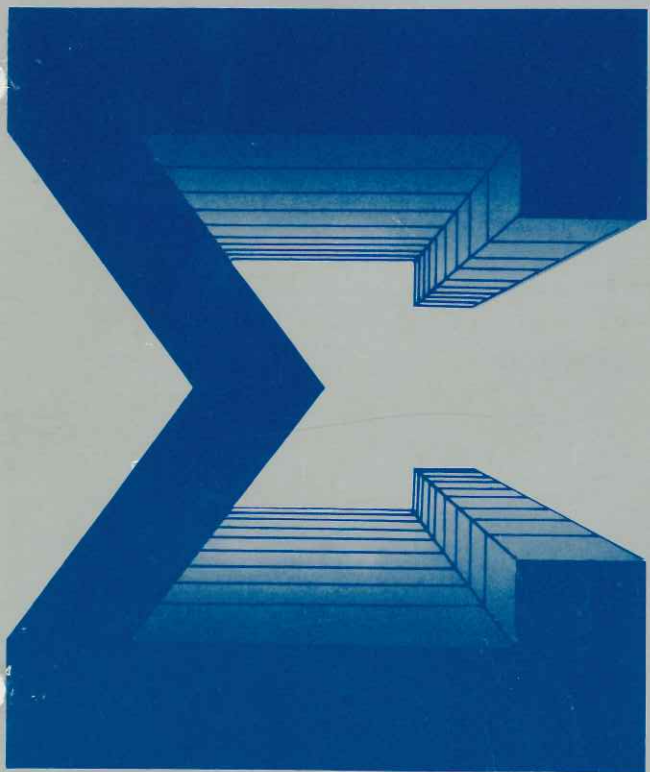


需要家のためのI.B.ニュース

シグマ

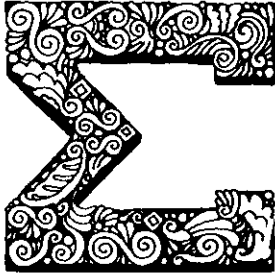


【18】イワタボルト

1977. 10

NO. 25

18



シグマNo.25 目 次

特集・ねじの軸力管理——そのすべて…………… 1

(アッセンブリ・エンジニアリングNov.'76より)

T. トムブソン
岩田雅隆訳

誌名〈シグマ〉の由来

〈シグマ〉はギリシヤ語のアルファベット第18番目にあたる Σ (sigma) から取ったものですが、 Σ は微積分では総体の和を現わす記号ともなっております。そこで、1)「ねじ」は物を締めつけて完成品に仕上げる重要な部品ですから、総体の和を支えるものといえます。そして 2) 私たちは、総体(トータル)でものをみ、伝票では買えないものをサービスして、総体のコスト(トータルコスト)を下げることに協力します。このためには、3)「ねじ」を供給する私たちと、それを使用される皆さんとの間に、密接な和を必要とします。こうした私たちの3つの願いをこめて名づけられたのが〈シグマ〉です。

〈シグマ〉25号 昭和52年10月31日発行
編集発行 岩田ボルト工業株式会社

☆☆☆本文は、ねじの軸力の監視と制御によって継手における締付力の最適化を図ろうとする幾つかの最新のシステムについて、その実際的原理を述べたものである。現在入手可能なねじ軸力管理装置を使用し、補償費用の削減、製品に対する法的責任事故の減少、組立検査時間の短縮などを通じて、コストの節減を実現している会社も1, 2に止まらない。ねじの軸力管理は組立をめぐる幾つかの問題に対しての回答にもなるはずである。☆☆☆

クリチカルなねじ継手を設計するにせよ組立てるにせよ、との終局の目的は、出来る限り低い組立てコストで、起りうるどのような動荷重をも上まわる最も安全な締付け力を得る事である。10年以上もの間ねじメーカーは、トルク-軸力関係を用いて最適締付け力は、ねじの降伏点かその近くで生じる事を説明して来た。しかし最近までこれは、生産組立ラインの立場からすると実質的に達成しがたい目標であった。周知のトルク法は、静荷重継手に対しては完全に適しているが、それがいかに正確ではあっても、トルク-軸力関係において必要な2つの変数のうちの1つをコントロールできるにすぎない。それゆえ最適締付け力が實際上達成されるとい

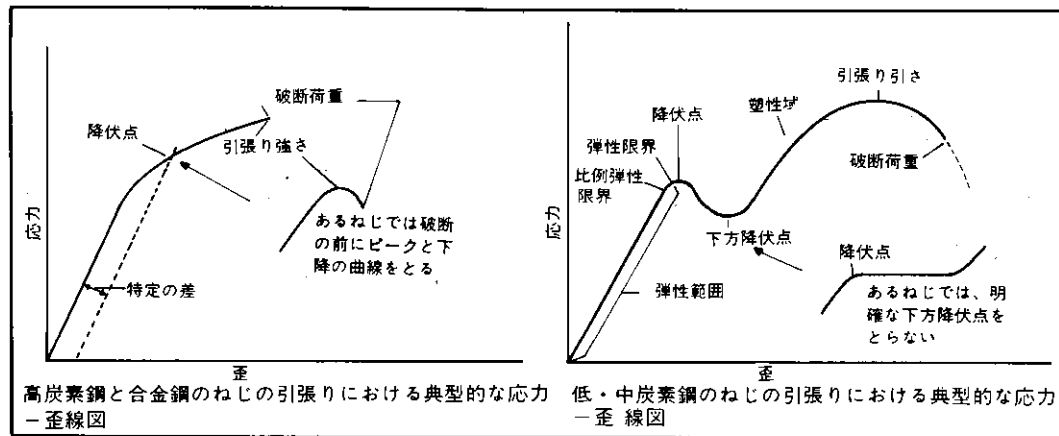
ういかなる保証をも得られない。新しい軸力コントロールシステムは、トルク-軸力関係（トルクと回転角又は、トルクと時間）における2つの変数を連続的に電子的に監視し管理することによって、この障害を克服するものである。

本稿は、最もポピュラーな空圧式の軸力コントロールシステム概念と若干の特長について述べるものである。参考として、ねじのテンションに関する専門用語をめぐる混乱解決の一助にもと用語集を掲げておいたが、その外に、囲み記事で①軸力コントロールを可能にするトルク・トランスデューサ（トルク検出器）と角度エンコーダ（角度割出し器）、②特定の締付け力をうるのに単にトルクだけを計算し使用する点に関する諸問題、③ねじの伸びを測定するため

の簡単な超音波技術、④トルクを加えることなしに直接引張ることによって軸力を発生させる油圧装置に関する説明を付け加えておいた。別図の2つの応力-歪線図は、最も一般的な炭素鋼と合金鋼のねじの一般的挙動を示すものである。ここでつけ加えられた線図は、①種々の摩擦係数に対する締付け力対トルク、②トルク対角度法において受け入れられるパラメーターの“窓”、③締付け力の正確さに関するトルクコントロール、角度コントロール、軸力コントロールの比較、④種々の締付け力に対する耐ゆるみ性能と継手破壊の資料を示している。

トルク管理の諸問題

トルクの不正確さが継手の過剰設計に責任が



ねじ部品の締付力（残留張力）に関するトルク計算

トルクとはねじ継手において摩擦を克服し、かつ軸力を発生させるために適用される回転力である。ねじ結合の信頼度は、継手の荷重によって決定される最適範囲内に、如荷に正確に締付力をかけるかで左右される。軸力または締付力測定は、トルクではなくてトルク-軸力関係におけるもっともクリチカルなものである。締付力の数値は、エンジニアリングハンドブックや製造者の文献から容易にえられる。与えられた締付力を生み出すのに要する正確なトルク量をきめることは、摩擦による損失が避けられないため簡単な仕事ではない。次の経験式は、特定の締付力を生じるために要するトルクを推定するのに使われる。

$$T = \frac{KDW}{12} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、T=トルク (lb-ft 又は N・m)
 K=トルク係数 (摩擦係数ではない)
 D=ねじの呼び径 (in 又は cm)
 W=ねじの張力=締付力 (lb 又は N)

トルク係数Kは、通常座面とねじ面における摩擦係数によって近似的に示される。しばしば使われるKは、メッキなしの鋼ねじで0.20、メッキつきの鋼ねじで0.15である。潤滑するとこの数値は、0.12に下がる。これらの数値は、ひかえめであり、実際の締付力は、普通計算値よりもやや小さい。

Kは、実験や次の式によりより正確に決定できる。

$$K = U_B \cdot \frac{R_B}{D} + \frac{R_T}{D} \left(\frac{U_T \sec \beta + \tan C}{1 - U_T \sec \beta \tan C} \right) \dots\dots(2)$$

ここで、 U_B =ねじの座面の摩擦係数
 U_T =ねじ接触面の摩擦係数
 R_B =座面上の摩擦力の有効作用半径 (in 又は cm)
 R_T =ねじ面上の摩擦力の有効作用半径 (in 又は cm)
 β =ねじ山の半角(すなわち60°基準山形に対しては $30^\circ \sec \beta = 1.15$)
 C =ねじのリード角

このより正確な式(2)によっても計算はうらぎられることがある。適用されたトルクの約90%は(50%は座面、40%はねじ接触面において)摩擦によって失われる。適用されたトルクのわずか10%が理論上ねじの軸力を生じるのにとどまる。明白な結論として、締付力を発生させるのに必要なトルクの計算はせいぜいの所たいくつで、しかも不正確であるという可能性が多いことである。この結論は、通常使われる外的なトルク測定の不正確さと相まって、クリチカルな継手に正確なねじの締付力を生じさせる目的でトルクコントロールだけを使うことが明らかに不利であることを物語

っている。精度±0.5%のトルク検出器によるモニタリングとコントロールによっても、継手とねじにおける数多の変数の故に、特定のねじと継手の結合体に発生した正確な締付力を実際に知る方法はない。例えば、摩擦係数のばらつきによって、適用された軸力が±30%の違いとなって表われる。そして締付力がねじの終局引張り強さまたは、降伏点に近づくにつれて、推定値Kは、もはや適用できなくなる。何故なら実際の数値は、かじり、ねじ変形又は締付の進行により急激に増加するからである。

トルク-軸力関係は、つぎのような式で示される。

ねじり応力 S_2 と引張り応力 S_1 の比は、

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{2md_p}{d_r} \dots\dots\dots(3)$$

荷重P (lb 又は N) とトルク T (lb-in 又は N・m) の比は、

$$\frac{P}{T} = \frac{2}{D_v + d_p m} \dots\dots\dots(4)$$

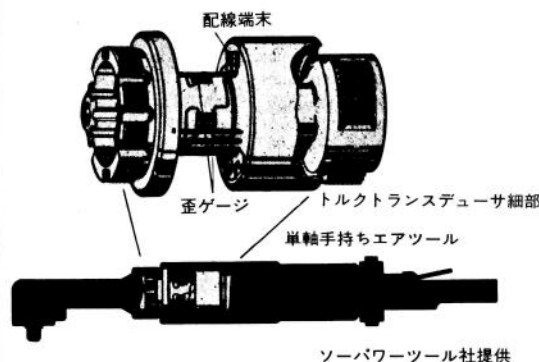
総合応力 S (psi 又は MPa) とトルク T (lb-in 又は N・m) の比は、

$$\frac{S}{T} = \frac{8}{\pi d_r^2} \left[\frac{0.35 + 0.65 \sqrt{1 + (4cmd_p/d_r)^2}}{D \cdot V + d_p m} \right] \dots\dots(5)$$

ここで、D=ナットの平均座面径 (in 又は cm)
 d_p =ねじの有効径 (in 又は cm)
 d_r =ねじの谷の径 (in 又は cm)
 α =ねじ山形角度の1/2 (度)
 β =リード角 (度)
 T=トルク (lb-in 又は N・m)
 P=ねじの軸力 (lb 又は N)
 F=ねじに作用するナットの力 (lb 又は N)
 μ =ねじ面間の摩擦係数
 V =ナットと座面間の摩擦係数
 ϕ =摩擦角 (ϕ の tangent が μ となる)
 $m = \frac{\tan(\beta + \phi)}{\cos \alpha}$

(4)と(5)の中で唯一の未知なものという、前述のように相当な変化が見込まれる摩擦係数である。幸いにも本文中で述べている軸力コントロールシステムは、ここでふれているような摩擦問題を避けて通ることができるし、また多くの適用例においてねじの降伏点又はその近くでねじの軸力を正確かつくりかえし発生させることができるのである。

トルク・トランスデューサー



反動式電子的機械的トルク・トランスデューサーは、回転エネルギーを電気信号に変え、エアツールの軸力コントロールシステムの一部をなす。手動式又は多軸ツールのスピンドルに取りつけたトランスデューサーは、適用トルクとトルク変化率をシステムが測定できるよう正確なシグナルを送る。図で示したトランスデュー

サーは、8個のストレインゲージをもったトルク反動チューブで、これらのストレインゲージは、抵抗の変化を検出し、温度変化のような外的影響を受けないように配置されている。ゲージの数、構造がうすい箔か合金のワイヤゲージか、更にゲージの配置状態は、メーカーによって異なる。 10^{-6} inという小さい表面の歪みによって起こる抵抗の変化を検出するには通常ブリッジタイプの回路が使われる。トランスデューサーは、遊星歯車の固定部であり、固定回路にシグナルを中継する時過度の電氣的ノイズの原因となるような整流ブラシは使われていない。ここに示したトランスデューサーにおけるシグナルの増幅に使用する回路は、120dBのノイズを排除し、ウォーミングアップ後0.05%以内の直線性もち、かつ最高1,000,000lb-in/sec迄のトルク変化率を記録できる記憶回路をもっている。増幅されたシグナルは、正確なねじの力学的情報を提供するもので、この情報は、ユーザーの希望に応じて①軸力のみ、②トルクのみ又は③降伏が生じないトルクといったいずれかのモードで、蓄積され(又は)比較されてコントロールを生み出すのである。

あり、それが組立コストの上昇を招いていることが少なくない。設計者は、締付けの誤差を補うために、しばしば特大のねじやより高いグレードのねじ、またはその両方を使用してより大きくより重い組み立物に作り上げることが多い。実際のコストを左右するのは、ねじのサイズ、グレード、価格及び本数に加えて下穴、ねじ立て及び座金のコスト、それに締付けシステムの費用である。皮肉にも、いくらねじの本数を増

やしたりより高いグレードのボルトを用いても、それらのねじが降伏点近くまで締付けられない限り、継手の強度は、実際には向上しない。

最大の問題は、摩擦である。これについては、「ねじ部品の締付け力に関するトルク計算」についての別項のセクションを参照されたい。加えられたトルクの90%までが、潤滑、きれいさ、はめあい、きず、仕上等のねじ山における摩擦のバラツキか、ボルト頭部と被締付け物間の摩

擦により失なわれる。航空宇宙用の組立作業に用いられる超音波トルクレンチは、レンチヘッドに25kHzのシグナルを使用し、摩擦係数を半減させて軸力のバラツキを大幅に減らすのに効果があるが、それとても特定の軸力負荷または降伏点締付けを保証しない。

どんなに熱心なトルクコントロールの擁護者であっても、ひとたび彼らが現在の技術を評価するために入手できる軸力検査設備を使用するやいなや、クリチカルな組立てに対しては、トルクコントロールの使用を止めてしまうことが多い。

軸力管理

軸力は、ゴムバンドを引っぱった時に力を生じると同じような働らきでねじを伸ばすことによって、継手に締付け力を与える引張力である。軸力の直接の測定は、実際的に不可能である。何故ならば、テンション検出器を、継手の中に設置しなければならないし、生産ラインの立場からするとそのコストは、余りにも高くつきすぎるからである。しかしながら既知のトルク-軸力の関係に基づいて軸力を間接的に決定する正確な方法がある。

軸力コントロールは、締付け状態についてト

ルク対角度又はトルク対時間を同時に電子的にモニターし、つぎにそれを使って降伏点を検出しツール停止の瞬間を決定することによって容易に達成される。降伏点 (yield point) は、往々破壊 (fracture) とまちがえられているが、実際には延伸性のあるねじは、降伏点をこえて荷重をかけても安全なのである。

例えば、3/8-16×4 六角穴付ねじのテストでスナッグトルクは、200lb-inに達した。

〈訳注〉 sung torque 予備締付トルク。各接触面における密着性を高めトルク対テンションの関係を安定かつ直線的にする目的で予備的に与えるトルクで、大体最終トルクの約20%が良いとされる。

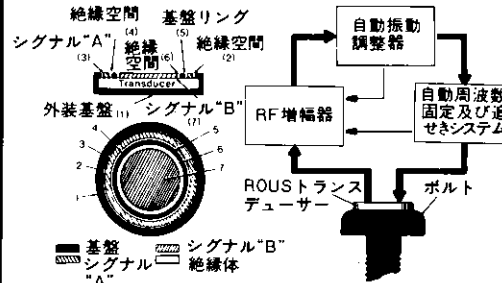
更に、塑性域へ追加的に210°回転させると、0.023inの全伸びを伴った13.5ksiの締付け力を生じた。このねじの引張強さは、15.5ksiと表示されている。このねじを破断するまで締付けると、破断時の全伸びは、0.108inで前の値の4.7倍、この時のナット回転角は、620°で同じく前の値の3倍近い。代表的な低及び中炭素鋼のねじと似たカーブを持つ0.12%炭素鋼ねじについて行った別のテストでは、比例弾性限界24.5ksi、降伏点36ksi、引張強さ61ksi、破断点38ksiであった。この2つの事例は、降伏点締付けにおける代表的な安全限界を説明している。そして、

NASAの超精密超音波ボルト軸力モニター

新しい超音波発生のモニタリングシステムは、締付けの前と後のボルトの超音波パラメータを測定してボルト内部の金属応力の変化を検出し軸力を決定する。ROUS (反射発振器式超音波分光計) が最近NASAのラングレー・リサーチセンター (バーニジア州ハムプトン) で開発された。これはクローズドループ・フィードバック回路を利用しており、作業振動数は、ROUS

トランスデューサーを取付けたボルト内の応力の一次関数である。このトランスデューサーは入力と出力間に高い電氣的絶縁を与えると共に、反射波に対するすぐれた音響連結を行う。ROUSモニターは、テストされるボルトを高い“Q”をもった機械的共振のクローズドループフィードバック増幅器/発振器の一部として扱う。ROUSは、自動的なゲインコントロール (AGC) と自動的な周波数コントロール (AFC) 装置をもっているため、ボルトの伸びによる歪の変化に関係ある共振振動波の変化を正確に追いきする。周波数の変化は、精度0.01%の振動測定器による読み取りか、又はAFC電圧 (95%の精度) のアナログ読み取りで表示される。多くの他の連続周波 (CW) 方式と違って、ROUSは、パルス反響の測定のためにボルトの片側だけに接触することが必要である。それは、原理の点でも構造の点でも簡単で、コストも安くなると思われる。

独立した接触体をもったROUSトランスデューサー・アセンブリーをカップリング用グリースをうすくぬったボルトに取り付ける。回路を機械的共振装置にロックしてから、ボルトを応力下にある間に希望の周波数変化のところに締付ける。



1964年以來のいくつかの研究データによると、ねじは、降伏点を越えて最適締付け力がえられ、かつ安全であることを示している。

降伏点を検出する軸力管理システム

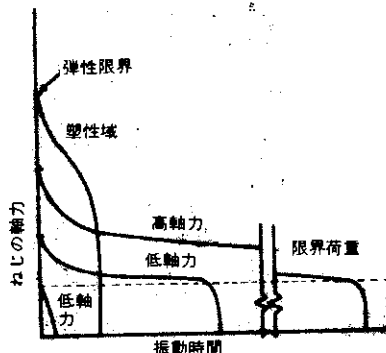
エアツールによる3種類の軸力コントロールシステムは、クリチカルなねじ締付けのパラメ

ータ、すなわち締付け中のねじのトルク変化率対回転角の決定とコントロールのために、それぞれのツール・スピンドルにおける角度エンコーダとトルク・トランスデューサー (別項参照) からの入力に依存している。この3つのシステムは多くの点でよくにているが、それぞれがそれぞれのシステムの patents を得るだけの独特

な特長を持っている。この一般の原理を採用しているのはアメリカのメーカー2社、すなわちインガソルランド社の自動生産部門(Ingersoll-Rand Co's Automatic Production Systems Div.)とスタンダードプレストスチール社(Standard Pressed Steel Co. 略称SPS), 及びヨーロッパの1社, アトラスコプロ・ツール社(Atlas Copco Tools AB)である。これに対して、トルク対時間の関係をトルク検出器とパルスエアモーターの働きを利用して降伏点を感知する方法が、ソーパワー・ツール社(Thor Power Tool Co.)によって作られている。

トルク対角度による軸力管理

説明の便宜上、一般的な軸力コントロールの



臨界荷重水準とは、ねじに振動による動的変化に抵抗するだけの軸力が存在しなくなる地点である。一度臨界荷重に達すると自然に破断がおこる。(マクリンフォグ社資料)

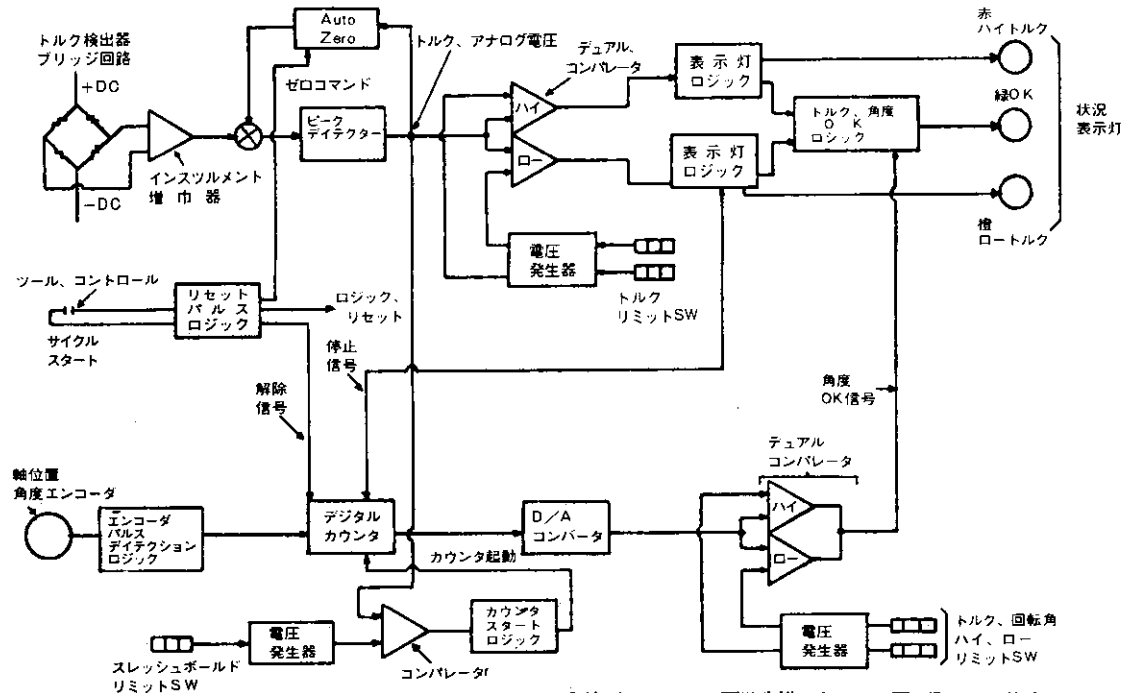
概念を説明するためにインガソルランドのシステムを利用する。トルク対角度ロジック回路のブロック図を参照されたい。SPSとアトラス社のシステムは、この説明のあとにのべる。

インガソルランド社のファスナーテンショニング・システムは、エアモーターに電子的モニターとコントロール装置を組み込んだもので、締めすぎずに最大の安全な軸力でねじ締付けができる。トルク変化率と回転角度を用いてトルク・テンションの比例関係を確定し、トルクを

発生させるエアツールにより締付けられたねじの降伏点を発見する。降伏が発生する瞬間、すなわちトルクが回転に対し比例的割合ではもはや増加しなくなる地点で、迅速に作動するバルブが作動して工具のエアモーターを停止させる。

まずねじは、予め定めたスナッグ・トルクがはじまる水準まで締められる。つぎにトルク・トランスデューサーからのトルクを表わす信号は、増幅され、ピーク保持検出器へ送られる。

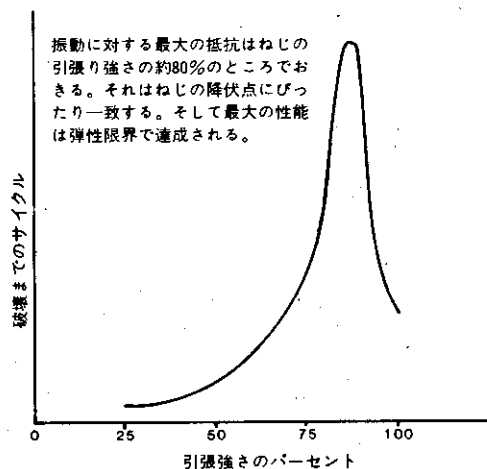
ハイとローのデュアル・コンパレータは、ト



トルク水準を点検しそれをあらかじめ設定したトルク限界値と比較する。このロジック回路は、許容しうるトルクと時間のパラメーターを予め定めたりミットと比較する。そして高いか、低い、またはOKかの状態をコントロールパネル上に点灯で表示する。

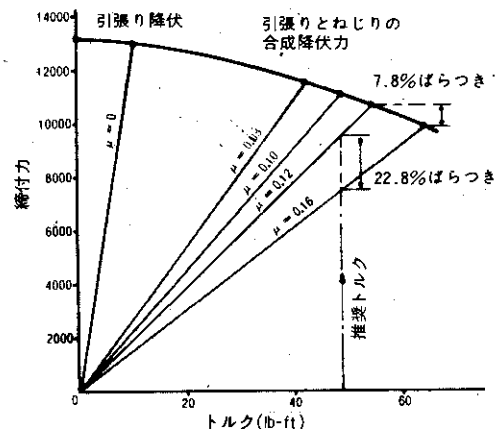
ツール・スピンドルにおける角度エンコーダは、開始トルク水準に到達したのち回転角度を測定する。エンコーダの出力は、エンコーダにおけるパルス検出ロジックによって、1度の回転に1つのパルスで交換される。それからその信号は、パルスを数える十進式デジタルカウンターに送られ、そして0~999°の回転角に該当するBCD出力を発生する。そのカウンター出力は、デュアル・アナログコンパレータへ比例的なアナログ信号を送るデジタルアナログコンバータへと送られる。コンパレータは、使用者が予め選んだトルク-回転角の上下の限界によって制限される。

時間にトルクと回転角の両方に対する高低の限界によって、ねじ張力に対する明確に限定された受け入れ可能の“窓”が設定される。トルク率の変化が降伏点において発生するとき（応力-歪又はトルク-回転角曲線から二次的に派生）、ツールモーターがミリ秒単位で停止する。



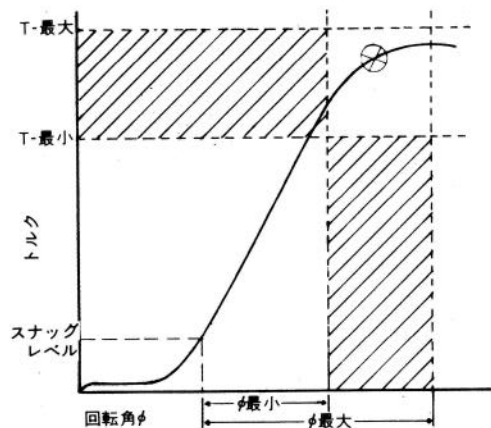
引張強さのパーセント
Mil Std 1312, テスト 7 によるグレード 5 ねじの締付力の関数たる耐振性を示す。(マクリンフオグ社資料)

ツールの反応時間は、組み込まれた回路が回転をエンコーダが指示するよりも少ない、予め定めた回転角に制限するために、殆んど無視できる位である。ボルトが実際に降伏点まで応力がかかけられ、かつ締すぎでないということを確認するための最終チェックとして、このシステムは、ツールが停止したのち最終のトルクと角度変位とをチェックする。このシステムは、不十分な最終トルク、クロススレッド、ねじ山の欠陥あるいは、剥離のようなねじの欠陥を検出することができる。

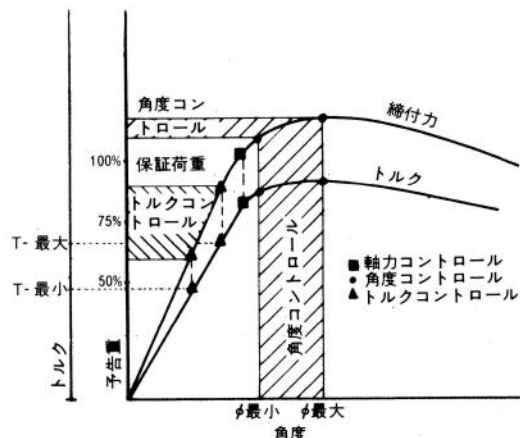


3/8-16×4in の六角穴付ボルトの締付力対トルク曲線は、降伏点かそれ以上への締付けと比較して規定トルクの締付け時の摩擦係数の締付力の精度への影響をしめす。(SPS資料)

SPS社は、高度に正確な締付け力をあたえるSPSジョイントコントロールシステムを持っている。トルク対角度のカーブは、コンスタントにモニターされ、夫々のスピンドルは、たとえ異なるグレードのボルトがとり扱かわれていても、予定の受け入れ限界内にある限り最適締付け力のところで停止する。このシステムは、如何なるねじに対してもそれがたとえ規格外のものであっても、降伏を指示するところでスピンドルを停止させるから、ねじを破断させない。これは最初高速の初期回転を行ない、継手のリ



簡易化した線図はねじの軸力コントロールにおいてモニターされた締付けのパラメーターを示す。コントロール回路は受け入れ可能なパラメーターが窓に入ったときエアツールをシャ断する。補助のモニターライトは何れかのねじが本来の規定から外れていることを警告する。



3つのちがった締付け方法によりえられた締付けコントロールの比較

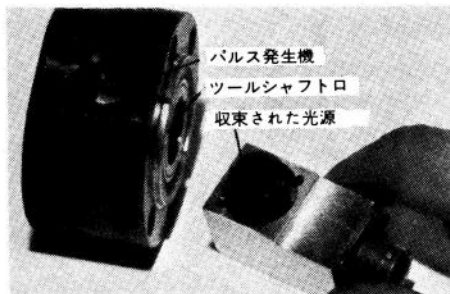
ラックスや多軸ユニット中のねじの不在を発見するために0.5秒のおくれののちに、停止状態までねじ込まれる。モーターは、もしすべてのボルトが適切に取付けられているならば最終締付けを始めるための信号をだす。最終のトルクと角度の読みは“窓”の設定値と比較され、コントロールパネルに表示された受け入れ可能状態が決められている。

アトラス・コブツール社のシステムは、トルク-回転角コントローラシステム(Torque/Angle Controller System)で、軸力制御をトルク変化率と角度変位の情報の電子的信号調整によって達成するために、スピンドルの動きをモニターしコントロールするものである。スピンドルに取りつけられた角度エンコーダは、ありふれた形式のものである。トルクと回転角の受け入れ可能な“緑の窓”の限界は、あらかじめ設定されており、指示灯は、トルクと回転角の両方に対してサイクルが完結したときの数値と、“高”“低”又は“限界”という継手の状態を表示する。スナッグトルク開始レベルは、別個にセットされる。エアーモーターを理想的なトルク-回転角の関係のところまで停止させるために使われるトルク・リアクション (T-R)バルブは、ユニークで正確で簡単な装置である。

角度エンコーダー

角度エンコーダーは、トルク率対回転角を決定する知識を必要とするようなシステムに対し、必要な回転角度の情報を提供するものである。エアツール内にライン配置されたトルク・トランスデューサーと一体化した、エンコーダー/トルク・トランスデューサーの組み合わせは、軸力のモニターと記録とコントロールを可能にする。

エンコーダーは、エアツールシャフトとシャフトが締めているねじにおける機械的回転角度を計算する電子光学的方式を利用した精密な装置である。収束された光源は、パルス発生機上に密に並べられた平行の鏡から交互に反射し密に配置された一連のスロットを通る平行光線を形成する。パルス発生装置は、エアツールシャフトと一緒に回転し、反射された光のパルスによって一体化した光学的トランスデューサーが各回転角度を正確に計算できるようになってい



る。エンコーダーは、通常エアツール上のトルク・トランスデューサーの近くに取り付けられる。パルス計算の情報は、継続的にモニターとコントロールを行うために軸力コントロール回路に直接送られる。写真は、角度エンコーダーを分解した所で、パルス発生装置についた平行鏡面と収束光源が示されている。

それは空気の減衰によって反動トルクを吸収するばかりでなく、コニカルバルブに連結されたピストンによってモーターへの空気の供給を調整する。トルク検出器は、T-Rバルブに連係している部品である。あらかじめ設定したトルク水準に達したとき、ピストンは、反動トルクとつり合う外側のスピンドル・ケースの動きによって作動させられる。

ツール・スピンドルをねじの所に下げることによってモニターが始まる。そして引き金を引くとねじ締め位置までの自由回転がはじまり、おのおのスピンドルは、すべてのスピンドルが開始点に達するまで止まっている。それから最終締付けがはじまり、停止条件が満たされるまで続けられる。

トルク対時間による軸力管理

ソー社のパーII (PAR II) テンションセッティングによる締付けは、ねじの降伏点を感知し、弾性限界と降伏点との中間から降伏をこえる何処かの点又は希望の任意の点で、トルクを加える作業を停止させる。このユニークなパルス設計が、他の降伏点を感知する締付けシステムとちがう点である。

このシステムは、まず自由回転のモード、つ

ぎにパルセーションのモードという2つの基本的なモードで順次に作動する。絞り（スロットル）が作動すると、トルクを発生するツールは、空気の拘束から開放され最大の能力で作動する。この自由回転モードで迅速なねじの空回りが行われる。同時に組み込まれた反動トルク・トランスデューサーは、ツールのトルクの出力をモニターする。ねじが予め決められたスナッグトルクの調整量まで回転させられると、このシステムは、パルセーション・モードの作業に変わる。モードの変換が行われるあらかじめ決めたトルク量は、パルセーションレベルと呼ばれ、ツールコントロールボックス内で調整できる。パルセーション・モードのコントロールは、ツールのパルセーション開始レベルと、それぞれのパルス間で与えられる締付け力の両方を調整できる。

付加的なコントロールのために、ソーシステムについて示した脈動トルク対時間の簡易化された波型は、トルクと時間に対して受け入れ可能な最大及び最小の値をきめる“窓”を持った普通のトルク対時間関係のダイヤグラムの曲線上に実際上重ねられている。受け入れ可能なトルク対回転角の窓に対して示された一般的なダイヤグラムでは、時間は、回転におきかえられ

る。このソー社のトルク対時間の軸力のコントロールシステムは、インガソルランド社のトルク対時間検査の方法と混同してはならない。後者は、軸力を測定したりコントロールしたりするものではなく、ねじ又は継手の適正な締付けをさまたげる重大な欠点を発見するため受け入れ可能な最低並に最高のトルクと時間の値をセットするものである。

パルセーション・モードは、つぎのように作動する。ツールへの空気の供給は、ツールへ時間ぎめの量で供給され、迅速に作動する (on-offが0.003秒)ソレノイドバルブによって拘束される。このことは1秒間に約20サイクルの割合で迅速かつ継続的にねじにトルクを増加させたり減少させたりすることになる。同じやり方で直角のL字形ツールを使っている作業者にとって反動トルクは、小さく分散されてしまい、トルクの大部分は、作業者よりもむしろツールそれ自体の質量によって吸収される。作業者にとって通常のストール方式のものよりも、パルセーション・システムによりボルトを締付ける方が遙かに疲労が少なく、しかもこの方式により遙かに高いトルクが得られてもその反動は、低いトルクしかえられないストールタイプとほぼ同じ程度である。

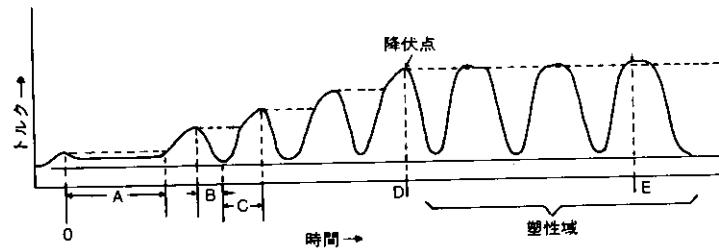
トルクをあたえるツールは、オンとオフが迅速かつ継続的に繰り返されるので、ツールの作業を継続すべきかどうかの決定は、ツールがオンの状態にある時よりもむしろオフの時になされる。このことで決定が瞬間的になされることになる。もし継手状態の制御回路がより以上のトルクを要求することを指令するならば、ツールは、ふたたび脈動し、他の決定がなされる。もし継手の状態がトルクの操作をやめることを要求するならば、エアコントロールバルブがふたたび作動しなくなる。ツールのエアシャ断の時間的遅れにより、決定点をツールが慣性で通りすぎるようなことはない。

このシステムは、ねじの降伏点を決定するのにユニークなタイミング技法を使っている。すべての停止の決定は、パルスモードにある時になされ、パルスモード中にトルク検出器によって得られたデータが、ねじの降伏点を決定する。つまり降伏点検出回路をおさめているツールコントロールボックスは、先行するパルスの最高のトルク水準をメモリーとして保有している。おのおののパルスが発生するたびに、ピークのトルク水準は、ピーク保持回路における先行するパルスと比較される。もし新しいトルクのピークが先行するピークより予め決定した量だけ

トルク対テンションコントロールベンチテスト

コントロール方法	測定トルク lb-ft ¹	測定張力 ksi ²	保証荷重 ksi ³	最小引張強さ ksi ³	継手状態	ボルトグレード	ボルト数	注 解	降伏到達の有無
トルクのみ	101.6	14.8	12.1	17.0	なめらか	5	1	100lb-ft の 公称トルク コントロール	無
	101.7	10.5	12.1	17.0	"	5	1		
	98.4	17.0	12.1	17.0	"	5	1		
	99.7	12.8	12.1	17.0	"	5	1		
	99.9	12.7	12.1	17.0	かじり	5	1		
張力のみ	122.0	18.0 ⁵	12.1	17.0	なめらか	5	2	降伏検出	有
	131.0	18.6 ⁵	12.1	17.0	"	5	2		
	148.5	19.0 ⁵	12.1	17.0	かじり	5	2		
	170.4	19.3 ⁵	12.1	17.0	"	5	2		
張力のみ	125.6	18.3 ⁵	12.1	17.0	なめらか	5	3	降伏検出	有
	125.7	18.9 ⁵	12.1	17.0	"	5	3		
	175.7	19.0 ⁵	12.1	17.0	かじり	5	3		
張力のみ ⁴	78.0	11.2	7.8	10.0	なめらか	2	4	6	有

1. エアツールのトルクトランスデューサー
2. 継手の張力トランスデューサー
3. 1/2-13サイズボルトに関するSAE規格J429h
4. ねじを手締めで90°追加締付けしてトルクがそれ程増加せず降伏点に達したことを示す。
5. ねじが塑性変形をうけている結果歪硬化が生じ、締付け作業の度に数値が増加している。
6. ソフトなグレード5ねじにシミュレートするよう、継手にはグレード2を代用。



軸力コントロールのトルク変化率対時間方式に用いられる完全なパルス波型の運動サイクルを示す。時間間隔：Aはトルクが開始水準に到達する前のねじの初期自由回転時間、Bは最初の測定パルス終了時のトルクの減少、Cは2番目のパルスにおけるトルクの増加、Dは顕著なトルク率の変化が起こる降伏点の時間、Eはツールのシャ断点。E点は調整可能で、降伏の開始点や塑性域内のどの地点にもセットできる。降伏に到達するまでのパルス数もまた変えられる。

大きければ、トルクは、増加しているとみなされる。この結果トルクと直接関係する軸力もまた増加しつつあることになり、ふたたびツールにパルスが与えられることになる。つぎに後のパルスのトルク値が、次の比較に使用するため、先行のパルスに代ってコンパレータの記憶に入れられる。いくつかの順次的な検出回路の比較によって、トルクが十分な率で増加せず従って軸力の増加率が減少したことが明らかになった時に、ねじは、降伏点に達したことになる。その地点において次のパルスが閉鎖積分ロジック回路によって抑制され、ツールは停止する。

剛性の継手では、一度パルスの比較に成功すればねじの降伏点を決定するのに十分である。パルス間において発生する継手のゆるみは、それが起こる毎に、増加的にトルクを加えることで自動的に補償される。しかし、やわらかい継手は、いかなる種類の降伏点検出回路に対してもちがった作動をする。やわらかい継手においては、継手とねじの両方に同時に降伏が起こる可能性がある。トルク曲線の傾斜は、継手の降伏とねじの降伏とを区別しないので、このシステムは、1回以上のトルクパルスの継続的な比較がなされる際の決定を可能にするような追加的な回路をもっている。もし引張下における継

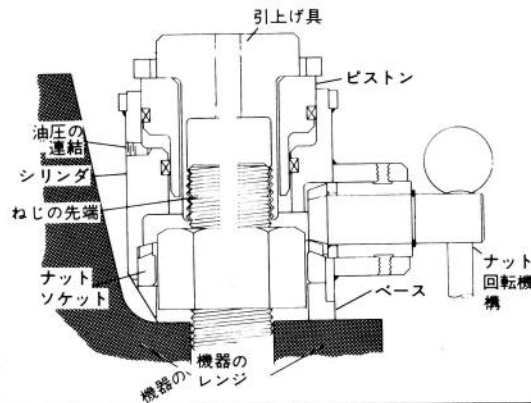
手の挙動がわかっているならば、回路の調整により、ねじの降伏点を決定するための基準をより剛性の高いものにつくり上げ、それによってツールに効果的に継手の降伏を無視させること

ができる。この追加された決定のプロセスは、価値がある。何故ならば、それぞれのパルスは、継手が最大の圧縮に達するほどやわらかい継手の張力を増加させないし、したがって極限状態

油圧式スタッド軸力発生器

スタッドに軸力を発生させる手順として、まず軸力発生装置をスタッドの上にすえつけ、プーラーバー(引張り棒)をねじの先端部にねじ込む。つぎに軸力発生装置に油圧を与えると、プーラーバーは、予め定められた量だけ静かに持ち上げられ、その結果ねじが伸びてナットの座面が離れる。つぎにナット回転機構によりナットを手締めで装置のフランジ部に着座させる。最後に、油圧を外しプーラーバーをゆるめて軸力発生装置を外す。こうしてねじは、用途に必要な規定の伸びに引張られていることになる。

ねじに軸力を与える一つの方法は、物理的に予定された量だけ直接引きのばすことである。この仕事は、すでにバイアックインダストリー社(Biack Industries, Inc.)によって行われている。スタッド軸力発生装置は、トルクを与え



ずには軸力を発生させる装置である。通常のトルク締付法は、ねじや締結部に残留ねじり力があるような個所では時として有害である。この残留ねじりは、巻かれたばねのように働く傾向があり、用途によっては使用中に巻き戻されて、不安全な締付状態となることがある。通常の締付けでは、軸力を必要としながら修理や検査の目的のため分解されねばならないような用途の場合、接触二面間にきわめてのぞましくないかじりを生ずる傾向がある。

スタッド引張り装置は、普通ねじ径5/16inから12in以上までの、低容積の超臨界的な用途のところに使用される。代表的な用例としては、自動車も若干あるが、核および化学反応装置、熱交換器、ディーゼルエンジン、大形タービン、パイプライン、および精製装置などに対するねじの締付けである。直線的な引張りであるため、フランジの回転やガスケットのねじれの問題もなく計算荷重の±2%以内の軸荷重を正確に生じる。この引張り装置のシステムは、自動的に降伏を感知したり、しゃ断したりすることはなく、他のシステムのようにねじや継手の張力を実際に測定したりするものでもない。それはこれまでの締付け方式につきものである摩擦の問題をさける一つの方法である。引張装置は最低100lbから7,000,000lb以上までの負荷ができる。

代表的な多軸形の適用では、通常全フランジ面にわたって均等に締付けが行われるような位置に3台かそれ以上の引張り装置が使用される。この操作は、通常のエアツールと匹敵されるような速度で締付けはしないが、比較的迅速かつ簡単である。

がより少ないからである。

ユーザー側の反響

軸力コントロール装置について若干のユーザーにインタビューしたところ、いくつかの興味ある意見が得られた。おのおののユーザーは、一般的に装置の性能に満足しており、装置がメーカーの主張を裏切っていないと感じている。ユーザーは、標準的なエンジニアリングハンドブックの情報によって設計された既存の組立て製品についていくつかの問題点を体験していた。幾つかの会社では、組立てられた継手がねじに十分な締付け力が発生する以前に破損することを発見した。このことは不適当な継手設計と製品の再設計を意味している。他の会社では締付け工具と継手の性能に完全に満足しており、そして彼らの名前や製品を他にもらすことを拒否した。というのは現在彼らは、総体コストと信頼性の点で競争上大きな優位にあると感じているからである。この装置が重要な設計上の簡略化をもたらしたケースもあったが、彼らは顧客が突然の利益の増加に気がついて値引きを望みやしないかを懸念していた。大部分のユーザーは、100%モニターできる点と品質管理の人員を縮少できる点で満足していた。go/no-goの電光

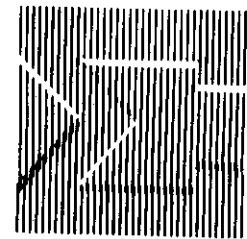
表示、数字による表示、ハードコピーによるプリントアウト、又はマスターコンピューターとの対応によって、適切な締付けがリアルタイムに文書化することが可能になったことが歓迎されていた。

何人かのエンジニアにとっては、新しい技術であるという懸念が主な障害であった。殆んどエンジニアは、依然として今までのトルクコントロールの概念に満足しており、変えるのに気乗りしていない。また、締結継手に対するトルク規定を軸力規定に変えるとなるとこれ迄の沢山の製品に関する技術文書の書換えに技術的に相当な作業を必要とするために、軸力コントロールへの切り換えが遅れているケースもある。その他興味ある意見としては、メートル制移行に伴う文書の書きかえは、避けられないので、そのタイミングを捉えてねじの仕様書を軸力コントロールへ変えるのが理想的ではなかろうか、という意見もあった。

結 論

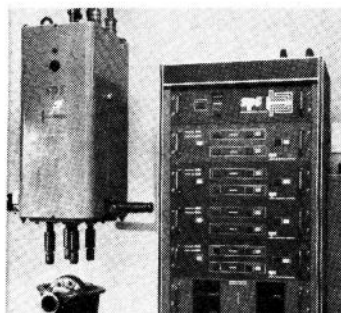
組立て技術者は、もはや今日、どのような重要なねじ締結に対しても軸力の大巾なバラツキを止むをえないものとする必要はなくなっている。何故ならば、その問題を解決するのに幾

つかの実証済みのシステムが利用できるからである。回転角又は時間との関連情報を同時にモニターする動的トルク変化率を使う空気式軸力コントロールシステムは、締付け力と安全性を最大限にする一方で締付け工程のミスを最少限にする点でもっとも実際的な方法である。これらの他に技術者が継手の中で何が起っているかを正確に知ることのできる方式はないし、せいぜい、適正な軸力とは危険を伴う問題らしいと推定しうるだけであろう。軸力コントロールは、この働きをするものである。継手の破壊が破滅的な損害の原因となるような動的荷重が作用する製品の組立てにとって、軸力コントロールの必要性は、極めて明瞭である。

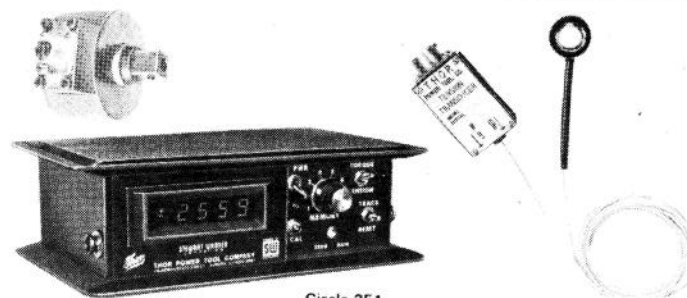
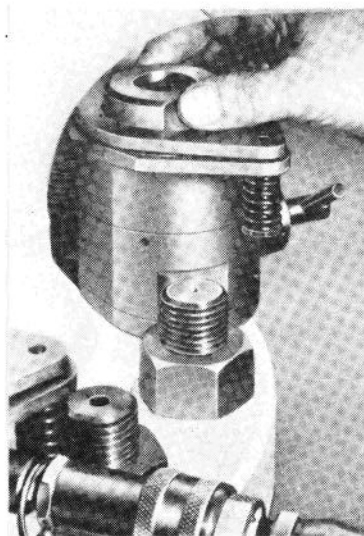


ねじの軸力管理装置の例

(アッセンブリ・エンジニアリング Nov. '76より)

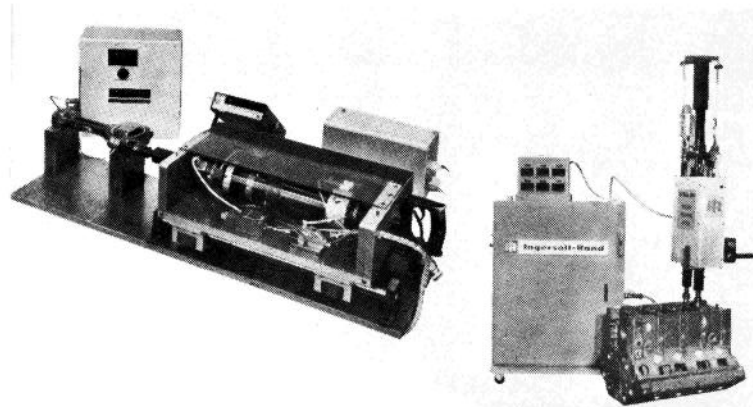


■(上下共) SPS の Joint Control System



Circle 251

■ソーパワ・ツールの PAR II



■インガソランド社の Fastener Tensioning System

■(左)ピアッチ社の軸力発生装置

イワタボルトはあなたの会社の ネジ・コンサルタントです

本 社 及 東京都品川区西五反田5丁目3番4号
 五反田事業所 TEL 東京 (493) 0211 (大代表)
 TEX 246-6253 郵便番号141
 板橋出張所 東京都板橋区赤塚4丁目6番4号
 TEL 東京 (938) 6445 (代表)
 郵便番号174
 名古屋出張所 名古屋市西区野南町78番地
 TEL (052) (502) 7761 (代表)
 TEX 444-3983 郵便番号461
 浜松支店 静岡県浜松市寺島町492番地
 TEL 浜松 (0534) (54) 5381 (代表)
 TEX 4225-195 郵便番号430
 多摩営業所 東京都昭島市福島町380番地
 TEL 昭島 (0425) (41) 5534 (代表)
 TEX 2842-174 郵便番号196
 藤沢営業所 神奈川県藤沢市今田字西原352番地
 TEL 藤沢 (0466) (44) 1277 (代表)
 TEX 3862-124 郵便番号252
 厚木出張所 神奈川県厚木市下荻野518
 TEL (0462) (41) 7021番 郵便番号243-02
 草加営業所 埼玉県草加市花栗町533番地
 TEL 草加 (0489) (42) 1131 (代表)
 TEX 2972-075 郵便番号340
 宇都宮出張所 栃木県宇都宮市竹林町字高田1081-6
 TEL (0286) (21) 0701 (代表)
 TEX 3522-320 郵便番号320
 埼玉営業所 埼玉県北本市北中九字上手2192番地
 TEL 鴻巣 (0485) (91) 2212 (代表)
 TEX 2942-437 郵便番号364
 群馬出張所 群馬県高崎市巾尾町491番地
 TEL 高崎 (0273) (62) 1041 (代表)
 郵便番号370

太田出張所 太田市大字内ヶ島1490
 TEL 太田 (0276) (46) 1796
 郵便番号373
 大阪出張所 東大阪市高井田1419番地
 TEL 大阪 (06) (788) 1466 (代表)
 TEX 527-7475 郵便番号577
 川崎支社 川崎市幸区南幸町2丁目72番1号
 TEL 川崎 (044) (522) 4101 (代表)
 TEX 3842-168 郵便番号210
 横須賀出張所 神奈川県横須賀市長浦町1-2
 TEL (0468) (23) 2724 郵便番号234
 富士営業所 静岡県富士市久沢字峰畑841番地
 TEL 吉原 (0545) (71) 3588 (代表)
 TEX 3925-487 郵便番号419-02
 仙台出張所 宮城県名取市田高字井成9
 TEL 名取 (02238) (4) 0265
 郵便番号981-12
 福島出張所 福島県郡山市富久山町久保田170-5
 TEL 郡山 (0429) (33) 6609
 郵便番号963-06
 福岡出張所 北九州市小倉南区葛原1991-3
 TEL 北九州 (093) (472) 3252 (代表)
 TEX 7124-30 郵便番号800-02
 埼玉工場 埼玉県八潮市木曾根1139番地
 TEL 草加 (0489) (95) 1331 (代表)
 TEX 2972-029 郵便番号340
 埼玉第二工場 埼玉県八潮市伊勢野150-1
 TEL 草加 (0489) (96) 9302-9256
 郵便番号340

【18】

岩田ボルト工業株式会社