

# 高度加工を実現する制振合金の活用

渡部 健司\*

最近工作機械の加工精度の向上、精密測定機の測定精度向上、さらに自動車・住宅などの住環境の向上のために、さまざまな振動制御の方法が検討される傾向が強まっており、目的達成のために設計の変更、材料の変更や改良など各種の手段が試されている。従来、材料については防振ゴムや制振樹脂を鉄板で挟んだ構造の制振鋼板の機械装置などへの適用が主体であったが、強度の低さや適用周波数域の低さの問題があり、使用範囲が限定されていた。一方、制振合金は前者に対して相対的に高い強度や高周波域でも使用できる利点があったが、減衰能自体が防振ゴムや制振鋼板よりもかなり小さいという問題を抱えていた。

しかし最近、制振合金の改良や使用方法の最適化により減衰能自体が向上したことで、金属材料固有の高い強度を生かすことで、応用範囲が広がりつつある。特に大型化が著しい工作機械の部門では制振材と言えどもかなり高い強度や寿命が必要

であり、制振合金の適用範囲は飛躍的に広がりつつある。また、従来の設計による構造制振では対応できる振動周波数が狭いという問題があったが、材料での振動対策ではかなり広い範囲の周波数帯域まで対応が可能であるということも、制振合金の普及の大きな理由となっている。

## 1. 制振合金スターサイレントの特徴

### 1.1 優れた振動吸収機能

減衰能とは外部から与えられた振動を吸収する能力のことである。金属材料では内部摩擦が高く振動エネルギーをよく吸収するものを制振合金 (high-damping alloys) と呼んでいる。制振合金の減衰作用は内部摩擦によって発生する。つまり外部から加えられた振動や衝撃のエネルギーが合金内部で主として熱に変化することにより消費される。したがって、制振合金とは振動エネルギーを熱に変換することによって音や振動を吸収する機能を持つ合金と言える。制振合金はエネルギー損失の機構によって4種類に分けられる (表1)。

双晶型制振合金Mn-Cu-Ni-Fe (スターサイレント) は、実用化されている制振合金の中でもっとも高い減衰能を有する (図1)。図2に示す結

\*WATANABE, Kenji /大同特殊鋼(株) 新分野事業部 企画開発部 開発室 副主席部長

表1 制振合金のメカニズムによる分類

名称	機構	例
複合型	母相と析出相との界面または粒界での粘性流動または塑性流動によるエネルギー損失	片状黒鉛鑄鉄、Al-Zn合金
転位型	すべり転位と不純物原子の相互作用による機械的静履歴によるエネルギー損失	Mg Mg-0.6%Zr合金
強磁性型	磁区壁の非可逆移動に伴う磁気・機械的静履歴によるエネルギー損失	Fe13%Cr T.D.ニッケル、 NiVCO-10合金
双晶型	熱弾性マルテンサイトの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伴う静履歴損失あるいは応力緩和によるエネルギー損失	NiTi, Cu-Al-Ni, Mn-Cu, Mn-Cu-Ni-Fe (STAR SILENT)

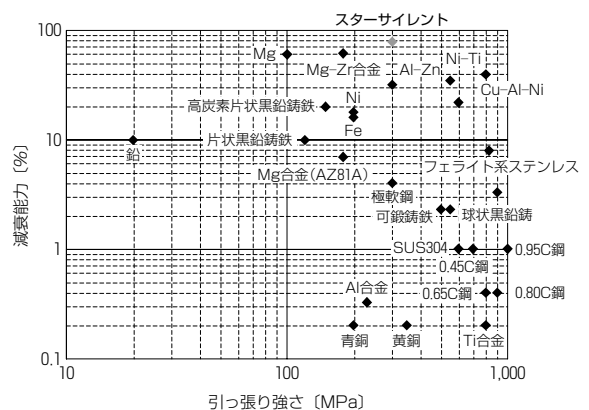


図1 各種材料の強度と減衰能の関係<sup>1)</sup>

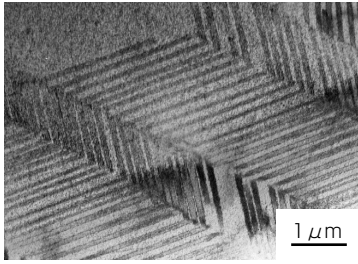


図2 スターサイレントの双晶の透過電子顕微鏡写真

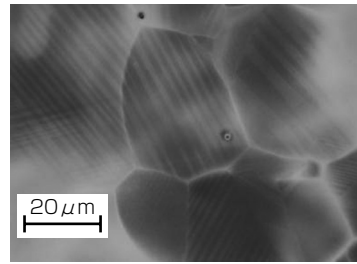


図3 スターサイレントの双晶の光学顕微鏡写真

晶構造（透過電子顕微鏡写真）で立体的に示されている隣り合う双晶の界面において、外部から加えられた振動エネルギーが摩擦によって熱に変換されるので、微小な振動を効率的に吸収することができる。また、図3に示すように合金全体が双晶を内部に含む結晶で構成されているので、大きな振動を吸収することも可能である。このように振動の大きさにかかわらず効率的に振動エネルギーを吸収できることが、双晶型制振合金スターサイレントの大きな特徴である。

## 1.2 適用部品と使用環境

制振合金スターサイレントの現在の主な用途と力学的性質をそれぞれ表2、3に示す。使用環境としては荷重と振動が同時に負荷されるのが特徴である。基本的には圧縮応力下での使用がほとんどである。これは、構造材としても十分使用可能な強度を持ちながら通常の鋼材のヤング率（約

200GPa）よりも低い値（80GPa）を有することで、外部からの振動を迅速に内部の双晶に伝えて振動を吸収することと、圧縮応力があらかじめ存在することにより双晶が動き出すのに必要な外部からの応力の閾値が小さくて済むという理由による。

## 2. 高精度加工への適用

表2の制振合金の用途から高精度加工への適用例として、バイトホルダ敷板とボーリングバースリーブへの適用例を紹介する。また、騒音低減効果の適用例についても紹介する。

### 2.1 バイトホルダ敷板への適用

旋盤のバイトホルダ敷板としてスターサイレントを使用した例を図4に示す。SUS304を被削材とし、切削条件は軽切削から重切削まで検討した。それぞれの場合の代表的な切削条件を表4に示す。

表2 制振合金の用途

分野	用途（部品名、適用個所など）
工作機械	バイトホルダ敷板、ボーリングバー、マウント、軸受、ファスナ（ねじ、ボルト、ワッシャ）
半導体	定盤、マウント、切断機フランジ
測定機器	定盤、マウント
自動車	シーリング用ワッシャ、シム

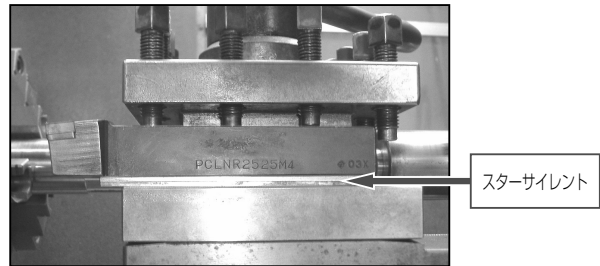


図4 スターサイレントのバイトホルダ敷板への適用

表3 スターサイレントの力学的性質（室温）

ヤング率 [E/GPa]	80
ポアソン比 $\nu$	0.301
0.2%耐力 [MPa]	265
引っ張り強さ [MPa]	530
伸び [%]	40
絞り [%]	61
衝撃吸収 [IE/J]	105

表4 切削条件

	切り込み量(mm)	送り速度(mm/rev)	切削速度(m/min)
軽切削条件	1.0	0.05	160
重切削条件	6.0	0.15	160
バイト	超硬		
バイトホルダ	25×25×121mm		
敷板	2×25×120mm		
被削材	SUS304 (φ50mm)		

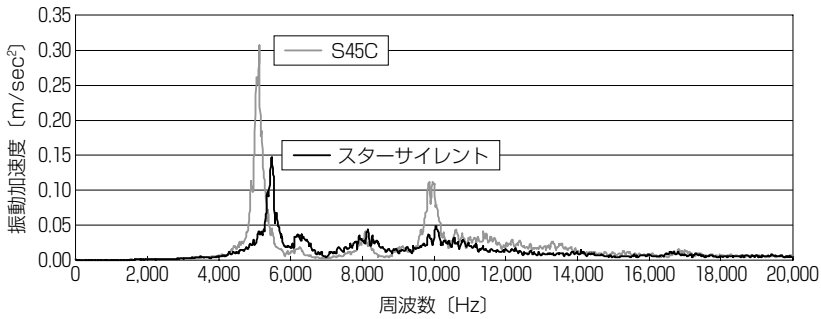


図5 スターサイレント適用による振動加速度の低減

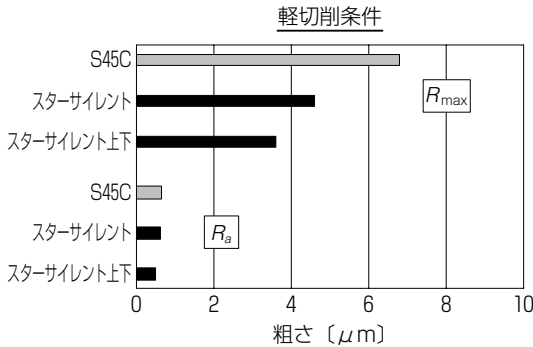


図6 軽切削条件でのスターサイレントの効果

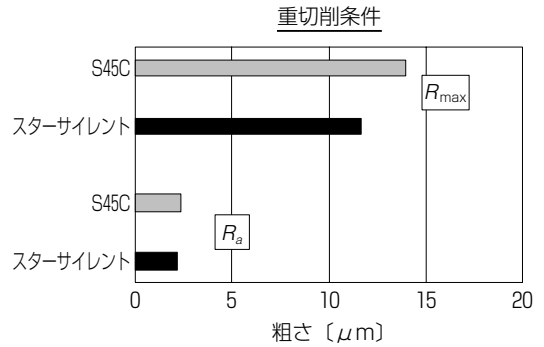


図7 重切削条件でのスターサイレントの効果

なお、敷板材質の比較例としてS45Cを検討した。スターサイレントを使用することによって広い周波数範囲で振動加速度が大幅に低減されていることがわかる(図5)。

加工後の被削材の表面粗さを測定した結果を図6, 7に示すが、加工精度(表面粗さ)が向上することが確認される。 $R_{max}$ と $R_a$ では前者に顕著な効果が出現しており、旋盤加工中のワークとバイトの接触で発生する振動や衝撃をスターサイレント製の敷板が吸収しているものと考えられる。同時にバイトの寿命への効果を測定したところ、従来対比で30~50%長寿命化していることも確認された。

## 2.2 ボーリングバースリーブへの適用

中ぐり加工、特に深穴を加工する際は、長尺のボーリングバーを被加工物の軸方向に挿入するため、工具の突き出し量を大きくせざるを得ず、びびり振動や工具振動が発生しやすくなる。そして結果的に加工精度や工具寿命の低下などの問題が発生することになる。

制振合金を使用するボーリングバーの振

動対策として次の2通りが考えられる。そのうち一つはボーリングバー自体の材質をスターサイレントに変更することであるが、ヤング率が小さいのでボーリングバーの先端が振れやすくなるため、効果的ではない。もうひとつの方法は工具ホルダとボーリングバーの間のスリーブを制振合金に変更する方法である。この方法についてはスターサイレント製のスリーブを用いた群馬工業高等専門学校(群馬県)の櫻井文仁氏の優れた研究報告<sup>2)</sup>があるので紹介する。

図8に、スターサイレント製スリーブを介してホルダにボーリングバーを組み付けた状態を、図

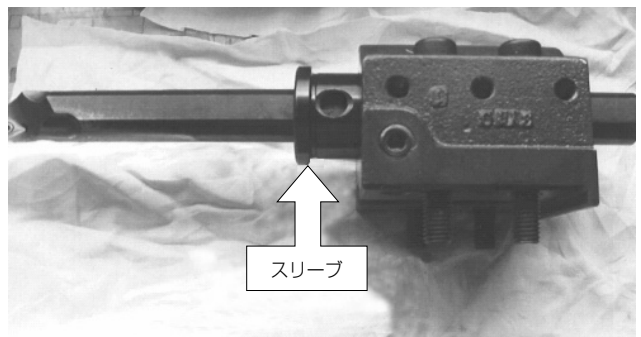


図8 ボーリングバー、スターサイレント製スリーブ、ホルダ組み付け図<sup>2)</sup>



図9 中ぐり加工の様子<sup>2)</sup>

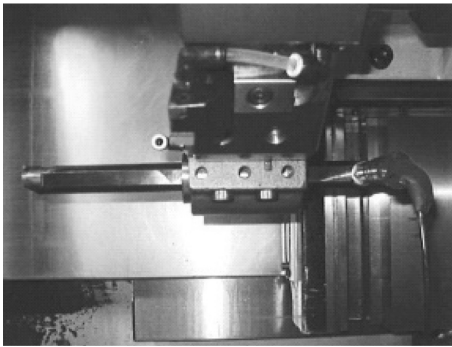


図10 ボーリングバーへの加速度ピックアップ取り付け位置<sup>2)</sup>

9に中ぐり加工の様子を、図10に加速度ピックアップの取り付け位置をそれぞれ示す。表5には切削条件を示す。スターサイレント製スリーブを使用した場合は、図11に示すように固有振動数と考えられる周波数付近でパワースペクトルが大幅に抑えられていることが報告されている。

工具寿命については、スターサイレント製スリーブを用いた場合、エッジ部のチッピングの大きさや進行速度は通常スリーブ使用時よりも大きいですが、工具寿命と判断されるような工具欠損が確認されたのは除去量で比較すると、約3倍長寿命であったと報告されている(図12)。

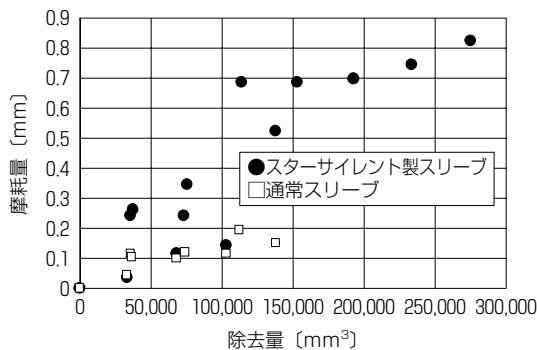


図12 工具寿命比較<sup>2)</sup>

表5 切削条件<sup>2)</sup>

	工具寿命実験	真円度比較実験
切削速度 (m/min)	100	70
切り込み量 (mm)	0.50	0.25
送り速度 (mm/rev)	0.40	0.10
工具突き出し量 (mm)	100	100
バイト	超硬コーティング	超硬コーティング
被削材	SUS304	SUS304

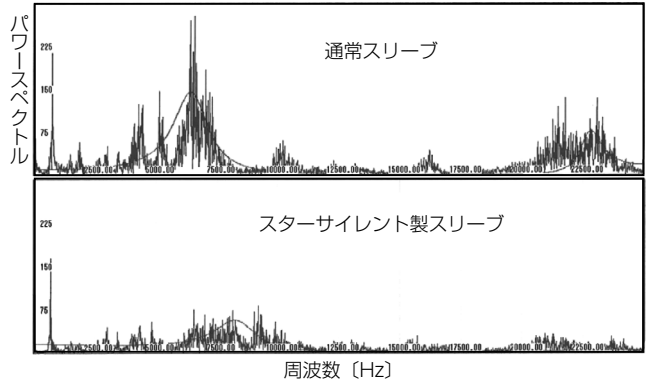


図11 周波数スペクトルの比較<sup>2)</sup>

加工精度については真円度の比較結果として報告されている(図13)。スターサイレント製スリーブは端面から離れた点では安定した良好な値を示しているが、端面近傍では逆に悪化している。対策としては端面近傍では送り速度を遅くするなどの対策が考えられるとあり、今後の改良が期待される。

### 2.3 リングや円盤形状での適用

軸受やフランジなどのリング形状の機械部品の振動や騒音対策は、振動や音を遮断するのが効果的である。具体的にはスターサイレントをリング

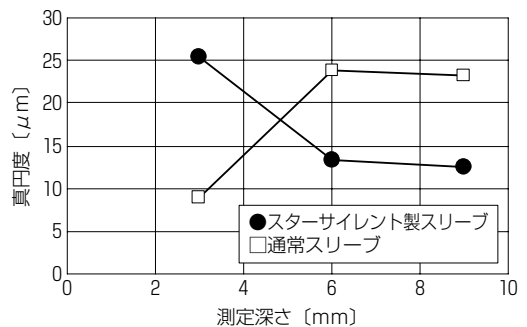


図13 真円度比較<sup>2)</sup>



図14 リングの形状<sup>3)</sup>

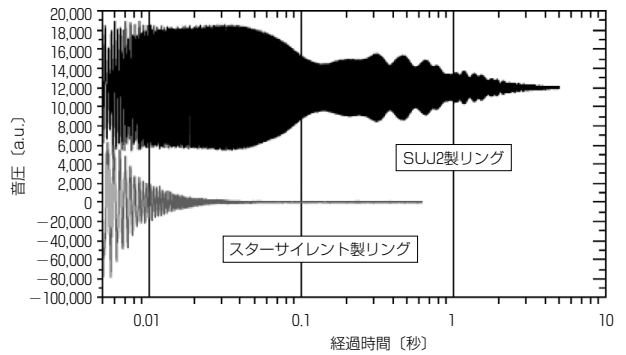


図15 音の減衰挙動の比較<sup>3)</sup>

状に形成したものを軸受近傍に使用したり、円盤状にしてフランジとして使用したりする方法が考えられる。ここではスターサイレントによる音の減衰効果についてリングを用いて測定した結果を紹介する。

リングは、図14に示すように外径75mm、内径63mm、厚み16mmで、スターサイレントとSUJ2のリングを作製し、無響室内で、細線で吊るした状態をハンマリングして音の減衰状況を測定した。スターサイレントでは0.05秒後にはハンマリングの残響音はほとんど消滅したが、SUJ2の場合はリング内に定在波が形成されており、音の消滅には5秒以上も費やしており、スターサイレントの音の吸収能が大きいことがわかる(図15)。

本稿では、制振合金スターサイレントの工作機

械部品への適用による加工精度の向上や工具寿命の向上、さらには音の減衰効果について実例を示しながら述べたが、実際の加工条件に合わせて制振合金の厚みなどの調整を行なうとさらなる効果が期待できることも明らかになってきている。また、ねじやワッシャへの適用でも制振効果があることが明らかにされている。今後も制振合金という材料を通じて精密加工へ貢献したいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 杉本孝一：防振合金の最新の進歩，鉄と鋼，第14号，2203，1974年。
- 2) 櫻井文仁：制振合金を用いた振動低減が中ぐり加工に及ぼす効果，平成20年度共同研究報告書。
- 3) 高森晋，渡部健司：(独)物質材料研究機構・大同特殊鋼(株)2006年度共同研究報告書。