ドローン操縦練習のための機体検出システムの開発

駒田航平[1]　　大村廉[1]

概要： 本研究ではドローン用の飛行操縦練習に使用可能な通過タイム計測システムの開発を行う．ドローン通過検出手法は信頼性の高い赤外線検出手法を選択する．そして，機体側に検出器，環境側に送信器を設置する．機体側で通過検出を行うことで時刻同期の問題を解決する．環境側には電池で駆動する小型ビーコンを設置するのみで動作するようにし，設置コストを抑える．評価の結果，ビーコンから高度 1～2m，ビーコンを中心に半径 0.5m 以内の範囲を通過すれば安定した検出が可能であることを確認した．また計測されるタイムは既存製品と同程度に信頼できるものであることを確認した．

Development of a Drone Detection System for the Control Practice

KOHEI KOMADA[1]　　REN OHMURA[1]

1. はじめに

近年，ドローンの低廉化，および，高性能化により，ドローンは，物品の運搬や建築物の調査，地形の測定などの多様な目的への利用が期待されている．また，玩具用のドローンの購入や競技用ドローンの自作などで一般の人でも容易にドローンを手に入れることができるようになった．一方で，ドローンによる重大な事故を回避するため，操縦者には熟練した操作技術が要求され，ドローン操縦に関する認定資格なども整備されてきている[1]．しかしながら，屋外でドローンを使用する場合，航空法によって自由にドローンを飛行させることができないため，ユーザは十分な練習を行うことができない．そのため，屋外のドローン練習場やドローン専用のサーキットのニーズが高まり，日本各地で整備や開設が行われている．

ドローンの飛行操縦練習は，単に漠然と機体を飛行させて練習するだけでなく，マーカーなどを用いることで，エリア内のある位置から別の位置に到達するまでにかかった時間を計測するなど何らかの指標を持って操縦練習を行うことで，より自身の操縦技術の向上が分かりやすくなり，練習効率の向上を見込むことができる．ドローンの移動時間のタイム計測について，既存のシステムではドローンレース用のラップタイム計測システムがある[2][3]．これらの既存製品は，ポールやゲートに取り付けたセンサとドローンの間で赤外線通信を行ってドローンの通過を検出し，正確な計測が可能である．しかし，これらのシステムは，レース時のタイム計測を前提としたものであり，システムの使用にはゲートやポールの設置が必要であることや，練習用に複数台配置するための設置コスト(大きさ,設置の手間など)について考慮されていないなどの問題があった.また，計測できるのはある一つの計測地点におけるラップタイムのみであり，異なった複数点間に計測ポイントを設置して,その間のタイムを計測することは想定されておらず,システムをそのまま飛行練習に用いることは困難であった.

そこで本研究では，屋内だけでなく屋外でも使用可能なドローンの飛行練習として手軽に 機体検出及び通過タイムが計測可能なシステムの開発を目的とする．既存製品の問題点を解決し，システムを使用するにあたっての設置の手間などの設置コストを抑え，複数箇所に計測地点を置いた場合の各区間タイムの計測を行うことができるシステムを提案する．

また，屋外のドローンサーキットは都内の広場のような空間だけでなく，山林内に開設されているサーキットも存在する．今回は，山道や雑木林のような環境でもドローン検出器として使用可能・設置方法や持ち運びの点などを考慮した扱いやすいシステムの提案を行う．

本稿の構成として，第２章で既存のドローンレース用ラップタイム計測システムについて，および，そのほか関連技術ついて紹介する．第３章では第２章を踏まえて，本研究が提案するドローン通過検出システムについて述べる．第４章では提案手法の実用性を示す評価実験について述べ,第５章では実験結果から得られた結論について述べる．第６章では，本論文のまとめを述べる．

1 豊橋技術科学大学　　Toyohashi University of Technology

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

2. 既存製品と関連技術

2.1. 既存製品

ドローンのタイム計測ができる既存製品として，ドローンレース用のラップタイム計測システムがある．それらの製品の一例として I-LAP Timing System[2]，および，DRONE RACER ラップタイムカウンター[3]がある．これらの共通する特徴として，ドローンの通過検出手法として信頼性の高い赤外線 ID 検出手法を採用している．

I-LAP Timing System は，ドローンの通過情報を送信する赤外線 LED 内蔵のトランスポンダを装着したドローンと，受信する環境側である赤外線センサを装着したポールから構成される．図 1 に示す通り，送信側では，赤外線 LED を内蔵しているトランスポンダをドローンに，地面と垂直になるよう横向きに搭載する．環境側には，スタート/ゴール用のゲート裏に同等の高さのポールを用意する．ポールにはドローンのトランスポンダからの赤外線信号を受信する赤外線受信センサと受信した赤外線信号を識別するためのデコーダをマジックテープで貼り付け，各々LAN ケーブルで繋ぐ．デコーダと PC を USB ケーブルで接続し，ゲートを通過したドローンの通過検出とラップタイム計測を行う．また各トランスポンダの赤外線 LED にはそれぞれ ID が割り当てられており，複数のトランスポンダを用いることで機体別のラップタイム計測も可能である．ドローンに搭載するトランスポンダの大きさは 46×17×5mm，重量 6g で非常に小型且つ軽量であり，レース用ドローンに搭載しやすい．また，計測方法がシンプルなことやドローン搭載の扱いやすさからドローンレースで扱われるラップタイム計測システムでは最もメジャーな製品である．

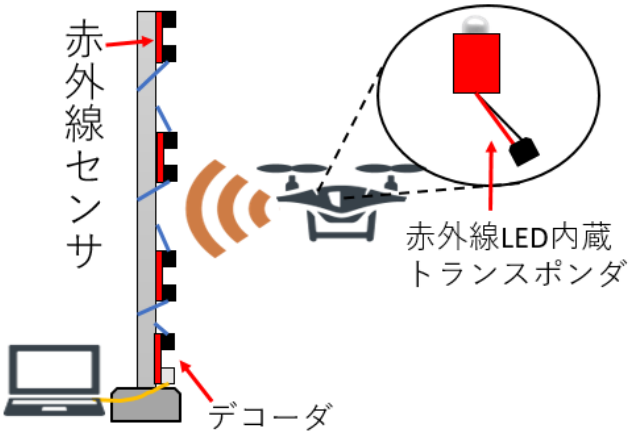


図 1:I-LAP Timing System

DRONE RACER ラップカウンターは，京商株式会社が提供するタイム計測システムである．図 2 に示す通り，送信側で赤外線 LED を内蔵した専用ドローン，および，受信側である赤外線センサを装着したゴールゲートから構成される．本システムでは，ドローンがゲートを通過したとき，機体上面に上向きに内蔵されている赤外線 LED が発信する赤外線を赤外線センサが検出し，通過判定と赤外線 LED ごとの ID から機体判別及び通過タイム計測を行う仕組みである．受信側では，ゲートの上部に下向きに複数の赤外線センサを取り付けて使用する．各センサは，LAN ケーブルで繋がれ，内一つのセンサをデコーダと接続し，デコーダと PC 間は USB ケーブルで繋げて使用する．0.01 秒単位の細かなタイム計測の他，周回数計測も可能で，数々の京商ドローンレーサー専用のレース大会で主に使用されている．

これらの既存製品の問題点として，使用する際にゲートやポールを設置する必要があること，および，計測地点にタイム表示用の PC やデコーダを計測地点に設置しなければならない点があり，複数箇所に計測地点を設置する場合に設置コストが非常に高くなってしまう．特に，既存のレース用タイム計測の多くは 1 カ所のみの計測地点におけるラップタイムのみしか計測できず，各チェックポイント間の区間タイムを計測するようなドローン飛行練習には使用することは困難である．

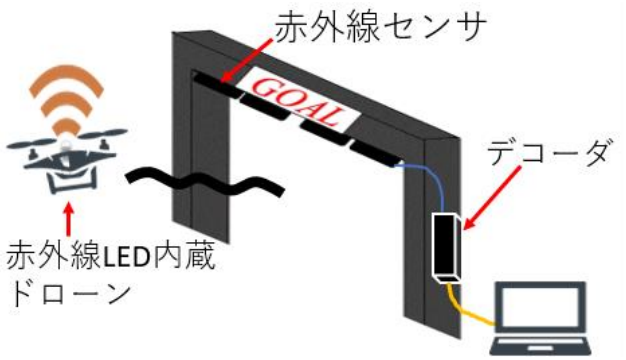


図 2:DRONE RACER ラップカウンター

2.2. 関連技術

前節ではドローン競技におけるタイム計測システムについて紹介したが，そのほかの競技でも競技ごとのタイム計測手法が行われている．例えば競泳では，スタートの合図となるスターターピストルの発砲からタイムの計測を開始し，競技者がゴールの端壁のタッチプレートに触れることでタイムを計測するシステムが用いられている[4]．また，スキー競技ではスタートの合図とともにタイム計測を行い，ゴール地点には赤外線透過式の光電式検知器を設置しておき，競技者がゴールし遮光することで通過判定を行う[5]．しかし，壁に触れることで計測を行う手法や，人間より小型で前後上下左右自由に空中を飛行して移動することで，ポイント通過の際必ずしも光電式検知器の赤外線を遮光するよう通過する保証のないドローンの通過判定に光電検知手法を用いることは非常に困難である．

また，今日，マラソンや自転車レースでのチェックポイントやゴール時の通過判定では，RFID を用いた手法が使用されている．そんな中，RFID を使用した検出技術とし

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

て，ロボットの位置計測や歩行者の通過検知を行う方法にRFID を用いた手法がある[6][7]． RFID による手法は IC タグをドローンに搭載することでドローンの機体検出も可能である．しかし，タグリーダーは[7]で使用していたものを一例として挙げると，デコーダの役割であるユニットでも大きさ 224×150×70mm，重さ 1.7kg と大型でタグ検出を行うアンテナユニットで大きさ 175×175×114.5mm，重さ 750g でこちらも持ち運びなどを考慮した場合扱いにくい．よって，ドローンの飛行練習として RFID を用いる場合，赤外線検出手法と同様，環境側にセッティングする際のタグリーダーなどの設置の手間が大きく，複数箇所にセッティングする場合非常に設置コストがかかる．また，リーダー用に電源も別途用意しなくてはならず屋外使用には向いていない．逆に，[6]の手法では受信機を機体に搭載し，環境側には小型のタグを設置する方法をとることで環境側への設置コストを抑えることが可能である．しかし，送信機を環境側に設置する方法ではタグリーダーが小型なものでも 500g 前後と大型で飛行練習のために搭載するには不向きである．

そのほかの通過検出・物体検出・位置推定の手法として WSN を用いる手法[8][9][10]やカメラや画像センサを用いる手法[11][12]やマイクロホンを用いる方法[13][14]などがあるが，検出範囲の指向性が広く精度の高い位置特定には向かない，屋外使用においてロバスト性が低いなどドローンの操縦飛行練習として使用する手法としては問題が生じる．

3. 機体検出システム

3.1. 要求事項

システムの要求事項として，屋外使用を想定するため電源を用いずシステムには電池・バッテリを用いる．そのほかの要求事項として，今研究で作成するシステムは，ドローン検出ポイントの設置が一か所だけとなる従来のラップタイム計測システムと異なり，区間タイム計測のために複数箇所に検出ポイントを設置する．そのため，検出ポイントごとの時刻同期の問題について対処する必要がある．よって，システムに使用するタイム計測器は 1 つのみとなる計測手法が望ましい．また，ゲートやポール，計測用の PC などの環境側に対する設備設置の手間やシステムを持ち運んで練習に用いることを想定した場合，設備設置の際の手間や設置コストの低さについても考慮して環境側にはゲートやポールを必要としない検出手法，及び，システムに必要な PC の数は最低限数になる手法が望ましい．

3.2. 提案手法

本研究の機体検出手法は，既存のドローンレースラップタイム計測システムに倣い，機体検出・タイム計測方法としてドローンの通過検出手法として検出精度の信頼性の高い赤外線 ID 検出手法を採用する．

従来のタイム計測システムでは機体に赤外線 LED を搭載し，計測地点であるゲートやポールにドローンの通過を検出する赤外線センサを設置する方法が用いられている．本研究では従来手法とは逆に，機体側に赤外線センサ内蔵のトランスポンダを搭載し，環境側の計測地点となるチェックポイント側に赤外線 LED を内蔵したビーコンを設置する．システム全体の構成図を図 3 に記載する．機体自身でチェックポイントの通過判定や自身の通過タイム計測を行わせることで，どの機体がチェックポイントを通過したかを判定するデコーダを環境側に設置する必要がなくなり，且つ，複数のチェックポイントを設置した場合に生じる計測地点ごとの計測タイムの同期の問題を気にする必要がなくなる．また，環境側には送信機である赤外線ビーコンを置くだけでよいので設置の手間が減り，環境側の設置コストを抑えることが出来る．

図 3:システム全体構成図

3.3. 設計

今回，システムの使用に想定するドローンは，トランスポンダ(78×65×25mm,64g)を取り付けるスペースがあること，トランスポンダを取り付け可能な形状であることを前提とする．機体の大きさとしてはモーター対角線間 200mm 以上あればトランスポンダを搭載するには十分であると考える．また，システムを使用する際の機体の速度は最高速 10m/s～15m/s 程度とする．また，本論文で記載したトランスポンダは現在開発中のものであり，今後さらに小型・軽量化(およそ 60×55×15mm 見込み)を予定している．

PC とトランスポンダ間で使用する通信素子は 920MHz を使用する．理由は，今日，ドローン操縦用には 2.4GHz 帯の周波数帯が使用されており，Wi-Fi や Bluetooth では混信を引き起こしドローンの操縦に悪影響を及ぼす可能性があるためである．また，920MHz 帯は長距離通信が可能な周波数帯であるため広範囲にチェックポイントを設置する場合でもシステムに必要な PC は 1 台のみで済む．

前節で記載したが，今回ドローンの機体検出には赤外線

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

ID 検出手法を使用する．赤外線を用いる手法は屋外使用の場合，直射日光などによるロバスト性の問題が生じるが，屋外使用を想定している RC やバイクのタイム計測手法としても用いられている．主な対策法としては受信センサに直射日光が当たらないよう設置や設計を工夫することが重要である．したがって，今回赤外線センサは直射日光がセンサ部に当たらないよう機体底面に下向きに取り付ける．また，ビーコンに使用する赤外線 LED，及び，トランスポンダの赤外線センサは指向範囲，検出域がなるべく広いものを素子として使用し，ビーコン付近を通過した際の検出率が極力高くなるようにする．

ビーコンとトランスポンダ間の赤外線通信について解説する．赤外線ビーコンの指向範囲の理論図を図 4 に示す．高度 1m であれば，ビーコンを中心に半径 1m の赤外線指向範囲域が存在している設計である．機体が高度 1m の位置を 10m/s～15m/s で通過した時，ビーコンの指向範囲に機体が存在する時間がおよそ 133～200ms となる．この間に信号の誤送信の場合なども考慮して最低 5 回程度赤外線信号を送受信する設計を考慮する．そのため，今回 ID を送信する合図であるリーダ部，ID 送信終了の合図であるリセット部の時間をそれぞれ 6ms，1.56ms と設定し，ID ビット数を 4bit と設定する（図 5）．この時，ID であるデータ部は ID ビット 4bit と ID ビットの反転ビット 4bit で構成されているが，これは日光などを受信センサで検出した際にビーコンからの信号と誤検知しないようにするためこのように設定している．結果信号を送信するのにかかる時間が約 21.04ms となり，想定時間内に 5 回程度信号が送受信される設計になっている．

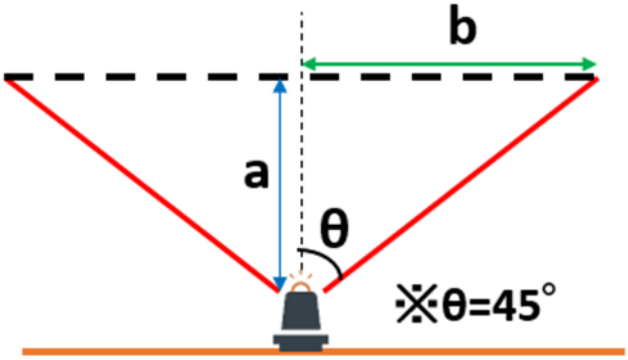


図 4：ビーコン指向範囲理論図

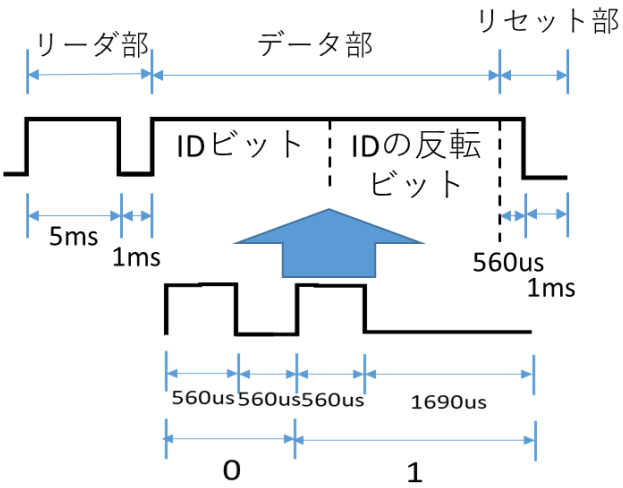


図 5：ビーコンから送信する赤外線信号

3.4. 実装及び使用方法

図 6 に作成したビーコン，図 7 にビーコンの回路図を掲載する．また，図 8 に作成したトランスポンダ，図 9 にトランスポンダの回路図を記載する．

環境側にはビーコン（100×80×80mm，114g）を地面に置いて使用する．各ビーコンの赤外線信号にはそれぞれ ID 番号を振り分けており，機体がビーコン上を通過した際に信号を複数回送信できるように設計している．ビーコンは場所を選ばず使用できるよう電源を必要とせず，単 4 電池 3 本で約 3 時間以上駆動する．

ドローンに搭載するトランスポンダは，赤外線センサ，無線通信モジュール，PIC マイコンを内蔵する．赤外線センサはビーコンから発信された赤外線を検出する．無線通信モジュールは計測したタイムと検出したビーコンの ID 番号を PC に送信する． PIC マイコンではタイムカウントを行う．使用の際はトランスポンダをドローンの飛行の妨げにならない位置に固定する．前節で記載したように，赤外線センサは直射日光がセンサ部に当たらないよう機体底面に下向き且つビーコン上空を通過した際に赤外線信号が検出しやすい位置に取り付ける．トランスポンダにはどのドローンでも使用できるようトランスポンダ用のリチウムポリマー電池（3.7V，110mAh）を搭載し，およそ 30 分駆動する．

トランスポンダから無線送信されたタイム，および，検出されたビーコンの ID 番号は PC に接続された無線通信モジュールで受信され，シリアル通信を用いて PC へ送信される．PC 側では，送信された検出ビーコンの ID 番号と前回機体が通過したビーコンの ID 番号と比較を行い機体が決められた順番通りにチェックポイントを周っているのか判断し，正しい順番で通過している場合に区間タイムを表示する．また，音声通知機能も備えているので操縦者が PC の画面を見ていなくともリアルタイムで計測タイムを伝えることが出来る（図 10）．

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

図 6:赤外線ビーコン

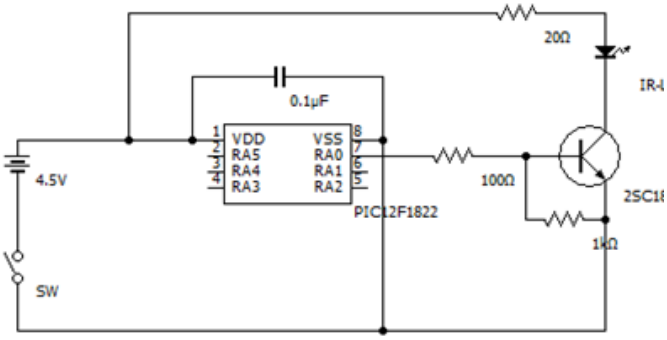


図 7:赤外線ビーコン回路図

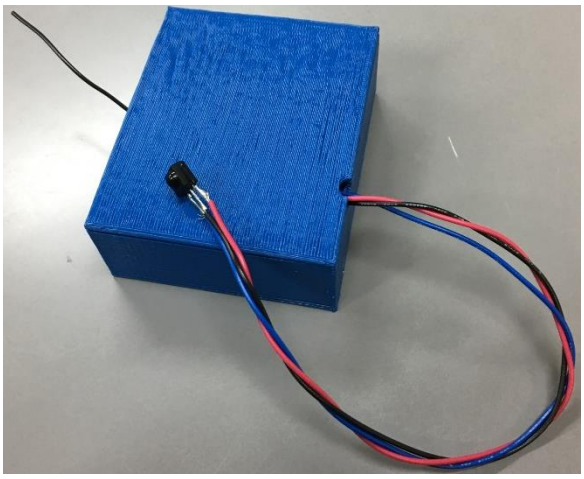


図 8:トランスポンダ

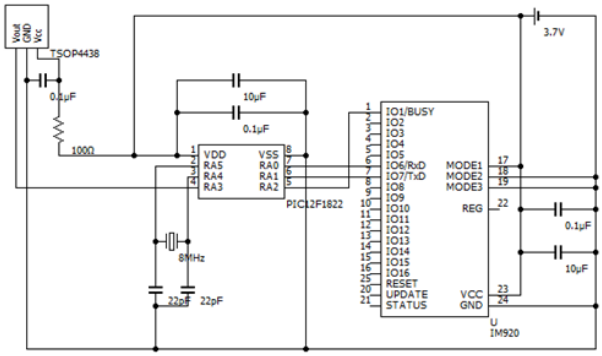
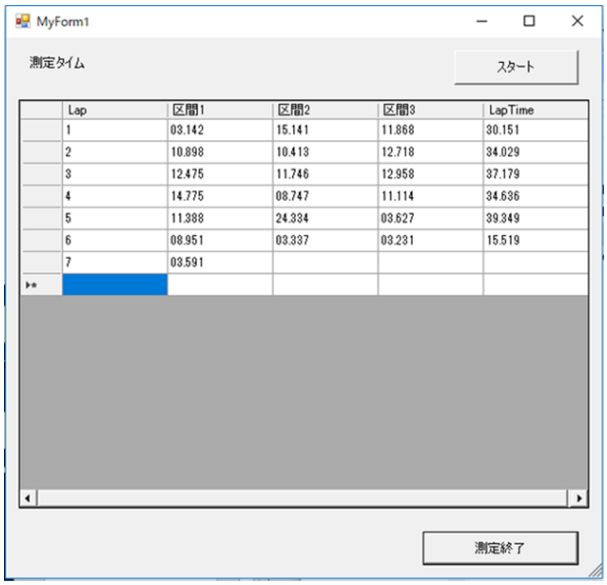


図 9:トランスポンダ回路図



Lap	区間1	区間2	区間3	LapTime
1	03.142	15.141	11.868	30.151
2	10.898	10.413	12.718	34.029
3	12.475	11.746	12.958	37.179
4	14.775	08.747	11.114	34.636
5	11.388	24.334	03.627	39.349
6	08.951	03.337	03.231	15.519
7	03.591			

図 10:PC の計測タイム表示画面

4. 実験

本章では，システムの評価実験について記載する．4.1 章では，今システムが実際にドローン検出可能であるか，また検出可能域の確認のためドローンがビーコン上を通過した際の検出率について評価する．4.2 章では計測したタイムが信頼できるものであるか確認し，評価を行う．4.3 章ではシステムが既存製品と比べて，設置面などについてどのように改善されたのか，機体側，環境側の設置物について既存製品と比較して評価を行う．

4.1. 検出率評価実験

作成したトランスポンダをドローン Phantom2(29×29×18cm)に搭載し，ビーコン上を通過した際の検出成功回数からシステムの検出精度の評価実験を行った．実験の様子を図 11 に示す．

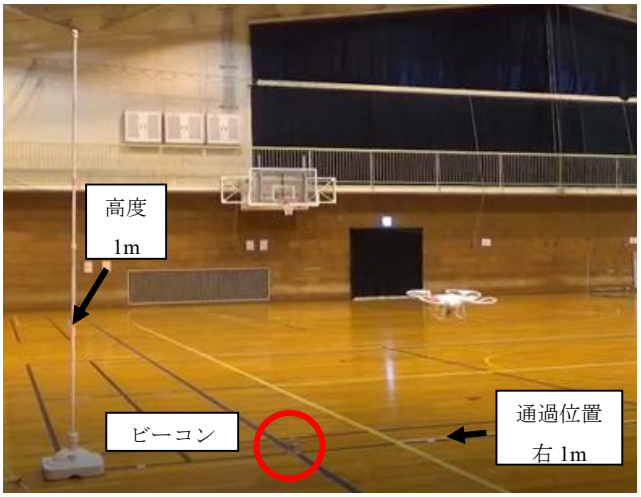


図 11:評価実験風景(高度:1m, 通過位置:右 1m 検証時)

ビーコン上通過する際のドローンの高度を 1, 1.5, 2, 3m の 4 パターンとして，通過位置をビーコン上空(0m)と左右 0.5m，1m 離れた位置の 5 パターンとして測定を行った．

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

ただし，通過位置左右 0.5m においては赤外線ビーコンの指向範囲の確認のため近距離(1, 1.5m, 2m)の場合のみ測定している．したがって，計 18 パターン分，それぞれ 50 回ビーコン上をおおよそ 5m/s 前後で通過移動させた場合の通過検出率の確認を行った．実験結果を表 1 に示す．

表 1:検出率実験結果(縦:高度, 横:通過位置)

	左 1m	左 0.5m	0m	右 0.5m	右 1m
3m	6% (3/50)	-	36% (18/50)	-	0% (0/50)
2m	76% (38/50)	84% (42/50)	98% (49/50)	74% (37/50)	0% (0/50)
1.5m	58% (29/50)	92% (46/50)	100% (50/50)	12% (6/50)	0% (0/50)
1m	4% (2/50)	72% (36/50)	94% (47/50)	74% (37/50)	0% (0/50)

評価実験の結果，ビーコン上空(通過位置 0m)では, 高度 1～2mでは高い検出率を確認できた．しかし，高度 3m 付近では検出率が低下したことから現段階の本システムでは高度 3mにおけるドローンの通過検出は困難であることを確認した．使用電力を増やせば，通信距離を伸ばすことは可能であるが，ドローンの飛行練習として用いる検出可能距離としては十分であると考えられる．

続いてビーコンの赤外線指向範囲について評価する．[高度 1m, 通過位置左 1m]では検出率 4%と非常に低く高度 1.5m としても検出率 6 割に満たない結果となった．また，[高度:1.5m, 通過位置:右 0.5m]における低検出率はドローンに取り付けたセンサの角度や，検出エリアに侵入した際の機体の角度，ビーコンの赤外線 LED の傾きなどから低い検出率になってしまったのではないかと考えられる．

よって理論値よりも実際の赤外線指向範囲は狭く，高度 1～1.5m 間ではビーコンから左右 0.5m の範囲でならば安定した検出が行え，高度 2m 付近に達するとビーコンから 1m 離れた位置でも比較的実用的な検出ができると考えられる．今回の評価実験を行った理由として，システムの検出可能域の確認が主な理由であった．現段階では，ドローンの飛行練習に使用可能な検出範囲としては十分であると考えられるが，今後検出域が現段階のままで正しいか再度議論・再調査を行う必要がある．

また今回の評価実験で[通過位置:右 1m]の検出率がすべて 0%になってしまったのは，[高度:1.5m, 通過位置:右 0.5m]の時同様，ドローンに取り付けたセンサの角度の影響ではないかと考えられる．現に，ドローンに取り付けた赤外線センサを確認したところ，水平より若干左向きに曲がっていることが確認された．よってトランスポンダの設計の問題として，センサを正しく水平に固定できるよう，且つ，飛行中や離着陸を繰り返すうちにセンサがズレてしまわないよう改良を加える必要があり，現段階ではビーコン右側を通過する際はセンサの角度に気を使わなければならない．

結果，本システムはビーコン上空 1～2m 付近，且つ，左右 0～0.5m 以内であれば実用的にドローンを検出し，計時を行うことが可能であるが，取り付けたセンサの角度や機体の角度などに大きく影響を受けることを確認した．

4.2. 既存製品との計測タイムの比較

提案手法で計測したタイムが信頼できるものか評価を行うために 2 章で説明した既存製品の DRONE RACER ラップカウンターを用いて計測タイムの比較実験を行う．京商ドローンレーサーに本研究で作成したトランスポンダを搭載して，既存製品と提案手法で同時にタイム計測を行う．両手法で計測したそれぞれ 50 個分のタイムを，同等性検定を用いて帰無仮説「既存製品の計測タイムと提案手法の計測タイムに差はある」, 対立仮説「既存製品の計測タイムと提案手法の計測タイムに差はない」と設定して比較検証を行った．同等性検定は統計分析ソフト「R」を用いた．検定結果を表 2 に，両手法の計測タイムの差を図 12 に示す．

表 2:同等性検定結果

検定の種類	*同等性検定*
帰無仮説	既存製品の計測タイムと提案手法の計測タイムに差はある
対立仮説	既存製品の計測タイムと提案手法の計測タイムに差はない
自由度	49
同等性区間	0.1
有意水準	5%
P 値	0.04663328

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

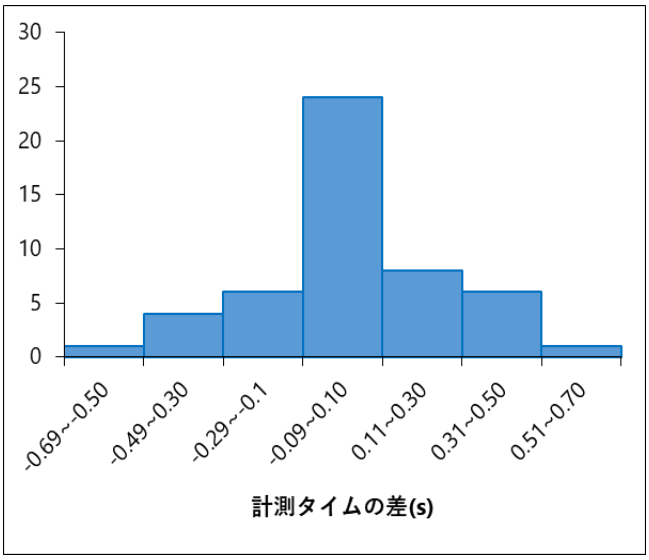


図 12:既存製品と提案手法の計測タイムの差

同等性区間を 0.1 としたとき，過去にレース大会で使用実績のある既存のタイム計測システムの計測タイムと同等性検定を行った結果，有意水準を 5%としたとき帰無仮説は棄却された．よって両タイムに差はないことが確認され，提案手法で計測されたタイムは十分信頼できるものであることが確認された．

4.3. 既存製品との定性的比較

本研究で作成したシステムについて，環境側・機体側両方の観点からの設置の手間や設置物や機体搭載物の大きさや重さなどの既存製品との比較結果を表 3 に示す．ただし，京商製品における機体搭載物における評価は，提案手法や他製品と異なり，もともと専用ドローン自体に導入されている素子を利用しているため評価は行わない．

表 3:提案手法と既存製品の性能比較結果

	提案手法	I-LAP	京商製品
設置の手間（環境設置側）	○	×	×
設置の手間（機体搭載側）	△	○	–
大きさ・重量（環境設置側）	○	×	×
大きさ・重量（機体搭載側）	△	○	–
計測時間同期	○	×	×

提案手法では環境側に設置するものは赤外線ビーコンのみで，ビーコンは大きさが 100×80×80mm と小型且つ 114g と軽量の設計である．既存製品と異なり，センサをセッティングするためのゲートやポールが不必要であるため設置の手間が軽減可能である．また京商製品の環境側に設置するセンサ類一式の重量 605g と比較して，ビーコンは軽く複数個使用する場合でも持ち運びやすい重量となっている．

トランスポンダは，今回 3D プリンタを用いてそのパッケージを作成した．また，回路はユニバーサル基盤を用い，IC なども DIP タイプの比較的大型の物を使用した．このため，パッケージングケースの大きさが 78×65×25mm，トランスポンダとの総重量 64g と大型且つ重くなってしまった．I-LAP 製品の赤外線 LED トランスポンダは 46×17×5mm，6g と小型軽量化されており，今回の実装はこのような製品と比較して，ドローン搭載時に機体へかかる負荷が大きい．しかし，これらの事項は専用基盤を作成し，使用している各素子を表面実装に変更することなどで解決可能である．

5. 考察

実験ではドローンに搭載したトランスポンダのセンサの検出精度及びビーコンから反応距離に対する確認を行った．結果として高度 1～2m，ビーコンから半径 0.5m 離れた範囲であれば実用的な検出が可能であることを確認した．またビーコンの赤外線信号は放射状に発信されているので高度 2m 付近ではビーコンから半径 1m の位置でも検出ができる．これは図 9 で示した理論値の指向範囲よりも狭いものとなったが，ドローンの飛行操縦練習として使用を想定した場合の検出範囲としては現段階では十分だと思われる．しかし赤外線を用いた通過検出手法の課題として受信センサの角度が送信機と水平でないと検出率が低下してしまう可能性があることを確認した．

また，計測タイムの信頼性について，レース大会で使用実績のある既存製品との計測タイムと同等性検定を行い，「提案手法と既存製品の計測タイムに差がないか」を評価した．結果，同等性区間を 0.1 として有意水準 5%としたとき帰無仮説は棄却され，提案手法の計測タイムと既存製品の計測タイムは同等のもので信頼できるものであることを確認した．

提案手法と設置の手間や大きさ・重さの視点で既存製品との定性的比較を行った．選択した検出手法によって環境側設置物の設置の手間や大きさ・重量は既存製品の問題点を解決できた．一方で，機体に搭載するトランスポンダの実装についてより小型化が必要であると考えられる．

6. まとめ

本研究では，ドローンの飛行操縦練習として使用できるドローン検出システムを提案・開発した．システムの作成

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan

に当たってゲートやポールを用いない既存のタイム計測器と比較して環境側設置コストを抑えた手法であること，および，複数箇所にチェックポイントを設置する場合，各チェックポイントの計測器の同期の考慮が行われていることを主な要求事項とした.物体検出手法について調査を行い，信頼性の高い赤外線検出手法を選択して，既存製品の手法と逆で環境側に発信器，機体側に受信器を設置して発信器間のタイム計測を行う手法を提案した．この提案手法はゲートやポールを必要とせず小型の赤外線ビーコンを地面に置くだけであるため環境側の設置コストを抑えることができる．さらに，検出器を機体に搭載して機体側でタイム計測/通過判定を行うため各チェックポイント間での計測器の時刻の同期を気にする必要なく区間タイムの計測が可能となっている.

評価実験の結果，ビーコンから高度 1～2m 前後でビーコンを中心に半径 0～0.5m 範囲であれば実用的な機体検出及びタイム計測が可能であることを確認した．また，既存製品と計測タイムの比較を行い同等性検定の結果，提案手法の計測タイムは十分信頼できるものであることを確認した.

今後の課題として，トランスポンダ関連の小型・軽量化を行う必要がある．また，また，屋外使用を想定とした場合の検出精度検証実験を行う必要があると考えている.

参考文献

[1] 一般社団法人 ドローン操縦士協会 ,「資格認定事業」 https://d-pa.or.jp/project/certification/ 2018/05/14 閲覧

[2] I-LAP,「I-Lap Timing System」 http://www.rclapcounter.com/，2018/05/14 閲覧

[3] KYOSHO CORPORATION,「【業務用】DRONE RACER ラップカウ ンターショップエディション 基本セット 32031 」 http://rc.kyosho.com/ja/32031.html，2018/05/14 閲覧

[4] 佐久間 賢司: 競泳計時システム －水泳プール場の電気設備の特徴－，電気設備学会誌，30 巻，7 号，2010

[5] 酒井 孝則，谷口 慶治，高畑 剛，幡生 安紀: パソコン支援によるスキー競技計時システムの開発，福井大学工学部研究報告，44 巻，75-82，1996.03

[6] 千田 陽介，財部 修平，木室 義彦，長谷川 勉: 自己位置推定のための散策型ロボットによる電子タグ埋設位置推定，日本機械学会論文集(C 編)，74 巻，746 号，2008-10

[7] 高田 恭宏，佐田 達典: UHF 帯 RFID を用いた屋内歩行者の通過検知のための基礎的研究，土木情報利用技術論文集，vol.17，2008

[8] 納谷 太，高橋 悟史，宮前 雅一，寺田 努，野間 春生，鳥山 朋二，小暮 潔，西尾 章治郎，今井 倫太: 複数人物の位置追跡のための ZigBee センサネットワークの開発，The Virtual Reality Society of Japan，Vol.14，No.1，pp.55-66，2009

[9] Adeel Javed，Haibo Zhang，Zhiyi Huang: Performance Analysis of Duty-Cycling Wireless Sensor Network for Train Localization，MLSDA '13 Proceedings of Workshop on Machine Learning for Sensory Data Analysis，Pages 43，Dunedin, New Zealand — December 02 - 02, 2013

[10] Frank Bohdanowicz，Hannes Frey，Rafael Funke，Dominik Mosen，
Florentin Neumann，Ivan Stojmenović: RSSI-based localization of a wireless sensor node with a flying robot，SAC '15 Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing，Pages 708-715，Salamanca, Spain — April 13 - 17, 2015

[11] 成岡 知宣，藤岡 利和，水澤 和史，北村 健児，中 基孫: 複数映像情報統合による走行車両検出の基礎検討，全国大会講演論文集，第 55 回，142 – 143，1997-09-24

[12] 太田 直哉，木山 真伸，吉川 健一: 2 台のカメラを用いた歩行者の検出・同定，情報処理学会論文誌，Vol.44， No.10，2003-10

[13] 坂井佑規，旭健作，渡邊晃: 指向性マイクロホンを用いた接近車両検出に関する基礎的検討，平成 23 年度電気関係学会東海支部連合大会予稿集,F3-4，2011-9

[14] 豊田卓矢，小野順貴，宮部滋樹，山田武志，牧野昭二: 分散型マイクロホンアレイを用いた交通車両検出とその車線推定の検討，日本音響学会研究発表会講演論文集 日本音響学会，643-646，2014

ⓒ2018 Information Processing Society of Japan