

特集：新型ロードスター

5

新型ロードスターの走り感 / レスポンス性能 All-New Roadster Performance Feel / Response Performance

佐々木 健 二^{*1} 小 栗 健 作^{*2} 齋 藤 茂 樹^{*3}
Kenji Sasaki Kensaku Oguri Shigeki Saito
山 下 勲^{*4}
Isao Yamashita

要 約

新型ロードスターでは、「人馬一体」を継承し、Fun to Driveを更に進化させるため、単なるエンジンパワーや加速時間といった領域だけでなく、お客様が感じるシフト操作の楽しさやサウンドの心地良さまで含めたPerformance Feel（走り感）の実現に取り組んだ。その中でも主軸となる加速度の反応の良さとエンジン回転数に応じた加速度的変化を作りこむため、フライホイールやドライブシャフト、制御系などを細かく分析・解析することで、ドライバの意志にマッチした軽快感あふれるFeelingを実現した。

Summary

In order to inherit "Jinba Ittai" and further evolve "Fun to Drive", we worked on the realization of the Performance Feel that even extends to the fun of shifting operation and the comfort of the sound to the customers, not only on the areas such as the engine power and the acceleration time. We realized the feeling full of nimbleness that matches the driver's intention by conducting the thorough analyses on the flywheel, the driveshaft, and the control system, with the aim of elaborating both the good acceleration response and the variations in acceleration responsive to the engine speed, which are the main elements of the performance feel.

1. はじめに

新型ロードスターは、キビキビとした軽快感あふれるPerformance Feelの実現に向けて、LivelyとLinearに注力して取り組んだ。Livelyについては、トルクの絶対値だけでなく、アクセル操作に対して応答性が良く、正確に反応するレスポンスを実現すること。Linearについては、アクセル操作量やエンジン回転数、車速の上昇に応じたドライバの意志に合ったG変化が得られることが重要と考えている。これらを実現するために、ハード・ソフトの両面から、最適チューニングに取り組んだ内容を紹介する。

2. Performance Feelとは

2.1 Performance Feel

お客様が車全体から感じ取る、加速度的大きさ、エンジン（本体）や吸排気Sound、操作系の扱いやすさ（シフトフィールなど）の性能因子をもとに、Linear, Lively,

Powerful, Torqueful, Smoothの5軸で表現する走りの管理指標のことをいう。

2.2 新型ロードスターのPerformance Feelの方向性
マツダプロダクトDNAでも訴求するLivelyとLinearを更に特化させ、軽快感あふれるFunな走りを目指した(Fig.1)。

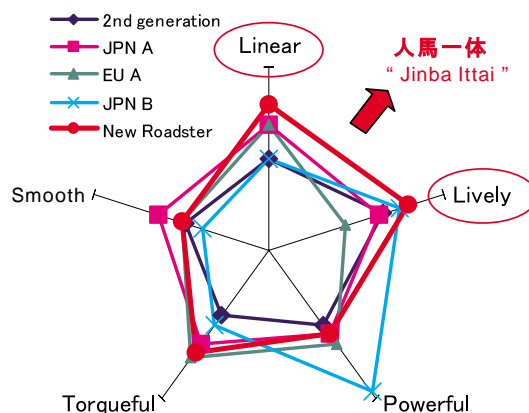


Fig.1 Performance Feel Orientation

*1~3 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

*4 第3エンジン開発部
Engine Development Dept. No.3

2.3 Performance Feelの重点開発項目

Fig.2に、Performance Feel視点から見た、ロードスターらしいFun to Driveの実現に向けた、具体的な重点開発項目を示す。それぞれLivelyやLinearを構成する一要素ではあるが、スポーツカーの特徴として、Feelingに加速度の占める割合が大きく、「レスポンス」「ダイレクト感」「Linearな伸び」の性能開発に注力した。

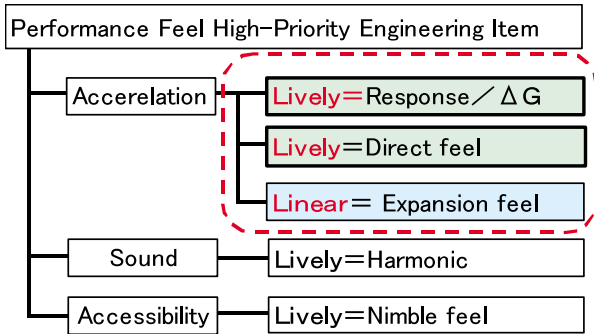


Fig.2 Performance Feel High-Priority Engineering Item

3. 人馬一体を実現するLivelyの育成

3.1 基本骨格

まずはレスポンスやダイレクト感を実現するために重要な部品で、エンジン出力を直接ファイナルドライブユニットまで伝えるプロペラシャフトとマツダスポーツカーのDNAを支えるパワープラントフレーム (PPF) の仕様を決定した。PPFはエンジン・トランスミッションとファイナルドライブユニットをつなぐことで、ドライバのアクセル操作をダイレクトに後輪に伝えることができる部品である。

検討方法としては、実車のクランクシャフトに一定のトルクを与え総ねじれ角を計測し (Fig.3), 与えたトルクに対してねじれ角の小さい仕様ほど、剛性が高くファイナルドライブユニットにしっかり出力が伝わるものと判断した。

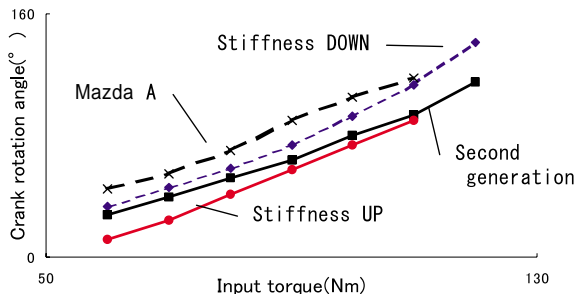


Fig.3 Examination of Twist Angle Measurement

その結果、プロペラシャフトは外径 60.5 65にアップしねじり剛性 (34,900Nm/rad) をあげ伝達力を高めた。しかし、PPFは2代目ロードスターの仕様でもかなりの剛性を確保できており、これ以上剛性をアップしてもフィー

リングに表れないことから、前後両端を閉断面構造とし必要な箇所のみ剛性を高め全体の重量アップを抑えた。

今回、スペック決定において、むやみに剛性を上げるのではなく、Livelyを実現するための最適仕様を決定した。

3.2 レスポンス

(1) レスポンスの定義

レスポンスとは、「アクセルを踏み込んだ瞬間発生する、加速度の応答性の良さ」と定義している。これを表す指標として、Fig.4に示すTG (アクセルを踏み込んだ瞬間から、Gが発生するまでの応答時間) / G / G_Aveの3つの要素に分類される。

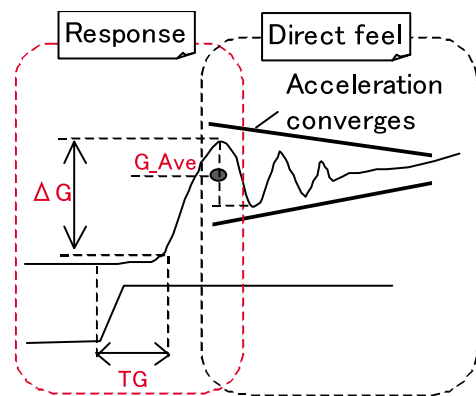


Fig.4 Definition

レスポンスを向上させる上で重要な要素は、アクセルを踏んでから加速度 (G) が立ち上がるまでの応答時間の短縮と、立ち上がった加速度を一気に上昇させることである。

これらの実現は、アクセルの踏み込み瞬間から路面に駆動力が伝わるまでの現象を詳細に解析し、最適なレスポンスの実現を目指した。

(2) 応答時間の解析

まずは伝達経路の応答時間を明確にし、目標を定めた。アクセル踏み込み瞬間から車両が反応し、加速度が立ち上がるTGまでの時間を4つに分け解析した (Fig.5)

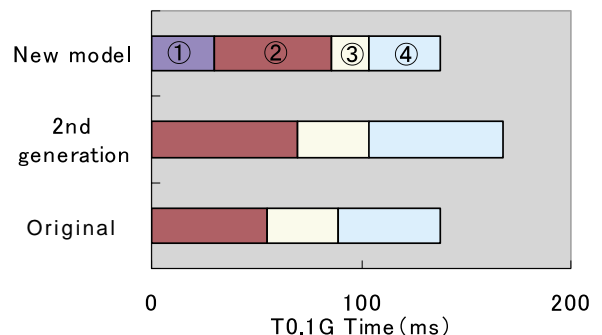


Fig.5 Road Load Response Attribution Analysis

- ① スロットルの応答時間
(アクセルを踏んで、スロットルが反応するまで)
- ② エンジン回転への反応時間
(スロットルが反応して、回転が上昇するまで)
- ③ 車体伝達系の反応時間
(回転が上昇して、タイヤに駆動力が伝わるまで)
- ④ 加速度の発生時間
(タイヤに駆動力が伝わって、Gに立ち上がるまで)

新型ロードスターでは、Good Responseを実現するためには応答時間の短縮は不可欠である。今回エレキスロットルの採用により、①の応答時間はモータの反応速度の影響分も考慮する必要があったが、市場で最速応答時間となる開度10%点20msという応答性能を活かし、好評である初代ロードスターの応答時間138msを目標に、各部のパーツの最適化に取り組んだ。

②, ③, ④の領域それぞれ大幅な改善を実現できたが、③, ④については他でも述べる、PPF, ドライブシャフト, エンジンマウントなどに関係するため、ここでは、エンジン領域の②に関する改善について説明する。

(3) 達成手段 - フライホイールの軽量化

まずは、加速度を作り出す元であるエンジンのイナーシャダウニングによるレスポンス向上に取り組んだ。手段としては、フライホイールの軽量化に取り組み、ロードスターとして最適なレスポンスが得られる仕様を決定した。最終的には、他機種搭載のMZRエンジン比、約6%の軽量化を行い、レスポンスを向上するとともに、スポーツカーにとって必要不可欠な、無負荷レーシングやヒール・アンド・トー時の回転の吹き上がり感も大きく改善した。

Fig.6の性能データから、応答時間TGと G, maxGが向上したことが確認できる。

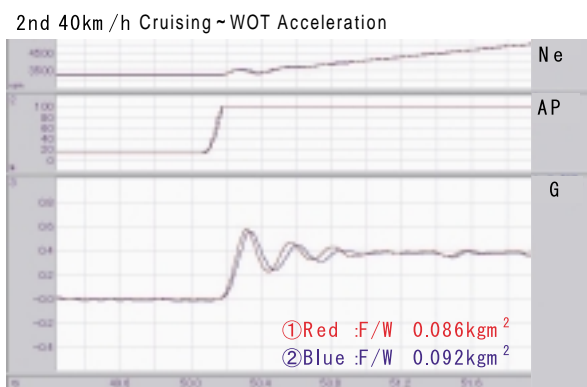


Fig.6 Comparison of Flywheel

また、ロードスターのレスポンスの良さは、Fig.6の管理指標のようなアクセル全開だけで感じられるのではなく、日常生活シーンで感じられることが重要と考えており、Performance Feel評価で設定している、交差点を左折してから加速するモードでも、Gの加速度に明確な性能

差があることが確認できた (Fig.7)

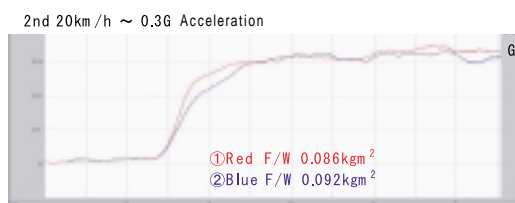


Fig.7 Comparison of Flywheel-Performance Feel Mord

3.3 ダイレクト感

(1) ダイレクト感の定義と狙い

ダイレクト感とは、「加速度の収束の良さ」と定義している。Fig.8のように、加速瞬間の車の挙動を加速度で見ると、アクセルを踏み込むと加速度が大きく上昇し、その後、加速度が振幅しながら収束していき、加速へとつながっていく。この加速度が早く立ち上がり、前後波形の収束が早く小さいほど、軽快でダイレクトな加速を実現できる。

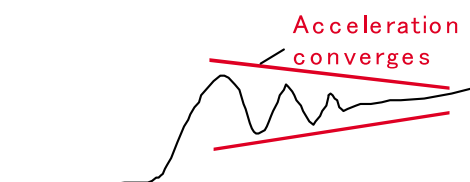


Fig.8 Direct Feel Definition

(2) ダイレクト感のメカニズム

加速度の変動は、ドライバがアクセルを踏み込むと、最初にエンジンが反応し、発生したトルクがトランスミッション、プロペラシャフト、デファレンシャル、ドライブシャフト、タイヤといった部品を伝達して路面に伝わる。この伝わった加速度が大きいほどレスポンス向上につながるが、伝達された加速度が大きいほど、伝達中部品にねじれと戻りが発生し、トルクとバランスするまで、加速度が変動する。

それを抑える方法として、部品の強度や剛性を上げる必要がある。しかし、単純に強度や剛性を上げると部品は大きく重たくなる。また、加速ショックや過敏な反応を招く要因となってしまう。新型ロードスターでは、敏感すぎないGood Responseを実現するため、エンジンから駆動系にいたる伝達系に関連するスペックの最適化を行った。

(3) CAE解析

新型ロードスターでは、開発の初期段階からCAE解析による最適設計仕様の造り込みに取り組んだ。その中から寄与度の高い部品、ドライブシャフト、パワープラントフレーム、エンジンマウントについて、更に実車評価によって、特性の最適化を図った (Fig.9)

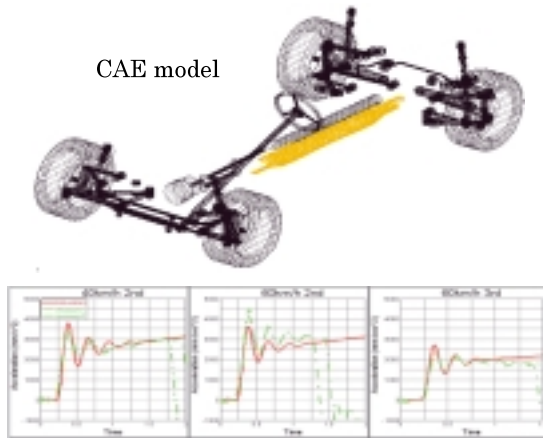


Fig.9 CAE Analysis Data

(4) 達成手段 - ドライブシャフトの剛性

ドライブシャフトの剛性アップは、レスポンス領域と加速度の収束性に最も有効であることが明確にできた。Fig.10は、剛性値とダイレクト感の官能評価結果を表したもので、新型ロードスターでは、加速度の収束の良さをしっかり体感できるレベルにするため、中空構造を採用することで、10,390Nm/radの高いねじり剛性と軽量化をバランスさせることによって、伝達力を向上させた。

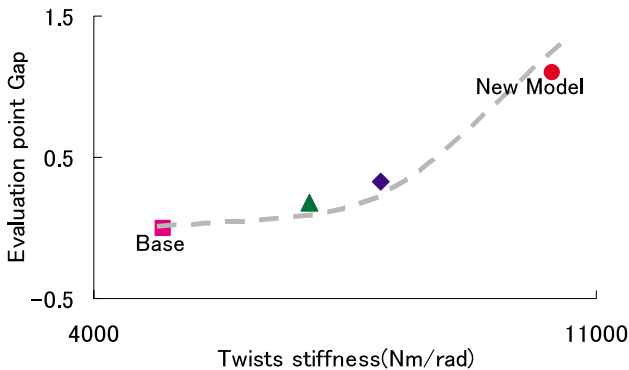


Fig.10 Drive Shaft Contribution Rate

Fig.11の加速度波形でも確認できるように、ねじり剛性向上によってMaxGが高くなり、振動の収束性(黒線)を向上させることができた。

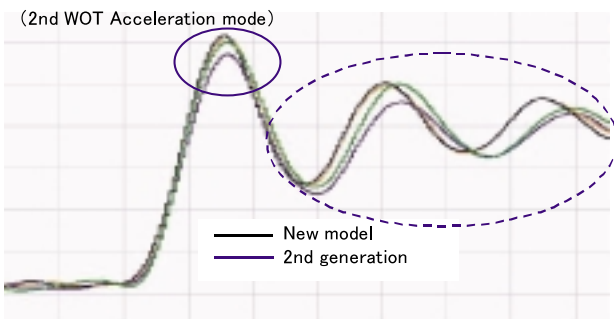


Fig.11 Comparison of Drive Shaft

(5) 達成手段 - エンジンマウントの剛性

エンジンマウントの硬度UPにより、加減速の初期応答性が改善される (Fig.12)。これは、過渡条件下でのパワートレイン系の振れが抑制されることにより、駆動力伝達の応答性が改善されるためと推察される。

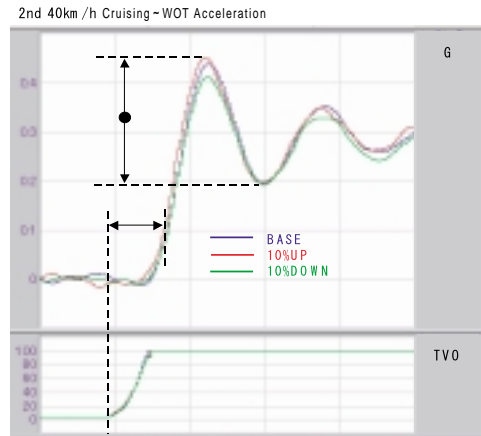


Fig.12 Comparison of Engine Mount

フィーリング評価 (Fig.13) では硬度UPにより軽開度の加減速応答が改善され、シフトチェンジ時のパワートレイン系の振れ(ブルブル感)が少なく、一般走行においても、軽快な加速をダイレクトに感じ、スムーズさの向上にも大きく寄与することを確認した。

ただし、エンジンマウントはレイアウトをはじめ、アイドル振動・操縦安定・乗り心地など、他性能との両立が必要であったため、ダイレクト感Bestではなく、全体最適化の観点から、特性値を決定した。

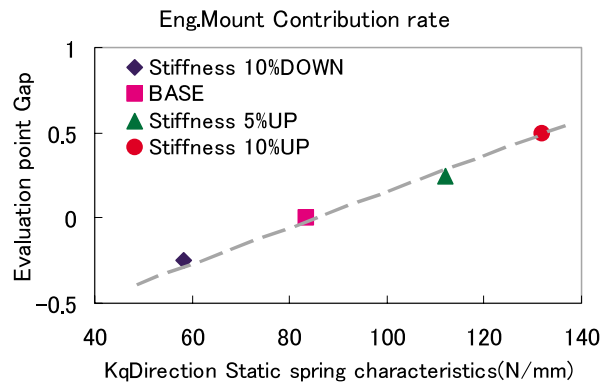


Fig.13 Comparison of Engine Mount

3.4 パワートレイン制御の詳細マッチング

(1) 狙い

新型ロードスターでは、初代ロードスターの軽快な走行フィールはそのままに、一クラス上の質感をプラスさせることを目標に開発を行った。

PCM (パワートレイン・コントロール・ユニット) によるエンジンのセッティングは、燃料、点火、空気=エレ

キスロットルの3要素をいかにコントロールするかが重要であり、加速、減速といった過渡時には様々な制御が1,000分の1秒単位で作動している。これらをドライバの運転状況に応じ、最適なセッティングをすることで、市街地での扱いやすさとハード走行時の軽快さを兼ね備えた、絶妙なバランスに仕上げている。

(2) 加速レスポンス

アクセルを踏み込んだ瞬間、いかにストレスなくエンジントルクを発生させるかがチューニングのポイントで、各シリンダの1燃焼毎のレスポンスが重要である。ただし、瞬間的にトルクの発生を常に最大限まで立ち上げると反応が過敏すぎて加速ショックと感じてしまうため、ギヤ段毎にアクセルの踏み込み量やスピードに応じたチューニングを行い、軽快に反応する狙いのレスポンスを実現した。

新型ロードスターでは、更にレスポンスを向上させるセッティングも可能であったが、コーナリング中のアクセルコントロール性などを含め、一般走行からスポーツ走行まで、あくまでもトータルバランスにこだわった。

(3) 減速レスポンス

スポーツカーでは、加速のみならずアクセルを戻した瞬間の応答性も、車との一体感を保つ重要な性能である。

減速時にはアクセル全閉にした場合、通常燃料カット状態に入るが、エンジントルクが発生した状態からトルクゼロへ移行するため、制御を停止させると急激に大きなショックが発生する。過度なショックを回避しつつトルクゼロへ向け、どのような傾きでトルクを低下させていくかが減速レスポンスチューニングのポイントである。ドライバのトルク低下傾き要求は複雑で常に変化する。新型ロードスターではドライバの運転状態に応じた減速度を絶妙なセッティングにより実現している。

ハード面での対応のみならず、PCMによるソフト面でのチューニングも同じ方向性を持って合わせることで、アクセル操作に対して、期待通りの加速度が得られ、楽しく気持ちの良いパフォーマンスフィールを実現し、「人馬一体」感を更に高めている。

4. 人馬一体を実現するLinearの育成

(1) Linearな伸び感の定義

ここでいうLinearな伸びとは、「低回転から高回転まで、ストレスなくエンジンを使い切れる良さ」と定義している。これを表す指標としてFig.14に示すように、加速度の高さR70LevelのポイントとR70-R90間のG変化が少なくレッドゾーンまでフラットな加速度が続くことと考えている。

また、低回転域のAccelerationゾーンとの加速度のつながりも非常に重要であり、エンジン特性全体で育成していくことが重要なポイントである。

このLinearな伸びを実現するためには、指標に示す加速度のみならず、エンジンサウンドの影響も大きく重要な性

能ではあるが、今回は加速度に絞った取り組みについて述べる。

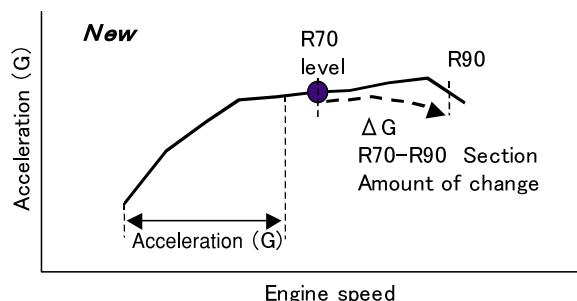


Fig.14 Linear Expansion Feel Definition

(2) 達成手段 - トルク特性

狙いの加速度を実現するためには、エンジンのトルク特性が持つウエイトが大きく、最大トルクからレッドゾーンまでフラットに伸びるトルクカーブの実現が必要である。

新型ロードスターでは、吸気系のチューニングを細部に渡り施しトルクの谷間を減らし、空燃費制御のチューニングを行い可能な限りトルク損失を最小限に抑えてBestな出力特性を引き出すことで、狙いのトルクカーブが実現できた。その結果、Fig.15に示すフラットな加速度を実現した。

エンジンを使い切る楽しさが好評を得ていた初代ロードスターに比べ、2代目ロードスターは、加速度とエンジン回転数の関係から高回転域で加速度が急激に落ちてしまうため、オーバレブのかなり手前で頭打ち感があった。そこで新型ロードスターでは、初代ロードスターのようなフラットな加速度を最後まで保ち、エンジンを使い切る楽しさを目指した。排気量アップによって2代目までの欠点であった加速度の絶対値を改善するとともに、初代の持つレッドゾーンまでフラットに伸びる特性を実現させることで、エンジンを最後まで気持ち良く使い切れる伸び感を実現した。

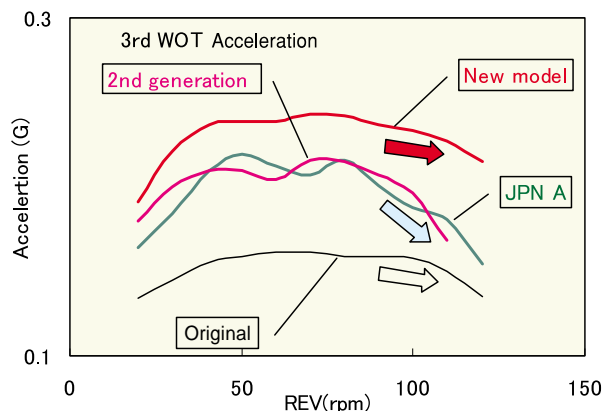


Fig.15 3rd Gear Acceleration Comparison

5. おわりに

新型ロードスターでは、一般的な日常使用シーンで軽快感あふれるFun to Driveの実現を目指して、多くの研究開発を行いその成果を織り込んできた。

今回の紹介は加速度を中心とした報告となったが、Performance Feelの表す感性の領域は、エンジンSoundや排気音、トランスミッションの操作フィーリングなど、多くの複合した性能から実現できている。新型ロードスターを是非試乗して、軽快感あふれる走りや車との一体感を体感していただければ幸いである。

著者



佐々木健二



小栗健作



齋藤茂樹



山下 勲