

D10 エンジン翼の関節格子機構  
の関節配置に適用する  
IOM計算則の研究

2023年11月25日

衣川 撰哉

無人機に搭載する初期操作則を計算機上で開拓する方法を構成する。

入力変数群を入力することにより操作過程を出力する試行操作則を導入する。

操作過程を入力することにより模擬測定加速度ベクトルを出力する測定模擬則を導入する。

入力変数群にデータを割り当てる入力値群(INPUT), 試行操作則(OPERATION), 測定模擬則(MEASURE)を具体化してIOM計算則を構成する。

IOM計算則は入力値群(INPUT)に対し模擬加速度ベクトルの測定模擬誤差を与える。

複数の入力値群にIOM計算則を用いることにより測定模擬誤差の分布を得る。

IOM計算則の構成の試行錯誤により, 広範囲の入力値群に対し高い測定模擬誤差の精度を実現できる試行操作則を見出して初期操作則として確定する。

IOM計算則の試行操作則は

関節操作推定関数により開拓

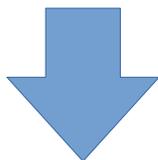
関節操作推定関数

各関節毎に定められ

目標加速度増分ベクトル, 目標モーメント増分ベクトル, 飛行状態からなる入力群に対し, 関節操作角を出力する.

# 関節操作推定関数

関節配置に対して確定を目指す



様々な基準形状と関節配置の組合せを体系的に与え調査を容易化するため

**各関節を縦関節, 横関節について夫々通し番号で識別し, 通し番号に対して関節座標を設定する**

## 2.基準形態と関節配置の設定

### エンジン翼EW-Aの基準形態設定要件

- 内翼本体, 外翼本体, フラップの各後縁後退角は0とする.
- フラップのヒンジラインは後縁に平行とする.
- フラップの平面形は矩形とする.
- フラップの翼型はスパン方向に同一とする.

## 2-1.内翼の設定

### 2-1-1.縦断面機構の基準形態を成す翼断面形状

翼断面A型 内翼翼根部 ダクト, ノズル無  $(0 \leq y \leq y_E)$

翼断面B型 ダクト, ノズル有  $(y_E \leq y \leq l)$

を原型翼断面の相似変換により生成する.

図1, 2, 3参照.

# 原型翼断面

翼固定直交座標系  $X-Z$  平面において原型翼断面を与える.

次の関数を用いる.



# 翼断面A型

$k=0$  翼弦中心座標  $X_{wm,j}$  ,  $y_{wm,j}$  , 半弦長  $c_w(y_{wm,j})$   
を用いて

$$X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}) \leq X \leq X_{wm,j} + c_w(y_{wm,j})$$
$$y = y_{wm,j} \quad (9-1)$$

$$z_U(X) = \frac{c_w(y_{wm,j})}{b} z_U(\mathbf{X}) \quad (9-2)$$

$$\mathbf{X} = b \cdot \frac{X - (X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}))}{c_w(y_{wm,j})} \quad (9-3)$$

$$z_L(X) = -z_U(X) \quad (9-4)$$

# 翼断面B型

$k \neq 0$

内翼本体における翼断面

翼弦中心座標  $X_{wm,j}$  ,  $Y_{wm,j}$  , 半弦長  $c_w(y_{wm,j})$   
を用いて

$$X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}) \leq X \leq X_{wm,j} + c_w(y_{wm,j})$$

$$Y = Y_{wm,j} \quad (Y_E \leq Y_{wm,j} \leq l) \quad (9-1)$$

$$Z_U(X) = \frac{c_w(y_{wm,j})}{b} Z_U(\mathbf{X}) \quad (10-1)$$

$$\mathbf{X} = b \cdot \frac{X - (X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}))}{c_w(y_{wm,j})} \quad (10-2)$$

$$Z_L(\mathbf{X}) = -Z_U(\mathbf{X}) \quad (10-3)$$

内翼ダクトにおける翼断面

翼弦中心座標  $X_{dm,j}$ ,  $Y_{dm,j} = Y_{wm,j}$ , 半弦長  $c_d(y_{dm,j})$   
を用いて

$$X_{dm,j} - c_d(y_{dm,j}) \leq X \leq X_{dm,j} + c_d(y_{dm,j})$$

$$Y = Y_{dm,j} \quad (11-3)$$

$$Z_U(X) = r_d \cdot \frac{c_d(y_{dm,j})}{b} Z_U(X) \quad (11-4)$$

$$X = b \cdot \frac{X - (X_{dm,j} - c_d(y_{dm,j}))}{c_d(y_{dm,j})} \quad (11-5)$$

$$\text{ダクト翼厚低減率 } r_d = \begin{cases} 1 & (i=I) \\ 0.8 & (1 \leq i \leq I-1) \end{cases} \quad (11-6)$$

$$Z_L(X) = -Z_U(X) \quad (11-7)$$

# 内翼ノズルにおける翼断面

翼弦中心座標  $X_{nm,j}$ ,  $Y_{nm,j} = Y_{wm,j}$ , 半弦長  $c_n(y_{nm,j})$   
を用いて

$$X_{nm,j} - c_n(y_{nm,j}) \leq X \leq X_{nm,j} + c_n(y_{nm,j})$$

$$y = y_{nm,j} \quad (y_E \leq y_{nm,j} \leq I) \quad (12-4)$$

$$z_U(X) = r_n \cdot \frac{c_n(y_{nm,j})}{b} z_U(X) \quad (12-5) \quad (12-6)$$

$$x = b \cdot \frac{x_c - (x_{nm,j} - c_n(y_{nm,j}))}{c_n(y_{nm,j})}$$

ノズル翼厚低減率  $r_n = \begin{cases} 1 & (i=I) \\ 0.8 & (1 \leq i \leq I-1) \end{cases} \quad (12-7)$

$$z_L(X) = -z_U(X) \quad (12-8)$$

## 2-1-2. 縦断面機構の関節配置

縦関節の回転面が同一となるよう各縦部材を縦関節により平面形状に連結して縦断面機構を形成する。

第  $j$  縦断面機構 ( $1 < j < J_0$ ) をエンジン翼の回転軸方向に直交させ, 翼固定直交座標系  $y = y_{wm, j}$  の位置に配する。

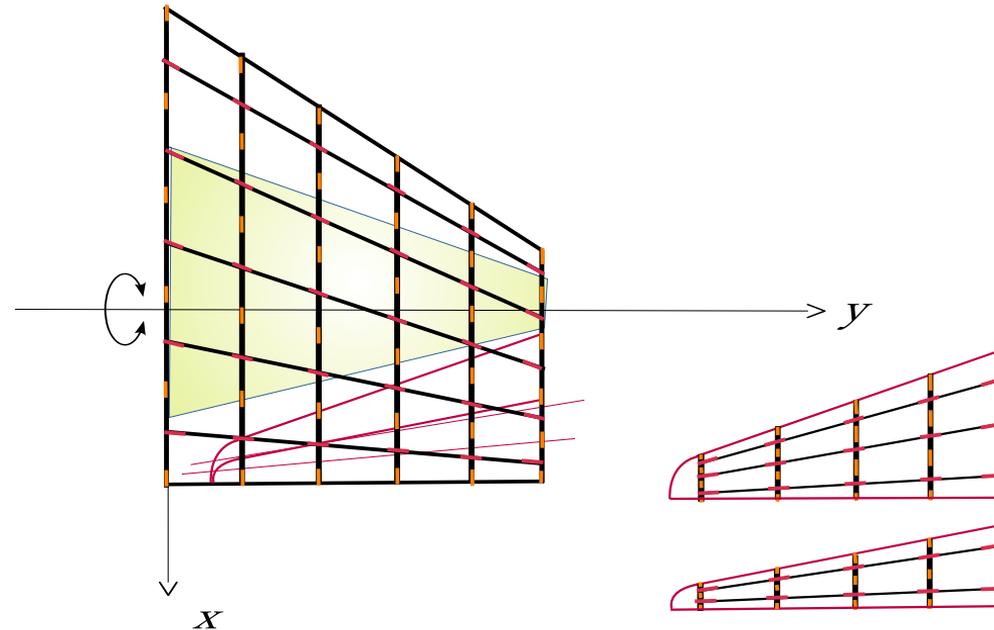


図6

縦関節の通し番号(通番)  $i_c$ を用いた縦関節座標式を得るため, 縦断面機構毎の関節番号である縦断面通番

$$g = i_c - \left[ \frac{(i_c - 1)}{G_j} \right] \cdot G_j \quad (1 \leq g \leq G_j) \quad (13)$$

を導入する.

# 縦関節配置の設定

縦関節の配置をx軸に関し上下対称にgを介してicを用いた縦関節座標式により与える.

縦断面機構A型 ( $1 < j < J_E$ )

内翼本体 後端 ( $g=1$ )

$$X_{ic} = X_{wm,j} + C_w \left( y_{wm,j} \right) \quad (14-1)$$

$$Y_{ic} = y_{wm,j} \quad (14-2)$$

$$Z_{ic} = 0 \quad (14-3)$$

内翼本体 上面  $(1 \leq g \leq g_a - 1)$

上面における後端から前端の一つ後までの縦関節数を $\Delta g_w$ とする。

$$g_a - 1 = \Delta g_w \quad \text{より} \quad (1 \leq g \leq \Delta g_w)$$

$$\begin{aligned} X_{ic} &= X_{wm,j} + c_w(y_{wm,j}) - \frac{2 \cdot c_w(y_{wm,j})}{(g_a - 1)} \cdot (g - 1) \\ &= X_{wm,j} + c_w(y_{wm,j}) - \frac{2 \cdot c_w(y_{wm,j})}{\Delta g_w} \cdot (g - 1) \end{aligned} \quad (15-1)$$

$$Y_{ic} = Y_{wm,j} \quad (14-2)$$

$$Z_{ic,U} = \frac{c_w(y_{wm,j})}{b} Z_U(\mathbf{x}_{ic}) \quad (15-2)$$

$$\mathbf{x}_{ic} = b \cdot \frac{\mathbf{x}_{ic} - (\mathbf{x}_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}))}{c_w(y_{wm,j})} \quad (15-3)$$

内翼本体 前端 ( $g = g_a$ )

$$X_{ic} = X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}) \quad (16-1)$$

$$Y_{ic} = Y_{wm,j} \quad (14-2)$$

$$Z_{ic} = 0 \quad (14-3)$$

内翼本体 下面 ( $g_a + 1 \leq g \leq 2g_a - 2$ )

$$g_a - 1 = \Delta g_w \text{ より } (\Delta g_w + 2 \leq g \leq 2\Delta g_w)$$

$$X_{ic} = X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}) + \frac{2 \cdot c_w(y_{wm,j})}{(g_a - 1)} \cdot (g - g_a)$$

$$= X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}) + \frac{2 \cdot c_w(y_{wm,j})}{\Delta g_w} \cdot (g - \Delta g_w - 1) \quad (16-1)$$

$$y_{ic} = y_{wm,j} \quad (14-2)$$

$$Z_{ic,L} = -\frac{c_w(y_{wm,j})}{b} Z_U(X_{ic}) \quad (16-2)$$

$$X_{ic} = b \cdot \frac{X_{ic} - (X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}))}{c_w(y_{wm,j})} \quad (16-3)$$

# 縦断面機構B型

内翼本体 上面  $(1 \leq g \leq g_a - 1)$

$g_a - 1 = \Delta g_w$  より  $(1 \leq g \leq \Delta g_w)$

$$\begin{aligned} X_{ic} &= X_{wm,j} + c_w(y_{wm,j}) - \frac{2 \cdot c_w(y_{wm,j})}{(g_a - 1)} \cdot (g - 1) \\ &= X_{wm,j} + c_w(y_{wm,j}) - \frac{2 \cdot c_w(y_{wm,j})}{\Delta g_w} \cdot (g - 1) \end{aligned} \quad (17-1)$$

$$Y_{ic} = Y_{wm,j} \quad (14-2)$$

$$Z_{ic,U} = \frac{c_w(y_{wm,j})}{b} Z_U(\mathbf{x}_{ic}) \quad (17-2)$$

$$\mathbf{x}_{ic} = b \cdot \frac{X_{ic} - (X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}))}{c_w(y_{wm,j})} \quad (17-3)$$

内翼本体 前端  $(g = g_a)$

$$g_a - 1 = \Delta g_w \quad \text{よ り} \quad (g = \Delta g_w + 1)$$

$$X_{ic} = X_{wm,j} - C_w (y_{wm,j}) \quad (18-1)$$

$$y_{ic} = y_{wm,j} \quad (14-2)$$

$$z_{ic} = 0 \quad (14-3)$$

内翼本体 下面  $(g_a + 1 \leq g \leq g_b)$

上下面对称とするため  $g_b = 2g_a - 1$  と設定して

$(g_a + 1 \leq g \leq 2g_a - 1)$  更に  $g_a - 1 = \Delta g_w$  より

$(\Delta g_w + 2 \leq g \leq 2\Delta g_w + 1)$

$$\begin{aligned} X_{ic} &= X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}) + \frac{2 \cdot c_w(y_{wm,j})}{(g_a - 1)} \cdot (g - g_a) \\ &= X_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}) + \frac{2 \cdot c_w(y_{wm,j})}{\Delta g_w} \cdot (g - \Delta g_w - 1) \end{aligned} \quad (19-1)$$

$$y_{ic} = y_{wm,j} \quad (14-2)$$

$$Z_{ic,L} = -\frac{c_w(y_{wm,j})}{b} Z_U(\mathbf{x}_{ic}) \quad (19-2)$$

$$\mathbf{x}_{ic} = b \cdot \frac{\mathbf{x}_{ic} - (\mathbf{x}_{wm,j} - c_w(y_{wm,j}))}{c_w(y_{wm,j})} \quad (19-3)$$

内翼ダクト下面  $(g_b+1 \leq g \leq g_c-1)$

内翼ダクト後端から前端の一つ後までの縦関節数を上下面共に同数の  $\Delta g_d$  とする。

$$g_c - 1 = g_b + \Delta g_d$$

$$g_b = 2g_a - 1$$

$$g_a - 1 = \Delta g_w \quad \text{より}$$

$$g_b + 1 = 2\Delta g_w + 2$$

$$g_c - 1 = 2\Delta g_w + \Delta g_d + 1 \quad (20 - a)$$

よって  $g$  の範囲は

$$(2\Delta g_w + 2 \leq g \leq 2\Delta g_w + \Delta g_d + 1)$$

$$\mathbf{X}_{ic} = \mathbf{X}_{dm,j} + \mathbf{c}_d(\mathbf{y}_{dm,j}) - \frac{2 \cdot \mathbf{c}_d(\mathbf{y}_{dm,j})}{\Delta \mathbf{g}_d} \cdot (\mathbf{g} - 2 \Delta \mathbf{g}_w - 2) \quad (20-1)$$

$$\mathbf{y}_{ic} = \mathbf{y}_{dm,j} \quad (20-2)$$

$$\mathbf{z}_{ic,L} = - \frac{\mathbf{c}_d(\mathbf{y}_{dm,j})}{b} \mathbf{z}_U(\mathbf{X}_{ic}) \quad (20-3)$$

$$\mathbf{x}_{ic} = b \cdot \frac{\mathbf{x}_{ic} - (\mathbf{x}_{dm,j} - \mathbf{c}_d(\mathbf{y}_{dm,j}))}{\mathbf{c}_d(\mathbf{y}_{dm,j})} \quad (20-4)$$

内翼ダクト 前端 ( $g = g_c$ )

$$X_{ic} = X_{dm,j} - C_d(y_{dm,j}) \quad (21-1)$$

$$y_{ic} = y_{dm,j} \quad (20-2)$$

$$z_{ic} = 0 \quad (14-3)$$

内翼ダクト上面  $(g_c + 1 \leq g \leq g_d)$

$$g_d = g_c + \Delta g_d \quad (21-a)$$

$$g_c - 1 = 2 \Delta g_w + \Delta g_d + 1 \quad (20-a)$$

よりgの範囲は

$$(2 \Delta g_w + \Delta g_d + 3 \leq g \leq 2 \Delta g_w + \Delta g_d + 2 + \Delta g_d)$$

$$X_{ic} = X_{dm,j} - c_d(y_{dm,j}) + \frac{2 \cdot c_d(y_{dm,j})}{\Delta g_d} \cdot (g - g_c) \quad (21-2)$$

$$Y_{ic} = Y_{dm,j} \quad (20-2)$$

$$Z_{ic,U} = \frac{c_d(y_{dm,j})}{b} Z_U(X_{ic}) \quad (21-3)$$

$$X_{ic} = b \cdot \frac{X_{ic} - (X_{dm,j} - c_d(y_{dm,j}))}{c_d(y_{dm,j})} \quad (20-4)$$

内翼ノズル前端 ( $g = g_e$ )

$$X_{ic} = X_{nm,j} - c_n(y_{nm,j}) \quad (22-5)$$

$$y_{ic} = y_{nm,j} \quad (22-2)$$

$$z_{ic} = 0 \quad (14-3)$$

内翼ノズル下面  $(g_e+1 \leq g \leq G_j)$

$$g_d = g_c + \Delta g_d \quad (21-a)$$

$$g_c - 1 = 2 \Delta g_w + \Delta g_d + 1 \quad (20-a)$$

$$g_e - 1 = g_d + \Delta g_e \quad (21-b)$$

よりgの範囲は

$$(2 \Delta g_w + 2 \Delta g_d + 2 + \Delta g_e + 2 \leq g \leq G_j)$$

$$\begin{aligned}
X_{ic} &= X_{nm,j} - c_n(y_{nm,j}) + \frac{2 \cdot c_n(y_{nm,j})}{\Delta g_e} \cdot (g - g_e) \\
&= X_{nm,j} - c_n(y_{nm,j}) \\
&\quad + \frac{2 \cdot c_n(y_{nm,j})}{\Delta g_e} \cdot (g - 2\Delta g_w - \Delta g_d - 2 - \Delta g_d - \Delta g_e - 1)
\end{aligned} \tag{23-1}$$

$$Y_{ic} = Y_{nm,j} \tag{22-2}$$

$$Z_{ic,L} = -\frac{c_n(y_{nm,j})}{b} Z_U(\mathbf{x}_{ic}) \tag{23-2}$$

$$\mathbf{x}_{ic} = b \cdot \frac{X_{ic} - (X_{nm,j} - c_n(y_{nm,j}))}{c_n(y_{nm,j})} \tag{23-3}$$

## 2-1-3. 縦断面機構の横方向分布と横断面機構の設定

### 縦断面機構の横方向分布

各縦断面機構をy軸方向に等間隔に配する

第j縦関節のy座標 $y_j$ を次式で表す.

$$y_j = \frac{l}{j_0 + 1} \cdot j \quad (24-1)$$

$i_c$ と $j$ の関係式は次式である.

$$j = \left[ \frac{i_c - 1}{G} \right] + 1 \quad (24-2)$$

(24-1) (24-2) 式より

$$y_{ic} = y_j = \frac{1}{j_0 + 1} \left( \left[ \frac{i_c - 1}{G} \right] + 1 \right) \quad (24-3)$$

## 横断面機構の設定

各縦断面機構の隣り合う縦関節の中間位置に横関節を配して、各縦断面機構の前縁から同じ順番位置の横関節を直線形状横部材で連結することにより横断面機構の縦方向分布を形成する。

# 内翼本体

$i_s$ が属する横断面機構番号 $n$ と横断面通番 $h$ を次の通り与える.

横断面機構毎の関節数  $H=2j_0$  を用いて

$$n = \left[ \frac{i_s - 1}{H} \right] + 1 \quad (1 \leq n \leq n_w) \quad (25-1)$$

$$h = i_s - H \cdot (n - 1) \quad (25-2)$$

$n$ ,  $h$ を用いて, 第 $i_s$ 横関節の属する縦断面機構番号 $j_s$ , 第 $i_s$ 横関節の前縁側, 後縁側にある縦関節の縦断面通番 $g_L$ ,  $g_T$ は夫々次の通り表される.

上面側  $(1 \leq h \leq J_0)$

$$j_s = h \quad (25-3)$$

$$g_L + n - 1 = g_a \quad \text{より}$$

$$g_L = g_a - n + 1$$

(25-4)

$$g_T = g_L - 1$$

下面側  $(j_0+1 \leq h \leq 2J_0)$

$$h + j_s - 1 = 2J_0$$

$$j_s = 2J_0 - h + 1 \quad (25-5)$$

$$g_L = g_a + n - 1$$

$$g_T = g_L + 1 \quad (25-6)$$

第 $i_s$ 横関節の前縁側縦関節の番号 $i_{c,sL}$ は次式となる.

$$i_{c,sL} = G \cdot (j_s - 1) + g_L \quad (25-7)$$

第 $i_s$ 横関節の後縁側縦関節の番号 $i_{c,sT}$ は次式となる.

$$i_{c,sT} = G \cdot (j_s - 1) + g_T \quad (25-8)$$

そして第 $i_s$ 横関節座標 $(x_{is}, y_{is}, z_{is})$ を次の通り与える.

$$x_{is} = \frac{1}{2} (x_{ic,sL} + x_{ic,sT}) \quad (25-9)$$

$$y_{is} = y_{js} \quad (25-10)$$

$$z_{is} = z_U(x_{is}) \quad (1 \leq h \leq J_0) \quad (25-11)$$

$$z_{is} = -z_U(x_{is}) \quad (j_0+1 \leq h \leq 2J_0) \quad (25-12)$$

## 内翼ダクト

$i_s$ が属する横断面機構番号 $n$ と横断面通番 $h$ を次の通り与える.

横断面機構毎の関節数  $H = 2j_0$  を用いて

$$n = n_w + \left[ \frac{i_s - 2J_0 \cdot n_w - 1}{H} \right] + 1 \quad (n_w + 1 \leq n \leq n_d) \quad (25-13)$$

$$h = i_s - 2J_0 \cdot n_w - H \cdot (n - n_w - 1) \quad (25-14)$$

$n$ ,  $h$ を用いて, 第 $i_s$ 横関節の属する縦断面機構番号 $j_s$ , 第 $i_s$ 横関節の前縁側, 後縁側にある縦関節の縦断面通番 $g_L$ ,  $g_T$ は夫々次の通り表される.

下面側 ( $j_0+1 \leq h \leq 2J_0$ )

$$h + j_s - 1 = 2J_0 \quad \text{より}$$

$$j_s = 2J_0 - h + 1 \quad (25-5)$$

$$g_L = g_c - n + 1$$

$$g_T = g_L - 1 \quad (25-4)$$

上面側 ( $1 \leq h \leq J_0$ )

$$j_s = h \quad (25-3)$$

$$g_L - n + 1 = g_c \quad \text{より}$$

$$g_L = g_c + n - 1$$

$$g_T = g_L + 1 \quad (25-6)$$

$i_{c,sL}$  は次式となる.

$$i_{c,sL} = G \cdot (j_s - 1) + g_L \quad (25-7)$$

$i_{c,sT}$  は次式となる.

$$i_{c,sT} = G \cdot (j_s - 1) + g_T \quad (25-8)$$

そして第 $i_s$ 横関節座標 $(x_{is}, y_{is}, z_{is})$ を次の通り与える.

$$x_{is} = \frac{1}{2}(x_{ic,sL} + x_{ic,sT}) \quad (25-9)$$

$$y_{is} = y_{js} \quad (25-10)$$

$$z_{is} = z_U(x_{is}) \quad (1 \leq h \leq J_0) \quad (25-11)$$

$$z_{is} = -z_U(x_{is}) \quad (j_0+1 \leq h \leq 2J_0) \quad (25-12)$$

## 内翼ノズル

$i_s$ が属する横断面機構番号 $n$ と横断面通番 $h$ を次の通り与える.

横断面機構毎の関節数  $H = 2 j_0$  を用いて

$$n = n_d + \left[ \frac{i_s - 2 J_0 \cdot n_d - 1}{H} \right] + 1 \quad (n_d + 1 \leq n \leq n_n) \quad (25-15)$$

$$h = i_s - 2 J_0 \cdot n_d - H \cdot (n - n_d - 1) \quad (25-16)$$

$n$ ,  $h$ を用いて, 第 $i_s$ 横関節の属する縦断面機構番号 $j_s$ , 第 $i_s$ 横関節の前縁側, 後縁側にある縦関節の縦断面通番 $g_L$ ,  $g_T$ は夫々次の通り表される.

上面側  $(1 \leq h \leq J_0)$

$$j_s = h \quad (25-3)$$

$$g_L + n - 1 = g_e \quad \text{より}$$

$$g_L = g_e - n + 1$$

$$g_T = g_L + 1 \quad (25-4)$$

下面側 ( $j_0+1 \leq h \leq 2J_0$ )

$$h + j_s - 1 = 2J_0 \quad (25-5)$$

$$j_s = 2J_0 - h + 1$$

$$g_L = g_e + n - 1$$

$$g_T = g_L + 1 \quad (25-6)$$

$i_{c,sL}$  は次式となる.

$$i_{c,sL} = G \cdot (j_s - 1) + g_L \quad (25-7)$$

$i_{c,sT}$  は次式となる.

$$i_{c,sT} = G \cdot (j_s - 1) + g_T \quad (25-8)$$

そして第 $i_s$ 横関節座標 $(x_{is}, y_{is}, z_{is})$ を次の通り与える.

$$x_{is} = \frac{1}{2}(x_{ic,sL} + x_{ic,sT}) \quad (25-9)$$

$$y_{is} = y_{js} \quad (25-10)$$

$$z_{is} = z_U(x_{is}) \quad (1 \leq h \leq J_0) \quad (25-11)$$

$$z_{is} = -z_U(x_{is}) \quad (j_0 + 1 \leq h \leq 2J_0) \quad (25-12)$$

### 3.結論

IOM計算則を適用する内翼の関節配置について、様々な関節配置を体系的に調査することを容易化するため最初の内翼形状と関節配置の設定を行い、縦断面機構および横断面機構の関節座標を定式化した。

## 4. 今後の課題

フラップの関節配置の具体化を行う。

更に内翼とフラップの系について関節配置の体系に対応付けた IOM 計算則の探究を行う。

## 参考文献

1) 衣川 撰哉：エンジン翼を備える無人機に搭載し関節格子機構の形態過程を探索するために用いる初期操作則の開拓，第60回飛行機シンポジウム 講演原稿