

熊本県立技術短期大学校

紀 要

第 18 号



**Kumamoto
Prefectural College
of Technology**

2017 年 11 月

熊本県立技術短期大学校

1. 論文・報告

3D スキャナー利用に関する実験検討

河邊真二郎 *1

The examination on Utilization of 3D Scanner

Shinjiro KAWABE

3D スキャナーは実物の表面形状を非接触で計測し、そのデータをアウトプットしてくれるたいへん便利な機器である。データは点群データからポリゴンデータへ、そしてCADデータへ変換され、有用に活用される。スキャン方法はレーザー光もしくはプロジェクターからのパターン光を使用したものが一般的である。3D スキャナーの操作は比較的容易なため、誰でも3次元データを作成することが可能だといわれている。ここでは、安価な3D スキャナーソフト「DAVID」を利用し、レーザー光とパターン光を使用したスキャン操作によるCADデータの作成実験を試みた。スキャン実験により得られたCADデータを利用して3Dプリンターによる立体モデルの造形を行った。

1. はじめに

近年、デジタル技術の発展とともに3D スキャナーを利用したものづくりが広く期待されている。一般には医療分野、工業分野、服飾分野の他、文化遺産などの歴史保存にも利用価値は広がっている。

本校では基礎技術を十分に教育し、その後に最新の技術を学ばせているために3D スキャナーの利用には大いに関心を寄せている。3D スキャナーを用いた3次元モデリング手法は自動車業界などでリバースエンジニアリングとして広く利用されており、3DCADを用いたモデリング手法と比較して効率性アップにつながる。

本校で学ぶ機械設計においてもこのデジタル技術における手法について学んでおきたいが、市販の3D スキャナーは高価であるため、簡単に購入することは難しい。そこで、安価な3D スキャナーの利用について検討すべくスキャン実験をこころみだ。ここでは、3D スキャナーの実験方法や3次元モデリングデータ取得について実験結果を報告する。

2. 実験方法

本研究ではスキャナーの光源としてレーザー光とパターン光を用い、その性能の比較を行った。レーザー光は光を増幅して発射するレーザー発信機を利用したもので指向性や収束性に優れており、発生する電磁波の波長を一定に保つことができる。パターン光は液晶プロジェクターを利用したもので、液晶パネルを透過した

縞模様のある光のことである。

2. 1 レーザー光を使用したスキャン実験方法

レーザー光を使用したスキャン実験装置を図1に示す。

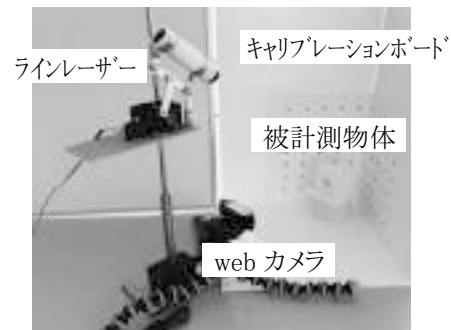


図1 レーザー光を使用した実験装置(写真)

主な実験器具は、① 3Dスキャナーソフト「DAVID」、② webカメラ(Logicool HDプロウウェブカム C920)、③ Red Line Laser (LE650-5-3-F-S(22*100)90)。

ソフトウェアに従い、スキャンの前にはキャリブレーションボードを使用したキャリブレーションが必要となる。

キャリブレーション後はキャリブレーションボードの前に被計測物体を設置する。被計測物体にレーザー光を照射するとパソコン上でスキャンしたデータの取り込み状況を確認することが出来る。全体の形状を取り込むまでラインレーザーを照射することとなる。この動作により被計測物体の表面形状を取り込むことが出来たら、物体の角度を変えて同照射操作を繰り返す。

*1 精密機械技術科

ここでは物体の周囲8面をスキャンすることとした。8面から得られたデータを取得後は、それら8面を合成して1つの立体形状を作り上げた。

2.2 パターン光を使用したスキャン実験方法

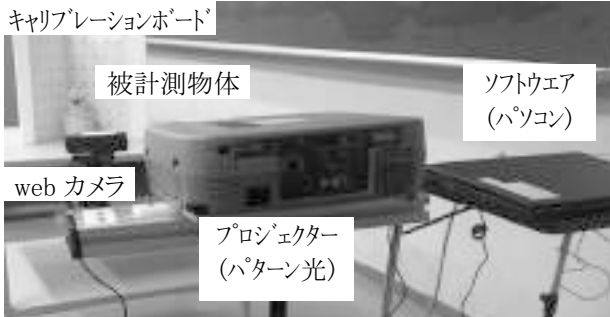


図2 パターン光を使用した実験装置(写真)

パターン光を使用した実験装置を図2に示す。実験器具のソフトとカメラは、レーザー光の時と同様、パターン光を投影するものとしてはプロジェクター(EPSON LCD PROJECTER ELP-810UG)を使用した。

表1 実験結果の評価(レーザー光)

Laser Light			
Material	Surface Condition	color	Evaluation (4step)
Steel	Smooth	-	○
	Rough	-	○
Aluminum	Smooth	-	○
	Rough	-	○
Plastic	Smooth	Clear	×
		White	○
		Red	○
		Yellow	○
		Green	×
		Black	×
	Rough	Clear	△
		White	○
		Red	○
		Yellow	○
		Green	×
		Black	×
Paper	-	White	○
Mirror	-	-	×

◎:優 ○良 △可 ×不可

表2 実験結果の評価(パターン光)

Pattern Light			
Material	Surface Condition	color	Evaluation (4step)
Steel	Smooth	-	△
	Rough	-	△
Aluminum	Smooth	-	△
	Rough	-	△
Plastic	Smooth	Clear	×
		White	◎
		Red	◎
		Yellow	◎
		Green	◎
		Black	×
	Rough	Clear	△
		White	◎
		Red	◎
		Yellow	◎
		Green	◎
		Black	×
Paper	-	White	△
Mirror	-	-	×

◎:優 ○良 △可 ×不可

キャリブレーションも同様の動作を行ったが、キャリブレーション後はボードをはずしてスキャン操作を行うことが出来た。ここでも物体の周囲8面をスキャンすることとし、8面から得られたデータを合成して1つの立体形状を作り上げた。

3. 実験結果及び考察^{1), 2), 3)}

3.1 スキャンデータ取得に及ぼす表面性状の影響

3次元スキャンデータの取得の前に、被計測物体を特定せず、多種多様な物体をスキャンし、スキャン状態を確認することとした。

実験対象物とした材料には一般的な鉄鋼、アルミ合金、プラスチック、紙、透明な物体、鏡等を準備した。表面の状態は感覚的に滑らかなものと粗いものに分け、色は一般的な6色とした。

レーザー光を使用した実験結果を表1に、パターン光を使用した実験結果を表2に示す。

本評価は独自の評価で、被計測物体を選定するた

めの材料とした。評価は4段階とし、○はスキャンデータが取得できたもの、×が取得できなかったもの、スキャンデータが取得できたもののうち、さらに表面状態がなめらかで良かったものが◎、表面に凹凸(おうつ)が目立ちあまり良くなかったものが△となっている。

レーザー光を使用した表1の実験結果からは鏡とプラスチックの透明色、緑色、黒色のものがスキャンできなかったことがわかる。パターン光を使用した表2の実験結果からは、鏡とプラスチックの透明色、黒色のものがスキャンできなかったことがわかる。

レーザー光とパターン光の実験結果を比較すると両実験ともにスキャンデータに対する評価の傾向は似ているが、パターン光の方が取得データの評価について◎が多く、優位であることがわかる。この表に示されていないが、パターン光による取得データは被計測物体の色をそのままカラーで取得できており、レーザー光では白黒のデータでしか取得できていなかった。

しかしながら、金属についてはレーザー光の方が優れた結果が見られた。原因については不明、今後の検討課題としたい。

3.2 スキャンデータ取得に及ぼす光源の影響^{1), 2), 3)}

実験結果にもとづき、実際に被計測物体をスキャンすることで3次元モデリングデータの取得を試みた。



A 招き猫

B クマ

図3 被計測物体(立体形状)

実験結果により、透明でなくかつ鏡のように光を反射することがなく、表面が白色、赤色、黄色の物体を身近に探した結果、図3に示すような招き猫とクマの人形を被計測物体として選定した。招き猫は焼き物でクマはプラスチック製、両者ともに光沢のない白色で、形状は比較的ゆるやかな面で形成されている。

(1) スキャンデータ取得対象物が物体の場合

図4はレーザー光およびパターン光を使用して被計



A 招き猫(レーザー光)



B クマ(パターン光)

図4 スキャンデータ(アラインメント)

測物体である招き猫とクマの人形をスキャンしたデータを示す。Aの招き猫の場合はレーザー光によるスキャンをBのクマはパターン光によるスキャンを行っている。分割スキャンを容易にするために各人形は回転テーブルの上に乗せてスキャンを行った。



A 招き猫



B クマ

図5 スキャン合成データ

招き猫の場合、一番左側は対象物の前面をスキャンしたもの、その右側へ進むにつれ左側面、後方、右側面というふうに一周分のデータが示されている。一番右側が全体を合成した時に出来あがったデータである。完成した合成データの拡大を図6に示す。

ここで、レーザー光およびパターン光でのスキャン結果を比較するとレーザー光の場合は被計測物体そのままの色ではなく、ソフト側で設定された色のデータになっているが、パターン光の場合は、被計測物体そのものの色とほぼ同色の色でデータを作成している。

合成データも同様な結果が出た。招き猫をパターン光でスキャン



図6 合成データ

し、合成したデータを図6に示す。図7は8分割でスキャ



図7 スキャンデータ(8面)

ンを行ったスキャンデータである。

白色の部分や赤色の部分がみごとにカラーデータとしてスキャンされていることがわかる。

(2)スキャンデータ取得対象物が人の場合

医療や福祉の分野では3Dスキャナーを利用して人体の形状データをスキャンし、その個人特有の形状を義手や義足、車椅子などの制作に反映させるそうである。また、ゲーム業界ではキャラクターとなる人物を作り出すために実物の人物をスキャンし3次元データを作成することもあるそうだ。

最近は個人全体をスキャンしフィギュアの作成を行う商売も出てきている。ここでも物体だけでなく人体のスキャンを試みることとした。レーザー光は目への影響が心配されるので、パターン光を使用し実験を行った。髪の色は黒色のためデータになりにくいので最初から赤色フードを被ってのスキャン実験となった。実験結果を図8に示す。



A 主な顔データ B 合成データ



C スキャンデータ(各面)

図8 スキャンデータ(人体)

4. 3Dプリンターによる造形

3Dスキャナーとともに話題を呼んでいるものに3Dプリンターがある。本校が所有する3Dプリンターは、アメリカ製のSTRATUSSYS bst760 という比較的精度の高い造形が可能な機械である。材料にはABS樹脂を使用している。精密機械技術科ではプラスチック金型の設計製作実習において試作品の造形に利用している。

ここでは、3Dスキャナーにより取得されたデータを利用して造形の可否を確認するとともに、パソコン上で取得されたデータにより造形されたABS樹脂のモデルとスキャン元の被計測物体とを比較することで3Dスキャナー

の有用性を確認する。

本稿の中で紹介した3Dモデリングデータを利用して3Dプリンターで造形したモデルを図9と図10に示す。スキャンデータでプリントが可能であることと大きさや形状がほぼ同等になることが確認できた。

多くの3Dスキャナーのデータ精度は $\pm 5 \sim 30 \mu m$ といわれている⁴⁾。工業用の利用となる場合は、本精度とCAD上でデータ編集が必要とされるがこれらについては今後の課題としたい。



図9 造形品1 (3D プリンター)

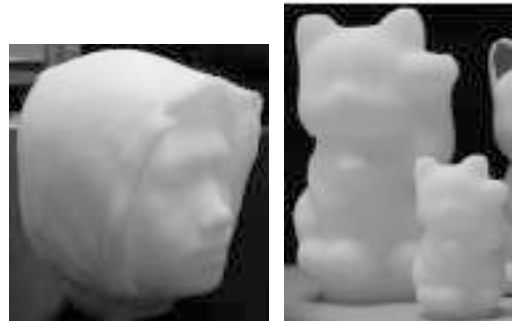


図10 造形品2 (3D プリンター)

5. まとめ

安価な3Dスキャナーソフト「DAVID」を利用し、レーザー光とパターン光を使用したスキャン実験を試みた。

3Dスキャナーでは実物の表面形状を非接触で計測することができ、CADデータを作成することができる。本実験により得られたCADデータは3Dプリンターで立体モデルの造形が可能であった。

今後は3Dスキャナーにより取得されたCADデータの精度を確認し、リバースエンジニアリングへの利用について検討を行うこと、被計測物体をより大きな物体とより複雑な物体へと広げていくことを試みたい。

参考文献

- 1) 佐藤勇太, 前田壮史:3D スキャナーの製作に関する検討, 熊本県立技術短期大学校平成 25 年度卒業研究概要集, (2014) p37~40
- 2) 吉田重徳:簡易 3D スキャナーの設計製作, 熊本県立技術短期大学校平成 26 年度卒業研究概要集, (2015) p25~28
- 3) 宮崎大和, 千葉優介:3D スキャナー装置の設計製作, 熊本県立技術短期大学校平成 27 年度卒業研究概要集, (2016) p25~28
- 4) 原 雄司:3D プリンター×3D スキャナーの新時代:日経BP社:(2014) p225~240

ミニ NC フライス盤の設計・製作

中野貴之*1

Design and manufacturing of simplified version of NC milling machine

Takayuki NAKANO

2年間の集大成として学生に卒業研究で「ものづくり」に取り組みせ、ものづくりに必要な課題発見・解決能力を体験させている。設計、加工、組立調整、さらに、その装置を自動で制御できる課題として NC 工作機械の設計・製作を学生と共に取組んだ。NC 工作機械は卓上型で、アクリル板に名前等の文字を彫ってキーホルダーとして配布できることを目標とした。このミニ NC フライス盤の完成には数年を要したが、その取り組みについて報告する。NC フライス盤の製作を行うことで、学生は設計、部品加工、組立調整および機械制御まで総合的な知識・技術を学ぶことができた。最終的に円柱加工で真円度 73 μm の精度を要する NC フライス盤が完成した。

1. はじめに

近年、バーチャリアリティやコンピュータを用いたシミュレーション技術がもてはやされており、本校のような実習装置を持たない大学も増えている。1997年(平成9年)に本校は開校し、現在の精密機械技術科に改変される以前の生産技術科の時代から、主に機械工作や製図を柱とした教育を行っている。本校では一人一台の実習装置を与え、自ら考え、工夫し、手を動かす教育を重視している。卒業研究は、ものづくり教育の集大成として、学生に取り組みさせている。本科の学生は、自動車部品製作会社等で生産管理業務や精密加工に就くものが多い。そのため、卒業時には部品の設計や製作に対しては基礎的な知識と技能を備えた技術者となっているが、カリキュラム上、電気・電子に関する知識や組立てに関する技術力レベルは低い。そこで、学外でのPRにも応用できるミニNCフライス盤の製作に取り組みせ、設計、加工、組立・調整および機械制御まで、総合的なものづくりを学生に体験させることも目的とした。

2. NCフライス盤の設計

2.1 基本構造

製作するNCフライス盤で加工する工作物は非金属とし、主にアクリルとする。学外のイベント等で来場者にアクリルの板に名前を彫ってプレゼントできる製品である

ことを目標として取り組みさせた。

NCフライス盤の構造は門形を採用した。構造としては、他にサドル型やコラム形等がある。左右2本のコラムとクロスレールで門形を構成し、垂直方向の主軸をもつ主軸頭が左右に移動するタイプのマシニングセンタを門形マシニングセンタと呼ぶ。門形マシニングセンタは、特に大物部品の高精度加工を長時間運転で行う場合に多用される。小形の工作機械の製作において、この構造が適当であるか検討したが、比較的単純な構造であるので採用することにした。また、学外のイベントでの使用も考慮し、粉じん対策、安全対策のため、保護カバーの取り付けも検討し、追加した。大きさ等の基本仕様を表1のように決定して設計に取りかからせた。

2.2 電子回路

電子回路は、市販の4軸制御ステッピングモータドライバCNC-4AXISを用いた。このドライバは4軸制御が可能であり、回転テーブル等の増設が可能である。また、各軸用のリミット入力が付いており、機械原点検出も可能である。制御ソフトはMach2というシェアソフトを使用した。この制御ソフトはNCプログラムでステッピングモータを制御できる。制御装置となるコンピュータとステッピングモータドライバはパラレルケーブルで接続された。図1に製作したミニNCフライス盤のブロック図を示す。ミ

*1 精密機械技術科

ミニNCフライス盤はパソコンのキーボードから手動操作が行え、XYテーブル移動、主軸の上下、主軸の回転ON・OFF制御が可能だが、回転数は4700min⁻¹固定である。

表1 ミニNCフライス盤の基本仕様

大きさ(本体)	500mm×500mm×500mm
Xストローク	200mm以上
Yストローク	200mm以上
Zストローク	100mm以上
モータ(送りねじ用)	多摩川精機(株)製ステッピングモータ TS3617N1E2 9.6V 0.4A 24Ω
モータ(スピンドル用)	日本電産サーボ(株)製DCモータ DME37BA D.C12V 4700 r/min
CNC基盤	オリジナルマインド製 CNC-4AXIS
送りねじ	ボールねじ M8×リード2.0
送り速度(X, Y, Z)	最大 300mm/min
エンドミル径	φ6mm(シャンク径)

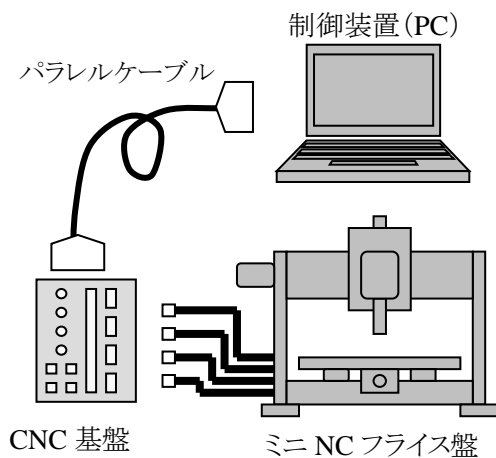


図1 ミニNCフライス盤のブロック図

3. 設計

3.1 基本設計

図2に3DCADを用いて設計したミニNCフライス盤の組立図を示す。製作するにあたり、本校所有のオリジナルマインド社mini-CNC BLACK 1510の構造を参考にした。オリジナルマインド社のものは、板厚2.3mmの鉄板でほとんどの部品が構成されており、板金による部品製作であった。今回は、薄板の加工ではなく、旋盤やフライス盤等の工作機械で部品加工を行うため、部品は

バイス等で把持するだけの厚みが必要であった。サイドフレーム等に板厚10mmの鋼材を用いたが、テーブル等にアルミニウム合金を使用し、機械剛性の向上と共に軽量化を図った。図3にX軸部、Z軸部、図4にY軸部の3DCAD図を示す。何れの軸もボールねじを用い、ねじの遊びによるバックラッシュの発生を抑えている。また、リニアガイドを用いてレールの方向に滑らかでガタ無く運動させる構造とした。

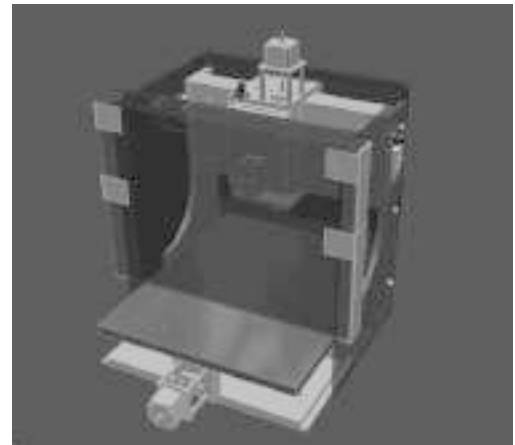


図2 ミニNCフライス盤の3DCAD図

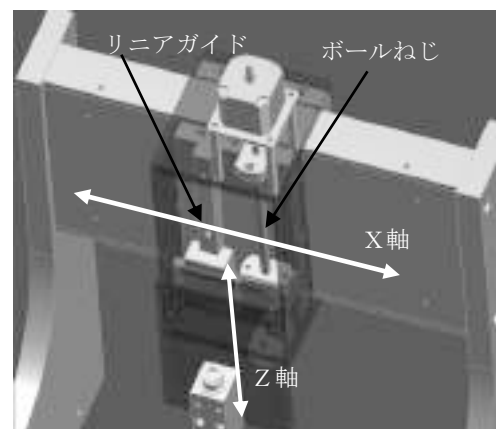


図3 X軸Z軸の構造

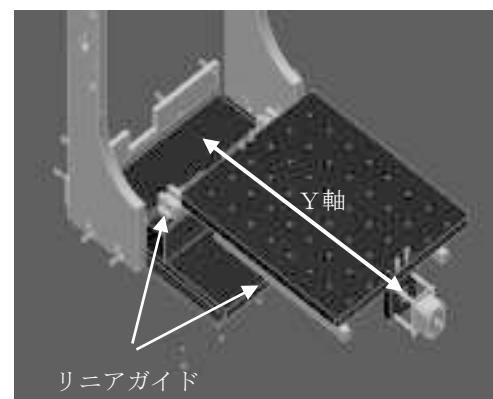


図4 Y軸の構造

3.3 使用ステッピングモータの負荷トルクの計算

ミニNCフライス盤の使用ステッピングモータのトルク計算は以下のとおりである。

ボールねじ駆動²⁾

$$T = F \cdot P / (2\pi \cdot \eta) \cdot 10^{-3} [\text{N} \cdot \text{m}]$$

P=リードピッチ (2.0mm)

η = ねじ効率 (0.85~0.95)

F=軸方向荷重 (125N)

軸方向荷重F=125Nについて
 下記条件においてマシニングセンタで切削実験を行ったときの切削抵抗
 回転数3000min⁻¹、送り速度300mm/min
 ϕ 6超硬エンドミル、被削材アルミニウムA5052
 切込み量2mm

これらの式よりねじ効率を0.85としたとき、トルクTは0.047N・m、ねじ効率を0.95としたときトルクTは0.042N・mとなり、エンドミルの送り速度を200mm/minとしたときのパルスレイトは約660PPSとなる。図5に使用するモータのパルスレイト・トルク特性図³⁾を示す。マークした○のとおり、十分可動範囲にあることが確認された。

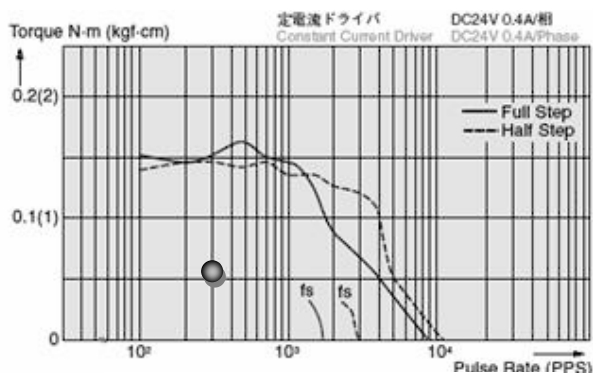


図5 パルスレイト-トルク特性

4. 製作

4.1 部品加工・組立

図6に加工した部品と購入した部品を示した3DCAD図、図7に組立てたNCフライス盤を示す。塗りつぶしを行った部分は、モータやベアリング等の購入品であり、学生は機械加工を施していない。それ以外は何かしらの機械加工を学生が行っている。部品の材質は機械構造用炭素鋼S50Cとアルミニウム合金A5052である。剛性が必要な左右のフレームとX軸Z軸は炭素鋼を用い、テーブル、ベースおよび台座は軽量化のためアルミニ

ウム合金とした。部品加工にはフライス盤及びワイヤークット放電加工機を用いた。角形状の部品が多いため、部品のほとんどはフライス盤での加工となった。ベースプレートやテーブルは500mm近い大きさであったため、フライス盤への取り付けに苦勞する学生の姿が見られた。また、アルミニウム合金は、切削工具に溶着しやすいため、切削油をつけながらの作業であったが、作業後の清掃にも苦勞していた。左右のフレームはR形状を施すためワイヤ放電加工機を用いた。

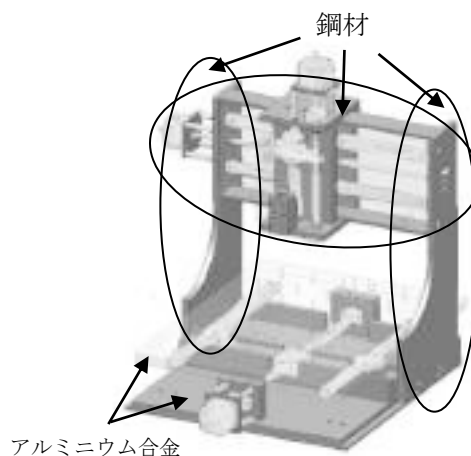


図6 加工部品と購入部品 (3DCAD 図)



図7 組立てられた NC フライス盤

4.2 主軸の振れ精度

組立て後、主軸の振れ精度を確認するため、切削実験を行った。切削条件を表3に示す。この加工条件で切込み深さを2mmずつ下げていき、5回直線送りを行って、総深さ10mmの加工面を作成した。実験後の加工面を図8に示す。目視で加工面に段差が確認された。この段差を測定顕微鏡で測定すると約0.05mmであったが、切削中の主軸の振れが原因と考えられた。

表 3 切削条件

被削材	モデリングワックス
工具径	φ3 エンドミル 高速度鋼
回転数	4700min ⁻¹
送り	200mm/min
切削油	なし

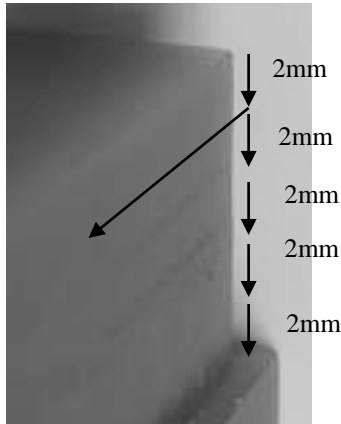


図 8 加工面の様子

4.3 寸法・形状誤差測定

円形状や曲面を加工する場合、2軸またはそれ以上の軸で同時加工を行う。この円弧補間の機能を利用して運動させたとき、円や円弧の形状の狂いを調べることによって、軸の直角度や真直度等の誤差、ボールねじの誤差等を調べることができる⁴⁾。測定方法にはボールバー法や円盤法があるが、今回は実際に組立てたNCフライス盤で真円加工および正方形形状の加工を行い、寸法、形状を調べてX軸とY軸の直角度確認を行った。

φ3のエンドミルを用いてφ46mm、高さ5mmの円柱加工を行い、その製品の真円度を測定した。切削条件は表3のとおりである。また、一辺46mmの正方形を切削し、形状精度を測定した。真円度測定機を用いて測定した結果を図9に、正方形を三次元測定機で測定した結果を図10に示す。図9で示すように、製品の真円度は160μmであり、傾いた楕円形となっている。このことから、NCフライス盤のY軸送りねじはX軸送りねじに対して垂直に位置していないことがわかる。図10の測定結果から、製品は0° 11′ 31″ 傾いていることがわかった。また、座標の誤差を調べると、Y座標が大きくなるに連れX座標値の誤差値が大きくなり、Y座標41mmでX座

標の誤差が0.1555mmとなった。同様にX座標41mmでY座標の誤差が0.0934mmとなった。以上の結果から、NCフライス盤のY軸送りねじはX軸送りねじに対して0° 11′ 31″ 傾いていると判断できた。

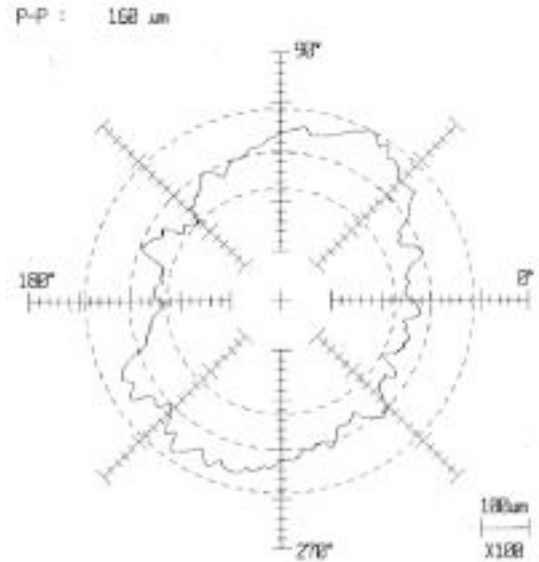


図 9 調整前の真円度測定結果
(中心法 LSC、フィルタ 50 山/回転、測定倍率 100)

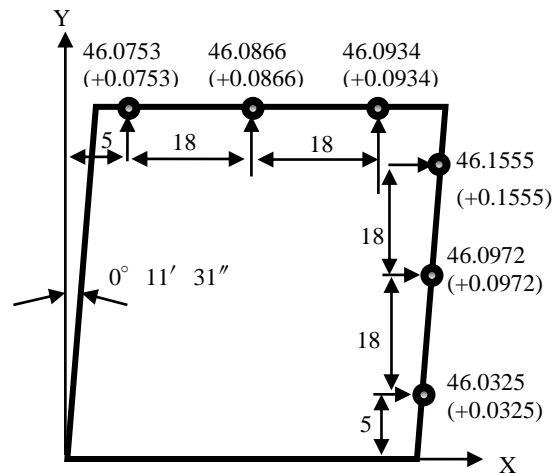


図 10 調整前の3次元測定結果

4.4 調整作業

加工面に段差が生じたのは主軸の振れが原因と推測された。図11に主軸を示す。主軸は2個のベアリングで保持されているが、このベアリングにガタがあり、エンドミル加工時に刃先が加工面から逃げて段差が生じたものと考えられた。そこで、ベアリングをガタの無いものに交換して、再度直線切削を行った結果、図12のように段差のない滑らかな面を得ることができた。

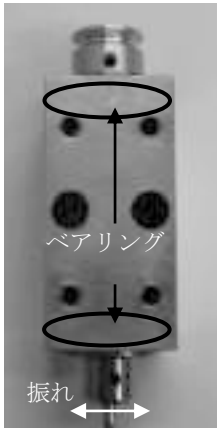


図 11 主軸



図 12 ベアリング交換後の加工面

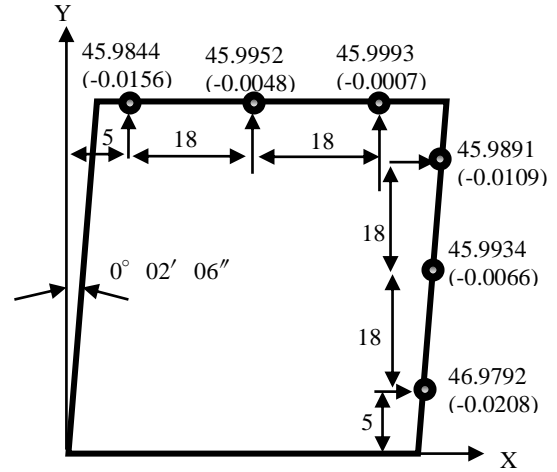


図 14 調整後の3次元測定結果

次に、X軸送りねじとY軸送りねじの直角度の調整を行った。調整方法は、テーブル上に直角スコヤを置き、主軸に取付けたてこ式ダイヤルゲージをこのスコヤに当て、X軸に対してY軸が直角になるようダイヤルゲージの針の振れを確認しながら組立て調整を行った。調整後に円柱加工した製品の真円度の測定結果を図13に、正方形切削の測定結果を図14に示す。真円度は $73\mu\text{m}$ となり、調整前の真円度 $160\mu\text{m}$ から大幅に改善された。X軸に対するY軸の傾きは、3次元測定で $0^{\circ}02'06''$ となり、正方形の測定でも、座標の誤差は最大 0.021mm 以内となった。

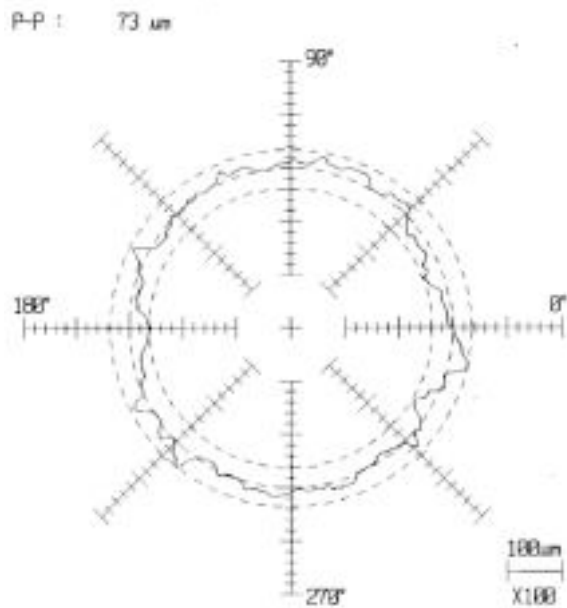


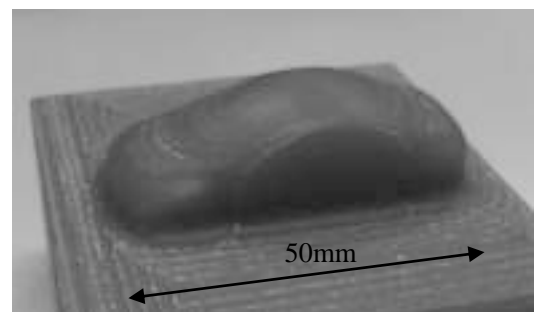
図 13 調整後の真円度測定結果
(中心法 LSC、フィルタ 50 山/回転、測定倍率 100)

完成したNCフライス盤を用いて、アクリル板に文字を彫刻してみたが、図15(a)のとおり加工を行うことが出来た。また、図15(b)のようにボールエンドミルを用いて立体形状の加工も行えることができた。

熊本県技能祭にこのNCフライス盤を持ち込み、アクリル板のキーホルダーの加工を行った。図16に技能祭の様子を示す。約6時間NCフライス盤を動作させたが、機械の故障も無く来場者にキーホルダーを配布することができた。



(a) アクリル板への彫刻



(b) 3軸加工

図 15 NC加工した製品



図 16 技能祭の様子

5. おわりに

学外のイベント等で本科のPRを行うため、卒業研究でミニNCフライス盤の製作に取り組んだ。以下に結果を示す。

- ① $\phi 46$ の円柱加工で真円度 $73\mu\text{m}$ の精度のNCフライス盤を製作することができた。
- ② アクリル板に文字を彫れることを確認し、技能祭で6時間稼働しても故障しないことを確認した。
- ③ 3軸制御加工も可能であることを確認できた。

CAD/CAMシステムで用いられる市販の小形NCフライス盤に比べれば加工精度は劣るが、工具補正機能等も有したNC工作機械であるため、学生が手軽にNCプログラムを学べる実習教材としての使用も期待できる。

参考文献

- 1) 職業能力開発総合大学校 基盤整備センター編：NC工作機械[2]マシニングセンタ，一般社団法人 雇用問題研究会，pp.12-16，2006
- 2) 足立勝重，三村孝：マイコン制御による簡易NC旋盤のつくり方、槇書店，PP.5-17，1994
- 3) ステップモータ/ドライバカタログ，多摩川精機㈱，p. 38，2013
- 4) 日本機械工業連合会、日本工作機械工業会：工作機械設計マニュアル，pp.190-191，1998

制御技術の工学教育における実験装置の開発

リアクションホイールを用いた振り子制御系実験装置の改良と現代制御理論の適用

日野満司*1

The development of a training apparatus to the engineering education of control technology
Improvement of experimental device of pendulum control system with reaction wheel
and application of modern control theory

Mitsushi HINO

一般に制御工学は、制御対象に依存して物理学などの知識が必要で、しかも数学的色彩が非常に濃い学問であるため、難しいという印象を持ち理解に苦勞する学生が多い。

そのような観点から前回の報告¹⁾では、実際の実験装置を用いて制御工学の理解を促すことを目的として、動作が興味深いリアクションホイールを利用した振り子制御の実習装置を試作し、制御系の構成および実験による制御性能の検証を行った。しかし、実験装置のDCモータのトルク不足により、振り子の制御は実現できたものの、理論との整合性が悪い結果となった。また、制御系の構成も古典制御理論を適用したため、制御性能の指定法に制限があった。

そこで、本報告では、それらの欠点を解消するためにDCモータをパワーアップし、その有効性を検証するとともに、新たに現代制御理論を適用し制御系の構成を行った。

1. 緒言

制御工学は、制御対象に依存して物理学や電気工学などの知識も必要となるだけでなく、数学も多用される横断的な学問である。そのため、制御工学は難しいという印象を持つ学生が非常に多い。

一般に制御工学の教科書の内容は、制御対象が数学モデルで表現されていることを前提として、制御系の特性や制御系の構成法を説明する内容となっている。数学モデルを立てるときは、物理学や電気・電子工学で学ぶ知識が必要であるが、一旦、数学モデルの式が決定したら、その後はそれを一般的な標準形の表現に変換し、数学の論理的かつ抽象的な世界で制御系の特性や構成法が説明される。このとき、制御対象である実物と数学の世界とのギャップが大きいと、それらの関係を結びつけることにも混乱を来しているというのが実状である。さらに、授業において、手軽に扱えて興味を引く制御対象の実習装置があまり無く、またあったと

てもかなり高価なため入手困難であることも制御工学の理解を妨げる要因となっている。もし、興味を引くような制御対象があれば、それを基にして制御工学を具体的に理解できる学生も増えるはずである。

そのような観点から、前回の報告¹⁾では、興味深い動きを呈するリアクションホイールを利用した振り子系の実験装置を試作し、制御系の構成および実験による制御性能の検証を行った。しかし、リアクションホイールを駆動するDCモータのトルク不足により、振り子の制御は実現できたものの、理論との整合性が悪く、シミュレーションとはかなり異なった結果となった。さらに、古典制御理論を適用したため、設計パラメータを振り子の特性に合わせるチューニング法であったが、振り子の原点への収束性を指定するという積極的な制御法とは異なっていた。

そこで本報告では、トルク不足を解消するためにDCモータおよびモータドライバをパワフルなものに変更し、理論との整合性を検証した。さらに、振り子の収束性を指

*1 機械システム技術科

定するために、現代制御理論の導入を検討し、実験によりその制御性能を検証した。

2. リアクションホイールを用いた振子制御系¹⁾

2.1 制御原理

図1にリアクションホイールを有する振子の概略を示す。この図では、振子が鉛直下向きの状態を中立点(N.P.)としている。振子に少し角度を付けて離すと鉛直下向きを中心として左右に振動する。一方、振子の先端にリアクションホイールと呼ばれる、DCモータに直結したロータが取り付けられている。したがって、DCモータに電圧を印加してロータを回転させると、回転が加速するときその反動(リアクション)が発生し、ロータと振子の間で作用・反作用の関係によりお互いにトルクが作用し合う。このリアクションホイールからの反動を利用すると、振子の振動の振れ止め等の制御が実現できる。

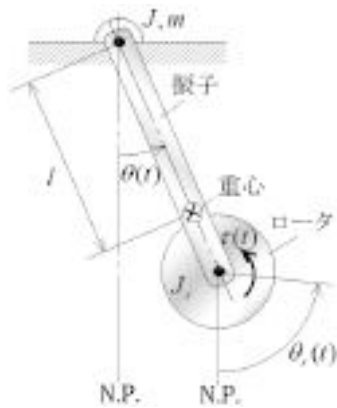


図1 リアクションホイールを有する振子の概略

2.2 数学モデル表現

制御系を構成するために、まず、振子制御系の運動方程式を求める。図1のように中立点(N.P.)から計測した振子およびロータの回転角度をそれぞれ $\theta(t)$ [rad], $\theta_r(t)$ [rad]とする。また、ロータ(DCモータを含む)と振子の質量の合計を m [kg], そのときの振子の

軸回りの慣性モーメントを J [kgm²], 振子とロータを合わせた重心の振子の軸までの長さを l [m], ロータの回転軸回りの慣性モーメントを J_r [kgm²]とする。ロータに直結したDCモータに関して、発生するトルク $\tau(t)$ [Nm]が制御入力である印加電圧 $v(t)$ [V]に比例するものとし、その比例定数である電圧-トルク変換係数を κ [Nm/V]とする。このとき、振子およびロータに対する回転の運動方程式はそれぞれ次式となる。

$$\ddot{\theta}(t) + a\theta(t) = -b_p v(t) \tag{1}$$

$$\ddot{\theta}_r(t) = b_r v(t) \tag{2}$$

ここで、上式における動特性パラメータの表現は以下のとおりである。

$$a = \frac{mgl}{J}, \quad b_p = \frac{\kappa}{J}, \quad b_r = \frac{\kappa}{J_r}$$

なお、回転の運動方程式は振子の角度 $\theta(t)$ が微小であるものとして線形化している。

2.3 動特性パラメータの同定法

制御系を構成するためには、動特性パラメータである a, b_p, b_r の値を求める必要がある。ここでは、文献1)の方法で実験的に動特性パラメータの同定を行う。

図2に示すように、インパルス状の電圧 $v(t) = V$ [V]を微小時間 Δ [s]の間だけDCモータに印加し、そのときの振子の振動の振幅 A [m]と周期 T [s], およびロータ角度の変化分 B [rad/s]から、次式により動特性パラメータの同定を行うことができる。

$$a = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2, \quad b_p = \frac{2\pi A}{TV\Delta}, \quad b_r = \frac{B}{V\Delta}$$

以上で同定した動特性パラメータを使用して、振れ止め制御に関する制御系を構成する。

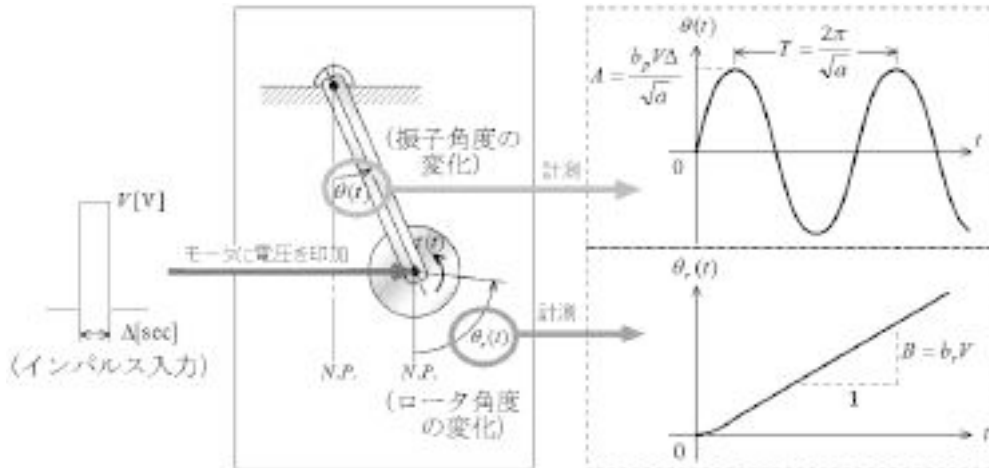


図2 パラメータ同定

3 モータの能力に依存した制振性能の違い

本章では、DCモータ及びモータドライバに関して、十分なトルクを「発生できない場合」と、「発生できる場合」について、実験により比較検討を行う。なお、制御則は二者とも共通とし、古典制御理論を適用して制御系を構成する。

3.1 制御系の構成²⁾

図1に示した振子が、鉛直下向きの状態で持続振動するときの振れ止め制御系を構成する。制御の目的は振動する振子を鉛直下向きで静止させ($\theta(t) = 0$)、かつロータ回転を停止させる($\dot{\theta}_r(t) = 0$)ことである。

式(1)および式(2)で表された振子およびロータの運動方程式に対して、制御入力を振子の回転角度と角速度、およびロータの回転角速度のフィードバックとして次式で構成する。

$$v(t) = -k_{pp}\theta(t) - k_{pd}\dot{\theta}(t) + k_r(\omega_{ref} - \dot{\theta}_r(t)) \quad (3)$$

ここで、 k_{pp}, k_{pd}, k_r はフィードバックゲインであり、 ω_{ref} はロータの回転角速度の目標値である。このときの制御系の構成を図3に示す。

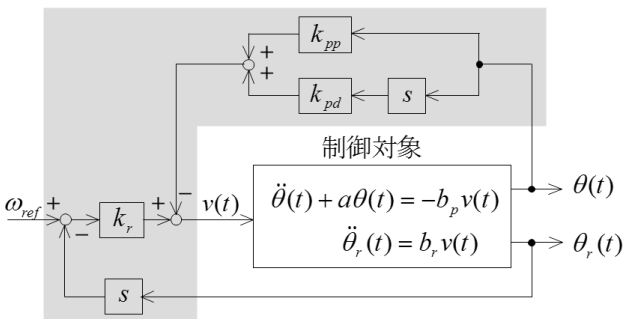


図3 制御系の構成

次に理想的な特性多項式 $D_r(s)$ を一次遅れ要素と2次遅れ要素の標準形の積として次式で与える。

$$D_r(s) = (s + \alpha\omega_0)(s^2 + 2\zeta\omega_0s + \omega_0^2) \quad (4)$$

このとき、フィードバックゲインは次式で与えられる。

$$k_{pp} = \frac{a - (1 + 2\zeta\alpha)\omega_0^2}{b_p}$$

$$k_{pd} = \frac{\alpha\omega_0^3 - (\alpha + 2\zeta)\alpha\omega_0}{ab_p}, \quad k_r = \frac{\alpha\omega_0^3}{ab_r}$$

ここで、 $\omega_{ref} = 0$ と設定して制御を実行すると次式となり、制御目的が達成される。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \theta(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \dot{\theta}_r(t) = 0$$

式(4)において理想的な特性多項式のパラメータを選ぶ必要がある。基本的には、振子本来の振動特性に無理のないように選ぶ²⁾。例えば、 ω_0 は振子の固有角振動数 $\omega_p (= \sqrt{a})$ に等しいか、若干大きめにすればよいであろう。また、減衰係数比 ζ は臨界の値として $\zeta = 0.707$ とする。なお、 a は適切に調整する。

3.2 実験装置の概要

試作したリアクションホイールを用いた振子制御系の実験装置の写真を図4に示す。

ハードウェアの概略構成を図5に示す。なお、これはDCモータの「トルクが不十分」な場合の図であるが、「トルクが十分」な場合との違いは、基本的にはDCモータとモータドライバが異なるだけである。

実験装置の概要は以下の通りである。

振子の回転角度は振子の回転軸に直結された分解能2000[P/R]のエンコーダで計測され、ロータの回転角



図4 実験装置

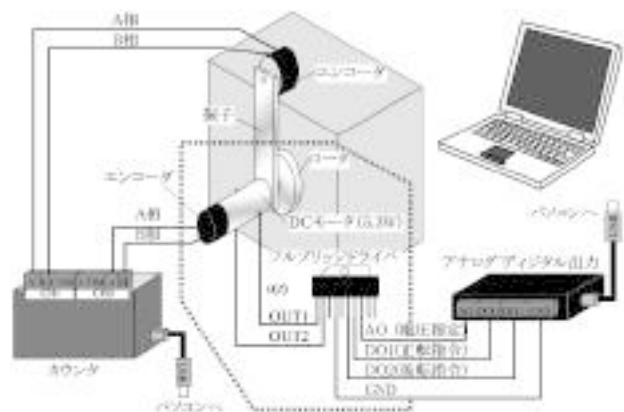


図5 トルクが不十分な実験装置の概略

度はDCモータに直結された分解能1000[P/R]のDCモータに直結したエンコーダで計測される。それぞれのエンコーダから出力されるA相とB相のパルス信号をカウンタでカウントすることで回転角度が計測される。それらのカウント値はパソコンに取り込まれ、それぞれの角度 θ [rad], θ_r [rad]に換算される。

パソコン内では計測された角度情報に基づいてDCモータに印加する電圧値 $v(t)$ [V]が式(3)に基づいて計算される。ここで、DCモータにパワーを供給するモータドライバは(株)東芝製のDCモータ用フルブリッジドライバ(TA7291P)である。最大出力電流は2.0[A]であり、電圧は0~20[V]を供給できる。DCモータへ印加する電圧は、その絶対値をアナログ電圧信号(AO)で指定し、回転方向は2進数のデジタル信号(DO1とDO2)で指定する必要があるため、アナログ・デジタル出力のインタフェース(CONTEC社製、高精度アナログ入出力ターミナル、AIO-160802AY-USB)を使用している。なお、DCモータへの指令電圧であるアナログ出力は、ハードウェアの制限で ± 10 [V]の範囲に制限されている。DCモータはシチズン千葉精密(株)製のエンコーダ付きコアレスDCモータ(NC-184101)であり、定格出力は5.3[W]である。また、定格電圧、定格トルクおよび定格電流は、それぞれは12[V], 5.88[mNm]および650[mA]である。

一方、トルクが十分な場合のハードウェアの概略構成を図6に示す。

この実験装置では、DCモータは同じ会社のエンコーダ付きコアレスDCモータ(NC-185802)であり、定格出力は9[W]と、よりパワフルなモータを採用した。なお、このDCモータの定格電圧、定格トルクおよび定格電流

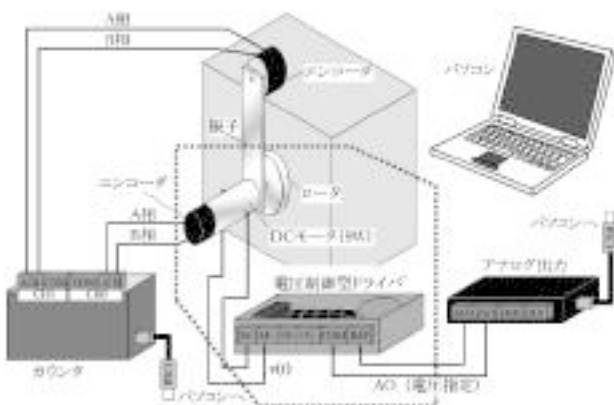


図6 トルクが十分な実験装置の概略

は、それぞれは24[V], 12.7[mNm]および500[mA]である。DCモータにパワーを供給するモータドライバはシチズン千葉精密(株)製で、このDCモータに適したコアレスDCモータ用ドライバ(USE-2A)である。最大出力電流は5.0[A]であり、設定を電圧制御型とすることで、DCモータが出力する電圧を、 ± 10 [V]の範囲内で指定できる。したがって、アナログ電圧信号の出力(AO)にはアナログ・デジタル出力のインタフェースのアナログ出力のみを使用している。

3.3 実験による制振性能の比較検証

第2.3節の方法で得られた動特性パラメータの同定結果は表1の通りであった。

表1 実験装置の種類によるパラメータ同定値

パラメータ	実験装置の種類	
	トルク不十分	トルク十分
a [rad/s ²]	67.8	69.3
b_p [rad/(s ² V)]	0.261	2.54
b_r [rad/(s ² V)]	8.61	129

振子に対する入力のパラメータ b_p の値が、「トルク十分」である実験装置の方が「トルク不十分」である実験装置の約10倍の値となっている。これは、同じ入力電圧をモータドライバに印加したときに、約10倍の大きさのトルクが発生できることを示している。

制御効果を確認するために、制御を行わなかった時の振子の時刻歴応答を図7に示す。

トルクが「不十分な場合」と「十分な場合」とで比較検討するために、制御系の設計パラメータ ω_0 を第3.1節で示した指針に基づき、両実験装置のパラメータの平均値として

$$\omega_0 = \sqrt{a} = \sqrt{\frac{67.8 + 69.3}{2}} = 8.28[\text{rad/s}]$$

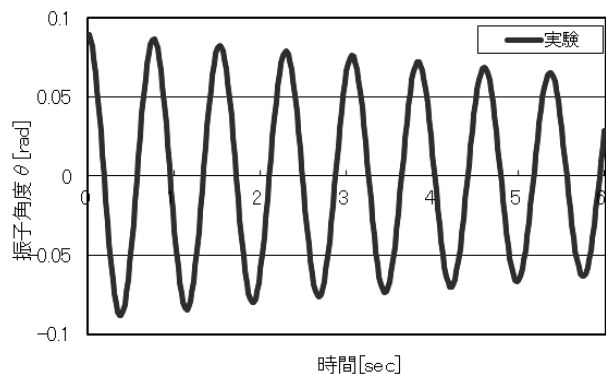


図7 無制御時の実験結果

と設定し、減衰係数比 ζ は臨界の値として

$$\zeta = 0.707$$

とする。また、 α は制御性能が良好であるように $\alpha = 0.2$ とし、両実験装置で共通の設計パラメータとする。このときの制御入力 $v(t)$ [V]と振子角度 $\theta(t)$ [rad]を実験とシミュレーションの両方について、トルクが不十分な場合の結果を図8に、トルクが十分である場合の結果を図9に示す。なお、いずれも制御は2秒の時点から開始している。

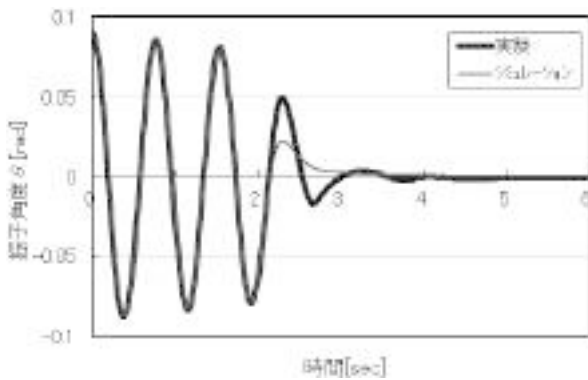
トルクが不十分な実験装置の場合、図8(b)の振子角度の時刻歴応答より、実験開始後、振子角度は直ちに原点付近へと収束しており振れ止めの制御結果が出ているが、シミュレーション結果と比較すると、振子角度の収束性が遅い。これは図8(a)の制御入力の応答から分かるように、ハードウェアの制限で制御入力電圧が ± 10 [V]以上を出力できずサチュレーションを起こしているため、DCモータが十分なトルクを発生できないためである。つまり、制御入力が ± 10 [V]の範囲で制限された状態では、十分な制御入力トルクを発生できず、制御性能が劣化することを示している。このことより、5WのDCモータとこのモータドライバの組み合わせでは、この

実験装置に対して十分なトルクを発生することができないことが分かる。

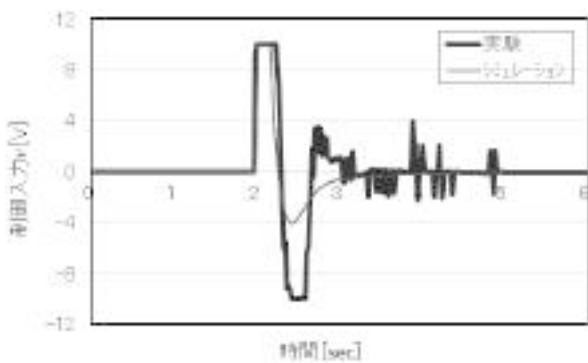
なお、2.6[s]以降から、振子角度がほぼ0[rad]となった定常状態において、ノイズのように高周波数で振動する箇所がある。これは、制御入力の式(3)において、振子角度 $\theta(t)$ [rad]の微分 $\dot{\theta}(t)$ [rad/s]が必要であるが、本実験では差分によりそれを計算したために、振子角度の変動が増幅されてしまったことに起因する。このような場合は、フィルタなどを使用すれば、微小振動は軽減できる。

一方、トルクが十分である実験装置の場合、図9(b)より振子はほぼシミュレーションと同様な挙動を示し、制御開始後直ちに原点に収束している。さらに図9(a)より、十分なトルクを発生できるために、サチュレーションを起こすこともなく ± 10 [V]の範囲内に十分に収まっていることが分かる。したがって、所定の制御入力電圧が印加できるために、制御結果もシミュレーションとほぼ同様な振る舞いを呈する。

以上のことより、制御を実施する場合は、十分なトルクを発生できた方が、良好な制御効果を得ることができ

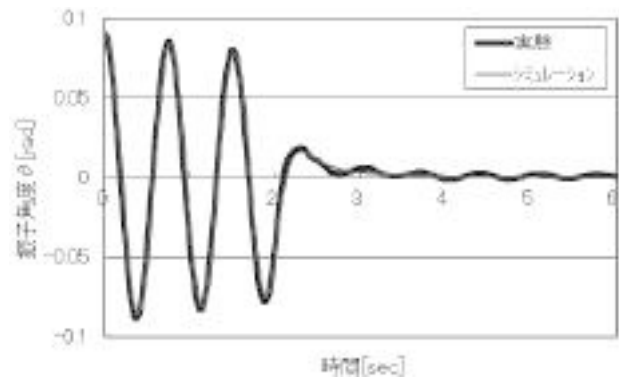


(b) 振子角度

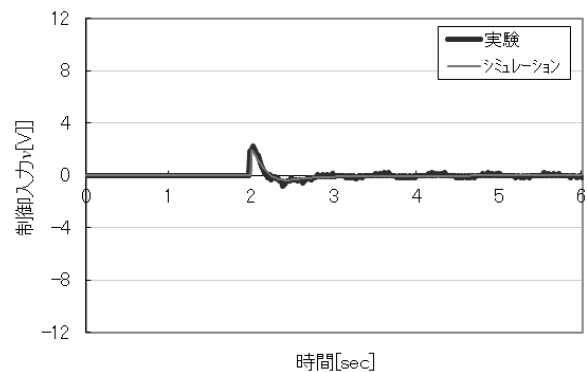


(a) 制御入力

図8 トルクが不十分な実験装置の実験結果



(b) 振子角度



(a) 制御入力

図9 トルクが十分な実験装置の実験結果

るだけでなく、理論であるシミュレーションとの整合性も高いことが分かる。

4. 現代制御理論による制御系の構成

第3章では古典制御理論を用いたが、制御系の構成法が分かり辛く、しかも、設計パラメータは振子系本来の特性に合わせるようにチューニングするので、振子の原点への収束性を指定するという積極的な制御手法とは云えない。

そこで、本章では、制御則として制御系の構成と設計パラメータの選定指針が分かり易く、かつ収束速度を指定できる、現代制御理論の一つである極配置法を適用することを検討した。

4.1 状態方程式表現

現代制御理論を適用するためには、振子およびロータの運動方程式(1),(2)を状態方程式で表す必要がある。まず、状態変数を次式で定義する。

$$x(t) = [\theta(t) \quad \dot{\theta}(t) \quad \dot{\theta}_r(t)]^T$$

このとき、状態方程式は次式となる。

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + bv(t)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ -b_p \\ b_r \end{bmatrix}$$

制御系の構成は、この状態方程式に基づいて行われる。

4.2 極配置制御による制御系の構成

制御の目的は、振動する振子を直ちに止めて鉛直下向きで静止させるとともに、ロータの回転を安定化させることである。このことを式で表現すると次のようになる。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \theta(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \dot{\theta}(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \dot{\theta}_r(t) = 0$$

つまり、状態変数が

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = 0$$

となるように制御系を構成すればよいことになる。現代制御理論では、制御入力を次の状態フィードバックで構成する。

$$v(t) = k^T x(t)$$

ここで、 k はフィードバックゲインである。制御則として、閉ループ系の極を設計者が任意に指定できる極配置理論を適用することとし、Achermannの極配置法を採用する。

Achermannの極配置法のアルゴリズム³⁾は以下の通りである。

- (1) まず、制御系を構成した後の閉ループ系に対して、状態変数 $x(t)$ の零への収束度を指定する3つの安定な極 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ (負の実数値) を与える。
- (2) これらの極を用いて閉ループ系の特性多項式 $D(s)$ を次式で与える。

$$D(s) = (s - \lambda_1)(s - \lambda_2)(s - \lambda_3) \\ = s^3 + d_3 s^2 + d_2 s + d_1$$

- (3) 次に、可制御行列 $V (= [b \quad Ab \quad A^2 b])$ を求め、状態フィードバックゲイン k を次式で構成する。

$$k^T = -[0 \quad 0 \quad 1]V^{-1}D(A)$$

なお、上式中の $D(A)$ は次式で計算する。

$$D(A) = A^3 + d_3 A^2 + d_2 A + d_1 I$$

このように制御系を構成すると、状態変数 $x(t)$ は時間と共に零へと収束し、その収束性は

$$\|x(t)\| \leq M e^{\lambda_{\min} t}$$

で指定される。ここで、 M はある正の定数であり、指数関数の収束度を表す λ_{\min} は

$$\lambda_{\min} = \min\{|\lambda_i|, i = 1, 2, 3\}$$

である。このように、指定する極が直接に制御性能を表すという意味で、直感的に分かり易い。

さて、実際に計測できるのは振子角度 $\theta(t)$ とロータ角度 $\theta_r(t)$ だけであるから、状態変数 $x(t)$ を求めるためには、それらの計測値を数値微分して振子の角速度 $\dot{\theta}(t)$ とロータの角速度 $\dot{\theta}_r(t)$ を求めればよい。このときの制御系の構成を図10に示す。

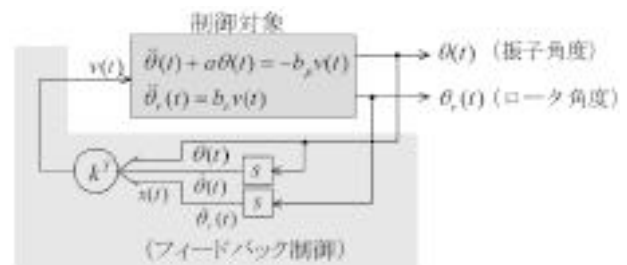


図10 制御系の構成

4.3 実験による制御性能の検証

実験は前述の十分なトルクを出力できる実験装置で実施する。動特性パラメータの同定結果は表1より次の各諸元である。

$$a = 69.3[\text{rad/s}^2], b_p = 2.54[\text{rad/s}^2\text{V}]$$

$$b_r = 129[\text{rad/s}^2\text{V}]$$

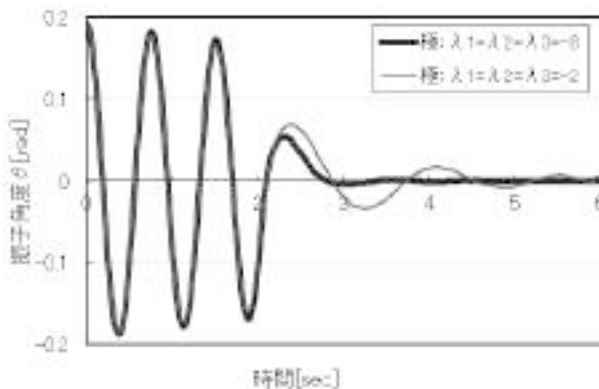
制御性能が閉ループ系の極で指定されることを示すために、指定する極を次の2つのパターンで与える。

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = -2, \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = -8$$

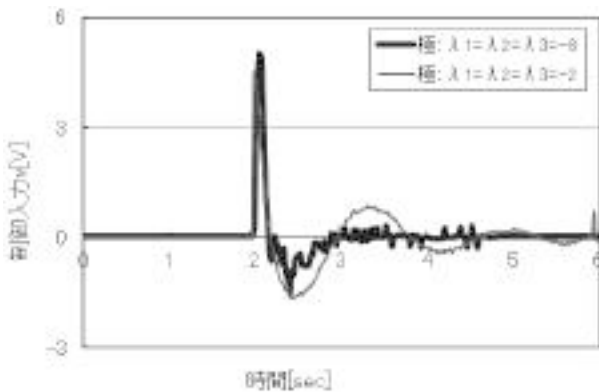
この2種類の極に対して、理論的には極の絶対値が大きい-8(3重根)の場合の方が-2(3重根)の場合より速く収束するはずである。

このときの振子角度と制御入力の実験結果をそれぞれ図11に示す。ただし、両者とも制御は2秒の時点から開始している。

図より、制御開始後、両者とも振子角度は直ちに原点付近へと収束しており、良好な振れ止めの制御結果が出ていることが分かる。また、振子の制御性能を比較すると、理論どおり極が-8(3重根)の場合の方が-2(3重根)の場合より速く収束している。さらに制御入力に関しては、極が-8(3重根)の場合の方が、振子を速く収束させる必要があるために、制御開始直後に大きく変動している。その場合でも、十分なトルクを発生でき



(b) 振子角度



(a) 制御入力

図11 指定極の違いによる制御性能の比較

ているため、制御入力の制限内である $\pm 10[\text{V}]$ 以内に収まっている。

以上より、現代制御理論の極配置法では、設計パラメータである極が制御性能に直接対応しているため、設計パラメータの選定が直感的に分かり易いと云える。

5. 結言

制御工学の理解を深めるための実験装置は、少なくとも下記の条件を満たす必要がある。

- ・動きが見え、興味を引く制御対象
- ・パラメータ同定が実験により容易に実行可能
- ・制御系設計が分かり易く、制御効果の確認が容易

制御系の構成において、本報告で検討したリアクションホイールを用いた振子制御系は上述の条件に当てはまるため、制御工学の実習装置として妥当であると云える。

なお、前回報告した試作機¹⁾はDCモータのパワー不足により制御性能の低下及び理論との整合性が悪かったが、パワーを充足させることで上記の問題を解決できた。このような問題解決の事例を実践で経験することも、制御系構成の実習においては非常に意味のあることであろう。

また、制御系構成における制御則は複数存在するので、それらの特徴や違いを検証することも興味深いことである。今回は、見通しの良い制御系設計と制御性能が期待できる、現代制御理論の一つである極配置法を採用し、その制御性能を検証した。

以上のことから、本実験装置は制御工学の理解促進に大いに貢献できると云える。

今後は、制御工学の授業で本実験装置を使用することを前提としてテキストの整備を行う予定である。なお、制御手法は各種あるので、それらを用いた他の制御系の構成法を検討し制御工学のテキストを充実させることも必要である。また、振子の振り上げ制御および倒立制御等を行い、面白みのある制御系を構築することなども課題として挙げられる。

謝辞

本研究を行うに当たり、実験装置の製作および実験に平成26年度卒業研究⁴⁾として携わった頂いた熊本県立技術短期大学校 機械システム技術科の竹本昌弘氏

(現 プライムエンジニアリング(株)), 中尾拓也氏(現 アイシン九州(株))および本田聖晃氏(現 櫻井精技(株)), 平成27年度卒業研究⁵⁾として携わって頂いた同校同科の藤森慎太郎氏(現 開成工業(株))および土屋諒太氏(現 (株)大塚産業)に対し, 感謝の意を表します.

参考文献

- 1) 日野満司:制御技術の工学教育における実習装置の開発—リアクションホイールを用いた振子制御系の制御—, 熊本県立技術短期大学校紀要, 第17号(2016)21
- 2) K.J.Åstrom ,D.J.Block ,M.W.Spong:The Reaction Wheel Pendulum, San Rafael, Morgan and Claypool, 2007
- 3) 岩井善太・石飛光章・川崎義則:制御工学, 朝倉書店(1999)105
- 4) 竹本昌弘・中尾拓也・本田聖晃:リアクションホイールを用いた振子制御系の開発, 平成26年度卒業研究概要集, (2015)65
- 5) 藤森慎太郎・土屋諒太:リアクションホイールを用いた振子制御系の開発—旧試作機の改良と現代制御理論(極配置法)の適用—, 平成27年度卒業研究概要集, (2016)

IoT デバイス Edison の最新応用

無線センサネットワークと対話型ロボットとの連携

里中孝美*¹

Applications of IoT Smart Devices Edison
Wireless Sensor Network Connecting with Communication Robots
Takami Satonaka

本報告では IoT のプロトタイピング、製品化に適した Edison を用いて、センサの無線ネットワークシステムを構築し、室内環境センサ、脈拍・筋電センサによる計測実験を行った。サーバによるデータ蓄積、解析、可視化の Web アプリケーション、対話型ロボットによる情報案内の事例を示した。本システムでは、計測ノード、サーバ、情報案内の機能をネットワークに接続した複数の Edison に分担させてリアルタイムでデータ取得、解析、表示を行った。

1. はじめに

低消費電力、小型の IoT (Internet of Things) デバイスの応用として、無線ネットワークに接続したセンサから得られたデータを収集、蓄積し、その解析を行うことが期待されている^{[1][2]}。Hong らは、複数の Edison デバイスを利用した IoT のデータ共有のフレームワーク^[1]を提案し、拡張性、運用管理、分析、セキュリティの重要性を明らかにした。

本報告では、IoT デバイス Edison を用いて、室内環境、生体情報の計測用センサネットワークによるセンサデータの有効利用を検討した。また、対話型ロボット Sota を、IoT デバイスの無線ネットワークに接続して、室内環境計測制御のセンサの異常検出の情報案内、カメラ撮影による遠隔監視を検討した。室内環境計測実験では、温度センサによる温度変化の異常検出、生体計測実験では、脈拍、筋電センサによる生体情報のデータ解析、可視化に取り組んだ。

2. マイクロコントローラの概要

IoT のプロトタイピング、製品化に適した Intel 社 Edison を用いたシステムを構築する。図1に、500MHz デュアルコア Atom CPU と 100MHz Quark MCU とを搭載した Edison の内部構成を示している。Atom CPU は、

組込み Linux の YoctoOS で動作し、汎用性の高いデータ処理を実行する。QuarkMCU は ViperRTOS で動作し、データ入出力、AtomCPU との通信を管理する。Edison の開発ボードは、Wi-Fi/ Bluetooth 通信用 Broadcom BCM43340、1GB の SDRAM、データ用の 4 GB メモリ、パワーマネージメント IC、汎用ポートを搭載している。また、I2C のシリアル通信方式でセンサ、モータと接続する。YoctoOS では、I/O 制御用 MRAA ライブラリを使用して JavaScript/C++ 言語の制御用プログラムの開発を行う。

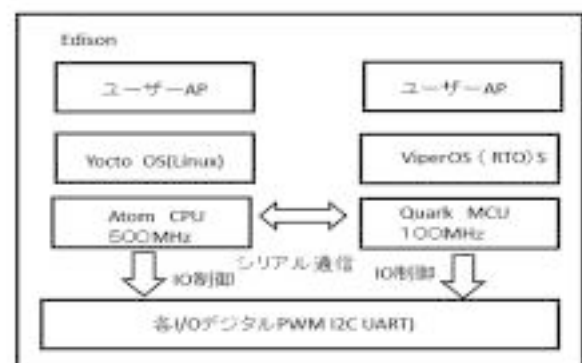


図1 Edison の内部構成

*1 電子システム技術科

3. 室内環境計測実験

3.1 室内環境計測センサのネットワーク

図2は、室内環境計測センサモジュールである。複数のセンサ制御を行う計測用Edisonとデータ処理、可視化のプログラムを実行するサーバ用Edisonが協働する室内環境計測ネットワークを構築した。

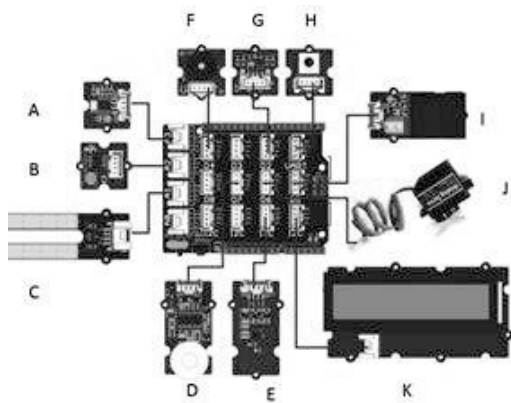


図2 室内環境計測センサモジュール

Edison ボードの入力に、UV、光、湿度、PIR モーション、温度・湿度センサ(A~D, E)、エンコーダ、ボタン(G, H)、出力に、ブザー、リレー、サーボ、液晶表示素子(I~K)を接続した。計測用 Edison で測定したデータをサーバの Edison に転送してデータ解析と可視化の処理を実行した。JavaScript ライブラリp5.js を用いてデータ解析と可視化のプログラムを作成した。次の命令によりサーバ上でデータ表示のプログラム<display.js>を実行させて、ユーザが任意の PC 端末から port 番号XXXX を経由してサーバに接続して各種センサの測定結果のグラフを閲覧できるようにした。

```
p5 serve --port=XXXX <display.js>
```

3.2 温度計測の実験

室内環境計測用温度センサの表面を加熱、冷却して温度変化を調べた。温度センサでは、NTCサーミスタ(NCP18WF104F03RC)の温度抵抗値特性から温度を計算する。以下に温度計算の計算式を示す。(V, R, Tはセンサ出力[V], 抵抗[Ω], 温度[°C]を表す。)

$$R = (1023 - V) * 10^4 / V \quad (1)$$

$$T = 1 / (\log(R / 10^4) / 3975 + 1 / 298.15) - 273.15 \quad (2)$$

図3は室内環境のセンサ温度の時間変化を示している。実験においてセンサ温度は-5°C~40°Cの範囲で変化した。図中の記号Aは、保冷剤冷却の期間を、記号B, C, Dは、大気送風、熱風加熱、火器表面加熱の期間を、記号E, F, Gは、室温保持、大気送風、保冷剤冷却の期間をそれぞれ示している。

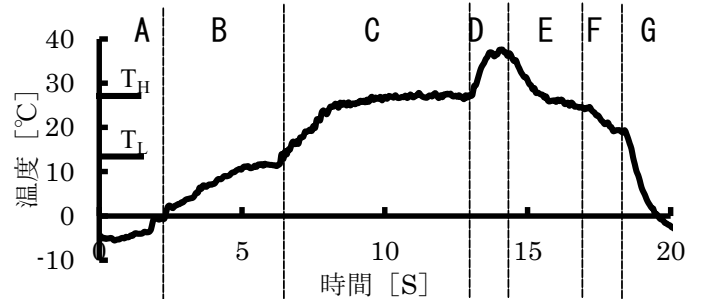


図3 温度の時間変化

設定温度の上限 T_H と下限 T_L を決めて温度を管理し、室温度が設定温度の範囲外にあるときに、警報信号を発生させた。加熱時期C, Dは温度が急激に変化した。Cでは11°Cから25°Cまで上昇した。Dでは27°Cから36°Cまで上昇した。これについては3.3センサ温度の異常値検出で説明する。

3.3 センサ温度の異常値検出

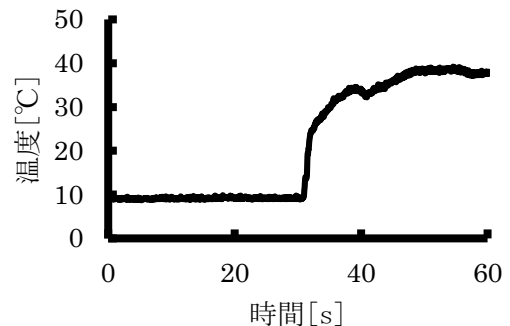


図4 センサ温度の時間変化

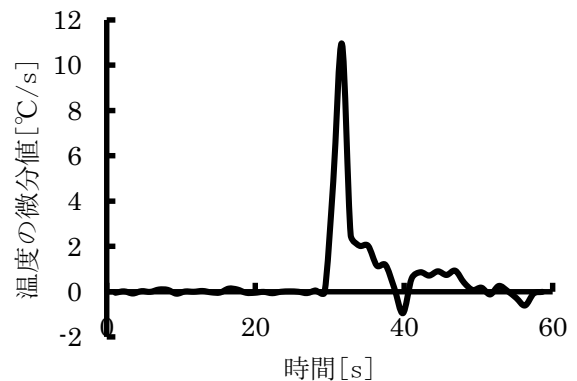


図5 センサ温度の微分特性

図4, 5は, センサ表面の加熱時の温度の時間変化, 温度の微分特性である. センサ表面を火器で加熱したとき, センサの温度は室温から40°C付近まで上昇した. 図5で, 温度変化値は, t=26, 27, 28sで4.8, 10.9, 2.5°C/sで, 最大値は10°C/sとなった. 異常検出の閾値設定では, センサの温度もしくは温度微分の規定値を決定し, それ以上であるときに, 異常検出の信号を出力させた. 室内環境の温度は, 空調機器のオンオフにより急激に変化する可能性があるため, 季節ごとに週間の温度変化を考慮して実際の設定値を決定するようにしている.

4. 生体計測実験

4.1 脈拍センサの測定結果

脈拍センサ(pulse sensor製)により動脈血中にある酸素化ヘモグロビンの吸光度特性を利用して脈波形を観測した. 脈拍センサでは, 光源のLEDから生体内に向けて光を入射し, フォトセンサでその反射光量を測定する. 心臓の拍動に伴う動脈血流量の変化は反射光量の変化として観測される. 図6は, 運動直後, 安静時の脈拍センサの信号電圧波形, 図7, 8は, 安静時, 走行後の波形の位相図を示している. 信号波形の平均値は, 504 mVであった. 安静時の信号波形は, 最大値764mV, 最小値346mVで, 走行後の信号波形は, 最大値963mV, 最小値229mVであった. 走行後のp-p振幅(最大値-最小値)は714mVで, 安静時の値418mVの1.76倍となった. 表1, 2に脈拍センサ, 測定部位の信号波形の特性をまとめた. 運動直後の1分間の心拍数は108回で, 安静時の1分間の心拍数は84回であった.

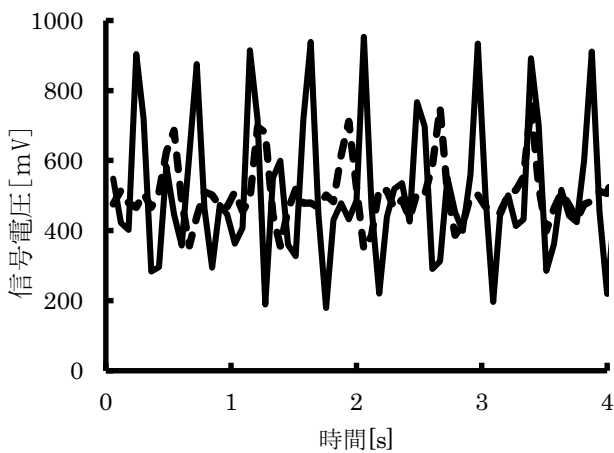


図6 運動直後, 安静時の脈拍センサの信号電圧波形

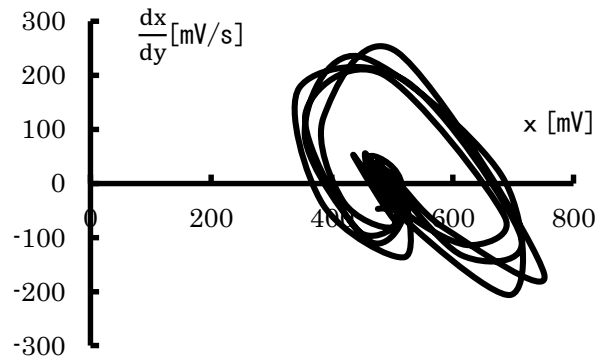


図7 脈拍センサの信号電圧(x, dx/dt)の位相図

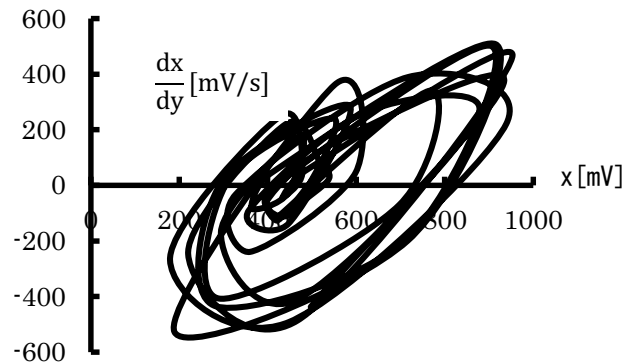


図8 脈拍センサの信号電圧(x, dx/dt)の位相図

表1 脈拍センサの信号波形の特性

	運動直後	安静時
最大値	963mV	764mV
最小値	229mV	364mV
P-P 振幅	734mV	400mV
心拍数	108 回	84 回

表2 測定部位での信号波形の特性

	指先	手首
最小値	368mV	424mV
最大値	738mV	599mV
p-p 振幅	370mV	175mV

体内への照射光は, 皮膚・脂肪・骨・血液などにより吸収され, 観測される波形が変化する. 次に, センサを指先と手首に配置して波形測定した. 表2において指先Aのp-p振幅は手首Aの値の約2倍となった. 測定法による特性差は, 皮膚表面の反射により, 生体への入射光の一部が損失することに起因する.

4.2 筋電センサの測定結果

図9, 10は, 筋電センサ(Seed 製 GroveEMG)の測定の説明図と腕の運動時の表面筋電図を示している. 筋電図は筋線維で発生する活動電位である. 3つの表面電極を皮膚につけて, 筋線維が収縮する際に発生する活動電位を測定した. 中央の電極の値を基準電位とし, 左右の電極間の電位差を算出した. 図10の表面筋電図に示すように緩慢な動作, 敏速な動作の波形を観測した. P1, P2は, それぞれの動作のピークであり, 筋電圧は筋肉を動かす速度が大きいほど高くなった. 福祉分野で電動義手, 車椅子等に筋電センサを組み込み, 筋肉を意識的に動かすことで発生する筋電圧を利用した生体インターフェースの応用が期待されている.

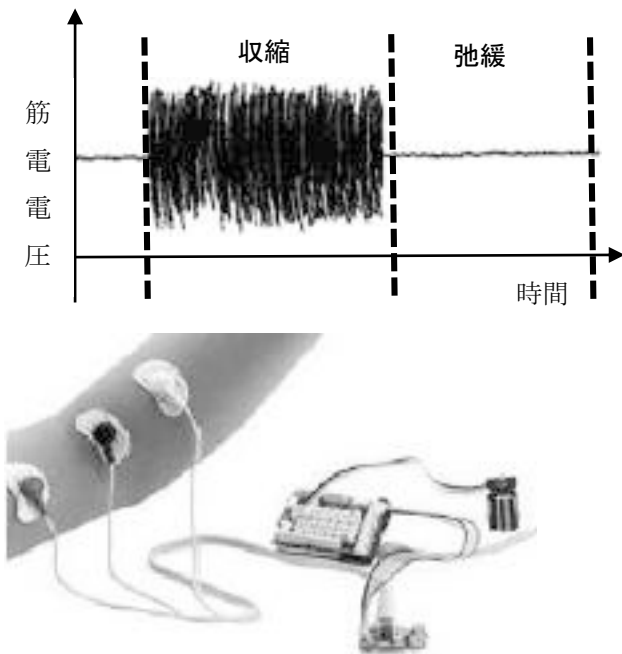


図9 筋電センサの測定の説明図

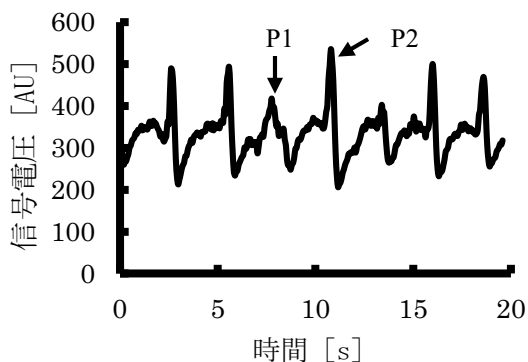


図10 腕の運動時の表面筋電図

5. 対話型ロボットとの連携

図11は対話型ロボットを中心としたIoTネットワークの説明図である. Sotaは運動制御用サーボモータ, カメラ, スピーカーを搭載しており, その画像認識, 音声技術を利用した室内環境管理制御, 遠隔監視システムを構築した. Sotaソフトウェア開発SDKは, USBカメラ, ロボット制御, 対話のJAVAライブラリから構成される. Eclipse開発環境でクライアントとサーバのプログラムを作成した. センサモジュールの測定データは, Edisonサーバのデータベースに蓄積するようにした. Edisonサーバではセンサのデータ解析を行い, Web上でのデータ閲覧, 対話型ロボットSotaとの連携による音声案内を行わせた.

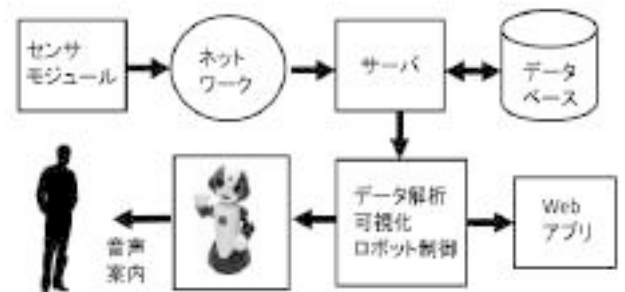


図11 対話型ロボットを中心としたネットワーク

6. まとめ

インテル社のIoTデバイスEdisonを用いて, 室内環境の計測制御, 生体情報のウェアラブル計測に適したセンサネットワークを構築した. 計測ノードとデータ処理ノード(サーバ)の機能を複数のEdisonに分担させて, データ収集, 解析, 可視化を行った. また, 温度センサ, 脈拍センサ, 筋電センサの測定実験を行い, IoTデバイスのプロトタイプの例を示した.

参考文献

- 1) J. Hong, J. Raymond and J. Shackelford, "EdiSense: A Replicated Datastore for IoT Data," Stanford University, Stanford, 2014.
- 2) M. Milana, M Z Kuria "Integration of Sensor Networks to IoT for monitoring of Samplings", International Journal of Science & Engineering Development Research, Vol.1, Issue 5, page no.243 - 248, May-2016.

ニューロン CMOS インバータを用いた 範囲内マンハッタン距離検索回路

原田裕二郎^{*1}

A Wide Range Manhattan Distance Search Circuit Using Neuron CMOS Inverters

Yujiro HARADA

ニューロン CMOS インバータは、通常の MOS トランジスタの構造を僅かに変更するだけで構成でき、「やわらかいハードウェア」として、高機能化、高集積化に期待されている素子である。現在、従来のメモリの機能に加え、膨大なデータの中から完全に一致したデータの検索だけでなく、最も類似したデータの検索を行う連想メモリの研究が盛んに行われている。本稿では、ニューロン CMOS インバータを用いることで、連想メモリにおいて重要な機能回路である範囲内マンハッタン距離検索回路を構成したので報告する。また、本研究では、ローム株式会社の 0.18 μm プロセスを用いた HSPICE シミュレーションを行い、提案回路により所期の動作が得られることを確認した。

1. はじめに

指紋認識やカラー画像認識などのパターン認識において、入力データに完全に一致、または、最も類似したデータの検索は重要な処理である。一般に、ソフトウェアによってこの処理は行われるが、ソフトウェアの場合、データベースに保存された比較対象のデータ数や、そのビット数が増加すると、膨大な演算が必要となるためリアルタイムでの処理が難しい。現在、この問題を解決するため、高速な類似検索が可能な連想メモリの研究が盛んに行われている¹⁾。連想メモリは、入力データに対して保存された全てのデータを並列に検索するため、ソフトウェアに比べて非常に高速な処理を行うことができる。連想メモリにおいて、入力データと参照データの類似度の指標には、主にマンハッタン距離やハミング距離があり、マンハッタン距離はデータ圧縮やカラー画像認識等に用いられ、ハミング距離は指紋認識や文字認識などに用いられる。

筆者らは、ニューロン CMOS インバータを用いることで、連想メモリの重要な機能回路となる新しい方式の最小マンハッタン距離検索回路を提案している²⁾。ニューロン CMOS インバータは、柴田らによって提案された、脳の神経細胞と似た性質を持つ素子である³⁾。この素子は、通常の MOS トランジスタの構造を僅かに変更するだけ

で構成でき、「やわらかいハードウェア」として、高機能化、高集積化に期待されている⁴⁾。提案した最小マンハッタン距離検索回路は、ニューロン CMOS インバータを用いることによって、マンハッタン距離を指標に、入力データに一致、または、最も類似した参照データを完全並列で高速に検索する。

本稿では、最小マンハッタン距離検索回路を更に発展させ、外部からマンハッタン距離を指定し、そのマンハッタン距離内のデータを全て検索する機能を持つ範囲内マンハッタン距離検索回路を提案する。また、本研究では、ローム株式会社の 0.18 μm プロセスを用いて提案する範囲内マンハッタン距離検索回路の設計を行い、HSPICE を用いたシミュレーションによって提案回路により所期の動作が得られることを確認した。

2. 回路構成

ニューロン CMOS インバータを用いた範囲内マンハッタン距離検索回路の回路図を図1に示す。なお、入力データと参照データは、 N ビット $\times M$ 要素で構成されており、比較する参照データの数であるワード数が L の場合である。図において、 $A_j=(a_1, \dots, a_i, \dots, a_N)$ ($j=1, 2, \dots, M$) ($i=1, 2, \dots, N$)は入力データ、 $B_{j,k}=(b_{1,j,k}, \dots, b_{i,j,k}, \dots, b_{N,j,k})$ ($k=1, 2, \dots, L$)は参照データである。 $A_j, B_{j,k}$ は、 N ビ

*1 電子システム技術科

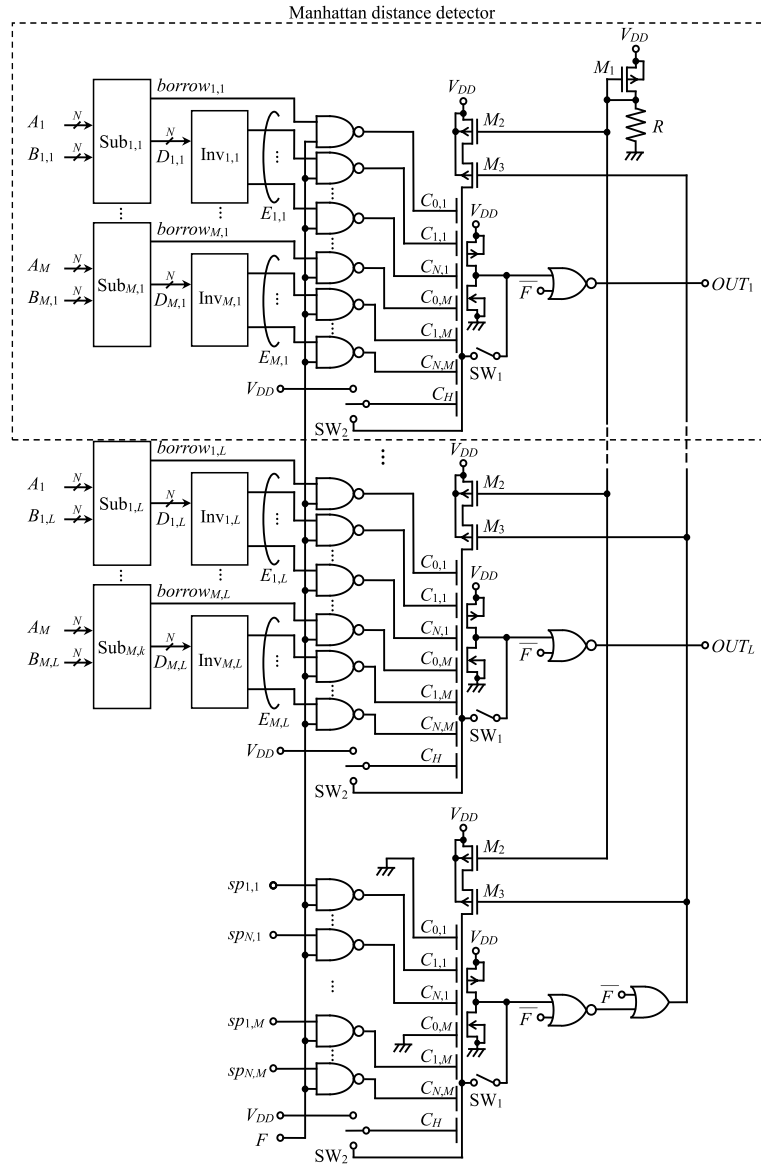


図1 ニューロン CMOS インバータを用いた範囲内マンハッタン距離検出回路の回路構成

ットの2進数であり、 $\mathbf{A}=(A_1, \dots, A_j, \dots, A_N)$ と $\mathbf{B}_k=(B_{1,k}, \dots, B_{j,k}, \dots, B_{M,k})$ はこれらを M 個要素とするベクトルとする。また、 $\mathbf{SP}_j=(sp_{1,j}, \dots, sp_{i,j}, \dots, sp_{N,j})$ は、マンハッタン距離の検索範囲を指定する制御電圧であり、検索する範囲のマンハッタン距離を2進数で入力する。 $\mathbf{SP}=(SP_1, \dots, SP_j, \dots, SP_M)$ は、これらを M 個要素とするベクトルとする。 V_{DD} は電源電圧、 F は検索動作を開始するための制御電圧である。なお、このとき、マンハッタン距離 D_{Manh} は、入力データと参照データの各要素 A_j と $B_{j,k}$ の差の絶対値の総和であり、次式によって定義される。

$$D_{Manh} = \sum_{j=1}^M |A_j - B_{j,k}| \quad (1)$$

最小マンハッタン距離検出回路は、マンハッタン距離検出回路であるManhattan Distance Detectorをワード数である L 個と範囲指定用の1個並べて構成される。マンハッタン距離検出回路のMOSトランジスタ M_3 のゲート端子には、OR回路の出力が接続されている。ニューロン CMOS インバータフローティングゲート間容量 $C_{0,j}$ 、 $C_{i,j}$ 、 C_H は、次の式を満たすように設計している。なお、 C は単位容量である。

$$C_{0,j} = C \quad (2)$$

$$C_{i,j} = 2^{i-1} C \quad (3)$$

$$C_H = C \quad (4)$$

$Sub_{j,k}$ は, A_j と $B_{j,k}$ の減算結果を出力する回路であり, $Inv_{j,k}$ は, 減算結果が正の場合, $Sub_{j,k}$ の値をそのまま出力し, 負の場合には $D_{j,k}$ を反転して出力する回路である. この 2 つの回路により, $|A_j - B_{j,k}|$ を計算している. なお, $|A_j - B_{j,k}|$ を求めるとき, $A_j - B_{j,k}$ が負の場合, 減算結果を反転し, 更に1を加える必要があるが, 提案回路では, $borrow_{j,k}$ の値をニューロン CMOS インバータに接続することで, その回路を不要としている.

本回路の動作について説明する. 制御電圧 F をローレベル, スイッチ SW_1 を ON, SW_2 を下側接続することによって, 各ニューロン CMOS インバータのフローティングゲートの電圧 V_F は, ニューロン CMOS インバータのしきい値電圧と等しくなるため, 次の式のように表される.

$$V_F = V_{TH} \quad (5)$$

ニューロン CMOS インバータの入力端子-フローティングゲート間容量 C_x を持つ入力端子の電圧が ΔV 変化した場合のフローティングゲートの電圧 V_F の変化量 ΔV_F は, 次式によって表される.

$$\Delta V_F = \frac{C_x}{C_T} \Delta V \quad (6)$$

なお, 式(6)中の C_T は, ニューロン CMOS インバータの入力端子-フローティングゲート間容量とフローティングゲート-基板間に存在する寄生容量 C_P の総和であるため, 次のようになる.

$$C_T = \sum_{j=1}^M \left(C_{0,j} + \sum_{i=1}^N C_{i,j} \right) + C_H + C_P \quad (7)$$

式(6)より, SW_1 を OFF, SW_2 を上側に接続すると, ニューロン CMOS インバータのフローティングゲートの電圧 V_F は, 次式となるため, ニューロン CMOS インバータの出力電圧はローレベルになる.

$$V_F = V_{TH} + \frac{C_H}{C_T} (V_{DD} - V_{TH}) \quad (8)$$

j 要素の入力データ A_j と, 参照データ $B_{j,k}$ が不一致であり, その差 $E_{j,k}$ の i ビット目 $e_{i,j,k}$ および繰り下がり信号 $borrow_{j,k}$ がハイレベルのとき, 制御電圧 F をハイレベル

にすると, NAND の出力 $V_{i,j,k}$ と $V_{0,j,k}$ はハイレベルからローレベルになる. このときのフローティングゲートの電圧 V_F を V'_F とすると, 式(6), (8)から, V'_F は次式のように表すことができる.

$$V'_F = V_{TH} + \frac{C_H}{C_T} (V_{DD} - V_{TH}) - \sum_{j=1}^M \left\{ \frac{C_{0,j}}{C_T} (V_{DD} - V_{0,j}) + \sum_{i=1}^N \frac{C_{i,j}}{C_T} (V_{DD} - V_{i,j}) \right\} \quad (9)$$

この式に式(2), (3), (5)を代入すると,

$$\begin{aligned} V'_F &= V_{TH} + \frac{C}{C_T} (V_{DD} - V_{TH}) \\ &\quad - \sum_{j=1}^M \left\{ \frac{C}{C_T} (V_{DD} - V_{0,j}) + \sum_{i=1}^N \frac{2^{i-1} C}{C_T} (V_{DD} - V_{i,j}) \right\} \\ &= V_{TH} + \frac{C}{C_T} (V_{DD} - V_{TH}) - \sum_{j=1}^M |A_j - B_j| \frac{C}{C_T} V_{DD} \end{aligned} \quad (10)$$

となり, 式(1)より, 次式のようになる.

$$V'_F = V_{TH} + \frac{C}{C_T} (V_{DD} - V_{TH}) - D_{Manh} \frac{C}{C_T} V_{DD} \quad (11)$$

この式より, V'_F が閾値電圧 V_{TH} を下回るため, ニューロン CMOS インバータの出力はハイレベルになり, 出力 OUT_k はローレベルのまま変化しない. ここで, $borrow_{j,k}$ がハイレベルのとき, マンハッタン距離が1の分だけ V'_F が下降するため, $A_j - B_{j,k}$ が負の場合, $D_{j,k}$ を反転した値 $E_{j,k}$ に1を加える回路が不要であることが分かる. 式(11)より, 入力データ A と参照データ B_k のマンハッタン距離 D_{Manh} に比例した分だけフローティングゲートの電圧 V_F が下降することが分かる. 範囲指定用のマンハッタン距離検出回路の入力信号である SP に1以上のマンハッタン距離を入力している場合, フローティングゲートの電圧は入力されたマンハッタン距離に比例して下降し, OR回路の出力はローレベルになる. これにより, MOSトランジスタ M_3 は ON になるため, 全てのマンハッタン距離検出回路のフローティングゲートに M_1, M_2, R からなるカレントミラー回路から定電流が流れ始める. フローティングゲートの電圧は V'_F から直線的に上昇を始めるため, これがニューロン CMOS インバータの閾値電圧 V_{TH} を超えると, マンハッタン距離検出回路の出力 OUT_k は

ハイレベルになる。範囲指定用のマンハッタン距離検出回路の出力がハイレベルになると、 M_3 はOFFになり、フローティングゲートへの充電は停止する。マンハッタン距離検出回路は、マンハッタン距離を時間に変換しているため、範囲指定用のマンハッタン距離検出回路の出力がハイレベルになるまでの時間は、制御電圧 SP に入力したマンハッタン距離に比例する。従って、入力したマンハッタン距離以内のマンハッタン距離を持つ参照データの箇所 OUT_k のみがハイレベルになることが分かる。

以上の動作により、本範囲内マンハッタン距離検索回路は、複数の参照データの中から、 SP により指定したマンハッタン距離内の全ての参照データを検索することが可能である。

3. シミュレーション

ビット数が4、要素数が2、ワード数が8の場合の提案する範囲内マンハッタン距離検索回路のシミュレーションを、Synopsis社のHSPICEを用いて行った。なお、シミュレーションにはローム株式会社の0.18 μ mプロセスのSPICEパラメータを用いた。表1は、シミュレーションに使用したパターンをまとめた表であり、入力データ A 、参照データ B_k 、入力データと参照データのマンハッタン距離、検索範囲 SP 、および対応する出力を表している。図2は、表1を用いたシミュレーション結果である。検索範囲を指定する制御電圧 SP にはマンハッタン距離2が入力されており、マンハッタン距離が2以内の B_1 、 B_2 、 B_3 に対応する出力 OUT_1 、 OUT_2 、 OUT_3 がハイレベルになっている。これは、制御電圧 F がハイレベルになったとき、マンハッタン距離が2以内の参照データが入力されている検索用のマンハッタン距離検出回路のフローティングゲートの電圧が閾値電圧に達し、それ以降に範囲指定用のマンハッタン距離検出回路のフローティングゲートの電圧が閾値電圧に達し充電が停止するためである。

4. まとめ

本稿では、指定したマンハッタン距離内の全ての参照データを検索することが可能な範囲内マンハッタン距離検索回路を提案した。また、ローム株式会社の0.18 μ mプロセスを用い、HSPICEによって提案回路が所期の動作を得られることを確認した。今後の課題としては、提案回路の集積化を行い、実チップを用いた実験によって提案回路の検証を行うつもりである。

表1 シミュレーションに使用したパターン

Input data	Reference data	Manhattan distance	Range Specification	Output
A ($A_1=5$, $A_2=10$)	$B_1(B_{1,1}=6, B_{2,1}=10)$	1	SP ($SP_1=2$, $SP_2=0$)	OUT_1
	$B_2(B_{1,2}=6, B_{2,2}=11)$	2		OUT_2
	$B_3(B_{1,3}=5, B_{2,3}=9)$	1		OUT_3
	$B_4(B_{1,4}=4, B_{2,4}=8)$	3		OUT_4
	$B_5(B_{1,5}=4, B_{2,5}=7)$	4		OUT_5
	$B_6(B_{1,6}=3, B_{2,6}=7)$	5		OUT_6
	$B_7(B_{1,7}=3, B_{2,7}=6)$	6		OUT_7
	$B_8(B_{1,8}=2, B_{2,8}=6)$	7		OUT_8

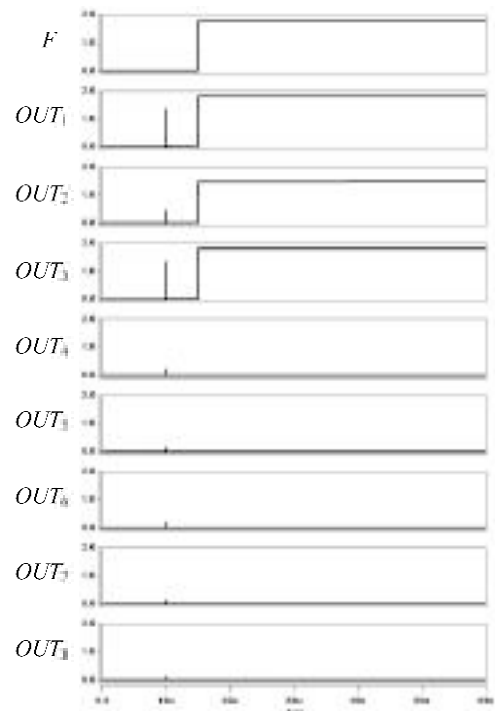


図2 提案回路のシミュレーション結果

参考文献

- 1) 小出哲士: 最小距離検索連想メモリ LSI アーキテクチャの開発とその集積化, 丸文財団ホームページ, <http://www.marubun-zaidan.jp/pdf/h16_koide.pdf>.
- 2) Y.HARADA, K.FUJIMOTO, K.EGUCHI, M.FUKUHARA and M.YOSHIDA: A Minimum Manhattan Distance Retrieving Circuit Using Neuron CMOS Inverters, IJEEE, Vol.4, No.4, pp.290-295, 2016.
- 3) T.SHIBATA and T.OHMI: A Functional MOS Transistor Featuring Gate-Level Weighted Sum and Threshold Operations, IEEE Transactions Electron Devices, Vol.39, No.6, pp.1444-1455, 1992.
- 4) 柴田直, 大見忠弘: ニューロンMOSトランジスタの拓く新しい論理 LSI の世界, 信学技法, CPSY, Vol.93, No.16, pp.39-46, 1993.

福祉分野への応用を目指した IoT の基礎的研究

菅原 智裕^{*1}

Fundamental research on application of IoT based watching system to welfare fields

Tomohiro SUGAHARA

近年 IT 分野において大きな関心を集めている技術として、あらゆるモノがインターネットにつながる IoT (Internet of Things) がある。IoT は今後様々な分野で活用・応用されていくと思われるが、現代の高齢化社会においては特に福祉分野での活用が期待されている。今回 IoT を応用した見守りシステムを想定し、そのための要素技術として温度センサおよび赤外線センサの性能評価を行なった。さらに、無線 LAN を介してカメラが撮影した動画像を配信する機能をもった遠隔操作が可能な監視ロボットを試作し、将来的に福祉分野での応用ができないか検討を行なった。

1. 緒言

IT 分野において、スマートフォンの普及に続くトレンドとして、あらゆるモノがインターネットにつながる IoT (Internet of Things:モノのインターネット) が注目を集めている。その理由として、第一にネットワーク、特に無線通信の高速化とエリア拡大、第二に各種のセンサ類の小型化・省電力化・低価格化が進んだこと、第三に IoT の中核となる、Raspberry Pi や Arduino などの小型で低価格なコンピュータの登場があげられるだろう。IoT は今後様々な分野で活用される技術であるが、現代の高齢化社会において、特に福祉分野で大きな役割を果たすことが期待されている。例えば、高齢者や要介護者の生活環境を各種センサでモニタし、異常を検知した時は家族や介護者に連絡し、場合によっては機器を遠隔操作して対応する、などである。今回、こうした IoT に関する基礎的研究として、温度センサからの情報を収集し、同時に無線 LAN によって遠隔操作が可能なロボットを試作し、将来的な応用について検討を行った。

2. 見守りシステムの基本構成と本研究の目的

IoT とは、従来ではコンピュータやプリンタ等の IT 関連機器が接続されていたインターネットに、ありとあらゆる“モノ”がつながることを意味する。非常に曖昧な概念であるが、本研究では狭義的に以下の3段階の処理と定義する。

- ① ネットワークに接続された各種センサが情報を収集・蓄積する。
- ② 蓄積したデータを分析する。
- ③ 分析結果に応じて“モノ”が動作し、最適なフィードバックをする。

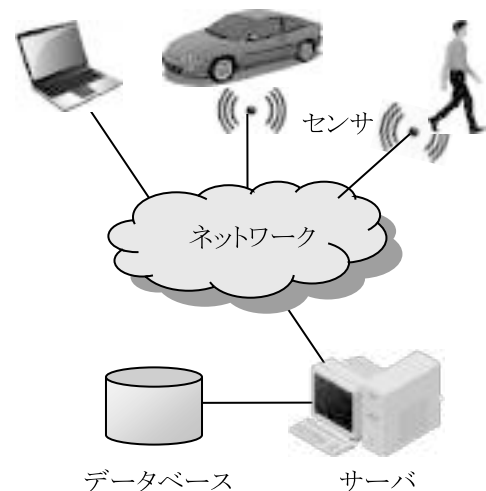


図1 IoT のモデル図

今回の研究は、IoT を利用した見守り、留守番などの機能を備えたシステムを想定し、そのための要素技術として次の2つの技術を開発することを目的とした。

- (a) センサによる部屋の監視と異常検知
- (b) 異常の確認と移動機能

*1 情報システム技術科

このうち、(a)の要素技術については、温度センサと赤外線センサを対象としてその性能の評価を行なった。(b)の要素技術については、カメラによる画像情報と走行ロボットによる捜査を利用することにし、実際にロボットを試作してその機能の評価を行なった。

2.1 センサの性能評価

今回の研究では温度センサとして、価格が安価で消費電力が小さいことから、**図2**に示す 1-wire デバイス温度センサ DS18B20 の性能を評価した。1-wire とはダラス・セミコンダクタ社(現マキシム・インテグレートッド社の子会社)が開発した非同期シリアルインタフェースであり⁽¹⁾、1本の信号線を用いてデータの送受信を行う。DS18B20 の仕様⁽²⁾を**表1**に示す。

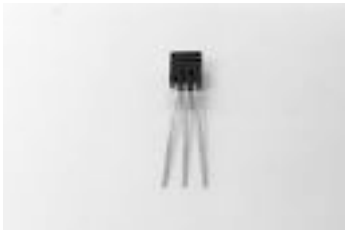


図2 DS18B20 温度センサ

表1 DS18B20 の仕様

電源電圧	3.0V~5.5V
測定温度範囲	-55℃~+125℃
出力	1-wire デジタルインタフェース
精度	±0.5℃ (-10℃~+85℃)
外形	3ピン TO-92 パッケージ

また、熱源を探知するための赤外線センサについても性能の評価を行なった。赤外線センサとしては、赤外線温度センサが最適であるが、価格が高価であるため、**図3**に示す OSRB38C9AA 赤外線リモコン受信モジュールを用いることにした。OSRB38C9AA は、TV、ビデオ、オーディオ等のリモコンとして利用されている小型の赤外線受信機である。OSRB38C9AA の仕様⁽³⁾を**表2**に示す。



図3 OSRB38C9AA 赤外線受信モジュール

表2 OSRB38C9AA の仕様

電源電圧	2.7V~5.5V
中心周波数	37.9kHz
ピーク感度波長	940nm
受信距離	15m~20m

温度センサの性能および特性を調べるため、以下の3つの実験を行なった。

まず、**図4**のように温度センサとデジタル温度計を容器内の水に浸し、熱湯を注ぎ足して水温を上げながらそれぞれの値を測定し、センサ性能の妥当性を評価する。

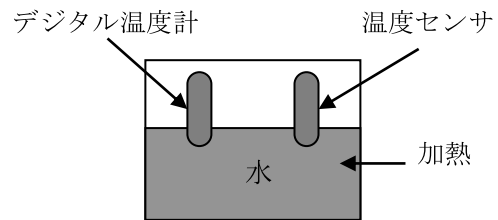


図4 温度センサに関する実験(1)

次に、**図5**のように熱源(1200Wの電気ストーブ)に対し、デジタル温度計と温度センサを100cmの距離から一定速度(約1cm毎秒)で近づけ、10cmまで近づいたら今度は遠ざける。その時のデジタル温度計の値と温度センサの値を10cm刻みで測定し、熱源に近づいたこととどの程度検出できるか調査した。

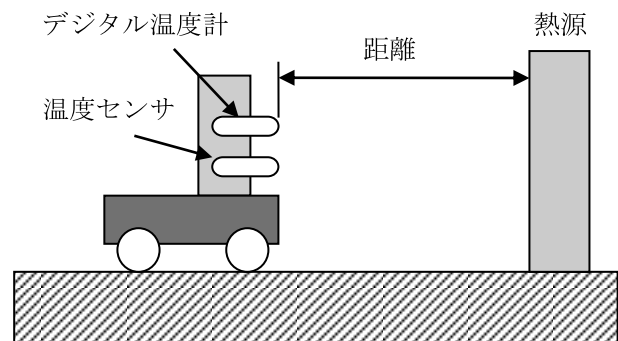


図5 温度センサに関する実験(2)

最後に、**図6**のようにセンサを熱源に対して60cmの距離に置き、 $\pi/12(\text{rad})$ ずつ測定方向を変えながら温度を測定し、センサの向きによる検出温度の差から熱源の方向を検出することが可能か調査した。また、赤外線センサについても同様に測定方向を $\pi/12(\text{rad})$ ずつ変えながら、熱源から発生する赤外線を受信機を20秒ずつ測定した。

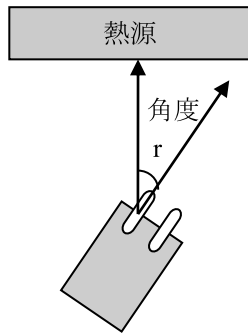


図6 温度センサに関する実験(3)

2.2 監視ロボットの試作

温度センサが異常を検知した場合に、無線 LAN を介した操作により室内を移動し、カメラによって異常を把握することができる監視ロボットを試作した。試作においては、以下の3点に重点を置いて設計した。

- 既存の部品を用い、安価に製作できること
 - ソフトウェア部分についても、既存のパッケージやライブラリを活用し、容易に構築できること
 - 消費電力が少なく、可能な限り長時間動作すること
- 以上の要件から、試作する監視ロボットの基本構成要素を以下のように設定した。

センサおよびロボットを制御するコンピュータとして、Raspberry Pi Model B+を用いた。Raspberry Pi は英国のラズベリー・パイ財団が開発した名刺サイズのコンピュータで、GPIO (General Purpose Input/Output: 汎用入出力) ポートというインターフェースを備えており、LED やモーターを制御する IC、温度や明るさなどを検出するセンサなど様々な電子機器を接続して利用することができる点が特徴である。

試作するロボットは異常状態を把握するためのカメラを搭載し、無線 LAN を介した動画配信機能によって撮影した映像を操作端末に表示する。Raspberry Pi には専用のカメラモジュールが発売されているが、動画送信が安定してできる点と価格が安い点を考慮し、USB 接続の Web カメラを使用することとした。今回、UVC (USB Video Class) に対応しており、Raspberry Pi でも動作実績があることから、カメラとして ELECOM 製 Web カメラ UCAM-C0220FEBK を使用した。UCAM-C0220FEBK の仕様⁴⁾を表3に示す。

3. 実験結果及び考察(1): センサの性能評価

センサからの情報を処理するためのコンピュータとして、本研究では Raspberry Pi Model B+を使用した。Raspberry Pi には次のような特徴がある。GPIO4(7 番ピ

ン)を 1-wire 用としているため、1-wire デバイス温度センサである DS18B20 との通信が容易である。また、Linux 上で赤外線リモコンを取り扱うための LIRC (Linux Infrared Remote Control) というソフトウェアも用意されているため、OSRB38C9AA 赤外線受信モジュールとも容易に通信できる。

表3 UCAM-C0220FEBK の仕様

画素数	200 万画素
受像素子	1/5 インチ CMOS センサ
最大解像度	1600×1200 ピクセル
最大フレームレート	~640×480 ピクセル時: 30fps, 1600×1200 ピクセル時: 4fps
色数	約 1677 万色 (24bit)
インターフェース	USB2.0
外形寸法	幅 56.0×奥行 50.0×高さ 41.0mm
重量	62g

DS18B20 温度センサの温度情報の処理は、個々の 1-wire デバイスに ROM ID とよばれる重複しない固有の ID が割り振られているため、Raspberry Pi がデバイスを認識すると /sys/bus/w1/devices/ ディレクトリの下に、ROM ID 名の仮想のディレクトリが作成されるようになっている。ディレクトリ内には「w1_slave」というテキストファイルがあり、アドレスと温度の数値が図7のような形式で書き込まれている。ファイル末尾の「t = ...」の部分が現在の気温になる。この値は 1000 倍された値なので、この場合、温度は 17.625(+273K)ということを示している。

```
1a 01 4b 46 7f ff 06 10 ea : crc=ea YES
1a 01 4b 46 7f ff 06 10 ea t=17625
```

図7 w1_slave ファイルの内部

OSRB38C9AA 赤外線受信モジュールがとらえた赤外線情報の処理には、LIRC 中の mode2 というプログラムを使用した。mode2 は LIRC レシーバハードウェアの動作を確認するためのプログラムであり、オシロスコープを使用しなくてもリモートコントロールの赤外線波を確認することができる。mode2 の実行例を図8に示す。「pulse」の後の数字が赤外線を検知した時間、「space」の後の数字が赤外線波と次の赤外線波との間隔であり、単位はどちらもマイクロ秒(μs)である。


```

$ mode2 -d /dev/lirc0
space 4611478
pulse 8992
space 4533
pulse 558

```

図 8 mode2 の実行例

以上の方法で評価した結果は次の通りである。温度センサとデジタル温度計を容器内の水に浸し、水温を上げた場合の、デジタル温度計の値とセンサ値との関係を図 9 に示す。図から明らかなように、デジタル温度計と温度センサの測定値は、温度センサがデジタル温度計と同じ値を出力した場合に得られる直線の近傍にプロットされている。今回の実験では、温度センサの測定値はデジタル温度計の $\pm 2\text{K}$ 以内に収まっており、センサが良好な温度測定を行なっていることを示している。なお、温度計とセンサの値の誤差の原因は、容器内の温度計とセンサの測定位置が異なることと注ぎ足された熱湯が十分に攪拌されなかったことが考えられ、センサの精度によるものではないものと推察される。

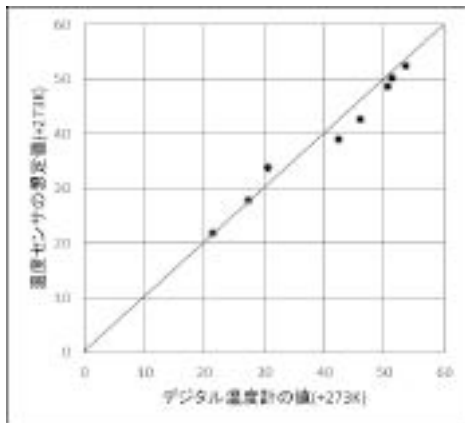


図 9 デジタル温度計と温度センサ値の関係

図 10 は温度計とセンサを熱源に対し 100cm から 10cm の範囲において毎秒約 1cm の速度で移動させた場合の二つの測定値の変化を示したものである。熱源に近づくと温度センサの値はデジタル温度計よりも早く上昇し、熱源から遠ざかると逆に温度計よりも早く低下することがわかる。また、熱源に最も接近した 10cm の位置での温度は $30(+273\text{K})$ となり、異常検出の目安と考えることができる。これには大気温の影響も考えられるので、この測定結果を基に、測定位置が熱源に近づいたことを判断するパラメータを調べるために、以下の検討を行なった。

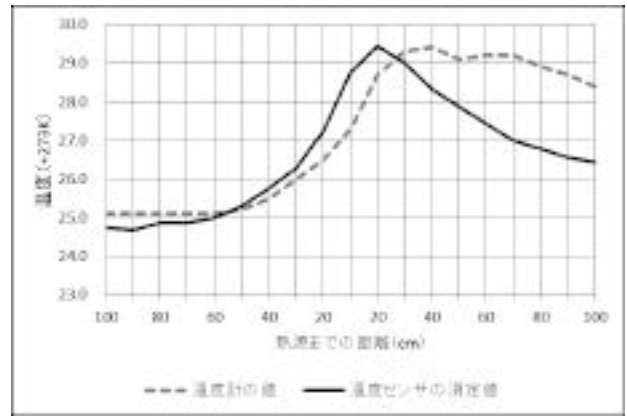


図 10 熱源までの距離と温度の変化

T を現在の位置の温度、 $T_{\Delta x}$ を $\Delta x\text{cm}$ 後ろの位置で測定した温度とし、変化率 ΔT を次式で定義した。

$$\Delta T = \frac{(T - T_{\Delta x})}{T_{\Delta x}}$$

図 11 は、 $\Delta x=10\text{cm}$ と $\Delta x=20\text{cm}$ の場合の変化率 ΔT の推移を示している。 $\Delta x=20\text{cm}$ としたときの変化率は $\Delta x=10\text{cm}$ としたときよりも大きく、変化率 ΔT は測定位置が熱源に近づいたことを判断するのに有用なパラメータであることがわかる。また、その閾値は変化率 4~5%が妥当であることがわかった。

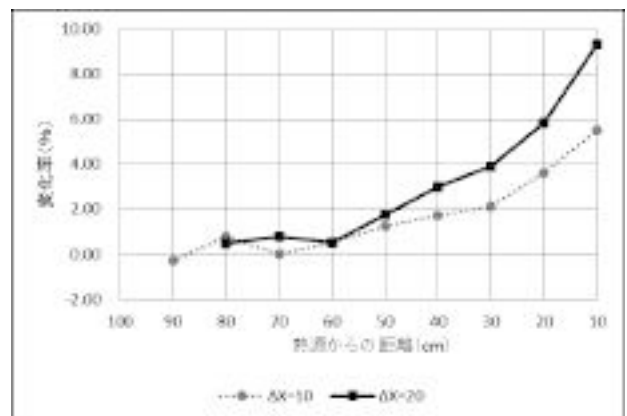


図 11 熱源に近づいたときの温度の変化率

図 12 は温度センサとデジタル温度計の測定方向でどの程度温度変化がみられるかを調べたもので、熱源から 60cm の距離に温度センサと温度計を置き、熱源に向けた状態から時計回りに $\pi/12(\text{rad})$ ずつ向きを変えたときの二つの測定値の変化を示している。角度が $0(\text{rad})$ のときが温度センサおよび温度計が熱源方向を向いた状態であるが、温度計の値も温度センサの値も測定方向による変化はほとんどなかった。

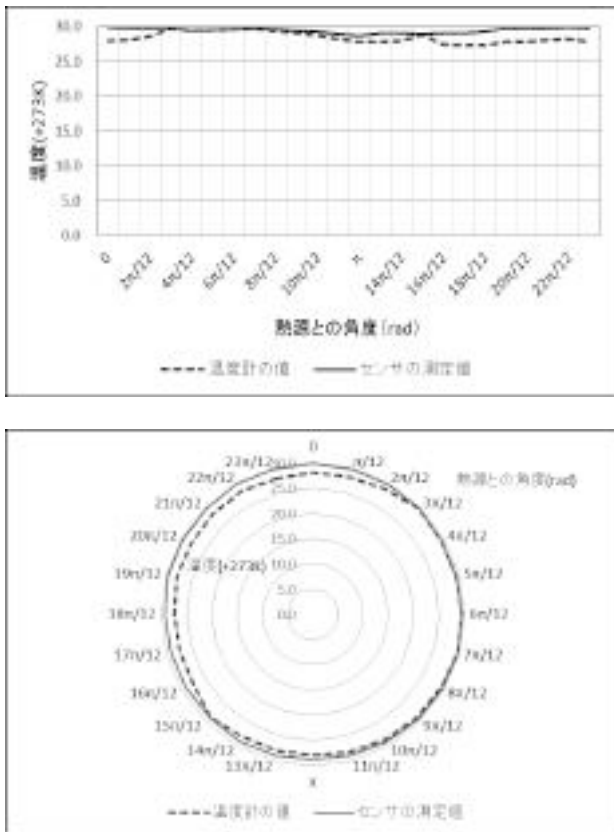


図 12 測定方向を変えたときの測定温度

上記の結果は、DS18B20 を見守りシステムのセンサとして利用する場合、測定原理に起因した留意すべき特性があることを示唆している。一般に、温度測定は温度が上昇したときの①液体等の体積膨張、②物質の抵抗値の変化、③物体から放射されるエネルギーの大きさなど、大きく分けて三つの物理現象を利用していることが多い。図 10 において温度センサに比べてデジタル温度計の熱源接近時の上昇率と離散時の下降率が鈍い現象と、図 12 における熱源方向とそれ以外の方向が同じ温度として測定されているのは、DS18B20 温度センサもデジタル温度計も検知部が②の抵抗の変化を利用していることを示唆している。すなわち、二つの温度計は接している媒体、本研究では空気の温度を測定していると思われる。しかも、二つの温度計の検知素子部は保護材で覆われているために、デジタル温度計の方が表面から内部の温度検知部へ熱が伝わるまでの時間が長くなり、同じ理由で、熱源から離れるときも、温度計内部に蓄積されている熱の影響ですぐには温度が下がらなかったことが考えられる。DS18B20 温度センサは表面の保護材の熱伝導性が良く、感度の良い測定を行っており、温度の急激な変化を敏感に検出するという特性を持つことがわかる。この特性は、IoT において温度

の異常を検出するセンサとして利用するにあたって、非常に有効であると言える。また、図 12 において測定位置が 60cm であるにもかかわらず測定方向に関係なく同じ温度となっているのは、どちらも測定位置の空気の温度を測定しており、熱源に近いことによる温度上昇はあるものの、方向に対する変化はないことを意味している。したがって、DS18B20 温度センサを用いて熱源の方向を検出するのは困難であり、異常熱源の検出には③の放射エネルギーに基づいた、熱源が放出する赤外線を検知する赤外線センサを利用する方法が有効であると推察された。

そこで、赤外線センサとして OSRB38C9AA 赤外線受信モジュールを用い、同じ実験方法により熱源が発する赤外線パルスの長さを測定した。測定結果を図 13 に示す。ここでは、熱源の温度ではなく、20 秒間のうち OSRB38C9AA が赤外線パルスを検知した時間を測定して、その時間を縦軸として示している。図から明らかのように、熱源の正面を向けた状態から $\pm \pi/12$ (rad) が OSRB38C9AA の赤外線検出範囲となり、熱源が発する赤外線の方向をよくとらえており、異常熱源の検知に利用できることが明らかとなった。

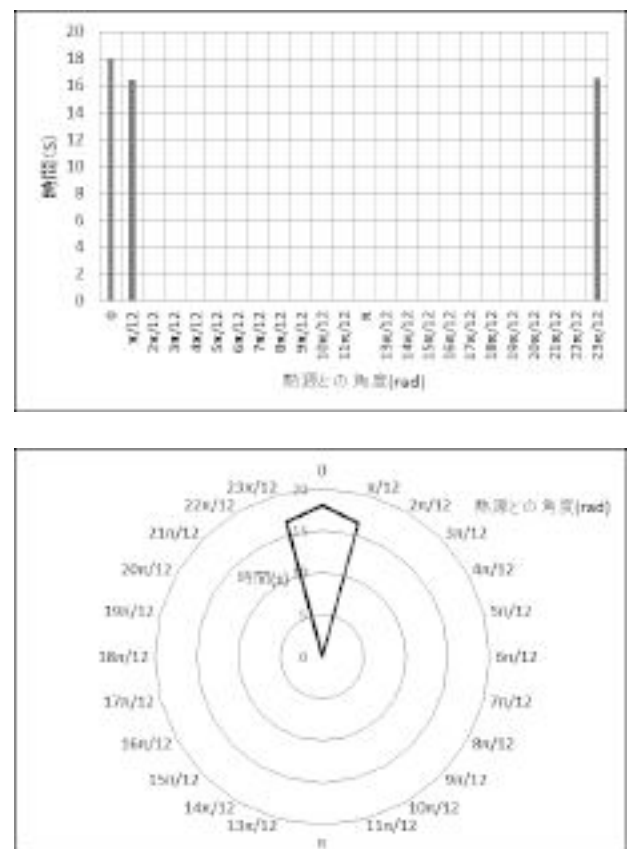


図 13 熱源の向きに対する赤外線検出時間

4. 実験結果及び考察(2): 試作した監視ロボット

2. 2で述べた基本構成をもとに監視ロボットを試作した。試作ロボットのハードウェアおよびソフトウェアの仕様について述べる。

4.1 ハードウェア仕様

ロボットおよびセンサを制御するコンピュータとして、すでに述べた Raspberry Pi Model B+を用いた。試作するロボットは、屋内で自由に動き回れることを想定し、無限軌道タイプの車体として設計した。操作端末との通信には、無線アクセスポイントによるローカルなネットワークを構築し、2.4GHz, IEEE802.11n(最大通信性能150Mbps)の環境下で通信を行うこととした。ロボットの電源として、Raspberry Pi 用に市販の容量3200mAhのモバイルバッテリーを、モーター用に単3乾電池4本をそれぞれ使用した。試作したロボットに用いる部品を表4に示す。また、試作したロボットの配線図を図14に示す。

表4 ロボットのハードウェア仕様

ベース車両	TAMIYAトラックホイールセット
ギヤボックス	TAMIYA ツインモーターギヤボックス
モータードライバ	東芝 TA7291P
Web カメラ	ELECOM UCAM-C0220FEBK
温度センサ	DS18B20
無線 LAN アダプタ	PLANEX GW-USNANO2A
バッテリー	Anker Astro mini 3200mAh

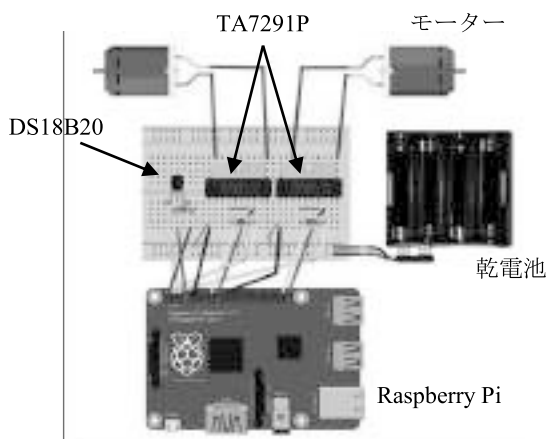


図14 試作ロボットの配線図

Raspberry Pi の GPIO と各電子部品はブレッドボード上に回路を構築し、動画を撮影するための Web カメラと

ともに車体上部に搭載した。試作したロボットの外観を図15に示す。

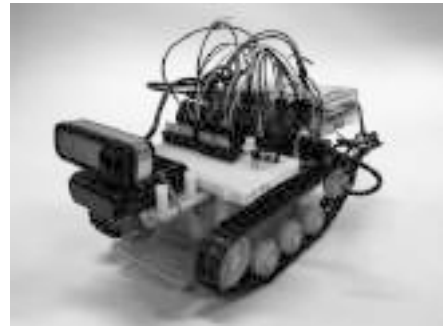


図15 試作ロボットの外観

4.2 ソフトウェア仕様

Raspberry Pi の OS として Raspbian Ver.3.12.35 を使用した。Raspbian は Linux ディストリビューションの一つである「Debian」を Raspberry Pi 向けにカスタマイズした OS で、Debian で提供している豊富なパッケージからアプリケーションを選択してインストールすることができるというメリットがある。

また、Raspberry Pi の GPIO をプログラミング言語 Python で扱うためのライブラリとして WiringPi を、Web ブラウザ上から GPIO を制御するためのパッケージとして Raspberry Pi 用 GPIO 制御フレームワークである WebIOPi をそれぞれ利用した。Web カメラで撮影した映像を操作端末上に表示するには、Raspberry Pi 単体で動画を配信することが出来る MJPG-Streamer というパッケージを利用した。システムを制御するプログラムの基本部分は HTML と JavaScript で記述した。

DS18B20 温度センサが取得した温度情報を取り出す仕組みとして、Python で記述したスクリプトを使用した。図16にスクリプトの内容を示す。スクリプト中の `get_temp()` が温度情報を取得するためのマクロ関数であり、`w-1slave` ファイルの中から「t=」で始まる部分を探し、それに続く値を float 型に変換して1000で割った値を返す。`get_temp()` 関数を HTML の中で実行するために、WebIOPi の `config` ファイル(`/etc/webiopi/config`)の `SCRIPTS` 定義部分に、作成した Python スクリプトが存在するディレクトリの絶対パスを指定した。

実際に `get_temp()` 関数を呼び出す JavaScript のプログラム部分を図17に示す。プログラムでは、1000ミリ秒(ms)ごとに `get_temp()` 関数を呼び出し、処理をコールバック関数に渡している。コールバック関数では、テキストエリアに温度情報を出力するとともに、異常の判定基準を超えた場合には警告を表示するようにした。本研究で

は、判定基準として図 10 から $T > 30(+273K)$ 、図 11 から温度変化率 $\Delta T > 0.04 \sim 0.05$ が得られているが、図 17 では $T > \text{一定温度 } 30(+273K)$ を判定基準とした場合のプログラムを示した。

```
import webiopi
import sys

@webiopi.macro
def get_temp():
    f=open("/sys/bus/w1/devices/28-00000647d8df/w1_slave", "r")
    line = f.readlines()
    temp = 0
    temp = line[1].split("t=") [1]
    f.close()
    return float(temp)/1000
```

図 16 温度情報を切り出すスクリプト

```
function temp_on() {
    webiopi().callMacro("get_temp", [], callbackGet);
    setTimeout("temp_on()", 1000);
}

function callbackGet(macro, args, data)
{
    document.getElementById("temparea").innerHTML = data;
    if (data > 30) {
        document.getElementById("warning").innerHTML = "WARNING";
    }
}
```

図 17 スクリプトを呼び出すプログラム部分

次に、Web カメラが撮影した動画を操作端末に表示する機能を以下のように行なった。最初に MJPG-Streamer を、配信するポート番号、解像度、フレームレートを指定して起動しておく。今回は Raspberry Pi の CPU 能力と Web での配信である点を考慮し、解像度は 320×240 ピクセル、フレームレートは 10fps とした。

カメラが撮影した映像は MJPG-Streamer の動画配信機能を利用して、HTML 内の createImageLayer()関数で作成した領域に表示した。動画を表示するプログラム部分を図 18 に示す。ロボットの操作は WebIOPi が提供するインターフェースを利用し、操作端末の Web ブラウザ上に表示した前進、後退、停止、右旋回、左旋回の各ボタンをタップすることで行えるようにした。操作端末上の画面を図 19 に示す。画面中央を送られてきた動画の表示部分とし、その下に車体を操作するボタンを配置した。また、温度センサの情報及び警告メッセージは動画像の上部に表示するようにした。

```
function createImageLayer() {
    var img = new Image();
    img.style.position = "absolute";
    img.style.zIndex = -1;
    img.onload = imageOnload;
    img.src = "http://192.168.100.52:8100/?action=snapshot&n=" + (++imageNr);
    var webcam = document.getElementById("webcam");
    webcam.insertBefore(img, webcam.firstChild);
}
```

図 18 動画を表示するプログラム部分



図 19 操作端末上の画面

4.3 連続稼働時間の検討

IoT においては、センサの性能だけでなく、機器の連続稼働時間も重要な要素となる。そこで、今回試作したロボットに用いたモバイルバッテリーの連続稼働時間を測定した。Raspberry Pi Model B+の消費電流は 600mA であるので、3200mAh のモバイルバッテリーを搭載した

試作ロボットでは、単純計算で約 320 分の稼働が可能であることになる。実際には GPIO や無線 LAN アダプタなどが消費する電力や、バッテリーの時間放電率を考慮する必要があるため、連続稼働時間はこの値よりも短くなることが予想される。動画配信を行った場合は、Raspberry Pi の USB ポートから Web カメラに電力が供給されるため、稼働時間はさらに短くなるとされる。今回使用した UCAM-C0220FEBK は消費電力が公開されていないが、同程度の Web カメラの消費電流と同等の約 170mA⁶⁾と仮定すると、単純計算で約 250 分となる。今回、この理論値と実際の稼働時間の比較、および動画配信を行なう場合と行わない場合との比較を行なった。

気温 23.5(+273K)の環境下で、バッテリーが満充電の状態から操作端末からアクセスを開始し、アクセスが途切れるまでの時間を 10 分ごとにログを取ることで測定した。動画配信を行った場合と行わなかった場合とのそれぞれの連続稼働時間を図 20 に示す。

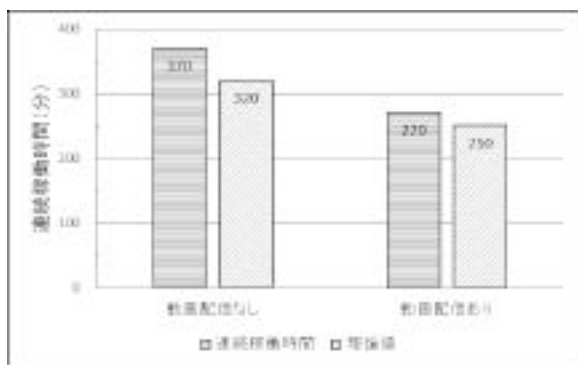


図 20 連続稼働時間の比較

動画配信を行わなかった場合は 370 分、行なった場合は 270 分で、ほぼ理論値どおりの連続稼働時間となった。また、動画配信を行なった場合の連続稼働時間は、行わなかった場合の 73.0%であった。この結果から、IoT 機器の電源としてモバイルバッテリーを用いる方式は十分現実的であると考えられる。また、今回試作したロボットの実用化を考えた場合、より長時間の稼働を目指すためには、通常は動画配信を行わず、センサが異常を検知した場合に動画配信を開始する方式が良いことが明らかになった。

5. 結言

本研究では、将来 IoT が福祉分野で活用されることを想定し、その基礎的研究として温度センサからの情報収集法を検討すると共に、無線 LAN によって遠隔操作

が可能なロボットを試作し、将来的な応用について検討を行なった。得られた主な結果は、以下の通りである。

- 1) 温度センサとして DS18B20 温度センサと OSRB38C9AA 赤外線受信モジュールを用い、その性能評価を行なった結果、二つのセンサはそれぞれ温度上昇に伴う物理現象、センサ素子部の抵抗の変化と物体からの赤外線放射エネルギーを利用していることが明らかになった。
- 2) 抵抗変化を利用している DS18B20 温度センサは測定位置における温度を感度よく測定でき、熱源接近時の温度上昇率から異常状態の予測ができ、放射エネルギーを利用した OSRB39C9AA 赤外線受信モジュールは周囲の物体から放射される赤外線から異常物体の検知に利用できることがわかった。
- 3) 無線 LAN を介して遠隔操作可能な、見守りシステムを想定した監視ロボットを試作した。試作したロボットは入手が容易で、かつ安価な部品で製作することができ、それを制御するソフトウェアも既存のパッケージを利用する事で容易に作成することができた。ロボットには温度センサと Web カメラを搭載しており、見守りシステムとしての基本機能を有していることを示すことができた。

今後の展開として、今回試作したロボットの機能や性能を高めると共に、実証実験に供することができるシステムの構築を考えている。特に、様々な状況における温度センサによる異常の判定基準の検討プログラムの改良、さらには各種センサの情報を統合してロボットが自ら判断を下し、例えば、室内で火災が発生していれば火災警報器の作動と消防署への連絡、そうではなく単に室温が上昇しているだけならばエアコンの自動作動による室温を下げる機能などの開発を目指していくことを考えている。将来的には、福祉分野、特に要介護者の支援に活用するために、ウェアラブル機器等による要介護者の体温、心拍数などの生体情報のセンシング技術とそのフィードバックにも展開したい。

参考文献

- 1) 林和孝:Raspberry Pi で遊ぼう! 改定第 3 版, ラトルズ, (2014)193.
- 2) <http://akizukidenshi.com/download/ds/maxim/DS18B20.pdf>
- 3) <http://akizukidenshi.com/download/OSRB38C9AA.pdf>
- 4) <http://www2.elecom.co.jp/multimedia/pc-camera/ucam-c0220fe/>
- 5) <https://www.sanwa.co.jp/product/syohin.asp?code=CMS-V30SETBK>

2. 教職員および学生の活動状況一覧

2016年1月～12月

(活動の分類)

- 1、著書
- 2、論文・国際会議プロシーディングス
- 3、国内会議・研究会等
- 4、資料
- 5、産学支援活動
- 6、教職員の表彰・資格取得等
- 7、学生の表彰・大会参加・資格取得
- 8、共同研究
- 9、在職者セミナー
- 10、外部委託の講習会・研究会等
- 11、技能検定員委嘱
- 12、FD研修
- 13、一般活動等
- 14、新聞記事他

1. 著書

タイトル	著者名	分担	出版社	発行年月
統計ソフトRによる データ活用入門	日野 満司 他	共著	日新出版	2016.8

2. 論文・国際会議プロシーディングス

タイトル	著者名	掲載誌名・巻・号・頁・年
New feature extraction method for facial emotion recognition by using Kinect	N.Chanthaphan, K. Uchimura, T.Satonaka, T. Makioka	In Proceedings Of FCV2016 (Korea-Japan joint Workshop on Frontiers of Computer Vision), P1-13, Feb. 2016.
Multiple Classifier Learning of New Facial Extraction Approach for Facial Expressions Recognition using Depth Sensor	N.Chanthaphan, K. Uchimura, T.Satonaka, T. Makioka	In Proceedings of International Conference on Signal Processing and Multimedia Applications SIGMAP2016, 19-27, July, 2016.
Novel Facial Feature Extraction Technique for Facial Emotion Recognition System by Using Depth Sensor	N.Chanthaphan, K. Uchimura, T.Satonaka, T. Makioka	International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC) , Volume 12, Number 6, Dec., 2016.
Design of a Wide Range Hamming Distance Search Circuit using Neuron CMOS Inverters	Yujiro Harada, Kuniaki Fujimoto, Kei Eguchi, Masaaki Fukuhara, Masahiro Yoshida	Indian Journal of Science & Technology, Vol.9, No.28

3. 国内会議・研究会等

タイトル	著者名	掲載誌名・巻・号・頁・年	発表月
表情の左右非対称性を用いた表情認識	牧岡毅, 栗焼祐也, 田中裕一朗, 里中孝美, 内村圭一.	システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集 60, 2016	5月

4. 資料

タイトル	著者名	掲載誌名・巻・号・頁・年
画像認識を用いたセキュリティ技術 高次特異値分解による電子透かし	里中 孝美	熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 17 号, pp.3-6, 2016 年 3 月
透明スクリーンを用いた黒板文字情報獲得 支援システムの検討	江口 智弘, 依 田 光正, 青木 和夫	熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 17 号, pp.7-10, 2016 年 3 月
食品への瞬間的超高压処理に関する研究	前原 弘法	熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 17 号, pp.11-14, 2016 年 3 月
ワイヤー放電加工の加工技術向上に関する 報告	田中 誠一郎	熊本県立技術短期大学校 紀要, 第 17 号, pp.15-20, 2016 年 3 月
制御技術の工学教育における実験装置の開 発～リアクションホイールを用いた振子制御 系の制御～	日野 満司	熊本県立技術短期大学校紀要, 第 17 号, pp.21-25, 2016 年 3 月
制御技術の工学教育における実験装置の開 発～操舵式ウォールトレーサのフィードバック 制御～	日野 満司	熊本県立技術短期大学校紀要, 第 17 号, pp.27-34, 2016 年 3 月

5. 産学支援活動

支援内容	担当者	支援先	期間
参与	里中 忍	熊本県工業連合会	5/13, 10/12
熊本県溶接技術競技大会審査委員長 熊本県溶接協会 顧問	里中 忍	熊本県 熊本県溶接協会	9/17, 11/4, 6/21, 12/6
顧問	里中 忍	熊本県ものづくり工業会	5/20
顧問	里中 忍	RIST くまもと技術革新・融合 研究会	
監事	里中 忍	大学コンソーシアム熊本	3/24, 6/13, 6/30, 12/14
スーパーサイエンスハイスクール運営指導 委員会・副委員長	里中 忍	熊本県立熊本北高校	9/1
特別会員	里中 忍	熊本県企業誘致連絡協議 会	
評議員	里中 忍	熊本県企業化支援センター	6/15
評議員	里中 忍	熊本県立熊本工業高校	2/19, 7/12
来賓	里中 忍	第 12 回熊本県高校生もの づくりコンテスト	6/19, 11/24
「専門高校生の研究文・作文コンクール」熊	里中 忍	熊本県産業教育振興会	9/13

本大会審査会・委員長			
もの・クリ CHALLENGE 2016 審査委員	里中 忍	熊本大学工学部	11/5
研究推進部会委員、教育委員会委員 軽構造接合加工研究委員会加工委嘱委員	里中 忍	溶接学会	—
研究助成審査委員	里中 忍	公益財団法人立石科学振興財団	1/22-23、8/26-27
監事	里中 忍	高性能 Mg 合金創成加工研究会	6/20
技術支援セミナー	河邊 真二郎	米善機工株式会社 技術セミナー「図面の読み方に関する基礎知識」	6/17
平成28年度県立学校 10 年経験者研修第3回教科等指導研修「工業科」「ものづくりのためのシミュレーション技術」「Open CV による画像処理」「自作スキャナーを利用した3次元データの取得」	釜田 浩 里中 孝美 河邊 真二郎	熊本県立教育センター	8/5
平成28年熊本県職業教育担当教員先端企業研修	里中 孝美	教育指導局高校教育課 産業教育指導係 (熊本県立熊本工業高等学校)	8月
平成28年熊本県電気工事分野人材育成研究会委員	河邊 真二郎	職業能力開発総合大学校 基盤整備センター	—
平成28年「技能と技術」誌編集委員	河邊 真二郎	職業能力開発総合大学校 基盤整備センター	—
WRO Japan 2016 熊本大会 実行委員	菅原 智裕	NPO 法人 HITO プロジェクト	8/21
幹事	日野満司	RIST-くまもと技術革新・融合研究会	H28.4/1-H29.3/31

6. 教職員の表彰・資格取得等

タイトル	氏名	記事	期日
永年勤続技能検定員表彰(5年)	糸川剛	熊本県職業能力開発協会会長	12/7

タイトル	氏名	記事	期日
永年勤続技能検定員表彰(5年)	小南 嘉史	熊本県職業能力開発協会会長	6/14
永年勤続技能検定員表彰(10年)	高山敏春	熊本県職業能力開発協会会長	12/7
「働くってなんだろう」エッセイ ～障害者だっていいじゃない！～	田中誠一郎	(社)日本勤労青少年団体協議会主催(厚生労働省後援)「働くってなんだろう」エッセイ「努力賞」	10/9

7. 学生の表彰・大会参加・資格取得(*は、指導教員)

タイトル	氏名	記事	期日
九州ブロックポリテックビジョン 2016 イン北九州 機械加工技術コンテスト 参加 (旋盤、フライス盤)	精密機械1年 水上 雄一朗 宮崎 裕貴 北里 拓海 幸野 真斗 *中野 貴之 *松本 孝幸 *高山 繁春	九州職業能力開発大学校(ポリテクカレッジ北九州)、ポリテクカレッジ川内、大分県立工科短大、熊本県立技術短大の学生による機械加工の競技会	2/26,27
九州ブロックポリテックビジョン 2016 イン北九州 ロボット競技会 準優勝	電子システム2年 牛島 大志 原永 美咲 *江口 智弘	九州職業能力開発大学校	2/26, 27
九州ブロックポリテックビジョン 2016 イン北九州 ロボット競技会 参加	機械システム2年 上津 良介 田上 遥 田尻 幸輝 西中 春稀 *田崎 和博	九州職業能力開発大学校	2/26, 27
九州ブロックポリテックビジョン 2016 イン北九州 発表「日韓合同ものづくり教育交流プログラム」	精密機械2年 宮崎 大和 *日野 満司 *前原 弘法	九州職業能力開発大学校	2/26, 27

タイトル	氏名	記事	期日
九州ブロックポリテックビジョン 2016 イン北九州 展示「制御技術の工学教育における実験装置の開発制御 ～リアクションホイールを用いた振子制御系～」	機械システム2年 藤森 慎太郎 土屋 諒太 *日野 満司	九州職業能力開発大学校	2/26, 27
九州ブロックポリテックビジョン 2016 イン北九州 発表「携帯端末用表情認識システムの構築」	情報システム2年 副島直人 渡邊裕基 *牧岡 毅	九州職業能力開発大学校	2/26, 27
2級技能士	精密機械1年 北里 拓海 高森 泰輝 前田 篤希 水上 雄一朗 宮崎 裕貴 *中野 貴之 *弓削 慶祐	中央職業能力開発協会 機械加工 普通旋盤	3月
3級技能士 「機械プラント製図」	精密機械2年 渡邊 一希 渡邊 裕介 *河邊 真二郎 *田上 賢二郎	技能検定職種 「機械プラント製図」	3月
CADトレース技士(初級)	精密機械2年 千葉 優介 精密機械1年 金子 輝 狩川 竜輝 安武 大和 山下 春樹 *前原 弘法	厚生労働大臣認定 CADトレース技能審査 主催 中央職業能力開発協会	3/31
CADトレース技士(中級)	精密機械1年 川崎 菜々子 *前原 弘法	厚生労働大臣認定 CADトレース技能審査 主催 中央職業能力開発協会	3/31

タイトル	氏名	記事	期日
3級技能士	精密機械1年 北里 拓海 幸野 真斗 高森 泰輝 富永 竜馬 古澤 賢 前田 篤希 三池 湧真 水上 雄一朗 宮崎 裕貴 *中野 貴之 *松本 孝幸	中央職業能力開発協会 機械加工 普通旋盤	3月
熊本県知事表彰	精密機械2年 北里 拓海 幸野 真斗 前田 篤希	熊本県 技能検定の成績優秀者に対する表彰	4月
敢闘賞 第11回若年者ものづくり競技大会 (機械製図CAD)	精密機械2年 川崎 菜々子 *河邊 真二郎	技能を習得中で、企業等に就業していない20歳以下の若年者を対象としたものづくりの競技大会(全国)	7/29
第11回若年者ものづくり競技大会 参加 (旋盤、フライス盤)	精密機械2年 宮崎 裕貴 幸野 真斗 *中野 貴之 *弓削 慶祐	中央職業能力開発協会 主催 技能を習得中の企業等に就業していない20歳以下の若年者を対象としたものづくり競技会	8月
第11回若年者ものづくり競技大会参加 (電子回路組立て職種)	電子システム2年 瀬口 真由 *新貝 和史	中央職業能力開発協会 主催 技能を習得中の企業等に就業していない20歳以下の若年者を対象としたものづくりの競技会	8/8

タイトル	氏名	記事	期日
3級技能士	精密機械1年 島田 将行 精密機械2年 瀧川 大誉 *田中 誠一郎	中央職業能力開発協会 機械検査	9月
2級技能士(実技試験合格)	精密機械2年 北里 拓海 幸野 真斗 高森 泰輝 前田 篤希 水上 雄一朗 宮崎 裕貴 *中野 貴之 *弓削 慶祐	中央職業能力開発協会 機械加工 旋盤	10月
熊本県知事表彰 第11回若年者ものづくり競技大会 (機械製図CAD)敢闘賞受賞	精密機械2年 川崎 菜々子	熊本県に貢献した功績をたたえ 県知事から表彰される。	11/21

8. 共同研究

テーマ名	氏名	共同研究先
顔認証システムに関する研究	牧岡 毅 里中 孝美	熊本大学大学院自然科学研究科 情報電気電子専攻 内村研究室

9. 在職者セミナー

タイトル	担当者	内容	期日	受講者数
測定基礎	中野 貴之	機械加工や測定・検査業務に必要な基礎知識と技術の習得	5/14, 21	3
機械加工実線技術	中野 貴之 松本 孝幸 河邊 真二郎	機械加工に必要とされる被削材や切削工具の特性、加工条件及び高精度・高効率な加工のための技術を学ぶ。	6/4, 11	7
NC 機械加工基礎	中野貴之 田中誠一郎	初心者のための NC プログラム入門	7/2, 9	3

タイトル	担当者	内 容	期 日	受講者数
C 言語とマイコンの基礎	新貝 和史	C 言語の文法、プログラムの作成法を学ぶ。また、H8 マイコンを動かすプログラムを C 言語で作成、簡単な組み込み機器を製作する。	8/25,26	4
汎用ロボット操作法とPLCによるシーケンス制御入門	日野 満司	産業ロボットの操作方法およびプログラミング法を習得	8/30,31	1
オーダーセミナー 「機械基礎」	河邊 真二郎 中野 貴之	機械のメンテナンスを行うために必要とされる機械の基礎知識を身につけるために、機械設計に関するもの、機械製作に関するもの等、幅広く学ぶ。	11/1~7	5
オーダーセミナー 「機械製図 CAD 実線技術」	河邊 真二郎	技能検定職種「機械製図 CAD」の実技試験の受検に必要とされる JIS 機械製図の知識を中心に図面の仕上げ方を学ぶ。	11/3, 11/26, 12/17	14
測定技術	中野 貴之	平田機工依頼のオーダーメイドセミナー	11/12, 12/3	3
PIC マイコンを用いたメカトロニクス制御	小笠 原健一 田崎 和博	C 言語によるマイコンプログラミング環境の構築、とAD変換、シリアル通信及びモーター制御(PWM)の技術を学ぶ。	11/16,17 ,18	1

10. 外部委託の講習会・研究会等

名 称	担当者	内 容	期 日
ものづくり工業会総会 特別講演	里中 忍	変革と多様性の時代におけるものづくりと人材育成	5/20
くまもと県民カレッジリレー講座「キャンパスパレア」	日野 満司	講演「ロボット時代」	9/1

11. 技能検定員委嘱

件名	担当者	内 容	実施月
熊本県職業能力開発協会 技能検定委員	釜田 浩	射出成形1級	8月
熊本県職業能力開発協会 技能検定委員	河邊 真二郎	機械製図CAD テクニカルイラストレーション 射出成形	1月 1月 8月
熊本県職業能力開発協会 技能検定委員	江口 智弘	電子機器組立て	1、8月
熊本県職業能力開発協会 技能検定委員	田崎 和博	空気圧装置組立て 電子機器組立て	1月 1、8月
射出成形	田中誠一郎	射出成形1級試験の検定委員	8月
公益社団法人 日本プラントメンテナンス協会 技能検定委員	田崎 和博	機械保全(電気系保全)	1月
熊本県職業能力開発協会 技能検定委員	小南 嘉史	集積回路チップ製造 集積回路組立て 空気圧装置組立て 電子機器組立て	1月 1月 1月 2、8月
熊本県職業能力開発協会 技能検定委員	新貝 和史	集積回路チップ製造 集積回路組立て 電子機器組立て(シーケンス制御作業)	1月 1月 1月
熊本県職業能力開発協会 技能検定委員	中野 貴之	機械検査 マシニングセンタ 数値制御フライス盤 形彫放電加工機 ワイヤ放電加工機 射出成形	1月 8月 8月 8月 8月 8月
熊本県職業能力開発協会 技能検定委員	田上 賢二郎	機械・プラント製図(機械製図CAD作業)	1月
熊本県職業能力開発協会 技能検定委員	牧岡 毅	電子機器組立て	8月

12. FD研修

タイトル	内 容	期 日
授業アンケート	平成27年度後期 科目数 120 教員数 42 平成28年度前期 科目数 127 教員数 43	1/25～ 2/5 8/1～ 12,31
授業研究会	公開授業および授業アンケートを通して、学生の理解レベルに応じた授業のあり方(教育の質と維持とのバランス)を検討	1/29,3/9
平成27年度FD研修会	「学生と良い関係をつくるために～カウンセリングの技法を使って～」臨床心理士 高野 浩美	1/7

13. 一般活動等

名称	参加者	内 容	期日
IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems reviewer	福永隆文	論文査読 3 件	4 月 8 月
すぎなみフェスタ 2016	精密機械 2 年 電子システム 2 年	こどもふれあい・体験コーナーに「ゲームコーナー」ブースを出店	11/12
ロボット・チャレンジスクール 2016 in 熊本	情報システム 1 年 *菅原 智裕	熊本市内の小中学生を対象とした、自立型ロボット教材を用いたプログラミング教室のボランティアスタッフ	2/27, 2/28
ロボット・チャレンジスクール 2016 in 菊陽・大津	情報システム 1 年、2 年 *菅原 智裕	菊陽町・大津町・合志市周辺の小中学生を対象とした、自立型ロボット教材を用いたプログラミング教室のボランティアスタッフ	10/29, 10/30
未来のまちづくりプロジェクト	情報システム 2 年 *菅原 智裕	熊本地震被災地である益城町の子どもの ICT 支援のボランティアスタッフ	11/12

14. 新聞記事他

タイトル	発行社	記事の内容	期 日
人材育成など連携協定結ぶ 県技短大と菊陽町	熊本日日新聞	本校と菊陽町が、人材育成や教育、産業振興、地域づくりなどで互いに協力する包括連携協定を結んだ。	3/10
マイスターに聞く ナカヤマ精密熊本工場顧問 三津家敏幸さん	日本工業新聞	本校の非常勤講師でもある三津家先生の紹介。	3/16
県立技術短期大学卒業式	熊本日日新聞	第 18 期生の卒業式を実施。	3/20
全国若年者ものづくり競技大会で敢闘賞	くまもと経済	精密機械技術科 2 年の川崎奈々子さんが、全国若年者ものづくり競技大会で敢闘賞を受賞。	10 月号

3. 教職員一覽

熊本県立技術短期大学校教職員一覧

校長	里中 忍
指導部長兼教授	河邊 真二郎
精密機械技術科	
教授(兼任)	河邊真二郎 (電情系科長)
教授	中野貴之 (学科主任)
教授	大土井雄三
講師	田中誠一郎
講師	弓削慶祐
指導員	松本孝幸
機械システム技術科	
教授	日野満司 (機械系科長, 学科主任)
教授	田崎和博
准教授	小笠原健一
准教授	釜田 浩
講師	田上賢二郎
指導員	高山繁春
電子システム技術科	
教授	里中孝美 (学科主任)
准教授	打越政弘
准教授	江口智弘
主任講師	新貝和史
講師	小南嘉史
講師	原田裕二郎
情報システム技術科	
教授	福永隆文 (学科主任)
准教授	宮崎幸治
准教授	糸川 剛
准教授	橋本剛裕
主任講師	牧岡 毅
主任講師	菅原智裕

(平成 29 年 1 月 1 日現在)

紀要編集委員会（第18号）

委員長 里中 忍（校長）
委員 田崎 和博（広報委員会副委員長）
委員 田中 誠一郎（精密機械技術科）
委員 金澤 美江（総務学生課）

熊本県立技術短期大学校紀要 第18号

平成29年11月30日発行

発行 熊本県立技術短期大学校 紀要委員会 委員長 里中 忍
〒869-1102

熊本県菊池郡菊陽町大字原水 4455-1

TEL 096-232-9700

FAX 096-232-9292

印刷 光陽印刷株式会社

〒862-0947

熊本県熊本市東区画図町重富 567-4

TEL 096-378-8388

FAX 096-378-8396

熊本県立技術短期大学校紀要

第18号(2017年11月)

【巻頭言】 “熊本地震を経験して” 里中 忍

目 次

1. 論文・報告

3Dスキャナー利用に関する実験検討	河邊 真二郎	3
ミニNCフライス盤の設計・製作	中野 貴之	7
制御技術の工学教育における実験装置の開発 リアクションホイールを用いた振子制御系実験装置の改良と現代制御理論の適用	日野 満司	13
IoTデバイスEdisonの最新応用無線センサネットワークと対話型ロボの連携	里中 孝美	21
ニューロンCMOSインバータを用いた範囲内マンハッタン距離検索回路	原田 裕二郎	25
福祉分野への応用を目指したIoTの基礎的研究	菅原 智裕	29

2. 教職員および学生の活動状況一覧 37

著書、論文・国際会議プロシーディングス、国内会議・研究会等、資料、産学官支援活動、
教職員の表彰・資格取得等、学生の表彰・大会参加・資格取得、共同研究、在職者セミナー、
外部委託の講習会・研究会等、技能検定員委嘱、FD研修、一般活動等、新聞記事他

3. 教職員一覧 51

熊本地震を経験して

校長 里中 忍

平成28年4月14日、16日に発生した熊本地震は、これまでの地震の常識を超えたもので、震度7を超える地震が三日間の間に2度も発生し、地震活動の区分も前震―本震―余震であった。30年ぐらいの間にわが国で発生した大規模地震、阪神・淡路大震災、新潟県中越大地震、東日本大震災が本震―余震で整理されてきたことを考えると、熊本地震はいかに特異なものであったかが理解できる。地震は益城町から南阿蘇村に延びる断層帯で起こり、県内各地に大きなつめ跡を残した。県民の誇りである熊本城は天守閣の瓦が剥げ落ち、石垣も至るところで崩れ、無残な姿をさらけ出した。阿蘇大橋の落下や俵山トンネルの崩落などにより、生活道路も寸断された。阿蘇神社、ジェーンズ邸など多くの歴史的建造物、文化財も損傷を受けた。

本校が位置するセミコンテクノパーク内のソニーセミコンダクタマニュファクチャリングや東京エレクトロンを含む多くの企業で生産活動が停止し、被災状況や復旧の様子は新聞紙上で度々紹介された。本校も体育館や本部棟、実習棟で、建物や教育設備で大きな被害を受けたが、幸い学生や教職員はともに無事であった。震災後は、多くの皆様から励ましや様々な支援を受けながら、復旧作業に取り組み、5月の連休明けには授業再開に漕ぎつけることができた。また、今回の震災から、多くのことを学ぶこともできた。

◆自然の力は未知数であり、科学技術でコントロールすることはできない。

地震はプレートの移動によって岩盤に蓄積された歪エネルギーが限界を超えた時に発生すると言われている。しかし、どこに多くのエネルギーが蓄積されてどこで解放されるかの予測は困難な状況で、今回は地震の心配がなく、安全なところと思われていた熊本で大地震が起こってしまった。台風についても「バタフライ効果」という言葉があるとおおり、発生位置、大きさを予測することはできていない。地球規模で起こる自然現象は未知の部分が多く、科学技術が活用できるのは発生してからの分析がほとんどである。自然の力はコントロールするより、付き合うことが重要なことを気付かせてくれた。もう一度基本に立ち戻り、自然と共生する科学技術に向き合う姿勢が必要ではないかと考えている。

◆震災時の命綱は人のつながり。

この度の震災で不自由したものは沢山あった。電気、ガス、水、食料などの生活必需品の確保は大変であった。家族や学生、仲間の安否確認や組織の活動には、電話やネットなど情報の伝達手段も不可欠であった。これらに関する救援はありがたかったが、一番は様々な形（自助、共助、公助）の支援でやり直す元気、生きる勇気を与えてくれたことである。そのベースに人のつながりがあり、追い込まれた状況の中で多くの支援を有難く感じた。我々の活動には人のつながりがベースにあり、それは日頃の活動の中で育まれていくことを再認識させられた。

◆復旧・復興の中で実力を発揮した技術者たち。

復旧・復興作業は、がれきの除去、損傷部の補修、ライフラインの確保、被災者の生活環境の整備、施設設備の修復など、多岐にわたった。これらの作業は外部に依頼する部分も多かったが、基本的には情報を共有しながら、自分たちでできることは自分たちで対応していくことであった。その際、それぞれの生産現場で技術者が知恵を出し合って、損傷した設備や機能停止した装置の復旧作業を行なっていることを、様々な機会に知ることができた。また、作業にはマニュアルでは対応できないもの、地震対策として新しいアイデアが求められるものなども

含まれており、技術者はそれぞれが持っている強みが遺憾なく発揮していた。技術者の活躍に敬意を表しながら、教育機関として自ら考える能力を持った人材育成の大切さを再認識させられた。

◆震災が教えてくれた社会の底力。

復旧・復興作業が人と人、あるいは組織と組織が連携して動いている活動の中から、日常の活動では見えない社会の仕組み、底力を学ぶことができた。セミコンテックパーク内の企業の生産が停止すると国内の多くの企業の生産活動に影響し、幹線道路が被害を受けると物資の輸送が止まるなど、災害に対する人の流れや国や自治体、企業の動きから、被災した組織がいかに大きな役割を果たしてきたか、社会における役割や位置づけなどを理解することもできた。以前の大震災のときもそうであったが、企業が再開の目標を設定すると、それに向かって多くの協力企業が人員派遣、設備の提供を行ない、予定通りの再開を果たす、このプロセスに企業のパワーと社会の底力を感じた。BCP(事業継続計画)などの備えが重要なことも学び、教育機関としても学生の安全を第一に、安否確認や教育の継続性を日頃から考えていくことの大切さも実感した。

これらの経験の中で、中心的な役割を果たしたのはほとんどの場合が人であった。それぞれが自分の知識、技術をフルに発揮して、困難な課題を解決していくプロセスを多く見聞した。内閣府「人間力戦略研究会報告書」によると、人間力は「社会を構成し運営するとともに、自立した一人の人間として力強く生きていくための総合的な力」と定義されているが、今回の地震ではその総合力が試された出来事であり、現在も試されていることを実感している。熊本地震を振り返ると、人材育成機関としては「何のために、どのような資質・能力を育てようとするのか」を見直ししながら、その特徴と強みを意識する必要性を強く感じた。その意味で、現在実施している基礎学力や専門的な知識・ノウハウの教育を基礎力として、その中でインターンシップや卒業研究、資格取得やコンテストなどの取組みが応用力の鍛錬に繋がっていると確信している。しかし、主体的に学ぶ姿勢、未知のことに挑戦する意欲、物事に取り組む際の集中力や忍耐力などの人間の本質的な力は、学生一人ひとりが様々な活動を通じて実感し、芽生えていく以外に教えることは難しい。私たちは学生にそれに気付く環境を提供し、刺激を与え続けることが重要と考え、国際交流や先進的な研究あるいはプロジェクト、地域との連携活動など、日頃の活動から感じてもらうことが一つの方法と考えている。

本紀要では、本校の教職員が取り組んでいる教育プログラムの開発や自主研究の取り組みを紹介し、併せてこの1年間の本校教員および学生の活動をまとめている。今回は6名の教員による教育プログラムの開発や自主研究の取り組みを紹介した。精密機械技術科からは3Dスキャナーの試作・評価とミニフライス盤の設計製作、機械システム技術科からは現代制御理論を適用した制御系実験装置の改良、電子システム技術科からはIoTデバイスを応用した無線センサネットワークと対話型ロボットの連携とニューロンCMOSインバータを用いた検索回路設計、情報システム技術科からはIoTの福祉分野への応用に関する基礎研究を紹介した。これらの取り組みは学生に大きな刺激を与えているが、主体性、挑戦するパワー、集中力や忍耐力などに繋がっていくにはもう一工夫が必要と感じている。

皆様方にもご一読いただき、本校の更なる発展のために、忌憚のないご意見、ご提言をいただければ幸甚である。