

加氢站建设的影响因素分析——以日本为例

张宸凯, 白井, 信雄*

武藏野大学, 日本 东京都 135-8181

DOI: 10.61369/SSSD.2026070030

摘 要 : 日本在燃料电池技术领域长期保持世界领先, 但作为氢能社会关键基础设施的加氢站, 其数量自 2022 年起却不增反降, 呈现特异的“逆行现象”。本文以东京都为案例, 通过文献调研和对东京燃气公司的深度访谈, 探究加氢站建设停滞的深层原因。日本的“逆行现象”并非技术落后所致, 而是源于社会技术系统的结构性失调。

关 键 词 : 加氢站; MLP 理论; 社会技术转型; 东京都; 逆行现象; 氢能政策

Analysis of Factors Influencing the Construction of Hydrogen Refueling Stations A Case Study of Japan

Zhang Chenkai, Bai Jing, Xin Xiong*

Musashino University, Tokyo, Japan 135-8181

Abstract : Japan has long maintained a world-leading position in fuel cell technology. Yet, as a key infrastructure for a hydrogen society, the number of hydrogen refueling stations in the country has decreased rather than increased since 2022, presenting a peculiar "regressive phenomenon." Taking the Tokyo metropolitan area as a case study, this paper explores the deep-seated reasons for the stagnation in hydrogen station construction through literature research and in-depth interviews with Tokyo Gas Co., Ltd. The "regressive phenomenon" in Japan is not due to technological backwardness, but stems from a structural misalignment within the socio-technical system.

Keywords : hydrogen refueling station; MLP theory; socio-technical transition; tokyo; regressive phenomenon; hydrogen policy

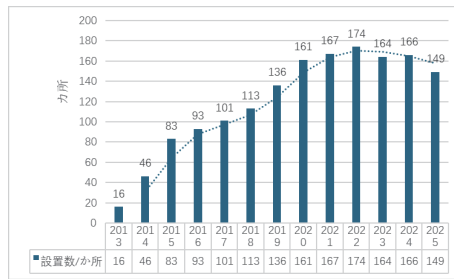
引言

在全球应对气候变化的紧迫形势下, 交通部门的脱碳化已成为国际社会的核心议题。国际能源署 (IEA) 的数据显示, 运输部门约占全球二氧化碳排放量的 21%。对于公交、物流等商用车领域, 相比纯电动汽车 (BEV), 燃料电池汽车 (FCV) 具有续航里程长、燃料加注时间短、低温环境下性能稳定等不可替代的优势。

日本在氢能领域起步最早且技术积累深厚。2014 年, 丰田汽车推出了全球首款量产燃料电池乘用车“Mirai”, 提供了 FCV 商业化可能性。日本政府于 2017 年发布全球首个氢能国家战略《氢能基本战略》, 明确了 2030 年实现年产 300 万吨氢、2050 年达到 2000 万吨的目标, 并计划推动“氢社会”建设。在基础设施方面, 政府的目标是到 2030 年建成 900 座加氢站。

然而, 现实发展却呈现显著的“逆行现象”(图①): 截至 2024 年, 日本国内加氢站数量不增反减至 149 座。在 FCV 全球市场, 现代汽车集团以 34.7% 的份额位居 FCV 领域榜首, 丰田以 26.6% 位居第二。这一数据与《氢能基本战略》中提出的 2025 年达到 20 万辆 FCV 的目标相去甚远。

技术领先的日本为何在基础设施普及上陷入停滞? 这一“逆行现象”的背后, 是单纯的技术问题, 还是更深层次的系统性问题? 本文以政策资源最集中、市场潜力最大的东京都为案例, 运用社会技术转型理论 (MLP), 通过文献调研和对东京燃气公司的深度访谈, 系统分析影响加氢站建设和运营的多层次因素, 并通过比较为破解当前困局提供理论解释和政策启示。



(来源) 根据 FCCJ2025 年资料和日本经济产业省数据编制

图① 日本加氢站数量推移图

一、理论基础与文献综述

（一）创新扩散理论（DOI）

罗杰斯的创新扩散理论（Diffusion of Innovations, DOI）是分析新技术普及的经典框架，暨创新普及的速度取决于五个核心属性：相对优势、兼容性、复杂性、可试验性以及可观察性。

然而，DOI 理论难以解释日本的“逆行现象”。该理论认为，技术优势越明显，普及速度应该越快。但现实中，技术相对劣势的韩国却在普及速度上领先日本。这表明，当技术创新涉及整个社会技术系统时，仅从技术属性和个体采纳决策角度分析是远远不够的。技术本身并非孤立变量，其扩散路径深受既有制度、基础设施网络、利益相关者关系等系统性因素的制约。

（二）多层次视角理论（MLP）

基于此，本研究导入了多层次视角理论（Multi-Level Perspective, MLP）为理解复杂的社会技术转型提供了分析框架。该理论将社会技术系统的转变视为三个层级相互作用的结果。

MLP 理论认为成功的系统转型不是单一因素驱动的线性过程，而是社会层级之间动态匹配、协同演化的结果。氢能源的推广不仅仅是建造一种新的“加油站”，而是涉及能源生产、储运、消费全链条，以及相关法规体系、市场规则、用户习惯的整体变革。

（三）既存研究

氢能技术难以实现全社会的公平扩散。国际经验研究也提供了有益参考。美国通过“区域清洁氢能中心”（H2 Hubs）计划，采取地理集中战略而非全面铺开，在加州等地形成了49座加氢站的集聚。德国的经验表明，通过功能安全导向的规范，可以在保障安全的同时充分释放技术创新的潜力，大幅缩短加氢站建设许可周期。

二、研究方法

本研究采用定性研究方法，主要包括：

文献调研：系统梳理日本、韩国、美国、欧洲、中国等国家的氢能政策文件；深入分析东京都、大阪府、爱知县、福冈县等日本地方自治体的氢能发展战略；全面考察丰田、现代、本田（FCSM）、ENEOS、岩谷产业、巴商会、东京燃气等核心企业的战略报告和公开资料。

深度访谈：于2025年11月6日对东京燃气株式会社进行了60分钟的线上访谈。选择东京燃气作为访谈对象的原因在于：该公司参与了国家级的氢能示范项目，是东京都内重要的氢气供应商，曾运营位于浦和、练马的加氢站，并最终因经营压力被迫关闭这些站点。访谈内容涵盖五个核心领域：加氢站的标准化与技术开发现状、政府政策与标准化的影响、同业竞争与客户反馈、加氢站普及的关键因素、对未来的展望。

三、研究结果

（一）国际比较：战略叙事的差异

通过系统比较各国氢能战略，可以发现一个关键差异：氢能

源推广的宣传方式，决定了政策动员的广度和深度。

日本将氢能定位为“脱碳”的战略工具，政策重心集中在技术研发。虽然建设补贴可以覆盖成本的1/2至2/3，但政策设计的逻辑是技术导向，根据加氢方式、供气形态等技术参数设定补贴标准，与社会经济目标的关联较为间接。尽管日本政府投入了大量财政资源，但这些投入未能转化为广泛的社会动员和市场需求。

韩国的战略叙事则完全不同。政府将氢能与就业创造、产业竞争力、出口增长等宏观经济目标直接挂钩。补贴制度根据站点位置进行差异化分配，交通枢纽等关键节点可获得建设费70%的支持。虽然补贴金额与日本相同，但这种“氢能即经济”的叙事方式，成功地将氢能发展从环保议题转化为全民关注的经济议题，形成了强大的社会动员力。

美国的战略特色在于区域聚焦。通过建设“区域清洁氢能中心”（H2 Hubs），采取地理集中的战略思路。欧盟的路径则强调应用，重点支持公共交通、商用物流等领域的氢能应用。

（二）日本地区比较：地方模式的多样性

日本主要地方自治体的氢能战略，呈现出显著的多元化和互补性，为 MLP 理论提供了丰富的实践注脚。

东京都强调多技术路线的并行探索，其结果并不理想，加氢站数量已经被爱知县反超。大阪府更加重视产业生态系统的构建。氢能不仅服务于脱碳目标，更被视为培育新产业、创造就业、推动经济结构转型的重要抓手。福冈县则以技术多样性著称。在利基空间中充分探索技术路线的多样性，对于降低长期成本、适应不同资源禀赋具有重要价值。爱知县依托港口优势，将名古屋港定位为脱碳枢纽。这一“港口中心”战略是典型的利基空间建设：在特定区域内集中需求、共享基础设施、形成规模效应。

（三）核心企业战略比较

日本的氢能供给体系，由四种不同类型的企业群构成，反映了氢能产业的多层次结构。

综合能源转换型（ENEOS）：作为传统能源巨头，ENEOS 面临脱碳压力下的战略转型需求。液化物流主导型（岩谷产业）：岩谷产业其战略特点是务实而稳健不断探索氢能源的发展路径。技术特化型（巴商会）：作为专业解决方案提供商，巴商会的战略是专注于加氢站建设的细分领域。城市燃气变革型（东京燃气）：东京燃气的战略特色在于将氢能与现有城市燃气管网协同。公司开发的 e-メタン 技术可通过现有管网直接输送氢气，显著降低新基础设施建设成本。

（四）东京燃气采访结果

1. 体制层的强锁定效应

高昂的制度成本：基于《高压ガス保安法》的安全标准，加氢站需配备特殊设备、专用安全设施，并要求有资质人员常驻。单站建设成本高达4-6亿日元，是普通加油站的4-6倍。

选址的制度壁垒：法规对站点与周边建筑物、道路之间的“保安距离”有严格要求。在东京都，找到满足距离要求的大片空地极其困难。

技术的锁定效应：日本在超高压（82MPa）技术上的先发投入，虽然确保了安全标准，但也因设备非标化导致量产困难、更

新成本高。

2. 利基层的脆弱性

示范项目不可持续：东京燃气参与国家级项目建成的浦和、练马加氢站，因设备老化后被迫分别于2021年3月和12月关闭。这一案例清晰地表明，依赖补贴的“保护空间”若无法过渡到商业闭环，终将萎缩甚至消失。

3. 企业的适应性转型

面对体制层锁定和利基层困境，东京燃气正在进行战略调整：1、向商用领域聚焦：访谈对象指出现在更关注商用领域。公交、物流卡车路线相对固定，少量加氢站就能形成有效服务网络。2、参与区域联盟：企业积极参与政府主导的“地区协议会”，与多方企业共同构建区域氢能生态，试图突破单一企业无法解决的协调困境。3、技术协同战略：将水电解技术与“e-メタン”业务协同，探索氢能与现有燃气管网的融合路径。

四、考察 MLP 视角下的“逆行现象”成因

基于上述实证发现，本节运用 MLP 理论系统解释日本加氢站建设“逆行现象”的成因机制。

（一）景观层：压力传导失效

日本的“2050碳中和”目标构成了明确的宏观压力，但这种压力未能有效传导至微观行为层面，主要原因在于“叙事”的缺失。日本的政策叙事高度聚焦于“环境责任”。这种叙事虽然具有正当性，但难以激发普通市民和企业的主动参与意愿。

（二）体制层：双重锁定效应

日本加氢站建设的制度瓶颈，可以概括为法规锁定和行政锁定的双重叠加。

法规锁定：核心法规《高压ガス保安法》的制度安排确保了安全生产，但也因缺乏弹性而对新技术形成系统性障碍。反观德国于2023年通过《氢能加速法案》加速加氢站审批流程打破制度锁定，有效提高了氢能源企业的发展速度。

（三）利基层：保护空间战略失焦

日本并不缺乏利基空间建设，全国各地分布着大量的氢能示范项目。但这些示范项目存在三个突出问题：1、分散化而非集群化：示范项目多为散点分布，各自独立运行，未能形成地理上的集聚效应。2、技术验证而非商业验证：多数示范项目以验证技术可行性为首要目标，对商业模式、经济可持续性关注不足。3、孤岛式而非协同式：示范项目之间缺乏有效的经验交流和知识共享机制。同一产业链上下游企业也缺乏协同平台。

（四）三方僵局的形成机制

综合上述分析，日本加氢站建设的“逆行现象”源于 MLP 三层级之间的系统性失调：

景观层压力未能穿透体制层：政策叙事缺失使压力停留在国家目标层面，未能转化为改变企业行为和个人选择的现实动力。体制层的双重锁定使加氢站建设成为“高成本、高风险、低回报”的活动。利基层保护空间战略失焦：示范项目分散化、技术化、短期化，未能形成足以冲击体制层的创新积累。

五、结论与政策建议

（一）结论

日本的“逆行现象”体现了在社会技术转型期，技术领先并非市场成功的充分条件。更关键的因素在于，能否打破现有体制的锁定效应，实现社会各阶层的协同演化。具体而言，本文得出以下结论：

第一，政策叙事决定转型的社会基础。日本将氢能框定为“环境责任”，未能有效动员社会各界参与。叙事差异导致日本企业民众的参与意愿低下。

第二，制度弹性决定扩散速度。《高压ガス保安法》等旧有制度体系在保障安全的同时，也因缺乏弹性而成为创新障碍。

第三，战略聚焦决定利基效率。日本的散点式示范虽多，但未能形成规模效应和协同效应。

第四，技术协同降低转型成本。东京燃气的 e-甲烷战略表明，将氢能与现有能源系统协同，利用既有基础设施，可以显著降低转型成本。氢能不是孤立的新能源，而应是能源系统整体优化的重要组成部分。

（二）政策建议

基于上述结论，本文对加氢站战略提出以下建议：

重视景观叙事：明确氢能发展在创造就业、提升产业竞争力、培育出口增长点等方面的经济价值。只有将宏观叙事与微观关切有效连接，才能形成广泛的社会共识和参与动力。

推动体制变革：氢能源相关法规需要系统评估，引入基于“功能安全”的弹性规制思路而不是固守既定的技术标准。

聚焦利基战略：放弃全面铺开的分散思路，集中资源在特定区域打造示范区。示范区内应实现生产、储运、应用的纵向一体化，以及商用需求横向集聚，形成规模效应和协同效应。

强化产业协同：借鉴韩国现代的垂直整合经验，鼓励能源企业与车企、物流公司、地方政府建立战略联盟。

推动能源融合：探索氢能与现有燃气管网、电力系统的融合模式。氢能不应被视为完全独立的新能源系统，而应作为整个能源体系优化升级的组成部分。充分利用现有基础设施，降低社会转型的总成本。

（三）未来展望

加氢站运营的精细化成本收益分析；制度变迁的路径依赖与突破机制研究；氢能与电力、燃气系统协同优化的技术经济评估等。期待更多研究共同推动氢能社会转型的理论建构和政策创新。

参考文献

- [1] 日本経済産業省 資源エネルギー庁「FCV・水素ステーション事業の現状について」2021.3.
- [2] 経済産業省 資源エネルギー庁「水素を取り巻く国内外情勢と水素政策の現状について」2024.9.
- [3] Raven, R. "Niche accumulation and hybridisation strategies in transition processes towards a sustainable energy system: An assessment of differences and pitfalls", Energy Policy, Vol. 35(4), 2007, pp. 2390–2400.
- [4] Fry, A., Ryley, T. and Thring, R. "The Influence of Knowledge and Persuasion on the Decision to Adopt or Reject Alternative Fuel Vehicles", Sustainability, Vol. 10(8), 2297, 2018.
- [5] Nishitaten, S. "Hydrogen Infrastructure, Fuel Cell Electric Vehicles, and Indirect Network Effects: Evidence from Japan", RIETI Discussion Paper Series 25–E–045, May 2025.