

歯車技術研修会

新セルフロック機構について

(有) 庄司歯車エンジニアリング

代表取締役社長 庄 司 勝 治

平成14年12月

社団法人 日本歯車工業会

新セルフロック機構について

(有) 庄司歯車エンジニアリング

代表取締役社長 庄司 勝治

伝導装置技術としては種々の特性を持つ負荷体（重力負荷、圧力負荷、弾性負荷、電磁力負荷等）を移動又は回転させる場合が多いが、駆動停止後に負荷体はその位置又は状態に止まっていて呉れないと駆動そのものが無意味となるか或いは非常に危険な事態になり兼ねない。それを防止するために従来各種のブレーキが開発されて来たが、実際にはブレーキ・シューの摩耗によるブレーキ力の低下や錆付き固着等の作動障害が起こりやすく、メンテナンス・フリーとはならない。ブレーキ式の他に構造自体がセルフロック機能を持つものがあり、代表的なものがネジとナット（直線運動）やウオームギア（回転運動）構造が挙げられる。これらはネジ面の捻れ角と摩擦係数にロック性が大きく左右される他、歯面の滑り要素が大きいため摩擦熱の発生が著しくその発生熱の放散を良くするために熱伝導率の高い銅合金をナットやウオームホイールに使用する。然し少しでも潤滑不良があって一旦歯面に焼け付きが発生すると急速に摩耗が進行して不意にメネジやホイールが摩滅折損して負荷が保持出来なくなり、大きな事故に繋がる場合が多い。

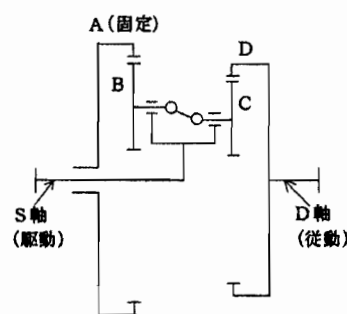
以上のような経験から永年に亘る試作研究の結果、トラブル・フリーで且つメンテナンス・フリーの新しいセルフロック減速機構シリーズの開発に成功し、ここにそのサンプルの一部の展示と共にそのシステムの概要をここに紹介するものである。

1. 新セルフロックシステム・タイプ1

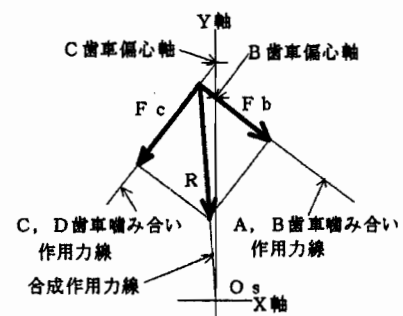
減速比が約 40 以上の範囲に対応する機種で、減速方式は「複合ハイポサイクロイド機構」によるもので停止中に出力軸側からトルクを受ける場合に、(図-1) に示す遊星歯車 B 及び C の歯面に加わる荷重ベクトルの合成ベクトルの方向が入力軸心 O_s の近傍を通るように設計されているため、入力軸を弛めるトルクのトルクアームの長さが微少となり、実質的に弛みトルクを発生しない構造になっている。

(図 2) は本減速機構を入力軸方向から見た各軸中心位置、B, C 歯車の歯面に掛かる荷重ベクトル F_b , F_c と、その移動着力点の位置から描かれる合成ベクトル R 等を示すものであり、歯車諸元（歯数差、モジュール、圧力角、中心距離、転位、干渉、等）を種々調整してこの R の方向が入出力軸中心 O_s の近傍を通るように設計してある。

尚、構造単純化のために実際には B, C 歯車の偏心量を共通とし、両歯車を一体化している。そしてその特長は以下に述べる様な点が挙げられる。



(図 1)

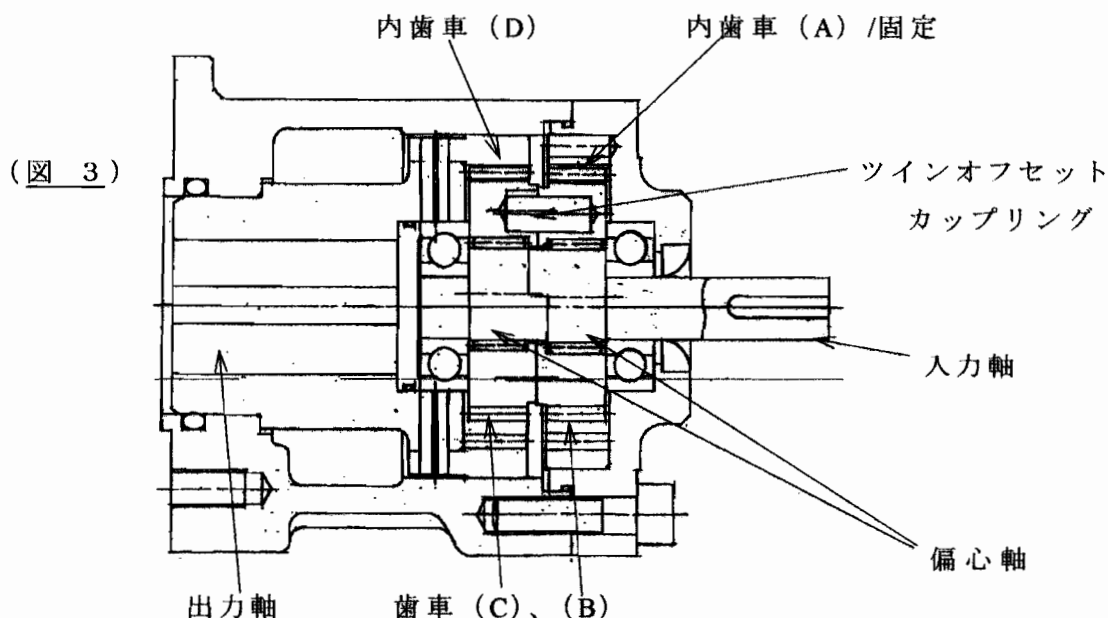


(図 2)

(1) 高減速且つコンパクトな軽量構造

基本シリーズである SLR 型の具体的な構造は (図 3 参照) 固定された内歯車 (A) に対し、これに噛み合う遊星歯車 [平歯車 (B) + 平歯車 (C)]、出力軸の内歯車 (D)、更に遊星歯車を駆動させる偏心軸を持った入力軸から成り立っている。減速比は下式で計算される。

$$\frac{1}{\text{減速比}} = 1 - \frac{\text{内歯車 (A)}}{\text{遊星歯車 (B)}} \times \frac{\text{遊星歯車 (C)}}{\text{内歯車 (D)}}$$



(2) 入出力軸インライン構造

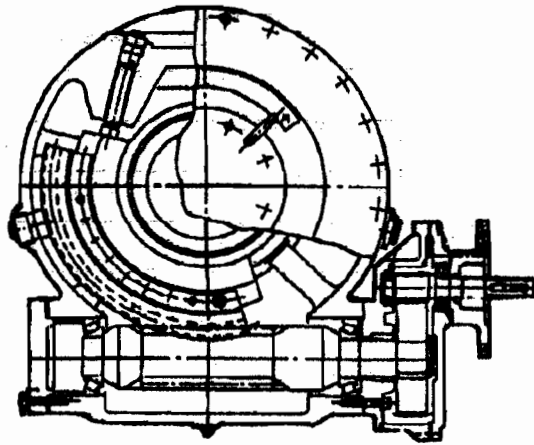
高減速比の取れる簡易な方法はウオームギアを使用する事であるが、これの最大の欠点は入出力軸が食い違い直交型になっているために周辺に干渉するトラブルを起こし易く、軸の配置や取付姿勢に非常に苦慮する場合が多く極めて使い勝手が悪いのが現実である。この点、本減速機は入出力軸が一直線上にあるため使い勝手が良い。

(3) 経済的効果

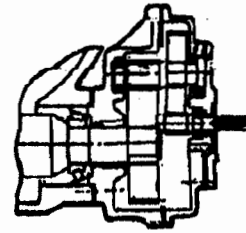
①ウオーム減速機は摩擦が大きいため、耐摩耗性に優れた高価な銅合金をウオームホイールに使用し、歯面研削したウオームを当てるのが一般的である。本減速機は焼き入れ内歯車と浸炭焼き入れした平歯車を採用しているため、歯車の曲げ強度、耐摩耗性は数倍強いので、減速機全体をコンパクトに設計出来るので経済的である。

②ウオーム減速機 (図 4) はギアケースに組み込まれ得るウオームホイールの大きさが限定されるので、歯数を増して減速比をふやすには限りがある。

従って、更に高減速比を得るためには平歯車を組み込んだギアボックス (図 4、5) が必要になるか又は、傘歯車ギアボックスやウオームギアボックスを入力側に取り付けて減速比を稼いでいる。(図 6、7)



(図 4)



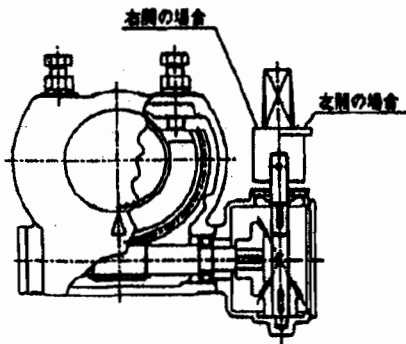
(図 5)

本減速機の場合は前述の通り、減速比計算式から簡単に高減速比を得ることが出来るので補助減速機は全く不要のため極めて経済的である。

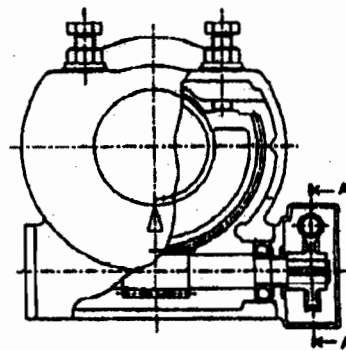
$$(例) \quad \frac{1}{82.7} = 1 - \frac{35}{31} \times \frac{28}{32} \quad \longrightarrow \quad \frac{1}{128} = 1 - \frac{35}{31} \times \frac{29}{33}$$

上式から内歯車 (D = 32)、遊星歯車 (C = 28) の歯数を内歯車 (D = 33) 遊星歯車 (C = 29) に代えれば、減速比は 82.7 → 128 になる。この時の歯車の大きさは若干変わる程度で、ギアケースを大きくする必要は全くない。

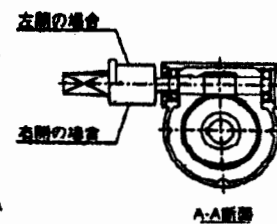
③ウオーム減速機で出力軸の回転方向を変えるには、基本的には本体のウオームホイールとウオームの捻れ方向を変えれば良いが、何らかの理由で入力軸側で変えざるを得ない場合には下図のような構造になる。



(図 6)



(図 7 A)



(図 7 B)

(ア) 傘歯車方式 (図 6) : 入力軸の小傘歯車を上側 或いは下側に組み込んで方向を変える。

(イ) ウオームギア方式 (図 7 A、B) : ウオームホイールとウオームの捻れ方向を変えたギアを新作する。

(ウ) 平歯車方式 (図 4, 5) : アイドル・ギアを組み込むため、ギアとシャフト及びギア・ボックスを別に製作する。

本減速機の場合、入力軸と出力軸の回転方向を選ぶには次の様にすればよい。前述の減速比計算式から、分子の A, C 歯数と分母の B, D 歯数を反対に分母、分子にする。

正転 (入出力軸が同じ方向に回る)

逆転 (入出力軸が逆方向に回る)

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} A \\ \downarrow \\ 35 \\ \uparrow \\ B \end{array} & \begin{array}{c} C \\ \downarrow \\ 28 \\ \uparrow \\ D \end{array} \\
 \text{(例)} \quad \frac{1}{82.7} = 1 - \frac{35}{31} \times \frac{28}{32} & -\frac{1}{81.7} = 1 - \frac{32}{28} \times \frac{31}{35}
 \end{array}$$

A [35z] 内歯車を入力側に固定し、遊星歯車 {B [31z] + C [28 z]} をそれぞれの内歯車へ噛み合わせれば正転となる。 D [32z] 内歯車を入力側に固定し、A [35z] 内歯車を出力軸にし、遊星歯車を噛み合わせれば逆転となる。

然し、減速比は正転よりも 1 だけ少ないがその差は実用上支障はない程度である。

ウオーム減速機のように傘歯車箱等が不要で、本体の構造を変えること無く正逆転が可能である。

④ 本減速機は入力軸と出力軸が一直線上にあるため使い勝手に優れている。前述のようにウオーム減速機は補助減速機を利用して直交軸を平行になるようにするため、コストアップとなる。



セルフロック インライン減速機の例

⑤ 機械の価格

本減速機には内歯車と平歯車それぞれ 2 個使用しているが、ウオーム減速機と比べ、コ

スト面では 70~90%である。特に高トルク、高減速比の場合は有利である。

⑥社内耐久試験及び採用予定顧客による入出力特性及び強度試験結果

6.1 社内耐久試験結果（別添 SGM-0.5.1 減速機耐久試験結果参照）

定格出力トルクによる 90° 往復 5000 サイクルの実用条件を超える過酷なテストを実施した結果、特に異常は無く、充分なる耐久性の有ることが確認された。

6.2 採用予定顧客による入出力特性及び強度試験

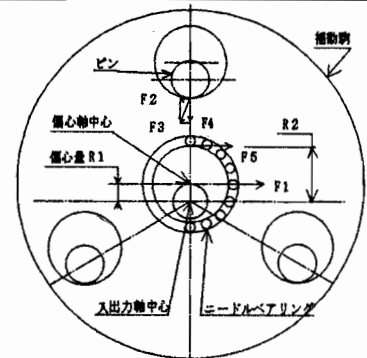
別添のバタフライバルブ用ギヤボックス評価試験報告書によれば、その基本的な機能、強度ともにご満足を戴いている。

⑦ウォーム減速機との比較

項目	セルフロック・インライン減速機	ウォーム減速機
セルフロック性	本質的セルフロック	実用的セルフロック
歯車	内歯車[2個]+平歯車[2個]	ウォームホイール+ウォーム
歯車の材質	内歯車: SCM435or440 / HQT 平歯車: SCM415 / HCQT	ホイール: ALBC or FCD ウォーム: SCM435 ~ SCM415
曲げ強度比	数倍	1
減速比	複数	一定
補助減速機	不要	必要
出力軸正逆	簡単	複雑
入出力線方向	一直線	直交
本体と部品数	(歯車、軸を除く) 2	(同左) 4
本体の機械加工	旋盤	中ぐり盤 or マシニングセンタ
効率	30 ~ 56 %	20 ~ 30 %
メンテナンス	不要	不可欠
ヒステリシス	大	小

2. 新セルフロックシステム・タイプ2

減速比が 10 ~ 50 と少ない領域に於いては A,B ギアを省略し、Cギアと一体のピン-穴式偏心カップリングにて自転を抑制しながら Dギアを駆動し、出力回転を得る方式を採用しているが、この偏心カップリングは強いセルフロック性を持ち、出力軸からの弛みトルクを完全に阻止する性質があることが実験的にも確認されている。



ロック機構説明図

3. 応用製品

上記2つのタイプのセルフロック機構を応用した製品としてマジック ウインチシリーズとラック ジャッキシリーズがあり、電動用にはタイプ1、手動用にはタイプ2のセルフロック機構を内蔵している。

①マジック ウインチ シリーズ

冒頭に述べた通り負荷のロックングに関する問題が多く、その対応を外部機構に依存するよりも減速機構にロックング機能即ちセルフロック性を持たせることが出来れば、その方が本質的に安全であり、然もその構造がシンプルであればある程信頼性が高くなるとして研究を重ねた結果、以下に述べる画期的なセルフロック機構の開発に成功した。

①-1 減速部に複合ハイポサイクロイド機構を採用、2個の接合された外歯平歯車に加わる歯面荷重の合成ベクトルが嵌合している軸の中心の近傍を通るように設計されているために弛みトルクが極めて微小となることから実質的にセルフロック性が確保されることになる。この機能は公的機関テストによる耐振動、耐衝撃試験に於いて破損や弛み等、安全性に全く問題が無く、機能面のみならず、従来必須とされていたブレーキやラチェット等のメンテナンスが不要で極めて扱い易い製品であることが確認されている。

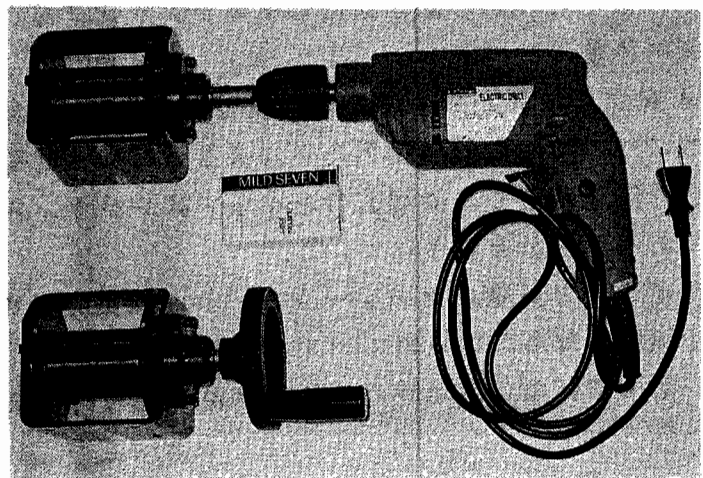
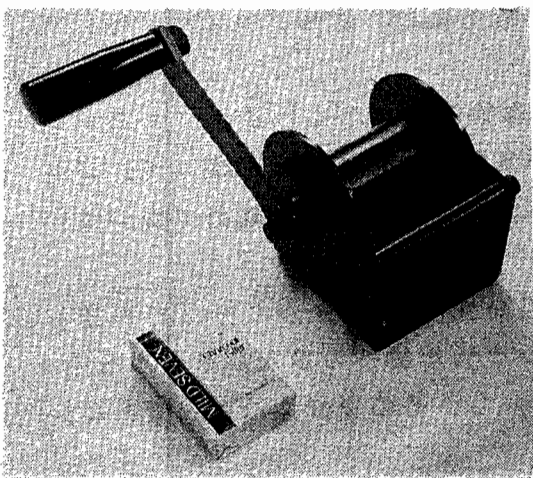
①-2 減速構造の性質上、入力軸と出力軸及び内歯車が同軸に設計されているためにウインチドラムと同心に内歯車を装着し、本来の出力軸を固定すれば内歯車即ちドラムが回転することを利用したのが本ウインチの減速ドライブ構造である。又、本減速機構は2段の歯車セットであるにも係わらず 111:1 という非常に大きな減速比が得られるのが特長で、その上歯車材料に高抗張力鋼を使用しているので、ドラム内に収めることが出来る程非常にコンパクトに設計され、ウインチ全体としてシンプル且つ小型化に成功している。

①-3 電動操作には市販の安価な電動ドライバーを使用する所謂セパレート モーター方式を標準として採用しているために、ビルトイン モーター方式に比べ省スペース化の他に多数台を操作する場合でも電動工具は1台で済む等の省コストメリットがある。又、電動工具をはずし、入力軸に専用のハンドルを取り付ければ負荷位置の微調整が出来、従来のモーターインチング操作による方法よりも遙かに容易で安全に正確な調整が可能である。

①-4 両方向に作動するセルフロック性があるためドラムに対するワイヤーの巻き出し方向に制約が無い。従来のラチェット方式ではロックの効く方向に注意が必要である。

①-5 用途に応じて「セルフロック解除/復帰可能型」、「高低速2スピード型」、「負荷トルク検出表示型」等の特殊仕様機種も用意されている。

以上本製品は今までに無い画期的なセルフロック理論をベースに、より安全で且つ小型、省資源、低コスト等の特長を持つ商品として手動用ウインチ SWM シリーズも含め自信を持って世におくるものである。



②ラック ジャッキシリーズ

従来のネジ式ジャッキはウォームギアにより減速された出力軸にメネジを切りそれにネジ軸を嵌合させて出力軸としたものが多く、その用途上完全なセルフロック性が求められている。一般にネジ構造またはウォームギア構造はリード アングルの大略摩擦角以下に設計することで容易に両方向セルフロック機能を持たせることができる一方、ともに効率が低くならざるを得ないという大きな欠点がある。この組み合わせ方式ではネジに完全なセルフロック性を持たせるとすると、ネジ部の効率は 20%以下となり、残りのウォームギア部ではセルフロック性を犠牲にして効率を最大に設計しても 50%程度であるから全効率は 10%以下という極めて低いレベルにしかならず、省エネの方向に沿っていない。

又この減速構造ではネジ、ウォーム部分とも滑り要素が非常に大きく、摩擦防止のためにメネジやウォームホイールに銅合金を使用するのが設計の常識となっているが 実際には摩擦の発生をゼロにする事は困難で、一旦摩擦が始まるとそれが急速に進展し、知らぬ間にネジ山や歯が磨滅し破断する事が多く、余程注意深く頻繁にメンテナンスしない限り摩擦の進行を見落とし、重大な落下事故につながる例が多いのが現実で安全上深刻な問題となっている。

前項に述べた通りこの構造には強度の低く且つ高価な銅合金を多量に使用する必要があり、省資源的見地からも、コストの面でも社会のニーズにミートしないものである。

2. 手動型ラックジャッキ SLMシリーズ 開発のポイント

前項に述べた現行製品の持つ欠点を完全に補うべく試作研究に集中した結果完成したのがラック式ジャッキ SLMシリーズである。これの特筆すべきポイントは

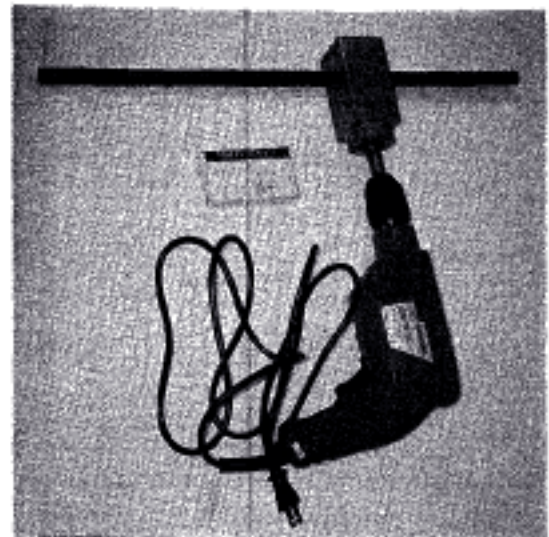
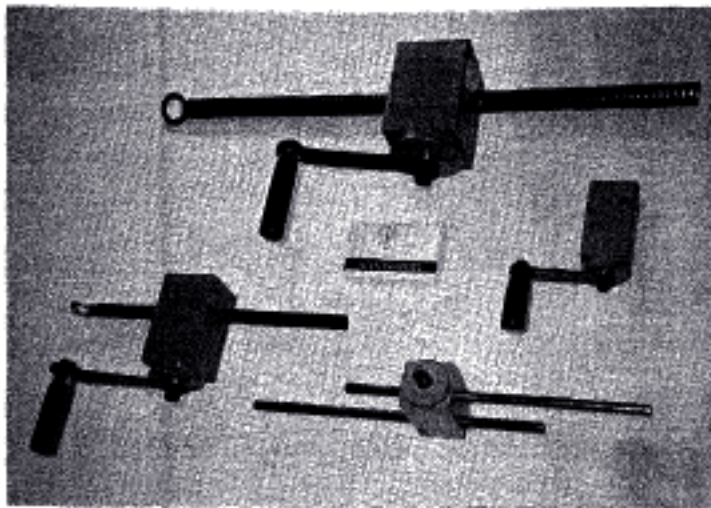
②-1 ネジ、ウォームギアに依らない両方向セルフロック性をを持つ機構として、ハイポ サイクロイド減速機構に使われているピン・穴式偏心カップリングが設計諸条件を選ぶことによって完全なセルフロック性を持つ領域が存在することを発見し、これを採用している。

②-2 減速機構は回転減速部にハイポサイクロイド機構を、直線出力変換部にはラック・ピニオン方式を、材料には高抗張力鋼を採用することにより減速機構の強度は自動車用トランスミッションギア レベルに向上させることが可能となった。以上により構造の大幅な小型軽量化が実現し、省資源化および低コスト化に大きく貢献している。

②-3 効率の面では極度に効率の低いネジ構造を排し、効率 90%以上のラック・ピニオン構造と、効率 45%ある回転減速部+カップリング部から成るため、総効率は 40%と極めて高く省エネ効果大である。

②-4 安全面に於いても歯車には曲げ、摩擦に強い特殊鋼を使用している他、セルフロック性についても公的機関テストによる耐振動、耐衝撃試験に於いて破損や緩み等、安全性に全く問題が無く、機能面のみならずメンテナンス負担の少なくて済む極めて扱い易い製品であることが確認されている。

又ウインチと同様にセパレートモーター駆動方式の電動操作型 SLEシリーズも用意しており幅広い対応がなされていて、現行ねじ式電動シリンダー市場への参入が見込める他、油圧、空圧式にない緊急時の手動操作が可能であることから、その優位性は明白である。



4. 新セルフロックシステム・タイプ3

従来セルフロック性と効率とは相反関係にあるというのが技術的常識であり、上述したタイプ1、2の伝導効率はセルフロック性のあるウームギア式よりも多少高い程度でウームギアが現在使われている使用条件下での使用は全く問題無いが、この効率を更に高めるべく研究を重ねた結果、タイプ2を高効率型に改良することによって90%以上の高い効率の実現の見通しが立っていて近く商品化を予定している。この「高効率セルフロック装置」を通常の減速機の入力側に組み合わせれば効率を低下させずにセルフロック機能の追加が容易に可能となり従来からの方式によるトラブルを回避し、安全確実且つメンテナンス・フリーの操作が実現出来るものと確信している。

以上