

# 1E05 エンジン翼 EW-2 の形態過程自由度とフラッタ抑制を両立させる関節格子機構の諸元設定への課題

○衣川 撰哉

Parameter setting problem of the jointed lattice structure for both the form process flexibility and flutter suppression of the engine wing EW-2  
Setsuya Kinugawa

**Key Words:** Aircraft, jointed lattice structure, flutter, engine wing

## Abstract

To develop the rear intake-exhaust heat recycling type engine wing EW-2, the form system and the form process research method are applied to unmanned vehicle with the first design of engine wing EW-2. During its flight both form process flexibility and high flutter velocity are necessary. Flutter analysis by mathematical model about the typical section is researched to clarify the relation between the jointed lattice structure parameter and flutter limit.

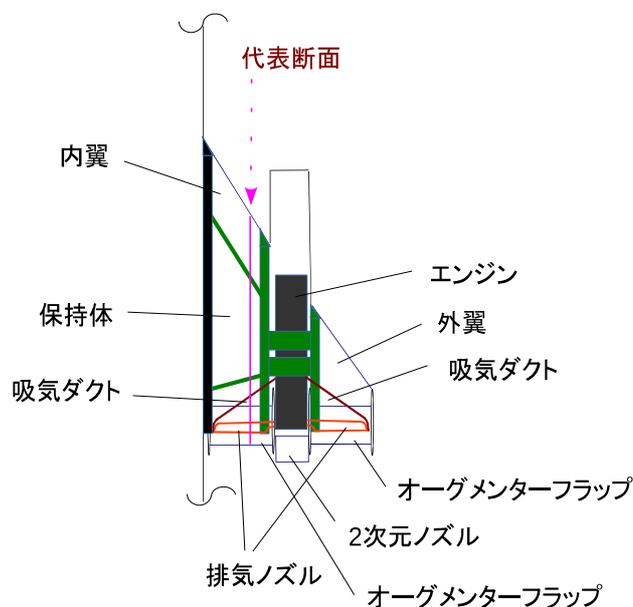
## 1.序

エンジン翼の開拓法では形態系および形態過程探索法を設定し、エンジン翼の初期設計を形態過程探索法と共に無人機に適用する。無人機の飛行に際しては、加速度ベクトルの任意性を高めるためエンジン翼の形態過程の自由度とフラッタ限界速度を共に高めることが求められる。特に V/STOL やホバリング時の形態過程の自由度と高速飛行の両立特性の実現は重大な関心事である。エンジン翼の特に翼体系の諸元設定はエンジン翼の形態過程の自由度とフラッタ限界速度を決定付ける。

エンジン翼の代表断面に関する数学的模型によるフラッタ解析を考え、翼体系の骨格を成す関節格子機構の諸元とフラッタ限界の関係の解明を試みる。

## 2.エンジン翼 EW-2 の構成

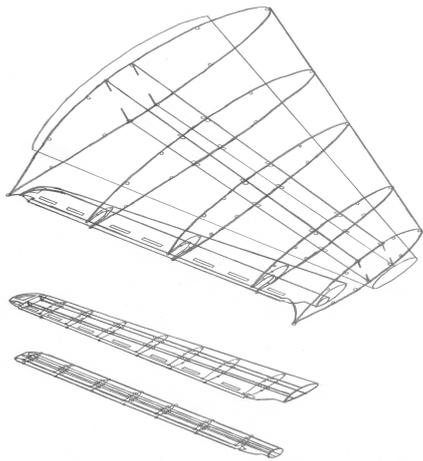
後方吸気-排熱回生機能を有するエンジン翼 EW-2 の平面概略透視図を第 1 図に示す。胴体にティルト可能に取付けられた保持体にエンジンが保持され、エンジン直後には 2 次元ノズル、エンジン後部両側には排気ノズル、吸気ダクトが装着される。保持体を内翼が覆うと共にエンジン外側に外翼が形成される。更に内翼後部、外翼後部の夫々上下にはオーグメントフラップが配される。



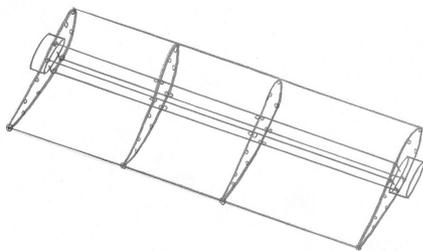
第 1 図 EW-2 の平面概略透視図と代表断面位置

内翼は、第 2 図に示す通りの関節格子機構を可撓スキンが覆う。関節格子機構はコード方向の複数の縦断面機構をスパン方向の複数の横断面機構が格子状に連結している。そして横断面機構の翼根側にある翼厚方向の翼根部材が保持体の翼根側端部と結合し、横断面機構の翼端側にある翼厚方向の翼端部材が保持体のエンジン側端部と結合することにより、内翼が保持体と結合している。

オーグメントフラップは、第 3 図に示す通りの関節格子機構を可撓スキンが覆う。関節格子機構は内翼と同様であり、横断面機構の翼根側にある翼根部材が翼根側の回転支持機構と結合し、横断面機構の翼端側にある翼端部材が翼端側の回転支持機構と結合している。



第2図 内翼の関節格子機構

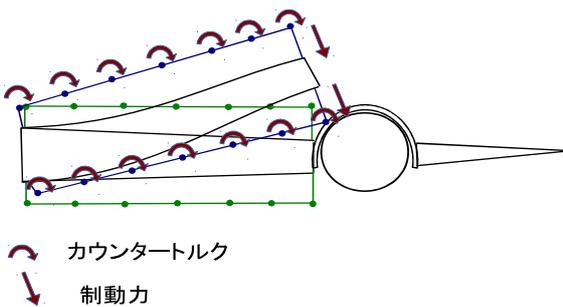


第3図 オーグメントフラップの関節格子機構

### 3. 関節格子機構の空力弾性対応特性

関節格子機構は基準形態からの変形をもたらす応力を検知すると各関節に変形を阻止するカウンタートルクを発生させる。

特に内翼では、内翼に生じる空気力と保持体の曲げ、振り変形に伴う応力により曲げ、振り変形が生じ可撓スキンの応力が発生するが、横断面機構の関節のカウンタートルクにより内翼の変形に対する制動力と共に、翼端部材を介して保持体の変形に対する制動力が発生する。第4図参照。

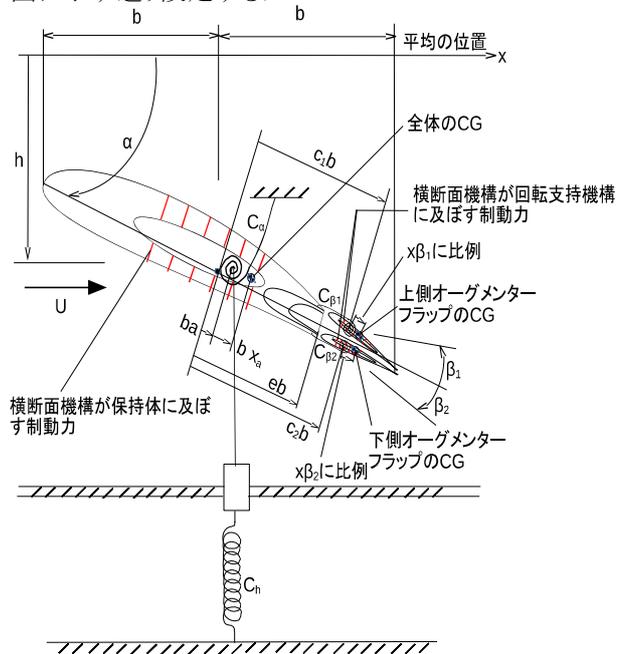


第4図 内翼横断面機構の作動

### 4. フラッタ解析に用いる力学設定と数学的模型

エンジン翼 EW-2 は、低空低速ではオーグメントフラップを開きエンジン排気を翼後縁部の排気ノズルに導いて飛行する。一方高速ではエンジン排気をエンジン直後の2次元ノズルから排出し、オーグメントフラップを閉じた位置を基準に操縦翼面として使用して飛行する。

従って EW-2 のフラッタを考えるため第1図に示す位置に代表断面を取り力学設定を行い数学的模型を第5図に示す通り設定する。

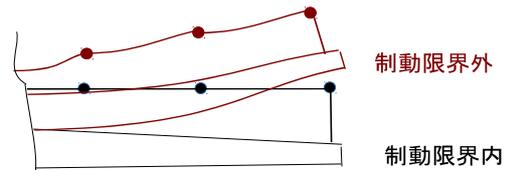


第5図 フラッタ解析に用いる代表断面位置の単位スパンについての数学的模型

代表断面位置における単位スパン翼は、保持体に対し横断面機構の翼端部材により内翼が相対的に固定され、内翼の後端に上下のオーグメントフラップが相対的に固定される。保持体は曲げおよび振りのバネ定数を有し、上下のオーグメントフラップは振りのバネ定数を有する。そして保持体には翼端部材を介して横断面機構の関節のカウンタートルクによる制動力が作用する。

### 5. 空力弾性運動の表現

関節格子機構は自動的な関節操作により関節にカウンタートルクを発生させてエンジン翼の弾性変形を抑えることを想定しているが、カウンタートルクによる制動力の限界を超える力がエンジン翼に作用すると関節の逆回転や横部材の弾性変形を伴ってエンジン翼が弾性変形しフラッタの危険性が生じる。第6図参照。



第6図 内翼における曲げ変形の状態

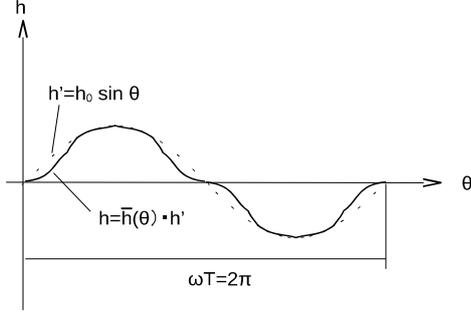
フラッタ臨界状態についてのラグランジュの運動方程式を具体化するため、エンジン翼の代表断面位置の単位スパンについて周期的運動の表現を考える。

曲げ変位  $h$  について、正弦関数  $h(\theta)$  に対し、横断面機

構による制動力がもたらす中立位置付近での減速効果を与える制動係数  $\bar{h}(\theta)$  を乗じ

$$h = \bar{h} \cdot h' \\ = \bar{h} \cdot h_0 \cdot \sin(\theta) \quad \theta = \omega t \quad \omega: \text{角振動数}$$

とすることが考えられる。



第7図 曲げ変位  $h$  の挙動設定

内翼の回転変位  $\alpha$ , 上下オーグメントフラップの回転変位  $\beta_1, \beta_2$  も各制動係数  $\bar{\alpha}(\theta), \bar{\beta}_1(\theta), \bar{\beta}_2(\theta)$  を用いて次の通り表す。

$$h = h^* \cdot \bar{h}(\theta) \cdot e^{i\theta} \quad (1-1)$$

$$\alpha = \alpha^* \cdot \bar{\alpha}(\theta) \cdot e^{i\theta} \quad (1-2)$$

$$\beta_1 = \beta_1^* \cdot \bar{\beta}_1(\theta) \cdot e^{i\theta} \quad (1-3)$$

$$\beta_2 = \beta_2^* \cdot \bar{\beta}_2(\theta) \cdot e^{i\theta} \quad (1-4)$$

## 6. 一般化力

構造減衰力を各変位に関して構造減衰係数  $g_h, g_\alpha, g_{\beta_1}, g_{\beta_2}$ , 質量  $m$ , 慣性率  $I_\alpha, I_{\beta_1}, I_{\beta_2}$ , 固有振動数  $\omega_h, \omega_\alpha, \omega_{\beta_1}, \omega_{\beta_2}$  を用いて次の通り表す。

$$Q_{Dh} = -i g_h m \omega_h^2 h \quad (2-1)$$

$$Q_{D\alpha} = -i g_\alpha I_\alpha \omega_\alpha^2 \alpha \quad (2-2)$$

$$Q_{D\beta_1} = -i g_{\beta_1} I_{\beta_1} \omega_{\beta_1}^2 \beta_1 \quad (2-3)$$

$$Q_{D\beta_2} = -i g_{\beta_2} I_{\beta_2} \omega_{\beta_2}^2 \beta_2 \quad (2-4)$$

空気力を各変位に関して次の通り表す。

$$Q_{Ah} = -L_{ea} e^{i\theta} \quad (3-1)$$

$$Q_{A\alpha} = M_{ea} e^{i\theta} \quad (3-2)$$

$$Q_{A\beta_1} = T_{1,hinge} e^{i\theta} \quad (3-3)$$

$$Q_{A\beta_2} = T_{2,hinge} e^{i\theta} \quad (3-4)$$

横断面機構による制動力を各変位に関して次の通り表す。

$$Q_{Sh} = F_{S,ea} e^{i\theta} \quad (4-1)$$

$$Q_{S\alpha} = M_{S,ea} e^{i\theta} \quad (4-2)$$

$$Q_{S\beta_1} = T_{S1,hinge} e^{i\theta} \quad (4-3)$$

$$Q_{S\beta_2} = T_{S2,hinge} e^{i\theta} \quad (4-4)$$

## 7. ラグランジュの運動方程式

運動および一般化力の表現を用いてラグランジュの運動方程式を次の通り表す。

$$\begin{bmatrix} B_{hh} & B_{h\alpha} & B_{h\beta_1} & B_{h\beta_2} \\ B_{\alpha h} & B_{\alpha\alpha} & B_{\alpha\beta_1} & B_{\alpha\beta_2} \\ B_{\beta_1 h} & B_{\beta_1\alpha} & B_{\beta_1\beta_1} & B_{\beta_1\beta_2} \\ B_{\beta_2 h} & B_{\beta_2\alpha} & B_{\beta_2\beta_1} & B_{\beta_2\beta_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h^*/b \\ \alpha^* \\ \beta_1^* \\ \beta_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_{ea} + F_{S,ea} \\ M_{ea} + M_{S,ea} \\ T_{1,hinge} + T_{S1,hinge} \\ T_{2,hinge} + T_{S2,hinge} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$B_{hh} = mb [dH(\theta) \cdot \omega^2 + \{\omega_h^2(1+i \cdot g_h) - \omega^2\} \bar{h}(\theta)]$$

$$B_{h\alpha} = \omega^2 \cdot S_\alpha (dA(\theta) - \bar{\alpha}(\theta))$$

$$B_{h\beta_1} = \omega^2 \cdot S_{\beta_1} (dB1(\theta) - \bar{\beta}_1(\theta))$$

$$B_{h\beta_2} = \omega^2 \cdot S_{\beta_2} (dB2(\theta) - \bar{\beta}_2(\theta))$$

$$B_{\alpha h} = b \omega^2 \cdot S_\alpha (dH(\theta) - \bar{h}(\theta))$$

$$B_{\alpha\alpha} = I_\alpha [dA(\theta) \cdot \omega^2 + \{\omega_\alpha^2(1+i \cdot g_\alpha) - \omega^2\} \bar{\alpha}(\theta)]$$

$$B_{\alpha\beta_1} = \omega^2 [(c_1 - a) b S_{\beta_1} + I_{\beta_1}] (dB1(\theta) - \bar{\beta}_1(\theta))$$

$$B_{\alpha\beta_2} = \omega^2 [(c_2 - a) b S_{\beta_2} + I_{\beta_2}] (dB2(\theta) - \bar{\beta}_2(\theta))$$

$$B_{\beta_1 h} = b \omega^2 \cdot S_{\beta_1} (dH(\theta) - \bar{h}(\theta))$$

$$B_{\beta_1\alpha} = \omega^2 [(c_1 - a) b S_{\beta_1} + I_{\beta_1}] (dA(\theta) - \bar{\alpha}(\theta))$$

$$B_{\beta_1\beta_1} = I_{\beta_1} [dB1(\theta) \cdot \omega^2 + \{\omega_{\beta_1}^2(1+i \cdot g_{\beta_1}) - \omega^2\} \bar{\beta}_1(\theta)]$$

$$B_{\beta_1\beta_2} = 0$$

$$B_{\beta_2 h} = b \omega^2 \cdot S_{\beta_2} (dH(\theta) - \bar{h}(\theta))$$

$$B_{\beta_2\alpha} = \omega^2 [(c_2 - a) b S_{\beta_2} + I_{\beta_2}] (dA(\theta) - \bar{\alpha}(\theta))$$

$$B_{\beta_2\beta_1} = 0$$

$$B_{\beta_2\beta_2} = I_{\beta_2} [dB2(\theta) \cdot \omega^2 + \{\omega_{\beta_2}^2(1+i \cdot g_{\beta_2}) - \omega^2\} \bar{\beta}_2(\theta)]$$

$$dH(\theta) = \frac{d^2 \bar{h}(\theta)}{d\theta^2} + i \cdot 2 \cdot \frac{d\bar{h}(\theta)}{d\theta}$$

$$dA(\theta) = \frac{d^2 \bar{\alpha}(\theta)}{d\theta^2} + i \cdot 2 \cdot \frac{d\bar{\alpha}(\theta)}{d\theta}$$

$$dB1(\theta) = \frac{d^2 \bar{\beta}_1(\theta)}{d\theta^2} + i \cdot 2 \cdot \frac{d\bar{\beta}_1(\theta)}{d\theta}$$

$$dB2(\theta) = \frac{d^2 \bar{\beta}_2(\theta)}{d\theta^2} + i \cdot 2 \cdot \frac{d\bar{\beta}_2(\theta)}{d\theta}$$

$$m = m_w + m_{F1} + m_{F2}$$

$$m_w = \int dm_w$$

$$m_{F1} = \int dm_{F1}$$

$$m_{F2} = \int dm_{F2}$$

$$S_\alpha = S_w + S_{F1} + S_{F2}$$

$$S_w = \int r dm_w$$

$$S_{F1} = \int [(c_1 - a) b + s_1] dm_{F1}$$

$$S_{F2} = \int [(c_2 - a) b + s_2] dm_{F2}$$

$$S_{\beta_1} = \int s_1 dm_{F1}$$

$$S_{\beta_2} = \int s_2 dm_{F2}$$

$$I_\alpha = I_w + I_{F1} + I_{F2}$$

$$I_w = \int r^2 dm_w$$

$$I_{F1} = \int [(c_1 - a) b + s_1]^2 dm_{F1}$$

$$I_{F2} = \int [(c_2 - a) b + s_2]^2 dm_{F2}$$

$$I_{\beta_1} = \int s_1^2 dm_{F1}$$

$$I_{\beta_2} = \int s_2^2 dm_{F2}$$

## 8. 今後の課題

ラグランジュの運動方程式 (5) の係数行列に現れる時間依存項の扱い, 空気力および横断面機構の制動力の具体化を通して, フラッタ抑制と低空低速での形態自由度の両立を実現する関節格子機構の特性解明に繋がるテーマを見出す.

## 9. 参考文献

- 1) 空力弾性学入門(航空機力学 第4)  
安東茂典 他 (名古屋大学 校費出版)