

ISSN 0452-2982
UDC 681. 3. 066
681. 326. 7
629. 7. 018. 7
629. 7. 025. 35

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-607

可変安定応答実験機のDLCシステムモニタについて

石川和敏・小野孝次・塚野雄吉

1989年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

可変安定応答実験機のDLCシステムモニタについて*

石川和敏** 小野孝次** 塚野雄吉**

1. ま え が き

当所の実験用航空機ビーチクラフト65型機(JA 5111)はイン・フライト・シミュレータとして、各種航空機の安定・操縦性を模擬(モデル・フォロー)出来る可変安定応答実験機(VSRA: Variable Stability and Response Airplane)に改造されている¹⁾。本VSRAを使用した実験は、本来の操縦システムと機械的に切り放された模擬操縦装置(副操縦士席側)により行われる。従って、VSRAのシステムが接続(エンゲージ)された状態で、副操縦士席の評価パイロットは搭載コンピュータに設定されたモデル機を操縦することになる。コンピュータ内部のモデルの運動に母機が追従するために用意された制御則でコマンド信号が演算され、サーボ・アクチュエータを介しそのコマンド信号により空力三舵(昇降舵、補助翼、方向舵)及びスロットルが制御される。主操縦士席(安全パイロット席)側は従前の操縦システムを保ち安全確保のために、いつでもVSRAシステムの切り離し(ディスエンゲージ)が出来る。このVSRAを使用して各種の研究が行われてきたが^{2,3,4)}、さらに強いバックサイド領域における航空機の模擬や宇宙往還機の着陸時の運動を模擬しようとするれば、従来の昇降舵やスロットルだけのコントローラでは縦の制御に対して限界がある。そのため、VSRAシステムに揚力を直接制御できるDLC(Direct Lift Control)システムを付加することにした。

DLCを付加する方法はいくつか考えられるが、当所ではVSRA本機(母機)のフラップを改造することにした。母機は左右の主翼にそれぞれ内舷及び外舷フラップを持つが、図1に示すようにそのうちの内舷フラップを母フラップとDLCフラップに分割し、DLCフラップを電動アクチュエー

タで駆動する方法を採用した。DLCフラップの制御及び駆動については従来のVSRAの主計算機と新たに開発したDLC信号調整器によって行い、DLCシステムがVSRAシステムの下でのみ運用できるようにした。その結果、DLCフラップの操縦システムは、電動アクチュエータを介してのみ制御できる完全なフライ・バイ・ワイヤとなり、この点が機械システムも共有する他の三舵・スロットル系とは大きな相違点である。

本実験機は、計算機、各種センサ並びにサーボ・アクチュエータを主構成要素とし、フライ・バイ・ワイヤ化された操縦システムを組み込んだ航空機である。その安全性を確保しつつ、かつ、従来のVSRAの能力を保持するためには、付加されたDLCシステムのソフトウェアを含む各構成要素が確実に作動することが前提となる。そのためには、信頼性の高いシステムモニタ機能を持つことが必須の条件である。そこで、本DLCシステムには、従来からのVSRAシステムとの整合性を配慮したモニタ機能を付加した。

本報告では、主にDLCシステムのモニタ機能(①システムの現状態からの移行を確認するために設けられたインタロック・モニタ; ②現在のシステムの状態を監視する状態モニタ)と、それに係わるVSRA/DLCシステムの構成について述べる。さらにこのモニタ機能を地上及び飛行試験により評価したので、その結果についても示す。

2. 記 号

δ_f : 主計算機内の制御則で作られるDLCフラップ角度(度)

δ_{cc} : 主計算機からDLC用信号調整器に送られる角度信号(度)

δ_{cp} : DLCコントロール・パネル部からDLC信号調整器に送られる角度信号(度)

δ_c : DLC信号調整器からDLCフラップに送

* 平成元年4月19日受付

** 飛行実験部



機体斜め左後方より撮影

図1 VSRA と DLC フラップ

られる角度信号(度)

δ_P : DLCフラップの角度信号(度)

$\hat{\delta}_C$: DLCフラップのサーボ・ダイナミクス・モデルに与えられる角度信号(度)

$\hat{\delta}_P$: DLCフラップのサーボ・ダイナミクス・モデルからの出力角度信号(度)

Δ_{SM} : サーボ・ダイナミクス・モニタが判定する角度差(度)

Δ_C : 左右の $\hat{\delta}_C$ の角度差(度)

Δ_P : 左右の δ_P の角度差(度)

3. VSRA/DLCシステムの構成とその運用

3.1 VSRA/DLCシステムの概要

DLCシステムは従来のVSRAシステムに付加されたシステムである。その関係を図2に示す。主計算機側から見た場合、従来の装置に新たな入出力部が追加されただけであるが、評価パイロット側から見た場合は、従来の操縦装置に新たにDLCフラップが単に追加されたわけではない。空力三舵・スロットルは各々独立な制御装置を有するが、DLCフラップにはパイロットからの入力装置がなく、主計算機からのコマンド信号によってのみ制御されるのである。

主計算機は汎用の計算機であり、システムの開発・改良が容易なように主要プログラム言語はフ

ォートラン77が使用されている。この計算機内部ではモデル機の計算や、DLCシステムを含めた制御則演算や、システムモニタの一部が行われる。システムの演算サイクルは25Hzで行われる。また、この主計算機、空力三舵・スロットルや各種センサの入出力を行う入出力計算機および、DLCシステムの制御を行うDLC用信号調整器との間は、高速デジタル回線で結ばれており、この三者間でいずれかの装置に異常が発生しても、残りの装置がその異常を判定し、システム全体が停止するように設計された。

VSRAシステムにDLCシステムを付加するためには、主計算機のソフトウェアの改修の他に、機体そのものを改造する必要がある。この改造に対し、実験機が航空機としての耐空性を保持し得るかの試験がなされている。例えば、分割されたフラップの供試体による構造強度試験やDLCフラップ駆動用アクチュエータ及びDLCフラップ固定用のリニアアクチュエータの機能の信頼性と安全性を保持するための環境試験を含む性能確認試験が行われた。また、DLCフラップを使用しない場合、従来と同じ飛行性を保持するため、元のフラップ形状に戻すための舵面固定機構が開発装着された。さらに、電源負荷解析やDLC故障モードとその機体への影響、致命度に関する解析もなされた⁵⁾。

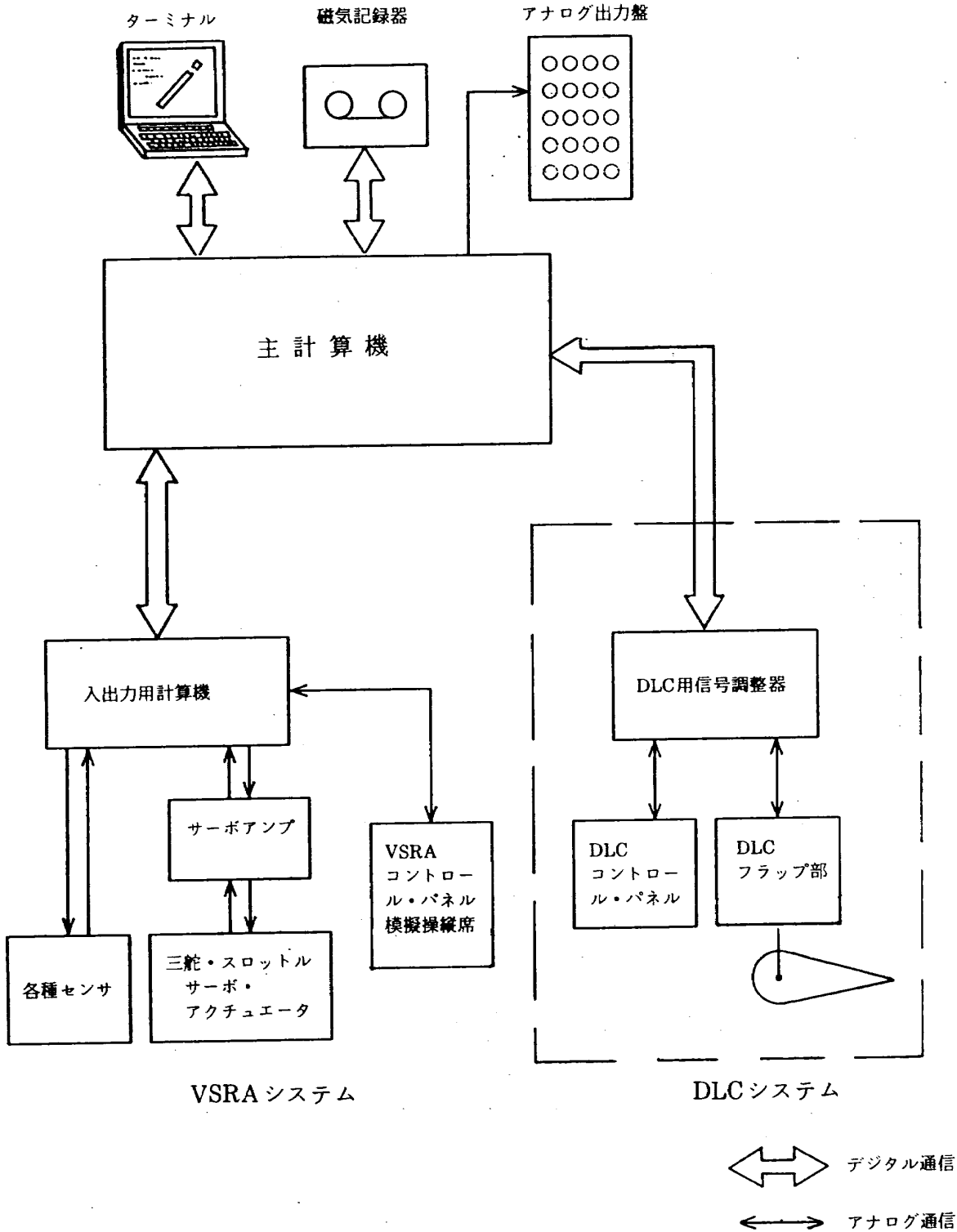


図2 VSRA システムと DLC システム

3.2 DLC システムの構成

DLC システムの構成は図3に示すように三つの部分からなる。

① DLC 信号調整器⁶⁾

本部分では、主計算機から送られて来る DLC フラップの制御コマンド信号 δ_{cc} を、DLC コントロール・パネルから送られる δ_{cp} に加え、左右の

DLC フラップ駆動アクチュエータへの制御信号 δ_c に変換する(図4)。また、逆に、DLC フラップ機構部からの信号 δ_p を調整し主計算機へ送る。DLC フラップ機構の状態信号には DLC フラップの角度や角速度のアナログデータがあり、ON/OFF 信号には DLC フラップの固定ピンの信号などがある。

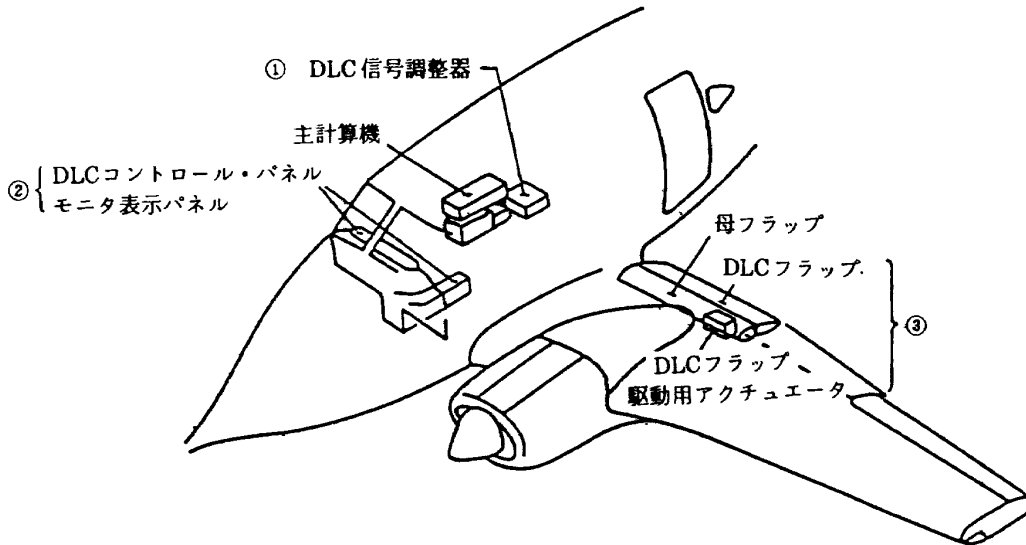


図3 DLCシステムの構成

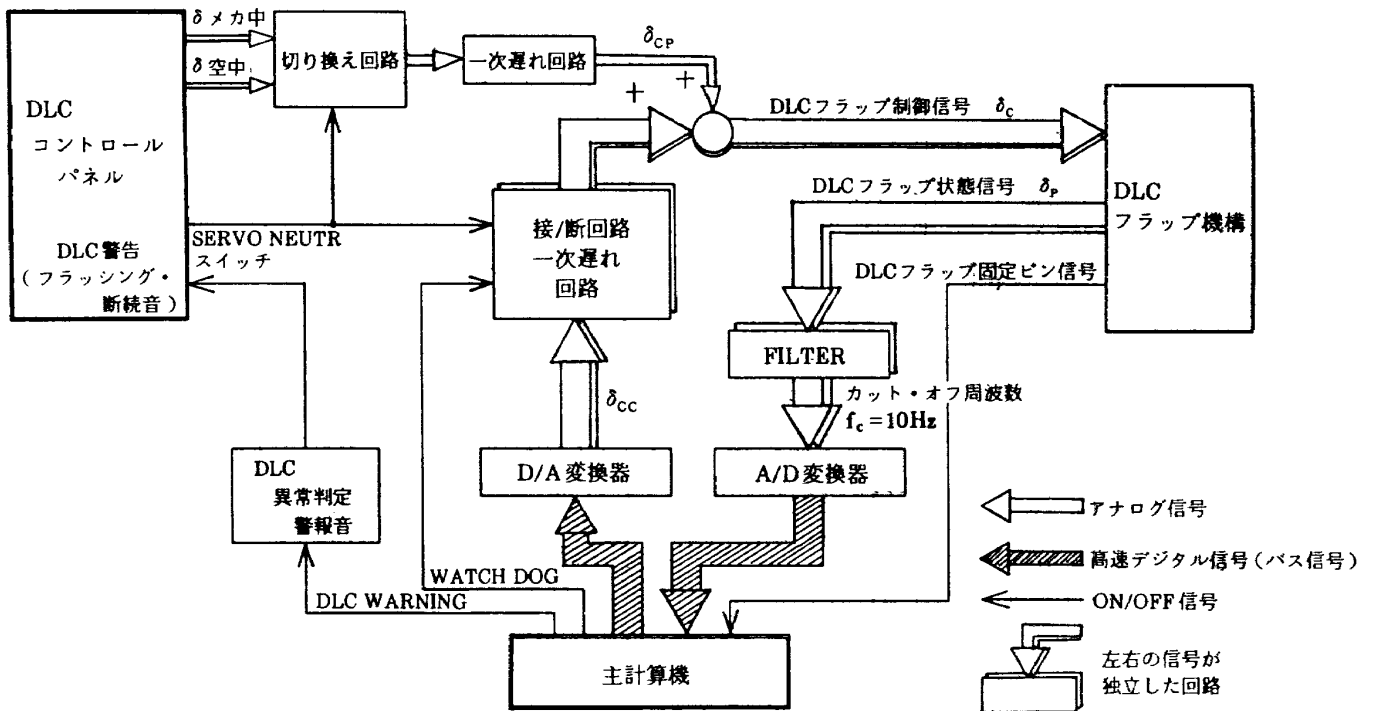


図4 DLC信号調整系統図

DLCフラップ制御信号を調整/制御する回路として、二つの回路がある。DLCコントロール・パネルから送られて来るDLCフラップの中心線位置設定信号(δ 空中, δ メカ中, ③で述べる)を選択する切り換え回路と、主計算機から送られて来るDLCフラップ・コマンド信号(δ_{CC})を接/断する回路である。前者はDLCコントロール・パネルからのスイッチ信号(SERVO NEUTR)によって制御され、後者はそのスイッチ信号及び主計算機からの信号(Watch Dog)の両方の条件によって

接/断される。各々の回路には一次遅れ回路があり、切り換え時の急激な変化が直接DLCフラップに送られ、急激な機体の姿勢変化を引き起こすのを防止している。また、安全パイロットにDLCシステムの異常を知らせる信号を作る回路もこの装置内にある。この二つの制御回路の中では、4章で述べるDLCシステムモニタの一部として、左右DLCフラップの角度差などを検知するハードウェアのモニタや、主計算機とともにVSRAの入出力計算機の演算サイクルの監視(Watch Dog)を行っ

ている。

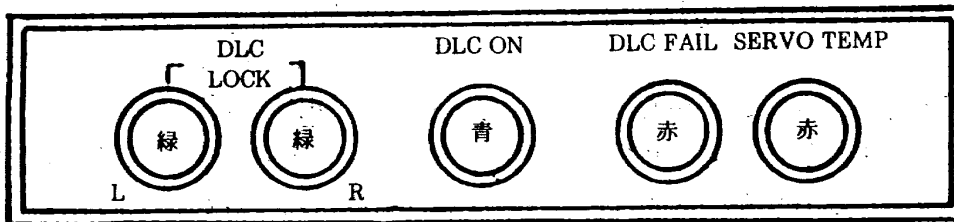
② DLC コントロール・パネル部

本部分はコックピットにあり、パイロットが操作するコントロール・パネルと DLC の状態及びモニタ機能による異常時の警報を示すモニタ表示パネルとからなる(図5)。図中のランプ上に書かれている色は点灯時のランプの色である。

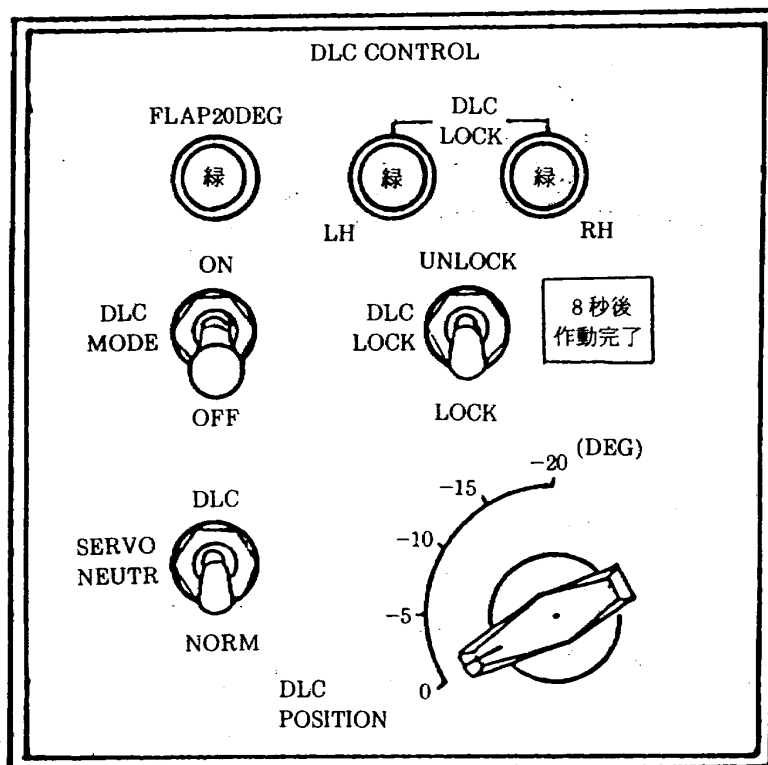
システムの状態を示すライトとして、DLC システムの主スイッチの状態を示す DLC ON ライト、母フラップが DLC フラップが実験可能な位置にいることを示す FLAP 20DEG ライト、フラップが元の形状にあることを示す DLC LOCK ライトがある。異常を示すライトとしては、DLC フラップのアクチュエータの過熱を示す SERVO TEMP ラ

イトがある。また、DLC 全体のシステムの異常時には、モニタ表示パネルの DLC FAIL ライトは赤く点滅し(フラッシング)、警報音と共にパイロットの注意を促す。

コントロールパネルのスイッチには、DLC システム全体のスイッチである“DLC MODE”スイッチ、DLC フラップの固定/解除を行う“LOCK”スイッチ、主計算機からフラップ・アクチュエータに送られる信号の接/断と DLC フラップの中心線位置信号の切り換えを行う“SERVO NEUTR”スイッチがある。また、これらのスイッチの他に、実験時の DLC フラップ中心線位置(δ 空中)を設定する“DLC POSITION”ノブがある。各々の操作は 3.3 節で述べる。



モニタ表示パネル



コントロール・パネル

図5 DLC コントロール・パネルとモニタ表示パネル

③ DLC フラップ部

本部分は母フラップ内の駆動アクチュエータ及びDLCフラップの駆動/固定機構部分からなる。

図6に主翼、母フラップ及びDLCフラップの関係を示す。(a)は、母フラップとDLCフラップが固定ピンで結合され、フラップは一体となっている。この状態では従来のフラップの性能が保たれるようになっている。

母フラップを全く下げない通常の飛行形態でDLCフラップを動かした場合、フラップの内舷側にあるDLCフラップは胴体フィレットと接触してしまう。そこで、DLCフラップを使用する時には、母フラップを20度下げた状態で使用する。

(b)はDLCフラップを使用している場合である。風洞試験等から検討した結果、固定ピンを抜いたDLCフラップ・フリー状態では、DLCフラップの空力的中心線(空中)は母フラップの中心線(メカニカル中心線:メカ中)より10度上がった状態であることが判明した。そこで、DLCフラップはその位置より最大±25度駆動できるように設計がなされた。

母フラップ内には、DLCフラップ駆動用のアク

チュエータの他に、前述の固定ピンの作動機構である固定機構、さらに固定機構の故障時の安全性を確保するためにパイロット操作で胴体からのトリガーピンで作動させる固定ピンによるメカニカルバックアップ機構も装備されている(図7)。

VSRA/DLCシステムの制御部である主計算機がDLCフラップ機構の状態を知るために、固定機構の状態をモニタしておく必要がある。DLCフラップと母フラップを固定する手段として、固定機構には固定ピンと固定ロッドの二種類あり、本部分ではその固定機構の状態信号をDLC信号調整器へ送っている。この状態を知らせるための信号には三種類ある。固定ピンが完全に入っていることを示すLOCKリミット信号、固定ピンが完全に解除されていることを示すUNLOCKリミット信号と、固定ピンがDLCフラップから抜けたことを示すFREEリミット信号である。図7の(a)は固定ピンが完全にDLCフラップ内に入っている状態を示し、フラップはDLCフラップ改造前と同じ状態にある。(b)は固定ピンがDLCフラップから抜けつつある状態を示している。(c)は固定機構が完全に解除された状態を示している。この状態になって初めて

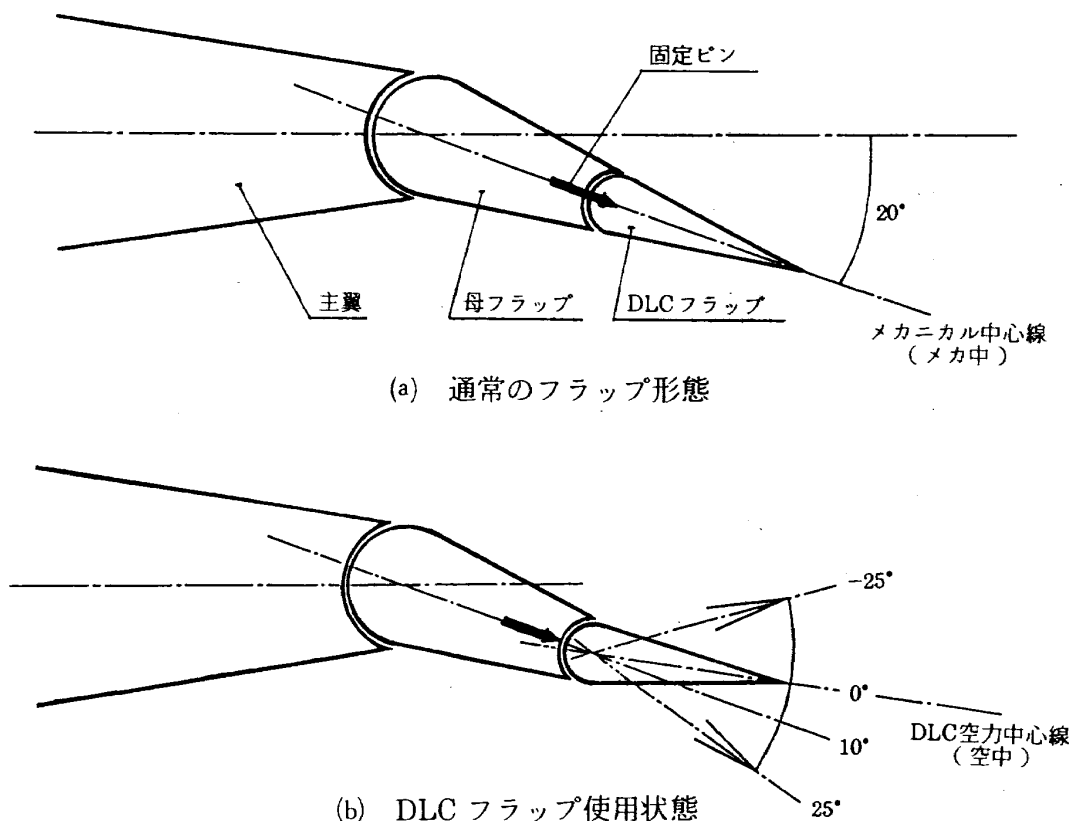


図6 主翼、母フラップ、DLCフラップの関係

DLC フラップ機構状態図	固定機構		リミット・スイッチ		
	固定ロッド	固定ピン	LOCK	FREE	UNLOCK
	固定	固定	ON	OFF	OFF
	固定	固定	OFF	OFF	OFF
	固定	自由	OFF	ON	OFF
	自由	自由	OFF	ON	ON

DLC フラップ機構状態図	
(a)	
(b)	
(c)	

図7 固定ピンの位置とリミット・スイッチ信号

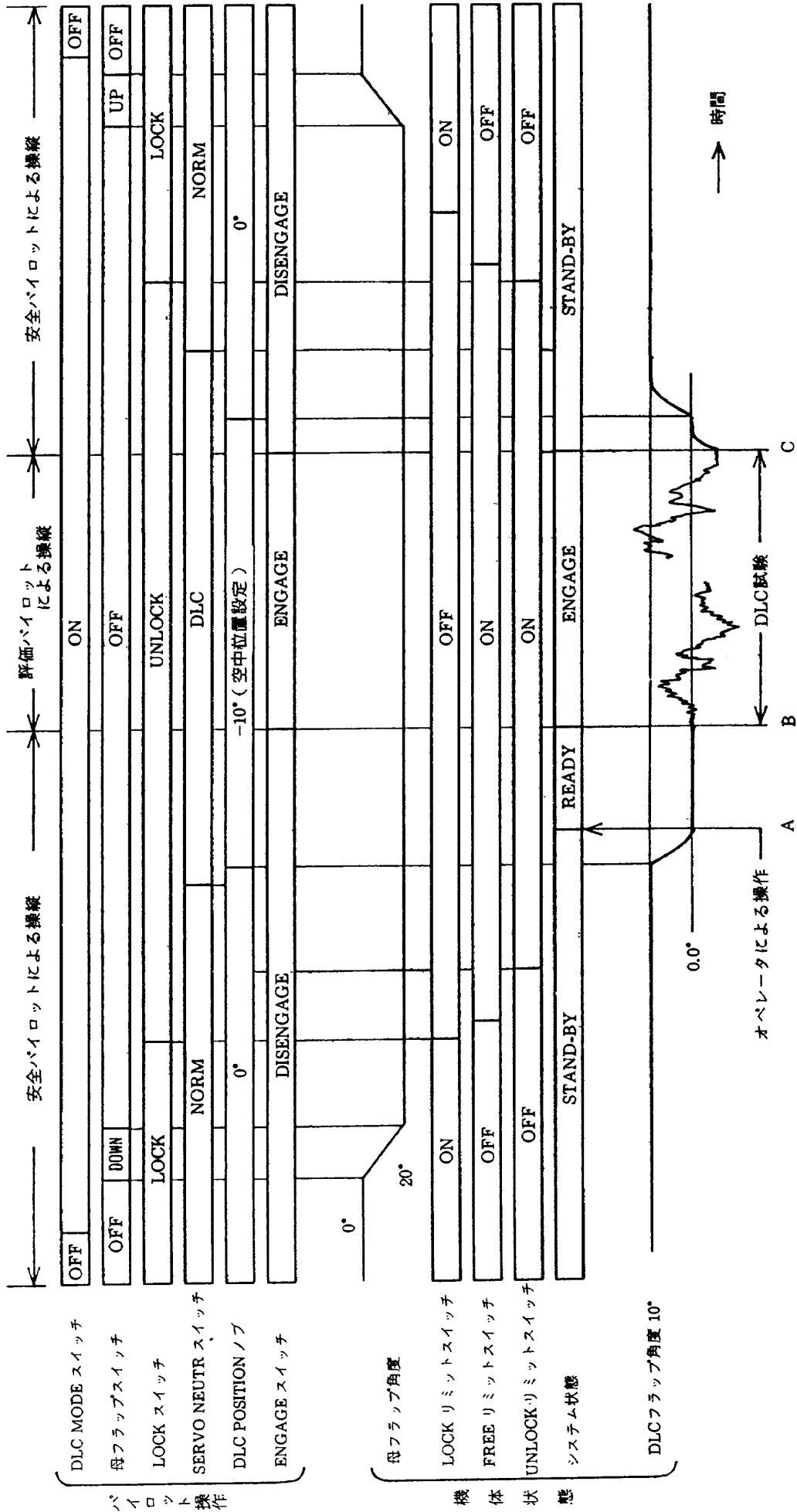


図8 VSRA/DLCシステムのタイム・シーケンス

DLCフラップを使用した実験を行える。

固定ロッドはDLCフラップを固定するとき重要な働きをする。“空中”から“メカ中”にDLCフラップを移動させるのは通常駆動回路で行うが、この回路が動かなくなった場合には、この固定ロッドがDLCフラップを“メカ中”まで移動させる。

3.3 システムの運用

「まえがき」で述べたようにDLCシステムはVSRAシステムの下で運用される。図8に通常の飛行実験におけるVSRA/DLCシステムの起動、運用から停止までの状況の一般的な流れを示し、以下に概要を説明する。時間は左から右に経過する。

① 図の上半分はパイロットによるDLCコントロール・パネル(図4参照)などのスイッチの操作を、下半分にその時々機体の状態(母フラップ及びDLCフラップの動き、固定ピンの信号の状況とシステム状態)を示す。

② 安全パイロットはB点までにコントロール・パネルの操作を行い、DLCシステムを実験可能な状態にした後、評価パイロット側に操縦系を接続する。従って、安全パイロットがシステムをエンゲージする(B点)まで、またはディスエンゲージ(C点)した以降、操縦系は常に安全パイロット側に接続されている。そして、システムがエンゲージされているB-C間のみ評価パイロット側に操縦系が接続される。

最初に、安全パイロットはDLCシステムの主スイッチであるDLC MODEスイッチをONにし、母フラップを20度下げる。そして、LOCKスイッチを“UNLOCK”にし、DLCフラップの固定機構を解除する。この間、図7の(a)から(c)に示したように、固定ピンと固定ロッドの状態が変化し、それに伴って3つのリミット・スイッチ信号も変化する。パイロットがLOCKスイッチを“UNLOCK”にしてから、UNLOCKリミット・スイッチ信号がONになるまでに要する時間は約8秒である。それから、パイロットは、SERVO NEUTRスイッチを“NORM”から“DLC”にし、DLCフラップの中心線位置信号 δ_{CP} を“メカ中”位置信号 $\delta_{メカ}$

中から“空中”位置信号 $\delta_{空中}$ に切り換え、主計算機からの信号が受け付けられるようにする(図4参照)。図8においてSERVO NEUTRスイッチを切り換えてもDLCフラップの位置が変化しないのは、DLC POSITIONノブによって、まだ“空中”位置が設定されていないためである。このノブを-10度に設定して初めてDLCフラップは“空中”に一次遅れで移動する。以上で、DLCシステムの設定は完了である。

その後、オペレータによりシステムがREADY状態になると安全パイロットがシステムをエンゲージし、評価パイロットに操縦系を引き渡す。DLCシステムの終了手順はいま述べた逆の操作を行う。

③ オペレータは計算機システムの起動及び運用を受け持つ。A点で、オペレータはVSRA/DLCシステムをSTAND-BY状態からREADY状態にしている。ここで、STAND-BY状態とは、計算機は運用されているものの、パイロットにはシステムをエンゲージできない状態をいい、オペレータがREADY状態にして初めてパイロットはいつでもシステムをエンゲージ可能となる。

4. DLCシステムモニタの設計

4.1 モニタの区分

3章で述べたようにVSRA/DLCシステムは構成上からも運用上からも非常に複雑になっている。特に、パイロットの操作とオペレータの操作との対応が難しいシステムである。従って、このシステムを安全にかつ効率的に運用しようとするならば、ソフトウェア上からもハードウェア上からもシステムを監視(モニタ)することが重要である。

ここでは、モニタの区分けの仕方として、①ある状態から他の状態に移ろうとしたときに、「移動後の状態はシステムの条件を満たすかどうかを調べるために、関連条件をすべて確認する」モニタ、すなわち、「インタロック・モニタ」と、②常時一定の条件を満たしているかどうかをモニタする「状態モニタ」、の二つを考慮した。状態モニタについては、さらに条件モニタとサーボ・ダイナミクス・モニタとに分類した。表1にこれらのモニタが本システムのどこで行われているのか、

表1 モニタの種類と判定

モニタの種類	モニタを行っている装置	モニタを行っている期間	エラー発生時に生じる状態	回復処理
インタ・ロック・モニタ	主計算機内ソフトウェア	システムをREADYにする時	ターミナル・メッセージREADYにならない	パイロット、オペレータ、システムの間 条件を整える
	固定解除機構の状態 コントロールドパネルの状態	システムエングージ中	※DLC 警告	システム・ディスプレイ
駆動機構アクチュエータの温度	DLC 信号調整器内 主計算機内ソフトウェア	アクチュエータを使用する時	※DLC 警告	アクチュエータの冷却
	左右フラップへの角度コマンド信号の差 Δ_c	システムエングージ中	※DLC 警告	システム・ディスプレイ
左右フラップの角度信号の差 Δ_p	DLC 信号調整器内	システムエングージ中	※DLC 警告	システム・ディスプレイ
	DLC フラップの電源 (28VDC)	システムエングージ中	主計算機からの信号 δ_{cc} が切り離される	電源系統のチェック
Watch Dog	A DLC 信号調整器内	システムエングージ中	主計算機からの信号 δ_{cc} が切り離される	主計算機及び入出力用計算機のチェック システム全体のチェック
	B 主計算機内ソフトウェア	DLC 信号調整器の使用時	システムダウン	DLC 信号調整器のチェック
サーボダイナミクスモニタ	主計算機内ソフトウェア	DLC フラップの固定ピンが解除されている時	※DLC 警告	システム・ディスプレイ パイロットによる DLC フラップの格納

※DLC 警告：警報音、フラッシュングライト、計算機コマンドの切り離し

表 2 インタ・ロック・モニタの条件

条 件 名	DLC フラップ使用可能状態	DLC フラップ固定状態
TEMP：駆動機構のサーボ・アクチュエータの温度スイッチ	OFF	OFF
UNLOCK：固定機構の固定ピンの位置	ON	OFF
FREE：固定機構の固定ピンの位置	ON	OFF
LOCK：固定機構の固定ピンの位置	OFF	ON
SERVO NEUTR スイッチ：DLC コントロール・パネルのスイッチ	DLC	NORM
DLC 信号調整器の電源	ON	ON/OFF

また、異常発生時に起こる状態と回復に必要な操作の概略一覧を示す。以下に、設計された上記二つのモニタについて説明する。

4.2 インタロック・モニタ

DLC システムのインタロック・モニタは、二つの判定で構成される。

① これから行われる実験に対して、DLC システムを使用するか否かの判定

② DLC システムが表 2 に示す条件に合致しているか否かの判定

これら二つの判定に従い、パイロット、オペレータ及び主計算機内の制御モデルのパラメータの間で矛盾がないか、主計算機内で瞬時に確認される。インタロック・モニタの流れを図 9 に示す（図中の○付き数字は上記判定に対応）。また、これらの判定から外れると、3.3 節に述べたように VSRA/DLC システムは READY 状態にならない。すなわち、パイロットはシステムをエンゲージさせることが出来ず、操縦系は常に安全パイロット側が確保していることになる。そして、システムはターミナルにエラー・メッセージを送り、オペレータに対し矛盾のあった判定内容を表示する。

4.3 状態モニタ

4.3.1 条件モニタ

条件モニタには、①DLC システムが使用されている場合は、表 2 の“DLC フラップ使用可能状態”の条件を満たしていることを主計算機内で常に確認するモニタと、②DLC 信号調整器内でハードウェア的に行う左右の DLC フラップ舵角の差（2.5 度以内が正常）のモニタ、とがある。

これらのモニタによって異常が発見された場合、モニタ表示パネルの DLC FAIL ランプのフラッシングと警報音が断続的に鳴り、パイロット及びオペレータに DLC システムに異常が生じたことを知らせる。それと共に、DLC 信号調整器内で主計算機からのコマンド信号を切り、DLC フラップは“空中”の位置に一次遅れで戻る。この状態からの回復は、異常となった原因が修復されるか、システムをディスエンゲージすることで行われる。例えば、DLC フラップ駆動中に誤ってパイロットが DLC コントロール・パネルの LOCK スイッチを“LOCK”にすれば、直ちにこのモニタにより DLC システムの異常状態が知らされ、DLC フラップは“メカ中”位置に戻される。

また、DLC 信号調整器内では 3.2 節で述べた演算サイクルのモニタ（Watch Dog：A、表 1 参照）

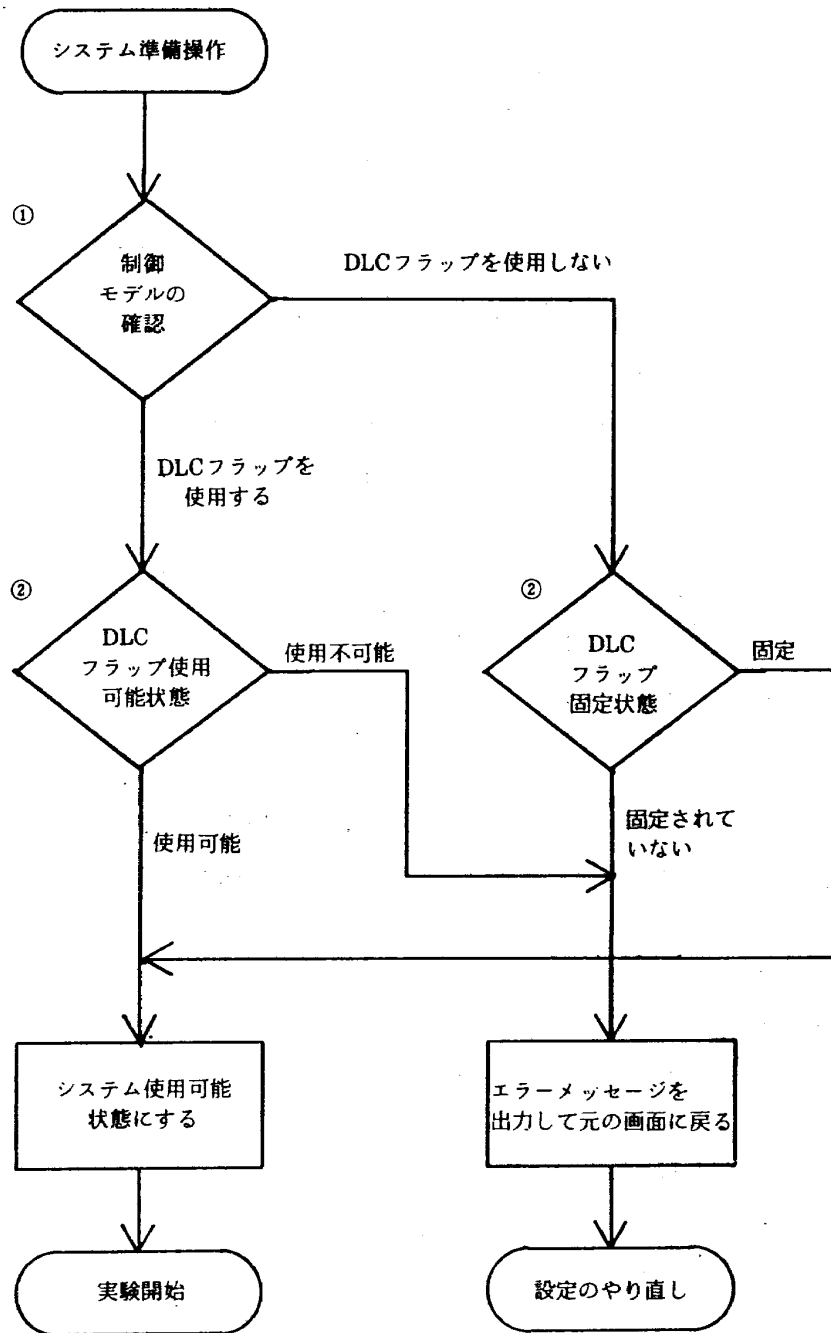


図9 インタ・ロック・モニタの流れ

も行われている。この異常が検知された場合も同様の処置が取られる。だが、同じように主計算機で行われているDLC信号調整器の動作確認モニタ（Watch Dog：B、表1参照）で異常が発見された場合は、システム全体の根本に関わるため、システム全体を停止（Down）させることにした。この場合、操縦系は直ちに安全パイロット側に移る。

4.3.2 サーボ・ダイナミクス・モニタ

このモニタは主計算機内にDLCフラップのサーボ・アクチュエータのダイナミクス・モデルを構

築し、サーボ・アクチュエータへの入力コマンドに対するモデル出力と実際のサーボ・アクチュエータの出力の角度を比較し、その差が±3度以上の場合は異常であると判定するモニタである。

このモニタによって異常が発見されると、条件モニタの時と同様に、モニタ表示パネルのDLC FAILランプのフラッシングと警報音が断続的に鳴り、パイロット及びオペレータにDLCシステムの異常を知らせる。そして、DLC信号調整器内で主計算機からのコマンド信号が切られ、DLCフラ

ップは“空中”の位置に一次遅れで戻される。条件モニタとは異なり、このエラーからの回復には、一度システムをディスエンゲージし、DLCフラップを固定しなければならない。

このサーボ・ダイナミクス・モニタは、DLCフラップ機構のFREEリミット・スイッチが“ON”になると働きます。図10にこのモニタの構成概略を示す。このモニタは、左右のサーボ・アクチュエータについてそれぞれ完全に独立して行われる。図中の太線と二重に描かれているところは、左右独立している部分である。また、シャドー付きブロックで示した部分は、主計算機内部のプログラムで処理されている。3.2節で述べたように、主計算機からの信号 δ_{cc} にDLCコントロール・パネルからの信号 δ_{cp} を加え、 δ_c とするのは、DLC信号調整器内部で行われる。

このモニタには二通りの方法が用意されている。システムがエンゲージされていない場合は、DLCフラップは激しい動きを行わないのでサーボ・ダイナミクス・モデルを用いず、DLC信号調整器から送られるサーボ・アクチュエータへのコマンド信号とサーボ・アクチュエータからの角度信号との差を直接比較する。

また、システムをエンゲージしている場合は、DLCフラップ機構に与える信号と同じコマンド信号をDLCフラップのモデルに与え、そのモデルからの出力信号と実際のDLCフラップの角度との差を比較判定する。しかしながら、モデルの精度が

十分でなく、実際のDLCアクチュエータの出力との間に違いがあり、大きな入力信号が入った場合は、インパルス的な差が発生する。この一時的な差によるモニタのエラー判定を防止するために、時定数0.2秒の一次遅れのデジタル・フィルタを設けた。

システムのエンゲージ中に使用するサーボ・ダイナミクス・モデルは、サーボ・アクチュエータの性能とDLCフラップの空力特性を考慮して作られた。一連の地上試験の中で行われた模擬負荷をかけたDLCフラップの性能試験の結果を基に、(1)式に示す無駄時間を入れた二次系のモデルを採用した。

$$\frac{\hat{\delta}_p}{\hat{\delta}_c}(s) = \frac{\omega_n^2 e^{-Ts}}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

ここで、 $\omega_n = 20$ (rad/sec)
 $\zeta = 1.0$
 $T = 0.08$ (sec)

5. 評価検証試験

4章でDLCシステムのモニタについて述べた、このうちインタロック・モニタについては地上及び飛行試験において、「図9の条件を満たさなければVSRA/DLCシステムがエンゲージ状態にならない」ことを確認した。状態モニタについても、地上及び飛行試験において確認試験を行った。確認試験ではそれぞれエラー発生条件を作り、条件モニタ及びサーボ・ダイナミクス・モニタで検知

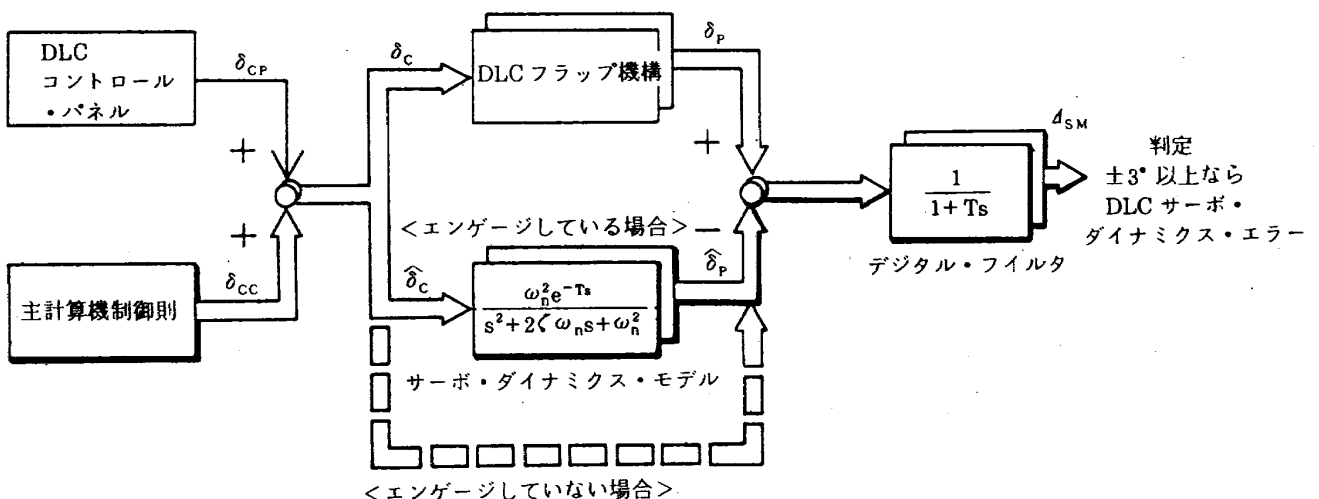


図10 サーボ・ダイナミクス・モニタの構成

出来るかどうか、またその後、DLCフラップが設計通りの状態になるかを検証した。それぞれ飛行試験で行った結果の一例を以下に示す。

まず、モニタの確認試験に先立ち、図8に示したようにDLCシステムをエンゲージしてDLCフラップを正常に駆動し、通常の手順による終了操作を行った。その時のDLCフラップへのコマンドや角度の動きを図11に示す。この結果は実際に飛行試験した時の結果である。A点で安全パイロットがシステムをディスエンゲージした。これ以降は、 δ_{cc} と $\hat{\delta}_p$ は主計算機内で計算されないため、それぞれの値には変化がなく、また、その値に意味はない。また、同じくA点以降は、4.3.2項で述べたように、<エンゲージしていない場合>に相当するので、サーボ・ダイナミクス・モニタは $\hat{\delta}_p$ と δ_p の比較を行うのではなく、 δ_c と δ_p の比較を行うことになる。その結果、フラップ角度の変更時（A点、B点）で、 Δ_{SM} の値は大きく変化する。

B点からE点までの間は安全パイロットによるDLCフラップ固定操作期間である。図の一番下にシステムの状態、パイロットの操作と固定機構の状態があり、固定機構の三つのリミット信号によって、このDLCフラップ固定操作期間（C～E点）に固定ピンが移動しているのがよく判る。固定ピンの移動によって、基本的にはDLCフラップ角度の変化は生じない。しかし、D点でFREEリミットスイッチが“OFF”になると駆動回路のサーボ・アクチュエータの電源が切られ、DLCフラップを“メカ中”に保持するための力は固定機構だけに頼ることになる。このとき、固定機構のピンには少しガタがあるので、D点付近で、DLCフラップ角度信号 δ_p は、空気力によって少し“空中”方向（0度）に戻されている。

この結果を踏まえつつ、それぞれのモニタで異常が発生した場合のDLCフラップの動きを以下に示す。

1) 条件モニタによる場合

エラーを発生させる方法として、振幅±15度、周期0.1Hzの正弦波コマンドでDLCフラップを駆動中に4.3.1項で述べたようなパイロットの誤操作を想定し、LOCKスイッチを“LOCK”状態に

した（図12A点）。その結果、DLC FAILランプがフラッシングし、警報音が鳴る（DLC警告）とともに、図12に示すようにDLCフラップ δ_p は一次遅れで“メカ中”位置に戻ることが確認できた。

エラー発生の瞬間に、 δ_c と δ_p の正弦波が乱れ一時マイナス方向に信号が戻る現象が発生している。これらは図4におけるDLC信号調整器内で主計算機からのコマンド信号を切断する回路と一次遅れ回路に原因がある。B点で、DLCフラップは完全に母フラップに固定されたが、エラーはまだ解除されていない。その後、パイロットのシステムディスエンゲージ操作（D点）により“DLC警告”が解除された。

2) サーボ・ダイナミクス・モニタによる場合

正常に作動しているサーボ・アクチュエータに、サーボ・ダイナミクス・モニタが検知できるエラーを確実に発生させることは困難である。そこで、サーボ・ダイナミクス・モニタのソフトウェアの一部を改修して、サーボ・ダイナミクス・モデルに与える信号に余分の信号を加えた信号をアクチュエータに送ることで、エラーを発生させることにした（図13）。

振幅±10度、0.1Hzの正弦波コマンドでDLCフラップを駆動中にオペレータがターミナルよりエラーを発生させた。図13のエラー発生回路は大きな信号を急激に加えるのではなく、エラー発生時のモデルと実際のアクチュエータの値の差 Δ_{SM} 信号の値が実験終了後の解析でよく判るように徐々に追加信号を入れるようになっている。図14がこの試験結果である。本図の時刻13秒付近でオペレータはエラー発生回路を作動させている。すると、徐々に、 δ_p と $\hat{\delta}_p$ がずれていき、 Δ_{SM} が-3度になった時点でエラーとなった（A点）。その結果、DLC FAILランプがフラッシングし、警報音が断続的に鳴ると共に、DLCフラップ（ δ_p ）は一次遅れで“空中”位置に戻ることが確認できた。但し、 Δ_{SM} が-3度以下になってもエラーは解除されない。“DLC警告”の解除は、安全パイロットによるシステムのディスエンゲージ（B点）と、DLCフラップの固定操作（C点）によるFREEリミット・スイッチが“OFF”となる（D点）ことで行

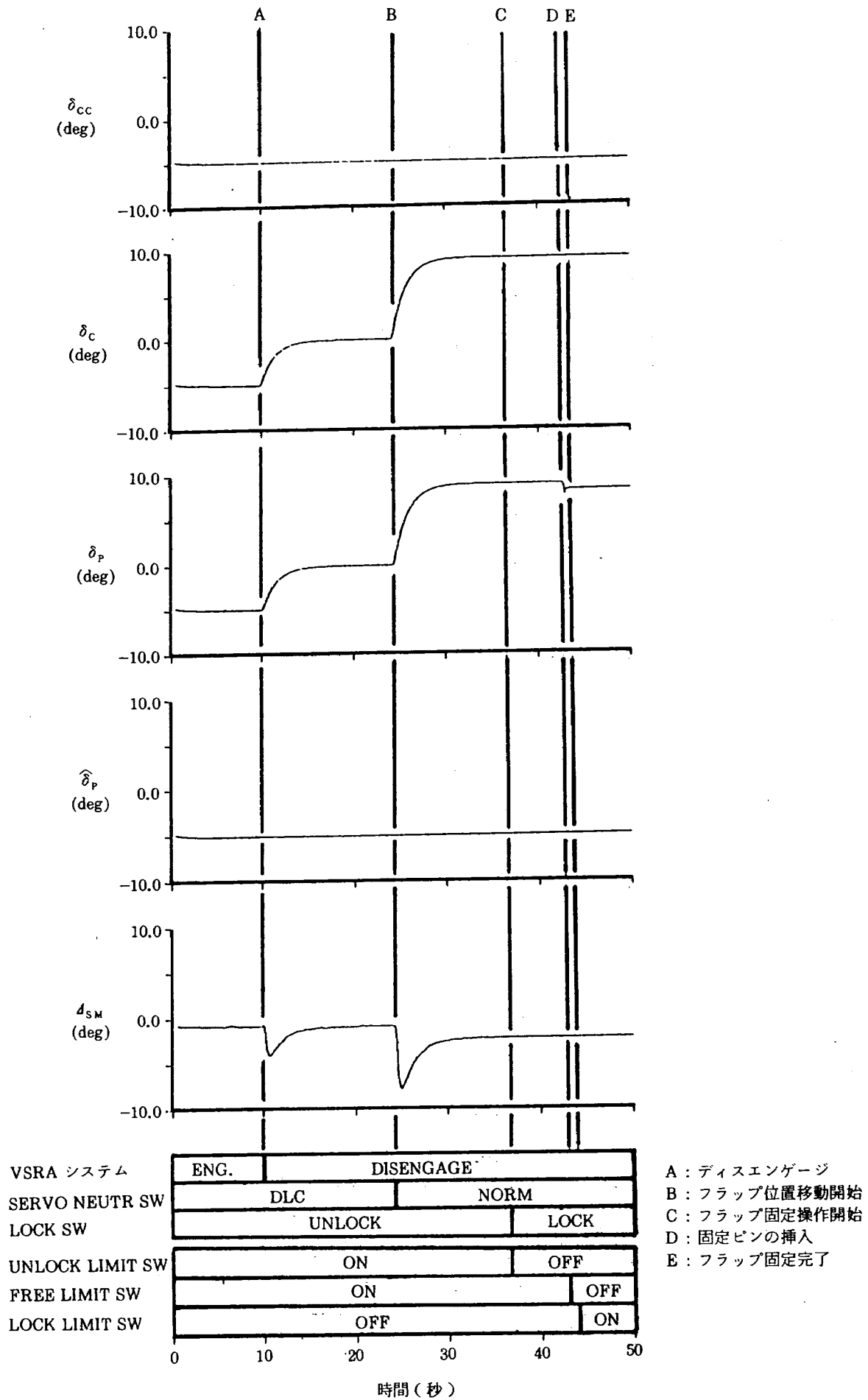


図11 DLC フラップの動き (正常な実験終了時)

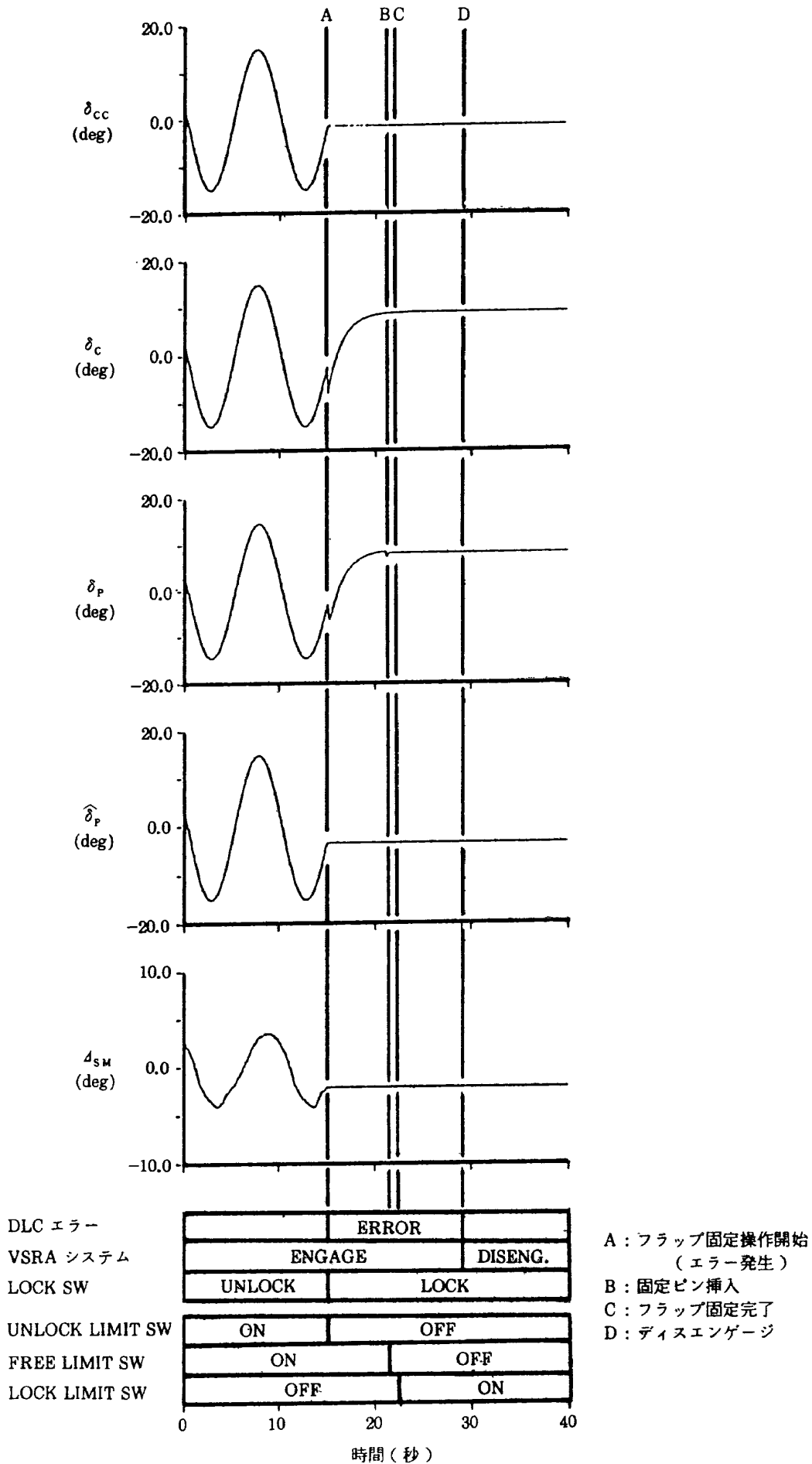


図12 DLC フラップの動き (条件モニタ・エラー発生時)

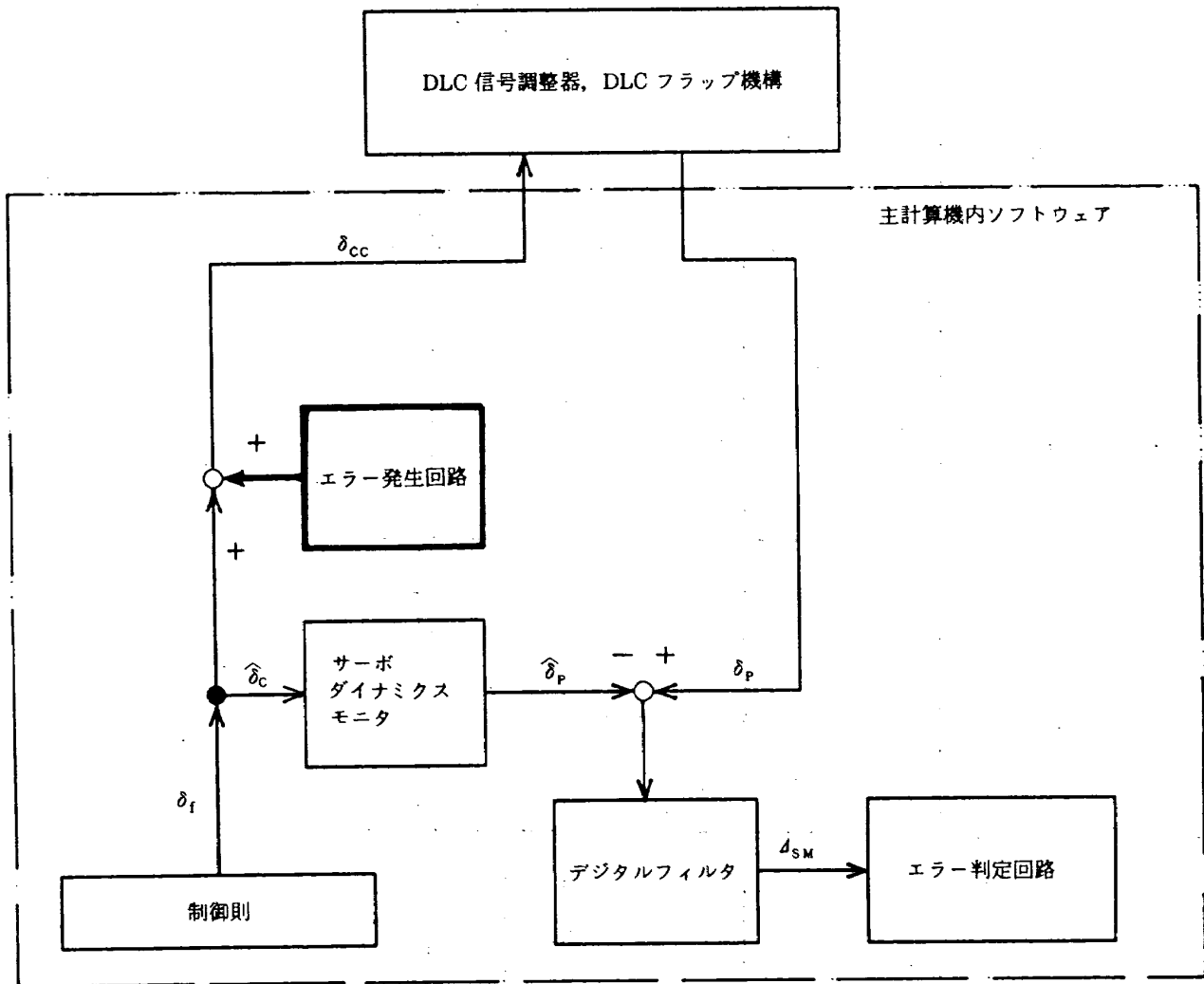


図13 サーボ・ダイナミクス・モニタ・エラーの発生方法

われ、DLCフラップが固定完了した時点（E点）より前に解除される。

6. ま と め

従来の VSRA システムに DLC システムを付加することにより VSRA の能力は向上したが、同時に、システム全体が複雑な構成となった。そのため、航空機の運航上最も重要な安全性の確保と実験の効率的な運用のために、システムのモニタを設計した。ここでは、主に DLC システムのソフトウェアの面でのモニタについてと、それに係わる DLC システムの構成について述べた。以下にその結果をまとめる。

- 1) DLC システムのシステム・モニタとして最適なインタロック・モニタと状態モニタを設計した。状態モニタについてはさらに条件モ

ニタとサーボ・ダイナミクス・モニタに分類して設計した。

- 2) サーボ・ダイナミクス・モニタについては無駄時間を入れた二次系のモデルを構築し、サーボ・アクチュエータへの入力コマンドに対するモデル出力と実際のサーボ・アクチュエータの出力との角度の比較を行うモニタ方式を設計した。
- 3) 地上及び飛行試験によりモニタの評価検証試験を行い、設計したモニタが適切に働くことが確認できた。

最後に、本 VSRA/DLC システムの企画担当者であった東京都立科学技術大学古茂田真幸教授及び日本大学川幡長勝教授（元当所飛行実験部）に終始御指導を戴いたこと、実験には同部の稲垣敏治技官の協力を得たことを付記し感謝する。尚、

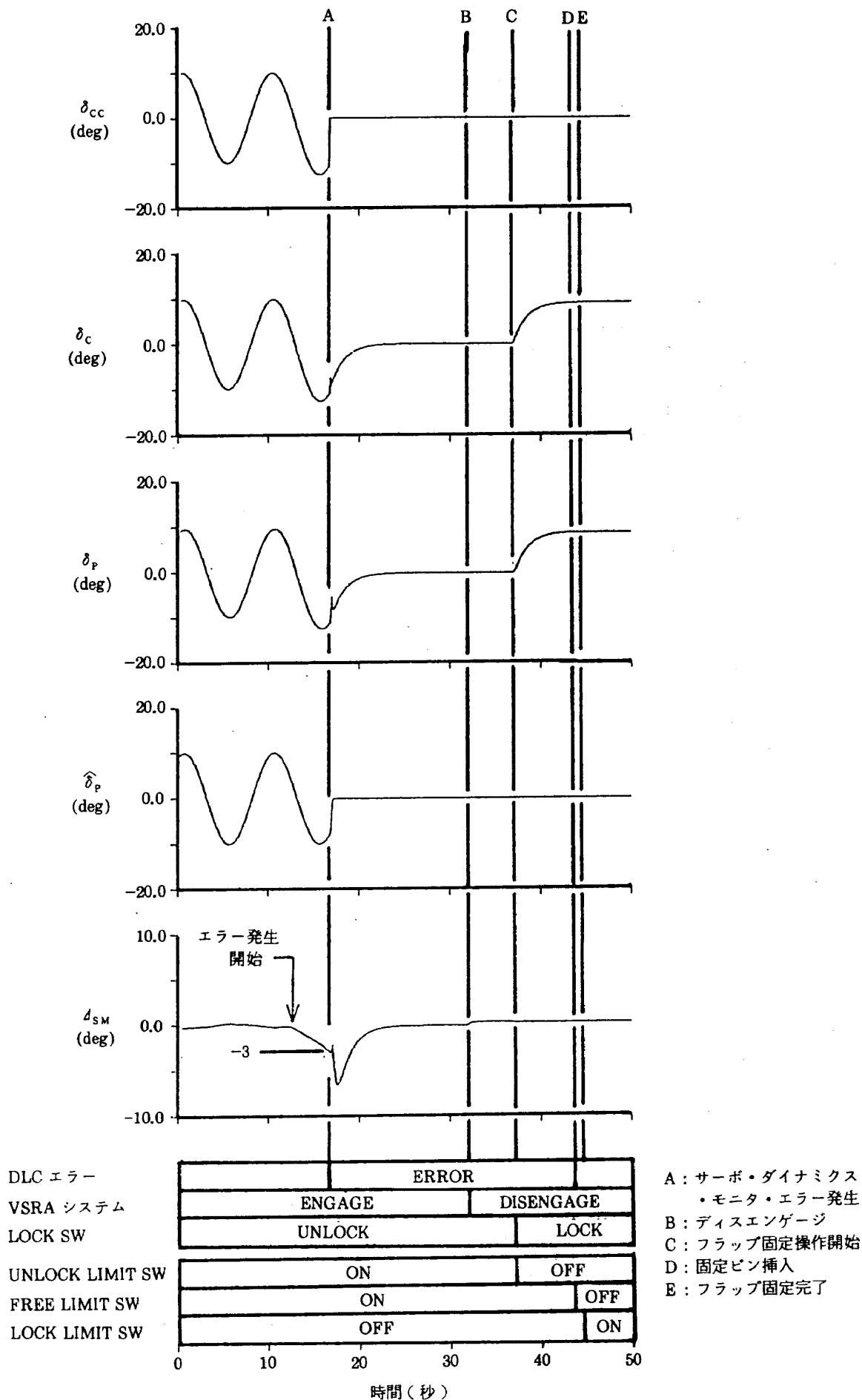


図14 DLC フラップの動き(サーボ・ダイナミクス・モニタ・エラー発生時)

VSRA/DLC システムの装着工事は富士重工業株式会社で、DLC 信号調整器の制作及びソフトウェア改修については東京航空機株式会社（国際技術開発株式会社、日本システム技術株式会社の担当を含む）により行われた。関係者に併せて謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 古茂田真幸, 川幡長勝, 塚野雄吉, 小野孝次 : 可変安定応答実験機 (VSRA) について(I), 日本航空宇宙学会誌第31巻第349号 (1983.2)
- 2) 古茂田真幸, 川幡長勝, 塚野雄吉, 小野孝次, 稲垣敏治, 石川和敏 : VSRA を用いたパイロットによる飛行制御系の故障検知, 第25回飛行機シンポジウム講演集 (1987.12)
- 3) 塚野雄吉, 古茂田真幸, 川幡長勝, 小野孝次, 稲垣敏治, 石川和敏 : 小尾翼機モデルの操縦特性試験 (その1), 第25回飛行機シンポジウム講演集 (1987.12)
- 4) Komada, M., Kawahata, N., Tsukano, Y. and Ono, T. : VSRA In-Flight Simulator-Its Evaluation and Applications AIAA-88-4605-CP (1988.9)
- 5) B-65 DLC システムの FMECA UHD-20771, 富士重工業株式会社 (1988.2)
- 6) DLC 用信号調整装置取扱説明書 東京航空計器株式会社

航空宇宙技術研究所資料607号

平成元年7月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1
電話三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182
印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川2-27-12
