
 論 説

下水道光ファイバーネットワークについての研究

The study of Fiber Optics in Sewer Pipe

東京都下水道サービス株式会社 中里 卓治

要 約

高度情報社会を迎えて、下水道施設は大きな役割を果たそうとしている。これまでの都市基盤である下水道施設を活用して、情報通信という新しい社会基盤を構築する可能性を述べた。

下水道と電気通信との共通する特徴は、

- ① 管渠延長が長くネットワークの面的拡張性を確保できる。
- ② 管渠断面が大きく、途中に弁がない。
- ③ 普及率が高く、アクセス可能な加入者数が多い。
- ④ マンホールが多く、広く分散配置してあるので、光ファイバーケーブルの分岐・接続スペースとして活用できる。
- ⑤ 下水道施設は広い敷地や非常用電源設備を完備している。
- ⑥ ソフトプランの実績がある。
- ⑦ ケーブル敷設ロボットが実用化した。
- ⑧ 下水管渠用光ファイバーケーブルが実用化した。
- ⑨ 震災時に被害が少ない。
- ⑩ 都市の無電柱化に寄与できる。

下水道管渠に光ファイバーケーブルを敷設する方法は、これまではロボットによる方法と、そのまま管底に引き流す方法があった。本論文では、3番目の敷設方法としてレイコ方法を提案した。これは光ファイバーケーブルに張力を与えて、管渠の中を電柱のように簡単にケーブルを敷設するもので、コスト、工期を大幅に低減し、ファイバー・トゥ・ザ・ホームを加速する。

事業形態は、ネットワークの展開に対応して、①下水道利用、②都庁内利用、③企業利用、④家庭利用の4段階に分かれる。事業規模としては、13年間で約2万kmのネットワークと約100カ所の交換局を建設し、6400億円の投資で事業開始7年で単年度黒字達成となる。

下水道事業から電気通信事業に進出するに当たっては、①公共性と効率性の調和、②事業採算性の確保、③事業拡張性の確保、④サンクコストの分散、⑤行政利用と民間利用との共存に配慮する必要がある。

ABSTRACT

On intelligent society, we are going to develop new and important roll of sewage

systems. In this paper, I try to describe the probability of construction of new infrastructure, in the field of intelligence and

tele-communication.

There are some effective characteristics between sewer and tele-communication, like these:

- ① The length of sewer pipe is large enough to get high good quality tele-communication network in urban area.
- ② Sewer pipe has bigger diameter than other pipes under ground, and it is true it does not have any valves and pressure.
- ③ The network of sewer pipe pervades the Tokyo. So, almost people lived in Tokyo can be accessible to fiber optics.
- ④ As there are many number of manholes under ground which have large space, manholes are good for branching off and jointing fiber optics.
- ⑤ WPCPs and pumping stations which are completed with emergency power supply are usefull as locations of central.
- ⑥ We have an experience of Sewer Optical Fiber Teleway PLAN in Tokyo.
- ⑦ We developed the robot to install fiber optics into sewer pipe.
- ⑧ When earthquake attacks urban area, sewer network is so stiff that under ground cable damaged could not be found.
- ⑨ To shift cable from air to sewer pipe, they can decrease a number of telephone pole.

Up to the present, we have two ways to

install fiber optics into small sewer pipe. One of them is the robot-way, and another is the leaving-cable-way on the bottom of sewer pipe. This paper has indicated the third way, LAICO-way. LAICO;Local Area Intelligent COmmunication network. LAICO-way is to give cable tention and to install it beneath the top of sewer pipe. This way needs not any fixing parts in sewer pipe but manhole. And this way can make it easier, shorter and cheeper than robot-way and more safty than leaving-cable-way because LAICO-way can install cable into sewer pipe as if between telephone poles.

In order to realize this idea, there are four steps of works according to the development of network. First is the demand of sewage itself. Second is the demand of all of Tokyo Metropolitan Government. Thierd is a business use. And the last is a home use. We will be able to construct 20,000km network and 100 centrals by 640 billion yen, and will be able to go into the black by 7years from start.

When we expand tele-communication business, we should be prepared to give it every considerations like these,

- ① Keeping the balance between public works and business,
- ② Beeing profitable,
- ③ Probability of expantion,
- ④ Sharing in the sunken cost which is not be able to withedraw.

1. はじめに

現在、私達は産業社会から高度情報社会へのターニングポイントにある。産業社会に代表される、電力、電話、水道、下水道等の各都市施設は、産業革命時に生まれた技術を母体として、社会資本の蓄積とともにその普及が進み、現在では生活に不可欠な都市基盤として生活のすみずみまで浸透している。しかしこれからは、価値創出の源泉がモノを中心とする重厚長大な施設から、無形で複製可能である情報や知識を駆使する情報関連施設へシフトすると言われている。ここで注意すべきことは、最新のシステムでも必ず従来の技術を踏まえ、これを活用したうえに存在しているということである。情報通信においても同じように、これまでの都市基盤を利用しながら、新しい情報通信基盤を構築するという視点が大切である。このような観点に立てば、下水道管渠を利用する光ファイバーネットワークの構築は、高度情報社会における都市の盛衰を左右するといっても過言ではない。

都市の発展する条件とは、以下の4点と言われている。

- ① 地区の多様性
- ② 小規模ブロック
- ③ 多様な建造物
- ④ 高い人口密度

このような地域重視、個性尊重の条件の下で、都市はさまざまな相互作用を行いながら、たえず貴重な情報を生産している⁽¹⁾。企業においては、パケット網を利用して企業独自のレベルで専用情報通信ネットワークを作り、生き残りを図っている。家庭レベルでも、衛星放送や都市型CATVの普及が始まり、ハイビジョン放送やペイテレビなどマルチメディア時代に入った。

一方、地域レベルでの高度情報社会を支える情報通信基盤としては、ファイバー・トゥ・ザ・ホームの言葉のように、これまでの金属ケーブルを

論説——下水道光ファイバーネットワークについての研究

光ファイバーケーブル（以下ケーブル）に置き換えた実用規模の加入系実験施設が、現在、米国を中心に進められている⁽²⁾。

本論では、以上の社会情勢と技術動向を前提にして、20世紀の都市基盤である下水道システムを活用し、21世紀の情報通信基盤である光ファイバーネットワーク構築の実現可能性を論じる。

2. 下水道の情報化

(1) ソフトプラン

東京都には、10カ所の下水処理場と67カ所の下水ポンプ所があり、この内の8カ所の下水処理場には構内LAN (Local Area Network) が設置されており、27カ所の無人ポンプ所では遠隔制御が行われている。

各下水道施設に設置してあるこれらの監視制御設備の目的は、施設の効率的運用と信頼性の向上、それに高度な利用である。この目的を実現するためには、情報処理と通信技術が不可欠であり、東京都はソフト・プラン (Sewer Optical Fiber Teleway Network in TOKYO)⁽³⁾ と名付けて、下水道事業のために水管渠に光ファイバーケーブルを敷設するプロジェクトを進めている。ソフトプランは、異なる場所の下水道施設を統合したり、異なる性格の下水道データを組み合わせ加工して新しいデータを生み出したり、大規模なデータベースを構築して、よりすぐれた施設運営に寄与することができる。

1) 施設の効率化

下水処理場の効率化には、溶存酸素濃度制御による送風機電力の削減や、汚泥薬注制御による高分子凝集剤の節約などがある。また、人的な面からは、エキスパートシステムを使った運転支援システムによる監視業務の軽減、工業用テレビカメラによる現場点検の代行などがある。

2) 信頼性の向上

信頼性の向上には、プラントの維持管理データ収集、解析による予防保全や、フェイルプルーフ、

フェイルセーフ機能による稼働率の向上、それにエキスパートシステムによる異常時の運転支援などがある。

3) 高度な利用

水処理プロセスと汚泥処理プロセスとの間の最適運転や、ポンプ所の遠方監視制御、複数の水処理プロセスの汚泥を処理する汚泥集中処理プラントの最適運転、さらには多目的利用などがある。

3. 情報通信基盤としてのレイコネット

(1) レイコネット構想

レイコネットは (Local Area Integrated Communication Network of TOKYO) の略で、東京の下水管渠に光ファイバケーブルを張りめぐらし、電気通信事業を行おうとする構想である。レイコネットは、下水道事業以外に都庁行政利用、特別区行政利用、企業利用、家庭利用を想定し、電気通信事業としての実現可能性を研究した。ここでは、民間企業70社が、現行法制度にとらわれない自由なスタンスで研究を行い、下水道を用いた情報通信基盤の整備が必要であることを提言した。

(2) 法制度

レイコネットをとりまく法制度は、現状では必ずしも満足するものではない。下水道法24条では、下水管渠に下水道事業目的以外のものを付着することを禁止しており、一般事業用に光ファイバネットワークを下水管渠に敷設することはできない。電気通信事業法でも、第一種電気通信事業を営む場合に、あらかじめ事業の認可を得ることが義務づけられている。しかし同10条によれば、

- ① 許可にあたっては、役務が需要に照らして適切であること
- ② 電気通信回線設備が過剰でないこと
- ③ 経理的・技術的能力があること

について審査することになっている。東京地域の第一種電気通信事業者には、現在、NTTと東京通信ネットワークがあり、電話・専用サービスに

関しては、需要量や回線設備の点から地域系新規参入第一種電気通信事業者 (NCC) の誕生は、事実上困難である。しかし、状況は必ずしも悲観的ではない。下水道は施設の上部利用をはじめ、処理水再利用や熱利用など、下水道本来の目的以外の利用が積極的に進められており、レイコネットもその延長にある。また電気通信の分野でも、NTTの分割や移動体通信分野の切り離し、広帯域ISDN (Integrated Services Digital Network、総合デジタルサービス網)やハイビジョン、新規需要の顕在化などがある。さらに、回線を一種電気通信業者に貸し出す0種電気通信事業の提案、通信と放送の融合など、技術革新と需要構造の変化にともなう政策の対応が望まれている。

(3) 技術的背景

光ファイバ技術は、この10年間に急速な進歩を遂げてきた。従来の同軸ケーブルは500mから2kmごとに増幅器が必要であったが、光ファイバケーブルは20km程度までは無中継でよい。したがって、都市でのケーブル敷設は事実上無中継でよく、従来の金属ケーブルに比べて電気通信システムを大幅に簡素化すると期待されている。また、ケーブルの途中接続も、現場での溶着接続機が実用化しているし、ワンタッチのコネクター接続も0.1dB以内の低損失の製品が商品化している。

また、光ファイバ通信技術では、広帯域ISDNの国際標準化が進んでおり、高速のLAN間接続や動画像伝送、それに低速パケット通信を効率的に実現できる。これらの速度の異なる通信は、ゲートウェイを通じてATM (Asynchronous Transfer Mode: 非同期転送) 方式のマルチメディアパケット交換網で効率的に処理される。

光ファイバ通信の到達点であるコヒーレント通信は、すでに1991年の春には1.2Gbit/s×32チャンネルの試作機が実現している。これは32台の狭線幅レーザー光源と偏波ダイバシティ光受信機を使って、40kmの距離をハイビジョン放送32チャンネルが送れるものである。

4. 光ファイバーネットワークと下水管渠

(1) 下水管渠と通信ネットワーク

下水管渠は、下水を自然流下して収集するため、いわゆるツリー構造ネットワークとなっている。すなわち、上流では細い管渠が枝線として面的に張り巡らされており、これらが集まって太い幹線となって下水処理場に到達する。

一方、通信ネットワークは交換局から各家庭やオフィスに放射状に1本1本のケーブルが接続されており、スター構造ネットワークを形成している。これを加入系と呼ぶ。一方、交換局間を結ぶ回線は中継系と呼ばれ、加入系に比べてはるかに高密度・高速伝送を行い、伝送効率を向上させて、ケーブル本数を極端に少なくすることができる。この結果、ケーブル本数は、加入系より中継系のほうが極端に少なく、重要なケーブルである割には敷設工事は簡単である。

(2) 下水道を活用するメリット

下水管渠を利用した情報通信システム構築の最大のメリットは、加入系収容スペースを確保できることである。東京都の下水道ネットワークについては、特に以下のような具体的なメリットが上げられる。

- ① ソフトプランの実績がある。
- ② 下水管渠総延長は、都内区部では13,200kmもあり、ネットワークの面的拡張性を確保できる。
- ③ 下水道の普及率は区部で95%を越えており、アクセス可能な加入者線系統数やカバー率が高い。
- ④ 下水道マンホールは区部に36万個もある。このマンホールは、地下に大きな作業スペースを確保してあるので、その一部をケーブル分岐・接続スペースとして活用することができる。
- ⑤ 区部下水道施設の敷地は、約400haもある。その上、大部分の施設では停電に備えて大容

量の非常用発電設備を有しており、信頼性が高い。

- ⑥ 震災の際には、架空線は倒壊物の接触や電柱の転倒、火災によるケーブル焼失などのため致命的な被害を被る恐れがある。これに対し下水管渠での震災の被害は少ない。宮城県沖地震では管路延長750kmのうち1,670カ所もの被害が発生したが、ほとんどが目地ずれ、ひび割れであり、完全に破損したものは数カ所⁽⁶⁾しかなかった。もし万一下水管渠が破損したとしても、ケーブル長に余裕があればケーブル切断には至らないだろう。二次災害である火災に対しては、下水管渠の中は影響を受けない。

- ⑦ 無電柱化により、歩行環境の確保、都市活動の円滑化、さらに都市景観の改善を実現することができる。

(3) ネットワーク構成

1) ネットワーク収容区域の設定

下水管渠にケーブルを敷設する場合、特定の下水管渠にケーブルが集中しないように、また管理を円滑に行うように、加入者の収容区域を適切な単位の分割が必要がある。

2) 処理区の地域割と階層化

処理区は、地形や処理人口に従い、処理分区、処理小分区に分割されている。処理分区の面積はおおよそ100ha程度となっている。一方、情報通信の需要分布は、地域社会や行政区、経済的な地域ごとに分割される。両者の特徴を生かすために、処理分区を基本単位とした地域分割を行う。そして処理分区内の地域内伝送ネットワークと処理分区外の地域外伝送ネットワークとを階層構造で結ぶ。処理分区内には、それぞれに、地域情報センターに相当する基幹交換局を設ける。その設置場所は、経済性、ロケーション、強固な建物、監視体制、非常用電源を考慮して、下水道施設などの既存都市公共施設を活用する。

5. ケーブルの敷設と維持

(1) 敷設方法

1) 基本的な考え方

① 敷設の容易性

短期間に大きなネットワークを敷設するには、特殊な技術や機器を必要としない敷設の容易性、簡素な構造、低コストが大切である。例えば下水道工事店の技術レベルでケーブルを下水管渠に敷設したり、分岐・接続できる工事の簡素化・標準化が急がれている。またルート選定においては、伏せ越し管や圧力管、老朽管は避ける必要がある。

② 拡張性の確保

道路、建築物などは、時間の経過とともに変化する。都市再開発事業などにより地域の様相が大きく変化することもある。将来計画を考慮して、余裕をもった弾力的な配線方法を行うことが大切である。

③ 緊急事態対応

ケーブルや接続箱の損傷に備えて、緊急対応が速やかに行えるよう敷設方法を考慮する。たとえば、接続にコネクタ方式を選ぶとか、あらかじめバックアップルートを用意しておく方法がある。緊急時のケーブル交換は、事故区間のバイパスルートを路上に仮設し、回線を確保したうえで工事にかかる。これらの緊急事態に備えて、機動的な対応組織、協力態勢を保持しなければならない。

2) ルートの選定

① 中継系

中継系は局間を連絡する重要回線であるので、信頼性の向上と損失の低減を実現するため、接続箇所をできるだけ少なくした長尺敷設を原則とする。接続は基本的には減衰量の小さい溶着接続を行うが、緊急対応や保守を考慮して、適当な距離ごとに切り分け用コネクタを用いる。さらに、1つの局に複数の中継ケーブルがつなぎこまれてネットワークのノード（結束点）を構成するので、

それぞれのケーブル敷設ルートは、できるだけ異なった下水管渠に分割し、事故の同時発生を防止する。

② 加入系

加入系のルート選定は、需要家に直結するので比較的小口径の下水管渠を主体とする。加入系は、HUB数や需要家数に対応する多数のケーブルが必要となるので、ルート選定に当たっては、敷設距離をできるだけ短くしてケーブル総延長を短くし、事故の可能性を小さくするとともに、管渠断面に対するケーブルの占める割合を小さくすることが大切である。また加入系は、需要の変動を直接受けることになるので、長期的な需要変動に対応できるよう二重、三重の敷設ルートを確認しておく必要がある。

(2) 施工方法

1) 人が入れる下水管渠

直径80cm以上の人が入れる下水管渠は、管渠下部に流水があることから、図1のように作業台車を持ち込んでケーブルを管頂部に取り付けていく。

2) ロボット方式

東京都下水道局、東京都下水道サービス株式会社等が開発した小口径光ファイバーケーブル敷設専用ロボット。図2に示すようにあらかじめ下水管渠にケーブルを引き流しておき、ロボットでJ

図1 大口径管敷設

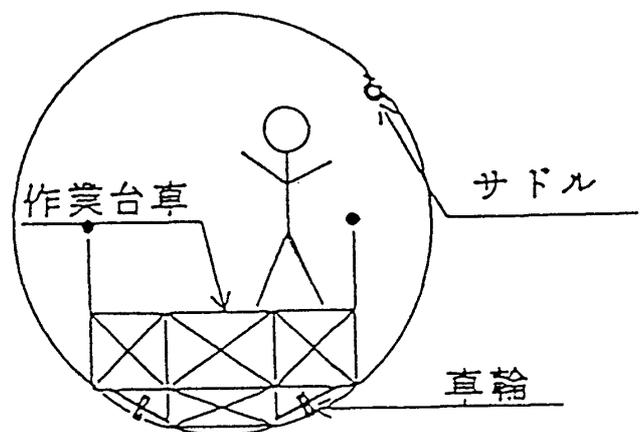
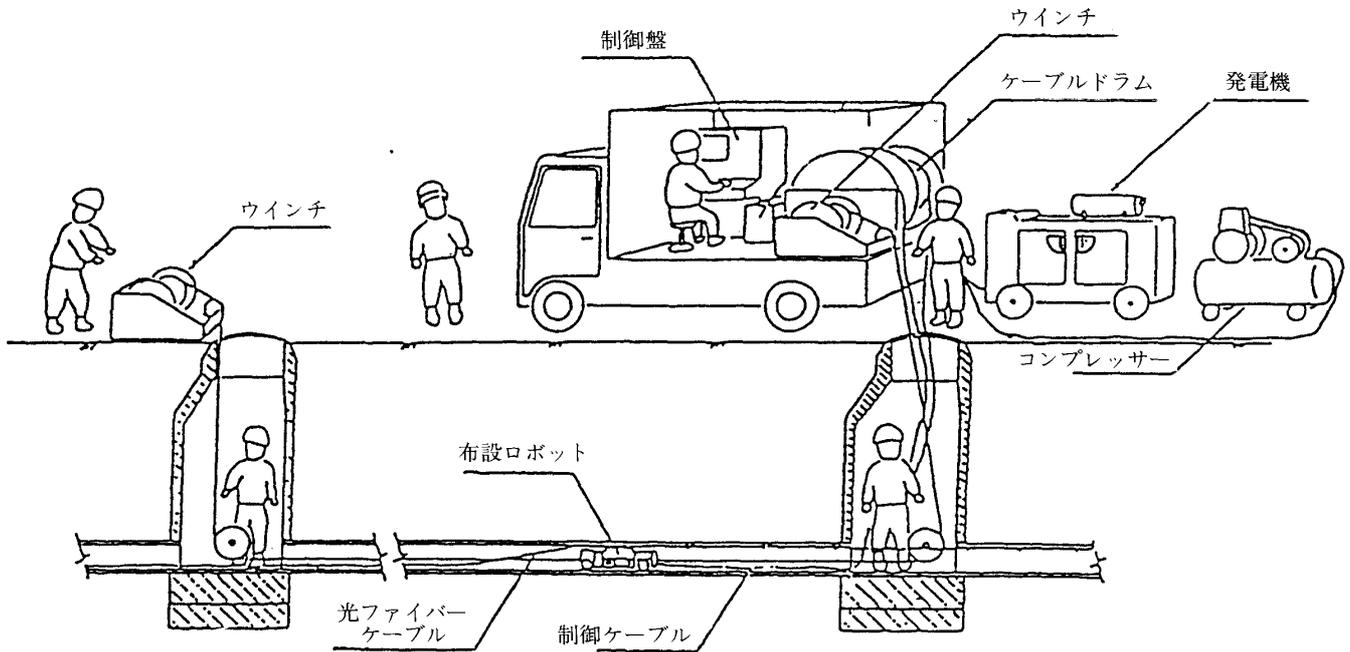


図2 人の入れない管渠のケーブル固定要領



型アンカーボルト（Jボルト）を管頂に埋め込んで、ケーブルを固定する。ロボットは、作業を監視するテレビカメラと、管頂部にドリルで穴をあけJボルトを圧入する作業部からなる。取り付け間隔は2 m程度で、テレビカメラで取り付け状態を確認することができる。適用できる下水管渠口径は、25cmから70cmまでである。

3) 引き流し方式

下水管渠には、常に下水が充満したり口径が小

さすぎてロボットを入れられない場所がある。前者には、海底ケーブル仕様のケーブルを管底に引き流す。後者の場合には、できるだけ細くて柔軟なケーブルを、管底に沿って引き流す方法がある。この方式は、敷設方法は最も容易で安価ではあるが、流水の影響でケーブルが動くので、ケーブルの破断強度、外被の耐摩耗特性を配慮する必要がある。また、ケーブルにより管渠内に汚物が堆積する可能性があるため、注意を要する。

4) レイコ方式

東京都下水道局と東京都下水道サービス株式会社等で開発した敷設方法で、ロボット方式のケーブルを固定する利点と、引き流し方式の敷設容易性を兼ね備えた方法。図3のように、下水管渠の中をまるで架空電線のようにケーブルに張力を加えてマンホールに留め、電柱のようにマンホールからマンホールにケーブルを張り巡らす方式である。レイコ方式のケーブルは張力が加わる張力線と、通信に使う光ファイバーケーブルをポリエチレン被覆で一緒に包み一体構造とする。

ケーブルはマンホールや柵の部分で、スプリン

図3

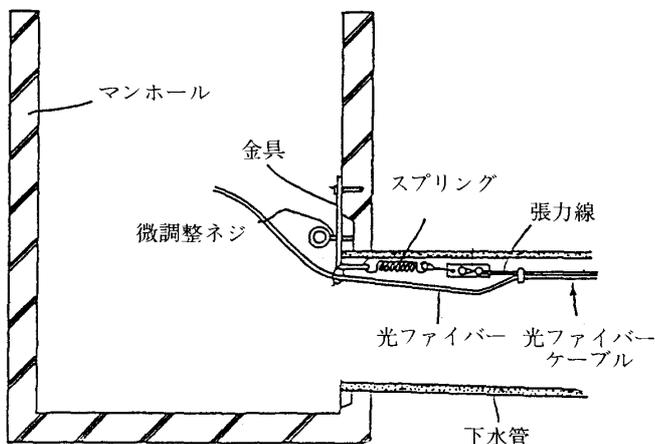


表1 レイコ方式弛度量 (マンホール間隔/張力)

	10kg	20kg	30kg	40kg	50kg	100kg	200kg
10m	6cm	3	2	2	1	-	-
20m	25	13	8	6	5	3	1
30m	56	28	19	14	11	6	3
50m	156	78	52	39	31	16	8

グを介して取り付ける。ケーブルの弛度量 (管頂からの弛み量) d cm は、ケーブル重量 W kg/m、マンホール間隔 S m、ケーブル張力 T kg により、 $d = WS^2 / 8 T$ の計算式で導かれる。表1には、2芯加入系ケーブル (0.05kg/m) に対する弛度量とマンホール間隔、張力との関係を示す。弛度量を5 cm 程度に押さえようとすると、マンホール間隔30m で100kg程度の張力を必要とする。この程度の張力は、マンホールの中で作業員が手動ウィンチを用いて容易にセットすることができる。

5) レイコ方式の利点

- ① ケーブルは一定の張力で管頂部に設置されるので、晴天時には下水に触れず、雨天時にも流水によって波打ったり流されたりしない。
- ② ケーブルに夾雑物が絡んだり、下水管渠が破損したりして、ケーブルに異常な力が加わっても、張力線の強度とスプリングの弾性変形で吸収できるので、光ファイバーケーブルに力がかからない。
- ③ 施工方法が簡単で、専門技術や特殊工具、支援車が不要である。
- ④ 施工方法が簡単で、敷設コストが極めて低い。
- ⑤ 施工方法が簡単で、工期が短く、昼間工事も可能である。
- ⑥ 施工方法が簡単で、増設、補修が容易である。

以上の結果、レイコ方式は従来の電柱架空配線に比べて、ケーブルを下水管渠に設置することによるコスト上昇、敷設工期の増大、故障対応の困難などについて、同等のレベルまで引き戻すことが可能になり、地中光ファイバーケーブルネットワークの普及を加速するだろう。

表2 ケーブル敷設方式の比較

	ロボット	引き流し	レイコ
容易さ	困難	容易	容易
コスト	大	小	小
時間	長	短	短
管閉塞	小	有	小
引き替え	やや困難	容易	容易
増設	やや困難	やや困難	容易
信頼性	高い	やや低い	高い
取付管回避	可能	管底設置	管頂設置

6) 三者の比較

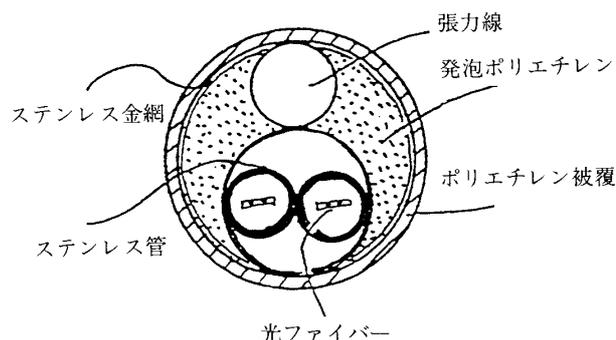
表2に、上記のケーブル敷設方法の比較を示す。ロボット方式では、2 m 置きにJボルトを埋め込んでいくので、取り付け管接合部を避けて精度よくケーブルを敷設できるが、コスト・工期が多くなり、大規模な工事には適しない。一方、引き流し方式は、管底部にケーブルを置くだけなので、三者の中で敷設は最も容易であるが、常に下水に触れており、汚水流下を妨げることがある。レイコ方式は両者の欠点を補うが、張力線を抱き込んだ特殊ケーブルが必要であることや、マンホール間隔が大きくなると大きな張力が必要になること、それに取り付け管接合部を避けてケーブルを設置しにくいことなどの弱点がある。

ケーブル損傷時の修理や引替は、ロボット方式ではJボルトを回収するのに手間取るが、引き流し方式やレイコ方式は容易に撤去、再敷設ができる。需要拡大によるケーブルの増設は、ロボット方式はやや困難である。引き流し方式も管底部に何本ものケーブルを置くことはできないので、やはり増設が困難であるが、レイコ方式は管頂・管壁に比較的自由に増設できる。

いずれにしても、これらの3種類の敷設方法は、下水管渠の条件に従って使い分ける。場合によっては各方法を組み合わせて敷設することも有効である。例えば、レイコ方式とロボット方式を組み合わせ、マンホール間隔の長い経路の途中数カ所だけJボルトで固定して、見かけ上の間隔を短くして、張力を小さくする方法がある。弛度量は、間隔の二乗に反比例することに注目すべきである。

(3) 光ファイバーケーブル仕様

図4 レイコ方式ケーブル



1) 一般条件

下水管渠では腐食性ガスが発生するし、棒切れなどの異物も流れてくる。そのうえ管渠の中は簡単には点検できない。このような悪い雰囲気の中に敷設するケーブルは、以下のような条件に長期間耐える仕様としなければならない。このためには図4のように、ポリエチレン被覆と網代外装、小口径ステンレス管によるガードが必要である。

- ① 水没、夾雑物の衝突
- ② 汚水、ガスの腐食
- ③ ネズミなどの小動物、かび、スライムなどの生息
- ④ 40℃程度の温水
- ⑤ PH5.7~PH8.7
- ⑥ 高圧洗浄作業
- ⑦ 柔軟性
- ⑧ 口径3 cm以下

2) 光ファイバーの施工条件

光ファイバー自身は歪みで特性が劣化するため、大きな張力や曲げを加えてはいけない。このため、張力線やステンレス製さや管等を用いて、外力が加わりにくいように工夫する。施工条件は以下のとおり。

- ① 短時間で接続・分岐工事が可能である。
- ② 1000m 程度の長尺敷設が可能である。
- ③ 一定のねじれ、振動、曲げに耐えること。

3) 特殊条件

災害や事故時には、次のような条件の下で短期間使用に耐える必要がある。

- ① 下水管渠が破損し、土砂が管内に侵入。
- ② 不法投棄でモルタルやベントナイトが侵入。
- ③ 排出基準を上回る温水、酸アルカリ排水の侵入。

(4) 維持管理方式

下水道管渠のケーブルを維持管理することは、下水道管渠とケーブルの両方を維持管理することを意味する。

1) 下水道光ファイバーケーブル維持管理

下水管渠の維持管理は、定期的な見回り点検業務と、故障時の支障処理業務に分かれる。定期点検では、マンホールからの目視点検の他に、テレビカメラロボットによる精密点検がある。支障処理には、油脂や土砂による管閉塞時の高圧洗浄車による管路清掃、管渠破損や道路陥没事故に対する緊急開削工事などがある。一方、通信ケーブルには、信号の有無によりケーブル異常を検知する方法や、ケーブル内部にガス圧を加え、その漏洩の有無でケーブル損傷を検知するガス保守などがある。

下水道光ファイバーケーブルの日常点検は、下水管渠とケーブルを同時に目視するなど、両者が一度ですますことができるものが多い。また、下水管渠を修理するときはケーブルを仮設切り回しする必要がある。このため下水管渠とケーブルの維持管理を同一の組織で実施できるようにすることが現実的であり、かつ重要である。

地中化による事故は、表3による英国の例では、架空線と地中線で大きな差はない。道路工事によ

表3 英国における原因別事故停電件数 (1980年度実績、件/100km)

	架空高圧	地中高圧	架空低圧	地中低圧
自然現象	9,678	532	9,645	1,102
馬獣接触	933	30	726	7
他者過失	1,525	2,574	2,935	22,089
設備不良	3,497	1,781	9,824	9,374
その他	1,756	1,001	5,096	16,723
計	17,389	5,918	28,226	49,295
	架空線計	45,615	地中線計	55,213

る他者過失による事故を減らすことが肝要である。

2) 光ファイバーネットワーク維持管理

光ファイバーネットワークの維持管理は、通信システム管理そのものである。事業用電気通信設備の管理規定を制定し、郵政省へ届け出し、電気通信主任技術者を選任する必要がある。通信システムには、交換網を含むので、網制御装置により加入者端末装置と交換局、交換局同士、それに既存通信事業者との外部接続などの回線制御や課金処理を行う。

これらの機能を確保するために中央にネットワーク監視システムを設け、関係交換局を通じて発着信規制、出接続規制、迂回規制、ルート変更、回線増設を始め、加入系線路保守、交換機保守を行う。

6. 加入者系ネットワークと下水管渠

(1) マンホール

都内には下水マンホールが36万個もある。都内の下水道利用者は350万世帯なので、マンホールはおおよそ10世帯に1個程度の割合で配置されていることになる。このマンホールの数は、電力、電話、ガス、水道などの地下埋設管の中で最も多い。この理由は、他の地下埋設管に比べて下水道では、管渠の詰まり、破損、点検に対応するため短い間隔でマンホールを配置する必要があるからである。「下水道施設設計指針と解説」によると、下水マンホールは、管渠の起点および方向、勾配、管渠径等の変化する箇所、段差の生じる箇所、管渠の会合する箇所ならびに維持管理のうえで必要な箇所に必ず設けることになっている。⁽⁸⁾

このマンホールは次の理由で地中光ファイバーネットワークとしても重要な役割を果たす。

1) 面的に広く分散配置されている。

都内の下水用マンホールは大部分が内径90cmと内径120cmの標準円形マンホールで占められている。これらは内径90cm以下の下水管に使われてお

り、ほとんどの公道にくまなく配置されている。このようにマンホールが面的に分散配置されていることは、ちょうど空中空間スペースとして電柱が街のすみずみに配置されているように、光ファイバーネットワークを構築するうえで地下空間スペースとしての大切な機能を確保できる。

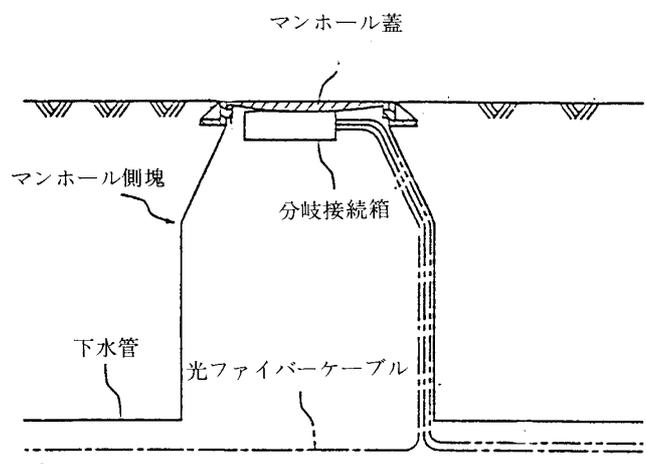
2) 十分な地下スペースが得られる。

マンホールの鉄蓋は直径が90cmや120cmの小さなものだが、地下には作業スペースとしてかなりの空間が確保されている。この一部を作業に支障のない範囲でケーブルの分岐・接続スペースに活用することができる。分岐接続箱は、マンホール内作業に影響を与えないように、側壁にそった水密式弧状容器に収納する。さらに、図5のように、東京都下水道局と東京都下水道サービス株式会社等の考案による鉄蓋の裏側を利用した接続箱付マンホール蓋の例もある。加入系の分岐接続は、1つのマンホールで10軒程度のスペースがあればよいので、この程度の容積でも十分である。そのうえ、分岐接続箱をマンホール蓋の裏側に取り付けると、回線の維持管理に通信技術者が下水管渠に入らないですむ。

3) 地上の火災から隔離できる。

分岐接続機能を地下化することにより、光ファイバーネットワークをすべて地下化することがで

図5 分岐接続箱付マンホール



きる。こうすることにより震災時の火災による焼失を避けることができ、非常時に強いネットワークが構築できる。

4) 部外者が侵入しにくい。

下水道マンホールは素手で開けることはできないし、施錠機能を付加したり接着・封印することもできる。また、マンホールを開いて下水管渠に入るには交通制限をしなければならず、一般の市民の眼に止まりやすい。

7. 光ファイバーネットワークシステム

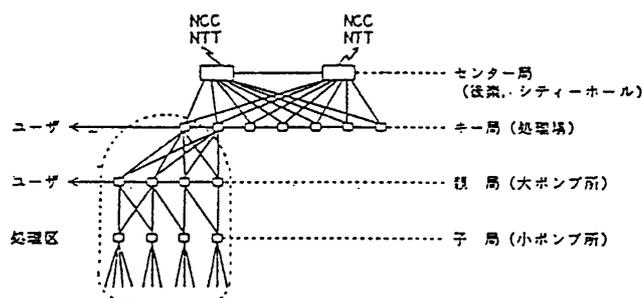
(1) ネットワーク構成

下水管渠の光ファイバーネットワークは、高信頼性、大容量性、広域拡張性、任意接続性を特徴とするので、これを生かすようにネットワークポロジィを構築する必要がある。そのため、信頼性の高いメッシュ型を基本として、ネットワークとしては図6に示すような4階層ハイアラキ構造を構築する。電気通信と下水処理との共通点を考慮し、下水道施設をノードとして位置付ける。各階層での集線速度はCCITT（国際電信電話諮問委員会）勧告を尊重して、以下のとおりとする。

- ① 端末 64kbps～6.3Mbps
- ② 子局／親局 52Mbps
- ③ 親局／キー局 156Mbps
- ④ キー局／センター局 $156\text{Mbps} \times n_1(n_1-4)$
- ⑤ センター局間 $156\text{Mbps} \times n_2(n_2-16)$

なお、実際のネットワークはATM技術などで

図6 <4階層ハイアラキ構造>



広帯域ISDNを実現することにより、論理的階層構造のメリットを生かしつつ物理的ネットワークの簡素化が進行する⁽⁴⁾。

(2) 光CATV

多チャンネルハイビジョンCATVの時代を迎え、光CATVが実用化の段階に来ている。一方、都心での地下CATVケーブル敷設スペースが極めて得難いので、ケーブル管路としての下水管渠の役割が期待されている。

1) サービスエリア

本格的な光CATV放送を始めるにあたって、40ch～100chの番組提供が予想される。このように多くの番組が提供されると、視聴者は自分の好みに合わせて任意に番組を選ぶことができる。番組提供者から見ると、地域別、時間帯別、世代別、職業別などに差別化した番組提供が可能になる。現在は、マスメディアを使った全国ネットの数百万人を相手にするマスコミュニケーションと、足で歩ける範囲の100人程度以下を相手にするパーソナルコミュニケーションがある。前者は商業放送ベースが成り立ち、後者はホビーの領域や寄り合いの領域である。しかし、地域の情報化として数百人から10万人程度までをカバーするような中間的なメディアは十分発達しているとは言い難い。この中間的メディアはこれまでは書籍や新聞チラシのような活字メディアが主であった。最近ではパソコン通信がこの領域に進出してきた⁽⁹⁾。しかし、パソコン通信は伝達できる情報量と即時性の点で限界がある。その点、都市型光CATVは双方向の画像通信として、近未来の中間的メディアとしての役割が期待されている。面積的に見ると、小学校区に相当する広さで、レーダー雨量計の観測単位でもある25ha(500m×500m)や、下水処理分区の100ha(1km×1km)が、サービスエリアの基本単位にもなるだろう。

8. フィージビリティスタディ

(1) 事業概念

下水管渠光ファイバーネットワークは、利用対象者により、以下の3種類に分けられる。

- ① 系内利用（都下水道局の自営回線、SOFT PLAN）
- ② 都庁内利用（都庁の自営回線）
- ③ 一般利用（企業、家庭へのネットワーク解放）

光ファイバーネットワークが下水道のような都市基盤であるとの認識に立てば、公益性と経済性を勘案しながら当然一般利用を目指すべきである。一方、既にNTT等も独自の地域系光ファイバーネットワーク構築を目指しているため、下水道としての特徴を掲げ、これらの事業との棲み分け・差別化を考慮する必要がある。

ここでの基本的スタンスは、電電公社がNTTに移行したのとは逆に、通信インフラのあるべき姿として、地方公共団体による高度情報通信サービスの加入系光ファイバーネットワーク構築に⁽¹⁰⁾ある。電気通信の自由化は、この段階で本格的になるだろう。

事業形態を決定するために配慮すべき点は以下のとおりである。

- ① 公共性と効率性とのバランス
- ② 事業採算性の確保
- ③ 事業拡張性の確保
- ④ 事業通信事業法、地方自治法、下水道法のクリア
- ⑤ サंकコストの分散
- ⑥ 行政利用と民間利用との共存

(2) 事業形態

基本的には第三セクターや、公的資金を含む株式会社の形態であるが、事業の段階に従ってその性格は変わる。

1) 系内利用（第1期）

既にSOFT PLANとして、東京都下水道局で開始している。下水道事業の効率化、インテリジェント化を目指して、都内約100カ所の下水道施設を結ぶ光ファイバーネットワークを構築し、

表4 NTT デジタルデータサービス(千件)

	1985	1986	1987	1988	1989
加入電話数	44,861	46,329	47,977	49,904	51,992
パケット契約数	14	28	53	21	181
比率(%)	0.03	0.06	0.11	0.24	0.35

運用する。

2) 都庁内利用（第2期）

都庁のOA化、都政のインテリジェント化、地域情報化を目指して、新都庁舎を中心とした数千カ所の都庁事業所を結ぶ光ファイバーネットワークを構築し、運用する。

3) 企業利用（第3期）

比較的情報通信需要の大きい商業地区、業務地区を対象とした電気通信事業を目指す。事業開始後10年目に、都内で16万件のデータ通信加入者と1.8万件の映像回線加入者を見込む。NTTの国内加入者線系統電話数は5千万件を越え飽和状態に達しているが、デジタルデータサービス（パケット通信）は表4に示すように、毎年2倍ペースで⁽¹¹⁾増えており、今後の拡大が期待されている。

4) 家庭利用（第4期）

情報通信需要の密度は薄いですが、量的には膨大で地域情報化への影響が大きい一般家庭利用を目指す。この段階では、家庭における光ファイバーネットワークの利用は、光CATV、テレビ電話、電子新聞などの映像系へ向かうものと思われる。事業開始後9年目に、都内で55万件の家庭加入者を見込む。

(3) 事業見込み

90年代の早い時期に事業に着手して、13年間で約2万kmのネットワークと約100カ所の交換局を完成させる。この間の総投資額は約6400億円、第3期～第4期の単年度黒字達成期間は7年、累積黒字達成期間は10年とする。累積黒字達成時の総収入は約600億円、税引前利益約150億円規模の事業⁽¹²⁾を見込む。なお、郵政省の試算によると、西暦2000年に電話加入総数5000万件のうちの40%に光通信ネットワークが整備され、そのうち半分の1000万世帯にハイビジョンCATVが普及するに

は、10兆5000億円の光通信インフラ整備の投資が必要であるとしている。レイコネットの6400億円の投資額は、郵政省試算によると約120万件の電話加入者数に相当する。レイコネットの需要見込みでは55万世帯の家庭利用と16万件の企業利用を見込んだ。1企業利用は4家庭利用に匹敵するとすれば、レイコネットの需要は119万世帯となり、両者の試算は一致する。

(4) 将来計画

第1期と第2期では、行政需要を対象とするので、都内全域にバランスよく展開していく。第3期と第4期は、事業採算性を考慮して、需要密度の大きい都心部や副都心部から展開していく。将来的には、下水道を利用している東京都350万世帯の大部分をカバーできるネットワークを構築し、利用者が下水道を意識せずに高度情報化社会の利便性を活用できることを目指すものである。

さらに、他の都市基盤や首都圏各都市、NCCとの連携を図り、広域ネットワークや地域情報化への多様な情報通信基盤の1つとしての役割を果たしていくことが望ましい。

9. 結論

本論は、公共事業の1つである下水道事業の立場から、高度情報社会にどのように適応していくかを検討したものである。これまでも、道路、鉄道、電力など、幾つかの社会基盤の立場から光ファイバーネットワークへの提案があった。このうち道路ネットワークを活用した日本高速通信や鉄道を活用した日本テレコムは、都市を結ぶ中継系NCCとして成功している。しかし都市内の加入系NCCとしては、電力ネットワークを活用した東京通信ネットワークが、東京電力管内にわずか3000本の専用回線を提供しているにすぎず、5000万加入者を誇るNTTに比べ、著しく競争力が劣る。これは、加入系ネットワーク構築の難しさを物語っている。

本論文では、東京の加入系光ファイバー化と無

電柱化を実現するには、下水道管渠の活用が有効であり、レイコ方式で容易にケーブル敷設も可能であることを示した。もちろん高度情報基盤は、ネットワーク以外に、①ATMに代表されるデジタル交換機システム、②加入者端末機器、それに③多様なサービスメニューが不可欠である。この3点は下水道との共通点は少なく、コモンキャリアの支持とメーカー、さらには多様な利用ソフトを開発するベンチャービジネスの協力が必要である。このように都市基盤には、多くの関係者の力を結集することになる。

下水道事業と高度情報社会の関係は、以下のとおりである。

- ① 下水道管渠ネットワークは、加入系光ファイバーネットワークとのマッチングが優れている。
- ② レイコネット（下水管渠を利用した光ファイバーネットワーク）は、公共財の多目的利用の観点から一般利用を目指すべきである。
- ③ レイコネットは、地域情報化を促進する。
- ④ レイコネットは、既存の電気通信事業者と協調、棲み分けが可能であり、通信の自由化を進め、よりよいサービスを提供することができる。
- ⑤ レイコネットは、下水道事業と電気通信事業を兼務することにより、人材、組織、施設の効果的な活用ができる。
- ⑥ レイコネットは、公共性と効率性を両立させるため、第三セクター方式で官民一体となって運営することが必要である。
- ⑦ レイコネットは、新規参入の立場を活用して、最新電気通信技術、新規サービスメニューを積極的に取り入れていく。

10. おわりに

本論文は、高度情報社会に向けた都市基盤としての光ファイバーネットワークについて、下水道網を活用することにより、これまで困難とされて

いた加入系情報通信基盤の実現可能性を示した。通信インフラに下水管渠を利用しようとするのは、極めて日本的発想である。イギリスやフランスでは、1世紀も前から電線の地中化が当然のことであったし、米国は広い車道や歩道を使って地中スペースはいくらでも取れるので、あえて下水管渠を利用しようとする考えはない。日本、特に過密都市東京においてレイコネットが提案された背景には、次の条件があった。

- ① 情報都市として通信需要密度が濃く
- ② 世界最高水準の情報・通信技術が入手でき
- ③ 電気通信事業の自由化が進行し
- ④ 防災都市として地中通信網が望まれており
- ⑤ 道路が狭く、地中スペースの余裕がなく
- ⑥ 交通渋滞が激しく、道路工事が困難で
- ⑦ 下水道が普及している

見方を変えれば、光ファイバーネットワークについては、東京が世界の先頭を走っていると考えられることもできる。

下水道は、土木、電気、機械、化学、生物など多くの技術を集めた複合技術の成果である。すると、レイコネットは下水道に輪をかけた超複合技術となるのかもしれない。多くの分野の技術者、企業を結集してこそ、新しい都市基盤を効果あるものに育て上げられるということだ。

もちろん、レイコネットは技術面だけでなく政治や文化の領域への配慮も不可欠であることは言うまでもない。たとえば、高度情報社会の問題として、以下のような点

- ① 知識の分配のあり方（情報へのアクセス、

情報格差)

- ② 民主主義のあり方（情報操作、情報エリート）
- ③ 基本的人権のあり方（プライバシー保護）⁽¹³⁾が挙げられる。これらの問題がレイコネットに対して、一定の条件を課すことはむしろ当然である。両者の相互作用の中で高度情報社会が成熟していくだろう。基本的な計画立案と総合的な組織作りが望まれている。

参 考 文 献

- (1) 情報ネットワーク社会、今井賢一、岩波書店、1984、p192
- (2) 日経コミュニケーション、1989.5.2
- (3) 21世紀の下水道を考える報告書、東京都、1990、p52
- (4) 新電気通信事業体ネットワークとサービス、富永英義、丸善、1990、p175
- (5) 1991日立技術展、日立製作所、1991、p74
- (6) 下水道施設地震対策指針と解説、日本下水道協会、1981、p125
- (7) 電気学会技術報告、地中配電の技術動向、II部第343号、1990、p27
- (8) 下水道施設設計指針と解説、日本下水道協会、1984、p147
- (9) ニューメディアと社会生活、竹内郁郎、東京大学出版、1990、p159
- (10) ビジネスコミュニケーション、1990、No.11、P84
- (11) 情報通信ハンドブック、情報通信総合研究所、1990、p79
- (12) 光通信の将来ビジョン、郵政省監修、日刊工業新聞社、1988、p103
- (13) 情報通信学会誌、吉岡至、1990、Vol.8、No.2、p81
(平成4年7月6日受理)