



シミュレーションが切り拓く革新・安全・ものづくり
～超音速複葉機、計測融合シミュレーション、多目的
設計探査など～

東北大学
流体科学研究所
大林 茂

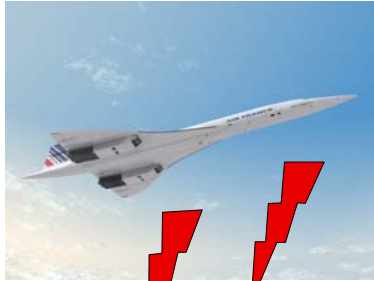


研究テーマ

- 革新:環境に優しい未来の超音速旅客機
 - 複葉超音速機
- 安全:リアルとバーチャルをつなぐ計測融合シミュレーション
 - 晴天、後方乱気流
- ものづくり:設計探査の考え方
 - 航空機的设计
 - 家電製品の設計。。



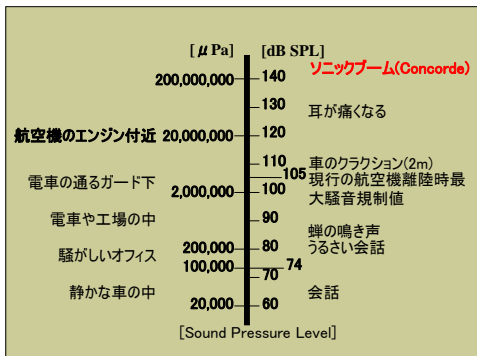
環境に優しい未来の超音速旅客機



SONIC BOOM

引退

- 低経済性
- ソニックブーム



低ブーム理論1: 細長物体の理論

- 全体を長くすれば低ブーム
 - Quiet Spike (Gulfstream)
 - 2006年に飛行実証(P. A. Henne、NASA webより)



NASA Dryden Flight Research Center Photo Collection
http://www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/index.html
NASA Photo: E206-0254-115 Date: May 1, 2006 Photo By: Tony Landis
NASA Dryden's F-15B aircraft with the Gulfstream Quiet Spike sonic boom mitigator attached undergoes ground vibration testing in preparation for test flights.



NASA Dryden Flight Research Center Photo Collection
http://www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/index.html
NASA Photo: E206-0184-13 Date: September 27, 2006 Photo By: Carla Thomas
NASA F-15B #36 in flight with Quiet Spike attached.

低ブーム理論2: Seabass/Dardenの理論

- 波形を低ブーム型に／鈍頭物体にすれば低ブーム
 - DARPA QSP
 - 2003年に飛行実証(SSBD Program Overviewより)

USN F-5E Arrives NGSA



Mod Nose Attached



Fairings Attached



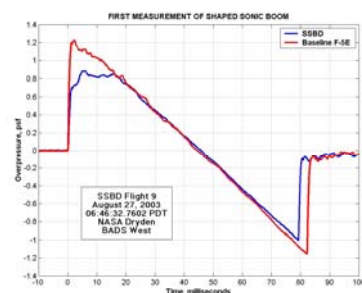
Pre-Flight Prep



First Taxi



First Flight



Joseph W. Pawlowski, SSBD/SSBE Project Manager
Northrop Grumman Corporationの資料より

低ブーム理論3: 超音速複葉翼理論

- 衝撃波を相殺する翼型
 - ブーゼマン翼(揚力なし) 1930年代 線形理論
 - リッヒャー翼(揚力あり) 1950年代 線形理論

United States Patent
Number 4,582,276
Date of Patent Apr. 15, 1986

United States Patent
Number 4,405,102
Date of Patent Sep. 20, 1983

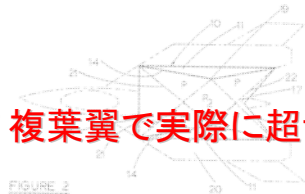


FIGURE 2

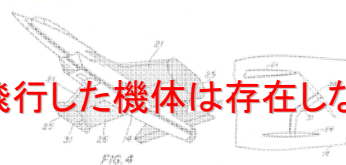


FIG. 4

複葉翼で実際に超音速飛行した機体は存在しない

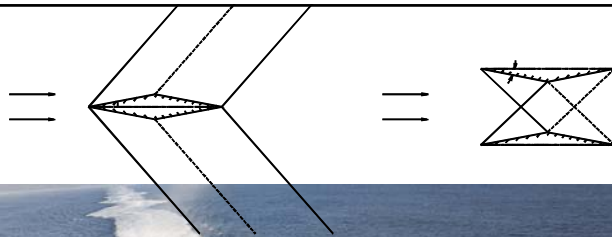
ブーゼマン複葉翼を垂直に設置し
干渉領域に出来る高圧部を利用して
揚力を得る

超音速飛行時



FIG. 3B

衝撃波抵抗と 船の造波抵抗



艦首の波が大きく
広がる
→大きな造波抵抗



双胴にすると艦首の波を小さくできて高速性に優れる

東日本フェリー

環境に優しい未来の超音速旅客機

MISORA, Supersonic Cruising Flight

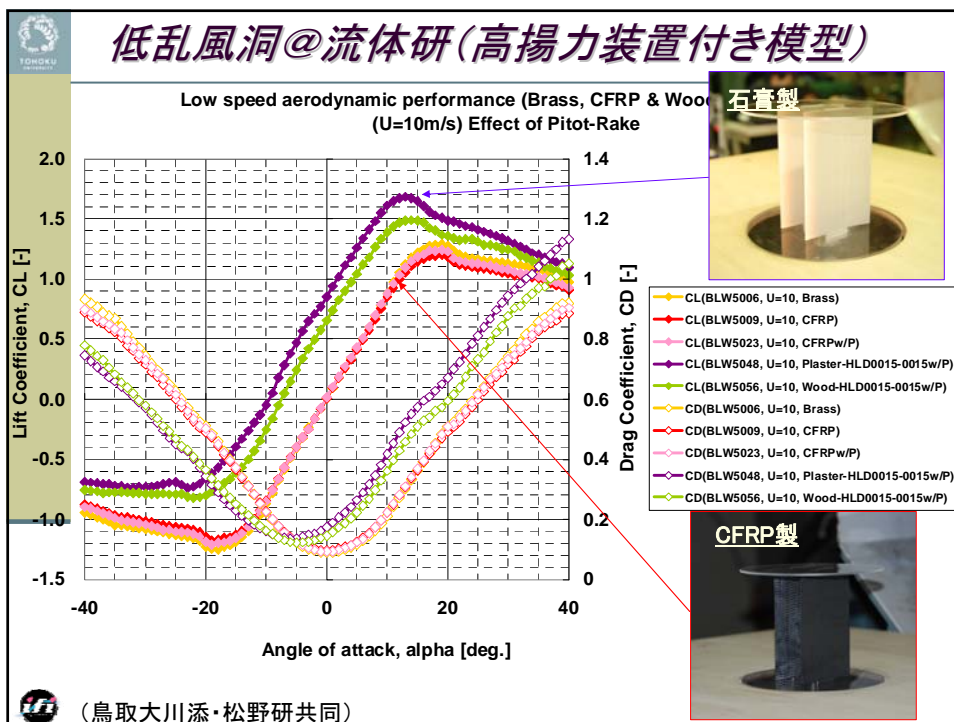
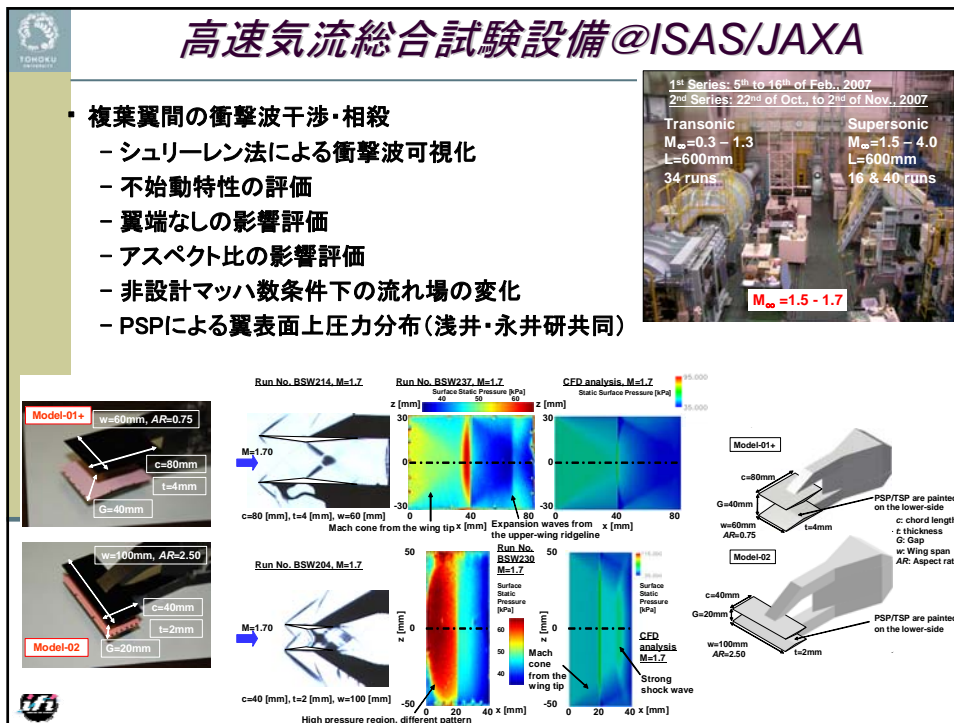
Shock wave interaction and cancellation
Engine integration
Variable wing
Sonic-boom less fuselage

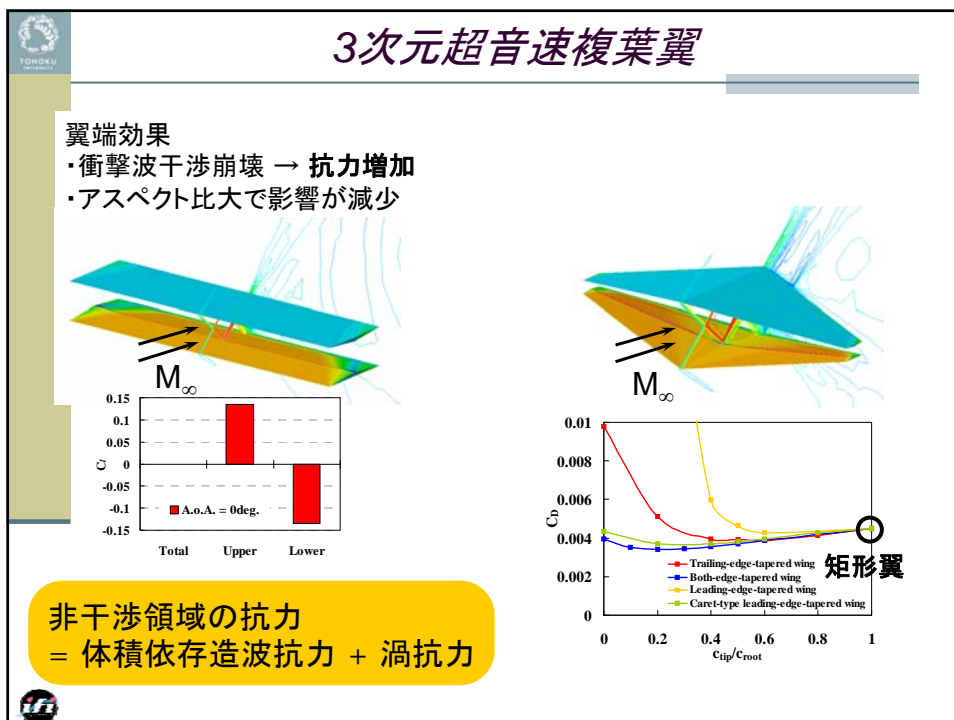
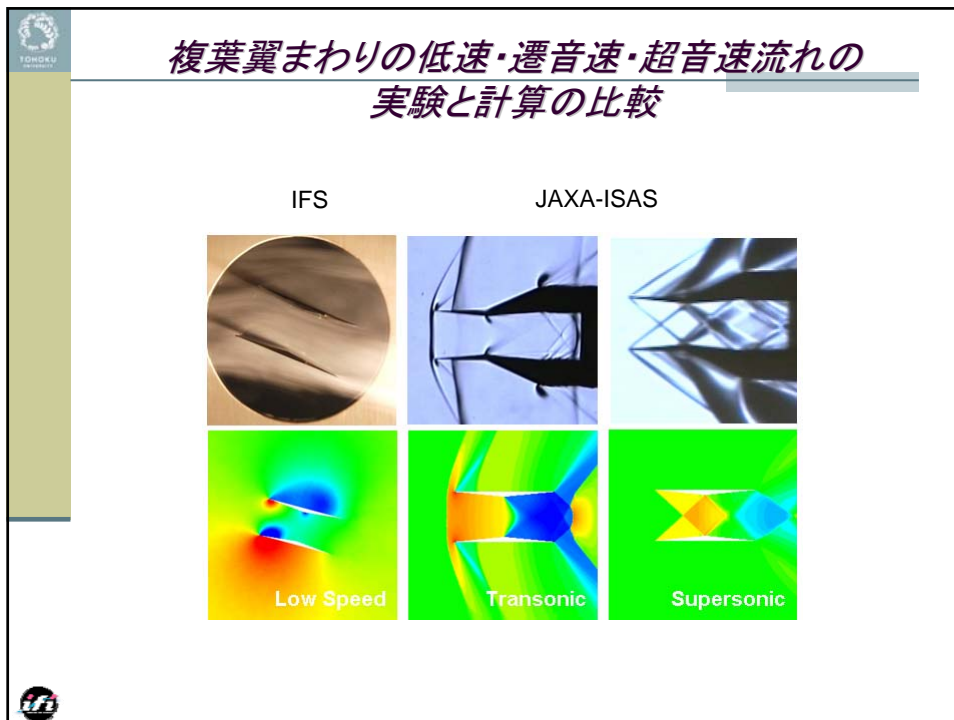


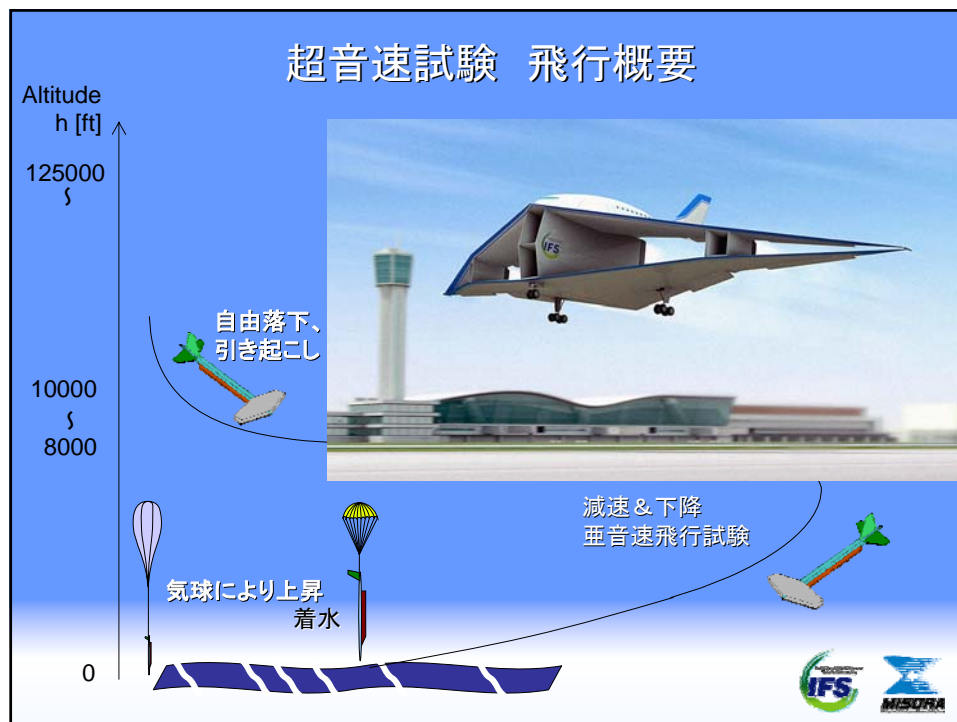
MISORA, Take-off and Landing

High-lift device
Fuselage configuration
Aerodynamic sound









リアルとバーチャルをつなぐ計測融合シミュレーション

- リアル: 現実の現象
 - 一部のみ計測可能
 - 初期条件や境界条件が不確か
- バーチャル: コンピュータシミュレーション
 - 現象のモデル化
 - 初期条件・境界条件が必要
- 計測融合シミュレーション
 - 計測+シミュレーション→現実の再現
- 航空安全への展開
 - 晴天乱気流 (JAXAとの共同研究)
 - 後方乱気流 (JAXA+ENRIとの共同研究)

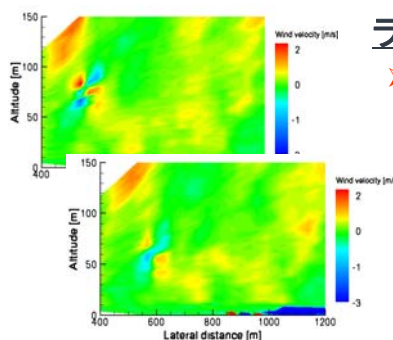
後方乱気流



- ・小型機は特に大型機の影響を受ける
- ・特に空港における離発着でその影響が大きい



研究背景 - 従来の研究手法 -



ライダー計測

- 空間分解能が低い

Large Eddy Simulation

- 実際の大気条件の考慮が困難



可視化

- 計算結果のポストプロセス

実験・計算・可視化の別々に行われている

研究目的

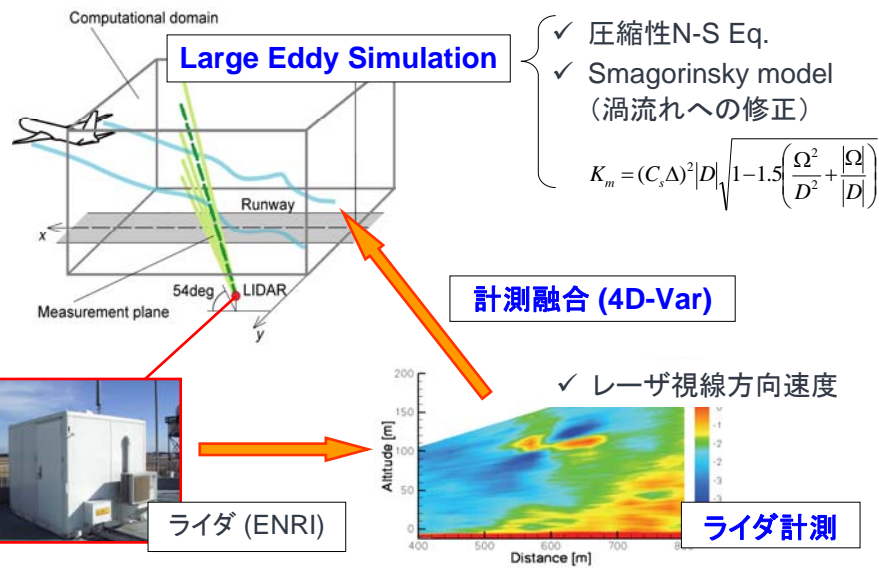
実験計測
数値計算
可視化

計測融合シミュレーション
バーチャルリアリティ(VR)可視化

実計測, 数値計算, VR可視化の協調作業

➤ ライダ計測を融合した後方乱気流解析
結果の視覚解析を行う

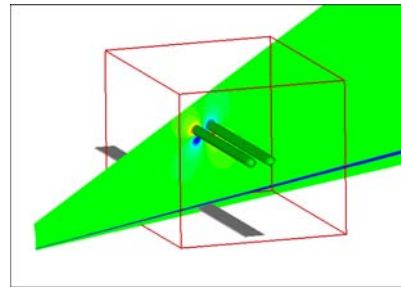
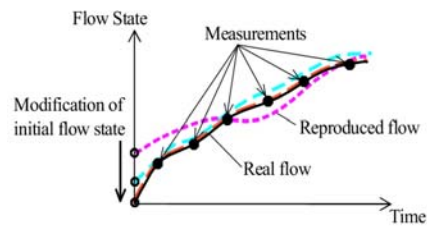
後方乱気流の計測融合シミュレーション



ライダー計測融合計算法 - 4次元変分法 -

計測と計算の差: 目的関数 → 最小化 (アジョイント法)

設計変数: 流れ場の初期条件 Q_0



Bogus Vortex Technique

- 渦対モデルを流れ場に仮定し, そのパラメータ込みで初期条件を最適化: $Q_0 = \Delta Q_0 + Q_v$

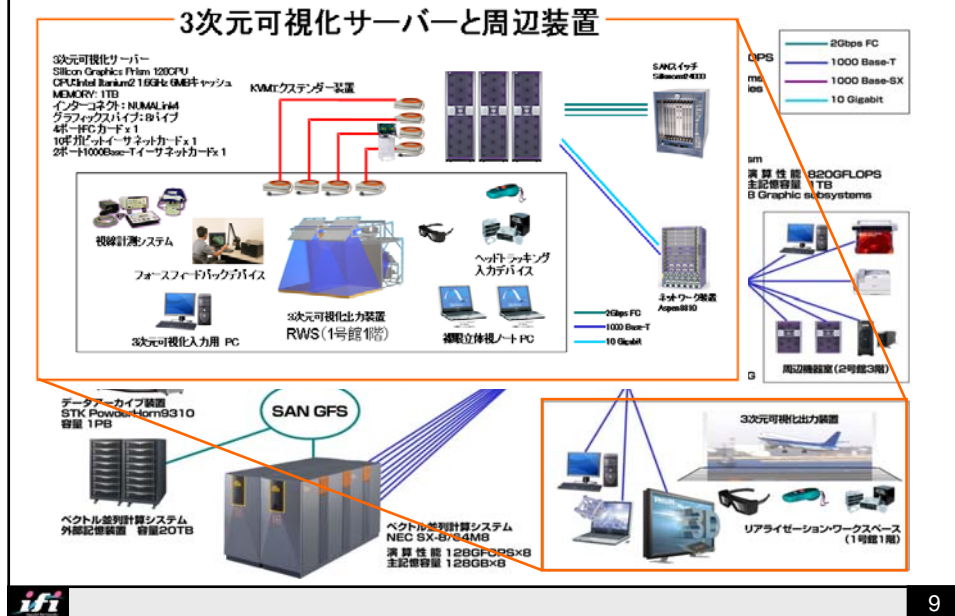
リアライゼーションワークスペース (RWS)

リアライゼーション... To realize the target phenomena using VR technologies [Brown&Rosenblum:92]
(realization)

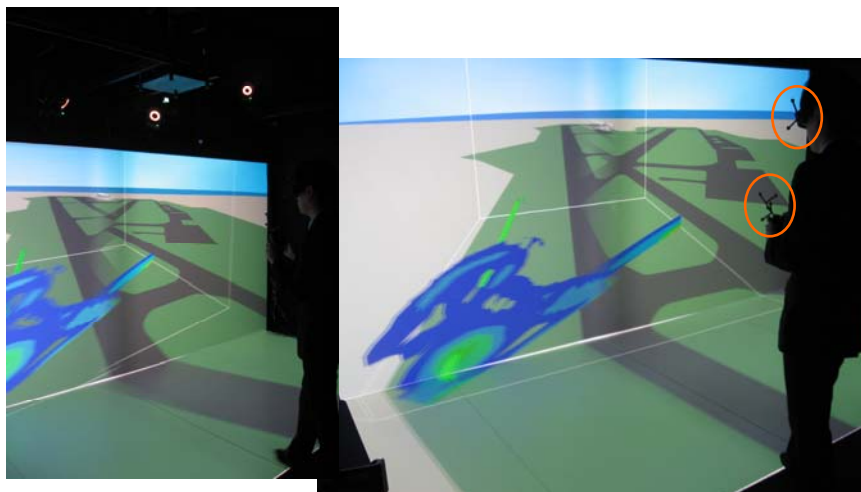


- 没入感 (illusion of immersion)
 - 大型スクリーン
 - ヘッド追跡 (head-tracking)
 - 高速計算・データ転送

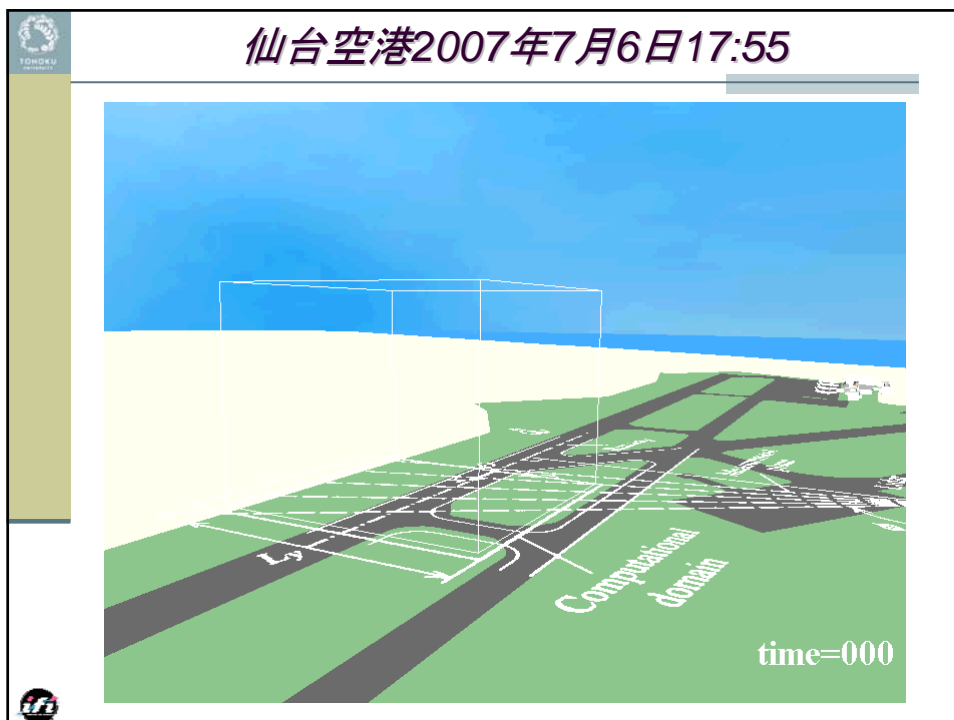
RWSの構成 - スパコンシステムとの接続 -



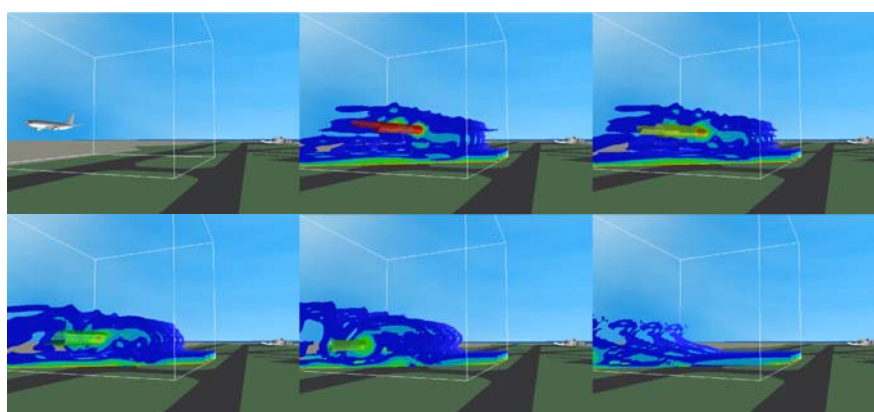
RWSでの可視化 - インタラクティブ可視化風景



➤ VR空間内を自由に移動し、見たい現象を見る(藤代・竹島研共同)



RWSでの可視化 - 2007年7月6日の事例 -



➤ 空港周辺風により翼端渦が移流

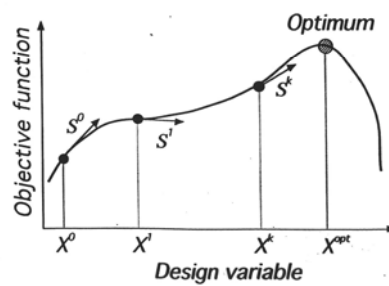
設計探査の考え方

$$X^{q+1} = X^q + \alpha S^q \quad (q : \text{Iteration number})$$

X : Design variable vector

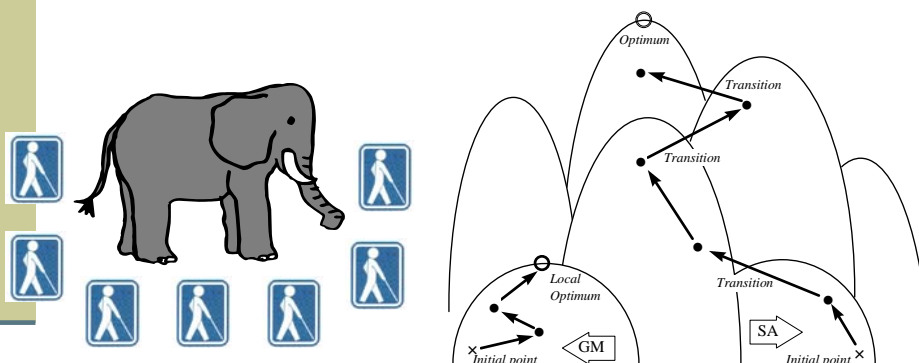
S : Search direction vector

α : Step size



最適化＝最適設計？

最適化、象を撫でる？



計算が設計に役立つためには？

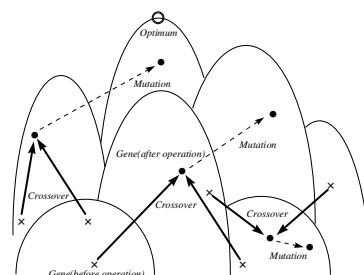
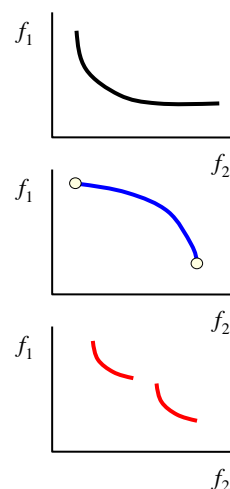
- 設計とは、要求を実現する形状を探す一種の逆問題
 - 不完全な知識からの推論： 限られた知識から要求を満たす形状を予想
 - パースのアブダクション(abduction)
 - 説明的な仮説を形成する過程(創造的洞察)
 - 設計という行為の核心部分
- 設計に役立つ： 設計者のアブダクションに役立つ
 - さまざまな設計案(仮説)を思いつくような「仕掛け」が必要
 - 仮説とは、さまざまな観察結果にある「パターン」を見出すこと
 - アブダクションの「仕掛け」としての「設計空間の構造化と可視化」

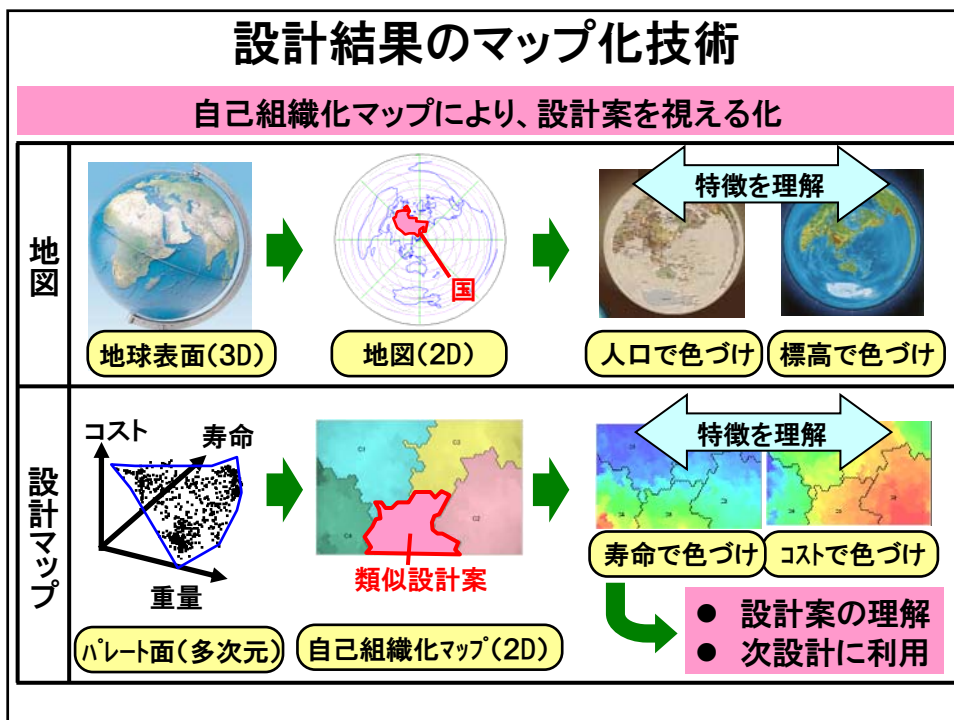
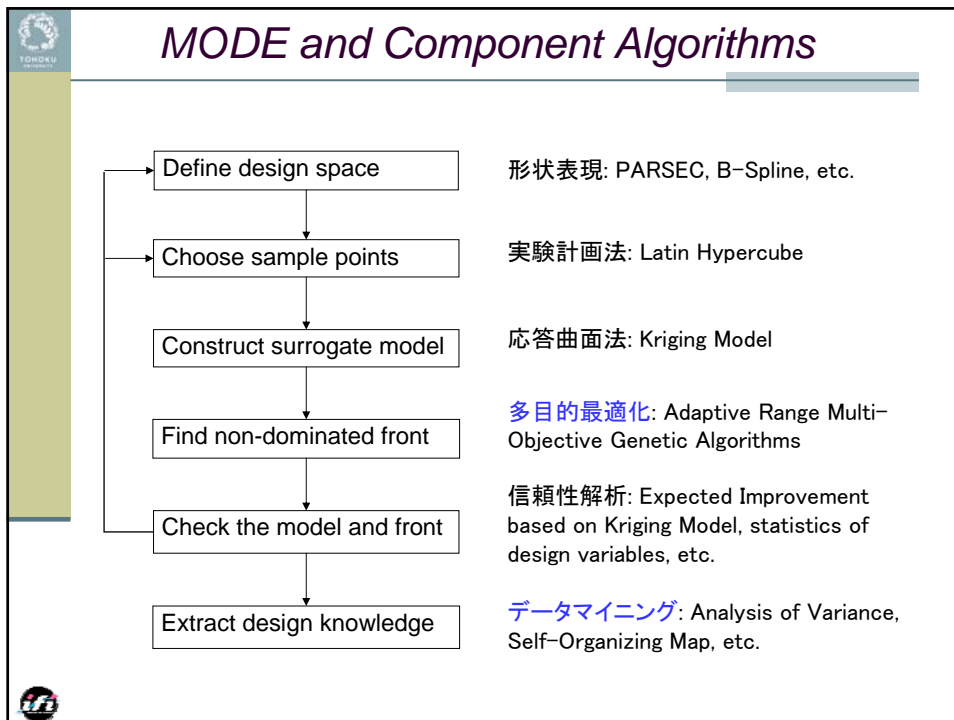
単なる最適設計(最適解の提供)では役に立たない？

MODE(Multi-Objective Design Exploration)
というコンセプトの提案

MODE とは？

- Multi-Objective Design Exploration (MODE、多目的設計探査)
 - トレードオフ情報から設計空間の構造を探る
 - 高次元設計空間の俯瞰的可視化を行う
 - 設計空間のスイートスポットを見いだす
 - 新しい設計目標を考える





データマイニング

■ 多変量データ形式の設計データベース

X1	X2	X3	...	Xn	Y1	Y2
10.2	3	-10	...	3.0	2.3	0.95
...
11.0	5	-50	...	3.5	6.6	0.80

●設計空間データベース(Ex.実験計画法)

●最適解データベース

■ データマイニング手法

自己組織化マップ

決定木

ラフ集合

...

■ 設計知識

感度・相関性

設計マップ

設計ルール

モデル

ラフ集合(Pawlak,1982)の適用

下近似(十分条件)を利用した設計ルールの抽出

条件属性
if (X1=(水準1)) and (X2=(水準2)) ...

下近似
(十分条件)

決定属性
Y1=(水準1)

上近似
(必要条件)

ラフ集合の手順

設計変数1	設計変数2	設計変数3	設計変数4	設計変数5	目的関数1	目的関数2
10.2	3	-10	1.6	3.0	2.3	0.95
...
11.0	5	-50	0.5	3.5	6.6	0.80



離散化

設計変数1	設計変数2	設計変数3	設計変数4	設計変数5	目的関数1	目的関数2
水準1	水準2	水準4	水準3	水準2	水準1	水準4
...
水準3	水準5	水準1	水準2	水準2	水準5	水準5

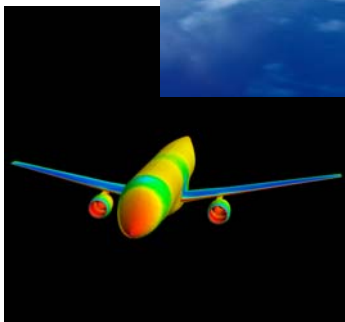
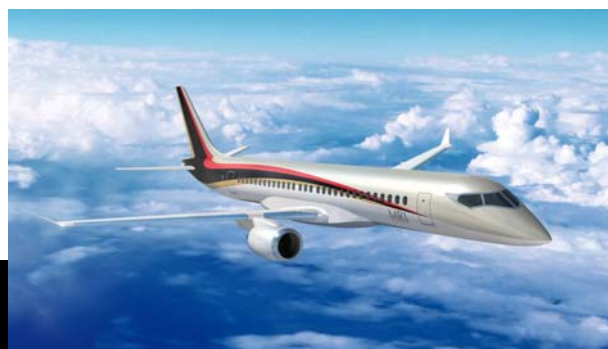


縮約

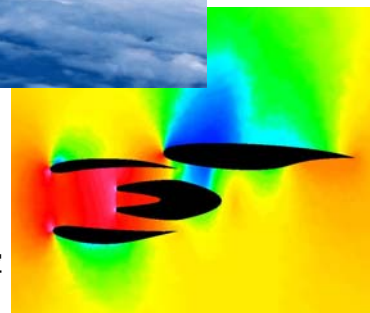
↑ 水準1の決定ルールを求める

設計変数1 水準5	設計変数2 水準2	設計変数5 水準5	目的関数1 水準1
...
設計変数3 水準2	設計変数4 水準3	設計変数5 水準1	目的関数1 水準1

推進系統合主翼最適化問題への適用



三菱重工・三菱航空
機共同研究

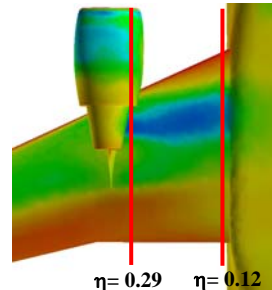


最適化問題定義&解析手法

目的関数

最小化

1. 巡航抵抗
2. パイロン取り付け位置での $-C_{p,max}$
3. 主翼構造重量



設計変数

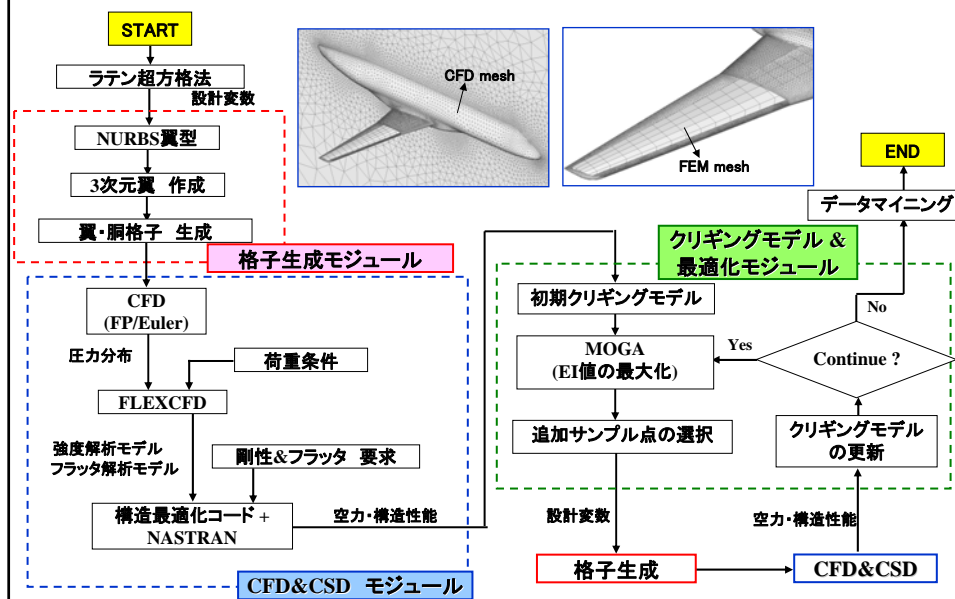
- ・ スパン方向2断面における下面翼型 ($\eta = 0.12, 0.29$)
→ 13 変数 (NURBS) × 2 断面 = 26
- ・ 翼振り角 4 断面

合計 30 設計変数

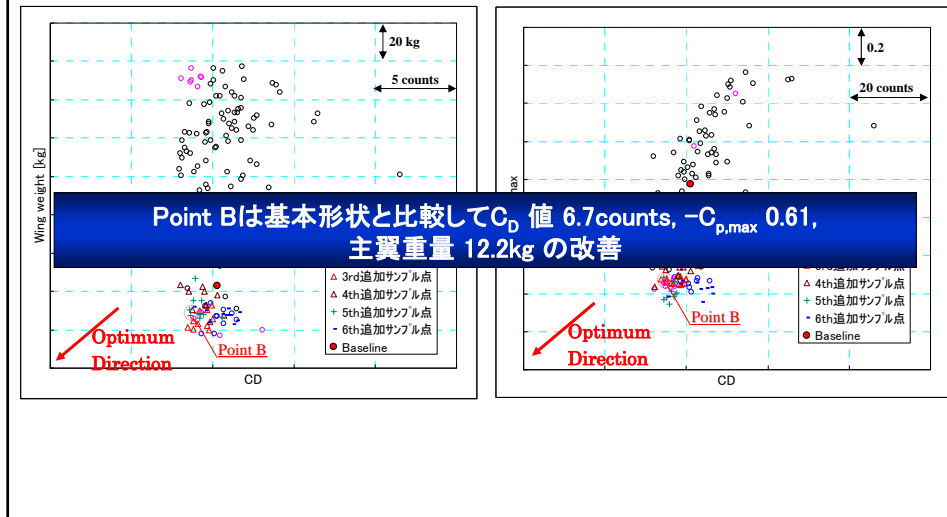
解析ツール

- ・ CFD: Euler code (TAS-code)
- ・ CSD/Flutter analysis: MSC.NASTRAN

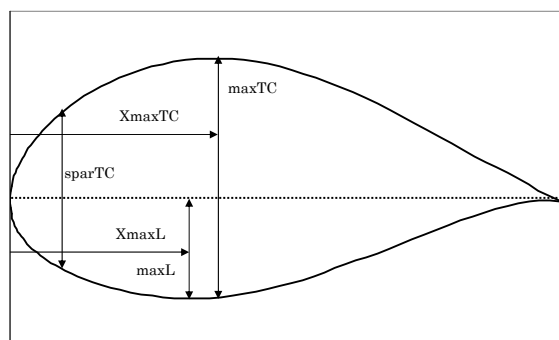
The revised MDO system



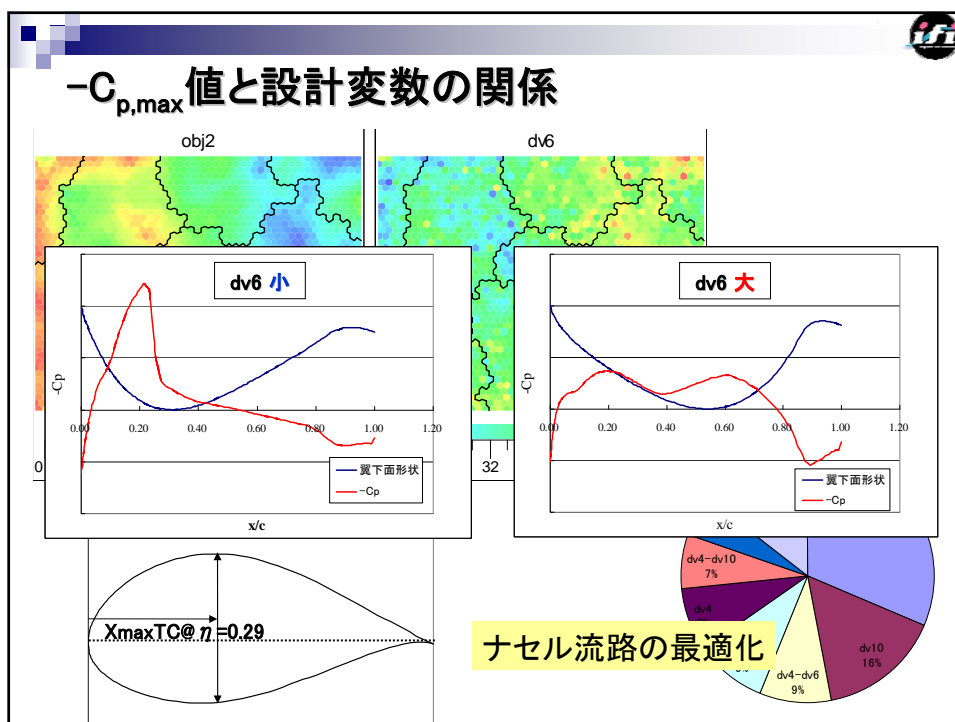
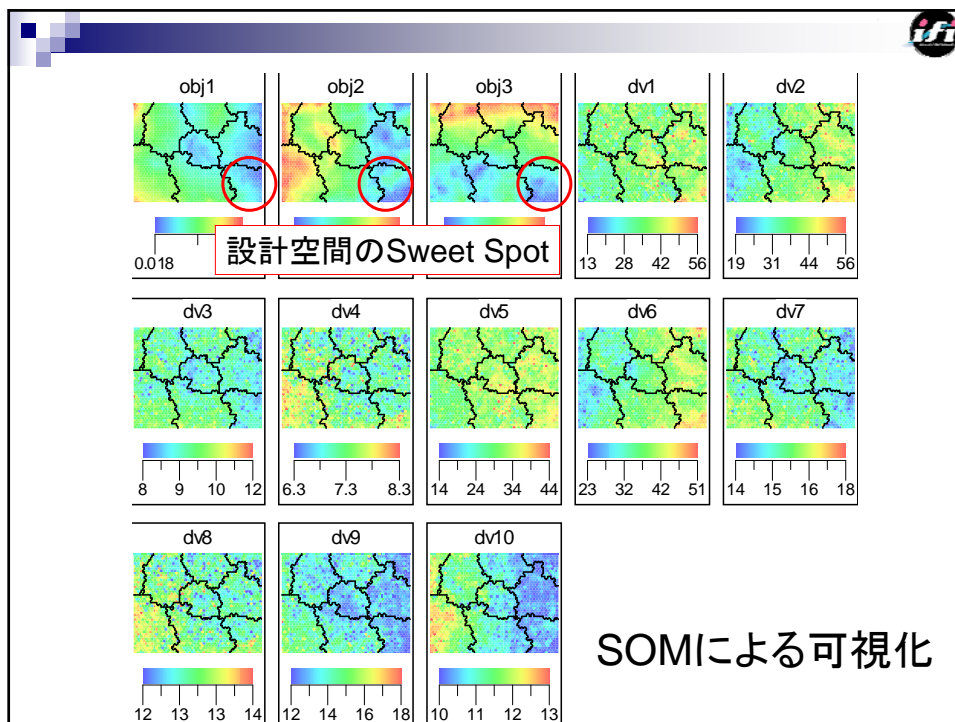
結果 – 基本形状とサンプル点の性能 (Euler) –



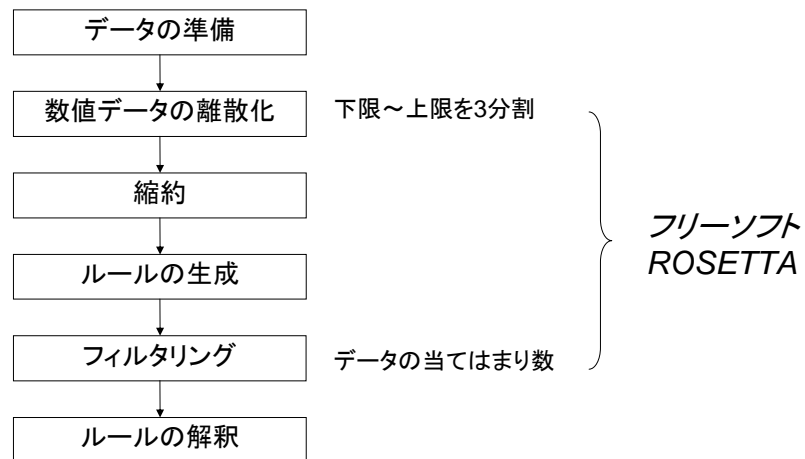
空力形状パラメータ



Number	Airfoil parameters
dv1	XmaxL @ $\eta = 0.12$
dv2	XmaxL @ $\eta = 0.29$
dv3	maxL @ $\eta = 0.12$
dv4	maxL @ $\eta = 0.29$
dv5	XmaxTC @ $\eta = 0.12$
dv6	XmaxTC @ $\eta = 0.29$
dv7	maxTC @ $\eta = 0.12$
dv8	maxTC @ $\eta = 0.29$
dv9	sparTC @ $\eta = 0.12$
dv10	sparTC @ $\eta = 0.29$



ラフ集合によるマイニングの流れ



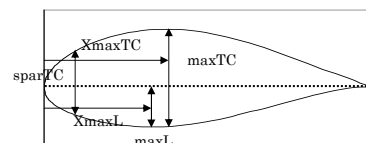
ラフ集合により生成されたルールの傾向

	Sweet	Cd	Cp	WW
dv1	11	1	1	5
dv2	9	2	6	3
dv3	8	5	6	4
dv4	10	3	5	11
dv5	13	8	1	7
dv6	7	6	3	3
dv7	9	5	6	5
dv8	2	4	3	2
dv9	9	2	2	3
dv10	14	9	8	8

大
小

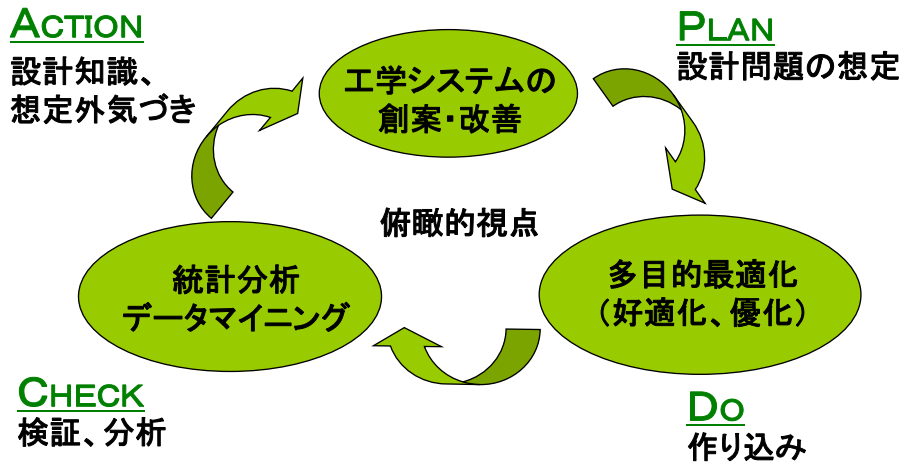
存在しないルール: dv10大はNG

Number	Airfoil parameters
dv1	XmaxL @ $\eta = 0.12$
dv2	XmaxL @ $\eta = 0.29$
dv3	maxL @ $\eta = 0.12$
dv4	maxL @ $\eta = 0.29$
dv5	XmaxTC @ $\eta = 0.12$
dv6	XmaxTC @ $\eta = 0.29$
dv7	maxTC @ $\eta = 0.12$
dv8	maxTC @ $\eta = 0.29$
dv9	sparTC @ $\eta = 0.12$
dv10	sparTC @ $\eta = 0.29$



MODE(多目的設計探査)と狙い

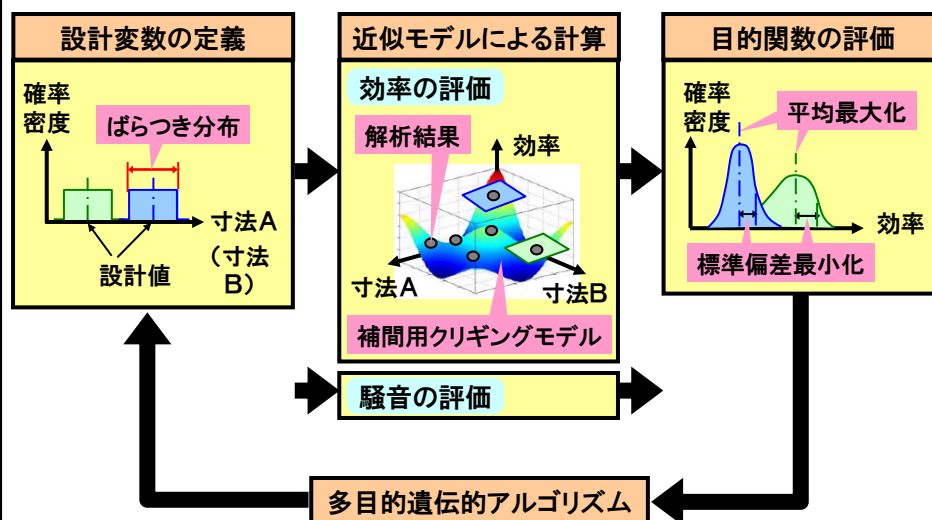
多目的設計探査＝多目的最適化＋データマイニング



日立機械研杉村氏の発表資料より

多目的ロバスト設計探査

量産ばらつきを伴う寸法AとBを調整し、効率と騒音を最適化する例



洗濯乾燥機用ファンの設計

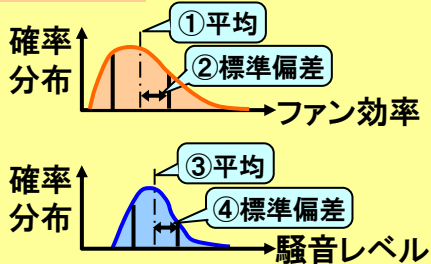
洗濯乾燥機の開発戦略

- しわ取りと乾燥時間短縮
- 静音化

設計問題の定義

寸法: 公差範囲でばらつき

設計目標



乾燥用ファン

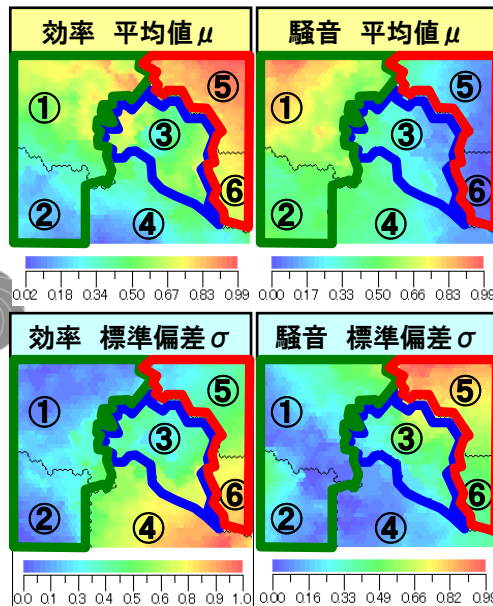
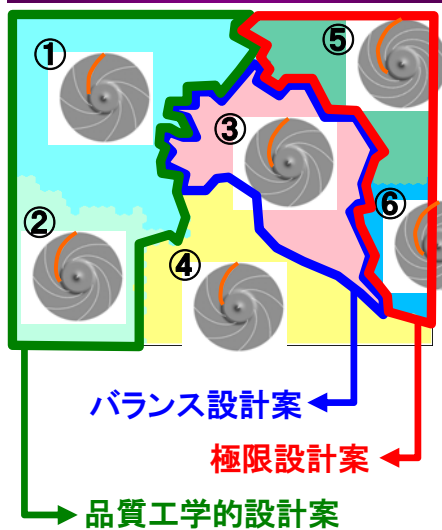
- 風量アップ
- 空力音低減



洗濯乾燥機の乾燥システム

設計マップの作成

パレート解の自己組織化マップ





これからの計算科学

- ペタコン／京速コンピュータ時代の計算科学
 - 大規模計算パワーによる大量の数値データ
 - データ理解はますます困難？
- アイデアへの挑戦を可能にする計算技術
 - 温故知新？
- 現実との融合を可能にする計算技術
 - 計測融合シミュレーション
- 新しい発想を可能にする計算技術
 - 数値データと人のインターフェース

可視化 (CC)