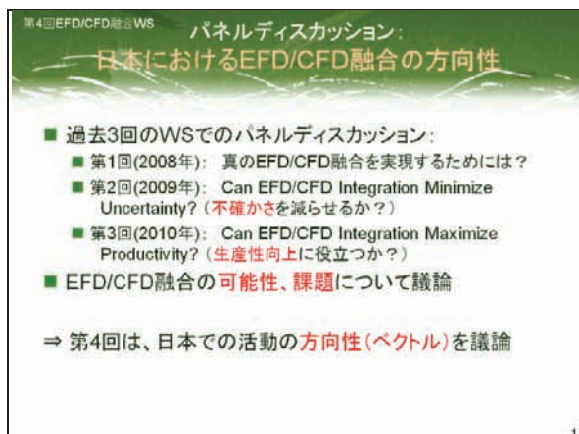


パネルディスカッション 「日本における EFD/CFD 融合の方向性」

パネリスト（登壇順）： 大林 茂（東北大学 流体科学研究所 流体融合センター）
 澤田 恵介（東北大学 工学研究科 航空宇宙工学専攻）
 中村 和幸（明治大学 研究・知財戦略機構 先端数理科学
 インスティテュート）
 棚橋 美治（三菱重工業 名古屋航空宇宙システム製作所 研究部）
 松尾 裕一（JAXA 研究開発本部 数値解析グループ）
 伊藤 健（JAXA 研究開発本部 風洞技術開発センター）

司会： 渡辺 重哉（JAXA 研究開発本部 流体グループ）

渡辺：本日のパネルディスカッションの課題なのですが、「日本における EFD/CFD 融合の方向性」ということで、先程の JAXA からの発表も踏まえて進めていきたいと思えます。最終的には皆様と何らかの方向性を共有できるというような結果になれば成功と思っておりますので、ぜひご協力を宜しくお願いいたします。

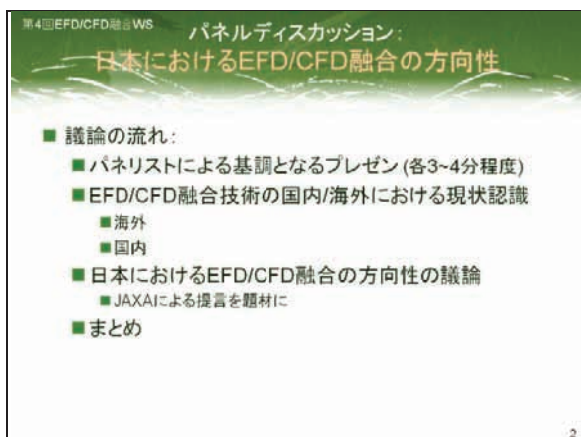


まず、これまで過去のワークショップで3回パネルディスカッションをやってきましたので、その内容を少し復習させていただきたいと思えます。初回は2008年にあったのですが、この時はまず

初めということで、「真の EFD/CFD 融合を実現するためには？」という非常に大きなテーマでフリーディスカッションをして、その中でやはり皆でよく考えながらやらなければならないだとか、JAXA 等の公的な機関がある程度音頭をとってやっていかなければならないというような激励の言葉をいただいたりしました。それから、東北大学の流体融合センターのようなところとも密接にやっていったらどうかというような意見が出されました。

それから第2回、第3回、実行委員で何を議論しようかを考えた時に、EFD/CFD 融合とは何がどう役に立つのかというところがよく分からない。これがこう役に立ちますと誰もが納得するものが明確でないようなところもあったので、第2回では不確かさを減らせるか、精度を向上させられないか、第3回は生産性向上、効率化に役に立たないかという観点で議論をいたしました。この時も意見がまとまったとは言えないのですが、可能性として EFD/CFD 融合が精度向上や生産性向上にも役に立つだろうということは、それなりの共通認識を持たれたのではないかと思います。ただし、

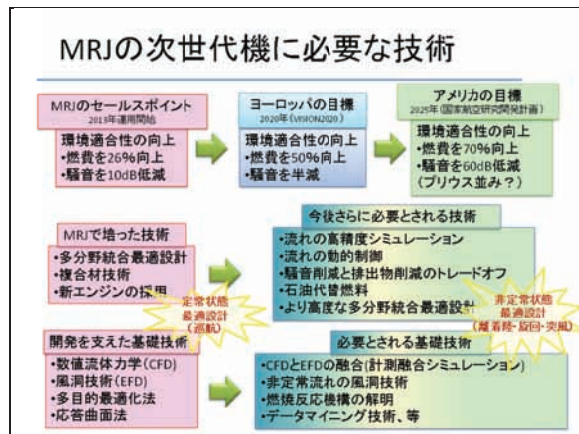
それをやるには色々な課題が多いということも同時に納得されたのではないかと思います。今回の第4回については、このまま EFD/CFD 融合の可能性だけについて議論をしていくのではなくて、やはり何か手をつけていく中で新たにでてくるものがあるのではないかと、今迄のパネルディスカッションのご意見も参考にしながら考えました。それで今回も大きなテーマになりましたが、「日本における EFD/CFD 融合の方向性」ということで議論したいと思っておりますので、ご協力をお願いいたします。基本的にはパネリストの皆様にも色々ご意見をいただくのが中心ではあるのですが、会場の皆様にもぜひ積極的に発言していただきたいと思っております。



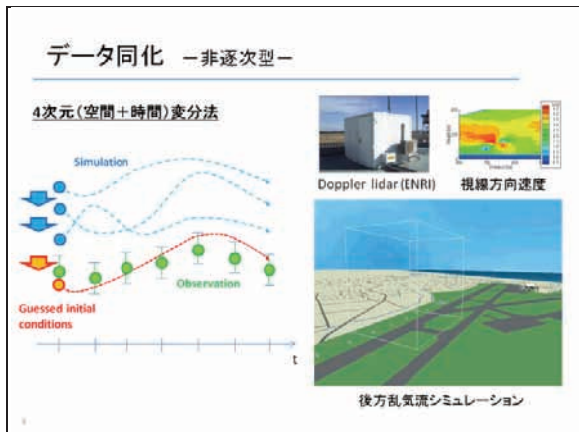
それでは、議論の流れはおおよそこのように考えておまして、最初にパネリストの皆様にも基調となるようなプレゼンをお願いしたいと思っております。その後で先程の JAXA の発表にもありますが、EFD/CFD 融合は今どのような状況なのかについておさらいしながら共通認識を持った上で、「日本における EFD/CFD 融合の方向性」というものに入りたいと思っております。それでは、順番をお願いしたいと思います。まず大林先生から宜しくお願いいたします。

大林：我々のところでは特に EFD/CFD 融合の

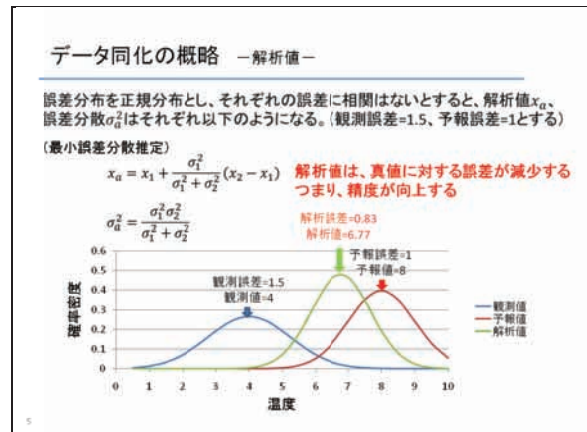
ツールとして何を目標にしているかということをお話しながら、自己紹介に代えさせていただきたいと思っております。



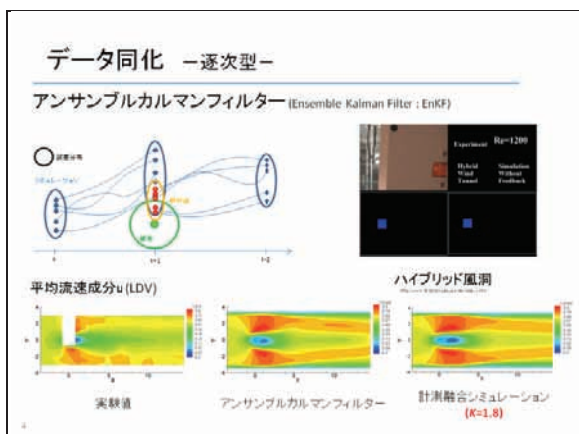
皆様ご存知のように MRJ という国産旅客機を現在開発中なのですが、この MRJ を開発するにあたって、最適化の技術を我々のグループと三菱重工業との共同で開発してきました。ここで出来た技術というのは、設計点、定常状態での最適設計技術ということが言えると思います。これに對しまして現在環境問題等を踏まえて、欧米では高い技術目標を掲げて航空機の開発戦略を練っています。ヨーロッパやアメリカとしては燃費を 50%~70%向上、あるいは騒音を半減する、それ以上下げるといったような目標を掲げています。これを実現するためには現在の定常状態の最適設計だけではとても足りないでしょうということで、非定常状態も含めた最適設計技術を作る必要があるというように考えております。当然、非定常の予測技術が必要なわけですが、例えば大迎角の剥離流れを考えた時に CFD の精度は十分ではない。計算の規模を大きくするだけでは話は中々追いつかないので、実験と融合することを考えています。



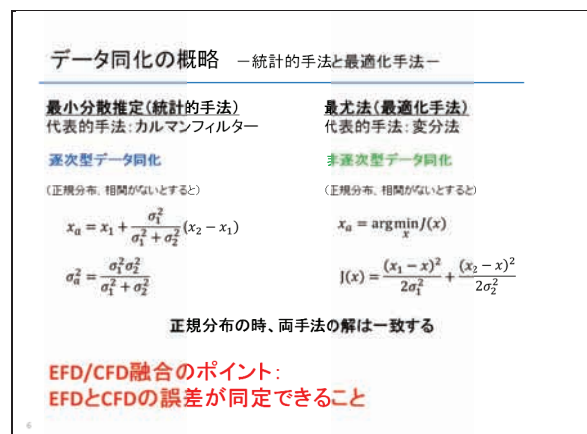
その一例なのですが、我々は JAXA と ENRI との共同研究により、仙台空港で後方乱気流を計測して、これを 4D-Var を使って再現するといったようなことを行っています。



データ同化は本日もご講演があったのですが、ごく簡単に言えば観測値と何らかの予報値があると、その二つから真値を推測するにはどうしたら良いかということです。値だけがあるのではなく、値が誤差情報を持っているということがデータ同化の重要な理論的背景です。



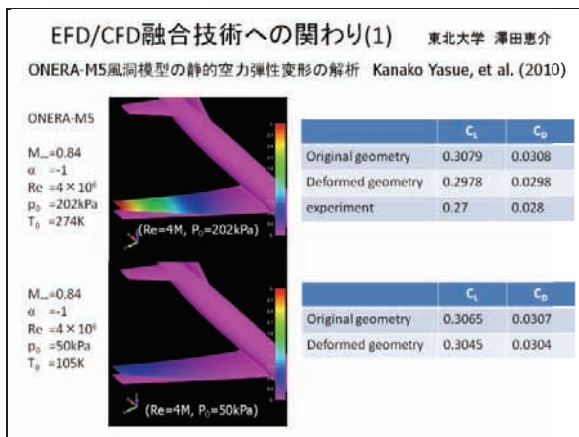
これは、東北大学の早瀬敏幸先生が開発されたハイブリッド風洞のコンセプトに対して、我々のグループではアンサンブルカルマンフィルターを使って、早瀬先生の計測融合シミュレーションと同じ結果が得られたという例です。



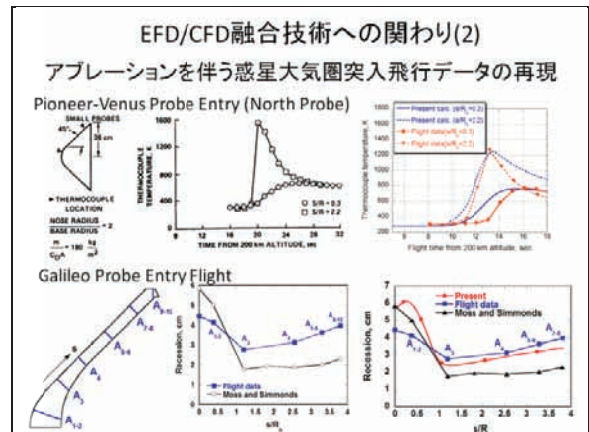
データ同化にはカルマンフィルターと変分法という二つの大きなアイデアがあって、理想的な状態として正規分布を仮定してやれば両手法の解は一致するというのですが、逆に言うと誤差がどのような形をしているかが、おそらくキーであると思います。そのような意味では、CFDの誤差とは何か、あるいは実験の誤差とは何かということ突き詰めていくことが更に融合技術を高めていく大きなポイントではないかというように考え

ています。そこで、実験でよくエラーバーが書かれています。あれがバーではなくて確率分布で表わせるようになると素晴らしいのではないかと思います。計算の方も何か計算すると解が1個のように見えるのですが、実は色々な誤差があるわけで、そういったものがきちんと見えるようにすることが重要ではないかと思っております。

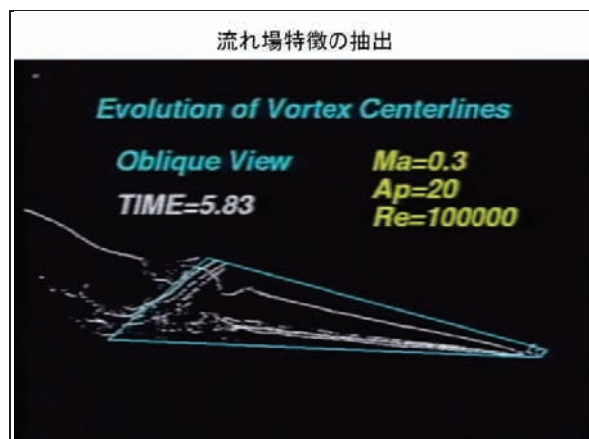
澤田：続きまして東北大学の澤田が発表させていただきます。EFD/CFD 融合技術への関わりについて自己紹介するというお題をいただきましたので、先ずそこから入らせていただきます。私は基本的にと言いますか、99%CFD が専門です。



一番最近の計算例としましては、静的な空力弾性変形の計算というものを例として持って参りました。同じレイノルズ数でも総圧が違うとだいぶ曲がり方が違います。これは、ONERA-M5 の例ですが結構曲がるので、弾性変形の影響を考えたEFD データがCFD との比較において必要なのではないかという結果となりました。



これは、10年位前の例ですが、惑星大気圏に突入するカプセルのお話です。これはEFD/CFD 総動員でカプセルを設計しようということで、例えば惑星大気圏に突入したアブレーションを伴ったリエントリーカプセルのフライトデータがCFD で再現出来ないというような話がありました。上は Pioneer-Venus、下は Galileo の例ですが、それに対して CFD 側で一体原因は何でしょうかというようなことを暫く研究したことがございます。



これは更に古くなりまして20年位前の例ですが、CFD の結果から流れ場の特徴抽出を試みたものです。デルタ翼を過ぎるマッハ0.3の流れですが、渦中心線を抽出したらどうなるだろうかとい

うことで行った研究です。白い線が渦中心を表していてその周りに渦が存在するわけですが、primary と secondary がこのように時間発展していき、そのうちにブレークダウンをおこすという、なかなか面白い計算ではないかと当時は思いました。今、これをぜひ PIV のような実験データに対して適用してみたいというように考えております。

を持ち寄って皆でパーティーをしましようというようなスタイルが入りやすいのではないかとこのように考えておりました。以上です。

中村：明治大学の中村です。私は、バックグラウンドは EFD/CFD のどちらでもなくて、数理科学、統計科学、データ科学といったところから来ていて、統計数理研の樋口知之先生のところでずっとデータ同化の研究に従事してきました。

日本におけるEFD/CFD融合の方向性について

- EFDとCFDの融合の方向性(新しく作るのだから...)
 - ・ 用途: 設計 vs 解析 → 空力設計システム
 - ・ 比率: EFD / CFD → CFD >> EFD
 - ・ 特徴: 設計を支援する強力な最適化機能の搭載
- 融合システム利用互助会の形成
 - ・ JAXA内外利用者による融合事例紹介
 - ・ 海外での同様なシステムの利用例紹介
 - ・ 機能拡張セミナー、ユーザー教育の実施
 - ・ 設計者のニーズと研究者のシーズをマッチングするコーディネーション機能の充実

研究領域・バックグラウンド
(「EFD/CFD 融合技術への関わり」に代えて)

- ▶ データ同化
 - ▶ 津波シミュレーションモデルのデータ同化
 - ▶ 浅水方程式系の不確かさのある境界条件推定
 - ▶ 遺伝子発現ネットワークのデータ同化
 - ▶ 遺伝子発現の時変状態変数ならびに時不変未知パラメータの確率分布の推定
 - ▶ 地盤変形・沈下問題へのデータ同化
 - ▶ オンライン工法変更のための沈下量予測
- ▶ ベイズ統計学
 - ▶ データ同化はベイズモデルの枠組で全て記述可
- ▶ 時系列・時空間データ解析

第4回EFD/CFD融合ワークショップ 2011/1/25

「日本における EFD/CFD 融合の方向性」について考えて参りました。先程の JAXA の講演にありました二枚看板というのはそうなるのではないかという気はするのですが、個人的には CFD 人間ですので融合性の方向として、まず用途としては設計で使ってもらうのが一番良いのではという気がいたします。その次に比率としては、新しく作るシステムですから上流側をがっちりやるという意味で CFD にかなり軸足を置いたシステムで良いのではないかと。日本の特徴と言うのであれば、あらゆるレベルで強力な最適化手法等を組み合わせ一度使ったらもうやめられないような最強システムを考えられたらどうかというのが、かなり極端に走った考え方ですがコメントです。それで、JAXA からワーキンググループの結成が提案されていましたが、これも同じようなものが互助会のようなものを作って、それぞれおかず

それで「津波シミュレーションモデルのデータ同化」ということで、不確かさのある境界条件データを使って推定するというのをやってきました。あと、だいぶ分野が変わるのですが「遺伝子発現ネットワークのデータ同化」というテーマで、時変の状態変数および時不変のパラメータを確率分布として推定してリスクの推定に繋げるようなことを研究してきました。また、最近特に力を入れているのが「地盤変形・沈下問題へのデータ同化」です。地盤沈下は時間スケールの長い問題のため、オンラインで観測情報を取り入れて設計、工法変更に使えるので、そのために沈下量予測をデータを使って行うようなことをやっています。この辺りが EFD/CFD と多少関係あると思っていただいても結構ですが、本業としてはベイズ統計学。データ同化はベイズモデルというもので全て記述することができます。

データ同化のEFD/CFD融合への適用

- 狭義の「データ同化」は、時空間状態変数とデータの融合
 - 初期値・境界条件の構成
 - 未知パラメータの推定
 - 変数・パラメータ間の感度解析
 - 最適計測配置
 - 手法面では、最適化ベース(4DVAR)と確率モデルベース(ベイズフィルタ系)
- 広義の「データ同化」は、「所与の数理・データモデル」と観測データの融合
 - 不確実性そのものをモデル化(ベイズモデリング)し、データを融合しながら設計のための意思決定をする
 - 複数のモデルの間でのデータと設計目的に基づく選択
- (私見では)狭義のデータ同化でもEFD/CFD融合に使えるが、設計のためにデータ同化を使用するには、広義のデータ同化と不確実性のマネージメントまで考える必要がある

第4回EFD/CFD融合ワークショップ 2011/1/25

ベイズモデリング

状態Xの条件下でデータYが得られる確率 $p(Y|X)$

状態Xが発生する「もともとの」確率 $p(X)$

データYが得られた時に状態がXである確率 $p(X|Y)$

データの生成確率 $p(Y) = \sum_{X} p(Y|X)p(X)$

ベイズの定理

状態 → 生成 → データ

■ : 数理モデルや事前知識による設計
□ : 観測を表現する式

観測を表現する式と現象を表現する式
事前知識による現象の確率を与える
と、データから現象の説明や予測が可能
(因果の反転ができる!)

第4回EFD/CFD融合ワークショップ 2011/1/25

データ同化という観点から EFD/CFD 融合への提言をしていきたいと思えます。そうした時にデータ同化の位置づけを考えなおしてみる必要があるかと思ひまして、書いてみました。先程の露木さんのご講演でもありましたが、初期値・境界条件の構成から始まっているわけです。気象分野では初期値を推定できる場所が決まっていますが、それから色々と広がっている。ただ、そうした時にやっていることは結局、時空間の状態変数と実際のデータとの融合というわけで、もう少し広げてみる必要があるだろうというのが、最近我々が考えているところです。その考え方が所与の数理モデルあるいはデータモデルと観測データを融合していくと。その時点ではよく分からない不確実性、精度があまり無いところですが、そのようなところを直接モデル化してやって、それとデータを上手く融合しながら設計のための意思決定をするということがデータ同化の更に進んでいく方向だと考えています。そうするとデータと設計の目的に基づいて色々な設定、あるいはモデルを選択出来るようになるのだと思ひます。

そのためにはベイズモデリングというものが考えられます。基本的にはスライドの青とオレンジのところなのですが、この二つを上手く与えてやると、ベイズの定理を使ってもともとの設定とある設定の下でのどのような観測が得られるかというそこを上手くデータ同化することが考えられます。それからデータを得られた時にファクトとしてどのようなことが起こってくるかを推定出来るのがベイズモデリングで、青のところには CFD のモデルやあるいは色々な EFD から得られている事前の知見というものを組み込んで、オレンジのところにはデータの生成モデルというのをに入れてやることによって推定することができる。これが核になってくるのではないかと思っております。

データ同化・ベイズモデリングとEFD/CFD融合についての私見と提案

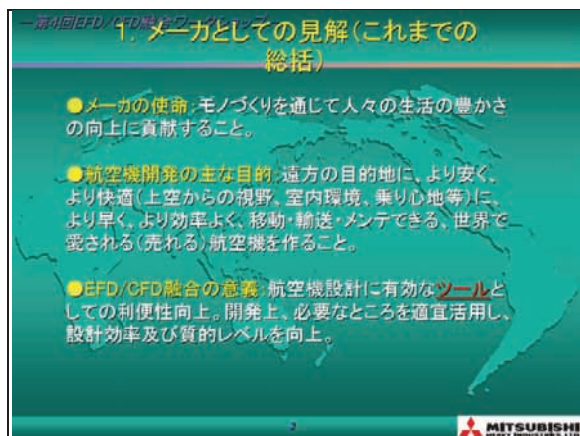
- 解析と設計にデータの取り扱い・統計的(帰納的)アプローチ(≒EFD)は必要不可欠だが、数理(演繹的)モデル(≒CFD)とは相性がよくないのがそもそもの問題
 - 手法面とそれを裏付ける思想面
- 広義のデータ同化・ベイズモデリングは一つの解では？
 - 数理モデルでは落ちている情報の推定・同定と知識発見
 - 初期・境界条件、「不確かさ」の定量化
 - 確率的な予測と効率のよい計測機配置・実験計画
 - データに基づく数理モデルの統一的な比較・選択(データ同化もまだ弱い)
 - 統計的モデル選択の手法が使える
- さらに発展的には、設計や数値計算スキームまで含むあらゆる部分を確率モデルで表現し、ベイズモデリングで更新
 - 最適解設計ではなく、一意に表現できない現象まで含めた統一的かつロバストな設計

第4回EFD/CFD融合ワークショップ 2011/1/25

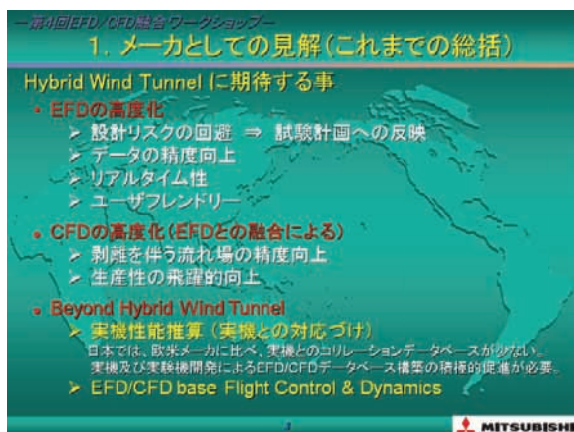
色々な解析とそれを生かした設計においては、データの取り扱い、統計的なアプローチが不可欠です。しかしながら、どうも演繹的な数理モデルとは違うというのがそもそも問題なのであって、むしろ全体をまずベイジアンモデリングで上手く組み合わせてからやろうというのが一つの解なのではないかと思えます。更に発展的には、そのような設計目的、あるいは数値計算スキームまで含むあらゆる部分を統一的な確率モデルで表現してデータを使って不確かさを減らしていくのが技術的な方向ではないかと考えています。

少し話が偏ってしまったので追加しておきますと、最終的には先程 JAXA から発表がありましたように知識の発展と設計という二つの目的があるわけですが、特に工学なので設計を主として如何にそこを定式化していくかが重要になると考えています。

棚橋: 三菱重工の棚橋でございます。メーカー、特に航空機メーカーから EFD/CFD 融合について、これまで行われてきたパネルディスカッションで述べてきた見解を総括した形で整理しております。今回は、それを踏まえた今後の国内における課題について、メーカーの立場から提起するという役割でお呼びいただいたのではないかと考えております。



まず、そもそも論から言いますと、メーカーの使命はモノづくりを通じて人々の生活の豊かさの向上に貢献することと考えて私は取り組んでおります。その中で航空機開発の主な目的は、より遠方の目的地により安く、より快適に、さらにはより早く、より効率よく移動・輸送あるいはメンテできる、こうした要素を踏まえた世界で愛される、売れる航空機を作ることに尽きるのではないかと考えています。この中で私どもの考えている EFD/CFD 融合の意義と申しますのは、やはり航空機設計に有効なツールとしての利便性向上です。すなわち、開発上必要なところを適宜活用し、設計効率及び質的レベルを向上していくということにあると思えます。設計者は、第二番目の「目的」に示すような、より良い飛行機を作ろうと考えます。その中で何を最適化すべきかを考えるにあたっては、通常、コストがミニマムとなるようにパラメータを振って検討する、あるいは飛行性能をマックスにする、あるいは重量をミニマムにするという、何をベストにするかということを協議し、決心します。これはニーズや設計者の考え方により異なりますが、性能面では、特に重量と抵抗に重点が置かれます。今佳境を迎えております MRJ につきましては、MDO (Multi-Disciplinary Optimization) を有効に使って設計を行っており、重量と抵抗の双方が極小になるような条件を選定します。特にここには示しませんが、一般的な民間機における空力設計の DOC (Direct Operating Cost) への影響は約半分位あると言われております。従って EFD/CFD を空力設計に有効なツールとして使っていくということが重要と考えています。



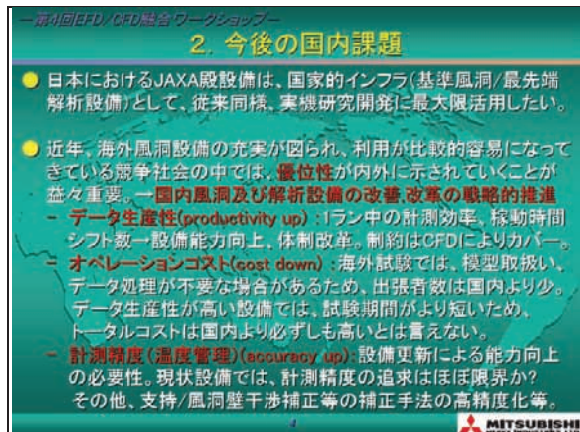
これまでも、本ワークショップ等で示されておりますが、JAXA 殿で開発中のハイブリッド風洞に期待することは、まず EFD 自体、それから CFD 自体の高度化をしていくということ。EFD につきましては、実測データに基づき設計リスクの回避に寄与することが求められますが、これを試験計画に反映していくことです。それからこれは先程から何度も言われておりますが、計測精度向上が非常に重要です。我々は六分力等、天秤を使って計測しますが、遷音速レベルですとせいぜい3カウントあたりが精度の限界です。その中で風洞自体質の良い物を求めていくことによって、これを少しでも良くしていくということが実際に必要となってきます。それから、リアルタイム性、出来るだけ早く情報を整理して見ることが出来ること。それからユーザフレンドリーなものであること。

次に CFD の高度化という面では、よく言われておりますが、やはり剥離を伴う流れ場の精度向上。剥離した後は定常解析と非定常解析とでベース部の圧力レベルが倍違うという結果が出ています。そのような意味で、非定常性計算を必要などころに施して提供していくことが必要になると思います。それから生産性の飛躍的向上。これは計算機の能力が今後向上していく中で自ずと上がっていくとは思いますが、やはり EFD も含めて

インフラの整備というものが重要となってくると思います。

それから、Beyond Hybrid Wind Tunnel とありますが、これを踏まえて更に今後必要となってくるのが実機性能推算。やはり実機においてどの程度の性能を持つものかということを知りたいわけです。その為に出来るだけ精度を詰めたいとして、どこまで詰められるか。1 カウントは所詮無理な話で、EFD、CFD とで差は出てきません。設計者としては結果的にそれがある程度、例えば5カウントの差が出たということであればそれはそう捉える。それを踏まえて安全な値を使って設計をして、安全な飛行機を作っていくような使い方をしていきます。特に日本では欧米メーカーに比べて実機とのコリレーション・データベースが少ないといった状況がありますので、例えば先程 JAXA 吉田さんが発表された実験機のデータを積極的に活用した、EFD/CFD データベース構築が必要なのではないか、日本では特にそのようなことが言えると思います。

あと更に EFD/CFD データベースとしては、Flight Control & Dynamics までシミュレート出来ることが必要だと考えています。飛行試験データもやはり色々なばらつきが出てきます。それを何に使うのか。真値は結局よくわかりません。またデータの取り方も風洞試験だと目標を固定して一から測るわけですが、飛行試験の場合は例えば抵抗値を測る時はある一定時間、速度一定の距離を何秒で通過出来るかということによって巡航状態の抵抗を測るわけですが、そういった中で真値がどこにあるのかはなかなか分かりませんので、やはり地上の設備でリスクを低減する為のデータ、EFD/CFD ベースとしては、Flight Control & Dynamics がより精度良く模擬できれば実機開発に非常に貢献してくるようになります。



今後の国内課題についてですが、日本におけるJAXA 殿の設備というものは、国家的インフラとして基準風洞の役割があります。それからスパコンのような最先端の解析設備もありますので、戦略的にはやはり従来同様に実機研究開発に活用していくべきではないかと思えます。ただ、近年海外の風洞設備が非常に充実しておりまして、利用も比較的敷居が低くなっています。やはり競争社会の中では、優位性を内外に示していくことが益々重要です。JAXA 殿のご発表でも戦略的に優位性を示していくとありましたが、私どもといたしましても国内風洞や解析設備の改善、改革を戦略的に進めていくことが重要かと考えます。特にJAXA 殿の遷音速風洞は、非常に健全に昼間きちんと休んで、夕方差し支えの無い時間で運転を終えておられます。一方、海外では2シフト制が一般的になっており、実績として効率が上がってきておりますので、国際的な優位性を示していくことが必要ではないかと思えます。

また、制約がある場合には CFD である程度カバーするということになると思うのですが、何と言っても風洞試験で実機のデータベースというのは現状の100倍というオーダーのデータ作りが必要です。そういったところでは少しでもデータ生産性の高い設備が望まれます。

それから、オペレーションコスト。これも、海

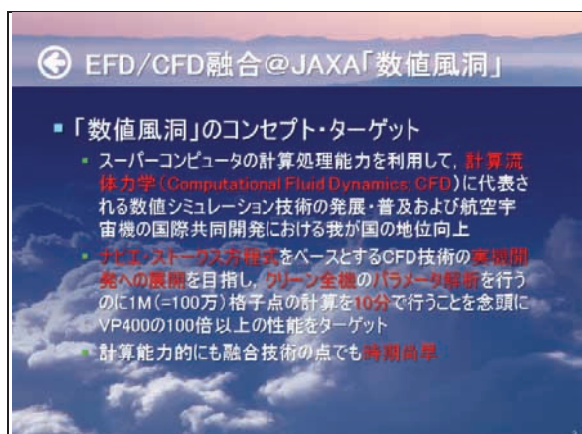
外試験の場合は、模型取扱いやデータ処理を向こう側でやってもらえるということから、出張者数が国内の試験よりも少なく済んでしまう。それにデータ生産性の高い設備だと試験期間も短くて済むというのがありますので、トータルコストは国内よりも必ずしも高いとは言えない状況になってきております。

また、計測精度。温度上昇により天秤の温度分布が変わると計測精度に影響してしまいます。温度をしっかりとコントロール出来る設備がこれから精度アップを図っていく上では絶対に必要ではないかということです。それから支持干渉や、風洞壁干渉補正等の補正手法の高精度化も整備していく必要があると思えます。このような課題を戦略的に改革、推進していくということが重要かと思われれます。以上でございます。

松尾: JAXA の松尾です。私は JAXA の人間として、それからずっとスパコンに関わってきた人間として EFD/CFD 融合の方向性というものを見てきた時に数値風洞というものが思い浮かんできたので、その話をしたいと思えます。研究機関の役割というところで言うとアイデア出しと実用化とがあつたとして、JAXA ではどちらかと言うと実用化という方向だと思えます。また、CFD を行う上でスパコンはもちろん現状で十分ではないし、粒子フィルターのような話が出てきた時にますます計算速度が要求されると思えますので、そのようなこともあつて、少しこの話をさせていただきたいと思えます。

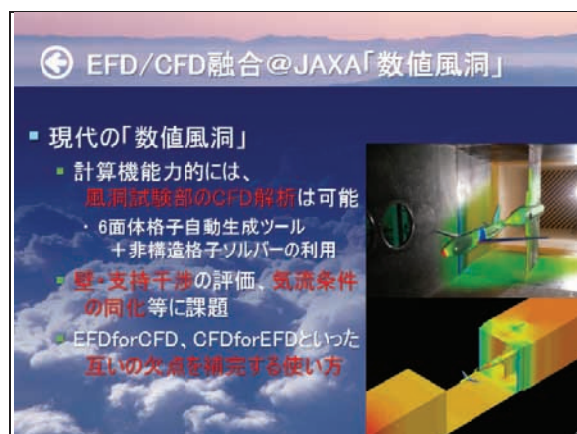


数値風洞は、地球シミュレーターを開発されたことで知られる旧航技研の三好さんが 1993 年に富士通と共同開発したもので、当時最初の 3 年間はベクトルのスパコンとして世界最高速であったことは皆様ご存知のことと思います。

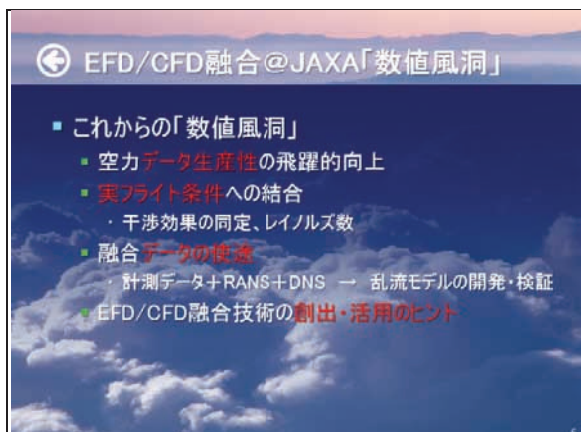


開発をする時にコンセプト・ターゲットというものがありました。当時、CFD というものはまだ出始めて、実際の開発に使えるとも使えないとも分からないような状況だったと記憶しているのですが、それをスパコンの能力を上げることによって実開発に使っていかうと。そのようなコンセプトで、具体的にはナビエ・ストークス方程式ベースの CFD を実機開発に使うということです。当時 1GFLOPS の VP400 というベクトル機があったのですが、その 100 倍の性能にしてクリーン

形態の全機 NS 解析を 10 分でやろうというコンセプトだったのですが、当時それを提言していたというのは勿論すごいことですし、それが今日の我々の考え方というか、現在の JAXA のスパコンの設計仕様に生きているのも事実だと思います。

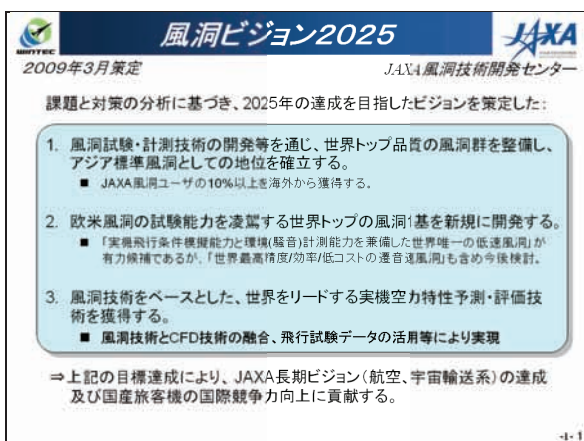


今の数値風洞では、計算機能力的には風洞模型に風洞壁や支持装置を入れた状態で計算して、風洞模型に CFD 解析結果が重なった形で表示出来るというような状況になりました。もちろんこれは風洞試験の精度向上が目的なのですが、もうひとつは CFD の高速化、効率化というような考え方が入っているのが今迄とは少し違ところで、世界最高速度の CFD ソルバーを作ろうということでやっています。そういうことで計算は出来るようになったのですが、壁や支持干渉それから気流条件の同化等に課題があります。それで現状は EFD for CFD、CFD for EFD という形で、お互いの欠点を補完する使い方がメインになっていると思いますし、吉澤先生の発表にありましたが不具合対策のような考え方というのでしょうか、今の流体力学の現状を考えますと、遷移にしても剥離にしても incremental なアプローチが非常に大事だと思います。なかなか難しい話なので、このような風洞を模擬したいという課題の中で一緒に開発出来ればと思っております。



今後の数値風洞を考えることによって次のスパコンへの要求も出てくると思いますが、CFD についてはデータ生産性がまだまだ低い。風洞試験も準備は大変なのですが、データは一度実験をするともものすごい数とれる。CFD は RANS でもまだそこまで行っていない。それから、実フライト条件への結合という話はまだなのです。EFD/CFD 融合で出てきたデータをどう使えば良いかという話もあるのですが、このような具体的なターゲットを設定することによって融合技術を活用するヒントが出てくれば良いのではないかと思います。

います。実は JAXA の風洞もかれこれ 40 年程経つ古い風洞になっていて、その技術基盤をもう一度見直してこれから何が必要かを議論し、2 年前前に JAXA の風洞関係者で策定しました。先程棚橋さんが言われたようなメーカーの問題意識を我々も重く受け止めていて、それにどう応えるかという方針を示す必要があり、このようなことを背景に、風洞としてはこのような活動を進めたいというものです。その中に EFD/CFD 融合という考え方も一部に取り入れていたり、あるいは取り入れていないところにも CFD の力を借りて技術開発を進めていくという内容が入っています。その辺りを上手くこのワークショップに繋げていけば良いと思っている次第です。ただし、ここで今議論されている内容と、風洞あるいは開発現場で必要とされている CFD と実験の協力関係は多少違うようなイメージを持っています。その辺りのギャップを埋めることが必要なのではないかと思います。その辺りの感じがしておりますので、そのような目で私からの説明を聞いていただければと思います。

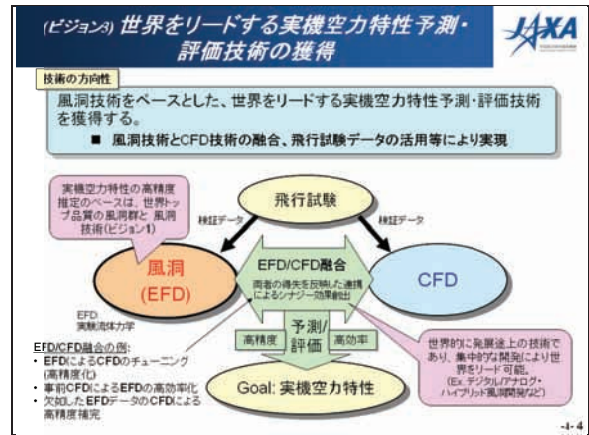


伊藤：JAXA の伊藤と申します。風洞の立場で少しお話をさせていただければと思います。最初にいきなり「風洞ビジョン」というものを示して

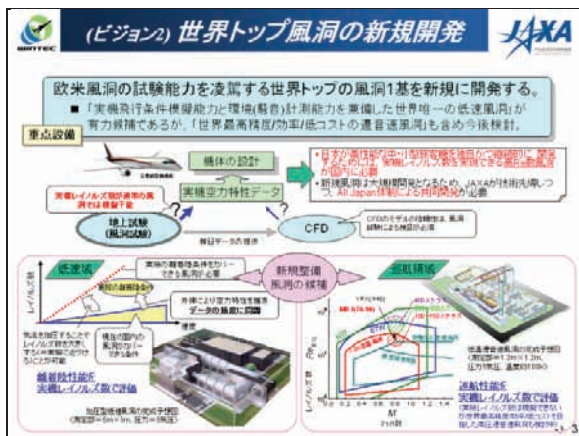
それぞれのビジョンは 3 項目になっています。一つ目は JAXA の風洞を大きな風洞群として世界において確固たる位置を占めたい、アメリカ、欧州、そしてもう一つの第三極としてアジア地域の基盤としてその役割を担うべきであるということ

です。具体的には風洞技術、試験技術の開発を通じて精度を上げる、データ品質を獲得する、効率化を図って生産性を上げることで色々なユーザーにしっかり対応しようという意気込みを持って風洞の開発をしていきたいということがポイントです。昨今の MRJ の開発等の中でもやはり精度の問題がだいぶ議論され、ここでは特に JAXA の国産旅客機チームと遷音速風洞との間で CFD と風洞を使ってその誤差をいかに詰めていくかという活動が積極的に進められています。一方で、この EFD/CFD 融合の中での実験との比較の議論は、風洞の計測をするという感覚で捉えられていないような気がします。CFD はどちらかと言うと壁が無い、あるいは支持装置が無いといった計算が中心となっているように感じます。EFD と CFD が連携、融合するためには、そこを風洞側としてはもう少し多様化してくれると良いのではないかと思います。

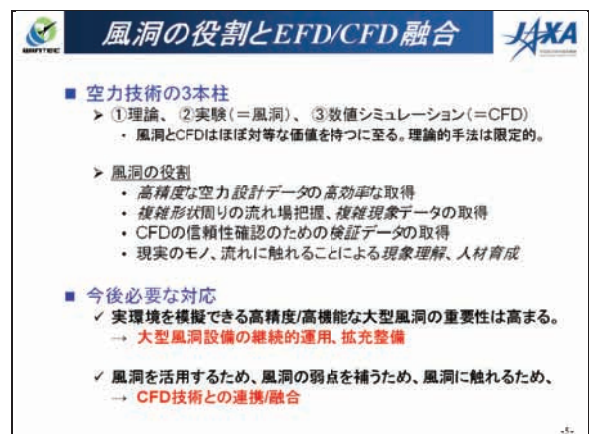
出で、低速なのか遷音速なのかという根本的な議論もあり、必要な時にタイミングを見ながら提案していくという活動として考えております。



上の二つがハードウェア的な考えに基づくものですが、三つ目の風洞ビジョンが、ソフトウェア的な視点、思想を示しています。EFD と CFD を連携して実機の予測をすることが、風洞側の立場から見ても重要だと考えています。これに今回このような場で議論されていた活動がどう繋がっていくのか、繋げていけるような努力を風洞現場としても行っていきたいと考えています。



風洞ビジョンの二つ目としては、やはり実機環境を作るような風洞を作ってそれを開発に役立てることを長期的なシナリオとしてぜひ示したいと考えています。乱流や遷移などの未解明の現象の説明には新たな設備を作ることは重要です。しかし、これは資金的な面から実は夢物語に近く、更に、どのような風洞を作るかということも議論百



空力技術というものは理論、実験、CFD、の3つが柱で、この内現在 EFD と CFD がほぼ対等な立場で設計開発に使われていると考えています。

その中で風洞の役割は、高精度で、特に設計に対して高効率なデータの取得が出来ること、あるいは乱流であるとか実在気体効果であるとか、複雑な現象の流れ場を効率的に取ることです。また、CFD の検証データの取得もこれまで重要な課題でした。これらに加え、最後に一つ個人的な気持ちを込めて入れてありますが、現実の流れを使ってデータを取得することは、人材育成という観点で、実際に空気の流れを手で触り感じながら現象を理解するという観点で、非常に重要な役割を担っているのではないかと思います。

これまでの風洞ビジョン、それから今書かせていただいた内容も含めて今後 JAXA 風洞として大型設備をしっかりと維持・運用してその精度を上げていきたいし、拡充も出来ればすべきですが、その中にこの活動、CFD との協力をどう生かせるかという意味で、風洞と CFD 技術との連携・融合が重要な課題だと考えております。

渡辺: どうも有難うございました。皆様、実験、CFD、またデータ同化という色々なツールを専門とされ、大学から企業、研究機関という色々な立場から考えていただいているということがよく分かりました。使い道や立場は違うとしても、方向性としては上手く EFD/CFD 融合を使っていくべきであるというところは合致しているのだと思います。

それでは、これまでパネリストの皆様からいただきましたご意見を頭に入れたところで、次に進めていきたいと思えます。議論の流れとして「EFD/CFD 融合技術の国内、海外における現状認識」ということなのですが、これは JAXA のプレゼンにもありましたが幾つか例がありますので、出来れば海外、国内の順番で情報や意見を持たれている方にお話いただき、では周りを見た時に日本は何をどうやるべきなのかということを議論出来ればと思えます。

まず私の方からお話ししたいのは、Symposium on Integrating CFD and Experiments in Aerodynamics という国際学会です。個人的には前回 (2009 年)、前々回 (2007 年) と二回続けて参加いたしました。EFD/CFD 融合に特化した国際学会は他には多分無いと思うので、世界的にそれなりのモチベーションと高度な研究レベルを持った方々が参加しているだろうと考えて発表を聴きましたが、日本との差はそれほど感じられませんでした。我々も融合ということですのでいいことをやっているのではないのかという期待を持ちすぎていたのかも知れませんが、比較的プリミティブな比較が主体でした。実験をやりました、計算をやりました、ここは合います、ここは合いませんというようなところから少し融合に近いところまで千差万別ではあるのですが、だからと言ってこれは本当に我々には真似が出来ない、太刀打ち出来ないという感じではありませんでした。ただ少し日本と違うところは、やはり航空機で言えば実機の開発にこのような考え方を取り入れている例があるので、そのようなところでは実機性能を予測するのに EFD/CFD 融合をどう使うかという点でかなり進んでいるなど感じるようになりました。しかしながら技法的には今日もご紹介がありました東北大で行われている計測融合シミュレーションなど、少なくともコンセプトや研究としては海外より先に進んでいるものもあるのではないかというのが私の印象です。従って上手くこのような技術を日本の得意分野にして育てていけば、海外に抜きん出て役に立てることが出来るのではないかと考えているところです。

会場: 大林先生のエラーバーのお話について答えて欲しいと思うのですが、測定の不確かさに関しては正規分布で良いということが ISO の国際規格でもうたわれています。これは中心極限定理という定理がありまして、色々な誤差分布を持った測

定を積み重ねていくと最後は正規分布として扱って良いということが証明されているからです。ただ、風洞試験の不確かさというものを少し私は調べているのですが、風洞試験を考えると今言われた支持干渉だとか壁干渉だとか気流の一様性だとか色々な要素があるので、そう言いきれぬのかどうかは少しまだ考えなければいけないとは思っています。

それでもう一つ紹介したいことがありまして、先日 AIAA の学会に参加したときにアメリカの 4 つの大型遷音速風洞で行った対応試験がワークショップの話題になったのですが、各風洞の若い技術者に発表をさせていまして、要員の教育目的のために対応風洞試験をやっているというような雰囲気でした。結果は古典的な浮力補正や壁干渉補正を行った上で、4 つの風洞の結果が ± 5 カウントに収まったということでした。それで、AEDC というアメリカ空軍の機関があるのですが、そこで不確かさを推定した結果がやはり ± 5 カウントで綺麗な結果になったと。その不確かさの中身を見ていくと、第一が天秤、第二が模型姿勢角、第三が気流のマッハ数なり動圧なりを出していくときの不確かさということになったと発表がありました。

渡辺：有難うございました。風洞側の海外の取り組み、データが非常によく一致するようなところもあって、その根拠を詰めていると言うお話だったと思います。あとは不確かさについては若干逆に私のほうから補足をさせていただくと、JAXA では風洞の不確かさを定量化するというところに取り組んでいて、多分海外のトップレベルの風洞に伍すものだと思っていますので、そのような意味で日本の風洞技術は足りないところもあり、また有利になるところも沢山あるかというように思いました。



会場：データ融合というよりは CFD と風洞試験といった見方でこれまで伺ってきたことをお話ししたいと思います。AIAA では Drag Prediction Workshop が 2001 年から既に 4 回行われておりまして、最初は風洞データを正しいと考えて CFD を合わせますというようなことを行っていたのですが、段々 CFD でよく分からないところが出てきました。では風洞試験をもう一回やってみようということで、第 3 回目までは基本的に DLR-F4 や F6 という割に設計の古い機体形状を用いていたのですが、今後この先のことをやっていく上では新しい模型を作ったほうが良いということで、CRM (Common Research Model) というものを作って、それに対して第 4 回で実験を行った。ただ趣旨は prediction なので、まずブラインドで計算を実施してそれに対して風洞実験を行い、合っていないのを確かめようということで、NASA ラングレーの風洞とエイムズの風洞と両方を使った実験を行ったのですが、風洞の人達と CFD の人達とが非常に密接になって議論をしていました。

最近 AIAA で随分 CFD のワークショップが増えているのですが、見ていると Drag Prediction Workshop のケースだと何十ケースという計算を色々な人達が行って、それに対して統計的な分析を行う人がいて、それで CFD の問題点は何だということと色々なことを出して議論している。多分先

程の話のように、風洞も何かやらなければいけない。多分一つの風洞だけで議論していても見つからない問題が多いのでしょう。先程のNASAの二つの風洞の比較でも違いが出てきています。そこでぜひJAXAでもCRMを遷音速風洞を使ってNASAの風洞との比較を進めながら、風洞自身の精度を上げていく努力をしたほうが良いのではないかと思います。更に先程大林先生からも出ていたかと思いますが、非定常、バフエットの問題であるとか高迎角のような、フライトエンベロープの境界をCFDで正確に予測することが世界共通の目標になっている状態です。そのようなところに向けて風洞試験データをしっかり取れるようにするのがCFDとしても非常に重要と思うし、先程の棚橋さんのご意見にもありましたが、EFDとしても多分そのようなところで新しい技術を作っていくことで上手くシナジー効果が出せないだろうかと考えています。

渡辺：有難うございます。非常に現実的な世界でそれぞれをより良くすると共に協力して行く中で更に詰めていく、つまりすぐに融合というよりもまだそれぞれに課題があってその中でまた融合をしていく、そのようなご意見だろうかと思いません。

次に、「JAXAからの提言」の「日本としてEFD/CFD融合を全面的に押し出すことによって国際的優位性を確立することが出来ないか？」につきまして、これは主にモノづくりの世界だと思ひまして提言に対してはおおよそ肯定的だと理解しているのですが、少し補足をしていただければと思います。

大林：モノづくりは皆が誰も反対意見を言わない位、かなり漠然とした目標だと思うのです。むしろ、では燃費を現在の飛行機に対して70%の飛行機を作ります等、何か具体的な目標を作って空力設計をして、それに対して非定常を含めてきち

んと信頼できるデータを取る。そのために融合技術をツールとして構築していく。このように具体的な目標をつくるが必要になるのではないのでしょうか。出来ればJAXAでそのような目標を作って、新しい機体コンセプトのためのEFD/CFD融合技術といった位置づけをしていただければと思います。

渡辺：有難うございます。要は漠然としているからいけないので、先程ありましたCRMを使って対応風試を行うというのがある意味で同じだと思うのですが、具体的なターゲットを決めてやっていくということが皆様と共有したい点だと思います。

会場：JAXAの開発側にいる者ですが、開発を行っている人達がどのように研究や技術を見ているかについてよく注目しています。そのような目でこのEFD/CFDというか研究全般を見た時なのですが、最近の研究はいかに実用化するか、産業貢献するかという点が重要で、EFD/CFDもそれが最大の動機として始まったと私は理解しています。ただ、不幸にして研究側がそのような努力をしているのが開発側に殆ど見えてこない。先程伊藤さんがEFD/CFDについてこちらが考えているのと向こうが欲しがっているのが少し違うのではないかということ仰っていましたが、開発側にいるとそれを非常に感じます。

先程実は受付で参加者名簿を見せてもらったのですが、今日ここに来ておられる方のほとんどがJAXAと大学関係者でした。メーカーの方も一部いらっしゃるのですが、どちらかというソフトウェア関連やサプライヤーであって、本当のユーザーというのは棚橋さんの他にあと2~3名いらっしゃるかどうかの程度であったかと思ひます。つまり4回目になったEFD/CFDワークショップに未だにユーザーが顔を出さないというのはどうということなのかという、そのような視点で考えて

いかなければならないのかと思います。これは恐らく JAXA の役割だと思うのですが、多分向こうから見た時に EFD/CFD がどう見えているのかを考えるのが、今の EFD/CFD に求められている最大のことではないでしょうか。

先程棚橋さんがいくつかまとめておられたのですが、精度向上ですとか効率化向上や生産性アップのようなレベルではミスマッチは無いのです。しかし生産性アップとは何なのだ、精度向上というのはどこをどう向上して欲しいのだというようなところまで踏み込んだやりとりが無いと、研究側が精度を向上しましたと言っても開発側はいや私の欲しい精度はそうではなかったのだというように、開発の方がもう研究など役に立たないと思いきんでしまう恐れがあります。例えば話ですが、ある店に入って「俺はうどんが食いたいのだ」と言う。「いや、うちのうどんはまずくて蕎麦のほうがうまいので、ぜひ蕎麦を食べてください。」こういった姿勢が研究側に見えるのです。開発側はまずくても良いから「俺はうどんが食いたいのだ」と言っているにもかかわらず。このような状態をいかに打破するかというのがこの4回目を迎えた EFD/CFD の課題ではないかと考えます。

渡辺：有難うございます。なかなか耳の痛いお話、重々承知はしているつもりなのですが、なかなか解決できていないということなのかも知れません。今の点について棚橋さん少し補足していただけますか。ここで議論していることも含めて我々の考えていることに関して開発側とのギャップがゼロでないことは十分承知ですが、思ったよりはるかに大きなギャップがあるという感じなのではないでしょうか。

棚橋：メーカー側からすると、有用であれば使うというのが基本的なスタンスかと思います。現状ではそれぞれのプロジェクトが独自のツールやデータベースを持っているのですが、JAXA 殿で

開発中のハイブリッド風洞のように一つのプラットフォームで効率よく、共通のツールを使って処理が出来れば非常にメリットがあると思います。実際に使ってみて、これは使えるなということ早く示していただきたいというのが希望です。所詮我々はツールとして使って設計者はその結果を見てどのような機体を作っていくかということに帰着しますので、効率の良いツールがあれば使わせていただきユーザー側としての意見は言いますというのが正直なスタンスです。

例えば風洞試験でデータを取ると、設計上はまっすぐなはずのリフトの傾斜カーブが途中で非線形になったり、あるいはピッチングモーメントに思わぬ不安定性が出てきてしまうことがあります。一体何がそうさせるのかを解明したいが風洞試験では情報量が足りない時、そこを CFD でカバーして「ああ、この渦がこう影響しているのか」というようなことが分かってくるわけです。そのような CFD の使い方を我々はしているのですが、それを早く行うことができれば、開発もより効率よく進められるのではないかと思います。

どなたか一体何のために EFD/CFD を行っているのか不明なところもあるとおっしゃっているのですが、メーカー側からするとハイブリッド風洞のようなものは現状ローカルに使っているツールを共通基盤として整備しようという試み自体が評価できるので、更にはこのようなものを産学官の中で、成果として具体的な形として残るモノづくりのためにどのように使っていくかについて、もっと情報交換を行う必要があるのではないかと思います。その成果としてこのようなシステム作りが複雑な現象の解明や確かなモノづくりに役立って、そのような中で総合的な日本の技術力がさらに高められる、そのために、EFD/CFD があるのではないかと思います。

渡辺：ハイブリッド風洞では、JAXA やユーザ

一としてこのようなことは最低限出来ておかなければいけないというものを優先的に作ってきておられますので、棚橋さんに言っていただいた通りそれなりにニーズに合致しているのではないかと考えております。ただしそれはあくまでもファーストステップであって、EFD/CFD 融合にはもっと先の世界があるのであろうというご意見もあるかと思っておりますので、このようなワークショップで大学の先生や皆様、先のことを考えている皆様に議論していただきたいと思っております。

中村：門外漢なので少しずれたことを言うかも知れませんが、実際 EFD/CFD としてある意味で異色なことを一緒にやっというところになると、我々のような応用数理的なことをやっている人間が感じている壁、違分野間の壁と同じようなものがあるだろうと先ずは想像しているのです。そのようなものに対して、応用数理の人はあまり越えようという努力をしていないと思うのですが、越えようとする人はどのようなことをやっているかという、実際に現場に行くなり相互交流、人材交流というものを頻繁に行っているようです。

そのような場合に考えられることは二つ。一つはそのような交流をマネージメントレベルの人が行うのはかなり難しいと思うので、若手が交流を広げて行く必要があります。これは自分自身が色々な共同研究をやってきた中で感じてきたことです。そのためのシステムを作っていくって欲しいし、逆に作っていくように我々も動かなければと思っています。それからもう一つは教育の面からも効果があると思っていて、従来特に国内においては分野毎の固有の対象や技術について教育するのが基本になっていたと思うのです。横断的な教育、技術ではなく今日の吉澤先生の話にあったモデリングのようなものを積極的に教育するという観点が必要かと思っております。そのようなところの人材を育てていって人材交流プログ

ラムに上手く組み入れていくためには大きなプロジェクトが必要かも知れないし、先程お話があった具体的な目標というようなものが必要になると思うのです。そのような枠組みを作っていくのが一つの解決策なのではないかと、勿論難しいのは承知しているのですが、そのようなことを思っています。

渡辺：有難うございます。どのようにして EFD/CFD 融合のような枠組みを作っていくのかという話でした。人材交流も大事ですし、棚橋さんからももっと情報交換をしたほうが良いというお話がありました。我々が少し遠慮をしているところもあるので、そのようなことをメーカーさんなどが積極的に言っていただければ、我々も入って行きやすくなります。その辺りもどのような枠組みがあれば良いか。余りカチッとしたものではなくて、澤田先生がおっしゃっていた互助会はなかなか良いなと私も思ったので、今日はその辺りが最後にまとめられると良いと思います。

それから教育の部分については、我々も分かっているが少しおろそかにしているところはあったかと思えます。EFD/CFD 融合という方向性における教育活動という意味では先日の別のシンポジウムでも同じような話が出ていたのですが、EFD/CFD 両方を使っていくことによって流体現象を色々理解して、流体について色々なことが分かるようになるような教育ツールとして整備できるのであれば非常に良いというコメントがありました。

松尾：教育という話で言うと、最近 JAXA で作った格子生成ツールとソルバーに関しては、名大や東大で使っていただいています。このような活動は少しずつですが JAXA で進めております。

渡辺：実行がすでに出来つつあるということですね。教育の部分については多分ここにいらっしゃる皆様、一番異論の無いところではないかと考

えます。

伊藤：教育も含めて風洞側としても問題提起させていただいており、少しコメントさせて頂きませう。この場の認識と現場の認識の大きな違いは、遷音速風洞や大型低速風洞のような大型設備での技術開発をしている者と、長期的な基礎研究をされている方が、いきなり一緒に議論を始めたところにあるように感じています。実際に人材育成も含めて現場と基礎的なものを繋ぐための対象は、風洞で言えば例えば 2m の低速風洞やもっと小ぶりな 60cm の低速風洞等、色々な設備が JAXA にもありますので、まずそこで基本的な技術を作ることを一緒にやるべきだと思います。その時には融合の前に連携があるべきで、連携をして融合に繋げていき、そのようなステップを踏まえてその先に大型風洞での実用やメーカーが使える技術が繋がっていくのだという流れが見えてくれば、風洞現場や開発担当が注目したり助言したりすることも自ずと出てくると思います。出だして上手く合意がとれていなかったのではないかと、という意味で問題提起をさせて頂いた部分があったので、その辺りの考え方もぜひ配慮していただければと思っています。

渡辺：今のご指摘も大変大事なところで、色々な方が EFD/CFD 融合に期待と興味を持っていらっしゃるのですが、立場が違うことによって議論がどうしてもすれ違うところがあると思うのです。そこで次に方向性ということで大林先生の話にもありましたが、議論だけではなかなか答えが出ないので、まずは始めるということではないだろうかというのが今日の結論の一つでもあると思います。そこで、先程の伊藤さんはもう少し小さいところから始めるべきだという話だと思いますし、大林先生からは非定常のような現象理解も共に出来るような設計技術をターゲットに絞ってやったらどうか等、色々なご意見があると思うのですが、

具体的に何かをやっていこうというところは合意だとして何をやるべきか。小さなものから大きなものまで色々なフェーズがあって良いと思います。一部の人達からは大きなものに対して大きく人や予算を確保して推進していこうという話を聞いたりします。その辺りのところをざっくばらんに色々ご意見いただけたらと思うのですが、いかがでしょうか。

会場：教育という立場からかも知れないのですが、EFD/CFD で一つ魅力的なのはオールジャパンになり得るのではないかとという点です。先程の海外の例では出なかったのですが EU の活動というのは非常にシステムティックで、最初レイノルズ数効果、支持干渉補正をやって模型変形の話、最近では自然層流に入っていて次はおそらく動安定、そういう方向に流れていく。そういう彼らのやり方を見ていると、大学や産業界を上手く巻き込んで非常に綺麗に分担をしている。大学だから小さい風洞というのではなくて、もしチャンスがあれば我々も ETW (European Transonic Wind Tunnel) で試験をしたいという気はあります。ですからそのような活動をひとつやはり JAXA がメインになって起こしていただきたいというのが一つ。

もう一つは飛行試験です。色々な方が言われているのですが、日本に千載一遇のチャンスが来たということです。EFD/CFD for Flight という話もあったのですが、もう少し飛行試験にも重きを置いて良いのではないかと思います。For Flight ではなくて、3 つが融合するような形で。そこにぜひ我々は協働させていただきたい。

それから、データ同化は非常に魅力的だと思います。これは私の個人的な意見なのですが、あまり実用、実用とは言わないで、見ていると飛行試験に生きる面というのはとても沢山あるような気がするのです。そのようなところに新しい血を注

いていくというのが、ぜひ JAXA にやっていただきたいと思うことの一つです。

渡辺：有難うございました。ヨーロッパのやり方はアメリカとはまた違う非常に地道なところが日本人の国民性に合っているのではと思う点もありますので、オールジャパンの活動として見習って欲しいという話は色々なところからいただいています。それから飛行試験についてのお話がありました。これについては今日もだいぶ出てきました実機あつての話で、ハイブリッド風洞に関してこれまでによく寄せられた意見は、風洞条件で EFD と CFD が合ってもそれだけでは何ら役には立たないのでは、という点です。飛行試験でどのような活動をターゲットとしてやっていくかについて補足なりご意見があれば伺いたいのですが、いかがでしょうか。

大林：飛行試験と言いますと、JAXA ではジェット FTB を整備して色々な実験が出来るようになるかと伺っていますので、ぜひこれを巻き込んで EFD/CFD 融合でジェット FTB を使わせてもらうような機会を設けてみたらどうでしょうか。

渡辺：また大変心強いご意見をありがとうございます。EFD/CFD の議論を JAXA で行う時にも一つクリアな目標を出したほうが良いという意見があつて、その中の非常に有力なものの一つがジェット FTB です。これは MRJ の開発とも密接に関係しており、先ほど会場からのコメントにもありましたがまさに千載一遇のチャンスですので、我々も今迄風洞と CFD だけだったものに、飛行試験というツールを加えて何か新しい世界を見出すことができると考えています。ではどのようになるとまだ十分に考えが至っていませんが、それは大きな可能性ではないだろうかという気がします。

澤田：EFD/CFD 融合の話で今飛行試験の方に話が行っていますが、吉田さんが先程講演された

のは一つの融合の姿ではないだろうかというように思っております。あらゆるデータを用いて徹底的に検討されたわけで、あれを超えていくのはかなり大変だというのがご講演を聞いた時の印象です。併せて、EFD/CFD それから実機のデータまで全てお持ちなのですから、それを徹底的に使うというのが一つのやり方ではないかと。折角良い例が身近にあるのに、というのが私の印象です。

それから少し脱線して言いますと、EFD/CFD 融合とは桁の違うお金が要るかも知れませんが、ぜひ JAXA に実機レベルのレイノルズ数を出せるような大型風洞を作っただけないだろうか。航空機開発がヨーロッパで着実に進んでいるのは、やはり ETW があるからではないかという気がとてもするのです。あのような融合のレファレンスになるものを出していける装置が絶対必要なのだということで、高レイノルズ数風洞建設のような大きな流れが出来ないだろうかという気がいたします。

渡辺：有難うございます。NEXST-1 のデータについては先程吉田さんからデータベースも整備されているという話があつて、確かに十分我々としても使いきれていないですし、それから小さいとはいえ実フライトのデータですので、大学や企業の方も含めて使っていく。つい我々は新たに飛行実証をと考えがちなのですが、既にあるものをしっかり使うという話はおっしゃる通りだと思います。風洞についてはこれはまたもっと難しい話ではあるのですが、メーカーからもそのような期待を受けていますので一つ大事かと思いました。それから先程会場からのお話で出ていましたが、データ同化ですね。飛行試験などでも使えるのではという話がありましたが、中村先生、何かイメージが沸かれていますでしょうか。

中村：答になっているかどうか分からないのですが、データ同化グループの状況を見てみると、

CFD もそうだと思うのですが、計算基盤が発達したおかげで今迄出来なかったことが行えるということで、時空間データ解析が進んできています。そのようなものを見ていったときに、今回の EFD/CFD 融合的なテーマの論文というのは殆ど出ていないので、例えば日本の独自性としてこれを進めていくことで新しいものが作られていく可能性はあるかと思えます。

大林：気象、海洋以外でデータ同化を使われている分野はあるのですか。

中村：どこまでをデータ同化と呼ぶかということにもよるのでなかなか難しいのですが、例えば軍事関連で爆縮のシミュレーションがありまして、それについて統計屋と数値解析屋が一緒に取り組むような研究をアメリカのグループが進めています。ただ現状としては個別のプロジェクトがまずあって、それに紐付いてデータ同化的なことをしている人がやっているという段階です。少し補足して統計の人がデータ解析と言った場合にどのようなことを想像するかというと、原理となるモデルを考えるにあたって先ずデータを知りたいということがあります。そのために「柔らかいモデル」とよく私は言っているのですが、CFD におけるナビエ・ストークスのようなきっちりとしたモデルを立てるのではなくて、実験データに対して線形回帰の線を引くようなイメージでモデルを立ててそれで解析をするようなことを行います。そのような頭の使い方をするので CFD 的な分野の人達と上手くやるのはなかなか難しいという感触を持っていて、それが海外でも EFD/CFD 融合的なテーマがあまり無い理由なのだろうと思っています。

松尾：CFD の話を少しさせていただくと、まだまだ CFD 自体も基本的な剥離の問題、遷移の問題等、本日の講演でも吉澤先生がお話されていましたが、ベーシックな問題が残されています。それにはやはりデータが必要だというのがありまし

て、検証データの蓄積によって CFD をブラッシュアップするという活動も必要だという考えが出てくれば良いと思っていますし、AIAA が verification、validation という形で基準を作っていたりします。先程話に出た CRM などともそうですが、そのような基準を作る活動が CFD としてはこのようなところから生まれてくると良いのではないだろうかと思っています。

渡辺：EFD/CFD 融合のような活動の中から CFD の精度を高めていくにあたっての基準づくりが出来ると良いというお話ですね。それでまた戻りますが、データ同化については過去 4 回のワークショップで毎回取り上げて来ましたが、私を含めて多くの方はまだ必ずしも十分理解出来ていない。また逆に航空宇宙側から期待があると言っても、データ同化の専門家にとってはどう期待されているのか今ひとつわからないところがあるかと思えます。そこで今後どのような枠組みが期待できるかなのですが、まず実験屋と CFD 屋の間については色々壁もありますが、お互いにそれなりの接点を持ってやってきたと思うのです。それではデータ同化の専門家にどのようにその中に入ってもらえるか。EFD だとか CFD、航空宇宙のように分野が異なる場合に、どのように関わりあっていくと上手く進むか、ご意見はありますか。

中村：基本的には最後は人材交流しかない、人が実際に行き来するしかないということはあると思いますが、まず日本にはデータ科学、統計全般の専門家が足りない状況です。それはもともと日本には統計学科が無いことが背景にあるのですが、一方で国内でも統計関連の研究に従事している人は沢山います。ではどこにいるのかといえば、各分野のドメイン、例えば医療統計あるいは生物統計、そのような個別の分野に人が分散しています。院生やポスドク等、全てそれぞれの中で閉じてやっ

ている状況にあるわけです。我々も例えば統計数理研では総研大との連携という形で人を増やす努力はしているのですが、やはり大学院だと制約がある。その中で例えば先程お話しした津波の問題で言えば、九州大学応力研の人と実際にやりとりしながらお互いのギャップを埋めていく。結局実際に人が行くしかないというのが今持っている印象で、そのためには人を増やすことと、行き来できるシステムを作るという二つが必要だろうと思っています。ただ、では具体的にどうするかというのはなかなか難しいのですが。

渡辺：わかりました。人を実際に増やすということと人材交流を進めるという二点ですね。それでは時間も残り少なくなってきたので、JAXA からの提言の3番目として、「EFD/CFD 融合ワーキンググループ」のようなもので比較的ゆるやかながらも一緒に課題を探したり、情報交換から始まって共同研究に結びつけるようなことを行ってはどうかと。それから澤田先生からはかなり似たものとして互助会のようなものはどうかというご意見をいただきましたので、要は今後さらに深い議論を行ったり方向性をまとめられる枠組みが必要ではないかということです。その辺についてご意見があればいただければと思うのですが。

会場：そのような提案を一つさせていただく前に、この意義ですね。このような融合技術というのは一つのツールだということで、ぜひ進めていただきたいと思います。以前、宇宙往還機の研究開発に参加しておりました時にヨーロッパの人はアメリカに追いつき追い越せということで、このような基礎技術の進め方につきましても非常に真面目かつ系統的に進めているということが見えました。そこで私が非常に面白いと思えたのは、ドイツのアーヘンの高エンタルピー風洞で圧縮コーナーの熱流束データがある人が取得します。そのデータをこの学会で発表するから、CFD の人

はどんどん自分達の手法を当てはめて、そこで同時に発表してくれというようなことをお願いするのです。当時は実験データに対して250%位違うような CFD 結果も出ておりましたが、それが回数を重ねることによって段々差が縮まっていたように記憶しています。近年は航空分野でも同じようなワークショップをやられているようですが、ただそこでも実験屋には実験屋の、CFD 屋には CFD 屋の世界があるかと思います。アーヘンの実験データにはエラーバーが付いておりましたが、どのような根拠でのエラーバーなのかというのが十分には出ておりませんでしたので、結局そのようなワークショップに参加された方々でも、差は縮められたとは言ってもその原因を結論づけるまでには至らなかったように思います。日本においても二つのコミュニティが並列しているところはあるので、このような何か融合を通した新しいツールが作り出されるということは非常に期待されるし、意味があるのではないかと思います。



です。ですから先程会場からコメントがあったように、枠組みについては現場の方あるいはメーカーの方々が相談しようというような形となるように進めるのが一番良いと思います。そのためには実験や CFD でどのようなことが現状達成出来ていてどのような課題に対してどの程度答えられている

のか、どのような問題が残っているのかということ、それをワーキンググループや互助会の方々と共通認識として持たれることが最初ではないかと思うのです。さらに、その中でこの融合プロジェクトにより2年後にはどこまで出来るか、3年後にはこうなっていますという目標を立てるべきだと思うのです。例えば、講演の時にお話のありましたTPS (Turbine Powered Simulator) ですね。風洞試験の中でのジェネレーターというかパワー効果を評価する技術をエラーバーと一緒に出せるようになるのがこのようなグループの活動ではないかと思うのです。

結局、このグループが解決したという事例を世に出していくことが外から見ると分かりやすいのです。例えば今度新しくLE-Xというエンジンを作りたい、その時に配管系の振動がどうなるかをCFDと実験の両方を通じて調べたいと思う人もいます。そのような時に問題を幾つか基本的な現象に細分化して解くことが出来ていれば、JAXAの宇宙グループから協力して欲しいという要望も出てくるような気がするのです。やはり問題を現状認識とそれから具体的に出来ることとに分類してプロジェクト化していくようなことを、このワーキンググループや互助会を中心として進めるべきというのが私の提案です。

渡辺：有難うございます。前向きなご意見をいただきました。最初からはなかなか難しいのですが、最終的にはそのような方向を目指すことができればと思います。それで何らかのワーキンググループ、名称ややり方は色々あると思うのですが、ぜひJAXAとしても何か動き出したいと思いますし、ワークショップの実行委員の方々もいらっしゃいますのでその辺の方々も交えながら、このようなものはどうですかと皆様に具体的に提案出来るよう今後検討させていただければと思います。

それでは最後にパネリストの皆様からこれは言

い残した、これはぜひ言っておきたいということがあれば、いかがでしょうか。

伊藤：ワーキンググループの活動から、ぜひ技術の出口として世の中にインパクトのあるものを提案出来ないでしょうか。たとえば、JAXAでは今、環境問題に対して大きなインパクトがあるようなプロジェクトが出来ないかを議論しています。そのような目的意識を持った出口が、EFD/CFD融合に欲しいところです。ただのツールではなくて、この先これを使ったら何が出来ますということが言えると良いのではないのでしょうか。

会場：今、伊藤さんが言われた出口というのは色々あり得ると思います。先程ジェットFTBで飛行試験という話がありましたが、日本の航空機開発における大きなターゲットとして、私はぜひMRJを使うことを考えてもらいたい。やはり一番大きな違いは日本で作った飛行機かそうでないか。日本にとっての大きな最終ターゲットがあって、そこからずっと下の基礎技術までが綺麗に繋がっているヨーロッパのようなスタイル。ヨーロッパではやはりエアバスが引っ張っている。頂点にエアバスがあってそこから必要性があって広がっている形になっていると思います。MRJはJAXAの風洞を随分使って作られましたし、将来MRJを使って更に新しい航空機の為に色々な技術開発が出来る。そのような活動がEFD/CFD融合も含めて全部繋がるとというのが一番綺麗な姿ではないかと、そのような意味でJAXAも頑張りますがぜひご協力をお願いしたいと思います。

渡辺：綺麗にまとめていただいて有難うございます。最後にJAXAからの提言を使いまして今回のパネルディスカッションについて、ごくごく簡単にまとめさせていただきます。


おわりに(JAXAからの提言)

■JAXAからの提言1
日本としてEFD/CFD融合技術を全面的に押し出すことにより、国際的優位性を確立することができないか？

■JAXAからの提言2
航空宇宙分野におけるEFD/CFD融合の二枚看板

流体力学現象の より深遠な理解	設計開発プロセスの 高度化
現象理解への貢献	もの作りへの貢献

■JAXAからの提言3
「EFD/CFD融合ワーキンググループ」(仮称)の設立

 30

これで終了とさせていただきたいと思いますが、今回登壇していただきましたパネリストの皆様と会場で積極的に発言していただきました皆様に感謝の意を表して拍手で終わりたいと思います。どうも有難うございました。(拍手)

まず、EFD/CFD 融合を押し進めることは良いのだが、ターゲットをよく絞って進めていくべきだというご意見が出ています。それからターゲットを絞るにしても、レベルが基礎的研究のところでの EFD/CFD 融合から設計そのものまで色々ある。それを踏まえてターゲットを考えなければならないというご意見だったと思います。

それから二番目の提言につきましては、左側の流体現象の理解というものも必要性を認識されながらも、どちらかという右の設計開発プロセスの高度化が主たるターゲットになるということが本日の議論だったと思います。その中で非常がキーワードになったり、実機推算という意味ではジェット FTB や MRJ のようなものを使いながら、あとは既に飛んだ NEXST-1 のデータを活用するだとか、あるいは実レイノルズ数の風洞を作って欲しいといった意見が出たと思います。

最後の提言につきましては、ワーキンググループは多分あれば良いし、何らか皆様参加していただけたらと思うのですが、進め方は結構難しいと思います。まずは非常にゆるやかなものから、会場からコメントがありましたような大きなイニシアチブを日本でとっていくものまで、色々なやり方が考えられますので、ぜひ今後皆様と相談しながら進めて行ければと思います。

では、時間を少し超過してしまいましたが、こ