



通过 3 项并行湿式涂装，实现节能汽车涂装生产线

马自达公司 车辆技术部

关键词： 加热、冷却、导热的合理化（加热设备等）

主题概要

本公司的涂装加工区，秉承了“环保型高质量涂装加工区”的理念，不仅改善功能和外观质量，同时始终致力于保护涂装加工区的内外环境。这次，为了进一步彻底减少能源消耗，研发了“3项并行湿式涂装技术”，即把中涂工序与上涂工序合并，在湿的状态下对中涂、底漆、清漆进行连续涂装，并一起进行干燥处理。从而完全废止了中涂区和干燥设备，与原来的工序相比，成功地削减了15%的能耗量。

本事例的实施期间

· 计划立案期间	98年12月 — 00年12月	(共计37个月)
· 措施实施期间	01年1月 — 02年1月	(共计13个月)
· 措施确认期间	02年2月 — 02年7月	(共计6个月：防府第一工厂)
	03年5月 — 03年8月	(共计5个月：防府第二工厂)

企业概要（防府工厂 西浦地区）

生产品种 轿车（axela、atenza 等）

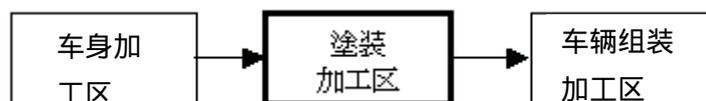
从业人员 2,569 名（截至 04.4.1）

年度能耗量（2003 年度实绩）

燃料 60,331kL（原油换算）

电力 149,473 千 kWh

对象设备概要（汽车工厂概要）



涂装加工区概要（采用3项并行湿式涂装技术之后）



1. 选定主题的理由

涂装工业区拥有很多大型涂装间和用于干燥涂料用的大型干燥设备，在汽车制造工序中能耗最大，而且还大量排放涂料中含有的甲苯、二甲苯等挥发性有机溶剂（Volatile Organic Compounds: 以下简称 VOC）。在大量耗费能源的同时，还存在很多环保问题。各制造商作为应对环境的技术，引进了水性涂料和粉状涂料等涂料技术以及实施溶剂回收和燃烧处理等的大型后续处理装置。但是在引进这些环保技术时，受到了各种各样的制约。例如，水性涂料所需的预热工序，不仅需要大幅度地改变现有生产线的配置，而且还要耗费比以往更多的能源。本公司力求提高涂装间和干燥炉的热效率等，即在追求以往各涂装工序理论能耗的基础上，开展节能活动。但是要从根本上实现节能，不能仅在原来的涂装工序上进行小改动，而要改进涂装工序本身，重要的是缩小或者废除消耗能源的涂装设备。因此，除了削减能耗之外，我们还要一起解决削减 VOC、削减成本等涂装加工区存在的问题，开发新型的工序集中型的涂装方法，并将其引进现有的加工区。

2. 现状把握与分析

(1) 现状把握

在生产汽车的能耗中，涂装加工区约占了 60%。另外，如图 1 和图 2 所示，观察一下涂装加工区内各种能源消耗种类及使用途径之后，可以发现实施喷涂的涂装间和干燥喷涂涂料的干燥炉，消耗了大部分能源。

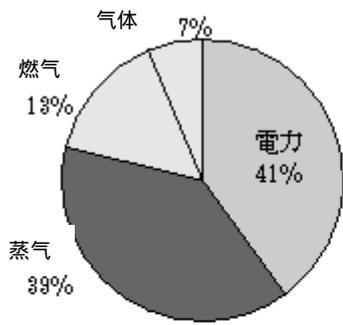


图1 涂装加工区的能耗细目

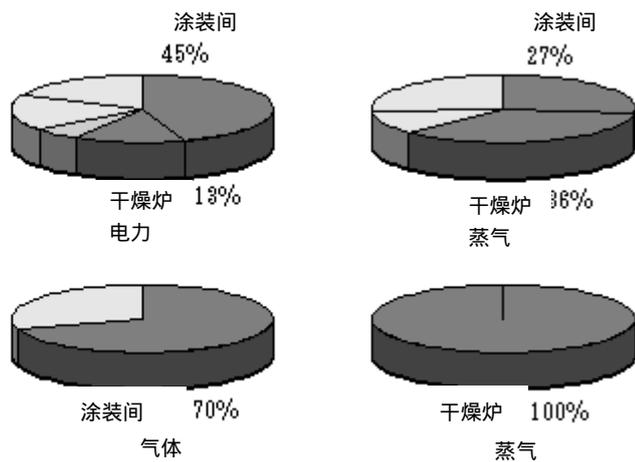


图2 各种能源的使用细目

(2) 现状分析

在制造汽车的过程中，如图3所示，涂装加工区由防锈的电镀工序、防水、隔音的保护工序以及保证美观的中涂、上涂工序这4道工序构成。其中，中涂、上涂工序，都属于喷涂工序，需要2次通过能源消耗大的涂装间和干燥炉，结果消耗了大量的能源。如何整合这些工序，是削减能耗问题的关键。



图3 原来的涂装工序概要

3. 活动经过

(1) 实施体制

我们把中涂工序并入上涂工序（废除中涂工序），开发了能解决削减能源和VOC两大课题的“3项并行湿式涂装”（由于是将中涂、底漆、清漆在湿的状态下连续涂装的工序，因此本公司以此命名）。



图4 这次实施节能措施的概要

为此不仅需要改变生产流程，还要开发适用于新的涂装方式的涂装材料和涂装设备，并达到汽车这一产品要求的质量。因此成立了由进行新型涂装技术先行研究的技术研究所、对产品进行涂装性能评价的车身技术开发组、开发和引进涂装工序设计和新涂装技术的涂装技术组、进行涂装工序控制设计的车辆先行技术组以及涂

料制造商参加的项目组，联合开发技术。

(2) 目标设定

在研发 3 项并行湿式涂装之际，作为今后汽车涂装的标准涂装方式，制定了以下目标

- [1] 削减 15%的能耗（中涂工序并入上涂工序，废除中涂间和中涂干燥炉）
- [2] 把 VOC 排放量降低到欧洲监管要求的 35g/m² 以下
- [3] 涂装成本削减 25%
- [4] 顺利导入正在生产中的现有加工区
- [5] 提高涂装质量

(3) 问题点及其研讨

如果使用原来的涂料，实施 3 项并行湿式涂装，就会出现光泽黯淡、颜色浑浊的现象，使外观质量下降。不仅如此，与以往涂料相比，中涂和底漆层界面紧密结合，跳石等崩裂产生的冲击容易传到电沉积面和钢板，存在降低耐用性的隐患。

此外，如果单纯地将中涂工序并入上涂工序中，就需要延长上涂间的喷涂时间，这不仅需要大量的设备投资，而且也很难达到削减能耗的目的。因此，为了在现有加工区上涂间的宽度和长度等允许的条件下并入中涂涂装，就必须优化生产方法、涂料、涂装设备装置等事项，整合配置，方能行之有效。

为了进一步削减 VOC 排放量和涂装成本，不仅需要使用低溶剂涂料，而且彻底减少涂料损失也很重要。而且，在实施并入时，为了避免长时间关闭生产线而仅在一般休息日实施，需要事先对生产设备的硬件和软件进行彻底的检验。

为了解决上述问题，设定了下述 4 项技术开发课题。

- [1] 开发 3 项并行湿式涂装
- [2] 开发 3 项并行湿式涂装的配置
- [3] 开发减少 VOC 及涂料损失的涂料技术
- [4] 开发能够顺利并入的生产模拟技术

4. 措施内容

(1) 开发 3 项并行湿式涂装

- 1) 使用低溶剂涂料

单纯减少溶剂量，则会增大涂料粘度，无法用于涂装，因此采用了减少涂料树脂的分子量和降低涂料粘度的方法。开发了这些低溶剂涂料之后，大幅度地削减了VOC。

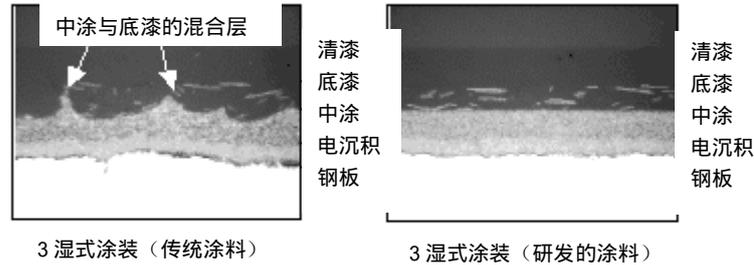


图5 涂膜截面图

2) 防止中涂和底漆的混合层

如果降低涂料粘度，并在不对中涂和底漆涂装进行热粘的情况下连续涂装时，就会在中涂和底漆界面使涂料混合，容易出现光泽黯淡，颜色浑浊的问题。

因此，为了既能保证涂装时涂料的低粘性，又能防止出现中涂和底漆的混合层，开发了在涂装后能对涂装界面形成一层保护膜的界面控制用树脂，并将其添入中涂涂料中。

这种树脂，在涂装时能够均匀地分散于涂料中，维持涂料的低粘性，在涂装片刻之后，因为表面张力的作用，树脂会移向中涂表层，在中涂和底漆界面形成一层高粘度的隔离层，可以防止色彩浑浊，又能保证具有与原来的涂装同等以上的外观质量。

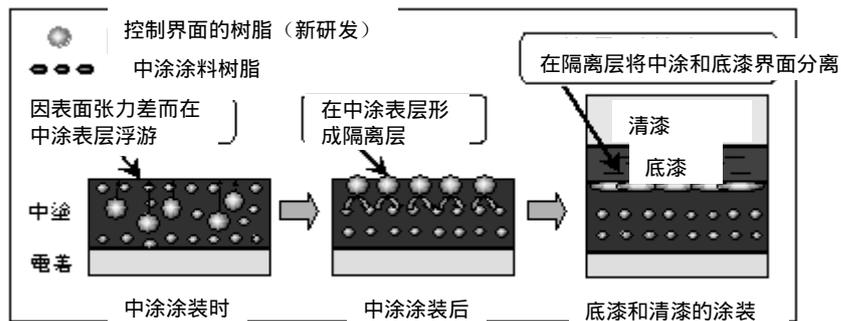


图6 控制界面的树脂及其功能

3) 确保耐崩裂性能

为防止中涂层出现崩裂损伤，需要赋予中涂涂料的耐崩裂性。在中涂涂膜的物性中，加强破裂强度和冲击吸收率，也有助于提高耐崩裂性。因此，使属于基本树脂的聚酯树脂具有必要的强度，再添加能够吸收冲击力的高粘性聚氨酯树脂。

结果在耐崩裂性等耐久质量方面，也确保了具有与原来的涂装同等以上的质量。

另外，这次开发的3项并行湿式用上涂涂料，也可作为以往涂装方式的上涂涂料来使用。使用该涂料

时，灵活地跟进各项配合措施，就能边生产边改变工序。

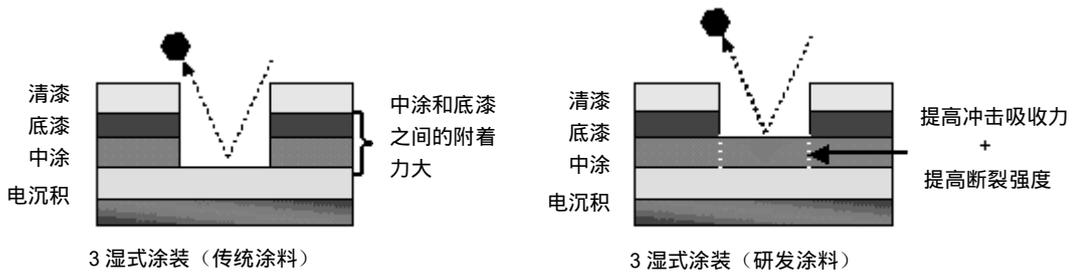


图7 提高耐崩裂性能

(2) 3项并行湿式涂装配置

3项并行湿式涂装中的中涂仅用于外板涂装，并设置上涂内板底漆涂装，从而废止了以往的中涂内板涂装。另外，一般的湿式涂装，为防止出现混合层，需要设置空转区，即在进入下一道涂装前，进行一段时间地溶剂蒸发。但开发了前面所述的界面控制剂等涂料后，就不再需要空转区了。

外板用涂装设备，力求进一步减少涂装机数量，优化配置，以节省空间。以往的往复式自动涂装，由于是单调的来回涂装，因此每台涂装机处理的工作量存在偏差。但采用了动作自由度大的机器人涂装机之后，实现了每台涂装机工作量的平均化，从而减少了涂装机数量。另外，在涂装设备的配置方面，为使涂装间和机器人之间互不干扰，通过后述的涂装质量模拟，检验实际的涂装轨迹之后，选定了最佳的配置。

按照以上措施，进行整合，实现了有效布局。在未对涂装间进行改造、扩建的情况下，在原有的上涂间并入了中涂涂装。

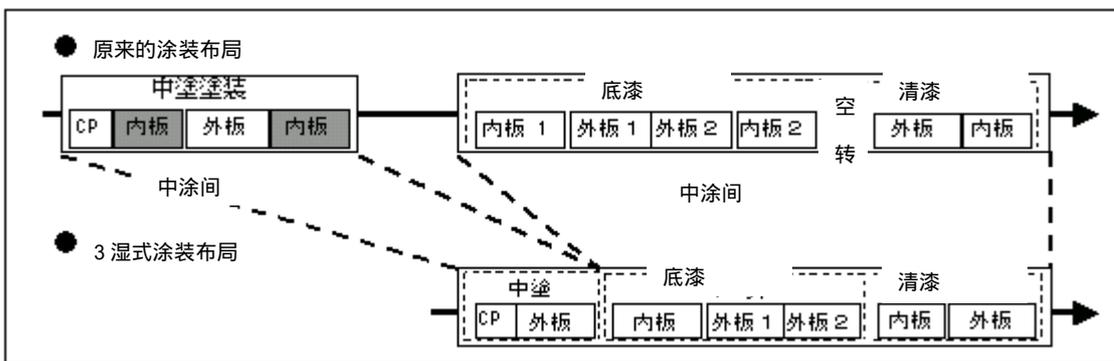


图8 涂装布局的研发

(3) 开发减少 VOC 与涂料损失的涂装技术

如果要减少涂料使用量，不仅要减少 VOC，还须考虑解决垃圾、麻点等生产缺陷以及排除产生涂料沉淀物等的主要原因。在兼顾经济成本的情况下，更重要的是解决涂装存在的所有问题。如图 9 所示，基于 VOC 的使用

量与其构成因子的关系，从（1）开发低溶剂型涂料、（2）调整涂装方式、（3）减少涂装损失的3个观点出发，系统地开发减少VOC排放量的措施。（图10）

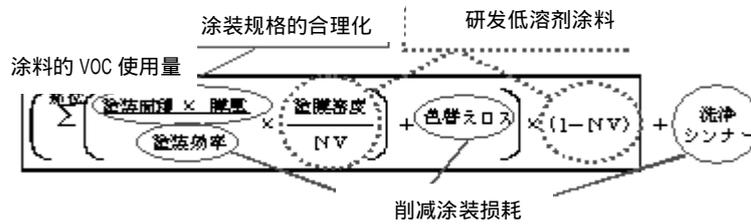


图9 VOC使用量的构成

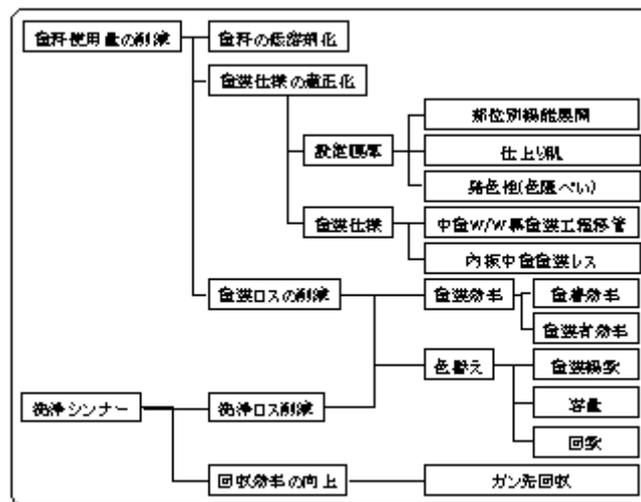
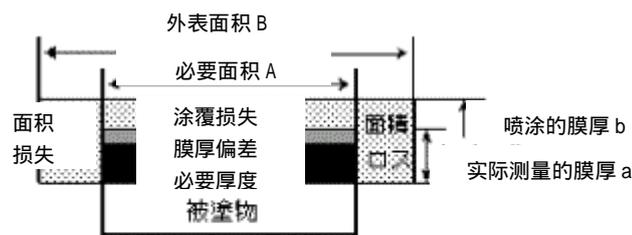


图10 实施削减VOC的措施

这里，介绍提高涂装效率的有关事项。

涂装效率与两种损失有极大的关系，一种是涂装时因反冲、弹回等原因出现无法附着于涂装界面的涂料损失，另一种是保持厚度均一的涂装所需的面积损失（图11）。



涂装效率=涂覆效率 (a/b) × 涂装有效效率 (A/B)

图11 涂装效率的概念图

通过 3 项并行湿式涂装机，实现了外板涂装设备从往复式自动涂装向机器人涂装的转变。另一个目标是，提高涂装效率。涂装轨迹自由、再现性高的机器人涂装，可以在最佳的规定条件下保持属于涂料损失主要因素的涂装距离，对弯曲面多的车身外板进行涂装，并能保持面积损失较少的涂装轨迹。再实施后述的厚膜模拟进行检验，然后设定最佳的涂装轨迹和涂装条件。

在实际生产线上投入使用后，最重要的是把涂装条件（喷涂的 ON/OFF 和空气马达的转动等）对机器人涂装机的涂装轨迹的响应滞后控制在最小程度。实施控制软件的高速化和空气胶管长度的最短化等，确保所有机器人涂装机具备规定的响应性。

(4) 开发能够顺利导入的生产模拟技术

为了缩短设备改造后的试运期间，以及减少投入批量生产后产生的运转和质量方面的损失，开发了设备控制和涂装质量的生产模拟技术。

1) 设备控制模拟

改造生产线时，需要确认最新导入设备和改造设备是否能按要求运转。

这次开发的设备控制模拟，通过在研究室再现与现场生产环境一样的控制环境，不仅能够确认基本的设备功能，还能事先确认在异常和紧急应对的现场试运中无法再现的特殊情况。此项技术引入生产技术的导入程序，缩短了设备试运以及运转后出现不良情况的应对期间。（图 12）

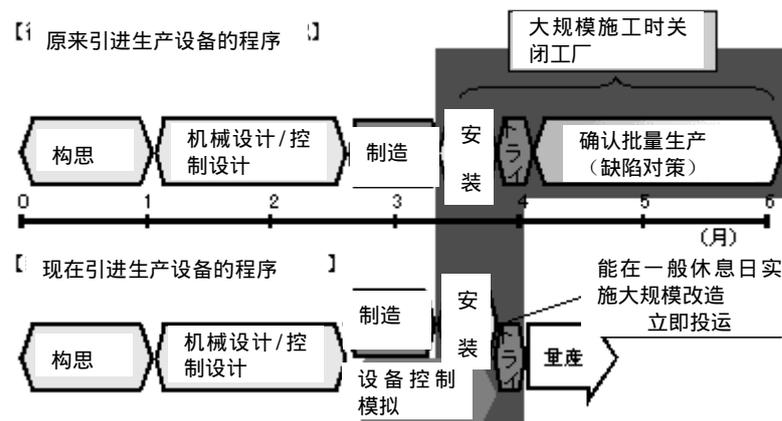


图 12 生产设备的导入程序

设备控制模拟系统概要，如图 13 所示。

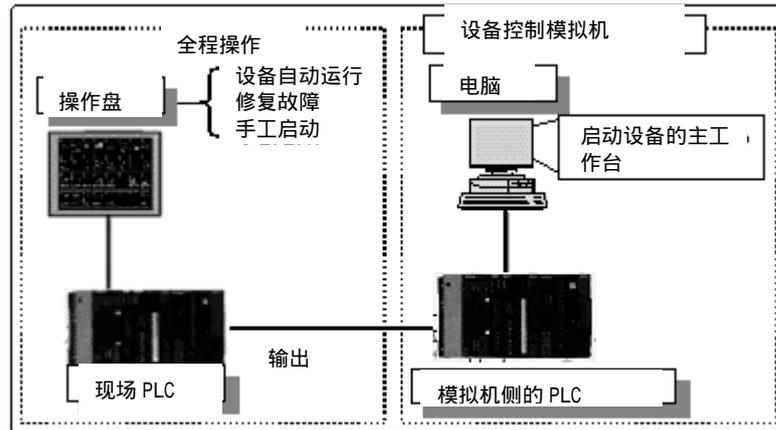


图 13 设备控制模拟系统概要

与在时间和运作条件上都受到制约的现场试运行进行了比较之后，得知可事先验证 5 倍以上的数百个项目。而且是在一般的休息日施工，可在不影响生产的前提下，进行大规模的设备更换。

2) 涂装质量模拟

原来保证涂装质量的主要方法是一边对实际车身反复进行生产线涂装，一边调整涂装轨迹和涂装条件，以此提高精度。为了最大程度地发挥机器人涂装的功能，需要花费大量工时和期间。在时间受到限制的运转中生产线上进行调整，预计需要大量时间。

基于这点，在前面提到的机器人涂装的布局 and 高效涂装方法的设计之外，开发了整合涂装机与气压及喷涂量等涂装工作条件的膜厚模拟技术，确立了在相同的 CAD 环境下，包括质量检验在内的一系列涂装设计方法。在此已得到验证的机器人涂装条件的数据，全部作为示教程序，直接下载到机器人中，实现了使用实际车身的生产线对涂装进行最低限度的质量确认。

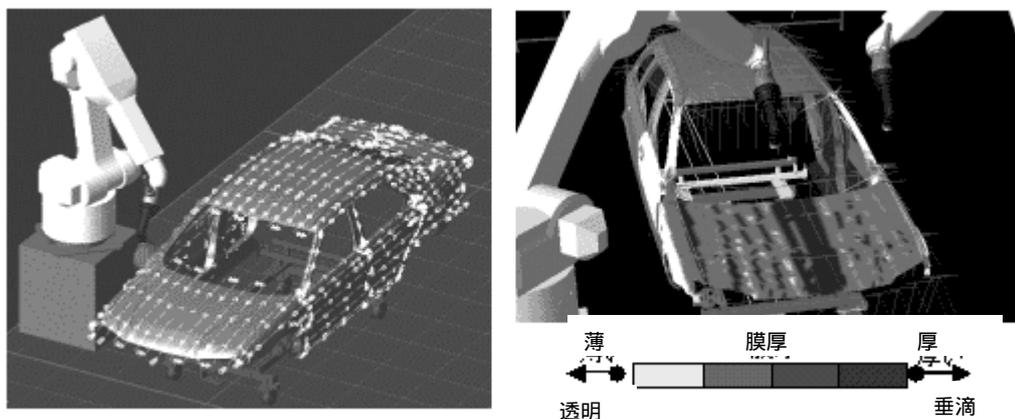


图 14 涂装轨迹/膜厚模拟

5. 措施效果

(1) 削减能耗

中涂工序并入上涂工序之后，废弃了中涂间和中涂干燥炉，减少了涂装加工区 15% 的整体能耗（图 15）。

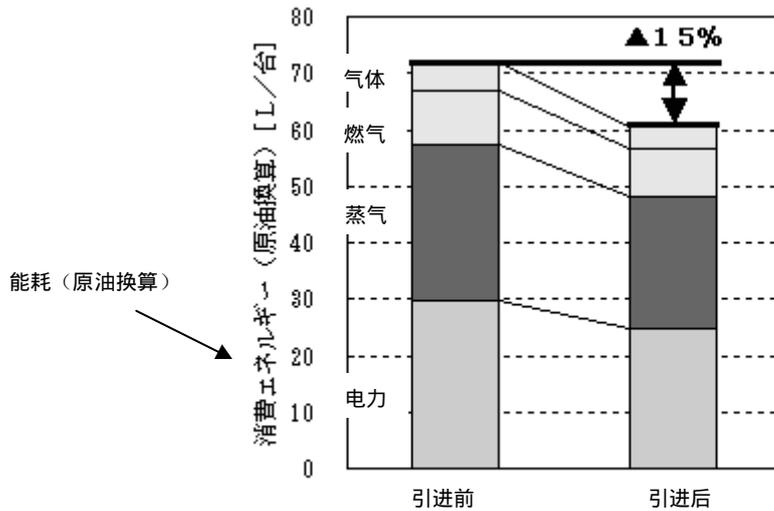


图 15 涂装加工区每台设备的能耗

(2) 削减 VOC

通过减少涂料使用量和开发低溶剂涂料，与以往涂装相比，约削减了 45% 的 VOC 排放量。因此，在现有的溶剂涂料型涂装加工区内，VOC 的排放量低于欧洲 VOC 排放规定水准 35g/m²。

(3) 降低成本

减少能耗和涂料使用量，缩减喷漆作业人员等举措，减少了涂装加工区 25% 的整体成本。

(4) 顺利导入现有加工区

开发了设备控制和涂装质量的生产模拟技术，通过模拟验证，不仅在涂装试运和设备设计等硬件方面，而且在设备控制和涂装条件设定等软件方面，使运转和质量都能一次性通过。

(5) 提高质量

通过“3 项并行涂料”和膜厚误差少的涂装方法，一方面使耐崩裂性等的耐久性保持了与原来涂装相等的高性能，另一方面，充分利用“3 项并行涂装”特征，改善了外观质量（光泽、光滑性等）。

6. 总结

这次，以合并中途工序和上涂工序为中心，研发了“3项湿式涂装技术”。一并解决了削减能耗和VOC排放量等相关的涂装问题。另外，这项成果还直接与成本挂钩，因此作为新一代的标准涂装方式，备受国内外同行瞩目。

7. 未来计划

目前，本公司将这一新式涂装方法作为标准涂装方式，在所有涂装加工区中广泛使用。另外，作为环境应对技术，推动研发无需增加能耗的“水性3项并行涂装”的水性涂料技术。今后仍将不拘泥于以往的生产方法，致力于涂装技术的开发，综合性地解决削减能耗、VOC排放量和成本等课题。

经济产业大臣奖

