

# 直動ガイドレールとしてのチタン合金の転がり疲れ特性

石井友之<sup>1</sup> 小川大介<sup>2</sup> 江川庸夫<sup>3</sup>

## The Rolling Fatigue Property of Titanium Alloy for Guide System

Tomoyuki ISHII<sup>1</sup>, Daisuke OGAWA<sup>2</sup>, Tsuneo EGAWA<sup>3</sup>

The linear ball guide ways are widely used in numerical controlled systems, such as X-Y table, manufacturing facility or other devices. The titanium alloys would be the one of the candidates for rail material in sever environment, such as food processing industry, medical area or aerospace industry. The evaluation experiments are carried out to confirm the possibility of these titanium alloys for guide way system. This paper shows the results that the endurance properties of Ti-6Al-4V alloy with burnished treatment are more favorable compared to other type of titanium alloys.

キーワード：チタン合金, 直動ガイド, 転がり疲れ

Keywords : titanium alloy, linear guide ways, rolling fatigue

### 1. はじめに

直動ガイドシステムは製造装置などの機械要素として、幅広く用いられている。ボールの転動による摩擦抵抗の軽減により、省エネルギーにも寄与していると考えられる。また、ガイドレールの耐久性については幾多の研究がなされている<sup>1)</sup>。最近では食品、医薬、航空などの分野への応用も期待され、より高い耐食性、軽量化などの要望が少なくない。そこで、本研究ではレール材としてチタン合金を使用した場合の耐久性の評価およびパニッシング処理による効果の検証を行う。

### 2. 実験装置および試験材

レール材の耐久性を調べるために Fig. 1 に示す有限ストローク型の試験機を用いた。ボールを挟んだ試験片をサーボモーターで駆動制御し、1 ストロークを 80 mm と設定した。試験片には左右の溝に配置された 8 個のボールに支えられる。また、図中に使用したパニッシング・ローラーを示した。ローラー先端は R=3.09 に仕上げてあり、フライス盤に取り付けて加工した。試験片の R 溝は先端径が 3.1mm のエンドミルで加工し、研磨紙で表面粗さ Ra 0.2 μm で仕上げた状態を基準とし、パニッシング材は Ra 0.1 μm 以下である。

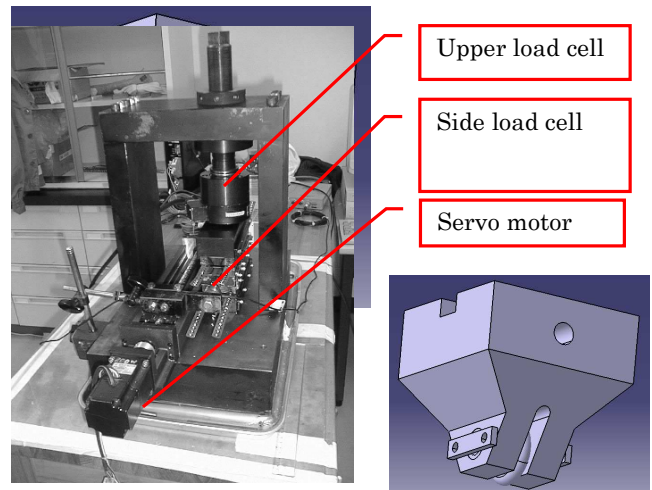


Fig.1 Endurance testing machine and burnishing roller

使用したチタンは工業用純チタンと Ti-6Al-4V でその EPMA による分析結果を Table 1 に示す。

Table 1 Chemical composition of used titanium

Alloy	Al	V	Ti
Ti-6Al-4V	6.1	4.1	balance
Ti	0.05	-	balance

1 明星大学理工学部総合理工学科機械工学系 教授 機械材料

2 明星大学理工学研究科機械工学専攻博士前期課程

3 明星大学理工学部総合理工学科機械工学系 教授 機械加工

### 3. 実験結果および考察

Ti レール材の耐久試験の結果を Fig. 2 に示す。ここでは横軸に破損に至るまでの走行距離を、縦軸には負荷荷重をボール 1 個あたりに換算して表示してある。20km 走行可能な負荷は Ti が 1.05kN, Ti-6Al-4V 材が約 1.3kN, Ti-6Al-4V のバニッシング材が 1.65kN となっており、今回の実験の範囲では Ti-6Al-4V のバニッシング材が最も高い耐久性を示した。

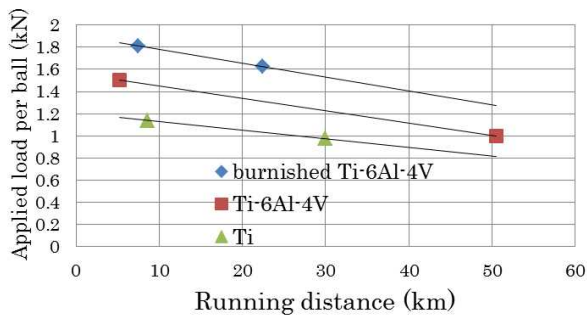


Fig.2 Endurance distance of titanium alloy related with applied load

次に Ti-6Al-4V 材の耐久試験中の転がり摩擦係数の変化を Fig. 3 に示す。エンドミル仕上げ材の場合転がり摩擦係数が徐々に増加し、0.035 付近で破損に至るのに対して、バニッシング材は増加の割合がなだらかであり、0.025~0.028 にとどまっている。この差が寿命の違いになっているものと考えられる。

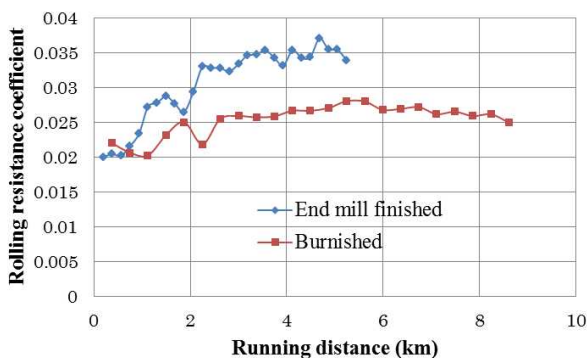


Fig.3 The change of rolling resistance coefficient during endurance testing (Ti-6Al-4V)

次に Fig. 4 にバニッシング材の表面近傍の硬さ変化を示す。用いた硬さ計はマイクロピッカースでバニッシングの圧下量を 0.15, 0.25, 0.35 mm と変化させた場合の硬さの変化を示した。これらの値はかなりバラツキが大きく、系

統的な傾向は認められない。このことから今回の Ti 材については、バニッシング効果が表面硬度の上昇によるものではなく、バニッシングの表面平滑効果によるものではないかと推察される。

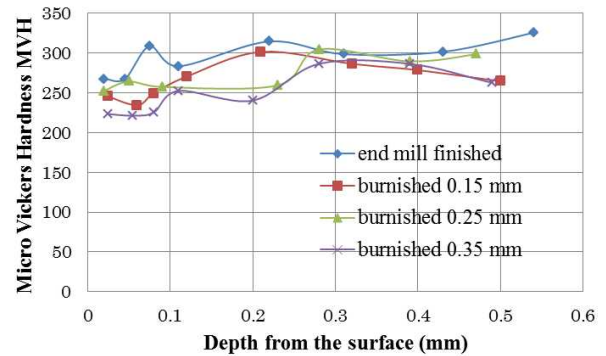


Fig.4 Micro Vickers Hardness in the vicinity of roller burnished surface (Ti-6Al-4V)

ただ、Fig. 5 に示す顕微鏡組織から材料内部にはバニッシング加工による影響を受けたと思われる結晶粒が観察されることから内部における変形組織が何らかの効果を与えたことも考えられる。

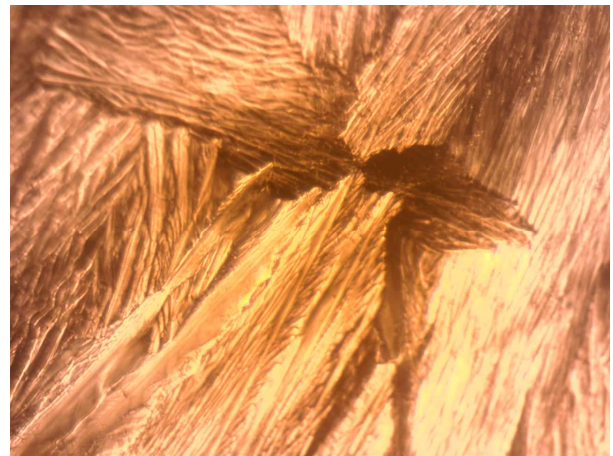


Fig.5 The microstructure of burnished titanium after high temperature annealing (x200)

従来、ボールとレール材の接触についてはボールベアリングについては多くの計算式や解説がなされている<sup>2) 3)</sup>が、直動システムについては多くは報告されていない。Hertz の式<sup>4)</sup>は複雑であり、数表などを用いて解析するのが一般的とされているが、Mathematica を用いた Wu 氏の手法<sup>5)</sup>によると容易にこの計算がなされることが公表されている。そこで、このプログラムを改良し直動ガイドシステムに当てはめて計算した例を Fig. 6 に示す。接触長径, 短径, 最大応力, 近接量が求められ、これらの値を用いて直動システムのボール接触を 3 次元で表示することが今回の手法によ

って明らかになった。

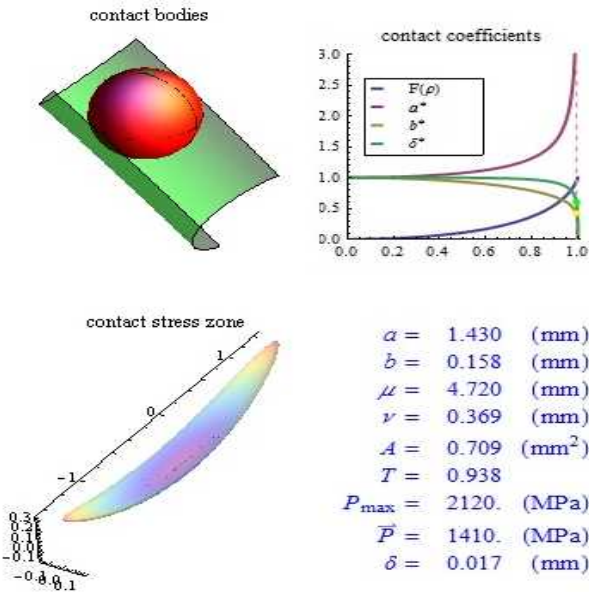


Fig.6 Computed values of Hertzian factors and 3D expression using Mathematica program

さらに、有限要素法ソフトの Comsol を用いてナサル氏の手法<sup>6)</sup>を改良して直動ガイドの断面における 2 次元応力分布を求めたものを Fig. 7 に示した。

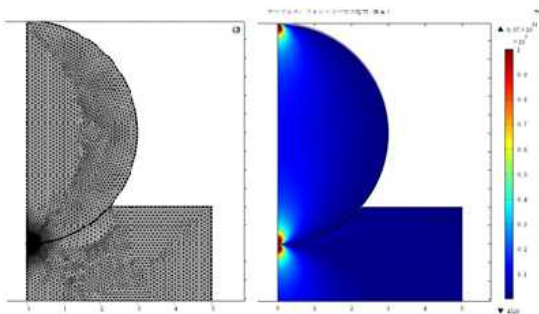


Fig.7 FEM analysis of contact area in linear guide ways system used Comsol software

図中の左は解析に用いた 3D-2D モデルとそのメッシュ様式を示した。得られた右側レール材溝部分の応力分布は従来の解析結果とほぼ同様の結果を示しているが、直動システムに対応した結果としては前例が少ない。これらの解析手法を用いることにより、ボール転動挙動のさらなる解明が進むものと考えられるが、実際の試験片でこの応力分布に対応する組織変化が起こるか否かについてはさらなる検討が必要と考えられる。

#### 4. おわりに

本実験の遂行にあたり、卒業研究として協力してくれた明星大学学生諸君と実験全般に協力いただいた、THK株式会社の方々に感謝いたします。また、元素分析などで、お世話になった連携研究センターの川島希世子女史に深く感謝します。

#### 参考文献

- 1) 石井友之, 三浦徹也, 新部純三, 滝義夫, 道岡英一, 白井武樹: 明星大学理工学部研究紀要, 36 (2000) p49
- 2) 渡辺孝一: 知りたいトライボロジー講座「トライボロジー入門」Nachi Technical Report vol.13 D1, June/2007
- 3) AdventureCluster: (株) アライドエンジニアリング(web page:<http://www.alde.co.jp/>)
- 4) H. Hertz; Journal für die reine und angewandte Mathematik 92, 156-171(1881)
- 5) Frederick Wu: Mathematica demonstration project, Wolfram Research (web page: <http://demonstrations.wolfram.com/>)
- 6) サナル スクビナル: Comsol Multiphysics, 計測エンジニアリングシステム (株) (web page: <http://www.kesco.co.jp/>)