

東海第二発電所

ブローアウトパネル閉止装置の不具合の対応について

平成30年7月3日

日本原子力発電株式会社

実機大加振試験結果のまとめ(チェーン及び扉閉での加振後の扉状態)



◆ H30.6.20～H30.6.22に実施した加振試験結果は以下のとおり。

加振時扉状態	試験日	加振条件	試験体下端の計測結果の最大加速度	チェーン補強有無	チェーン破損有無	扉状態	閉機能(電動)	開機能(電動)	備考
開	6/20	レベル3 (1.0Ss)	面外X:1.51G 面内Y:1.56G 鉛直Z:1.64G	無	・破損 (開側)		・有 (破損は扉を開ける側)	・無 (破損は扉を開ける側)	
	6/22	レベル4 (1.1Ss)	面外X:1.56G 面内Y:1.57G 鉛直Z:1.72G	有	・破損 (開側)		・有 (破損は扉を開ける側)	・無 (破損は扉を開ける側)	
閉	6/20	レベル2 (0.6Ss)	—	無	・破損なし	・扉は完全閉状態から開方向に52mm移動	・有	・有	
	6/21	レベル3 (1.0Ss)	面外X:1.41G 面内Y:1.60G 鉛直Z:1.60G	無	・破損 (閉側)	・扉は完全閉状態から開方向に約300mm移動	・喪失 (破損は扉を閉じる側)	・有 (破損は扉を閉じる側)	
		レベル4 (1.1Ss)	面外X:1.43G 面内Y:1.58G 鉛直Z:1.62G	有	・破損なし (チェーン全体で38mmの伸び確認)	・扉は完全閉状態から開方向に約85mm移動	・有	・有	



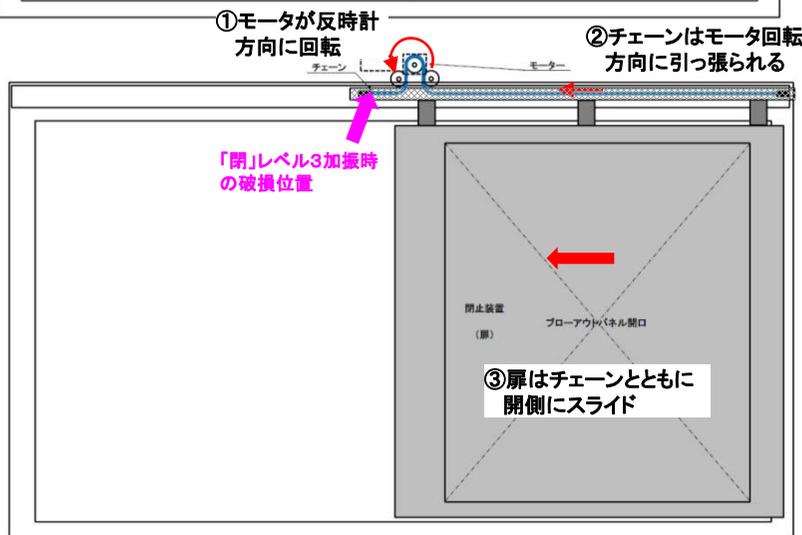
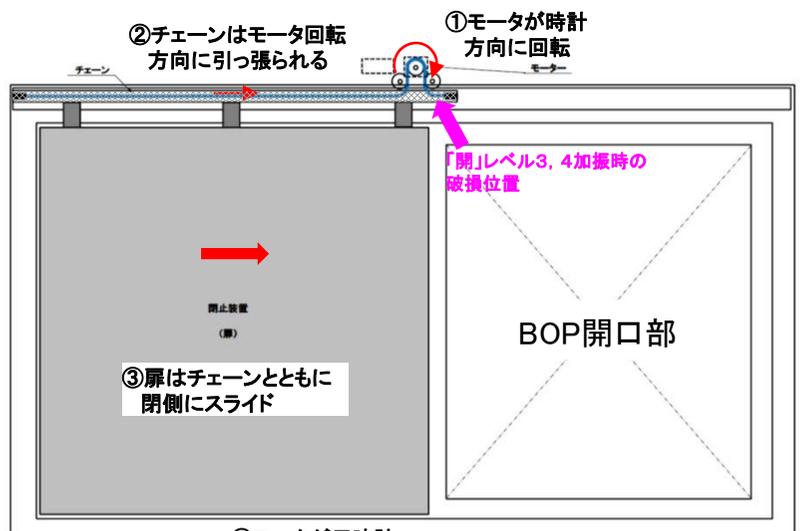
- ◆ チェーンが破損すると、1.0Ssで開閉機能を喪失する可能性があるため、チェーンの破損対策が必要
- ◆ 扉閉状態で扉が開放すると、中央制御室運転員の被ばく評価に影響する可能性があるため、閉状態の維持若しくは、速やかな再閉止が必要。なお、Sd相当の0.6Ssでは扉は52mmスライドしたが、チェーンは破損しておらず、電動にて閉止できた。

確認された不具合(チェーン破損)の状況(1/2)

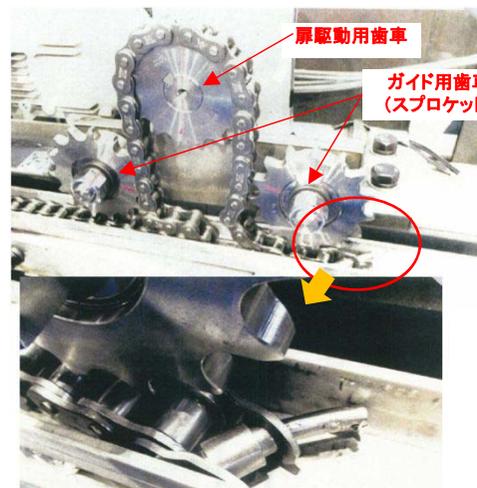


<不具合>

電動駆動用チェーンの一部が破損する不具合を確認。破損個所は、扉全開又は全閉時にガイド用歯車(スプロケット)とのチェーン端部までの距離が短尺側であった。



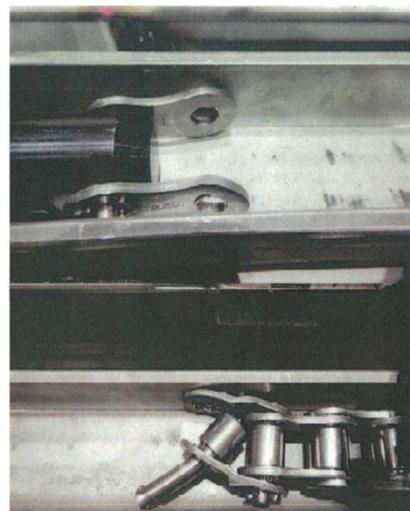
扉開閉のメカニズム



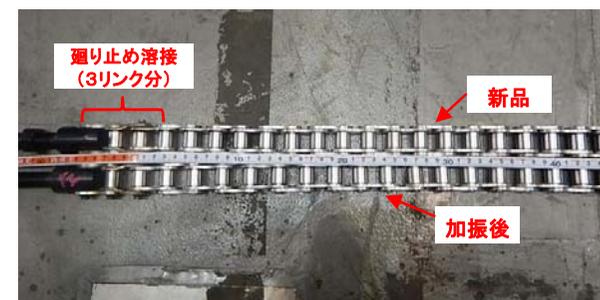
扉開状態レベル3加振後のチェーンの状態(6月20日)



扉開状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月22日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、廻り止め溶接を実施していないチェーンに破損を確認)



扉閉状態レベル3加振後のチェーンの状態(6月21日)



扉閉状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月21日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、チェーン破損はなかったが約38mm(新品全長5584mm)の伸びが確認された)

確認された不具合(チェーン破損)の状況(2/2)

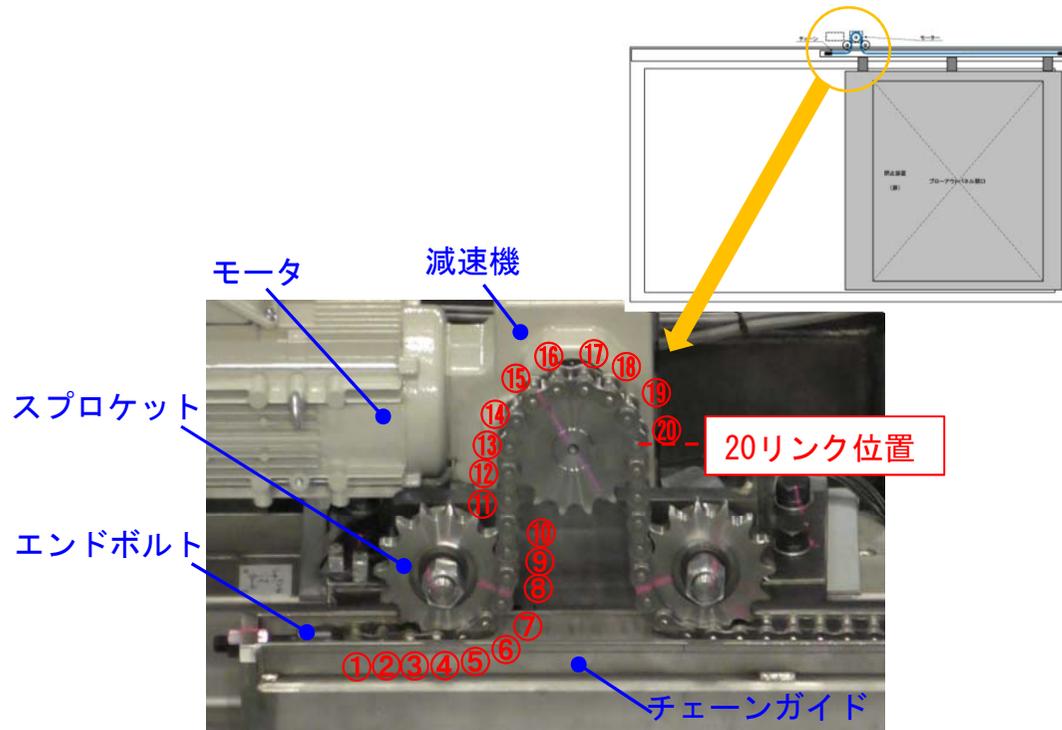


<コメント>

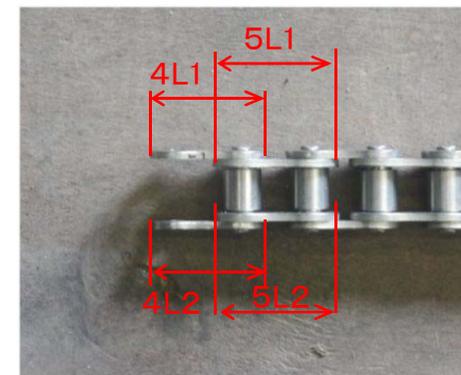
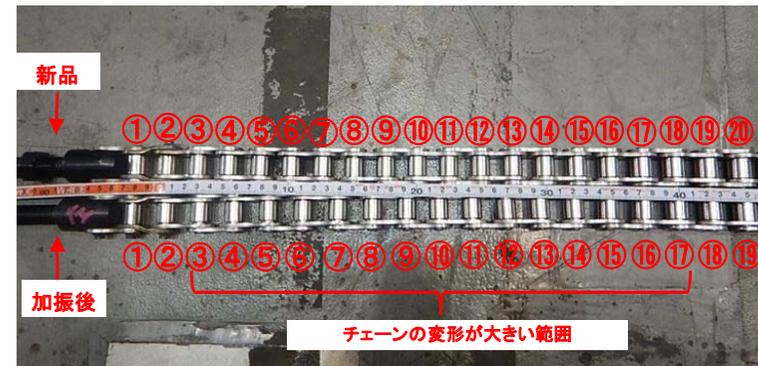
チェーンの伸び箇所とギア等との位置関係を明確にすること。

<回答>

扉閉状態(レベル4加振)でのチェーン寸法測定結果から、エンドボルト側から17リンク目までが伸びが大きいことが分かった。減速機からエンドボルトまでのチェーンが短尺側であり、扉からの荷重をより受ける側である。



チェーン健全時の設置状況(扉閉側)



チェーンの伸び測定記録

(mm)

	リンク番号																
	4(外)	5(内)	6(外)	7(内)	8(外)	9(内)	10(外)	11(内)	12(外)	13(内)	14(外)	15(内)	16(外)	17(内)	18(外)	19(内)	20(外)
L1	1.75	2.35	1.54	2.38	1.25	2.33	-0.02	1.54	0.52	1.17	0.81	1.45	0.5	1.4	-0.11	0.25	-0.05
L2	1.12	2.01	1.21	2.37	1.32	2.13	-0.04	1.14	0.67	1.42	1.02	2.08	0.81	1.15	-0.04	0.28	-0.03

外側のリンクの基準寸法: 46mm

内側のリンクの基準寸法: 49mm

1~3リンク部は、溶接で接続したため、寸法採取対象外とする。

伸びが大きい範囲

扉開放及びチェーン損傷の原因と対策の方向性



◆扉移動に伴う原因について調査した結果は、以下のとおり。

事象	要因1	要因2	確認のための調査項目	調査結果	要因可能性
扉の移動	チェーン破損	過大荷重の発生	チェーン破損状況	・プレート穴変形, ピンの抜けを確認。過大なチェーン張力によるプレート穴の変形によりピンが抜け, チェーン破損に至ったと推定	○
			荷重伝達経路	・チェーンが最も裕度が小さいことを確認	
			チェーン破損荷重	・引張試験によるチェーン破損荷重の確認 1)標準チェーン:約41.4kN 2)部分溶接チェーン:約44.8kN 3)全溶接チェーン:約47.3kN ・扉閉状態レベル4加振時には部分溶接チェーン切断はなかったことから破断荷重は約44.8kN程度と推定	
	チェーンの伸び	過大荷重の発生	チェーン伸び量確認	・引張試験によるチェーン伸び量(破損前まで)の確認(9リンク分の試験結果を20リンクに比例変換) 1)標準チェーン:約22mm 2)部分溶接チェーン:約64mm 3)全溶接チェーン:約73mm ・扉閉状態レベル4加振時には部分溶接20リンク相当分の伸びは約30mm	○
			チェーンガイド及びエンドボルトの伸び	・加振後の外観検査で有意な変形は確認されていない	×
	駆動系のすべり	ブレーキ(電動機)の滑り	ブレーキの滑り荷重確認	・ブレーキの滑り発生トルク試験:約1378~1801N・m(チェーン張力換算では約23~30kN) ・ブレーキの発生トルクは衝撃の効果(2倍)を考慮すると, チェーン破損程度であり, チェーンが破損する可能性がある。	○
		スプロケットからのチェーン外れ	現品確認	・加振後のチェーンのスプロケットからの外れなし	×
扉の変形		現品確認	・加振後の扉に有意な変形は認められない	×	
その他駆動部の損傷	電動機, 減速機等の変形	現品確認	・加振後の電動機, 減速機等に有意な変形は認められない	×	

○: 要因可能性がある

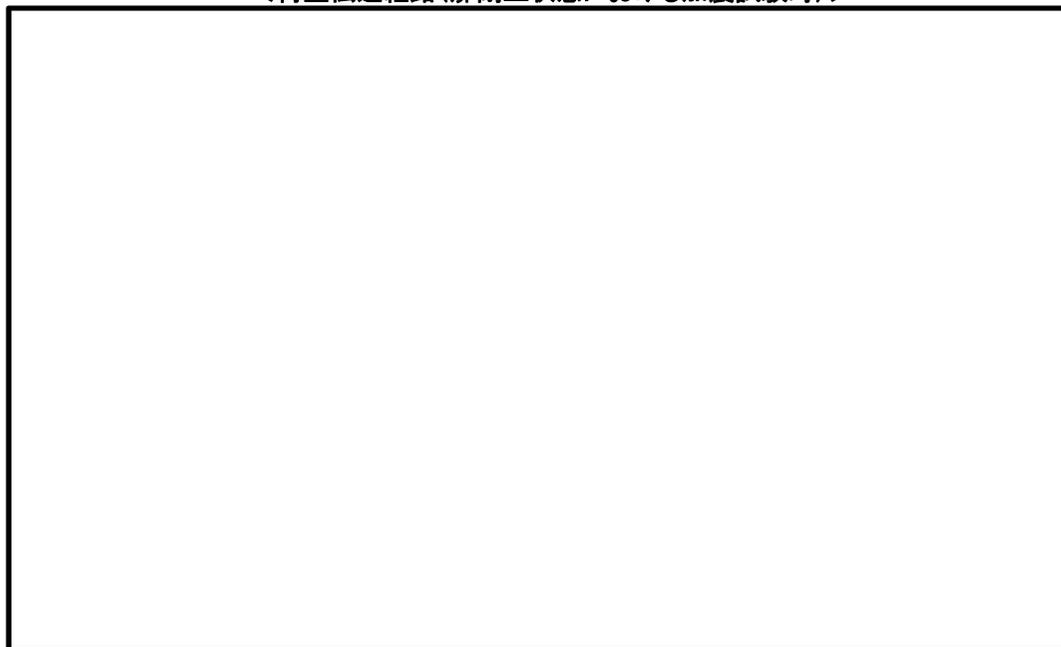
確認された不具合(チェーン破損)の原因分析について(1/4)



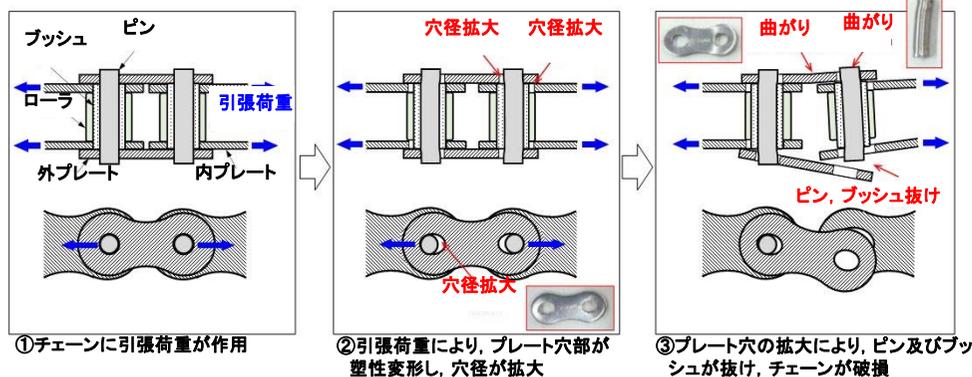
<チェーン破損の推定原因>

本事象は、加振試験により発生したスライド方向の慣性力が扉と一体になってるチェーンガイド等を伝達してチェーンに荷重が加わり、モータのスライド方向支持による反力によって、チェーンに過大な引張荷重が発生し、プレートが塑性変形し穴が拡大し、ピンが抜け出ることにより破損したものと推定する。

<荷重伝達経路(扉閉止状態における加振試験時)>



<チェーンの破損メカニズム>



確認された不具合(チェーン破損)の原因分析について(2/4)



<チェーン破損の推定原因>

ブローアウトパネル閉止装置の加振試験時の荷重伝達経路を構成する部品について、発生荷重に対する裕度を整理した結果、設計上の裕度が最も低い部位はチェーンであった。

<荷重伝達経路を構成する部品の強度評価>



強度の簡易評価結果※1

No.	部品名	裕度※2
1	ボルト1	
2	ハンガー	
3	ローラ	
4	ハンガー	
5	ボルト2	
6	ホルダ	
7	ボルト3	
8	チェーンガイド	
9	エンドボルト	
10	チェーン※3	
11	スプロケット 軸	
12	モーターベース	
13	ボルト4	
14	ハンガーレール	

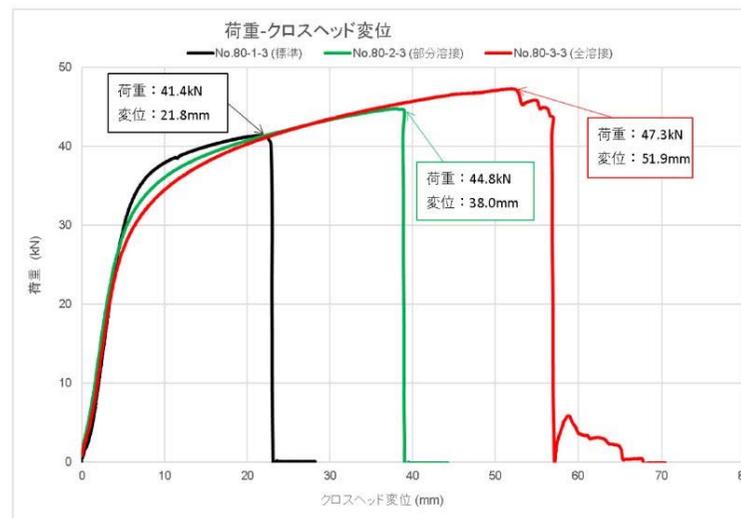
※1 モーターのスライド方向支持による反力を基とした評価

※2 裕度 = 許容値 / 評価値 (1以上で成立)

⇒強度評価の結果、荷重伝達経路の中でチェーンが最も発生荷重に対する強度上の裕度が低い

○チェーン破損に至る荷重について

- ・チェーンに付加された荷重を推定するため、チェーンが破断するまで引張試験を実施した。
- ・試験体は9リンク分とし、標準タイプ、部分溶接(エンドボルトから3ピン目までを溶接)、全溶接の3種類を対象
- ・得られた荷重-変位曲線は下図のとおり。



標準タイプ



部分溶接

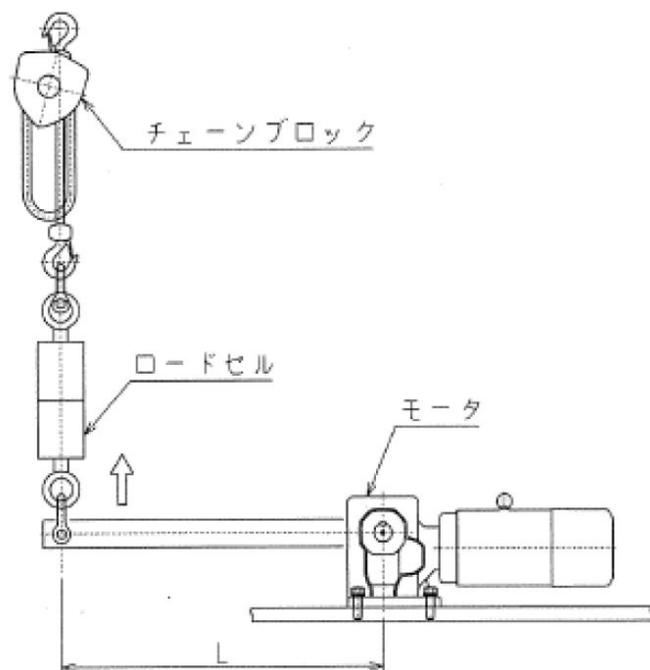


全溶接

- ・ピン部の部分溶接及び全溶接の場合は、破断までの変位は大きくなるが、大幅な強度の向上はなかった。
- ・加振試験では部分溶接実施後においても破損に至ったことから、約45kN~47kNの負荷がチェーンにかかったことが推定される。

○電動機のスライド方向支持による反力について

設計で想定していた電動機のブレーキトルクよりも大きな力が働いた可能性があることから、電動機及び減速機を取り付けた状態において、ブレーキトルクの実力値測定を行った。



電動機ブレーキトルク試験概略図

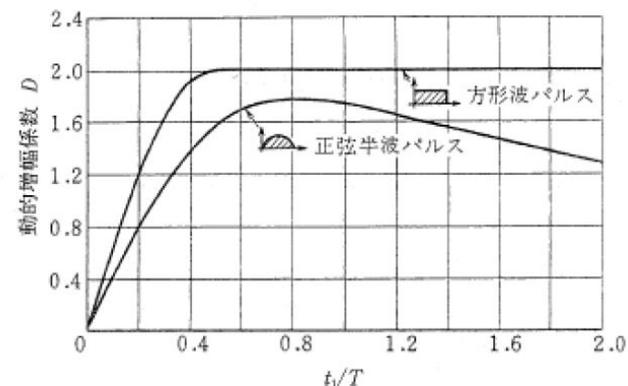


図7・9 正弦半波パルスと方形波パルスの動的増幅係数

出典: 機械工学便覧

- ・カタログによる標準動摩擦トルクから算出されるブレーキトルク(19.6kN)よりも、大きなブレーキトルク(23kN~30kN)が働いた可能性が高いことが判明。
- ・加振試験においては、加振力が方形波パルスとして入力された場合に、最大で約2倍のブレーキトルクがかかる可能性がある。この場合、電動機のブレーキトルク(46kN~60kN)がチェーンの破断荷重(45kN~47kN)を超えたことから、リンクが伸び、ピン外れが生じて、チェーン破損に至ったものと推定される。

対策案について(1/5)



- ◆チェーンの破断メカニズムから、扉移動の抑制が最も有効
- ◆現時点では、No.1、No.6、No.9、No.11の対策の組み合わせによる対応が現実的
- ◆門構造を採用することに伴い、門を設置することによる駆動機構の作動性、気密性能への影響がないことを主目的に実機大の加振試験を検討中(加振試験は、No.1、No.6、No.9で実施)

	No.	対策案	実現性	切断防止	扉移動防止	基本構造変更	気密性影響	検証		設置許可申請への反映	課題等	総合評価
								実機大再加振	検証方法			
慣性力による荷重に耐える対策	1	チェーン材質変更(高強度、耐候性有)	○	○	△	なし	なし	不要	チェーン引張試験	なし	・チェーン伸びのため、移動防止はできない可能性有	△
	2	現行チェーンの全溶接化	○	×	×	なし	なし	不要	チェーン引張試験	なし	・全溶接タイプのチェーン標準のチェーンより変位は大きい、大幅な強度の向上は無かったため、移動防止はできない。	×
	3	チェーンの構造変更(二列化、大型チェーン化) (二列化、チェーン大型化に伴う電動機、スプロケット構造強化も含む)	○	○	△	有	なし	不要	駆動系全体として引張試験	なし	・チェーン伸びのため、移動防止はできない可能性有 ・設計、検証に時間を要する	×
	4	動力伝達機構の変更(ワイヤーの採用) (ワイヤーの採用に伴う電動機、スプロケット構造強化も含む)	○	○	△	有	なし			なし	・開閉のために巻き取り装置が2個必要 ・ワイヤーの伸びのため、移動防止はできない可能性有 ・設計、検証に時間を要する	×
	5	動力伝達機構の変更(平歯車等への変更) (平歯車作用に伴う電動機、スプロケット構造強化も含む)	×	○	△	有	なし			なし	・上下動による歯車破損の可能性があり、採用は困難 ・設計、検証に時間を要する	×
チェーン部の荷重低減	6	短尺部チェーンの長尺化 (チェーン1個当たりの伸びを低減)	△	○	×	なし	なし	不要	チェーン引張試験	なし	・チェーン伸びのため、移動防止はできない可能性有 ・長尺化することにより、チェーンガイド部が延長されるため、設備配置性への影響有	△
	7	エンドボルト部への緩衝材の設置 (ばね等の設置により短尺部のチェーンの拘束を緩和)	○	○	×	なし	なし	設計次第	要素試験	なし	・作用する荷重に対して対応できる緩衝材(ばね等)の選定が未了 ・設計及び検証時期が未定	×
扉移動の防止	8	門設置 (エアシリンダ、油圧による駆動、手動抜き取り機能も付加)	○	○	○	なし	なし	必要	実機大加振	有 (可搬型SA設備追加)	・門操作に空気ポンプ等の設備の使用が必要となる場合には、可搬型SA設備として追加が生じる ・実機大の加振により、扉等への悪影響がないことを確認する必要有 ・遠隔操作及び手動操作による門の抜き取り機構の成立性確認が必要	×
	9	門設置 (電動機による駆動、手動抜き取り機能も付加)	○	○	○	なし	なし		実機大加振及び電動機の加振試験	なし	・実機大の加振により、扉等への悪影響がないことを確認する必要がある。 ・電動機操作及び手動操作による門の抜き取り機構の成立性確認が必要 ・電動機については別途加振試験を行うことで対応	○
	10	門設置(動力なし、手動抜き取り)	○	○	○	なし	なし		実機大加振	有	・技術基準では、人力での操作時以外は、容易かつ確実に閉止操作ができることが求められている。したがって、遠隔による閉止操作の際に、現場での手動抜き取りが発生することは容易性が損なわれる。	×
再開止機構の追加	11	一時的に開放した場合は電動で閉止 (警報発報時電動閉止)	○	×	×	なし	なし	不要	不要	なし	・別途チェーン切断防止対策は必要	○
	12	一時的に開放した場合は電動で閉止 (警報発報時自動閉止)	○	×	×	なし	なし	不要	インターロック確認	有 (既設設備への影響評価)	・技術的能力において、BOP開放部を閉止装置によって閉止する際は、閉止装置の機器の保護のため、SGTSを手動停止する手順としている。安全機能を有するSGTSに自動停止のインターロックを設けることは安全上、適切でない。	×

○有効又は取り得る対策 △詳細検討要又は明確に判断できない対策 ×有効でない又は設計、検証に時間を要する対策

ブローアウトパネル閉止装置の不具合の原因と対策の方向性について



○対策の対応方針

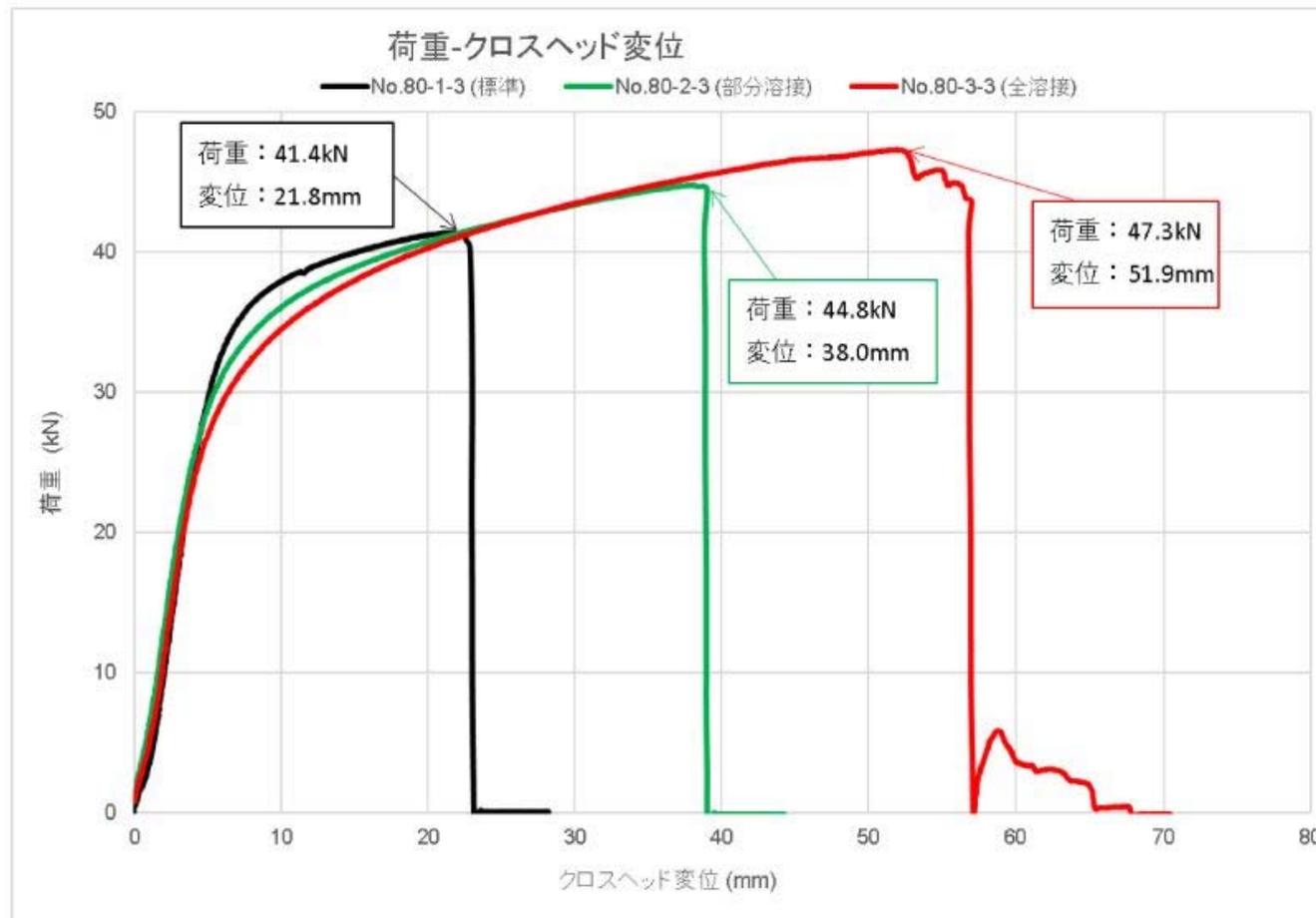
- ◆確実に扉駆動用チェーン(電動機等の駆動系含む)に過大な荷重が発生しない対策, かつ, 40年期限を踏まえ, 今月内に成立性が確認できる対策として, 門により扉の動きを拘束する。
- ◆扉が完全閉状態から開方向に, 門の遊び分だけスライドした場合でも, チェーンは破損せず, 電動にて遠隔操作し, 完全に閉止できる設計とする。
- ◆門による対策が不調な場合に備えて, チェーンを含む駆動系全体の構造強化についても設計を進め, 併せて検証方法も検討する。

	順位	対策案	概要	必要条件					総合評価	
				実証予定	チェーンは損傷しないこと	一時的開放の許容(MCR被ばく)	申請書との整合	実機大加振		気密性試験
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">チェーンの許容値を超える荷重の付加</div> <div style="text-align: center; font-size: 2em; margin-bottom: 10px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">チェーンの破損 (チェーン伸び含む)</div> <div style="text-align: center; font-size: 2em; margin-bottom: 10px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">扉の開放</div>	1	チェーン全体溶接(SUS)	既設チェーンピン部全部の溶接補強	6/30~7/1	×	必要	—	不要(確認済)	不要(確認済)	×
	2	チェーン材質変更(鋼製+コーティング)	強度増加	7/6以降	検証試験を実施予定	必要	—	不要(確認済)	不要(確認済)	△
	3	門	門により扉の移動を拘束	調整中	◎ (地震荷重は門で負担)	必要 (不要となる寸法を目標設定)	○ 電動及び手動操作	必要 (門機構成立性)	必要	◎
	4	短尺部チェーンの長尺化	長尺化することにより負荷重を分担させる	調整中	△	必要	—	不要(確認済)	不要(確認済)	△
	5	チェーン構造変更	二列化, 大型化及びこれに伴う, 電動機, スプロケット構造変更	材料納期8/E試験確認9/M(試験方法検討中)	必要 (駆動系全体としての引張試験にて確認)	?	—	不要 (モータ等は扉枠に設置されており構造強度は解析にて対応可)	不要(確認済)	×

○チェーンの溶接による補強の効果について

9リンク分の試験体を用いて、標準タイプ(溶接なし:ピン止め)、部分溶接(エンドボルトから3リンクまで溶接)、全溶接の3種類の引張試験を実施した。

⇒破断までの変位は大きくなるが、強度の大幅な向上は無く、チェーン破断の抜本的な対策とはならない。



チェーンの補強対策の荷重-変位線図

○チェーンの材料変化による強化

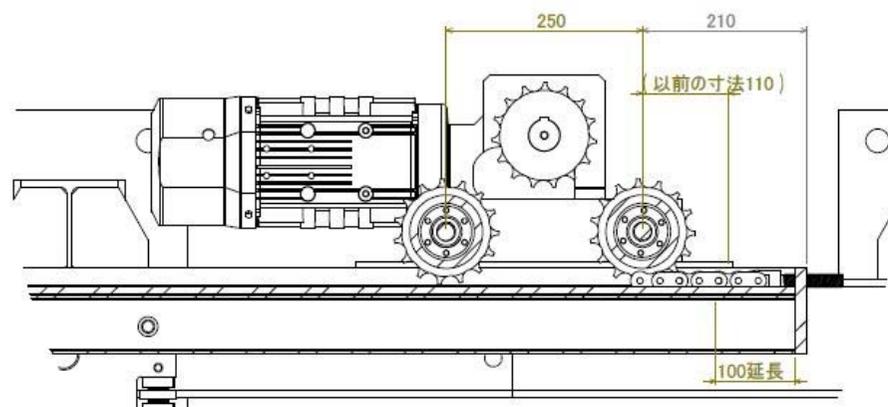
- ・基本的構造に変更のない範囲として、チェーンの材質強化を図る。
- ・併せて、他の機器への影響も評価する。

種類	最少引張強さ[kN] (カタログ値)	課題など
①SUS製 RS80-SS-1(現行品)	41.4※ ¹	チェーン破損に至る
②鋼製 RS80-1	71.6	・実機引張試験において、電動機ブレーキに対しての裕度確認要 ・他の機器への影響評価要
③鋼製コーティング RS80-NEP-1	71.6	
④熱処理 EK 80HS.P.R	95.1※ ²	

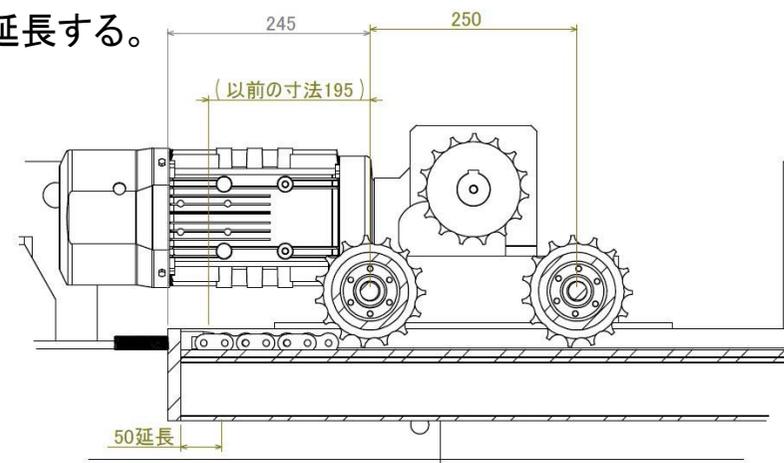
※¹ 試験値。カタログ記載なし。 ※² 平均引張強さ。

○短尺部の長尺化について

- ・短尺部チェーンの荷重の低減策として、長尺化を図ることで剛性を下げ、地震荷重を緩和する効果を期待する。
- ・短尺部について、開状態で約100mm、閉状態で約50mmを延長する。



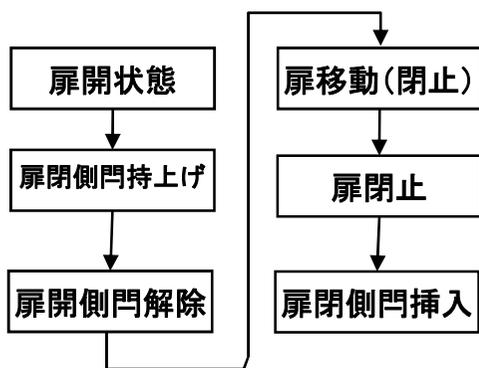
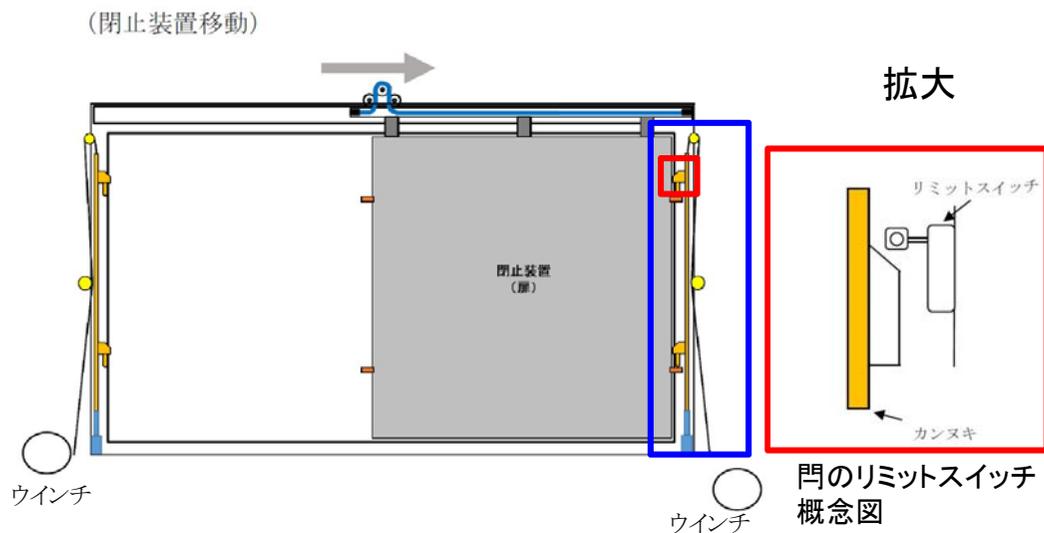
開状態



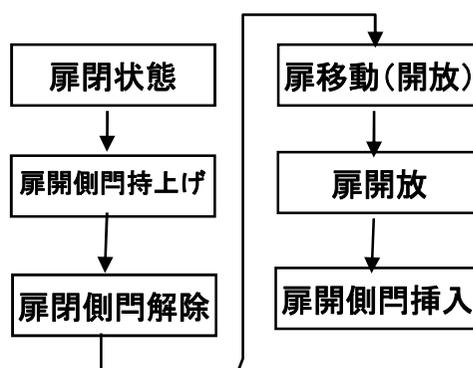
閉状態

●門の動作について

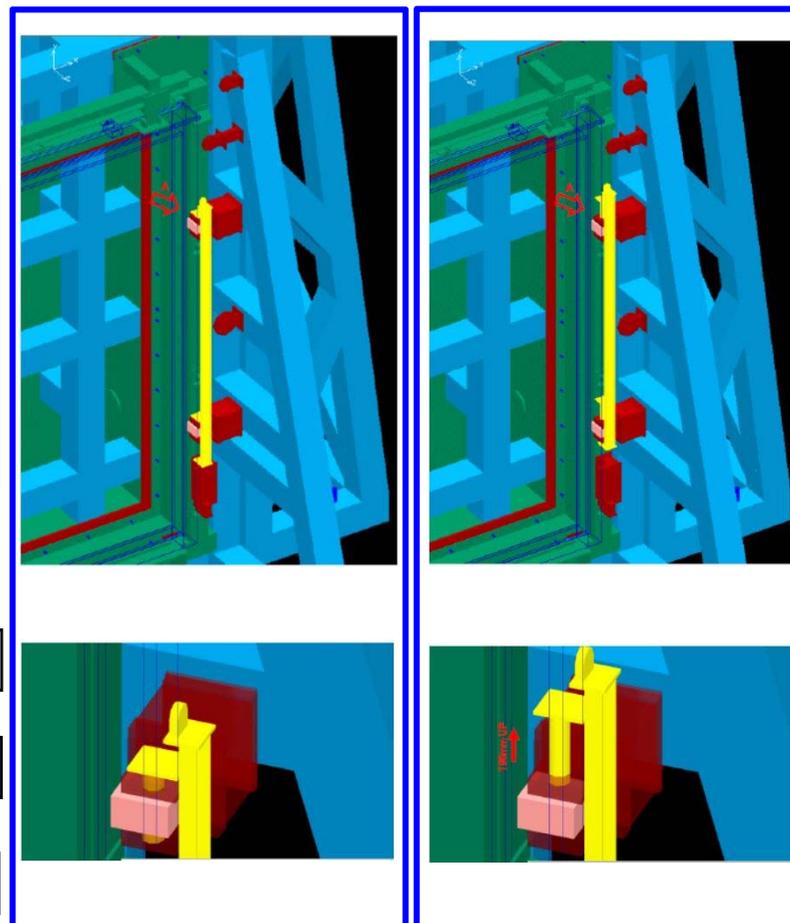
- ・遠隔操作時は、電動機により門(ピンク色)を持ち上げ、扉が所定位置まで移動し、その後、自重により門を下げることにより、扉側の門受け(青色)に門を差し込む構造とする。
- ・手動操作時は、ウインチにて門を引き抜いた後、ウインチにて扉を所定位置まで移動し、その後、ワイヤーを緩めることにより、自重で門を落下させる構造とする。



扉閉止時の動作フロー(案)



扉開放時の動作フロー(案)



門閉状態

門開状態

<コメント>

門についてどの程度の加振に耐えられるか、開機能に悪影響を与えないかを説明すること。

<回答>

扉本体: 2500kg

加振試験時の扉本体の加速度: 9.6G(閉止状態での1.0Ss)

ピンの个数: 2個

扉本体の慣性力: $W' = 2500 / 2 \times 9.80665 \times 9.6 \times 2 = 235359.6\text{N}$

D(ピンの直径)

A(ピンの断面積): $A = \pi \times D^2 / 4 =$ mm^2

(1) ピンの曲げモーメント: $M_{\text{max}} (\text{N} \cdot \text{mm})$

$$M_{\text{max}} = W' \times \lambda / 8 = 235359.6 \times 170 / 8 = 5001391.5$$

(2) ピンの断面係数: $Z (\text{mm}^3)$

$$Z = \pi \times D^3 / 32 = \pi \times$$
 $/ 32 =$

(3) 曲げ応力: $\sigma_1 (\text{N} / \text{mm}^2)$

$$\sigma_1 = M_{\text{max}} / Z = 5001391.5 /$$
 $=$

(4) せん断応力: $\tau_1 (\text{N} / \text{mm}^2)$

$$\tau_1 = W' / (2 \times A) = 235359.6 / (2 \times$$
 $) =$

(5) 組合せ応力: $\sigma_2 (\text{N} / \text{mm}^2)$

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} = \sqrt$$
 $+ 3 \times$ $=$

(6) 許容応力

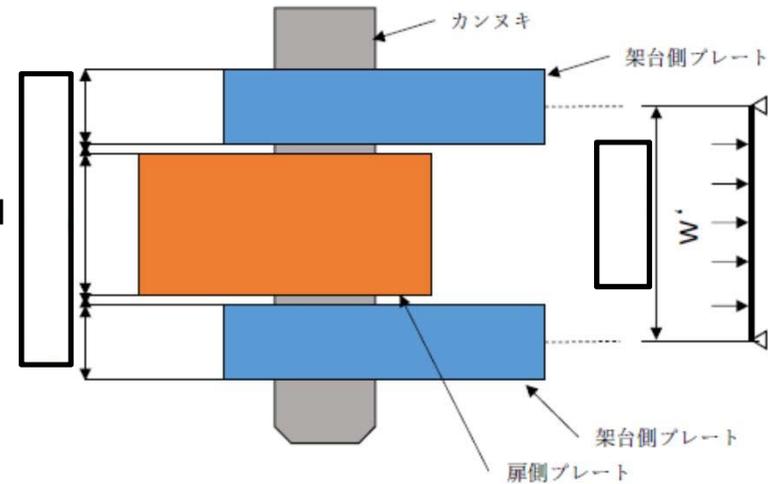
ピン材質: S45C $S_y = 345\text{N} / \text{mm}^2$

(7) 結果

曲げ $\text{N} / \text{mm}^2 < 345\text{N} / \text{mm}^2$ ○

せん断 $\text{N} / \text{mm}^2 < 199\text{N} / \text{mm}^2$ ○

組合せ $\text{N} / \text{mm}^2 < 345\text{N} / \text{mm}^2$ ○



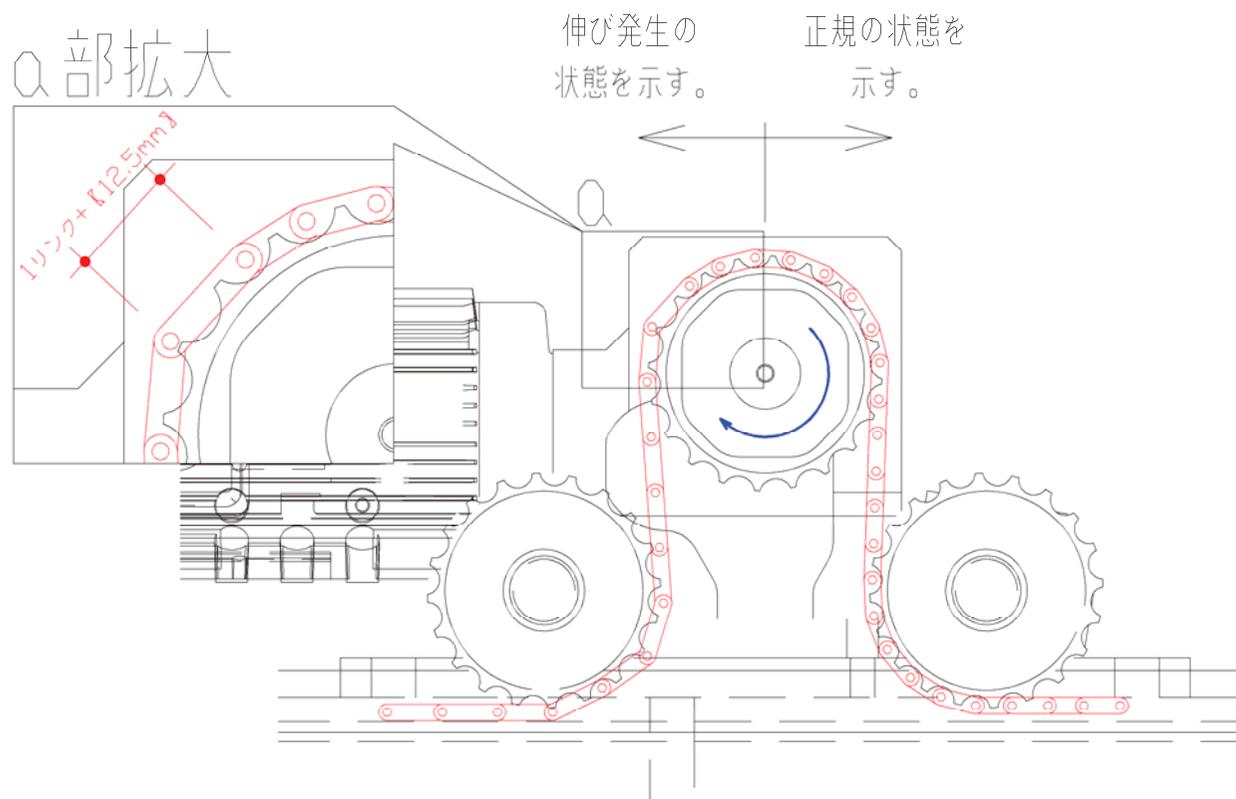
門構造図

<コメント>

チェーンの変形量に対する許容値を明確にすること。

<回答>

チェーンが0.5リンク(12.5mm)伸びた場合、チェーンと歯車が噛み合わなくなるためチェーンが外れる可能性がある。そのため、チェーンの変形量の許容値は、12.5mmと考える。なお、実際には12.5mm変形することはない、変形前に破損するものと思われる。



<コメント>

- ・開状態, 閉状態それぞれに対して, 技術基準に照らして要求される機能を整理すること

<回答>

BOP閉止装置の機能要求

- ・ 技術基準74条(運転員が原子炉制御室にとどまるための設備)
「原子炉制御室の居住性を確保するために原子炉建屋に設置されたブローアウトパネルを閉止する必要がある場合は, 容易かつ確実に閉止操作ができること。また、ブローアウトパネルは、現場において人力による操作が可能なものとする。」(技術基準の解釈 2 e))
- ・ 技術基準を満足するために必要な機能
 - ①容易かつ確実な閉止機能の確保
 - ②原子炉制御室の居住性を確保するために必要な気密性の確保
- ・ 機能要求を達成するために必要な条件
 - 【BOP閉止装置が開状態の場合】
 - ①容易かつ確実な閉止機能を確保すること
 - 【BOP閉止装置が閉状態の場合】
 - ②原子炉制御室の居住性を確保するために必要な気密性を確保すること
 - ⇒ 中央制御室の居住性確保の観点で必要な気密性を確保
 - 閉維持による気密性の確保
 - 仮に一時的な開放があった場合にも速やかに閉止することで中央制御室の居住性を確保
- ・ 地震動に関する考え方
 - 【BOP閉止装置が開状態の場合】

技術基準50条3に基づき, 重大事故緩和設備である閉止装置は, 容易かつ確実な閉止機能を確保するため, 基準地震動 S_s 機能維持
 - 【BOP閉止装置が閉状態の場合】

BOP閉止装置はブローアウトパネル本体と同等の気密性を担保する必要があることから, ブローアウトパネル本体の耐震要求 (S_d 相当の地震に対して機能維持)

<回答>(続)

○BOP閉止機能が「閉」状態において地震が発生した場合の影響について

- ・BOP閉止機能の「閉」状態において地震が発生した場合の影響として、地震荷重の組み合わせの考え方を参照
⇒ Sd相当の地震に対しては、運転状態V(L) ($10^{-2}/年 \sim 2 \times 10^{-1}/年$) において地震の発生を仮定
- ・地震動により閉止装置が一時的(1時間程度)に開放した場合においても、速やかに再閉止を講じることで居住性評価に与える影響は小さい
- ・「閉」状態において地震が発生した場合の影響として一時的な開放を考慮しても、BOP閉止機能が「閉」状態においてSd相当の耐震性を有し、かつ、一時的な開放後の再閉止の機能が失われることがなければ、技術基準要求を満足する
- ・なお、運転状態V(LL) ($2 \times 10^{-1}/年 \sim$) に対しては、放射性物質の減衰等により更に影響は小さくなる

【評価条件】

項目	評価条件	設定の考え方
起因事象	過渡事象	ブローアウトパネルが開放し、閉止装置に期待するシーケンスとして、主蒸気管破断を含む起因事象として設定
開放時間	1時間	技術的能力1.16に定める閉止時間17分を基に保守的に設定 SGTSの起動時間を事故後3時間(2時間+開放時間1時間)として評価
その他	居住性評価 ベースケース準拠	ベースケース(大破断LOCA, 格納容器ベント)と同様の条件 ・当直運転員交代の考慮 ・マスク着用(事故後3時間及び入退域時)の考慮

【評価結果】

ケース	閉止装置の開放なし (2時間後からSGTSに期待)	閉止装置の開放あり (3時間後からSGTSに期待)	【参考】居住性評価の対象ケース (大破断LOCA, 格納容器ベント)
被ばく量 (最大となる班)	28mSv	45mSv	約60mSv
1時間開放による 増分	17mSv		

<コメント>

- ①対策を実施する場合、先日のEディフェンスでの試験条件への影響について評価すること。
- ②チェーンの強度向上による他部位への影響を耐震、強度の観点も含めて説明すること。
- ③一部を強化すると別の箇所に問題が発生する可能性がある。総合的に確実な対策を検討すること。
- ④工事計画書の耐震計算書においては、扉の面外方向のランダム波に対する固有振動数16Hzを考慮した耐震計算を行うこと。

<回答>

閉止状態での扉の開放、扉開放に伴うチェーンへ過大な荷重対策として、地震による扉の開放を抑制し、チェーンに過大な荷重が付加されないように、門構造を採用する。

- ①門構造を追加することにより、新たな機構が加わるため、再度、加振して追加する構造・機能の健全性を確認することとする。
- ②門構造によりチェーンに過大な荷重が付加されないように設計するため、他部位への影響はない設計とする。
- ③総合的に確実な対策であることを確認するため、門を設置した構造で再加振試験を実施し、以下を確認する。
 - ・開状態(門設置)で1.0Ssの加振を実施し、門を含む構造体に有意な変形がなく、閉止機能が健全であること。
 - ・閉状態(門設置)で1.0Ssの加振を実施し、門を含む構造体に有意な変形がなく、閉止機能が維持(気密性能検査含む)されること。
- ④今回の不具合に対する対策として、扉が開状態、閉状態においては、扉の地震時の移動を抑制するため、門構造を採用する。これに伴い扉の固有振動数が変化することが想定されるため、再度、固有振動数を測定し、測定結果を踏まえた耐震計算を実施する。