

10KT005510

---

## APG公募型研究報告会 資料

### クラスタ型超音速インテーク に関する研究(委託)

2010年11月26日

川崎重工業(株) 航空宇宙カンパニー  
技術本部 研究部 空力技術課



*KHI Proprietary*

## 目次

---

- 研究目的
- クラスタ型インテークの調査結果
- 研究計画
- CFD解析モデル
- 解析データの評価
- 解析結果(経過報告)
- 成果
- 参考資料



*KHI Proprietary*

1

## 研究目的

本研究は、静粛超音速機技術の研究開発の高效率インテークの研究において、大型SSTを対象にした機体／インテークの概念設計研究である。

大型SSTではコンコルドに見られるような、クラスタ型のインテークが採用されている。しかしながら、コンコルド以降クラスタ型インテークを採用した超音速旅客機はなく、国内において技術的な知見は十分とはいえない。

本研究は、クラスタ型インテークの個々の間の干渉などの技術課題を明確にし、その課題の解決方法、機体規模への影響を明確にする。

研究は、弊社開発のCFDコード\*\*を使用することにより、JAXA殿所有のCFDコードの検証、データベースの構築を行うことが可能となり、連携強化、基盤技術の強化が可能となる。

※昨今の国内の官/民の研究開発に使用。本研究に必要なエンジン排気の模擬、複雑形状の格子生成、計算時間が可能。弊社では、STOL飛鳥、T-4、US-1改、大型機開発においてエンジン排気干渉に関する実機適用事例を有する。



コンコルド クラスタ型インテーク



KHI Proprietary

2

## クラスタ型インテーク調査結果

クラスタ型インテークを採用している、コンコルドの調査を行った。その結果を下記に示す。

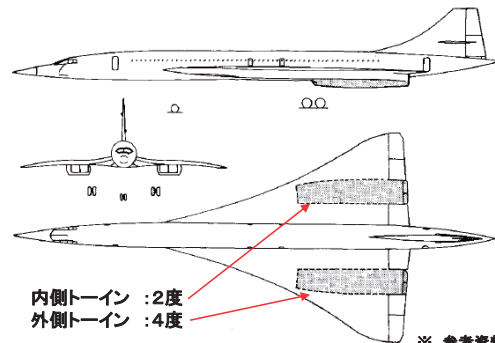


コンコルド クラスタ型インテーク

【参考】

設計M数 : 2	全長 : 62m
航続距離 : 3,550nm(6,600km)	全幅 : 26m
座席数 : 128(1class)	高さ : 12m
最大離陸重量 : 185ton	主翼面積 : 360m <sup>2</sup>

- ①スパン位置は、主脚及び脚扉とエレポンの間に配置。
- ②前後位置は、翼前縁からの渦を吸込まないように翼前縁から離す。
- ③ダイバータにより、主翼下面の境界層を排除。
- ④インテークにトーインをつけて、主翼下面の流れに正対させる。
- ⑤片舷2個のインテークの中央にスプリッタ・プレートを装備して、クラスタ型インテークを可能にしている。



※ 参考資料(6)より



KHI Proprietary

3

## クラスタ型インテーク調査結果

コンコルドのインテークは、脚扉とエレポンの間に隙間なく配置されている(下写真参照)。



コンコルド クラスタ型インテーク

【参考】

エレポン: エロン、エレベータの機能とコンコルドは離着陸時にフラップとしての機能をもつ

主翼下面において、内側の主脚と脚扉との配置、及び外側のエレポンとの配置を考慮し、全機アレージ的にクラスタ型を採用し機体を成立させたと推察できる。

その一方で、片方のインテークがバズ又はアン・スタ  
ト状態となり流れが乱れたときに、その乱れがもう片  
方  
ヘインテーク、エンジンへ干渉するという課題がある。

⇒ この課題に対して、下記の方策が採用されている。

- ・ スプリッタ・プレート
- ・ ダンプ・ドア
- ・ オート・ラダー

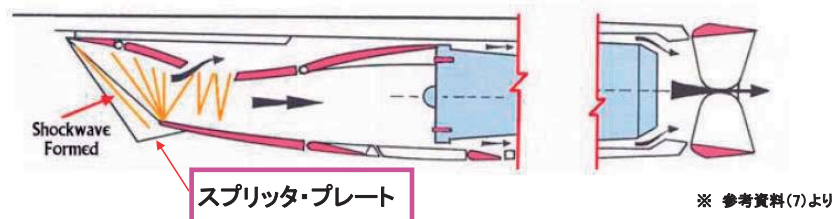
## クラスタ型インテーク調査結果

コンコルドのクラスタ型インテークで採用された方策を示す。

①スプリッタ・プレート

ひとつ又は他方のインテークが不作動(サブ・クリティカル条件)時に、他方のインテークの衝撃波パターンを空力的に独立させる形状としている。

- ⇒ コンコルド開発時に全機風試でその効果を確認。
- ⇒ スプリッタ・プレートは、ひとつのインテークが完全にバズ状態になると、他方を30%の振動レベルまで抑制。



コンコルド インテーク断面概要図(巡航状態)

## クラスタ型インテーク調査結果

### ② ダンプ・ドアの効果

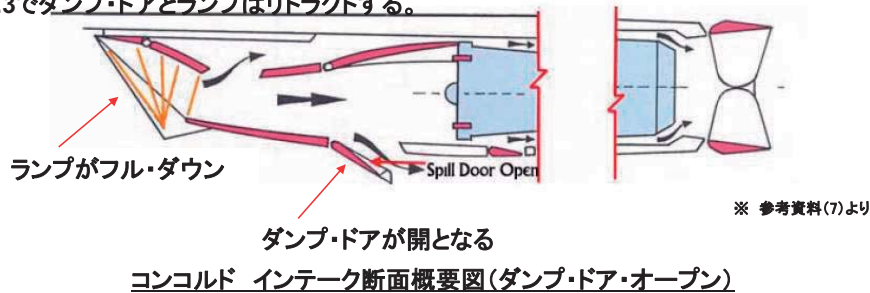
巡航状態でエンジン・シャットダウン時、又は不意にバース状態となったときに、余分な空気を逃がすためダンプ・ドアが外側に開くシステムとしている。

(ノーマル時は、巡航状態からの降下でエンジン・スロットルを絞った際、余分な空気を逃がす為にダンプ・ドアが開となる)

(補足)

・その際、ランプもフル・ダウンし、衝撃波を前方に移動させスピレージを大きくして余分な空気を逃がす。

・M1.3でダンプ・ドアとランプはリトラクトする。



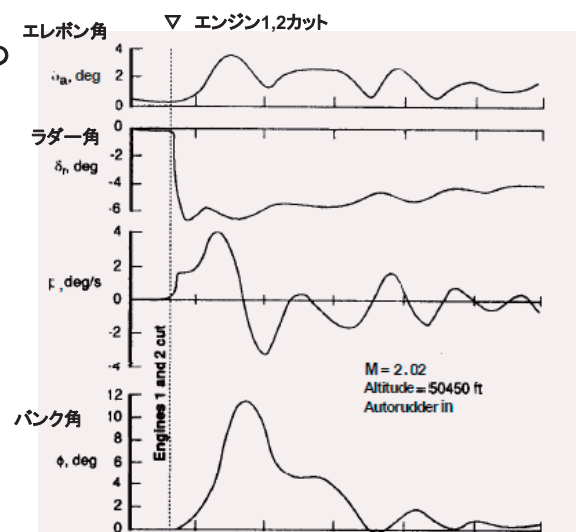
## クラスタ型インテーク調査結果

### ③ オート・ラダーの効果

エンジン・カットやサージ時の非対称推力時のヨーの発生を防止するため、オート・ラダーシステムを装備している。

(右図は、ダブル・エンジン・カットの例)

文献によると、発生する最大バンクや横滑り角は比較的小さく、対抗操舵でトリム可能との記述がある。



## クラスタ型インテーク調査結果

コンコルドにおける、クラスタ型インテークの技術課題を下記に示す。

技術課題	コンコルドの方策	機体規模影響等	備考
バス 又は 不始 動発 生	スプリッタ・プレート	ひとつのインテークがサブ・クリティカル時に、他方のインテークの衝撃波パターンを空力的に独立させる形状とされている	・スプリッタ・プレート面積を最小とし、推力ロス、構造重量増加を最小化する必要あり 不始動や、バス発生時の衝撃波の位置、流れ場等を予測して形状設定する必要あり
	ダンプ・ドア	エンジン流量とのマッチングのため、余剰空気流量を逃がす	・ドア開閉機構が重量増加要因となるので単純な機構が必要 ・逃がした余剰空気は、抵抗増加となる
	オート・ラダー	非対称推力時のヨーの発生を防止	・機体姿勢変化を小さくする ・乗り心地改善



KHI Proprietary

8

## 研究計画

クラスタ型インテークの今後、3年間の研究計画を下記に示す。

2010年度	2011年度	2012年度	備考
1年目 → 報告▽	2年目 → 報告▽	3年目 → 報告▽	

### ①1年目

- ・機体ークラスタ型インテーク形態で、亜臨界から臨界条件を定常CFD解析
- ・クラスタ型インテークの外舷側を超臨界条件、内舷側臨界条件での定常CFD解析  
※スプリッタ・プレート形状はノミナル1種、スプリッタ・プレートなしも実施予定。

### ②2年目、3年目

- ・スプリッタ・プレート形状(約3種程度)のパラスタを定常CFD解析
- ・機体姿勢( $\alpha$ 、 $\beta$ )の影響をスプリッタ・プレート形状をパラメータにして定常CFD解析

### 【補足】

- ・各年度成果でJAXA殿と調整して研究内容を見直す。
- ・風洞試験での確認も別途、ご提案させて頂きたい。



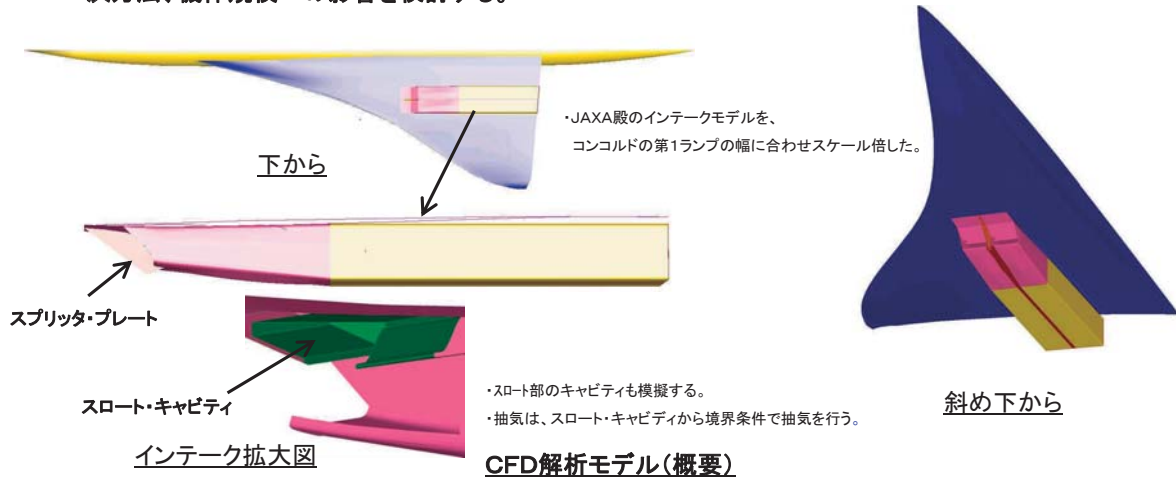
KHI Proprietary

9

## 研究計画(2010年度)

JAXA殿と調整し、機体(コンコルド模擬モデル)に2個のインテーク(JAXA殿M2JET実験機用インテーク)をクラスタ搭載して、3次元CFD解析を実施する(コンコルド模擬モデル及びインテークモデルはJAXA殿より提供)。スプリッター・プレートは、コンコルドを参考に形状を設定した。

⇒ CFD解析結果より得られたインテーク、及び全機周りの空力干渉等の空力現象の課題について、その解決方法、機体規模への影響を検討する。

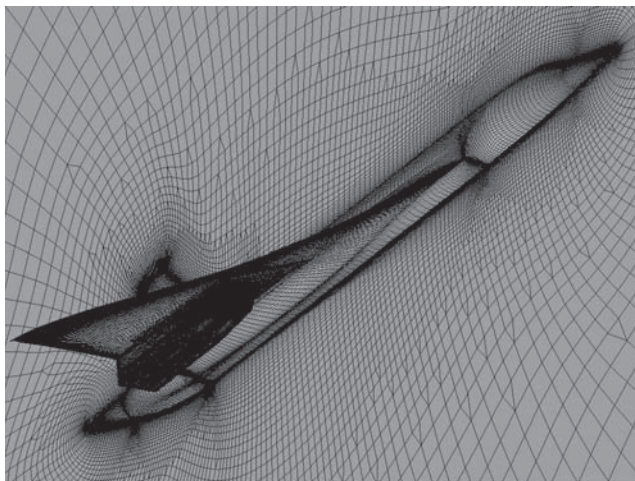


KHI Proprietary

10

## CFD解析モデル

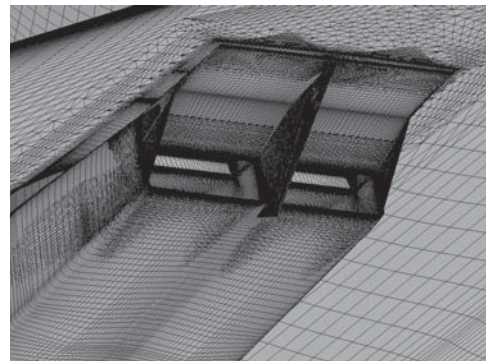
CFD解析モデルを下記に示す。



表面および空間対称面上の計算格子

計算格子セル数

表面格子	23万セル
空間格子	1140万セル



クラスター・インテーク周りの表面格子

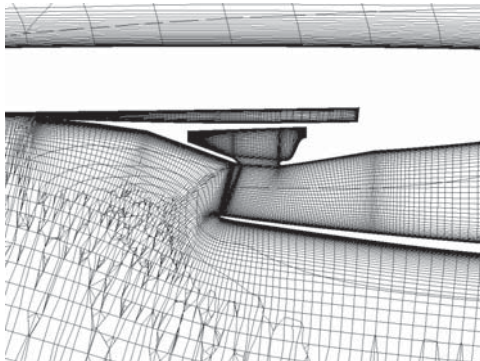


KHI Proprietary

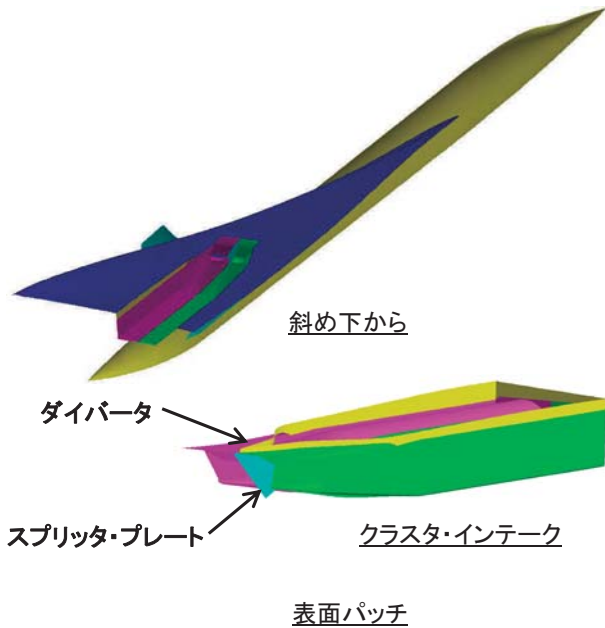
11

## CFD解析モデル

支配方程式 : 3次元レイノルズ平均ナビエーストークス方程式  
 空間の離散化 : 2次精度風上法  
 時間の離散化 : 陰解法 (MFGS)  
 乱流モデル : Baldwin-Barth (BB)  
 計算格子 : ハイブリッド非構造格子



インテーク内部の空間格子



表面パッチ



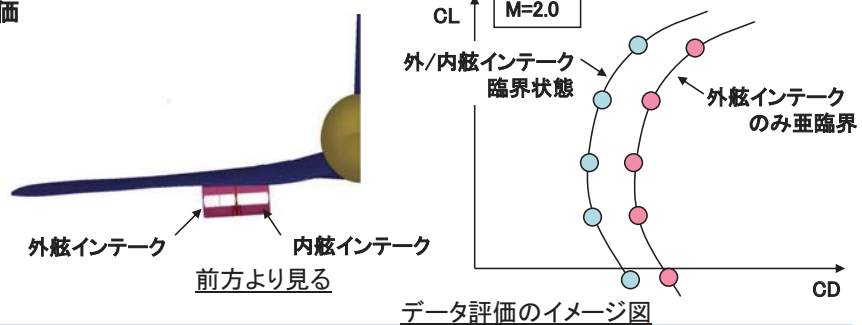
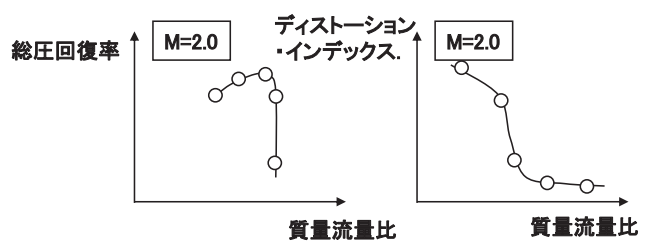
KHI Proprietary

12

## データ評価

CFD解析結果の基本的な評価項目を示す。

- 各々のインテークについて、亜臨界-超臨界までの総圧回復率、ディストーション・インデックス評価
- 外舷インテークを亜臨界にした状態での、各々のインテーク性能評価
- 全機レベルの揚抗比の変化量評価
- 流れ場の可視化及び評価

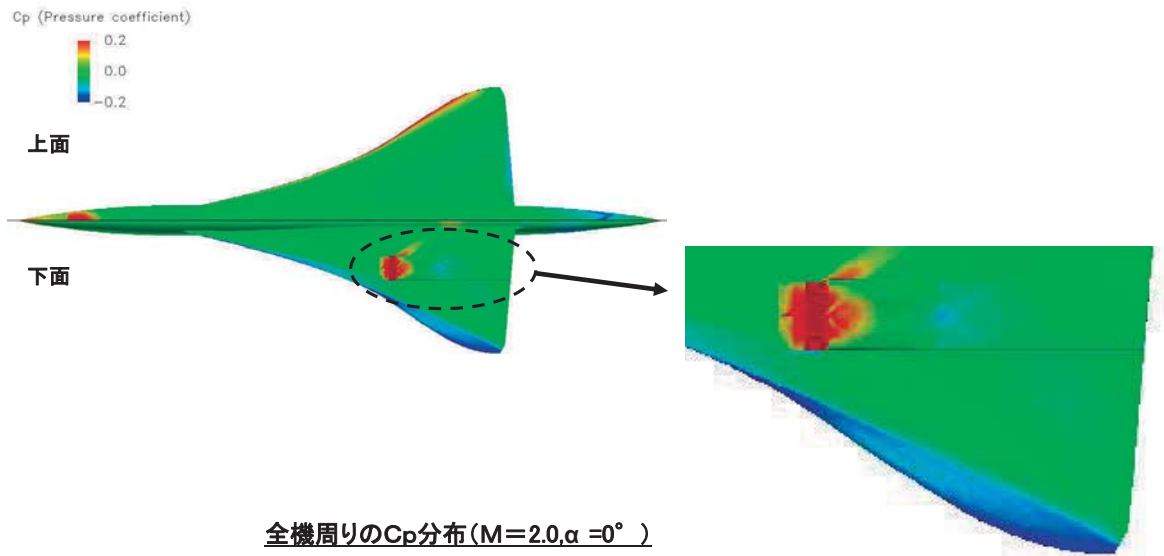


KHI Proprietary

13

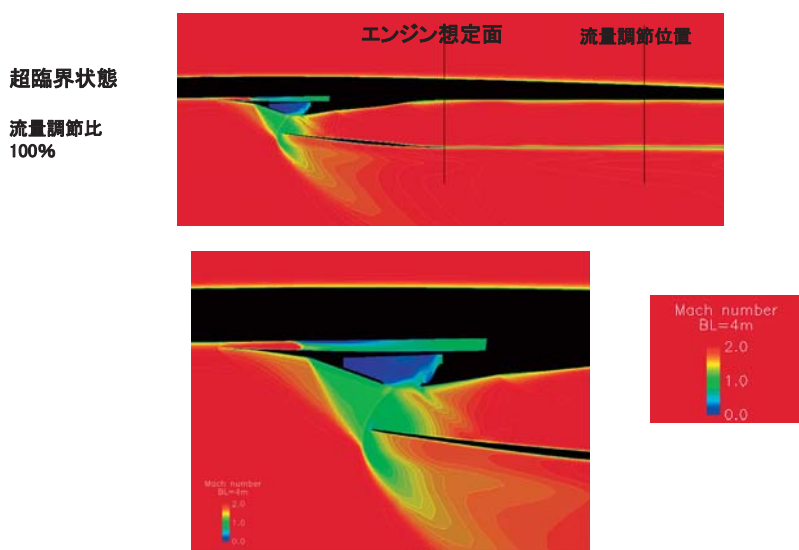
## 解析結果(経過報告)

全機周りのCp分布を下図に示す。



## 解析結果(経過報告)

インテーク中心断面でのマッハ数分布を下図に示す。

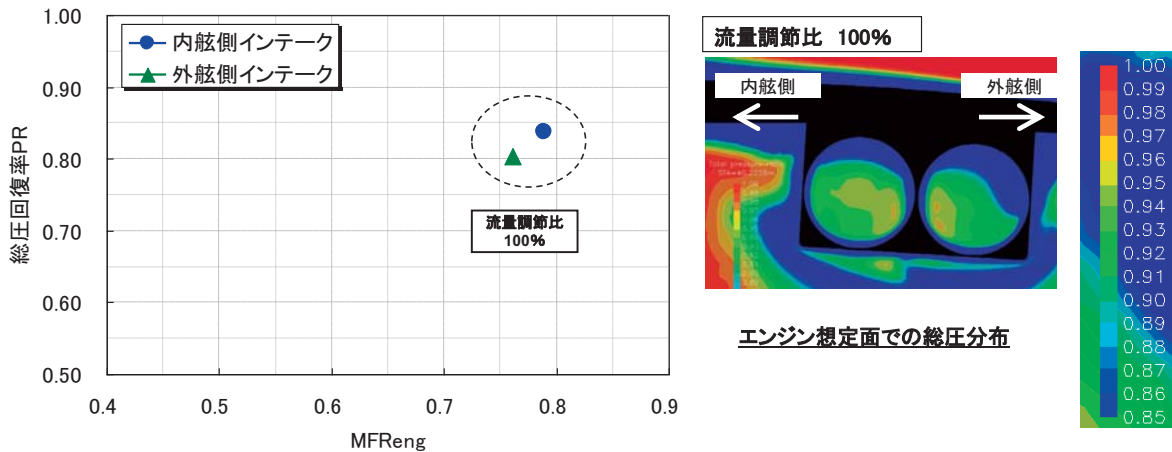


インテーク内マッハ数分布(M=2.0,  $\alpha = 0^\circ$ )



## 解析結果(経過報告)

総圧回復率とMFRの関係、及びエンジン想定面での総圧分布を下图に示す。  
今後、技術課題等の評価が可能なCFD解析ができる見通しを得た。



総圧回復率とMFRの関係(M=2.0,  $\alpha=0^\circ$ )

## 成果

本研究は、クラスタ型インテークの個々の間の干渉などの技術課題を明確にし、その課題の解決方法、機体規模への影響を明確にすることである。

3年計画の1年目として下記の研究を実施中である。

- ・ コンコルドに採用された、クラスタ型インテークについて技術調査を行った。
  - ⇒ クラスタ型インテークは、他方のインテークがバズ又は不始動に陥った際、他方のインテークの衝撃波パターンを空力的に独立させる形状とするため、スプリッター・プレート等の方策を採用している。
- ・ 研究計画を立案/調整し、機体+クラスタ型インテーク形態のCFD解析モデルを作成。
  - ⇒ 現在、CFD解析を実施中。今後、技術課題等の評価が可能な見通しを得た。
  - ⇒ 今後、解析を進め技術課題等を明確にする。

## 参考資料

- (1) TM-774 小型超音速機(ジェット実験機) 第2次インテークの空力設計と単体空力特性取得風洞試験
- (2) JAXA-RM-08-019 静粛超音速機(SSTD)第3.5次形状 インテークの空力設計
- (3) JAXA-RM-10-001 静粛超音速機(SSTD)第3.5次形状)インテークの空力性能取得低速風洞試験
- (4) JAXA-RM-10-008 静粛超音速機(SSTD)第3.5次形状)インテークの空力性能取得超音速風洞試験
- (5) AIAA 91-3327 A Preliminary Investigation of Inlet Unstart Effects on a High-speed Civil Transport Concept
- (6) J/A Nov-Dec 1968 Number6 Design and Development of an Air Intake for a Supersonic Transport Aircraft
- (7) <http://www.concordesst.com/powerplant.html> Concorde Technical Specs



KHI Proprietary

18

## 【補足資料】超音速機 他機例の紹介

ロッキード A-12	ノースアメリカンXB-70	ロッキード SR-71	BAC TSR-2	ツポレフ Tu-144
				
初飛行: 1962年 最大M数: 2.35	初飛行: 1964年 最大M数: 3.1	初飛行: 1964年 巡航M数: M3.2+	初飛行: 1964年 最高M数: M2以上	初飛行: 1968年 最高速度: M2.35
軸対象インテーク	2次元インテーク クラスタ型(胴下配置)	軸対象インテーク	軸対象インテーク 胴脇配置	2次元インテーク クラスタ型(胴脇配置)
コンコルド	ロックウェル B-1(A型)	ツポレフ Tu-160		
				
初飛行: 1969年 巡航M数: M2.04	初飛行: 1974年 最高速度: M2.0	初飛行: 1981年 最高速度: 2,000km/h (高高度)		
2次元インテーク クラスタ型(翼下配置)	2次元インテーク クラスタ型(胴脇配置)	2次元インテーク クラスタ型(胴脇配置)		



KHI Proprietary

写真、初飛行年数、飛行速度: Wikipediayより 19

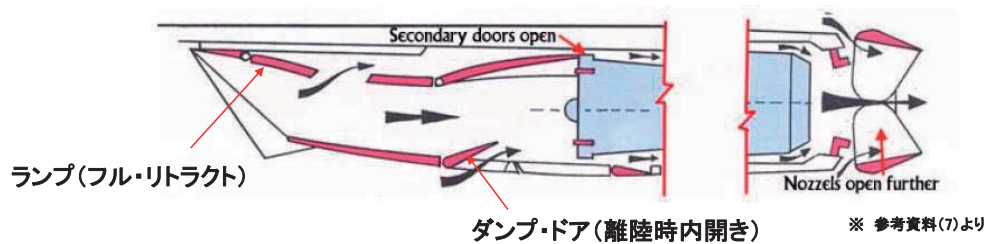
## 【補足資料】コンコルド インテーク

・ダンプ・ドアは、離陸時の補助空気取入口としても使用されるシステムとなっている。

離陸時は、最大流量が必要なのでランプはフル・リトラクトし、補助空気取入口としてダンプ・ドアが内側に開く。ダンプ・ドアは空力的に開状態が保持される。

(補足)

・機速がM0.93に達するとダンプ・ドアは完全に閉じる。



コンコルド インテーク断面概要図(ダンプ・ドア・オープン)



KHI Proprietary

20

## 【補足資料】コンコルド インテーク

・サイド・ウォール形状

エンジン故障時に機体がヨーを発生したときに、インテークに対して横流れが発生し、エンジン面での圧力分布が悪化する。

サイド・ウォールの形状を修正して、横流れ発生時のエンジン面での圧力分布を改善している。

サイド・ウォール  
(カット・バック形状)



写真: Wikipediayより

コンコルド インテーク



KHI Proprietary

21

## 【補足資料】コンコルド インテーク

### ・ダイバータ形状

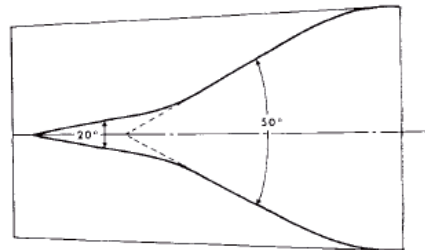
ダイバータの高さは、抵抗低減のため境界層厚みの30%高さとしている。そのため、ランプ・ブリード量を少し増加させてインテーク性能改善させている。

ダイバータ平面形は、初期形状から先端角度を20度に修正し、ダイバータ先端から離脱した流れのインテークの衝撃波パターンや、インテーク効率の大きなロス改善した。



写真:Wikipediayより

ダイバータ



※ 参考資料(6)より

コンコルド ダイバータ形状(上から見る)



## 【補足資料】解析結果及びデータ処理式

### 内舷側インテーク

ノズル面積比	インテーク出口面				流量調整位置			抽気面から2cm前方		
	$A_{eng}[m^2]$	$Q_{eng}$	$MFR_{eng}$	$Pt_{eng}$	$A_{out}[m^2]$	$Q_{out}$	$MFR_{out}$	$A_{bleed}[m^2]$	$Q_{bleed}$	$MFR_{bleed}$
ストレート	1.090	1.526	0.789	0.838	1.090	1.526	0.789	0.107	0.079	0.041

### 外舷側インテーク

ノズル面積比	インテーク出口面				流量調整位置			抽気面から2cm前方		
	$A_{eng}[m^2]$	$Q_{eng}$	$MFR_{eng}$	$Pt_{eng}$	$A_{out}[m^2]$	$Q_{out}$	$MFR_{out}$	$A_{bleed}[m^2]$	$Q_{bleed}$	$MFR_{bleed}$
ストレート	1.090	1.472	0.761	0.804	1.090	1.472	0.761	0.107	0.081	0.042

$$MFR = \frac{\rho U A}{\rho_{\infty} U_{\infty} A_c}$$

$$PR = \frac{Pt_{eng}}{Pt_{\infty}}$$

