

モータドライバの性能比較と耐環境試験

Motor Driver's Performance Comparison and Environmental Test

鈴木 利明
Toshiaki SUZUKI

川田工業(株)技術研究所
情報機械研究室主任

平田 勝
Masaru HIRATA

川田工業(株)技術研究所
情報機械研究室係長

嶋田 輝夫
Teruo SHIMADA

川田工業(株)機械システム事業部
HRIS開発室主任

藤原 忠弘
Tadahiro FUJIWARA

川田工業(株)機械システム事業部
HRIS開発室

ロボットなどモータで動作する機械において、モータはただ回せばよいというのではなく、回転数や力が適切に制御されなければならない。そのモータを制御する核となるものがモータドライバである。本事業部では、これまで様々なモータドライバを開発し、そのうち2つのアナログ制御式ドライバを製品化し販売している。また現在、新しくデジタル制御式のモータドライバの開発を行っている。

本論文では、これらのモータドライバについて、それぞれの性能、特徴を比較評価する。また電気製品としての品質を調べるため行った環境試験のうち低温試験、高温試験、バンプ試験についての結果を報告する。

キーワード：モータドライバ、ロボット、環境試験、低温試験、高温試験、バンプ試験

1. はじめに

ロボットは構造とそれを動かすモータ、そして外界の情報を得るセンサでなりたっている。ロボットにある仕事（タスク）を与えた場合、ロボットは与えられたタスクとセンサの情報からモータに適切な電力を加え、構造体を動かす。このモータに適切な電力を加える、つまり制御するのがモータドライバであり、ロボットの核となる技術の1つである。

本事業部ではこれまで様々なドライバを開発し、その中で2種類のドライバの製品化を行った。

ひとつはヒューマノイドロボットで技術を培い製品化した「HRT07-004」である。これはヒューマノイドロボットという限られたスペースの中で大出力が要求されることから、機能を電流制御に絞り、また2軸をワンセットとして小型化したもので、主にHRP-2に搭載している。もうひとつは無人ヘリRoboCopterで技術を培い製品化した「dSAC-24-20」で、電流制御、位置制御、速度制御の3種類の制御機能と可変ゲイン機能をもつ多機能なモータドライバであり、主にJoyChairに搭載されている。

そして現在、これまでのアナログ制御方式からデジタル制御方式に変更したモータドライバの開発を行っている。これは、アナログ回路をデジタル化することにより、

これまで以上に小型化し、また指令入力もアナログ入力だけでなく、デジタル通信での入力にも対応する。

本論文では、これらのモータドライバの特徴と性能を比較評価する。また、電気製品としてその輸送中や使用中の品質を調べるため、日本工業規格（以下、JIS）で定める環境試験方法に則って行った環境試験のうち低温試験、高温試験、バンプ試験についての結果を報告する。

2. モータドライバの特徴

(1) HRT07-004の特徴

写真1にHRT07-004の外観を示す。このモータドライバはヒューマノイドロボットという限られたスペース、限られた電力、そして、脚のような大きな出力を必要とするモータから手先の小さな出力のモータまで様々な種類のモータを制御できなくてはならない、という条件から開発されたものである。

まず、モータの制御機能を電流制御のみとし、1ボードに2軸分搭載することにより小型化した。しかしながら、最大出力は54 V、20 Aと高出力である。

また、従来のPWM駆動方式では、零出力指令に対してモータを制御する際、正転・逆転電流を交互に流し釣り合わせることによって見かけ上の零出力を達成している。特にコアレスモータなど低いインダクタンスモータ

の場合にはこの電流が大きくなるため、外付けのインダクタが必要となる。そこで、このモータドライバでは、この電流をゼロにする駆動方式を開発した。よって、省エネルギーで低インダクタンスモータでも外付けのインダクタを必要としない。



写真1 HRT07-004外観

(2) dSAC-24-20の特徴

写真2にdSAC-24-20の外観を示す。このモータドライバは、HRT07-004で開発した省電力で低インダクタンスモータにも対応する駆動方式を採用し、電流制御機能、ポテンシオメータによる位置制御機能、タコジェネレータによる速度制御機能の3種類の制御モードを持たせたものである。

さらに、可変ゲイン機能を備えており、アクチュエータのゲイン（強さ）をリアルタイムで変更することができる。この機能は、例えばモーションベースなどで浮遊感を与えたいときなどに効果を発揮する。



写真2 dSAC-24-20外観

(3) KDD00の特徴

写真3にKDD00の外観を示す。このモータドライバは制御回路にDSP（Digital Signal Processor）を搭載し、これまでアナログ方式であった制御回路をデジタル化しプログラムで実行することにより、回路を省略し、これま

で以上に小型化するとともに、ノイズの乗らないデジタル通信での指令入力に対応できる。

またこのモータドライバは、アナログ入力、エンコーダのカウンタ入力にも対応しているため、アナログでの入力指令やポテンシオメータでの位置制御、エンコーダでの速度制御も可能である。

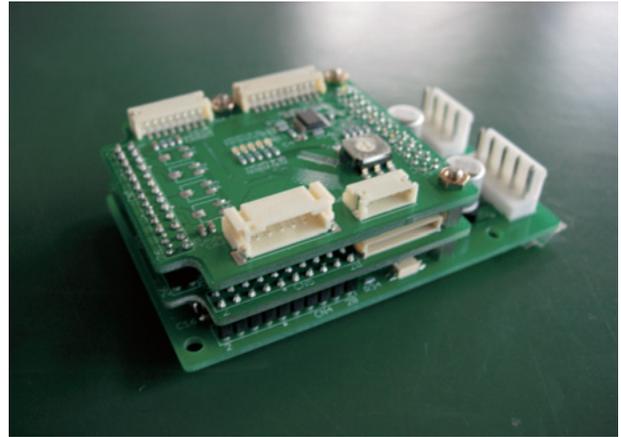


写真3 KDD00外観

3. モータドライバの性能比較

表1に各モータドライバの性能緒元を示す。HRT07-004は2軸で下記の外形寸法、質量であるので小型、軽量であり、また大出力にも対応できる。dSAC-24-20は他のモータドライバに比べ大きいものの多機能であり、また制御用の電源は内部で作成しているのが必要としない。KDD00は制御方式をデジタル化することにより小型、多機能を実現している。

表1 モータドライバの性能比較

名称	HRT07-004	dSAC-24-20	KDD00
モータ電源電圧	V DC48 (8~54)	DC24 (18~32)	DC24 (21~27)
制御電源電圧	V DC±12	モータ電源共通	DC5
定格電流	A 8	10	5
最大電圧	V 54	32	30
最大電流	A 20	20	10
アナログ指令入力	V -10~+10	-10~+10	0~+5
デジタル指令入力	—	—	CAN
制御方式	アナログ	アナログ	デジタル
モータ駆動方式	PWM (20kHz)	PWM (20kHz)	PWM (25kHz)
制御モード	電流制御	電流制御 位置制御 速度制御	電流制御 位置制御 速度制御
電流モニタ	電圧出力	電圧出力	CAN
外形寸法	mm 75×77×22.5	145×40×75	80×50×25
質量	kg 0.075	0.5	0.06
備考	2軸/1ボード	可変ゲイン機能 搭載	

4. 環境試験

(1) 低温（耐寒性）試験

この試験の目的は、製品を低温で使用したり、貯蔵することができる能力を調べるものである。

本試験ではJISの「環境試験方法－電気・電子－低温（耐寒性）試験方法」¹⁾に則り試験を行った。この規格では「試験Aa：発熱がない供試品に対する急激な温度変化を伴う低温試験」, 「試験Ab：発熱がない供試品に対する緩やかな温度変化を伴う低温試験」, 「試験Ad：発熱がある供試品に対する緩やかな温度変化を伴う低温試験」の3つの分類がある。本試験での供試品はモータドライバであるので発熱を伴うため、「試験Ad：発熱がある供試品に対する緩やかな温度変化を伴う低温試験」に該当する。

図1に低温試験装置のシステム構成を示す。負荷装置について、HRT07-004は電流制御のみのためDCモータ(RE30 [24 V, 60 W]：MAXON製)を用い、dSAC-24-20とKDD00については位置制御が可能なモータドライバであるため、直動型アクチュエータ(dSA604-100R-15：川田工業(株)製)を用いた。

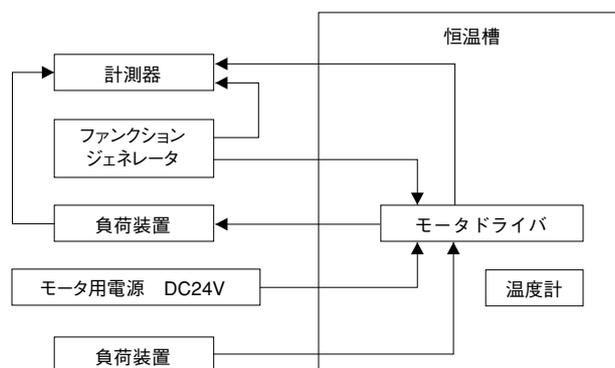


図1 低温試験装置システム構成



写真4 環境試験機

写真4に本試験において恒温槽として用いた環境試験機（PR-2KPH：エスペック(株)製）を示す。この装置を

用いて槽内の温度と湿度を強制空気循環方式で一定に管理する。ただし槽内温度は試験装置の表示ではなくモータドライバ直下に配置した熱電対の値を正とした。

a) 試験手順および条件

低温試験の手順を以下に示す。

- ① 初期測定：モータドライバの外観の目視検査および機能検査を行う。
- ② 低温状態での放置：モータドライバを恒温槽内に入れ徐々に温度を下げ、試験温度に達した後、規定時間放置する。
- ③ 中間測定：モータドライバを槽内に置いたまま、負荷をかけ、測定を行う。
- ④ 最終測定：測定終了後、モータドライバを槽内においてそのまま槽内温度を標準状態の範囲内まで徐々に上げる。標準状態の温度で安定した後、外観の目視検査および機能検査を行う。

試験条件を以下に示す。

- ① 試験温度 $+5 \pm 3$ °C
- ② 試験時間 2h
- ③ 標準状態 $+28$ °C

b) 試験結果及び考察

機能検査について、HRT07-004は同一電圧のアナログ入力指令におけるモータの回転数を比較した。dSAC-24-20およびKDD00についてはSTEP波の位置指令を入力し、その挙動を比較した。

表2にHRT07-004の回転数測定の結果を示す。入力指令は2 V, -2 Vの定電圧入力である。低温時に多少の回転数の上昇が認められるものの許容内であり、また中間試験において回転数にぶれもみられなかったことから性能は低下していないことが確認された。

表2 モータの回転数 [rpm]

指令電圧	初期測定	中間測定	最終測定
+2 V	3 024	3 162	3 030
-2 V	3 360	3 396	3 330

図2にdSAC-24-20のSTEP応答グラフを示す。入力指令は-9 Vから9 Vへの立ち上がりである。初期測定、中間測定、最終測定の結果に有意な差は認められない。よって低温環境下での使用において性能は低下しないことが確認された。

図3にKDD00のSTEP応答グラフを示す。入力指令は0.5 Vから4.5 Vへの立ち上がりである。初期測定、中間測定、最終測定の結果に有意な差は認められない。よって低温環境下での使用において性能は低下しないことが確認された。

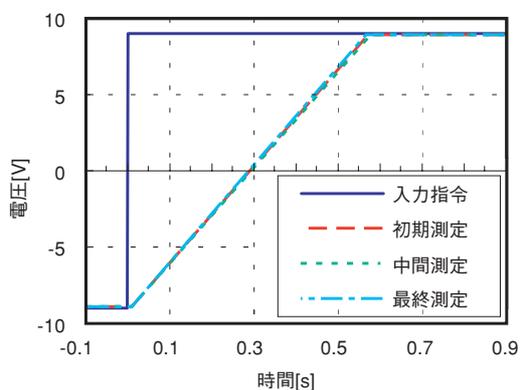


図2 低温試験STEP応答 (dSAC-24-20)

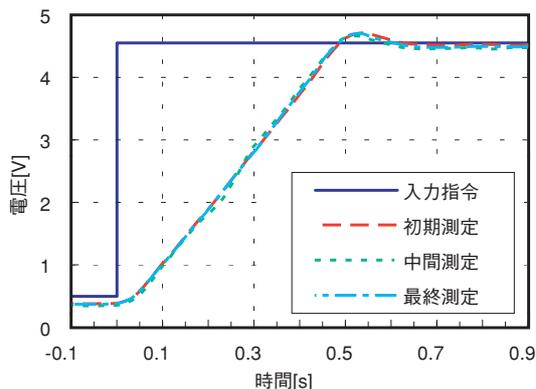


図3 低温試験STEP応答 (KDD00)

(2) 高温 (耐熱性) 試験

この試験の目的は、製品を高温で使用したり、貯蔵することができる能力を調べるものである。

本試験ではJISの「環境試験方法－電気・電子－高温 (耐熱性) 試験方法」²⁾ に則り試験を行った。この規格では「試験Ba：発熱がない供試品に対する急激な温度変化を伴う高温試験」, 「試験Bb：発熱がない供試品に対する緩やかな温度変化を伴う高温試験」, 「試験Bc：発熱がある供試品に対する急激な温度変化を伴う高温試験」, 「試験Bd：発熱がある供試品に対する緩やかな温度変化を伴う高温試験」の4つの分類があるが、本試験は「試験Bd：発熱がある供試品に対する緩やかな温度変化を伴う高温試験」の条件で行う。システム構成および機能検査の方法は低温試験と同様である。

a) 試験手順および条件

高温試験の手順を以下に示す。

- ① 初期測定：モータドライバの外観の目視検査および機能検査を行う。
- ② 高温状態での放置：モータドライバを恒温槽内に入れ徐々に温度を上げ、試験温度に達した後、規定時間放置する。
- ③ 中間測定：モータドライバを槽内に置いたまま、負荷をかけ、測定を行う。
- ④ 最終測定：測定終了後、モータドライバを槽内に

おいたまま槽内温度を標準状態の範囲内まで徐々に下げる。標準状態の温度で安定した後、外観の目視検査および機能検査を行う。

試験条件を以下に示す。

- ① 試験温度 $+70 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
- ② 試験時間 2h
- ③ 標準状態 $+30 \text{ }^\circ\text{C}$

b) 試験結果及び考察

表3にHRT07-004の回転数測定の結果を示す。入力指令は2 V, -2 Vの定電圧入力である。高温時に負の電圧入力で10 %回転数が増加した。ただし回転数自体は安定しており、また、指令電圧を変えることにより回転数も安定して変化することから、高温環境下での使用において負の電流指令と電流量に誤差は出るが、制御はされていることが確認された。

表3 モータの回転数 [rpm]

指令電圧	初期測定	中間測定	最終測定
+2 V	3 378	3 324	3 342
-2 V	3 720	4 002	3 762

図4にdSAC-24-20のSTEP応答グラフを示す。入力指令は-9 Vから9 Vへの立ち上がりである。初期測定、中間測定、最終測定の結果に有意な差は認められない。よって高温環境下での使用において性能は低下しないことが確認された。

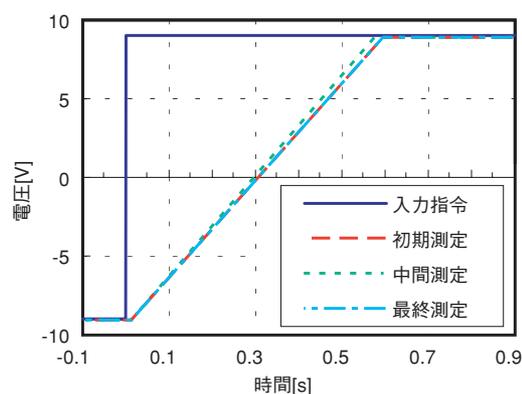


図4 高温試験STEP応答 (dSAC-24-20)

図5にKDD00のSTEP応答グラフを示す。入力指令は0.5 Vから4.5 Vへの立ち上がりである。初期測定、中間測定、最終測定の結果に有意な差は認められない。よって高温環境下での使用において性能は低下しないことが確認された。

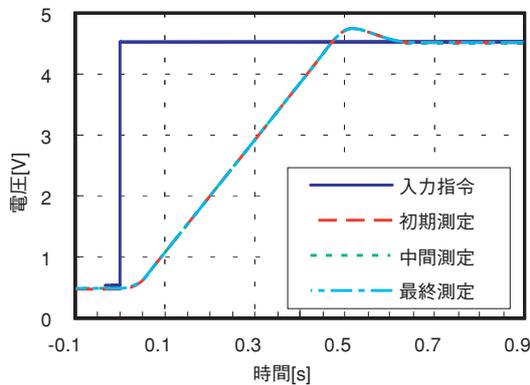


図5 高温試験STEP応答 (KDD00)

(3) バンプ試験

この試験の目的は、輸送中又は使用中に繰り返し衝撃を受ける電気製品において、その繰り返し衝撃によって累積された損傷又は品質低下を調べ、その部品の合否を判定し、さらに構造上の完全性を調べるものである。

本試験では、JISの「環境試験方法－電気・電子－バンプ試験方法」³⁾に則り試験を行った。

図6にバンプ試験装置のシステム構成を示す。HRT07-004およびKDD00についてはヒューマノイドロボットなど移動ロボット内に搭載されていることから、バンプ中にも製品を機能させる条件での試験を行うため上記の試験で用いたDCモータを回転させて試験を行った。dSAC-24-20については、JoyChairなど輸送中には振動は加わるが、使用時には加わらないためバンプ中には機能させずに試験を行った。

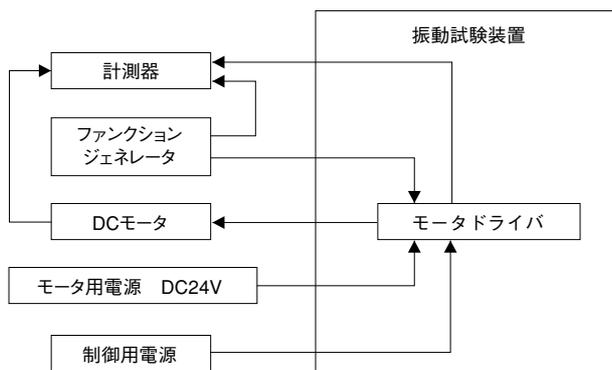


図6 バンプ試験装置システム構成

写真5にHRT07-004をX方向、KDD00をZ方向に加振する場合のバンプ試験風景を示す。ここで軸は基板に垂直な軸をZ軸、モータへのコネクタがある軸をX軸、その2軸に直交する軸をY軸と定める。振動試験装置には全自動振動試験装置 (F-33000BD/LA36AP：エミック(株)製)を使用した。この装置では、中央の立方体へのモータドライバの取り付け方を変えることにより、各軸方向の振動を与えることが出来る。

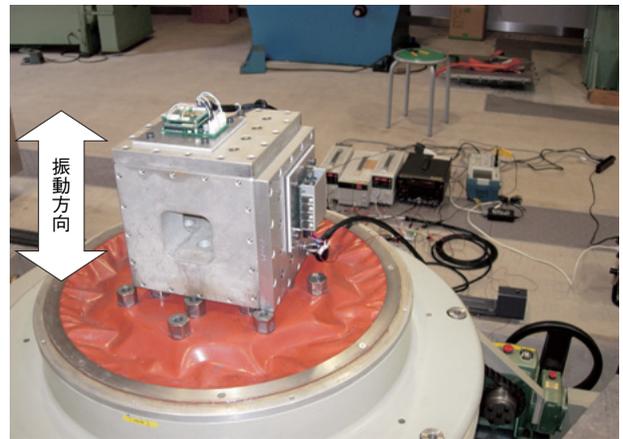


写真5 バンプ試験装置

a) 試験手順および条件

バンプ試験の手順を以下に示す。

- ① 初期測定：外観の目視検査および機能検査。
- ② バンプ試験 (3方向)：バンプ中に製品を機能させる、もしくはさせないで製品にバンプ (半正弦波のパルス振動) を加える。
- ③ 最終測定：外観の目視検査および機能検査。

試験条件を以下に示す。

- ① ピーク加速度 100 m/s²
- ② 作用時間 16 ms
- ③ 1方向あたりのバンプ回数 1000回

写真6にバンプ試験装置の画面を示す。上記の試験条件を入力すると自動的に試験が行えるようになっている。



写真6 バンプ試験装置画面

b) 試験結果及び考察

機能検査について、HRT07-004とKDD00は加振中も同一電圧のアナログ入力指令でDCモータを回し続けその回転数を比較した。dSAC-24-20については初期測定と最終測定においてSTEP波の位置指令を入力し、その挙動を比較した。

表4にHRT07-004の回転数測定の結果を示す。入力指令は1.5 Vの定電圧入力である。表では加振中の代表点として500回加振された後の回転数を記載しているが、

総じて回転数は安定していた。また、最終測定での外観検査においても、ネジの緩みや脱落、搭載部分の脱落、基板の破損、断線等の異常は認められなかった。以上の結果から繰り返し衝撃への耐性が確認された。

表4 モータの回転数 [rpm] (HRT07-004)

加振方向	初期測定	500回	最終測定
X軸方向	2 070	2 052	2 004
Y軸方向	1 992	1 986	1 980
Z軸方向	2 040	2 088	2 082

図7にdSAC-24-20のSTEP応答グラフを示す。入力指令は-9 Vから9 Vへの立ち上がりである。初期測定、最終測定の結果に有意な差は認められない。また、外観検査においても異常は認められない。以上の結果から繰り返し衝撃への耐性が確認された。

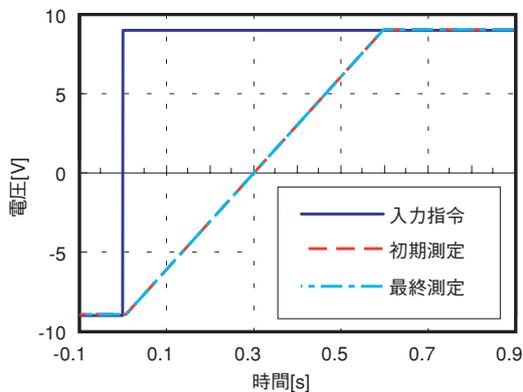


図7 バンプ試験STEP応答 (dSAC-24-20)

表5にKDD00の回転数測定の結果を示す。入力指令は

3.7 Vの定電圧入力である。総じて回転数は安定しており、最終測定での外観検査においても異常は認められない。以上の結果から繰り返し衝撃への耐性が確認された。

表5 モータの回転数 [rpm] (KDD00)

加振方向	初期測定	500回	最終測定
X軸方向	2 664	2 718	2 780
Y軸方向	2 520	2 646	2 700
Z軸方向	2 430	2 640	2 520

5. おわりに

本論文では、これまで本事業部で開発を行ってきたモータドライバについて、その特徴と性能比較、環境試験の結果について述べた。

これらのモータドライバは我々がヒューマノイドロボットなどの機械システムを開発する中で、その要求される高いスペックを満たすべく開発してきたものである。環境試験の結果から、移動ロボット内という特殊な環境においても十分に性能を発揮することが確認された。

最後に、これらモータドライバの開発、試験にご協力いただきました多くの方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本工業規格：環境試験方法—電気・電子—低温（耐寒性）試験方法（JIS C60068-2-1），1995.03.
- 2) 日本工業規格：環境試験方法—電気・電子—高温（耐熱性）試験方法（JIS C60068-2-2），1995.03.
- 3) 日本工業規格：環境試験方法—電気・電子—バンプ試験方法（JIS C60068-2-29），1995.03.