HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	ARマーカーに基づくドローンの自律飛行（第二報）
著者	菊地，慶仁; Kikuchi，Yoshihito; 阿部，太智; Abe，Taichi
引用	工学研究 ： 北海学園大学大学院工学研究科紀要(19): 17-22
発行日	2019-09-30

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

研究論文

ARマーカーに基づくドローンの自律飛行（第二報）

菊　地　慶　仁*・阿　部　太　智**

Autonomous drone flight guided by AR marker (2nd Report)

Yoshihito Kikuchi* and Taichi Abe**

要　旨

前報では，機体が視認できない環境で一定の経路の飛行や自動的な帰還の実現を目標として，ドローンの飛行経路を判断する指標にARマーカーを利用する方式を提案した．マーカーを目標としてその正面への移動，地面上のマーカーを中心とした方向転換，次の目標マーカーへの移動，を実現した．本報告では続報として，マーカーを利用して門やドアなどに相当する開口部を通過させること，さらにこの開口部の設定を複数設けることによって長距離を自律的に飛行させることを試みた内容について報告する．

1．序論

近年クワドローター（quadrotor）もしくはクワッドコプター（quadcopter）と呼ばれる小型ドローンの普及が進み，ホビー用途から動画撮影，測量用の地形測定，輸送など実務用途に用いられている．ドローンの操縦は，機体を直視して操縦するか，機体に設置されたカメラからの画像をモニタに表示して操縦する形式が一般的である．しかしながら，機体を視認できない場合では，一定の経路の連続的な飛行や自動的な帰還などを行うために，何らかの指標を基にした自律飛行能力が必要となる．

前報[1]は，以下を目標として報告した．

1）機体が視認できない環境下で操縦者による指示ではなく周囲の状況を把握して自律的に飛行する能力の向上を目的とする．

2）ある程度の横風がある状況下で定点上のホバリング制御を実現し，備えているカメラを用いた周囲の撮影を行えるようにする．

上記1）及び2）は概ね実現できたと考えられる．本報では引き続きドローンの制御としては難しいと考えられる開口部の通過とこれを連続的に配置した長距離飛行について報告する．

2．関連研究及び本研究での課題

2.1　ドローンの環境認識技術

第2章ではドローンを位置認識に用いられる技術について述べ，本研究における課題をまとめる．ドローンの位置及び環境認識は大別すると，GPS（Global Positioning System）をベースとするものと，GPSによらない非GPSと呼ばれる技術に分けられる[2) 3)]．GPSベースによる飛行制御は，開けた環境の下で自律飛行や自動帰還などでの誘導手段として定着している．しかしながら，以下の場合にはGPSによらない方式，もしくはGPSと併用する目的で他の方式が必要とされている．

1）屋外で障害物がある場合．

2）予め目標が定められておりこれに対して高い精度で接近したり，直上でホバリングする必要がある場合．

3）橋梁下やトンネル中などでGPS電波の受信

* 北海学園大学工学部電子情報工学科
Hokkai-Gakuen University Faculty of Engineering Department of Electronics and Information Engineering
** 北斗システム（北海学園大学工学部電子情報工学科卒）
Hokuto System Co., Ltd. (Graduated from Hokkai-Gakuen University)

が不安定な場合.

4）同上で室内や屋内を飛行する必要がある場合.

非 GPS の誘導方式には以下がある.

1）周囲の画像を取得して逐次的にマップを作成し，このマップを照合しながら誘導を行う SLAM（Simultaneous Localization And Mapping）形式での誘導.

2）特殊な電波発信機を用いて機体の位置を推定する方式

3）機体にレーザー反射鏡などを設置して，反射光を地上から捉えることで機体の位置を判定する方式.

4）本報告のように画像として認識しやすく特徴量を抽出しやすいマーカーを配置してこれを認識する方式

などがある．1）の SLAM が有望視されているが，周囲の画像取得と分析の後でないと飛行できない点が指摘されている．2）及び 3）の方式では電波発信機もしくは反射鏡からの電磁波を受信するための装置を設置する必要性がある．この点は 4）も同じである．また 4）では観測したマーカーからマーカー面の法線ベクトルを取り出すことが可能であり，目標に対するドローンの相対位置を求める際には利点となる.

上記の非 GPS 技術については，どれかが抜きんでているわけではなく，それぞれ一長一短があるので，目的に応じて複数の技術を組み合わせることが現実的と言える.

2.2　AR Drone と関連ソフトウェア技術

本研究では仏 Parrot 社製の AR Drone2.0[4] を用いている（**図 1**）.

AR Drone は，自身が Wifi ステーションとして動作し，この Wifi に接続した PC からは，前進後退などのコマンドを送って制御することが可能である．また AR Drone には前方と下面の 2 つのカメラを有し，USB カメラなどと同じように扱うことができる.

AR Drone は，市場に投入された時期が比較的早く，ソフトウェア仕様が公開されていたため，その仕様に基づいた制御ライブラリが公開されている．その中で利用可能なライブラリの一つが CV Drone[5] である．本研究でもこれを用いており，AR Drone に接続した PC 上でドローンの制御とカメラ入力画像の認識などの処理を行い，自律的に飛行させる.

図 1　AR-Drone 本体図[4]

2.3　AR 用マーカー技術について

AR Toolkit[4] は，カメラで取得した画像にマーカーの姿勢に応じた CG 合成を行うために開発された．これを実現するためにカメラに対するマーカーの相対位置や向きの検出が AR Toolkit 中で実装されており，ライブラリ関数経由で AR アプリケーションも取得することができる（**図 2**）．本研究ではこの情報を元にしてマーカーに対しての機体の位置や姿勢を得ている．この利点は，正面のカメラ一つでマーカーを撮影することで，マーカーに対して機体の相対的位置や，距離を求めることができる点にある.

2.4　本研究の課題

前報では，ARTooolkit と CVDrone の同一プログラムでの利用を可能とし，目標とするマーカーへの接近と，地面に置いたマーカー上でのホバリング及び方向転換を実現した．本報告では，引き続き以下の実現を目標とする.

1）開口部を認識して通過し，目標とするマーカーの正面にホバリングすること.

2）目標とするマーカー正面の地上に貼られたマーカーを中心として旋回すること.

3）1）の開口部通過を連続的に行うことで，主に直線が連続した区間を飛行すること.

これらの飛行が実現できれば，建築物内での飛行に一定の目途が立つと考えられる.

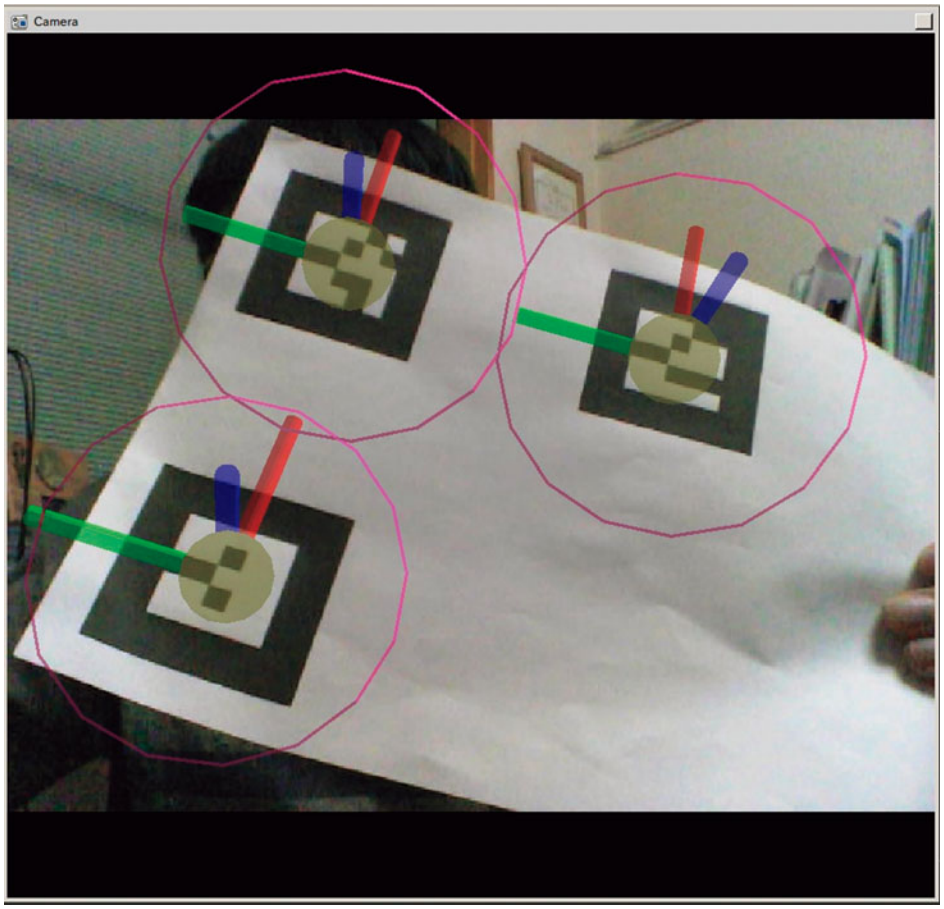

図２　ARMarker 上でのマーカーの位置及び姿勢認識例[5)]

３．本研究での開発

3.1　開発環境

開発環境として以下を用いた．

・Parrot 社製 ARDrone2.0
・ARToolKit
・Visual Studio 2017
・CV Drone
・Open CV

3.2　開口部マーカーの設置と移動方式

開口部とマーカーの配置例を図３に示す．当初は開口部の奥に目標とするマーカーを設置し，その正面に向けて飛行することで通過できると考えたが，飛行通過時に開口部の縁に接触してしまうことが多く，実際は困難であると判明した．原因としては，マーカーを移動目標として指定し，これに向かって直線飛行する際に，その経路付近の開口部の周囲を障害物として認識していなかった点がある．このため開口部の奥に移動目標のマーカーはそのまま設置し，開口部の左右に障害を示すマーカーを貼り，開口部中の通過可能な領域を直接認識できるようにした．用いた開口部マーカーは２つで，黒い四角形に囲まれ右側障害を示すＲ，左側障害を示すＬと書かれたマーカーを使用した．それぞれ床に対して垂直に設置される．

プログラムでは，ドローンの前カメラを用いてＲとＬのマーカーが認識される状況を場合分けして動作をプログラムした．

１）Ｒマーカーのみを認識した場合
　Ｌマーカーを認識するまでドローン本体を左に平行移動する．
２）Ｌマーカーのみを認識した場合
　Ｒマーカーを認識するまでドローン本体を右に平行移動する．
３）ＲマーカーとＬマーカーの両方を認識した場合
　ＲとＬのマーカーがどちらも見えなくなるまで前進する．
４）ＲとＬのマーカー両方と目標地点のマー

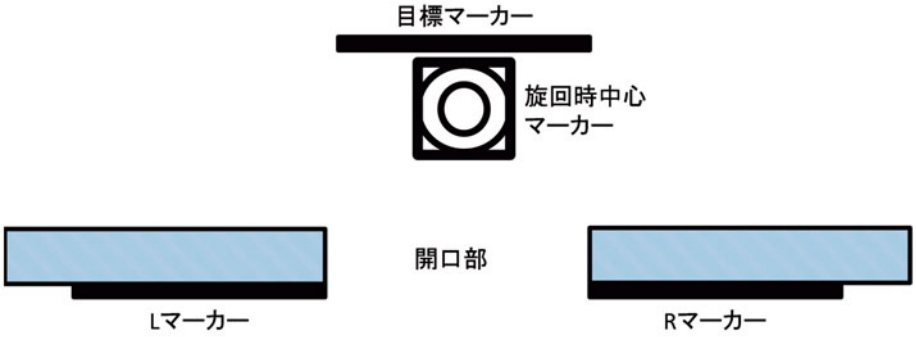

図 3　開口部通過におけるマーカー配置

カーを認識した場合

目標地点のマーカーの位置とマーカーまでの距離を利用して PID 制御でドローンにマーカー手前まで前進させる.

本報告では以下の手順で開口部通過を自律的に行う実験を行った.

4．開口部通過及び遠距離飛行実験

4.1　実験方法及び結果

開口部通過の実験は以下の流れになる（図 4）.

1）R と L のマーカー（開口部認識用のマーカー）を認識して二つのマーカーの中心にドローンを横移動させる.

2）R と L のマーカーがカメラの視界から外れるまで前進させる.

3）目標地点のマーカーに指定した距離まで近づける.

結果として 1.2 m の幅の開口部を通過することができた.

次に，上記の結果を踏まえて連続的に R と L のマーカー間を抜けて長距離を飛行する実験を行った．この実験での長距離飛行は，目標とするマーカーまでの距離があるために，ドローンの正面カメラでは認識できず，従って直接目標に向けて飛行できない場合を想定している．このため，目標地点のマーカーまで中継として開口部マーカーを用いることで目標のマーカーが認識できる距離までドローンを前進させる.

長距離飛行の実験は以下の流れになる．ただし今回は実験室の大きさから 11 m までの距離しか確保できなかった.

1）R と L のマーカー（開口部認識用のマーカー）を認識して二つのマーカーの中心にドローンを横移動させ，R と L のマーカーの間を通過してカメラの視界から外れるまで前進させる.

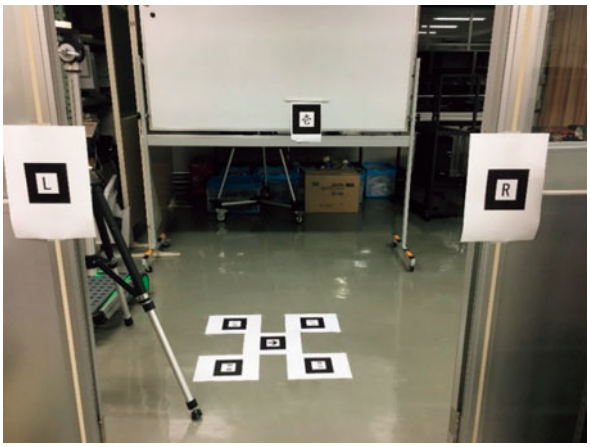

図 4　開口部通過実験でのマーカー配置

2）1）の動作を 2 回繰り返す.

3）目標地点のマーカーに指定した距離まで近づける.

長距離飛行の実験結果では 11 m の距離を目標地点まで到達することができた.

4.2　開口部通過と長距離飛行の問題点

1）開口部通過の問題点

R と L のどちらか片方のみのマーカーを認識している状態から，ドローンが位置を変えた後に，両方のマーカーを認識するまでの挙動が完全には安定していないことがあった．具体的にはマーカーとドローンとの距離が近すぎて R マーカーのみを認識した場合の挙動から RL マーカーの両方を認識した場合の挙動に移行するときである.

図５　長距離飛行でのドローンとマーカーの位置関係

２）長距離飛行の問題点

RLマーカーが複数映る場合に，意図しない動作をしてしまうことがある．具体的にはRマーカーが複数カメラに映った場合にRマーカーを目標地点のマーカーとして認識して動作してしまうことがあった．

4.3　改善点

開口部通過の改善案としては，マーカーに近づきすぎた場合に後退させる，またその地点で機体を旋回させるようにプログラムを改良することが考えられる．長距離飛行の改善案としてはマーカーのパターンを増やすか，マーカーの位置と距離の情報を用いて中継地点のマーカーを１つ目，２つ目，３つ目というふうに分けて認識できるようにする対応が考えられる．

5．結論

本報告では，操縦者から機体を視認できない環境での自律飛行を目的として，開口部通過を課題とし以下の成果を得ることができた．

１）開口部認識用のマーカーを開口部の左右に貼り付け，奥に目標とするマーカーを設置することで開口部通過を行った．

２）１）の結果を応用して，長距離飛行時の誘導に開口部認識用のマーカーを用いる方式を提案し，遠距離で視認が難しい目標地点のマーカーまで誘導を行った．

今回は，複数の左右マーカーを同時に用いたために，混乱が発生してしまった．これに対しては，マーカーからの距離によって無視するなどの対策が考えられる．

実験室のような閉鎖された環境ではドローン本体の発する風の影響を強く受けること，さらに床の設置物の影響で高度が変化することがあった．その対策のために下マーカー上でホバリングした状態で高度を制御する必要がある．このような取り組みが実現できれば，階段の上り下りなどに取り組めると考えられる．

参考文献

１）菊地慶仁，加島正爽：ARマーカーに基づくドローンの自律飛行，北海学園大学大学院工学研究科紀要，第18号，pp 33-37，2018年9月13日

２）野波健蔵：ドローン技術の現状と課題およびビジネス最前線，情報管理，vol.59，no.11，2017年２月，pp 755-763

３）非GPS環境での飛行制御システム｜産業用ドローン最新トレンドウォッチャー Vol.2，https://comp-rex.com/vol2_trendwatcher

４）Parrot社 AR-Drone 公式サイト https://www.parrot.com/jp/doron/parrot-ardrone-20-elite-edition#

parrot-ardrone-20-elite-edition
5）AR タグの姿勢を取得，http://ishi.main.jp/ros/ros_ar_indiv.html
6）CV Drone 公式サイト http://pukulab.blog.fc2.com/blog-entry-11.html
7）AR Toolkit 公式サイト https://www.msoft.co.jp/ar/about/