

メタルだんじりの設計・製作

佐藤 桂*

近畿職業能力開発大学校は岸和田市の地にあり、この地には約300年前から町の伝統としてだんじり祭りがある。だんじり祭りはその象徴として約4トンにもなる「地車」が町内毎に存在している。今回ここ岸和田市伝統の地車をすべて金属で製作し、その際に締結部品を使用せず難削材を使用し、嵌め合わせのみで組立てを行うために高い精度が要求される地車を製作することとした。その製作過程において、構想から設計・加工、各種難削材の加工条件検討および調整作業などを学ばせることができたので報告する。

Keywords : だんじり, SUS304, Ti-6Al-4V, インコネル X750, C2801.

1. 緒言

約300年の歴史と伝統を誇る「岸和田だんじり祭」は、元禄16年(1703年)、時の岸和田藩主岡部長泰(おかべながやす)公が、京都伏見稻荷を城内三の丸に勧請し、米や麦、豆、あわやひえなどの5つの穀物がたくさん取れるように(五穀豊穰)祈願し、行った稻荷祭がその始まりと伝えられている。当初の祭礼は、「にわか」や狂言などの芸事を演じ、その後三の丸神社、岸城神社へ参拝した。図1のように、すでに江戸時代には現在のだんじり(地車)の原型ができていた[1]。

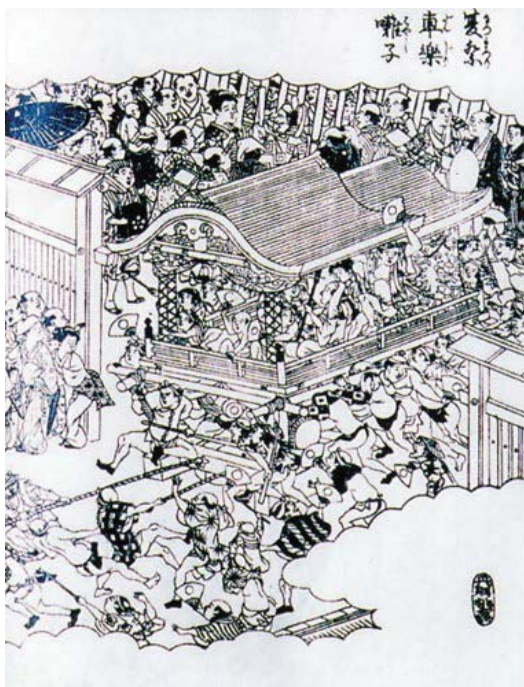


図1 摂津名所図会

だんじり祭りの象徴である地車は約4トンにもなり、主にケヤキの木で作製され、釘などは使用されていない。また、設計図は一般に公開されていない。だんじりの「型」は、大きく分けると『上(かみ)だんじり』と、『下(しも)だんじり』に分けられる[2]。

上だんじりは、様々な観点から細かく分類すれば20種類以上にも別れ多種多様であるのに対し、下だんじりは岸和田型一つのみを指す。この呼び名は、昭和40年代から地車研究家の間で呼び交わされてきた呼称で

あり、泉大津市と泉北郡忠岡町の境界にあたる『大津川』の北と南で、曳行されている地車の形態が異なっていたことに由来している。

上だんじり(図2左図)と呼ばれる地車には、『担い棒』・『肩背』などと呼ばれる棒が付いているのに対し、下だんじり(図2右図)と呼ばれる『岸和田型』地車には付いてないのがこの分類の根拠である[3]。

上記より、岸和田市周辺は下だんじりである。今回はここ岸和田市伝統の地車(下だんじり)をすべて金属で作成しトップダウン設計による製作を目標とした。素材については難削材と呼ばれる金属を一部使用し締結部品を使用せず、嵌め合わせのみの組み立てを目標としたため、高い精度の加工技術に挑戦することとした。



上だんじり 下だんじり

図2 だんじりの型

2. 概要

2.1 パート分け 今回のメタルだんじり製作に当たり、大きく8つのパートに分けた(図3)。

通常、主要な部分だけをパート分けしてみても少なくとも18パートに分けられるが、今回は金属での製作のために各パーツの合理化も図りたいため、パート数を減らすこととした。

また、多少の動きを可能にする為、本物のだんじりと同様に下部の重量を大きくし、上部の重量が軽い構造となるように材料の選択を行った(表2)。

* 生産技術科

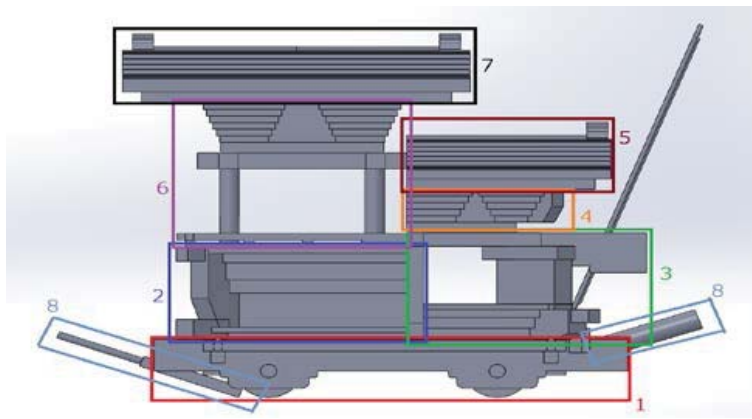


図3 メタルだんじりパート

表2 各パートの名称と質量

パート名	材料	重さ(kgf)
1 土台	Ti-6Al-4V, インコネルX750, SUS304	3.0
2 土呂幕	C2801	5.0
3 見送り緑板	C2801	3.9
4 小屋根柁組み	A2017	0.4
5 小屋根	A2017	1.2
6 大屋根下	A2017, Ti-6Al-4V	1.4
7 大屋根	A2017	2.7
8 てこ	Ti-6Al-4V	0.1
合計		17.7

今回は土台に Ti-6Al-4V(チタン合金), インコネル X750(超耐熱合金), SUS304(ステンレス)の3つの難削材を使用した。そもそも難削材とは文字通り削りにくく、加工しにくい素材のことを指す。難削材の特性は低熱伝導性の素材, 延性の大きい素材, 高硬度・高脆性の素材が主に言われている。

今回使用した材料の Ti-6Al-4V, インコネル X750 は低熱伝導性であり, 切削時における切りくずへの放熱が難しくなり工具刃先に多大なるダメージを与え, 工具寿命を著しく落とす。SUS304 は延性が大きい素材に該当する為, 切りくず離れが悪く刃先に絡みつき切り屑処理性が非常に悪くなる。

今回は, 地車の約 1/13 に当たる全長 400mm 高さ 300mm 幅 180mm 以内とし, 多少の動きを可能にする為に重さ 20.0kgf 以内を目標とした。

表2より, 総重量約 17.7kgf を直径 10mm の2本の心棒(車軸)で支える為, 難削材のインコネルの中でも曲げ強度があり, 比較的加工しやすい X750 を用いた。参考: C2801(六四黄銅), A2017(ジュラルミン)

3. 設計方法

3.1 基本設計 市販の木製だんじりキットより基本設計を行う。市販のキットは木製であり, 随所に接着剤が必要となるモノであるため締結部品を使用せず, 嵌め合わせのみの組立を目指すためには再設計が不可欠であった。以下に再設計手順を示す。

- ①だんじりキットより寸法を計測する。
- ②全てのパーツを原寸のまま3DCADでパーツ作成。
- ③パーツをアセンブリし, 構造と大きさを把握する。
- ④金属で加工・組立ができるようにトップダウン設計方式により構造の再設計を行う。
- ⑤再設計時に加工による嵌めあわせ部は中間ばめの H7 とし, はめ合わせ部の累積誤差を解消するため随所に適度なクリアランスを設ける。

⑥目的に合わせた新規パーツ作成及び各パーツの作成方法検討。

⑦アセンブリで組立チェック。

⑧3DCAD のデータを基に 2DCAD にて各パーツの加工図面を作成。

以上の手順で再設計を行い, 217 個のパーツから 61 個のパーツへ統廃合をし, 製作に対し合理化を図ることができた。

3.2 再設計の詳細 各パーツははめあいによって立体パズルのような構造になっている。土台部の内側に作製した溝(図4)に土呂幕, 見送り緑板が互いに支え合いながら組みあがっており(図5), 見送り部分は上から小屋根柁組み及び小屋根で押さえるようになっている(図6)。土呂幕部は上の大屋根下の欄干によって押さえられておりその上の四本柱が欄干, 土呂幕と大屋根を繋いでいる(図7)。後ろてこは土台に開けた穴に入っているが, 前てこは本物のだんじり同様に, 「堤」(つつみ)と呼ばれる縄によって支えられている。この堤はネジなどを用いない今回のだんじりの土台を固定する仕事も担っている。また, 後ろにも土台止めを設置し, そこから旗を立てることができる(図8)。

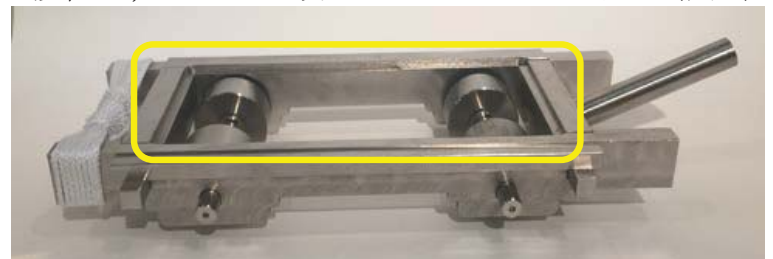


図4 土台部溝

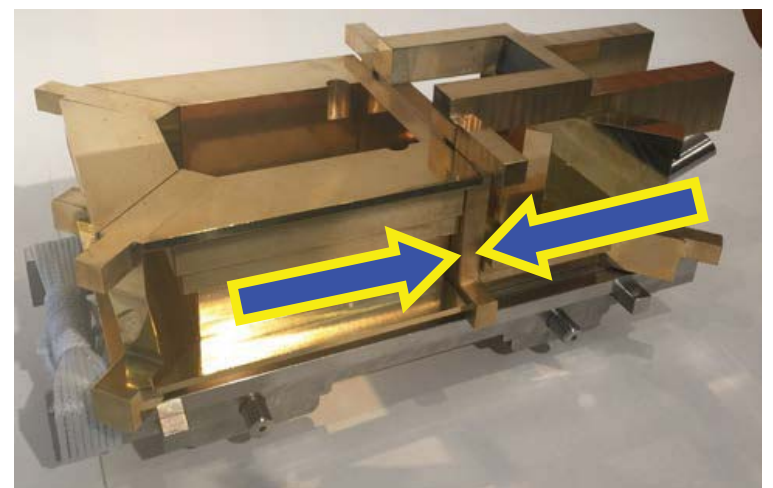


図5 土呂幕・見送り緑板の支え合い

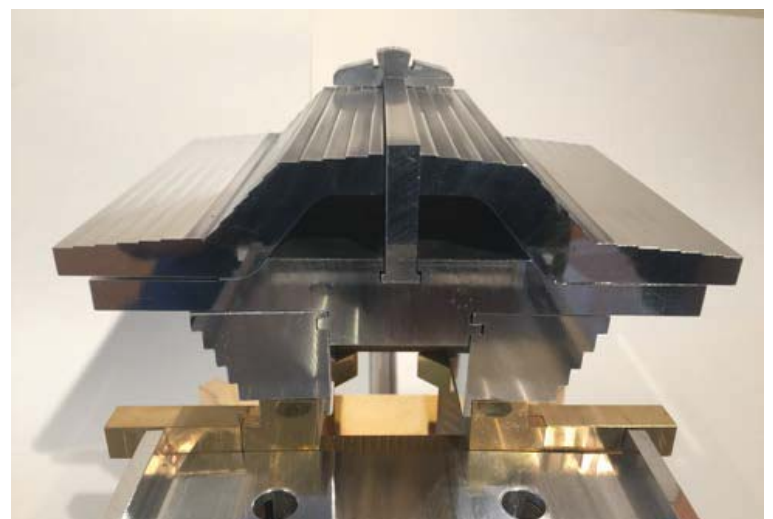


図6 小屋根後ろ

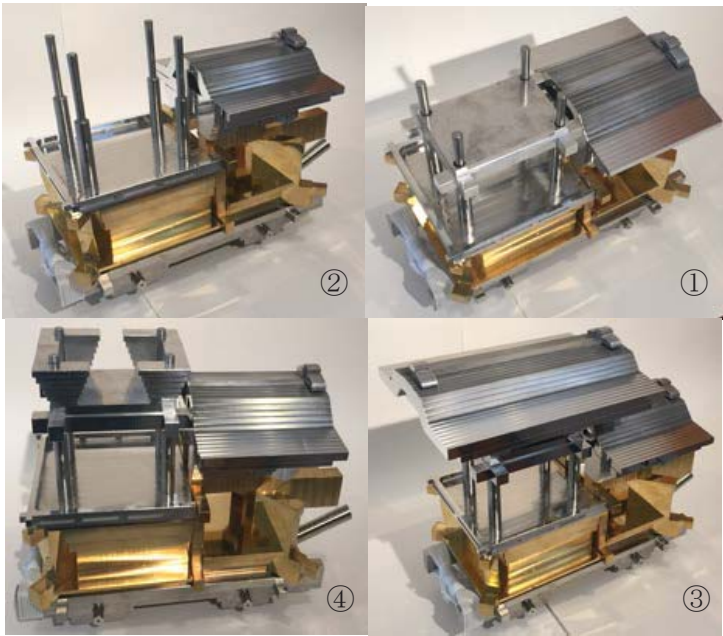


図7 大屋根組立

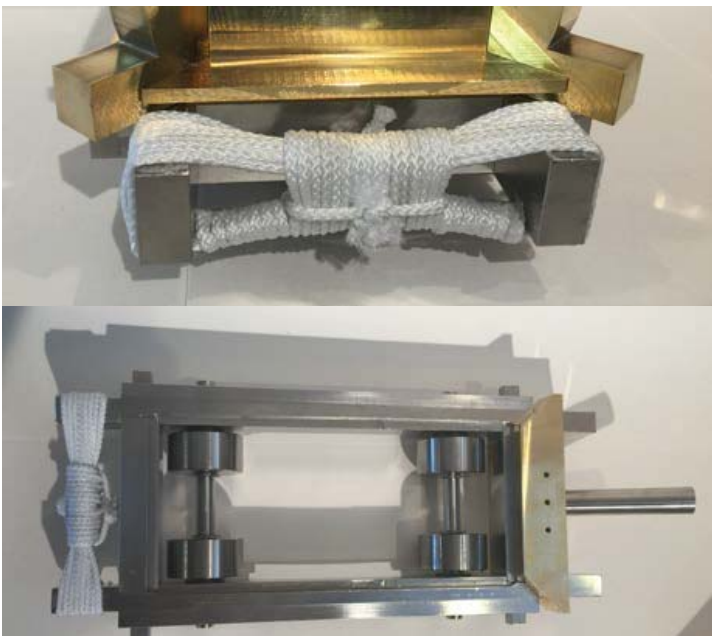


図8 堤と土台止め

4. 難削材における加工方法

4.1 チタン合金 Ti-6Al-4V 一般的にチタンやチタン合金と呼ばれているものは Ti-6Al-4V のことであり、切削加工業種内では 64チタンと呼ばれている。

この Ti-6Al-4V は温度に敏感で熱伝導率が悪く、短い時間の加工でもすぐに熱が上がる為、工具の磨耗が激しく、加工が難しくなりがちである。また、加工中の切りくずは高温であるため火災に注意が必要となり、消火剤に水や炭酸ガスを使用しないことを厳とし、万が一の場合を考え乾燥した砂を用意した。

送りを落とし切削熱を冷やす為、冷却作用が大きい不活性スプレー（図9）を利用した。

今回旋盤加工によって超硬チップの S 種(Tungaloy TNMG331HMM AH905)を使用した。本加工前に安定した条件を得るために実験を数回行い、切削条件の選定を行った。ここで述べる加工の安定とは、表面にびびり面が無く、加工中に振動が少ない状態のことをいう。

実験は外径切削とし、汎用旋盤を使用することから切削条件の各 数値はカタログ推奨値より 20%程落として実験した。

実験中、素材の温度がとても高くなった。切削温度を落とす為切削速度を徐々に落として実験を行った。

しかし、切削速度の数値がカタログ値の最低値まで下げても熱の対策ができずチップの消耗が激しかったため、冷却時間を設けることで加工の安定を図った。結果、 $ap=0.25\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$, $Vc=60\text{m/min}$ の条件下で切削長さ 150mm 加工後 20 分の冷却時間で加工が安定した。



図9 Ti-6Al-4V 冷却加工風景

4.2 インコネル X750 インコネル(INCONEL)は、ニッケルを主体とし、クロム、鉄、炭素などの成分を含み、様々な加工材料や鋳物材料としても使われる耐熱・耐蝕合金である。

添加するクロム、モリブデン等の成分の違いにより、インコネル 600、インコネル 625、インコネル 718、インコネル X750 等の種類に分けられる。今回使用するインコネル X750 はガスタービン、原子炉部品、压力容器、耐熱スプリング等に使用されている。

一般的にインコネルは高温強度が大きく熱伝導率が悪いため、もっとも切削加工が困難な合金としても知られている。実験及び加工手順については Ti-6Al-4V と同じ考え方の基、同じ S 種の刃先を使用し、 $ap=2.5\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$, $Vc=17.5\text{m/min}$ の条件下で加工を安定させた。切削長さ 100 mmの加工後、30 分の冷却時間が必要となった。

切削長さ 100mmを少しでも超過すると、素材の熱伝導率が著しく悪くなり、工具が高温となりチッピングが幾度となく発生した（図10）。

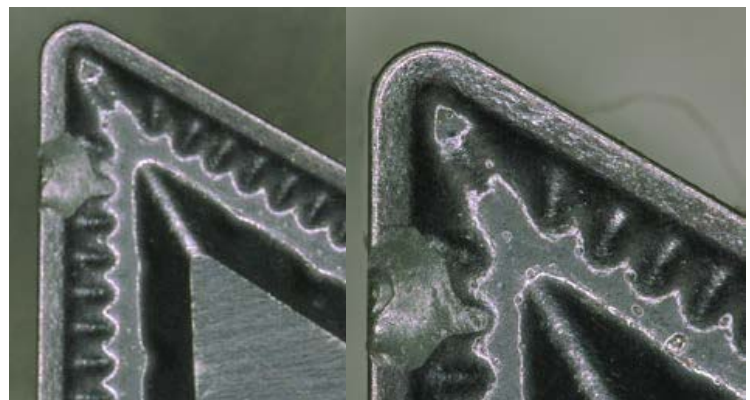


図10 チッピング

4.3 ステンレス SUS304 ステンレス鋼は熱伝導率が低く、切削時に発生する熱（800℃～1200℃程度）が工具刃先に集中する。そのため工具摩耗が急速に進展し工具寿命は短く、難削材と呼ばれている。また、ステ

ステンレス鋼は、加工硬化現象の発生も懸念されるため、切削時のトラブルが多い被削材である、

今回使用する SUS304 は 18 クロムステンレスとも呼ばれ、ステンレスの中ではもっとも流通している。

オーステナイト系ステンレスに分類され、磁石にはつかないが、加工硬化によって磁性を持つことがある。

今回ステンレスの加工は正面フライス A.R(Axial Rake angle)+15°, R.R(Radial Rake angle)-3°, 使用するサーメットのチップ (Tungaloy SDKN1203AETN-12 NS740) で実験を行った。今回はワークが長く、クランプが不安な箇所もあり、ビビリが発生すると考えられたため、加工条件はカタログ値より 20% 程条件を落とした。ap=2mm fz=69mm/刃 Vc=45m/min の条件下でエンゲージ角をなるべく少なくすることで、びびりが少なく、安定した加工が行えた。

また、エンドミル加工については耐摩耗特性に優れたコーティング付き超硬合金を使用し、切削時における切れ刃の負担を軽減する目的で、強ねじれ刃、多刃、ポジティブすくい角のスクエアエンドミル (ミスミ TSC-FMS-HEM3S) とした。このエンドミルはステンレス加工が得意な刃物である為、カタログ値通りの加工条件とし実験は行っていない。

5. 嵌め合い修正

嵌め合いの寸法公差は小さく、精密加工を必要としていたが、組立て時に屋根から土路幕までの位置決めとして使用している四本柱 1 本がはめあわず現物合わせが必要となった。現物合わせの手法として鉄鋼ヤスリやサンドペーパー、寸法公差や幾何公差が厳しい箇所には粒度の低いコンパウンドを使用し調整を行った。

大屋根の溝加工を行った際、加工物が加工の衝撃に耐えきれず歪んでしまい、ヤスリで現物合わせを行いながら修正した。

大屋根の曲線部はワイヤーカット放電加工機を使用した。ワークが 213mm と大きいものであったため、たいこ状になってしまいワーク中間部の修正が必要となった。

いずれの修正も大きなものではなく、設計変更も必要なかったため、加工技術のレベル向上が見受けられた。

6. 評価

初期の構想に無かった装飾品を付けるなどのアレンジを加えることができた。研磨剤を使用し、部品を磨き上げることで光沢を出すことに成功した。今回の製作物は、全長 392.2mm 高さ 275.34mm 幅 170.0mm 重さ 17.92kgf となり当初の目標寸法、目標重量以内に収めることが出来た。

6. 結言

学生たちには、メタルだんじり設計・製作を通して、計画から設計・加工・修正・組立までをグループ作業で行ってもらった。予定期間までの計画、製作者同士の役割分担と情報共有の重要性を学び、グループ作業独特の作業性を知ることが出来たと思う。



図 11 完成 (正面)



図 12 完成 (背面)

締結部品を使用していないため、緩める、締めるができず現物合わせを行いながら修正といった一般企業でもよく見受けられる作業を行うことで机上ではなく、実際にどういった箇所にもどのようなトラブルが発生するかといったトライアンドエラーを体験することができ、今後の技術・技能の向上に役立ったと思う。

今回のメタルだんじり製作は難削材を使用し、だんじりの形とした。本来彫刻が行われている箇所を加工の目によって表現したが今後は本来のだんじりのように彫刻を施し、屋根下の懸魚、破風を再設計し細やかな場所までこだわっただんじりを目指す。

文献

- [1] 岸和田市公式ホームページ
<https://www.city.kishiwada.osaka.jp/>
- [2] だんじり会館
<http://www.kishibura.jp/danjiri/>
- [3] 泉州だんじり祭り
<http://sdanjirim.jp/danjiri.html>

(2017年08月18日提出)