11KT006352

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）

2011年12月9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
園田　精一、上田　賢太郎

川重岐阜エンジニアリング(株)
技術本部　システム技術部　空力技術グループ
山蔭　達哉、田島 厚志

目　次

・研究目的
・CFD解析結果（クラスタ型インテーク形態）
・昨年度の成果
・今年度の作業内容
・CFD解析結果（単体インテーク形態）
・今後の作業予定
・参考資料

This document is provided by JAXA

研究目的

本研究は、静粛超音速機技術の研究開発の高効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。

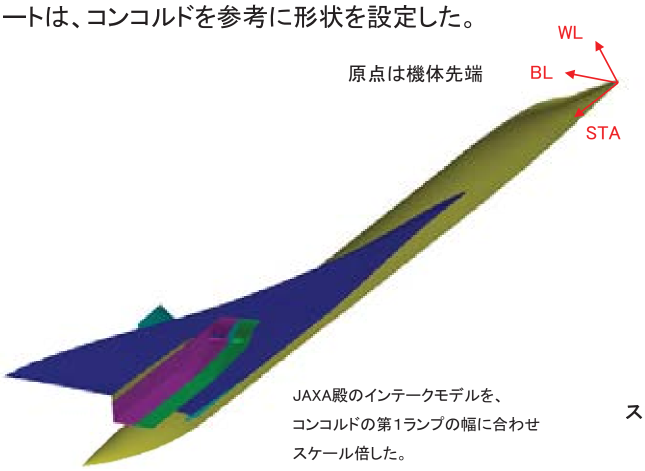
コンコルド クラスタ型インテーク

Kawasaki KHI Proprietary 2

CFD解析モデル（昨年度実施）

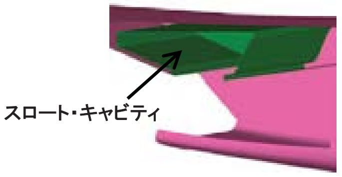
機体＋クラスタ型インテーク形態でのCFD 解析

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解析を実施した（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・プレートは、コンコルドを参考に形状を設定した。



JAXA殿のインテークモデルを、コンコルドの第1ランプの幅に合わせスケール倍した。

クラスタ型インテーク付近



・スロート部のキャビティも模擬する。
・抽気は、スロート・キャビディから境界条件で抽気を行う。

インテーク拡大図

クラスタ型インテーク解析モデル

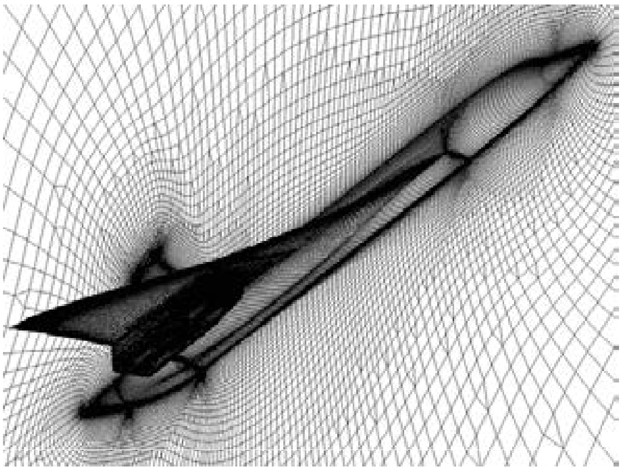
Kawasaki KHI Proprietary 3

This document is provided by JAXA

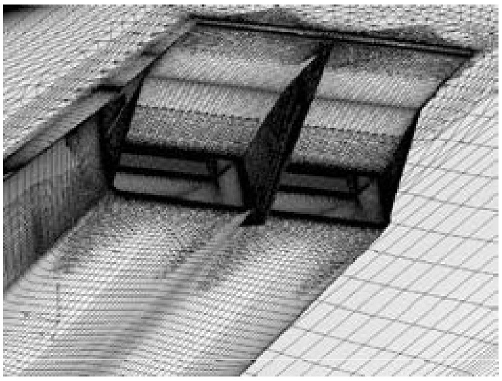
計算格子（昨年度実施）

計算格子セル数

表面格子	23万セル
空間格子	1140万セル



表面および空間対称面上の計算格子



クラスタ・インテーク周りの表面格子

計算格子

Kawasaki　KHI　Proprietary　4

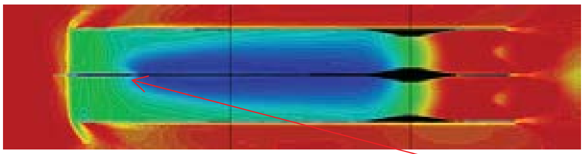
《解析結果》空間マッハ数分布（昨年度実施）

スプリッタ・プレートの有無、抽気量に関係なく、スプリッタ・プレート側の側壁を起点にした剥離が発生した。

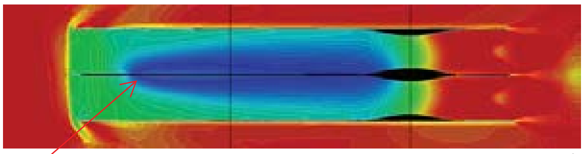
M=2.0、α=2deg、絞り開度50%

抽気量約10%相当

外舷側



スプリッタ・プレート有り

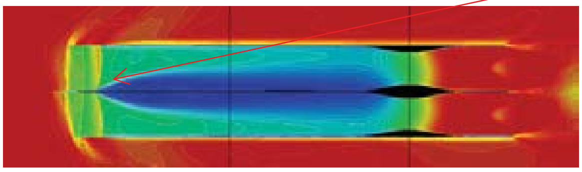


スプリッタ・プレート無し

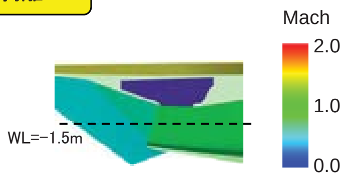
内舷側

スプリッタ・プレート側の側壁を起点に剥離

抽気量約20%相当



スプリッタ・プレート有り



※ 抽気量は、臨界状態で想定した境界条件で抽気

内/外舷インテーク内の空間マッハ数分布（M=2.0、α=2deg、絞り開度50%、WL=−1.5m断面）

Kawasaki　KHI　Proprietary　5

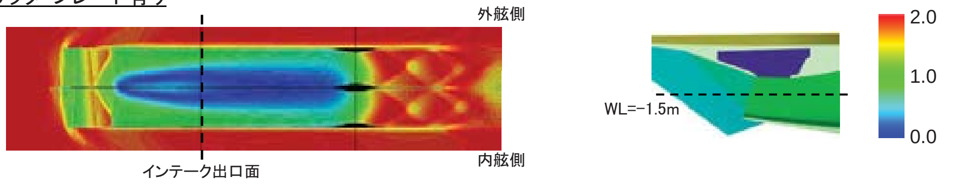
This document is provided by JAXA

《解析結果》総圧回復率（昨年度実施）

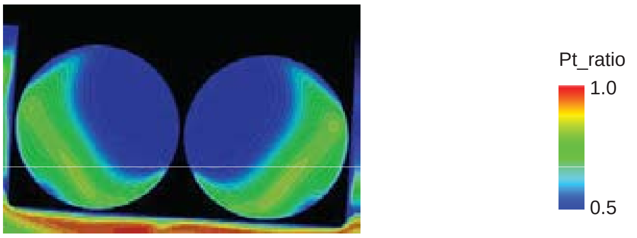
インテーク出口面での総圧回復率は、**内舷と外舷で殆ど差がない**。

M=2.0、α=2deg、絞り開度65%

スプリッタ・プレート有り



内/外舷インテーク内の空間マッハ数分布（M=2.0、α=2deg、抽気量約20%相当）



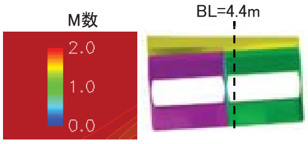
総圧回復率　内舷：0.608　外舷：0.610

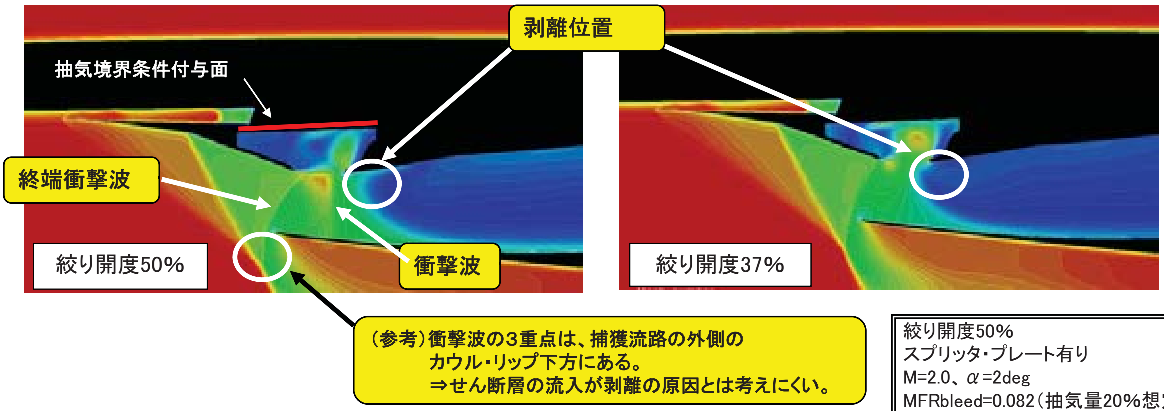
インテーク出口面での総圧回復率（M=2.0、α=2deg、抽気量約20%相当）

※ 抽気量は、臨界状態で約20%を想定して境界条件で抽気

《解析結果》剥離位置（昨年度の成果）

解析結果より、スプリッタ側に発生する剥離位置について可視化を行った。スプリッタ・プレート側側壁の剥離は、**抽気スリット後方付近から発生**していることがわかる。





絞り開度50%
スプリッタ・プレート有り
M=2.0、α=2deg
MFRbleed=0.082（抽気量20%想定）

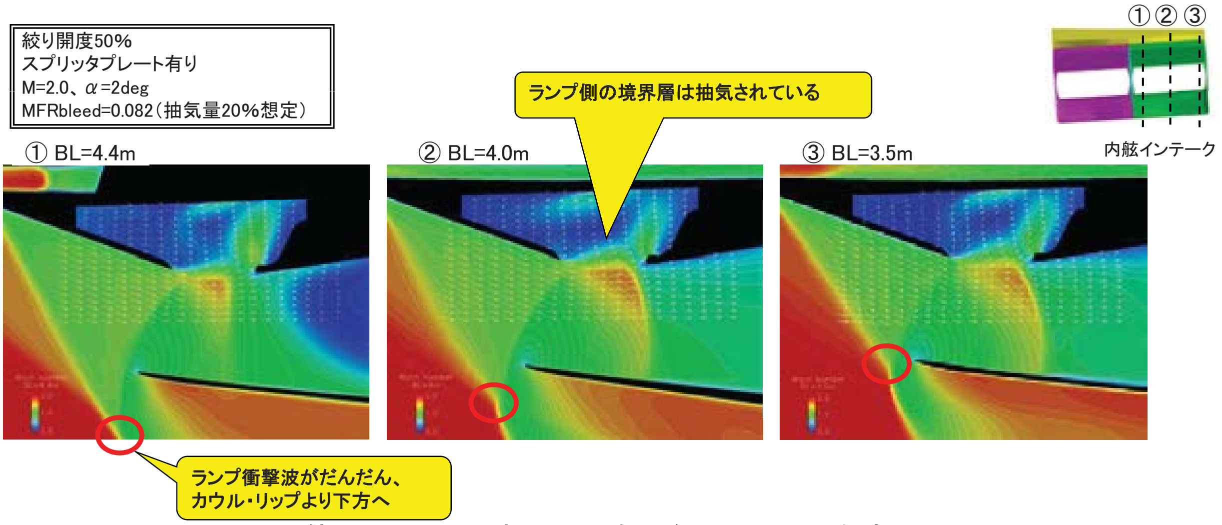
内舷インテーク内の空間マッハ数分布（BL=4.4m断面）

This document is provided by JAXA

《解析結果》ランプ衝撃波の3重点（昨年度の成果）

ランプ側の境界層は、スロート・スリットで抽気されている流れで確認できる。また、スプリッタ・プレート側に近づく程、ランプ衝撃波の3重点位置がカウル・リップより下方へ移動している。

絞り開度50%
スプリッタプレート有り
M=2.0、α=2deg
MFRbleed=0.082（抽気量20%想定）



内舷インテーク内の空間マッハ数分布とベクトル図（鉛直断面）

昨年度の成果

クラスタ型インテーク解析結果より得られた知見は以下である。

①剥離の位置：
内外舷のインテークとも、スプリッタ・プレート側の側壁の抽気スリット後方より剥離が発生する。

②側壁形状の違い：
スプリッタ・プレートの有無に依らず剥離は発生する。

③抽気量の違い：
抽気量によらず、剥離は発生する。

①②③ ⇒ クラスタ型インテークの亜音速ディフューザ入口付近で、スプリッタ側側壁に沿って境界層剥離が発生することが考えられる。このC319 インテークは、側壁を大きくすると性能が極端に悪化することが報告されているが、このスプリッタ側側壁に沿う剥離は、スプリッタ・プレート無しでの解析でも生じており、側壁を大きくしたこと以外にも剥離の原因があると考える。

④その他：
ランプ衝撃波の3重点は、スプリッタ・プレート側に行くほどカウルリップ下方で焦点を結ぶ。

④ ⇒ サイド・スピレージの有無の影響で、ランプ衝撃波の3重点の位置がスパン方向で異なる。この3重点のスパン方向の変化は、風洞試験では可視化が困難であり、解析でのみ分かる事象である。また、この変化は、インテーク単体設計では予測できず、クラスタ型特有のものである。この事象は、斜め衝撃波の角度の変化によって、インテーク内の速度変化をもたらすと共に、スピレージ抵抗、流量特性の予測を困難にするものと考える。なお、上記のインテーク内部の剥離が抑制できれば、背圧の変化が小さくなり、このスパン方向の変化は小さくなるかもしれない。

This document is provided by JAXA

今年度の作業内容

今年度は、昨年度の研究成果に基づき明らかとなった、クラスタ型インテークに特有の要素であるスプリッタ･プレートの設計に関連する以下の技術課題について、その課題を解決するための研究を実施するものとする。

(1)亜音速ディフューザ内の剥離に起因する課題

単体インテーク解析の実施

↓

昨年度実施したCFD解析結果の妥当性の確認 ― JAXA殿のこれまでの検討結果（CFD解析、風洞試験結果等）と比較･検討

↓

亜音速ディフューザ内の境界層剥離の原因を検討 ⇒ スプリッタプレート、抽気システムおよび亜音速ディフューザ等の設計を見直すための方針を検討

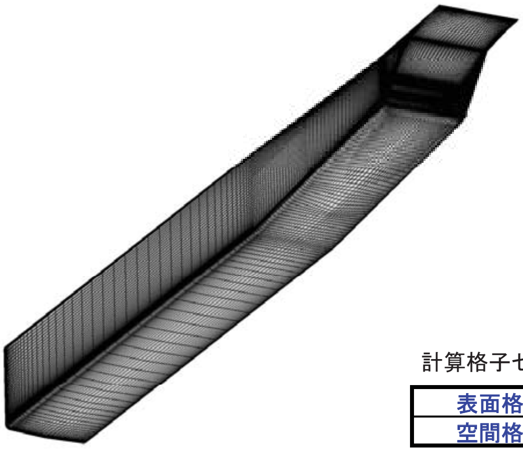
(2)スピレージの方向が特定されることによる課題

ランプ衝撃波3重点の位置が単体インテークと比べて変化することにより生じる、**①外部抵抗の推算の高精度化、 ②スピレージが機体へ及ぼす影響の違い等の課題**の本質を明確にし、クラスタ型インテークの機体統合を含めた設計方針を明確にすることを目指す。

CFD解析モデルの計算格子（今年度実施）

単体インテーク形態でのCFD 解析

昨年度実施した3次元CFD解析モデル（クラスタ型インテーク解析モデル）からナセル部分を取り出し、単体インテーク解析モデルとして、解析を実施した。



計算格子セル数

表面格子	9万セル
空間格子	466万セル

単体インテーク解析モデルの計算格子

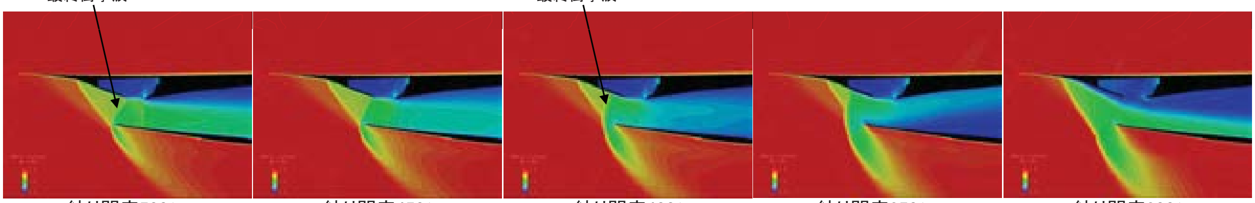
This document is provided by JAXA

《解析結果》空間マッハ数分布（今年度実施）

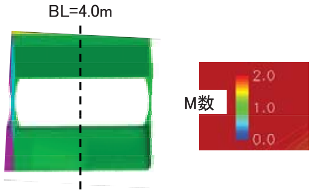
JAXA殿のCFD解析と近い抽気条件で解析を実施した。

クラスタ型インテーク解析で生じた、側壁に沿う剥離は単体解析では見られない。また、インテーク付近のショックパターンは、絞り開度を変更すると、最終衝撃波の位置が変化していることが確認できる。

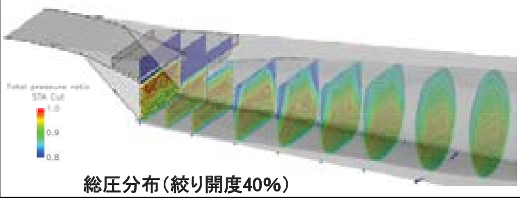
最終衝撃波　最終衝撃波



絞り開度50%　絞り開度45%　絞り開度40%　絞り開度35%　絞り開度30%



M=2.0、α=0deg
抽気量10%想定



総圧分布（絞り開度40%）

インテーク内の空間マッハ数分布（鉛直断面）

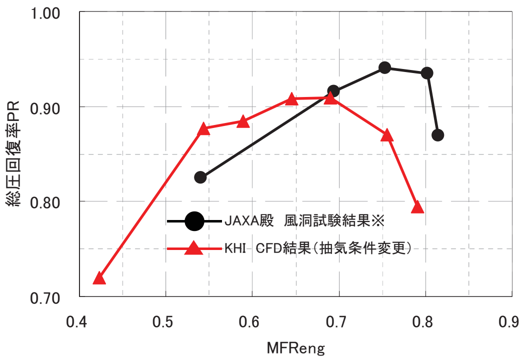
《解析結果》JAXA殿結果との比較（今年度実施）

空間マッハ数分布を比較すると（右図）、インテーク付近の分布はほぼ同じ分布をしており、CFD解析に問題はないと考える。

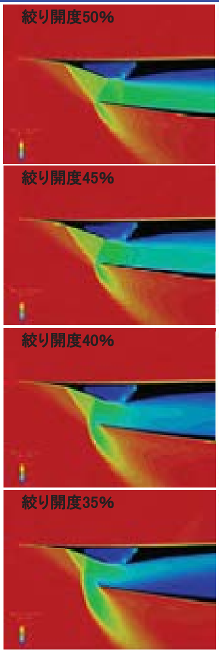
総圧回復率を比較すると、JAXA殿の風洞試験結果と少し差がある。

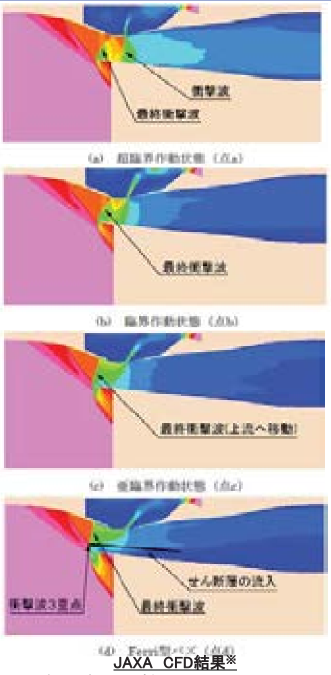
- 総圧回復率の最大値が小さい
- 総圧回復率のMFRengが小さい

⇒ 亜音速ディフューザ上面側の境界層に差があるためと考える。



総圧回復率





KHI　CFD　JAXA　CFD結果※

インテーク内の空間マッハ数分布の比較 ※ JAXA-RR-03-009より

This document is provided by JAXA

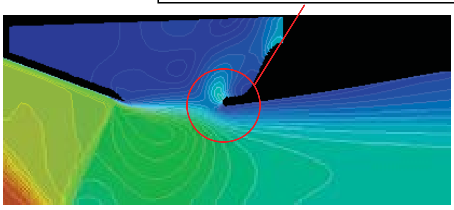
《検討》総圧回復率の差の原因（今年度実施）

・**亜音速ディフューザ上面側の境界層の差**

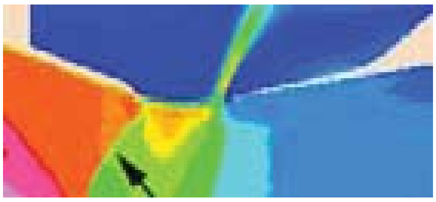
⇒　亜音速ディフューザ上面側の境界層の差は**第3ランプ形状の差**によるものと考える。

・**解析ツールの違い**

第3ランプの前縁を回り込む
際に境界層が発達している。



<u>KHI　CFD</u>
絞り開度45%



<u>JAXA　CFD結果※</u>
臨界作動状態

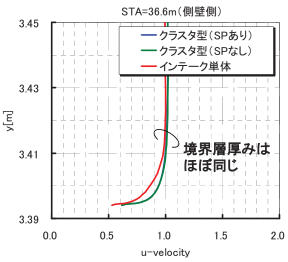
※ JAXA-RR-03-009より

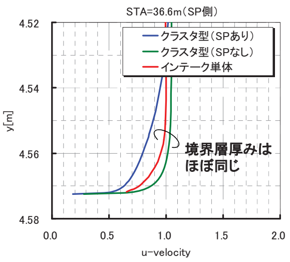
<u>空間マッハ数分布の第3ランプ付近の拡大</u>

KHI　Proprietary　　14

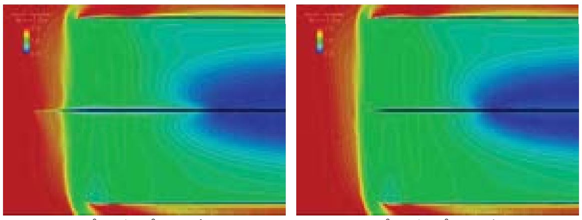
《解析結果》境界層厚みの比較（今年度実施）

単体インテーク解析における境界層厚みを以下に示す。参考として、昨年度実施したクラスタ型インテーク解析の結果もプロットした。単体インテーク解析における境界層内の速度プロファイルは絞り開度50%、抽気量10%想定ではスプリッタ・プレートなしのクラスタ型インテーク解析とほぼ同じである。
クラスタ型とすることにより、スプリッタ・プレート側が剥離しやすいことが判明した。

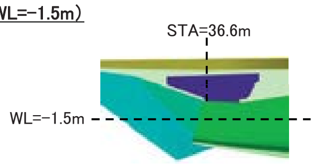


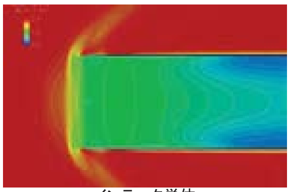


<u>速度プロファイル（STA=36.6m、WL=−1.5m）</u>

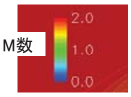


<u>スプリッタ・プレートあり</u>　<u>スプリッタ・プレートなし</u>





<u>インテーク単体</u>



<u>空間マッハ数分布（WL=−1.5m）</u>

絞り開度50%
抽気量10%想定

昨年度の解析と同じ条件

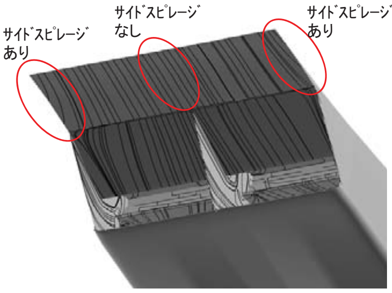
KHI　Proprietary　　15

This document is provided by JAXA

《検討》剥離の原因（今年度実施）

・クラスタ型ではスプリッタ・プレートの有無に関係なく、剥離が生じる
　→ スプリッタ・プレートが剥離の直接の原因ではない

・クラスタ型インテークではスプリッタ・プレート側の亜音速ディフューザの側壁で生じる
・クラスタ型ではスプリッタ・プレート側ではサイドスピレージがない（右図）
・単体のC319インテークでも側壁が大きくなる（サイドスピレージがなくなる）と、亜音速ディフューザの側壁で境界層剥離が生じる
（JAXA-RR-03-009より）



表面流線

⇒ 【結論】
・亜音速ディフューザがサイドスピレージのない流れの場合に、側壁で剥離を生じやすい

⇒ 【設計方針】
クラスタ型インテークは単体インテークにおいてサイドスピレージがない状況でも境界層剥離が生じないような形状とする必要がある

今後の作業内容

以上より、今年度の今後の作業内容をまとめる。
(1)亜音速ディフューザ内の剥離
【今年度のこれまでの成果】
単体インテーク解析結果から、KHIのCFD解析で現象を捉えることは可能であると考える。
→ 昨年度実施したクラスタ型インテーク解析で生じたスプリッタ側側壁に沿う剥離は発生しうる事象である。
→ この事象はクラスタ型インテークにおける課題の一つとなる。
スプリッタ・プレートの有無や抽気条件に関係なく、剥離が生じることから、剥離を抑制するには亜音速ディフューザの再設計が必要であると考えられる。

⇒ 【今年度のこれからの検討作業】
・亜音速ディフューザの再設計（亜音速ディフューザの延長）
・再設計した亜音速ディフューザを用いたクラスタ型インテークでの解析

(2)スピレージの方向が特定されることによる課題
衝撃波3重点の位置が単体インテークと比べて変化することにより生じる、**①外部抵抗の推算の高精度化、②スピレージが機体へ及ぼす影響の違い等の課題**の本質を明確にし、クラスタ型インテークの機体統合を含めた設計方針を明確にすることを目指す。

This document is provided by JAXA

参考文献

○ JAXA-RR-03-009 超音速インテークの空力性能に及ぼす側壁形状の影響

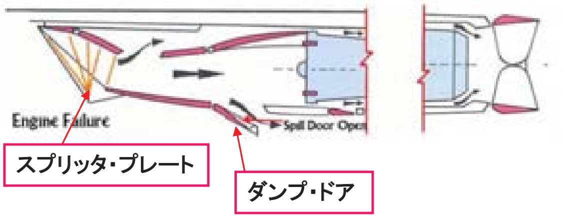
【補足】技術調査（昨年度実施）

昨年度の成果と課題を下記に示す。

① 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

○スプリッタ・プレート

クラスタ型インテークでは、一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・プレートを採用**している。



○ダンプ・ドア

巡航状態でエンジン・シャットダウン時、又は不意にバ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）

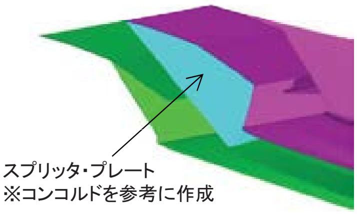
○オート・ラダー

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。

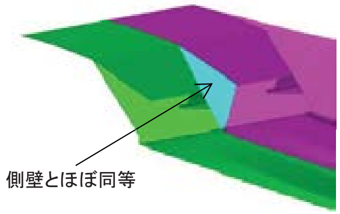
以上より、本研究ではクラスタ型インテーク特有の要素であるスプリッタ・プレートについての知見を取得することが一つの目的となる。

This document is provided by JAXA

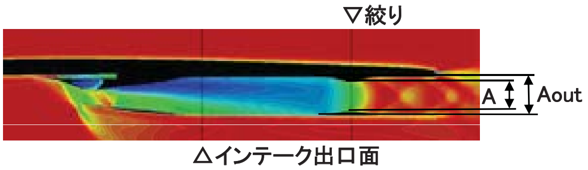
【補足】スプリッタ・プレート無し形態、絞り開度



スプリッタ・プレート有り



スプリッタ・プレート無し



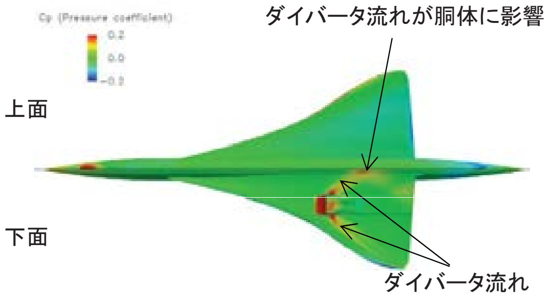
※ 絞り開度(A/Aout)

インテークに流入する空気の流量を調整するため、インテーク後方に絞り部を作成した。

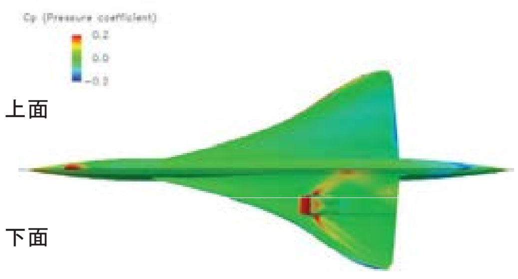
インテーク出口面（エンジン想定位置）と絞り開度

【補足】《解析結果》表面圧力分布（昨年度実施）

機体表面のCp分布を下記に示す。スプリッタ・プレート有無で、主翼下面の流れに大きな違いはない。
また、インテークのダイバータ流れが主翼下面に大きな影響を与えている。
特に内舷側のダイバータ流れは、胴体下面に達してしていることがわかる。なお、ダイバータの高さは、コンコルドを参考に設定している。



スプリッタ・プレート有り



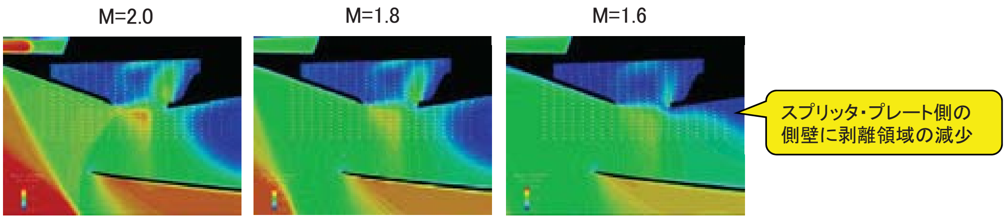
スプリッタ・プレート無し

機体表面Cp分布（M=2.0、α=2deg、絞り開度50%、抽気量約10%相当）

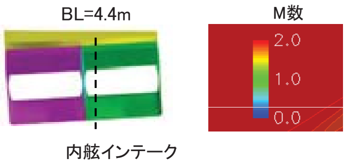
This document is provided by JAXA

【補足】マッハ数の影響（昨年度の成果）

マッハ数低下とともにスプリッタ・プレート側の側壁の剥離は減少するが、剥離は同様に発生する。



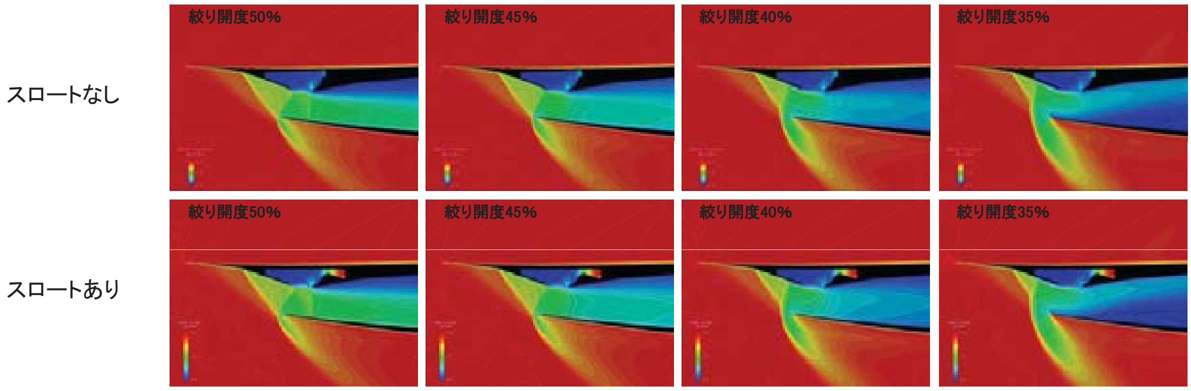
絞り開度50% スプリッタ・プレート有り α=2deg 抽気量20%想定@M=2.0



内舷インテーク内の空間マッハ数分布と速度ベクトル（鉛直断面）

【補足】《解析結果》抽気スロートの有無（今年度実施）

JAXA殿のCFD解析ではスロートを用いたモデルでの解析結果であったので、条件を近づけるために、同様なスロートを解析モデルに適用した。その結果、スロート無しの解析結果とほぼ同じとなった。



インテーク内の空間マッハ数分布の比較

This document is provided by JAXA