

ISSN 1882-8566

# 岐阜県情報技術研究所研究報告

第14号 平成24年度

岐阜県情報技術研究所

Gifu Prefectural Research Institute of Information Technology

## 目 次

組込技術を用いた高機能ワイヤレスセンサシステムの研究開発(第2報) . . . . .	1
— 超音波位置計測システムの精度向上 —	
観光客の行動計測技術と行動モデルに基づいた情報提供手法の研究開発(第2報) . . . . .	6
水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発 . . . . .	11
— 自律走行ロボットの開発(第4報) —	
水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発 . . . . .	13
— 現地実証試験2012 —	
防災情報システムの高度化に関する研究(第1報) . . . . .	15
水田魚道を遡上する魚の自動計数装置の開発 . . . . .	19
人の動線推定に関する研究開発(第2報) . . . . .	21
— パーティクルフィルタを用いたマップマッチング —	
IEによる作業工程分析及び可視化手法の研究(第2報) . . . . .	25
シミュレーション技術を用いたジグ設計検証手法の開発 . . . . .	29
音源分離技術を用いた切削音による工具摩耗評価 . . . . .	33
<b>【技術資料】</b>	
国体式典参加者の移動シミュレーション . . . . .	37
タブレットPCを用いた福祉分野支援アプリの開発 . . . . .	39



# 組込技術を用いた高機能ワイヤレスセンサシステムの研究開発(第2報)

## — 超音波位置計測システムの精度向上 —

田畑 克彦      久富 茂樹      岩井 俊昭\*

遠藤 善道      西田 佳史\*\*

### Development of a New Wireless Sensor System using Embedded Technology (2<sup>nd</sup> Report)

#### - Improvement of the measured Precision of Ultrasonic Positioning System -

Katsuhiko TABATA    Shigeki KUDOMI    Toshiaki IWAI\*  
Yoshimichi ENDO    Yoshifumi NISHIDA\*\*

**あらまし** 本研究では、無人搬送車(AGV)への応用を想定し、屋内外によらず、容易に経路変更が可能なナビゲーションシステムを実現する超音波位置計測システムを開発している。本年度はシステムの信号増幅率を上げることで、ランドマーカの計測範囲を5mまで拡張したシステムに変更した。しかしながら、ソナーシステムから送信されるフェーズドアレイで合成された探索信号が強いために、壁やランドマーカで反射した信号をソナーシステムが誤検知して、計測位置の精度劣化を招くことが判明した。この改善策として、探索信号が長距離伝搬して減衰した後にランドマーカが応答する長遅延応答手法と、ランドマーカまでの距離に応じてフェーズドアレイの探索信号強度を制御する手法を考案した。本手法によって、壁などによる多重反射信号の誤検知を抑え、位置計測精度が改善した。

**キーワード** 超音波センサ、フェーズドアレイ、位置計測システム、無人搬送車(AGV)、組込技術

#### 1. はじめに

現在、コストダウンや省力化のために製造現場内の搬送を目的とした無人搬送車(以下、AGV)が実用化され、商品化されている。しかしながら、現状のAGVの経路走行(ナビゲーション)システムは経路変更の自由度が低いか、自由度が高いシステムは高価になるという課題があった。そこで我々は、経路変更が容易で、しかも低価格な新しいナビゲーションシステムの実現を目指し、それに供するための位置計測システムの研究開発<sup>[1~3]</sup>に取り組んでいる。

本センサシステムは、ルート設定用のランドマーカ(以降“マーカ”と記す)として、磁気テープなどの代わりに超音波センサを使用し、AGVに搭載された超音波センサアレイシステム(以降“ソナーシステム”と記

す)は、特定のマーカを順次識別し、マーカとの相対位置を計測しながら、設定した経路を走行する。

実用化にあたって、超音波センサで課題となる雑音が弱いとされる課題については、以下の2点の対策を施している<sup>[1]</sup>。

- ・フェーズドアレイ技術を利用し、超音波素子アレイで任意の方向へ強い超音波を送信し、SN比を向上させる
- ・経路上に配置したランドマーカに固有情報(以下、“ID”と記す)を割り当て、該当するIDを受信した時のみ応答させることで、他マーカからの信号と混信させない双方向通信を行う

したがって、従来システムのように超音波素子単体を用いて超音波信号を送信し、障害物からの反射信号を複数の超音波素子で受信し、環境マッピングする手法とは異なるシステムである。

昨年度までの研究<sup>[1~3]</sup>により、マイコンやFPGAを用いて実用機に近いソナーシステムとマーカからなる位置計測システムの原理モデルを開発し、近距離における基本仕様(位置精度、位置推定頻度等)の把握を行った。

本年度は、遠距離推定が可能なシステムに改良し位置

\* 国立大学法人 東京農工大学大学院 生物システム  
応用科学府

\*\* 独立行政法人 産業技術総合研究所  
デジタルヒューマン工学研究センター

計測実験を行ったが、誤検知による位置推定精度の劣化が確認された。原因として、ソナーシステムに搭載された素子アレイにより生成される探索信号が強いために、この信号が壁で反射し、マーカーからの応答信号が混信することを確認した。

そこで、これらの反射信号の影響を抑制するための対策を施し、性能改善を試みた結果、反射信号による誤検知などの悪影響が抑えられ、マーカーの位置計測精度が改善されたので報告する。

## 2. 超音波位置計測システム

図1に、試作したソナーシステムとマーカーを示す。以降で説明するマーカーの位置計測プログラムをマイコンボード(プロセッサ, STM32F103ZE)及びFPGAボード(FPGA, XC3S1200E)に実装した。使用した超音波センサ素子には送受信ともに、日本セラミック株式会社のAT40-10PB3を使用した。ソナーシステムとマーカーとの相互通信の仕様としては、ID信号長を7bit、通信速度を625bps<sup>[1]</sup>とした。マーカー位置の計算方法については、以降に示す。

### 2.1 マーカー方位角 $\theta_{MK}$ の計算

マーカー方位角 $\theta_{MK}$ は、左右受信センサの受信時間差を計測することにより、次式を用いて推定する。

$$\theta_{MK} = 90 - \cos^{-1}\left(\frac{dl}{\ell_{RL} - \ell_{RR}}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{dl}{\ell_{RL} - \ell_{RR}}\right) \quad (1)$$

ここで、 $\theta_{MK}=0^\circ$ の時にマーカーが正面存在しているとして、 $\ell_{RL}-\ell_{RR}$ は受信素子間の距離、 $dl$ はマーカーから左右の受信素子間の行路差であり、

$$dl = c \cdot dt \quad (2)$$

で表される。ゆえに、左右受信素子の信号到達時間の差 $dt$ を測定することで、マーカーの方位角を推定する。

この実験において、(1)式および(2)式の角度分解能を決めるパラメータであるサンプリング周期を10 $\mu$ secに、左右受信素子間の距離 $\ell_{RL}-\ell_{RR}$ を81.28mmに設定した。

### 2.2 マーカーまでの距離 $\ell$ の計算

左右受信素子からマーカーまでの距離 $\ell_{Right}$ と $\ell_{Left}$ は、

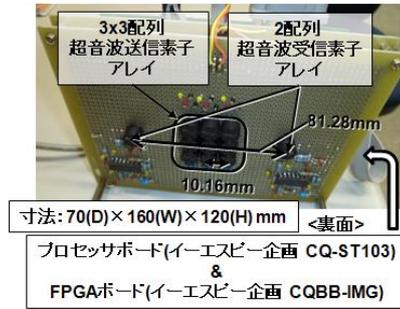
それぞれ次式より算出できる。

$$\ell_{Right} = \frac{c}{2} \cdot (t_{R\_flight} - t_{process}) = \ell \pm \frac{dl}{2} \quad (3)$$

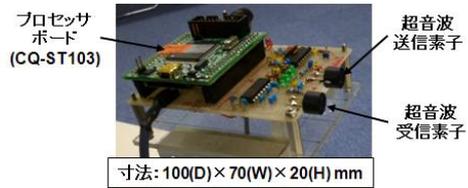
$$\ell_{Left} = \frac{c}{2} \cdot (t_{L\_flight} - t_{process}) = \ell \mp \frac{dl}{2} \quad (4)$$

ここで、 $t_{R\_flight}$ と $t_{L\_flight}$ は、それぞれ左右受信素子について超音波信号が往復するのに要する時間である。また、 $t_{process}$ はマーカーのID認識に要する時間であり、一定の応答遅延となるように設計する。ここで、 $\ell$ は左右受信センサを結ぶ線分の中点からマーカーまでの距離で、 $dl/2$ は左右受信素子の中点を基準とした場合の行路長のずれ量である。

(3)式と(4)式の平均値を計算すると、 $dl/2$ が消去され、マーカーまでの $\ell$ を求めることができ、二つの受信素子で検出することにより、誤差の影響を小さくできる。方位と距離を計算するため、パルスが到来したと判定するタイミングは、送受信パルスの最大値の50%に設定した閾値を超えたタイミングで計算する。

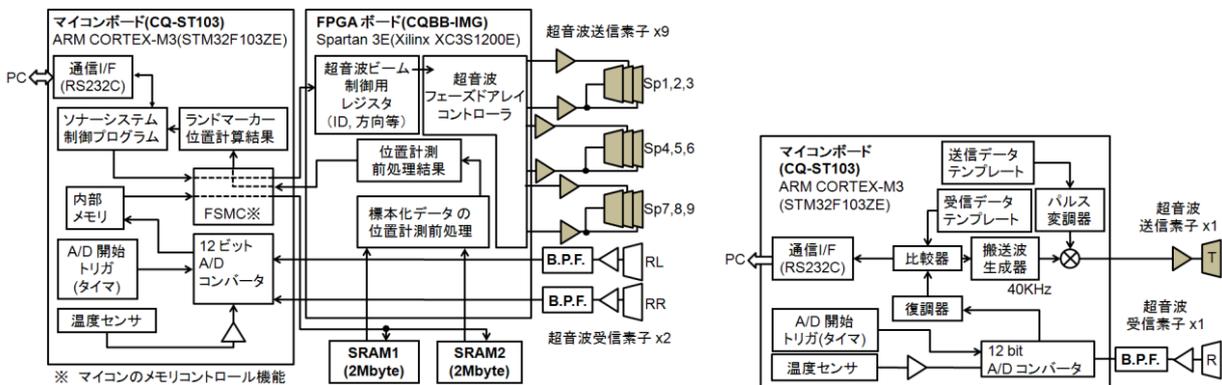


(a) ソナーシステム (試作機)



(b) ランドマーカー (試作機)

図1 超音波位置計測システム



(a) ソナーシステム (試作機)

(b) ランドマーカー (試作機)

図2 機能ブロック図

### 2. 3 超音波位置計測システムの動作

超音波位置計測システムの動作について簡単に述べる。無人搬送車の走行システムを想定した位置計測データ取得用PCにより、探索するマーカーIDをソナーシステムに通知する。ソナーシステムに搭載されているマイコンがそのIDを受信し、探索ビーム方向をFPGAに通知する。FPGAは、送信素子アレイを並列駆動し、指定された方向へフェーズドアレイによって合成された探索信号を照射する。このビームはID情報を含んでおり、2値デジタル振幅変調(ASK)されている。さらに、FPGAはマイコンから左右受信素子が受信する信号のAD値を10 $\mu$ secのサンプリングレートで取得し、約10m先のマーカーを計測可能とした82msecの間の超音波受信信号データを保存した後、マーカーからの応答信号のID識別<sup>[1]</sup>と前述の位置計算のためのタイミングを計測する。マイコンはこれらの情報を元にマーカー検出の有無と、検出が成功した場合の距離 $\ell$ と方位角 $\theta_{MK}$ の位置計算を行い、PCに出力する。

また、マーカーは超音波受信素子が受信した超音波信号に対して逐次信号処理を行いながら、割当てられたIDが到来するのを待つ。そして、割当てられたIDが到来した場合、一定の応答遅延 $t_{process}$ 後にID毎に割り振られた固有の応答信号を送信する。

以上の機能を実現した超音波位置計測システムのブロック図を図2に示す。送信素子アレイについては、フェーズドアレイ技術によるビーム走査と、後述する超音波送信素子数を制御する手法を実現するため、送信素子9個に対して6系統の独立した超音波送信回路を有する。

### 3. 遠距離計測実験と精度劣化要因

本位置計測システムは10m離れたマーカーを計測できることを目標としているため、予備実験により信号増幅率を設定した。この結果、昨年度に比べ大きな増幅率を設定した。また、前述のように本位置計測システムは計測可能距離を設定し、その距離を超音波が伝搬する時間分の受信信号振幅データをメモリに保存してから位置計算する方式である。このため、同じ計測可能距離を設定した場合、前述の応答遅延 $t_{process}$ が短いほどデータ取得時間も短くできるので、位置推定の所要時間も短縮できる。そこで、システムが許容できる最短の応答遅延 $t_{process}$ として13.1msecを設定した<sup>[1]</sup>。

1個のマーカーの位置（距離 $\ell$ 及び方位角 $\theta_{MK}$ ）を変えるごとに、ソナーシステムから200回の探索信号を送り、マーカーの位置計測を行った。位置計測実験の測定条件を表1と図3に示す。

図4は、マーカー方位角 $\theta_{MK}=30^\circ$ 一定として、距離 $\ell$ を500~5000mmの位置に設置した時に位置計測を行い、計測した位置の頻度を2次元ヒストグラムで表したグラフである。同図のグラフ原点にソナーシステムが設置されているとしている。1マスは50mm $\times$ 50mmの領域であり、その領域内の位置を推定した回数を計数する。計測頻度の分布が集中して、より高い数値となる方が安定した精

表 1 遠距離測定実験条件

実験条件	
部屋配置は図3(a)のとおり	
室温	20 $^\circ$ C
超音波伝搬速度	344 m/sec (at 20 $^\circ$ C)
システム条件	
マーカー探索回数 Ns	200 times
探索信号	"1100100"
応答信号	"1100101"
ランドマーカー配置位置	
ランドマーカーまでの距離 $\ell$ と方位角 $\theta_{MK}$ の定義は図3(b)のとおり	
距離 $\ell$ [mm]	500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000
方位角 $\theta_{MK}$ [ $^\circ$ ]	0, +10, +20, +30, +40, +50

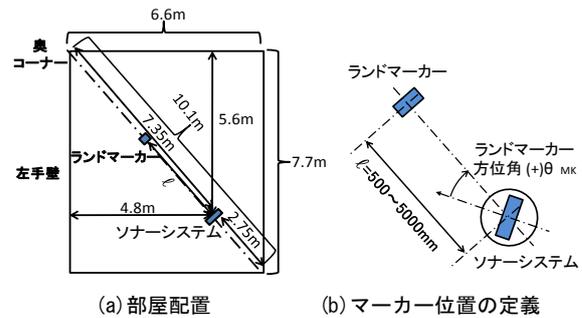


図3 遠距離計測実験

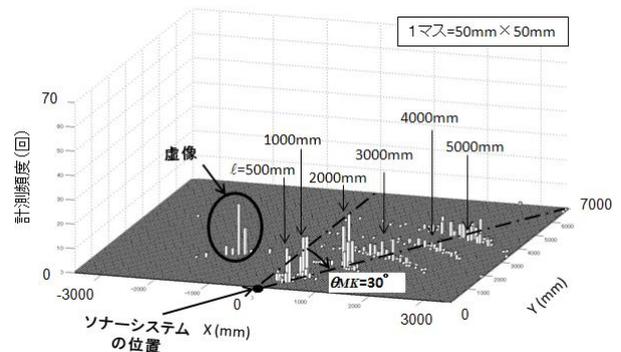


図4 最短応答遅延時の位置計測結果 ( $\theta_{MK}=30^\circ$  一定)

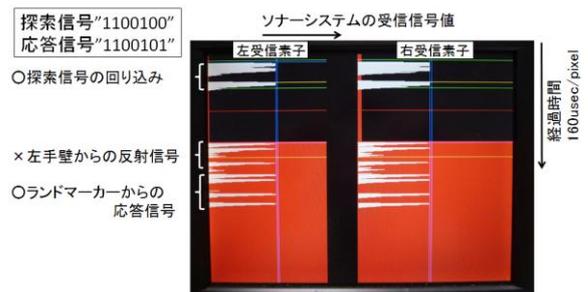


図5 誤検知時の左右受信信号波形 ( $\ell=4000\text{mm}$ ,  $\theta_{MK}=50^\circ$ )

度で計測できていることを意味する。

図4より、マーカーまでの距離 $\ell$ が3000mm以上から方位角方向の計測値が広く分布しており安定した計測ができていないことが確認できる。

また、図中のソナーシステムから見て左手側に虚像が発生している。この虚像はマーカーまでの距離 $\ell$ が4000mmの時に発生している。設定した応答遅延(13.1msec)中に超音波が伝搬する距離は、室温20 $^\circ$ Cの環境下において、4.5mに相当する。このため、反射信号であ

ると仮定して距離換算すると $l_{MK}=2.25m$ となる。虚像の距離 $l_A$ は2.5m程度であるため、マーカーからの応答信号と探索信号の反射とがタイミング的に重なり、ソナーシステムが誤検知して虚像が発生したものと考えられる。この場合、反射源の距離 $l_{ref}$ は $l_A+l_{MK}$ となり、4.75m程度となる。図3(b)で定義される方位角 $\theta_{MK}$ が $30^\circ$ であるのでソナーシステムは反時計回りに回転しており、反射源(虚像)の方位はさらに $-\theta_{MK}$ (左手)方向であることから、反射源は同図(a)の実験配置より左手壁であると特定できる。

図5は誤検知時において、ソナーシステムの左右の受信素子が受信した信号波形をモニターに表示した写真である。モニターの縦方向が時間で、横方向が信号振幅を表している。左手壁からの反射信号とマーカーからの応答信号の最初のパルスが連結されて、応答信号と同じパルス列となったため、誤検知している様子が確認できる。

以上のことから位置計測精度の向上においては、多重反射信号の影響をどの程度抑制できるかが重要となる。

#### 4. 位置精度向上手法の検討

多重反射信号の影響を抑制するため、本年度は二つの対策を施すことにより、精度向上を試みた。その基本的内容について述べる。

##### 4.1 ランドマーカーの長遅延応答

本システムが超音波信号の双方向通信を行うという特徴を活かし、マーカーの応答遅延を長く取ることによってシステム性能の改善を試みる。図6(a)は、室内を天井側から見た概念図で、ソナーシステムがマーカーに対して探索信号を照射している。マーカーの応答遅延を長くすると、図6(b)に示すように壁で直接反射した探索信号がすでにソナーシステムを通過して、マーカーからの応答信号と同時に受信しないか、探索信号の伝搬減衰や反射吸収により減衰する。これにより、応答信号を確実に捉え、反射信号によるシステムへの悪影響を抑制できると考える。この伝搬減衰や反射吸収による長遅延応答手法の考え方は、反射物などの配置などの環境に対してロバストであり、システムへの実装が容易なため、有用な手法と考えられる。

今回は予備実験により、探索信号強度が約1/3に減衰する距離を確認し、遅延応答時間を34.2msecに拡大した。この値を設定した理由としては、前述したようにパルスタイミングの判定方法が最大受信信号値の50%を超える値を基準としているので、探索信号の反射の影響を抑えることができると考えたためである。

##### 4.2 駆動する超音波送信素子の制御

マーカーが近距離に存在する場合には、探索信号が強すぎるために、ソナーシステムとマーカー間で信号の反射を繰り返し、実際の距離の数倍となって計測されることが判明した。また、信号が強すぎるとマーカーの受信パルスが飽和し、その飽和度に依存して応答信号送

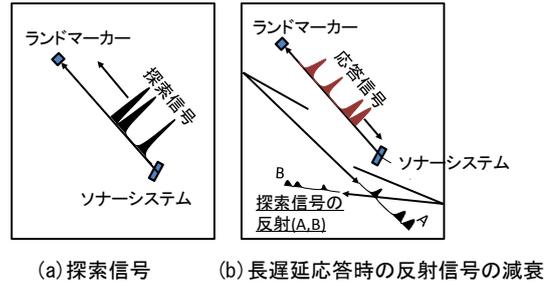


図6 長遅延応答による精度向上手法

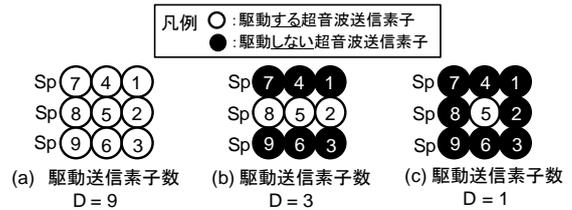


図7 探索信号強度制御手法

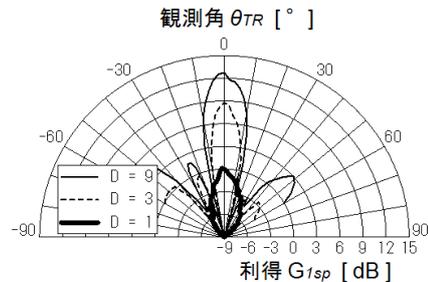


図8 駆動送信素子数Dとビームパターンの関係

信タイミングがずれるため、距離精度の劣化にも繋がる。このため、近距離時に探索信号の強度を低下させることができれば、精度向上が期待できる。本システムが送信素子アレイを用いている特徴を活かし、駆動する送信素子数Dを変更する手法を考案した。具体的にはマーカーまでの距離 $l$ が短くなるに従い、図7に示す駆動する送信素子数Dを9個、3個または1個に減少させることにより、ソナーシステムから送信される探索信号強度を制御する。本システムの送信素子アレイにおいて、メインビーム角 $\theta_0=0^\circ$ とした時の駆動する送信素子数Dとビームパターンを図8に示す。ここで、駆動する送信素子数Dが1の時は、物理的にフェーズアレイによるビーム走査は行えない。

距離 $l$ と駆動する送信素子数Dの関係については、 $l$ を変化させてDを9個、3個または1個としたケースでそれぞれ位置計測を行い、 $l$ に応じて最も精度が得られるDを把握した。

#### 5. 改良システムによる位置計測実験

前章で述べた手法を図2に示すシステムに実装し、第3章と同様の実験を行った。図9(a)に4.1節で述べたマーカー

一の長遅延応答手法による位置計測結果を、図9(b)に長遅延応答に加え、4.2節で述べた送信素子数Dを制御した手法の位置計測結果をそれぞれ示す。

図9(a)の長遅延応答手法の結果から、最短遅延時に発生していた図2中の虚像が消滅しており、計測位置の散らばりも目に見えて減少していることが確認できる。さらに、図9(b)では、計測位置の精度向上による計測値の集中により50mm×50mmの同グリッド内で計測される頻度が増し、真値付近に鋭利なピークが出現していることが確認できる。

図10は従来手法と今回の改良手法について、距離と方位角計測を比較したグラフである。グラフは上下2段で表現されており、上段が計測距離の平均値を表し、下段がその標準偏差を表している。

同図からも従来手法と比較して精度が改善されていることがわかる。また、送信素子数を制御することにより、マーカが近距離に存在する場合における精度も大幅に改善されていることが確認できる。これにより、距離方向については目標値である5mまでを標準偏差50mm以下(1σ)の精度で計測することができた。

しかしながら、図9ならびに図10(b)から、長距離5m付近では、計測した方位角の散らばりが大きくなっていることがわかる。これは距離が近くなり、方位角が大きくなるケースでも同様の傾向を示しているため、応答信号強度が低下し、SN比が低下することによる精度劣化であると考えられる。今後の課題としては、方位角の計測精度を向上させることが残されている。

## 6. まとめ

超音波フェーズドアレイ技術と双方向通信技術により、長距離計測が可能な位置計測センサシステムを開発し、位置計測実験を行った。この結果、フェーズドアレイによる合成信号が強力なため、室内の壁などの構造物で反射した信号が、誤検知などによる精度劣化を招くことが明らかになった。そこで、反射信号による影響を抑え精度向上を実現する手法として、長遅延応答手法と、駆動送信素子数の制御手法を考案した。これらの手法を試作システムに反映し、実験を行った結果、精度が改善され、距離5mで方位角 $\theta_{MK}=30^\circ$ までは目標標準偏差の50mm以下を達成できた。今後は方位角精度を高める手法を開発する予定である。なお、最大計測距離については当面は5mとし、位置計測精度向上を優先した開発を行う。

## 文献

- [1] 田畑克彦, 西田佳史, 飯田佳弘, 岩井俊昭, “超音波センサアレイを用いた新しいナビゲーションシステム”, 計測自動制御学会論文集vol.48, No.1, pp.11-19, 2012.
- [2] 田畑克彦, 岩井俊昭, 西田佳史, 久富茂樹, 遠藤善道, 超音波センサアレイを用いたナビゲーションシ

ステム -基本システムの開発とランドマーカの位置推定実験-, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012講演論文集, 1P1-A10, 2012.

- [3] 田畑克彦, 岩井俊昭, 西田佳史, 久富茂樹, 遠藤善道, 水野渚, 横山哲也 “組込技術を用いた高機能ワイヤレスセンサシステムの研究開発(第1報) -超音波センサアレイによるナビゲーションシステムへの適用-”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, No.13, pp.1-6, 2012.

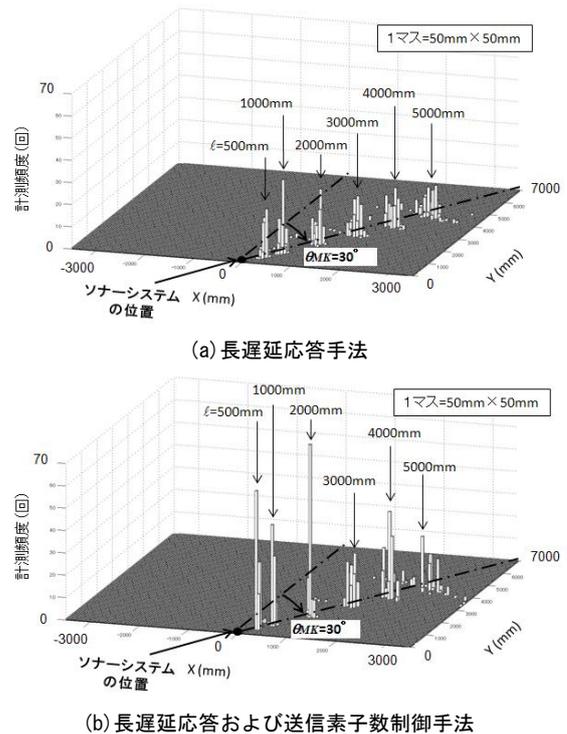


図9 改良システムによる位置計測結果 ( $\theta_{MK}=30^\circ$  一定)

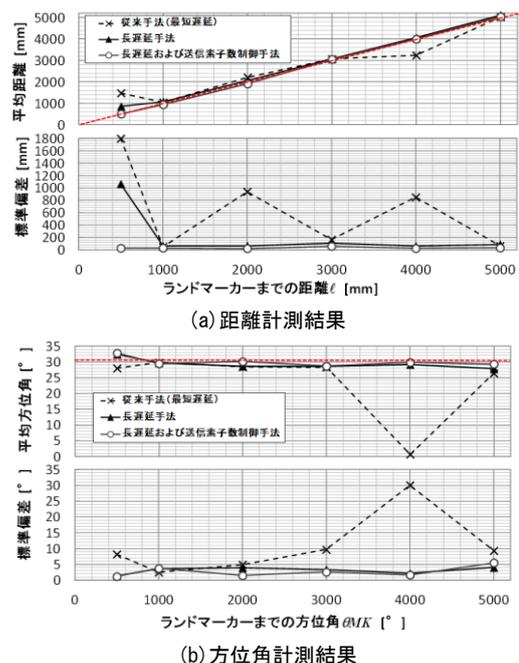


図10 位置計測精度の比較 ( $\theta_{MK}=30^\circ$  一定)

# 観光客の行動計測技術と行動モデルに基づいた 情報提供手法の研究開発(第2報)

渡辺 博己 曾賀野 健一 棚橋 英樹

## Development of Technology for Measuring Tourist Behavior and Method for Providing Location-Based Tourist Information (2<sup>nd</sup> report)

Hiroki WATANABE Kenichi SOGANO Hideki TANAHASHI

**あらまし** 観光を取り巻く環境が大きく変化する中で、観光地においては観光客のニーズを把握し、新たな観光サービスを提供する必要性が高まっている。一方、位置取得機能などを有するスマートフォンの普及に伴い、観光においても利用者の位置情報を用いたサービス（LBS：Location Based Services）が増加しつつあり、観光需要の創出が期待されている。しかしながら、観光地の観光サービス提供者が、観光客の位置情報を把握していなければ、適切な場所やタイミングでサービスを提供できず、観光振興への寄与度などの効果を評価することも困難である。本研究では、観光客の位置情報等の観光行動に基づいた観光ニーズを取得するプラットフォームの構築を目指し、観光客の位置に基づいた情報提供アプリケーションを開発するとともに、このアプリケーションを使用して観光客の行動データを収集する実験を行った。

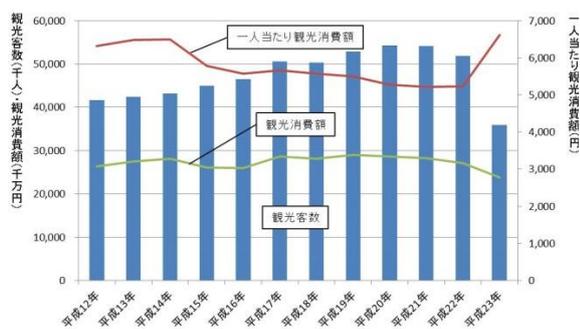
**キーワード** スマートフォン、LBS（Location Based Services）、行動計測、観光情報提供

### 1. はじめに

旅行形態が「団体から個人・グループ」に変化し、観光ニーズが多様化している中、岐阜県では、高速道路網の充実等により、観光地へのアクセスが改善され、観光客数が増加している。しかし、その一方で、日程の短縮化（日帰り）、あるいは範囲の広域化（一度に多数の観光地への立寄り）が進み、「宿泊から日帰り・安近短への志向」へと観光を取り巻く環境が大きく変化している。また、観光客数の増加により観光消費額はやや増加しているものの、観光客1人1回当たりの消費額は減少している（図1）。そのため、人口減少、景気低迷などの要因によ

り、今後大幅な観光客の増加が期待できない地域では、観光ニーズの把握が重要となっている。観光旅行の個人化により、主要観光ルート上にないところでも観光客が訪れるようになり、エコツーリズムやグリーンツーリズム、産業観光など、これまでにない旅行形態が注目を集めるようになることで、観光業界だけでなく、様々な分野で観光客の購買や消費意欲の向上などに繋がるサービスの提供が必要とされている。

これまで観光ニーズを把握する方法としては、訪問施設に関する統計データの利用やアンケート調査、観光ルートや体験イベントに関するモニター調査などが行われてきた。しかし、近年、GPSやRFIDなどによる位置計測技術を利用した行動調査や研究<sup>1~3)</sup>が急激に増加しつつあり、これに関連して、利用者の位置情報を用いたサービス（LBS：Location Based Services）がスマートフォンの普及とともに提供され始めている。現在地周辺の観光施設や店舗、宿泊施設情報等（以下、観光コンテンツ）の表示、これらの施設の経路案内などのwebベースのサービスに加え、スマートフォンに搭載されたカメラから得られる映像に仮想的な物体として観光コンテンツを付加表示する拡張現実（AR：Augmented Reality）技術と融合した情報サービス、位置情報を利用したゲームや地域イベントなどが注目されており、観光需要の創出が期待されている。



出典：岐阜県観光レクリエーション動態調査結果  
図1 岐阜県における観光動態の推移

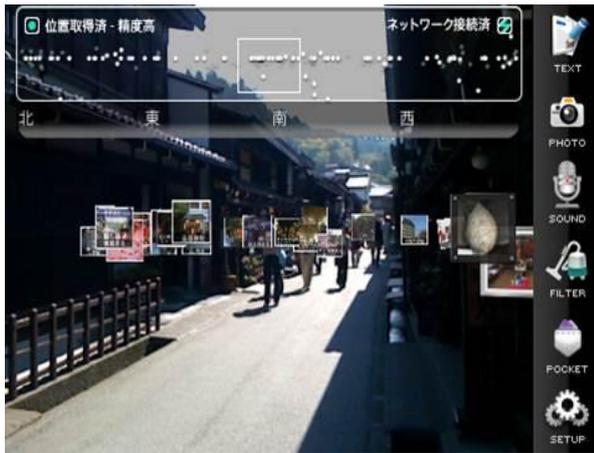


図2 セカイカメラによる観光コンテンツの提供

岐阜県では、スマートフォンを活用した地域振興に取り組む GIFU・スマートフォン・プロジェクトを推進しており、その中で、AR 技術を用いたアプリケーションであるセカイカメラ<sup>[4]</sup>（頓智ドット株式会社が提供するサービス）を利用し、観光コンテンツを提供している（図2）。セカイカメラは、スマートフォン内蔵の GPS により位置情報を取得し、カメラを通して見る景色にエアタグと呼ばれる情報を貼り付けたり、他のユーザが貼り付けたエアタグを閲覧したりすることが可能であり、観光看板、道案内看板や店舗紹介など、社会的インフラとしての機能を果たすアプリケーションとして評価されている。しかし、セカイカメラで得られる利用者の位置情報やエアタグへのアクセス記録等は、サービス提供者のみが利用でき、地域の観光関係者がこれらの情報を取得し、観光ニーズを把握することは困難である。

そこで本研究開発では、観光関係者が観光ニーズを把握することを支援するために、観光客の回遊情報や観光コンテンツへのアクセス情報（以下、行動データ）を取得し、観光客の行動データを分析するためのプラットフォームを構築するとともに、位置情報に基づいた観光情報提供システムの開発を目指す。本稿では、スマートフォンを利用してユーザに観光情報を提供すると同時に、ユーザの行動データを収集するアプリケーションを開発するとともに、そのアプリケーションを使用して、高山市を訪れた一般観光客の行動データを収集する実験を行ったので、その内容について報告する。

## 2. 観光コンテンツの作成

実験で使用する観光コンテンツは、昨年度試作したアプリケーション<sup>[5]</sup>上で表示できるようフォーマットを決定し、コンテンツファイルとして作成した。なお、試作したアプリケーションは、地図を表示するマップビュー、カメラ映像を表示するカメラビュー、観光コンテンツを表示するコンテンツビューから構成されており（図3）、



(a) マップビュー



(b) カメラビュー



(c) コンテンツビュー

図3 アプリケーションの画面

マップビューとカメラビューには、コンテンツビューにリンクするアイコンを、観光客の位置に応じて表示することができる。

観光コンテンツについては、高山市<sup>[6]</sup>、高山市商店街振興組合連合会<sup>[7]</sup>、飛騨高山旅館ホテル協同組合<sup>[8]</sup>の協力により、380 件のコンテンツデータを収集した。コンテンツファイルは、これらのコンテンツデータから

JSON (JavaScript Object Notation) フォーマット形式<sup>9)</sup>により記述し、全てのコンテンツデータの名称や位置等をまとめたインデックスファイルと各コンテンツデータの詳細をまとめた個別ファイルとして作成した。

また、アプリケーションへ実装する際には、インデックスファイルについてはアプリケーションの起動と同時に読み込み、個別ファイルについては該当するアイコンがタップされると同時に読み込む構成とした。また、コンテンツビューにおいて表示する画像については、通常、2枚まで表示できるように開発したが、3枚以上ある場合には、1枚をメイン画像として固定表示し、その他をスライドショーとして画像を順次表示するようアプリケーションを改良した。

### 3. 観光行動データ収集実験

#### 3.1 実験の概要

実験は、高山市において、平成24年10月11日から平成25年1月31日までの毎日、10時から18時まで参加者を募集することにより行った（委託先：山都印刷株式会社、岐阜県高山市西之一色町2-90）。参加者は、①中学生以上であること、②飛騨地域（高山市、飛騨市、下呂市、大野郡白川村）以外に居住していること、③高山市内を2時間以上散歩できること、④行動データの利用について承諾を得られることを条件に募集した。

参加者には、事前に実験の目的、アプリケーションの操作方法等を説明し、高山市内を散歩中は極力アプリケーションを使用するよう依頼した。また、散歩後には、観光客の動態調査等で実施される項目に加え、アプリケーションの操作性等の項目に関するアンケートを実施した。

行動データとしては、位置情報に加え、スマートフォンに内蔵されているセンサ等の情報を記録したデータを収集した。また、アプリケーションのタッチ操作等の使用状況を記録したデータ等についても収集した。その結果、10月は13名、11月は25名、12月は27名、1月は14名、計79名の参加者から累計181.8時間（平均2.3時間）の行動データを収集した。

#### 3.2 行動データの分析

図4にアンケート調査による参加者の属性について示す。実験の拘束時間のためか、図4(d)に示すとおり、宿泊客の参加者数が多いが、その他については特に偏りなく行動データを収集できたことが分かる。

次に、収集した行動データから位置情報を使用し、参加者の移動経路について分析する。全ての実験参加者の移動経路を図5に示す。なお、図中、2つの星印は実験の開始位置で、点線で囲んだ領域は「古い町並み」エリアである。

また、季節による回遊性への影響について分析するために、月別の移動経路を図6に、訪問回数による回遊性への影響について分析するために、訪問回数別の移動経

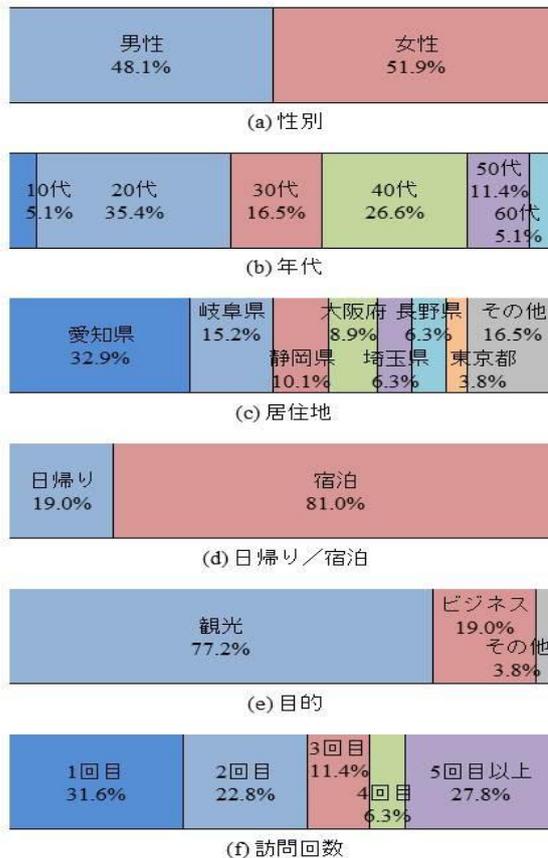


図4 実験参加者の属性

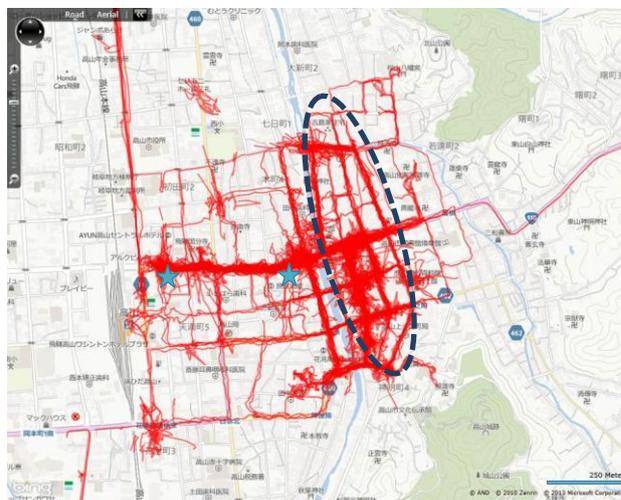
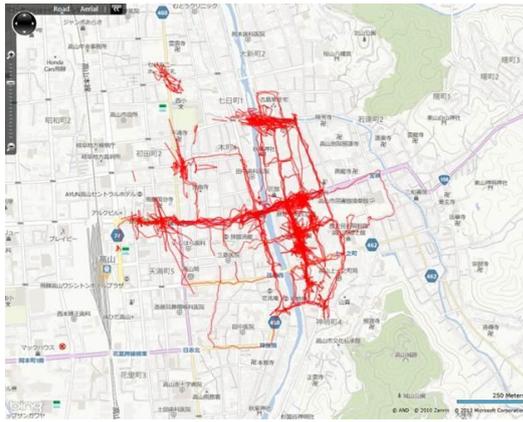


図5 全参加者の移動経路

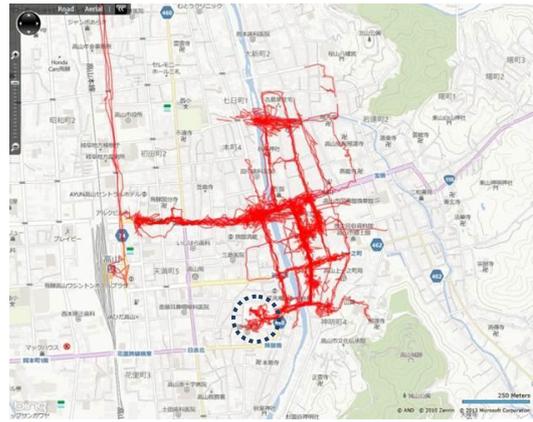
路を図7に示す。

これらの移動経路について、高山観光情報サービス研究会（事務局：岐阜県情報技術研究所）において検討したところ、次の意見があった。

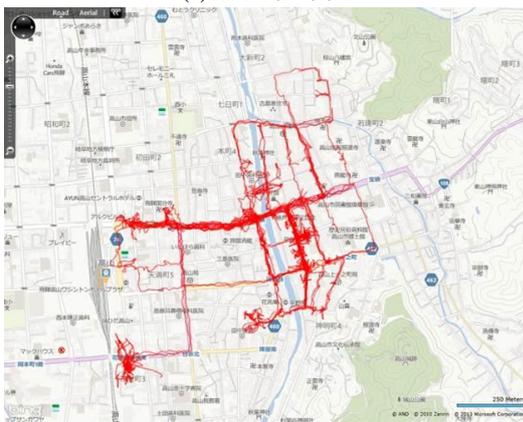
- ・冬期（12月、1月）は秋期（10月、11月）に比べ、回遊性が低くなると予想していたが、全ての月において特に変化がない。



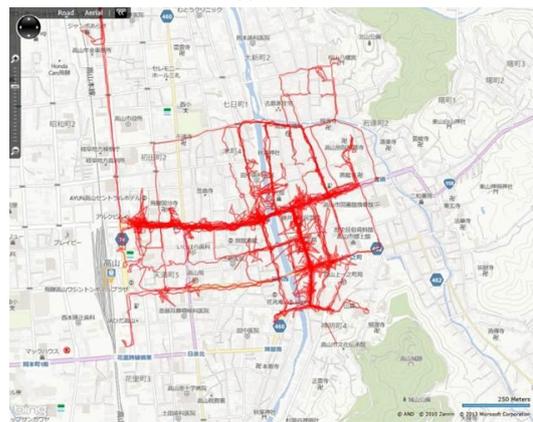
(a)10月 (13名)



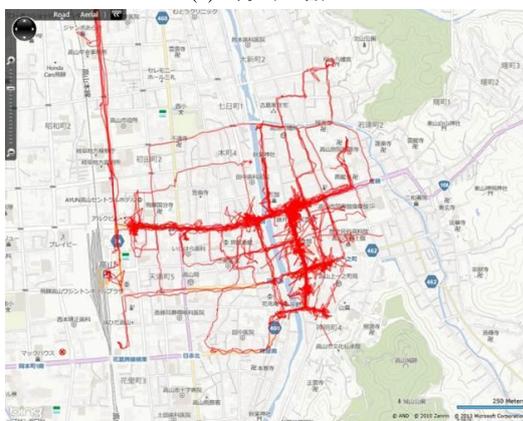
(a)1回目



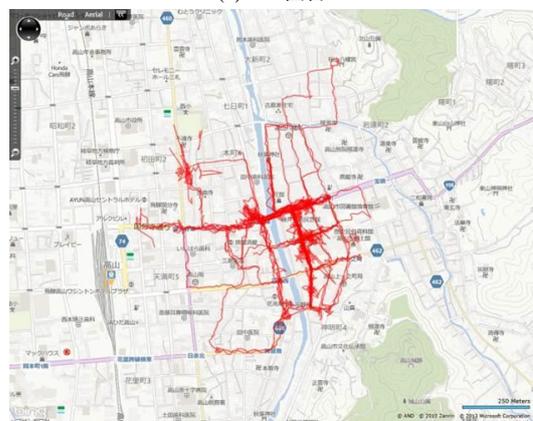
(b)11月 (25名)



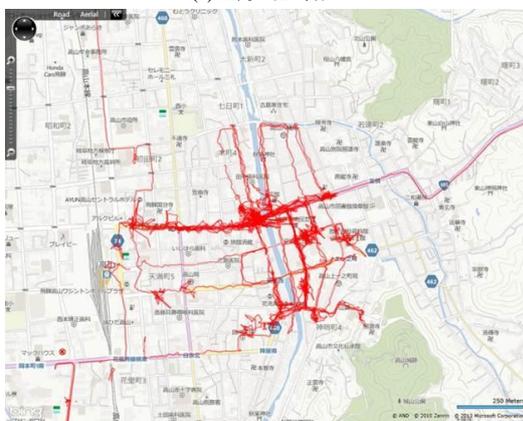
(b)2~3回目



(c)12月 (27名)



(c)4回目以上



(d)1月 (14名)

図6 月別の移動経路

図7 訪問回数別の移動経路

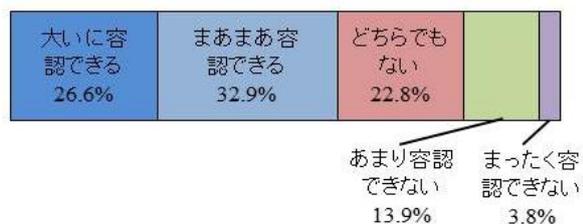
- ・初めての観光客については「高山陣屋」(図7(a)の点線内)を訪問しているが、複数回目の観光客は訪問していない。
- ・予想していた以上に「古い町並み」エリアを中心として回遊しており、このエリア以外への回遊性が低い。

こうした意見から、観光客が広く周回するための情報を与える観光戦略が必要と分析できる。例えば、情報サービスとして提供するのであれば、次の目的地へ行くための複数の経路を提供し、それぞれの経路を通った場合のおすすめ情報や消費カロリー等の付加価値を提供するこ

文 献



(a) 位置情報の使用について



(b) 閲覧情報の使用について

図8 アプリケーションに対する意識調査結果

とが考えられる。

また、実験中に実施したアンケート調査では、こうした位置情報を使用するアプリケーションやコンテンツの閲覧情報を使用するアプリケーションについて調査したところ、図8に示す結果が得られた。位置情報の使用に関しては8割以上の方が容認しており、閲覧情報に関しても約6割の方が容認していることが分かった。

4. まとめ

観光客に観光情報を提供すると同時に、観光客の位置等のセンサ情報とUIの操作情報を取得するアプリケーションを使用した実証実験を高山市で行い、79名の参加者から行動データを取得した。

現状では、移動経路を視覚化しただけであるが、今後は、得られた行動データの分析を進め、観光振興に有益なデータの視覚化手法や行動データに適応した観光サービスの提供方法、内容等について検討する。また、実験中、アプリケーションが異常終了するケースが散見されたことから、今後、安定性を向上させるための改良を図る。

- [1] 長尾光悦, 川村秀憲, 山本雅人, 大内東, “GPS ログからの周遊型観光行動情報の抽出”, 電子情報通信学会技術研究報告 ICS78, pp.23-28, 2005.
- [2] 野村幸子, 岸本達也, “GPS・GISを用いた鎌倉市における観光客の歩行行動調査とアクティビティの分析”, 日本建築学会総合論文誌, Vol.121, No.1542, pp.70-77, 2006.
- [3] 矢部直人, 有馬貴之, 岡村祐, 角野貴信, “GPSを用いた観光行動調査の課題と分析手法の検討”, 観光科学的研究, Vol.3, pp.17-30, 2010.
- [4] セカイカメラ, <http://sekaicamera.com/>
- [5] 渡辺博己, 筒井諒太, 棚橋英樹, “観光客の行動計測技術と行動モデルに基づいた情報提供手法の研究開発(第1報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, No.13, pp.7-12, 2012.
- [6] 高山市観光情報, <http://www.hida.jp/index.html>
- [7] 飛騨高山まちなかショッピング, <http://www.takayamashops.com/>
- [8] 飛騨高山ええぜな宿ねっと, <http://www.takayamaryokan.jp/index.htm>
- [9] JSONフォーマット形式, <http://www.json.org/json-ja.html>

# 水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発

## — 自律走行ロボットの開発(第4報) —

光井 輝彰    田畑 克彦    藤井 勝敏    横山 哲也  
 遠藤 善道    陶山 純\*    葛谷 和己\*\*

### Development of a Small Weeding Robot "AIGAMO ROBOT" for Paddy Fields

#### — Development of an Autonomous Moving Robot (4<sup>th</sup> Report) —

Teruaki MITSUI    Katsuhiko TABATA,    Katsutoshi FUJII,    Tetsuya YOKOYAMA,  
 Yoshimichi ENDO,    Jun SUYAMA\*    Kazumi KUZUYA\*\*

**あらまし** 環境にやさしい農作業を推進する現場では、除草剤に代わる有効な除草手段が求められている。そこで、水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の研究開発を進め、ロボットの改良開発と除草効果の検証を行ってきた。昨年度に引き続き現地実証試験においてシーズンを通してロボットの運用を行い、ロボットの諸機能を検証し、これを元に実用化に向けたロボットの改良開発を行った。

**キーワード** ロボット, 自律走行, 水田除草, 現地実証

#### 1. はじめに

食の安全や環境に関する意識の高まりの中で、化学合成農薬・化学合成肥料の使用を減らした安全で環境負荷の少ない農業が望まれている。ここでは除草剤に代わる様々な除草手段が試みられているが、費用や労力の面で課題が多く、有効な手段が必要とされている。そこで我々は、水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)を提案し<sup>[1]</sup>、平成20~21年度に経済産業省「地域イノベーション創出研究開発事業」の委託研究において自律走行機能を備えたロボットを開発し、2010年度からは農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の委託を受け、稲の栽培体系まで含めたロボットによる除草技術の実用化研究を開始した。今年度は、昨年度に引きつづき現地でシーズンを通してロボットを運用し、その結果を元に、実用化に向けた改良開発を行った。

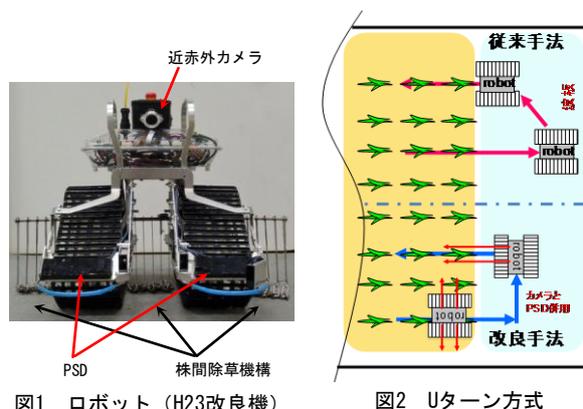


図1 ロボット (H23改良機)

図2 Uターン方式



図3 クローラベルト内の泥やゴミの堆積

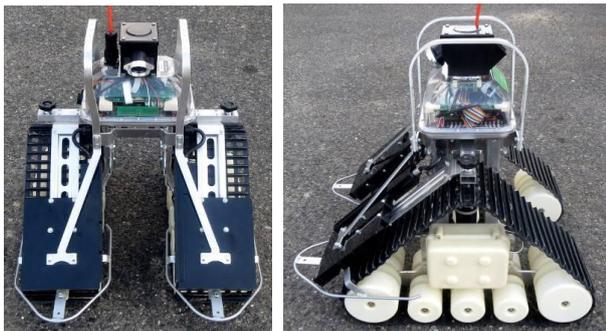
#### 2. 現地実証試験における課題

今年度の現地実証で利用したロボットを図1に示す。PSD(測長センサ)を併用したUターン方式(図2)を採用する事で、稲列終端での折り返し動作の精度が向上し、波板の設置が不要となった。一方この改良により、旋回時のモータのトルクが不足しがちな事、水位と稲の

サイズに合わせてPSDの高さ調整が必要な事が課題として挙げた。モータのトルク不足については、株間除草機構の働きを強化した事も影響しており、走行抵抗が増えただけでなく、ゴミや泥がクローラベルト内に溜まりやすくなり、従来と比べて効率の悪い走行を強いられる場面もあった(図3)。ロボットの自律走行機能に関しては、苗が判別しにくい、大きな轍にはまった場合には動作を中断するなど、例外的な条件に対してロボット自らが判断し対策する機能が求められた。

\* みのる産業株式会社

\*\* 株式会社常盤電機



全長	580mm
全副	480mm
高さ (クリアランス高)	520mm (310mm)
クローラベルト幅	150mm
全備重量	11.7kg
モーター	14.4Kgf-cm
バッテリー	Li-ion 25.6V-7.0Ah
稼働時間	約3時間
作業効率	約1000㎡/h

※ガイドを含む  
※株間除草機構は含まず

図4 プロトタイプロボット



図5 走行実験の様子

走行時間  
クローラ移動量  
稲株のカウント  
畦の接近  
等の情報から  
稲列(ほ場)終端を認識する

エンコーダによる  
クローラ移動量の把握  
高さの違う3つのPSDで  
様々なサイズの稲列を認識  
カメラによる  
稲列終端・畦の認識

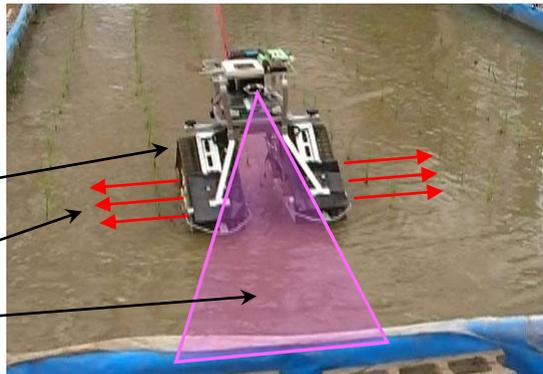


図6 稲列(ほ場)認識機能



図7 パスワードによる  
ユーザー認証機能

### 3. ロボットの改良開発

現地実証試験で得られた課題に対して、次のような改良を行った。

(1)前後対称であったロボットの構造と機能を見直して前進のみの機構とし、不要となった後進のための諸機能を取り除いた。

(2)電装部品について冗長な機能を無くす一方で、クローラの回転量を把握するためのエンコーダの追加や量産化を見据えた電子基板の改良を行った。

(3)従来比2倍のトルクのモータを採用するとともに、転動輪を中空大型化することで、ゴミや泥のクローラベルト内への堆積を減らし、走行性能を向上させた。さらに、バッテリーケースやクローラベルト前方のガイドフレームについても、泥やゴミが堆積しにくい設計にした。

(4)PSDは左右方向に3個ずつ高さを変えて設置し、計測可能なPSDを選んで利用することで高さ調整を不要にした。

(5)不測の事態(スタックや大きな姿勢変化)を検出した際は作業を中断し、SMSメールで異常を知らせる例外処理機能を開発した。

開発したプロトタイプロボットを図4に示す。

これまでに冬季のヒコバエほ場やハウス内の模擬圃場で走行実験(図5)を行い、改良内容が機能することを確認した。自律走行機能に関しては、カメラと数種類のセンサを併用することで各種条件に対応可能な機能(図6)を開発し、教示機能(自律走行用パラメータの自動設定機能)と併用することで、ほ場条件の違いによる影響を吸収し、安定した動作を可能にした。その他、液晶タ

ッチパネルを利用した操作インターフェースの開発、パスワードによるユーザー認証機能(図7)や携帯電話網からの動作制限機能によるセキュリティの強化についても検討をすすめた。

### 4. まとめ

現地実証試験を通して昨年度の改良項目を検証するとともに実用化に必要な改良を進め、プロトタイプロボットを開発した。基礎的な動作検証では良好な結果が得られており、来年度の現地実証でシーズンを通した検証を行い、実用化に繋げる予定である。

### 謝辞

本研究は、みのる産業株式会社、株式会社常盤電機、岐阜大学、中山間農業研究所、農業経営課、岐阜農林事務所、恵那農林事務所の協力の下、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の委託を受け実施しました。また、アイガモ稲作研究会、主徳宮農、農夢おおまきには、現地実証試験において多大な協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

### 文献

[1] 光井輝彰, 小林孝浩, 鍵谷俊樹, 稲葉昭夫, 大場伸也, “アイガモロボットの開発”, 日本ロボット工業会機関誌, ロボット177号, pp.20-25, 2007  
 [2] 光井輝彰, 他, “水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発—自律走行ロボットの開発(第3報)—”, 第13号, pp13-14, 2012

# 水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発

## — 現地実証試験2012 —

光井 輝彰      田畑 克彦      藤井 勝敏      横山 哲也      遠藤 善道  
 吉田 一昭\*    遠山 敬司\*    神田 秀仁\*\*    松本 政行\*\*\*    広瀬 貴士\*\*\*\*

## Development of a Small Weeding Robot "AIGAMO ROBOT" for Paddy Fields

### — On-the-Spot Practicality Evaluation 2012 —

Teruaki MITSUI, Katsuhiko TABATA, Katsutoshi FUJII, Tetsuya YOKOYAMA, Yoshimichi ENDO  
 Kazuaki YOSHIDA\*, Keiji TOYAMA\*, Hidehito KANDA\*\*, Masayuki MATSUMOTO\*\*\*, Takashi HIROSE\*\*\*\*

あらまし 農業の分野へロボット技術を応用することで、新たな除草手法を用いた水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発を進めてきた。昨年度に引き続き、農家の現地圃場において実際にシーズンを通したロボットの運用を行い、除草効果の検証及び自律走行機能を含めたロボットの各種機能について検討を行い、本除草技術の実用性について検証した。

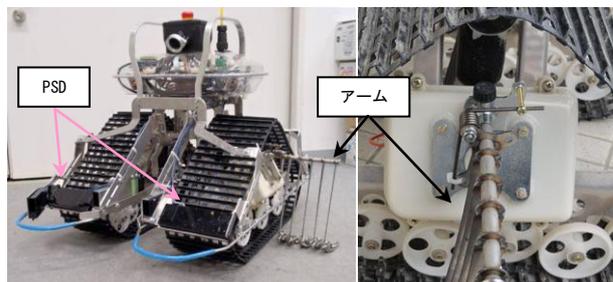
キーワード ロボット, 水田除草, 除草剤削減, 現地実証

### 1. はじめに

有機栽培や減農薬栽培など、環境負荷の少ない農法を実践する農家や、有機栽培農産品を求める消費者が増えている。有機栽培を進めていく上で最大の課題は雑草の防除であり、水稻有機栽培では除草作業が直接労働の約3割を占める<sup>[1]</sup>ほどである。除草剤を使用しないまたは使用量を減らす様々な手法が試みられているが、除草効果や費用、労力の面で課題を残している。そこで我々は、水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発を進め<sup>[2][3]</sup>、平成22年度からは農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の委託を受け、当該ロボットによる水田除草を実用的な除草技術として確立するための研究開発を開始した。昨年度に引き続き平坦地2か所と、今年度は新たに中山間地1か所を追加して、実際にシーズンを通してロボットを運用し、除草効果やロボットの諸機能について実用性を検証した。

### 2. 現地実証の概要

昨年度の現地実証では一部の試験区で残草量が多かった<sup>[2]</sup>が、その試験区は元々雑草が多くロボット運用開始



右図は株間除草機構の動揺規制部分  
 適度なテンションのバネでアームの回転を規制し、  
 先端のチェーンの浮きあがりを防ぎ、しっかりと土壌を擦る  
 図1 ロボット(H23改良機)

時にすでに雑草が出始めていた。そこで今年度は、代かきの方法や移植のタイミングなどを見直し、ロボットの運用を開始する時点において、雑草の無い状態が保たれているようにほ場管理を徹底した。また、株間除草機構にチェーンで土壌表面をしっかりと擦る機構(図1)を採用し、除草効果の向上を図った。

実証区には、昨年度に引き続き平坦地2か所(3試験区)の他、新たに中山間地に1か所(2試験区)を加えた。表1に試験区の概要を示す。

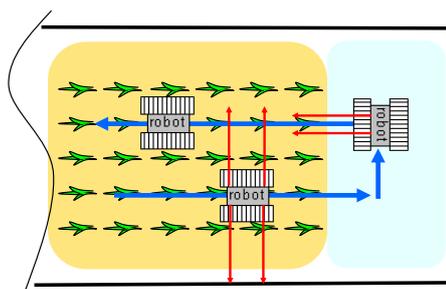
表1 現地実証試験区概要

	羽島Aマツ	羽島Bポット	岐阜短冊	中津川マツ	中津川ポット
面積	約1900㎡	約960㎡	約1000㎡	約370㎡	約400㎡
品種	日本晴	ハツシモ	ハツシモ	コシヒカリ	コシヒカリ
代かき	5月19日	6月2日	6月10日	5月11日	5月18日
移植	5月22日	6月4日	6月13日	5月14日	5月21日
走行初日	5月25日	6月8日	6月22日	5月18日	5月25日
走行終了日	7月3日	7月13日	7月20日	6月28日	7月2日
作業回数	12回	11回	9回	13回	12回

\* 岐阜県農政部農業経営課  
 \*\* 岐阜県農政部岐阜農林事務所  
 \*\*\* 岐阜県農政部恵那農林事務所  
 \*\*\*\* 岐阜県中山間農業研究所



図2 除草作業の様子



Uターン方式：PSDで側方の稲の状態を確認して行う  
図3 終端でのロボットの動作



ロボット 無処理  
図4 雑草の状態（岐阜）

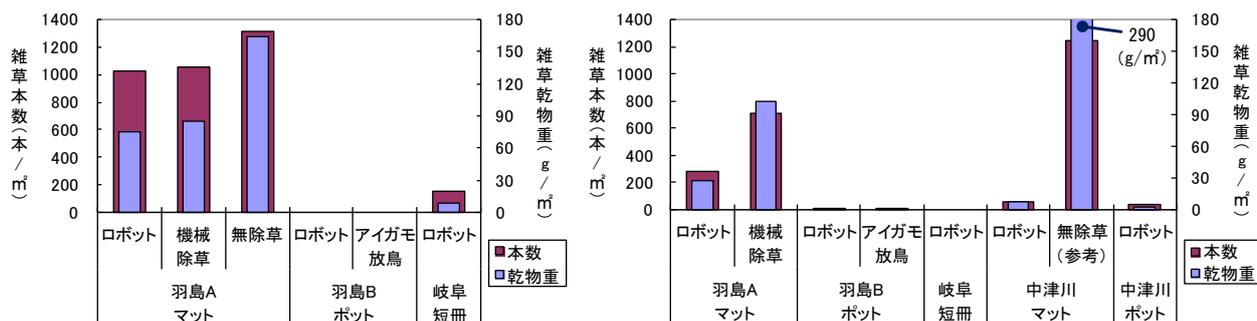


図5 残草調査結果（左：23年度，右：24年度）

### 3. 現地実証の結果

除草作業の様子を図2に示す。今年度はロボットの稲列終端での折り返し動作を大きく変更し、従来のスイッチバック方式をやめ、新たにUターン方式（図3）を採用した。この方式では、稲列の終端をPSD（測長センサ）で検出するので、従来必要であった終端認識用の波板の設置が不要になる。また、このPSDで次の目標稲列を認識することで、折り返し動作の精度が向上する。実際の運用においては、稲を認識しやすいように比較的大型の苗を使用する事で、田植え3日後の苗も認識可能であり、大きな凹凸が無い整備されたほ場であれば、ほとんどミスなく作業を継続する事が出来るようになった。

除草作業終了後の様子を図4に、残草調査の結果を図5に示す。昨年度と同じ試験区（羽島A, 岐阜）では、残草量は大きく減っており、ロボット除草区は機械除草やアイガモ放鳥など他の除草手段と比較しても同等以上の効果が得られた。稲の生育や収量も地域の一般値と比べ遜色のない値が得られ、現地実証に協力いただいた農家からは、高い評価が得られた。ただし、終端部分の稲を植えないエリアについて、ロボットの動作を安定化させると共に除草作業終了後の雑草の繁茂を防ぐ目的で防草シートを敷設したが、収穫時期まで放置したシートの撤去が予想以上に大変であり、改善が求められた。

### 4. まとめ

前年度の結果を踏まえ、想定されるシードバンク量に合わせたほ場管理と水管理を徹底し、前年度以上に残草量を減らし、除草効果の実用性を高めた。また、改良し

たロボットを運用し、波板の設置が不要になり、ロボットの動作精度が向上することを確認した。

2年間の現地実証を通して、現場での実用性が高まっており、現在、ほ場の管理やロボットの運用方法までを含めたマニュアルの作成を進めている。ロボットの開発については、今年の現地実証の結果を受けてさらに改良を加えたロボットが完成しており、来年度の現地実証で実用化に向けた最終調整を行う予定である。検証実験としては、県内4か所、県外4か所を計画しており、様々な条件で各種検証を重ね、ロボットを用いた新たな除草技術としての確立を目指す予定である。

### 謝辞

本研究は、みのる産業株式会社、株式会社常盤電機、岐阜大学、中山間農業研究所、農業経営課、岐阜農林事務所、恵那農林事務所の協力の下、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の委託を受け実施しました。また、アイガモ稲作研究会、主穂営農、農夢おおまきには、現地実証試験において多大な協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

### 文献

- [1] 農林水産省統計部編：環境保全型農業（稲作）推進農家の経営分析調査報告，(2004).
- [2] 光井輝彰， 他 “水田用小型除草ロボット（アイガモロボット）の開発—現地実証試験2011—”，岐阜県情報技術研究所研究報告，第13号，pp15-17, 2012

# 防災情報システムの高度化に関する研究(第1報)

藤井 勝敏      山田 俊郎      棚橋 英樹

## Study on a Disaster Reporting System (1<sup>st</sup> Report)

Katsutoshi FUJII    Toshio YAMADA    Hideki TANAHASHI

**あらまし** 岐阜県では県内で災害が発生したときに現地の情報を迅速に収集するためのGISアプリケーションである「防災レポートch.」を運用している。このシステムは、情報提供には携帯電話を使用する仕様であるが、情報提供者の所有する装置が従来型携帯電話からスマートフォンへ移行が進む一方で、GIS側の対応が追いついていない。そこで、スマートフォンの特徴を生かした防災情報提供専用アプリを開発することでこの問題を解決し、防災レポートCh.の利便性を向上した。

**キーワード** 県域統合化GIS, 防災レポートCh., スマートフォン専用アプリ

### 1. はじめに

岐阜県では、県民やボランティア、民間企業およびNPO、行政等が利用できる県域統合型GIS(地理情報サービス)<sup>[1]</sup>を、平成18年度から運用している。

特に防災行政に関しては、県内で災害が発生した際に地域で活動する防災関係者等から迅速に情報を収集することを目的に「防災レポートCh.」<sup>[2]</sup>を開設している(図1)。このチャンネルは、カメラ付き携帯電話からGISの地点情報(位置に紐づけられた任意の文字列、画像データ)を登録できる専用レイヤー(データの分布を図示したものである。幸いなことに、開設以来、このチャンネルを使用する大きな災害は発生していないが、いつでもどこからでも情報登録できる状態で運用されている。

ところが、GIS運用開始後に発売され現在急速に普及が進むスマートフォンは、タッチパネル主体の操作系で構成されているために、PCのマウス操作を前提に設計されているGISの操作が困難あるいは非対応であるなどの不具合が確認されている。

そこで本研究では、スマートフォンからのアクセス時

に発生している不具合の原因を突き止め、解決するとともに、スマートフォンに適した直観的な操作方法を導入することで従来よりも利便性を高めるための研究開発を行った。今年度は、防災レポートCh.アクセス専用アプリを開発することにより、現行のGISを改修することなく解決を図ったので報告する。

### 2. 防災レポートCh.

防災レポートCh.とは、岐阜県内の県職員、市町村職員、消防団員、日本防災士会会員で登録申請した人が、災害発生時に現場付近に居合わせた際、その状況を県の防災情報集約センターに報告してもらうための枠組みである。その実体は、財団法人ふるさと地理情報センターが管理する県域統合型GISに設定された専用レイヤーのひとつである。

防災情報リポーターと登録申請したユーザに配布されるユーザIDとパスワードを使ってGIS情報登録システムにログインし、災害現場の座標を表1に示す情報と登録日時を紐づけて登録することができる。



図1 県域統合型GIS(岐阜県防炎レポートCh.)

表1 防災レポートCh.の地点登録情報

項目	データ型	内容
登録番号	文字列	防災リポーターの登録番号
登録日時	日、時	登録した時刻(サーバが設定)
災害の内容	文字列	規定の災害分類から選択
詳細内容	文字列	災害の詳しい説明
現地写真	画像	携帯カメラで撮影
住所	文字列	(任意)住所がわかる場合入力
目印	文字列	(任意)目印になる建物を入力

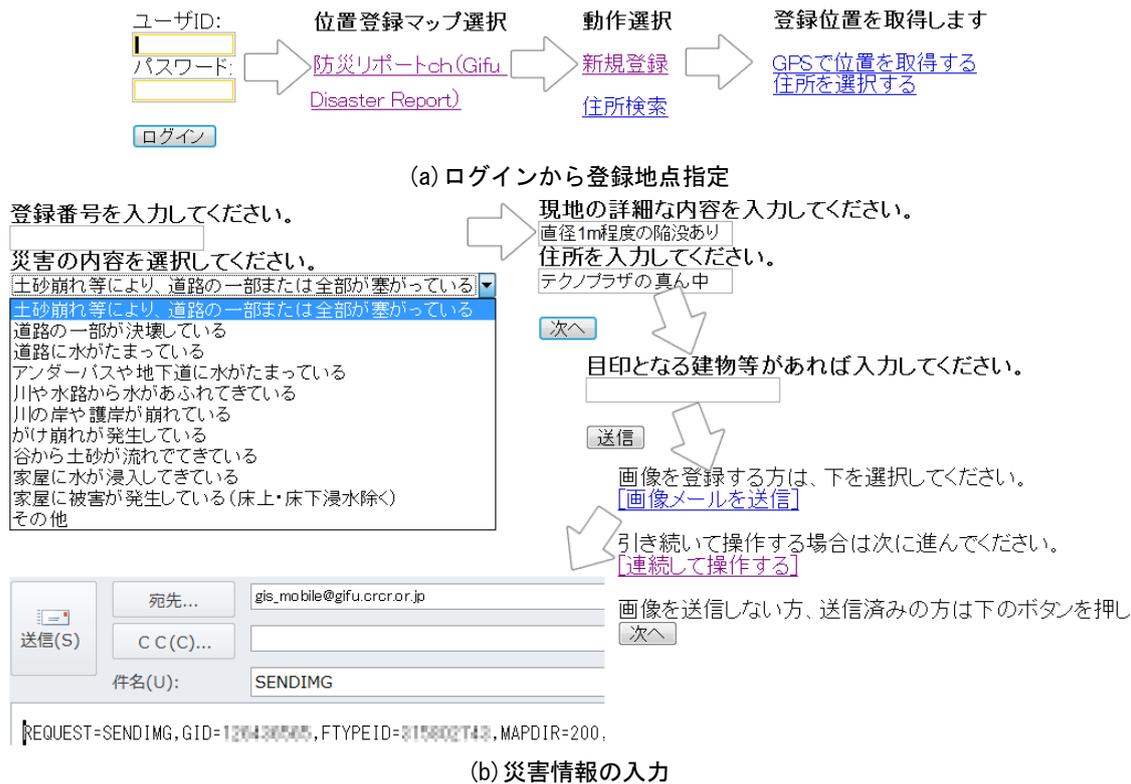


図2 GIS携帯電話登録ツールの画面遷移

2. 1 既知の問題点

この情報登録作業は、インターネットにつながるPCからも可能ではあるが、その目的から屋外でユーザが所持するカメラ付き携帯電話を使って行われる場合を想定すべきである。文字入力とカメラによる現場状況写真の撮影については平常時から利用される機能であるため、特別な説明や訓練は必要がない。

しかし、登録地点の座標指定については、現行の入力方法は、図2のようにテキストベースでページ切り替えを多用した携帯電話向け構成になっており、近年の同様なシステムと比較すると大変扱いにくい。しかも、現在提供されている2通りの地点指定手順いずれについても、入力の手数の多さに加えに以下の問題がある。

●GPSを使う

情報登録を行った地点のGPS値が使用される。

通常、災害発生日点で一連の入力を行うのは二次災害の恐れがあるため、近場で撮影したとしても、安全な地点に避難してから位置取得となる。これでは、災害地点ではなく避難先の地点情報として登録されてしまう。

●住所地番を使う

50音順に提示される市名、町村名、丁番、番地から目的の住所を選択する手順。

防災情報リポーター登録された防災関係者は管轄地内の土地勘があるとしても、番地まで正確に指定するのは困難である。

スマートフォンで現場座標を指定するとき、最もユー



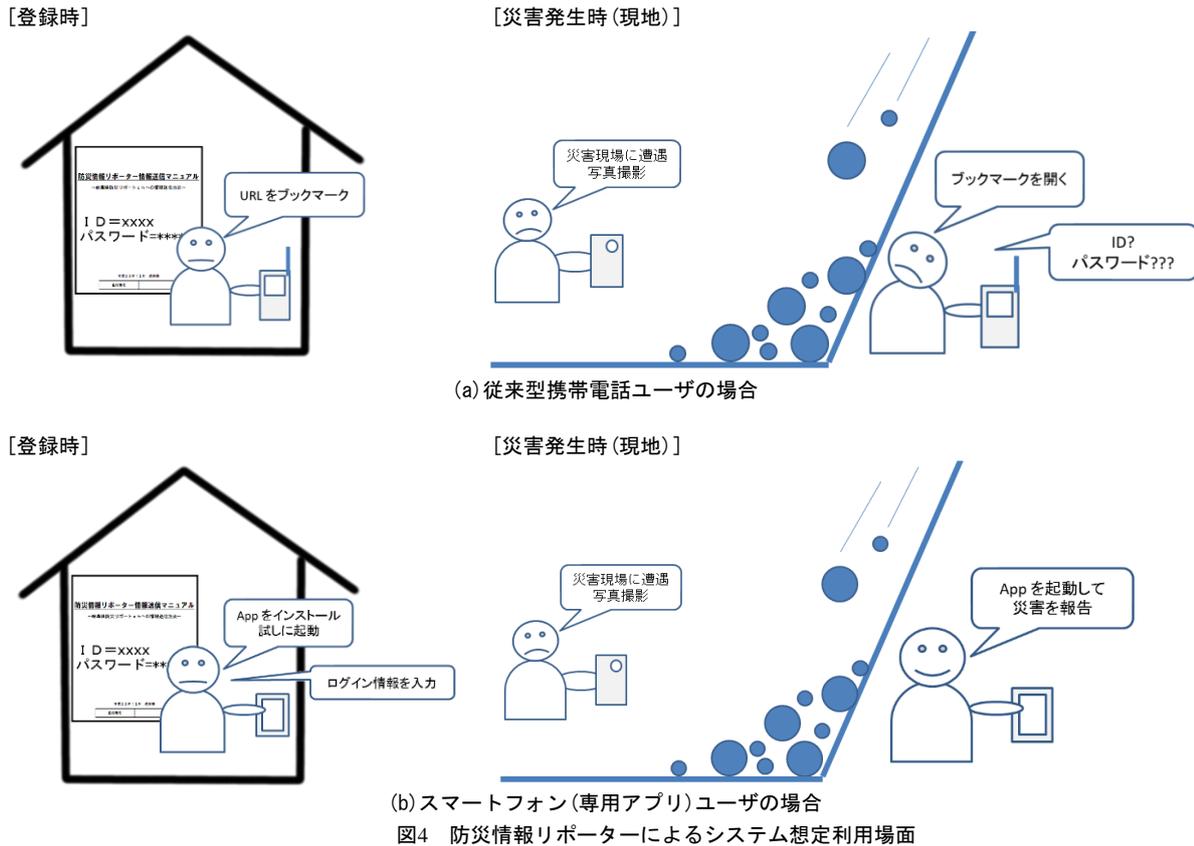
図3 ログイン情報登録(初期設定画面)

ザに受け入れられやすい方法は、一般的な地図アプリ<sup>[1]</sup>で採用されているように、現場付近の地図画像を表示し、地点を指し示す方法であると考えられる。

2. 2 GIS閲覧の問題点

そこで、県域統合型GISのWeb画面を閲覧し、地図上で災害地点を探して直接指定させようとしたとき、このWeb画面は開設当時に一般的であったPC上からマウスを使って閲覧操作することを前提に設計されているため、スマートフォンでは正常な閲覧操作が行えない問題が発生している。

具体的には、この画面をスマートフォンのブラウザからアクセスした場合、Web画面および初期状態の地図(岐阜県全体)は表示されるが、タッチパネル上でのスマートフォン特有の操作をGISが正しく認識できず、例えば地図の表示範囲を拡大および移動させる意図で指をスライドさせる操作をしても、ブラウザ自体のスクロール操作



として機能してしまうなど不具合が発生する。

### 2. 3 ログイン情報管理の問題点

防災レポートCh.へ情報登録をするためには、防災情報リポーター登録時に通知されるユーザIDおよびパスワードを使ってGISにログインする必要がある。しかしながら、このシステムは災害発生時か防災訓練時にしか使用されないため、GISのURLがブックマークに登録されることはあっても、これらのログイン情報を防災情報リポーター全員が災害発生時まで記憶していることを期待するのは不都合であると言わざるを得ない。

## 3. 防災レポートCh.専用アプリ

前節に挙げた問題点を根本的に解決するため、本研究ではユーザにとって最善の方法として、防災レポートCh.に容易に災害情報を登録できるAndroid用ソフトウェア



図5 地図表示画面

(アプリ)を開発した。本節ではこのアプリの特徴について述べる。

### 3. 1 ログイン情報の管理

開発したアプリでは、初回起動時に図3の設定画面でログイン情報を入力し、2回目以降は入力を省略することができる。これにより、平常時に防災情報リポーターに登録申請したユーザは、登録通知とともに専用アプリのインストール手順書を受け取った際に、アプリを手持ちのスマートフォンにダウンロードし、直後にログイン情報を登録しておけば、災害発生の緊急時に戸惑うことなく目的を達成できる(図4)。

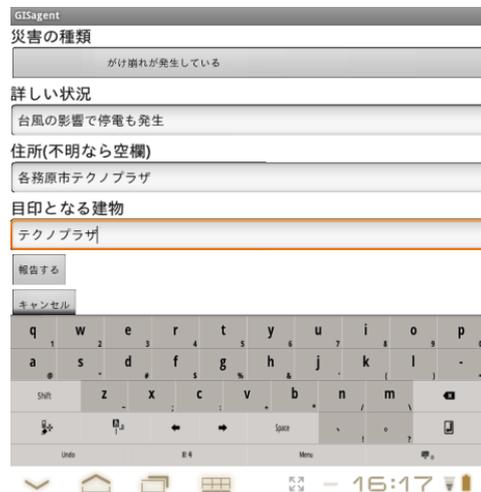


図6 災害情報入力画面



図7 地現場写真送付画面(メール添付)

### 3. 2 地図の閲覧操作

専用アプリを起動後(初回はログイン情報登録後)は、**地域統合型GIS**が提供する**防災リポートCh.**の地図が画面上に表示される(図5)。

起動時の表示エリアは端末の画面の比率等によるが概ね1km四方で、スマートフォンのGPS機能が利用できる場合、その測位地点を初期の中心地に設定される。また、一般的な地図アプリと同様、スライド操作で表示地点を移動し、2本指によるピンチイン/アウト操作で表示範囲の拡大縮小ができる。

### 3. 3 災害地点情報の登録

地点情報を登録したい場所を地図上で確認したら、その地点を1秒程度押し続けると情報登録画面(図6)が表示され、報告すべき情報を入力することができる。入力を終えて登録ボタンを押した時点で、**GIS**に情報が登録される。

この後、あらかじめ宛先と件名、本文が設定されたメール送信画面(図7)が自動的に開き、災害現場を撮影した画像を添付して送信すれば、地点情報に画像を紐づけて登録することができる。メール送信機能は、多くのスマートフォンユーザーが日常的に使用していると想定されるため、この操作は特に難しいものではない。なお、メール送信を中止すれば、地点情報の登録のみ行われる。

一連の登録を行うと地図画面表示に復帰するが、その際には、登録した地点に記号が表示されるため、正常に登録できたかどうか、すぐに確認することができる。

## 4. まとめ

本研究は、岐阜県の防災情報システムの利便性向上を目的に、スマートフォン利用者が災害現場の情報を**地域統合型GIS**に登録する手順を円滑に行う手段について検討し、専用のスマートフォンアプリを開発した。

ユーザーが利用する機種やOSに依存せず、誰でも利用できるようにするために**Web**ベースで構成された情報サービスは、**GIS**に限らずショッピングカートシステムや各種業務管理システムにも広く採用されている。

ところが、**Web**の標準的な閲覧や情報入力手段として前提とされてきたマウスとキーボードを持たない、タッチパネル式端末からアクセスすると、このような**Web**ベースシステムの操作性に問題が生じることがある。

本研究で対象とした**地域統合化GIS**は、この問題の典型例であり、今回は使用目的と手順を検討の上で、専用アプリを設計、実装するという方法で解決した。

別の解決手段の一つに、**Web**サーバ側のスクリプトをスマートフォンに対応させる方法が考えられるが、稼働中のシステムに改修を加えることは既存ユーザーへの影響に配慮して今回は見送っている。その代わりに専用アプリを開発することによって、現行システムを温存しながら、目的とする業務の遂行に必要な入力作業手順と通信量を最適化することができ、利用者およびサービス提供者側双方に利点があった。

さらに、スマートフォンのアプリとすることによって、今回利用しなかった端末ハードウェアの各種センサや計算能力が利用できる見込みから、次年度はこれらを活用し、画像処理などによって、より詳しく伝えやすい現地リポート手段を提供するなどの高度化を図る予定である。

## 文 献

- [1] 地域統合型GIS, <http://www.gis.pref.gifu.jp/>
- [2] 岐阜県防災リポートCh, <http://www.pref.gifu.lg.jp/bosai-bohan/bosai/kansokujoho/report/>
- [3] 例えば,Android版”Google maps”など。

# 水田魚道を遡上する魚の自動計数装置の開発

横山 哲也      藤井 勝敏      米倉 竜次\*      棚橋 英樹

## Development of Fish Counter for Water Ladder

Tetsuya YOKOYAMA    Katsutoshi FUJII    Ryuji YONEKURA\*    Hideki TANAHASHI

**あらまし** 岐阜県では生物多様性に配慮した基盤づくりや水田・農業用水路を活用した環境教育など、環境との調和に配慮した取組みを推進しており、その一環で水田魚道を設置している。設置の効果検証にあたっては、水田魚道を遡上する魚類等の種類、個体数などを定量評価する必要がある、特に個体数を自動計数できる装置の開発が急務である。本研究では光電式遮断センサとカメラ画像を用いた自動計数装置の試作し、実験魚道においてその機能の検証を行った。

**キーワード** 水田魚道, 光電式遮断センサ, 自動計数

### 1. はじめに

岐阜県では生物多様性に配慮した基盤づくりや水田・農業用水路を活用した環境教育など、環境との調和に配慮した取組みを推進している。その取り組みの一つ「生きものにぎわう水田再生事業」において、水田魚道を設置している。水田魚道は、排水路に生息するコイやフナ類などの魚が水田を繁殖・成長の場として利用できるよう、水田と排水路をつなぎ魚の自由な移動を促進する魚道である。しかし、水田魚道を効果的に設置する情報は少なく、設置方法を確立するためには、水田魚道を遡上する魚類等の種類、個体数、時間帯などを定量的に評価する調査が必要である。

調査の実施にあたっては、調査期間が長くなることから、人が介在しない自動での計数方法が望まれる。現在報告されている自動計数装置には、魚カウンター<sup>[1][2]</sup>や、映像解析<sup>[3]</sup>などがある。魚カウンターは水中に電極を配置し、魚が通過した際の水中の電圧変化を検出することで計数を可能とするが、小魚に適用するには計数装置の分解能向上が必要となる。カメラで撮影した映像を解析する手法は、完全な自動化は難しく、水中等の状況によっては人の介入が必要になる。

そこで本研究では、光電式遮断センサ（以下、光電センサ）とカメラを組み合わせた計数装置を試作し、水田魚道における自動計数を試みる。カメラを併用することで、遡上した魚の大きさや種類を確認することも可能である。また、光電センサは魚と浮遊物等を完全に区別できない欠点があるが、カメラ画像を併用して使うことで、欠点を補うことが可能である。本稿では試作した計数装置と、実験魚道における検証結果について報告する。

### 2. 自動計数装置の試作

#### 2. 1 光電センサを用いた計数原理

使用する光電センサは透過型で、投光部から受光部に対してスリット光を投光する。魚がスリット光を遮ると、スリット幅に対して遮蔽した長さの割合分、受光量が減少する。受光量が設定された閾値を下回ったとき、魚が通過したと判断する。閾値は、魚道を遡上する魚の大きさに応じて調整することになる。

光電センサだけでは、スリット光を遮ったモノが魚か漂流物などを区別することができない。本装置では、光電センサの受光量が閾値を下回ったとき、水面の上から写真を撮影し、撮影時間と合わせて記録する。データ採集後にカメラ画像をチェックすることで、漂流物等による誤計数を検出する。

#### 2. 2 計数装置の構成

図1に試作した計数装置を示す。計数装置は光電センサ、カメラ、マイコンと夜間撮影のためのLED照明から構成される。スリット幅10mmの光電センサ2組を直列に、平角棒の端に取り付け、コルゲート角型U字管の底から水

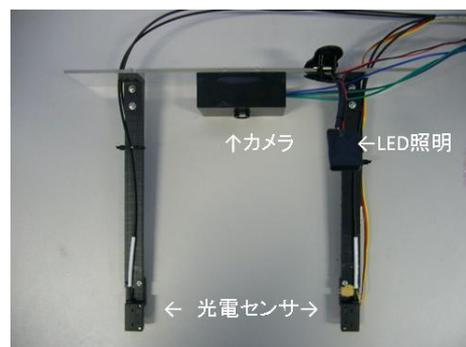


図1 試作した計数装置

\* 岐阜県河川環境研究所

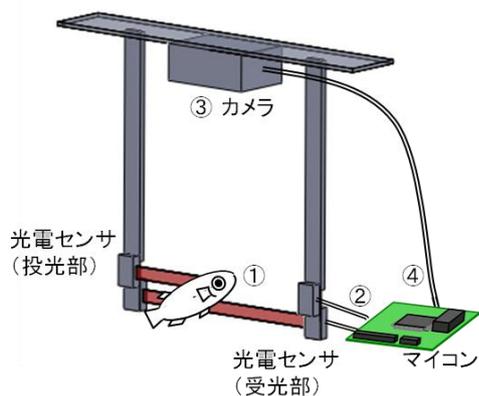


図2 計数装置の仕組み

面の間に配置されるようにした。装置は電源電圧12Vで動作し、消費電流は300mA程度である。

図2に計数装置の動作を示す。①魚が光電センサのスリット光を遮ると、②マイコンに信号が伝わりカウントを行う。併せてその時間も記録する。③カウントするタイミングで写真を撮り、④撮影画像をマイコンのストレージに蓄える。

### 3. 検証実験

河川環境研究所内に設置した実験魚道(図3)において、試作した計数装置の検証を行った。実験魚道は角型U字管の両端に桶を設け、水の流れはポンプを使って実現している。魚道の水深は5cmとし、全長5cm~10cmのフナやコイを放流した。

試作した計数装置が正しく魚の移動をカウントしているか検証するため、ビデオで確認された魚の通過回数と計数装置がカウントした値とを比較した。図4に、計測期間中における11時から17時のカウント結果を示す。グラフの横軸は時刻で目盛は15分単位とし、縦軸にその間のカウント数を示す。図5にはカメラで撮影した画像の一例を示す。

図4より、試作した計数装置は概ね魚の通過を検出していることがわかる。計数装置のカウント数が通過数を上回る誤カウントは、魚がスリット光を遮った状態で漂っている場合に、受光量が閾値を行き来して複数回計数したと考えられる。また、計数装置のカウント数が通過数を下回る誤カウントは、複数の魚がほぼ同時にスリット光を遮ったことに起因する。但し、実際の水田魚道では魚が群れで移動することは少ないため、問題ないと考えられる。

図5の写真は魚を真上から撮影した画像であり、水の濁りがなければ魚種を特定する判断材料の一つになる。また、背景の白板に目盛りを記すことで、魚の大きさを容易に測定できる。



図3 実験魚道

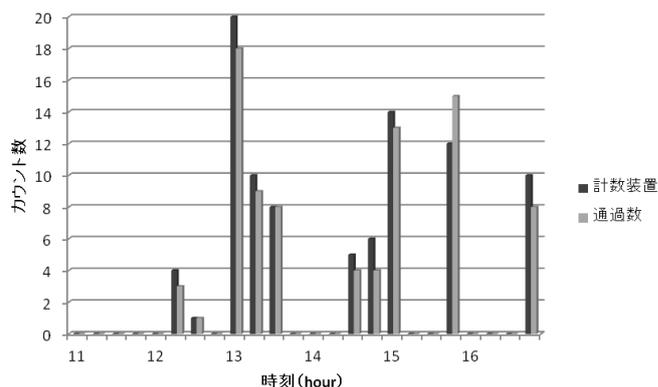


図4 計数装置とビデオ撮影による計数結果

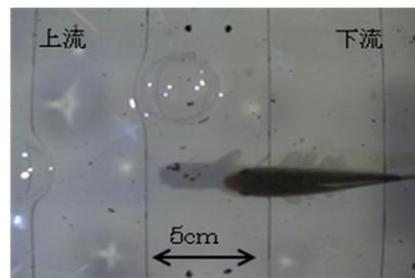


図5 計数装置のカメラによる撮影画像

### 4. おわりに

本研究では水田魚道を遡上する魚の個体数、時間帯および魚種を特定するための自動計数装置を試作し、実験魚道においてその機能の検証を行った。今後は装置の改良に努めると共に、実際の水田魚道において計測実験を実施する予定である。

### 文献

[1] 近藤康行, 権田豊, "砂防堰堤魚道における魚カウンターの研究について", 河川技術論文集第14巻, pp.469-472, 2008.  
 [2] 斎藤敬吾, 三沢真一ら, "水田魚道を利用するドジョウを対象とした自動計数システムの開発", 農業農村工学会論文集第279号, pp.277-282, 2012.  
 [3] 例えば, a環境研究所, "FISH-EYE魚道自動カウントシステム", <http://www.a-kankyo.info/fisheye.php>, 2013.

# 人の動線推定に関する研究開発（第2報）

— パーティクルフィルタを用いたマップマッチング —

山田 俊郎, 渡辺 博己, 棚橋 英樹

## A study on a human tracking (2<sup>nd</sup> report)

- A map matching technology by using particle filter -

Toshio Yamada, Hiroki Watanabe, Hideki Tanahashi

**あらまし** スーパーマーケット等の大型量販店を利用する買い物客の行動履歴を得るため、ショッピングカートを利用した位置計測システムを構築している。これまでに、光学マウスと方位センサをカートに取り付け、デッドレコニングによる測位を試みたが、蓄積するセンサの誤差によって十分な測位結果を得ることができなかった。特に、方位センサの誤差は小さな誤差であっても位置精度に大きく影響するため、センサデータ以外の情報を用いて誤差を補正する必要がある。本報では、店内配置マップによって移動可能エリアに制限を設け、パーティクルフィルタを用いた推定アルゴリズムで位置を補正する手法について報告する。

**キーワード** 動線推定, 測位技術, デッドレコニング, パーティクルフィルタ

### 1. はじめに

大型量販店における買い物客の回遊行動データは、商品の配置や売り場への集客など、店舗設計を評価する指標として有用であるが、現状のデータ取得は尾行調査に依存しており、データ取得の自動化が求められている。また、回遊行動データは、買い物客のナビゲーションサービスなど、買い物客に対して新たな情報サービスを提供するための基礎データとしての活用も期待されている。

このように、買い物客の位置情報に対するニーズは高いものの、屋内測位においては屋外でのGPS測位のような標準化された測位手段は確立されていない。測位対象とする範囲、必要とする位置精度、インフラの有無、システムコストなどの条件に応じてさまざまな技術が提案されている。我々は、大型量販店において多くの買い物客が利用するショッピングカートの位置を買い物客の位置とみなして、カートに取り付ける測位システムの開発を行っている。

前年度の研究開発では、スーパーマーケットにおける買い物客測位に求められる諸条件（測位精度、システム要件など）を明らかにして、カートを用いた測位システムを提案した。提案システムは移動量検出に光学マウスを、方位検出に地磁気センサを用いたデッドレコニング（移動体が持つセンサのみで位置・姿勢を推定する手法）による測位システムであり、インフラを必要とせずに安価に実現できる特徴がある（図1）。光学マウスを用いた移動量検出は、20mの移動に対して測定誤差の標準偏差が

50cm(2.5%)以下であり、スーパーマーケットにおいて商品棚の1本1本が識別できる程度の測位が実現できることが確認できた。しかしながら、地磁気センサによる方位角情報は誤差が大きく、センサデータのみで得られる動線情報は実用に堪えるものではなかった。

本報では、マップマッチングとパーティクルフィルタを用いて、センサデータによって得られる移動ベクトルを補正し、より精度の高い動線推定ができる技術について報告する。

### 2. デッドレコニングによる動線推定

地磁気センサは空間中の磁力の方向から地球の磁極方向を推定するものであり、空間中に磁極方向の磁場のみ



図1 センサつきショッピングカート

が存在する場合に正しい方位を示す。しかし、屋内環境においては、電力線からの電磁誘導や鉄製構造物の残留磁気は磁場を形成し、方位推定を乱す原因となっている。

研究室内でカートを移動し、センサデータ（マウスカウントと地磁気センサによる方位）から得られる移動ベクトルの軌跡を図2に示す。移動軌跡は平面図右上の丸から左方向に向かって移動しており、細い黒色の線がセンサデータによる推定経路を、太めのグレーの線が実際の移動経路を示している。方位センサはスタート地点でキャリブレーションされており、この場所では10度程度の誤差であることを確認している。しかし、平面図左向きの移動から下向きの移動に変わったところで実際の方位からずれた方位を出力したため経路が大きくそれ、それ以降に正しい方位を出力しても経路はずれたままであることが分かる。

地磁気センサによる方位の誤差は、センサの性能によるものではなく、環境によるものであるため、性能の良いセンサを用いても大きな改善は見込まれない。また、鉄製品を撤去するなどの環境の改変も不可能であり、センサの出力値にこのような誤差があっても大きなずれが発生しない移動経路を推定アルゴリズムが必要となる。

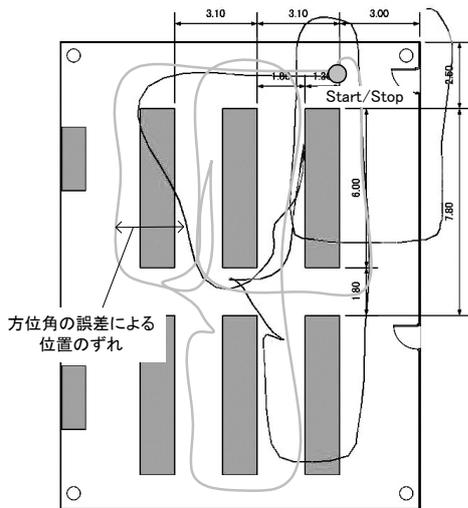


図2 センサデータのみによる位置推定の誤差

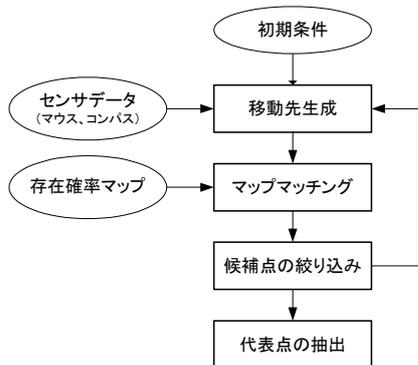


図3 提案手法のフロー

なお、本研究では用いていないが、ジャイロによる方位推定においても、センサ出力のドリフトや回転に追従する感度など、地磁気センサとは別の誤差発生要因がある。

### 3. パーティクルフィルタを用いたマップマッチング

パーティクルフィルタは、測定値を基に複数の結果候補を生成して、これら候補からそれらしい結果を推定する。このとき、結果から外れた候補も次の候補を生成するための種に用いられ、ロバスト性の高い推定手法である。人物の移動追跡への適用事例もあり<sup>[2,3]</sup>、本研究ではカートの移動軌跡の推定に適用した。処理の流れは図3に示すとおりであり、以下に各段階の処理内容について述べる。

#### 3. 1 移動先の生成

図4に示すように、マウスによって得られるカートの移動量 $(x_c, y_c)$ および、カートの方位 $\theta$ から、マップのワールド座標系の移動ベクトル $V_w(x_w, y_w)$ を求める。このとき、移動量と方位角に対して、図5に示す正規分布の確率密度で生成される乱数によって決まる誤差係数 $(\delta_x, \delta_y, \delta_\theta)$ を付与する。移動量については、標準偏差が $\sigma_{xy}$ の正規分布乱数に1を足して $(x_c, y_c)$ に掛ける、倍率の誤差とした。方位角については、標準偏差が $\sigma_\theta$ の正規分布乱数を $\theta$ に足す、量の誤差とした。よって、移動ベクトルは測定値のベクトルを最大確率とする図4の楕円を曲げたような形状の領域に正規分布に従ってランダムに生成される。

ワールド座標系における現在の位置を $(x_{w,k}, y_{w,k})$ とすると、移動先の座標 $(x_{w,k+1}, y_{w,k+1})$ は、現在の位置に移動ベク

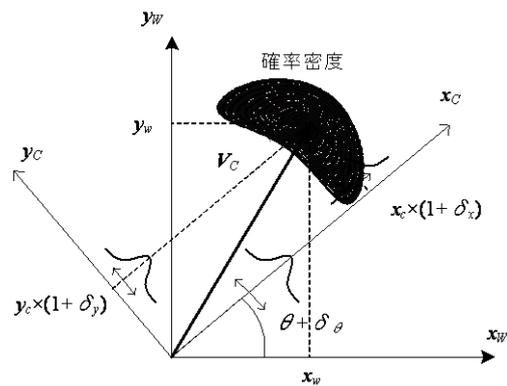


図4 移動ベクトル

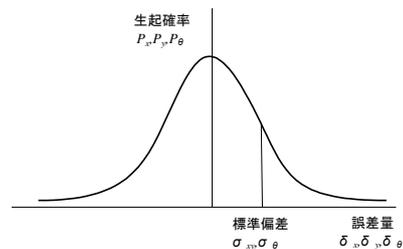


図5 候補生成に使用する誤差の分布

トルを足したものとなり、下の式で示される。

$$\begin{bmatrix} x_{w,k+1} \\ y_{w,k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{w,k} \\ y_{w,k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\theta_k + \delta\theta_k) & -\sin(\theta_k + \delta\theta_k) \\ \sin(\theta_k + \delta\theta_k) & \cos(\theta_k + \delta\theta_k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{c,k} \times (1 + \delta_x) \\ y_{c,k} \times (1 + \delta_y) \end{bmatrix}$$

図6のように、この移動ベクトルを $m$ 回生成して、現在の位置から $m$ 本の次候補移動ベクトルを生成する。それぞれの移動先候補には現時点の存在確率 $P_{p,k}$ および移動ベクトルの生成に用いた誤差の確率密度 $P_x, P_y, P_\theta$ をかけた存在確率 $P_{p,k+1}$ が付与されている。

$$P_{p,k+1} = P_{p,k} \times P_x \times P_y \times P_\theta$$

図6において、移動先候補の存在する場所の色の濃さおよびベクトルの太さが存在確率の大小を示す。

現時点の候補点は $n$ 点存在するため、これらすべての点に対して次候補の生成を行い、図7-1の左側に示すように合計で $n \times m$ 本の移動先候補群を生成する。

なお、初期条件としてスタート位置の座標を与えており、候補点の生成は1点からスタートする。また、マップの座標系と磁北との角度も事前に与えており、センサの方位角とマップ上の方位を対応付けている。



図6 移動先候補の生成

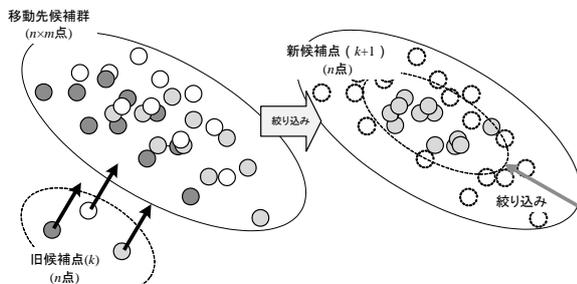


図7-1 移動先候補群の生成と絞り込み（通常時）

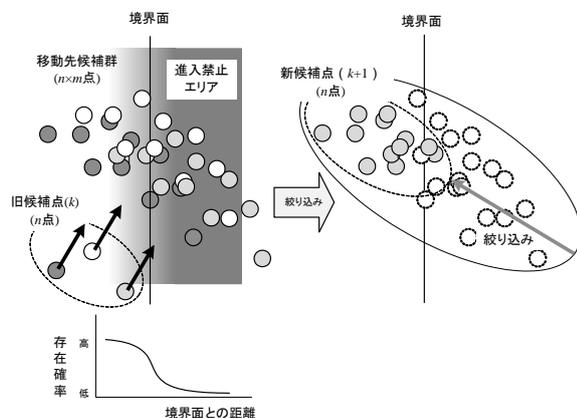


図7-2 移動先候補群の生成と絞り込み（障害物接触時）

### 3. 2 マップマッチング

生成した移動先候補群を事前に作成した存在確率マップ上に投影し、各移動先候補が持つ存在確率とマップが持つ存在確率を掛け合わせ、マップによって補正した候補の存在確率 $P_{m,k+1}$ を求める。存在確率マップは座標点ごとに候補点の存在許される確率 $P_M(x,y)$ が定義されており、図7-2の左側に示すように障害物の境界面から奥に入るに従ってその場に候補点が存在できる確率が下がっている。実際にはカートが、障害物の中に入り込むことはできないが、候補点の生成ではロバスト性を高めるためにあえて多少の進入を認めている。各候補における存在確率のマップ補正は下記の式で計算され、進入禁止エリアに入り込むような候補点に対しては、その存在確率が低くなるように調整される。

$$P_{m,k+1} = P_{p,k+1} \times P_M(x_{w,k+1}, y_{w,k+1})$$

### 3. 3 候補の絞り込み

ここまでの処理で、存在確率を持つ $n \times m$ 本の候補群が生成されたが、これを繰り返すとネズミ算的に候補点が増加することになる。そのため、存在確率の高いものから $n$ 点のみを次の候補点として抽出する。障害物が無い場合は図7-1に示すように候補群の中心付近の候補が残る可能性が高く、障害物にぶつかった場合は図7-2のように障害物の壁面に沿って候補が残る可能性が高い。ここで残った $n$ 本の候補は次の候補点となり、存在確率を1で正規化する。

### 3. 4 代表点の抽出

$n$ 本の候補点から移動軌跡の座標点を算出するには、平均値または存在確率を加味した加重平均が考えられるが、パーティクルフィルタでは候補点群が分裂することがあり、この場合には障害物上の座標を代表点として出力することになる。そのため、本システムでは存在確率が最も高い点の座標を代表値として出力することとした。

## 4. 店舗における測位実験

開発したシステムを用いて、パローホームセンター各務原中央店の店内において測位実験を実施した。店舗は売場面積7,900 $m^2$ の大型店舗であり、売り場の配置は図8-1に示すとおりである。

測位実験に用いたカートは図1に示したものであり、床面から15cmの位置に光学マウスを取り付け、マウスの受光素子に1/4インチCCD用・焦点距離8mmのレンズを取り付けた。床面を照らす光源は、3Wの青色LEDに集光レンズを取り付けたものを使用した。方位センサはカートの鉄製フレームおよび床下の鉄筋等の影響を避けるため、床面から55cmの位置にアルミのアンクル材を用いて取り付けた。

カートによる測定では、床面の状態によって同じ移動量でもマウスのカウント数が倍近く異なることが分かった。店舗内は家庭用品の部分が木目調の床、建築資材お

よび屋外売場はコンクリート床であり、これら両方を同じカウントスケールで扱うことは困難であった。そのため、本実験は木目調床の部分でのみ行ったが、推定される位置によってカウントスケールを変えることで、異なる床面にも対応できると考えている。また、木目調床の部分は柄の方向(木目に沿う方向と交差する方向)でカウントスケールの差が見られたが、その差は5%程度であり、提案手法で補正が可能であった。方位センサの誤差は場所によって大きく異なり、ひどいところでは45度程度の誤差が発生していた。測定データによる動線をそのままプロットしたものを図9-1に示す。右側の縦方向の移動は本来直進であるが左右に大きく波打っており、方位センサの誤差が大きく出ていることが分かる。

売場の配置を基に、図8-2に示す移動可能エリアマスクを作成し、パーティクルフィルタを適用して推定した動線を図9-2に示す。移動可能エリアマスクは白色の部分が通路、色の濃い部分が進入できないエリアである。エリアの境界にはグラデーションがかけてあり、なだらかに存在確率変化するようになっている。図9-2の動線推定は、候補点の数 $n=100$ 、次候補の生成数 $m=20$ 、移動量の標準偏差 $\sigma_{xy}=0.02$ 、方位角の標準偏差 $\sigma_{\theta}=15$ とした場合の推定である。移動量の標準偏差は前年度の精度実験の結果から、方位角の標準偏差は最大誤差が45度程度であったことから( $3\sigma=45$ 度として)これらの値を用いた。この動線推定結果は実際の移動経路と一致している。

## 5. まとめ

スーパーマーケットの顧客動線の取得を目的とした屋内測位システムの構築手法として、カートを利用した測

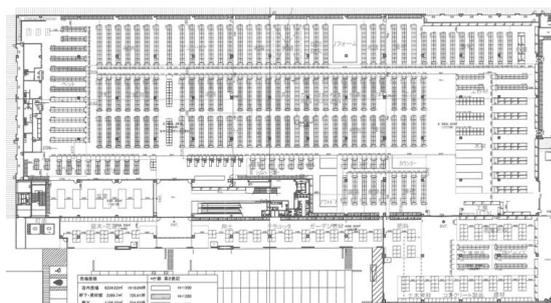


図8-1 量販店の店内配置



図8-2 移動可能エリアマスク

位システムを提案した。提案システムでは、カート移動量の測定に光学式マウスを用いており、安価にシステムが構築できる。また、センサデータの誤差を補正するためパーティクルフィルタとマップマッチングを用いた動線推定システムを構築し、実店舗での測位実験によってその有効性を確認した。

今後は、複数のカートを用いて長期的な実用実験を行うとともに、工場内など量販店以外の場所にも適用の範囲を広げる。

## 文献

- [1] 山田俊郎, “人の動線推定に関する研究開発”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, Vol.13, pp43-46, 2012.
- [2] 石川智也, 興梠正克, 蔵田武志, “サービス現場での従業員トラッキングシステムの評価と応用”, 日本VR学会論文誌, Vol.16, No.1, pp23-33, 2011.
- [3] “携帯型装置による人間の移動行動の推定”, 計測自動制御学会東北支部第222回研究集会, 2005.

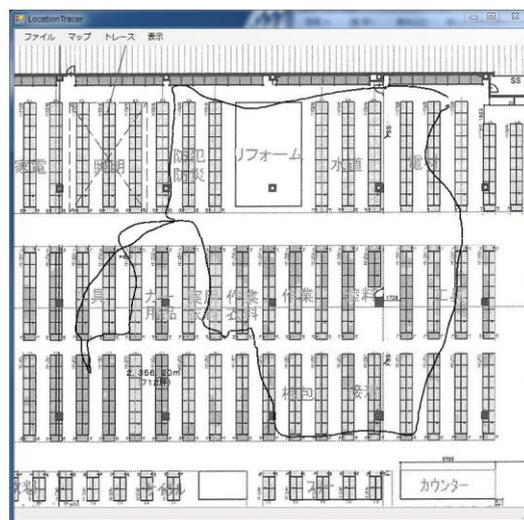


図9-1 動線の例 (生データのプロット)

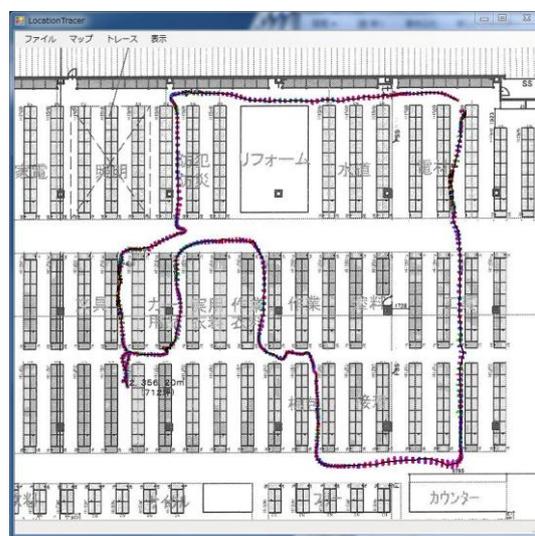


図9-2 動線の例 (マップマッチング適用)

# IEによる作業工程分析及び可視化手法の研究(第2報)

曾賀野 健一      渡辺 博己      棚橋 英樹

## Research of Work Analysis and Visualization for IE (2<sup>nd</sup> report)

Kenichi SOGANO    Hiroki WATANABE    Hideki TANAHASHI

**あらまし** セル生産等の作業現場において生産効率の向上を目指し、作業カイゼンの取り組みを重要視する企業が少なくない。IEを活用した作業カイゼンでは作業の現状を分析するために作業時間を調査する必要があるが、ストップウォッチやビデオを持って作業現場に張りつき、作業者の動きを観察するため膨大な時間と手間が掛かることから現状分析に至る前に断念しカイゼンが前に進まなくなるケースも少なくない。そこで本研究では、映像から人の動作を計測・解析する技術を用いて廉価かつ簡便に作業時間を計測し分析できるツールを開発した。さらに、セル生産等の作業現場での利便性を考慮し、従来の2次元平面作業領域の動作計測・解析技術を拡張し3次元空間領域の作業にも対応可能な仕様とした。

昨年度は、動作計測用撮像装置の選考と特性の調査、動作特徴量抽出手法の検討を行った。この検討結果をふまえて本年度は、作業の動作時間計測用プログラムの試作、動作計測実験、取得した動作時間データの分析及び可視化手法について研究開発を進めたので報告する。

**キーワード** 映像、動作解析、3次元空間、作業時間計測、カイゼン、MZ Platform

### 1. はじめに

企業の作業現場では、少子高齢化による労働力人口の減少や多品種少量生産の増加に伴い、労働者や労働時間等の限られた生産投入資源を最大限に有効活用し、作業効率を高めるため、積極的に作業カイゼンに取り組まれている<sup>[1]</sup>。

作業カイゼンの手法には、IE (Industrial Engineering) と呼ばれる工学的手法がある。IEとは「人、モノ、設備及び情報を統合し、最も経済的な仕事のシステムを設計、改善、確立すること」を意味しており、作業員一人あたりの生産効率を高めるには作業員に無駄な動きをさせてはならないという発想に基づいている<sup>[1]</sup>。IEは、作業時間を計測・分析することで、標準的な作業能力の算出、人件費等の原価管理、作業負担の軽減や作業の効率化を図るためのツールとして用いられる<sup>[2]</sup>。

IEを活用した作業カイゼンの取り組みにおいて、まずはじめに取り組まなければならないのは現状分析である。これは作業にどの程度の時間がかかっているのかを調査していくことであり、作業カイゼンの担当者はストップウォッチやビデオを持って作業現場に張りつき、作業員が行う作業の様子を観察し作業時間を計測する必要がある。この作業には膨大な時間と手間を要し、計測技術を有する人材の育成や人件費等の問題から現状分析に至る前にカイゼン活動が停滞し、標準的な作業能力を把握できていない企業が大半を占めている<sup>[1,3]</sup>。また、人が時間を計測する場合には、長時間(長期)にわたる作業時間

の計測が困難であるため、時間帯や人による作業のムラ等を評価するまでには至っていないのが実状である。そこで本研究では、映像から人の動作を計測・解析する技術を用いて、廉価かつ簡便に動作時間を計測し、作業の分析を可能とするツールの実現を目標とした。

動作計測・解析技術に関しては、これまでに当研究所において研究開発を進めてきており<sup>[4-6]</sup>、自動車保安部品のネジ締め作業や梱包作業の現場において検証を行い、その有効性を示してきた。しかし、従来の技術では作業における動作ごとの時間を自動計測することはできない。動作時間を自動計測することができれば、有限の生産投入資源である人的労力を割くことなく工程能力の算出や作業の効率化を図るための情報を取得することが可能となる。また、従来の技術は2次元平面作業領域に対する動作にしか対応できない点に解決すべき課題が残されていた。作業の対象領域を2次元平面から3次元空間に拡張することができれば、作業領域が拡大化・複雑化している作業現場への適用範囲がさらに広がる。

### 2. 動作計測・解析と時間計測の手法

動作計測・解析の対象領域を2次元平面から3次元空間に拡張するにあたり、動作計測用の撮像装置を検討する必要がある。

従来の2次元平面作業領域における動作計測・解析ではUSBカメラを用いて映像を使用した<sup>[1]</sup>が、2次元平面に対して垂直(深度)方向の情報が得られないため、通常のカメ

ラで3次元空間作業領域における動作計測・解析を行うことはできない。

動作計測用撮像装置の選考を行った結果、廉価で簡便な装置としてKinectセンサ (Microsoft社製) を採用した。このセンサは1台でRGB画像データに加えてDepth (深度) データを同時に取得可能である。

我々は昨年度までにKinectセンサの深度計測精度を調査したところ全画素における平均値と標準偏差に良好な結果を得たことから、Kinectセンサから取得したRGB画像データとDepthデータを用いて3次元空間領域における動作計測・解析を行うための手法を考案した。さらに、パソコンからKinectセンサの撮像部 (IR light, Depth Image CMOS, Color Image CMOS) と駆動部 (motor) を制御し、KinectセンサからRGB画像データとDepthデータを同時に取得可能なプログラムを試作した<sup>[7]</sup>。

本年度は、Kinectセンサから取得したRGB画像データとDepthデータを入力データとして作業の動作時間を計測するプログラムを試作した。ここで動作とは、図1に示すように「手を伸ばす」等の基本的な動作のことをいう。

2次元平面作業領域における動作計測・解析の手法に関しては、観測領域や作業者の服装の変化、照明変化等の影響を受けにくい局所特徴の統計量を用いるアプローチ<sup>[8]</sup>とした。局所的な動きベクトルとしてオプティカルフローを用い、その統計量である動作の大きさと方向分布を表す方向ヒストグラムを動作特徴量として用いた。映像データから動作特徴量を抽出し動作を分割する手法については、文献5において開発した手法を用いた。

まず標準作業手順の動作を登録する。Kinectセンサから取得したRGB画像フレームから特徴点を抽出し、映像の連続する2つのフレーム画像についてオプティカルフローを検出する。得られた方向ベクトル成分を8方向に分解し、動作ごとに各方向のベクトル量の和を計算する。この数値

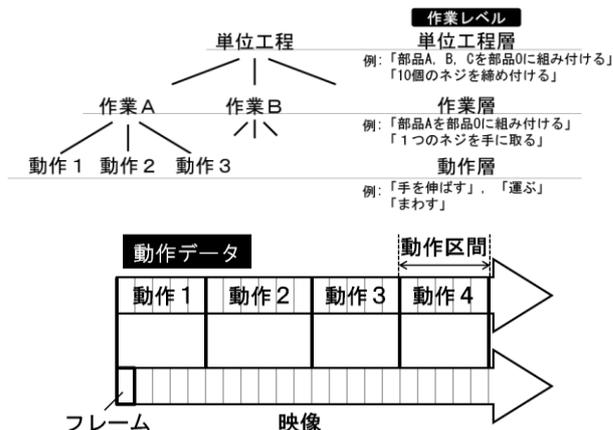


図1 作業の階層構造と映像の分割

を2次元平面作業領域における動作特徴量として扱う。動作を分割したフレーム番号を参照することにより動作区間の時間を抽出する。

予め標準作業手順として登録した動作特徴量と評価作業の動作特徴量を比較することにより、動作単位で動作の種類及び時間データを出力する。2次元平面作業領域における動作特徴量の比較は、登録作業と評価作業の動作ごとに動作特徴量 (8方向ベクトル) の類似度を余弦で求め閾値処理を行う<sup>[5]</sup>。

Kinectセンサから取得したDepthデータに関しては、フレーム単位で深度の最小値を抽出し、フレーム間差分を計算する。そして動作単位でフレーム間差分の和を求め、この数値を深度方向の動作特徴量として扱う。深度に関する動作特徴量の比較は、登録作業と評価作業の動作区間ごとに動作特徴量 (最小距離のフレーム間差分和) を求め閾値処理を行う。

KinectセンサからRGB画像データとDepthデータを取得し、動作時間を計測・出力するシーケンスを図2に示す。

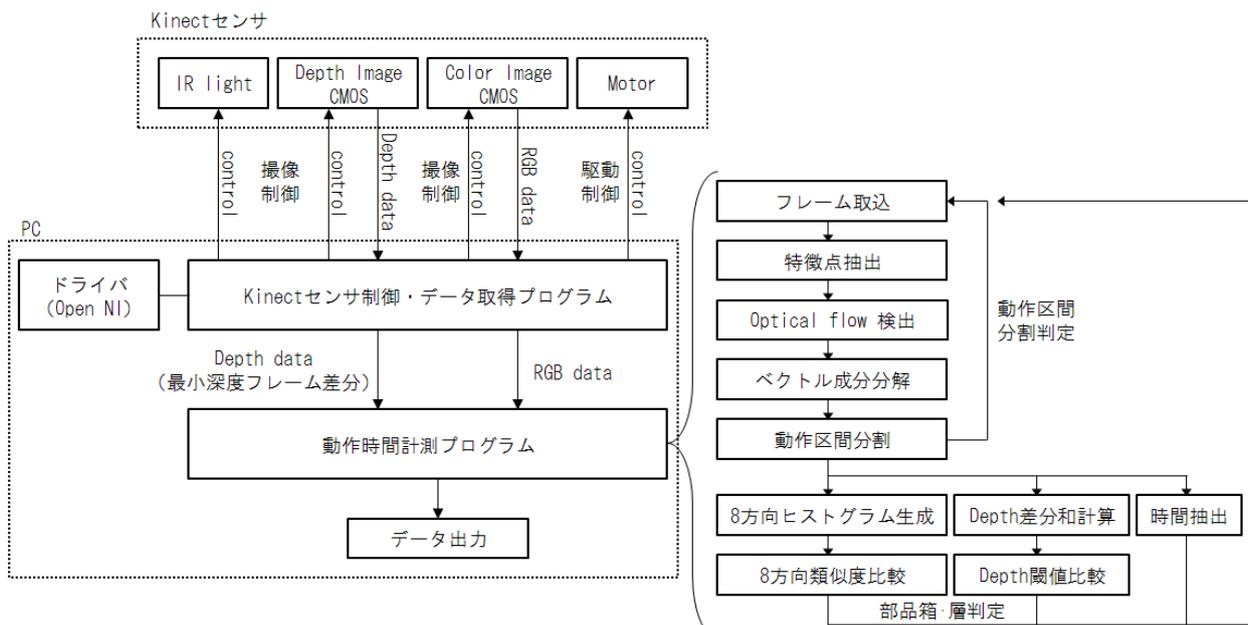


図2 RGB画像データ及びDepthデータの取得と動作時間計測シーケンス

### 3. 動作計測実験

試作したKinectセンサ制御・データ取得プログラム及び動作時間計測プログラムを用いて3次元空間領域における動作計測・解析を行うための実験を行った。実験環境を図3に示す。セル生産の作業現場において部品の組み立て作業で用いられる作業架台を想定し、部品箱を6箱（上層3箱，下層3箱）配置する構成とした。

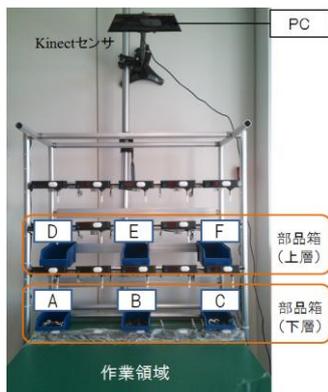


図3 実験環境

対象とした作業工程の流れは、「部品Aを取りに行く」→「部品Aを組み付ける」→「部品Bを取りに行く」→「部品Bを組み付ける」→「部品Fを取りに行く」→「部品Fを組み付ける」という計6種類の動作とした。

従来の2次元平面作業領域における動作計測・解析では、「部品Cを取りに行く」と「部品Fを取りに行く」動作は同じと判定されて評価できない問題が残されていたが、本研究ではKinectセンサを用いて2次元平面作業領域に対して垂直（深度）方向の情報を加えた評価を行うことにより、この問題を解消した。

実験を行う前に、実際にストップウォッチで計測した各動作の時間とKinectセンサ制御・データ取得プログラム及び動作時間計測プログラムを用いて計測した値が一致していることを確認した。

実験では、前述の作業工程の流れに関して6種類の動作を1回の作業工程（図1の単位工程）と考え、被験者は当研究所の職員とし、作業に慣れていない作業員Ⅰと作業に慣れている作業員Ⅱが同じ作業工程をそれぞれ20回繰り返し、Kinectセンサ制御・データ取得プログラムを用いてRGB画像データとDepthデータを取得した。

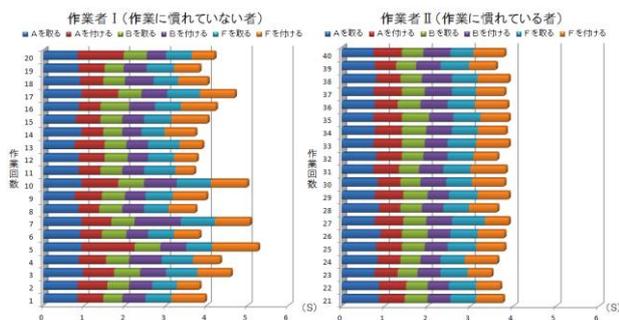


図4 動作時間データログ

次に、取得したRGB画像データとDepthデータを入力データとして動作時間計測プログラムを用いて動作時間データログを取得した。取得したデータをグラフ表示した結果を図4に示す。作業員Ⅰのデータは、特に作業回数5回目、7回目及び10回目のように1回の作業工程に約5秒を要したデータが含まれており、作業時間のバラツキが大きく見える。一方、作業員Ⅱのデータは、各作業工程に要した時間がほぼ均一（3秒台）となり作業時間のバラツキが小さく見える。しかし、動作時間データログの数値やグラフの情報のみを見て作業工程に潜在する障壁を見出し、カイゼン策を究明することは容易ではないため、次章で作業分析の一例を示す。

### 4. 作業分析

動作時間データログから作業カイゼンに資する情報を取得することを目的とした作業分析の一例を示す。

図5は「部品Aを取りに行く」等の動作ごとに作業工程20回の動作時間データを累積したグラフであり、作業員Ⅰと作業員Ⅱのデータを並列表示した。このグラフでは動作別に負荷量（時間）を確認することができる。負荷が最も大きい動作は「部品Aを取りに行く」であり、負荷が最も小さい動作「部品Bを取りに行く」と比較すると作業工程20回あたり約6秒の差が生じている。

図6は動作ごとに作業工程20回の動作時間データ分布を箱ひげ図で表現したグラフであり、動作時間のバラツキを確認できる。作業員Ⅰのデータは「部品を組み付ける」動作時間にバラツキが生じている傾向がある。これは部品を掴んだ時に正しい部品か戸惑い動作が停滞したためであり、その要因は作業の不慣れや集中力の散漫によるものと解釈しがちであるが、現状の作業工程に戸惑いややすい手

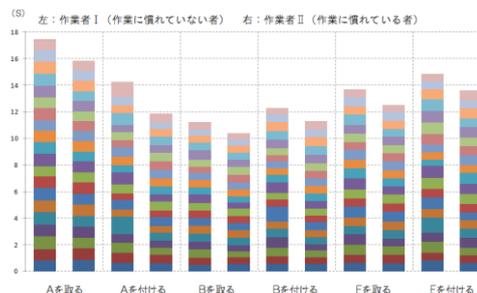


図5 作業の負荷状況（作業動作別）

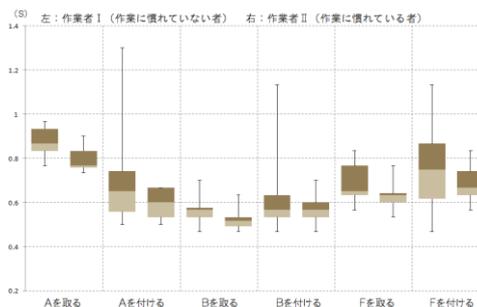


図6 動作時間の分布傾向（作業動作別）

順が含まれていないか、作業台や部品箱は作業者の作業域に対してムリのない配置としているか等、作業工程や製品設計を見直す手がかりとしても重要な情報と考えることができ、それがカイゼンの糸口に繋がる可能性がある。

また、作業の負荷量や動作時間のバラツキ度の情報は、標準作業時間を把握し、作業のムラや作業の習熟度を評価するための情報としても利用できると考えられる。

図5において「部品Aを取りに行く」動作の負荷が最も大きいことがわかり、パレート分析を行うと約20%と全体に占める比率が大きい。「部品Aを取りに行く」動作に作業者の作業域や作業姿勢にムリがないか見直してみると、作業者の利き腕（右）に対して部品箱Aに手を伸ばす動作は筋負担が大きいことが一因と考えられる。そこで作業者の作業域に適した部品箱の配置替えを行い、例えば図3において「A→B→F」の作業の流れを「B→E→F」に変更することで作業工程20回あたり15.83秒費やしていた作業時間を10.40秒とすることが可能となり、約34%の作業時間削減効果が期待できる。

### 5. 動作時間データログの可視化

作業現場において、作業工程の負荷状況や作業時間のバラツキ度等、カイゼンに資する情報を可能な限り手早く把握できるようにするため、動作時間データログから作業分析結果を可視化するためのツールを開発した。

開発には、情報システムを廉価かつ簡便に開発・運用できる「MZ Platform」<sup>[9]</sup>を活用した。

「MZ Platform」を用いて開発した作業分析ツールを図7に示す。動作時間データログをデータベース(MySQL)に登録することで作業分析ツールと連携してデータの受け渡しが行われ、データの集計やグラフ表示が即時に実行される。このツールでは、作業期間を指定した場合に期間内の作業負荷量や時間データの分布傾向を動作単位で表示する機能を例示した。「MZ Platform」を活用したことで、新しい機能が必要となった場合は外注に頼ることなく自ら適宜構築することが可能であるため、商用(外注)システムと比べて現場の要望に対応しやすいメリットもある。

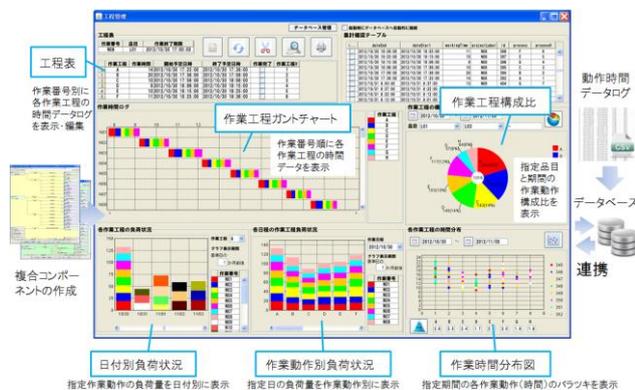


図7 MZ Platformを用いた作業分析ツールの例

### 6. まとめ

3次元空間領域における動作計測・解析を目的とし、動作計測用撮像装置及び動作特徴抽出手法の検討結果をふまえて動作時間計測用プログラムを試作した。Kinectセンサの撮像部と駆動部を制御し、Kinectセンサから取得したRGB画像データとDepthデータを入力することで動作時間を抽出し出力することが可能となった。

セル生産作業現場の立体的な部品組み立て用作業架台を実験環境として動作計測実験を行い、取得した動作時間データから作業の負荷量やバラツキ度を分析した。また、作業者の作業域に適した部品箱の配置替えを行うことで作業時間を削減するカイゼン例を示した。

さらに、「MZ Platform」を用いて作業分析ツールを開発した。このツールは動作時間データログを登録したデータベースと連携することで、データの集計やグラフを表示する機能を備えており、作業の負荷状況等を可視化することが可能である。作業現場において廉価かつ簡便に作業のムラ等を把握しカイゼンに資する情報分析ツールとして運用できる。

### 文献

- [1] 鈴木準, “IEを活用した現場改善のススメ”, ロジスティクス・ビジネス, 2005.
- [2] 藤田彰久, “IEの基礎”, 建帛社, 1997.
- [3] 水野芳昭, “ムダの発見・排除によるヒト、モノ、カネの有効活用”, カイゼン推進研修, 2010.
- [4] 清水早苗, 平湯秀和, 浅井博次, “映像の動作解析技術を用いた「ポカよけ」手法の研究開発—締め付け作業への適用—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第10号, pp.1-6, 2007.
- [5] 松原早苗, 渡辺博己, 棚橋英樹, “映像の動作解析技術を用いた「ポカよけ」手法の研究開発—汎用的な作業への拡張—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第11号, pp.21-26, 2008.
- [6] 曾賀野健一, 渡辺博己, 松原早苗, 棚橋英樹, “映像の動作解析技術を用いた「ポカよけ」手法の研究開発—梱包作業への適用—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第12号, pp.13-18, 2009.
- [7] 曾賀野健一, 渡辺博己, 棚橋英樹, “IEによる作業工程分析及び可視化手法の研究”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第13号, pp.47-50, 2010.
- [8] T.Kobayashi and N.Otsu, ”Action and Simultaneous Multiple Persons Identification Using Cubic Higherorder Local Auto-Correlation”, Proc.ICPR, 2004.
- [9] MZ Platform研究会 (産業技術総合研究所), [http://www.monozukuri.org/mzpf/mz\\_top.html](http://www.monozukuri.org/mzpf/mz_top.html).

# シミュレーション技術を用いたジグ設計検証手法の開発

横山 哲也 坂東 直行

## Development of Jig Design Verification Method using Simulation

Tetsuya YOKOYAMA Naoyuki BANDO

**あらまし** フライス加工などの切削加工では、被削材を固定するジグの設計が不適切で被削材がずれ動いたり、振動が生じることで加工精度が低下する。ジグ設計が不適切となる理由の一つに、設計指標がなく作業者の経験に依存していることが挙げられる。本研究では作業者の経験に左右されず加工精度を維持することを目的とした、ジグ設計を検証評価するシミュレーション技術の開発を目指している。本報告では、切削加工シミュレーションの高精度化を図るための切削力計算と、精度検証の結果について述べる。

**キーワード** ジグ設計, シミュレーション, 切削モデル, 有限要素法

### 1. はじめに

フライス加工などの切削加工では、被削材を固定するのにジグを使用している。多品種少量生産や大物の切削加工においては、専用ジグを設けるとコスト高となるため、クランプやブロックなどの汎用ジグを用いて被削材を固定している。この際、ジグの配置、位置、個数および締め付け力などが適切でないと、被削材がずれ動いたり、振動が生じて加工精度が低下する。

上記問題が発生する理由の一つに、ジグ設計に明確な指標がなく、作業者の経験に依存していることが挙げられる。ジグ設計では、加工中に発生する切削力を考慮してジグの配置位置、配置個数および締め付け力を決める必要があるが、経験の浅い作業者では、不適切なジグ設計を行ってしまうおそれがある。そのため、ジグ設計支援ツールの構築は、非熟練者でも熟練者と同等のジグ設計を可能とし、加工品質の向上を図ることができる。

我々は過去、ジグ設計の支援ツールとして、ジグに働く力を算出できる切削加工シミュレーションを作成した<sup>1)</sup>。このシミュレーションは、有限要素法を用いて構造解析を行い、被削材およびジグにかかる歪みや応力等を計算できる。しかし、切削力計算に平均切削力モデルを用いており、切削力の作用方向等を厳密に考慮していなかった。

本研究は、作業者の経験に左右されず加工精度を維持することを目的とした、ジグ設計を検証評価するシミュレーション技術の開発を目指している。先に開発した切削加工シミュレーションの高精度化を図ることで、ジグ設計の妥当性を評価できるツールになり得ると考える。本報告では、切削加工シミュレーションの高精度化を図るための切削力計算と、精度検証の結果について述べる。

### 2. 瞬間切削力モデルに基づく切削力計算

#### 2. 1 切削加工シミュレーションの概要

図1に切削加工シミュレーションの概要図を示す。CAMソフトで計算した工具のツールパスをNCデータで出力し、切削加工シミュレーションに与える。シミュレーション内部でNCデータを解析し一連のツールパスをつくる。そのツールパス上を工具が一定距離の刻み幅で進むものとして、被削材と工具の干渉を行い、その結果を受けて切削力を計算する。切削力を外力として、有限要素法を用いた構造解析を行い、被削材とクランプの変形を計算とする。作業者は評価値をもとに、材料とクランプ間の接触状態を選択するか、切削条件またはジグ設計を見直しCAMソフトでツールパスを再計算させる。

過去に開発した切削加工シミュレーションの切削力計算には平均切削力モデルを用いており、切削力の作

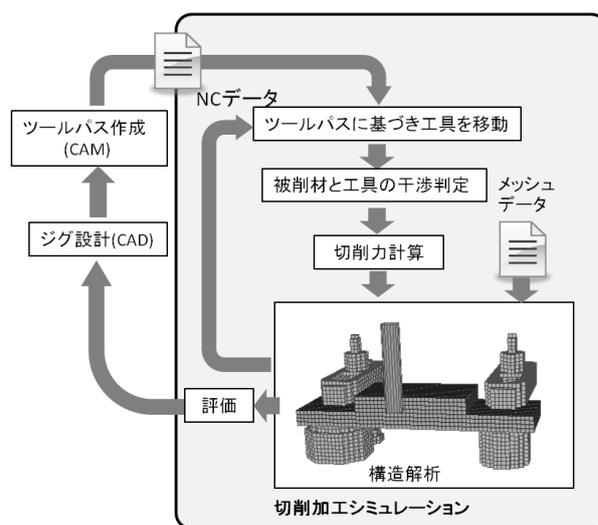


図1 切削加工シミュレーションの概要図

用方向等を厳密に考慮していなかった。シミュレーションの高精度化を図るため、切削力の計算方法を見直す。

2. 2 切削力の計算

切削力計算で使用する切削モデルには、平均切削力モデルと瞬間切削力モデルがある。平均切削力モデルは加工除去体積に基づいて切削力を求めるが、近似値を簡易に求めるものであり、切削力の方向や最大値を厳密に求めることができない。瞬間切削力モデルは工具の回転角に応じた切削力を求めることができ、切削力の方向や最大値を計算することが可能である。シミュレーションの精度を向上させるため、本研究では瞬間切削力モデルを採用する。

切削力は切りくずの厚み  $t$  に比例するため、切りくず厚みを求める必要がある。図2に、溝加工時における、切りくず厚みと切削力を示す。刃の軌跡はトロコイド曲線により求まるが、1刃当たりの送り量が小さいときには円弧に近似できることから、切りくず厚み  $t$  は以下のように近似することができる。

$$t = F_z \sin(\phi + \theta) \tag{1}$$

ここで  $F_z$  は1刃当たりの送り量、 $\phi$  は切削工具の進行角度、 $\theta$  は進行方向からみた切れ刃角度である。

切削力  $F$  は、切りくずの切削断面積  $A$  と、単位面積当たりの切削力（以下、比切削抵抗）の積となる。切削断面積は、軸方向の切り込み量  $R_a$  と切りくず厚み  $t$  より、

$$A(\theta) = R_a t(\theta) \tag{2}$$

となる。工具軸方向の切り込み量が大きいと、エンドミルのねじれ角により、切れ刃の角度が切り込み量に応じて変化する。しかし本研究での軸方向切り込み量は小さく切れ刃の角度に差がないとし、切りくず厚みは  $\theta$  のみに依存するとする。

式(3)に切削力を示す。

$$\begin{aligned} F_t &= K_{tc} A(\theta) + K_{te} \\ F_r &= K_{rc} A(\theta) + K_{re} \\ F_a &= K_{ac} A(\theta) + K_{ae} \end{aligned} \tag{3}$$

ここで  $F_t$  は工具の接線方向に働く力、 $F_r$  は径方向に働く力、 $F_a$  は軸方向に働く力である。 $K_{te}$ 、 $K_{re}$ 、 $K_{ae}$  は切りくず厚みとは関係なく、摩擦により生じる力である。式(4)に、座標変換を施した直交座標系の切削力を示す。

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\phi + \theta) & -\sin(\phi + \theta) & 0 \\ \sin(\phi + \theta) & \cos(\phi + \theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_r \\ -F_t \\ F_a \end{pmatrix} \tag{4}$$

切削加工シミュレーションの構造解析は、有限要素法を用いた剛性方程式で、外力  $F \in R^{3N}$ 、変位  $u \in R^{3N}$ 、剛性行列  $K \in R^{3N \times 3N}$  と重力  $M_g \in R^{3N}$  を用いて

$$F = Ku + M_g \tag{5}$$

となる。ここで  $N$  は有限要素法で使用するノード数である。先に求めた直交座標系の切削力は、外力  $F$  ベクトルの要素として含まれる。

2. 3 切削力が作用するノードの決定

式(4)で求めた切削力を、有限要素法で使用するメッシュモデルのどのノードに作用させるか考える。本研究では、有限要素法で構造解析を行う際、有限要素としてボクセル形状の6面体を採用している。また、6面体内に複数のパーティクルを存在させ、そのパーティクルが工具掃引体内に存在するか内外判定を行うことで、干渉判定を行っている。そこで切削力が作用するノードは、干渉したパーティクルが属する6面体の構成ノードとする。また、各ノードに対する切削力の分配は、干渉したパーティクルの数に比例させる。

有限要素を用いて構造解析を行うため、切削力が作用するノードは、工具の刃先と厳密に干渉している部位ではない。しかし、物体に作用する荷重はその荷重と等価な分布荷重で置き換えても、作用点から十分離れた断面に生じる変位および応力は等しくなるサンブナンの原理<sup>2)</sup>より、ジグから見た場合、その影響は少ないと考える。

3. 切削加工シミュレーションの検証

3. 1 被削材変形の検証

シミュレーション結果と加工計測値の比較を行い、精度を検証する。本節では、加工時の被削材の変形を、歪みを用いてシミュレーション結果と比較する。

使用した材料の物性値を表1に、切削条件を表2に示す。被削材の寸法は50[mm]角の高さ100[mm]で、下側20[mm]をマシンバイスで固定した(図3)。加工は被削材の上面右側の肩削りで、エンドミルを手前から奥、奥から手前に動かした。

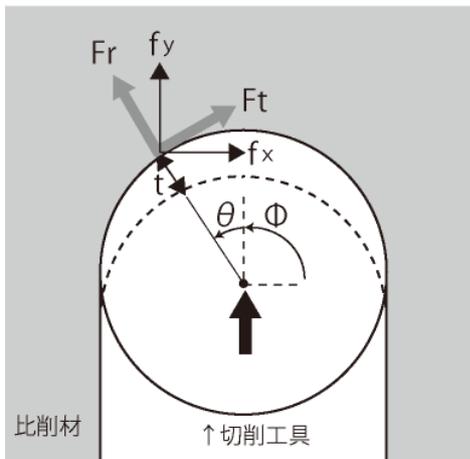


図2 切りくず厚みと切削力

表1 使用材料の物性値

被削材	物性値	
ポリアセタール	ヤング率	3.6[GPa]
	ポアソン比	0.35
	密度	1.41[Kg/m <sup>3</sup> ]

表2 切削条件

切削工具	スクエアエンドミル φ10[mm] 2枚刃
回転数	2000[rpm]
送り	1500[mm/s]
軸方向切込み	1[mm]
径方向切込み	5[mm]

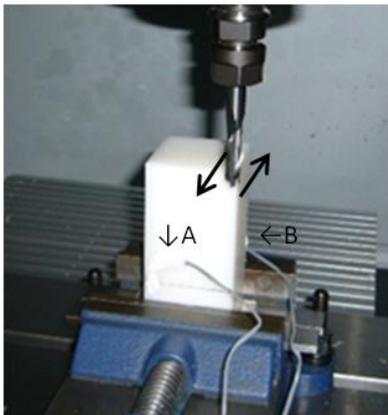


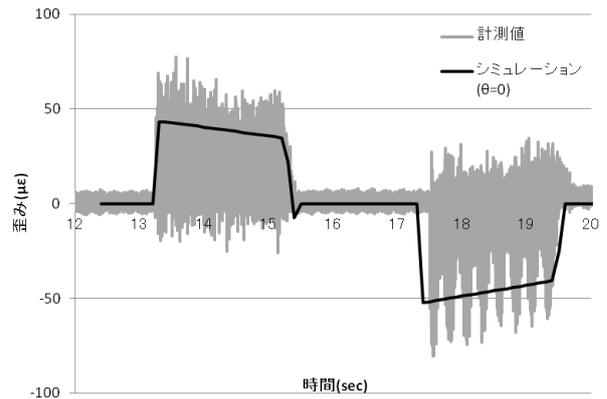
図3 被削材の拘束と歪みゲージ貼付箇所

被削材の歪みは、歪みゲージを用いて計測する。図3に歪みゲージの貼り付け箇所を示す。被削材手前側に歪みゲージA、反対側に歪みゲージBを貼付した。歪みゲージを動歪み測定機に取付け、加工時の歪みデータを計測した。

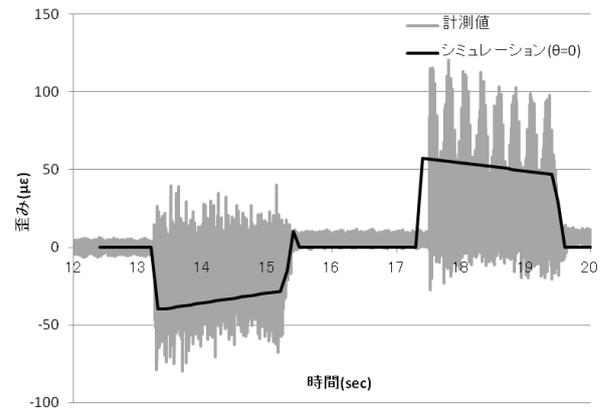
シミュレーションで使用する比切削抵抗の値は、 $K_{tc} = 9.5e7$  [N/m<sup>2</sup>]、 $K_{rc} = 0.1K_{tc}$ 、 $K_{ac} = 0.42K_{tc}$ とした。この値は、予備実験で行った溝加工時の切削力を3分力計で計測した値から求めた。なお、摩擦力の推定ができなかったため  $K_{te} = K_{re} = K_{ae} = 0$  とした。またシミュレーションで使用するメッシュはボクセル形状の6面体で、メッシュサイズは2.0[mm]である。

図4(a)(b)に加工時の歪みとシミュレーションで求めた歪みを示す。シミュレーションにおける歪みは、歪みゲージ位置に近い2つのノードの変形量から算出し、エンドミルの進行方向から見た切れ刃角度  $\theta = 0$  [rad]の結果を示す。なお計測値は、加工時の切れ刃角度が  $\theta = 0 \sim \pi/2$  [rad]の範囲で変化しているため、切れ刃角度に応じて変動している。

$\theta = 0$ [rad]のとき、切りくず厚みが大きくなり切削力が最大になる。それに応じて被削材の歪みも大きくなる。図4の結果より、 $\theta = 0$ [rad]のシミュレーション結果は計測データの極大値と概ね一致していることがわかる。なお、



(a) 歪みゲージAの歪み



(b) 歪みゲージBの歪み

図4 歪みゲージ計測値とシミュレーション結果

エンドミルが奥から手前へ進む際に、ダウンカットによる衝撃力で被削材に振動が生じているが、シミュレーションでは動特性まで考慮していないため、振動を模擬することはできない。

### 3. 2 ジグに作用する力の検証

ジグを用いて被削材を固定した加工において、ジグに作用する力をシミュレーションと実加工で比較した。

使用した材料の物性値を表3に、表4に切削条件を示す。被削材は図5のようにジグで固定され、エンドミルは被削材の中央を手前から奥に向かって溝加工を行う。ジグに作用する力は、3分力計を用いて、被削材と3分力計の合

表3 使用材料の物性値

材料名	物性値	
ポリアセタール (被削材)	ヤング率	3.6[GPa]
	ポアソン比	0.35
	密度	1.41[Kg/m <sup>3</sup> ]
鉄 (ジグ)	ヤング率	210[GPa]
	ポアソン比	0.3
	密度	7.8[Kg/m <sup>3</sup> ]

表4 切削条件

切削工具	スクエアエンドミル φ10[mm] 2枚刃
回転数	2000[rpm]
送り	1500[mm/s]
軸方向切込み	1[mm]

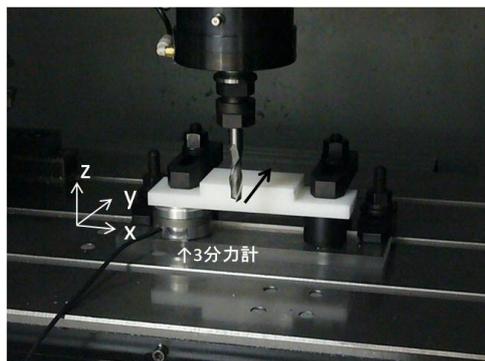


図5 ジグを用いた被削材の加工

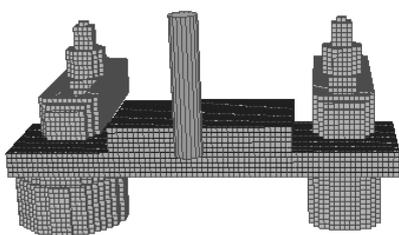


図6 メッシュモデル

わせ面に働くxyz成分の並進力を計測する。

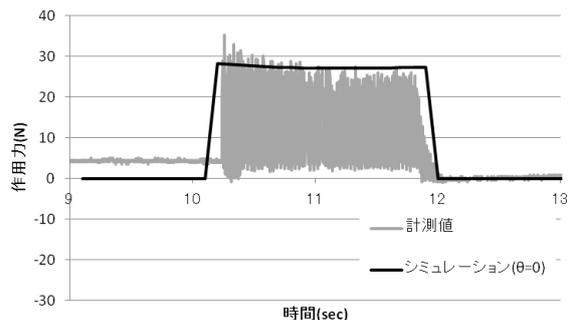
図6に、シミュレーションで使用したメッシュモデルを示す。被削材、ジグと3分力計をボクセル形状の6面体で置き換え、メッシュサイズは2.0[mm]である。シミュレーションで使用した比切削抵抗は前節の値と同じである。

図7(a)(b)(c)に、3分力計の計測値とシミュレーションの結果を示す。被削材はクランプされているため、加工前から力が加わっているが、図7はその力は差し引いている。加工前と加工後で被削材の内部応力のつり合いがずれているため、ここでは加工後の力をゼロ基準にしている。また、シミュレーションは、エンドミルの進行方向から見た切れ刃角度  $\theta=0[\text{rad}]$  の結果を示している。y成分のみ  $\theta=\pi/4[\text{rad}]$  の結果も示している。加工時の計測値は  $\theta=-\pi/2\sim\pi/2 [\text{rad}]$  の値を示し、 $\theta$  の値に応じて変動している。

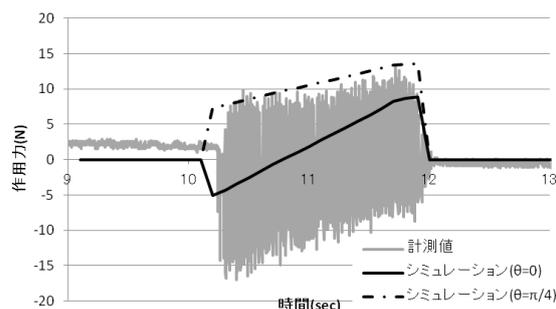
式(3)(4)より、 $\theta=0[\text{rad}]$  近くでxとz方向の切削力が最大になることから、ジグにかかるxとz方向の作用力も  $\theta=0[\text{rad}]$  近くで大きくなる。図7 (a) (c)の結果から、 $\theta=0[\text{rad}]$  のシミュレーション結果は、計測データの極大値とほぼ一致していることがわかる。また、式(3)(4)より  $\theta=0[\text{rad}]$  近くでは、y方向の切削力は大きくなることから、ジグにかかるy方向の作用力も大きくなる。それも図7(b)で確認することができる。これより、シミュレーションの精度の妥当性を確認することができる。

#### 4. まとめ

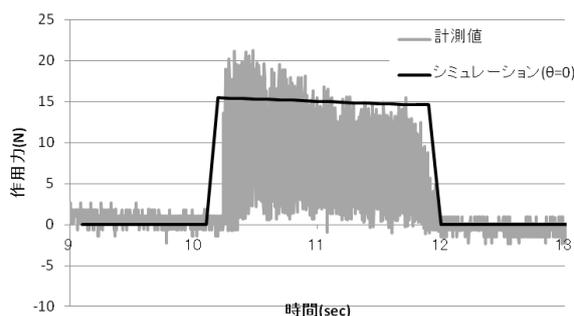
本研究では作業者の経験に左右されず加工精度を維持することを目的とした、ジグ設計を検証評価するシミュレーション技術の開発を目指し、切削加工シミュレーション



(a) x成分



(b) y成分



(c) z成分

図7 3分力計測値とシミュレーション結果

の高精度化を図るため、瞬間切削力モデルによる切削力計算を行った。その結果、加工時の計測値とシミュレーション結果は概ね一致することを確認した。

今後は比切削抵抗の摩擦項を推定すると共に、被削材の固定方法を変えて精度検証を行いたい。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、財団法人越山科学技術振興財団から研究助成金を頂きました。ここに感謝の意を表します。また、ジグ設計のアドバイスを頂きました株式会社イマオコーポレーションに感謝致します。

#### 文献

- [1] 横山哲也，“ジグ設計評価の構造解析に関する研究(第2報)”，岐阜県情報技術研究所研究報告 第13号，pp.36-40, 2012.
- [2] 日本機械学会編，“機械工学便覧基礎編α3”，2005.

# 音源分離技術を用いた切削音による工具摩耗評価

久富 茂樹      坂東 直行

## Evaluation of Tool Wear using Cutting Sound Obtained by Source Separation

Shigeki KUDOMI      Naoyuki BANDO

**あらまし** 部材を加工する工具は、製品精度を決定する重要な要素の一つである。工具が摩耗すると所望の加工精度を得ることができないため、工具の摩耗状態を把握し、適切な時期に工具交換を行う必要がある。工具摩耗状態を管理する手法は様々なものが提案されているが、導入費用、設置の煩雑さなどの理由から、生産現場への導入が進んでいない。切削音による工具摩耗量評価は、非接触計測が可能で、比較的安価にシステムを構築できるが、環境音の影響を受けやすく実用化に課題がある。

本研究では、環境音の影響を受けにくい工具摩耗評価を行うために、複数のマイク（マイクアレイ）によって測定した音のデータから、音源分離技術によって目的とする切削音のみを抽出することを試みた。旋削加工を対象として、コンプレッサの駆動音を雑音として与えた環境において、マイクアレイで測定したデータから切削音の分離を行った。低周波数域での分離は困難であったが、今回の切削条件で工具の摩耗状態によって差のあった0.9~1.7 [kHz] の周波数域に絞って評価すると、雑音であるコンプレッサの駆動音の影響を低減させることができた。

**キーワード** 音源分離, 遅延和法, マイクアレイ, 工具摩耗, 切削音

### 1. はじめに

部材を加工する工具は製品精度を決定する重要な要素の一つである。従来、工具摩耗の検出・工具交換管理技術として、切削抵抗の増加を監視するもの<sup>[1,2]</sup>, AE（アコースティック・エミッション）信号を利用するもの<sup>[3,4]</sup>, 加工後のワーク表面粗さを調べるもの<sup>[5]</sup>, 工具摩耗幅を測定するものなどの方法が研究されているが、計測装置が高価である、計測装置の設置・調整が困難である、測定に時間や手間がかかるなどの理由により、導入例は多くない。特に中小企業では、一定の加工時間や切削距離で工具交換をしたり、作業者の判断で工具交換したりすることが多い。

音情報を利用した方法は、計測装置が比較的安価で、非接触での計測が可能であることから、設置条件などの制約が少なく、既存の工作機械にも導入が可能であるため、中小企業にも導入しやすい方法である。これまでも音情報を利用した工具摩耗量評価に関する研究開発事例はあるが<sup>[6,7]</sup>, 実際には他の工作機械や搬送装置などのノイズが多く、ほとんど実用化されていない。

そこで、本研究では、環境音の影響を受けにくい工具摩耗評価を行うために、複数のマイク（マイクアレイ）によって測定した音のデータから、音源分離技術によ

て目的とする切削音のみを抽出することを試みた。旋削加工を対象として、コンプレッサの駆動音を雑音として与えた環境において、マイクアレイで測定したデータから切削音の分離実験を行ったので報告する。

### 2. 音源分離の基礎評価

複数の音源から発せられた混ざり合った音を、空間の異なる位置に複数のセンサ（マイク）を配置したセンサアレイを用いて測定し、複数の観測データから元のそれぞれの音を分離する技術が研究されている。本研究では、原理がわかりやすく、処理が容易な、遅延和法を用いて、目的音を分離・抽出することを試みた。

#### 2. 1 遅延和法の原理

複数のマイクで音を計測する場合、それぞれのマイクでは、音源とマイクの位置関係によって決まる時間分の遅れが生じて信号が観測されることになる。遅延和法は、各マイクについて目的音の位相が揃うように時間遅れを補償した上で、全マイクの信号を足し合わせる手法である<sup>[8]</sup>。  $m$  個のマイクで目的音  $s(t)$  と雑音  $n(t)$  が混在した音を計測した場合、各マイクで観測される信号  $x_m(t)$  は(1)式のように表される。

$$\begin{cases} x_1(t) = s(t - \tau_{s1}) + n(t - \tau_{n1}) \\ x_2(t) = s(t - \tau_{s2}) + n(t - \tau_{n2}) \\ \vdots \\ x_m(t) = s(t - \tau_{sm}) + n(t - \tau_{nm}) \end{cases} \quad \dots (1)$$

ここで、 $\tau_{sk}$  は  $k$  番目のマイクで観測される目的音の時間遅れ、 $\tau_{nk}$  は  $k$  番目のマイクで観測される雑音の時間遅れである。目的音の時間遅れがすべてのマイクで同じになるように位相を揃えて足し合わせ、マイク数で割ることにより、分離信号  $y(t)$  が求まる。1番目のマイクを基準にして、目的音の位相を揃えた場合、 $y(t)$  は(2)式ようになる。

$$y(t) = s(t - \tau_{s1}) + \frac{1}{m} \{ n(t - \tau_{n1}) + n(t - \tau_{n1} - \tau_{s1} + \tau_{s2}) + \dots + n(t - \tau_{nm} - \tau_{s1} + \tau_{sm}) \} \quad \dots (2)$$

右辺第1項が目的音で、第2項が雑音である。目的音は位相がすべて揃っているため、信号が減衰することなく、元の信号の振幅となる。一方、雑音は、各マイクで位相が不揃いであるため、信号を足し合わせることで振幅が減少する。その結果、ノイズを抑制して目的音を抽出できる。直線状にマイクを並べたマイクアレイを用いる場合、マイクアレイを目的音の方向に向ければ、各マイクで目的音の位相が揃うことになる。こうすれば、目的音の位相を揃える必要がなく、全マイクの信号を足し合わ

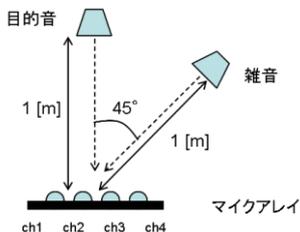


図1 正弦波信号の分離実験

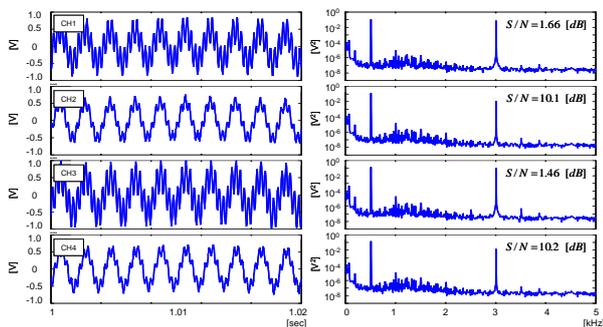


図2 観測波形と周波数解析結果

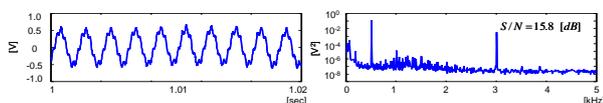


図3 分離波形と周波数解析結果

せるだけで良いので処理が容易である。

## 2. 2 正弦波信号の分離実験

実際に、どの程度、音源分離ができるかを確認するために、2つのスピーカから異なる周波数の正弦波を出力し、マイクアレイで測定した信号を遅延和法で分離する実験を行った。マイクアレイは、4個のエレクトレット・コンデンサ・マイク (DBProducts製C9767BB422LF-P、周波数特性：50 [Hz]～16 [kHz]) を100 [mm] 間隔で直線状に配置したものを製作した。目的音として、500 [Hz] の正弦波、雑音として、3 [kHz] の正弦波を使用した。図1に示すように、目的音源のスピーカは、マイクアレイの正面に 1 [m] 離して配置し、雑音源のスピーカは、マイクアレイに対して45度の方向に 1 [m] 離して配置した。各マイクの出力信号をオペアンプで増幅した後、データロガー (日置電機製MR8880) で記録した。サンプリング周波数は、50 [kHz] で、測定時間は、1 [sec] 間とした。

図2に各マイクの観測波形の一部とパワースペクトルを示す。また、図3に遅延和法で分離した信号の波形とパワースペクトルを示す。パワースペクトルは、測定した時系列データから5,000ポイント (0.1 [sec] 間) ずつ切り出してその区間のパワースペクトルを求め、1 [sec] 間分のデータを平均したものである。なお、パワースペクトルの縦軸は対数表示である。観測波形は、各マイクとも目的音の 500 [Hz] と雑音の 3 [kHz] の周波数成分が含まれた波形になった。ただし、マイク間で波形にバラツキが観察された。スペクトルからSN比を計算すると、1.46 [dB] から 10.2 [dB] までのバラツキがあった。遅延和法で分離した波形は、雑音の 3 [kHz] 成分が減衰して、SN比は、15.8 [dB] に向上しているものの、波形の歪みが目立つ結果となった。このバラツキは、各マイク素子の特性のバラツキ、マイクの取り付けのバラツキの影響であると考えている。遅延和法の原理から考えると、各マイクで雑音の強度が揃っていないと十分な減衰が期待できないため、各マイクの特性を揃える必要がある。

## 2. 3 マイク特性を補正した音源分離

遅延和法で想定している音は、平面波を想定している。そのため、理想的な観測音は、各マイクで、振幅特性はすべて等しく、位相特性のみが異なるはずである。しかし、実際の観測音は、前述のように、各マイクでパワースペクトルが異なり、振幅特性が異なっている。そこで、観測信号の位相特性のみを利用し、振幅特性はどれか1つのマイクに揃えてみる方法を試みた。具体的な処理方法は以下のとおりである。

- (1) 測定したデータから、5,000ポイント (1 [msec] 間) ずつ切り出してフーリエ変換する。
- (2) フーリエ変換して得られた複素数値の絶対値を求め、周波数帯域ごとに全測定区間の平均値 ( $|X_i(f)|$ ) を求める。
- (3) 周波数帯域ごとに、位相関係はそのまま、基準となるマイクの  $|X_1(f)|$  (ここでは1番目のマイクとした)

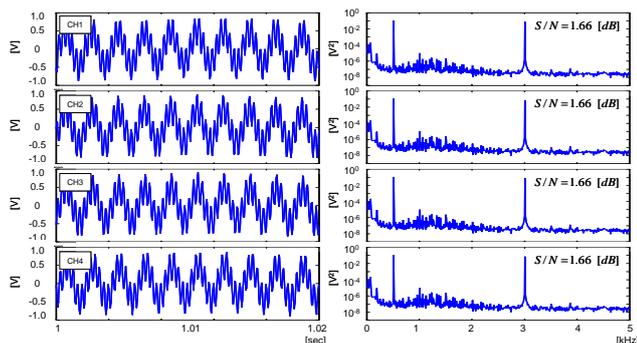


図4 補正波形と周波数解析結果

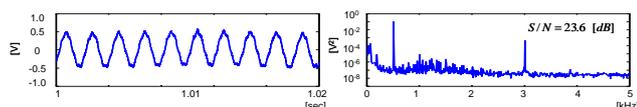


図5 補正データを使用した分離波形と周波数解析結果

に等しくなるように各マイクの振幅特性のみを補正する。

(4) 補正した周波数領域のデータを逆フーリエ変換によって時系列に変換する。

マイク特性を補正した各マイクの補正波形とパワースペクトルを図4に示す。補正波形は、位相特性は異なっているが、振幅特性は各マイクで等しくなっている。SN比を求めてみると、各マイクとも、基準にした1番目のマイクと同じ 1.66 [dB] に揃っている。

これらの補正波形を用いて、遅延和法で分離した分離波形とパワースペクトルを図5に示す。図3に示した補正前の分離波形に比べて、歪みの少ない目的音波形が得られた。SN比も 15.8 [dB] から 23.6 [dB] に向上し、補正の効果を確認することができた。

### 3. 音源分離技術を用いた切削音による工具摩耗評価

#### 3.1 工具摩耗に伴う切削音評価

まず、工具が摩耗すると切削音にどのような変化が現れるかを明らかにするために、他の工作機械などが稼働しておらず、極力ノイズの少ない環境で切削音を測定し、周波数解析を行った。汎用旋盤を用いて、被削材の外径を自動送りによって、表1に示す条件で切削し、その時の音をマイクで測定した。図6に旋削実験の様子を示す。被削材には、直径 45 [mm] のクロムモリブデン鋼 (SCM435) の丸棒を用いた。工具はスローアウェイチップを使用し、新品の正常なものと、刃先をヤスリで研磨し摩耗状態にしたものと2種類で比較実験をした。測定は、エレクトレット・コンデンサ・マイクを1個使用して、サンプリング周波数: 50 [kHz] , 測定時間: 5 [sec] 間で行った。2章の実験と同様に、測定したデータから、5,000ポイント (0.1 [sec] 間) ずつ切り出して、その区間

のパワースペクトルを求め、5 [sec] 間分のデータを平均した。図7に測定音のパワースペクトルを示す。摩耗した工具を使用した場合、0.9~1.7 [kHz] 付近のスペクトルが大きく現れており、工具が摩耗したときの特徴量として利用できそうである。

#### 3.2 切削音測定における雑音の影響

次に、雑音の影響を調べるために、旋盤と同じ部屋にあるコンプレッサを駆動させた状態で同様の実験を行った。旋盤、コンプレッサ、マイクは図8に示すような位置関係である。

周波数解析結果を図9に示す。解析に使用したデータは、マイクアレイ内の1個のマイクのデータのみである。比較のため、図7で示したコンプレッサ音がない場合の結果も合わせて示している。コンプレッサを駆動させた場合、1 [kHz] 以下の低周波数域に駆動音のピークが顕著に現れているが、工具が摩耗したときの特徴量となり得る 0.9~1.7 [kHz] 付近のスペクトルにも重畳している。マイク1個のみの測定では、雑音がそのまま測定結果に影響を及ぼし工具摩耗評価を正しく行うことができない。

#### 3.3 音源分離による切削音抽出

次に、4個のマイクアレイで測定したデータを使用して、2章で述べた方法で補正した後、遅延和法で切削音の分離を行った。図10に分離音のパワースペクトルを示す。低周波数域でのスペクトルは、マイク1つで測定したものとあまり変わらないが、1 [kHz] 以上の領域については、切削音のみの場合のスペクトル値に近くなっており、コンプレッサ音の影響が抑制されている結果を得た。各

表1 切削条件

主軸回転数 [rpm]	550
切り込み量 [mm]	0.5
送り [mm/rev]	0.2



図6 旋削実験の様子

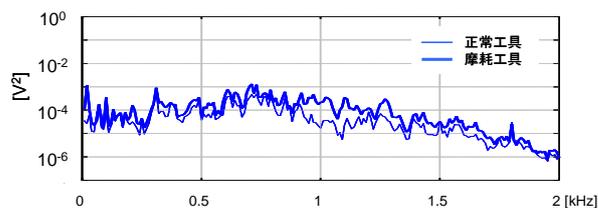


図7 切削音の周波数解析結果

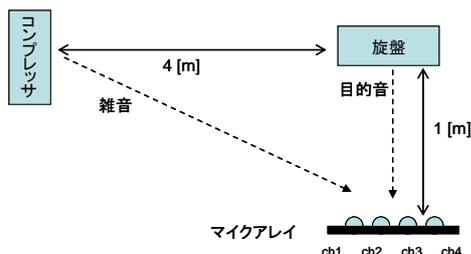


図8 実験配置図

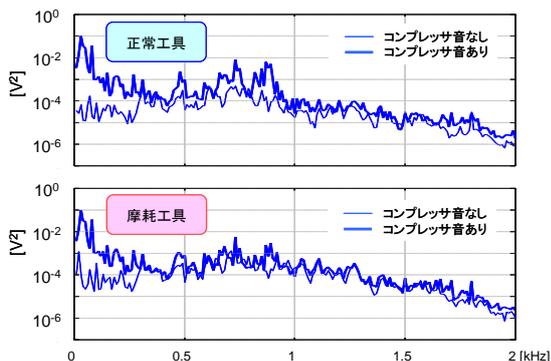


図9 コンプレッサ駆動音がある場合の切削音の周波数解析結果 (1マイク測定)

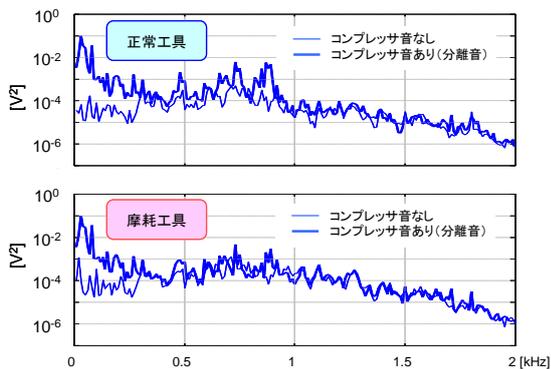


図10 マイクアレイを使用して求めた分離音の周波数解析結果

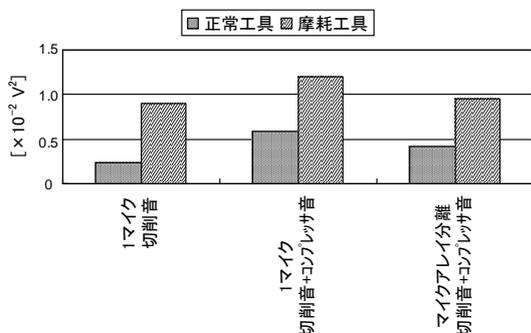


図11 0.9~1.7[kHz]のパワースペクトル累積値

実験条件で得られた 0.9 [kHz]~1.7 [kHz] のパワースペクトルの累積値を図11に示す. マイク 1つの場合, コンプレッサ音加わると, その影響でスペクトルの累積値も増加している. これは, 工具の摩耗状態を判断する上で障害となる. 一方, マイクアレイで測定したデータから求めた分離音の値は切削音のみの場合の値に近くっており, この累積値を監視することで, 環境の雑音の影響を抑制し, 工具の摩耗状態を検出できそうである.

#### 4. まとめ

切削音から工具の摩耗状態を評価することを目的として, 雑音と切削音が混ざった環境において, 音源分離技術の一つである遅延和法を適用して, 目的とする切削音のみを分離抽出することを試みた. 低周波数域での分離は困難であったが, 今回の切削条件で工具の摩耗状態によって差のあった 0.9~1.7 [kHz] の周波数域に絞って評価すると, 雑音であるコンプレッサの駆動音の影響を低減させることができた.

今後, 切削音をより精度よく分離抽出するためにマイクアレイの設計を見直すとともに, 加工条件, 被削材が変わったときのデータを増やし, 工具摩耗との関係を調べていきたい.

#### 文献

- [1] 釜洞文夫ほか, “切削工具の異常検出装置”, 特公昭62-60221, 1987.
- [2] 山北誠人, “工具寿命予測方法”, 特開昭57-171244, 1982.
- [3] 藤原弘次, “工具異常監視方法及びその装置”, 特開平6-218655, 1994.
- [4] 岩本竜一ほか, “軟質金属の超精密加工技術に関する研究”, 鹿児島県工業技術センター, No.19, pp.55-60, 2005.
- [5] 亦野直木, “切削工具の摩耗検出方法”, 特開平6-344246, 1994.
- [6] 竹山秀彦ほか, “マイクロホンによる切削工具摩耗の測定方法”, 特公昭56-11890, 1981.
- [7] 山本晃, 森和男, “加工音による工具状態インプロセス診断技術”, 広島県立東部工業技術センター研究報告, No.9, pp.64-67, 1996.
- [8] 浅野太, “音のアレイ信号処理 —音源の定位・追跡と分離—”, コロナ社, 2011.

# 国体式典参加者の移動シミュレーション

藤井 勝敏      田中 信孝      棚橋 英樹

## Simulations in the Ceremony of the National Athletic Meet

Katsutoshi FUJII    Nobutaka TANAKA    Hideki TANAHASHI

**あらまし** 大勢の出演者および一般参加者が集まる国体式典の会場内で、円滑なスケジュール進行と動線の計画を支援するために、PC上で参加者の移動をシミュレーションするソフトウェアを開発した。シミュレーションの対象は、①出演者の移動、②一般参加者の入場ゲートの処理能力、③会場内で特に混雑が予想される個所での動線とした。また、リハーサルの際には、実際の隊列がどのように拡散するかを調査し、シミュレーションのパラメータ調整に利用した。

**キーワード** 国民体育大会、式典進行シミュレーション

### 1. はじめに

岐阜県では、平成24年に第67回国民体育大会(ぎふ清流国体)と第12回全国障害者スポーツ大会(ぎふ清流大会)を開催した。これらの大会では全国からスポーツ選手団が来場し、県内各地で行われる競技大会に多くの観戦者が訪れるなど大いに盛り上がった。その中でも各大会の開会式式典は、県内の舞踊やスポーツ等の団体の約6400人が続々に演技を披露する壮大なイベントであった。

このイベントは岐阜市内にある県営陸上競技場で開催され、その周辺は野球場やプール、体育館などが集まる総合スポーツ施設になっている。平常時には敷地内の駐車場から各施設に容易に移動できる通路配置になっているが、国体の式典においては、体育館等の屋根付き施設は出演者の控室に占有され、安全上の理由により出演者およびVIPの移動経路は一般来場者と完全に分離しなければならないため、開会式に合わせて大規模な改修工事が行われた。

当研究所ではこのイベントの約半年前に国体事務局から要請を受け、式典会場における動線設計およびスケジュールの妥当性をコンピュータシミュレーションにより事前評価を行った。その結果は大会4か月前から繰り返し行われたリハーサル実施計画の際に参考資料とされ、シミュレーション技術が式典成功に貢献できたことから、今後の参考のため本書のとおり報告する。

### 2. シミュレーションの対象と条件

開会式式典は、午前中に各種スポーツ団体による演目が10分～15分単位で行われ、午後は選手の入場行進等が行われる終日開催のイベントである。このうち、特に午

前中は出演者の入れ替えが多く、また会場周辺から一般来場者が集まる時間帯であり、会場全体の混雑が予想されていた。

#### 2. 1 出演者

衣装を身につけた幼稚園児から高齢者までを含む1団体あたり約70人から800人の集団が18団体出演する。出番直前に控室から競技場付近へ移動、待機し、出番が来たらゲートから登場し演技を行う。その後、速やかに退場し、それぞれの控室まで移動する。控室までの移動距離は500から800メートルで、階段を含む主演者専用移動ルートを確認するとともに、会場周辺が混雑することのない範囲で遅滞なく出演者を待機させるべく、移動開始時間調整と経路上での交差回避が要求される。

#### 2. 2 一般参加者ゲート

一般来場者には、チケットの本人確認、金属探知機による検査、手荷物検査が実施される。会場へのアクセスは最寄りの駅または駐車場からのシャトルバスが中心で約9000人を見込み、10時からのオープニングイベント開始後、式典開始までの約2時間半の間にゲート通過を完了させる必要がある。

#### 2. 3 混雑予想地点

ゲート通過後の一般来場者は、式典会場の指定席に移動するだけでなく、飲食物販会場へ行き来するなど自由に行動する。場内安全のためには、その動線をできるだけ整理する必要があり、ロータリーや分離帯を配置するなどの対策がとられる。

会場内には、階段付近や競技場入り口付近など複数の地点で混雑が予想されており、事前に警備員の配分や動線設計をしなければならない。この際には、他の会場やイベントでの状況を参考にすが、今回の規模での見込みは、担当者の勘に頼らざるを得ないのが実情である。

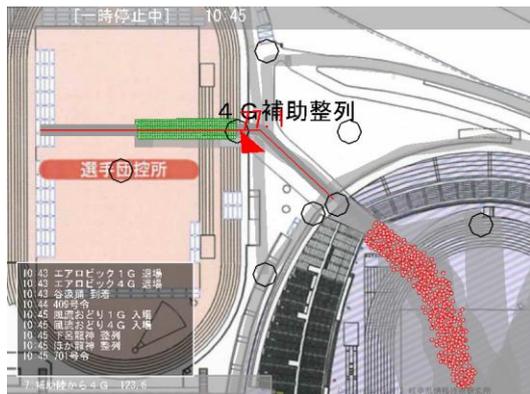


図1 出演者移動シミュレータ

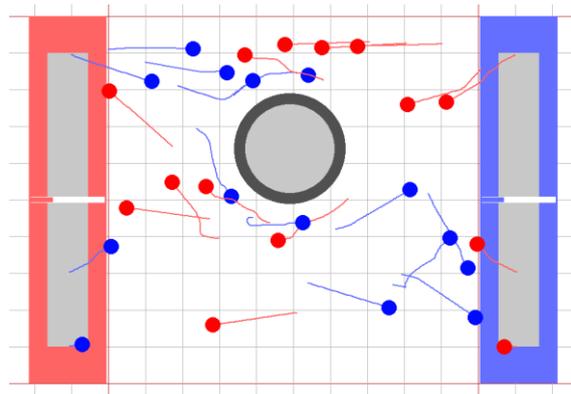


図3 会場内動線シミュレータ

### 3. 開発したシミュレータ

#### 3.1 出演者移動シミュレータ

あらかじめ設計されたスケジュール表と移動経路に従って、通常の60倍の速さで出演者の動きをアニメーション表示するシミュレータを開発した(図1)。控所から出演時刻に間に合うかの確認や、入退場ゲート付近の混雑回避や別の出演グループと接触しないように時間調整するツールとして使用した。

このシミュレータでは、出演者個人の歩行速度に規定の範囲でばらつきを与え、先行者との間隔が詰まると速度が低下するモデルを用いている。移動開始時には整理していたものが、移動中に列が伸びる様子や、隘路で滞留し到着が遅れる様子の予測に利用した。

#### 3.2 来場者ゲートシミュレータ

手荷物検査を行う一般来場者用ゲートの機能をモデル化したシミュレータを開発した(図2)。1つの金属探知ゲートの先に5人の手荷物検査員を配置したゲートを複数開設して来場者を捌く設計で、一人当たりの検査時間および時間帯別の来場者数は他県開催のデータを参考に想定した。到着が開会式直前に集中するワーストケースを含め、通過処理のシミュレーションを行い、発生する待ち行列の長さの変化や最終通過時刻、ゲートの稼働率を視覚的に確認する目的で使用した。

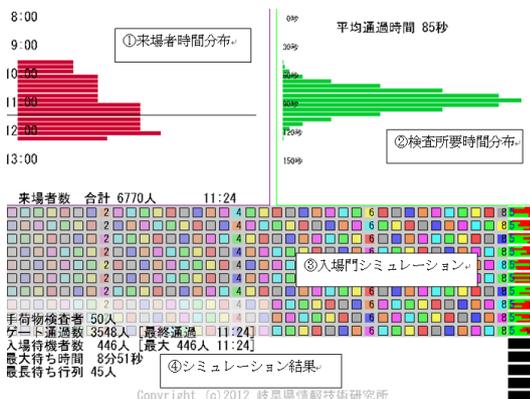


図2 来場ゲートシミュレータ

#### 3.3 会場内動線シミュレータ

一般来場者が会場内で移動することにより発生すると見込まれる混雑のメカニズムをミクロな視点でシミュレーションし可視化するツールを試作した(図3)。一般来場者のモデルは、経路上の障害物を避けつつ個別に設定された目的地を目指しながら、他人との間合いを見て衝突を回避するように設定している。分離帯の設置有無や場所により滞留が発生する様相の確認に使用した。

### 4. 隊列移動の計測実験

各シミュレータのパラメータ調整の参考のため、式典リハーサルで控所と会場までの隊列移動の際の到着時刻分布をビデオ撮影により計測、解析した。550人の隊列を約9分先導したところ、出発地点通過時間3分20秒に対し、到着地点での時間差は5分30秒程度に間延びし、到着地点での通過人数時間分布は図4のようになった。この結果はシミュレータ上の乱数調整に利用した。

### 5. まとめ

多人数を動員するイベントを自治体が独自に運営・実行するにあたり、円滑な進行や会場の安全確保のために事前に多くの想定をする必要があった。今回その一部についてコンピュータシミュレーションによる支援を試み、紙上での試行よりも効率的に試行回数を増やすことで、想定ノウハウ向上やリハーサルの焦点を絞る上で効能が得られたと評価されている。

今後は、このような動線シミュレーション技術を災害図上訓練(DIG)に応用することや、他の大規模イベント(県内行事や他県開催の国体等)への適用を計画している。



図4 隊列通過時間分布(到着地点)

# タブレットPCを用いた福祉分野支援アプリの開発

藤井 勝敏      棚橋 英樹

## Development of Applications for Tablet PC in Welfare Field

Katsutoshi FUJII      Hideki TANAHASHI

**あらまし** 福祉分野における障がい者支援のニーズの一つである就業支援にタブレットPCを利活用する研究の一環として、障がい者が利用することを前提に特別にアプリ開発を行うことによって問題解決を支援する取り組みを行っている。本年度は対面販売における代金と釣り銭の計算を、絵合わせの要領で操作することによって達成できる障がい者を対象とした対面販売支援アプリを開発した。

**キーワード** タブレットPC, 対面販売支援, 障がい者支援アプリ

### 1. はじめに

福祉分野において、スマートフォンやタブレットPCを心身障がい者の活動支援に活用する試みが全世界的に広がっている。タッチパネル画面に表示された選択対象を指で直接触れれば反応があるという直感性は障がい者に限らずユーザの学習コストが軽減されるとともに、バッテリー内蔵かつ軽量であるなどの取り扱いの良さから、現場へ持ち込みやすい利点が評価されている。

しかし、タブレットPCを活用するためには適切なアプリの導入が不可欠であるが、装置導入の容易さに比べて、膨大に存在するアプリの中から利用目的に適ったアプリを見つけ出すのは非常に困難で、口コミなどで評判の良いアプリをいくつか試し、操作性や目的で妥協点を見つけるしか方法がなかった。特に障がい者が利用する際は個人の特性に配慮が必要で、万人向けに設計された既製アプリでは機能が過剰であることや、特定の心身条件をもつユーザには操作が困難である場合がある<sup>[1]</sup>。

そこで、本研究所では福祉分野における技術支援の一環として、福祉分野におけるニーズ情報をもとに個別対応アプリの開発に取り組むこととし、その試みとして「対面販売支援アプリ」を開発した。

### 2. 対面販売支援アプリ

学校や地域活動支援センターなどで開催されるバザー等での代金計算と金銭授受に特化した支援アプリを開発した。想定する商品は、パンや野菜のように種類ごとに売価が設定されているが値札を貼らないもので、トレイや買い物かごに入れて複数同時に購入されるものとする。想定するユーザは、個別の売価を記憶するのが困難か、電卓やレジスターの使用が困難な販売担当者である。

#### 2. 1 アプリの特徴

このアプリは、タブレットPCの画面上に商品および通貨の写真を表示し、現物と対応するように操作を行えば、数値計算が自動で行われ、接客用語や手順についてのガイドも行う機能を持つ。商品画像はタブレットPCに付属のカメラアプリで撮影したものが利用でき、アプリ上で、撮影した写真を選択して売価を設定する。商品の登録は10種類まで可能である。この作業は開店前に実施することができるため、必要なら補助者が代行しても良い。

#### 2. 2 販売業務手順

まず、客がトレイなどに入れてきた商品を受け取り、合計金額を計算して提示する。その場合、商品を1つずつ確認し、登録した写真から同種のものをタブレットPC上で探し、トレイ上と同数配置する(図1)。配置に応じて合計金額を自動計算し表示するため、心配であれば客にこの画面を見せて確認させてもよい。なお、登録されていない商品である場合に直接札の金額を打ち込む機能があり、必要に応じて補助者が利用する。

次に、提示した代金に応じて客が支払った現金を受け取り、先ほどと同様に、紙幣と硬貨の画像をタブレット上で確認しながら同種、同数配置する(図2)。

受け取った現金に対し釣り銭が発生する場合は、返却する紙幣、硬貨が画像で表示され(図3)、同種、同数の現金を釣り銭トレイに集め、客に渡す。50円玉や500円玉などが釣り銭切れのときは、10円玉、100円玉による表示に切り替えることができる。これで1件の業務が完了する。

#### 2. 3 その他の機能

正確な金銭の受払支援が本アプリの主目的であるが、人間の客を相手にする対面販売を経験することこそが本来の学習目的であるため、本アプリでは、ユーザが言葉に詰まった場合に接客用語を読み上げられるよう、ひら



図1 合計金額の計算画面



図2 代金受領確認画面



図3 釣り銭確認画面

がなで画面上に表示している。特に、金額の数値については振り仮名を併記している。

### 3. 特別支援学校における評価

試作したアプリを県内の特別支援学校の教諭に示し、生徒が使用する場合の効果見込みや問題点について検討していただいた。同校では月に1回程度、作業学習の一

環として喫茶店および売店を開いており、校内の生徒、教職員のほか近隣地域住民が来客する機会がある<sup>[2]</sup>。本アプリの適用先としては手工芸品の売店が候補になるが、現状では品種類が多く、金銭授受は先生が行っており、すぐに導入は困難との意見を得た。

一方、喫茶店においては比較的軽度障害の生徒が接客しているが、現在下膳や厨房を担当する生徒に何等かの支援を行って接客業務を担当させたいというニーズがある。このような生徒に対し、画面上に接客用語が振り仮名つきで適時表示される機能は有効ではないかとの意見を得た。

## 4. まとめ

タブレットPCは取り扱いが容易で、福祉分野での支援目的の活用が期待されている。しかし、障がい者向けの用途では、利用者の状況により必要な支援内容が異なり、汎用アプリではニーズを満たせないという不満があった。そこで、福祉現場のニーズをベースに個別専用アプリを開発することで支援につながるのではないかと考え、アプリの試作を行った。

障がい者福祉分野でタブレットPCを活用する動きは国内外で盛んになりつつあるものの、岐阜県内においては一部の特別支援学校等で試験的に導入されるにとどまっている。将来、タブレットPCを福祉分野で普及させるためには、利用者の個別ニーズに合わせて調整する体制が重要で、その実現にはアプリの設定機能の柔軟性を高めるか、それに対応できなければ個別にアプリ自体を開発することが必要になると考えている。

今後は、上記の特別支援学校内喫茶店業務をモデルケースにし、現場での接客業務を支援するアプリ開発ならびに実証実験を行う計画である。そして、こうした活動を通じ、タブレットPCおよび情報技術を活用することにより福祉分野のニーズを解決する可能性を示していく考えである。

## 文献

- [1] 山田晃嗣ほか, "障がい者間での電子機器等の利用促進を目的とした情報共有・支援に関する取り組み", 信学技報, IEICE Technical Report, WIT2011-68, 2012年.
- [2] 岐阜本巣特別支援学校 café和ーなごみー <http://school.gifu-net.ed.jp/gifumotosu-sns/>

---

岐阜県情報技術研究所研究報告 第14号 平成24年度

発行 平成25年7月1日

編集発行所 岐阜県情報技術研究所

岐阜県各務原市テクノプラザ 1-21

TEL: 058-379-3300

FAX: 058-379-3301

<http://www.imit.rd.pref.gifu.lg.jp>

---