


1



**日本技術士会北陸本部富山県支部  
第21回講演会**

Advancing to our 100th birthday in 2020

**化学プラント粉体機器  
駆動軸折損トラブル検証**

～基礎理論から駆動軸折損発生メカニズムの強度検証～



日本曹達（株）高岡工場  
工務部 工務グループ 工務チーム  
岩田 清幸 技術士（機械部門）

2

1. 会社紹介

**①会社概要**

社名 日本曹達株式会社 (Nippon Soda Co., Ltd.)  
 本社 東京都千代田区大手町二丁目2番1号(〒100-8165)  
 資本金 29,166百万円(2014年3月末現在)  
 設立 1920年(大正9年2月)  
 従業員数 1207名(2014年3月末現在)  
 株式の上場 東京証券取引所第一部


Copyright 2010 NIPPON SODA CO., LTD. All rights reserved.

3

1. 会社紹介

**②事業内容**

- クロールアルカリ事業  
カセイソーダ、塩素、塩酸、カリ製品、青化製品 他
- 機能性化学品事業  
半導体フォトレジスト材料、染料製品、特殊樹脂 他
- アグリビジネス・飼料添加物事業  
殺菌剤、殺虫・殺ダニ剤、除草剤、飼料添加物 他
- 環境化学品事業  
水処理剤、殺菌消毒剤、光触媒、PCB無害化処理 他
- 医薬品事業  
医薬中間体、製剤用添加剤 他



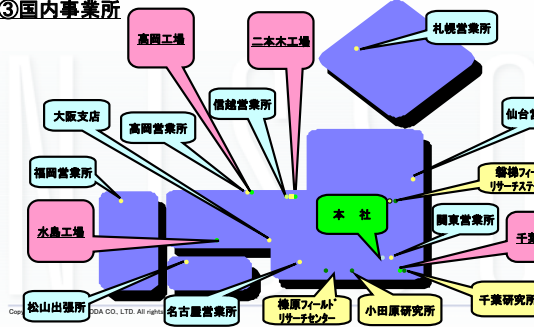
**日本曹達は化学会社です**

Copyright 2010 NIPPON SODA CO., LTD. All rights reserved.

4

1. 会社紹介

**③国内事業所**



本社

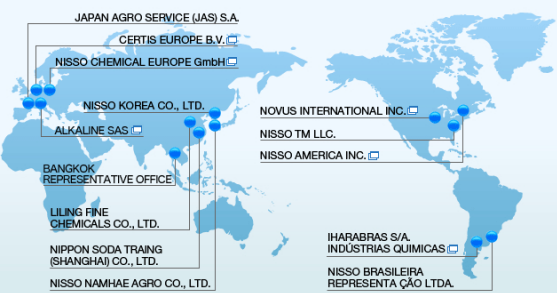
高岡工場、二木木工場、札幌営業所、仙台営業所、岩手営業所、青森営業所、宮城営業所、千葉工場、千葉研究所、小田原研究所、小田原フィールドリサーチセンター、名古屋営業所、松山出張所、水島工場、福岡営業所、大阪支店、高岡営業所、信越営業所、高岡工場

Copyright 2010 NIPPON SODA CO., LTD. All rights reserved.

5

1. 会社紹介

**④海外拠点**



JAPAN AGRO SERVICE (JAS) S.A.  
 CERTIS EUROPE B.V.  
 NISSO CHEMICAL EUROPE GmbH  
 NISSO KOREA CO., LTD.  
 ALKALINE SAS  
 BANGKOK REPRESENTATIVE OFFICE  
 LILING FINE CHEMICALS CO., LTD.  
 NIPPON SODA TRADING (SHANGHAI) CO., LTD.  
 NISSO NAMHAE AGRO CO., LTD.  
 NOVUS INTERNATIONAL INC.  
 NISSO TM LLC.  
 NISSO AMERICA INC.  
 IHA BRAS S/A INDÚSTRIAS QUÍMICAS  
 NISSO BRASILEIRA REPRESENTAÇÃO LTDA.

6

1. 会社紹介

**⑤私の所属部署と専門分野**

- 私の所属部署: 高岡工場 工務部 工務グループ 工務チーム  
化学工学・機械設備・土木建築等の設計、施工管理、積算、予算管理、機械設備保全、機械設備診断等を行う発注部門
- 私の専門分野  
・機械設備設計、施工管理、積算を中心とした化学プラントエンジニアリング  
・機械設備保全及び機械設備診断等

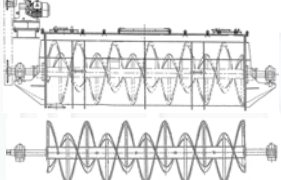


Copyright 2010 NIPPON SODA CO., LTD. All rights reserved.

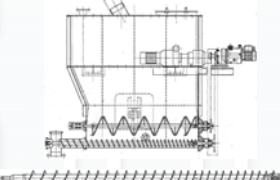
Chemigen 100 7

## 2. 駆動軸折損トラブル検証の経緯

今回の強度検証のきっかけは2012年に日本曹達高岡工場内のリボンミキサー及びスクリーフィーダー等の駆動軸に亀裂・折損等が多発したことが始まりでした。



リボンミキサー駆動軸



スクリーフィーダー駆動軸

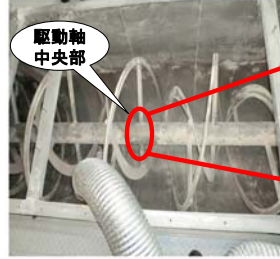
Copyright 2010 NIPPON SODA CO., LTD. All rights reserved.

Chemigen 100 8


## 3. 主な駆動軸折損トラブル事例

### ①リボンミキサー駆動軸中央部折損

2012年5月11日トラブル発生



駆動軸中央部



まっすぐな割れ

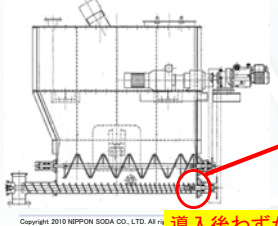
導入後わずか8ヶ月にて折損


Chemigen 100 9

## 3. 主な駆動軸折損トラブル事例

### ②スクリー駆動軸減速機側ボス溶接部破損

2012年7月6日トラブル発生





まっすぐな割れ

導入後わずか10ヶ月にて破損

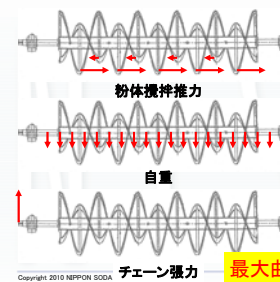
Chemigen 100 10

## 4. 駆動軸負荷状態の解析

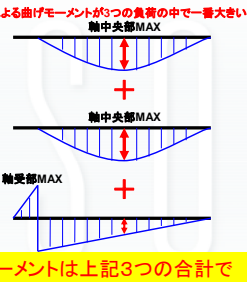
### ①曲げモーメントの状況

荷重負荷状況

粉体攪拌推力



自重



チェーン張力

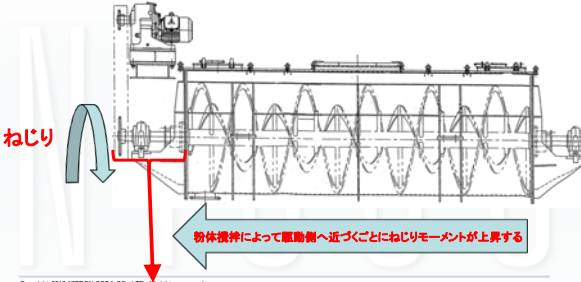
曲げモーメントの分布  
 推力による曲げモーメントが3つの負荷の中で一番大きい  
 軸中央部MAX  
 軸受部MAX

最大曲げモーメントは上記3つの合計であり駆動軸の中央部に最も負荷される

Chemigen 100 11

## 4. 駆動軸負荷状態の解析

### ②ねじりモーメントの状況



ねじり

粉体攪拌によって駆動側へ近づくごとにねじりモーメントが上昇する


最大ねじりモーメントは駆動側に最も負荷される

Chemigen 100 12


## 5. 目視による駆動軸割れの原因解析

### ①疲労割れ


疲労割れは写真のように一直線の割れ方をする。



回転曲げ疲労割れ  
(曲げ応力が大きい、駆動軸中央部に発生しやすい)



ねじり疲労割れ  
(ねじり負荷が大きい駆動側部に発生しやすい)

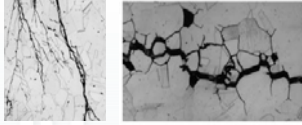



疲労割れ断面  
(貝殻模様)

SUS304やSS400の疲労割れの場合、駆動軸は $10^6 \sim 10^7$ 回転するまでの間に初期強度から4割まで強度が低下する。そのため、負荷状態や割れ方から疲労破壊と仮定した。

13

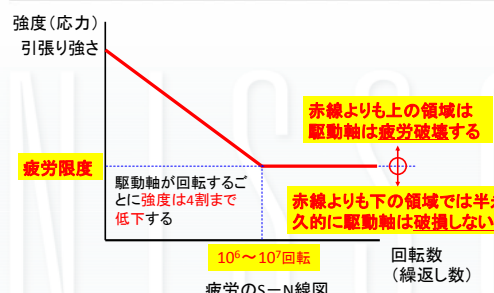
### 5. 目視による駆動軸割れの原因解析

②応力腐食割れ 応力腐食割れは写真のように複雑な割れ方をする。  

 ある種の環境若しくは水素が金属の内部に侵入する環境に引張り応力が作用すると、脆化を生じて割れが発生する現象。

③塑性変形 わじり塑性変形は写真のようにねじれた変形をする。  

 応力がA点を超えると永久的に変形が元に戻らない現象。F点にて破断する。  
 A:弾性限度  
 E:引張り強さ  
 F:破断点  
 割れや変形形状を見て、駆動軸折損の原因は②③ではないと判断できる。

14

### 6. 疲労割れの想定される負荷状態

強度(応力) 引張り強さ  

 赤線よりも上の領域は駆動軸は疲労破壊する  
 赤線よりも下の領域では半永久的に駆動軸は破損しない  
 10<sup>6</sup>~10<sup>7</sup>回転  
 疲労のS-N線図  
 想定される最大負荷が疲労限度を下回るように強度計算を実施する必要がある

15

### 7. 想定される最大負荷計算方法検討

①計算には現実に即した駆動トルクの設定が必要  
 ⇒ 電流値から実際の駆動トルクを換算し設定

②予測される最大駆動トルク  
 ・通常運転時最大駆動トルク ⇒ 計測した最大電流値にて換算許容応力にて計算評価  
 ・初期駆動時トルク(定格トルクの3倍程度の負荷がかかる)  
 ⇒ メーカー電動機試験成績書の始動トルク率より換算疲労限度以下となっているかの計算評価が重要  
 想定される最大負荷トルクは初期駆動負荷時が電動機の特性的に一番大きいと考えられる

16

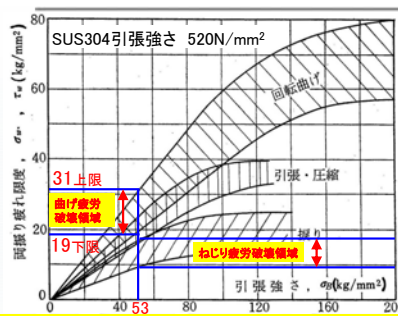
### 8. 電動機の初期駆動時の負荷状況

①始動トルク  
 電動機が回転する際(始動する瞬間)に出すトルクをいう。直入れ始動では大きな始動電流が流れる。このトルクより大きなトルクが必要な負荷は回すことができない。

②停動トルク  
 電動機が発生し得るトルクの最大値をいい、最大トルクともいう。これよりも大きなトルクが必要な負荷がかかると、電動機は停止する。  
 初期駆動負荷時は始動トルクが働くが、この際に約300%の負荷がかかる。通常運転の負荷は50%程度の運転であるため、初期駆動には通常負荷の6倍もの負荷がかかる。

17


### 9. 疲労限度の幅の広さ

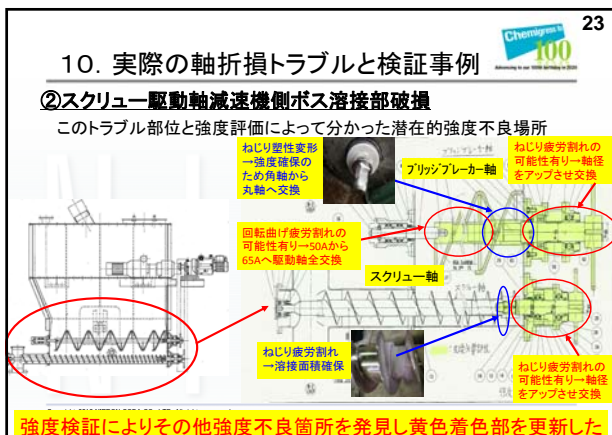
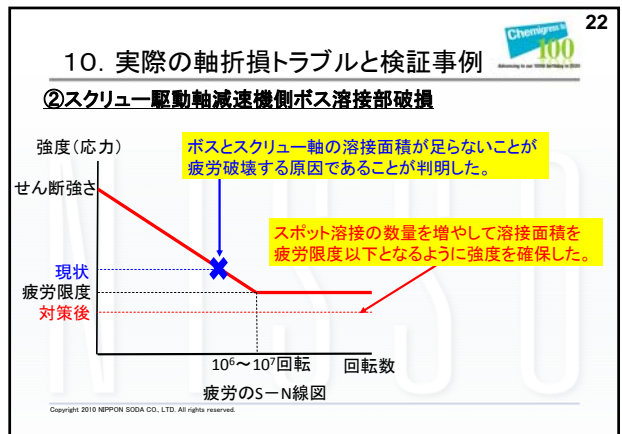
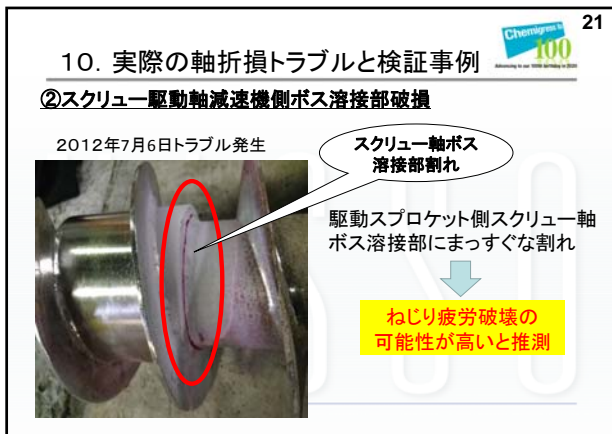
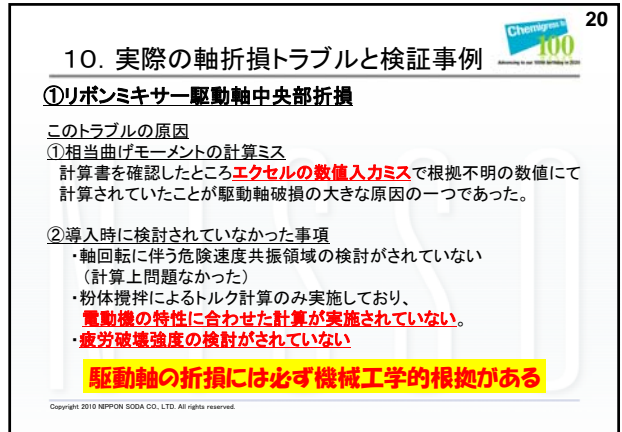
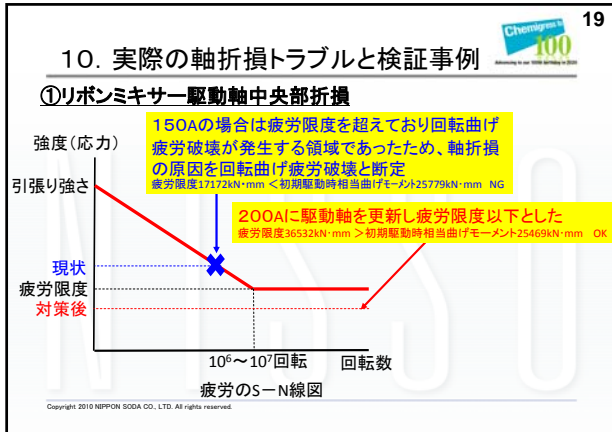
SUS304引張強さ 520N/mm<sup>2</sup>  

 SUS304の場合  
 回転曲げ疲労限度 304~188N/mm<sup>2</sup> (31~19kg/mm<sup>2</sup>)  
 ねじり疲労限度 176~90N/mm<sup>2</sup> (18~9kg/mm<sup>2</sup>)  
 かなり幅が広い

疲労限度の幅は広く、材料によってこの範囲内のどこでも破損する可能性があり、初期駆動負荷がこの範囲未満にて設計する必要がある。

18

### 10. 実際の軸折損トラブルと検証事例

①リボンミキサー駆動軸中央部折損  
 2012年5月11日トラブル発生  

 まっすぐな割れ  
 駆動軸中央部にまっすぐな割れ  
 回転曲げ疲労破壊の可能性が高いと推測



Chemigress 100  
Advancing to our 100th birthday in 2020

25

## 10. 実際の軸折損トラブルと検証事例

### ③ 微粉砕機駆動軸折損トラブル

初期駆動負荷時の材質S45CとSCM415(焼入れ品)の強度状況

純正品SCM415(焼入れ品)の強度状況

SCM415引張強さ 830N/mm<sup>2</sup>

SCM415の場合は疲労限度未満であるため破損しない

207% 23(上限疲労限度)  
113% 12.5(下限疲労限度)  
100% 引張強さ,  $\sigma_{tensile}$  (kg/mm<sup>2</sup>)  
84.7

応急品S45Cの強度状況

S45C引張強さ 570N/mm<sup>2</sup>

応急品のS45Cはこの10%の間にこの材料の疲労限度が存在していた

171% 19(上限疲労限度)  
100% 10(下限疲労限度)  
9% 90% 引張強さ,  $\sigma_{tensile}$  (kg/mm<sup>2</sup>)  
58.2

◆: 初期駆動時の駆動軸のねじり応力

過去にその材質で問題無くても、次回、トラブルが起こらない保証は無い。トラブルを発生させないためにも強度検証は重要である。

Chemigress 100  
Advancing to our 100th birthday in 2020

26

## 11. 駆動軸強度不良事例と検証結果

### ④ 別のリボンミキサー駆動軸スプロケット取付軸部の強度不良

強度検証の結果、初期駆動負荷時に強度不良を発見。(ねじり疲労破壊の可能性有)しかし、実績としては19年間一度も破損することは無かった。

Chemigress 100  
Advancing to our 100th birthday in 2020

27

## 11. 駆動軸強度不良事例と検証結果

### ④ 別のリボンミキサー駆動軸スプロケット取付軸部の強度不良

SUS304引張強さ 520N/mm<sup>2</sup>

この13%の間にこの材料の疲労限度が存在する

◆: 初期駆動時の駆動軸のねじり応力

113% 18(上限疲労限度)  
9% 9(下限疲労限度)  
100% 引張強さ,  $\sigma_{tensile}$  (kg/mm<sup>2</sup>)  
53

**強度検証結果**

- ・19年間駆動軸が折損しなかったのはこの13%の間に疲労限度が存在したからと考えられる。
- ・上限疲労限度との差が13%と小さいため何かの拍子に破損する可能性が示唆される。

対応策: インバーターを設置  
スロースタート制御による始動トルクのカットを実施(2014.1.15対応済)

◆: 初期駆動時の駆動軸のねじり応力

同一図面を使用し同一製品を制作しても、駆動軸が破損しない保証は全く無い。

Chemigress 100  
Advancing to our 100th birthday in 2020

28

## 12. 駆動軸強度不良の解決策

1. 通常運転時の疲労限度が負荷率100%以上の場合は、インバーター設置によるスロースタート制御を活用した駆動軸の保護を実施する。
2. 通常運転時の疲労限度が負荷率100%未満の場合は、電流値とインターロックにより駆動軸の保護を実施する。(今後、実施を検討中)
3. 上記を満たさない場合は、駆動軸の強度検証を実施後に再製作が必要。

Copyright 2010 NIPPON SODA CO., LTD. All rights reserved.

Chemigress 100  
Advancing to our 100th birthday in 2020

29

## 13. まとめ

1. 粉体機器駆動軸の割れ方と割れた位置によって破損原因がある程度特定できる。
2. 粉体の通常負荷から選定した電動機・減速機の初期駆動負荷特性をよく理解した上で設計することが重要。
3. 応急措置を実施する際の駆動軸の材質は引張り強さと表面硬さが同等もしくはそれ以上の材質選定が必要。
4. 過去に同じ形状で折損しなかったとはいえ、次に折損しない保証は無い。(疲労限度の幅は広く、初期駆動負荷がその領域に存在すれば同じ材質であっても疲労破壊が起こりえる。)
5. そのため、初期駆動負荷が下限疲労限度を超えない設計を実施することが重要。

Copyright 2010 NIPPON SODA CO., LTD. All rights reserved.

Chemigress 100  
Advancing to our 100th birthday in 2020

30

## ご清聴ありがとうございました

**駆動軸強度検証によるトラブルの未然防止！！**  
**そして、日本曹達グループの企業力アップへ！！**