

エンジン翼EW-2の形態過程探索法開拓と 関節格子機構の諸元設定への課題

2017年11月11日

衣川 撰哉

1. 序

後方吸気-排熱回生機能を有するエンジン翼EW-2の構成探索の第1段階において設定された形態系に対し、構成探索の第2段階で形態過程探索法を設定する。

EW-2を有する無人機を飛行させ翼体系の骨格を成す関節格子機構に形態過程を実施させることを想定する。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ことが重要である。関節格子機構の形態過程を

- 1.基準形態を最適化する基準化過程
- 2.空力弾性対応過程
- 3.操縦を反映する操作過程

により構成し、関節段階作動を導入する。そして1.基準化過程、2.空力弾性対応過程の自動形態過程の設定と共に、目標加速度、目標モーメント、飛行状態の入力に対し3.操作過程の関節操作量を出力する関節操作推定関数の初期関数を無人機に搭載し、飛行によるデータ測定と地上での流体力学的推定および関節格子機構の関節数削減を繰返すことにより形態過程探索を行う。

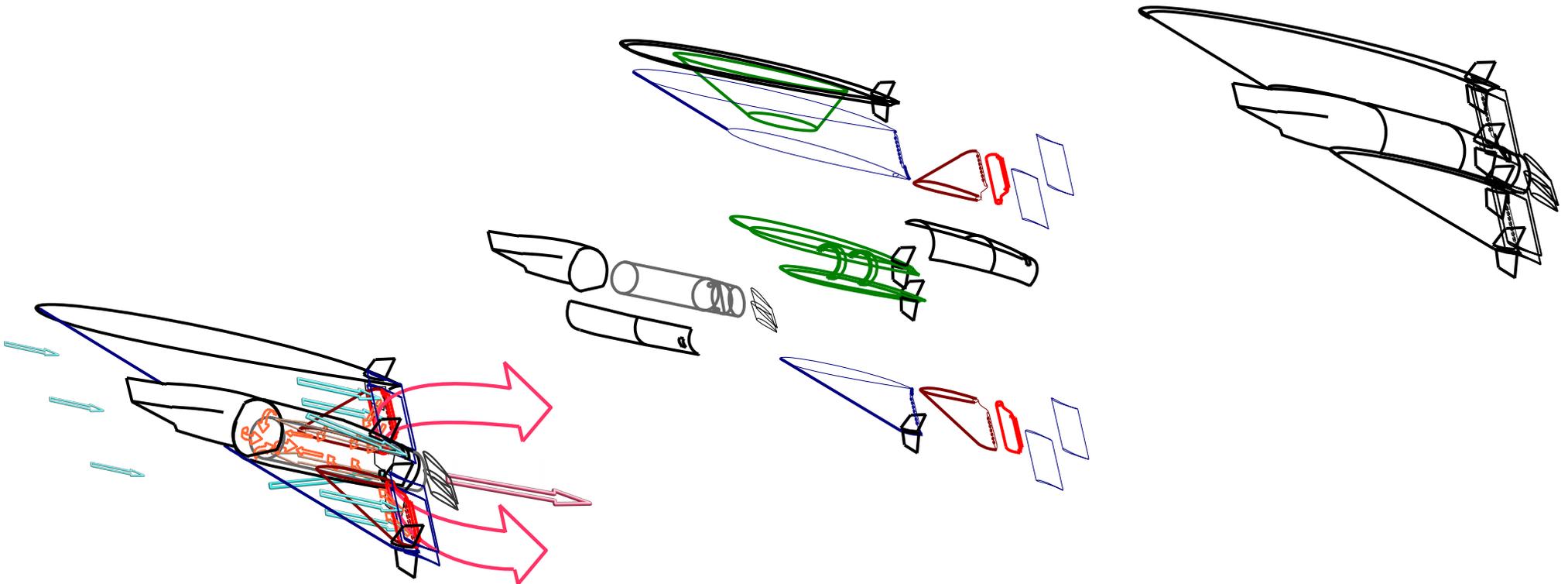
精度と適用性を有する関節操作推定関数を得るため、初期関数からの関数更新の効率化を試みる。

更に構成探索の第3段階：翼体系の諸元設定においては、空力弾性問題の解決と関節格子機構の形態過程の自由度の両立への課題を探る。

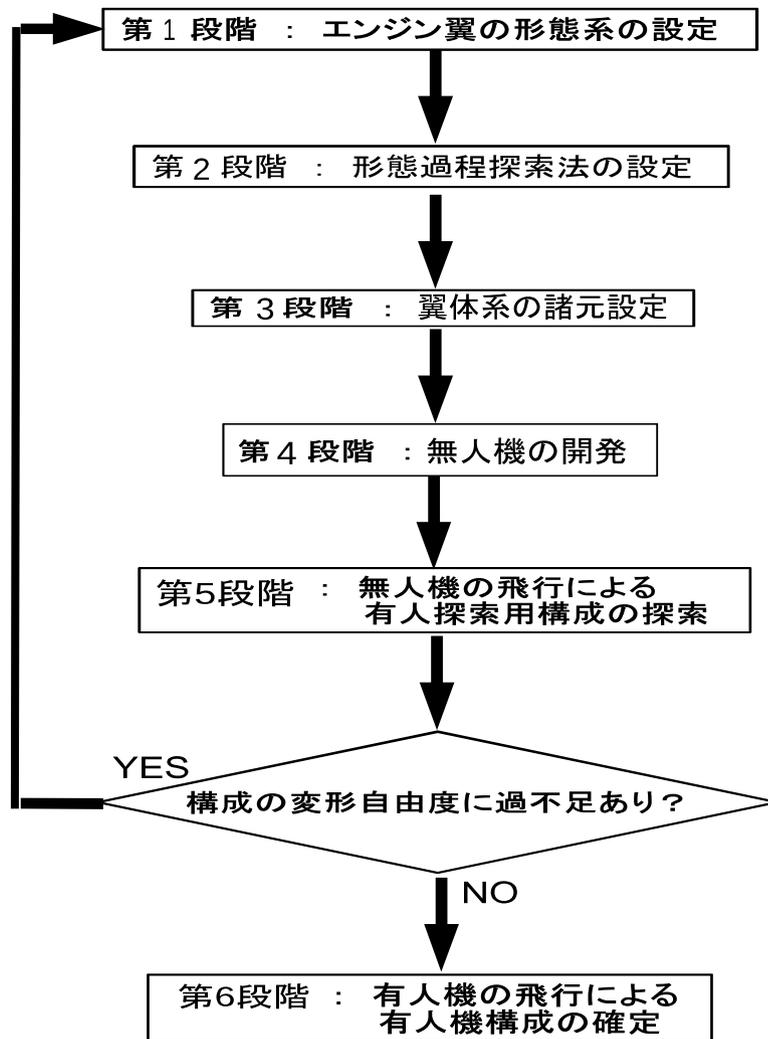
後方吸気-排熱回生機能を有するエンジン翼EW-2

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。



第1図 エンジン翼展開図



第2図 段階的構成探索

2. 関節作動による形態過程探索法の設定

次の各ステップにより形態過程探索法を設定する. 実施する飛行を飛行番号 k により識別する.

(1) 初期設定

1-1) 関節格子機構の初期機構(第1機構)の設定

1-2) 1. 基準化過程で用いる基準形態群と基準形態間
遷移法の設定

1-3) 2. 空力弾性対応過程で用いる空力弾性対応設定

1-4) 関節操作推定関数の初期関数(第1関数)の定義

1-5) 初期入力生成則の定義

1-6) 機体への設定

飛行番号 $k=1$ を指定して「(2)飛行による形態過程の実行」へ進む.

(2)飛行による形態過程の実行

1.基準化過程，2.空力弾性対応過程，3.操作過程を同時に実行する。

1.基準化過程

第 k 飛行で基準形態間の自動遷移動作毎($u=1,2,\dots$)に関節ロック解除段階

$[s_{1,h}]_k^u$ を確定し, $[s_{1,h}]_k^u (u=1,2, \dots)$ の最大値 $[s_{1MAX,h}]_k$ を得る。

2.空力弾性対応過程

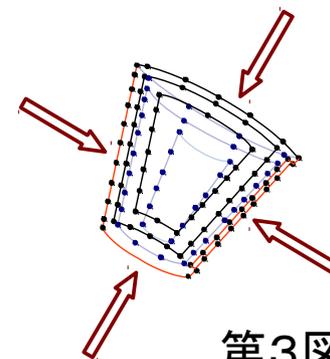
第 k 飛行で弾性変形を抑制する自動抑制動作毎($v=1,2,\dots$)に関節ロック解除段階 $[s_{2,h}]_k^v$ を確定し, $[s_{2,h}]_k^v (v=1,2, \dots)$ の最大値 $[s_{2MAX,h}]_k$ を得る。

3.操作過程

第 k 飛行で入力生成則により $[T]_k^q (q=1,2, \dots, Q_k)$ を生成し,各 $[T]_k^q$ 毎に,関節操作推定関数(第 f 関数)による操作を行い関数更新により第 $f+1$ 関数を求め,関節ロック解除段階 $[s_{3,h}]_k^q$ を確定し, $[s_{3,h}]_k^q (q=1,2, \dots)$ の最大値 $[s_{3MAX,h}]_k$ を得る。

$f \leftarrow f+1$ とし,「3-1)関数の生成判定」へ進む。

- 上面可動関節群
- 下面可動関節群
- 前,後縁,翼端可動関節群



⇒ 方向に可動
関節を増加させる

第3図 関節段階作動法

3.操作過程

第 k 飛行で入力生成則により

$[T]_k^q$ ($q=1,2, \dots, Q_k$) を生成し, 各 $[T]_k^q$

毎に, 関節操作推定関数(第 f 関数)による操作を行い

関数更新により第 $f+1$ 関数を求め, 関節ロック解除段階 $[s_{3,h}]_k^q$ を

確定し, $[s_{3,h}]_k^q$ ($q=1,2, \dots$) の最大値 $[s_{3,MAX,h}]_k$ を得る.

$f \leftarrow f+1$ とし, 「3-1) 関数の生成判定」へ進む.

(3)地上処理

3-1) 関数の生成判定

3-2) 流体力学的推定データの適用可能判定

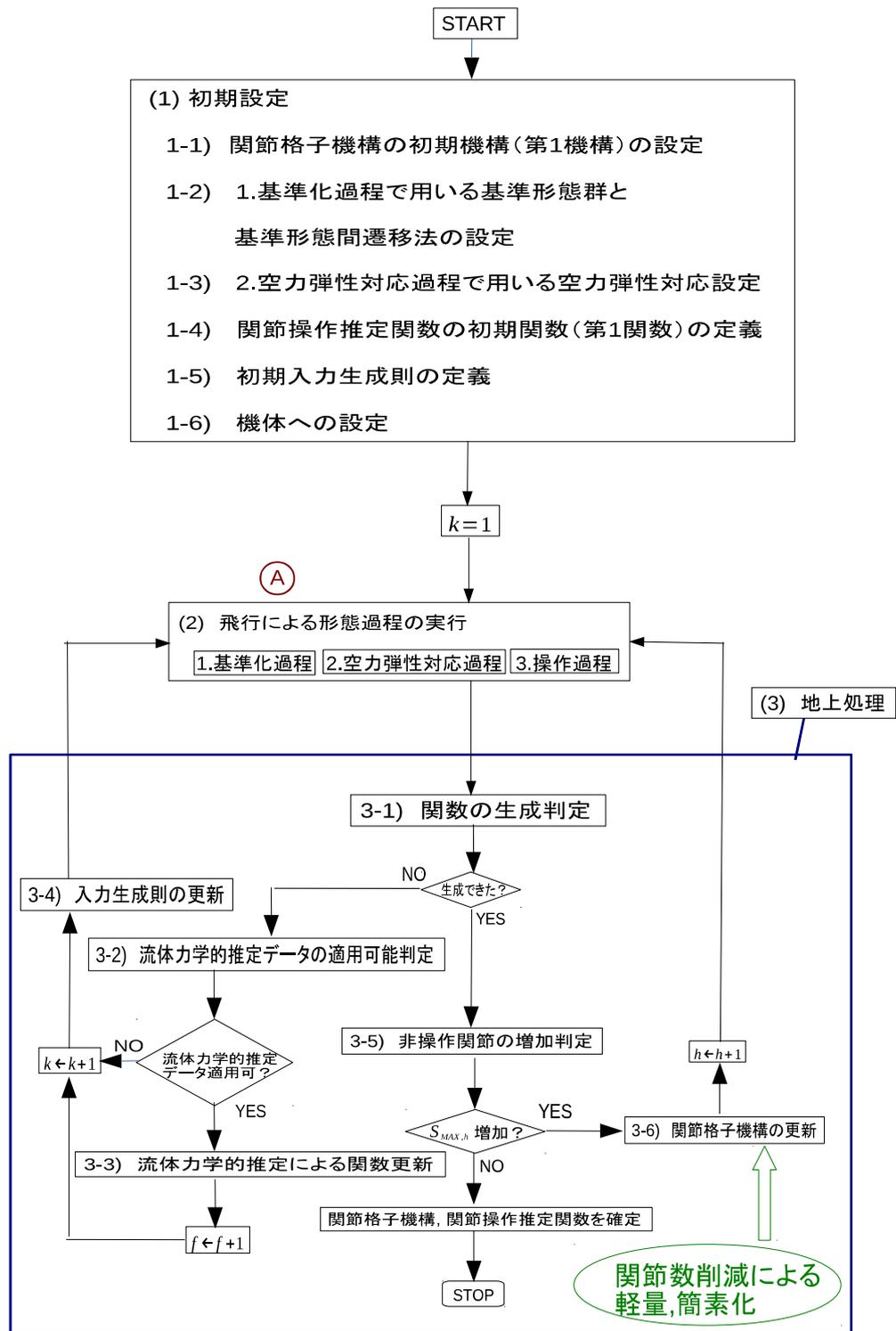
3-3) 流体力学的推定による関数更新

3-4) 入力生成則の更新

3-5) 非操作関節の増加判定

3-6) 関節格子機構の更新

「(2)飛行による形態過程の実行」に進む.



第4図 形態過程探索の流れ図

3. 操作過程の具体化

3-1. 関節操作推定関数の導入

各関節毎に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

$$\mathbf{T} = (\vec{\Delta A}^t, \vec{\Delta N}^t, \mathbf{P}^f) \quad (1)$$

の入力により

縦関節操作角 $\Delta\theta_{ic}$,

横関節操作角 $\Delta\phi_{is}$

を出力する夫々縦関節操作推定関数(θ 関数)

$$\Delta\theta_{ic} = F_{ic}^{\theta}(\mathbf{T}) \quad (1 \leq ic \leq Ic) \quad (2-1)$$

横関節操作推定関数(ϕ 関数)

$$\Delta\phi_{is} = F_{is}^{\phi}(\mathbf{T}) \quad (1 \leq is \leq Is) \quad (2-2)$$

を関節操作推定関数と総称する.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.

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \mathbf{D}^A + \mathbf{D}^N \\ &= \mathbf{F}(\mathbf{T}) = \mathbf{F}^A(\mathbf{T}^A) + \mathbf{F}^N(\mathbf{T}^N) \end{aligned} \quad (2-3)$$

3-2. 関節操作推定関数を用いた操作過程の構成

関節操作推定関数は、初期関数を定義する入力変数群 \mathbf{T} の初期定義域に対し \mathbf{T} の入力毎に初期関数の補正範囲を定める \mathbf{T} の補正定義域が設定され、補正定義域に対して定義される補正関数で初期関数が置換えられて構成される。

そして関節操作推定関数を用いて次の三つの独立した逐次処理により操作過程が構成される。

(1) 操作入力処理

(2) 第1関数更新

(3) 第2関数更新

次に各逐次処理を具体化する。

3-2-1. 操作入力処理

操作入力処理を次の各ステップにより行う。

(1) 関数出力の生成

(2) 関節操作と測定

(3) 関数更新の指示

次に各ステップを具体化する.

(1) 関数出力の生成

T の補正定義域は T の各パラメータの上限値および下限値の組合せにより表される.

$[T]_k^q$ が入力されると $[T]_k^q$ の全てのパラメータが上限値と下限値の間に収まる補正定義域が探索され, 補正定義域が存在する場合は最新の補正定義域の補正関数で, 補正定義域が存在しない場合は初期関数で出力が算出される.

次に, 入力変数群

$$T = (\Delta \vec{A}^t, \Delta \vec{N}^t, P^f)$$

$$P^f: (\vec{V}, \vec{A}, \vec{N}, H, \alpha, \beta, \gamma, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}, \ddot{\alpha}, \ddot{\beta}, \ddot{\gamma}, \vec{\theta}, \vec{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\phi}, \ddot{\theta}, \ddot{\phi})$$

$$\Delta \vec{A}^t = (\Delta A_x^t, \Delta A_y^t, \Delta A_z^t)$$

$$\Delta \vec{N}^t = (\Delta N_x^t, \Delta N_y^t, \Delta N_z^t)$$

の第 k 飛行, 第 q 入力の値 $[T]_k^q$ に対しアルゴリズム変数を次の通り割り当てる.

第1表 入力変数とアルゴリズム変数の対応

$K(1)$	$K(2)$	$K(3)$	$K(4)$	$K(5)$	$K(6)$	$K(7)$	$K(8)$	$K(9)$	$K(10)$
$[V_x]_k^q$	$[V_y]_k^q$	$[V_z]_k^q$	$[A_x]_k^q$	$[A_y]_k^q$	$[A_z]_k^q$	$[N_x]_k^q$	$[N_y]_k^q$	$[N_z]_k^q$	$[H]_k^q$

$K(11)$	$K(12)$	$K(13)$	$K(14)$	$K(15)$	$K(16)$	$K(17)$	$K(18)$	$K(19)$
$[a]_k^q$	$[\beta]_k^q$	$[y]_k^q$	$[\dot{a}]_k^q$	$[\dot{\beta}]_k^q$	$[\dot{y}]_k^q$	$[\ddot{a}]_k^q$	$[\ddot{\beta}]_k^q$	$[\ddot{y}]_k^q$

$T(1)$	$T(2)$	· ·	$T(IC)$
$[\theta_1]_k^q$	$[\theta_2]_k^q$	· ·	$[\theta_{IC}]_k^q$

$T2(1)$	$T2(2)$	· ·	$T2(IC)$
$[\tilde{\theta}_1]_k^q$	$[\tilde{\theta}_2]_k^q$	· ·	$[\tilde{\theta}_{IC}]_k^q$

$F(1)$	$F(2)$	· ·	$F(IS)$
$[\varphi_1]_k^q$	$[\varphi_2]_k^q$	· ·	$[\varphi_{IS}]_k^q$

$F2(1)$	$F2(2)$	· ·	$F2(IS)$
$[\tilde{\varphi}_1]_k^q$	$[\tilde{\varphi}_2]_k^q$	· ·	$[\tilde{\varphi}_{IS}]_k^q$

$T1(1)$	$T1(2)$	· ·	$T1(IC)$
$[\dot{\theta}_1]_k^q$	$[\dot{\theta}_2]_k^q$	· ·	$[\dot{\theta}_{IC}]_k^q$

$DA(1)$	$DA(2)$	$DA(3)$
$[\Delta A_x]_k^q$	$[\Delta A_y]_k^q$	$[\Delta A_z]_k^q$

$F1(1)$	$F1(2)$	· ·	$F1(IS)$
$[\dot{\varphi}_1]_k^q$	$[\dot{\varphi}_2]_k^q$	· ·	$[\dot{\varphi}_{IS}]_k^q$

$DN(1)$	$DN(2)$	$DN(3)$
$[\Delta N_x]_k^q$	$[\Delta N_y]_k^q$	$[\Delta N_z]_k^q$

各補正定義域と補正関数の組合せに設定順に補正番号 c を付与し第 c 補正と呼ぶ。第 c 補正($c=1,2,\dots$)の補正定義域を決める各入力変数の上限値および下限値を表すアルゴリズム変数を次の通り定める。

第2表 入力変数名毎の上，下限変数

入力変数名	上限変数	下限変数
$K(p)$, $p=1\sim 19$	$KU(c,p)$	$KL(c,p)$
$T(p)$, $p=1\sim IC$	$TU(c,p)$	$TL(c,p)$
$F(p)$, $p=1\sim IS$	$FU(c,p)$	$FL(c,p)$
$T1(p)$, $p=1\sim IC$	$T1U(c,p)$	$T1L(c,p)$
$F1(p)$, $p=1\sim IS$	$F1U(c,p)$	$F1L(c,p)$
$T2(p)$, $p=1\sim IC$	$T2U(c,p)$	$T2L(c,p)$
$F2(p)$, $p=1\sim IS$	$F2U(c,p)$	$F2L(c,p)$
$DA(p)$, $p=1\sim 3$	$DAU(c,p)$	$DAL(c,p)$
$DN(p)$, $p=1\sim 3$	$DNU(c,p)$	$DNL(c,p)$

(2) 関節操作と測定

入力が行なされると関節のロックを段階的に解除して解除段階毎に可動関節を関節数出力により操作し、加速度増分ベクトル、モーメント増分ベクトルを測定する。

測定加速度増分ベクトル、測定モーメント増分ベクトルの誤差が許容範囲となる解除段階がある場合、最も可動関節数の少ない解除段階の関節操作と測定加速度増分ベクトル、測定モーメント増分ベクトルを現入力に対する関節操作と測定加速度増分ベクトル、測定モーメント増分ベクトルとして決定し、補正対象とする。

全ての解除段階で測定加速度増分ベクトル、測定モーメント増分ベクトルの誤差が許容範囲にない場合、最も誤差の小さい解除段階の関節操作と測定加速度増分ベクトル、測定モーメント増分ベクトルを現入力に対する関節操作と測定加速度増分ベクトル、測定モーメント増分ベクトルとして決定する。

(3) 関数更新の指示

関節操作推定関数の出力が初期関数により成された場合縮小指示子 $i=0$ を生成する。

関節操作推定関数の出力が補正関数により成され測定ベクトルの誤差が許容範囲に無い場合、縮小指示子 $i=1$ を生成する。

関節操作推定関数の出力が補正関数により成され測定ベクトルの誤差が許容範囲に有る場合、縮小指示子 $i=0$ を生成する。

そして縮小識別子 (q,i) を縮小識別子の記憶領域に伝達する。

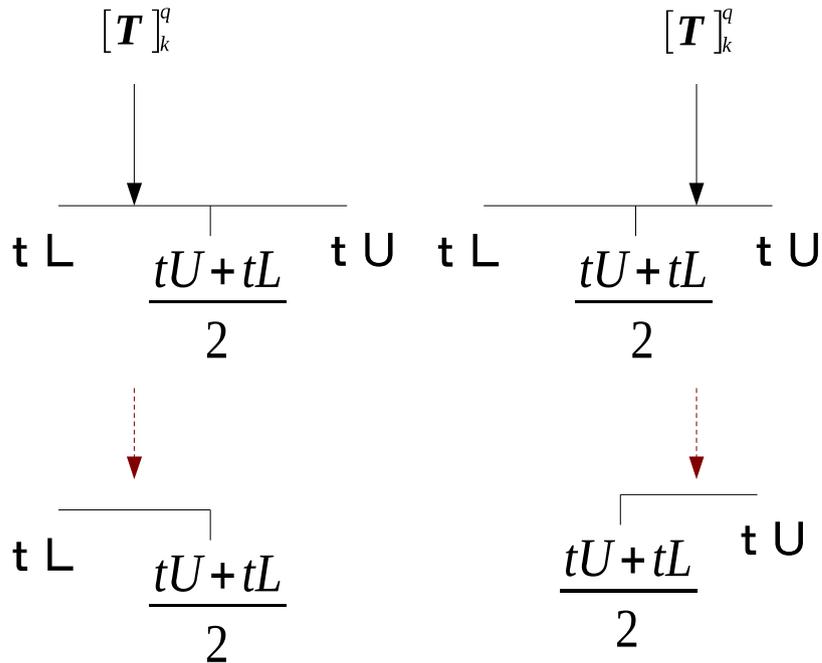
3-2-2.第1関数更新

$[T]_k^q$ を含む補正定義域が
右の通り縮小される。

t : T を構成する各入力変数

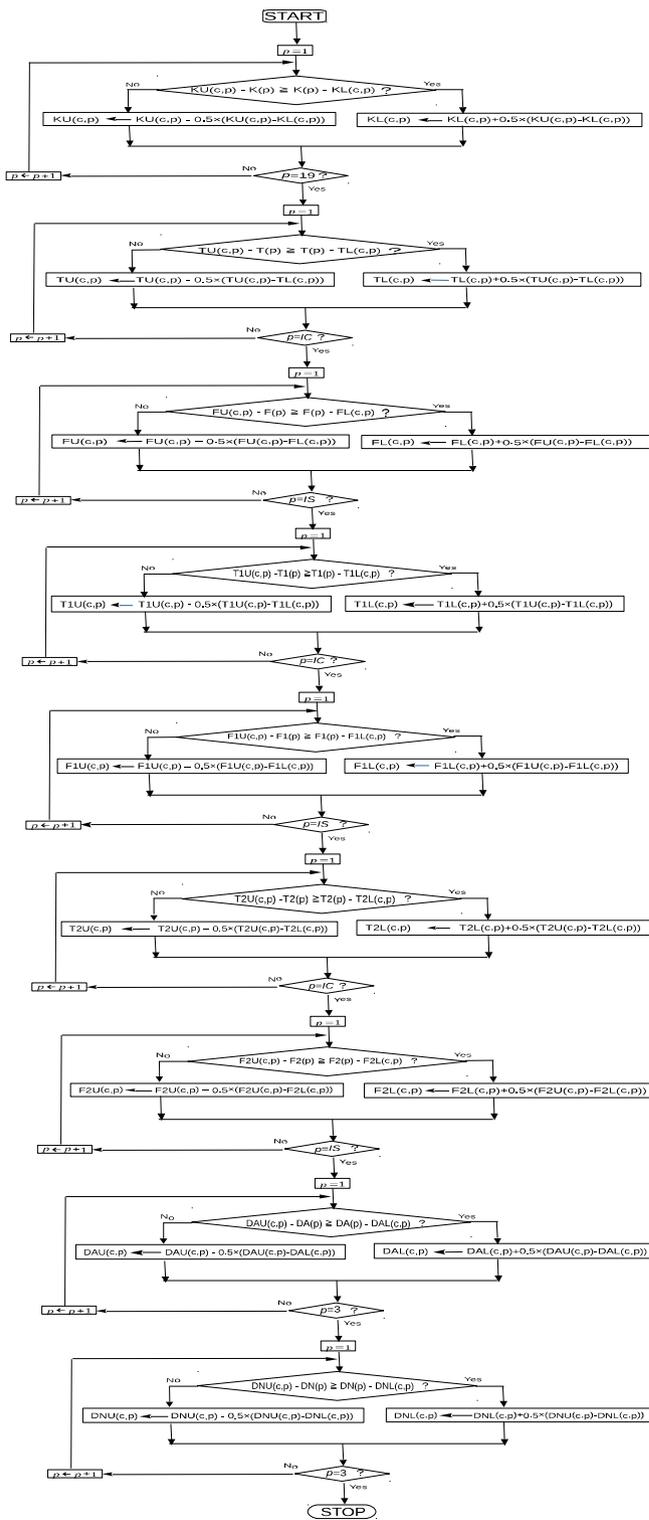
tU : $[T]_k^q$ を含む補正定義域を
決める t の上限値

tL : $[T]_k^q$ を含む補正定義域を
決める t の下限値



第5図 補正定義域の縮小フロー

第C_{MAX} 補正定義域の縮小



3-2-3.第2関数更新

第 k 飛行の第 q 入力に対して

$$l = Q_{k-1} + q$$

により指定される第 l 補正を形成する.

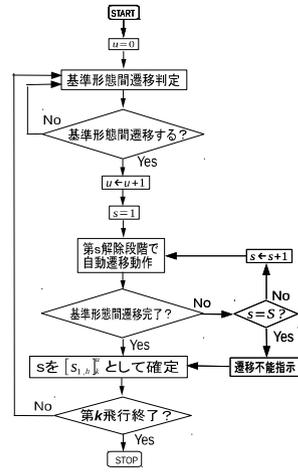
$P^f = [P^f]_k^q$ において $[D]_k^q$ の関節操作により $[\Delta \vec{A}^m]_k^q$, $[\Delta \vec{N}^m]_k^q$ が測定される. これは, $P^f = [P^f]_k^q$ において

目標ベクトルを $[\Delta \vec{A}^m]_k^q$, $[\Delta \vec{N}^m]_k^q$ に指定した入力

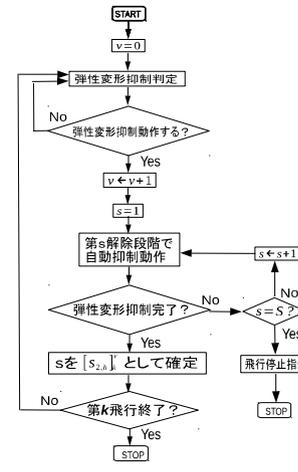
$$T^l \equiv ([\Delta \vec{A}^m]_k^q, [\Delta \vec{N}^m]_k^q, [P^f]_k^q)$$

に対する出力目標が $[D]_k^q$ であることを示している.

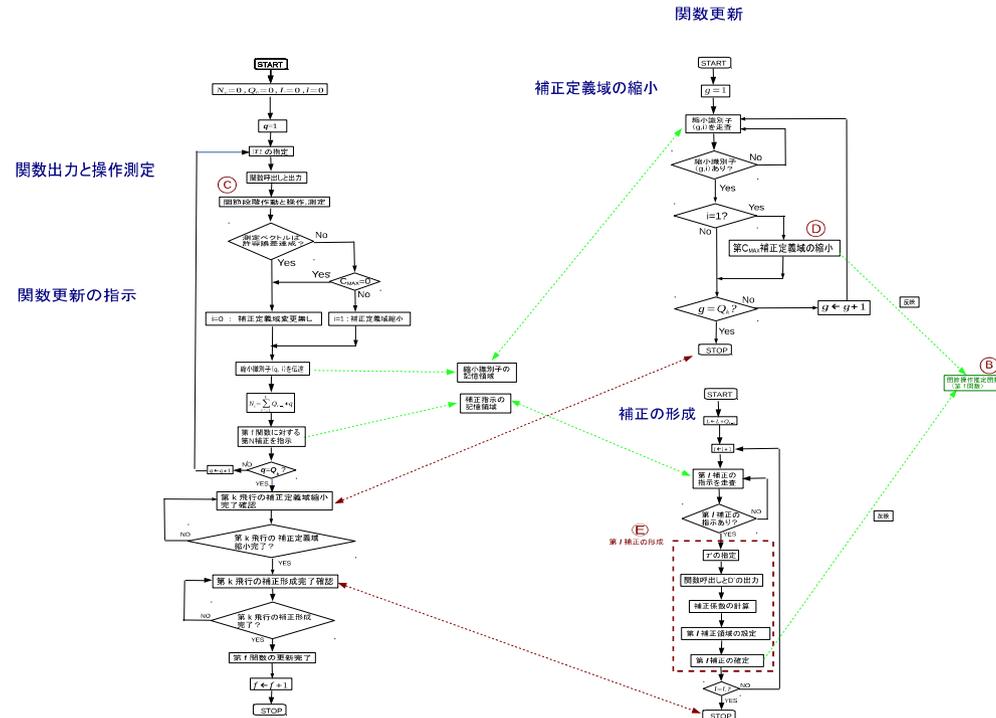
1. 基準化過程



2. 空力弾性対応過程



3. 操作過程



第6図 飛行における形態過程の流れ図

4. 関節格子機構の諸元設定への課題

エンジン翼の構成探索の第3段階

エンジン翼の形態変形を支配する翼体系の諸元設定を考える.

エンジン翼の翼体系は, 骨格を成す関節格子機構をスキンが覆う基本構成を有する.

そして関節角分布の遷移による関節格子機構の形態変形は, 剛体としての機構(剛体系)の形態変形に動圧, スキンの弾性変形, 重力の影響による機構の弾性変形が重ね合わされたものとなる.

機構の弾性変形は有害な空力弾性現象を回避するための各部材の弾性限界により制限されるため、

有害な空力弾性現象の回避と十分な形態変形の実現の両立が課題となる。

特に低空、低速では関節操作により大きな形態変形が必要となる傾向が大きいいためフラッターを抑制するために設定される弾性限界により形態変形が制限される虞がある。

このため、形態過程自由度とフラッター速度の両方を満足する各部材の弾性限界を見出すことが求められる。

機構の形態自由度 F_S

剛体系の形態は各関節の作動角で決まる。剛体系の自由度 F_R を各関節の作動角範囲の総和で評価する。

また機構の弾性変形自由度 F_E を各部材の限界曲げ角 $\Lambda_{B,g}$ と限界捩り角 $\Lambda_{T,g}$ の和に長さ l_g を乗じた値の総和で評価する。

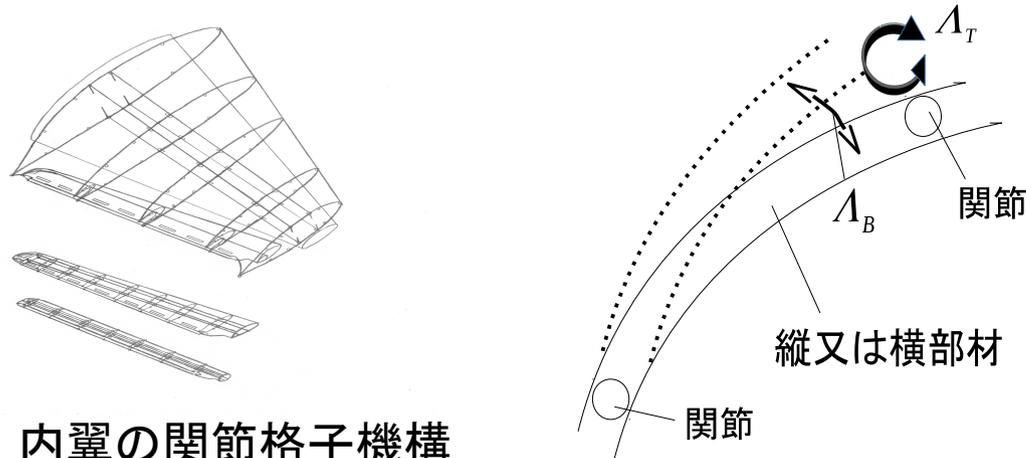
$$F_E = \sum_g (\Lambda_{B,g} + \Lambda_{T,g}) \cdot l_g \quad (g: \text{部材No.})$$

そして機構の形態自由度 F_S

$$F_S = F_R + F_E$$

を求める。

有害な空力弾性現象を回避するための関節数, 各関節の作動角範囲, 各部材の弾性限界, 長さに対する条件下で F_S を高めることが課題となる。



第7図 内翼の関節格子機構

5. 結論

飛行による形態過程の「3.操作過程」に, 関節操作推定関数の出力が補正関数により成され測定ベクトルの誤差が許容範囲にない場合に補正定義域を縮小するステップ(第1関数更新)を加え, 関数探索の効率化を図った.

エンジン翼の構成探索の第3段階の課題として, 関節格子機構の形態自由度 F_S を導入し有害な空力弾性現象を回避するための条件下で F_S を高めることを挙げた.

6.参考文献

- 1) 衣川 撰哉 : 第48期年会講演原稿