

「資源のみち」に向けた技術開発プロジェクト

寺川 孝・松井 威喜・大福地 智弘

下水道は処理の過程でエネルギーを大量に消費し、多くの温室効果ガスを排出する一方、処理の過程で発生する下水汚泥はカーボンニュートラルなバイオマスである。このため下水汚泥のマテリアルリサイクルやエネルギー回収による資源化により、下水処理場のエネルギー自立や地球温暖化防止等に貢献することが求められている。

下水汚泥の資源化技術に関する国土交通省の技術開発プロジェクト「LOTUS Project」では、開発目標として「コスト」が掲げられ、民間企業等からなる7つのグループが参加しており、うち5つが、平成18年度末に技術評価を完了した。

キーワード：資源のみち，地球温暖化防止，LOTUS Project，下水汚泥，バイオマス，マテリアルリサイクル，エネルギー回収

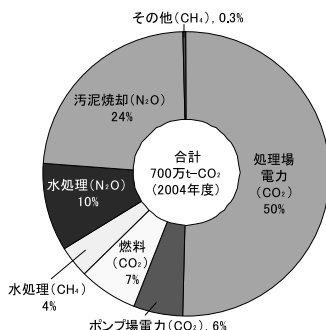
1. はじめに

今後の下水道の方向性が「下水道ビジョン 2100」として取りまとめられ、その施策方針の一つとして、水環境の保全など下水道の有する機能に加え、下水道の有する資源の回収・供給機能を積極的に活かして、下水処理場のエネルギー自立や地球温暖化防止等に貢献する「資源のみち」の創出が盛り込まれた。

そして、この「資源のみち」の実現に向けて、下水汚泥の利用に関する技術開発が重要な課題の一つとなっている。

2. 下水道のエネルギー消費・環境負荷の現状

下水道事業におけるエネルギー消費は、電力がその



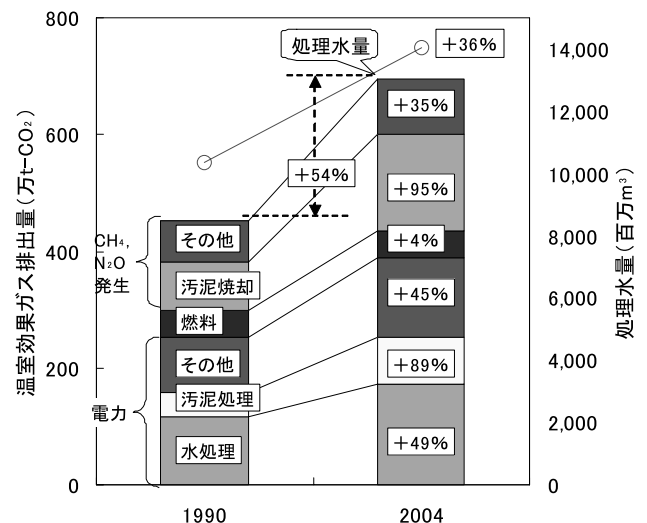
図一 下水道施設からの温室効果ガス排出量

出典：平成19年3月「資源のみちの実現に向けて報告書(案)」資源のみち委員会

約9割を占め、エネルギー消費量は我が国全体のエネルギー供給量の約0.3%に達している。

また下水道は処理過程において多くの温室効果ガスを排出し、我が国全体の温室効果ガス排出量のうち約0.5% (2004年度) を占めている。

この下水道からの温室効果ガス排出量は、1990年～2004年で約54%増加し、処理水量の伸びを上回っている。特に汚泥の焼却工程で発生する温室効果ガスの排出量は高い伸びを示している (図一1, 2)。



図二 温室効果ガス排出量の推移

出典：平成19年3月「資源のみちの実現に向けて報告書(案)」資源のみち委員会

3. 下水道の有する資源・エネルギー

(1) 我が国の新エネルギーの導入への取組

今日、バイオマスエネルギーが新エネルギーの一つとして注目されている。バイオマスとは、再生可能な生物由来の有機性資源で、燃焼等により発生する二酸化炭素が地球温暖化に影響を与えない、カーボンニュートラルの性質を有している。

経済産業省が発表した「2030年のエネルギー需給展望」において、2010年度の廃棄物発電及びバイオマス発電とバイオマス熱利用の導入目標として、それぞれ586万kl, 308万klが定められている等、バイオマスエネルギーの利活用に対する期待が高まっている。

(2) 下水道の有する資源・エネルギーポテンシャル

バイオマスの視点からみると、下水汚泥は、量・質ともに安定しており、しかも下水処理場で集中的に発生することから、利活用に適した資源であるといえる。

しかし、これまで下水汚泥は我が国における産業廃棄物排出量の約2割を占めることから、減量化の観点で優先され、焼却、溶融等の導入と建設資材としての利用が中心に進められてきた(図-3)。

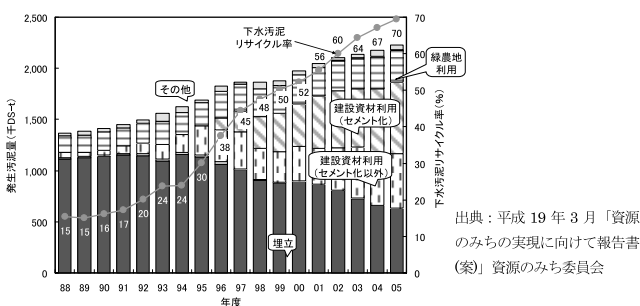


図-3 下水汚泥の有効利用の推移

この結果、下水汚泥の発生量の増加に対して埋立量は減少傾向となっているが、有効利用はセメント化の割合が大きくなっている。しかし、セメント化による建設資材としての利用は、需給のバランスが懸念されることから、新たに下水汚泥の恒久的かつ効果的なりサイクルの枠組みを構築することが求められている。

一方、下水汚泥のエネルギー資源としての利活用状況を、発生する下水汚泥中の有機分に注目してみると、下水道バイオガスまたは汚泥燃料としてエネルギー利用された割合は約7%に過ぎず、さらなる利活用の余地があると考えられる(図-4)。

また資源の観点から見ると、下水汚泥中に多く含ま

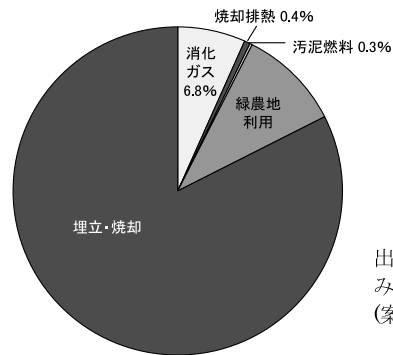


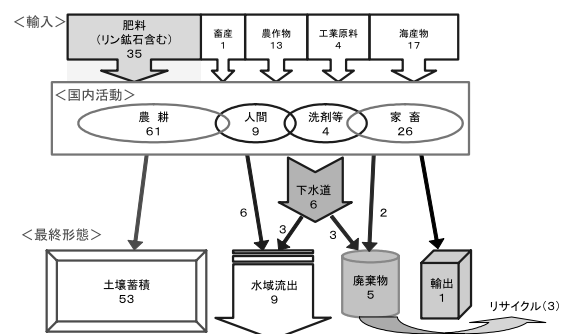
図-4 下水汚泥の処理・有効利用状況

出典：平成19年3月「資源のみちの実現に向けて報告書(案)」資源のみち委員会

れるリンは、肥料など農業分野において欠くことのできない資源であり、米国では、実質的にリン鉱石の輸出を禁止しているように、我が国においても長期的視点に立った資源確保策の検討が必要となっている。

我が国ではリン資源のほとんどを輸入に頼っており、国内で利用された後、下水道を通して水域や廃棄物に取り込まれるリンは、輸入されるリン鉱石のうち約1~2割に相当する量に達している(図-5)。

さらに、水質保全の観点から水域へのリン流出を抑制するため、下水の高度処理の整備が推進されている。この結果、汚泥に取り込まれるリンの量が増加しており、汚泥からのリン回収による有効利用技術の実用化が求められている。



出典：平成19年3月「資源のみちの実現に向けて報告書(案)」資源のみち委員会

図-5 わが国のリンのマテリアルフロー

このように下水汚泥はカーボンニュートラルであり、質・量ともに安定した集約型バイオマス資源で、リン等の有用資源も含まれるなど、豊富な資源・エネルギーポテンシャルを有している。そのため、その有効利用により資源・エネルギー問題や地球環境問題の解決に貢献することが期待されている。

4. LOTUS Project について

国土交通省では、下水道事業において特に重点的に

技術開発を推進すべき分野について、民間主導による技術開発を誘導・推進し、開発された技術の早期かつ幅広い実用化を目的とした産学官の強力な連携による新たな技術開発プロジェクト（SPIRIT21）を平成13年度にスタートした。

これまでに、合流式下水道の改善対策に関する開発が完了しており、第2の課題として下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト（Lead to Outstanding Technology for Utilization of Sludge Project: LOTUS Project）が、平成15年度からスタートした（表—1）。

表—1 LOTUS Project の技術分類と開発目標

技術分類	スラッジ・ゼロ・ディスチャージ技術（ZD 技術）	グリーン・スラッジ・エネルギー技術（GE 技術）
目的	廃棄処分するコストより安いコストで下水汚泥のリサイクルができる技術の開発を行う	下水汚泥等のバイオマスエネルギーを使って、商用電力価格と同等かそれよりも安いコストで電気エネルギーを生産できる技術の開発を行う
開発目標	脱水汚泥：16,000 円/t 以下（現物量ベース） 焼却灰：8,000 円/t 以下（現物量ベース） 上記価格は、評価時の最新データである平成16年度ベースを採用	対象処理場の契約種別に応じた全国年間平均電力料金（評価時の料金）以下 高圧 A：10.84 円/kWh、 高圧 B：9.32 円/kWh （平成17年10月～平成18年9月の平均）

この LOTUS Project の実施により、下水道事業においても「バイオマス・ニッポン総合戦略」や地球温暖化対策の推進のため、下水汚泥を安価に利活用できる新技術の早期かつ幅広い実用化が図られることが期待されている。

5. LOTUS Project の提案技術について

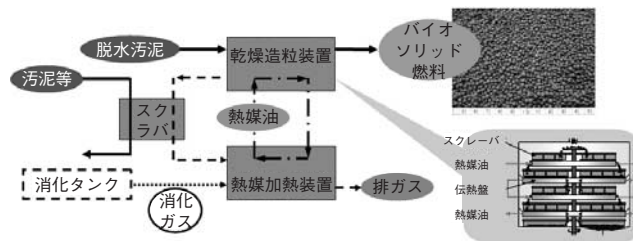
提案技術は、表—2 に示すとおりである。平成19年3月現在、この提案7技術のうち、No.1～5の5技術が技術評価を完了している。No.6, 7については、平成19年度末までに技術評価を完了させる予定である。各提案技術で開発目標コスト達成に必要な設備性能等をパーツ目標として設定し、既存データの整理や実証実験によりパーツ目標を検証した上で、コストを算出し、技術評価を行った。以下に各提案技術の技術概要と評価結果について述べる。

表—2 提案技術一覧（平成19年3月現在）

区分	No	技術提案者	提案技術名称	技術評価
ZD 技術	1	日立造船株式会社	下水汚泥のバイオソリッド燃料化	完了
	2	株式会社 NGK 水環境システムズ 岐阜市上下水道事業部	下水汚泥焼却灰からのりん回収技術	完了
	3	カワサキプラントシステムズ株式会社 株式会社木村製作所	下水汚泥の活性炭化と有効利用による汚泥処理費の低減	完了
GE 技術	4	月島機械株式会社	下水汚泥とバイオマスの同時処理方式によるエネルギー回収技術	完了
	5	JFE エンジニアリング株式会社 アタカ大機株式会社 鹿島建設株式会社 ダイネン株式会社	低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム	完了
	6	株式会社日立プラントテクノロジー 栗田工業株式会社	消化促進による汚泥減量と消化ガス発電	
両技術一括	7	カワサキプラントシステムズ株式会社	湿潤バイオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム	

(1) 下水汚泥のバイオソリッド燃料化 (a) 技術概要

本技術は、下水汚泥を乾燥造粒することで、石炭の代替燃料として利用可能な粒状の取り扱い性に優れたバイオソリッド燃料を製造する技術である。本技術の概略フローを図—6 に示す。システムの主要構成は①熱媒加熱装置、②乾燥造粒装置、③スクラバからなる。①により加熱された熱媒油が②の伝熱盤を加温し、汚泥はその伝熱盤上で乾燥させる間接加熱方式で排ガス量が少ないのが特徴である。そして高い熱回収率を有する①及び②を用いて下水汚泥の乾燥に必要な燃料消費量を低減できることによりバイオソリッド燃料を効率的に製造し、また有価物と見なすことにより資源化コストを低減するものである。



図—6 下水汚泥のバイオソリッド燃料化概略フロー

(b) 評価結果

評価結果は、50t - 脱水汚泥/日の規模にて消化ガス未利用時で 13,900 円/t, 消化ガス利用時で 9,000 円/t となり、開発目標を達成した。

(2) 下水汚泥焼却灰からのりん回収技術

(a) 技術概要

本技術は、下水汚泥焼却灰にアルカリ性溶液を加えて、りん含有量の少ない灰(脱りん灰)とリン酸イオンを多く含む溶液(りん抽出液)に分離し、それぞれ脱りん灰を建築資材として、りん抽出液を肥料原料として有効利用するという技術である。本技術の概略フローを 図-7 に示す。システムの主要構成は①りん抽出槽、②りん酸塩析出槽、③脱りん灰洗浄槽からなる。焼却灰からりん回収するので設備がコンパクトで、かつ焼却炉の余剰熱で必要熱量を確保できるという特徴を有し、さらに製造物の販売収益を見込むことにより資源化コストを低減するものである。

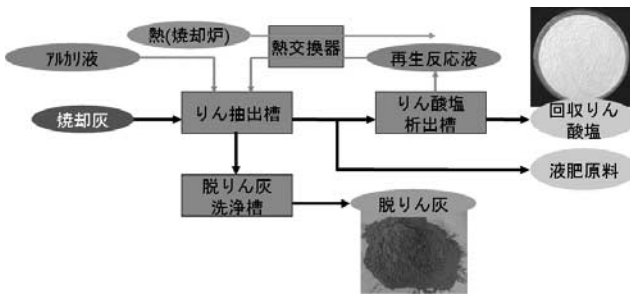


図-7 下水汚泥焼却灰からのりん回収技術概略フロー

(b) 評価結果

評価結果は、焼却灰発生量が 4 t/日以上(処理水量 100,000 m³/日以上)、焼却灰りん含有量が P₂O₅ 換算で 25%以上の下水処理場で、りん酸塩回収の場合は 7,840 円/t, 液肥回収の場合は 7,910 円/t となり、開発目標を達成した。

(3) 下水汚泥の活性炭化と有効利用による汚泥処理費の低減

(a) 技術概要

本技術は、脱水汚泥を乾燥処理した後、炭化—賦活することで、微細孔構造を発達させた活性炭化物を製造し、汚泥脱水助剤、汚泥改質剤またはゴミ焼却炉のダイオキシン吸着剤等とする技術である。本技術の概略フローを 図-8 に示す。システムの主要構成は①乾燥機ユニット、②炭化炉ユニット、③熱回収器からなる。それぞれがユニット化された設備であり工場製作・組立が可能で建設費を低減できること、炭化炉か

らの排ガスの熱を乾燥機の熱媒体として利用することでシステムの熱回収率を向上させるという特徴を有し、さらに製造物の販売収益を見込むことにより資源化コストを低減するものである。

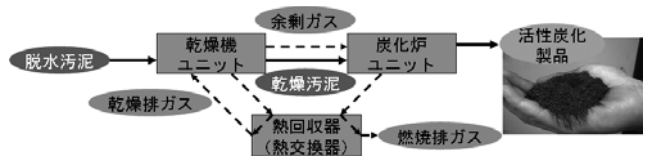


図-8 下水汚泥の活性炭化と有効利用による汚泥処理費の低減概略フロー

(b) 評価結果

評価結果は、処理量 10,000 m³/日以上(下水処理場)において、混合生汚泥で 14,000 円/t, 消化汚泥で 10,700 円/t となり、開発目標を達成した。

(4) 下水汚泥とバイオマスの同時処理方式によるエネルギー回収技術

(a) 技術概要

本技術は、下水余剰汚泥を超音波可溶化するとともに、下水汚泥以外の生ごみ等のバイオマス(生ごみ等)を下水汚泥と既設消化槽にて混合消化し、消化ガス発生量を増加させて発電量を増加させる技術である。本技術の概略フローを 図-9 に示す。余剰汚泥の可溶化により消化効率が向上するため、既設消化槽への生ごみ投入分の有機物負荷増加の影響が抑制できるという特徴を有し、さらにバイオマス受入費を見込むことにより発電コストを低減するものである。

(b) 評価結果

評価結果は、表-3 に示すとおり、42,000 m³/日の

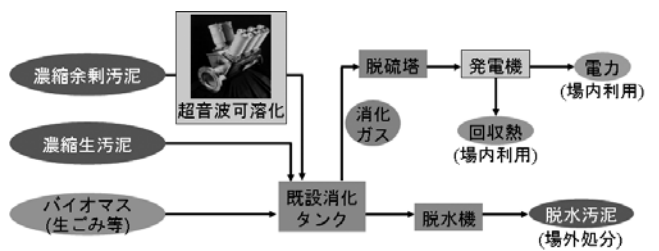


図-9 下水汚泥とバイオマスの同時処理方式によるエネルギー回収技術概略フロー

表-3 評価結果

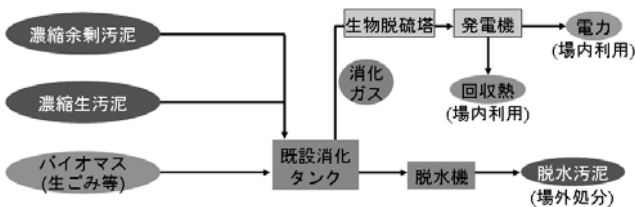
処理量 (m ³ /日)	42,000		70,000		130,000		200,000	
	無	有	無	有	無	有	無	有
可溶化装置								
発電コスト (円/kWh)	8.84	—	8.78	9.26	8.67	9.02	8.27	8.06

可溶化装置がある場合を除き、開発目標コスト 9.32 円/kWh 以下を達成した。

(5) 低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム

(a) 技術概要

本技術は、下水汚泥以外の生ごみ等のバイオマスを下汚泥と既設消化槽にて混合消化し、消化ガス発生量を増加させて発電量を増加させる技術である。本技術の概略フローを図—10 に示す。生物脱硫設備の導入による維持管理費の低減とシロキサン除去装置を設置することにより発電設備の安全性・安定性を向上させるという特徴を有し、さらにバイオマス受入費を見込むことにより発電コストを低減するものである。



図—10 低ランニングコスト型混合消化ガス発電システム概略フロー

(b) 評価結果

評価結果は、表—4 に示すとおり、すべてのケースにおいて開発目標コスト 9.32 円/kWh 以下を達成した。

表—4 評価結果

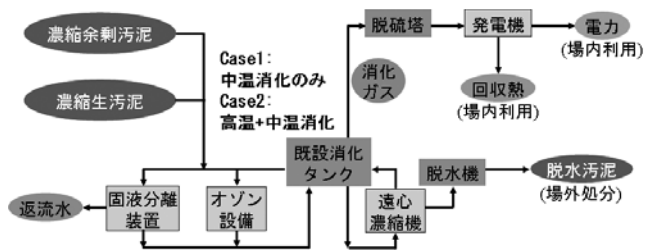
処理量(m ³ /日)	100,000	100,000	50,000	20,000
ガス発電方式	ガスエンジン	ガスエンジン	ガスエンジン	マイクロガスタービン
脱硫方式	乾式脱硫	生物脱硫	生物脱硫	生物脱硫
発電コスト	6.0 円/kWh	3.7 円/kWh	4.8 円/kWh	5.0 円/kWh

(6) 消化促進による汚泥減量と消化ガス発電

(a) 技術概要

本技術は、オゾン処理による下水消化汚泥の可溶化及び濃縮操作による固液分離を行うことで消化槽内の汚泥濃度を高めて、消化促進及び消化ガス量を増加させて発電量を増加させるとともに、脱水汚泥量を低減させる技術である。本技術の概略フローを図—11 に示す。高温消化+中温消化を組み合わせたプロセスにより、消化をより促進させることができる、また遠心濃縮機で比重の大きい無機固形物を優先的に排出することで、脱水汚泥の含水率を低下させて処理汚泥量を低減できるという特徴を有し、汚泥処理費を削減する

ことにより発電コストを低減するものである。



図—11 消化促進による汚泥減量と消化ガス発電概略フロー

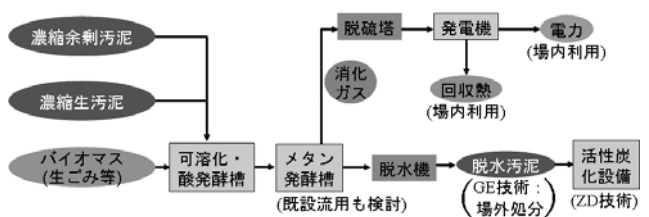
(b) 開発状況

パーツ目標として、固形性有機物の減少率、消化ガスの性状、脱水汚泥の含水率を設定し、すべての項目でほぼ目標を達成した。現在、この結果を用いてコスト算出を行い、評価書をまとめる作業に入っている。

(7) 湿潤バイオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム

(a) 技術概要

生ごみや家畜排泄物等の湿潤バイオマスを下汚泥と合わせてメタン発酵させることにより増加したメタンガスを用いて発電量を増加させる技術及び発酵残渣から活性炭化物を製造し、環境浄化剤とする技術である。本技術の概略フローを図—12 に示す。横型メタン発酵槽を新設することを考慮しており、押出流れ式かつ高温のメタン発酵槽により、滞留日数を低減できるという特徴を有している。バイオマス受入費と製造物の販売収益を見込むことにより、発電コスト、資源化コストを低減するものである。



図—12 湿潤バイオマスのメタン発酵・発電・活性炭化システム概略フロー

(b) 開発状況

パーツ目標として、生ごみの有機物分解率、生ごみ由来のガス発生量、横型メタン発酵槽の消化日数、消化ガスの性状、脱水汚泥の含水率、活性炭化製品の性状を設定し、すべての項目でほぼ目標を達成した。現在、この結果を用いてコスト算出を行い、評価書をまとめる作業に入っている。

6. おわりに

「資源のみち」の実現のためには、下水汚泥の有する資源・エネルギーを有効に利用することが不可欠である。その一つの手段として、LOTUS Project の技術により、現状よりも低コストで下水汚泥が資源化もしくはエネルギー利用でき、かつカーボンニュートラルな下水汚泥由来のエネルギーを利用することにより地球温暖化防止に貢献できることが示せた。 JCMA



[筆者紹介]

寺川 孝 (てらかわ たかし)
 (財)下水道新技術推進機構
 研究第一部
 副部長



松井 威喜 (まつい たけよし)
 (財)下水道新技術推進機構
 研究第一部
 研究員



大福地 智弘 (おおふくじ ともひろ)
 (財)下水道新技術推進機構
 研究第一部
 研究員

橋梁架設工事の積算

——平成 19 年度版——

■改定内容

- 1) 鋼橋編
 - ・架設桁設備質量算定式の改訂
 - ・施工歩掛の新規及び一部追加掲載 (杓据付工 (ゴム杓据付工), 歩道橋 (側道橋) 架設工)
 - ・施工歩掛の改正 (鋼橋架設工足場工)
 - ・その他 (送出し・降下の数量名称簡素化, 工種内容の説明補足, 床版足場工簡素化)
- 2) PC 橋編
 - ・機能分離支承の設置歩掛
 - ・外ケーブルによる既設構造物の補強工
 - ・プレキャストセグメント組立工7分割の歩掛
 - ・その他 (張出架設柱頭足場工の追記, 地覆高欄作業車設備の組立解体歩掛, 架設桁アンカ

—数の変更等)

- 3) 橋梁補修補強工事積算の手引き (別冊新刊)

■ B5 版 / 本編約 1,100 頁 (カラー写真入り)
 別冊約 110 頁 セット

■定 価

非会員：8,400 円 (本体 8,000 円)
 会 員：7,140 円 (本体 6,800 円)

※別冊のみの販売はありません。

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも

沖縄県以外 600 円

沖縄県 450 円 (但し県内に限る)

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>