

---

# 有关碳素纤维之水利用技术的有效利用及市场性

---

小暮 幸雄 碳素纤维水利用工法研究会 会长

〒370-0018群马县高崎市新保町1665-1 Tel:+81-27-384-3445 E-mail:koguyuki@gmail.com

---

## 1 序言

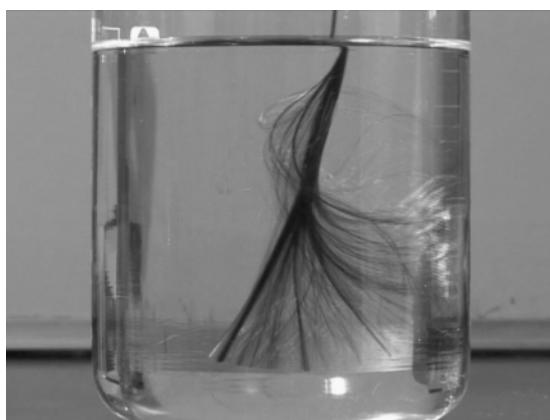
---

碳素纤维因具有超轻且强韧，不被腐蚀的优越特性，被广泛应用于各种工业制品等领域，另外，碳素纤维还有一个很大的特长就是生物亲和性极强。因为碳素纤维基本上由碳构成，根据其表面积大、电阻小等理由使细菌类、微生物喜好附着其表面并活性化。碳素纤维的水利用技术着眼于碳素纤维的化学特性和生物亲和性，大约20年前开始产学官联模式事业研究，从而诞生了碳素纤维水质净化材。因为只要在被污染的河川或湖泊中设置就可实现水质净化的作用，所以被环境团体等开始设置使用，在众多领域确实证明了它的水质净化效果。其效果被电视台和报纸等媒体报道，国家和地方自治体的公共工程也开始采用。并且，在海外也备受关注，中国等环境污染令人堪忧的发展中国家已经在进行引进。近几年，相似的污水处理设备也开始利用，作为能够被动且持续的水处理技术，它的广泛应用被拭目以待。为此，我们来考虑有关今后的碳纤维水利用的可能性及市场能力。

## 2 水质净化的原理

---

碳素纤维具有的水质净化效果是通过碳素纤维素材的特性展现的。水质净化材领域采用的碳素纤维是使用PAN系碳素纤维的纤维束制造的，它与普通产品的差异在于水处理用碳纤维的表面经过水溶性上浆剂特殊处理。这使通常的碳素纤维不仅因树脂等得到固化成为高强度材料，而且水质净化材在入水后全部的纤丝能迅速的散开扩展。因为每根碳纤维的细微纤丝都很轻而且有很高的弹性，所以扩展开的纤丝不会在水中缩小或者凝结，而是在水中飘浮，晃动。除此之外碳纤维表面凹凸不平，所以总体表面积大且电阻小，易使更多的物质粘着、吸附于碳素纤维之上。不仅水中的污染物连细菌类和微生物也很喜欢吸附于其上，不易离开。粘附的微生物类，把聚集的污染物质作为营养来摄取，从而活跃地进行繁殖，最终污染物质被分解消除，在碳纤维表面构筑形成水质净化机制。



照片1 碳素纤维在水中扩散

## 2.1 微生物附着机理

碳素纤维的生物亲和性与其他的化学纤维和合成纤维相比有微生物的粘附量大难以脱落，附着微生物的活性高等优点根据众多的实验等已被确认。并且，通过近几年的研究其粘附机理的科学的依据终于得到证明。

根据碳素纤维与其他纤维的微生物细胞粘附相比较的研究，在水中纤维类表面和微生物细胞表面的电荷都带有负电荷。为此，在水中的两者(负-负)的关系为同性相斥不容易相互吸附。可是，由于碳素纤维的负电荷比其他纤维小，在碳纤维上没有电阻，所以微生物类容易粘附。另外，在全部的物质上有被称作为分子间力的互相拉引的相互作用，不过在水中的碳素纤维和微生物间产生的这种相互作用，与其他的纤维和微生物间的作用力相比要强。计算微生物细胞和各纤维的表面电荷量以及这些相互作用，得出微生物粘附在各纤维上时产生的能量，碳素纤维以外的纤维与微生物粘附时有能量障碍，可是微生物粘附在碳素纤维上时不存在这种能量障碍。所以，微生物粘附在其他纤维上时必须花时间去跨越能量障碍。相反对于碳素纤维来说，微生物不需要这些时间，可以快速的吸附于其上。并且，被称作为有分解消除氮素效力的硝化菌的微生物也容易附着在碳素纤维上的事实也已得到明确。

这些粘着机理对水中的有机物和营养盐类等各种各样的物质也是一样的，碳纤维上容易粘附水中的污染物质。粘附的污染物通过一起粘附的微生物细胞的生物活动被捕食和分解。在碳纤维的微小的纤维丝之间粘附有大量的微生物，通过它们活跃地繁殖，有机物和营养盐类等污染物质被分解和消除从而水质得到净化。如果把这种效力用于污水处理利的话，与使用其素材制造的生物处理用接触材相比，碳素纤维接触材可以使微生物活性化，提高净化处理能力。

## 2.2 碳素纤维的摇摆

碳素纤维具有质地轻且弹性高的特点，所以放入水中后也维持其长纤维的状态，只需要一点点水的流动就可以摇摆。通过碳素纤维的这种摇摆，捕捉水中的污染物质和微生物类并让其附着。同时，碳素纤维是微细的纤维丝的集合，纤维丝之间保持有大量的污泥附着。

如将碳纤维水质净化材设置于污水处理的活性污泥中，会附着大量微生物集合体的污泥，形成污泥块并可长期维持这种状态。这种污泥块的特点是在其内部有需氧性菌和厌氧性菌，使污泥块内部的物质移动比通常的微生物膜内的相比要大数百倍。这种物质的移动是通过碳素纤维的摇摆形成对流而实现的，因此也可称为泵运动，反复地进行着变形-恢复的运动。可以认为这种形状维持性和泵运动是因为碳素纤维持有的高弹性模量而实现的。

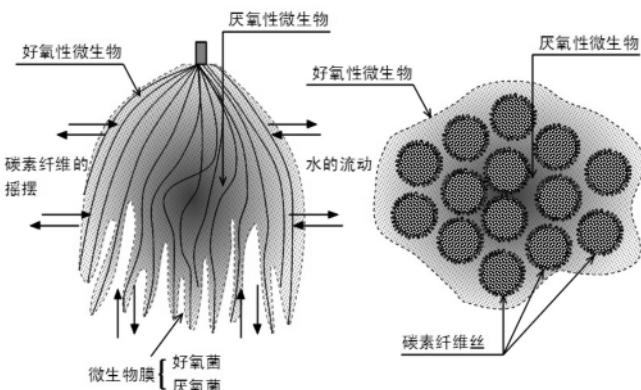


图 1 碳素纤维摇摆的机理

使用碳素纤维进行水质净化的优点，可以例举以下几项。

污染物质的补充效率高

通过提高微生物活性化使分解处理速度加快

剩余污泥的产生量少，难以脱落

因硝化菌的粘附，脱氮效果显著

能源成本少，环境负荷小

使用碳素纤维的水质净化，不但具有改善透明度SS，降低COD及BOD的效果，并对全氮TN及全磷TP的改善效果也以通过数据得以证实。

### 3 碳素纤维水质净化材质的应用领域

由于碳素纤维水质净化材质的特征，使各种各样的污染物质和微生物类附着于其上，在碳素纤维表面上因微生物类的生物活动从而实现了水质净化。最终，根据微生物类的污染物质分解及去除作用使有机物分解为二氧化碳和水，氮气则因扩散到空气中而从水中消失。

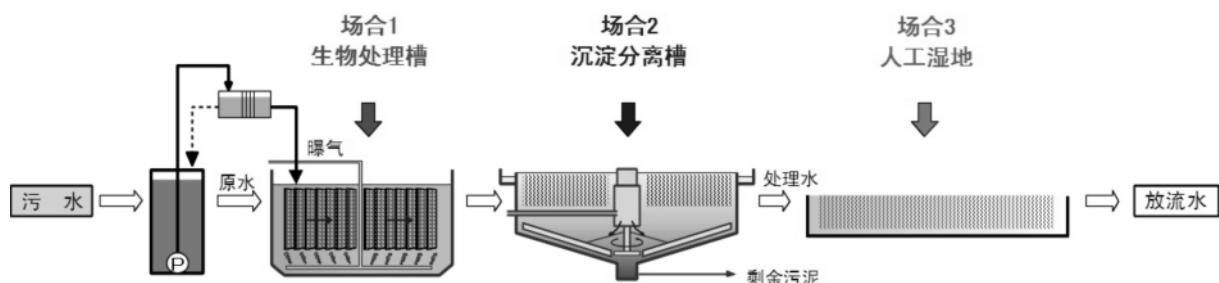


图2 排水处理设备内的设置位置

#### 3.1 河流、湖泊等的环境水

从开始研究开发碳纤维水质净化材时，河川和湖泊的水质净化就成为主要课题，现已在众多的项目中被验证。河流和湖泊中本身存在水质净化的定居菌，但是因流入的污染物质的增加，不能完全实现净化机能，导致水质恶化的继续发展。如果在水中设置微生物能粘附的载体，使微生物活性化，实现与污染物质的接触的话就可使水质净化机能得到恢复。这是补充和加强河流和湖泊原有的自然净化机能，特别是在有生活排水和尿尿等城市下水道流入的情况更能发挥它的威力。污水中的有机物适合微生物类的繁殖，粘附在碳素纤维上的微生物活跃的将其捕食使有机物质减少，硝化菌将氮分解和去除从而断绝蓝藻类等的营养源，抑制它的发生。

#### 3.2 生物处理用接触材

生活排水和尿尿，工厂排水等的很多水处理，是以活性污泥法作为基础的生物处理主体。因为如果在活性化污泥中设置成为微生物载体的接触材可提高处理机能，所以有各种素材的接触材进行接触氧化法。如果把碳素纤维作为接触材进行上述的接触氧化法，它的处理能力可以显著地提高。碳素纤维因为容易设置，所以在原有污水处理设备里放入就可轻而易举地实现处理机能的提高。作为给既有的污水处理设备的使用例，可设置到流动量平稳的沉淀分离槽，可实现最后排放水的稳定化。

#### 3.3 人工湿地、氧化塘

在中国等国家，作为污水处理设备的后序工程是设置人工湿地，通过种植植物来实现水质的提高，如果将人工湿地内设置碳素纤维水质净化材也可实现处理水质的提高。

其次，放眼世界，拥有现代化的污水处理设备以及具有完善的工厂排污处理的只有发达国家

家，发展中国家则依靠以自然净化能力为主的被称作为氧化塘法的处理设施。近几年，在经济发展的同时城市化问题也不容忽视，超过许容量的排水流入现有的氧化塘，造成处理能力的降低。人们开始尝试在氧化塘里设置碳素纤维水质净化材来提高处理能力。

## 4 碳素纤维水质净化材的复合技术

---

碳素纤维水质净化材是非常优秀的接触材，不过，根据环境的条件也有致使它不能完全发挥作用的情况。作为对策，可以有以下3种方法。

### 循环曝气 + A (Air)

分解粘附在碳纤维上的有机物质最主要是靠好气菌，但是好气菌在氧气少的环境下活动并不活跃。对于水中的溶解氧少的情况，进行曝气是有效的对策。另外，通过曝气使水得到循环，从而增进碳素纤维与污染物质的接触，可提高处理效果。

### 供应微生物 + B (Bio)

碳纤维上虽然容易附着微生物，但是如果在水中没有微生物或者微生物少的环境下就不会进行水质净化。如果存在大量的蓝藻类，致使水中的浮游动物减少的话，会使污浊更加恶化。对于这种情况，投加成为微生物苗的微生物群是有效的方法。

### 供应阳离子 + C (Cation)

因为水中的碳素纤维和污染物，微生物类是带负电荷，所以提供阳离子中和电荷的话可以促进水质净化的进行。阳离子是金属离子，铁等金属离子在生态系统里是不可缺少的矿物质成分。铁离子与水中的磷酸离子也进行反应形成磷酸铁，因为不会成为浮游植物的营养，所以可以抑制蓝藻类的繁殖。通常，金属难融解于水不会形成离子化，但是如果与碳素纤维一起设置的话，将因碳素纤维的负电性比金属大的特性，容易在水中离子化并溶解出来。

## 5 总结

---

碳素纤维水利用技术是利用碳素纤维的优秀的特性，只要将其设置于河流和湖泊等环境水中就可实现水质的净化，在强制进行水质净化的污水处理设备中设置则可容易地实现处理能力的提高。设置位于中间位置的人工湿地和氧化塘里则能增强水质净化能力，有助于确保安全卫生的水资源。

这些效果均是根据碳素纤维的素材特性，不需要大量的能源和药物，在维护费用方面是低成本的可持续的被动处理方法。今后，为了更加增强这些能力，通过设计、施工方法和其他技术融合的复合技术的确立，预想在水利用领域的市场潜力和需求将不断扩大。

在世界各地的众多的发展中国家，因优先考虑经济发展，基础设施的整备跟不上导致水质污染和供水不足成为问题隐患。碳素纤维水利用技术是能够解决这些世界共同的水问题的技术方法，期望将会有更大的发展市场。

### ■参考文献

- 1) 「碳素纤维水利用技术设计指针－环境水篇一」（特非）碳素纤维水利用工法研究会
- 2) 「利用碳纤维软组织的微生物粘着现象的水环境整备技术开发」成果報告書 (财)群馬地方發明中心
- 3) Shinya Matsumoto, Akihito Ohtaki, and Katsutoshi Hori Environmental Science & Technology (2012) Carbon Fiber as an Excellent Support Material for Wastewater Treatment Biofilms