

技術紹介

13 カメラスタビライザACE-LX3の開発

Development of New Camera Stabilizer ACE-LX3

河野 兼三	Kenzo Kawano	航機事業部	第二設計部	マネージャー
伊藤 博和	Hirokazu Itou	航機事業部	第一設計部	主任
太田 泰弘	Yasuhiro Ohta	航機事業部	第一設計部	
中谷 聡	Satoshi Nakatani	航機事業部	第二設計部	

キーワード：スタビライザ、防振装置、VCM

Keywords : stabilizer, antivibration system, VCM

要 旨

航空電子はかねてよりヘリコプタや中継車等の移動体からの撮影において安定した映像を提供するカメラスタビライザを製造販売していますが、今回、従来機(ACE-3000)に比べさらに小型、軽量かつ高性能なカメラスタビライザ ACE - LX3 を開発しました。また、本製品の実現のために、ジンバル駆動用のアクチュエータ (VCM) や光ファイバジャイロ (FOG) も新たに開発しました。

SUMMARY

JAE is manufacturing and offering camera stabilizers that enable to take stable image with moving cameras on helicopters, live broadcasting car, etc. Lately JAE developed a new high performance camera stabilizer ACE-LX3, which is smaller and lighter in comparison with the conventional type ACE-3000. In addition, new actuator for gimbal driving (VCM) and optical fiber gyro used for the stabilizer are also developed.

1 まえがき

航空電子では、ヘリコプタや中継車搭載用のカメラスタビライザ ACE-3000 シリーズを製造・販売してきました。このような状況の中で近年、ACE-3000 を広い視野角確保の為にヘリコプタのノーズ下へ取り付けたいので、さらに小型化できないか、あるいはジンバルの質量はヘリコプタの燃料消費量に直結するのでさらに軽く出来ないか、等のお客様の要望があり、ACE-3000 の後継機として小型・最軽量でかつ操作性の向上も図った新しいカメラスタビライザを開発しました。



写真1 ACE-LX3 ジンバル・ユニット外観

2 ACE - LX3 開発の経緯

以下に詳細は示しますが、今回開発した ACE-LX3 は従来機種である ACE-3000 と同様にジンバル・ユニット、コントロール・ユニット、エレクトロニクス・ユニットの 3 つのユニットから構成されています。従来の ACE-3000 でも、これら 3 つの構成品の総重量では海外メーカの製品に比べても遜色ないレベルにあるものの、機体外に設置されるジンバル・ユニットが重い為、今回 ACE-LX3 の開発においてはジンバル・ユニット単品でも世界で一番の小型・軽量化（同一カメラ、レンズを搭載した場合）を目指して開発を進めると共に、長年 ACE-3000 を使用して頂いていたお客様から得られた操作性や機能に関するご要望も極力取り入れることにより、より高性能・高機能なカメラスタビライザを開発することが出来ました。

3 ACE - LX3 システムの概要

先に述べましたように ACE-LX3 も従来と同じ ジンバル・ユニット (Gimbal・Unit : GU) とコントロール・ユニット (Control・Unit : CU)、エレクトロニクス・ユニット (Electronics・Unit : EU) から成り立っています。今回の開発においては、基本構造等の設計思想は ACE-3000 を継承したまま、メインユニットであるジンバル・ユニットの小型・軽量化を主眼に設計しました。各ユニットの外観を写真 1～3 に示します。また、ACE-LX3 と従来機種 ACE-3000 の仕様比較を表 1 に示します。

表 1 従来機種 ACE-3000 との仕様比較

	ACE-LX3	従来機種 (ACE-3000)
ジンバル自由度	AZ : 360° 連続 EL : +25° ~ -120° RL : ±30°	AZ : 360° 連続 EL : +20° ~ -120° RL : ±30°
空間安定性	5 μ rad(rms) 以下	5 μ rad(rms) 以下
ユニット質量 ジンバル・ユニット	35kg 以下 ϕ 360 × 500	48kg 以下 ϕ 400 × 590
エレクトロニクス・ユニット	3.5kg 以下 350 × 201 × 100	3kg 以下 330 × 201 × 71
コントロール・ユニット	3kg 以下 370 × 246 × 78 (突起部を除く)	3kg 以下 380 × 270 × 65 (突起部を除く)

注：各構成品の質量は一例です。搭載するカメラ、レンズその他の仕様の違いにより寸法・質量も異なる場合があります。



写真 2 エレクトロニクス・ユニット外観



写真 3 コントロール・ユニット外観

3.1 ジンバル・ユニット

ジンバル・ユニットは ACE-LX3 の主要構成部品です。本ユニットの構造は空力荷重を防ぐ為の外側 2 軸 (O/EL 軸、O/AZ 軸：注 1) と空間安定性を維持する内側 2 軸 (I/AZ 軸、I/EL 軸：注 2) のジンバル構造から成り立っており、このジンバル構造の一番内側にカメラ、レンズを搭載し、外部からの角振動を除去しています。

従来の ACE-3000 では I/EL 軸の内側に RL 軸：注 3 を有しており、この RL 軸の中にカメラとレンズを配置し、カメラとレンズを一体で回転させることにより、画像の回転を行っていました。今回の ACE-LX3 ではこの部分の構造を大幅に見直し、カメラとレンズの間に回転機構を設け、レンズ部分は I/EL 軸に固定し、カメラ部分だけを回転させる構造を採用することにより、インナー・ジンバル部の大幅な小型・軽量化を実現することが出来ました。

また、機体エンジンやメインローターからの振動を除去するために、従来と同様に 2 重の防振マウント構造を採用しています。ジンバル・ユニットはヘリコプタの機体外側に装着されるため、航空法に定められた強度基準 (ヘリコプタ機体と同等) を満足する高い剛性を必要としますが、今回の設計においては 3D CAD システムを駆使することにより小部品に至るまで振動 / 強度解析を実施し必要な強度を確保しつつ、無駄の無い形状を追及し、部品自体の軽量化も図っています。

注 1) O/EL : Outer Elevation の略

O/AZ : Outer Azimuth の略

注 2) I/EL : Inner Elevation の略

注 3) RL: Roll の略

図 1 にジンバル・ユニットの構造概念図を示します。

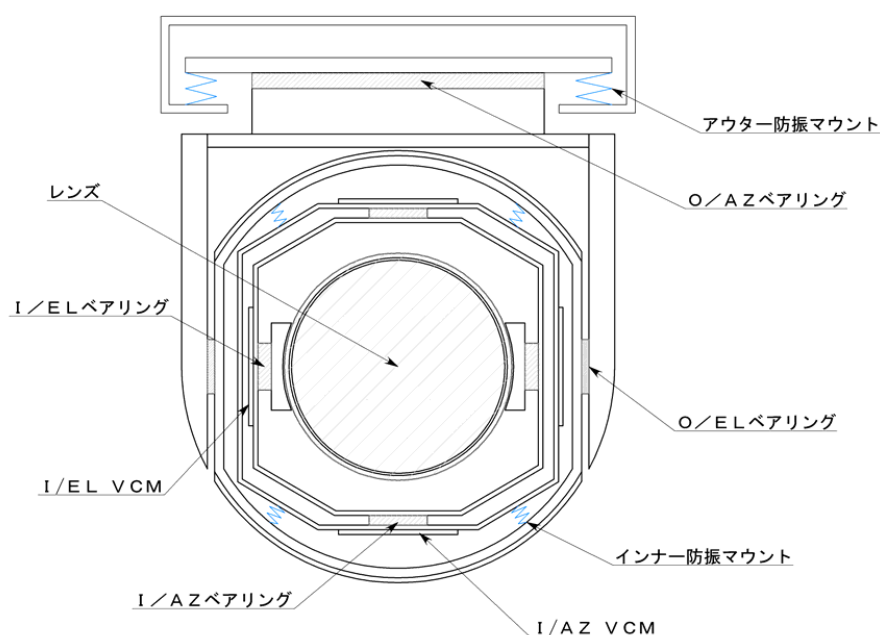


図 1 ジンバル・ユニット構造概念図

3.2 コントロール・ユニット

コントロール・ユニットはユーザーが本システムを操作するためのユーザー・インターフェイス・ユニットです。ジンバル・ユニットを駆動するためのジョイスティック操作、動作モードの切り替え、ズーム / フォーカス等のカメラ・レンズ操作、ジンバル・ユニット駆動速度、ドリフト調整等のコントロール指令を受け、ジンバル・ユニットに伝えます。

本ユニットは、揺れの激しいヘリコプタ・キャビン内において被写体を確実に捕捉したり、正確なフォーカス調整を行うなど、微妙な操作を確実に行うための高い操作性が要求されるため、今回 ACE-3000 のお客様から頂いた各種要望を極力取り入れると共に、各個人で大きく異なる操作感の好みの違いに対応するために、操作に関わる各種設定をよりきめの細く設定出来るように改善し、操作性の向上を図りました。

3.3 エレクトロニクス・ユニット

エレクトロニクス・ユニットは内部に電源、CPU、通信回路、外部 I/F 回路、スーパーインポーズ処理回路をもつ電氣的インターフェースユニットで、ジンバル・ユニットやカメラ本体への電源供給、コントロール・ユニット～ジンバル・ユニット間の信号中継、オプション等外部拡張時のインターフェース、カメラからの映像信号にジンバル角度等をスーパーインポーズすること、等が主な機能です。

4 開発のポイント

4.1 ジンバル・ユニットの小型・軽量化

今回の最大で開発目的であるジンバル・ユニットの小型・軽量化を実現する為に徹底した材料と構造の見直しを実施し、質量を 48kg から 35kg に、外形寸法を $\phi 400 \times 590\text{mm}$ から $\phi 360 \times 500\text{mm}$ にまで小型・軽量化することが出来ました。

①使用材料・構造の見直し

ジンバル部の小型・軽量化を実現する為に使用材料・構造を徹底的に見直しました。従来の主要構造部材は殆どがアルミニウム製でしたが、ACE-LX3 ではより軽量であるマグネシウム材を多く採用しました。また、ネジの材質をステンレス製からチタン製に変更する等、ネジ 1 本に至るまで材料の見直しを行うとともに、3D CAD を駆使することにより部品の強度、剛性を確保しつつ余分な肉を落とす等により小型・軽量化を図りました。

② 3 軸 FOG の採用

ACE-3000 および ACE-LX3 には機体の角度動揺を検出する為のセンサであるジャイロ・スコープと局地水平を検出するための加速度計を搭載しています。従来からジャイロ・スコープおよび加速度計共に航空電子が独自に開発したものを使用していましたが、特に ACE-3000 で使用していたジャイロ・スコープは直径約 60mm の JG-109 型と呼ばれる FOG (ファイバ・オプティカル・ジャイロ) であり、これをカメラと同一場所に 3 個を直交に配置して取り付ける必要があるため、非常に大きなスペースを必要としていました。今回、3 軸一体型 FOG をカメラスタビライザ用に新たに開発しました。これによりセンサ部の容積を半分以下にすることが出来、ジンバルの小型・軽量化に貢献しています。なお、ジャイロ・スコープ自体のドリフト性能も従来製品より向上しており、画面のドリフト量が減る為操作性の向上にも貢献しています。

③ ロールジンバル構造の見直し

先に触れていますが、従来の ACE-3000 では I/EL 軸の内側に RL 軸 (ロールジンバル) を有しており、このロールジンバルの中にカメラとレンズを配置し、カメラとレンズを一体で回転させることにより、画像の回転 / 安定化を行っていました。

最近の傾向としてカメラのハイビジョン化とレンズの高倍率化が加速しており、特にレンズの大型化がジンバルを小型化する上で最大のネックとなっています。そこで ACE-LX3 では、カメラとレンズの間に回転機構を設け、大きなレンズ部分は I/EL 軸に固定とし、カメラ部分だけを回転させる構造を採用することにより、インナー・ジンバル部の大幅な小型・軽量化を実現することが出来ました。

④ VCM(ボイス・コイル・モータ) の採用

従来の ACE-3000 では I/AZ ジンバル、I/EL ジンバル共に回転モータをギアダウンして駆動していましたが、本来 I/AZ ジンバル、I/EL ジンバル共に可動範囲が数度しかなく、アウター・ジンバルのように空力外乱を受けることもなく、大きなモータトルクを必要としないため、ACE-LX3 では VCM と呼ばれるリニアモータによるジンバルのダイレクト駆動方式を採用し、複雑なギアダウン機構を不要とすることにより構造の簡素化を実現した結果、ジンバルの小型化にも貢献しました。航空電子では半導体製造装置等に使用される各種リニアモータを開発し製品化しており、今回も ACE-LX3 専用のモータを自社開発しました。

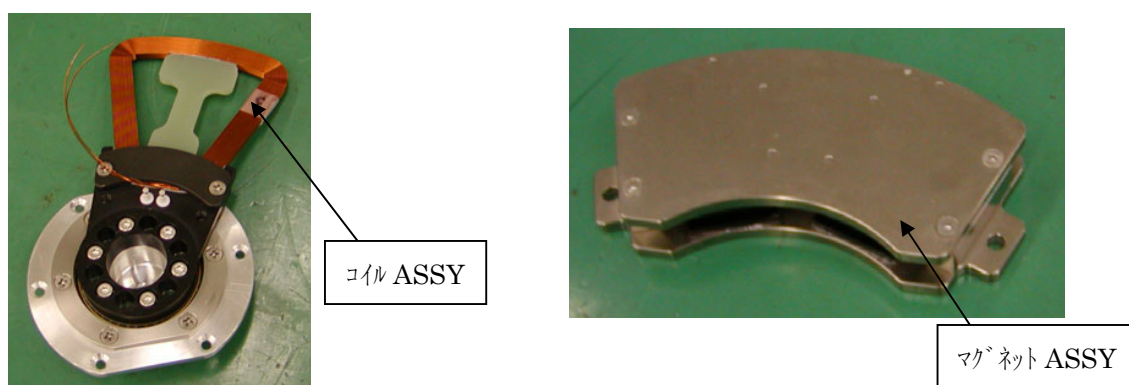


写真 4 VCM 外観図

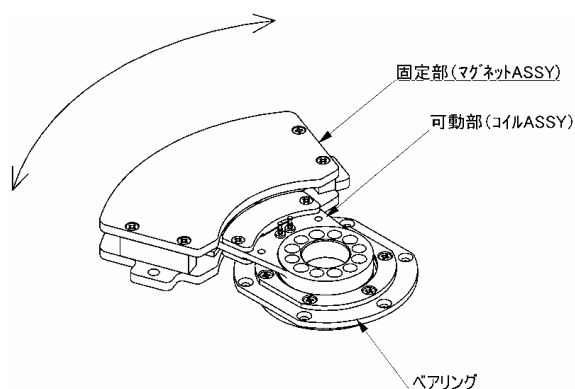


図 2 VCM 駆動構造図

4.2 操作性の向上

ACE-LX3 では操作性の向上のために、以下のような新しい機能を追加しています。

① ジンバル下向き時の操作性向上

ACE-3000 ではジンバルが下を向いた場合 (-60° 以下)、アジマスジンバルが機体の動きに追従するよう制御されていた為、機体の動揺により目標を捕らえ難いという欠点がありましたが、ACE-LX3 ではジンバル下向き時の O/AZ ジンバルを機体の動揺に影響されず常に慣性空間に保持されるような制御方法に変更し、操作性の向上を図りました。

② システム起動時間の短縮

ACE-3000 では電源を投入してジンバルが I/POS (注 4) 位置へ移行後より開始されるアライメントと呼ばれる処理に約 60 秒の時間を要していました。このアライメント処理にて本装置の最大の特徴であるオートロール機能 (機体が傾いても常に画面を水平に保つ機能) を精度良く行うために、加速度計による局地水平基準の割り出しやジャイロ・スコープのバイアス推定を行っています。今回はこれ等の推定処理を見直すことによりアライメント時間を 30 秒間に短縮しました。

③ I/POS 位置の設定数増加

ACE-3000 ではお客様がジンバルの向く位置を任意に設定できる I/POS の位置は 1 ヶ所のみであり、通常は水平後ろ向きに設定し離着陸時および否撮影飛行時に使用して頂いていますが、お客様より飛行中に機外装備品の状態を確認したいので、さらにもう一つ別な位置に向くようにしてほしいとの要望を受けて、I/POS の位置を 2 ヶ所に増やしました。

④ その他

上記以外にも、ジョイスティックの速度設定の種類を従来の 3 種類から 5 種類へ増設。USB メモリによるユーザー設定の容易化。旋回時のジョイスティック操作性向上の為、ズーム操作前のジョイスティック速度を保持しつつ感度を下げる機能の追加なども取り入れ、操作性の向上を図っています。

注 4) I/POS : イニシャル・ポジション (初期位置)

4.3 空間安定性の向上

空間安定性のスペックとしては、ACE-3000 と同じ $5 \mu \text{ rad (rms)}$ としていますが、実質的な空間安定性能をさらに向上させるために次の改善を図っています。

① VCM の採用

空間安定性を劣化させる大きな原因の一つに、ジンバル軸の回転摩擦が挙げられます。機体等の動揺外乱はジンバル軸を介して内部（カメラ、レンズ）へ伝わってきますが、理想の状態つまりジンバル軸に回転摩擦が全く無い場合は、機体がいくら動揺してもジンバル内部は静止状態となり画像が全くゆれない状態を作り出すことが出来ます。しかしながら現実的にはジンバル軸に回転摩擦があるため機体の動揺外乱の一部が内部まで入り込んできます。その対策として、入り込んできた動揺外乱（角度外乱）をジャイロ・スコープで検出し、その信号をジンバル駆動用モータにフィードバックすることにより空間安定性を保っています。ACE-3000 ではインナー・ジンバルの駆動は一般的な回転モータを使用し、ギアダウンすることにより使用していたため、等価的な回転摩擦も相当大きなものになっていました、ACE-LX3 ではこの部分を VCM つまりトルカーとステーターが非接触なリニアモータを採用することにより、回転摩擦を大幅に下げることが出来、空間安定性の向上に貢献しています。

② レンズ防振装置の採用

ACE-LX3 に搭載するレンズには、今回光学式防振機能を有するハイビジョンレンズを採用し、画像安定性をさらに向上させました。

4.4 防滴性の向上

従来の ACE-3000 でも JIS II 型（防滴形）の防滴性を有しており、実際に小雨の中のフライトも行われていましたが、今回 ACE-LX3 では防滴性をさらに向上させ JIS V 型（防噴流型）対応としました。

① アウター・ジンバル軸のシール性向上

アウター・ジンバルを支えるベアリングにシーリングを取り付けると共に、ラビリンス構造とすることにより、より水の浸入を防止する構造にしました。

② O リングの採用

ジンバル構造体と FRP 製カバーの間には従来使用していたパッキンを O リングにすることにより、より外部の水が内部に侵入しにくい構造にしました。

③ ウィンドウの曇り防止強化

ジンバル内部から常に乾燥した暖かい空気がウィンドウ内側全周に吹きつけられるようなダクト構造を設けるとともに、ジンバル内部に使用している乾燥剤を強力にし、ウィンドウを従来よりも曇りにくくしています。

4.5 メンテナンス性の向上

通常の点検整備作業において ACE-LX3 の最大の改善点は、バックフォーカスをコントロール・ユニットからリモートコントロールにて調整可能としたことです。バックフォーカス調整は熟練した作業者が調整してもプロのカメラマンから見ると再調整を要求されるほど難しいものであり、要求があればその都度カメラレンズを抜き出して、再調整を行っていました。今回、リモートコントロール可能としたことにより、カメラレンズの抜き出し作業を行わなくても、ユーザ自身が調整出来る様になりました。

5 むすび

このたび開発した ACE-LX3 は、従来機種と比較して大幅な小型・軽量化が図られたことにより、ヘリコプタのノーズ下等、今まで ACE-3000 では搭載できなかった場所にも搭載可能となり、より広い視野角での長時間撮影が可能となりました。

今後は、ACE-LX3 に標準ズームレンズを搭載した ACE-430 シリーズの後継機種を開発することにより、シリーズの充実を更に図っていく予定です。