

フッ素系ワンバス式 真空洗浄乾燥機「FLOVAⅡ」



株式会社クリンピー 岡村 和彦

1. FLOVAⅡ開発の背景

クリンピーでは、省溶剤を狙って2016年にフッ素系洗浄機「FISTA」、2022年にフッ素系ワンバス式真空洗浄乾燥機「FLOVA」を開発した。

た時にパスBOXからモワッと出る溶剤ガスである。洗浄槽上部にフリーボードを付け冷凍機で冷やす冷却コイルと、パスBOXにも冷凍機で冷やすガス回収装置を付けているが、-20℃に冷やしても、3%以下の薄いガスは回収できないので、これが限界であった。

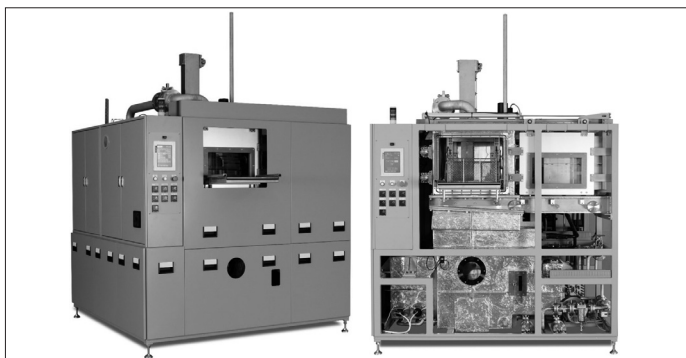
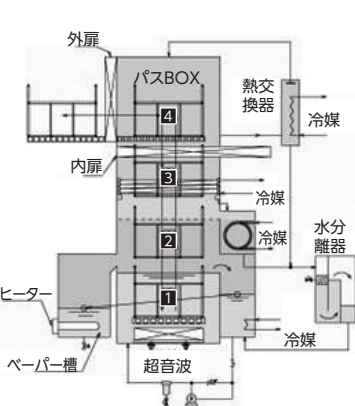


図1. フッ素系洗浄機「FISTA」

フッ素系1液のワンバスシステム



タクトタイム (参考例)	
バスケット投入 (手動)	
外扉閉	5秒
内扉閉	5秒
下降	10秒
①超音波洗浄	2分 (タイマー)
上昇	5秒
②ペーパー洗浄	1分30秒 (タイマー)
上昇	10秒
③乾燥	1分30秒 (タイマー)
上昇	5秒
内扉閉	5秒
④回収	1分 (タイマー)
外扉閉	5秒
バスケット取出し (手動)	
計	6分50秒

図2. FISTAの配管フロー図とタクトタイム

「FISTA」は、超音波洗浄→ペーパー洗浄→乾燥を昇降の中で行う密閉式縦型洗浄機で、洗浄槽へのカゴの出し入れを、洗浄槽上部に付けたパスBOXを通して行う。パスBOXには、外扉と内扉が付いており、これが同時に開くことはない。これにより、洗浄槽が外気と通々にならないので、溶剤の蒸発ロスが抑えられ、蒸発ロス20L/月を実現した。「FISTA」の溶剤蒸発ロスは、外扉を開け

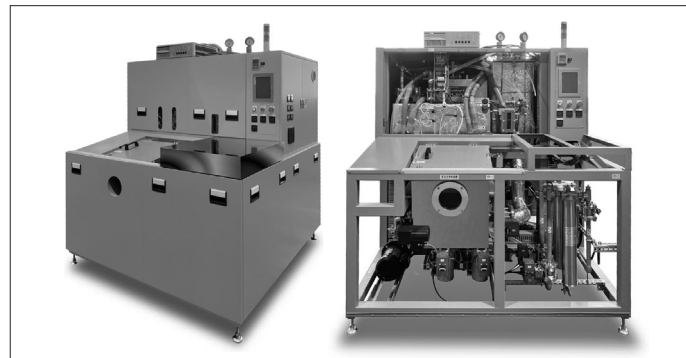


図3. フッ素系ワンバス式真空洗浄乾燥機「FLOVA」

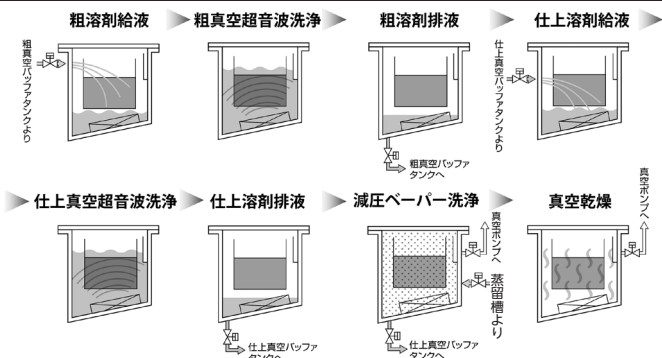


図4. FLOVAの工程

タクトタイム (参考例)	
真空引き	0.7分
粗溶剤給液	0.8分
粗真空超音波洗浄	1.5分 (タイマー)
粗溶剤排液	2.5分
仕上溶剤給液	0.8分
仕上真空超音波洗浄	1.5分 (タイマー)
仕上溶剤排液	2.5分
減圧ペーパー洗浄	1.5分 (タイマー)
液抜き	0.5分 (タイマー)
真空乾燥	3.0分 (タイマー)
真空解除	0.2分
計	15.5分

図5. FLOVAの配管フロー図とタクトタイム

「FLOVA」は、ワンバス式の洗浄機で、粗超音波洗浄→仕上超音波洗浄→ベーパー洗浄→真空乾燥を、液の出し入れをしながら1槽の中で行う。

具体的な動作は、次の通り(図4、図5 参照)

- ①真空洗浄乾燥槽を真空ポンプで50Kpaまで真空引き。この時の真空ポンプからの排気は外へ
- ②粗真空バッファタンクから真空洗浄乾燥槽へ給液
- ③粗超音波洗浄
- ④真空洗浄乾燥槽から粗真空バッファタンクへ排液
- ⑤真空洗浄乾燥槽を真空ポンプで50Kpaまで真空引き。この時の真空ポンプからの排気は蒸留槽と真空バッファタンクへ
- ⑥仕上真空バッファタンクから真空洗浄乾燥槽へ給液
- ⑦仕上超音波洗浄
- ⑧真空洗浄乾燥槽から仕上真空バッファタンクへ排液
- ⑨真空洗浄乾燥槽を真空ポンプで70Kpaまで真空引き。この時の真空ポンプからの排気は蒸留槽と真空バッファタンクへ
- ⑩蒸留槽から真空洗浄乾燥槽へベーパーを送り、ベーパー洗浄
- ⑪真空洗浄乾燥槽を真空ポンプで0.1Kpaまで真空引きし、真空乾燥。この時の真空ポンプからの排気は蒸留槽と真空バッファタンクへ
- ⑫真空洗浄乾燥槽を大気ベントし、大気に戻す

違って、乾燥は真空乾燥を行う。真空洗浄乾燥槽を0.1KPaまで真空引きすると、洗浄物も洗浄槽もカラカラ状態になり、フタを開けた時にモワっと出る溶剤ガスは無い。それにより、洗浄槽にフリーボードや冷却コイルは不要になった。その替わり、真空バッファタンクと蒸留槽の内圧が上がってしまうので、自動弁を開けて圧力解放しているが、それが溶剤ロスになる。FLOVAの溶剤蒸発ロスは、10L/月である。

フッ素系洗浄機は、洗浄後に微細な異物残りが少ないこと、電力消費が少ない(炭化水素系洗浄機の1/3、水系洗浄機の1/4)(表1参照)ことから、EVや脱炭素というテーマにマッチしているため、今後普及が期待される。

しかしながら、フッ素系洗浄機は、フッ素系溶剤が6000~7000円/Lと高価(炭化水素系溶剤の10倍以上)であるため、FLOVAの溶剤消費量10L/月では、蒸留廃液ロス(5L/月と想定)を含めると、溶剤消費量は15L/月となり、電気代を含めたランニングコストは炭化水素より高くなってしまふ。従って、ユーザーは、フッ素系洗浄機の導入に対し敬遠ぎみである。

そこで、溶剤消費量をさらに削減できる技術が必要である。溶剤蒸発ロス+蒸留廃液ロスを8L/月まで落とせば、電気代を含めたランニングコストで炭化水素より安くなる(表2参照)ので、それを目標に「FLOVAⅡ」の開発を行った。

表1. フッ素系洗浄機と炭化水素系洗浄機の電気容量

1. フッ素系ワンバス式洗浄機 「FLOVAⅡ-4030」	
超音波	1KW
粗・仕上液排液用ポンプ	0.75×2=1.5KW
真空ポンプ	0.4KW
ヒーター	4KW
<hr/>	
	6.9KW
2. 炭化水素系ワンバス式洗浄機 「CLOVA-4030」	
超音波	1KW
液封式真空ポンプ	3.7KW
メカニカルブースターポンプ	0.75KW
ヒーター	15KW
熱媒油ポンプ	0.975KW
<hr/>	
	21.425KW

FLOVAも完全密閉型の洗浄機であるが、FISTAと

2. FLOVAⅡ開発の概要

FLOVAで溶剤がロスするのは、真空バッファタンクと蒸留槽の内圧が上がってしまうからであるが、内圧が上がってしまう原因は、粗液供給時に真空洗浄乾燥槽を50Kpaまでしか真空引きしていないからである。

それは、図6のようなモデルで考えると、容易にわかる。真空洗浄乾燥槽の体積を1、真空バッファタンクの体積を1、蒸留槽の体積を1とすると、スタート時の合計は3。

最初の工程で、真空洗浄乾燥槽を50Kpa=0.5気圧まで真空引きし、排気は外に排出するので、真空洗浄乾燥槽の中の空気の体積は0.5になり、この時点で合計は2.5。

真空乾燥時は、真空洗浄乾燥槽をほぼ0まで引くので、真空洗浄乾燥槽が0で、真空バッファタンクが1.25、蒸留槽も1.25になり、合計2.5。

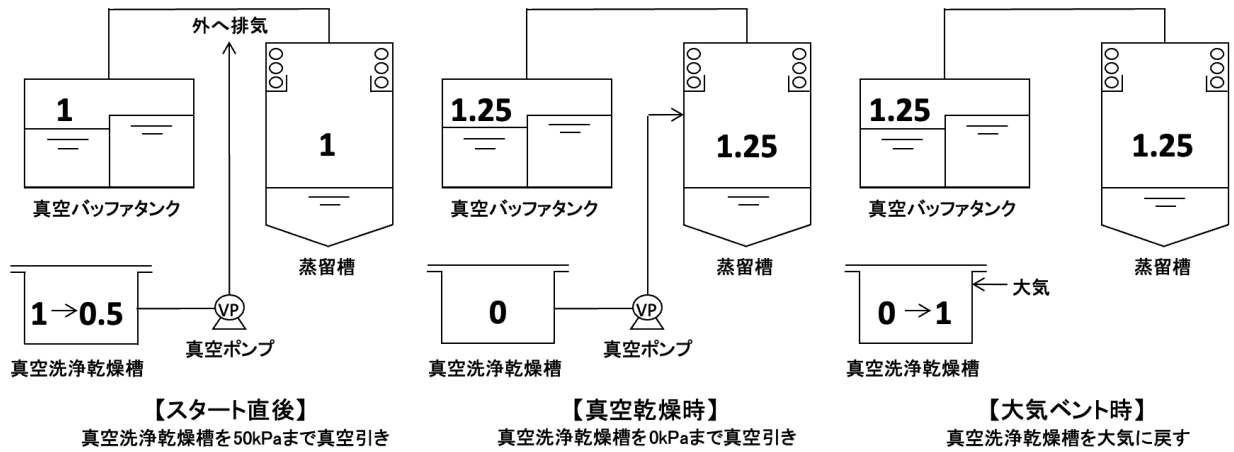


図6. FLOVAのモデル

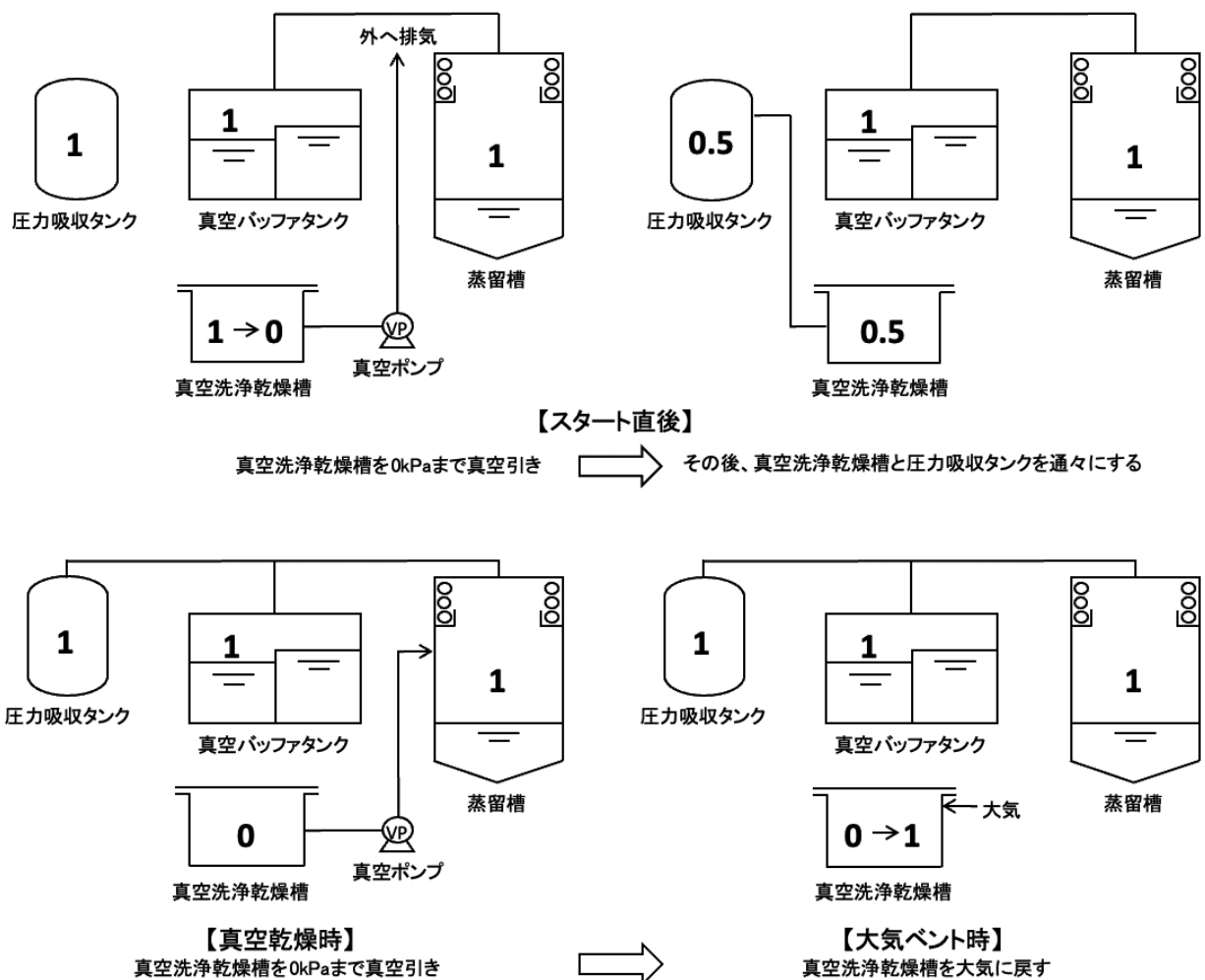


図7. FLOVAIIのモデル

この後、真空洗浄乾燥槽を大気ベントすると、真空洗浄乾燥槽は1となり、真空パuffアタンクが1.25、蒸留槽も1.25のままで、合計3.5となる。

従って、1サイクル終了時、真空パuffアタンクと蒸留槽の圧力は1.25と上がってしまう。

仮に最初の工程で、真空洗浄乾燥槽をほぼ0まで真空引きすれば、真空洗浄乾燥槽が0で、合計は2。

真空乾燥時は、真空洗浄乾燥槽が0で、真空パuffアタンクが1、蒸留槽も1で、合計2。その後真空洗浄乾燥槽を大気ベントすると、真空洗浄乾燥槽は1となり、真

空バッファタンクが1、蒸留槽も1のままで、合計3となり、真空バッファタンクと蒸留槽の圧力上昇は無くなる。

ところが、最初の工程で真空洗浄乾燥槽を0まで真空引きし、粗真空バッファタンクから給液すると、フッ素系溶剤が沸騰してしまうという問題があった。それで仕方なく、50Kpaまでの真空引きとしていたが、何か良い案はないかと模索していたらひらめいた。それは、真空洗浄乾燥槽と同じサイズの圧力吸収タンクを設け、真空洗浄乾燥槽を0まで真空引きした後、圧力吸収タンクと通々にすれば両方共50Kpaになり、フッ素系溶剤が沸騰することなく給液できるというものである。(図7参照)

このモデルでは、タンクが4つあり、全て1とすると合計4。最初の工程で真空洗浄乾燥槽を0まで真空引きすれば、真空洗浄乾燥槽が0で、合計は3。その後、真空洗浄乾燥槽と圧力吸収タンクを通々にすると、真空洗浄乾燥槽が0.5、圧力吸収タンクも0.5で、合計3。真空乾燥時は、真空洗浄乾燥槽が0で、3つのタンクがそれぞれ1になり、合計3。最後に真空洗浄乾燥槽を大気ベントすると、4つのタンクが全て1で合計4となり、圧力上昇はなくなった。

FLOVAIIの写真、配管フロー図、各タンクの圧力線図を図8、図9、図10に示す。

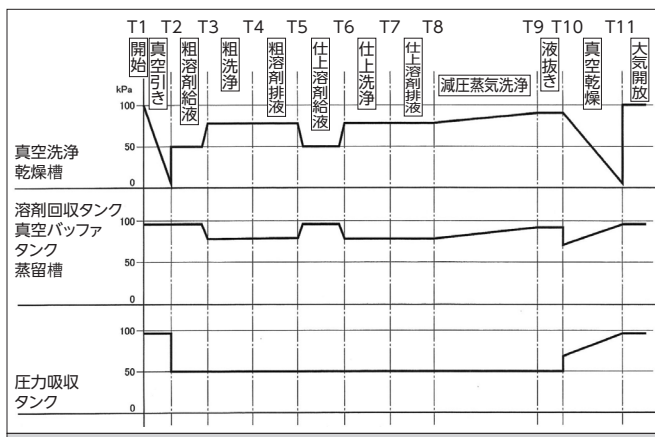


図10. FLOVAIIの圧力線図

実は、「FLOVA」と「FLOVA II」の違いは、圧力吸収タンクを付けただけではない。もう一つポイントがある。溶剤回収タンクを付けたことである。

そもそも、溶剤が液体から蒸気になると、体積が何百倍にも膨らむが、蒸気は10℃の冷却水で冷やした場合、17%以上の濃いガスは凝縮できるが、17%未満の薄いガスは凝縮できない(図11の蒸気圧曲線参照)ので、結果的に体積が膨らみ、密閉空間には収まりきらなくなる。フッ素系洗浄機は、蒸留、蒸気洗浄、乾燥工程で、溶剤が液体から蒸気になるので、この蒸気を如何にして凝縮回収し、密閉空間の圧力上昇を抑えるかも2つ目のポイントである。

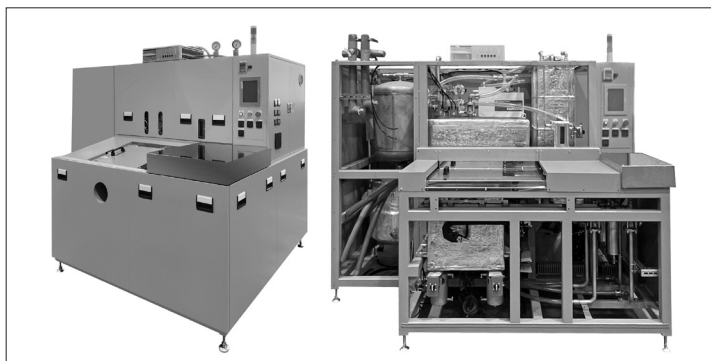


図8. フッ素系ワンバス式真空洗浄乾燥機「FLOVAII」

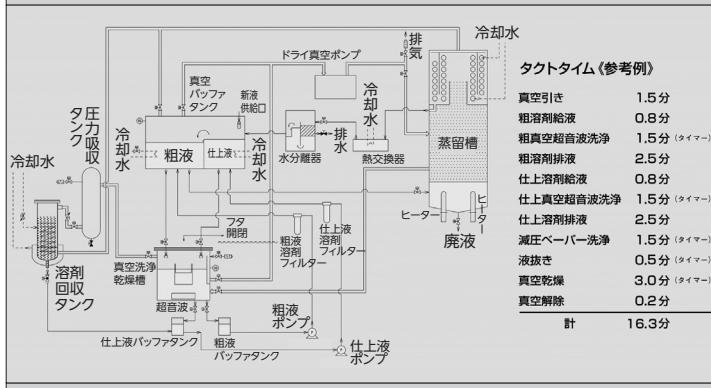


図9. FLOVAIIの配管フロー図とタクトタイム

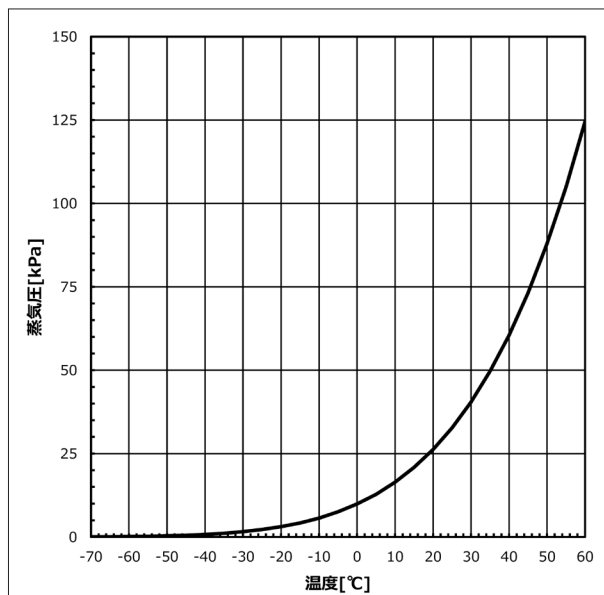


図11. フッ素系溶剤AMOLEA® AS-300の蒸気圧曲線

この溶剤回収タンクは、下部に冷却部を設けている。フッ素系のガスは、空気より4.5倍も重いので、高さのあるタンクにすると、下の方はガス濃度が高く、上の方は

ガス濃度が低くなる。ガス濃度が17%以上になると凝縮できるようになり、凝縮するとそこが減圧するので、圧力差でもガスが下に集まってくる作用が働く。この溶剤ガス回収装置は、ガスの自重+圧力差を利用した簡易的で安価なものであるが、効果は抜群であった。溶剤を蒸気にすると、10℃の冷却水で冷却しても、全て凝縮できる訳ではないので、密閉空間では収まりきれなくなり、圧力上昇があって、どこかでそれを逃がし、その分溶剤がロスすると思っていたが、FLOVAⅡでは連続運転しても圧力上昇が見られないので、この溶剤回収タンクは蒸発した蒸気を100%回収していることになる。私も最初回収率100%は信じられなかったが、以下のように考えると納得できる。

開放系の洗浄機では、体積膨張すると、槽内に収まりきれなくなり、オーバーフローする。フリーボードの冷却コイルで凝縮回収しているが、17%以上の濃いガスは凝縮回収できるが、薄いガスは回収できず、それがロスになる。でもFLOVAのような密閉系の洗浄機では、体積膨張しても外に出る訳ではないので、密閉系内の圧力が上がる、と同時にガス濃度も上がる。その結果、凝縮回収しやすくなる。例えば、1サイクルスタート時に、真空バッファタンクや蒸留槽が飽和蒸気のガスで満たされていた場合、ベーパー洗浄や真空乾燥で新たに発生した蒸気がプラスされるとすぐに過飽和状態になり、速やかに凝縮回収されるので、100%の回収率になるのではないかと考えられる。

さらに言えることは、開放系の洗浄機では、蒸発ロスは、フリーボードの冷却コイルの温度に左右されるので、できるだけ冷やした方が良いが、密閉系の洗浄機では、冷却温度にはあまり左右されない。従って、密閉系の洗浄機には、冷凍機も要らないし、高価な回収装置も要らない。これらの理由により、今後のフッ素系洗浄機は、FLOVAⅡのような密閉系が主流になると考えられる。

3. FLOVAⅡの性能

FLOVAⅡの溶剤蒸発ロスは、ほぼゼロになった。

FLOVAⅡが、溶剤蒸発ロスほぼゼロと言える理由は、以下による。

- ①粗洗浄→仕上洗浄→ベーパー洗浄→真空乾燥の工程中は、洗浄槽、蒸留槽、タンクは完全密閉かつ負圧なので、溶剤蒸気の漏れがない。
- ②唯一、ロスになるのは、蓋を開けた時に洗浄槽に残留している溶剤蒸気であるが、真空乾燥で0.1Kpaまで引いてから大気バントしているので、ロスはほぼ0である。
- ③何バッチか処理しているうちに、密閉系の圧力が徐々に上昇し漏れるのではという懸念があったが、それもない。

4. FLOVAⅡのランニングコスト

FLOVAⅡのランニングコストは、もくろみ通り炭化水素より安くなった。(表2参照)

表2. フッ素系洗浄機と炭化水素系洗浄機のランニングコスト

1. フッ素系ワンバス式洗浄機「FLOVAⅡ-4030」	
1) タクトタイム	: 16.3分/バッチ
2) 溶剤消費量	: 蒸発ロス+蒸留廃液ロス=8L/月 8L/月×比重1.39kg/L=11.12kg/月
3) 電気容量	: 洗浄機:6.9KW+チラー:4.7KW=11.6KW
4) ランニングコスト	: 溶剤代 11.12kg/月×7,000円/kg = 77,840円/月 電気代 11.6KW×0.7×8h×21日×20円/KWh = 27,283円/月 合計 105,123円/月
2. 炭化水素系ワンバス式洗浄機「CLOVA-4030」	
1) タクトタイム	: 12.4分/バッチ
2) 溶剤消費量	: 蒸発ロス+蒸留廃液ロス=60L/月
3) 電気容量	: 洗浄機:21.5KW+チラー:9.8KW=31.3KW
4) ランニングコスト	: 溶剤代 60L/月×550円/L = 33,000円/月 電気代 31.3KW×0.7×8h×21日×20円/KWh = 73,618円/月 合計 106,618円/月

5. おわりに

クリンビーのフッ素系洗浄機は、「FISTA」に始まり、「FLOVA」を経て、フッ素系洗浄機の決定版とも言える溶剤蒸発ロスほぼゼロの「FLOVAⅡ」に繋がった。溶剤蒸発ロスほぼゼロのフッ素系洗浄機は、業界初であり、画期的なことである。まさに夢の洗浄機が実現できた。これで、フッ素系洗浄機が一番の課題であった溶剤コストの問題が解決される。

EV、脱炭素というテーマには、フッ素系が向いているので、今後フッ素系洗浄機「FLOVAⅡ」の普及が期待される。