

飛行ロボットHK-MAVシリーズの製品開発

～小型無人航空機の自律飛行システムとその運用～

Product Development of HK-MAV Series

赤坂 剛史
Takeshi AKASAKA

川田工業(株)航空・機械事業部
無人システム開発室

田辺 安忠
Yasutada TANABE

川田工業(株)航空・機械事業部
無人システム開発室室長

戸塚 千晴
Chiharu TOTSUKA

川田工業(株)航空・機械事業部
無人システム開発室

(株)日立製作所と川田工業(株)は、パソコン上の地図データを基に飛行ルートや撮影場所を指定して機体を手投げするだけで、自律飛行・自動撮影・自動着陸・取得データの再生を可能とする「小型自律飛行体システム」を開発した。飛行体HK-MAV (Hitachi Kawada - Mini Aerial Vehicle) は3機種からなっていて、翼幅がそれぞれ60 cm・90 cm・1.5 mであり、小型・軽量であるため携帯して手軽に運用できる。飛行体には小型・軽量のフライトコンピュータを搭載し、地上局と無線LANにて通信を行う。飛行体はGPS/INS (Global Positioning System/Inertial Navigation System) 複合航法を用い、飛行ルートに基づいて位置・高度・速度・姿勢を制御して飛行する。地上ステーションはノート型パソコンであり、飛行計画作成・飛行シミュレーション・空撮映像のモニタ・飛行時における計画変更の指令送信・飛行の再生ができる。

キーワード：MAV, 自律飛行制御, 地上制御ステーション, 飛行ロボット

1. はじめに

近年、災害発生時や市街地の治安維持における空中監視に対するニーズは高いものの、大型有人ヘリコプタ・有人飛行機・飛行船による空中撮影には高い運用費用・墜落・騒音の発生といったリスクを抱えているのが現状である。

一方、携帯電話に見られるようにMEMS (Micro-Electro Mechanical System) 技術の進歩が著しく、小型で高機能のセンサが安価に入手できるようになった。

そこで、(株)日立製作所と川田工業(株)は、飛行制御技術や小型機器／デバイスを応用し、あらかじめパソコン上で指定した飛行ルートおよび撮影場所にしながら自律飛行・自動撮影を行った後、自動着陸する小型自律飛行体システム、通称HK-MAV (Hitachi Kawada - Mini Aerial Vehicle) シリーズを開発した^{1), 2)}。

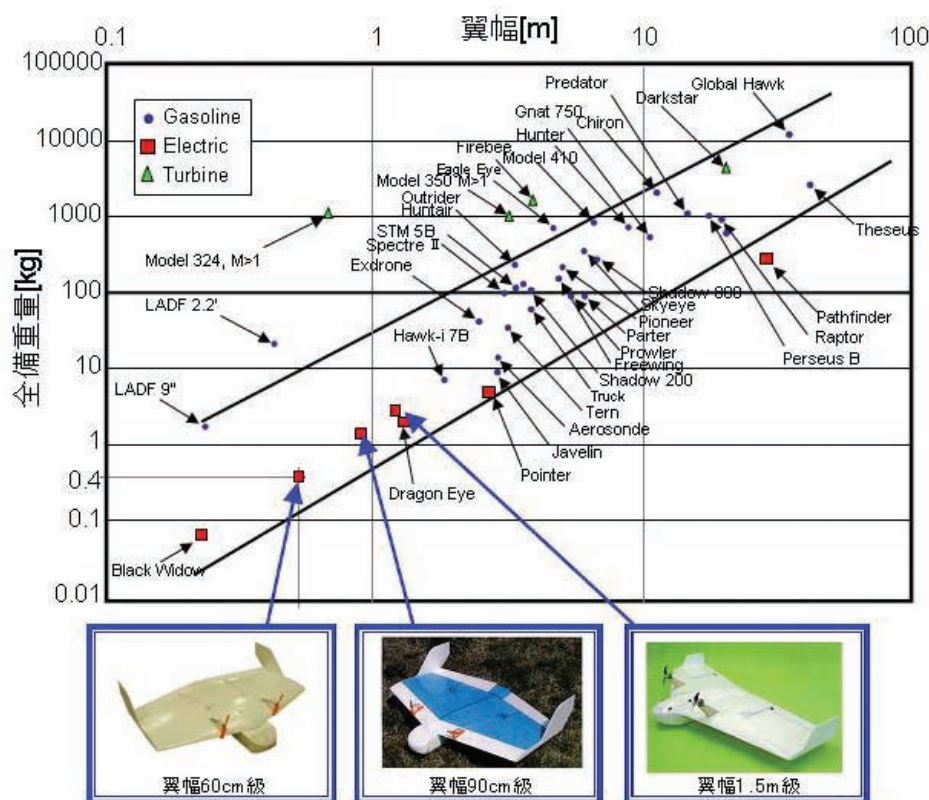
なお本開発に際しては、(株)日立製作所と川田工業(株)が保有する技術を核として、防衛庁技術研究本部殿の研究事業へ参画した成果が盛り込まれている。

2. HK-MAVの特徴

HK-MAVには次のような特徴がある。

- ① 高い機動性：飛行体であるために現场上空へ即座に移動可能
- ② 高い安全性：極めて軽量であり、万が一の墜落時にも対人・対物に与える影響や機体の損傷が最小
- ③ 容易に運用：特別な発着場設備が不要で、飛行ルートを設定するだけで自律的に飛行
- ④ 携帯可能なシステム：小型・軽量な機体および地上ステーション用ノート型パソコン一台であるため容易に運搬可能
- ⑤ 低コスト：簡易なシステムであり、既存の無人航空機に比べ大幅に安価
- ⑥ 低騒音：小型電動モータ採用により、燃料エンジンのような騒音がない

図1に見られるように実存する小型無人機は諸外国のものが多いが、携帯可能で手軽に運用できるようなものになるとその数は少ない。同図にはHK-MAVシリーズもプロットされており、本開発品は自律飛行型無人機としては世界最小レベルであることが見てとれる。



DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency's) 資料³⁾ を基に作成

図1 世界の小型無人航空機

3. 開発した飛行体システム

本飛行体システムは小型・軽量の飛行体と、ノート型パソコンで成り立ち、飛行体に専用のフライトコンピュータを搭載し、全地球測位システム (GPS: Global Positioning System) および加速度センサ等のセンサ情報に基づいて自律飛行を実現した。飛行ルートは、地上ステーションであるノート型パソコンにインストールした専用ソフトウェアと市販デジタル地図上で容易に作成でき、その後飛行体に転送する。

離着陸は、手投げおよび指定位置に胴体着陸で運用されるため、専用滑走路等の離着陸設備・装置が不要である。機体構造は発泡ポリスチレンを主体とした複合材であり、万一の衝突時でも人や物に与える影響を最小にするよう安全性に配慮している。またリチウムポリマ電池を使用することで軽量化を達成し、小型電動モータ採用により燃料エンジンに比べて大幅な低騒音を実現した。

表1に製品開発を進めているシステム仕様を示す。60 cm 級飛行体は約30分間、1.5 m級飛行体では約2時間の飛行が可能である。

表1 HK-MAVシリーズ²⁾

項目	翼幅60 cm級飛行体	翼幅90 cm級飛行体	翼幅1.5 m級飛行体
機体寸法	約400×600×160 mm	約680×900×240 mm	約850×1 510×230 mm
機体質量	約400 g	約1.3 kg	約3 kg
飛行速度	約43 km/h	約36~70 km/h	約36~70 km/h
最大飛行時間	約30分 ^{*1}	約60分 ^{*1}	約120分 ^{*1}
推進方法	リチウム電池によるプロペラ推進		
飛行方式	GPS/INS ^{*2} ハイブリッド方式による自律飛行／手動操縦飛行		
搭載センサ	可視カラーカメラ		
離陸／着陸方式	手投げ発進／胴体着陸		
地上ステーション	飛行計画作成機能		
	フライトシミュレーション機能		
	フライトリプレイ機能 (取得画像再生を含む)		

*1 飛行性能は、飛行条件、環境条件等で変動します。

*2 GPS: 全地球測位システム (GLOBAL POSITIONING SYSTEM) INS: 慣性航法システム (INERTIAL NAVIGATION SYSTEM)

4. 飛行体

図2に翼幅60 cm級・90 cm級・1.5 m級の飛行体を示す²⁾。飛行体は、手投げ発進と胴体着陸を実現するため、小型・軽量・無尾翼型で、対人・対物衝突安全には配慮した発泡ポリスチレンを主とした複合材料の機体構造である。環境に配慮したバッテリー駆動の電動モータを2個翼上面に取り付けている。

操舵面は後縁にある操舵翼（エレボン）がエルロンおよびエレベータの役割をし、電動モータで推力およびラダー（左右モータの差動推力時）の役割をする。

飛行体の前方には小型カメラを搭載し、胴体内に自律飛行と自動着陸を実現する高性能フライトコンピュータを搭載していて、後述する地上ステーションと通信することができる。

飛行体の空力特性を取得するため、図3に示すように川田工業㈱所有の多目的風洞施設を使用して風洞試験を行った。また風洞試験データを用いて安定性や操縦性に関する空力微係数を算出し、飛行シミュレーションを行った。

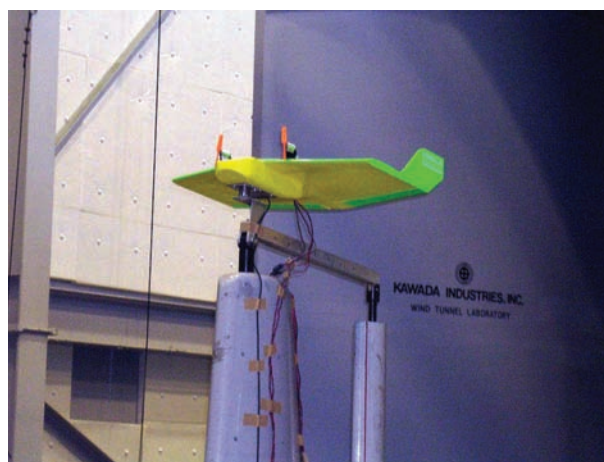
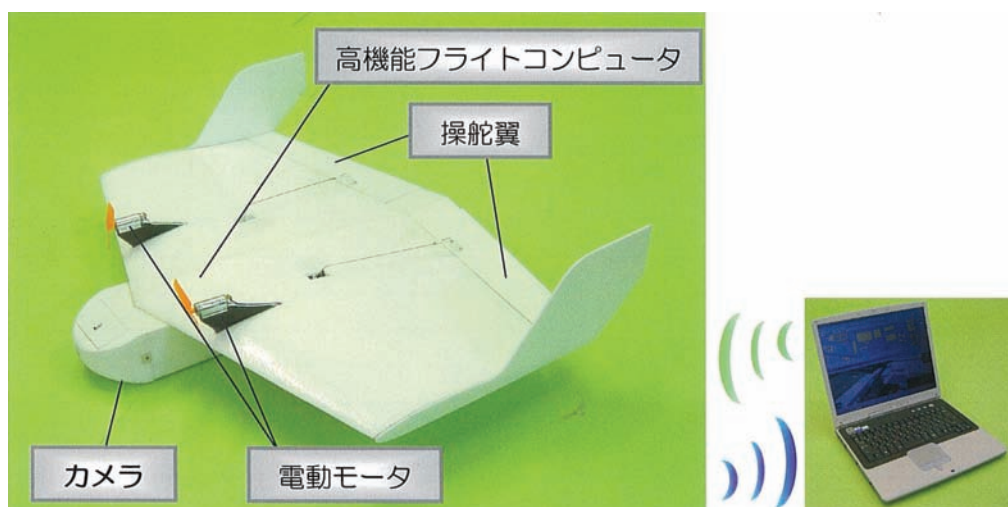


図3 風洞試験



a) 翼幅60 cm級飛行体と地上ステーション



b) 翼幅90 cm級飛行体



c) 1.5 m級飛行体

図2 HK-MAVシリーズ

5. フライトコンピュータ

フライトコンピュータは(株)日立製作所製で、小型・軽量で、センサ情報の処理・自律飛行・自動着陸の飛行制御・飛行時の連続画像撮影・地上局との無線LAN通信の処理を行っている。CPUにSH-3を使用し、OSはリアルタイム系Linuxを搭載、MEMS 応用センサチップをフライトコンピュータ上に配置、無線LAN対応のインターフェイスを持っていて高い拡張性を有している。また地上ステーション外からのアクセスを制限するセキュリティ機能を搭載している。

フライトコンピュータには、GPSやINSセンサなど各種搭載した。

フライトコンピュータの連続画像撮影機能は航法制御システムと連動して、位置情報に基づいて撮影開始／終了を飛行計画で設定することができる。

6. 航法制御システム

飛行方式には、GPS/INS (Global Positioning System / Inertial Navigation System) ハイブリッド方式による自律飛行方式と、手動縦飛行方式がある。

自律飛行では、速度制御・高度制御・姿勢制御により飛行体の安定性を高め、航法制御によって指定したルートで飛行する。

自律飛行方式の飛行モードには、指定ポイント通過モードと定常位置での旋回モードがある。飛行速度は3段階の設定ができる。着陸精度は 20 m CEP (Circular Error Probability) である。

手動操縦飛行方式では、ラジコン操縦用プロポによって自由に操縦することができる。

7. 地上ステーション

地上ステーションは(株)日立製作所製で、ノート型パソコン1台で構成され、2次元および3次元デジタル地図上で飛行地点（ウェイポイント）および着陸地点を指定する飛行計画作成機能を搭載している。また地理情報システム（GIS：Geographic Information System）の採用により解析機能が充実し、飛行計画シミュレーション機能、飛行状態とカメラ撮影画像が連動したリプレイ機能を搭載している。図4にディスプレイ上の表示例を示す。

また、地上ステーションは複数の飛行体に対応した設計になっており、ひとつの地上局で複数の飛行体を制御することが可能である。

飛行中は、地上ステーションで飛行体の状態および撮影画像をモニタすることができ、また飛行中に飛行ルートや飛行速度、空撮ポイントなどの飛行計画を変更するときは、地上ステーションから指令によって変更可能である。

8. 運用方法

機材を展開後の運用方法は以下の手順であり、様子を図5に示す。

- ① 飛行計画を作成
- ② 飛行体へ飛行計画転送
- ③ 飛行体を手投げ発進
- ④ 任務遂行（自律飛行および画像取得）
- ⑤ 自動着陸
- ⑥ 取得画像および飛行データの取り込み
- ⑦ リプレイ機能によってデータ確認

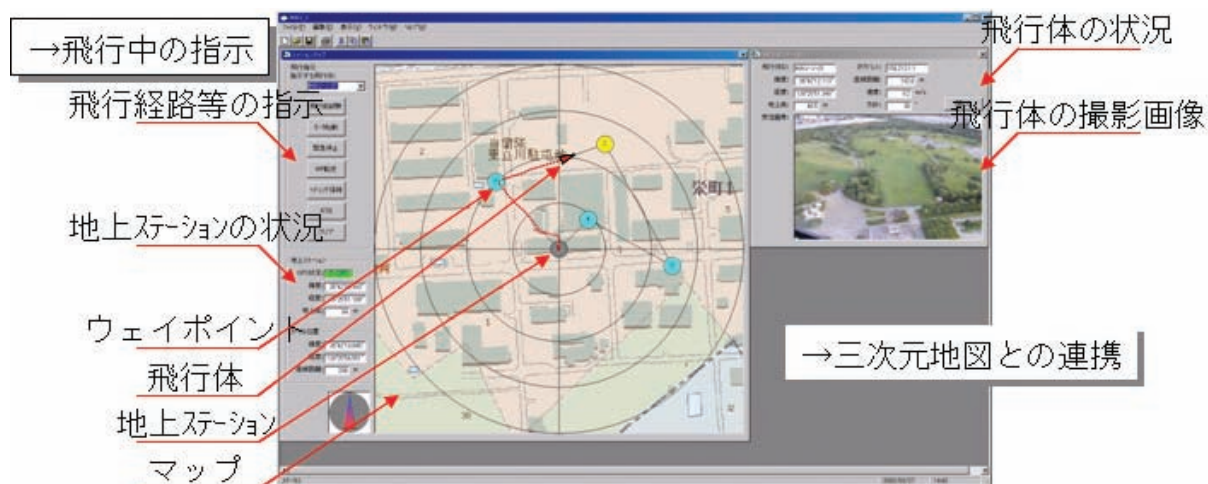


図4 地上ステーションの機能



a) 手投げ発進（翼幅60 cm級飛行体）



b) 任務遂行（翼幅1.5 m級飛行体）

図5 運用の様子



図6 空撮画像

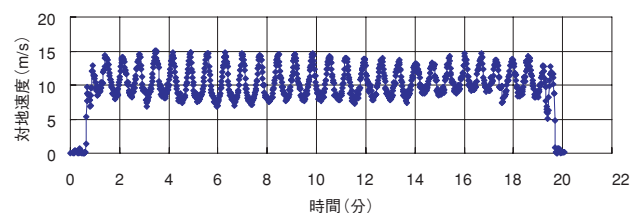
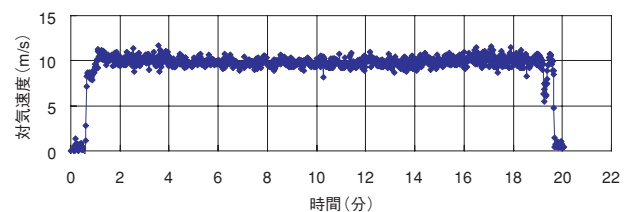
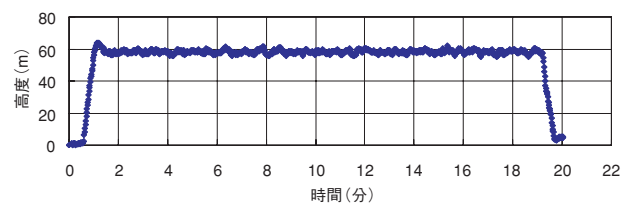
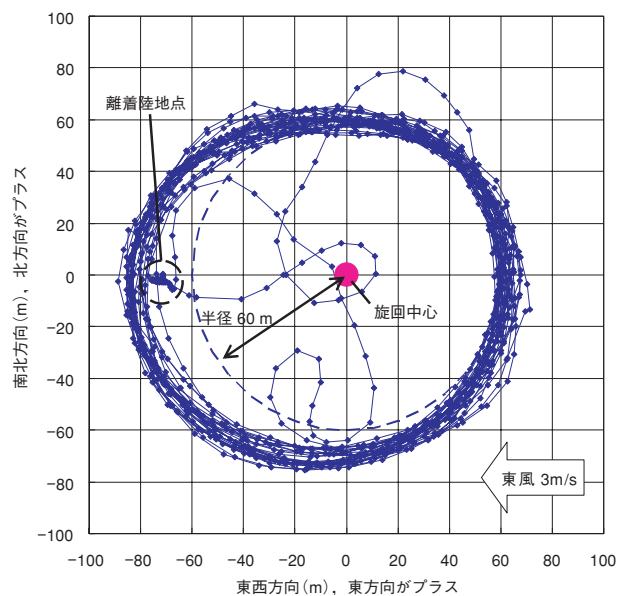


図7 滞空指令時の飛行データ

9. 自律飛行・自動撮影例

手投げ発進から胴体着陸までの取得画像および飛行データを図6～図8に示す。本飛行では離陸後、高度上昇して旋回中心を通過、半径60 mの旋回半径で指定した滞空飛行を行い、指定時間が経過した後に胴体着陸した。滞空飛行時の対地高度60 m、対気速度10 m/sの指令を与え、高度・速度制御によって対地高度・対地速度が一定値を示していることが飛行データから見てとれる。対気速度が一定であるにもかかわらず対地速度には6 m/sの変動幅があり、また飛行軌跡が西側へふくらんでいることから、上空は東風3 m/sであったことが推定できる。

着陸後は機体に損傷はなく再利用可能であった。

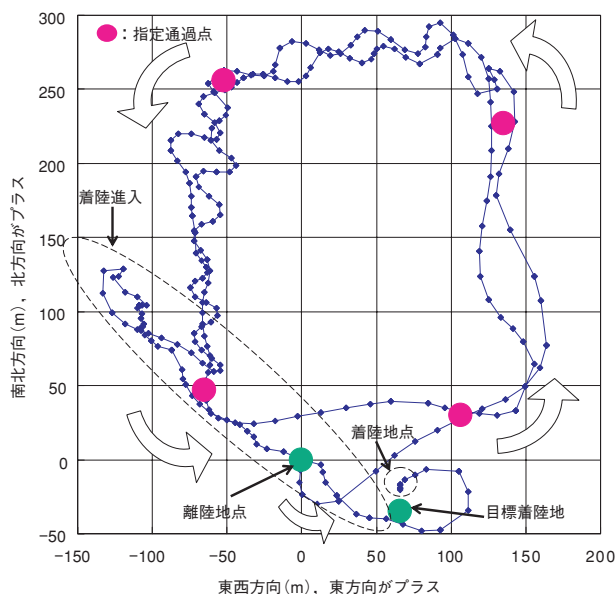


図8 指定点通過時の飛行軌跡

また図8に指定地点を計画したときの飛行軌跡を示す。上空の南東風による影響で向かい風では蛇行しているが、指定通過点上空を確実に通過していることが見て取れる。

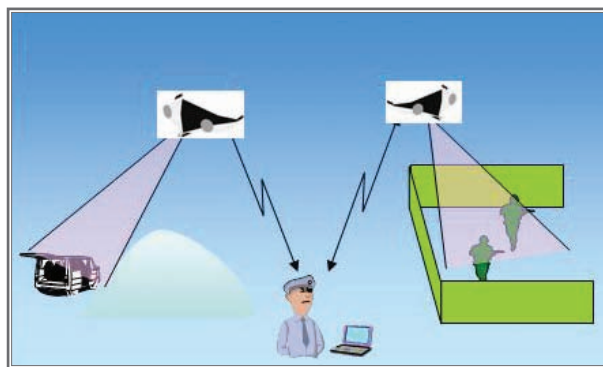
10. 運用用途

本システムの具体的な用途としては、各種防犯および防災広域監視、広域施設の定期巡回、重要施設上空からの監視、災害発生時の現場画像取得による災害状況把握、捜索・救難支援、火山活動の監視、橋梁等の保守点検などを想定している。図9に応用例を示す。

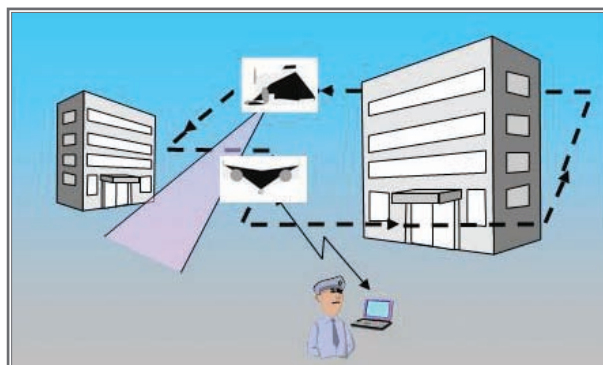
防犯など、特別警戒態勢が発令された場合は、状況に応じた飛行ルートを作成することによって、犯罪を未然に防いだり、犯罪現場の情報を早期に収集したりすることができる。また定期巡回などの決められた飛行ルートを巡回飛行する場合は、あらかじめ作成した飛行ルートを選択するだけで手軽に運用できる。災害発生時などは初動が重要であるため、GISによって状況に応じた飛行ルートを手軽に設定でき、HK-MAVは情報収集に威力を発揮するものと思われる。

11. 今後の方向性

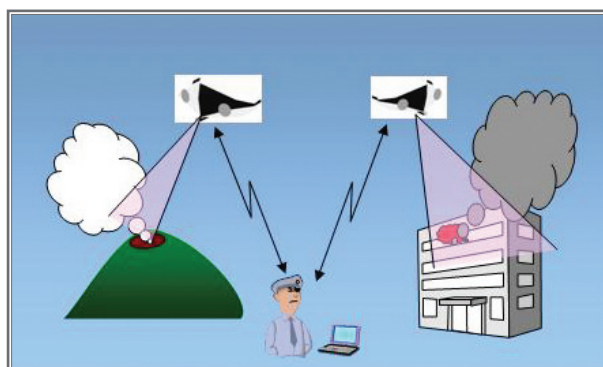
携帯電話によるリアルタイム画像モニタ機能の追加、赤外線カメラなど機能拡張や飛行体を複数機用いることを検討しており、充実した機能で広範囲にわたる運用が可能となり、更に用途が広がるものと考えている。



a) 各種防犯



b) 定期巡回



c) 災害

図9 応用例

参考文献

- 1) Tanabe, Furukawa, Akasaka, Kushida : Colugo - a New Mini Aerial Vehicle Developed by Kawada and Hitachi, UAV2004, Paris, UVSI, June, 2004.
- 2) (株)日立製作所：小型自律飛行体システム, http://www.hitachi.co.jp/products/physicalsecurity/product/2019400_11659.html
- 3) DARPA : http://www.darpa.mil/dso/thrust/matdev/palmpower/presentations/wilson_part1.pdf