

# 空力弾性の研究～軽くて安全な航空機の為に～



航空本部 構造技術研究グループ 構造機能化セクション

玉山雅人 齊藤健一 井川寛隆 高崎浩一 有蘭仁 吉本周生

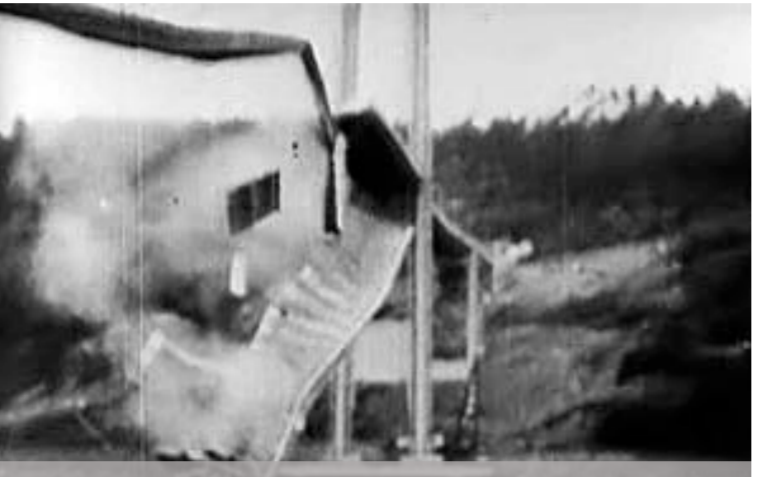
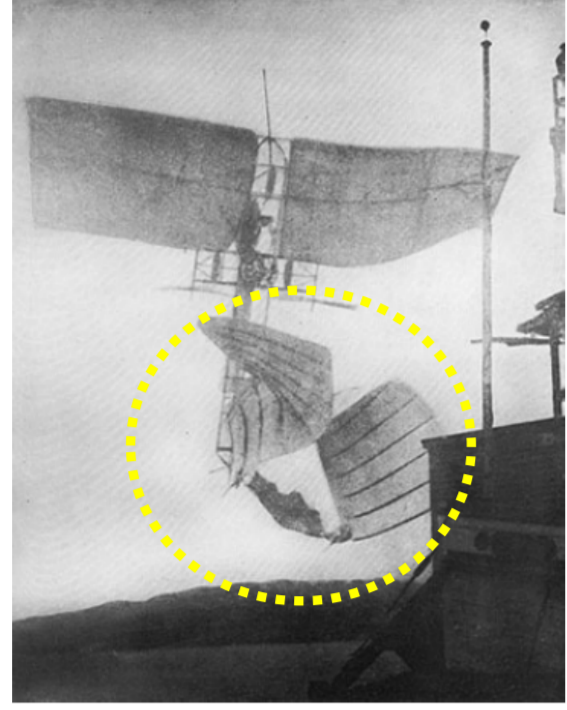
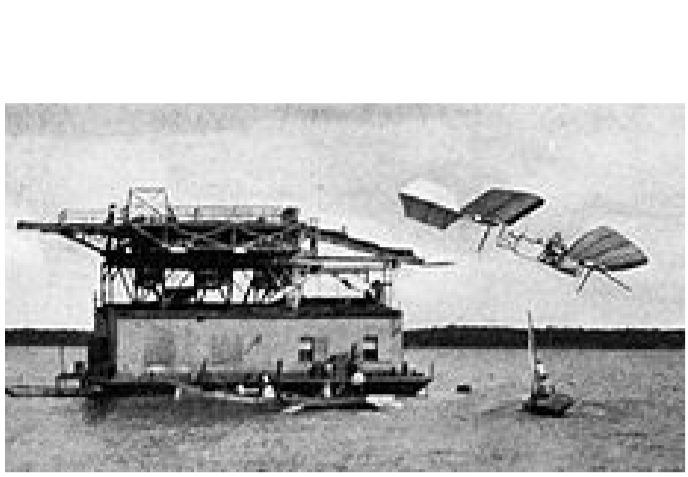


## 空力弾性とは？

航空機が滞空する為に、航空機の重量に応じた空気力が航空機へ働いている。大型機では何十～何百トンの重さになる。この力が航空機へ働けば、航空機は変形する。変形により航空機周りの流れが変化し、空気力が変化する。この様な空気力の作用で航空機が損傷しない様にする必要がある。更に、空気力が振動的になると「フラッタ」と呼ばれる危険な現象も起きる。

### 過去の空弾現象の例1

Wright Fryer号以前に、実験されたSamuel Langleyの動力付き飛行機がダイバージェンスを発生(強風で傘がまくれる等)



出典: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tacoma\\_Narrows\\_Bridge\\_2009.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tacoma_Narrows_Bridge_2009.jpg)



出典: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tacoma\\_Narrows\\_Bridge\\_2009.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tacoma_Narrows_Bridge_2009.jpg)

### 過去の空弾現象の例2

タコマ橋(アメリカのつり橋。強い風により振動し、崩壊)

### 安全な機体の製作に必要な事は

- どんな空力弾性現象が問題になるかを特定しないといけない
- 高精度な解析で詳細把握 → 技術①
- 効率的な実験で詳細把握 → 技術②
- 遷音速で発生する空力弾性性能悪化への対応 → 技術③

### 空力、振動に耐えられる機体を設計する

- 高精度な解析 → 技術①
- 効率的な試験環境を提供する設備 → 技術②
- 遷音速フラッタ試験設備 → 技術③
- 空弾不安定の制御による抑制ACT (Active Control Technology)
- フラッタを制御により抑制AFS (Active Flutter Suppression)
- 過大荷重を制御により抑制GLA (Gust Load Alleviation) → 技術③

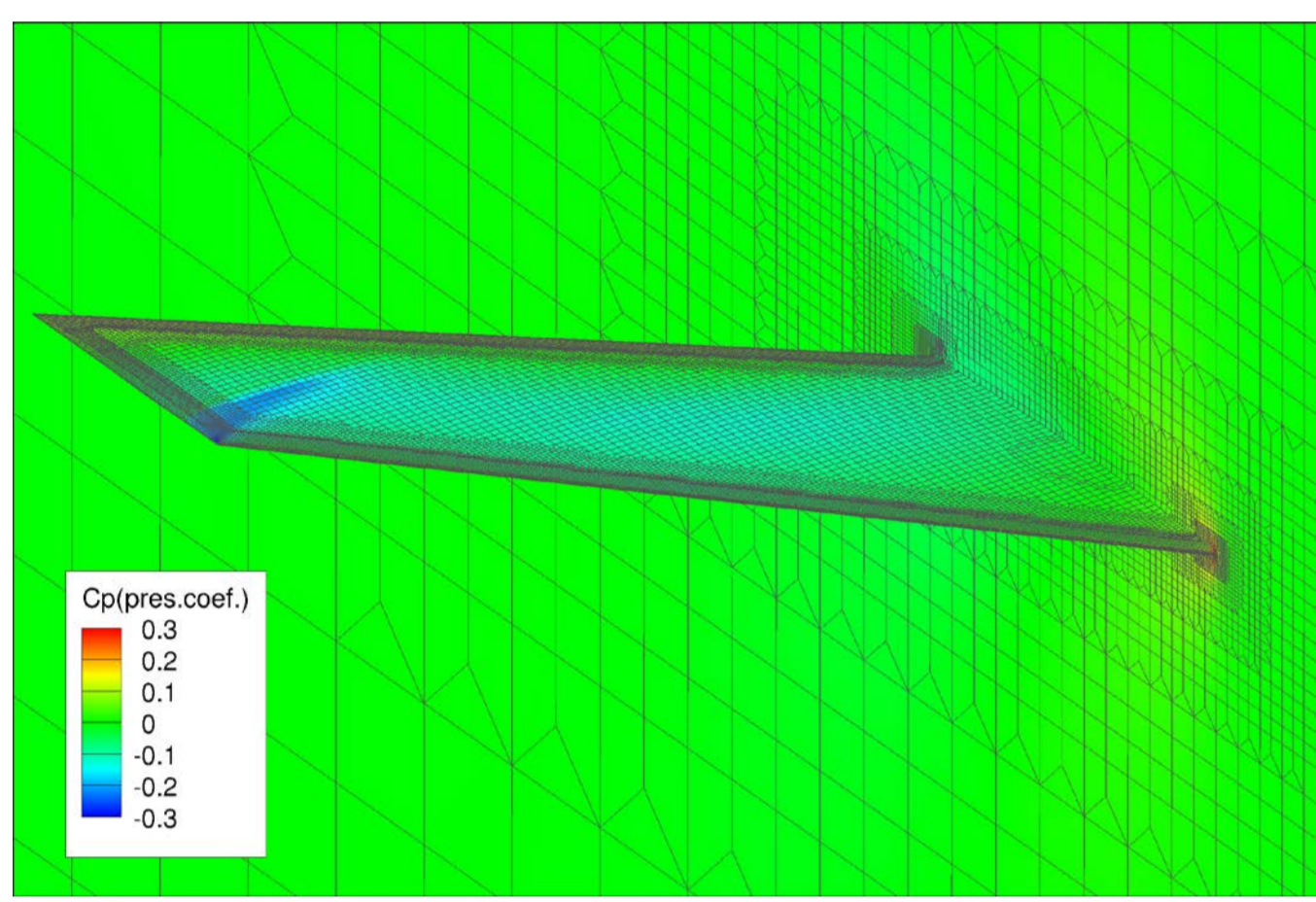
### 空力弾性現象を賢く利用

- 光ファイバセンサを用いたひずみ計測技術 → 技術④
- 柔軟翼の制御 (空気力により生じる機体設計時の形状から外れる変形を改善) → 技術⑤

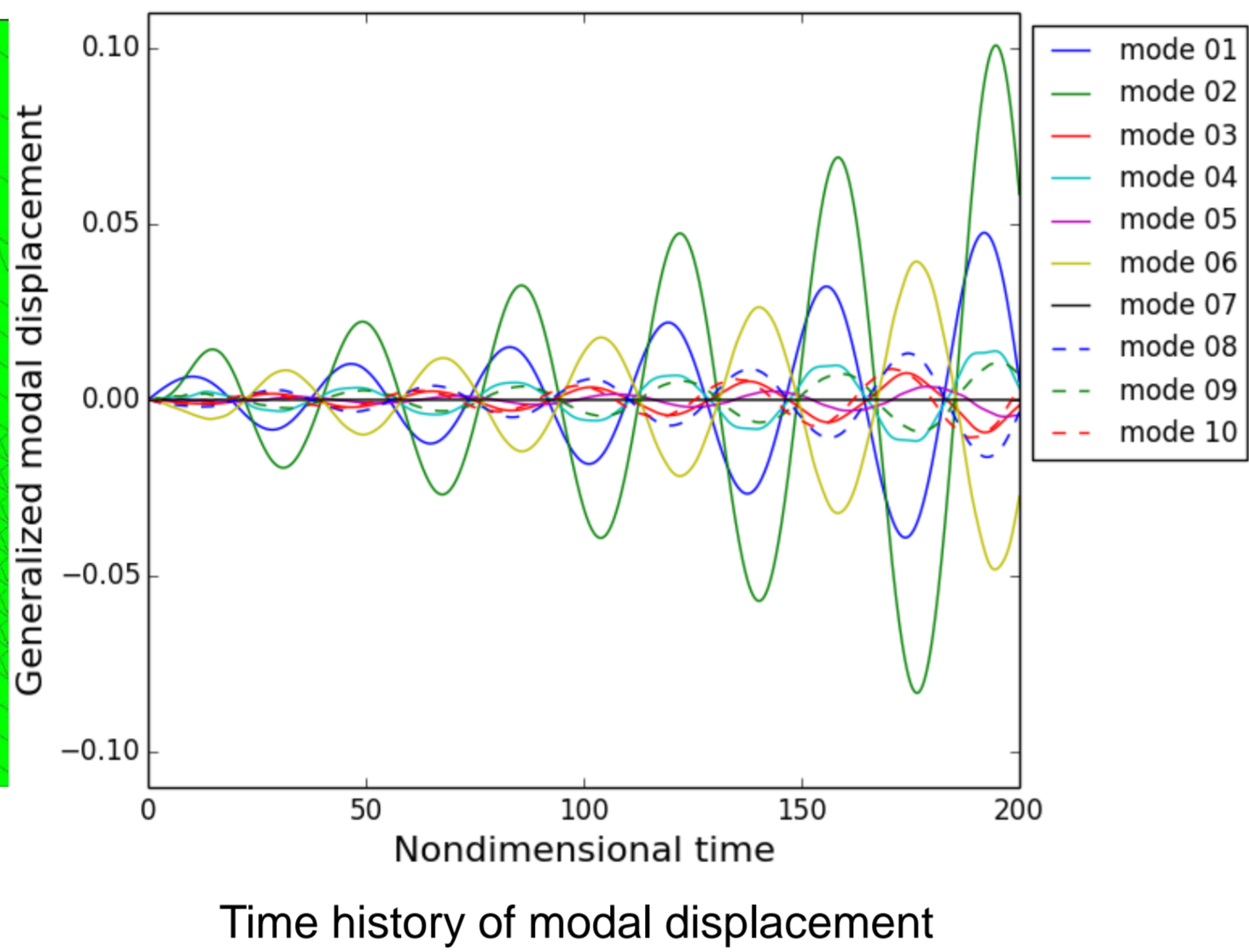
## 技術①: 高度な解析技術

### (非線形空力弾性解析技術)

航空機設計における空力弾性解析は、線形解析が主流であるが、より高精度な解析を行うためには、衝撃波や剥離などの空気力の非線形性、大変形による構造の幾何学的非線形性を考慮した解析が必要である。JAXAで開発しているCFDソルバー "FaSTAR" をベースとした非線形空力弾性解析プログラムを開発している。



AGARD 445.6 Wing Model

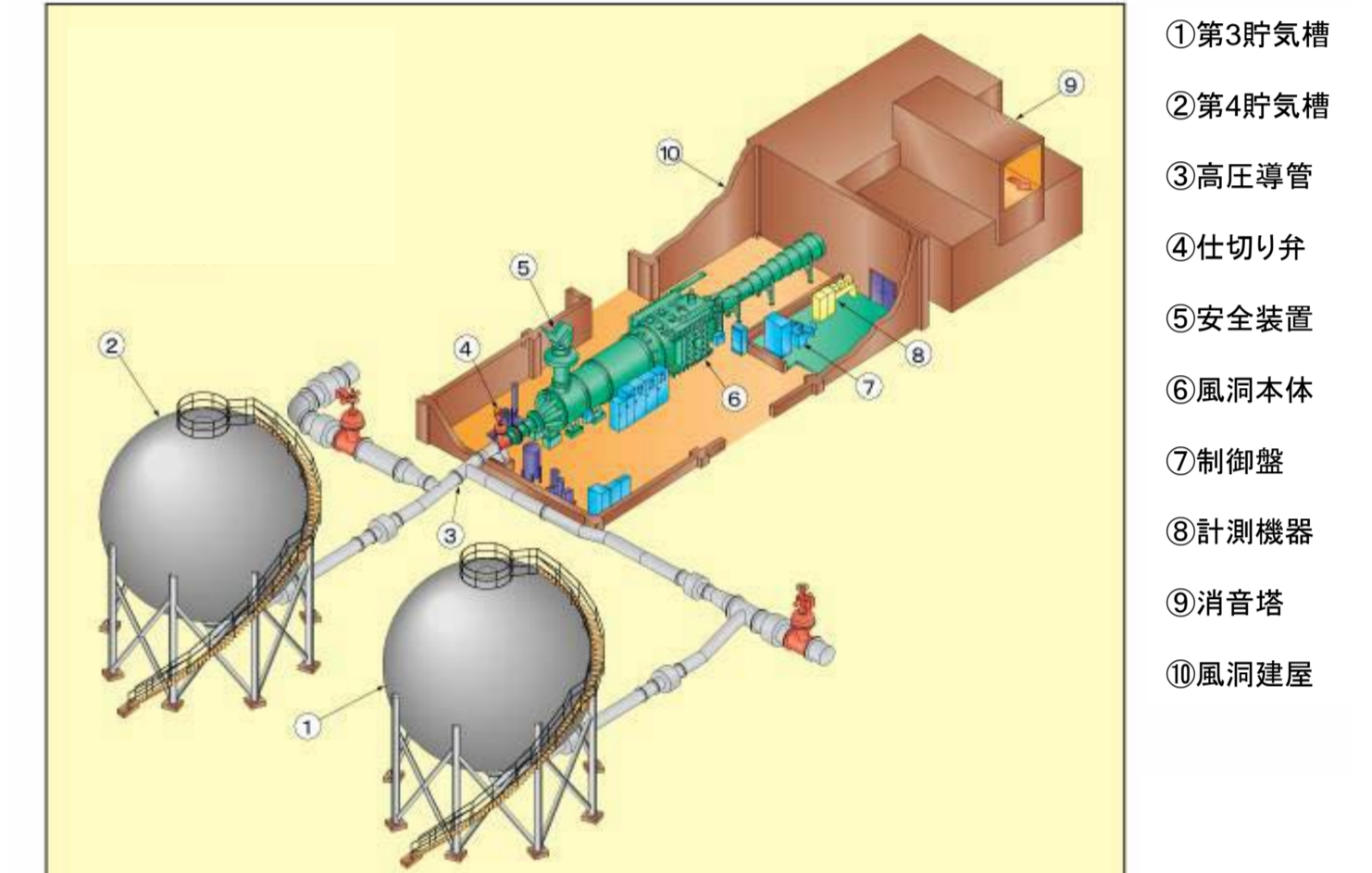


Time history of modal displacement

## 技術②: 効率的な実験で詳細把握

実験での要求事項と遷音速フラッタ試験設備(FWT)フラッタ等の空力弾性現象は、構造の慣性力と弾性力さらに空気力が加わり発生する。これらは容易に構造を破壊する現象である為、試験方法は一般的な風洞試験とは異なり、試験設備は以下の様な能力を必要とする。

実験での要求事項	FWTの能力
フラッタ条件を探るため多く の条件で試験	間欠吹き出し式の通風。探る条件に応じて気流制御を<固定>、<M数スイープ>、<全圧スイープ>、<M数比列スイープ>で可能に。全圧制御 150~400MPa (Abs)
フラッタが起き易くなる遷音速で試験	M数0.60~1.20で通風
セミスパン、フルスパン、等、複数のタイプの試験	打ち出し装置、側壁直接固定、スティング、二次元支持

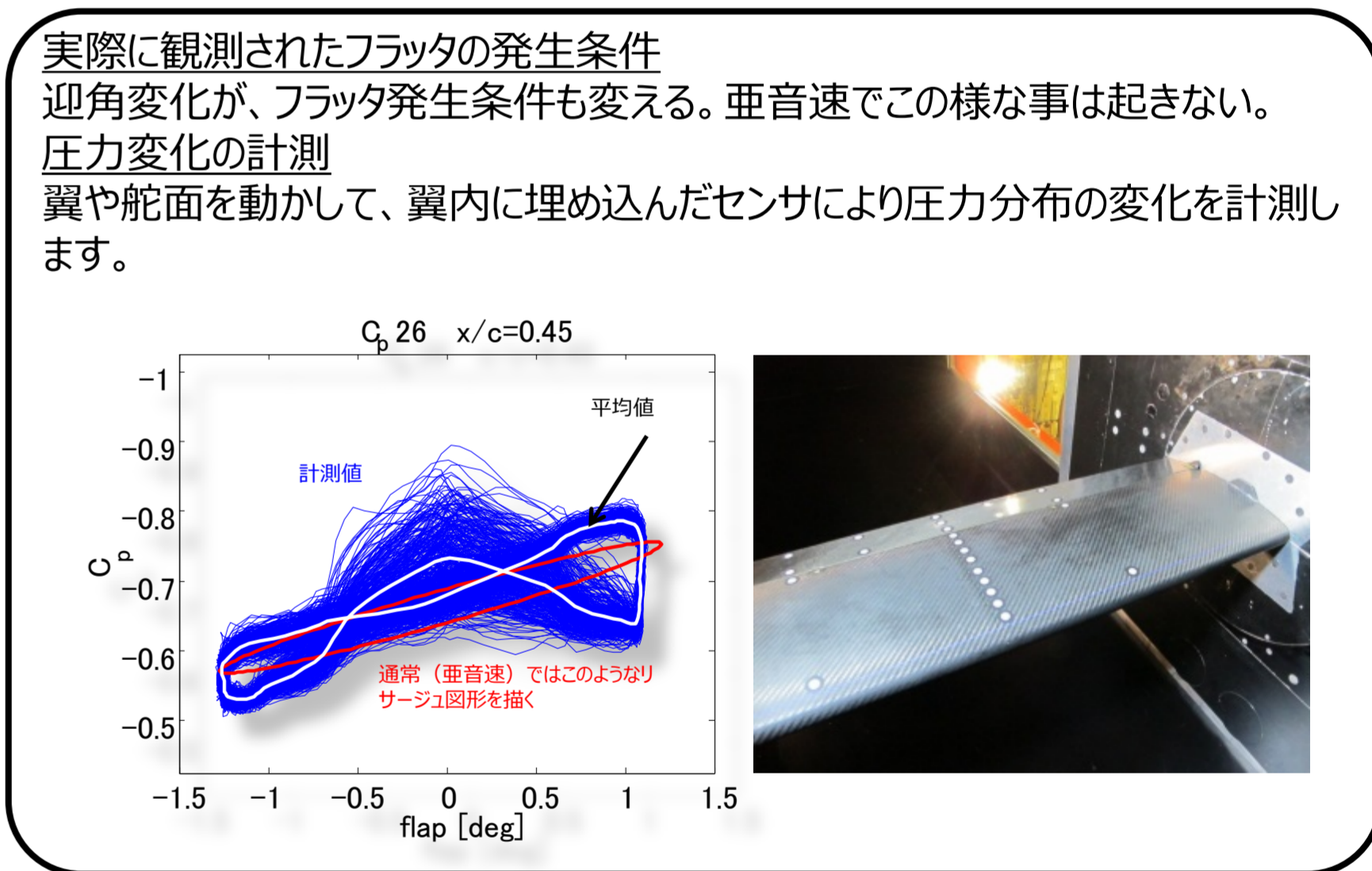
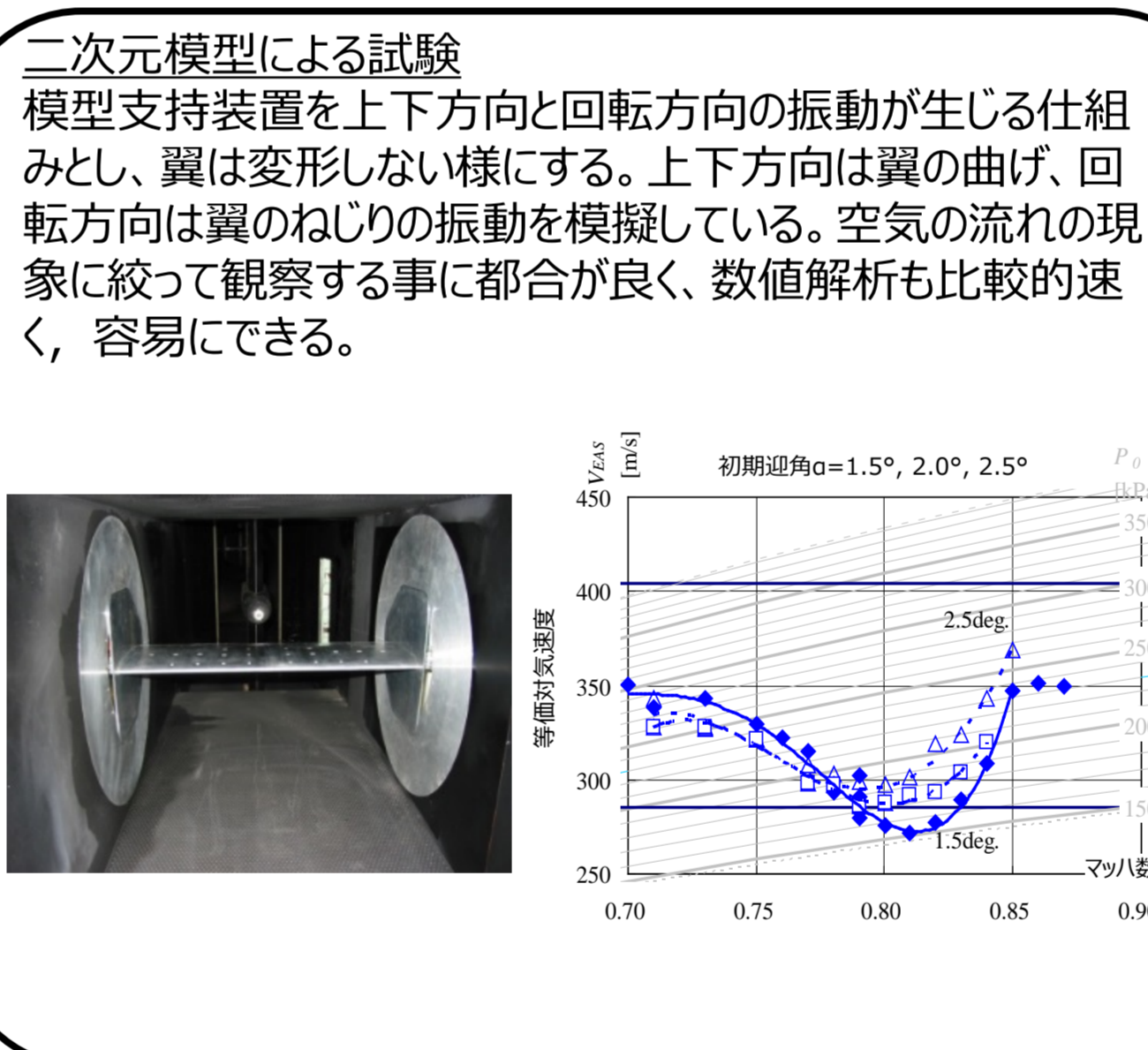
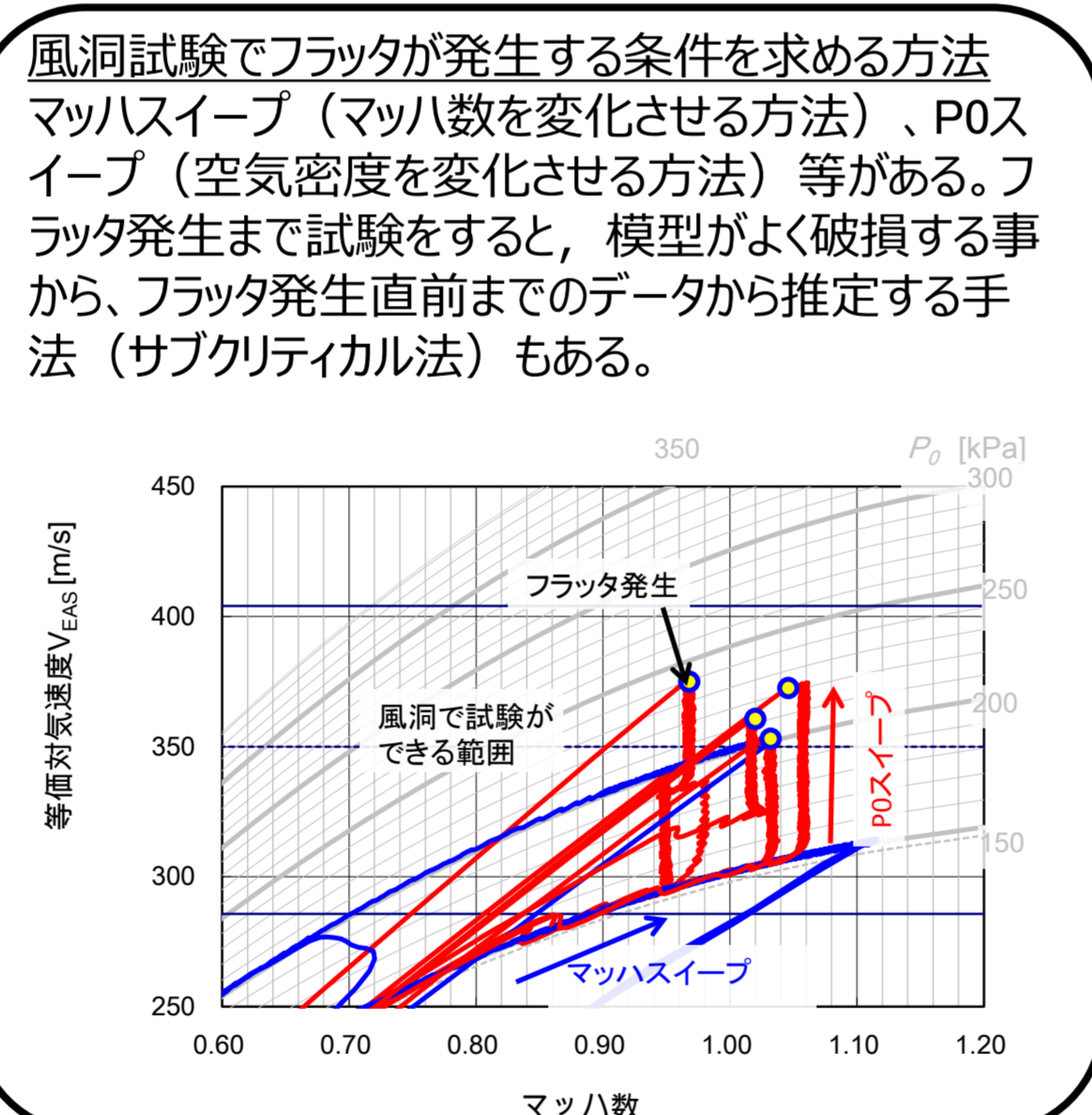
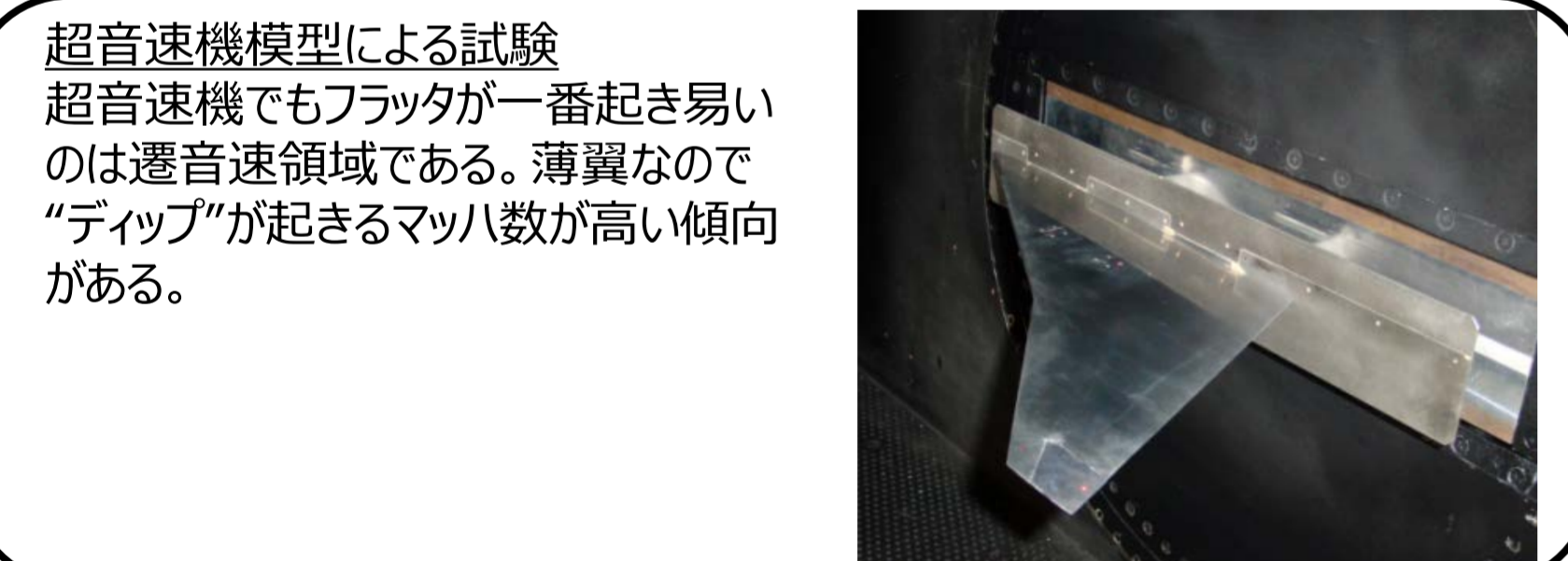
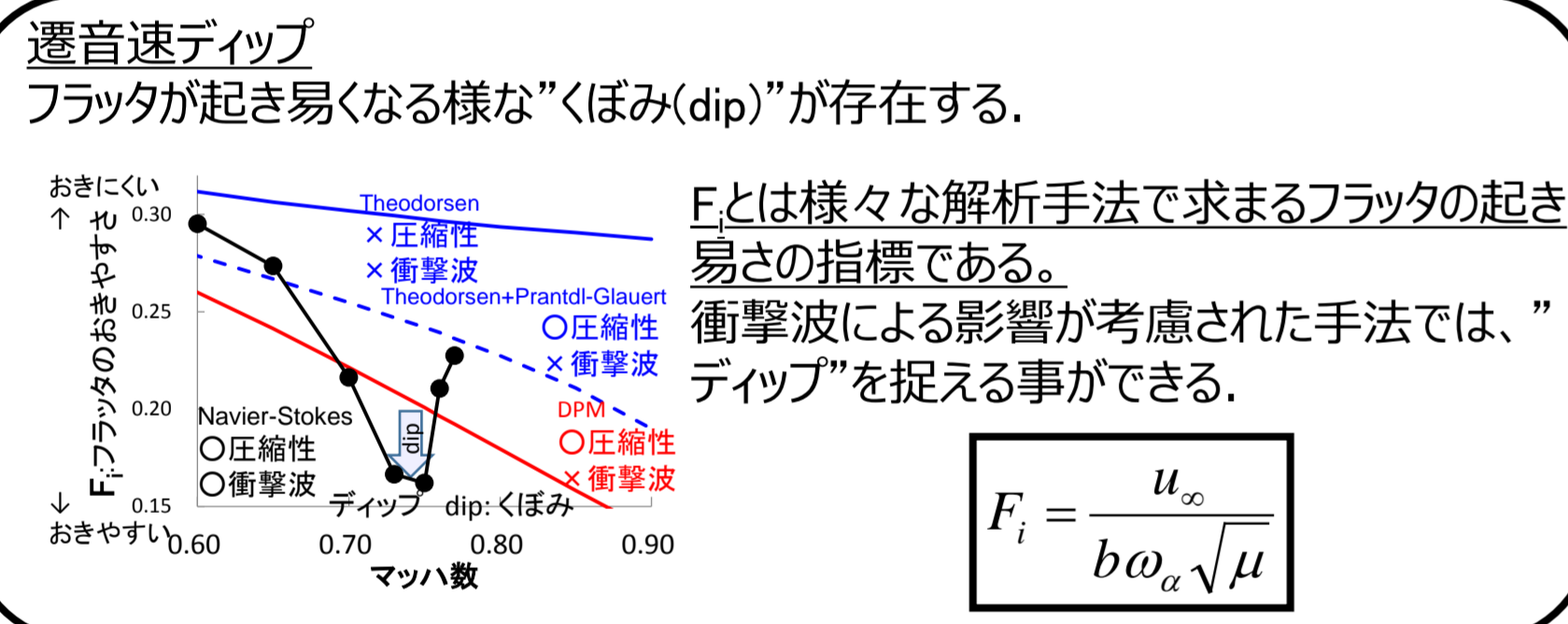


A Bird's-Eye View of FWT

## 技術③: 遷音速で発生する空力弾性性能悪化への対応

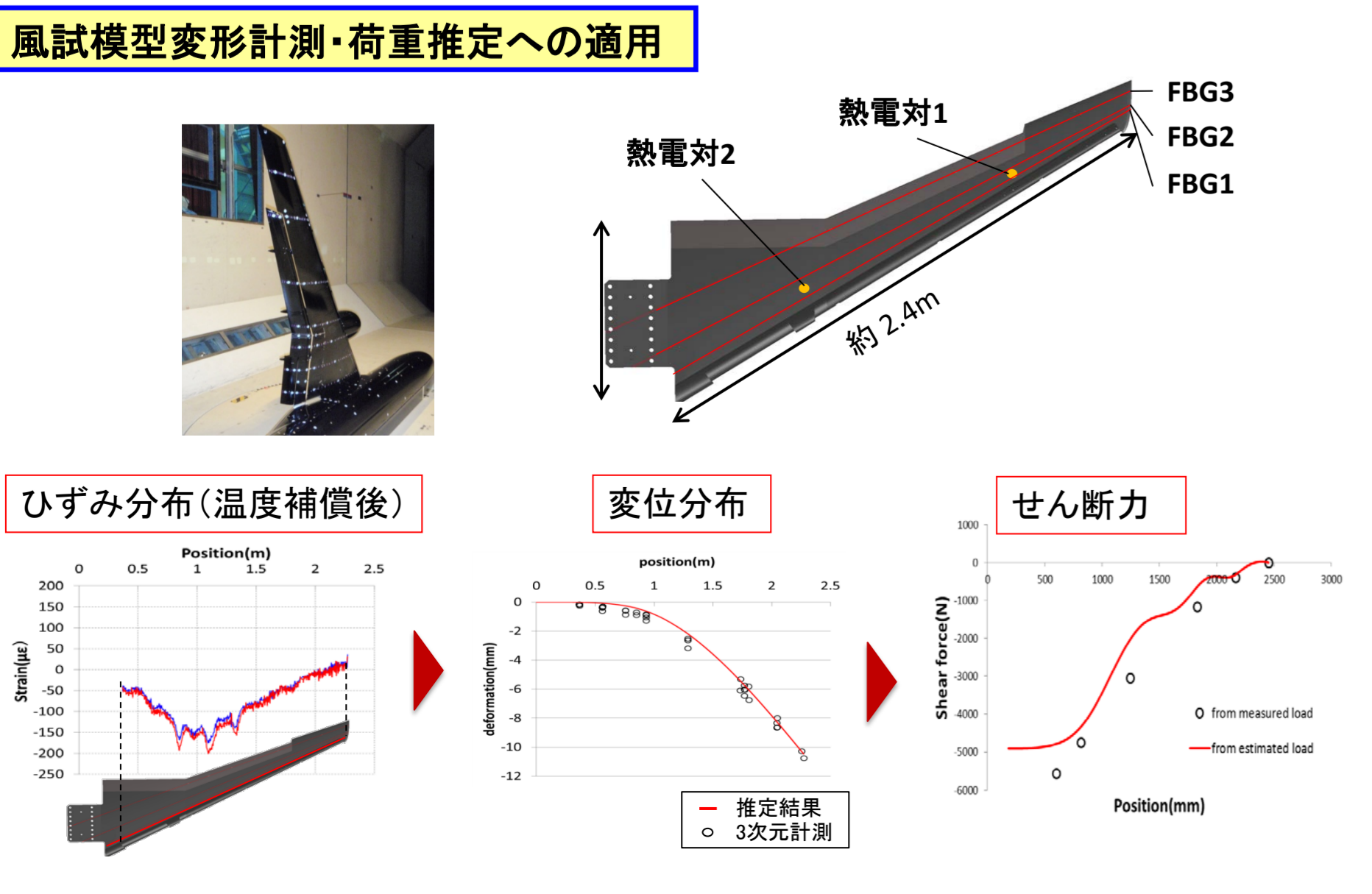
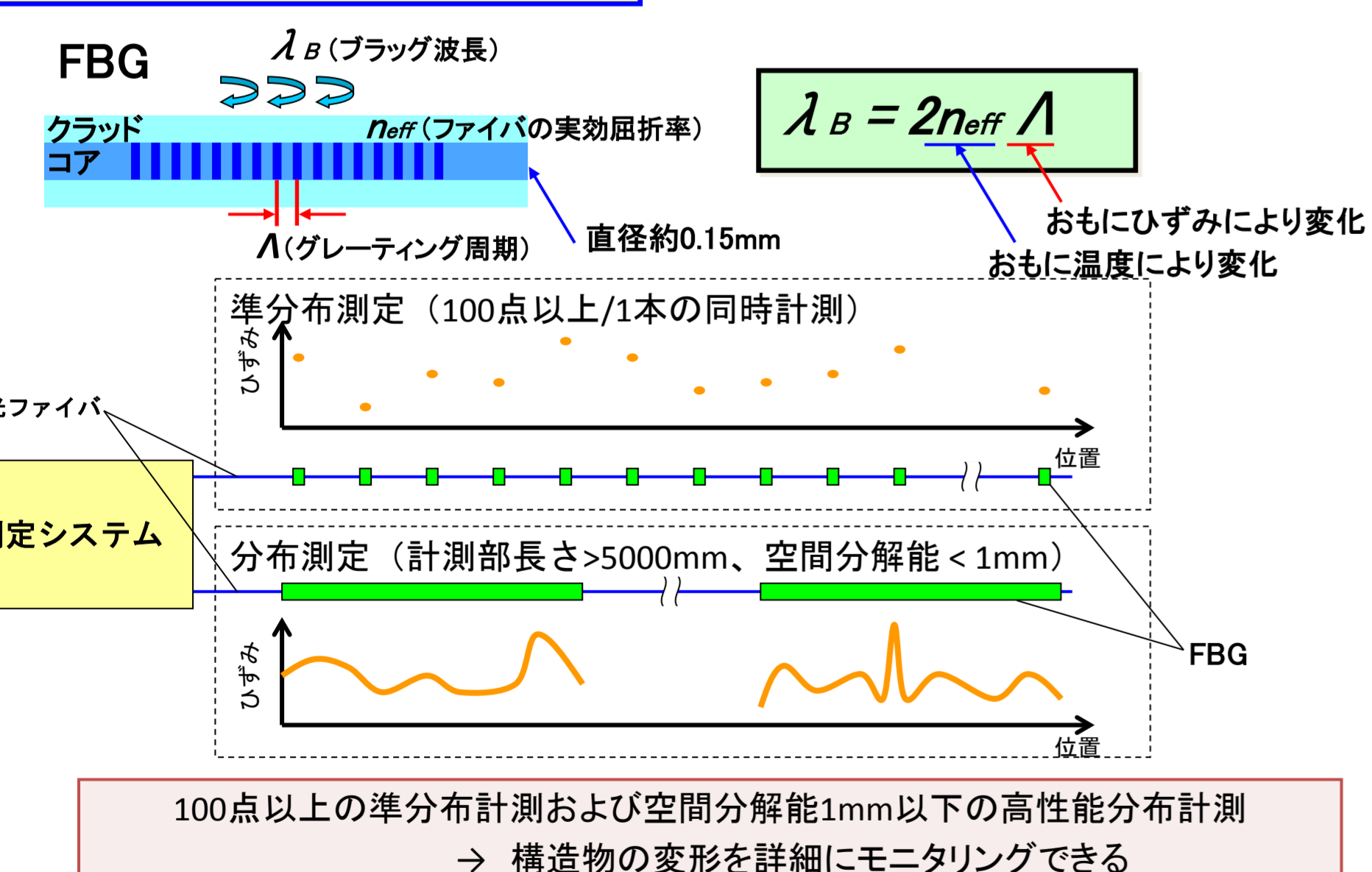
### 遷音速領域の空力弾性特性

遷音速で発生する亜音速と超音速の境界に「衝撃波」が生じる事があり、その前後に大きな圧力差が生じる。遷音速領域ではディップやリミットサイクル振動等の現象があり、その特性を精度よく把握できるよう、研究をしている。



## 技術④: 光ファイバセンサを用いたひずみ計測技術

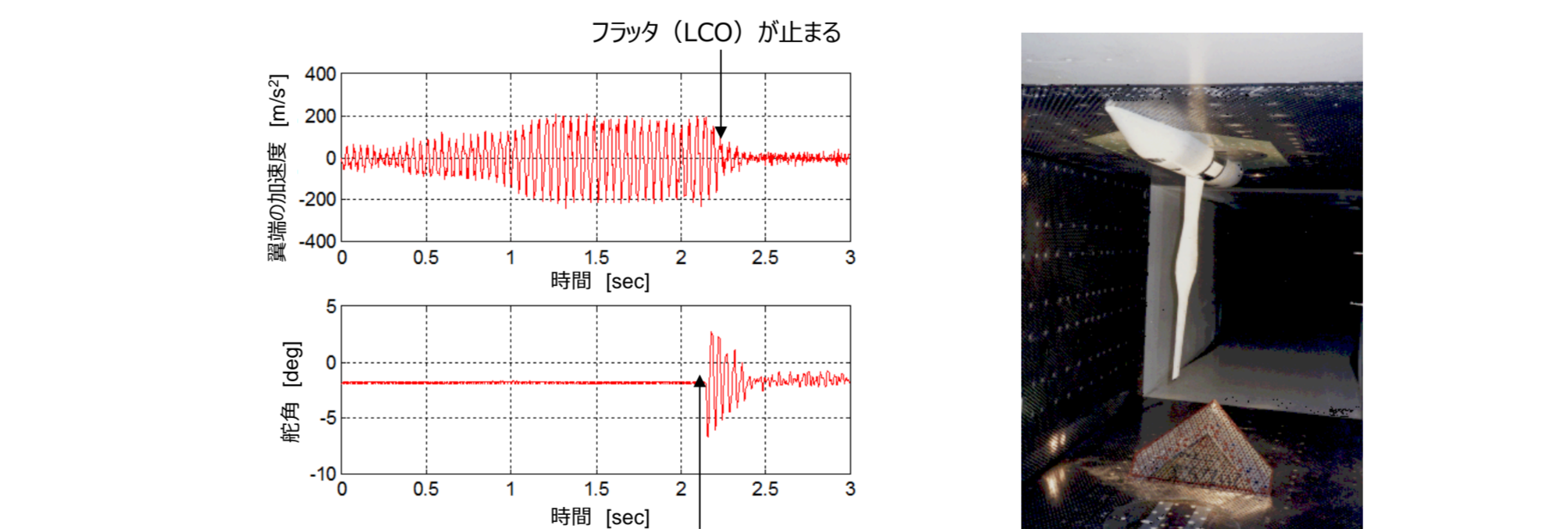
### JAXA開発の光ファイバ計測システム



### 空力弾性制御

翼にあるエルロン等の「補助翼」を使用し、フラッタを起き難くしたり、振動を抑制する。歪や加速度計により翼の状態を計測し、その信号を基に補助翼を駆動する。

**フラッタ制御 (Active Flutter Suppression, AFS)**  
フラッタ余裕増大 (Flutter Margin Augmentation, FMA)  
制御により、フラッタを止めたり、フラッタを起き難くする。

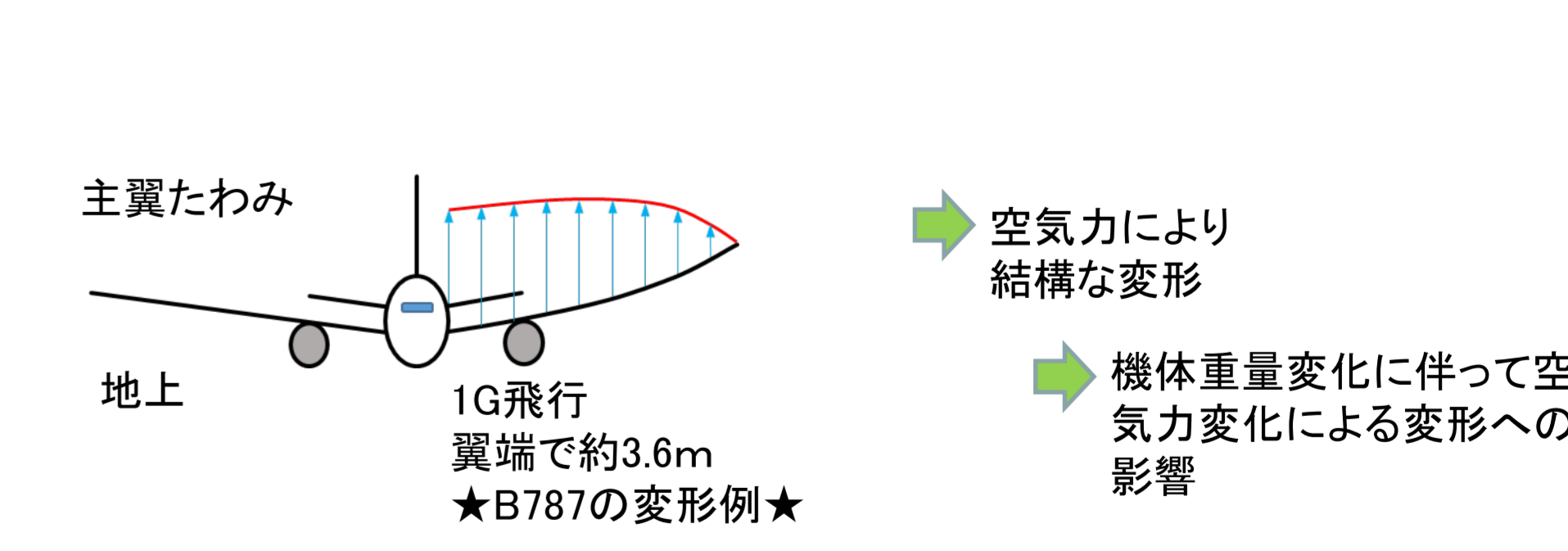


**突風荷重軽減 (Gust Load Alleviation, GLA)**  
突風を受ける事により生じる翼にかかる力や歪を抑制する。制御の仕組みはAFS, FMAと同じである。現在「ライダー」により航空機前方の気流を計測する事で、より大きな突風で生じる運動や荷重に対しても、抑制する研究も行っている。

**リミットサイクル振動 (Limit Cycle Oscillation, LCO)**  
リミットサイクル振動とは、一定の周期・振幅で振動し続ける現象で、少し振動を乱す力を与えても、元の振動の状態に戻る性質のある現象をいう。遷音速領域のフラッタは、リミットサイクル振動となる事例が多い事が知られている。例えば、振幅増加の過程で剥離が生じてそれ以上振幅を増加する力が作用しない事により、このような現象が起きる。

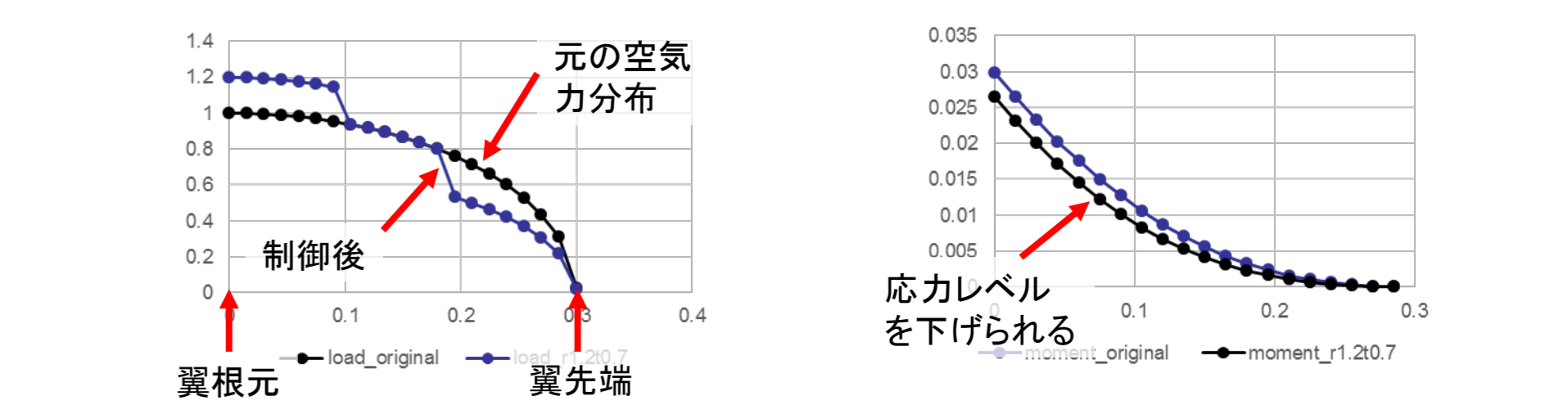
## 技術⑤: 柔軟翼の制御

機能化構造とは？  
「航空機の空力性能や飛行性能を、飛行中に高めて行ける技術」  
具体的には、航空機構造、特に飛行中の翼変形を技術④を使って把握し、空力性能や機体の安全性を向上できる様な翼形状に変形させる。結果として、燃費向上や機体重量低減につながる



変形のさせ方は？  
翼の前後縁を少し動かし翼に働く空気力分布を変え、これにより翼全体の変形を引き起こす

飛行方法等により翼に働く空気力が変化する。場合により、材料強度を超えたり力がかかる可能性もある  
材料の内部の応力が大きくなりすぎないように翼に働く空気力分布を制御します



**用語、記号**  
マッハ数(M)  
音速の何倍の速さを表す量。音速はM=1。音速は温度により異なり、地上(15°C)では約331m/s、高度10,000m(-50°C)では約296m/s。航空機の周りの圧力分布はマッハ数とともに変化する。  
遷音速  
音速(M=1)付近で航空機の周りの流れが亜音速(M<1)と超音速(M>1)の状態が混在する速度領域。  
迎角  
翼に対する空気の流れの角度。  
動圧(q<sub>d</sub>)  
空気の流れの力を表す量。q<sub>d</sub>=ρv<sup>2</sup>/2 (ρ:空気密度、v:流速)  
等価対気速度(V<sub>EAS</sub>)  
ある動圧の状態を地上の標準的な空気密度(ρ<sub>SL</sub>)におきかえた時に対応する速度。ρ<sub>d</sub>/2=ρ<sub>SL</sub>V<sub>EAS</sub><sup>2</sup>/2