

3B10 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

2022年10月13日

衣川 摂哉

エンジン翼について

エンジン翼は機体の飛行を実現するため、翼体系が形態変形を行うことにより空力加速度ベクトルの高い任意性を実現することを大きな特徴とする。

エンジン翼は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。

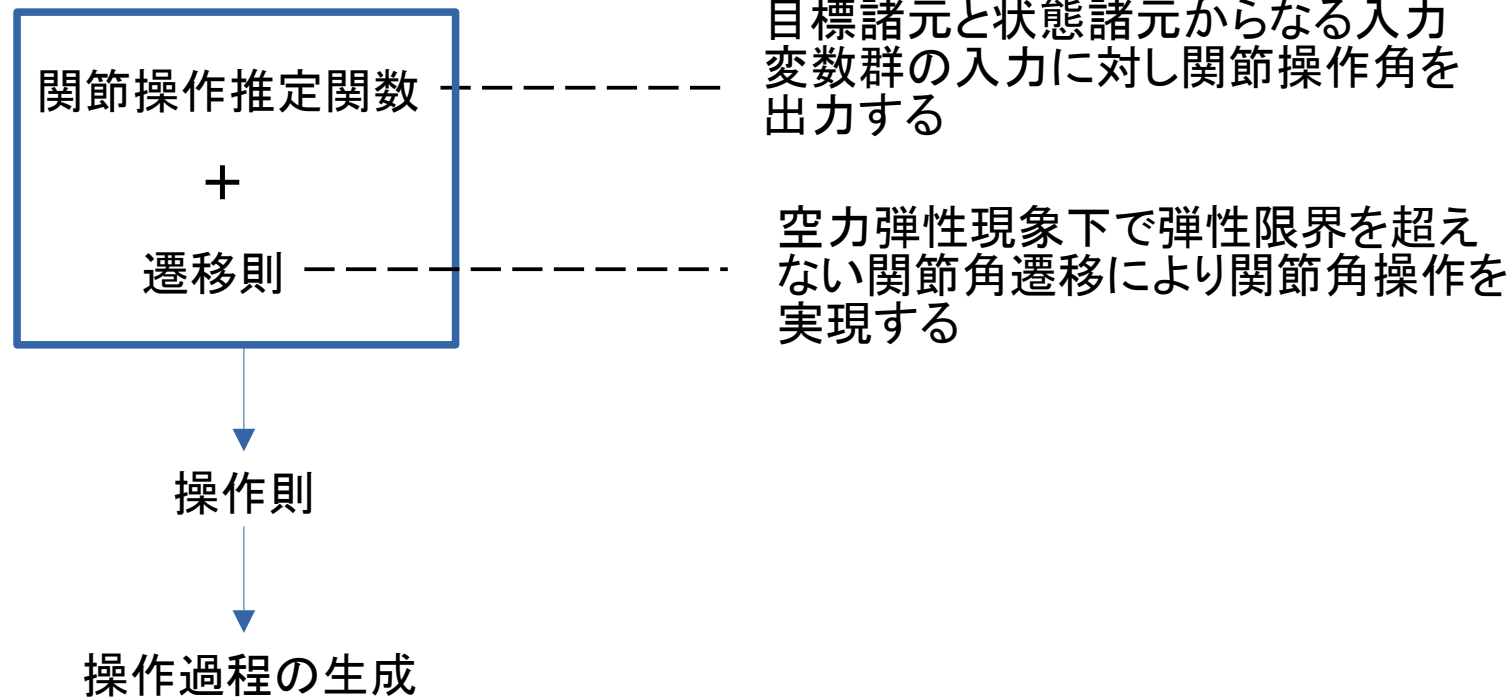
エンジン翼開拓の方法と課題

エンジン翼では保持体の曲げ捩り変形の発生下で、内翼の関節格子機構の関節操作による形態変形が重要である。

これまで、飛行中の形態変形の過程即ち形態過程は基準形態の遷移過程である基準化過程と、空力弾性変形を抑制する空力弾性対応過程と、加速度ベクトルを把握して変更する操作過程の重ね合わせとして考え、操作過程だけについて具体化を試みてきた。

これに対し今後は、空力弾性対応過程と操作過程の重ね合わせを具体化し、空力弾性変形を抑制するに留まらず空力弾性現象を取り込んだ操作過程を考え、飛行中の形態過程を基準化過程と空力弾性現象下の操作過程の重ね合わせとして捉える。

課題解決への開拓試行



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。

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の開拓を試みる。

翼諸元及び関節設定と初期操作則の開拓法

縦断面機構番号 j (翼根側から翼端側へ $1 \sim J_0$)

縦関節番号 g (各縦断面機構毎に $g=1 \sim G_0$)

横断面機構番号 n (前縁側から後縁側へ $n=1 \sim N_0$)

横関節番号 h (各横断面機構に共通して $h=4(J_0-1)$)

縦関節の配置と個数

縦関節数 $G_{0,j}$ は全ての縦断面機構で同一とする.

横関節の配置と個数

横断面機構の個数

内翼本体 na 個

ダクト nb 個

ノズル nc 個

全ての横断面機構の横関節数 $4(J_0-1)$ 個

横関節の総数 $(na+nb+nc) \times 4(J_0-1)$

初期操作則の開拓

目標入力に対し試行操作を行い、測定誤差を評価する.

試行操作を走査して誤差評価の良好な試行操作を見出し目標入力に試行操作を対応付ける.

目標入力の設定範囲を形成し、設定範囲の夫々の目標入力に対し試行操作を対応付け、初期操作則を形成する.

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.

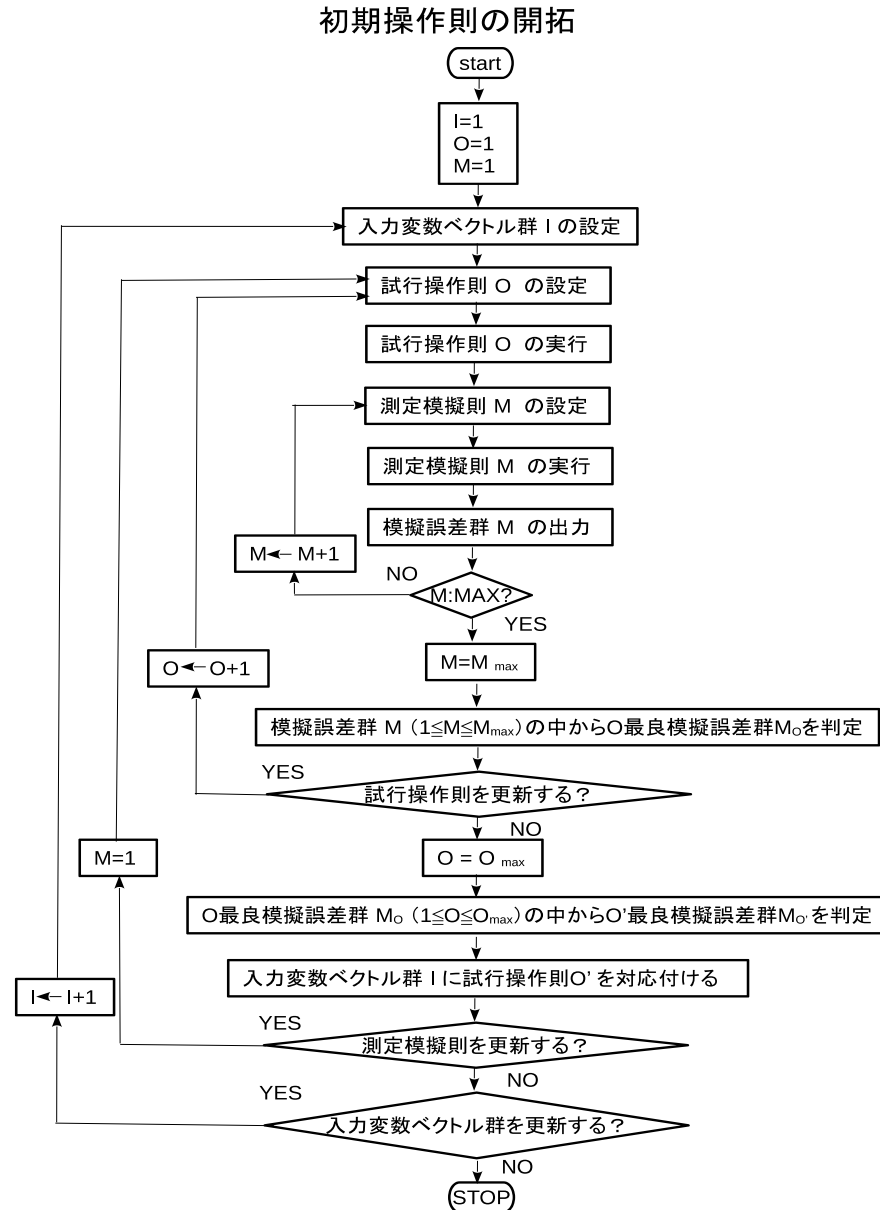
入力変数群にデータを割り当てる入力値群(INPUT), 試行操作則(OPERATION), 測定模擬則(MEASURE)を具体化してIOM計算則を構成する.

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.

入力操作番号I, 試行走査番号O, 模擬走査を導入して
初期操作則開拓のフローチャートを示す.



模擬誤差群の中で最大誤差が最も少ないものを最良模擬誤差群と判定する.

図1 初期操作則開拓のフローチャート

次に、IOM計算則の設定を具体化する

1) 入力変数群I1の設定

目標加速度増分ベクトル、 $\vec{\Delta A}^t: (\Delta A_x^t, \Delta A_y^t, \Delta A_z^t)$

目標モーメント増分ベクトル、 $\vec{\Delta N}^t: (\Delta N_x^t, \Delta N_y^t, \Delta N_z^t)$

速度、加速度、姿勢、形態、高度等の飛行状態を表す
測定値からなる飛行変数群 $P^f: (p_1^f, \dots, p_i^f, \dots, p_{I_p}^f)$

を与える入力変数群 T を次の通り表す。

$$T=(\vec{\Delta A}^t, \vec{\Delta N}^t, P^f)$$
$$P^f: (\vec{V}, \vec{A}, \vec{N}, H, \alpha, \beta, \gamma, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \vec{\theta}, \vec{\varphi})$$
$$\vec{\Delta A}^t=(\Delta A_x^t, \Delta A_y^t, \Delta A_z^t)$$
$$\vec{\Delta N}^t=(\Delta N_x^t, \Delta N_y^t, \Delta N_z^t)$$

(1-1)

1-1)入力変数群I1-1の設定

入力変数群Tを目標変数群

$$T^t=\Delta A_x^t, \Delta A_y^t, \Delta A_z^t$$

(1-2)

飛行変数群

$$P^f=\vec{V}, \vec{A}, \vec{N}, H, \alpha, \beta, \gamma, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}$$

(1-3)

により次の通り表す。

$$T=(T^t, P^f)$$

(1-4)

そして、各入力変数に値を与え 第p目標変数値群

$$[T^t]^p=[\Delta A_x^t, \Delta A_y^t, \Delta A_z^t]^p$$

(1-5)

第q飛行変数値群

$$[P^f]^q=[\vec{V}, \vec{A}, \vec{N}, H, \alpha, \beta, \gamma, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}]^q$$

(1-6)

により(p, q)入力値群

$$[T]^{(p, q)}=([T^t]^p, [P^f]^q)$$

(1-7)

を生成する。更に、複数の(p, q)入力値群により

第r入力(1<r<R0)を構成し、第r入力の(p, q)入力値群を

$$[T]_r^{(p, q)}=([T^t]_r^p, [P^f]_r^q)$$

(1-8)

と表す。

第r入力を次の通り設定する。

$$[T^t]_r^p=[\Delta A_x^t, \Delta A_y^t, \Delta A_z^t]_r^p$$

(1-9)

を次の通り表す。

ΔA_x^t の上限値 $[\Delta A_x^t]^U$, 下限値 $[\Delta A_x^t]_L$, 均等分割数 N_E を用いて $[\Delta A_x^t]_r^p$ を次式で表す。

$$[\Delta A_x^t]_r^p = [\Delta A_x^t]_L + n^{p_1} \times ([\Delta A_x^t]^U - [\Delta A_x^t]_L) / N_E$$

(1-10)

($0 \leq n^{p_1} \leq N_E$)

同様に, $[\Delta A_y^t]_r^p$ を次式で表す。

$$[\Delta A_y^t]_r^p = [\Delta A_y^t]_L + n^{p_2} \times ([\Delta A_y^t]^U - [\Delta A_y^t]_L) / N_E$$

(1-11)

($0 \leq n^{p_2} \leq N_E$)

同様に, $[\Delta A_z^t]_r^p$ を次式で表す。

$$[\Delta A_z^t]_r^p = [\Delta A_z^t]_L + n^{p_3} \times ([\Delta A_z^t]^U - [\Delta A_z^t]_L) / N_E$$

(1-12)

($0 \leq n^{p_3} \leq N_E$)

$$[P^f]_r^q=[\vec{V}, \vec{A}, \vec{N}, H, \alpha, \beta, \gamma, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}]_r^q$$

(1-13)

を次の通り表す。

$[P^f]_r^q$ の各入力値について $[T^t]_r^p$ と同様、 上限値 $[]^U$, 下限値 $[]_L$, 均等分割数 N_E を用いて次の通り表す。

$$[v_x]_r^q=[v_x]_L+n_1^q \cdot ([v_x]^U-[v_x]_L) / N_E$$

(1-14)

($0 \leq n^{q_1} \leq N_E$)

$$\vdots$$

$$[\dot{\alpha}]^q=[\dot{\alpha}]_L+n_{11}^q \cdot ([\dot{\alpha}]^U-[\dot{\alpha}]_L) / N_E$$

(1-15)

($0 \leq n^{q_{11}} \leq N_E$)

$$\vdots$$

$$[\ddot{\varphi}_{Is}]^q=[\ddot{\varphi}_{Is}]_L+n_E^q \cdot ([\ddot{\varphi}_{Is}]^U-[\ddot{\varphi}_{Is}]_L) / N_E$$

(1-16)

$$\text{但し、} E=3(Ic+Is)+19$$

(1-17)

($0 \leq n^{q_E} \leq N_E$)

2) 試行操作則の設定

2-1) 試行操作則O1の設定

1-1)入力変数群I1-1に適用する試行操作則O1を次の通り設定する.

関節操作推定関数の設定

入力変数群 $\mathbf{T}=(\Delta \vec{A}^t, \Delta \vec{N}^t, \mathbf{P}^f)$ (1-1)

の入力により内翼の各縦関節(通し番号 $1 \leq ic \leq Ic$),各横関節(通し番号 $1 \leq is \leq Is$)における

縦関節操作角 $\Delta \theta_{ic}$,

横関節操作角 $\Delta \varphi_{is}$

を出力する夫々縦関節操作推定関数(θ 関数)

$$\Delta \theta_{ic} = F_{ic}^{\theta}(\mathbf{T}) \quad (1 \leq ic \leq Ic)$$

横関節操作推定関数(φ 関数)

$$\Delta \varphi_{is} = F_{is}^{\varphi}(\mathbf{T}) \quad (1 \leq is \leq Is)$$

を関節操作推定関数と総称する.そしてベクトル表示

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} \Delta \theta_1 \\ \vdots \\ \Delta \theta_{ic} \\ \vdots \\ \Delta \theta_{Ic} \\ \Delta \varphi_1 \\ \vdots \\ \Delta \varphi_{is} \\ \vdots \\ \Delta \varphi_{Is} \end{pmatrix} \quad (3-1) \quad \mathbf{F}(\mathbf{T}) = \begin{pmatrix} F_1^{\theta}(\mathbf{T}) \\ \vdots \\ F_{ic}^{\theta}(\mathbf{T}) \\ \vdots \\ F_{Ic}^{\theta}(\mathbf{T}) \\ F_1^{\varphi}(\mathbf{T}) \\ \vdots \\ F_{is}^{\varphi}(\mathbf{T}) \\ \vdots \\ F_{Is}^{\varphi}(\mathbf{T}) \end{pmatrix} \quad (3-2)$$

を用いて次式で表される.

$$\mathbf{D} = \mathbf{F}(\mathbf{T}) \quad (3-3)$$

遷移則の設定

$$\delta \theta_{g,j}(t) \quad 0 \leq t \leq \Delta \tau$$

$$\delta \theta_{g,j}(0) = 0, \delta \theta_{g,j}(\Delta \tau) = \Delta \theta_{g,j} \text{ を満たす任意の関数}$$

$$\delta \varphi_{h,n}(t) \quad 0 \leq t \leq \Delta \tau$$

$$\delta \varphi_{h,n}(0) = 0, \delta \varphi_{h,n}(\Delta \tau) = \Delta \varphi_{h,n} \text{ を満たす任意の関数}$$

2-1-1)試行操作則O1-1

試行操作則1を具体化した試行操作則O1-1を次の通り与える.

第 j 縦断面機構($j=1 \sim J_0$)における第 g 縦関節の縦関節操作量 $\Delta \theta_{g,j}$ を次の通り設定する.

(2-1) 全ての縦断面機構に共通な関節番号 g_{max} の縦関節で最大値

$$\Delta \theta_{g,j} = \Delta \theta_{max} \quad (4-1)$$

(2-2) とする. $\Delta \theta_{max}$, g_{max} を次の通り与える.

$$\Delta \theta_{max} = \Delta A_x^t / |\Delta \vec{A}^t| \quad (4-2)$$

$$g_{max} = \frac{1}{2} G_0 (1 - \Delta A_x^t / |\Delta A^t|) + 1 \quad (4-3)$$

g_{max} 以外の関節番号の縦関節で

$$\Delta \theta_{\check{g},j} = r \Delta \theta_{max} \quad (0 < r < 1, j=1 \sim J_0) \quad (4-4)$$

とする.

第 n 横断面機構($n=1\sim N_0$)における第 h 横関節の横関節
操作量 $\Delta\varphi_{h,n}$ を次の通り設定する.

全ての横断面機構に共通な関節番号 h_{max} の横関節
で最大値

$$\Delta\varphi_{h,n}=\Delta\varphi_{max} \tag{4-5}$$

とする.
 $\Delta\varphi_{max}$, h_{max} を次の通り与える.

$$\Delta\varphi_{max}=\Delta A_y^t/|\Delta\vec{A}^t| \tag{4-6}$$

$$h_{max}=\frac{1}{2}H_0(1-\Delta A_y^t/|\Delta\vec{A}^t|)+1 \tag{4-7}$$

h_{max} 以外の関節番号の横関節で

$$\Delta\varphi_{h,n}=s\Delta\varphi_{max} \ (0<s<1\ ,\ h=1\sim H_0) \tag{4-8}$$

とする.
試行操作則における遷移則を次の通り設定する.

$$\delta\theta_{g,j}(t) \quad 0\leq t\leq\Delta\tau \tag{4-9}$$

$$\delta\theta_{g,j}(0)=\delta\theta^0_{g,j}=0\ ,\ \delta\theta_{g,j}(\Delta\tau)=\delta\theta^{\kappa^0}_{g,j}=\Delta\theta_{g,j} \tag{4-10}$$

$$\delta\theta_{g,j}(\kappa\times\Delta\tau/\kappa_0)=\delta\theta^{\kappa}_{g,j}=\kappa/\kappa_0\times\Delta\theta_{g,j} \tag{4-11}$$

$$\delta\varphi_{h,n}(t) \quad 0\leq t\leq\Delta\tau \tag{4-12}$$

$$\delta\varphi_{h,n}(0)=\delta\varphi^0_{h,n}=0\ ,\ \delta\varphi_{h,n}(\Delta\tau)=\delta\varphi^{\kappa^0}_{h,n}=\Delta\varphi_{h,n} \tag{4-13}$$

$$\delta\varphi_{h,n}(\kappa\times\Delta\tau/\kappa_0)=\delta\varphi^{\kappa}_{h,n}=\kappa/\kappa_0\times\Delta\varphi_{h,n} \tag{4-14}$$

3) 測定模擬則の設定

3-1) 試行操作則O1に適用する測定模擬則M1

目標加速度ベクトル $\vec{A}^t$ に測定模擬加速度ベクトル $\vec{A}^m$ を対応させる測定関数 M_x, M_y, M_z を次の通り導入する.

$$A_x^m = M_x(A_x^t, A_y^t, A_z^t) \tag{5-1}$$

$$A_y^m = M_y(A_x^t, A_y^t, A_z^t) \tag{5-2}$$

測定模擬則M1

測定関数 M_x, M_y, M_z を模擬する測定模擬則M1を次の通り与える.

$$\begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \\ c_4 & c_5 & c_6 \\ c_7 & c_8 & c_9 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_x^t \\ A_y^t \\ A_z^t \end{pmatrix} \tag{5-3}$$

測定模擬則M1-1

次に測定模擬則1を簡単化した測定模擬則1-1を次の通り与える.

$$\begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_5 & 0 \\ 0 & 0 & c_9 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_x^t \\ A_y^t \\ A_z^t \end{pmatrix} \tag{5-4}$$

そして $c_1 = c_x, c_5 = c_y, c_9 = c_z$ (5-5)

と置いて測定模擬加速度ベクトル $\vec{A}^m$ を次の通り表す.

$$\begin{aligned} \vec{A}^m &= (A_x^m, A_y^m, A_z^m) \\ &= (c_x \cdot A_x^t, c_y \cdot A_y^t, c_z \cdot A_z^t) \end{aligned} \tag{5-6}$$

測定模擬則M1-1-1

次に測定模擬則M1-1の c_x, c_y, c_z を次の通り具体化する.

係数 c_x を x 操作因子関数 $f_{Dx}(D)$, x 遷移因子関数 $f_{Sx}(S)$ を用いて次の通り表す.

$$c_x = f_{Dx}(D) \cdot f_{Sx}(S) \tag{5-7}$$

係数 c_y を y 操作因子関数 $f_{Dy}(D)$, y 遷移因子関数 $f_{Sy}(S)$ を用いて次の通り表す.

$$c_y = f_{Dy}(D) \cdot f_{Sy}(S) \tag{5-8}$$

係数 c_z を z 操作因子関数 $f_{Dz}(D)$, z 遷移因子関数 $f_{Sz}(S)$ を用いて次の通り表す.

$$c_z = f_{Dz}(D) \cdot f_{Sz}(S) \tag{5-9}$$

但し

$$\begin{aligned} D &= (\Delta\theta_1, \dots, \Delta\theta_{ic}, \dots, \Delta\theta_{lc}, \Delta\varphi_1, \dots, \Delta\varphi_{is}, \dots, \Delta\varphi_{ls}) \\ &= (\Delta\theta_{1,1}, \dots, \Delta\theta_{G_0, J_0}, \Delta\varphi_{1,1}, \dots, \Delta\varphi_{H_0, N_0}) \end{aligned} \tag{5-10}$$

$f_{Sx}(S), f_{Sy}(S), f_{Sz}(S)$ は各関節の遷移積分を要素とする積分ベクトル S 即ち

$$S = (s\theta_{1,1}, s\theta_{1,2}, \dots, s\theta_{G_0, J_0}, s\varphi_{1,1}, s\varphi_{1,2}, \dots, s\varphi_{H_0, N_0}) \tag{5-11}$$

の関数で与える. 但し

$$s\theta_{g,j} = \int_0^{\Delta\tau} \delta\theta_{g,j} dt \tag{5-12}$$

$$s\varphi_{h,n} = \int_0^{\Delta\tau} \delta\varphi_{h,n} dt \tag{5-13}$$

測定模擬則M1-1-1-1

測定模擬則M1-1-1における $f_{Dx}(D)$, $fs_x(S)$, $f_{Dy}(D)$, $fs_y(S)$, $f_{Dz}(D)$, $fs_z(S)$ を次の通り具体化する.

$$f_{Dx}(D) = \Delta\theta_{max} \times g_{max} \quad (5-14)$$

$$f_{Sx}(S) = s\theta_{max} \cdot s\theta_{\check{g}} \quad (5-15)$$

$$\begin{aligned} s\theta_{max} &\equiv s\theta_{gmax,j} = \int_0^{\Delta\tau} \delta\theta_{gmax,j} dt \\ &= \Delta\theta_{max} \cdot \Delta\tau \cdot \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (5-16)$$

$$\begin{aligned} s\theta_{\check{g}} &\equiv s\theta_{\check{g},j} = \int_0^{\Delta\tau} \delta\theta_{\check{g},j} dt \\ &= r \cdot \Delta\theta_{max} \cdot \Delta\tau \cdot \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (5-17)$$

$$f_{Dy}(D) = \Delta\varphi_{max} \times h_{max} \quad (5-18)$$

$$(5-19)$$

$$f_{Sy}(S) = s\varphi_{max} \cdot s\varphi_{\check{h}}$$

$$\begin{aligned} s\varphi_{max} &\equiv s\varphi_{hmax,n} = \int_0^{\Delta\tau} \delta\varphi_{hmax,n} dt \\ &= \Delta\varphi_{max} \cdot \Delta\tau \cdot \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (5-20)$$

$$s\varphi_{\check{h}} \equiv s\varphi_{\check{h},n} = \int_0^{\Delta\tau} \delta\varphi_{\check{h},n} dt \quad (5-21)$$

$$= s \cdot \Delta\varphi_{max} \cdot \Delta\tau \cdot \frac{1}{2} \quad (5-22)$$

$$f_{Dz}(D) = \sqrt{\Delta\theta_{max}^2 + \Delta\varphi_{max}^2} \cdot \sqrt{g_{max}^2 + h_{max}^2}$$

$$\begin{aligned} f_{Sz}(S) &= \sqrt{(s\theta_{max} \cdot s\theta_{\check{g}})^2 + (s\varphi_{max} \cdot s\varphi_{\check{h}})^2} \\ &= \frac{\Delta\tau^2}{4} \sqrt{r^2 \cdot (\Delta\theta_{max})^4 + s^2 \cdot (\Delta\varphi_{max})^4} \end{aligned} \quad (5-23)$$

3.計算則1-ABCの決定

IOM計算則を様々な実際の計算過程へと具体化し、計算則系統図に表す. 最初の具体化として計算則1-ABCを決定する.

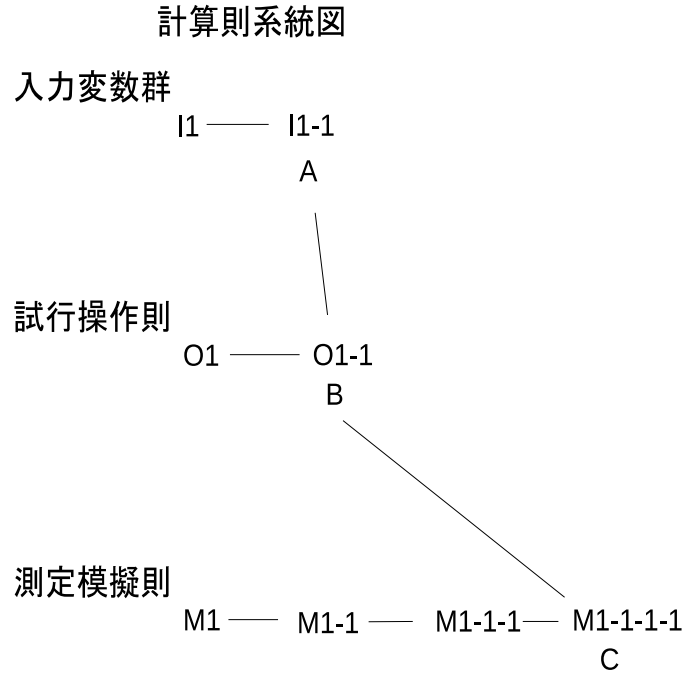


図2 計算則1-ABCの系統図

関節数の指定 l_c, l_s

1-1)入力変数群I1-1の設定

入力変数群 T を目標変数群

$$T^t = \Delta A_x^t, \Delta A_y^t, \Delta A_z^t \quad (6-1)$$

飛行変数群

$$P^f = \vec{V}, \vec{A}, \vec{N}, H, \alpha, \beta, \gamma, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \dot{\vec{\theta}}, \dot{\vec{\varphi}}, \ddot{\vec{\theta}}, \ddot{\vec{\varphi}} \quad (6-2)$$

により次の通り表す.

$$T = (T^t, P^f) \quad (6-3)$$

そして,各入力変数に値を与え 第 p 目標変数値群

$$[T^t]^p = [\Delta A_x^t, \Delta A_y^t, \Delta A_z^t]^p \quad (6-4)$$

第 q 飛行変数値群

$$[P^f]^q = [\vec{V}, \vec{A}, \vec{N}, H, \alpha, \beta, \gamma, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \dot{\vec{\theta}}, \dot{\vec{\varphi}}, \ddot{\vec{\theta}}, \ddot{\vec{\varphi}}]^q \quad (6-5)$$

により (p, q) 入力値群

$$[T]^{(p,q)} = ([T^t]^p, [P^f]^q) \quad (6-6)$$

を生成する. 更に, 複数の (p, q) 入力値群により

第 r 入力 $(1 < r < R_0)$ を構成し, 第 r 入力の (p, q) 入力値群を

$$[T]_r^{(p,q)} = ([T^t]_r^p, [P^f]_r^q) \quad (6-7)$$

と表す.

第 r 入力を次の通り設定する.

$$[T^t]_r^p = [\Delta A_x^t, \Delta A_y^t, \Delta A_z^t]_r^p \quad (6-8)$$

を次の通り表す.

ΔA_x^t の上限値 $[\Delta A_x^t]_U$, 下限値 $[\Delta A_x^t]_L$, 均等分割数 N_E を用いて $[\Delta A_x^t]_r^p$ を次式で表す.

$$[\Delta A_x^t]_r^p = [\Delta A_x^t]_L + n^{p_1} \times ([\Delta A_x^t]_U - [\Delta A_x^t]_L) / N_E \quad (6-9)$$

$(0 \leq n^{p_1} \leq N_E)$

同様に, $[\Delta A_y^t]_r^p$ を次式で表す.

$$[\Delta A_y^t]_r^p = [\Delta A_y^t]_L + n^{p_2} \times ([\Delta A_y^t]_U - [\Delta A_y^t]_L) / N_E \quad (6-10)$$

$(0 \leq n^{p_2} \leq N_E)$

同様に, $[\Delta A_z^t]_r^p$ を次式で表す.

$$[\Delta A_z^t]_r^p = [\Delta A_z^t]_L + n^p_3 \times ([\Delta A_y^t]^U - [\Delta A_y^t]_L) / N_E \quad (6-11)$$

$$(0 \leq n^p_3 \leq N_E)$$

$$[P^f]_r^q = [\vec{V}, \vec{A}, \vec{N}, H, \alpha, \beta, \gamma, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}, \vec{\theta}, \vec{\varphi}, \vec{\dot{\theta}}, \vec{\dot{\varphi}}, \vec{\ddot{\theta}}, \vec{\ddot{\varphi}}]_r^q \quad (6-12)$$

を次の通り表す.

$[P^f]_r^q$ の各入力値について $[T^t]_r^p$ と同様, 上限値
 $[]^U$, 下限値 $[]_L$, 均等分割数 N_E を用いて次の通り表す.

$$[v_x]_r^q = [v_x]^L + n^q_1 \cdot ([v_x]^U - [v_x]_L) / N_E \quad (6-13)$$

$$(0 \leq n^q_1 \leq N_E)$$

・

・

・

$$[\dot{\alpha}]_r^q = [\dot{\alpha}]^L + n^q_{11} \cdot ([\dot{\alpha}]^U - [\dot{\alpha}]_L) / N_E \quad (6-14)$$

$$(0 \leq n^q_{11} \leq N_E)$$

・

・

・

$$[\ddot{\varphi}_{Is}]_r^q = [\ddot{\varphi}_{Is}]^L + n^q_E \cdot ([\ddot{\varphi}_{Is}]^U - [\ddot{\varphi}_{Is}]_L) / N_E \quad (6-15)$$

$$\text{但し,} \quad E = 3(I_c + I_s) + 19 \quad (6-16)$$

$$(0 \leq n^q_E \leq N_E)$$

入力設定項目

上限値 $[\Delta A^t_x]^U$,下限値 $[\Delta A^t_x]^L$
上限値 $[\Delta A^t_y]^U$,下限値 $[\Delta A^t_y]^L$
上限値 $[\Delta A^t_z]^U$,下限値 $[\Delta A^t_z]^L$

$[\Delta A^t_x]_r^{\rho}$ 入力番号 n^{ρ}_1
 $[\Delta A^t_y]_r^{\rho}$ 入力番号 n^{ρ}_2
 $[\Delta A^t_z]_r^{\rho}$ 入力番号 n^{ρ}_3

$[v_x]_r^q$ 入力番号 n^q_1
 $[v_y]_r^q$ 入力番号 n^q_2
 $[v_z]_r^q$ 入力番号 n^q_3

$[A_x]_r^q$ 入力番号 n^q_4
 $[A_y]_r^q$ 入力番号 n^q_5
 $[A_z]_r^q$ 入力番号 n^q_6

$[N_x]_r^q$ 入力番号 n^q_7
 $[N_y]_r^q$ 入力番号 n^q_8
 $[N_z]_r^q$ 入力番号 n^q_9

$[H]_r^q$ 入力番号 n^q_{10}

$[\beta]_r^q$ 入力番号 n^q_{12}

$[\gamma]_r^q$ 入力番号 n^q_{13}

$[\dot{\alpha}]_r^q$ 入力番号 n^q_{14}

$[\dot{\beta}]_r^q$ 入力番号 n^q_{15}

$[\dot{\gamma}]_r^q$ 入力番号 n^q_{16}

$[\ddot{\alpha}]_r^q$ 入力番号 n^q_{17}

$[\ddot{\beta}]_r^q$ 入力番号 n^q_{18}

$[\ddot{\gamma}]_r^q$ 入力番号 n^q_{19}

$[\theta_1]_r^q$ 入力番号 n^q_{20}
▪
▪

$[\theta_{1c}]_r^q$ 入力番号 n^q_{19+1c}
 $[\varphi_1]_r^q$ 入力番号 $n^q_{19+1c+1}$
▪
▪

$[\varphi_{1s}]_r^q$ 入力番号 $n^q_{19+1c+1s}$

$[\dot{\theta}_1]_r^q$ 入力番号 $n^q_{19+1c+1s+1}$
▪

$[\dot{\theta}_{1c}]_r^q$ 入力番号 $n^q_{19+1c+1s+1c}$

$[\dot{\varphi}_1]_r^q$ 入力番号 $n^q_{19+1c+1s+1c+1}$
▪

$[\varphi_{1s}]_r^q$ 入力番号 $n^q_{19+1c+1s+1c+1s}$

$[\ddot{\theta}_1]_r^q$ 入力番号 $n^q_{19+1c+1s+1c+1s+1}$
▪

$[\ddot{\theta}_{1c}]_r^q$ 入力番号 $n^q_{19+1c+1s+1c+1s+1c}$

$[\ddot{\varphi}_1]_r^q$ 入力番号 $n^q_{19+1c+1s+1c+1s+1c+1}$

$[\ddot{\varphi}_{1s}]_r^q$ 入力番号 n^q_E

均等分割数 N_E

走査データ群の生成

n_{p_1} から n_{q_E} までの入力設定項目の中から走査入力項目 l_R を1つ選定し走査入力項目番号を n_R と表す.

l_R 以外の入力設定項目の値を与える.

l_R について $N_E + 1$ 個の均等分割データ ($0 \leq n_R \leq n_{R,E}$) を走査し, l_R 以外の入力設定項目の各値と l_R の値により構成する入力値群を $N_E + 1$ 個生成する.

2-1-1) 試行操作則 O1-1 におけるパラメータ設定
全ての縦断面機構に共通な縦基準関節番号 g_m の縦関節で $\Delta \theta_{max}$, g_m を次の通り与える.

1)
$$\Delta \theta_{max} = \Delta A_x^t / |\Delta \vec{A}^t| \tag{7-}$$

$$g_m = \frac{1}{2} G_0 (1 - \Delta A_x^t / |\Delta \vec{A}^t|) + 1 \tag{7-}$$

2)
$$\check{g}$$

g_m 以外の関節番号 の縦関節で縦操作量係数 r ($0 < r < 1$) を指定する ($j = 1 \sim J_0$)

全ての横断面機構に共通な横基準関節番号 h_m の横関節で $\Delta \varphi_{max}$, h_m を次の通り与える.

$$\Delta \varphi_{max} = \Delta A_y^t / |\Delta \vec{A}^t| \tag{7-}$$

3)
$$h_m = \frac{1}{2} H_0 (1 - \Delta A_y^t / |\Delta \vec{A}^t|) + 1 \tag{7-}$$

4)
$$\check{h}$$

h_m 以外の関節番号 $\check{h}$ の横関節で横操作量係数 s ($0 < s < 1$) を指定する. ($h = 1 \sim H_0$)

試行操作遷移時間 Δt を指定する.

測定模擬則M1-1-1-1による

測定模擬加速度ベクトル $\vec{A}^m$ の計算

$$\begin{aligned}\vec{A}^m &= (A_x^m, A_y^m, A_z^m) \\ &= (c_x \cdot A_x', c_y \cdot A_y', c_z \cdot A_z')\end{aligned}\tag{8-1}$$

$$c_x = f_{Dx}(D) \cdot f_{Sx}(S)\tag{8-2}$$

$$c_y = f_{Dy}(D) \cdot f_{Sy}(S)\tag{8-3}$$

$$c_z = f_{Dz}(D) \cdot f_{Sz}(S)\tag{8-4}$$

$$f_{Dx}(D) = \Delta \theta_{max} \times g_{max}\tag{8-5}$$

$$f_{Sx}(S) = s \theta_{max} \cdot s \theta_{\check{g}}\tag{8-6}$$

$$\begin{aligned}s \theta_{max} &\equiv s \theta_{gmax,j} = \int_0^{\Delta \tau} \delta \theta_{gmax,j} dt \\ &= \Delta \theta_{max} \cdot \Delta \tau \cdot \frac{1}{2}\end{aligned}\tag{8-7}$$

$$\begin{aligned}s \theta_{\check{g}} &\equiv s \theta_{\check{g},j} = \int_0^{\Delta \tau} \delta \theta_{\check{g},j} dt \\ &= r \cdot \Delta \theta_{max} \cdot \Delta \tau \cdot \frac{1}{2}\end{aligned}\tag{8-8}$$

$$f_{Dy}(D) = \Delta \varphi_{max} \times h_{max}\tag{8-9}$$

$$f_{Sy}(S) = s \varphi_{max} \cdot s \varphi_{\check{h}}\tag{8-10}$$

$$\begin{aligned}s \varphi_{max} &\equiv s \varphi_{hmax,n} = \int_0^{\Delta \tau} \delta \varphi_{hmax,n} dt \\ &= \Delta \varphi_{max} \cdot \Delta \tau \cdot \frac{1}{2}\end{aligned}\tag{8-11}$$

$$\begin{aligned}s \varphi_{\check{h}} &\equiv s \varphi_{\check{h},n} = \int_0^{\Delta \tau} \delta \varphi_{\check{h},n} dt \\ &= s \cdot \Delta \varphi_{max} \cdot \Delta \tau \cdot \frac{1}{2}\end{aligned}\tag{8-12}$$

$$f_{Dz}(D) = \sqrt{\Delta \theta_{max}^2 + \Delta \varphi_{max}^2} \cdot \sqrt{g_{max}^2 + h_{max}^2}\tag{8-13}$$

$$\begin{aligned}f_{Sz}(S) &= \sqrt{(s \theta_{max} \cdot s \theta_{\check{g}})^2 + (s \varphi_{max} \cdot s \varphi_{\check{h}})^2} \\ &= \frac{\Delta \tau^2}{4} \sqrt{r^2 \cdot (\Delta \theta_{max})^4 + s^2 \cdot (\Delta \varphi_{max})^4}\end{aligned}\tag{8-14}$$

結論

無人機の飛行による形態過程探索に先立って初期操作則の計算機上での開拓を開始するため、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計算則を具体化し計算則1-ABCを決定した。

今後の課題

関節配置を具体的に与え、計算則1-ABCを始めとして広範囲なIOM計算則により計算を実行し、関節配置と試行操作、加速度測定の模擬誤差の関係性について解明を進める。