

### Abstract

Yamaha Motor has developed a new power tuner to be standard equipment on the 2018 model YZ450F. This system aims to tune engine characteristics for off-road competition, through fine mapping to suit variables such as rider preferences, course characteristics, the weather, and surface conditions. The development project additionally aimed to make operation easy through a smartphone interface. The target users are those who participate in off-road riding events and amateur racing.

Issues faced during development were as follows.

The first was the restricted locations where the communication unit (CCU: Communication Control Unit) could be mounted on the motorcycle. As well as of course meeting mounting requirements in terms of dimensions and weight, the CCU to be mounted had to clear environmental resistance conditions equivalent to the ECU (Electronic Control Unit). The next issue was easy to use functionality to take advantage of the smartphone format, as well as design and operation to suit racing environments. Development of the new power tuner aimed to overcome these issues.

## 1 はじめに

2018年型YZ450Fに標準装備される新パワーチューナーを開発した。当システムのねらいは、オフロード競技におけるエンジン特性をチューニングすることにあり、ライダーの好み、コース特性、天候や路面コンディションに合わせたきめ細かなマッピングを行う。これらをスマートフォンで簡単に操作できることを目指した。なお、ターゲットは、オフロード競技会やアマチュアレースに参加するユーザーである。

開発における課題を以下に示す。

まず、通信ユニット (CCU: Communication Control Unit) の車両への取り付け箇所の制約である。搭載するCCUは、車両側での要求に沿った寸法、重量を満たすことはもちろんのこと、ECU (Electronic Control Unit) 相当の耐環境性を備えるという条件をクリアする必要があった。次に、スマートフォンを活かした使い勝手の良い機能と、レースシーンに見合ったデザイン、操作感が挙げられる。これらの課題に対応するべく、新パワーチューナー開発を進めた。

## 2 システム構成

本システムでは、車両のECUと通信するCCUをリアフェンダー内の専用スペースに搭載する。ユーザーはスマートフォンのアプリ「POWER TUNER」にて操作を行う。アプリとCCUは無線LAN通信を行う(図1)。

## 3 開発のポイント

### 3-1. CCU

#### 3-1-1. 機能

CCU(図2)は以下の機能を有し、車両とスマートフォン間の通信を行う。

- ・マップリモートセッティング
- ・車両情報モニター
- ・無線LAN親機(IEEE 802.11b/g/n)



図1 システム概要



図2 CCU外観

#### 3-1-2. 車載環境における信頼性、小型化

今回開発するCCUは、従来のオンロードサーキット向けデータロギングCCUをベースに開発した。従来のユニットに対して、GNSS (Global Navigation Satellite System) や補助記録装置が必要ないため、回路規模は小さくできる。

CCUのブロック図を以下に示す(図3)。

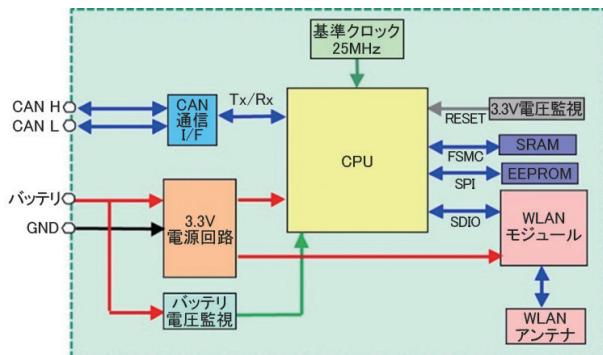


図3 CCUブロック図

さらにユニット全体として小型化を行うため、ケース構造を刷新することとしたが、それには次の背景がある。

- ・従来のユニットでは、物理的接点を有する電子部品を搭載していたため、接触不良を懸念し、ECU等で見られる樹脂注型を行わず、ケース構造やパッキン等による防水性、シリコンゴム等の部品を設計して耐振動性を実現していた。ただし、この方法だと部品点数も増え、サイズも大きくなってしまう。
- ・今回のユニットでは、物理的接点を有する電子部品が必要ないことから、樹脂注型の検討が可能である。それにより、ECU等で見られるウレタンでの樹脂注型を検討した。

ただし、樹脂注型には次の懸念があった。

- ・電子基板は欧州認証取得のため、鉛フリー半田を用いる必要がある。
- ・無線LANモジュールのシールド部品や、小型化の施策としてのBGA(Ball Grid Array)といった特殊な形状の電子部品を使用している。これら鉛フリー半田や特殊な電子部品を用いた基板における樹脂注型の開発実績はなかったため、熱応力や振動での信頼性基準を満たすことができるのか懸念があった。

そこで樹脂メーカーにも協力いただき、特性の異なる3種類のウレタン樹脂を選定し、試作ユニットを製作、評価することとした。それぞれの樹脂の硬度の温度依存特性を次に示す(図4)。

これら3種類の樹脂で各種信頼性試験を実施した。また、X線解析や断面カットを行い、ユニットの内部状態を観察した。それぞれの樹脂による内部状態を次に示す(図5、6、7)。

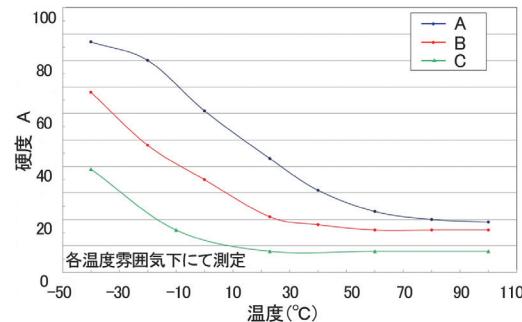
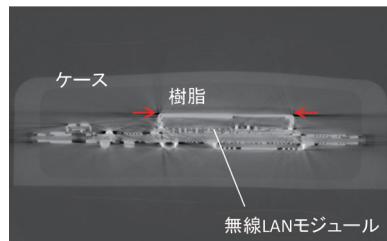
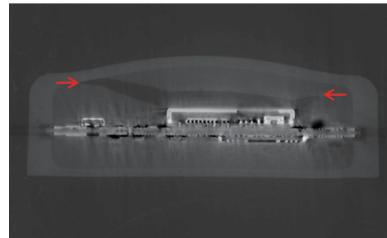
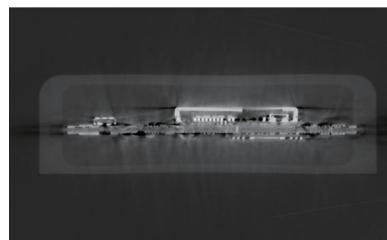


図4 樹脂硬度の温度依存特性比較

図5 樹脂A 無線LANモジュール部 X線写真  
(赤矢印部にクラック発生)図6 樹脂B 無線LANモジュール部 X線写真  
(赤矢印部にクラック発生)図7 樹脂C 無線LANモジュール部 X線写真  
(クラックなし)

3種類の樹脂のうち、硬度の高い樹脂A、樹脂Bを用いたユニットは冷熱衝撃試験にてケースが変形した。硬度が最も低い樹脂Cを用いたユニットは異常がなかった。なお冷熱衝撃試験以外の温度試験、振動試験では3種類とも信頼性基準を満たすことができた。

これらの結果、樹脂Cを採用することとし、部品点数の削減とともに、ユニットを大幅に小型化することができた。

### 3-2. ユーザーインターフェース

スマートフォンを対象とし、iOS と Android の OS で動作する POWER TUNER アプリを開発した（図 8）。当アプリは以下の主機能を有する。

- マッピング

燃料噴射量(FI)マップと点火時期(IG)マップを調整する。任意のエンジン回転数とスロットル開度での調整が可能である。3D グラフィックにより、分かりやすく、かつ、楽しめるものとした（図 9）。また、スマートフォンの共有サービスと連携し、ユーザー間でデータ共有ができる。

- レースログ

レースまたは練習走行などの天候や路面状況ほかセットアップの記録を行う。

- モニター

各種車両情報をモニター表示する（図 10）。

- メンテナンス

車両のメンテナンス状況を管理する。



図8 アプリのアイコン

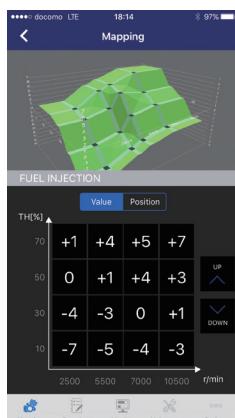


図9 マッピング画面

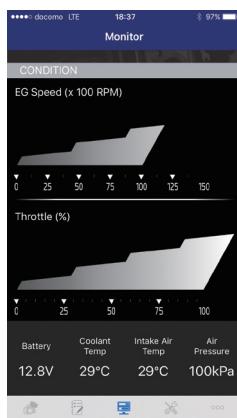


図10 モニター画面

これら機能の使い勝手や楽しさの向上はもちろんのこと、デザイン部門と協力してレースシーンに見合った画面デザインとした。

### 3-3. スマートフォンアプリ状態による車両側の電源遮断

エンジン停止時にマップを送信する際、ECU および CCU は起動している必要があるが、長時間の操作によりバッテリ

消費の懸念がある。そのために次の仕様がある。

- エンジン停止時に ECU 起動状態が一定時間  $n$  を経過した場合、ECU および CCU が自動で終了する（図 11）。
- マップを送信すると、その時点から再度  $n$  経過を監視する（図 12）。

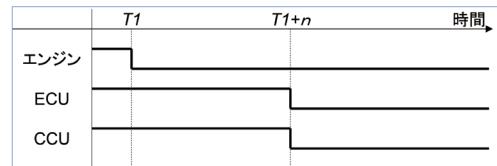


図11 ECU/CCU自動終了

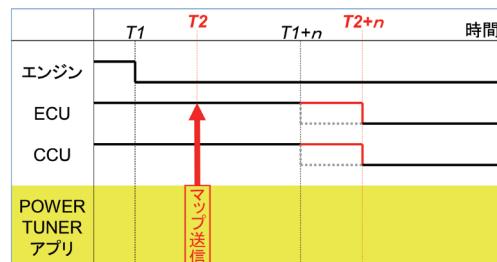


図12 マップ送信

一方で、エンジン停止時にモニター機能を使用する際、エンジン停止後に  $n$  経過すると、ECU および CCU が自動で終了するため、モニター機能が停止してしまうことが考えられる（図 13）。そのため、モニター機能使用中は、アプリ側から ACTIVE 信号を出すことで、その時点から再度  $n$  経過を監視することとした（図 14）。しかし、スマートフォンの性質上、モニター機能を使用したまま放置されるような場合、ECU および CCU の自動終了のタイミングが延長され続け、バッテリ消費の懸念がある。放置とは次のようなケースが考えられる。

- 他のアプリを起動することでPOWER TUNERアプリがバックグラウンドへ移動
- 電話の着信によりPOWER TUNERアプリがバックグラウンドへ移動
- スマートフォンを一定時間操作しないことによるスリープ状態

このようなケースに対処するため、モニター機能使用中、アプリは自らのアクティブ状態を監視し、非アクティブ状態となった場合は、前出の ACTIVE 信号を停止させることとした（図 15）。

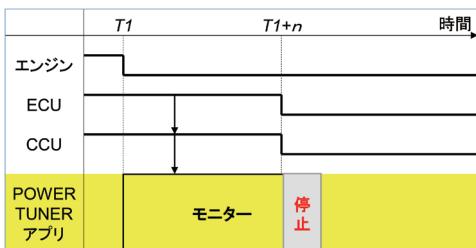


図13 モニター機能停止

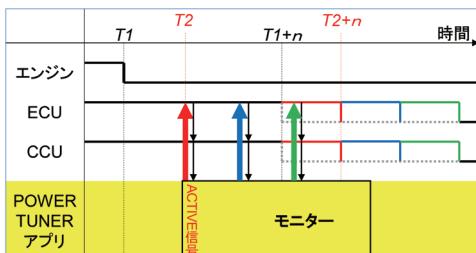


図14 ACTIVE信号出力

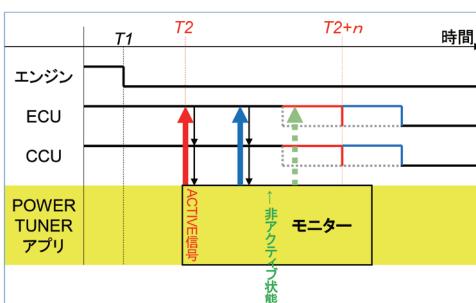


図15 ACTIVE信号停止

これによりモニター機能を使用したまま放置されるような場合、n 経過後には ECU および CCU は自動終了することとなる。

### 3-4. マッピングの3D描画

エンジン特性のマッピングとは、燃料噴射量 (FI) マップと点火時期 (IG) マップを  $4 \times 4$  のマトリクスにて調整する機能である。POWER TUNER アプリではさらに、エンジン回転数とスロットル開度の調整ポイントを指定できるようになっている (図 16)。

従来よりも細かな調整が可能となっているが、数値表示のみでは分かり難い懸念がある。そのため、マッピングを 3D グラフィック化した。これにより、設定変更時の変化度合いや、各設定値の補間などが表現され、調整時にイメージしやすくなった (図 17)。また、回転操作や拡縮操作にも対応し、視覚的にも楽しめるものとした。



図16 調整ポイントを指定



図17 3D描画

#### 3-4-1. グラフ化

$4 \times 4$  (X 軸: エンジン回転数、Y 軸: スロットル開度) のマップに補間部を追加した  $9 \times 9$  のセルに、Z 軸: 設定値として描画する。なお、補間部を表現するため、各セルは 12 頂点 (4 つの 3 角形) で構成する (図 18)。

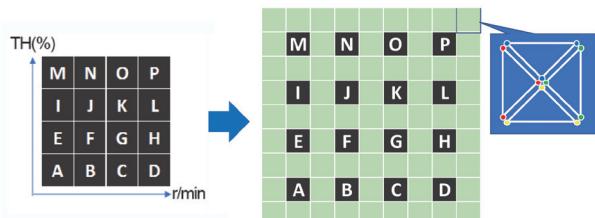


図18 グラフ化

また、補間値は隣接する設定値と以下の関係となる。

(例) セル “E” を編集した場合 (図 19)

- ①  $(E + F + A + B) / 4$
- ②  $(E + A) / 2$
- ③  $(E + F) / 2$
- ④  $(F + B) / 2$
- ⑤  $(A + B) / 2$

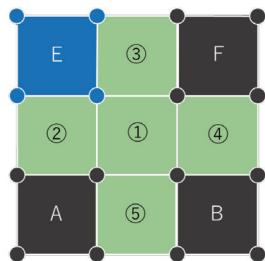


図19 補間値

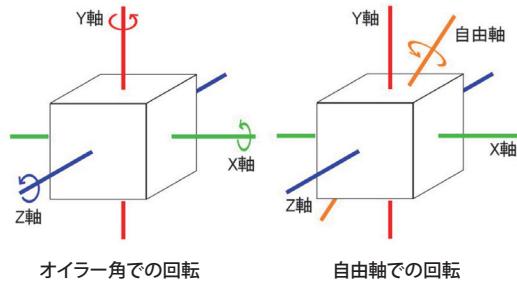


図20 固定軸／自由軸での回転

### 3-4-2. 回転操作

スマートフォンアプリでは目的を達成する際に、操作の親近性が高く、直感的に操作を行えることが求められる。

よって、回転操作においても、現実世界における指でものを移動する速度や方向と同様に、コンテンツが指に吸い付くように回転するインターフェースとした。上記インターフェースでは、回転角度をフリック操作時の移動量、回転方向を引っ張った方向で表現するが、オイラー角を用いて回転を行った場合、X,Y,Z各固定軸での回転しか表現できず、フリックした方向とは異なる方向に回転してしまい違和感が生じる。よって、フリック時の方向、移動量から、クオータニオン行列、および回転行列を算出し、フリック時の方向に対し垂直な回転軸を中心としたグラフの自由軸回転を行えるようにした（図20）。これにより、ユーザーは直感的な操作で意図した方向へグラフを回転することが可能となる。

フリック時のX軸、Y軸方向の操作量をそれぞれdx, dyとしたときの計算を以下に示す。

$$\begin{aligned} \text{操作量 length} &= \sqrt{dx^2 + dy^2} \\ \text{ラジアン rad} &= length \times \pi \\ \text{シータ } \theta &= \sin(rad) \\ \text{クオータニオン行列 } q &= \begin{bmatrix} \cos(rad) \\ -dy \times \theta \\ dx \times \theta \\ 0.0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix} \text{としたとき} \\ \text{クオータニオン積 } q \cdot q' &= \begin{bmatrix} w \times w' - x \times x' - y \times y' - z \times z' \\ w \times x' + x \times w' + y \times z' - z \times y' \\ w \times y' - x \times z' + y \times w' - z \times x' \\ w \times z' - x \times y' - y \times x' - z \times w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w' \\ x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \\ \text{回転行列 Matrix} &= \begin{bmatrix} 1.0 - 2Y^2 - 2Z^2 & 2XY + 2ZW & 2ZX - 2YW & 0.0 \\ 2XY - 2ZW & 1.0 - 2Z^2 - 2X^2 & 2YZ + 2XW & 0.0 \\ 2ZX + 2YW & 2YZ - 2XW & 1.0 - 2X^2 - 2Y^2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

## 4

### おわりに

今回開発した新パワーチューナーは、すでに世界各国のユーザーに使用されている。従来のオンラインサービス向けシステムに続き、オフラインモデルに対しても車両との繋がりや一体感を楽しめるシステムを具現化することができた。

今後もさらなる技術習得と活用を行い、ユーザー同士、ユーザーとヤマハのコミュニケーションを促進するツールを提供していきたい。これらの開発を通してヤマハファンがさらに増える一助となれば幸いである。

#### ■著者



池谷 昌彦

Masahiko Ikeya

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

制御開発部



設楽 尚希

Naoki Shidara

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

制御開発部



伊熊 佳幸

Yoshiyuki Ikuma

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

制御開発部



太田 博康

Hiroyasu Oota

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

制御開発部