

## マイクロシェル&チューブ熱交換器の半導体業界などの超純水環境への適用

東京チタニウム 小澤日出行

さまざまな熱交換器がすでに存在し日本製のみならず、海外からも多くの高効率熱交換器が輸入・販売されています。純水半導体業界においても前工程などで通電を嫌う製造ライン環境では、冷却媒体として電気を通さないブライン、フロリナート系の液体を使用されている箇所が多々あります。2004年以降、小型化、高効率化、ステッパープロセスの液浸化などが必須となり、純水・超純水の適用箇所が増えてまいりました。

水の種類も数多く存在し、私たちが口にしているおいしい水などは各種のミネラルが多く含まれているために“おいしい”と感じることができることから、各種ミネラル分を取り除いたものを純水と定義しています。その純水も薬局などで入手ができる蒸留水からさらに純度を高めたものが多数存在し、理論的にH<sub>2</sub>Oのみで構成される水を理論超純水まで各レベルで評価をします。

熱交換器を使用する上でもっとも問題となる汚れ・閉塞は、水スケール（カルキ）問題などはこのミネラルに起因することが多くありますが、純水環境ではスケール問題を気にすることなく熱交換器の設計に専念することが可能です。マイクロシェル&チューブ熱交換器はこの純水環境での設置を前提とした熱交換器として開発されました。

### 水の種類と電気伝導率、電気抵抗の比較

水の種類	電気伝導率		電気抵抗	
		μS・cm		M・cm
理論純水	0.054 79	μS・cm	18.45	M・cm
超純水	0.06	μS・cm 以下	16.6	M・cm
高レベル純水	0.1	μS・cm 以下	10	M・cm
純水	1	μS・cm 以下	1	M・cm
蒸留水	10 ~ 1	μS・cm	0.1 ~ 1	M・cm
水道水	200 ~ 100	μS・cm	0.005 ~ 0.01	M・cm
おいしい水	700 ~ 400	μS・cm	0.00142 ~ 0.0025	M・cm

### 純水レベルにおける各種熱交換器

純水レベルにより熱交換器の種類・製造方法も変わりますが高レベル純水以下であれば量産コストの安いステンレス溶融接合のプレート式熱交換器が対応することができます。

従来、この高レベル純水にニッケルロウ付プレート式熱交換器を使用していたケースもございますが結果的には、ニッケルロウの純水への溶出が多く、水が黒色変化するなどの問題も発生し、膜フィルターが予想以上に汚れてしまう → メンテナンスコストの増大が発生する場合がございます。

ステンレス溶融接合技術で、この問題をほぼ解決したと思われませんが、それでも高レベル純水以上の純度を維持することが非常に難しく、コンパクトなプレート式は選定することができず、サイズが巨大になるテフロン製熱交換器が採用されています。

一方で純チタン+ティグ溶接で構成された熱交換器は、チタンの特性からテフロン製熱交換器と比較して圧倒的な熱伝導率を有し、熱交換器全体のサイズを小型化できる可能性を有していました。

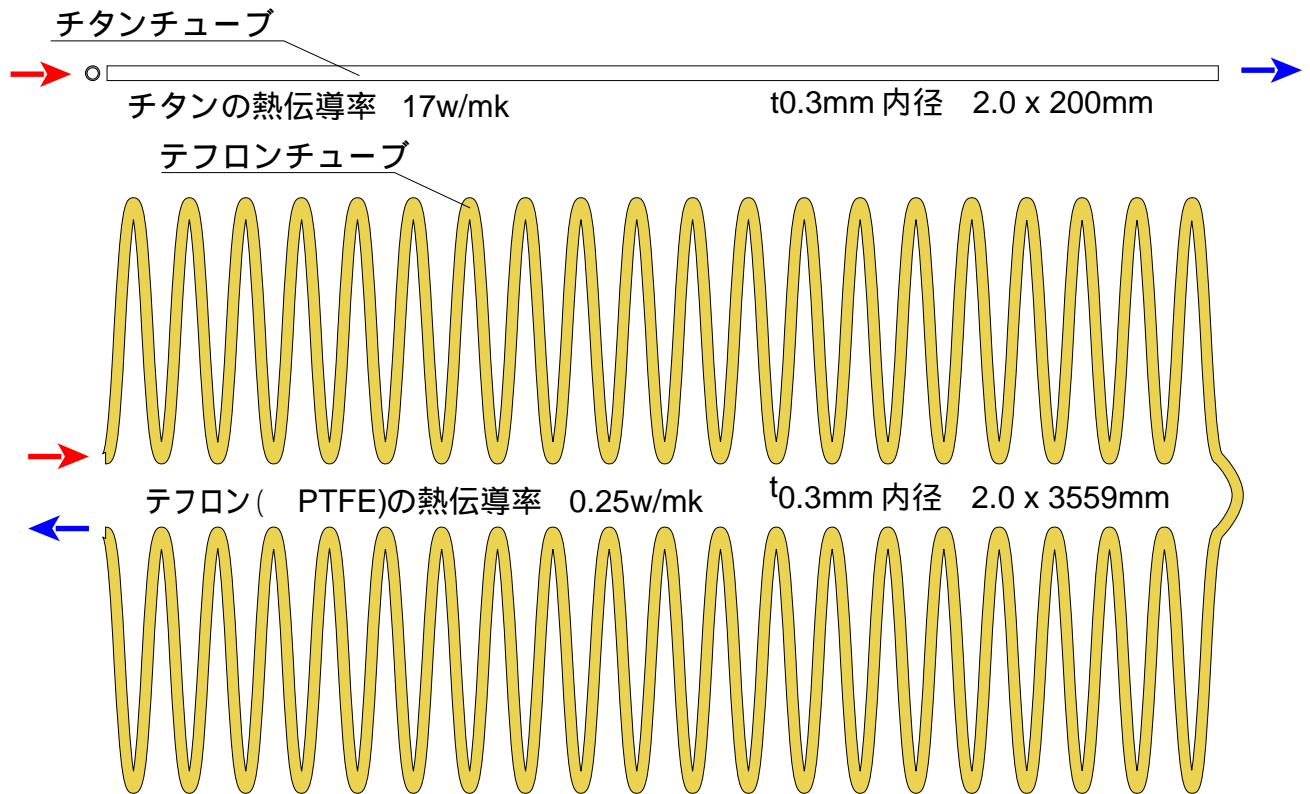
### チタンとテフロン ( PTFE ) の熱伝導率の違い

純チタン	テフロン
17 w/m	0.25 w/m

しかし、チタンという加工がしにくい材料を小型のシェル&チューブ熱交換器にすること事態が従来では類を見ず、従来の大径チューブを採用してしまうと、要求されている微量な流量では層流 = 熱伝導率の低下を招き、本体が大きくコスト増大にも直結するという問題がありました。

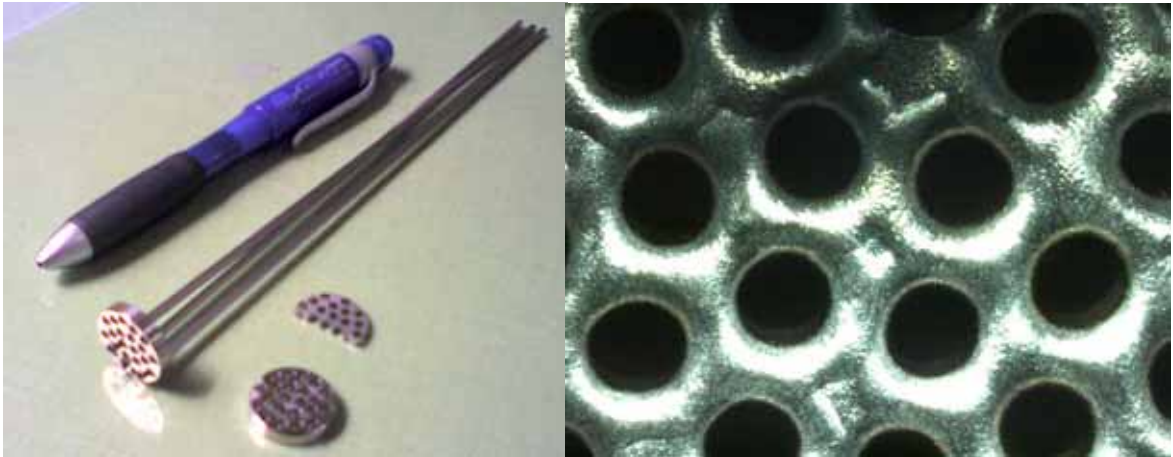
東京チタニウムでは 0.3mm のチタン板から、内径 2 mm の小径チューブの開発、小型化するための溶接技術とあわせて製品化に向けての開発を行ってまいりました。このチューブは、半導体業界で多く要求されている微細な流量 0.5L/min 以上に対応する小さな管を複数本、束ねることで多くのご要求に設計対応できることが可能になりました。プレート式熱交換器ではその金型を設計、研究する必要があり膨大な資金と時間が必要となりますが、シェル&チューブ熱交換器の製造上の特徴として、高性能化させる場合は、長いチューブ、大流量化はチューブ本数を増加させることがすぐに対応できるメリットをもっています。

### チタンとテフロンの熱伝導率比較から導かれるサイズの違い



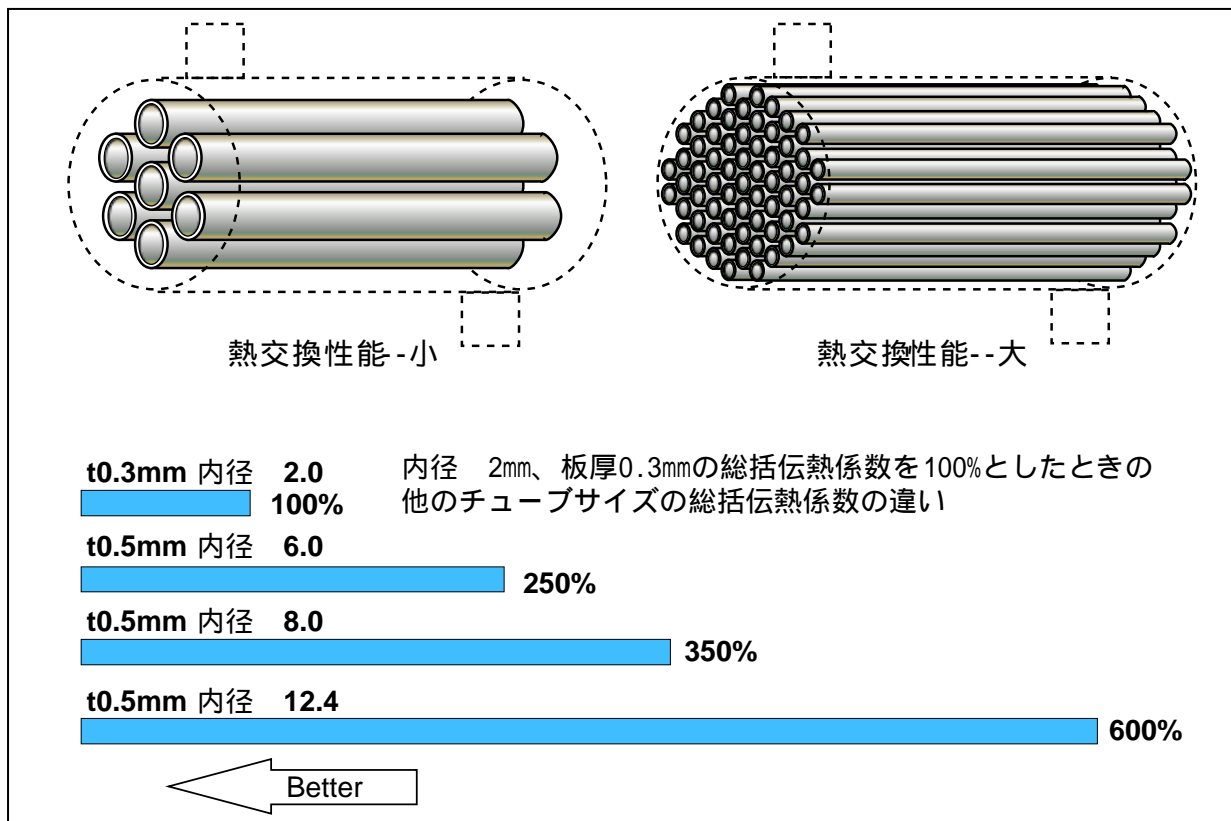
熱伝導率比較 **68倍**    総括伝熱係数の違い **17.7倍**

注意：  
管外境界膜係数を一定とし、チューブ素材のみを入れ替えた場合の簡易計算であり、実際の運転条件、設置方法により違いがあります。



熱交換器の性能向上を考えた時、チューブの小径化、と板厚を薄くすることが必須となります。内径 2 mm チューブ、板厚 0.3mm の純チタンチューブの最大のメリットは、その性能にあります。

チタンのチューブサイズ違いによる伝熱係数の違い (乱流域での評価)



さらに理論計算だけではなく、よりユーザー様の使用条件に即した実際の性能を確認すべく自社設計による熱交換器評価装置を設置し、任意の温度、流量を設定、実測が可能となります。

これは、高温側と低温側にチラー（ヒートポンプ）を2台有し、任意の温度・流量コントロールが可能です。

熱交換器の性能は、1次側の温度と2次側の温度差(アプローチ)の違いにより、大きく性能が変化しますのでそれぞれの温度幅、流量での性能測定が重要となります。得られたデータは圧力損失、出口温度、交換熱量、総括伝熱係数などの実測値が得られるようにプログラミングされ、各熱交換器の特色を把握することが可能になります。



東京チタニウム製 熱交換器評価装置

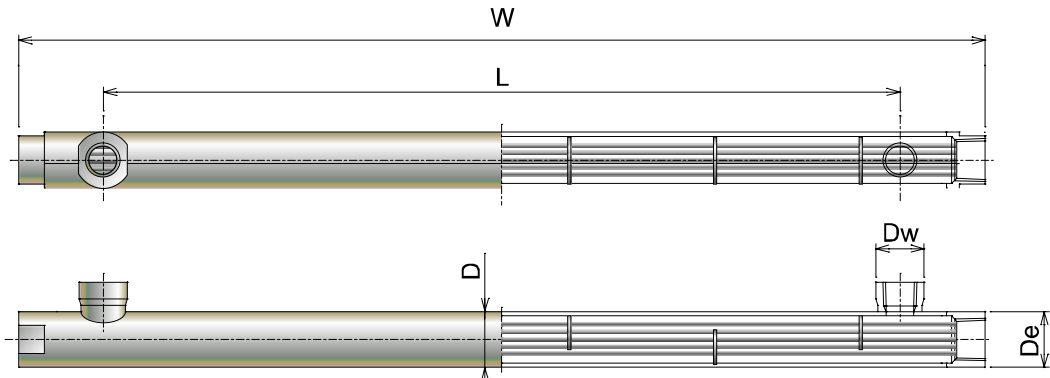
### 量産に向けて---自動溶接機の開発・導入

マイクロ熱交換器の製造には、内径 2mm、板厚 0.3mm の束ねたチタンチューブと管板との溶接複数箇所あるため、熟練工の微細な溶接技術がどうしても不可欠となります。さらに市販されている自動溶接機では微細な調整、動作ができる機器がなく、マイクロ熱交換器の溶接技術を連続生産につなげることが非常に難しい状況でした。しかし東京チタニウムでは 2004 年以降、そのノウハウ、技術を注ぎ込んだマイクロ熱交換器専用の自動溶接機の開発に着手し、多くの試行錯誤の末に 2008 年 10 月に完成をいたしました。

今後の製造プロセスの簡略化、お客様のニーズによりフィットする機器の製造が可能となることと期待しています。



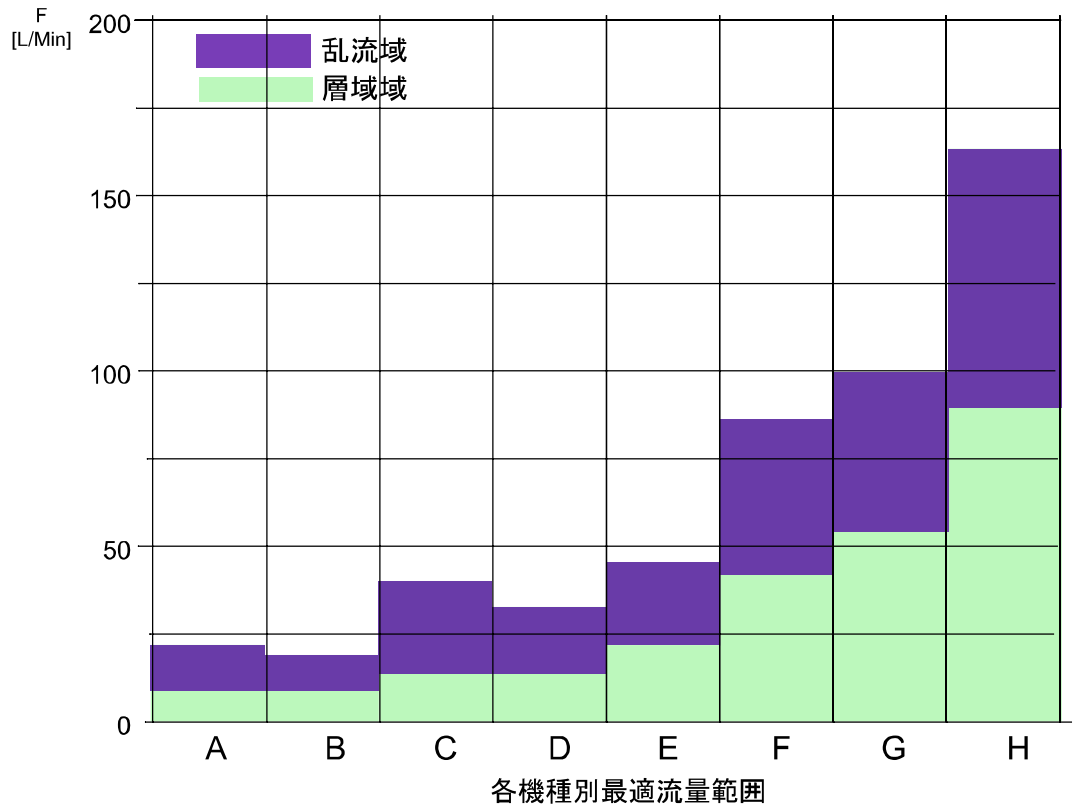
## マイクロ熱交換器 寸法一覧



マイクロ熱交換器寸法一覧---チタン/SUS316L共通

		A	B	C	D	E	F	G	H	
形式		15A	15A	20A	20A	25A	32A	40A	50A	
シェル公称長さ		200型	300型	200型	300型	400型	400型	500型	500型	
シェル呼び径	D	B	1/2	1/2	3/4	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
シェルノズルスパン	L	mm	164	310	164	310	340	340	420	420
全長	W	mm	230	376	230	376	450	450	550	550
シェルノズル呼び径	Dw	B	1/4	1/4	3/8	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4
シェル側ノズル呼び径	De	B	3/8	3/8	1/2	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2
チューブ本数	n	本	20	20	35	35	55	105	137	223
伝熱面積	A	m <sup>2</sup>	0.033	0.057	0.057	0.099	0.177	0.339	0.554	0.902
チューブ側最大流量 80kPa	F	l/min	23	19	40	33	45	86	100	163
チューブ側最大流量 50kPa			18	15	31	25	30	58	48	78
乱流域Min. 流量	Remin.	l/min	8	8	14	14	22	42	54.8	89.2

上記寸法は予告なく変更になる可能性があります。





#### メリット：

コンパクト、軽量、高効率、設計における自由度がある、またチューブが小径なため特殊フランジ設計を施すことで、高圧設計（運転圧力---10MPa）が可能となります。

#### マーケット：

半導体、医療、化学、工業、空調などに適用可能です。

#### 最後に

Made in JAPAN の素材、組立技術、エンジニアリング力によって生み出される熱交換器をお客様のシステムへ組み込んでいただくことで、世界へ出荷される装置などのシステム全体での“日本製”をアピールすることが可能となり、コピーを防止するアイテムとしても力を発揮するものと考えております。

日本製の素材の良さ、日本人の手先の器用さ、細かいエンジニアリング及び対応力で作り上げる製品を目指していきたいと願っております。

#### 参考文献：

Truman S. Light: Analytical Chemistry, 56(7), 1138(1984). (冷凍機分科会 中村要一)

神戸製鋼所 チタンと各種材料の物質的性質

株式会社ユニバーサル テフロン®のその他の特性