B17 関節操作推定関数の探索法開拓

衣川摂哉

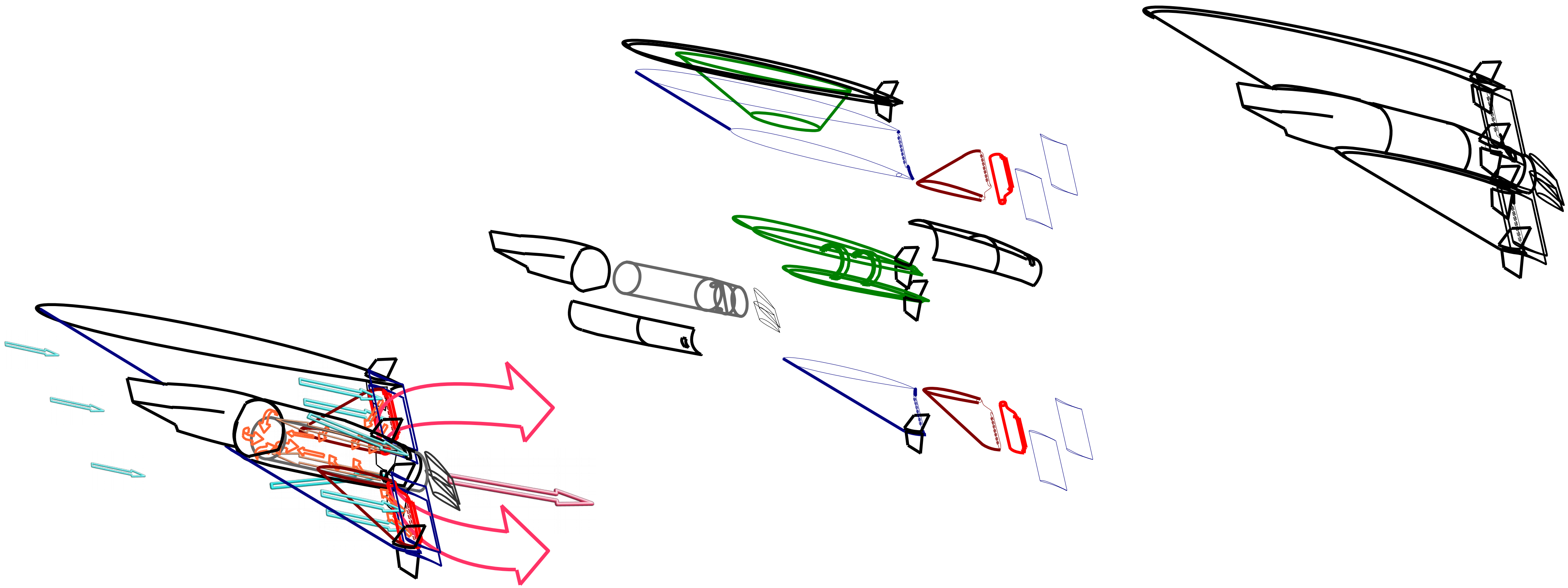
2015年4月16日

1. 序

後方吸気-排熱回生機能を有するエンジン翼EW-2

構成探索の第一段階において設定された形態系に対し,

構成探索の第二段階で形態過程探索法を設定する.



高精度で形態系の適用範囲の広い効率的な方法を得るため,

翼体系の関節格子機構を操作するための関節操作推定関数を探索する方法を用いる.

無人機に初期関数を搭載し,

飛行領域の適用性と目標加速度の実現精度を達成するまで初期関数に対する飛行データによる更新を繰返して

関節操作推定関数を探索し確定する方法を開拓する.

翼体系の特に内翼について

初期関数の更新に際し流体力学的推定を可能とし, 初期関数の更新を飛行中に行い地上での更新操作を不要にして効率化することを試みる.

2. 関節角操作による形態過程探索

エンジン翼EW-2では広範囲な飛行状態で次の３つの形態過程が同時に実行される.

1.基準化過程

ローリングのない定常的な飛行に適する基準形態を速度，高度の変化に対応して最適化する形態過程

予め空気力学的に推定した速度，高度に応じた最適形態間を自動遷移させせる.

2.空力弾性対応過程

空力弾性現象における弾性変形を自動的に検知し打消す形態過程

部材の弾性変形を関節の回転角保持により直接的に打消すことができる. このため，コントロールサーフェスの作動により空力モーメントを発生させせる間接的な打消しに比べて初動で確実に変形を抑え振動を回避するのに有利である.

3.操作過程

操縦のための加速度変更を生じる形態過程

操縦入力に反応し，操縦入力から変換された加速度変化目標を実現するため関節角を変化させて形態過程を生成する.

3.操作過程

+ → 加速度変更目標を実現する関節角操作が重ね合わされる.

自動形態過程

↑

1.基準化過程 + 2.空力弾性対応過程

関節角変化が自動的恒常的に重ね合わされている状態

従って　　エンジン翼EW-2では,

翼体系の関節格子機構の複雑性を抑えて広範囲な飛行状態で効率的に目標加速度増分ベクトルを実現する関節操作を推定する関節操作推定関数を見出すこと

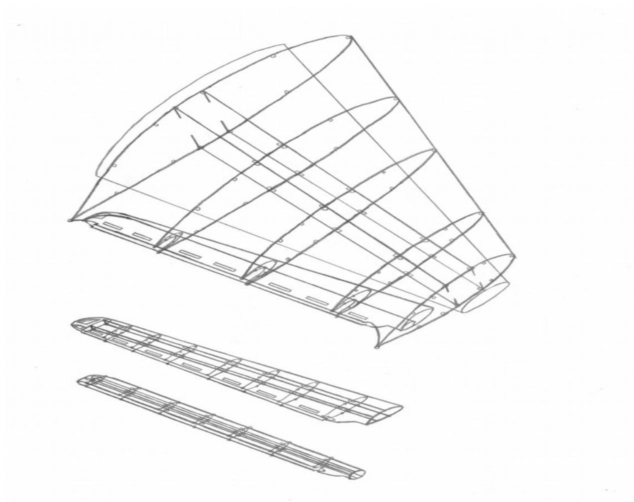
が重要である.

関節操作推定関数の初期設定を飛行測定データにより更新し飛行適用性と精度を向上する方法

を考える. 最初に

3.操作過程のみの場合を扱い, 翼体系の特に内翼(第1図)について関節操作推定関数の探索

を試みる.

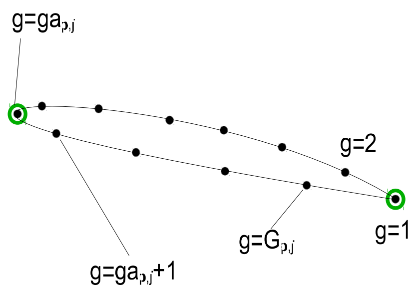


第1図　内翼の関節格子機構

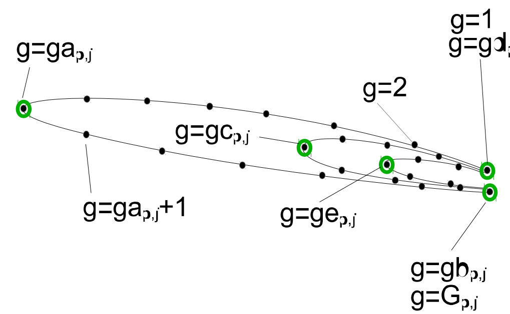
3. 内翼の形態系の初期設定

代表形態を形成する縦および横の断面機構を決定する.

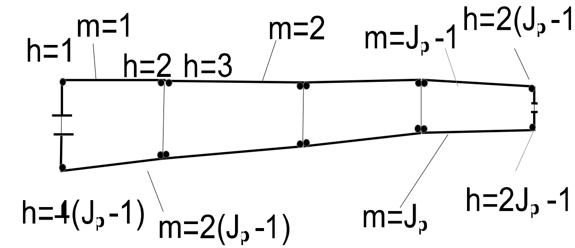
特に関節と関節角の番号系を第２～７図に示す.



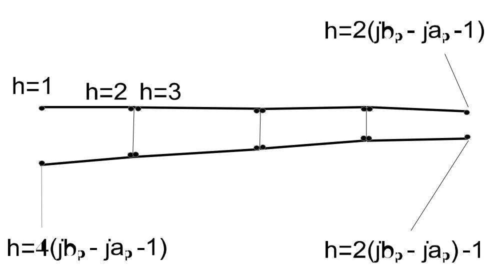
第2図　縦断面機構A型



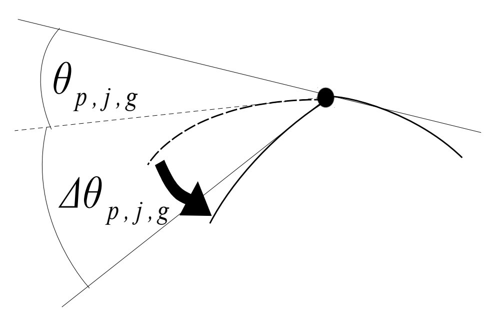
第3図　縦断面機構B型



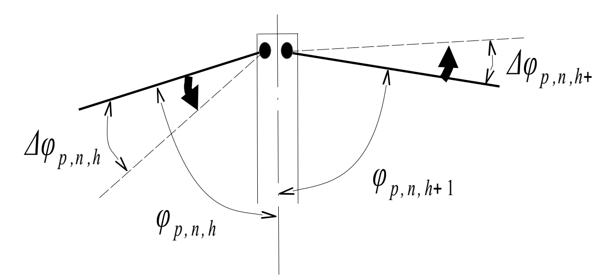
第4図　横関節機構A型



第5図　横関節機構B，C型



第6図　縦関節角



第7図　横関節角

4. 関節操作推定関数の定義

各関節毎に

- 目標加速度増分ベクトル $\vec{\Delta A}^t : \left(\Delta A^t_X, \Delta A^t_Y, \Delta A^t_Z\right)$
- 目標モーメント増分ベクトル $\vec{\Delta N}^t : \left(\Delta N^t_X, \Delta N^t_Y, \Delta N^t_Z\right)$,
- 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 $\boldsymbol{P}^f : \left(p^f_1, \cdot\ \cdot\ \cdot\ , p^f_i, \cdot\ \cdot\ \cdot\ , p^f_{I_P}\right)$

を与える入力変数群 $\boldsymbol{T} = \left(\vec{\Delta A}^t, \vec{\Delta N}^t, \boldsymbol{P}^f\right)$ の入力により

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)

$$\Delta\theta_{Ic} = F^{\theta}_{Ic}\left(\boldsymbol{T}\right) \quad \left(1 \le Ic \le Ic_1\right) \tag{1-1}$$

横関節操作推定関数(φ関数)

$$\Delta\varphi_{Is} = F^{\varphi}_{Is}\left(\boldsymbol{T}\right) \quad \left(1 \le Is \le Is_1\right) \tag{1-2}$$

を関節操作推定関数と総称する.

A操作角ベクトル $\boldsymbol{D}^{A}=\begin{pmatrix} \Delta\theta_{1}^{A} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\theta_{Ic}^{A} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\theta_{Ic1}^{A} \\ \Delta\varphi_{1}^{A} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\varphi_{Is}^{A} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\varphi_{Is1}^{A} \end{pmatrix}$ (5-1)

N操作角ベクトル $\boldsymbol{D}^{N}=\begin{pmatrix} \Delta\theta_{1}^{N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\theta_{Ic}^{N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\theta_{Ic1}^{N} \\ \Delta\varphi_{1}^{N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\varphi_{Is}^{N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\varphi_{Is1}^{N} \end{pmatrix}$ (5-2)

A関数 $\boldsymbol{F}^{A}(\boldsymbol{T}^{A})=\begin{pmatrix} F_{1}^{\theta A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic}^{\theta A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic1}^{\theta A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ F_{1}^{\varphi A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is}^{\varphi A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is1}^{\varphi A}(\boldsymbol{T}^{A}) \end{pmatrix}$ (5-3)

N関数 $\boldsymbol{F}^{N}(\boldsymbol{T}^{N})=\begin{pmatrix} F_{1}^{\theta N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic}^{\theta N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic1}^{\theta N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ F_{1}^{\varphi N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is}^{\varphi N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is1}^{\varphi N}(\boldsymbol{T}^{N}) \end{pmatrix}$ (5-4)

を用いて次のベクトル表示を得る.

$$\boldsymbol{D}^{A}=\boldsymbol{F}^{A}\left(\boldsymbol{T}^{A}\right) \tag{5-5}$$

$$\boldsymbol{D}^{N}=\boldsymbol{F}^{N}\left(\boldsymbol{T}^{N}\right) \tag{5-6}$$

そして関節操作推定関数は次の通りベクトル表示される.

$$\begin{aligned}\boldsymbol{D}&=\boldsymbol{D}^{A}+\boldsymbol{D}^{N}\\&=\boldsymbol{F}\left(\boldsymbol{T}\right)=\boldsymbol{F}^{A}\left(\boldsymbol{T}^{A}\right)+\boldsymbol{F}^{N}\left(\boldsymbol{T}^{N}\right)\end{aligned} \tag{5-7}$$

5. 操作過程に適用する関節操作推定関数の探索法

形態過程探索飛行を開始するための初期関数を機体に搭載し, 初期関数からの関数更新を行う飛行を繰返すことにより精度と適用性を有する関節操作推定関数を探索し確定する.

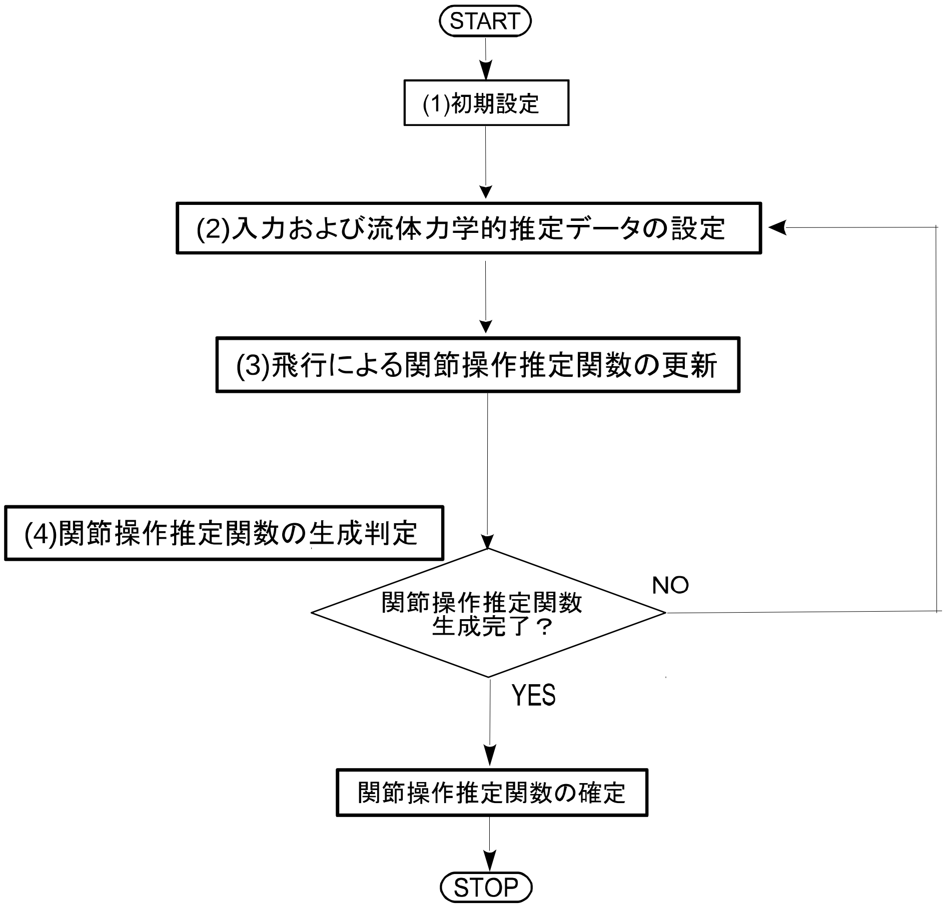
次の(1)から(4)の各ステップにより関節操作推定関数の探索法を構成する. 第8図参照.

(1)初期設定

(2)入力および流体力学的推定データの設定

(3)飛行による関節操作推定関数の更新

(4)関節操作推定関数の生成判定



第8図　関節操作推定関数探索法の流れ図

(1) 初期設定

(1-1)初期関数の定義

第1回目の飛行で使用する初期関数A

$$\begin{aligned} \boldsymbol{D} &= \boldsymbol{F}_1(\boldsymbol{T}) \\ &= \boldsymbol{F}_1^A(\boldsymbol{T}^A) + \boldsymbol{F}_1^N(\boldsymbol{T}^N) \end{aligned} \quad (6)$$

を定義する. 初期関数Aではダクト, ノズルは操作せず翼部のみを操作する.また, $\boldsymbol{P}^f$ の影響は考慮しない.

(3-3),(4-3)式より, 初期関数Aを次式で表す.

$$\Delta\theta_{Ic} = F_{Ic,1}^{\theta A}\left(\Delta\vec{A}^t, \boldsymbol{P}^f\right) + F_{Ic,1}^{\theta N}\left(\Delta\vec{N}^t, \boldsymbol{P}^f\right) \quad (7\text{-}1)$$

$$\Delta\varphi_{Is} = F_{Is,1}^{\varphi A}\left(\Delta\vec{A}^t, \boldsymbol{P}^f\right) + F_{Is,1}^{\varphi N}\left(\Delta\vec{N}^t, \boldsymbol{P}^f\right) \quad (7\text{-}2)$$

そして, $F_{Ic,1}^{\theta A}, F_{Ic,1}^{\theta N}, F_{Is,1}^{\varphi A}, F_{Is,1}^{\varphi N}$ を関節毎に設定する.

(1-2) 機体への設定

機体搭載コンピュータに(1-1)で得られた初期関数A

$$
\begin{aligned}
D &= F_1(T) \\
&= F_1^A(T^A) + F_1^N(T^N)
\end{aligned}
\qquad (28)
$$

をインストールし, 入力生成則を設定する.

飛行番号k=1を指定して(2) 入力および流体力学的推定データの設定に進む.

(2) 入力および流体力学的推定データの設定

$\boldsymbol{P}^f : \left(p_1^f, \cdot\cdot\cdot, p_i^f, \cdot\cdot\cdot, p_{I_P}^f\right)$ の各 $p_i^f \left(1 \le i \le I_P\right)$ の範囲を指定することにより, 第k飛行で探索するP^{f}の領域：P^{f}探索領域を設定する.

そしてP^{f}探索領域において初期関数への入力を逐次生成する入力生成則を定義する.

第 k飛行で出力精度向上のために使用する流体力学的推定データを設定する.

飛行変数群$[\boldsymbol{P}^f]_k^u \left(1 \le u \le U_k\right)$を指定し各$[\boldsymbol{P}^f]_k^u$毎に$[\boldsymbol{P}^f]_k^u$ の構成要素である関節角ベクトル

$$[\boldsymbol{C}_{\boldsymbol{U}}]_k^u = \begin{pmatrix} [\theta_1]_k^u \\ \cdot \\ \cdot \\ [\theta_{Ic}]_k^u \\ \cdot \\ \cdot \\ [\theta_{Ic1}]_k^u \\ [\varphi_1]_k^u \\ \cdot \\ \cdot \\ [\varphi_{Is}]_k^u \\ \cdot \\ \cdot \\ [\varphi_{Is1}]_k^u \end{pmatrix} \qquad (29)$$

により定まる内翼の形状に対して推定される圧力分布から決まる加速度ベクトル$[\vec{A}_U]_k^u$，モーメントベクトル$[\vec{N}_U]_k^u$を用いて流体力学的推定データを次の通り表す.

$$[U]_k^u=([\vec{A}_U]_k^u,[\vec{N}_U]_k^u,[\boldsymbol{P}^f]_k^u) \tag{30}$$

ここで, $[\theta_{Ic}]_k^u$，　$[\varphi_{Is}]_k^u$　を属番系を使用して次の通り表す.

$$[\theta_{Ic}]_k^u=[\theta_{1j,g}]_k^u \tag{31-1}$$

$$[\varphi_{Is}]_k^u=[\varphi_{1,n,h}]_k^u \tag{31-2}$$

(3)飛行による関節操作推定関数の更新に進む.

(3)飛行による関節操作推定関数の更新

$\boldsymbol{D}$ の関節操作により測定される測定加速度増分ベクトル $\Delta\vec{A}^m$, 測定モーメント増分ベクトル$\Delta\vec{N}^m$ の $\Delta\vec{A}^t$ ，$\Delta\vec{N}^t$ に対する許容誤差を

$$\left|\Delta\vec{A}^m-\Delta\vec{A}^t\right|<\varepsilon_A \tag{32-1}$$

$$\left|\Delta\vec{N}^m-\Delta\vec{N}^t\right|<\varepsilon_N \tag{32-2}$$

により与える.そして加速度増分誤差指数 $\boldsymbol{E}^{A}$, モーメント増分誤差指数 $\boldsymbol{E}^{N}$ を次の通り表す.

$$\boldsymbol{E}^{A}=\frac{\left|\varDelta\vec{A}^{m}-\varDelta\vec{A}^{t}\right|}{\varepsilon_{A}} \tag{33-1}$$

$$\boldsymbol{E}^{N}=\frac{\left|\varDelta\vec{N}^{m}-\varDelta\vec{N}^{t}\right|}{\varepsilon_{N}} \tag{33-2}$$

第k 飛行を実施し, P ^{f} 探索領域内に適用する入力生成則に従い飛行番号kと入力識別番号 q で指定される入力値群 $[\boldsymbol{T}]_{k}^{q}=\left([\varDelta\vec{A}^{t}]_{k}^{q},[\varDelta\vec{N}^{t}]_{k}^{q},[\boldsymbol{P}^{f}]_{k}^{q}\right)$ を逐次 $\left(1\leq q\leq Q_{k}\right)$ 入力し, 第k飛行に使用する関節操作推定関数

$$\begin{aligned}\boldsymbol{D}&=\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}\left(\boldsymbol{T}\right)\\&=\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^{A}\left(\boldsymbol{T}^{A}\right)+\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^{N}\left(\boldsymbol{T}^{N}\right)\end{aligned} \tag{34}$$

を更新する.

(3-1)流体力学的推定

$[\boldsymbol{P}^{f}]_{k}^{q}:([p_{1}^{f}]_{k}^{q},\cdots,[p_{i}^{f}]_{k}^{q},\cdots,[p_{I_P}^{f}]_{k}^{q})$の各$[p_{i}^{f}]_{k}^{q}(1\leq i\leq I_{P})$の範囲を指定することにより$[\boldsymbol{P}^{f}]_{k}^{q}$を含む局所領域$[\boldsymbol{R}_{U}^{f}]_{k}^{q}$を設定する.

流体力学的推定データ$[U]_{k}^{u}(1\leq u\leq U_{k})$を走査して$[\boldsymbol{P}^{f}]_{k}^{u'}$ が $[\boldsymbol{R}_{U}^{f}]_{k}^{q}$に属し, $[\boldsymbol{P}^{f}]_{k}^{q}$ の構成要素である$[\vec{A}]_{k}^{q}$,$[\vec{N}]_{k}^{q}$ の変更目標

$$[\vec{A}^{t}]_{k}^{q}=[\Delta\vec{A}^{t}]_{k}^{q}+[\vec{A}]_{k}^{q} \tag{35-1}$$

$$[\vec{N}^{t}]_{k}^{q}=[\Delta\vec{N}^{t}]_{k}^{q}+[\vec{N}]_{k}^{q} \tag{35-2}$$

に対し

$$\left|[\vec{A}_{U}]_{k}^{u'}-[\vec{A}^{t}]_{k}^{q}\right|<\delta_{A}^{u} \tag{35-3}$$

$$\left|[\vec{N}_{U}]_{k}^{u'}-[\vec{N}^{t}]_{k}^{q}\right|<\delta_{N}^{u} \tag{35-4}$$

を満たす$[U]_{k}^{u'}$ の$[\boldsymbol{C}_{U}]_{k}^{u'}$: $[\boldsymbol{C}_{U}]_{k}^{u'}(u'=1,2,\cdots U_{k}^{'})$

を探索する.

(3-1-1) $[C_U]_k^{u'}\left(u'=1,2,\cdots,U_k'\right)$ が見出せる場合

$$[\boldsymbol{P}^f]_k^q : \left([p_1^f]_k^q,\cdots,[p_i^f]_k^q,\cdots,[p_{I_P}^f]_k^q\right)$$

に対し

$$[p_i^f]^{u'_1} \leq [p_i^f]_k^q \leq [p_i^f]^{u'_2} \quad \left(1 \leq i \leq I_P\right) \tag{36}$$

なる $[\boldsymbol{p}^f]^{u'_1},[\boldsymbol{p}^f]^{u'_2}$ を走査する.

(a) $[\boldsymbol{p}^f]^{u'_1},[\boldsymbol{p}^f]^{u'_2}$ が見出せた場合

関数出力を, 関節角ベクトル $[\boldsymbol{C}_U]_k^{u'_1}$, $[\boldsymbol{C}_U]_k^{u'_2}$ の中間値ベクトル $[\boldsymbol{C}_U]_k^{u'_m}$ と $[\boldsymbol{P}^f]_k^q$ の構成要素である関節角ベクトル $[\boldsymbol{C}]_k^q$ との差

により

$$[\boldsymbol{D}]_k^q = [\boldsymbol{C}_U]_k^{u'_m} - [\boldsymbol{C}]_k^q \tag{37}$$

で与える.

(b) $[p^f]^{u'_1}, [p^f]^{u'_2}$ が見出せない場合

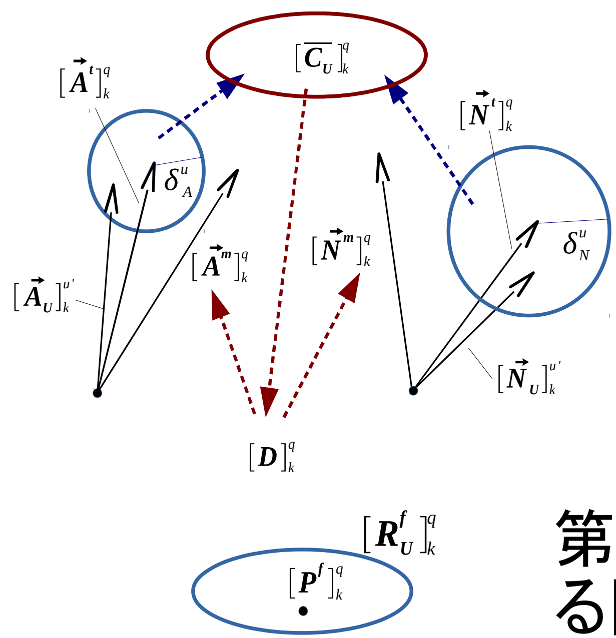
$$[\overline{C_U}]^q_k \equiv \frac{\sum_{u'}[C_U]^{u'}_k(u')}{U'_k} \qquad (38\text{-}1)$$

を用いて関数出力を $[\overline{C_U}]^q_k$ と $[P^f]^q_k$ の構成要素である関節角ベクトル $[C]^q_k$ との差により

$$[D]^q_k = [\overline{C_U}]^q_k - [C]^q_k \equiv F_k([T]^q_k) \qquad (38\text{-}2)$$

で与える.

そして $[D]^q_k$ による関節操作を行い測定ベクトル $[\Delta\vec{A}^m]^q_k$, $[\Delta\vec{N}^m]^q_k$ を得る.



第10図　流体力学的推定データによる関数更新

更に, 加速度増分誤差指数

$$[\boldsymbol{E}^{A}]_k^q = \frac{\left|[\Delta\vec{A}^{m}]_k^q - [\Delta\vec{A}^{t}]_k^q\right|}{\varepsilon_A} \tag{39-1}$$

モーメント増分誤差指数

$$[\boldsymbol{E}^{N}]_k^q = \frac{\left|[\Delta\vec{N}^{m}]_k^q - [\Delta\vec{N}^{t}]_k^q\right|}{\varepsilon_N} \tag{39-2}$$

を求め, 操作データ

$$[\boldsymbol{O}]_k^q = \begin{bmatrix} [\Delta\vec{A}^{m}]_k^q & [\Delta\vec{N}^{m}]_k^q & [\boldsymbol{D}^{A}]_k^q & [\boldsymbol{D}^{N}]_k^q & [\Delta\vec{A}^{t}]_k^q & [\Delta\vec{N}^{t}]_k^q \\ [\boldsymbol{P}^{f}]_k^q & [\boldsymbol{R}_U^{f}]_k^q & [\boldsymbol{E}^{A}]_k^q & [\boldsymbol{E}^{N}]_k^q & & \end{bmatrix} \tag{40}$$

を確定して (4) 関節操作推定関数の生成判定 へ進む.

(3-1-2) $\left[C_U\right]_k^{u'}\left(u'=1,2,\cdot\cdot\cdot,U_k'\right)$ が見出せない場合(3-2)操作データ推定へ進む.

(3-2) 操作データ推定

(3-2-1) k=1かつq≦2の場合

$\left[\boldsymbol{D}\right]_k^q$ を

$$\left[\boldsymbol{D}^A\right]_k^q=\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^A\left(\left[\boldsymbol{T}^A\right]_k^q\right)$$

$$\left[\boldsymbol{D}^N\right]_k^q=\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^N\left(\left[\boldsymbol{T}^N\right]_k^q\right)$$

$$\begin{aligned}\left[\boldsymbol{D}\right]_k^q&=\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}\left(\left[\boldsymbol{T}\right]_k^q\right)\\&=\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^A\left(\left[\boldsymbol{T}^A\right]_k^q\right)+\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^N\left(\left[\boldsymbol{T}^N\right]_k^q\right)\end{aligned}\qquad(41)$$

により与える.そして$\left[\boldsymbol{D}\right]_k^q$による関節操作を行い測定ベクトル$\left[\varDelta\vec{A}^m\right]_k^q$,$\left[\varDelta\vec{N}^m\right]_k^q$を得る.

更に, 加速度増分誤差指数

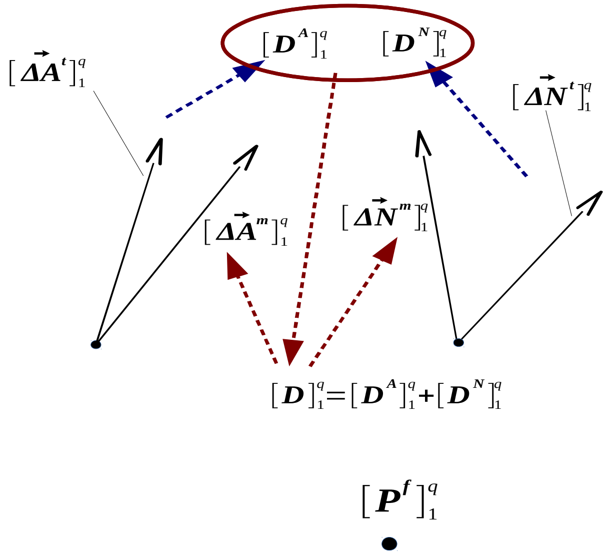
$$[\boldsymbol{E}^{A}]_{k}^{q}=\frac{\left|[\varDelta\vec{A}^{m}]_{k}^{q}-[\varDelta\vec{A}^{t}]_{k}^{q}\right|}{\varepsilon_{A}} \tag{42-1}$$

モーメント増分誤差指数

$$[\boldsymbol{E}^{N}]_{k}^{q}=\frac{\left|[\varDelta\vec{N}^{m}]_{k}^{q}-[\varDelta\vec{N}^{t}]_{k}^{q}\right|}{\varepsilon_{N}} \tag{42-2}$$

$$[\boldsymbol{O}]_{k}^{q}=\begin{bmatrix}[\varDelta\vec{A}^{m}]_{k}^{q} & [\varDelta\vec{N}^{m}]_{k}^{q} & [\boldsymbol{D}^{A}]_{k}^{q} & [\boldsymbol{D}^{N}]_{k}^{q} & [\varDelta\vec{A}^{t}]_{k}^{q} & [\varDelta\vec{N}^{t}]_{k}^{q}\\ [\boldsymbol{P}^{f}]_{k}^{q} & [\boldsymbol{E}^{A}]_{k}^{q} & [\boldsymbol{E}^{N}]_{k}^{q} & & & \end{bmatrix} \tag{43}$$

を確定して (4) 関節操作推定関数の生成判定 へ進む.



第11図　初期関数の更新

(3-2-2) k≥2又はq≥3の場合

$[\boldsymbol{P}^{f}]_{k}^{q}:([p_{1}^{f}]_{k}^{q},\cdots,[p_{i}^{f}]_{k}^{q},\cdots,[p_{I_P}^{f}]_{k}^{q})$ の各 $[p_{i}^{f}]_{k}^{q}(1\leq i\leq I_{P})$ の範囲を指定することにより $[\boldsymbol{P}^{f}]_{k}^{q}$ に対し許容差を有する $\boldsymbol{P}^{f}$ の領域である局所領域 $[\boldsymbol{R}_{\boldsymbol{E}}^{\boldsymbol{f}}]_{k}^{q}$ を設定する.

$\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^{\boldsymbol{A}}$ の更新

$[\boldsymbol{O}]_{k'}^{q'}$ (1≤k'≤k , 1≤q'≤$Q_{k'}$)を走査して

$[\boldsymbol{P}^{f}]_{k'}^{q'}$ が $[\boldsymbol{R}_{\boldsymbol{E}}^{\boldsymbol{f}}]_{k}^{q}$ に属し,

$\left|[\Delta\vec{A}^{m}]_{k'}^{q'}-[\Delta\vec{A}^{t}]_{k}^{q}\right|<\delta_{A}$ を満たす $[\boldsymbol{O}]_{k'}^{q'}$ の $[\boldsymbol{D}^{A}]_{k'}^{q'}:[\boldsymbol{D}^{A}]_{k'}^{q'}(\hat{a})(\hat{a}=1,2,\cdots,\hat{A}_{k}^{q})$

を探索する.

- $[\boldsymbol{D}^{A}]_{k'}^{q'}(\hat{a})(\hat{a}=1,2,\cdots,\hat{A}_{k}^{q})$ が見出せる場合

関数出力を

$$[\boldsymbol{D}^{A}]_{k}^{q}=\frac{\sum_{\hat{a}}[\boldsymbol{D}^{A}]_{k'}^{q'}(\hat{a})}{\hat{A}_{k}^{q}}\equiv\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^{\boldsymbol{A}}([\boldsymbol{T}^{A}]_{k}^{q}) \qquad (44)$$

で与える.

・$\left[\boldsymbol{D}^{A}\right]_{k'}^{q'}(\hat{a})\left(\hat{a}=1,2,\cdot\ \cdot\ \cdot\ ,\hat{A}_{k}^{q}\right)$ が見出せない場合

関数出力を初期関数により

$$\left[\boldsymbol{D}^{A}\right]_{k}^{q}=\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{1}}^{\boldsymbol{A}}\left(\left[\boldsymbol{T}^{A}\right]_{k}^{q}\right)\equiv\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^{\boldsymbol{A}}\left(\left[\boldsymbol{T}^{\boldsymbol{A}}\right]_{k}^{q}\right) \tag{45}$$

で与える.

$\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^{N}$ の更新

$\left[\boldsymbol{O}\right]_{k'}^{q'}$(1≤k'≤k , 1≤q'≤$Q_{k'}$)を走査して

$\left[\boldsymbol{P}^{\boldsymbol{f}}\right]_{k'}^{q'}$ が $\left[\boldsymbol{R}_{\boldsymbol{E}}^{\boldsymbol{f}}\right]_{k}^{q}$ に属し,

$\left|\left[\Delta\vec{N}^{m}\right]_{k'}^{q'}-\left[\Delta\vec{N}^{t}\right]_{k}^{q}\right|<\delta_{N}$ を満たす $\left[\boldsymbol{O}\right]_{k'}^{q'}$ の

$\left[\boldsymbol{D}^{N}\right]_{k'}^{q'}$: $\left[\boldsymbol{D}^{N}\right]_{k'}^{q'}(\hat{n})\left(\hat{n}=1,2,\cdot\ \cdot\ \cdot\ ,\hat{N}_{k}^{q}\right)$ を探索する.

・$\left[\boldsymbol{D}^{N}\right]_{k'}^{q'}(\hat{n})\left(\hat{n}=1,2,\cdot\ \cdot\ \cdot\ ,\hat{N}_{k}^{q}\right)$が見出せる場合

関数出力を

$$\left[\boldsymbol{D}^{N}\right]_{k}^{q}=\frac{\sum_{\hat{n}}\left[\boldsymbol{D}^{N}\right]_{k'}^{q'}(\hat{n})}{\hat{N}_{k}^{q}}\equiv\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^{N}\left(\left[\boldsymbol{T}^{N}\right]_{k}^{q}\right) \tag{46}$$

で与える.

・$[\boldsymbol{D}^{N}]_{k'}^{q'}(\hat{n})(\hat{n}=1,2,\cdots,\hat{N}_{k}^{q})$ が見出せない場合

関数出力を初期関数により

$$[\boldsymbol{D}^{N}]_{k}^{q}=\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{1}}^{\boldsymbol{N}}([\boldsymbol{T}^{\boldsymbol{N}}]_{k}^{q})\equiv\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{k}}^{\boldsymbol{N}}([\boldsymbol{T}^{\boldsymbol{N}}]_{k}^{q}) \qquad (47)$$

で与える.

そして$[\boldsymbol{D}]_{k}^{q}=[\boldsymbol{D}^{A}]_{k}^{q}+[\boldsymbol{D}^{N}]_{k}^{q}$による関節操作を行い測定ベクトル$[\Delta\vec{A}^{m}]_{k}^{q}$, $[\Delta\vec{N}^{m}]_{k}^{q}$を得る.

更に加速度増分誤差指数

$$[\boldsymbol{E}^{A}]_{k}^{q}=\frac{\left|[\Delta\vec{A}^{m}]_{k}^{q}-[\Delta\vec{A}^{t}]_{k}^{q}\right|}{\varepsilon_{A}} \qquad (48\text{-}1)$$

モーメント増分誤差指数

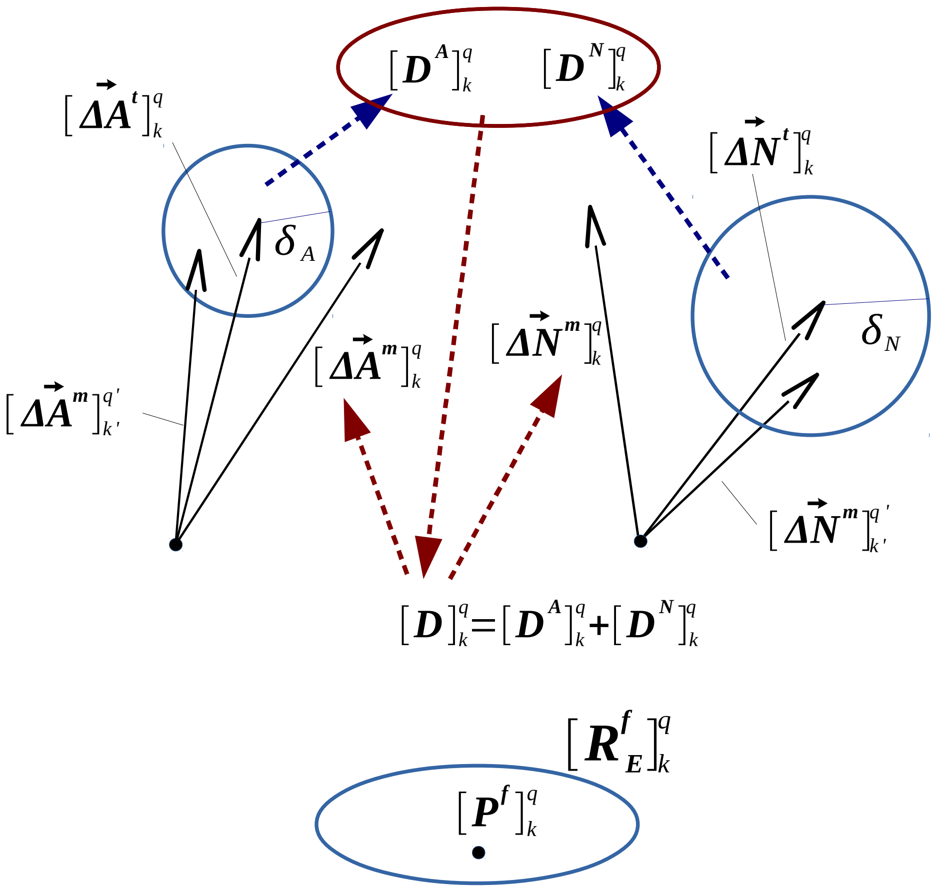
$$[\boldsymbol{E}^{N}]_{k}^{q}=\frac{\left|[\Delta\vec{N}^{m}]_{k}^{q}-[\Delta\vec{N}^{t}]_{k}^{q}\right|}{\varepsilon_{N}} \qquad (48\text{-}2)$$

を求め,

操作データ

$$[\boldsymbol{O}]_k^q=\begin{bmatrix}[\Delta\vec{A}^m]_k^q & [\Delta\vec{N}^m]_k^q & [\boldsymbol{D}^A]_k^q & [\boldsymbol{D}^N]_k^q & [\Delta\vec{A}^t]_k^q & [\Delta\vec{N}^t]_k^q \\ [\boldsymbol{P}^f]_k^q & [\boldsymbol{R}_E^f]_k^q & [\boldsymbol{E}^A]_k^q & [\boldsymbol{E}^N]_k^q & & \end{bmatrix} \tag{49}$$

を確定して(4) 関節操作推定関数の生成判定へ進む.



第12図　操作データによる関数更新

(4) 関節操作推定関数の生成判定

・全ての操作データで

$$\left[\boldsymbol{E}^{A}\right]_{k'}^{q'} \leq 1 \left(1 \leq k' \leq k, 1 \leq q' \leq Q_{k'} \right) \qquad (50\text{-}1)$$

$$\left[\boldsymbol{E}^{N}\right]_{k'}^{q'} \leq 1 \left(1 \leq k' \leq k, 1 \leq q' \leq Q_{k'} \right) \qquad (50\text{-}2)$$

であり精度と適用性を満たす目標P^{f}領域が形成できた場合

第k飛行の関節操作推定関数

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{F}_{k}\left(\boldsymbol{T}\right)$$

$$= \boldsymbol{F}_{k}^{A}\left(\boldsymbol{T}^{A}\right) + \boldsymbol{F}_{k}^{N}\left(\boldsymbol{T}^{N}\right) \qquad (51)$$

をEW-2の形態設定に適用する関節操作推定関数

$$\boldsymbol{F}\left(\boldsymbol{T}\right) = \boldsymbol{F}^{A}\left(\boldsymbol{T}^{A}\right) + \boldsymbol{F}^{N}\left(\boldsymbol{T}^{N}\right) \qquad (52)$$

として確定して終了する.

・操作データの中に

$$\left[E^{A}\right]_{k'}^{q'} > 1\left(1 \le k' \le k, 1 \le q' \le Q_{k'}\right) \quad (53\text{-}1)$$

又は

$$\left[E^{N}\right]_{k'}^{q'} > 1\left(1 \le k' \le k, 1 \le q' \le Q_{k'}\right) \quad (53\text{-}2)$$

のものがある, もしくはP^f未探索の領域があり, 精度と適用性を満たす目標P^f領域が形成できていない場合

kに+1を加算する.

(2) 入力および流体力学的推定データの設定に進む.

6.結論

目標入力の飛行変数群を含む飛行変数群の局所領域に対応する過去の出力の平均操作により飛行中に関数更新を行うことができ, 地上での更新操作が不要となった.

関数更新の達成度向上を機体搭載コンピュータの性能限界内で図るため, 流体力学的推定データによる更新過程を付加した.

7.今後の課題

- 初期関数に P^f の影響を考慮する.
- 入力生成則の具体化
- 複雑性を減じつつ関節操作の推定精度を向上 させるため, 関節 格子機構の構成パラメータ, 初期関数の関節角計算式の パラメータの探索法を研究する.
- 関節操作推定関数確定後の操作データ参照への依存度低減による出力の高速化
- 流体力学的推定の具体化

4. 関節操作推定関数の定義

各関節毎に

- ●目標加速度増分ベクトル $\vec{\Delta A}^t:\left(\Delta A_X^t, \Delta A_Y^t, \Delta A_Z^t\right)$
- ●目標モーメント増分ベクトル$\vec{\Delta N}^t:\left(\Delta N_X^t, \Delta N_Y^t, \Delta N_Z^t\right)$,
- ●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$\boldsymbol{P}^f:\left(p_1^f, \cdot\ \cdot\ \cdot\ , p_i^f, \cdot\ \cdot\ \cdot\ , p_{I_P}^f\right)$

を与える入力変数群$\boldsymbol{T}=\left(\vec{\Delta A}^t, \vec{\Delta N}^t, \boldsymbol{P}^f\right)$の入力により

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)

$$\Delta\theta_{Ic}=F_{Ic}^{\theta}\left(\boldsymbol{T}\right) \quad \left(1\leq Ic\leq Ic_1\right) \tag{1-1}$$

横関節操作推定関数(φ関数)

$$\Delta\varphi_{Is}=F_{Is}^{\varphi}\left(\boldsymbol{T}\right) \quad \left(1\leq Is\leq Is_1\right) \tag{1-2}$$

を関節操作推定関数と総称する.

そしてベクトル表示

$$\boldsymbol{D}=\begin{pmatrix} \varDelta\theta_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \varDelta\theta_{Ic} \\ \cdot \\ \cdot \\ \varDelta\theta_{Ic1} \\ \varDelta\varphi_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \varDelta\varphi_{Is} \\ \cdot \\ \cdot \\ \varDelta\varphi_{Is1} \end{pmatrix} \quad (2\text{-}1)$$

$$\boldsymbol{F}(\boldsymbol{T})=\begin{pmatrix} F_1^{\theta}(\boldsymbol{T}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic}^{\theta}(\boldsymbol{T}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic1}^{\theta}(\boldsymbol{T}) \\ F_1^{\varphi}(\boldsymbol{T}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is}^{\varphi}(\boldsymbol{T}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is1}^{\varphi}(\boldsymbol{T}) \end{pmatrix} \quad (2\text{-}2)$$

を用いて次式で表される.

$$\boldsymbol{D}=\boldsymbol{F}\left(\boldsymbol{T}\right) \quad (2\text{-}3)$$

次に $\boldsymbol{T}^A=\left(\vec{\varDelta A}^t,\boldsymbol{P}^f\right)$ の入力に対し $\vec{\varDelta A}^t$ 優先の操作角 $\varDelta\theta_{Ic}^A$ を出力する θA 関数 $F_{Ic}^{\theta A}$ と $\boldsymbol{T}^N=\left(\vec{\varDelta N}^t,\boldsymbol{P}^f\right)$ の入力に対し $\vec{\varDelta N}^t$ 優先の操作角 $\varDelta\theta_{Ic}^N$ を出力する θN 関数 $F_{Ic}^{\theta N}$ を

$$\Delta\theta_{Ic}^{A}=F_{Ic}^{\theta A}\left(\boldsymbol{T}^{\boldsymbol{A}}\right) \tag{3-1}$$

$$\Delta\theta_{Ic}^{N}=F_{Ic}^{\theta N}\left(\boldsymbol{T}^{\boldsymbol{N}}\right) \tag{3-2}$$

と表し，$\Delta\theta_{Ic}$ を $\Delta\theta_{Ic}^{A}$ と$\Delta\theta_{Ic}^{N}$ の重ね合せにより次の通り表す．

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{Ic} &= F_{Ic}^{\theta}\left(\boldsymbol{T}\right)\\ &= \Delta\theta_{Ic}^{A}+\Delta\theta_{Ic}^{N}\\ &= F_{Ic}^{\theta A}\left(\boldsymbol{T}^{\boldsymbol{A}}\right)+F_{Ic}^{\theta N}\left(\boldsymbol{T}^{\boldsymbol{N}}\right)\end{aligned} \tag{3-3}$$

また, $\boldsymbol{T}^A = \left(\vec{\varDelta A}^t, \boldsymbol{P}^f\right)$ の入力に対し$\vec{\varDelta A}^t$ 優先の操作角 $\varDelta\varphi^A_{Is}$ を出力するφA 関数$F^{\varphi A}_{Is}$ と $\boldsymbol{T}^N = \left(\vec{\varDelta N}^t, \boldsymbol{P}^f\right)$ の入力に対し$\vec{\varDelta N}^t$優先の操作角 $\varDelta\varphi^N_{Is}$ を出力する φN 関数$F^{\varphi N}_{Is}$ を

$$\varDelta\varphi^A_{Is} = F^{\varphi A}_{Is}\left(\boldsymbol{T}^A\right) \tag{4-1}$$

$$\varDelta\varphi^N_{Is} = F^{\varphi N}_{Is}\left(\boldsymbol{T}^N\right) \tag{4-2}$$

と表し, $\varDelta\varphi_{Is}$ を$\varDelta\varphi^A_{Is}$ と$\varDelta\varphi^N_{Is}$の重ね合せにより次の通り表す.

$$\begin{aligned} \varDelta\varphi_{Is} &= F^{\varphi}_{Is}\left(\boldsymbol{T}\right) \\ &= \varDelta\varphi^A_{Is} + \varDelta\varphi^N_{Is} \\ &= F^{\varphi A}_{Is}\left(\boldsymbol{T}^A\right) + F^{\varphi N}_{Is}\left(\boldsymbol{T}^N\right) \end{aligned} \tag{4-3}$$

更に(3-1) , (3-2) , (4-1) , (4-2)の各式より得られる

A操作角ベクトル $\boldsymbol{D}^{A}=\begin{pmatrix} \Delta\theta_{1}^{A} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\theta_{Ic}^{A} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\theta_{Ic1}^{A} \\ \Delta\varphi_{1}^{A} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\varphi_{Is}^{A} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\varphi_{Is1}^{A} \end{pmatrix}$ (5-1)

N操作角ベクトル $\boldsymbol{D}^{N}=\begin{pmatrix} \Delta\theta_{1}^{N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\theta_{Ic}^{N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\theta_{Ic1}^{N} \\ \Delta\varphi_{1}^{N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\varphi_{Is}^{N} \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta\varphi_{Is1}^{N} \end{pmatrix}$ (5-2)

A関数 $\boldsymbol{F}^{A}(\boldsymbol{T}^{A})=\begin{pmatrix} F_{1}^{\theta A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic}^{\theta A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic1}^{\theta A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ F_{1}^{\varphi A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is}^{\varphi A}(\boldsymbol{T}^{A}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is1}^{\varphi A}(\boldsymbol{T}^{A}) \end{pmatrix}$ (5-3)

N関数 $\boldsymbol{F}^{N}(\boldsymbol{T}^{N})=\begin{pmatrix} F_{1}^{\theta N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic}^{\theta N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Ic1}^{\theta N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ F_{1}^{\varphi N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is}^{\varphi N}(\boldsymbol{T}^{N}) \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{Is1}^{\varphi N}(\boldsymbol{T}^{N}) \end{pmatrix}$ (5-4)

を用いて次のベクトル表示を得る.

$$\boldsymbol{D}^{A} = \boldsymbol{F}^{A}\left(\boldsymbol{T}^{A}\right) \tag{5-5}$$

$$\boldsymbol{D}^{N} = \boldsymbol{F}^{N}\left(\boldsymbol{T}^{N}\right) \tag{5-6}$$

そして関節操作推定関数は次の通りベクトル表示される.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{D} &= \boldsymbol{D}^{A} + \boldsymbol{D}^{N} \\ &= \boldsymbol{F}\left(\boldsymbol{T}\right) = \boldsymbol{F}^{A}\left(\boldsymbol{T}^{A}\right) + \boldsymbol{F}^{N}\left(\boldsymbol{T}^{N}\right) \end{aligned} \tag{5-7}$$

(1) 初期設定

(1-1)初期関数の定義

第1回目の飛行で使用する初期関数A

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{F}_{\mathbf{1}}\left(\boldsymbol{T}\right)$$

$$= \boldsymbol{F}_{\mathbf{1}}^{A}\left(\boldsymbol{T}^{A}\right) + \boldsymbol{F}_{\mathbf{1}}^{N}\left(\boldsymbol{T}^{N}\right) \qquad (6)$$

を定義する. 初期関数Aではダクト, ノズルは操作せず翼部のみを操作する.また, $\boldsymbol{P}^{f}$ の影響は考慮しない.

(3-3),(4-3)式より, 初期関数Aを次式で表す.

$$\Delta\theta_{Ic} = F_{Ic,1}^{\theta A}\left(\overrightarrow{\Delta A}^{t}, \boldsymbol{P}^{f}\right) + F_{Ic,1}^{\theta N}\left(\overrightarrow{\Delta N}^{t}, \boldsymbol{P}^{f}\right) \qquad (7\text{-}1)$$

$$\Delta\varphi_{Is} = F_{Is,1}^{\varphi A}\left(\overrightarrow{\Delta A}^{t}, \boldsymbol{P}^{f}\right) + F_{Is,1}^{\varphi N}\left(\overrightarrow{\Delta N}^{t}, \boldsymbol{P}^{f}\right) \qquad (7\text{-}2)$$

そして, $F_{Ic,1}^{\theta A}, F_{Ic,1}^{\theta N}, F_{Is,1}^{\varphi A}, F_{Is,1}^{\varphi N}$ を関節毎に設定する

(1-1-1)頂点関節の決定

$F^{\theta A}_{Ic,1}, F^{\varphi A}_{Is,1}$ の設定に際して, 関節操作の起点となる頂点関節を選定し頂点関節の操作量を与え, 頂点関節の操作量に係数を付与して他の関節の操作量を与える.

第9図に示す通り, 機体固定座標系のXY平面に平行な第1基準面を取り, 内翼の代表形態の外形を第1基準面に投影し投影形を生成する.

そしてZ軸と $\vec{\varDelta A}^t$ に平行で投影形の中心点を通る第2基準面と第1基準面の交線から投影形によって方向線分を切り取る.

第2基準面Z軸方向 $\vec{\varDelta A}^t$ のZ座標の符号側に, 方向線分を直径とする半円を立てる.

半円の中心から $\vec{\varDelta A}^t$ の方向に半径を立て円周との交点から方向線分へ投影線を下す.

投影線と投影形の交点のX,Y座標X_4^h，Y_4^h は次式で表される.

$$X_4^h = X_3^h + \frac{r}{\left|\Delta \vec{A}^t\right|} \cdot \Delta A_X^t \tag{8-1}$$

$$Y_4^h = Y_3^h + \frac{r}{\left|\Delta \vec{A}^t\right|} \cdot \Delta A_Y^t \tag{8-2}$$

但し

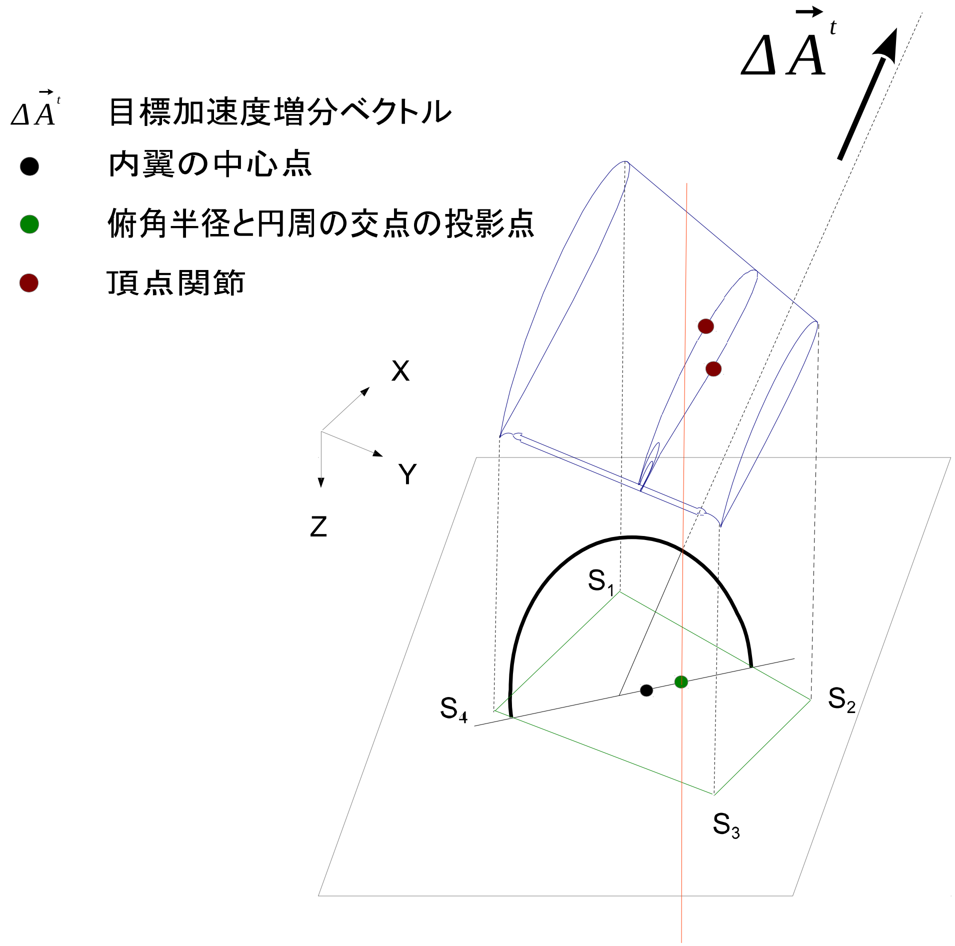
$$X_3^h = \frac{X_1^h + X_2^h}{2} \tag{8-3}$$

$$Y_3^h = \frac{Y_1^h + Y_2^h}{2} \tag{8-4}$$

$$r = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(X_1^h - X_2^h\right)^2 + \left(Y_1^h - Y_2^h\right)^2} \tag{8-5}$$

但し $\left(X_1^h, Y_1^h\right), \left(X_2^h, Y_2^h\right)$ は方向線分の両端の座標である.

　翼上下夫々の投影線に最も近接した縦、横関節を頂点関節とする.



第9図　頂点関節の決定法

(1-1-2) 縦関節の操作量推定

縦関節の通番 Ic を属番系$\left(p, j, g\right)$に変換し, 縦関節の操作量を次式で表す.

$$\varDelta\theta_{(1,j,g)} = \varDelta\theta^{A}_{(1,j,g)} + \varDelta\theta^{N}_{(1,j,g)} \tag{9-1}$$

$$\varDelta\theta^{A}_{(1,j,g)} = F^{\theta A}_{(1,j,g),1}\left(\varDelta\vec{A}^{t}, \boldsymbol{P}^{f}\right) \tag{9-2}$$

$$\varDelta\theta^{N}_{(1,j,g)} = F^{\theta N}_{(1,j,g),1}\left(\varDelta\vec{N}^{t}, \boldsymbol{P}^{f}\right) \tag{9-3}$$

そして属番系$\left(1, j, g\right)$ の範囲毎に

$F^{\theta A}_{(1,j,g),1}, F^{\theta N}_{(1,j,g),1}$ を設定する.

以後, G^{w}_{1} を次の通り用いる.

$$G^{w}_{1} = \begin{cases} G_{1,j} & \text{（縦断面機構A型）} \\ gb_{1,j} & \text{（縦断面機構B型）} \end{cases}$$

$F^{\theta A}_{(1,j,g),1}$ の設定

翼上下の各頂点関節の関節角

$\theta_{(1,j_M,g)}\left(g=g^{wus}_{1,j_M}\right)$ ， $\theta_{(1,j_M,g)}\left(g=g^{wls}_{1,j_M}\right)$ と

$$\lambda_\theta \equiv \frac{-1}{\left|\Delta A^t_Z\right|+1}+1 \qquad (10)$$

から各頂点関節の操作量を次の通り与え, 第 j_M 機構の翼上,下の各最大操作量を生成する.

$$\Delta\theta^{A,su}_{1,j_M} \equiv \frac{-\Delta A^t_Z}{\left|\Delta A^t_Z\right|}\cdot\lambda_\theta\cdot\left|\theta_{(1,j_M,g)}\right| \quad \left(g=g^{wus}_{1,j_M}\right) \text{（翼上側）} \qquad (11\text{-}1)$$

$$\Delta\theta^{A,sl}_{1,j_M} \equiv \frac{\Delta A^t_Z}{\left|\Delta A^t_Z\right|}\cdot\lambda_\theta\cdot\left|\theta_{(1,j_M,g)}\right| \quad \left(g=g^{wls}_{1,j_M}\right) \text{（翼下側）} \qquad (11\text{-}2)$$

更に, 全ての機構 $j\left(1\le j\le J_1\right)$ 毎に翼上,下側の各最大操作量を与える関節（翼上側 $g=g_{1,j}^{wus}$ ，翼下側 $g=g_{1,j}^{wls}$ ）の最大操作量を,

$$\kappa_y=\begin{cases}\dfrac{j-1}{j_M-1} & \left(1\le j\le j_M\right) \quad (12\text{-}1)\\[2ex] \dfrac{J_1-j}{J_1-j_M} & \left(j_M+1\le j\le J_1\right) \quad (12\text{-}2)\end{cases}$$

を用いて次の通り与える.

$$\Delta\theta_{1,j}^{A,su}\equiv\kappa_Y\cdot\frac{-\Delta A_Z^t}{\left|\Delta A_Z^t\right|}\cdot\lambda_\theta\cdot\left|\theta_{(1,j,g)}\right| \quad \left(g=g_{1,j}^{wus}\right) \quad \text{（翼上側）} \quad (13\text{-}1)$$

$$\Delta\theta_{1,j}^{A,sl}\equiv\kappa_Y\cdot\frac{\Delta A_Z^t}{\left|\Delta A_Z^t\right|}\cdot\lambda_\theta\cdot\left|\theta_{(1,j,g)}\right| \quad \left(g=g_{1,j}^{wls}\right) \quad \text{（翼下側）} \quad (13\text{-}2)$$

そして, 全ての機構 $j\left(1 < j < J_1\right)$ 毎に最大操作量を用いて $F^{\theta A}_{(1,j,g),1}$ を次の通り設定し, gの範囲毎に関数名を割り当てる.

翼上側

$\left(1 \le g \le g^{wus}_{1,j}\right)$

$$F^{\theta A}_{(1,j,g),1}\left(\vec{\Delta A}^t, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{g}{g^{wus}_{1,j}} \cdot \Delta\theta^{A,su}_{1,j} \equiv F^A_1 \qquad (14\text{-}1)$$

$\left(g^{wus}_{1,j} + 1 \le g \le ga_{1,j} - 1\right)$

$$F^{\theta A}_{(1,j,g),1}\left(\vec{\Delta A}^t, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{ga_{1,j} - g - 1}{ga_{1,j} - 1 - g^{wus}_{1,j}} \cdot \Delta\theta^{A,su}_{1,j} \equiv F^A_2 \qquad (14\text{-}2)$$

翼下側

$\left(ga_{1,j} \le g \le g^{wls}_{1,j}\right)$

$$F^{\theta A}_{(1,j,g),1}\left(\vec{\Delta A}^t, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{g - ga_{1,j} - 1}{g^{wls}_{1,j} - 1 - ga_{1,j}} \cdot \Delta\theta^{A,sl}_{1,j} \equiv F^A_3 \qquad (14\text{-}3)$$

$\left(g^{wls}_{1,j} + 1 \le g \le G^w_1\right)$

$$F^{\theta A}_{(1,j,g),1}\left(\vec{\Delta A}^t, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{G^w_1 - g - 1}{G^w_1 - g^{wls}_{1,j}} \cdot \Delta\theta^{A,sl}_{1,j} \equiv F^A_4 \qquad (14\text{-}4)$$

そして属番系$(1,j,g)$の範囲毎に $F^{\theta NR}_{(1,j,g),1}, F^{\theta NP}_{(1,j,g),1}, F^{\theta NY}_{(1,j,g),1}$ を設定し, $F^{\theta N}_{(1,j,g),1}$ を設定する.

$F^{\theta NR}_{(1,j,g),1}$ の設定

$$\eta_X \equiv -\frac{1}{\left|\Delta N^t_X\right| + 1} + 1 \qquad (16)$$

を用いる.

$1 \le j \le j_R$

翼上側

$\left(1 \le g \le ga_{1,j} - 1\right)$

$$F^{\theta NR}_{(1,j,g),1}\left(\Delta N^t_X, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{\Delta N^t_X}{\left|\Delta N^t_X\right|} \cdot \eta_X \cdot \left|\theta_{(1,j,g)}\right| \equiv F^N_1 \qquad (17\text{-}1)$$

翼下側

$\left(ga_{1,j} \le g \le G^w_1\right)$

$$F^{\theta NR}_{(1,j,g),1}\left(\Delta N^t_X, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{-\Delta N^t_X}{\left|\Delta N^t_X\right|} \cdot \eta_X \cdot \left|\theta_{(1,j,g)}\right| \equiv F^N_2 \qquad (17\text{-}2)$$

$$j_R + 1 \leq j \leq j_T - 1$$

翼上側

$$\left(1 \leq g \leq ga_{1,j} - 1\right)$$

$$F^{\theta N R}_{(1,j,g),1}\left(\Delta N^{t}, \boldsymbol{P}^{\boldsymbol{f}}\right) = 0 \tag{17-3}$$

翼下側

$$\left(ga_{1,j} \leq g \leq G^{w}_{1}\right)$$

$$F^{\theta N R}_{(1,j,g),1}\left(\Delta N^{t}_{X}, \boldsymbol{P}^{\boldsymbol{f}}\right) = 0 \tag{17-4}$$

$$j_T \leq j \leq J_1$$

翼上側

$$\left(1 \leq g \leq ga_{1,j} - 1\right)$$

$$F^{\theta N R}_{(1,j,g),1}\left(\Delta N^{t}_{X}, \boldsymbol{P}^{\boldsymbol{f}}\right) = \frac{-\Delta N^{t}_{X}}{\left|\Delta N^{t}_{X}\right|} \cdot \eta_X \cdot \left|\theta_{(1,j,g)}\right| \equiv F^{N}_{3} \tag{17-5}$$

翼下側

$$\left(ga_{1,j} \leq g \leq G^{w}_{1}\right)$$

$$F^{\theta N R}_{(1,j,g),1}\left(\Delta N^{t}_{X}, \boldsymbol{P}^{\boldsymbol{f}}\right) = \frac{\Delta N^{t}_{X}}{\left|\Delta N^{t}_{X}\right|} \cdot \eta_X \cdot \left|\theta_{(1,j,g)}\right| \equiv F^{N}_{4} \tag{17-6}$$

$F^{\theta NP}_{(1,j,g),1}$ の設定

$$\eta_Y \equiv \frac{-1}{\left|\Delta N^t_Y\right| + 1} + 1 \qquad (18)$$

を用いる.

$1 \leq j \leq J_1$

翼上側

$\left(1 \leq g \leq ga_{1,j} - 1\right)$

$$F^{\theta NP}_{(1,j,g),1}\left(\Delta N^t_Y, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{-\Delta N^t_Y}{\left|\Delta N^t_Y\right|} \cdot \eta_Y \cdot \left|\theta_{(1,j,g),1}\right| \equiv F^N_5 \qquad (19\text{-}1)$$

翼下側

$\left(ga_{1,j} \leq g \leq G^w_1\right)$

$$F^{\theta NP}_{(1,j,g),1}\left(\Delta N^t_Y, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{\Delta N^t_Y}{\left|\Delta N^t_Y\right|} \cdot \eta_Y \cdot \left|\theta_{(1,j,g),1}\right| \equiv F^N_6 \qquad (19\text{-}2)$$

$F^{\theta N Y}_{(1,j,g),1}$ の設定

$$\eta_Z \equiv \frac{-1}{\left|\varDelta N^t_Z\right| + 1} + 1 \qquad (20)$$

を用いて

$1 \leq j \leq j_R$

翼上側

$\left(1 \leq g \leq ga_{1,j} - 1\right)$

$$F^{\theta N Y}_{(1,j,g),1}\left(\varDelta N^t_Z, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{-\varDelta N^t_Z}{\left|\varDelta N^t_Z\right|} \cdot \eta_Z \cdot \left|\theta_{(1,j,g),1}\right| \equiv F^N_7 \qquad (21\text{-}1)$$

翼下側

$\left(ga_{1,j} \leq g \leq G^w_1\right)$

$$F^{\theta N Y}_{(1,j,g),1}\left(\varDelta N^t_Z, \boldsymbol{P}^f\right) = \frac{-\varDelta N^t_Z}{\left|\varDelta N^t_Z\right|} \cdot \eta_Z \cdot \left|\theta_{(1,j,g),1}\right| \equiv F^N_7 \qquad (21\text{-}2)$$

$j_R + 1 \leq j \leq j_T - 1$

翼上側

$\left(1 \leq g \leq ga_{1,j} - 1\right)$

$$F^{\theta N Y}_{(1,\,j,\,g),\,1}\left(\Delta N^{t}_{Z}, \boldsymbol{P}^{\boldsymbol{f}}\right) = 0 \tag{21-3}$$

翼下側

$\left(ga_{1,j} \leq g \leq G^{w}_{1}\right)$

$$F^{\theta N Y}_{(1,\,j,\,g),\,1}\left(\Delta N^{t}_{Z}, \boldsymbol{P}^{\boldsymbol{f}}\right) = 0 \tag{21-4}$$

$j_T \leq j \leq J_1$

翼上側

$\left(1 \leq g \leq ga_{1,j} - 1\right)$

$$F^{\theta N Y}_{(1,\,j,\,g),\,1}\left(\Delta N^{t}_{Z}, \boldsymbol{P}^{\boldsymbol{f}}\right) = \frac{\Delta N^{t}_{Z}}{\left|\Delta N^{t}_{Z}\right|} \cdot \eta_Z \cdot \left|\theta_{(1,\,j,\,g),\,1}\right| \equiv F^{N}_{8} \tag{21-5}$$

翼下側

$\left(ga_{1,j} \leq g \leq G^{w}_{1}\right)$

$$F^{\theta N Y}_{(1,\,j,\,g),\,1}\left(\Delta N^{t}_{Z}, \boldsymbol{P}^{\boldsymbol{f}}\right) = \frac{\Delta N^{t}_{Z}}{\left|\Delta N^{t}_{Z}\right|} \cdot \eta_Z \cdot \left|\theta_{(1,\,j,\,g),\,1}\right| \equiv F^{N}_{8} \tag{21-6}$$

(1-1-3) 横関節の操作量推定

横関節の通番Is を属番系 (p,n,h) に変換し, 横関節の操作量を次式で表す.

$$\Delta\varphi_{(p,n,h)} = \Delta\varphi^{A}_{(p,n,h)} + \Delta\varphi^{N}_{(p,n,h)} \tag{22-1}$$

$$\Delta\varphi^{A}_{(p,n,h)} = F^{\varphi A}_{(p,n,h),1}\left(\Delta\vec{A}^{t}, \boldsymbol{P}^{f}\right) \tag{22-2}$$

$$\Delta\varphi^{N}_{(p,n,h)} = F^{\varphi N}_{(p,n,h),1}\left(\Delta\vec{N}^{t}, \boldsymbol{P}^{f}\right) \tag{22-3}$$

そして属番系$(1,n,h)$の範囲毎に$F^{\varphi A}_{(1,n,h),1}, F^{\varphi N}_{(1,n,h),1}$を設定する.

$F^{\varphi A}_{(1,n,h),1}$ の設定

翼上下の各頂点関節の関節角

$\varphi_{(1,n_M,h)}\left(h=h^{wus}_{1,n_M}\right)$, $\varphi_{(1,n_M,h)}\left(h=h^{wls}_{1,n_M}\right)$ と

$$\lambda_\varphi \equiv -\frac{1}{\left|\Delta A^t_Z\right|+10}+0.1 \qquad (23)$$

から各頂点関節の操作量を次の通り与え, 第 n_M 機構の翼上,下の各最大操作量を生成する.

$$\Delta\varphi^{A,su}_{1,n_M} \equiv \frac{\Delta A^t_Z}{\left|\Delta A^t_Z\right|}\cdot\lambda_\varphi\cdot\varphi_{(1,n_M,h)} \quad \left(h=h^{wus}_{1,n_M}\right) \quad \text{（翼上側）} \qquad (24\text{-}1)$$

$$\Delta\varphi^{A,sl}_{1,n_M} \equiv \frac{-\Delta A^t_Z}{\left|\Delta A^t_Z\right|}\cdot\lambda_\varphi\cdot\varphi_{(1,n_M,h)} \quad \left(h=h^{wls}_{1,n_M}\right) \quad \text{（翼下側）} \qquad (24\text{-}2)$$

更に,全ての横断面機構A型 $n(1 \leq n \leq na_1)$毎に翼上,下側の各最大操作量を与える関節（翼上側 $h=h^{wus}_{1,n}$, 翼下側 $h=h^{wls}_{1,n}$ ）の最大操作量を,

$$\kappa_x = \begin{cases} \dfrac{n}{n_M} & (1 \leq n \leq n_M) \quad (24\text{-}3) \\ \\ \dfrac{na_1 - n}{na_1 - n_M} & (n_M + 1 \leq n \leq na_1) \quad (24\text{-}4) \end{cases}$$

を用いて次の通り与える.

$$\Delta\varphi^{A,su}_{1,n} \equiv \kappa_X \cdot \frac{\Delta A^t_Z}{\left|\Delta A^t_Z\right|} \cdot \lambda_\varphi \cdot \varphi_{(1,n,h)} \quad \left(h = h^{wus}_{1,n}\right)$$ （翼上側）(25-1)

$$\Delta\varphi^{A,sl}_{1,n} \equiv \kappa_X \cdot \frac{-\Delta A^t_Z}{\left|\Delta A^t_Z\right|} \cdot \lambda_\varphi \cdot \varphi_{(1,n,h)} \quad \left(h = h^{wls}_{1,n}\right)$$ （翼下側）(25-2)

そして、全ての横断面機構A型 $n\left(1\le n\le na_1\right)$ 毎に最大操作量を用いて $F^{\varphi A}_{(1,n,h),1}$ を次の通り設定する.

翼上側

$\left(1\le h\le h^{wus}_{1,n}\right)$

$$F^{\varphi A}_{(1,n,h),1}\left(\vec{\varDelta A}^t,\boldsymbol{P}^f\right)=\frac{h}{h^{wus}_{1,n}}\cdot\varDelta\varphi^{A,su}_{1,n}\equiv F^A_5 \quad (26\text{-}1)$$

$\left(h^{wus}_{1,n}+1\le h\le 2\left(J_1-1\right)\right)$

$$F^{\varphi A}_{(1,n,h),1}\left(\vec{\varDelta A}^t,\boldsymbol{P}^f\right)=\frac{2\left(J_1-1\right)-h}{2\left(J_1-1\right)-h^{wus}_{1,n}}\cdot\varDelta\varphi^{A,su}_{1,n}\equiv F^A_6 \quad (26\text{-}2)$$

翼下側

$\left(2\mathrm{J}_1-1\le h\le h^{wls}_{1,n}\right)$

$$F^{\varphi A}_{(1,n,h),1}\left(\vec{\varDelta A}^t,\boldsymbol{P}^f\right)=\frac{h-\left(2\mathrm{J}_1-1\right)}{h^{wls}_{1,n}-1-\left(2\mathrm{J}_1-1\right)+1}\cdot\varDelta\varphi^{A,sl}_{1,n}\equiv F^A_7 \quad (26\text{-}3)$$

$\left(h^{wls}_{1,n}+1\le h\le 4\left(J_1-1\right)\right)$

$$F^{\varphi A}_{(1,n,h),1}\left(\vec{\varDelta A}^t,\boldsymbol{P}^f\right)=\frac{4\left(J_1-1\right)-h}{4\left(J_1-1\right)-h^{wls}_{1,n}}\cdot\varDelta\varphi^{A,sl}_{1,n}\equiv F^A_8 \quad (26\text{-}4)$$

$F_{(1,n,h),1}^{\varphi N}$ の設定

全ての横断面機構A型n $\left(1 \leq n \leq na_1\right)$ の全ての横関節$\left(1 \leq h \leq 4\left(J_1 - 1\right)\right)$に対し

$$F_{(1,n,h),1}^{\varphi N}\left(\Delta \vec{N}^t, \boldsymbol{P}^f\right) = 0 \tag{27}$$