

日本城市污水再生利用方面的经验分析

张昱 刘超 杨敏*

(中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室 北京 100085)

摘要 日本开展污水再生利用工作已经有30年的历史,经过多年的积累,在综合管理、技术开发应用等方面取得了一定的成果。对日本在再生水政策标准、生产模式、处理技术和技术经济性、安全输配和水质安全性等方面的概况进行了汇总分析,并对缺水地区——福冈、东京都和横滨的再生水生产利用实例进行了介绍,以期对我国城市污水再生利用具有一定的借鉴。

关键词 城市污水 再生水 深度处理 日本

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2011)06-1221-06

Experience analysis of wastewater reclamation and reuse in Japan

Zhang Yu Liu Chao Yang Min

(State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract Wastewater reclamation and reuse have been carried out in Japan for more than 30 years, especially in the water shortage regions. The water reuse experiences on policies and laws, treatment mode and technologies, distribution, and reclaimed water quality in Japan were summarized. The water reuse case studies in Fukuoka, Tokyo, and Yokohama were summarized and introduced. Based on Japan's water reuse experiences, several suggestions were put forward for water reuse research and application in China.

Key words sewage; reclaimed water; advanced treatment; Japan

近年来,水资源量的严重不足已经成为制约我国乃至世界范围城市社会、经济发展的重要因素之一。日本降雨量充沛,水资源相对丰富,人均水资源拥有量为 $3\ 300\ \text{m}^3$ ^[1]。但是由于国土面积狭窄,水资源有效利用率不是很高。20世纪70年代起,随着日本经济的高速发展和工业化,生活用水和工业用水量日益增加,造成了日本部分地区,特别是一些大中城市频发严重的缺水、断水现象,迫使日本不得不大力修建水库和人工引水渠,进行大规模的水资源开发,但由此也引起了公众对生态破坏的担忧,新建水库的选址由此变得越来越难。在此背景下,日本政府大力加强了节水和循环利用措施,污水再生利用也从20世纪80年代开始进入高速发展阶段,并在当时的日本通产省下面成立了一个专门从事污水再生利用技术开发和推广的机构——财团法人造水促进中心。

福冈市最早从1980年就开展污水再生利用工作^[2],此后日本一些缺水城市也相继启动了技术研发和应用,建立了一批示范工程,经过实践逐渐制定出相关的指南、规程、标准等。在日本政府的大力推

动下,再生水被广泛应用于工业用水、补充河流、美化环境等各种用途,成为一种重要的水源。相关工作不仅促进了再生水产业的技术进步,也获得了一定的社会 and 经济效益。日本在污水再生利用中积累的经验对于我国推动污水再生利用工作具有较好的借鉴价值。

1 日本再生水利用的总体情况

再生水利用事业行政主管部门的国土交通省指出,再生水和雨水的利用,可以减少自来水使用量,有利于缓和自来水供应紧张地区的供需矛盾;当自来水供应受限时,将再生水作为杂用水,可在一定程度上缓和自来水供应不足问题^[3]。2009年日本公布的《下水道白皮书》强调了污水的再生利用在日

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项资助(2008ZX07314-003, 2008ZX07314-008);中科院知识创新课题(KZCX1-YW-06)

收稿日期:2010-06-10; 修订日期:2011-03-01

作者简介:张昱(1973~),女,博士,副研究员,主要从事污水再生利用技术原理及化学物质生物转化机制等研究。

E-mail: zhangyu@ceees.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: yangmin@ceees.ac.cn

本的重要性,对再生水的利用寄予很大的期望。

如图1所示,根据日本国土交通省调查统计结果,日本全国污水处理厂的年均总出水量为141亿 m^3 (2004年底数据),其中大部分被排放到公共水域。截止2007年底,共有286座污水处理厂进行再生水生产,再生水生产量是1.94亿 m^3 [4]。日本再生水的用途主要包括缺水城市中的河流补水、喷泉等景观用水、寒冷地区的融雪用水、写字楼或酒店等的冲厕用水、道路或公园绿地等的洒水用水、工业用水或农业灌溉用水等。

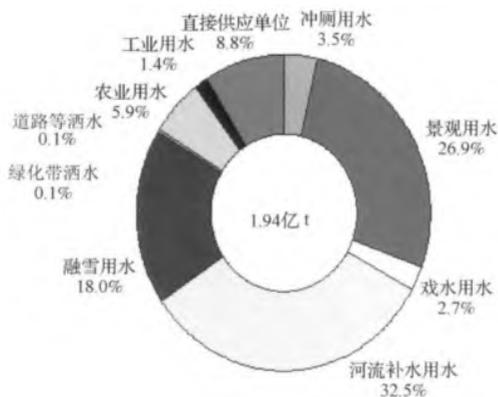


图1 2007年末日本再生水利用总量及所占比例

Fig. 1 Percentage and capacity of wastewater reuse in Japan until 2007

从各地区的再生水利用设施的数量来看,以水资源紧缺的关东临海地区(东京都、横滨市等)最为集中,共计1280多处。其次为频繁出现干旱和缺水现象的西日本北九州地区(福冈市)和东海地区,分别有再生水利用设施646处和273处[4]。日本各地均实施有污水再生利用的项目。

总体来看,日本再生水利用在全国呈现不均衡现象,再生水利用与当地水资源短缺程度有关。但目前日本再生水生产量占污水处理总量的比例还较小,主要是环保目的的再生水利用(景观用水、河流补水用水和戏水用水3种占62%以上)[5]。

2 日本的政策标准体系

2.1 再生水利用的政策措施

为了推动再生水事业的发展,日本再生水利用的行政主管部门、地方政府和行业协会等分别制定了相关的指南、规程、纲要、条例等(表1),这些政策措施在实践过程中,根据技术发展和消费者需求的不断变化,不断得到修订,已经形成一套完整的政策

标准体系。

表1 日本再生水相关政策措施

制定时间	政策名称	制定方
1980年3月	污水处理水循环利用技术方针	国土交通省
1981年9月	冲厕用水、绿化用水:污水处理水循环利用技术指南	日本下水道协会
1990年3月	污水处理水的景观、戏水利用水质研讨指南	国土交通省
1991年3月	污水处理水中景观、戏水用水水质指南	建设省
1995年3月	再生水利用事业实施纲要	东京都
2003年7月	再生水利用下水道事业条例	福冈市
2005年4月	污水处理水的再利用水质标准等相关指南	国土交通省

2.2 日本再生水的水质标准

日本下水道协会于1981年9月制定了针对冲厕用水、绿化用水的《污水处理水循环利用技术指南》。1991年3月日本建设省召开的“深度处理会议”中制定了《污水处理水中景观、亲水用水水质指南》,日本再生水的主要水质指标如表2所示。

表2 日本再生水水质标准

指标	用途			
	冲厕用水	绿化用水	景观用水	戏水用水
大肠杆菌数(个/100 mL)	≤1 000	≤50	≤1 000	≤50
余氯(结合态) mg/L	无	≤0.4	—	—
色度	外观无不快感	外观无不快感	≤40	≤10
浊度	外观无不快感	外观无不快感	≤10	≤5
BOD(mg/L)	≤20	≤20	≤10	≤3
嗅味	无不快感	无不快感	无不快感	无不快感
pH	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6

从开展再生水利用的地方政府制定的水质标准来看,一般均高出国家规定的标准,例如1995年东京都制定的《再生水利用事业实施纲要》中,将大肠杆菌指标规定为“不得检出”。另外,2005年4月,日本国土交通省颁布了《污水处理水的再利用水质标准等相关指南》,对采用深度处理工艺进行再生水生产时不同工艺应达到的水质标准进行了规定(见表3)。

地方政府均对处理设施出口和供水口的再生水水质进行日常检查,但检查的频度根据各地的再生水用途和使用量各有不同,有的地方还设有自动监

表3 日本不同深度处理工艺水质标准的设定值

Table 3 Water quality standard for different advanced treatment technologies in Japan

	原水(二级出水)		快速砂滤		絮凝沉淀+快速砂滤		快速砂滤+活性炭吸附		快速砂滤+臭氧处理+活性炭吸附		絮凝沉淀+快速砂滤+活性炭吸附	
	水质 (mg/L)	去除率 (%)	水质 (mg/L)	去除率 (%)	水质 (mg/L)	去除率 (%)	水质 (mg/L)	去除率 (%)	水质 (mg/L)	去除率 (%)	水质 (mg/L)	去除率 (%)
BOD	12	90	7	40	5	60	5	40	3	75	3	75
SS	10	91	4	60	4	60	2	50	2	80	2	80
COD	15	80	12	20	8	50	5	70	5	70	4	70
T-N	21	20	19	10	17	20	17	20	17	20	17	20
T-P	3	25	2.4	20	0.4	85	1.9	20	1.9	20	0.4	85

测设备进行连续监测。监测指标除了国土交通省指南中规定的项目之外,通常还加上COD、BOD、氮、磷、透明度等指标^[6]。

3 污水再生利用模式、生产技术和技术经济性

3.1 污水再生利用模式

日本污水再生利用模式主要分为3种^[7],单独循环模式、地区循环模式和广域循环模式。单独循环模式是指“在办公楼宇等中安装污水处理设备,将该建筑物内排放的污水净化后再次进行利用的模式”;地区循环模式则是指“大规模的集中住宅区或城市新开发地区等多个建筑物,共同建设再生水生产设施和管道并共同运营的模式”;广域循环模式则指的是“将污水处理厂再生水设施生产的再生水利用管道供应到区域内利用的模式”。

3.2 再生水生产技术

日本以污水处理厂二级出水为原水的再生水生产时采用的基本处理工艺是快速砂滤+氯消毒。但各地在实际应用过程中,根据再生水的用途不同,结合各地制定的再生水水质标准,往往在基础工艺上添加其他处理工艺^[8]。本文综合其处理目标和用途总结如下:

(1) 再生水用于冲厕用水、洒水用水时,工艺基本流程为:混凝沉淀(去除磷)—砂滤(除浊)—臭氧(脱色除臭)—消毒(生物安全)。

(2) 用于景观用水时为:混凝沉淀—砂滤—臭氧—生物活性炭(吸附除磷)—消毒。

(3) 用于工业用水:混凝沉淀—砂滤—臭氧—膜(反渗透)—消毒。

(4) 用于戏水用水(以人体能够接触为前提):混凝沉淀—砂滤—活性炭—臭氧—氯消毒;或混凝沉淀—砂滤—臭氧—活性炭—消毒。

3.3 再生水技术的技术经济性分析及水费设定

为了提高再生水利用的经济性,日本采取了如下几项措施:首先提倡在污水处理过程中采用深度处理工艺,这样可以减少因生产再生水时附加处理工艺所产生的经济负担;其次,根据再生水用途的不同,尽量选用低成本的处理工艺,达到降低再生水利用成本的目的;第三,引进“中间截流处理系统”,从下水管网中按需、高效地取水进行处理,将产生的污泥重新返回到下水道。这种系统可以实现设施的小型化,降低处理成本。从而解决远距离输配再生水造成的成本增加以及因需求量少而缺少经济性问题。

在再生水水费的设定和征收方面,需要综合考虑再生水生产、输配设施的建设及维护管理费用。从日本各自治体再生水利用的费用负担来看,当用户为特定对象,且再生水利用的公共性和公益性较低时,例如将再生水用作工业用水,通常由再生水利用企业付费。相反,当用户为非特定的对象,再生水利用的公共性、公益性高时,例如将再生水用作景观用水和冲厕用水,规定由利用方、下水道管理机构以及相关公共部门协商决定,通常再生水的生产、输配费用由下水道管理部门负担,而再生水利用设施内管道等费用则由用户负担,连接双方的配水管等费用由双方协商决定^[9]。

根据再生水用途和利用率等实际情况,各自治体采用的处理技术和收费标准也各有不同^[10]。以戏水用水为例,东京都和大阪市都各设有一座戏水设施,供小公园和宣传教育用,年再生水供应量在15 000~20 000 m³,处理工艺采用反渗透膜+氯消毒的方法,费用由地方政府负担。景观用水是日本城市再生水的主要利用形式,各自治体采用的处理方法和再生水利用率各有不同。东京都每年用于河流生态恢复的再生水供应量达到3 000多万m³,以

此为由,向东京都环境局征收5日元/m³的费用,其他城市则由地方政府负担。在再生水的用途中,浇洒用水的用水量并不大,但各地因采用处理工艺不同,收费标准也各异,例如东京都采用过滤+臭氧处理+氯消毒+MF的工艺,吨水收费273日元;横滨市采用过滤+氯消毒的处理工艺,吨水收费仅17.6日元。表4对日本几大城市的冲厕用水的处理技术和收费标准等进行了总结和比较。

表4 日本各自治体再生水(冲厕用水)处理工艺及收费标准比较^[10]

Table 4 Comparison of treatment technologies and charges for reclaimed water (flushing) in Japan

城市	处理工艺				收费标准 (日元/m ³)
	过滤	臭氧	加氯	其他	
札幌市	○		○		80
埼玉县	○	○	○		260
东京都	○	○	○	MF	273
横滨市	○	○	○		110
滨松市	○		○		100
福冈市	○	○	○		150~300

注:○为选择的处理技术。

4 再生水管网管材的选用及设施维护

再生水具有有机物、盐类、微生物含量高特点,生物和化学腐蚀性较强。为了防止再生水系统中设施和设备的故障,日本规定再生水设施和管网应采用耐腐蚀的结构和材质,并应进行合理的维护管理。首先,再生水的供给设施及利用设施,可以使用与自来水设施相当的管道、阀门、水栓、计量表等。选用管材时,应考虑土壤的腐蚀性和地下水状况等埋设条件进行选择。不仅要求管材具有一定的强度,还需要有足够的耐腐蚀性。根据对再生水的腐蚀问题的调查研究结果^[11],日本建议在采用钢管输配再生水中时,使用具有氯乙烯或聚乙烯内外衬的树脂钢管。而且,再生水中的氯离子浓度超过200 mg/L时,优选使用SUS316钢管。此外,在再生水腐蚀问题的调查中还发现,再生水利用设施的配管结合部的腐蚀问题最为突出,应该选用具有耐腐蚀材质控制阀、截流阀、给水泵等部件。

余氯的浓度管理也是再生水输配的一个重要问题。再生水中的余氯浓度过高,供水管及附属设备中使用的铁制部件会受到腐蚀;相反,余氯浓度过低或余氯消失,则微生物繁殖难以控制,因此需要严格管理氯的投加量^[12]。解决方法是消毒过程中尽量减少氯消毒投量,从而减少管道腐蚀。主要采取的

措施有:在二级处理或再生处理过程中减少氮氮含量;进行合理的输配管网建设和更新,抑制余氯的消耗;采用阶段式氯投加方式。

5 再生水的水质安全性

从再生水利用的卫生安全性角度来看,再生水中可能对人体健康产生危害的主要是肠道类的病原微生物,其又可分为细菌类、原虫类和病毒类3种。日本国土交通省下水道部于2003年6月正式颁布了《关于排放水中隐孢子虫对策的通知》,将原虫类也定为检测对象。目前一些地方(横滨市)规定除了大肠杆菌外,还要对一般细菌和隐孢子虫进行检查^[13]。

从实际的再生水利用的情况来看,日本冲绳县正在开展再生水应用于农业灌溉的项目,同时结合该项目对再生水利用的安全性进行评价^[14]。但由于现在尚无关于再生水作为农业用水利用的相关标准,现阶段只能围绕具体的案例进行探讨,该项目的实施将对今后用于农业灌溉的再生水标准的制定起到一定的借鉴作用。

总体来看,日本在再生水安全性方面,重视对再生水数据(有机物浓度、氮磷平衡、重金属和病原微生物的安全性等)的积累,并积极进行再生水相关信息的公开,对水质进行严格管理,定期向社会公众公开水质监测结果,以获取利用方的理解和信任。

6 案例分析

6.1 福冈市再生水利用状况

福冈市没有大的河流,1978年曾经历过连续287 d的大旱,这次大旱导致城市严重缺水,不得不对居民生活用水供应进行了严格的限制。以这段历史为契机,福冈市于次年开始实施“再生水循环利用示范”工程,并于1980年正式开始再生水的供应^[15]。

2003年福冈市出台了《再生水利用下水道事业条例》,大力推动再生水的使用普及。截止2009年底,福冈市建有再生水处理设施两座,即东部水处理中心和中部水处理中心,分别建有再生处理设施,再生水供给量达到8 800 m³/d,再生水供应区域土地面积达到1 304 hm²,利用设施总数达到350处。根据《福冈市下水道规划2018》的内容,到2018年福冈市的再生水供应面积将扩大到1.491 hm²。此外,《福冈市节水推进条例》中明确规定:市区内建筑面

积为 5 000 m² 以上的(再生水供应区域内 3 000 m² 以上)新建、增建建筑物,其厕所应安装杂用水管道。

从长期的再生水利用实践中,福岡市的再生水生产工艺也在不断得到改进。例如当再生水中有大量的铁、锰等溶解性金属时,会出现红水或管道堵塞等问题;再生水的颜色和浊度也会给用户带来厌恶感。为了去除再生水中的铁、锰成分,福岡市引进了在砂滤工艺之前,先进行臭氧处理的工艺,使溶解性的铁、锰氧化析出,然后在过滤处理中将已经氧化析出的金属去除。为了减轻再生水生产设施的负荷,保障再生水水质的稳定,在工艺流程中还增加了混凝沉淀工艺。

福岡市再生水处理工艺的变迁如下所示^[16]:

截至 1997 年 3 月 31 日:砂滤—臭氧处理—氯消毒;1997 年 4 月 1 日之后:臭氧处理—砂滤—氯消毒;2001 年 4 月 1 日之后:混凝沉淀—臭氧处理—砂滤—氯消毒。

以中部水处理中心为例^[17],二级出水通过絮凝沉淀、臭氧处理、砂滤、加氯消毒、纤维过滤后作为再生水供应给附近 4 个区域,日供水量 7 200 m³,供水面积 1 013 hm²;东部水处理中心的处理流程为絮凝沉淀、臭氧处理、膜生物过滤、加氯消毒供应 2 个区域,日供水量 1 600 m³,供水面积 291 hm²,用途为大型建筑物等的冲厕用水及公园、道路等绿化用水。福岡市再生水水质如表 5 所示。

表 5 福岡市再生水的水质(2008 年的平均值)

Table 5 Water quality of reclaimed water in Fukuoka (average value of 2008)

水质指标	中部再生水 处理设施	东部再生水 处理设施	福岡市 水质标准
色度	2	1	无不快感
浊度	0.2	0.2	无不快感
嗅味	无异常	无异常	无不快感
pH	7.1	7.4	5.8~8.6
大肠杆菌	未检出	未检出	不得检出
余氯(mg/L)	2.9	3.7	必须保留

从再生水的收费来看,实行按量的阶梯式水价,每月再生水使用量在 1~100 m³ 的,每吨收费 150 日元;每月用水量在 100~300 m³ 之间的,每吨收费 300 日元;每月用水量超过 300 m³ 的,每吨收费 350 日元。

在管道施工方面,为了便于识别,保温施工前的输水管裸管统一着色为黄绿色,保温层外侧每隔

1 m 须缠绕标明“再生水”的胶带。

6.2 东京都再生水利用事业

东京都将再生水定义为“在通常的污水处理工艺上,再进行过滤、臭氧处理等深度处理后的水”。东京都的再生水利用始于 1984 年,2007 年再生水利用率为 9.3%。目前东京都共有再生水供水区域 7 个,拥有 3 处再生水厂^[18]。

(1) 芝浦水再生中心:通过砂滤设施去除二级出水中的细小污物,加入次氯酸钠后作为污水处理厂的机械设备清洗用水、冷却水及冲厕用水等。另外,通过膜生物过滤、臭氧消毒、臭氧耐性膜过滤等工艺去除二级出水中的混浊和嗅味后,供应给周边地区作为冲厕用水。

(2) 有明水再生中心:考虑到出水排放到东京湾,该污水处理厂采用了 A₂O 和生物填料滤池深度处理工艺。对其中一部分二级出水又进行了臭氧处理,用作污水处理厂内机械设备的清洗和冷却用水,还供应到周边地区楼宇作为冲厕用水。

(3) 落合水再生中心:二沉池的全部出水经过快速砂滤设施,进行深度处理,每天再对其中 50 m³ 的水进行膜过滤处理,供应给附近的儿童戏水设施。

从收费来看,东京都没有采用从量制的收费模式,而采用了统一水价,即与输水管道管径和用水量无关,均采用 260 日元/m³(不含税)的收费标准。

6.3 横滨市再生水利用状况

横滨市现有 11 座污水处理厂,其中神奈川水再生中心、中部水再生中心、港北水再生中心、北部第二水再生中心和金泽水再生中心进行再生水的生产、利用^[19]。

(1) 神奈川水再生中心:在横滨市 11 座污水处理厂中,其污水处理量最大,承担横滨市约 1/7 人口的生活污水处理。1999 年起引进深度处理技术(除磷脱氮),对晴天流入量的大约 50% 进行深度处理。同时对部分处理水再进行砂滤和臭氧处理后作为景观用水排放到周边的小河,提高居住环境质量,同时也用于污水处理厂内机械的冷却、清洗等。

(2) 中部水再生中心:向二级出水中投加次氯酸钠,进行灭菌处理后制成再生水,将该再生水销售给办理了申请、登记手续的单位。同时还将再生水用于污水处理厂内的景观用水。

7 启示与建议

虽然目前日本再生水生产量在全国污水处理厂

出水总量中所占比例不大,但日本在再生水政策标准、生产技术、输配、安全性等方面起步较早,经过多年努力,形成了一系列有特色的工艺技术、输配和综合管理体系,并从缺水地区开始逐步实施,获得了一定的社会和经济效益。

我国水资源不足问题比日本严重,污水再生利用的必要性也更加迫切。在推进污水再生利用的过程中,应该充分吸取日本等发达国家的经验,构建包含再生处理、管网输配、标准政策和综合管理在内的城市再生水综合技术体系。具体建议如下:

(1) 建立健全国家、地方和行业的政策、规划、标准体系,有计划、有步骤地推进污水再生利用工作。

(2) 根据再生水的不同用途,研究制定相应的再生水水质标准,并进行充分的经济技术评估。在此基础上建立合理的收费体系,特别是在景观用水、河流补水等用途中,受益者为不特定的公众,费用负担应明确。

(3) 再生水水质不同于饮用水,应重视对再生水管网输配的研究,卫生面上充分考虑再生水利用对人体和生态的影响。

(4) 注意再生水设施正常的维护管理和安全性,防止误接管、误饮和误使用。

(5) 取得利用方的合作需要加大再生水的水质数据及安全管理等的信息建设和公开,同时积极听取和收集各方的意见,不断采取改进措施。

参考文献

- [1] 国土交通省都市・地域整備局下水道部. 下水処理水の再利用水質基準等マニュアル. 日本東京: 国土交通省, 2005. 1
- [2] 福岡市道路下水道局. 福岡市下水道ビジョン2018. 日本福岡: 福岡市下水道局, 2009. 16
- [3] 財団法人日本水環境学会編. 日本の水環境行政(改訂版). 日本東京: ぎょうせい, 2009
- [4] 国土交通省土地・水資源局水資源部編. 平成21年版日本の水資源について. 日本東京: 国土交通省, 2009. 125-126
- [5] 国土交通省都市・地域整備局下水道部編. 新たな社会的意義を踏まえた再生水利用の促進に向けて. 日本東京: 下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2009. 3-4
- [6] 折目考子、石原充也、七里浩志. 下水処理水再生水の利用状況について—他都市の現状と比較して—. 日本横浜横浜市環境創造局水再生水質課, 2009. 3
- [7] 国土交通省. 日本水資源ホームページ. <http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/zatsuyousui/houshiki.html>
- [8] 建設省都市局下水道部. 下水処理水等の循環利用に関する調査報告書. 1991. 50
- [9] 国土交通省都市・地域整備局下水道部編. 新たな社会的意義を踏まえた再生水利用の促進に向けて. 日本東京: 下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2009. 17-18
- [10] 折目考子、石原充也、七里浩志. 下水処理水再生水の利用状況について—他都市の現状と比較して—. 日本横浜横浜市環境創造局水再生水質課, 2009. 1-2
- [11] 国土交通省都市・地域整備局下水道部編. 下水処理水の再利用水質基準等マニュアル. 日本東京: 国土交通省, 2005. 36-38
- [12] 国土交通省都市・地域整備局下水道部編. 下水処理水の再利用水質基準等マニュアル日本東京: 国土交通省, 2005. 18
- [13] 国土交通省都市・地域整備局下水道部編. 下水処理水の再利用水質基準等マニュアル日本東京: 国土交通省, 2005. 6
- [14] 仲村元、鋼鉄幸博、荒川浩成. 再生水を利用したかんがい計画. 水と土, 2009. 74-82
- [15] 福岡市道路下水道局編. 福岡市の再生水利用下水道事業. 日本福岡: 福岡市, 2010. 1-4
- [16] 江崎光洋、田辺雄一、三浦健一. 再生水の水質改善について. 日本下水道協会第34回下水道研究発表会講演集, 1997: 695-697
- [17] 福岡市ホームページ: 福岡市の下水道と河川 <http://gesui.city.fukuoka.lg.jp/sewer/institution/index.html>
- [18] 東京都下水道局ホームページ: <http://www.gesui.metro.tokyo.jp/jigyousaiseisui/index.html>
- [19] 横浜市環境創造局ホームページ: <http://www.city.yokohama.jp/me/kankyousaiseisui/centerinfo/>