

軽量・高剛性材料の切削加工技術の開発 —マグネシウム合金等軽量素材の福祉機器部品への適用—

橋口智和*・水江宏*・川田義浩**
*機械・金属担当・** (株)テオリック

Development of Cutting Technology for the Lightweight and High stiffness Metals —Application on Welfare Device of Lightweight Metals (Magnesium Alloys) —

Tomokazu HASHIGUCHI*・Hiroshi MIZUE*・Yoshihiro KAWATA**
*Mechanical and Metallurgical Engineering Gr.・**Teoric Cooperation.

要 旨

立ち座りが困難な人をターゲットに、車いすやトイレ等への立ち座りをサポートし、介助人の負担軽減となるアルミニウム合金製の器具を開発した。当センターでは試作機器の CAE 解析とひずみゲージによる強度評価を行い、評価結果を基に、形状を最適化し支柱部品を軽量・高剛性材料で作成し、重量 30%軽減を目指した。強度評価では屈曲時と全体重負荷時における支柱部品の応力分布を求めた結果、回転中心部分を除き、破損や変形の可能性は低いと推察された。また、強度評価の結果を基に形状を再検討し、材料をマグネシウム合金 AZ31 に変更した改良品を作成した。改良品の重量は 80g となり、前試作品 220g に比べ 63.7%削減した。

1. はじめに

病気や老化により脚の機能に衰えが生じた場合、福祉施設では各種の立ち座り、歩行に関する機器や器具が使用されている。しかし、介助人や大がかりな器具、専門的な知識が必要であることが多く、使用者が独力で装着できる器具は少ない。そのような中、立ち座りが困難な人をターゲットに、車いすやトイレ等への立ち座りをサポートし、介助人の負担軽減となる器具を開発すれば、既存の福祉器具に対して優位性があると考えられる。そこで、(株)テオリックは大分大学ならびに湯布院厚生年金病院と連携して、介護・福祉現場または在宅生活において、脚の機能の衰えによる立ち座り動作時の介助人や本人の負担を軽減する、高機能で取扱いの容易な膝用サポート器具の開発を目指した。

本報では、(株)テオリックが試作したアルミニウム合金製サポート器具に対して 30%の重量削減を目標に、試作器具の強度評価とマグネシウム合金の切削加工による改良品作成を試みた結果を報告する。

2. サポート器具の構成

試作したサポート器具装着時の様子を Fig.1 に示す。この器具は膝の位置で固定されている渦巻バネの反発力を利用して、足の屈曲運動をサポートする仕組みとなっている。脱着が容易となるように、筒状バンドで脛脛と太股の 2ヶ所を固定するようになっている。器具の部品構成を Fig.2

に示す。試作器具は、支柱部品、バネ固定部品、渦巻バネ、筐体部品から成っている。センターでは、支柱部品の軽量化を目指した。目標値は、試作の支柱部品重量に対して 30%削減と定めた。



Fig.1 装着時の様子



Fig.2 器具の部品構成

3. 強度評価

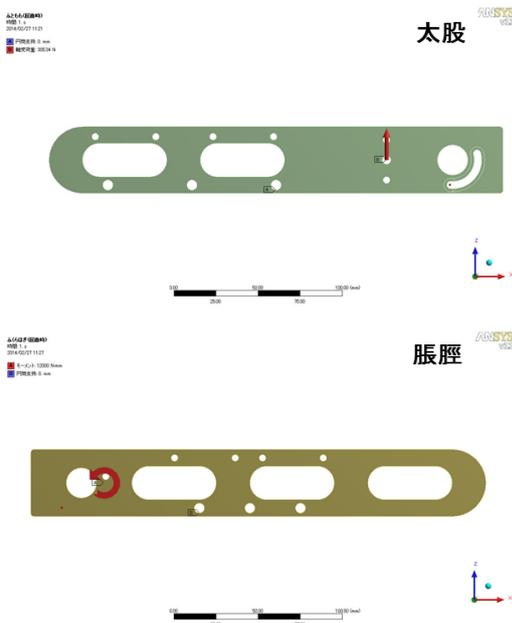
支柱部品の形状最適化を図るため、Fig.3 のような、通常使用の動作姿勢である(1)屈曲時と、器具に最も負荷がかかると予想される(2)全体重負荷時の計 2 姿勢を基準に、CAEによる応力解析とひずみゲージによる応力測定を行った。



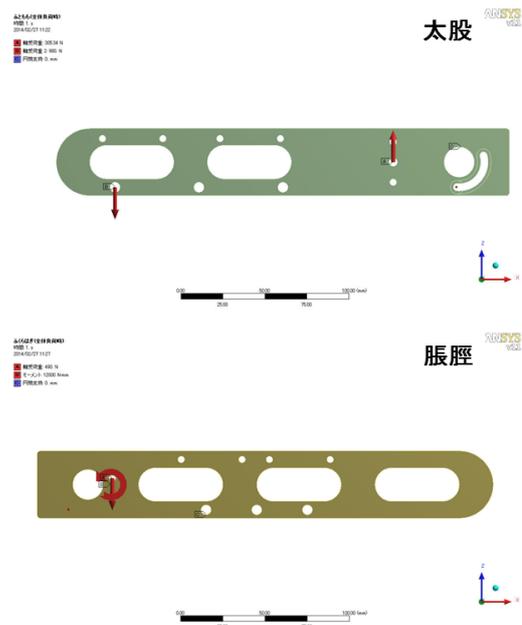
Fig.3 屈曲時と全体重負荷時の姿勢

3.1 CAE による応力解析

解析に使用したソフトは、ANSYS ver11.0 である。境界条件設定した解析モデル図を Fig.4 に示す。屈曲時は、太股部において、バネにトルクを伝えるピン穴に 12Nm (カタログ値) 相当の力 305.34N を与え、脛脛と太股の裏で接触するバンド締結ネジ穴 3 ヶ所を円筒支持とした。脛脛部では、バネ固定部品と接触する部分に最大バネトルク 12Nm (カタログ値) を与え、太股と同様に締結ネジ穴 3 ヶ所とバネ固定部品との摺動部分を円筒支持とした。全体重負荷時は、太股部において、ピン穴部に 305.34N とバンド締結ネジ穴 3 ヶ所に 980N を与え、回転防止ピンを固定とした。脛脛部では、過回転防止ピン穴に 100kgf(980N) の力を与え、屈曲時と同様の部位を固定、円筒支持とした。



(a) 屈曲時



(b) 全体重負荷時

Fig.4 境界条件の設定

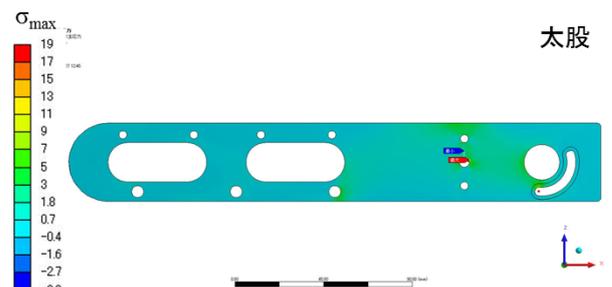
3.2 解析結果

部品の太股部および脛脛部の最大主応力 σ_{max} コンター図を Fig.5 に示す。ここで、試作部品の材質 Al 合金 (5052 番) の引張強さは 170~215MPa、耐力は 65MPa 以上である¹⁾。

屈曲時では、太股部において、回転中心部分から上面と下面のネジ穴にかけて 5~20MPa の値を示した。一方、脛脛部では回転中心部分で約 40~100MPa の値を示した。それ以外は 20MPa 以下の値となった。

次に、全体重負荷時では、太股部において、回転中心部分に約 30~330MPa、過回転防止ピン部周辺、上面のネジ穴と中抜き部分の四隅で約 100~130MPa と大きな値を示した。脛脛部では、回転中心部分に約 50~90MPa、加えて上面のネジ穴や中抜き部分も 20~60MPa の値を示した。

以上の結果から、脛脛よりも太股部の方が大きな負荷となり、部位別に見ると、回転中心周辺、上面のネジ穴、中抜き部分の四隅に大きな負荷が加わる解析結果となった。



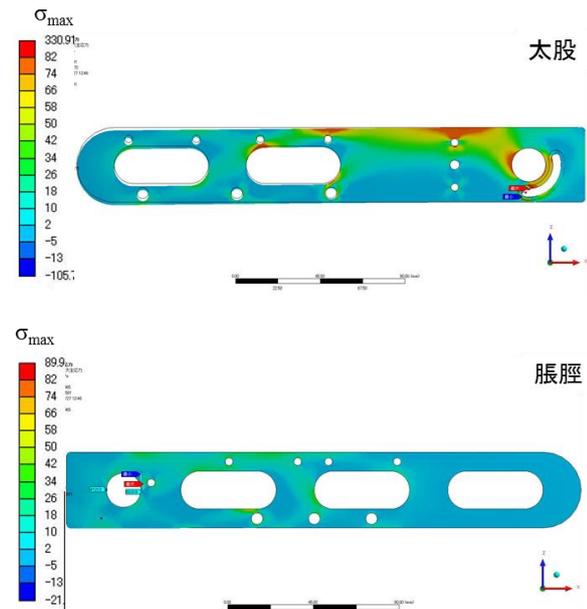
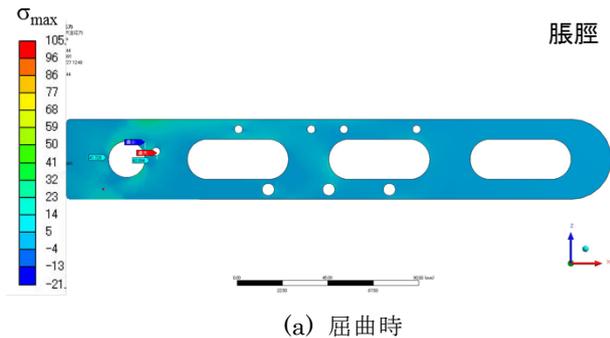


Fig.5 応力分布図

3.3 ひずみゲージによる応力測定

解析結果で比較的応力の高かった太股部を中心に、ネジ穴と中抜き四隅周辺にひずみゲージを取り付けた。測定ヶ所は、Fig.6の通りである。最も負荷の大きい回転中心周辺は貼り付け不可であったため、測定を見送った。ひずみゲージは、単軸ゲージと3軸ゲージ(いずれも(株)東京測器研究所製)を使用した。ブリッジボックス((株)東京測器研究所製)を介してデータロガー(デュートロンジャパン製)でひずみを読み取った。得られたひずみは、リード線補正を行い、下記の1),2)式を用いて応力を求めた。

単軸ゲージ

$$\sigma = E\varepsilon \quad \dots\dots\dots 1)$$

3軸ゲージ

$$\sigma_{\max} = \frac{E}{2} \left[\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{1-\nu} + \frac{1}{1+\nu} \sqrt{2\{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2\}} \right] \quad \dots\dots\dots 2)$$

ここで、アルミニウム合金(5052番)のヤング率 $E = 71\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.33$ 、 ε はひずみである。

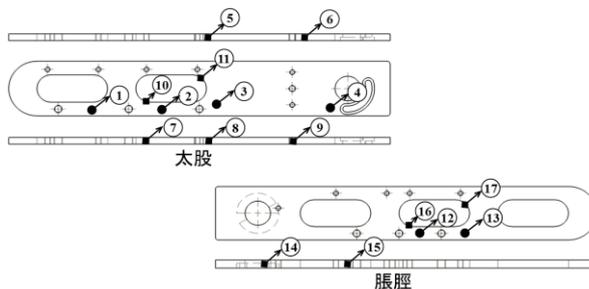
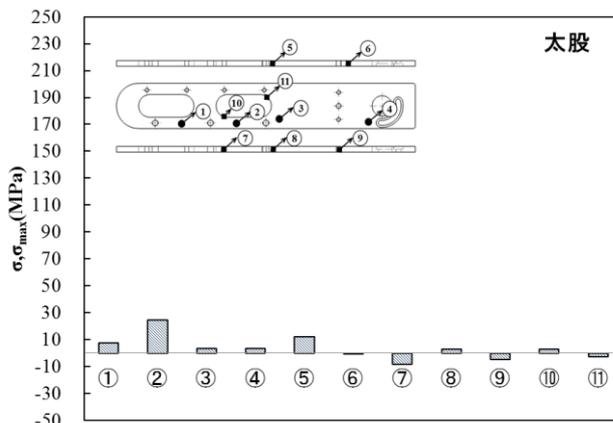


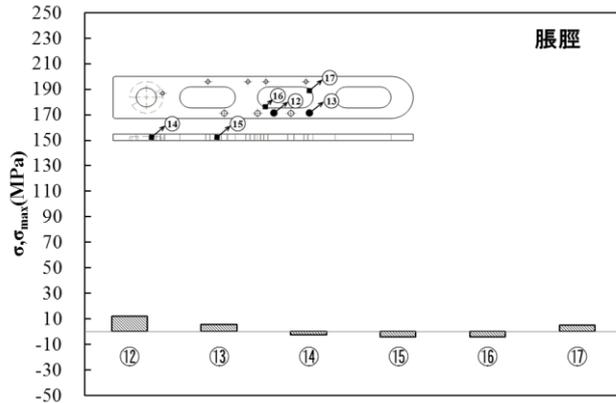
Fig.6 ゲージの取り付け箇所

3.4 測定結果

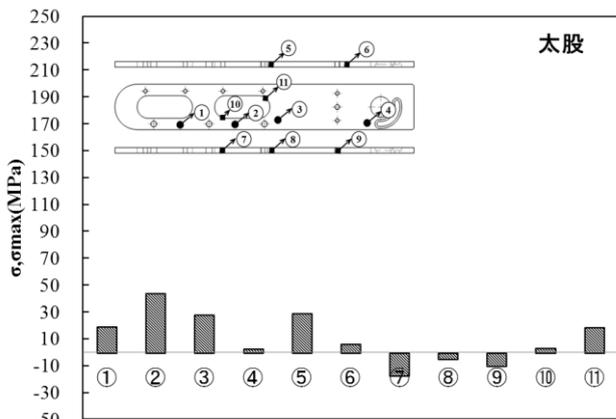
Fig.7に屈曲時と全体重負荷時の応力測定結果を示す。屈曲時では、太股部にて締結ネジ穴周辺②で最も高い応力 28MPa となったが、脹脛部も含めて他の部分(①, ③~⑰)はその半分以下であった。全体重負荷時では、太股部にて屈曲時同様箇所②で約 48MPa となり、四隅も屈曲時より大きな値を示したが、30MPa 以下であった。また、脹脛と太股裏側側面(⑦~⑨, ⑭, ⑮)の応力はすべて圧縮応力となっていることから、解析結果と同様の曲げが発生していることがわかった。

以上の結果から、Al合金に加えてMg合金(AZ31引張強さ $\geq 220\text{MPa}$ 耐力 $\geq 105\text{MPa}$)²⁾の機械的特性を考慮しても、回転中心部を除けば、屈曲や全体重負荷による破損や変形の可能性は少ないと考えられる。なお、全体重負荷時に解析結果 Fig.5(b)で最大と予想された箇所④の応力が低いのは、本来、全体重をかけると過回転防止ピンが限界の回転位置に達しピンと④近傍で体重を支えるが、実際には太股と脹脛のバンド同士が干渉し限界回転位置まで到達せず負荷がかかっていないためである。





(a) 屈曲時



(b) 全体重負荷時

Fig.7 応力測定結果

4. 改良した支柱部品

前節の強度評価から得られた結果を基に、形状を改良した支柱部品の図面を Fig.8 に示す。負荷のかからない部分を削ぎ、強度評価の結果から、曲げ応力が支配的であることがわかったので、曲げ剛性向上を目的に、中抜き部分に傾斜を設けた。また、支柱の過回転を防ぐピンとの摺動部分には極めて大きい応力が生ずると予想されたため、肉厚を大きくし、力を支える面積を広くした。材料はマグネシウム合金圧延材 AZ31 の厚さ 6mm 板材を使用した。薄

肉化、肉抜き加工はマシニングセンター(安田工業社)を用いた。切削加工条件は Table 1 の通りである。なお、ネジ下穴の加工は、汎用のハイスドリルを用い、メーカー推奨条件の 2-3 割減の条件とした。輪郭はワイヤー放電加工機(三菱電機製)を用いた。放電加工はワイヤー径 0.2mm、マシン内の Al 厚さ 5mm の放電条件とし、1st カットのみで行った。

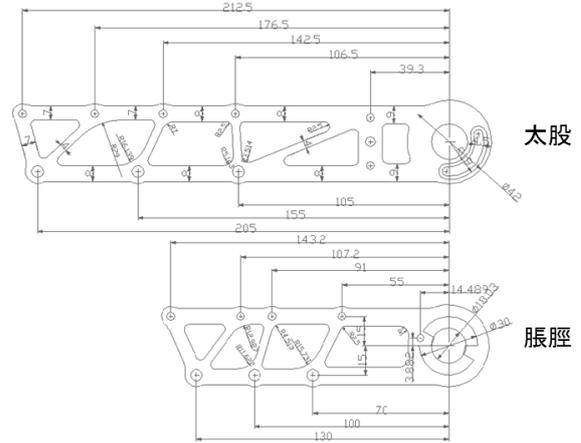


Fig.8 改良部品の図面

Table 1 マシニングセンターにおける加工条件

マシニングセンター	薄肉化	肉抜き
YBM850V	6mm→5mm	
使用工具	ハイスエンドミル OSG 製 CC-EMSφ20mm	ハイスエンドミル OSG 製 CC-EMSφ5mm
Z 方向切り込み (mm)	1	1.25
半径方向切り込み (mm)	17	全面
回転数(rpm)	800	3150
XY 方向送り (mm/min)	150	100
Z 送り (mm/min)	—	50
加工液	Dry(吸塵機使用)	Dry(吸塵機使用)

4.1 強度評価

Fig.9 に改良品を取り付けたサポート器具を装着して、使用を試みた(直立や屈曲、全体重負荷)様子を示す。全体重を幾度か加えても、変形や破壊は生じず問題ないことを確認した。加えて、屈曲時と全体重負荷時のひずみゲージによる応力測定を行った。測定は Fig.10 の通り、負荷の

かかると思われ7ヶ所を測った。ひずみゲージ(東京測器研究所製)は単軸ゲージを使用し、ブリッジボックスとデータロガーにてひずみを読み取った。

Fig.11 に測定結果を示す。太股部と脹脛部いずれにおいても、AZ31 の耐力下限 105MPa 以下となり、ネジ穴や中抜き部分での破壊や変形の可能性は低いことがわかった。しかしながら、測定できなかった回転部中心部の変形や破壊が考えられるため、更にテストを重ねる必要がある。

試作と改良した支柱部品の重量をデジタルはかり計(エー・アンド・ディ製)で測定した結果、前試作の部品が 220g に対して、改良品は 80g となり 63.7%削減した。



Fig.9 改良した器具使用時の様子

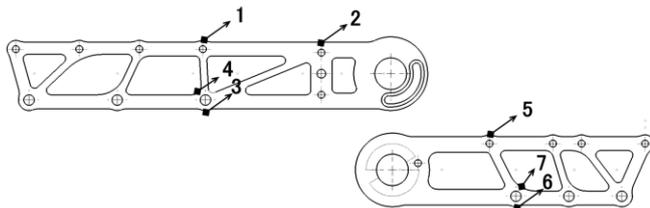


Fig.10 測定ヶ所

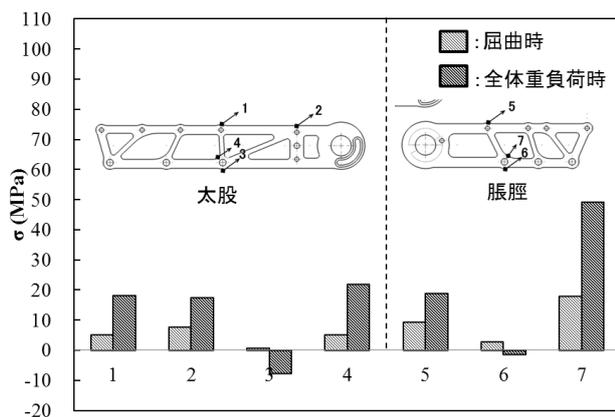


Fig.11 測定結果

5. まとめ

試作器具(支柱部品)の強度評価を行い、評価結果を基に形状最適化し、マグネシウム合金にて改良品作成を試み、以下の結論を得た。

(1) CAE による解析とひずみゲージによる応力測定を行った結果、屈曲、全体重負荷時のいずれにおいても、回転中心部分を除き、変形や破損の可能性が低いことが示唆された。

(2) 形状を最適化し、Mg 合金の加工により改良品を作成した。その結果、改良品の重量は 80g となり、前試作品に対して 63.7%削減した。

追記

本研究は、平成25年度ものづくり中小企業・小規模事業者試作開発等支援補助金事業により実施しました。

参考文献

- 1) 日本工業規格 JIS H 4000(2006) アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条
- 2) 日本工業規格 JIS H 4201(2011) マグネシウム合金板及び条