

# 第 22 回かわさきロボット競技大会

## バトルロボット部門

### No.131 「2bit バレルシフト」

## 出場報告

#### 1. 概要

この資料は第 22 回かわさきロボット競技大会に参加したロボット、「2bit バレルシフト」(以下、本機体と呼称)の仕様および特徴についてまとめたものです。

決して公的な文書ではなく、来年以降のロボットがより優れたものになるよう設計や製作方法についてまとめたもので、誤記、語弊、ネタに走る文章についてはご容赦下さい。

#### 2. 参加概要

エントリーNo : 131

ロボット名 : 2bit バレルシフト

チーム名 : チーム MiF

キャプテン名 HN : バレルシフト

書類審査 : 通過、本予選

#### 3. ロボットについて

##### 3. 1 ロボットの概要

本機体は同チームのロボット、「からっ風」シリーズのデータをもとに、独自の設計要素を取り入れ製作されたロボットです。

設計、製作、大会参加まで約一人です。(本当に一人だと出れないのは ry)

第 21 回大会のロボット「1bit バレルシフト」の脚の部分を流用しています。

##### 3. 2 設計コンセプト

このロボットの設計コンセプトは、以下の通りです。

(1) 製作期間の短縮のため既製品を利用する

(2) 自作部品は CNC フライスにて加工可能な形状とする。精度を考慮し、両面加工は極力実施しないが、今後繰り返し利用できる場合は別途検討する。側面からの

加工は行わない。

- (3) 「からっ風」シリーズと互換性のある部品設計を意識する。
- (4) 分解が容易であること。

### 3. 3 脚機構

#### 3. 3. 1 ドライブ機構

脚には左右に 380 モータを各 1 つずつ使用しています。減速には朱雀技研の IG-32 シリーズのギアヘッド、1/27 を使用しています。図 1 に全体図を示します。



図 1 脚機構 全体図

シャフトには剛性および質量を考慮し、ステンレスパイプを使用しています。前後の脚はシャフトドライブ機構により接続されています。各シャフトへの伝達は KHK のマイタ歯車 DM1-20 を使用しています。拡大図を図 2 に示します。



図 2 減速-シャフトドライブユニット 拡大

モータは後脚側についており、後脚のシャフトへ伝達した後、前脚へのシャフトへ伝達します。この時後脚のシャフト、前脚へのシャフト、モータの出力軸がすべて直交してしまうと歯車同士が干渉してしまうため、モータは 10 度傾いています。

モータの出力軸およびシャフトと、マイタ歯車の接続には接着剤ロックタイト 638 を使用しています。結果シャフトとマイタ歯車の接着には問題ありませんでしたが、モータの出力軸とマイタ歯車には接着がはがれることが多発しました。原因はステンレスパイプの直径が 6.1mm 程度あったため圧入により締め付け力がかかっていることと、マイタ歯車の材質がジュラコンであり、接着には不向きのためです。先にロックタイト 638 ではなく、セメダイン PPX を試しましたが、圧入によりプライマーが剥がれてしまうためか接着力が不足し、脚を動かすたびにどこかの接着が外れました。

大会の後日、知り合いより軸とマイタの接続を行う場合に使用している方法として、DM1-20 のボス部分の上から、ネジ穴付きセットカラーで固定するという手法を教えてもらえました。条件としてボス部分に横穴をあける必要があり、シャフトが中実で D カットがあることが望まれますが、トルクを伝えるには十分な手かと思えます。もし同様の設計をする場合は検討してみてください。

前後をつなぐシャフトには、NBK のカプリコン MRG-16C-6x6 を使用しました。これにより歯車の接着後でも前後のシャフトドライブユニットが分割可能となり、メンテナンス時にはこの部分を回すことで動作確認を行うことができるといった利用方法もありました。

ちなみに今回、軸部品への横穴加工は行わず、すべてスリットカラーまたは D カット品へのネジ止めのみです。横穴加工は、加工難材への加工による精度の不安定性、またトルク伝達時の不具合の増加、分解が不可能になるなどデメリットが多いためです。

### 3. 3. 2 円弧運動

円弧運動には、クランクとスライダを使用しています。ほぼすべて昨年度の流用品で、基本的には「からっ風シリーズ」のうしとら脚を参考にしていますが、大きな違いは以下の 3 か所です。

- (1) クランクのベアリングは 6804 を各 1 つ使用する(図 3)
- (2) ベアリングは各脚のスライダ部品から挟み込む構造にする。摺動部なし。  
(図 4)
- (3) スライダの角度を 10 度ずらし、脚からクランクへの荷重がスライダをゆがめないようにする。(図 4)

特に(1),(2)の項目については、脚機構の効率が非常に高くなり、モータからの減速比が 1/14 のときには脚からモータのコキングトルクを感じられるほどでした。

しかし(3)の項目は移動時の脚の振動を招き、結果としては効率が下がっています。またベアリングが質量の増加を招き、後述の質量測定結果を招きます。またベアリングおよび保持機構の横幅が広いこと、脚機構の幅が 50mm 以上、伝達機構と合

わせて片側で 115mm あるという状況でした。今後は 6803 や他の薄型ベアリングを検討していきます。



図 3 脚用クランク機構



図 4 脚のスライダ部品

脚裏には t5 ポリカとシリコンシーラント 8060 を使用しています。図 5 のように削り出した脚裏部品の枠を使用し、枠側には手の乾燥防止用に使われるワセリンを塗布した後、隙間にシリコンシーラントを注入しています。ワセリンを塗っても若干枠とシリコンがくっつきますが、押すだけで簡単に外れます。シリコンシーラントにはポリカを侵食する性質があるようですが、特に影響は見つかりませんでした。この作業は第 21 回大会のために行っており、ある程度の強度が確認できました。また足裏はスライダ部品とネジ止めのため交換も容易で、複数予備を用意しておくだけで大会は乗り切れると考えられます。



図5 シリコンシーラントの注入

### 3. 3. 3 サス+展開機構

フィールドの不整地を走行するため、図6のように左右の脚機構は一軸で回転可能になっています。腕機構及び回路ボックスを搭載していない状態であれば、1回転させることが可能です。バネなどで平行に復帰させる必要があるかと思いましたが、腕機構に干渉し可動範囲が約±30度程度に制限されていたため、復帰機構は必要ありませんでした。

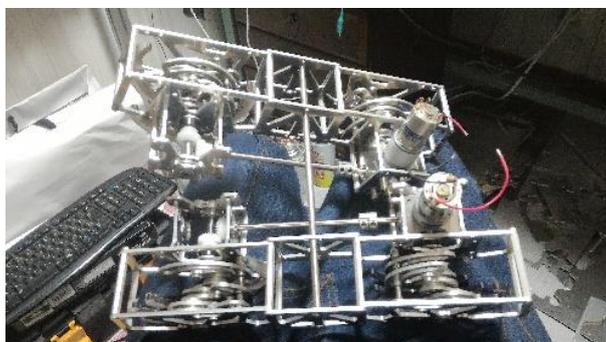


図6 サス機構

昨年の実績からΦ6t0.5のステンレスパイプでも十分な強度を得られることが分っていたため、左右をつなぐのはステンレスパイプ1本です。この軸に伸縮機構を設けることで、左右への展開機構を持っています。概要は図1中央部を見ていただければわかるかと思いますが、右足はステンレスパイプと固定せず、スリットカラーを止め具としています。

### 3. 4 腕機構

#### 3. 4. 1 減速機構

腕の減速機構ではギアヘッドの減速および平歯車での減速を行っています。ギアヘッドには IG-32 シリーズの 1/100、平歯車にはギアヘッドには SSY1-15、遊び歯車の PS1-30、モジュール変換用軸に PS1-30J10 と PS2-18J10、最終段は自作のアルミ歯車モジュール 2-30 となります。合計の減速比は 1/200 です。全体像は図 7 のとおりです。

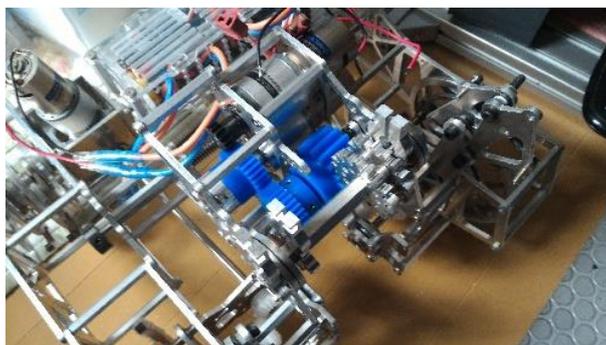


図 7 腕用減速機構

エンドミルの都合で、モジュール 2 以上の歯車しか製作できなかったため、最終段はモジュールが 2 である必要がありました。しかしギアヘッドの初段からモジュール 2 にしてしまうと既製品の歯車の穴が太くなりやすく、ギアヘッドの穴に合いませんでした。そこでモジュール変換用の軸を設けています。重量の関係上鉄歯車は使用できないと考え、PS シリーズの樹脂歯車を使用しています。また、樹脂歯車同士のトルク伝達には接着剤は不向きのため、平行キーを使用しています。平行キーを使用するには軸と歯車にキー溝が必要ですが、歯車は KHK よりキー溝加工済みの歯車が購入可能でした。そして、軸そのものにはキーがある以上強度は必要ないと考え、アルミ軸にキー溝加工を行うことにしました。キー溝加工には基本的にフライス盤が必要となりますが、卓上 CNC フライスしか所持していませんので、図 8 にあるように軸を固定する治具を作成し、キー溝加工を行いました。軸方向の平行が出るかが心配でしたが、使用上特に問題ありませんでした。軸と治具の間にはある程度のはめあい力が発生するよう製作できたため接着剤や両面テープは使用せず、軸の裏側および治具の裏面を両面テープでベッドに固定しています。



図8 CNC卓上フライスでのキー溝加工

本来モータとギアヘッドは2個使用する予定でしたが、重量測定の結果1つに減らさざるを得ませんでした。その結果負荷トルクが足りずギアヘッドの出力軸にあるSSY1-15とPS1-30の部分でPS1-30の歯車が負けました。設計にあたり計算上でも負けることは予想できていたため、やむを得ない状況と考えています。SSY歯車ではなくSS歯車を使用するなど、対策は可能でしたが結局重量が規定を超えてしまうため、今回の最大の敵は重量だったと言わざるを得ません。

#### 3. 4. 2 スライダ機構+ロッド

かわさきロボットのルールである、腕機構の揺動機構を満たすため、腕にはクランクとスライダを有しています。このスライダ機構は「からっ風シリーズ」と同じ構造ですが、大会後に死点の近い2年前の機構だったとわかりました。追記までしばらくお待ちください。

#### 3. 4. 3 カウンターロッド

追記までしばらくお待ちください。

#### 3. 5 回路ボックス

回路ボックスは無色のポリカで製作しています。ある程度の剛性を保ちつつ軽量化するため、図9のように内側には直線でのポケット加工を行っています。回路ボックスには、電池、MC402CR×3、受信機、端子台があります。端子台を使用することで圧着端子での取り付けとなり、半田工程が不要となるメリットがあります。また来年以降への流用も容易です。電池側は1段、受信機やアンプ側は中段を設けた2段構造になっています。

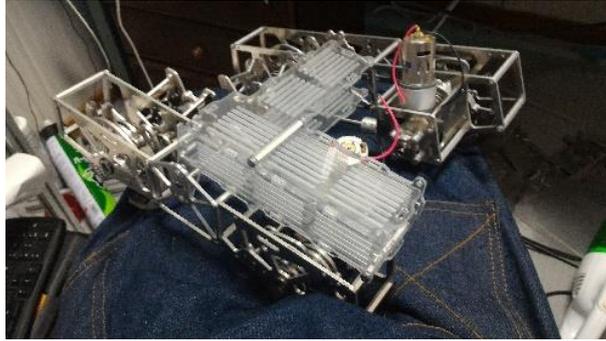


図9 回路ボックス

### 3. 6 各機構の連結と分解

設計コンセプトにもあるように、このロボットは分解が容易に可能となるように設計しました。

### 3. 7 重量超過とその対応策

このロボットの各部品の質量は表1となります。実際にはさらに全体的な軽量化を行い、大会での計測では3490gとなりました。

初期の計測では3948gという結果になり、大幅な軽量化を行う必要がありました。一つ目はNiMHからLiFeへの変更です。電圧が7.2Vから6.6Vに下がりますが、重量は320gから170gと150g軽くなりました。そして腕用のモータを2つから1つに減らしました。モータにはギアヘッドが付いているため、合わせて240g減っています。これで約400g軽くなり、各部品の見直しや不必要なフレーム(保護用フレームなど)を外すことで何とか3490gまで到達しました。

モータとギアヘッドを外したことにより、ギアヘッドからの遊び歯車への負荷が増えることは理解していましたが、ギアを変更することも重量的にできず、このまま試合に臨むことにしました。その結果、樹脂ギアの歯が曲がりました。一つは単純な負荷によるものですが、ギアヘッドIG-32にも問題がありました。このギアヘッドは遊星歯車になっていて、最終段の歯車にはベアリングが一つ入っているのですが、この軸にラジアル荷重を加えると離れる方向に傾くようです。もし今後使用する予定があれば、負荷を下げるかカップリングなどで軸がずれても問題ない構造にして直接歯車を付けないことをおすすめします。今回は減速比1/100を使用してこの問題が発生したため、減速比が違うもので同じことが起きるかは不明です。

表 1 質量一覧

全体	3504.5					
脚+回路箱		2575.5				
回路箱			470.2			
アンプ+ケース				302.5	302.5	302.5
電池				167.7	167.7	167.7
脚			2105.3			
L				1025.1		
FL					385.6	
FL 脚						279.1
FLドライブ						106.5
RL					610.2	
RL 脚						292.2
RLドライブ						318
L 連結					29.3	29.3
R				1080.2		
FR					383.9	
FR 脚						276.9
FRドライブ						107
RR					593.2	
RR 脚						289.2
RRドライブ						304
R 連結					103.1	103.1
腕		929				
ロッド			195.1	195.1	195.1	195.1
カウンターアーム+減速ユニット			733.9			
カウンターアームユニット				117.4		
L					58.2	58.2
R					59.2	59.2
減速ユニット				616.5		
六角軸セット					107.7	107.7
R プレート					45.5	45.5
モジュール変更軸					80	80
遊び歯車軸					28.3	28.3
モータ 1+L ユニット					355.5	355.5

#### 4. マネジメント

##### 4. 1 製作費

このロボットは第 21 回大会から部品を流用して製作しているため、第 22 回大会だけの製作費および設備費は計算が難しいので、第 21 回大会分を含めて、記録・記憶に残っている通販および現金購入した部品材料費を確認したところ約 22 万円の部品材料費、設備費には約 49 万円の費用が掛かっていました。設備費には卓上 CNC フライス KitMill RD300 の購入費用が含まれています。またパソコンの購入費用が含まれていません。実際には第 21 回大会より 2 年前から設備を整え始めたため、3 年で約 70 万円を使用していることとなります。ほかの趣味でこの金額を使用したことは無く、自分の最大の趣味と言えるでしょう。他のロボットも同じとは言えませんが、ロボット 1 台を作るために 10 万～20 万円がかかっているのではないかと思います。しかし設備費は学校の設備を利用することや、共有の工具を使用することで抑えられるのではないかと思います。

##### 4. 2 製作環境

私が保有している家庭用電源で動作する工作機械は、KitMill RD300、卓上ボール盤、PROXXON ミニルーター No.28400 です。

CAD 用パソコンは自作のデスクトップ、CAD は DraftSight(2 次元 CAD)、CAM は NCVC、KitMill RD300 用アプリケーションは USBCNC を使用しています。製作は主に土日祝日で行っており、平日はほぼ作業を行っていません。

#### 5. 大会結果

大会結果は、予選トーナメント 1 回戦は不戦勝、2 回戦にて「コレジャナイザー荒偽兎」と戦い敗北、敗者復活トーナメント 3 回戦は不戦勝、4 回戦にて「プリオール」と戦い敗北しました。

#### 6. 反省と今後の展開について

既製品として利用した IG-32 のギアヘッドは重く、手軽さと引き換えに重量を苦しめました。また設計を共通化しても変更が多く、結局部品を共有することができませんでした。その結果お互いによりやく部品を作る状態となり、練習を行うこともできませんでした。

昨年はロボットがようやく動く状態で出場し、敗者復活で何とか 1 勝したものの同チームの「からっ風 Pussyfoot」に敗北しました。今回は不戦勝を除き 1 勝すらあげることができませんでした。決勝トーナメントに行くためには、予選トーナメントの約 4 分の 1 に残る必要があるため、少なくとも 2 回勝てるロボットでなくては、決勝トーナメントには行けないこととなります。

そこでまずは決勝トーナメントに進出できるようなロボットの製作を行いたいと思います。どうしても独自性を持たせたいという思いはありますが、まずは簡単な部品で作れるような設計を意識し、量産して練習できるようなロボットを作りたいと思います。いくつか参考になるロボットも見つかりましたので、学園祭などを見学し積極的に情報を収集できたらと思います。

そのあと、再び自分のやりたいことが詰まったロボットを作りたいと考えています。おそらく私の製作速度では来年の大会には間に合わないと思いますが、再来年に向けて、準備を始めていこうと思います。