

TSK 技報

2007

no. 8

月島機械株式会社

特集: バイオマスエネルギー

特集1

酵素法によるバイオマス
エタノール製造プロセス

特集2

下水汚泥燃料化技術の開発

特集3

下水処理場における
バイオマスのエネルギー利用
—LOTUS Projectの成果—

製品紹介1

木質バイオマスからの
ガス化反応を利用した電気・熱併給システム
～日本初の商用設備が秩父市で稼動開始!～

製品紹介2

大型(4500型)月島—密閉型水平ベルトフィルタ

目次

特集：バイオマスエネルギー

4	巻頭言 ダーウィンの海	取締役 西田 克範
6	特集 バイオマス有効利用の背景と TSK の取り組み	福沢 義之
12	特集1 酵素法によるバイオマスエタノール製造プロセス	奥田 直之
18	特集2 下水汚泥燃料化技術の開発	上田 厚志
24	特集3 下水処理場におけるバイオマスのエネルギー利用 - LOTUS Project の成果 -	小林 茂・高野 健一
31	設備紹介 コンテナハンドリングシステム	久保 弘明
36	ティーブレイク“月島茶房” 最も身近な省エネルギー対策	三井 美典
38	製品紹介1 木質バイオマスからのガス化反応を利用した電気・熱併給システム ～日本初の商用設備が秩父市で稼働開始！～	遠藤 雅樹
42	製品紹介2 大型(4500型)月島-密閉型水平ベルトフィルタ	岩崎 修二・高木 浩伸
48	会社概要・編集後記	

TSK 技報

NO.8 2007

CONTENTS

Special Edition :Biomass Energy

4	Foreword	Katsunori NISHIDA, Exective board director R&D, Project & Engineering
6	Feature <i>Background of biomass effective use and Approach of TSK</i>	Yoshiyuki FUKUZAWA
12	Paper1 <i>Biomass ethanol Production Process by Enzymatic Hydrolysis</i>	Naoyuki OKUDA
18	Paper2 <i>Development of conversion technology from sewage sludge into bio-fuel</i>	Atsushi UEDA
24	Paper3 <i>Biomass energy utilization in waste water treatment plant: Rsults of LOTUS Project</i>	Shigeru KOBAYASHI/ Kenichi TAKANO
31	Manufacturing Technology <i>Container handling system</i>	Hiroaki KUBO
36	Tea Break <i>“The closest thing we can do for energy saving”</i>	Yoshinori MITUI
38	Product1 <i>Gasification Process Applied to CHP(Combined Heat & Power) System of Woody Biomass</i> <i>First commercial plant in Japan has started to operate in Chichibu city!</i>	Masaki ENDO
42	Product2 <i>Type 4500 TSK Closed Type Horizontal Belt Filter</i>	Shuji IWASAKI/ Hironobu TAKAGI
48	Corporate Profile / Editor's Note	

表紙の写真



1993年に世界自然遺産へ登録された
白神山地の秋の風景



ダーウィンの海

西田 克範

研究開発担当
産業事業本部 技術統括
取締役兼執行役員

廃棄物学会
環境計測制御学会

発明や研究の成果が開発を経て新製品となり、実際に販売され生産活動に供される過程を見たとき、その経済活動を比喻して、ハーバード大学のフランスコム名誉教授は「ダーウィンの海」という概念を提唱した。「ダーウィンの海」とは競争の激しい生物の満ちた荒海に乗り出し、進化を続け対岸にたどり着くこと、すなわちイノベーション(技術革新)や事業化の成功を遂げることは、競争の中で自然淘汰されていく生物の進化と同じであり、研究開発とビジネスのギャップがいかに大きいかを認識すべきということである。研究開発とビジネスのギャップという意味では、「死の谷」という比喻があり、これもよく知られているが、どちらかといえば基礎研究と応用研究の間のギャップという意味合いが強く、新商品販売や新規事業の立ち上げをイメージすると、進化の概念の方が判りやすく、現実感がある比喻に思える。

冒頭から、なぜ「ダーウィンの海」か？本号の特集、バイオマス技術は当社の最重要注力分野として大型投資を重ねてきており、技術論文のネタに事欠かず、いくつかは開発完了・上市まで到達している。一方、今後の市場の醸成と相まって、ビジネスになっていく技術か、収益に貢献の大きい技術かとなるとこれからであり、その意味で今、正に「ダーウィンの海」に船を漕ぎ出そうとしているのである。市場の激しい自然淘汰の波をいかに乗り越えるか、あらためて考えてみたい。

「バイオマス」という言葉は世の中に氾濫しているが、その定義を正しく答えられるだろうか。バイオマスニッポン総合戦略では「再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」と定義されており、具体的には穀物、森林資源、廃建材、汚泥、生ゴミなど、食用品から廃棄物まで広

範囲に渡る。当社になじみの深い汚泥もこの10年、エネルギーや資源への下水汚泥再生・利用が加速し、立派にバイオマスの市民権を得ている。

米国ではバイオマスエネルギー構想に基づく国を挙げた取り組みは早く、既に1999年には農業廃棄物からのエタノール化促進について、大統領令が出され、エネルギー省DOE(Department of Energy)の開発投資は数十億円と言われるほど潤沢なものであった。

当社と丸紅(株)が当時の米国ベンチャーのBCI社(現 Verenum社)からバイオエタノール技術を技術導入したのは2001年、ベンチャー起業の開発がピークの頃である。BCI社の技術は、Florida大学のIngram教授が発明した遺伝子組み替え菌KO11をコアとしたプロセスでパイロットレベルの実用化試験段階にあったものである。当時としては思い切って技術導入

を決めたが、ベンチャー精神旺盛なBCI社の研究者達は、バイオリファイナリーこそが将来の技術到達点であると壮大な夢を語っていた。バイオという語感の持つ心地よい響きと石油化学に代わる壮大な精製技術(リファイナリー)の組み合わせに大袈裟に言えば、私自身技術者魂が揺れ動いたことを覚えている。

同じ時期、熱分野の中期研究開発テーマを探索調査していたが、ある種、勘が働き、有機資源のガス化・ガス精製技術に着目した。新エネルギーには熱的変換の新技術が不可欠と考え、バイオマスを熱分解・ガス化することで得られた分解ガスを効率的に発電するか、さらにガス精製することで水素などの有用なエネルギーに変え、付加価値を高める将来技術と想定したわけである。2004年、英国より木質バイオマスの熱電供給技術を導入し、さらに米国から大型の固定床ガス化システムの導入を決めた。こうして、当社のバイオマスのバイオケミカル変換と熱化学変換の2つの大型開発投資が始まった。

今、米国ではバイオリファイナリーの壮大な研究開発が産官学で進められている。中核であるNREL(National Renewable Energy Laboratory)は、バイオリファイナリー技術の根幹には2つの幹があり、1つはバイオマスの糖分解であり、2つ目が熱分解ガス化で、一つの施設・工場の中に両者を融合させることで、エネルギー新材料を生産するバイオマスによるリファイナリーが実現できるとのコンセプトを掲げている。例えば酵素による糖化は有望な糖変換技術で、種々のバイオマスを工業生産レベルで糖化できさえすれば、有用な有機酸やアルコール類に容易に変換することができ、バイオリファイナリーが現実味を

帯びてくる。プロセスを劇的に変える可能性はやはりバイオ技術にこそ存在する気がしている。

シナリオが明確に描けていたわけでもなく、ビジネス化への勝算が十分あったわけではないが、社内の激しく活発な議論の後、当社としては大型の開発投資が始まってから7年、現在も継続している。夢の見られる技術領域であり、技術の連鎖を産み、当社の既存市場の延長に事業の可能性が広がるような思いがあった。今は取り組みの方向性が間違っただけではなかったというのが正直な感想である。

技術が変貌著しい市場に反応するのか、市場が芽生えつつある技術に反応するのか、京都プロトコルのCO₂削減圧力があつたとは言え、この7年間、我が国のバイオマス市場は想像以上に鋭角の立ち上がりを見せたという気がしている。2002年のバイオマスニッポン総合戦略で国の姿勢が明確になり、前後して下水汚泥の分野でもメタンガス化促進や炭化(燃料化)をはじめ、エネルギー転換技術の実用化が急速に進化したのもこの5年である。当社はバイオマスという未知で広いカテゴリーの市場の渦に乗り、汚泥に加え、ガス化とエタノール化でバイオマスの月島と言えるようになったと思う。

バイオマスエネルギーに関する技術の導入にまつわる話を書いてきたが、実際のビジネス活動の結果として、企業価値の向上に繋がり、収益回収に至らねば成功はない。

そこで話は冒頭の「ダーウィンの海」に戻る。当社にとってはこれからの5年位がビジネス確立の成否を問われることになるのだが、我がバイオマス技術は「ダーウィンの海」を越え、対岸の事業化へ達するのだろうか？

「ダーウィンの海」を渡りきる鍵について私の考えるところを最後に述べておきたい。

まず第一に「技術の差違性」が全てということである。他と差違のある技術を開発・獲得するために技術者がdreamerであり、その実現に向けた強固な意志を持つこと、夢を共有することである。CO₂削減の社会的使命感に燃え、バイオマス技術の高いハードルを越えるための強靱なタフさが必要である。

第二にバイオマスエネルギーは新産業であり、技術は新市場を対象にしたもの、従い、従来のプラント販売、装置販売に拘らないアイデアと起業の精神が必要である。

第三は企業トップの意志である。最良のバイオマスエネルギー技術をもって、産業の発展と環境保全に寄与し、社会に貢献するという企業の戦略、コーポレートポリシーとしての意志であり、精神面、資金面で間違いなく、技術陣をフォローするという意志である。

第四はCollaboration(協働、協業)であり、1社ではできない役務を担い、全体でイノベーションを遂げるために、産官学の連携はもちろん、異業種、同業の戦略的アライアンスを欠くことはできない。特に世界でトップ集団にいることが重要で、海外連携は必須である。

最後は期待である。我が国のバイオマスエネルギーに関し、新しい産業を創出していくために様々な障壁を取り除き、財政的補助や税的優遇などの仕組みが充実し、社会的基盤が整備され、事業を為す側も技術を提供する側もwin winの関係が成り立つような行政、国の環境政策への期待である。

最後に、志高い技術者たちが「ダーウィンの海」に沈むことなく進化を遂げ、イノベーションを産むことを期待している。

バイオマス有効利用の背景とTSKの取り組み



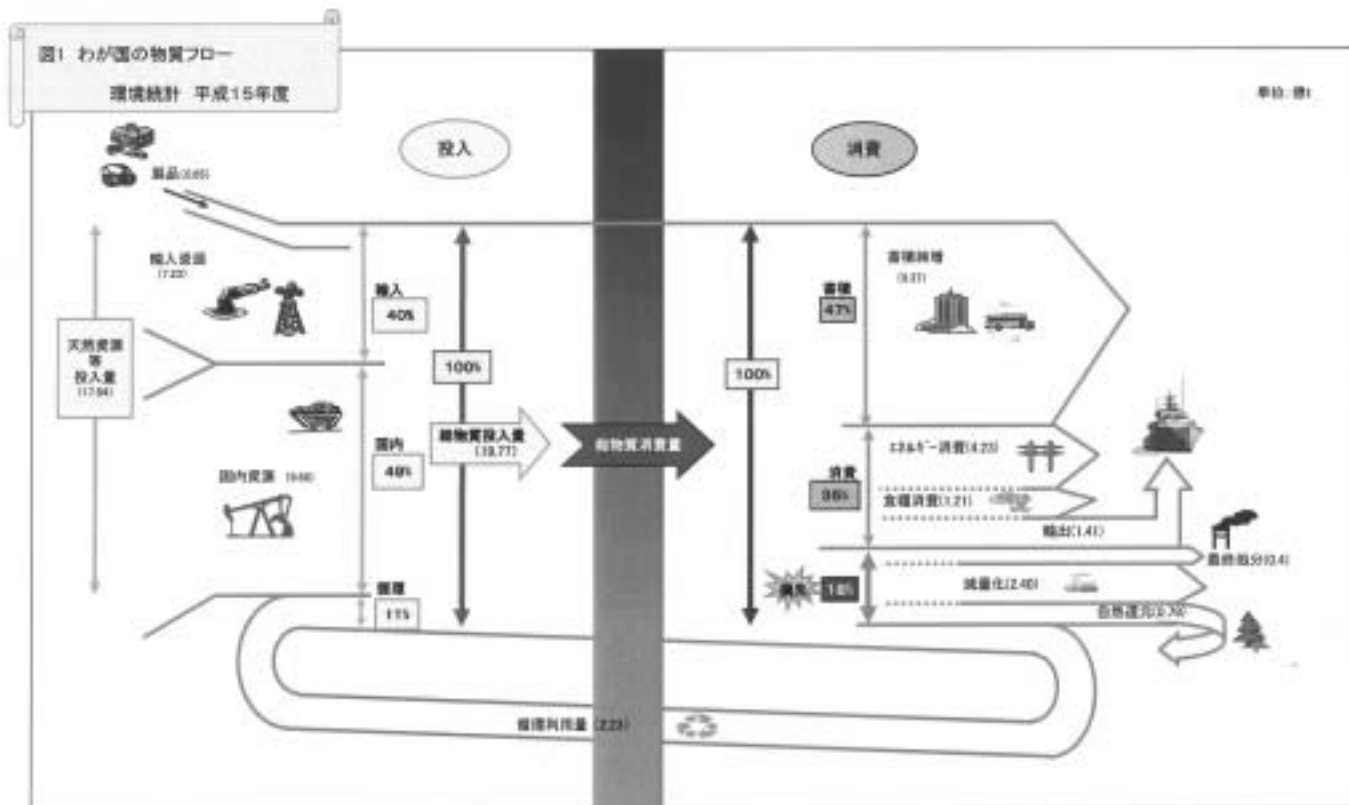
福沢 義之
Yoshiyuki FUKUZAWA
水環境事業本部
ソリューション技術部

1 背景

1) 循環型社会への転換

我々人類が20世紀に高度経済成長を達成し、社会発展による恩恵を受けることができたのは、「大量生産・大量消費」のいわゆるワンウェイ型生活様式により生産効率を徹底的に追求してきたことが大きいと言えます。しかし、この20世紀型生活様式による弊害として、大量の廃棄物を生み出し、天然資源枯渇への懸念や地球温暖化問題などの環境問題を顕在化させてきました。

例えば、我が国の平成15年度の物質フロー（図1）を見てみると、経済活動に投入されている総物質量は年間19.77億 tonですが、そのうち循環利用されているのはわずか11%（2.23億 ton/年）です。逆に消費されずに廃棄物として排出される量は約18%（3.59億 ton/年）となります。平成7年度の総物質投入量に対する循環利用量の割合は8.8%ですから、8年間で総投入量に対する循環量の割合がわずか約2.2%しか増加していません。



今世紀において、我々は今までのような20世紀型生活様式で更なる社会発展を遂げていくことは到底不可能であると認識すべきであり、持続発展可能な「21世紀型生活様式」すなわち「循環型生活様式」への転換を果たさなければならないのです。

持続可能な循環型生活様式へ転換していくということは、自然界との調和を保って「生態系」という微妙なバランスの上に成り立っている物質循環システムを維持していくことを意味しています。その点において、バイオマスはこの微妙な生態系のバランスの中で生産される天然の資源であり、この資源を上手に利用することで「生態系」に大きな影響を与えない自然界との調和が可能な生活様式を実現することができるのです。

2) 地球温暖化防止

「バイオマスとは、再生可能な生物由来の有機性資源で、化石資源を除いたもの」とバイオマス・ニッポン総合戦略のなかで定義されていますが、過去におけるバイオマス有効利用への取り組みは、廃棄物処理対策としての位置づけが強かったため、廃棄物系バイオマスをその対象としていることがほとんどでした。しかし、近年地球温暖化による異常気象の経済活動への影響を人類が意識するようになり、バイオマスはカーボンニュートラルで地球温暖化防止に有効なエネルギー価値を持つ資源として認知されるようになりました。

ここで、地球温暖化の経済活動への影響を実感してもらうために1つの試算をしてみたいと思います。

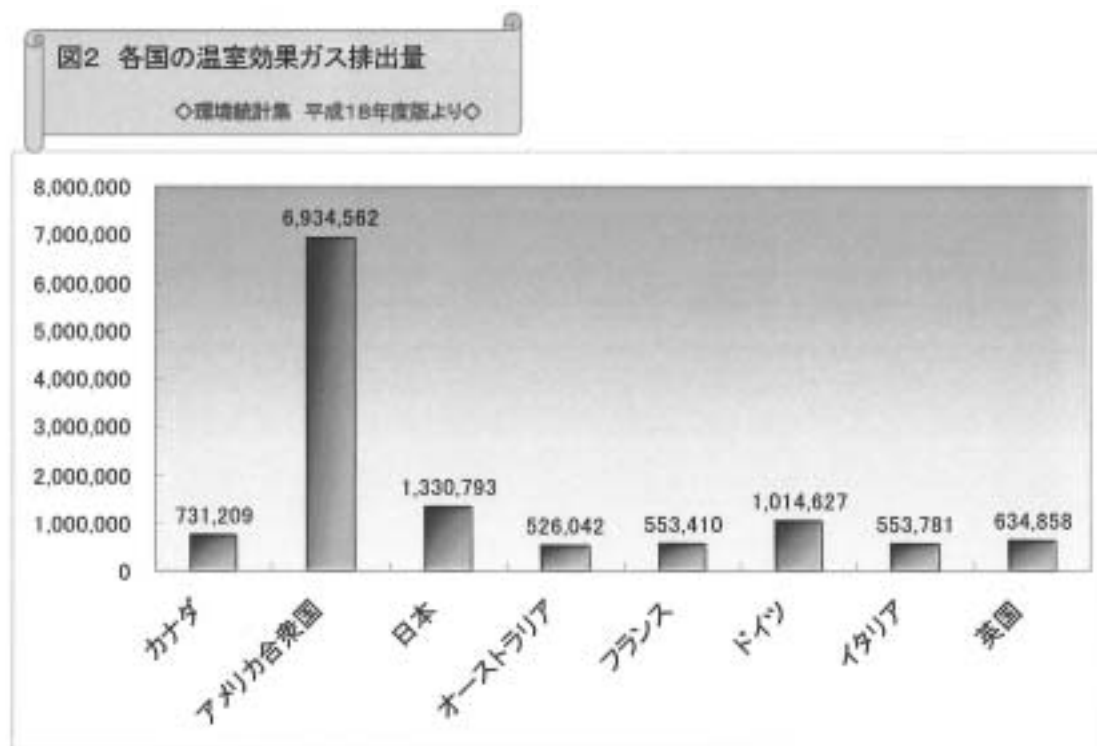
日本の京都議定書における温室効果ガス GHG (GHG:Greenhouse

Gas)削減目標を達成するためのコストの平均値は400ドル/ton-CO₂とのレポートがあります。日本の削減義務量に対する超過予測量は4.6億トンと推計されていますから、我が国がこの削減義務を全く達成できなかった場合の必要なコストは1,840億ドルになると試算されます。言い換えれば、GHG排出による地球温暖化の影響でこれだけの経済的損出を被る可能性があるという評価できるのです。

このようにバイオマス有効利用は、地球温暖化防止のための1つの重要な施策であり、かつ廃棄物有効利用による循環型生活様式への転換という2つの合目的性を有した取り組みとして、先進諸国を中心に事業化開発や技術開発が盛んに行われるようになり、環境側面に限定されない世界経済に影響を与える重要な課題としても取り扱われるようになっていきます。

2 バイオマス有効利用に向けた国内外の取り組み

今年6月にドイツで開催されたハイリゲンダムサミットにおいても、「2050年までに温室効果ガスの排出を半減させるという提案を真剣に検討する」ことなどを含む議長総括を発表しました(図2)。また、いままでも京都議定書(COP3)を初めとする地球温暖化防止の世界的な枠組みから離脱していた米国も、バイオマスエタノールの利用促進を挙げて、地球温暖化対策への積極的取り組みへ方針転換したことはご存じのことと思います。その言う意味では、地球温暖化防止に向けて地球規模の枠組みで各国が義務を負っていかなく



ればいけないという世界的な流れがやっと形成されつつある状況にきていると思います。

ここで、この分野で先行する欧米の取り組みについて紹介したいと思います。

まず欧州では、地球温暖化防止への取り組みに対して、公的な補助成制度として発電単価への上乗せ買い上げ（図3）や燃料価格の税金等による差別化という形で一定の事業期間に渡って補助金が投入される仕組みとなっており、これがインセンティブになっています。一方我が国では、建設費や研究開発費等初期投資に補助金が付くケースがほとんどであり、これが日本においてこの市場の拡大に繋がらない1つの理由であると指摘する声もあります。

欧州における技術開発面での事例を紹介しますと、バイオマスか

ら液体燃料を製造する技術（Biomass to Liquid）の大規模な実証PJが数件同時進行でEU域内で展開されています。これは、触媒を使って一酸化炭素と水素から液体燃料を合成する Fischer-Tropsch Process という石油化学分野で既に工業化された技術を使い、大規模に効率よく Biofuel を生産しようとする試みで、石油精製設備と同等の処理規模によるスケールメリットを確保しようとしています。

次に米国では、2006年のブッシュ大統領の一般教書演説において、2025年までに中東からの輸入石油の75%以上を代替エネルギーで補うの方針が発表されており、その具体的な施策の1つとして「自動車動力源としてのバイオマスエタノールの生産方法の研究」が謳われています。また今年の演説では、「2017年までの10年間でガソリン消費量20%減」の方針を打ち出し、その重点政策目標として、コー

図3 EU各国におけるバイオガス由来電力の買い取り価格及び上乗せ価格の一覧

（資料）欧州委員会 Biogas barometer 2004

ドイツ	発電能力 500kW 未満 : 10.7 円/kWh 発電能力 500kW~5MW : 9.3 円/kWh
フランス	発電能力 2MW 未満 : 8 円/kWh 発電能力 2MW 以上 : 6.3 円/kWh (効率によって) + 0.4 円/kWh 農業由来バイオガス : 6.4 円/kWh (効率によって) + 1.7 円/kWh
イギリス	市場価格 : 3.9 円/kWh + グリーン証書 : 9.2 円
イタリア	市場価格 : 6.4 円/kWh + グリーン証書 : 11.8 円
オランダ	発電能力 500kW 未満 : 9.5 円/kWh 発電能力 500kW 以上 : 6.9 円/kWh
スペイン	9.6 円/kWh
スウェーデン	市場価格 : 3.3 円/kWh + 1.3 円/kWh (発電能力 1.5kW 未満)
オーストリア	発電能力 100kW 未満 : 23.1 円/kWh 発電能力 100kW~500kW : 20.3 円/kWh 発電能力 500kW ~1MW : 17.5 円/kWh 発電能力 1MW 以上 : 14.4 円/kWh 組立ガス 1MW 未満 : 8.4 円/kWh 発電能力 1MW 以上 : 4.2 円/kWh

◇価格 は 2003 年時点、1 ユーロ = 140 円 として換算 ◇

（資料）欧州委員会 Biogas barometer 2004

ンエタノールやセルロースエタノール、バイオディーゼル等の代替燃料源の使用量350億ガロン(1,300億リットル)を義務化しています。

一方で国内に目を向けてみますと、「バイオマス・ニッポン総合戦略」が平成14年12月に閣議決定され、関係府省の連携によりバイオマス利活用の促進が図られる枠組みが出来ています。平成18年3月には「輸送用燃料の導入など大幅なバイオマスエネルギーの導入が必要」等の追加・見直しが行われ、「平成22年目標として3%混合(E3)ガソリンとして日本のガソリン消費の約1/3に相当する量のBiofuel」の導入等、地球温暖化防止に向けた目標が設定されました。これらの国家戦略や行政目標に基づいて、バイオマス有効利用の取り組みが推進されて行くことが期待されて来ました。

しかし、最近では、バイオ燃料を巡る環境省(E3)と石油元売り各社(ETBE)との規格争いに関する報道など、関係省庁や業界団体の思惑など利害関係者間調整の難しさを指摘する記事や食物系バイオマスを原料としたバイオマスエネルギーの食糧問題への発展を懸念する声などが新たな問題として顕在化しており、我が国はCOP3議長国として地球温暖化防止を推進するために世界各国に対するリーダーシップを発揮するどころか、自国の目標達成さえ危ぶまれている状況にあります(図4)。

日本における技術開発面の動向を1つ紹介しますと、日本は世界第6位の排他的経済水域(EEZ: Exclusive Economic Zone)面積を有しており、その海洋資源に着目したバイオマス有効利用の開発が

始まろうとしています。これは、海藻類をEEZで人工繁殖させてこの海藻をエネルギー転換しようとする試みであり、国内の石油精製設備と同等の事業規模を確保する事が可能と見られ、2025年を事業開始目標にしているプロジェクトも立ち上がろうとしています。

3 TSKコア技術とバイオマス有効利用

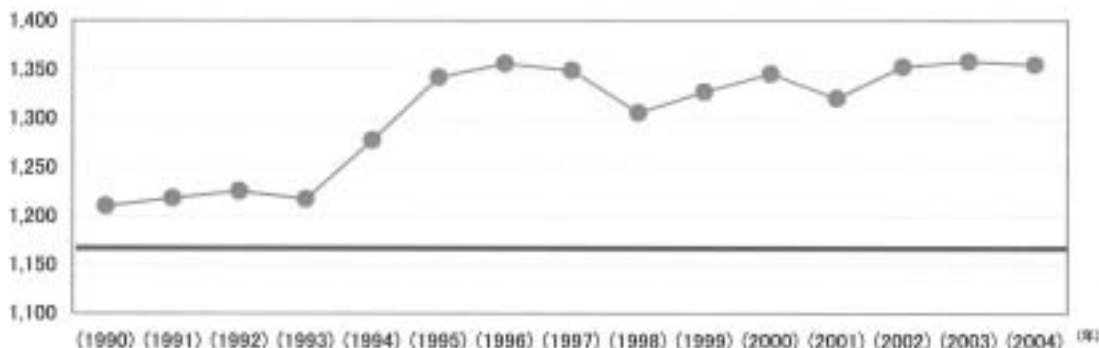
当社のコア技術とバイオマス有効利用技術の関わりについては、当社技術史「月島機械 技術の百年」のなかでも述べているように「戦時中の無水アルコール製造技術以来の歴史において原料ろ液のろ過工程や発酵技術が着実に集積していたことにより、バイオマスと当社コア技術の距離が近かった。」ことがバイオマス有効利用技術における当社の先進性に繋がっていると言えます(図5)。そう言う意味では、当社のコアコンピタンスである単位操作機器の自社設計製造および周辺エンジニアリングの豊富な経験に基づくノウハウの集積が、この分野への進出でも生かされていると言えます。

ここで、水環境事業部における取り組みを紹介します。今まで「下水汚泥」は産業廃棄物として処理処分されてきましたが、現在では家畜排泄物や食品廃棄物と並んで主要なバイオマスと位置づけられ、下水道という公共インフラにより効率良く収集され、将来的にも安定した発生予測が可能な優良バイオマスであるとの市場評価が定着しています。その結果、下水処理場の役割に対する社会的要請

図4 国内温室効果ガスの排出量の推移

環境統計集 平成19-14年版

(百万tCO₂換算)



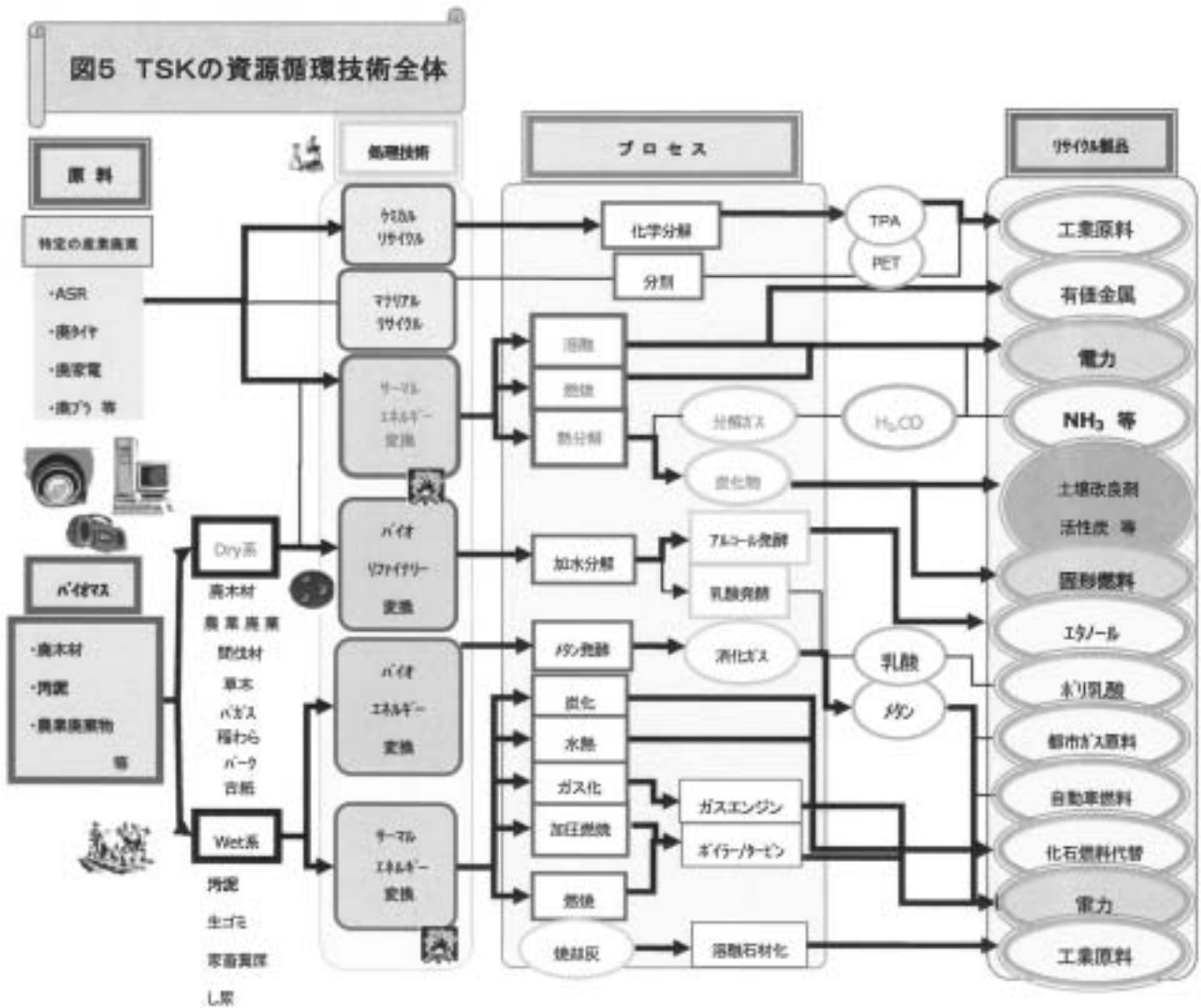
も「下水の衛生処理センター」から「資源・エネルギーの循環センター」代わりつつあります。下水道分野では今までも汚泥有効利用技術として、「熔融スラグ化技術」や「焼却灰によるレンガ製造技術」等のマテリアルリサイクル技術が開発されてきました。しかし、主にライフサイクルコスト (LCC) で既存技術に対する競争力が得られなかった点と製品の長期間にわたる市場流通性を確保することが難しかった点により、市場を拡大させることが出来ませんでした。

一方、現在開発中である固形物燃料化技術は、LCC で既存技術に対する優位性が認められ、燃料ユーザーである発電所が長期間の引取確約をすることになるため、過去の有効利用技術における課題をクリアできていると言えます。さらに、低温炭化技術においては製造過程における投入エネルギーを含めて LC-CO₂ で評価しても GHG 削減効果があることが把握できており、環境側面、経済側面の両面からメリットを提案できる技術として、汚泥焼却炉の更新需要への適用を念頭に開発を進めています。

また、固形物燃料化のような処理場外でのエネルギー利用を前提としたオフサイトでの事業によりスケールメリットを出そうとするケースとは別に、処理場内の既存インフラ (消化槽) を最大限に有効利用して初期投資を抑制し、経済性を確保しながらエネルギー回収をする取り組みとして消化ガス (汚泥の嫌気性発酵ガス) の有効利用にも取り組んでいます。

4 バイオマス有効利用の取り組みに関する今後の課題と展望

我が国におけるバイオマス有効利用に関する取り組みは、狭い国土という事情もあり、今までは「地産地消」を合い言葉にどちらかというと地域社会との結びつきを重視して、スケールメリット等経済性を追求して来なかった傾向がありました。実際にバイオマスを含む新エネルギー (風力、太陽光、中小水力、地熱、バイオマス) で発



電された発電コストは約46円/kWhと家庭用電気料金の2倍となっており、一次エネルギー供給に占める新エネルギーの割合は約1.9%にとどまっています。そのためにメカサイドから見れば開発投資に見合うだけの市場拡大が見込みにくい市場環境にあり、どちらかというニッチ市場と見られてきました。

しかし、グローバルな視点において地球温暖化防止の観点からも、今後バイオマス有効利用の市場は化石エネルギー市場に影響を及ぼすほどの世界的拡大を推進して行く必要があり、そのためには少なくとも化石資源と同等の経済性が確保できる規模の事業化開発が展開されると予想されています。

また今後は、「循環型社会への転換を目的とした廃棄物処理としてのバイオマス有効利用」と「地球温暖化防止対策としてのバイオマス有効利用」の2つの目的の整合性を巧く保っていくことも重要になって来ます。例えば、米国やブラジルで行われているトウモロコシやサトウキビなどの食物系バイオマスからバイオマスエタノールを製造するケースでは、地球温暖化防止の目的に偏りすぎて食糧問題を引き起こしています。逆に廃棄物系バイオマスだけでは前述の事業規模を確保することが困難であり、非食物系バイオマスからの効率的なエネルギー回収技術の開発が注目されています。

これらの状況を踏まえて当社は、国内市場におけるバイオマス有効利用技術の先進性および優位性を堅持するために、まず納入設備の信頼性を確保し、実績データに基づく技術ノウハウの集積を着実に実行して、この分野での国内におけるリーディングカンパニーの地位を確固としたものにしていかなければならないと考えます。

そしてさらに、当社が今後のグローバル市場におけるバイオマス有効利用分野の拡大トレンドに参入していくためには、「この分野の川上・川下の企業や組織とのパートナーシップ締結」は前提条件であり、その条件を確保するためには相手から「欲しいと思われる技術」を持ち続けることが当社にとって欠かせないステイタスであると考えます。

参考文献

- 1) 環境省 環境統計
- 2) 農林水産省 バイオマス・ニッポン総合戦略
- 3) 国土交通省 資源のみち委員会 報告書(案)
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁 日本のエネルギー2007
- 5) 環境省 地球温暖化対策推進大綱
- 6) 環境省 循環型社会形成推進基本計画
- 7) 小林信之 三菱総合研究所 排出権市場をめぐる動向
- 8) STATUS AND PERSPECTIVES OF BIOMASS-TO-LIQUID FUELS IN THE EUROPEAN UNION
- 9) 月島機械 技術百年史
- 10) 欧州委員会 Biogas Barometer 2004

酵素法による バイオマスエタノール製造プロセス

Biomass Ethanol Production Process by Enzymatic Hydrolysis.

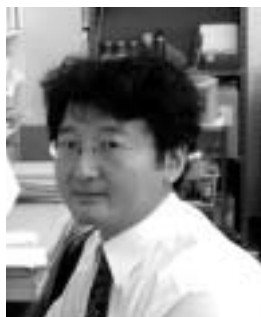
Abstract

For the production of ethanol from waste house wood and bagasse, Tsukishima Kikai has applied hemicellulose sugar hydrolysis by dilute sulfuric acid and its fermentation by recombinant *E. coli* K011. On the other hand, for cellulose hydrolysis, the global tendency of development is enzymatic process, because enzymatic hydrolysis gives high sugar yield at mild conditions than that of dilute acid hydrolysis at severe conditions (high temperature, pressure, low pH).

Enzymatic process development of Tsukishima Kikai focusing on enzyme production is described. On-site enzyme production by cellulase-producing microorganism *Acremonium cellulolyticus* was examined for reducing enzyme cost. This microorganism was originally discovered and developed by the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) in the 1980s, and its producing enzyme was found to have high β -glucosidase activity that catalyze the last reaction of cellulose conversion into glucose.

At first, mutation of AIST's strain *A. cellulolyticus* TN was conducted by UV radiation and obtained a hyper-producing strain C-1, which FPU was 2.1-fold, CM Case was 1.4-fold, cellobiase was 2.3-fold of TN under the same condition of cultivation. Next, medium composition including optimization of C/N ratio was examined. Then, cultivation scale was increased from a flask to 7-L jar fermenter and 50-L reactor, obtaining supernatant enzyme activity of 15 FPU/ml in the 7-L jar fermenter reactor, and 13 FPU/ml in the 50-L reactor. Next, waste house wood (mainly composed of softwood) was pretreated using dilute acid hydrolysis followed by milling. By this combined method, ethanol yield of simultaneous saccharification and fermentation (SSF) using cellulase of *A. cellulolyticus* C-1 increased by 1.6-fold compared to dilute acid treated substrate. This strain was considered to hold a possibility as an enzyme-producing strain for biomass ethanol production using glucose as a substrate for fermentation.

キーワード：バイオエタノール、廃建材、酵素、セルラーゼ、アクレモニウム・セルロリチカス、前処理、粉碎
Keyword : bioethanol, waste house wood, enzyme, cellulase, *Acremonium cellulolyticus*, pretreatment, milling



奥田 直之

Naoyuki OKUDA

産業事業本部

砂糖・バイオ技術部

バイオ基礎開発グループ

化学工学会, 日本生物工学会,
バイオインダストリー協会

1 はじめに

近年の原油価格の高騰に伴いバイオエタノールの需要が世界的に増加している。我が国でも2002年に環境省が地球温暖化対策を目的として燃料用エタノールの導入を決定し、翌年の品確法の改正によりエタノールをガソリンの3%まで混合することが可能となった。環境省エコ燃料利用推進会議が発表した普及拡大シナリオによると、2010年にガソリン需要量(約6000万キロリットル)の1/2にE3またはETBE^{*1}を導入し、2020年には2/3(エタノールとして約120万キロリットル)に拡大するとの目標が設定されている。最近、首都圏でも一部のガソリンスタンドでETBEの導入が始まりバイオエタノールが身近なものになりつつある。エタノール原料としてはす

でにブラジルや米国で実施されている糖質系、デンプン系を用いた方法が当面世界の主流と見なされるが、将来的には食料と競合しない木質系の利用が主流になると予測されている。木質系原料としては現在のところ、賦存量、収集の面から国内では廃建材(建設系廃木材)、東南アジアではバガスが有望である。

月島機械は木質系からのエタノール製造技術として、これまで希硫酸加水分解法と組換え大腸菌KO11による五炭糖発酵を特徴とするプロセスを検討してきており、国内向けに廃建材を、海外向けにバガスを原料としたエタノール製造設備の建設に携わってきた。これらはKO11の特徴を活かすヘミセルロースの利用に重点を置いたエタノール生産設備である。一方、セルロースについては、希硫酸法では糖回収率が低いという課題があり、世界の流れは酵素法に向

表1 希硫酸法と酵素法の比較
Table1 Comparison of Enzymatic Process with Dilute Acid Process

	希硫酸法	酵素法	備考
ヘミセルロース分解率	80%	80%	原料組成: セルロース 40-50% ヘミセルロース 25-30% リグニン類 25-30% 発酵収率:85%
セルロース分解率	40%	80%	
エタノール収量 ※計算値	200 L/トン (DRY)	270 L/トン (DRY)	
設備コスト	△	○	安価な酵素が前提
製造コスト	△	○	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄石膏あり ・廃水負荷高い ・設備に高価材質必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄石膏少ない ・廃水負荷低い ・設備が簡素 ・酵素コストが課題 ・木材系では前処理必要 	

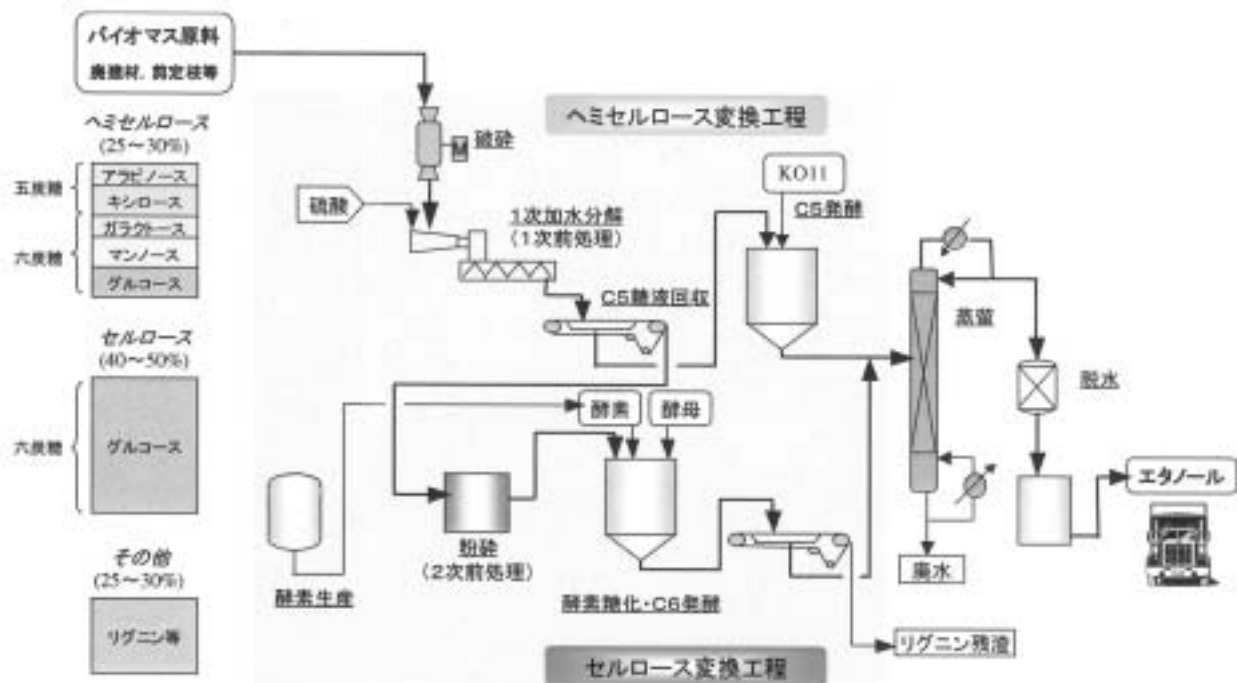


図1 酵素法による廃建材からのエタノール製造プロセス
Fig.1 Enzymatic process for ethanol production from waste house wood

かいつつある。酵素法は酵素セルラーゼを用いてセルロースをグルコースまで加水分解する方法で、基質特異性が高いため副生成物が発生せず、温和な条件でグルコースが得られる。希硫酸法と酵素法の比較を表1にまとめた。酵素法はセルロースからの収量が希硫酸法より高まるだけでなく、二次廃棄物である石膏の低減、着色廃水量の減少が期待される。一方、酵素法の実用化には酵素価格および酵素使用量の低減（両者の掛け算でエタノール当たりの酵素コストが決まる）が課題であり、原料1トン当たりの酵素コストを現状の数万円（市販セルラーゼを使用した場合）から数千円まで約1桁下げる必要がある。このような背景のもと、月島機械では平成12年頃より酵素法プロセスの基礎開発を行ってきた。本稿では主に酵素生産システムの開発経過について報告する。

1.1 酵素法のプロセス概要

月島機械が検討している廃建材を原料とした酵素法プロセスのフローを図1に示す。原料は先ず10 mm程度に粉砕し、続いて希硫酸を触媒とする加水分解によってヘミセルロース分を可溶化する。ヘミセルロース由来の糖には通常の酵母ではエタノールに変換されない五炭糖が含まれるため、組換え大腸菌 KO11株を使用してエタノールに変換する。一方、反応物のろ過洗浄ケーキとして得られる加水分解残渣はセルロースとリグニンを含み酵素糖化の基質となる。これは酸処理によって原料よりも酵素糖化され易くはなっているが、糖回収率を高めるために必要に応じて前処理（2次前処理）を行う。続く糖化反応では酵素セルラーゼを加え pH、温度を調整しグルコースへの加水分解を行う。セルラーゼの反応条件と酵母の発酵条

*1 ETBE (エチル・ターシャリー・ブチル・エーテル): バイオエタノールと石油精製時の副産物であるイソブテンの化合物。エタノールとしては E3 は ETBE 7% に相当する。

件は近い将来酵素糖化とアルコール発酵を同一の槽で行う場合もある。この方式は同時糖化発酵または並行複発酵と呼ばれ生成物阻害を回避する意味で有利と考えられている。酵素は市販品もあるが設備内で生産する方式（オンサイト生産）が精製および輸送費を削減でき安価に調達できる可能性が高い。反面、培養設備がもう1系列増えることで設備は複雑になるため、オンサイト生産の実用化はひとえに酵素生産システムの水準に依存している。以上をまとめると、酵素法は前処理（酸処理および2次前処理）、糖化発酵、酵素生産の三つの要素技術から成るプロセスである。

次に、セルロースのセルラーゼによる加水分解の模式図を図2に示す。セルラーゼは複合成分からなり、それらのセルロース分解機構には諸説あるが、大枠で、エンド型の（ランダムに切れ目を入れる）酵素

であるエンドグルカナーゼ（EG）、エキソ型の（端からみじん切りにする）酵素であるセロビオヒドロラーゼ（CBH）、そしてβ-グルコシダーゼ（セロビアーゼとも呼ばれる）の3成分の作用でグルコースまで分解すると言われている。また、セルロースには結晶領域と非結晶領域があり非結晶領域の方が分解され易い。Flickingerのモデルによれば、先ずエンドグルカナーゼがセルロースの結晶および非結晶の両領域に作用してこれらに切れ目を入れ、生成した切れ目の非還元末端側からセロビオヒドロラーゼが作用する。すると相乗的にエンドグルカナーゼの作用も促進され分解が進む。セロビオヒドロラーゼによって生成したオリゴ糖はβ-グルコシダーゼによってグルコースに分解される。このように、セルロースをグルコースまで分解するには、これらの成分がバランスよく含まれた酵素を使用する必要がある。

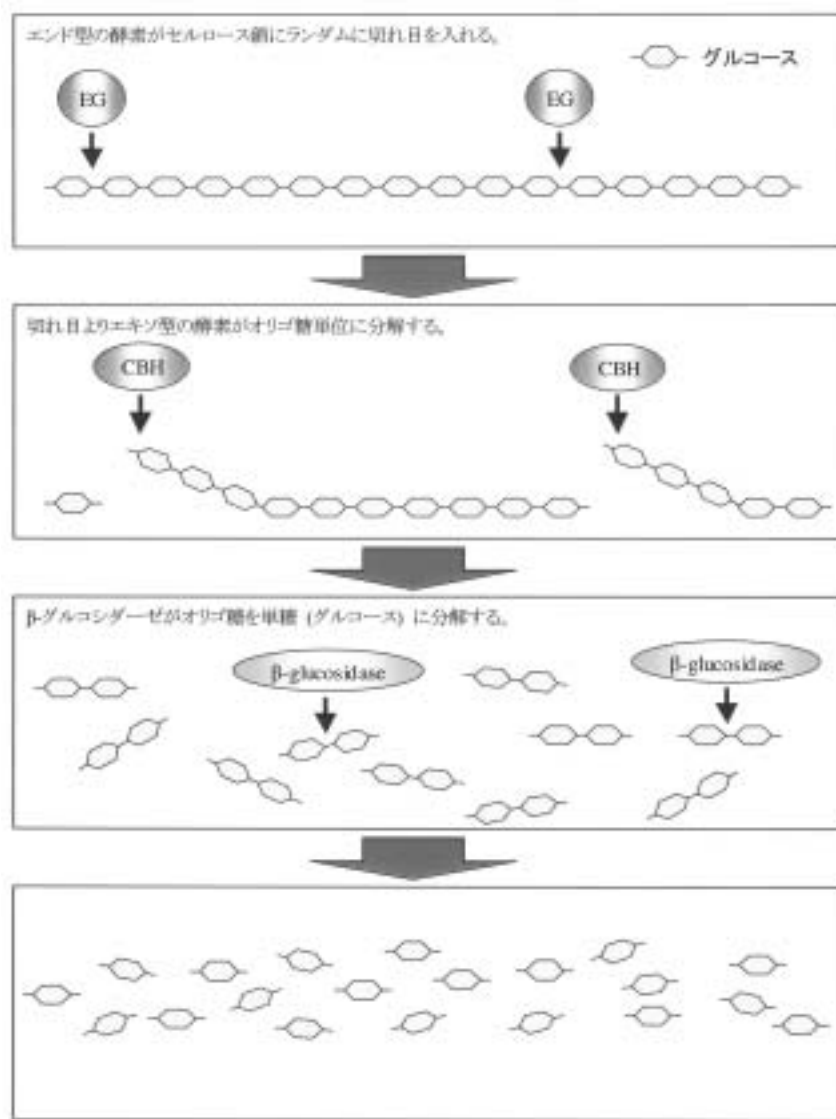


図2 セルラーゼによるセルロース加水分解の模式図
Fig.2 Schematic representation of cellulose hydrolysis by cellulase.

2 酵素生産菌の開発

酵素のオンサイト生産システムの構築のため、先ず酵素生産菌の選定を行った。セルラーゼ生産菌は *Trichoderma* 属、*Aspergillus* 属等の糸状菌(カビ類)に高い生産能を示すものが多い。特に *Trichoderma* 属菌 (*Trichoderma viride*, *Trichoderma reesei*) については菌株の改良および培養条件についての研究が最も数多く行われている。そこで、*Trichoderma* 属、*Aspergillus* 属を含む数種類の株を菌株保存機関等から入手し比較評価を行った。その結果、工業技術院(現 独立行政法人産業技術総合研究所)が開発した *Acremonium cellulolyticus* という微生物 (TN株, 寄託番号 FERM P-6867) がフラスコ試験において他の属の株より明らかに高い活性を示した。この微生物は糸状菌であるが *Trichoderma* 属と違って国内で発見、単離され、その後、発見者である工業技術院の山辺博士らによって菌株と酵素の基本的な性質の調査が行われた²⁾。*Acremonium cellulolyticus* が生産するセルラーゼの大きな特徴として、*Trichoderma* 属菌のセルラーゼに比べてオリゴ糖をグルコースまで分解する β -グルコシダーゼが強いことが見出されている。グルコースを発酵用基質として利用するバイオマスエタノール製造用の酵素生産菌としてこの株に大きな可能性があると判断し、以後は山辺博士にご協力頂き本株の培養条件検討ならびに菌株の改良を開始した。

2.1 菌株の改良

TN株は親株 Y-94株に対して薬剤処理によりセルラーゼ生産性を高めた株である³⁾。その TN株に対してさらに UV照射および変異誘発剤を試みた。その結果、UV照射を複数回施した株の中から明らかに形態が異なる株が得られ、液体培養で親株より高い活性が見られた。この株を固体培地で植え継いだところ、その形態は保持されており、一時的な変化ではなく、変異株であることが示唆された。変異株 (C-1株) と親株 (TN株) のセルラーゼ生産量の比較結果を表2に示す。C-1株のセルラーゼ生産性は、TN株に比べ FPU^{*2)} が約2.1倍に CMCaseは約1.4倍に、セロビアーゼは約2.3倍に向上した⁴⁾。これらは1.1項で述べた酵素成分としては、FPUはCBH、CMCaseはEG、セロビアーゼは β -グルコシダーゼにほぼ該当する。

2.2 培養方法の検討

Acremonium cellulolyticus の培養方法については文献ではほとんど報告例がない。一般に微生物プロセスにおける生産性は菌体の性能だけでなく培地成分、培養条件に大きく影響されるため、C-1株に

表2 *Acremonium cellulolyticus* C-1株と TN株の酵素生産性の比較
Table 2 Comparison of Enzyme Productivity of *Acremonium cellulolyticus* C-1 with That of TN

株	セルラーゼ活性 (U/mL)		
	FPU	CMCase	セロビアーゼ
TN株	8	140	15
C-1株	17	200	35

培養条件: 結晶性セルロース 50 g/L, コンスタアグリアー 10 g/L を含む培地 (pH 4.0) を接種後、C-1株または親株 TN株を接種し、30°Cで7日間好気的に培養

適した培養条件を検討することで生産性を向上させる余地があると考えられた。これについての開発は静岡大学 朴研究室(創造科学技術大学院バイオサイエンス専攻)と共同で進めた。先ず、培地成分を実験計画法に基づいた各成分の影響度から最適化し、その培地を用いてフラスコ → 7-Lジャーファーマンター → 50-L培養槽とスケールアップした。50-L培養槽での培養経時変化を図3に示す。FPU、タンパクは培養液を遠心分離した上清について測定した。タンパク質である酵素活性とタンパク濃度の増加はほぼ連動しているが、若干差があるのはセルラーゼにはFPU活性としては現れない酵素が含まれているためと考えられる。培養5日での酵素活性は約13 FPU/mLとなり、7-Lジャーファーマンターでの酵素活性15 FPU/mL (図は示さず) とほぼ同等の数値に達した。これは、*Trichoderma* 属菌の培養でこれまで論文として報告されている活性 (~10 FPU/mL) を凌ぐものであった。⁵⁾

2.3 アクレモニウム酵素の性質

Acremonium cellulolyticus を培養して得られた酵素液と市販酵素の活性に対する温度および pHの影響を図4aに示す。セルロース

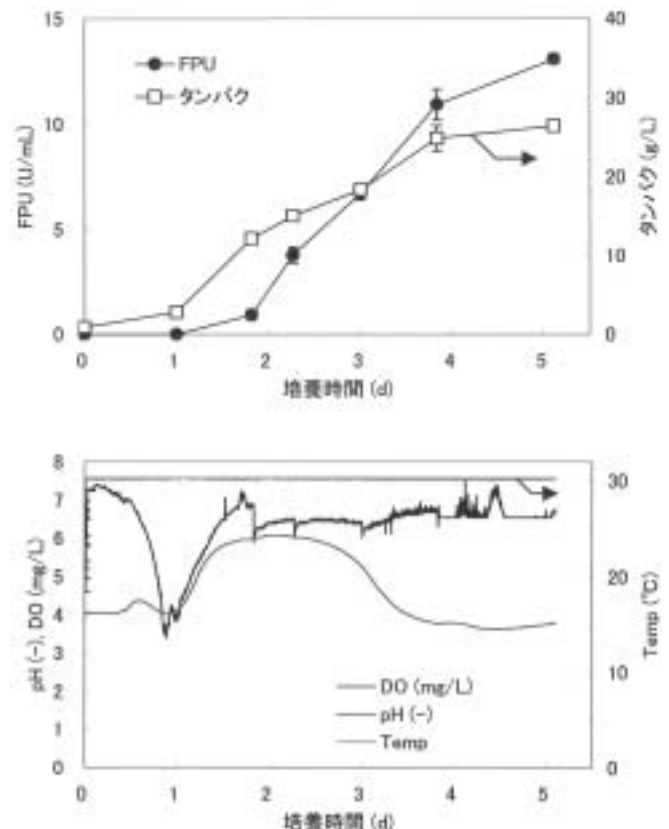


図3 *Acremonium cellulolyticus* C-1によるセルラーゼ生産経時変化
Fig.3 Time profile of cellulase production by *Acremonium cellulolyticus* C-1

<流量> 20-L / 50-L ジャーファーマンター
<培養条件> 30°C, 1 vvm

*2 FPU (Filter Paper Unit) : IUPACで分析法が定められているセルラーゼ力価の一つ。酵素液を濾紙(ワットマン No.1)に作用させ 50°C, 1 hの反応後に生成する還元糖量から算出する。CMCase, セロビアーゼもセルラーゼの力価を表し、それぞれ CMC (カルボキシメチルセルロース)、セロビオースに作用させる。

粉末である Solka Floc を基質とし反応の初期速度 (市販酵素 : 1 h, アクレモニウム培養酵素 : 2 h) を測定した。その結果、アクレモニウム培養酵素、市販酵素ともに初期速度は 55°C、pH 4.5 で最大になり、40°C ではその 60% 程度まで低下した。すなわち、リグニンを含まない基質ではいずれも初期速度は通常の化学反応と同様に温度に応じて高まる傾向が見られた。しかし、実際のリグニン含有原料の場合は固液系であることによる混合性の悪さ、およびリグニンによる (セルラーゼの攻撃に対する) 物理的な障害の影響で糖化時間は Solka Floc のような純粋のセルロースの場合よりも長くなるため、初期速度だけでは糖化特性を把握することはできないと考えられる。そこで、実際の酵素糖化で想定される比較的長い反応時間 (100 h 以上) での糖収量も比較した。結果を図 4b に示す。酸処理木材のボールミル粉砕物を基質としたときの 140 h での糖収量は、市販酵素では 45°C 付近がピークだったのに対し、アクレモニウム培養酵素は 35 ~ 40°C での値が最も高く、初期速度基準の至適温度 (50 ~ 55°C) より低温側にシフトしていることが分かった。アクレモニウム培養酵素が長時間反応では熱に弱いとも考えられるが、他方、35 ~ 40°C での領域は多くの酵母の生育範囲であることから、アクレモニウム酵素が同時糖化発酵に適していることが示唆された。また、最大糖収量がアクレモニウム培養酵素の方が 20% ほど高いことは、廃建材酸処理物を基質とし FPU として同量添加した場合の単糖生成力が優れていることを意味する。

次に、酸処理したバガス を基質とし同時糖化発酵でアクレモニウム培養酵素と市販酵素 (*Trichoderma* 属菌由来) を比較した。エタノール生産経時変化を図 5 に示す。酵素添加量が 15 FPU/g-DM (dry matter : 原料の乾燥重量当たりを表す) の場合の 120 h でのエタノール収量は、アクレモニウム培養酵素を用いた場合は市販酵素の約 1.5 倍に達した。以上より、アクレモニウム酵素は発酵基質となるグルコースまでの加水分解力が高く、また、同時糖化発酵での温度において高い活性を維持することから、バイオマスエタノール生産用の酵素として適していることが確認された。

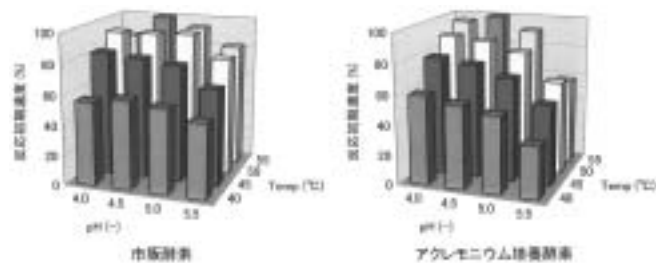


図 4a 反応初期速度に対する温度、pH の影響
Fig.4a Effect of temperature and pH on initial reaction rate

〈基質〉 Solka Floc
〈酵素糖化条件〉 酵素量 15 FPU/g-DM, pH 4.8, 反応時間 1 h (市販酵素), 2 h (アクレモニウム培養酵素)

*1 縦軸は 55°C、pH 4.5 のときの活性に対する相対値を表す。
*2 Solka Floc は Fiber Sales & Development Co. 製のセルロース系ろ過助剤の商品名

2.4 廃建材の酵素糖化

木質系バイオマスの酵素糖化前処理は過去に様々な方法が検討されている。中でも廃建材の主成分である針葉樹類 (softwood とほぼ同義) はバイオマスの中でも比較的強固なリグニン構造をしているため、広葉樹類や草類と同じ前処理では酵素糖化率が低く、効果のある前処理は限られている。薬剤使用量、投入エネルギー、副生成物となるべく少ない方法を検討した結果、酸処理後に粉砕する方法で比較的良い効果が得られた。数種類の粉砕処理を比較したが、その中でボールミルとリファイナーの比較結果を図 6 に示す。リファ

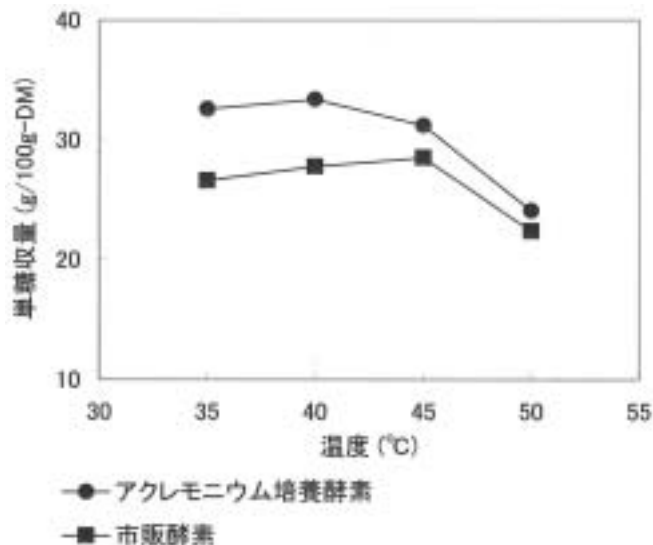


図 4b 到達糖収量に対する温度の影響
Fig.4b Effect of temperature on attained sugar yield

〈基質〉 酸処理木材粉砕物
〈反応条件〉 酵素量 15 FPU/g-DM, pH 4.8, 反応時間 140 h

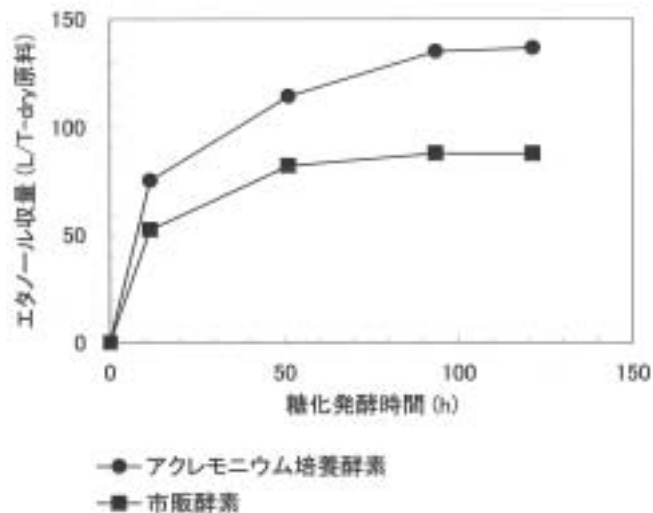


図 5 バガス酸処理物の同時糖化発酵における酵素の比較
Fig.5 Comparison of enzyme on simultaneous saccharification and fermentation of acid treated bagasse

〈基質〉 バガス酸処理物
〈反応条件〉 同時糖化発酵, 酵素量 15 FPU/g-DM, pH 4.8, 37°C
*1 縦軸はセルロース分からのエタノール収量を表す。これにヘミセルロース分からの収量が加わり原料からのトータルのエタノール収量になる。

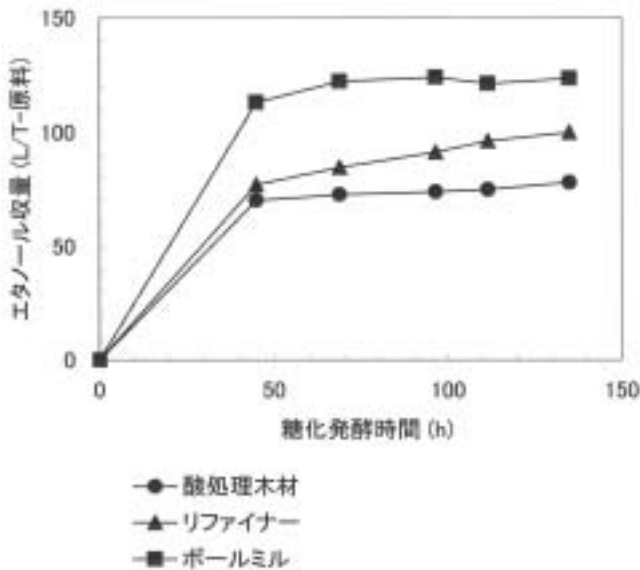


図6 廃建材酸処理物の同時糖化発酵における粉碎の効果

Fig.6 Effect of milling and refining of acid-treated waste wood for simultaneous saccharification and fermentation

(基質) 酸処理木材, 酸処理木材の粉碎物(リファイナー, ボールミル)

(酵素) アクレモニウム培養液, 酵素量 14 FPU/g-DM

(反応条件) 同時糖化発酵, pH 4.8, 37°C

*1 縦軸はセルロース分からのエタノール収量を表す。これにヘミセルロース分からの収量を加わり原料からのトータルのエタノール収量になる。

イナーはパルプ製造で用いられる解繊機で、ミルに比べ動力消費が少なく装置が小型にできる利点がある。アクレモニウム培養酵素を用いた同時糖化発酵でのエタノール生産量は発酵時間0～100 hの領域において、酸処理のみの場合に対して、リファイナー（パイロット規模）で粉碎したものが1.2倍、ボールミル（実験室規模）で粉碎（1 min）したものが1.6倍であった。リファイナー処理はその後エタノールが漸増したが、糖化時間の短縮も酵素法の大きな要素であるため、ボールミル方式が有望と考えられた。さらにX線回折による結晶化度の分析によって、ボールミル粉碎ではセルロースの結晶化度が低減していることを確認した。これはミル粉碎による衝撃が非結晶性領域の比率を増やしセルラーゼの攻撃を容易にしたことを示唆している。なお、ミル粉碎の場合は粉碎動力が問題になるが、この実験に相当するボールミル粉碎動力を後に専門メーカーのベンチテストで確認したところ、実装置では0.1 kWh/kg-DM以下であった。これは電力費10円/kWhとしてもエタノール1L当たり3～5円と適用可能な範囲であると考えられる。

2.5 現在および今後の開発

これまでの開発によって、冒頭で述べた原料1トン当たりの酵素コストは数千円オーダーまで低減されたと判断しているが、実用化には更なる低コスト化が必要である。現在、酵素生産については産業技術総合研究所バイオマス研究センターと共同でC-1株の更なる改良および効率的な誘導生産の開発を、静岡大学と共同で培養条件の検討を行っている。今後はここで得られた結果を基にした50-L

および1000-L規模でのスケールアップテストを予定している。また、前処理、糖化発酵についても諸条件の検討を続けており、最終的には様々な原料に応じた最適なプロセスを選択し、酸加水分解（前処理）、KO11による五炭糖発酵と組み合わせて実用性の高いプロセスを提案していくことを目指している。

3 おわりに

最近メディアでバイオエタノールに関する報道を見聞きする機会が多くなった。開発を始めた数年前の環境に比べると本テーマが社会的にここまで認知されてきたことに大きな時代の流れを感じる。緒言でも記したが当面の対応としては糖質、デンプン質の利用が有効であるものの、長期的には食料と競合しない木質系からつくることが燃料用エタノールのあるべき姿だと筆者は考えている。酵素法はその目標に近づくための大きな手段であるが、糖質、デンプン質と同等の製造コストにするまでの課題は多く、壁は厚い。廃建材という（逆有償の）特別な原料においてようやく実用的なラインに近づいてきた、という段階である。本格的な普及には、林地残材、稲わら等の（輸送費を加算した）有償の原料においても採算が取れるような、技術改良による製造コストの低減、ならびにバイオマス利用システム全体の仕組みづくりが必要と考えられる。木質系からつくられるバイオエタノールを利用する社会の実現とそれによる地球温暖化の抑制に少しでも貢献できるよう、更なる技術開発を進めて行きたいと考えている。

最後に、本開発の初期からご協力頂き、現在も大きなご支援を頂いている静岡大学 朴研究室と産業技術総合研究所バイオマス研究センターの研究者の方々に深くお礼申し上げます。また、多くの実験と分析を担って頂いた開発パートナーの皆様にも深く感謝致します。今後とも宜しくお願い致します。なお、2.2、2.3、2.4項の開発は平成16年度、17年度、18年度環境省地球温暖化対策技術開発事業において実施しました。ご支援に感謝する次第です。

参考文献

- 1) 越島哲夫 編：セルロース資源，学会出版センター，第2章（1991）
- 2) Yamanobe, T., Mitsuishi Y., Takasaki, Y.: Isolation of cellulolytic enzyme producing microorganism, culture conditions and some properties of the enzymes, Fermentation Research Institute, Japan, No. 71 (1989)
- 3) 特許1572754, 工業技術院長, セルロースの糖化法
- 4) 特開2003-135052, 独立行政法人産業技術総合研究所, 月島機械, セルロース原料の分解方法
- 5) Ikeda, Y., Hayashi, H., Okuda, N., Park, E. Y.: Efficient Cellulase Production by Filamentous Fungus *Acremonium cellulolyticus*, Biotechnol. Prog., 23, 333-338 (2007)

下水汚泥燃料化技術の開発

Development of conversion technology from sewage sludge into bio-fuel



上田 厚志

Atsushi UEDA

水環境事業本部
ソリューション技術部
新エネルギーグループ

Abstract

For measure against fossil fuel depletion and global warming, application of biomass is regarded as one of the most promising energy resources as biomass is carbon neutral, renewable and furthermore, does not increase CO₂ gas in the atmosphere. Among biomass resources, the stable property of sewage sludge and its uncomplicated estimation of supply can lead to a stable and long-term sewage sludge recycling system. At coal-fired power plants, the application of bio-fuel converted from sewage sludge reduces the amount of coal burned, contributing to prevent global warming.

Sewage sludge fuel conversion technology can be classified broadly into drying and carbonization. However, existing technologies could not satisfy the three elements simultaneously required for fuel derived from sewage sludge: high heating value, low spontaneous combustibility and low odor. In response, Tsukishima Kikai has developed a low-temperature carbonization technology to convert sewage sludge into bio-fuel for applications at coal-fired power plants in collaboration with J-POWER Co., Ltd. and NGK Water Environmental Systems Co., Ltd. (NWS). Compared to conventional carbonization, the developed technology realized high heating value of bio-fuel with lower temperature carbonization at 250~350°C, as well as inhibition of spontaneous combustibility and reduction of odor by adding steam into the carbonized reactor and palletizing dried cake. As a result, value is added to sewage sludge-derived bio-fuel as an alternative coal fuel.

Also, the features of low-temperature carbonization technology and results of the pilot plant tests in collaboration with the Japan Sewage Works Agency (JS) are described.

キーワード：燃料化、低温炭化、温室効果ガス削減、下水汚泥有効利用、石炭混焼燃料

Keyword : Fuel conversion technology, Lower temperature carbonization, Reduction of greenhouse gas, Effective utilization of sewage sludge, Substitutable fuel for coal

1 はじめに

近年、化石エネルギー資源の逼迫や枯渇、地球温暖化問題が懸念されるなか、カーボンニュートラルで再生可能なバイオマス資源が新しいエネルギー源として注目されている。なかでも、下水汚泥は集積性や性状の安定性が優れ、汚泥から製造した炭化物を石炭火力発電所等で混焼利用することにより、地球温暖化防止に貢献すると共に、長期・安定的に下水汚泥のリサイクルを実現することが可能である¹⁾。

こうした背景から、石炭火力発電所に適した下水汚泥燃料化技術について、石炭火力発電所を有する電源開発、下水汚泥の熱操作技術に精通した当社、NGK水環境システムズの三者にて2004年度より共同開発を行った。また、2006年度からは、当開発技術を下水道事業に広く適用するため、日本下水道事業団と共同研究を実施しており、実運用時における安定運用や信頼性等について、2007年度内に評価を終える予定である。

本稿では、開発技術である低温炭化燃料化システム（以下、低温炭化と言う。）の特徴を説明するとともに、実証試験の結果についてあわせて報告する。

2 下水汚泥燃料化技術の概要

2.1 下水汚泥燃料化の意義

社会的要請や地球環境保全の立場から、下水汚泥燃料化の意義として以下の3点が挙げられる。

- (1) 廃棄物の有効利用
 今まで廃棄物として処分されてきた下水汚泥を石炭代替燃料として利用することで、新しいエネルギーを創出する。
- (2) 地球温暖化防止
 下水汚泥燃料化物は、カーボンニュートラルな製品であり、温室効果ガス削減に寄与する。

(3) 循環型社会の構築

石炭代替燃料となる下水汚泥燃料化物は、石炭火力発電所をはじめ幅広い市場において有効利用することが可能であり、長期・安定的なリサイクルの実現に貢献する。

2.2 燃料化技術の概要

下水汚泥燃料化物に求められる要素として、「高発熱量」、「低自然発火性」、「低臭気」が挙げられる。表1に示すように、燃料化技術としては“乾燥”と“炭化”に大別されるが、前記3つの要素を同時に満足できる既存技術はなかった。乾燥のみによる燃料化は、発熱量は高いが製品の臭気の点で課題が残る。高温炭化方式は、炭化温度が600～800℃と高温のため、炭化物の発熱量が低く石炭代替燃料としては適していない。今回開発した低温炭化技術は、250～350℃の低温域で炭化を行うことで炭化物の高発熱量化を図り、造粒及び蒸気添加により自然発火性の抑制及び臭気低減を実現し、石炭代替燃料としての適用性を飛躍的に高めている。低温炭化技術の詳細については、3章で述べる。

また、高温炭化と低温炭化の中間に当たる500℃程度の炭化（以下、中温炭化という）について、他社の取組が報告されている²⁾。

3 低温炭化技術の概要

3.1 低温炭化とは

低温炭化とは、従来の高温炭化（炭化温度：600～800℃）と比較して低温域（炭化温度：250～350℃）で炭化を行うことで、炭化物の“高発熱量化”を図り、石炭代替燃料としての価値を高めた技術である。また、本技術では、低温域炭化の特徴である自然発火性の低さに加え、炭化装置内への蒸気添加と、炭化前段の造粒を併せて行うことで、高発熱量を持った石炭代替燃料としての価値を損なうことなく、低自然発火性を実現している。

表1 燃料化技術の比較
 Table1 Comparative Table of Bio-Fuel Conversion Technologies

システム	従来技術		今回開発技術
	乾燥	高温炭化(600~800℃)	低温炭化(250~350℃)
燃料化物に求められる3大要素			
発電所適用性	臭気等の課題から適用に当たっては関係者調整のハードルが非常に高い	燃料性状が石炭に類似し、適用性は高いが、高発熱量化が課題	発熱量が高く、臭いも少なく燃料価値が高い

3.2 低温炭化燃料化システム

低温炭化燃料化システムのプロセスフロー例を図1に示す。

脱水汚泥を熱風乾燥機により水分20%程度まで乾燥する。乾燥品は造粒機で約φ5～10mm×15mmLに成形した後、250～350℃で外熱キルン型炭化装置により約60分間炭化する。この際、本システムの特徴である蒸気添加により、造粒操作とあわせ、自然発火抑制ならびに臭気低減を図っている。炭化装置からの熱分解ガスおよび乾燥機排ガスは再燃装置にて高温処理し無害化する。

システムを構成する乾燥機や炭化装置等の各機器は、下水処理場や産業界で広く一般的に使われている機器の組合せであり、信頼性が高く運転・維持管理なども容易である。

3.3 低温炭化技術の特徴

低温炭化技術は、操作温度が低いことにより、以下のような特徴を有する。

【特徴1】高付加価値な燃料物

燃料物の基本物性である発熱量は、原料となる脱水汚泥と同等以上となる。また、燃料物として回収できる熱量が多く、燃料利用先により多くの熱量を供給することができ、従来の高温炭化技術と比較して付加価値の高い燃料物を得ることが可能である。

【特徴2】温室効果ガスの削減効果

流動焼却(高温焼却)や高温炭化、中温炭化(500℃程度)と比較して、N₂O発生量を大幅に低減することが可能である。

【特徴3】燃料物の高い安全性とハンドリング性

燃料物の自然発火性が抑制されており、安全にハンドリングすることができる。

以下に、それぞれの特徴について説明する。

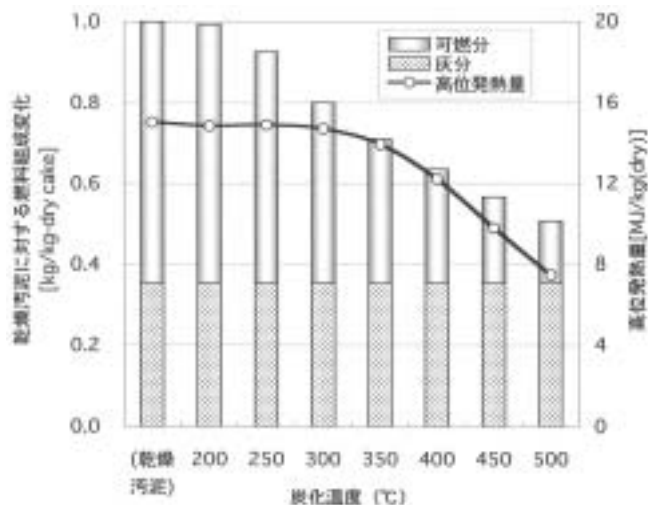


図2 炭化温度と乾燥汚泥に対する燃料組成変化及び発熱量の関係
Fig.2 Relationship between fuel-composition change for dried sludge and heating value on carbonization temperature.

3.3.1 燃料物の品質

炭化温度と乾燥汚泥に対する燃料物組成変化及び発熱量の関係を図2に示す。

図2に示す通り、炭化温度の上昇に伴い可燃分は減少するが、炭化温度350℃程度までは燃料物1kg当たりの発熱量はほとんど減少せず、燃料価値の高い製品が得られる。これは、350℃程度までの温度域では、可燃分中の酸素の減少率が大きく、発熱量の高い炭素の比率が相対的に高まるためである。

一方、炭化温度が200℃程度の場合、汚泥特有の臭気が残留し、外観も茶色が強く残り、石炭との乖離が大きくなるため、炭化温度の下限は250℃とした。

次に、炭化温度と熱量回収率(下式参照)の関係を図3に示す。

$$\text{熱量回収率} [\%] = \frac{\text{乾燥汚泥1kgから生成される燃料物の保有熱量} [\text{MJ/kg-drycake}]}{\text{炭化処理前の乾燥汚泥1kgの保有熱量} [\text{MJ/kg-drycake}]} \times 100$$

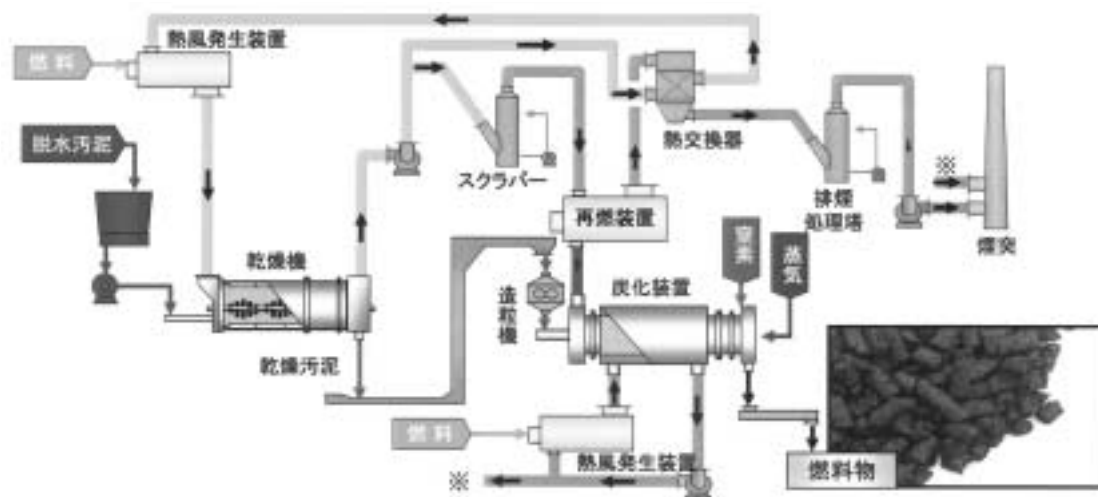


図1 プロセスフロー (例)
Fig.1 Process flowchart.

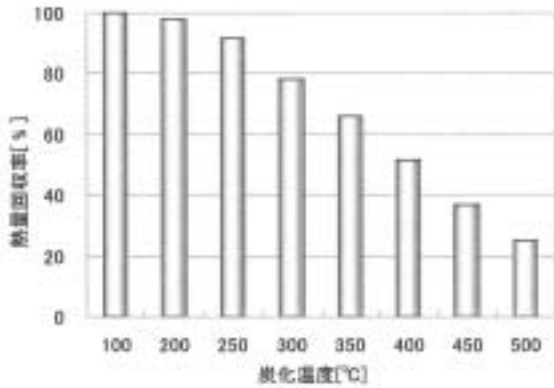


図3 炭化温度と熱量回収率の関係

Fig.3 Relationship between carbonization temperature and heat recovery rate.

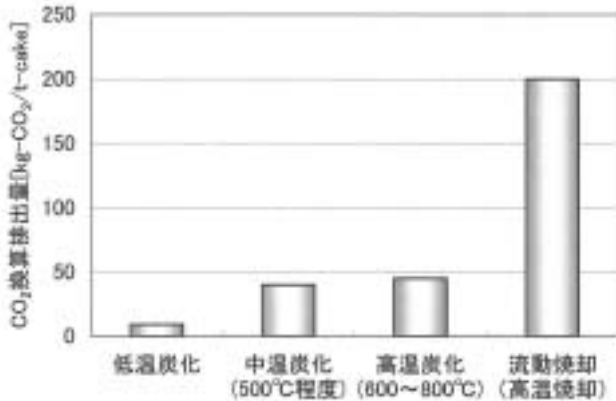


図4 各方式におけるCO₂換算排出量

Fig.4 Comparison of greenhouse gas emission.

ここで、保有熱量とは、図2において、発熱量と燃料組成かけ合わせた数値となる。熱量回収率が大きい程、燃料物の利用先に供給できる熱量が増えるため、利用先での石炭使用量削減効果が大きくなる。また、石炭使用量削減効果が大きい程、温室効果ガスの削減効果も大きくなる。図3に示すように、炭化温度250°Cの場合で熱量回収率は90%程度、300°Cの場合で80%程度となる。中温炭化と比較して2~3倍程度の熱量回収が見込まれ、付加価値の高い燃料物を得ることができる。

3.3.2 温室効果ガスの削減効果

下水汚泥はカーボンニュートラルなバイオマスであり、下水汚泥の燃焼に伴って発生するCO₂は温室効果ガスの発生量としてカウントされない。しかし、下水汚泥は窒素を多く含んでおり、燃焼時に発生するN₂Oは他の廃棄物と比較して多く、地球温暖化係数が310(温室効果がCO₂の310倍)であることを考慮すると、地球温暖化に与える影響は大きい。

炭化と焼却の各処理方式において、脱水汚泥1ton当たりから排出されるN₂Oを表2に示す。表2からわかるように、低温炭化にけるN₂O排出量は他の処理方式と比較して大幅に低減される。N₂OをCO₂換算した排出量では、図4に示すように、低温炭化のCO₂削減効果が極めて大きい。

表2 各方式におけるN₂O排出量
Table2 Comparison of N₂O Emission

方式	N ₂ O排出量	地球温暖化係数	CO ₂ 換算排出量	出典
	[kg-N ₂ O/t-cake]			
低温炭化 (250~350°C)	0.03	310	9.3	実測値
中温炭化 (500°C程度)	0.13	310	40	文献値 ²⁾
高温炭化 (800~850°C)	0.146	310	45	文献値 ²⁾
流動焼却 (高温焼却)	0.645	310	200	文献値 ²⁾

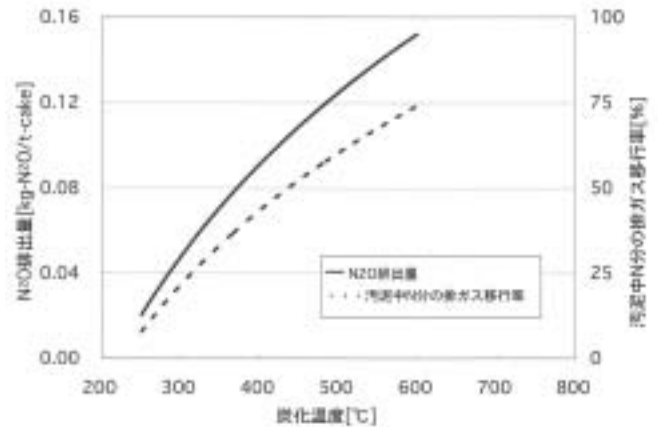


図5 炭化温度とN₂O排出量及び窒素(N)分の排ガス移行率の関係

Fig.5 Relationship between carbonization temperature & N₂O emission, and exhaust gas transfer rate of nitrogen.

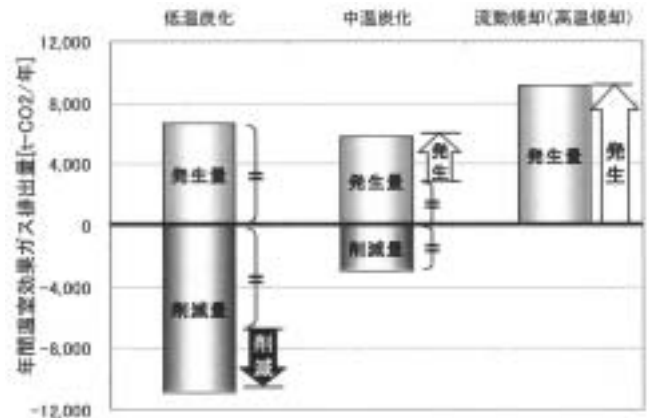


図6 温室効果ガス収支

Fig.6 Comparison of greenhouse gas balance.

炭化の中でも、炭化温度が低いほどN₂O排出量が低減されるのは、下水汚泥に含まれる窒素(N)分が排ガスへ移行する比率が低いためと考えられ、図5に示すように炭化温度とN₂O排出量には相関関係が認められる。なお、低温炭化のデータは、熱分解反応がほぼ完結する60分で炭化したデータである。

次に、実設備(脱水汚泥100ton/日)を想定した場合の温室効果ガスの収支について試算した結果を図6に示す。

原料となる脱水汚泥の保有熱量を全量使用できない炭化技術は、

流動焼却に比べ補助燃料由来の温室効果ガスは増加するが、N₂Oの低減効果が大いため、排出量全体としては流動焼却を下回る。一方、温室効果ガス削減量は、低温炭化が圧倒的に多い。これは、3.3.1節で述べたように、低温炭化は燃料として回収できる熱量が多く、燃料利用先で削減できる温室効果ガスの量が大きいためである。

これら温室効果ガスの排出量と削減量の収支をとると、図6に示すように、流動焼却や中温炭化が排出側になるのに対し、低温炭化では削減側となり、地球温暖化防止に貢献することができる。

3.3.3 燃料物の安全性とハンドリング性

1) 燃料物の自然発火性

炭化物の発熱特性試験を行い、得られた発熱特性を用いて輸送及び貯留時の発熱シミュレーションを実施した結果、造粒や蒸気添加の効果により自然発火性が抑制されることが確認されている。

2) 炭化装置内への蒸気添加の効果

炭化装置後部より蒸気を添加することで、燃料物の自然発火性が抑制されると共に燃料物の臭気が低減される。自然発火性が抑制されるのは、燃料物に含まれるアルキル基、メチレン基等の酸化反応を生じやすい物質の揮発が促進されるためと考えられる。また、燃料物の臭気が低減されるのは、炭化装置後段における臭気成分の燃料物への再吸着が防止されるためと考えられる。

3) ハンドリング性

炭化の前段で乾燥汚泥を造粒することで、粉塵飛散、及びブリッジ等の不具合が抑制され、ハンドリング性が向上すると共に、炭化物のかさ比重が増加し(0.5～0.7程度)、輸送効率もアップする。また、均一な加熱により炭化物性状のばらつきを抑え、空気と接触する炭化物の比表面積が低減することで自然発火性の抑制にもつながる。

4 実証実験

2006年12月より、低温炭化技術の実証実験を実施した。以下にその概要を報告する。

4.1 試験方法

実験設備(脱水汚泥3t/日)を当社環境プロセス開発センター内に設置し、実証実験を行った。実証実験設備の外観を図7に示す。

対象汚泥は、可燃分の含有量が異なる未消化汚泥、消化汚泥とし、炭化物性状や排ガス、排水などの環境影響性、設備の安定性について検討を行った。また、炭化物の安全性を確認するために、炭化物の発熱特性試験を行った。

4.2 試験結果

4.2.1 燃料物性状

表3に、炭化温度250℃のケースにおける未消化汚泥及び消化汚泥の燃料物性状を示す。

発熱量は、全ての汚泥において脱水汚泥と同等以上であり、高温炭化物(未消化汚泥で15MJ/kg(dry)程度)と比較して約1.4倍の発



図7 実証実験設備
Fig.7 View of pilot plant.

表3 燃料物性状
Table3 Characteristics of Bio-Fuel

項目	単位	未消化汚泥		消化汚泥		【参考】石炭(亜細亜産)
		脱水汚泥	炭化物	脱水汚泥	炭化物	
水分	%[wet]	80~82	<3	78~80	<2	3
高位発熱量	MJ/kg(dry)	18~20	20~22	15	18	28
炭素(C)	%[dry]	43~44	46~48	33~34	38~39	-
水素(H)	%[dry]	6~7	5~6	4~5	4~4	-
窒素(N)	%[dry]	4~5	5~7	4~5	4~5	-
硫黄(S)	%[dry]	0.7~0.8	0.5~0.7	1.2~1.3	1.1~1.2	-
酸素(O)	%[dry]	29~30	18~22	20~21	13~14	-
灰分	%[dry]	15~16	20~22	33~36	40~41	13
固定炭素	%[dry]	13~14	19~22	9~10	12~13	-
製品率	%	-	12~17	-	18~20	-

表4 排ガス性状
Table4 Characteristics of Exhaust Gas at Stack

項目	単位	煙突	規制値(*2)
ばいじん(*1)	g/m ³ N	0.016	0.15
窒素酸化物(*1)	ppm	55	250
硫黄酸化物	m ³ N/h	<0.002	0.047(*3)
塩化水素(*1)	mg/m ³ N	<20	700
ダイオキシン類(*1)	ng-TEQ/m ³ N	0.00018	5
N ₂ O	kg-N ₂ O/t-cake	<0.02	-

*1: O₂12%換算値
*2: 実装試験装置の規制値
*3: K値=1.75として算出

熱量となった。これは前述したように、可燃分中の酸素の減少率が大きく、発熱量の高い炭素の比率が相対的に高まるためである。

また、製品率(=炭化物重量/脱水汚泥重量)は13%以上であり、高温炭化物(未消化汚泥で7%程度)と比較して約2倍以上の製品量が見込める結果となった。

4.2.2 環境影響性

表4に示すように、規制対象となる排ガス成分は、全て規制値を十分に満足できる値であった。特にばいじんに関しては、造粒により炭化装置からの粉塵飛散が抑制され、排煙処理塔のみでばいじん濃度を低

レベルに維持できる。従って、汚泥焼却設備で広く採用されているバグフィルター等の除塵能力の高い集塵機が不要というメリットがある。

また、実験設備からの排水性状は、一般的な汚泥焼却設備とほぼ同等であった。

なお、実証実験期間を通じて、得られた炭化物の性状は安定しており、設備の安定性が確認できた。

4.2.3 燃料物の安全性

炭化温度250℃の炭化物にて発熱特性試験を行ない、得られた炭化物の発熱特性を用いて輸送及び貯蔵時の発熱シミュレーションを実施した結果、安全に取扱えることを確認した。

5 まとめ

- ・下水汚泥燃料化技術として、低温炭化燃料化システムを電源開発、NGK水環境システムズと共同で開発し、脱水汚泥3ton/日の実証設備を用いて開発技術の検証を行った。
- ・得られた燃料物は、脱水汚泥と同等以上の高発熱量を有し、燃料物として回収できる熱量も、脱水汚泥の保有熱量の80～90%程度となることがわかった。
- ・本システムから排出される N_2O は、流動焼却や高温炭化、中温炭化と比較して大幅に低減可能であり、地球温暖化防止に貢献できる。
- ・燃料物は、造粒等の自然発火抑制効果により、安全に取扱えることを確認した。

参考文献

- 1) 椎屋光昭：石炭火力発電所におけるバイオマス燃料の混焼利用について、再生と利用Vol.29 No.114 (2006.12)
- 2) 上野知威：下水汚泥炭化燃料の実用化、環境と地球 NO.17 (2006)
- 3) 下水道新技術推進機構：炭化システム 技術資料 (2004.3)
- 4) 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル

下水処理場におけるバイオマスのエネルギー利用 – LOTUS Project の成果 –

Biomass energy utilization in waste water treatment plant: Results of LOTUS Project



小林 茂

Shigeru KOBAYASHI

水環境事業本部
ソリューション技術部
ソリューショングループ

廃棄物学会



高野 健一

Kenichi TAKANO

水環境事業本部
大阪技術室

Abstract

For developing technologies in utilizing sewage sludge as a resource and as energy at sewage treatment plants, LOTUS Project (Lead to Outstanding Technology for Utilization of Sludge Project) was established by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport as a part of SPIRIT 21 in collaboration with Industry-Government-Academia. Tsukishima Kikai has participated in this LOTUS Project since fiscal year 2005, and has developed the technology for “Green-Sludge-Energy Technology (GE)” in cost-down for producing electric power at equivalent or less than commercial electricity price, and this technology received certification in March 2007.

The proposed technology increased production of digestion gas and generated power below commercial electricity selling price. Biomass (garbage, beverage lees) gathered outside the sewage treatment plant and sewage were added to the existing sludge digestion tank where they were simultaneously digested (co-digested). This mixed digestion increased digestion gas production and generated electric power at less than JP¥9.32 per 1kWh, which is below the selling price of electric power.

Continuous digestion tests were conducted for one year from January 2006 to January 2007 and the study showed no adverse effect of simultaneous treatment of sewage sludge and biomass on the existing wastewater treatment system. Based on significant increase of digestion gas generation with addition of biomass mixed in the digestion tank of the same volume, future expectations will be strong for introducing Tsukishima Kikai’s energy recovery system into the market.

キーワード：下水汚泥、生ごみ、バイオマス、同時処理、LOTUS Project

Keyword : Sewage sludge, Garbage, Biomass, Anaerobic Co-Digestion, LOTUS Project

1 はじめに

地球温暖化防止や資源循環型社会形成の観点から、バイオマスの利活用推進に関する具体的取組みや行動計画をまとめた「バイオマス・ニッポン総合戦略」が2002年12月に閣議決定されて以来、わが国におけるバイオマス利活用の動きが活発化している。下水道においても例外ではなく、2005年9月に国土交通省が発表した「下水道ビジョン2100」には、下水道を「資源のみち」として、下水処理場において積極的にバイオマスを利用する施策が盛り込まれている。

下水処理場におけるバイオマスの有効利用には、嫌気性消化プロ

セスが有効な手段と考えられる。バイオマスから消化ガス(メタンを主成分とする発酵ガス)のかたちでエネルギーを回収できるからである。しかし、現在、消化ガスのおよそ50%が燃焼廃棄されているといわれ、十分有効利用がされているとはいえない状態である。

LOTUS Projectは、下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)の一環としてはじめられた産官学共同の技術開発プロジェクトである。月島機械は、2005年度からLOTUS Projectに技術提案者として参画し、技術開発を推進し、2007年3月に技術認定を取得した。

本稿では、本プロジェクトにおいて実施した実証実験の成果を中心に、下水処理場におけるバイオマス利活用について述べる。

2 LOTUS Projectについて

LOTUS project (以下、本プロジェクト)とは、「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)」の略称で、下水処理場における汚泥の資源化・エネルギー利用を課題とした国土交通省主導の技術開発である。開発対象技術は、「廃棄処分するコストよりも安いコストで下水汚泥のリサイクルができる技術」と「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」で、コストダウンを最大の目標としていることが特徴である。開発技術毎の開発課題と目標コストを、表1に示す。

本プロジェクトの開発期間は2005年度から2008年度までの最大4年間で、技術提案者はこの間に実証試験を行い、開発技術毎に組織された「技術開発研究委員会」とその上部委員会である「下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)委員会」の技術評価を経て、開発を終了する。

3 月島機械の提案技術概要

本提案技術は、下水処理場外からバイオマス(生ごみ、飲料かすなど)を有償で受け入れ、下水汚泥とともに消化タンクで同時処理し、消化ガス発生量を増加させ、売電価格以下のコストで発電するものである。

ここで、同時処理(または、混合消化)とは、従来下水汚泥のみを消化タンクに投入し、処理をしていたところに、新たに下水処理場外からバイオマスを受け入れ下水汚泥と共に消化し、消化ガス量を増大させる技術である。

なお、本技術の目標発電コストは9.32円/kWh以下(高圧B、2005年10月～2006年9月の全国年間平均電力料金相当)である。図1に月島機械の提案技術フローを示す。

本システムの特徴(従来システムとの違い)は、次のとおりである。

- ① 生ごみを下水処理場外から受け入れ、既設汚泥消化タンクへ投入する
- ② 消化ガス発生量を増加させ、消化ガス発電設備を大型化することによって設備のスケールメリットを得る

表1 LOTUS Projectの開発課題と目標コスト
Table1 Objectives and Target Cost of LOTUS Project

開発技術	開発課題	目標コスト
スラッジ・ゼロディスチャージ技術の開発	廃棄処分するコストよりも安いコストで下水汚泥のリサイクルができる技術を開発	脱水汚泥: 10,000円/t以下(湿物量ベース) 焼却灰: 8,000円/t以下(湿物量ベース)
グリーン・スラッジエネルギー技術の開発	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を開発	高圧A: 10.84円/kWh 高圧B: 9.32円/kWh

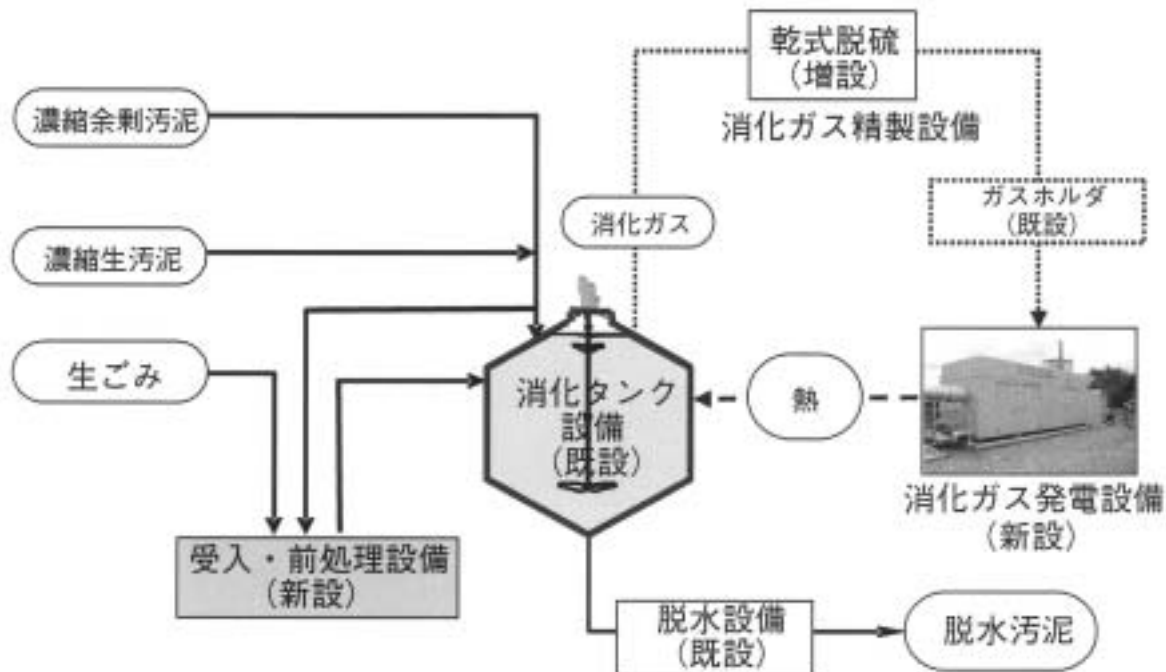


図1 提案技術のフロー
Fig.1 Proposed technology of Tsukishima Kikai for Green-Sludge-Energy Technology

- ③ 生ごみ処理事業の処理費用削減分をシステムの収入と見なし、発電コストの縮減を図る

本システムを構成する要素のうち、新規導入の設備は、受入・前処理設備、消化ガス発電設備で、乾式脱硫は増加ガス量に相当する分を増設する。

4 実証試験

4.1 実証試験の目的

提案技術(図1)における個々の構成要素は稼働実績があり、確立された技術である。しかし、下水処理場にバイオマスを受け入れ、下水汚泥とバイオマスを同時処理するシステムについては実績が少なく、既設の処理場に与える影響を評価する必要がある。

そこで、実証試験ではこの影響調査を目的として、小型消化タンクを備えた実証試験設備をフィールドに設置し、下水汚泥のみを投入する汚泥単独系と下水汚泥とバイオマスを投入する混合系とを比較評価した。これらの連続消化実験を行ない、同時処理が既設の処理場に影響を与えないことを検証した。

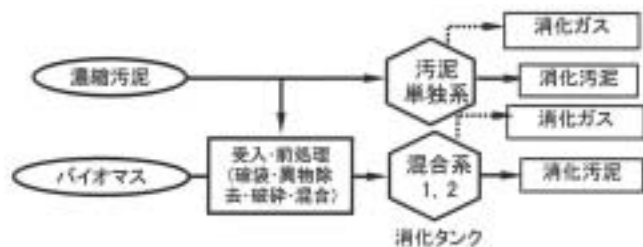


図2 実験装置の概略フロー
Fig.2 Schematic diagram of pilot plant

4.2 実験方法

4.2.1 連続消化実験の方法

連続消化実験は、横浜市南部汚泥資源化センター(以後、横浜)と猪名川流域下水道原田処理場(以後、原田)の二ヶ所において、2006年1月~2007年1月の期間実施した。

実験は、上記の各処理場で発生する濃縮汚泥と実験用に収集した生ごみまたは飲料かすを、実験装置の消化タンクへ投入することで行ない、濃縮汚泥、生ごみ、飲料かす、消化汚泥の性状や消化ガス発生量などを測定した。

実験に供したバイオマスのうち、生ごみは横浜および原田の両フィールドで使用し、飲料かすは原田でのみ使用した。なお、飲料かすには、ラボテストで単位重量当りの消化ガス発生量が多いことが確認されたコーヒーかすを選定した。実験装置の概略フローを図2に、写真(横浜の例)を図3にそれぞれ示す。

連続消化実験の実験条件を表2に示す。

汚泥単独系は、既設汚泥消化タンクを模擬したもので、消化タンクにおける滞留日数(以下、HRT)が20日となる量の濃縮汚泥を投入した。一方、混合系1では汚泥重量比9.6%の生ごみを汚泥単独系に、同様に混合系2では、汚泥重量比2.1%のコーヒーかすを汚泥単独系に、それぞれ投入した。

ここで、実験用消化タンクへの生ごみ投入量は、事業性を考慮し設定したモデルケース(流入水量42,000m³/日規模、濃縮汚泥量209m³/日)におけるバイオマスの濃縮汚泥に対する投入比率9.6%から決定した。また、コーヒーかすの投入量は、コーヒーかすには濃縮汚泥や生ごみと比較して単位重量当りの有機物量が多く含まれるため、予備実験で濃縮汚泥との同時処理が安定する投入量を確認し、連続消化実験の投入量を設定した。

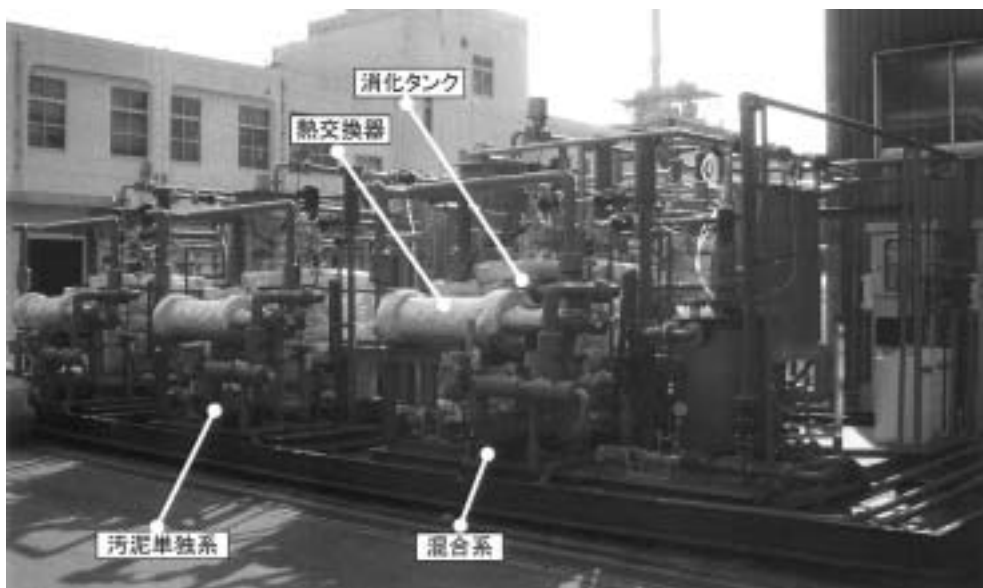


図3 実験装置の外観(横浜)
Fig.3 External view of pilot plant (Yokohama)

表2 実験条件 (連続消化実験)
Table2 Experimental Conditions (Continuous Digestion Test)

		横浜	原田
消化タンク容積		1m ³	0.2m ³
基質 (投入量) (バイオマス比率)	汚泥単独系	濃縮汚泥 (50L/日)	濃縮汚泥 (10L/日)
	混合系1	濃縮汚泥+生ごみ (50L/日+4.8kg/日) (9.6%)	濃縮汚泥+生ごみ (10L/日+0.96kg/日) (9.6%)
	混合系2		濃縮汚泥+コーヒーかす (10L/日+0.21kg/日) (2.1%)
HRT	汚泥単独系	20日	20日
	混合系1	18.2日	18.2日
	混合系2		19.6日
攪拌方式		機械式	機械式
消化タンク温度		37℃	37℃
汚泥濃縮		遠心濃縮 (兼約処理)	初次: 重力濃縮 余剰: 遠心濃縮
生ごみの由来		レストラン、学校給食の 調理くず、食べ残し	弁当の食べ残し

濃縮汚泥、生ごみの比重=1.0

また、消化タンクへ投入するバイオマスは、異物(ビニール袋など)を除去した後、混合系へ投入する濃縮汚泥の一部と混合し、ミキサー粉砕した。

4.2.2 脱水試験の方法

バイオマス投入に伴う脱水特性や返流水質の変化を把握するために脱水試験を行った。脱水試験は、下水道試験法「第4章一般汚泥試験 第14節 脱水試験」に従い、操作の詳細は「脱水実習(ベルトプレス脱水試験要領)日本下水道事業団」に準じた。なお、本研究における各種分析は、下水道試験法、JISなどに従った。

4.3 結果および考察

4.3.1 連続消化実験の結果

横浜および原田における投入物の性状を表3に示す(表中の値は、横浜、原田における夏季、冬季の平均値。以降すべて同じ)。

生ごみおよびコーヒーかすは、濃縮汚泥と比較してTS、VTS、C/N比が高く、また、コーヒーかすは生ごみと比べて粗繊維が高いことが特徴といえる。

表4に連続消化実験で得られた結果を示す。表4記載の結果は、各データにおける混合系と汚泥単独系の差をバイオマス由来と見なしてそれぞれ算出したものである。

表4より、生ごみを混合した場合、汚泥単独系の約2倍の消化ガス発生量が得られ(横浜、原田)、コーヒーかすを混合した場合は、汚泥単独系に比べ約1.5倍の消化ガス発生量が得られた。バイオマス投入により同一容積の消化タンクから大幅な消化ガス発生量の増加が得られることから、消化タンクの高度利用が期待できる。

メタン濃度については、生ごみ混合の場合、汚泥単独系に比べ0.8~2.2%低く、コーヒーかす混合の場合、0.4%低い結果となったが、既設に影響を与えない程度であるといえる。

表3 投入物の性状
Table3 Characteristics of Sewage Sludge and Biomass

投入物	項目	横浜	原田
濃縮汚泥	TS[%]	4.74	3.35
	VTS ^{*1} [%]	76.2	84.2
	C/N比[-]	7.63	7.80
生ごみ	TS[%]	25.0	23.9 ^{*2}
	VTS ^{*1} [%]	93.8	96.4
	C/N比[-]	15.4	16.6
	粗繊維[%]	6.2	2.8
	粗タンパク[%]	19.0	17.3
コーヒーかす	粗脂肪[%]	13.5	11.2
	TS[%]		33.9
	VTS ^{*1} [%]		99.0
	C/N比[-]		23.5
	粗繊維[%]		29.9
	粗タンパク[%]		13.4
粗脂肪[%]		14.9	

*1: VTS[%]=VS÷TS×100と定義

*2: 水分調整後の値

TS(Total Solids): 蒸発残留物

C/N比(Carbon/Nitrogen): 炭素-窒素比

$$\text{消化率 [\%]} = \frac{\text{投入有機物量 [kg/日]} - \text{引抜有機物量 [kg/日]}}{\text{投入有機物量 [kg/日]}} \times 100 \quad \dots (式1)$$

$$\text{バイオマス消化率 [\%]} = \frac{\text{投入バイオマス有機物量 [kg/日]} - (\text{混合系引抜汚泥有機物量 [kg/日]} - \text{汚泥単独系引抜汚泥有機物量 [kg/日]})}{\text{投入バイオマス有機物量 [kg/日]}} \times 100 \quad \dots (式2)$$

表4 連続消化実験の結果
Table4 Result of Continuous Co-Digestion of Sewage Sludge and Biomass

項目	横浜		厚田		
	汚泥単独系	混合系 (生ごみ)	汚泥単独系	混合系1 (生ごみ)	混合系2 (コーヒーかす)
消化ガス発生量[Nm ³ /週]	6.88	12.606	1.282	2.536	3.861
CH ₄ 濃度[%]	62.2	60.8	59.0	58.2	58.6
消化汚泥のVSS[%]	61.8	66.2	68.1	72.3	72.4
VS分解率 ^{*1)} [%]	47.5	57.9 (74.6)	63.6	70.8 (83.3)	61.8 (65.8)
消化ガス転化量 ^{*2)} [Nm ³ /kg-投入VS]	0.545	0.750	0.648	0.813	1.180

*1: VS分解率[%] = (投入VS量[kg/日] - 引抜VSS量[kg/日]) / 投入VS量[kg/日]
 *2: 汚泥単独系の値は當地汚泥のVS分解率、混合系の値は()の値はバイオマス単独のVS分解率を示す
 *3: 消化ガス転化量[Nm³/kg-投入VS] = 消化ガス発生量[Nm³/週] / 投入VS量[kg/週]
 *4: 汚泥単独系の値は當地汚泥由来の消化ガス転化量、混合系の値はバイオマス由来の消化ガス転化量を示す
 VS(Volatile Solid): 揮発性固量

表5 脱水試験の結果
Table5 Result of Dewatering Performance Test for Digested Sludge

項目	横浜		厚田			
	汚泥単独系	混合系 (生ごみ)	汚泥単独系	混合系1 (生ごみ)	混合系2 (コーヒーかす)	
消化汚泥中のSS [mg/L]	29,800	32,600	33,150	36,950	37,200	
濁り率[%] ^{*1)}	1.21	1.46	1.61	2.05	1.91	
ろ過性状	T-N [mg/L]	984	992	908	901	890
	T-P [mg/L]	25	21	96	99	70
	T-BOD [mg/L]	52	62	72	118	59
	T-COD ₅₀₀ [mg/L]	143	209	130	199	168

SS(Suspended Solid): 浮遊物質

表6 流入水質および返流水質
Table6 Characteristics of Influent Quality and Returned Water Quality from Dewatering Process

項目	流入水 ^{*1)}	返流水		
		汚泥単独系 ^{*2)}	混合系1 ^{*3)} (生ごみ)	混合系2 ^{*3)} (コーヒーかす)
SS [mg/L]	187	1,250	1,400	1,308
T-N [mg/L]	41	896	946	1,057
T-P [mg/L]	3.5	60	60	115
T-BOD [mg/L]	210	62	105	73
T-COD ₅₀₀ [mg/L]	106	157	204	262

*1: 『平成16年度下水道統計』より計算
 *2: 横浜、厚田における夏季、冬季の平均値
 *3: 厚田単独の夏季、冬季の平均値

表7 既設水処理設備に与える影響
Table7 Assessment of Impact on Existing Wastewater Treatment Process

項目	導入前負荷[kg/日]	導入後負荷[kg/日]	
		生ごみ混合	コーヒーかす混合
SS	8,089	8,138 (+0.61%)	8,104 (+0.19%)
T-N	1,900	1,928 (+1.47%)	1,924 (+1.26%)
T-P	244	245 (+0.41%)	253 (+3.69%)
T-BOD	8,496	8,507 (+0.13%)	8,498 (+0.02%)
T-COD ₅₀₀	4,479	4,496 (+0.38%)	4,502 (+0.51%)

流入水量42,000m³/日のケースを想定
 導入後負荷の()の値は、導入前負荷に対する増加率を示す

また、式1、式2を用いてVS分解率を算出すると、生ごみのVS分解率は74.6～83.3%、コーヒークサのVS分解率は65.5%となり、汚泥単独に比べ高くなった。生ごみに比べコーヒークサのVS分解率が低いのは、コーヒークサ中に粗繊維が多く含まれるためと考えられる(表3)。

なお、実験期間中、タンク内のpHなどに大きな変動はなく、適切な前処理により、良好な運転状況が得られ、バイオマスの消化特性を的確に把握できたといえる。

4.3.2 脱水試験の結果

汚泥単独系と混合系の消化汚泥の脱水汚泥含水率が、同等となる薬注率を把握した。消化汚泥の性状と脱水試験の結果を表5に示す。

表5より、汚泥単独系と比べ混合系の汚泥中SS濃度が高く、バイオマス投入に伴って脱水汚泥量が増加することが示唆された。脱水汚泥量の増加率はSSのそれと同等と考えられる。また、混合系の薬注率が高いため、バイオマス投入量あたりの薬品増加量を算出したところ、生ごみの場合1.41[g・薬品/kg・生ごみ]、コーヒークサの場合4.49[g・薬品/kg・コーヒークサ]となった。

バイオマス投入に伴う脱水汚泥と薬品使用量の増加が明らかとなったが、本実験によってそれらの影響度を定量的に把握することができた。

4.3.3 既設水処理設備に与える影響評価

表5に示すように、バイオマス投入に伴い脱水ろ液(返流水)中のT-N、T-P、T-BOD、T-COD_{Mn}が増加した。そこで、SSも含めた各項目毎に返流水負荷の影響度を机上検討した。

表6に、検討に用いた流入水質と返流水質を示す。水質は下水道統計(平成16年度)より算出し、流入返流水質はろ液性状より算出した。先述のモデルケースにおける物質収支を反映し、受入・前処理設備導入の前後で既設水処理設備における負荷量の増加率を算出した結果を表7に示す。

返流水負荷の増加率は、すべての項目において生ごみ混合の場合で0.1～1.5%程度、同様にコーヒークサ混合の場合で0.02～3.7%であった。

脱水ろ液による負荷増加率は概ね1%であることから、通常の変動範囲内と判断でき、既設水処理設備に与える影響はごく小さいものと考えられる。

5 発電コスト

消化ガス転化量など実証実験により得られたパラメータと生ごみ受入価格など予め設定されたパラメータとを用いて、モデル処理場における発電コストの試算をした。コスト積算の範囲と発電コスト計算式を図4に示した。

各パラメータの値は、以下のとおりとした。

(実証実験により得られたパラメータ)

生ごみの有機物分解率79.0%、生ごみの消化ガス転化量0.772N m³/kg・投入VS、メタン濃度59.1%、発電設備の発電効率36.6%(発電端)

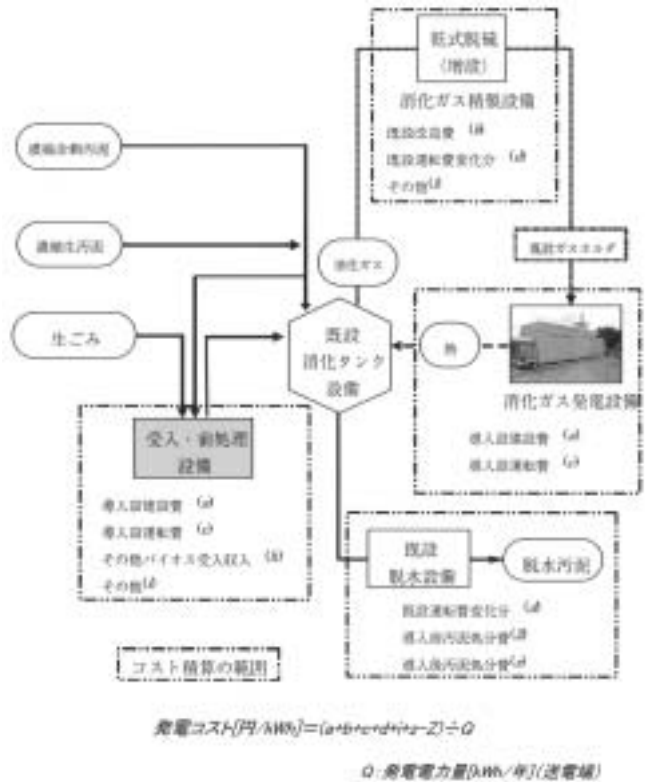


図4 コスト積算の範囲と発電コスト計算式
Fig.4 Range of cost estimate and formula for calculating power cost

表8 モデル処理場における発電コストの試算結果
Table8 Power Generation Cost Estimation for a Model Plant

ケース	1	2	3	4
処理場規模	42,000m ³ /日	70,000m ³ /日	130,000m ³ /日	200,000m ³ /日
生ごみ投入量	20t/日	20t/日	20t/日	20t/日
薬品汚泥投入量	239 m ³ /日	349 m ³ /日	647 m ³ /日	996 m ³ /日
発電コスト(円/kWh)	8.84	8.78	8.67	8.27

(予め設定されたパラメータ)

脱水汚泥含水率80%、生ごみ受入価格16,000円/t(SPIRIT21委員会設定)

また、各設備の耐用年数は「地方公営企業法施行規則」別表2号に準じ、機械15または20年、電気15年、土木・建築40年とした。

モデル処理場について、処理水量42,000～200,000m³/日規模の処理場毎に、発電コストを試算した結果を、表8に示す。

表8より、すべてのケースで目標としたコストの9.32円/kWh以下を達成できることが確認できた。

6 バイオマス同時処理と消化ガス有効利用設備とのシステム化¹⁾

これまで述べてきたとおり月島機械の提案技術によって、既設消化タンクに下水処理場外からバイオマスを受け入れ、下水汚泥と同

時処理することで、消化ガス発生量が増加し、商用電力価格以下で消化ガス発電が可能なが示された。ここでは、バイオマス同時処理と消化ガス有効利用設備とのシステム化について述べる。図5にシステム化の例を示す。

(1) コージェネレーション設備とのシステム化

食品系の廃棄物など、消化が容易でメタン転化量の大きいバイオマスを下水処理場に受け入れ、消化ガス発生量を増大させることでスケールメリットを出し、コージェネレーション設備の建設費を割安にできる。また、コージェネレーション設備を簡易な屋外型とすることで、さらに建設費を抑えることも可能である。また、回収熱で消化槽を加温することも可能となる。

受け入れるバイオマスが生ごみなど、従来焼却処分されていたものである場合には、焼却設備への負担が減り、処分コストの削減が期待できる。

(2) 汚泥乾燥・燃料化設備とのシステム化

汚泥乾燥設備や燃料化設備は、熱的に自立しにくいいため、外部から化石燃料の供給を必要とするケースが多い。そこで、バイオマスを受け入れることで増加した消化ガスを利用すれば、従来使用していた化石燃料を大幅に削減し、ランニングコストの低減が可能となる。また、化石燃料使用量を減らせるので、地球温暖化ガスの排出量削減も同時に可能となる。

(3) 消化ガス精製設備とのシステム化

消化ガスは、消化槽加温設備、コージェネレーション、汚泥乾燥・燃料化設備などでの利用ができるが、この一部を精製(脱硫後の消化ガスから二酸化炭素を除去し、メタン濃度を高める技術)し、高压ポンペに充填したものを下水処理場外(地域社会)で利用することも可能である。ポンペに充填されたガスは、温水プール、CNG車(ごみ収集車など)などで利用できる。地域社会から下水、バイオマスなどを受け入れ、エネルギーを生産し、消化ガスの形で社会に還元するという資源循環の道すじを構築することが可能である。

7 おわりに

バイオマスと下水汚泥の同時処理技術について、LOTUS Projectの成果を中心に報告し、消化ガスの増量が可能なこと、また、既存の水処理設備への影響がほとんどないことなどを述べた。

従来から下水処理場には、「衛生的で快適な生活環境の確保」、「浸水防止」、「公共用水域の水質保全」の三つの大きな役割があったが、これからは資源循環の拠点という新たな役割が加わることになる。このとき、バイオマスの同時処理技術は、各種の消化ガス有効利用設備とのシステム化によって、下水処理場における資源循環を実現する主要な一手段になると予想される。

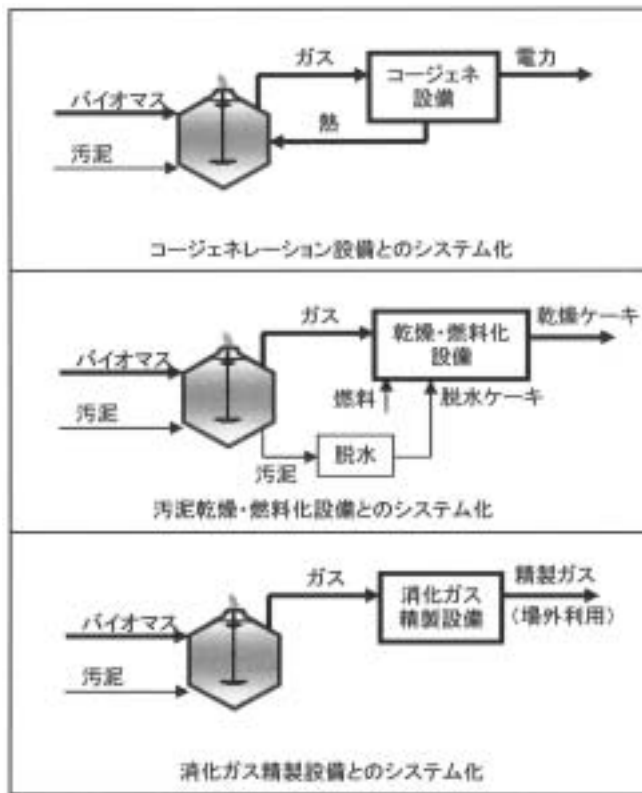


図5 同時処理技術と消化ガス有効利用設備とのシステム化の例
Fig.5 Examples of Systemization for Co-Digestion Process and Effective Utilization Process of Digestion Gas

参考文献

- 1) 澤原大道:下水汚泥消化工程からのエネルギー回収、用水と廃水、第48巻、第10号、pp93-97 (2006)
- 2) 小林茂:下水汚泥と生ごみの同時消化に関する研究、第44回下水道研究発表会講演論文集、pp112-114 (2007)

コンテナハンドリングシステム

Container handling system

久保 弘明

Hiroaki KUBO

産業事業本部
プラント計画部
産業プラントグループ

Abstract

The container handling system is the equipment which uses a movement container for in each process of mostly the powdered raw material and the product.

The powder plant has each device of storage, measurement, mixing and filling and powder carrying device.

This equipment uses a container for the powder carrier between each device, and the container can be a part of device.

Recently, a producer demands the equipment to be the easy and safety for the powder process by the needs of the improvement of quality.

This sentence introduces TSK container handling system as an equipment which meets the needs of those.

キーワード: コンテナ、異物混入防止、計量容器

Keyword : Container, Prevention of foreign substance mixing, Measurement container

1 はじめに

「コンテナハンドリングシステム」とは、主に粉体の原料や製品の各工程(ハンドリング)で移動容器(コンテナ)を使用して製造する設備(システム)である。粉体処理設備では貯蔵、計量、混合、粉碎、充填が要素設備であり、これらの各設備間を搬送するコンベア、空送装置、シュート等の搬送設備が存在している。

従来 月島機械ではこの搬送設備にコンテナを使用するシステムをFA化設備や多品種少量生産設備の一部として採用して来た実績がある。本稿で紹介する「コンテナハンドリングシステム」は、各設備間の搬送において単にコンテナを使用するだけでなく、密閉性の高いコンテナを使用して、場合によっては各要素設備の一部にコンテナが同化するシステムとなっている。

近年 製品品質における意識が高まり、粉体プロセスにおいても異物混入防止、コンタミ防止等による安心、安全を求める設備の向上が盛んになっている。このニーズに応える設備として月島機械の「コンテナハンドリングシステム」を挙げて紹介する。

2 設備概要

2.1 コンテナハンドリングシステムの概要

コンテナハンドリングシステムは、原料の貯蔵、計量、混合、充填のハンドリングをコンテナで行い、生産ロットをコンテナ単位で管理する。これは、従来の粉体プラントが垂直に設備を配置し上部から下部へ連続的に或いはバッチ連続に流れて行くのに対し、コンテナハンドリングシステムは、各設備を水平的に配置し、この間をコンテナが移動する粉体パイプレスシステムであり、完全バッチ生産で行われる。

一般的なコンテナハンドリングシステムのブロックフローを図1に示す。

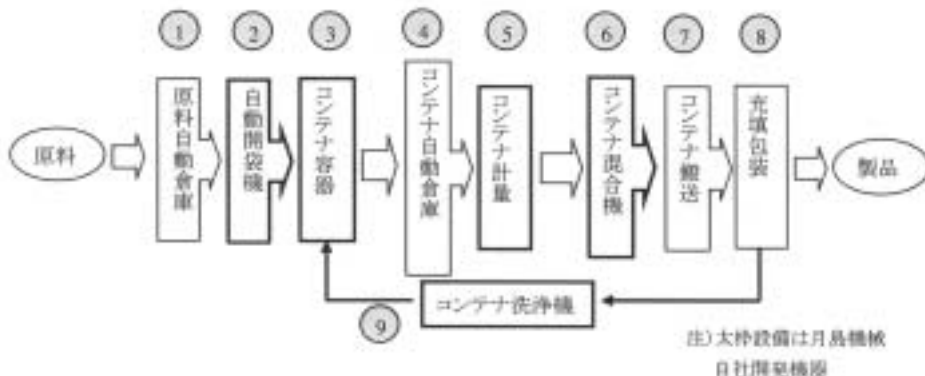


図1 コンテナハンドリング システムブロックフロー
Fig.1 Flowchart of container handling system

- ① 荷受された袋詰め等の粉体原料を原料自動倉庫に保管
- ② 袋詰め原料を自動開袋機にて開封しコンテナへ投入
- ③ 粉体原料入りコンテナをコンテナ自動倉庫へ搬送
- ④ コンテナ自動倉庫に保管の原料入りコンテナを計量工程へ出庫
- ⑤ 原料入りコンテナから製品コンテナへ自動計量にて供給
- ⑥ 多品種供給済み製品コンテナをコンテナ混合機にて混合
- ⑦ 混合済み製品コンテナを充填工程へ搬送
- ⑧ 製品コンテナから計量しながら切り出して充填し、製品包装工程へ
- ⑨ 充填完了後の空コンテナをコンテナ洗浄機にて自動洗浄し
洗浄済み空コンテナを自動倉庫に保管

以上の様な流れでコンテナが移送されて製品が製造される。
これらを具体的に工場設備化すると図2のイメージとなる。

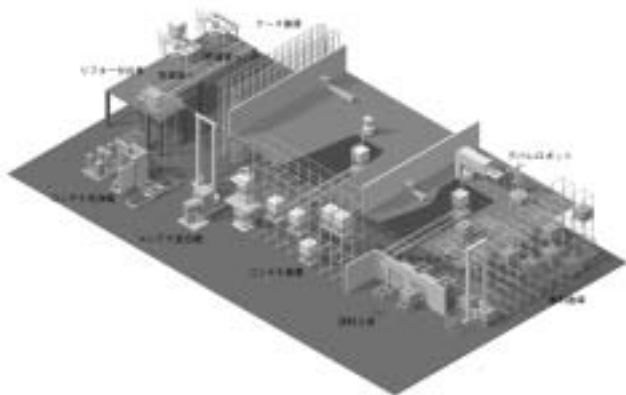


図2 工場設備図
Fig.2 Example of the plant

2.2 コンテナハンドリングシステムの特徴

粉体のハンドリングにコンテナを使用する事で従来の粉体プロセスと比較して以下の特徴が有る。

- ① 異物混入防止とコンタミ防止の効果大
粉体の出し入れが最小限で且つ密閉性が高いため異物混入防止が図れ、同一容器内でのハンドリングのため容器間の投入排出がなくコンタミの原因となる残留物の混入防止が図れる。
- ② 良好な作業環境を維持
原料粉体を密閉性の高いコンテナ容器でハンドリングするため、空気中への暴露が最小限にとどめられる。このため発塵防止が容易に出来る。
- ③ 高品質管理が可能
コンテナの洗浄を全自動化することにより所定の条件での洗浄が常に行われるとともに、これらのデータ管理が可能である。結果 コンテナの初期状態が定量的に保て製品の安全性を図ることが出来る。
- ④ 多品種混在での同時生産が可能
製造単位がコンテナ単位で行われ、且つ各工程は別々の場所で行うことが可能なため多品種を同時に生産することが可能となる。

- ⑤ 省力化と作業ミス防止が可能
洗浄箇所が最小限に出来るため省力化が図れると併にコンテナの管理を IT化する事で原料投入ミスや計量ミスを防止することが可能となる。
- ⑥ 製造管理が容易
コンテナ管理を自動倉庫化し、IT化する事で製造履歴管理が行え、製品のトレサビリティを容易にすることが出来る。
- ⑦ 製造エリア区分が容易
コンテナが各設備間を移動する構造となるため、各製造エリアの独立化が容易に行える。製造エリアによる環境グレード変化に最小エリアで対応可能なため、空調設備等の費用を押さえることが可能となる。

3 設備の詳細

月島機械では、コンテナハンドリングシステムの特徴を生かし、独自開発の装置を有している。

3.1 計量コンテナと排出装置

月島機械のコンテナは、図3に示す様にコンテナの排出バルブ開閉をコンテナ上部より行う方式となっている。

コンテナ天井中央部にバルブシャフトが貫通し、このシャフトを昇降する事によりコンテナ下部のバルブが同時に昇降し内部粉体の排出・密閉を行う構造となっている。これにより、排出バルブ開閉装置をコンテナ上部に独立して設置出来る。

このコンテナ（以下計量コンテナ）の独自性として以下の特徴が挙げられる。

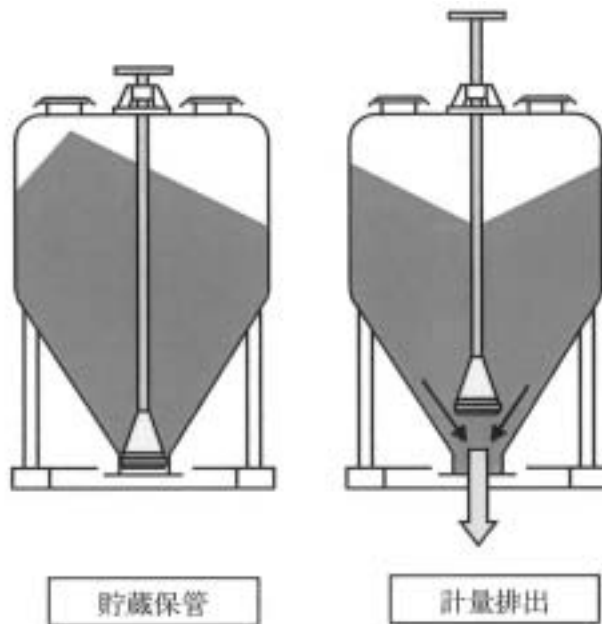


図3 計量コンテナ
Fig.3 Weighing container

- ① 排出シュート部の洗浄が容易
 排出バルブの開閉装置が排出シュート部にないため排出シュートは単純な構造とすることが可能である。これにより品種替え時のコンタミを容易に防止出来、洗浄時の手間も低減できる。
- ② 排出シュート部なしの分割コンテナ
 計量コンテナの機能をそのままに脚部を2段に分割した分割コンテナ(図4)を使用すると、コンテナから直接投入が可能でシュートレスで洗浄の必要がない仕様とすることが可能となる。
- ③ 排出時の流量設定が容易
 計量コンテナは、バルブ開閉機構をコンテナ上部に設置するためコンテナの排出バルブ口径を自由に設定できる。
 粉体の特性や排出流量にて小口径から大口径まで選定可能である。
- ④ 排出装置による精密切り出しが可能
 コンテナ上部に設置される排出装置(図5)を使用する事でバルブ開閉を精密に素早く制御することが可能である。この機械的特徴とバルブ位置制御ソフトにより、単なる排出機能だけでなく、計量充填装置として使用することが出来る。

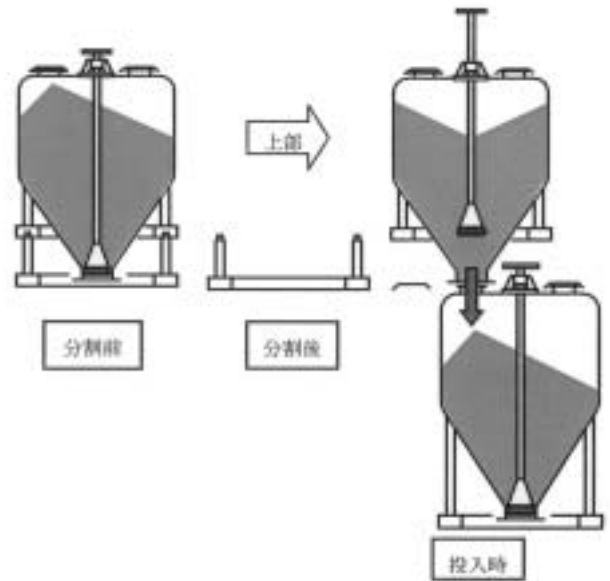


図4 分割コンテナ
Fig.4 Divider container

表1 計量実績例
Table1 Reference list of measuring weight

品名	計量値	計量精度
顆粒状食品	100kg	±100g
粉末食品 A	140kg	±20g
粉末食品 B	225kg	±100g
微粉末食品	10kg	±50g

3.2 計量コンテナの仕様

計量コンテナの標準仕様として下記の機種を有している。

1) 容量と寸法

表2 寸法表
Table2 Size list

コンテナ容量	[mm]		
	A	B	C
0.5m ³	900	900	750
1.0m ³	1100	1100	950
1.5m ³	1300	1300	1100
2.0m ³	1400	1400	1200
2.5m ³	1500	1500	1300
3.0m ³	1600	1600	1350

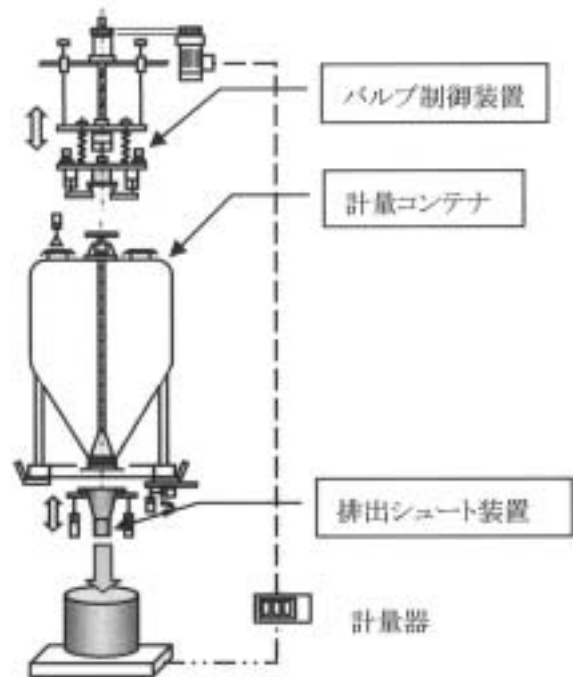


図5 排出装置
Fig.5 Discharge station

2) バルブシール構造

バルブシールは2タイプを有しており、特性により使い分けている。

垂直シール方式

粒子状の粉体やかみこみを嫌う粉体向け

テーパシール方式

微粒子向けで

高シールタイプ

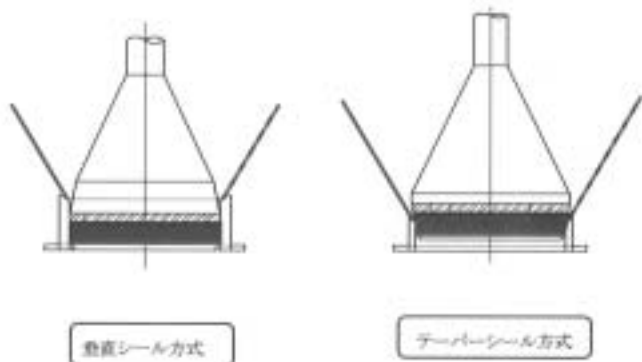


図6 バルブシール
Fig.6 Drawing of valve seal

3) 標準バルブ口径と排出量

表3 バルブ口径と排出時間
Table3 Valve Bore and Discharge Time

口径	基準排出時間
100A	100kg 計量—約5～7分
150A	100kg 計量—約3～4分
250A	100kg 計量—約2～2.5分

3.3 コンテナブレンダー

月島機械コンテナブレンダーは省スペース、高効率をコンセプトに開発したコンテナ用混合機で

下記の特徴を有している。

■ コンテナ回転軸が片持ち

コンテナ回転軸を片持ちとしたことによりブレンダー本体の設置スペースを低減すると共にコンテナ搬入方向が2方向からアクセス出来る構造となっている。

■ チョッパー機能付き

従来のコンテナ回転に加えチョッパー機能を追加し、従来のコンテナ混合では完全混合出来ないものへの適合や短時間での混合が可能となった。

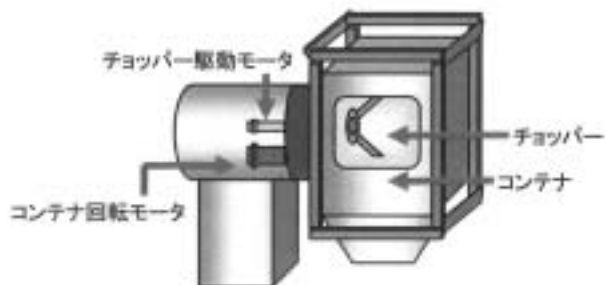


図7 コンテナブレンダー概要
Fig.7 Drawing of container blender

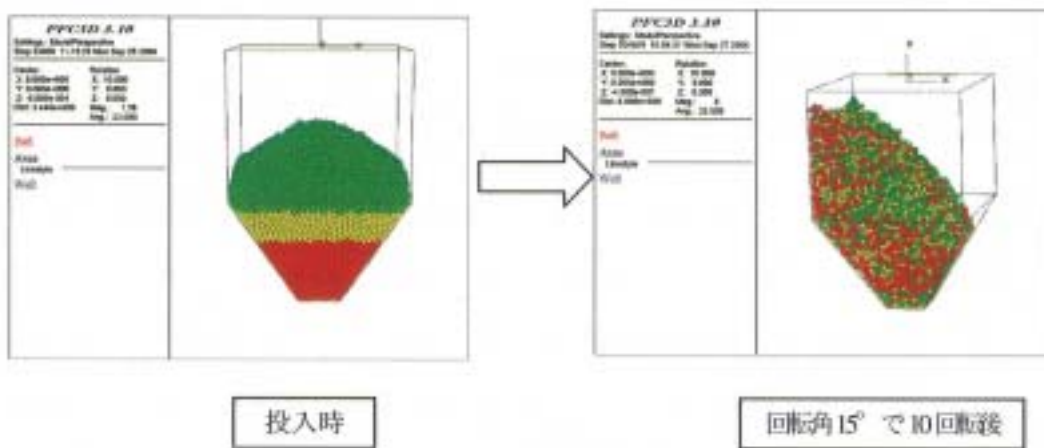


図8 混合解析
Fig.8 Mixing analysis

チョッパー有 : 混合状態は5分経過時点でチョッパー無しの30分間混合と同程度

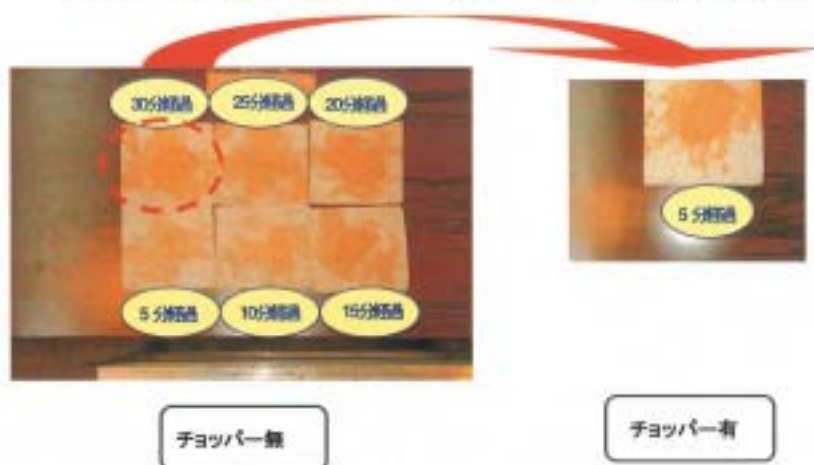


図9 混合サンプル
Fig.9 Mixed sample

4 納入実績

月島機械のコンテナハンドリングシステム納入実績を表4に示す。

表4 納入実績
Table4 Reference List

客先名称	コンテナ容量	コンテナ基数
A 社	1.0 m3	15 基
	2.0m3	71 基
B 社	1.0m3	87 基
	1.0m3	253 基

月島機械では研究所に図10のコンテナテストシステムを有しており各種粉体の計量切り出し、コンテナ混合、コンテナ洗浄の各テストに対応することが可能となっている。



図10 テスト機
Fig.10 Photo of test machine

5 おわりに

本稿で紹介した月島機械コンテナハンドリングシステムは、医薬、食品、ファインケミカルにおける異物混入防止や多品種フレキシブル生産に対応する設備として今後ますます注目される設備であり、また粉体だけでなく液体向けにも本設備の特徴を生かした設備を開発している。今後も客先ニーズに応えるべく改良・改善を進め、引き続き拡販活動をして行く所存である。

参考文献

- 1) 庄司 秀雄:新しい発想から生まれたコンテナホッパー、化学装置(2003年9月号別冊)pp.109-112

最も身近な省エネルギー対策

映画「不都合な真実」をご覧になった方も、ご覧にならなかった方も、昨今の話題の一つに地球温暖化対策があることはご存じでしょう。地球温暖化対策は、早急に解決しなければならない課題であると同時に、またとないビジネスチャンスでもあります。

月島機械も、このチャンスをとらえるべく、省エネ・創エネ技術提案を行っています。

そんな月島機械社員の私(男)が、今回はもっとも身近な「我が家の省エネルギー対策」についてお話しいたします。



月島機械に入社して初めて千葉に移り住んだ私は、行徳の独身寮を経て結婚を機に千葉県内に家を建てました。その時には夫婦だけでしたので、エアコンはリビングだけ、冷蔵庫は1台、風呂、調理はプロパンガスでした。家族が増えるにつれて状況も変わってきます。まず、エアコンの台数が増えました。(2階の寝室に増設したのを初めとして、最終的には5台となりました。)

知人からも薦められ、当時盛んにテレビCMなど流していたA社の太陽熱温水器を取り付けました。やはり、“お天道様次第”ですから、お天気の悪いときや寒い時期はあまり有効ではありません。また、後付けだったこともあり、プロパンボイラーの2次側にお湯を接続したため、お湯がぬるくなってくるとボイラーに切り替えなくてはなりません。 (1次側であれば、ぬるくてもガス使用量の削減にはなりません。) さらに細かい点では、ボイラーは浴室の直近にあったのですが、太陽熱温水器は2階建て家屋の屋根に設置していましたので、蛇口にお湯が来るまでしばらくかかるといった点も家族に不評でした。結局、冬でも気合いで使い続けたのは私だけで、家族はあまり使わなくなり、外壁の塗り直しのタイミングで撤去されてしまいました。



風呂の防カビ対策として夜間換気扇を回していたものを、窓を少しだけ開けてロックすることで換気扇を回さずに済むようにするのが目的で、窓ロックを使用しました。大抵は一番最後に入浴するのが私なので、私が窓ロックをセットしておくのですが、一番風呂が祖父(私の父)となり、窓の開閉が大変となった(我が家の浴室の窓は、浴槽越しに手を伸ばさないと届かない配置になっています)ため、あえなく使われなくなりました。



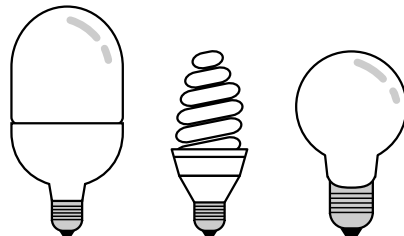
シャワーヘッドを節水型にした理由は、私の家族構成にあります。私の家族は、祖父(私の父)、私(男)、私の妻、娘3人となっており、圧倒的に女性が多い構成となっています。私などは髪も短く、シャンプーもさっと洗ってさっと流せば終わりですが、女性の場合はそうもいきません。娘達を見ても、シャンプーだけではなくコンディショナーなど使って2回は流さないとイケませんし、しかも髪が多くて私のように短時間では終わりません。これを毎日4人でシャワーを出しっぱなしでやっていたのですから、水道料金が非常に多額となっていました。今は、節水型のヘッドにしたのと、シャワー栓を少しだけ絞った(家族には内緒)効果で、いくら水道使用量も少なくなったのではないかと思います。ただし、「熱いシャワーを思い切り浴びるのが好き!」という妻には相当不満のようです。



トイレの節水おもりは、水洗タンク内のゴム弁におもりを載せるだけの簡単な方法です。レバーをひねっている間だけ水が流れます。ただ、子供がまだ小さくて、十分確認しないまま手を離してしまうということがありました。(食事中の方、すみません。)



電球が切れたり暗くなったりしてくると、省エネ型電球に切り替えるようにしています。最近では国を挙げて省エネ型電球への切り替えをPRしています。最近のものはどうか分かりませんが、我が家のものは点けてもしばらくたないと明るくならないというもので、初期の評判はあまり芳しくありませんでした。



近所に配達に来ていた複数のプロパンガス業者同士が争いを始めたのをきっかけにして、オール電化を導入しました。基本電力契約を電化上手とし、夜間電気代を下げ、極力夜間に電気を使うようにしました。(厳密に言うとオール電化自体は省エネにはならないのですが、夜間の余裕のある時間帯に電気を使うということおよびエコキュートのような効率の高い給湯器を使うことから、環境に優しいのではないかとということで紹介します。)

宣伝文句では大幅な費用削減となっていました。導入後思ったほど光熱費が下がったという実感はありませんでした。電化上手というのは、次の図のように、夜間電気代を安くする代わりに昼間電気代を高くするというもので、電気炊飯器、洗濯機、食器洗い乾燥機等タイマーの使

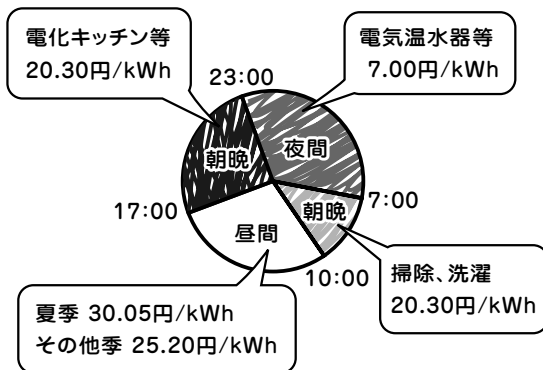
えるものは極力夜間に運転するようにしてトータルの電気代を安くするのが目的です。当然、エコキュートも夜間に運転します。ところが、我が家の電気料金の内訳を見ると、朝晩の使用量が1日のうちで最も多いことがわかりました。原因は次のとおりです。

- ・妻はパート勤めで日中家にいないため、掃除等は出かける前に行っている。
- ・我が家の洗濯機は古くて容量も小さいため、6人家族の洗濯物も夜間の1度では終わらない。
- ・同じく食器も食器洗い乾燥機に一度にはセットできない。よって、タイマーでの夜間運転はできない。
- ・子供達も家にいて電気を使うのは朝晩の時間帯である。

すなわち、オール電化にして諸々の割引を使っている、朝晩の時間帯の電力使用量を下げないことにはどうしようもない、ということです。ライフスタイルから言って、それらを夜間にずらすことは不可能ですので、更なる省エネ型家電の導入を画策しています。(ところが、冷蔵庫も洗濯機も10年以上壊れずに活躍しているのは、さすが日本製といったところでしょうか。)



エコキュートイメージ



おまけ

この原稿を書いている最中に、S社の代理店から住宅用太陽電池のセールスがありました。キャンペーンで特別奉仕中とのことでしたので、どんな勝負に出るのか?とちょっとだけ期待しましたが、「電気代は現在の半分になります。太陽電池パネルの設置費用は15年ローンで月々2万円です。」という回答に、丁寧に引き取りいただきました。

結論

身近な省エネは、家族みんなの協力が不可欠。お父さんが新しいものに飛びついて簡単にはいかない。

(研究開発部 開発企画グループ グループリーダー 三井 美典)

木質バイオマスからのガス化反応を利用した 電気・熱併給システム

日本初の商用設備が秩父市で稼働開始！

Gasification Process Applied to CHP

(Combined Heat & Power) System of Woody Biomass

First commercial plant in Japan has started to operate in Chichibu city!

Abstract

The Kyoto Protocol became effective in February 2005, and Japan took on responsibility for reducing the greenhouse gas emission by 6% based on the record in 1990, as a target to be achieved between 2008 and 2012. Although the target of 3.9% out of 6% reduction had been expected by promoting forest growth, insufficient forest management has left the forest unhealthy. Thinning of forests is insufficient and unmarketable thinned wood is abandoned in the forests due to the high cost of collecting and transporting woody biomass. Therefore, the urgent needs are to return forest functions to normal so that forests can absorb CO₂ for its balance, and to establish methods for applying unused woody biomass for beneficial use.

Tsukishima Kikai has focused on a small-scale gasification system with high-power generating efficiency for collecting and transporting unused woody biomass that is present “thinly in wide areas.” For rapidly spreading the gasification system in Japan, TSK has adopted the gasification system of Biomass CHP Ltd. of Northern Ireland. Demonstration tests are being conducted jointly with New Energy Development Organization (NEDO) at Kuzumaki town in Iwate prefecture. Consequently, TSK has received an order for the CHP system of woody biomass (115 kW power generation, 963 MJ/hr heat recovery), which is the first commercial plant of Chichibu city. The characteristics, merits, operating data and prospects of this facility are described.

キーワード:木質バイオマス、ガス化、発電、ダウンドラフト、ガスエンジン
Keyword : Woody Biomass, Gasification, Power Generation, Down-draft, Gas Engine

遠藤 雅樹

Masaki ENDO

水環境事業本部
ソリューション技術部
新エネルギーグループ

日本エネルギー学会

1 はじめに

2005年2月に発効された京都議定書では、二酸化炭素等の6種類の温室効果ガスについて排出削減義務等が定められており、先進国全体では5.2%削減が義務付けられている。そして、日本は2008～2012年を目標期間とし、1990年を基準年として温室効果ガスを二酸化炭素換算で6%削減することを約束している。そのうち3.9%は「管理された森林による吸収」に頼ることになっているが、現在の森林は間伐作業が十分に施されていないため老齢化が進み、CO₂吸収源として十分に機能していない状況にある。

健全な森林を育成し、温室効果ガスを削減するためには、間伐実

施・促進による森林保護が必要であり、間伐を促進するためにも森林資源(木質バイオマス)の有効利用技術が望まれている。また、日本国内に存在する木質バイオマスは山間部に広く薄く分布するため、一箇所への大規模な収集・運搬・処理が困難なため、小規模地域自立型のシステム構築が必要となる。

このような背景をうけて、月島機械でも小規模なガス化熱電併給技術に着目し、2004年7月に北アイルランドのExus energy社(現Biomass CHP社)より技術導入を行い、同年11月からNEDO技術開発機構と岩手県葛巻町にて共同実証試験事業を開始した。

葛巻実証試験設備において、設備基礎特性把握のための様々な実証試験や設備長期安定性の確認を実施し、技術を確立していくと

同時に、営業・技術が一体となって販売活動を行った結果、2006年3月に埼玉県秩父市殿から本設備一号機を受注することができた。しかも、本受注は、未利用の木質バイオマスを用いたガス化熱電併給システムとしては国内初の商用設備となる。

本設備は、秩父市内の吉田元気村というレクリエーション施設内に建設し、2007年4月より『ちちぶバイオマス元気村発電所』という名称で本格稼働を開始している。その設備全景を図1に示す。



図1 秩父市殿向け木質バイオマスガス化発電・熱併給設備全景
Fig.1 External view of Chichibu CHP facility

2 設備概要

2.1 設備仕様

本設備の仕様を表1に示す。

表1 木質バイオマスガス化熱電併給設備仕様
Table1 Specification of CHP System at Chichibu

システム	ガス発生方式	熱分解ガス化（固定床ダウンドラフト方式）
	発電量	115kW（うちシステム内消費電力15kW）
	送電量	100kW
	総回収熱量	963MJ/hr（うちシステム内消費熱量335MJ/hr）
	外部利用可能熱量	628MJ/hr
原料	運転時間	42hr/日、300日/年（夜間停止、日中間欠運転）
	原料の形状	スラット状材（屑材チップ、パーティは最大20mm径投入可能）
	供給原料量	約155kg/hr（含水率30%として）
	補助燃料	補助燃料不要

2.2 設備フロー

本設備の概略フローシートを図2に、また、各機器の役割を以下に示す。

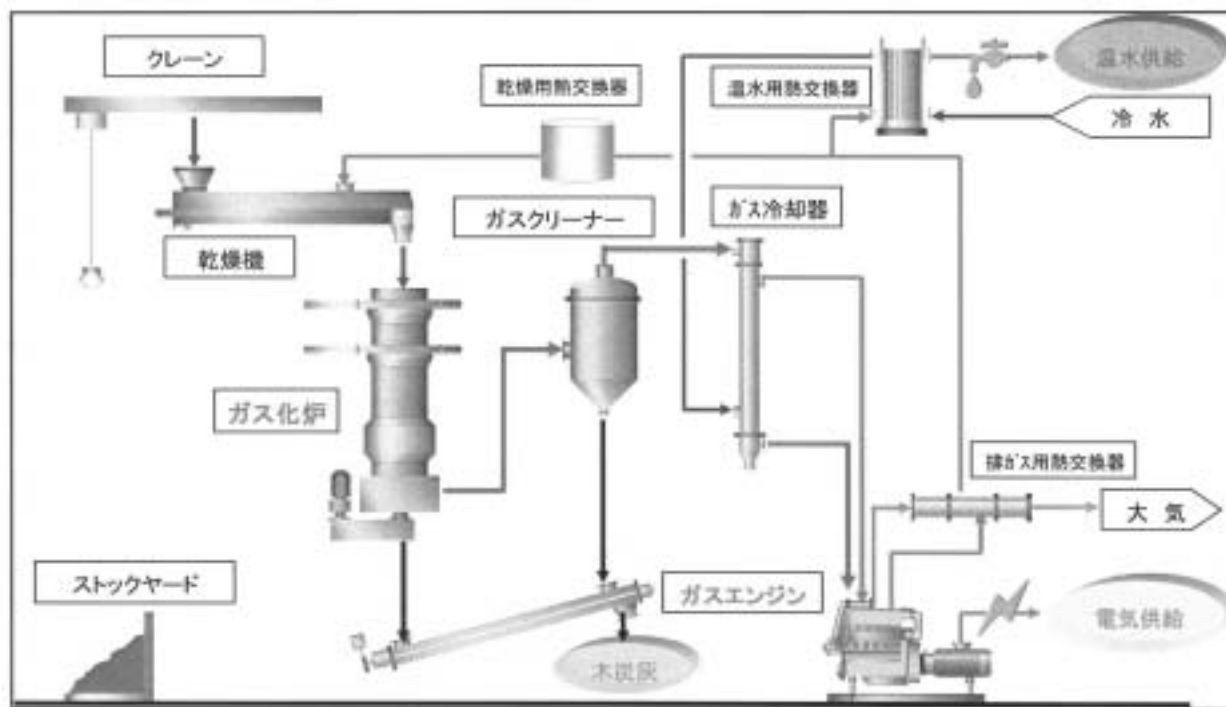


図2 木質バイオマスガス化熱電併給設備概略フローシート
Fig.2 Schematic flow of CHP system

1) 原料供給

原料供給系統はストックヤード、クレーン及び乾燥機より構成される。その外観を図3に示す。原料はクレーンにて乾燥機に自動供給される。乾燥用熱源は後述するガス冷却器、ガスエンジン水冷ジャケットおよび排ガス用熱交換器からの廃熱を回収・利用する。原料は所定の水分まで乾燥した後、ガス化炉へ供給する。

(2) ガス化炉

ガス化炉は発生ガス中のタール濃度を極力低く押さえることができるダウンドラフト式ガス化炉を採用している。ガス化炉では、空気を酸化剤として原料を部分燃焼し、その熱で残りの原料を熱分解・ガス化させることで、水素と一酸化炭素を主成分とするタール分の少ない可燃性ガスを取り出す。ガス化炉の外観を図4に示す。

(3) 発生ガス処理

ガス化炉から発生した可燃性ガスは、ガスクリーナー及びガス冷却器にて除塵・冷却した後、燃料としてガスエンジンへ供給される。ガスエンジンの外観を図5に示す。

(4) コージェネレーション設備

コージェネレーション設備は、発電設備および熱回収設備から構成される。

発電設備では、ガスエンジンの駆動により発電機を回転させ、電気エネルギーを取り出し、本プラントに必要な電力を除いた分を電力需要施設(宿泊施設や体育館等)へ供給し、余剰電力はRPS法の認定を受けて電力会社へ売電している。

また、熱回収設備は前述した三箇所にて熱を回収し、一部を乾燥機用熱源として利用し、残りを温水として熱需要施設(足湯や入浴施設)へ供給している。

(5) 木炭排出設備

木質バイオマス原料は、ガス化されると木炭となり、ガス化炉下部およびガスクリーナー下部より系外に排出される。不純物を含まない原料を使用しているため、排出された木炭は土壌改良材や堆肥副資材等として有効利用されている。その発生量は原料量に対して約2～3%程度である。その他の副産物としてはタールが1日12時間運転で約1～2kg程度発生するが、この有効利用方法については現在検討中である。

2.3 本設備の特徴

本設備は、表2に示す特徴を有しており、シンプルなプロセスでありながらも効率良くエネルギー回収が行え、さらにはエネルギー供給先の需要量にあわせて設備の運転・停止を行え、地産地消を目指した小規模に最適なシステムとなっている。



図3 原料ヤードとクレーン
Fig.3 Stockyard and crane



図4 ガス化炉外観
Fig.4 External view of gasifier



図5 ガスエンジン外観
Fig.5 External view of gas engine

3 運転データ

本設備は 2007年4月1日より本格稼働を開始した。

その稼働状況および運転データの一例をそれぞれ表3および表4に示すが、多数の見学者を受入ながら、予定通り運転を実施できている。また、設備性能についても初期計画値を満足できており、効率的な運転を継続できている。

4 将来の展望

設備を納入した秩父市は、市域の87%が森林で覆われており、この森林から流れ出る清涼な水は荒川となり流域を潤している。しかし、恵まれた自然環境にありながら、地域経済停滞、少子高齢化、人口減少、森林荒廃等の課題を抱えている。このような状況は決して秩父市に限定されたことではなく、日本全国の地方自治体における共通の問題と考えられる。

秩父市が本ガス化熱電併給システムを導入した目的は、森林再生による環境保全および経済性向上だけにはとどまらず、新事業と雇用の創出による地域の活性化、森林ボランティアの育成、環境学習・宿泊体験場の提供、観光資源との連携や視察・研究会の受入による誘客など多岐に渡っている。そして、最終的には地域にある人や資源を活用し、地域全体で循環型社会を形成していくことを目指しており、今後、このような事業が全国各地へ波及していくことが望まれる。

5 おわりに

本技術は、技術導入から実証試験を経て一号機受注まで月島機械の中でも異例の早さで業務が進んできた。実用設備として運用する際には、原料を安価に収集・運搬する仕組みを整える必要がある等の技術的な面以外で克服すべき課題がある。また、月島機械としても、経済性を向上させるために建設費や維持管理費の削減努力が必要と認識しているが、一号機を秩父市に引き渡し、概ね順調に運転が継続されているのを見ると、「ようやく一山越えた」という気持ちである。

秩父市が主催した竣工式は市長参加のもと、盛大に取り行われた。また、試運転期間中からも連日のように視察者が訪れて来て、社内からも世間からも注目され、必要とされている技術であるという誇りとプレッシャーを否が応でも感じさせてくれる設備である。

最後に、技術導入から一号機完成・引渡まで数年に渡り、直接的・間接的に本技術に係った全ての方々に、本書を借りて謝辞を申し上げます。

表2 木質バイオマスガス化熱電併給設備の特長
 Table2 Merits of CHP System

特長	概要
小規模でも高い効率	ガス化技術の採用により高いエネルギー回収効率を実現 ～発電効率21%+熱回収効率50%＝総合効率71%以上～
シンプルなプロセス	排水が生じないプロセスのため、機器点数を少なくでき、設置場所も小さくできる (1日分のストックヤードを含め約150㎡)。 また、煩雑な運転管理が不要となり、設備起動/停止以外は無人運転が可能である。
経済性を重視したプロセス	24時間連続運転も可能だが、エネルギー供給先の需要に合わせて DSS (Daily Start Stop : 1日の中で運転開始、停止を行う) 運転が可能

表3 木質バイオマスガス化熱電併給設備の稼働状況
 Table3 Operating Condition of CHP System at Chichibu

期間	運転日数 実績/予定	総発電量 (発電量) [kWh]	見学者数 [人]
2007年1/10～3/31 (試運転/運転指導期間)	48 / 40	24,000 (9,000)	602
2007年4月	24 / 24	21,000 (6,000)	121
2007年5月 (5/27現在)	20 / 23	15,000 (4,000)	104

表4 木質バイオマスガス化熱電併給設備の運転データ
 Table4 Operating Data of CHP System at Chichibu

原料チップ	水分	平均 36.2% (30.4～58.0%)
	低位発熱量	18,000 kJ/kg-dry (4,350 kcal/kg-dry)
発生ガス	水素	16.7 vol%
	一酸化炭素	25.5 vol%
	メタン	2.7 vol%
	酸素	0.2 vol%
	二酸化炭素	10.1 vol%
	窒素	44.1 vol%
	発熱量	7,120 kJ/Nm ³ (1,700 kcal/Nm ³)
タール濃度	0.58 g/Nm ³	
各種効率 実績値(計画値)	冷ガス効率	76 % (74%)
	発電効率	21 % (21%)
	熱回収効率	55 % (50%)
	総合効率	76 % (71%)

大型(4500型)月島 一密閉型水平ベルトフィルタ

Type 4500 TSK—Closed Type Horizontal Belt Filter



岩崎 修二
Shuji IWASAKI
産業事業本部
機器設計部
ろ過グループ



高木 浩伸
Hironobu TAKAGI
産業事業本部
機器設計部
乾燥グループ

Abstract

Type 4500 TSK Closed-Type Horizontal Belt filter is a newly developed, large-scale, top-feed filter with important feature of high washing performance.

The operating principle of the filter is very simple. The tray and filter cloth move at the same speed. Vacuum is applied to the tray as it moves forward, and after the end of its forward movement, vacuum filtering is changed to non-vacuum filtering by opening the air vent valve, and the tray is retracted by the tray drive cylinder. During this time, forward and retracting movements of the tray are repeated for the filtering process, so slurry feeding, cake washing and cake discharge are performed continuously.

Up to now, TSK has installed over 230 TSK Horizontal Belt Filters, with many application in the industrial fields. This paper describes TSK Horizontal Belt Filter, and introduces the newly developed large-scale Type 4500 TSK-Closed Type Horizontal Belt Filter.

キーワード:ろ過機、水平、連続、密閉型
Keyword : filter, horizontal, closed type

1 はじめに

月島一水平ベルトフィルタは、トップフィード型のろ過機で従来の同種のろ過機にはない種々の利点を備えているが、洗浄性の高さが最大の特徴である。

作動原理は非常に単純で、トレイの前進時はトレイに真空がかけられ、ろ布に吸引される過が行われる。一定ストローク前進後、真空は大気に切り換えられ、トレイはエアシリンダーにより後退する。このトレイの前進後退の繰り返しによりろ過が行われる。この間、ろ布は一定速度で前進しているため、原液供給、ケーキ洗浄およびケーキ排出は連続的に行われる。

これまで月島一水平ベルトフィルタは230台以上の実績があり、数多くの工業分野で用いられている。

本稿では、月島一水平ベルトフィルタおよび新規開発した大型(4500型)月島一密閉型水平ベルトフィルタについて紹介する。

2 月島一水平ベルトフィルタ

4500型月島一密閉型水平ベルトフィルタを紹介する前に、そのベースとなる標準タイプの月島一水平ベルトフィルタの特徴、構造及び機能を説明する。

2.1 特徴

- (1) ドラムフィルタなどではピックアップが不可能な物質でもろ過することができる。
- (2) 連続処理ができる。
- (3) 水平状態でろ過するため、ケーキ洗浄が効果的に行える。
- (4) 多段洗浄および向流洗浄が可能である。
- (5) 水平連続ろ過中に種々の装置が付加できる。
 - ・振動装置により脱水率を高める。
 - ・リバルブ装置によりケーキ洗浄効果を高める。
 - ・高圧圧搾ロールにより脱水率を高める。
 - ・スプレー式、トラフ式等、種々の洗浄装置によりケーキ洗浄効果を高める。
- (6) さらに月島一密閉型水平ベルトフィルタは密閉ケーシング内に水平ベルトフィルタを納めることができ、溶剤、毒性または危険な物性を有するスラリーのろ過を窒素ガス雰囲気内で行える。またサニタリー性等が要求されるプロセスにも適用できる。

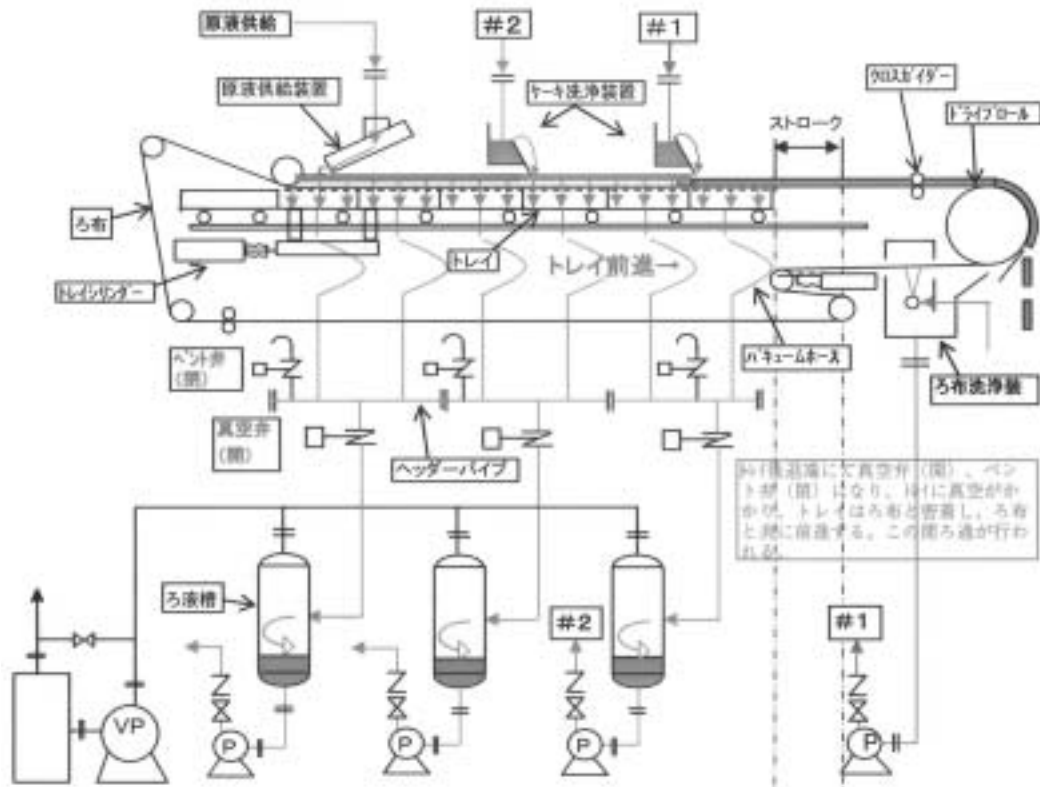


図1 月島一水平ベルトフィルタ作動原理
Fig.1 Operating principles of TSK Horizontal Belt Filter(Tray moving forwards)

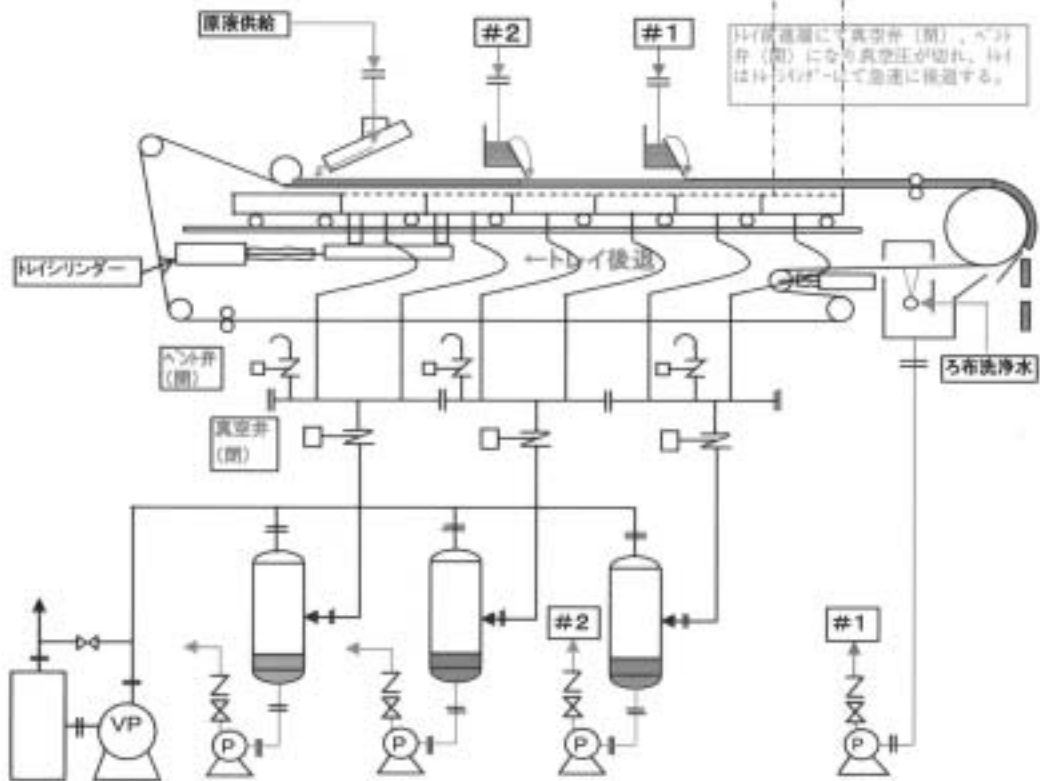


図2 月島一水平ベルトフィルタ作動原理(ろ布後退)
Fig.2 Operating principles of TSK Horizontal Belt Filter(Tray retracting)

2.2 各部の構造と機能

(1) ろ布およびろ布駆動装置

ろ布は主にポリプロピレンおよびポリエステル材の織り布が使用され、ドライブロールおよびリターンロールにベルトコンベヤ状に巻き付けられ連続走行する。

ドライブロールにマウントされた可変速減速機により、処理物に応じたろ布スピードを約0.2m/minから5m/minに任意に設定できる。

(2) 原液供給装置

月島一水平ベルトフィルタはトップフィード型ろ過機であり、原液スラリーは原液供給ノズルから原液分散板に送られ、水平のろ布上に均一にフィードされる。

(3) ケーキ洗浄装置

原液供給装置にて水平のろ布上に均一にフィードされたスラリーは脱液後、ケーキ洗浄装置にて均一に洗浄され、洗浄ムラのない高品質の製品を得ることができる。洗浄装置は物性および洗浄液によってトラフ式、スプレー式などのバリエーションの中から処理物質に応じて選択でき、場合によっては異形式の組み合わせも可能である。

(4) トレイおよびトレイ駆動装置

トレイはろ布の下部に設置されている。トレイ内には樹脂またはステンレス製グリットを置き、ろ過室を形成している。ろ過幅は150mmから4500mmまで、ろ過部長さは最長23.8m(ろ過面積71.4m²)の実績がある。

トレイはろ過時に真空がかけられ、ろ布に吸引され排出側に前進する。この間ろ布上の処理物はろ布を通してトレイ内にろ液として吸引される。トレイは一定のストロークまで前進した後、真空が解除され瞬時に原液供給側に後退する。トレイの後退はエアシリンダーにて行う。トレイの下には車輪が設置しており、レールの上を移動する。この、動作を繰り返すことによって連続ろ過が行われる。

また、トレイ内は長手方向に700mmピッチで仕切られており、母ろ液、洗浄ろ液を分離することができ、多段洗浄および向流洗浄が可能である。向流洗浄は、ろ布洗浄液およびろ液をケーキ洗浄液として戻して使用することによって少量の洗浄液によって大きな洗浄効果が得られる。

(5) バキュームホースおよびヘッダーパイプ

バキュームホースは長手方向に700mmピッチに仕切られた各トレイの底部に設置しており、トレイ内のろ液およびガスを吸引排出する。バキュームホースは処理物に応じてゴム、樹脂、テフロン材を使い分けるが、柔軟性を持ち、繰り返し湾曲および真空圧に耐える構造になっており、トレイの前進後退に追従して可動する。

バキュームホースにて吸引されたる液はヘッダーパイプに集められ機外に排出される。ヘッダーパイプを仕切ることによって、母ろ液、多段洗浄ろ液を任意に分離して回収が可能である。また、ヘッダーパイプにはトレイの真空および真空を解除するための自動弁(真空弁、ベント弁)が設置されている。前記で述べ

たように真空弁を開、ベント弁を閉にすることでトレイに真空がかけられ、真空弁を閉、ベント弁を開に切り換えることでトレイの真空が解除される。

(6) スクレッパ装置

洗浄脱水されたケーキはスクレッパ装置にて排出される。スクレッパ装置は処理物質に応じてブレード方式、ワイヤーディスチャージ方式などのバリエーションの中から処理物質に応じて選択できる。

(7) ろ布洗浄装置

ろ布は、ろ布洗浄装置内を通過する間にスプレーノズルにて洗浄される。ろ布の目詰まりし易い処理物質には薬液洗浄装置、高圧スプレー洗浄装置等のオプションを付加することができる。

(8) ろ布緊張装置

エアシリンダーによりろ布に張力を与え、ろ布のたるみを無くし常に一定の張りを保つことができる。

(9) ろ布蛇行修正装置

ろ布蛇行修正装置にはクロスガイダー方式、またはアライニングロール方式を使用し、ろ布の蛇行修正を自動で行い常に安定したろ布走行を得ることができる。

3 大型 (4500 型) 月島一密閉型水平ベルトフィルタ

これまで月島一密閉型水平ベルトフィルタの最大ろ過幅は3000mmであったが、昨年BPA(ビスフェノールA)プラント用に開発納入したろ過幅4500mmの4500型月島一密閉型水平ベルトフィルタについて以下に紹介する。

3.1 経緯

1991年に国内の石油化学メーカーにBPAプラントを当社にて納入した。その中には主力機器として自社機器であるDP晶出機、EW分離機、トレイフィルタと共に、優れた洗浄性を評価され3000型月島一密閉型水平ベルトフィルタが採用された。

BPAはポリカーボネイト樹脂、エポキシ樹脂の原料であり、近年新たな用途開発や需要の増加によって、近年の新設BPAプラント設備は生産能力を増強する傾向となり、この顧客要求に応えるべく他メーカーには無い世界最大のろ過幅4500mmの4500型月島一密閉型水平ベルトフィルタを開発納入した。

3.2 スケールアップ

月島一水平ベルトフィルタのスケールアップにはトレイを長くしてろ過面積をアップする方法とトレイ幅を大きくしてろ過面積をアップする方法がある。

トレイを長くした場合は、能力アップするためにろ布速度をアップする必要がある。先に構造と機能が述べたように、トレイの前進後退の回数も増加する。そのために、ろ布、その他繰り返し作動部品の寿命が短くなることが予想される。

このリスクを回避するため、BPAプラントに納入実績のある3000型(ろ過幅3000mm x ろ過長さ8400mm)とろ布速度を同程度以下にし、トレイろ過幅をアップ処理して能力をアップする方針で、4500型(ろ過幅4500mm x ろ過長さ8400mm)の月島一密閉型水平ベルトフィルタが開発された。

3.3 各部の設計考慮事項

(1) 設計条件

- ・ケーシング内圧は±1000mmAq



図3 4500型月島一密閉型水平ベルトフィルタ(解落とし写真)
Fig.3 Shipping photo of Type 4500 TSK Closed-Type Horizontal Belt Filter

- ・ケーシング内雰囲気はフェノールおよびN₂ガス
- ・温度はmax80℃
- ・ろ布速度:約1.5～4.5m/min
- ・トレイ上のケーキ質量:100kg/m²
- ・1年間連続運転:繰り返し作動部品の作動回数約250万回/年

(2) ケーシング

ケーシングは±1000mmAqの内圧がかかるため、軽量化を図るため屋根と底板は3000型と同じく円筒形状とした。本ケーシングは完全密閉構造を得るための圧力保持容器であると同時に、内部の機械構造物を支持する主構造材であり、この機能を両立することが必要であるため、内部機構の作動に影響が出ないように構造物としての変形量を目標値以内とすべく構造解析(図5)を行い最適設計を行った。

(3) トレイ

従来の3000型と同等以上の洗浄性を確保するためにケーキ厚みを均一にする必要があり、トレイの撓み量を3000型以下とした。また、トレイ底板のろ液およびガス抜き出し口個数は、脱水性を考慮し3000型の1.5倍以上とした。

(4) バキュームホースおよびヘッダーパイプ

繰り返し作動回数およびサイズによって寿命に影響のあるバキュームホースは、実績のある3000型と同じサイズとして数量を1.5倍増加した。ただし3000型はヘッダーパイプをケーシング側面に1本設置であったため、同じ方法では配置が困難であることから、発想の転換により4500型は両側面に2本設置

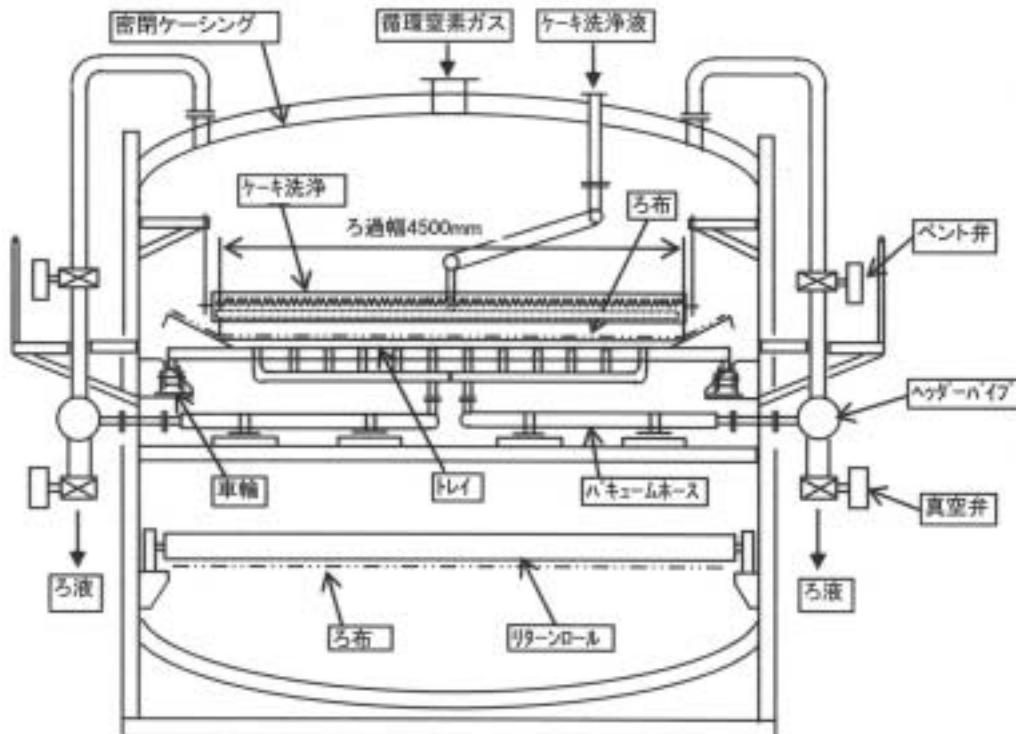


図4 4500型月島一密閉型水平ベルトフィルタ(構造図)
Fig.4 Configuration of Type 4500 TSK Closed-Type Horizontal Belt Filter

しバキュームホースは両側抜き出しとすることでこの問題を解決した。繰り返し作動回数およびサイズによって寿命の影響がある真空弁、VENT弁についても両側ヘッダーパイプとしたことで数量を増加し 3000 型と同じサイズ以下とすることができた。

(5) ロール類

ろ布幅が広がることでロール類も長くなることから、ろ布の挙動に影響が出ないようにその撓みは 3000 型と同レベルに抑えるべく、構造解析 (図6) を行い最適設計を行った。また重量も増えることからベアリングの寿命を確保すべくベアリングの再選定とシール構造の見直しを図った。

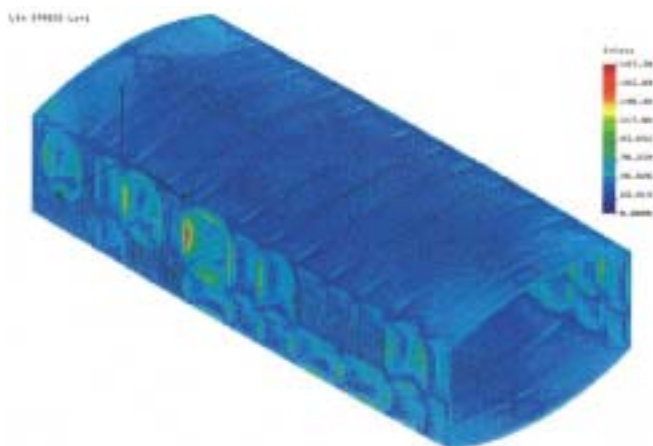


図5 密閉ケーシングの応力解析
Fig. 5 The stress analysis of the sealing up casing

(解析ソフト: COSMOS/M)

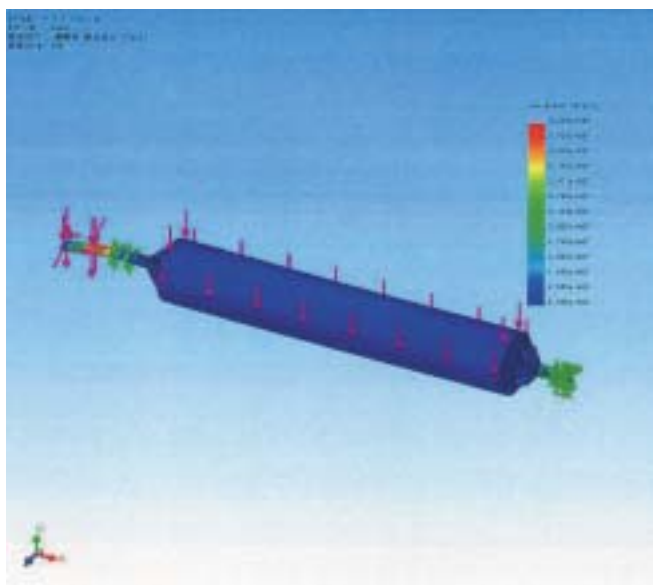


図6 ドライブロールの応力解析
Fig.6 The stress analysis of the drive roll

(解析ソフト: COSMOS Works)

(6) 蛇行修正装置

蛇行修正装置に関しては大型化に伴う制御性の悪化が懸念されたため、ライニングロールの支持方法及び駆動方式の見直しを行った。しかしながらそれでもメカラン時に懸念した現象が確認されたため実負荷運転前に更なる改良を加え、最終的には安定した運転を実現することができた。

(7) ろ布

ろ布は実績のある 3000 型と同じものを使用した。ろ布速度およびトレイろ過部長さを 3000 型と同じにすることで、単位面積当たりのケーキ重量およびグリットの繰り返し摩擦回数も 3000 型と同じとなり、既納 3000 型と同程度の寿命を確保出来るものと判断している。

(8) ケーキ洗浄装置

ろ布幅全面を均一にケーキ洗浄するため、3000 型と同じトラフ型 V ノッチを採用した。また、ろ布幅が広がることにより洗浄水の分散性が悪くなるのが懸念されたため、洗浄装置内における洗浄水の供給方法にも改良を加えた。

(9) ケーシング内ベアリング

ベアリングケースは 3000 型と同じく二重シール構造として、グリースを外部から供給し、グリースドレンを外部に排出する自動給脂装置を設置した。

(10) エアーシリンダー、減速機

トレイ駆動シリンダー、ろ布緊張シリンダー、減速機についてもメンテナンス性を考慮し 3000 型と同じくケーシング外に設置した。

4 おわり

昨年納入した 4500 型月島一密閉型水平ベルトフィルタは開発に関係した各位の協力により試運転以来、トラブルも無く連続安定運転を行っている。また、今年、同サイズの大型月島一密閉型水平ベルトフィルタを 2 台製作中である。

今回、BPA プラント用として 4500 型月島一密閉型水平ベルトフィルタを紹介したが、他の処理物質に対しても対応が可能である。

会社概要

名称	月島機械株式会社 (TSUKISHIMA KIKAI CO.,LTD.)
取締役社長	山田 和彦
創業	明治38年8月

設立	大正6年5月
資本金	66億4680万円
従業員数	710名(平成19年3月現在) [連結2129名(平成19年3月現在)]
売上高	572億円(平成19年3月期) [連結790億円(平成19年3月決算)]

■事業所

本社	〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15 TEL.03-5560-6511 FAX.03-5560-6591
東京支社	〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15 TEL.03-5560-6541 FAX.03-5560-6593
大阪支社	〒541-0043 大阪市中央区高麗橋3-5-12(東京海上日動ビル) TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415
札幌支店	〒060-0807 札幌市北区北七条西1-1-2(SE山京ビル) TEL.011-726-0510 FAX.011-726-0520
仙台支店	〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK小田急ビル) TEL.022-227-9267 FAX.022-223-0316
横浜支店	〒231-0015 横浜市中区尾上町4-47(リスト関内ビル) TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086
名古屋支店	〒045-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル) TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624
広島支店	〒730-0015 広島市中区橋本町10-10(広島インテス) TEL.082-227-3093 FAX.082-223-8771
福岡支店	〒810-0062 福岡市中央区荒戸2-1-5(大濠公園ビル) TEL.092-741-5736 FAX.092-761-4806
新潟営業所	〒950-0087 新潟市中央区東大通1-7-10(新潟セントラルビル) TEL.025-245-9351 FAX.025-245-9383
和歌山営業所	〒640-8343 和歌山市吉田432(シティビル太田) TEL.073-427-6085 FAX.073-427-6085
沖縄営業所	〒901-2131 沖縄県浦添市牧港1-5-12 TEL.098-874-5793 FAX.098-874-5793

市川事業所(工場)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
(研究所)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661
(環境プロセス開発センター)	〒272-0011 千葉県市川市高谷新町6-4 TEL.047-328-8761 FAX.047-328-8789

〈海外〉

TSKジャカルタ駐在員事務所
TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. JAKARTA REPRESENTATIVE OFFICE《TJO》
22nd Floor, Plaza DM, Jl. Jend. Sudirman Kav. 25, Jakarta 12920, Indonesia
TEL. +62-21-526-7732/7734 FAX. +62-21-526-7790

TSKハノイ駐在員事務所
TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. HANOI REPRESENTATIVE OFFICE《THO》
Unit202, V-Tower, 649 Kim Ma Street Ba Dinh District, Hanoi
TEL. 84-4-7669965,7,8 FAX. 84-4-7669969

TSK上海駐在員事務所
TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. SHANGHAI REPRESENTATIVE OFFICE
Rm.908 The Nanzheng Building, No.580 Nanchin Rd.(W) Shanghai 200041, CHINA
TEL. +86-21-6267-8800 FAX. +86-21-6218-8855

TSKムンバイ駐在員事務所
TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. MUMBAI LIAISON OFFICE
138A 1st floor Shaheed Bhagat Singh Colony JB Nagar Andheri(East)
Mumbai 400 059 India
TEL. +91-22-2831-4596 FAX. +91-22-2825-6265

■連結会社及び主な関連会社

※月島テクノメンテサービス(株)	〒104-0052 東京都中央区月島4-8-14 TEL.03-3533-6272 FAX.03-3533-2588
※月島テクノマシナリー(株)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
月島テクノソリューション(株)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12(市川事業所) TEL.047-701-0221 FAX.047-397-6201
※月島環境エンジニアリング(株)	〒104-0033 東京都中央区新川2-12-15(パトライトビル) TEL.03-6386-3964 FAX.03-3537-8764
※サンエコサマル(株)	〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55 TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381
※寒川ウォーターサービス(株)	〒253-0106 神奈川県高座郡寒川町宮山4058-6(事業所) TEL.0467-72-0862 FAX.0467-72-0863

※連結子会社

〈海外関連会社〉

月島エンジニアリングシンガポール(株)
TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE PTE. LTD. 《TES》

月島エンジニアリングマレーシア(株)
TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA SDN. BHD. 《TEM》
SUITE16, 04-05, 16th Floor, Wisma Mca,
163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia
TEL. +60-3-2162-8679 FAX. +60-3-2162-8377

TSKエンジニアリングタイランド(株)
TSK ENGINEERING (THAILAND) CO., LTD. 《TET》
United Center Building 14th Floor, Room1404,
323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand
TEL. +66-2-231-1726~30 FAX. +66-2-231-1731

TSKエンジニアリング台湾(株)
TSK ENGINEERING TAIWAN CO., LTD. 《TETA》
6th Floor, No.24, Min Sheng, W.Road, Taipei, Taiwan R.O.C.
TEL. +886-2-2523-6975~6 FAX. +886-2-2521-1429

編集後記

吉越 昭雄 編集委員長

本号は「バイオマス有効利用技術」を特集として取り上げさせていた。一般にバイオマスといえば「草や木」を想像するところであるが、当社では少し違ひ約半数の社員は「下水汚泥」を想像しているであろう。それもそのはず、当社の事業のほぼ半分が水環境事業であり、その中心が下水汚泥の処理設備の建設にあるからである。下水汚泥は、安定供給が可能な貴重なバイオマス資源であり、この汚泥を炭化燃料とするなど有効にエネルギーとして活用する技術の開発を進めている。

また、その他のバイオマスを利用し、アルコール発酵や木質バイオマスガス化発電など他社に先駆けいち早く市場へ投入した技術も多々ある。

バイオマスの有効利用、これは化石燃料の削減目的のみならず環境保全、すなわちCO₂削減効果も期待され、ますます重要な分野になるであろう。本号の編集では、あらためて気が引き締まる思いである。

TSK技報 NO.8 2007

年2回(4月・10月)発行

発行:月島機械株式会社 技報編集委員会

総責任者:西田 克範

編集委員長:吉越 昭雄

編集委員:高橋 正純

和泉 俊彦

佐藤 教子

山口 彩子



TSK 月島機械株式会社

www.tsk-g.co.jp