

# P27 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

衣川 撰哉

Development of starting operation rule installed on unmanned vehicle with engine-wing, for the research of form process of jointed lattice structure

Setsuya Kinugawa

Key Words: Wing, Structure, Operation

## Abstract

To develop the starting operation rule by simulation of measured acceleration characteristic on the computer, the wide range of input setting, trying operation, measured acceleration simulation needs to be executed on the computer to progress clarifying the starting operation rule and the characteristic. Then, the wing system form is set, on which the jointed lattice structure is arranged. the joints are to be systematically arranged by formulation of coordinate expression.

## 1.序

エンジン翼は、関節格子機構により形態の自由度を高め、ガスタービンの吸排気の下で空力による加速度の任意性を高めることを目指すものであり、形態過程の解明が重要である。

エンジン翼を搭載した無人機の飛行により、翼体系の関節格子機構の関節操作とフラップの操作角の変更により形態変形を行い加速度ベクトルを制御する。

目標諸元と状態諸元からなる入力変数群の入力に対し関節操作角を出力する関節操作推定関数と、空力弾性現象下で弾性限界を超えない関節角遷移により関節操作角を実現する遷移則により操作則を構成する。そして、操作則により操作過程を生成する。

更に、無人機に初期操作則を搭載し、飛行による形態過程探索を通して得られたデータにより飛行中又は地上で初期操作則を補正し入力変数群の適用領域の広範囲化と操作精度の向上を図り、最終的な操作則を得る。

このため、飛行に先立ち、補正依存度の低い初期操作則を見出すことが重要であり、初期操作則を計算機上で探索する方法を開拓するため、入力変数ベクトル群、試行操作則、測定模擬則を規定するIOM計算則に対応付けるエンジン翼の関節配置を体系的に与える。

## 2.基準形態と関節配置の設定

様々な基準形状と関節配置(第4図参照)の組合せを体系的に与え調査を容易化するため、最初の基準形態の翼断面を対称翼型とし、内翼、外翼、各フラップの関節の通し番号に関節座標を対応付ける。

エンジン翼EW-Aの基準形態設定要件は次の通りである。

- 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. 縦断面機構の基準形態を成す翼断面形状の設定

翼固定直交座標系のX-Z平面における原型翼断面の相似変換と平行移動により翼断面形状を生成する。

#### 2-1-2.内翼、外翼の翼断面形状

##### 2-1-2-1.翼断面A型及びB型の横方向範囲設定

内翼翼根側のダクト、ノズルを有さないy範囲

$(0 \leq y < y_1)$  の翼断面A型、ダクト、ノズルを有するy範囲

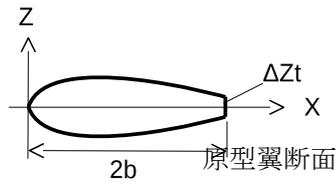
$(y_1 \leq y < y_2)$  の翼断面B型、内翼翼端側のダクト、ノズルを有さないy範囲

$(y_2 \leq y \leq y_3)$  の翼断面A型、外翼翼根側のダクト、ノズルを有さないy範囲

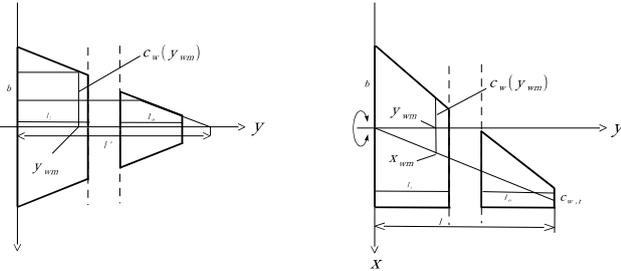
$(y_4 \leq y < y_5)$  の翼断面A型、ダクト、ノズルを有するy範囲

$(y_5 \leq y < y_6)$  の翼断面B型、外翼翼端側のダクト、ノズルを有さないy範囲

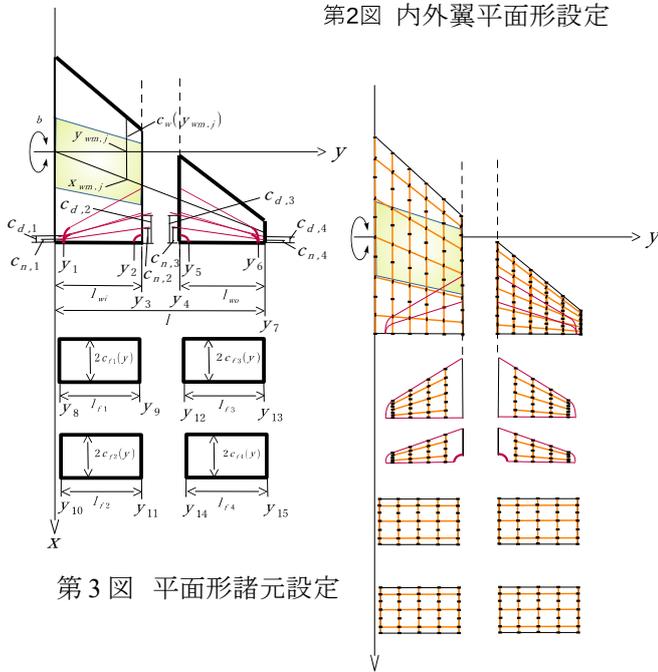
$(y_6 \leq y \leq y_7)$  の翼断面A型を生成する。第1, 2, 3図参照。



第1図



第2図 内外翼平面形設定



第3図 平面形諸元設定

第4図 関節格子配置例

### 2-1-3. オーギュメンターフラップの翼断面形状

$$\Delta z_i = k \cdot 2b \quad (5)$$

式において  $k=0$  を指定した原型翼断面 A の相似変換と平行移動により、各オーギュメンターフラップの  $y$  範囲に翼断面 A 型を生成して得られた、迎角  $\alpha=0$  の場合の翼断面の上,下側座標  $(x_0, y_0, z_{U0})$  ,

$(x_0, y_0, z_{L0})$  を回転変換して、任意の迎角  $\alpha$  の場合の翼断面の上,下側座標  $(x, y, z_U)$  ,  $(x, y, z_L)$  を生成する。

### 2-2. 縦断面機構の関節配置

#### 2-2-1. 縦断面機構の設定

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。そして第  $j$  縦断面機構 ( $1 < j < J_T$ ) をエンジン翼の回転軸方向に直交させて横方向に配する。

各第  $j$  縦断面機構の縦関節は断面前,後端に配すると共に、上側と下側の縦関節は  $x$  軸に関し上下対称に配する。

翼断面 A 型を形成する縦断面機構 A 型を次の通り設定する。

内翼翼根側 ( $0 \leq y < y_1$ ) ,

内翼翼端側 ( $y_2 \leq y \leq y_3$ )

外翼翼根側 ( $y_4 \leq y < y_5$ ) ,

外翼翼端側 ( $y_6 \leq y \leq y_7$ )

第1 オーギュメンターフラップ ( $y_8 \leq y \leq y_9$ )

第2 オーギュメンターフラップ ( $y_{10} \leq y \leq y_{11}$ ) ,

第3 オーギュメンターフラップ ( $y_{12} \leq y \leq y_{13}$ ) ,

第4 オーギュメンターフラップ ( $y_{14} \leq y \leq y_{15}$ )

翼断面 B 型を形成する縦断面機構 B 型を

内翼中央部 ( $y_1 \leq y < y_2$ ) ,

外翼中央部 ( $y_5 \leq y < y_6$ ) に設定する。

縦関節通番  $i_c$  の導入

翼体系全体の縦関節の通し番号である縦関節通番  $i_c$  を導入する。

縦関節の関節座標を  $i_c$  毎に与える。 $i_c$  は次の通り加算する。

内翼 外翼, 第1, 第2, 第3, 第4 オーギュメンターフラップの順に全て翼根側から翼端側に縦断面機構を走査し加算する。又、

縦断面機構 A 型

内翼本体上面, 下面の順に加算する。

縦断面機構 B 型

内翼本体上面, 下面, 内翼ダクト下面, 上面, 内翼ノズル上面, 下面の順に加算する。

縦関節面内番号  $g$  の導入

縦断面機構毎の縦関節番号である縦関節面内番号  $g$  を導入し、第  $j$  縦断面機構の縦関節数を  $G_j$  とする。 $i_c$  に相当する  $g$  を次式で与える。

$$g = i_c - \sum_{k=1}^{j-1} G_k \quad (1 \leq g \leq G_j) \quad (20)$$

$g$  ,  $G_j$  に関し、次の通り設定する。

内翼

縦断面機構 A 型

翼根側, 翼端側共に

$\Delta g_{iw}$  : 上面における後端から前端の一つ後までの縦関節数

$g_{ia}$  : 内翼本体前端

$$G_j = G_{iA} = 2 \Delta g_{iw}$$

縦断面機構 B 型

$g_{ia}$  : 内翼本体前端

$g_{ib}$  : 内翼本体下面後端  
 $G_{iw,j}$  : 内翼本体の関節数

$$G_{iw,j} = 2 \Delta g_{iw} + 1$$

$g_{ic}$  : 内翼ダクト前端  
 $g_{id}$  : 内翼ダクト上面後端  
 $\Delta g_{id}$  : 上下面共, 内翼ダクト後端から前端の一つ後までの縦関節数  
 $G_{id,j}$  : 内翼ダクトの関節数

$$G_{id,j} = 2 \Delta g_{id} + 1$$

$g_{ie}$  : 内翼ノズル前端  
 $\Delta g_{in}$  : 上下面共, 内翼ノズル後端から前端の一つ後までの縦関節数  
 $G_{in,j}$  : 内翼ノズルの関節数

$$G_{in,j} = 2 \Delta g_{in} + 1$$

$$G_j = G_{iB} = G_{iw,j} + G_{id,j} + G_{ie,j}$$

外翼  
 縦断面機構 A 型  
 翼根側, 翼端側共に

$\Delta g_{ow}$  : 上面における後端から前端の一つ後までの縦関節数

$g_{oa}$  : 外翼本体前端

$$G_j = G_{oA} = 2 \Delta g_{ow} + 1$$

縦断面機構 B 型

$g_{oa}$  : 外翼本体前端  
 $g_{ob}$  : 外翼本体下面後端  
 $G_{ow,j}$  : 外翼本体の関節数

$$G_{ow,j} = 2 \Delta g_{ow} + 1$$

$g_{oc}$  : 外翼ダクト前端  
 $g_{od}$  : 外翼ダクト上面後端  
 $\Delta g_{od}$  : 上下面共, 外翼ダクト後端から前端の一つ後までの縦関節数  
 $G_{od,j}$  : 外翼ダクトの関節数

$$G_{od,j} = 2 \Delta g_{od} + 1$$

$g_{oe}$  : 外翼ノズル前端  
 $\Delta g_{on}$  : 上下面共, 外翼ノズル後端から前端の一つ後までの縦関節数  
 $G_{on,j}$  : 外翼ノズルの関節数

$$G_{on,j} = 2 \Delta g_{on} + 1$$

$$G_j = G_{oB} = G_{ow,j} + G_{od,j} + G_{on,j}$$

第 1 オーギュメンターフラップ  
 縦断面機構 A 型  
 $g_{1a}$  前端

$$G_j = G_{f1A}$$

第 2 オーギュメンターフラップ  
 縦断面機構 A 型

$g_{2a}$  前端

$$G_j = G_{f2A}$$

第 3 オーギュメンターフラップ  
 縦断面機構 A 型

$g_{3a}$  前端

$$G_j = G_{f3A}$$

第 4 オーギュメンターフラップ  
 縦断面機構 A 型

$g_{4a}$  前端

$$G_j = G_{f4A}$$

無次元化表記の導入  
 以後, 翼根半弦長  $b$  による無次元化表記

$$\bar{(\quad)} = \frac{1}{b} \cdot (\quad) \text{ を導入する.}$$

## 2-2-2. 内翼翼根側の縦断面機構 A 型の関節配置

第  $j$  縦断面機構の  $y$  方向位置を  $y_{iwm,j}$  と表す。

$y_{iwm,j}$  の範囲は  $0 \leq y_{iwm,j} < y_1$  である。

第  $j$  縦断面機構の内翼本体の翼弦中心座標  $x_{iwm,j}$ ,  $y_{iwm,j}$ , 半弦長  $c_{iw}(y_{iwm,j})$ , 内翼本体前端的縦関節内番号  $g_{ia}$  を用いて縦関節座標を次の通り表す。

内翼本体 後端 ( $g=1$ )

$$x_{ic} = x_{iwm,j} + c_{iw}(y_{iwm,j}) \quad (21-1)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

$$z_{ic} = 0 \quad (21-3)$$

$b$  で無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} + \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \quad (c-1)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\bar{z}_{ic} = 0 \quad (c-3)$$

内翼本体 上面 ( $1 \leq g \leq g_{ia} - 1$ )

$g_{ia} - 1 = \Delta g_{iw}$  より ( $1 \leq g \leq \Delta g_{iw}$ )

$$x_{ic} = x_{iwm,j} + c_{iw}(y_{iwm,j}) - \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{(g_{ia} - 1)} \cdot (g - 1)$$

$$= x_{iwm,j} + c_{iw}(y_{iwm,j}) - \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - 1) \quad (21-4)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

(13-2), (13-3) 式を適用して

$$z_{ic} = z_U(x_{ic}) = \frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} z_U(x_{ic})$$

$$= \frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} \sqrt{x_{ic}} \left( \frac{-1}{2b} x_{ic} + 1 \right) \quad (21-5)$$

$$\bar{x}_{ic} = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}))}{c_{iw}(y_{iwm,j})} \quad (21-6)$$

$b$  で無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} + \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) - \frac{2 \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - 1) \quad (c-4)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\bar{z}_{ic} = \bar{z}_U(b \cdot \bar{x}_{ic}) = \frac{1}{b} \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \sqrt{b \cdot \bar{x}_{ic}} \left( \frac{-1}{2} \bar{x}_{ic} + 1 \right) \quad (c-5)$$

$$\bar{x}_{ic} = \frac{\bar{x}_{iwm,j} - (\bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}))}{\bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})} \quad (c-6)$$

内翼本体

前端  $(g = g_{ia})$   
 $x_{ic} = x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}) \quad (21-7)$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

$$z_{ic} = 0 \quad (21-3)$$

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \quad (c-7)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\bar{z}_{ic} = 0 \quad (c-3)$$

内翼本体 下面  $(g_{ia} + 1 \leq g \leq G_{ia})$

$$G_{ia} = 2g_{ia} - 2 \quad (21-8)$$

$$g_{ia} - 1 = \Delta g_{iw} \text{ より } (\Delta g_{iw} + 2 \leq g \leq 2\Delta g_{iw})$$

$$\begin{aligned} x_{ic} &= x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}) + \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{(g_{ia} - 1)} \cdot (g - g_{ia}) \\ &= x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}) + \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - \Delta g_{iw} - 1) \end{aligned} \quad (21-9)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

(13-2), (13-3), (13-4) 式を適用して

$$\begin{aligned} z_{ic} &= z_L(x_{ic}) = -\frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} z_U(\mathbf{x}_{ic}) \\ &= -\frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} \sqrt{\mathbf{x}_{ic}} \left( \frac{-1}{2b} \mathbf{x}_{ic} + 1 \right) \end{aligned} \quad (21-10)$$

$$\mathbf{x}_{ic} = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}))}{c_{iw}(y_{iwm,j})} \quad (21-6)$$

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) + \frac{2 \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - \Delta g_{iw} - 1) \quad (c-8)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\bar{z}_{ic} = \bar{z}_L(b \cdot \bar{x}_{ic}) = \frac{-1}{b} \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \sqrt{b \cdot \bar{x}_{ic}} \left( \frac{-1}{2} \bar{x}_{ic} + 1 \right) \quad (c-9)$$

$$\bar{x}_{ic} = \frac{\bar{x}_{iwm,j} - (\bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}))}{\bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})} \quad (c-6)$$

### 2-2-3. 内翼の縦断面機構 B 型の関節配置

第  $j$  縦断面機構の内翼本体の翼弦中心座標  $x_{iwm,j}$ ,  $y_{iwm,j}$  半弦長  $c_{iw}(y_{iwm,j})$  を用いて縦関節座標を次の通り表す。

$$\begin{aligned} (y_1 \leq y_{iwm,j} < y_2) \\ \text{内翼本体 上面 } & \quad (1 \leq g \leq g_{ia} - 1) \\ g_{ia} - 1 &= \Delta g_{iw} \text{ より } (1 \leq g \leq \Delta g_{iw}) \\ x_{ic} &= x_{iwm,j} + c_{iw}(y_{iwm,j}) - \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{(g_{ia} - 1)} \cdot (g - 1) \\ &= x_{iwm,j} + c_{iw}(y_{iwm,j}) - \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - 1) \end{aligned} \quad (21-4)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

(13-2), (13-3) 式を適用して

$$\begin{aligned} z_{ic} &= z_U(x_{ic}) = \frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} z_U(\mathbf{x}_{ic}) \\ &= \frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} \sqrt{\mathbf{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2b} (1 - k \sqrt{2b}) \mathbf{x}_{ic} + 1 \right\} \end{aligned} \quad (21-5)$$

$$\mathbf{x}_{ic} = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}))}{c_{iw}(y_{iwm,j})} \quad (21-6)$$

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} + \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) - \frac{2 \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - 1) \quad (c-4)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\begin{aligned} \bar{z}_{ic} &= \bar{z}_U(b \cdot \bar{x}_{ic}) \\ &= \frac{1}{b} \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \sqrt{b \cdot \bar{x}_{ic}} \left( \frac{-1}{2} (1 - k \sqrt{2b}) \bar{x}_{ic} + 1 \right) \end{aligned} \quad (c-10)$$

$$\bar{x}_{ic} = \frac{\bar{x}_{iwm,j} - (\bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}))}{\bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})} \quad (c-6)$$

内翼本体 前端  $(g = g_{ia})$

$$x_{ic} = x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}) \quad (21-7)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

$$z_{ic} = 0 \quad (21-3)$$

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \quad (c-7)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\bar{z}_{ic} = 0 \quad (c-3)$$

内翼本体 下面  $(g_{ia} + 1 \leq g \leq g_{ib})$

上下対称とするため  $g_{ib} = 2g_{ia} - 1$  と設定して  
 $(g_{ia} + 1 \leq g \leq 2g_{ia} - 1)$  更に  $g_{ia} - 1 = \Delta g_{iw}$  より  
 $(\Delta g_{iw} + 2 \leq g \leq 2\Delta g_{iw} + 1)$

$$\begin{aligned} x_{ic} &= x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}) + \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{(g_{ia} - 1)} \cdot (g - g_{ia}) \\ &= x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}) + \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - \Delta g_{iw} - 1) \end{aligned} \quad (21-9)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

(13-2), (13-3), (13-4) 式を適用して

$$z_{ic} = z_L(x_{ic}) = -\frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} z_U(\mathbf{x}_{ic})$$

$$= -\frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} \sqrt{\mathbf{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2b} (1-k\sqrt{2b}) \mathbf{x}_{ic} + 1 \right\}$$
(21-10)

$$\mathbf{x}_k = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}))}{c_{iw}(y_{iwm,j})}$$
(21-6)

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) + \frac{2 \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - \Delta g_{iw} - 1)$$
(c-8)

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j}$$
(c-2)

$$\bar{z}_{ic} = \bar{z}_L(b \cdot \bar{x}_{ic})$$

$$= \frac{-1}{b} \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \sqrt{b \cdot \bar{x}_{ic}} \left( \frac{-1}{2} (1-k\sqrt{2b}) \bar{x}_{ic} + 1 \right)$$
(c-11)

$$\bar{\mathbf{x}}_{ic} = \frac{\bar{x}_{ic} - (\bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}))}{\bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})}$$
(c-6)

第j縦断面機構の内翼ダクトの翼弦中心座標  $x_{idm,j}$ ,  $y_{idm,j}$  半弦長  $c_{id}(y_{idm,j})$  を用いて縦関節座標を次の通り表す。

内翼ダクト下面  $(g_{ib}+1 \leq g \leq g_{ic}-1)$

$$g_{ic}-1 = g_{ib} + \Delta g_{id}$$

$$g_{ib} = 2g_{ia} - 1$$

$$g_{ia} - 1 = \Delta g_{iw} \text{ より}$$

$$g_{ib} + 1 = 2\Delta g_{iw} + 2$$

$$g_{ic} - 1 = 2\Delta g_{iw} + \Delta g_{id} + 1$$
(22-1)

よってgの範囲は

$$(2\Delta g_{iw} + 2 \leq g \leq 2\Delta g_{iw} + \Delta g_{id} + 1)$$

$$x_{ic} = x_{idm,j} + c_{id}(y_{idm,j}) - \frac{2 \cdot c_{id}(y_{idm,j})}{\Delta g_{id}} \cdot (g - 2\Delta g_{iw} - 2)$$
(22-2)

$$y_{ic} = y_{idm,j}$$
(22-3)

(14-2), (14-3), (14-4), (13-4) 式を適用して

$$z_{ic} = z_L(x_{ic}) = -r_{id} \cdot \frac{c_{id}(y_{idm,j})}{b} z_U(\mathbf{x}_{ic})$$

$$= -r_{id} \cdot \frac{c_{id}(y_{idm,j})}{b} \sqrt{\mathbf{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2b} (1-k\sqrt{2b}) \mathbf{x}_{ic} + 1 \right\}$$

$$\mathbf{x}_k = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{idm,j} - c_{id}(y_{idm,j}))}{c_{id}(y_{idm,j})}$$
(22-5)

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{idm,j} + \bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j}) - \frac{2 \cdot \bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j})}{\Delta g_{id}} \cdot (g - 2\Delta g_{iw} - 2)$$
(c-12)

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{idm,j}$$
(c-13)

$$\bar{z}_{ic} = \bar{z}_L(b \cdot \bar{x}_{ic})$$

$$= \frac{-1}{b} r_{id} \cdot \bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j}) \sqrt{b \cdot \bar{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2} (1-k\sqrt{2b}) \bar{x}_{ic} + 1 \right\}$$
(c-14)

$$\bar{\mathbf{x}}_{ic} = \frac{\bar{x}_{ic} - (\bar{x}_{idm,j} - \bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j}))}{\bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j})}$$
(c-15)

内翼ダクト 前端  $(g = g_{ic})$

$$x_{ic} = x_{idm,j} - c_{id}(y_{idm,j})$$
(22-6)

$$y_{ic} = y_{idm,j}$$
(22-7)

$$z_{ic} = 0$$
(21-3)

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{idm,j} - \bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j})$$
(c-16)

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{idm,j}$$
(c-13)

$$\bar{z}_{ic} = 0$$
(c-3)

内翼ダクト上面  $(g_{ic}+1 \leq g \leq g_{id})$

$$g_{id} = g_{ic} + \Delta g_{id}$$
(22-8)

$$g_{ic} - 1 = 2\Delta g_{iw} + \Delta g_{id} + 1$$
(22-1)

よりgの範囲は

$$(2\Delta g_{iw} + \Delta g_{id} + 3 \leq g \leq 2\Delta g_{iw} + \Delta g_{id} + 2 + \Delta g_{id})$$

$$x_{ic} = x_{idm,j} - c_{id}(y_{idm,j}) + \frac{2 \cdot c_{id}(y_{idm,j})}{\Delta g_{id}} \cdot (g - g_{ic})$$
(22-9)

$$y_{ic} = y_{idm,j}$$
(22-7)

(14-2), (14-3), (14-4) 式を適用して

$$z_{ic} = z_U(x_{ic}) = \frac{c_{id}(y_{idm,j})}{b} z_U(\mathbf{x}_{ic})$$

$$= r_{id} \cdot \frac{c_{id}(y_{idm,j})}{b} \sqrt{\mathbf{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2b} (1-k\sqrt{2b}) \mathbf{x}_{ic} + 1 \right\}$$
(22-10)

$$\mathbf{x}_k = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{idm,j} - c_{id}(y_{idm,j}))}{c_{id}(y_{idm,j})}$$
(22-5)

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{idm,j} - \bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j}) + \frac{2 \cdot \bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j})}{\Delta g_{id}} \cdot (g - g_{ic})$$
(c-17)

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{idm,j}$$
(c-13)

$$\bar{z}_{ic} = \bar{z}_U(b \cdot \bar{x}_{ic})$$

$$= \frac{1}{b} r_{id} \cdot \bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j}) \sqrt{b \cdot \bar{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2} (1-k\sqrt{2b}) \bar{x}_{ic} + 1 \right\}$$
(c-18)

$$\bar{\mathbf{x}}_{ic} = \frac{\bar{x}_{ic} - (\bar{x}_{idm,j} - \bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j}))}{\bar{c}_{id}(b \cdot \bar{y}_{idm,j})}$$
(c-15)

第j縦断面機構の内翼ノズルの翼弦中心座標

$x_{inm,j}$ ,  $y_{inm,j}$  半弦長  $c_{in}(y_{inm,j})$  を用いて縦関節座標を次の通り表す。

$$\text{内翼ノズル上面} \quad (g_{id}+1 \leq g \leq g_{ie}-1) \quad (23-8)$$

$$g_{id} = g_{ic} + \Delta g_{id} \quad (22-8)$$

$$g_{ic} - 1 = 2\Delta g_{iw} + \Delta g_{id} + 1 \quad (22-1)$$

$$g_{ic} - 1 = g_{id} + \Delta g_{in} \quad (23-1)$$

より  $g$  の範囲は

$$(2\Delta g_{iw} + 2\Delta g_{id} + 3 \leq g \leq 2\Delta g_{iw} + 2\Delta g_{id} + 2 + \Delta g_{in})$$

$$\begin{aligned} x_{ic} &= x_{inn,j} + c_{in}(y_{inn,j}) - \frac{2 \cdot c_{in}(y_{inn,j})}{\Delta g_{in}} \cdot (g - g_{id} - 1) \\ &= x_{inn,j} + c_{in}(y_{inn,j}) - \frac{2 \cdot c_{in}(y_{inn,j})}{\Delta g_{in}} \cdot (g - 2\Delta g_{iw} - 2\Delta g_{id} - 3) \end{aligned} \quad (23-2)$$

$$y_{ic} = y_{inn,j} \quad (23-3)$$

(15-2), (15-3), (15-4) 式を適用して

$$\begin{aligned} z_{ic} &= z_U(x_{ic}) = r_{in} \cdot \frac{c_{in}(y_{inn,j})}{b} z_U(\mathbf{x}_{ic}) \\ &= r_{in} \cdot \frac{c_{in}(y_{inn,j})}{b} \sqrt{\mathbf{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2b} (1 - k\sqrt{2b}) \mathbf{x}_{ic} + 1 \right\} \end{aligned} \quad (23-4)$$

$$\mathbf{x}_{ic} = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{inn,j} - c_{in}(y_{inn,j}))}{c_{in}(y_{inn,j})} \quad (23-5)$$

b で無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{inn,j} + \bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j})$$

$$-\frac{2 \cdot \bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j})}{\Delta g_{in}} \cdot (g - 2\Delta g_{iw} - 2\Delta g_{id} - 3) \quad (c-19)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{inn,j} \quad (c-20)$$

$$\begin{aligned} \bar{z}_{ic} &= \bar{z}_U(b \cdot \bar{x}_{ic}) \\ &= \frac{1}{b} \cdot r_{in} \cdot \bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j}) \sqrt{b \cdot \bar{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2} (1 - k\sqrt{2b}) \bar{x}_{ic} + 1 \right\} \end{aligned} \quad (c-21)$$

$$\bar{\mathbf{x}}_{ic} = \frac{\bar{x}_{ic} - (\bar{x}_{inn,j} - \bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j}))}{\bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j})} \quad (c-22)$$

内翼ノズル前端  $(g = g_{ie})$

$$x_{ic} = x_{inn,j} - c_{in}(y_{inn,j}) \quad (23-6)$$

$$y_{ic} = y_{inn,j} \quad (21-3)$$

$$z_{ic} = 0 \quad (21-3)$$

b で無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{inn,j} - \bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j}) \quad (c-23)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{inn,j} \quad (c-20)$$

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

内翼ノズル下面  $(g_e + 1 \leq g \leq G_{iB})$

$$G_{iB} = g_{ic} + \Delta g_{in} \quad (23-7)$$

$$g_{id} = g_{ic} + \Delta g_{id} \quad (22-8)$$

$$g_{ic} - 1 = 2\Delta g_{iw} + \Delta g_{id} + 1 \quad (22-1)$$

$$g_{ic} - 1 = g_{id} + \Delta g_{in} \quad (23-1)$$

より  $g$  の範囲は

$$(2\Delta g_{iw} + 2\Delta g_{id} + 2 + \Delta g_{ic} + 2 \leq g \leq G_{iB})$$

$$\begin{aligned} x_{ic} &= x_{inn,j} - c_{in}(y_{inn,j}) + \frac{2 \cdot c_{in}(y_{inn,j})}{\Delta g_{ic}} \cdot (g - g_{ic}) \\ &= x_{inn,j} - c_{in}(y_{inn,j}) \\ &\quad + \frac{2 \cdot c_{in}(y_{inn,j})}{\Delta g_{ic}} \cdot (g - 2\Delta g_{iw} - \Delta g_{id} - 2 - \Delta g_{id} - \Delta g_{ic} - 1) \end{aligned}$$

$$y_{ic} = y_{inn,j} \quad (21-3)$$

(15-2), (15-3), (15-4), (13-4) 式を適用して

$$\begin{aligned} z_{ic} &= z_L(x_{ic}) = -r_{in} \cdot \frac{c_{in}(y_{inn,j})}{b} z_U(\mathbf{x}_{ic}) \\ &= -r_{in} \cdot \frac{c_{in}(y_{inn,j})}{b} \sqrt{\mathbf{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2b} (1 - k\sqrt{2b}) \mathbf{x}_{ic} + 1 \right\} \end{aligned} \quad (23-9)$$

$$\mathbf{x}_{ic} = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{inn,j} - c_{in}(y_{inn,j}))}{c_{in}(y_{inn,j})} \quad (23-5)$$

b で無次元化して

$$\begin{aligned} \bar{x}_{ic} &= \bar{x}_{inn,j} - \bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j}) \\ &\quad + \frac{2 \cdot \bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j})}{\Delta g_{ic}} \cdot (g - 2\Delta g_{iw} - \Delta g_{id} - 2 - \Delta g_{id} - \Delta g_{ic} - 1) \end{aligned} \quad (c-24)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{inn,j} \quad (c-20)$$

$$\begin{aligned} \bar{z}_{ic} &= \bar{z}_L(b \cdot \bar{x}_{ic}) \\ &= \frac{-1}{b} \cdot r_{in} \cdot \bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j}) \sqrt{b \cdot \bar{x}_{ic}} \left\{ \frac{-1}{2} \cdot (1 - k\sqrt{2b}) \bar{x}_{ic} + 1 \right\} \end{aligned} \quad (c-25)$$

$$\bar{\mathbf{x}}_{ic} = \frac{\bar{x}_{ic} - (\bar{x}_{inn,j} - \bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j}))}{\bar{c}_{in}(b \cdot \bar{y}_{inn,j})} \quad (c-22)$$

## 2-2-4. 内翼翼端側の縦断面機構 A 型の関節配置

第  $j$  縦断面機構の内翼本体の翼弦中心座標  $x_{iwm,j}$ ,  $y_{iwm,j}$  半弦長  $c_{iw}(y_{iwm,j})$  を用いて縦関節座標を次の通り表す。

$$(y_2 \leq y_{iwm,j} \leq y_3)$$

内翼本体 後端  $(g=1)$

$$x_{ic} = x_{iwm,j} + c_{iw}(y_{iwm,j}) \quad (21-1)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

$$z_{ic} = 0 \quad (21-3)$$

b で無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} + \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \quad (c-1)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\bar{z}_{ic} = 0 \quad (c-3)$$

内翼本体 上面  $(1 \leq g \leq g_{ia} - 1)$

$$g_{ia} - 1 = \Delta g_{iw} \text{ より } (1 \leq g \leq \Delta g_{iw})$$

$$x_{ic} = x_{iwm,j} + c_{iw}(y_{iwm,j}) - \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{(g_{ia} - 1)} \cdot (g - 1)$$

$$= x_{iwm,j} + c_{iw}(y_{iwm,j}) - \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - 1) \quad (21-4)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

(13-2) , (13-3) 式を適用して

$$\begin{aligned} z_{ic} &= z_U(x_{ic}) = \frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} z_U(\mathbf{x}_{ic}) \\ &= \frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} \sqrt{\mathbf{x}_{ic}} \left( \frac{-1}{2b} \mathbf{x}_{ic} + 1 \right) \end{aligned} \quad (21-5)$$

$$\mathbf{x}_\# = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}))}{c_{iw}(y_{iwm,j})} \quad (21-6)$$

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} + \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) - \frac{2 \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g-1) \quad (c-4)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\bar{z}_{ic} = \bar{z}_U(b \cdot \bar{\mathbf{x}}_{ic}) = \frac{1}{b} \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \sqrt{b \cdot \bar{\mathbf{x}}_{ic}} \left( \frac{-1}{2} \bar{\mathbf{x}}_{ic} + 1 \right) \quad (c-5)$$

$$\bar{\mathbf{x}}_{ic} = \frac{\bar{x}_{ic} - (\bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}))}{\bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})} \quad (c-6)$$

内翼本体 前端 ( $g = g_{ia}$ )

$$x_{ic} = x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}) \quad (21-7)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

$$z_{ic} = 0 \quad (21-3)$$

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \quad (c-7)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\bar{z}_{ic} = 0 \quad (c-3)$$

内翼本体 下面 ( $g_{ia} + 1 \leq g \leq G_{iA}$ )

$$G_{iA} = 2g_{ia} - 2 \quad (21-8)$$

$$g_{ia} - 1 = \Delta g_{iw} \text{ より } (\Delta g_{iw} + 2 \leq g \leq 2\Delta g_{iw})$$

$$\begin{aligned} x_{ic} &= x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}) + \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{(g_{ia} - 1)} \cdot (g - g_{ia}) \\ &= x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}) + \frac{2 \cdot c_{iw}(y_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - \Delta g_{iw} - 1) \end{aligned} \quad (21-9)$$

$$y_{ic} = y_{iwm,j} \quad (21-2)$$

(13-2) , (13-3) , (13-4) 式を適用して

$$\begin{aligned} z_{ic} &= z_L(x_{ic}) = -\frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} z_U(\mathbf{x}_{ic}) \\ &= -\frac{c_{iw}(y_{iwm,j})}{b} \sqrt{\mathbf{x}_{ic}} \left( \frac{-1}{2b} \mathbf{x}_{ic} + 1 \right) \end{aligned} \quad (21-10)$$

$$\mathbf{x}_\# = b \cdot \frac{x_{ic} - (x_{iwm,j} - c_{iw}(y_{iwm,j}))}{c_{iw}(y_{iwm,j})} \quad (21-6)$$

bで無次元化して

$$\bar{x}_{ic} = \bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) + \frac{2 \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})}{\Delta g_{iw}} \cdot (g - \Delta g_{iw} - 1) \quad (c-8)$$

$$\bar{y}_{ic} = \bar{y}_{iwm,j} \quad (c-2)$$

$$\bar{z}_{ic} = \bar{z}_L(b \cdot \bar{\mathbf{x}}_{ic}) = \frac{-1}{b} \cdot \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}) \sqrt{b \cdot \bar{\mathbf{x}}_{ic}} \left( \frac{-1}{2} \bar{\mathbf{x}}_{ic} + 1 \right) \quad (c-9)$$

$$\bar{\mathbf{x}}_{ic} = \frac{\bar{x}_{ic} - (\bar{x}_{iwm,j} - \bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j}))}{\bar{c}_{iw}(b \cdot \bar{y}_{iwm,j})} \quad (c-6)$$

### 3.結論

IOM 計算則を適用する内翼,外翼,フラップの系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,外翼,フラップの平面形,翼断面形状の設定に基づき,縦断面機構および横断面機構の関節座標を定式化し,無次元化を行った。更に,縦関節通番を指定して縦関節の属する縦断面機構番号を与える式の導入を検討した。

### 4.今後の課題

関節座標系を計算出力するフローチャートを形成し,関節座標の式が有するパラメータを体系的に把握し,その走査方法を検討する。

更に内翼,外翼,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。