

土砂運搬ダンプ用飛散防止装置 「ハイパーシート」

武鑓 裕司
Yuji Takeyari尾原 歩希
Ayuki Obara

【概要】

ダンプトラックは、土砂などを運搬し荷台を傾けて積荷を降ろす車両である。極東開発工業の主力製品の一つであり、道路整備や土木現場等、国内のあらゆる工事現場で活躍している。ダンプトラックには、走行振動等による積荷の落下・飛散を防止するための装置が架装されることが多く、これを一般に土砂運搬ダンプの飛散防止装置と呼んでいる。そのうち、電動で開閉させるものを「自動シート」と呼んでおり、極東開発工業では「ハイパーシート」と言う商品名で2016年に内製化した。

本稿では、極東開発工業で開発した「ハイパーシート」についての機構及び構造などシステムについて紹介する。

【ABSTRACT】

Designed for transporting dirt and sand, dump trucks are equipped with a liftable loading platform for unloading cargo. Dump trucks are one of Kyokuto Kaihatsu Kogyo Co., Ltd.'s main products, with our trucks used on construction sites throughout Japan, including road maintenance and civil engineering sites. These trucks are often equipped with a device—generally referred to as a “Auto sheet equipment” in japan—that prevents cargo from falling off and scattering due to vibrations during transportation and the like. Our company started in-house production of Auto sheet equipment in 2016.

This paper introduces the systems used for Auto sheet equipment products, including their mechanics and construction.

1. まえがき

ハイパーシートは、主に電動モータ付減速機(以下「減速機」という。図1)と操作スイッチ付きコントローラ(以下「コントローラ」という。図2)で構成されている(図3)。ボデー左右のサイドパネル上縁には飛散防止のためのシートが設置されており、このシートを減速機で回転運動させることで、走行時と積み降ろし時の状況に応じた適切な位置にすることができる(図4、5)。次章以降では、減速機及びコントローラの機能について解説する。



図1 減速機



図2 コントローラ

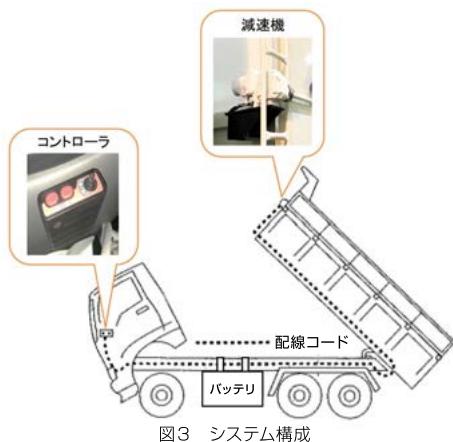


図4 走行時のシート



図5 積み降ろし時のシート

2. 減速機

2-1. 減速機の構造と諸元

モータの回転を、ウォームギヤ1段、スパーギヤ(平歯車)2段で減速比1/1059.3で伝達し、高回転軸はボールベアリング、低回転軸はメタルブッシュで受け、内部を十分な量のグリスで満たし潤滑する構造となっている(図6、表1諸元表)。

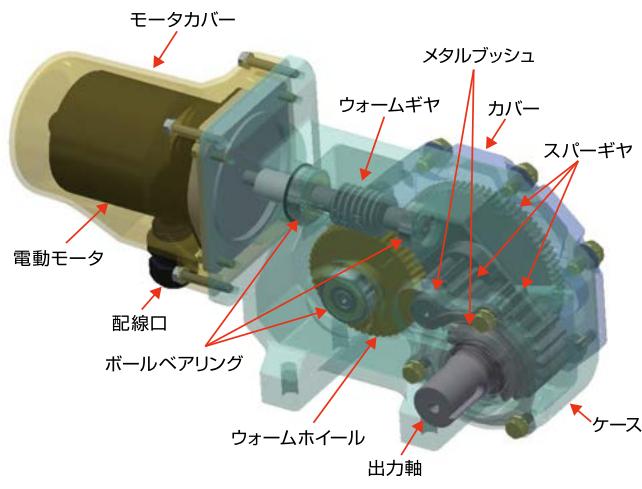


図6 減速機構造

[表1] 減速機諸元表

名称	ハイパー・シート用減速機
形式	VB25-01
減速方式	ウォーム+スパーギヤ2段
減速比	1/1059.3
潤滑方式	グリス潤滑(エピノックグリス0級)
使用温度範囲	-30 ~ 65°C
最大出力トルク	245N·m
連続出力トルク	122.5N·m
回転数	2.9rpm
質量	9.7kg
動作角度	270deg
動作時間	15.5sec
モータ	DC24V 115W

2-2. ウォームギヤの特性

ウォームギヤの最も大きな特徴としてセルフロックが挙げられる。セルフロックとは、減速機が停止している状態で出力側から回せない特性であり、この特性により、特別なロック機構を用いること無く出力側のシートを保持することができる。

ここで、ウォームギヤの進み角が小さく摩擦力が大きいほどセルフロックはよく効くが、反面伝達効率は落ちるため、必要トルクを確保しつつ滑らない最適な進み角を見極め設計することが必要である。

2-3. 防水構造

車載用の電気装置は一般的に水の侵入を懸念し高压洗浄を禁じており、本減速機においても同様である。しかしながら、車両によっては誤って高压洗浄しやすい高さに搭載されることもあり、また、従来機でのモータ内部への水浸入に起因する不具合も散見されるため、高压洗浄を考慮した防水構造とした。

具体的には、モータ全体を覆うアルミダイキャスト製の防水カバーを設け、配線口に設置したケーブルランドにより密閉構造としたことで、IPx9K相当の防水性を有している。

2-4. 複数機種の統合

シートは車格や仕様によって大きさが異なり作動トルクが異なる。そこで、後述の電流制御にて、電流値の上限設定を変更することでこの作動トルクを制限し、これまでトルク仕様別に複数の機種で対応していたものを1機種に統合して生産の効率化や管理工数低減を図った。

ここで、機種統合を行う際の目標として、出力トルクは最大クラスでありながら、体格は最小クラスを目指し、また従来機との取り付け互換性も持たせた。

そのため十分な耐久性が得られるよう、ギヤ類やケースなどの強度を配慮しつつ極力コンパクトに設計し、減速機固定ボルトの位置及び寸法、出力軸の位置などを合わせ込むことで、これを実現した。

2-5. 側面への張り出し対策

本機は搭載の都合上、最も車両側面に張り出す部位となる。張り出しの要因となる出力軸位置から最外側面までの寸法を最小にするべく、アウトプットギヤの外径を小さくした上で所定の減速比を得られるようギヤの歯数、強度など仕様を微調整しつつ最適化を図った。

また、仮に減速機に外部から衝突した場合でも互いの損傷が最小限となることを狙い、減速機角部は極力引っかかりの少ない大きなR形状とした(図7)。

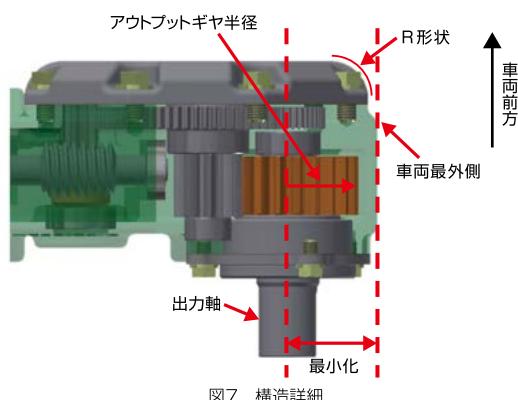


図7 構造詳細

2-6. 作動停止時の慣性

シートが回転終わりでボデーや積荷に突き当たり停止するとトルクが最大になりモータ電流が規定値に達し過電流検知により電力供給はカットされる。ところが、モータ及びウォームは慣性により回転し続けようとするため、想定されたトルクに加え慣性分のトルクが上乗せされトルク過大となる現象が見られた。

ハード的にはこれに十分耐える強度を有しているが、余剰なエネルギーであり、今後後述のモータ端子間短絡によるブレーキ機能追加により、さらなるトルク上昇抑制が期待される。

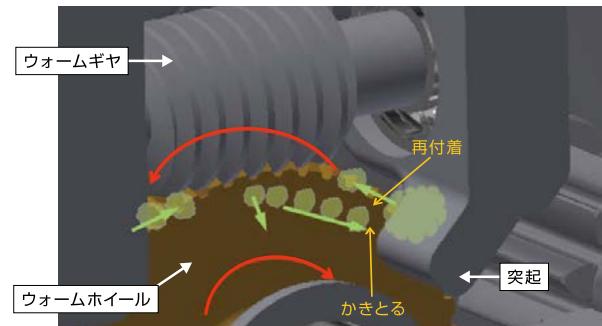
2-7. 潤滑構造

潤滑機構の工夫

一般的な減速機では摩擦を低減するためにケース内に潤滑油が入っており、潤滑油の液面より高い位置にある部品についても、歯車の回転によって飛散した潤滑油が付着することで歯車や軸受けを潤滑する「ハネカケ」方式等の潤滑機構が用いられる。しかし本機は減速比が大きく歯車の回転数が低いことから「ハネカケ」方式では十分に潤滑油を飛散させることができないため、潤滑油よりも付着性が高いグリスを使用した潤滑方式を採用している。なお、歯車をグリスで潤滑する場合、かみ合いを繰り返すうちに歯の表面からグリスが押し出されてしまうため、定期的に給脂するか減速機内のグリスを循環させることで歯の表面に再度グリスを付着させる必要がある。グリスにも多少の流動性があり、ケース内に一定程度グリスを充填しておくと重力によりケースの底にグリスが溜まるため、そのグリス溜まりの中に歯車のかみ合い部が浸かるように部品を配置すれば押し出されたグリスを再度歯車に付着させることができる。ただし、本機では部品配置の制約から最も潤滑性を求められるウォームギヤのかみ合い部がグリス溜まりより高い位置にあるため、ウォームギヤにグリスを再付着させるための構造を別途設けている。

具体的には、図8のようにウォームギヤかみ合い部付近のケース内壁面に、グリス搔き取り用の突起を設けている。この突起は接触しない限界までウォームホイール側面に接近しており、ウォームギヤがかみ合った時にウォームホイール側面に押し出されたグリスを搔き取るようになっている。回転を続けるとウォームホイール側面からグリスを搔き取り続け、ケース壁面と突起及びウォームギヤで囲まれた空間がグリスで満たされグリス溜まりが形成される。このグリス溜まりによってかみ合い部がグリスに浸かった状態を作り出し、ウォームギヤ

にグリスを再付着させるようになっている。



2-8. 潤滑用グリスのちよう度

上記潤滑機構を実現するため、グリスのちよう度(硬さ)についても最適なものを選択している。一般的な潤滑用途ではJIS K 2220にて規格される2号のグリスを使用することが多いが、歯面へのグリスの回り込みを考慮し、柔らかく多少の流動性を持つ0号のグリスを使用している。

また、極低温時にグリスは硬化または凍結してしまい作動に支障を及ぼすが、その対策として、作動の妨げにならない程度の充填量に調整した為、高価な低温用グリスを使用すること無く、外気温度-30°Cであっても作動可能となっている。

2-9. ウォームの転造

ウォームの成形方法は専用刃具による切削によるものと、転造の2種類があり、本機のウォームは転造により成形されている。

転造はネジ製造等に用いられておりダイスと呼ばれる型に押し付けて形状を転写する工法で、切削加工と比較し加工が短時間で材料の無駄が少ないなどの利点がある(図9)。

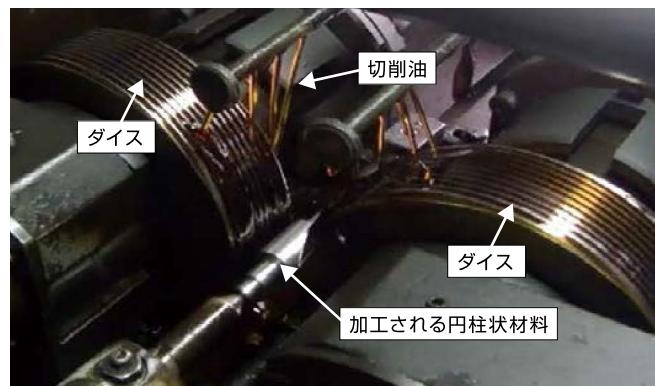


図9 ウォーム転造(事例)

また、切削面と比較し表面が滑らかに仕上がるため、減速機効率の向上にも寄与している。

2-10. ギヤ類の研磨レス

ギヤやシャフトなどの回転部品の嵌合部や摺動面は一般的に焼入れ後に研磨を行い面粗度と寸法精度を確保している。本機では焼入れ前の面粗度管理と焼入れによる若干の膨張変形を見越した寸法管理を行うことで、研磨工程を省略しながら、必要な性能を満たしている。

3. コントローラ

前述の減速機は、コントローラ（図10）によって操作・制御される。このコントローラの機能及び特長について、従来品の課題と比較しながら紹介する。



図10 コントローラ外観

3-1. 減速機・ボーデーへの過負荷低減機能

一般的に自動シートでは負荷トルクを電流値の大きさで検知・制御しており、閾値以上の電流が検知された瞬間に出力を停止する仕組みとなっている。そのためどうしてもモータ起動直後の突入電流発生時や作動端の押さえ付け時に、極短時間ではあるが減速機やシート枠、ボーデーに過大な負荷が作用する。それらを抑制するために、本製品では電流制御機能を設けている。最初から電流の上限値を制御することで、モータ起動時の突入電流やシート押さえ付け時の過電流をカットして減速機やボーデーの過負荷を防いでいる。

3-1-1. PWM制御

この電流制御にはPWM制御という手法を用いている。PWM(Pulse Width Modulation)は、高速でON/OFFのスイッチングを行うことで得られるパルスにより電力を制御する方式で、パルス入力の大きさ(電圧)と周期は一定とし、パルス幅を変化させて出力電力を制御する。つまり、一定周期におけるパルス幅の比率(duty比)に則してパルスを平均化した実効電圧の値が変化することによりモータ回転数の制御が行えるもので、

合わせてモータには慣性があるため高速でON/OFFを繰り返しても滑らかに回転する。

リニア制御と呼ばれる、抵抗を用いて電圧自体を変化させる制御方式と比較し、PWM制御では熱損失が大幅に抑えられ、効率の良い制御が可能になる。インバータ回路、モータ制御の他、近年、技術普及によりオーディオアンプなどの分野にも広く使われるようになった。

図11にPWM制御の波形イメージを示す。

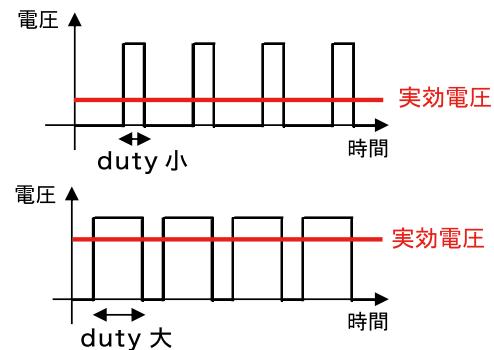


図11 PWMイメージ

3-1-2. 回路構成

図12に本製品の回路ブロック図を示す。本製品では低負荷(制限電流値以下)の際は速度制御回路を優先し、Duty比一定として作動させているが、制限電流値を超えた領域では電流制御回路が有効となり、PWM制御による過電流のカットが行われる。

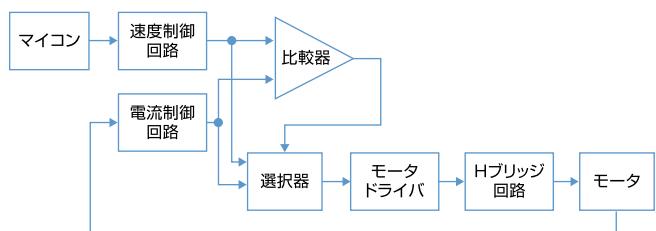


図12 回路ブロック図

シートは開・閉の両方向に動かすものであるため、モータの回転方向を制御する回路が必要となる。図13のようなHブリッジ回路で4つの接点を制御することで両方向の回転が可能である(図13のAとA'をONにすると矢印の方向に電流が流れ、BとB'をONにすると逆向きとなる。A'とBをONにするとブレーキがかかる)。

また、PWM制御には高速スイッチングが不可欠であるため、本回路ではFET(電界効果トランジスタ)を採用した。従来品はメカニカルリレー(有接点)を用いていることが多いが、接点の消耗という機械的な寿命がある。一方、本製品ではFET(無接点)を採用したことでの結果としてコントローラの長寿命化に繋がった。

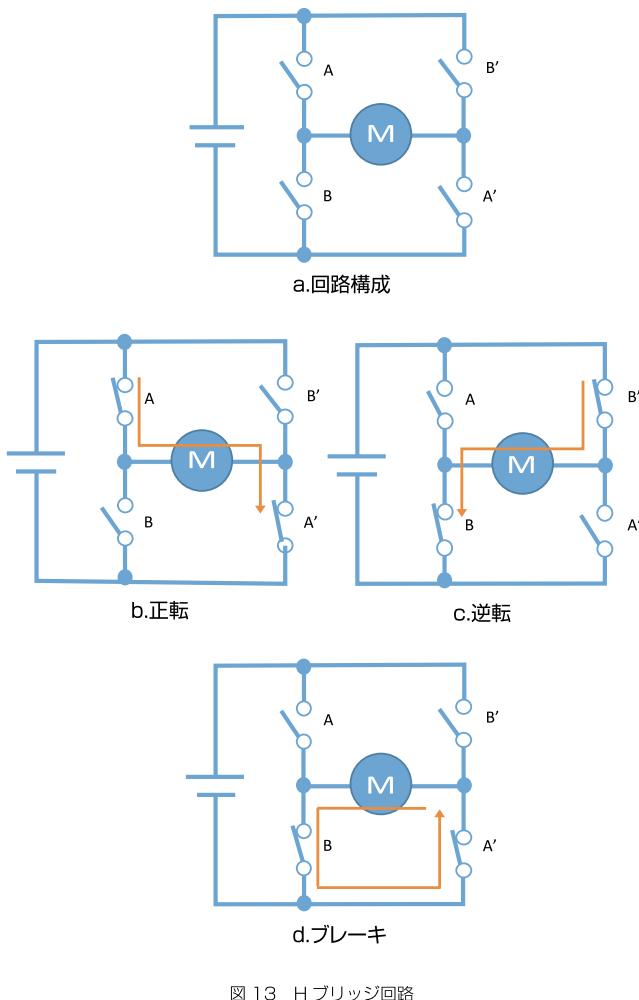


図 13 H ブリッジ回路

3-2. 誤停止抑制機能

本製品は停止検知の閾値として、電流だけでなく時間も用いている。すなわち、電流が閾値を超えた瞬間に停止するのではなく、電流が閾値を超えた状態が一定時間経過してから作動を停止させる。これにより、一定時間内の瞬間的な外乱(突風等)であれば、シートは停止することなく作動を継続することができる。

従来品において電流が閾値を超えた瞬間に出力停止させる仕組みとなっている理由は、本製品のような電流制御機能が搭載されていないからである。これは過負荷の状態を最短時間に留めるためではあるが、結果的に外乱に弱い仕様となっている。

一方、本製品では電流が閾値を超えた状態で一定時間出力を続けても、電流制御機能の働きによって過負荷がかかることはない。

3-3. 動作例

ここまで個々の機能について述べたが、本項では一連の動作について開方向を例に解説し、本製品と従来品を比較する。

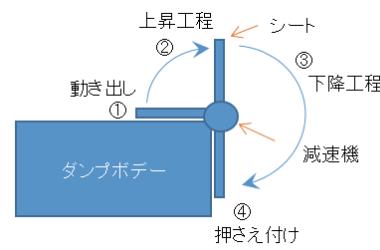
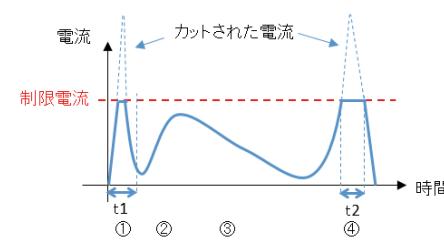
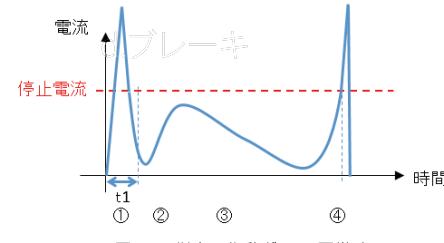


図 14 作動パターン(平常時)



<従来品>

①動き出し

モータ起動時の突入電流が発生するため停止電流値を上回る電流が流れるが、作動開始後一定時間(t_1)は作動を停止させないようにになっている。

②上昇工程

重力に逆らってシートを持ち上げる動きになるため、負荷(=電流)が徐々に上がる。

③下降工程

重力の補助を受ける方向のため、負荷(=電流)は徐々に下がっていく。

④押さえ付け

高負荷がかかり電流値が一気に上昇する。停止電流値を一瞬でも超えると作動を停止する。

○デメリット

- ・起動時・押さえ付け時、短時間ではあるが大きな負荷がかかる。

→シート枠損傷や減速機故障のリスクがある

- ・ t_1 以降は一瞬でも停止電流を超えると停止するため、押さえ付けが不十分となる可能性がある。また、作動途中でも外乱で誤停止する可能性がある。

<本製品>

①動き出し

モータ起動時の突入電流が発生するが、電流制御回路によって電流制限値以上の電流はカットされる。電流制限値を越えても一定時間(t_1)は作動を停止させないようになっている。

②上昇工程

重力に逆らってシートを持ち上げる動きになるため、負荷(=電流)が徐々に上がる。

③下降工程

重力の補助を受ける方向のため、負荷(=電流)は徐々に下がっていく。

④押さえ付け

高負荷がかかり電流値が上昇するが、制限電流値以上の電流はカットされる。その状態が一定時間(t_2)継続すると作動を停止する。

○メリット

- ・起動時・押さえ付け時の過電流が抑制され、減速機やシート枠への負荷が低減される。
- ・瞬間的な外乱であれば出力停止せずに作動を続ける。

他のパターンとして、作動中に外乱(例: 突風)が生じた場合の例を紹介する。

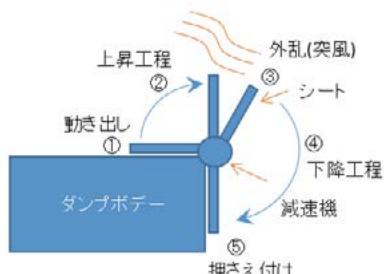


図 17 作動パターン(外乱発生時)

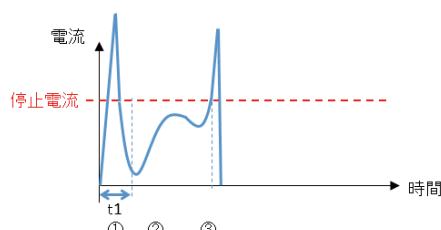


図 18 従来品作動グラフ(外乱発生時)

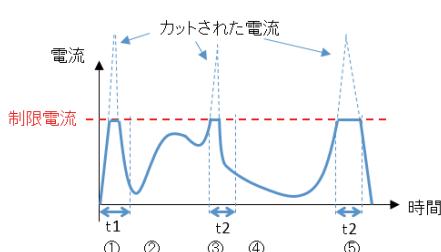


図 19 本製品作動グラフ(外乱発生時)

<従来品>

①動き出し～②上昇工程

平常時と同様

③外乱(突風)

高負荷がかかり電流値が上昇する。停止電流値を一瞬でも超えると作動を停止するため、作動途中にも関わらず作動が止まってしまう。

<本製品>

①動き出し～②上昇工程

平常時と同様

③外乱(突風)

高負荷がかかり電流値が上昇しても、制限電流値以上の電流はカットされる。一定時間内(t_2)であれば停止判定とはならず作動を続ける。

④下降工程～⑤押さえ付け

平常時と同様

このように、本製品は外乱による減速機への負荷を軽減し、かつむやみに停止することが無いという機能を備えている。

3-4. 複数機種の統合

減速機の項にて複数機種を1機種に統合したことをお述べたが、コントローラもこれを成し遂げている。これは、前述の制限電流値の設定を変えることで対応するトルク値を変更できる機能を活かしたものであり、設定はディップスイッチにより簡単に変更できる。

4. 今後の展望

4-1. 他製品への応用

DC24Vバッテリを動力源としているため、様々な特装車への搭載が容易であり、現時点では、大型フックロールの可倒式リヤバンパ(図20)や、コンテナ用天蓋の開閉、散水車のボールバルブ切換などの駆動源(図21)として幅広く活用されており、今後も用途拡大が期待される。



図20 フックロール 可倒式リヤバンパシステム

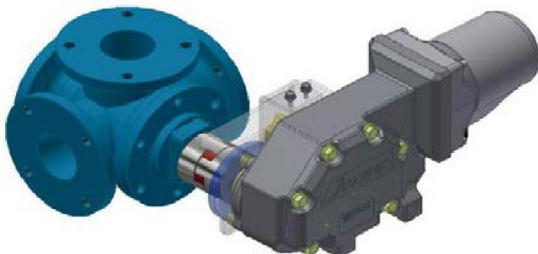


図21 減速機外観

4-2. ブレーキ機能の追加

前述のようにウォームギヤの特性として、伝達効率を上げるとセルフロックの効きが低下して滑りが生じやすくなるということが挙げられる。本製品は、一定の伝達効率を確保しているが、作動中にシートを任意の位置で停止させる際、惰性で動いてしまう事例が確認されている。これを電気的に解決するため、コントローラにブレーキ機能の追加を予定している。これは前述のHブリッジ回路の応用により、強制的にギヤ(=モータ)をロックさせて停止させるという内容で、すでに評価も完了しており間もなく実機への投入を予定している(図13.Hブリッジ回路(d.ブレーキ)参照)。

5. あとがき

今回の開発では、複数機種の統合やPWM制御を主軸とした電流制御機能や誤停止抑制機能、製品の長寿命化、防水性の向上等、内製機独自の優位点を多く実現し商品力アップを図ることができた。個々の機能は今後、他製品にも活用できる余地があり、より良い製品開発に活かしていきたい。

最後になるが、モニタ評価にご協力頂いたお客様をはじめとして、ご指導・ご協力頂いた関係各位に心より感謝申し上げる。