

コンベアチェーンにおける脈動対策

The Pulsation Countermeasure of the Chain Conveyor

岩渕正喜 Masayosi Iwabuti

●第5工場保全課

要旨

当社の組立設備の代表格であるコンベアチェーンでは、チェーンスピードが一定でないために、搬送物が大きく揺れる現象（脈動）が作業者のリズムを乱し、品質、作業性、設備劣化に悪影響を与え課題となっている。また、チェーンの脈動に対しコンベアメーカーでは原因の究明がなされていない。

そこで、今回、コンベアチェーンの脈動原因と増幅要因を解明した結果、脈動を防止することができた。脈動の原因は、コンベアモータを駆動するインバータ自身の出力電流であり、増幅要因は給油の不足、搬送荷重の大きさ等の6項目であることがわかった。要因への対策の結果、リズムカルな作業が実現し、ボルト斜め締付け、ボルト頭つぶれが減少する等の品質向上や、生産性向上の成果が出たので報告する。

1 はじめに

当工場は、オートバイエンジンの組立工場であり、年間約100万台の生産を行っている。その組立設備の代表格であるコンベアチェーンでは、チェーンスピードが一定でないために、搬送物が大きく揺れる現象（以下脈動と呼ぶ）が設備を劣化させるとともに、作業者のリズムを乱し品質、作業性に悪影響を与え課題となっている。

組立産業のもの作りにおいて、人と設備の調和は、リズムカルな作業の実現には必要不可欠である。これを作業者の努力だけに押付けてはならず、「作業者に負担をかけない設備」を作り込む必要がある。

以上の観点から、今回の取組を行った。

チェーンの脈動原因は、コンベアメーカーでは解明されておらず、給油等の個別の対策が取られている。これらの対策は、個々の条件下での脈動があるレベルまで下げることにに対しては効果が上がっているが、ゼロにするまでには至っていない。さらに、コンベアスピード等の使用条件が変わると、対策効果が失われる場合がある。

このほど、PM分析手法を用い脈動の発生原因と増幅要因を解明することで、脈動を防止することができたので報告する。

2 脈動が作業に与える影響

2.1 脈動とは

当工場のコンベアチェーンの機構概要を示す（図1）。インバーターによりコントロールされた減速機付モータによって、搬送チェーンを引っ張り、エンジンを乗せたパレットを搬送する機構となっている。

脈動とは、チェーンが脈を打つことにより搬送されるパレット・エンジンが大きく揺れてしまう現象をいう。

さらにパレットが現在乗っているチェーンから次のチェーンへ乗り移る時に、チェーンの脈打ちによりパレット底面とチェーンのローラ部の間で滑りが発生する。このためパレットが次のチェーンにうまく乗り移れない現象が発生する（図2）。

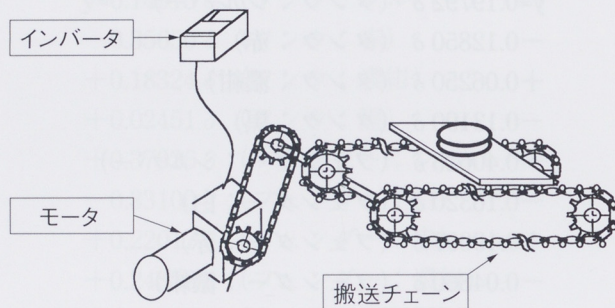


図1 コンベアチェーンの機構概要

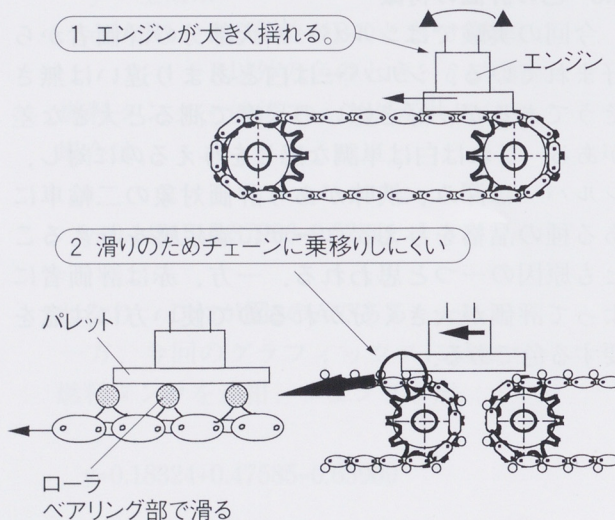


図2 脈動とその影響

2.2 作業に与える影響

脈動が作業に与える影響を、脈動の大きなラインを対象にして調査した。

2.2.1 生産性への悪影響

脈動によりエンジンが大きく揺れることによりボルト頭部が1 cm程度振れ、ボルト締付け作業において、工具の位置決めに時間がかかる(図3)。

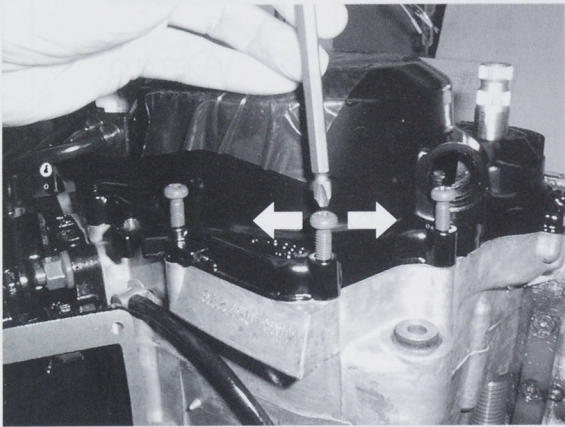


図3 ボルト頭部の振れ

また、パレットが次のチェーンに乗り移る時にローラ部の滑りによって、パレットの間隔がばらつき作業者のリズムが乱されている(図4)。

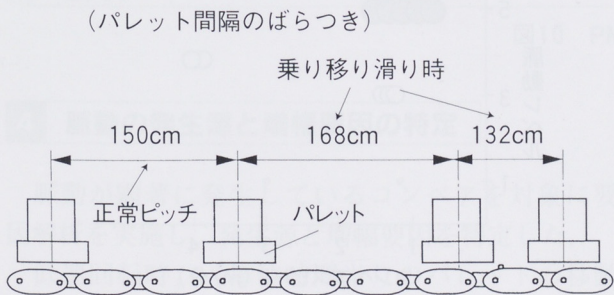


図4 パレット間隔のバラツキ

2.2.2 品質への悪影響

検討したラインで発生している品質不良の項目のうち、エンジンの揺れ、リズムの乱れの影響を受けていると考えられる項目は、

- 1) ボルト斜め締付け
 - 2) ボルト頭つぶれ
 - 3) 外観へのキズ付け
- の3項目である(図5)。

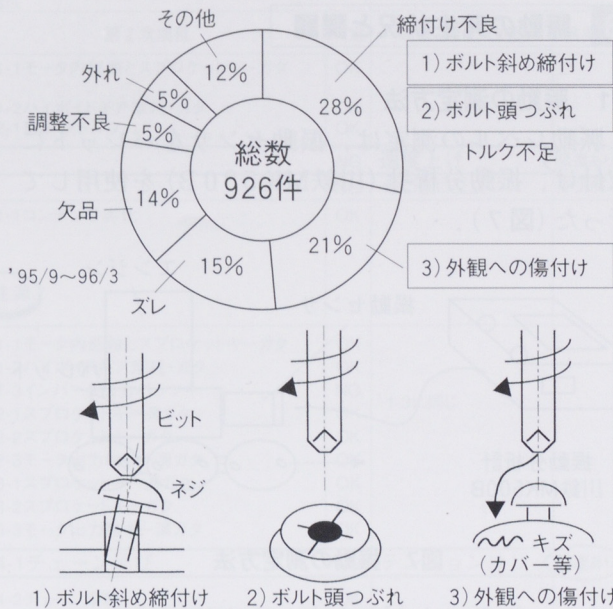


図5 脈動による品質不良項目

2.3 コンベアメーカーの脈動対策

脈動に対して、コンベアメーカーではどのような脈動対策を取っているのか調査した(図6)。

調査項目	回答		
	A社	B社	C社
1 技術的にはわからない	○	○	○
2 給油すると出にくい	○	○	
3 搬送速度が遅いと出やすい	○		
4 摩擦抵抗が大きいと出やすい	○		
5 チェーンが延びると出やすい	○		
6 チェーンサイズを上げると出にくい	○	○	
7 チェーンにかける荷重>チェーン剛性?		○	
8 駆動部等の剛性低いのでは		○	
9 共振によりでるのではないかな		○	

図6 コンベアメーカーの脈動対策

この結果、コンベアメーカーでも脈動を技術的に解明できておらず、対策が個別対応的なものになっていることがわかった。

3 脈動の発生状況と課題

3.1 脈動の測定方法

脈動レベルの測定は、振動センサをパレットに取付け、振動分析計（川鉄MK500B）を使用して行った（図7）。

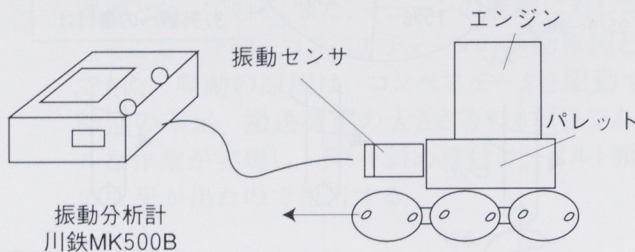


図7 振動の測定方法

また、振動の大きさを表わす変位、速度、加速度の特性値の中で、今回の脈動周波数が100 Hz以下と低いため、振動変位を測定項目とした〔1〕。そして、測定した変位を作業への影響により、次の3つのレベルに分類した（図8）。

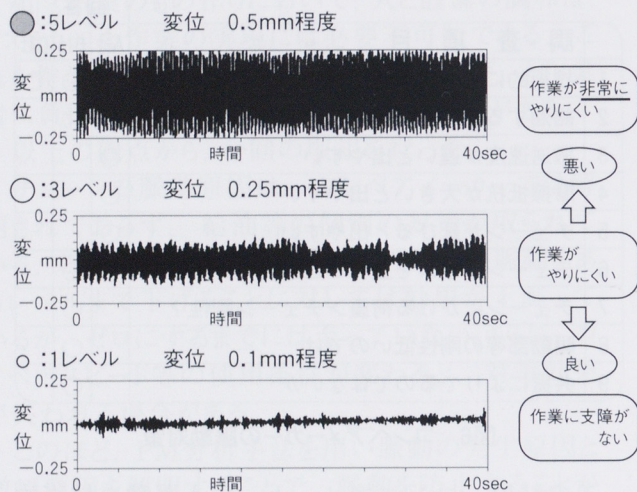


図8 脈動のレベル分け

- ① 5レベル 作業が非常にやりにくい
変位は、0.5 mm程度
- ② 3レベル 作業がやりにくい
変位は、0.25 mm程度
- ③ 1レベル 作業に支障がない
変位は、0.1 mm程度

3.2 発生状況の分析

脈動の発生状況を、当工場のコンベアで測定した所、コンベアが長いほど、また、搬送荷重が大きいほど、脈動のレベルが大きいことがわかった。

また、コンベアスピードが2 m/分以下で使用すると、脈動レベルが高いこともわかった（図9）。

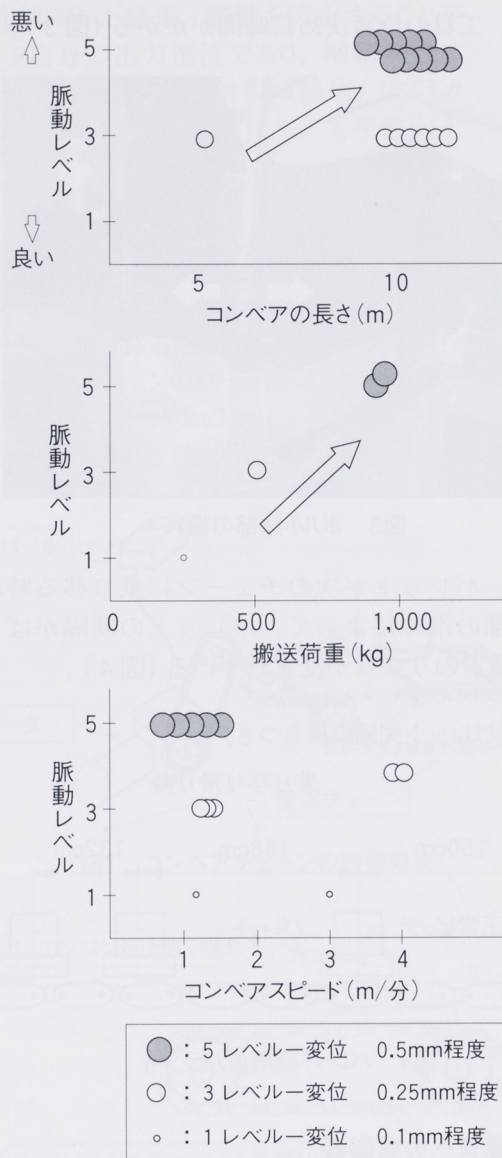


図9 発生状況の分析

以上の分析から、脈動は発生源と複数の増幅要因が絡み合っていることが考えられた。

そこで、次の項目を課題として技術開発を行った。

- (1) 脈動発生源と増幅要因の特定
- (2) 脈動を増幅する各要因の影響度の解明
- (3) 脈動が生産性、品質に与える影響確認

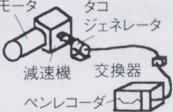
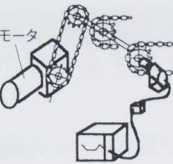
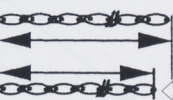
フラインにてトライ		設備・治工具・材料・方法との関連性							
成立する条件	調査方法	判定	第1次項目	判定	第2次項目	判定	対策(復元・改善)	結果	
1 モータ回転がばらつく <div>簡易計測機製作</div>	モータ軸回転速度ムラ測定  減速機 交換器 ペンレコーダ		1-1モータ内部ギアバックラッシ 1-2モータトルク不足		1-1-1モータ内部軸とスプロケットキーガタ 1-1-2ハイボイドギア摩耗・ガタ 1-2-1負荷≫トルク	OK OK OK			
		⑥	1-3モータ速度低い				NG	速度上げ	関連あり
			1-3インバータ出力ばらつき	NG		NG	最新型に交換	多少有	
2 インバータ出力がばらつく	コンデンサ容量測定 出力電流測定		2-1インバータ不良		2-1-1コンデンサ劣化	OK			
			2-2インバータ出力電流ばらつき		NG				
					発生源				
3 駆動軸回転がばらつく	駆動回転ムラ測定 		3-1モータ回転ばらつく 3-2モータスプロケットガタ 3-3駆動軸スプロケットガタ		3-1-1モータ内部軸とスプロケットキーガタ 3-1-2ハイボイドギア摩耗・ガタ 3-1-3インバータ出力バラツキ 3-2-1スプロケットキー溝ガタ 3-2-2スプロケットキーガタ 3-2-3モータ出力軸キー溝ガタ 3-3-1スプロケットキー溝ガタ 3-3-2スプロケットキーガタ 3-3-3モータ出力軸キー溝ガタ	OK OK NG OK OK OK OK OK OK OK	1-3に同じ		
		②	3-4駆動チェーンたるみ		3-4-1チェーン伸び	NG	テンションはり	関連あり	
					3-4-2チェーン摩耗 3-4-3スプロケット摩耗	OK OK			
4 チェーン長さが変化する			4-1チェーンガタ		4-1-1リンク・ピン・ローラ摩耗 4-1-2スプロケットとの遊び	NG NG	新品に交換 新品に交換	なし	
		④	4-2チェーン伸び		4-2-1チェーン剛性<荷重	NG	番定を上げる	関連あり	
		⑤	4-3チェーン長さが長い			NG	長さを短く	関連あり	
			4-5テンションゆるい		4-5-1テンションはり不足	NG	テンションはり	なし	
		①	4-6給油不足		4-6-1リンク・ピン・ローラ給油	NG	給油	関連あり	
5 チェーンの移動抵抗がばらつく			5-1搬送レールとの抵抗ムラ		5-1-1搬送レールキズ摩耗なし 5-1-2トップローラ回転固着 5-1-3チェーン接触部摩耗キズ 5-1-4給油不足	NG NG OK NG	搬送レール交換 固着取り・給油 給油	なし なし 4-6-1と同じ	
6 搬送荷重がばらつく		③	6-1パレット枚数が変化する				NG	パレット枚数減	関連あり
7 従動軸回転がばらつく			7-1従動軸スプロケットガタ	OK					

図10 PM分析による要因解析

4 脈動の発生源と増幅要因の特定

脈動が顕著に発生しているコンベアを対象に要因解析を実施し、発生源と増幅要因を特定した。

低速回転時、『単位時間当りのパレットの移動量が変化する』という物理的見方で、PM分析を行った(図10)。

分析を通しての実験の結果、発生源はモータを駆動するインバータ自身の出力電流の変動であり、増幅要因は以下の6項目であることがわかった(図11)。

- ①給油の不足
- ②駆動チェーンたるみ
- ③搬送荷重が大きい
- ④搬送チェーンの剛性が低い
- ⑤搬送チェーンの長さ
- ⑥搬送スピードが遅い

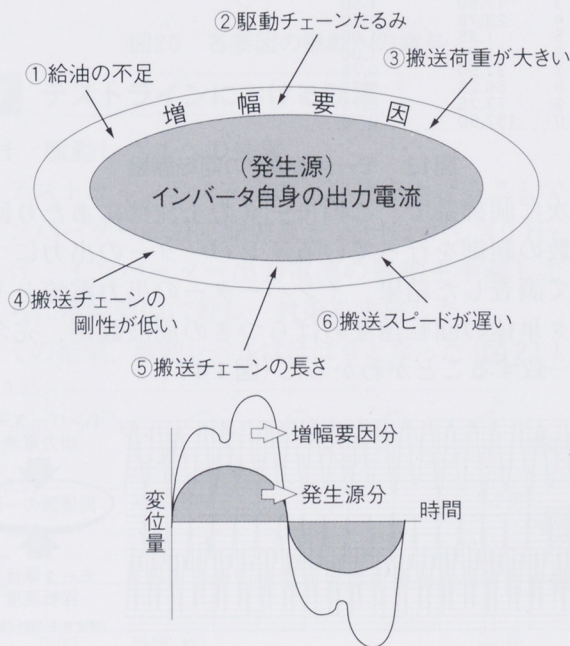
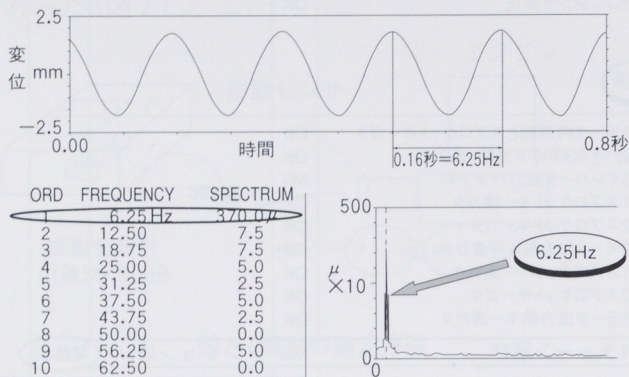


図11 発生源と増幅要因

5 脈動の発生源

パレット脈動の周波数を測定し、FFT解析した結果、脈動の周波数は、6.25 Hzであることがわかった(図12)。



FFT解析(高速フーリエ変換による、信号の周波数成分解析)

図12 パレット脈動の周波数

さらに、PM分析で脈動の各成立条件について調査した結果、モータ単体での出力軸の回転脈動の周波数が6.25 Hzであることがわかった。これは、パレットの脈動周波数と一致する(図13)。

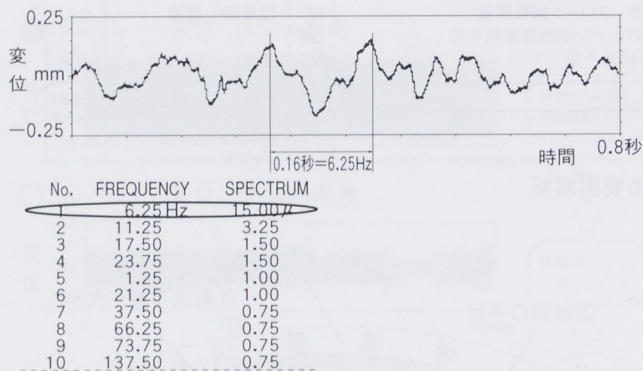


図13 モータ単体での回転脈動

次に制御系で、このモータの上流部にあたり回転数の制御を行っているインバータの出力について調査した結果、インバータの出力電流とモータ単体の回転速度のばらつきの周波数が、完全に一致することがわかった(図14)。

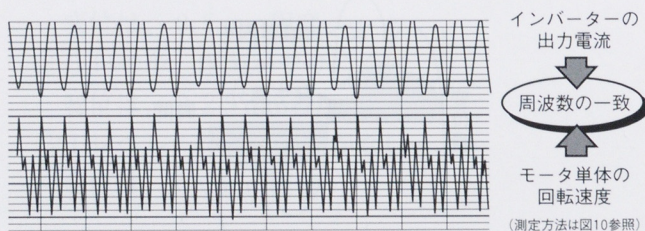


図14 インバータとモータのバラツキ

以上により、脈動の発生源はインバータ自身の出力電流の変動であることがわかった。

このインバータの機能は、設定周波数を変えることでモータの回転速度を変えて、ラインスピードを調節することである。

設定周波数に対するモータ回転速度ムラは設定周波数が低いほど大きく、周波数が60Hzになると速度ムラが0になることがわかった。また、作業者に負担をかけない脈動レベルにするためには、減速比を上げる等の対策を実施して設定周波数が40Hz以上となるようにする必要があることを確認した(図15)。

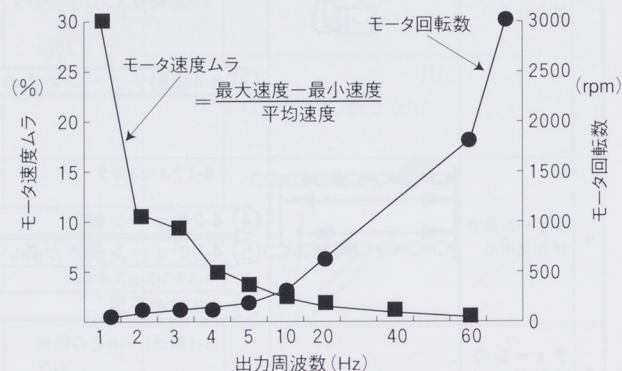


図15 設定周波数とモータ回転速度ムラ

6 脈動を増幅する各要因の影響度

6.1 脈動の増幅要因

脈動の発生源は判明したが、同時に脈動の大きさをゼロにするためには、増幅要因に対し対策をとることが重要である。先述のPM分析における設備各部位の関連性の調査が、増幅要因を知るためには非常に有効な手段となった。

調査の結果、判明した先述の6項目について説明する。

①給油の不足

適切な給油により、給油が不十分な状態に対して、パレットの脈動レベルは50%減衰する(図16)。

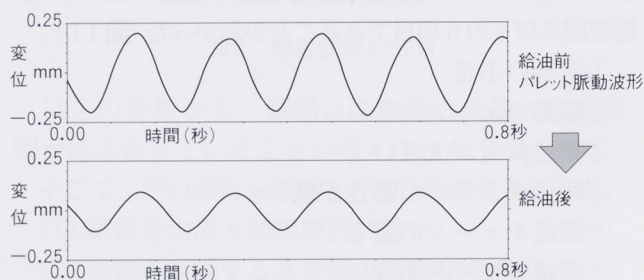


図16 適切な給油による脈動の減衰

②駆動チェーンのたるみ

駆動チェーンの大きなたるみをなくし、適切な張りを実施することで、脈動レベルは37%減衰する(図17)。

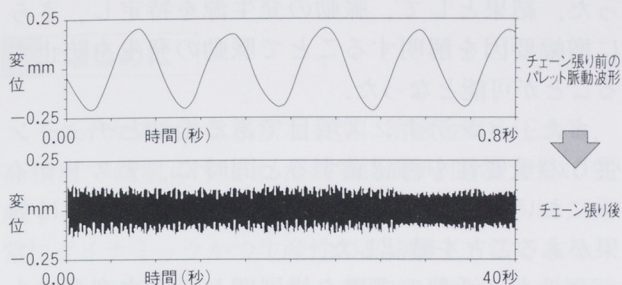


図17 駆動チェーンの張りによる脈動の減衰

③搬送荷重が大きい

搬送荷重を減らすと、その荷重に応じて脈動レベルを1/10以下にすることも可能である(図18)。

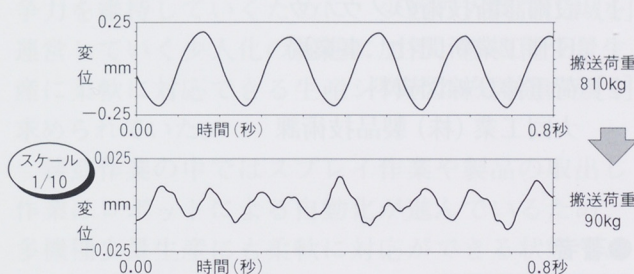


図18 搬送荷重と脈動レベル

④搬送チェーンの剛性が低い

使用しているチェーンのサイズは60番であり、また実際の運搬荷重は約1トンである。この場合のチェーンの伸びを調査した所、10mの長さのチェーンの伸び量は約25mmとなる(図19)〔2〕。

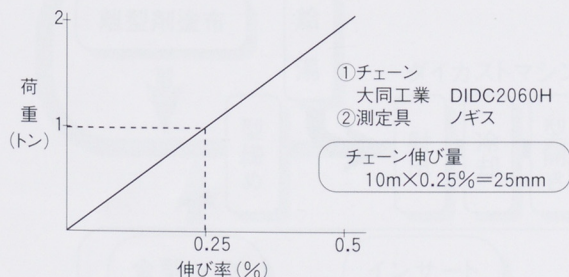


図19 搬送チェーンの荷重による伸び

充分な許容運搬荷重を持ったチェーンでも荷重に応じて伸びは発生し、インバータの出力電流による脈動をさらに増幅させる。

また、給油不足等によるチェーンと路面の摩擦抵抗により実運搬荷重が変化し、伸び量も変化することが考えられる。

⑤搬送チェーンの長さ

コンベアチェーンの長さが5mを超すと脈動が大きくなる(前出図9)。

⑥コンベア搬送スピードが遅い

コンベア搬送スピードが2m/分以下で使用すると、脈動が大きくなる(前出図9)。

その他、一般的に考えられるモータの動力不足については、必要動力の3倍以上を確保し問題がないことを計算で確認した。

6.2 各要因の影響度

以上の6項目のうち、③搬送荷重が大きい ④搬送チェーンの剛性が低い ⑤搬送チェーンの長さの3項目については、既設のコンベアでは条件を変えることは難しい。

したがって、既設のコンベアにおいては、適切な給油と駆動チェーンの張り、そして減速機の減速比を上げモータの回転数を上げることが必要である。

また、実験で求められた各要因の脈動への寄与率は以下ようになった(図20)。

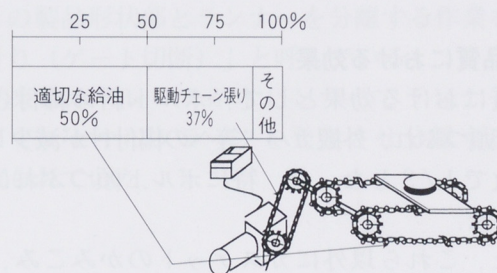


図20 各要因の脈動への寄与

7 テストラインにおける効果

7.1 脈動レベルへの効果

テストラインのモータの減速比を上げることで、インバータの設定周波数を20Hzから40Hzに上げ、インバータ出力電流の脈動を半減した。さらに増幅要因に対し、対策を実施した。

その結果、脈動レベルはほぼ0となった(図21)。

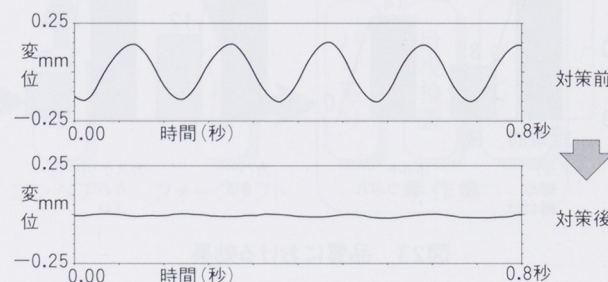


図21 テストラインでの脈動減少

7.2 生産性における効果

テストラインにおいて脈動がほぼ0になったことで、エンジンの振れによってボルト頭部の振れが1 cm程度あったものが1 mm以下となり、作業がスムーズに行えるようになった。

また、パレットの間隔が一定となり、作業リズムが乱れなくなった。その結果、作業者の作業遅れによるラインストップ時間は、対策前に対し1/3となった。データは、対策直前、直後のそれぞれ2週間で比較したものである(図22)。

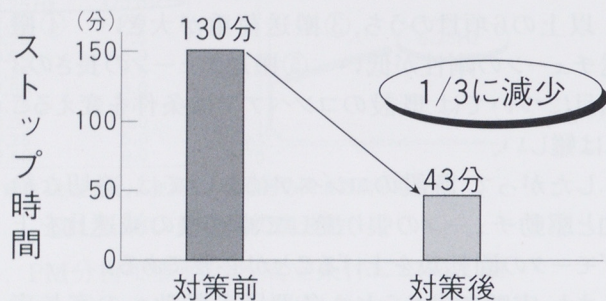


図22 作業遅れによるラインストップ時間

7.3 品質における効果

品質における効果として、ボルト斜め締付け、ボルト頭つぶれ、外観カバー等への傷付けが減少し、総件数で1/3となった。特にボルト頭つぶれは0となった。

また、これら以外にガスケットのかみこみ、ズレの発生が1/4となったが、これは位置決め作業がやりやすくなった結果と考えられる。データは、対策直前、直後のそれぞれ2週間で比較したものである(図23)。

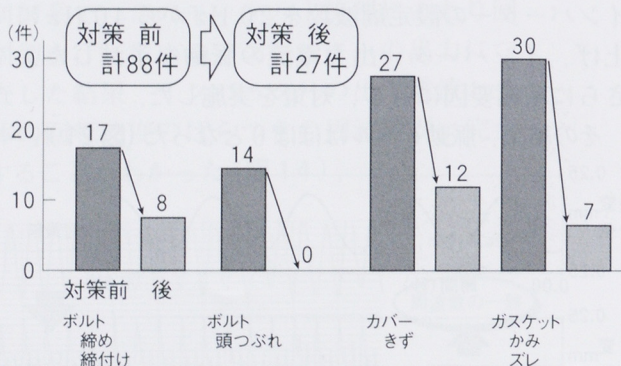


図23 品質における効果

8 まとめ

従来、原因が解明されておらず個別的な対策が取られていたコンベアの脈動についてPM分析を行った。結果として、脈動の発生源を特定し、さらに増幅要因を解明することで脈動の発生を防止することが可能となった。

また、メンテナンス項目である給油とチェーン張りの重要性を再認識すると同時に、テストラインにおいて脈動防止が生産性向上、品質向上に効果があることを確認した。

今後も、活動の成果を横展開し、組立産業のものの作りにおける人と設備の調和を目指し人にやさしい作業環境を作っていきたい。

参考文献

- [1] 設備診断技術のノウハウ
日刊工業新聞社 事業局
- [2] 荷重伸び線図資料
大同工業(株) 製品技術課

著者



岩淵正喜