



東北大学  
TOHOKU UNIVERSITY



低コスト複合材機体開発を実現するための  
数値シミュレーション技術開発



東北大学大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻

岡部 朋永

# 研究背景



B777X

航続距離: 14,000~17,000km

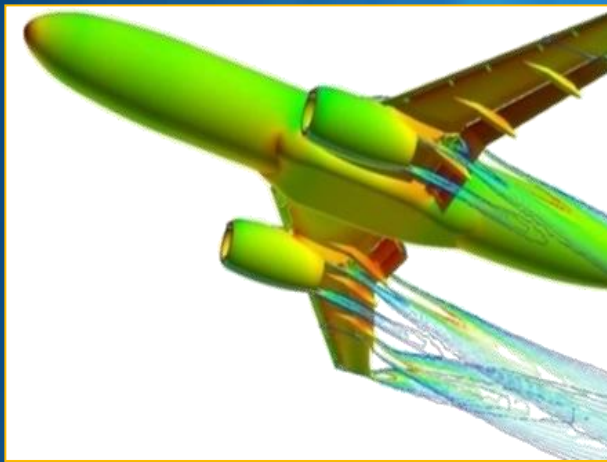
座席数: 300~350席

アスペクト比: 9

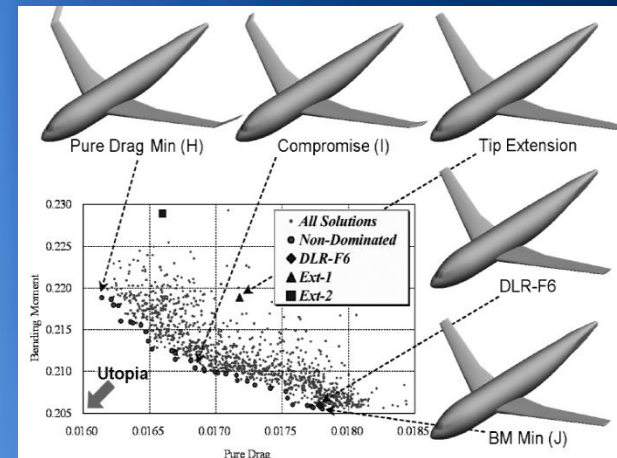
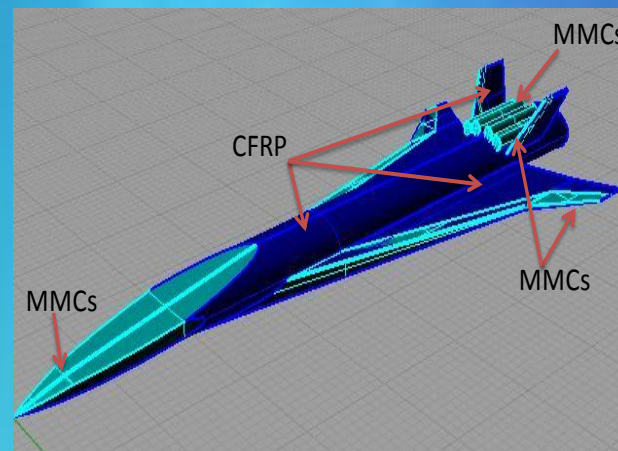
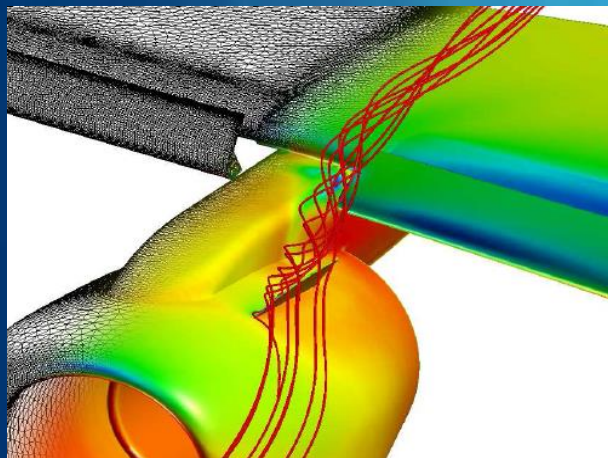
高効率エンジンの搭載



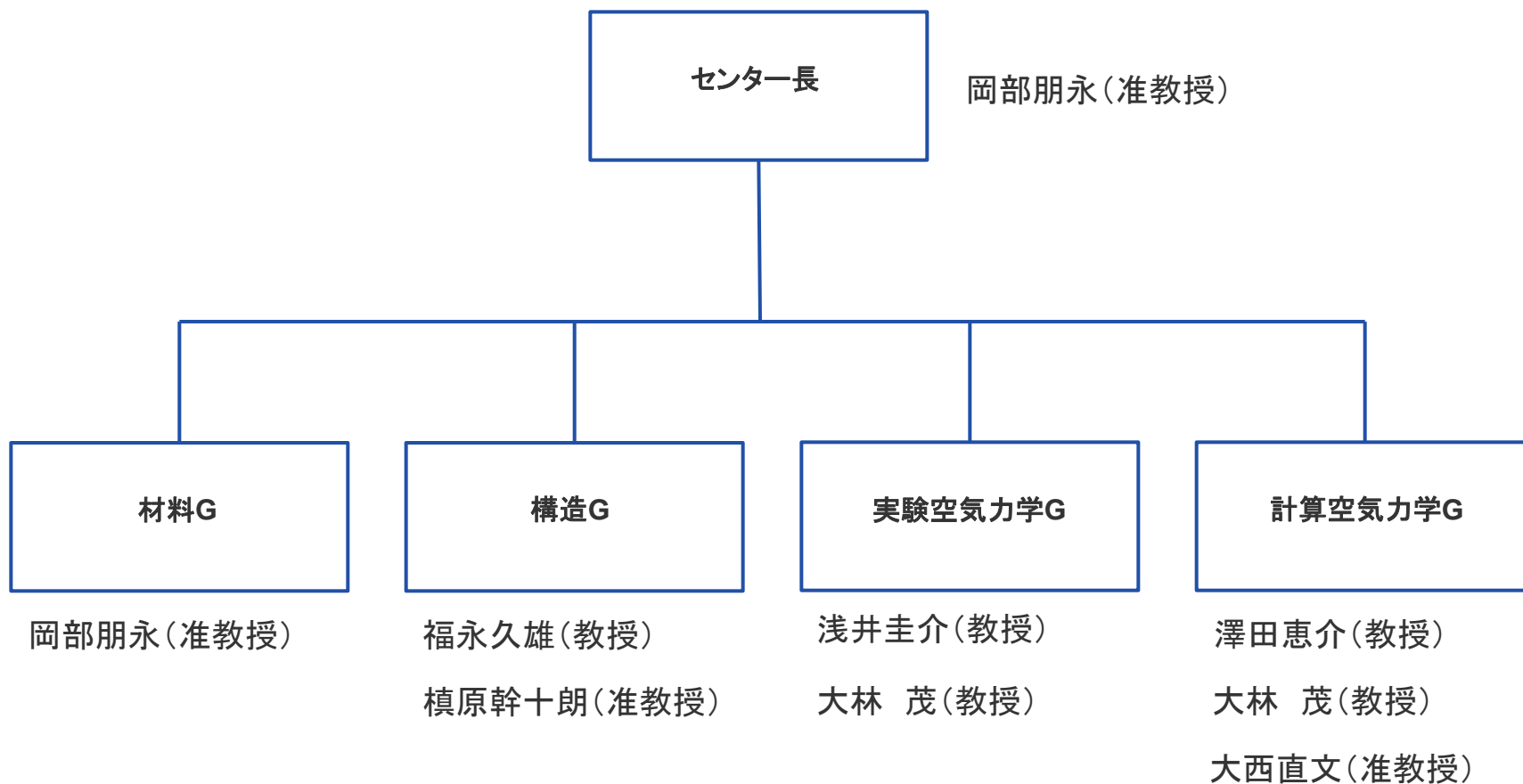
複合材の航空機応用は広がり続けている



# 仙台から世界の空へ 次世代航空機研究センター



# 体制



**分野を横断したシームレスな設計・開発手法の確立が必要**

# 航空機開発の現状

## 経済産業省 産業構造ビジョン2010

周辺状況：主要国は、複合材の最先端の技術に関し、産学官の連携を含めた戦略的な研究開発を加速させつつある。

現状：我が国の強みは、精度の高さと品質管理、納期遵守、複合材等の素材関連技術(例：東レがB787の炭素繊維を独占供給)などであり、高い品質が必要な部位を日本に発注するパターンが定着しており、米・欧とも、日本との更なる協力を模索している。

アクションプラン：機体、エンジン、装備品、素材メーカー等の連携や、製品現場の課題を学問が解決する実学的な産学官の連携により、次世代旅客機等の開発に向けて、トータルなソリューションの提供により世界をリードできる体制を構築する。具体的には、複合材等の材料技術の強みをいかしつつ、材料の性能を最大限生かした設計技術を獲得する。(以下略)



# プロジェクト提案

ボーイング(B)、エアバス(A) はいかに現実的に数値シミュレーションを使いこなすかに熱心で、集中投資をしている。空力・設計・材料・生産管理までが非常にタイトにCAEを通じて体系化されており、これにより不要な人件費も実験も削れ、費用対効果の高い筋肉質な枠組みになっています。また、彼らは大学をいかにうまく使いこなすかにも長けている。

⇒できるだけ早く世界の流れにキャッチアップする必要あり

(PJ課題) 低コスト複合材機体開発を実現するための数値シミュレーション技術開発

代表: 大林

期間: 5年

参加者: 澤田、轟、末益、長嶋、岡部

アドバイザー: 武田

参加企業: MHI、KHI、TORAY、JAXA

- (1) 損傷・破壊を詳細に考慮した機体設計シミュレーターの開発(岡部、末益、長嶋)
- (2) シミュレーション援用による認証プロセスの低コスト化(KHI、TORAY、末益、長嶋、岡部)
- (3) 非定常空力設計シミュレーターの開発(MHI、大林)
- (4) 構造連成非定常空力解析手法開発(KHI、澤田)
- (5) 3Dプリンターを駆使した非積層複合材の最適設計(轟、平野、上田、松崎、TORAY)

# 機体設計シミュレーターの開発

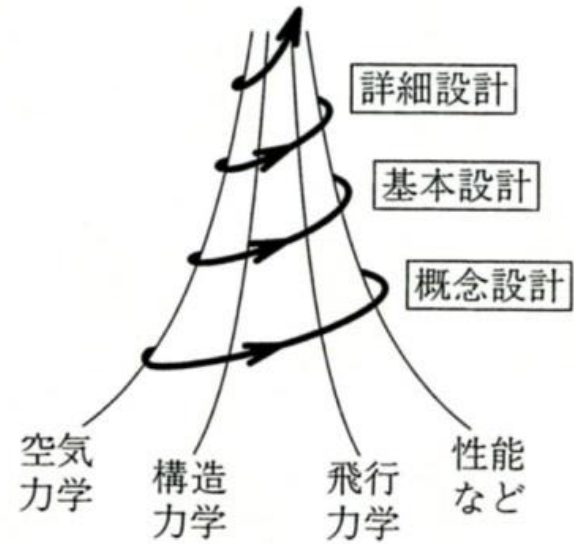
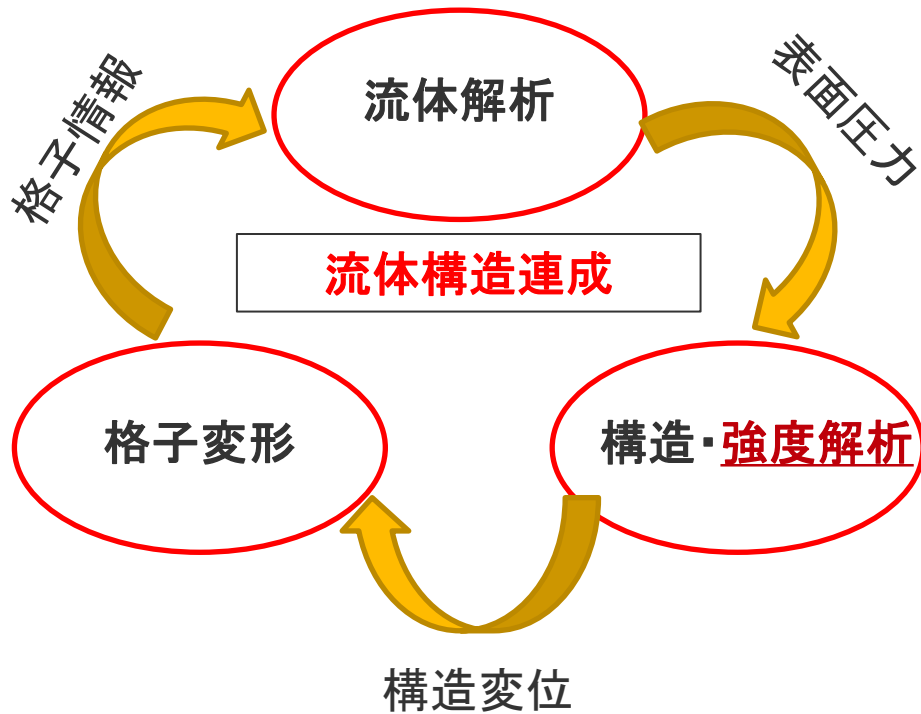


図 1.3 らせん状に登っていく航空機設計プロセスの流れ

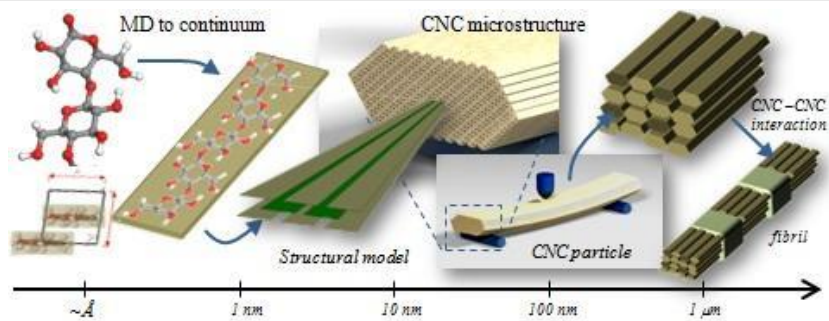
## 従来の設計法

設計当初より破壊に関する詳細な検討が無くては787の問題が繰り返されてしまう

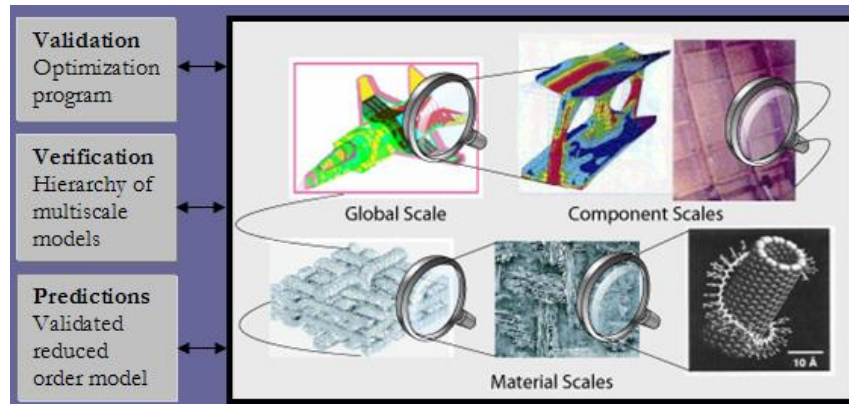
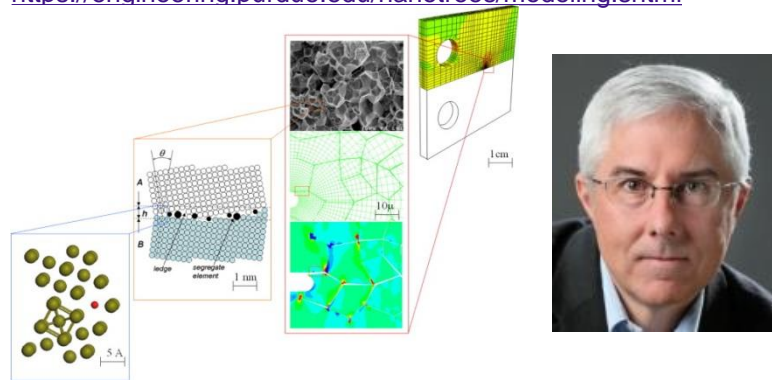
空力・剛性・重量・強度を考慮したシームレスな最適設計手法の確立を目指す

**⇒ 詳細な破壊シミュレーションを導入することで極限までに軽量な航空機構造を目指す！！**

# 機体設計シミュレーターの開発



<https://engineering.purdue.edu/nanotrees/modeling.shtml>

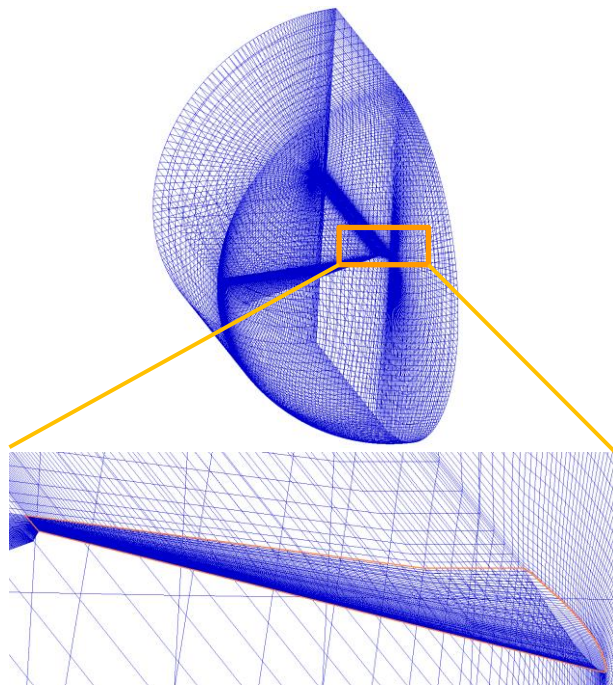


[http://multiscale.biz/short\\_courses/images/multiscale-design-system-1.jpg](http://multiscale.biz/short_courses/images/multiscale-design-system-1.jpg)  
(Multiscale design course)

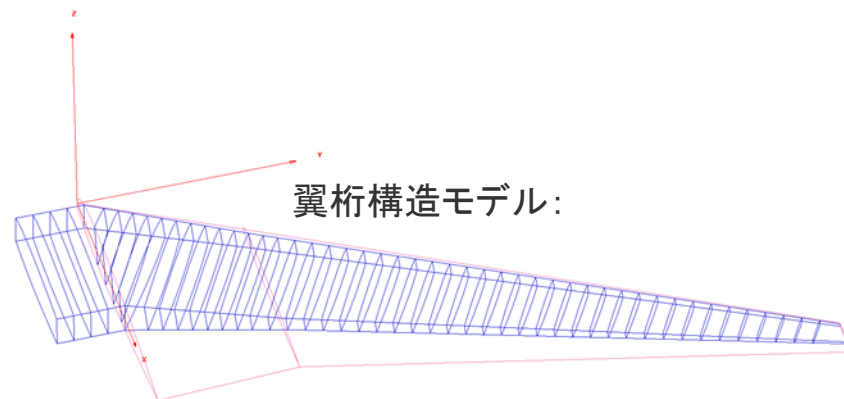
世界中がスケールの間を埋めるマルチスケールモデリングに取り組んでいる。



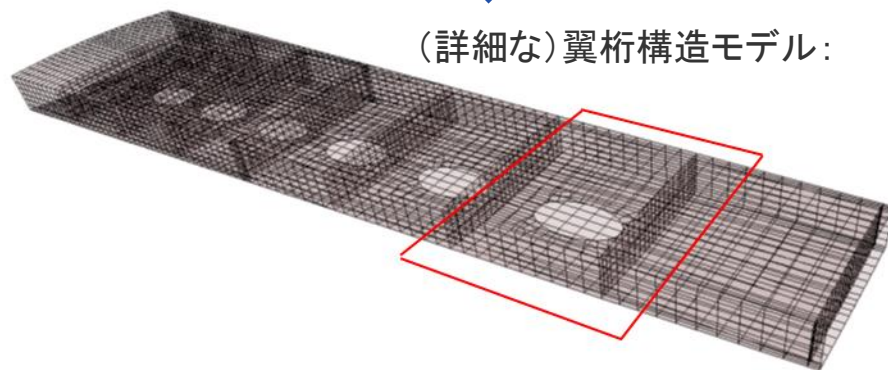
# 現状の設計手法



空力モデル



翼桁構造モデル:



(詳細な)翼桁構造モデル:

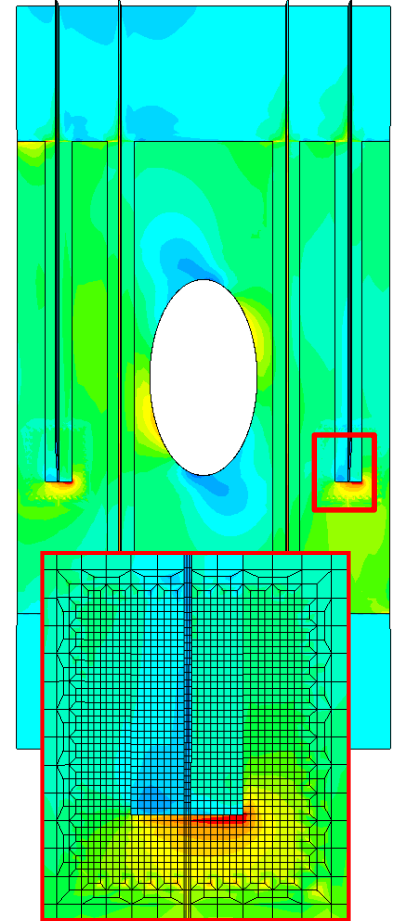
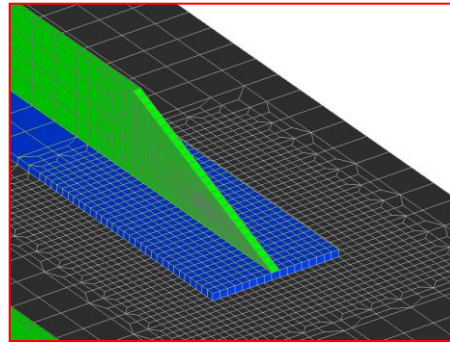
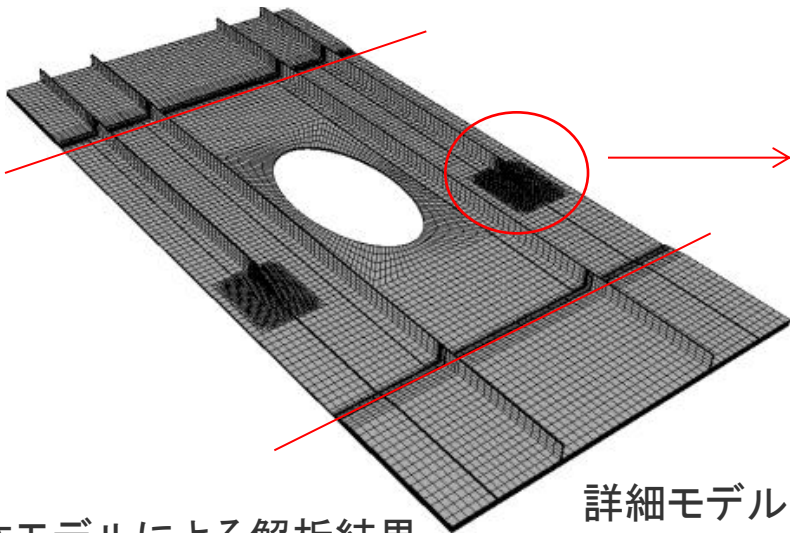
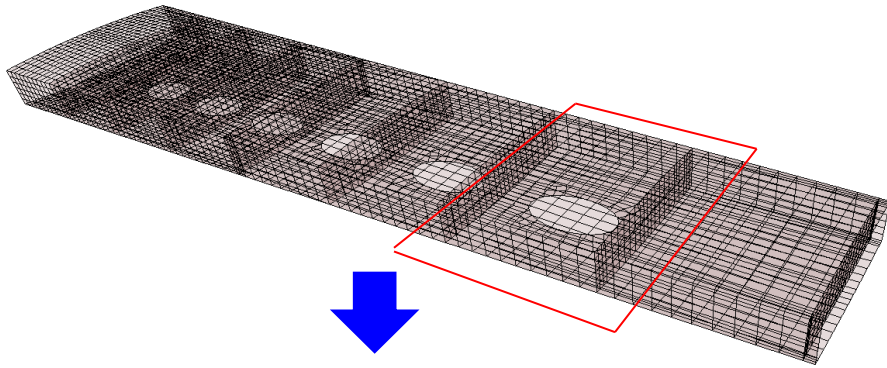


現在のところ、構造にかかる応力・ひずみを算出しているに過ぎず、  
詳細な損傷・破壊解析がなされていない

# ズーム解析技術

翼桁構造モデル:

構造要素(シエル要素、ビーム要素)を利用

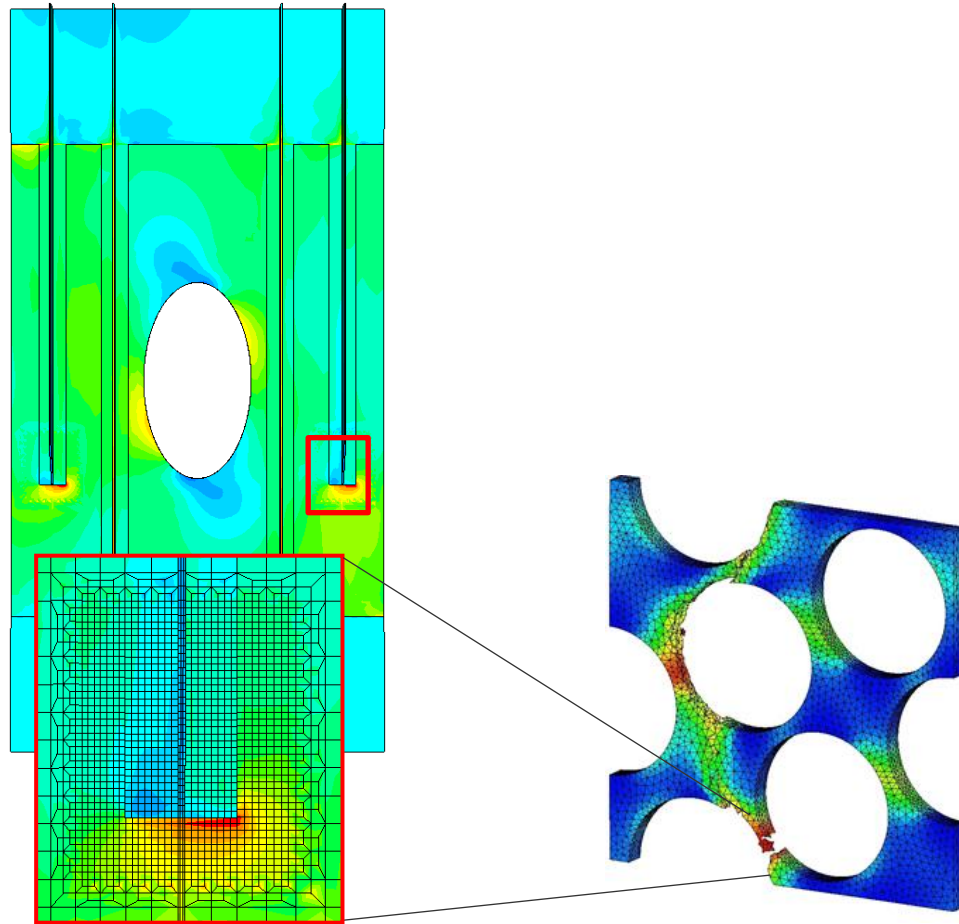


補強材ランナウト部の応力解析

全体モデルによる解析結果  
を用いて境界条件を設定

詳細モデル:  
連続体要素:ソリッド要素を利用

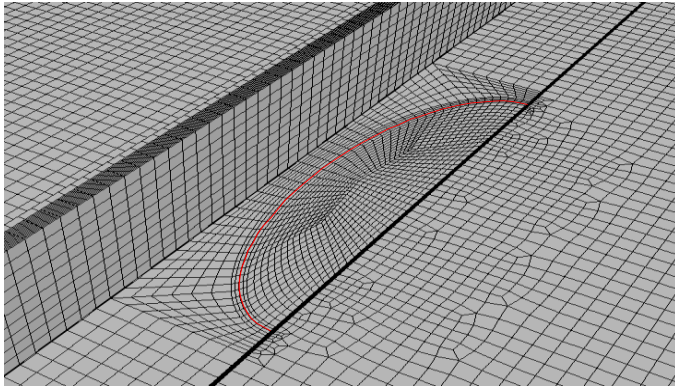
# 損傷シミュレーション



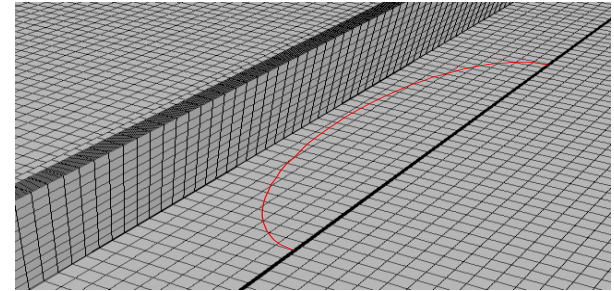
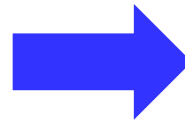
上のスケールからの情報をブレイクダウンすることによって初期損傷を回避することが出来る！！



# XFEMによる破壊（き裂進展）シミュレーション技術開発



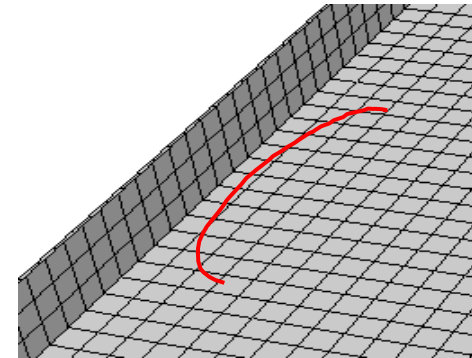
従来のFEMによるはく離のモデル化



XFEMによるはく離のモデル化  
(ソリッド要素)

Nagashima, T. and Suemasu, H.:  
Stress Analyses of Composite Laminate with  
Delamination using X-FEM, *International Journal of  
Computational Methods*, Vol.3 No4 (2006) 521-544.

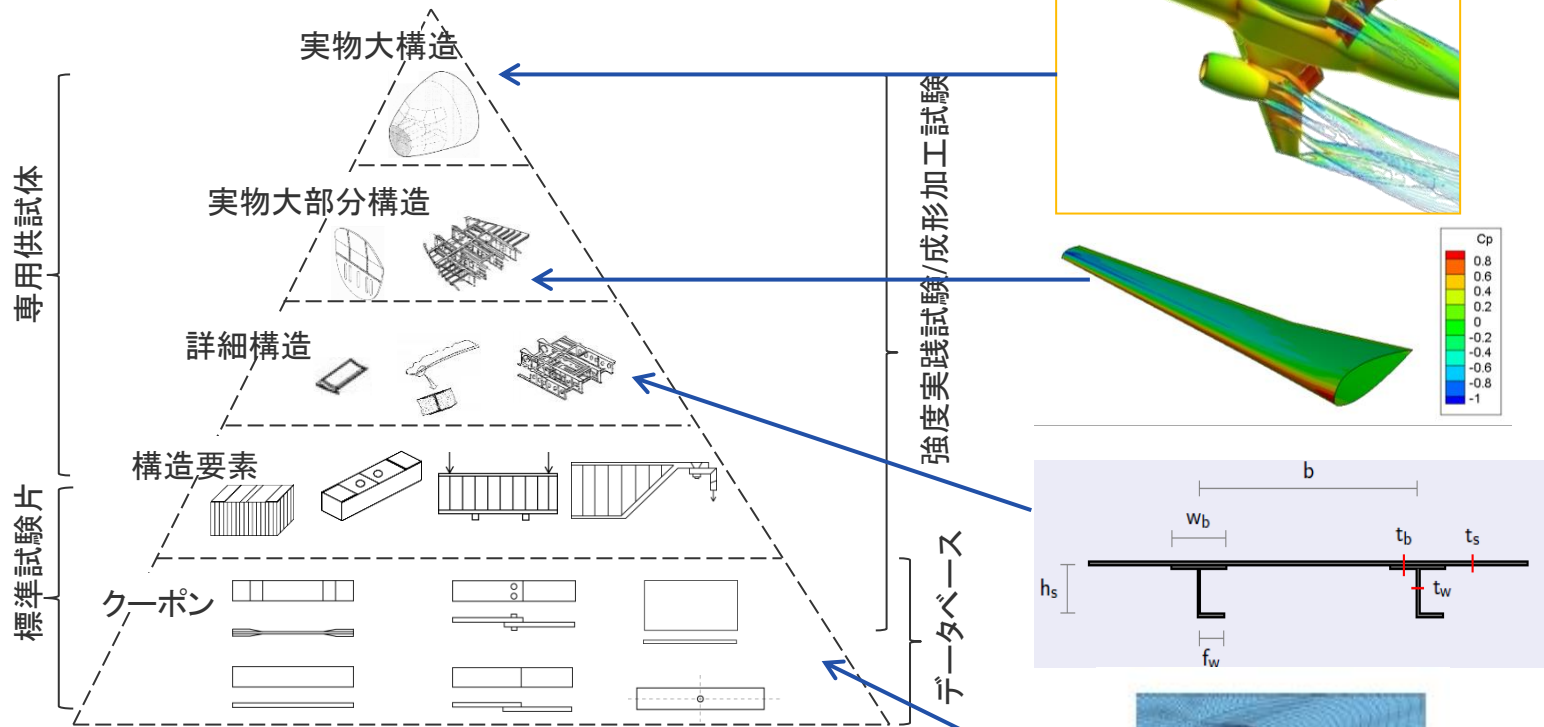
Nagashima, T. and Suemasu, H., X-FEM analyses of a  
thin-walled composite shell structure with a  
delamination, *Computers and Structures*, 88(2010)  
549-557.



XFEMによるはく離のモデル化  
(シェル要素)



# シミュレーション援用による認証プロセスの低コスト化

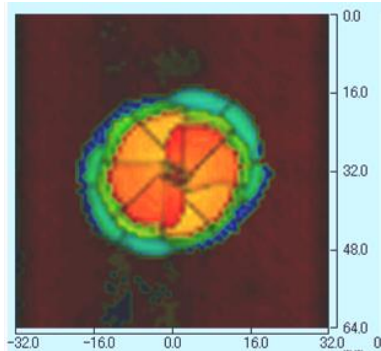


低コスト機体開発のためには数値解析を利用した  
 認証の簡略化が不可避！！最適な認証の提案  
 (H.27のMETIプロジェクトを目指し折衝中)

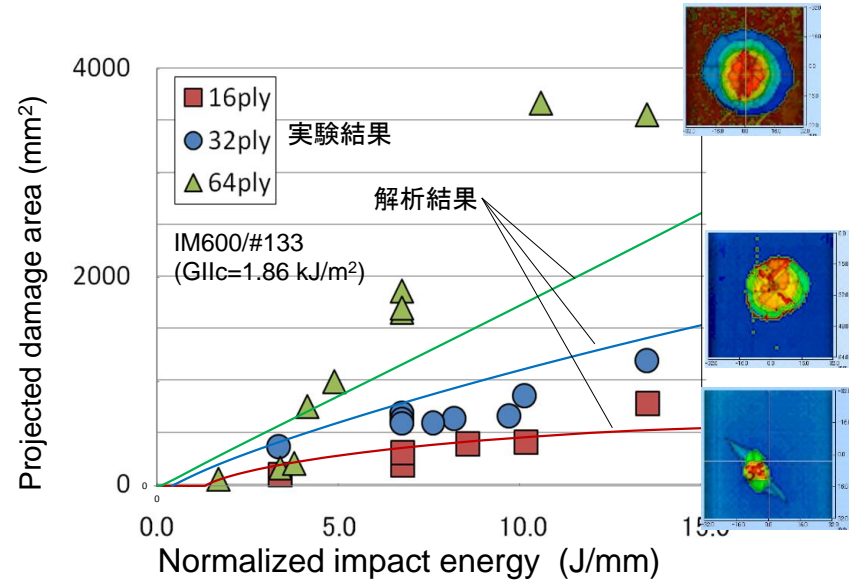
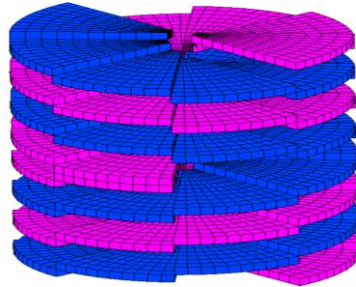


# シミュレーション援用による認証プロセスの低コスト化

## 衝撃損傷（FOD）・衝撃後圧縮強度（CAI）



衝撃損傷



末益教授は型式証明に関する数値シミュレーションに関する第一人者！！

しかしながら、上手く産業界にて利用されていない

⇒数値シミュレーションにてスキップ出来そうな項目を洗い出し、型式証明に必要な試験数の低減につなげる

# 非定常空力設計支援技術 の研究開発

東北大学流体科学研究所

大林 茂

# 研究の概要

## ■本研究のゴール: 非定常空力シミュレーションによる航空機開発コスト削減

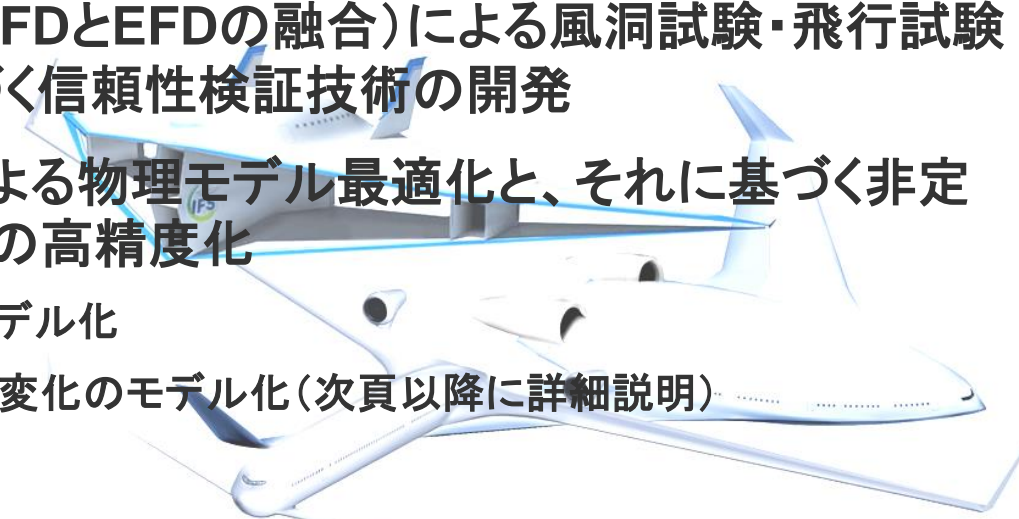
- 非定常性・不確定性を含む風洞試験・飛行試験の諸条件を計測値から再構築し、結果の信頼性を検証する技術を開発
- 乱気流や着氷現象の物理モデルの最適化により、高精度の非定常空力シミュレーション技術を開発

## ■短期目標(前半3年)

- 計測融合シミュレーション(CFDとEFDの融合)による風洞試験・飛行試験データの再現と、それに基づく信頼性検証技術の開発
- 計測融合シミュレーションによる物理モデル最適化と、それに基づく非定常空力シミュレーション技術の高精度化
  - 晴天乱気流など大気乱流のモデル化
  - 着氷など気象由来の空力形状変化のモデル化(次頁以降に詳細説明)

## ■中期目標(後半2年)

最適化された物理モデルによるデジタルモデルの再現(2020年)



# 航空機開発における着氷影響把握の重要性

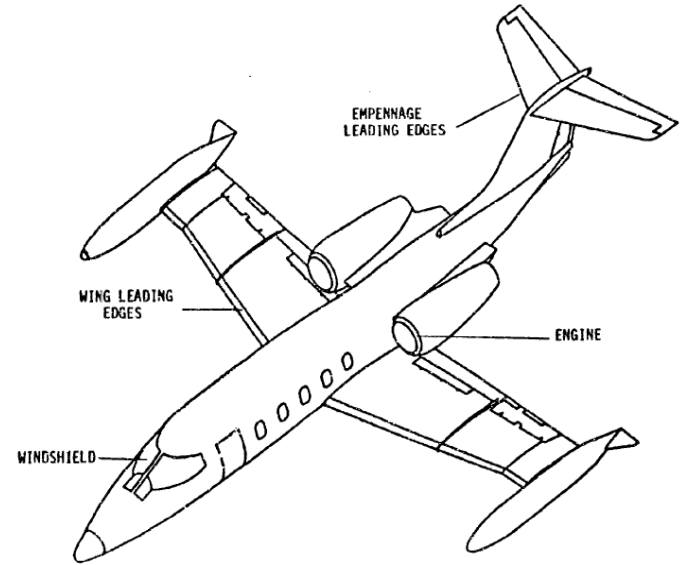
## 着氷：低温の雲中を飛行中に機体に衝突した過冷却水滴が機体表面で氷結する現象

- 着氷は主翼や尾翼の前縁といった空力的に重要な箇所に発生するため、航空機の性能・飛行特性を大幅に悪化させ、多くの航空機事故の原因となってきた。
- そのため、民間航空機の型式証明においては、着氷気象条件を安全に飛行可能なことを解析や試験によって証明することが要求されている。
- 特に2007年のFAR改訂により、着氷時の性能・飛行特性が通常時(非着氷時)と同じ基準を満足しなければならないことが規定され、航空機開発において着氷の影響を精度よく把握する重要性がますます高まっている。



# 着氷時空力解析に対するニーズ（設計）

- 現状、着氷時の性能・飛行特性の高精度な評価は模擬着氷風洞試験や模擬着氷飛行試験に頼らざるを得ず、主に詳細設計フェーズで行われてきた。
- 一方で、防氷装置配置等、着氷時の性能・飛行特性を左右する主要パラメータは概念設計フェーズで設定される必要がある。そのため、従来は、経験則や統計データといった精度の低い情報に基づいて着氷時の性能・飛行特性を推定し、概念設計が行われてきた。
- このような従来型の設計手法は以下の課題を有する。
  - ① 防氷能力の過剰な設定による機体重量増加・燃費悪化
  - ② 防氷能力が不足した場合の設計イタレーション増加
- 着氷時の性能・飛行特性をCFDにより高精度で評価可能とすることにより、概念設計フェーズにおいて防氷能力の最適化が可能となり、安全かつ燃費に優れた航空機を効率的に設計することが可能となる。



防氷装置配置例\*



# 着氷時空力解析に対するニーズ（飛行試験）

- 着氷時の性能・飛行特性が基準を満たしていることを証明するために、着氷形状を模擬した部品を装着した状態での模擬着氷飛行試験を実施することが要求されている。
- 本試験は高リスクの試験であるため、飛行安全を確保するために模擬着氷風洞試験データを用いた事前検討が必須である。しかし、飛行試験で使用する着氷形状は多岐にわたるため、現状では膨大な量の模擬着氷風洞試験が必要である。
- ここで、着氷時の性能・飛行特性をCFDで高精度に評価可能とすることにより、風洞試験を一部代替し、多くのコスト・リードタイムが必要な風洞試験を真に必要な試験ケースに集中させることが可能となる。その結果、効率的な飛行試験リスク対策実施及び飛行試験の安全性向上が可能となる。



Figure 3(a).—Upper wing runback shape.



Figure 3(b).—Lower wing runback shape.



Figure 4(a).—Wing ice protection system failure case.



Figure 4(b).—Horizontal and vertical tail ice for the wing ice protection system failure case.

模擬着氷飛行試験例\*

空力構造連成解析を導入した  
機体設計法の高度化と展開

# 航空機設計開発の現状 (1)

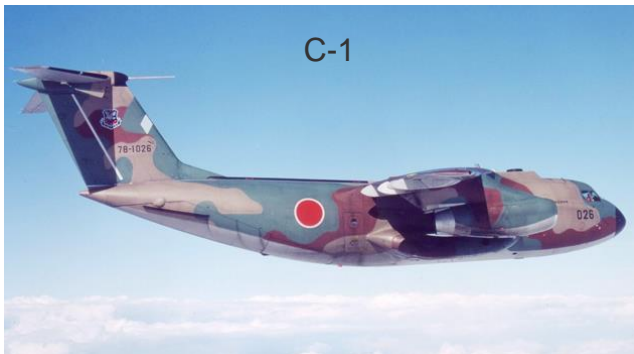
- 機体設計開発にかかる知識不足
  - 開発機体数が少ないので深刻な経験不足
  - 機体開発の間隔が長いので知識が蓄積され難い



半世紀



C-1



40年



XC-2



# 航空機設計開発の現状 (2)

- 複合材の利用進展
  - 軽くて燃費の良い航空機の開発は必須
  - 複合材利用は急速に拡大



- 複合材主翼設計に空力構造連成解析は必須
  - 複合材の特性を生かした機体設計を実現
- 空力構造連成 + 飛行力学連成 = デジタルフライト
  - デジタルフライトで経験不足を補う

# 空力構造連成解析の高度化 (1)

- 空力構造連成解析高度化への期待
  - 初期設計段階の精度向上で設計変更リスク低減
  - 空力構造連成風洞試験の代替実現はコストメリット大
  - 複合材の特性を生かした主翼設計で付加価値向上
  - 実機開発で生じる様々な連成問題の解決に貢献可能



# 空力構造連成解析の高度化 (2)

## ■ 空力構造連成解析の課題

- 連成解析に用いられる空力解析は遷音速域で精度不足
- 空力構造連成解析は空力と構造の分野横断型技術であり産学ともに技術蓄積が不足
- 空力構造連成に飛行力学を統合するデジタルフライトへの展開と機体設計法の更なる進化

# マイルストーン設定

- STEP1 (2～年)
  - 高精度空力と構造の連成解析手法整備
  - 主翼フラッター, ヘリブレードピッチ連成等の解析実現
  - 非定常連成解析を組み入れた最適設計手法の構築
- STEP2 (5～年)
  - 高効率非定常解析実現によるデジタルフライト試行
  - 最適設計手法の更なる高度化
- STEP3 (10年～)
  - 最適設計手法とデジタルフライトの統合による航空機設計支援システムの実現
  - 開発・製造から退役までの総コスト削減の模索

# Next Generation aircraft workshop

*A Center of Excellence*  
**AMTAS**  
*Advanced Materials in Transport Aircraft Structures*

## Events

**Next Generation Transport Aircraft Meeting**

**Date:** March 29, 2013

**Host:** The Center of Excellence for Advanced Materials in Transport Aircraft Structures (AMTAS)

Presented in conjunction with Toray Composites (America), Inc. and Tohoku University

**Time:** 8:30 a.m. to 3:30 p.m.  
**Location:** University of Washington  
Seattle, WA

Event Calendar  
Event Details  
Seattle Lodging



NEXT GENERATION  
TRANSPORT AIRCRAFT

# Web Seminar

University of Washington, Tohoku University and Toray Composites (America), Inc.

Please join us on Tuesday, July 16th at 16:00PST for a joint seminar between University of Washington, Tohoku University, and Toray Composites (America)

### PROGRAM

16:00-16:15 "Development of an Optimization Method Using NSGA2 with Improved Constraint Handling"

*Rei Rockenbach*

*Department of Aerospace Engineering, Tohoku University*



16:15-16:30 "Carbon Fiber's Surface Chemistry and Self-Assembled Interphase Formation in Fiber Reinforced Polymer Composites"

*Felix Nguyen*

*Composite Materials Research Laboratory, Toray Composites (America), Inc.*



16:30-16:40 "Design Informatics Approach and Its Applications on Aerospace Engineering"

*Kazuhiro Chiba*

*Graduate School of Engineering, Hokkaido Institute of Technology*



**'TORAY'**  
Innovation by Chemistry