

# 関節操作推定関数探索法の開拓

2016年11月26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。

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無人機のコンピュータに搭載し、無人機を飛行させ関節操作推定関数の操作量出力により形態過程を生成する。

このため、形態系の適用範囲が広く高精度で効率的に操作量を出力できる関節操作推定関数を見出さなければならない。

無人機のコンピュータ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  
初期関数に対して飛行による測定データと地上での流体力学的  
推定データによる更新を繰り返して関節操作推定関数を探索し確定  
する方法の精度と効率を追求する。

これまでの飛行による測定情報や流体力学的  
情報による間接的な関数値の決定法よりも精  
度と効率の改善性を高めるため

翼体系の特に内翼を対象に、  
飛行中関数を直接的に補正する方法の開拓を試みる。

## 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

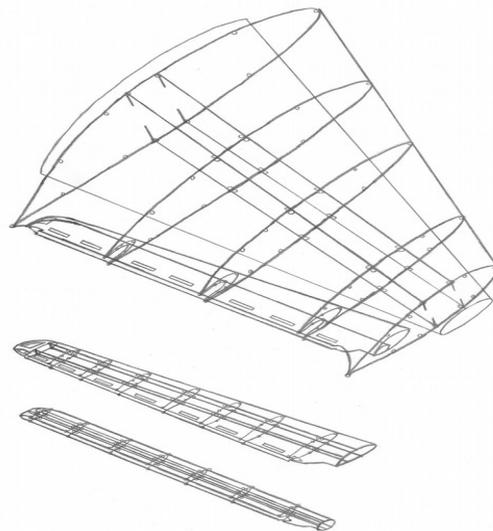
関節角変化が自動的恒常的に  
重ね合わされている状態

1.基準化過程, 2.空力弾性対応過程の関節角変化が自動的に恒常的に重ね合わされている状態(自動形態過程)下で更に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.

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.

このため, 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

# 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  $\vec{\Delta A}^t: (\Delta A_X^t, \Delta A_Y^t, \Delta A_Z^t)$

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

の入力により

縦関節操作角  $\Delta \theta_{ic}$ ,

横関節操作角  $\Delta \phi_{is}$

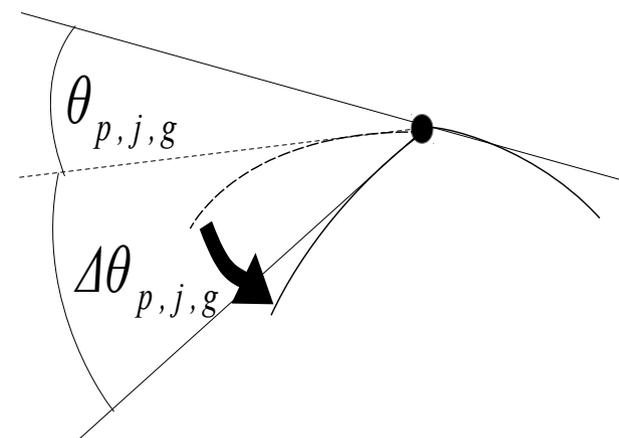
を出力する夫々縦関節操作推定関数 ( $\theta$ 関数)

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

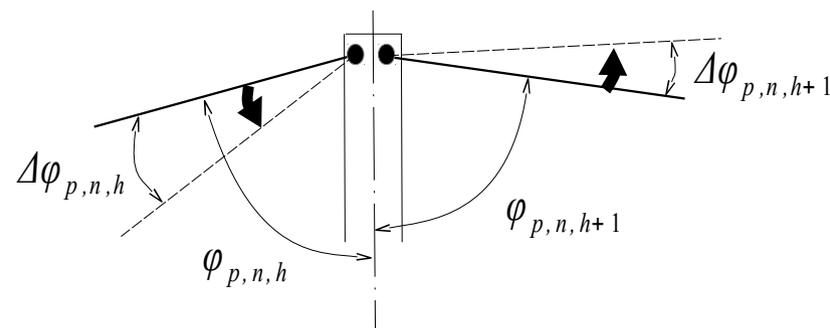
横関節操作推定関数 ( $\phi$ 関数)

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

を関節操作推定関数と総称する.



第2図 縦関節角



第3図 横関節角

そしてベクトル

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} \Delta \theta_1 \\ \vdots \\ \Delta \theta_{ic} \\ \vdots \\ \Delta \theta_{IC} \\ \Delta \varphi_1 \\ \vdots \\ \Delta \varphi_{is} \\ \vdots \\ \Delta \varphi_{IS} \end{pmatrix} \quad (2-1)$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{T}) = \begin{pmatrix} F_1^\theta(\mathbf{T}) \\ \vdots \\ F_{ic}^\theta(\mathbf{T}) \\ \vdots \\ F_{IC}^\theta(\mathbf{T}) \\ F_1^\varphi(\mathbf{T}) \\ \vdots \\ F_{is}^\varphi(\mathbf{T}) \\ \vdots \\ F_{IS}^\varphi(\mathbf{T}) \end{pmatrix} \quad (2-2)$$

を用いて次式で表される.

$$\mathbf{D} = \mathbf{F}(\mathbf{T}) \quad (2-3)$$

## 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、飛行による空力測定と地上での流体力学的推定を繰り返すことにより初期関数からの関数更新を行い、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。

これまで

飛行変数群  $[P^f]_k^q$

目標加速度増分ベクトル  $[\Delta \vec{A}^t]_k^q$

目標モーメント増分ベクトル  $[\Delta \vec{N}^t]_k^q$

からなる入力  $[T]_k^q = ([\Delta \vec{A}^t]_k^q, [\Delta \vec{N}^t]_k^q, [P^f]_k^q)$  に対し

予め設定した許容精度

$$|P^{f,m} - [P^f]_k^q| < \delta_{Pf}$$

$$|\Delta \vec{A}^m - [\Delta \vec{A}^t]_k^q| < \delta_A$$

$$|\Delta \vec{N}^m - [\Delta \vec{N}^t]_k^q| < \delta_N$$

を満たす操作データ又は流体力学的推定データを走査し

該当データ  $(P^{f,m}, \Delta \vec{A}^m, \Delta \vec{N}^m, D^m)$  ( $m=1, 2, \dots, n$ ) があれば

$$D^m \text{ の平均 } \quad \bar{D} = \frac{\sum_{m=1}^n D^m}{n}$$

により、該当データがなければ初期関数により関数出力  $[D]_k^q$  を決定していた。

入力が発生する度に多数の操作データ,流体力学的推定データを走査しなければならずまた  $D^m$  の平均による間接的な出力は精度向上に限界があった。

初期関数を直接的に更新する方法を考える。

次の(1), (2)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

(1)初期設定

(2)関数更新

(2-1)機体における探索動作

(2-1-1)関節操作と生成判定

(2-1-2)補正による関数更新

(2-2)地上における探索法改善

## (1) 初期設定

### (1-1) 初期関数の定義

### (1-2) 初期入力生成則の設定

第1飛行で探索する $P^f$ の領域： $P^f$ 探索領域を設定する.

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

### (1-3) 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

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

初期入力生成則をインストールする.

飛行番号 $k=1$ を指定して

「(2)関数更新」に進む.

## (2)関数更新

### (2-1)機体における探索動作

#### (2-1-1)関節操作と測定

第 $k$ 飛行毎に入力生成則により生成する $Q_k$ 個の入力変数値群 に対する関節操作推定関数の出力 により関節操作を行う。

入力確定

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

関数出力

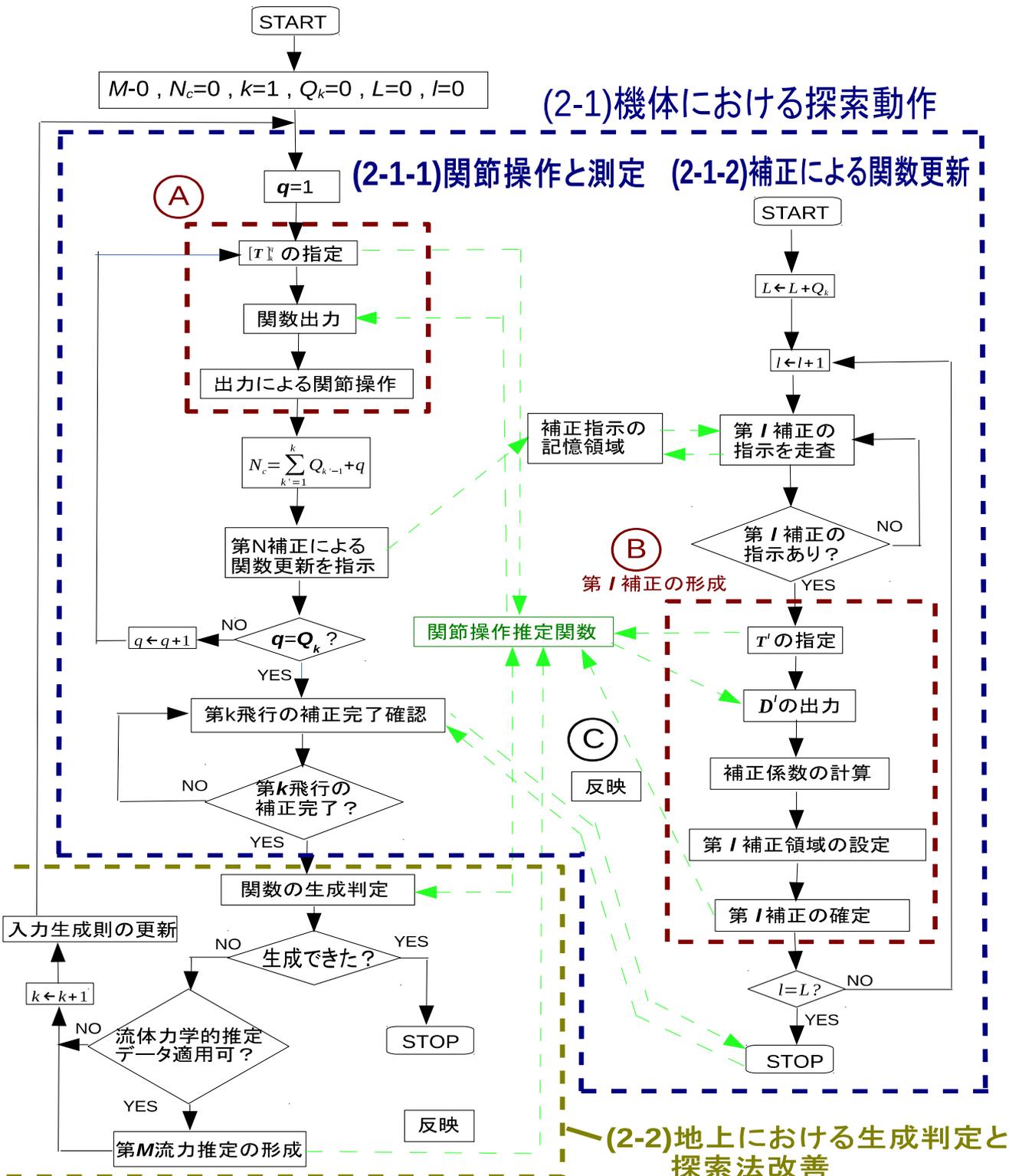
$$[D]_k^q = F([T]_k^q)$$

関節操作



測定

測定加速度増分ベクトル  $[\Delta \vec{A}^m]_k^q$   
測定モーメント増分ベクトル  $[\Delta \vec{N}^m]_k^q$



第4図 関節操作推定関数更新の流れ図

# 関節操作推定関数

## 内部変数の設定

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

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

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

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

の第  $k$  飛行, 第  $q$  番目の値  $[T]_k^q = ([\Delta \vec{A}^t]_k^q, [\Delta \vec{N}^t]_k^q, [\mathbf{P}^f]_k^q)$   
 に対し内部変数を次の通り割当ててる.

第1表 入力変数と内部変数の対応

$K(1)$	$K(2)$	$K(3)$	$K(4)$	$K(5)$	$K(6)$	$K(7)$	$K(8)$	$K(9)$	$K(10)$
$[\mathbf{V}_x]_k^q$	$[\mathbf{V}_y]_k^q$	$[\mathbf{V}_z]_k^q$	$[\mathbf{A}_x]_k^q$	$[\mathbf{A}_y]_k^q$	$[\mathbf{A}_z]_k^q$	$[\mathbf{N}_x]_k^q$	$[\mathbf{N}_y]_k^q$	$[\mathbf{N}_z]_k^q$	$[\mathbf{H}]_k^q$

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

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

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

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

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

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

$DA(1)$	$DA(2)$	$DA(3)$
$[\Delta \mathbf{A}_x]_k^q$	$[\Delta \mathbf{A}_y]_k^q$	$[\Delta \mathbf{A}_z]_k^q$

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

$DN(1)$	$DN(2)$	$DN(3)$
$[\Delta \mathbf{N}_x]_k^q$	$[\Delta \mathbf{N}_y]_k^q$	$[\Delta \mathbf{N}_z]_k^q$

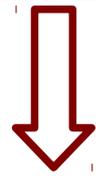


# ② 第 I 補正の形成

得られる情報

但し  $l = \sum_{r=1}^{k-1} Q_r + q' : l \rightarrow (k, q')$

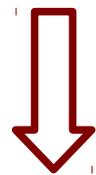
$P^f = [P^f]_k^{q'}$  において  $[D]_k^{q'}$  の関節操作により  
 $[\Delta \vec{A}^m]_k^{q'}$   $[\Delta \vec{N}^m]_k^{q'}$  が測定される。



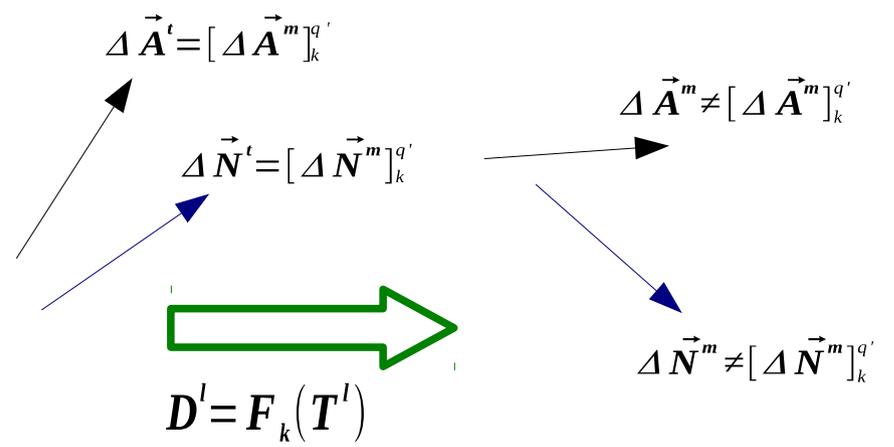
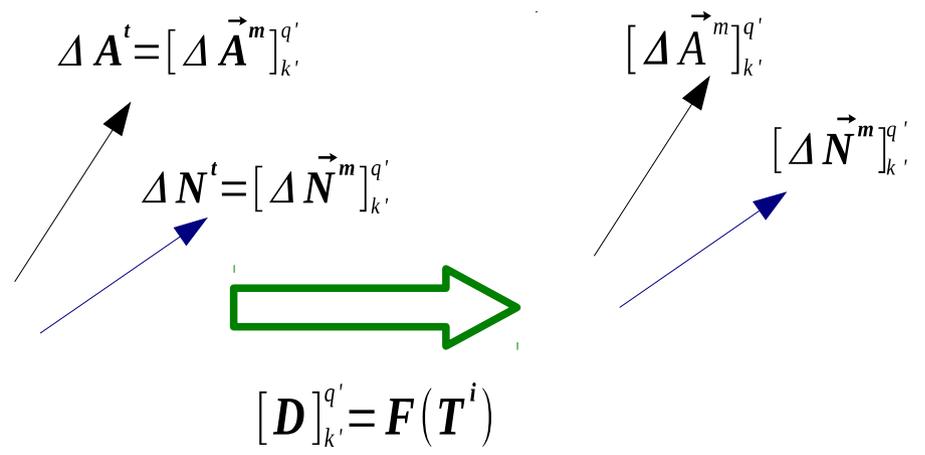
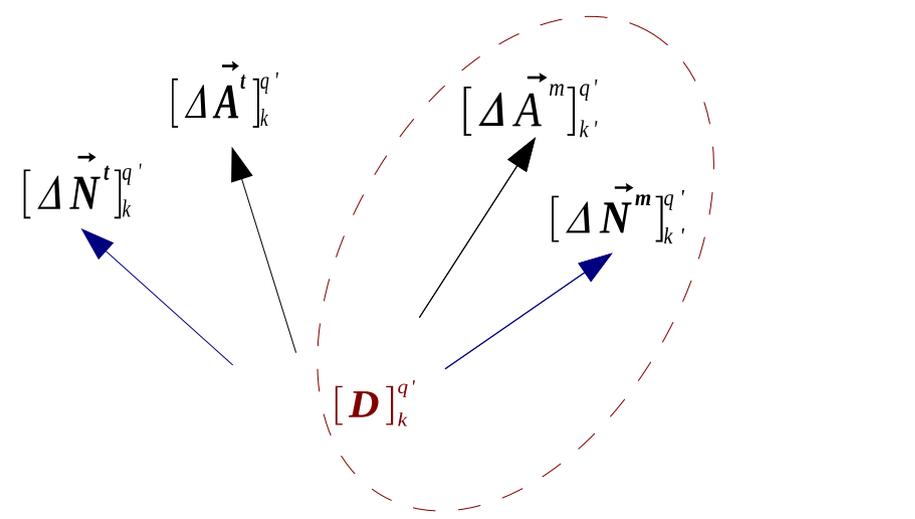
最終的に確定すべき関数  $F$  は

$P^f = [P^f]_k^{q'}$  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  $T^l = ([\Delta \vec{A}^m]_k^{q'}, [\Delta \vec{N}^m]_k^{q'}, [P^f]_k^{q'})$   
 に対する出力が  $[D]_k^{q'}$ であることを示している。



現行の  $F_k$  では  $T^l$  に対する出力  $D^l = F_k(T^l)$  は  
 $[D]_k^{q'}$  と異なる。従って  $D^l$  の関節操作により  
 測定される  $\Delta \vec{A}^m$   $\Delta \vec{N}^m$  は  $[\Delta \vec{A}^m]_k^{q'}$   $[\Delta \vec{N}^m]_k^{q'}$   
 と異なる。





## 6.結論

関節操作推定関数の更新法を変更し、測定加速度増分ベクトルと測定モーメント増分ベクトルの入力による直接的な関数補正を、飛行中関節操作と同時進行で行うことで初期関数からの精度と効率の改善性を高めた。

## 7. 今後の課題

- ・「ステップ(2-2)地上における探索法改善」  
の具体化
  - ・初期関数について
    - P fの影響を考慮する.
    - 関節角計算式のパラメータの探索法を研究する.
  - ・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の探索法を研究する.
- などが挙げられる.