

立木に直登する機械のマイクロプロセッサによる制御

松原周信*・瀧本義彦**・後藤純一***

Microprocessor assisted control of the machine which climbs up a tree in a straight line

CHIKANOBU MATSUBARA*, YOSHIHIKO TAKIMOTO**,
AND JUN'ICHI GOTOU***

A microprocessor assisted automatic control equipment for the machine which climbs up a tree in a straight line was developed. The machine consists of 2 grasp units and 1 expansion and contraction unit, and operates by 3 motors and is controlled by 4 switches. To control this machine, it is essential that grasp and opening, expansion and contraction should be repeated systematically, as a man climbs controlling his upper and lower limbs. Accordingly, to execute the routines of the controller one after another, termination of above-mentioned 4 actions were detected by the intensity of electric current, the time elapsed or the state of microswitches. The developed control equipment was composed of a very simple circuit, but by only one stroke of its function switch, the climbing machine could automatically perform the function, i.e. ascent, stop, descent or grasp units opening, reliably. Consequently, the machine which climbs up a tree in a straight line approached almost the stage of practical use.

既存の枝打ち機械の登行装置には、巻きつきフレームを用いて樹幹を抱え込むように取り付け、駆動輪を圧縮することにより、樹幹外周を螺旋状に上昇させるか、またはこれに類似した方式が採用されている。このような構造に起因した課題として、任意の枝だけを枝打ちすること、樹幹の形成層に損傷を与えないように圧縮力を制御すること⁵⁾、重量の軽減^{4,5)}の3点¹⁾が提示されるが、これらの解決を可能にする方策として、

瀧本ら⁵⁾は、従来の登行機構と全く異なり、ヒトが上肢と下肢を用いて枝のない立木に登ると同様の動作をする装置の開発構想を提示した。同時に瀧本ら⁵⁾は種々の荷重で立木を圧縮し成長への影響を調べ、この結果に基づき、後藤ら²⁾は形成層に損傷を与えない樹幹把持装置を試作し、さらに後藤ら³⁾はこの把持装置を装備した軽量の登行機構を製作し、これらを総括して直登式登行装置の開発を神崎¹⁾が報告書にまとめた。

* 京都府立大学生活科学部保健体育学講座

Laboratory of Health and Physical Education, Faculty of Living Science, Kyoto Prefectural University

** 島根大学農学部附属演習林

Shimane University Forests

*** 高知大学農学部林学科林業工学講座

Laboratory of Forest Engineering, Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Kochi University

この直登式登行装置は、上下肢に相当する2体の把持装置が樹幹を把持した後に、一体の把持装置を開口し、他の把持装置だけで全体を支えながら、開口している把持装置を伸縮装置によって樹幹にそって移動させる動作を繰り返すものである。装置^{1),3)}の全重量は11.6kg、直径12cmの樹幹を把持させる場合の閉口時間3s、開口時間2s、伸縮速度は、上昇1.1cm/s、下降1.2cm/s、その1行程は41cmである。動力は、2体の把持装置、および伸縮装置にそれぞれ1個ずつ、合計3個のDCモータ（日立製作所 DCMG04A07E100）である。樹幹の把持はモータの回転によって行なわせ、開口は、モータへの通電を遮断し、把持の際に定荷重密着コイルばねに蓄えた荷重を動力源として行なわせることによる。伸縮動作およびその停止は、ボールねじを回転させるモータへの通電の有無および極性の切り替えによる。

この登行装置の制御はわずか4個のスイッチ操作のみによって可能である。しかし、それを一定の順序に従って行なわなければならない、しかも同時に2個のモータに通電する場合もあれば、1つの動作の完了を待って初めて次の操作を行なうことのできる場合もある。既存の枝打ち機械の登行制御が、設定された高さまで上昇した後下降して最後にエンジンを停止させるために、ギヤのチェンジ1回、エンジンの停止1回を行なわせればよいのと比較すると、かなり複雑な制御を要する。神崎¹⁾の報告書では、登行装置の機械的な構造については完成をみたものの、動作の制御は手動によるスイッチ操作にとどまっておらず、自動制御化は課題として残されていた。そこで、マイクロプロセッサを使用し、上昇、停止、下降、把持機構開放の4つの動作を、それぞれ1個の押しボタンを押すだけで、持続的に行なわせることのできる制御装置を開発した。

方 法

登行制御装置は、次のような仕様とした。ケースの操作盤面に、電源スイッチのほか、上昇、停止、下降、把持機構開放の指示を入力する4個の押しボタンスイッチと、それぞれの機能を遂行中であることを示すパイロットランプをそなえ、電源を入れれば自動的に把持機構開放が選択されること。4個のスイッチいずれかを押しせば自動的にその動作を行ない、動作中に他のスイッチを押せば、その動作に移り、機能遂行中のスイッチは押ししても無効とすること。なお、登行装置のモータはDC12Vで作動させているので、制御装置の電源も、そこから取ることとした。その際、手動制御のためのスイッチと置き換えた4個のリレーにはそのまま供給し、アナログ回路およびデジタル回路には5Vに降圧してから供給した。登行装置とは有線で接続した。

2個の把持装置のモータにはそれぞれ1個ずつのリレーを接続し、これらのリレーに通電すれば把持、通電を停止すれば開口するようにした。伸縮装置のモータには2個のリレーを接続し、リレー2個とも非通電時にモータは停止、一方のリレーのみに通電すれば順回転すなわち短縮、他方では逆回転すなわち伸展するようにした。これら4個のリレーを操作するだけで、上昇、停止、下降、把持機構開放の4動作を行なわせることができる。まず、把持機構開放動作については、4個のリレーすべてを非通電状態にし、3個のモータをすべて停止させることによって実現できる。停止動作は、伸縮装置のモータは回転させず、2体の把持装置のモータを両方とも回転させて閉口し、その後さらに圧縮を持続させることによる。なお、圧縮中は機械的負荷によるモータの停止後も通電したままであるが、DCモータに24V定格のものを使用しているため、焼損することはない。

以上2つの動作に関するリレーの操作は、4個それぞれについて通電または非通電の設定を1回行なうだけで、その後は何等の操作も行なう必要がない。これに対し、上昇および下降動作においては、次々に操作を繰り返さなければならないばかりでなく、1つのリレー操作を行なったあと、それに基づく反応動作の完了した後でなければ次の操作に移れない場合がある。

把持装置の閉口、圧縮動作は3秒間で完了するが、樹幹の直径によって誤差を生じる。この動作が不完全なまま次の動作に移ると装置全体の落下する可能性があるが、このようなことは許されない。そこで、圧縮の進捗を検出する回路を設けた。閉口、圧縮のためのDCモータへの電流は、圧縮負荷のないときには約400mAであるが、圧縮動作を完了し、その負荷のためモータの回転が停止した場合には約1.6Aになる。回転停止時の電流に多少のバラツキがあったり、ノイズを拾ったりした場合にも確実に動作の完了が検出できるようにするため、電流が約1.2Aを越えたことを検出した後さらに約1秒間圧縮を持続した時点で、その動作が完了したものとみなすことにした。すなわち、一方の把持装置の圧縮動作がこの時点に達して初めて、他方の把持装置の閉口動作を開始することができる。

閉口動作については、樹幹を圧縮した状態から、ばねの復元力で完全に閉口するまで2秒間を要するので、モータへの通電を停止してから約2秒間以上待たなければ、その把持装置を上下に移動させることはできない。この時間も樹幹の直径によって誤差を生じるが、ほぼ完全に閉口していれば移動させて差し支えないので、約2秒間待った時点で閉口動作が完了したものとみなすこととした。

伸縮動作については、行程の両端に達した場合に、

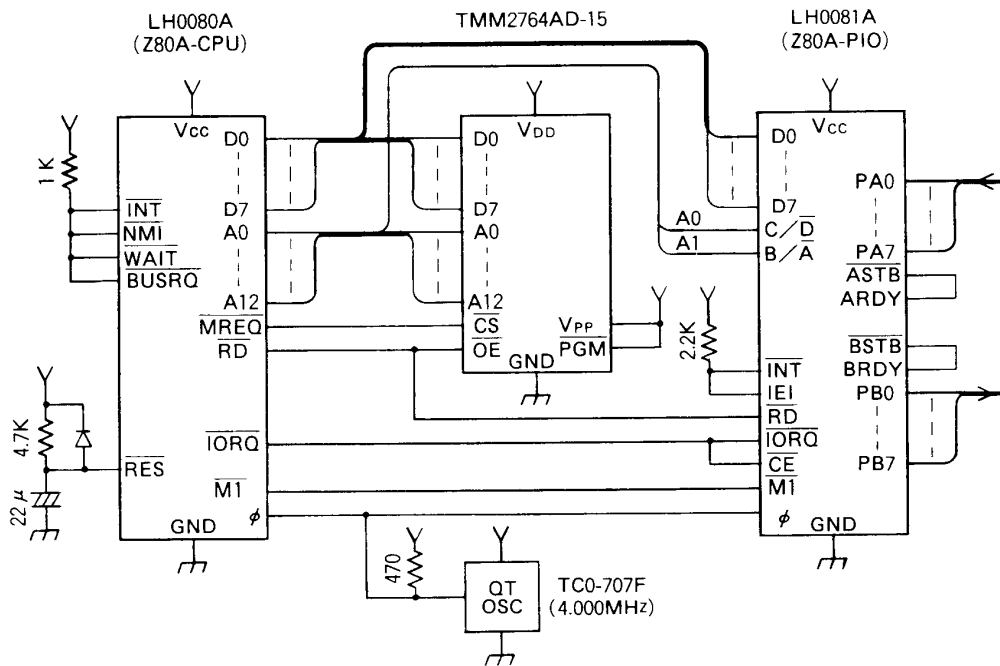


Fig. 1. CPU section of the circuit.

それぞれを検出することができるよう、装置に2個のマイクロスイッチを取りつけた。いずれかのスイッチが閉じれば、最大限に伸展または短縮した状態が発現したことを示すので、次の操作に移ることができることになる。伸縮の停止については、モータへの通電を遮断すれば、直ちに停止状態が発現する。従って状態検出の手順は不要で、すぐに次の操作を行なうことができる。

第1図は、CPU並びにその周辺回路、すなわちマイクロコンピュータ本体部分である。Z80A-PIOは、ポートAを入力、ポートBを出力に設定して使用した。入力8ビットについては、登行制御装置本体に設けた上昇、停止、下降、把持機構開放それぞれのスイッチの状態検出に1ビットずつを使用し、2体の把持装置に搭載した圧縮用モータの動作進捗状況検出に1ビットずつ、伸縮装置が最大限に伸展および短縮したことの検出に1ビットずつを用いた。出力の8ビットは、2個の圧縮用モータのリレー駆動に1ビットずつ、伸縮用モータの順回転および逆回転それぞれのリレー駆動に1ビットずつ、残りの4ビットは、上昇、停止、下降、把持機構開放それぞれの機能を遂行中であることを操作盤面上に示すパイロットランプの駆動に使用した。

第2図は、昇降制御のための入出力信号処理回路で、ICとしては16ピンのデュアル/デュアル OPアンプコンパレータ1個のみ、その他信号入力用のスイッチ、出力のためにはリレー4個およびパイロットランプと

してのLED4個などからなる極めて簡単な構成である。マイクロコンピュータへの入力のうち、機能選択スイッチおよび伸縮行程両端検出スイッチからの入力は、プルアップ抵抗によってスイッチの状態をTTLレベルに変換する単純な回路である。2個の圧縮用モータにはそれぞれ、回転に影響を与えない低抵抗として、 0.25Ω の抵抗を直列に挿入した。この抵抗は、入手の容易な $1\Omega/4W$ の抵抗4個を並列接続して構成した。モータの負荷増加を検出するため、まず、この抵抗両端に生じる電圧をOPアンプによって約5.5倍に増幅し、これをコンパレータに入力した。OPアンプの出力は、把持装置が樹幹を圧縮しモータの回転が停止する直前、急に増加するが、モータの電流が1.2Aに達するとコンパレータのスレッシュホールドレベルを越えるように設定してあるので、これによって圧縮動作の完了の近いことが検出できる。OPアンプのフィードバック抵抗に並列に接続されているコンデンサは、モータの回転開始時の瞬間的な電圧上昇を、把持動作の進捗と誤認することなく無視させるために設けたものである。マイクロコンピュータからの出力は、登行装置のモータを制御する4個のリレーと、パイロットランプ4個の操作に使用したが、これらはいずれもダーリントントランジスタを介して駆動した。

登行制御装置は、160mm×115mmのプリント基板(サンハヤト ICB-96)上に作成し、十分な大きさのケース(テイシン電機 T-367)に納めた。重量は全体で635g、そのうち、ケースを除く基板部分は152g

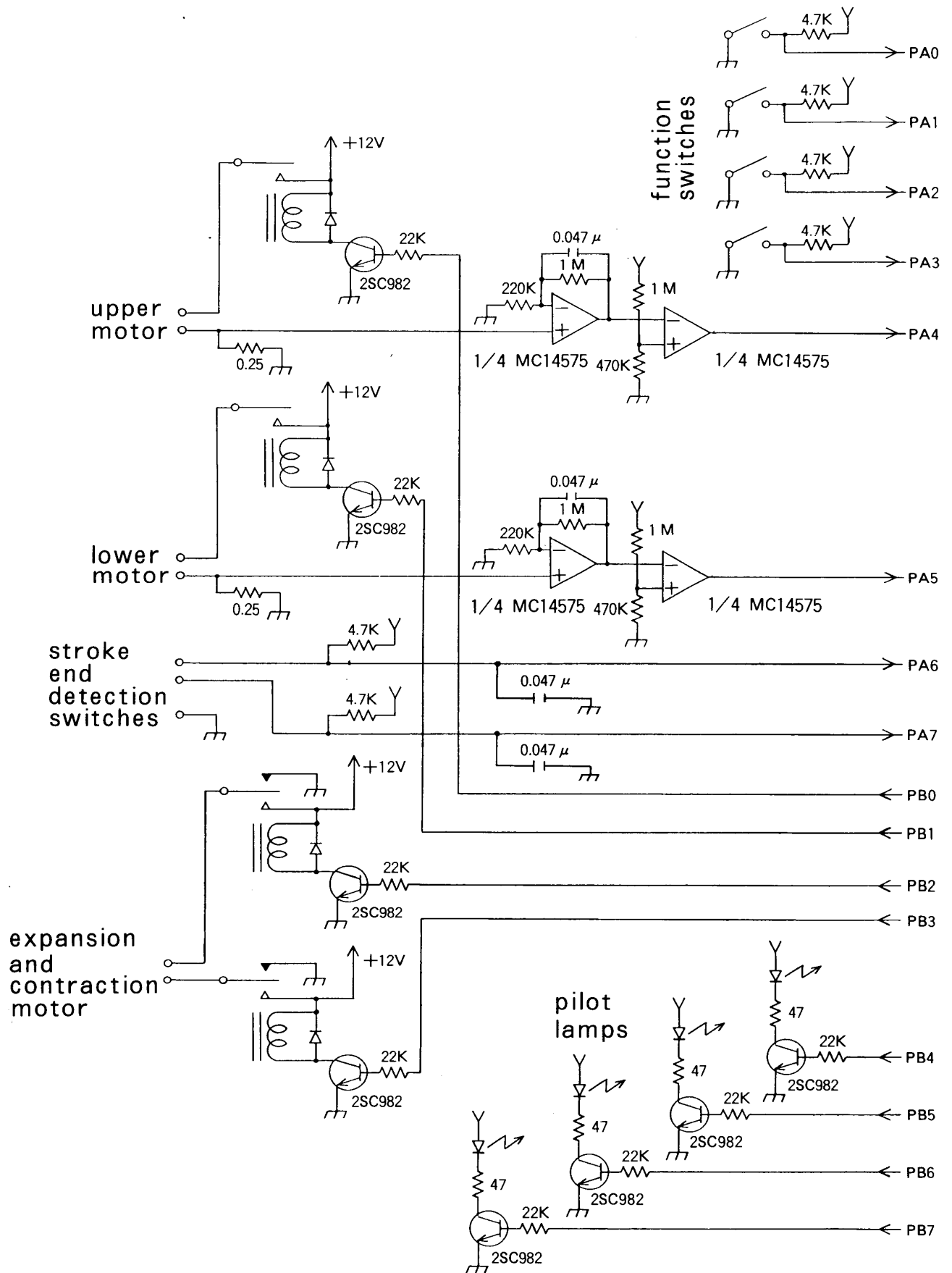


Fig. 2. Input/output section of the circuit.

であった。

登行制御装置の持つ4機能のうち、把持機構開放と停止については前述の通り単純なアルゴリズムで実現可能であるが、上昇と下降についてはかなり複雑な手順が必要である。上昇動作について、前述の条件をすべて満たすフローチャートを作成したところ、第3図に示す通りとなった。すなわち、制御装置のスイッチによって上昇動作が指示されたとき、まず、伸縮装置が短縮行程の終端に達した状態であるかどうかを調べる。もしそうでなければ、上下2体の把持装置を用いて樹幹を把持させ、次に下部の把持装置を開口して伸縮装置を短縮させるところから動作を開始させる。もし短縮行程の終端に達した状態であれば、同様に樹幹を把持させた後、上部の把持装置を開口して伸縮装

置を伸展させるところから動作を開始させる。下降動作のフローチャートについては、上昇動作における場合と比較し、伸縮装置の伸展と短縮を入れ替えるだけで他は全く同じである。なお、1つの動作を遂行中に、別な動作を指示するスイッチが押された時には、直ちにこれを検出してその動作に移らなければならない。そのためには、スイッチの状態を調べ、いずれかのスイッチが押されていればそれに相当するプログラムのアドレスへジャンプするルーチンを随所に挿入しておけばよい。ただし、1秒も2秒もの長時間にわたってスイッチの状態の検出が中断されることがあってはならないので、全ての状態待ちループおよび時間待ちループの中にはスイッチセンスルーチンを含めておく必要がある。このことは、把持機構開放および停止動作中

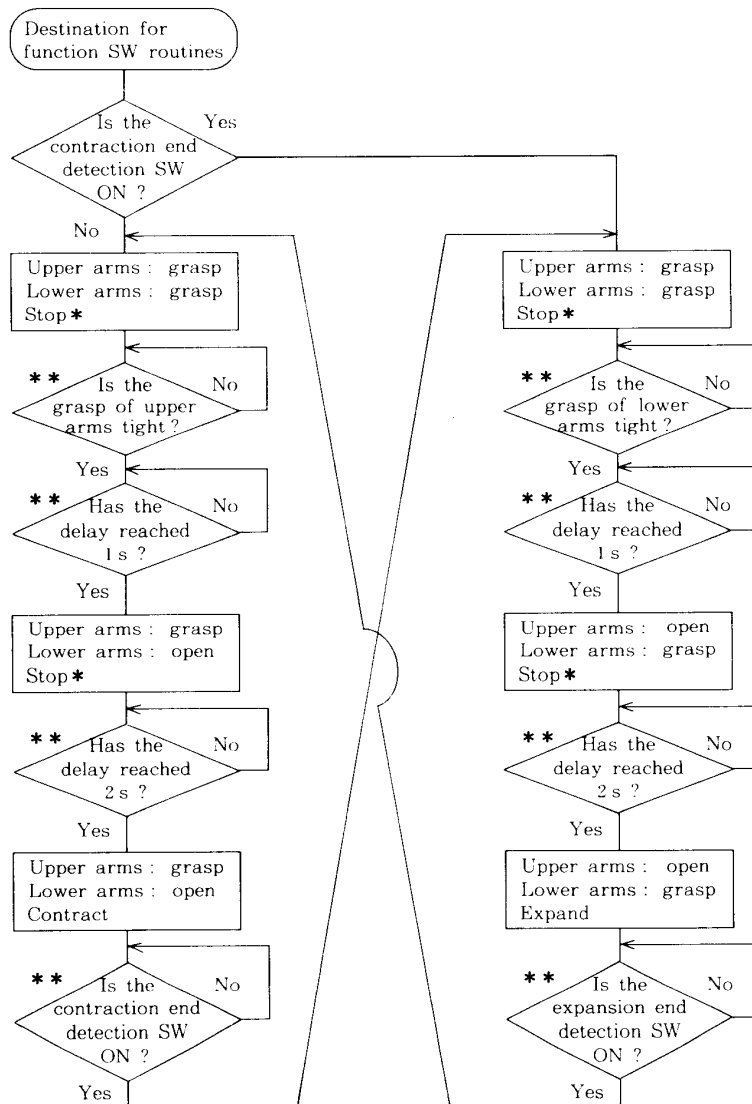


Fig. 3. Flowchart of ascent routine. *Stop means neither expand nor contract. **In the actual program, function switch sense and jump routine is included in each **mark routine.

についても同様である。これらの条件を満たすプログラムを作成し、制御装置のROMに書き込んだ。本論文の末尾に付図としてそのソースプログラムを示した。

結果ならびに考察

試作した登行制御装置は、極めて簡素な構成で、高価なパーツや特殊なパーツは何ひとつ使用することなく製作したにもかかわらず、必要とする機能を果たすことができる。制御される登行装置は、木に登る場合、常に能力最大限の圧縮力を発揮して樹幹を把持する。ただし、樹皮と接触するのは把持面の案内ローラと摩擦材だけであり、モータの回転力はワイヤロープと定滑車ならびに動滑車を介し設定された張力に調節のうえ伝達されるので、形成層に損傷を与えることはない。圧縮力が最大値に達したかどうかは、電流の値と時間とによって、検出される。一方、ヒトが木に登る場合、常に最大筋力を発揮するのではなく、必要にして十分な力で樹幹を把持し、身体を支える。その場合、圧縮力そのものの調節にかかわる受容器は、主として筋紡錘ならびに腱紡錘であるが、必要にして十分な筋力が発揮され、その結果十分な摩擦力が生じているかどうかの判断には、この他に触覚ならびに視覚が大きく関与しているものと考えられる。登行装置は、ヒトの筋紡錘ならびに腱紡錘に相当する圧縮力検出機能をそなえているだけで、しかも最大能力を発揮したかどうかの検出しかできない。しかし、把持装置の摩擦力は1体について24kgf³⁾で、この値は、装置自体の重量11.6kgに加え、枝打ちのための鋸断装置を搭載してなお安全のためいくらかの余裕を持たせた適切な値である。従って、圧縮能力の最大値は、この装置にとり、必要にして十分な値である。登行装置はヒトと異なり、登行以外の動作を行なうことはないので、このように、電流1要素だけの監視結果をもとにした制御で十分である。製作費と故障確率をできるだけ押さえる観点からも、なるべく簡素な設計が最適である。

採用した圧縮動作の検出方式は、把持装置に特別なセンサを装着することなく、しかも簡単な回路にわずかなソフトウェアによる機能を加えただけで動作の完了が検出でき、確実性、価格、故障確率いずれの点からしても、極めて優れた方式である。また、伸縮装置の制御について、動作の進捗状況は検出不能で、行程の終端に達したかどうかのみ検出可能な方式を採用したのも、把持装置におけると同様ハードウェア、ソフトウェア両者を簡略化するためである。

登行制御装置のマイクロコンピュータ本体部分は、CPU、ROM、パラレル入出力用LSI各1個と水晶発振モジュールから構成される、マイクロコンピュータとしては最小限の極めて簡単な回路である。これは、

同じファミリに属するZ80A-CPUとZ80A-PIOを採用して一切のゲートICを不要にしたことのほか、RAMを用いていないことによる。RAMがないため、通常の方法では、割り込みもサブルーチンも使用できない。この装置の場合、機能を選択するスイッチの状態検出を、割り込みによって処理する方法が考えられるが、スイッチの状態を調べるルーチンを随所に挿入する前述の方法によってプログラム可能であり、ことさら割り込み機能を用いる必要は認められない。サブルーチンについては、従来、その使用によってメモリ利用効率の向上とモジュール別のプログラム管理に役立つとされてきたが、大容量メモリICが安価に供給される一方、小容量メモリICが相次いで廃品種となり、またマクロ機能を有するアセンブラの使用が一般的となった現在の状況においては、汎用マイクロコンピュータを用いた小サイズのプログラムに関する限り、サブルーチン使用のメリットを特に見いだすことはできないので、ROMのみの回路方式で十分である。なお、入力8ビット、出力8ビット、使用したレジスタはアキュムレータおよびHLレジスタのみであるところから、8ビットまたは4ビットのシングルチップマイクロコンピュータへの置き換えも極めて容易に可能である。

こうして試作した登行制御装置を使用することにより、上昇、停止、下降、把持機構開放の4つの動作を、それぞれの指示を与えるための押しボタンスイッチを1度押すだけで、自動的に遂行させ、また、ある動作の途中で別な動作の指示を与えることができるようになった。登行装置を4個のスイッチによって手動操作する際には、操作者は常に装置各部の挙動を監視しなければならないが、上昇または下降動作時には、伸縮中のわずかな時間を除いてほとんど装置から目を離すことができなかつた。また、この装置を設計、製作してその性能を熟知し、スイッチの操作手順にもある程度熟練した操作者であっても、操作は必要な待ち時間を越えて遅れがちであり、ときに誤った操作に陥ることも避けられなかつた。マイクロコンピュータを内蔵した登行制御装置の操作は、手動方式による登行装置の制御と比較してはるかに容易なばかりでなく、既存のいかなる枝打ち機械における登行装置よりも簡単で、全く熟練を要さず、現に林業に従事する労働者ばかりでなく、その経験を有さない者も含め、誰にでも直ちに使用可能である。また、登行中、簡単な操作で次々に指示を与えることができるので、針葉樹の枝打ちに限らず、様々な高所作業の無人化に応用することが可能である。この制御装置の開発によって、直登式登行装置は実用に大きく近づいた。

要 約

ヒトの上下肢に相当する2体の把持装置と、この装置上下の間隔を伸縮する装置を装備し、把持および開口と、伸展および短縮を繰り返し、立木に直登することのできる機械の動作を自動制御する装置を開発した。この登行装置は、枝打ち用の鋸断装置を搭載することを想定して製作されたもので、2体の把持装置に1個ずつ、および伸縮装置に1個、合計3個のモータを使用しており、把持装置それぞれのモータ制御に1個ずつのスイッチ、伸縮装置のモータは回転および停止の制御と回転方向制御のために2個、全体として4個のスイッチで操作するように設計されたものである。

これらのスイッチをリレーに置き換え、マイクロプロセッサを用いて制御した。すなわち、制御装置の操作盤面に設けた、上昇、停止、下降、把持機構開放を指示する4つの押しボタンスイッチのいずれかを1度押すだけによって、それぞれの機能を自動的に遂行させることができるようにした。上昇および下降機能実行の際、把持と伸縮に関し、1つの動作が完了して初めて次の動作に移ることの可能となる場合については、その完了を次のようにして検出した。把持動作は、モータの回転が圧縮負荷によって制限され、電流が急激に増加してからさらに一定時間圧縮動作を継続した時点で完了とみなした。開口動作については、モータへの通電を停止してから開口に要する時間だけ待った時点で完了したものとみなした。伸展および短縮動作については、行程の両端に達したことを検出できる位置にそれぞれ1個ずつ合計2個のマイクロスイッチを設けて完了を検出した。

以上いずれも極めて簡単なハードウェアで実現可能な方式であるが、ソフトウェア上の工夫とあいまって、登行装置の確実な制御が可能となった。この制御装置は、CPU、ROM、パラレル入出力用LSIおよび16ピンのIC各1個ずつのほか、リレーとトランジスタを含む若干のパーツから構成される極めて簡単な回路構成で、高価あるいは特殊なパーツは何ひとつ使用していないにもかかわらず、必要とする機能を有し、操作が極めて容易なことから、誰にでも直ちに使用することが可能である。この制御装置の開発によって、直登式登行装置は実用に大きく近づいた。

御校閣賜わった京都府立医科大学第一生理学教室の森本武利教授に深甚の謝意を表します。

(1989年8月15日受理)

文 献

- 1) 神崎康一(1989)枝打ち機械の機構に関する研究. 文部省科学研究費補助金(試験研究1)研究成果報告書.
- 2) 後藤純一、野中裕之、山本誠、瀧本義彦、神崎康一、佐々木功(1987)枝打ち機械の機構に関する研究(Ⅱ)——把持機構の特性について——. 日林論. 98, 713-714.
- 3) 後藤純一、井上元信、山本誠、瀧本義彦、神崎康一(1988)枝打ち機械の機構に関する研究(Ⅲ)——登行機構の特性について——. 日林論. 99, 733-734.
- 4) 松原周信、瀧本義彦、山本俊明(1988)枝打ち機械を使用する作業の強度. 京府大学術報告(理学・生活科学). 39, 53-59.
- 5) 瀧本義彦、佐々木功、神崎康一、藤井禧雄、山本俊明、竹内典之、古谷士郎、酒井徹朗、山田容三、山本誠、後藤純一(1987)枝打ち機械の機構に関する研究(Ⅰ)——木登りロボットの試作に向けて——. 日林論. 98, 711-712.

```

;CLIMBING CONTROLLER
.Z80
PA EQU 00H ;PORT A (INPUT)
PB EQU 02H ;PORT B (OUTPUT)
M1 EQU 01H ;UPPER MOTOR
M2 EQU 02H ;LOWER MOTOR
M3 EQU 04H ;EXTENSION REV
M4 EQU 08H ;CONTRACTION REV
PL1 EQU 10H ;UP PL
PL2 EQU 20H ;STOP PL
PL3 EQU 40H ;DOWN PL
PL4 EQU 80H ;EASE PL
JPUP MACRO ;SENSE 'UP' SW
BIT 0,A
JP Z,UP
ENDM
JPSTOP MACRO ;SENSE 'STOP' SW
BIT 1,A
JP Z,STOP
ENDM
JPDOWN MACRO ;SENSE 'DOWN' SW
BIT 2,A
JP Z,DOWN
ENDM
JPEASE MACRO ;SENSE 'EASE' SW
BIT 3,A
JP Z,EASE
ENDM
;INIT ROUTINE
LD A,4FH ;INITIALIZE P10
OUT (01H),A
LD A,0FH
OUT (03H),A
;EASE ROUTINE
EASE: LD A,PL4 ;OPEN-OPEN-STOP
OUT (PB),A
EASE1: IN A,(PA) ;SENSE FUNCTION SW
JPUP
JPSTOP
JPDOWN
JP EASE1
;STOP ROUTINE
STOP: LD A,M1+M2+PL2 ;GRASP-GRASP-STOP
OUT (PB),A
STOP1: IN A,(PA) ;SENSE FUNCTION SW
JPUP
JPDOWN
JPEASE
JP STOP1
;UP ROUTINE
SENSE1 MACRO ;SENSE FUNCTION SW
IN A,(PA)
JPSTOP
JPDOWN
JPEASE
ENDM
UP: IN A,(PA) ;END OF CONTRACTION ?
BIT 6,A
JP Z,UP6 ;JUMP IF END POSITION
UP1: LD A,M1+M2+PL1 ;GRASP-GRASP-STOP
OUT (PB),A
UP2: SENSE1 ;GRASP TIGHT ?
BIT 4,A
JP NZ,UP2
LD HL,0B000H ;DELAY FOR 1S
UP3: SENSE1
DEC HL
LD A,H
OR L
JP NZ,UP3 ;GRASP-OPEN-STOP
LD A,M1+PL1
OUT (PB),A
LD HL,0D000H ;DELAY FOR 2S
UP4: SENSE1
SENSE1
DEC HL
LD A,H
OR L
JP NZ,UP4
LD A,M1+M4+PL1 ;GRASP-OPEN-CONTRACT
OUT (PB),A
UP5: SENSE1 ;END OF CONTRACTION ?
BIT 6,A
JP NZ,UP5
UP6: LD A,M1+M2+PL1 ;GRASP-GRASP-STOP
OUT (PB),A
UP7: SENSE1 ;GRASP TIGHT ?
BIT 5,A
JP NZ,UP7
LD HL,0B000H ;DELAY FOR 1S
UP8: SENSE1
DEC HL
LD A,H
OR L
JP NZ,UP8
LD A,M2+PL1 ;OPEN-GRASP-STOP
OUT (PB),A
LD HL,0D000H ;DELAY FOR 2S
UP9: SENSE1
SENSE1
DEC HL
LD A,H
OR L
JP NZ,UP9
LD A,M2+M3+PL1 ;OPEN-GRASP-EXPAND
OUT (PB),A
UP10: SENSE1 ;END OF EXPANSION ?
BIT 7,A
JP NZ,UP10
JP UP1
;DOWN ROUTINE
SENSE2 MACRO ;SENSE FUNCTION SW
IN A,(PA)
JPUP
JPSTOP
JPEASE
ENDM
DOWN: IN A,(PA) ;END OF CONTRACTION ?
BIT 6,A
JP Z,DOWN6 ;JUMP IF END POSITION
DOWN1: LD A,M1+M2+PL3 ;GRASP-GRASP-STOP
OUT (PB),A
DOWN2: SENSE2 ;GRASP TIGHT ?
BIT 4,A
JP NZ,DOWN2
LD HL,0B000H ;DELAY FOR 1S
DOWN3: SENSE2
DEC HL
LD A,H
OR L
JP NZ,DOWN3 ;GRASP-OPEN-STOP
LD A,M1+PL3
OUT (PB),A
LD HL,0D000H ;DELAY FOR 2S
DOWN4: SENSE2
SENSE2
DEC HL
LD A,H
OR L
JP NZ,DOWN4 ;GRASP-OPEN-CONTRACT
LD A,M1+M3+PL3
OUT (PB),A
DOWN5: SENSE2 ;END OF CONTRACTION ?
BIT 7,A
JP NZ,DOWN5
DOWN6: LD A,M1+M2+PL3 ;GRASP-GRASP-STOP
OUT (PB),A
DOWN7: SENSE2 ;GRASP TIGHT ?
BIT 5,A
JP NZ,DOWN7
LD HL,0B000H ;DELAY FOR 1S
DOWN8: SENSE2
DEC HL
LD A,H
OR L
JP NZ,DOWN8 ;OPEN-GRASP-STOP
LD A,M2+PL3
OUT (PB),A
LD HL,0D000H ;DELAY FOR 2S
DOWN9: SENSE2
SENSE2
DEC HL
LD A,H
OR L
JP NZ,DOWN9 ;OPEN-GRASP-EXPAND
LD A,M2+M4+PL3
OUT (PB),A
DOWN10: SENSE2 ;END OF EXPANSION ?
BIT 6,A
JP NZ,DOWN10
JP DOWN1
END

```

Appendix Source program of the climbing controller.