, Fukusumi, Okanda, & Sugioka (2005)

Anomaly in thermal behavior of cold-rolled Fe100-xAlx (x=5-30) alloys. Scripta Materialia 53:11-15.

*Yamauchi, Fukusumi, Okanda, & Sugioka (2006)

Effect of cold roll and treatment on Anomalous Thermal Behavior In Fe100-xAlx (x=5-30) alloys
J Alloy compound

*Yamauchi, Fukusumi, Okanda, & Sugioka (2006)

Damping Capacity of Fe-8massofAl alloys and its dependen on heat treatment

- 短範囲規則性を利用することで制振性能を発現させ、同時に加工法の革新の可能性を見出した。

特許出願 2005-35123 PCT 出願 PCT/JP2006-302343

発明者・権利者 大神田 佳平

新規 Fe-Al 合金、及びその製造方法

2. 特許出願状況

出願状況	権利者	発明者	内容
特開 2001-059139	大阪市	大神田 佳平	制振合金材料、その製造方法 およびそれを用いた工具部材
特願 2003-350307	大神田 佳平	大神田 佳平	制振性を有するオイルパン装置
特願 2003-350308	大神田 佳平	大神田 佳平	制振性を有するエンジンのヘッドカバー構造
特願 2003-350309	大神田 佳平	大神田 佳平	制振性を有する変速機カバー
特願 2003-350310	大神田 佳平	大神田 佳平	制振性を有するチェーン
特願 2004-20460	大神田 佳平	大神田 佳平	複合制振材料
特願 2005-35123 PCT/JP 2006-302343	大神田 佳平	大神田 佳平	新規 Fe-Al 合金、及びその製造方法
特願 2005-062915	大神田 佳平	大神田 佳平	ゴルフクラブヘッド及びゴルフクラブ
特願 2007-048943	大神田 佳平	大神田 佳平	金属又は合金母体のはんだ付方法

VIII ALFEについてのお問合せ

■テクニカルなご質問は

会社名	株式会社アーバンマテリアルズ (Urban Materials co.)
事業内容	1 鉄・非鉄合金の製造・販売 2 試作・研究開発の請負 3 知的所有権の運用
代表者	工学博士 大神田 佳平 (おおかんだ よしひら) 大阪大学工学部冶金学科卒業。「火格子材の開発に関する基礎的研究」で大阪大学より工学博士を授与。大阪産業創造館が運営するバーチャル研究室「環境にやさしい金属ラボ」ラボ長。米国デンバー大学で耐熱材料の研究に参画し、ドイツ・ハンブルグ・ハールブルグ大学および上海市庁より客員研究員として招聘される。
設 立	2003年 (平成 15年) 10月

■サンプル・購買等について

会社名	五大産業株式会社 (GODAI INC.)
事業所	○ 本 社 〒541-0045 大阪市中央区道修町4-6-5 本社営業部 TEL : 06-7637-0345、FAX: 06-7637-0358 e-mail : order@godai-inc.co.jp Home Page : http://www.godai-inc.co.jp ○ 三重工場 〒518-1155 三重県伊賀市治田山梨3209番地 TEL : 0595-20-1694、FAX: 0595-20-1794

