

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 11 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420194

研究課題名(和文) 環境観測用小型無人航空機UAVの製作とシステム構築

研究課題名(英文) Manufacturing and system construction of small-sized unmanned aerial vehicle UAV for environmental observation

研究代表者

川崎 一正 (Kazumasa, KAWASAKI)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：50214622

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、無人航空機UAVを実地における環境観測用として展開し、小型軽量化を図ることを目的として、UAVエンジン部品を想定して、複雑形状部品の切削加工を実現するとともに、難削材の高速切削による工具寿命と工具刃先の状態に及ぼす影響について調査し、工具損傷・欠損のメカニズムを明らかにした。さらに、高性能なエンジン推力測定システムを開発し、エンジンの性能を総合的に評価するシステムを構築した。さらに、本製作法を用いて開発したUAVエンジン部品を搭載した小型UAVを佐渡に飛行させ、帰還させることを想定して、システム設計を行い、環境観測用UAVとしての小型・軽量化の可能性について検討した。

研究成果の概要(英文)：The cutting of the parts with complicated shapes was carried out supposing the engine parts of the unmanned aerial vehicle UAV and the mechanisms of the tool damage by high speed cutting of cutting resistant material was clarified by investigating influence to the tool life and situation of tool tip, in order to develop the UAV to the utilization for environmental observation and to realize a small-sized and lightweight UAV. The measuring system of engine thrust with high performance was developed and the system to evaluate the performance of the engine comprehensively was constructed. UAV incorporating the developed engine parts was considered and the flying and retuning of this UAV to Sado island were supposed. Under this condition, the system construction was carried out and the possibility of small-sized and lightweight UAV for environmental observation was discussed.

研究分野：機械加工、機械設計

キーワード：無人航空機

1. 研究開始当初の背景

無人航空機 UAV は、自律的あるいは遠隔操作によって飛行する無人の航空機であり、21 世紀に入り、10 年間で 2 倍以上の成長を続けている。有人航空機にとって極めて dull, dirty, dangerous なミッションを遂行する役割を果たし、多様な三次元運動を実現できる。欧米では 1910 年代より開発が行われていたが、本格的には 1950 年代より実用的な機体開発を行っている。当初は国防が主目的であったが、最近では、民生向けに活発な検討がなされている。米国は、民生用 UAV の先進国であり、環境観測用 UAV の研究開発が積極的に行われている。

我が国では、欧米に遅れを取ってはいるが、農薬散布、河川工事、災害調査、空中写真撮影などを中心に開発が行われている。最近では、2011 年に起きた東日本大震災とその後の福島原発事故により、放射能濃度が高い場所であってもその影響を受けずに飛行可能であることを活かして、放射線量の計測などに利用されるようになってきている。

このような状況の中、研究代表者らは、UAV 用小型ジェットエンジンの開発に 2010 年より着手し、推力 20 kgf 級エンジンの開発を行ってきた。新潟県の県央地域には金属加工を中心とした地場産業集積地帯が存在し、地元企業との連携によって、新潟県内で 90% 以上のエンジン部品を加工できるようになっている。

一方、最近のアジア諸国の急速な工業化の進展と経済発展のために、大陸での大気汚染が深刻な問題となってきている。アジア大陸から飛来する炭素微粒子は、冬季から春先にかけての季節風に乗って日本列島に到達する。これらの微粒子は、呼吸器系の疾患の誘因となることや、農作物への影響も懸念されている。特に、新潟県は農業が盛んなことから、局地的な微粒子の予報の必要性が検討されている。

以上の状況を鑑み、研究代表者らは、冬期から春先にかけて日本海側から太平洋側に季節風が吹くため、本州への大気の流動において佐渡沖が最上流となることに着目し、佐渡沖上空において微粒子を採取するための環境観測用 UAV システムの開発計画の策定を進めている。

このような環境観測用としての UAV の開発には、機体の小型軽量化が不可欠であり、そのために、小型 UAV の製法、すなわちエンジン部品の高精度な加工法、組み立て法、さらには粒子採取システム測定方法を検討してきた。研究代表者らは、これまでダイヤモンド工具を用いて微細な超硬金型の切削加工において、誤差解析を行い、形状精度の劣化に影響を与える誤差因子を見出し、誤差補正によって精度向上を図った研究実績があり、この手法をインコネル材などの航空機エンジンの部品の切削加工に応用することを構想し、それによって環境観測用 UAV に

必要な推力 10 kgf の超小型ジェットエンジンの製作が可能となることの見通しを得ている。

本研究では、観測用小型 UAV のジェットエンジン部品の高精度切削を実現するために、インコネル材の切削加工において、誤差解析を行うとともに、形状精度の劣化に影響を与える誤差要因を見出し、誤差補正法を適用するとともに、工具の小型化、高速化による工具形状および傾斜角の最適条件を見出すことにより、加工精度の向上を図ることに学術的特色がある。さらに、要素部品を組み立て、飛行試験を行い、システム構築を図るとともに、最終的には、本州への影響度が高い佐渡沖上空の微粒子をこの UAV で採取するところに大きな特色がある。この UAV システムの運用が可能になると、佐渡における局地的な微粒子の予報が可能となり、環境学的に貴重な粒子データをサンプルできるようになる。この結果は、UAV での利用のみならず、地上での利用も可能であり、利用範囲が高い。また UAV の小型軽量化は、UAV の環境観測用としての用途範囲が広がる可能性を秘めている。

以上のことは、産業全体の発展に大きく貢献するとともに、その波及効果が期待されるため、その意義は大きい。したがって、本研究課題は、遂行する価値が高いと考えている。

2. 研究の目的

本研究では、開発した UAV を実地における観測用として展開するため、環境観測用小型 UAV の製法確立とシステム構築を図ることを目的としている。

そこで、小型 UAV エンジン部品に使用されているタービン、コンプレッサーの動翼などは曲面の曲率やねじれ率が至るところで異なり、複雑形状部品であること、インコネル材などの Ni 基耐熱合金が使用されており、このような材質は、熱伝導率が小さく高温までの機械的強度の低下が少ないために難削性を有していることなどを鑑み、複雑形状部品を CAD/CAM によってモデル化を行い、工具経路を決定し、切削加工の高精度・高速化を図るとともに、Ni 基耐熱合金の切削加工において、基礎的性質を明らかにし、工具の小型化、高速化を実現し、工具形状および傾斜角の最適条件を見出すことにより、加工精度の向上を図る。

また、開発したエンジンの性能評価に不可欠な推力測定システムを開発してきたが、環境観測用として、展開するために、この推力測定システムの高精度化を図る。

さらに、佐渡市に GPS 基地局を設置し、地上からの無線を利用して環境観測用ターボジェット UAV を飛行させることを想定して、風況データの取得と地域自治体との交渉、ならびに飛行空域の検討を通してのシステム設計を行う。

3. 研究の方法

(1) 切削加工

複雑形状部品の切削加工において、多軸制御工作機械を用いて、CAD/CAMシステムにより、形状のモデル化を行うとともに、工具経路を選定し、最適な加工条件を明らかにし、加工精度を測定した。そして、複雑形状部品であっても単純な形状部品と同等の精度が得られることを確認した。

Ni 基耐熱合金の切削加工の基礎的性質を明らかにするため、インコネル718をターゲットにし、ボールエンドミルを工具としてNCフライス盤を用いて切削加工の実験を行った。実験条件は次の通りである。

回転数：10000 rpm、20000 rpm、30000 rpm

一刃当たりの工具送り：0.075 mm/tooth

ピックフィード：2 mm

切り込み深さ：0.1 mm

加工距離：直線 100 mm

工具材質：超硬合金

工具コーティング：WXL コーティング

コーティング膜：Cr (クロム)

工具径：3 mm

難削材の切削加工では工具の摩耗・損傷を避けることができない。そこで、光学顕微鏡と電子マイクロアナライザ (EPMA) を用いて、工具の摩耗・損傷の評価を行った。高倍率で工具の先端部および逃げ面とすくい面の摩耗・溶着状態を観察するとともに、チップング (半月状の欠け) の有無を光学顕微鏡で観察した。また、実験1回目終了時の工具を観察し、電子マイクロアナライザですくい面における元素分析を行うことにより、溶着またはコーティング剥がれなどを観察した。なお、逃げ面とすくい面にチップングが起きた場合を工具寿命の判断基準とし、実験を終了とした。

(2) 推力測定

開発したエンジン部品を実際の小型エンジンに組み込むことを想定して、高精度の推力測定システムを開発し、推力測定などの性能試験を実施した。測定した推力を電動 UAV の推力と比較することで、UAV の航続距離を推算することができる。

(3) システム設計

佐渡に GPS 基地局を設置し、地上からの無線を利用して小型 UAV を飛行させ、帰還させることを想定し、機体要素、地上要素、通信要素、ミッション要素、のシステム設計を行う。本研究では、実際に佐渡の空域および民家等の周辺状況を確認するため情報収集し、それに対応する通信システムを検討した。については、で算出できる可能な航続距離を算出し、これより機体重量、推力との関係を明らかにした。については、小型 UAV の場合は民生用のカメラが使用されることが多いため、これについて検討を行った。

4. 研究成果

(1) 切削加工

多軸制御工作機械を用いた切削加工において、複雑形状部品の加工の高精度化・高速化の実現の可能性を明らかにするため、スパイラル形状の部品の CAD/CAM システムにより、形状のモデル化を行うとともに、工具経路を選定し、エンドミルを工具として加工実験を行った。加工工程は、荒、中仕上げ、最終仕上げの3段階で行い、最終仕上げ後、モデル化した部品の形状精度を三次元測定機で測定した。結果として、加工した形状とモデル化したそれとの偏差は場所によって異なっていたが、最大数マイクロメートルであり、形状が複雑になっても多軸機能により単純な形状の部品と大差なく加工のできることを明らかにした。

超硬ボールエンドミルによるインコネル718の切削加工において、切削距離と回転数別における工具寿命の関係を明らかにした。結果として、20000 rpm の工具では、1回目600 mm、2回目400 mm でチップングが起きたため、工具寿命と判断した。30000 rpm の工具では、1回目300 mm、2回目100 mm でチップングが起きたため、工具寿命と判断した。10000 rpm の工具では、切削距離1500 mm の時点で大きな摩耗・溶着が見られなかったため、実験を終了した。結果として、上記3種類の回転数の中で、最も小さい10000 rpm が工具寿命に及ぼす影響が小さいといえる。

次いで、切削距離と最大逃げ面摩耗幅の関係を明らかにした。10000 rpm と20000 rpm の工具では、最大逃げ面摩耗幅はなだかな増加傾向にあることが明らかになった。30000 rpm の工具ではチップング付近で最大逃げ面摩耗幅が急激に増加した。20000 rpm と30000 rpm ではチップングの大きさに差があり、30000 rpm では大きな切削負荷がかかっていると考えられる。今後は、どの程度の負荷がかかっているかを測定し、対応を検討する必要がある。

切削距離と溶着幅の関係を明らかにした。どの工具においても溶着幅が増加傾向であることが確認できた。逃げ面摩耗幅と同じく30000 rpm の工具ではチップング付近で急激な増加が見られた。

工具のすくい面を電子マイクロアナライザを用いて元素分析を行った。インコネル718の主成分であるNiに着目し分析した結果、全ての工具において溶着が見られた。20000 rpm の工具では切削部分に大きな溶着が見られ、30000 rpm の工具では大きな範囲で溶着が起きていた。また、超硬工具のコーティング膜として使われている元素 Cr に着目した結果、コーティング膜の Cr が剥がされていることが原因であることを確認した。10000 rpm、20000 rpm、30000 rpm と回転数が増大するにつれてコーティング膜の損傷が大きな範囲で引き起こされていることが確認できた。工具の超硬母材である W (タンクス

テン)について着目すると、切削部分であるすくい面にタングステンが露出していることが確認できた。このことは、コーティングが剥がれていることの証である。10000 rpmの画像では切削距離が長い為、切削部分にタングステン大きく露出していた。

これにより、インコネル718の切削加工における基礎的特性が明らかになった。

(2) 推力測定

推力測定システムは、リニアガイドとロードセルを組合わせたタイプであり、スライダ、エンジン支持台、ロードセルと信号変換機、解析ソフトから成っている。このシステムを、堅強な鉄製架台に設置し、エンジンの推力を、リニアガイド上を動く荷重電圧に変換、発生電圧を、信号変換機を通し、PC上で表示する。ロードセルは、0~100 kgfの測定を可能としている。操作はPC上でできるようになっており、ロードセルからの情報もPC画面で確認することができる。加重と出力の関係によりロードセルの校正を行い、ロードセルをスライダに取り付け、錘によって加重をかけて、ロードセルからの出力信号を測定する。

回転数の上昇とともに、燃料消費率は上昇し、2~6 g/sであった。また、回転数の上昇とともに、推力は上昇し、91000 rpmのとき、約10 kgfであった。

推力に影響を与える因子は回転数やノズルの形状など、様々な要素が考えられるが、推力が回転数に起因する要因が最も大きいと思われる。

(3) システム設計

小型 UAV は環境観測用として、推力 10 m/s、佐渡地上高 70 m で佐渡島近海の年平均風速は 7 m/s である。これらのことを鑑み、小型 UAV のシステム設計を行った。

機体要素については、滞空に適した形状と軽量構造を適用した翼を想定した。地上要素については、佐渡の空域周辺状況を確認し、新潟大学臨海試験場がある佐渡市達者海岸で行うことを想定した。通信要素に関しては、小型無線中継装置を検討し、同期方法として GPS を利用する。ただし、実用に展開するには解析的な実証実験が必要である。で算出できる可能な航続距離と推力との関係を明らかにした。ミッション要素については、動力要素として小型・軽量の電動式モーターが安価に入手できるようになってきていることから、これを採用する。また、搭載電子機器が MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) の発達により、これを用いた小型・軽量カメラが使用できる。

以上のことを念頭に翼長・機体重量、ペイロード、飛行時間・進出距離、最高飛行速度、運用方法を決定することができる。

本システムを実用化へと展開するには、安全を担保するための基準とルール、外乱に対

する対処法などを整備する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計2件)

Kazumasa KAWASAKI and Isamu TSUJI, Manufacturing Method of Large-Sized Cylindrical Worm Gear with Neiman Profile Using CNC Combined Machine Tool, International Conference on Power Transmissions, October 27-30, 2016, Chongqing (China).

Kazumasa KAWASAKI, Isamu TSUJI, and Tomoki NUKAZAWA, Polishing of Large-Sized Spiral Bevel Gears Using Elastic Grindstone, 2016 2nd International Conference on Materials Science and Mechanical Engineering, March 20-21, 2016, Bangkok (Thailand).

[図書](計0件)

[産業財産権]

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

該当なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

川崎 一正 (KAWASAKI, Kazumasa)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号: 50214622

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

松原 幸治 (MATSUBARA, Koji)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号: 20283004

(4)研究協力者

岩田 拓也 (IWATA, Kakuya)
独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員
研究者番号: 70356533

松平 雄策 (MATSUDAIRA, Yusaku)
新潟大学・工学部・技術専門職員
研究者番号: 50377149