

ワンチップマイコンを用いた福祉機器の開発

Development of Assistive Technology Using One-Chip Microcontroller

北川 貴弘* 朴 忠植* 谷口 正志**
Takahiro Kitagawa Choong Sik Park Masashi Taniguchi

(2013年7月1日 受理)

キーワード：ワンチップマイコン、マイクロコントローラ、計測、制御、福祉機器

1. はじめに

ワンチップマイコンは、CPU、メモリ、入出力装置をワンチップに納めたICで、多くの家庭電化製品や自動車に使用されている。半導体の高速化・高機能化は留まることなく進展しており、ワンチップマイコンもその例外ではない。上位機種になると、データ処理幅が32 bitで処理速度が40 MIPSという高速処理が可能であったり、従来からの汎用入出力やアナログ・デジタル(A/D)変換機能、シリアル通信機能に加えて、モータ制御などでよく用いられるパルス幅変調制御(PWM)やロータリーエンコーダの出力信号を処理する直交エンコーダカウンタインターフェース(QEI)といったメカトロニクス分野でよく使用される機能や、USB(ホスト機能含む)やEthernetなどの通信機能を内蔵しているものまで出てきた。

それにも関わらず従来のワンチップマイコンと価格はほとんど変わっておらず、導入の敷居は高くなっていない。プログラムを開発する環境も無料で使えるものが多く、その上、研究・試作開発用途であればプログラムをマイコンに書き込むための機器も非常に安価に提供されている。

これらのことから、従来のワンチップマイコンでは処理能力が不足したりコストの点で実現が難しかった機器への適用が可能となってきており、特に機器を開発する際の試作機製作に大きな効果を発揮している。

これまで筆者らは、点字時計や歩行支援車など福祉機器の開発に取り組んできた¹⁻³⁾が、従来とは異なる考え方の電動義手を共同で開発する機会を得た⁴⁾。これまでの電動義手は、腕に筋電センサを貼り付けて腕の表面電位を測定することで操作者の意図を読み取って開閉動作を行っている。今回開発する電動義手は、操作者の筋あるいは腱と電動義手を物理的に接続することで操作者の意図を読み取るとともに、接続している筋あるいは腱を通じて動作結果をフィードバックする双方向性を有することを特徴としたものである。

本稿では、この電動義手の開発過程で製作した計測・制御システムおよびこの開発のために専用に製作した評価装置を事例として、ワンチップマイコンを用いて計測・制御システムを開発することの有効性について報告する。

2. ワンチップマイコン

2.1 ワンチップマイコンの特徴

ワンチップマイコンとは、ひとつのICチップ上にプログラムを実行するCPU(Central Processing Unit: 中央処理装置)、プログラムを格納するROM(Read Only Memory: 読み出し専用の記憶装置)、データを保存するRAM(Random Access Memory: 読み書き可能な記憶装置)、入出力装置を備えたマイクロコンピュータの一種である。多くのワンチップマイコンは、パーソナルコンピュータなどに使用されている汎用的なマイクロプロセッサとは異なり、電子機器の制御に適した仕

* 制御・電子材料科

** 顧客サービス室 顧客サービス課

様となっている。このようにワンチップマイコンは、マイクロコンピュータの中でも数値演算などの汎用的な処理を目的とするのではなく、外部機器を制御(コントロール)することを目的としていることから、ワンチップマイコンの「マイコン」は、マイクロコントローラとも呼ばれている。

ワンチップマイコンを使用するメリットとして、システムを小型化できることやコスト面での優位性が挙げられる。例えばデジタル回路を設計する場合、単一の論理演算機能しか持たない汎用的なロジック IC では、処理内容に応じて多種類の IC を組み合わせなければならず複数の部品が必要となることが多い。一方、ワンチップマイコンであれば多様な論理演算をプログラムで実現できるため一個で同様の内容を処理することが可能となる。このような部品点数の削減は、システムの小型化やコスト面で大いに効果を発揮する。またこの他にも、処理内容をプログラムで実現しているため、回路を変更しなくともプログラムの変更のみで動作を変更でき、システムの修正や機能強化にかかるコストの面でも効果を発揮している。

一方でデメリットもある。最も大きな点として拡張性に乏しいことが挙げられる。必要となる入出力数が搭載されている数を超えた場合、ワンチップマイコンに入出力を追加して対処することは基本的にできず、入出力数の多いものに置き換えなければならない。その場合は基板そのものを作り直すことになり影響が大きい。

この他に選定が難しいということがある。ワンチップマイコンは外部機器の制御を目的としているため豊富な機能が必要となるが、それらを全て搭載するとサイズの大型化と高コスト化を招き、メリットを潰してしまう。そのため用途に合わせて機能が搭載されることになり、同じ外形でも機能が異なるものが多くラインナップされるようになる。さらに ROM や RAM の容量が異なったものが並ぶことが多く、初心者にはどの型番を選択すればよいかを悩むことが起こっている。

2.2 ワンチップマイコンの種類

ワンチップマイコンは多数のメーカーから販売されているため、種類が非常に多い。ワンチップマイコンを使う対象を試作機の開発用途とする場合は、データシートのみならず分かりやすい資料が入手できるなど多くの情報が得られることが重要である。その上で少量での購入が可能であり、更に基板に実装しやすい DIP(Dual In-Line Package) であることが望ましい。さらに開発用ソフトウェアや書き込み器など、開発に必要な機材が無料あるいは低価格で入手できれば、より導入しやすくなる。

この観点から、適当と思われるワンチップマイコンを主な特徴を付記して表 1 に示す。この中で Microchip Technology の PIC シリーズや Atmel Corporation の AVR シリーズは、国内では個人のホビー用途として広まったためにインターネット上に多くの情報がある。ただし、これらには十分な検証がなされていない

表 1 主なワンチップマイコン

メーカー	主な特徴	主な製品群 (データ幅ごと)		
		8bit	16bit	32bit
Microchip Technology	<ul style="list-style-type: none"> ・ RISC 風な構造 (32bit の製品は RISC) ・ 8bit 製品は内部構造が複雑なため、アセンブラでのプログラミングには経験が必要 ・ パッケージに DIP タイプがある ・ 種類が非常に多い ・ 日本語の参考書が豊富 	PIC10F PIC12F PIC16F PIC18F	PIC24F PIC24H dsPIC30F dsPIC33F	PIC32
Atmel Corporation	<ul style="list-style-type: none"> ・ RISC 構造 (8bit の製品は同一クロックの場合 PIC よりも処理速度が速い) ・ PIC より内部構造が単純なため、アセンブラでのプログラミングが容易 ・ パッケージに DIP タイプがある ・ 日本語の参考書が増えてきている 	AVR	—	AVR32
ルネサスエレクトロニクス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 8bit、16bit は CISC、32bit は RISC 構造 ・ 基本的にフラットパッケージだが、あらかじめ基板に実装している商品もある ・ 資料、参考書が多い 	78K H8	H8 R8 M16C	SuperH M32R V850

RISC(Reduced Instruction Set Computer) : 単純な処理を行う命令しかないが一回の処理を高速に実行できる構造の CPU

CISC(Complex Instruction set Computer) : RISC より一回の処理速度は遅いが複雑な処理を行う命令がある構造の CPU

ものも多く、精度や信頼性、耐久性の面からそのままの使用には適さないが、参考資料として有用なものも多い。

2.3 ワンチップマイコン "PIC" の主な機能

多くのワンチップマイコンの中で、筆者らは Microchip Technology の PIC シリーズを主に使用している。PIC シリーズに搭載されている主なハードウェア機能を表 2 に示す。ただし、型番によって搭載されている機能は異なるので選定の際には注意が必要である。

2.4 "PIC" のシステム開発環境

PIC を用いたシステム開発に必要な機材を図 1 に示す。PIC の開発のためだけに必要となるのは開発用ソフトウェアとプログラムライターで、そのうち開発用ソフトウェアは一定期間経過後に機能制限がかかるものの無償で使用可能なものがメーカーから出されている。なお、機能制限と言ってもプログラムの最適化がなさ

れないだけで、表 2 に掲げた機能の何れかが使用不能になると言うわけではないので、多くの場合で影響は受けない。またプログラムライターも、研究開発用途であればライターとしては非常に安価なものが用意されており、コスト的な導入のハードルは極めて低い。

3. 福祉機器開発への適応事例

3.1 電動義手開発の背景

国内における上肢切断者が使用している義手は、指などを動かすことのできない装飾義手が多数であり、人体の一部を用いて動かす能動義手が状況に応じて使用されている。その他に、腕の皮膚表面を流れる筋電位を測定することで操作者の意図を読み取って動かすことのできる筋電義手と呼ばれる電動義手があるが、欧米と比較するとほとんど普及していない。その理由としてこれまで、筋電義手が高価であるため自費での

表 2 PIC の主な機能

機能名	内容
GPIO	General Purpose Input/Output の略で、汎用入出力機能のこと。外部からの信号を受け取ったり外部へ信号を出したりする機能。
タイマ	設定した条件で数をカウントする機能。タイマと呼ぶ場合は特に、一定の時間間隔でカウントして、カウントした数に間隔をかけることで時間の経過を測定する機能。
Analog/Digital 変換	アナログ信号（電圧）をデジタル値に変換する機能。型番により分解能が 8~12bit と異なる。
アナログコンパレータ	アナログ信号（電圧）を設定値と比較し、その大小により外部へ信号を出力する機能。
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter の略で、調歩同期方式のシリアル通信機能のこと。外部に RS-232C に準拠した信号に変換する IC を取り付けて外部機器との通信に使用される。
SPI	Serial Peripheral Interface の略で、主に同じ基板上の IC 間でのシリアル通信を行う機能のこと。
I2C	Inter-Integrated Circuit の略で、SPI と同じく主に同じ基板上の IC 間でのシリアル通信を行う機能のこと。SPI と比較すると通信速度が遅いものの必要なライン数が少ないというメリットがある。
インプットキャプチャ	入力信号がパルス状になっている場合に、そのパルス幅や周期を測定する機能。
PWM 出力	Pulse Width Modulation の略で、出力信号を高周波数のパルス状にし、その信号の High と Low の比率を変化させて出力する機能のこと。外部にローパスフィルタ回路を設けることで、簡易的な Digital/Analog 変換としても使用できる。
QEI	Quadrature Encoder Interface の略で、ロータリーエンコーダなど位相が直交する 2 つの信号とインデックス信号を処理する機能のこと。
USB / USB On-The-Go	USB のデバイス側としてパソコンなどホスト機能を有している機器と通信する機能のこと。USB On-The-Go の場合はホスト機能も有しており、USB メモリなどに直接アクセスすることも可能である。
LAN	イーサネットコントローラを内蔵して LAN に接続できる機能のこと。パルストランス内蔵コネクタのほか数個の部品で LAN に接続する回路が構成できる。

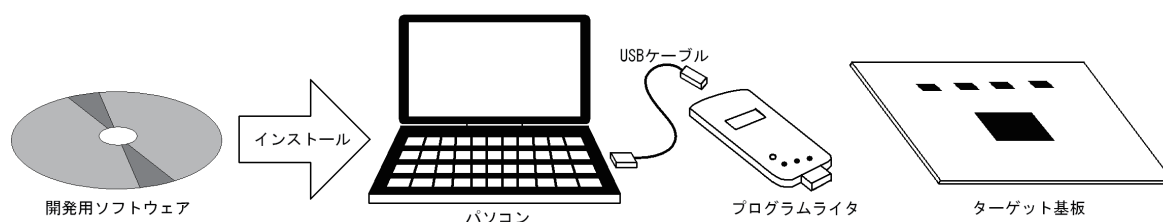


図 1 開発環境

購入が困難であること、また筋電義手を交付する制度はあるがその認定のハードルが高いために活用されて来なかったことなど、経済面や制度面が要因として挙げられてきた。しかし、制度が改正され負担が軽減された後も大きな変化が見られないことから理由がそれだけではなくたことが伺え、筋電義手のリハビリテーションを行う施設が少ないことや筋電義手に精通したリハビリテーションスタッフが少ないことが普及が進まない要因として指摘されている⁵⁾。つまり、筋電義手を使いこなすには専門家による適切な指導と十分なトレーニングが必要なのである。

そこで、操作習熟が容易になることを目指した新しい電動義手システムの開発を行うこととした。これは、能動義手の操作手法の一つとして使用されていたシネプラスティ (cineplasty) という方法を応用している。シネプラスティとは、筋繊維に直角に作ったトンネルの中に反転させた皮弁を挿入し、このトンネル内に棒を通し、その両端にケーブルを付け、これを義手につなぎ筋力で引っ張って動かす手法のことである⁶⁾。この手法を応用した電動義手は、操作者の意志により直接的に筋肉を動かすことで義手を操作するとともに、操作している感覚を動かしている筋肉で受け取ることができることから、筋電義手と比較して操作習熟が容易になることが期待できる。

今回開発する電動義手システムは、物を把持するハンド部と、操作者の意図を読み取るとともにハンドで把持している状況を操作者にフィードバックするインターフェース部とで構成される。それぞれにワンチップマイコンを用いて計測・制御を行っているので、ワンチップマイコンを用いた開発事例として紹介する。加えて、インターフェース部の動作特性を検証するための専用測定装置の開発事例も紹介する。

3.2 電動義手システムの開発

本電動義手システムの主たる狙いは、操作習熟が容易な電動義手となることである。そのためには、操作しているという感覚が人体にフィードバックされることが最も有効であると考えた。そこで、ハンド部には手先の開閉量を測定する機能と把持力を測定する機能を持たせ、インターフェース部には、筋電位の測定の代わりに操作者の操作指示として筋あるいは腱 (以下筋等とする) の収縮量と収縮力を測定する機能と、操作者へのフィードバックとなる収縮量および収縮力への抵抗となる力を発生させる機能を持たせた。

次節以降に、ハンド部とインターフェース部の開発にワンチップマイコンをどのように活用したかについて説明するが、この電動義手システムの制御の全体の流れについて、図2に示す制御ブロック線図を用いて簡単に説明する。ハンド側のコントローラは、インターフェースの制御量である筋等の収縮量と収縮力を目標値としてハンドの制御量である手先の開閉量と把持力を計算し、制御量をフィードバックさせて目標値と制御量が一致するように制御している。インターフェース側のコントローラは、操作者の操作意図である筋等の収縮量と収縮力およびハンドの制御量である手先の開閉量と把持力を目標値としてインターフェースの制御量である筋等の収縮量と収縮力を計算し、制御量をフィードバックさせて目標値と制御量が一致するように制御している。このインターフェースの制御は、操作者の操作意図を読み取りつつハンドの手先の開閉量や把持力といった状況を受け取ることで、操作者に適切な抵抗、手先の開閉量であれば筋等の収縮量を制限する、把持力であれば筋等が収縮力を持つように負荷を与える、これにより操作している感覚が操作者にフィードバックされる。

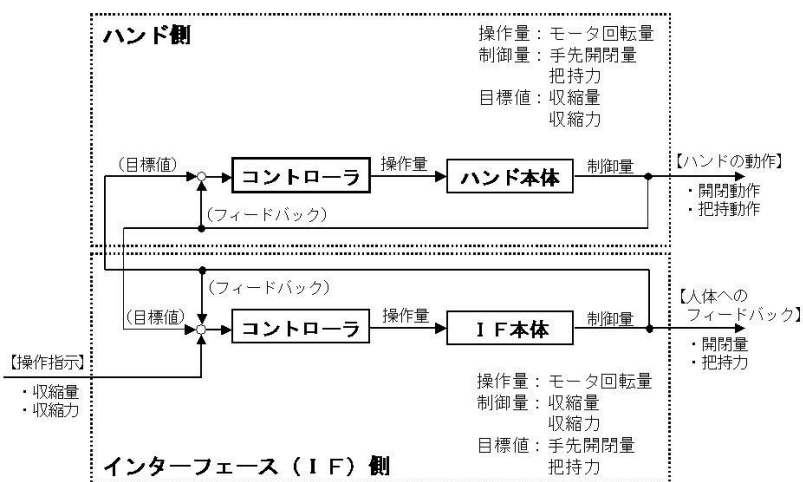


図2 制御ブロック線図

3.3 ハンド部の開発

製作したハンドを図3に示す。このハンドは、インターフェースが読み取った操作者の意図に従い手先を開閉する機能と、把持したときの力を測定する機能を有している。

ワンチップマイコンの処理の流れを図4に示す。手先の開閉動作にはステッピングモータを使用した。このモータは、正転もしくは反転の、回転させたい方向に回転させたい数のパルス信号をモータドライバに送信することで制御するため、GPIO機能を使っている。次に、手先の開閉量を測定するためロータリーエンコーダを使用した。これは直交2相信号を出力しており、出力信号数を測定するため、QEI機能を使っている。

最後に、把持力を測定するため荷重に応じて電気抵抗値が変化する圧力センサを使用した。回路を通して電気抵抗値の変化を電圧値の変化とし、電圧値で把持力を測定するため、A/D変換機能を使っている。これらの処理を500 Hzの制御サイクルで実行しているが、この速度で処理が行えるのは、制御量の演算のみがソフトウェアで、それ以外の周辺機器に関する部分はハードウェアの機能を使用しているからである。

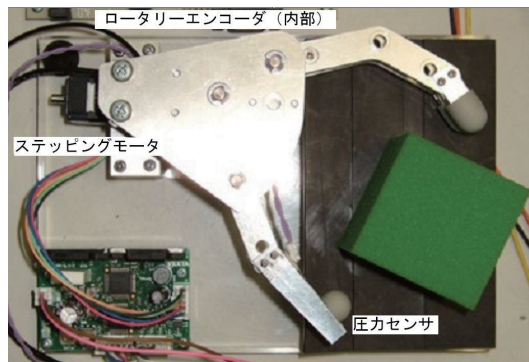


図3 ハンドの外観

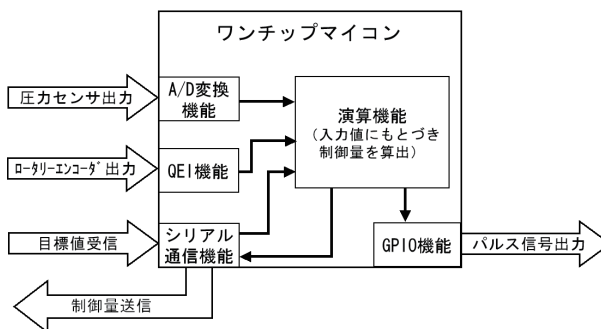


図4 ハンド側マイコンの動作内容

3.4 インターフェース部の開発

製作したインターフェースを図5に示す。このインターフェースには、操作者の意図である筋等の収縮量とハンドの手先の開閉量から、操作者の筋等とインターフェースとを物理的に接続しているワイヤを繰り出したり巻き取ったりする機能と、筋等の収縮力を測定する機能がある。

ワンチップマイコンの処理の流れを図6に示す。ワイヤの繰り出し・巻き取り動作にはR/Cサーボモータを使用している。このモータは、10-20 msの周期内に1.5±0.5 ms幅のパルスを送信することで回転位置を制御するため、PWM機能を使っている。

収縮力の測定には加えた力に応じて電気抵抗値が変化するひずみゲージを用いた。これもハンド部の圧力センサと同様に、電圧値の変化へと変換してA/D変換機能を使って測定している。

これらの処理をワンチップマイコンと通信しながら制御を行っているため、こちらも同一周期の500Hzでの制御サイクルで処理を行っている。

3.5 特性測定装置の開発

シネプラスティという方法を応用した電動義手システムを開発するにあたり、最も重要となるのは操作者と物理的に接続して意図を読み取るインターフェースの動作特性を適切に設定できるかということであ

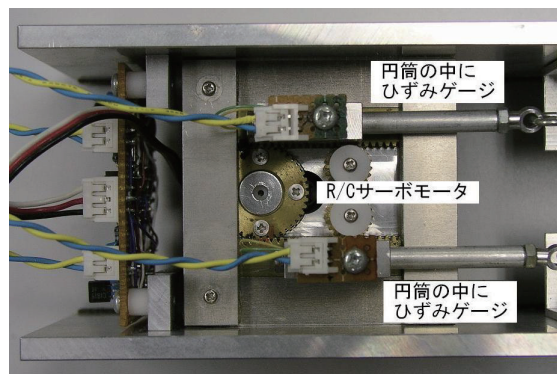


図5 インターフェースの外観

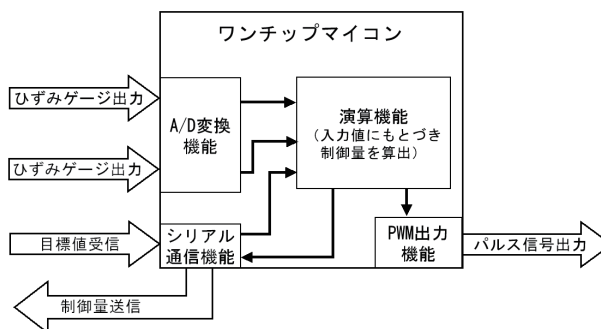


図6 インターフェース側マイコンの動作内容

る。理想的な動作特性を図7に示す。最初に、手先で何も把持していない状態では収縮力が発生しないよう筋等の収縮に追従してワイヤを繰り出していき(A→B→C)、全閉状態では収縮量が生じないようにして収縮力が発生するような特性にする(C→D)。次に、手先で何らかのものを把持する場合は、把持するものに到達するまでは先と同じようにワイヤを繰り出していき(A→B)、ものに手先が当たってからは、その弾性に応じた挙動になるような特性にする。すなわち、剛性が高いもの場合は把持力が発生してもほと

んど変形しないため、収縮量が発生しないようにして収縮力のみが発生するような特性とし(B→E)、剛性が低い場合は、把持力によって変形していくので、収縮量が生じながら収縮力が発生していく特性とする(B→F→HあるいはB→G→H)。

インターフェースの特性を測定するために製作した装置を図8に示す。この装置は、操作者の意図である筋あるいは腱の収縮を模擬して移動するステージとその移動量を測定するセンサ、ステージに搭載して収縮力を測定するセンサで構成している。

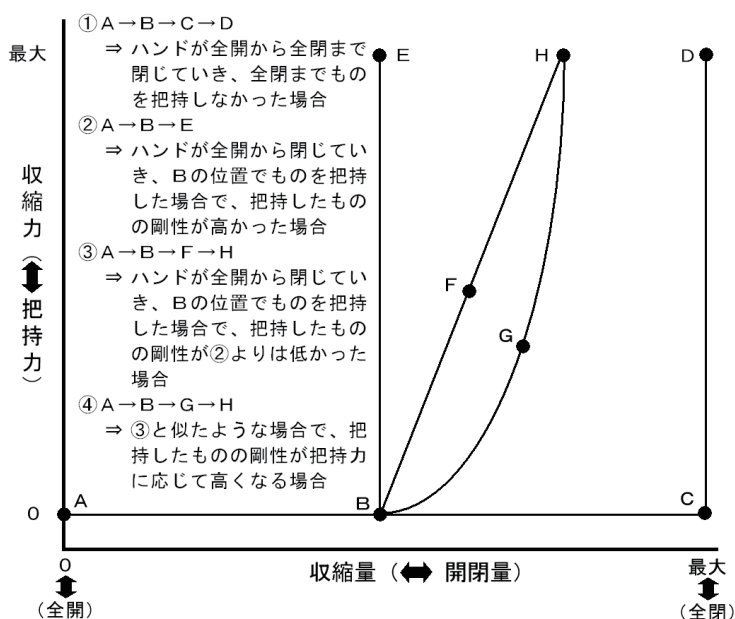


図7 インターフェースの動作特性

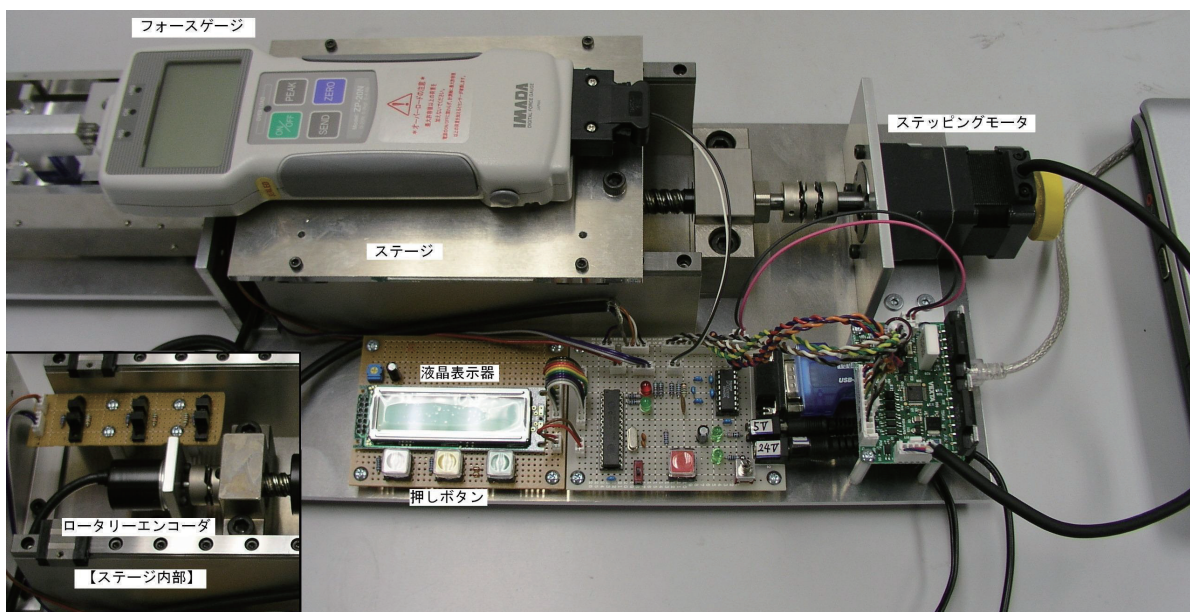


図8 特性測定装置の外観

ワンチップマイコンの処理の流れを図9に示す。ステージの移動にはステッピングモータを使用したため、ハンド部と同様にGPIO機能を使って制御している。移動量はロータリーエンコーダを使用したためQEI機能を使って測定した。収縮力は荷重に応じて電圧値が変化するフォースゲージを使用したため、A/D変換機能を使って測定した。

この測定装置は人体の動作を模擬しているのでハンド部とインターフェース部ほどの高速な処理の必要がなく、100 Hzでの制御サイクルで処理している。

2. まとめ

本報告では、最初に高速化・高機能化が進んでいるワンチップマイコンについて説明した後、当所での電動義手システムの開発での適応事例を紹介して、試作機開発におけるワンチップマイコン利用の有効性を説明した。

今回の開発で使用したのはワンチップマイコンの持つ機能のごく一部であるが、一昔前のパソコンに匹敵する処理が可能となっており、機器を開発する際の試作機製作には大きな効果を発揮できる。そのため、当所においては紹介した事例以外でもマイコンの利用技術に関する調査研究を行っており、その成果については受託研究や技術研修生の受け入れなどの方法で企業支援として活用しているので、是非とも御利用いただ

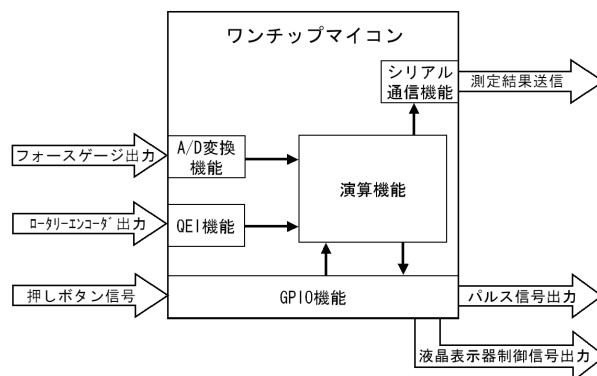


図9 特性測定装置のマイコンの動作内容

きたい。

参考文献

- 1) 北川貴弘：平成16年度大阪府立産業技術総合研究所研究発表会要旨集，(2004) 24.
- 2) 北川貴弘，谷口正志：平成17年度大阪府立産業技術総合研究所研究発表会要旨集，(2005) 118.
- 3) 北川貴弘，朴 忠植，中谷幸太郎：平成18年度大阪府立産業技術総合研究所研究発表会要旨集，(2006) 102.
- 4) 南部誠治，池淵充彦，谷口正志，北川貴弘，朴 忠植，酒田圭二，中島重義：第23回日本義肢装具学会学術大会講演集，(2007) 96.
- 5) 陳 隆明：筋電義手訓練マニュアル，全日本病院出版会，(2006) 4.
- 6) 澤村誠志：切断と義肢，医歯薬出版，(2007) 56.