

ウェッジワイヤースクリーン開発史

～ファインウェッジ®とその微細化への挑戦～



企業レポート

山内 学*

Development History of Wedge Wire Screen
— Fine Wedge and the challenge to high precision —

Key Words : Wedge Wire Screen, Fine Wedge, Filtration, Strainer,
Solid-liquid separation

はじめに

当社は創業以来、一貫して「分離・分級技術」を追求してきた金属スクリーンメーカーである。スクリーンというと、一般に映写機や印刷をイメージするが、当社の製造するスクリーンは「篩（ふるい）」である。1954年の創業当時は、振動篩用金網の製造を主要業務としていた。 $\phi 12\text{mm}$ の鋼線を用いた大孔径スクリーンクロスなど織り網の中としては大柄なもので、鉱山や製鉄所、ダムの建設など当時の高度経済成長を支えた。

当時他社が手を出さない大柄な製品を作っていた当社は、その後開発したウェッジワイヤースクリーンで、反対に微細目の方向を一貫して志向している。このウェッジワイヤースクリーンは固体の乾式分級にも用いられるが、主として湿式の固液分離や濃縮などの用途に用いる。粗いもの、細かいものの違いはあるが、独自技術の追求という姿勢は一貫している。

ウェッジワイヤースクリーン

ウェッジワイヤースクリーンは、逆三角形（楔形）の異形線を等間隔に並べた構造である（図1）。歴史的にはループ式が先行し、後発の溶接式がその後主流となった（図2）。ループ式では丸線をプレスで逆三角形に成形し、ループ部分にロッドを通して

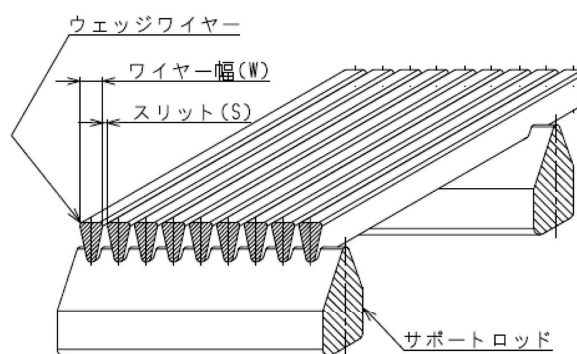


図1 ウェッジワイヤースクリーン（溶接式）の概略図

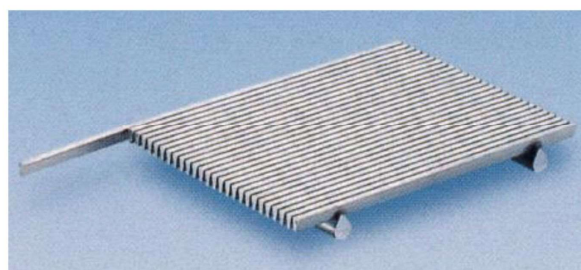
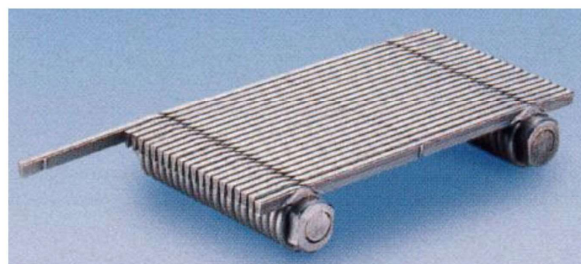


図2 ループ式（上）と溶接式（下）



* Manabu YAMAUCHI

1973年6月生まれ
京都大学大学院 理学研究科 生物科学
専攻 博士前期課程修了（2000年）
現在、東洋スクリーン工業（株）
企画技術部 開発課 課長 理学修士
動物生態学
TEL：0745-70-1702
FAX：0745-70-1703
E-mail：yamauchi@toyoscreen.co.jp

固定する。溶接式では補強材となるサポートロッドとウェッジワイヤーを全点溶接する。いずれも材質は主にステンレス鋼であり、頑丈で破れにくく長寿命である。

ワイヤーとワイヤーの間に矩形状に形成される開き目（スリット）は、表面に存在し、深層になるにつれ開口は広くなる。仮にこれをろ材として使用し

た場合、スクリーンの大敵である目詰まりを、ほぼ表層のみでくい止める表面ろ過である。深層ろ過と異なり、表層の洗浄や逆洗浄により、処理能力を容易に回復できる。また、表面は平滑で固形物の滑りや移動もよく、固形物が表面を滑る際に目詰まりも除去され、自浄作用も期待できる。

一度目詰まりしたらスクリーンを廃棄・交換するのでなく、洗浄することにより繰り返し半永久的に使用できるため、維持管理コストの削減と、廃棄物の削減につながる利点がある。

ループ式ウェッジワイヤー

当社が最初に手掛けたウェッジワイヤースクリーンは、ループ式のウェッジワイヤースクリーンである（表1）。これは当社が1957年日本国内では最初に製造に成功し、1965年には、澱粉（主としてコーンスターチ）分離用の極細ループ式ウェッジワイヤーの製造に成功している。澱粉分離用では、スリット50～75 μm を求められたので、当時としてはかなり高い精度に達していた。しかし、ループ式は、ワイヤー1本1本をロッドに通す手作業が必要であ

り、かつ重量があるために一定程度以上のコストダウンは見込めなかった。

溶接式ウェッジワイヤー

一層の拡販には、軽量で製造コストを抑えられる溶接式ウェッジワイヤーの導入が必要だった。加工性に優れる溶接式ができれば、ウェッジワイヤースクリーンの、分離、分級、ろ過、脱水など多方面への導入が飛躍的に伸びる。1980年、溶接式の自動製作設備を導入し、生産を開始した。当時の記録によるとウェッジワイヤーとサポートロッドの溶接を安定的に行うのに苦労したようである。ワイヤーとロッドを1点1点スポット溶接していく際に、ワイヤーがずれたり傾いたりして、スリットのばらつきが大きくなってしまふ。より細いワイヤーを使ってファインウェッジ®を製作している現在でも、付きまとっている古くて新しい問題である。

溶接式ウェッジワイヤーは、海外に限らず国内にも複数の同業他社があり、受注に際し競合することもあった。他社に先駆け微細目を追求したのは、その目開きサイズと精度に関して世界のトップを目指

表1 東洋スクリーン工業(株) ウェッジワイヤー開発に関する年表

年月	事柄
1954	創業
1957	ループ式ウェッジワイヤー国内初の製作に成功
1977	溶接式ウェッジワイヤーの導入検討開始
1980	溶接式ウェッジワイヤーの自社生産開始
1982	2台目のウェッジワイヤー自動溶接機の導入
1995.8	ファインウェッジ®の自動溶接機1号機導入
1997.7	「ファインウェッジ®」商標登録完了
2002	中小企業事業団 課題対応新技術研究調査事業 ワイヤー幅0.5mmで目開き10 μm 程度の精密スリットのファインウェッジ®の製作可能性追求 ワイヤー幅0.25mmで初めて試作
2004	(独)中小企業基盤整備機構 課題対応技術革新促進事業 目開き5 μm の精密スリットのファインウェッジ®を試作した
2007	スリット測定装置の導入
2010	プロジェクト $\mu 5$ 活動の開始
2013	$\mu 5$ 活動の成果が製品スリット精度に顕れ始める
2014	ワイヤー幅0.35mmでの製作検討開始
2015	ワイヤー幅0.25mmの再検討開始
2015.12	ファインウェッジ®を搭載した独自のろ過装置ファインアーク®、ファインキュラー®、プレファイン®を開発、販売開始
2016.1	35CFワイヤーのカatalog記載
2017.7	25CFワイヤーのカatalog記載

したいとの強い思いがあったからである。

ファインウェッジ®

ファインウェッジ®とは、1mm以下のワイヤー幅寸法の極細ウェッジワイヤー（図3）を使って製作したウェッジワイヤースクリーンのことを指す。スリットは100 μ m以下。微細目を狙うことで、従来とは異なる用途と顧客層の拡大を見込める。ファインウェッジ®の開発は、それまでのノウハウをベースに最新の技術も反映させた、旧来とは異なる製造装置を開発するところからスタートした。

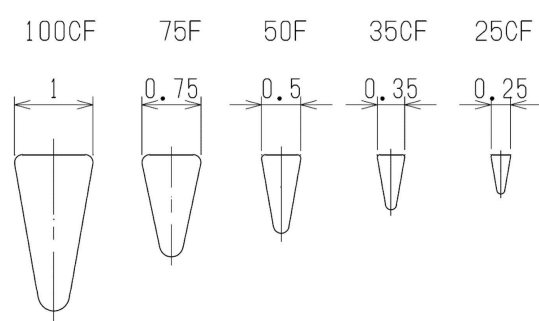


図3 ファインウェッジ® ワイヤー型番一覧
(東洋スクリーン規格)

ウェッジワイヤー自身の精度にもこだわった。幅1mmのワイヤーの寸法誤差が仮に $\pm 3\%$ だったとすると、誤差 ± 0.03 mm (30 μ m) となる。このワイヤーでスリット30 μ mの網を作っても、ワイヤーの誤差だけで0から60 μ mのばらつきが生じてしまう。スリットが小さいスクリーンを作るには、ワイヤー幅のばらつきを小さくしなければならない。

また、ワイヤー幅を小さくし、開口率が上がることもこの開発の目標である。開口率の向上は、そのままスクリーンの能力アップを意味し、従来使えなかったスリットでも使用可能な場面が出てくる。同じ面積でもより多くの流体を通すことができ、効率アップが期待できる。例えばワイヤー幅が半分になるなら、スリット幅が同じでも開口率はほぼ倍にできる（表2）。なお開口率は、下記の式で計算できる。

$$\text{開口率} = \text{スリット幅} \div (\text{ワイヤー幅} + \text{スリット幅}) \times 100 [\%]$$

1995年に導入したファインウェッジ®の自動溶接機では、最小で10 μ mのスリットに挑戦した。当時は100F（幅1.0mm、現在の100CFに相当）や75F、50Fのワイヤーをテストしたが、一番細い

50F（幅0.5mm）で、50 μ mを下回ると製品を安定して作ることは難しかった。

表2 ファインウェッジ® ワイヤー型番と開口率の関係

ワイヤー型番		100CF	75F	50F	35CF	25CF
ワイヤー幅		1.0mm	0.75mm	0.5mm	0.35mm	0.25mm
スリット幅	100μm	9.1%	11.7%	16.7%	22.2%	28.5%
	50μm	4.8%	6.3%	9.1%	12.5%	16.7%
	30μm	2.9%	3.8%	5.7%	7.9%	10.7%
	20μm	2.0%	2.6%	3.8%	5.4%	7.4%
	10μm	1.0%	1.3%	2.0%	2.8%	3.8%
	5μm	0.5%	0.7%	1.0%	1.4%	2.0%

中小企業事業団の課題対応新技術研究調査事業

2002年に中小企業事業団の課題対応新技術研究調査事業で補助を得て、その課題にトライした。その際、いったん更に難しい25Fワイヤー（幅0.25mm：現在の25CFの前身）に思い切ってトライし、その後で再度50Fに戻ったところ、10 μ mスクリーンができるようになった。スポーツ選手がよりレベルの高い選手と競技をして成長することと同じことかもしれない。当時の成果報告概要によると、解決策としてワイヤー自体の寸法精度向上、微細電源の安定供給、精密スリット測定器の導入等を挙げており、それらはその後段階を追って改善されていくことになる。

2年後の2004年、中小企業基盤整備機構の課題対応技術革新促進事業において、50Fワイヤーで半分の5 μ mスリットにトライして、一定精度のスクリーン製作に成功した。

精密スリット測定器の導入

10 μ m、5 μ m級のスクリンを作るには、それを客観的に検査、評価できることが前提となる。従来の十分の一ミリ単位のスリットは、隙間ゲージや100倍のマイクロスコップで測定していた。隙間ゲージは、最大許容スリットを超えるスリットがないかどうかを確認するために用い、そもそも平均値の算出などには用いない。平均値はマイクロスコップで測定して求めていたが、最小でも10 μ m刻みの精度に留まる。限られた時間で数をこなすことができないため、通常測定数は10カ所だった。

そこで当社は、LED光を用い、モニタ上に1 μ mの精度でスリットを表示させる精密測定装置を開発した（図4）。通常100点のスリットを測り、最大値、最小値、平均値、標準偏差などを算出する。検査基



図4 スリット計測装置（高精度カメラによる自動計測）

準と照らし合わせ、客観的に合否判定を行うことができるようになった。

なおファインウェッジ®では、JIS規格あるいは業界検査基準は存在しない。独自に運用している社内基準は、工業用織り金網の許容差基準よりも厳しめに設定されている（表3）。

μ5（ミクロンファイブ）活動

2004年当時の10μm、5μmは、製作はできたとはいえ、いわばまだスタートラインだった。次に作った時に確実に一定精度の製品は作れるとは限らなかった。ワイヤーとロッドの溶接性は安定しておらず、スリットのばらつきはまだまだ大きかった。一部の限られた顧客に製品として提供しながら、しばらくは大々的なアピールは控えていた。

2010年の暮れに、社内タスクフォースプロジェクト「μ5（ミクロンファイブ）活動」がスタートした。製造、検査、企画、経営層といった各部署からメンバーが選拔され、月2回の頻度で会合を持ち、当面する技術課題に対応するために知恵を絞った。仮説を立て、ある条件で製作してみる。製作できたらスリットを計測し、溶接強度を確認し、溶接断面を顕微鏡観察し、評価する。その結果から次の仮説を立て、再度トライする。PDCAの方式で地道なトライアンドエラーを続けた。通常業務の傍らの作業

であるので、時に案件優先で会議を延期することもありながら、それでも継続しつづけた。

スリット精度の向上

ここ7年ほどの製品のスリット測定結果から標準偏差をグラフ化してみると、2012年から2013年にかけて大きな改善がみられる（図5）。2014年1月、日刊工業新聞で「5μm精度アップ」の記事が出たのはそういったタイミングだった。それまで5μmを目指していることは公言しても、大きなアピールは控えていた。記事により、対外的に製造販売を公言したと同じことになった。記事がそのような見出しになることは少々想定外だった面があるが、タイミングとしては悪くなかった。

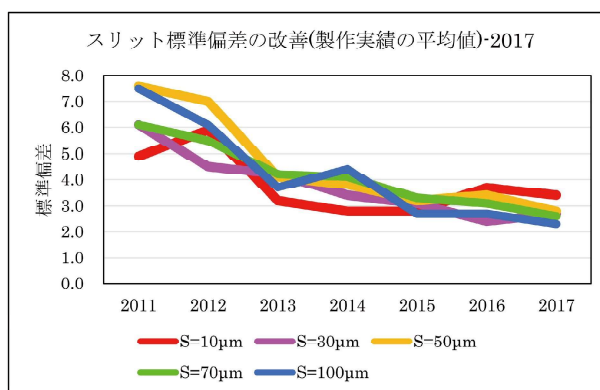


図5 直近7年間のスリット精度

なお5μmスリットの実績データは多くないので、図5とは別にまとめてみた（表4）。補助金事業でトライした2004年のチャンピオンデータと、ここ1年ほどの実績データ（平均値）の比較である。標準偏差で3.24から2.1に改善した。数字ではわずか1少々の差だが、当時と今の製品を比べると、一見するだけで違いが分かる。スクリーン表面の凹凸が目に見えて減り、光にかざした時のスリットのばらつきが大きく改善した。

図5において、2014年以降は、全体的には改善傾向にあるものの、2012年～2013年の変化と比較すると改善スピードはゆっくりのように見える。実はその間、より細いワイヤーに再挑戦している。

表3 スリット（目開き）許容差 工業用織り金網とファインウェッジ®の比較（例）

	基準目開き	最大値	平均値
JIS G3556 2002 工業用織り金網の目開きの許容差	26μm	+25μm	±4μm
ファインウェッジワイヤーストレーナーのスリット基準許容差(社内基準)	30μm	+16.1μm	±2.4μm

もっとも細いワイヤー、25Fでの挑戦は継続的に行っていたが、ハードルは高く安定した品質には至らなかった。そのため中間の35F（幅0.35mm：現在の35CFの前身）にトライしたところ、より安定的に製作できた。通水テストを行うと、従来最小の50Fと比べ、明らかな性能アップを確認でき、更に改良して35CFとした。これらの成果を25Fの改良型（25CF）として試したところ、品質の安定と水切れ性能の両立を図ることができた。25CFの通水テストでは、さらに予想を超える性能アップを確認できた。35CFは2016年1月、25CFは2017年7月にカタログ上に記載した。

表4 5 μ m スリットの実績データ（単位： μ m）

	2004 年(チャンピオンデータ)	2017 年(年間平均)
平均値	4.65	5.4
最小値	0	0.9
最大値	10.74	11.1
標準偏差	3.24	2.1

おわりに

以上のように牛歩ではあるが着実に技術を積み重ね、50 μ mを下回る領域でもファインウェッジ®が、満足できる精度で製作できるようになった。本稿では詳細を割愛するが、並行してファインウェッジ®を組み込んだ固液分離・濃縮ろ過装置を開発している。まずはファインーク®、ファインキュラー®、プレファイン®の3つの装置を開発し、2015年より販売開始した。用途、分野を新たに開拓し、実液を使ってテスト評価しながら市場開拓活動を行っている。ジェット燃料を生産するために培養した微細藻類を回収するプロセス、各種の樹脂製造プロセス、排水中の無機結晶成分の除去、湖沼のアオコ除去、紙粉の除去、澱粉製造過程の分級、レジストの微細片回収、汚泥成分の濃縮ろ過等々、裾野は広がってきている。最近では「スクリーン」というより「フィルター」と表現した方が、顧客理解が得やすい場面も増えてきた。今後さらにどのような分野にファインウェッジ®製品が広がりを見せるか、期待が膨らむ現在である。

