

独立行政法人国立高等専門学校機構
秋田工業高等専門学校
研 究 紀 要

第 54 号

平成 31 年 2 月

Kinect による上肢リハビリ装置の動作解析の精度検証	三 浦 雅 弘・木 澤 悟...	1
ロボットコンテストにおける自動ロボットの開発	田 中 将 樹・西 野 智 路・中 嶋 龍 一 朗 ・奈 良 雄 斗・松 橋 達 也・保 坂 真 志・渡 部 秀 崇・伊 藤 大 地 ...	9
A closed 2-form on the quotient space $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma g); \text{SO}(4)) = \text{SO}(4)$ 	鈴 木 直 矢...	15
技術研究ノート		
手仕上げ技能継承から得たコツの可視化教材の開発	佐々木 智 征...	19
オルゴールを題材とした教育教材の改良と学生からの評価について	辻 尚 史...	21
高速キャンパス情報ネットワークシステムの更新について	新井場 貴 寛...	23

Kinect による上肢リハビリ装置の動作解析の精度検証

三浦 雅弘*・木澤 悟

Accuracy validation of motion analysis system in upper limb rehabilitation robot using Kinect

Masahiro MIURA, and Satoru KIZAWA

(平成 30 年 11 月 29 日受理)

Recently, development of rehabilitation robots for use in the medical field has advanced actively with the aim of reducing burdens on care workers and therapists and of improving patient motivation. We of this laboratory have developed a compact upper limb rehabilitation robot system for use with upper limbs of hemiplegic persons. It can be trained on a desk. For the measurement and evaluation of rehabilitation motion, we used a small, inexpensive motion sensor Kinect v2 (Microsoft Corp.), equipped with a function to measure the joint position estimated in advance without markers. However, because its accuracy is unstable, it is difficult to evaluate the motor function of the upper extremity dynamically. Therefore, to measure and evaluate the rehabilitation motion with stable precision using Kinect v2, we developed a system that tracks markers affixed to arbitrary points on the body. A verification experiment was applied to a rehabilitation robot system developed in earlier studies.

Keywords: Kinect v2, motion capture, motor dysfunction, upper limb rehabilitation, self-position recognition

1. 緒言

事故、病気等によって引き起こされる上肢の運動機能障害の回復には、リハビリテーションが有効と考えられる。また、リハビリ時の患者のモチベーション維持や、療法士への負担軽減を目的として、リハビリロボットを補助的にリハビリに用いる療法が期待される。上肢リハビリのための機器は多く存在するが、そのほとんどは据え置きを前提とした大掛かりなものが多く、設置場所が限られるという課題がある。そこで、著者らは先行研究として、可搬性に優れ、患者が卓上で手軽にリハビリを行うことができ、かつ安価な上肢リハビリ支援装置¹⁾の開発を行ってきた。リハビリ時の運動機能や、進捗状況を確認、評価するためには、身体の動作解析が必要である。医療福祉分野では、運動機能の計測、評価にモーションキャプチャが応用されている。代表的な装置としてはCrescent社のVICONがあるが、これは非常に高価で、設置場所も制限されるため、開発したロ

ボットシステムへの導入は困難である。そこで、著者らはモーションキャプチャの代替えとしてKinect v2を上肢リハビリ支援装置へ応用することを検討した。KinectとはMicrosoft社から販売されたゲーム機の周辺機器であり、RGBカメラや深度センサ、マイクロフォンなど様々なセンサを搭載している。これらのセンサから得られた情報を元に人間の関節推定を行うことでマーカレスに人体の動作を推定することができるモーションセンサ装置である。実際にKinectの関節推定機能を用いて上肢の可動域や巧緻性を評価した研究はいくつか存在するが、測定精度の点で劣り、動力学的に運動機能の評価した研究は見当たらない。そこで、本研究では、関節推定機能の代わりに、KinectのデプスセンサおよびRGBカメラを応用し、任意位置に貼付したマーカを追従するシステムを開発した。本報告では、開発したモーションキャプチャシステムおよび上肢リハビリ支援装置について報告する。

* 秋田高専専攻科学生

2. 上肢リハビリ支援装置

図1に開発した上肢リハビリシステムの外観を示す。患者は、卓上にある装置本体のグリップを把持し、前面モニタに表示された目標軌道に沿うように装置を操作する。グリップの下部には六軸の力覚センサが埋め込まれており、使用者がグリップに加えた手先力をロボットにフィードバックすることで使用者の随意的な動作のアシストを可能としている。また、上肢の可動範囲は広く、多様であるためリハビリテーションに用いるときに卓上の全方位の移動が必要となる。このため、車輪にはオムニホイールを採用し、卓上の全方位動作を実現した。図2にロボットの本体を示す。センサは小さな力も感知できるため、麻痺患者でも随意方向への十分なリハビリ動作が可能である。位置情報の取得には、開発したKinect v2によるモーションキャプチャシステムを応用した。



図1 リハビリシステム 図2 上肢リハビリ装置

3. Kinect v2 を用いたモーションキャプチャ

3.1. Kinect v2 の概要

Kinectは、Microsoft社が発売する、RGBカメラ、深度センサ、マイクなどを内蔵し、人間の骨格を認識する機能も有する多機能センサデバイスである。また、これは同社が発売する家庭用ゲーム機Xbox用のセンサであるが、公式にKinect for Windows SDKが提供されており、Windowsアプリケーションへの応用が可能である。Kinect for Windows SDKでは、Kinectに搭載された各センサを扱うための関数が用意されており、骨格認識等を簡単に扱うことが可能となっている。そのため、Kinectは安価なモーションキャプチャとして各分野で応用されている³⁾。本研究では、図3に示す、日本で2014年に発売されたKinect v2 (Xbox One Kinect) を使用した。



図3 Kinect v2

3.2. 任意マーカ位置情報の取得方法

Kinect v2には、センサが人間を認識して捉え、図4のようにその各関節位置を推定する機能がある。しかし、Kinect v2の関節推定機能は、関節が重なった場合や、物を把持した場合に人体の骨格を正確に認識できない問題が見られた。特に本システムではロボットを把持した状態でリハビリを行うため、関節推定機能を用いた測定は困難となる。本システムで関節位置を測定するには、VICONのようにマーカを指定して任意位置の座標を取得する手法が理想とされる。そこで本研究では、Kinectに搭載されたRGBカメラと深度センサを利用して、マーカの位置情報を取得できる簡易的で安価なモーションキャプチャ装置の開発を検討した。ここでは、マーカの認識から位置情報取得までの手順、方式について述べる。

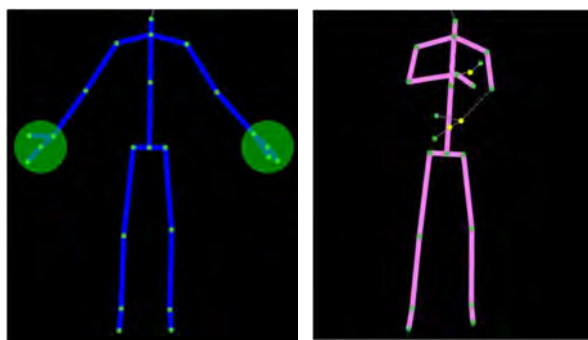


図4 関節推定機能

このシステムでは画像処理ライブラリOpenCVとKinectに搭載されているRGBカメラと深度センサを用いた。以下に位置情報を取得する手順を述べる。まず、RGBカメラから得られた映像をPCの画面上に表示する。次に表示した映像内の物体を右クリックするとその物体の色情報 (H (色相), S (彩度), V (明度)) を取得する。取得した色情報から物体の色領域を抽出するために二値化処理を行う。最後に、抽出した物体の色領域の重心位置を求め、この重心位置とKinectまでの距離を深度センサで取得することによって実際の3次元座標を算出するものとなっている。

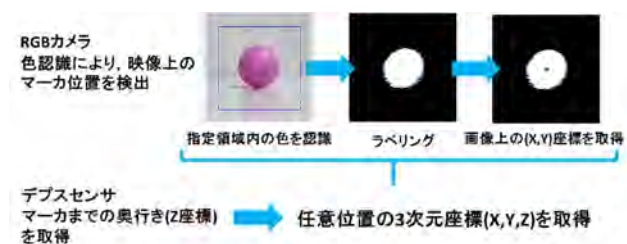


図5 マーカ座標取得手順

4. 実験方法

開発したモーションキャプチャシステムの座標取得の精度検証のための実験を行った。VICONは代表的な動作解析装置であり、誤差1mm以下の高精度な計測が可能である。そこで、精度の基準として、VICONを用いた計測も行った。実験では、カラーマーカを図6のように装置本体、右肩、肘、手首、手先、頭、股関節、膝、足首、足先に貼付し、リハビリ装置を把持した状態で前後300mmの直線リーチング動作5往復を、健常者1名を対象に行った。また、同様の位置に、VICON用のマーカも貼付し、開発したシステムと同時に座標の計測を行った。VICONの計測座標を真値として、開発したシステムの計測座標の精度を検証した。

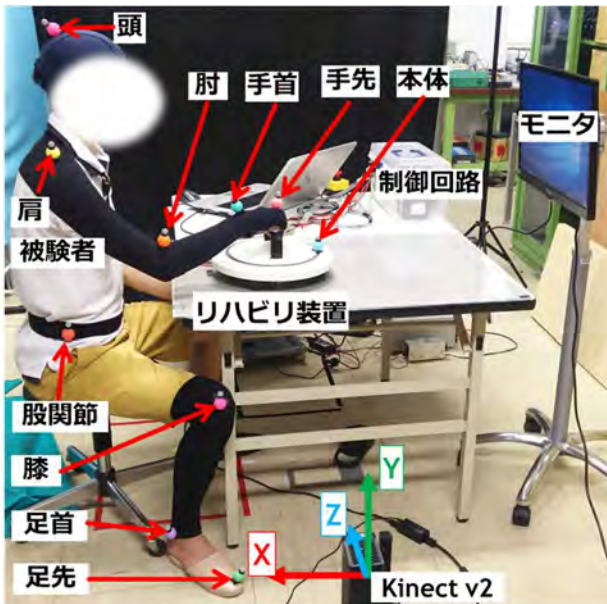


図6 実験システム

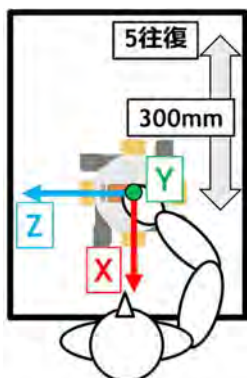


図7 直線リーチング



図8 マーカ貼付

5. 実験結果

5.1. 座標

精度検証実験の結果を示す。実験結果の一例として、装置本体と、運動機能の解析に用いられる上肢の関節(肩、肘、手首、手先)の座標をグラフに示す。図7に示すように、X座標がリーチング前後方向、Y座標が上下方向、Z座標が左右方向の座標を示している。横軸は正規化した時間、縦軸は座標、青い太線がVICONの計測座標、赤い細線がKinectを用いた提案した手法による計測座標を示している。

図9の装置本体のX座標の軌道を見ると、およそ300mmの前後リーチング運動ができていることが分かる。また、図10のY座標より、上下方向の動作はほとんどなく、図11のZ座標より、左右方向では少しリーチングが横にぶれているか、あるいはKinectの設置がやや傾いていた可能性が読み取れる。各座標のVICONの計測座標との平均絶対誤差は、X座標が2.5[mm]、Y座標が2.5[mm]、Z座標が1.3[mm]であった。

肩の座標を図12から14に示す。図12より、前後方向には100[mm]程度の動作があるがそれ以外の方向の動作は小さいことが読み取れる。Z座標では、座標値が飛ぶような部分があり、約50[mm]の誤差が発生しているところもある。図9の装置本体の動作と照らし合わせると、座標値が飛ぶことが多いのは、前方リーチング時で、肩の骨格やVICONのマーカと重複してしまったことが原因と考えられる。各座標のVICONの計測座標との平均絶対誤差は、X座標が3.1[mm]、Y座標が1.9[mm]、Z座標が5.2[mm]であった。

肘の座標を図15から17に示す。前後リーチング時、肘関節は全方向に大きく動作する。各座標の図からもその様子を読み取ることができ、カラーマーカの計測座標の波形も、VICONと概ね一致している。各座標のVICONの計測座標との平均絶対誤差は、X座標が3.8[mm]、Y座標が2.1[mm]、Z座標が5.2[mm]であった。

手首の座標を図18から20に示す。前後方向の動作が大きく、それ以外の動作は小さいが、左右方向へも周期的な座標変化があり、前後リーチング時でも手関節が左右に動作していることが分かる。各座標のVICONの計測座標との平均絶対誤差は、X座標が3.8[mm]、Y座標が2.1[mm]、Z座標が5.2[mm]であった。

手先の座標を図21から23に示す。マーカは装置を把持する手の甲に貼付されているため、波形は装置本体の軌道と酷似していることが分かる。各座標のVICONの計測座標との平均絶対誤差は、X座標が3.5[mm]、Y座標が2.8[mm]、Z座標が2.9[mm]であった。

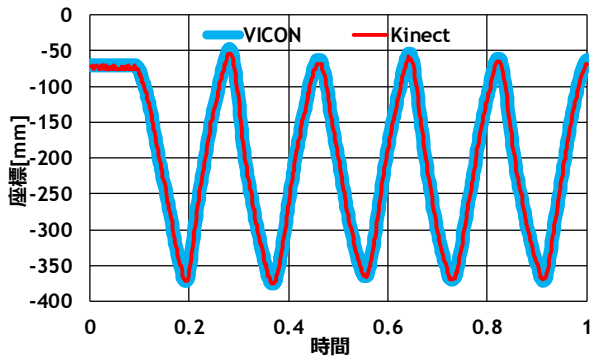


図9 装置本体 X 座標

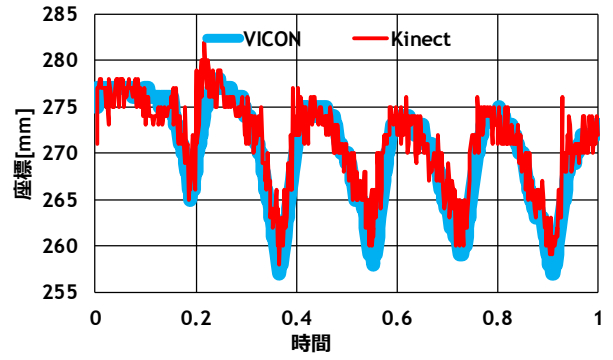


図13 肩関節 Y 座標

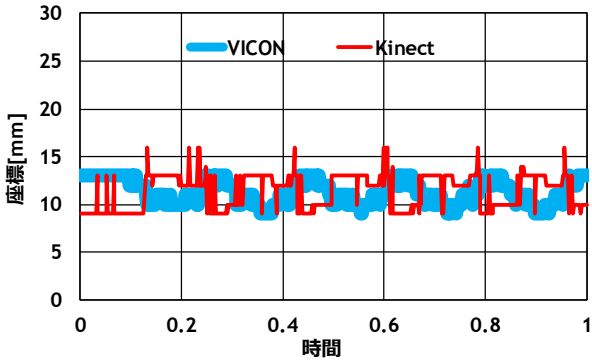


図10 装置本体 Y 座標

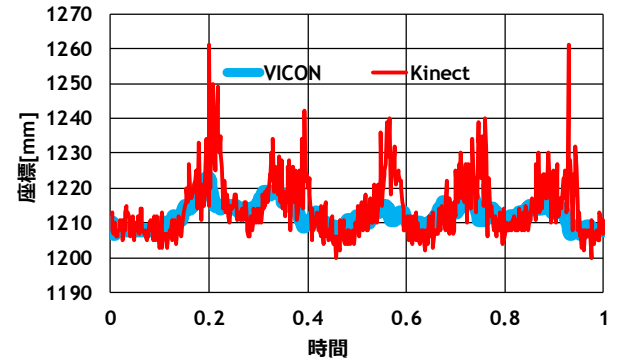


図14 肩関節 Z 座標

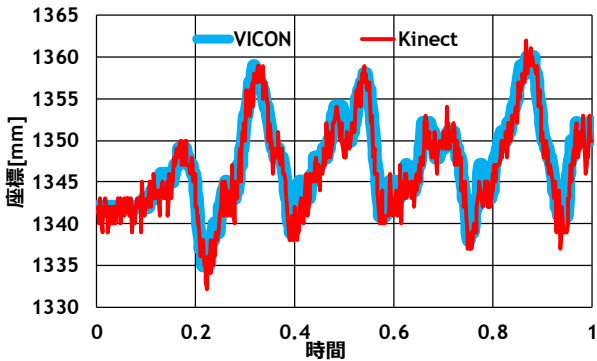


図11 装置本体 Z 座標

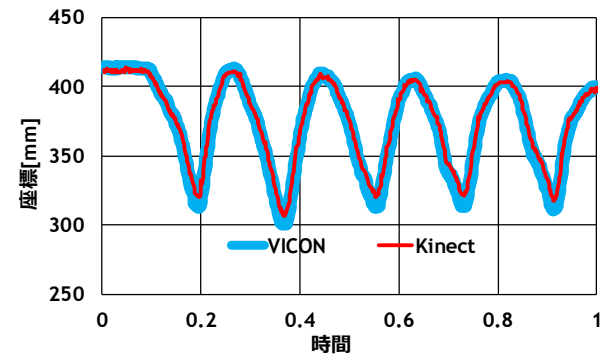


図15 肘関節 X 座標

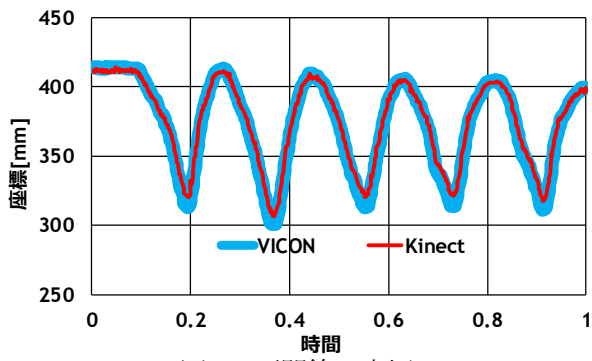


図12 肩関節 X 座標

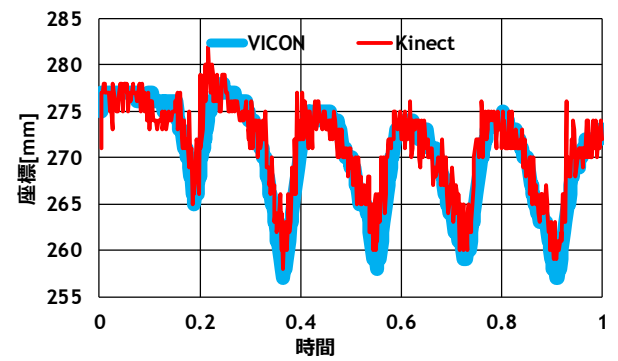


図16 肘関節 Y 座標

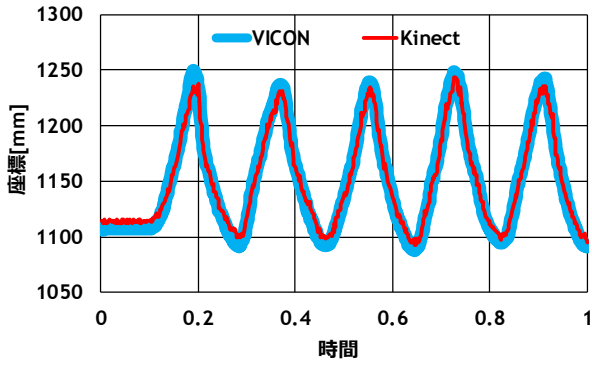


図 17 肘関節 Z 座標

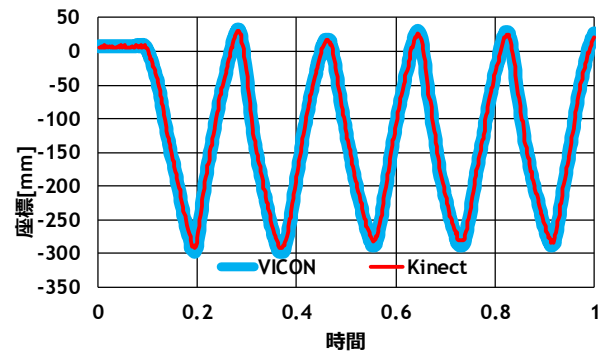


図 21 手先関節 X 座標

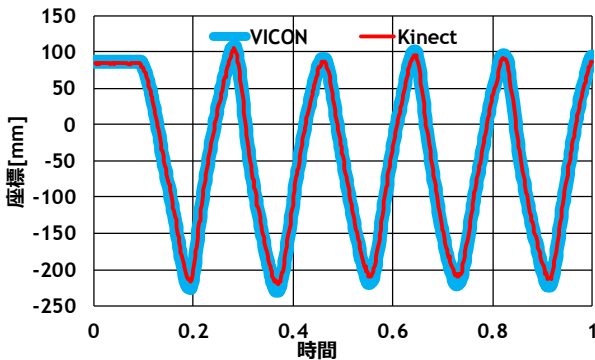


図 18 手首関節 X 座標

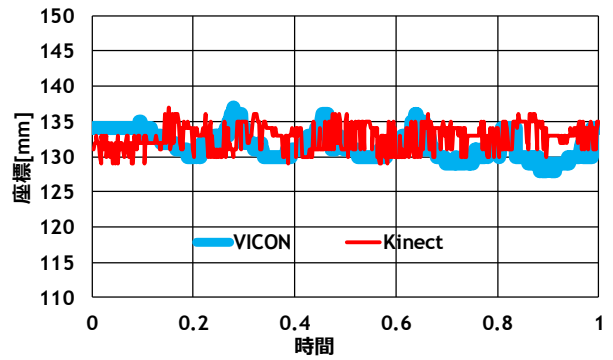


図 22 手先関節 Y 座標

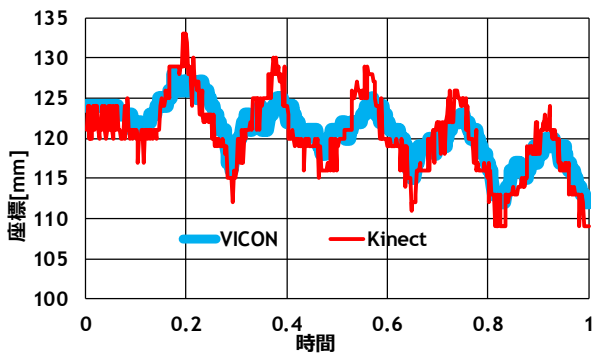


図 19 手首関節 Y 座標

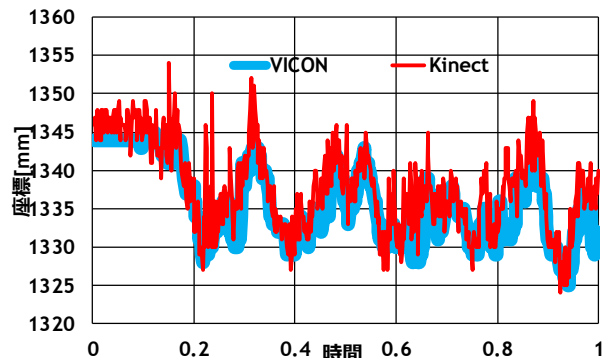


図 23 手先関節 Z 座標

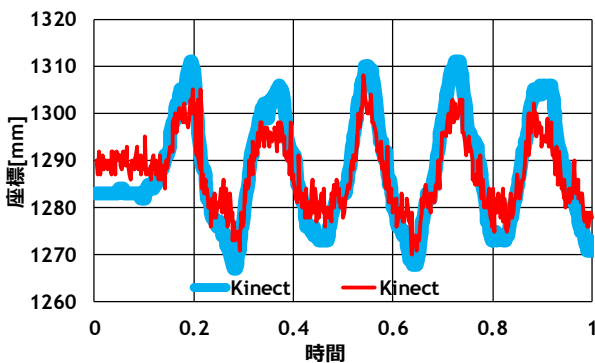


図 20 手首関節 Z 座標

5.2. 関節モーメント

動力的な解析結果として、上肢の関節モーメントを示す。リハビリ装置のグリップには、力覚センサが搭載されているため、図24に示す上肢3リンクモデルを用いた逆動力学計算より算出することができた。関節モーメントが、関節の屈曲あるいは撓屈の向きに働いている場合はプラス、伸展あるいは尺屈の向きに働いている場合はマイナスとなる(図25-27)。

肩関節モーメントの解析結果を図28に示す。グラフの横軸は正規化した時間、縦軸は関節モーメント [Nm]、青い細線はVICONの計測座標、赤い細線は

Kinectの計測座標をもとにした解析結果となる。図9の装置本体の前後の座標と照らし合わせると、前方リーチング時は伸展向きの傾向、後方リーチング時は屈曲向きの傾向にモーメントが働いていることが分かる。VICONの計測座標をもとに算出した結果との平均絶対誤差は、0.02[Nm]であった。

肘関節モーメントの解析結果を図29に示す。肘関節も肩関節と同様に、前方リーチング時は伸展向きの傾向、後方リーチング時は屈曲向きの傾向にモーメントが働いているが、肩関節は、伸展傾向のモーメントが屈曲より大きいのにに対して、肘関節は屈曲傾向のモーメントの方が大きく働いている。

VICONの計測座標をもとに算出した結果との平均絶対誤差は、0.01[Nm]であった。

手関節モーメントの解析結果を図30に示す。プラス傾向、つまり撓屈向きのモーメントが大きい、全体的に肩関節や肘関節のモーメントより小さい。VICONの計測座標をもとに算出した結果との平均絶対誤差は、0.01[Nm]であった。

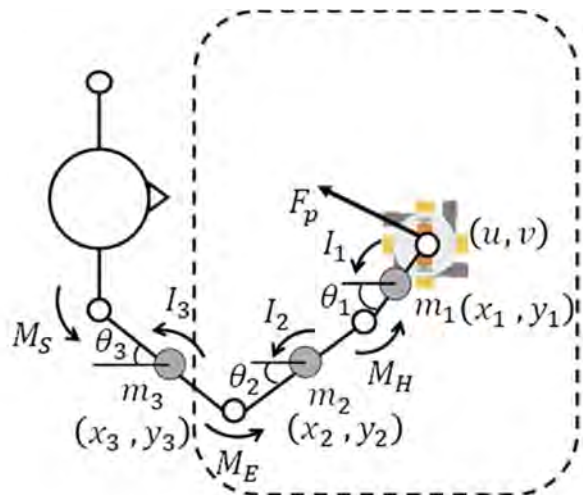


図24 上肢3リンクモデル

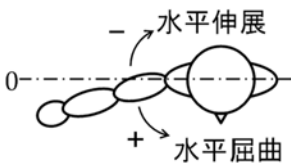


図25 肩関節

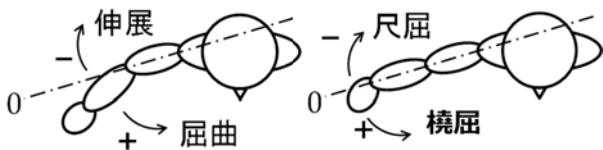


図26 肘関節

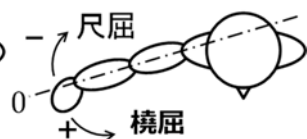


図27 手関節

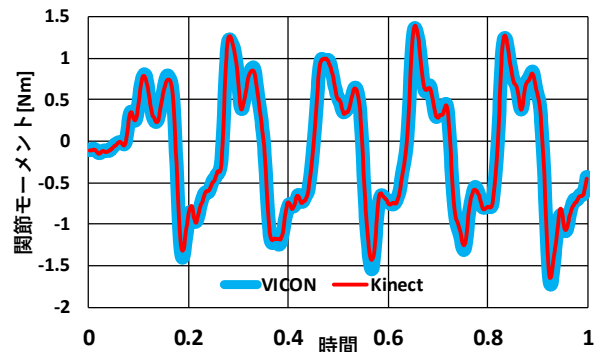


図28 肩関節モーメント

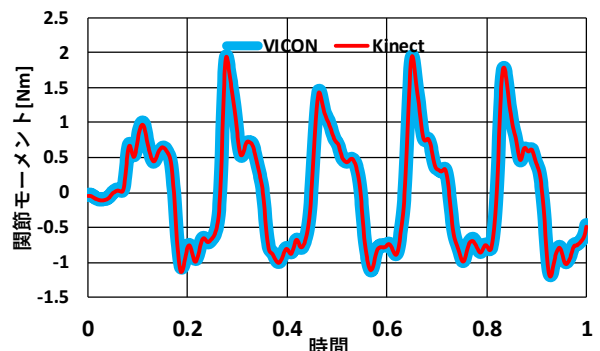


図29 肘関節モーメント

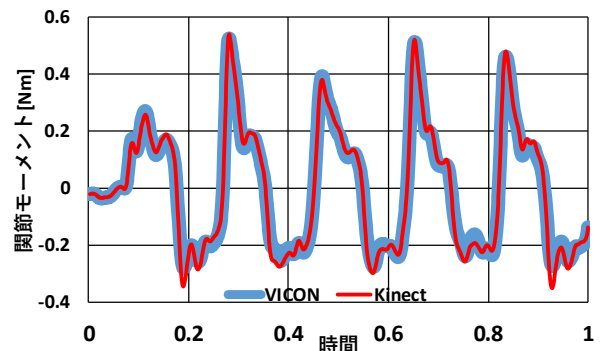


図30 手関節モーメント

5.3. 関節パワー

次に、各関節の関節パワーの解析結果を示す。関節パワーは、関節モーメントと、その関節の角速度の積によって算出されるもので、関節の動きから筋の収縮様式を推定することが可能である。関節モーメントと関節角速度の向きが同一であれば、筋は求心性収縮、向きが同一でなければ、筋は遠心性収縮を起こしていることになる(図31-32)。

図33に肩関節パワーを示す。関節パワーは終始ほぼマイナスの値を示しているため、関節モーメントと関節角速度の向きが異なり、遠心性収縮を起こしていると考えられる。VICONの計測座標

をもとに算出した結果との平均絶対誤差は、0.03[W]であった。

図34に肘関節パワーを示す。関節パワーはほとんどプラスの値を示している。関節モーメントと関節角速度の向きが同一で、求心性収縮を起していると考えられる。VICONの計測座標をもとに算出した結果との平均絶対誤差は、0.04[W]であった。

図35に手関節パワーを示す。関節パワーはほとんどマイナスの値を示しており、遠心性収縮を起していると考えられる。VICONの計測座標をもとに算出した結果との平均絶対誤差は、0.01[W]であった。

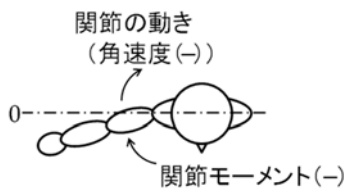


図31 求心性収縮

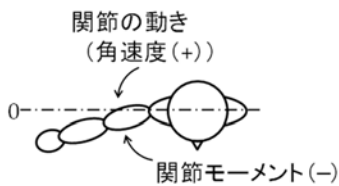


図32 遠心性収縮

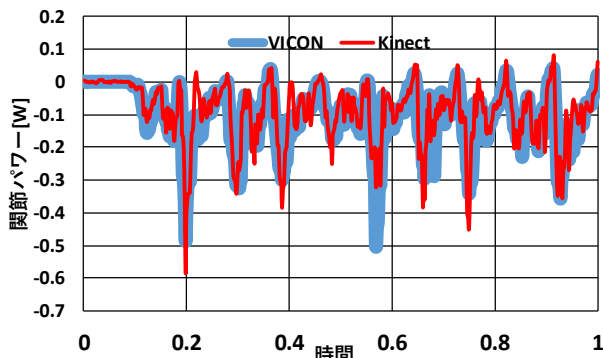


図33 肩関節パワー

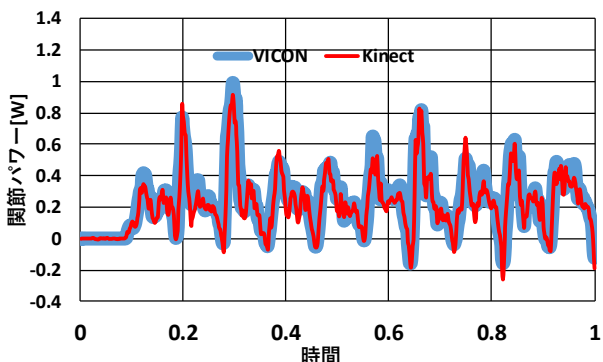


図34 肘関節パワー

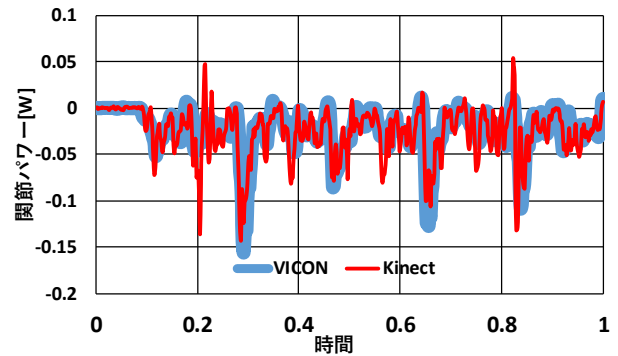


図35 手関節パワー

6. 結言

本研究では、Kinect v2による任意位置に貼付したカラーマーカを追従させることで位置取得を行うモーションキャプチャシステムを開発し、上肢リハビリ支援装置へ応用することを検討した。開発したシステムの精度検証実験の結果より、平均絶対誤差は全体的に5[mm]前後に収まった。関節モーメントのような動力学的解析においても、VICONの結果とよく一致しているため、簡易なモーションキャプチャシステムとして利用できることが分かった。今後は、座標値の飛びの原因となる、マーカの遮蔽の対策や、カラーマーカの色や大きさなどを検討することで、更に開発したシステムの精度を高めていきたい。また、関節モーメントや関節パワーの評価に関しては、その向きなどにまだ不明瞭な部分があるため、実験対象の被験者をもっと増やすことや、実際の片麻痺患者を対象とした実験を行うことで、関節モーメントをはじめとした評価項目について、更に検討していきたい。

参考文献

- 1) 安保俊彦, 上肢訓練支援のための卓上リハビリロボットの開発, 平成27年度秋田工業高等専門学校専攻科特別研究論文, (2016)
- 2) 菅原拓斗, Kinectを用いたモーションキャプチャーの開発, 平成28年度秋田工業高等専門学校卒業論文, (2017)
- 3) 佐藤悠斗, Kinectを用いたモーションキャプチャシステムの開発, 平成29年度秋田工業高等専門学校専攻科特別研究論文, (2018)
- 4) 安保俊彦, 片麻痺者のための卓上型上肢リハビリロボットの開発, 平成29年度秋田大学大学院修士論文, (2018)
- 5) 山本澄子, 身体運動のバイオメカニクス, 理学療法科学, 18巻3号, p109-114, (2003)

ロボットコンテストにおける自動ロボットの開発

田中将樹・西野智路・中嶋龍一朗・奈良雄斗*
松橋達也*・保坂真志*・渡部秀崇・伊藤大地

Development of a Robot Using Positioning Control System for the Robocon Competition

Masaki TANAKA, Tomomichi NISHINO, Ryuichiro NAKAJIMA, Yuto NARA*,
Tatsuya MATSUHASHI*, Masashi HOSAKA*, Hidetaka WATANABE and Daichi ITOH

(平成 30 年 12 月 21 日受理)

This report presents an outline of our robots, which participated in the NHK Kosen Robocon competition in 2018, and describes the development of the automated robots. We attempted to manufacture robots that can have their positions controlled by rotary encoders. A proportional–differential (P–D) controller was adopted for the automatic robot positioning. The pulses of two rotary encoders were counted to assess P–D controller effects on forward and backward movement and on the lateral movement of the automatic robot. Good rectilinearity was obtained using the P–D controller. Positioning of the robot was realized at this Robocon competition.

1. はじめに

高専ロボコン（アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト）は、全国から 57 校 62 キャンパスの高等専門学校が参加する教育イベントで、1988 年から始まり 2017 年に 30 周年を迎えた大会である。これまで本校は、第 1 回大会を除くすべての大会に参加し、9 回の全国大会出場を果たしている。2006 年に東北地区大会で優勝してからはしばらくの期間、全国大会からは遠ざかっていたが^{1)~3)}、2015 年、2017 年と全国大会に出場し、東北地区大会でもここ数年はベスト 4 以上や各賞を受賞する結果を残してきている。

2018 年 11 月 4 日に鶴岡市で開催された高専ロボコン東北地区大会では、出場した二チームとも残念ながら予選リーグ敗退であったが、B チームはデザイン賞と特別賞を受賞した。

本稿では、今年度のロボットコンテストで製作したロボットのうち、自動ロボットに焦点を当ててロータリーエンコーダによる位置制御の概要を述べ、実験による検討を加えてまとめた。

2. 競技課題の概要と自動ロボットの検討

今年の高専ロボコンの競技課題は、「ボトルフリップ・カフェ」というテーマで、1 チーム 2 台までのロボットが自陣の 8 つのテーブルに向かってペットボトルを投げてテーブル上に立たせるという競技内容であった。今回の競技課題は高専ロボコンで初めてロボットの自律化・自動化の課題が課され、2 台のロボットを使う場合、1 台のロボットは自動ロボットとすることとなった。高専ロボコンでは、2001 年の大会より無線コントロールが義務化されて以降、コントローラーを使用しない課題やロボット同士が通信する課題等があったが、今回の大会で自動ロボットがルールに記され、こ

*秋田高専学生

の「自律化・自動化」の流れは来年以降の競技課題にも続くとされている。

これまで本校では、操縦者の操作を補助するための半自動化したロボットを作製した経験はあるものの、完全な自律型自動ロボットの製作は未経験でその周辺技術の蓄積も乏しいものであった。ロボット製作におけるアイデア検討の段階で、自動ロボットの自動認識や位置制御に使用するセンサモジュールとしてロータリーエンコーダの他、超音波センサ、赤外線センサ、カメラを利用した画像検出、kinect センサなどが候補としてあげられた。最終的には両チームとも、扱い易さおよび外乱に対する安定性を考慮して、これまでの大会で使用実績のあるロータリーエンコーダ、超音波センサ、接触センサ（マイクロスイッチ）を採用し³⁾、これらのセンサからのデータを組み合わせることでロボットの位置制御を試みた。自動ロボットは従動輪に取り付けたロータリーエンコーダの出力パルス数から移動距離を算出し、超音波センサによりテーブルまでの距離を測定して速度制御を行い、接触センサでテーブルの土台およびフェンスを検知することを繰り返すことで移動させた。図 1 に今回作製した自動ロボットの外観を示す。

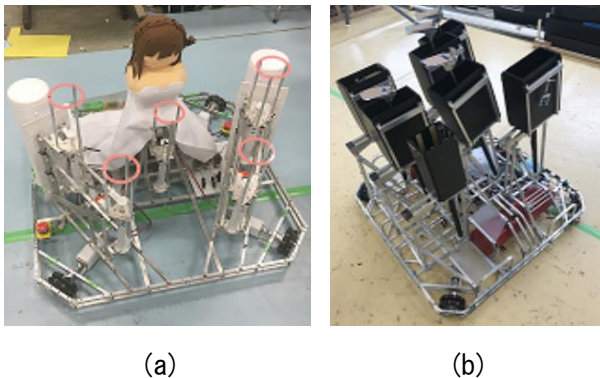


図 1 自動ロボット (a) A チーム, (b) B チーム

3. ロボットの各部の詳細

3.1 ロボットの概要

本年度のロボコンの競技課題では、手動ロボッ

トはスタート時に縦 1200 mm×横 1200 mm×高さ 1000 mm のサイズに収まっている必要があり、ロボットの重量は射出するペットボトルを含めずに 35 kg 以下となっている。また自動ロボットは縦 1000 mm×横 1000 mm×高さ 1000 mm のサイズに競技中を通じて収まっている必要があり、ロボットの重量は 30 kg 以下となっている。秋田高専では、東北地区大会に二チーム (A チーム : B-ride, B チーム : JK-ff) が出場した。ロボットの駆動輪は、両チームとも手動ロボットは横方向の移動のためホイールタイヤを、自動ロボットは前後左右の平行移動をするためオムニホイールを採用した。ペットボトルの射出機構には、B チームの手動ロボットは定荷重バネを利用したが、それ以外のロボットはエアシリンダによる押し出し機構を採用した。また、自動ロボットの位置制御の要となるロータリーエンコーダは、A チームは X, Y 軸に各 1 個, B チームは X, Y 軸に各 2 個使用した。結果としてエンコーダを 4 個使用した B チームの自動ロボットの方が比較的精度良く位置制御することができた。

3.2 自動ロボットの概要

図 2(a) に B チームの自動ロボットの足回りの CAD 図面を、(b) にホイールとロータリーエンコーダの位置関係を表した概略図を示す。駆動輪となるオムニホイールは直径 100 mm の 4 輪で、ロボットの四隅の対角位置に配置されている。これによりロボットは車体の向きを変えずに前後左右に移動することが可能となる。今回の競技課題における自動ロボットの競技中の動きを表した概略図を図 3 に示す。スタート時、ロボットはテーブルの方向を向いており、競技開始後は横方向に移動する。テーブルがある位置まで移動後、ロボットは前進してテーブルに接近する。このとき、ロボット前部に設置した超音波センサによりロボットとテーブル土台の距離を測定しながら進み、テーブルに近づくに従って減速させた。そしてテーブル

土台にロボット前部のバンパーが接触すると接触センサからの信号によりロボットを停止させてペットボトルを射出させた。射出後、ロボットをフェンスまで後退させて次のテーブル位置まで横移動させた。以後同じ動作を繰り返させて、最後はスタートゾーンに戻る動作をさせた。

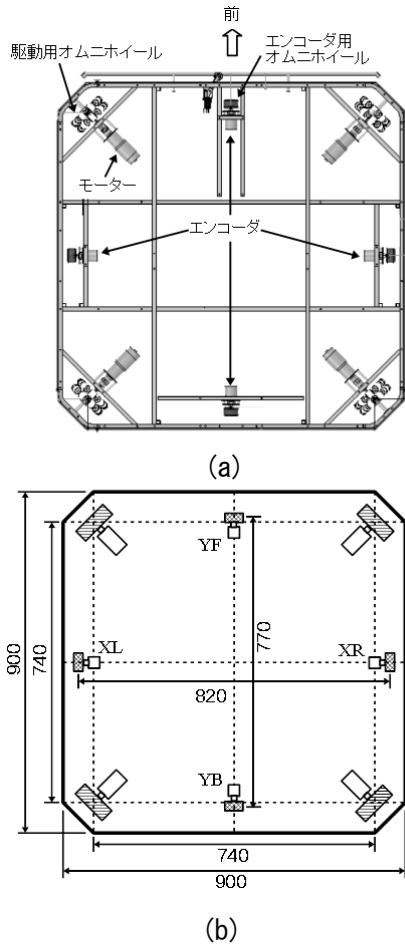


図2 Bチーム自動ロボットの足回り (a) CAD 図面, (b) エンコーダの位置

図4にロータリーエンコーダとオムニホイールを取り付けた足回り部分の写真を示す。ロータリーエンコーダは光学式エンコーダ RE30E-100-213-1(日本電産コパル電子社)を、オムニホイールは直径 38 mm のものを使用し、床面の凹凸を吸収するためスライドレールを介してロボットの本体に取り付けた。ロータリーエンコーダの分解能は 100 P/R (パルス/回転) である。4つのエンコーダは図2(b)に示すように駆動用オムニ

ホイールの中間となる位置に設置した。ロボットの前後方向の移動時は XL と XR の 2 つのエンコーダからのパルス信号を、横方向の移動時は YF と YB の 2 つのエンコーダからのパルス信号をマイコンに入力し、比例微分 (P-D) 制御による補正処理を行い、駆動用オムニホイールのモータ出力へフィードバックさせた。

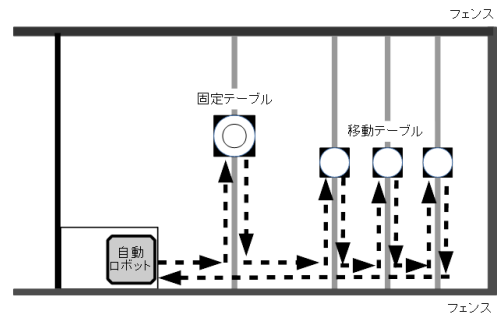


図3 自動ロボットの動作図

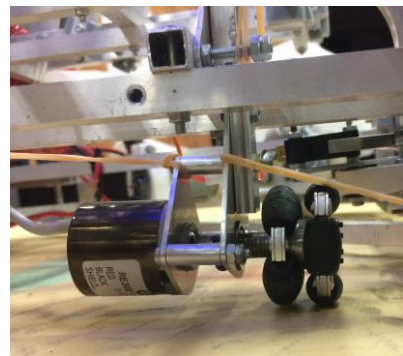


図4 ロータリーエンコーダ

3.3 自動ロボットの位置制御

自動ロボットの位置制御は、4つのエンコーダから出力されたパルス信号をマイコンに入力し、P-D 制御による補正処理をしてモータドライバへの PWM 出力に反映させた。マイコンは外部割り込みに利用できるピン数とプログラムに対してのメモリ容量の大きさから STM32F303RET6 (ST マイクロエレクトロニクス社) を使用した。図5にロボットが進行方向に直進するためにエンコーダからの信号を使った P-D 制御のフローチャートを示す。当初は積分制御を含めた PID 制御を試みたが、積分制御の効果が小さかったためプログラムの実行

回数を上げることを優先して積分制御部分は削除した。進行方向に対して左右のエンコーダのパルス数の差（偏差）が 0 となることを目標値にし、P-D 制御を施してモータへの出力量の調整を行い、これを目的のパルス数になるまで繰り返した。比例ゲイン KP および微分ゲイン KD は、偏差と操作量を予測して決定後、実際にロボットを動かしながら試行錯誤して調整した。P-D 制御のループの処理にかかる時間はロボット動作に係る他の処理も含めて約 30 ms であった。

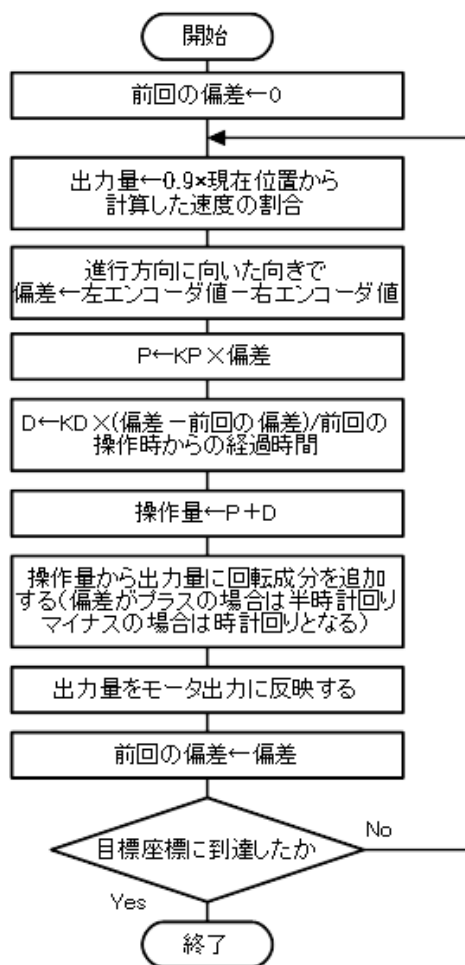


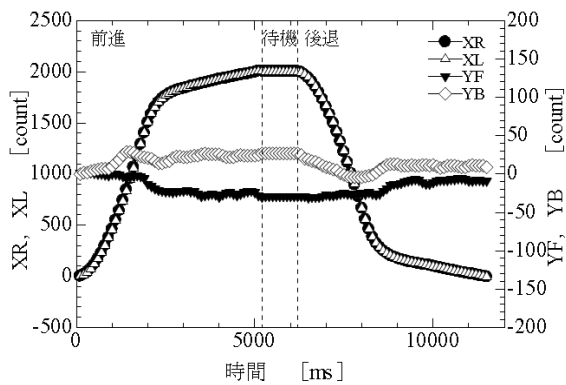
図 5 エンコーダによる制御のフローチャート

4. 実験

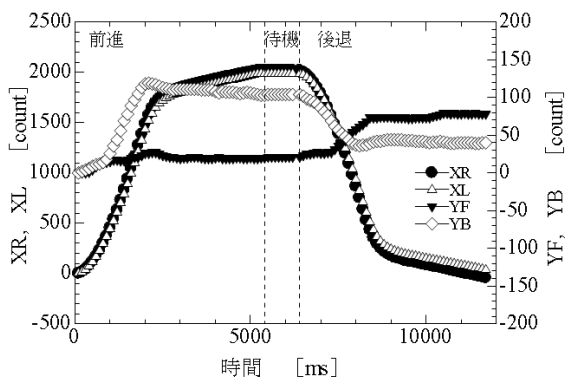
B チームの自動ロボットの前後移動および横移動における P-D 制御による影響について検討するためロータリーエンコーダのパルス数の測定を行

った。床面は大会時と同じロンリウムシート上で、ロボットを前進、待機、後退あるいは右移動、待機、左移動させた場合の 4 つのロータリーエンコーダのパルス値を 100 ms 毎に記録した。

図 6(a)にロボットを前後移動させた時の P-D 制御による補正がある場合のエンコーダのパルス数の変化を、(b)に補正がない場合のパルス数の変化を示す。前後移動の時、制御に利用する左右のエンコーダ XR および XL のパルス数は、補正がある場合はほぼ同じ値を示している。一方、P-D 制御による補正がない場合は XR, XL で若干の値のズレが生じていることがわかる。図 7 に左右のエンコーダのパルス数の差（偏差）の変化を示す。補正がある場合、偏差 XR-XL は 0 に近い値を示しており、自動ロボットが直進できていることがわかる。補正がない場合、偏差は 50 以上の値を示しており、エンコーダの分解能を考慮すると半回転分のズレが生じていることが推測できる。また、1500 ms 付近および 7500 ms 付近で偏差の増加が見られる。これは、ロボットが目的とする移動距離に近づいた時に減速させているタイミングで生じているが、この急激な変化に対しても約 1 s 程度で偏差を 0 に近づけることができている。この現象は加速時にも生じるものと思われる。本実験ではロボットの停止状態からの加速のみであるため顕著に現れていないが、ロボットが運動状態から加速した場合でも起こり得ると考えられる。これを改善させるには、各ゲインの最適化を行うか減速時のモータへの出力 PWM 信号の Duty 比を調整することが必要と考えられる。さらに、今回の制御方式では進行方向に対して左右の二つのエンコーダのみ使用しているが、ロボットが前進状態から減速した時、前部のエンコーダ YF 用従動輪に荷重がかかり、後部 YB が浮き上がり回転していることがわかる。これは図 6(b)の補正がない場合で顕著に現れた。この改善策として、ロータリーエンコーダを駆動輪に取り付けて 4 個のエンコーダからの値を補正に利用する方式を考えている。



(a)



(b)

図6 前後移動時のエンコーダのパルス数

(a) P-D 制御による補正あり, (b) 補正なし

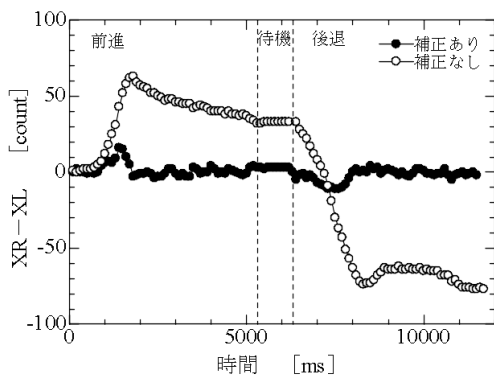
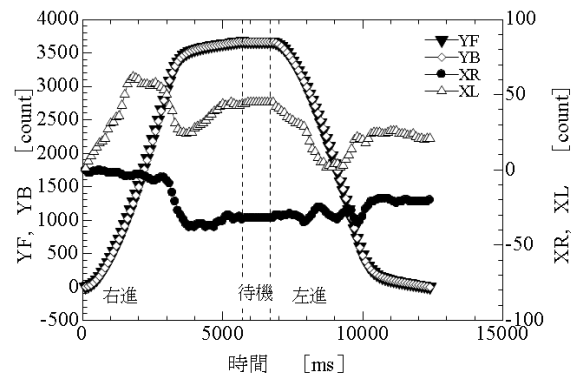


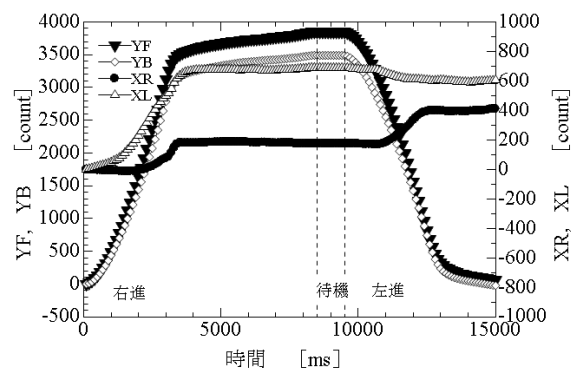
図7 前後移動時の偏差

図8(a)にロボットを横移動させた時のP-D制御による補正がある場合のエンコーダのパルス数の変化を、(b)に補正がない場合のパルス数の変化を示す。横移動の時、制御に利用する進行方向に対して左右の位置関係となるエンコーダ YF および

YB のパルス数は、前後移動時と同様、補正がある場合はほぼ同じ値を示しているが補正がない場合は大きく値がズレていることがわかる。図9に左右のエンコーダの偏差 YF-YB の変化を示す。補正がある場合、ロボットの減速時に偏差の増加が見られるが、ほぼ0に近い値を示している。補正がない場合、前後移動時と比べて偏差が大きくなっている。これはロボットの上部に設置しているペットボトルの射出機構やエアシリンダを動かすためのエアタンクの配置のバランスが関係していると思われる。Bチームの自動ロボットは左右の対称性が高いが、前後では重量バランスの中心が後部寄りであるため、前後移動より横移動で偏差が大きくなっていると考えられる。しかしながら、今回使用したP-D制御により、前後方向、横方向いずれの方向にもロボットを直進させることができた。



(a)



(b)

図8 横移動時のエンコーダのパルス数

(a) P-D 制御による補正あり, (b) 補正なし

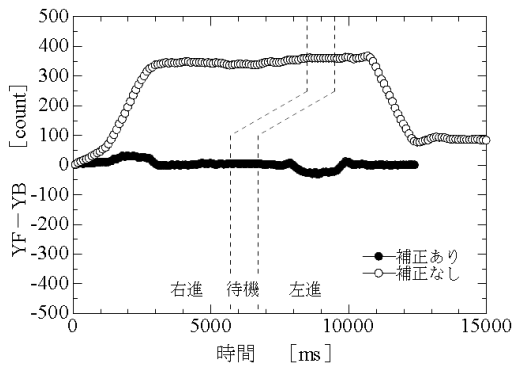


図 9 横移動時の偏差

5. まとめ

本稿では、高専ロボコンに出場したロボットのうち自動ロボットの位置制御の機構と P-D 制御による実験結果について報告した。本年度の競技課題では、自動ロボットの動きを前後移動と横移動の繰り返すことで単純化し、採用した P-D 制御で比較的良好な直進性を得ることができ、ロボットの位置制御を実現することができた。しかしながら、ロボットの自律化・自動化を掲げた今後の競技課題では動的物体に対する反応なども求められることが予想され、自動ロボットの制御はより複雑になる。今回開発したロボットの位置制御に加

え、他のセンサからの情報を組み合わせたさらに高度な自動ロボットの開発が課題である。

謝辞

ロボコン活動において、ご協力頂いた本校教職員の方々に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 西野智路, 小林義和, 田中将樹: 秋田高専におけるロボットコンテストの取り組みと課題, 秋田工業高等専門学校研究紀要, 46, pp. 90-94, (2011)
- 2) 小林義和, 西野智路, 田中将樹, 増田周平, 岡部克利, 辻尚史: 秋田高専におけるロボットコンテストの取り組みと課題第 2 報 二足歩行ロボットの改良と活動体制の強化, 秋田工業高等専門学校研究紀要, 47, pp. 31-37, (2012)
- 3) 田中将樹, 西野智路, 小林義和, 松尾幸二郎, 辻尚史, 新井場貴寛: 秋田高専におけるロボットコンテストの取り組みと課題 第3報 ロボコン活動と地域イベントへの協力, 秋田工業高等専門学校研究紀要, 48, pp. 34-39, (2013)

A closed 2-form on the quotient space $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma_g), SO(4))/SO(4)$

Naoya Suzuki

(平成30年11月 5日受理)

Following the idea of A. Weinstein [5], we construct a closed 2-form on $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma_g), SO(4))$ which is the pullback of a closed 2-form on the quotient space $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma_g), SO(4))/SO(4)$.

1 Introduction

In classical theory, it is well-known that there is one-to-one correspondence between the conjugate classes of homomorphisms $\pi_1(M) \rightarrow SO(4)$ and the isomorphism classes of flat $SO(4)$ -bundles over M . So it is important to investigate the property of $\text{Hom}(\pi_1(M), SO(4))/SO(4)$ in the study of flat $SO(4)$ -bundles.

On the other hand, for any Lie group G , we can construct a simplicial manifold NG called nerve of G and the de Rham complex $\Omega^*(NG(*))$ on it. We call this complex the BSS complex. In [5], A. Weinstein introduced the equivariant BSS complex $\Omega_{SU(2)}^*(NSU(2))$ and used a cocycle in it to construct a symplectic form on $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma_g), SU(2))/SU(2)$.

In this paper, we construct a closed 2-form on $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma_g), SO(4))$ using a cocycle in $\Omega_{SO(4)}^*(NSO(4))$.

2 The Euler class in the BSS complex

In this section we take $G = SO(4)$ and recall a cocycle in $\Omega^4(NG)$ which represents the Euler class.

Theorem 2.1 ([3]). *The cocycle which represents the Euler class of $ESO(4) \rightarrow BSO(4)$ in $\Omega^4(NSO(4))$ is a sum of the following $E_{1,3}$ and $E_{2,2}$:*

$$\begin{array}{ccc} E_{1,3} \in \Omega^3(G) & \xrightarrow{d'} & \Omega^3(NG(2)) \\ & & \uparrow d \\ & & E_{2,2} \in \Omega^2(NG(2)) \end{array}$$

$$\begin{aligned} E_{1,3} &= \frac{1}{192\pi^2} \sum_{\tau \in \mathfrak{S}_4} \text{sgn}(\tau) ((h^{-1}dh)_{\tau(1)\tau(2)} (h^{-1}dh)_{\tau(3)\tau(4)}^2 \\ &\quad + (h^{-1}dh)_{\tau(3)\tau(4)} (h^{-1}dh)_{\tau(1)\tau(2)}^2), \\ E_{2,2} &= \frac{-1}{64\pi^2} \sum_{\tau \in \mathfrak{S}_4} \text{sgn}(\tau) ((h_1^{-1}dh_1)_{\tau(1)\tau(2)} (dh_2h_2^{-1})_{\tau(3)\tau(4)} \\ &\quad + (h_1^{-1}dh_1)_{\tau(3)\tau(4)} (dh_2h_2^{-1})_{\tau(1)\tau(2)}). \end{aligned}$$

3 A cocycle in the equivariant BSS complex

In this section we recall a cocycle in $\Omega_{NSO(4)}^4(NSO(4))$.

We take a cochain $\mu \in (\Omega^1(G) \otimes \mathcal{G}^*)^G$ as follows:

$$\begin{aligned} \mu(X) = & \\ & \frac{-1}{64\pi^2} \sum_{\tau \in \mathfrak{S}_4} \text{sgn}(\tau) ((X)_{\tau(1)\tau(2)}(h^{-1}dh)_{\tau(3)\tau(4)} \\ & \quad + (X)_{\tau(3)\tau(4)}(h^{-1}dh)_{\tau(1)\tau(2)}) \\ & - \frac{1}{64\pi^2} \sum_{\tau \in \mathfrak{S}_4} \text{sgn}(\tau) ((X)_{\tau(1)\tau(2)}(dhh^{-1})_{\tau(3)\tau(4)} \\ & \quad + (X)_{\tau(3)\tau(4)}(dhh^{-1})_{\tau(1)\tau(2)}). \end{aligned}$$

Here $X \in \mathcal{G} = \mathfrak{so}(4)$.

Theorem 3.1 ([4]). $E_{1,3} + E_{2,2} + \mu$ is a cocycle in $\Omega_{SO(4)}^4(NSO(4))$.

4 A closed 2-form on $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma_g), SO(4))$

In this section, we construct a closed 2-form on $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma_g), SO(4))$.

We set $\pi := \pi_1(\Sigma_g)$. The evaluation mapping

$$\text{ev} : \pi^p \times \text{Hom}(\pi, SO(4)) \rightarrow SO(4)^p$$

induces a pullback $\text{ev}^* : \Omega_{SO(4)}^*(SO(4)^p) \rightarrow \Omega_{SO(4)}^*(\pi^p \times \text{Hom}(\pi, SO(4)))$. Since π is discrete, $\Omega_{SO(4)}^*(\pi^p \times \text{Hom}(\pi, SO(4)))$ is identified with $C^p(\pi) \otimes \Omega_{SO(4)}^*(\text{Hom}(\pi, SO(4)))$, where $C^p(\pi)$ is the space of the real-valued functions on π^p . Especially, $\text{ev}^*E_{2,2}$ belongs to $C^2(\pi) \otimes \Omega_{SO(4)}^2(\text{Hom}(\pi, SO(4)))$.

Proposition 4.1. *We take a 2-cycle $c \in C_2(\pi)$, then $\text{ev}^*E_{2,2}(c)$ belongs to $\Omega_{SO(4)}^2(\text{Hom}(\pi, SO(4)))$ and the following equations hold:*

$$d(\text{ev}^*E_{2,2}(c)) = 0, \quad d_G(\text{ev}^*E_{2,2}(c)) = 0.$$

So $\text{ev}^*E_{2,2}(c)$ is a closed 2-form and also the pullback of a closed 2-form on the quotient space $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma_g), SO(4))/SO(4)$.

Remark 4.1. When c is a 2-boundary, the equation $\text{ev}^*E_{2,2}(c) = 0$ holds so paring $c \in H_2(\pi)$ with $\text{ev}^*E_{2,2}$ defines a natural homomorphism $H_2(\pi) \rightarrow \Omega_{SO(4)}^2(\text{Hom}(\pi, SO(4)))$.

References

- [1] N. Berline, E. Getzler, and M. Vergne, Heat Kernels and Dirac Operators, Grundlehren Math. Wiss. 298, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [2] J.L. Dupont, Curvature and Characteristic Classes, Lecture Notes in Math. 640, Springer Verlag, (1978).
- [3] N. Suzuki, The Euler class in the Simplicial de Rham Complex, International Electronic Journal of Geometry, Vol 9, No.2, (2016), pp. 36-43.
- [4] N. Suzuki, The equivariant de Rham complex on a simplicial G_* -manifold, Advances and Applications in Mathematical Sciences. Vol.16, No.10, August, pp. 337-347 (2017).
- [5] A. Weinstein, The symplectic structure on moduli space. The Floer memorial volume, Progr. Math., 133, Birkhäuser, Basel,1995, 627-635.

技術研究ノート

手仕上げ技能継承から得たコツの可視化教材の開発

秋田工業高等専門学校 技術教育支援センター 技術専門職員 佐々木 智 征

オルゴールを題材とした教育教材の改良と学生からの評価について

秋田工業高等専門学校 技術教育支援センター 技術職員 辻 尚 史

高速キャンパス情報ネットワークシステムの更新について

秋田工業高等専門学校 技術教育支援センター 技術職員 新井場 貴 寛

手仕上げ技能継承から得たコツの可視化教材の開発

秋田工業高等専門学校 技術教育支援センター

佐々木 智征

1. 背景

秋田高専（以下本校）において技術職員の世代交代が進んでおり、技能の継承が問題となっていた。特に手仕上げ作業においては自身の身体を動かす作業であり、熟練技能者の感覚やコツといった言葉で表現できない部分があるため、より継承に時間を要する。本校には2級手仕上げ技能士を取得している熟練職員がいたが、同じレベルの高い技能で作業できる職員がいなく、技能の継承が必要不可欠であった。手仕上げ作業の中でも、精密平面仕上げやきさげ仕上げは特に時間を要する作業であることから、その二つに重点をおいて継承を行った。指導を受けるに従い、作業を行なっていく中で得た知識や、自分自身が時間を要したポイントをどうにか分かり易く学生にも伝えることができないかと考えるようになり、その方法を模索し始めた。実際に実習においても手仕上げ作業はコツを伝えるのが難しく、その指導方法について課題であった。手仕上げ実習では、ケガキ・穴あけ・切断・ヤスリ仕上げ等を行って、一つの製品を完成させることを目標に実習を進めているが、ほとんどの作業を自身の身体を使って行う手仕上げ作業では、カンが頼りとなり力加減や身体の使い方で仕上がりが大きく変化してしまう。限られた実習時間内にコツをつかむのが難しい上に個々で感覚が違うため指導をしてもうまく伝わらず、製品の完成に時間を要してしまうことが多々あった。そのため、直感的にコツや作業のポイントを理解できる教材があれば、より短時間での指導が期待できる。

本発表では、昨年度退職された熟練職員からの技能継承の取り組み内容と、そこから得た加工時の動作やコツをより直感的につかむための可視化教材の開発について報告する。

2. 技術継承について

昨年度の本校機械系実習では5班に分かれて各テーマ3週でローテーションを行っていた。後期に行われている手仕上げ実習では各ローテーションで同じ材料を使用しての作業であるため、1つの班が終わり次のローテーションに入る前に



図1 実習製品(左)と摺り合わせ定盤(右)

材料の手直しを行っている。その時間を利用し、指導してもらうことで技能の継承を図った。

図1左側の実習で製作している直方体をヤスリで赤あたりを確認しながら切削し、赤あたり90%以上、平行度0.02以内に仕上げ、その後きさげ仕上げを行う。きさげ仕上げは精密平面に対して油だまりをつけ滑りをよくする加工であり、主に工作機械の摺動面に用いられる。平面全体に荒削りを行い、摺り合わせをして当たりを確認していく。当たりを増やすためポイントを絞って仕上げ削りを行い、当たりの数で仕上がりを判断する。そこで、黒あたりが25.4mm²あたり15個程度を目標とした。作業は熟練職員から指導を受けながら行い、毎年学年末休業を利用して熟練職員が行っている図1右側の摺り合わせ定盤の校正作業を仕上げられるレベルまで技能を身に付けることができた。しかし製品の仕上げを行う際に、荒削り段階である程度の精度が出ていないと仕上げに時間を要してしまっていた。そこで荒削りに注目して熟練職員との比較を行うこととした。

3. 可視化教材の開発

まず始めに、2台のカメラを用いて作業している様子を違う角度から撮影し、その動画をモーションキャプチャ用ソフトウェアによりデータ化を

行った。このシステムにより加工中の動作や姿勢がデータ化され、定量的に評価できるようになった。また3次元のポリゴンで表示できるようになり(図2)、自身の動きを色々な角度から細かく何度も確認できるようになった。さらに熟練職員の動きと比べることにより、自身との違いを視覚的にとらえやすくなった。これまでの研究で上記のシステムを用いてヤスリがけの基礎である荒削り加工における動作比較を行ってきた¹⁾。今回はきさげ加工について動作比較を行い、その特徴を抽出した。

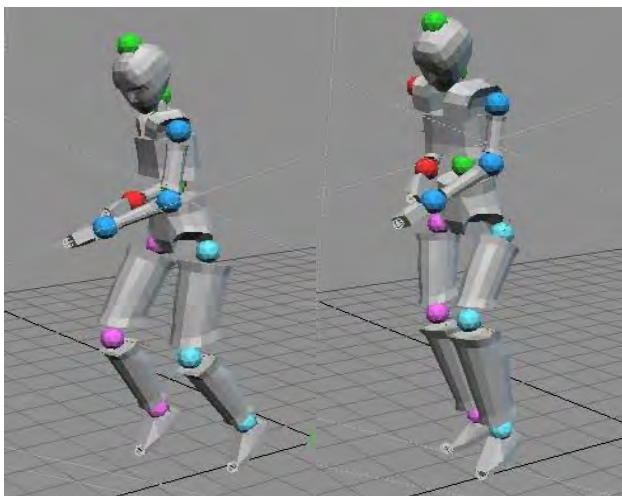


図2 熟練職員(左)と非熟練職員(右)のモーション画像

4. まとめ

今回は荒削りの動作に注目し、左右の肩、肘、手首、腰、膝、足首に目印となるシールを貼り動作の解析を行った。比較を行った結果、熟練職員と非熟練職員の違いの大きかったポイントを図3、図4に示す。熟練職員はすべての動きが連動しており身体全体を使って一定の動きで加工を行っていることがわかる。それに比べ非熟練職員は身体の動きと手首の動きが連動しておらず手首のみで加工しており、動き自体が小さいことがわかる。加工した面を比べると非熟練職員のものは擦っているだけで加工しているとはいえない。また手首のみの加工では工具が安定せず斜めになってしまい削れていたとしても所々深いキズとなってしまう。このキズを消すためにはさらに深く削らなければならないため、精度良く短時間で加工を行うためには身体全体を使って一定の力をかける必要があることがわかった。

今回開発を行ったモーションキャプチャを用いた姿勢や動作の可視化では、大きい動きに対して一定の成果を挙げたといえる。しかし、動作だけコツをつかんでも視線をどこに置くかが分からないと熟練職人と同じような加工ができないことが分かった。今後は視線計測装置を用いて視線の動きもデータ化し、両者を同期させて解析を行うことで、動作と視線の複合的な可視化教材の開発を目指す。

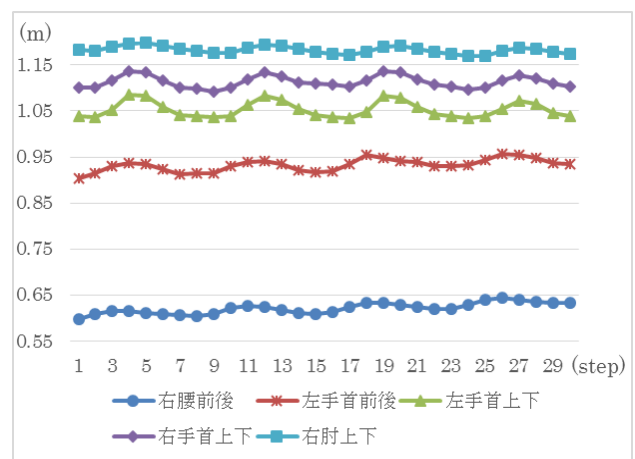


図3 熟練職員の動作

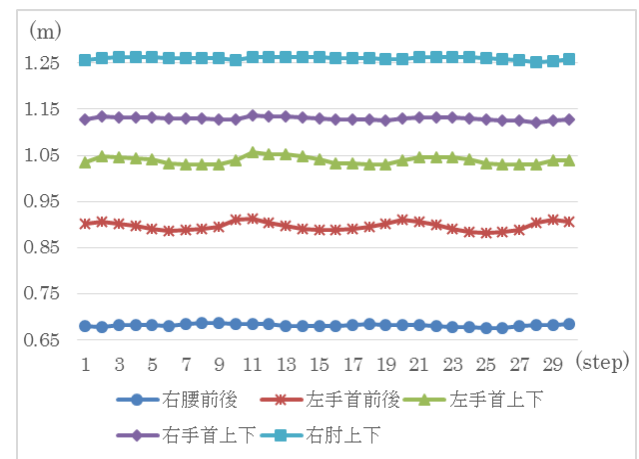


図4 非熟練職員の動作

【参考文献】

1) 松田英昭, 佐々木智征, 他, “職人の加工技術の可視化教材の開発”, 平成27年度実験実習技術研究会 in 西京報告集, pp345-346(2016-03)

オルゴールを題材とした教育教材の改良と学生からの評価について

秋田工業高等専門学校 技術教育支援センター
技術職員 辻 尚史

1. 目的

秋田工業高等専門学校技術教育支援センター第1技術班は、2017年4月より、1学年の全学生を対象に機械系のものづくり教育実習(基礎工作実習)を支援している。従来の実習内容や方法から大幅な見直しを迫られたこともあり、教育改善・業務改善の一環として実習課題の見直しに取り組み、教育教材「簡易型オルゴール」を開発し実習に導入した⁽¹⁾。本稿は、導入直後の2017年度前期に実施した実習で散見された問題点を踏まえ、2017年度後期より導入した教材の改良点や、本実習に対する学生の評価を中心に報告する。

2. 簡易型オルゴール製作の概要

2.1 教材決定の経緯

基礎工作実習は約40名の1クラスを4つに班分けし、本テーマにおいては2名の技術職員で2班を6週担当することになった。なお1週の実習時間は90分である。これを踏まえ、以下に留意し教材検討を行った。

- (1)身近な物を題材にし、手作り可能で機械系の要素を含んでいること、さらには各専門分野への関連付け可能な要素も含んでいること
- (2)製品にインパクトがあり、製品によって製作した学生のオリジナリティがある程度出ること
- (3)汎用工作機械を極力使用しないことで学生の操作ミスに起因する事故を防ぐ目的から、NC工作機械を多用し、学生の安全を確保すること

これらを考慮し、図1(a)に示す教材(以下前期型)を開発し2017年度前期より実習に導入した。

2.2 前期型教材の問題点と後期型教材への展開

本教材で実習を行ったところ、以下の問題が散見された。

- [1]調律・組み立て作業時は作業量が多いことや調律作業がやりづらく、実習時間を大幅にオーバーし



(a)改良前 2017年度前期型



(b)改良後 2017年度後期型

図1 簡易型オルゴール

てしまった

- [2]調律作業は調律済みの櫛歯を用意し、自分が製作している櫛歯と交互に音を鳴らすことで音の違いを聞き取り、調律を行う方法をとったが、音の違いが分かりづらい学生がおり、作業が捗らなかった
 - [3]櫛歯の歯を調律や組み立ての際に折損させてしまった学生が多数いた
 - [4]音色が市販製品とかけ離れてしまった
- これらの問題点を解決するため、前期型に改良を加え図1(b)に示す教材(以下後期型)を開発した。詳細は次のとおりである。
- [1]の問題については、部品点数を減らすことを目

的に後期型から櫛歯を一体形状にした。音階を調整するための調律作業も前期型は歯を出し入れする方式であったが、後期型ではダイヤモンドやすりで歯を削る方式とした。さらに歯の形状を先端が重く、腹の部分が薄くなるようにした。これにより、製品のオルゴールのような音色と響きを得ることができ、[4]の問題を同時に解決した。

[2]の問題については、チューナー(調律器)を導入することで、誰でも定量的評価に基づいて調律作業を行えるようにした。しかし、チューナー内臓のマイクを使用すると周囲の学生の作業音が干渉してしまい、正しく音を検知できないと考えた。そこで、圧電素子を用いた治具を製作し、歯を弾いた際に発する振動を電気信号に変換し、そのままチューナーに入力できる仕組みにした(図2)

[3]の問題については、これまでは櫛歯をガスバーナーでの火炎焼き入れのみだったが、後期からは電気炉を用いた焼き戻し工程を追加した。これにより、音の響きに不可欠な硬さのみならず十分な靱性を得ることに成功し、櫛歯の折損を大幅に低減させることができた。

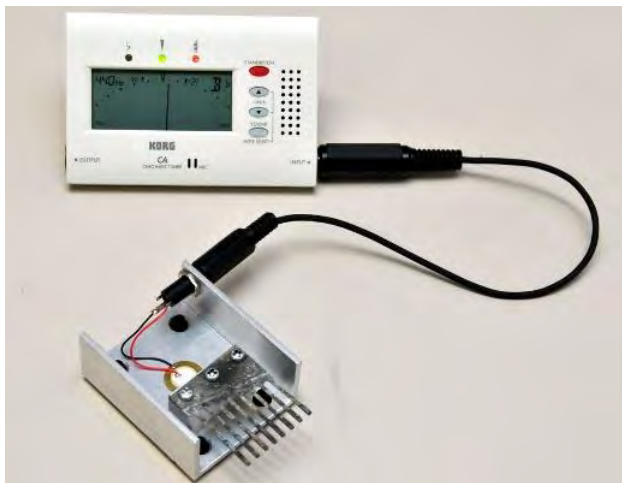


図2 調律作業用機器

3. 学生の評価

後期からは本実習に対するアンケートを初めて実施した。84名から回答を得ることができ、その結果の一部を図3に示す。

Q1, Q3, Q4より、学生は実習内容や教材について概ね満足している様子がうかがえる。Q2につい

ては80%以上の学生が普通か難しかったと回答している。あまりにも簡単すぎる内容だと実習やものづくりの面白みに欠けると考えるため、実習の難易度としては適切ではないかと考える。

さらに自由記述には、「NC工作機械で部品ができるところが面白かった」「細かい作業が多く大変だったが、その分達成感も得られた」といった意見も見られた一方、「バリ取りなどの手仕上げの時間がもう少しほしかった」といった意見も見られた。教材だけではなく、実習の進め方も今後考えたい。

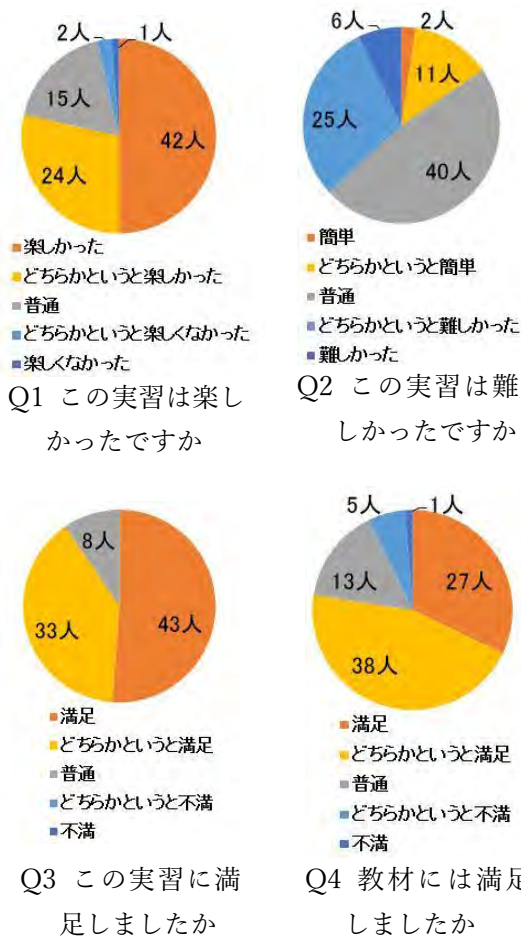


図3 アンケート結果

文献

(1)辻尚史他, オルゴールを題材とした教育教材の開発と実習への導入について 2017年度信州大学実験・実習技術研究会, P-029, pp.78-79(2018)

高速キャンパス情報ネットワークシステムの更新について

新井場 貴寛

秋田工業高等専門学校 技術教育支援センター

1. はじめに

秋田高専では、平成 30 年 6 月に「高速キャンパス情報ネットワークシステム」の機器更新を行った。上記システムは、元々学内全域のスイッチ群や一部サーバ群も含んでいたが、それらは高専機構の「高専統一ネットワークシステム」プロジェクトによって、平成 29 年 11 月に機器更新が行われた。そのため、今回のシステム更新では、残りのサーバ群を中心に更新を行うこととした。

また、平成 30 年度から情報基盤整備費としての予算配分が無くなったことで、コスト削減を迫られたという背景もあり、下記方針で機器更新を行うこととした。

- ・冗長性の低下を抑えながら、仮想基盤サーバのハードウェア台数を減らす。
- ・仮想化基盤用共有ストレージには仮想ストレージソフトウェアを利用し、SDS (Software Defined Storage) 型の仮想化基盤を構築する。
- ・仮想サーバについては、一部を除き、V2V (Virtual to Virtual) で新システムへ移行する。

2. システムの構成

2. 1 ハードウェアと仮想化基盤

新旧システムの構成を図 1、図 2 に示す。

旧システムでは、物理サーバ製品が 7 台あった。内訳は、仮想基盤サーバが計 4 台 (2 台×2 クラスタ)、共有ストレージが 1 台、プロキシサーバ (アプライアンス製品) が 1 台、vCenter サーバが 1 台、となっている。

新システムでは、物理サーバ台数を全体で 3 台に抑えている。まず、仮想化基盤サーバを 2 台 (1 クラスタ) で構成した。旧システムと比べて、物理サーバに障害が発生した際の

冗長性が低下しているが、コストと安全性のバランスを考慮し、問題ないと判断した。

また、仮想化ソフトウェアは、新旧共に VMware vSphere ESXi を使用しているが、新システムでは vCenter サーバを vCSA として仮想化基盤上に配置することにより、物理サーバ数を削減した。

共有ストレージは、2 台の仮想基盤サーバのローカルストレージを仮想ストレージソフトウェア (StorMagic SvSAN) で仮想化し、1 台の共有ストレージとして利用している。これにより、外付けの物理ストレージを用意することなく、ストレージの完全冗長化構成が可能となり、コスト削減と安全性を両立させることができた。



図 1 旧システムの構成



図 2 新システムの構成

2. 2 仮想サーバ

旧仮想化基盤上で稼働していたサーバ群は、そのほとんどを V2V で新仮想化基盤へ移行した。仮想化されたマシンは、仮想化基盤上での環境移行が容易で、新規に構築する

よりコストを削減することができるためである。ただし、バックアップサーバは、新規購入したソフトウェアを利用するため、今回新たに構築した。

2. 3 プロキシサーバ

新システムでは、プロキシサーバをアプライアンス製品から Red Hat Enterprise Linux の squid へ変更した。アプライアンス製品は導入が簡単である半面、後からスペックの増強が行いづらいこと、squid に比べて設定の自由度が低いこと、などのデメリットがあったためである。

旧プロキシサーバのメモリ使用率推移は図 3 の通りである。グラフ中央付近の時刻にサーバの再起動を行っており、unused が増えているが、すぐに cache が増えていることがわかる。これは、搭載されているメモリサイズが小さく、キャッシュによりすぐに枯渇してしまっていたためである。そのため、新プロキシサーバでは、かなり大きいサイズのメモリを搭載した。現在、平均で約 40% のメモリ使用率にて稼働している (図 4)。

また、旧プロキシサーバでは、セッション数の上限値が低く調整もできなかったため、時間帯によっては速度低下が発生していた。netstat の出力結果を図 5 で示しているが、established が 900 程度で頭打ちになっている。新プロキシサーバでは、各種パラメータの調整が可能であるため、旧プロキシサーバに比べてセッション数 (established) の増加にも対応できるようになった (図 6)。

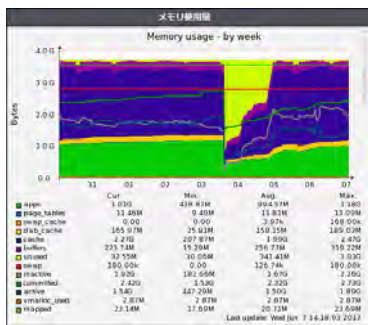


図 3 旧プロキシサーバのメモリ使用率

```
top - 11:15:48 up 62 days, 25 min, 3 users, load average: 0.37, 0.33, 0.31
Tasks: 309 total, 1 running, 308 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 3.1 us, 2.5 sy, 0.0 ni, 93.6 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.8 si, 0.0 st
KiB Mem : 24138004 total, 14956216 Free, 5839200 used, 3342588 buff/cache
KiB Swap: 12189692 total, 12186100 Free, 3592 used, 17613720 avail Mem
```

図 4 新プロキシサーバの top コマンド出力

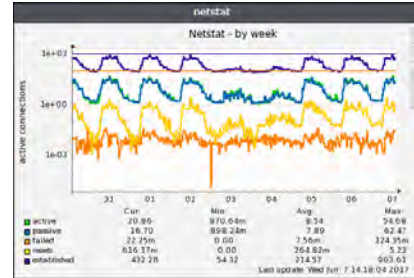


図 5 旧プロキシサーバの netstat 出力グラフ

```
5 CLOSE_WAIT
1126 ESTABLISHED
2 FIN_WAIT1
64 FIN_WAIT2
1 LISTEN
1 SYN_RECV
254 TIME_WAIT
```

図 6 新プロキシサーバの netstat 出力

3. 新システムの運用を開始してみても

特に昼休み時間帯の速度低下が改善された。近年では、高専機構が利用を推奨している Microsoft Office365 などのウェブアプリの利用が増えたことで、以前に比べてセッション数が大幅に増えている。先述の通り、旧システムでは、プロキシサーバがボトルネックになっていたため、今回の更新でプロキシサーバの性能が向上したことが、混雑時の通信速度に大きく影響したと思われる。

一方で、旧システムから流用している物品等に不具合が発生することがあり、交換機やバックアップ等を準備している。

4. まとめ

今回の更新は旧システムからの流用部分が多く、高専統一ネットワークシステムとの連携も考慮しつつシステム切り替えを行わなければならないため、全て新規に構築する場合とは勝手が違う部分が多かった。しかし、コストの削減と通信速度の改善を両立することができた。今後も稼働状況を確認しつつ、より安定したネットワーク環境を目指していきたい。

秋田工業高等専門学校
研究紀要編集ワーキング

図書館長補

機械系	野澤正和
機械系	渡部英昭
電気・電子・情報系	菅原英子
物質・生物系	西野智路
土木・建築系	鎌田光明
人文科学系一般教科	小林貢
自然科学系一般教科	鈴木直矢

独立行政法人国立高等専門学校機構

秋田工業高等専門学校
研 究 紀 要

第54号

平成31年2月28日発行

編集兼発行者 秋田工業高等専門学校
秋田市飯島文京町1番1号
電話 018-847-6007

RESEARCH REPORTS OF
NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, AKITA COLLEGE

No. 54
February 2019

Accuracy validation of motion analysis system in upper limb rehabilitation robot using Kinect.....	1
..... Masahiro MIURA, Satoru KIZAWA	
Development of a Robot Using Positioning Control System for the Robocon Competition.....	
..... Masaki TANAKA, Tomomichi NISHINO, Ryuichiro NAKAJIMA, Yuto NARA*, Tatsuya MATSUHASHI*, Masashi HOSAKA*, Hidetaka WATANABE and Daichi ITOH.....	9
A closed 2-form on the quotient space $\text{Hom}(\pi_1(\Sigma g); \text{SO}(4)) = \text{SO}(4) $	Naoya SUZUKI..... 15