

JaSST新潟2012向け資料

「NIIGATA SKY PROJECT」での ジェットエンジン制御ソフトウェア開発の取り組み

2012年3月16日

NECソフト株式会社 新潟支社 第六SIグループ
吉田 誠

目次

- **弊社の紹介**
～NECソフトって?～
- **プロジェクトの紹介**
～プロジェクト全体概要、ソフトウェア概要～
- **ソフトウェア開発にあたり**
～懸念事項と施策から開発方針の策定～
- **ソフトウェア開発における取り組み**
～品質、ソフトウェア構造、エラー制御への工夫～
- **成果**
～発生したさまざまな問題、得たもの、今後の課題～
- **最後に**



- **弊社の紹介**
～NECソフトって?～
- プロジェクトの紹介
～プロジェクト全体概要、ソフトウェア概要～
- ソフトウェア開発にあたり
～懸念事項と施策から開発方針の策定～
- ソフトウェア開発における取り組み
～品質、ソフトウェア構造、エラー制御への工夫～
- 成果
～発生したさまざまな問題、得たもの、今後の課題～
- 最後に

弊社の紹介

会社概要 →

プロフィール

沿革

当社へのアクセス

社長ご挨拶

採用情報

- NEC Way
- ブランドステートメント
- NECグループ国内関係各社

会社概要

プロフィール

商号	NECソフト株式会社(NEC Soft, Ltd.)
所在地	東京都江東区新木場一丁目18番7号
設立	1975年9月9日
資本金	8,668百万円
代表者	代表取締役 執行役員社長 古道 義成
役員	取締役および監査役 代表取締役 執行役員社長 古道 義成



● 事業内容

官公庁や民間企業のお客さまに向けた、システム構築や保守・運用、アウトソーシングなどのITサービスの提供、およびアプリケーションソフトウェア、ミドルウェア、組込みソフトウェアなどの各種ソフトウェアの開発を行なっています。

● 拠点(本社以外)

NEC玉川事業場、西東京システムセンター、新潟支社、柏崎センター、長野支社、NEC松本ソフトウェアセンター、北関東支社、山梨センター、群馬システムセンター、栃木センター、茨城センター、神奈川支社、静岡支社、浜松センター

弊社の紹介～新潟支社6SI～

●ケータイを中心とした組み込みソフト開発

スマホを始めとする携帯端末向けアプリケーション開発を中心に、ドキュメントソリューション、M2Mプラットフォーム、デジタル家電などの組み込みソフトウェア開発を行っています。

また、NIIGATA SKY PROJECT以外にも中小企業庁や資源エネルギー庁の事業を通し、新たな技術開発に取り組んでいます。



2011冬モデル

MEDIAS CH

SoftBank 101N

女子の“うれしい”がギュッとつまんだ
ビューティースマートフォン

発売中 新発売



MEDIAS ES

2011-2012冬春モデル

発売中

新世代メディアス
薄さ6.7mmのスタイリッシュボディに
ハイスペックを凝縮

G'zOne IS11CA

by CASIO

耐衝撃(注)と防水&防塵性能を
備えた、タフネススマートフォン。
“G'zOne”が新たなステージへ。

Android au
by Google



MEDIAS TAB

2011-2012冬春モデル 2012年4月発売予定

「NOTTV」※1 ※2 ※3 が楽しめる、フルスペック防水※4 「Xi」タブレット



Silver



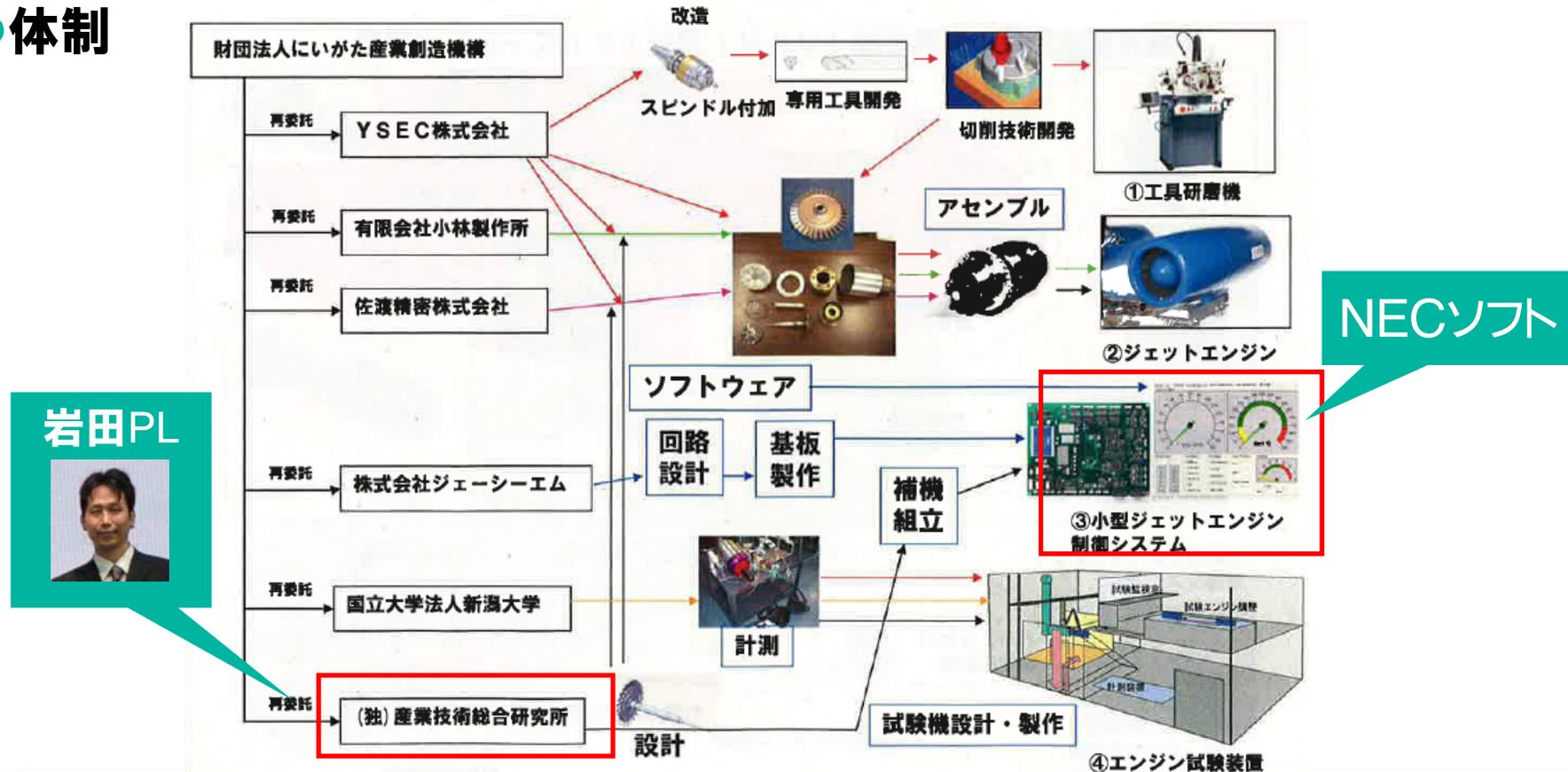
- 弊社の紹介
～NECソフトって?～
- **プロジェクトの紹介**
～プロジェクト全体概要、ソフトウェア概要～
- ソフトウェア開発にあたり
～懸念事項と施策から開発方針の策定～
- ソフトウェア開発における取り組み
～品質、ソフトウェア構造、エラー制御への工夫～
- 成果
～発生したさまざまな問題、得たもの、今後の課題～
- 最後に

プロジェクトの紹介～全体概要～

● 経済産業省「H22年度戦略的基盤技術高度化支援事業」採択事業

- テーマ：環境対応型先進無人飛行機（UAV）用ジェットエンジンの開発
- 期間：H23/1/27～H23/9/30
- 事業費：1億円

● 体制



プロジェクトの紹介～ソフトウェア概要～(1)

●構成

- 小型ジェットエンジン制御ソフトウェア(基板上)
- ジェットエンジン状態モニタ/調整ソフトウェア(PC上)

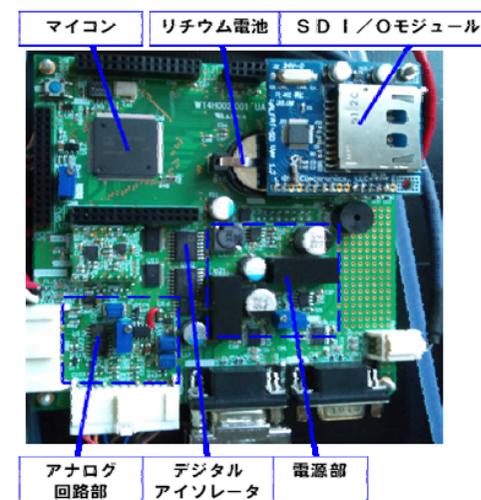
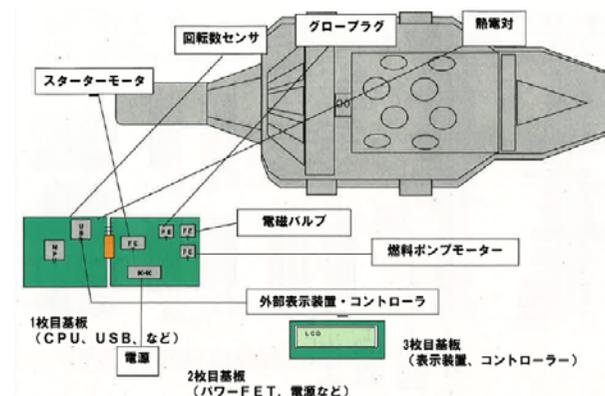
●動作環境

- CPU:SH-7145Fが搭載された基板とそれに接続された、スイッチ、スロットル、各センサ

●開発環境

- リファレンスポート:BTC080
- 開発支援ツール:GCC Developer Lite
- 運用支援ツール:サイボウズLive
- 品質管理ツール:Progress901 (NECグループのツール)
- シミュレータ開発支援ツール:Microsoft Visual Studio

無償ツール
活用



プロジェクトの紹介～ソフトウェア概要～(2)

●開発規模／言語／OS

- ▶ 小型ジェットエンジン制御ソフトウェア(ボード上) → 約7KL(最終) / C言語 / OSなし
- ▶ ジェットエンジン状態モニタ／調整ソフトウェア(PC上) → 約1KL / C言語 / Windows

●体制

- ▶ 開発リーダー1名、開発担当者2名

●特徴

- ▶ ソフトウェアとしての開発期間は約5ヶ月(H21/2～H21/6)
- ▶ 0からのスクラッチ開発
- ▶ **とにかくエンジンを回すことを目指す!**
- ▶ オランダ製小型ジェットエンジンを参考に走りながら仕様決め



- 弊社の紹介

～NECソフトって？～

- プロジェクトの紹介

～プロジェクト全体概要、ソフトウェア概要～

- **ソフトウェア開発にあたり**

～懸念事項と施策から開発方針の策定～

- ソフトウェア開発における取り組み

～品質、ソフトウェア構造、エラー制御への工夫～

- 成果

～発生したさまざまな問題、得たもの、今後の課題～

- 最後に



ソフトウェア開発にあたり(1)

●懸念事項

- 「メカ制御」「下位レイヤ」開発経験が十分でない
⇒長年携帯電話アプリケーション開発を中心に行ってきており、各種センサー制御に不安
- 明確な要求仕様なし
⇒何が正解か不明確
- 設計／テストをどのように行うか
⇒慣れないHW制御ソフトの設計、開発用/デバッグ用のプラットフォームがない
- 品質指標をどう設定すべきか
⇒前例がない



「ジェットエンジン」という馴染みがないソフト開発

ソフトウェア開発にあたり(2)

●施策

- 「メカ制御」「下位レイヤ」開発経験が十分でない
⇒経験者の補強と社内教育受講
- 明確な要求仕様なし
⇒早期/随時の意識合わせとソフトウェア構造の工夫
- 設計/テストをどのように行うか
⇒プロジェクト方針を常に意識、シミュレータを独自開発
- 品質指標をどう設定すべきか
⇒安全性と経験不足を考慮し従来開発よりも高目に設定



馴染みがないソフトウェア開発であるがゆえに、関係者との連携を密にして、PJの特性を考慮した施策を練る！

ソフトウェア開発にあたり(3)

●ソフトウェア開発方針

(1) ソフト開発プロセスにおける活動について

プロジェクト管理ツールを使用し、各工程のバグ件数や内容、属人性などを分析することで品質向上を図る。

(2) ソフト構造検討による各モジュールの干渉削減について

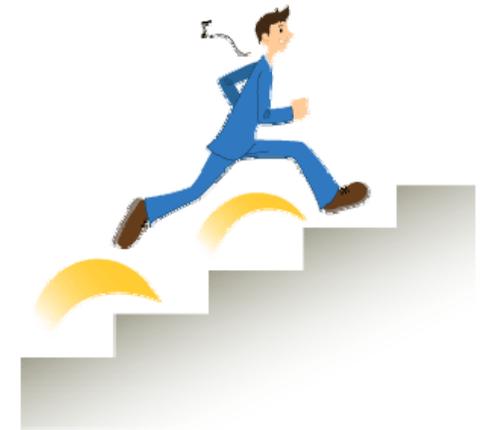
ソフトウェアを構造化設計として各モジュールの独立性を高め、凝集度を高く、結合度を低くする。
(機能追加の容易さや複雑化削減による品質確保)
→1モジュールが異常となった場合においても、他モジュールが異常を検出することにより安全性の高い制御を行うことができる。

(3) 異常検出時のソフト制御規定について

異常検出時にどのような制御を行うべきか、関係者とレビューを行うことにより動作を決める。
基本的には、PowerDownシーケンスに移行してエンジンを停止するように動作させる。

システム開発計画書に明文化して関係者間で合意し、開発担当者にも方針の徹底を促す！

- 弊社の紹介
～NECソフトって?～
- プロジェクトの紹介
～プロジェクト全体概要、ソフトウェア概要～
- ソフトウェア開発にあたり
～懸念事項と施策から開発方針の策定～
- **ソフトウェア開発における取り組み**
～品質、ソフトウェア構造、エラー制御への工夫～
- 成果
～発生したさまざまな問題、得たもの、今後の課題～
- 最後に



ソフトウェア開発における取り組み～品質～(1)

●開発管理ツール

➤サイボウズLive

無償グループウェアを活用しプロジェクト全体管理。
各社様とチーム進捗・文書登録などを情報共有。

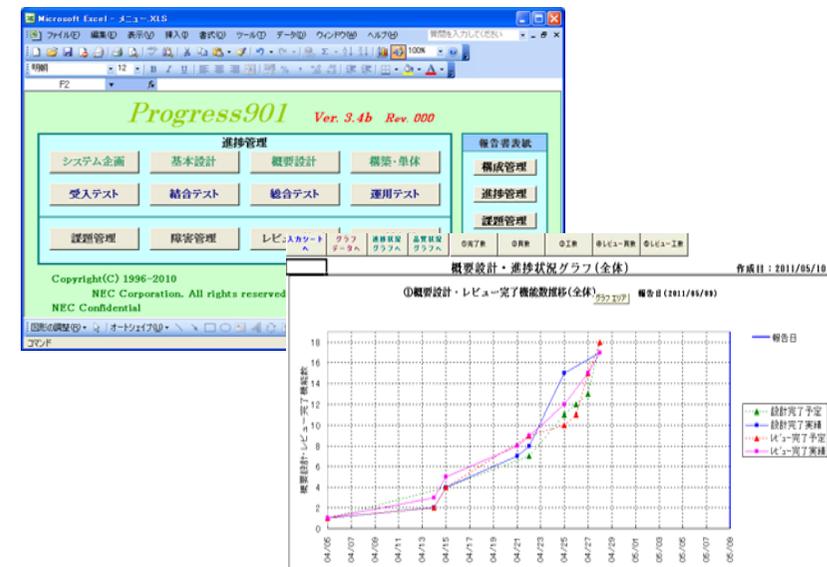
PJとして費用を
抑える必要があった



➤Progress901

NECグループ標準品質会計ツール。
バグ、レビューなど各種品質を総合的に管理。

携帯電話開発では別の専用の品質管理ツールを使用。したがって、本PJではNECグループ標準の品質会計ツールを使用して品質の予実管理を実行。



ソフトウェア開発における取り組み～品質～(2)

●品質実績値は単体試験でバグを改修

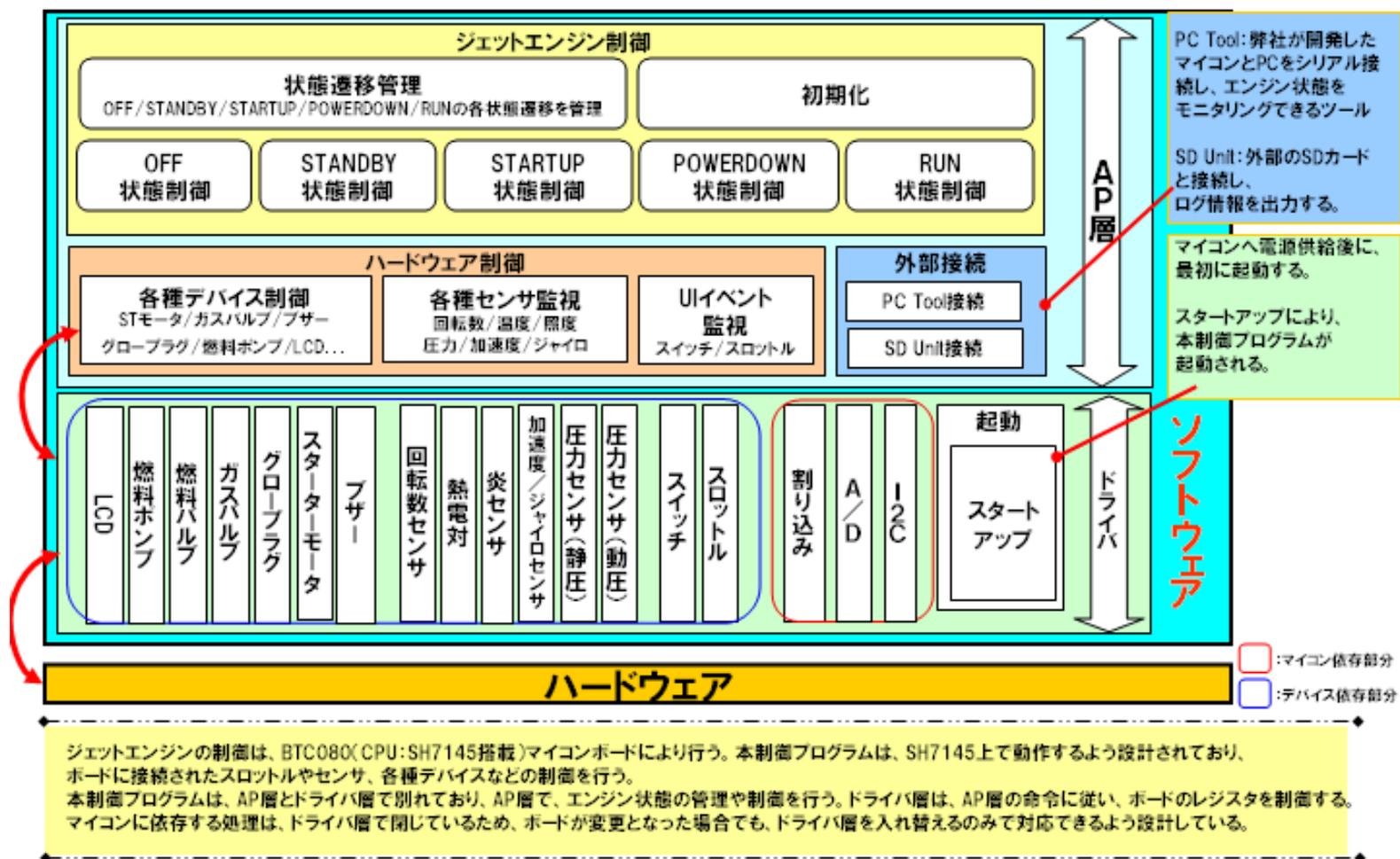
デイリーレビューに組み込みレビュー時間は目標ほぼ達成
バグはシミュレータによる単体試験で集中抽出してTotalで目標達成

	携帯電話 (LINUX)	ジェットエンジン 目標	ジェットエンジン 実績
設計レビュー (h/KL)	9.4	16 レビュー 約1.4倍	14
製造レビュー (h/KL)	9.4	11	11
設計バグ(件/KL)	3.5	6.6 バグ 約3.5倍	4.0
製造バグ(件/KL)	2.8	13.0	10.6
単体試験バグ(件/KL)	0.6	4.3	10.0

ソフトウェア開発における取り組み～ソフト構造～(1)

●ソフトウェア構造

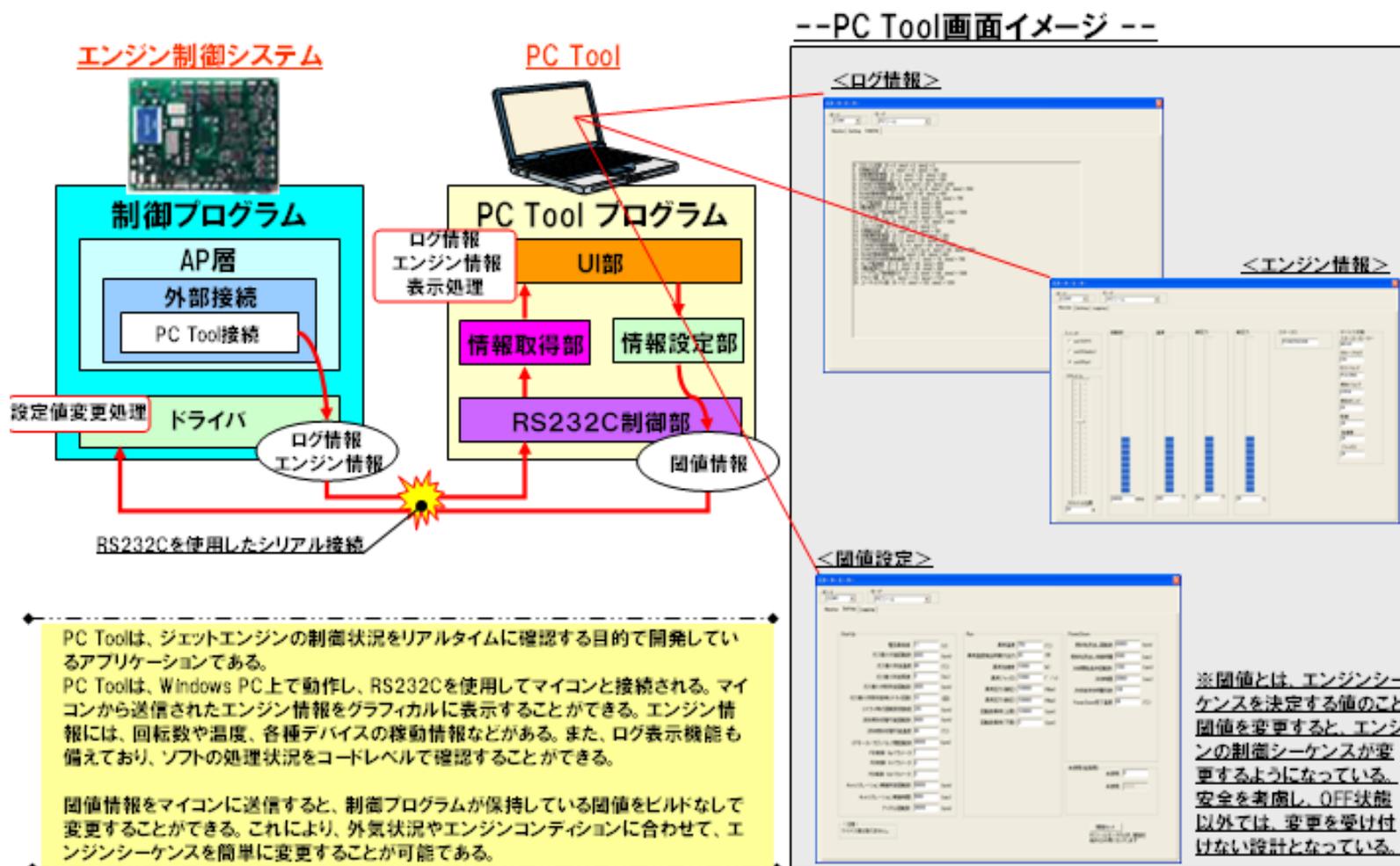
市場ニーズに応じたデバイス変更柔軟に対応可能な構造を採用。



ソフトウェア開発における取り組み～ソフト構造～(2)

●PCツール

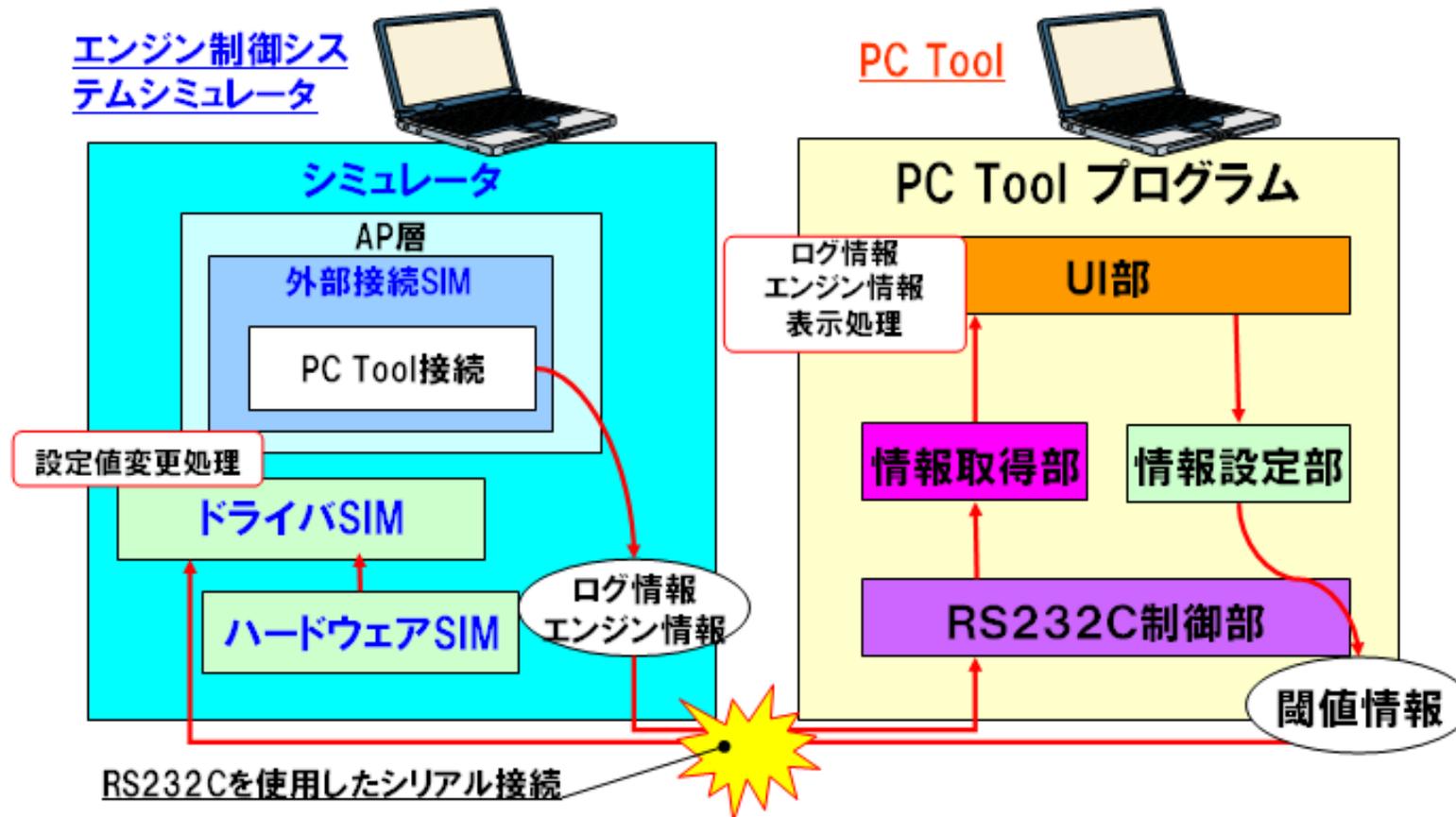
各種閾値設定やエンジン動作状況監視を容易にし開発効率を高める取り組み



ソフトウェア開発における取り組み～ソフト構造～(3)

●シミュレータ

単体試験環境としてデバッグを容易にするための取り組み。

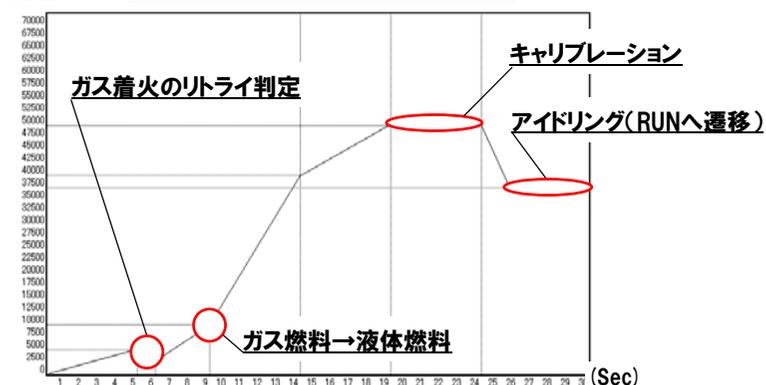


基本AP層はジェットエンジン制御プログラムをそのまま使用

ソフトウェア開発における取り組み～エラー制御～(1)

STARTUP Sequence

(RPM) STARTUP sequenceの回転数遷移



-安全かつ効率を考慮した設計-

STARTUP sequenceは、飛行を開始する前の非常に重要な準備処理を行うフェーズである。NECソフトでは、安全でかつ効率的な飛行可能状態になるよう、独自のアルゴリズムを採用している。

◆ガス燃料と液体燃料

エンジンの出力には、液体燃料を使用している。液体燃料は、着火しにくいというデメリットがある。STARTUP Sequenceでは、液体燃料を使用する前にガス燃料を使用し、回転数、温度、圧力を高める。これにより、スムーズに液体燃料に着火し、効率よくRUNへ遷移することを実現する。

◆キャリブレーション

キャリブレーションとは、RUN遷移の直前に、一旦回転数を約50,000 (RPM) まで高め、5秒間維持する。これにより、RUN遷移後に安定したエンジン出力制御が可能となる。

◆ガス着火失敗時のリトライ

ガス着火に失敗すると、自動的に条件の補正を行い、リトライする。

安全性 -- 自律処理 --

<リトライ> - STARTUP -

ガス着火に失敗した場合、ガス着火を行う条件を自動的に補正し、ガス着火にリトライする。失敗回数が一定回数を超えると、異常と判断しエラー処理を行う。

<補正> - RUN -

RUN状態中に、温度異常が検出された場合、燃料供給量を現状の80%に制限し、温度異常からの復帰を試みる。回転数異常が検出された場合には、スロットル位置に応じた回転数になるよう、燃料供給量を自動的に調整するようになっている。

<エラー処理> - POWERDOWN -

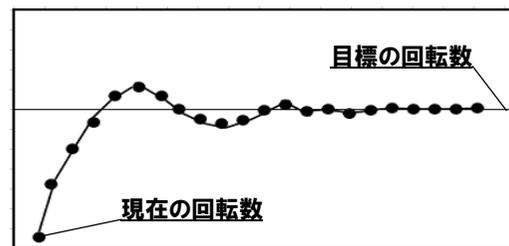
エンジン制御中にエラー検知すると、エラー処理を行う。エラー処理では、エラーが発生したことをLCDへ表示させた後、各種デバイスを停止させ、POWERDOWNへ遷移する。POWERDOWNでは、燃料吐き出し処理、エンジン冷却を行い、OFF状態へ遷移する。これにより、エラーが発生した場合でも、安全にエンジンを停止させることができる。

<スイッチ遅延> - 各状態 -

スイッチが変更された場合、ユーザの操作でミスかどうかの判定を行う。スイッチ変更後、即座に判定するのではなく、1秒後に再度スイッチの判定を行い、スイッチ状態が一致していれば、ユーザ操作と判定する。

PID制御の採用

(RPM) PID制御による回転数遷移イメージ



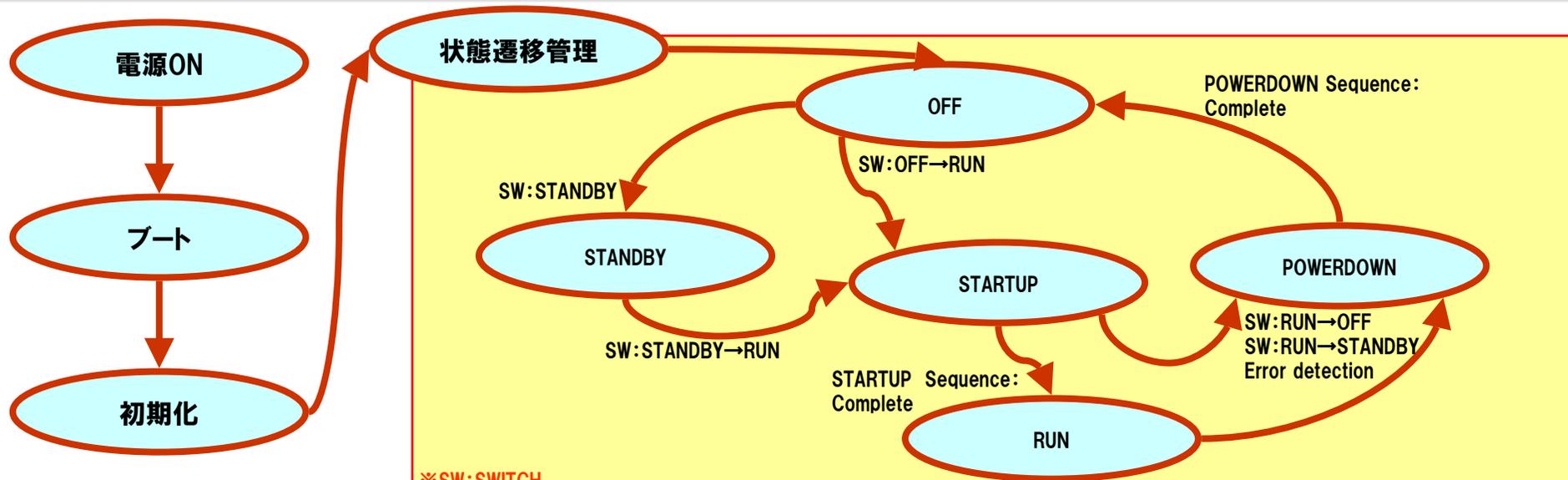
左図は、目標回転数まで回転数を上昇させる際の、PID制御による回転数の変化の様子。目標回転数との差が大きき時ほど、回転数の変化が大きく、徐々に変化が小さくなり、目標回転数になる。

PID制御とは、現在回転数と目標回転数の情報から最適な燃料ポンプ制御値を計算する処理のことである。PID制御により求まる制御値は、現在の燃料ポンプ制御値との偏差であり、目標回転数との差が大きき時ほど、制御値が大きくなる。求まった制御値でマイコンと接続された燃料ポンプを制御し、回転数の制御を行う。PID制御を行うと、急激な燃料供給の変化を防止し、安全かつ効率よく目標回転数にまで回転数を調整することができる。ジェットエンジン制御プログラムでは、STARTUP、RUN、POWERDOWN (燃料吐き出し処理)時にPID制御を行い、回転数を制御している。

ソフトウェア開発における取り組み～エラー制御～(2)

- **スタートアップシーケンス**
 - ・ガス着火失敗時リトライ
⇒ガス着火に失敗した場合、ガス着火実施条件を自動的に修正し、スタートアップシーケンスをやり直す一定回数失敗したら、異常と判定しエラー処理を行う。
- **ランシーケンス**
 - ・温度異常補正
⇒温度異常を検知した場合、燃料吐き出し量を現在の80%にし、温度異常からの復帰処理を行う。
 - ・回転数異常補正
⇒回転数異常を検知した場合、スロットル位置に応じた回転数になるよう燃料吐き出し量を調整する。
- **異常検知（センサ値異常判定）**
 - ・加速度
 - ・ジャイロ
 - ・静圧
 - ・動圧
- **スイッチ判定処理**
 - ・スイッチが変更された場合、ユーザの操作でミスかどうかの判定を行う。スイッチ変更後、即座に判定するのではなく、1秒後に再度スイッチの判定を行い、スイッチ状態が一致していれば、ユーザ操作と判定する。

【参考】ソフトウェアシーケンス(1)

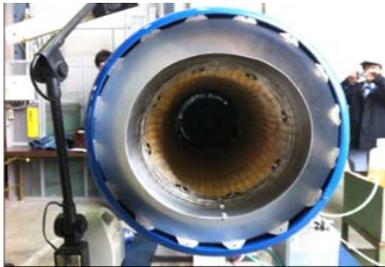


<ブート>

電源ON後に、最初に動く部分。
ブートから制御プログラムのmainが
コールされ制御プログラムが開始される。

<初期化>

SH7145で動作するために必要な設定や
タイマーの設定、変数の初期化処理を行う。



※SW:SWITCH

スイッチは、[OFF] [STANDBY] [RUN]の3ポジション

<OFF>

電源供給後に、OFF状態となる。常にスイッチを監視し、STANDBYがSTARTUPへ遷移する。

<STANDBY>

センサの監視を開始し、いつでもSTARTUPを開始できる待機状態。

<STARTUP>

エンジンの稼働を開始し、飛行可能なRUN(アイドリング状態)へ遷移するための準備を行う。
ガス燃料と液体燃料の使い分けや、キャリブレーションの実施など、安全かつスムーズにRUN
へ遷移させる制御アルゴリズムを採用している。

<RUN>

スロットル操作による出力制御が可能な状態。PID制御を採用することで、目標回転数まで
スムーズに回転数が変化している。異常が発生した場合、自動的に回転数や
温度を調整する制御アルゴリズムとなっている。

<POWERDOWN>

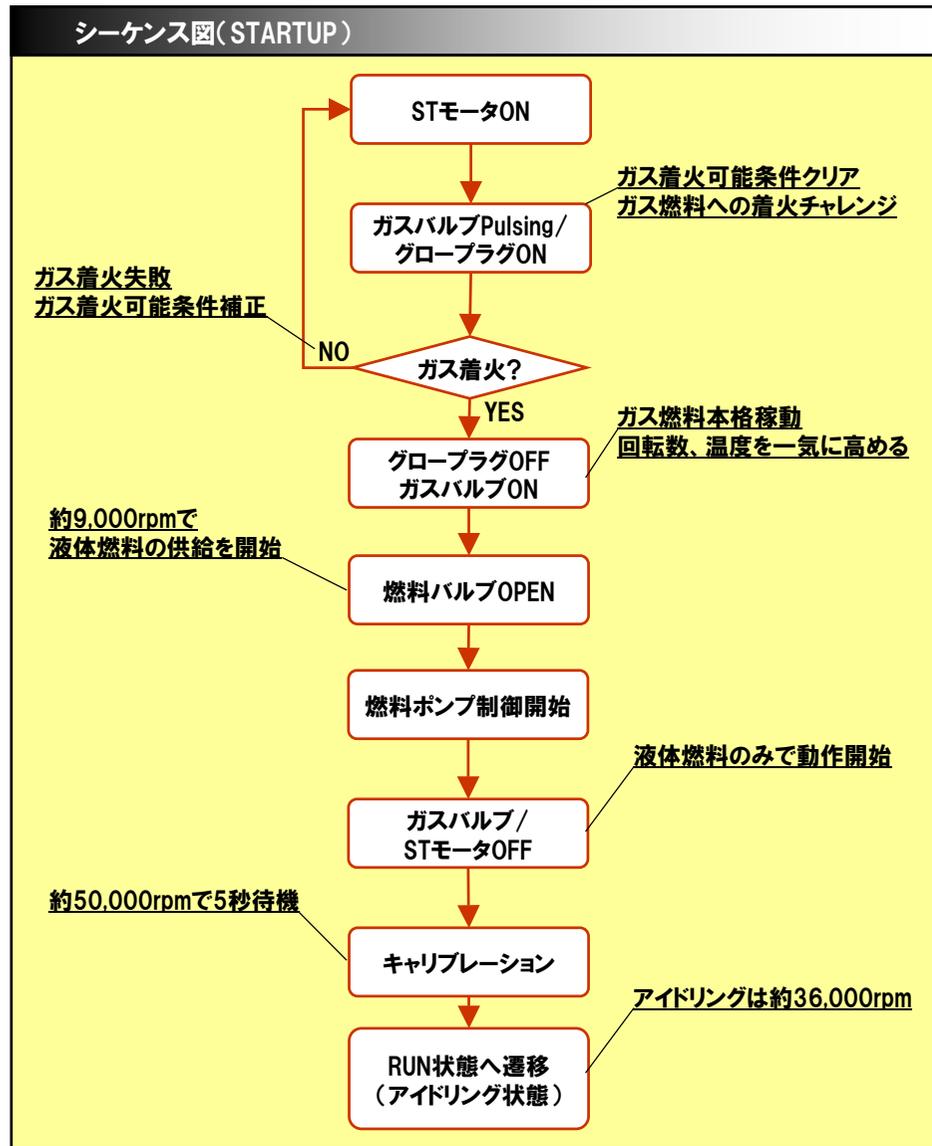
エンジンの停止処理を行う。燃料の吐き出しやエンジン冷却処理など、再稼動時に安全
に稼働できるように設計している。

<共通処理>

常にセンサを監視し、一定間
隔でLCDとPC Toolへ表示を
行う。
(OFFは除く)

各状態への遷移は、スイッチ
の変更、エラー検出とスター
トアップ、パワーダウンシーケ
ンス完了をトリガーにしている。
ただし、パワーダウン状態で
は、シーケンス完了までスイ
ッチの変更を受け付けない。
これは、エンジン内部に燃料
が残らないように、安全を考
慮した設計のためである。

【参考】ソフトウェアシーケンス(2)



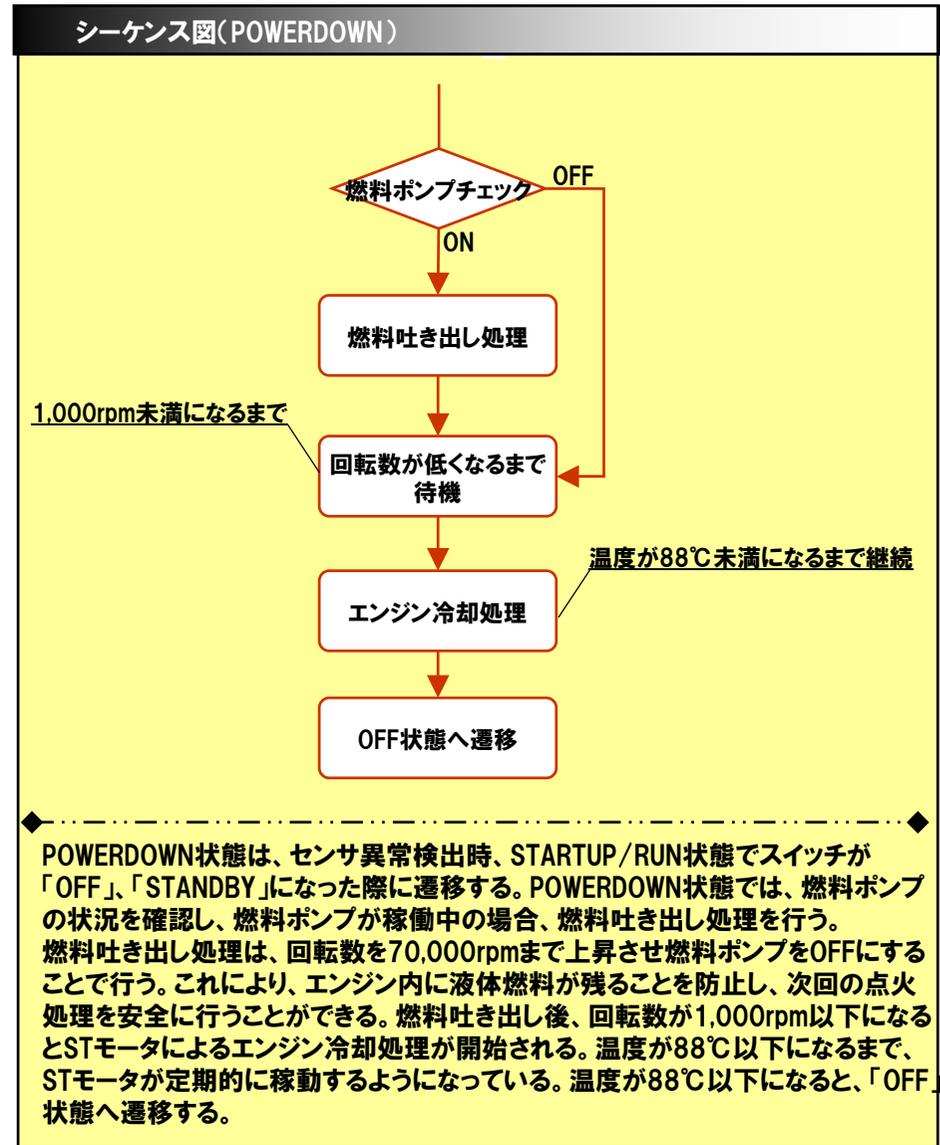
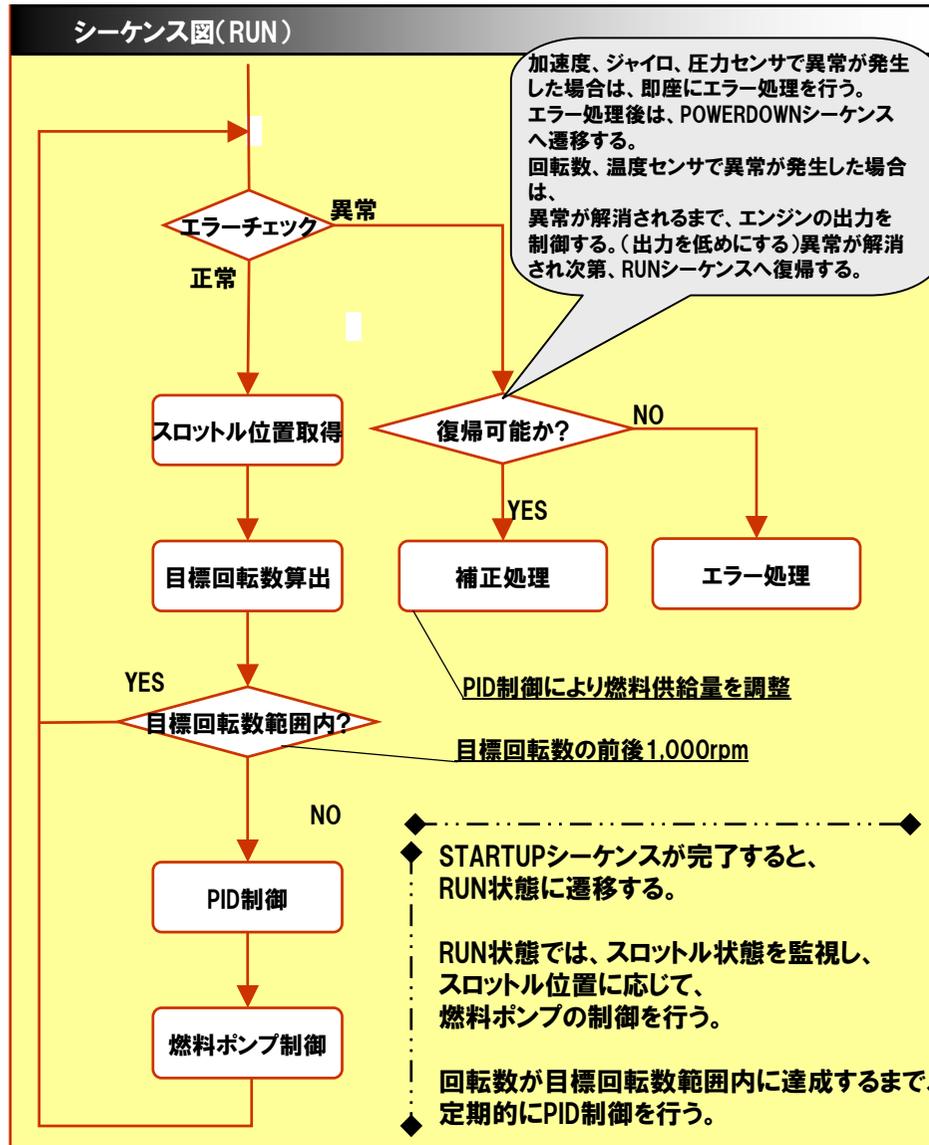
OFF/STANDBY状態にて、スイッチが「STARTUP」になると、STARTUPシーケンスが開始される。液体燃料へ着火しやすくするために、初めにガス燃料を使用している。また、燃料制御にはPID制御を行い、素早く安全に目標回転数に近づけるなど、スムーズにRUN状態へ遷移するように設計されている。

20ms毎に各種センサ状態をチェックし、以下のSTARTUPシーケンスを完了させる。

- I. STモータを始動させる。
(STモータによりガス着火可能回転数(約4,000rpm)まで回転数を上昇させる。)
- II. ガス燃料に着火させる。
ガスバルブを開き、グロープラグによりガス着火を行う。一定回転数を下回るとガス着火失敗と判定し、STARTUPシーケンスを最初からやり直す。
- III. 液体燃料切替可能回転数(約9,000rpm)まで回転数を上げる。
ガス着火に成功したら、液体燃料に着火可能な回転数、温度まで一気に上げる。
- IV. 燃料バルブを開け、燃料ポンプ制御を開始する。
燃料ポンプは、PID制御により操作量を計算し、制御する。
- V. キャリブレーションを行う。
キャリブレーション回転数(約50,000rpm)を5秒間維持することで、アイドリング後のエンジン制御を安定化させる。
- VI. アイドリング回転数まで回転数を落とし、RUN状態へ遷移する。

※ STARTUP中に判定している回転数は、外気の状態などにより変更する可能性がある。

【参考】ソフトウェアシーケンス(3)



- **弊社の紹介**

～NECソフトって?～

- **プロジェクトの紹介**

～プロジェクト全体概要、ソフトウェア概要～

- **ソフトウェア開発にあたり**

～懸念事項と施策から開発方針の策定～

- **ソフトウェア開発における取り組み**

～品質、ソフトウェア構造、エラー制御への工夫～

- **成果**

～発生したさまざまな問題、得たもの、今後の課題～

- **最後に**



成果～さまざまな問題～(1)

結合試験

●ROMとRAMで動作差分

➤ROM/RAMの処理速度差分が発生

⇒ 本番環境のROMで動作不正が判明。ROMの実行速度が速く、割り込み回数などで処理判定していた条件の見直しが発生

➤加速度／ジャイロセンサ

⇒ RAMでは動作するがROMで動作が不安定になる状態が発生したが、試行錯誤しwait処理を入れることで回避した

経験不足により、本環境での影響の度合いが想定できなかった

教訓： 早い段階でROMでの動作も確認せよ！

成果～さまざまな問題～(2)

結合試験

● 回転数取得で問題発生

- 回転数の取得方法について、当初設計した方法では、回転数が上がると正常に取得できないことが判明

⇒ 取得方法を見直して対応。

階層構造／機能分割して設計

していたため他部分への影響

なしで対応できた

教訓 : HW依存での設計
変更が常にあると思え！



成果～さまざまな問題～(3)

● 燃焼実験でエンジン炎上

結合試験

➤ PID制御による燃料供給量が想定以上に多くなってしまい、炎上

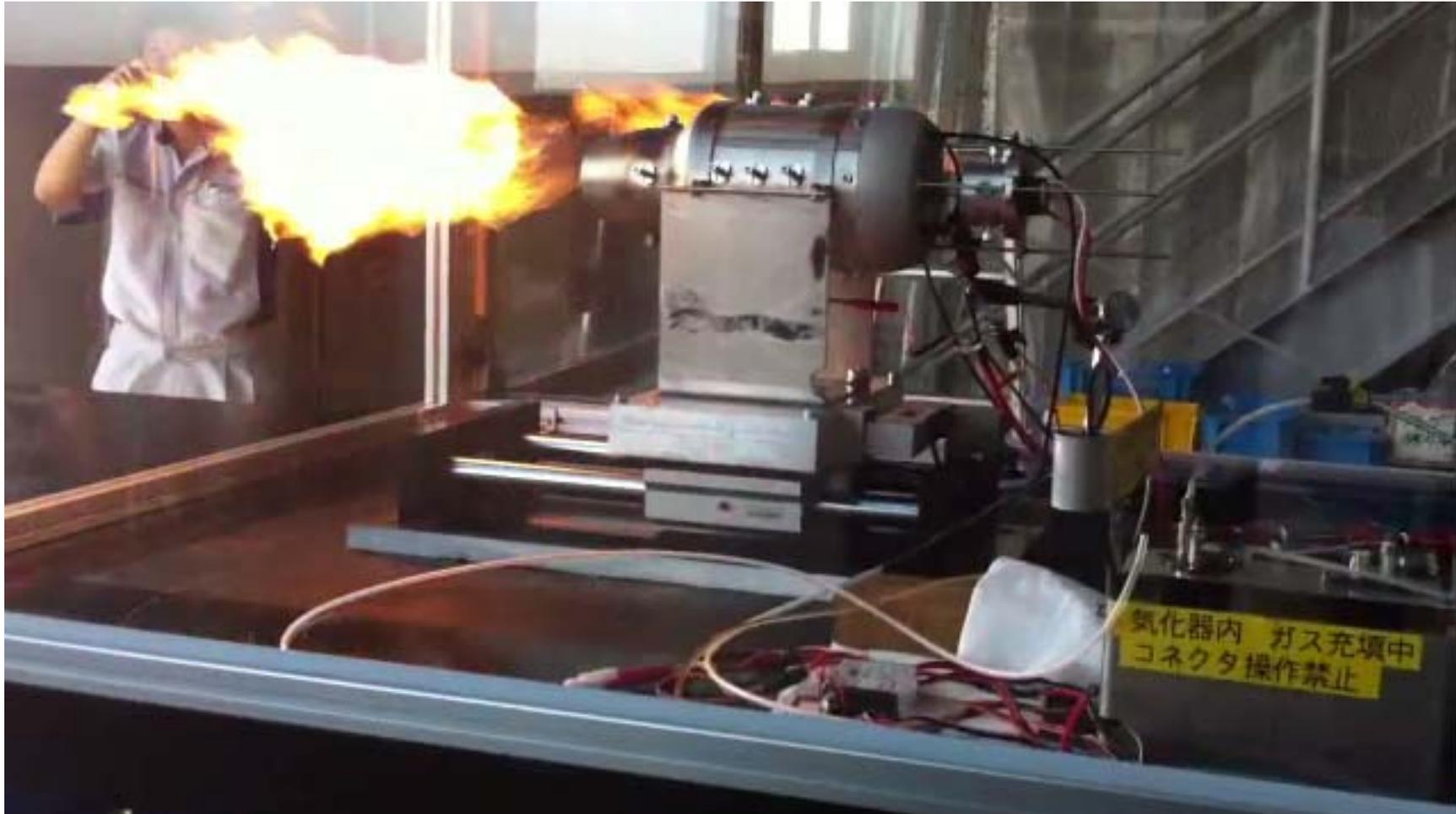
(パワーダウンの燃料吐き出し処理でさらに大炎上)

⇒ 自動制御は危険と判断して、一旦**手動制御**に実装変更

単体テストではシミュレータで確認していたが、本番環境では想定以上に回転数の上がりが遅く燃料を出しすぎた⇒炎上

教訓： シミュレータとの違いによる問題がないか
いろいろなパターンを想定しろ！

【参考】我々は見た！炎上の瞬間



成果～得たもの～

● ジェットエンジン制御技術

- PID制御理論の習得
- ジェットエンジン制御の独自ノウハウの蓄積と開発経験

● 航空産業の情報

- 航空産業動向の理解による今後のビジネス検討材料

● 人脈

- 産総研岩田様をはじめとした新潟市、新潟県各企業様とのつながり

異業種の技術観点、人脈観点から得たものが多かった



成果～今後の課題～

安全性、操作性、自動制御での課題

課題	詳細
安全制御の追加	SW制御可能な安全制御の追加検討(燃料供給の上限値など)
自動制御の改善	PID制御による燃料供給のタイミング、係数の最適値の検討、回転数上昇の評価タイミングの検討
UI改善	PC Toolの設定画面の拡張、エラー表示等の検討 ・取得ログからの異常検出と画面表示
その他	エンジン制御ノウハウの応用

- 弊社の紹介

～NECソフトって?～

- プロジェクトの紹介

～プロジェクト全体概要、ソフトウェア概要～

- ソフトウェア開発にあたり

～懸念事項と施策から開発方針の策定～

- ソフトウェア開発における取り組み

～品質、ソフトウェア構造、エラー制御への工夫～

- 成果

～発生したさまざまな問題、得たもの、今後の課題～

- **最後に**



最後に

ジェットエンジン開発というなかなか経験できないプロジェクトを通し、トライ＆エラーを繰り返し、チームで課題を乗り越え、目標を達成する体験を共有することで、「ものづくり」の原点と喜びを久しぶりに体感しました。

「NIIGATA SKY PROJECT」に引き続き関わっていくとともに、この経験を他のプロジェクトにも活かしていきたいと思います。

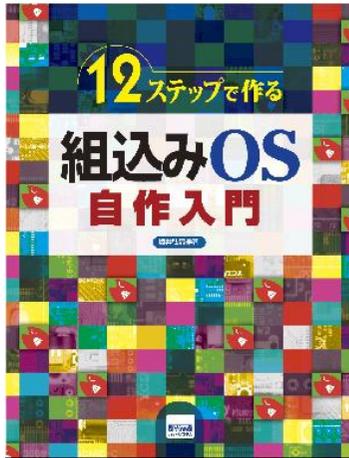
私は東京国際航空宇宙産業展2011
(10/27東京ビッグサイト)
でエンジン動作を初めて見て感動！！



苦劳もりましたが県内企業様と**一体**となり、なんといっても「**楽しく**」開発できました

ご清聴ありがとうございました

参考文献



OSなし開発だが、OSを作成するためのノウハウがやさしく記載されており、組み込み開発に役立った



PID制御など記載あり。ただし、入門とあるが上級者向け。

NECグループビジョン2017

人と地球にやさしい情報社会を
イノベーションで実現する
グローバルリーディングカンパニー



Empowered by Innovation

NEC