

特集●水環境技術の課題と対策 —液体清澄化と排水処理の最新技術—

高濃度アンモニア性 窒素耐性菌による 窒素処理技術

森 直道*, 角野 立夫**

2004 年は第 5 次水質総量規制の目標年度に当たり、4 月からは既設の処理設備について総量基準が適用されるとともに、処理設備からの排水に対して窒素とリンの計測が義務付けられた。また、同年 7 月からは排水基準が一部改正され、アンモニア性窒素およびその化合物、亜硝酸、硝酸化合物の合計が 100 mg/l 以下に規制される。ごみ埋立地浸出水や発酵廃液などにはアンモニア性窒素が比較的高濃度に含まれることから、窒素・リンの規制強化に対応した、より高速で高負荷処理可能な窒素処理技術

の開発が必要となっている。

筆者らは、低濃度窒素含有廃水に対して、担体添加活性汚泥循環変法を日本下水道事業団と共同で開発し、1990 年以降下水処理場をはじめ自動車・半導体工場などに省スペース型生物的窒素処理設備として納入してきた。この間に、担体内に生息する微生物について検討を進めていたところ、低濃度なアンモニア性窒素含有廃水で活性が高い硝化細菌に混じって、1,000 mg/l と高濃度なアンモニア性窒素を含む液で生息する硝化細菌を見出した。

そこで、この高濃度アンモニア性窒素耐性菌の活性や生育条件などについて検討し、高濃度アンモニア性窒素含有廃水を対象にした窒素除去システムを開発したので、その概要を報告する。

1. 担体添加活性汚泥循環変法

1-1. 活性汚泥循環変法の改良

活性汚泥循環変法のフローシートを図 1 に示す。前段に嫌気的な条件で運転する脱窒槽を、後段には散気装置を備え好気的な条件で運転する硝化槽を設け、浮遊微生物の集合体である活性汚泥を循環させて窒素を除去する方法である。脱窒槽では、脱窒菌の働きにより、(1) 式に示すように流入原水に含まれる BOD (有機物) を水素供与体として硝酸が窒素ガスに転換される。この場合、原水の窒素濃度と

* Naomichi MORI ; 日立プラント建設(株) プラントエンジニアリング事業本部 企画開発部 (Tel. 03-3576-4417)

** Tatsuo SUMINO ; 同社 技術開発本部 松戸研究所

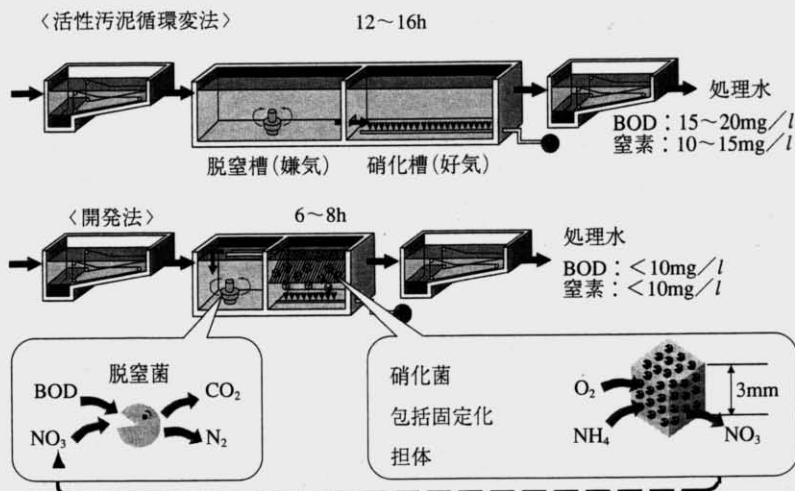
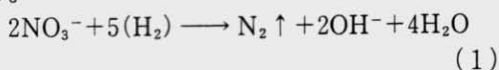
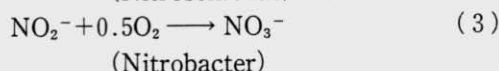
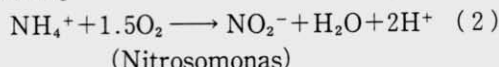


図1 活性汚泥循環変法（従来法）の問題点とその対策

BOD 濃度の比が重要となるが、メタノールを BOD とした場合 BOD/N 比は 2.57 である。また、下水の場合 BOD/N 比は 3~5 が適していると言われている。



また、硝化槽では硝化細菌の働きにより、アンモニア性窒素は(2)式、(3)式を経て硝酸性窒素に転換される。



硝化槽で酸化された硝酸性窒素を、前段の脱窒槽に循環することで、流入水のアンモニア性窒素は窒素ガスに転換され、大気に放出される。

活性汚泥循環変法は、浮遊微生物を利用したものであり、汚泥を沈殿池で分離し、返送汚泥として生物反応槽に戻す必要がある。しかし、沈

降性の面から生物反応槽内の活性汚泥濃度を高く取れないという問題があり、このため下水処理において通常処理時間を 12~16 時間程度にする必要があった。

そこで、われわれは活性汚泥循環変法の反応槽に担体を投入し、微生物濃度を高めることで反応速度を早め、従来の活性汚泥循環変法の約 1/2 の容積で窒素処理が可能な省スペース型の窒素除去方法を開発した。

1-2. 包括固定化担体の概要

水処理に用いられてきた微生物固定化方法は図 2 に示すように、結合固定化法、包括固定化法、そして自己固定化法の 3 つに分類される。結合固定化法はプラスチックやスポンジの表面に微生物を付着させて処理する方法で、古くから広く適用されている。ただ、微生物が肥厚してくると時々生物膜が剥がれ、一次的に水質が悪くなることがある。また、自己固定化法は微生物自身が絡み合って塊状を形成するもので、固定化材が不要で菌体濃度を高く維持できる。ただ、嫌気的な処理（たとえばメタン発酵など）に適用されているものの、好気性処理には適用された例がない。

包括固定化法は、微生物を高分子含水

ゲルの微細な格子構造内に取り込み、包み込む方法である。このため、特定の微生物を、任意の濃度で固定化できるという利点がある。著者らは包括固定化担体の材料としてアクリルアミド、ポリビニルアルコール、エポキシなどさまざまな材料について評価を行い、強度、微生物活性、コストに優れたポリエチレングリコール樹脂を選定し、重合開始剤を添加して重合させたのち、サイコロ状に切断する方式を開発した。

造粒方法と包括固定化担体の概要を図 3 に示す。微生物（通常は余剰活性汚泥を使用）と固定化材を混合・成形し 3 mm□ のキューブを作成している。ポリエチレングリコール系樹脂が絡まりあっている間隙に、微生物と水が存在している。ゲル表面の孔径は約 70 Å であり、酸素分子やイオンは担体内部に出入りできるものの、基本的に担体内部の菌は出入りすることができない。このため、硝化細菌のように増殖速度がきわめて遅い微生物や混合系のなか

	包括固定化法	結合固定化法	自己固定化法
種類	- 硝化菌 - 活性汚泥 		 微生物同士で結合
特徴	- 種菌を内部に固定化 - 馴養により担体表面内部に高濃度に増殖	- 種菌をプラスチック、スポンジなどの担体に固定化 - 生物膜剥離により一時水質悪化	- 固定化材が不要で、菌体濃度が高い - 固定化の塊(グラニューール)ができるまで約 3 ヶ月必要

図 2 固定化方法の比較

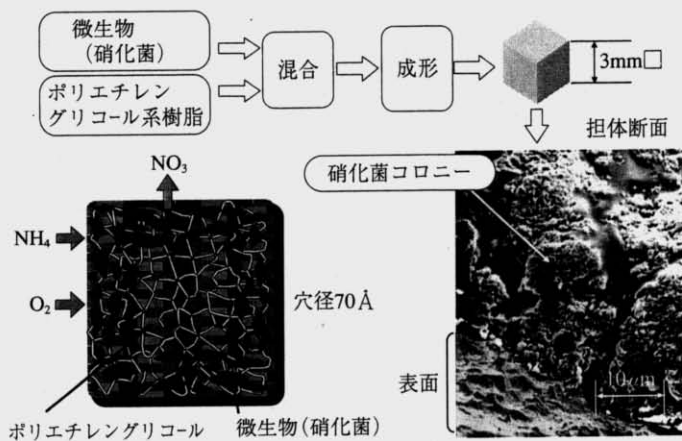


図 3 包括固定化担体の概要

で淘汰されやすい特殊微生物などを反応槽に保持するのに適している。また、担体の大きさとして、スクリーンによる分離性を考慮して3mm□のものを

使用している。

硝化細菌を包括固定して作成した担体の平均的な硝化性能は、水温15°Cで担体1 l当たり127 mg-N/hとなっている。したがって、硝化槽に7.5%投入することで硝化能力は約10 mg-N/l/hとなり、下水の活性汚泥処理の値2~3 mg-N/l/hに比べて約4倍の能力を有する。

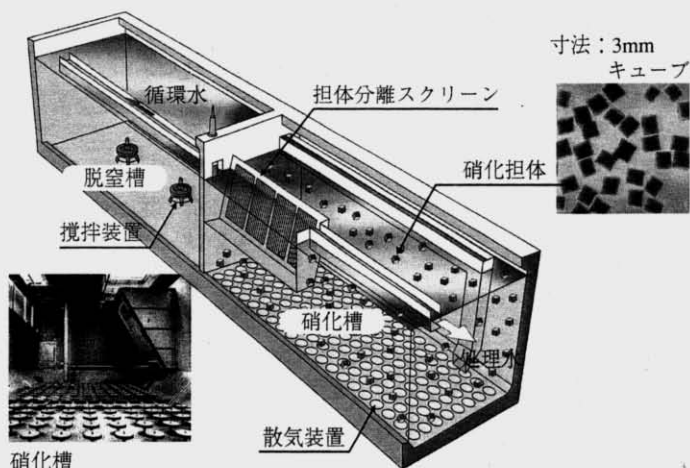


図4 担体添加活性汚泥循環変法の装置構造



- ・下水処理9カ所
大阪北東エスセンター(H02)
宗像市宗像終末処理場(H06)
芳賀佐山浄化センター(H08)
陸前高田浄化センター(H10), など
- ・産業廃水処理14カ所
- ・技術供与国内外7社

図5 担体添加活性汚泥循環変法の実績 (写真: 宗像市)

2. 担体添加活性汚泥循環変法による低濃度窒素含有廃水処理

下水処理場の曝気槽を改造して実証テストを実施した。装置構造の概要を図4に示す。反応槽は脱窒槽と硝化槽からなり、脱窒槽には活性汚泥混合液を攪拌するための水中攪拌機が設置されている。脱窒槽から硝化槽へは、硝化槽流入水路を経て硝化槽側壁下部に設置された流入開口部より流入する。硝化槽底部には全面曝気型の散気ディスクが、上部にはペレットの流出を防止するためのウェッジワイヤー型の分離装置が設置されている。この分離装置から流出した活性汚泥混合液は、一部が最終沈殿池に導かれ、残りが硝化液循環水路を経て脱窒槽に循環される。

連続実験条件および実験結果の一部を表1に示す。冬期の低水温の時期にもか

表1 実施施設プラント運転での担体添加循環法(A)と標準活性汚泥法(B)との比較

RUN No.	①		②		③	
項 目	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
原水流入量 (m ³ /日)	2,200	9,990	2,220	8,870	2,910	8,287
滞留時間 (h)	8.1	5.6	8.1	6.3	6.2	6.8
循環比 (—)	3.0	—	2.1	—	2.9	—
MLSS (mg/l)	1,220	1,620	1,740	1,670	2,190	1,870
返送汚泥率 (%)	66.0	50.9	66.0	59.0	59.0	61.6
SRT (日)	20.7	—	14.1	—	16.6	—
処理水水质						
水温 (°C)	14.1	15.0	15.0	16.0	16.2	17.0
pH (—)	6.7	6.8	6.7	6.8	6.7	6.9
BOD (mg/l)	3.7	5.5	4.6	5.4	3.8	5.3
COD (mg/l)	8.3	8.0	11.3	9.6	10.8	9.2
SS (mg/l)	5.1	5.3	8.4	5.7	5.7	5.0
T-N (mg/l)	6.6	13.5	8.8	16.4	6.8	15.6
NH ₄ -H (mg/l)	0.31	10.2	0.73	13.8	0.72	12.1
NO ₃ -N (mg/l)	5.37	2.0	6.32	1.0	4.43	1.8

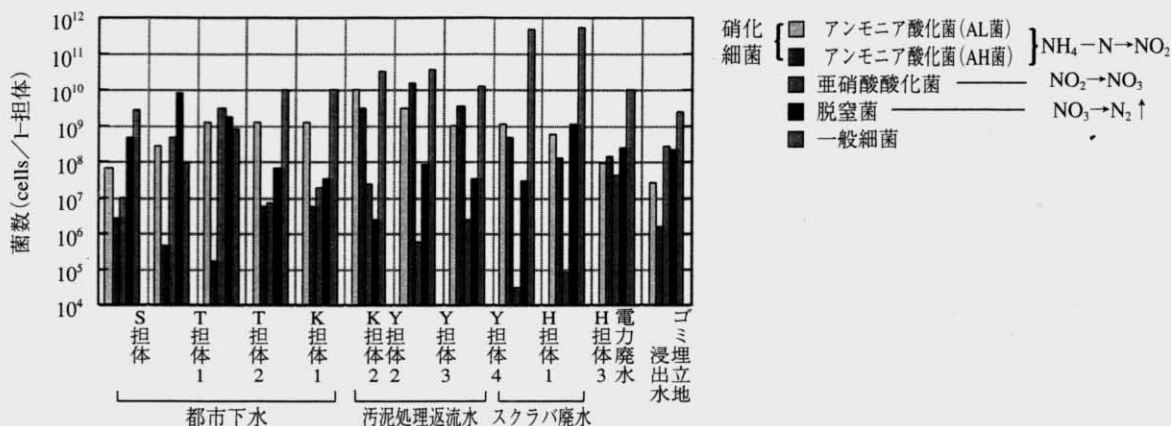


図6 担体内の細菌構成

かわらず、処理時間6～8時間で、標準活性汚泥法の処理水に比べて、窒素が約1/2に処理されることを実証した。また、処理水アンモニア性窒素は1 mg/l以下に処理されており、包括固定化担体を添加した効果が現れている。

担体添加活性汚泥循環変法の適用事例を図5に示す。平成2年に汚泥処理センターのスクラバ廃水処理に1号機を設置した。下水処理としては平成6年に宗像市終末処理場に納入されて以来、下水処理で9カ所、産業廃水処理に14カ所の実績がある。ちなみに、担体の追加・補充なしでも安定した処理が達成されている。

3. 高濃度窒素含有廃水処理プロセス

発酵廃液やごみ埋立地浸出水には、500～2,000 mg/l程度の高濃度なアンモニア性窒素が含まれている。これらの廃水は従来希釈して生物処理するなどの方法により処理されていたが、高濃度アンモニア性窒素含有廃水を直接処理する方法を開発・実用化した。その概要を以下に述べる。

3-1. 高濃度アンモニア性窒素耐性菌

低濃度窒素含有廃水を処理する過程で、各種プラント毎に担体中の微生物相を分析した。培地の窒素濃度を低濃度窒素対応微生物測定用の40 mg/lと、高濃度窒素対応微生物測定用の1,000 mg/lと変えて各培地での硝化細菌数を計測した結果、図6に示すように $10^5 \sim 10^9$ とかなり多く生息していることが分かった。

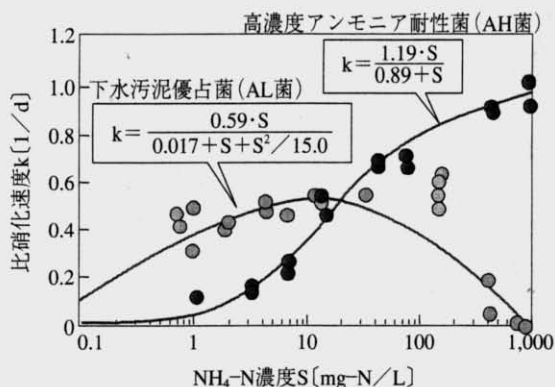


図7 高濃度窒素耐性菌の硝化特性

これら2種の微生物の塩基配列が明らかに異なることから、高濃度アンモニア培地に生息する菌をAH菌、そして低濃度アンモニア培地に育つ菌をAL菌と名づけ、これらの菌を活性の高い状態で維持する方法を検討した。

AH菌とAL菌の処理性能について比較した結果を図7に示す。従来の下水汚泥に優占しているAL

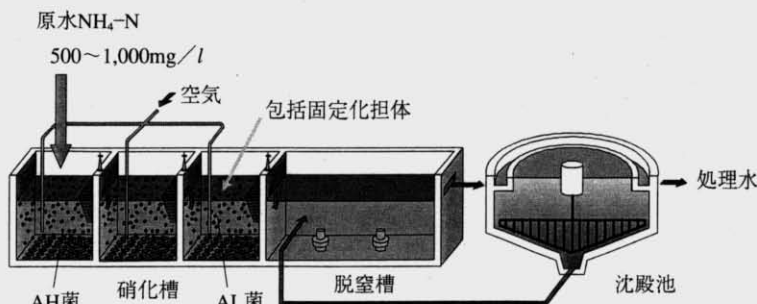


図8 高濃度アンモニア処理プロセス（無希釈でコンパクト化）

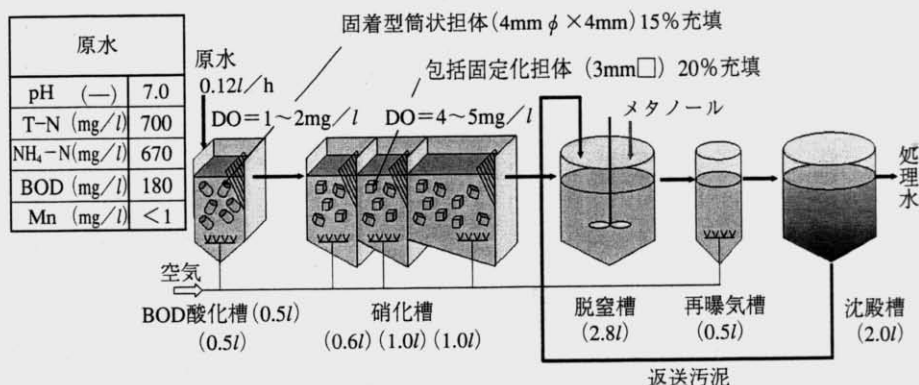


図9 高濃度アンモニア性窒素の除去性能 (実験装置概要)

菌は、アンモニア性窒素濃度 10~20 mg/l で高いピークを示し、AH 菌はアンモニア性窒素濃度に比例して活性が高くなり、1,000 mg/l でも高い活性を示すことが分かった。

3-2. 高濃度アンモニア性窒素処理プロセス

高濃度アンモニア性窒素含有廃水の処理プロセスの一例を図8に示す。硝化槽を3つに分割し、アンモニア性窒素濃度が比較的高い初段に投入した担体

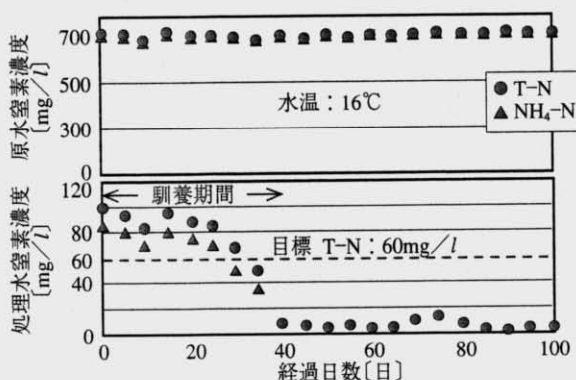


図10 連続処理実験結果

により AH 菌を活性化させるとともに、2 段目は AH 菌と AL 菌の両方が働ける槽とした。さらに、3 段目は仕上げ用として AL 菌による処理を行う槽とした。

硝化槽で生成した硝酸性窒素は、次に脱窒槽でメタノールなどの水素供与体とともに脱窒される。脱窒菌は増殖速度が速く、かつ負荷に比例して活性が向上することから、この例では菌を固定せずに浮遊菌のまま処理する方式となっている。

3-3. 高濃度アンモニア性窒素含有廃水の処理実験結果

ごみ埋立地浸出水を対象にした処理実験フローを図9に示す。先に述べたように活性汚泥循環法を適用するには、原水の水質として BOD/N 比が3以上あることが望ましい。これに対して今回対象にしたごみ埋立地浸出水の場合、BOD/N 比は 0.2~0.3 であり担体添加活性汚泥循環法を適用することができなかった。

そこで、まず硝化反応に影響する BOD を固着型筒状担体を添加した BOD 酸化槽により除去したのち、AH 菌および AL 菌を利用した硝化槽でアンモ

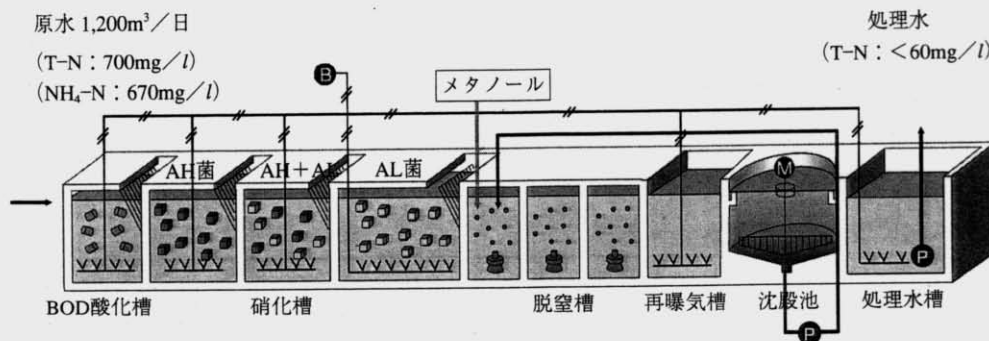


図11 実験フロー

ニア性窒素を硝酸に変え、その後メタノールを加えながら脱窒処理し、最後に再曝気槽で仕上げ処理するフローを適用することにした。なお、BOD 酸化槽への筒状担体投入量は15%とし、硝化槽の包括固定化担体投入量を20%として実験を行った。

3段に仕切った硝化槽の各段の容積は、基礎実験結果をもとに設定したもので、1段目が0.6 l、2段目が1.0 l、そして3段目が1.0 lである。

実液を用いた連続実験結果を図10に示す。上段のグラフには原水の全窒素濃度を、また下段には処理水の全窒素またはアンモニア性窒素の変化を表わしたものである。実験開始して20日目以降、活性が徐々に増加し、処理水窒素濃度としてT-N 20 mg/l以下に処理できることを確認した。

3-4. 高濃度アンモニア性窒素処理設備の概要

実験結果をもとに図11に示す実装置を製作し、連続処理を行っている。BOD 酸化槽容積 250 m³、硝化槽容積が1,100 m³、脱窒槽容積1,500 m³の処理設備である。本設備では、硝化槽容積は浮遊微生物を用いた方式の約1/8に縮小されており、山間の狭い土地に設備を設けることが可能となっている。原水 T-N 濃度 700 mg/l、処理水量 1,200 m³/日の廃水処理を、処理水 T-N 濃度を 20 mg/l 程度に安定して処理している。

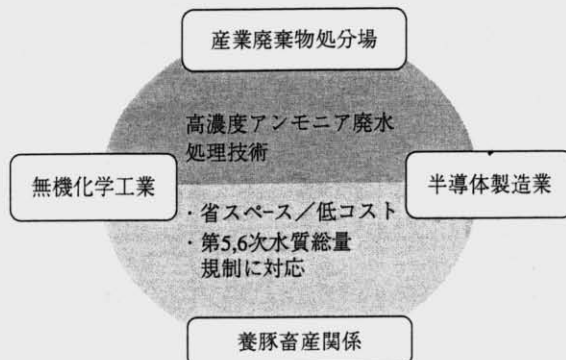


図12 高濃度アンモニア廃水処理技術の展開

本稿で述べたように、筆者らは包括固定化担体を用いた窒素除去プロセスを開発し、既設の下水処理場を増設せずに窒素除去を可能にした。また、活性汚泥を包括固定した担体から高濃度アンモニア性窒素耐性菌を見出すとともに、活性化させるプロセスを開発した。これにより、ごみ埋立地浸出水などの高濃度窒素含有廃水の処理プロセスを実用化した。

高濃度アンモニア性窒素耐性菌を利用した処理プロセスは、図12に示すような各種の廃水に適用することが可能であり、閉鎖性海域や湖沼をはじめとした、環境への負荷低減に貢献できるものと考えている。

情報ファイル

高品質サニタリポンプのアジアでの拡販狙う —フリスタンポンプジャパンが営業開始—

高性能サニタリポンプの製造で知られるドイツ・Fristam 社が、新たにフリスタンポンプジャパン(株)を設立、本年4月より営業を開始した。

食品や医薬品の製造には欠かせないサニタリポンプだが、Fristam ブランドのサニタリポンプは高級機種にも関わらず、欧米では25~30%と非常に高いシェアを誇る。日本国内では、ドイツ・Fristam 社とサニタリプラントエンジニアリング会社であるヤスダ

ファインテとの合併会社・スタンポンプ社が製造してきたが、ブランドの統一と販売能力の強化を図るため今回の新会社設立に至った。今後は販売面はフリスタンポンプジャパン社が、製造・サービス面はスタンポンプ社が担当する。

同社はさらに、アジア地域でのシェア確保のため、中国の上海、天津、福建省の3ヵ所に現地法人を設立、中国内での販売に力を入れていくほか、今後は一部製品を

中国から日本に供給することで価格競争力を高めていく考えだ。
(フリスタンポンプジャパン(株))
TEL. 03-3237-6563)



フリスタン WFI ポンプ