

当社の水処理関連技術

KOBELCO ECO-SOLUTIONS' Technology for Water Treatment and Related Systems



隅 晃彦*
Akihiko SUMI
技術士（上下水道部門）

当社は1950年代より、水処理の総合エンジニアリング会社として、上水・下水・産業用水処理・冷却塔など幅広い技術により環境問題解決と産業の発展に貢献してきた。日本の水処理関連技術は、かつての水質規制や公害防止への対応を主目的とした時代から、低炭素や人口構成の変化への対応を目指す時代へと変化しつつある。当社も時代に即したニーズに対応し、これまで培ってきた水処理関連技術をベースに、プラント全体の効率化や処理事業運営といった分野に業務を拡大し、それに関連する開発を進めている。

Kobelco Eco-Solutions has been helping to solve environmental problems and promote industrial development as a comprehensive engineering manufacturer in the field of water treatment since the 1950s through a wide range of technologies for drinking water, sewage, industrial water, and cooling towers. Technology for water treatment and related systems in Japan is shifting focus from water quality regulations and pollution prevention to low carbon emissions and population decline. In response to the needs of the times, we are expanding our business to plant-wide efficiency optimization and treatment project management and promoting development that meets these requirements based on the water treatment technology we have cultivated so far.

Key Words :

水処理関連技術
低炭素
人口減少
プラント全体の効率化

Technology for water treatment and related systems
Low carbon emissions
Population decline
Plant-wide efficiency optimization

【セールスポイント】

- ・上下水から産業用水処理・冷却塔まで幅広い水処理関連メニューに対応
- ・低炭素や人口構成変化など時代の要求に応える技術開発

まえがき

当社は、株式会社神戸製鋼所の環境エンジニアリング部門と神鋼パンテック株式会社の統合により、2003年10月に設立された総合環境エンジニアリング会社である。その水処理関連技術の歩みは、神鋼パンテックの前身である神鋼ファウドラ株式会社

が、米国水処理業界の名門ファウドラ・パーマテック社と水処理技術に関する技術援助契約を締結し水処理装置の販売活動を開始した1950年代に始まる¹⁾。神戸製鋼所においても、下水処理の普及推進の流れに対応し1970年代に下水処理・汚泥処理への取組みを開始した。

*技術開発センター 技術開発部

20世紀以降の日本の水処理関連技術の歩みは、次のように区分できると思われる。

- ・普及の時代
 - 安全・安心な飲み水の提供
 - 河川・海域の汚濁防止
 - 十分な産業用水の供給
 - ・高度化・高性能化の時代
 - 富栄養化対策（窒素・リン除去）
 - 放流水・飲用水の規制強化への対応
 - おいしい水の提供など質の向上
 - 装置のコンパクト化・低コスト化
 - 廃棄物削減（汚泥減容）
 - ・省エネ・創エネ・低炭素と省人化対応の時代
 - 地球温暖化対策を含めた総合的な環境対策へ
 - 労働人口の減少への対応・維持管理の効率化
- 当社の技術内容の拡充はこれらの流れと軌を一にしており、順次新たな技術を開発してきた。統合により現組織となって20年、高度化・高性能化の時代から低炭素の時代へシフトが進む中、当社は幅広い分野で社会貢献を続けている。本稿では、現在主力製品となっているものを中心に、当社の水処理関連技術の概要を紹介する。

1. 下水処理技術

下水処理施設は社会を支える重要な環境保全インフラであり、図1に示す各種機器で構成されている。下水処理施設における消費電力は非常に大きいと認識されており、「2050年カーボンニュートラル」に向け各種の取組が行われている。当社でも、省エネルギー化を念頭に開発を重ねてきており、以下をはじめとする技術を有している。



水処理（下水）フロー図

図1 下水処理施設の構成例

1.1 低動力反応タンクシステム

下水処理において特に消費電力が大きいのは、有機物や窒素除去の中核をになう「反応タンク」周りである。当社では、省エネルギー機器と最適な曝気風量制御を組合せた低動力反応タンクシステム（図2）により、消費電力の低減を実現している。²⁾ 以下、システムを構成する要素技術について紹介する。

1.1.1 低圧損型メンブレン式散気装置 PABIO TUBE[®]

下水処理の省電力化においては、いかに効率よく酸素を水に溶解させるかが重要である。酸素の溶解は、ブロワと散気装置により水中に空気を吹込む（曝気）ことで行われる。ここで

$$\text{曝気動力} \propto \text{吹込み圧力} \times \text{風量}$$

の関係があるため、

- ・圧力損失の小さい散気装置の採用
- ・酸素移動効率^{*}の向上による曝気風量の低減が省電力化のポイントとなる。酸素移動効率の向上には気泡の微細化が有効であるが、空気を通す孔の径を小さくすると圧力損失が上昇するため、投入動力当りの酸素溶解量には限界がある。

^{*}吹込んだ酸素のうち水に溶解した酸素の割合

PABIO TUBE（図3）は、空気の噴出口を設けた筒状のメンブレン（膜）をサポートパイプにセットした散気装置である。気泡の微細化と圧力損失の低減を高次元でバランスさせることにより、曝気動力を削減している。装置内への汚泥流入を防止する構造となっており、メンテナンス性にも優れる。メンブレンの材質には特殊シリコンゴムを採用し、経年劣化を抑制している。

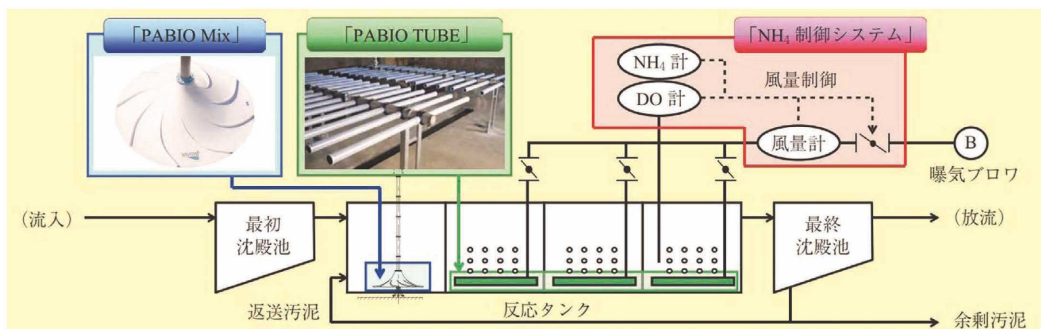


図2 低動力反応タンクシステムのフロー図

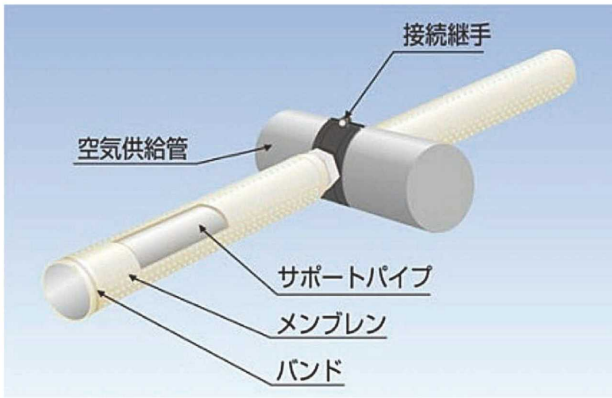


図3 PABIO TUBE の構造



写真1 し渣洗浄脱水機

1.1.2 双曲面型攪拌機 PABIO Mix®

下水処理のうち、脱窒槽のような曝気を行わない槽の攪拌は、機械攪拌や水循環などによって行われる。図2に示したPABIO Mixは特徴的な双曲面状の断面を持つ機械式攪拌機であり、小さい動力で槽底部に水流を発生させ、効率よく攪拌を行うものである。駆動装置が水面上にあるため、日常のメンテナンス性に優れている。

1.1.3 アンモニア制御

反応タンクの曝気風量制御には、従来、風量一定制御やDO（溶存酸素）制御が用いられてきた。風量一定制御は有機物やアンモニアの最大負荷量に合わせて空気を吹き込むもので、低負荷時には風量は実際に必要な量より過剰となる。DO制御はDOが過大にならないよう風量を抑える方法で風量一定制御より無駄が少ないものの、適正DO濃度が負荷量により異なることを考慮して設定DO値に余裕を持たせているため、削減の余地が残っている。

アンモニア制御は反応タンク内のアンモニア濃度計測値を基に送風量を制御する方法で、適正に硝化を行いながら曝気風量の削減を図る方法である。制御の概要を図2に示す。アンモニア濃度の測定値を基にDO濃度の設定値を決め、DOがその値となるよう制御を行う。硝化が安定している場合は曝気風量を抑制し、高負荷時には曝気風量を上げることで、風量の無駄をなくし消費電力を低減している。

1.2 周辺機器

1.2.1 し渣洗浄脱水機

下水処理場に流入しスクリーンで除去される夾（きょう）雑物は、「し渣」と呼ばれる。これを処分するための洗浄・脱水機として二軸式の装置があるが、当社では、これを一軸スクルー式のシンプルかつコンパクトなものとし、消費電力の低減を実現している。（写真1）



写真2 ノンメタリック汚泥掻寄機

1.2.2 ノンメタリック汚泥掻寄機

沈殿池で沈降した汚泥を回収するチェーンフライト式汚泥掻寄機には、厳しい腐食環境下で連続運転するため、耐食性、耐久性が求められる。古くは金属製チェーン、スプロケットが使用されてきたが、当社では耐食性・耐摩耗性に優れたプラスチック製のノンメタリック汚泥掻寄機（写真2）を実用化している。1978年に1号機を納入して以来、30年以上安定運転を継続する実機もあり、軽量化と消費電力の低減、長寿命化を達成している。

2. 汚泥処理技術

下水処理の中核となる技術は、有機物を微生物に食べさせ成長した微生物を汚泥として分離除去する「活性汚泥法」である。汚泥の発生量は非常に多く、20世紀より、時代に応じた処理・処分技術が求められてきた。

現在、焼却処分、消化によるエネルギー回収、燃料化、肥料化などの汚泥処理技術がニーズに合わせて用いられており、技術の改良が進められている。当社でも、幅広いニーズに対応し以下の技術をラインナップしている。

2.1 濃縮・脱水技術

下水処理で発生した汚泥を処分又は有効利用するには、水分の低減が重要である。沈殿したばかりの汚泥の大半は水分であり、どのように処分または利用する場合でも、水分を低減し減容化することが、処理の効率化・省エネルギー化に重要な役割を果たす。

2.1.1 ベルト型濃縮機

脱水や後述の汚泥消化の前処理として濃縮が有効であり、重力沈降式の濃縮槽が用いられてきた。当社では機械式の濃縮機をラインナップしており、軽量かつ安価な樹脂製のベルト（ろ布）を用いた、コンパクトかつ保守の容易な装置を提供している。汚泥セパレータでろ過面を更新することによる高い濃縮効果に加え、微細な凝集フロックを捕捉できるため凝集剤使用量の削減が可能であり、LCCの低減に寄与している。（写真3）

2.1.2 難脱水対応強化型スクリープレス脱水機

汚泥処理における水分および動力の低減は、焼却、埋立など後段プロセスの処理費用やCO₂排出量の低減に寄与する重要な技術課題である。当社では、低動力にて凝集フロックを最適化し、低動力で適正な加圧を行うスクリープレス式脱水機の採用で、消化汚泥などの難脱水汚泥の低含水率化を達成している。（写真4）

2.2 汚泥消化技術

汚泥は下水処理の副産物であり、かつては処分に困る厄介ものと位置付けられていた。しかし現在、低炭素の流れの中で、汚泥はまとまって発生する貴重な有機資源として注目されている。

汚泥を嫌気条件でメタン発酵させ減量するとともに「消化ガス（バイオガス）」を取り出すのが汚泥消化技術であり、当社でも過去数10年にわたって改良を重ねてきた。本技術は次章のバイオマス資源化技術と密接に関連するので、で本章では汚泥消化の段階までを記載し、ガスの利用については次章に記載する。

2.2.1 鋼板製消化槽

汚泥消化槽の主流は卵型などのコンクリート製であったが、建設に長期間を要し、建設費が高額であることが課題であった。当社では鋼板製消化槽（写真5）を実用化し、工期の短縮と建設費の削減を実現している。またこの形式ではセンサ類の取付けが容易であり、安定運転や維持管理性の向上にも貢献している。

2.2.2 高濃度消化技術

汚泥消化には一般に20数日の滞留時間が必要であり、汚泥消化槽はどうしても大きいものとなる。投



写真3 ベルト型濃縮機

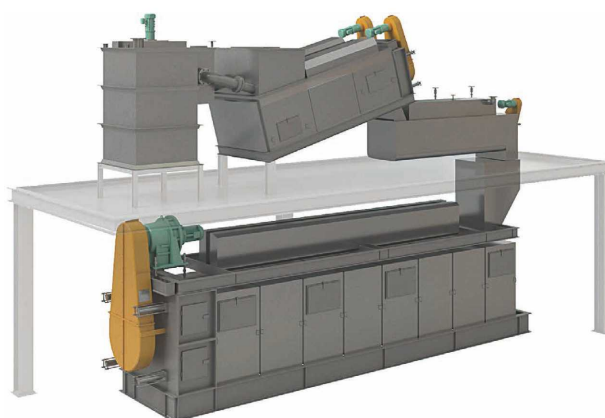


写真4 難脱水対応強化型スクリープレス脱水機



写真5 鋼板製消化槽

入前に汚泥をあらかじめ濃縮できれば、消化槽のコンパクト化が可能である。当社では、前記のベルト型濃縮機などの汚泥濃縮技術を組み込み、さらに高濃度化で懸念されるアンモニア阻害への対策を行うことで、安定した高濃度消化と消化槽のコンパクト化を達成した（図4）。また、消化を行うためには槽を加温して内部を適正な温度（例：中温発酵で37℃前後）に保つ必要があるが、コンパクト化による保

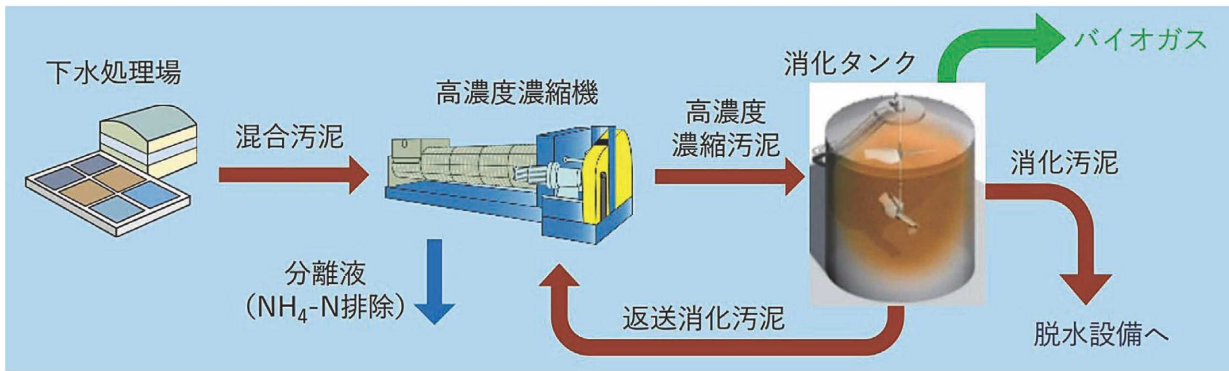


図4 高濃度消化技術

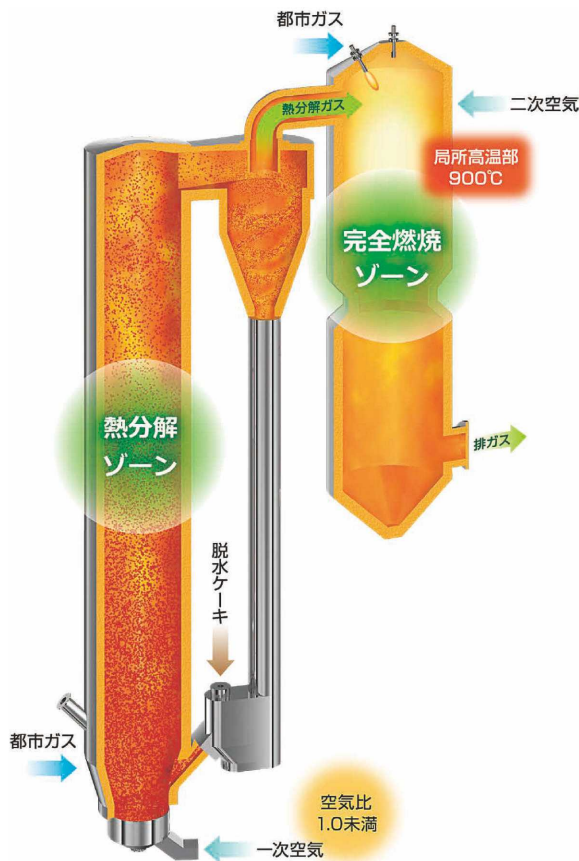


図5 循環式高効率二段焼却炉

有液量および放熱面積の低減により、加温エネルギーの面でも大きなメリットがある。

2.3 汚泥焼却技術

汚泥焼却は、汚泥の減量化、処分における安定化、灰のセメント原料化などを目的として、古くから使われてきた手法である。水分を飛ばす必要があり原理的に熱を大量に使う設備であること、処理の過程で N_2O を発生させる可能性があることから、温室効果ガス削減の上でその改良が課題となっている。当社では次の2つの技術をラインナップし、温室効果ガスの削減に貢献している。

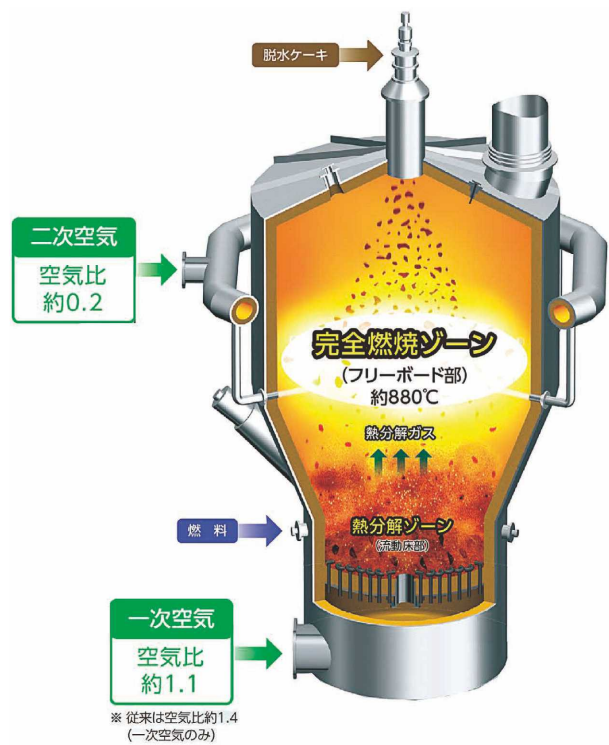


図6 気泡式高効率二段焼却炉

2.3.1 循環式高効率二段燃焼炉

熱分解ゾーンと完全燃焼ゾーンを独立して設けた焼却炉である。熱分解ゾーンでは流動砂の循環により炉内温度を安定維持しており、汚泥の性状変化や負荷変動に強い。高温部を後段の完全燃焼ゾーンに限定することで、省エネルギー化と N_2O の低減を両立している(図5)。

2.3.2 気泡式高効率二段燃焼炉

循環式と同様に熱分解ゾーンと完全燃焼ゾーンを設けた焼却炉であるが、こちらは炉を一体化したものである。底部の熱分解ゾーンでは低空気比で抑制燃焼を行い、上のフリーボード部に二次空気を送り込み高温で未燃ガスの完全燃焼を行うことで、省エネルギー化と N_2O の低減を両立している(図6)。

3. バイオマス資源化技術

2項でも触れた通り、下水汚泥の位置づけは、廃棄物から貴重な有機資源へと変わってきている。食品廃棄物や工場排水処理汚泥、農業・畜産系廃棄物も含め、これらバイオマスは、エネルギー資源や肥料原料として注目を集めている。

当社ではメタン発酵や汚泥の固形燃料化など各種バイオマス資源化技術の開発・普及に取り組んでいる。本項では、メタン発酵に関連したバイオマス資源化技術について紹介する。

3.1 メタン発酵・バイオガス発電

下水汚泥の消化について2.2項に記載したが、メタン発酵技術は下水汚泥に限らず有機物全般に適用できる。生成したバイオガスはメタンを主成分としたガスであり、発電、ボイラ、車両燃料、都市ガス導管への注入など、燃料として様々な用途に用いることができる。特に、温室効果ガス発生削減の国策に伴い導入されたFIT（Feed in Tariff）制度により、バイオガスで発電した電気を固定価格で販売する事業が全国で普及している。

当社では下水汚泥の消化に加えて、2000年代初頭より食品工場廃棄物や収集ごみ、ビルの食品廃棄物のメタン発酵に取り組み、多数の実績を有している。以下、2つの事例を紹介する。

3.1.1 日田市バイオマス資源化センター

生ごみ、豚糞尿、農業集落排水汚泥、焼酎かすを合計約80t/日処理できるメタン発酵設備である（写真6）。バイオガスはコージェネレーションシステムによって電力・温水に変換し、有効利用している。

3.1.2 大栄環境株式会社 伊賀リサイクルセンター メタン発酵・堆肥化施設

当社がメタン発酵バイオガス発電施設（前処理設備および土木建築は除く）の建設を担当し、バイオガスを供給するメタン発酵処理事業は顧客が運営、発電事業は顧客と当社の出資により設立した特別目



写真6 日田市バイオマス資源化センター

的会社が運営を行っている。

発電規模は1,980 kWで、一般家庭約3,000世帯分に相当する。

3.2 バイオガス精製・利用

バイオガスはメタンを60%前後含み、硫化水素やシロキサン（シャンプー・リンスなどに由来しバイオガス中に出てくるシリコン化合物）を除去することで有用な燃料となる。燃料として直接利用できるが、都市ガスなどに比べるとメタン濃度・熱量が低いため、専用に燃焼条件を調整したバイオガス発電機やボイラが必要である。

当社では、バイオガスを原料としてメタン濃度を97%以上に高め、都市ガス相当の高品質ガスを製造する「バイオ天然ガス化設備」を実用化している（写真8）。メタンとCO₂の水への溶解度差を利用し、高品質のガスを製造する。本技術により製造したガスは、自動車燃料として利用されている。



写真7 大栄環境株式会社 伊賀リサイクルセンター
メタン発酵・堆肥化施設



写真8 バイオ天然ガス化設備

4. 上水処理技術

上水道は、人の安全で健康な生活に必要な、最重要インフラである。その一般的なフローと構成機器の例を図7に示す。

当社はオーソドックスなものから独自の特長のあるものまで各種の上水処理技術を組合せ、安全な水の供給に貢献してきた。現在、単なる設備の建設にとどまらず維持管理を含めた総合的な対応が求められるようになってきており、設備の老朽化や技術者不足への対処も念頭に取組みを行っている。

近年では海外、特に東南アジア地域のインフラ整備にも力を入れており、直近では、日本の政府開発援助の円借款協力案件である「シムリアップ上水道拡張事業」（カンボジア）に参画し、処理能力60,000 m³/日の浄水場を建設、2023年5月に竣工を迎えたところである（写真9）。

以下、当社の代表的な技術について紹介する。

4.1 凝集沈殿技術

上水処理ではまず濁質の除去が行われるが、その初段で用いられるのが凝集沈殿技術である。

4.1.1 凝集沈殿技術

原水は、急速・緩速の2段で構成される攪拌槽に

流入する。ここで薬品を添加し、濁質を凝集・成長させ沈降速度を高めた上で、沈降分離を行う。凝集沈殿は広く用いられている技術であり、当社でもオーソドックスな技術を用いつつ、薬品注入技術の改良などを重ねている。また、沈殿槽を小型化するため、4.1.2項の波型傾斜管を採用している。

4.1.2 波型傾斜管 V-Wave

沈殿池では、水中にある濁質の粒子が全て底部まで沈降した時点で処理が完了する。沈めたい粒子の沈降速度が大きいほど処理時間は短くて済むが、粒子の沈降速度そのものを上げることは難しい。ここで、沈殿池の中に傾斜した板を設置すれば、板の表面が沈殿池底部と同じ役割を果たし、沈降距離が短くなるため粒子の沈降速度が変わらなくても早期に処理が完了する。この原理を装置に応用したものが波型傾斜管であり、当社のV-Wave（写真10）は独自の形状で効率を高め、沈殿池のコンパクト化に寄与している。

4.2 ろ過技術

沈殿槽から流出した沈降速度の小さい粒子は、砂などの層や分離膜を通すろ過を行うことで除去できる。本項では、特徴のあるろ過技術として、運転の

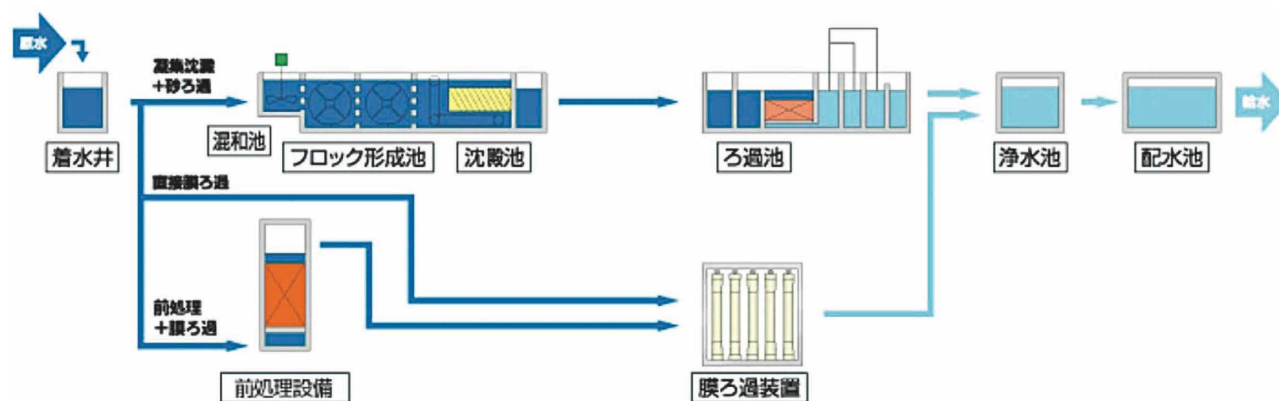


図7 水道施設の構成例



写真9 シムリアップ浄水場（カンボジア）

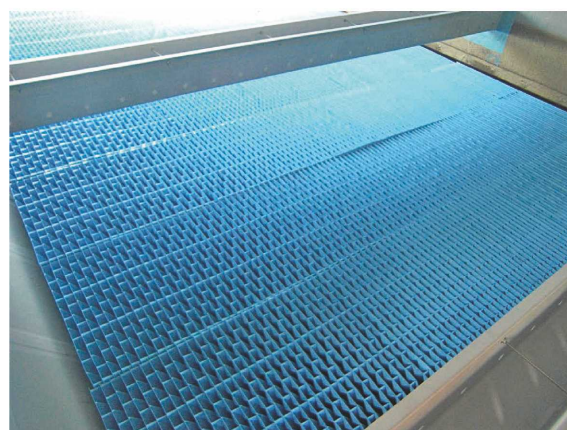


写真10 波型傾斜管 V-Wave

簡素化と省エネルギー化を図った砂ろ過設備である自動サイフォン・フィルター，生物処理の機能を付加して異臭味や溶解性物質の除去を行う生物接触ろ過設備を紹介する。

4.2.1 自動サイフォン・フィルター ASF

砂ろ過ではろ層表面やろ層内に濁質が徐々に蓄積していくため，ある程度差圧が上昇すると，透過側から水を逆流させて濁質を洗い流す「逆洗」操作が必要となる。一般には自動弁やポンプなどを用いた複雑な制御機構が必要となるが，ASF（写真11）では，これらを用いず差圧が上限に達すると自動で機械的に逆洗が行われ，電気代や労務費を削減することができる。

4.2.2 生物接触ろ過設備 BCF[®]

水道水源は必ずしも良質とは限らず，凝集沈殿・ろ過だけでは，異臭味・アンモニア性窒素・界面活性剤・マンガンなどが残る場合がある。薬品を使った物理化学処理に頼らず，微生物の働きによりこれ



写真12 生物接触ろ過設備 BCF



写真11 自動サイフォン・フィルター ASF

らを処理する技術が生物接触ろ過（写真12）である。ろ材表面に微生物が生育し，異臭味物質などの有機物の分解，鉄やマンガンの除去を行う。

5. 産業用水処理技術

食品・飲料，鉄鋼，化学，電力など，産業分野では業種や用途により様々なグレードの用水が要求され，また発生する排水の質も多種多様である。当社は，飲料水・工業用水・冷却水・純水のような用水の提供から，有機・無機，低濃度・高濃度，下水放流・河川海域放流など，原水水質と放流先に応じた多様な用排水処理のメニューを揃え，国内外の産業の発展に貢献してきた。省エネルギー・創エネルギーの要求の高まりへの対応に加えて，回収再利用など水利用の合理化にも対応している。産業分野における水処理技術の構成例を図8に示す。

さらに当社では，薬品部門を設け，納入した設備の安定した維持管理のため適切な水処理薬品の提供

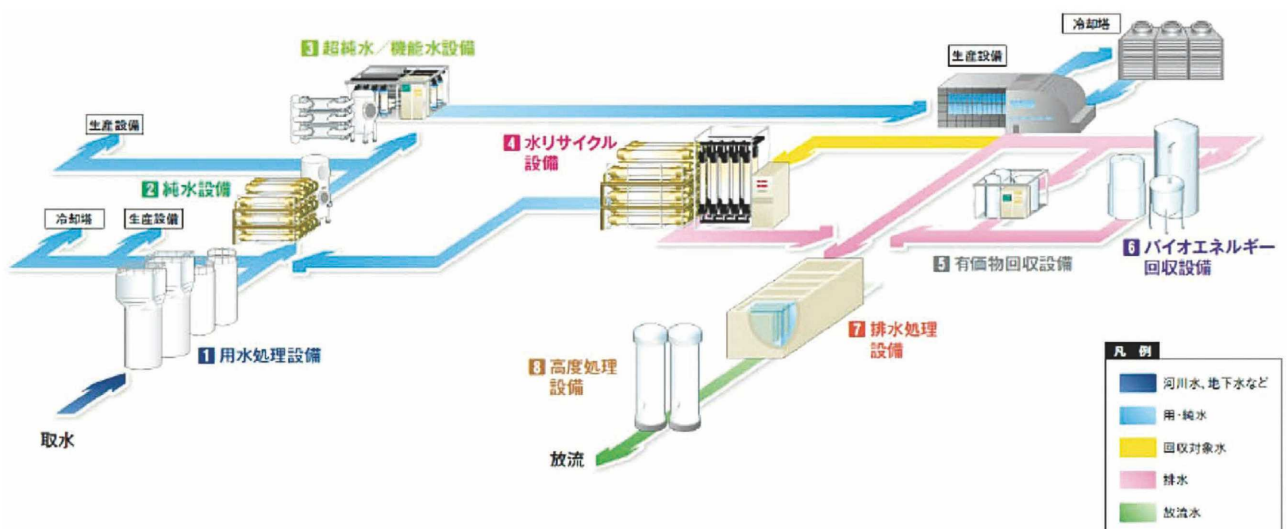


図8 産業分野における用水・排水処理設備のフロー



写真13 圧力式砂ろ過器 スーパーフィルター



写真14 PABIO MOVER®-LS 担体

を行っている。

5.1 用水処理・純水製造設備

濁質や鉄・マンガンの除去を主体とする用水処理、さらに進んで要求グレードによりイオン交換や膜分離を組合せた純水装置など、多彩なメニューをラインナップしている。写真13は、高い信頼性を備えた圧力式の砂ろ過器「スーパーフィルター®」である。

5.2 排水処理・汚泥処理設備

水質変動の小さい下水処理と比べ、産業排水の水質は様々であり、除去対象物に応じた処理技術の選択が必要である。排水処理にかかるコストは製品価格に上乗せされ、かつ放流水質の悪化は顧客事業所の操業停止につながりかねない問題である。このため、処理コストのミニマム化と安定処理が、産業排水の処理において特に求められる。さらに、温室効果ガス排出量の削減は当分野でも重視されており、省エネルギー・創エネルギーが求められている。

5.2.1 有機性排水処理装置 PABIO MOVER®

有機性排水や窒素の処理に用いられる生物処理では、処理に寄与する微生物の安定保持が求められる。これには微生物保持担体を用いることが有効であり、当社では、微生物の保持性と閉塞・固着防止性に優れた樹脂製の流動担体（写真14）を用いたシステム「PABIO MOVER」を主力製品としている。

5.2.2 有機性排水処理装置 PANBIC®-EC

ビール工場や化学工場など、高濃度有機性排水が多く発生する事業所の場合、活性汚泥法のような好気処理を用いると、処理に要するエネルギーと汚泥発生量が膨大なものとなる。一方、排水中の有機物はうまく活用すれば有用なエネルギー源となるので、嫌気性処理によるバイオガスの回収が試みられてきた。好気性処理ほどの処理水質は単独では得られないものの曝気が不要なため、省エネルギー性に優れ、ガスは発電やボイラの燃料として有効利用できる。



写真15 有機性排水処理装置 PANBIC-EC

排水の嫌気性処理はまず微生物保持担体による「固定床方式」に始まり、その後微生物をより高濃度に保持できる「UASB方式」が主流となり、さらにそれを改良した内部循環方式や膨張床方式に発展し現在に至る。当社でも改良を重ね、現在、処理水をリアクタ外部で循環させ微生物の安定保持とアルカリ剤の使用低減を図った「PANBIC-EC」（写真15）を主力製品としている。

5.2.3 ユニット型水処理設備

産業において、排水の処理は利益を生み出すものではないため、収益を圧迫しないようコストの最小化が求められる。排水処理設備の仕様は排水の量・質と要求水質により決まるものであり、一般の工業製品のように規格品にしてコストダウンを行うことが困難であった。これをある規模範囲において標準化し、スキッド上に設置した規格品を何種か用意することで、設計の共通化と現地工事の最小化によるコストダウンを図ったのがユニット型水処理装置である。当社では現在、

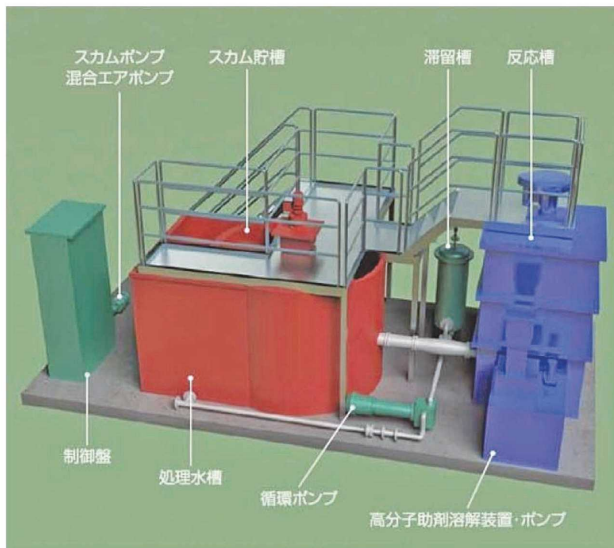


図9 ユニット型加圧浮上装置

加圧浮上装置 (図9)

好気性排水処理装置 パビオムーバー CM
水リサイクル装置 RECLAM (リクラム)

の3種類のユニット型設備を標準化している。

6. 冷却塔

化学プラント、製鉄プラント、発電プラント、地域冷暖房設備では、大量の冷却水を必要とする。これに伴って発生する水不足や、地下水の大量使用による地盤沈下などの問題を解決するため冷却水の循環再利用が行われており、そのシステムの中核をなすのが、水の蒸発による潜熱冷却を利用した「冷却塔」である。

当社は1962年に冷却塔の販売を開始し、世界各国に5000基を超える納入実績を有している。

冷却塔は、頂部に設置されたファンで塔の外周から空気を吸込み、冷却対象である循環水と接触させて冷却を行うが、水と空気の接触方法により2種類に大別される。

6.1 クロスフロー型冷却塔

空気と水の流れが直交するよう、側面の空気流入部に水を降らせる方式の冷却塔である (図10)。塔上の温水槽が開放になっており、異物の除去・清掃が容易であるとともに、運転中に棟内の点検が可能である。ファンの動力および騒音が小さいという特長がある。

6.2 カウンターフロー型冷却塔

塔内を上昇する空気に対向して水を降らせる方式の冷却塔である。立上り配管の位置をクロスフロー型より低く設定できるため、ポンプ揚程を小さくできるという特長がある。外気に触れる箇所が少ないため、寒冷地に向いている。

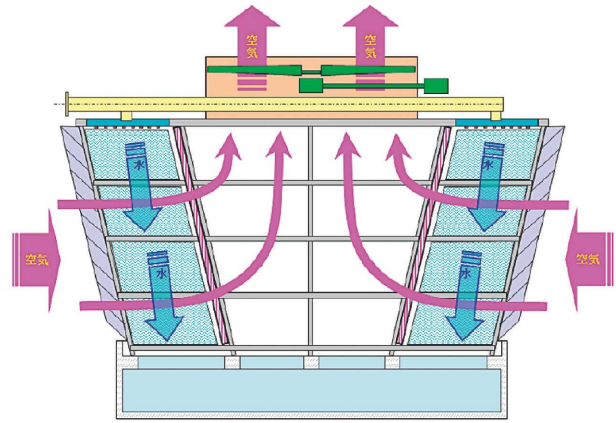


図10 クロスフロー型冷却塔

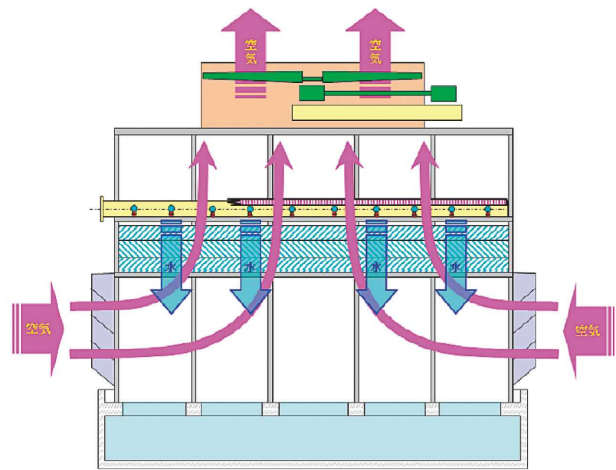


図11 カウンターフロー型冷却塔

むすび

水処理関連技術の大枠は20世紀に確立しており、現在業界では、それら基本技術を組合せ、時代の要請に応えるべく技術面・運用面でさらなる改良を加えつつある段階にある。当社としても、低炭素・省人化対応を念頭にニーズに合った開発を推進し、国内外の環境問題解決に貢献していきたい。

また、当社が企業として存続し社会貢献を果たしているのは、顧客、共同研究先、取引先各位の協力があるからこそである。技術導入元、引退された諸先輩を含め、社内外のあらゆる方々に対し、この場を借りて感謝申し上げたい。

[参考文献]

- 1) 長谷川進：神鋼環境ソリューション技報, Vol.1, No.1 (2004) p.2-8
- 2) 島田ほか：神鋼環境ソリューション技報, Vol.15, No.1 (2018) p.20-28