

一定ゲイン拡張カルマンフィルタによるガスタービン／ジェットエンジンのリアルタイム性能推定

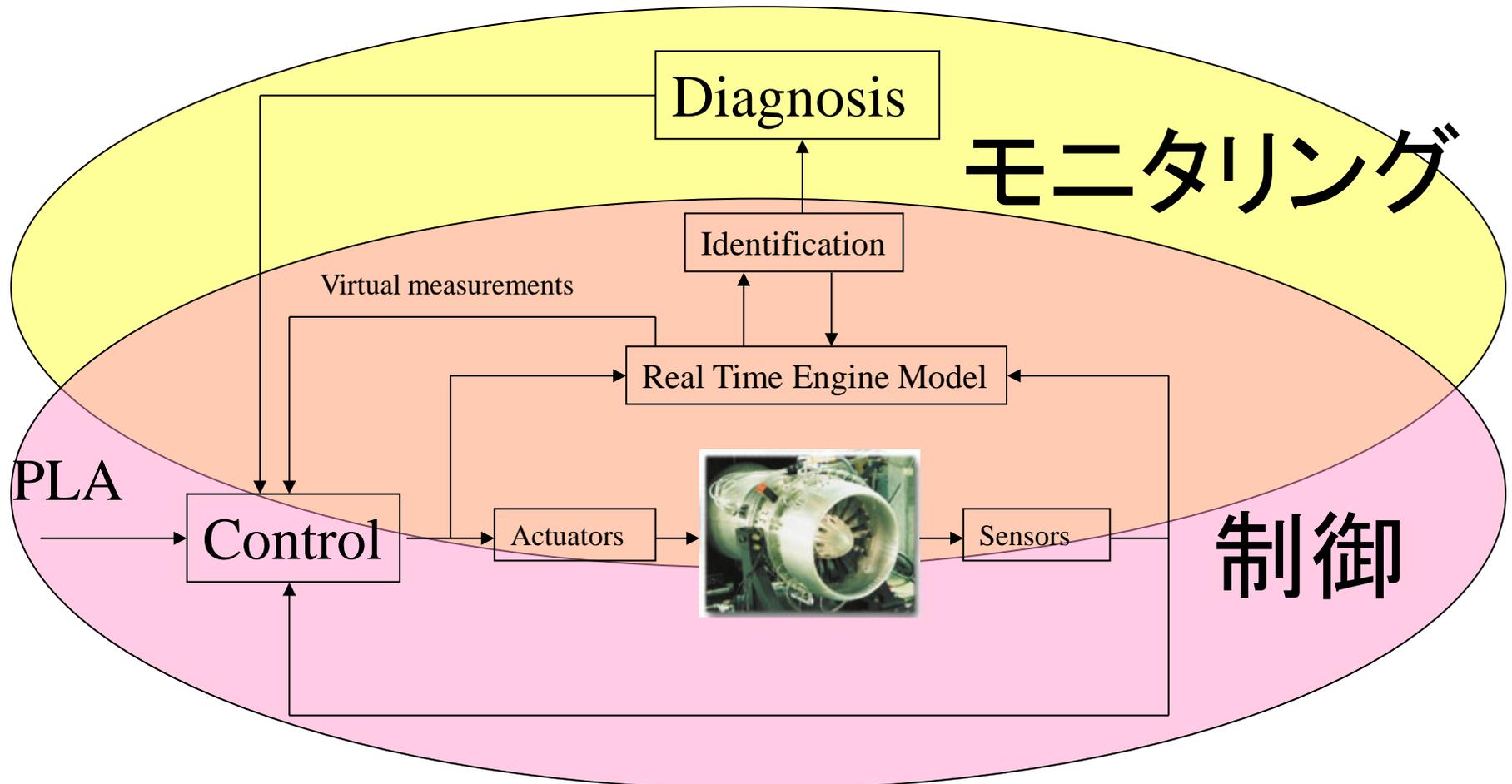
宇宙航空研究開発機構

航空技術部門

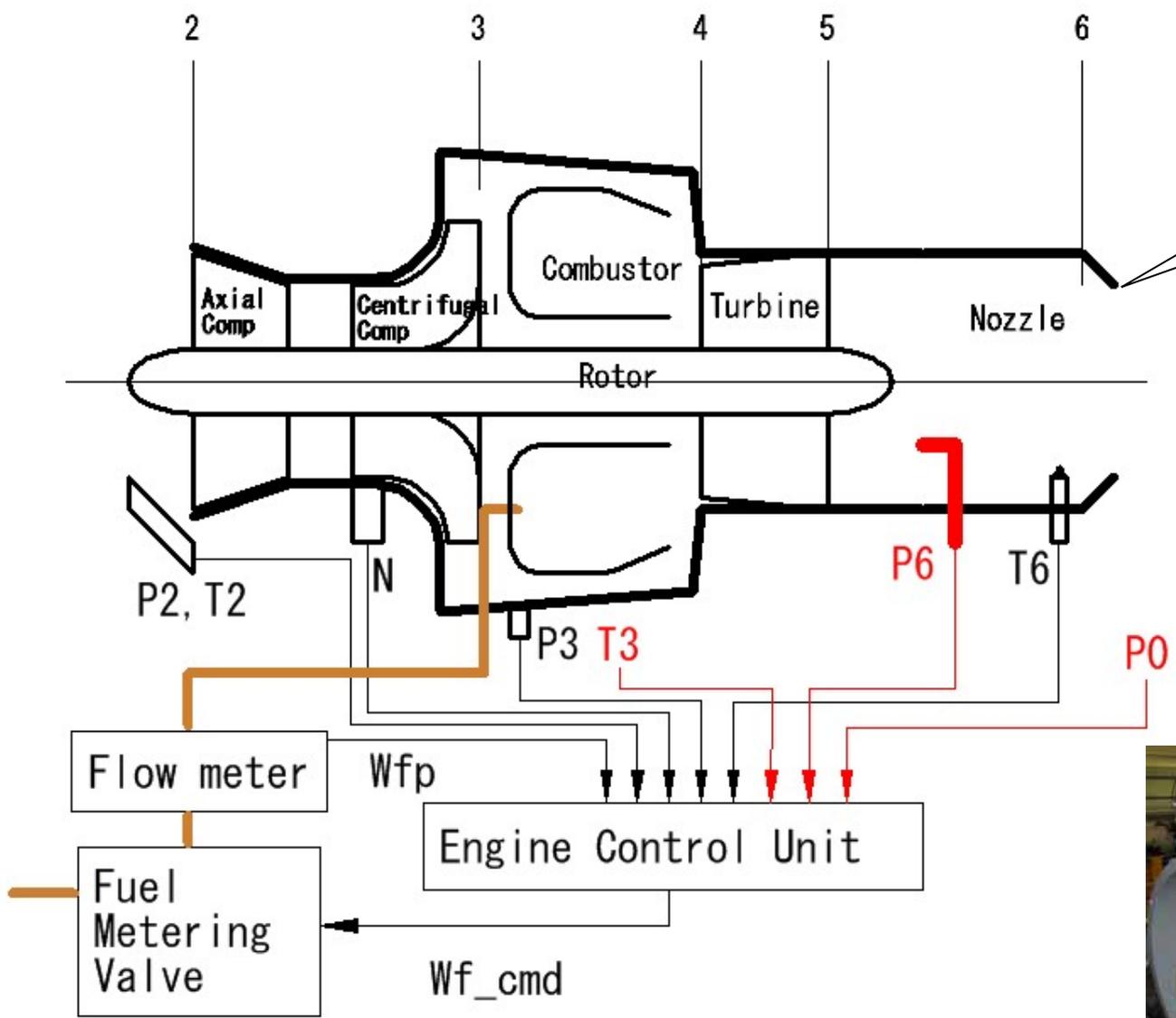
田頭 剛

航空エンジン用将来制御(モデルベース制御)の概要

性能追求制御、ヘルスマニタリング機能、自己診断・
予知機能を統合したヘルスマネジメントシステム



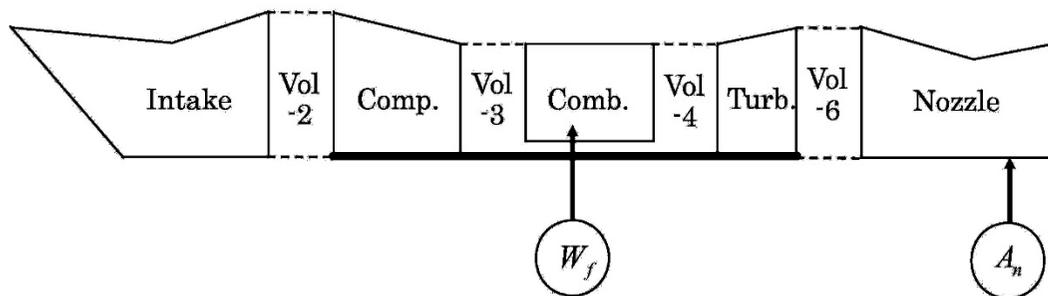
供試1軸ターボジェットエンジン



Variable Exit Area Nozzle

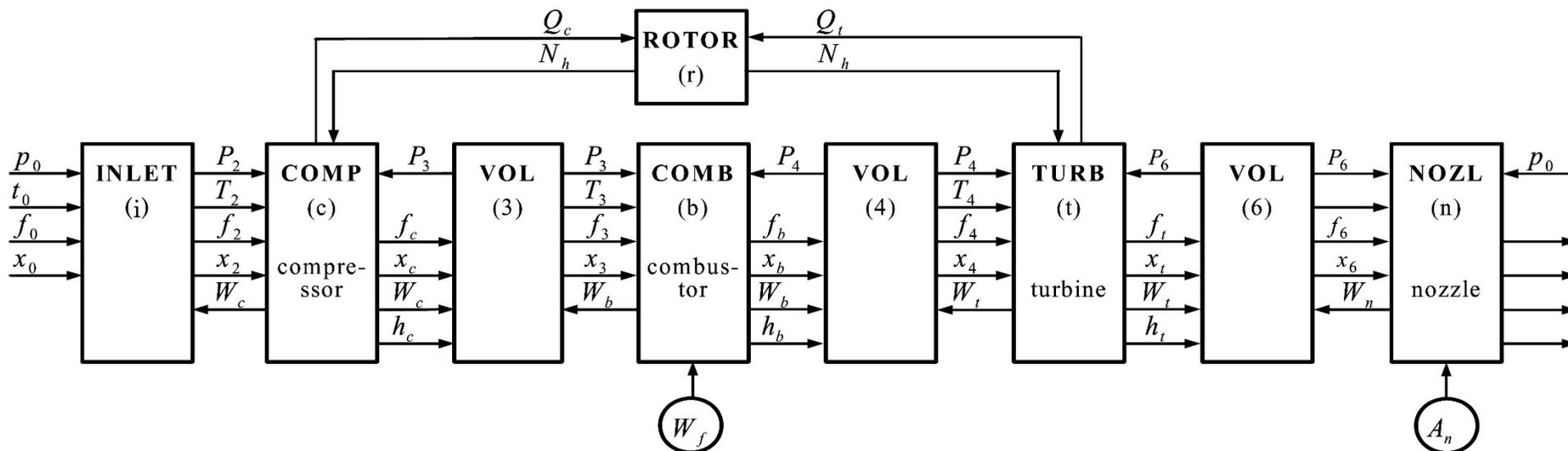


1軸ターボジェットエンジンの非線形シミュレーションモデル



	Execution Time [μ s]		
	mean	max	min
PentiumM 1.8GHz	16	51	15
PentiumIII 1.0GHz	30	60	28
PentiumIII 400MH	75	80	71

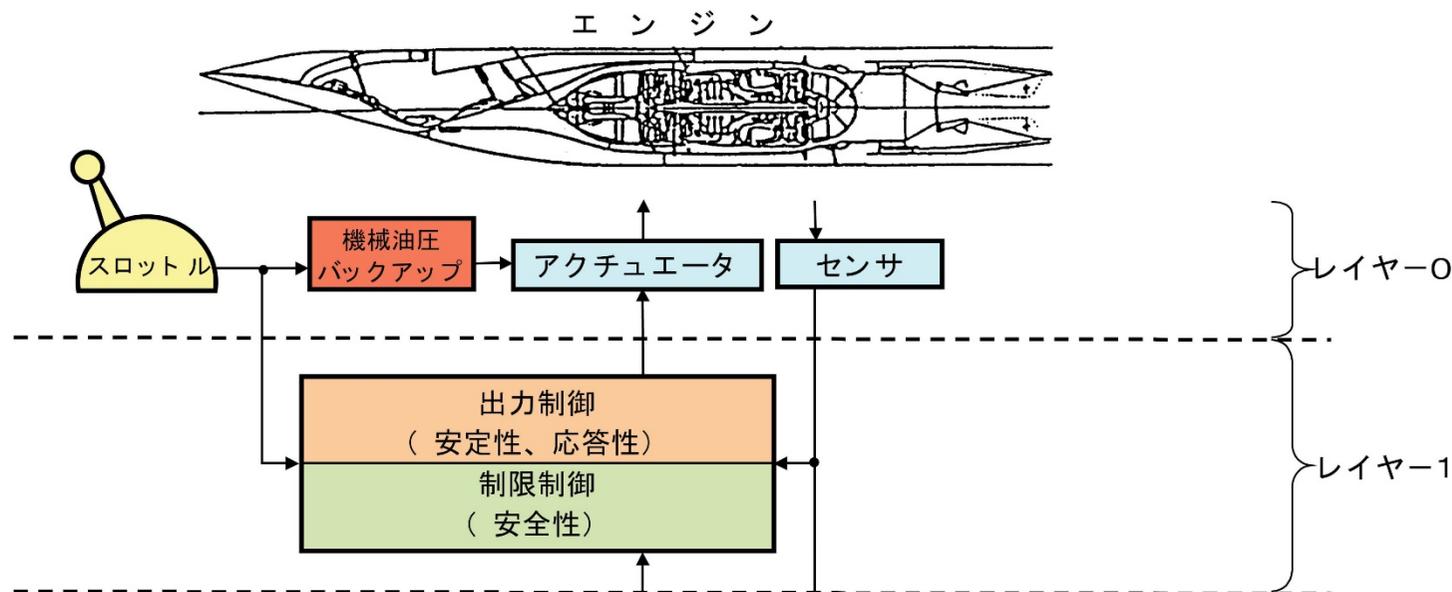
実行時間



ブロック図

将来FADECのシステム構成案

- ・FADECは単なる制御器からヘルスマネジメントシステムに進化する
- ・モデルベース制御は将来のFADECに絶対必要な技術

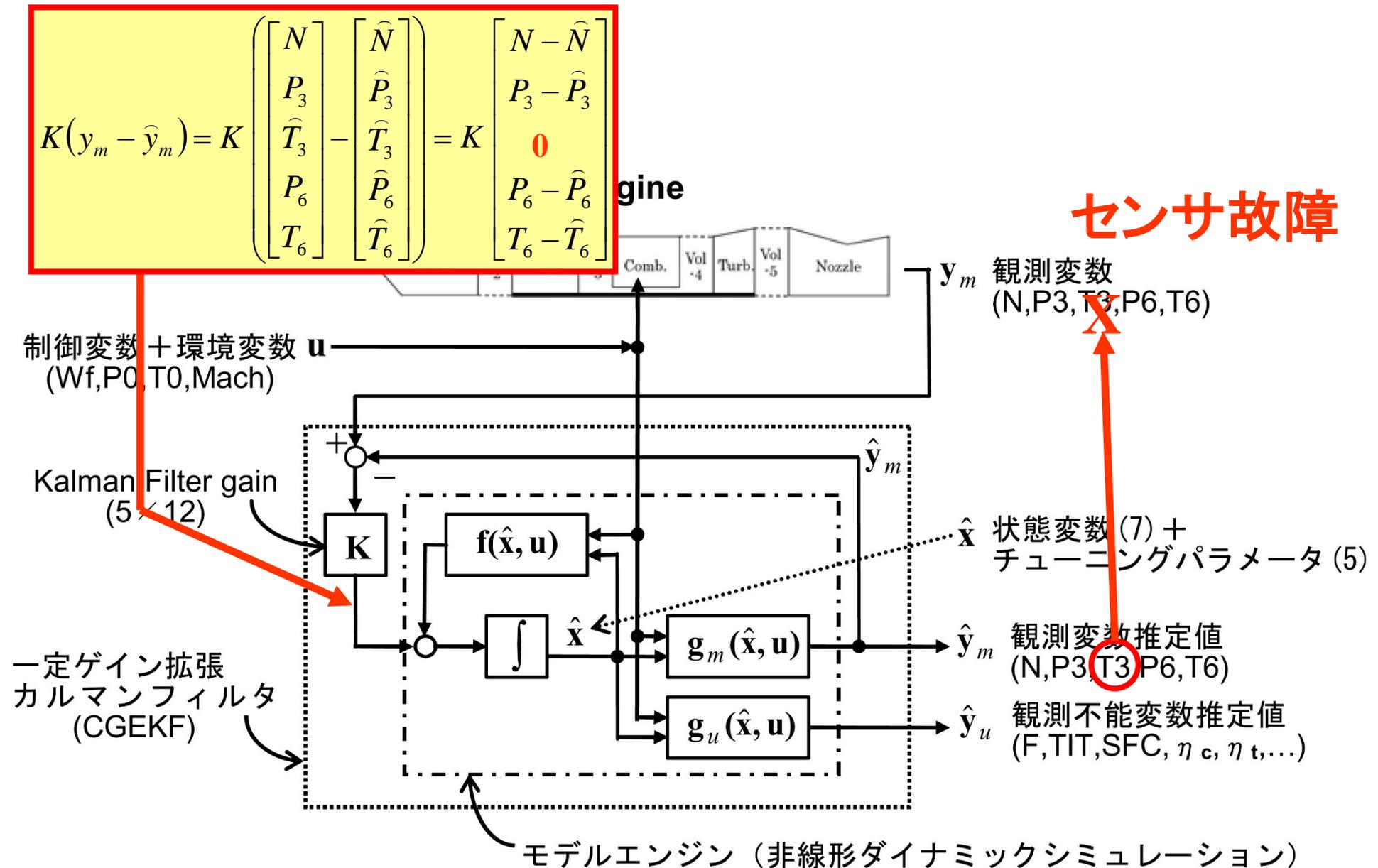


モデルベース制御のメリット

- エンジンの機差や経年劣化による性能変化に応じた制御が可能
- 計測不能パラメータによる制御
推力制御、SFC制御、サージマージン制御、TET制御、タービンメタル温度リミット制御、空燃比制御など
- センサの補償
- モニタリングに対するデータ・ツールの提供、モニタリングデータの蓄積
- 故障診断・予知診断からのフィードバック

一定ゲイン拡張カルマンフィルタ

Constant Gain Extended Kalman Filter (CGEKF)

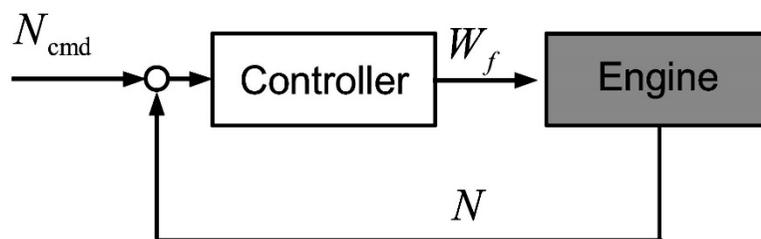


CGEKFについて(さらに補足)

- エンジンの1つの作動点でKを設計するため、**膨大なデータテーブルが必要でなく、組込み向き。**
- 理論的に**極めて安定なフィルタ**である。
- フィルタの大部分が非線形ダイナミックシミュレーションプログラムと同等なので、**計算の高速化が可能。**

Control System with CGEKF

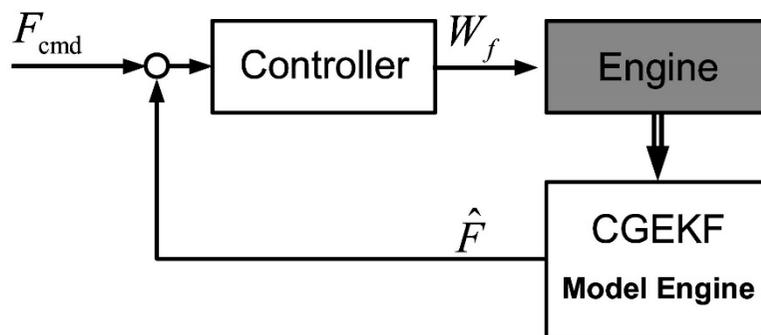
従来のフィードバック制御



(a) Sensor Based Speed Control

回転数を計測値で制御
(本当は回転数を制御したいわけではない)

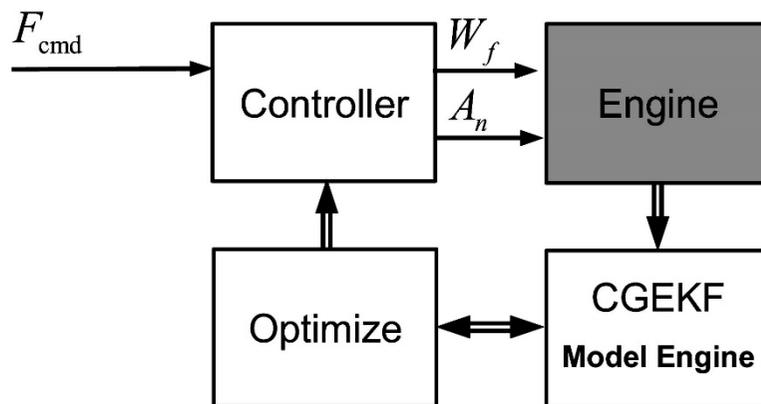
計測不能変数のフィードバック制御



(b) Model Based Thrust Control

推力を推定値で制御
(真に欲しいパラメータを制御)

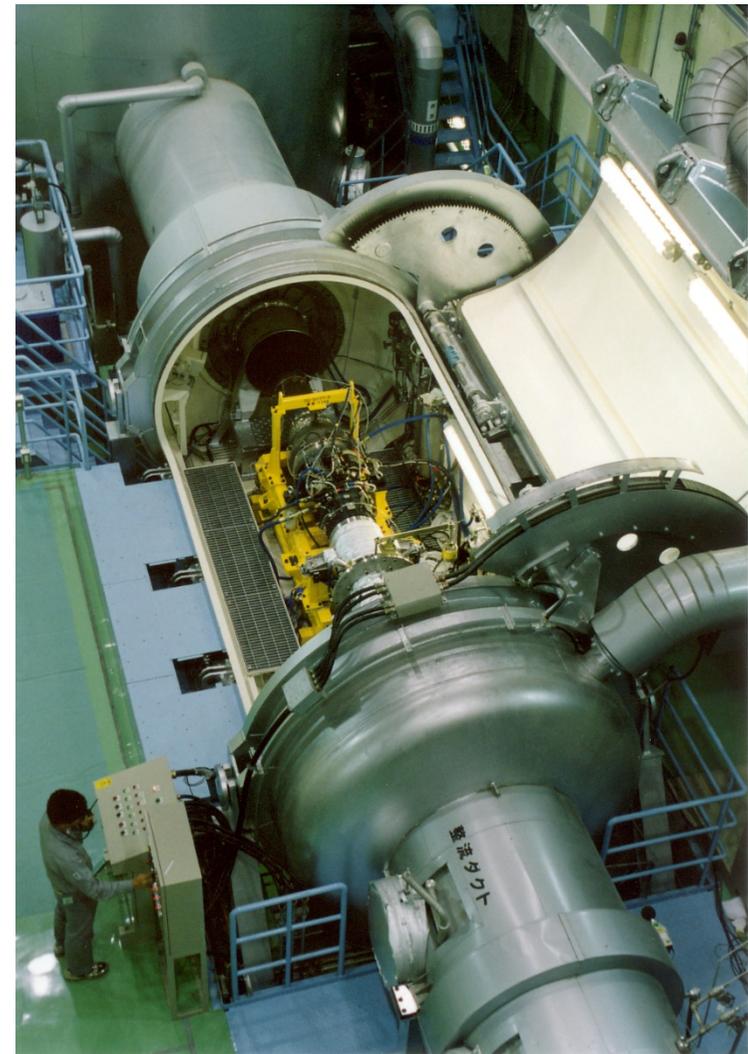
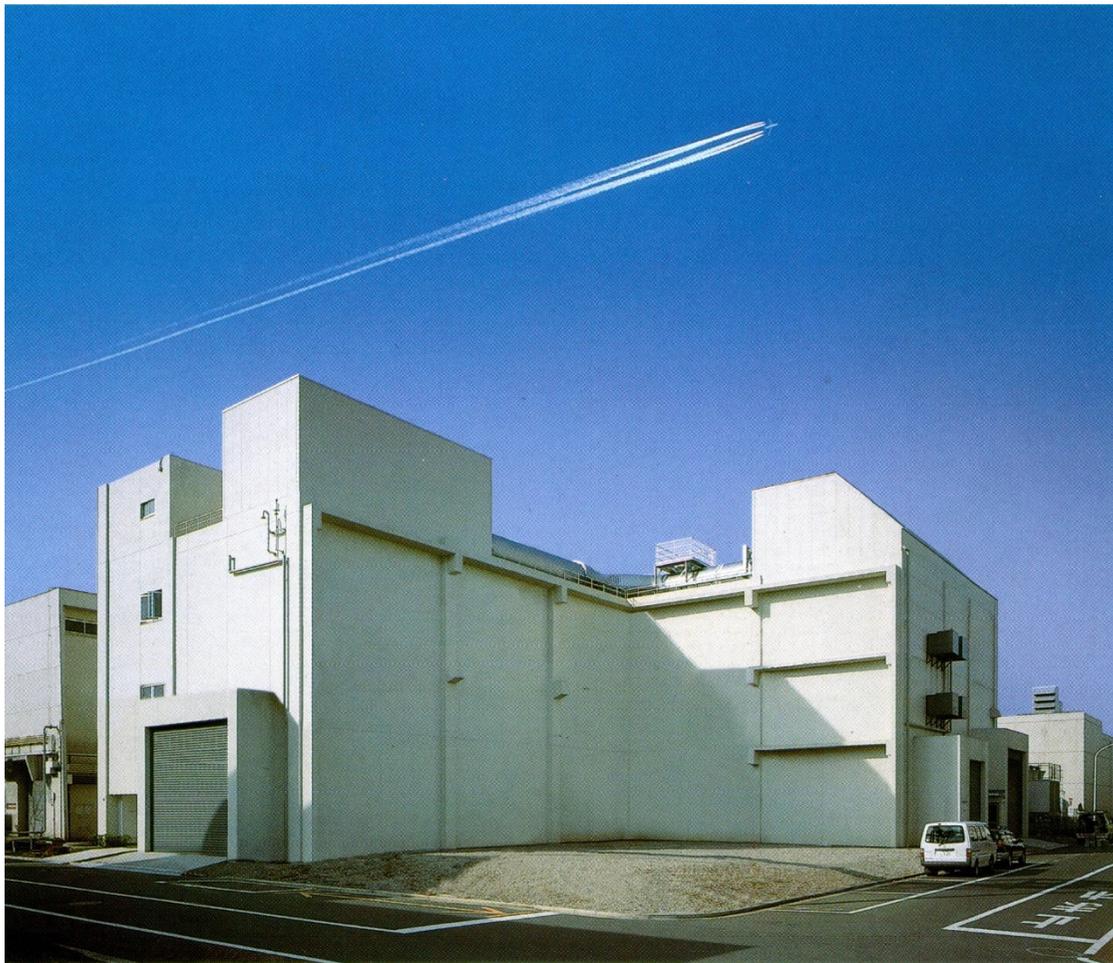
性能最適制御
(最小化制御)
(最大化制御)
(最適制御)

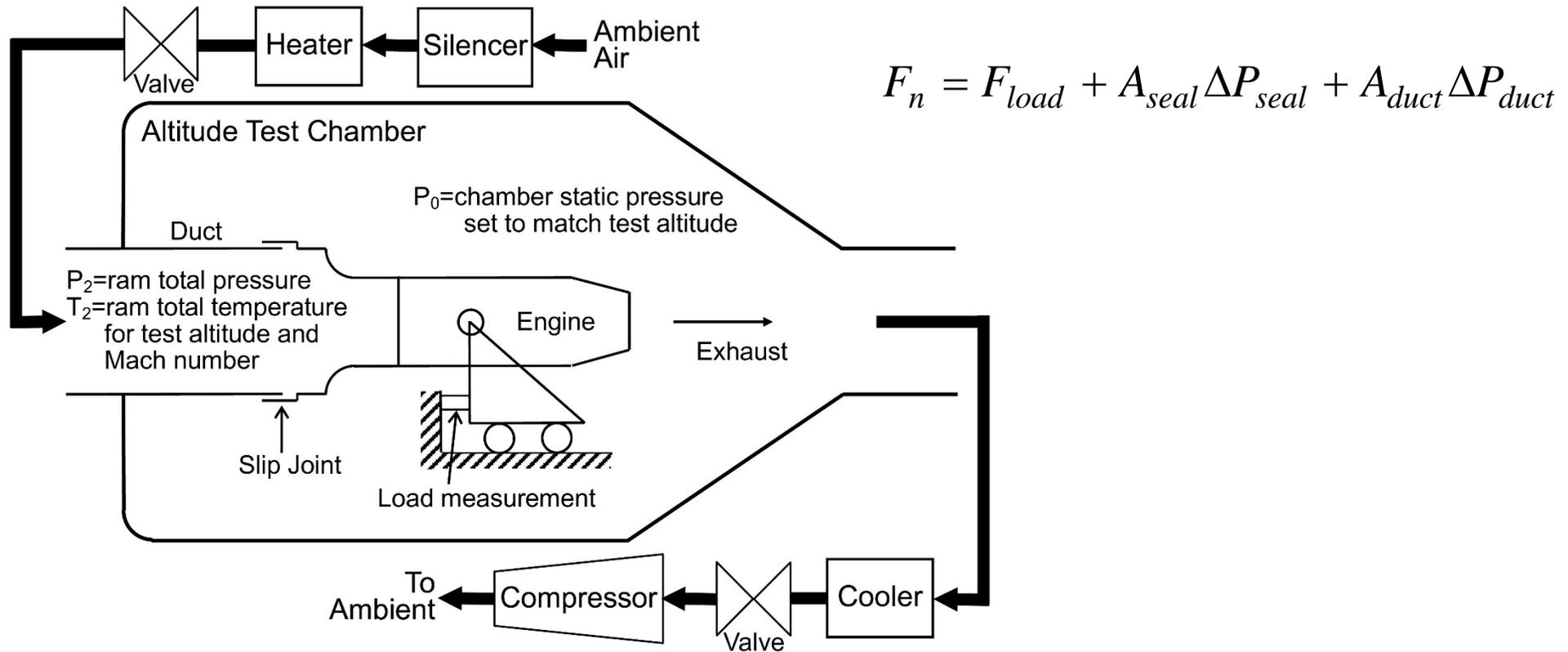


(c) Model Based Performance Seeking Control

同じ推力を最小燃料消費率で実現
(本当は回転数を制御したいわけではない)

JAXA 高空性能試験設備



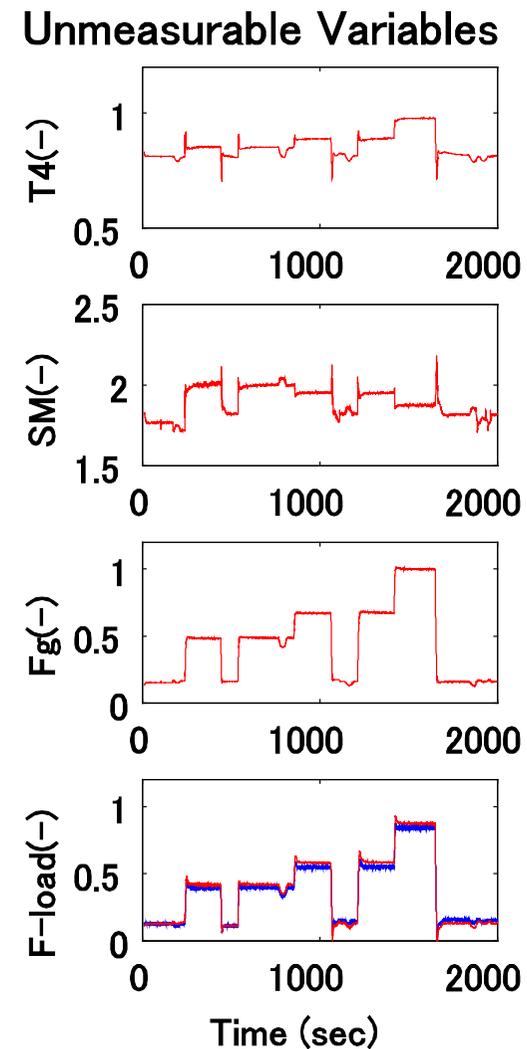
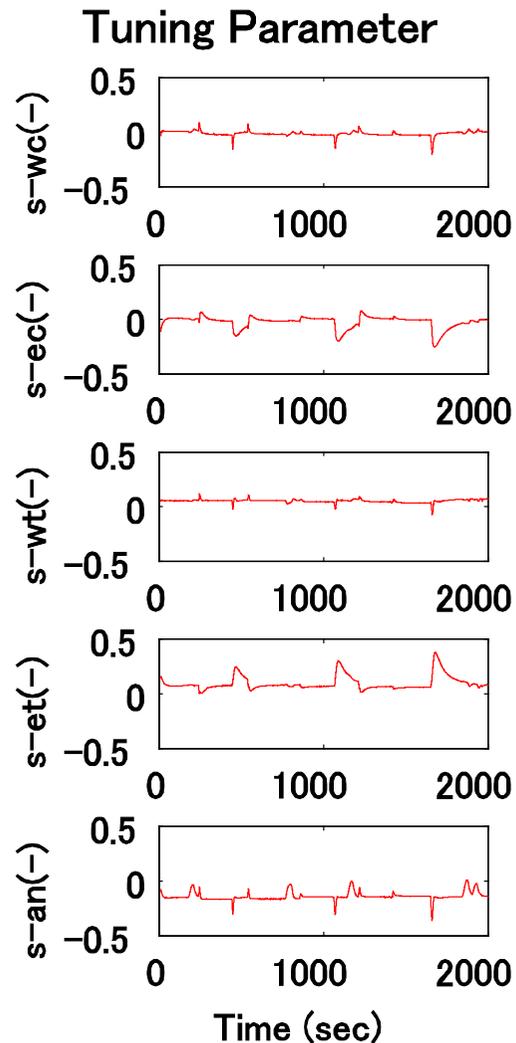
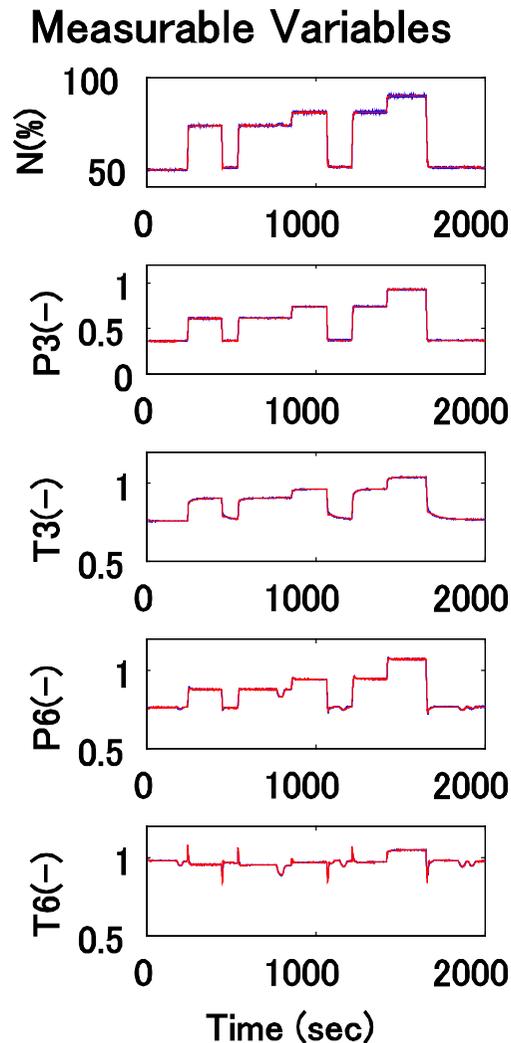


Flight Mach	Altitude	Standard Atmos. and Ideal Inlet				Test Condition				
		P_0 [kPa]	T_0 [K]	P_2 [kPa]	T_2 [K]	P_0 [kPa]	P_2 [kPa]	T_2 [K]	$\delta/\sqrt{\theta}$	Run No.
M0	0 m (0kft)	101.3	288.1	101.3	288.1	97.7	98.7	290.5	0.970	T1-S212
M0	0 m (0kft)	101.3	288.1	101.3	288.1	99.5	99.9	288.6	0.985	T1-S214
M0	0 m (0kft)	101.3	288.1	101.3	288.1	98.0	98.8	287.1	0.977	T1-S215
M0.8	9144 m (30kft)	46.6	248.6	71.0	280.2	46.6	71.0	290.2	0.698	T1-S213
M1.6	12192 m (40kft)	18.8	216.6	79.9	327.5	22.5	76.5	328.1	0.708	T1-S216

(1) オンライン性能同定試験

- ・ ターボジェットエンジン
- ・ 飛行条件 SLS (Sea Level Static)

(1) オンライン性能同定試験

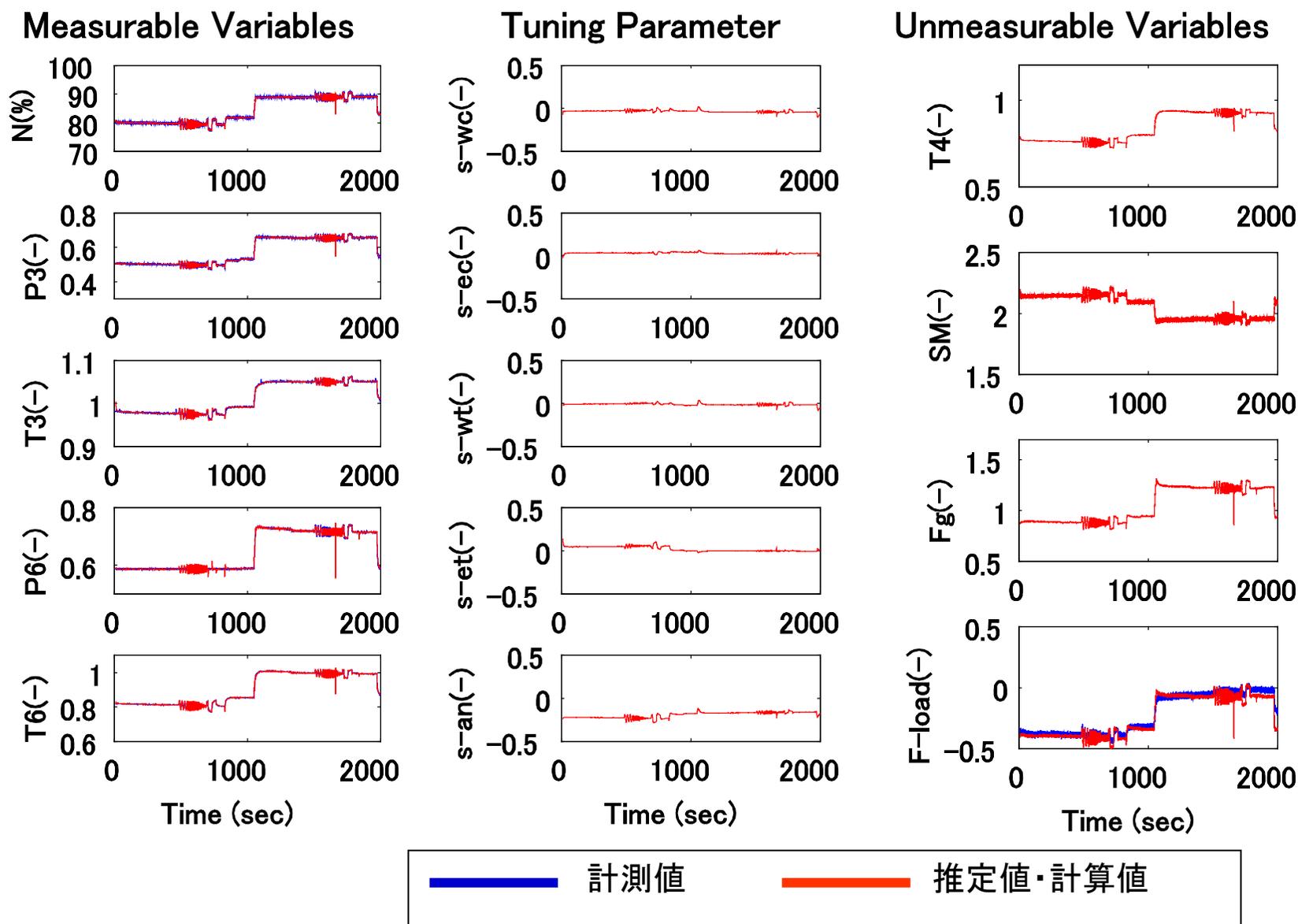


エンジン性能同定結果: SLS (T2-S160)

(2) オンライン性能同定試験

- ・ ターボジェットエンジン
- ・ 飛行条件 M1.6 高度40kft

(2) オンライン性能同定試験

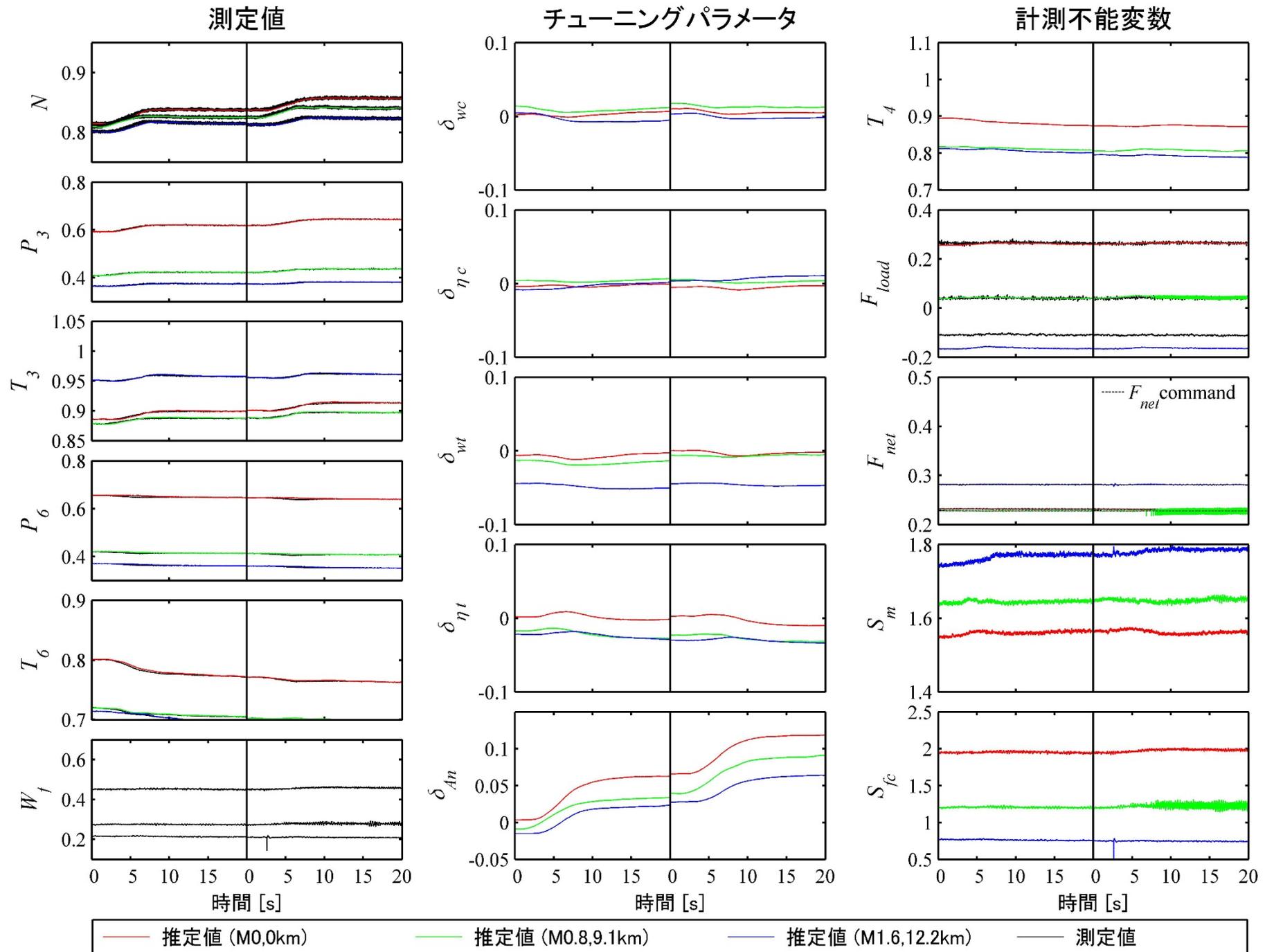


エンジン性能同定結果: M1.6 40kft(T4-S233)

(3) モデルベース推力制御

- ・ 推力一定制御
- ・ 可変排気ノズル面積をステップ状にオープン 0→40%→80%
- ・ 飛行条件 SLS、M 0.8、M 1.6

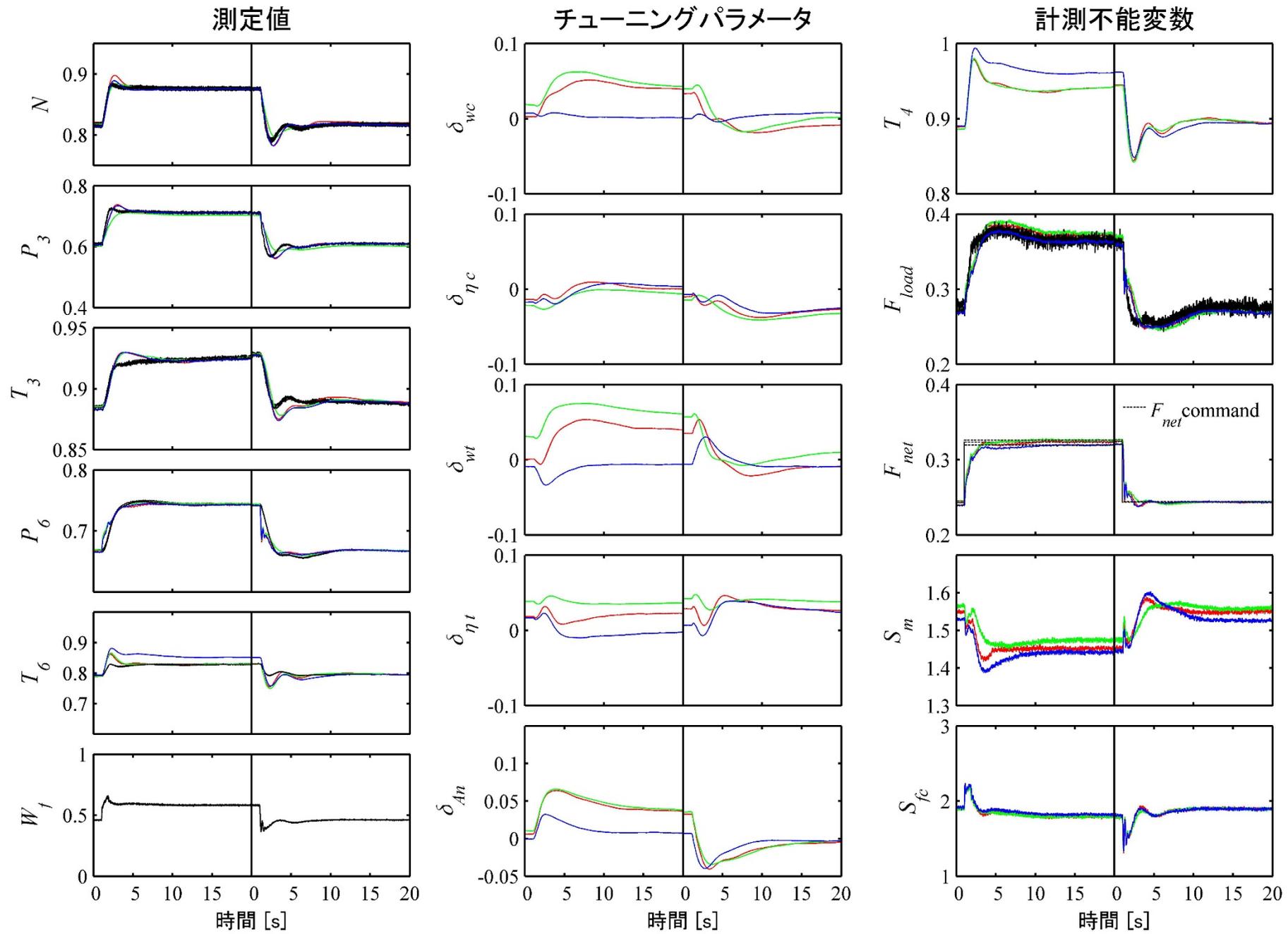
(3) モデルベース推力制御



(4) モデルベース推力制御(模擬センサ故障)

- ・ 3種類のセンサ(N、T3、P6)の模擬故障
- ・ 推力コマンドをステップ状に変化(アップ・ダウン)
- ・ 飛行条件: SLS

(4) モデルベース推力制御(模擬センサ故障)



企業への期待

- ジェットエンジン・産業用ガスタービン等を用いた技術実証提携先 または ライセンス契約先を募集中。
- ジェットエンジン・ガスタービン以外のターボ機械についても、本技術の導入が有効と思われる。
(ターボチャージャ、ターボポンプなど)

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ガスタービンエンジンの性能推定方法およびシステム
- 特許番号 : 特許第5046104号
- 出願人 : 宇宙航空研究開発機構
- 発明者 : 田頭 剛、杉山 七契

産学連携の経歴

- 2003年-2012年 JAXAクリーンエンジン事業
- 2013年- JAXAグリーンエンジン事業
- 2014年 公的開発プロジェクトに技術供与契約
- 2015年 民間A社とライセンス実施許諾契約

お問い合わせ先

**宇宙航空研究開発機構
新事業促進部 新事業課**

e-mail Z-shingijyutu@jaxa.jp