

振動による固液分離用スクリーンの水切り効果及び耐久性への影響について

梅本博一^{*1)}

Influence of Draining Effect and Durability on the Screen of Solid-liquid Separator by Vibrations

UMEMOTO Hirokazu^{*1)}

偏心加振機を付加して効率を高めた固液分離機におけるスクリーンの振動と水切り効果との関係を明らかにするために、装置のスクリーンにおいてインパクトハンマ加振及びスキニング振動計による振動測定・解析の実施によりスクリーンの固有振動数や形状変化に関して評価を行った。また、実機を小型化した装置のスクリーンでも実機と同様の評価及び水切り効果を評価するために牛乳パックを水で溶かした固液混合物を使用して水切り実験を実施した。その結果、既存の加振機によるスクリーンの形状変化について可視化することができた。また、既存の加振機の周波数が、実機では固有振動数付近であり、小型機では固有振動数から離れていることもわかった。さらに小型機での水切り実験からは、加振機取付角度による効果の違いがあり、最も効果的な加振機取付角度における位相差が他の角度と比べて大きくなることもわかった。

1. 緒言

様々な分野において、効率的な稼働を目的として装置を全体又は部分的に加振するという手法が採用されている。その一つとして、固液分離機がある。PETの再利用や汚泥処理などのためにスクリーンの隙間の微小化が求められることがあり、その際の課題である分離効率向上のために偏心加振機により加振している。実機を加振した際に発生する歪みによる疲労破壊等については構造的に問題がないことは分かっている¹⁾が、水切りの効果に影響を与える因子（周波数、変位、加速度、加振場所など）の有無や装置の固有振動数など、明らかになっていないことも多い。

そこで、本研究ではインパクトハンマ加振及びスキニング振動計での振動測定・解析によって、実機及び実機を小型化した装置（小型機）のスクリーンにおける固有振動数、加振による形状変化及び位相差を把握し、それらと水切り実験結果との比較検討を実施した。

2. 実験方法

2.1 インパクトハンマ加振（実機、小型機）

対象とした東洋スクリーン工業(株)製固液分離機の実機を図1に、小型機を図2に示す。小型機は水切り実験を容易にするために用意したものである。実機と小型機のオーバーフローのヘッド高さ及びスクリーンのアスペクト比の違いを表1に示す。スクリーンの固有振動数を求めるために計測データ解析装置(概要を図3に示す。スペクトリス(株)ブリュエル・ケア事業部製)を使用した。

FFTの条件は、周波数範囲 DC ~ 800 又は 1000Hz、センサー側及びインパクトハンマ側の窓関数は両方ともユニフォームとした。

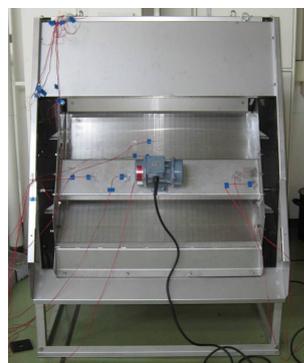


図1 固液分離機（実機）



図2 固液分離機（小型機）

表1 ヘッド高さ及びスクリーンのアスペクト比

装置	ヘッド高さ(mm)
実機	350
小型機	200

装置	スクリーン		
	幅(mm)	長さ(mm)	アスペクト比
実機	890	660	1.35 : 1
小型機	200	330	0.61 : 1

*1) 機械・電子・情報技術チーム

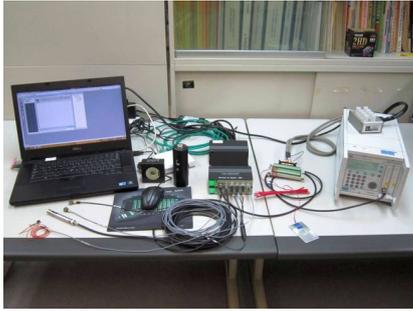


図3 計測データ解析装置

2.2 スキャンング振動計による振動測定及び解析

2.2.1 スクリーンの形状変化(実機, 小型機)

偏心加振機で振動を付加している状態でのスクリーンの形状変化を明らかにするために、同志社大学機械力学研究室が保有している Polytec 製スキャンング振動計を用いて稼働状態での実機及び小型機のスクリーン形状変化を計測した。実機は加振機固定のため加振条件は一定である。小型機は加振機を圧縮空気 0.2MPa で稼働させ、加振機取付位置及び角度を変化させており、それらの加振条件を表 2、図 4 及び図 5 に示す。また、FFT の条件は、周波数範囲 DC ~ 800 又は 1600Hz、窓関数はハニングとした。

表 2 小型機の加振条件表

条件 No.	加振機取付	
	bar	角度(degree)
-1		0
-2		45
-3		-45
-1		0
-2		45
-3		-45
-1		0
-2		45
-3		-45

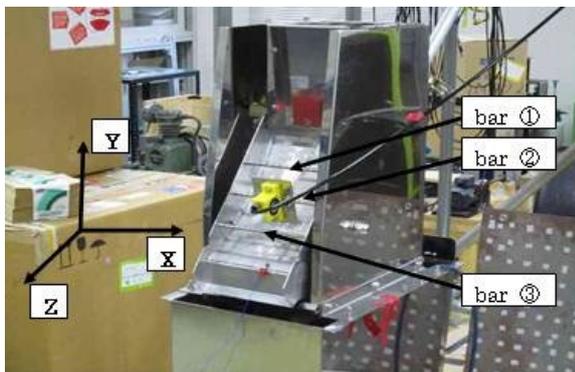


図4 加振条件(加振機取付 bar)

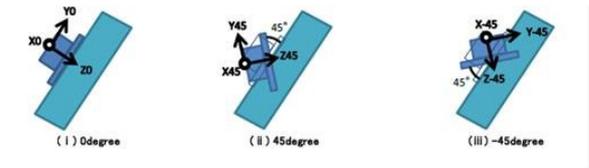


図5 加振条件(加振機取付角度)

2.2.2 位相差(小型機)

稼働時においてスクリーン上部はオーバーフローしてきた固液混合物が落下してくる箇所であり、ここは加振の有無の影響をほとんど受けないと考え、スクリーン下部、すなわち図 4 に示す bar 付近に着目し、加振時のスクリーン下部で励振されている振動の位相差を算出した。基準ポイント及び対象ポイントを図 6 に示す。図 6 に示したスクリーン下部の中央のラインにあるポイント 4 を基準として、11, 18, 25 を対象ポイントとした。

位相差の算出は、スキャンング振動計での計測時 FFT によって得られた速度データのピーク周波数における Y 軸成分及び Z 軸成分の実部及び虚部をそれぞれの加振条件及びポイントにより使用した。また計算はクロススペクトルを使用した²⁾。クロススペクトル及び位相差の算出について以下に示す。

基準ポイントの実部及び虚部を a, b とし、対象ポイントの実部及び虚部を c, d とする。

$$\text{基準ポイント: } X(\omega) = a + ib$$

$$\text{対象ポイント: } Y(\omega) = c + id$$

$$\begin{aligned} \text{クロススペクトル } W_{xy}(\omega) &= Y(\omega) X^*(\omega) \\ &= (c + id)(a - ib) \\ &= (ac + bd) + i(ad - bc) \end{aligned}$$

クロススペクトルの実部を $K_{xy}(\omega)$ 、虚部を $Q_{xy}(\omega)$ とすると、

$$\begin{aligned} \text{位相差 } \theta_{xy}(\omega) &= \tan^{-1}(Q_{xy}(\omega) / K_{xy}(\omega)) \\ &= \tan^{-1}((ad - bc) / (ac + bd)) \end{aligned}$$

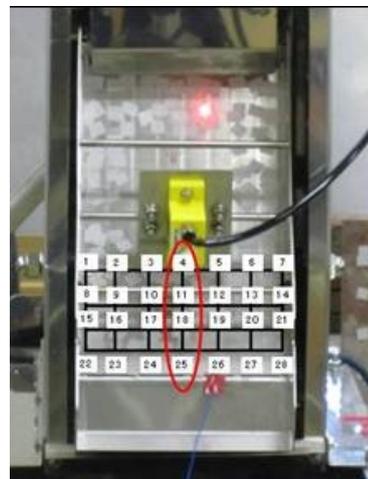


図6 基準ポイント及び対象ポイント

2.3 水切り実験（小型機）

加振機取付条件の違いによる水切り効果を明らかにするために、小型機を使用して水切り実験を行った。実験には牛乳パックを水に溶かし、不要なナイロンなどを除去した状態で固液分離させることとした。表 2 に示した加振機取付条件において、3 分間固液分離を行い、その際のスクリーン上にある固形物（以下、残留物と呼ぶ。）及びスクリーンから落ちてきた固形物（以下、回収物と呼ぶ。）の簡易脱水前後の重量計測を実施した。実験状況を図 7 に示す。



図 7 水切り実験状況

3. 結果及び考察

3.1 装置の振動特性について

3.1.1 固有振動数（実機）

インパクトハンマ加振実験の結果を図 8 に示す。ここで、図 8 の上のグラフが伝達関数、下のグラフがコヒーレンスである。伝達関数のピークから実機の固有振動数は 56Hz 付近にあることがわかった。実機に付加している偏心加振機の加振周波数が 60Hz であり、スクリーンの共振点付近で加振していることがわかった。

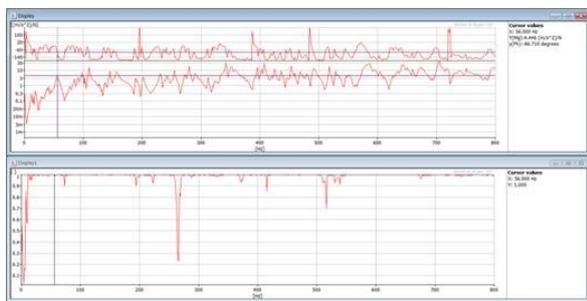


図 8 伝達関数（実機）

3.1.2 固有振動数（小型機）

インパクトハンマ加振実験の結果を図 9 に示す。ここで、図 9 の上のグラフが伝達関数、下のグラフがコヒーレンスである。伝達関数のピークから小型機の固有振動数は 272.5Hz 付近にあることがわかった。

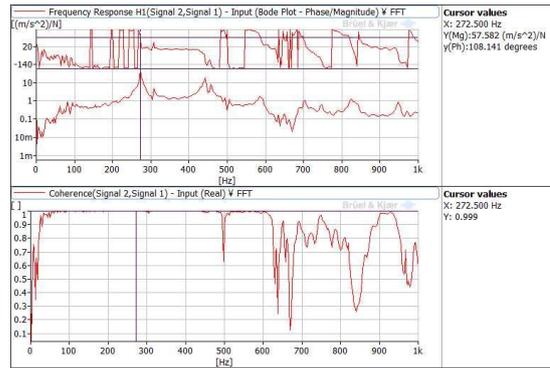


図 9 伝達関数（小型機）

3.2 加振時のスクリーンの形状変化について

3.2.1 スクリーン形状変化（実機）

スキャニング振動計による実機スクリーン形状変化の計測結果を図 10 に示す。この図より、加振周波数である 60Hz にピークをもち、スクリーンは加振機によって強制加振されており、その形状は 2 次のモードに近いことがわかった。このような形状で変化しているのは、前述の固有振動数 60Hz 付近で加振しているためと考えられる。

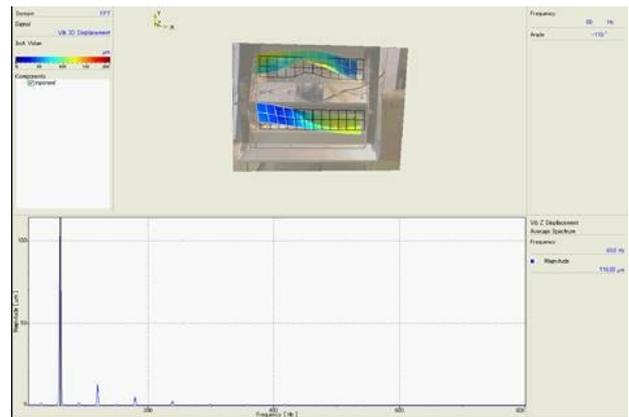


図 10 スキャニング振動計による計測結果

3.2.2 スクリーン形状変化（小型機）

スキャニング振動計による小型機スクリーンの形状変化を図 11 に示す。この図より、0.2MPa で加振機を稼働させた場合、スクリーンには 130Hz 付近で強制振動が起こっていることがわかる。すなわち、加振時に励振されている主な振動が 130Hz であると考えられる。ただし、この計測結果からは取付 bar 及び取付角度による形状変化における明らかな違いを見つけることはできなかった。その原因として、計測ポイントのピッチが大きかったことが考えられる。それにより、違いが表れているポイントを見逃している可能性があるためである。形状変化の違いがあるかどうかを詳細に検討するためには、現状の計測ポイントピッチよりもさらに細かいピッチで計測する必要がある。

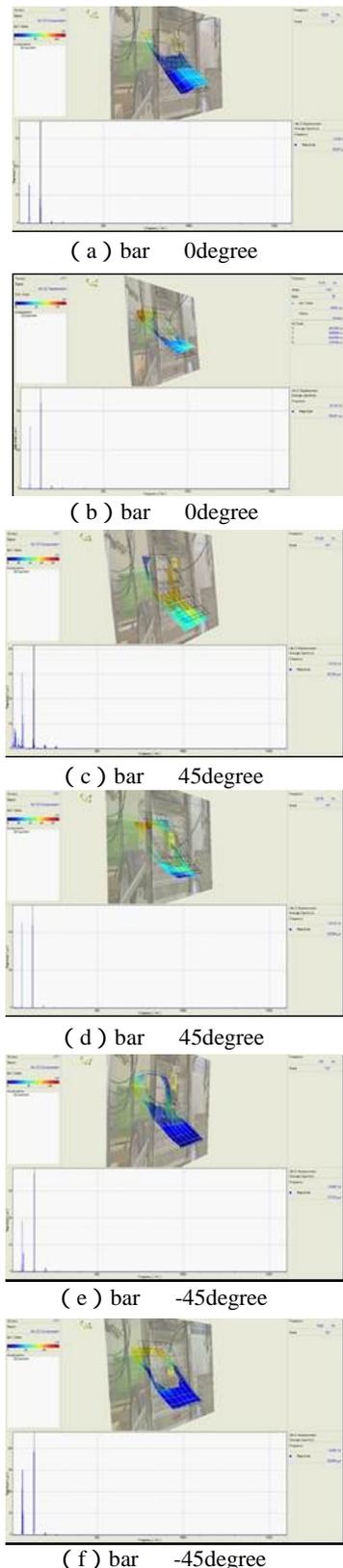


図 1 1 スキャンング振動計による計測結果

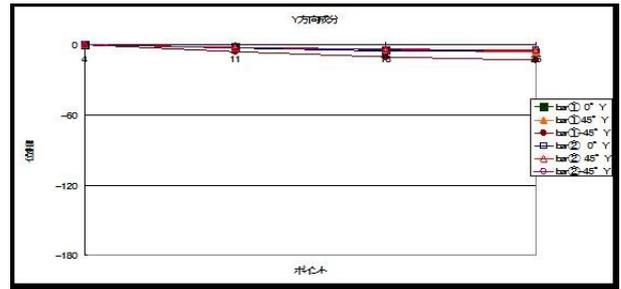


図 1 2 11, 18 及び 25 での位相差(基準:ポイント 4)
(Y 方向成分)

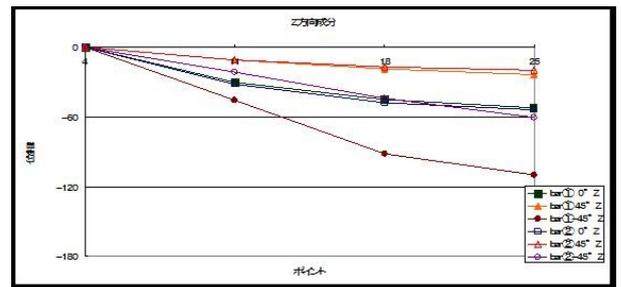


図 1 3 11, 18 及び 25 での位相差(基準:ポイント 4)
(Z 方向成分)

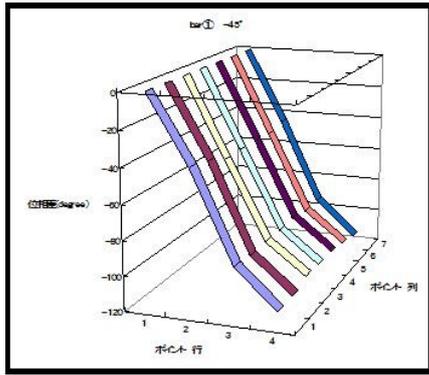
これらの図より、スクリーン上で Y 方向成分に比べて Z 方向成分の位相差がすべての条件において大きいことがわかった。それは図 4 からわかるようにスクリーンが Z 方向を向いており、スクリーンの形状変化が Z 方向で主に発生していることから説明することができる。

また 図 13 より位相差は加振機取付角度ごとによく似た傾向を示しており、取付角度 -45° の場合を除いて、ほぼ同じ値であり 取付角度 0° 及び 45° の場合は加振機取付 bar による違いはないことがわかった。違いがあった取付角度 -45° における位相差について更に検討してみた。

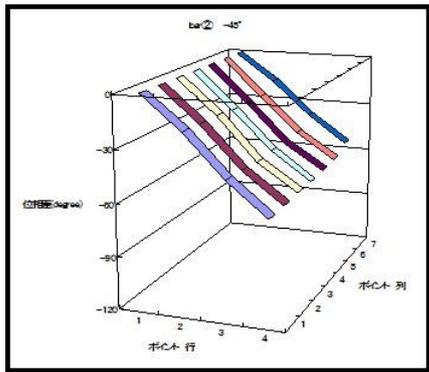
図 14 に取付角度 -45° のスクリーン下部のすべての列での位相差を示す。すべての列において bar と bar では位相差に大きな違いがあることがわかる。すなわち、 -45° の時だけ、加振機を取付する bar の位置により励振されている振動に違いがあることがわかった。

3.3 加振時の位相差について (小型機)

小型機を偏心加振機で稼働させて状態でのスクリーンの振動における位相差を算出した結果を図 12 及び図 13 に示す。



(a)bar ① -45°Z 方向成分



(b)bar ② -45°Z 方向成分

図 1.4 スクリーン上の位相差

3.4 小型機の水切り実験について

水切り実験の結果を表 3 に示す。表 3 より、加振機取付 bar 及び角度の違いによって、回収物及び残留物の重量に大きな違いがあることがわかった。取付角度-45°の場合が、0°及び 45°の場合に比べて、回収物の重量が多く、残留物の重量が少なくなっている。これはスクリーン上の固形物のスクリーン上を動く速さの違いが観察されており、それが影響していると考えられる。すなわち、取付角度-45°の場合がもっとも水切り効果があることがわかった。つまり、前項で述べた位相差が他と比べて大きくなる加振機取付角度が-45°の時に、水切り効果が高いことがわかった。

4. 結言

本研究は、固液分離機におけるスクリーンの振動と水切り効果との関係を明らかにするために、実機及び小型機を対象として、インパクトハンマ加振及びスキャニング振動計による計測・解析及び水切り実験の実施により、固有振動数、加振時のスクリーン形状変化、位相差及び水切り効果について評価し、以下の結果が得られた。

- 1) 実機のスクリーンの伝達関数のピークは 56Hz であった。また、スキャニング振動計で計測した結果、稼働時のスクリーンが 60Hz で励振されており、偏心加振機の周波数で強制振動が起こっている。その時のスクリーンの形状変化は 2 次のモードであった。
- 2) 小型機のスクリーンの伝達関数のピークは 272.5Hz であった。また、スキャニング振動計で計測した結果、稼働時のスクリーンが 130Hz 付近で励振されており、偏心加振機の周波数で強制振動が起こっている。
- 3) 小型機のスクリーンの形状変化について、加振機の取付位置及び取付角度の違いによる、顕著な差異を見つけることができなかった。この原因としては、元々違いがないかスキャンするポイントのピッチが大きいことが考えられる。
- 4) 小型機のスクリーンの位相差については、Y 方向成分に比べて Z 方向成分の位相差が全ての条件において大きい。また、取付角度-45°を除いて、取付 bar にかかわらずほぼ同じ値であった。取付角度-45°の場合は、bar の方が bar よりも位相差が大きい。
- 5) 小型機の水切り実験の結果、bar 及び取付角度-45°の条件での水切りが最も効果的であった。位相差が大きくなる条件とおなじ取付角度-45°で効率が良くなることがわかった。

なお、本研究で使用した計測データ解析装置は、財団法人 JKA の「機械工業振興補助事業」により導入、設置した。



表 3 水切り実験結果

shaker			回収物				スクリーン上残留物			
air pressure	bar	degree	全体 (g)	簡易脱水後 (g)			全体 (g)	簡易脱水後 (g)		
				固形物	水	水分率		固形物	水	水分率
0.2MPa		0	134	18	116	86.6%	78	18	60	76.9%
		45	152	18	134	88.2%	74	16	58	78.4%
		-45	178	24	154	86.5%	48	10	38	79.2%
		0	136	16	120	88.2%	76	14	62	81.6%
		45	160	18	142	88.8%	74	16	58	78.4%
		-45	188	24	164	87.2%	36	8	28	77.8%
		0	168	22	146	86.9%	46	12	34	73.9%
		45	162	20	142	87.7%	50	12	38	76.0%
		-45	200	26	174	87.0%	28	8	20	71.4%
加振なし			1714	12	1702	99.3%	106	22	84	79.2%

参考文献

- 1) 梅本博一：奈良県工業技術センター研究報告，37，28-35(2011)
- 2) 長松昭男：モード解析入門，p222-223，コロナ社(2009)