



电气化助力可持续出行 — 开发第四代丰田普锐斯

# “电子进化” 实现 新飞跃

丰田 Prius 普锐斯在国际上被誉为混合动力技术的先驱。为了显著提高车辆的效率和整体产品性能，丰田对整个开发流程进行了优化。为此，该公司还引入了一条全新的基于模型的工具链，其中包括 dSPACE 的产品级代码生成器 TargetLink 和 BTC Embedded Systems AG 的测试解决方案。



从长远考虑，如何在交通情况不对人类和环境造成过度负担的情况下保持可持续出行？这个问题是可持续出行的核心所在，也是丰田根本的开发目标。新款普锐斯可以完美地解决这个问题。在 JC08 测试循环中，其燃油效率提高到 40.8 公里/升 (95.97 mpg) 或百公里 2.45 升。与此同时，该车的驱动功率得到优化，获得了动力更强劲的驾驶性能。

#### 第四代普锐斯在电子进化中实现新飞跃

该车的动力传动系统采用独特的串并联混合动力技术组合。其基于一种行星齿轮，被称为“动力分配装置” (PSD)，用于连接一台内燃机与两台电动机。这个装置允许车辆进行纯电动运行、能量回收以及电机和内燃机串联和并联运行。此外，PSD 还用作无级变速箱 (CVT)。此动力传动系统是丰田全新模块化平台“丰田新全球架构” (TNGA) 的一部分，将构成未来雷克萨斯和丰田车型的基础。该平台推出后，所有相关组件都从根本上进行重新设计。这大大减少了油耗。第四代普锐斯的燃油效率在特定国家/地区的驾驶测试循环中得到了提高：在日本，效率提高 26%；在欧洲，效率提高 20%；在美国，效率提高 14%。 >>

### 优化控制开发过程

与前几代普锐斯相比，第四代普锐斯为了改善车辆性能，对控制的要求明显提高。因此，控制结构优化对于提高开发效率起着至关重要的作用。例如，在第四代普锐斯中，电机控制系统响应速度变得更快，而且能够实现高速控制，从而缩小组件尺寸并提高燃油效率。为了能够快速响应这些新型控制要求，并为今后的技术创新和车辆调度作好准备，丰田对整体控制开发过程进行了全面的评估，评估范

围包括控制结构、开发流程、开发工具的易用性和效率。

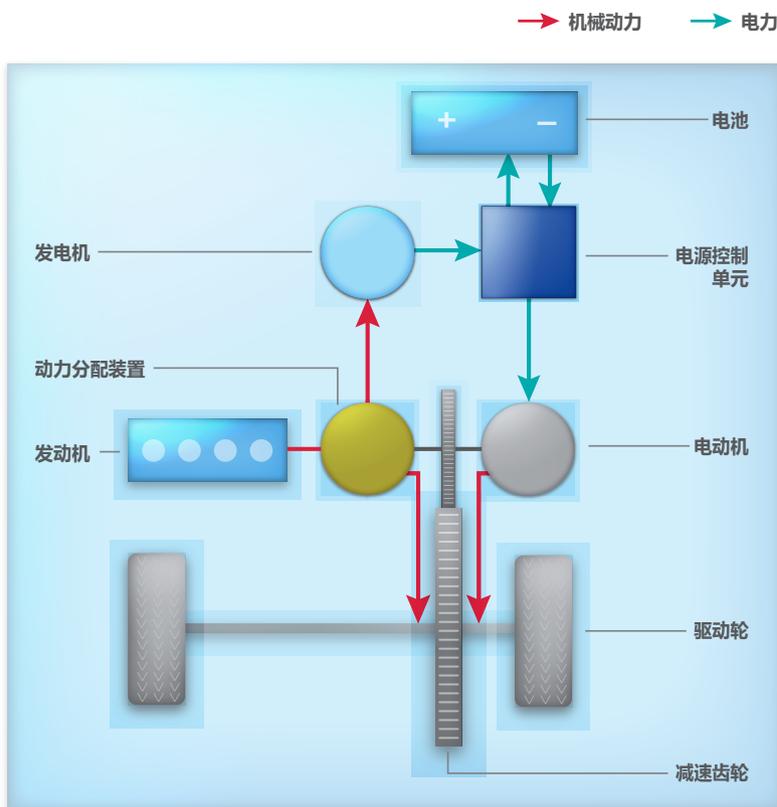
### 重新审视控制结构

第一步，从根本上检查整个控制结构，以建立更简单、更连贯的结构。这样能让经验不足的员工更快地了解控制结构，简化控制系统设计，并节省调试时间。此外，新控制结构与代码生成工具结合使用可以提高产品级代码的效率。

### 重新审视开发流程

高效的开发流程往往步骤很少，以确保达到期望的质量水平。在对早期的开发流程进行审查后，可以发现，通过实施基于模型的开发 (MBD) 可以减少整个控制开发流程的步骤，这种开发方法可让丰田使用最佳工具，省时省力地自动实施一次性开发流程。丰田还了解到，实施工具有助于更轻松兼容 ISO 26262 标准，并实现高效的质量保证。除了常规检查流程之外，丰田还希望能够在开发过程的后期阶段与供应商开展有效合作。

动力分配装置将内燃机和电机的扭矩分配给车轮和发电机。



### 建立基于模型的工具链

为了实现更高效的开发流程，丰田正尝试采用基于模型的工具链，该工具链基于 MATLAB®/Simulink® 环境。确立的效率目标对工具有精确要求，当时如下工具满足了这些开发要求：

#### 提高了开发效率

丰田选择了 dSPACE 产品级代码生成器 TargetLink®，它提供可靠的自动代码生成功能以及从模型到对象代码的仿真概念的一致性。

#### 保障质量，经得起实际考验

丰田使用 BTC Embedded Systems AG 的测试工具 BTC EmbeddedValidator 和 BTC EmbeddedTester 来保证高质量。这两款工具确保可以在早期开发阶段的固定流程中，从实施代码级别来检查 TargetLink 模型和生成的代码。

#### 定义并应用建模准则

基于模型的 Simulink/TargetLink 开发环境适用于结构化建模。通过将预定义的建模准则整合到准则检查程序 MES Model Examiner® 中并自动执行步骤检查，可以减少开发人员的工作。此外，还可以生成高效的产品级代码，保持建模一致并符合 MISRA C 标准。

dSPACE 与 BTC 携手，除了提供工程技术服务之外，还提供能快速应用于实际操作的综合性讲座和研讨会，共同推广丰田推出的新工作流程。丰田一直致力于创建一种新的开发流程，其能基于 ISO 26262 参考工作流程，并且适用于 TargetLink，BTC EmbeddedValidator 和 EmbeddedTester。

### 体验新型工具链

通过对 TargetLink 与 BTC 测试工具的组合进行评估，发现此组合可以减少开发过程（包括传统检查流程）所用的工时。因此它有助于快速、准确地开发新功能。TargetLink 操作流程可以相对轻松地自动执行，丰田的系统开发人员对这一点尤为欣赏。使用此环境不仅可以便捷地生成可实施的代码，而且还支持丰田的具体需要，例如，将代码生成配置信息一键式应用于整个模型模块。而且，过去丰田及其供应商有各自的代码开发和检查流程，但现在使用 TargetLink 和 BTC EmbeddedTester 自动生成代码并执行检查之后，也减少了供应商的工时。这使得功能开发过程中，与供应商的合作变得更轻松。



丰田普锐斯内燃机。它与电机和动力分配装置直接连接。



功率控制单元控制所有混合驱动功能。

### 完整验证

虽然丰田的常规测试方法也足以确保代码质量，但是需要耗费大量的工时。BTC EmbeddedValidator 采用的正式验证方法会自动、完整地验证规范与模型之间的一致性。以下示例运用数学和推断方式证明在此过程中并

未违反要求：

确认以下情况可以应用于所有输入信号组合：

- 如发生电池因故无法使用的情况，
  - 车辆总能及时切换至不使用电池的驱动模式。

>>



丰田第四代普锐斯电动传动系统装置。

“我们通过结合使用 TargetLink、BTC EmbeddedValidator、BTC EmbeddedTester 和相关工具链与自动化机制，为整个开发流程（包括检查）效率的提高奠定了基础。”

Naoki Ishikawa, 丰田汽车公司

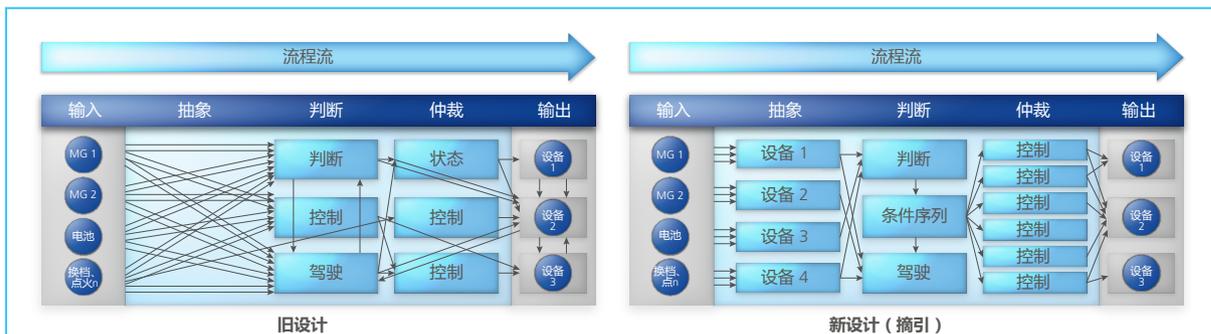
BTC EmbeddedValidator 针对此要求创建所有可能的值组合，随后确认并证明是否存在反例。而且，BTC EmbeddedTester 帮助实现 Simulink/TargetLink 模型与产品级代码之间背靠背测试的全自动执行，并自动生成 MC/DC 代码覆盖率的测试案例。此外，该工具还能检测代码中的所有问题，如值不在范围内和除数为零。结果包括所有生成的矢量，并可使用自

动创建的报告进行确认。在背靠背测试过程中，目标微处理器（硬件）和交叉编译器（对象代码）也集成在测试中，并提供最终的有效性确认。这样，TargetLink 和 BTC EmbeddedTester 组合起来，使用实际目标微处理器执行处理器在环（PIL）仿真。这个测试步骤可以提高兼容 ISO 26262 标准的验证效率。

#### 面临的挑战与未来展望

丰田在进行车辆开发的同时建立了各种工具和环境，包括一次性开发流程、新流程以及自动化机制。然而，最初工时的增加速度超过了预期。因此显而易见，必须妥善实施流程管理，并持续监控和优化流程。丰田计划未来进一步提高开发流程、工具链以及开发环境的效率，使其给开发人员带来的优势更加显著。例如，丰田

优化前后的控制结构。





在基于模型的实施中，开发过程使用的每个流程和工具的优点。

## “通过应用这些工具，我们为高效的混合动力汽车开发建立了坚实的基础。”

Shinichi Abe, 丰田汽车公司

目前正在进行以下应用研究：在开发早期阶段强化使用控制器模型（使用 dSPACE VEOS® 进行虚拟仿真）、使用 dSPACE SYNECT® 持续改善控制开发环境（例如组件重复使用，

包括测试模式、参数和模型（xILS 被控对象），以及提升环境本身的易用性。■

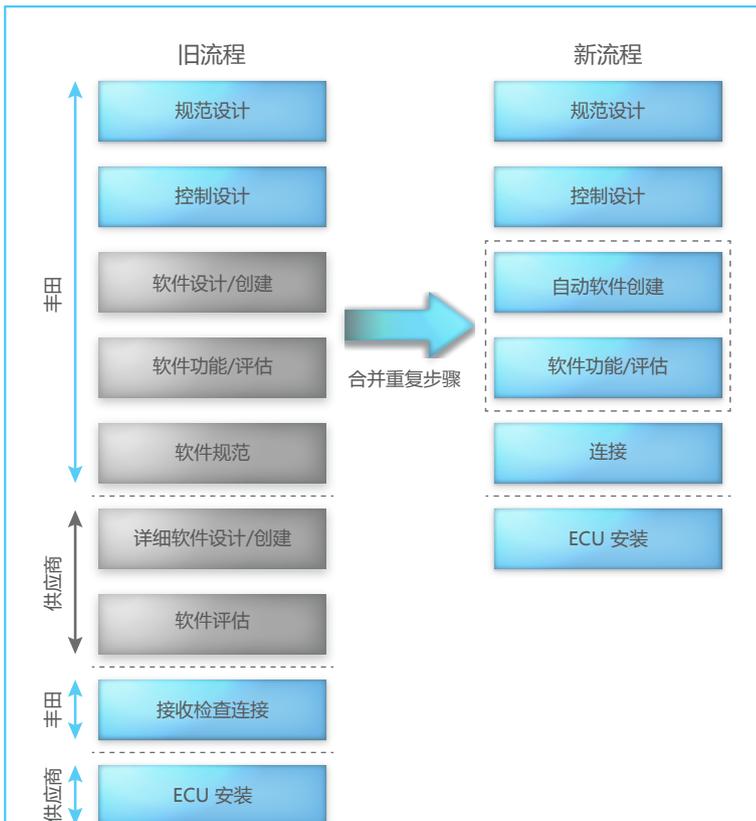
Shinichi Abe,  
Naoki Ishikawa 丰田汽车公司

Shinichi Abe 先生

Shinichi Abe 担任丰田动力传动系公司混合动力汽车管理系统开发事业部总经理，该公司是丰田汽车公司（日本爱知县）设立的下属企业。



优化后的开发流程的步骤十分简便，从而提高了开发效率。



Naoki Ishikawa 先生

Naoki Ishikawa 之前担任丰田动力传动系统公司混合动力汽车管理系统开发事业部副经理，现担任单元开发数字创新事业部流程创新部门流程改进 MBD 控制 2 组副经理。

