

セルビア共和国 中央下水処理システム改善計画  
プラント改善診断コンサルティング調査報告書

(概要)

2010年3月

社団法人 日本プラント協会

委託先 三井共同建設コンサルタント株式会社

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです

<http://ringring-keirin.jp/>

## 目 次

1. 調査の背景 .....	1
(1) プロジェクトの背景と必要性 .....	1
(2) 調査の概要 .....	2
(3) セルビア共和国及びベオグラード市の近況 .....	2
2. ベオグラード市中央処理区下水道システムの現況と課題 .....	3
(1) ベオグラード市下水道の概要 .....	3
(2) セ国の排水排出基準 .....	7
(3) EU の排水排出基準 .....	8
(4) 計画下水の設定 .....	9
3. 本調査結果からの提案 .....	11
(1) 下水道排水システム改善 .....	11
(2) 下水道処理区の改善 .....	11
(3) 縦断図の見直しと作成 .....	11
(4) 下水の高度処理 .....	12
(5) 本邦の高度処理技術の優位性 .....	12
(6) 円借款利用に関する提案 .....	12
4. 今後の進め方 .....	14

## 1. 調査の背景

### (1) プロジェクトの背景と必要性

セルビア共和国(以下セ国)は2003年8月、ドナウ川国際保全委員会(ICPDR)に加盟、ドナウ川の水質保全の国際的取組に参画した。

セ国は同委員会の加盟国として主要都市下水道の処理による排水浄化の計画を立案してきたが、財源不足により、未だ実現はしていない。また、セ国の現政権はEU加盟促進を目指しており、EU加盟をすれば、EUの排水基準を遵守する必要がある、排水処理の実施は不可欠となる。

ベオグラード市の上水道の改善に関しては、2000年以降、国際的な支援プログラムにより30百万ユーロの援助が行われ、日本のJICAも2006年に7.9百万ユーロの支援を行っている。しかしながら、下水道の改善に関しては、EU等が0.9百万ユーロの検討資金の提供を行っているのみである。

政府方針に従い、ベオグラード市の長期マスタープランには下水道の排水処理設備建設計画が含まれており、市は現在、下水道のマスタープランを本年4月末完成予定で作成中である。こうした状況下、2007年7月、セ国政府はベオグラード市の下水道改善プロジェクトに対する円借款の正式要請を日本政府あてに提出している。

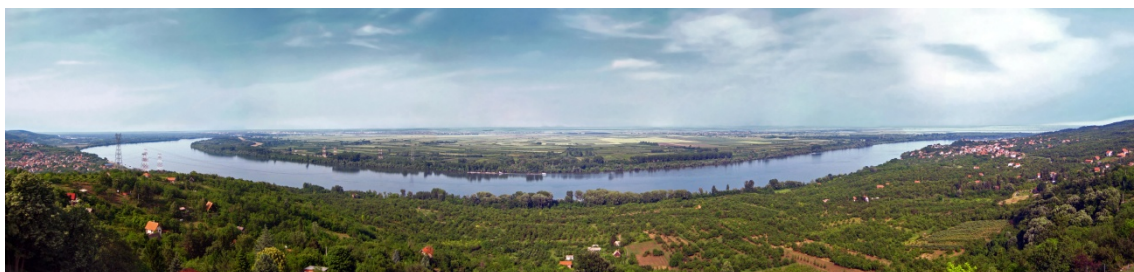


写真1 ベオグラード市郊外のドナウ川の眺望

## (2) 調査の概要

セ国政府の要請に応え、(社)日本プラント協会は以下の通りアドバイザリーサービス調査を実施した。調査チームは2010年2月24日から3月5日の期間、現地調査を実施し、ベオグラード市の下水道設備の現状調査、下水処理設備建設予定地の調査及び関係諸機関との協議を行った。本現地調査の結果に基づき、同プロジェクトの全体像を把握し、円借款対象となる事業の内容の分析を行った。

## (3) セルビア共和国及びベオグラード市の近況

セ国は旧ユーゴスラビア連邦における最大の共和国であり、政治、経済、文化の中心であった。内戦と各共和国の連邦からの離脱により、2003年に、セルビア・モンテネグロとなり、2006年にはモンテネグロの独立に伴い、独立国家となった。2008年にはコソボ等のアルバニア人による独立宣言が行われたが、セ国政府はこれを承認していない。国際社会においても、コソボ独立を認めない国と承認する国に二分されている。セ国は議会制民主主義の共和国であり、現在の政権は民主党とセルビア社会主義党の連立政権である。セ国の人口は2008年において約9,850,000人(コソボを除くと7,350,000人)。GNI(国民総所得)は419億US\$であり、1人当たりのGNIは約5,700US\$となる。主要民族はセルビア人であり、主要宗教はセルビア正教である。経済は比較的好調で、2008年の経済成長率は5.6%、インフレ率は12.7%で失業率は14%となっている。面積は88,361km<sup>2</sup>で、ボスニア・ヘルツェゴビナ、クロアチア、ハンガリー、ルーマニア、ブルガリア、マケドニア、アルバニア及びモンテネグロと国境を接している。

ベオグラード市は旧ユーゴスラビア連邦以来、共和国の首都であり、政治、経済、教育、文化の中心地である。人口は1,630,000人でセ国全人口の24%を占め、南東欧でイスタンブール、アテネに次ぐ3番目の大都市である。面積は3,223km<sup>2</sup>でセルビアの全面積の3.6%を占めている。標高は116.75m、北緯44°49'14"、東経20°27'44"、ドナウ川とサバ川の合流地点に位置している。気候は大陸性の温暖な気候で、年間平均気温は11.7℃、最も暑いのは7月で平均22.1℃、最も寒いには1月で-2.3℃である。市は17の行政区に分割されており、大半の行政区はドナウ川及びサバ川の南に位置している。ベオグラード市はセルビアで最も経済的に発展している地域であり、セ国のGDPの35%を創出し、セ国全就業人口の35%を占めている。

## 2. ベオグラード市中央処理区下水道システムの現況と課題

### (1) ベオグラード市下水道の概要

セ国の首都ベオグラードは、人口約 160 万人を有し道路下に敷設した暗渠で雨水及び汚水を収集しているが 26 か所の放流口から無処理でサバ川、ドナウ川に排水している。現在は、ドナウ川の平均約 6,000m<sup>3</sup>/秒という大量の流量で希釈されているが、今後、セ国の発展とともに放流河川の水質悪化を招くことは必至となっている。

セ国は、2017 年までに EU に加盟することを目指しているので、EU が定めている環境保全のための排水基準等の法的規制をクリアすることが喫緊の課題である。

下水道の機能は、下水(汚水と雨水)を集めて環境への影響を軽減して放流することにある。しかし、既存のベオグラード市の下水道は、旧市街区では合流式、新市街区では分流式の排水渠とポンプ施設が整備されているが処理施設を持たず、無処理のままサバ川に放流されており、下水道システムの総体としては、欠陥がある。

EU 加入を目指す同国にとって、現状では環境対策に取り組む姿勢が不十分であると取られかねない。なお、ベオグラード市の下水道整備体制は、ベオグラード市都市開発局 (Land Development Agency、以下 LDA) がベオグラード市都市開発を担当し、上下水道の管理はベオグラード市上下水道公社 (Beogradski Vodovod I Kanalizacija、以下 BVK) が担当している

ベオグラード市は、人口や地形等の観点から、図 1 に示すように、市内は 5 つのブロックに分割することを前提に下水道計画が策定されている。

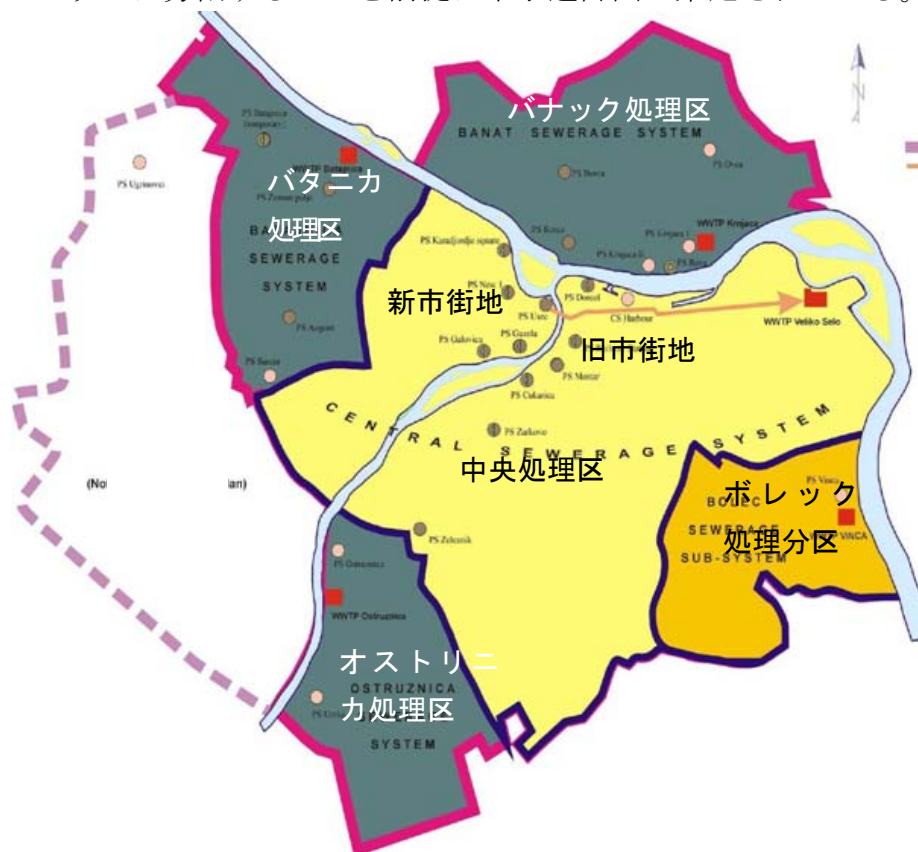


図 1. ベオグラード市中央処理区の模式的概要

最大の処理区である中央処理区は、既成市街区(旧市街区)と新市街区から成り、市の中心部である旧市街区には、下水道管渠も敷設済みであるが合流式である。一方、新市街区は分流式の下水道の整備が進められている。

旧市街区のポンプ場には、雨水排除のための越流堰があり、雨水は、雨水用のポンプでサバ川に排除されている。

新市街区では、雨水は雨水管によりドナウ川に排除され、汚水は無処理でサバ川に排除されている。

市全体の 61%で下水管路の敷設は進んでいるにも関わらず、終末処理場がないため、下水はすべて、無処理放流されている。

LDA は、処理場を建設するために予定地の購入を進めている。

その計画では、図 2. に示すように、ドナウ川とサバ川に排除される下水を遮集するための下水道幹線を整備し、下水道網で集められた下水を終末処理するための処理場を建設しようとしている。LDA は、区間 9 をインターセプター、その他の幹線はコレクターと称している。

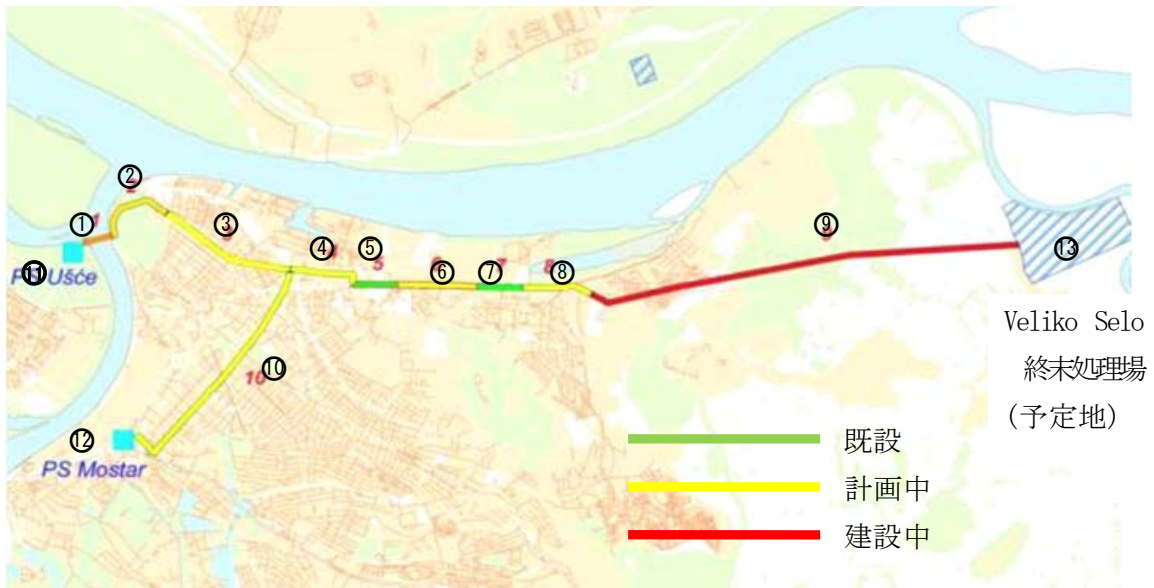


図2 下水幹線の建設計画

ベオグラード市の下水道施設の現状は、表1のとおりである。

表1 ベオグラード市下水道施設建設の現状

No.	区間	現状
1	サバ川下のサイフォン	計画
2	Usce-T. Koscuska	計画
3	T. Koscuska-V. Dobrnjica	計画
4	V. Dobrnjica-Pancevo bridge	計画
5	Tunnel karaburma	既存
6	Tunnel karaburma	計画
7	Vijode Micka-"Minel"	既存
8	"Minel"-Rospri Cuprija	計画
9	Tunnel Visnjica	建設中
10	Hinta Pomoc-Vnenzelisova	計画
11	PS Usce(新設)	計画
12	Mostar reconstruction	計画
13	Veliko Selo終末処理場	計画

図2に示すように、新市街地の下水は①Usceポンプ場に集められ、1の区間をサイフォンでサバ川を渡り、2～のコレクターで処理場に向かう計画である。旧市街地の下水は②Mostarポンプ場に集められており、10のコレクターで新市街地からの下水と合流して⑬Veliko Selo終末処理場に向かう計画である。

現在建設中の9インターセプターが完成し、それに合わせてVeliko Selo終

末処理場の建設も進め、区間 8、6 を建設すれば、一部の下水は、終末処理場に流入することが期待され、現状の無処理放流対策は、ある程度改善されると考えられる。

しかし、このようなパッチワーク的な計画で、それぞれが出来上がったときに下水道システム全体がとして機能することを検証する必要がある。



写真 2 雨水排水用ポンプ

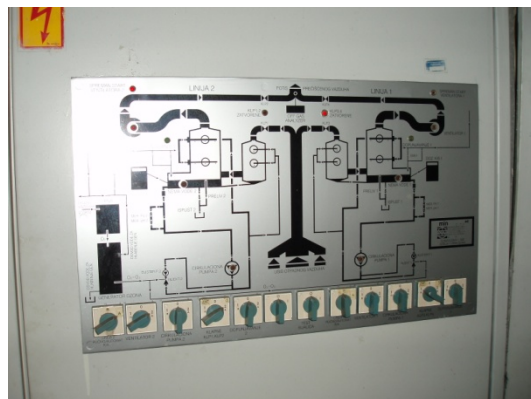


写真 3 ポンプ場の制御盤



写真 4 処理場予定地



写真5 トンネル工事用カッター



写真6 スラブのコンクリート打設

## (2) セ国の排水排出基準

セ国は現在、法的な排水基準を策定中であるが、ロシアの基準を参考に 1968 年に表 2 に示す水質環境基準を制定している。現状、ドナウ川、サバ川には類型Ⅱが適用されており、環境基準はクリアしているとされているが、このまま下水の無処理放流が継続されれば環境基準をクリアできなくなることが危惧されている。

表 2 セ国の水質環境基準

	I	II	II a	II b	III	IV
TSS (mg/l、晴天時)	10	30	30	40	80	—
TDS (mg/l)	350	1000	1000	1000	1500	—
pH	6.8—8.5	6.8—8.5	6.8—8.5	6.8—8.5	6.8—8.5	6.0—9.0
溶存酸素 (mg/l)	8	6	6	5	4	0.5
BOD (mg/l)	2	4	4	6	7	—
大腸菌群数 (MPN)	200	6,000	6,000	10,000	—	—

類型 I：消毒後の状態で、水道水、食料品製造業、水産養殖業に供される。

類型 II：水浴、通常の水処理（凝集沈殿、ろ過、消毒）により水道水、食料品製造業に供される。

類型 II a：通常の水処理（凝集沈殿、ろ過、消毒）により水道、水浴、食料品製造業に供される。

類型 II b：スポーツ、あまり繊細でない魚類の養殖、家畜の飲用に供される。

型 III：かんがい、食料品を除く製造業に供する。

類型 IV：使用目的に応じた処理を行った後に供するものに限る。

### (3) EU の排水排出基準

EU が定めている都市域の下水処理場の排出基準は、表 3 に示すとおりである。

表 3 EU が定めている都市域の下水処理場の排出基準

項目	基準値 (mg/l)
BOD	25
COD	75
SS (人口当量 2,000—10,000)	60
SS (人口当量 >10,000)	35
N (人口当量 10,000—100,000)	15
N (人口当量 >100,000)	10
P (人口当量 10,000—100,000)	2
P (人口当量 >100,000)	1

セ国は、現在排水基準制定のための法整備を進めているが当面はEUの排水排出基準を適用する考えである。

(4) 下水の計画値設定

(a) 下水量

下水量は以下の要素から計画されている。

- ・ 2021年1人1日当り水使用量
  - 定住人口分：150ℓ/人・日
  - 就労人口分：50ℓ/人・日
- ・ 工場における水使用量
  - 1.5 ℓ/ha/秒
  - ベオグラード市の工場用地
  - 830.4haより、
  - $1.5 \times 830.4 \times 86400 = 121,865$  (ℓ/日) = 90 (ℓ/人/日)
- ・ 水道水の下水転換率
  - 80%
- ・ 浸入水量
  - 30%

以上より、1人1日当り下水量

$$(150 + 50 + 90) \times 0.8 \times 1.30 = 302 \text{ (ℓ/人/日)}$$

以上の諸元を元に表4に示すように設定されている。

表4 計画下水量

年次	人口	下水量(m <sup>3</sup> /日)			
		日平均		日最大	
		晴天日	雨天日	晴天日	雨天日
2001	1,149,336	289,317	495,470	367,113	644,111
2011	1,178,078	306,442	520,289	398,374	686,775
2015	1,201,640	328,863	566,368	427,522	736,678
2021	1,216,865	365,468	621,897	463,409	808,466
2031	1,247,288	365,381	637,381	474,995	828,679

(b) 下水水質

汚水の水質は、BVKによって主要ポンプ場において測定されている。

測定項目、測定方法が日本のものと異なるため、単純に比較できないが、平均的な水質は、表5に示すとおりである。

表 5 主要ポンプ場における下水水質の平均値

水質項目	平均的な水質
pH	7.8
TSS (mg/ℓ)	226.9
BOD (mg/ℓ)	130.1
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/ℓ)	4.7
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/ℓ)	0.11
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/ℓ)	3.8
塩素イオン濃度 (mg/ℓ)	123.7

BOD は我が国の平均的な値よりは低い値と考えられるが合流式の区域で雨水の混入もあるのでほぼ一般的な下水性状であろう。

TSS は、BOD や塩素イオン濃度を勘案すれば SS や BOD とほぼ同じレベルと推定されるので我が国の下水水質よりは若干低いレベルにあると考えられる。

表 3 に示したように、このような下水を EU の排水基準をクリアして放流するためには、下水処理が必要である。

流入水質の実態に対して、LDA は、Veliko Selo 終末処理場の計画に当って安全を見て流入下水の計画濃度を次のように設定している。

表 6 Veliko Selo 終末処理場の流入下水の計画濃度

BOD (mg/ℓ)	264
SS (mg/ℓ)	297
N (mg/ℓ)	52
P (mg/ℓ)	9

このように設定した下水に対して、Veliko Selo 終末処理場では、活性汚泥法による有機物と窒素成分の除去と凝集沈殿法によるリン除去を計画している。

EU 基準を満たすための処理方式としては妥当と考えられるが、生物処理による有機物・窒素除去を行うためには、活性汚泥の滞留時間 (SRT) 制御、溶存酸素濃度 (DO) 制御が決め手となり、運転管理に留意することが重要となる。

### 3. 本調査結果からの提案

本調査結果から、以下の項目を含む F/S の実施を提案する。

(1) 下水道排水システム改善

LDA ではサバ川のサイフォンを前提とした計画を策定しているが、下水道は、原則的に自然流下であることとされているため、サイフォンの妥当性を見直す。

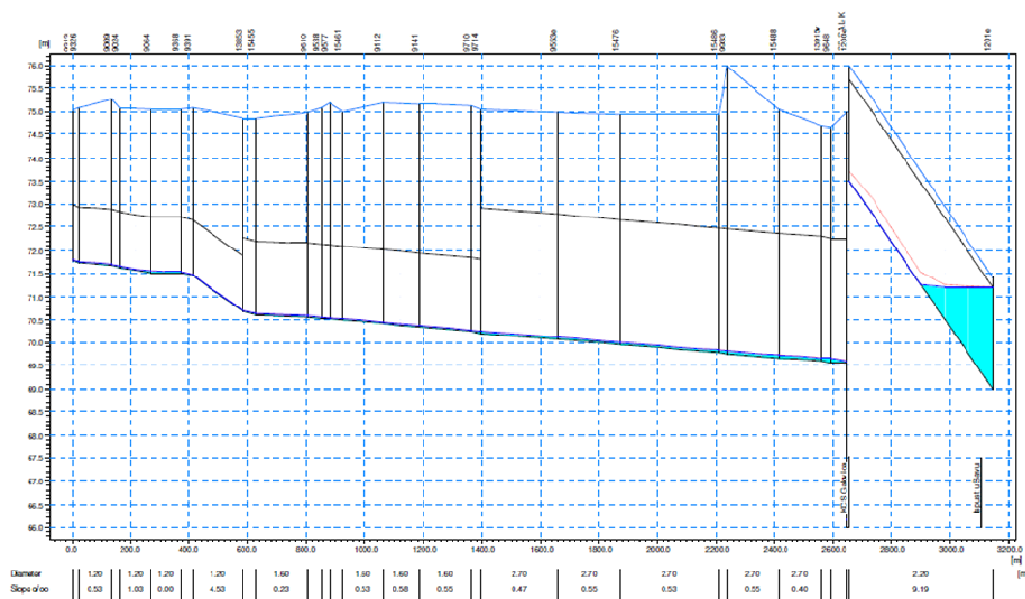
(2) 下水処理区の改善

図 1 に示したように、ベオグラード市の下水道計画は、5 つの処理区を前提として進められている。しかし、中央処理区が最も大きく、地形的な観点から見てもサバ川により分断されており、右岸の新市街区は分流式下水道による整備がすすめられ、左岸の旧市街区は合流式である。

もし、人口分布等を再精査し、右岸と左岸を再分割し新市街区を処理分区として現在の Usce ポンプ場付近に別途処理場を設けることができれば、サバ川のサイフォンも回避できることになる。ただし、既に LDA が F/S 策定作業を進めているので、我が国の F/S は急がれることになる。

(3) 縦断図の見直しと作成

一部の区間では、図 3 に示すように管渠の縦断図が作成されているが、図 2 に示した、Usce, または Mostar ポンプ場から Veliko Selo 終末処理場までの全区間はカバーされていない。このため、LDA の計画では、一部に既存の管渠を活用することになっているので、計画の妥当性の検討には、作成済の区間を見直し、全区間にわたる縦断図の作成が必要である。



#### (4) 下水の高度処理

前記しているように、EU 排水基準をクリアするためには、主として窒素・リン除去を行う高度処理を必要とする。現在計画されている Veliko Selo 終末処理場の処理方式は、この対策を考慮してあるが、生物処理によって窒素除去を行うためには活性汚泥の滞留時間 (SRT) 制御技術と溶存酸素濃度 (DO) 制御技術が決め手となる。

凝集沈殿法によるリン除去は優れた方式であるが、凝集剤の選定において汚泥処分を考慮しておくことが重要である。鉄塩、消石灰を利用すると汚泥の農地還元することが可能となるが、アルミニウム塩を使用すると土壌中のリン成分も固定するため肥料の効果の妨げになるとされている。したがって、凝集剤の選定が重要となる。

#### (5) 本邦の高度処理技術の優位性

本邦では、主として下水処理水の放流先の水利用の必要性から、下水の高度処理に取り組んできた。高度処理が必要とされた下水処理場には既存の処理場が多かったことから、わが国では、既存施設を活用した高度処理技術の研究開発も進んだ。

例えば、活性汚泥法の運転技術を改善してエアレーションタンク流入部の DO を低い状態に保ち、エアレーションタンク末端部で硝化を促進し、その活性汚泥混合液を流入部に循環して脱窒する方法がある。加えて流入部の DO 制御をさらに強化し嫌気状態にして活性汚泥中のリン成分を溶出させ、末端部では過剰摂取を行わせる。この操作によって燐の含有量の高い活性汚泥を生成して、余剰汚泥として、排出することによってリン除去を行う技術も開発している。

活性汚泥に硝化菌を育成するためには、活性汚泥の滞留時間 (SRT) 管理も重要である。SRT 制御が困難である場合に備え、硝化菌をペレット状に包括固定する技術も開発され、利用可能である。このように、本邦では、下水の高度処理技術において優位な技術を有しているため、国際的な競争力を有している。

#### (6) 円借款利用に関する提案

外務省国際協力局の「平成 21 年度国際協力重点方針」において西バルカン諸国向け国際協力の重点項目として「インフラ整備：上下水道等」があげられており、また、西バルカン諸国は所得水準が高いので円借款及び技術協力を主として活用することが明記されている。

本案件は、EU 加盟を目指すセ国にとって、環境対策として位置づけられる重要課題であり、日本政府の国際協力方針にも合致する案件である。

ヨーロッパ中進国であるセ国にとって有利な条件となる円借款の供与を受け

ることでこの課題を克服し EU 加盟の弾みになれば非常に望ましいことである。

本業務によって、ベオグラード市の関係機関が実施している下水道施設の概要が明らかとなり、前掲の図 2 に示したように、既存の施設と未着工の施設が明らかにされたので、未着工の施設のうち日本の円借款を希望するものと、自国で対応可能な施設を区別して明確化することを提案した。現地で収集した資料によれば、ベオグラード市の下水道施設の建設計画について表 7 に示すような整理がなされており円借款の要望額は合計で、152.1 百万ユーロに及ぶ。

今後、円借款に向けた手続きのための作業が必要である。

表 7 ベオグラード市の下水道施設の建設計画の概要

区分	施設等
自国で建設する	コレクター：2、3、4、6、8 インターセプター：9
日本への円借款を希望する	サイフォン：1 コレクター：10 ポンプ場の更新：12(Usce)、13(Mostar) 終末処理場の建設：11(Veliko Selo)
円借款の合計	152.1 百万ユーロ

今後、円借款の検討を実施していくためには、円借款対象の事業内容を明確化した上で F/S を実施し、事業内容の分析を行うことが重要である。また、セ国側では、建設許可取得のための環境影響評価の実施申請状況のモニタリング、事業予定地の用地取得の解決等が必要となってくる。ローン・アグリーメント締結にあたっては、セ国政府保証についての議会承認が必要であり、また、実施主体のベオグラード市においては、ローン・アグリーメント締結に際しての市議会承認が必要となる。さらに、セ国側が負担する事業費についてはベオグラード市の各年度予算に計上した上で議会の承認が必要となるので、セ国政府の保証が不可欠と思われる。



写真7 LDA との打ち合わせ



写真8 BVK との打ち合わせ

#### 4. 今後の進め方

本件は、ドナウ川及びサバ川の水質保全を図る上で重要な環境案件である。

本件を進める上の前提条件となる EU の排出基準、終末処理場の下水の流入条件等は明らかとなった。今後、円借款供与を前提に、本件を進めるためには、本邦支援による本件のスコープ及びスケジュールを明確化、概算費用見積りを含む F/S の実施が求められる。

本件に関しては、LDA、BVK からは、本邦下水道計画技術に前向きな感触が得られた。引き続き、プロジェクトの具体化に向けた意見交換を進めていくことで合意した。

プロジェクトが、本邦技術並びに円借款利用により実現することになれば、近い将来 EU 加盟が予定されるセ国において環境問題への貢献を通じたプレゼンス拡大が期待されるだけでなく、サバ川、ドナウ川を貴重な水資源としており、同様な問題を抱える東欧地域周辺各国においての水平展開も期待できる。

特に、両機関ともに詳細設計、オペレーションコスト(建設費、維持管理費他)の費目ごとのブレイクダウン等の情報を求めており、今後これらの点について、会員である本邦メーカーとも連携しながら情報提供を図っていく予定である。

こうしたプロジェクトの重要性並びに緊急性を踏まえ、本件が着実に進むよう引き続き LDA、BVK を支援していきたいと考えている。