



21世紀の液体清澄化技術を考える・・・・・

1. 液体清澄化技術の過去・現在・未来 —フィルター・スクリュープレス—

菅谷 謙三*

スラリー中の固形分を、ろ過布を介してろ過ケーキ（ろ滓）とろ液に分離するためのろ過装置にフィルターブレス（加圧脱水機）がある。フィルターブレスは密閉したろ過室に、プランジャーポンプ、渦巻きポンプやネジポンプなどの加圧でスラリーを供給しろ過するものである。工業用の加圧ろ過装置の歴史は古く、フィルターブレスの最初の特許を1814年にイギリスのHowardが取得している。また、1844年頃から下水のろ過にもフィルターブレスが利用され始めたとされている¹⁾。これは、真空式のろ過機であるドラムフィルター（真空脱水機）の歴史（アメリカのOliverが1908年に特許取得）より古いものである。

工業ろ過の分野で、石油化学工業、窯業、食品工業、鉱工業、廃水処理などの広い分野でフィルターブレスが採用されるようになるが、古典的なフィルターブレスは、加圧による単純なろ過であり、容易に水分の低いケーキが得られ、ろ過自体には問題がなかった。しかし、ろ過圧力が高いことから、ろ過布からのケーキの剥離が悪いことが多く、ケーキ排出作業等に人手がかかっていた。また、回分式の操作であるため処理効率が低く、設置面積当たりの処理能力も低いなどの欠点を有していた。フィルターブレスとしての基本的な構造は古典的なものからほとんど変わらずに進歩していくが、装置的に自動化、省力化を図るために昭和30年代に入ると、数々の特徴ある脱水機が開発されてくる。

一方、回分式の加圧ろ過操作を連続式にするというのが、脱水機の開発者にとっての一つの夢でもあった。多くの試みがなされていたが、ほとんど実用化されて、その中でろ過のメカニズムはフィルターブレスと異なるが、連続加圧の操作を可能とした機械にスクリュープレスがあった。これは連続式の圧搾装った。分類されているもので、ろ材にろ過布を使わず、比較的目開きの大きいパンチングメタルやウエッジワイヤーなど

を使用している。そのため、対象原液の液性が繊維質の多いものや比較的強い凝集フロックを形成したスラリーに限定されていた。

スクリュープレスの一般的な構造は、外筒スクリーンの内部にスクリュー軸が設けられ、入口から出口に向かってスクリュー軸を太くしたり、あるいは外筒スクリーンの径を徐々に減少させたりして、スラリーをスクリュー羽根に沿って送り込んでいき、その際に発生する内部圧力の上昇により圧搾脱水するものである。

この脱水機は高圧の発生が容易であることと、液分の回収率が高いことから搾油工業でエキスペラーとも呼ばれ広く利用されてきたが、近年になると廃水処理の分野で、とくに大量にスラッジを発生する製紙・パルプ工業の脱水機として使用されるようになってくる。その後、下水汚泥の処理など大量の処理に適したスクリュープレスに改良しようとする試みがなされてくる。

ここでは、フィルターブレスおよびスクリュープレスについて近年の開発の経緯などを述べる。

1. フィルターブレス²⁾

1-1. 手動式フィルターブレス

図1は昔からある手動式フィルターブレスの例で、ろ板・ろ枠・ろ布がサイドバーの上にセットされ、手動ジャッキで締め付ける構造となっている。ろ室の構成上このタイプが複式と呼ばれている。ろ室を形成する方法にはこの複式と単式の2種類がある。複式は図2に示すようにろ板とろ板との間にろ枠を挟み込みろ室を形成するものである。この方法はろ過圧力が高くなるとろ枠の強度上の問題があったり、ケーキの排出時にろ枠が邪魔になるなどの欠点がある。そのため、図3に示すろ板のろ過面に窪みをつけてろ室を構成する単式のろ室構造が主流となっていく。

1-2. 圧搾機構付きフィルターブレス

フィルターブレスの発展でのもっとも大きな変化は、昭和30年代後期における圧搾機構付きのフィルターブレスの出現である。ろ過室を可変させて、ろ滓に圧搾圧力を作用させる方法は昔から諸味の脱水等で行わ

* Kenzo SUGAYA ; (株)石垣 エンジニアリング事業部
技術本部技術本部長

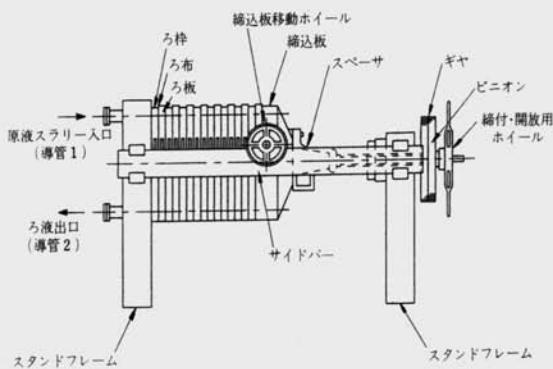


図1 手動操作の複式フィルタープレス

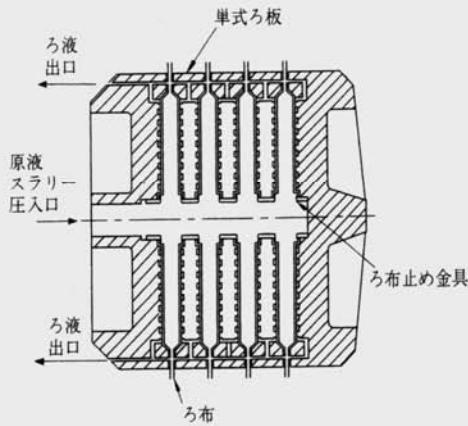


図3 単式センターフィードろ室の構造

れていた。しかし、これを機械化するのは困難であった。そこで、ろ過室の中にメンブレンとも呼ぶ圧搾膜をとりつけ、ポンプでスラリーを供給しろ過した後に圧搾膜に空気や水圧をかけその膨張力によりろ涤断水する機構が開発された。これにより、ろ過の効率が高くなりケーキの水分もより低いものが得られるなどの利点が出てくる。この圧搾機構付きフィルタープレスは、ダイアフラムプレスやメンブレンフィルターなどとも呼ばれている。この構造を図4に示す。圧搾機構付きはわが国の酒造業等で使用され始めるが³⁾、すぐに他の食品分野を中心としたプロセスや廃水処理の分野まで広く普及していく。

1-3. 全自動フィルタープレス

フィルタープレスのろ板の締め付けは手動から徐々に、油圧式の締め付け方式が採用されるようになる。また、複数のろ板を順次開板していく各種の機構も開発されてくるが、まだ、脱水ケーキの自動排出がフィルタープレスの大きな難点であった。このケーキ排出での大きな技術革新の一つは、固定したろ布を振動させ、脱水ケーキを自動的に排出させる機構の出現である。この方式によりフィルタープレスの完全自動化を図ったのは、図5に示す株栗田機械製作所が開発し

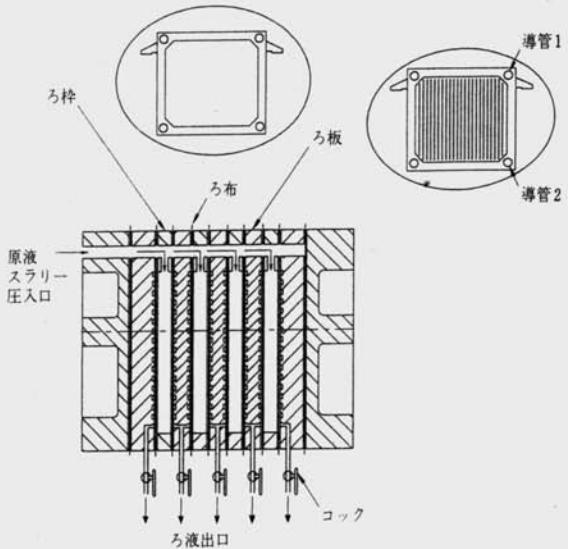


図2 複式ろ室の構造

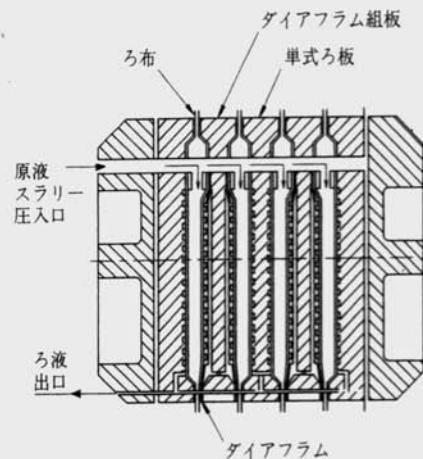


図4 ダイアフラム圧搾機構付き加压脱水方式

たRF型フィルタープレスといわれている⁴⁾。

昭和40年代に入るとソ連で開発された継型の自動ダイアフラムプレスが月島機械^(株)⁵⁾により導入される。これはウクライナフィルターと呼ばれ、図6に示すように複数のろ室に張り巡らしたエンドレスのろ布が全室同時に開板した後に走行して脱水ケーキを排出するものである。開板などに要する雑時間が、今までの順次開板型と比べて飛躍的に短縮され、ろ過効率を示すろ過速度が順次開板型よりも数倍と高いものであった。この脱水機はその後のわが国におけるフィルタープレスの技術革新のきっかけとなるものであった。

同様のメカニズムでろ室の構成を横型としたものに日本碍子^(株)のスラジコン、^(株)クボタのダイナミックフィルター(図7)、石垣機工^(株)のIFP型フィルタープレス等がある。これらの脱水機は民間のプロセス分野を始めとし、とくに上下水の汚泥処理で、真空脱水機に

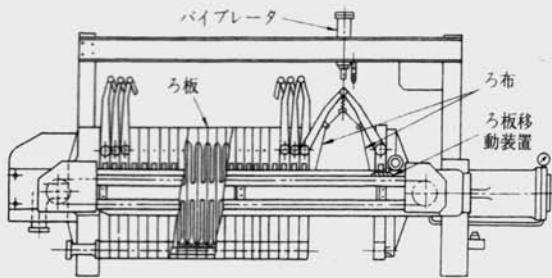


図5 クリタ式RF形自動フィルタープレス断面図

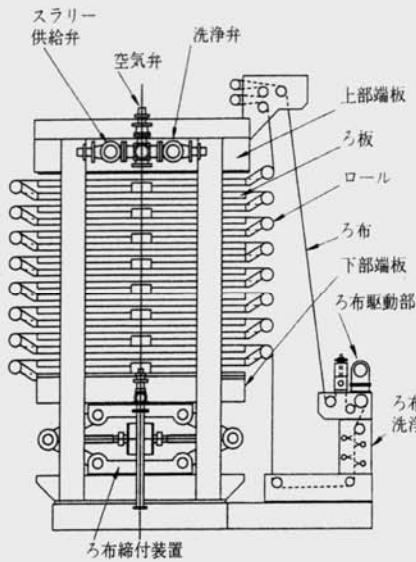


図6 エンドレス
ろ布走行式縦型
フィルタープレス (月島機械株)



図7 エンドレス
ろ布走行式
横型フィルタ
ープレス (久
保田鉄工株)

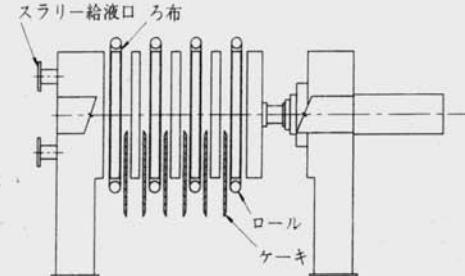


図8 ろ布単独走
行IDP型ダイア
フラムプレス
(石垣機工株)

とて替わり使用されるようになる。

1-4. 単独ろ布走行型フィルタープレス

エンドレスのろ布走行式はケーキの排出時間を短縮したり、ろ布をローラーで反転させることで脱水ケーキを容易に排出できる等のメリットがあり、かなりの点で自動化が実現されたといえる。しかし、ろ布が破損すると、全部のろ布を変えなければならなかったり、ろ布が走行する時にろ布の汚れた面がローラーに接してローラーを汚したり、ろ板のシール面を汚して、ろ過原液のシール漏れを起しやすいなどの短所を有していた。これを解消するために、図8に示す石垣機工の開発によるろ布単独走行型のIDP型ダイアフラムプレス等を始め、さまざまな工夫をとり入れた機種が当時の公害問題や廃棄物処理の規制の強化等を背景に短期間のうちに開発されてくる。

この中で登場したのが、石垣機工が開発したラースタフィルターである^⑤。このダイアフラムプレスは、各ろ室のろ布が単独に走行するという独特のメカニズムを有し、脱水ケーキの剥離性を格段と改善したものである。この全体図を図9、機構図を図10に示す。図10に示すように、脱水ケーキはろ布に包み込まれるように全室一齊にろ布走行とともに下方に移送され、反

転するローラーで確実に剥離し排出される。ローラーでのろ布反転の際には、隣のろ室のろ布の汚れた面と相接するようにローラーを介して上方に反転走行するため、ローラーやろ板のシール面をまったく汚すことなく、全自动の機械としては究極に近い機構となつた。このラースタフィルターは昭和47年に発表すると同時に、上水では秋田県の工業用水道に、下水では豊中市の処理場に採用され、民間の市場でも瞬く間に普及していった。

1-5. 無薬注脱水方式

その後、ラースタフィルターがさらに発展進歩していくが、その大きな要因に上水スラッジの無薬注脱水^⑥を可能にしたことがあげられる。上水スラッジの分野では、昭和45年に水質汚濁防止法により、10,000 m³/day以上の浄水場が特定施設の指定を受け、排水処理設備を設置する必要が生じるようになってきていた。それまでの加圧脱水機では、上水スラッジは消石灰を使用しないと処理効率も低く、脱水ケーキの剥離が困難であったのに対して、ラースタフィルターはなんら薬品を添加せずに脱水することを可能にした。

上水スラッジに消石灰を添加した脱水ケーキはpHが高くなり、処分上問題であった。これを解決した無薬注脱水方式は、上水スラッジ処理の主流となっていく。この後、上水スラッジ処理で要求される大容量処理に対応して、世界でも類のない2,000ミリ角というろ板の大型化を図ったり、ろ板を鋼製のものから樹脂

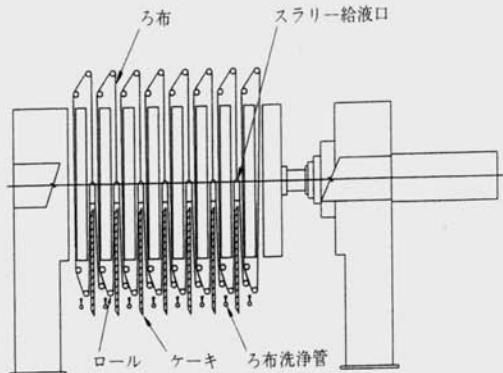


図9 単独ろ布走行型ラースタフィルター（石垣機工株）

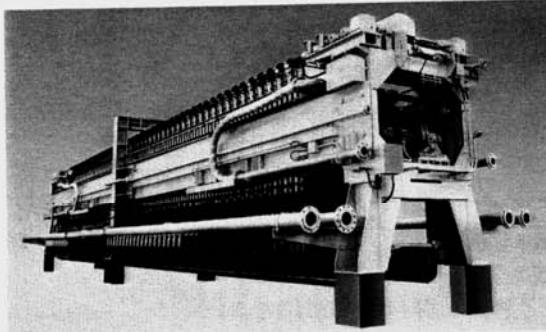


写真1 電動開閉式G機構のラースタフィルター

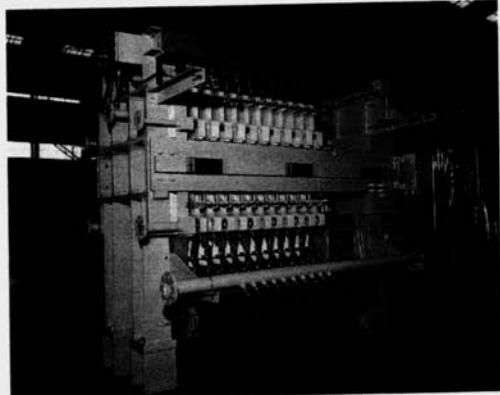
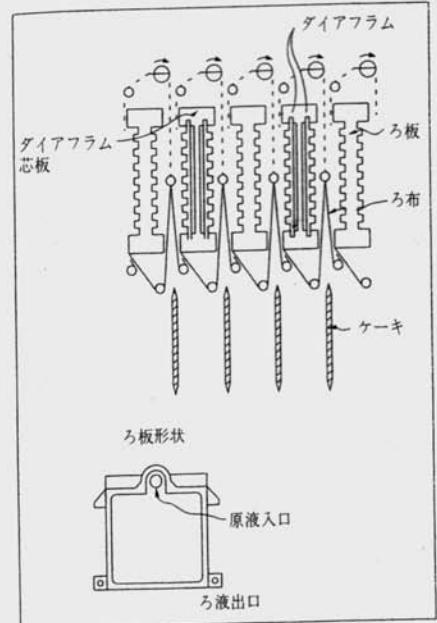


写真2 小型エコラースタ

性のものにすることによる軽量化、ろ板の開閉板を電動で行い、油圧シリンダーでは不可能な多室化を図るなどのフィルタープレスの技術革新が進んだ。フィルタープレスのもつ、重い、取り扱いにくいなどの欠点が一掃されていくことになる。上水スラッジ処理の普及とともに、国内の他社でも類似したメカニズムの脱水機の開発が進み、さらに、電気浸透式のフィルタープレスも開発⁸⁾される等わが国はフィルタープレスの最先進国といえるほどの進歩を遂げることができた。写真1に電動開閉式の大形G機構のラースタフィルター、写真2にコンパクトな民間向けの小型のエコラースタを示す。

図10 ラースタフィルター構造図



2. スクリュープレス

2-1. スクリュープレスの基本構造

スクリュープレスの基本的な構造は、図11に示すように出口に向かうほどスクリュー軸の径を太くして容積を圧縮させるものや、図12に示すように外筒を出口に向かうほど細くして容積を圧縮させるものがある。他にも、外筒とスクリュー軸を一定の太さにして、スクリュー羽根のピッチを徐々に狭めていくことで圧縮するタイプもある。スクリュー軸の径を変化させるタイプは、大型化が可能で大容量処理かつ高脱水が要求される廃水処理分野での脱水に適している。外筒を狭めるタイプは大型には適さないが、高圧力を発生させやすいため、搾油や食品分野での脱水に比較的適している。スクリュー羽根のピッチを変えるタイプは大型化に伴うスケールアップが難しく、高圧の作用にも不向きであるため、小規模の活性汚泥の処理や汚泥の濃縮などに使われている。

2-2. 加熱型スクリュープレス

昭和40年頃からはスクリュープレスの原液の供給法や羽根の形状の工夫、本体が金属性である特徴を生かした加温脱水を始めとしさまざまの特許がでてくる。このころ下水処理の分野では消石灰と塩化第二鉄を添加して真空や加圧脱水する方式から、有機高分子凝集剤を使用した脱水方式に転換が図られるようになり、遠心分離機やベルトプレスなどの機種が使用され始めてきた。

この下水汚泥の脱水に日本碍子はスクリュープレスでの処理にチャレンジし、高分子凝集剤の他に消石灰を添加しステームの加温を併用した連続加圧脱水機と

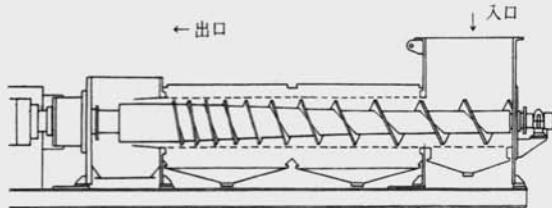


図 11 スクリュー軸径を変化させるタイプ

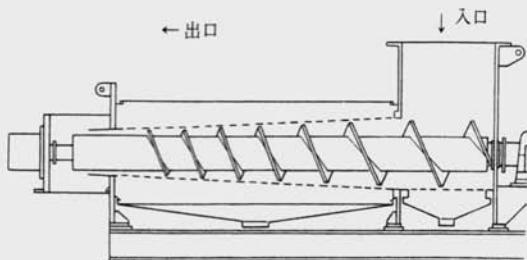


図 12 外筒径を変化させるタイプ

しての処理技術を確立した⁹⁾。しかし、消石灰を使うデメリット等から一部での普及にとどまった。

2-3. 差速式外筒回転型スクリュープレス

スクリュープレスは低速回転で電力使用量が少なく、ろ布を使用しなくてすむ等の数々の利点がある。このスクリュープレスのもつ可能性に着目して、株石垣では下水汚泥用スクリュープレスの新開発に着手した。平成元年には、外筒をスクリューに対して常時逆転させ、差速回転によって脱水する機構を開発した。ろ液は外筒側とスクリュー軸側の両面でろ過する方式を採用し処理能力の向上を図った。スクリーンの洗浄は従来の機種が固定した洗浄方式であり、洗浄性が悪かったものに対して、外筒が常時回転することにより必要なとき任意に確実に洗浄できるものとした。この時点での原液の供給法はまだホッパーによる投入方式としており、これが能力に大きな影響を及ぼしていることにはまだ気がつかなかった。その後、さらに能力を改善するため、蒸気による間接加熱を利用する試みた。これは、スクリュー軸に蒸気を供給し外筒内のスラリーを伝熱により加温し、ろ液の粘性を低下させ脱水を促進するとともに、乾燥領域まで水分を低下させることができるようにしたものである。しかし、加熱による臭気の発生や汚泥の熱による固着などの問題が発生した。また、加熱効果をあげるために、スクリーンの長さ (L) とスクリーンの直径 (D) の比である L/D が 10 と機長の長いものが必要となり、これも能力に悪影響を及ぼしていることが後に判明することになる。この構造図と概略図を図 13, 14 に示す。

2-4. 圧入式外筒回転型スクリュープレス¹⁰⁾

下水の汚泥処理用の脱水機ではベルトプレスや遠心分離機の高効率化が図られ、脱水性能が一段と向上し

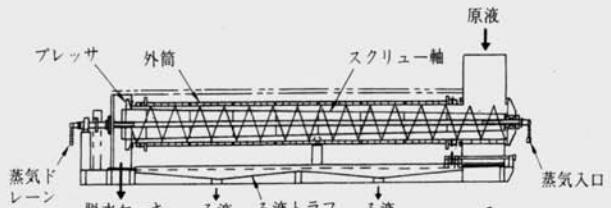


図 13 断面構造図

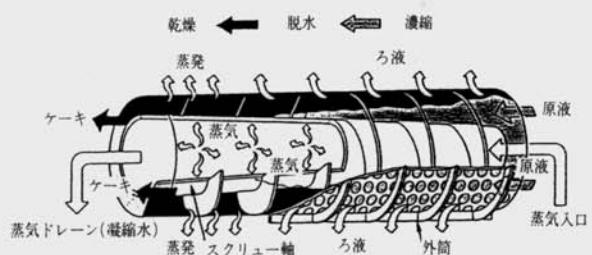


図 14 概略図

てきていた。その中で、スクリュープレスは能力の点でどうしてもこれらの機種に追いつけなかった。その原因を検討した結果、従来のスクリュープレスの設計思想が、脱水性を向上させるためには、圧搾圧力ができるだけ高くなるよう入口と出口の面積比である圧縮比を高くすること、ろ過面積を増やすため L/D を 7 ~ 10 以上と機長を長くすることが有利であり、性能向上につながるとしていたことにあるとわかった。また、原液の供給もホッパーで供給するのが最適との考え方にも問題があった。

スラリーの脱水メカニズムは、ろ液の排出速度がろ過時間とともに指数的に低減していくものである。一方、スクリューの容積変化はほぼリニアな容積変化である。そのため、ろ液の排出速度以上の無理な容積変化が作用することになる。また、この現象を緩和するためにはスクリューの回転数を落とすことになる。そうすると原液の脱水性によってはスクリュープレス内部に供給不良が生じ、内部の充填性が悪くなり、内部に有効な圧力が発生せず、脱水能力が上がりらず、処理も安定しなくなることが明らかとなった。

そこで、 L/D を短くし、機内での容積変化による圧搾圧力の作用をできるだけ緩和し、スクリュープレス前段の濃縮ろ過ゾーンでのろ過圧力を、ホッパーによる原液供給を止めて、原液をスクリュー軸の中心から圧入することで作用させることとした。これにより、ろ過圧力の主なる発生源を圧入圧力とし、スクリューは主に脱水ケーキを移送する働きとさせた。脱水ケーキ水分を最終的に下げる圧搾力は、出口部に設けたプレッサーによる圧力コントロールで作用させることにした。この外観および構造図と脱水概念図を図 15, 16 に示す。この構造をとることで、下水汚泥の脱水で有

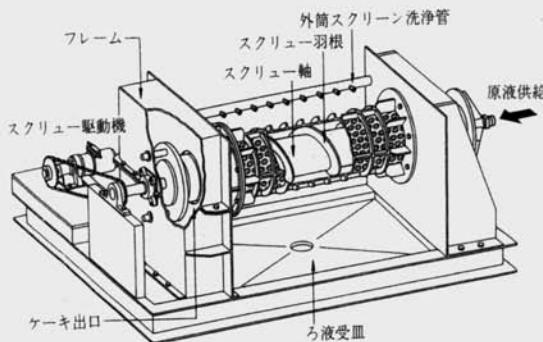


図 15 外観および構造図

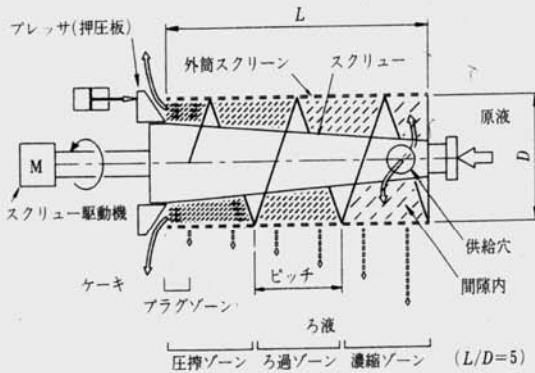


図 16 脱水概念図

機高分子凝集剤単独の添加により、従来の L/D が 10 のタイプとくらべて数倍の能力を発生させることに成功した。また、凝集調質法の改善や外筒スクリーンの洗浄も容易であることなどから、下水汚泥の中でも難脱水性とされている消化汚泥やオキシデーションディッチ法の余剰汚泥でも他機種以上の性能と低含水率のケーキが得られるものとなった。

この圧入式外筒回転型スクリュープレスは、回転数の変化により脱水ケーキ水分が任意に調整でき運転が安定していることや、低動力による省エネ性、コンパクトで軽量であることなどより、現在では下水汚泥脱水の主流となりつつあり、民間の廃水処理でも使用され始めてきている。写真 3 にカバーをドーム開閉式としたスクリュープレスの下水処理場での納入例と、写真 4 にカバーをサッシ開閉式とした下水処理場での納入例を示す。

工業ろ過機としてのフィルタープレス、スクリュープレスのわが国における技術は、世界の最先端にあるといつても過言ではない。しかし、他の種類の工業ろ過機の分野では欧米諸国での技術革新が目覚しい。フィルタープレスやスクリュープレスの分野でもいずれは優秀で価格競争力のある機械を開発・製造していくものと思われる。とくに、生産技術が一段と進歩してきており、樹脂のろ板の製造等も諸外国で盛んになつ

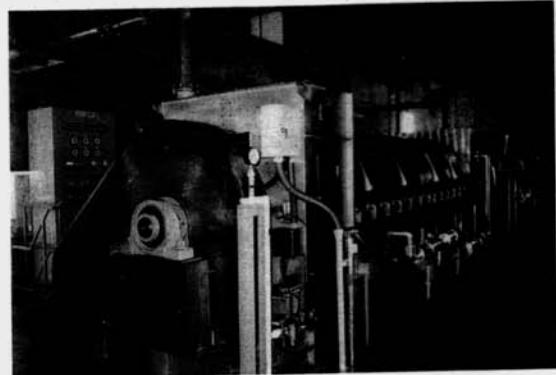


写真 3 圧入式外筒回転型スクリュープレス（ドーム開閉式）

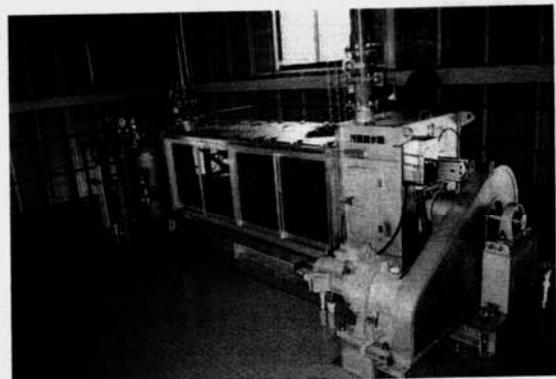


写真 4 圧入式外筒回転型スクリュープレス（サッシ開閉型）

てきている。わが国も、これらの技術や製造力に対抗するために、さらなる技術革新やグローバル化等を進めていく必要があると思う。

参考文献

- 1) 白戸紋平, 村瀬敏郎, 三分一政男, 新垣勉, “工業濾過の理論と技術”, 化学工学, 第 40 卷, 第 11 号, p. 606 ~ 612 (1976)
- 2) 河崎博一, “フィルタープレス”, 化学装置, 4 月号, p. 77 ~ 79 (1998)
- 3) 白戸紋平, “ろ過圧搾装置”, 工場操作シリーズ, 増補・ろ過, 細胞化学工業社, p. 253 ~ 259 (1987)
- 4) 諏訪精一, “自動フィルタープレス”, 化学工場, 第 22 卷, 第 11 号, p. 30 ~ 35
- 5) 井出哲夫, “水処理工学, 理論と応用” 技報堂出版株 (1990)
- 6) 菅谷謙三, “最新の高性能加圧脱水機について” 紙パルプ技術タイムス (1983)
- 7) 菅谷謙三, “浄水スラッジ性状と無薬注加圧脱水性の関係” 水道協会雑誌, 第 710 号, p. 39 ~ 47 (1993)
- 8) 近藤史朗, 鈴木英晴, 佐野滋, “電気浸透式加圧脱水機による上水スラッジの脱水実験”, 工業用水, 386, p. 41 ~ 48 (1990)
- 9) 落合幸三, “スクリュープレスと汚泥脱水処理”, 化学装置, 7 月号, p. 17 ~ 25 (1981)
- 10) 三谷幸利, “高性能スクリュープレス, 最近の進歩と適用”, 化学装置, 5 月号, p. 117 ~ 121 (1997)