

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6日

日本原子力発電株式会社

No	6月26日審査会合コメントリスト
①	門についてどの程度加振に耐えられるか、開機能に悪影響を与えないか説明すること
②	閉止状態で開いたときの閉止対策(警報, 自動閉止)について検討すること。
③	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。
④	確認された不具合について分析を十分に行い, 広い視点から今回説明した対策に限定せずに, 最善の対策を検討すること。
⑤	対策は, 閉止装置に要求される機能に照らし合わせて検討すること。
⑥	チェーンの強度向上による他設備(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。
⑦	設計で想定していた荷重と構造上の弱部が今回のチェーン破損状況と合致しているか確認し, そのうえで対策を検討すること。
⑧	扉の面外方向のランダム波に対する固有スペクトル16Hzを考慮した耐震計算を行うこと。
⑨	チェーンの有意な変形(判定基準)について具体的にすること。
⑩	チェーン破損のメカニズムをよく検討すること
⑪	チェーンとチェーンの伸びの位置関係を明確にして対応を検討すること
⑫	開状態, 閉状態での要求機能を整理すること。
⑬	あるところを強化すると別のところに問題が発生する場合がある。総合的に確実な対策を検討すること。

ブローアウトパネル閉止装置に対する要求事項の整理



- ◆ 対策を検討するにあたり、ブローアウトパネル閉止装置に対する要求事項を整理した。
- ◆ コメント⑫「開状態、閉状態での要求事項を技術基準に照らして整理すること。」に対応

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)

		実用発電用原子炉及びその附属設備の技術基準に関する規則		
		74条 原子炉制御室にとどまるための設備		50条 地震
ブローアウトパネル閉止装置 (SA緩和設備)	開状態 (SA前)	○ 容易かつ確実に閉止操作ができること		○ 基準地震動Ss機能維持
	閉状態 (SA後)	○ 原子炉制御室の居住性を確保	閉維持又は 速やかな再閉止	○※

※ SA後の閉止状態での耐震要求は、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である弾性用設計地震動Sd

実機大加振試験結果のまとめ



◆ 基準要求事項に照らして、E-ディフェンス(H30.6.20～H30.6.22)にて実施した加振試験結果について評価した。

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(端部の3ピン分)	・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:1.61G 鉛直Z:1.61G	無	・破損(閉側)	・扉は完全閉状態から開方向に約300mm移動	・無(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(端部の3ピン分)	・破損なし(チェーン全体で38mmの伸びを確認)	・扉は完全閉状態から開方向に約85mm移動	・有	・有	

<加振結果の概要>

- ◆ 閉止装置の主要な構造部品(ガイドレール, テーパーブロック, テーパーローラ, ハンガーレール等)については、加振試験でも有意な損傷・変形はなく、電動操作及び手動操作が実施できることを確認した。
- ◆ 開レベル3, 4でチェーン破損が発生し、電動での閉止操作は可能であったが、破損したチェーンが作動性を阻害する可能性があった。
- ◆ 閉レベル3でチェーンが破損し、開方向へ扉が移動した。チェーン破損により、電動での再閉止が不可であった。

<基準要求を踏まえ必要となる対策>

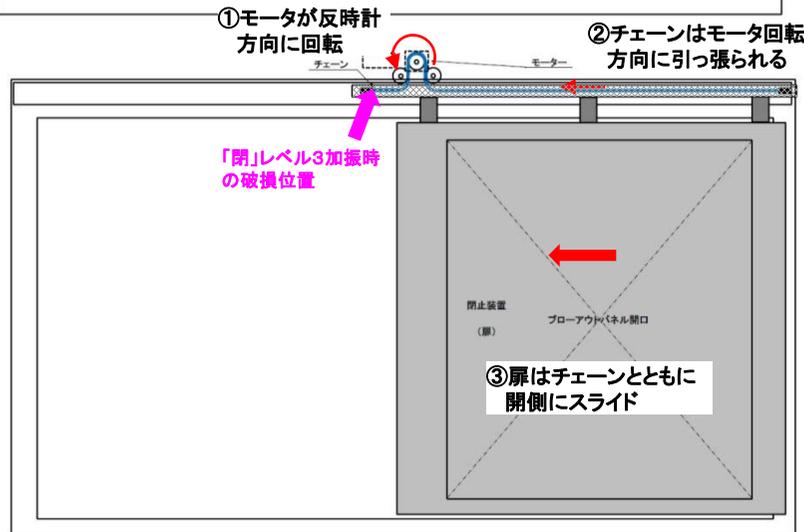
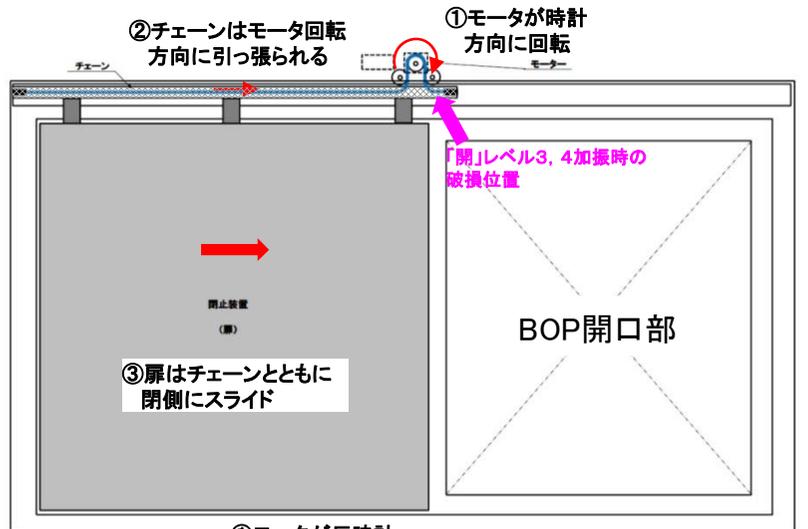
- ◆ 1.0Ss(レベル3)以上の加振でチェーンの破損が確認されているため、チェーンを破損させない対策が必要
- ◆ 閉状態で一時的な扉の開放が確認されており、運転員の被ばく評価に影響する可能性があるため、閉状態の維持又は再閉止のための対策が必要

確認された不具合(チェーン破損)の状況(1/2)

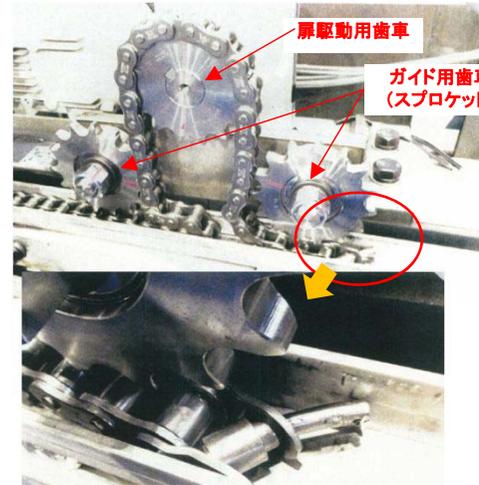


<不具合1>

チェーンの一部が破損する不具合を確認。破損箇所は、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(全開時には開放側、全閉時には閉止側のチェーン)であった。



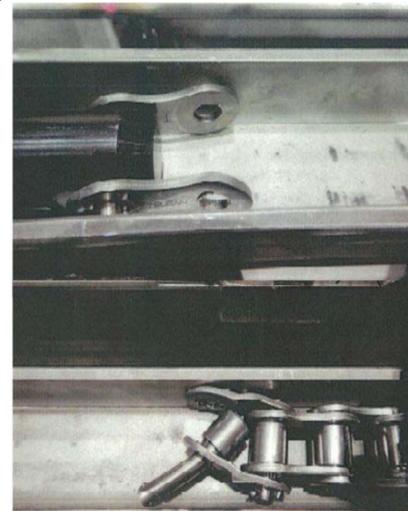
扉開閉のメカニズム



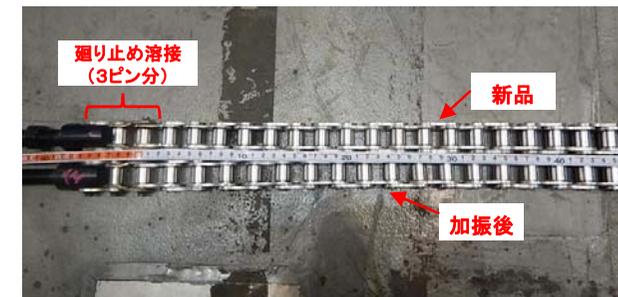
扉開状態レベル3加振後のチェーンの状態(6月20日)



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)



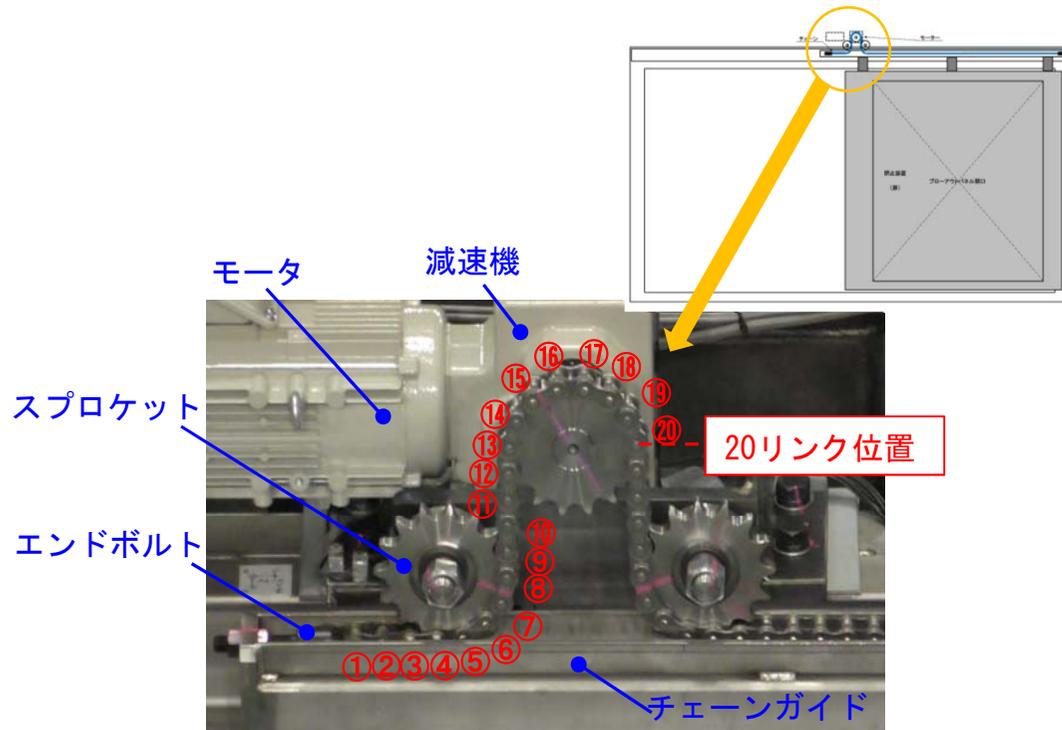
扉閉状態 レベル4加振後のチェーンの状態(6月21日)
(端部近傍の3つのピンについて廻り止め溶接を実施した結果、チェーン破損はなかったが約38mm(新品全長5584mm)の伸びが確認された)

確認された不具合(チェーン破損)の状況(2/2)

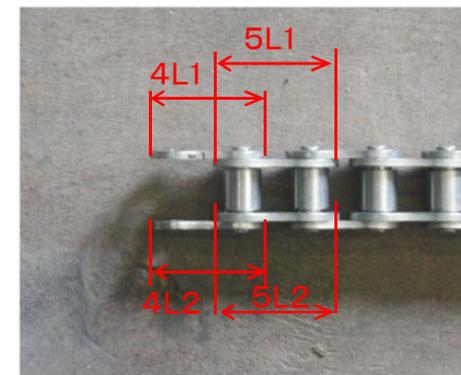
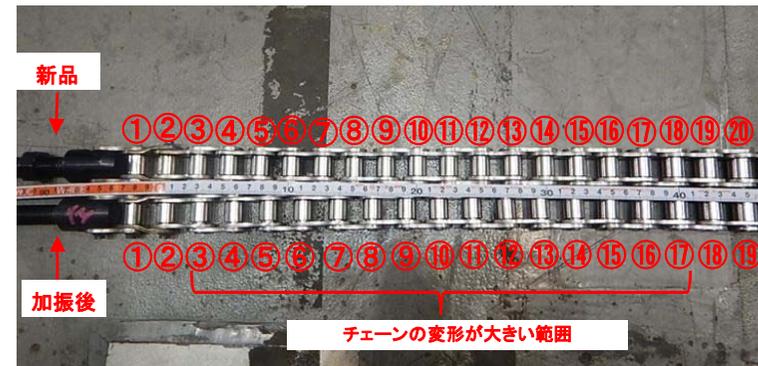


【チェーン破断箇所及びチェーンの伸び量の調査】

- ◆ 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。この部位は減速機からエンドボルトまでのチェーン短尺側(扉閉止側)の範囲であり、扉閉状態(レベル3加振)でチェーンが破損した場合と同じ側であった。
- ◆ コメント⑪「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。」に対応



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

確認された不具合(チェーン破損)の原因分析について(1/5)



- ◆チェーン損傷に原因について調査した結果は、以下のとおり。
- ◆設計想定を超える電動機のブレーキ力が発生し、これがチェーンの引張強さを超えたためチェーンが破損した可能性が高い。

事象	要因1	要因2	調査項目	調査結果	破損原因
チェーン破損	設計想定を超えた過大荷重	設計を超えた加振加速度	加振時の扉の最大加速度確認(扉面内方向)	<ul style="list-style-type: none"> チェーンに直接付加された荷重データはないが、扉には最大約9.6G(面内方向)の加速度が付加されており、設計想定1.66G(EL63.65mの最大加速度ZPA)を超えていた。 しかしながら、電動機ブレーキ荷重(約19.6kN)を超える荷重が付加された場合、ブレーキは滑り、ブレーキトルク以上の荷重はチェーンに付加されないため、チェーンは破損しない設計としていた。 	△
		過大な電動機ブレーキ力(ブレーキが滑り難くなるため、チェーンへ過大な荷重が付加される)	電動機のブレーキトルク測定	<ul style="list-style-type: none"> 電動機ブレーキの滑り発生トルクを試験により確認した結果、ブレーキ力は、<u>チェーン張力換算では約23~30kNであり、カタログから算出されるブレーキ力約19.6kNを超えていた。</u> 機械工学便覧によれば、<u>ブレーキ力が方形波パルスで入力された場合、チェーンに作用する荷重は、最大2倍となり得ることを確認したが、この影響が設計上、想定されていなかった。</u> チェーンに付加される荷重がブレーキトルクの2倍になる場合、<u>チェーン張力は、約46~60kN程度となり、別途確認した実際のチェーンの引張強さ(約41.4~44.8kN)を超え、チェーンは破損することを確認した。</u> 	○
		チェーンの強度不足	引張試験	<ul style="list-style-type: none"> チェーン張力を電動機ブレーキ力19.6kNとしており、その数値は最大許容張力14.7kN(カタログ)を超えており、平均引張強さ53.9kN(カタログ)を下回っていることから、チェーンは伸びる可能性はあるが、破断に至らないとしていた。 別途確認した実際のチェーンの引張強さは、約41.4~44.8kNであり、設計としたチェーン張力(19.6kN)を超えていることを確認した。 なお、扉閉状態レベル4加振時に部分溶接チェーンは切断しなかったことから、破断荷重は約44.8kN程度と推定 	△
	その他部品損傷による影響	その他部品損傷による影響	現品確認	<ul style="list-style-type: none"> 加振後の電動機、減速機等に有意な変形、チェーンを拘束したような痕跡は認められないこと、また、チェーン取替後の電動機電流値、開閉時間等の異常は確認されていないため、他の部品の損傷によりチェーンが損傷した可能性はない。 	×

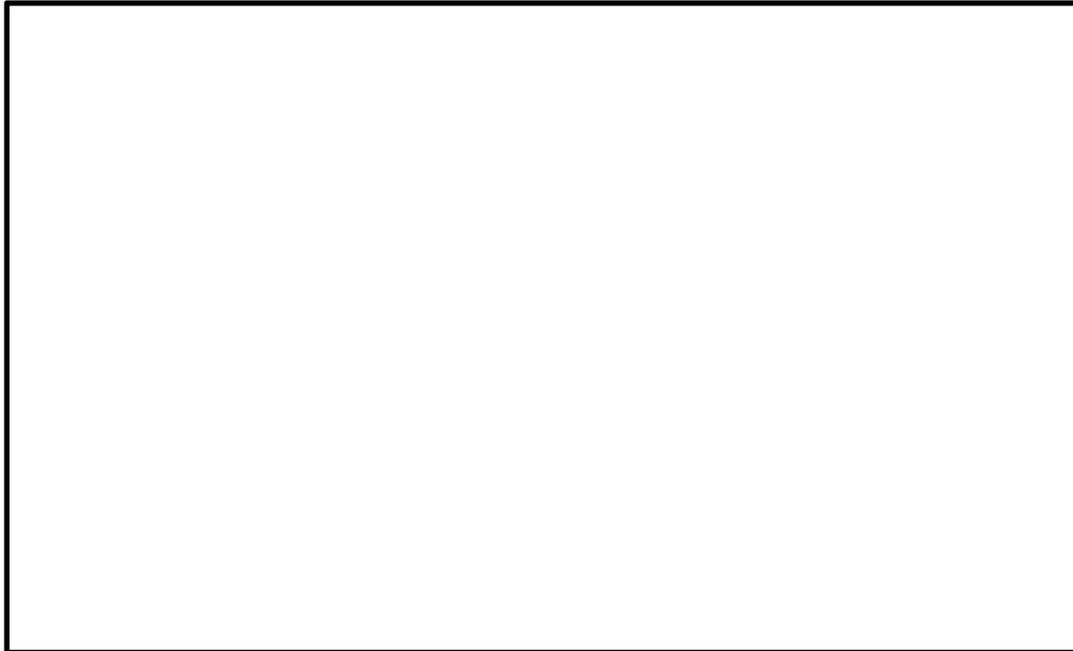
確認された不具合(チェーン破損)の原因分析について(2/5)



<チェーン破損の推定原因>

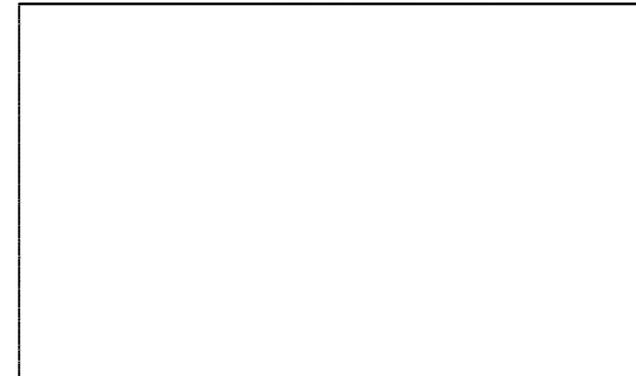
- ◆ 加振試験により発生したスライド方向の慣性力の一部が、扉と一体になっているチェーンガイド等を伝達してチェーンに荷重が加わり、モータのスライド方向支持による反力によって、チェーンに設計想定以上の過大な引張荷重が発生し、プレートが塑性変形し、ピン穴径が拡大し、ピンが抜け出ることにより破損
- ◆ コメント⑩:「チェーン破損のメカニズムについてよく検討すること」に対応

<荷重伝達経路(扉閉止状態における加振試験時)>



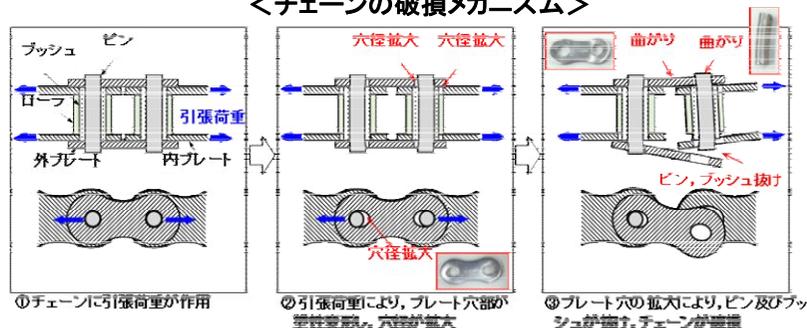
【逆側のチェーン(下図のモータより右側の青点線内のチェーン)が破損しない理由】

<荷重伝達経路(扉閉止状態における加振試験時)>



- ◆ 扉を更に右側に動かす荷重が付加されても、物理的に移動しないためチェーンに過度な引張荷重は付加されない。
- ◆ 扉を左側に動かす荷重が付加される場合、チェーン自体の張力は小さくなる方向となるため、過度な引張荷重は付加されない。

<チェーンの破損メカニズム>

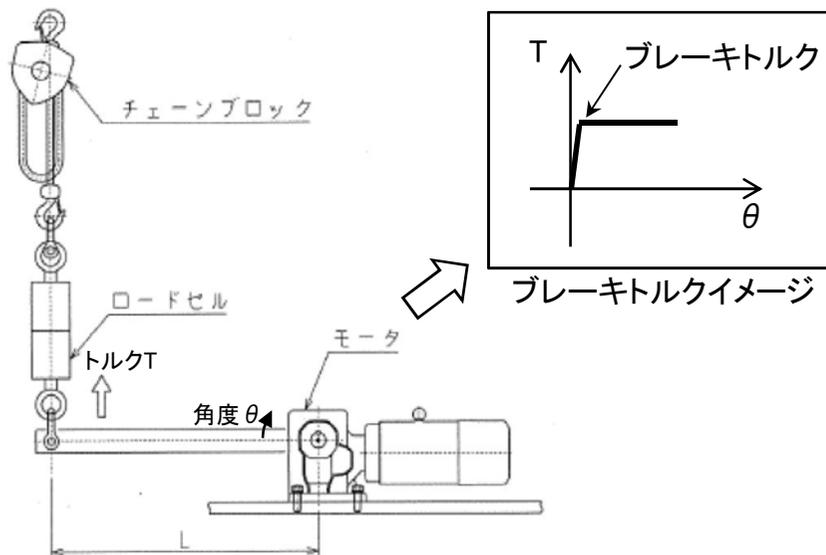


確認された不具合(チェーン破損)の原因分析について(3/5)

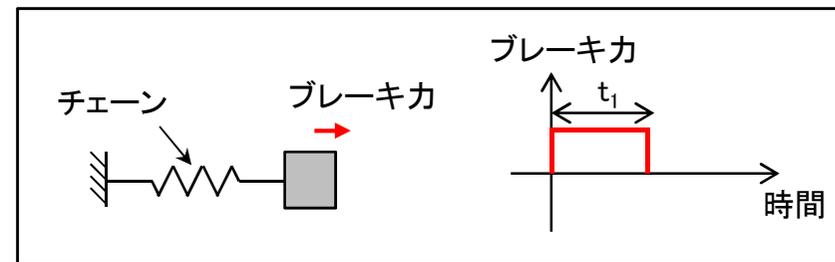


【電動機のスライド方向支持による反力について】

- ◆ 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結果、静摩擦力のため、カタログによる当該電動機の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)が働いたことが判明
- ◆ 加振試験においては、チェーンにブレーキ力が方形波パルスとして入力された場合、チェーンに付加される反力は最大2倍程度に増幅され、設計想定を超えることが分かった。そのメカニズムは以下のとおり。
(ブレーキ力(23kN~30kN)の2倍である46kN~60kNの負荷が作用し、チェーンの引張強度(41kN~47kN)を超過)

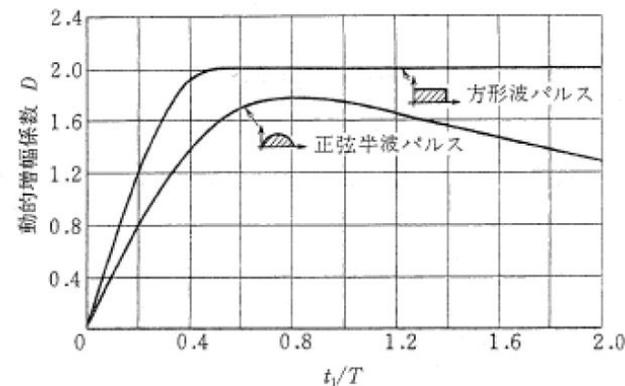


電動機ブレーキトルク試験概略図



チェーン-モータ系に作用するブレーキ力

↓ 1自由度系の衝撃応答



出典: 機械工学便覧

図 7-9 正弦半波パルスと方形波パルスの動的増幅係数

確認された不具合(チェーン破損)の原因分析について(4/5)



【電動駆動系の荷重伝達面から見た弱部の確認】

- ◆ 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ることを確認
- ◆ コメント⑦「設計で想定していた荷重と構造上の弱部が今回のチェーン破損状況と合致しているか確認し、そのうえで対策を検討すること。」に対応

<荷重伝達経路を構成する部品の強度評価>



各部の破損に対する裕度の簡易評価結果※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	
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 当初設計のモータブレーキ力(19.6kN)を荷重として荷重伝達経路を構成する部品を評価

※2 裕度 = $S_u / \text{発生荷重}$ (1以上を設計の目安としている。)

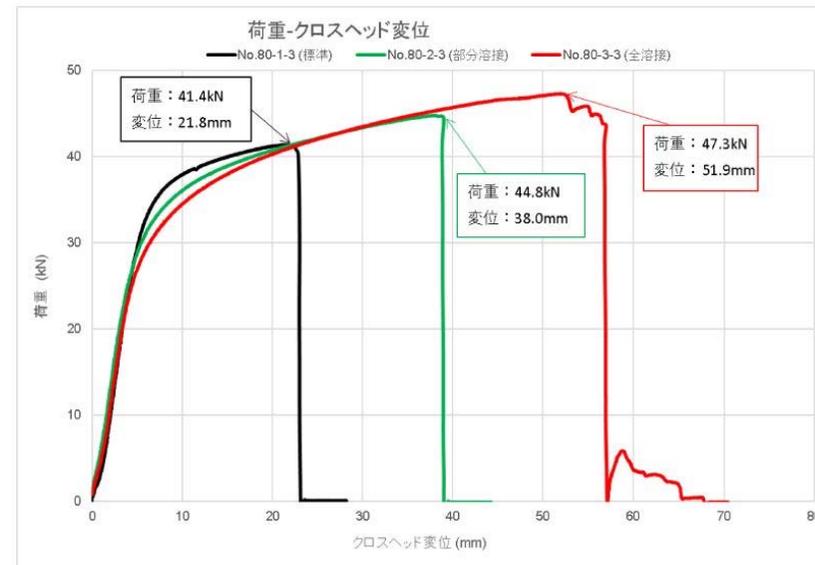
⇒強度評価の結果、荷重伝達経路の中でチェーンが最も発生荷重に対する強度上の裕度が低いことを確認

【チェーン破損に至る荷重について】

- ◆チェーン破断時に実際のチェーンに付加された荷重を推定するため、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種類に対して引張試験を実施
- ◆試験体は引張試験機の構造上の制限から9リンク分。なお、破損位置は実機と同じ位置であることを確認
- ◆コメント⑦「設計で想定していた荷重と構造上の弱部が今回のチェーン破損状況と合致しているか確認し、そのうえで対策を検討すること。」に対応



引張試験の状況



標準タイプ(オリジナル)



部分溶接補強タイプ



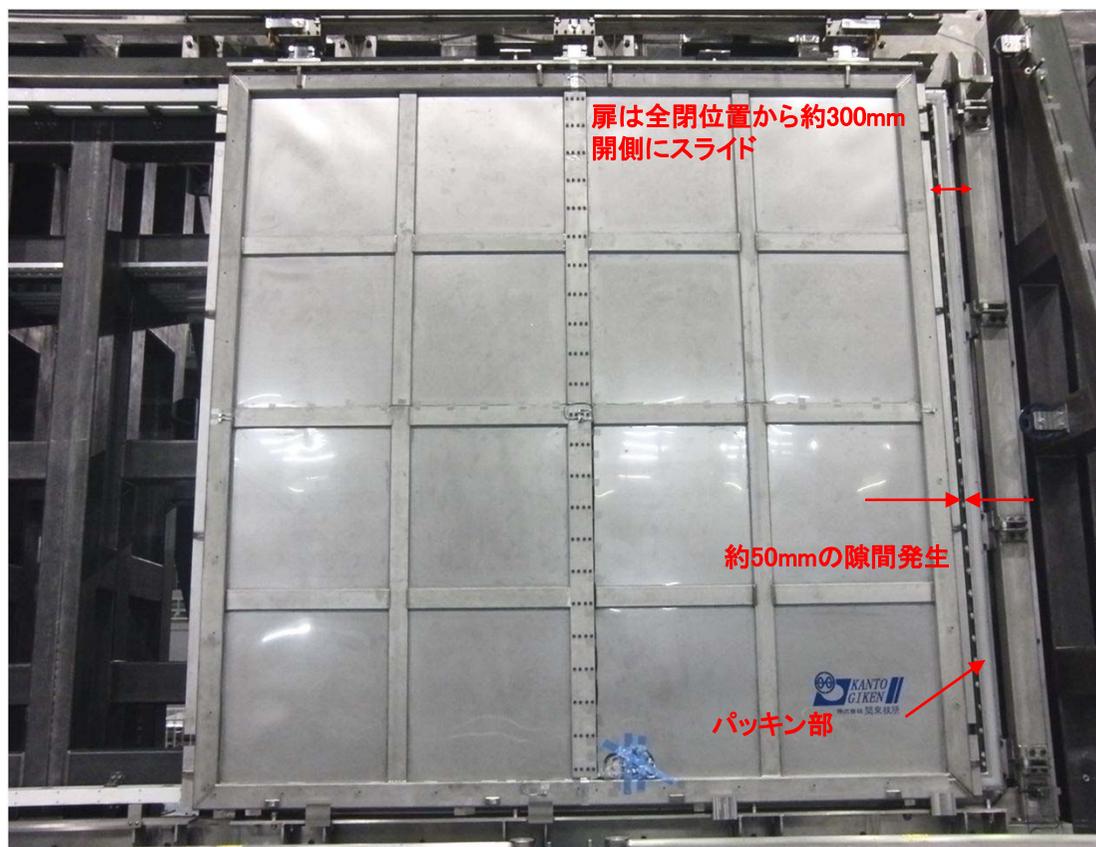
全溶接タイプ

- ・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以上の負荷がチェーンにかかったと評価

確認された不具合(扉の移動)の状況

<不具合2>

- ◆ 扉閉状態でのレベル3(1.0Ss)及びレベル4(1.1Ss目標)の加振にて、閉止中の扉が開方向に移動し、閉止が維持できないことを確認
- ◆ 扉閉状態でのレベル3(1.0Ss)では、チェーン破損により、電動での再閉止不可



扉閉レベル3(1.0Ss)後の扉状態(6月21日)



扉閉レベル4(1.1Ss)後の扉状態(6月21日)

確認された不具合(扉移動)の原因分析について(1/3)



- ◆扉移動の原因について調査した結果は以下のとおり。
- ◆チェーン破損原因と同様に、設計想定を超える電動機ブレーキ力が発生した結果、チェーン破断又は、破断前までにチェーンが伸びた結果、加振荷重による扉の移動を抑制できず扉が移動したと評価。また、チェーンが破損しなければ、速やかに再閉止可能であり問題ないと考え、伸びに対しては設計上考慮していなかった。

事象	要因1	要因2	確認のための調査項目	調査結果	移動原因
扉の移動	チェーン破損	設計を超えた加振加速度	加振時の扉の最大加速度確認(扉面内方向)	<ul style="list-style-type: none"> ・チェーンに直接付加された荷重データはないが、扉には最大約9.6G(面内方向)の加速度が付加されており、設計想定1.66G(EL63.65mの最大加速度ZPA)を超えていた。 ・しかしながら、電動機ブレーキ荷重(約19.6kN)を超える荷重が付加された場合、ブレーキは滑り、ブレーキトルク以上の荷重はチェーンに付加されないため、チェーンは破損しない設計とされていた。 	△
		過大な電動機ブレーキ力(ブレーキが滑り難くなるため、チェーンへ過大な荷重が付加される)	電動機のブレーキトルク測定	<ul style="list-style-type: none"> ・電動機ブレーキの滑り発生トルクを試験により確認した結果、ブレーキ力は、チェーン張力換算では約23~30kNであり、カタログから算出されるブレーキ力約19.6kNを超えていた。 ・機械工学便覧によれば、ブレーキ力が方形波パルスで入力された場合、チェーンに作用する荷重は、最大2倍となり得ることを確認したが、この影響が設計上、想定されていなかった。 ・チェーンに付加される荷重がブレーキトルクの2倍になる場合、チェーン張力は、約46~60kN程度となり、別途確認した実際のチェーンの引張強さ(約41.4~44.8kN)を超え、チェーンは破損することを確認した。 	○
		チェーンの強度不足	引張試験	<ul style="list-style-type: none"> ・チェーン張力を電動機ブレーキ力19.6kNとしており、その数値は最大許容張力14.7kN(カタログ)を超えており、平均引張強さ53.9kN(カタログ)を下回っていることから、チェーンは伸びる可能性はあるが、破断に至らないとしていた。 ・別途確認した実際のチェーンの引張強さは、約41.4~44.8kNであり、設計としたチェーン張力(19.6kN)を超えていることを確認した。 ・なお、扉閉状態レベル4加振時に部分溶接チェーンは切断しなかったことから、破断荷重は約44.8kN程度と推定 	△
		想定を超えるチェーンの伸び	チェーン伸び量確認	<ul style="list-style-type: none"> ・引張試験によるチェーン伸び量(破損前まで)の確認(引張試験機の寸法から9リンクで試験を実施し20リンクに比例変換)の結果は以下のとおりであるが、設計上、ブレーキ力(19.6kN)はチェーンの弾性範囲内であり、伸びを考慮していなかった。 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 	△
		チェーンガイド等の伸び	<ul style="list-style-type: none"> ・加振後の外観検査で有意な変形は確認されていない 	×	

確認された不具合(扉移動)の原因分析について(2/3)



事象	要因1	要因2	確認のための調査項目	調査結果	移動原因
扉の移動	駆動系のすべり	想定以上のブレーキ(電動機)の滑り	ブレーキの滑り荷重確認	・電動機ブレーキの滑り発生トルクを試験により確認した結果、ブレーキ力は、チェーン張力換算では約23~30kNであり、カタログから算出されるブレーキ力(設計値)約19.6kNより滑り難い状態であった。	×
		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	×

確認された不具合(扉移動)の原因分析について(3/3)



<扉移動の推定原因>

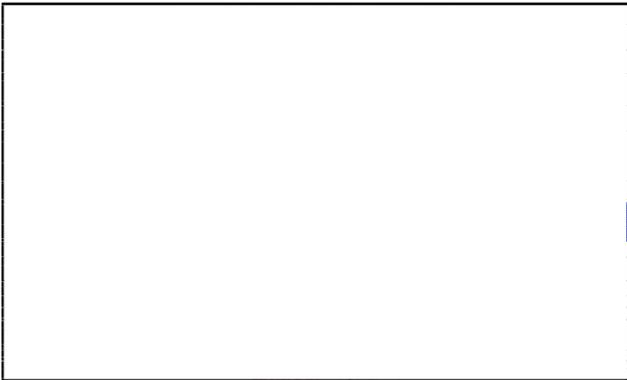
- ◆チェーン破損(チェーンの伸び含む)により、扉を開く側の抗力がほぼない状態で、扉に開方向の加振加速度が付加されることにより扉が開放した。
- ◆チェーンが健全であれば、速やかに閉止可能であるため、設計上、チェーンの伸びに対しては十分に考慮していなかった。

扉移動に対する抗力

<

加振による扉の慣性力

- ◆チェーン破損による扉移動に対する抗力の喪失
- ◆チェーンの伸びによる扉移動に対する抗力の低下
- ◆チェーンが健全であれば、再閉止可能であるため、設計上、チェーンの伸びについては考慮していなかった。



<荷重付連鎖路(閉止状態)に対する加振試験時>

- ◆チェーンが切断された状態で、扉を左側に動かす(扉を開放する側)荷重が付加される場合、スプロケットより右側のチェーンは緩む方向になるため、扉は開き易くなる

対策案について(1/8)

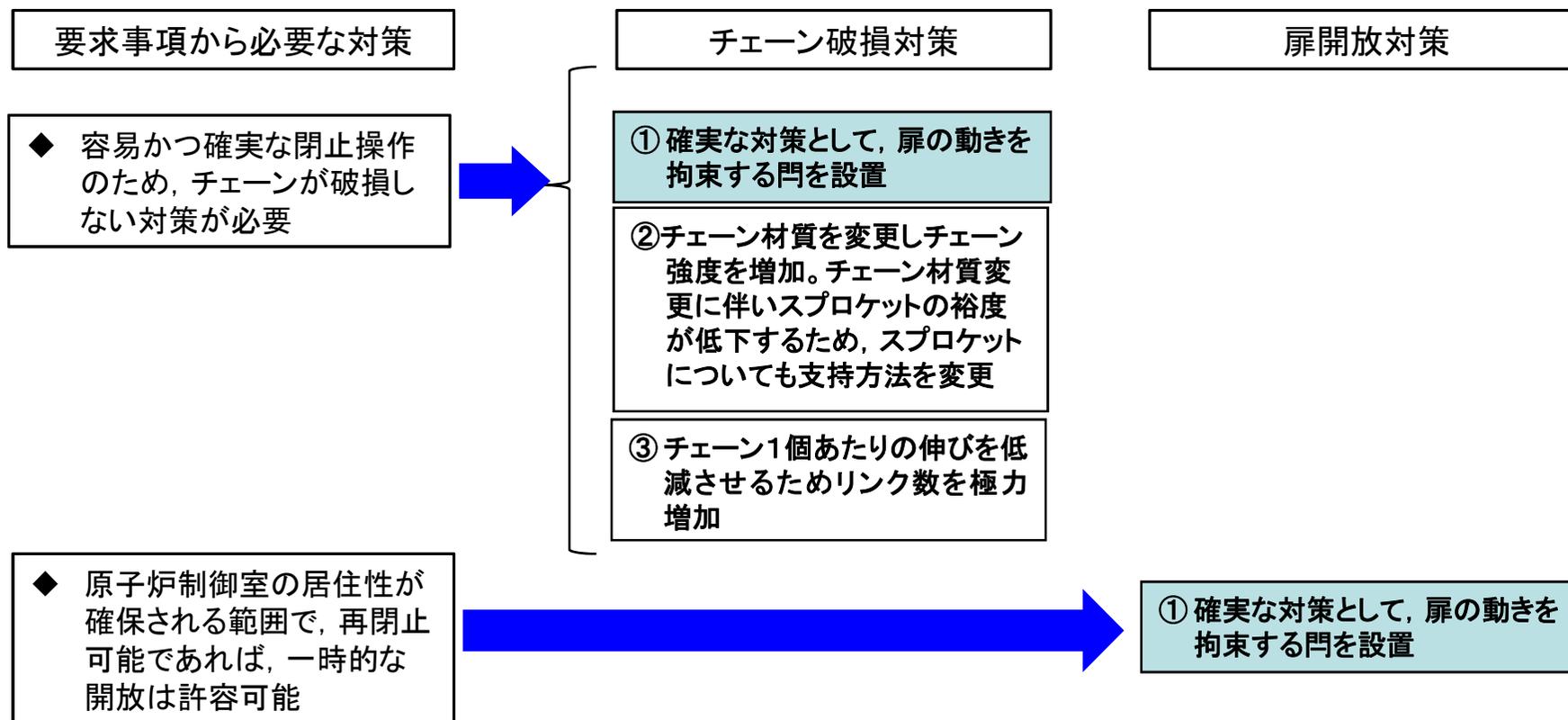


- ◆チェーン破損対策として、「慣性力による荷重に耐える対策」「チェーン部の荷重低減」「慣性力による荷重が付加されない対策」の観点から、扉移動の防止対策として、「扉移動の物理的な防止」「一時的に開放した場合の速やかな対応」の観点から対応策を検討し、対策を選定(以下のハッチング部分を選定)
- ◆コメント④「確認された不具合について分析を十分に行い、広い視点から今回説明した対策に限定せずに、最善の対策を検討すること。」に対応

		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	評価概要	総合評価	
チェーン破損対策	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	・引張試験結果によれば強度は増加するが、逆に伸び量は低下する	△	
		2	現行チェーンの全溶接化	○	×	×	なし	なし	・引張試験結果によれば、全溶接タイプのチェーンは標準チェーンより破損までの変位は大きい、大幅な強度の向上は困難	×	
		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	・基本構造変更、扉上部の大幅な荷重増加が見込まれ、耐震上好ましくない	×	
		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	・開閉のために巻き取り装置が2個必要であり、扉上部の大幅な荷重増加が見込まれ、耐震上好ましくない。また、ワイヤーのため伸びがチェーンより大きい。	×	
		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	・上下動による歯車破損の可能性があり採用困難	×	
	荷重低減	6	短尺部チェーンの長尺化 (可能な範囲でチェーン1個当たりの伸び低減)	○	○	×	なし	なし	・チェーン伸びのため、移動防止はできないが、チェーンガイドも含めて可能な範囲で延長することによりチェーン1個当たりの伸びを低減可能	△	
		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	・緩衝材(ばね、ダンパ等)の選定、確証が困難。ダンパやばねで地震慣性力を受けるためには、扉上部の大幅な荷重増加が見込まれ、耐震上好ましくない	×	
	扉開放対策	慣性力による荷重が付加されない対策/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)	○	○	○	有	なし	・安全重要度の高い電動方式のほうが、空気系(LA系、SA系)より信頼性が高い	×
			9	門設置 (電動機による駆動、手動抜き取り機能も付加)	○	○	○	有	なし	手動のみ、空気作動に比べて駆動系の信頼性が高い	○
			10	門設置(動力なし、手動抜き取り)	○	○	○	有	なし	・手動のみの場合、基準要求の“容易かつ確実に閉操作できること”に合致しない	×
		開放時に再開するための対応	11	一時的に開放した場合は電動(手動操作)で再開(警報発報時後、状況を確認し閉止)	○	×	×	なし	なし	・一時的な開放は被ばく評価に影響ないため、誤動作の可能性による設備損傷を考慮すると、状況を確認後、電動にて閉止することが望ましい	○
			12	一時的に開放した場合は自動で再開(警報発報時自動閉止)	○	×	×	なし	なし	・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。自動で再開する場合は、SGTSに自動停止のインターロックを設けることとなり、適切でない。	×

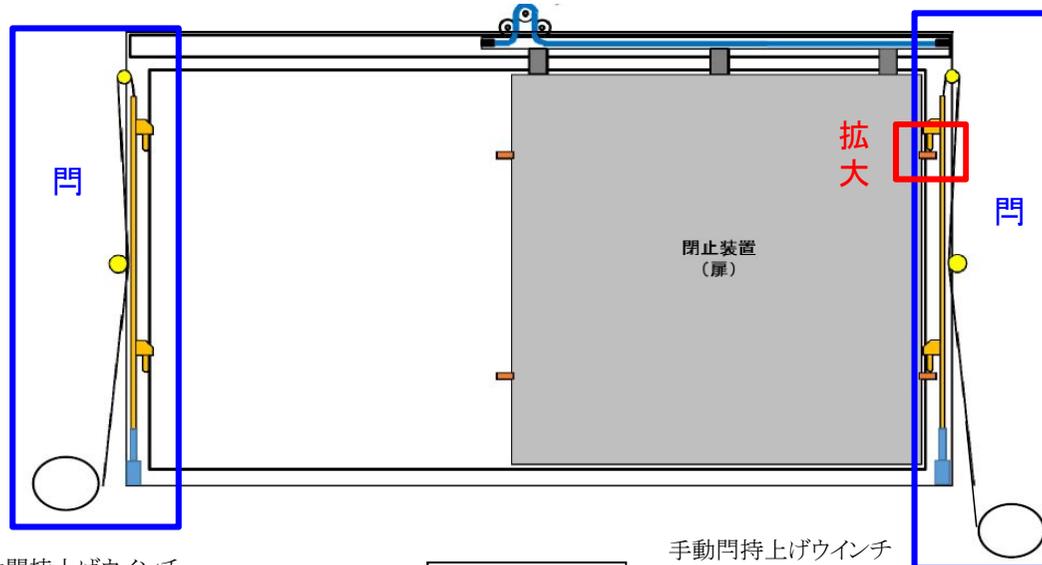
【基本的な考え方】

- ◆ チェーン破損及び扉開放を防ぐ確実な対策として門(扉の地震時の慣性力がチェーンに付加されるのを防ぎ、かつ、扉が開放すること物理的に防止)を設置する
- ◆ チェーンが損傷すると、容易かつ確実な扉の閉止機能が喪失するため、門設置に加え、チェーンの強度増加、伸びの抑制対策を実施する。
- ◆ なお、念のため、扉が一時的に開放した場合の被ばく影響に評価し、一時的に扉が開放した場合でも、再閉止すれば、運転員の被ばく評価上も問題ないことを確認



【門構造について】

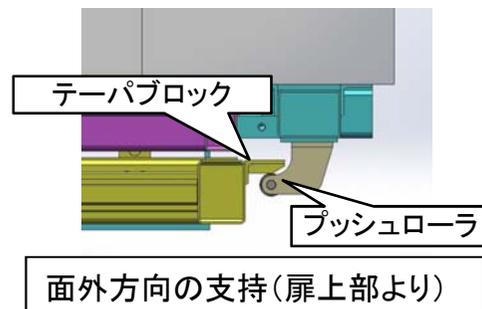
- ◆ 開状態においてはチェーンの破損防止, 閉状態においては, チェーンの破損防止及び扉閉状態の維持のため, 扉の両側に門を設置
- ◆ 門は面内方向の荷重のみ支持し, 面外方向の荷重はテーパブロック及びプッシュローラで支持
- ◆ 門と門穴の面内方向の間隙(ギャップ)の目標値は最大5mmとし, 扉が開かず気密性が維持できるように設計
- ◆ 門と門穴の面外方向の荷重はテーパブロック及びプッシュローラで支持されるため, 門と門穴の間隙(ギャップ)は十分に広く設計し, 扉の移動を拘束しない設計



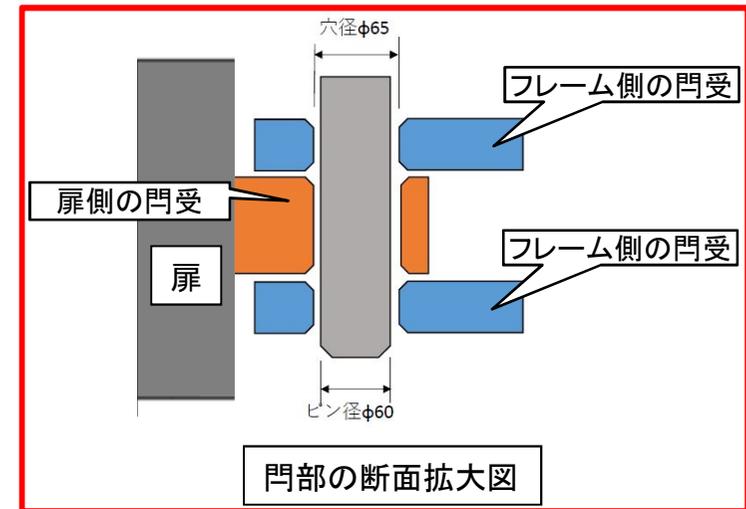
手動門持上げウインチ

手動門持上げウインチ

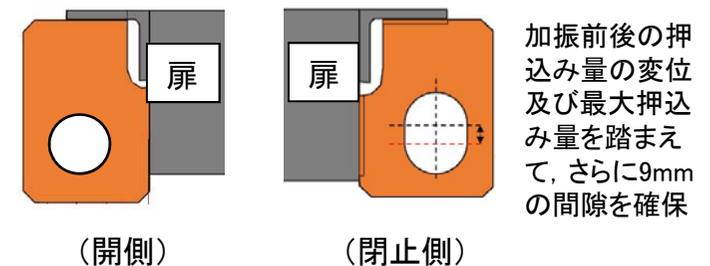
門設置位置



面外方向の支持(扉上部より)



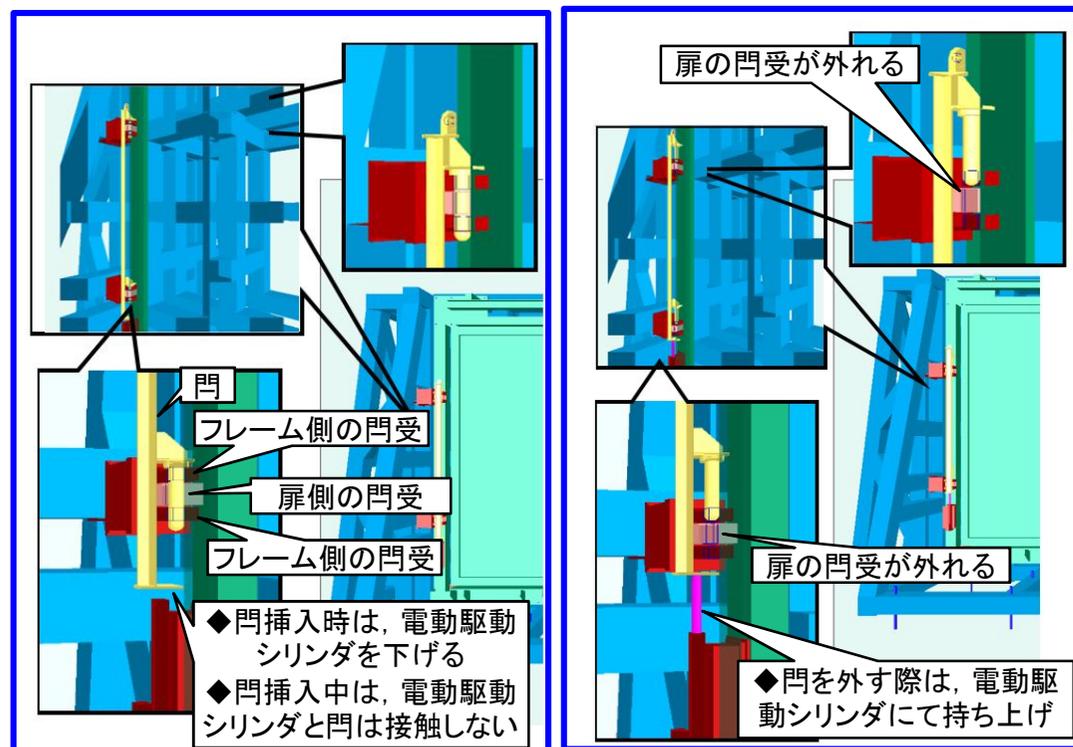
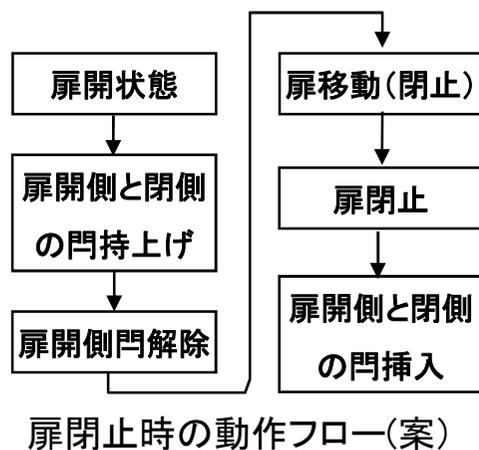
門部の断面拡大図



扉側の門受プレート形状(上部より)

【門の動作原理について】

- ◆ 門を外す際には電動駆動シリンダにより門を持ち上げ、門挿入時には電動駆動シリンダを下げることで、門の自重により扉及びフレーム側の門受に挿入される設計
- ◆ 手動操作時は、ウインチにて門を引き抜き、挿入時にはワイヤーを緩めることにより、門の自重により扉及びフレーム側の門受に挿入される設計
- ◆ 門用電動機及び電動駆動シリンダは、門とは物理的に接続せず、扉が開状態又は閉状態での門からの荷重は受けない設計



開状態の門挿入状態

門持上げ状態

【門の構造強度について】

- ◆ 門は、想定する材質、寸法で門が受ける面内の荷重(面外の荷重はテーパブッシュにて受ける)に対して十分な強度(弾性範囲内)を有することを確認した。
- ◆ コメント⑦「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。」に対応

<設計条件>

扉本体: 2500kg

加速度: 9.6G(閉止状態での1.0Ss) 衝撃係数: 2

荷重: $W = 2500 \times 9.80665 \times 9.6 \times 2 =$ N

せん断力: $F = W / 2 =$ N

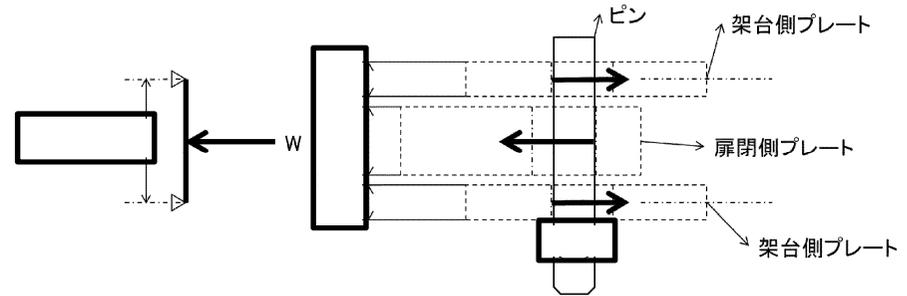
モーメント: $M = W \times L / 4 =$ N/mm

ピンの数: 2個

D(ピンの直径): mm

A(ピンの断面積): $A = \pi \times D^2 / 4 \times 2 =$ mm²

Z(ピンの断面係数): $Z = \pi \times D^3 / 32 \times 2 =$ mm³



門構造図(1)

(1)ピンに生じるせん断応力: $\tau 1$ (N/mm²)

$$\tau 1 = F / A = \frac{\text{}}{\text{}} = \text{$$

(2)ピンに生じる曲げ応力: $\sigma 1$ (N/mm²)

$$\sigma 1 = M / Z = \frac{\text{}}{\text{}} = \text{$$

(5)ピンに生じる組合せ応力: $\sigma 2$ (N/mm²)

$$\sigma 2 = \sqrt{\sigma 1^2 + 3\tau 1^2} = \sqrt{\text{} + 3 \times \text{}} = \text{$$

(6)許容応力

ピン材質: S45C $S_y = 345 \text{ N/mm}^2$

(7)結果

曲げ: N/mm² < 345 N/mm² ○

せん断: N/mm² < 199 N/mm² ○

組合せ: N/mm² < 345 N/mm² ○

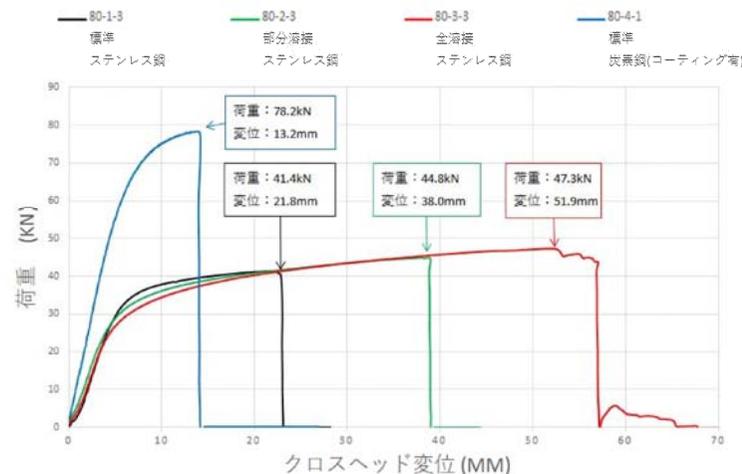
【チェーン材質の変更について】

- ◆ 材料強度を上げたチェーンについて、引張試験を実施し、破断荷重は現行品の約1.8倍の約78kNであることを確認したが、破断までチェーンの伸びは逆に小さくなる結果となった。
- ◆ チェーンの伸びについては、門により扉移動を拘束すること、衝撃の影響を考慮してもモータのブレーキトルクより強度が高く、破損前にモータが滑りチェーン破損を予防できるため、本チェーンを採用する。

＜新チェーンの仕様＞

椿本チェーン社製 型式RS80-NRP1(鋼製コーティングチェーン)

最小引張強さ:71.6kN(カタログ値) ⇒ 78.2kN(実測値)



チェーンの補強対策の荷重－変位線図

種類	実測した引張強さ[kN] (カタログ値)	備考	総合評価
①SUS製 RS80-SS-1(現行品)	41.4	・チェーン破損に至る	△
②鋼製 RS80-1	(71.6)	・耐候性上の課題有	×
③鋼製コーティング RS80-NEP-1	78.2	・コーティングにより耐候性上問題なし	○
④熱処理 EK 80HS.P.R	(95.1)*1	・耐候性上の課題有, 納期上の課題有(7/E)	×

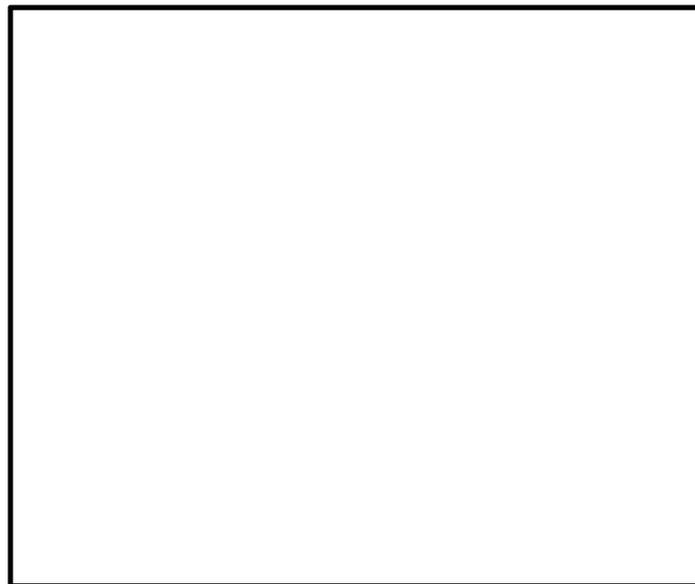
*1:平均引張強さ(最小値の記載なし)

【チェーン材質変更に伴う弱部の対策について】

- ◆ チェーン材質変更に伴う荷重伝達経路の他部位への影響について評価した。その結果、スプロケット軸の裕度が低いことから、スプロケット軸についても構造を変更
- ◆ チェーン破損原因を踏まえて、設計上は電動機ブレーキの2倍(約60kN)の張力が付加されても構造健全性が確保できるように設計するが、実際には門によりチェーンに過大な荷重が付加されることはないため、駆動系全体で十分な強度余裕を確保
- ◆ コメント⑥「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。」に対応

<荷重伝達経路を構成する部品の強度評価>

各部の破損に対する裕度の簡易評価結果※1



対策前

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	
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	

対策後(門なし)

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 (対策品)	
11	スプロケット 軸 (対策品)	
12	モーターベース	
13	ボルト4	
14	ハンガーレール	

※1 モータブレーキ力の約2倍の荷重(60kN)がかかったと推定して裕度を評価した。

※2 裕度 = $S_u / \text{発生荷重}$ (1以上を設計の目安としている。)

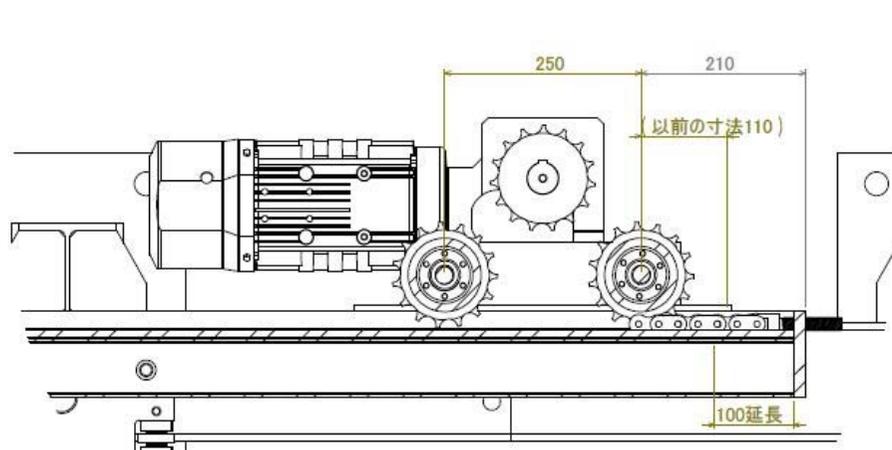
対策後(門)

15	かんぬき (新規)	1.7
----	-----------	-----

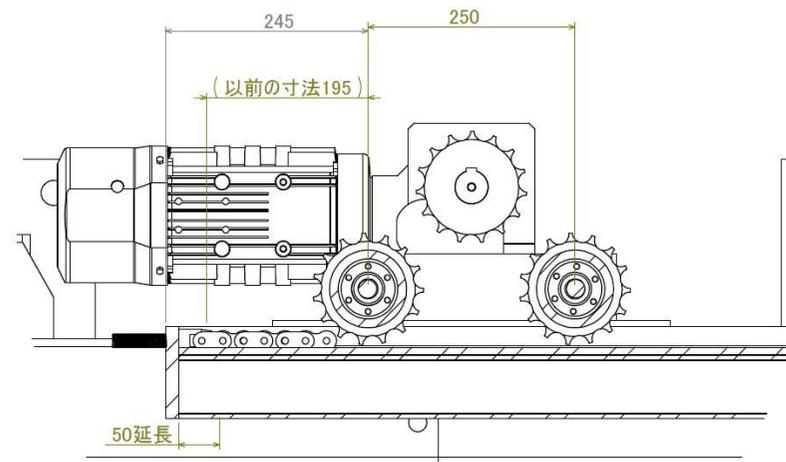
加振試験時の扉の最大加速度(9.6G)の2倍の荷重で評価した値

【短尺部の長尺化について】

- ◆ チェーンに破損が発生する短尺部のチェーンの荷重低減策として、短尺部を長尺化し、チェーン1個あたりの伸び量を低減することで、地震荷重を緩和する効果を期待できるため、加振試験体形状の制限を踏まえて、短尺部について、開状態で約100mm(4リンク分)、閉状態で約50mm(2リンク分)を延長する。
- ◆ なお、この際、現設計では、チェーン端部とエンドボルトの接続ためオフセットリンク※が使用されているが、構造上の弱部となるため、可能な限り強度上の弱部を排除する目的でオフセットリンクを使用しない設計とする。

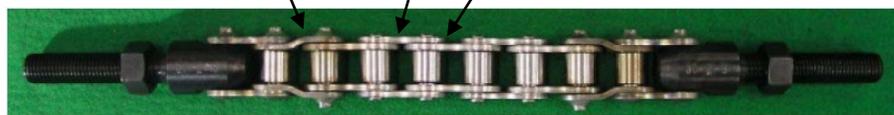


開状態



閉状態

オフセットリンク 外側プレート 内側プレート



オフセットリンク有り



オフセットリンク無し

※: オフセットリンクを使用する目的: エンドボルトと外側チェーンが接続する仕様となっているが、チェーンの長さによっては、内側プレートがエンドボルトの位置に来る場合がある。その際に、オフセットリンク(内→外の変換リンク)を使用し、外側プレートがエンドボルトの位置に来るよう調整する。

実施対策の確認について



【実施対策の確認】

- ◆ 実施対策の妥当性を確認するため、今月、下旬にE-ディフェンスにて実機大の加振試験を実施。詳細工程について調整中
- ◆ 確認内容は以下のとおり

扉初期状態	加振レベル	確認内容とその順序(案)	備考
開・閉状態	—	<ul style="list-style-type: none"> ・固有値確認 	
開状態 (門挿入)	1.0Ss加振	<ul style="list-style-type: none"> ・1.0Ss加振 ・加振後の門動作確認(扉閉操作前の門の抜き取り) ・加振後の扉の閉動作確認 ・扉閉後の門動作確認(閉じた扉への門の挿入) ・加振後の気密性能確認 ・門の手動抜き取り操作及び挿入操作 	
閉状態 (門挿入)	1.0Ss加振	<ul style="list-style-type: none"> ・1.0Ss加振 ・加振後の気密性能確認 ・加振後の門動作確認(閉扉からの門の抜き操作) ・加振後の扉の開動作確認 ・扉開放後の門動作確認(扉開後の門の挿入操作) ・門の手動抜き取り操作及び挿入操作 	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震裕度を確認するため、基準地震動Ss加振波を用いる

<コメント>

- ③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。
- ⑬一部を強化すると別の箇所に問題が発生する場合がある。総合的に確実な対策を検討すること。
- ⑧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>

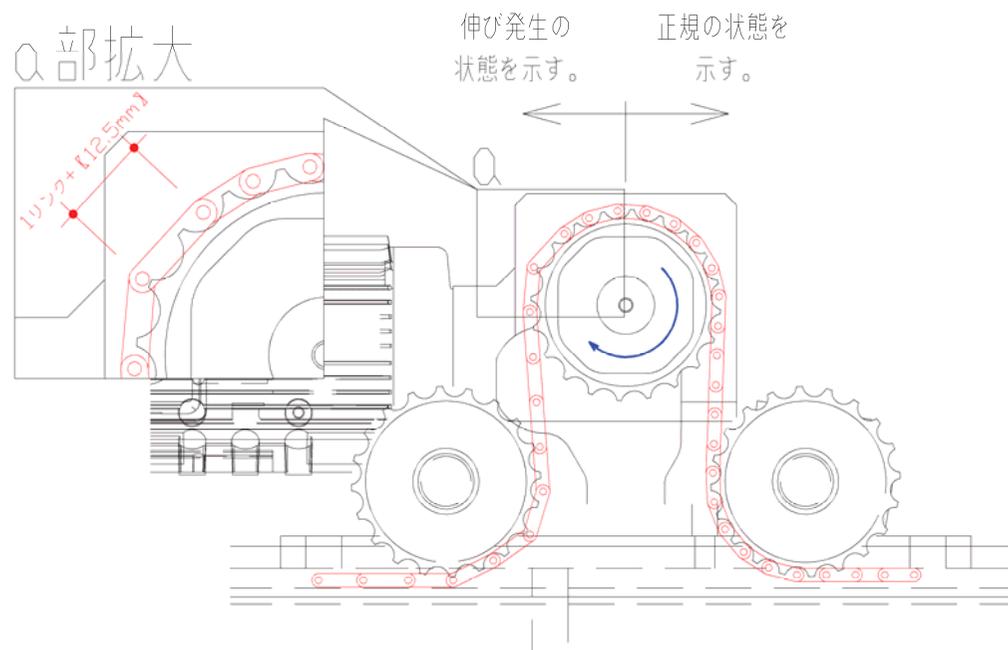
- ③扉の基本的な構造に変更を与えない門構造等の対策を行うが、再度、加振して構造・機能の健全性を確認する。
- ⑬総合的に確実な対策とするための対策は以下のとおり。なお、総合的で確実な対策であることを確認するため、Eディフェンスにて実機大モデルにて再加振試験を実施し、各部の構造強度、機能を確認する。
 - ・扉の動きを抑制することにより物理的にチェーンに過大な荷重が付加されず、扉の閉状態を維持できる門構造の採用
 - ・チェーン材質変更によるチェーン強度の向上とチェーン材質変更にともない弱部となるスプロケットの支持構造変更
 - ・チェーン破損や著しい伸びが確認された短尺部の長尺化等(チェーン数追加, チェーンとエンドボルト接続部の設計変更(オフセットリンク構造の変更))
- ⑧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、門構造を採用するため、固有振動数が変化することも考えられるため、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。

<コメント>

⑨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1リンクあたり12.5mm伸びた場合、チェーンと歯車が噛み合わなくなり、チェーンが外れる可能性が発生する。ただし、実際には12.5mm変形する前に破損するものと思われる。
- ◆今回、門構造を採用するため、チェーンは門穴と門の差の1/2(約2.5mm)伸びる可能性があるが、この量は引張試験結果から推定される20リンク分の伸び量(約13mm)以下であり、チェーンが破損することはない。



<コメント>

②閉止状態で開いたときの閉止対策(警報, 自動閉止)について検討すること。

<回答>

◆今回, 門構造を採用することにより, 扉が閉止状態で地震が発生した場合でも, 開放しない設計とする。

◆警報については, 当初から設置予定である。

◆扉の閉止については, 誤動作による破損のリスクを回避するため, 状況確認後に中央制御室からの電動操作にて再閉止する設計とする。

- ・非常に保守的な条件で, 扉が一時的に開放した場合を想定し被ばく評価を実施した結果, その増分は, 設置変更許可申請書内の被ばく評価に包絡できること。
- ・状況確認後に遠隔にて再閉止することにより, 誤動作による閉止装置の破損のリスク(例えば, BOPがある状態での閉信号によるBOP落下防止チェーンとの干渉等)を回避できること。
- ・技術的能力においては, 非常用ガス処理系運転中にブローアウトパネルが万一開放した場合には, 閉止装置の機器保護(差圧が付加されている状態での扉移動によるパッキンの損傷等)のため, 一度, 非常用ガス処理系を手動で停止し, 遠隔電動にてブローアウトパネル閉止装置にて閉止する手順としており, この状況も踏まえると, 非常用ガス処理系を自動停止させるようなインターロックは回避すべきであること。

<参考>ブローアウトパネル閉止装置の一時的な開放を仮定した被ばく評価結果



- ◆ 保守的に1時間の開放を仮定しても、居住性評価の対象ケースの評価結果に包絡され、被ばく評価上問題ないことを確認

【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を仮定
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)	約28mSv	約45mSv	約60mSv
1時間開放による 増分	約17mSv		

- ・1時間の開放を仮定しているが、実態の閉止操作は速やかに実施するため、開放の影響は更に軽減される